6.2.1.10 ７）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発：

運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発

（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））

（実施者：日本電気株式会社　株式会社エヌ・ティ・ティ・データ　株式会社日立製作所　株式会社ウェザーニューズ）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

1)事業目的

2017 年度～2019 年度に実施された「研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」／（１）無人航空機の運航管理システムの開発／１）運航管理統合機能の開発」の研究で開発した、運航管理統合機能を社会実装させるための研究を実施する（図 2.2.1.10-1）。

社会実装に向けては、全国展開を踏まえたスケーラビリティをもたせるための分散処理などの開発、インシデント発生時の管理手法の開発が必要である。

さらに無人航空機によるサービスを社会実装するために、多数地域への展開、地域ごとの課題抽出と、その課題の解決を目指すとともに、無人航空機の社会受容性を高める必要がある。

これらの課題を解決するため、以下の 4 項目について研究を行う。

①運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発
②サーバ障害発生時の対応に関する開発
③運航管理統合機能の処理分散技術の開発
④全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発

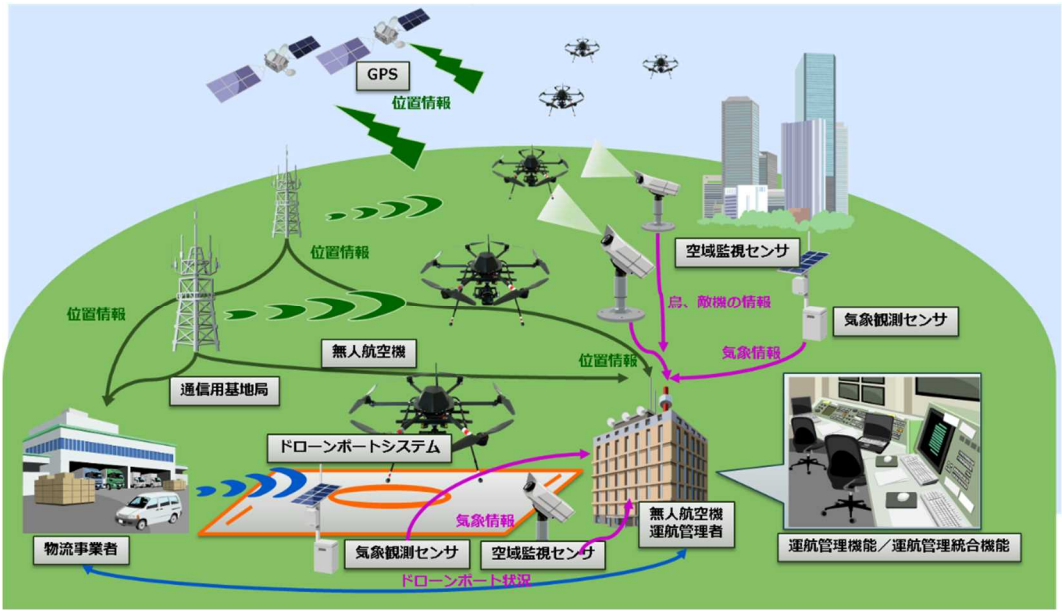


図 2.2.1.10-1 運航管理システムのイメージ図

また、運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発は、運航管理システム(UTM)のうち運航管理統合機能、情報提供機能をスコープとする（図 2.2.1.10-2）。

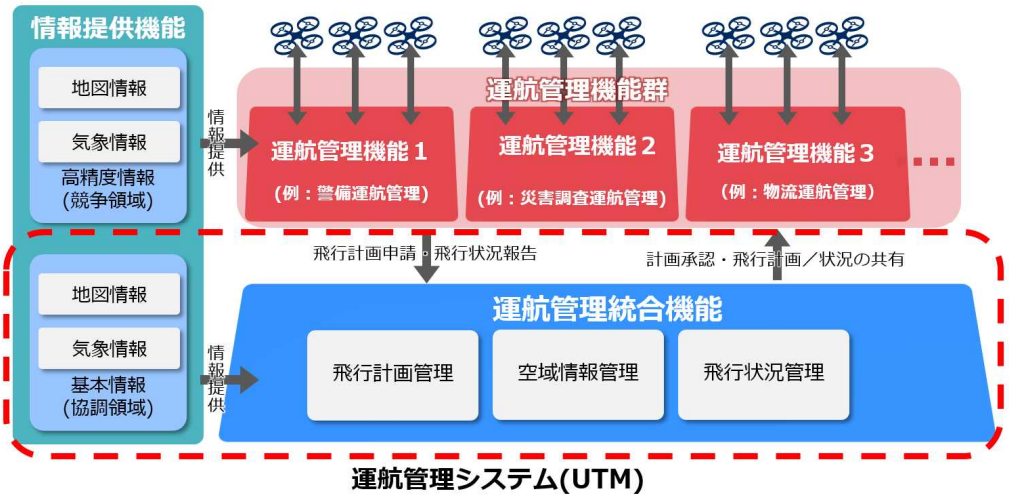


図 2.2.1.10-2 研究のスコープ

各機能の役割・呼称を以下とする。

■運航管理統合機能(以下、FIMS[Flight Information Management System]と呼ぶ):
・運航管理機能から要求された無人航空機の飛行空域の効率的な割り当て、承認を実施する。
・無人航空機の飛行空域の安全性(他の空域との接近状態等)の確保を行う。

■運航管理機能（その１）(以下、UASSP[UAS Service Provider] と呼ぶ):
・割り当てられた空域を飛行する個々の無人航空機の安全性の確保を行う。
・無人航空機の出発承認・誘導を実施する。
・運航管理機能(UASSP)間で空域の調整を実施する。

■運航管理機能（その２）(以下、UASO[UAS Operator] と呼ぶ):
・無人航空機と直接通信を行い、現在位置等の情報を運航管理統合機能(FIMS)、運航管理機能(UASSP)に提供する。

■情報提供機能(以下、SDSP[Supplemental Data Service Provider]と呼ぶ):
・運航管理統合機能(FIMS)、運航管理機能(UASSP)、運航管理機能(UASO)で必要な以下の情報の提供を行う。
地図データベース：無人航空機の飛行に必要な地形および建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供を行う。
気象情報システム：無人航空機の飛行する空域における、風（風向及び風速等)、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報および予測情報に気象情報(風向、風速等)の提供を行う。

■無人航空機(以下、UAS[Unmanned Aircraft System]と呼ぶ):
・本プロジェクトの研究では、25kg 以下の小型無人航空機のうちマルチローターヘリ型の無人航空機を対象とする。

2)事業概要

① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発

無人航空機を扱う事業者向けに、運航管理統合機能のサービスへの接続を容易にし、飛行計画の登録/参照および動態情報を登録可能とする機能の提供、開発を行う（図 2.2.1.10-3）。

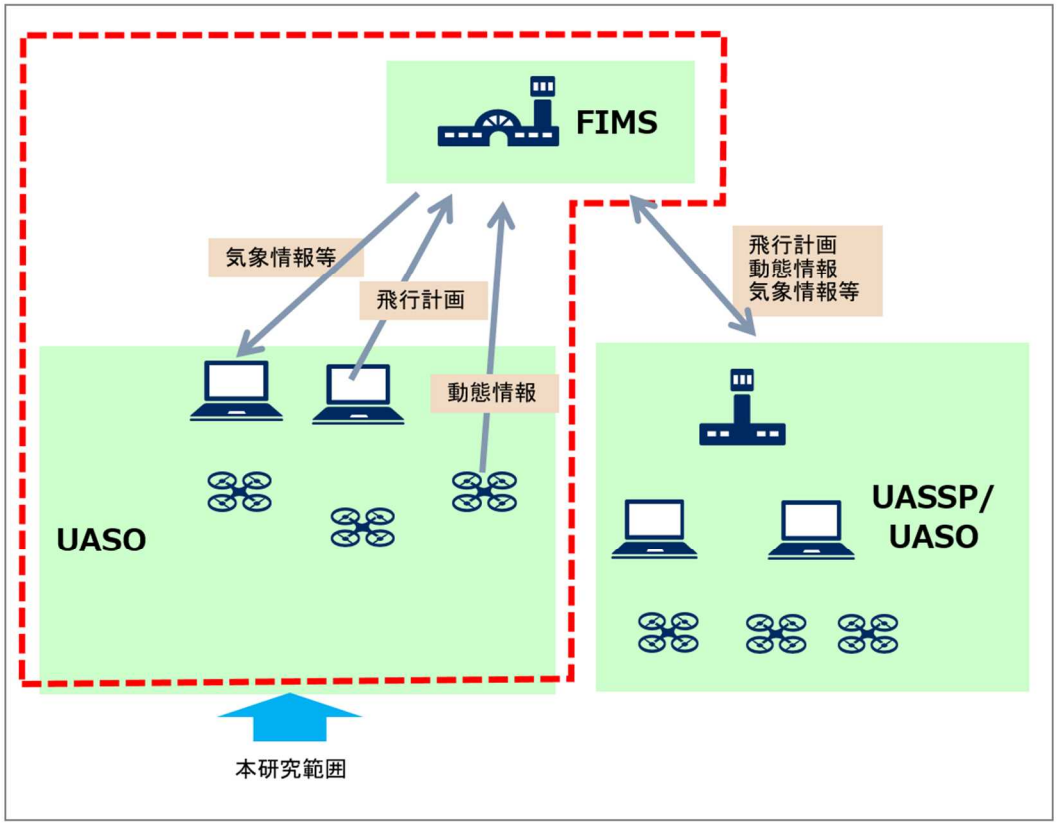


図 2.2.1.10-3 飛行計画、動態情報の簡易登録機能のブロック図

② サーバ障害発生時の対応に関する開発
サーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する（図 2.2.1.10-4 及び 2.2.1.10-5）。

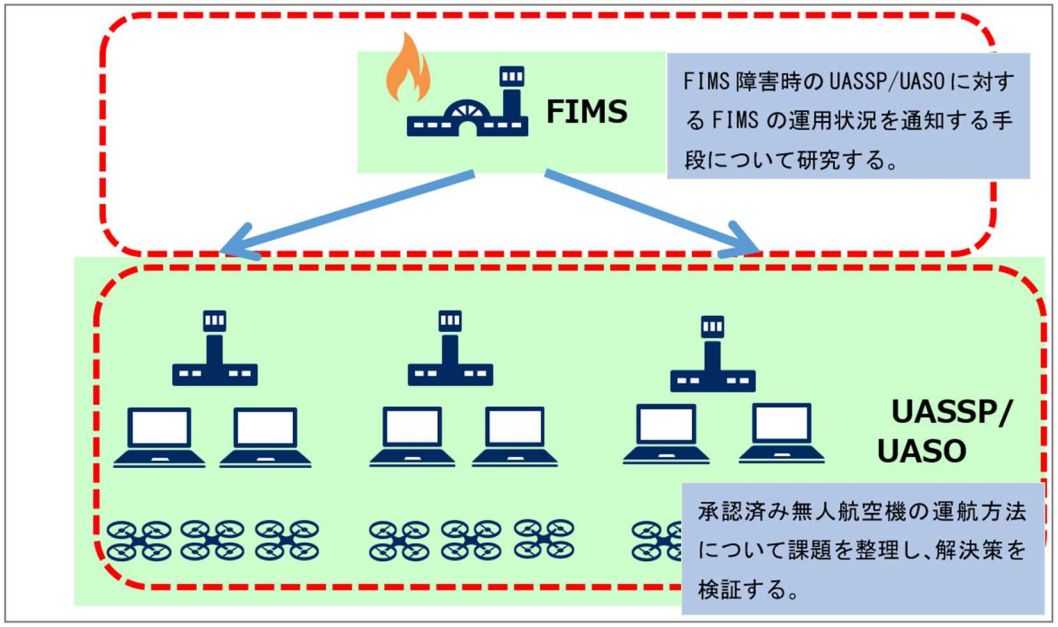


図 2.2.1.10-4 FIMS 障害時のブロック図

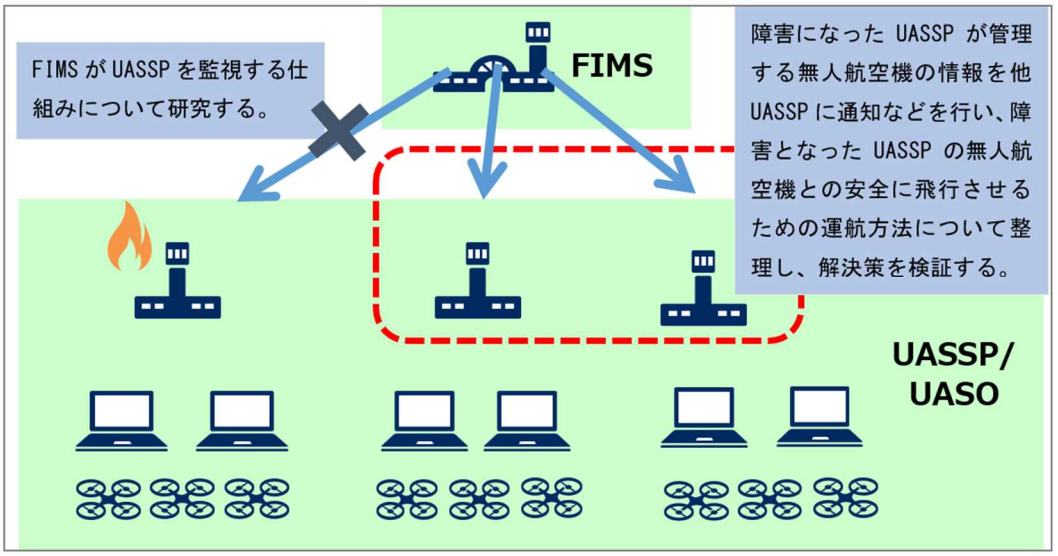


図 2.2.1.10-5 UASSP 障害時のブロック図

③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発
社会実装時を見越し運航管理統合機能の処理分散のアーキテクチャの研究/開発を実施する。また、処理分散のアーキテクチャについては海外動向(ASTM 等)を考慮し研究を実施する（図 2.2.1.10-6)。

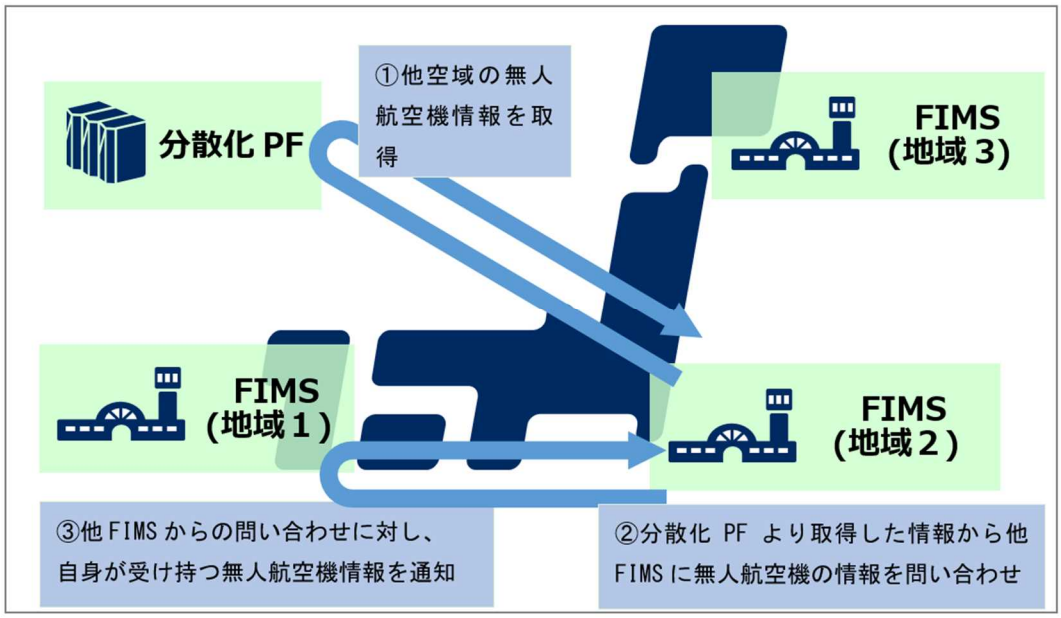


図 2.2.1.10-6 FIMS 分散化イメージ図

④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発
全国に整備済みの地図情報および気象観測装置を活用し、無人航空機の運航管理に使用するための研究/開発を実施する（図 2.2.1.10-7）。

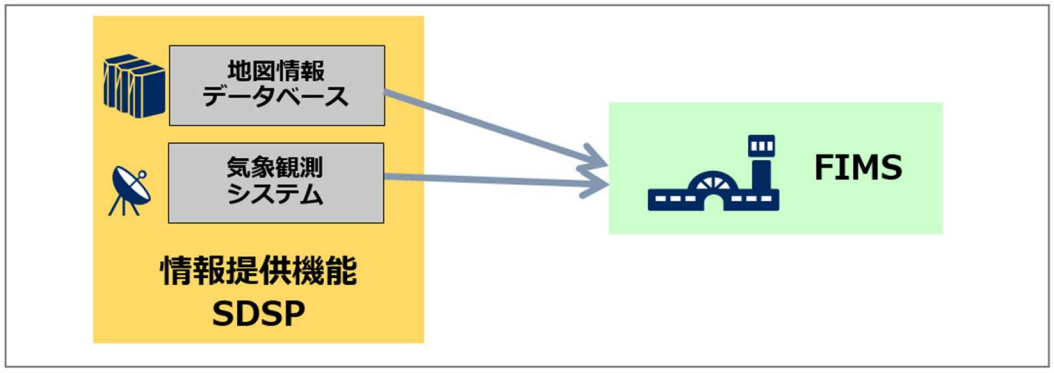


図 2.2.1.10-7 情報提供イメージ図

（２）研究開発目標と根拠

1)共同実施者の研究分担

以下に、本プロジェクトにおける共同実施者の研究開発内容を示す。

表 2.2.1.10-1 共同実施者の研究分担

研究テーマ	小項目	分担
①運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発	a. 事業者向けのユーザインタフェース機能改善の開発	日本電気株式会社
	b. 空域管理機能の高度化	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発	株式会社日立製作所
	d. 有人航空機動態管理機能の開発	株式会社ウェザーニューズ
②サーバ障害発生時の対応に関する開発	a. 障害発生時の飛行計画管理機能に関する開発	日本電気株式会社
	b. 障害発生時の空域管理機能に関する開発	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発	株式会社日立製作所
	d. サーバ障害発生時の対応に関する開発	株式会社ウェザーニューズ
③運航管理統合機能の処理分散技術の開発	a. 飛行計画分散技術および分散PF高度化の開発	日本電気株式会社
	b. 空域情報の分散管理技術の開発	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 飛行状況管理の処理分散技術の開発	株式会社日立製作所
④全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発	a. 地図情報機能改善の開発	日本電気株式会社
	b. 地図情報に係る空域情報管理機能の改善	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 地図情報機能改善の開発	株式会社日立製作所
	d. 全国の気象情報の管理、活用技術の開発	株式会社ウェザーニューズ

2)研究開発目標と根拠

本プロジェクトでは、最終年度までに福島ロボットテストフィールドに運航管理統合機能に拡張した機能を取り込み、実証実験によるシステムの検証をする。具体的に以下の検証を実施する。

① 日本電気株式会社

- 複数の事業者に改善したユーザインタフェースの検証を実施する。
- 空域管理機能の高度化について検証を実施すること。
- 接近状態の回避機能と事故発生時の運用方針の検証を実施すること。
- 有人航空機動態情報の必要性について検証を実施すること。
- サーバプログラムの動作監視を行い、障害時および復旧時の運用方法に検証を実施すること。
- 運航管理統合機能に実装した分散のアーキテクチャの妥当性の検証を実施すること。
- 全国に整備済みの地図情報および気象観測装置の活用について検証を実施すること。

② 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

- 無人航空機の運航特性に応じた特定空域内での飛行可否を柔軟に設定・判断するための空域管理機能を検証する。
- 有人航空機との空域統合管理を想定した空域動的設定と、有人航空機動態情報の活用について検証する。
- 空域管理機能障害発生時の業務継続性を考慮した運用フローの検討および必要な機能の検証
- 全国範囲の空域関連情報を管理するための分散情報処理アーキテクチャを検証する。
- 無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の管理手法を検証する。

③ 株式会社日立製作所

- ドローン飛行事業者に効果的に危険を周知できる手段と危険がある通知を受けた時の対処方法の検証を実施する。
- ドローン飛行事業者がサーバ障害に関する警報発生時にとるべきリアクションの検証を実施する。
- 複数サーバによる飛行状況管理機能の分散処理を実施する。
- 社会実装に向けた地図、気象情報を利用する。

④ 株式会社ウェザーニューズ

- 指定されたエリア・高度の気象実況/予測データが運航管理統合機能と連携できること。
- 運航管理統合機能へ有人航空機動態情報(シミュレーションデータ)を連携できること。
- 災害時シナリオにおいて、気象観測ドローンから得られる上空のリアルタイムの風向風速情報を統合管制室にて確認できること。
- システム障害時シナリオにおいて、気象実況予測データ、および、有人航空機動態情報が連携できない状況におけるオペレーションを検証すること。

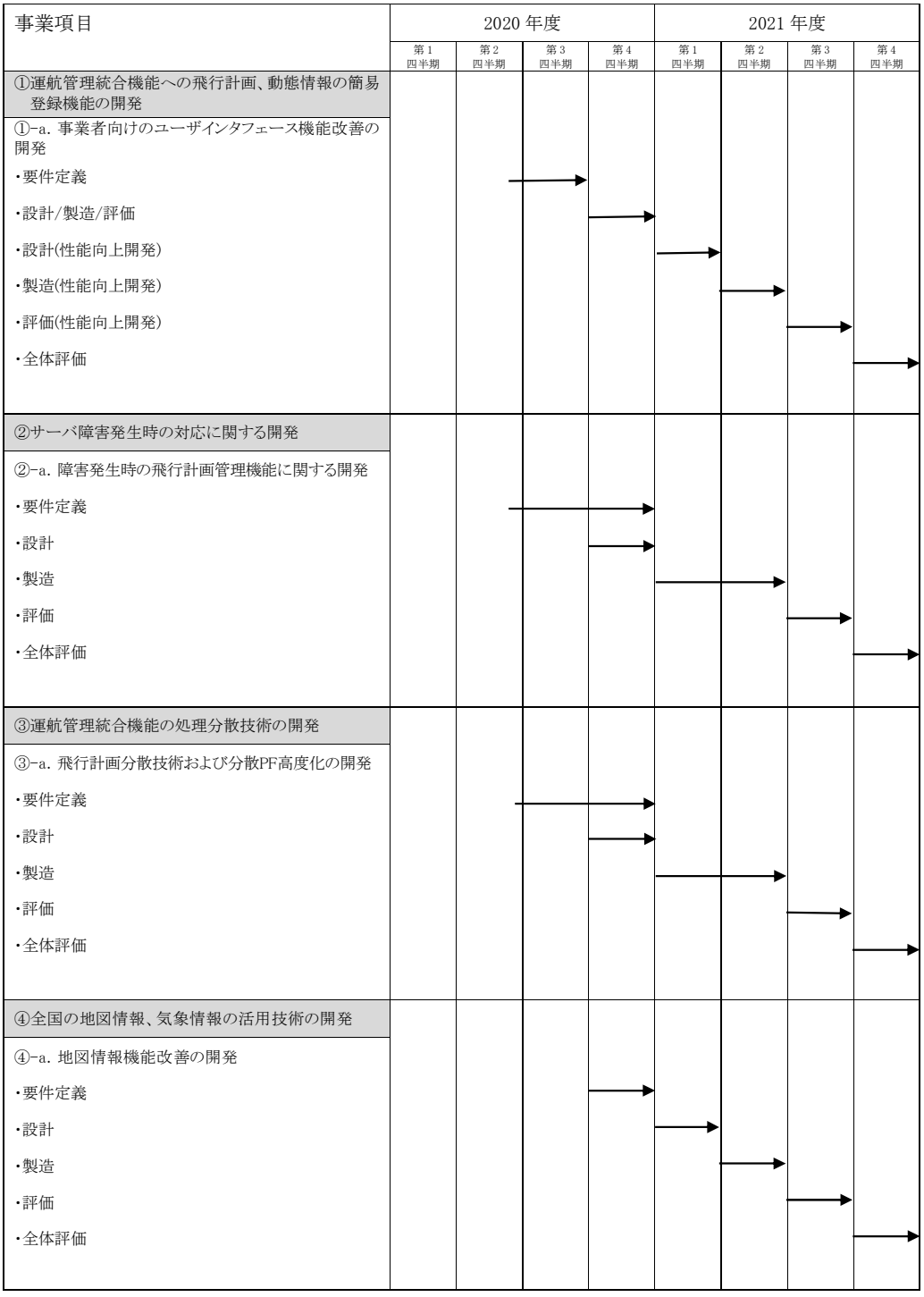
（3）研究開発スケジュール･実施体制

1)研究スケジュール

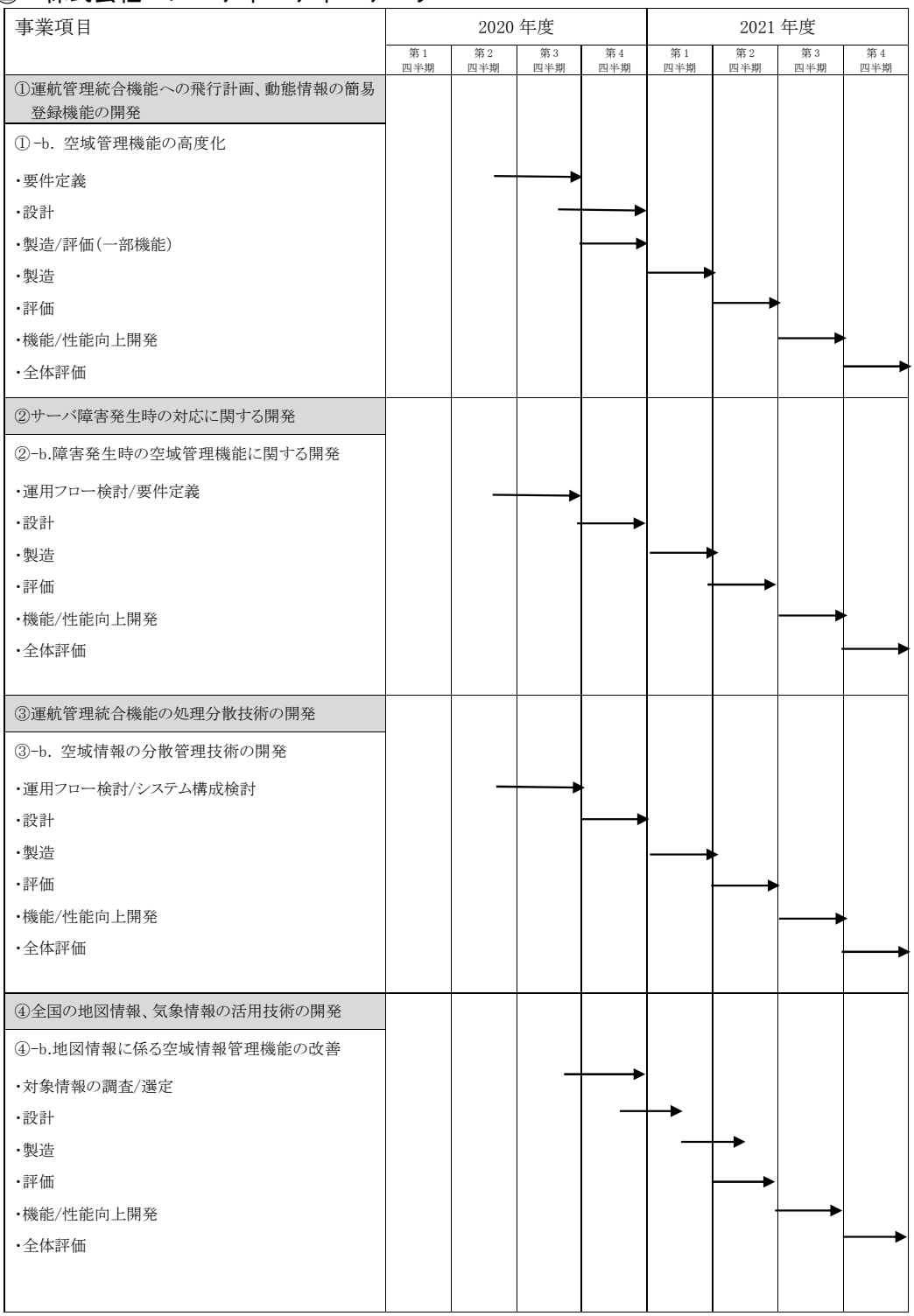
以下に各社の研究開発スケジュールを示す。

表 2.2.1.10-2 研究開発スケジュール

① 日本電気株式会社



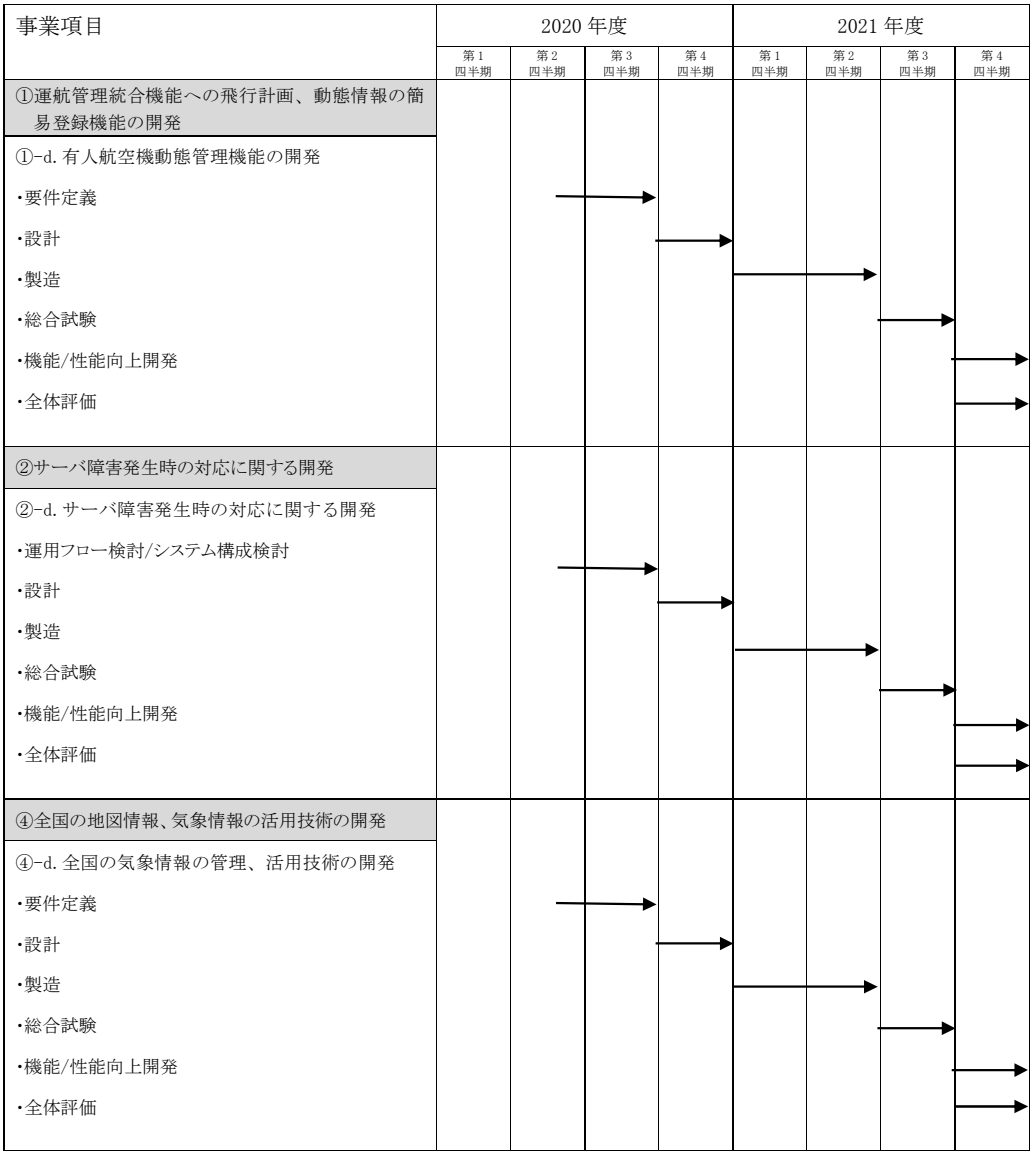
② 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ



③　株式会社日立製作所

事業項目	2020 年度				2021 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
①運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発								
①-c. 接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発								
・運用フロー検討/要件定義		→	→					
・設計			→	→				
・製造				→	→			
・評価					→	→		
・機能/性能向上開発						→	→	
・全体評価							→	→
②サーバ障害発生時の対応に関する開発								
②-c. 障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発								
・運用フロー検討/要件定義			→	→				
・設計				→	→			
・製造					→	→		
・評価						→	→	
・機能/性能向上開発							→	→
・全体評価								→
③運航管理統合機能の処理分散技術の開発								
③-c. 飛行状況管理の処理分散技術の開発								
・運用フロー検討/要件定義			→	→				
・設計				→	→			
・製造					→	→		
・評価						→	→	
・機能/性能向上開発							→	→
・全体評価								→
④全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発								
④-c. 地図情報機能改善の開発								
・要件定義				→	→			
・設計					→	→		
・製造						→	→	
・評価							→	→
・全体評価								→

④　株式会社ウェザーニューズ



2)実施体制

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」実施体制

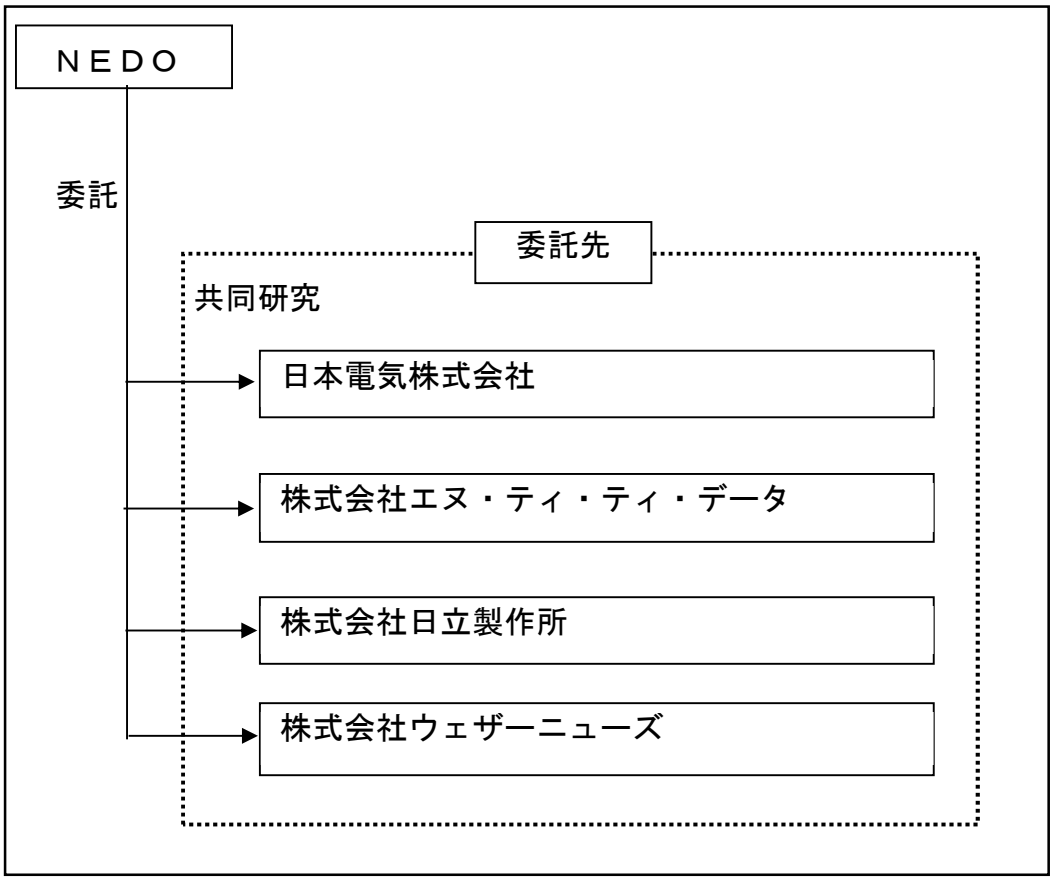


図 2.2.1.10-8 実施体制

（４）研究開発の達成状況

① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
［日本電気株式会社］ ・運航管理統合機能の要件定義を行い、運用シーケンスを設計する。 ・簡易登録機能のための試験装置を導入し評価を実施する。	無人航空機飛行計画の簡易登録機能の実装を完了させ、2020年度における飛行実証にて実装の妥当性及び性能を確認した。	○	
［日本電気株式会社］ ・2020 年度で行った評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	020 年度の実証試験にて顕在化した課題点を改修し、福島ロボットテストフィールドにて実証試験を行い、改修効果の妥当性及び性能を確認した。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・地域特性に応じた空域管理運用の仮説検討を行い、必要な機能の検討と一部実装を行う。 ・地域毎に異なる空域管理関連データ（空域情報、地図、有人機情報）の入手方法およびシステムでの利用方法について検討する。 ・データ項目およびインタフェースの設計を行う。 ・災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整のあるべき運用について定め、必要な機能の設計を行う。	地域特性・運航特性に応じた柔軟な空域運用を実現するための機能として飛行禁止空域への入域許可条件の設定と、条件に基づいた入域許可の制御を行う機能を一部実装した。 空域管理関連データについては、ウェザーニューズや DRESS の他研究システムから提供された有人航空機の動態情報を活用することで空域の状況認識を向上できることを確認した。 災害時における空域利用調整については公知情報等から整理した運用要件を元に必要な機能を洗い出し、運航管理統合機能での実装を検討した。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証を行い、実装した空域管理機能の有効性を確認する。 ・機体・運航目的・運航者の能力等に応じて空域利用の可否判断を行う機能を実装し、実証を通じて機能の有効性を検証する。 ・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。	飛行禁止空域への入域許可条件設定/判定機能、無人航空機の飛行推奨空域の動的設定機能を新たに実装し、実証を通じて空域の有効活用に資することを検証した。	○	

最終目標	成果	達成度	備考
［株式会社日立製作所］ ・共通インタフェースの仕様を決定し、事業者が使用する運用フロー、ユースケースを検討し、システムリアクションの追加実装を実施する。また、追加実装後、シミュレーションを含めた実証実験を行い、課題を整理する。	・機体故障、飛行計画逸脱時に、対象機体の周囲を一時的飛行禁止エリアとする機能を実装。2020 年度に飛行実証 1 回を実施し、課題を抽出。	○	
［株式会社日立製作所］ ・2020 年度に行った抽出課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定 2 回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	2020 年度実証にて抽出した課題を元に、飛行禁止エリア作成機能を改修。 飛行計画逸脱、無人機コンフリクト、有人機コンフリクト、機体故障発生、気象警報の各警報発生時に、警報通知間隔、及び適切な機体の対応の調査(2021 年 9 月、2021 年 12 月の 2 回)を実施。合わせて、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、適切な対応を検討した。	○	
［株式会社ウェザーニューズ］ ・ウェザーニューズの所有する有人航空機動態管理システム(FOSTER-CoPilot)を活用し、事前に取り交わした情報共有協定範囲内で、FIMS と連携可能な有人航空機動態情報管理システムの利用方法について検討し、データ項目およびインタフェースの設計を行う。	2020 年度に有人航空機動態情報を運航管理統合機能との接続が完了し、2021 年度は FIMS タブレットでの表示が可能となった。	○	
［株式会社ウェザーニューズ］ ・2020 年度までに行った抽出課題を基に、有人航空機動態管理機能と運航管理統合機能間の連携と検証を実施する。また、実証実験を通じて、無人航空機と有人航空機間情報連携の有用性および実用性を検証する。	2021 年度は、複数の地域実証において有人航空機シミュレーションデータと共に実機との連携を行い、無人航空機と有人航空機間情報連携の有用性および実用性を検証することができた。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②サーバ障害発生時の対応に関する開発

最終目標	成果	達成度	備考
［日本電気株式会社］ ・運航管理システム全体としてのサーバ障害時に関するユースケースを検討する。 ・FIMS-UASSP 間のインタフェースを検討する。 ・サーバ障害機能のための試験装置の設計を行う。	システム障害時におけるユースケースの整理及び障害の UASSP に対する通知手段について研究を実施した。	○	
［日本電気株式会社］ ・サーバ障害機能のための試験装置を導入し評価を実施する ・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	運航事業者向けにシステム稼働状態を通知するポータルサイトを作成し、リアルタイムで障害検出を可能とする仕組みを実現した。同ポータルサイトを用いて福島ロボットテストフィールドにおける実証を行い、障害ユースケース時における運用想定の有効性を確認した。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・障害発生時の運用フローを整理し、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を行う。 ・検討結果に基づき機能設計を行う。	・障害発生時の運用フローを整理し、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を行った。 ・検討結果に基づき機能設計を行った。	○	
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ ・障害発生時の対応機能を実装し、実証実験を通じて運用の妥当性および機能の有効性を検証する。 ・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。	・障害発生時の対応機能を実装し、実証実験を通じて運用の妥当性および機能の有効性を検証した。 ・検証で明らかになった課題について改善を行い改善の有効性を確認した。	○	
株式会社日立製作所 ・運航管理統合機能の障害時、運航管理機能の障害時の運用フロー、ユースケースを検討し課題を整理する。また、障害時の機能について FIMS 試験装置の機能拡張の検討を行うとともに、実装に向けた設計を行う。	FIMS 障害、UASSP 障害、SDSP 障害の検出ロジックを検討及び実装。 2021 年 3 月の実証にて、動作検証を実施した。	○	

最終目標	成果	達成度	備考
［株式会社日立製作所］ ・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定 2 回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	2020 年度実証にて抽出した課題を元に、FIMS 障害、UASSP 障害、SDSP 障害検出機能を改修。FIMS 障害、UASSP 障害、SDSP 障害の各警報発生時に、警報通知間隔、及び適切な機体の対応の調査(2021 年 9 月、2021 年 12 月の 2 回)を実施。合わせて、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、適切な対応を検討した。	○	
［株式会社ウェザーニューズ］ ・気象情報システムのサーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して、無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する。	オンプレミス環境とクラウド環境にて冗長的にデータを管理する構成について検証を実施した。	○	
[株式会社ウェザーニューズ] ・2020 年度に行った抽出課題を基に、改修、検証を行う。障害発生時には連携システムに対してダウンの通知等を行い、一時的な気象情報機能の縮退運転や代替運用、および、社会実装時を見越した要件と課題を整理する。	2021 年度は 2020 年度に構築したシステムに対し、システムアラート通知とオンプレミス環境とクラウド環境間の代替運用の検証を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③運航管理統合機能の処理分散技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
［日本電気株式会社］ ・運航管理システム全体としての分散技術に関するユースケースを検討する。 ・FIMS-分散化 PF のインタフェースを検討する。 ・分散技術機能のための試験装置の設計を行う。	海外動向等の調査結果に基づく飛行計画管理機能のエリア単位での分散化を検討し、実証に向けて全国を東西のエリアに 2 分した分散化 PF の設計を完了した。	○	日本電気株式会社
［日本電気株式会社］ ・分散技術機能のための試験装置を導入し評価を実施する ・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	2020 年度行った検討事項と設計を基に実装を完了させ、福島ロボットテストフィールドにおける実証においてエリア分散の有効性及び性能を確認した。	○	日本電気株式会社

最終目標	成果	達成度	備考
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式を検討するとともに、実装に向けた設計を行う。	2020 年度に分散処理方式を検討。一部事前のプロトタイプ評価を行いながら処理方式を決定し設計を完了した。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証を通じ、実装した方式の妥当性を検証する。 ・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。	分散処理機能を実装。FIMS を東西の 2 環境に分散し空域・障害物・標高の各データを分散管理できることを実証した。標高についてはデータ数が膨大であるため、処理性能を踏まえて最適な分散数がどの程度であるか評価した。	○	
［株式会社日立製作所］ ・FIMS の負荷分散のアーキテクチャの検討を実施し課題を整理する。また、分散プロトコルの検討を行うとともに、実装に向けた設計を行う。	東日本管理 FIMS/西日本管理 FIMS/代表FIMSの基本アーキテクチャを検討し、基本設計/機能設計を実施した。	○	
［株式会社日立製作所］ ・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定 2 回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	東日本管理 FIMS/西日本管理 FIMS/代表FIMSの基本アーキテクチャに基づくFIMSを実装し、福島 RTF を用いた 2 回の実証(2021 年 9 月/12 月)にて、運用実績を積むとともに、1 サーバ当たり同時飛行機数 100 機(2 サーバ合わせて 200 機)の性能目標を達成した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
［日本電気株式会社］ ・全国規模で整備されている地図情報を調査し、運航管理統合機能で活用するユースケースを検討する。 ・FIMS-SDSP(地図情報)のインタフェースを検討する。	全国規模で整備されている地図情報について調査検討を行い、国土地理院の地理院タイルを用いて実装を完了させた。	○	
［日本電気株式会社］ ・地図情報活用のための試験装置試験装置を導入し評価を実施する。 ・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	2020 年度の実証試験にて顕在化した課題点を改修し、Open Street Map タイルを用いて福島ロボットテストフィールドにて実証試験を行い、改修効果の妥当性及び性能を確認した。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査 ・上記情報の取得方法/取込み手法の検討（インタフェースやデータ変換機能の検討）	全国の重要施設情報、有人航空機の空域情報、障害物情報の入手あるいは作成の方法を検討するとともに、一部データの作成を行った。	○	
［株式会社エヌ・ティ・ティ・データ］ ・前年度で検討した情報取得/取込機能を実装し評価する。 ・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	全国の重要施設情報、障害物情報、標高データを運航管理統合機能に取込み、実証を通じて機能性・性能を評価した。 評価の結果、全国分の標高データの管理において性能面の課題が顕在化したため、解決のための新たなデータ管理方式の検討およびプロトタイプ検証を行い、解決策を導き出した。	○	
［株式会社日立製作所］ ・運航管理統合機能、運航管理機能で地図情報を活用する運用フロー、ユースケースを検討し課題を整理する。 ・FIMS-SDSP(地図情報)のインタフェースを検討する。	・国土地理院版全国地形データ、ウェザーニューズの全国気象 API を実装し、全国版の地形/気象を保持する場合のメモリ上限及び効率的なデータ管理を検討した。 ・気象 API として、ウェザーニューズの API を追加実装した。	○	

最終目標	成果	達成度	備考
［株式会社日立製作所］ ・地図情報活用のため FIMS 試験装置の機能拡張の検討を行うとともに、設計・実装を行う。 ・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定 2 回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	・全国地形情報を用いた機能拡張版 FIMS を用いて、2021 年 3 月に実証実験を実施。課題抽出。 ・課題を改修し、新規気象 API を実装した FIMS を用いて、福島 RTF を用いた 2 回の実証(2021 年 9 月/12 月)にて、運用実績を積むとともに、地表接近警報、気象警報の妥当性評価を実施した。	○	
［株式会社ウェザーニューズ］ ・既に連携されている FIMS-気象情報システム間連携において、全国に整備済みの気象観測装置データを活用し、無人航空機の運航管理に使用するためのデータ項目およびインタフェースの設計を行う。	気象観測装置データおよび全国の地形情報をベースとした無人航空機運航向けの気象モデルを開発した。また、実測値との精度検証を実施し良好な結果を得た。	○	
［株式会社ウェザーニューズ］ ・2020 年度までに行った抽出課題を基に、気象情報システムと運航管理統合機能間の連携と検証を実施する。また、実証実験を通じて、無人航空機運航用気象情報の有用性および実用性を検証する。	実況解析や極短時間予測など低空域、高精細、短時間など無人航空機運航に必要となる情報を運航管理統合機能に提供し、情報の有効性、実用性の妥当性評価を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1.　研究開発項目①「運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発」

5.1.1.　「運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発」（実施者：日本電気株式会社）

(1) 実施事項

(A) 飛行計画の登録に関する研究

運航管理統合機能に飛行計画を登録出来る仕組み、および無人航空機のGCS(Ground Control Station)や航空局システムへも容易に飛行計画を共有できる仕組みについての研究を実施した。

(B) 動態情報の登録に関する研究

(A)の研究に合わせて無人航空機に搭載可能な端末を用いて、無人航空機の動態情報を運航管理統合機能へ登録出来る仕組みを研究し、飛行計画と連動した管理・表示ができるような実装を行う手法について研究を実施した。

(C) 情報参照に関する研究

運航管理統合機能が保有する無人航空機を安全に飛行させる情報（気象情報や飛行禁止エリア等）を提供する仕組みについて研究を実施した。

(D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上に有人航空機の動態情報を無人航空機と同様に表示する機能を株式会社ウェザーニューズの有人航空機動態管理機能の開発研究と連携して行えるよう研究を実施した。

(2) 研究を通じた成果

(A) 飛行計画の登録に関する研究

以前の研究では、運航管理統合機能(FIMS)配下に複数の運航管理機能(サービスプロバイダ)を配置し、実際に無人航空機を飛行させる事業者はサービスプロバイダ経由で接続し情報の共有をする必要がある。

今回の研究では、無人航空機を飛行させる事業者が容易に運航管理統合機能に接続出来るよう、運航管理統合機能のユーザインタフェースを機能改善し飛行計画、動態情報を登録出来る仕組みを研究する。

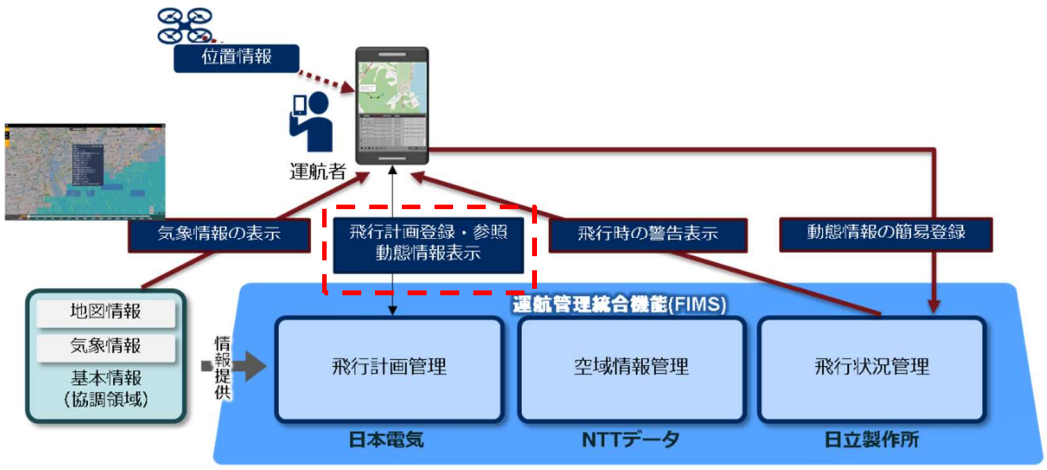


図 2.2.1.10-9 飛行計画の登録に関する研究の対象

a)タブレット端末による飛行計画の登録、参照を行うユーザインタフェースの実現

事業者が屋外にて飛行計画の登録、更新、参照を容易に行えることを目的として、タブレット端末向けのユーザインタフェースを開発した。

全飛行計画取得 API、指定飛行計画取得 API を利用し、飛行計画管理サーバから申請済み飛行計画の一覧を取得。タブレット端末の地図上に表示し、飛行計画の日時、経路、申請状況等を確認する機能を有する。

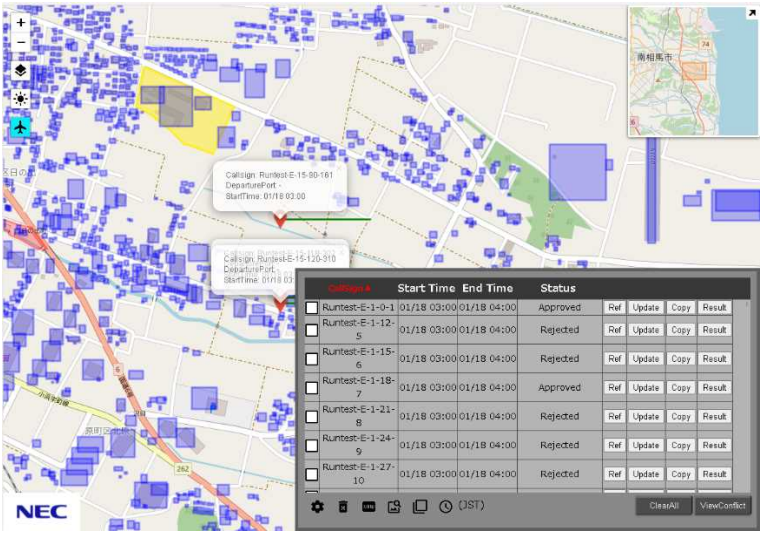


図 2.2.1.10-10 飛行計画一覧画面
（出典：openstreetmap.org）

また、飛行計画新規申請、更新、取消 API を利用し、タブレット端末から簡易に飛行計画を登録・更新することを可能とした。

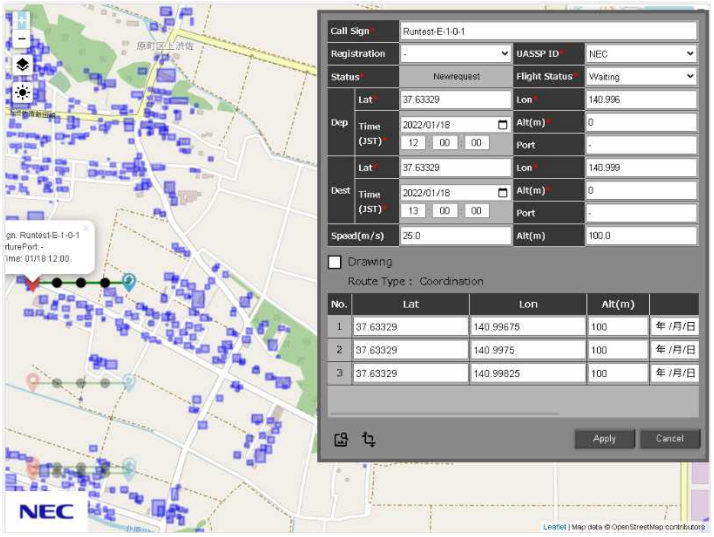


図 2.2.1.10-11 飛行計画申請画面
（出典：openstreetmap.org）

タブレット端末の画面サイズは比較的小さいため、地図の表示確認や飛行経路の入力作業のし易さを考慮し、地図エリアを極力広くとれるような画面レイアウトとした。

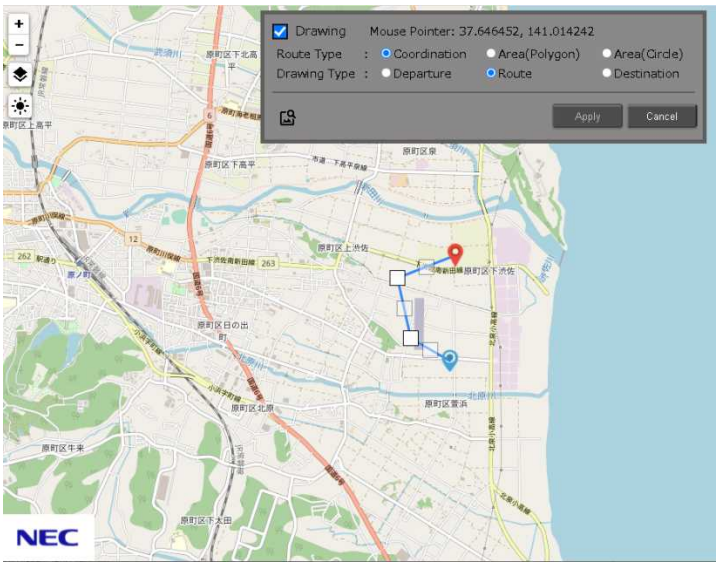


図 2.2.1.10-12 経路作成画面のイメージ
（出典：openstreetmap.org）

b)飛行計画のインポート・エクスポート機能の実装

申請済みの飛行計画を CSV ファイル、または KML ファイルにエクスポートし、エクスポート CSV ファイル、または KML ファイルをインポートすることにより、更に簡易な飛行計画の登録を可能とした。外部システムで作成された CSV ファイル、または KML ファイルを正しくインポートできることを確認した。



図 2.2.1.10-13 飛行計画申請画面

(B) 動態情報の登録に関する研究

無人機の位置情報を受信し、運航管理統合機能に登録する仕組みを研究する。

無人機の位置情報を受信する方法は 2 種類用意する。

・無人機に搭載した位置情報モジュールから近距離無線通信（Bluetooth）で送信された位置情報をスマートフォンで受信。スマートフォンに組み込まれたアプリケーションで飛行計画管理に送信。

・無人機に搭載した位置情報モジュールから LTE 回線で直接、飛行計画管理に送信。

飛行計画管理で受信した無人機の位置情報は、動態情報として飛行状況管理に送信。飛行状況管理から警告情報と共に動態情報を再び飛行計画管理で受信し地図上に表示する。

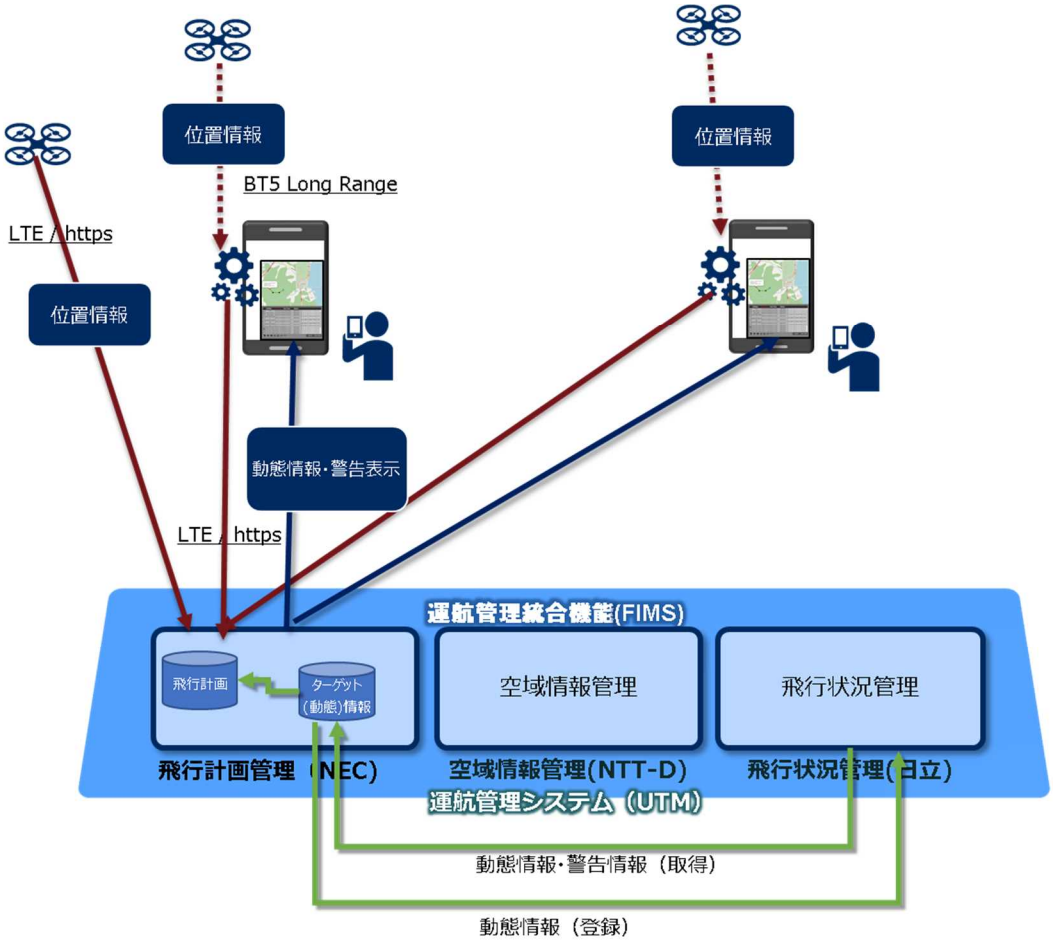


図 2.2.1.10-14 動態情報の登録に関する研究の概要

a)位置情報受信スマートフォン用アプリケーション
　無人機に搭載した位置情報送信モジュールから位置情報を受信し、飛行計画管理に送信するスマートフォン用アプリケーションを開発した。Bluetooth にて複数の無人航空機から位置情報を受信し、LTE 回線で飛行計画管理に送信する。

b)無人機から直接位置情報を送信
　無人機が LTE 回線を用いて直接送信した位置情報を飛行計画管理で受信することも可能とした。

c)飛行計画管理の位置情報受信
　飛行計画管理は受信位置情報と申請済みの飛行計画を紐づけ、動態情報として飛行状況管理に送信し、飛行状況管理から受信した動態情報、および警告情報を受信する機能を追加した。タブレットにて、受信した動態情報、および警報情報がリアルタイムに表示されることを確認した。

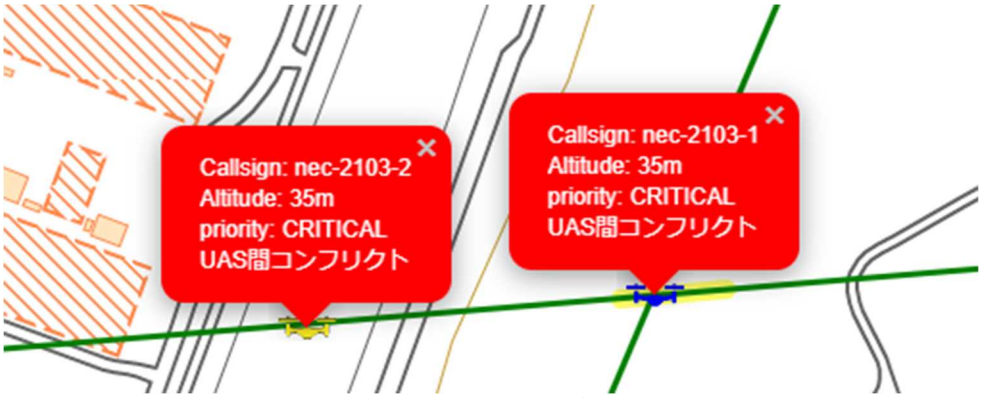


図 2.2.1.10-15 無人機動態、警報情報表示の例
（出典：openstreetmap.org）

(C) 情報参照に関する研究

気象情報、空域情報を使った衝突判定と、飛行禁止エリアへの入域許可判定の仕組みを研究する。

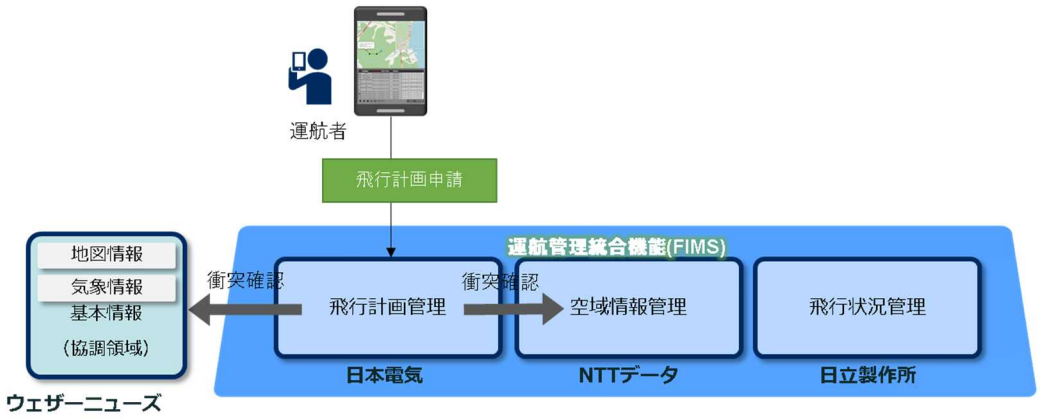


図 2.2.1.10.16 情報参照に関する研究の概要

a) 気象情報と飛行禁止エリアとの衝突判定

申請された飛行計画の飛行時間、位置情報から気象情報と飛行禁止エリアとの衝突判定を行い、無人航空機がより安全に飛行するための機能を実装した。

また、気象情報、飛行禁止エリアとの衝突判定有無を任意のタイミングで画面から切り替える機能についても実現した。

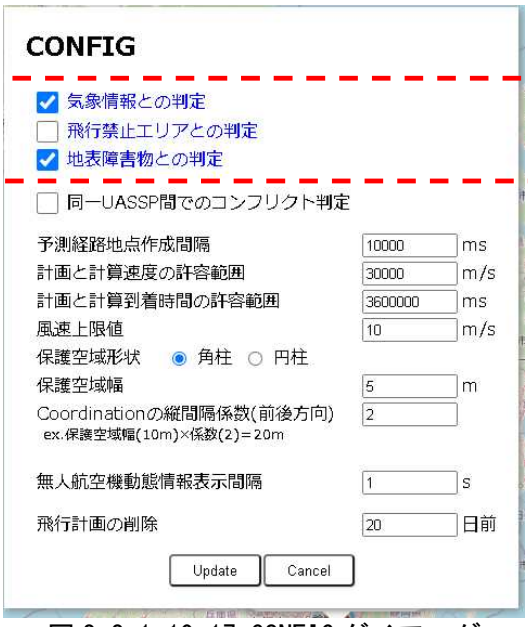


図 2.2.1.10-17 CONFIG ダイアログ

b) 緊急飛行時の飛行禁止エリアの入域許可判定

空域情報管理と連携し、緊急飛行等で一時的に飛行禁止エリアへの入域が許可された場合、衝突無しとして判定されることも確認できている。

(D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究

(C)の実験における無人航空機の動態表示のように有人航空機に対しても動態表示が行えるよう連携して研究を実施し、図 2.2.1.10-18 示すとおり実証実験時において仮想友人機に対して動態表示を実現できている。

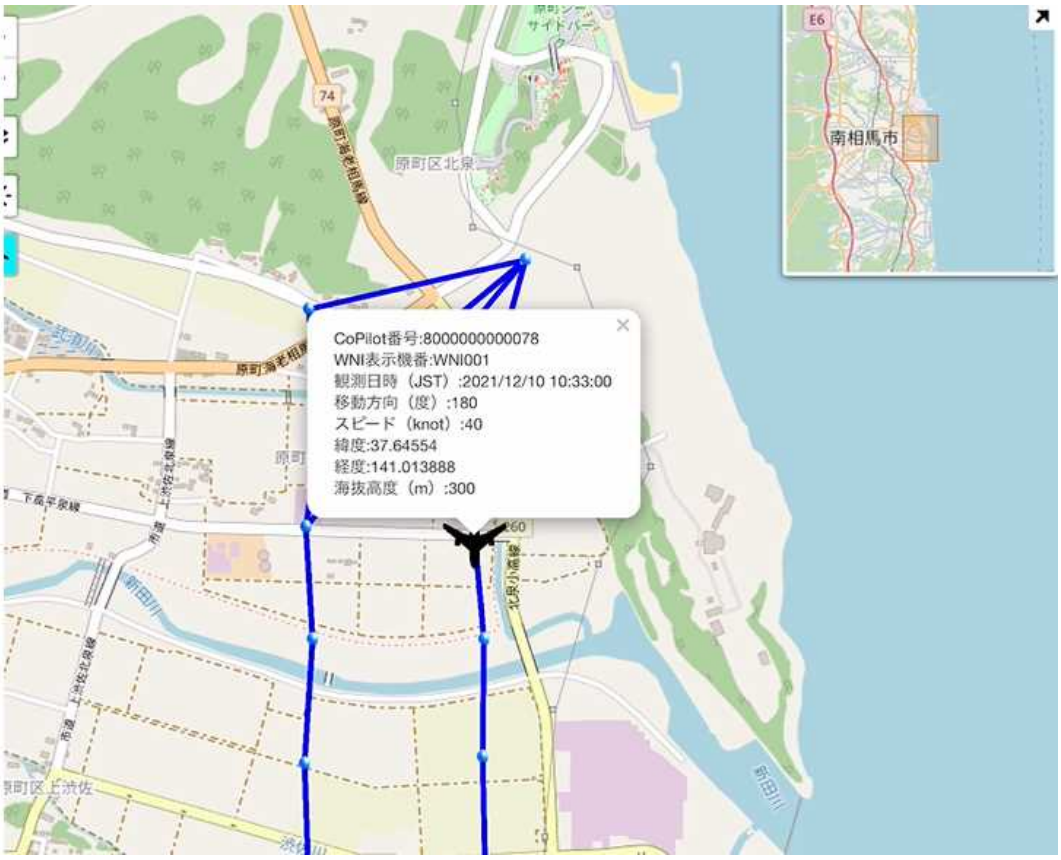


図 2.2.1.10-18 実証実験時における有人機動態情報の表示（航空機アイコン）
（出典：openstreetmap.org）

リアルタイムな有人航空機動態の位置情報・移動方向の表示更新、全経路情報の表示の正当性について確認を行った。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 飛行計画の登録に関する研究

福島ロボットテストフィールドでの実証実験を通じて実証に参画した各事業者より全体的にUIに関する改善の要望を頂いている。特に表示する地図情報についての最新版反映の要望や各種入力に関するユーザビリティの向上が求められている。画面表示に関連するUI機能のさらなる改善の検討が必要である。

(B) 動態情報の登録に関する研究

実証実験中、同一動態に対して飛行計画の修正を行った場合、一時的に修正前の動態情報も合わせて表示されてしまい、2重表示に見えるタイミングが発生することがあった。動態情報管理と連携した機能改善の検討を行う必要がある。

(C) 情報参照に関する研究

アーキテクチャ上、申請結果、特に衝突発生による否認の内容をユーザ通知することが難しく、問い合わせが発生することが多かった。サーバサイドのアーキテクチャを見直し、ユーザビリティの向上を図る必要がある。

(D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究

ウェザーニューズへの有人航空機動態の問い合わせ回数が多いため、飛行計画管理、ウェザーニューズ共にサーバの負荷が高くなることがある。サーバの負荷状況や外部パラメータファイルによる問い合わせ回数を調整する機能が必要と考えられる。

5.1.2. 「空域管理機能の高度化」（実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

(1) 実施事項

(A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

LEVEL4 運航やその先の高密度運航の実現に向けては、機体性能や運航者の保有する資格・能力などに応じた飛行可否判断や、上空および地上へのリスク評価に基づいた空域管理の手法が必要となると考える。また、運航する地域エリアによっても空域運用に求められる要件が異なると考える。ここでは、機体・運航目的・運航者の能力といった運航の特性に応じて地域毎に適正な空域利用を実現するための空域管理手法について研究を行った。

(B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

無人航空機活用ニーズの高まりに従い、有人航空機が飛行する周辺空域で無人航空機を飛行させる機会が増加すると想定する。特に災害やイベント等では限定された空域において有人航空機と無人航空機が共存することになる。このようなケースを想定し有人航空機と無人航空機の効率的運航を可能とする空域統合運用に必要となる空域割当の機能を検討し一部検証を行った。

(C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

飛行中の周辺状況の把握による安全向上を目的とし、無人航空機運航者へ提供する有人航空機動態情報の充実を図るための研究を実施した。具体的には株式会社ウェザーニューズの提供するヘリコプターの動態情報、その他サードパーティが提供する有人航空機全般の動態情報、さらには他の研究開発案件(遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発)で開発した「有人・無人航空機飛行情報共有システム」と連携して入手した福島ロボットテストフィールド周辺の有人航空機動態情報を活用することで、無人航空機運航者の状況認識を向上することを検証した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

LEVEL4 運航実施時に求められる空域管理運用としては以下の仮説を検討している。本研究では、これらの仮説に基づき、必要な機能の検討、一部実装をおこなった。

【仮説】

①飛行の目的や飛行する運航者によって対象となる飛行禁止/注意空域における飛行可否の判断は異なってくる。例えば、警備・災害・救助・医療目的などの緊急度や優先度の高い飛行については、一般に飛行を禁止あるいは事前の許可が必要な空域においても優先的に飛行を許可するといった運用が考えられる。

②飛行中の無人航空機の機体や通信状態に異常が発生した場合など、周辺を飛行中の無人航空機の安全を確保するため、異常が発生した機体の周囲は他の無人航空機の飛行を一時的に禁止とし、特定の無人航空機以外は飛行させないような運用が考えられる。

③LEVEL4 運航やその先の高密度運航の実現に向けては、機体性能や運航者の保有する資格・能力などに応じた飛行可否判断や、上空および地上へのリスク評価に基づいた空域管理の手法が必要となる。

（ア） 入域許可判定機能

上記の仮説に基づき、飛行用途や事業者に応じて特定の飛行禁止空域内への入域許可/不許可を判断する運用を実現するため、入域許可設定／判定機能を具備することとした。

まず、入域許可設定機能では、これまで管理していた飛行禁止空域のエリア情報（エリア形状、有効期限等）に加え、その空域への入域を許可する各種条件を保持・管理するようにすることで、空域管理者が各飛行禁止空域に対して入域許可情報を設定する機能を実装した。

入域許可判定機能では、FIMS 内部の他機能や外部の UASSP が特定の飛行禁止空域に対して入域が許可されているか否かを判断できるよう、リクエストに応じて入域可/不可の判定結果を返却する API を実装した。

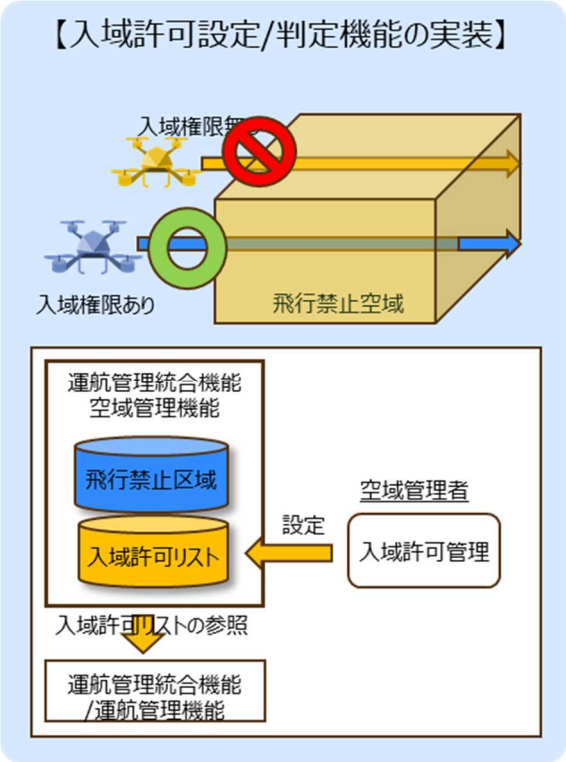


図 2.2.1.10-19 入域許可設定/判定機能

入域許可の条件は以下の項目を設定することとした。各飛行禁止/注意空域毎にそれぞれ以下の条件を設定し、条件を満たした飛行のみ当該空域に入ってもアラートを発生させないよう制御可能となる。

【許可条件】

■飛行用途：以下の用途から選択（複数選択可）

- ✓ ・物流
- ✓ ・撮影
- ✓ ・災害対応

■運航者 ID（UASSP__ID）：手入力（複数設定可）

条件設定画面の例を以下に示す。

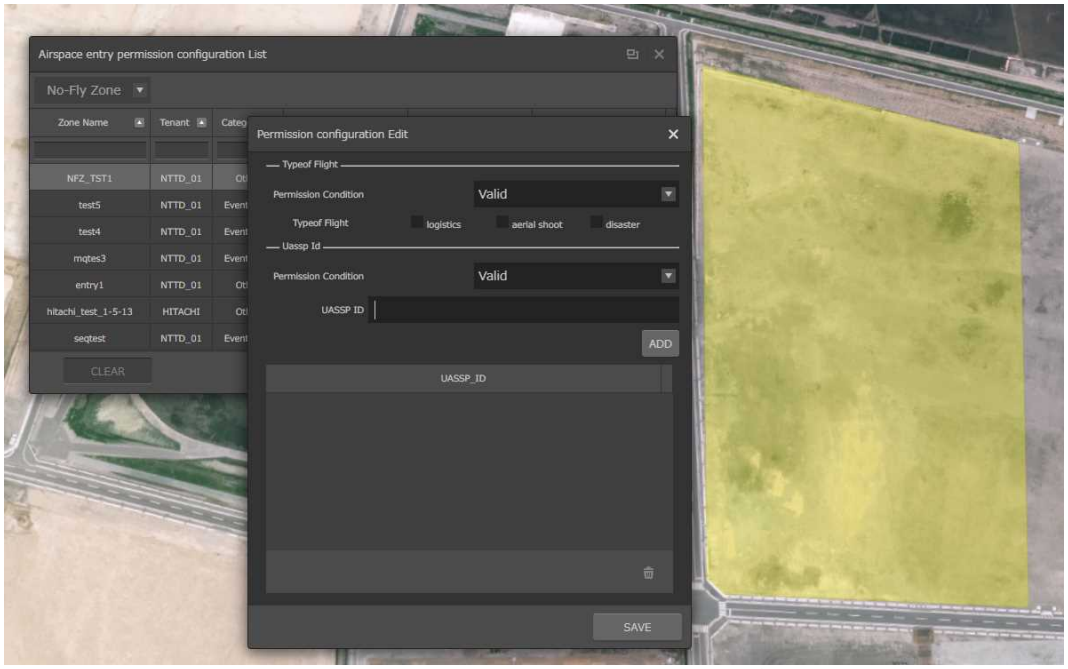


図 2.2.1.10-20 飛行禁止空域に対する入域許可条件設定画面
（出典：openstreetmap.org）

入域許可判定 API のデータ項目・インタフェースについて以下に示す。飛行目的による飛行可否判断は、緊急飛行か否か、飛行用途の種類により行い、事業者による飛行可否判断は、UASSP_ID により行うこととした。

表 2.2.1.10-3 入域許可判定 API

項番	項目名	カラム名	値域	必須項目	説明
1	空域 ID	fly_zone_id	1～2147483647	○	入域判定する空域の空域 ID を指定
2	空域識別	fly_zone_type	0.飛行禁止空域 1.飛行注意空域	○	入域判定する空域の識別子を指定
3	緊急飛行	emergency	00.緊急飛行ではない 90.緊急飛行である	○	空域に入域する機体の飛行状況を指定
4	飛行用途	typeof_flight	00.物流 01.撮影 90.災害対応	-	空域に入域する機体の飛行用途を指定
5	UASSP_ID	uassp_id	RRRRRRRR-RRRR-4RRR-rRRR-RRRRRRRRRRRR	※緊急飛行の項目が"緊急飛行ではない"の場合のみ必須	空域に入域する機体の UASSP_ID を指定

実装した入域許可判定機能について、実際にドローンを飛行させての実装実験を行い、計画段階および飛行中の２パターンで入域許可判定 API の有効性を確認した。

実証実施にあたっては、日本電気株式会社が担当する飛行計画の承認機能において、弊社が今回実装した入域許可判定 API を用いて飛行計画の検証を行うよう実装していただいた。計画段階での確認として、運航管理統合機能の空域情報管理機能にて入域許可情報を設定した飛行禁止空域を新規登録し、運航管理機能から当該飛行禁止空域に侵入する飛行計画を作成・申請して、設定した入域許可情報に基づいて運航管理統合機能の飛行計画管理機能から飛行計画の承認／否認が正しく運航管理機能側へ返却されるかを確認した。また、承認された飛行プランで飛行禁止空域内を飛行させ、運航管理統合機能で警報が発生しないかも確認した。実証実験の結果および評価について以下に示す。

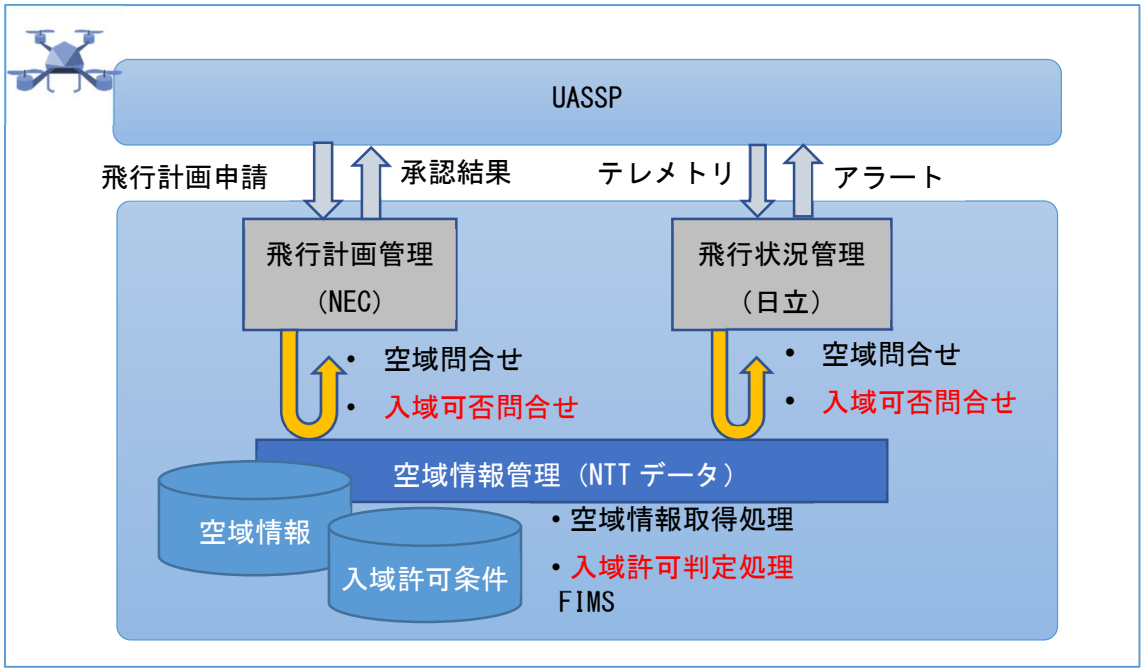


図 2.2.1.10-21 入域許可判定の機能関連図

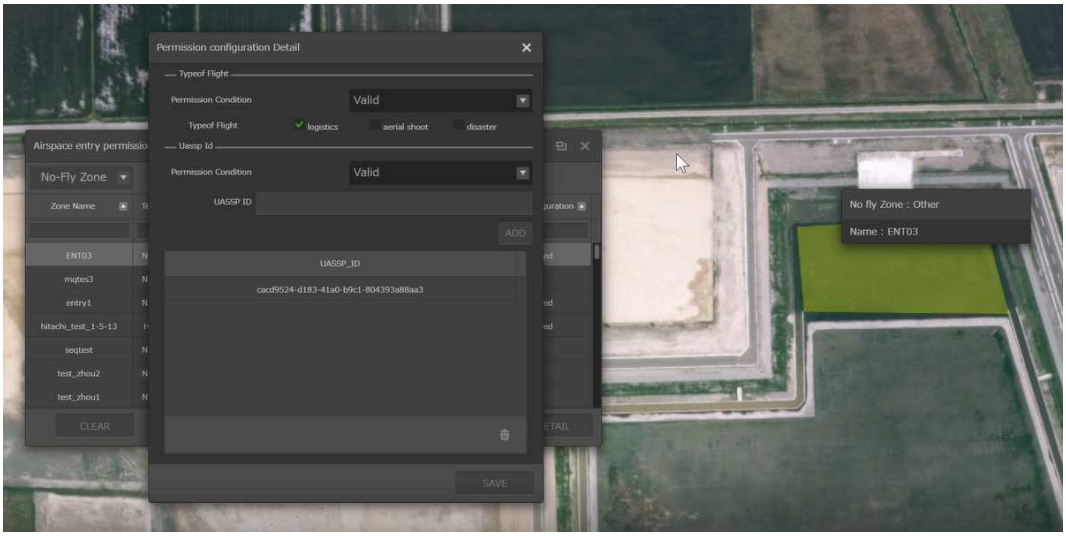


図 2.2.1.10-22 FIMS での入域許可設定画面（物流用途飛行に対する許可）
（出典：openstreetmap.org）

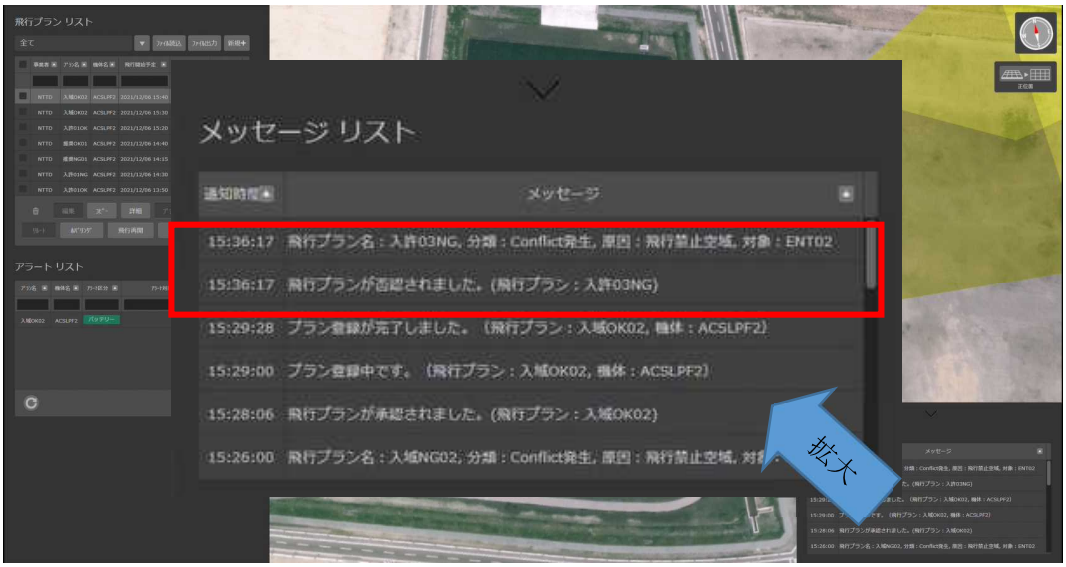


図 2.2.1.10-23 運航管理機能側での飛行計画申請画面
（入域 NG で飛行計画が否認された場合）
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-24 運航管理機能側での飛行計画申請画面（入域 OK で承認された場合）
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-25 飛行計画承認後の運航管理機能側の飛行画面
（出典：openstreetmap.org）

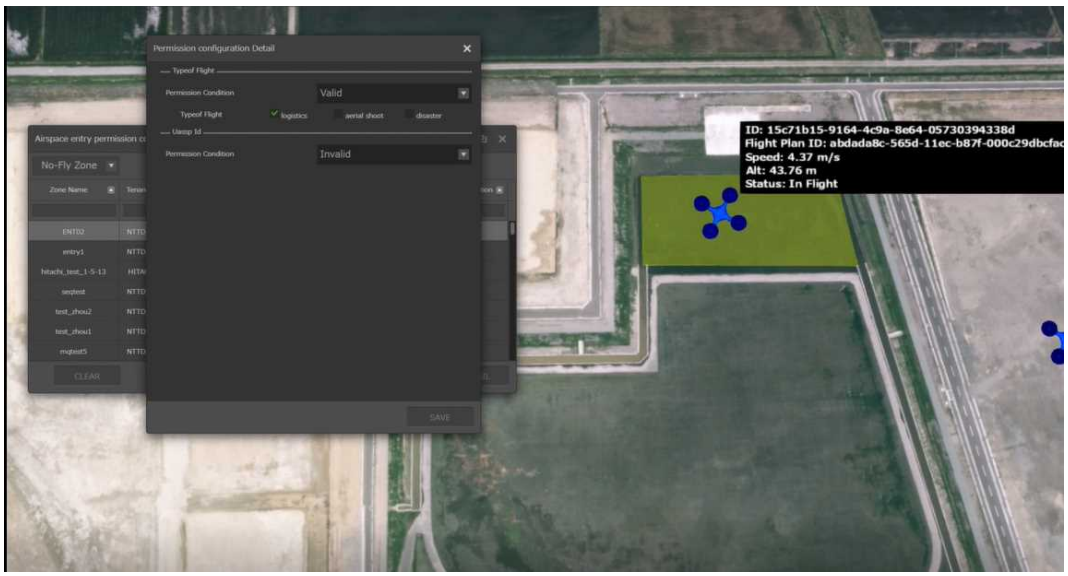


図 2.2.1.10-26 運航管理統合機能での入域許可対象機の飛行状況モニタ画面
（出典：openstreetmap.org）

上記のとおり、実証実験では、実装した入域許可判定 API のロジック・インタフェースの妥当性を確認できた。これまでの空域情報管理機能では設定された飛行禁止空域において一律飛行不可と判断していたところ、特定の許可された飛行用途・事業者で飛行禁止空域内を飛行可能とする運用の有効性を評価した。

また、飛行計画管理機能での飛行計画チェックにおいて、今回新たに入域許可判定 API による問合せを実装したため、UASSP から飛行計画申請し、UASSP で申請結果を受け取るまでの処理時間についても計測し、課題について確認した。処理時間測定結果は 1 秒程度であり、性能的にも問題なしと判断した。

次に、飛行中においても飛行禁止空域に入域しようとする無人航空機に対して、入域可否の判定を行う機能についても実装した。本機能の実装にあたっては、

株式会社日立製作所が開発担当する運航管理統合機能の飛行状況管理において当社が実装した API を用いて飛行中の判定を行うよう実装していただいた。実証では飛行経路上に２つの飛行禁止空域を設定し、そのうちの一方は入域を許可しない設定に、もう一方は入域を許可する設定にした上で、実際に無人航空機を飛行させて検証を行った。その結果、飛行中においてもリアルタイムで正しく入域可否の判定を行えることが確認できた。以下に実証時の判定結果の画面を示す。



図 2.2.1.10-27 運航管理統合機能での入域判定結果（左：入域 NG、右：入域 OK）
（出典：openstreetmap.org）

上記のとおり、飛行中においても、計画段階同様、入域許可判定 API の有効性について確認することができた。

（イ） 飛行経路リスク判定機能

LEVEL4 や将来の高密度運航を想定し、さらなる安全性向上のための空域管理手段の一つの可能性として、飛行計画段階において無人航空機が飛行する経路の上空および地上へのリスク評価に基づいた飛行経路の安全性評価を行う機能を検討した。

飛行経路リスク判定機能については、特に将来の LEVEL4 運航を見据え、無人航空機が設定した飛行ルートに、飛行禁止空域、地表・障害物、悪天候、他の機体等による影響をリスク値として加味し、安全に飛行できるルートであるかを判定する機能として検討した。

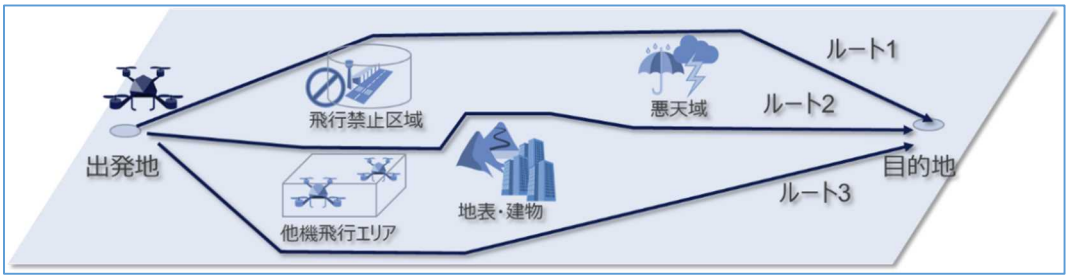


図 2.2.1.10-28 飛行経路候補のイメージ

リスク値計算の基本的な考え方を以下に示す。

- 空域・標高・建物・気象などの各制約データを各種情報提供元から入手
- 各制約データをそれぞれリスク値として地理的情報とマッチングされた評価テーブルに落とし込む。リスク値の決定指標はあらかじめ設定しておく。
- 飛行経路の通過地点におけるリスク値を合計し評価する

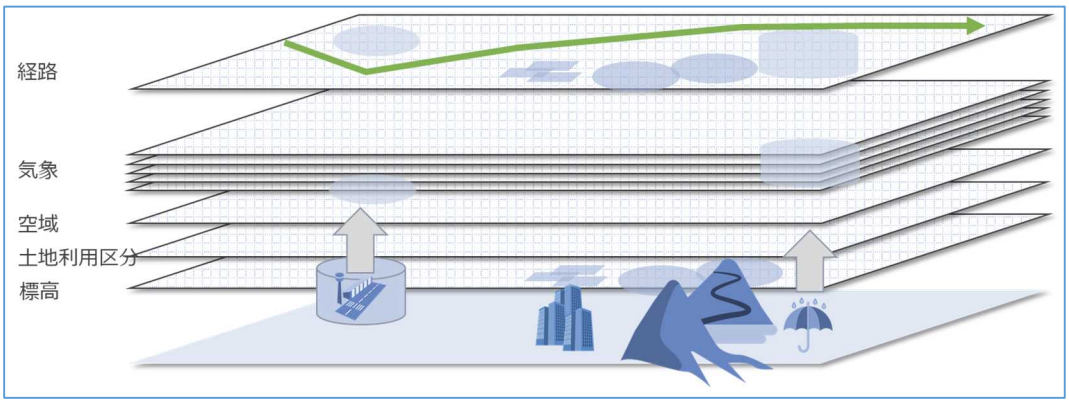


図 2.2.1.10-29 飛行経路のリスク値落とし込みのイメージ

本研究では、検討した実現方式に基づき、経路リスク判定機能アプリケーションのプロトタイプ開発を実施し、各種制約事項（飛行禁止空域、地表・障害物、悪天候、他の機体等）による影響をリスク値として加味し、安全に飛行できるルートであるかを判定する機能として検討し、プロトタイプを作成して評価した。リスク値を加味して、飛行ルートのリスク判定を実施した結果を以下に示す。

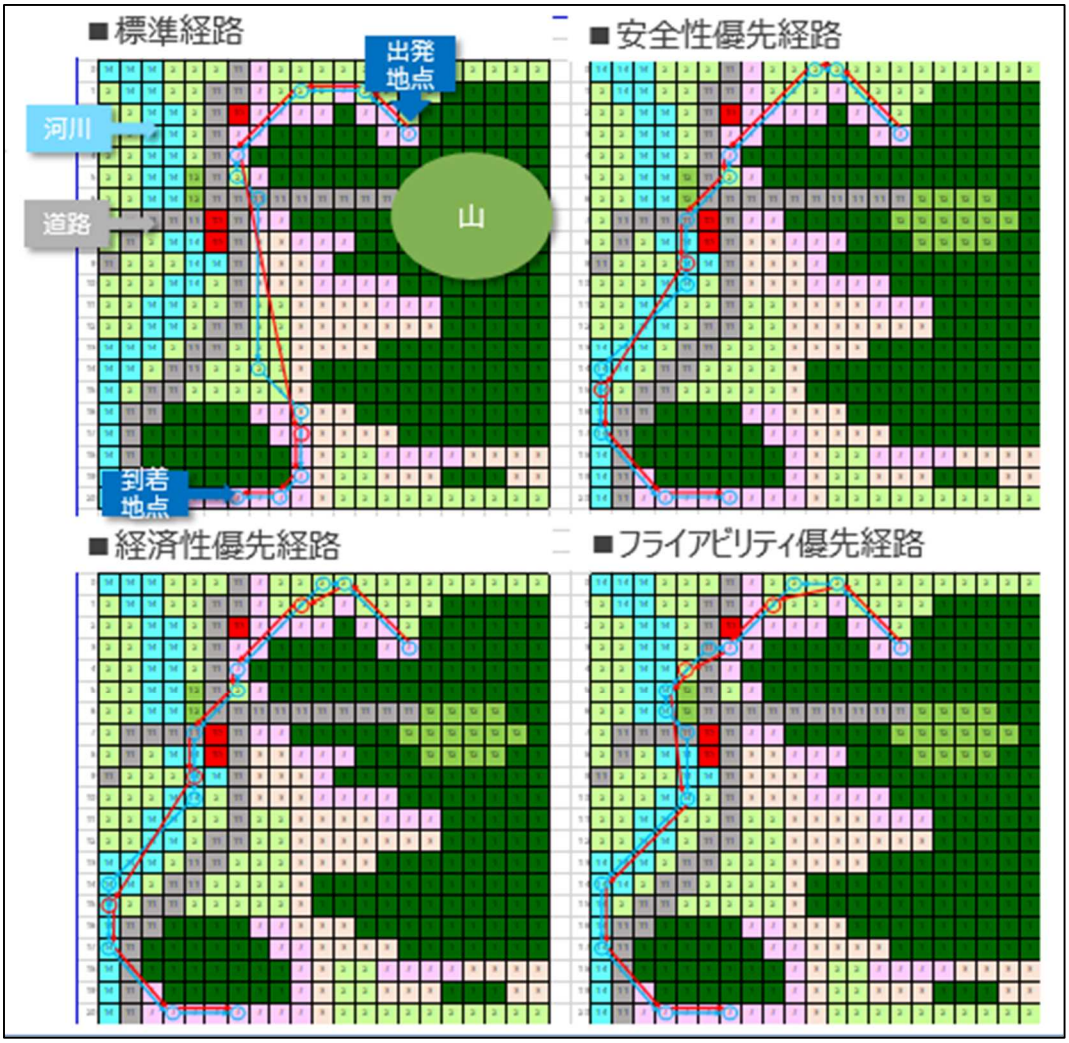


図 2.2.1.10-30 飛行経路リスク判定機能（プロトタイプ）における判定結果

各種制約事項によるリスク値を平均的に加味した場合（標準経路）には、飛行距離が短く、直進的な飛行ルートが最もリスク値が低いと判定された。一方で、安全性・経済性に関わるリスクを重視して判定すると、河川上空を飛行するルートが最もリスク値が低いと判定された。

各種制約事項のリスクの重みづけをどう決めるか（設定・チューニングするか）は運航者や空域管理者のポリシー次第となる部分が大きく、社会実装に向けてはさらに検討を深める必要がある。

(B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

有人航空機と無人航空機の空域は今現在、高度とエリアで分割されており、これにより双方が安全に運航できている。しかし将来的に無人航空機の運航ニーズが高まるにつれ、無人航空機運航者の空域利用ニーズも高まることが想定される。現状でも

災害発生時における迅速な人命救助や被害状況の把握のため無人航空機と有人航空機がそれぞれの利点を最大限に活用して協調して活動にあたることが求められており、そのようなケースにおいても特に両者間での空域利用調整が必要となる。

本研究では、大規模災害時をユースケースとして有人航空機と無人航空機両者間での空域利用調整のあるべき運用について公開情報に基づき調査・検討した。さらに、現行の FIMS の有する機能をどう活用して運用要件を満たすことができるのか、もしくは新たな機能の追加が必要となるのかを整理した。以下に整理した結果を示す。

表 2.2.1.10-4 運用要件と FIMS 機能の関係性

運用要件	対応する FIMS の機能
有人航空機と無人航空機の間でそれぞれの動態情報を共有する。	有人機動態情報連携機能、 無人航空機動態情報連携機能
有人航空機と無人航空機の飛行空域が重複しないよう調整する。	（該当機能無し）
有人機の飛行禁止空域を連携した場合に併せて無人機が有人機の飛行禁止空域で飛行する場合の入域許可情報が必要となる。	入域許可判定機能
無人機の飛行の判断に活用するため、有人機の飛行空域情報も判定に活用する。	飛行推奨空域内判定
無人機の飛行の判断に活用するため、有人機の飛行空域情報も判定に活用する。	飛行禁止/注意空域設定機能で代替可能
災害情報を元に、災害空域情報を UI にて手入力し、災害情報を最新化する。	飛行禁止/注意空域設定機能で代替可能
災害が発生している場所、空域を画面表示し、災害の発生場所、及び、無人機の飛行可否を人が判断する。	飛行禁止/注意空域設定機能で代替可能
他システム、及び、UASSP にて災害空域を確認し飛行可否判断に活用するため、災害空域の更新情報を他システム、及び、UASSP に通知、及び、連携する。	飛行禁止/注意空域情報 API で代替可能
災害が発生している、空域で飛行可能かどうかを、最新の災害空域を基に判断し、災害空域への入域申請に対して許可判定を行い、二次災害を抑止する。	入域許可設定/判定機能
災害が発生している、空域へ無人機が侵入した場合、警報を他システム、及び、UASSP に通知し二次災害を抑止する。	警報通知機能

整理の結果、大部分の機能は既存の FIMS の機能を活用または流用して運用に供することが可能と判断したが、計画段階において有人航空機と無人航空機の飛行空域が重複しないよう調整するという要件については一部機能追加の検討が必要と判明した。そこで FIMS に当該機能をどう実装するかを検討した。FIMS では無人航空機が安全に飛行できる空域としてあらかじめ定めた飛行推奨空域という定義があり、これを活用することで開発規模を抑えつつ効果的に実現できるのではと考えた。現在、飛行推奨空域はあらかじめ定められた場所に設定した固定的なものだが、この空域を時間・場所を動的に設定/変更することで無人航空機の飛行可能な空域を有人航空機の飛行ニーズと調整しながら動的にコントロールできるようになると考え、仕組みを実装しその有効性を検証した。

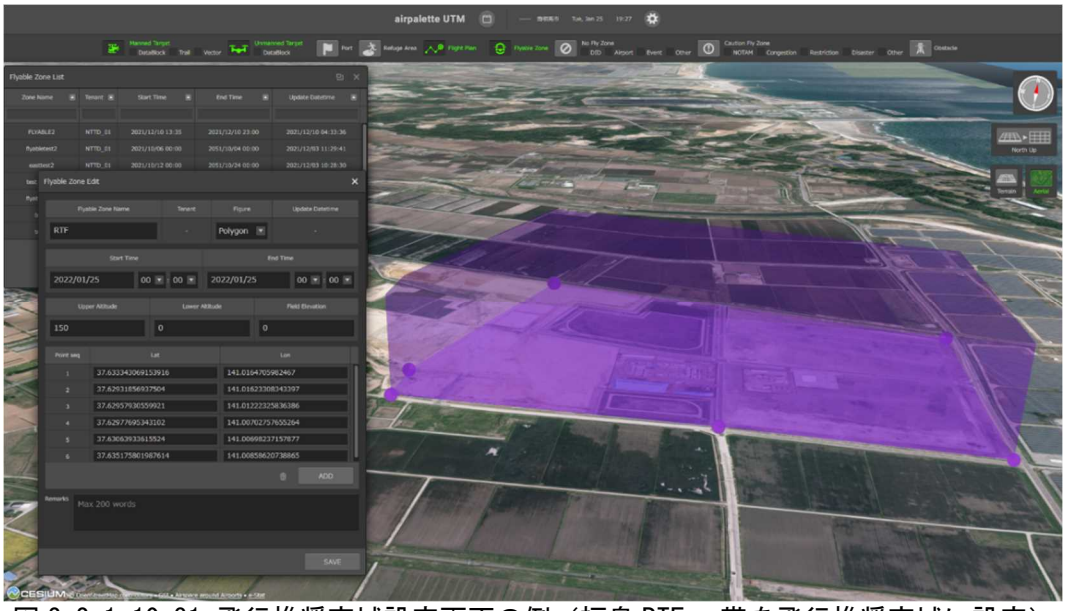


図 2.2.1.10-31 飛行推奨空域設定画面の例（福島 RTF 一帯を飛行推奨空域に設定）
（出典：openstreetmap.org）

また、飛行計画時に飛行推奨空域内の飛行計画となっているか、飛行中に飛行推奨空域内を飛行しているかについて運航者が判断できるようにするためのAPIとして、飛行推奨空域内在判定APIを実装した。飛行推奨空域内在判定APIのデータ項目・インタフェース設計結果について以下に示す。

表2.2.1.10-5 内在判定APIのインタフェース仕様

項番	項目名	カラム名	値域	必須／オプション	繰り返し	説明
1	取得範囲形式	type	0:多角形 1:円形	○	-	判定する範囲の指定方法を指定
2	半径	radius	1～10000	※取得形式が円形の場合のみ必須	-	円の半径（単位:メートル） 整数部最大5桁
3	指定範囲	area	-	-	○	指定範囲の地点情報 指定範囲の形式が多角形の場合、3地点以上、円形の場合は1地点を指定
3-1	経度	longitude	-180～180	○	-	指定範囲を構成する経度 整数部最大3桁 小数部最大7桁
3-2	緯度	latitude	-90～90	○	-	指定範囲を構成する緯度 整数部最大2桁 小数部最大8桁

実証実験では、飛行推奨空域の動的設定、および飛行推奨空域内在判定 API の有効性を確認した。なお、今回は、飛行計画申請～飛行開始まで、以下の運用手順とした。

・運航者が飛行計画を UASSP で作成し、FIMS へ申請する
・FIMS の飛行計画管理機能で各種干渉チェックを実施する（飛行推奨空域内在判定 API を使用した飛行推奨空域内外チェックは対象外）
・FIMS の空域管理者が、上記で承認された飛行計画について、飛行推奨空域内在判定 API を利用し、推奨空域内の飛行計画であること／推奨空域外も含む飛行計画であることを確認する
・FIMS の空域管理者が運航者に対して、申請した飛行計画が飛行推奨空域内か／推奨空域外も含まれるかを通知する
・運航者は飛行推奨空域内の飛行計画である場合、飛行開始する

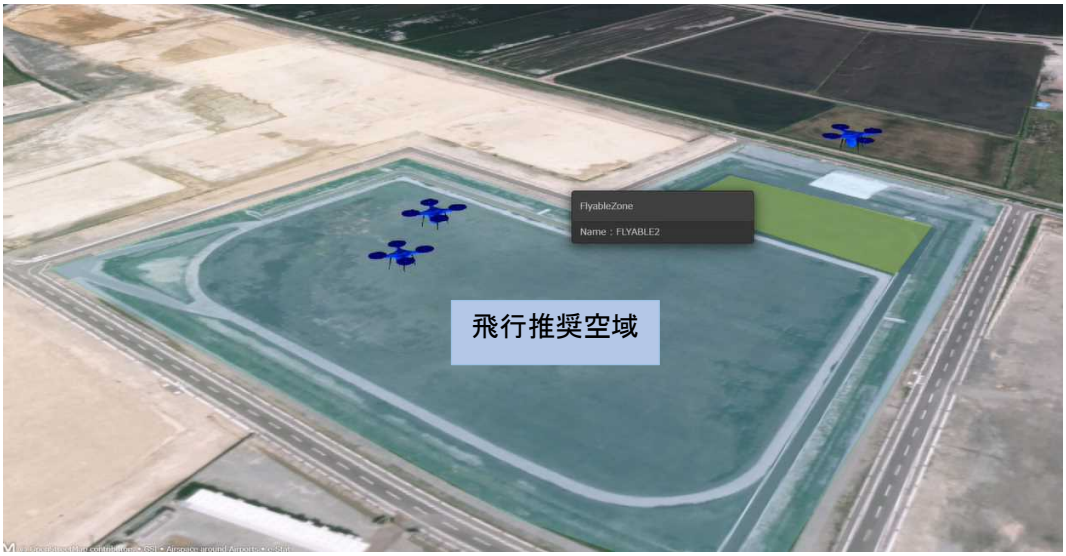


図 2.2.1.10-32 飛行推奨空域内を飛行する無人航空機
（出典：openstreetmap.org）

本研究の実証実験において、実装した飛行推奨空域内在判定 API のロジック・インタフェースの妥当性について確認できた。今回の実証実験では、飛行計画段階での運用を想定したものに留まったが、今後は飛行中も飛行推奨空域内在判定 API を利用し、飛行中にリアルタイムで飛行推奨空域内であることをチェックしながら運用することも検討すべき課題として抽出した。

また、これまでは、飛行推奨空域の事前設定（SQL で直接 DB へ登録）のみに対応していたところ、画面で飛行推奨空域を動的に設定することが可能となり、より柔軟な空域設定が可能となったと評価した。

(C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

FIMS では、無人航空機操縦者が飛行させている無人航空機周辺の有人航空機の存在を認識し異常な接近を防止するよう、無人航空機運航者に飛行中の有人航空機動態情報を提供する仕組みを実装している。2019 年度までの研究では有人航空機が一方的に発信している位置情報信号（ADS-B の信号）を簡易的に受信し、その情報を無人航空機とのコンフリクト検知に活用してきた。しかしながら、無人航空機と接近する可能性の高い低高度を飛行する有人航空機（ヘリコプター等）は ADS-B に対応していない機体が少なくなく、無人航空機の状況認識向上への活用という点では不十分であった。

そこで今回の研究では共同研究者である株式会社ウェザーニューズの保有するヘリコプターの動態情報や、DRESS プロジェクトの他研究で開発したシステムから提供される動態情報、さらには他サードパーティが提供している動態情報を取込み、取得できる航空機の機数増加と取得対象エリアの拡大を図ることで、無人航空機運航者の状況認識向上に繋がるか検証した。実証の結果、飛行中の空域状況認識の向上効果を確認することができた。

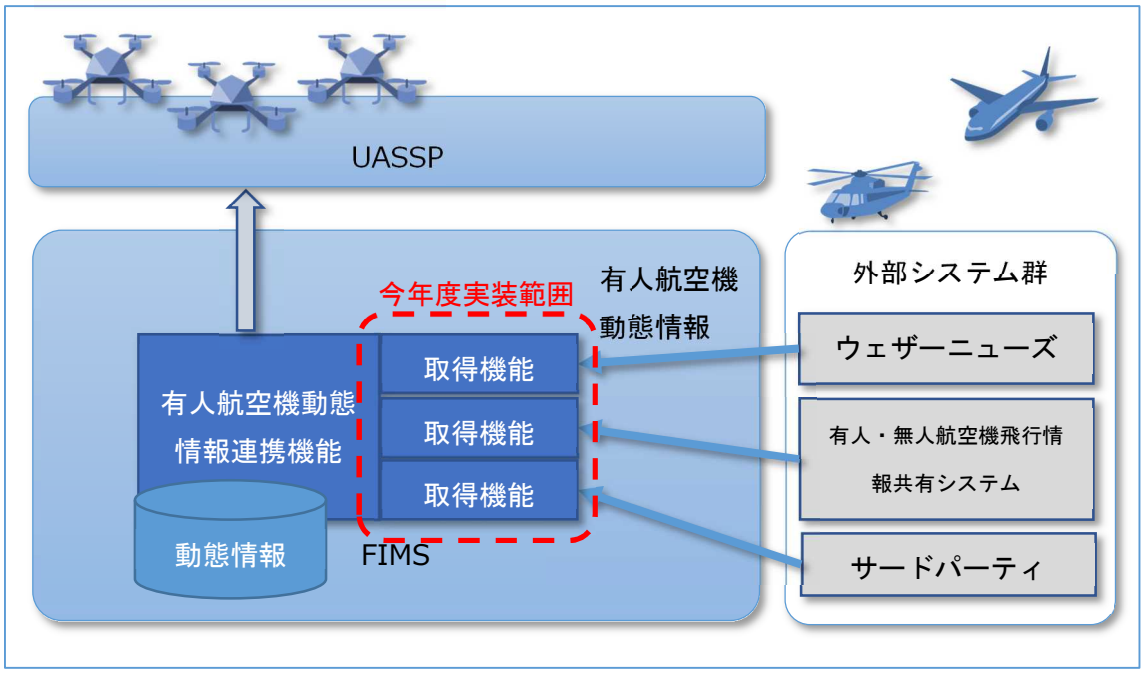


図 2.2.1.10-33 有人航空機動態情報連携機能の機能関連図

有人航空機動態情報連携については、各情報入力源の API 仕様に基づき、受信機能や受信データ項目の既存 DB 項目へのマッピング等の設計を実施した。有人航空機動態情報の情報入力源（連携先）、情報入力源システムの方式・特徴、位置情報の更新頻度を以下に示す。

表 2.2.1.10-6 有人航空機動態情報入力源システムの特徴

項番	情報入力源	方式	位置情報更新頻度	対象機体	対象エリア
1	ウェザーニューズ	機上で測位したGPS位置情報を衛星回線経由で地上に送信	30秒～数分（対象の運航者によって異なる）	同社のシステムを搭載した機体	日本全国
2	有人・無人航空機飛行情報共有システム	航空機が発信したトランスポンダ情報（SSR-Mode A/C、ADS-B）を福島 RTF 周辺に設置したマルチラテレーションシステムで測位	1秒	SSR-Mode A/C、ADS-B対応機	福島県 RTF および南相馬市周辺
3	サードパーティ	航空機が発信したトランスポンダ情報(ADS-B)を世界各地に配置された地上の受信機、および衛星で受信	1秒	SSR-ModeS、ADS-B対応機	全世界

実装した機能について、福島ロボットテストフィールドにて FIMS および UASSP との連携実証をおこない、機能の有効性および空域状況認識改善の確認を実施した。実証実験の結果および評価について以下に示す。



図 2.2.1.10-34 運航管理統合機能側での有人航空機動態情報表示画面
（出典：openstreetmap.org）

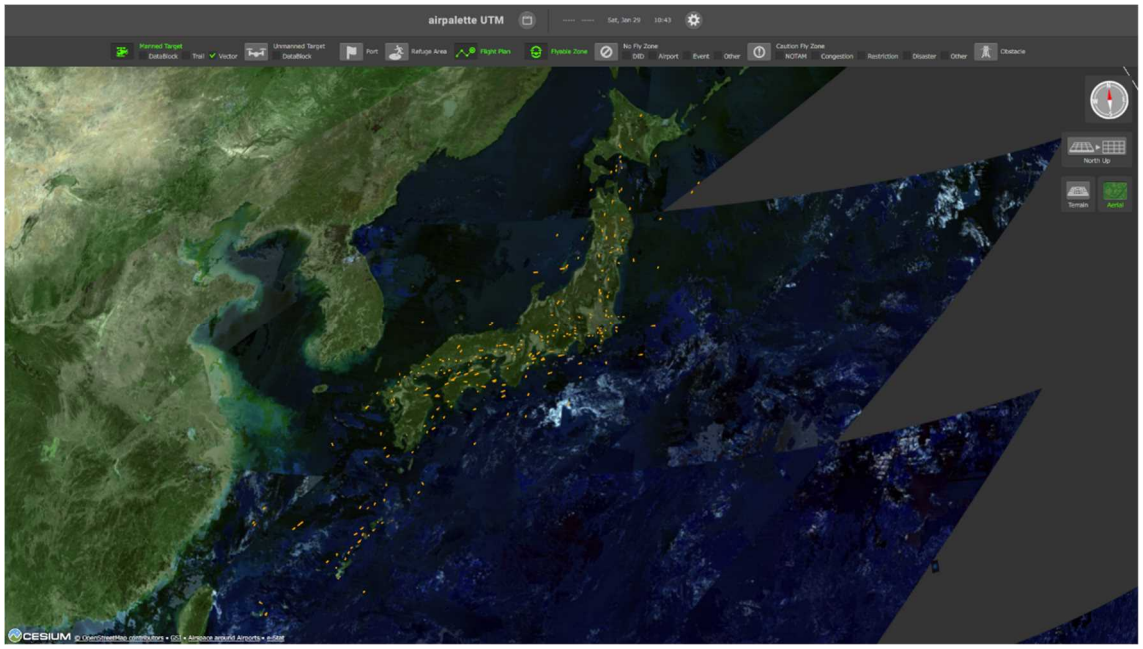


図 2.2.1.10-35 サードパーティからの有人機動態情報（全国表示）
（出典：openstreetmap.org）

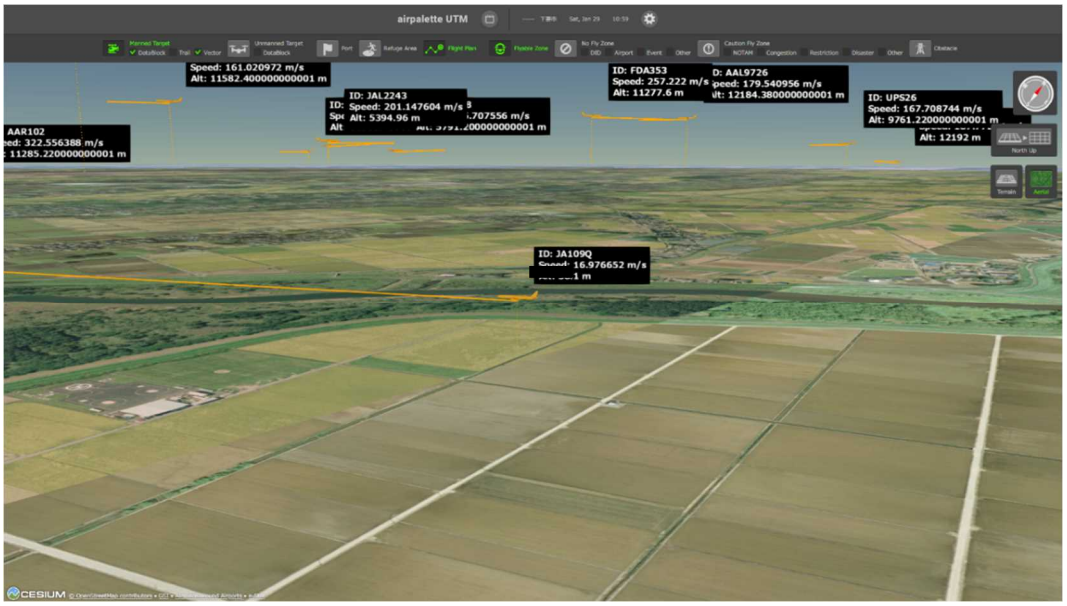


図 2.2.1.10-36 サードパーティからの有人機動態情報（低高度を飛行するヘリの例）
（出典：openstreetmap.org）

上記のとおり、有人航空機動態情報の入力ソースが増えたことで、空域状況認識の改善につながると評価した。地域特性として、訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）が周辺にある場合や、災害時など有人航空機と無人航空機が空域共有して活動する場合などは特に有効であると考える。

また、有人機動態情報連携機能については、NEDO 地域実証プロジェクトでも一部の地域実証へ参画する運航者側から運用時に有人航空機動態情報を閲覧したいという要望も挙がり、有人航空機との異常接近の防止は無人航空機の運航者にも重要な課題であることを改めて認識した。特に空港周辺やドクターヘリの運航が頻繁に行われている空域を飛行させる無人機運航者にとっては特に有効な機能である。

一方、FIMS や UASSP に外部システムから受信した有人航空機動態情報を表示する際に、無人航空機と比較して経由する装置／システムが多いため、データ送受信頻度やタイムラグが課題となることがわかった。画面に表示される動態情報が最大で何秒前の情報となりうるか等を加味し、表示方法や近接判定の条件・仕組み等の検討を深める必要がある。また、（有人・無人航空機飛行情報共有システム経由での有人航空機動態情報には、フュージョンが考慮された情報を受信するが）複数の入力源から有人航空機動態情報を入手する場合のデータの信頼度・重複／データ項目の差異などについても、FIMS としてデータをどう取扱うかをよく検討していく必要があると考える。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、地域特性に応じて空域を設定する運用やそれに必要な技術検証、また、飛行用途（運航目的）・事業者（運航者）に応じて適正な空域利用を実現するための空域管理手法などについて研究を行った。

(A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

入域許可設定／判定機能においては、本研究では、基礎機能開発として飛行用途（目的）・事業者による可否判断までを対象とした。今後は、機体性能や運航者（事業者）の資格・能力による飛行可否判断についても、今後の制度設計で明確に規定された段階で機能拡張していくことが必要である。ただし、飛行可否判断のための対象データ項目を増やすことで、入域許可判定 API での判定項目が増えるため、特にリアルタイム性が求められる飛行中のチェックについて、性能面で課題が顕在化しないように検討を進める必要がある。

(B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

飛行推奨空域動的設定機能について、検証では、飛行推奨空域内在判定 API の利用によるチェックや、運航者へのチェック結果伝達において手動で実施したが、「FIMS の飛行計画管理機能や、UASSP から、本機能をより容易に利用するための API の追加開発・改善」を課題として抽出した。今後は、段階的運用の改善や運用者への自動連携などへ対応していくべきと考える。また、今回の実証実験では、飛行計画段階での運用を想定したものに留まったが、今後は飛行中も飛行推奨空域内在判定 API を利用し、飛行中にリアルタイムで飛行推奨空域内であることをチェックしながら運用できるような改善へも取り組むべきと考えている。

(C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

有人機動態情報連携機能においては、FIMS や UASSP に外部システムから受信した有人航空機動態情報を表示する際に、無人航空機と比較して経由する装置／システムが多いため、データ送受信頻度やタイムラグが課題となることがわかった。画面に表示される動態情報が最大で何秒前の情報となりうるか等を加味し、表示方法や近接判定の条件・仕組み等の検討を深める必要がある。また、（リモート ID 経由での有人航空機動態情報には、フュージョンが考慮された情報を受信するが）複数の入力源から有人航空機動態情報を入手する場合のデータの各ソースの特徴（データ更新頻度、送信遅延時間、信頼度・重複／データ項目の差異など）についても、FIMS としてデータをどう取扱うかをよく検討していく必要があると考える。

5.1.3. 「接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発」(実施者：株式会社日立製作所)

(1) 実施事項

(A) 警報機能の追加開発

飛行中の接近状態の検出、異なるUASSP間での情報共有と、警報による回避指示の有用性、および網羅性について研究した。現在検討されている運航管理統合機能の責任分界点として、運航者に注意を促すことがミッションであり、飛行の安全に関する判断についてはパイロットが行う想定である。本研究開発では、その責任分界点を損なうことなく、すべての飛行危険性を周知する研究を実施した。

(B) 飛行禁止エリア自動生成機能

2017年～2019年度の開発において、異なるUASSP間での情報共有手段として、異なるUASSPに所属する機体が接近した場合、近傍機体情報を配布し、接近状態を知らせるとともに、回避に必要となる情報を周知する手段を実装した。さらに機体同士が接近する場合は、警報を通知することで、危険状態が迫っていることを通知する手段を実装した。

しかし、情報を危険が迫っているUASSP及び機体に通知するのみでなく、より広く無人航空機運航事業者に周知することにより、より安全性の高い危機回避が可能になると考える。このため、危険状態を周知するために有効的な手段として、警報発生機体をより可視化することを目的に、機体近傍での飛行禁止エリア自動生成機能の実装を行い、有用性を判断した。

(C) 発生した警報、飛行禁止エリアに基づくリアクション検証

現在、発生した警報に対して、機体及び運用者がとるべきリアクションはルールとして規定されていない。このため、危険に遭遇すると想定される時間から、何秒間の猶予をもって発報することが適切か、また発報の際の機体及び運用者がとるべきリアクションをシミュレーション/実証を通して検証するとともに、機体ベンダーに対するヒアリングも実施した。

(2) 研究を通じた成果

(A) 警報機能の追加開発

以下の監視機能を開発した。

a)飛行禁止/注意エリア侵入監視

無人航空機が飛行禁止/注意エリアに接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを、黄色の円が飛行注意エリアを表す。



図 2.2.1.10-37 飛行禁止エリア侵入警報
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-38 飛行禁止エリア侵入警報（注意エリアの場合は低重要度の警報）
（出典：openstreetmap.org）

b)飛行計画逸脱監視

無人航空機が飛行計画の境界に接近、逸脱した場合に警報を発報する。また逸脱時には飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。

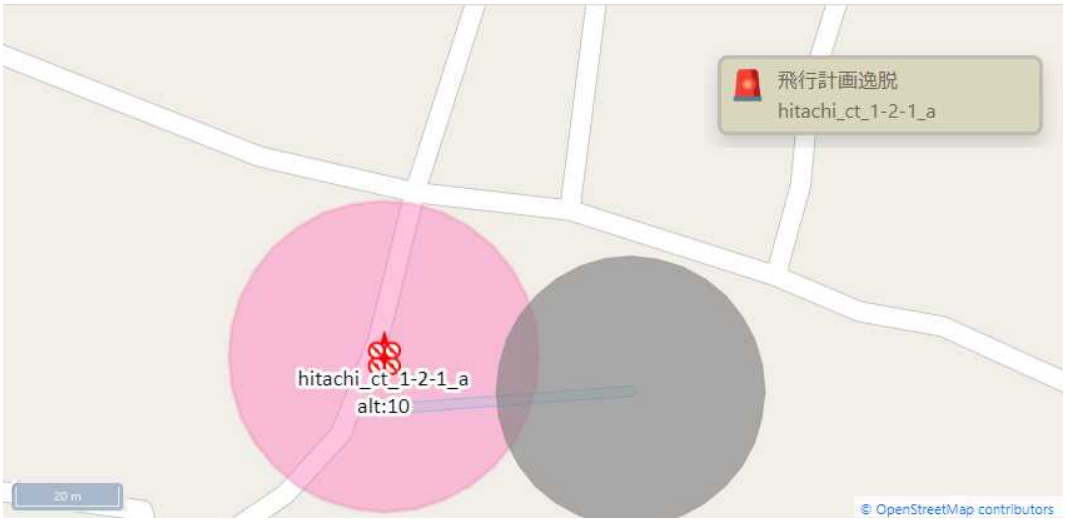


図 2.2.1.10-39 飛行計画逸脱警報と飛行禁止エリア生成
（出典：openstreetmap.org）

c)機体故障監視

無人航空機から機体故障を受信した場合に飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。

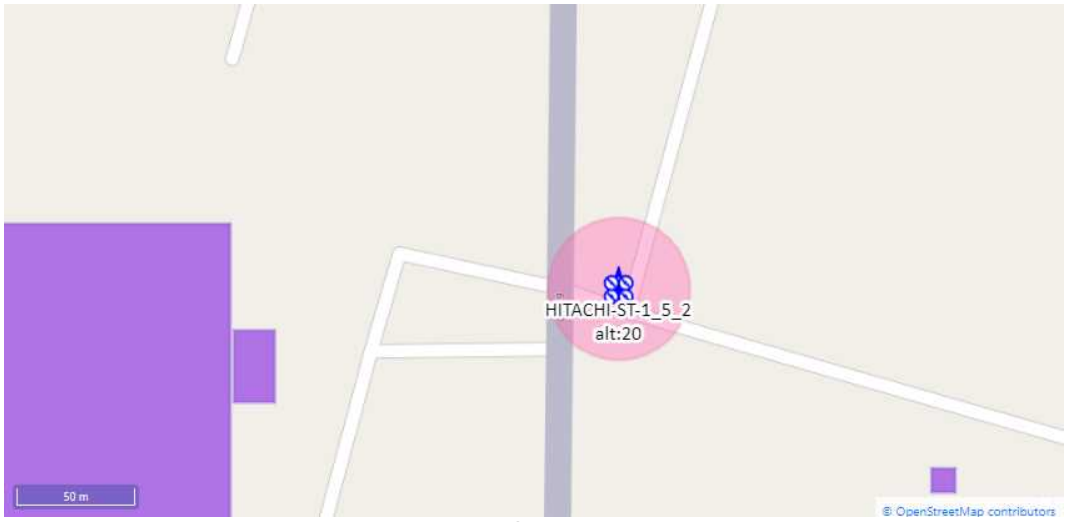


図 2.2.1.10-40 機体故障による飛行禁止エリア生成
（出典：openstreetmap.org）

d)無許可飛行監視

運航管理統合機能に登録されていない飛行計画 ID を受信した場合に警報を発報し、さらに飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。

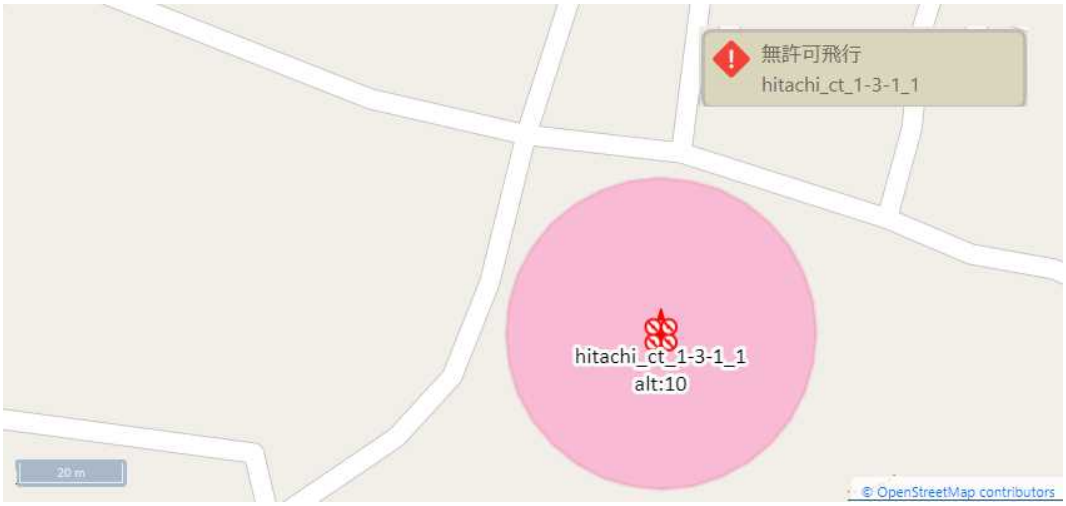


図 2.2.1.10-41 無許可飛行による飛行禁止エリア生成
（出典：openstreetmap.org）

e)地表接近監視

無人航空機が地表に接近した場合に警報を発報する。

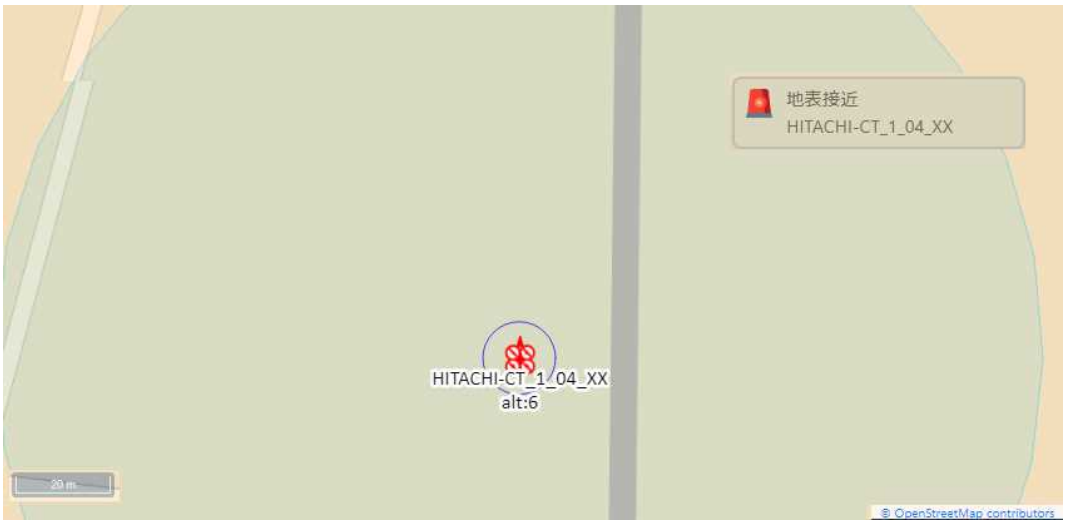


図 2.2.1.10-42 地表接近警報
（出典：openstreetmap.org）

f)無人機間コンフリクト監視

無人航空機同士が接近した場合に警報を発報する。

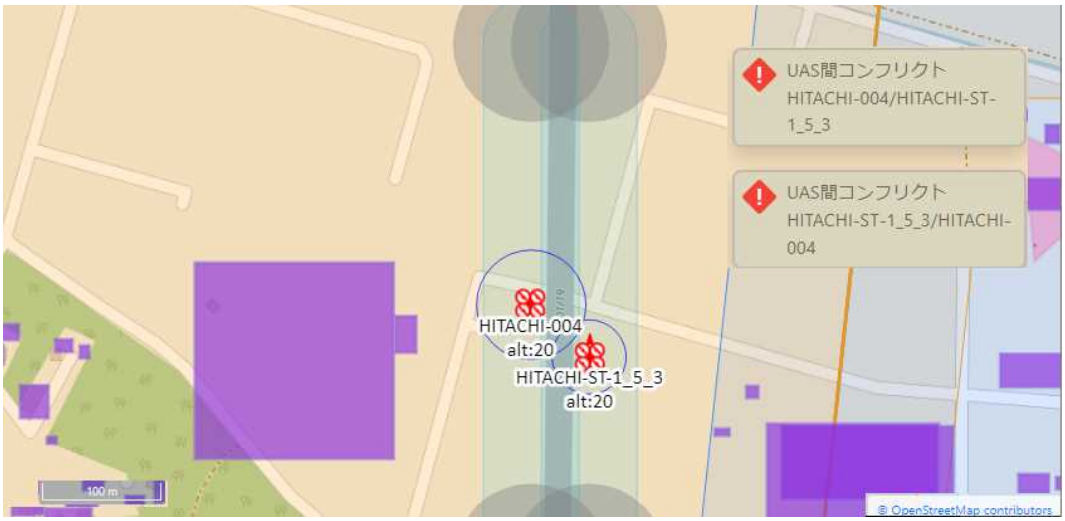


図 2.2.1.10-43 無人機(UAS)間コンフリクト警報
（出典：openstreetmap.org）

g)気象監視

無人航空機が降雨、強風エリアに接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の青色の四角形が降雨エリアを、黄色の四角形が強風エリアを表す。

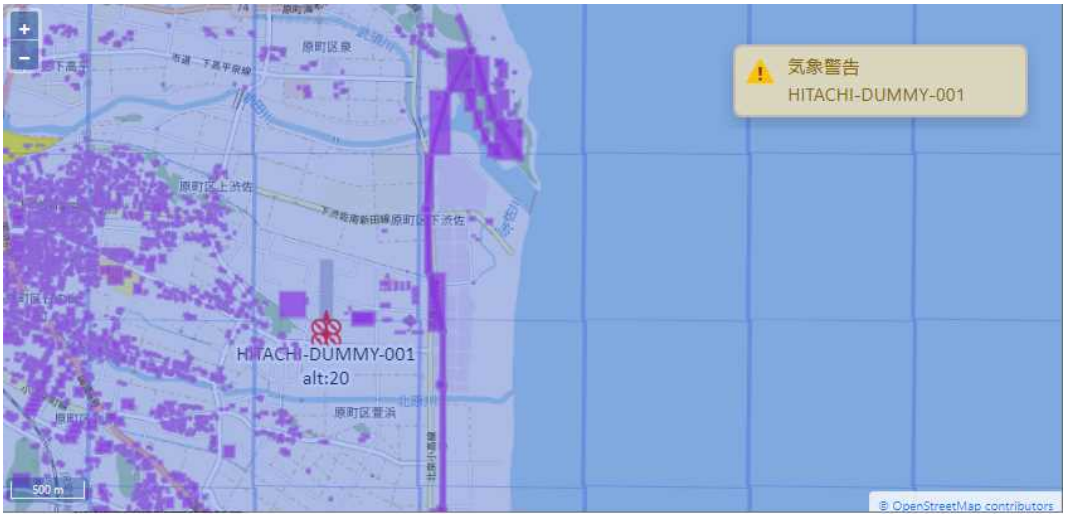


図 2.2.1.10-44 気象警報（降雨）
（出典：openstreetmap.org）

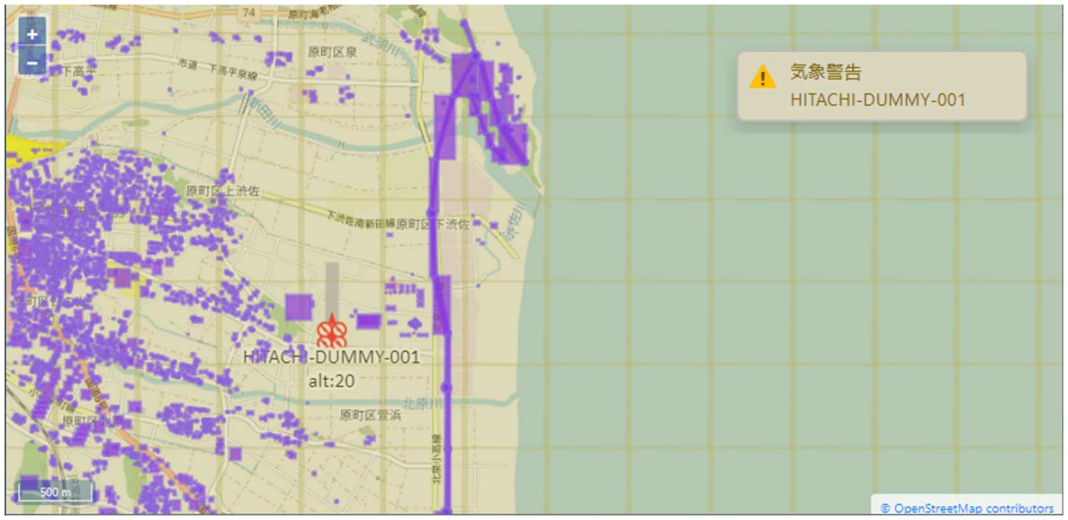


図 2.2.1.10-45 気象警報（強風）
（出典：openstreetmap.org）

h)制限高度超過監視

無人航空機が対地高度 150[m]以上の空域に接近、侵入した場合に警報を発報する。

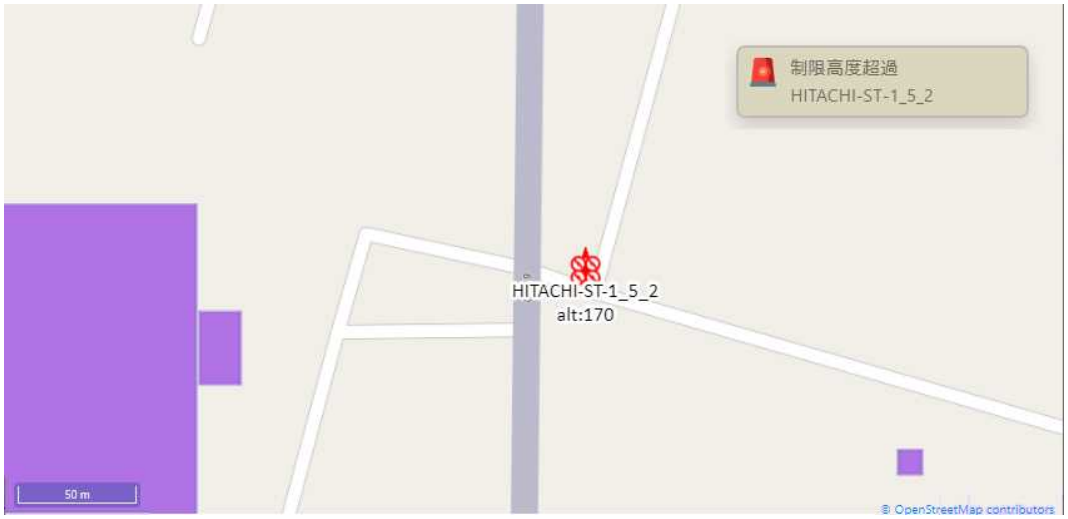


図 2.2.1.10-46 制限高度超過警報
（出典：openstreetmap.org）

i)地表障害物接近監視

無人航空機が地表障害物に接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の紫色の四角形が地表障害物を表す。

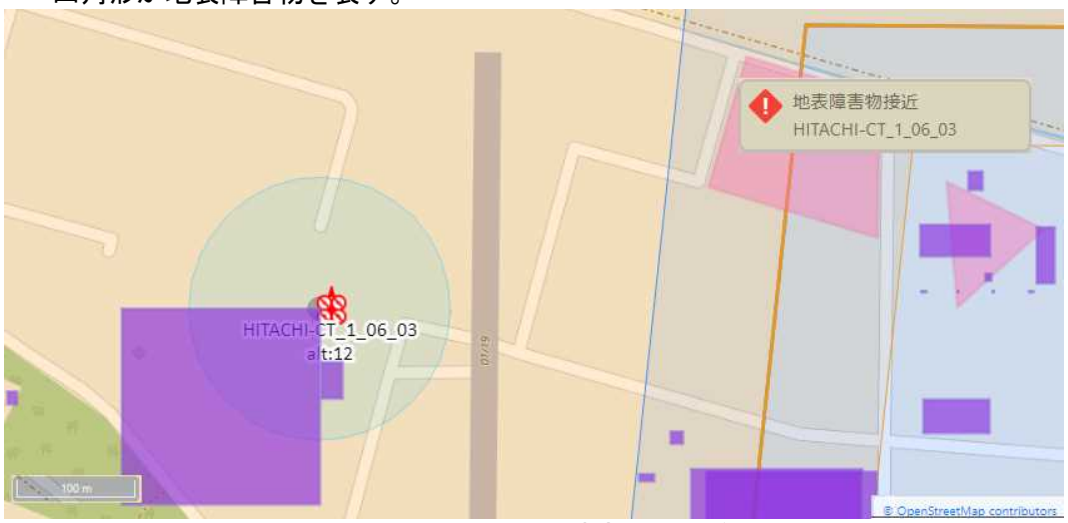


図 2.2.1.10-47 地表障害物接近警報
（出典：openstreetmap.org）

j)有人機間コンフリクト監視

無人航空機が有人機に接近、接触した場合に警報を発報する。

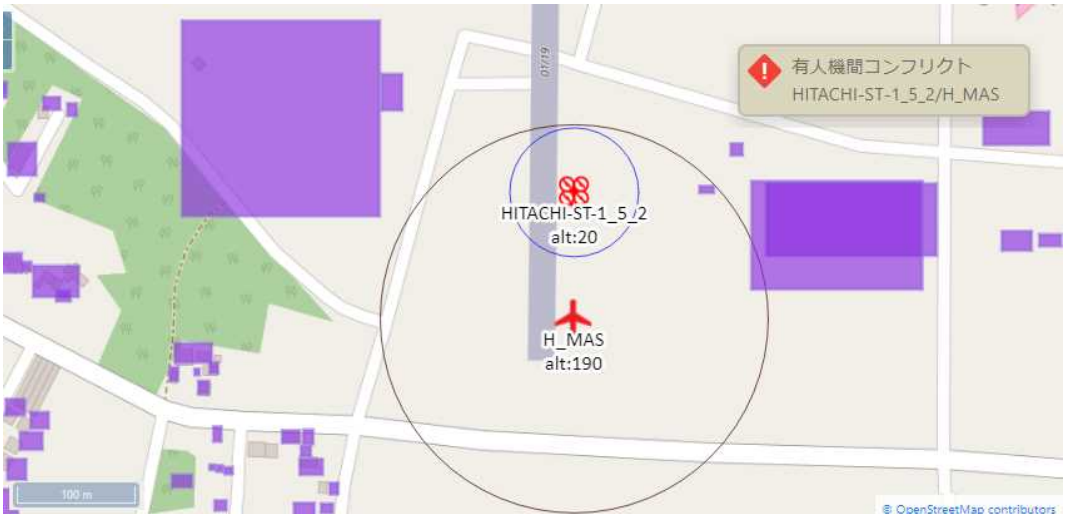


図 2.2.1.10-48 有人機間コンフリクト警報
（出典：openstreetmap.org）

(B) 飛行禁止エリア自動生成機能

警報以外に警戒を促す手段として、飛行禁止エリアを自動生成する機能を実装した。

次の場合に飛行禁止エリアを生成する。

(ア)飛行計画逸脱監視機能にて、飛行計画から逸脱を検知

(イ)機体故障監視機能にて、機体故障を検知

(ウ)無許可飛行監視機能にて、運航管理統合機能に登録されていない飛行計画 ID を検知

生成する飛行禁止エリアの形状は円柱で、円の中心は検知時の機体の位置、半径は無人航空機の速度[m/秒]×20[秒]、高さは海抜高度 0～300[m]、生存期間は 10 秒とした。下図の赤の円が飛行禁止エリアである。

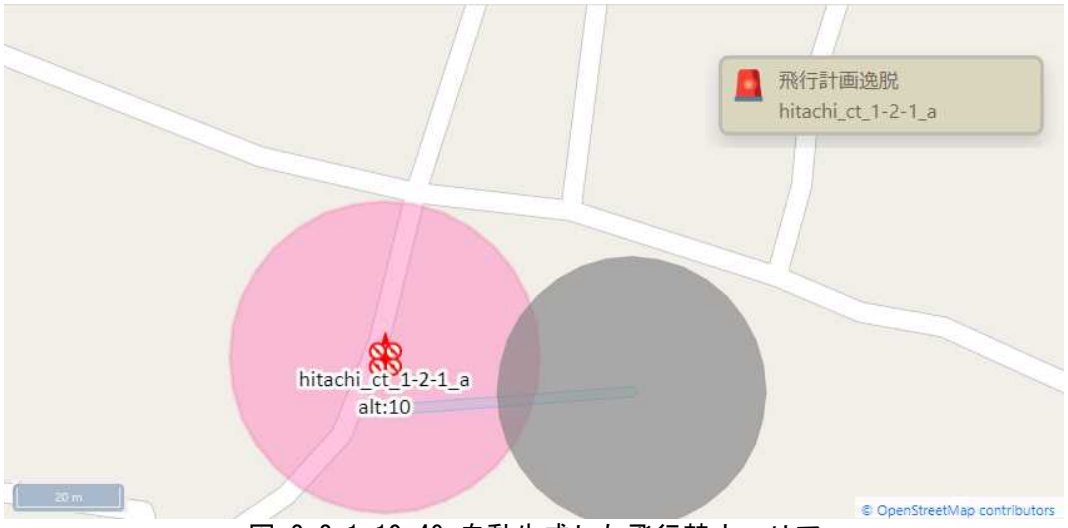


図 2.2.1.10-49 自動生成した飛行禁止エリア
（出典：openstreetmap.org）

これまでの警報では飛行計画逸脱など緊急性のある事象でも、その無人航空機が所属している UASSP にのみ通知を行い、事象発生側への対処を促す目的であった。

これに対して、自動生成した飛行禁止エリアは、すべての UASSP に周知できるとともに、何らかの故障が発生しリアクションが取れない状況になっている機体を保護することもできるため、有効に機能した。

(C) 発生した警報、飛行禁止エリアに基づくリアクション検証

これまでは警報の種類の網羅性を高めてきた。今回の研究では新たな軸として、「リアクションを行う運用者」に着目した。これはリアクションを行う運用者が、システムである場合/人である場合によって余裕時間が異なるためである。

警報、飛行禁止エリアを認識した際の無人航空機のリアクションを実証試験にて検証した。

(ア)自動生成された飛行禁止エリア

2機の無人航空機のうち、1機は警報と飛行禁止エリアを生成する警戒事象発生側、もう1機は飛行禁止エリア侵入する正常側とし、それぞれリアクションを検証した。

表 2.2.1.10-7 自動生成された飛行禁止エリア発生時のリアクション検証(例)

No	飛行禁止エリアを生成する警戒事象	リアクション	
		警戒事象発生側:警報発報時の動作	正常側：飛行禁止エリア侵入時の動作
1	飛行計画逸脱	そのまま飛行	回避
2	飛行計画逸脱	ホバリング	回避
3	飛行計画逸脱	ホバリング	ホバリング
4	飛行計画逸脱	離陸地点に帰還	ホバリング
5	機体故障	着陸	回避
6	機体故障	着陸	ホバリング
7	無許可飛行	そのまま飛行	回避
8	無許可飛行	そのまま飛行	着陸

(イ)地表接近警報

無人航空機の降下時垂直速度と地表衝突までの余裕時間（地表接近警報の発報タイミング） を変えることで、地表接近警報を認識してからリアクションまでに必要な時間を検証した。

表 2.2.1.10-8 地表接近警報時のリアクション検証(例)

No	垂直速度[m/s]	余裕時間[s]
1	1	10
2	1	20
3	1	30
4	2	30
5	2	40

(ウ)無人航空機間コンフリクト警報

2機の無人航空機（機体A,B）を接近させ、衝突までの余裕時間（無人航空機間コンフリクト警報の発報タイミング）やリアクションを変えることで、無人航空機間コンフリクト警報を認識してからリアクションまでに必要な時間やリアクションを検証した。

表 2.2.1.10-9 無人航空機間コンフリクト警報時のリアクション検証(例)

No	余裕時間[s]	リアクション	
		機体A	機体B
1	10	離陸地点に戻る	ホバリング
2	10	着陸	ホバリング
3	10	そのまま飛行	着陸
4	20	着陸	ホバリング
5	20	着陸	着陸
6	40	そのまま飛行	そのまま飛行
7	40	ホバリング	そのまま飛行
8	60	そのまま飛行	そのまま飛行

(エ)気象警報

無人航空機が降雨、強風エリアに侵入した場合のリアクションを変えることで、気象警報を認識時のリアクションを検証した。

表 2.2.1.10-10 気象警報時のリアクション検証(例)

No	気象警報の原因	リアクション
1	降雨エリア侵入	離陸地点に戻る
2	強風エリア侵入	ホバリング
3	強風エリア侵入	着陸

リアクションとして着陸、離陸地点に戻る、ホバリング、そのまま飛行、回避の妥当性を、実証を通して検証した。また、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、評価を行った。

評価の結果として、
「警報の原因となる機体が着陸」が基本リアクションとなった。落下の危険性がある機体は、直ちに安全な場所に着陸させ、墜落リスクを下げることが重要と判明した。
また、警報発報には、移動速度に関わらず、リアクションを開始するための一定の猶予時間を確保することが重要である事が判明した。リアクションを行う運用者がシステム(自動)である場合、人間が業務フローに則って実施する場合で異なるが、最低でも 30～40 秒は必要であるとのことが、実証での主観的評価及びヒアリング結果から明らかになった。ただし、システムの応答時間(機体の近接検知→機体が回避措置を実施するまで)が十分早ければ、余裕時間を縮められる可能性がある。

ただし着陸時は、着陸地点の安全性が確実に確保されている必要がある。安全性とは、
・無人航空機の着陸に必要な十分な広さが確保されていること
・人の立ち入り等、人命に関わるような不安材料が無いことが保証されていること
と定義できる。問題事象発生機体の近隣に安全性が保証された着陸場所がない場合は、「離陸地点に戻る」が最も妥当である。離陸地点は、既に安全性が確認されている場所であり、現時点で離着陸地点に選定した場所以外に安全性が確保された着陸地点が存在しないためである。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 安全性が確保された離着陸ポイントの整備

警報発生時のリアクションとして、「着陸」させることが重要であるが、現時点では「離陸ポイント」以外の安全性が保証されているかは不明である。事前に定めた着陸ポイントが、飛行後に安全に着陸できる状態である保証がないためである。

このため、無人航空機が飛行するために、安全性が保証された

・離陸ポイント
・着陸ポイント
・途中経路で緊急的に着陸できるポイント

が必要である。

(B) 運用主体に応じた警報の余裕時間の変更機能の検討と実装

リアクションを行う運用主体によって余裕時間を分ける必要がある。これを飛行計画単位で行うには、飛行計画にリアクションを行う運用者の追加と動態管理システムの修正が必要になる。UASSP 単位もしくは動態管理システム単位で行うには、動態管理システムの修正が必要になる。

(C) 飛行禁止エリア作成時間の短縮

飛行禁止エリア作成 REST API を実行してから、MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) にて飛行禁止エリアデータを受信するまでに、現実装では 30 秒以上を要するため、その分の誤差が生じる。そのため、より実行から受信まで時間が短縮されることが望まれる。

短縮が難しい場合は、実行から受信までの時間と飛行禁止エリアの大きさをどのように決定するかが課題となる。

(D) 気象警報の細分化

風速と降雨で同じ気象警報を出しているが、警報検出時、運用者がリアクションをそれぞれ選べるように、降雨警報と風速警報に分割する必要がある。

5.1.4. 「有人航空機動態管理機能の開発」（実施者：株式会社ウェザーニューズ）

(1) 実施事項

無人航空機の社会実装後は、航空機使用事業者などが所有する有人航空機と空域を共有するケースが多くなると予想される。その際、機体同士の接近による衝突のリスクがあり、無人航空機運航者と有人航空機運航者間で同一空域において双方の動態情報を把握し、回避行動を取るための対策が必要となる。また、近年の自然災害において被害状況の確認、行方不明者の捜索などで無人航空機が活用されている。今後は、人命救助や大規模避難所への物資輸送は、有人航空機が引き続き担いつつ、無人航空機と有人航空機の連携による災害時オペレーションが増加すると思われる。

以上の経緯を背景に、運航管理統合機能の空域情報管理機能へ有人機動態情報をインタフェースする有人航空機動態情報管理の開発を実施し、本テーマの研究開発項目および目標を定めた。

(A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

ウェザーニューズが航空機使用事業者や官公庁などのヘリ運航者(2021 年 12 月時点 400 機弱)に展開している(図 2.2.1.10-50 有人航空機動態情報端末(FOSTER-CoPilot))から取得したデータを管理する有人航空機動態情報を運航管理統合機能の空域情報管理機能へ最適なインタフェース形式で連携する仕組みについて研究を実施した。



図 2.2.1.10-50 有人航空機動態情報端末 (FOSTER-CoPilot)

(B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

無人航空機と有人航空機のコンフリクト時の衝突回避オペレーションや無人航空機と有人航空機共同オペレーションや実証実験を実施する場合、有人航空機運航などで多大なコストが掛かるとともに、実際の衝突回避行動において危険なケースが生じるリスクがある。

以上の経緯を背景に有人航空機動態情報をシミュレーションデータとして、空域情報管理機能へ連携することにより、有人航空機運航のコスト削減と危険な状況を現実ではなく仮想的に実現するための研究を実施した。

研究を通じた成果

(A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

図 2.2.1.10-51 有人航空機動態情報連携イメージ図に示すように運航管理統合機能の空域情報管理の一部である有人航空機情報連携機能へ有人航空機動態情報を連携する研究を実施した。

今回の研究により、無人航空機運航者と有人航空機運航者間での情報共有協定に基づく無人航空機運航者側での有人航空機の識別、有人航空機運航者側での無人航空機が可能となった。また、ウェザーニューズ以外の有人航空機動態情報を取り込むインタフェースも整備し、D-NET などの保有する消防・防災ヘリなどの動態情報を有人航空機動態情報として統合し、空域情報管理機能へ連携することが可能となり、災害時等の有事において、特定空域内の無人航空機と消防・防災ヘリ、ドクターヘリ、民間機等を問わず、有人航空機の動態情報を一元的に管理することが可能となった。

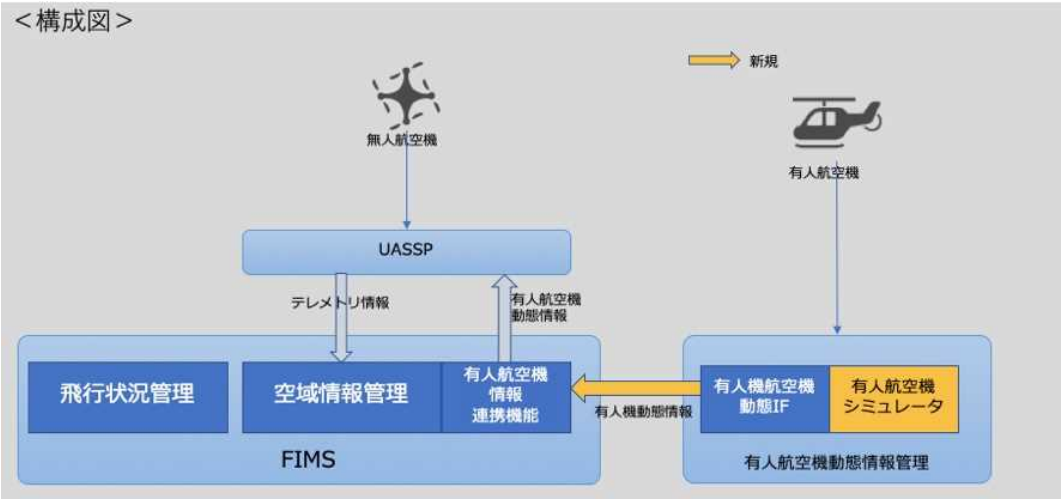


図 2.2.1.10-51 有人航空機動態情報連携イメージ図

空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の仕様を以下に示す。

a)インターネット接続前提

インターネットを介した接続であることを前提とする。

b)認証機能

ウェザーニューズの発行する FIMS コンソ認証キーにより認証処理を行う。

c)通信方式は、Restful API を採用する。有人航空機動態情報 API の個別仕様は以下(表 2.2.1.10-11 有人航空機動態情報 API 個別仕様)に示す。

表 2.2.1.10-11 有人航空機動態情報 API 個別仕様

対象 API	機能名	機能説明
共通	認証機能	すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー(URL の get パラメータ)による認証を行う。
有人航空機一覧	有人航空機一覧	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機機体情報を連携する。 ・出力データ項目 FOSTER-CoPilot 番号 ウェザーニューズ表示機番 ※機体識別番号
有人航空機動態情報(ALL)	有人航空機動態情報(全機体)	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機動態情報を全機体分連携する。 ・データ項目 緯度 経度 高度 速度 方角 ウェザーニューズ表示機番 ※機体識別番号 時刻 (YYYY-MM-DD hh:mm:ss) ・データ形式：JSON ・更新間隔： 1 分 ・データ保持時間 最後に連携されてから 10 分経過後に データ連携終了。
有人航空機動態情報(個別機体)	有人航空機動態情報(個別機体)	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機動態情報のうち、特定の 1 機について、過去 60 分からの航跡データを連携する。 ・データ項目 観測時間 観測時間に紐付く緯度 観測時間に紐付く経度 観測時間に紐付く高度 観測時間に紐付く速度 観測時間に紐付く方角 ウェザーニューズ表示機番 ※機体識別番号 時刻 (YYYY-MM-DD hh:mm:ss) ・データ形式：JSON ・更新間隔： 1 分 ・データ取得単位 過去の時間(分)[1～60]を指定する。 ・データ保持時間 最後に連携されてから 10 分経過後に データ連携終了。

(B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

有人航空機動態情報シミュレーションデータを空域情報管理機能へ連携するための研究を実施した。

今回の研究では、有人航空機動態情報シミュレーション登録機能、シミュレーションデータ生成バッチ、および、外部動態連携バッチを開発した。本シミュレータデータは、2020 年度に実施された「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」において、岐阜(岐阜県)、洲本(兵庫県)、五島(長崎県)、志摩(三重県)、稚内(北海道)の実証においても活用され、とくに、岐阜・五島においては、有人航空機動態情報(実機)と並行でシミュレーションデータを活用し、各地の実証シナリオに即した連携を実現することができた。

空域情報管理機能と有人航空機動態シミュレーション機能の仕様を以下(表 2.2.1.10-12 有人航空機動態情報シミュレーション機能個別仕様)に示す。

表 2.2.1.10-12 有人航空機動態情報シミュレーション機能個別仕様

対象機能	機能名	機能説明
共通	認証機能	すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー(URL の get パラメータ)による認証を行う。
有人航空機動態シミュレーション登録	飛行計画データ登録	・データ項目 シナリオ ID 機体番号 時刻(UTC) 出発地点 WayRoot(中間地点) 到着地点 高度 速度 方角 ・特記事項 同時に連携する機体数については制限がない。 ・データ形式：KML 形式
有人航空機動態シミュレーション情報 API	有人航空機動態情報データ	・データ項目 緯度 経度 高度 速度 方角 ウェザーニューズ表示機番 ※機体識別番号 時刻 ・データ形式：JSON ・更新間隔： 1分

有人航空機動態情報APIから連携された有人航空機情報は、FIMSタブレットから、以下、図 2.2.1.10-52FIMS タブレット上で表示された有人航空機動態情報のとおり表示される。

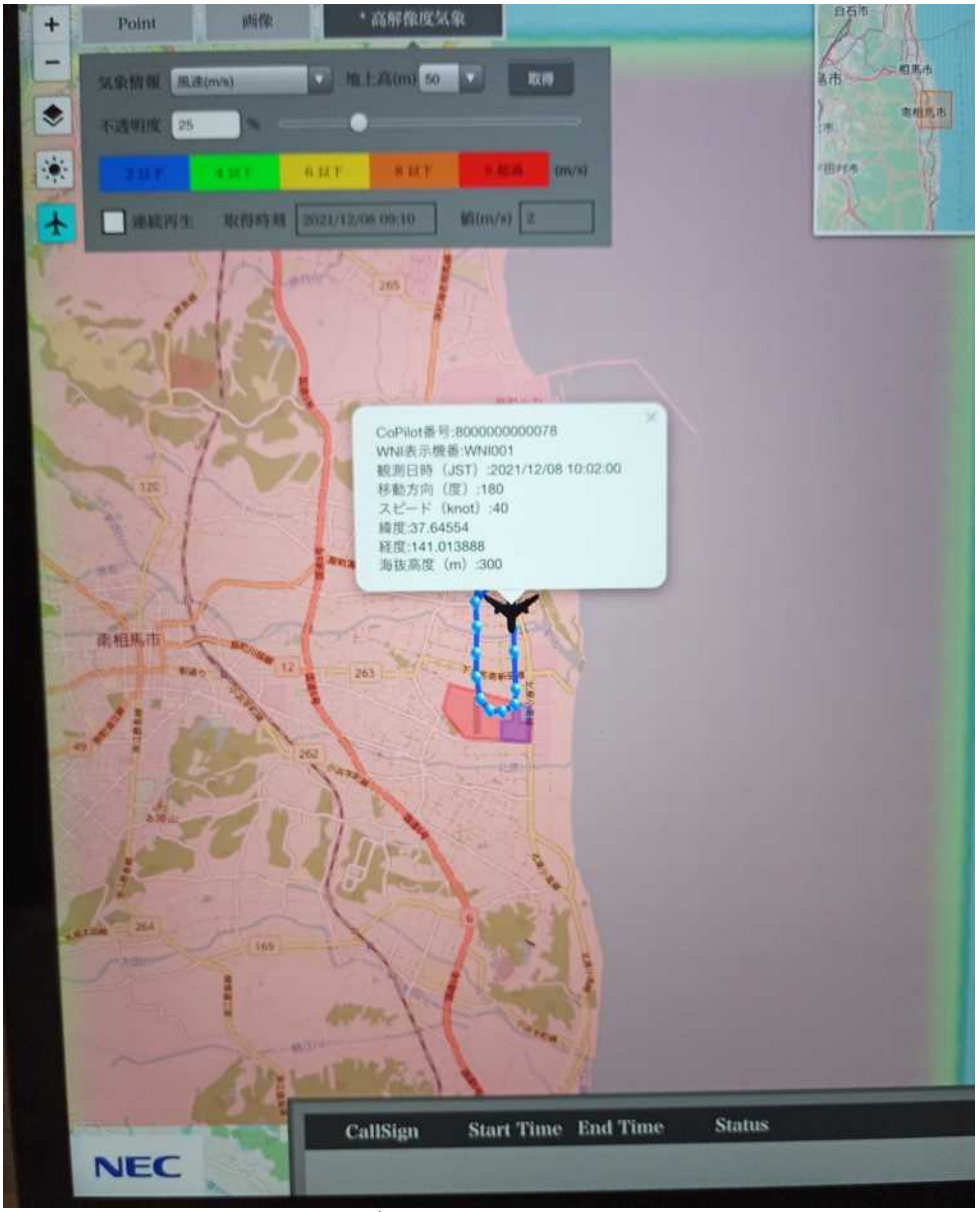


図 2.2.1.10-52 FIMS タブレット上で表示された有人航空機動態情報



図 2.2.1.10-53 有人航空機動態シミュレーション登録機能

有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理の仕様を以下(表 2.2.1.10-13 有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理仕様)に示す。

表 2.2.1.10-13 有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理仕様

機能名	機能説明
シミュレーションデータ生成バッチ	・実行間隔 1 分毎 ・生成条件 サーバ時間(UTC)とシミュレーションデータテーブルに登録されたレコードの日付を参照し、YYYYMMDDhhmm が一致したレコードを API 連携対象として有人航空機動態情報テーブルに登録する。
外部の有人航空機動態情報取込バッチ	外部の有人航空機動態情報を取り込み可能とするバッチ ・実行間隔 データドリブン ・生成条件 外部よりデータ連携された際に有人航空機動態情報テーブルに登録する。

(2) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

ウェザーニューズの保有する有人航空機動態情報、および、外部機関の保有する有人航空機動態情報を統合し、運航管理統合機能に連携することが可能となり、空域管理機能では、有人航空機の動態情報の参照が可能となった。本研究により、日本国内における低空域の有人無人航空機の動態情報を統制管理する道筋ができたといえる。2022 年 6 月より開始される国土交通省のドローン所有者の登録義務化、および Remote-ID 等無人航空機の動態情報を管理する仕組みが構築されれば、より精緻な空域管理が可能になる。また、運航管理統合機能の持つ「接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能」では、無人航空機同士だけではなく、無人航空機と有人航空機の近接アラートが可能になる。

有人航空機の動態情報は、FOSTER-CoPilot 以外にも ADS-B など複数の方式が存在するため、方式の異なる動態情報を統合的に参照するためのインタフェースが必要になると思われる。

(B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

本研究において、有人航空機動態シミュレーション登録と有人航空機動態シミュレーションデータ連携 API を空域間機能と連携することができた。本連携の実現により、2020 年度に実施された「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」でも多くの実証実験プロジェクトに提供が可能となり、実証実験シナリオにおいても、有人航空機接近時のダイバート運用、有人航空機と無人航空機を連携したオペレーションシナリオなど、これまであまり見られなかった有人航空機を意識した実証実験が可能となった。

2021 年 12 月時点において、有人航空機動態シミュレーション登録機能は、各実証実験コンソからの設定依頼という形でウェザーニューズでの設定が必要であった。今後も各地の実証実験が実施されることが予想されるため、有人航空機動態シミュレーション登録機能を実証実験実施者自身で設定し、FIMS タブレットや各社の UTM などから有人航空機動態情報を参照できるようになれば、より柔軟な実証実験や運航オペレーション構築が可能になる。

5.2. 研究開発項目②「サーバ障害発生時の対応に関する開発」
5.2.1. 「障害発生時の飛行計画管理機能に関する開発」（実施者：日本電気株式会社）
(1) 実施事項
(A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究
UASSP/UASO が飛行計画申請を行う段階、または飛行中において FIMS の運用状況をリアルタイムで把握する手段を講じることで、障害発生時における UASSP/UASO の運用負荷低減が見込めるよう研究を行った。障害時おける運用の取り決め及び FIMS の運用状況の情報通知手段として以下の項目について研究し、研究内容に対し検証システムを用い研究の妥当性を評価した。

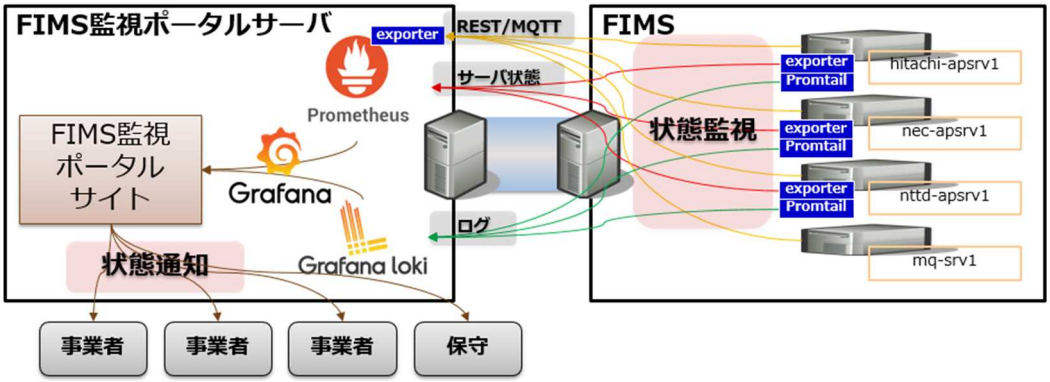


図 2.2.1.10-54 監視ポータルサイトシステム構成図

(B) FIMS 運用状況を常時監視し表示するポータルサイトに関する研究
FIMS のシステム全体及び個別機能に対してのリアルタイムの運用状況を監視・表示するポータルサイトを作成することで UASSP/UASO に対して最新のシステム運用状態を提示させる機能及び妥当性について研究を行った。ポータルサイトに関しては下記の機能について研究・実装することにより、詳細な運用状態提示に関する妥当性の研究を行った。

a) システム全体の運用状況表示機能
現時点における FIMS 全体の運用状況を監視・表示させるための手法及び実装手段に関しての研究を実施した。

b) 機能単位における運用状況表示機能
a) で示した FIMS 全体の運用状況を機能別に細分化することにより、実態に即した状況を UASSP/UASO に対して提示できるような手法及び実装手段に関して研究を実施した。

c) システム管理者向けの FIMS 稼働状況表示機能
UASSP/UASO 向けではないシステム管理者に向けた情報（システムの内部的な稼働状況等）を監視・表示させることで障害発生時における状況把握を、より容易かつ迅速に行うための手法及び実装手段に関して研究を実施した。

d) ユーザ別の情報開示範囲の管理機能
ポータルサイトにアクセスするユーザの属性（UASSP/UASO、システム管理者等）に応じて開示する情報の範囲を制御することにより、ユーザに応じた最適な情報開示を行えるよう研究を実施した。

e) ポータルサイトの UI 機能

a)～d)までの各要素を踏まえた上で、FIMS の運用状況把握に最適な UI についての研究を実施した。

(C) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究

後述する飛行計画分散技術の研究と連携し、FIMS が分散化されている前提において、(A)で研究を行ったポータルサイトにてそれぞれの FIMS の運用状況を監視・表示するための研究を実施し、将来的に分散化台数が増大した場合も考慮し拡張性についても研究を実施した。合わせて分散 PF 自体の運用状況も把握できるよう監視を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

(D) 障害発生時における UASSP/UASO に対する飛行計画管理の運用に関する研究

FIMS に何らかの障害が発生している状況において、飛行計画管理機能が UASSP/UASO が行う飛行計画申請に対してどのように振る舞うべきかの研究を実施した。

(E) FIMS の障害情報の UASSP/UASO に対する直接通知の研究

FIMS に何らかの障害を検知した際に(A)にて研究を行ったポータルサイトに依らずダイレクトに UASSP/UASO に対する通知するための手段について研究を実施した。

(2) 研究を通じた成果

(A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究

FIMS 運用状況の通知手段として図 2.2.1.10-55 および図 2.2.1.10-56 に示す FIMS の運用状況ポータルサイトを作成し、FIMS 障害発生時に UASSP/UASO の運用に求められる要件の整理を行い、障害発生時における監視・表示手法に関する研究を行った。



図 2.2.1.10-55 FIMS 運用状況監視ポータルサイト(TOP ページ)

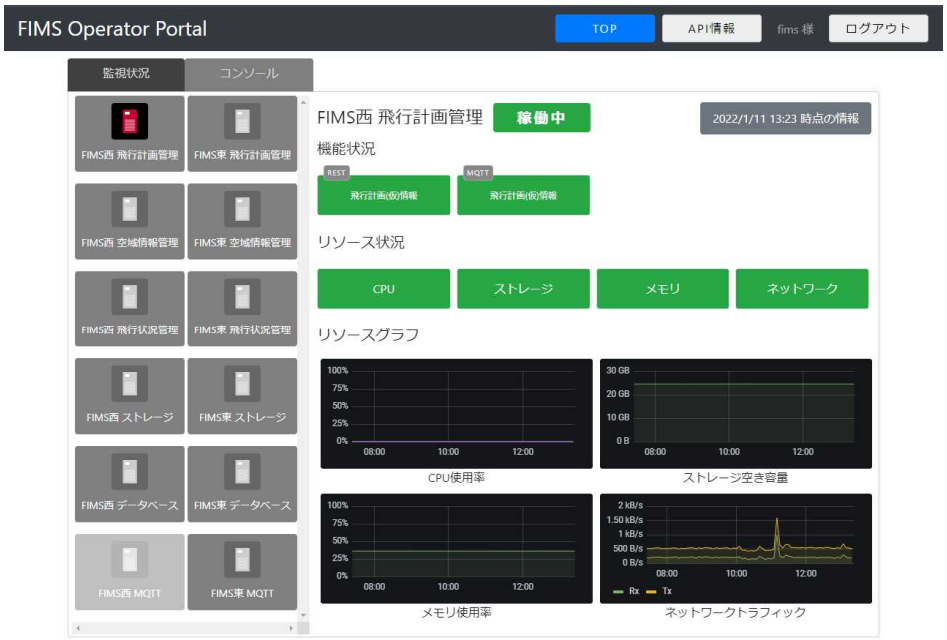


図 2.2.1.10-56 FIMS 運用状況監視ポータルサイト(システム管理者向けページ)

(B) FIMS 運用状況を常時監視し表示するポータルサイトに関する研究

a) システム全体の運用状況表示機能



図 2.2.1.10-57 FIMS 運用状況

サーバの起動状態および各機能の稼働状態を要約した「FIMS 運用状況」という項目を用意し、一見して全体的な運用状況が把握できるようにした。

本項目が「稼働中」であればすべての機能が問題ないことを示し、「障害中」であれば何らかの機能で問題があることを示す。「障害中」の場合には、詳細な項目を確認することで問題を把握できる。このように段階的な表示項目とすることで必要以上の監視作業が発生しないよう設計した。

b)機能単位における運用状況表示機能



図 2.2.1.10-58 機能単位における運用状況

a)に記載の項目が「障害中」の場合には具体的にどの機能で問題があるか判断できるように機能単位の運用状況表示機能を実装した。

主に Prometheus を利用して様々な条件を複合的に、かつ周期的に監視できるよう実装した。

・REST API を利用した機能（飛行計画情報、空域問合わせ情報など）
各機能に対して HTTP のダミーリクエストを送信して監視するように実装した。機能ごとに、エラー回数や応答時間の閾値を設定することで、より現実的な機能ごとの監視方法を実装した。

・MQTT を利用した機能（有人機動態情報、近傍機体情報など）
当該機能については、MQTT ブローカーの監視のみでは機能の稼働状況が判断できないと検討し、ブローカーの監視と併せて各機能のプロセス状況やログに出力される詳細情報を分析し、より現実的な機能ごとの監視方法を実装した。

c)システム管理者向けの FIMS 稼働状況表示機能



図 2.2.1.10-59 システム管理者向けの FIMS 稼働状況

システム管理者向けには Prometheus の活用に加え、障害の発生要因をグラフィカルに認識できるように、リソース情報表示の為「Grafana」およびログ情報の表示の為「Grafana Loki」を採用した。

CPU/メモリ/ストレージ/ネットワークといったリソースをグラフにて迅速に状況把握できるように実装した。

d)ユーザ別の情報開示範囲の管理機能

近年の WEB アプリケーションで採用実績の多い Django フレームワークを利用することで、ユーザ管理およびアクセスコントロールを実装した。

それによって、認証機能の設計にコストを割かずビジネスロジック（監視機能など）の設計・実装に注力できた。

e)ポータルサイトの UI 機能

各表示項目に「段階（要約した項目、機能ごとの項目、ユーザごとの項目など)」を持たせることで、必要以上の監視作業が発生しないように、また適切な担当者が適切な項目を確認できるように設計を行った。

他システムでも採用実績の多いオープンソースのフレームワークを採用することで、実装コストの最適化のみならず、親和性が高く直感的な UI デザインとなるように（Bootstrap フレームワークによって）実装した。

(C) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究



図 2.2.1.10-60 分散化運用状況

分散機能の監視においても、問題発生の有無を要約した項目「分散化運用状況」を用意することで、一見した監視が行えるように実装した。

分散化運用状況が「障害中」表示の場合には各機能の監視項目を確認することで、具体的な問題個所を把握できるように実装することで、前記した「FIMS 運用状況」と同様の「段階的」な UI でユーザビリティを考慮した設計を行った。

また、Prometheus により監視項目をコンフィギュレーション化することで、プログラムのソースコードではなく設定の変更により分散化台数の増大に対応でき、拡張性の容易さを考慮した。これによる別の恩恵として、例えば実証実験などで判明した問題のフィードバックを迅速に対応することができ、プログラム変更によるソースコードコンパイルや実行モジュールのデプロイといった煩雑な作業からも解放され、運用面にも寄与した。

非常に利便性の高い機能が様々あるが、それらがオープンソースのアプリケーション（Prometheus、Grafana）によって実現することを研究の成果として得ることができた。

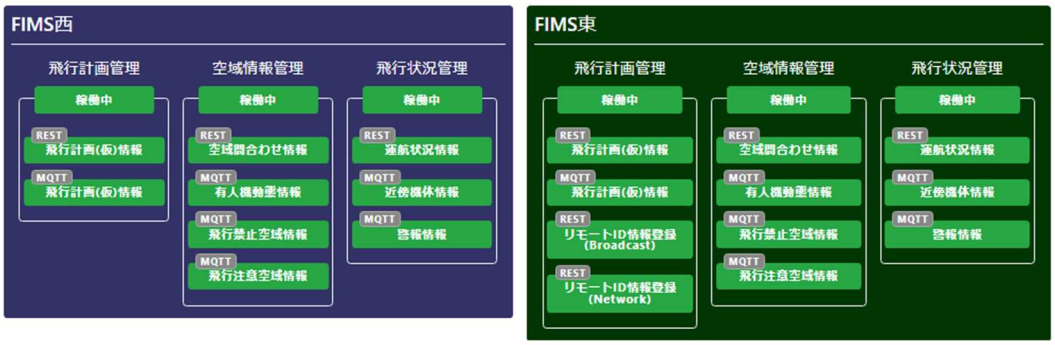


図 2.2.1.10-61 監視ポータルサイトのレイアウト

画面レイアウトにおいても、Bootstrap フレームワークによって分散化台数の増加によるレイアウト変更が容易となった。

具体的にはフレームワークによって、画面項目の増加によるレイアウト変更を自動で調整し、レイアウト崩れの問題が解消された。

本研究のように構成が変更しうるシステムにこそオープンソースで実績のあるフレームワークを活用することが有意義であることが認識できた。

(D) 障害発生時における UASSP/UASO に対する飛行計画管理の運用に関する研究

障害発生時および運用に関する連絡事項をユーザへ通知する機能として、「お知らせ」という掲示板機能を実装した。

障害が発生した場合には、ユーザから運用管理者への連絡が多くなる（障害の具体的状況や調査の進捗状況、復旧めどなどを確認したい為）。それにより、障害の調査作業などと併せて運用管理者の作業負荷が高まってしまう場合がある。「お知らせ」機能により障害発生状況の 1 次情報をユーザへ共有することによって、運用管理者への直接的な連絡回数が減る。

「お知らせ」機能があることで、運用管理者の作業負荷低減が見込めると思われる。

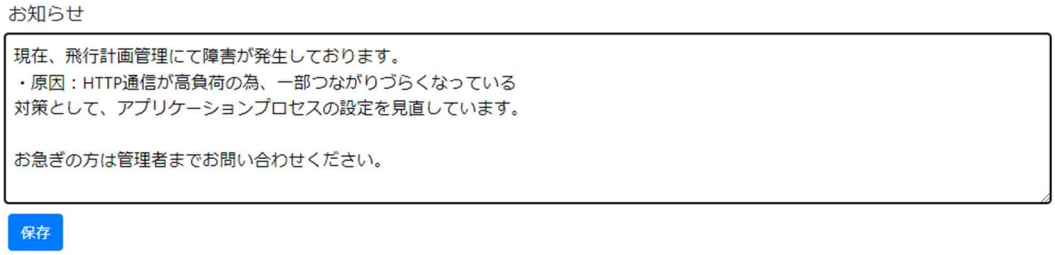


図 2.2.1.10.62 お知らせ機能

(E) FIMS の障害情報の UASSP/UASO に対する直接通知の研究

ポータルサイトはアクセスすることで監視ができるため、能動的な監視作業が必要となる。そのため、直接通知によって即座に障害情報を把握できるように検討を行った。

ポータルサイトで活用している Prometheus に加え、「Alertmanager」を組み合わせることで Webhook やメールなどで障害発生および復旧を直接通知する仕組みを研究した。

Alertmanager と Prometheus の組み合わせにより通知することで、ポータルサイトの監視項目と一貫性があり、通知をトリガーとしてポータルサイトを確認して詳細な障害情報を把握するといったシームレスな運用が可能となることが研究の成果となった。

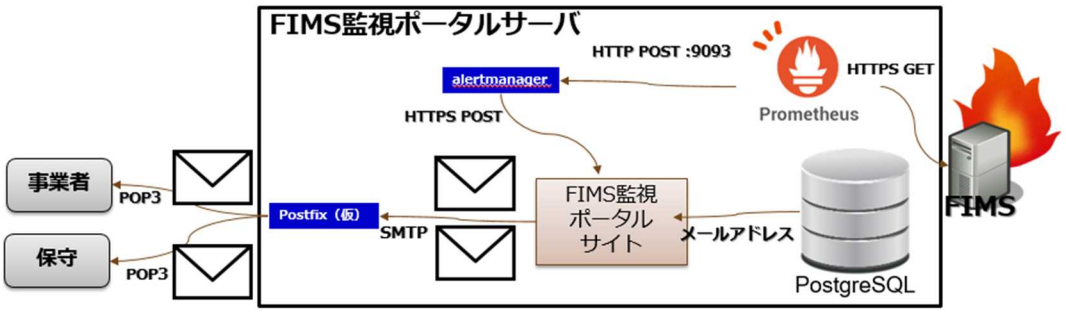


図 2.2.1.10-63 直接通知の構成図

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究

FIMS 運用状況ポータルサイトに表示する各情報についてポーリング間隔が 1 分間のため、手動更新を行わない限り障害情報の取得に即時性が欠ける。そのため監視ポーリング間隔の見直し、もしくは情報取得手段の見直しが必要である。

(B) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究

a)長距離飛行を見据えたエリア間をまたぐ飛行計画の分散処理

飛行計画分散の手法が現状、各分散されたエリア定義に重複部分が必須の状態となっており、障害発生時重複部分を跨ぐ飛行計画については非障害の FIMS エリアにまで影響が及んでしまう。飛行計画の新たな分散手法の検討が必要である。

b)オープンソースにおけるライセンスの認識

オープンソースにおけるシステム構築はさまざまな問題と懸念も存在することが分かった。

オープンソースのソフトウェアにはライセンスが設定されている。

少なくないオープンソースプロジェクトは比較的自由な利用が可能なライセンスが適用されている。

しかしながら、今回は特に Grafana Loki において、そのライセンスに関して課題事項が発生した。

具体的には分散化やサーバ増加にともなう監視項目の増加によって、ログ収集対象が増加した。その際に、Grafana Loki の潜在的なバグでメモリーリークすることが判明。あるバージョンからそのバグが解消されていることが分かったが、そのバージョンを境にライセンスが変更されていることも判明。

Apache License（改変が無い前提でサーバに配置した利用で、当該ライセンスが派生しない）から AGPLv3（改変が無い前提でもサーバに配置した利用で、当該ライセンスが派生しうる）に変更となっており、利用について慎重にならざるを得なかった。

設定とプログラムの工夫で以前のバージョンにおける問題を回避する対策を講じたがこのような問題に直面しることも認識できる研究となった。

(C) 障害発生時における UASSP/UASO に対する飛行計画管理の運用に関する研究

現状飛行計画管理に関連したシステム障害時は一律飛行計画管理の登録・更新の停止をしているが、障害の状況に応じてより柔軟な対応が必要。

より詳細な障害ユースケース単位での運用方法の策定。

(D) FIMS の障害情報の UASSP/UASO に対する直接通知の研究

現状具体的な UASSP/UASO とのインタフェース等の策定が行われておらず、どのような内容をどのような手法で通知するかの詳細な取り決めが必要。

FIMS-UASSP/UASO 間の障害情報の通知手法及びインタフェースについて検討。

5.2.2. 「障害発生時の空域管理機能に関する開発」（実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

(1) 実施事項

(A) 障害発生時の運用フローの整理、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討

運航管理統合機能の社会実装に際しては、社会インフラとして高い可用性・耐障害性を有したシステムであることが求められる。その上で、万が一運航中に障害が発生した場合でも運航を継続あるいは安全に中断できるよう、緊急時の運用や業務継続性について十分に考慮されたシステムを構築しなければならない。本研究においては、運航管理統合機能の空域管理機能に障害が発生した場合の業務継続性を考慮した運用フロー・機能・実装方式について、整理・検討した。

(B) 必要機能・実装方式の検討結果に基づく機能設計

前項（A）の検討結果に基づき、FIMS 監視ポータルとのインタフェース設計（障害検知インタフェース）の機能設計を実施した。

(C) 障害発生時の対応機能の実装、実証実験を通じた運用の妥当性および機能の有効性の検証

前項（B）の設計結果に基づき、障害監視機能を実装した。福島ロボットテストフィールドで運航管理統合機能全体としての実証実験を実施した。実証実験では、運用時に障害が発生した場合を模擬し、運航管理統合機能で障害検知してから運航管理機能/運航者と連携し、運用中の無人航空機が運航停止するまでの検証を行い、運用の妥当性・機能の有効性を確認した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 障害発生時の運用フローの整理、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討

本研究では、当社担当である空域管理機能に障害が発生した場合の業務継続性を考慮した運用フロー・機能・実装方式について、整理・検討した。

まず初めに、障害発生の有無を監視する「監視対象」について検討し、空域管理機能として構築した業務 AP を監視対象とするほか、運航管理統合機能全体としてミドルウェアや OS なども状態監視をする場合には、監視に資する情報提供が必要と整理した。また、当社で監視対象とする業務 AP については、運航管理統合機能内の機能間の関連を整理し、当社が開発・提供する API のうち、具体的にどの API を監視する必要があるかまで明確化した。

次に、上記で整理した監視対象となる API について、障害発生時の運用フローを整理し、どの API にどのような障害が発生した場合に、運航管理統合機能および運航管理機能でどのように対処すべきかを検討した。検討した結果を以下に示す。なお、運航管理機能への障害通知の仕組みは運航管理統合機能全体で共通的に利用する機能として要件を定め、FIMS 監視ポータルサイトで状態通知する方針とした。

表 2.2.1.10-14 障害発生時の運用フロー

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
1	飛行計画（仮）情報_飛行計画申請	飛行禁止空域管理機能（空域問合わせ）から応答がない	運航管理機能から飛行計画申請ができない。	飛行計画管理機能に「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行計画管理機能から"条件付き承認"として返却する。	運航管理統合機能から運航管理機能に対して"条件付き承認"として返却する。飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
		飛行禁止空域管理機能（地表障害物問合わせ）から応答がない		飛行計画管理機能に「地表障害物の提供」ができないことを通知する		
		飛行禁止空域管理機能（標高データ問合わせ）から応答がない		飛行計画管理機能に「標高データの提供」ができないことを通知する		
2	運航状況情報	飛行禁止空域管理機能（空域問合わせ）から応答がない	運航管理機能から運航状況をモニタリングできない、運航管理機能で飛行禁止空域等との接近状態がわからない（アラート通知されない）	接近状態管理機能に「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	空域情報（Rest API）および地表障害物は静的なので運航継続可能。 空域情報（動的に設定されPub/Subで配信されるもの）および有人機情報はリアルタイムで更新されるので、アラートを発し制限付き運用とする。
		飛行禁止空域管理機能（地表障害物問合わせ）から応答がない		接近状態管理機能に「地表障害物の提供」ができないことを通知する		
		有人航空機管制システム連携機能から応答がない		接近状態管理機能に「有人機航空管制システム情報の提供」ができないことを通知する		
3	空域問合わせ情報	飛行禁止空域管理機能（空域問合わせ）から応答がない	運航管理機能から空域情報が参照できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
4	有人機動態情報	飛行禁止空域管理機能から有人機動態情報が送信されない	運航管理機能で有人機動態情報をモニタリングできない、運航管理機能で有人航空機との接近状態がわからない（アラート通知されない）	—	飛行禁止空域管理機能から「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。
			運航管理統合機能の飛行状況管理で有人機動態情報のモニタリングおよび衝突検知ができない	接近状態管理機能に「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	アラートを発し制限付き運用とする。
5	飛行禁止空域情報	飛行禁止空域管理機能から飛行禁止空域情報が送信されない	運航管理機能で飛行禁止空域情報を受信できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
6	飛行注意空域情報	飛行禁止空域管理機能から飛行注意空域情報が送信されない	運航管理機能で飛行注意空域情報を受信できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
7	空域編集	飛行禁止空域管理機能から空域情報が送信されない	運航管理統合機能の飛行計画管理機能で、空域侵害および地表障害物干渉チェックが実施できない。	飛行計画管理機能に「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
			運航管理統合機能の飛行状況管理機能で、空域侵害および地表障害物干渉チェックが実施できない。	接近状態管理機能に「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。
			運航管理機能で最新の空域情報が参照できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。
8	空域登録	飛行禁止空域管理機能（空域情報登録）から応答がない	No.1～3, 5～7と同様	接近状態管理機能に「空域情報の登録」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
9	有人航空機動態登録	動態情報（有人機）が登録できない	No.4と同様	接近状態管理機能に「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	アラートを発し制限付き運用とする。
				—	有人航空機動態登録機能・飛行禁止空域管理機能から「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

上記で整理した運用フローに基づき、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を実施した。機能・実装方式の検討に当たっては、運航管理統合機能全体で共通の方式を採用するよう整合を取りながら進め、FIMS 監視ポータルの仕様についても考慮した。監視対象ごとの監視方式についての検討結果を以下に示す。

表 2.2.1.10-15 監視方式検討結果一覧

項番	サーバ名	監視対象	個別監視方式		
			API 監視方式	ログ監視方式	プロセス監視方式
1	nttd-apsrv1 nttd-apsrv2	業務 AP_(内 03/外８)空域問合わせ (RestAPI)	○		
2		業務 AP_(内 06)地表障害物問合わせ (RestAPI)	○		
3		業務 AP_(内 09)標高データ問合わせ (RestAPI)	○		
4		業務 AP_(内 22)有人機ターゲット情報参照要求 (RestAPI)	○		
5		業務 AP_(外 10)有人機動態情報 (Pub/Sub)		○	
6		業務 AP_(外 11)飛行禁止空域情報 (Pub/Sub)		○	
7		業務 AP_(外 12)飛行注意空域情報 (Pub/Sub)		○	
8		業務 AP_(内 28)空域登録 (RestAPI)	○		
9		業務 AP_(機能 5,6)有人航空機動態登録 (FTP)		○	
10		MW_Tomcat			○
11	nttd-dimpsrv1	業務 AP_分散情報管理問合わせ情報 (RestAPI)	○		

(B) 必要機能・実装方式の検討結果に基づく機能設計

前項（A）の検討結果に基づき、FIMS 監視ポータルとのインタフェース設計（障害検知インタフェース）の機能設計を実施した結果を以下に示す。

表 2.2.1.10-16 監視プロダクト

項番	プロダクト名	バージョン	機能概要
1	Prometheus	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	メトリクスの収集・保存・管理を行う。
2	Grok exporter	0.2.3	ログをメトリクスに変換する。
3	Blackbox exporter	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	HTTP サービスをモニタリングし、メトリクスを取得する。
4	Process exporter	0.7.5	プロセスをモニタリングし、メトリクスを取得する。
5	Grafana	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	Prometheus サーバからのアラートを取り込み、メール、チャットメッセージ、オンコール呼び出し等の通知に変換する。

表 2.2.1.10-17 プロダクトの配置構成

項番	機器種別	Prometheus	Grok exporter	Blackbox exporter	Process exporter	Grafana
1	FIMS-AP サーバ	-	●	-	●	-
2	FIMS 監視ポータル	●	-	●	-	●
3	FIMS-DIMP サーバ（※）	-	-	-	-	-

（※）FIMS-DIMP サーバの監視については、API 監視方式を採用し、監視に必要となる Blackbox exporter は FIMS 監視ポータルのみに配置するため、プロダクトの配置はなし。

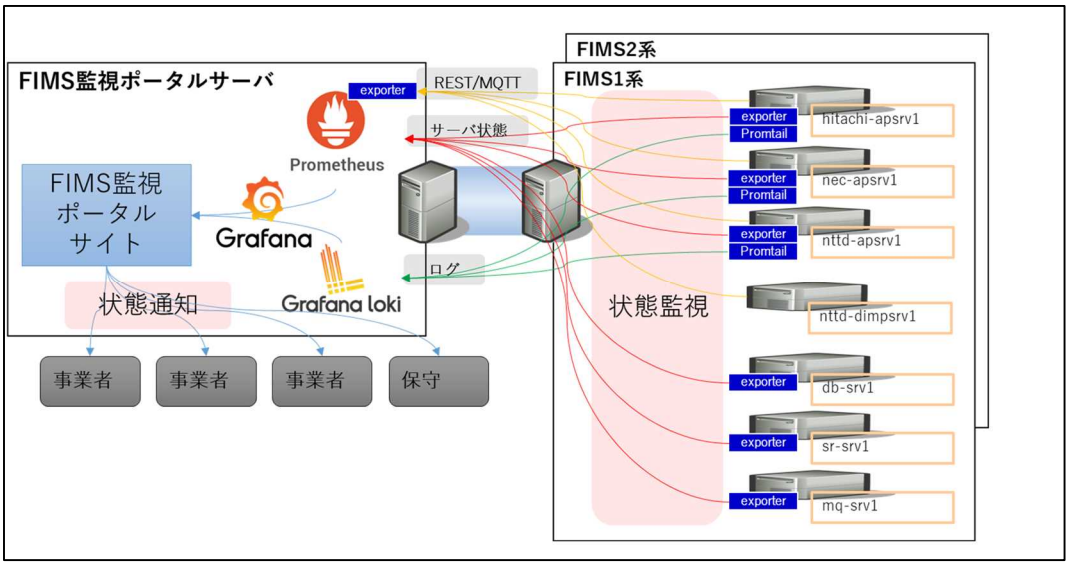


図 2.2.1.10-64 システム監視構成図（全体）

表 2.2.1.10-18 監視項目と実現するプロダクト

No.	監視項目	監視機能	プロダクト	
			Manager	Agent
1	API 監視	API の死活監視	Prometheus	Blackbox exporter
2	ログ監視	AP のエラーログ監視	Prometheus	Grok exporter
3	プロセス監視	Tomcat プロセス監視	Prometheus	Process exporter

また、監視項目（API 監視、ログ監視、プロセス監視）ごとの処理方式および使用ポート、プロトコルについての設計結果を以下に示す。なお、監視項目（監視方式）の対象となる API については、前項（A）の表 2.2.1.10-15 に示すとおりである。

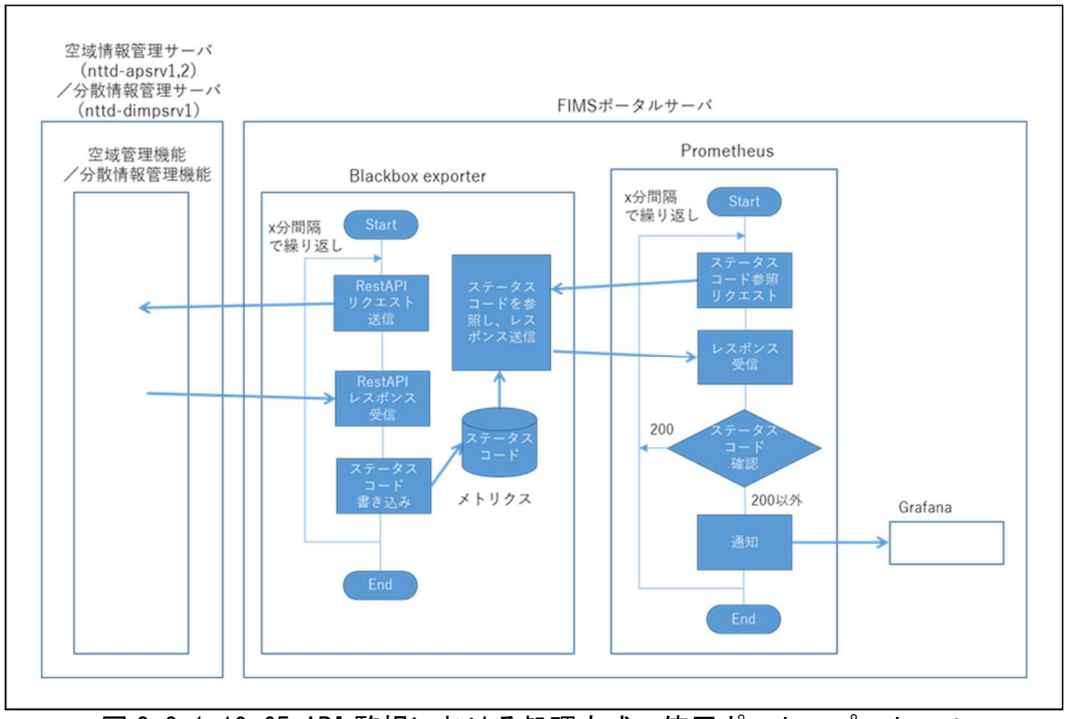


図 2.2.1.10-65 API 監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

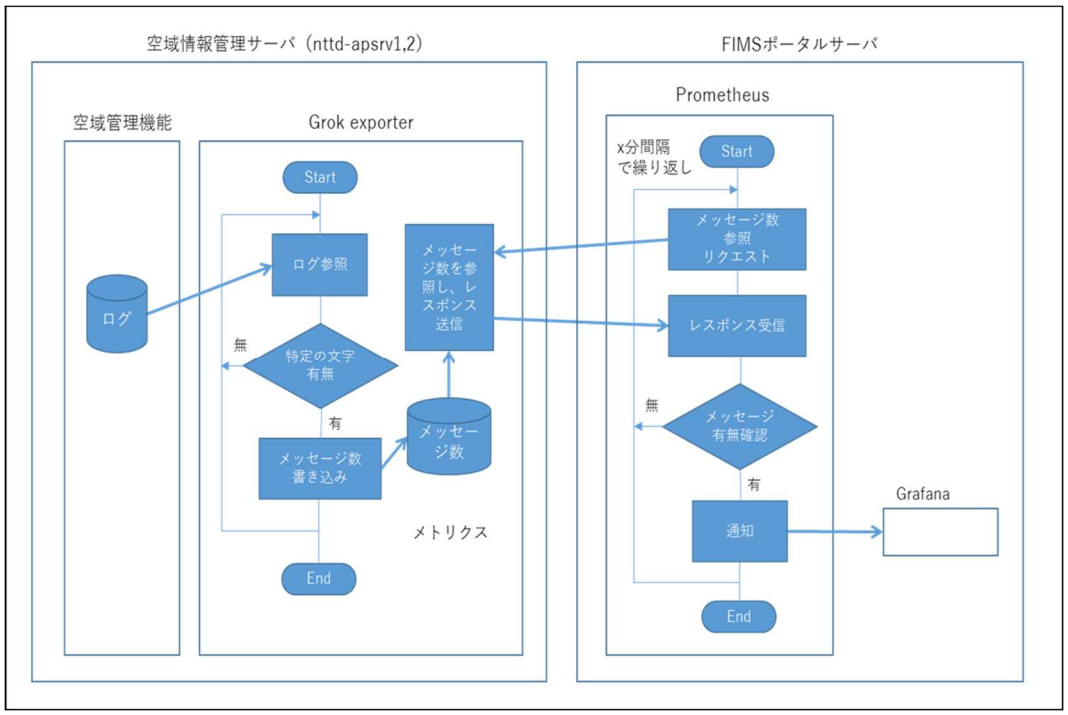


図 2.2.1.10-66 ログ監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

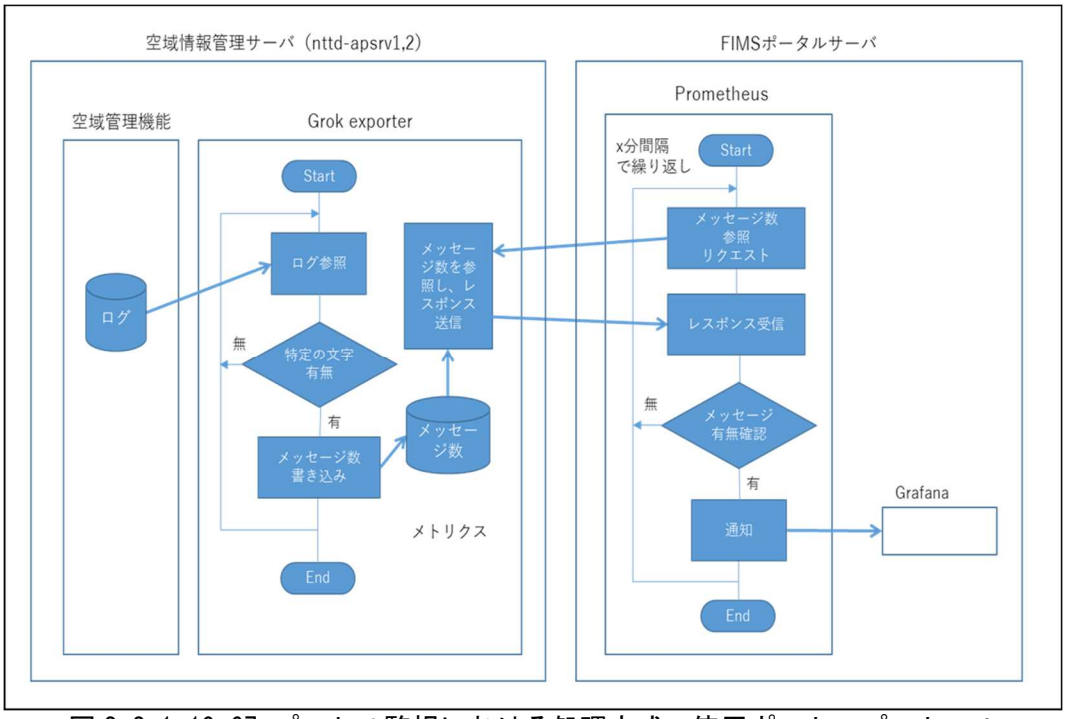


図 2.2.1.10-67 プロセス監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

(C) 障害発生時の対応機能の実装、実証実験を通じた運用の妥当性および機能の有効性の検証

前項（B）の設計結果に基づき、障害監視機能について実装した。単体試験および運航管理統合機能全体として結合試験を実施したのち、福島ロボットテストフィールドで実証実験を実施した。実証実験では、運用時に障害が発生した場合を模擬し、運航管理統合機能で障害検知してから運航管理機能/運航者と連携し、運用中の無人航空機が運航停止するまでの検証を行い、運用の妥当性・機能の有効性を確認した。

空域管理機能で障害が発生・検知すると、FIMS 監視ポータル上で障害状況が以下の図のように可視化される。

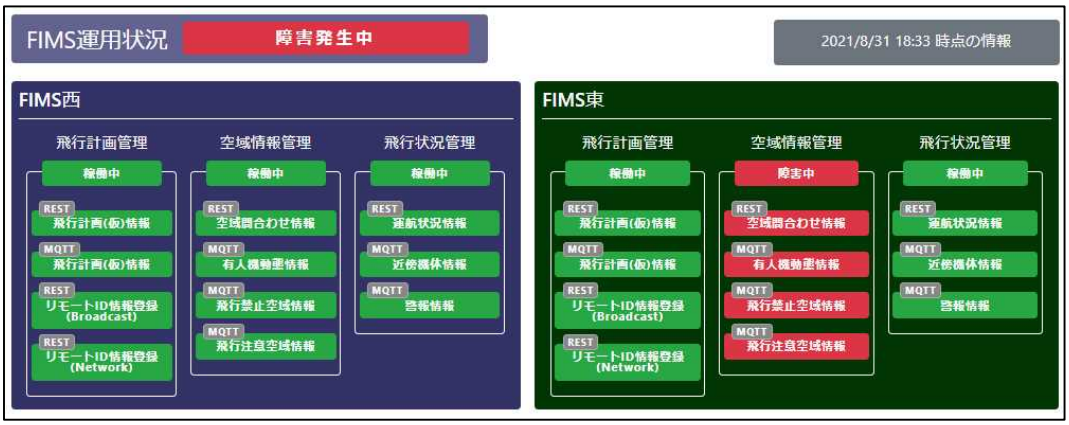


図 2.2.1.10-68 空域管理機能で障害が発生した際の FIMS ポータル（例）

実証実験では、FIMS 監視ポータル上での障害発生を確認し、運航者が運航管理機能にて飛行中の無人航空機へ飛行中断を指示し、上空で停止（ホバリング）させた。

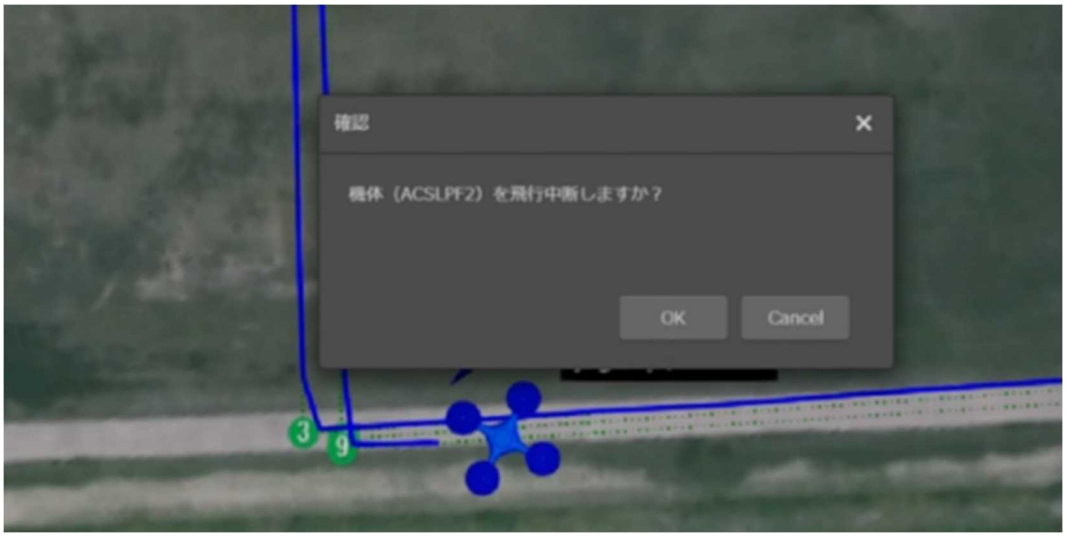


図 2.2.1.10-69 運航管理機能での飛行中断指示
（出典：openstreetmap.org）

さらに上空ホバリング中に、周囲の安全確認をおこなった後、運航者が運航管理機能にて緊急リターンの指示を行い、離発着地点まで戻して着陸させた。

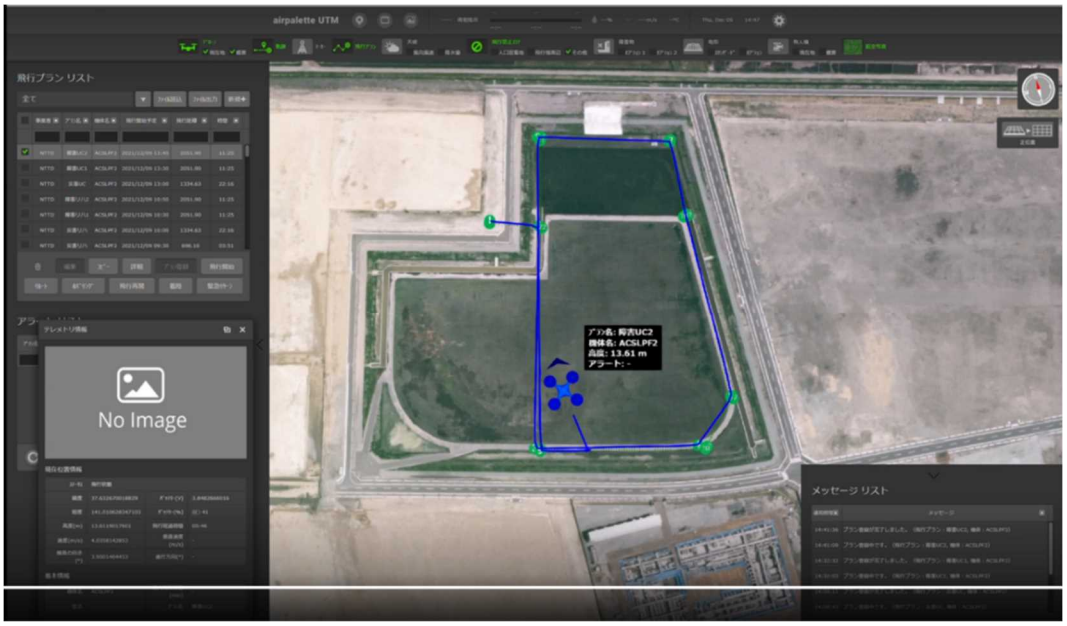


図 2.2.1.10-70 安全確認後、緊急リターンにて無人航空機を戻す場面
（出典：openstreetmap.org）

今回の実証実験において、FIMS 監視ポータル画面で障害検知してから、運航者が飛行中の無人航空機を停止させるという一連の運用の流れを確認し、運用の妥当性・機能の有効性について確認することができた。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、運航管理統合機能の空域管理機能に障害が発生した際にも安全に運航を

完了するために必要な運用および機能の検討を行い、障害監視機能を実装した。また、実証を通して無人航空機の運航中に運航管理統合機能に障害が発生した場合を模擬し、今回検討・構築した機能が、運航管理統合機能の障害発生時にも安全に運航を完了することに資するものであることを確認した。

今後は、より安全な運航を目指すため、障害検知から運航者が必要な対処を打つまでの全体的な時間短縮に向けて検討を深める必要がある。

5.2.3. 「障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発」（実施者：株式会社日立製作所）

(1) 実施事項

(A) 外部サービス監視ツールの導入、FIMS 監視ポータル障害検知時の警報通知機能の開発

FIMS 自身の障害監視を実施し、飛行状況管理機能の各機能及び飛行状況管理サーバ自体のサービス全停止の検出を可能とした。

外部監視サーバでの FIMS の動作状況の監視結果を、飛行状況管理機能内の警報機能にて警報化し、UASSP に配布する機能を実装の上で、警報の有効性とリアクションを検討した。

(B) 接続装置障害発生時の通知機能の開発

FIMS に接続される、SDSP/UASSP についても、通信途絶、機器自体の障害の発生が想定される。これら障害の検知方法の検討、障害検知時の警報化、警報発生時のリアクションについてそれぞれ実装、検討、検証を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

安全な飛行を担保するためには、飛行計画管理にて調整された飛行計画通りに無人航空機が飛行し、かつ運航管理統合機能のハードウェア・ソフトウェアが正常に動作している必要がある。しかし、飛行中に機器の故障が発生するなどの外部要因により、計画通りの飛行が行われない場合や、運航管理統合機能ですべてを管理できない場合がある。ハードウェアやソフトウェアに障害が発生した場合、UASSP、UASO、UAS に対し、その旨を伝達し安全に運航出来るよう促す必要がある。

弊社では、障害に関するモニタリングを以下の 3 つのテーマに基づき実施した。

(A) 外部サービス監視ツールの導入、FIMS 監視ポータル障害検知時の警報通知機能の開発

日本電気株式会社が管理する外部サービス監視ツール（prometheus）についての情報を整理した結果、ツールの監視項目ごとに警報の発生／解消の状態や時刻などの情報を保持しており、それを webhook 形式で連携できることが判明した。



図 2.2.1.10-71 障害発生時の運航管理統合機能の監視ポータル画面

障害発生時の運航管理の観点から運航管理統合機能の監視ポータルにて障害を検知した場合、障害の種別によって弊社 API の機能停止や管理画面の挙動不良、UASSP・他システムへのインタフェースの授受に問題が発生する等の可能性があるため、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、無人航空機の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

FIMS 監視ポータル障害検知時は弊社 API でそれを検知し警報を発出・通知する機能、FIMS 監視ポータル障害復旧時は障害ステータスを更新する機能の検討・実装を行った。また、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。実施した内容及び成果について、詳細を以下に示す。

a)FIMS 監視ポータル監視の整理・API 通知までのフロー策定

監視サーバにて利用する障害監視ツールの構成、運航管理統合機能サーバにて用意する弊社 API 構成の整理を行い、通知を行うまでのフローを策定した。以下に障害通知のフローを示す。

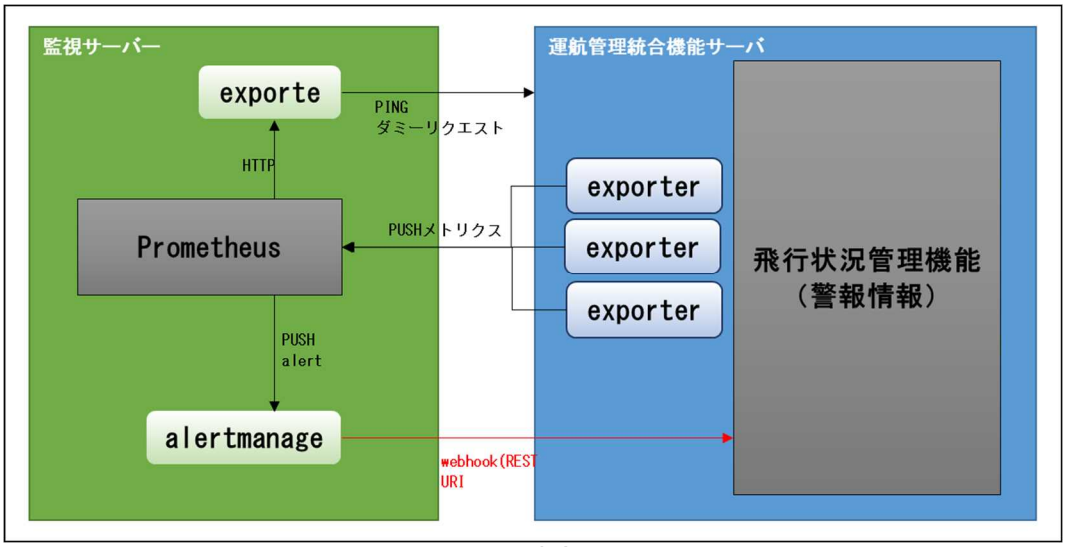


図 2.2.1.10-72 障害通知フロー図

b)API に通知される警報種別の策定

監視サーバにて行う監視のうち、API に通知する警報の整理・選定を行った。以下に通知される警報の一覧を示す。警報は運航管理統合サーバに関連するハードウェア障害、弊社 API に関連するソフトウェア障害の 2 つに区別している。

表 2.2.1.10-19 警報一覧

警報種別	インタフェース名	監視種別
ハードウェア障害	ー（リソース状況）	CPU 使用率監視
		ストレージ空き容量監視
		メモリ使用率監視
		ネットワークトラフィック使用量監視
ソフトウェア障害	飛行状況管理	REST API 監視
	近傍機体情報	ログ監視
	警報情報	ログ監視
	接近状態判定	ログ監視
	警報通知	ログ監視
	UASSP 連携	ログ監視

c)外部サービス監視ツール-運航管理統合機能間インタフェースの整理

外部サービス監視ツールで検知した障害に関する情報を、弊社警報 API にて通知をすることを前提として、外部サービス監視ツール - 飛行状況管理間 API の情報要素を整理した。整理した要素を下記に示す。

固定的な情報
警報ステータス
警報名
警報検知サーバ名
警報種別
警報発出開始日時
警報発出終了日時
※運航管理統合機能で取り扱う情報のみ抜粋

図 2.2.1.10-73 障害通知情報要素

d)情報有用性の実証

定義した外部サービス監視ツール-運航管理統合機能間インタフェースを実装した運航管理統合機能の監視ポータル部のプロトタイプを構築した。また、福島 RTF にて実証試験を行い、動作検証及びインタフェースで受信したデータの有用性を評価した。



図 2.2.1.10-74 運航管理統合機能で障害発生時の飛行状況管理画面
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-75 監視サーバ、運航管理統合機能間の構成イメージ
（出典：openstreetmap.org）

e)運航管理統合機能の障害検知時のリアクション検討

飛行状況管理機能に異常が発生した場合、安全な飛行に支障をきたす可能性がある。福島 RTF での実証試験では、試験的に運航管理統合機能で、飛行状況管理機能の障害を発生させ、飛行している無人航空機に対して各障害が発生した場合の、リアクションとして最適な運用を検証した。

① ハードウェア障害発生時のリアクション

表 2.2.1.10-20 ハードウェア障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
そのまま飛行	○	基本的にそのまま飛行で問題なし。リソース枯渇で API に異常が発生した場合は着陸等リアクションを取る必要あり。
回避	×	安全性の観点から、飛行計画から外れる飛行をするリアクションは妥当ではない。
ホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、飛行時間が伸びることにより、バッテリー切れ等による墜落リスクが高まるため、最適ではない。
離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが、飛行計画を外れる経路を飛行する可能性があり、最適ではない。
着陸	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、着陸に移行する行為がリスクを伴うため、最適ではない。

FIMS 監視ポータルからのハードウェア障害通知を、警報で通知できる状態の場合は、基本的に飛行状況管理機能の全通知機能が動作可能な状態であると判断できるため、そのまま飛行で問題はない。

② ソフトウェア障害発生時のリアクション

表 2.2.1.10-21 ソフトウェア 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
そのまま飛行	○	（飛行状況管理以外の場合） 飛行状況管理機能に異常がない場合は、致命的な障害ではない事が考えられるため、そのまま飛行を継続して問題なし
回避	×	運航管理統合機能上で無人航空機の動態を捕捉できない可能性があるため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
ホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、飛行時間が伸びることにより、バッテリー切れ等による墜落リスクが高まるため、最適ではない。
離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが、無人航空機の移動が伴うため最適ではない。
着陸	○	（飛行状況管理の場合） 着陸後、運航管理統合機能の監視ポータルで警報の解消を確認の上で、飛行を再開する。

飛行状況管理の API が異常である場合、テレメトリ収集/衝突判定/判定結果の正しい配信が行われていない可能性があるため、安全上のリスクが発生しうる。このため、可能であれば着陸が望ましい。

(B) 接続装置障害発生時の通知機能の開発

障害発生時の運航管理の観点から、飛行状況管理機能に接続している各機能が通信途絶した場合、機能によって飛行状況 API にも通知を行い、無人航空機は最適なリアクションをとる必要がある。接続している機能（装置）に関して情報の整理を行い、飛行状況管理機能で通知を行う対象機能について検討を行った。

検討を行った結果、① UASSP が接続時に利用している MQTT、② SDSP（降雨・風速情報提供機能）が接続時に利用している REST API の 2 つを対象とすることにした。

前述の機能（装置）が通信途絶した場合に飛行状況管理機能でそれを検知し警報を発報・他システムに通知する機能を、接続再確立時は障害ステータスを更新する機能の検討・実装を行った。

a)UASSP 障害発生時の通知機能の開発

UASSP が何らかの要因によって MQTT との通信が途絶した場合、該当 UASSP(A)が関連する無人航空機を運航管理統合機能で管理することが出来なくなる。また、UASSP（A）が管轄する無人航空機の動態情報を、運航管理統合機能上で捕捉できなくなるため、場合によっては、正常に通信が確立している他 UASSP（B）管轄にて運航中の無人航空機の飛行を安全に行えなくなることが想定される。

また、運航中の無人航空機の安全な運航に問題がある場合（問題が発生する兆候がある場合を含む）には、UASSP（B）に対し、警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

上記要件を念頭に UASSP 障害発生時の通知機能のシステム設計・開発を行い、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。

（ア） UASSP 障害定義の整理・策定

運航管理統合機能-UASSP 間のテレメトリ等のデータのやり取りは MQTT データ配信プロトコルを仲介して行っている。無人航空機の故障等の要因で UASSP から MQTT への接続が切断された場合に UASSP 障害が発生したと定義する。

以下に運航管理統合機能-UASSP 間の通信断が発生してから運航管理統合機能が切断を検知するまでのフローを示す。

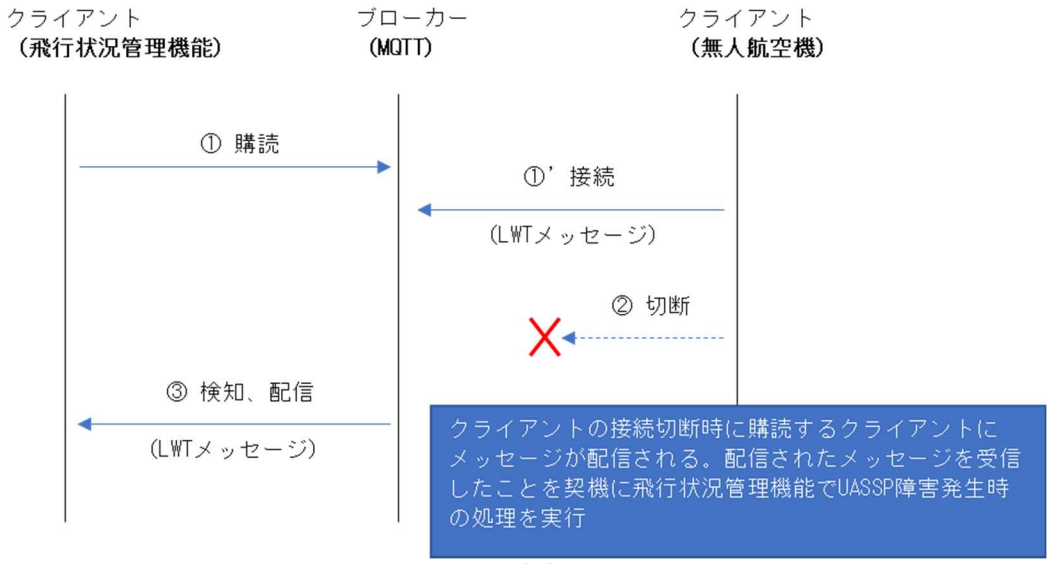


図 2.2.1.10-76 障害通知フロー図

（イ） 情報有用性の実証

UASSP 障害発生時に送信される LWT（Last Will and Testament）メッセージを利用し、UASSP 障害発生を監視する機能を構築した。また、福島 RTF にて実証試験を行い、動作検証及び有用性を評価した。

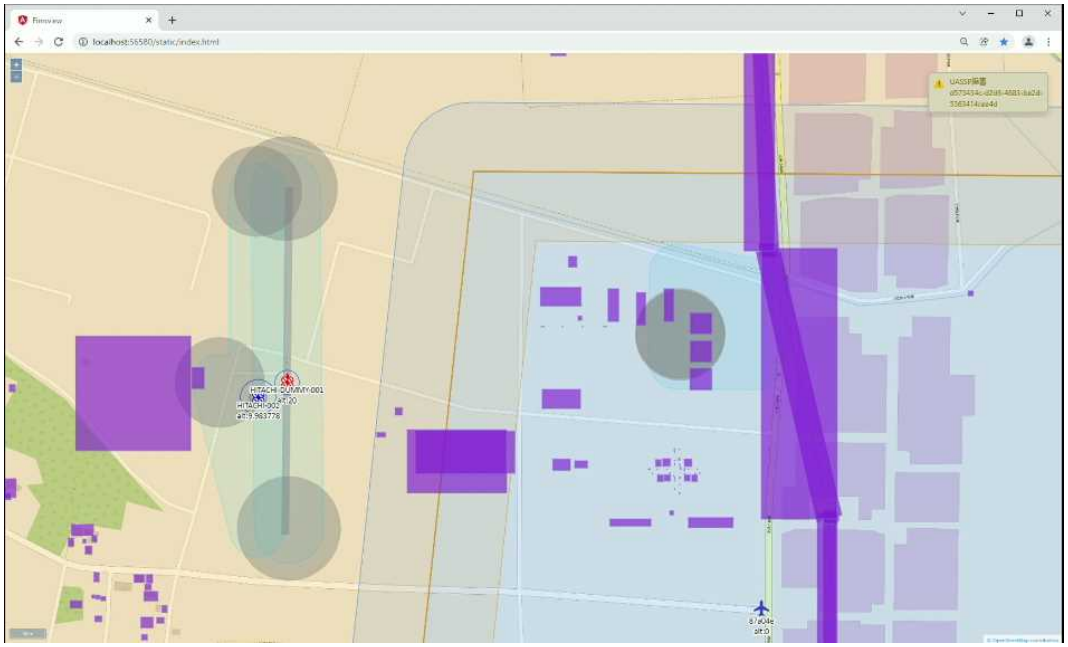


図 2.2.1.10-77 接続装置障害発生時の飛行状況管理画面（UASSP）
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-78 UASSP 障害発生監視部プロトタイプを用いた実証試験の成果
（出典：openstreetmap.org）

（ウ） UASSP 障害発生時のリアクション検討

UASSP 障害が発生した場合、障害が発生している UASSP(A)が管轄する無人航空機をシステム上で捕捉できなくなるため、安全な飛行が出来なくなる。そのため実証試験において UASSP 障害を発生させ、無人航空機に検討したリアクションを指示・実行させることで、どのリアクションが最適か検証を実施した。

表 2.2.1.10-22 UASSP 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
UASSP（A）所属機体がそのまま飛行	×	飛行状況管理で無人航空機の動態を捕捉できないため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
UASSP （B） 側の機体が回避	×	飛行状況管理で無人航空機の動態を捕捉できないため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
UASSP（A）所属機体がホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当。着陸ができるのであればより安全
UASSP（A）所属機体が離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが､無人航空機の移動が伴うため最適ではない。
UASSP （A） 所属機体が着陸	○	UASSP(A)の障害復帰を確認後、飛行を再開することは妥当

b)SDSP 障害発生時の通知機能の開発

風速／降雨などの情報提供機能からの受信に失敗した際、関連する情報を運航管理統合機能上に表示することが出来なくなるだけでなく、場合によっては運航中の無人航空機の飛行を安全に行えなくなることが想定される。

また、運航中の無人航空機の安全な運航に問題がある場合（問題が発生する兆候がある場合を含む）には、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

上記要件を念頭に SDSP 障害発生時の通知機能のシステム設計・開発を行い、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。実施した内容及び成果について、詳細を以下に示す。

（ア） SDSP 障害定義の整理・策定

運航管理統合機能-情報提供機能のデータ通信は REST API を用いている。クライアント・サーバいずれかの故障等の要因で情報が取得できなかった場合に SDSP 障害が発生したと定義する。

以下に運航管理統合機能から提供情報の取得失敗、SDSP 障害の検知までのフローを示す。

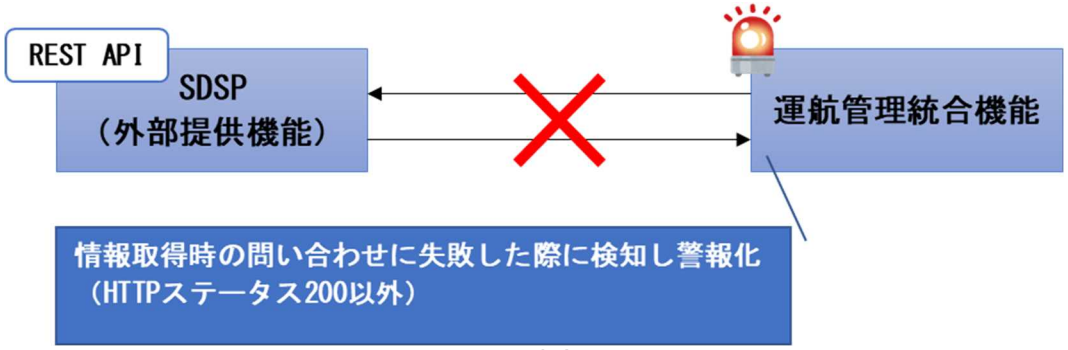


図 2.2.1.10-79 障害通知フロー図

（イ） 情報有用性の実証

運航管理統合機能が SDSP から情報取得に失敗した事象を想定し、SDSP 障害監視部の構築を行った。また、福島 RTF にて実証試験を行い、動作検証及び有用性を評価した。

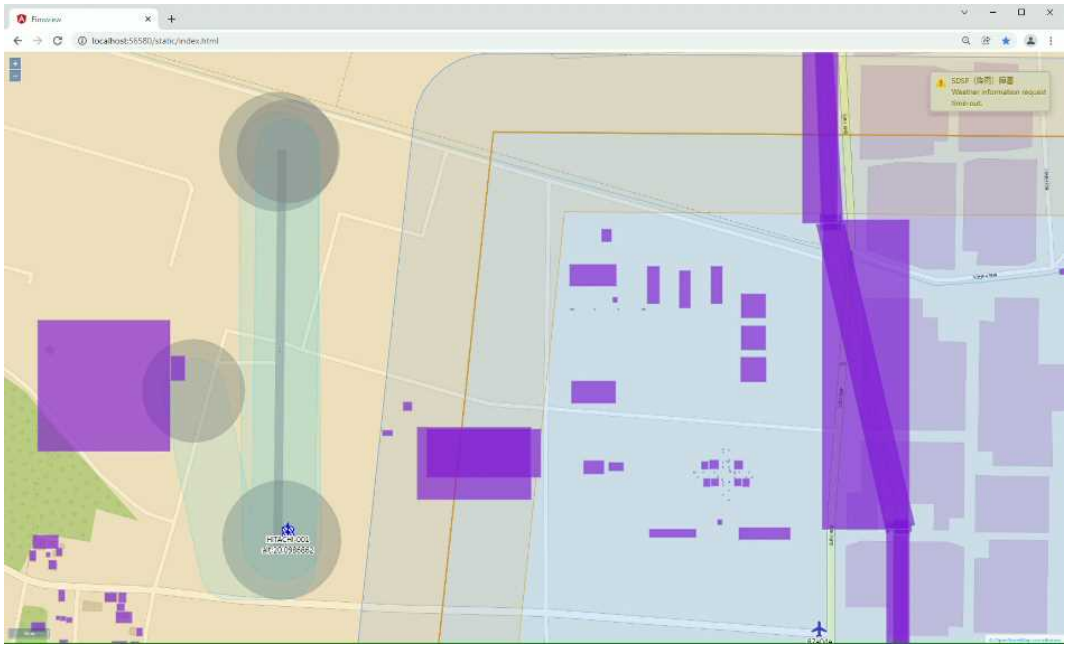


図 2.2.1.10-80 接続装置障害発生時の飛行状況管理画面（SDSP）
（出典：openstreetmap.org）



図 2.2.1.10-81 SDSP 障害監視部プロトタイプを用いた実証試験の成果
（出典：openstreetmap.org）

（ウ） SDSP 障害発生時のリアクション検討

情報提供機能から気象情報の取得時に障害が発生した場合、無人航空機周辺の降雨・風速の状況が捕捉できなくなるため、安全な飛行が出来ない可能性がある。そのため実証試験において SDSP 障害を発生させ、無人航空機に検討したリアクションを指示・実行させることで、どのリアクションが最適か検証を実施した。

表 2.2.1.10-23 SDSP 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
そのまま飛行	○	飛行状況管理に問題はなく、致命的な障害ではないため基本的にはそのまま飛行を継続して問題ない。降雨・風速が規定以上の場合は着陸を行うのが妥当
回避	×	情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、回避は不要。
ホバリング	×	情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、ホバリングは不要。
離陸地点に戻る	×	情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、RTH は不要。
着陸	△	降雨・風速が規定以上の場合は着陸を行うべき

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本項では、検討した①FIMS 監視ポータル障害発生時、②接続装置障害発生時の通知機能の評価ポイントである、連携頻度、警報発生時のリアクションの妥当性について、それぞれ考察を述べる。

(A) 連携頻度（①のみ）

実証時の状況として、運航管理統合機能の監視ポータルから情報が通知される間隔が 5 分であった。これは運航管理統合機能になんらかの障害が発生してから検知し、警報として通知するまでに 5 分かかることを示している。状況によっては警報を受信してから無人航空機が障害発生時のリアクションを取るまでの間に事故が発生してしまう恐れがあるため、通知間隔を短くする必要がある。

実装面においては、運航管理統合機能の監視ポータルから PUSH 型で 5 分に 1 回連携されるようになっており、通知間隔の変更や、運航管理統合機能のポータルで障害が発生してから即座に警報を連携する等検討が必要になる。

(B) 警報発生時のリアクション（①②共通）

運航管理統合機能の監視ポータルが検知する障害／接続装置障害、いずれの障害が発生した場合に共通するのは、前項で述べた通り「無人航空機の安全な飛行が出来なくなる場合、安全な飛行が出来ることを確認するまで着陸する」というリアクションが妥当である。しかし、無人航空機の真下が海上・不整地などの場合は安全な着陸が出来ないことが考えられるため、緊急着陸場所まで無人航空機を移動させ着陸する必要がある。

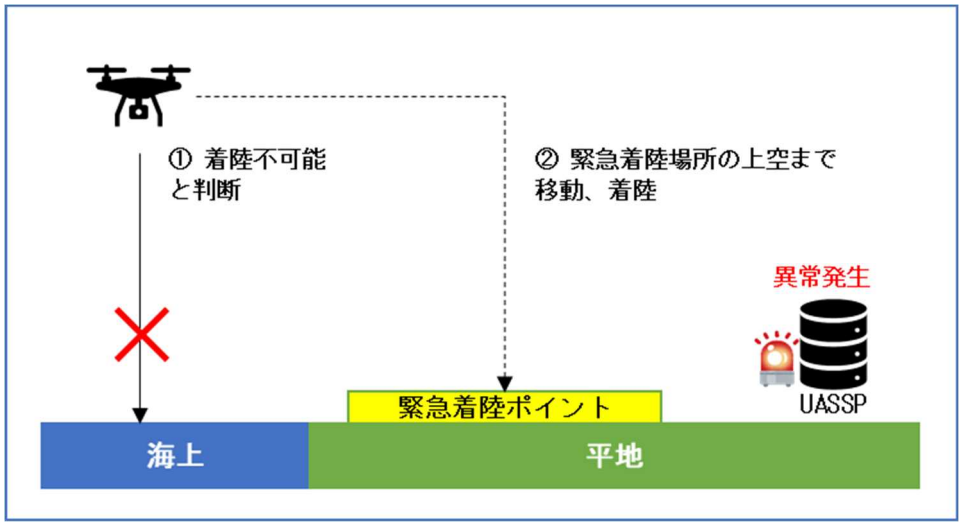


図 2.2.1.10-82 緊急着陸ポイント整備後の障害発生時のリアクションイメージ図

5.2.4. 「サーバ障害発生時の対応に関する開発」（実施者：株式会社ウェザーニューズ）

(1) 実施事項

サーバ障害発生時の対応に関する開発として、サーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する。また、社会実装時を見越し、障害発生時にはFIMSに対してダウンの通知等を行い、気象情報提供の一時的な縮退運転・代替運用などを整理する。

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

気象情報および有人航空機動態情報は、国内のオンプレミスのデータセンターにて管理している。本研究の気象情報について、低空域、高解像、高頻度の気象モデルを生成する必要があるため、オンプレミスのデータセンターにサーバを追加するのではなく、クラウド環境でのシステム構築を実施した。

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合のアラーム発報と障害発生時の代替手段について研究を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

気象情報および有人航空機動態情報は、図2.2.1.10-83気象情報・有人航空機動態情報のシステム構成に示すとおり、オンプレミス環境とAWSのクラウド環境で構築した。データ層において、気象情報をオンプレミスとクラウド環境にて同じデータを冗長的に管理する構成とした。ロジック層について、オンプレミス側では、認証、アクセス制御、データ加工などの処理機能を実装し、気象情報API群と有人航空機動態APIを配置した。クラウド側ではAWSの認証機能(Cognito)などを活用し、気象UIを配置した。また、実況解析気象モデル生成など、多くのマシンパワーが必要となる処理機能についてクラウド側に配置した。

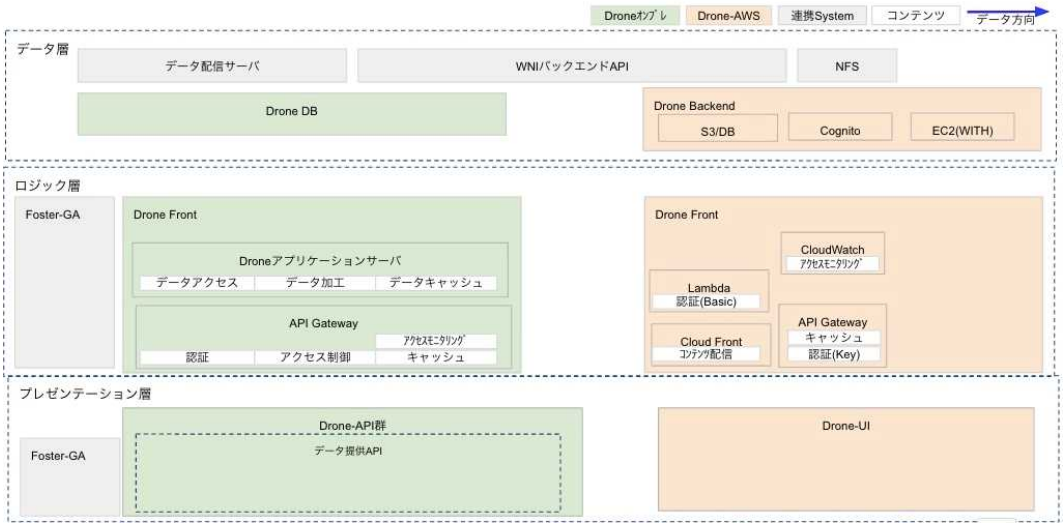


図2.2.1.10-83 気象情報・有人航空機動態情報のシステム構成

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合、ロジック層にある認証・アクセス制御部分を切り替えることで早期の復旧を可能とする構成とした。また、システム障害発生時やあらかじめ定義した閾値を超過した場合のアラート発報機能の開発を実施した。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

本研究において、オンプレミス環境にある既存の気象情報資源を活かしつつ、新規気象モデルなどはクラウド環境で構築した。クラウド環境は、AWS サービスを使用しており、PaaS(Platform as a Service)の特徴であるアクセス数やシステムリソースの増減による自動的な構成変更に対応できる仕組みを構築できた。ただし、クラウドサービスの初期費用は少額だが、サービスを利用した分の運用費が掛かる契約形態のため、システム構成において、本来、実施するべきクラウド環境のマルチリージョン化などの BCP 対応が出来なかった。今後は、気象情報と有人航空機動態情報の重要性が増し、活用される期会が増えた際にあらためて BCP 対応を検討する必要がある。

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合のアラート発報と代替手段の研究を実施した。データ層については、気象情報をオンプレミス環境とクラウド環境の双方で管理する仕組みを構築できたが、ロジック層においては、オンプレミスとクラウド間で機能や実装方式、開発言語が異なるなどデータ層に比べて機能の移行が難しい仕組みとなった。(A)に記載のとおり、クラウド環境のマルチリージョン対応などにより、現在のオンプレミスとクラウドのハイブリッド構成からクラウド環境に一本化することにより、スケールアウトや可用性の担保が容易になると思われる。

5.3. 研究開発項目③「運航管理統合機能の処理分散技術の開発」

5.3.1. 「飛行計画分散技術および分散 PF 高度化の開発」（実施者：日本電気株式会社）

(1) 実施事項

(A) FIMS の東西分散化に関する研究

飛行計画管理機能に焦点をおきつつ FIMS 全体の分散化を行うべく分散手法及び実装手段に関する研究を実施した。実証試験に向けてはまず東西 2 分割による分散案を主として既存の他機能との整合性を維持したまま将来的な分散数の増加にも対応できるよう拡張性についても視野に入れた手法となるよう研究を実施した。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

(A)で行った研究を基に飛行計画管理において全国を複数のエリアに分割し、エリア単位での飛行計画管理の分散処理を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

FIMS での実装にあたり実証試験に向けて全国を東西の 2 つのエリアに区分した分散定義を想定し、飛行計画のコンフリクト判定など東西間のインタフェースの検討や必要に応じた飛行計画の共有を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

(C) 飛行計画管理の分散による各 FIMS の飛行計画管理に関連した性能の研究

(B)で行った研究に基づき飛行計画管理について全国が東西エリアに分散化された状態において、分散化による性能面での耐久性を確認するべく研究を行った。将来的な無人航空機の飛行計画申請数について前年度研究結果に基づいた基数を含んだ測定を行い、現段階での性能の限界値及び将来的な分散数の増加を見込んだ場合の効果に関する研究を実施した。

(D) 交渉・監査機能に関する研究

欧米で標準化が進む分散型 UTM において、Negotiation（交渉）と Audit（監査）が次の標準化対象としてマイルストーンに挙がっている。そこで、これに関する研究開発を先行的に行った。現在の FIMS は飛行申請を受け付け、重複判定を行い、飛行可否を判断するが、ASTM 標準では各 USS（UASSP に相当）が相互に計画を共有し、重複がなければ、飛行拒否判断を行う。この ASTM 標準は 2021 年 11 月に成立し、12 月には EASA による AMC (Acceptance Means of Compliance)&GM(Guideline Material)が出された。すなわち、U-Space のレギュレーションに準拠する一つの方法という扱いがされるようになった。この ASTM の標準化ロードマップにおいて、次バージョンに候補として Negotiation と Audit が含まれている。

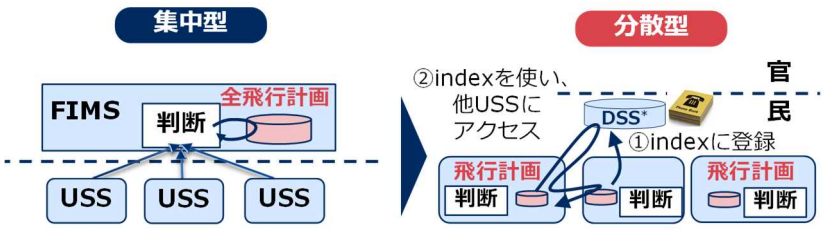


図 2.2.1.10-84 集中型と分散型の違い

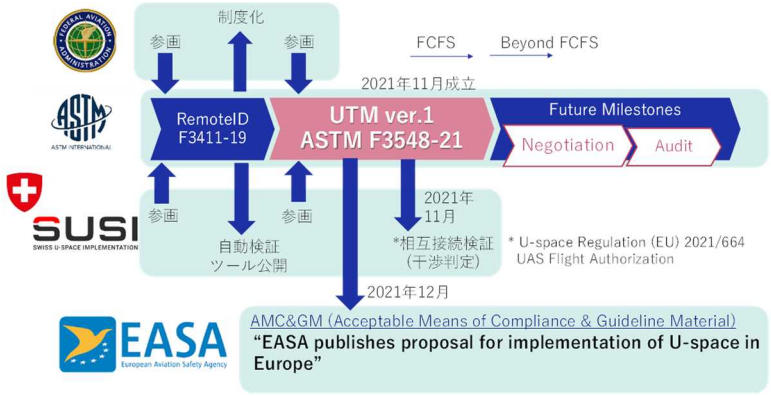


図 2.2.1.10-85 ASTM 標準に対する欧米での政策的判断

a)交渉プロトコル

交渉がない場合は、FCFS に基づき USS 間の調整がなされる。すなわち、緊急のドローン物流があっても、先に提出された飛行計画が優先される。そこで、計画を調整するプロトコルが必要となる。本研究では、Negotiation プロトコルを設計した。シングルショットの交渉と、より高機能なプロトコルを設計した。シングルショットの交渉とは、相手に空間を譲ってもらえるか否かを問い合わせ、Yes/No のみが返るプロトコルである。一方、高機能なものは、複数回のやり取りがある。

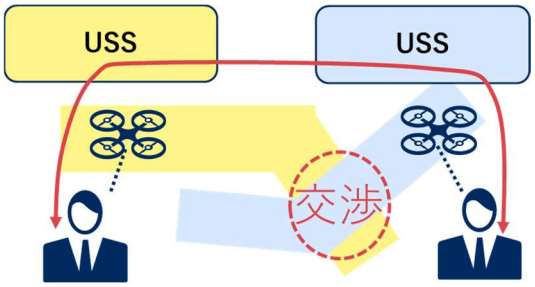


図 2.2.1.10-86 Operator 間による空間の調整

b)監査

分散型 UTM では、民間の複数の USS 事業者（UASSP 相当）、Operator が空間を利用しあうため、特定事業者が公平性に欠ける運航、危険な運航をしていないかを、Regulator が管理するため、監査する機能が必要となる。

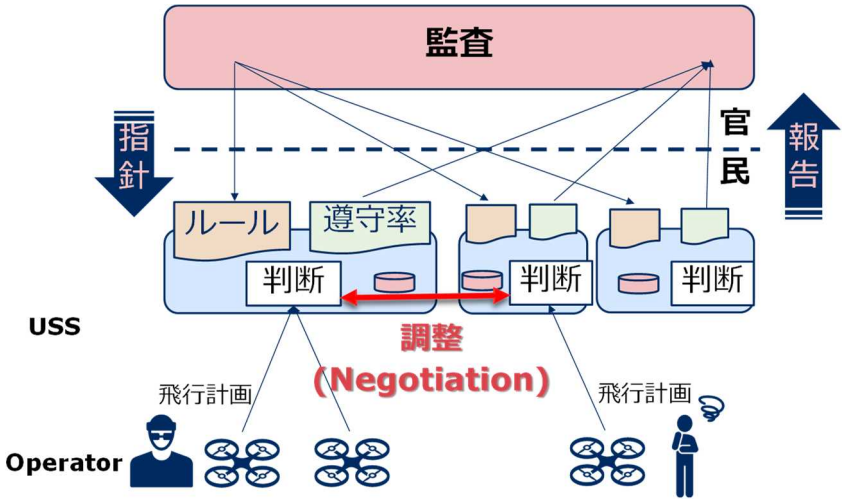


図 2.2.1.10-87 監査の位置づけ

我々は、このシステムを試作し、USS をシミュレータ動作させたものから、２つのメトリックを収集し、監査画面に表示する検証を行った。ここで、メトリックとは監視項目対象の情報であり、標準化によって定まるものである。

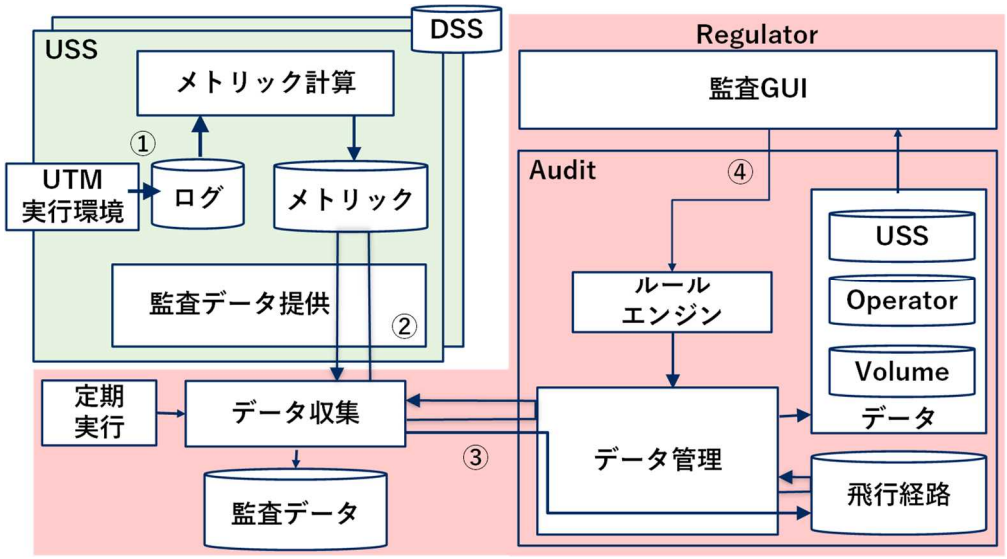


図 2.2.1.10-88 監査のシステム構成

第 1 のメトリックは、交渉の拒否率とし、Operator 間で調整依頼が発生した場合にも、その調整を断り続けるような Operator を、好ましい挙動をしない Operator として検出するものである。

第 2 のメトリックは、空間の利用効率である。広い時空間を利用すると予約しつつも、実際に利用する時空間があまりに小さいと、好ましい挙動をしない Operator として検出する

(2) 研究を通じた成果

(A) FIMS の東西分散化に関する研究

分散化に関する技術や海外動向に関する研究結果を基に FIMS のシステム構成を分散化するために、分散装置及び情報共有の仕組みを以下の観点で実現できるよう研究を実施した。

① FIMS の外部にロードバランサ（LB）を新設し、運航事業者からの飛行計画情報の申請や問い合わせをより低負荷の FIMS にディスパッチする。
② FIMS の MQTT サーバを統合し、飛行計画情報の格納先、および飛行計画情報の共有が必要な運航事業者を一元管理する。
③ FIMS の内部に分散処理機能を新設し、要求された飛行計画情報を外部の FIMS から取得する。
④ 運航事業者に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、MQTT サーバの Pub/Sub トピック定義を拡張する

上記観点を基にした分散化した FIMS の構成図を以下に示す。
※図中①～③は上記観点の①～③に該当

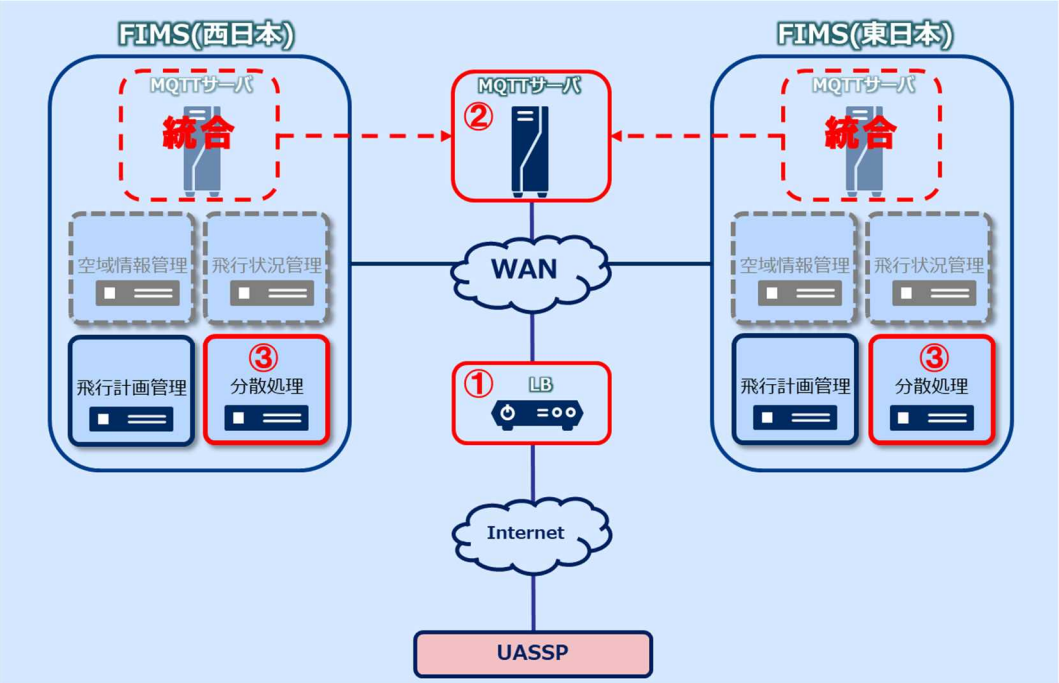


図 2.2.1.10-89 FIMS 分散化システム構成概要図

a)FIMS 分散化に向けた飛行計画分散化 PF について

FIMS 分散化にあたり、飛行計画のフローを分散する新たな機能として分散化 PF を追加する。分散化 PF の設計については InterUSS の思想を継承して以下の機能を実装した。

・発見（Discovery）
FIMS が情報を取得する必要がある他の FIMS を発見できる機能。

・同期（Synchronization Service）
必要なときに他の FIMS の完全かつ最新の情報を確実に取得する機能。

上記を基にした分散化 PF の概要図について下図に示す。

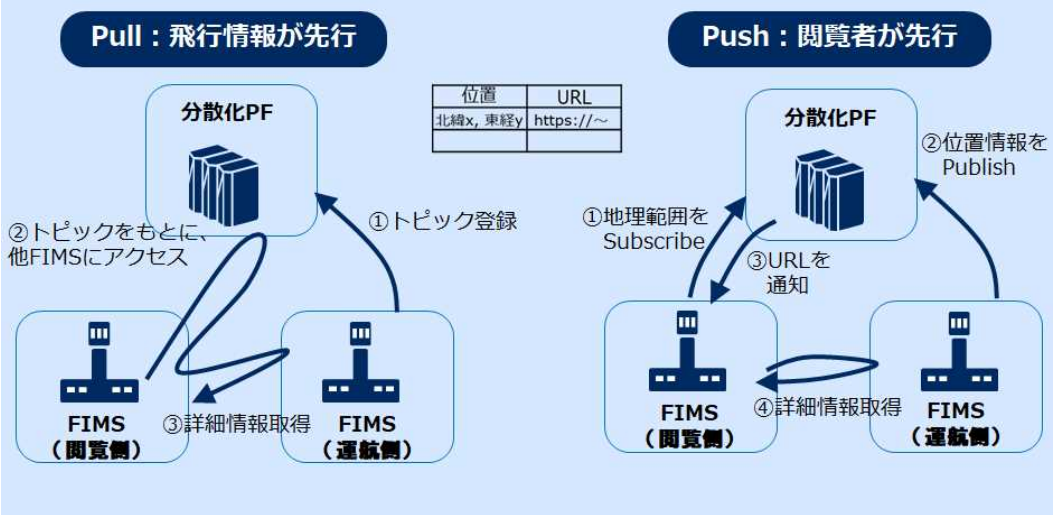


図 2.2.1.10-90 飛行計画分散化 PF 概要図

b)分散化 PF アーキテクチャについて

前提条件として、MQTT サーバ（FIMS 共有）には飛行計画情報がトピック形式ですべて集約されているものとして、分散化 PF について以下のフローでの運用を実現するべく研究を行った。

① FIMS(東)は運航事業者からのエリア等関心事を MQTT サーバへ登録(Subscribe)する。
② FIMS(西)は運航事業者からの飛行計画申請を受信する。
③ FIMS(西)は申請元の運航事業者へ飛行計画申請結果通知を返却する。
④ FIMS(西)は運航事業者からの飛行計画申請を MQTT サーバへ通知する。
⑤ MQTT サーバは登録されたトピックに合致するメッセージを FIMS(東)へ返却する。
⑥ 返却されたメッセージよりトピック発行元の FIMS(西)へ詳細情報をリクエストする。
⑦ 関心を示していた運航事業者に飛行計画メッセージが通知される。
⑧ 上記アーキテクチャを導入することによる、分散化前と分散化後の飛行計画に関するフローの変更点の概要について、下記の図に概要を示す。

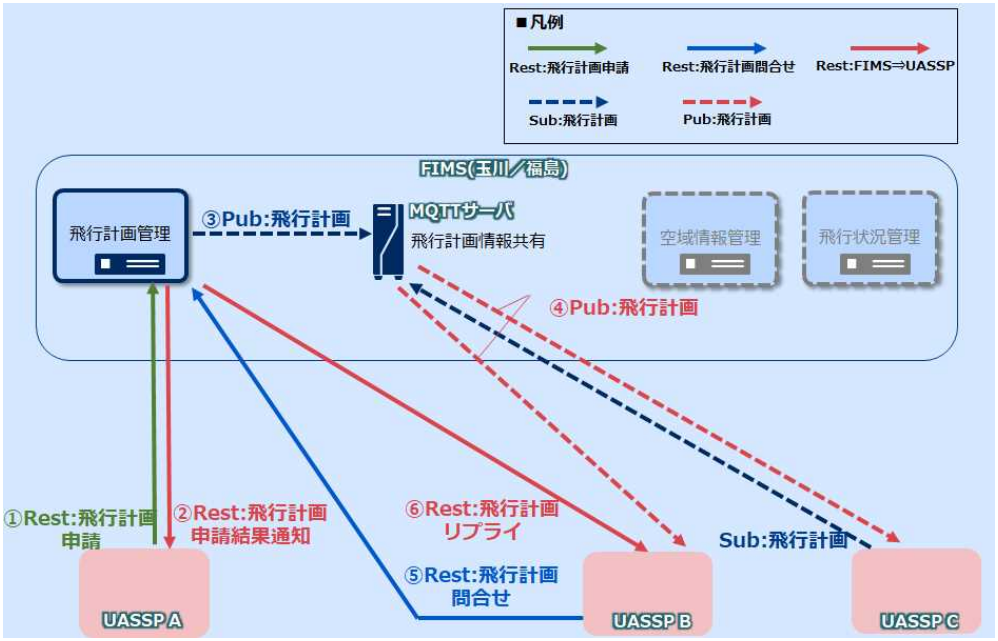


図 2.2.1.10-91 分散化 PF 導入前のフロー概要図

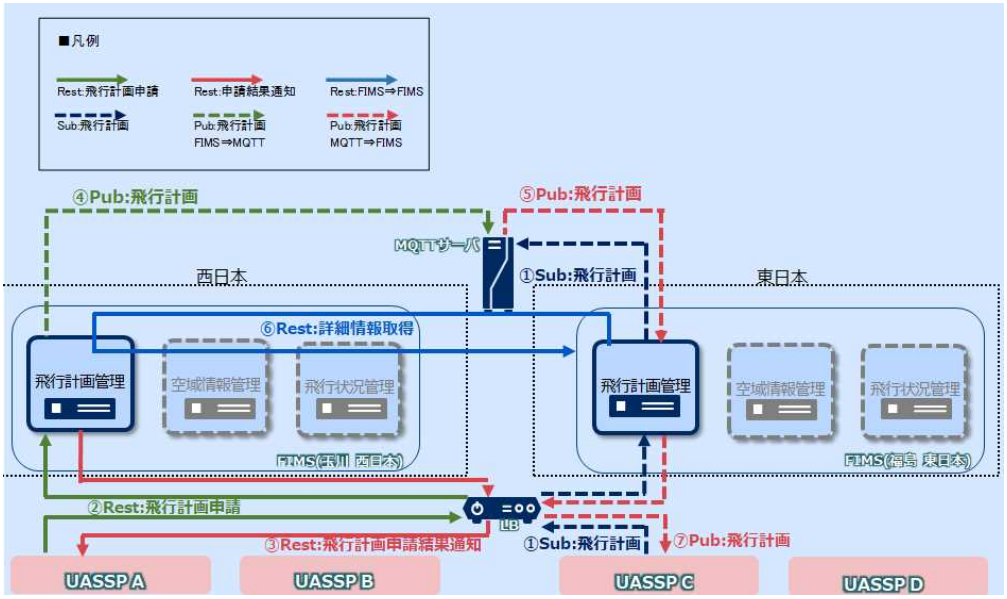


図 2.2.1.10-92 分散化 PF 導入後のフロー概要図

c)分散化 PF 導入にあたっての要件について

分散化以前の FIMS に分散化 PF を導入するにあたり必要となる各種要件について調査を行い、主要な項目について妥当性を確認しつつ下記に示す項目についてそれぞれ研究を行い記載の要件の実装を行った。

(ア)インタフェース関連

FIMS と関連する以下のインタフェースについて分散化 PF を導入するにあたり記載の要件が必要となり、実装を実施した。

- FIMS-運航事業者間インタフェース

  運航事業者に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、従来の FIMS の Pub/Sub トピック定義を検討した。他の点においては、FIMS の分散設置にともなう FIMS-運航事業者間インタフェースの変更は不要である。

  ・拡張前

  SUBSCRIBE 済の UASSP にすべての飛行計画情報が配信される。

  表 2.2.1.10-24 拡張前 FIMS-運航事業者間インタフェース表

第一階層
flightplan

  ・拡張後

  特定の UASSP が登録した飛行計画情報のみ配信対象とすることが可能である。

  表 2.2.1.10-25 拡張後 FIMS-運航事業者間インタフェース表

第一階層	第二階層
[uassp_id＊] ※運航事業者を一意に判別するキー	flightplan

- FIMS 間インタフェース

  FIMS の分散設置にともない FIMS 間インタフェースの追加が必要となり、下記表示に示すインタフェースを追加実装した。

表 2.2.1.10-26 FIMS 間インタフェース表

インタフェース名	概要
飛行計画情報	飛行計画の申請を行う
	飛行計画を問い合わせる
	UASSP 間で飛行計画情報を共有する
飛行計画申請結果通知	飛行計画の申請結果を通知する

- FIMS-MQTT サーバ間インタフェース
  FIMS の分散設置にともない FIMS 間インタフェースの追加が必要となり、下記表に示すインタフェースを追加実装した。

表 2.2.1.10-27 FIMS-MQTT 間インタフェース表

インタフェース名	概要
飛行計画格納先通知	FIMS 間で飛行計画の格納先拠点を共有する

(イ)MQTT サーバ関連

FIMS 内の MQTT サーバについて分散化 PF を導入するにあたり記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装及び検討を実施した。

表 2.2.1.10-28 MQTT サーバ要件表

要件	概要
統合	飛行計画情報の格納先、および飛行計画情報の共有が必要な運航事業者を一元管理するため、FIMS の MQTT サーバを統合した
可用性	MQTT サーバの障害やメンテナンスによるサービス中断を回避するため、複数拠点に設置して情報を同期するなど、可用性を高めるための検討を実施した
FIMS-MQTT 間 IF 追加 （飛行計画格納先通知）	FIMS と飛行計画格納先通知を送受信するための機能を追加した
FIMS-UASSP 間 IF 変更 （Pub/Sub トピック定義拡張）	UASSP に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、Pub/Sub トピック定義を拡張した。ただし、現状の拡張方式では Pub 側が特定運航事業者を配信対象から除外するといった用途に対応できないため、実装は行わず継続して検討を実施した

(ウ)LB(ロードバランサ)関連

FIMS 分散化に必要な LB の要件について研究を行い記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装及び検討を実施した。

表 2.2.1.10-29 LB 要件表

項目	実装要件	理由
配置	ツーアーム構成	運航事業者からのアクセス先を LB に一元化するため
仮想 IP アドレス	運航事業者の接続先 IP アドレス	運航事業者からのアクセス先を LB に一元化するため
負荷分散レイヤ	レイヤ 7	運航事業者からの「飛行計画申請（変更／取消)」および「飛行計画問合せ」の振分先を対象情報が存在する FIMS に限定することで､FIMS 間 IF による負荷を抑制するため。
SSL オフロード	あり	運航事業者からの「飛行計画申請（変更／取消)」および「飛行計画問合せ」の振分先を対象情報が存在する FIMS に限定することで､FIMS 間 IF による負荷を抑制するため。
冗長化	あり	LB の障害やメンテナンスによるサービス中断を回避するため

(エ)セキュリティ証明書関連

FIMS 分散化に必要なセキュリティ証明書の要件について研究を行い記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装を実施した。

表 2.2.1.10-30 セキュリティ証明書要件表

証明書種別	要件
CA 証明書	運航事業者側のサーバ証明書を変更しないため、変更は不要
クライアント証明書	分散設置した FIMS の各々に対して各運航事業者のクライアント証明書を導入する
運航事業者側サーバ証明書	運航事業者側のサーバ証明書は変更せず、分散設置した FIMS の各々で同一の証明書を共有する

d)FIMS の東西エリアによる分散化について

分散化の実現及び検証に向けて a)で研究及び検討を行った分散化 PF を実装した FIMS を飛行計画単位で東西二分割して行うことを研究し実装を行った。

東西分散化を実施した際におけるシステム構成及び飛行計画のフロー概要を下記図に示す。

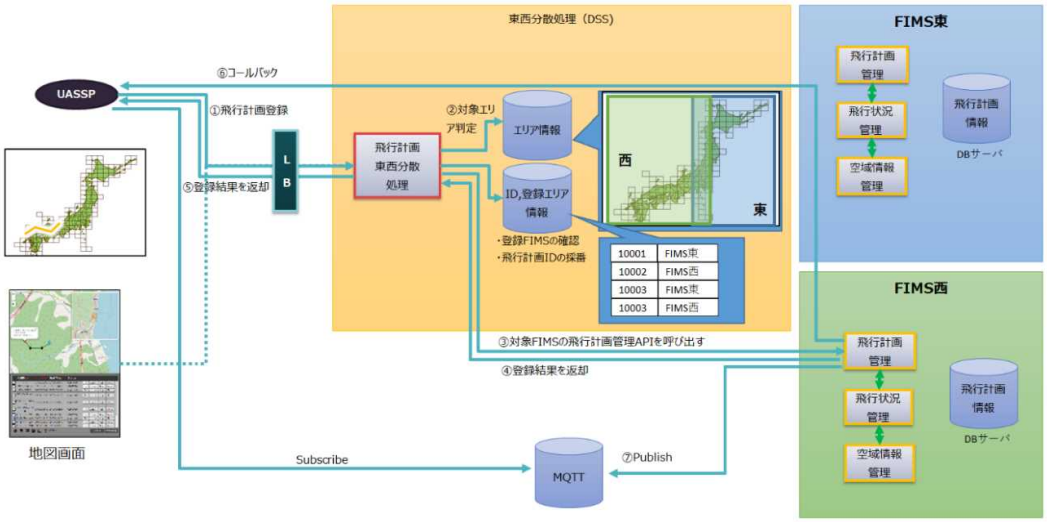


図 2.2.1.10-93 FIMS 東西分割の構成及びフロー概要図

FIMS の東西分散化実装にあたり、特記すべき点として下記に示した項目について詳細を述べる。

a)LB について

検討段階において、飛行計画分散のロジックの実装箇所について LB 内に設ける案も浮上していたが、LB 内に実装可能なロジックの機能性について要件を満たさない可能性があり将来拡張性や実装の容易性を考慮した結果、分散ロジックは別途サーバ内に実装することとし、各 FIMS へのディスパッチ機能はオミットし LB は冗長性を持ったハブとしての機能に限定している。

b)分散化 PF(DSS)について

a)の結果を踏まえて検討を実施し、DSS については分散化した FIMS のうち何れかをマスタとして搭載することで拡張を維持しつつ実装可能な要求レベルを実現した。

c)飛行計画の分散定義について

飛行計画の分散定義については、各 FIMS の将来拡張性と実際の無人航空機の運航状況に即した分散定義を実現できるよう、飛行ルートから飛行エリアを特定したエリア分散を行えるよう研究し、実装を行った。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

(A)で実施した研究結果に基づいて、飛行計画管理については全国を区分したエリア単位で管理を行う方針として検討を進め、東西 2 分割による東西 2 エリア及びその重複エリアで構成されるよう実装を行った。図 2.2.1.10-94 に示す東西区分は福島ロボットテストフィールドにおける実証試験を行った際のエリア定義である。(東西区分の一例)

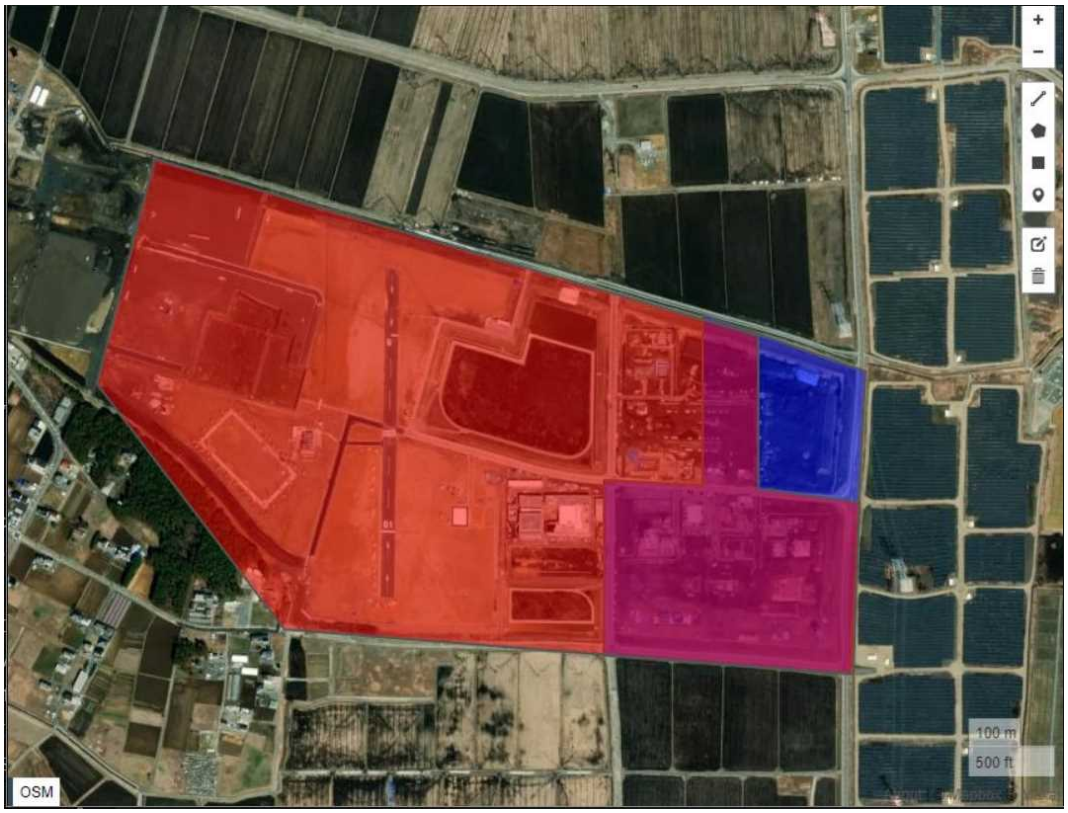


図 2.2.1.10-94 実証試験時における疑似的な東西エリア設定
(赤：西、青：東、紫：重複)
(出典：openstreetmap.org)

分散化機能（DSS）は以下のようなシステムの構成とした。
FIMS 東側に DSS を配置し、リクエストの受信を担当する。飛行計画の内容によって、東側および西側への分散を行う。

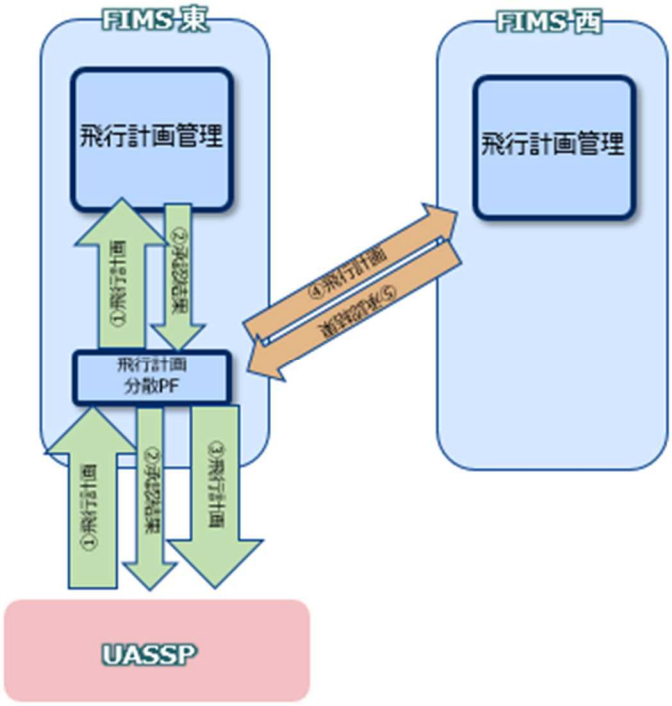


図 2.2.1.10-95 分散化機能のシステム構成

分散化機能（DSS）にて、下図のような申請可否判断を実装した。
（下表の申請可否判断表の No.と、下図の申請エリア例の数字が対応）

No.	FIMS西	FIMS東	主エリア	副エリア	備考
1	含まない	含まない	-	-	DSSにてエラー
2	含まない	部分的に含む	-	-	DSSにてエラー
3	含まない	完全に含む	FIMS東	-	
4	部分的に含む	含まない	-	-	DSSにてエラー
5	部分的に含む	部分的に含む	-	-	DSSにてエラー
6	部分的に含む	完全に含む	FIMS東	FIMS西	
7	完全に含む	含まない	FIMS西	-	
8	完全に含む	部分的に含む	FIMS西	FIMS東	
9	完全に含む	完全に含む	FIMS東	FIMS西	FIMS東を主エリア、FIMS西を副エリアと固定的に判断する

図 2.2.1.10-96 申請可否判断表



図 2.2.1.10-97 申請エリア例

PostgreSQL のプラグインである PostGIS を利用することで飛行計画の可否判断を行うように実装した。

具体的には以下のようなシーケンスで飛行計画の申請を受け付ける。

① 【分散機能】飛行計画申請を受信
② 【分散機能】受信した申請内容を可否判断
③ 【分散機能】判断結果が問題なければ分散機能が保有する DB に情報登録
④ 【分散機能】飛行計画管理機能（申請内容に基づき FIMS 東または FIMS 西のいずれか）に情報登録
⑤ 【飛行計画管理機能】にてコンフリクト判定し MQTT に Publish
⑥ 【分散機能】上記⑤の Publish を受け、上記④で登録していない飛行計画管理に情報登録（上記④で FIMS 東に登録済みならば FIMS 西に）

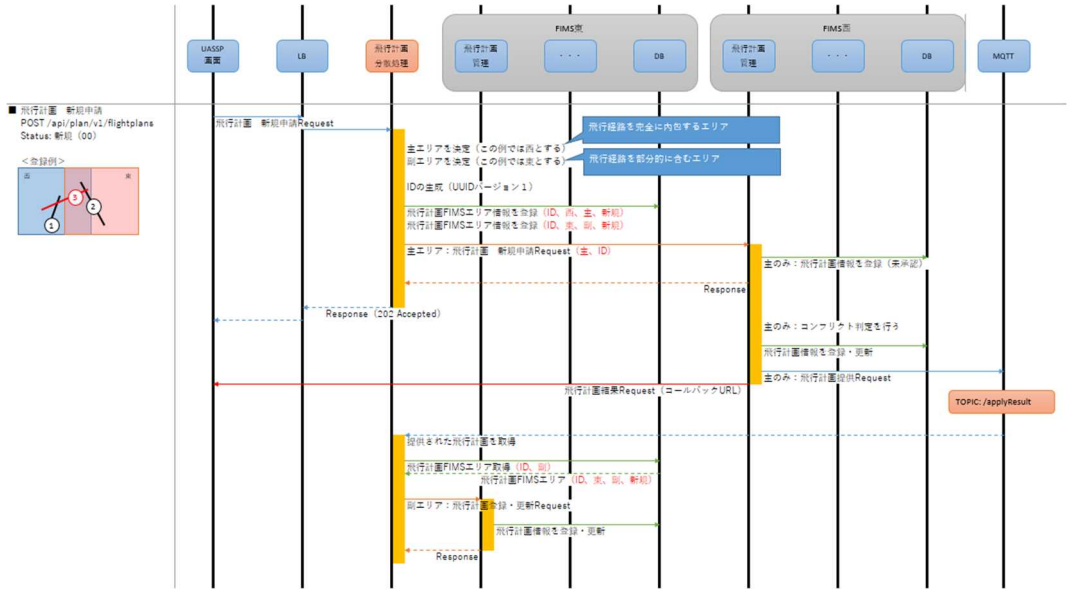


図 2.2.1.10-98 飛行計画新規申請シーケンス

(C) 飛行計画管理の分散による各 FIMS の飛行計画管理に関連した性能の研究

エリア分散に伴い飛行計画申請の経路も増える為、将来的には各エリアから同時期に複数の飛行計画申請を受ける場面も想定される。よって、現段階での飛行計画管理における秒間の最大処理件数についての検証を行った。

測定の条件として、将来的な実運用上では飛行計画同士のコンフリクトは一律発生するケースは稀であるとし、コンフリクトの発生はランダムに秒間 1～3 件の申請を断続的に行う。また、エリアごとの申請数も一定であるとは限らない為、本検証では「単一エリアのみの申請」「東西両エリアへの申請」の各パターンで検証を行うものとした。

以下、パターンごとの検証結果を示す。

【単一エリアのみの申請】

旧実装を想定した 1 サーバのみでの飛行計画申請受理を想定した検証。

秒間 1 件の処理は問題なく行えているが、秒間 2 件以上の処理となると大きく性能が下がる結果となった。

表 2.2.1.10-31 測定結果

秒間の申請件数	処理時間（平均）	処理時間（最小）	処理時間（最大）
1/sec	0.08sec	0.04sec	0.86sec
2/sec	1.35sec	0.04sec	2.77sec
3/sec	1.62sec	0.04sec	3.15sec

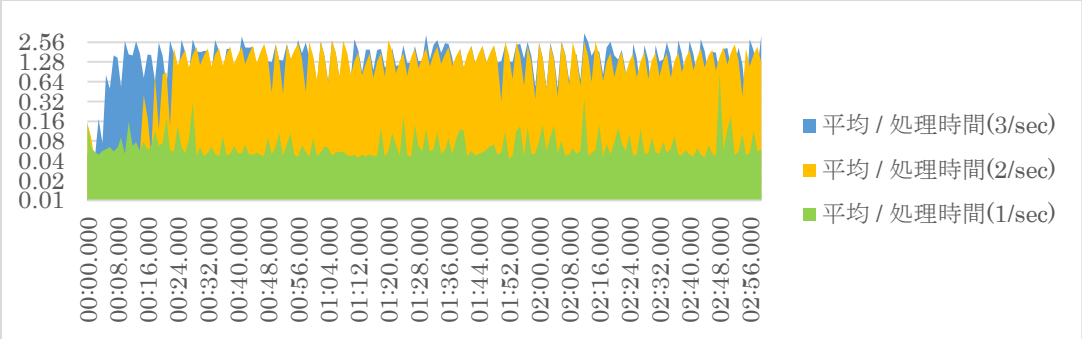


図 2.2.1.10-99 平均処理時間の推移

【東西両エリアに対し申請】

分散化実装後、エリアごとに申請受理するサーバを分散させた場合の検証。本検証では東西エリアでサーバを分散させた結果秒間 2 件まで安定して処理可能となり、1 サーバあたり分散数分の処理負荷軽減が見込まれる。ただし、単一サーバでの処理性能は先の結果から秒間 1 件までであり、本検証でも秒間 3 件の処理では性能が劣化する結果となった。

表 2.2.1.10-32 測定結果

秒間の申請件数	処理時間（平均）	処理時間（最小）	処理時間（最大）
1/sec	0.12sec	0.09sec	0.22sec
2/sec	0.11sec	0.09sec	0.23sec
3/sec	1.07sec	0.09sec	5.14sec

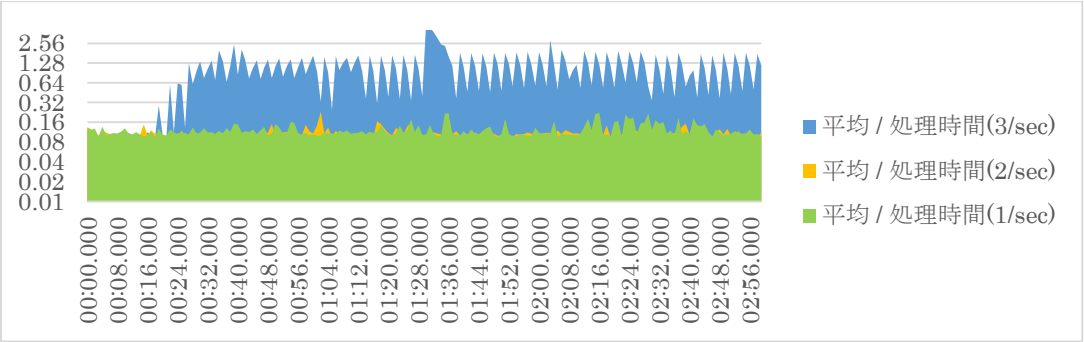


図 2.2.1.10-100 平均処理時間の推移

上記から、1 申請に対する処理時間は平均 0.1～0.2 秒。エリアを増やすことで、処理可能件数が増加し、性能向上が見込めることが分かった。

(D) 交渉・監査機能に関する研究

a)交渉プロトコル

API 定義の手法として一般的な yaml 形式で、交渉プロトコルを設計した。ASTM ロードマップでは、交渉が次の標準化候補となっているが、候補がさらに、Single Shot 交渉と、複数回のやり取りをする交渉(Advanced Negotiation)との 2 つが挙がっている。NEC は、自動交渉に関する AI コミュニティに属しており、IJCAI といわれる AI のトップ会議併設で交渉コンペを主催している。こういった知見から、それぞれのプロトコルを設計した。Single Shot は、提案に対して Yes/No の回答だけであるのに対して、Advanced Negotiation は、一定時間内に合意できなければ、交渉が終了するようなプロトコルとしている。

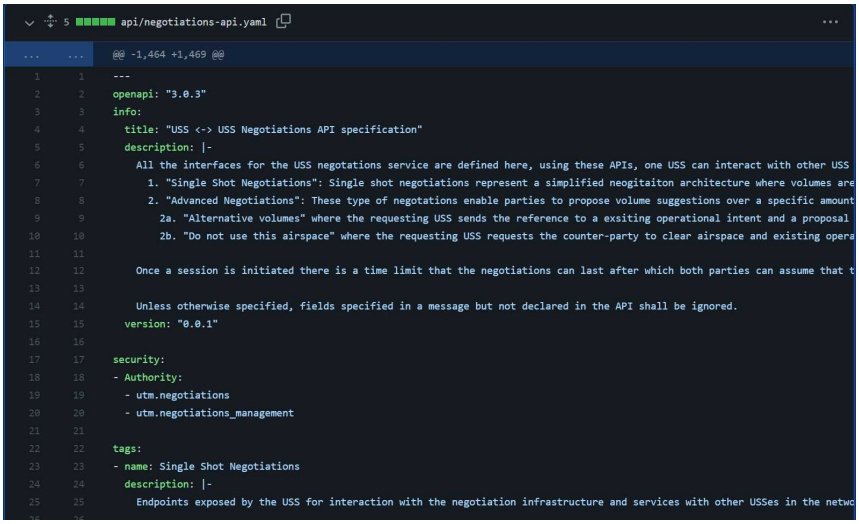


図 2.2.1.10-101 交渉プロトコルの設計画面

b)監査

開発したデモシステムの画面は以下である。設定したルールに対して、各 USS や各 Operator が遵守できているかを一覧することができる Conformance Status、各 USS の遵守状況、各運航者の遵守状況詳細、各運航の状況、ルールの編集画面である。ルールは、USS や Operator 毎に設定可能である。

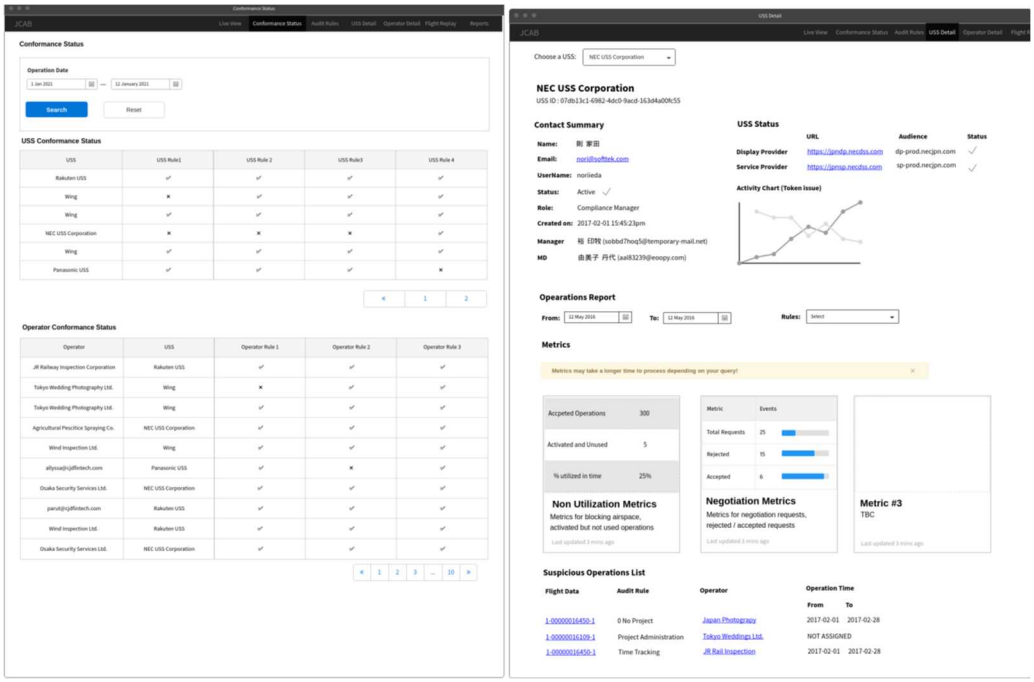


図 2.2.1.10-102 Conformance Status（ルール準拠状況）
Detailed USS View（USS の遵守状況詳細）

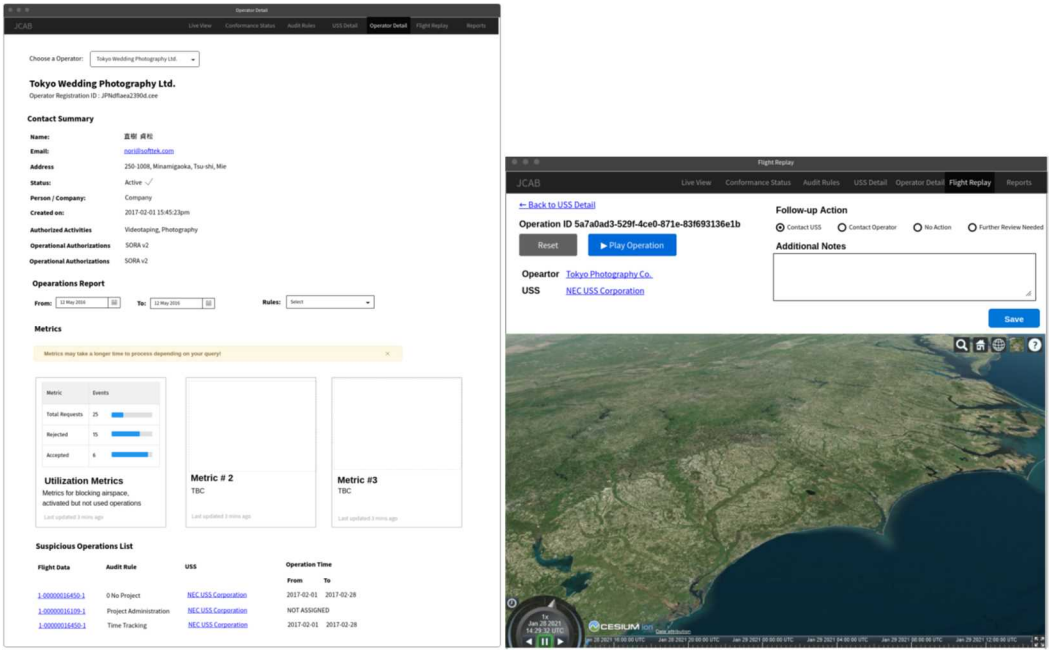


図 2.2.1.10-103 Detailed Operator View（運航者の遵守状況詳細）
Operation View（各運航の状況）
（出典：openstreetmap.org）

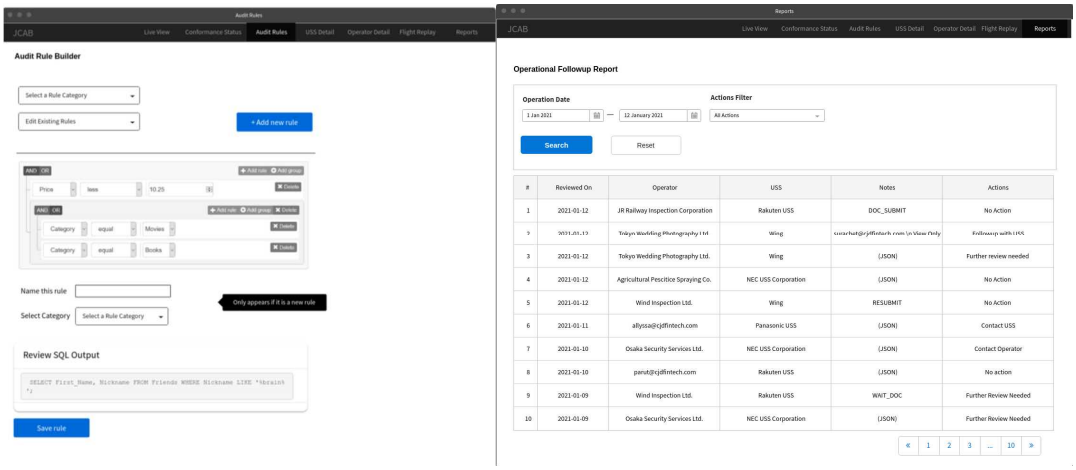


図 2.2.1.10-104
Rule Builder View（ルール構築画面） Reports View（各運航の状況）

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 飛行計画管理機能の分散化に関する研究

飛行計画管理の分散に向けて導入したLBに関して現状ハブ以上の機能を持たせられず、冗長な構成となってしまっている。SW(DSS)での分散のみならずNWレベルでの分散についての可否について改めての検討が必要である。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

現状のエリア別の分散化手法では、重複エリアを超えたエリア間を飛行する飛行計画の申請が不可となっている。将来的なエリアの増加や無人航空機の航続距離の増大を考慮すると複数エリアを含めた飛行計画についても申請可能となるべきである。

現在実装されている主・副エリアでの飛行計画管理による分散手法ではないエリアに依存しない分散手法を検討する必要がある。

(C) 飛行計画管理の分散による各FIMSの飛行計画管理に関連した性能の研究

・非同期処理の性能向上

現段階での飛行計画管理では、飛行計画申請において 1 件あたりの処理時間は平均0.1～0.2秒程で処理可能であることが確認できたが、同時期に複数の申請を受理した場合に大きくパフォーマンスが下がる問題が検出された。

要因として、現行のシステムは、1 回の申請処理に対し複数のモジュールをRESTAPIで連携する橋渡しの構成となっており、その内いくつかのモジュールではDBへの接続も行っている為、飛行計画管理内のモジュールとDBサーバ間とのコネクションリソースの負荷が高くなる問題が挙げられる。複数の申請受理の際は起動した非同期スレッド毎にDBへの登録・更新・削除処理を行っている為、DBサーバ間とのコネクションリソースの最適化および非同期スレッドの管理方法についても見直しが必要とされる。

・コンフリクト判定処理の構成見直し

飛行計画申請受理の際コンフリクト判定処理においては、他複数の連携先とのやり取りも多くある為、性能向上にはシステム構成の全体的な見直しが必要。

(D) 交渉・監査機能に関する研究

a)交渉

成立したASTMのUTM標準のフェーズでは、交渉は含まれていないが、交渉についてはASTM内の主要メンバーと情報交換を行い、ASTM会合に提案を行う必要がある。

b)監査

監査機能についてSwiss FOCA（航空当局）や国交省航空局等に紹介したところ「民主導の分散型になったときに、当局が行うべきことのイメージが持てた」といった意見とともに、「気象情報など、様々な情報も同時に見えると良い。各運航者が、一見、公平性に欠ける運航をしているように見えても、理由が分かるかもしれない」といった改善意見も頂いた。こういった利用者視点での機能開発を、今後、行っていく必要がある。

5.3.2. 「空域情報の分散管理技術の開発」（実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

(1) 実施事項

(A) 全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式の検討、実装に向けた設計

空域管理機能の社会実装においては、全国範囲で空域情報・地図情報を管理し安全運航に活用できる基盤となることが求められる。システムで管理する情報量も膨大になり、また、今後予想される無人航空機の機体数・運航数の急増により利用数も増加することが想定されるため、短時間で大量のデータを扱う高い性能を実現することが求められる。本研究では社会実装を見越し、全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成、分散処理方式の検討、実装に向けた設計を実施した。

(B) 分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証、実装した方式の妥当性検証

前項（A）の設計結果に基づき、分散情報処理機能について実装した。また、結合試験や実証実験にて、空域情報の分散化により運航管理統合機能および運航管理機能の運用に影響を与えないかの検証をおこなった。

(C) 検証により明らかになった課題への改善案検討

前項（B）の検証で明らかになった課題への改善案を検討した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式の検討、実装に向けた設計

本研究では、全国規模での空域管理を実現するため、システムの処理性能および拡張性を向上することを目的とし、空域管理機能の分散処理方式を検討し、実装に向けた設計を実施した。検討する上では以下の 3 点を前提事項とした。

【検討の前提事項】

・空域管理機能で保持する各種情報は複数のサーバに分散して管理する。
・運航管理機能側からの問合せのインタフェースは既存仕様から変更しない。
・運航管理機能側から情報取得する際に、運航管理統合機能の空域管理機能が分散されていることを運航管理機能側に意識させない。

前提を踏まえて、実装方式・システム構成を検討した結果を以下に示す。

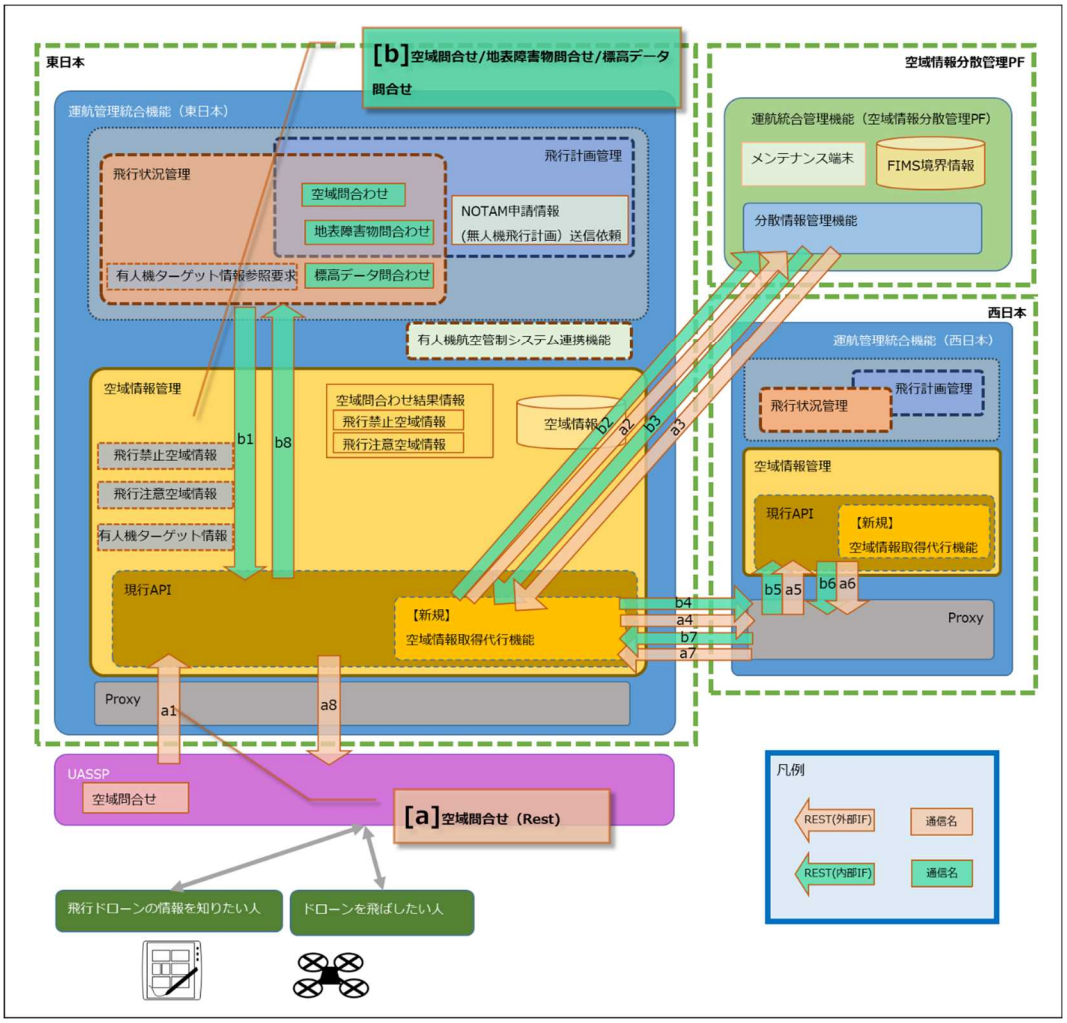


図 2.2.1.10-105 実装方式・システム構成

運航管理統合機能の地理的分散配置として、東日本と西日本の 2 つの領域に分けることとし、東日本/西日本の各運航管理統合機能の空域管理機能は、各地域が担当するエリアの空域や障害物等の情報を保持する。各種情報を東日本/西日本のどちらで保有しているかについては、新規に構築する空域情報分散管理プラットフォーム内の分散情報管理機能にて保持する。また、各運航管理統合機能の空域管理機能内に空域情報取得代行機能を新規に構築し、分散情報管理機能に情報保有先を問い合わせる機能を持たせる。

運航管理統合機能内外から空域問合せ等があった場合（a1、b1）には、空域情報取得代行機能が空域情報分散管理プラットフォーム内の分散情報管理機能へ情報連携する（a2、b2）。空域情報分散管理プラットフォームでは全国の空域情報、標高データ情報、障害物情報が東西どちらに配置されているかの境界情報を管理しているため、この情報をもとに、分散情報管理機能では問合せのあった領域が東西どちらに配置されているかの結果を、空域管理機能の空域情報取得代行機能に返す（a3、b3）。空域情報取得代行機能では、東西それぞれから必要な情報を取得・マージし（a4～a7、b4～b7）、問合せ先に情報を返却する（a8、b8）。

この実装方式・システム構成に基づき、分散管理機能の要件定義・外部設計を実施した。以下では、空域管理機能の空域情報取得代行機能と分散情報管理機能とのインタフェースとなる「分散情報管理問合せ機能」の設計結果について抜粋して説明する。

空域等のデータは東日本/西日本の 2 つのサーバに分散して保持されているが、運航管理統合機能内外から空域管理機能へ空域等の問合せを実施した際、問合せ元では取得したいデータが東日本/西日本のどちらのサーバに格納されているかはわからない。分散情報管理問合せ機能は、運航管理統合機能内外からの空域等の問合せを受けた際に、問合せ対象データの格納先が東日本/西日本のどちらのサーバであるかの情報を返却するものである。分散情報管理問合せ API のデータ項目について以下に示す。

表2.2.1.10-33 分散情報管理問合せ情報のデータ項目

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	値域	説明
1	01	情報区分	infoCategory	0:空域情報問合わせ情報 API 用 1:地表障害物問合わせ API 用 2:標高データ問合わせ API 用	分散情報管理における情報区分の識別子 ■0:空域情報問合わせ API 用 →例) 東と西の 2 種に領域が分割されている ■1:地表障害物問合わせ API →例) 都道府県別の 47 種に領域が分割されている ■2:標高データ問合わせ API 用 →例) 都道府県別の 47 種に領域が分割されている
2	01	図形識別子	polygonType	0:多角形 1:円形 2:矩形	判定する平面上での図形の識別子
3	01	半径	radius	1～10000	[図形識別子]が円形の場合のみ必須 [単位:m]
4	01	エリア	area	ー	[図形識別子]により下記データを要求する。 ・多角形の場合、リストは 3 件以上であること →3 件未満(件数 < 3)はエラーとする。 →リスト内の頂点(緯度、経度)の順序は時計回りとする。 ・円形の場合、リストは 1 件であること →2 件目以降(件数 >= 2)は無効とする。

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	値域	説明
					・矩形の場合、リストは2件で[左下緯度,左下経度][右上緯度,右上経度]の順であること →2件未満は(件数 < 2)とエラーとする。 →3件目以降(件数 >= 3)は無効とする。
5	02	緯度	latitude	-90.000000000000 ～ 90.000000000000	10進緯度 [単位:度]
6	02	経度	longitude	- 180.000000000000 ～ 180.000000000000	10進経度 [単位:度]

(B) 分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証、実装した方式の妥当性検証

前項（A）の設計結果に基づき、分散情報処理機能について実装した。結合試験や実証実験にて、空域情報の分散化により運航管理統合機能および運航管理機能の運用に影響を与えないかの検証をおこなった。なお、実証実験時の空域情報の東西分割について以下のとおりとした。

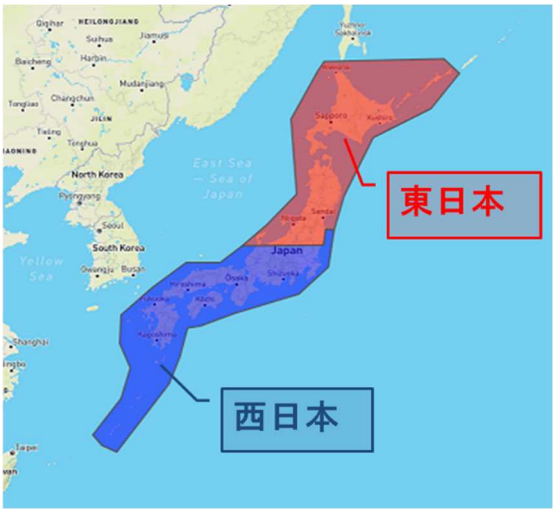


図 2.2.1.10-105 空域情報（飛行禁止空域、飛行注意空域）、障害物データの東西分割
（出典：openstreetmap.org）

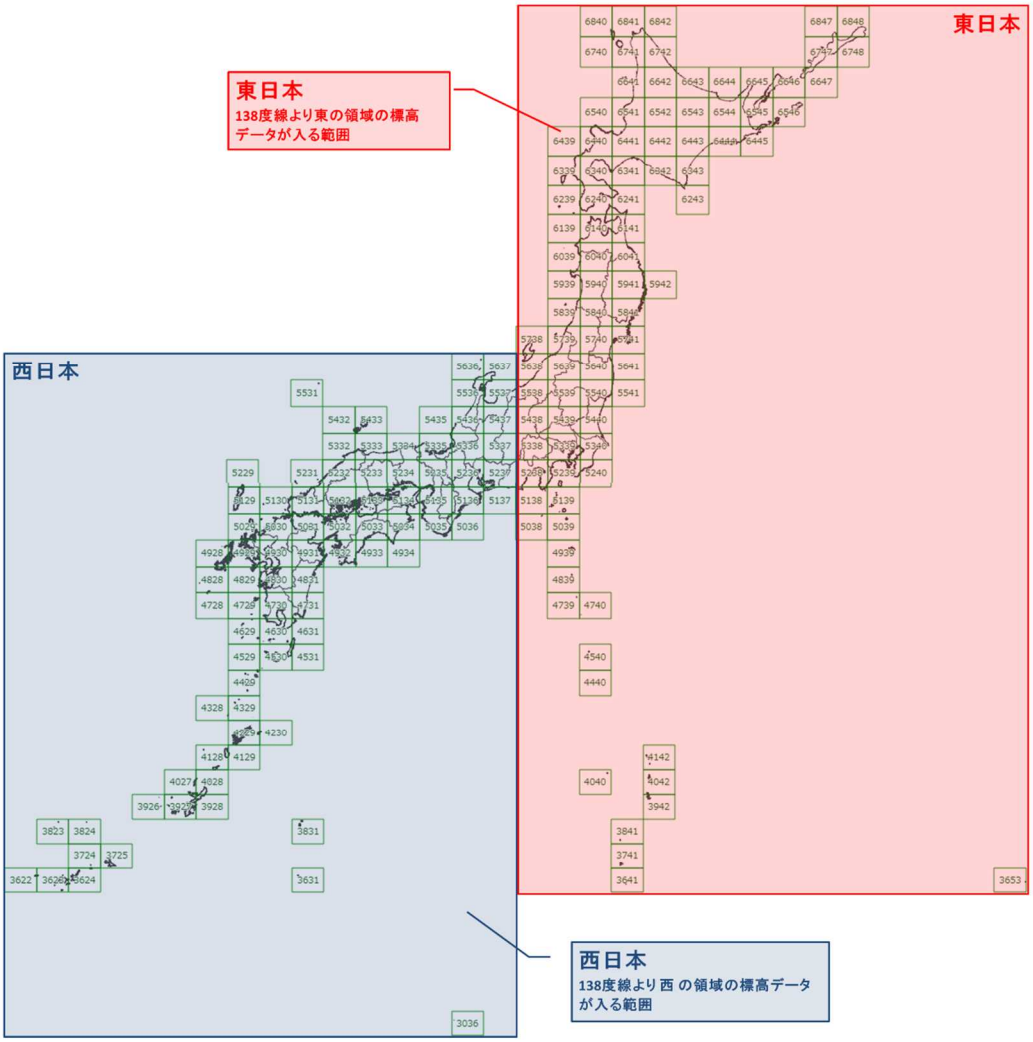


図 2.2.1.10-107 標高データの東西分割
（出典：地図表示画面　国土地理院　基盤地図情報ダウンロードサービスサイト
https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem）

検証においては、福島ロボットテストフィールド（緯度 37.6304396358824、経度 141.014666206952）で、空域問合せ等を実施した際にかかる処理時間を計測し、運用への影響有無を確認した。以下に、計測した処理時間について示す。なお、空域情報（飛行禁止空域、飛行注意空域）および障害物データの問合せでは、前述の緯度経度座標を中心に、半径 100m、1,000m、10,000m の円形を問合せ領域とした。標高データの問合せでは、問合せ領域のサイズが処理時間にほぼ影響を及ぼさないことを確認していたため、福島県山間部における半径 1m の円形を問合せ領域とした。

表 2.2.1.10-34 空域問合せ／障害物問合せ／標高問合せの処理時間計測結果

項番	問合せ種別		レスポンスタイム	
	種別	領域	1 回目 (s)	2 回目 (s)
1	空域	半径 100m	0.48	0.48
2		半径 1,000m	0.61	0.52
3		半径 10,000m	2.11	1.87
4	空域(GeoJSON 形式)	半径 100m	0.15	0.50
5		半径 1,000m	0.61	0.61
6		半径 10,000m	1.50	1.46
7	障害物	半径 100m	0.08	0.07
8		半径 1,000m	0.96	0.84
9		半径 10,000m	63.49	61.23
10	標高	半径 1m	1236.27	1167.46

処理時間測定の結果、空域問合せに関しては条件によらず 1～2 秒程度のレスポンスとなっており、運用への影響はなしと判断した。障害物問合せに関しては、半径 100m、1,000m では 1 秒未満であり運用影響なしと判断するが、半径 10,000m の問合せ領域とした場合に、処理時間が 1 分を超える結果となった。物流ユースケースなどの長距離飛行の場合に、性能改善の検討が必要と考える。また、標高問合せに関しては、処理時間が約 20 分となっており、抜本的な改善が必要という結果となった。

(C) 検証により明らかになった課題への改善案検討

前項（B）の結果、性能改善が必要と判断した障害物問合せおよび標高問合せについて、改善案を検討し、データ分散保持時の分割数の最適化、データ管理方式の最適化を進めることが有効ではないかと考えた。

本研究では、標高問合せについて、以下の 2 つの追加検証を実施した。

・データ格納 DB の分割数の最適化検証

・データ管理方式の最適化検証

a)データ格納 DB の分散数の最適化検証

標高問合せについて、2019 年度までの研究において、福島ロボットテストフィールド周辺のみ標高データを投入した状態と比較し、全国分の標高データ投入後の性能劣化が顕著であった。標高データについては他の情報と比べてデータ量が膨大であるため、データの分割数を増やし、1 サーバあたりのデータ件数を減らすことで性能改善を試みた。追加検証結果を以下に示す。

表 2.2.1.10-35 追加検証結果

分割数	データ件数	レスポンスタイム	
		1 回目(s)	2 回目(s)
2 分割	1,809,394,623 件	1236.27	1167.46
4 分割	904,697,312 件	595.26(※)	517.19(※)
8 分割	452,348,656 件	285.72(※)	229.11(※)
16 分割	226,174,328 件	137.15	140.67
32 分割	113,087,164 件	65.83	64.32
64 分割	56,543,582 件	31.28	29.73
128 分割	28,271,791 件	12.22	12.21

（※）デッドタプルが発生していたため、推測値を算出

追加検証では、データ件数と処理性能が比例することが確認できた。今回検証した範囲では、全国データを 128 分割した際の処理時間が 12 秒程度と最小となり、さらに分割数を増やすことでさらなる処理時間の短縮が見込まれる。ただし、標高データが頻繁に更新必要となる種別のデータではないことを踏まえたとしても、標高データ保持用に数百のテーブルを構築・管理することは現実的ではない。また、検証中は CPU やメモリ等のリソース状況の監視も行ったが、特に問題はなく、単純にデータ件数が多いことが性能課題の原因と考えられた。このため、標高データについては、現在採用するリレーショナルデータベース（RDB）である PostgreSQL で管理することには限界があり、別方式でデータを扱うことも視野に検討を進める必要があると考えた。

b)データ管理方式の最適化検証

前項(a)の結果を受け、本研究では、RDB である PostgreSQL に変わり、同等の処理を分散型検索エンジンで実現できるかを検証し、両者の性能比較も行うこととした。

まず、本研究で採用する分散型検索エンジンを決定するため調査を実施した。調査の結果、地理空間系の機能が充実し、かつ大容量データにも耐えられると評価した「Elasticsearch」を採用することとした。

検証は 2 フェーズに分け、登録するデータ数を変えて実施した。Phase1 では 1 県分（福島県）の標高データを投入した状態で実施し、Phase2 では 4 県分（福島県、青森県、岩手県、宮城県）の標高データを投入した状態で検証を行った。各県のデータ件数は以下のとおりであった。

表 2.2.1.10-36 検証で使用するデータ

項番	データエリア	geojsonデータファイルサイズ	データ件数	Phase1時データ	Phase2時データ
1	福島県	約 26.8 GB	139,624,434	○	○
2	青森県	約 13.7 GB	71,667,143		○
3	岩手県	約 26.5 GB	137,637,733		○
4	宮城県	約 14.8 GB	77,388,425		○
	合計	約 81.6 GB	426,317,735		

検証項目および検証結果を以下に示す。

検証種別

項番	検証カテゴリ
①	データ検索・データ取得
②	データ検索(件数カウントのみ)

リクエストエリアパターン

項番	形状	エリア
A	円形	半径100m （面積： 31,415㎡）
B	円形	半径1km (1,000m) （面積： 3,141,592㎡）
C	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）
D	矩形(ポリゴン)	縦軸：約300m 横軸:約100m （面積： 約30,000㎡）
E	矩形(ポリゴン)	縦軸：約3,000m 横軸:約1,000m （面積： 約3,000,000㎡）
F	矩形(ポリゴン)	縦軸：約30,000m 横軸:約15,000m （面積：約450,000,000㎡）
G	円形	半径500km (500,000m) ※データ登録済みのエリア全域（4都道府県分）

同時リクエスト数

項番	データパターン
Ⅰ	1 件
Ⅱ	5 件
Ⅲ	10 件

図 2.2.1.10-108 検証項目

項番	種別	リクエストエリア形状	リクエストエリア	同時リクエスト数	データ件数	所要時間(秒) Elasticsearch Phase1	Elasticsearch Phase2	PostgreSQL Phase1	PostgreSQL Phase2
1	データ検索・取得	円形	半径100m （面積： 31,415㎡）	1	259	0.08	0.21	81.55	275.92
2	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約300m、横軸:約100m （面積： 約30,000㎡）	1	732	0.27	0.12	80.44	272.24
3	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約3,000m、横軸:約1,000m （面積： 約3,000,000㎡）	1	8,887	0.43	0.53	81.60	273.22
4	データ検索・取得	円形	半径1km (1,000m) （面積： 3,141,592㎡）	1	25,875	0.90	1.25	84.56	279.31
5	データ検索・取得	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）	1	2,586,818	84.25	114.62	303.93	499.25
6	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約30,000m、横軸:約15,000m （面積：約450,000,000㎡）	1	3,638,930	117.86	200.00	328.05	517.38

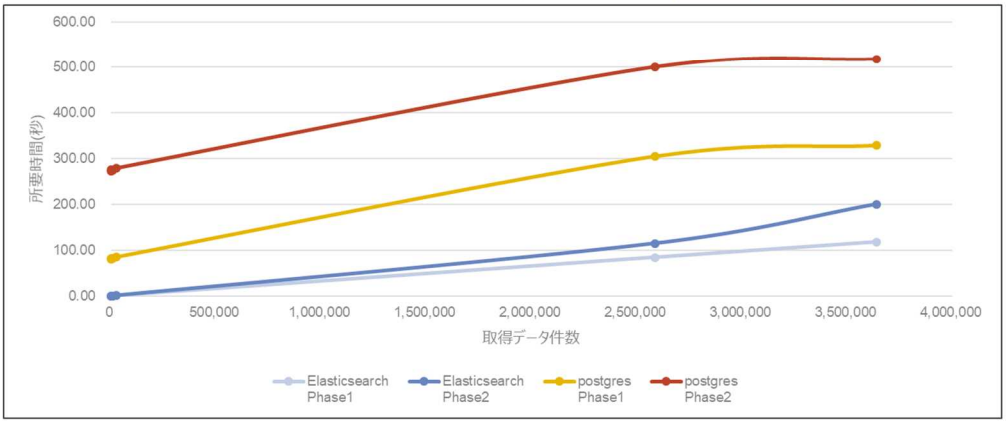


図 2.2.1-10-109 【データ検索・取得】単発リクエストにおける処理時間

項番	種別	リクエストエリア形状	リクエストエリア	同時リクエスト数	データ件数	所要時間(秒) Elasticsearch Phase1	Elasticsearch Phase2	PostgreSQL Phase1	PostgreSQL Phase2
1	データ検索 (件数カウントのみ)	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）	1	2,586,818	0.40	0.35	176.66	364.97
2	データ検索 (件数カウントのみ)	矩形(ポリゴン)	縦軸：約30,000m、横軸:約15,000m （面積：約450,000,000㎡）	1	3,638,930	0.17	0.21	154.78	340.86
3	データ検索(件数カウントのみ) ※登録されているデータすべてを含むリクエストエリア ・Phase1	円形	半径500km (500,000m)	1	139,624,434	1.17		4,590.03	
4	データ検索(件数カウントのみ) ※登録されているデータすべてを含むリクエストエリア ・Phase2	円形	半径500km (500,000m)	1	426,317,735		2.65		12,760.21

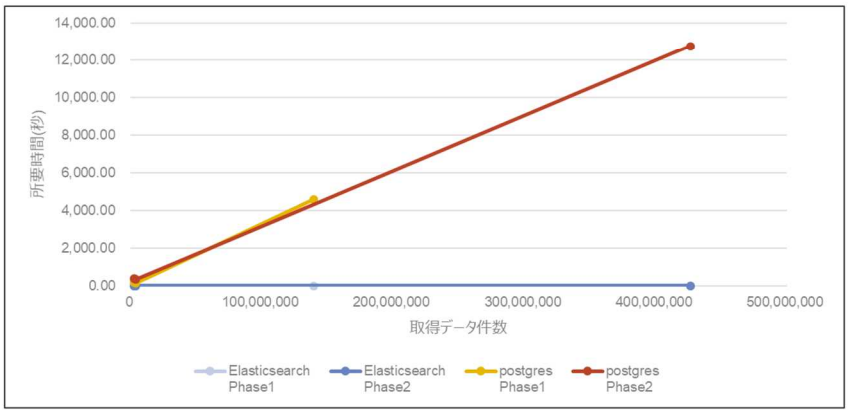


図 2.2.1.10-110 【データ件数カウント】単発リクエストにおける処理時間

項番	種別	リクエストエリア形状	リクエストエリア	同時リクエスト数	データ件数	所要時間(秒) ※所要時間は5リクエストの平均 Elasticsearch Phase1	Elasticsearch Phase2	PostgreSQL Phase1	PostgreSQL Phase2
1	データ検索・取得	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）	1	2,586,818	84.25	114.62	303.93	499.25
2	データ検索・取得 同時5リクエスト	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）	5	2,586,818	265.79	371.95	1,194.54	2,224.10

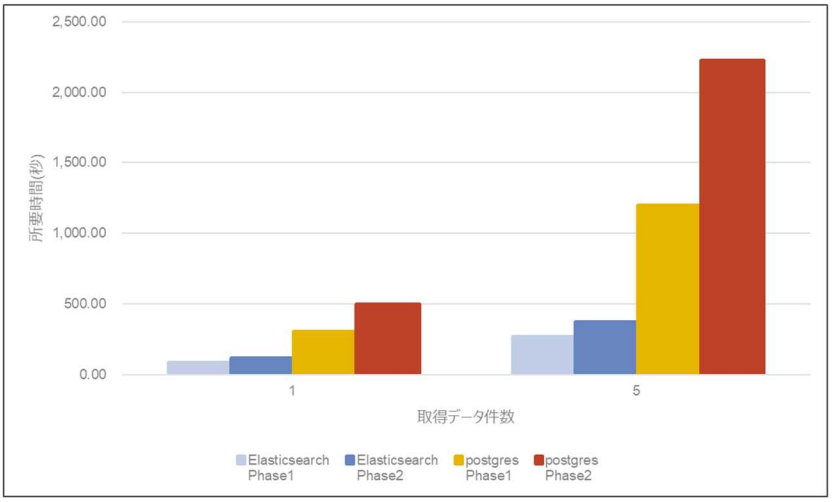


図 2.2.1.10-111 【データ検索・取得】同一内容の同時 5 リクエストにおける処理時間

項番	種別	リクエストエリア形状	リクエストエリア	同時リクエスト数	データ件数	所要時間(秒) ※3回計測しての平均 Elasticsearch Phase1	Elasticsearch Phase2	PostgreSQL Phase1	PostgreSQL Phase2
1	データ検索・取得	円形	半径100m （面積： 31,415㎡）	10	263	1.65	1.04	617.24	1,753.80
2	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約300m、横軸:約100m （面積： 約30,000㎡）		732	1.38	1.22	617.33	1,753.76
3	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約3,000m、横軸:約1,000m （面積： 約3,000,000㎡）		8887	2.02	1.64	617.31	1,888.34
4	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約3,000m、横軸:約1,000m （面積： 約3,000,000㎡）		8887	1.75	1.51	617.31	1,962.59
5	データ検索・取得	円形	半径1km (1,000m) （面積： 3,141,592㎡）		25875	3.78	4.00	624.87	1,753.79
6	データ検索・取得	円形	半径1km (1,000m) （面積： 3,141,592㎡）		25978	4.08	3.87	617.35	1,753.77
7	データ検索・取得	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）		2586818	225.63	307.04	1,216.35	2,169.75
8	データ検索・取得	円形	半径10km (10,000m) （面積： 314,159,265㎡）		2597562	232.76	314.42	1,231.99	2,169.79
9	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約30,000m、横軸:約15,000m （面積：約450,000,000㎡）		3638930	278.94	421.26	1,008.61	2,235.23
10	データ検索・取得	矩形(ポリゴン)	縦軸：約30,000m、横軸:約15,000m （面積：約450,000,000㎡）		3638930	288.04	414.30	1,402.88	2,551.74

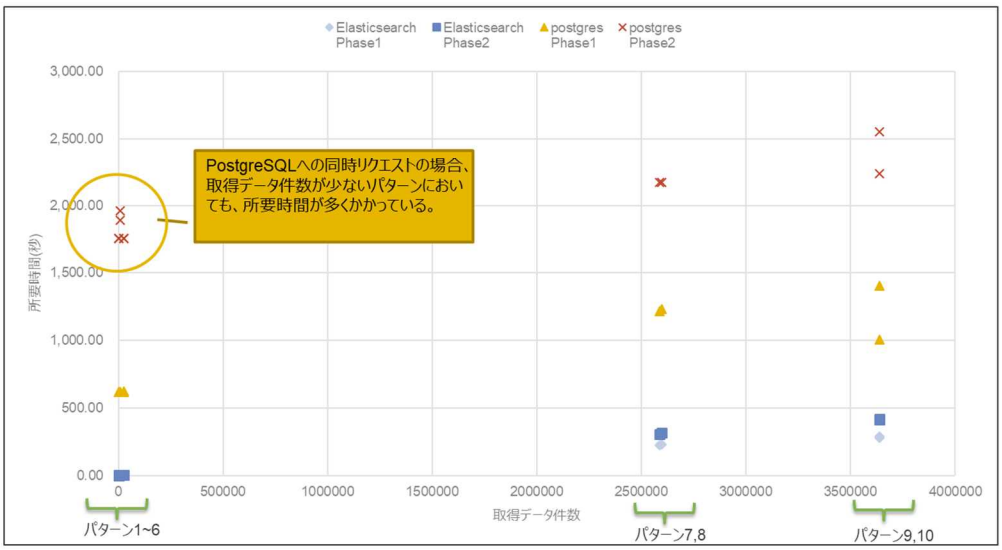


図 2.2.1.10-112 【データ検索・取得】データパターンが異なる同時 10 リクエストにおける処理時間

検証の結果、同一のデータ量、環境（CPU 数、メモリ）にて、同一の検索リクエストを送った場合、Elasticsearch の方が、PostgreSQL よりも結果返却までの時間が速いことがわかった。検索範囲にもよるが、検索結果が 1 万件以下程度の場合、Elasticsearch は、PostgreSQL よりも約 500 倍速く、3 万件程度の場合は、2.5 倍程速い結果となった。また、データ件数のカウントにて、検索結果が大きい場合、PostgreSQL では検索速度が顕著に遅くなることがわかった。データ件数が 426,317,735 件（4 県分）である場合の件数カウントでは、Elasticsearch は PostgreSQL よりも約 4,500 倍速い結果が得られた。同時リクエストによる検証については、Elasticsearch と PostgreSQL ともに、同時リクエスト件数が増えると、処理時間が伸びていくことがわかり、環境に依存する結果と考えらえる。

本検証により、社会実装を見据えて全国標高データを保持する場合には、分散型検索エンジンを採用することで大幅な性能改善が見込まれることが分かった。

なお、追加検証として実施した「データ格納 DB の分割数の最適化検証」および「データ管理方式の最適化検証」の結果を統合して、Elasticsearch を採用した場合に、データ格納 DB の分割数によりレスポンスタイムがどうなるかを試算も行った。試算した結果を以下に示す。データ格納 DB を 4 分割以上とすることで、レスポンスタイムが 1 秒未満なると想定される結果となった。

表 2.2.1.10-37 格納 DB 分割数に対応した Elasticsearch 採用時のレスポンスタイム試算値

分割数	データ件数	レスポンスタイム	
		Elasticseach 採用時の試算値	＜参考＞ PostgreSQL 実測値
2 分割	1,809,394,623 件	1.14	1236.27
4 分割	904,697,312 件	0.55	595.26
8 分割	452,348,656 件	0.21	285.72
16 分割	226,174,328 件	0.13	137.15
32 分割	113,087,164 件	0.08	65.83
64 分割	56,543,582 件	0.03	31.28
128 分割	28,271,791 件	0.01	12.22

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、社会実装を見越し、システムの処理性能および拡張性を向上する空域管理機能の分散処理法の検討および評価を実施した。

空域管理機能で扱うデータとしては、空域情報（飛行禁止空域、飛行注意空域）、障害物データ、標高データの大きく 3 種類あるが、今回採用した分散処理方式では、障害物データ、標高データについて処理性能に課題があることが判明した。今後、特に標高データでは抜本的な改善が必要であるが、本研究において、技術的な解決の方向性（データ分散保持、データ管理方式の見直し）を確認できた

今回の研究で扱った各データについて、運用想定に基づき求められるであろうデータ処理レスポンスの想定値を設定し、それを満たすために必要なデータ管理方式および分散数の想定を参考値として整理した。以下にその結果を示す。社会実装においてはこの想定を参考として現実的な実装方法を見極めていく必要がある。

表 2.2.1.10-38 運用想定に基づく要求性能の想定と実現方式案の整理

情報種別	運用想定	要求レスポンス想定(*)	データ管理方式	必要分散数
空域	【データ特性】 ・空域は動的に変更される想定であり、情報の更新頻度が高い。 【利用想定】 ・飛行計画段階における空域との干渉確認に利用。 ・飛行中においても動的に設定された空域情報をリアルタイムに把握する必要がある。	3 秒	RDB	想定数：2 現状設定されている飛行禁止区域数に基づく想定。管理対象の空域種別が増える場合にはさらに分散が必要。
障害物	【データ特性】 ・建物/障害物の変動は多いが、定期的に情報収集することはコスト的にも現実的ではないため、情報の更新頻度は低い想定。 ・精緻な障害物情報が必要な場合はデータ量が膨大になる。 【利用想定】 ・飛行計画段階における障害物との干渉確認に利用。 ・情報の更新頻度が低く、またデータ量が多いため、FIMS から取得したデータを利用者側で一時的に保持する運用を想定。	10 秒	分散型検索エンジン	想定数：- 要求するデータ精度によって異なるため一概に推定できないが、2 桁程度の分散が必要と想定。
標高	【データ特性】 ・標高の短期的な変動はそれほど高く、情報の更新頻度は低い。 ・データ量は非常に多い(2~3TB)。 【利用想定】 ・飛行計画段階における地表との干渉確認に利用。 ・情報の更新頻度が低く、またデータ量が多いため、FIMS から取得したデータを利用者側で一時的に保持する運用を想定。	10 秒	分散型検索エンジン	想定数：4 国土地理院の 10m メッシュの標高データを扱う想定での数値。さらに高精度のデータを使用する場合は分割数増となる。管理の容易の観点から、国土地理院のデータ分割の単位に合わせて都道府県単位での分割も考えられる。

(*)100 ㎢の範囲でデータ検索した場合に求められるレスポンスの想定値

5.3.3. 「飛行状況管理の処理分散技術の開発」（実施者：株式会社日立製作所）

(1) 実施事項

(A) 分散構成の検討

2019 年度までは、福島 RTF を含む南相馬市浜通り地区周辺を管理空域と仮定し、1 サーバあたり 100 機の処理能力を目標として設計した。

社会実装を想定した場合、より広い管理空域、より多くの機数の動態管理を実施する必要がある。このため、同様性能のサーバを並列動作させることで容易に処理能力向上が可能な方式を検討した。

本研究では、分散方式の最小限の評価として、2 台のサーバを用いて担当空域を分割し、それぞれのサーバで同時飛行機数 100 機、合わせて 200 機の動態管理を行う事を目標とし、最適なシステム構成を検討した。

(B) 実証での空域検討

2 台のサーバを用いて空域分割する場合、本研究においては日本全国をカバーするよう空域設計を行う必要がある。

このため、実証用に日本のエリアを西日本、東日本で分割し、2 台のサーバで分割管理を行う事、合わせて福島 RTF において実証を実施するための管理空域分割構成について検討した。

(C) 性能評価

(A)にて設計した分散構成のサーバが、所定の能力を発揮できることを、シミュレータによる負荷試験によって実施し、構築サーバの性能達成状況の確認、及びアーキテクチャの課題抽出を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 分散構成の検討

これまでは、1 つのサーバで飛行状況管理を行っていたが、日本全国を対応するには性能上困難であるため、空域ごとの分散構成(スケールアウト)での対応を検討した。

理想とする分散処理構成を下図に示す。

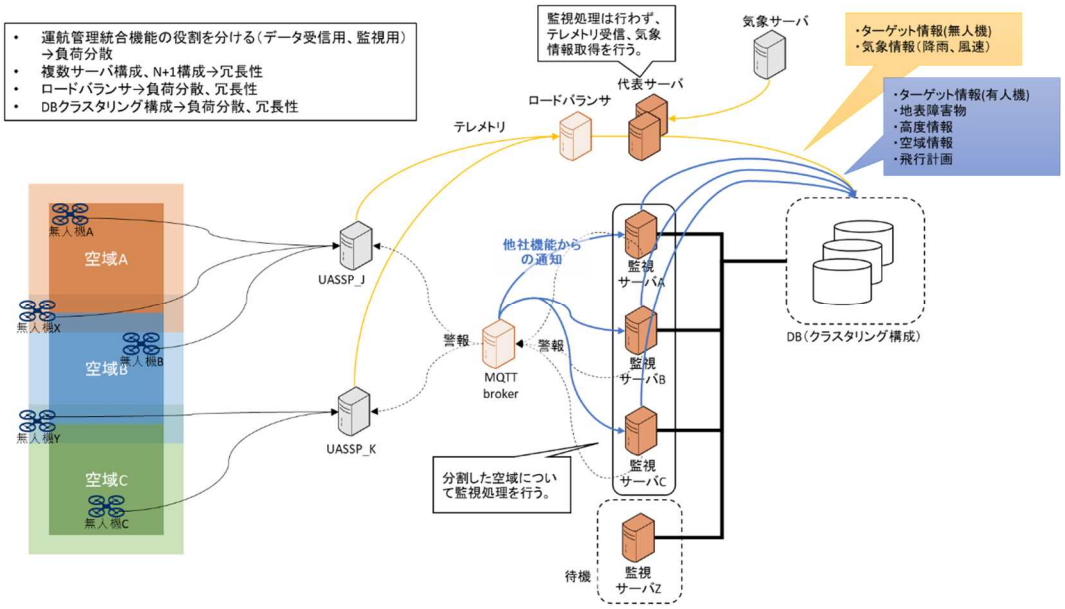


図 2.2.1.10-113 処理分散構成の理想形

(B) 実証での空域検討

実証時には下図のように空域を東日本（オレンジ)、西日本（青）に 2 分割し、検証した。

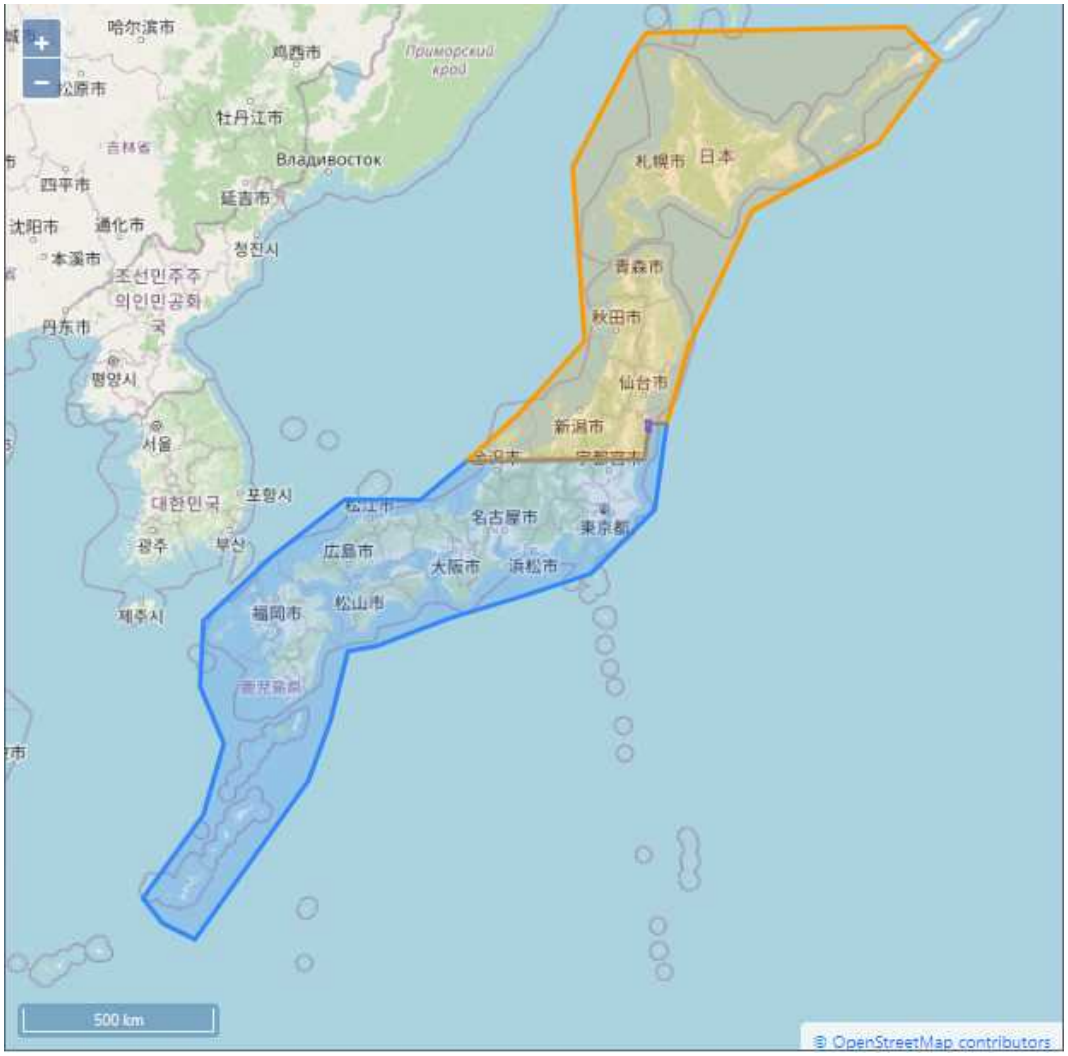


図 2.2.1.10-114 東日本、西日本で分割
（出典：openstreetmap.org）

また処理分散構成としては外部とのインタフェースとなる代表サーバと東日本の監視処理サーバを同一マシン上で稼働させ、DB は空域ごとに分けた。

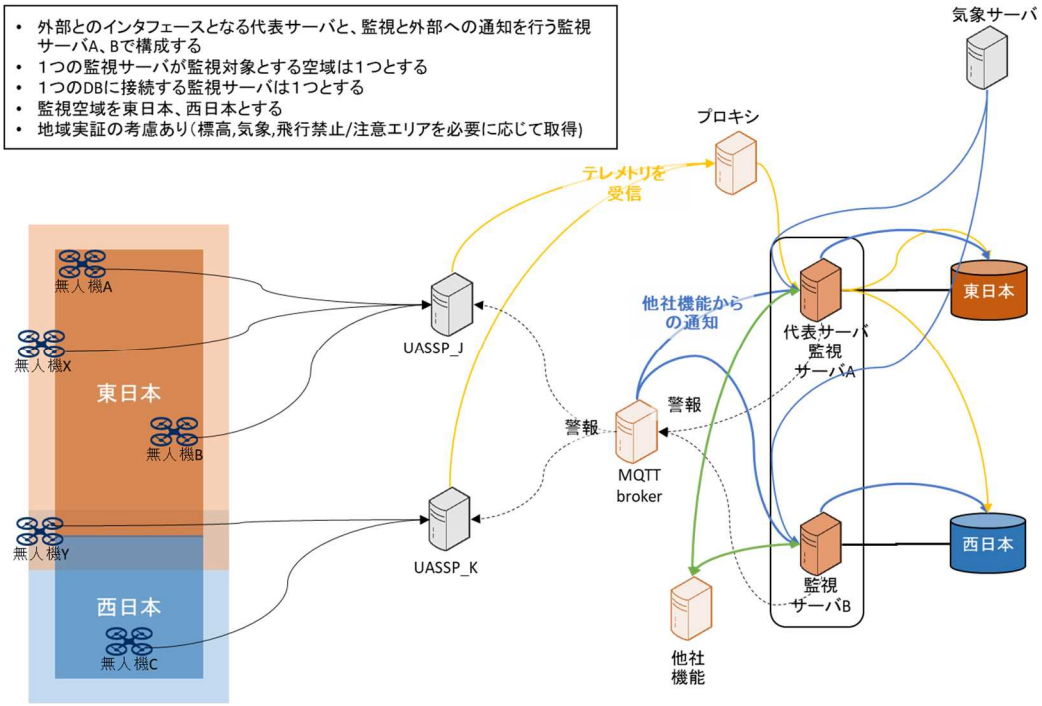


図 2.2.1.10-115 実証時の構成

(C) 性能評価

実証時の構成では東西日本 100 機ずつの処理分散を前提とし、動態情報受信⇒衝突判定⇒近傍機体情報の送付ないしは警報送出までの時間を測定した。また性能試験時のイメージを図に示す。

東日本担当サーバ、西日本担当サーバにて、それぞれ 100 機分のテレメトリを 1 秒間隔で入力し、近傍機体情報ないしは警報送出までにかかった時間を表 2.2.1.10-39 に示す。西日本担当サーバは、純粋な衝突判定のみのため、すべてのテレメトリ受信⇒応答までの時間が 1 秒以内に収まっており、所定の処理能力を達成することができた。一方、東日本担当サーバは、近傍機体情報送付(約 1.6 秒)、飛行計画逸脱警報送付(約 1.3 秒)でそれぞれ 1 秒を超える応答時間となっており、性能目標を達成できなかった。

表 2.2.1.10-39 東日本、西日本の処理性能

処理	処理時間[s]		
	種類	東日本 ※代表サーバ同居	西日本 ※代表サーバなし
200 機分のテレメトリ	最大	0.742	なし
	平均	0.623	なし
100 機分の UAS 間コンフリクト警報	最大	0.768	0.717
	平均	0.586	0.427
100 機分の近傍機体通知	最大	1.592	0.997
	平均	1.382	0.996
100 機分の飛行計画逸脱警報	最大	1.252	0.768
	平均	0.998	0.578

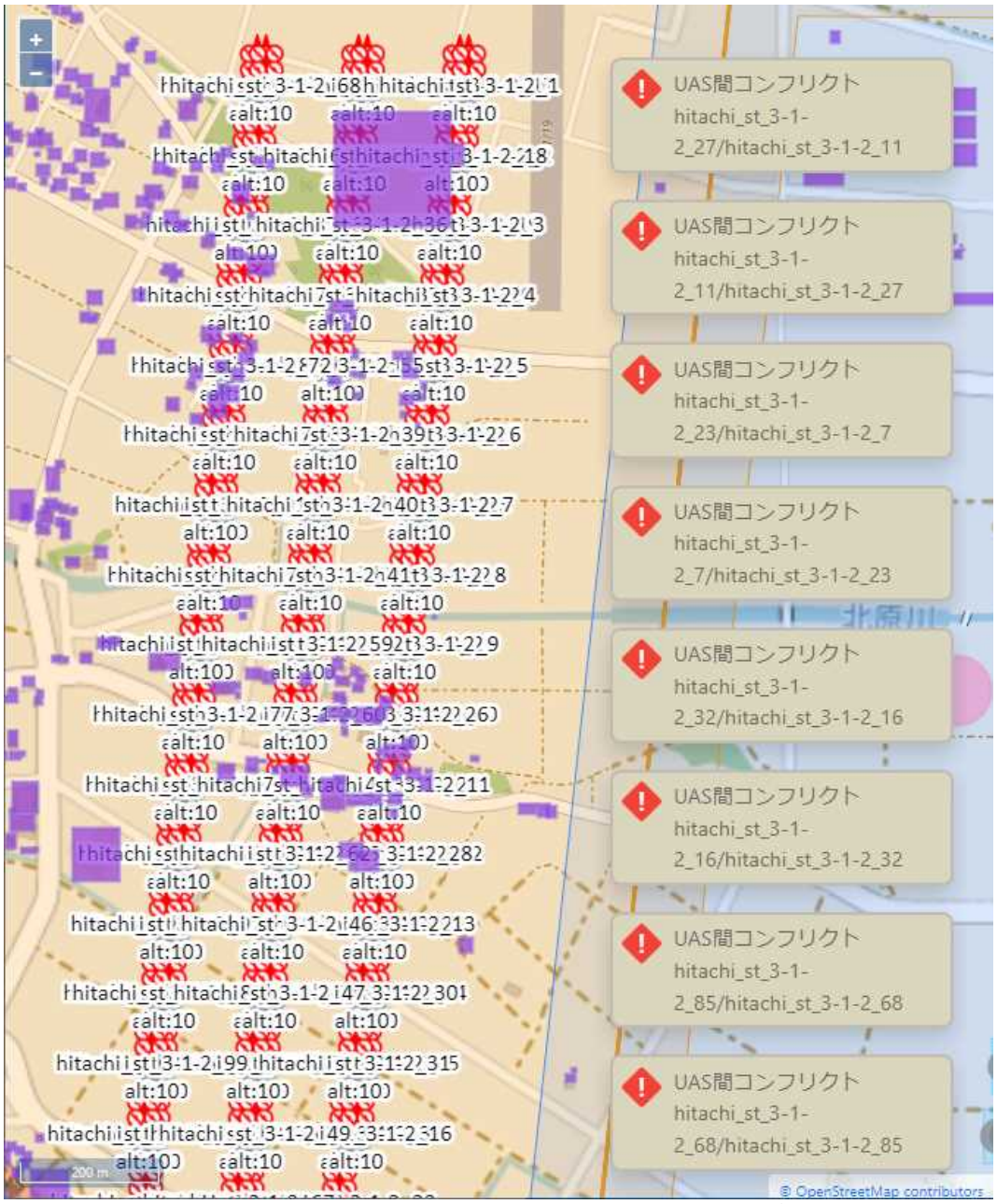


図 2.2.1.10-116 東日本の性能試験時のイメージ
（出典：openstreetmap.org）

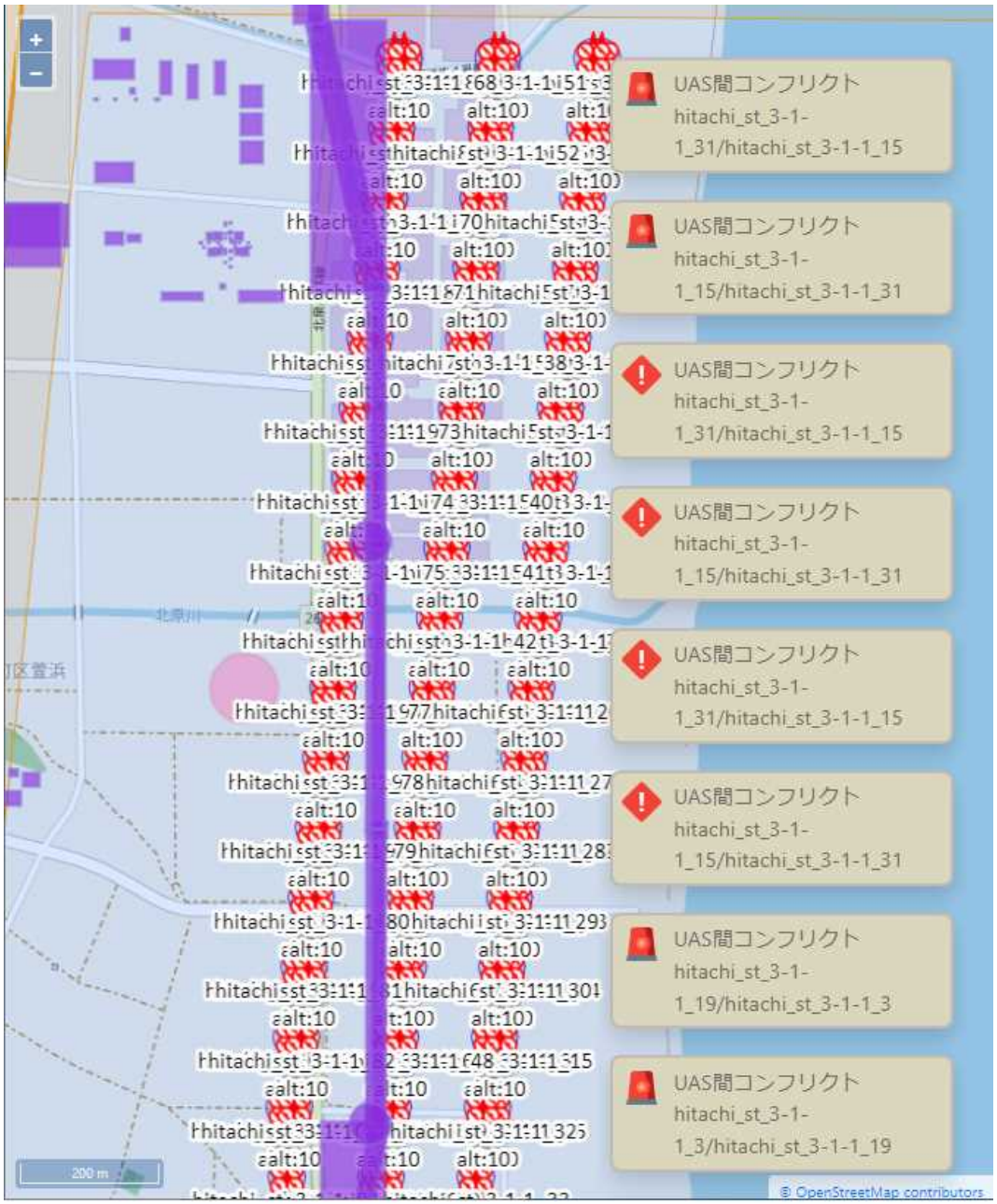


図 2.2.1.10-117 西日本の性能試験時のイメージ
（出典：openstreetmap.org）

性能の基準を超過した原因としては代表サーバと東日本の監視処理サーバ A を同一マシン上で稼働させていたことにより、衝突判定処理に必要な CPU リソースを消費していたと想定される。東日本サーバと西日本サーバの CPU/メモリ使用率を比較すると、東日本サーバ側では CPU 使用率は高いが、メモリ使用率が低い。振り分け処理に CPU リソースを消費し、衝突判定処理量が減ったため、衝突判定処理に必要なメモリ使用率が減ったと考えられる。下表に各マシンの CPU 使用率と空メモリ容量を示す。

表 2.2.1.10-40 東日本、西日本のマシンの CPU 使用率と空メモリ容量

処理	消費リソース			
	マシン全体のリソース	種類	東日本 ※代表サーバ同居	西日本 ※代表サーバなし
200 機分のテレメトリ、100 機分の UAS 間コンフリクト警報、100 機分の近傍機体通知	CPU 使用率[%]	最大	81	63
		平均	65	54
	空きメモリ容量[MB]	最大	4,839	2,988
		平均	4,766	2,932
100 機分の飛行計画逸脱警報	CPU 使用率[%]	最大	49	28
		平均	41	22
	空きメモリ容量[KB]	最大	3,346	4,332
		平均	3,315	4,317

つまり「(A) 処理分散構成の検討」で示した理想形の分散構成に合わせて代表サーバを別マシンに移せていれば、東日本の監視処理サーバでも西日本と同様に性能が出ていた想定ができる。そのため地域によるスケールアウトは構成を適切に考慮することで可能になると想定できる。下図に東西日本 100 機ずつの処理分散可能な構成を示す。

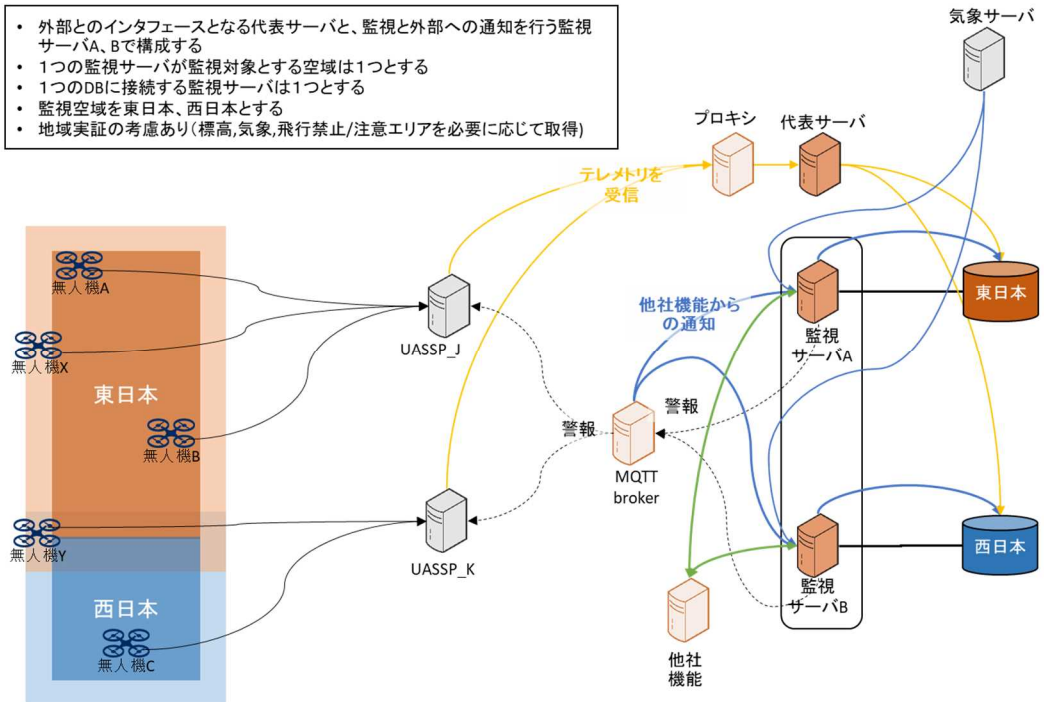


図 2.2.1.10-118 東西日本 100 機ずつの処理分散可能な構成

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

代表サーバ、飛行状況管理機能サーバの最適構成検討及びスケールアウトの確認は十分達成できたと考える。より多くの地域分割に対応するために、「図 2.2.1.10-113　処理分散構成の理想形」で示した理想形の分散構成での検証が必要である。具体的にはロードバランサによる代表サーバの分散構成や DB のクラスタリング構成を検討する必要があると考えている。

ただし、地域の分割方式によっては、処理能力に差が出ることが想定される。例えば都道府県単位に空域を分割した場合、都道府県の県境に当たる箇所は複雑な形状となるため、処理に大きく影響を与える。そのため、四角形などの単調な空域での分割を行い、重複する空域を双方の UTM で監視する形態が望ましいと想定する。エリア分割例を図 2.2.1.10-119 に示す。

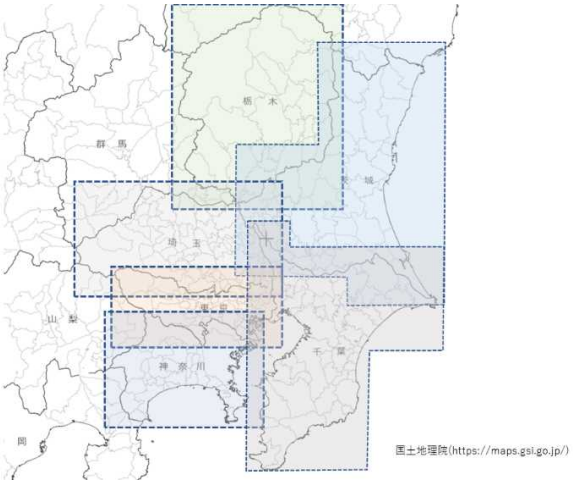


図 2.2.1.10-119 エリア分割例

（出典：地国土地理院　https://maps.gssi.go.jp/）

5.4. 研究開発項目③「全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発」

5.4.1. 「地図情報機能改善の開発」（実施者：日本電気株式会社）

(1) 実施事項

(A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

全国規模で整備されている地図として、Tile Map Service を採用し、運航管理統合機能で活用するユースケースを研究した。また FIMS-SDSP(地図情報)のインタフェースは拡張性、デバイスを問わない柔軟性を考慮し Web GIS を採用し研究を実施した。

(B) 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上に飛行禁止エリア及び飛行禁止区域および標高データを表示する機能を株式会社エヌ・ティ・ティ・データの地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携して行えるよう研究を実施した。

(C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上にアメダス情報や高解像度気象情報をオーバレイして表示する機能を株式会社ウェザーニューズの全国の気象情報の管理、活用技術の開発研究と連携して行えるよう研究を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

Tile Map Service として、当初は国土地理院の地理院タイルを採用した。

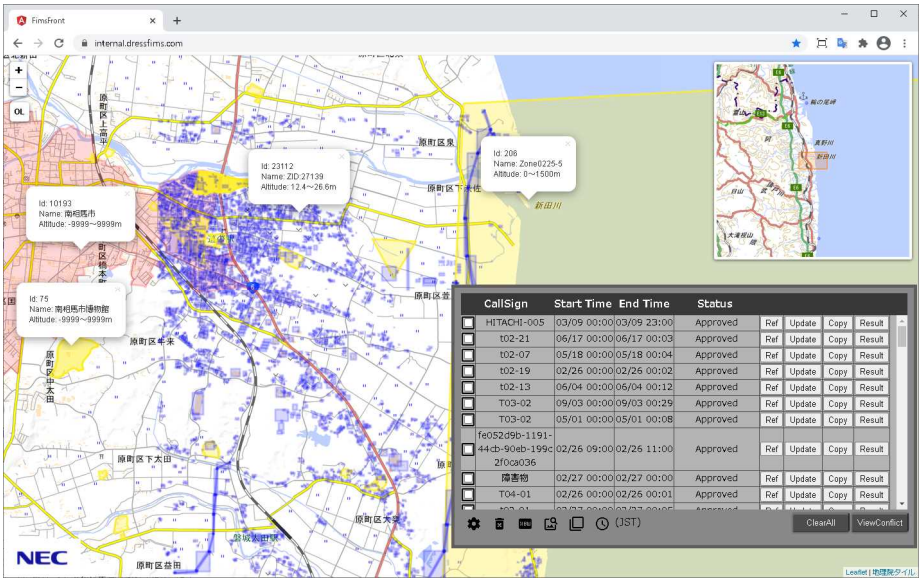


図 2.2.1.10-120 地理院タイルによる表示

（出典：地国土地理院　https://maps.gssi.go.jp/）

実証実験を行った結果、無人航空機が飛行するエリアは狭域のため、地図拡大時、より詳細な地図を表示することができる Open Street Map タイルに変更することとなった。

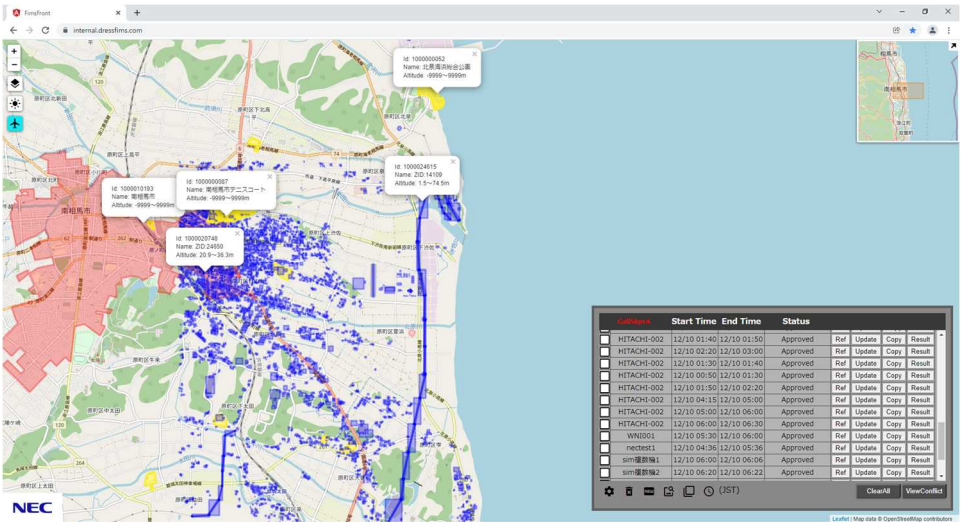


図 2.2.1.10-121 Open Street Map タイルによる表示

（出典：openstreetmap.org）

また、国土地理院の陰影起伏図、色別標高図、写真、OSM Buildings をオーバレイすることにより、地形データを確認することを可能とした。

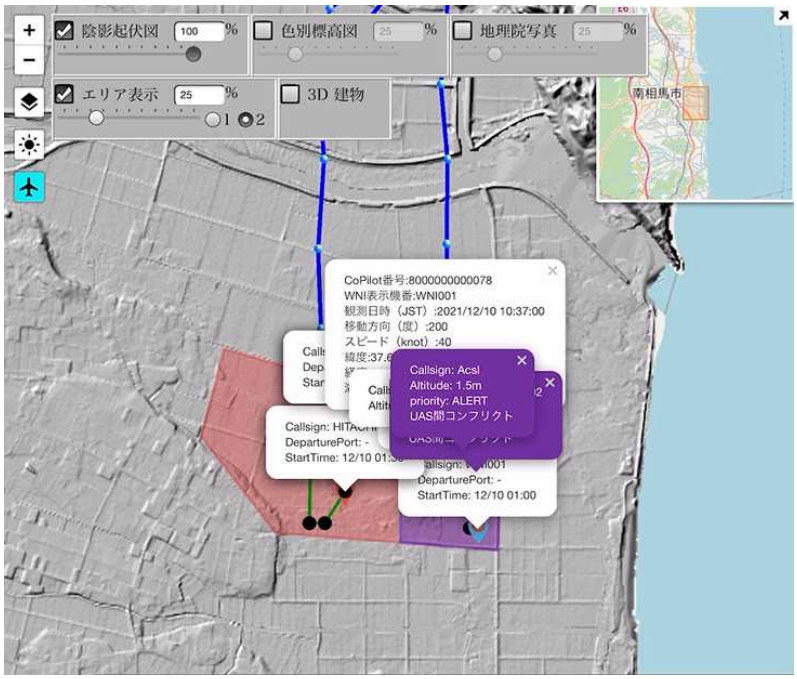


図 2.2.1.10-122 陰影起伏図表示
（出典：地国土地理院　https://maps.gssi.go.jp/）

(B)　地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

空域情報管理機能の改善研究と連携し、地図表示時に空域情報管理から飛行禁止エリアの情報を取得し、地図上に表示することで飛行禁止エリアの可視化を行った。

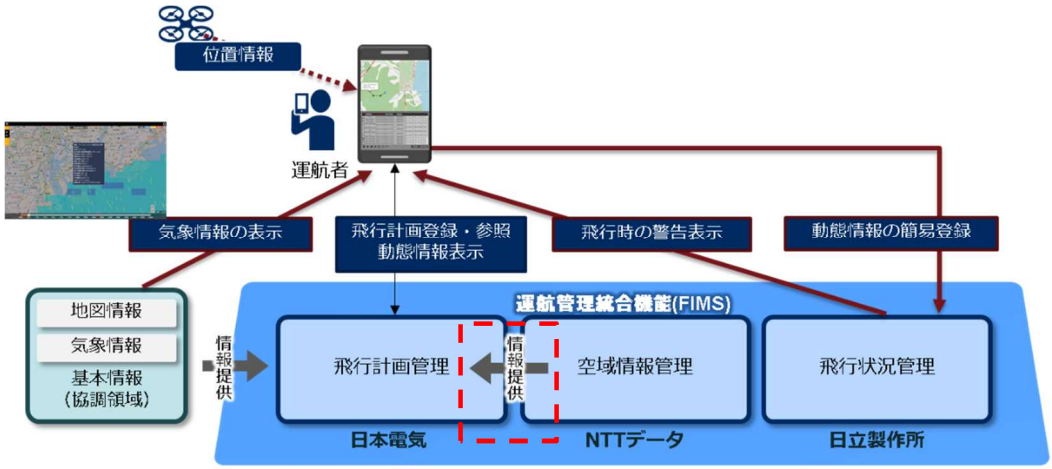


図 2.1.1.10-123　地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究の範囲

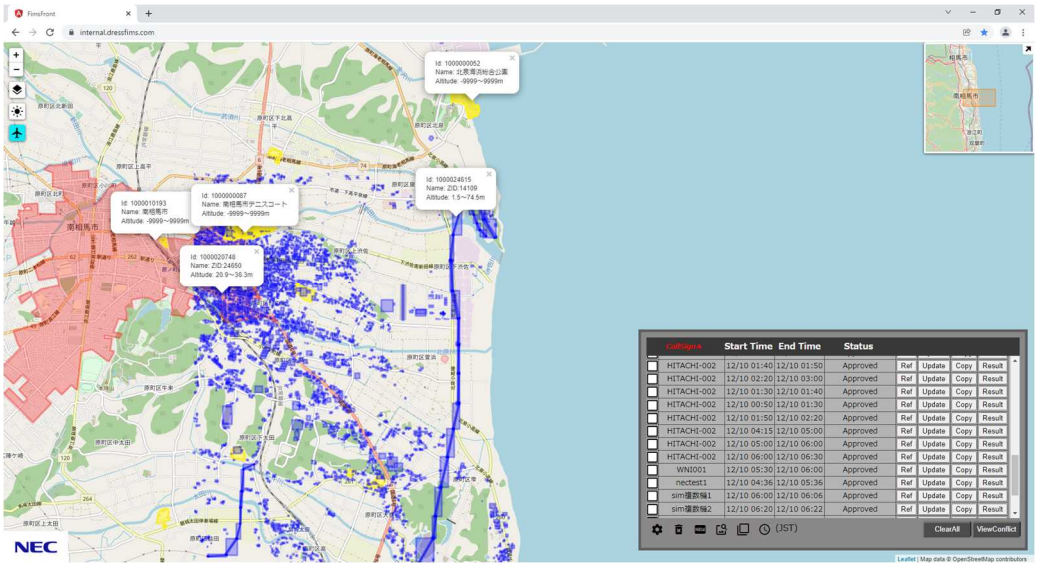


図 2.2.1.10-124 飛行禁止エリアの表示
（出典：openstreetmap.org）

飛行禁止エリアと、申請された飛行計画、無人航空機の動態情報を同時に表示することでより安全な無人航空機の運航を実現することができた。

(C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究

ウェザーニューズの全国の気象情報を地図上にオーバレイし、飛行計画登録時の参考情報として地図画面上で確認できるようにした。

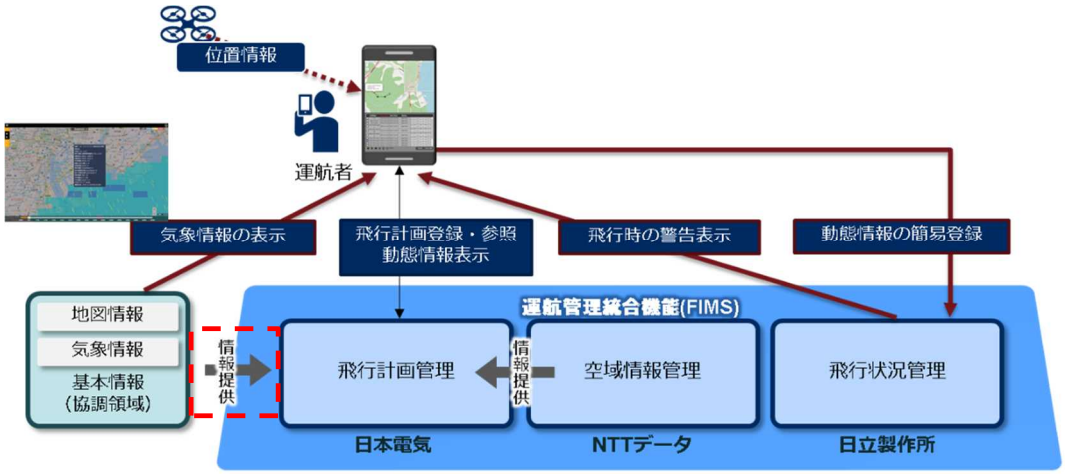


図 2.2.1.10-125 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した
気象情報表示に向けた研究の範囲

図 2.2.1.10-126 に示す画像は福島ロボットテストフィールドにおける実証試験を行った際の気象情報画面表示の一例である。（風速情報のプロット）

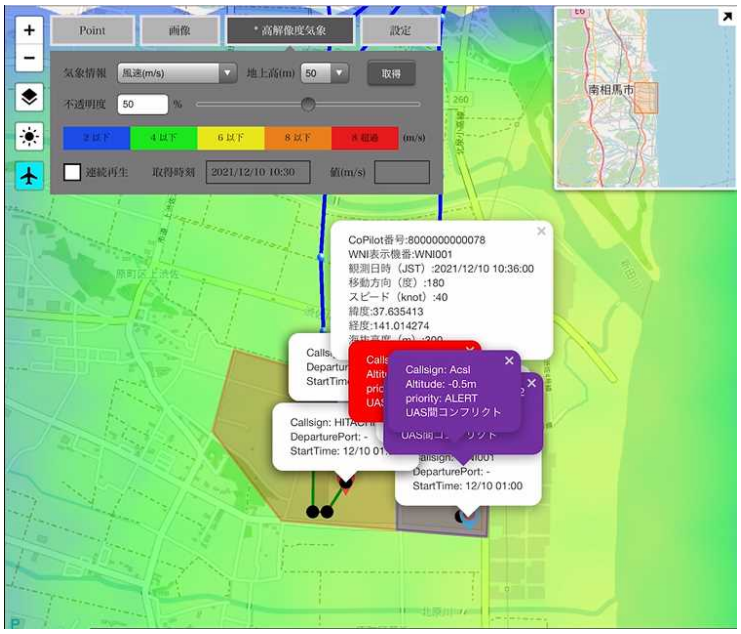


図 2.2.1.10-126 実証試験時における気象情報（風速）の地図画面表示
（出典：openstreetmap.org）

図 2.2.1.10-127 に示す画像は短期予報を表示した際の気象情報画面表示の一例である。

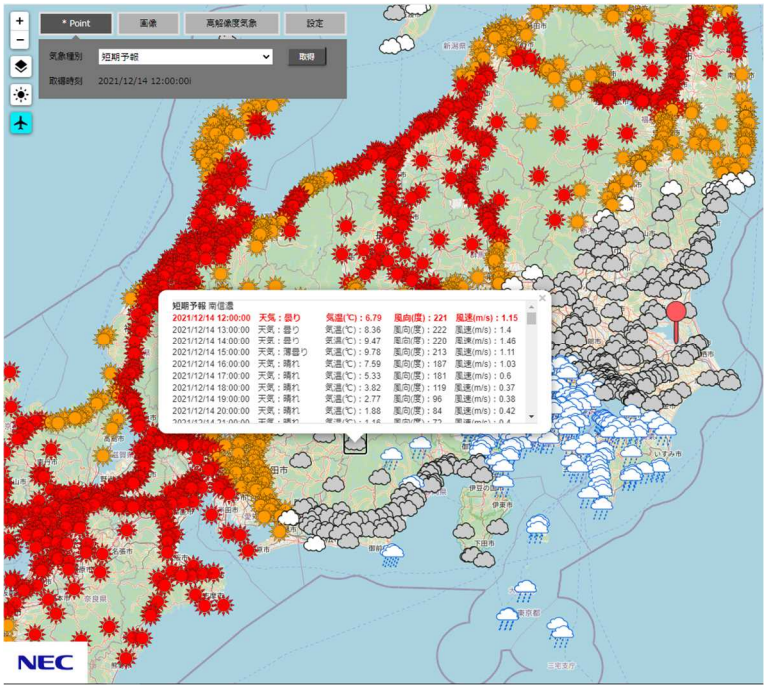


図 2.2.1.10-127 短期予報表示時の地図画面表示
（出典：openstreetmap.org）

実証実験では下表の気象情報を表示し、確認を行った。

表 2.2.1.10-41 気象種別とオーバレイ方式

気象種別		オーバレイ方式	概要
アメダス		ポイント情報	全地点の最新のアメダス情報を表示する。
SYNOP		ポイント情報	全地点の最新の SYNOP 情報を表示する。
METAR		ポイント情報	ICAO コードによる空港情報を取得し、全世界の最新の METAR 情報を表示する。
WNI 観測機		ポイント情報	WNI 観測地点の観測データを表示する。
短期予報		ポイント情報	任意地点、固定地点の短期予報情報を表示する。
雷 LIDEN		ポイント情報	最新の雷の発生情報を表示する。
レーダー画像		Tile Map Service	気象庁レーダーが観測した画像データを表示する。
GPV データ情報		Tile Map Service	GPV の画像データを表示する。
衛星画像		Tile Map Service	衛星画像を表示する。
高解像度降水ナウキャスト		Tile Map Service	降水の短時間予報を表示する。
雷ナウキャスト		Tile Map Service	過去 60 分以内に観測された雷のデータを表示する。
レーダーアメダス		Tile Map Service	レーダーアメダス情報を表示する。
高解像度気象	風速（m/s）	ヒートマップ	指定されたエリアの風速（m/s）を取得する。
	気温（℃）	ヒートマップ	指定されたエリアの気温（℃）を取得する。
	相対湿度（%）	ヒートマップ	指定されたエリアの相対湿度（%）を取得する。
	気圧（Ph）	ヒートマップ	指定されたエリアの気圧（Ph）を取得する。
	降水量（m）	ヒートマップ	指定されたエリアの降水量（m）を取得する。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

Open Street Map は更新頻度が低いため表示された地図情報が古い地点が存在した。また、住宅街レベルまでの表示することができないという課題が検出された。更新頻度が高く住宅街レベルまで表示可能な Tile Map Service の選定、または Tile Map Service 以外の地図表示方法を検討する必要がある。

(B) 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

飛行禁止エリアのデータ量が多いため、フロントエンド、バックエンド共に高負荷となるという問題が検出された。フロントエンドについては表示方法を再検討する必要がある。バックエンドについては飛行禁止エリア情報取得の高速化のためのアーキテクチャの設計が必要となる。

(C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究

表示される気象情報の各種値について、グリッド単位で取得した値からそれ以外の地点についてはグリッドからの距離に応じて算出された値で表示しており、グリッドから離れるほど情報の精度が下がってしまう。表示する値についての算出方法について見直しが必要となる。

実証実験として多くの気象種別を表示したが、どれが有用な情報であるか迷うことがあった。より有用な情報の選定と表示 UI の見直しが必要である。

5.4.2. 「地図情報に係る空域情報管理機能の改善」（実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

(1) 実施事項

(A) 現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査

全国規模で整備された飛行禁止空域及び標高データを空域管理機能で管理し、運航管理統合機能の飛行計画管理および飛行状況管理で効率的に活用する機能について研究を行った。本研究では、2019 年度までの成果も踏まえ、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる地図・空域種別の調査、標高データの取込み範囲の整理を行った。

(B) 上記情報の取得方法／取込み手法の検討（インタフェースやデータ変換機能の検討）

前項(A) で調査し、本研究で対象とした情報ごとに、取得方法／取込み手法を検討した。

(C) 上記で検討した情報取得/取込機能の実装および評価

前項(B) で取得・取込方法を検討した情報について、空域管理機能に実装して評価した。

(D) 評価結果と顕在化した課題に基づく、機能改修と性能改善

前項(C) の評価結果に基づいて、機能改修や性能改善について検討した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査

本研究では、2019 年度までの研究成果や国土交通省航空局からの公開情報等を踏まえ、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる地図・空域種別を調査し、「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」、有人航空の空域情報として「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」を対象とすることと整理した。

また、全国展開を踏まえて、2019 年度までに福島ロボットテストフィールド付近など限定的な一部地域のみの標高データを保持するにとどまっていたところを改善し、全国の標高データを保持することと整理した。

(B) 上記情報の取得方法／取込み手法の検討（インタフェースやデータ変換機能の検討）

対象とする情報ごとに、取得方法／取込み手法を検討した成果を以下に示す。

a)重要施設情報（警察管轄施設、防衛省・米軍関連施設）

警察管轄施設については、警察庁警備局が HP で公開している「小型無人機等飛行禁止法に基づく対象施設の指定関係（https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/shitei.html）」を参考とし、国の重要な施設等／対象外国公館等／対象防衛関係施設／対象空港／対象原子力事業所の施設情報を取込み対象とした。対象原子力事業所を除いては、地図上で対象施設の敷地等を図示したものが PDF 化されて提供されているが、運航管理統合機能の空域管理機能に取り込むためには、図示されている情報を電子データ化（緯度経度情報を持つポリゴンとして変換）し、定義済みの DB 項目に合致するようデータ整理を行い、SQL 構文化して、空域管理機能のデータベースへ取込むこととした。

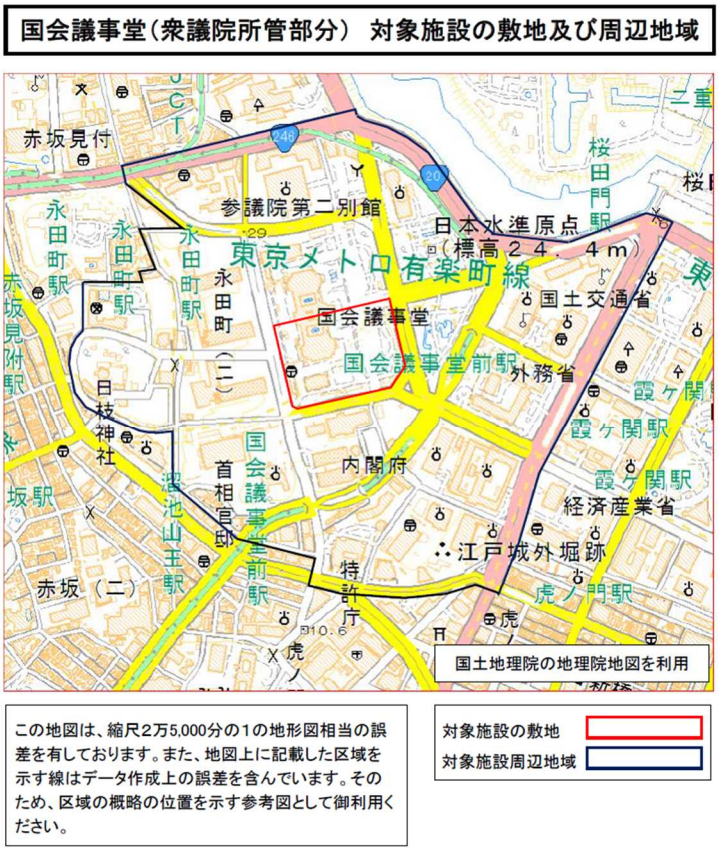


図 2.2.1.10-128 公開されている重要施設（警察管轄施設）情報の例
（出典：
https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_annai.nsf/html/statics/osirase/hikoukinshi_gijidou.pdf/$File/hikoukinshi_gijidou.pdf）

警察管轄施設のうち、対象原子力事業所については、HP 上で明確に対象施設の敷地等の情報を示すものが公開されていなかったため、国土地理院の地図情報から対象施設敷地を目視で読み取った上で、前述の他施設情報と同様、電子データ化・SQL 構文化ののち、空域管理機能のデータベースへ取り込むこととした。この際、地図情報から読み取った敷地に対して、バッファとなる領域を持たせるべきか、持たせる場合にはどれくらいの範囲が妥当かについて、現時点では判断根拠とするに有意な情報がなく、今後の課題と考えた。

防衛省・米軍関連施設については、防衛省・自衛隊が HP で公開している「小型無人機等飛行禁止法関係」で示される「自衛隊の対象防衛関係施設の一覧（https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/list.html）」および「在日米軍の対象防衛関係施設の一覧
（https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/list_zaibeigun.html）」を参考とし、これらの施設情報を取込み対象とした。空域管理機能への取込み手法については、前述の警察管轄施設と同様としたが、警察管轄施設の「対象防衛関係施設」で示された施設と重複したものが多く、精査が必要であった。

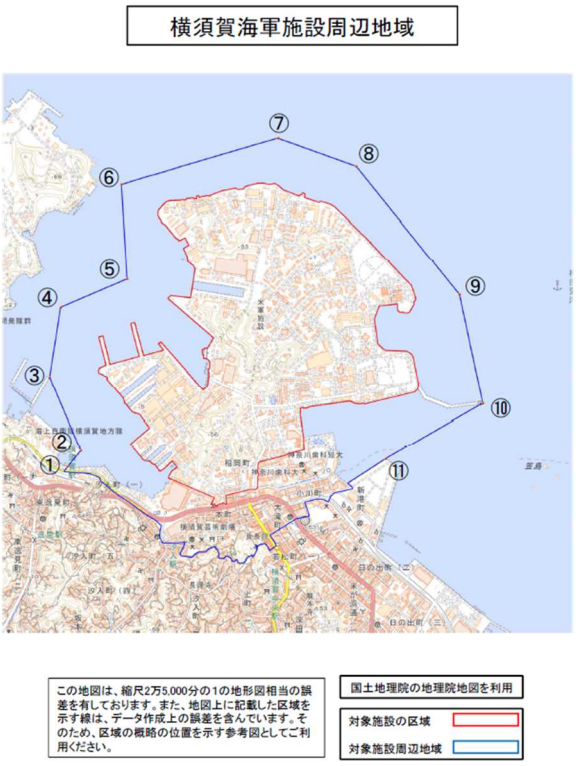


図 2.2.1.10-129 公開されている重要施設（防衛省・米軍関連施設）の例
（出典：
https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/pdf/map/zaibeigun_map6.pdf）

b)航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）

国土交通省航空局では、有人航空機の管制に必要な情報として全国の障害物データを公示している。無人航空機の運用においても、安全性確保の観点から障害物データの活用が有効と考え、AIS JAPAN（電子航空路誌）で提供される障害物データをダウンロードし（csv ファイル形式、kml ファイル形式で提供）、空域管理機能へ取込むこととした。取込み手法としては、前述の重要施設情報の取込みと同様、SQL 構文化して、空域管理機能のデータベースへ取込むこととした。

c)制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）

2019 年度までの研究成果で、将来の有人航空機側システムと情報連携を見据えて有人航空の空域情報の取込みの必要性を示唆した。本研究では、有人航空機の空域情報のうち、制限空域、民間訓練試験空域、自衛隊訓練試験空域、臨時訓練試験空域について、空域管理機能への取込み方法について検討した。空域情報の取得にあたっては、AIS JAPAN にて提供される AIP（航空路誌）の「ENR 5.1 禁止、 制限及び危険区域」、「ENR 5.2 演習及び訓練空域並びに防空識別圏」、「ENR 5.3 その他危険を伴う諸活動」および補足資料（SUP）を取得元とした。

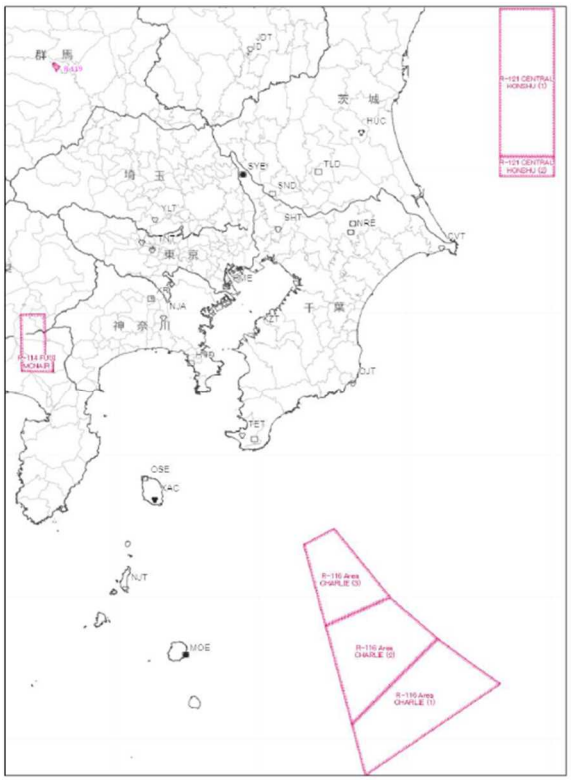


図 2.2.1.10-130 関東甲信越エリアの空域制限として定義されたエリア（制限空域）
（出典：地図表示画面　国土交通省 AIS JAPAN サイト
https://aisjapan.mlit.go.jp/）

AIP で定義された制限空域、訓練試験空域のエリアについては、複数のフォーマットの異なるエリア定義によって指定されている。このため、空域管理機能への取込む際の座標抽出手順を検討した。検討にあたっては、まず、エリア定義のパターンを整理する観点を抽出し、その後、抽出した観点に従って、AIP で定義された制限空域、訓練試験空域の全エリアについてパターン分け（汎化）を行った。

(1)エリアの形状
AIP および AIS の AIView で図示されたエリアの形状について、パターンを抽出する。
以下は例である。
①直線を繋げたエリア形状
②特定の場所を中心とした、レンジ／アジマスで示したエリア形状
③地形に基づく境界（市区町村、川、海岸線など）を示したエリア
④上記①②③を組み合わせたエリア

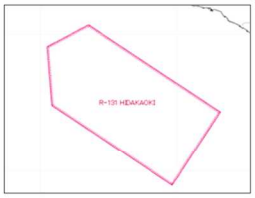
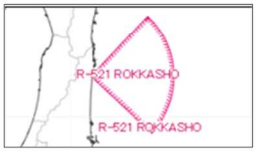
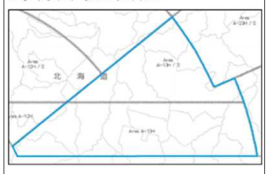
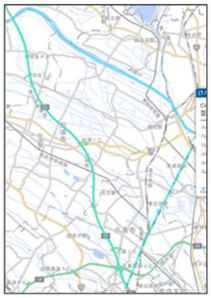
(2)エリアの形状を表す情報
AIP の表に記載された、エリアを形作る座標情報の記述方法について、パターン抽出する。
以下は例である。
①指定された座標を結んだエリア
②特定の場所を中心として、レンジ／アジマスで示したエリア
③地形に基づく境界（市区町村、川、海岸線など）を示したエリア
④上記①②③を組み合わせたエリア

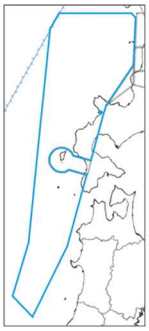
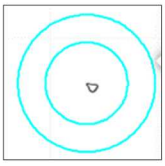
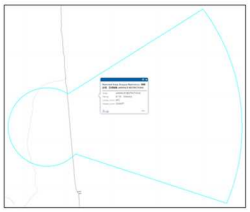
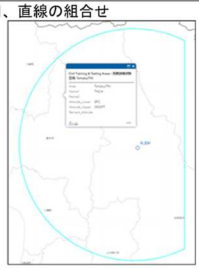
(3)制限高度
制限高度について、NOTAM による通知、上下限高度固定などのパターン抽出する。

(4)制限時刻
時間的制約について、NOTAM による通知、開始終了時刻による期間指定、全日などのパターン抽出する。

図2.2.1.10-131 エリア定義のパターン整理観点

表 2.2.1.10-42 エリア定義パターンの汎化と課題の整理

エリアパターン番号	エリア共通パターン ※記載された図は一例である。	パターン概要	エリアの座標抽出に対する課題 (注1)資料からエリアの形状を示す情報を抽出するにあたり、課題となる事柄について記載。 (注2)DBへの保持形式については別途検討が必要。保持形式によっては抽出方法の再検討が必要となる。 例えば、弧を表す図形について、座標を繋げた線分で保持するか、中心、半径、角度で保持するかなど。
1	■多角形 	緯度経度で指定した座標を、指定順に直線で結んだ多角形のエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。 【確認】 (1)一部エリア定義にNOTAMにより通知される記載がある。ただし、当該エリア形状はAIR SUP(NR039/20)に定義されており、NOTAMにより通知されるエリア形状が、定義されたエリア形状と同一のものと考えてよいか確認が必要。 <対象エリア> ・区分：制限空域 ・エリア名：R-144 (2)AIViewでは多角形となっているが、サークルを示す説明に中心点(半径は未記載)が記述されている。この中心点の考慮は不要の認識で良いか要確認。 <対象エリア> ・区分：制限空域 ・エリア名：W-174A
2	■円 	中心点、半径を指定したエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。
3	■扇型 	中心点、半径、角度を指定したエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。 【確認】 半径のみ異なる扇型が2つ定義されているが、範囲の大きいほうのエリアに含めず、2つ定義している理由が不明。 <対象エリア> ・区分：制限空域 ・エリア名：R-521
4	■多角形、弧の組合せ 	多角形の辺の一部に弧を組合せたエリア。	【課題】 (1)弧の部分の情報の保持方法について検討が必要。 【確認】 (1)経度(度分秒)の分の部分に“96”が指定されている。00～59の範囲の想定でいるが、誤記であれば正しい値を確認する必要がある。 実際に定義されている内容は、「1279600E」となる。 <対象エリア> ・区分：制限空域 ・エリア名：W-174
5	■多角形と、地理上の境界線および公共施設の中心線の組合せ 	多角形の辺の一部に、地理上の境界線および公共施設の中心線を含むエリア。 ・市町村境界 ・川の中心線 ・海岸線 ・鉄道の中心線 ・道路の中心線 ・湖の境界線	【課題】 (1)下記情報については、国土地理院の地図情報から抽出するなどの検討が必要。 ・市町村境界 ・海岸線 ・湖の境界 ・川の中心線 ・鉄道の中心線 ・道路の中心線

エリアパターン番号	エリア共通パターン ※記載された図は一例である。	パターン概要	エリアの座標抽出に対する課題 (注1)資料からエリアの形状を示す情報を抽出するにあたり、課題となる事柄について記載。 (注2)DBへの保持形式については別途検討が必要。保持形式によっては抽出方法の再検討が必要となる。 例えば、弧を表す図形について、座標を繋げた線分で保持するか、中心、半径、角度で保持するかなど。
6	■多角形のエリアから他で定義したエリアを除いたエリア 	基本となる多角形のエリアから、他で指定したエリアの重なる領域を除外したエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。 【確認】 (1)指定された円が重なる領域について、高度制限のみ定義した記載がある。この高度に制限について有効とすべきか確認が必要。 〈対象エリア〉 ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：TH13-1、HT13-2、CK21-2、KS2 (2)一部角度の単位に「° T」の記述があるが、真北(true north)を表していると想定。この認識であっているか要確認。 〈対象エリア〉 ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：HK2-4、HK2-7、TH3-1、、TH3-2、KK3-1、KK3-2
7	■外側のエリアに包含されるエリアの領域を除いたエリア 	外側のエリアから、内側のエリアの重なる領域を除外したエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。
8	■円、直線、弧の組合せ 	複数指定したエリアを組合せたエリア。	【課題】 (1)円と海岸線の交点について、国土地理院の地図情報から抽出するなどの検討が必要。 〈対象エリア〉 ・区分：制限空域 ・エリア名：R-130　MISAWA (2)2直線上の任意の点から一定の幅の範囲の取得方法について検討が必要。 〈対象エリア〉 ・区分：自衛隊訓練試験空域 ・エリア名：Area C-2 (3)特定の緯度あるいは経度を基にした直線から一定幅を持たせた平行線を取得する方法について検討が必要。 〈対象エリア〉 ・区分：自衛隊訓練試験空域 ・エリア名：Area S-1、Area S-2
9	■円、直線の組合せ 	円と線を組合せたエリア。	【課題】 なし。記載内容から抽出可能。 【確認】 一部角度の単位に「° T」の記述があるが、真北(true north)を表していると想定。この認識であっているか要確認。 〈対象エリア〉 ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：HK2-4、HK2-7、TH3-1、TH3-2、KK3-1、KK3-2

（出典：地図表示画面　国土交通省 AIS JAPAN サイト
https://aisjapan.mlit.go.jp/）

エリア定義のパターン整理を実施した結果、エリア定義が円弧で指定さている場合や、海岸線に沿った形状となっている場合など、データ化する上で課題があることがわかった。エリアをデータ化する際には、ポリゴンもしくは円柱で形状を作成して・登録する必要がある。エリアが円弧で指定される場合は、完全な円形ではないためポリゴンとして多角形の近似でデータ化せざるを得なく、円弧のエリア境界の部分では、本来は訓練試験空域内であるにも関わらず空域外と登録されてしまう場所、またその逆となる場所が出てくる懸念がある。また、エリアが海岸線に沿った形状の場合には、複雑な地形をポリゴンで模擬することに非常に時間がかかり、複雑度によってはポリゴンで表現するには限界がある場合も考えられる。

d)全国標高データ

標高データについては、2019 年度までの研究成果を踏襲して、情報取得元は国土地理院とするが、全国展開を見据えて全国分の標高データの取込み手法について検討した。無人航空機の運航管理に資するためには、ある程度の精度の標高データが必要となるが（過去の研究成果を踏襲して 10m メッシュデータを採用）、精度の高い標高データはデータ量が大きくなる。データ量が多いと、データ取込みにも時間を要し、データ活用時の性能にも影響を与えるため、データ取込み方法・保持方法が課題であり、別テーマである「空域情報の分散管理技術の開発」と合わせて研究していくことが不可欠であった。

分散管理側の検討で、運航管理統合機能のオンプレミスのサーバは東西の 2 分割することとなったが、東西に 2 分割したとしても全国分標高データを投入すると、DB 容量が枯渇することが想定されたため、クラウド環境（Amazon Web Services（AWS））でのデータ保持の方針で検討を進めた。取込み方法は、これまでの方法を踏襲し、国土地理院 HP からダウンロードした標高データを SQL 化して DB 投入することとした。

(C)検討した情報取得/取込機能の実装および評価

本研究では、前項（B）で取得・取込方法を検討した中から、「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」および「全国標高データ」を実装し、評価した。

「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」については、前述のとおり、エリアが円弧で指定されている場合や海岸線に沿った形状となっている場合などで、データ化して取込むことが現状では難しいため、本研究内での実装は見送った。今後、これらの対応案についてはさらに検討を深める必要がある。

a)重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）

前項（B）で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の飛行禁止／注意空域情報 DB に飛行禁止空域の情報区分：その他として、情報を取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した飛行禁止空域を加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるかを確認した。

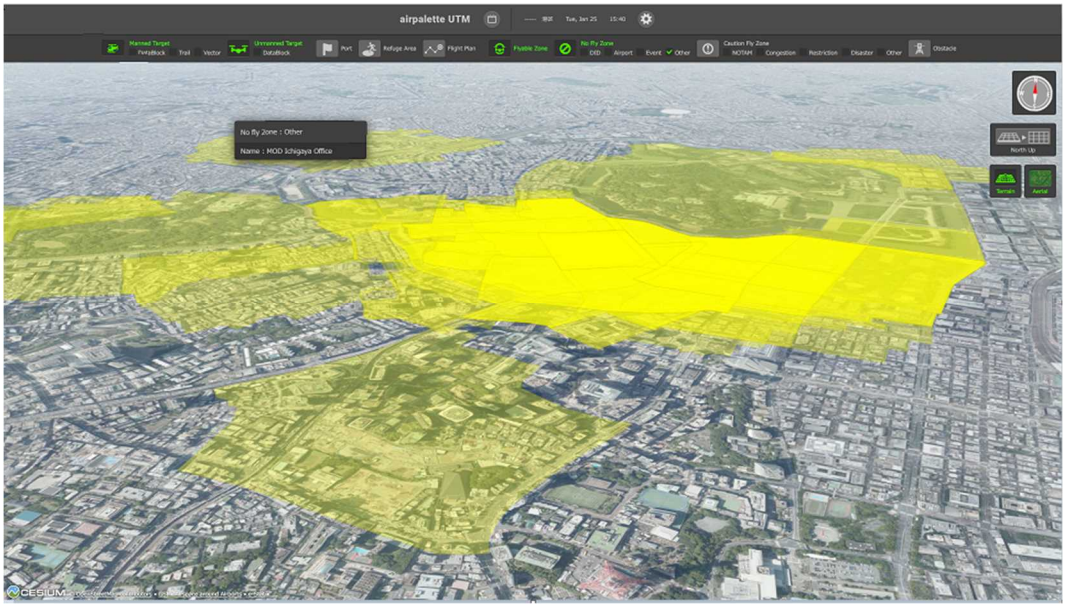


図 2.2.1.10-132 運用管理統合機能へ飛行禁止空域として取込んだ重要施設情報
（出典：openstreetmap.org）

b)航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）

前項（B）で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の地表障害物／標高情報 DB に、地表障害物データとして情報を取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した全国障害物データを加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるかを確認した。

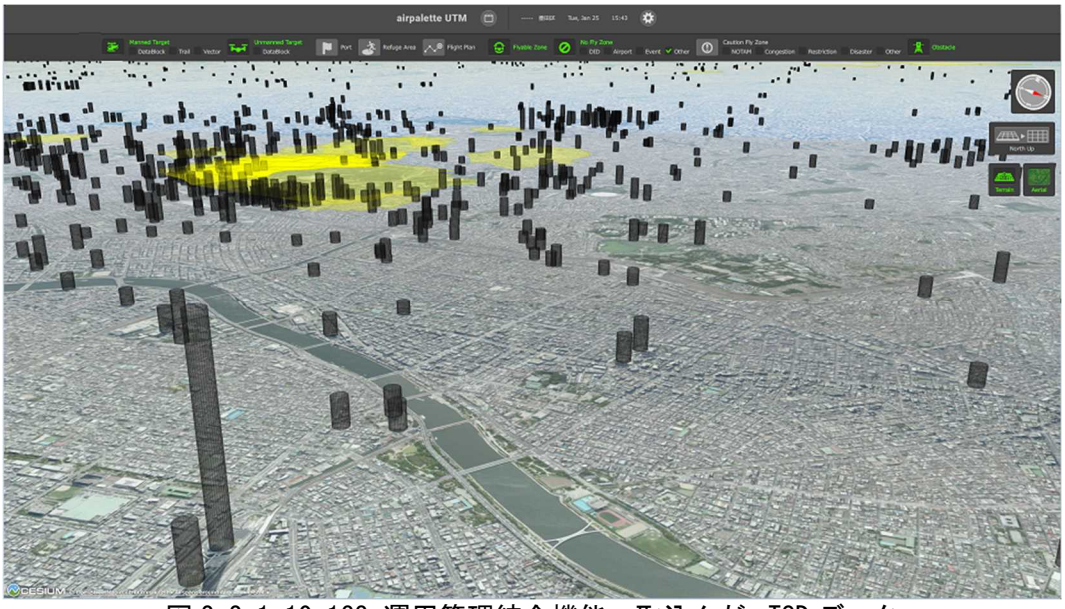


図 2.2.1.10-133 運用管理統合機能へ取込んだ eTOD データ
（出典：openstreetmap.org）

c)全国標高データ

前項（B）で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の地表障害物／標高情報 DB に、全国標高データを取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した全国標高データを加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるか、その際に性能劣化等が見られないかを確認した。

(D) 評価結果と顕在化した課題に基づく、機能改修と性能改善

重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）および航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）については、情報追加後に実施した結合試験や実証実験において、飛行計画管理機能および飛行状況管理機能含む既存機能へ影響がないことを確認した。ただし、障害物データに関しては、分散管理技術の研究にて福島ロボットテストフィールド付近のエリアで障害物問合せの性能検証した際、広域（半径 10km）での問合せの場合に、レスポンスに 1 分程度かかることが分かった。この結果に関する考察等は 5.3.2.章にて説明する。

全国標高データについては、情報追加後に実施した結合試験や実証実験で、飛行計画管理機能及び飛行状況管理機能で標高データとの干渉チェックを行う際の処理時間に影響があること（性能課題）が顕在化した。本研究ではこの性能課題を受け、データ格納 DB の分割数の最適化、データ管理方式の最適化の 2 つのアプローチで性能改善が見込まれるかどうかを追加検証した。具体的な検証内容および検証結果については、5.3.2 章で説明している。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」、および、全国展開を踏まえて「全国標高データ」を新たに取込み、評価を行った。また、有人航空の空域情報として「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」の情報取得方法、取込み手法の調査・検討を実施した。

「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」について、警察管轄施設・防衛関連施設の情報は公開されているものの、地図上で対象区域を枠で囲んだ画像ファイルを PDF 化しての提供であり、運航管理統合機能に取込めるような電子データの形では整備されていなかった。今後の社会実装に向けては、公開情報を基にした、電子データの整備・管理（提供、定期的な更新）などの在り方について検討を深める必要がある。また、原子力施設については、電子データ整備のもととなると思われる PDF ファイル自体も未提供であり、原子力施設周辺のどの範囲を飛行禁止空域とすべきかを含めて検討していく必要がある。

「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」については、電子データでの提供があるが、運航管理統合機能上へ取り込む際の更新頻度の妥当性についてはさらに検討する必要がある。

「全国標高データ」については、データ量が膨大であり、本研究では性能面での課題があることが判明したが、本研究において、技術的な解決の方向性（データ分散保持、データ管理方式の見直し）は確認できたため、社会実装に向けて現実的な実装方法を見極めていく必要がある。

「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」について、本研究では、情報取得方法および取込み手法の調査・検討までの対応となったため、今後は実装・評価を実施し、課題の洗い出し・改善を実施していく必要がある。

また、無人航空機の運用時にはユースケースによって、安全面を考慮し、事前に空域調整したうえで飛行禁止空域を飛行させた方がよいと判断するケースもあると考えられる。しかし、事前の空域調整における手順・調整先が明確になっていないケースもあると想定されるため、今後は飛行禁止空域の整備に加え、各空域の調整先や調整手順等の整理・公開についても検討を深める必要があると考える。

5.4.3. 「地図情報機能改善の開発」（実施者：株式会社日立製作所）

(1) 実施事項

(A) 全国版の標高、気象データ取得機能の実装

2019 年度までは標高、気象データの取得可能な地域は福島 RTF 周辺に限られていた。本研究において、全国の標高、気象データの取得を可能とするよう処理改修を実施した。

(B) 複数気象 SDSP 対応

2019 年度までの研究において、日本気象協会現況気象情報、ウェザーニューズアラート情報に対応した。

本研究においては、新たにウェザーニューズ現況気象情報に対応することで、複数の SDSP からの気象情報に対応可能とした。

(C) 飛行状況管理機能における管理エリア面積の検討

分散管理技術と関連し、標高、気象データを保持できるメモリ容量、処理能力から、最適な管理空域の面積を算出し、社会実装時のサーバ台数の根拠を検討した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 全国版の標高、気象データ取得機能の実装

2019 年度までは標高、気象データの取得可能な地域は福島 RTF 周辺に限られていたが、本研究では全国のデータを取得可能とした。

標高データ取得では、取得 REST API のレスポンスデータ変更に対応した。

気象データ取得では、SDSP が日本気象協会から株式会社ウェザーニューズへの変更したことに伴い、株式会社ウェザーニューズの取得 REST API に対応する機能を実装した。

(B) 複数気象 SDSP 対応

気象 SDSP を日本気象協会と株式会社ウェザーニューズとで切り替え可能となった。これにより下図のように使用している気象 SDSP①に障害が起こった際に気象 SDSP②に切り替えるという復旧手段ができた。

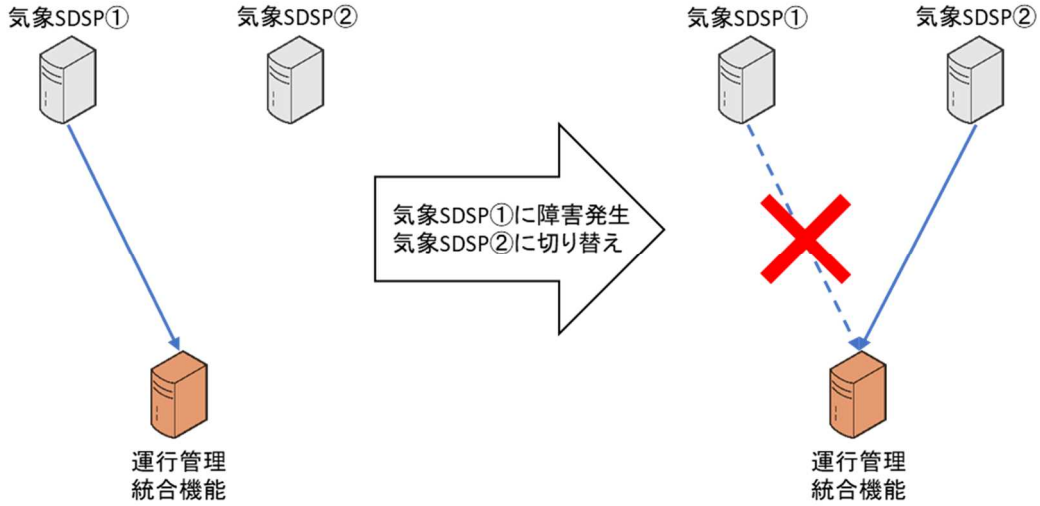


図 2.2.1.10-134 気象 SDSP の切り替え

・ウェザーニューズからの気象情報取得

2019 年度までと同等の気象データを提供するウェザーニューズの気象情報取得 REST API に対応し、これまでと同様の活用ができた。詳細を以下に示す。

① 降雨情報

降雨エリア表示および侵入警報のイメージ図を以下に示す。

水色網掛け部分は降水量 0.1[mm/h]以上の降雨エリアを示しており、エリア接近時及び侵入時には警報の発報を行った。

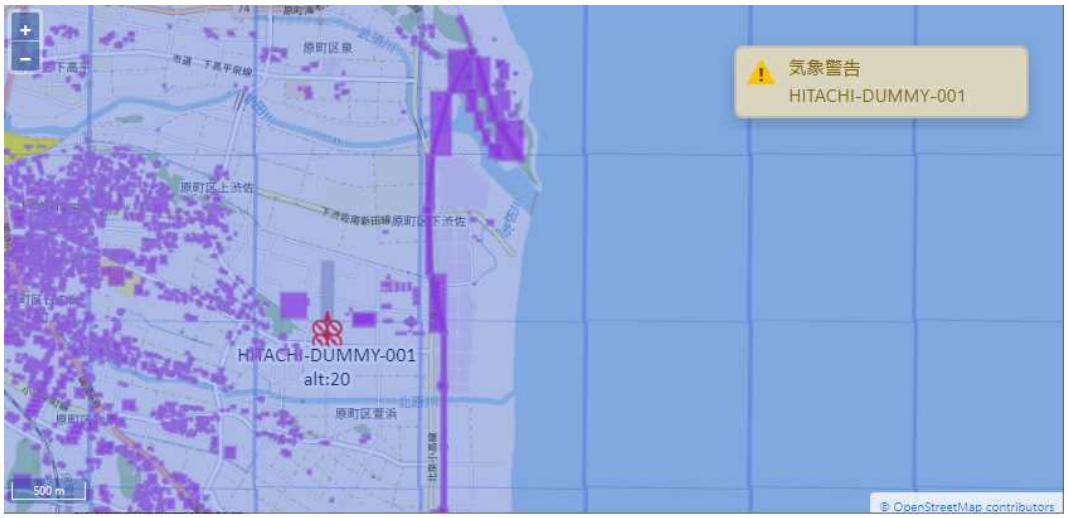


図 2.2.1.10-135 降雨エリア表示および侵入警報のイメージ
（出典：openstreetmap.org）

② 風速情報

強風エリア表示および侵入警報のイメージ図を以下に示す。
灰色網掛け部分は風速 10[m/s]以上の強風エリアを示しており、エリア接近時及び侵入時には警報の発報を行った。

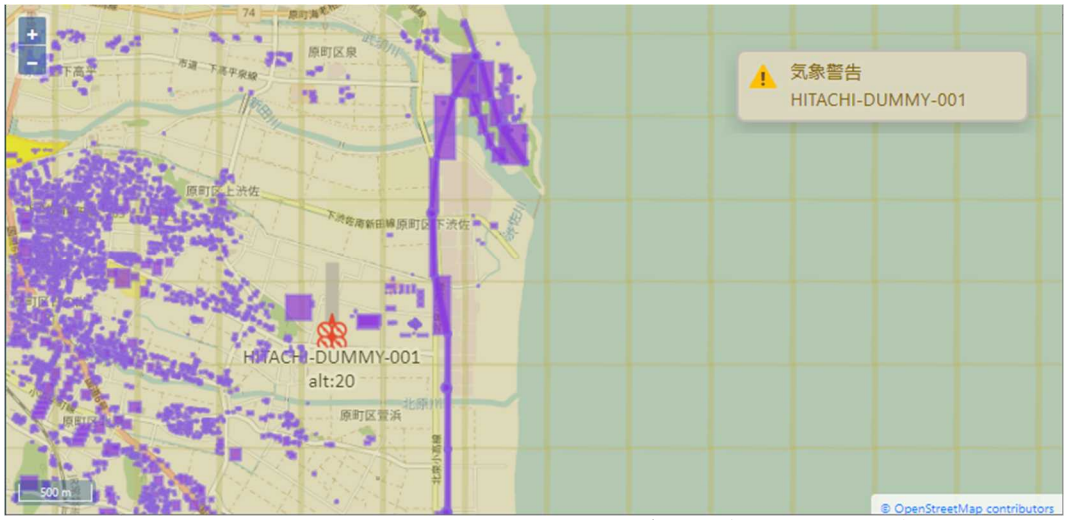


図 2.2.1.10-136 強風エリア表示および侵入警報のイメージ
（出典：openstreetmap.org）

(C) 飛行状況管理機能における管理エリア面積の検討

これまでの研究から現サーバにて保持できる、地図データに割り当て可能な最大データ量は 16,191[MB]と算出した。根拠を表 2.2.1.10-44 に示す。一方、福島 RTF 周辺の地図データの 1[㎢]当たりのデータ量は 1.643[MB/㎢]である。これらから 1 サーバが担当する区域の面積は、9,855[㎢]である。青森県の 9,645.62[㎢](※1)と同程度となる。

表 2.2.1.10-43 地図データ量集計

地図データ	1[㎢](単位面積)		9,855[㎢] (最大データ時)	
	データ量[MB]	件数[件]	データ量[MB]	件数[件]
標高	1.245	8,659.4	12,268	85,336,491
地表障害物	0.325	297.6	3,208	2,933,167
風速	0.071	17.5	695	172,049
降雨	0.001	1.2	8	11,549
飛行禁止／注意エリア	0.001	0.6	13	5,971
合計	1.643	-	16,191	-

表 2.2.1.10-44 割り当て可能な最大データ量の根拠

DB の総容量[MB]	100,664
DB 利用会社数	3
1 社の使用可能容量[MB]	33,555
地図データ以外の日立の DB 使用量[MB] ※（2022-01-10 時点）	586
地図データ以外の日立の DB 使用量×2[MB] ※（余裕を持たせるため）	1,173
地図データに使用可能な最大容量[MB]	32,382
地図データに使用可能な最大容量÷2[MB] ※（余裕を持たせるため）	16,191

※1 参照文献：国土地理院技術資料 E2-No.74 令和 3 年全国都道府県市区町村別面積調（10 月 1 日時点）

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 気象情報の更新間隔の短縮

気象情報は 10 分更新のため、その分の誤差が生じる。そのためより短い更新間隔が望まれる。

短縮が難しい場合は、更新間隔により機体と気象警報エリアの衝突余裕時間をどのように決定するかが課題となる。

(B) 適切な管理エリア単位

「表 2.2.1.10-44 割り当て可能な最大データ量の根拠」から適当な地域単位は、都道府県単位での区域分割が妥当と考える。ただし北海道などの広い地域は分割が必要である。

今後の課題としては、性能面での評価である。理由は、「表 2.2.1.10-43 地図データ量集計」の 9,855[㎢]内に含まれる標高データ件数が平均 8,500 万件以上、地表障害物は 300 万件近くあるため、性能によっては地域単位の縮小ないしは標高データ/地表障害物データ形式の最適化を検討する必要がある。

5.4.4. 「全国の気象情報の管理、活用技術の開発」(実施者：株式会社ウェザーニューズ)

(1) 実施事項

無人航空機運航に最適化した全国の気象情報の管理、活用技術の研究開発を実施した。無人航空機運航判断においては特に、風向風速、降水(雨雲位置)、気温、雷の要素における確認頻度が高く、更に、有人航空機と比べ以下の 3 点の特徴が挙げられる。

・飛行時間が短い
・飛行エリアが比較的狭い
・機体が小さく、局地的な気象の影響を受けやすい

この 3 点を含めた有人航空機と無人航空機を比較した結果、および、無人航空機向けサービスとして求められる要件について、以下、図 2.2.1.10-137 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件にまとめた。



図 2.2.1.10-137 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件

無人航空機運航に求められると想定される気象情報の要件として以下を挙げる。

(A) No Briefing

有人航空機での運航について、大型旅客機などを用いて輸送を行う航空運送事業者では、運航計画に基づく気象情報を含む運航前のブリーフィングが実施される。また、ヘリなどの航空機使用事業者は、運航前にパイロット自身、または、ディスパッチャとともに運航ルートの確認及び気象状況の確認を行うと思われる。

無人航空機の運航においては、同時運航数の多さ、飛行距離、1 フライトのコストなどを含めて、毎回の運航毎にブリーフィングを行うケースは少ないと想定される。

(B) Multi Flight Multi Support

無人航空機運航事業者は、有人航空機運航とは比較にならないほどの同時かつ複数機体の運航となることが想定される。そのため、1 機毎人手によるサポートを前提とするのではなく、複数機体を同時に気象面でサポートする必要がある。

(C) 高解像メッシュ

無人航空機運航の要件として、有人航空機と比較し、飛行距離が短いこと、機体が小型であること、より低空域を飛行することが想定される。そのため、有人航空機向けに提供している気象情報よりもより、高解像高詳細の気象情報が必要である。

(D) 超短時間予測

無人航空機は、有人航空機よりも小型であること、運航距離の短くなることが想定される。そのため、数時間先までの気象情報よりも運航時間に最適化されたより短時間の気象情報が重要である。

(E) システム自動判定

無人航空機運航では、以下の項目について、より多様化細分化が進むと思われる。

・無人航空機の用途
・運航実施エリア
・運航高度
・機体サイズ
・機体の耐風性能
・機体の耐水性能
・機体の飛行時間

これらは機体スペックという静的な要素と運航実施エリア/運航高度など動的な要素の組み合わせとなるため、あらかじめ運航機体のスペックを加味した運航可否判断基準を設けることで、動的な要素である気象条件に対して、人手を介することなくシステムでの自動判定が可能になると思われる。そのため、運航管理統合機能へのAPIによる気象情報提供が有効である。

(F) ユーザ自身によるセルフサービス

無人航空機運航が有人航空機運航と大きく異なる部分として、プレイヤーが違うという部分がある。有人航空機運航では、民間航空会社など有人航空機運航を専業とする事業者が主流であった。一方、無人航空機運航では、物流、空撮、点検、農業などあらゆる事業者が参入し、個人も含めて参入障壁が有人航空機に比べてとても低いものとなっている。有人航空機運航事業者は、気象情報を基に運航可否判断が可能である事業者が多いが、無人航空機運航においては、気象に関する知識、気象による運航可否判断が難しいことが予想される。そのため、無人航空機運航者自身で判断できるような簡潔な気象情報を提供する必要がある。

以上の要件を研究テーマに定め、無人航空機運航判断向け気象情報として、従来よりも詳細な空間解像度、時間解像度をもつ気象情報データの研究開発を実施した。さらに、実証実験において精度検証を行った。表 2.1.1.10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要は、開発した気象情報一覧であり、各実施内容の詳細についても以下で報告する。

表 2.2.1.10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要

	気象情報	内容
A	気象実況解析情報	・対象エリア：日本全域(緯度経度指定) ・メッシュサイズ：250 ㎡ ・高度：地上～5000m ・高度間隔：10m 単位 ・対象時間：実況 ・更新頻度：10 分毎 ・気象情報： 風向 風速 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・SDK 仕様 クライアント端末の Javascript から実況解析 API を呼び出し、気象情報を生成する。 ・UI 仕様 API および SDK の情報から気象 UI へ実況解析情報を地図上に表示する。
B	視程実況・予測情報	・対象エリア：日本全域 ・メッシュサイズ：5km 四方 ・高度：地上 ・対象時間： 実況 予測(6 時間先まで) ・表示内容：地図上に表示 ・気象情報：視程 3 段階の視程レベルを定義した。 視程レベルの閾値は変更可能。 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：jpeg 画像

	気象情報	内容
C	極短時間予測気象情報	・予測メッシュサイズ：250m ・高度：地上～5000m ・高度間隔：10m 単位 ・予測：3 時間先まで 10 分間隔 ・気象情報： 風向 風速 ・更新頻度：1 時間 ・気象情報： 風向 風速 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・特記事項 A の気象実況解析情報とデータを統合管理し、API、SDK、気象 UI は A と共通化している。
D	極短時間予測気象アラート	・対象エリア：日本全域(緯度経度指定) ・メッシュサイズ：1km 四方 ・高度：地上 ・対象時間：実況、予測(3 時間先まで) ・表示内容：対象エリア ・気象情報： 降水 降雪 気温 風向 風速 雷 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON

	気象情報	内容
E	警報・注意報情報	・対象エリア：日本全域(緯度経度指定) ・対象時間：警報/注意報発令期間中 ・気象情報： 発表時刻 市町村名 市町村コード 注意報/警報コード ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・特記事項 気象庁の発表する 38 種類の警報/注意報を扱う。
F	台風情報	対象エリア：日本近海含む全域 ・対象時間：台風発生期間中 ・気象情報： 台風進路 強さ 暴風域 強風域 気圧 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：GeoJSON ・特記事項 気象庁の発表する台風情報を扱う。
G	地震情報	・対象エリア：日本全域(緯度経度指定) ・対象時間：地震情報発表期間中 ・気象情報： 地震リスト 地震 ID 発生時刻 最大震度 震源地 マグニチュード 震源の深さ ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：GeoJSON ・特記事項 気象庁の発表する地震情報を扱う。

	気象情報	内容
H	降雨実況	・対象エリア：日本全域(緯度経度指定) ・データ仕様： Point(特定1地点)版 エリア版 エリア版メッシュ最小単位：1km エリア版メッシュ最大単位：100km ・更新時間：10分 ・データ項目： 発表時間 降雨1時間(mm/h) 降雪1時間(cm/h) 天気情報コード ・API仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・データ保持期間：過去1週間～最新まで
I	雷実況	・対象エリア：日本全域 ・対象時間：過去60分以内に観測された雷のデータ。 ・更新時間：1分 ・気象情報： 発雷地点座標 経度 緯度 雷多重度　※後続の発雷数 観測日時 雷種別 雲放電 対地放電 ・API仕様 通信形式：RESTful データ形式：GeoJSON
J	空港気象実況	・対象エリア：全世界の空港 ・対象時間：最新のMETAR情報 ・更新時間：1分 ・気象情報： ICAOコード MATARコード情報 ・API仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON

	気象情報	内容
K	地上気象実況	・対象エリア：気象庁の設置した日本国内地上観測地点(SYNOP)の気象実況 ・対象時間：1日前から現在までの日時を指定 ・更新時間：1分 ・気象情報： SYNOP コード ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON
L	WNI 観測機気象実況	・対象エリア：ウェザーニューズの設置した日本国内地上観測地点の気象実況 ・対象時間：最新の気象実況情報 ・更新時間：1分 ・気象情報： 観測機 ID 気温(℃) 現地気圧(hpa) 実効雨量(mm) 日射(W/㎡) 瞬間最大風速の風向(度) 瞬間最大風速(m/s) 感雨 降水強度(mm/h) 時間雨量(mm) 1分間雨量(mm) 連続雨量(mm) 相対湿度(%) 海面気圧(hpa) 暑さ指数(℃) 平均風向(度) 平均風速(m/s) 天気 ・観測日時 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・特記事項 本研究では、福島ロボットテストフィールドに設置した観測機情報を取得した。

	気象情報	内容
M	アメダス気象実況	・対象エリア：気象庁の設置した日本国内地上観測地点(アメダス)の気象実況 ・対象時間：最新のアメダス気象実況情報 ・更新時間：10 分 ・気象情報： 観測日時 緯度 経度 観測機 ID 観測機の標高(m) 相対湿度 (%) 現地気圧 (Pa) 海面更正気圧 (Pa) 気温 (℃) 水平視程 (m) 前 10 分間の降水量 (kg/㎡ ＝ mm) 積雪の深さ (cm) 前回計測時の積雪の深さ (cm) 前 10 分間の日照時間の合計 (分) 前 10 分間の最大瞬間風速の風向 (度(真方向)) 前 10 分間の平均風速の風向 (度(真方向)) 前 10 分間の最大瞬間風速 (m/s) 前 10 分間の平均風速の風速 (m/s) 自動観測による天気コード ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON

	気象情報	内容
N	短期予測(任意地点)	・対象エリア:日本国内の任意地点(緯度経度指定)によるピンポイント気象予測情報 ・対象時間:現在日時から 48 時間先まで ・更新時間:60 分 ・気象情報: 基準日時　※予測情報発表日時 指定した緯度 指定した経度 気温(℃) 前 1 時間降水量(mm/h) 相対湿度(%) 前 1 時間降雪量(cm/h) 海面更正気圧(hPa) 風速(m/s) 風向(度) 天気 予報日時 ・API 仕様 通信形式:RESTful データ形式:JSON
O	短期予測(特定地点)	・対象エリア:日本国内のウェザーニューズが指定した地点の気象予測情報 ・対象時間:現在日時から 64 時間先まで ・更新時間:60 分 ・気象情報: 基準日時　※予測情報発表日時 地点番号 気温(℃) ・気象情報: 気温(℃) 前 1 時間降水量(mm/h) 相対湿度(%) 前 1 時間降雪量(cm/h) 海面更正気圧(hpa) 風速(m/s) 風向(度) 天気 気圧(hpa) 前 1 時間最大瞬間風速(m/s) 降水確率(%) 予報日時 ・API 仕様 通信形式:RESTful データ形式:JSON

	気象情報	内容
P	ライブカメラ情報	・対象エリア：ウェザーニューズの設置した日本全国のライブカメラ情報 ・対象時間：過去 7 日前から現在日時まで ・更新時間：1 分 ・カメラ設定情報： カメラ ID カメラの見ている方向 英名 市区町村番号 日本語名 緯度 経度 状態　※カメラ稼働状態 地域 ・カメラ設定情報 API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JSON ・カメラ画像情報： 撮影画像 ・カメラ画像情報 API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：JPEG ・特記事項 2021 年度は、福島ロボットテストフィールド周辺の 4 地点のカメラを対象としている。カメラの向きは、福島ロボットテストフィールド方面に向けている。 福島県いわき市(カメラ向き東側) 福島県真野ダム(カメラ向き西側) 福島県小名浜(カメラ向き南側) 宮城県仙台空港(カメラ向き北側)
Q	高解像気象実況予測	後述の(表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異)にある高解像 API に仕様を記載

	気象情報	内容
R	レーダーアメダス情報	・対象エリア：気象庁のレーダーアメダス(降雨予測)情報発表エリア ・対象時間：過去 1 時間から 6 時間先まで ・更新時間：60 分 ・気象情報： 降雨予測情報画像 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG ・特記事項 本 API では、降雨情報を載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値の色付け処理を実施した。UI に表示する際は、地図上にレーダアメダスレイヤーを被せて表示した。
S	衛星画像情報	・対象エリア：気象衛星ひまわり 8 号から取得した情報から地域を限定し、日本エリアとしている。 ・対象時間：過去 7 日前から現在日時まで ・更新時間：5 分 ・気象情報： 衛星画像 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG ・特記事項 本 API では、ひまわり 8 号の撮影した画像ファイルをレスポンスする。UI 等に表示する際は、地図上にレーダアメダスレイヤーを被せて表示する。 ・衛星画像情報 ひまわり８号　全球カラー ひまわり８号　全球可視 ひまわり８号　全球赤外 ひまわり８号　全球水蒸気 ひまわり８号　全球雲頂高度 ひまわり８号　日本域カラー ひまわり８号　日本域可視 ひまわり８号　日本域赤外 ひまわり８号　日本域水蒸気 ひまわり８号　日本域雲頂高度

	気象情報	内容
T	レーダー情報	・対象エリア：気象庁のレーダー(降雨実況)情報発表エリア ・対象時間：過去 1 時間から 6 時間先まで ・更新時間：5 分 ・気象情報： 降雨実況情報画像 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG ・特記事項 本 API では、降雨情報を載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値の色付け処理を実施した。UI に表示する際は、地図上にレーダレイヤーを被せて表示した。
U	高解像ナウキャスト情報	・対象エリア：気象庁の高解像ナウキャスト情報発表エリア ・対象時間：過去 7 日前から現在日時まで ・更新時間：5 分 ・気象情報： 高解像ナウキャスト情報画像 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG ・特記事項 本 API では、高解像ナウキャストを載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値を色付け処理を実施した。UI に表示する際は、地図上に高解像ナウキャストレイヤーを被せて表示した。

	気象情報	内容
V	雷発生予測	・対象エリア：日本全域 ・対象時間：現在日時から 1 時間先まで ・更新時間：10 分 ・気象情報： 発雷発生予測エリア画像 ・API 仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG ・特記事項 本 API では、発雷発生予測エリアを載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、発雷発生予測エリアに応じて階調値の色付け処理を実施した。UI に表示する際は、地図上に発雷発生予測エリアを被せて表示した。

気象情報の概要に挙げた項目について、無人航空機運航において時系列毎にどのタイミングにおいて必要となりうる情報かについて、図 2.2.1.10-138 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能に示す。航空機使用事業者のオペレーションを参考に、運航実施日が近づくにつれ、気象情報の精度と情報の種類を増やし、実況情報をより重視する機能配置としている。



図 2.2.1.10-138 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能

本研究を実施するにあたり、運航管理統合機能と連携する気象情報/有人航空機動態情報機能のシステム構成図を以下、図 2.2.1.10-139 気象情報/有人航空機動態情報機能にまとめた。

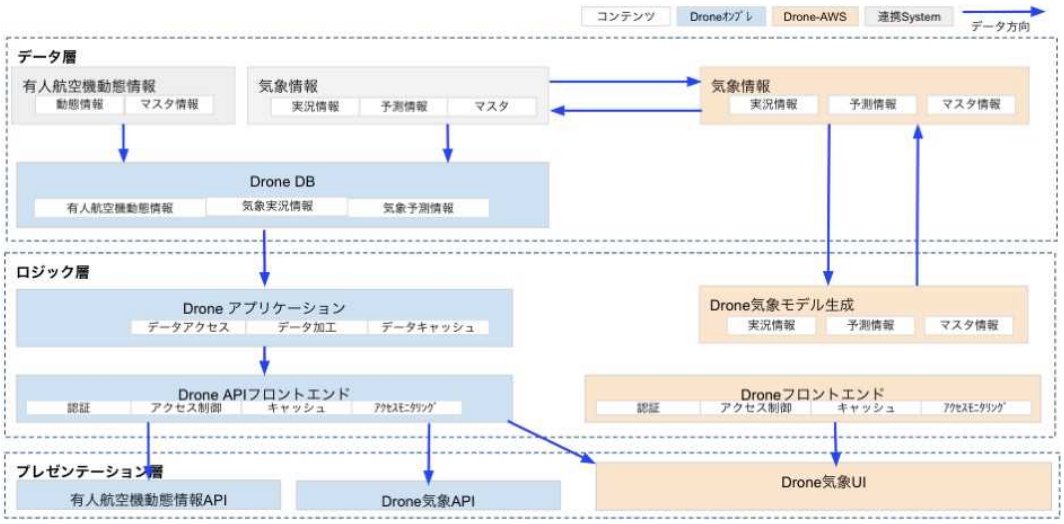


図 2.2.1.10-139 気象情報/有人航空機動態情報機能

本システム構成の特徴を以下の 3 層アーキテクチャ単位に示す。

(A) データ層

・Drone 気象情報の元となる実況情報、予測情報、マスタ情報は、オンプレミスと AWS 双方で冗長的に保管する。データ同期のタイミングは、データドリブンとし、一方でデータ生成/変更/削除が行われた場合、即時にもう一方に同期される。
・有人航空機動態情報は、イリジウム衛星からの有人航空機位置情報を受信し、オンプレミス側にて保管する。
・DroneDB は、気象情報、有人航空機動隊情報データを取り込んでいる。

(B) アプリケーション層

・Drone アプリケーションは、DroneDB へのデータアクセス、RESTful 形式で返却するデータ加工、DB アクセス負荷軽減とレスポンス最適化のため、データキャッシュを実行する。
・オンプレミス側の DroneAPI フロントエンドでは、気象情報 API/有人航空機動態情報 API の認証、アクセス制御、リクエストパラメータ単位のデータキャッシュ、アクセス数管理とセキュリティチェックのためのアクセスモニタリングを行う。
・Drone 気象モデル生成は、表 2.2.1.10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要の A 気象実況解析情報、および、C 極短時間予測気象情報データの生成を行う。
・AWS 側の DroneAPI フロントエンドでは、Drone 気象 UI のユーザ認証、アクセス制御、コンテンツキャッシュ、アクセス数管理とセキュリティチェックのためのアクセスモニタリングを行う。

(C) プレゼンテーション層

・運航管理統合機能からの有人航空機動態情報 API、および、Drone 気象 API の接続先は、オンプレミス側にアクセスとなる。

・Drone 気象 UI のアクセス先は、AWS 側へのアクセスとなる。

運航管理統合機能と気象情報連携のインタフェース項目、および気象 UI の仕様を以下に示す。

(A) インターネット接続前提

インターネットを介した接続であることを前提とする。

(B) 認証機能

weathernews の発行する FIMS コンソ認証キーにより認証処理を行う。

(C) 通信方式

通信方式は、API については RESTful を採用する。気象情報連携インタフェースの項目については、表 2.2.1.10-46 気象情報連携 API 個別仕様に示す。気象 UI と実況解析 SDK は、ブラウザからのアクセスを前提とし、https でのアクセスとする。

表 2.2.1.10-46 気象情報連携 API 個別仕様

対象機能	機能名	機能説明
共通	認証機能	・すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー(URL の get パラメータ)による 認証を行う。 ・気象 UI、実況解析 SDK より呼び出される API についても FIMS コンソの API 認証 キーを使用する。
気象 UI	認証機能	気象 UI では、独自に以下の認証方式を採用する。 ・アカウント ID ・PASSWORD ・FIMS コンソ専用のアカウントを使用する。
気象 UI	気象情報	表示項目は以下のとおり。 ・高解像気象実況：風流線 ・高解像気象実況：強風エリア ・ライブカメラ ・観測機 ・降水量 ・視程 ・実況解析：風流線 ・実況解析：強風エリア ・特記事項 ブラウザより以下の API を呼び出す。 高解像気象 API ライブカメラ API WNI 観測機 API レーダーアメダス API 実況解析 API
実況解析 SDK	気象情報	・気象情報： 風向 風速

a)気象実況解析情報

ウェザーニューズが設置した約 13,000 地点の気象観測装置や、気象庁が設置している気象観測装置の観測データを活用し、観測装置の無いエリアでも実況の気象情報を得られる気象実況解析情報（以下、実況解析）の研究開発を行い、簡易参照ツールに実装した。実況解析は、実況の観測データと直近の気象予測モデルの予測結果から生成される空間３次元的なデータであり、参照ツールからマップ表示、任意地点での気象要素の取得が可能である。なお、実況解析と極短時間予測の処理概要を図 2.2.1.10-140 実況解析とごく短時間予測の処理概要に示す。

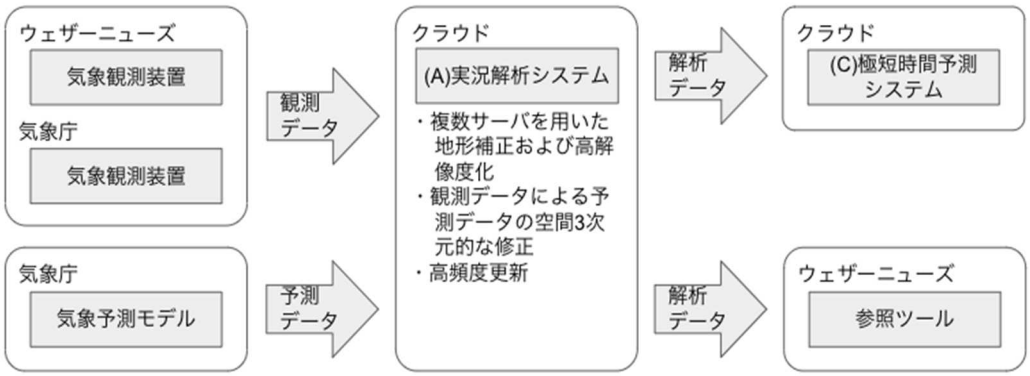


図 2.2.1.10-140 実況解析とごく短時間予測の処理概要

本研究において開発した無人航空機運航判断向け実況解析のデータスペックは表 2.2.1.10-137 に示す通り、高解像度（250m）、高頻度更新(10 分毎）である。無人航空機は数 100m 程度の低空を飛行するため、実況解析も下層を重視したものとなっており、高度方向は 10m 間隔での表示が可能である。また、実況解析を行うシステムは BCP 対策を念頭に、クラウド上に構築した。

なお、実況解析モデルデータは、図 2.2.1.10-141 実況解析モデル生成エリアに示すとおり、日本全国を本州 9 エリア、離島 1 エリアの 10 エリアに分割して生成している。実況解析 API では、エリアを跨ぐ部分について、複数エリアのデータを結合し、レスポンスする仕様としている。

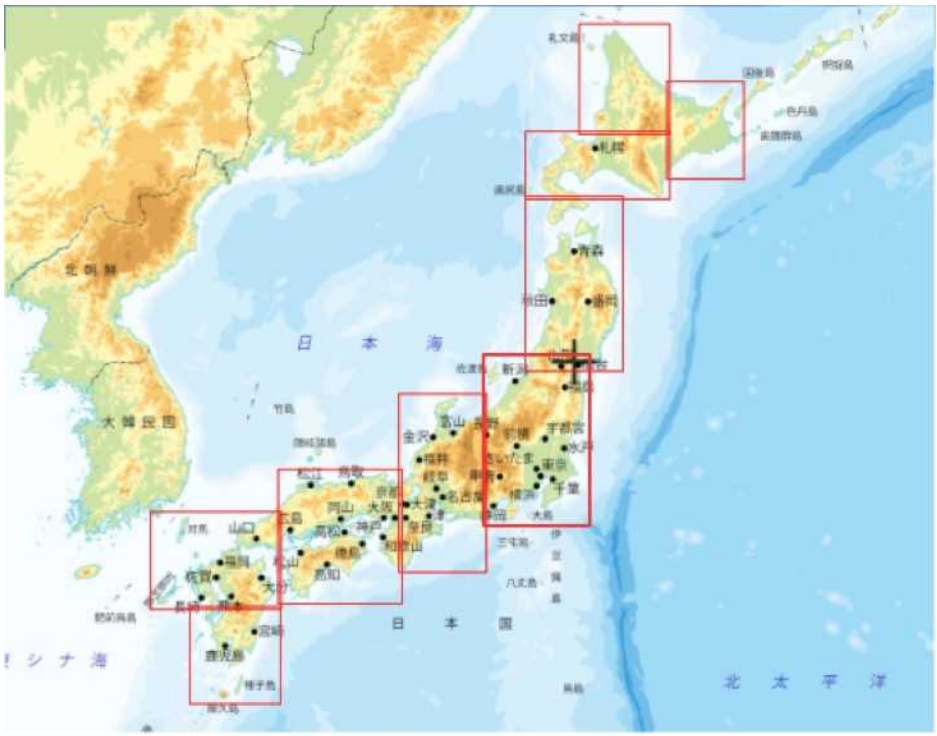


図 2.2.1.10-141 実況解析モデル生成エリア
（出典：国土地理院　https://maps.gsi.go.jp/）

また、2019 年度までに運航管理統合機能と連携した 250m メッシュ、かつ、高度 10m 単位の高解像気象情報を提供する高解像 API との機能の差異について、表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異に示す。

表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異

	仕様	高解像 API	実況解析 API
1	対象エリア	日本全国、台湾、韓国、中国の一部	日本全国
2	データ更新間隔	1 時間毎	10 分毎
3	データ取得範囲（最小-最大）	最小：250 ㎡ 最大：300 ㎢	最小：250 ㎡ 最大：日本全国を 10 ブロックに分割したエリア
4	実況/予測区分	実況/予測：0 時間～10 時間先まで	実況のみ
5	対象高度	地上～10,000m（海面高度）	地上～5,000m（地上からの高度を予定）
6	高度単位	10m 毎　※設定で変更可能	10m 毎
7	メッシュサイズ	250m　※設定で変更可能	250m
8	API アクセス方法	アクセス元クライアントでの javascript 組込方式	・RESTful 形式（HTTP アクセスによる API）
9	取得できるデータ	降雨量 風成分（東西） 風成分（南北） 湿度 気温 標高 雲量（%）	風成分（東西） 風成分（南北）
10	その他特記事項	データ更新間隔が 1 時間毎のため、突然の気象変化に対応できないケースがある。	・地形特性/観測機データをベースとした Drone 気象モデルデータの API。 ・観測機の無いエリアでも実況に近いデータ。 ・Drone 気象 UI で表示。 ・本 API をベースに 3 時間先までの超短期予測を本 API に統合した。

実況解析 API では、データ受信先である運航管理統合機能側にて、複数の API レスポンスデータを結合し、風向風速を計算する処理が必要となる。このレスポンスデータの結合と計算を省略し、受信側での処理を簡略化し、計算後の風向風速データを直接取得する実況解析 SDK を併せて開発した。

図 2.2.1.10-142 実況解析 SDK システム連携図に示すとおり、実況解析以外の気象情報 API は運航管理統合機能サーバより、気象情報管理サーバへ API コールすることにより、気象情報を取得し、運航管理統合機能画面や FIMS タブレットにて気象情報を表示している。一方、実況解析 SDK は運航管理統合機能画面や FIMS タブレットなどの UI 部品の一部として javascript を組み込み、クライアント端末から直接、気象運航管理統合機能サーバへアクセスし、実況解析 API を呼び出す仕組みである。

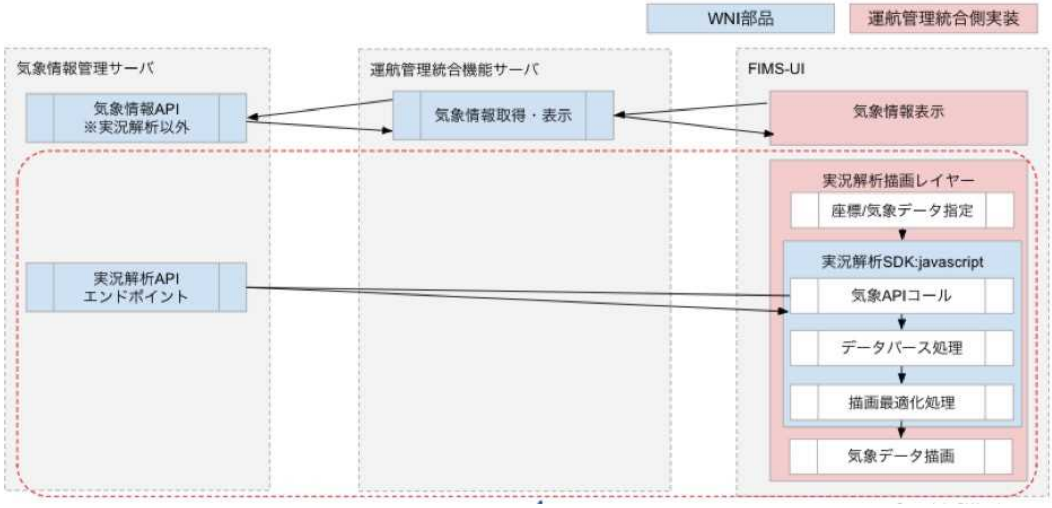


図 2.2.1.10-142 実況解析 SDK システム連携図

実況解析 API および実況解析 SDK から取得したデータは、図 2.2.1.10-143 気象 UI 上での実況解析風向風速表示に示すとおり、マップ上に視覚的に風向風速を確認できることを可能とした。

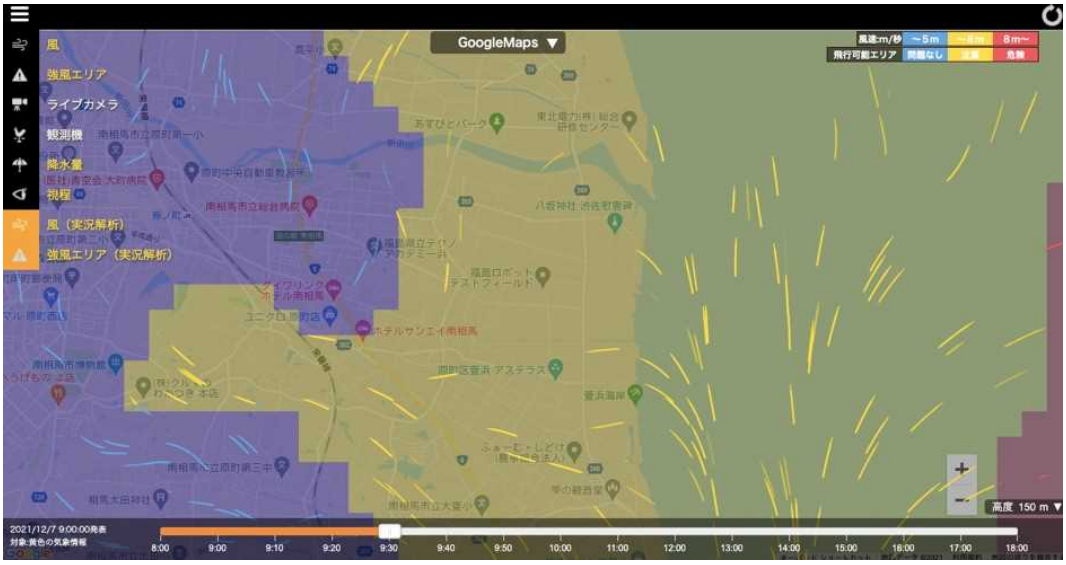


図 2.2.1.10-143 気象 UI 上での実況解析風向風速表示

初年度（2020 年度）は、実況解析の開発を実施し、茨城県のドローンフィールド KAWACHI における実証実験で得られた地上・上空の気象観測データを用いて実況解析の分析を行い、精度検証を実施した。

2 年目（2021 年度）は初年度の実証実験に基づいた実況解析生成ロジックのチューニング及び、極短時間予測気象情報にこの実況解析を反映させる研究開発を行った。また、2 年目の福島 RTF における実証実験においても同様に検証を実施した。

b)視程実況・予測情報

無人航空機の運航可否判断として、視程の実況・予測情報は安全運航にとって重要であり、また、無人航空機は通常、カメラが搭載され、リアルタイムの映像を伝送し、運航中の状況をモニタリングする必要がある。そのため、視程実況と数時間までの視程の状況を予測し、運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。視程情報は、図 2.2.1.10-144 気象 UI 上での視程情報から参照が可能である。



図 2.2.1.10-144 気象 UI 上での視程情報

c)極短時間予測気象情報

無人航空機運航判断においては、極短時間を対象とした空間的に高解像度な気象予測情報が必要となる。このような予測データの生成には、直近の観測データに基づいた高解像度な実況解析を使用する必要がある。そこで、初年度（A)で開発した実況解析を用いて、2 年目に極短時間の予測を生成する予測モデルの研究開発を行った。データスペックは表 2.2.1.10-45 に示す通りである。

開発した予測モデルの精度検証は、実証実験で得られた地上・上空の気象実況データを用いて実施した。

d)極短時間予測気象アラート

極短時間気象予測情報をもとに、無人航空機運航に影響を与える風速などの気象条件について、閾値を設けることにより、極短時間の気象アラートを発報し、運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

e)警報・注意報情報
　気象庁から発表される各地の気象警報・注意報情報を迅速に運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

f)台風情報
　台風は、台風の中心から離れていても、強風エリアである強風域が広範囲にわたる場合が多い。無人航空機運航可否判断にとって重要である台風の強度、台風の進路、暴風域、強風域などの情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。
g)地震情報
　気象庁から発表される日本全国の地震情報を迅速に運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

h)降雨実況
　ウェザーニューズの観測した日本全国の降雨実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。本機能について、計画時には予定になかったが、運航管理統合機能で有効な情報との合意があり、連携対象とした。

i)雷実況
　有人航空機の運航においても重要な情報として扱われる発雷実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

j)空港気象実況
　有人航空機の運航においても重要な情報として扱われる日本国内の定時航空実況気象通報式(METAR)情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

k)地上気象実況
　気象庁の発表する地上実況気象通報式(SYNOP)を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

l)WNI 観測機気象実況
　ウェザーニューズが設置した気象観測機情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。2021 年度は福島ロボットテストフィールド 1 機の情報を提供した。

m)アメダス気象実況
　アメダス気象実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

n)短期予測(任意地点)
　ウェザーニューズ独自の任意地点のピンポイント予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

o)短期予測(特定地点)
　ウェザーニューズ独自の特定地点のピンポイント予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

p)ライブカメラ情報
　ウェザーニューズの設置したライブカメラ情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

q)高解像気象実況予測
　ウェザーニューズの高解像気象実況予測を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

r)レーダーアメダス情報
　レーダーアメダス情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

s)衛星画像情報
　気象衛星ひまわり８号の画像を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

t)レーダー情報
　日本全国に配置されているレーダー降雨情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

u)高解像ナウキャスト情報
　気象庁の降雨ナウキャスト情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

v)雷発生予測
　雷の発生予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

a)から v)までの計 21 種類の気象 API を開発し、運航管理統合機能と連携を実施した。また、API の情報を参照する気象 UI の開発を実施した。本研究では、図 2.2.1.10-45 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件と図 2.2.1.10-46 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能で述べた無人航空機運航で重要と思われる気象情報と粒度を仮説として設定し、API の開発を実施した。さらに、近年は、災害時における無人航空機による捜索や現地調査などが増えているため、警報注意報情報、地震情報の API 整備を実施した。本研究では、無人航空機運航用の気象モデルとして、(A)気象実況解析情報と(C)極短時間予測気象情報を開発した。2020 年度と 2021 年度の運航管理統合機能の実証実験にて、実測値との比較を実施した内容を以下にまとめる。

(A) 気象実況解析情報

気象観測装置から得られる気象観測データをもとに実況解析データを生成し、簡易参照ツールに実装した。実証実験（茨城県ドローンフィールド KAWACHI、福島ロボットテストフィールド）においては、現地の地上・上空の気象観測データと実況解析情報の分析を行い、精度検証を実施した。その結果、実況解析は現地の風の強さ、風の変化傾向を良好に表現できており、無人航空機運航判断においての有用性を確認することができた。以下、それぞれの実証実験における検証の詳細を報告する。

a)茨城県ドローンフィールド KAWACHI における実証実験での検証

実証実験は 2021 年 3 月 15 日から 3 月 18 日に実施された。精度検証に使用した現地の気象観測は、気象観測ドローン 1 台、ドップラーソーダ 1 台により、実験場上空の観測機データを収集し、今年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。地上データについては、実験場４箇所に設置する風車型風向風速計の観測機データを収集し、2020 年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。

本実証実験時の各気象実況観測装置の配置場所は以下の図 2.2.1.10-145 KAWACHI 気象実況観測装置の配置場所に示す。



図 2.2.1.10-145 KAWACHI 気象実況観測装置の配置場所

各観測装置の測定対象と測定方法は以下の通り。

（ア） 気象観測ドローン

図 2.2.1.10-146 気象観測ドローンは、機体上部に気象観測装置を配置しており、超音波式の風向風速計により、上空 50m、100m、150m の風向、風速を計測対象とした。測定方法としては、各高度において 60 秒間のホバリングし、毎秒の風速を計測した。観測結果は、地上の端末にリアルタイムに伝送され、時系列にロギングした。



図 2.2.1.10-146 気象観測ドローン

（イ） ドップラーソーダ

図 2.2.1.10-147 ドップラーソーダは、音波を上空に発射し、空気密度の反射波から得られる空気の移動速度を元に上空の風向・風速を観測する装置である。

ドップラーソーダでは、上空の上空 40m から 200m を 10m 毎、毎秒の風向・風速を観測対象とした。測定結果は、リアルタイムに受信衛星に伝送され、クラウド上に保管される。受信結果は、10 分毎の測定結果をブラウザから参照可能である。



図 2.2.1.10-147 ドップラーソーダ

（ウ） 風車型風向風速計

本実証実験において、図 2.2.1.10-148 風車型風向風速計 4 台をドローンフィールド KAWACHI に隣接するつつみ運動の河川敷に設置した。本観測機は、プロペラ型の風車により、風速 0m～90m までの風速と風向を観測することが可能である。観測周期は、1 秒サンプリングでのデータ取得とした。



図 2.2.1.10-148 風車型風向風速計

検証においては、観測データの得られない場所での精度を確認するため、実況解析の生成には実証実験の現地観測データは使用していない。

ここでは、3 月 16 日の事例に対しての結果を示すが、実証実験の期間を通して実況解析は良好な精度であった。図 2.2.1.10-149 は、実況解析の地上風の水平分布図である（2021 年 3 月 16 日 9 時）。左図が気象庁アメダスの観測値であり、実況解析の風分布は実況を良好に反映できていることが分かる。図 2.2.1.10-150 は、実証実験の現地の地上観測と実況解析及び、気象庁毎時大気解析を比較した結果である。気象庁毎時大気解析は 5km メッシュ、1 時間更新の解析データであり、一般に入手できる実況解析として比較の対象とした。図 2.2.1.10-151 は上空 180m での結果である。

この日の風の傾向としては、午前中は風が弱く、12 時頃に急激に風速が強くなるという特徴があったが、実況解析はこの変化傾向をよく表現できている。特に 12 時頃に大きく風速が変化している様子が、タイミング、風速の強さ共に精度よく捉えることができている。毎時大気解析も変化傾向は捉えているものの、やや緩やかな変化となっている。

毎時大気解析は地上高度での検証が困難なため、ここでは比較の対象としなかった。

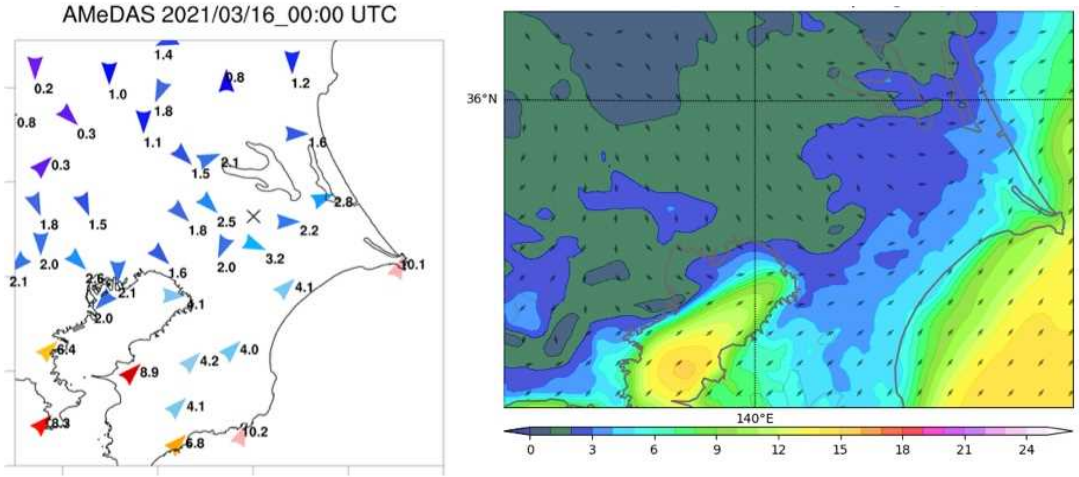


図 2.2.1.10-149 左図：アメダス観測値（2021 年 3 月 16 日 9 時）/
右図：観測データを反映した実況解析

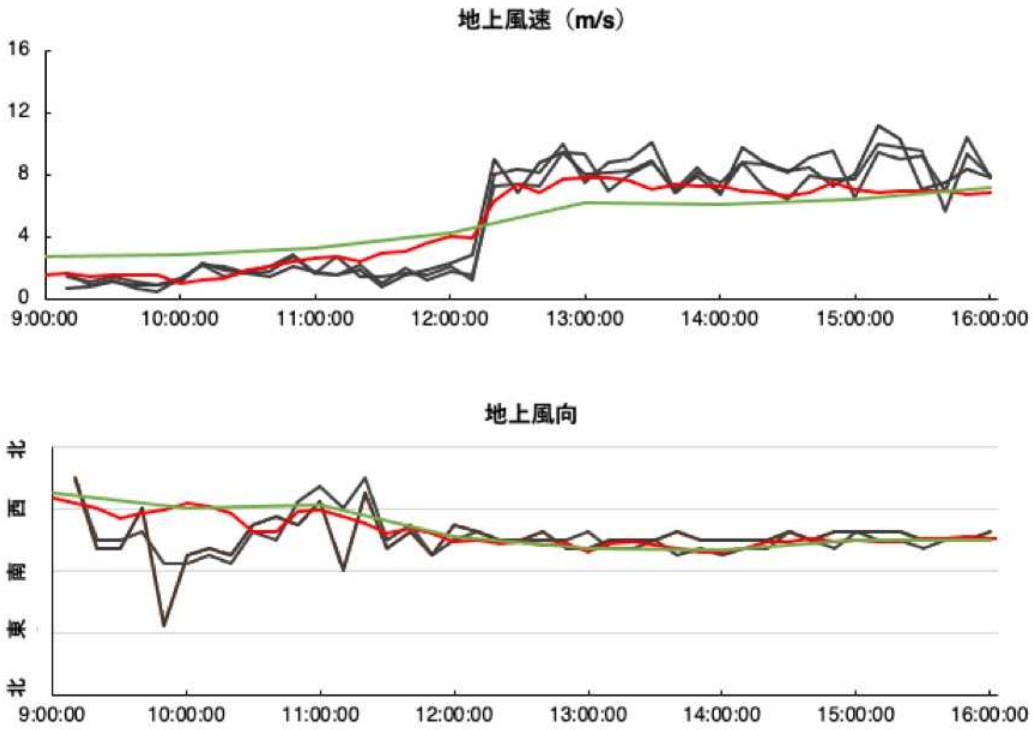


図 2.2.1.10-150 2021 年 3 月 16 日の地上風速風向時系列
（茨城県ドローンフィールド KAWACHI）
赤線は実況解析、黒線は観測、緑線は気象庁毎時大気解析。

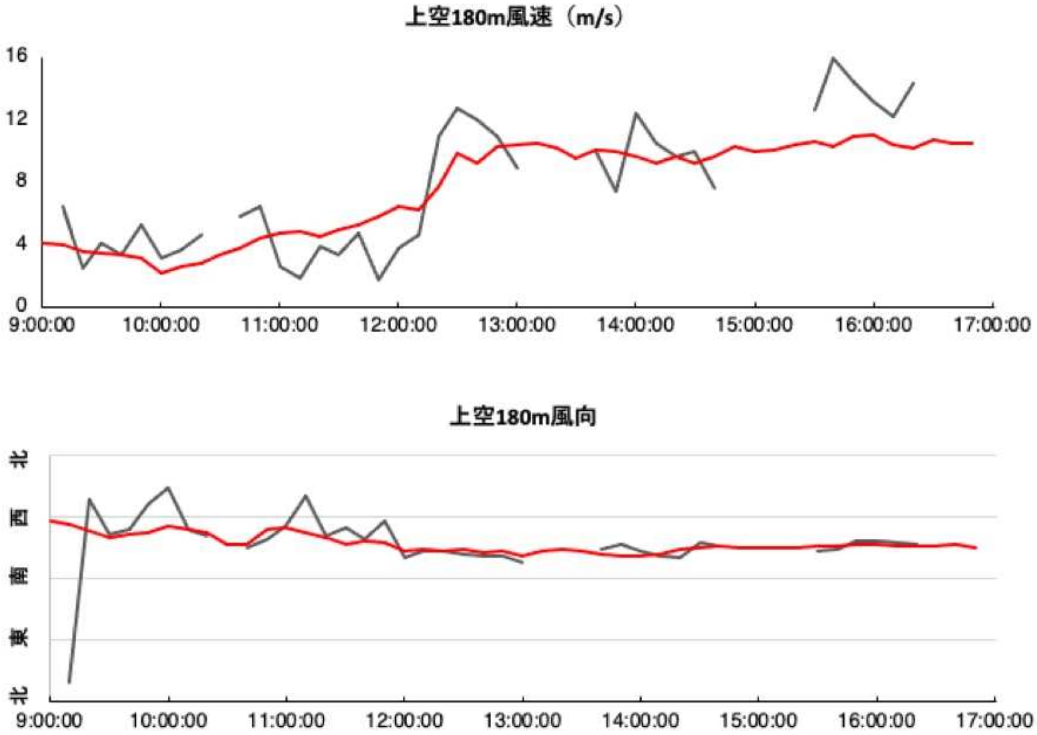


図 2.2.1.10-151 2021 年 3 月 16 日の上空 180m の風速風向時系列
（茨城県ドローンフィールド KAWACHI における）
赤線は実況解析、黒線は観測。

b)福島 RTF における実証実験での検証

実証実験は 2021 年 12 月 6 日から 12 月 10 日に実施された。精度検証に使用した現地の気象観測データは、2020 年度実証実験と同様、上空の風向風速は、気象観測ドローン 1 台、ドップラーソーダ 1 台を使用し、地上データについては、福島ロボットテストフィールドの 4 箇所に設置する風車型風向風速計の観測機データ、および、設置済の WNI 観測機のデータを収集し、2021 年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。各観測機の配置場所を、図 2.2.1.10-152 福島 RTF 観測機配置場所に示す。



図 2.2.1.10-152 福島 RTF 観測機配置場所

また、今回使用した観測機を以下に示す。

上から、図 2.2.1.10-153 福島 RTF 風向風速計、図 2.2.1.10-154 福島 RTF 設置 WNI 観測機、図 2.2.1.10-155 気象観測ドローン、図 2.2.1.10-156 ドップラーソーダ。


風向風速計(南東) 風向風速計(北東) 風向風速計(北西) 風向風速(南西)

図 2.2.1.10-153 福島 RTF 風向風速計



図 2.2.1.10-154 福島 RTF 設置 WNI 観測機



図 2.2.1.10-155 気象観測ドローン



図 2.2.1.10-156 ドップラーソーダ

また、本実証実験では、気象観測ドローンは 1 秒更新、ドップラーソーダは 10 分更新の気象情報のモニタリングを統合管制室にて参照可能とした。

図 2.2.1.10-157 気象観測ドローンの気象情報モニタリングは、気象観測ドローンの情報、図 2.2.1.10-158 はドップラーソーダ気象情報である。



統合管制室にて設置した気象観測　　気象観測ドローンの気象情報

図 2.2.1.10-157 気象観測ドローンの気象情報モニタリング

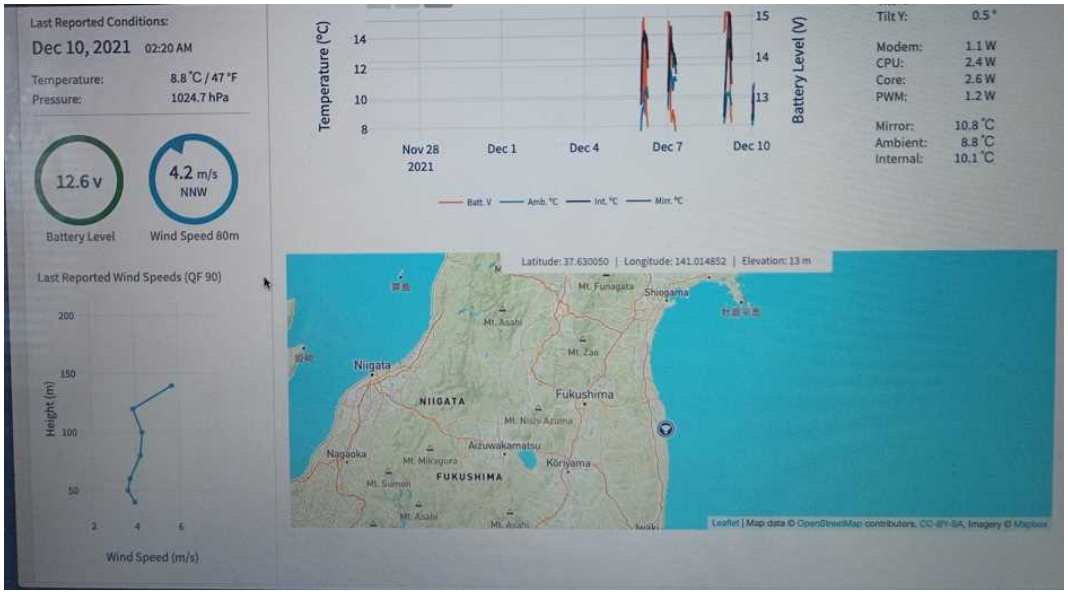


図 2.2.1.10-158 ドップラーソーダ気象情報

図2.2.1.10-159は現地の地上観測と実況解析を比較した結果であり、図2.2.1.10-160は上空160mでの結果である。福島RTFにおいても、実況解析は良好な精度であった。

2回の実証実験での検証から、無人航空機運航判断において、この実況解析情報が有効であることが示された。また、開発した実況解析情報を利用した極短時間予測気象情報の研究成果については(C)で述べる。

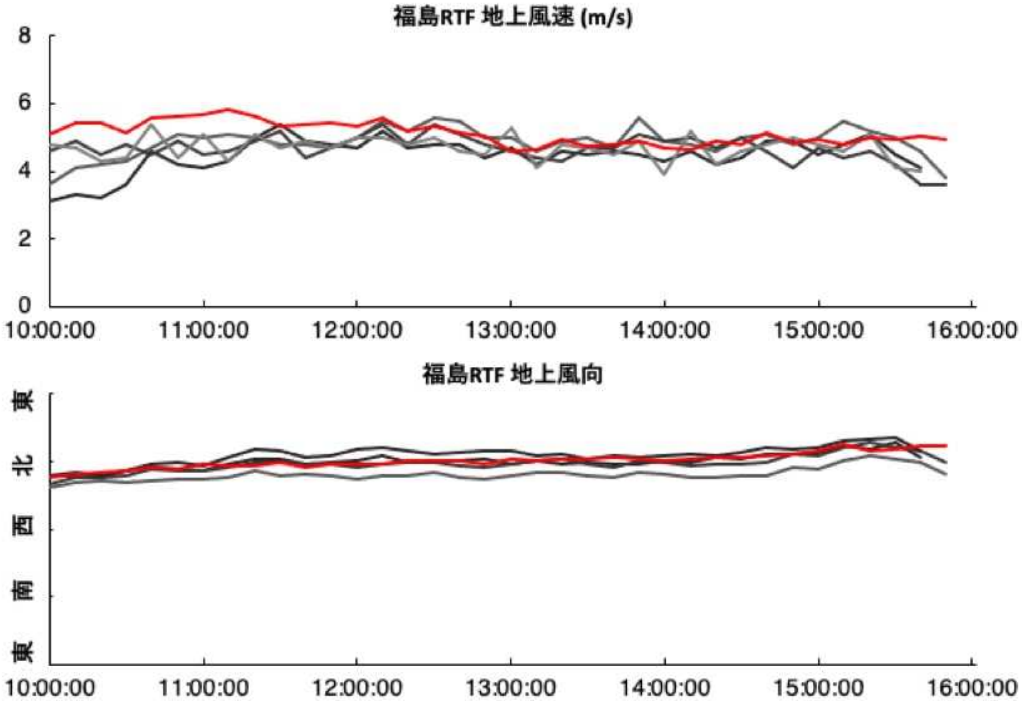


図2.2.1.10-159 2021年3月16日の地上の風速風向時系列（福島RTF）。
赤線は実況解析、黒線は観測。

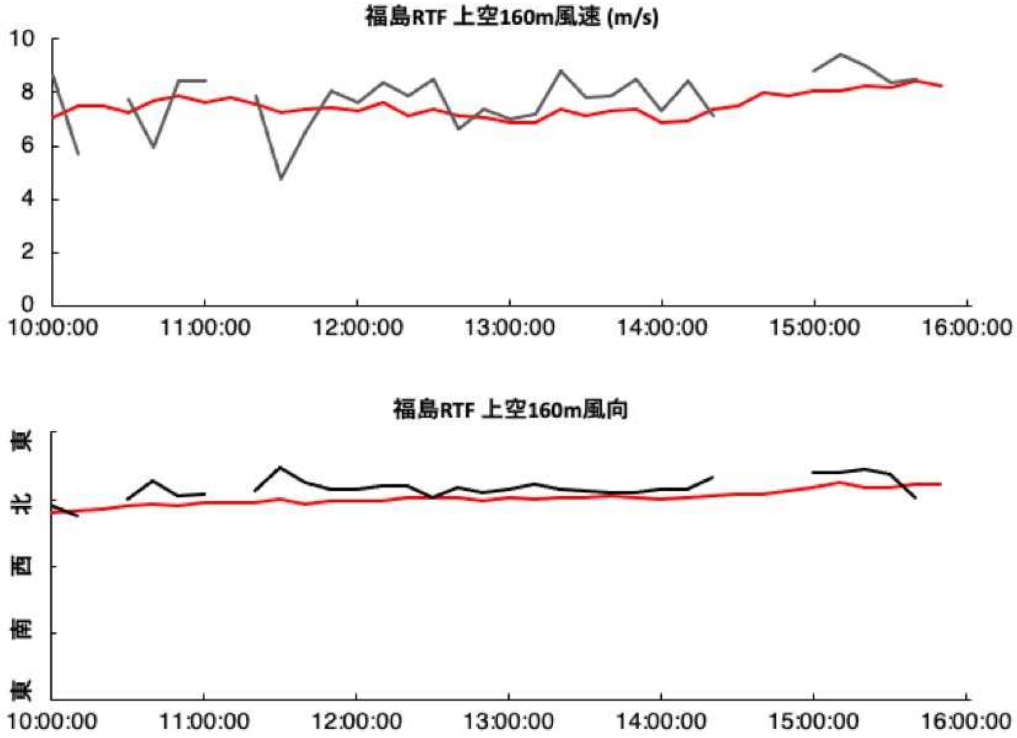


図 2.2.1.10-160 2021 年 3 月 16 日の上空 160m の風速風向時系列（福島 RTF）
赤線は実況解析、黒線は観測。

(B)極短時間予測気象情報

(A)で開発した実況解析を予測の初期値とし、極短時間予測を行うシステムの研究開発を実施した。ここでは、茨城県ドローンフィールド KAWACHI における実証実験の期間のうち、3 月 16 日の検証結果について報告する。

3 月 16 日は 12 時頃から地上、上空とも急激に風速が強まる（図 2.2.1.10-161）。午前 9 時時点で入手できる最新の気象庁局地モデルの予測では、10 時ごろから強風予測となっている。一方、開発した極短時間予測では 12 時前後の風速の急激な変化が予測できており、風の強さも観測とよく一致する結果となった。広い範囲での風の分布も観測とよく一致している（図 2.2.1.10-162）。

さらなる検証は必要であるが、ドローン運航用極短時間予測気象情報は実用にあたって十分活用可能なものであると確認できた。

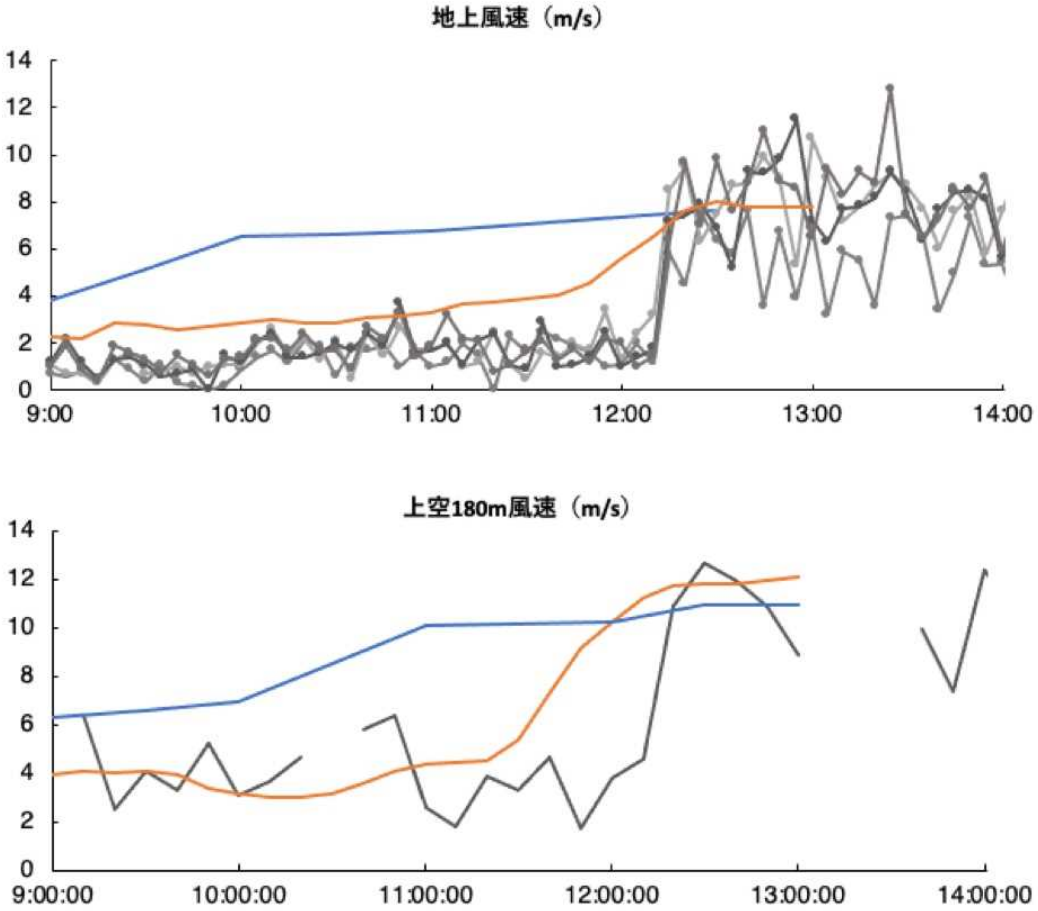


図 2.2.1.10-161 2021 年 3 月 16 日の地上（上図）、上空 180m（下図）の風速風向時系列。橙色は極短時間予測、青線は気象庁 LFM の予測、黒線は観測。

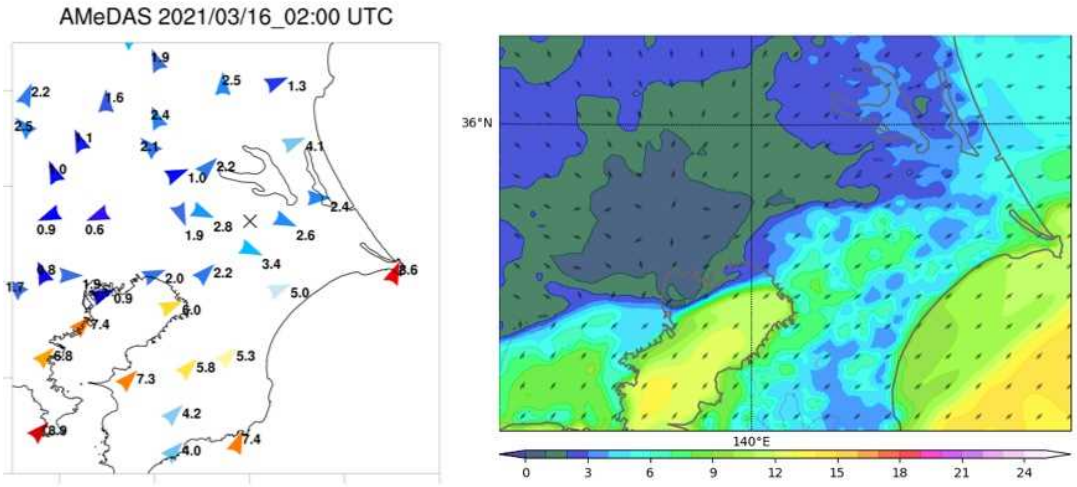


図 2.2.1.10-162 極短時間予測の風速分布図の例。
左図はアメダス観測値（2021 年 3 月 16 日 11 時）。
右図は極短時間予測（初期時刻は 2021 年 3 月 16 日 9 時）。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

a)から v)までの計 21 種類の気象 API を開発し、運航管理統合機能と連携を実施した。

無人航空機運航で重要と思われる気象情報と粒度を仮説として設定した。課題として、無人航空機は機体サイズや耐風性能、耐水性能が異なり、また、輸送、空撮、検査など、様々な運航業務が想定され、積載物も多岐に渡る。本研究においては、無人航空機の機体特性や運航業務オペレーションを想定した機能の整備までには至っていない。無人航空機運航の安全性や経済性などを考慮すると、機体特性や運航高度などの業務特性を組み込んだ気象判断が必要になると思われる。

また、本研究では、無人航空機運航用の気象モデルとして、(A)気象実況解析情報と(B)極短時間予測気象情報を開発した。この２つの気象モデルについての課題と今後の対応を以下にまとめた。

(A) 気象実況解析情報

今回の研究開発で、無人航空機の運航判断に必要とする、高解像度、高頻度更新の実況解析情報を開発することができた。実証実験では良好な結果が得られたが、今回の実証実験のエリアが比較的地形の影響の少ない場所であった。今後の社会実装に向けては、地形の影響を大きく受ける山岳部での有用性を知ることも重要である。特に山岳部では入手できる観測データも平野に比べて少ないため、今後はそのような場所での検証も実施し、実況解析の精度向上のための生成ロジックの検討を継続していく必要がある。

また、利用する観測データについても、地上観測のみでなく、上空の観測や運航中の無人航空機に付けられた観測データを利用するなど、今後も検討が必要である。

(B) 極短時間予測気象情報

(A)で開発を行った実況解析を利用して、高解像度かつ極短時間の予測を行う予測モデルの開発を行い、検証を実施した。開発した実況解析を使用することで、極短時間の予測も従来の予測と比べて精度が向上することが分かったが、実況解析と同様に山岳部での有用性の検証など、今後も継続する必要がある。また、今後は都市部での無人航空機の運航が本格的に開始されるため、ビル風に代表されるような都市部特有の微気象の影響を取り込んだ予測の提供が必須となる。そのためには、100m 以下（数 m～数 10m）単位の気象情報データの開発が必要であり、積極的に取り組むべき課題であると考えられる。

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	0	1	2	3
展示会出展	－	－	－	2	2	－	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	0	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	0	1	－	1
国内出願	－	－	－	0	1	－	1
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

(1) 日本電気株式会社

無人航空機は、実用化が進みこれからますます産業での活用が期待されている。

しかしながら、複数の事業者が無人航空機を飛行する事により、無人航空機同士の衝突等が発生する可能性が高まるため、安全性が低下する。

安全性を確保するために、無人航空機の運航を管理する運航管理統合機能の必要が高まってくると考える。

本研究開発対象である運航管理統合機能は、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方及びそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

(2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

本研究では多数の無人航空機が目視外で高頻度・高密度で運航する将来において必要となると想定される運航管理システムの機能を実現するための技術・機能を実装し評価した。特に限られた空域を多くの有人・無人の航空機が飛び交う世界において安全かつ効率的な運航管理を可能とする空域管理の運用・技術に着目して開発を進めてきた。当社はこれまでにも防災・インフラ点検・物流といった様々な領域において、無人航空機を活用したビジネスを展開する様々な事業者に対して UTM・運航管理ソリューションを提供している。今後、2022 年度の LEVEL4 解禁を起点として物流など有人地帯上空での BVLOS 運航のニーズがさらに高まってくると想定するが、それに合わせるように安全管理に対する要件が一段と高まるものと考える。今回の研究で得た有人航空機・無人航空機の空域管理の知見と、安全運航を支援する各種機能および情報提供の技術を元に自社ソリューションの機能拡充に繋げ、事業拡大するとともに業界の更なる活性化目指す。さらにその先の UAM/AAM などの次世代空モビリティの進展も見据え、低高度空域の統合的な空域管理の実現に寄与する。

(3) 株式会社日立製作所

無人航空機は、電力、道路、鉄道、といった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮から導入が開始され、物流分野等様々な分野での活用が期待されている。

現在、法整備が進み、飛行計画の事前届け出、機体登録/免許の義務化等、静的情報での制度化が進みつつある。

今後、LEVEL3、LEVEL4 等目視外飛行のニーズが高まるにつれて、遠隔でのドローンの飛行安全監視ニーズが高まると想定され、本実証にて実施した分散化飛行状況

管理機能アーキテクチャの整備が進むと考えられる。

(4) 株式会社ウェザーニューズ

本研究では、運航管理統合機能に対して、気象情報と有人航空機動態情報を連携する情報提供機能(SDSP)の一部として参画した。このうち、気象情報については、運航管理統合機能の特性として、様々な機体の情報を一元的に扱うこと、無人航空機の用途が異なること、多くの事業者の利用が想定されることにより、協調領域として扱える気象情報の粒度と種類の技術・機能を実装し評価した。本研究において、実装した機能は、個々の事業者の機体特性や運航業務に特化した用途である競争領域で活用される気象情報の基礎となるものであり、また、今後、地上と上空の気象観測が増えることにより、より正確な気象実況と予測が可能になれば、より精緻な運航可否判断や航路設定が可能になると思われる。

このように、新たな気象観測の導入と気象観測結果の検証とフィードバックを進めることで、無人航空機運航に最適化された気象情報へと進化し、協調領域・競争領域双方の気象情報活用が進むものと想定する。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

(1) 日本電気株式会社

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ」に協調しつつ無人航空機運航管理の在り方を継続して検討する。

また、無人航空機の運用ルールの策定に関して積極的に関係省庁へ提案を継続し、環境整備の促進を図ると伴に、無人航空機運航管理事業を確立させる。

(2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

本研究で得た成果を元に順次自社ソリューションの商品力向上に繋げる。これにより無人航空機の運航管理ニーズを喚起し市場形成/拡大のスピードアップを狙う。加えて、継続的な実証実験の実施により、さらに高度な運航実現に向けた課題抽出と技術開発を行い、競争力を確保する。市場を拡大し事業化を推し進めるためには、技術開発と並行して制度や運航ルールの継続的な見直しが不可欠であるため、官民での検討体や業界団体と協調した仕組み作りにも取り組む。更には諸外国の標準化団体（ASTM、EASA、ISO 等）の動向にも注視し、国際標準に準拠した製品開発を行うとともに、国内の関係者とも協力して標準策定にも積極的に関与し国際的な競争力の向上を目指す。

(3) 株式会社日立製作所

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2021」に協調しつつ運航管理事業の在り方を継続して検討する。ユーザ(自治体、事業者等)の具体的課題の解決をテーマとした社会実装を目的とした実証実験を実施し、安全な無人航空機運用環境の整備と、運用方法を確立する。

(4) 株式会社ウェザーニューズ

今後の無人航空機事業者の実証実験に積極的に参画する。また、通常運航を実施している事業者、これから通常運航を予定している事業者に向けて、本研究で実装した API と UI を競争領域で活用されるべくニーズの把握と情報の活用についての検討を継続する。また、無人航空機と空域を共有することの多い有人航空機使用事業者にお

いても応用できるものとし、無人航空機事業者と有人航空機事業者双方にとって活用される情報となるよう事業化を進める。

3. 実用化・事業化の見通し

(1) 日本電気株式会社

無人航空機の運航管理を活用した無人航空機を活用するサービスは、ますます発展すると想定される。

限りあるリソースである「空」で無人航空機、有人航空機の混雑が発生し「空」リソース枯渇による無人航空機の衝突等が発生する可能性を回避し、無人航空機を安心・安全に飛行させる仕組みを提供することで無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

その上で今回の研究結果を踏まえた課題点として無人航空機の運航事業者目線で要求される事項の検討や将来整備されると想定されるシステムのユーザビリティなどユーザ観点での研究事項がより必要である点が浮き彫りになったと考える。同時に無人航空機が普遍的に整備された際の膨大な機数を考慮したスケーラビリティについても、十分なマージンを確保したまま高度な機能を提供できるよう一層の研究が必要であると思われる。

研究を通して得られたこれらの知見に対して有効な策を検討し、より一層高度な技術研究を継続して実施していく。

(2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

無人航空機の普及は様々な業界における課題や社会課題の解決に寄与する。物流においては無人航空機の活用により深刻な配送ドライバーの労働力不足の改善が見込める。橋梁・道路などの社会インフラの老朽化に伴うメンテナンスコストの増大といった課題に対しても無人航空機を活用した点検自動化は有効な解決策の一つである。このように無人航空機関連技術の向上は持続可能な経済成長・産業化に繋がるものと考える。また、無人航空機により人々にとって空がより身近になり、これまで活用できていなかった空を活用した新たな移動手段の発展や、新しいビジネスの創出にも繋がると考える。

一方で、上空の低い所を無人航空機が飛び交う事に対する様々な不安（事故・騒音・プライバシー確保、セキュリティなど）が高まるといった課題もある。このような課題を克服するために、安全・安心を担保する制度・ルールを策定するとともに、システムの面から安全対策・リスク管理の支援を行う技術開発を継続していく。

(3) 株式会社日立製作所

運航管理事業の確立とともに、無人航空機を活用するサービスがますます発展すると想定される。運航管理統合機能により、安心・安全に無人航空機が利活用されることで、今後加速していくと予想される労働者人口不足の課題を解消する１つの手段となり、経済成長を促す無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

本事業において、インシデント発生時のリアクションについて、通知情報の整理、シミュレーション/実証を行った。検証フェーズにおける警報通知間隔のチューニング、無人航空機事業者からのヒアリングを通じて、得られた結論は「早急に安全な場所に着陸する」ことが最もインシデント回避に有効であるという結論が得られた。だが、現状のインフラでは、「離陸ポイント」のみが、安全性が確認された場所であるため、安全性が確保された着陸ポイントが現時点で存在していないことが最大の課題であると考える。今後、安全なドローン運用インフラについて考察及び整備を行っていく。

(4) 株式会社ウェザーニューズ

LEVEL4 解禁後の無人航空機はさらに普及が進むと思われる。有人航空機と異なる部分として、機体数が膨大となること、運航時間が比較的短くなること、複数機体による複数の運航が可能であることなどがある。そのため、無人航空機運航では、システムによる運航可否自動判定や自動航路設定などが重要になると思われる。個々の無人航空機運航に必要となる情報として、運航の用途、機体スペック、運航高度、地域の気象特性などがあり、より多くの情報を基にした気象判定が必要になると思われる。

6.2.1.11 ８）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）:

単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））

（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ　日本無線株式会社　日本アビオニクス株式会社　株式会社ＡＣＳＬ　マゼランシステムズジャパン株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

(1) 目的

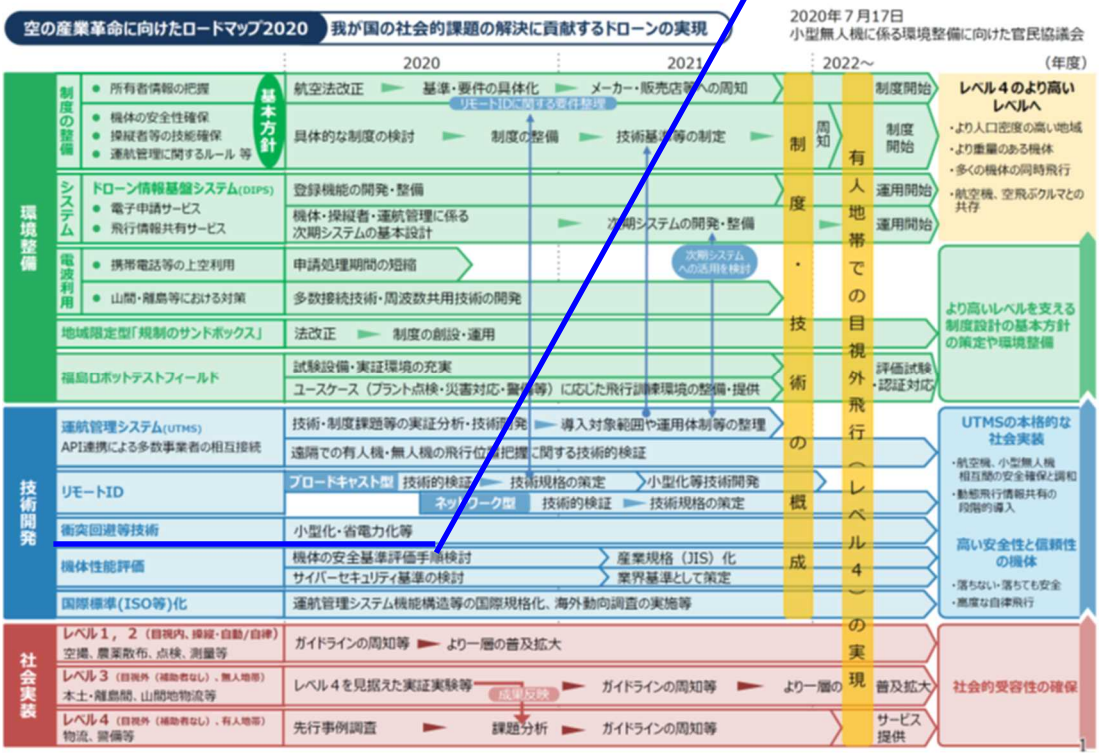
ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されており、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会にて取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ」に沿って、本土・離島間や山間地での無人航空機による物流等の実現等を目指し、官民一体となって取り組んでいると認識している。

本研究開発項目の「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」は、この「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、「小型化・省電力化等の衝突回避等技術」の技術開発として位置付けられているものである。（図 2.2.1.11-1 参照）

「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」は、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、飛行試験によってその有効性を評価するとともに、離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した運航管理機能を研究開発する。

研究開発項目：「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」

⇒「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」に示された、無人地帯での目視外飛行（レベル３）及び有人地帯での目視外飛行（レベル４）の本格化に向けた「小型化・省電力化等の衝突回避等技術」の技術開発として位置付けられている



出典：経済産業省ホームページ
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/roadmap2020.pdf

図 2.1.1.11-1 「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」の位置付け

(2) 概要

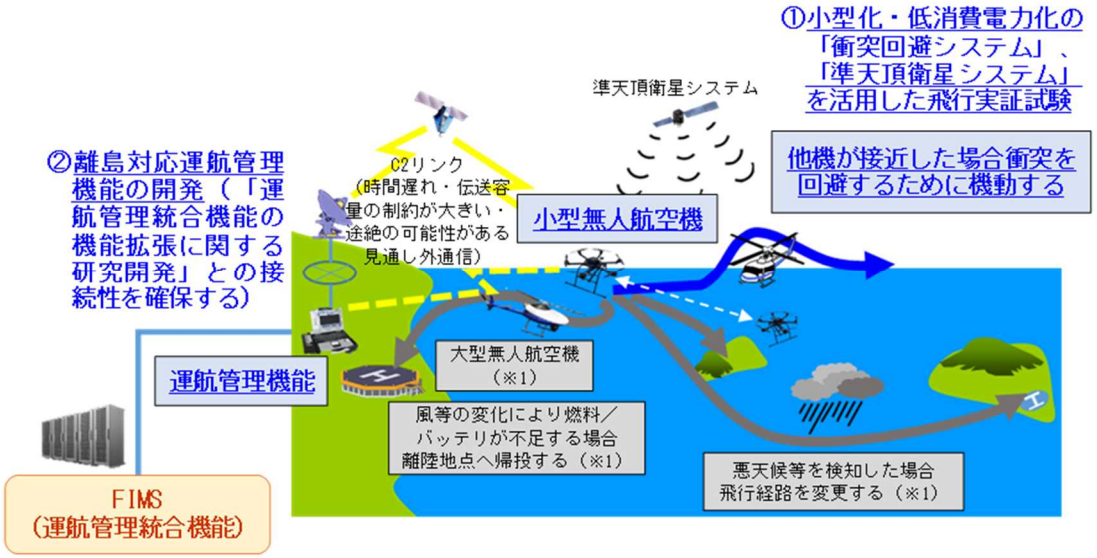
本研究開発においては、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の“非協調式 SAA（Sense And Avoid）システム”及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の“協調式 SAA システム”を小型無人航空機に搭載し、福島県のロボットテストフィールド（以下、「福島 RTF」）等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性を検証する。

また、無人航空機の衝突回避技術の搭載に当たっては、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避

技術の開発／運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下においても、“衝突回避技術を含む自律的に経路変更を行う無人航空機”の運航に適する離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証する。

本研究開発においては、2017 年度から 2019 年度に研究開発した「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発（※1）」（以下、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」）の成果を活用する。

本研究開発と「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」との関係を図 2.2.1.11-2 に示す。



・本研究開発の対象＝下線箇所
・C2 リンク　　：Command and Control link
・FIMS　　：Flight Information Management System

※1　：「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」においては、離島間物流を想定し、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されていないにも関わらず、様々な状況の変化が想定される長距離飛行において、周辺環境の変化に対応し、大型無人航空機が自律的に飛行経路を変更し、準天頂衛星システムを利用して、精密に飛行する技術を実装したシステムを開発した。

図 2.2.1.11-2 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の研究開発内容

（２）研究開発目標と根拠

(1) 飛行試験

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”の有効性を評価するために、以下の(a)～(c)のステップで飛行試験を実施する。

なお、飛行試験の実施に当たっては、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」の成果を活用する。

また、これらの飛行試験実施にあたり、小型化・低消費電力化の衝突回避システムの電波センサ（レーダ）を使用するために、実験無線局の登録手続きに係る作業を実施する。

(a) 基礎データの取得

定量的な評価試験に先立ち、①「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び②「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発で必要な下記の基礎データを取得する。

①-1：光波センサの探知情報等のデータ
①-2：電波センサ（レーダ）の探知情報等のデータ
①-3：非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機の衝突回避機動に関する動作検証のデータ
②-1：準天頂衛星システムによる測位精度検証のデータ

(b) 定量的な評価試験

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、設定した運航シナリオが安全に実現できることを福島 RTF において実証し、定量的な性能を把握する。

(c) 実環境での飛行実証

離島運航シナリオを設定し、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、実環境下において、本研究開発の技術の有効性を評価する。

(2) 離島対応の運航管理機能の技術開発・実証

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した運航管理機能を、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」において開発された運航管理機能の成果を活用し、「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ開発・実証する。

(a) 離島対応の運航管理機能の技術開発

「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」の成果を踏まえ、C2 リンクが完全に途絶した場合においても、自律的な衝突回避機能を含む飛行経路変更を行う無人航空機の運航に適するように、離島対応の運航管理機能を「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」の委託先と連携して開発する。

(b) 離島対応の運航管理機能の実証

「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」と接続し、シミュレーション等により離島対応運航管理機能の接続性を検証する。

(3) 標準化に関する検討

2.2(1)飛行試験及び 2.2(2)離島対応の運航管理機能の技術開発・実証の成果等に基づ

き、無人航空機の衝突回避技術の標準化に関する検討及び提案活動を実施する。
(a) 無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案
(b) 衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討
(c) 標準化活動に向けた実証試験の実施

（３）研究開発スケジュール･実施体制

目標達成に向けた研究開発のスケジュールを表 2.2.1.11-1 に示す。

また、研究開発の実施体制を図 2.2.1.11-3 に示す。

表 2.2.1.11-1 研究開発スケジュール

事業項目	2020 年度				2021 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
(1) 飛行試験								
(a) 基礎データの取得		→	→	→	→			
(b) 定量的な評価試験					→	→		
(c) 実環境での飛行実証						→	→	→
(2) 離島対応の運航管理機能の技術開発・実証								
(a) 離島対応の運航管理機能の技術開発		→	→	→	→			
(b) 離島対応の運航管理機能の実証						→	→	→
(3) 標準化に関する検討								
(a) 無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案				→	→	→	→	→
(b) 衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討				→	→	→	→	→
(c) 標準化活動に向けた実証試験の実施				→				

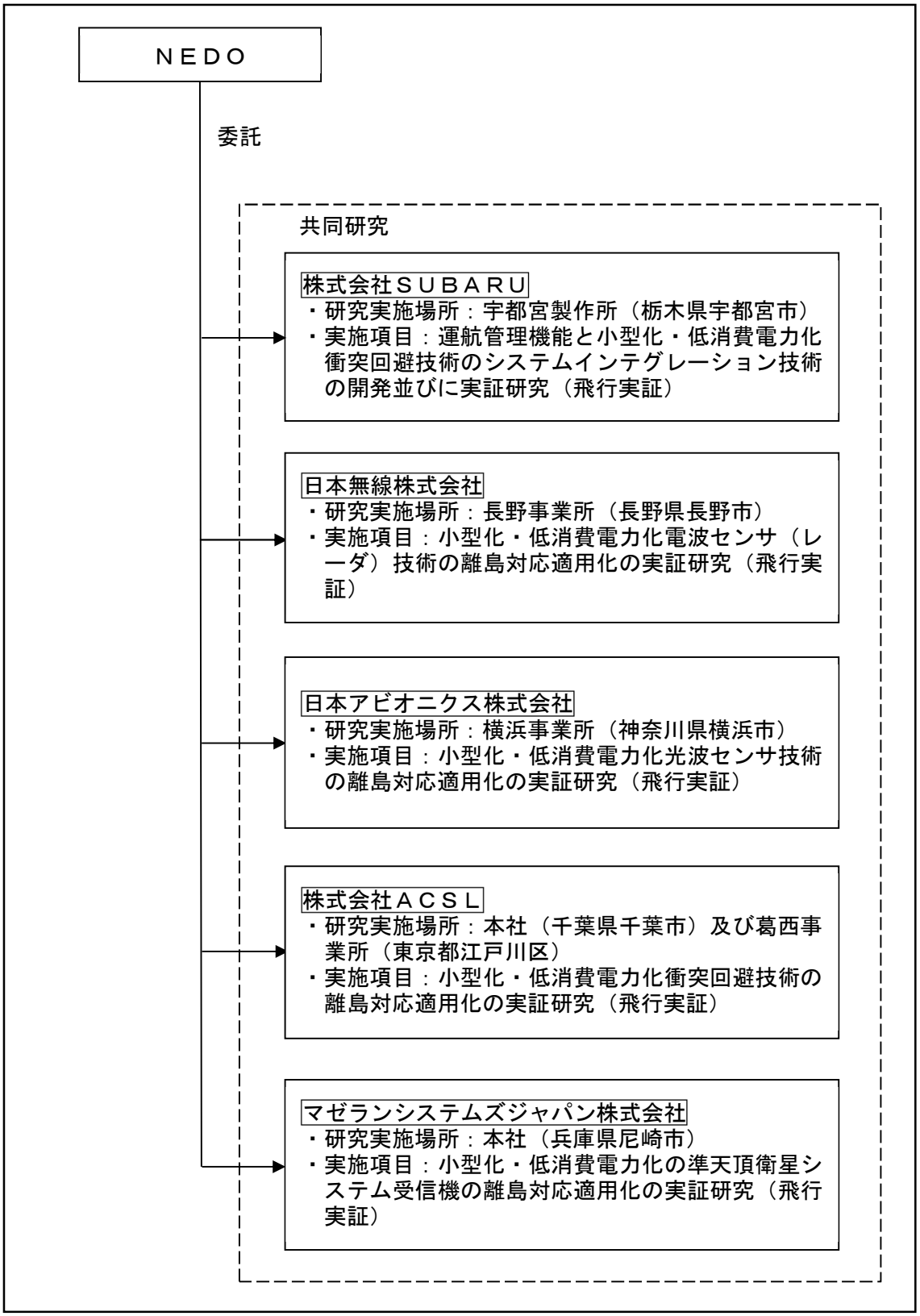


図 2.2.1.11-3 実施体制

（４）研究開発の達成状況

①飛行試験

「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF 及び愛知県三河湾等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性を検証した。

最終目標	成果	達成度	備考
「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の飛行試験による実証	・「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF や愛知県の三河湾海上等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性をステップアップで検証した		
①小型化・低消費電力化の衝突回避システムの各種センサを搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する（小型光波センサ・電波センサ搭載機体の衝突回避試験）	①非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避できることを確認した ・対有人航空機 ：相対速度 200km/h ・対小型無人航空機 ：相対速度 100km/h	○	
②小型化・低消費電力化の準天頂衛星システム受信機を搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する（小型準天頂システム搭載機体の衝突回避試験）	②協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が、対有人航空機と相対速度 200km/h において、自律的に回避できることを確認した		

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②離島対応の運航管理機能の技術開発・実証

「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下においても、衝突回避技術を含む自律的な経路変更を行う無人航空機の運航に適するような離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証した。

最終目標	成果	達成度	備考
離島対応運航管理装置の製作及び検証	・「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下において、地上と無人航空機間の通信（C2リンク）が完全に途絶した場合においても、衝突回避技術により自律的に経路変更を行う無人航空機の運航に適するような離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証した ・具体的には、C2リンクが途絶した状況下においても、離島対応の運航管理機能により、自律的な衝突回避経路を含む無人航空機の予想存在範囲を算出し、運航管理統合機能（機能拡張）へ提供することにより、“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を搭載した無人航空機が運航管理された状態で、より安全に飛行を継続できることを確認した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③標準化に関する検討

①飛行試験及び②離島対応の運航管理機能の技術開発・実証の成果等に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案、衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討及び標準化活動に向けた実証試験を実施した。

最終目標	成果	達成度	備考
無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案	・「Operational procedures」（ISO21384-3）への衝突回避技術の内容入れ込み及びCD（Committee Draft）承認に関する標準化を実施した	○	
衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討	・「ISO/NP 15964：Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems」のNP（New work item Proposal）提案投票開始までの標準化を実施した	○	
標準化活動に向けた実証試験の実施	・“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”と「エネルギーマネジメントに関する研究開発」に関連するバッテリを小型無人航空機に搭載して標準化を見据えた実証実験を実施した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1 研究開発項目①「飛行試験」

飛行試験は、定量的な評価試験に先立ち、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発で必要な基礎データを取得した。その後に「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」開発品の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」開発品の協調式 SAA システムをそれぞれ小型無人航空機に搭載し、福島 RTF にて定量的な評価試験を行うとともに、愛知県の三河湾にて本土及び離島間を想定した実環境での飛行実証を行い、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”の有効性を評価した。

なお、飛行試験においては、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避可能か検証することを最終目標として、ステップアップで実施した。

・対有人航空機　　：相対速度 200km/h
・対小型無人航空機：相対速度 100km/h

この想定ケースにおける小型無人航空機及び有人航空機の飛行速度は、次の考え方に基づきそれぞれ設定した。

・“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”搭載の小型無人航空機及び回避対象の小型無人航空機の飛行速度：50km/h
　⇒　現状普及している小型無人航空機は、4 つ以上のプロペラを利用したマルチコプターで、飛行速度はトップクラスのもので毎秒 15m であり、これより飛行試験における小型無人航空機の飛行速度は、時速 50km に設定した。
　　（参考）新エネルギー・産業技術総合開発機構の「安全安心なドローン基盤技術開発」プロジェクトによる研究開発成果をもとに、株式会社ＡＣＳＬが開発した「ＳＯＴＥＮ（蒼天）」の飛行速度も同程度である。
・回避対象の有人航空機の飛行速度：150km/h
　⇒　日本国内で登録されている有人の回転翼航空機は、全備重量が 2,000kg～3,000kg のクラスのヘリコプターが最も機数が多く、かつ無人航空機が遭遇することが予想されるドクターヘリもこのクラスに包含され、低高度空域での活動は、ドクターヘリ飛行の他に、物資輸送（吊り下げ）及び送電線パトロールなどがある。ドクターヘリは、通常飛行高度 1,000FT 程度、飛行速度約 200km/h 程度で運航されており、無人航空機が運航する高度 150m 未満の高度におけるドクターヘリは、上昇／降下及び加速／減速中と考えられる。これより、回避対象の有人航空機の飛行速度は 150km/h として、自律的な衝突回避の検証を実施した。
　　（参考）また、対有人航空機の衝突回避検証の飛行試験の際に、有人航空機を速度 200km/h で飛行させ、センサの探知状況のデータ取得を実施した。

5.1.1 「飛行試験(1) 基礎データの取得」（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社）

2021 年 4 月 15 日から 4 月 27 日に、福島 RTF、南相馬復興工業団地工業用地及び福島浜通りロボット実証区域（南相馬市）広域飛行区域において、基礎データ取得のための飛行試験を実施し、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発に必要な基礎データを取得した。

試験場所及び試験成果概要を次に示す。

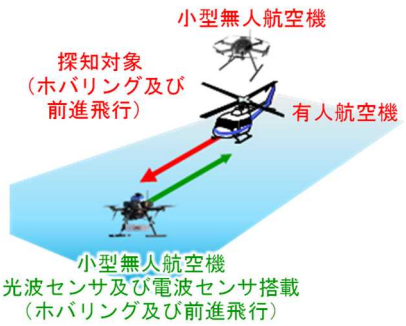
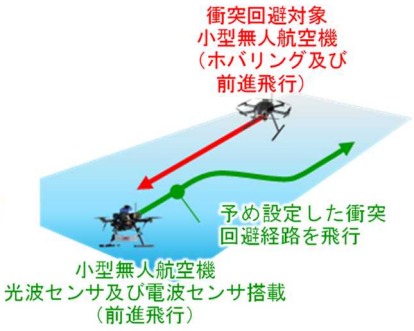
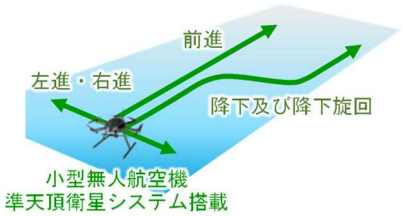
・図 2.2.1.11-4 基礎データ取得の試験場所

・表 2.2.1.11-2 基礎データ取得の試験成果概要



図 2.2.1.11-4 基礎データ取得の試験場所

表 2.2.1.11-2 基礎データ取得の試験成果概要

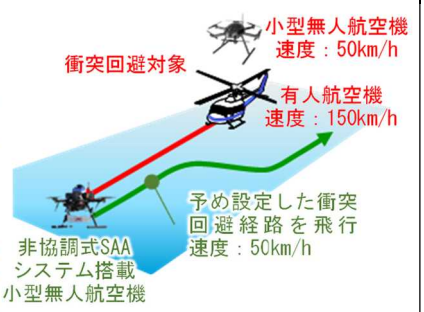
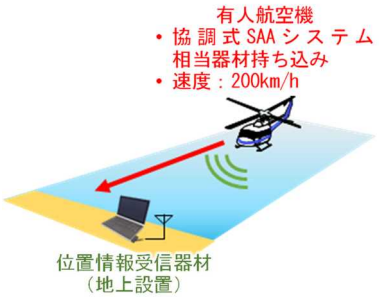
試験名称	試験成果概要
「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）の基礎データ取得試験	目的：衝突回避対象に対する光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知情報等のデータを取得する 成果：「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）を搭載した小型無人航空機を飛行させ、対無人航空機及び有人航空機に対する光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知データ等を取得した 
「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の自律管理装置の基礎データ取得試験	目的：非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が設計どおりの衝突回避機動を実施できることを確認する 成果：「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）を搭載した小型無人航空機を飛行させ、自律的な衝突回避における小型無人航空機の回避機動性のデータを取得した 
「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の準天頂衛星システムの基礎データ取得試験	目的：小型無人航空機飛行時における準天頂衛星システムの測位精度を検証する 成果：「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の準天頂衛星システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、位置情報等の精度評価のデータを取得した 

5.1.2 「飛行試験(2) 定量的な評価試験」（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社）

2021 年 7 月 5 日から 7 月 16 日に定量的な評価試験の事前確認を、2021 年 8 月 30 日から 9 月 11 日に定量的な評価試験を福島 RTF 及び福島浜通りロボット実証区域（南相馬市）広域飛行空域（図 2.2.1.11-4 参照）において実施し、設定した運航シナリオが安全に実現できることを実証した。

定量的な評価試験の試験成果概要を表 2.2.1.11-3 に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-3 定量的な評価試験の試験成果概要

試験名称	試験成果概要
非協調式 SAA 模擬衝突回避試験	目的：光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知性能を確認する 成果：「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を、予め設定した衝突回避経路で飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知データを取得した 
非協調式 SAA 自律的衝突回避試験	目的：想定ケースにおいて自律的に衝突回避できることを確認する 成果：「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する自律的な衝突回避の性能を把握した 
協調式 SAA 情報共有機能確認試験	目的：協調式 SAA 自律的衝突回避試験に際し、位置情報の取得及び送信ができることを事前に確認する 成果：「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システム相当の器材を有人航空機の機内に持ち込み、飛行中の有人航空機の位置を機内の準天頂衛星システムにより測位し、この位置情報を地上器材に通信できることを確認した 

非協調式 SAA の自律的衝突回避試験においては、小型無人航空機に搭載した「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）により、相対速度 200km/h で接近してくる有人航空機を飛行中に探知し、この探知情報に基づき「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の自律管理装置が小型無人航空機に対し衝突を回避する経路変更の指令を出力し自律的に飛行経路を変更できることを飛行試験で確認した。この飛行試験の結果などは、2021 年 11 月 8 日にニュースリリースした。

◇各社ホームページにてニュースリリース

・株式会社ＳＵＢＡＲＵ
https://www.subaru.co.jp/news/2021_11_08_174517/

・日本無線株式会社
https://www.jrc.co.jp/jp/about/news/2021/1108-1.html

・日本アビオニクス株式会社
https://www.avio.co.jp/news/pdf/211108.pdf

・株式会社ＡＣＳＬ
https://www.acsl.co.jp/news-release/press-release/2014/

・マゼランシステムズジャパン株式会社
https://www.magellan.jp/news/755

5.1.3 「飛行試験(3) 実環境での飛行実証」(実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社)

2021 年 11 月 9 日から 11 月 23 日に実環境での飛行実証の事前確認を、2021 年 12 月 8 日から 12 月 21 日に実環境での飛行実証を愛知県豊川市御津町愛知県企業庁工業用地御津 1 区及び周辺海上において実施した。

実環境での飛行実証は、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、実環境下において、本研究開発の下記最終目標を含め評価した。

①「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の飛行試験による実証

・小型化・低消費電力化の衝突回避システムの各種センサを搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する。

・小型化・低消費電力化の準天頂衛星システム受信機を搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する。

②離島対応運航管理機能の検証

この結果、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、飛行試験によってその有効性を確認したとともに、C2 リンクの途絶を模擬した場合においても、自律的な衝突回避による飛行経路変更を行う無人航空機の運航管理に適する離島対応の運航管理機能であることを確認した。

なお、下記の理由より、C2 リンクは実際に途絶させずに、離島対応運航管理機能で受信する小型無人航空機の飛行情報を停止することにより、C2 リンク途絶の模擬状態にて飛行実証を行った。

・国土交通省航空局発行の「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」※2 において、下記のとおり規定されている。

> 4-1-1　全ての無人航空機の機能及び性能について、次に掲げる基準に適合すること。
> (5) ～常時、不具合発生時等において、無人航空機を飛行させる者が機体を安全に着陸させられるよう、強制的に操作介入ができる設計であること。

・このため、常時、機体を安全に着陸させられるように、試験は C2 リンクを接続した形態で実施した。

・また、離島対応運航管理機能は、C2 リンクを実際に途絶させずに、離島対応運航管理機能で受信する小型無人航空機の飛行情報を停止することにより、C2 リンクが途絶した場合と同様に機能するので、C2 リンク途絶を摸擬することで検証した。

※2 ：国土交通省ホームページ
https://www.mlit.go.jp/common/001254115.pdf　P.12 より転載

実環境での飛行実証の試験場所及び試験成果概要を次に示す。

・図 2.2.1.11-5 実環境での飛行実証の試験場所

・表 2.2.1.11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要



図 2.2.1.11-5 実環境での飛行実証の試験場所

表 2.2.1.11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要（1/2）

試験名称	試験成果概要
非協調式 SAA 自律的な衝突回避試験	目的：想定ケースにおいて自律的に衝突回避できることを確認する 成果：「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する自律的な衝突回避の有効性を確認した ・対小型無人航空機： 相対速度 100km/h ・対有人航空機： 相対速度 200km/h 
非協調式 SAA と離島対応運航管理機能との統合試験	目的：衝突回避技術と離島対応運航管理機能を組み合わせて、それぞれの技術の有効性を確認する 成果：離島対応の運航管理機能と「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機及び運航管理統合機能（機能拡張）とを接続して、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、本技術の有効性を確認した 

表 2.2.1.11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要（2/2）

試験名称	試験成果概要
非協調式 SAA と離島対応運航管理機能との統合試験（C2リンク途絶模擬）	目的：小型無人航空機の C2 リンクが途絶した場合※3 においても、自律的に経路変更を行う無人航空機の運航に適した離島対応運航管理機能であることを確認する 成果：小型無人航空機との C2 リンク途絶を摸擬し、C2 リンクが途絶した場合でも、自律的な経路変更を含む未来の予想存在範囲を算出し、運航管理統合機能（機能拡張）に提供しながら飛行を継続できることを確認した  ※3：C2 リンク途絶（模擬）
協調式 SAA 自律的衝突回避試験	目的：協調式 SAA により自律的に衝突回避できることを確認する 成果：「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、対有人航空機と相対速度 200km/h において、位置情報を共有することによる自律的な衝突回避（離陸地点に帰投）の有効性を確認した 

5.1.4 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの光波センサの評価」（実施者：日本アビオニクス株式会社）

脅威機の衝突回避に必要な離隔距離（脅威機との安全離隔距離＋衝突回避動作に必要な距離 ⇒ 対小型無人航空機：250m 以遠、対有人航空機：750m 以遠）で脅威機を探知すると共に探知した目標情報を一定周期（10Hz）で自律管理装置に出力できることを飛行試験によって確認した。

(1) 飛行試験（基礎データ取得、定量的な評価、実環境での飛行実証）の成果

基礎データ取得試験において、コンピュータ解析用データを取得した。データは、光波センサと映像記録機器を搭載した小型無人航空機を飛行させ、同じく飛行している脅威機（小型無人航空機、有人ヘリコプター）を光波センサの可視光カメラで撮影して、映像記録機器に記録することによって取得した。

取得データの詳細を表 2.2.1.11-5 に示す。

表 2.2.1.11-5 取得データ詳細

No.	脅威機	脅威機の動作	探知機の動作	取得データの目的
1	小型無人航空機	離隔距離 250m でホバリング	ホバリング	離隔距離における探知状況を確認するため
2		ホバリング	脅威機に接近	接近時の機体姿勢における探知状況を確認するため
3	有人ヘリコプター	離隔距離 750m でホバリング	ホバリング	離隔距離における探知状況を確認するため

定量的な評価試験において、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／無人航空機の衝突回避技術の開発／衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の成果を踏まえ、次の①～②について、飛行試験による実証によって確認した。また、実環境での飛行実証に向けたコンピュータ解析用データを取得した。小型無人航空機探知時の画像を図 2.2.1.11-6 に示す。

①脅威機の衝突回避に必要な離隔距離（対小型無人航空機：250m 以遠、対有人ヘリコプター：750m 以遠）で脅威機を探知

②脅威機を探知した目標情報を一定周期（10Hz）で自律管理装置に出力



※定量的な評価試験において小型無人航空機を回避に必要な離隔距離である 250m 以遠で捉えている画像

図 2.2.1.11-6 小型無人航空機探知時の画像

実環境での飛行実証においては、小型無人航空機同士の非協調式衝突回避試験を行い、光波センサが自律管理装置に出力した目標情報により、機体が回避行動することを確認した。図 2.2.1.11-7 に飛行実証試験のイメージを示す。

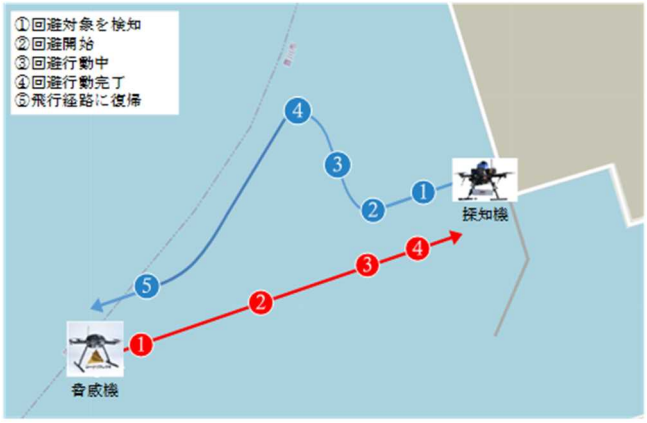


図 2.2.1.11-7 飛行実証試験イメージ

(2) 今後の課題

今回の成果を踏まえた課題は、今回採用しているコントラストに基づく物体検出の方式では、回避対象の他にコントラストがはっきりした雲や構造物も検知されるものである。そのため、衝突回避には、これらの脅威判定をする必要があるが、現状の処理方式では非常に困難である。

現状は、映像の 1 フレームにおける検知物体の位置（機首方位を北とした相対的な方位、仰角）を抽出後、数フレームに渡って位置情報を基にした追尾を行うことで回避対象を抽出しており、飛行経路上の視野に継続して存在していることにより、脅威と判断するが、雲や構造物も追尾され易いため、脅威と判断されてしまう。現状の処理で得られる情報だけでは、検知物体の脅威判定をする情報としては乏しい。

判定には、現在抽出している位置情報に加え、距離情報や識別情報が有効と考えるが、これら付加情報を取得するためには、システム構成も含めた処理方式の改善が必要と考える。図 2.2.1.11-8 に脅威機以外を探知した例を示す。



図 2.2.1.11-8 脅威機以外を探知した例

5.1.5 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの電波センサ（レーダ）の評価」（実施者：日本無線株式会社）

(1) 実験無線局の登録手続き

飛行試験で電波センサを実験無線局として使用するため、無線局免許状の取得（実験計画ならびに無線局運用の許可）に関して総務省、関係官庁と調整、電波使用に関する申請手続きを進め、実験試験局の無線局免許状を取得した。

(2) 基礎データ取得試験の成果

小型無人航空機に電波センサを搭載し、ホバリング時及び移動飛行時における脅威機（回避対象）の受信ログデータを取得した。なお、脅威機は有人ヘリの他、有人ヘリを模擬したコーナリフレクタを搭載した無人航空機を使用した。

取得した受信ログデータをオフライン解析した結果、図 2.2.1.11-9 及び図 2.2.1.11-10 に示す様に、脅威目標のみを検出させる事ができ、取得した受信ログデータは、オフライン解析・検証に有益なデータであることを確認できた。

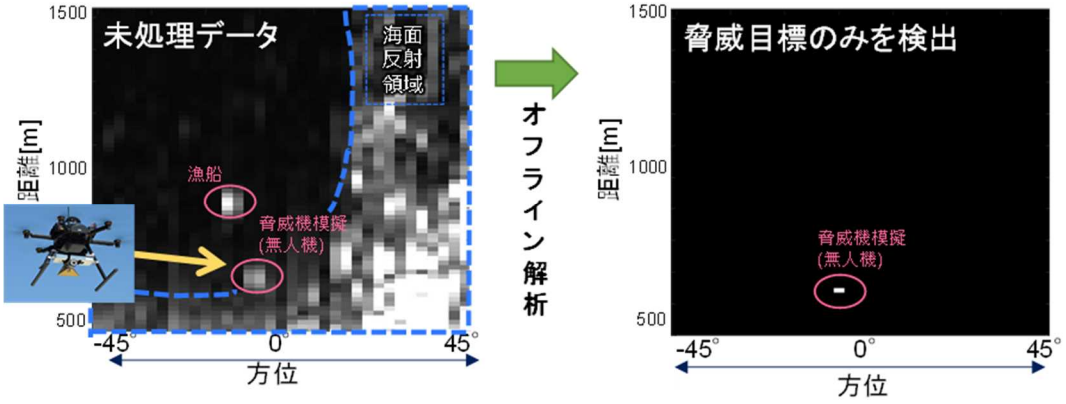


図 2.2.1.11-9 基礎データ取得試験のオフライン解析結果
（コーナリフレクタ搭載無人航空機）

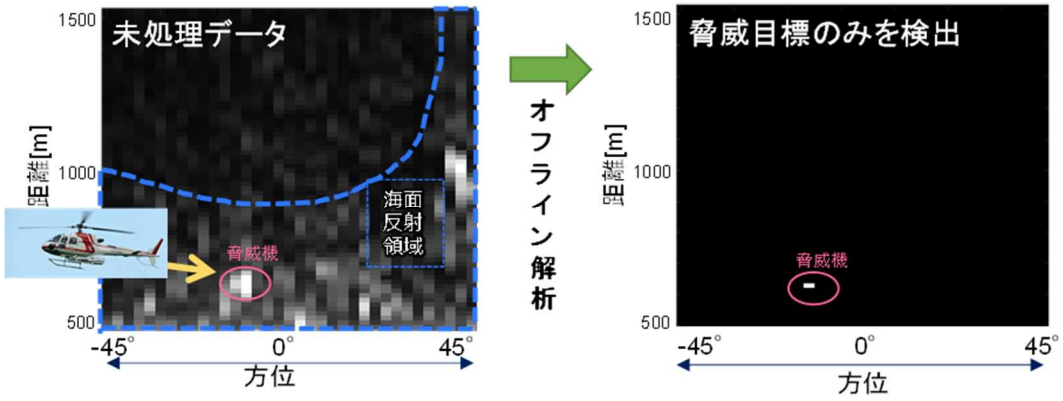


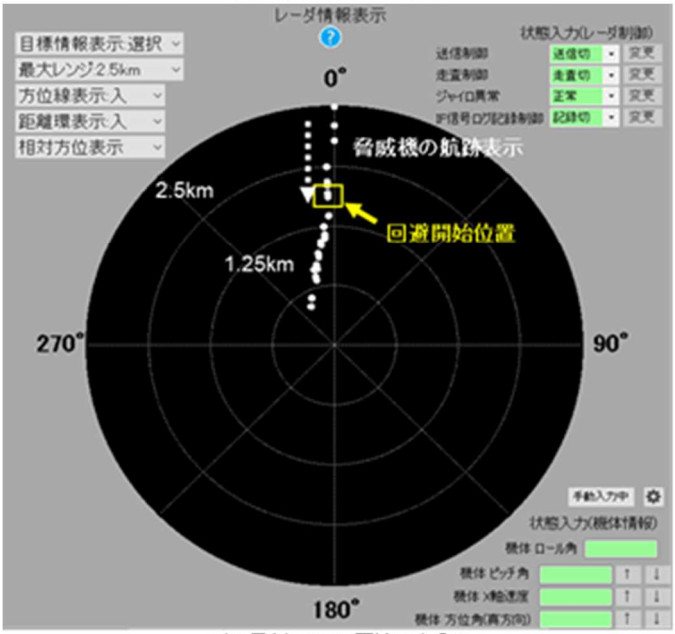
図 2.2.1.11-10 基礎データ取得試験のオフライン解析結果
（有人ヘリ）

(3) 定量的な評価試験、実環境での飛行実証の成果

基礎データ取得試験で取得した受信ログデータをオフライン解析・パラメータ検証した結果を基に、最適な信号処理パラメータを電波センサに適用し、定量的な評価試験及び実環境での飛行実証で自律的な衝突回避試験を行った。その結果、各試験において相対速度 200km/h で飛行する脅威機を自律的に回避する事が確認でき、衝突回避に必要な脅威機の方位、距離、速度データを自律管理装置へ出力できている事が検証できた。図 2.2.1.11-11 に飛行試験時のレーダ検出ログ画面を示す。



定量的な評価試験
(福島県 南相馬市)



実環境での飛行実証
(愛知県 蒲郡市 (三河湾))

図 2.2.1.11-11 自律的回避試験のレーダ検出ログ画面

5.1.6 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの自律管理装置の評価」（実施者：株式会社ＡＣＳＬ）

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF や愛知県の三河湾海上等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性をステップアップで検証した。

非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機（図 2.2.1.11-12 参照）が、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避できることを確認した。

・対有人航空機　　：相対速度 200km/h
・対小型無人航空機：相対速度 100km/h

型式等		小型無人航空機（非協調式 SAA システム搭載） ACSL-PF2
外観		
諸元	寸法	1.2m（プロペラ範囲）×0.6m（全高）
	質量	10kg（最大）

図 2.2.1.11-12 実証実験に用いた無人航空機（探知機）

小型無人航空機に搭載の自律管理装置では、以下のアルゴリズムで衝突回避を行う。（図 2.2.1.11-13 参照）

(1) 検知／判断
- 対有人航空機（相対 200km/h）：
  電波センサで、距離 1,500m 以内で、連続 3 フレーム（3 秒間）同一セクタ、フレーム間移動 83m 以内、速度正（接近）
- 対無人航空機（相対 100km/h）：
  光波センサで、10 フレーム中（1 秒間）で 5 フレーム以上検知
  同一目標の判定基準は方位角、仰角ともに±2° 以内

(2) 回避
- 対有人航空機（相対 200km/h）：
  電波センサで、方位角 0～45 度（＝右側に脅威機を検知）⇒ 左に回避
  方位角-45～0 度（＝左側に脅威機を検知）⇒ 右に回避
- 対無人航空機（相対 100km/h）：
  光波センサで、方位角 0～45 度（＝右側に脅威機を検知）⇒ 左に回避
  方位角-45～0 度（＝左側に脅威機を検知）⇒ 右に回避

(3) 再検知／待機

- 対有人航空機（相対 200km/h）：電波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止
- 対無人航空機（相対 100km/h）：光波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止

(4) 飛行再開
- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

非協調式 SAA システムの回避ロジック

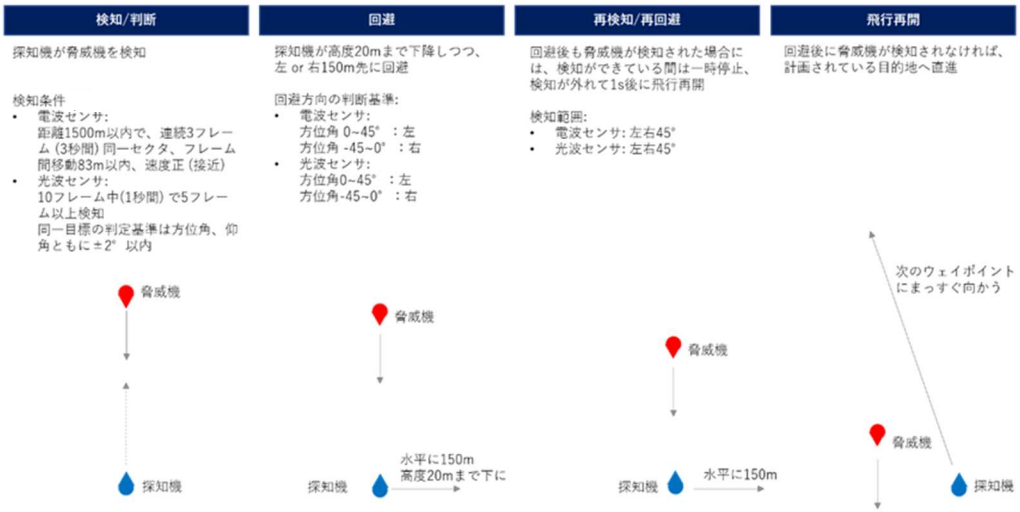


図 2.2.1.11-13 衝突回避アルゴリズムのロジック概要

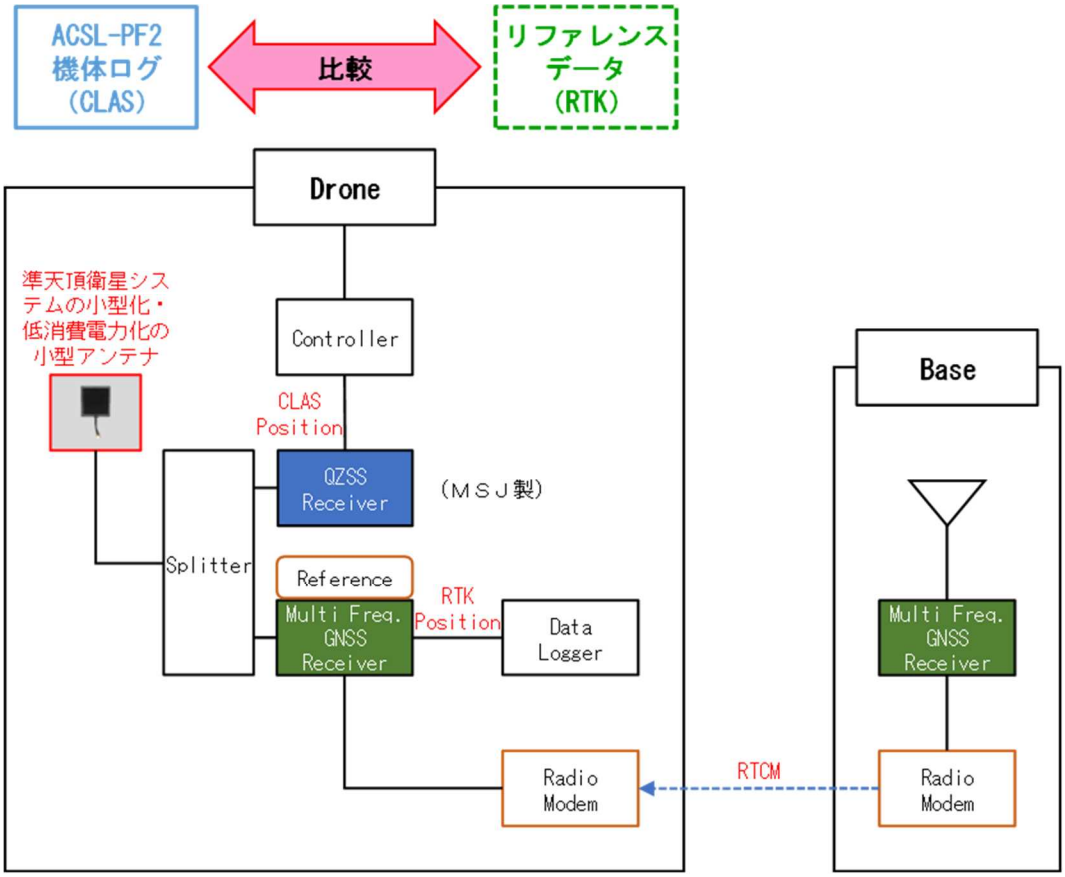
5.1.7「飛行試験における「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」協調式 SAA　システムの評価」（実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社）

協調式 SAA システムの有効性の評価は、福島 RTF にて実施した基礎データ取得試験及び定量的な評価試験による、小型無人航空機に搭載の準天頂衛星システムの測位精度検証を経て、愛知県の三河湾にて実施した実環境における飛行実証による、対有人航空機との衝突回避飛行の動作検証により実施した。

(1) 準天頂衛星システム（CLAS 測位）による測位精度の検証

小型無人航空機に CLAS（Centimeter Level Augmentation Service）測位システムを搭載し、脅威機との衝突回避を想定して予め設定した飛行パターンに沿って最高時速 50km/h で飛行し、リファレンスとして同時に搭載した RTK（Real Time Kinematic）測位による測位位置との比較により測位精度評価を行った（機器構成は図 2.2.1.11-14、飛行パターンは図 2.2.1.11-15）。

GNSS（Global Navigation Satellite System）測位信号を受信するアンテナとして、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／無人航空機の衝突回避技術の開発／準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」で開発した小型アンテナを使用した。



・QZSS：Quasi-Zenith Satellite System
・RTCM：Radio Technical Commission for Maritime services

図 2.2.1.11-14 CLAS 測位精度評価・機器構成

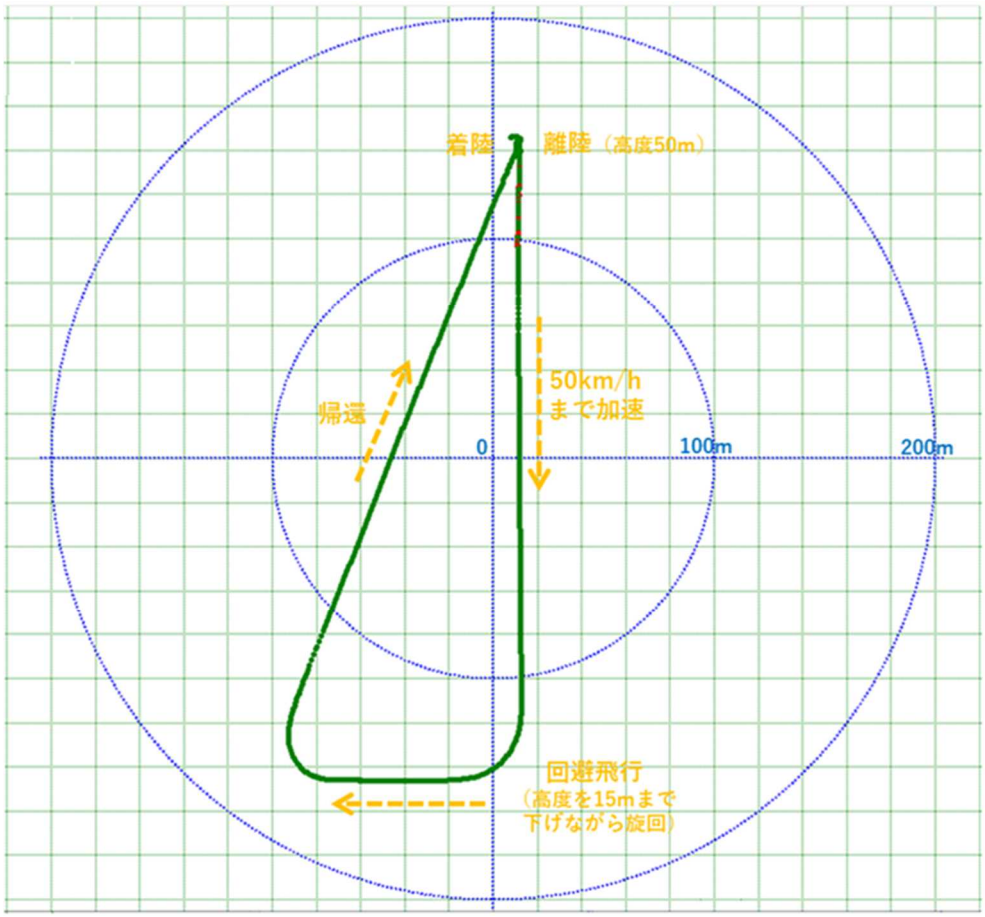


図 2.2.1.11-15 CLAS 測位精度評価・飛行パターン

この飛行により得られた CLAS・RTK の測位データにより、水平／垂直の双方の測位位置比較を行った結果を以下のグラフに示す。

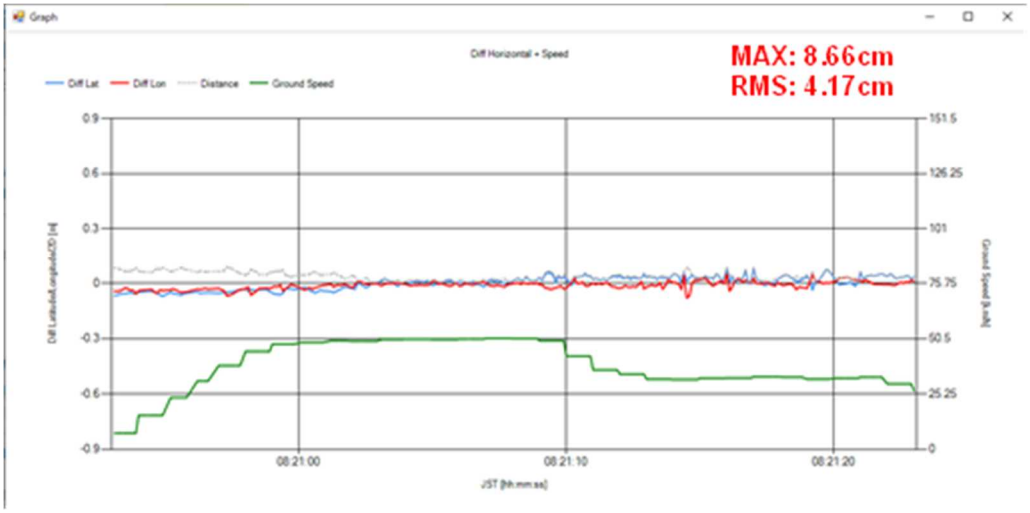


図 2.2.1.11-16 測位精度比較・水平方向

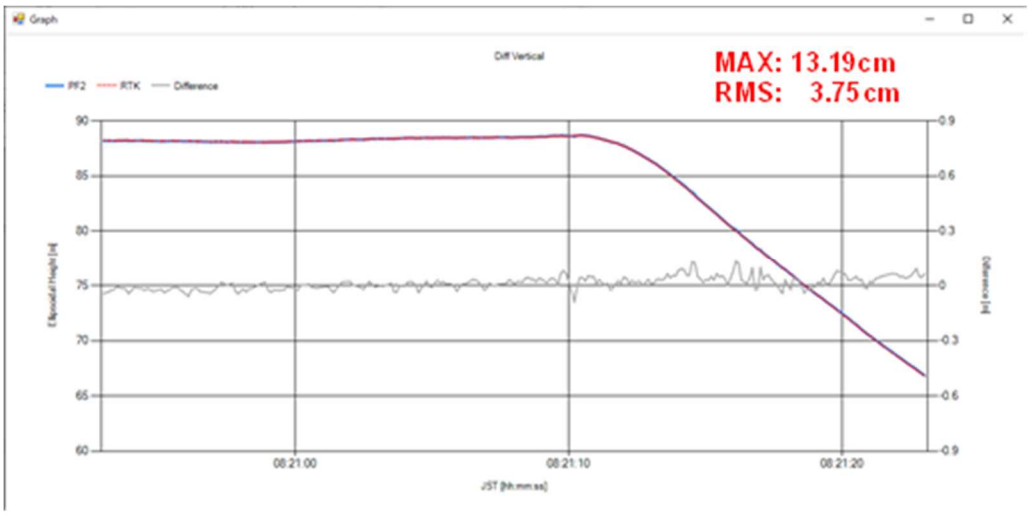


図 2.2.1.11-17 測位精度比較・垂直方向

以上の結果により、CLAS による測位精度は RTK による測位精度と同等であることが確認できた。

(2) 有人航空機を検知し自律的に回避飛行を行うことの動作検証

無人航空機が有人航空機の位置情報を無線で常時受信しながら相対速度 200km/h（無人航空機：50km/h、有人航空機：150km/h）で接近している際、無人航空機は有人航空機が 3km 以内にいることを検知すると、自律的に回避飛行（離発着場所へ帰還）を行うことを確認した。（飛行シナリオを、図 2.2.1.11-18 に示す）

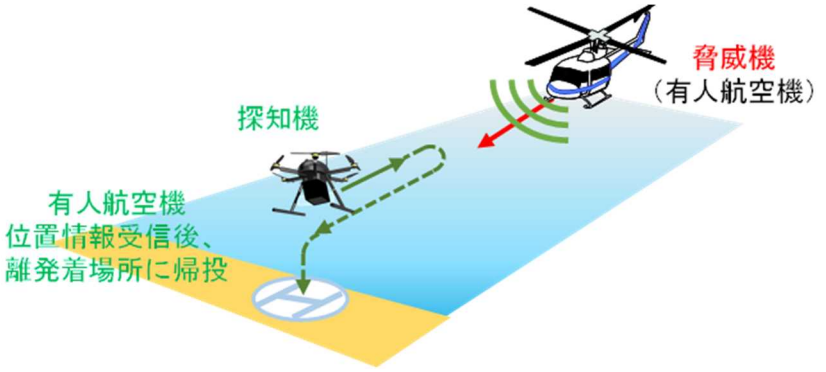


図 2.2.1.11-18 飛行シナリオ

機器構成を図 2.2.1.11-19 に示す。

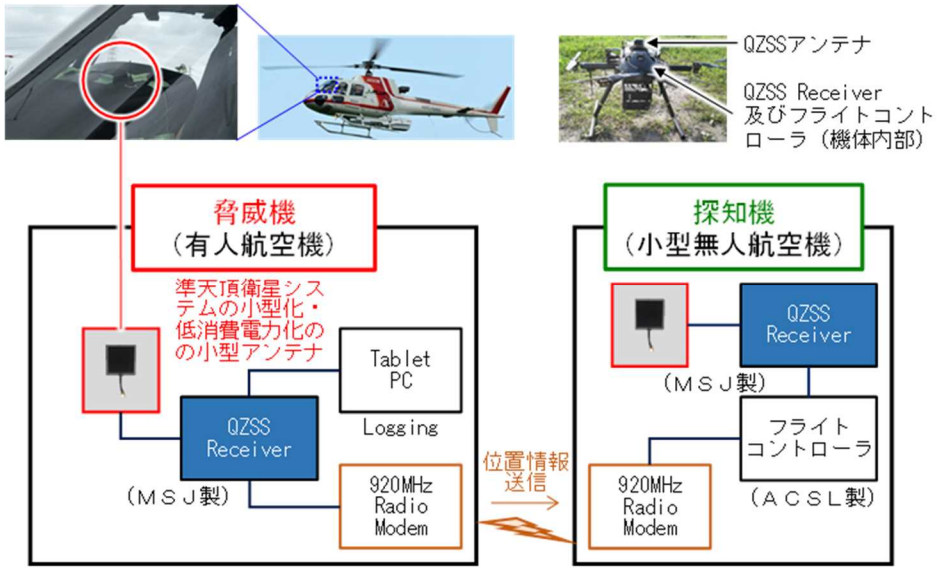


図 2.2.1.11-19 機器構成

双方の飛行ルートの位置をプロットしたものを図 2.2.1.11-20 に、双方の距離・速度を時系列にグラフにしたものを図 2.2.1.11-21 に示す。

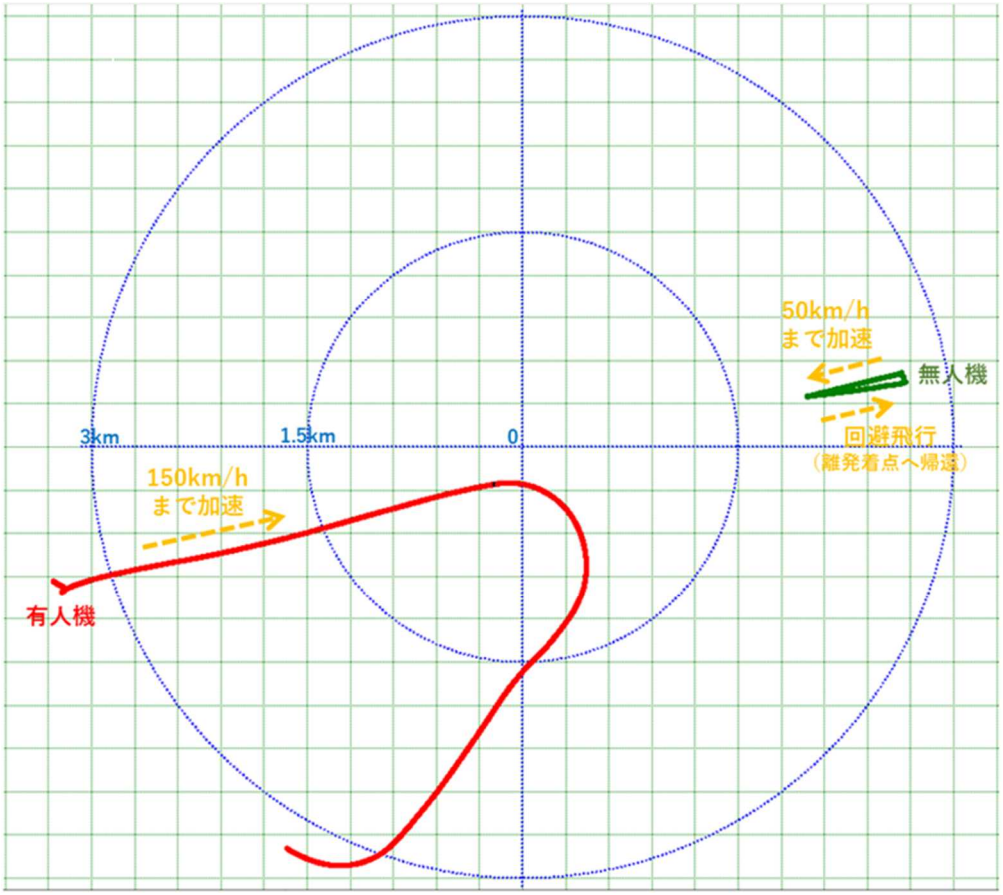


図 2.2.1.11-20 飛行ルートのプロット図



有人航空機が、3km 以内に入ったことを検知。回避飛行開始。

図 2.2.1.11-21 飛行時の双方の距離・速度

以上の結果により、無人航空機は有人航空機が 3km 以内に接近したことを検知し自律的に回避飛行を行うことが確認できた。

5.2 研究開発項②「離島対応の運航管理機能の技術開発・実証」

(1) 離島対応の運航管理機能の技術開発

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合は、地上と無人航空機間の通信（C2 リンク）が途絶しやすい状態であることを想定する。C2 リンクが途絶すると地上で無人航空機の位置を把握することができず、他の無人航空機の運航に影響を及ぼす恐れが生じる。そのため、予想存在範囲算出機能について技術開発を実施した。

予想存在範囲算出機能は、C2 リンク途絶後の無人航空機の予想存在範囲を運航管理統合機能（機能拡張）（以下、「FIMS」）に共有することで、自律的に経路変更を行う無人航空機が安全に運航を継続できるとともに、他の無人航空機も飛行情報を把握することにより、より安全に運航することができる。FIMS は、無人航空機の飛行計画・運航状況等を一元管理し、安全な運航に寄与するシステムである。

また、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムに対応した他機探知情報送信機能及び変更経路送信機能を開発した。

離島対応の運航管理機能の各機能の概要を表Ⅲ2.2.1.11-6 に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-6 離島対応の運航管理機能の概要

機能名称	機能概要
予想存在範囲算出機能	衝突回避技術を含む自律的に経路変更を行う無人航空機の C2 リンク途絶後の予想存在範囲を算出し、FIMS へ共有する機能
他機探知情報送信機能	無人航空機に搭載されている非協調式 SAA システムのセンサの探知情報のうち、FIMS より受け取る他機飛行情報に存在しないものを照合し、FIMS へ共有する機能
変更経路送信機能	自機が他の無人航空機との衝突を回避するよう経路を変更した際に、経路変更後の WP（Way Point）を FIMS へ共有する機能

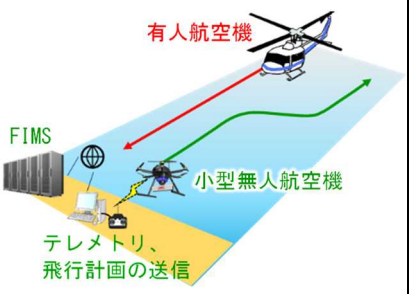
(2) 離島対応の運航管理機能の実証

離島対応の運航管理機能の技術開発の成果を「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」と接続し、シミュレーション又は飛行実証を通して各機能の接続性を検証した。

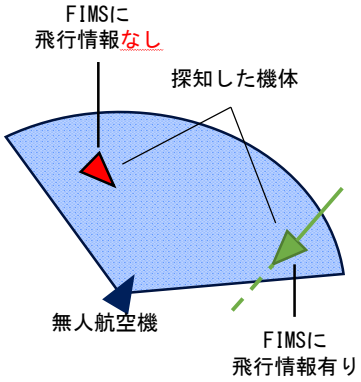
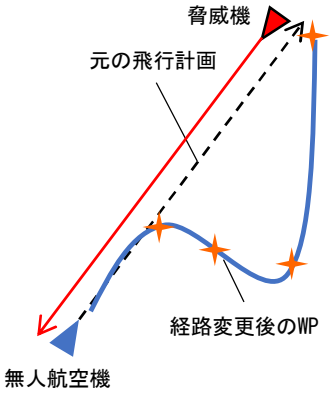
実環境での飛行実証においては、「小型化・低消費電力化の衝突回避システムを搭載した小型無人航空機」と離島対応の運航管理機能を組み合わせて、離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した環境下で基本機能及び予想存在範囲算出機能の有効性を確認した。

離島対応の運航管理機能の各機能の試験成果概要を表Ⅲ2.2.1.11-7 に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-7 離島対応の運航管理機能　試験成果概要（1/2）

機能名称	試験形態	試験成果概要
基本機能	飛行実証	目的：実環境下の小型無人航空機飛行状態において、離島対応運航管理機能からFIMSに飛行計画及び飛行情報を接続できることを確認する 成果：「小型化・低消費電力化の衝突回避システム」を搭載した小型無人航空機を飛行させ、対有人航空機への衝突回避を行う環境下においてFIMSへ飛行計画申請・飛行情報を送信できることを確認した 
予想存在範囲算出機能	飛行実証及びシミュレーション	目的：小型無人航空機飛行状態において、管制下にある無人航空機のC2リンクの途絶を模擬した場合に、無人航空機の未来の予想存在範囲をFIMSに送信できることを確認する 成果：「小型化・低消費電力化の衝突回避システム」を搭載した小型無人航空機とのC2リンク途絶模擬を行い、対有人航空機への模擬衝突回避を行う小型無人航空機の予想存在範囲をFIMSへ送信できることを確認した 

表Ⅲ2.2.1.11-7 離島対応の運航管理機能　試験成果概要（2/2）

機能名称	試験形態	試験成果概要
他機探知情報送信機能	シミュレーション	目的：FIMS に存在しない他機の探知情報をFIMSへ送信できることを確認する 成果：無人航空機と探知対象となる有人航空機をシミュレーションし、無人航空機搭載センサによる探知情報とFIMSより送信された他機の飛行情報を照合し、FIMS の飛行情報に存在しない探知情報をFIMSへ送信できることを確認した 
変更経路送信機能	シミュレーション	目的：無人航空機が衝突回避を行った場合の衝突回避経路の WP 情報をFIMSへ送信できることを確認する 成果：無人航空機による対有人航空機への相対 200km/h での衝突回避をシミュレーションし、経路変更後の WP を FIMS へ送信できることを確認した 

5.2.1 「離島対応の運航管理機能の技術開発」（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ、株式会社ＡＣＳＬ）

(1) 基本機能

運航管理機能には、管轄する無人航空機の運航を管理する役割がある。基本機能として、飛行前の飛行計画の申請、飛行中の動態情報の共有を行う。

基本機能の一連の流れを図 2.2.1.11-22 に示す。

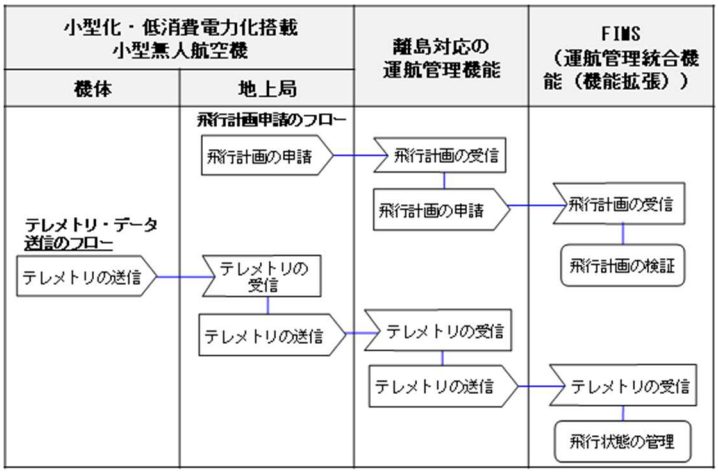


図 2.2.1.11-22 飛行計画の申請／テレメトリデータの送信　処理フロー一例

(2) 予想存在範囲算出機能

予想存在範囲算出機能は、管制下にある無人航空機との C2 リンクが途絶した場合に、一定周期で無人航空機の未来の予想存在範囲を算出し、FIMS へ共有する機能である。運航管理機能では、C2 リンクが途絶する直前の無人航空機の飛行諸元や飛行計画に基づき、飛行をシミュレーションすることによって未来の予想存在範囲を算出する。

また、予想存在範囲算出機能は脅威機に対して自律的な衝突回避を含む飛行経路変更を行う場合にも対応しており、飛行経路変更を含む未来位置を包含する予想存在範囲を算出する。

予想存在範囲算出機能の一連の流れを図 2.2.1.11-23 に示す。

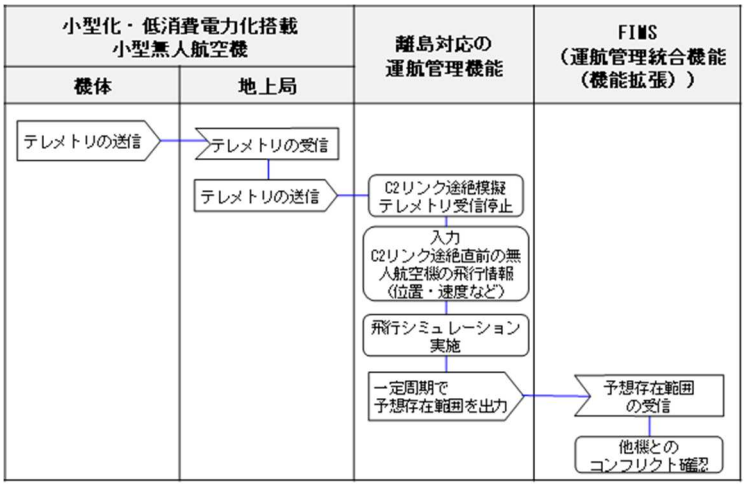


図 2.2.1.11-23 予想存在範囲算出機能　処理フロー一例

(3) 他機探知情報送信機能

他機探知情報送信機能は、無人航空機が飛行中に機上の非協調式 SAA システムのセンサ探知情報を FIMS へ共有する機能である。

離島対応の運航管理機能では無人航空機からダウンリンクされる探知情報のうち、FIMS より受け取る他機飛行情報と照合し、FIMS が保有していない脅威機の探知情報を FIMS へ共有する。

他機探知情報送信機能の一連の流れを図 2.2.1.11-24 に示す。

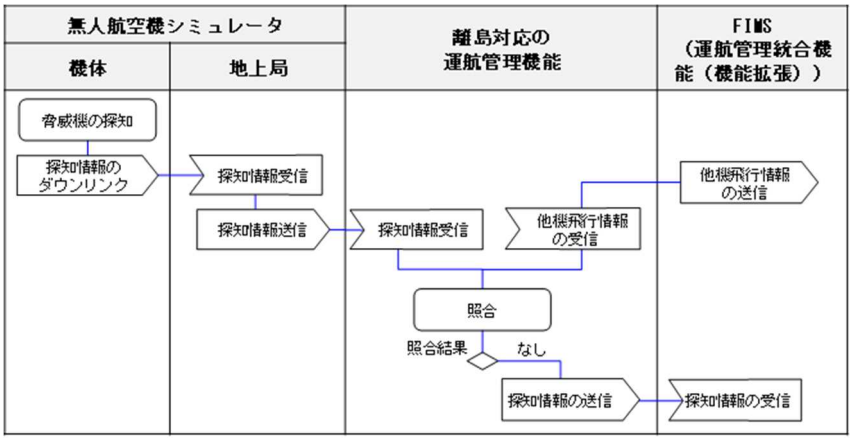


図 2.2.1.11-24 他機探知情報送信機能　処理フロー図

(4) 変更経路送信機能

変更経路送信機能は、小型無人航空機が衝突回避を行った場合の衝突回避経路の WP 情報を FIMS へ共有する機能である。

離島対応の運航管理機能では、小型無人航空機からダウンリンクされる衝突回避中の WP を UASO（Unmanned Aircraft System Operator）地上局を介して受信し、飛行計画に反映して申請することで FIMS へ情報を共有する。

変更経路送信機能の一連の流れを図 2.2.1.11-25 に示す。

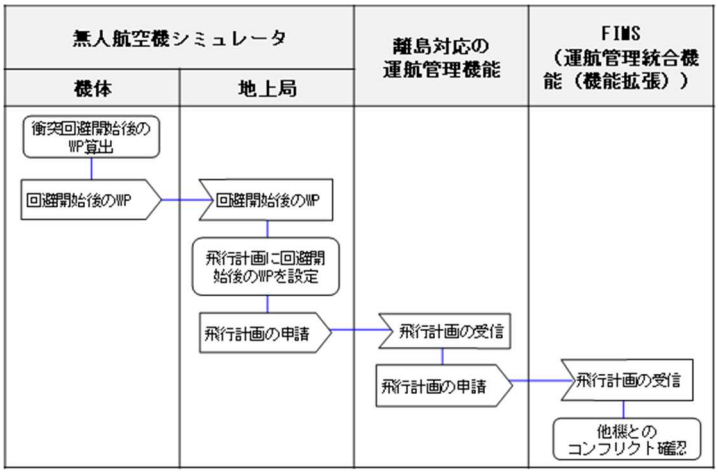


図 2.2.1.11-25 変更経路送信機能　処理フロー一例

5.2.2 「離島対応の運航管理機能の実証」（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ、株式会社ＡＣＳＬ）

(1) 基本機能

2021 年 12 月の実環境での飛行実証を通して、基本機能の有効性を検証した。

離陸前フェーズにおいては、飛行計画を FIMS へ申請し承認され、FIMS の管理画面に表示されることを確認した。

飛行フェーズにおいては、非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が有人航空機と相対速度 200km／h で衝突回避する場合に、テレメトリデータを FIMS へ送信可能なことを確認した。

FIMS の管理画面上における飛行計画の表示例を図 2.2.1.11-26 に示す。

なお、図 2.2.1.11-26 に示す有人航空機及び小型無人航空機の航跡は、別途追記したものである。

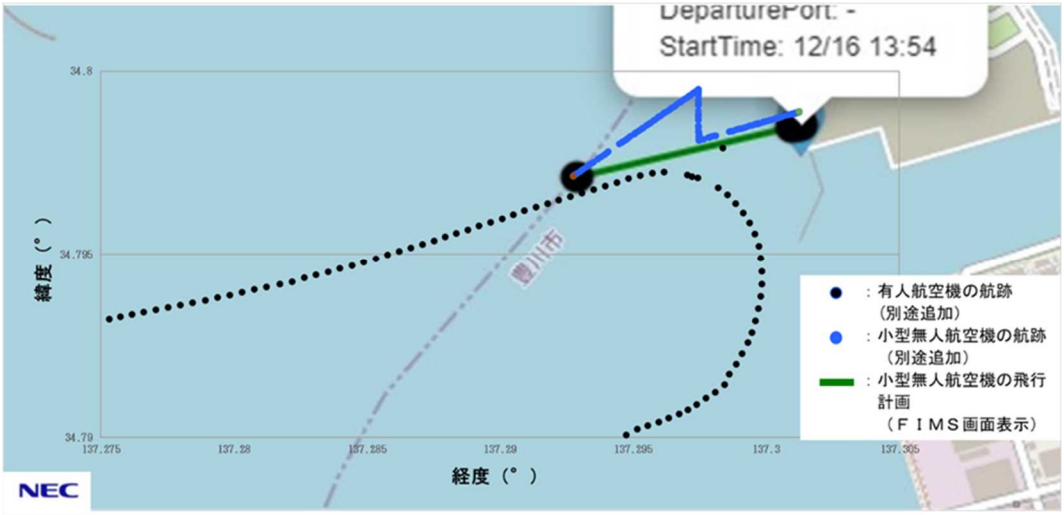


図 2.2.1.11-26 FIMS 管理画面表示例

(2) 予想存在範囲算出機能

2021 年 12 月の実環境での飛行実証及びシミュレーションを通して、予想存在範囲算出機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機と相対速度 200km／h で衝突回避する状況をシミュレーションし、図 2.2.1.11-27 に示すとおり C2 リンク途絶模擬後の無人航空機の飛行経路を包含するような予想存在範囲を出力することを確認した。

実環境での飛行実証では、無人航空機からのダウンリンク情報をもとに C2 リンク途絶模擬後の自機の予想存在範囲を算出し、FIMS へ送信可能なことを確認した。

FIMS の管理画面上における予想存在範囲の表示例を図 2.2.1.11-28 に示す。

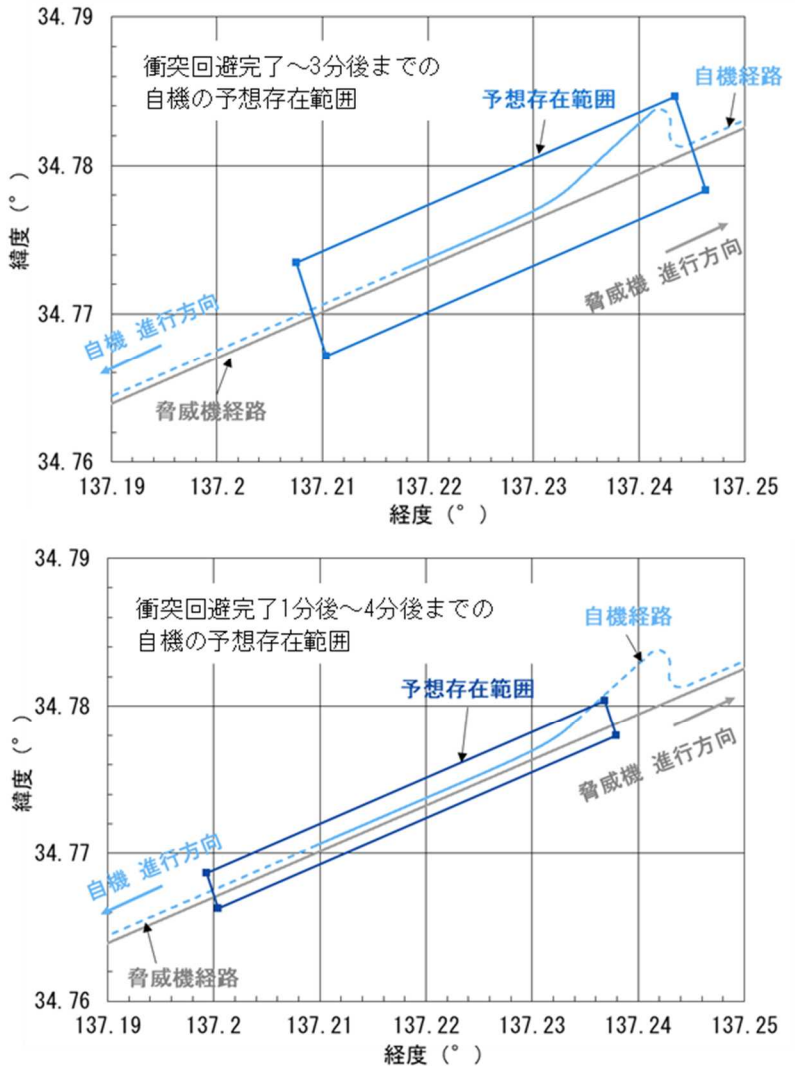


図 2.2.1.11-27 予想存在範囲と自機飛行経路の比較

自機経路の実線が予測した時間帯における飛行経路を示し、予想存在範囲が包含していることを確認できた。

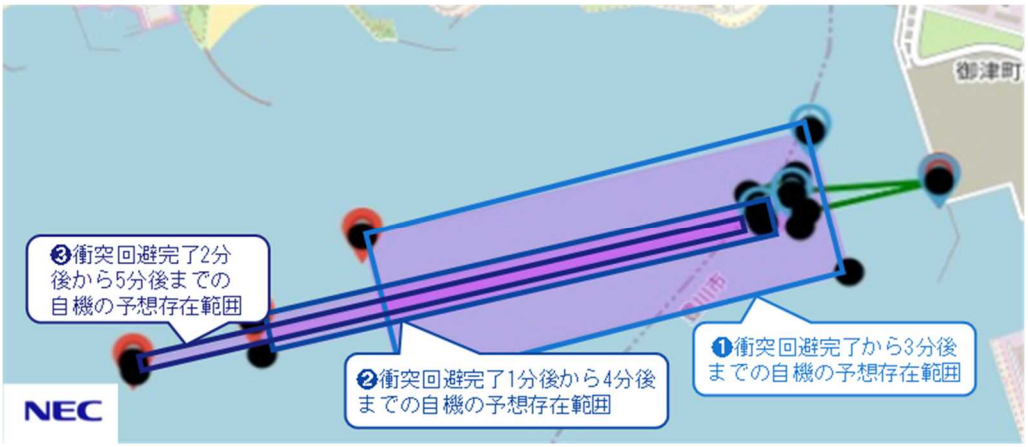


図 2.2.1.11-28 実環境での飛行実証 FIMS の画面表示例

(3) 他機探知情報送信機能

シミュレーションにより他機探知情報送信機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機を探知するケースをシミュレートし、FIMS の他機飛行情報の有無により探知情報が送信されることを確認した。(図 2.2.1.11-29 参照)

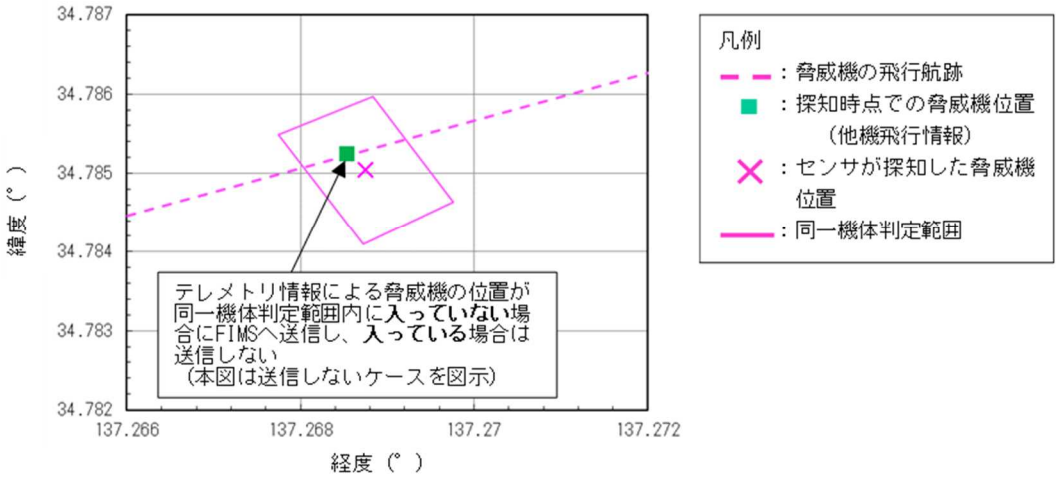


図 2.2.1.11-29 探知情報と他機飛行情報

(4) 変更経路送信機能

シミュレーションにより変更経路送信機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機と相対速度 200km/h で衝突回避する状況をシミュレーションし、図 2.2.1.11-30 に示すよう衝突回避経路に沿った WP を出力していることを確認した。

また、WP を飛行計画に反映し、FIMS へ飛行計画の変更申請が可能であることを確認した。

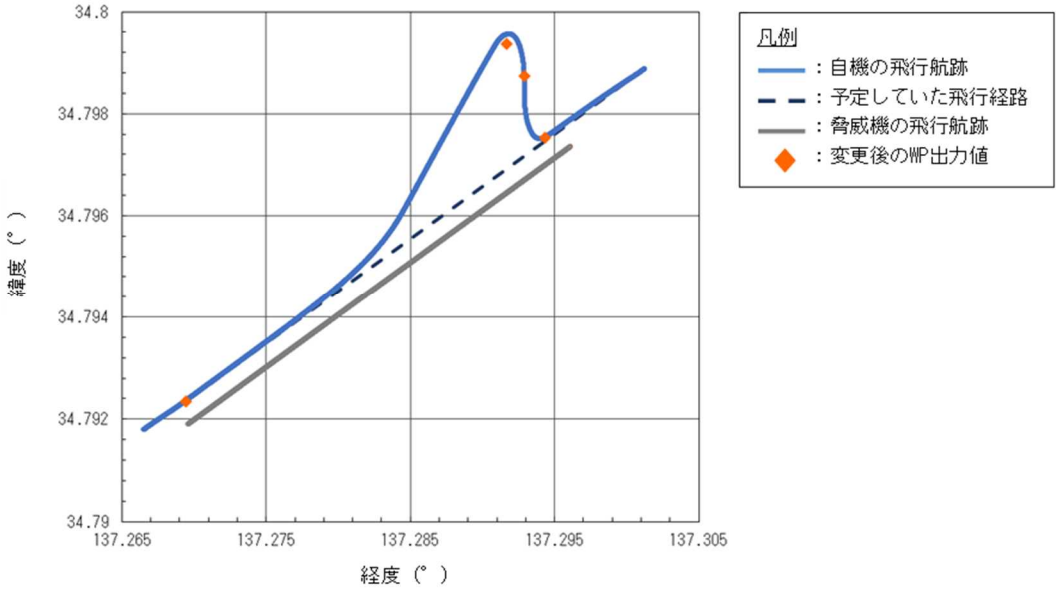


図 2.2.1.11-30 自機飛行航跡と変更後 WP 出力値の比較

5.3 研究開発項目③「標準化に関する検討の成果」

5.3.1「無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案」(実施者:株式会社ＳＵＢＡＲＵ、株式会社ＡＣＳＬ)

(1) 衝突回避技術の運航に関する標準化提案

2017 年度～2019 年度の期間に実施した、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」において、世界初、相対速度 100km/h での無人航空機の衝突回避試験に成功した。その成果等をもって、国際標準化に向けた提案活動を実施した結果、ISO/TC20 の分科委員会である SC16 の第 10 回国際会議にて、衝突回避の運航コンセプトを既存文書である「Operational procedures」(ISO21384-3) に入れ込むことになり、無人航空機の運航に関する規格を議論している WG3 にて議論を進める方針が決定された。

本方針に従い、既存文書である「Operational procedures」(ISO21384-3) に衝突回避のフローチャート、その説明文章、これらに関する文言の定義等の内容を国内委員会や WG3 内での議論を重ね、運航コンセプトに関する衝突回避技術の内容を反映した。

本既存文書は 2021 年 10 月に CD (Committee Draft)の投票が展開され、2021 年 12 月 15 日に承認を各参加国より得られた。また、各参加国からのコメントに対する回答案を作成し、WG3 の事務局に提出完了した。

(2)UTM との接続に関する標準化提案

UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) との接続に関する標準化については、日本国内の関係担当者と協議の結果、2020 年度末の段階で CD 投票期間である既存文書「UTM functional structure」(ISO23629-5) に対するコメントとして、衝突回避技術の内容を国内委員会の事務局に提出した。なお、本既存文書は 2022 年 2 月末時点において、DIS (Draft International Standard) の投票中である。

5.3.2 「衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討」（実施者：日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社）

国内審議機関である日本航空宇宙工業会や日本産業用無人航空機工業会等と連携を取り、衝突回避技術用センサについての国際標準化を進めるため、以下の様な作業を進め成果を得た。

(1) 標準規格の検討状況の調査

ISO、ASTM、RTCA、EUROCAE、IEEE 等の標準化機関における衝突回避センサの規格検討状況について調査した。ISO においては、ISO/TC20/SC16 が無人航空機システムの規格開発担当であり、この SC16 は WG1～WG6、JWG7 の 7 つの WG と、衝突回避（Detect And Avoid）の実行計画に関する進捗を監視、議論する AG5（2021 年 3 月設立）で構成されている。衝突回避センサに関する標準化は、UAS subsystems を取り扱う WG6 で必要な規格を開発する事となっており、本 WG6 へ衝突回避センサの規格提案を実施した。

(2) 特許情報の分析

無人航空機の衝突回避に使用する機上搭載カメラ、レーダやそのデータ処理等に係る特許情報を調査し、諸外国における当該分野の知財の保有状況を整理、分析した。その結果、米国の特許出願が最も多く、次いで中国の特許出願となっていたが、この 2 国の差は少なく、また国際出願の大半を占めている。ただし、特許の出願件数は多いとは言えず、クローズ戦略をとっている可能性も考慮すべきである。

(3) 標準化活動の方針整理

我が国の研究成果を標準化する方針を再検討し、過去に整理した標準化方針をアップデートした。具体的には、既存もしくは今後策定される関連規格のスコープや規格内容を比較し、そのギャップを分析すると共に、諸外国の知財保有状況を基にして我が国製品の市場獲得の観点から適切な標準化方針を特定した。

(4) ISO における標準化活動支援

再検討した国際標準化の方針に基づき、ISO へ提案する衝突回避センサの規格を検討すると共に、ISO 国内委員会、ISO/TC20/SC16 会合及び関連する WG に参加し、衝突回避センサに関する NP 提案活動を進めた。

その結果、日中デュアルリーダによる共同提案で衝突回避センサに関する NP 提案を進める事が承認され、2022 年 1 月 4 日、ISO TC20/SC16 N481 で衝突回避センサに関する国際標準化、ISO/NP15964 の投票が開始された。

5.3.3 「標準化活動に向けた実証試験の実施」（実施者：株式会社ＡＣＳＬ）

本委託契約で衝突回避センサと準天頂衛星測位技術を搭載し、研究開発項目①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発（3)「エネルギーマネジメントに関する研究開発」の助成事業を実施しているマクセル株式会社製のバッテリを搭載し、小型無人機に統合された形での標準化を見据えた実証実験を行った。

日程：2021 年 3 月 26 日
場所：君津 Dream Drone Flying Field
機体：ACSL-PF2
試験内容：

- マクセル製 小型無人機用バッテリ（駆動用給電として使用）
- 日本無線製 衝突回避用電波センサ（モックアップ）
- 日本アビオニクス製 衝突回避用光波センサ（モックアップ）

＊ 試験実施時点で試験可能なものを使用する（モックなど）

結果：

上記機材を搭載し、小型無人機として最低限の運動性能を持つことができることを確認した。

- 飛行速度：水平 5m/s、上下 1m/s
- 航続距離：3km
- 航続時間：10 分

1. 運動性能試験　　2. 航続性能試験



図 2.2.1.11-31 試験予定の飛行ケース及び経路

（６）特許出願数、論文等の発表数

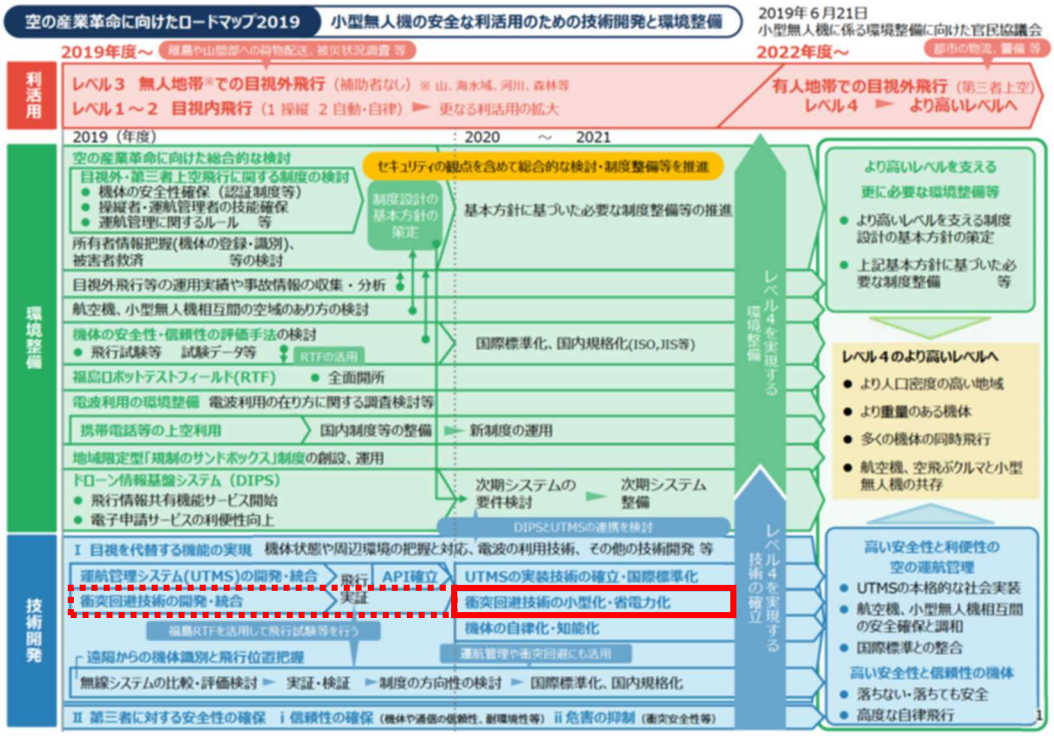
	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	1	1	－	2
展示会出展	－	－	－	2	2	－	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	0	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	0	1	－	1
国内出願	－	－	－	0	0	－	0
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1 実用化・事業化に向けた戦略

小型無人航空機は、図 2.2.1.11-32 のように経済産業省主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行 （レベル 4)」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術 (赤枠内)が項目として明記されており、今後の小型無人航空機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。

本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、相対速度 200km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人航空機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人航空機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。



出典：経済産業省ホームページ
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou12.pdf

図 2.2.1.11-32 空の産業革命に向けたロードマップ 2019

また、ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、無人航空機はその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器が限られており、大型で高価な衝突回避システムでは本来の性能を制約してしまうため、必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

このため、より小型で安価な衝突回避システムを使用できるというニーズは、今後更に顕著化することが予想される。

市場規模としては、インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1,450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円（32%）、2024 年度は 908 億円(18%)となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD（1,870 億円； 110 円/ドル換算）と推定され、年間 12%CAGR（Compound Average Growth Rate）で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD（2,346 億円）、2024 年は 38 億 USD（4,134 億円)となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品には無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品

高性能化により、さらに競争力を持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模及びシェアは表 2.2.1.11-7 の通りを計画する。

表 2.2.1.11-7 市場規模及びシェア

	市場規模 （国内/国外）	シェア（国内／国外）	
		衝突回避システム搭載	衝突回避システム搭載 ＋ 主要部品高性能化
2019 年	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
2021 年	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
2022 年	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
2025 年	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

2 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発成果を基に、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載したドローンとして開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行(有人地帯目視外)実用化のための重要な安全機能になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、500 万円程度で、年間 200 台程度の数量を見込んでいる。

実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約 5kg 程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル 4 目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人航空機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。

また、無人航空機に搭載することを前提としたレーダは、軍事用途を除き、24GHｚ帯を使用した送信出力、空中線利得に法的制限のあるシステムであり、本研究開発で開発した電波センサ（レーダ）の機能・性能並びに容積、重量、消費電力を有するものは見当たらない。光波センサに関しては、無人航空機に搭載する 360 度監視システムが海外に存在するが、それは中型・大型無人航空機をターゲットとしており、本開発品の様に重量が軽く小型無人航空機もターゲットとなるセンサは見当たらず、特に国内用途において優位性がある。更に、小型ドローンの競合品としては中国製が存在するが、本研究開発の開発品である遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載されたドローンは他に存在しない。

実用化・事業化に向けた計画を表 2.2.1.11-8 に示す。

表 2.2.1.11-8 実用化・事業化計画

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品化設計	→				
信頼性試験	続行／中断判断 ▽ →				
販売			→	→	→
収益発生			→	→	→

予想される重大な障害：
・製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退
・信頼性試験　　：想定外の不具合による販売遅延
・販売　　：競合の参入による販売低減

3 実用化・事業化の見通し

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野や災害調査用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる、真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であると考える。(表 2.2.1.11-9 参照)

2022 年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

表 2.2.1.11-9 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

適用可能範囲	想定される市場	用途
災害対応支援 （監視及び配送等）	各市町村 地方警察消防本部等	災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援
観測支援 （火山及び森林監視等）	各省庁 研究機関等	既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援
緊急報道支援	大手テレビ局等	災害時に中継で使用されるヘリコプターに代わる報道支援
道路運営	大手道路運営業等	道路橋、トンネル等の点検
鉄道運輸	大手鉄道業等	鉄道橋、トンネル等の点検
土木修繕	大手企業等	修繕対象の点検確認

6.2.1.12 ９）地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発：
空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化
（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））
（実施者：株式会社ゼンリン）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

2019 年 6 月に発表された「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」では無人航空機の飛行形態を４段階に分類し、レベル 4（有人地帯での目視外飛行（第三者上空））の達成時期を 2022 年度に設定されている。



図 2.2.1.12-1 ロードマップ

現状の技術ではレベル 3（無人地帯での目視外飛行）の実証段階に留まっており、おもに過疎地域でのドローン配送の実証実験が全国各地で実施されている。レベル 4 を実現可能とするためには、都市物流や警備などの新たな用途へ活用の幅を広げる必要があり、その実現に向けては、安心・安全に飛行するために必要な障害物の高さ情報を含む 3 次元の地理空間情報が不可欠と考えている。

本事業では、無人航空機が安全に飛行できる空の道の実用化により、無人航空機の産業利用の市場形成を支援し、空の産業革命の実現に寄与することを目的とする。

昨年度までの DRESS プロジェクトでは、API の基本機能の設計・開発を完了した。しかし、現在の情報提供機能(SDSP)は、運行管理統合機能(FIMS)や多用途の運航管理機能(UASSP)の要求事項をすべて盛り込んだ情報仕様(データ種別・属性・精度・網羅性・更新頻度)になっており、過剰スペックになっていることが課題になっている。そのため、本仕様での運用はコスト面でも採算性が取れない可能性があり実用化に向けては、より地域の特性や無人航空機の飛行形態、物流・警備・災害時等の用途などに応じて、情報仕様を適合させていく必要性が高い。加えて実運用を考慮すると、SDSP は多様な情報を収集・統合・提供する役割を担っているため、情報セキュリティの担保が重要となっている。

また、昨年度、福島ロボットテストフィールド広域飛行区域において中長距離飛行無人航空機専用の飛行ルートの設計を実施し、一部エリアでの飛行実証を実施した。

こういった過年度の成果を踏まえて、本事業では、統合型情報提供機能(統合型 SDSP)の全国本格稼働を 2022 年 4 月目標とし「製品開発」を実現する設計・運用手法の確立を目指す。

2020 年度は設計フェーズとし、当社の開発部門やグループ会社の総力を挙げて、実運用を実現するための仕様決めと設計を完了させる。2021 年度は、実証エリアでの飛

行実証への 3D 可視化マップの提供と API の製品開発を実施する。なお、API 製品開発は、当社が自己投資で開発中のサービス提供基盤である「ZIPS(ZENRIN Interactive Platform Serves)」での構築を実施し、本製品開発の費用は助成事業ではなく自己投資で実施する計画としている。

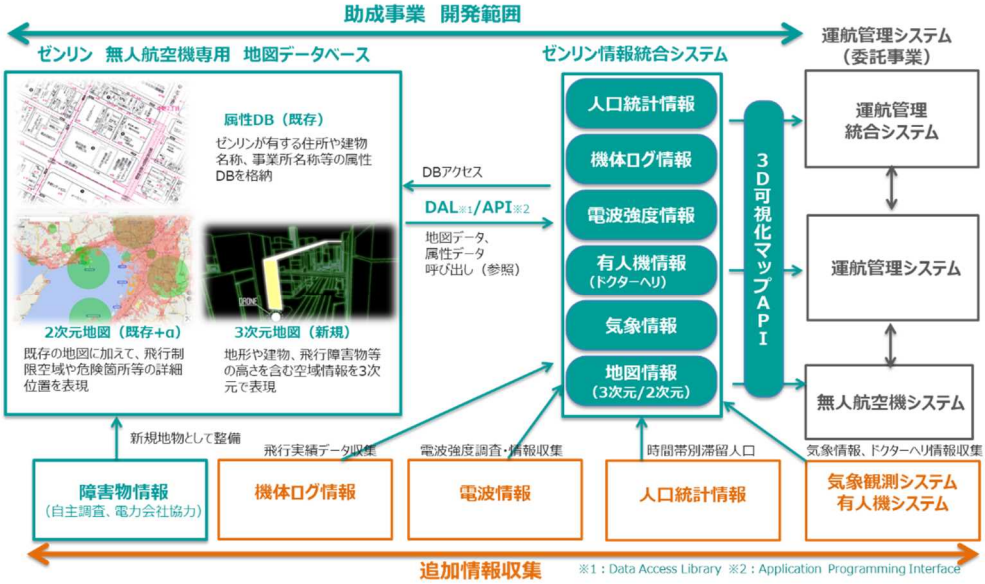


図 2.2.1.12-2 システムの全体像

1.1 研究開発項目 1 ：運航管理システムに必要となる情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立

地域の地理的条件や無人航空機の飛行形態等を考慮した情報種別や属性を整理し、取得基準や DB 格納仕様、運用手法を規定し、全国データの整備計画を立案し、一部エリアでの整備を開始する。また、（一財）日本気象協会の気象情報との連携手法も検討し、実証エリアにおいて地図+気象を統合して情報提供を実施する。

1. 新規整備する 3D 属性/コンテンツの定義（IoT）
   新規整備を行う 3D 属性/コンテンツの定義について検討を行う。
2. 各情報出典の収集方法の検討（外部データ取り込みも含む）
   送電線や鉄塔といった 3D 地物の出典の整備方法について検討を行う。
3. 整備仕様の設計
   新規整備する 3D 地物の整備仕様と取得基準について検討を行い、整備手法を設計する。
4. DB 格納仕様の設計
   整備された地物データを DB に格納する際の仕様を検討し設計する
5. （必要に応じて）整備ツールの必要有無の検討およびツール設計
   地物整備を行う際に整備ツールが必要かどうか検討を行う。整備ツールの開発が必要な場合は設計を行う。
6. 運用方法の検討（体制含む）
   地物の取得や整備、DB の運用方法などデータ運用の体制を検討する。
7. 実証エリアのプロトタイプデータの作成（気象情報の統合を含む）
   実証実験を行う事業者に対し、実証エリアの地図を作成する。
8. 2021 年度からの整備計画の作成（費用/人員含む）
   新規整備する地物データの整備計画を作成する。
9. 実証エリアでの飛行試験による検証

地図作成を行ったエリアでの飛行犬を行い、地図データが飛行に対して異常がないか検証を行う。

10. データの整備（自己投資）
検討を行った仕様で地物の整備を行う。

1.2 研究開発項目２：スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立

中長距離での無人航空機専用ルート（スカイネットワーク）の仕様を定義し、整備・DB 格納仕様、運用手法を規定し、全国レベルでの実用化を目指し、一部エリアでの整備を開始する。

1. スカイネットワークの基本仕様の定義
スカイネットワークの基本仕様を定義する。
2. 整備仕様の設計（自動化ツールの設計を含む）
スカイネットワークを基本仕様に合うように整備する整備仕様を設計する。整備仕様は整備ツールを使用したもののため整備を自動で行うツールの設計を行う。
3. DB 格納仕様の設計
DB に格納するデータの仕様を設計する
4. 運用方法の検討（体制含む）
5. 2021 年度からの整備計画の作成（費用/人員含む）
6. 一部整備の開始（福島ロボットテストフィールド広域飛行区域）
7. 飛行実験による安全性・実用性の評価
8. データの整備（自己投資）

1.3 研究開発項目３：API の設計、ZIPS(ZENRIN Interactive Platform Serves)開発計画の作成

2019 年度までに開発した API を 2022 年度の製品化に向けた開発計画を作成する。(API 開発は、当社の API 基盤である ZIPS 上へ移管。自社投資で実施予定)

また、無人航空機の安全運航に必要となる重要な情報を扱うため、セキュリティ要件を定義し、対策を実施する。具体的には、利用ユーザー毎のアカウント・パスワード管理による認証基盤、各ユーザーが扱える情報や API 機能設定機能の導入を予定している。収集した各種情報は、設計するセキュリティ要件を満たしたクラウド環境下で管理するものとし、また、冗長性を保つため、バックアップ環境を準備する等を検討している。

1. データ提供 API の移管に向けた追加開発の検討及び詳細設計
2019 年度までに開発した API の環境を ZIPS 上へ移管にあわせ、追加の機能開発の検討を行う。追加で機能を開発する場合、その機能の詳細設計を実施する。
2. データ提供 API の開発計画の作成（費用/工数含む）
ZIPS 上でデータ提供型 API を構築する開発スケジュールを作成し、開発にかかる費用と工数を算出する。
3. 空間解析 API の要件定義、基本設計、詳細設計
空間解析 API の要件定義を行い仕様の決定をする。要件と仕様に従い概要設計、詳細設計を行う。
4. 空間解析 API の開発計画の作成（費用/工数含む）
空間解析 API の開発スケジュールを作成し、開発にかかる費用と工数を算出する。
5. API の製品開発（自己投資）
データ提供 API、空間解析 API を ZIPS 上に環境構築し、製品仕様になるように開発を行う。

1.4 研究開発項目４：国際標準化の推進

2019 年度までの成果を踏まえ ISO TC20 SC16 において、地理空間情報のデータモデルの IS 発行を目指す。また ASTM での標準化動向を踏まえ、ASTM への API 標準化提案を検討し、必要に応じて実施する。

（２）研究開発目標と根拠

本事業では､全国の 3 次元地理空間情報をリアルタイムかつ安価に提供可能な API 製品を 2022 年度に投入することを目標とする。

●製品の目標値

①開発システムの検証完了および正常稼働…検証完了率 100%､システム稼働率 99.9%

②3 次元地理空間情報の品質の担保…水平位置精度σ1.75（地図情報レベル 2,500)、正確性 100%

③3 次元地理空間情報の更新作業の品質…作業完了率 100%、エラー率 0%

④3 次元地理空間情報のデータ提供エリア…網羅率　100%（日本全国）

⑤提供価格…既存の地図 API サービスと同等もしくはそれ以下

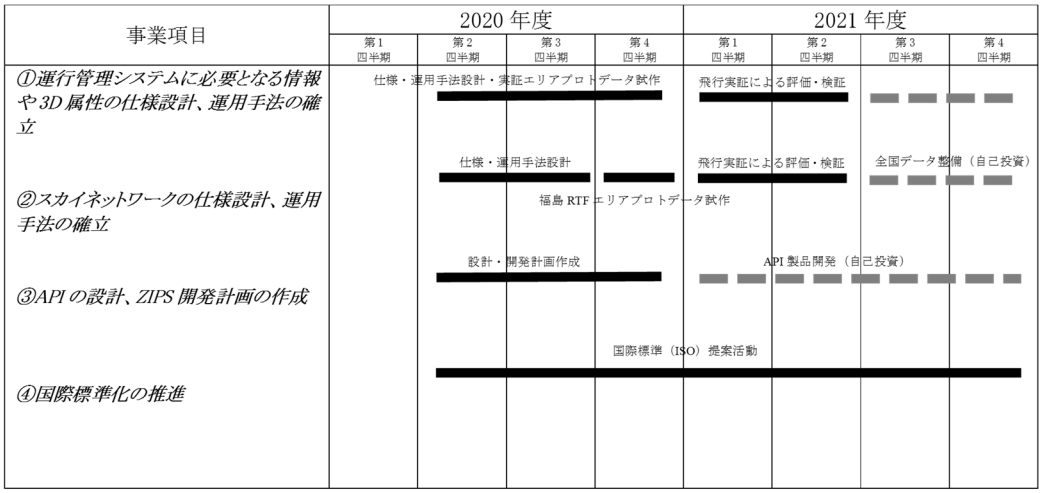
表 2.2.1.12-1 研究開発目標

研究開発項目	2021 年度　最終目標
１．運航管理システムに必要となる情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立	ドローン向けに活用する 3D データの仕様設計の完了、および実証エリアのプロトタイプデータの試作完了。
２．スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立	スカイネットワークの仕様設計の完了およびスカイネットワーク運用手法を決定し、それらに基づいたプロトタイプデータを福島ロボットテストフィールドエリアで試作する。
３．API の設計、ZIPS 開発計画の作成	API 設計の完了、ZIPS 開発計画の策定完了。
４．国際標準化の推進	地理空間情報のデータモデルの IS 発行を推進する。

（３）研究開発スケジュール･実施体制

●スケジュール：

図 2.2.1.12-2 スケジュール



●実施体制：

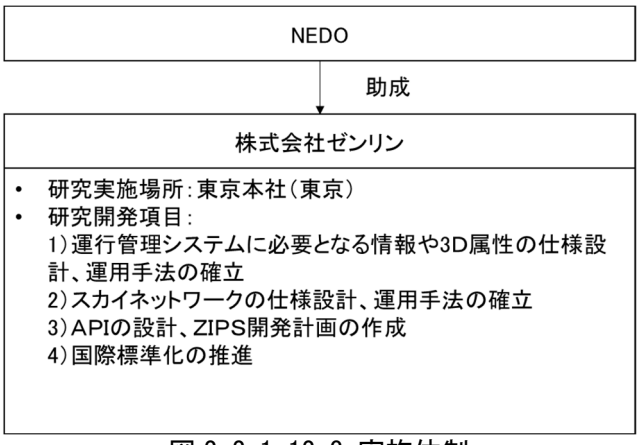


図 2.2.1.12-3 実施体制

（４）研究開発の達成状況

①運行管理システムに必要となる情報や3D属性の仕様設計、運用手法の確立

最終目標	成果	達成度	備考
ドローン向けに活用する 3D データの仕様設計の完了、および実証エリアのプロトタイプデータの試作完了。	新規整備基準で地物 DB を作成 格納される地物種別を追加し、実証エリアのプロトタイプデータの試作を完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立

最終目標	成果	達成度	備考
スカイネットワークの仕様設計の完了およびスカイネットワーク運用手法を決定し、それらに基づいたプロトタイプデータを福島ロボットテストフィールドエリアで試作する。	仕様設計、プロトタイプデータの試作を完了	○	(*1)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(*1) 当初は、福島ロボットテストフィールドを想定していたが、スカイネットワークの機能検証に適切な、伊那市、秩父市に変更した。

③API の設計、ZIPS 開発計画の作成

最終目標	成果	達成度	備考
API 設計の完了､ZIPS 開発計画の策定完了。	経路探索エンジン、評価エンジンの開発完了 API の設計完了 ZIPS の開発計画の策定完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④国際標準化の推進

最終目標	成果	達成度	備考
地理空間情報のデータモデルの IS 発行を推進する。	2021 年 9 月に IS 発行を完了	◎	(*2)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(*2) 運行管理システムに関する IS 規格として世界初となった。

（５）成果と意義

5.1.　研究開発項目①「運航管理システムに必要となる情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立」

ドローンの運航管理システム（FIMS/UASSP）で利用する 3 次元地図データベースの新規地図データ作成と既存地図データ更新を実施した。新規作成、更新を行ったエリアは長野県伊那市、埼玉県秩父市、兵庫県神戸市、福岡県北九州市、香川県高松市、静岡県富士市、岐阜県美濃加茂市、北海道稚内市、高知県高松市である。実証実験の対象地域と、運行管理システムの性能評価を行う都市部の地図データの作成を行った。
また地図データベースに格納する地物の属性の追加を実施した。変更した地物属性を表 2.2.1.12-3 に示す。

表 2.2.1.12-3 地図データベース地物属性

第 1 分類	第 2 分類	第 3 分類
建物	飛行禁止施設	-
	人口密集施設	-
	一般家屋	-
交通	道路	高速自動車道
		一般国道
		都道府県道
		その他
	鉄道	-
敷地		
水系		

従来までは建物、敷地、水系の３属性であったが新たに交通の属性を追加した。またそれぞれの地物属性に細かく分類を行い格納した。地物属性を追加したデータベースの仕様にすることでドローンが飛行をする際により安全な飛行経路を生成することが可能となる。

5.2.　研究開発項目②「スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立」

ドローンが高速かつ安全に飛行できる空路として、当初は福島ロボットテストフィールドエリアでの作成を検討していた。しかし、スカイネットワーク機能検証に必要な要素を検討した結果、福島ロボテストフィールドではなく長野県伊那市と埼玉県秩父市を対象エリアとしてスカイネットワークの試作を行った。

経路探索の点では、出発地、目的地からスカイネットワークまでは自由経路探索を行うので探索に時間がかかる。しかしカイネットワークは安全性を担保したネットワークのため、高速に経路探索を行うことができる。

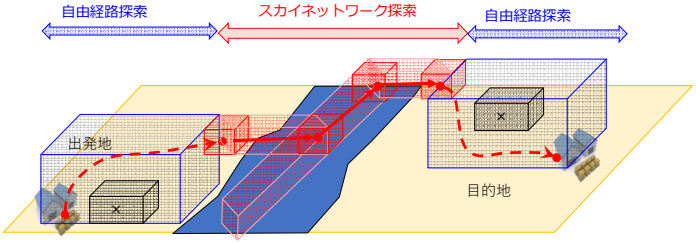


図 2.2.1.12-4 スカイネットワークのユースケース

整備したスカイネットワークを表示したものを図 2.2.1.12-5 に示す。

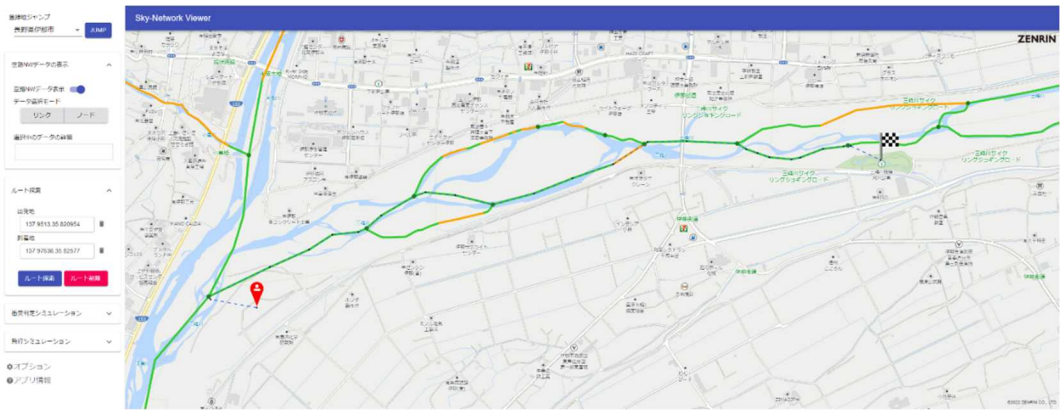


図 2.2.1.12-5 スカイネットワークデモアプリ

スカイネットワークは河川ネットワークをベースに河川の上空を飛行する経路として設計を行った。ネットワークの高度はドローンが安全に飛行できる高度を設定した。また、ネットワークの危険度を 2 段階に分け、より安全な経路を選択可能とした。緑色で表示されているネットワークが安全に飛行できるネットワーク、オレンジ色で表示されているネットワークが落下分散範囲内に建物があり飛行に注意が必要となるネットワークである。

実際にドローンが安全に飛行できるかシミュレーションを行えるデモアプリを作成し、スカイネットワークの評価を実施した。

始点と終点を入力するとスカイネットワークの近傍ノードまでは自由経路探索を行い、ネットワーク内はネットワーク探索を行う。実際に作成した飛行ルートに対し 3 次元点群を表示し飛行シミュレーションを行い、経路の安全性を確認することができる。

5.3. 研究開発項目③「API の設計、ZIPS 開発計画の作成」

【成果１】経路探索エンジンの開発

ドローンが安全に飛行できる空路を自動で生成する経路探索エンジンの開発を行った。経路探索の手順の概要を下記図 2.2.1.12-6 に示す。

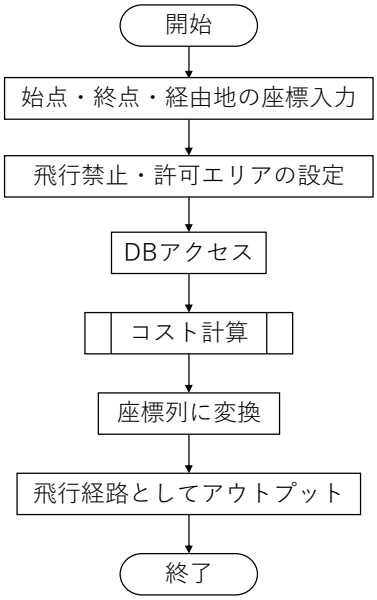


図 2.2.1.12-6 経路探索フローチャート

まずドローンが離陸する始点の座標、着陸する終点の座標を設定する。必要に応じて経由地も設定する。

次にユーザーが独自で設定可能な飛行禁止、飛行許可エリアを指定する。この設定を行うことで、例えば人口集中地区などの地図上では飛行禁止になっているエリアに対し、航空法の許可承認を得ている場合には、飛行可能なエリアとして設定することができる。またユーザーが独自に飛行禁止の設定もできるため、ドローンの飛行経路として設定をしたくないエリアの指定が可能である。

与えられた座標データをもとに当社の地図データベースにアクセスし、3 次元空間を立方体で区切った最小単位（ボクセル）でコストを算出する。算出されたボクセルのコスト値をもとに座標列へ変換し飛行経路としてアウトプットする。

コスト計算を行う際に特定の地物属性のコストを高くすることで、指定された地物の上を飛行しない経路の生成ができる。

【成果 2】経路探索エンジンの開発

ユーザーが生成した飛行経路に対して墜落と衝突の判定を行い経路の安全性を評価するエンジンを開発した。経路評価の手順を図 2.2.1.12-7 に示す。

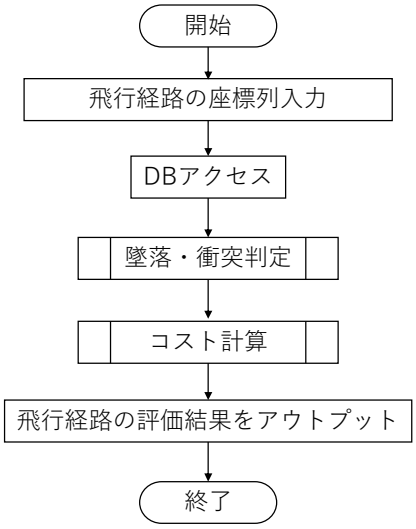


図 2.2.1.12-7 経路評価エンジンフローチャート

まず、ユーザーが作成した飛行経路の座標列をインプットデータとして経路評価エンジンに入力する。

入力された座標をもとに当社の地図データベースにアクセスし、ドローンの墜落と衝突の 2 つのアルゴリズムで判定を行う。コスト計算を行う際に特定の地物属性のコストを高くすることで、指定された地物の上を飛行しない経路の生成ができる。墜落・衝突判定、コスト計算を行って評価された結果をアウトプットし、ドローンの飛行経路の安全性を評価する。

衝突の判定には自然地物、人工地物の離隔距離を指定することができる。設定した離隔距離が地物に対して確保できていないと衝突の判定となる。墜落は落下分散範囲を計算し飛行経路の落下分散範囲内に回避に指定された地物が存在していないか判定を行う。回避に指定された地物が落下分散の範囲に存在している場合に墜落のリスクがあると判定する。

5.4. 研究開発項目④「国際標準化の推進」

当社データベース仕様を軸に ISO TC20 SC16 へ国際標準化へのロビー活動を強力に実施。2021 年 9 月に IS 発行を達成した。

下記、図 2.2.1.12-8 に示す 3 次元地図データベースの 4 階層のモデルを軸に、ISO TC20 SC16 へ国際標準化の提案を実施した。具体的には、ドローンの安全飛行に係るシステム（GCS/UTM）を対象とし、システム間で取り扱う情報項目や属性情報を規定することで、システム間の認識の違いをなくし、適切な情報を流通させることを目的としている。地形情報が各階層を連接させる主のパッケージとし、各階層が副パッケージとして紐づけるモデルとなっている。

また、表 2.2.1.12-4 にデータモデルに含まれる各階層の説明と分類、および事例を示す。2018 年 11 月から提案を開始、2019 年 1 月に NP 提案、2021 年 4 月に正式承認のために FDIS を登録（表 2.2.1.12-5）。2021 年 9 月 29 日に国際標準発行が完了した。

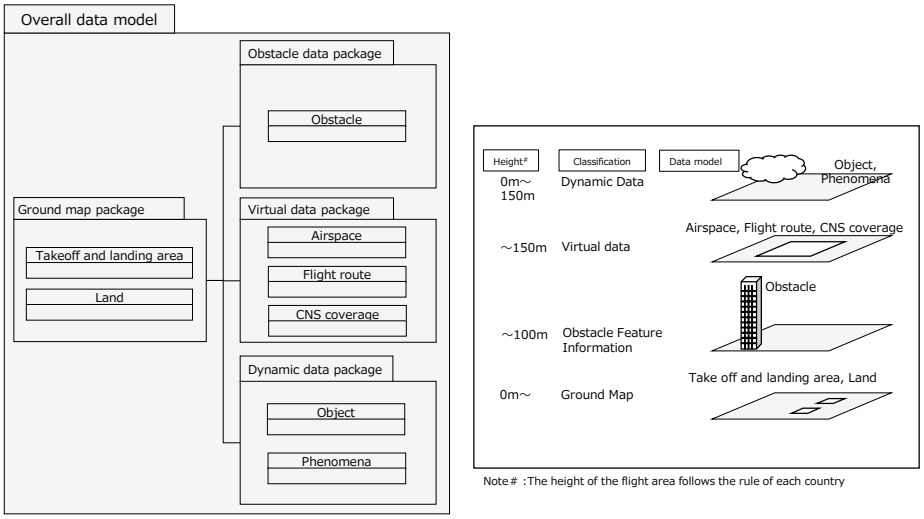


図 2.2.1.12-8 3 次元地図データベースのモデル

表 2.2.1.12-4 データモデルに含まれる各階層の説明と分類

Package	**Sub package / Entity**	**Preliminary examples**
Ground map	Takeoff and landing area	Vertiport, emergency landing area
	Land	Residential area, farmland, park, road, railway, sidewalk, terrain (e.g. river, mountain), tree
Obstacle data	Obstacle	Transmission line tower, distribution pole, distribution line, transformer substation, power plant, tower building, high-rise apartment building, construction crane, stadium, factory
Virtual data	Airspace	Controlled airspace, uncontrolled airspace, authorized airspace, unauthorized airspace, no-fly zones or restricted areas (e.g. public areas, aerodrome vicinities, regulation area, radio wave service area, administrative boundary, national border)
	Flight route	Flight route
	CNS coverage	Coverage of cellular network, radio network, satellite navigation, radio navigation, surveillance areas of ADS-B
Dynamic data	Object sub-package	Aircraft, unmanned aircraft
	Phenomenon sub-package	Weather

表 2.2.1.12-5 IS 取得までのスケジュール

ステージ	内容	計画	期限	完了日	ステータス
10.00	新規プロジェクト案の登録			2018-10-16	終了
10.20	新規プロジェクトの投票開始	2018-10-15		2018-10-16	終了
10.60	投票の終了	2019-01-07		2019-01-08	終了
10.99	新規プロジェクト登録（NP）の承認			2019-01-11	終了
20.00	TC/SC作業計画への新規プロジェクト登録			2019-01-11	終了
30.00	Committee draft (CD) の登録	2019-09-16	2019-11-11	2019-11-11	終了
40.00	DISの登録	2020-10-31	2021-01-11	2020-09-22	終了
40.20	DIS投票の開始	2020-11-24	-	2020-11-24	終了
40.60	投票終了	2021-02-16	-	2021-02-17	終了
50.00	正式承認のためにFDIS を登録	2021-06-8	-	2021-04-14	終了
60.60	国際規格の発行	2021-09-22	2022-01-11	2021-09-29	終了

（６）特許出願数、論文等の発表

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	–	–	–	0	0	–	0
学会発表・シンポジウム講演等	–	–	–	0	1	–	1
展示会出展	–	–	–	0	0	–	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	–	–	–	0	0	–	0
ニュースリリース・プレスリリース	–	–	–	0	1	–	1
国内出願	–	–	–	0	0	–	0
外国出願	–	–	–	0	0	–	0

知財確保の考え方：地図データベースの整備手法や具体的なアルゴリズムに関しては、ブラックボックス化することで知的財産権を確保することを方針としている。

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

本事業では、通信状況の情報（無人機の安全航行に関わる通信の電波情報の調査・重畳）、有人機の情報、気象情報、地図情報、インフラ等の障害物情報、人口統計情報（時間帯別の滞留人口統計の重畳）等の無人航空機の飛行安全に関係する多様な情報をクラウドサーバ上に一元的に集約し 3 次元地図上に表現する「無人航空機専用 3D 可視化マップ」およびその API を開発する。この API を通じて、想定ユーザーである無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者のシステムに対して上記の統合情報を提供するクラウド型情報提供システムを実現する。サービスの適用先である無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者は、本開発の成果として想定される API を各々が持つ運航管理のシステムに組み込むことにより、本開発の成果品である一元化された多様な情報を持つ無人航空機専用 3D 可視化マップと運航管理を統合することが可能となる。販売形態としては、本クラウドサービス利用のライセンス販売を想定している。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化に向けたスケジュールを下記に示す。助成期間終了後、データベースのユーザー評価や拡張性の検討・実行を通じて製品化フェーズへ速やかに移行する。次に拡張部分の設備投資及び生産により、製品化を実現する。2022 年度には販売を開始する見込みである。

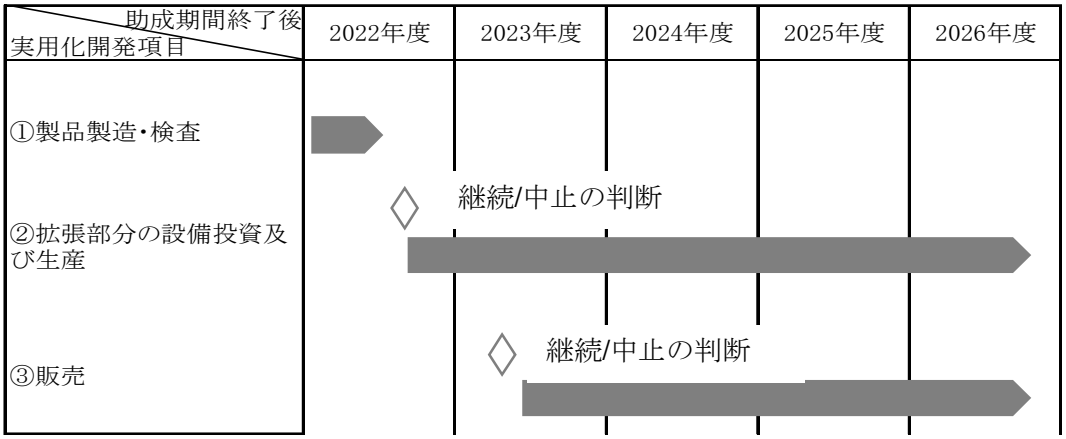


図 2.2.1.12-9 事業化に向けたスケジュール

3. 実用化・事業化の見通し

実用化を確実にするために、デジュールスタンダード獲得の施策として ISO TC20 SC16 へ国際標準提案を実施済みであり、2021 年 9 月に IS 発行を達成した。

また、他社との競争優位性として、地図に関しては、ゼンリングループでこれまで作成し管理、メンテナンスを行っているデータベースを転用することが可能であり、新規に開発および取得すべきデータは少ないことから、製造コストの面で他社より優位性がある。また、質の担保においても、別事業において運用体制を確立しており、その体制を転用できることから、新規で構築するよりも質やコストの面で優位性がある。

また、気象情報など本製品へ重畳するデータについては、外注先からの提供を予定しているが、外注先データベースと弊社開発システムをつなぐ API の開発も想定している。データ自体は外注先が合意すれば競合他社も購入可能であるが、API によるシームレスな統合は競合他社と比較して、情報のリアルタイムな更新という点において優位性がある。そのため実用化は達成するものと見込んでいる。

6.2.1.13 ９）地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発：

地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））

（実施者：一般財団法人日本気象協会）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

本研究開発は、2017～2019 年度の NEDO「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト（以下、NEDO DRESS プロジェクト）」で日本気象協会が実施した「ドローン気象情報提供機能の研究開発」の成果を基に、地域特性を考慮した気象情報の改良と拡張を行い、気象特性が異なる地域に対してドローン気象情報提供機能を提供し、情報提供機能の実用性を検証するものである。この研究開発により、山間地や海（離島）などの多様な特性をもつ地域でも、信頼性が高いドローン気象情報を提供することで、ドローン運航の安全性と信頼性を向上する。

ドローン運航管理（UTM）サービスに係る市場は、2020 年段階で本格的な市場形成に至っていない。ドローン運用を考えると、下記のような状況である。

- ドローンの利活用が空撮、インフラ点検、農業などに限定的である。
- 同一空域内で 1 事業者が 1～数機の運用で、多くが目視内の運用となっている。

このため、ドローン運航管理システム（UTMS）の事業者間の空域調整や動態監視、気象監視などの必要性が低い状況にある。気象情報の利用から見ると、下記の点で、UTMS 向けの気象情報サービスは市場形成が遅れている。

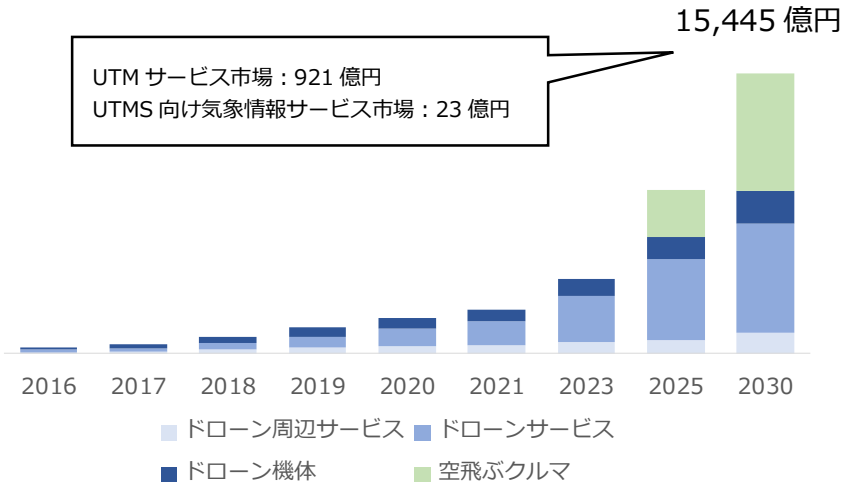
- 空域内で気象等の監視員を配置でき、現地で気象急変を把握できる。
- 運用スケジュールが 1 日単位で、無償の気象情報などの地上の気象予測で対応可能ある。

今後、ドローン運用ルールや UTMS の整備で、ドローンの飛行可能な空域が広がる。これにより、同一空域内で複数事業者による複数機の運用が現実的となる。このとき、NEDO DRESS プロジェクトが福島ロボットテストフィールド(福島 RTF)で行った 2019 年 10 月の実証実験のように、将来、世界のいたるところで「同一空域に複数事業者の機体が飛行する」状況になることが期待できる。2025～2030 年にかけて UTM サービス市場は成熟期となり、同時に UTMS 向けの気象情報サービスの市場が確立される。

ドローンと同じ空域を利用する「空飛ぶクルマ」の普及が期待されている。「空の移動革命ロードマップ」によれば、2030 年代には実用化が拡大され、都市を含めた人の移動が実現する。このとき、人が搭乗する空飛ぶクルマは、ドローンと同等以上の運航管理が重要で、安全性の向上が求められることは自明であり、空飛ぶクルマの運航のための気象情報サービスも同時に形成できる。

このような「空の産業革命」「空の移動革命」が進められることで、図 2.2.1.13-1 のとおりドローン及び空飛ぶクルマの市場規模は 1.5 兆円となる。このような市場拡大がされる中で、気象情報は、空の安全を守るために重要な情報を担うことから、本研究開発は、市場の拡大及び成長に大きく貢献できることが期待できる。

そこで、本研究開発は、観測、予測、情報提供を一体として、信頼性が高い UTMS 向け気象情報技術の開発を主眼とし、この技術開発を通し、UTM サービス市場形成、さらにはドローン・空飛ぶクルマの普及推進につなげ、国内から海外に展開可能な気象予測情報技術として研究開発を行うものである。



注）1. 2016～2025 年は「ドローンビジネス調査報告書 2020」(株式会社インプレス)を用いた。
2030 年は独自に推計した。
2. 空飛ぶクルマの市場は「平成 29 年度製造基盤技術実態等調査（空の移動と物流の将来像に関する実態調査）」(METI、2018.3)を用いた。

図 2.2.1.13-1 ドローン・空飛ぶクルマの市場規模

（２）研究開発目標と根拠

本研究開発は、NEDO 基本計画の研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」「(1) 無人航空機の運航管理システムの開発」のうち、
「9) 地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発」
で必要な「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発」を行う。

この研究開発では別に実施される「10) 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」（以下、「②（1）10)」という）で選定された実証エリアの試験飛行において、無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等の各種情報を重畳した３D 可視化マップを活用できるように、2017～2019 年度で日本気象協会等が開発した情報提供機能を改良・拡張し、全国展開に向けた実用性を向上することを目標とした。本研究開発で達成する事業目標を表 2.2.1.13-1 に示す。日本気象協会は、地理空間情報のうち動的情報である「気象情報」を担い、10 時間先までの強風予測の改良・拡張、気象情報提供機能の改良・拡張および可視化情報の開発、選定された実証エリアで実証実験により成果を検証する。これらの研究開発成果を基に、地理空間情報データモデルの国際標準化を推進する。

表 2.2.1.13-1 事業目標

項目	達成する目標
①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得	ドローン運航管理で社会実装が可能な気象観測手法を選定し、選定した気象観測装置の最適な観測密度を設定する。
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証	2017～2019 年度の成果を改良し、気象の地域特性を考慮でき全国展開が可能な「実況値の推定技術」及び「10 時間先までの強風予測技術」を開発する。
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証	１）2017～2019 年度に開発を行ったドローン気象情報提供機能（API）の改良・拡張し、地理空間情報機能と連携し、全国展開に向けた実用性の向上を図る。また、より実用化に適合させた可視化情報を開発する。 ２）「②（1）10)」で指定したエリアでの試験飛行で、航路上の風向・風速を含む気象情報や各種情報を重畳した可視化マップを提供し、ドローン運航の安全性と効率的な運航を実現する。
④国際標準化の推進	本研究開発の成果に基づき、地理空間情報データモデルに係るドローン気象情報について、国際標準化を推進する。

表 2.2.1.13-1 の目標を定めた理由として、地域特性の違いにより気象特性も変化することにある。地域特性を気象観点から大別すると、平坦地、山間地、海（離島）に分けることができる。平坦地では、地形の変化が小さく、風も一様となる傾向が強い。一方、山間地や海（離島）では、その地域に見られる複雑な地形により影響を受ける。

ドローンは、このような地域特性で生じる気象を予測して、気象リスクが最小限となる飛行ルートを選定し、安全な飛行をしなければならない。しかし、国内を同一品質で入手できる高解像度な風向・風速予測は気象庁局地予測（LFM）しかない。気象庁 LFM は、水平メッシュが 2 km（地上）、鉛直メッシュは 10m、100m（1000hPa）、300m（975hPa）となっている。気象庁 LFM は、ドローンが飛行する低空で、微細な複雑地形による気象を表現することができず、複雑地形で生じる気象の変化を予測できない。また、気象庁 LFM を単純内挿したような気象情報では、地形変化による強風は予測できず、このような情報をドローン運航で判断に用いることは、飛行の危険性が増す可能性が生じる。このため、本研究開発の目標とする全国のいたるところで利用可能な高解像度風況情報は、ドローンの安全運航にとって重要な意味を持つ。

高解像度風況情報の研究開発は、2017～2019 年度に研究開発したドローン気象情報提供機能がある。この開発では、対象地域を福島 RTF （南相馬市)に限定して、高解像度風況情報を試作し、運航管理システムで活用した。この情報を、全国のさまざまな地域に適用した場合、以下の課題がある。

（1）ドローン運航管理のための気象観測の不足
（2）複雑地形による複雑な気流を予測可能な気象情報の不足
（3）全国展開によるデータ量の増量とシステム負荷の増大

以上を踏まえ、本研究開発は、2017～2019 年度 NEDO DRESS プロジェクトの「ドローン気象情報の研究開発」の成果を改良・拡張して、日本各地で行われる地域実証実験での情報提供を行い、成果と有効性の検証を行うことにより、様々な地域特性を考慮し

たドローン気象情報提供機能を実現した研究開発を行った。この取組を踏まえ、ドローン運航管理のための地理空間情報データモデルの国際標準を目指した。

本研究開発の情報提供機能の連携イメージを図 2.2.1.13-2 に示す。また、地域実証実験での連携イメージを図 2.2.1.13-3 に示す。これらを実証するために、次の４つのテーマについて研究開発を進めた。

なお、地域実証での連携試験は、「地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業（実施者：KDDI 株式会社、パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社）」が実施した地域実証実験の実施事業コンソーシアム（以下、地域実証コンソ）のうち、本研究開発との連携協力のあった 7 コンソ及び先行実証の 1 コンソの計 8 コンソに対して実施した。

①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証
④国際標準化の推進



図 2.2.1.13-2 地域特性を考慮した情報提供機能の連携イメージ

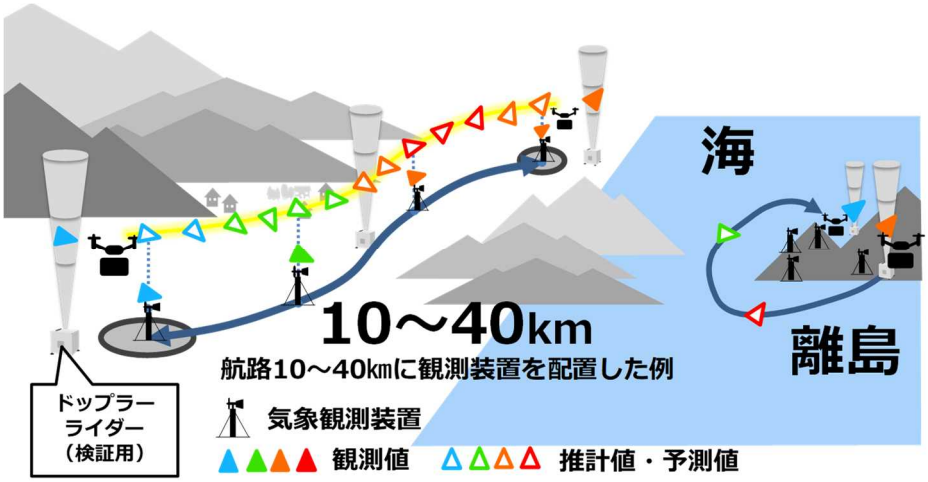


図 2.2.1.13-3 地域特性を考慮したドローン気象情報の研究開発イメージ

（３）研究開発スケジュール･実施体制

研究開発スケジュールを表 2.2.1.13-2 に示す。

表 2.2.1.13-2 研究会開発スケジュール

事業項目	２０２０年度				２０２１年度			
	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期
①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得		→	→	→	→	→	→	→
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証		→	→	→	→	→	→	→
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証		→	→	→	→	→	→	→
④国際標準化の推進		→	→	→	→	→	→	→

実施体制を図 2.2.1.13-4 に示す。

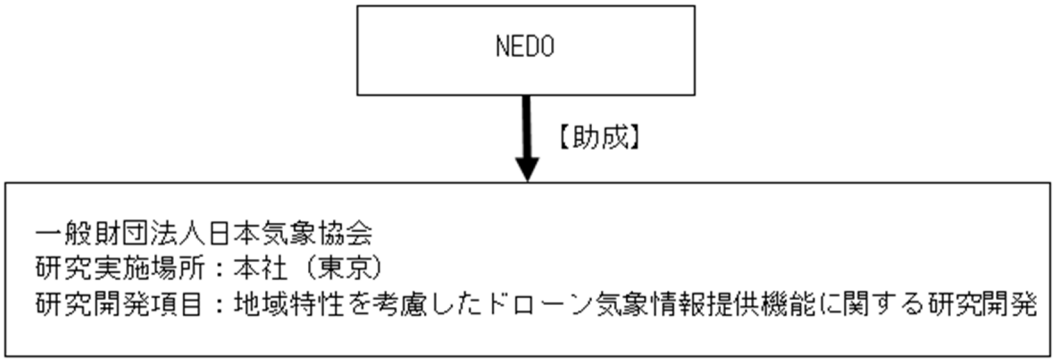


図 2.2.1.13-4 実施体制

（４）研究開発の達成状況

地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

最終目標	成果	達成度	備考
①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得	ドローン運航管理のための適切な気象観測手法の選定と、地域特性を把握するためのドローン運航管理に係る気象観測装置の適正配置検討手法を整理した。この成果を踏まえ、ドップラーライダー及びIoT小型気象センサーを実地形に配置し、その有効性を確認した。	○	
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証	連続稼働が可能な「全国200m３D風況予測」の運用システムを試作し、連続稼働による計算負荷、障害リスク、精度検証を進めた。また、地域実証などの比較的限定された範囲で適用可能な複雑地形用と都市街区用の2種類の高解像度３D風況予測手法を試作した。	○	
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証	ドローン気象 API の改良と拡張を行い、全国200m３D風況予測などの気象情報を全国で提供できる機能を実装した。ドローン気象の可視化システムを改良し、ドローン運航をサポートする可視化を表示可能なドローン気象WEBを試作した。地域実証コンソに試験提供を行い、有効性を確認した。	○	
④国際標準化の推進	ドローン運航管理のための地理空間情報データモデル ISO23629-7 UAS traffic management (UTM) -Part 7 Data model for spatial dataとして、国際標準化機構（International Organization for Standardization）により2021年9月29日にとして正式に発行された。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1. 研究開発項目「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発」

5.1.1. 「地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得」(実施者:日本気象協会)

地域特性を考慮した情報提供機能を開発するために、国内の代表的な地形（平坦地、山地、海（離島））に対して、地域特性を把握できドローン運航に安全な情報の開発に資する気象観測手法の選定を行った。ドローン運航管理のために気象実況データを取得する観測手法を検討した。検討した観測手法を図2.2.1.13-5に示す。これらの手法の観測精度、設置性、コストなどを総合的に勘案した結果、ドローン運航管理に適した気象実況データを取得する観測手法として「鉛直プロファイル型ドップラーライダー」と「IoT小型気象センサー」を選定した。運航管理では、リアルタイムにデータ取得が必要となる。そこで本研究開発では、通信手法として携帯電話通信（LTE)、省電力無線

通信（LPWA)、マルチホップ型無線通信を検討した。

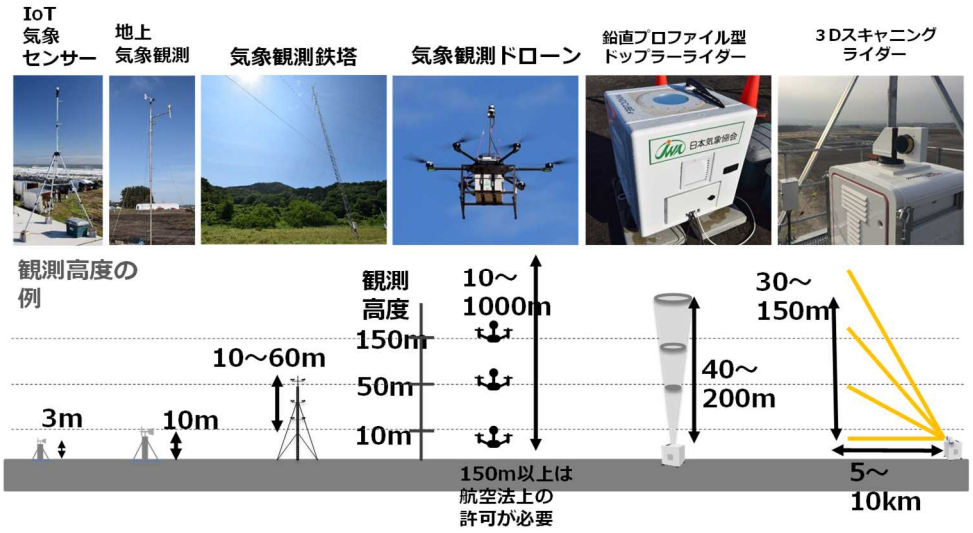
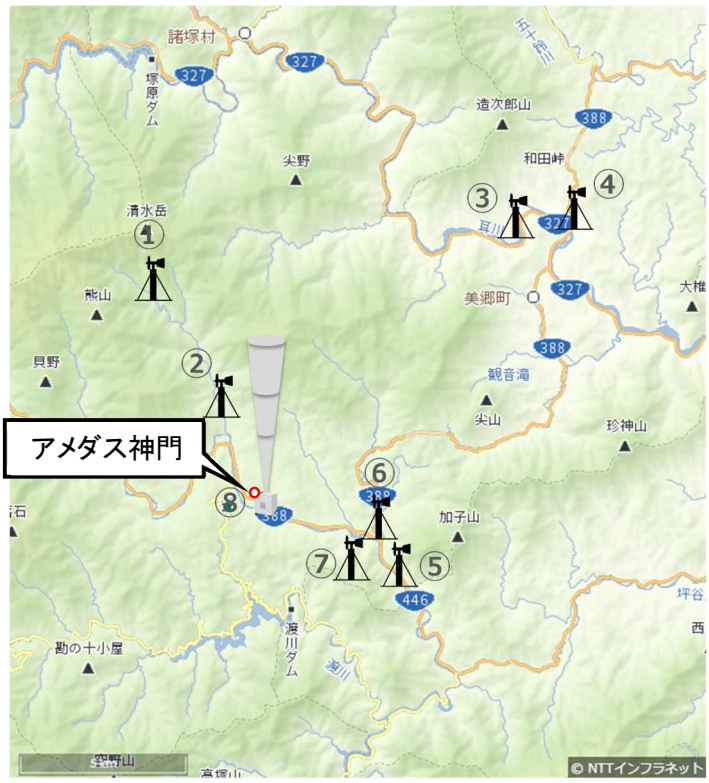


図 2.2.1.13-5 ドローン運航管理に活用する気象実況データの取得方法の例

選定した気象観測手法について､2020 年 3 月に宮城県仙台市で行われた先行実験で、ドローン運航管理のための気象観測の予備試験を実施した。予備試験では、IoT 小型気象センサー、鉛直プロファイル型ドップラーライダー（以下、ドップラーライダーという)、天気カメラを用いた検証を行い良好な結果を得た。この試験を踏まえ、山地・離島に展開する観測機材の再選定と試作を行った。

気象観測装置を展開した地域は、地域実証コンソの実証地域の中から、地域実証コンソ及び地元自治体の協力が得られた「宮崎県美郷町」(山地）と「長崎県五島市」(離島）を選定した。地域実証コンソへのヒアリングを基に、気流シミュレーションに基づく気象センサーの配置計画を立案し、現地踏査結果を踏まえて、ドローン運航のための気象観測網を整備した。観測地点と機材は図 2.2.1.13-6 および図 2.2.1.13-7 のとおりで、各地点の観測の例は図 2.2.1.13-8 のとおりである。長期観測の実証を行う固定地上観測点と臨時地上観測点には IoT 小型気象センサーを設置し、上空気象観測点にはドローン航路の高度の風況を観測するドップラーライダーを設置した。

また、2021 年 10 月 27 日に全国 13 地域で実施したドローン同時飛行による運航管理の実証実験では、「岐阜県美濃加茂市」と「宮城県仙台市」の地域実証で、臨時観測を行った。これらの観測データは、④情報提供機能で試作した可視化システムを通じて、実証事業者に情報提供を行い、地域実証での運航管理に活用できたことを確認した。



；地上気象観測点　　：上空気象観測点

■IoT 小型気象センサー

・固定地上観測点

①又江地区

②又江の原

③立石地区

④和田地区

⑤川沿トイレ

・臨時地上観測点

⑥点検離陸地点

⑦点検点検地点

観測期間

2021 年 9 月 10 日～2022 年 1 月 23 日

■ドップラーライダー

・上空気象観測点

⑧南郷排水処理施設

観測期間

2021 年 9 月 10 日～2022 年 1 月 23 日

臨時地上観測点は、地域実証事業者の実証実験時のみ観測を実施した。

図 2.2.1.13-6 山地の地域特性を把握するための気象観測網（宮崎県美郷町）



：地上気象観測点　：上空気象観測点

■IoT 小型気象センサー
・固定地上観測点
①大窄公民館
②崎山公民館
③黄島
・臨時地上観測点
④福江大津みなと公園
⑤塩津港
観測期間
2021 年 10 月 5 日～2022 年 1 月 23 日

■ドップラーライダー
・上空気象観測点
⑥崎山公民館
観測期間
2021 年 10 月 5 日～2022 年 10 月 24 日

臨時地上観測点は、地域実証事業者の実証実験時のみ観測を実施した。

図 2.2.1.13-7 離島の地域特性を把握するための気象観測網（長崎県五島市）

<table>
<tr><td> 
IoT 小型気象センサーを用いた固定観測の例（山地）</td><td> 
IoT 小型気象センサーを用いた臨時観測の例（山地）</td></tr>
<tr><td> 
ドップラーライダーを用いた上空風の観測の例（山地）</td><td> 
IoT 小型気象センサーを用いた固定観測の例（離島）</td></tr>
<tr><td> 
IoT 小型気象センサーを用いた臨時観測の例（離島）</td><td> 
ドップラーライダーを用いた上空風の観測の例（離島）</td></tr>
</table>

図 2.2.1.13-8 地域特性を把握するための気象観測の例

5.1.2. 「地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証」（実施者：日本気象協会）

2017～2019 年度に開発した強風予測技術を改良し、既存のダウンスケール手法を導入することにより、本地域特性の考慮が可能な強風予測技術の開発を進めた。2.2.1.13-9 に開発した予測情報と対象とするメッシュサイズを整理した。入力データに気象庁数値予報データを用い、3 種類のダウンスケール手法により、地域特性の違いを考慮したドローン３D 風況予測を検討した。

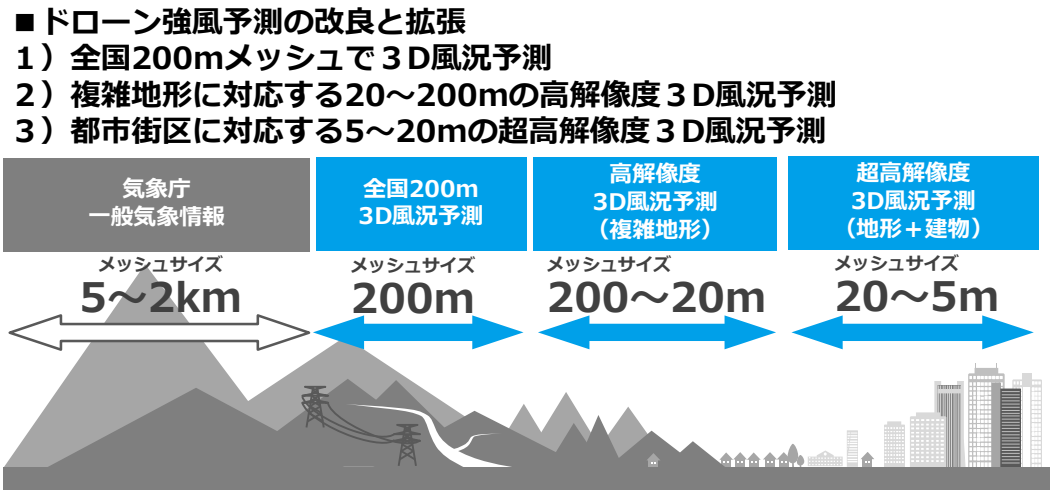


図 2.2.1.13-9 ドローン３D 風況予測のメッシュサイズと対象地域

ドローン運航管理のためには、全国で適用可能な高解像度風況予測が必要となる。そこで、本研究開発では、全国拡張を行い 200m メッシュで、地上から高度 150m までの「全国 200m３D 風況予測」を試作した。予測例を図 2.2.1.13-10 に示す。試作した風況予測の高度化のために GPU を利用して高速化が実現可能な気象モデルを導入し、高度化を図った。

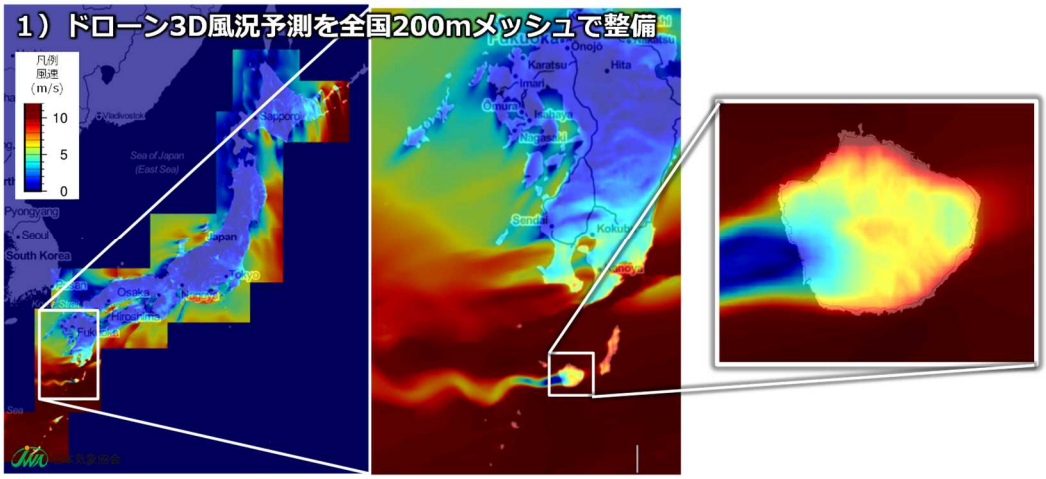
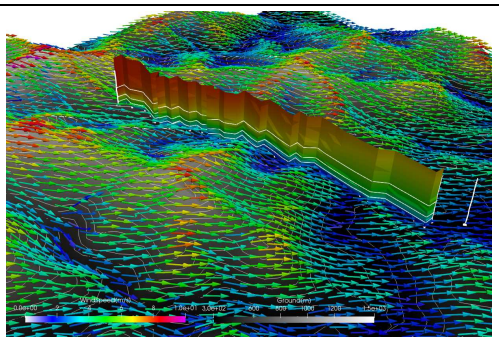


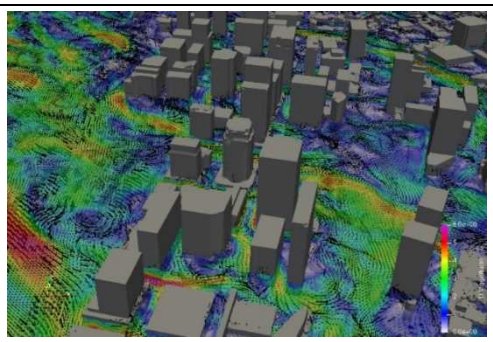
図 2.2.1.13-10 全国 200m３D 風況予測の予測例

山地や離島では、全国 200m３D 風況予測では解像度が不足し、地域特性が把握できないケースも想定される。そこで、山地や離島など細かな地形による風の変化を予測するためにダウンスケーラに局所風況モデルを用いた。有人地帯のドローン運航管理を想定した場合、ビル等の建物による風況変化を把握する必要がある。そこで、ダウンスケーラに都市気流モデルを用い、さらに高解像度化を実現した超高解像度３D 風況予測の実現性を検討した。この計算例を図 2.2.1.13-11 に示す。



宮崎県美郷町の解析例

北西風、高度 50m の風速分布



東京駅周辺の解析例

北西風、高度 30m の風速分布

図 2.2.1.13-11 地形や建物を改造した３D 風況予測の予測例

2021 年度は、この成果を、地域実証で検証するために、表 2.2.1.13-3 に示す地域について高解像度３D 風況予測または超高解像度３D 風況予測を適用した。前述の気象観測データを用いて検証を行い、予測の向上を図った。

表 2.2.1.13-3 ドローン風況予測の試作状況

地域	全国 200m ３D 風況予測	高解像度 ３D 風況予測（地形）	超高解像度 ３D 風況予測（地形＋建物）
全国	●	-	-
北海道稚内市	-	●	-
宮城県仙台市	-	●	-
静岡県富士市	-	●	-
岐阜県美濃加茂市	-	-	●
高知県四万十市	-	●	-
宮崎県美郷町	-	●	-
長崎県対馬市	-	●	-
長崎県五島市	-	●	-
東京（新宿区、千代田区）	-	-	●
大阪(中央区、北区、住之江区)	-	-	●
札幌市、名古屋市、広島市、福岡市	-	-	●

5.1.3. 「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証」(実施者：日本気象協会)

本研究開発では、2020 年度に 2017～2019 年度に開発したドローン気象情報提供 API を改良・拡張し、全国展開に向けた実用性の向上を図った。また、「②（1）10)」で指定された実証エリアに、より実用化に適合させた可視化情報を提供する機能の開発を

進めた。2021 年度には、全国提供を想定したハードウェアの増強とシステム改良を行った。さらに、セキュリティ対策のために、認証システムによるアクセス管理、ファイアウォールの配置、通信監視、不正侵入監視などを実装した。気象情報提供機能の利用を希望する地域実証事業者に対して、試作した API 及び可視化システムを試験提供し、実用性や有効性の検証を行った。

データ提供を行う「ドローン気象 API」と、ドローン気象を可視化するシステム「ドローン気象 WEB」の改良と拡張を行った。ドローン気象 API の全国拡張を行い、表 2.2.1.13-4 のとおり全国 200m３D ドローン風況予測をはじめとする気象情報をドローン気象 API とドローン気象 WEB に実装した。地域実証等で安全な利用を行えるようセキュリティ対策も実装した。ドローン気象 WEB は、ドローン気象の可視化を行うシステムとして試作した。この例を図 2.2.1.13-12 に示す。ドローン気象 API と連携し、運航管理で必要な気象情報を専用に閲覧できるシステムとした。ドローン気象情報提供機能で実装した気象情報を表 2.2.1.13-4 に示す。これらの情報機能は、利用者であるドローン運航管理者やドローン運用者がインターネットを通じて、ドローン気象 API やドローン気象 WEB にアクセスを行うことにより利用できるようにした。

表 2.2.1.13-4 ドローン気象 API とドローン気象 Web に実装した情報

気象要素		ドローン気象 API	ドローン気象 WEB
風向 風速	全国 200m ３D 風況予測	全国	全国
	高解像度 ３D 風況予測	北海道稚内市 高知県四万十市 宮崎県美郷町	北海道稚内市 宮城県仙台市 静岡県富士市 高知県四万十市 宮崎県美郷町 長崎県対馬市 長崎県五島市
	超高解像度 ３D 風況予測	岐阜県美濃加茂市 東京、大阪、札幌市、 名古屋市、広島市、福岡市	岐阜県美濃加茂市 東京、大阪、札幌市、 名古屋市、広島市、福岡市
降水		全国	全国
気温		全国	全国
相対湿度		全国	全国
天気		全国	全国
観測 情報	アメダス	全国	全国
	雷	全国	全国
	IoT 小型気象 センサー	長崎県五島市 宮崎県美郷町 宮城県仙台市（臨時） 岐阜県美濃加茂市（臨時）	長崎県五島市 宮崎県美郷町 宮城県仙台市（臨時） 岐阜県美濃加茂市（臨時）
	ドップラー ライダー	長崎県五島市 宮崎県美郷町	長崎県五島市 宮崎県美郷町

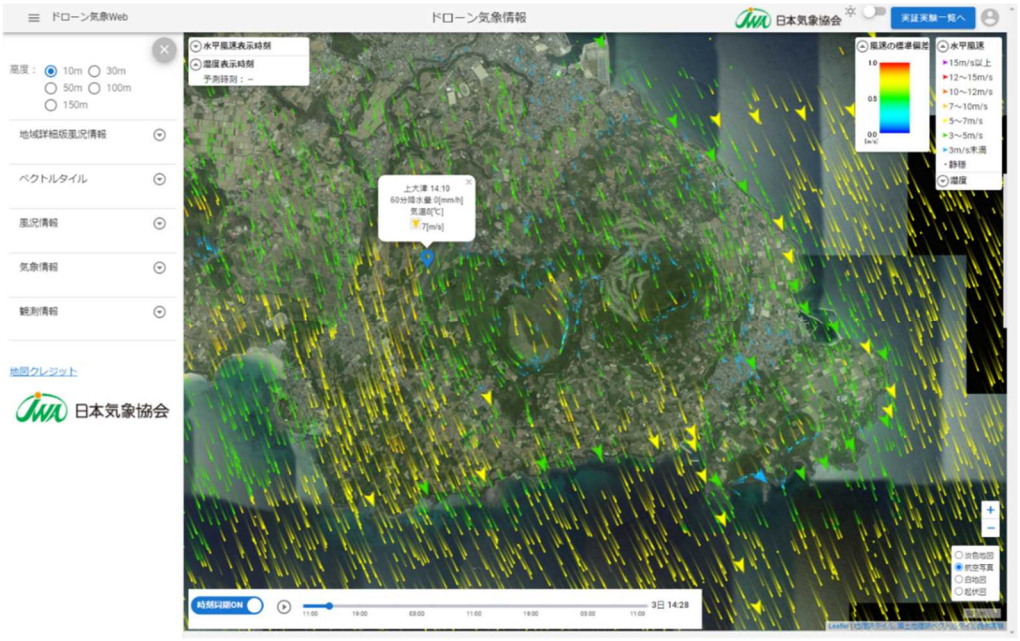


図 2.2.1.13-12 試作したドローン気象可視化システム
（ドローン気象 WEB）のイメージ

本研究開発では、ドローン気象情報提供機能として試作したドローン気象 API とドローン気象 WEB の試験提供を地域実証コンソに行った。これにより情報提供機能の有効性を検証した。地域実証実験に先立ち 2021 年 3 月に宮城県仙台市で行われた先行実証に対して、試作したドローン気象観測システムとドローン気象 WEB の表示端末を設置して事前検証を実施した。事前検証では、IoT 小型気象センサー、ドップラーライダーを用いた現地観測データの提供及び、ドローン気象 WEB の試作の検証を行った。

事前検証を踏まえ、地域実証コンソ向けにドローン気象 API とドローン気象 WEB を試作した。試作した地域実証の地域は表 2.2.1.13-5 に示すとおりである。なお、初期計画段階で試験提供先のニーズを把握したうえで、試作を進めた。

2021 年 10 月の全国合同の地域実証実験では、「宮崎県美郷町」、「長崎県五島市」、「宮城県仙台市」、「岐阜県美濃加茂市」での実証実験に気象支援班として参加した。現地で気象情報支援を行うとともに、提供したドローン気象 API やドローン気象 WEB の利用状況の把握やドローン運用事業者から課題ヒアリングなどを実施した。参加した地域実証の支援状況を図 2.2.1.13-13 および図 2.2.1.13-14 に示す。宮崎県美郷町と長崎県五島市は、固定観測地点に加え、離発着地点に臨時観測地点を設け、離発着時の安全飛行を支援した。宮城県仙台市は、臨時観測地点ではあるが、ドップラーライダー、IoT 小型気象センサーを配置した。岐阜県美濃加茂市は、IoT 小型気象センサーを配置した。これらの地域には、気象支援班を配置した。

本研究開発では、ドローン気象情報提供を 8 地域で検証することにより、日本の様々な地形で発生する気象の予測技術と観測装置による実況把握技術を実現した。

表 2.2.1.13-5 地域実証実験への情報提供による検証

実証地域	ドローン気象 API	ドローン気象 WEB	気象観測	現地気象支援
北海道稚内市	●	ー	ー	ー
宮城県仙台市	ー	●	▲	●
静岡県富士市	ー	●	ー	ー
岐阜県美濃加茂市	●	●	▲	●
高知県四万十市	●	●	ー	ー
宮崎県美郷町	●	●	●	●
長崎県対馬市	ー	●	ー	ー
長崎県五島市	ー	●	●	●

注）●は提供、▲は実証時のみ提供、-は未提供。提供は、地域実証事業者の希望があった場合に用意した。

<table>
<tr><td>長崎県五島市</td><td> 
IoT 小型気象センサーによる観測</td><td> 
IoT 小型気象センサーによる観測</td></tr>
<tr><td>宮崎県美郷町</td><td> 
IoT 小型気象センサーによる観測</td><td> 
ドローン気象 WEB などの利用状況</td></tr>
</table>

図 2.2.1.13-13 地域実証時の現地気象支援の様子（山地、離島）

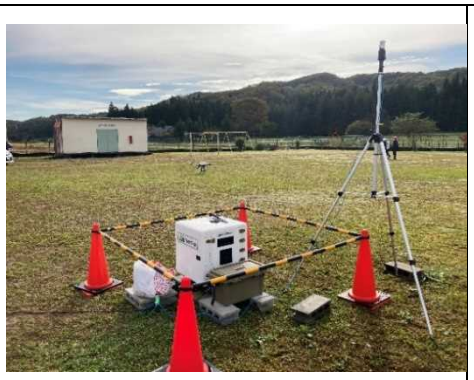
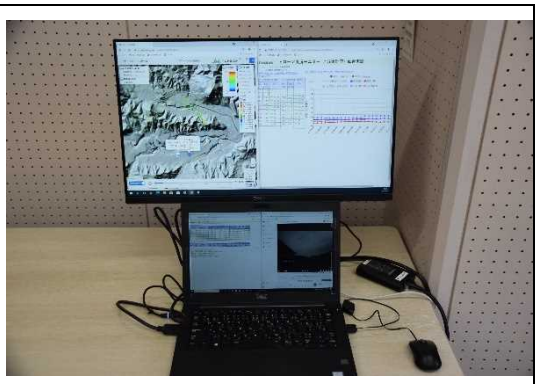
宮城県仙台市	 IoT 小型気象センサーとドップラーライダーによる観測	 ドローン気象 WEB などの気象支援
岐阜県美濃加茂市	 IoT 小型気象センサーによる観測	 IoT 小型気象センサーによる観測

図 2.2.1.13-14 地域実証時の現地気象支援の様子（追加支援地点）

5.1.4. 「①　　国際標準化の推進」（実施者：日本気象協会）

2017～2019 年度の研究開発では、下記の通り、株式会社ゼンリンと協力して ISO/TC20/SC16 に地理空間情報のデータモデルに係る標準化提案を進めた。これらの活動を通し、UTM に係る気象情報の知財、国内・海外 UTM 事業者の気象情報ニーズ、UTM の気象情報の扱いなどについて国内外の動向を調査した。この結果に基づき、運航管理で用いる気象情報の国際競争力向上に資する標準化を推進した。

図 2.2.1.13-15 のとおり、この推進活動により、2021 年 2 月に国際規格案（Draft International Standard＝DIS）が承認された。その後、最終国際規格案（Final Draft International Standard=FDIS）が 8 月に承認され、国際規格（International Standard）が 2021 年 9 月 29 日に国際標準化機構(International Organization for Standardization)により、ISO23629-7 UAS traffic management (UTM) -Part 7 Data model for spatial data として正式発行に至った。



図 2.2.1.13-15 ドローン運航管理の地理空間情報に係る国際標準化の推進状況

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	1	0	1	2
展示会出展	－	－	－	1	2	－	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	0	1	1
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	0	1	－	1
国内出願	－	－	－	0	0	－	0
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクト終了後、ドローン運航の実用化に向けた検証実験に参画しながら、本プロジェクトで開発したドローン気象 API 及びドローン気象 WEB を基礎に気象情報提供の最適化を図り、サービス提供の実現を目指す。

現状では、観測値による実況監視のニーズが高いことから、IoT 小型気象センサーやドップラーライダーによる離発着地点監視や上空気象監視を重点に事業化を進め、ドローン運航頻度の増大に伴って、予測情報の提供につなげる戦略とする。

サービス提供エリアは、飛行の集中するエリアを優先しつつ、全国拡大を視野に設計を行う。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

当面は、ドローン運用者（UASO）向けサービスを軸とするが、ドローン運航管理システム（UTMS）の普及に合わせ、これらのシステム向けに機能向上を図りながら、気象情報提供サービスとしてシステム安定性も向上を進める。ドローン活用社会の実現に向けたドローンの産業利用拡大と本開発の気象情報提供のサービス化を連動させながら、運用者が利用可能なドローン気象閲覧サービスや、運航管理者が利用するデータ連携サービスなどに当協会のドローン気象サービスを展開していく。

表 2.2.1.13-6 ドローン気象情報提供機能の事業化シナリオ

	2022	2023	2024	2025	2026	2027
気象観測サービス						
気象予測提供サービス						
サービスエリア拡大						

3. 実用化・事業化の見通し

本成果を事業化したサービスを利用することにより、ドローン運航時の気象リスクの軽減が期待できる。ドローン運用者にとって、飛行前にドローン飛行の可否判断が可能となるほか、目視外飛行で気象リスクの高いエリアへの侵入防止、気象リスクの低いエリアの優先利用、気象急変時の安全な避難措置など、ドローンの運用や運航の安全性を向上することが可能となる。ドローン専用の気象情報の活用によりドローン飛行の安全性が向上することで、ドローンの普及にも寄与することが期待できる。また、飛行頻度が増加するに従い、気象による遅延や運航停止は、ドローン事業の収益に直結するようになるため、より精度の高い気象情報の提供により、効率的なドローン運航に寄与できる。

6.2.1.14 １０）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業：
地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業
（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））
（実施者：ＫＤＤＩ株式会社　パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

1.1 本事業の背景

「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」で示されたとおり、2022 年の「有人地帯での目視外飛行（レベル 4）の実現に向け、環境整備、技術開発、社会実装が進められている。技術開発の要素としては、「運航管理システム（UTMS）」、「リモート ID」、「衝突回避等技術」、「機体性能評価」、「国際標準（ISO 等）化」が挙げられている。

これらの内、「運航管理システム（UTMS）」については、NEDO DRESS プロジェクトにおいて複数の無人航空機システム（UAS）を運用するオペレータ（UASO）間の飛行経路のコンフリクト等を調整する運航管理機能（UASSP）、UASSP の申請を承認し、UASSP 間のコンフリクトを調整する運航管理統合機能（FIMS）、UASSP や FIMS に気象情報や地図情報、通信用の電波情報等を提供する情報提供機能（SDSP）で構成されるアーキテクチャを検討、機能開発が行われてきた。その成果として、2019 年 10 月、福島ロボットテストフィールドにおいて、1 時間 1 平方 km に 100 フライト以上の無人航空機の飛行試験に成功したところである。

しかし、実運用環境における実証は未実施であり、運航管理システムの社会実装を促進するためには、実運用環境における運航管理システムの利用者等のニーズを踏まえたシステムのあるべき姿・アーキテクチャを構想し繰り返し実証することで、環境整備や社会実装への準備が求められている。

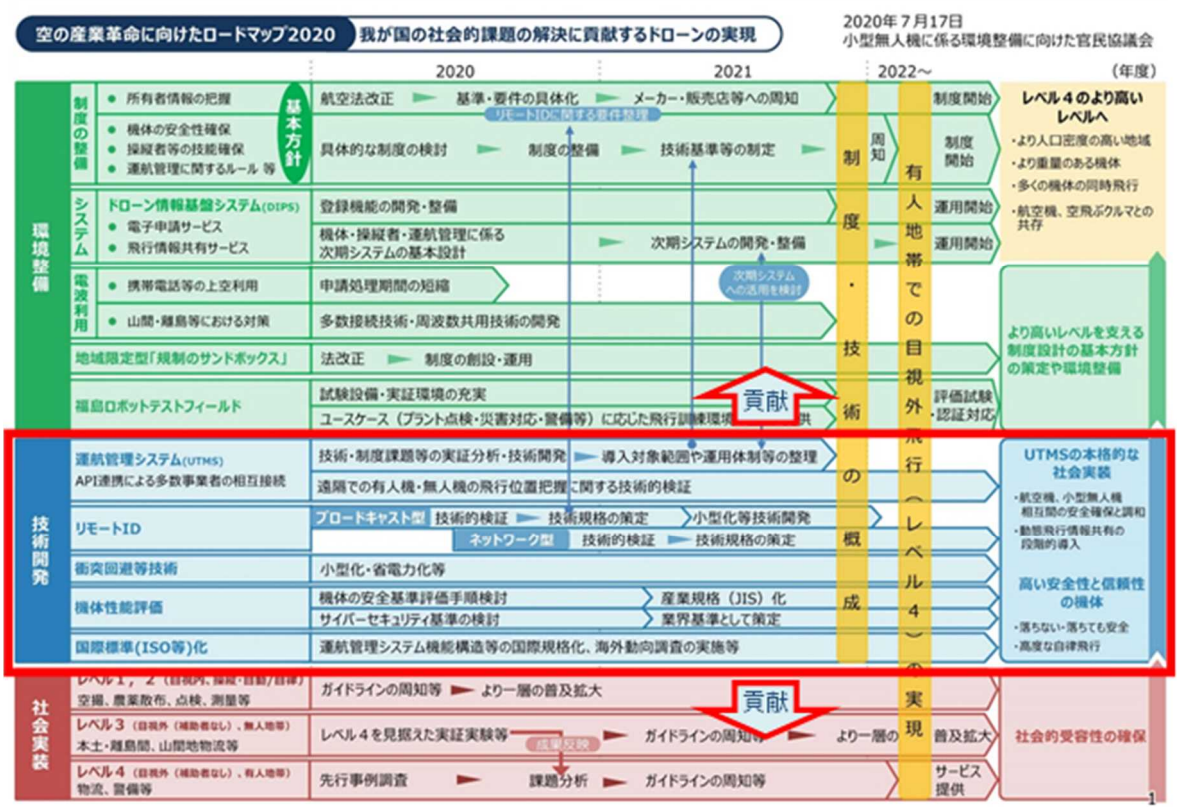


図 2.2.1.14-1 空の産業革命に向けたロードマップ２０２０
出所：「小型無人機に関する関係府省庁連絡会議」（2020 年 7 月 17 日公表）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou14.pdf

1.2 本事業の意義

前述の「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」における位置づけから、本研究は、レベル 4 実現に向けた運航管理システムの機能開発および実運用環境における実証を通じて、運航管理システムの社会実装に向けた課題とその解決の方向性を具体化することに意義がある。

特に、今後より多くの無人航空機が異なる目的で同一空域を飛行する実運用環境において、衝突・墜落を回避するためにオペレータが利用する運航管理機能の信頼性向上は不可欠となる。加えて、運航管理機能間、及び運航管理統合機能との間の調整方法を確立することは、運航管理システムを日本全国に展開する上で非常に重要な意義を持つ。本研究のコンセプトを図 2.2.1.14-2 に示す。

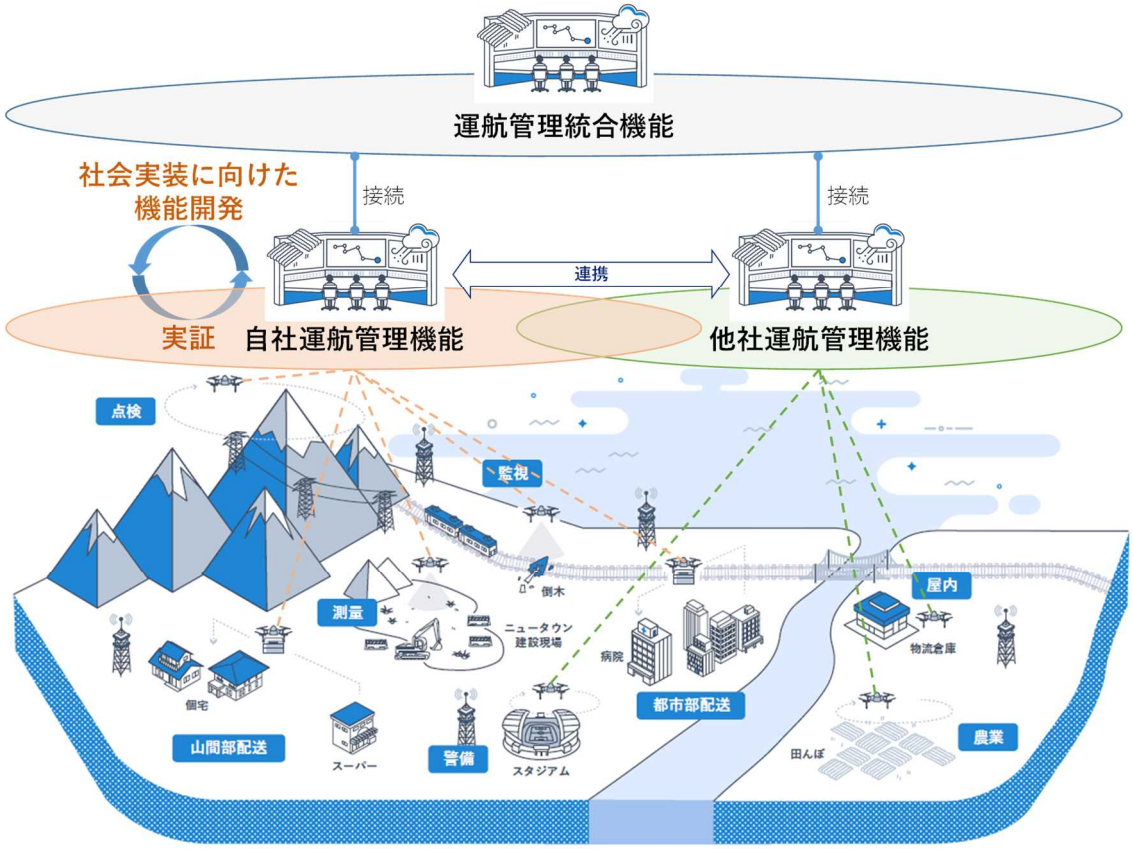


図 2.2.1.14-2 本研究のコンセプト図

1.3 本事業の概要

前項の目的・意義を踏まえ、本研究では以下の 4 つの研究開発を実施した。まず社会実装に向けた運航管理機能の研究開発を行い、先行実証を通じた改善を図った。その後、事務局が推進主体となり、さらに多様な実環境で運航管理システムの地域実証を行うことで、日本各地でレベル 4 実現に向けた運航管理システムの社会実装に向けた課題の洗い出し、およびその実現に向けた提言を整理した。研究開発の推進イメージを図 2.2.1.14-3 に示す。

- 研究開発項目①運航管理機能の研究開発：
  社会実装に向けて必要となる運航管理機能自体の機能開発や、拡張が予定されている運航管理統合機能等との接続を実施する。

- 研究開発項目②運航管理機能の先行実証：
  レベル 4 のユースケースとしてどのようなものが存在し（What）、なぜそうしたユースケースが必要であるか（Why）を明確にする。これは国民生活や産業振興にとって必要なユースケースに絞って技術開発を行うことを意図している。次に、そうしたユースケースをどのように実現するか（How）を全体アーキテクチャやビジネスモデルの観点から検討し、実際のフィールドで実証する（Try）。

- 研究開発項目③事務局運営：
  事務局は、先行実証の結果をガイドラインとしてとりまとめ、地域実証の円滑な遂行のため活用する他、地域実証に参加する自治体・企業の募集・相談窓口として機能する。地域実証では、全国各地から応募し、採択された多様な自治体・企業が実環境で運航管理システムの社会実装を目指した実証を行う。より多くの環境が異なる地域で What-Why-How-Try のサイクルを回すことで、先行実証では把握できなかった機能や運用面（ビジネスモデル）に関する更なる改善事項を抽出する。

- 研究開発項目④成果とりまとめ：
  先行・地域実証の結果をとりまとめ、本研究内で実証できた運航管理システムの社会実装方法と、残課題を明らかにする。また、それらの成果や残課題を公開することで、法規制整備や社会受容性向上に貢献する。

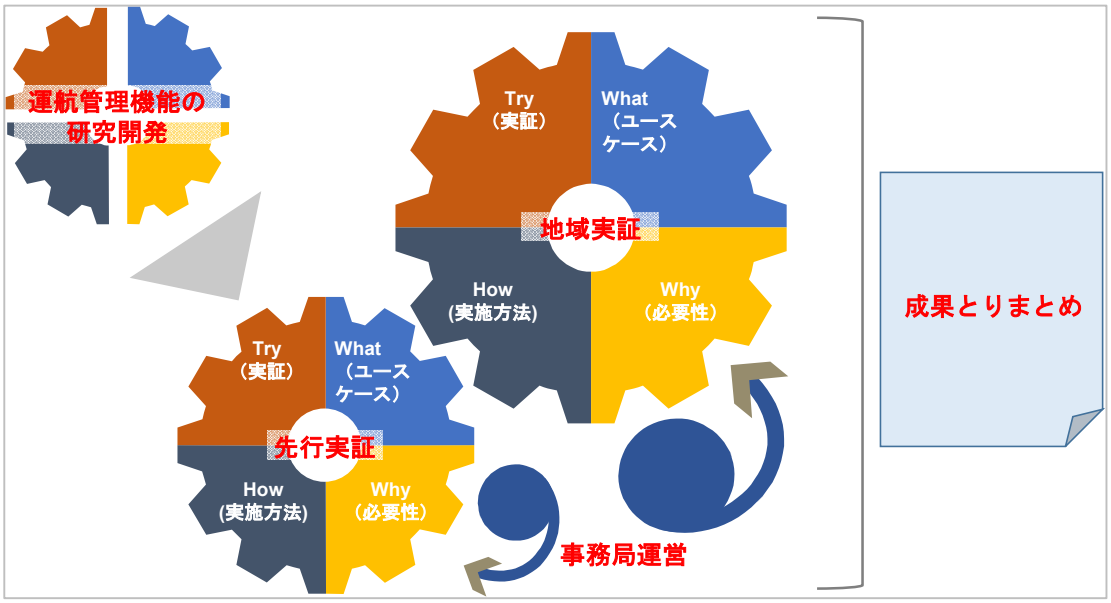


図 2.2.1.14-3 本研究の構成

（2）研究開発目標と根拠

2.1 運航管理機能の研究開発

2020 年度は、社会実装に向けた接続システムと飛行制御システムを開発し、西日本・東日本・災害の 3 つのコンソーシアムを立上げ、先行的に検証を実施する（以下、先行実証）。また、先行実証の結果得られた知見や課題を踏まえ、2021 年度に必要な機能改修を実施し、全国の各地で検証を実施する（以下、地域実証）。有人機システム I/F は、2021 年度の地域実証に向けて開発を行う。運航管理機能の改良については、地域実証の全ユースケースに対し実効的に運航管理が可能となるよう要件の確認と必要な改修を行い、地域実証で検証する。

加えて、地域実証及び最終的な統合実証を通じ、地域実証参加機関を含めた FIMS、UASSP、UASO、SDSP の接続下での運航管理実証等を通じ、運航管理統合機能を検証し、運航管理システム全体としての妥当性を確認する。

表 2.2.1.14-1 運航管理機能の研究開発における研究開発の目標

実証領域	中間目標（2020 年度実証目標）	最終目標（2021 年度実証目標）
運航管理統合機能の検証	ー	目標: 全国の地域実証の参加 UASSP/UASO の接続環境下において、飛行計画の調整・承認等、適切な運航管理を可能とすること。 設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理統合機能の検証を行うため
接続システムの開発・検証	目標: 兵庫県、仙台市、志摩市の３地域における UASO の接続を可能とすること 設定理由： 2021 年度の総合的な実証や地域実証（2 次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。	目標: 全国の地域実証の参加 UASO の接続を可能とすること。 設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため
飛行制御システムの開発・検証	目標: 兵庫県、仙台市、志摩市の３地域における UASO の飛行制御を可能とすること 設定理由： 2021 年度の総合的な実証や地域実証（2 次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。	目標: 全国の地域実証の参加 UASO の飛行制御を可能とすること。 設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため
有人機システム I/F 開発	ー	目標: 有人機情報システムとの I/F を開発し、有人機・無人航空機の飛行計画等の調整を可能とすること。 設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため
運航管理機能の改良	ー	目標: 地域実証で扱うユースケースの運航管理要件に対応し、全国の地域実証の参加 UASO の運航管理を可能とすること。 設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため

2.2 運航管理機能の先行実証

先行実証では「西日本のユースケース検証」、「東日本のユースケース検証」、「災害ユースケースの検証」の 3 つの実証を実施し、最終年度における総合実証や地域実証に向けた基本的な技術検証や、課題抽出を行う。

表 2.2.1.14-2 各ユースケース実証における中間目標および最終目標

実証領域	中間目標（2020 年度実証目標）	最終目標（2021 年度実証目標）
西日本ユースケース検証	目標: 同一地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。 設定理由： 2021 年度の総合的な実証や地域実証（2 次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。	目標: 複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。 設定理由：「西日本のユースケース検証」にて設定した「広域における複数接続状態での運航検証」、「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」に関する検証の為
東日本ユースケース検証	目標: 同一地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること 設定理由： 2021 年度の総合的な実証や地域実証（2 次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。	目標: 複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること 設定理由： 「東日本のユースケース検証」にて設定した「広域における複数接続状態での運航検証」に関する検証の為
運航管理システム	目標: 同一地域にて 1-2 程度のオペレータ（複数機体）を対象とした災害時ユースケースの運航管理が可能であること。 設定理由： 2021 年度の総合的な実証や地域実証（2 次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。	目標: 同一地域において、複数のオペレータを対象とした、災害時の複数ユースケースの運航管理が可能であること。 設定理由： 「災害ユースケースの検証」にて設定した観点を総合的に検証するため。

2.3 事務局運営

事務局としては、2020 年度中に先行実証結果を踏まえて、地域実証の応募主体に求められる要件、公募スケジュール案等を策定し、公募予告を行うことを目標とする。公募予告を行うことで、自治体・企業が十分な応募準備期間を確保できるようにする。2021 年度中には、先行実証の結果を受けて整備するガイドラインを参考に、採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加することを目標とし、支援を行う。

表 2.2.1.14-3 事務局運営における中間目標および最終目標

領域	中間目標（2020 年度目標）	最終目標（2021 年度目標）
事務局	目標: 地域実証の公募予告を実施すること。 設定理由： 先行実証結果のとりまとめ完了後に公募を行うと、応募準備期間が短くなるため、公募予告を行うことで、十分な準備期間を確保できる様にする。	目標: 採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加すること。 設定理由： 実証試験に必ずしも習熟していない自治体・企業の支援を行うことが事務局の役割であるため、実証を完了できたことを目標にすることは妥当と考えられる。

2.4 成果とりまとめ

事務局は主に地域実証における成果とりまとめを実施するが、別途、本研究全体として、運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証を通じた成果と課題のとりまとめを実施する。

表 2.2.1.14-4 成果取りまとめにおける中間目標および最終目標

領域	中間目標（2020 年度目標）	最終目標（2021 年度目標）
本研究全体	目標: 本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の進捗を明らかにすること。 設定理由： 全体の進捗を俯瞰して確認することで、次年度に向けた作業の抜け漏れや、スケジュール上のボトルネックを把握する。	目標: 本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の成果・残課題に対する対応策をとりまとめる。 例 • 運航管理システムアーキテクチャの在り方 • 運航管理システム実装時のビジネスモデル • 運航管理機能の構成・機能・インターフェース • 社会実装に向けた自治体のアクションプラン • 残課題と対応策案（運航管理システム、法規制、社会受容性等） 設定理由： 本研究の成果及び残課題に対する対応策をとりまとめることは、レベル 4 の実現に向けた取組の過不足を判断する材料となる。

（３）研究開発スケジュール･実施体制

スケジュール

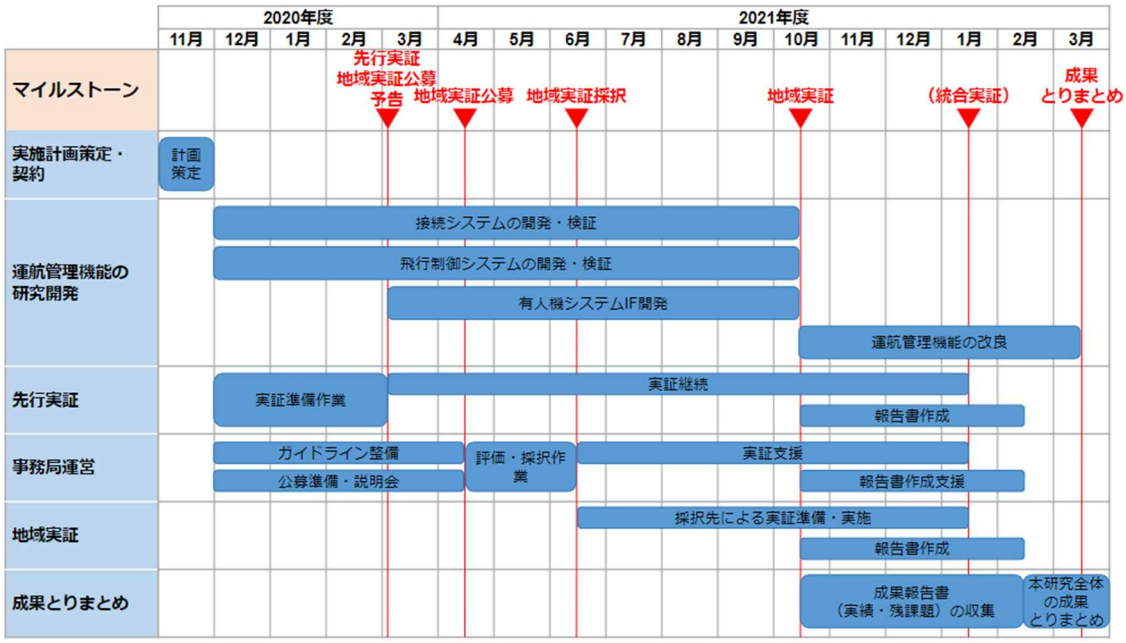


図 2.2.1.14-4 本研究のスケジュール

実施体制

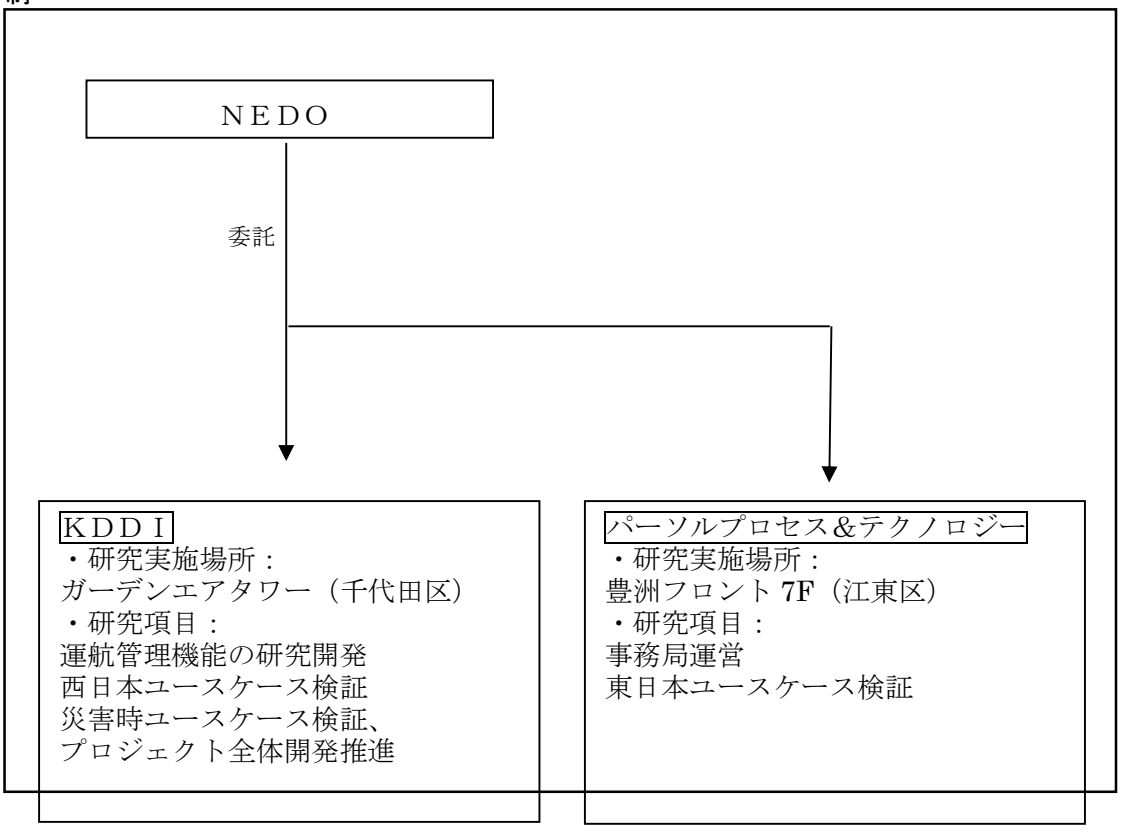


図 2.2.1.14-5 実施体制

（4）研究開発の達成状況

4.1 研究開発項目①運航管理機能の研究（ＫＤＤＩ株式会社）

① 運航管理統合機能の検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加UASSP/UASOの接続環境下において、飛行計画の調整・承認等、適切な運航管理を可能とすること。	全国13地域52機のドローン同時飛行による運航管理システムの実証を実施し、実運用環境においてもNEDO DRESSアーキテクチャによる運航管理が一定程度機能することを実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

② 接続システムの開発・検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加UASOの接続を可能とすること。	NEDO DRESSアーキテクチャにおけるFIMSとの動態情報の連携について、複数のパターンの接続方法を実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③ 飛行制御システムの開発・検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加UASOの飛行制御を可能とすること。	弊社が開発したLTEに対応した飛行制御システムを活用し、遠隔での制御が可能であることを示した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④ 有人機システムI/F開発

最終目標	成果	達成度	備考
有人機情報システムとのI/Fを開発し、有人機・無人航空機の飛行計画等の調整を可能とすること。	D-NETとUASSPの接続I/Fを開発し、災害時UTMを活用した災害時の航空運用調整を実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤ 運航管理機能の改良

最終目標	成果	達成度	備考
地域実証で扱うユースケースの運航管理要件に対応し、全国の地域実証の参加UASOの運航管理を可能とすること。	同一のUASSP管理下の機体の衝突危険を検知し、UASOにアラートを発報することで調整を促す機能を開発した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 研究開発項目②運航管理機能の先行実証

(1). ① 西日本ユースケース検証（ＫＤＤＩ株式会社）

最終目標	成果	達成度	備考
複数の地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること。また同	兵庫県内における洲本市、姫路市、上郡町にて計5機の運航管理が可能であることを確認。また警備・点検実証においては複数機体におけ	○	

一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。	る接近から回避の検証を完遂。		

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

(2). ② 東日本ユースケース検証（パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

最終目標	成果	達成度	備考
複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。	複数地域で同時飛行する 3 機以上でフライトができることを確認した。また、近接アラート検証（高度 25m と高度 30m で飛行）を実施した。警備・物流・点検実証においては複数機体における接近から回避の検証を完遂した。	〇	

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

(3). ③ 災害時ユースケース検証（ＫＤＤＩ株式会社）

最終目標	成果	達成度	備考
同一地域において、複数のオペレータを対象とした、災害時の複数ユースケースの運航管理が可能であること。	・発災直後と発災後数時間経過後の 2 時期を中心にシナリオや体制を検証、その結果を踏まえて平時の準備を含むガイドラインを策定した。 ・ヘリコプターとの運航調整、ドローン同士の運航調整を含むドローン利用プロセスを検討した上で実証を実施した。 ・複数ミッションの UASO に対する運航管理を実証した。 ・シミュレータを含め、4-5 機のドローンに対する運航管理を実証した。	〇	

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

4.3 研究開発項目③事務局運営（パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

最終目標	成果	達成度	備考
採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加すること。 社会実装に必要となる要素を整理したガイドラインを策定・公開すること。	無人航空機の活用が想定される運航管理システムに接続した実証事業として、3 地域の先行実証と、全国を対象とした公募により採択された 10 地域のコンソーシアムによる地域実証を実施した。 運航管理システムの開発においては、開発したシステムを用い、各ユースケースにおいて運航管理システムが有効に機能することを確認した。実証後は、運航管理システムを用いた持続可能な無人航空機運航ビジネスのあり方を検討し、社会実装に必要となる要素を整理し、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」として取りまとめた資料を一般公開した。 また、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時	〇	

	におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開した。		

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

4.4 研究開発項目④成果とりまとめ

（ＫＤＤＩ株式会社。パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社）

最終目標	成果	達成度	備考
本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の成果・残課題に対する対応策をとりまとめる。	実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル 4 環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的とした資料を一般公開した。また、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的としたガイドラインを一般公開した。	〇	

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1.研究開発項目①運航管理機能の研究

(4).5.1.1 運航管理統合機能の検証（ＫＤＤＩ株式会社）

本研究開発で検証対象とした運航管理機能を表 2.2.1.14-5 に示す。また、図 2.2.1.14-6 に検証対象とする運航管理システム（KDDI UASSP）の概要を示す。

表 2.2.1.14-5 検証対象の運航管理機能

機能区分	業務概要	機能名	概要
登録・認証機能	• 機体認証制度への対応 • 操縦者・運航管理者資格制度への対応 • 機体およびその所有者情報の登録義務化	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証
		組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録
		ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる
		機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象
		機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理
計画・飛行承認機能	• 携帯電波等の上空利用申請のUTM連携（実用局） • 飛行許可のための電子申請サービスの連携（DIPS・FISS） • 低高度を飛行する有人航空機と無人航空機との時間的・空間的セパレーションの確保 • 異なる事業者間での運航調整環境の整備（Inter USS）	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む
		飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理
		空域管理	システム管理者および一部組織による飛行制限空域の管理
		干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る
追跡・運航実施機能	• 遠隔識別番号の発信義務化への対応（Remote ID連携） • 操縦者が利用する運航アプリケーションとUTMとの連携（FOS連携） • リルーティング・ダイバート等の衝突回避システムの実現（Detect And Avoid） • 地上局を前提とした人為的運用の自動化（脱GCS） • 第三者上空飛行時の運航者義務の履行徹底	運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知
		衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避
監視・検知機能	• 運航中の状況認識支援（Situational Awareness） • 法令遵守および公共安全への配慮の意識付け（Conformance Monitoring） • 異常検知時の速やかな原因特定と周囲への注意喚起（Anomaly Detection） • 非協調的な飛翔体検知および対策（カウンタードローン） • 外乱環境の急激な変化の検知（非ノミナル運航）	運航監視	注目範囲の運航の監視、異常検知
		空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視
緊急対応機能	• 災害発生時等の無人・有人機連携の可能性 • 空中衝突発生時の副次的災害の抑止（NMAC） • 墜落時の落下分散を考慮した運航制限 • 悪意のある第三者による乗っ取りへの対策（サイバーセキュリティ）	緊急退避指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当する
分析・報告機能	• 運航ログの分析によるリスク評価および保険料率設定 • 操縦者および機体の傾向分析および運航者へのフィードバック • 干渉判定、衝突検知のための最適な閾値の探索 • 通常運航および事故発生時の当局への報告義務の徹底	ログ保存	運航ログの蓄積および将来的な分析供与のための可視化
		飛行実績報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告

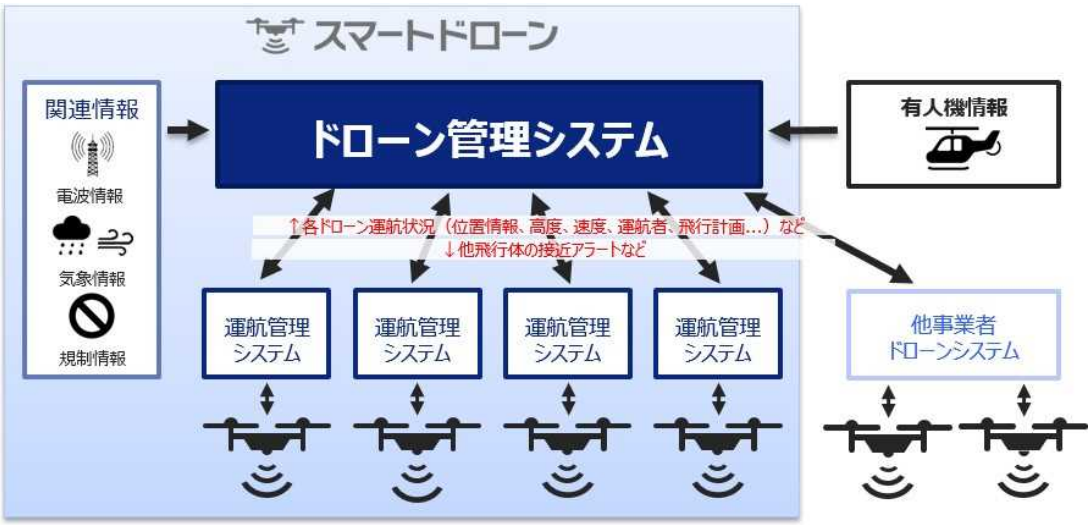


図 2.2.1.14-6 運航管理システム（KDDI UASSP）の概要

後述の5.1.2.～5.1.5. の開発事項を踏まえ、表2.2.1.14-5に示した運航管理機能を先行実証及び地域実証の各試験を通じて検証した。

東日本（平時）、西日本（平時）、災害時を対象とした 2020 年度の先行実証では、FIMS-UASSP- SDSP-UASO の基本的な接続を検証すると共に、平時と災害時の複数ユースケースに対する堅牢性を確認し

た。また、異なる 3 地域での同時実証を行い、同時運用への堅牢性を確認した。2021 年度に実施した地域実証 10 地域及び先行実証 3 地域の実証では、運航管理システムの全国規模への拡張性を確認した。さらに、2021 年 10 月 27 日には図 2.2.1.14-7 に示す 13 地域・52 機体を同時に運航させる実証を行い、多数地域同時運用への堅牢性を確認するとともに、各地で飛行するドローンの運航状況を一元的に管理し、実際のオペレーションにおける課題の抽出を行った。

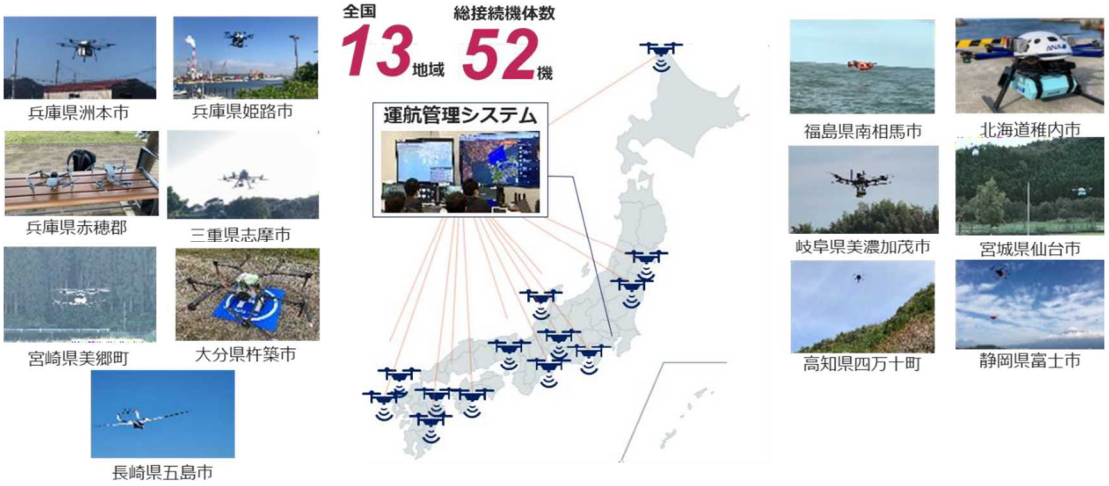


図 2.2.1.14-7 全国同時実証

(5).5.1.2 接続システムの開発・検証（ＫＤＤＩ株式会社）

本研究開発において検証した UASO の接続形態を図 2.2.1.14-8 に示す。UASO から UASSP・ FIMS への接続パターンとしては、KDDI UASSP に接続する場合（UASO①）、他社 UASSP に接続する場合（UASO②）、FIMS に直接接続する場合（UASO③）の 3 通りに大きく分類される。

UASSP と UASO の接続形態については、3 通り（KDDI UASSP への接続として UASO① a～c を記載）を検証した。UASO①a は、KDDI、つまり UASSP が独自に提供する飛行制御システム FOS を介して接続する場合、UASO①b は、UASO が独自に用意した GCS（飛行制御システムを含む）を介して接続する場合、UASO①c は、ドローンに搭載されるリモート ID 情報のみが共有される場合（動態情報のみが共有）、である。本研究開発では、この 3 通りの接続方法に対応した I/F を開発した。このうち、GCS を介した接続については、2 種類の GCS に対応した I/F を開発した。

なお、他社 UASSP については 4 種類（シミュレータ 1 種類を含む）に対応した。

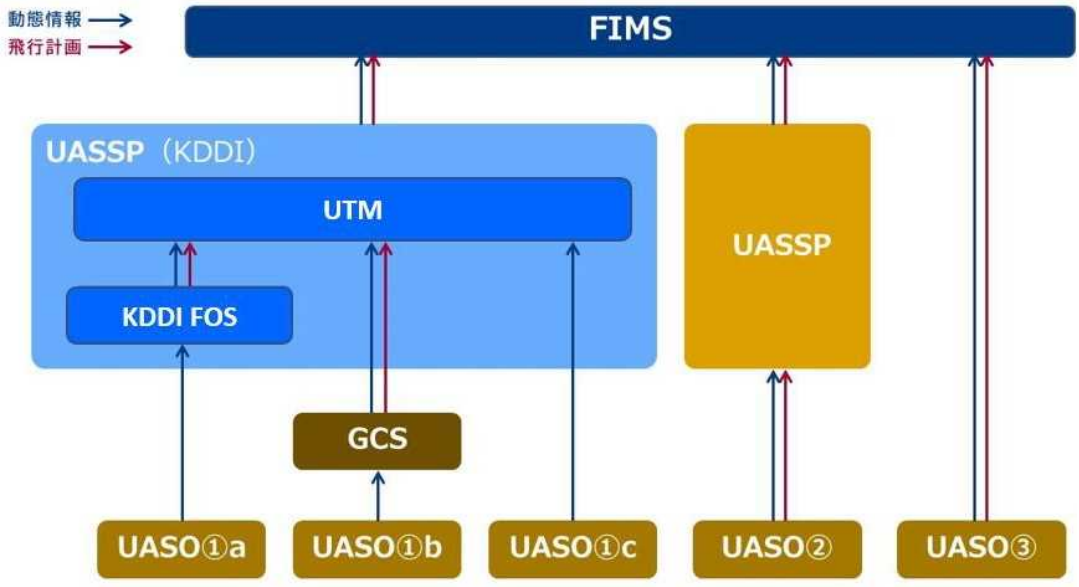


図 2.2.1.14-8 UASO の接続形態

実証試験の結果、全ての接続形態について、計画どおり飛行計画や動態情報の共有が確認できた。これにより、一つの UASSP の立場から想定されるほぼ全ての UASO の接続形態に対する同時運航管理が可能であることを確認できた。

(6).5.1.3 飛行制御システムの開発・検証（ＫＤＤＩ株式会社）

本研究開発では、複数の UASO が運用するドローンの飛行制御システム（FOS: Flight Operation System）について、多数のオペレータ、多数の機体接続に対応可能なシステムを開発した。

FOS は、UASSP のサブシステムとして開発し、主に以下のような機能を具備することで、UASO による標準化された効率的なドローン運用をサポートする。

- 飛行計画の作成・申請
- 飛行指示
- 動態・テレメトリ情報の処理・表示
- 注意喚起情報の処理・表示
- 機体カメラ情報の処理・表示
- 操作介入 等

特に、一つの UASO による複数機ドローンの運用をサポートする。
本研究開発では、複数機種、多数機の FOS 接続に対応するため、機体搭載用 SDK を開発し、FOS 利用の希望者の機体に具備した上で実証試験を行った。図 2.2.1.14-9 に各機体の FOS への接続イメージを示す。実証試験では、FOS を用いて、10 の UASO による 6 種 14 機のドローンの同時飛行制御を実現することができた。

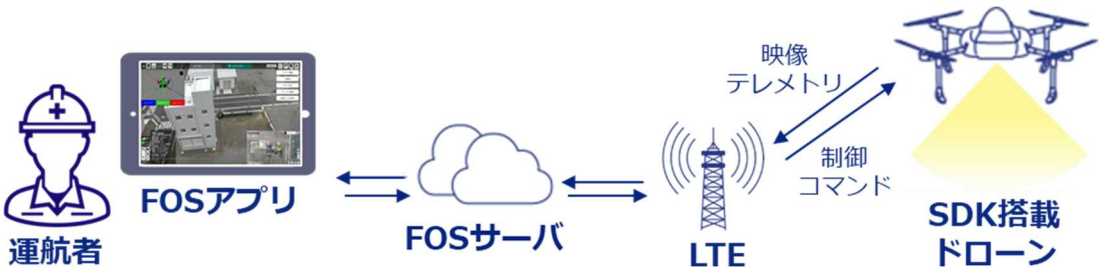


図 2.2.1.14-9 各ドローンの FOS への接続イメージ

(7).5.1.4 有人機システム I/F 開発（ＫＤＤＩ株式会社）

既存の有人機情報システムとして、株式会社ウェザーニューズが開発・運用する Foster-Copilot と、宇宙航空研究開発機構（JAXA）で研究開発が行われ、その成果の民間への転用が進められつつある災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）がある。

本研究開発では、Foster-Copilot 及び D-NET と KDDI UASSP との接続に対応した I/F 開発を行った。

図 2.2.1.14-10 に、Foster-Copilot 及び D-NET と KDDI UASSP との接続に関して、災害ユースケース検証において検討・構築したシステムアーキテクチャを示す。KDDI UASSP の中の UTM と Foster-Copilot を接続し有人機の動態情報と飛行計画を UTM に共有、またドローンの動態情報を Foster-Copilot に共有する I/F を開発した。加えて、D-NET の有人機情報（動態情報のみ）については Foster-Copilot のサーバを介して UTM に接続する I/F を開発した。これにより、Foster- Copilot に接続されるドクターヘリや民間ヘリ等、D-NET に接続される消防防災ヘリ等の双方の有人機情報に接続し、ドローンの運航管理に活用するための仕組みを構築できた。

実証試験では、三重県志摩市における災害ユースケース検証の一環で、シミュレータを用いて Foster-Copilot に接続されたヘリコプターと D-NET に接続されたヘリコプターの情報をドローンの運航管理に活用する検証を実施した。また、岐阜県美濃加茂市における物資輸送の検証の一環で、Foster-Copilot を搭載したヘリコプターの実機を用いた試験を実施した。双方とも、ドローン運航管理において、有人機情報共有の有効性が確認できた。

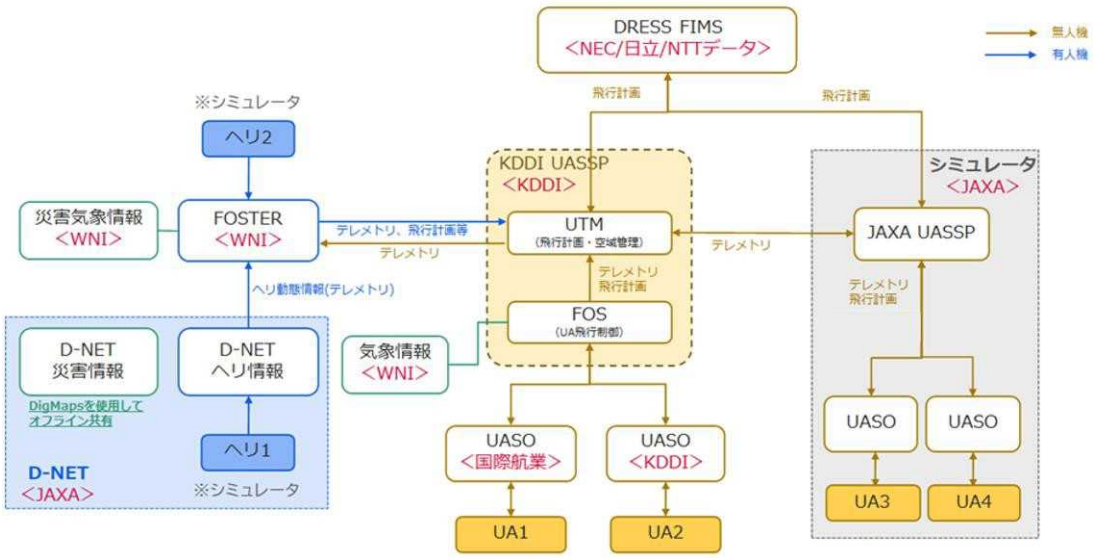


図 2.2.1.14-10 災害ユースケース検証のシステムアーキテクチャ

(8).5.1.5 運航管理機能の改良（ＫＤＤＩ株式会社）

本研究開発では、多岐に渡る用途のドローンを接続し運航管理の検証を行った。対象とした用途と飛行経路の特徴を表 2.2.1.14-6 に示す。

表 2.2.1.14-6 ユースケースに対応した飛行経路の特徴

ユースケース		飛行経路の特徴
平時	物資輸送（物流）	配送元・配送先間の線的な飛行
	警備	警備対象エリア内の面的な飛行
	測量	測量対象エリア内の面的な飛行
	農業	観測・散布対象エリア内の面的な飛行
	空撮	撮影対象エリア内の面的な飛行
	点検	点検対象に沿った面的な飛行（発電設備等）、線的な飛行（橋梁等）
災害時	被害状況把握・捜索	対象エリア内の面的な飛行
	点検	点検対象に沿った面的な飛行（港湾等）、線的な飛行（堤防等）
	物資輸送	配送元・配送先間の線的な飛行

実証試験では、各ユースケースに対し、複数の UASO による飛行計画が検討された。これらの飛行計画が滞りなく実現できるよう運航管理機能の改良を実施した。

具体的には、以下のような機能改良を行った。

- 線的な運航と面的な運航について、時間差や高度差を考慮したコンフリクト判定、衝突回避判定のパラメータを改良し、ミッションの継続性向上を図った。
- 飛行計画に対する割当て空域の形状（飛行経路に沿ったチューブ状、飛行エリアに対する円柱　等）を検討し、ドローン運航と空域管理の効率性向上を図った。
- ユースケースに対応した段階的な優先度設定に基づくプリフライト干渉、インフライト干渉の回避ルールを実装すると共に、ユーザ登録・管理機能を実装した。
- ユースケースに応じた、コンフリクト発生時の回避方法（ホバリング停止、離陸地点への帰

還、退避地点への退避）を検討した。

5.2.研究開発項目②運航管理機能の先行実証

(9).5.2.1. 西日本ユースケース検証（KDDI 株式会社）

(1) 研究開発の目標

西日本コンソーシアムの検証としては、過去に福島ロボットテストフィールドにて様々な目的を持ったドローンによる空域を区切った形での飛行検証は実施済であるが、本実証では、実環境における飛行の実証を目的とする。課題及び到達目標を図 2.2.1.14-11 に示す。実運用環境を想定して同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航可能であること(課題①)、複数のドローン飛行並びに飛行ルートの重複時の運航が可能であること(課題②)、広域における複数の機体を運航管理できること(課題③)、地域に対するドローン事業のビジネスの設定（課題④）の 4 点検証することを 2 か年の目的として実証を行う。

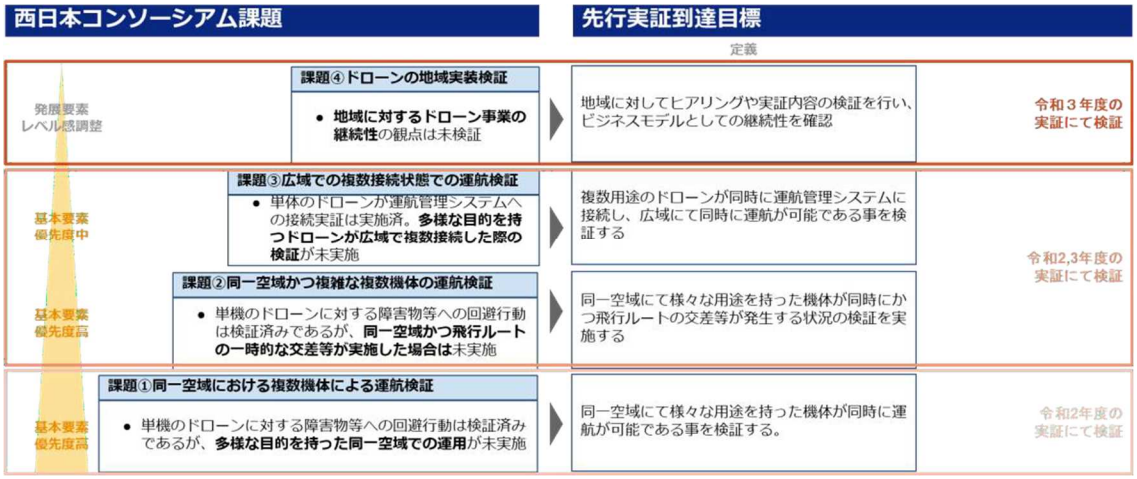


図 2.2.1.14-11 西日本コンソーシアムの課題及び到達目標

(2) 西日本コンソーシアムの体制

西日本コンソーシアムの体制は図 2.2.1.14-12 のとおり。

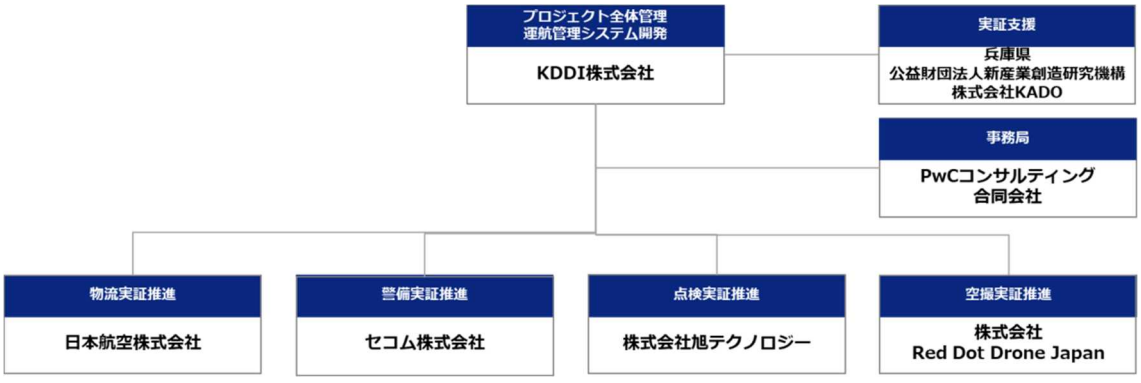


図 2.2.1.14-12 西日本コンソーシアム体制

- プロジェクト全体管理、運航管理システム開発 KDDI 株式会社
- 物流領域 日本航空株式会社
- 警備領域 セコム株式会社
- 点検領域 株式会社旭テクノロジー
- 空撮領域 株式会社RedDotDrone Japan
- 実証支援 株式会社KADO、兵庫県、公益財団法人新産業創造研究機構
- 事務局 PwC コンサルティング合同会社

5.2.1.1　2020 年度実証成果詳細

(1)　2020 年度実証

本項目では西日本コンソーシアムにて実施を行った　2020　年度の実証における実施概要並びに実施結果や実証後確認した課題について記載を行う。

(2)　実施目標

2020　年度においては課題①同一空域における複数機体による運航検証、課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証並びに課題③広域での複数接続状態での運航検証を実施目標と設定。

(3)　検証計画

実証においては「UTM　機能検証」と「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」の観点から実証を実施。左記 2 点から実証を行い、UTM の利用における問題点並びに課題の洗い出しを実施する。

① UTM 機能検証

UTM　機能検証では UTM　に具備されている機能の検証を実施する。UTM　に具備を想定している機能並びに本実証にて検証を行う機能の関係については表 2.2.1.14-7 のとおり。なお、アラート監視機能については別検証項目である「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」にて確認を実施。

表 2.2.1.14-7 UTM 機能及び検証対象

カテゴリ	機能の名称	概要	開発済機能	実証計画 (西日本コンソ)
登録および認証機能	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証	○	
	組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録	○	
	ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる	○	
	機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象	○	
	機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理	○	
計画および飛行承認機能	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む		
	運航計画干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る	○	
	飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理	○	
追跡および運航実施機能	運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知	○	
	衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避		
監視および検知機能	運航計画監視	注目範囲の運航の監視、異常検知	○	○
	動態監視	全機体や特定空域、運行内の機体監視を行う	○	○
	アラート監視	全アラートを監視、特定の機体のアラートを監視を行う	○	○
	空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視	○	○
緊急対応機能	緊急指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当する		
	他運航者調整	他運航者とのセパレーション閾値の設定や退避、危険性の通知等を行う		
	有人機調整	有人機とのセパレーション閾値の設定や退避、危険性の通知等を行う		
分析および報告機能	運航ログ分析	運航ログの蓄積および将来的な分析供与のための可視化		
	運航実施結果報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告		

本年度については主に無人航空機を対象とした動態管理並びにアラート監視を中心に検証を計画。

② 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証

同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証では物流並びに警備ドローンにて緊急時における輻輳を実施。警備事業者のドローンに物流事業者のドローンが接近することで　UTM　より接近時のアラートが発報されることを確認。アラートを受けて物流事業者は　UTM　にて高度の離隔が十分にある事を確認し、回避行動等を実施せず運航を継続。

検証項目	検証内容	検証方法
同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証	•実フィールド内にて異なる事業者のドローンを近接させる事で運航管理システムにからアラートが発報される。その際の運航対応等について検証を行う。	•物流ドローンが予定された飛行ルートに従って飛行を実施 •警備ドローンは物流ドローンと接近する位置にて警備業務を実施 •物流ドローンは運航管理システムから接近時のアラートを受領し警備ドローンを認知 •高度の離隔を確認し、運航を継続

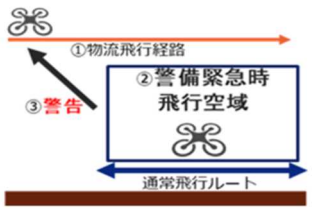


図 2.2.1.14-13 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証

(4) 実行計画

① 実行計画全体概要

「同一空域における複数機体での運航検証」を実現する為、兵庫県の播磨科学公園都市にて物流、警備、点検、空撮について各ユースケース同時に飛行を実施した。各領域におけるユースケース概要は以下のとおり。

播磨科学公園都市飛行ルート全体概要



ユースケース一覧

領域	ユースケース	離発着地点	飛行ルート
物流	遠隔服薬指導後の医薬品配送	・離陸 兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター芝生広場 ・着陸 光都プラザ	兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター芝生広場→光都プラザ
警備	町の巡回警備・不審者発見	・離着陸 県民局横企業庁敷地内	西播磨県民局周辺
点検	太陽光発電所における太陽光パネルの点検	・離着陸： 太陽光発電所周辺企業庁敷地	播磨科学公園都市太陽光第一発電所
空撮	サッカーにおける戦術支援等の空撮	・離着陸 ダイセル播磨光都 第1、2サッカー場	ダイセル播磨光都 第1、2サッカー場

図 2.2.1.14-14 実行計画全体概要
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

また本実証のシステム全体像は図 2.2.1.14-15 のとおり。UASSP の UTM へ直接接続を実施する事業者並びに KDDI 製の飛行制御システム（FOS）を介して接続する 2 種類の接続方式を用意。

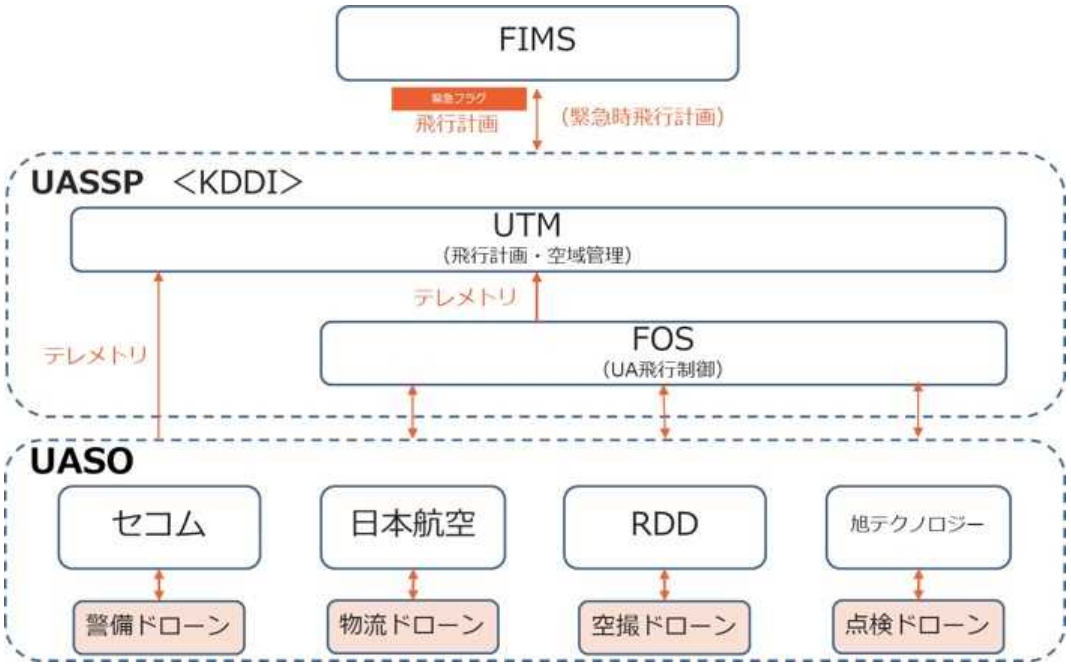


図 2.2.1.14-15 本実証のシステム全体像

② 各領域実行計画

各領域における試験の概要は以下のとおり。

- 物流領域

将来的なドローンの実運用環境を想定し、リハビリテーション西播磨病院から光都プラザまで自律飛行による医薬品、及び輸血用血液製剤医療品の輸送を想定し、地域の課題に沿ったドローン物流の事業構築を実施。また警備・点検等ユースケースと同一空域における複数機体による複雑な運航を実施することで、より社会実装に近い形式での UTM の機能検証を実施。

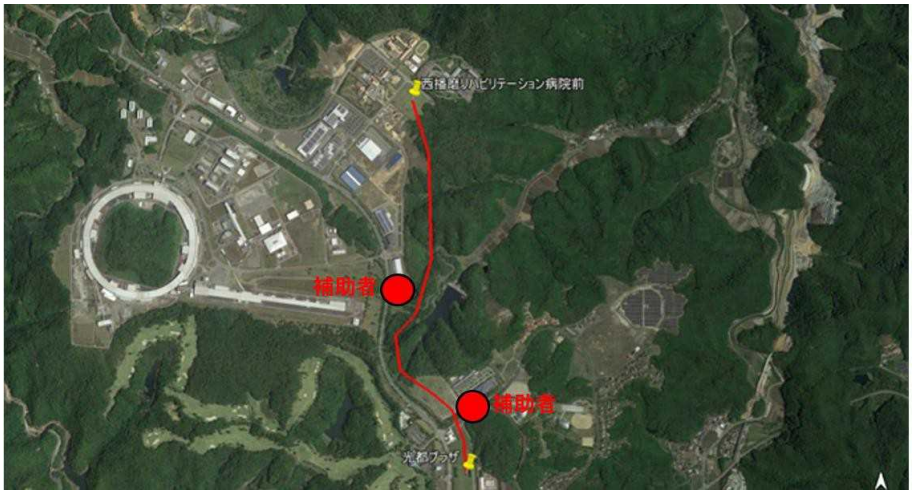


図 2.2.1.14-16 物流領域飛行ルート
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

- 警備領域

将来的なドローンの実運用環境を想定し、西播磨県民局建屋周囲の巡回警備飛行、及び飛行中に不審者発見→追従→帰還までの一連の警備シナリオを策定し、実証を実施。不審者を発見し追従することで、あらかじめ設定した巡回警備飛行経路から逸脱する際に、他のユースケース（物流）で飛行するドローンの経路と輻輳させ、衝突回避に必要となる機能検証を実施。

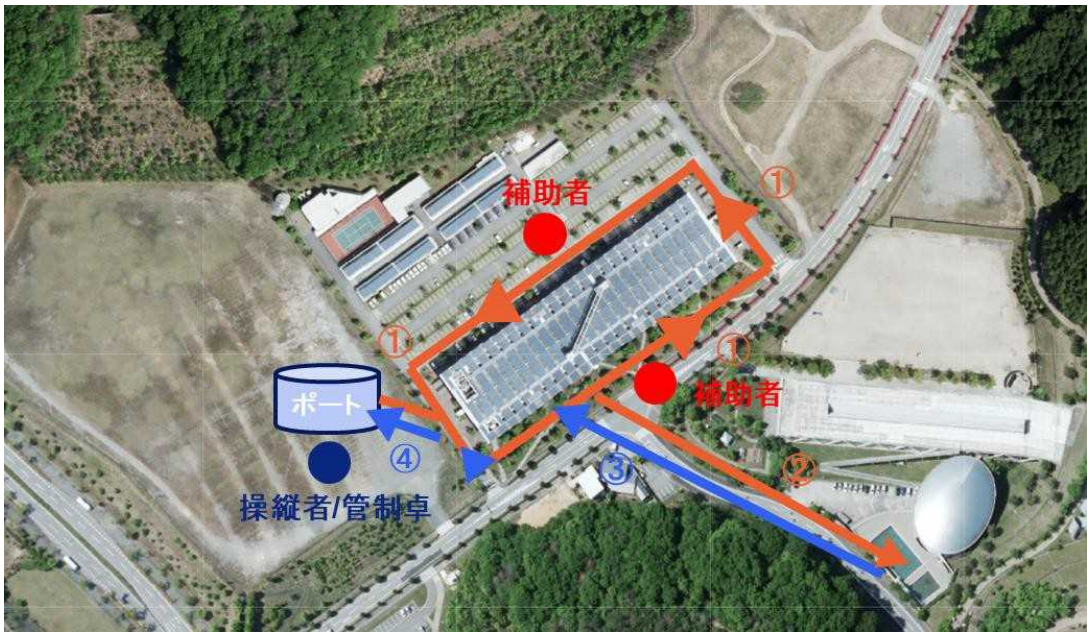


図 2.2.1.14-17 警備領域飛行ルート
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

- 点検領域

設定されたルートに沿って自動航行を行い、対象物である太陽光パネルの撮影を実施し、自動帰還するまでを実施。

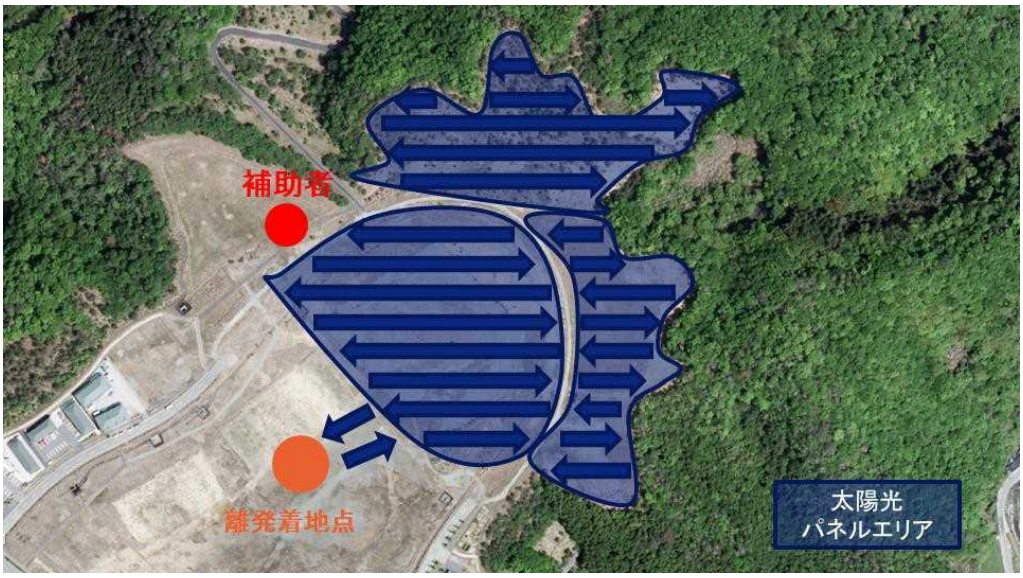


図 2.2.1.14-18 点検領域飛行ルート
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

- 空撮領域

播磨科学公園都市のダイセル播磨光都サッカー場にてサッカーチームの戦術解析用のプレイ映像取得を空撮にて実施。サッカー場周辺の高台から離陸し、サッカーコート横を経由しサッカー場内の飛行を実施。



図 2.2.1.14-19 空撮領域飛行ルート
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

- 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証

今年度の取り組みでは「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」として物流並びに警備ドローンにて以下の空域干渉検証を実施。実際の輻輳における飛行ルートについては以下図 2.2.1.14-20 のとおり。

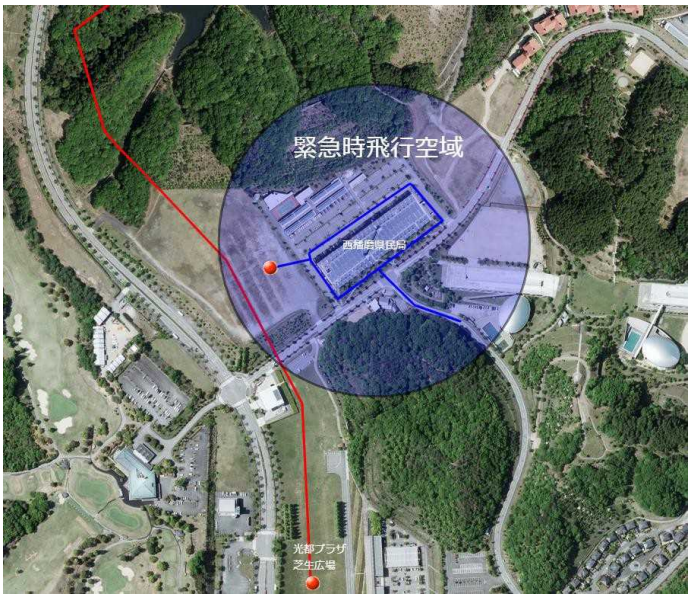


図 2.2.1.14-20 複数機体運航検証
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

③ 対外調整概要

本実証においては播磨科学公園都市利用にあたり関係各社との調整を実施。関係各所への繋ぎは兵庫県産業労働部、兵庫県企業庁、公益財団法人新産業創造研究機構のサポートを受け実施。

表 2.2.1.14-8 調整先並びに調整概要一覧

調整領域	調整先	調整事項
航空局申請	大阪航空局	飛行ルートや機体情報等の申請
共通項目	兵庫県企業庁播磨科学公園都市まちづくり事務所	実証計画、安全対策の説明、調整 地域イベント等有無の確認、調整 現地申請等の調整
	播磨高原広域事務組合	播磨科学公園における実証の周知並びにご理解
	たつの市企画課	
	佐用町企画防災課	
	上郡町企画政策課	
	相生警察署	
	たつの警察署	
	西播磨消防組合 たつの消防署光都分署	ドクターヘリ等の対応方針の調整
	周辺自治会長	チラシの郵便等による近隣住民、 企業への周知
	地域企業/住民	

道路管理	西播磨県民局光都土木事務所	道路上空の飛行許可、工事等の有無の確認
	たつの市役所建設課	
	上郡町建設課	
物流	兵庫県立リハビリテーション西播磨病院	実証計画、安全対策の説明、実証当日の運用に関する確認
警備	西播磨県民局総務企画室	
点検	兵庫県企業庁水道課	
	兵庫県企業庁姫路利水事務所	
空撮	西播磨サッカー協会（ダイセル播磨光都サッカー場）	

- 調整コスト試算結果

本実証においては播磨科学公園都市にて実証を行う上で必要とした関係各所との調整コストについて試算を実施。結果を調整コスト試算結果に示す。

- ヒアリングの結果、1 月～2 月の 2 カ月の間に発生した事前調整コストの概算は約 202 時間程度（ただし現地視察の時間は除く）。
- 調整コストの内約 85%が現地関係者との調整。ユースケース別では飛行ルートが広範囲に及ぶ警備、物流領域の工数が大きい。
- 播磨科学公園都市は県保有の敷地が大部分を占める現状で上記工数の為、レベル 3、 4 を前提とした別地域での実証では飛行申請、私有地の調整等含め大幅な工数増加が想定される。

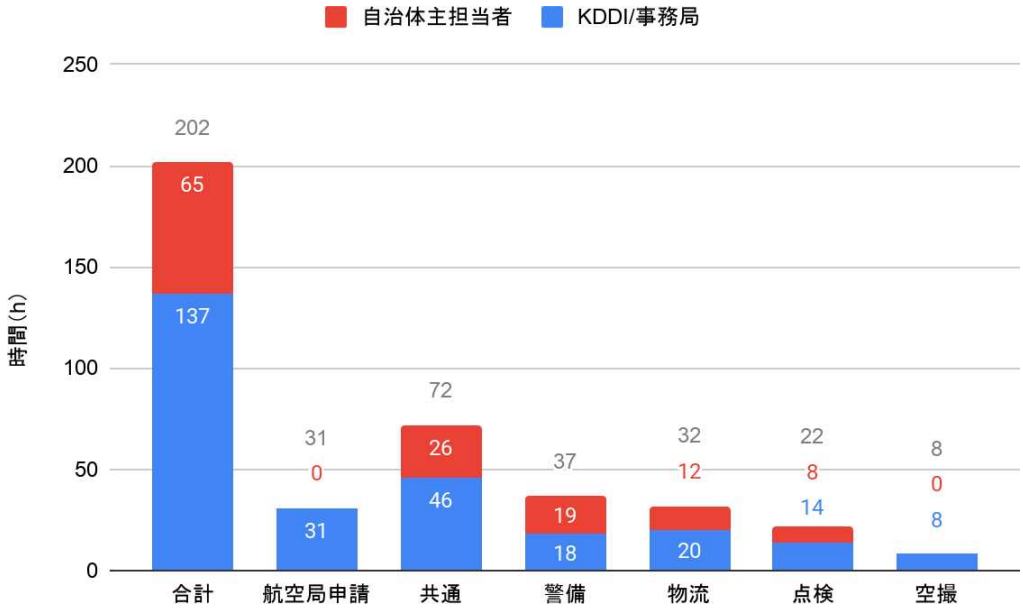


図 2.2.1.14-21 調整コスト試算結果

(5) 実証結果

① 実証結果全体概要

播磨科学公園都市内にて、物流・警備・点検・空撮の各領域で計 4 機ドローンの運航管理が可能であることを実証。また、兵庫県播磨科学公園都市（たつの市、上郡町）、三重県志摩市、宮城県仙台市の 3 エリアにて、複数機体を同時に飛行し、広域かつリアルタイムでのドローンの運航管理が可能であることを実証。



図 2.2.1.14-22 UTM 画面

② 各領域実証結果

- 物流

特定の 2 拠点間において自律飛行を行うドローンにより物資を輸送することが可能であることを実証。



図 2.2.1.14-23 物流領域の実証現場と FOS 画面

- 警備

特定の地域にて警備シナリオを策定し、そのシナリオに沿って自律飛行を行うドローンが警備飛行を遂行可能であることを実証。



図 2.2.1.14-24 警備領域の実証風景・点検

特定の施設における自律飛行と手動操縦を組み合わせた点検行為が遂行可能であることを実証。



図 2.2.1.14-25 点検領域の実証現場と FOS 画面・空撮

特定のスポーツ施設周辺にて飛行し、ドローンを活用し映像取得並びにその解析が可能であることを実証。



図 2.2.1.14-26 空撮領域の実証現場と FOS 画面

⑹ 実証評価

本実証にて設定を行った西日本コンソーシアムにおける目標並びに UTM 機能検証、同一空域における複数機体での運航検証について評価を行う。

① 西日本コンソーシアム目標評価

課題① 「同一空域における複数機体での運航検証」は、播磨科学公園都市内の同一空域にて複数機体での運航にて検証を実施し、目標を達成したと評価する。また課題③の「広域における複数接続状態での運航検証」についても、他先行実証コンソーシアムである三重県志摩市、宮城県仙台市を含む広域エリアにて同時に検証を実施し、目的を達成。

一方で、課題②「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」については、物流並びに警備の実証にて機体接近時のアラート検証を実施し、アラート発生による有用性を確認。ただし、次年度以降の課題としてより実運用に近い実証、例えば接近時の回避検証等、今後継続して検証が必要である。

また、課題④の「ドローンの地域実装検証」については、今回の実証では実証フィールドありきで検証を実施したため、次年度にて更なるビジネスモデルを考慮した検証が必要である。



図 2.2.1.14-27 西日本コンソーシアムの課題及び 2020 年度到達目標

② UTM 機能検証評価

UTM の機能検証として「運航計画監視」、「動態監視」、「空域監視」のそれぞれが実現可能であることを確認。

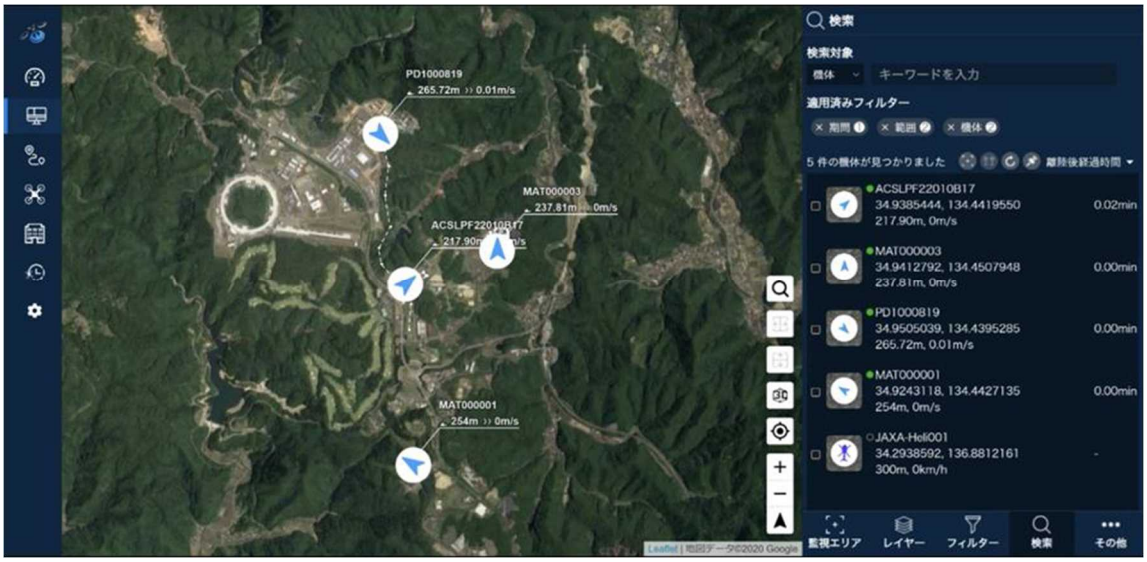


図 2.2.1.14-28 西日本コンソーシアムの UTM 画面

③ 同一空域かつ複雑複数機体の運航検証評価

物流及び警備のユースケースのドローンを実フィールドにおいて水平距離の接近を行った。接近時には UTM に搭載された近接アラートが発報されることを確認し、該当機能の有用性を確認した。



図 2.2.1.14-29 UTM 上の近接アラート表示

(7) 実証課題

2020 年度の実証を通じて確認された問題点並びに課題の整理を実施する。

① 課題全体概要

先行実証の実施において確認された各社からの問題点並びに問題点解決に必要な課題についての社会実装、技術開発、環境整備にて整理を実施。



図 2.2.1.14-30 先行実証課題の全体像

② 課題詳細

上記課題の全体像にて整理した問題点並びに課題についての詳細を記載する。

表 2.2.1.14-9 先行実証課題詳細

領域	問題点	詳細	解決に向けた課題
社会実装	第三者上空の目視外自動飛行が現状の法制度では実施が不可の為、ビジネスモデルの成立が難しい。	物流等の領域はビジネスモデルが成立するには第三者上空や周辺道路上空の飛行が必要。この場合、補助者設置等の安全対策が必要になり人件費が増加し、ビジネスモデル成立が難しい。	【完全自動飛行移行に向けたステップの検討】 需要が見込まれる有人地帯周辺でのマニュアル対応者や、補助者なしの完全自動飛行移行に向けたステップの検討が必要。
	UTM/LTE 利用時の費用によってビジネスモデルの成立が難しい。	UTM やLTE の利用には機器取り付けまたはシステム対応が必要。その為、機体購入費用やシステム費用が増加し、ビジネスモデルの成立が難しくなる。一部事業者からは月数万円でないと難しいと意見あり。	【UTM/LTE 利用時のコスト・契約形態の検討】 天候影響等によるドローン稼働率やビジネスモデルにあった UTM、LTE 利用に関する費用の設定、並びにライトな契約形態の検討が必要（月額サブスクリプション型等）。
技術開発	UTM を利用するための環境が整備されておらず導入が進まない。	現状 UTM を利用する際に特定の FOS の利用またはシステム対応が行われた機体以外利用できない。また小型機体も利用できず、用途にあった機体を選択できない。	【UTM への接続方式の多様化】 UTM 接続だけを可能とするモジュールの提供等の接続形態多様化の検討や、サードパーティーアプリが接続可能となる連携方法、開発環境の準備が必要。
			【UTM/LTE 対応機体の多様化】 大型の機体だけでなく、小型機体等も含

			めて利用可能な機体の多様化の検討が必要。
	UTM から連携される情報が古く、ドロー ンの運航に際して問題ある。	UTM 等にて表示される地図が古く、正しい情報を利用しミッションが実施できない（先行実証では太陽光発電所が非表示）。	【UTM の地図情報等の更新頻度の向上】 UTM の地図情報など利用する情報の更新頻度の見直しが必要。
	アラート監視機能の文言や、アラートの定義が安全対策上十分なのか判断できない。	UTM に表示されるアラート監視機能について表示される文言の定義や、表示方法についての定義が明確でない。また、アラートが発生する際の定義が安全対策上現時点の仕様で十分なのか判断できない。	【アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討】 UTM に表示される文言（高度、接近）、色の定義や発生する接近時のアラートの定義や、表示方法 （Horizontal、 Vertical の距離差 xxm 以内、xx 秒以内に衝突など）の整理が必要。また、アラート時の実際の回避方法（システム、運航管理 からの指示）の整理が必要。
	動態監視機能の高度の表記がわかりにくく、離隔距離が十分かわからない。	動態監視機能では平面により接近具合は十分に把握可能。ただし高度が 3D で表 示されず数字でのみの確認である為、機体間の離隔距離が十分に設定されているのか確認が難しい。	【UTM の高度表示方法の検討】 2D 画面の表記では離隔距離が把握できるが、高度は数字から読み取る必要がある。また上昇中、下降中、高度維持のそれぞれ機体がどのような状態にあるのか色分けできると視認しやすく、高度の表示方法は整理が必要。
	UTM の運用体制と責任範囲が不明確で UASSP、UASO が運用方針を明確にできない。	UTM の運用体制並びに責任範囲が明確でなく、有事や緊急時等において UASSP、UASO の指揮関係が不明確である為、効率的な運航管理業務が難しい。	【UASSP、UASO の責任範囲明確化】 運航時、有事発生時点等のフェーズ毎に UASSP とUASO の責任範囲の明確化が必要。
	UTM から UASO に向けて連携が必要な情報並びにタイミングが整理されていない。	アラート監視機能の警告は FOS 側にはシステム的に通知されておらず、FOS 側では検知ができなかった。 UASO 側へどのように連携するのか決まっていない。	【UASO への連携情報の整理】 UASO の運用に必要な情報の種類（高度、距離、動態情報、回避指示等、飛行映像）を整理の上、どのような方法で連携するか（口頭、システム連携）の検討が必要。
	運航方針の整備が未完了である為、運航業務に支障をきたす可能性がある。	先行実証にて UTM により広域での動態管理は確認済み。具体的な管理範囲や緊急時の対応についての運用指針が明確でないため、機体数が増えた場合やドローン接近時等の状況によっては運航業務に支障をきたす可能性がある。	【管理空域の明確化】 どのような単位で空域を管理していくか、自治体等（市町等）基準や機体数等基準といった管理エリアの整理が必要。
			【コミュニケーション方法並びに運用指針の設定】 UASO、UASSP とのコミュニケーションの取り方、指揮命令系統、運航時の介入の有無、運用指針の整理が必要。
			【運航時の優先度設定】 ドローン同士の接近時に、ミッション等に応じた優先度の整理が必要。
	UTM で管理されない飛翔体との衝突リスクがある。	UTM で管理されていない飛翔体（凧、鷹匠等）との衝突リスクがあり、衝突が発生した場合、	【飛翔体への対応策検討】 UTM で管理できない飛翔体（凧等）について各責任主体が取るべき行動指針（回避手段、優

		ドローンが墜落し周囲に被害をもたらす可能性がある。	先度等）が必要。
	UTM －ドローン間接続が通信障害で切断した場合、運航管理ができない。	GCS 経由にてUTM と通信していたドローンが通信障害によってUTM 上に表示されない事例が発生した。その際にドローンの状況が把握できず運航管理が行えない。	【UTM 切断時の対応策検討】 UTM にて運航を行っていた機体が何らかの事由で管理ができなくなった場合、周囲にジオフェンスを設定する等の運航上の指針が必要。
環境整備	道路横断時に補助者を設置する必要があり、実運用時には非現実的。	現状歩行者や乗用車等の往来がある道路（国道、県道、市道等）においては第三者上空に当たる為、補助者設置の上での運航が必要。飛行ルートによっては大量の補助者が必要となり、運用面、コスト面からドローンの運航が難しくなる。	【道路横断時の安全対策明確化】 車、人等の往来時の第三者目視外における道路横断の方法並びに安全対策の明確化が必要。
	急なルート変更や事前にルートを明示できない場合に対応できない。	飛行申請時には特定の飛行ルートを申請する必要がある。運航直前に安全対策上やむを得ず飛行ルートの修正が必要な場合や、事業の特性上飛行範囲は提示できるがルートの明示をできない場合に現時点の飛行申請では対応できない。	【安全対策による飛行ルートの直前修正】 飛行直前の段階で安全対策上の理由によりルート変更が必要になった場合、航空局への申請内容と異なるとルート変更が出来ず、危険可能性を認識したまま飛行することになる為、直前の飛行ルートの変更方法等の検討が必要。
			【範囲による飛行ルートの設定】 空撮や警備の場合、事業特性上、事前に明確なルート設定は困難。ジオフェンスを設定し、エリアへの機体侵入を制限するまたエリアを離脱した場合には UTM にてアラートが出るなどの方法で範囲による飛行ルートを設定する方法が必要。
	飛行ルートの周辺関係者へ許可を得る範囲、対象、方法が明確でない為、調整コスト等が高く、調整漏れのリスクが存在。	飛行ルート確定後の自治体等の調整先は現行法制上設定されていない。調整先、調整方法等が整備されておらず、土地所有者や施設責任者が確認できず兵庫県担当者を通じ調整を実施。その上で実証内容の説明を実施。その為、工数の負担も大きく場合によっては調整漏れの可能性がある。	【関係者調整の法的位置づけの明確化】 飛行実施時に飛行周辺の関係者（自治体、商業施設、道路、第三者所有地）への運航許可並びに周知は法的義務なのか努力義務なのか不要なのかについて明確化が必要。
			【関係者調整方法の明確化、効率化】 周辺関係者等の調整先、土地所有者の確認方法並びに調整範囲が明確化されていない為、高い工数が必要または調整漏れが発生する可能性がある。航空法に基づく許可・承認申請のみならず、航空法以外の法令に紐づく申請をシステム化し、行政をはじめとする関係者との調整の効率化が期待される。将来的なシステム化の実現に向け、関係者の調整方法について明確化が必要。

5.2.1.2　2021 年度実証成果詳細

(1) 実施目標

2021 年度においては課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証並びに④ドローンの地域実装検証を実施目標と設定。

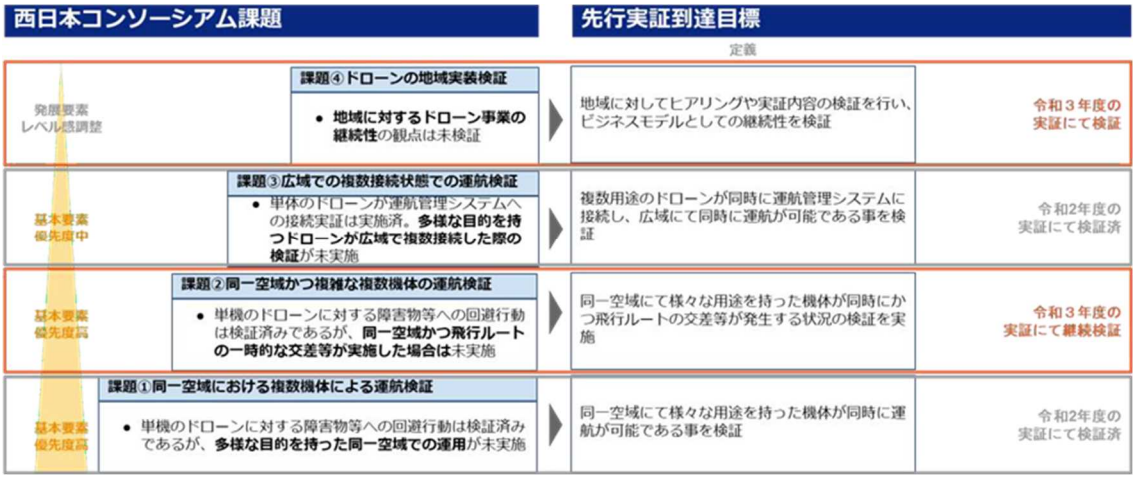


図 2.2.1.14-31 西日本コンソーシアムの課題及び目標

(2) 検証計画

実証においては「UTM 機能検証」、「UTM 運用検証」と「地域実証検証」の観点から実証を実施。これら 3 点から実証を行い、UTM の利用における問題点並びに課題の洗い出しを実施した。

① 検証方針

前述の 3 点の検証観点に対し、2020 年度実証から見えた課題を整理し、図 2.2.1.14-32 のとおり検証対象を設定し、実証を実施した。

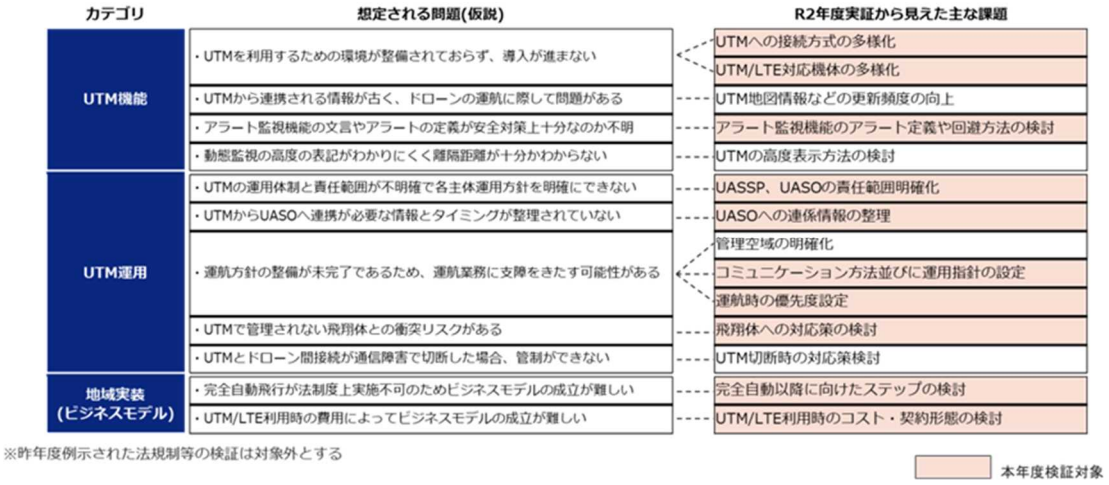


図 2.2.1.14-32 2021 年度実証における検証対象

② UTM 機能検証

UTM 機能における本年度の課題 3 つに対して、以下の 4 つの検証項目により検証を実施。

表 2.2.1.14-10 UTM 機能検証項目

先行実証から見えた課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
UTMへの接続方式の多様化	他社飛行制御システムとの接続	UTMに対してRDD社の飛行制御システムとの接続を実施。UTM接続方式の多様化を検証。上記を通じて、他社システムがUTMに接続する際の懸念事項等の洗い出しを実施。	RDD社飛行制御システムとUTMを接続。UTMにて機体運航状況の把握や接近アラート等の連携を確認。	空撮
UTM/LTE対応機体の多様化	小型機体による実証	実証にてLTEモジュール搭載不可の小型機体2機を利用して検証を実施。小型機体利用時の懸念点等洗い出しを実施。	実証にてLTE搭載不可のDJI Mavic 2 Zoom2機を利用してミッションを実施。	空撮
アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討	アラート機能検証	UTM機能である逸脱、接近アラート機能の内容並びに有効性について検証を実施。	実証内にて各事業者のドローンを実際に接近/輻輳させ、逸脱接近アラートを発報させる。	警備 点検 空撮
	接近回避検証	複数事業者のドローンを接近させ複数の回避行動を実施する事で、それぞれの回避行動についてメリット、デメリットを確認。	警備、点検ドローン接近時にアラートからの情報を基に、緊急着陸、上昇回避、ホバリング等による回避行動を実施し、その比較を行う。	警備 点検

- 他社飛行制御システムとの接続

1 つ目の検証項目である他社飛行制御システムとの接続の全体像は図 2.2.1.14-33 のとおり。空撮領域では他社飛行制御システムとの接続を実施した。



図 2.2.1.14-33 他社飛行制御システムとの接続

- 小型機体による実証

2 つ目の検証項目である小型機体による実証の全体像は図 2.2.1.14-34 のとおり。ここで、小型機体とは、LTE モジュールの追加搭載等が難しくバッテリー容量に余裕のない機体としている。空撮領域においては、バッテリー容量が小さい機体での継続的オペレーションの実現方法として、2 機の小型機体を用いた同時運航・複数飛行を実施した。

検証項目	検証内容	検証方法
2機交代運航	• 2機体交代での運用確認の実施	• 1機体が撮影を実施 • 1機体がバッテリー残が少なくなる事を確認 • 別の機体を交代に備えて準備 • 先に飛行していた機体が着陸後準備を行った機体は離陸 • 2機体が同時に飛行することはない
2機同時連続運航	• 2機体同時利用にて途切れなく空撮を実施する際の手順確認 • UTM上での2機体同時運航の検証	• 1機体が撮影を実施 • 1機体がバッテリー残が少なくなる事を確認 • 別の1機を飛行させて事前に飛行させていた機体と交代 • 先に飛行していた1機は退避を実施 • 交代時、一時的に2機が同時に飛行し空中で交代する

図 2.2.1.14-34 小型機体による実証

- アラート機能検証

3 つ目の検証項目であるアラート検証の全体像は図 2.2.1.14-35 のとおり。逸脱アラート及び近接アラートの 2 種のアラート機能検証を実施した。

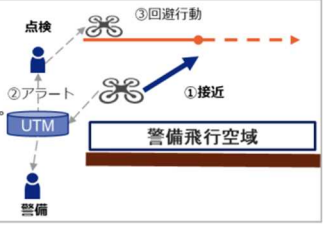
検証項目	検証内容	検証方法
逸脱アラート	• ドローンが計画されている運航範囲を逸脱した際にUTMよりアラートを発報する逸脱アラートについて検証を行う	• 警備または点検事業者が何らかの理由により予定していた飛行空域を逸脱 • 機体の逸脱をUTMが検知し、逸脱を行っている事業者側に通知を行う 
接近アラート	• 機体接近時にUTMより発報される接近アラートの機能並びに回避の判断の有用性について検証を行う	• 経路を逸脱したドローンが他事業者のドローンに接近 • UTMから両社に対して接近のアラートが連携。 • 接近アラートから相手機体の位置等を確認し優先度の低い事業者は回避行動を実施 

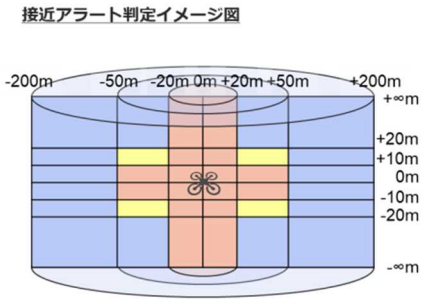
図 2.2.1.14-35 アラート検証

ここで、逸脱アラートとは、飛行計画申請した空域から逸脱した場合に、逸脱した機体(の操縦士)向けに発報されるアラートである。概略図を図 2.2.1.14-36 に示す。



図 2.2.1.14-36 逸脱アラート

また、近接アラートとは、飛行中の 2 機体が接近した場合に双方に通知されるアラートである。接近距離の閾値及びアラートに含まれる情報の概略図を図 2.2.1.14-37 に示す。



接近アラート判定式
- 飛行空域の干渉チェックが飛行申請時点で実施されている前提
- 接近する可能性については、事前に各事業者が把握可能
- 接近可能性判断後のアラートであるため、近傍を閾値として設定

		水平距離D[m]			
		D≦20	20＜D≦50	50＜D≦200	200＜D
高度差[m]	H≦10	CRITICAL	CRITICAL	INFO	-
	10＜H≦20	CRITICAL	WARNING	INFO	-
	20＜H	CRITICAL	INFO	INFO	-

接近アラート情報/通知頻度

含まれる情報	内容	通知頻度
自社/相手機体の現在位置の緯度	接近アラート通知時点の左記情報	各機体からUTMへテレメトリ送信が行われるたびに条件判定・双方に通知。
自社/相手機体の現在位置の経度		
自社/相手機体の現在位置のGPS高度		
自社/相手機体の移動方向の度数		
自社/相手機体速度		

図 2.2.1.14-37 近接アラート

● 接近回避検証

4 つ目の検証項目である接近回避検証では、警備・点検領域の実証において 2 機体を接近させ、複数パターンの回避方法を行うことで検証を実施した。概要を図 2.2.1.14-38 に示す。

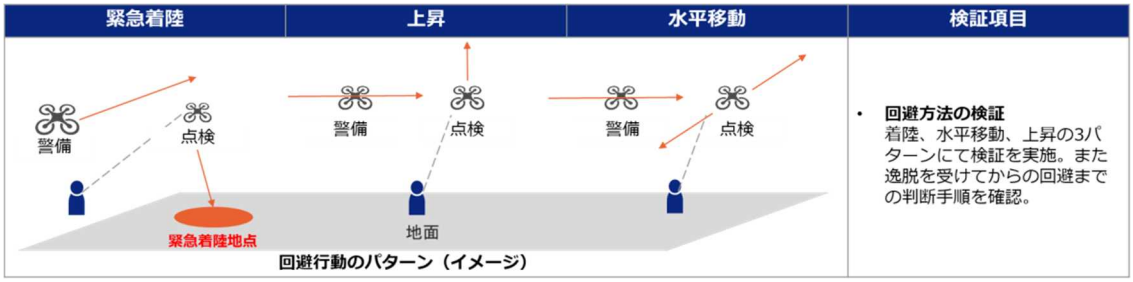


図 2.2.1.14-38 接近回避検証

③ UTM 運用検証

UTM 運用検証について以下 4 つの課題に対して検証項目を設定し検証した。

表 2.2.1.14-11 UTM 運用検証項目

先行実証課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
コミュニケーション方法並びに運用指針の設定	統合運航方法の検証	遠隔地にてUTM画面を確認し、統合運航の管理方法を検討	UTMとFOSにて取得可能な情報整理の上、遠隔地にてUTMによる動態監視を実施。飛行に係る機体、操縦者、経路、時間、天候など、事前計画・リアルタイム監視等の管理方法を検討	物流
UASOへの連携情報整理	運航体制の比較検証	複数運航体制による比較検証を実施。運航管理者の必要性と業務内容について検証	運航体制について操縦士単体での飛行と操縦士・運航管理者それぞれの方法にて運航を行い、飛行を実施。	物流
運航時の優先度設定	優先度設定検証	同一空域にて複数事業者飛行時の優先度設定の有用性並びに方針について確認	警備事業者と点検事業者はUTMを通じて互いの飛行領域の接近を検知。事前に各事業者間にて優先度を設定した上で、シナリオを作成し、優先度に沿った運用（回避行動等）を実施	警備 点検
飛翔体への対応策の検討	緊急時の対応検討	緊急時に代替地への着陸あるいは引き返しといった手順の確立や緊急停止実施時の制動距離の確認	実証時、イレギュラー事項を想定。出発地点への引き返しあるいは代替着陸地点への着陸を実際に実施。またポイントを定め「一時停止」操作を行い、制動距離、制動時間を確認	物流

● 統合運航方法の検証

1 つ目の検証項目である統合運航方法の検証の概要は図 2.2.1.14-39 のとおり。運航体制として運航管理者と操縦士の 2 人体制での運航を想定し、運航管理に必要となる情報の取得元及び取得方法について整理した。



図 2.2.1.14-39 統合運航方法の検証

運航管理に必要な情報について内的要因又は外的要因に分類の上、洗い出しを実施。運航に際し、必要な情報を表 2.2.1.14-12 の検証のとおり整理した。

表 2.2.1.14-12 運航管理に必要な情報

大項目	中項目	小項目	計画段階	飛行中	運航管理者的優先度	航空管制官的優先度	実証時UTM情報提供可否	実証時FOS提供可否	情報提供元外部システム	想定情報取得元	取得可否	取得想定	実証時取得元
内的要因	フライトプラン	飛行目的	○		高	中	不可	不可	FOS	FOS	否	FOS上から各機体のフライト目的が見れる事	不要（シナリオにて事前設定）
		使用機種	○		高	高	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		予定航路	○		高	高	可 FOS自機のみ	可 KDDI FOSのみ連携 自機のみ	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		予定飛行時間	○		高	中	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		許可・承認状況	○	○	高	高	可 FOS自機のみ	可 KDDI FOSのみ連携 自機のみ	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
	機体・システム	整備・点検状況	○	○	高	低	不可	不可	FOS		否	システムか運用にて直前の整備結果が確認かである事	運用者
		運用限界	○	○	中	低	不可	不可	FOS		否	高度・電圧・速度・飛行時間等限界を超過する場合システムにてアラートや制御が可能である事	運用者
		飛行可能時間	○	○	高	中	不可	不可	FOS				運用者
		位置・高度・速度		○	高	高	可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		バッテリー残量（電圧）		○	高	低	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		GPSステータス		○	高	高	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		コンパス状況		○	高	高	不可	要確認	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		LTE電界強度		○	高	高	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
		モーター負荷		○	低	低	不可	可	FOS		可	ＦＯＳ	FOS
	貨物	積載重量	○		高	低	不可	不可	FOS		否	別システムにて管理想定	運用にて事前確認
		危険物	○		高	低	不可	不可	FOS				運用にて事前確認
		積載状況		○	低	低	不可	不可	FOS				運用にて事前確認
	操縦士	必要資格	○		高	低	不可	不可	FOS		否	要確認	不要（事前に満たした人が実施を想定）
		飛行時間	○	○	高	低	不可	不可	FOS				
		疲労管理	○	○	低	低	不可	不可	FOS				

同様に、運航管理に必要な外的要因情報を表 2.2.1.14-13 のとおり整理した。

表 2.2.1.14-13 運航管理に必要な外的要因情報

大項目	中項目	小項目	計画段階	飛行中	運航管理者的優先度	航空管制官的優先度	実証時UTM情報提供可否	実証時FOS提供可否	情報提供元外部システム	想定想定取得元	取得可否	取得想定	実証時取得元
外的要因	気象	風向風速	○	○	高	高	不可	可	WNI	UTM	可	UTMで取得想定	FOS
		雨（エコー）	○	○	高	高	不可	可	WNI		可	UTMで取得想定	FOS
		雷	○	○	高	高	不可	可	WNI		可	UTMで取得想定	FOS
		乱気流	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否	視野等の安全運航の観点から見渡し距離や雲の高さをUTMから取得を想定	当日運用確認
		視程	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否		当日運用確認
		雲底	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否		当日運用確認
		着氷	○	○	低	低	不可	不可	WNI		否		当日運用確認
	制限空域	空港周辺	○	○	高	高	可	可	JCAB		可	-	UTM
		人口集中地区	○	○	高	高	可	可	JCAB		可	-	UTM
		対地150m	○	○	高	高	不可	不可	JCAB		可	UTMで取得想定	FOS
		小型無人機禁止法適用空域	○	○	高	高	不可	不可	JCAB		可	UTMで取得想定	FOS
	障害物	物件	○	○	高	高	不可	不可	ZENRIN		否	ノータムと同様にアドバルーン・クレーン・電線等の情報をUTMから確認	当日運用確認
		地形(DSM/DEM)	○	○	高	高	不可	可	GSI		可	UTMで取得想定	FOS
	他航空機	無人航空機	○	○	高	高	不可	可 UTM接近アラート発生時のみ	DSS		可	UTMで取得想定	FOS 接近アラート発生時のみ
		有人航空機	○	○	高	高	不可	可 UTM接近アラート発生時のみ	Foster-GA		可	UTMで取得想定	Foster
		（警告・注意の危険度に応じたアラート）		○	高	高	可	可	N/A		可	UTMで取得想定	UTM
	第三者	離着陸場周辺	○	○	高	低	不可	不可	N/A		否	ドローンポート等にて取得	補助者・補助者統括
		経路周辺	○	○	高	低	不可	不可	N/A		否	別途検討が必要	補助者・補助者統括
	ポート	受け入れ状況	○	○	中	低	不可	可	N/A		可	UTMで取得想定	不要（ポートなし）
		健全性	○	○	中	低	不可	可	N/A		可	UTMで取得想定	不要（ポートなし）

また、実際に実証を行い、現時点で運航に際して必要な情報等の洗い出しを実施した。

- 運航体制の比較検証

2 つ目の検証項目である運航体制の比較検証では、操縦士のみ、運航管理者と操縦士（運航管理者は情報提供のみ）、運航管理者と操縦士（運航管理者が情報提示指示まで実施）、という 3 つの体制を想定し整理した。実証においては、運航管理者と操縦士（運航管理者は情報提供のみ）のパターンで検証を行った。概要を図 2.2.1.14-40 に示す。

● **運航体制の前提**
想定する運航管理者と操縦士の全体としての役割は以下の通り

管制役割	概要	概念モデル
-	実証スコープ 操縦士単体で運航判断並びに操縦を実施	①運航判断・操作 操縦士
情報提供	操縦士は内的要因(フライトプラン、機体情報)に関する情報提供。それを受け、運航管理者は外的要因の情報を連携。操縦士にて運航判断・操作	①内的要因情報提供 ②外的要因情報提供 運航管理者 操縦士 ③運航判断・操作
情報提供指示	操縦士は内的要因情報・運航管理者は外的要因情報を提示し合う。操縦士は情報に基づき要求を行い、管理者は承認・指示を行い、操縦士が操作	①内的要因情報の提示 ②外的要因情報の提示 ③運航要求 ⑤承認・指示 ④運航判断 操縦士 ⑥操作

● **情報の役割分担**
運航管理者が発生する場合、連携情報の役割分担は以下
- 内的要因：フライトプラン、機体・システム、貨物、操縦士
- 外的要因：気象、制限区域、障害物、他航空機、第三者、ポート

		要因	
		外的要因	内的要因
段階	計画段階	運航管理者情報提供	操縦士提供
	飛行中	運航管理者情報提供	操縦士提供

図 2.2.1.14-40 運航体制の比較

運航管理者と操縦士について、プリフライトにおいてやり取りが発生する部分を整理し、実証を行った。やりとりのうち、本実証のスコープを図 2.2.1.14-41 に示す。

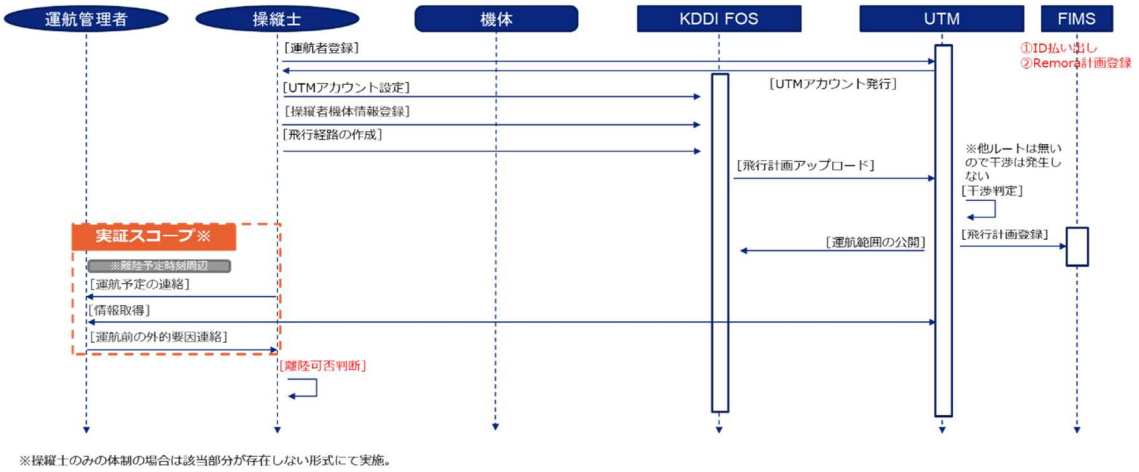
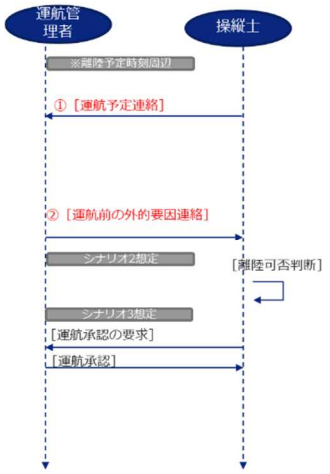


図 2.2.1.14-41 運航管理者と操縦士のやり取り（プリフライト）

図 2.2.1.14-41 に示したプリフライトのやり取りの中で、連絡必須である項目について図 2.2.1.14-42 のとおり整理した。

● **プリフライトシーケンス図**



● **情報連携項目**

大項目	中項目	小項目	連絡必須項目 ①	連絡必須項目 ②	想定取得元	実証時取得元
内的要因 操縦士から運航管理者	フライトプラン	飛行目的	△	-	FOS	不要（シナリオ事前設定）
		使用機種	△	-	FOS	FOS
		予定航路	○	-	FOS	FOS
		予定飛行時間	○	-	FOS	FOS
	機体・システム	許可・承認状況	-	-	FOS	FOS
		整備・点検状況	-	-	FOS	運用者（PD）
		運用限界	-	-	FOS	運用者（PD）
		飛行可能時間	-	-	FOS	運用者（PD）
	貨物	積載重量	-	-	FOS	当日運用確認
		危険物	-	-	FOS	当日運用確認
	操縦士	操縦士名	○	-	FOS	要確認
		必要資格	-	-	FOS	不要
		飛行時間	-	-	FOS	不要
		疲労管理	-	-	FOS	不要
外的要因 運航管理者から操縦士	気象	風向風速	-	○	UTM	FOS
		雨（エコー）	-	○	UTM	FOS
		雷	-	-	UTM	FOS
		乱気流	-	-	UTM	当日運用確認
		視程	-	○	UTM	当日運用確認
		雲底	-	-	UTM	当日運用確認
		着氷	-	-	UTM	当日運用確認
	制限空域	空港周辺	-	-	UTM	UTM
		人口集中地区	-	-	UTM	UTM
		対地150m	-	-	UTM	FOS
		小型無人機禁止法適用空域	-	-	UTM	不要
	障害物	物件	-	-	UTM	当日運用確認
		地形(DSM/DEM)	-	-	UTM	FOS
	他航空機	無人航空機	-	○	UTM	FOS
		有人航空機	-	○	UTM	Foster
	第三者	離着陸場周辺	-	○	UTM	補助者統括
		経路周辺	-	-	UTM	補助者統括
	ポート	受け入れ状況	-	○	UTM	不要
		健全性	-	-	UTM	不要

● **メッセージ例**

図 2.2.1.14-42 情報連携項目（プリフライト）

整理した連絡項目にて、具体的な連絡内容並びにメッセージ例を表 2.2.1.14-14 のとおり整理した。

表 2.2.1.14-14 具体的な連絡内容（プリフライト）

No.	From	To	連絡必須項目	連携内容	場面	メッセージ例
①	操縦士 （参照元） FOS	運航管理者	飛行目的	物流	運航予定連絡	物流ドローン、メディセオから医療センターへ8分の飛行を予定しています。
			使用機種	便名もしくは機体固有番号		
			予定航路	離陸地点から着陸地点の予定航路		
			予定飛行時間	凡その飛行時間		
			操縦士名	対面なら省略 遠隔であれば最初に連絡、その後変更なければ省略 便名等で識別が出来れば個人名は不要		
②	運航管理者 （参照元） UTM Foster ポート	操縦士	風向風速	風の方角、風速。	運航前外的要因連絡	飛行ルート周辺（方角）の風〇〇m、周辺に雨雲エコーなし。 他航空機の機影無し。 ポート受け入れ支障なし。
			雨	エコーあれば離着陸地点の人間と確認。		
			視程	基準値以下時連絡（5km以下など）		
			有人航空機	まとめて有無を連携		
			無人航空機			
			第三者離着陸場	まとめて有事等の有無を連携		
			ポート受け入れ			

また、運航管理者と操縦士について、インフライトにおいてやり取りが発生する部分を整理し、実証を行った。やりとりのうち、本実証のスコープを図 2.2.1.14-43 に示す。

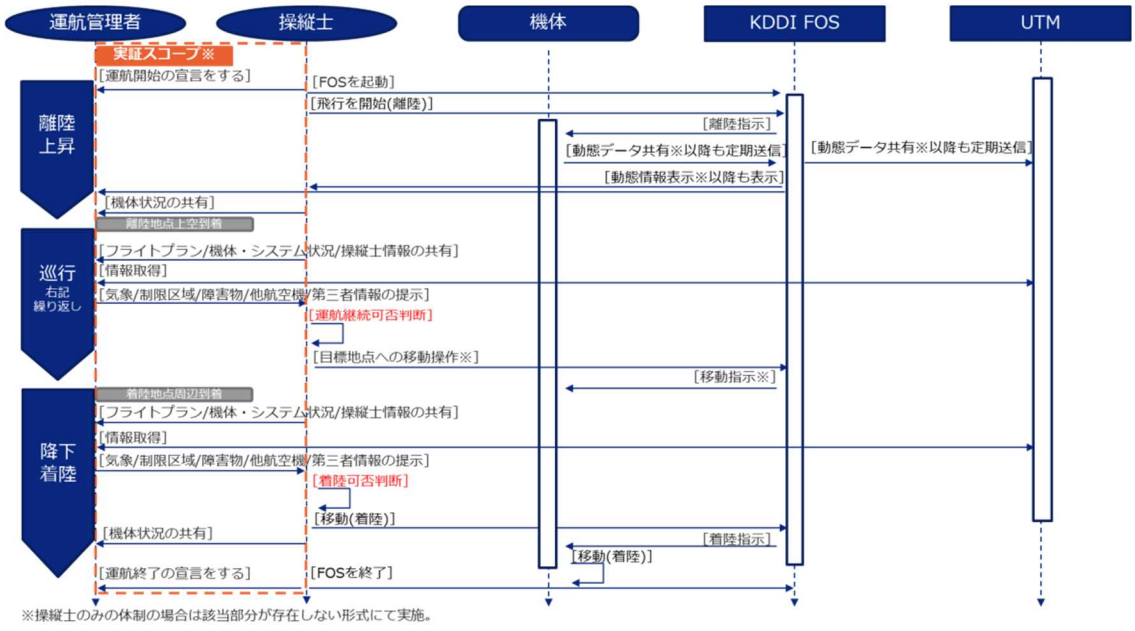
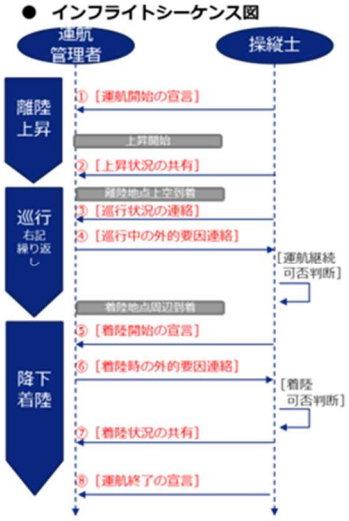


図 2.2.1.14-43 運航管理者と操縦士のやり取り（インフライト）

図に示したインフライトのやり取りの中で、連絡必須である項目について図 2.2.1.14-44 のとおり整理した。

● インフライトシーケンス図



● 情報連携項目

大項目	中項目	小項目	連絡必須項目 ①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	想定取得元	実証時取得元
内的要因 操縦士から運航管理者	フライトプラン	許可・承認状況	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	FOS
	機体・システム	整備・点検状況	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	運用者（PD）
		運用限界	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	運用者（PD）
		飛行可能時間	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	運用者（PD）
		位置・高度・速度	-	○	○	-	○	-	○	-	FOS	FOS
		バッテリー残量（電圧）	○	-	○	-	○	-	○	-	FOS	FOS
		GPSステータス	○	-	○	-	○	-	-	-	FOS	FOS
		LTE電界強度	△	-	-	-	-	-	-	-	FOS	FOS
		コンパス状況	△	-	-	-	-		-	-	FOS	要確認
		モーター負荷	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	FOS
	貨物	積載状況	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	当日運用確認
	操縦士	飛行時間	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	不要
		疲労管理	-	-	-	-	-	-	-	-	FOS	不要
外的要因 運航管理者から操縦士	気象	風向風速	-	-	-	○	-	△	-	-	UTM	FOS
		雨（エコー）	-	-	-	○	-	△	-	-	UTM	FOS
		雷	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	FOS
		乱気流	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	当日運用確認
		視程	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	当日運用確認
		雲底	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	当日運用確認
		着氷	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	当日運用確認
	制限空域	空港周辺	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	UTM
		人口集中地区	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	UTM
		対地150m	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	不要
		小型無人機禁止法適用空域	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	不要
	障害物	物件	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	当日運用確認
		地形(DSM/DEM)	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	FOS
	他航空機	無人航空機	-	-	-	○	-	-	-	-	UTM	FOS
		有人航空機	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	FOS
	第三者	離着陸場周辺	-	-	-	-	-	○	-	-	UTM	補助者聴話
		経路周辺	-	-	-	△	-	-	-	-	UTM	補助者聴話
	ポート	受け入れ状況	-	-	-	-	-	○	-	-	UTM	不要
		健全性	-	-	-	-	-	-	-	-	UTM	不要

図 2.2.1.14-44 情報連携項目（インフライト）

整理した連絡項目にて、具体的な連絡内容並びにメッセージ例を表 2.2.1.14-15 のとおり整理した。

表 2.2.1.14-15 具体的な連絡内容（プリフライト）

No	From	To	連絡必須項目	場面	メッセージ例
①	操縦士	運航管理者	バッテリー残量 GPSステータス LTE電界強度 コンパス状況	運航開始の宣言	（物流ドローン）バッテリー○○V、GPSRTK Fix、コンパス状況良し、離陸行います。
②	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度	上昇状況の共有	上昇中、高度○○mまで上昇します
③	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量 GPSステータス	巡行状況の共有	○○地点通過、高度○○m、速度○○m/s、バッテリー○○V、GPSRTK Fix
④	運航管理者	操縦士	風向風速 雨 他航空機 第三者	巡行中の外的要因共有	飛行経路（方角）の風○○m、雨雲エコー無し、他航空機の機影無し、経路下の第三者なし
⑤	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量 GPSステータス	着陸開始の宣言	着陸地点上空到達、高度○○m降下中、バッテリー○○V、GPSRTK Fix
⑥	運航管理者（補助者）	操縦士（運航管理者）	風向風速 雨 第三者　離着陸場周辺 ポート　受け入れ	着陸時の外的要因共有	着陸地点、（微風、強風など風の状況、雨の有無など）第三者なし、着陸支障ありません
⑦	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量	着陸状況の共有	（○○時○○分）着陸しました、バッテリー○○Vです
⑧	操縦士	運航管理者		運航終了の宣言	（便名あれば）飛行終了です、次回医療センターからメディセオ、○○時○○分出発予定です

整理を行ったフロー並びに連絡項目にて実際に医薬品配送を実施し、課題の洗い出しや運航体制の比較を実施した。

● 優先度設定検証

3 つ目の検証項目である優先度設定検証では、同一空域に複数事業者の機体が飛行した場合の飛行優先度の設定を警備・点検領域で実証した。優先度の設定及び実証における優先度設定の方法について図 2.2.1.14-45 に図示する。

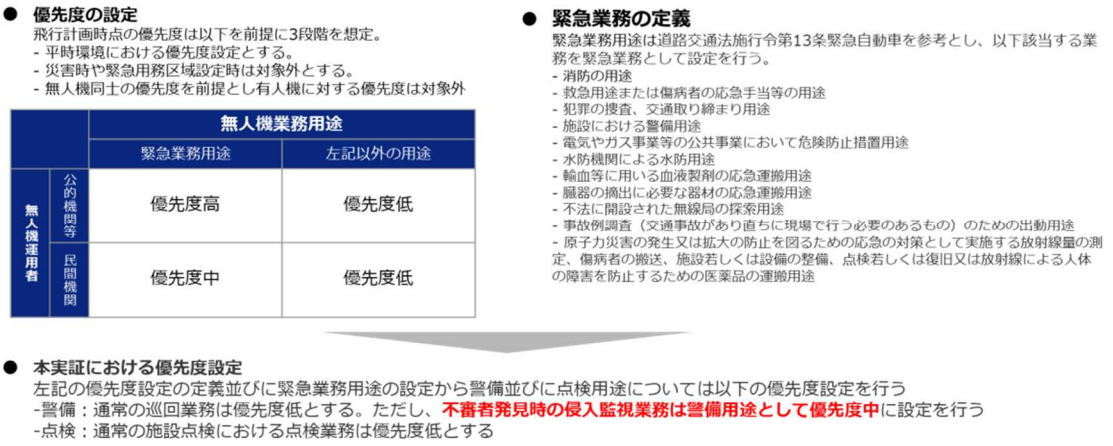


図 2.2.1.14-45 優先度設定検証

本検証においては、警備機体の優先度が飛行中に業務内容が変更されることによって発生するものとし、優先度の異なる機体が接近した場合に優先度が低い事業者の機体は業務を一時中断し回避行動を行うものとして実証を行った。優先度変化の概要を図 2.2.1.14-46 に示す。

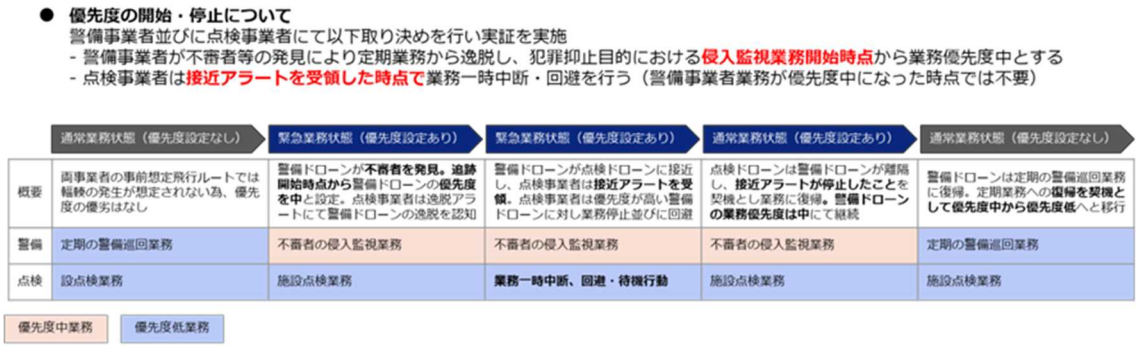


図 2.2.1.14-46 優先度変化

● 緊急時の対応検証

4 つ目の検証項目である緊急時の対応検討では、飛行ルートの引き返し及び緊急着陸地点への着陸を実施した。それぞれの計画概要を示したのが図 2.2.1.14-47 である。

検証内容	概要	ユースケース	推進方法
緊急着陸地点への着陸	機体の緊急事態を検知し、事前に設定した緊急着陸地点へ着陸を行う	• 物流ドローンは運航中に何らかの原因でバッテリー残量の異常低下が発生 • 物流事業者は緊急事態の発生を検知 • 検知後物流事業者は手動介入またはFOSを利用した手動操作を実施 • 事前に設定した緊急着陸地点へ着陸	• **緊急事態の把握** 事前に指定したポイントにて、バッテリーの電圧低下等の事象が発生したと想定 • **緊急着陸の実行** FOSの機能を利用して着陸を実施 • **発生地点の設定** 緊急着陸地点周辺の場所にて設定
ルート途中の引き返し	機体の緊急事態を検知し、ルート途中にて物流拠点へ引き返しを行う	• 物流ドローンは運航中有人機の接近を検知 • 物流事業者は緊急事態の発生を検知 • 検知後物流事業者は手動介入または手動操作を実行 • 離陸地点へ引き返し着陸を実施	• **緊急事態の把握** 病院→医薬品配送拠点の帰路にて異常が発生した想定 • **引き返しの実行** FOS機能を利用して引き返しを実施 • **発生地点の設定** 病院側着陸地点で川幅が広い部分にて実証を予定

図 2.2.1.14-47 緊急時の対応検証

実際に緊急着陸地点への着陸並びにルート途中の引き返しといった対応検証を通じて課題の洗い出しを実施した。

④地域実証検証

地域実証の検証に当たっては、全領域でターゲット及びビジネスモデルの設定を実施の上実証を行った。また、発展的な項目として、物流、点検、空撮領域において領域別の検証項目を設定の上、実証を実施した。

領域別の検証項目設定については表 2.2.1.14-16 のとおり。

表 2.2.1.14-16 領域別の検証項目設定

先行実証から見えた主な課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
ビジネス実現に向けた要件検証	医薬品配送の要件検証	輸送品、輸送時間、輸送経路の観点からドローンによる医薬品輸送の要件充足性を確認。	医薬品卸企業に対して要件をヒアリング。各実証にて各種期待値を充足できるか確認。	物流
	授受管理	荷物の受け渡し方法/必要機能並びに離着陸場における安全面の管理体制（ポート有無等）を検証。	メディセオ/医療センターへのヒアリングの上、荷物の受け渡し方法を検討。また実証当日に離着陸地点の運航関係者以外の立ち入り状況を確認。	物流
	費用見積と既存交通との比較	レベル4前後の想定コストを算出、既存交通との比較を実施する。	本実証コスト並びにレベル4想定コストを積算。積算した費用と既存の輸送手段の比較を実施。	物流
	遠隔による制御飛行	ビジネス成立に必要な遠隔地からの空撮におけるドローン制御の有用性を確認また課題の洗い出しを実施。	実施場所の遠隔地から実際に機体の運航を行い、スポーツ空撮を行う。	空撮
UTM/LTE利用時のコスト・契約形態の検討	費用構造の検証	想定されるレベル4時点での空撮並びに点検における費用構造を算定した上で、現状との比較並びに今後の課題の洗い出しを実施。	想定されるレベル4時点での費用算定を実施の上実証を実施。	点検 空撮

物流領域ではターゲットに医薬品卸企業を想定した。ターゲットの想定課題は配送の迅速化、災害時の代替輸送手段の確保、配送エネルギー効率の向上であると設定した。

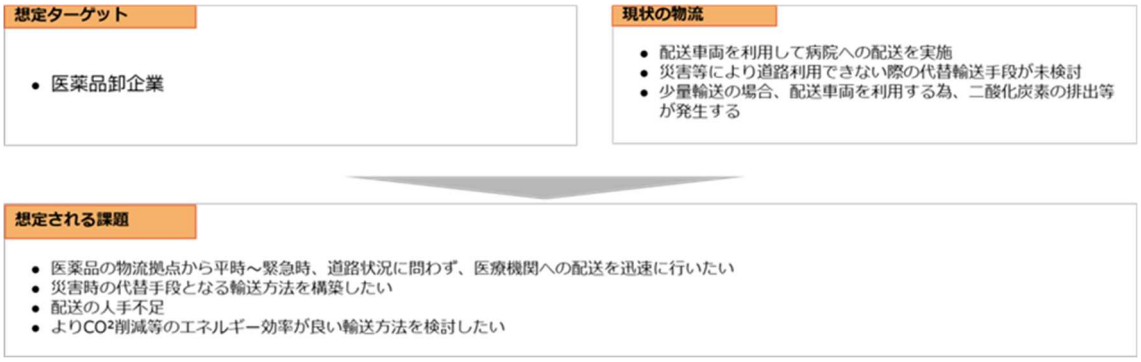


図 2.2.1.14-48 物流領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、空路にて医薬品配送を行うことで配送の迅速化、並びにドローンによる自動化が人手不足の解消に貢献し、災害時の代替手段となる配送体制を構築することを解決方法とした。概要を図 2.2.1.14-49 に示す。

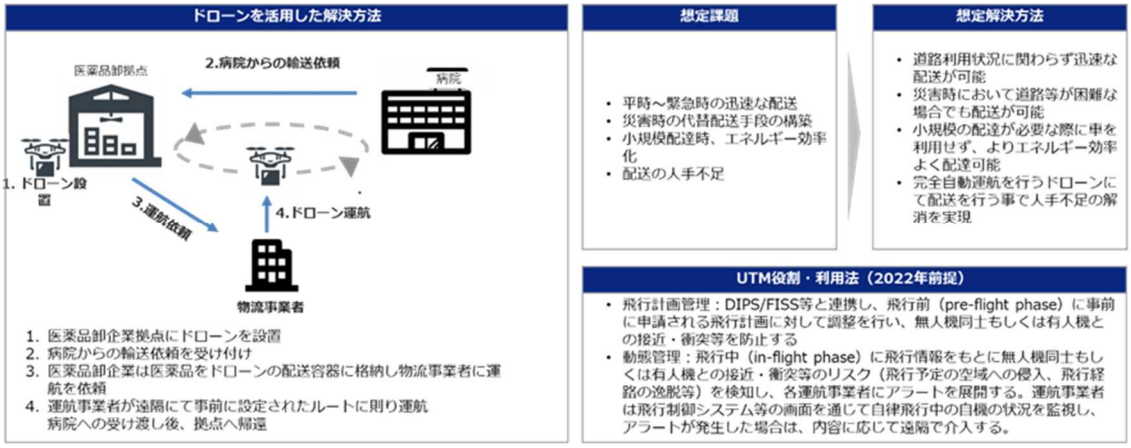
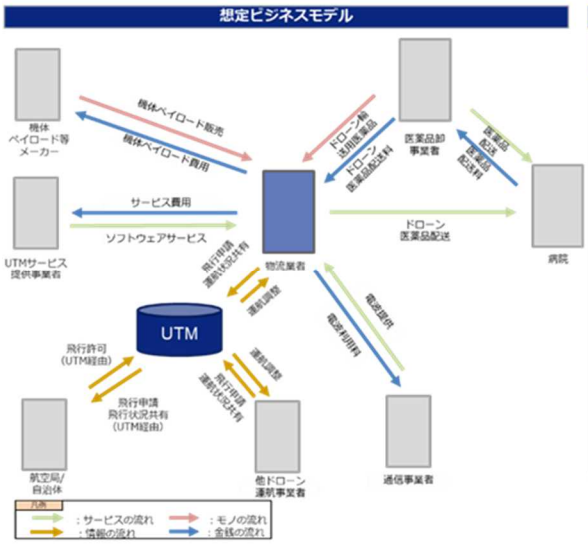


図 2.2.1.14-49 物流領域の課題解決方法

物流領域で想定するビジネスモデル及びステークホルダーは図 2.2.1.14-50 のとおり。



ステークホルダー

対象	概要
病院	医薬品卸事業者へ医薬品配送依頼を実施。卸企業より医薬品の配送を受ける
医薬品卸事業者	医薬品の仕入れを行い、病院へ配送を行う。ドローンを利用した配送の場合は医薬品を物流へ私、配送を委託する
ドローン物流業者	ドローン物流に必要な機器やシステムを調達しインテグレーション。医薬品卸企業からドローン配送の委託を受け配送の運航管理を行う
機体ペイロード メーカー	物流業者が配送にて利用するドローンやペイロード等を販売
UTMサービス提供事業者	ドローンの飛行を制御するアプリケーションや管制を行うシステムを物流業者に販売
通信事業者	ドローンの通信に必要な電波の提供を行う
他ドローン運航業者	ドローンにて事業を行う他事業者
航空局/自治体	飛行申請を受け、許認可を実施

図 2.2.1.14-50 物流領域で想定するビジネスモデル及びステークホルダー

- 医薬品配送の要件検証

ターゲットである医薬品卸企業に対して医薬品配送の要件についてヒアリングを実施。以下、配送時の要件に対して充足可能か検証を実施した。

表 2.2.1.14-17 医薬品配送の要件

要件	求められる要件	検証方法
配送時間	既存の配送時間、約15分（出発から到着）よりも短い事	メディセオ～県立病院2拠点間の配送時間を測定
配送重量	特になし （既存の重量はドローンのペイロードよりもはるかに大きい）	現状の実運用ペイロードの上限値を確認
配送品質	配送品に破損が見られない事	構造上、高いアンプルの模擬品を輸送し破損がないことを確認

- 授受管理方法の検証

授受管理方法の検証ではターゲットとなる医薬品卸企業に対しヒアリングの上、現状の授受管理方法並びに授受要件について確認を行った。ヒアリングにて確認された授受方法並びに授受要件については図 2.2.1.14-51 のとおり。

授受方法（イメージ）	授受要件	要件達成方法
 1. 医薬品卸業者が受注伝票に基づき、品物および員数を確認。梱包 2. 梱包した医薬品を軽自動車またはトラックに格納し配送 3. 配送先医療機関と卸業者にて内容の確認、受領印を押印※ 4. 配送後、認印が押された納品書を持ち拠点へ帰還。 ※医療機関によっては、卸売業者での配送前の確認時の厳封をもって、内容確認を省略するケースあり	**•受取人の確認** 受取人が病院関係者である事を確認できる事 **•授受記録の作成** 授受を行った品目並びに日付が記録可能である事 **•配送品の確認** 配送品が依頼のあったものと齟齬がないことを確認する事	**•受取人の確認** 医薬品配送担当者が直接医療関係者と対面にて確認した上で手渡しを実施 **•授受記録の作成** 配送担当者が日付並びに品目をシステム上に記録を実施 **•配送品の確認** 医療関係者が授受時点にて内容を確認。押印を行い、認印を押す事で確認

図 2.2.1.14-51 授受管理方法の検証

ヒアリングの結果求められる要件として受取人の確認、授受記録の作成、配送品の確認が前提となる要件である事を確認した。上記要件を満たす為、本実証におけるドローン配送時の授受管理方法を図 2.2.1.14-52 のように設定した。

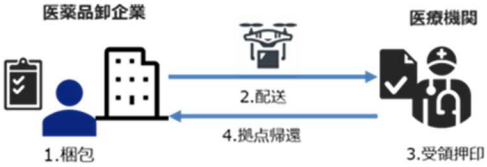
授受方法（イメージ）	授受要件	要件達成方法
 1. 医薬品卸業者が受注伝票に基づき、品物および員数を確認。厳封梱包。 2. ドローンにより配送を実施 3. 医療機関にて荷物の取り外し、内容の確認および受領印を押印。 4. ドローンにて認印が押された納品書を返送。 ※ドローン配送が緊急配送の場合は定期配送時にまとめて回収することも一案であるが、現状は原則不可。	**•受取人の確認** 受取人が病院関係者である事を確認できる事 **•授受記録の作成** 授受を行った品目並びに日付が記録可能である事 **•配送品の確認** 配送品が依頼のあったものと齟齬がないことを確認する事	**•受取人の確認** 医薬品配送担当者が鍵を保有し、ドローンボックスの開錠を行う **•授受記録の作成** 現状と同様に配送担当者が日付並びに品目をシステム上に記録を実施 **•配送品の確認** 医療関係者が授受時点にて内容を確認。押印を行い、認印を押す事で確認。押印された納品書はドローンにて返送

図 2.2.1.14-52 実証時の授受管理方法

実証時にはドローンボックスに施錠を行い、医薬品関係者が開錠することで受取人の確認を行う事とした。または配送品の確認の要件については、ドローンからの医薬品を医薬品関係者が授受後押印、並びに納品書を返却することで達成するものとした。

上記設定した授受方法にて問題なく授受管理が可能どうかを検証すると同時に、授受管理方法の課題の洗い出しを実施した。

- 費用見積と既存手段との比較

費用見積と既存手段との比較として、既存の輸送手段である軽貨物事業者による輸送とドローン配達における 1 回当たり費用の比較を実施した。事前調査にて全国または兵庫県にて軽自動車輸送をおこなっている事業者について輸送距離が 1km から 20km の場合の 1 回当たりの輸送費用を調査した所、一部の例外的な事業者を除いたボリュームゾーンとして見られる金額は平均 4,890 円となった。上記の金額に対して本実証にて算定されるドローン配送時の費用と比較を行う。なお、軽貨物事業者の費用に関しては利用者として支払いを行う金額の事を指し、利益の計上がされている数値である。一方でドローン配送時の費用に関しては利益の計上を行わず、発生した費用の合計を指す前提とする。

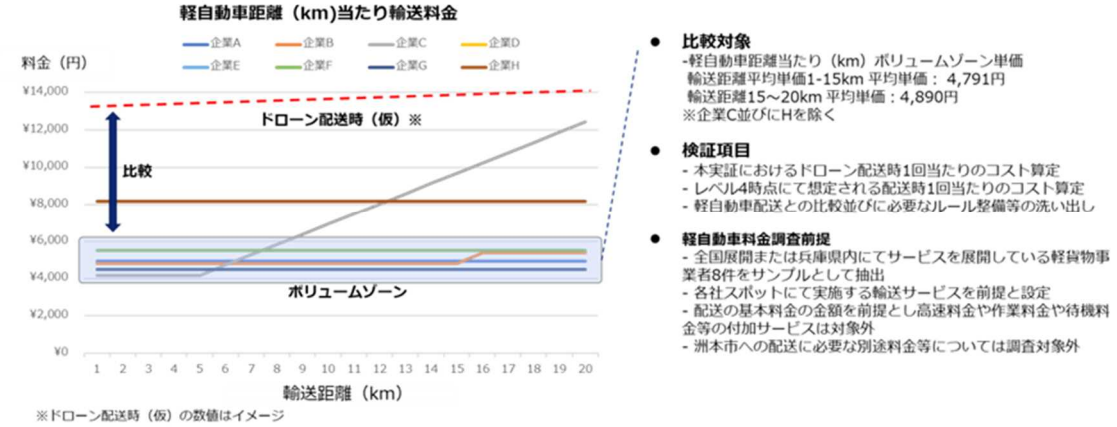


図 2.2.1.14-53 費用見積と既存手段との比較

警備領域ではターゲットに民間企業（広大な監視対象を持つ企業の施設警備）を想定した。ターゲットの想定課題は監視コストの削減、セキュリティレベルの向上、並びに災害時等の有事により早期の状況把握であると設定した。

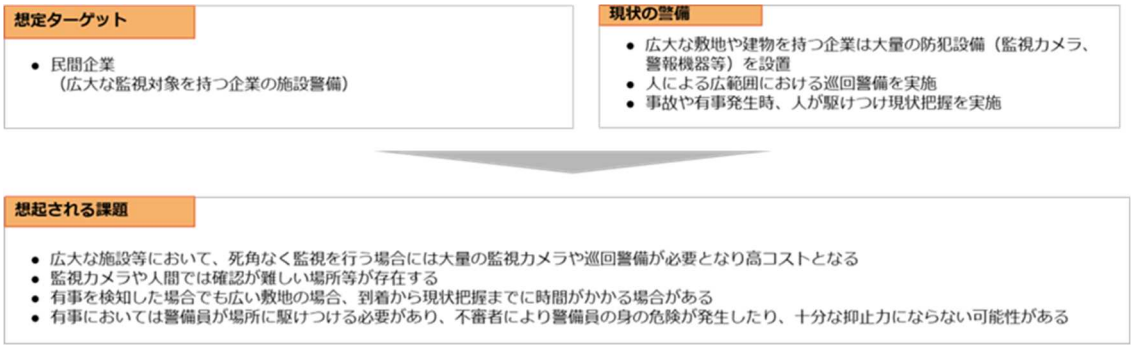


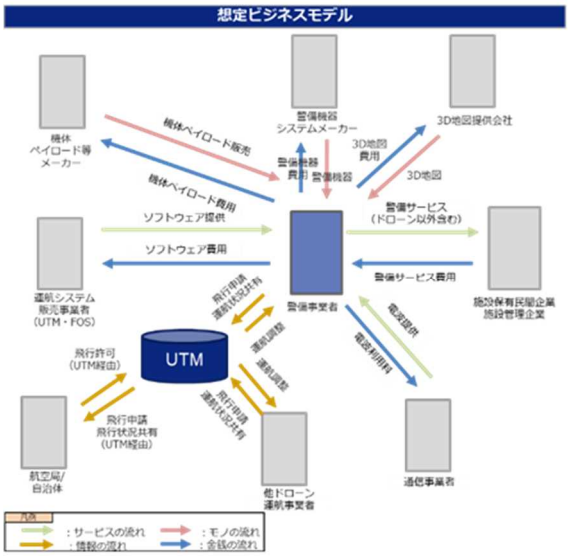
図 2.2.1.14-54 警備領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、図 2.2.1.14-55 のとおり巡回監視並びに侵入監視のサービスを実施することでセキュリティレベルの向上に貢献するとともにコスト低減、有事の対応力強化を実現することを解決方法とした。



図 2.2.1.14-55 警備領域の課題解決方法

警備領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2.2.1.14-56 のとおり。



ステークホルダー

対象	概要
施設保有民間企業 施設管理企業	警備が必要な施設を有し、警備事業者から警備サービスを受ける
警備機器・システムメーカー	警備企業に対して警備に必要な機器（監視カメラ、センサー）並びにシステムを販売
3D地図提供会社	警備用ドローンに必要な3Dマップを提供
警備事業者	警備に必要な機器やシステムを調達しインテグレーション。警備ニーズのある企業にドローンを活用した警備サービスを提供する
機体ペイロード等 メーカー	警備業者が提供サービスにて利用するドローンやペイロード等を販売
運航システム 販売事業者	ドローンの飛行を制御するアプリケーションや管制を行うシステムを警備業者に販売
通信事業者	ドローンの通信に必要な電波の提供を行う
他ドローン運航業者	ドローンにて事業を行う他事業者
航空局/自治体	飛行申請を受け、許認可を実施

図 2.2.1.14-56 警備領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

点検領域ではターゲットに大規模企業の管理者、管理業者を想定した。ターゲットの想定課題は点検コスト削減、品質向上、点検時の事故リスク回避であると設定した。また、一部事業者においては現在既にドローンを活用しているものの、人材面の制約からビジネス拡大ができていない等の意見があった。

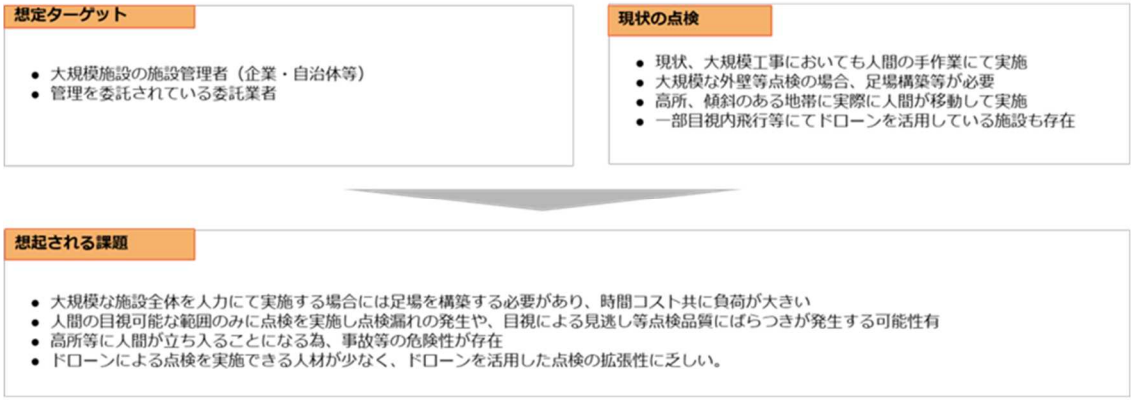


図 2.2.1.14-57 点検領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、点検領域ではドローンを用いた点検によりコスト削減、品質向上を行うとともに、人を点検実施対象に対して直接移動させないことによる事故リスク回避を行うことを解決方法とした。

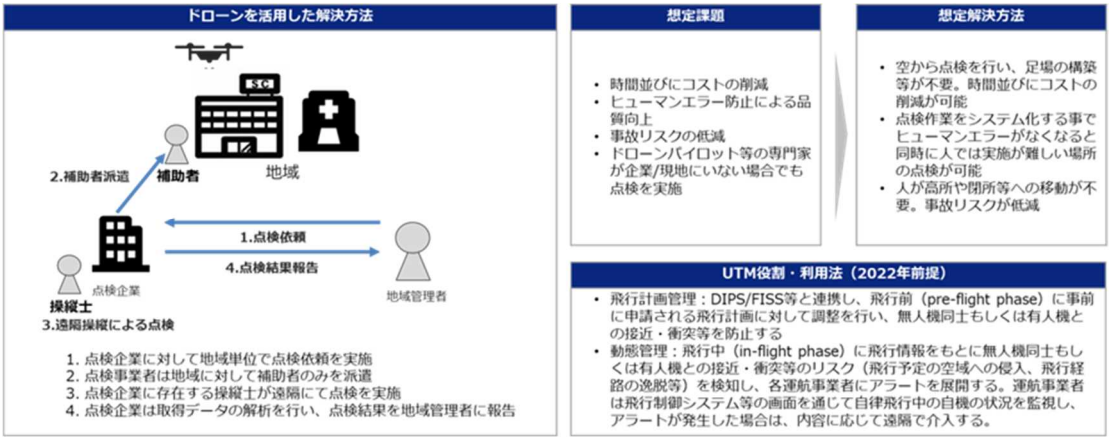
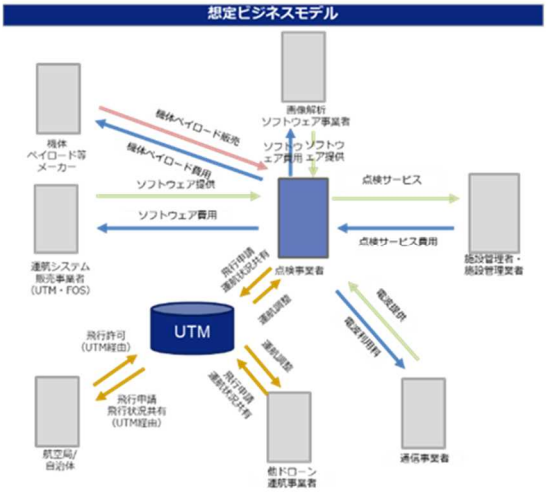


図 2.2.1.14-58 点検領域の課題解決方法

点検領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2.2.1.14-59 のとおり。



ステークホルダー

対象	概要
施設保有民間企業 施設管理企業	点検が必要な施設を有し、点検事業者から整備サービスを受ける
点検事業者	点検に必要な機器やシステムを調達しインテグレーション。点検ニーズのある施設管理者にドローンを点検を実施
画像解析・ソフトウェア	取得した画像の解析や編集を行うソフトウェアを提供する
機体ペイロード等 メーカー	点検事業者が利用するドローンやペイロード等を販売
運航システム 販売事業者	ドローンの飛行を制御するアプリケーションや管制を行うシステムを点検業者に販売
通信事業者	ドローンの通信に必要な電波の提供を行う
他ドローン運航業者	ドローンにて事業を行う他事業者
航空局/自治体	飛行申請を受け、許認可を実施

図 2.2.1.14-59 点検領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

- 費用構造の検証

点検将来の像としては遠隔点検が想定される。本実証では各施設に補助者を配置し、特定の地点から操縦士が遠隔操縦を行う方法にて実証を実施する。

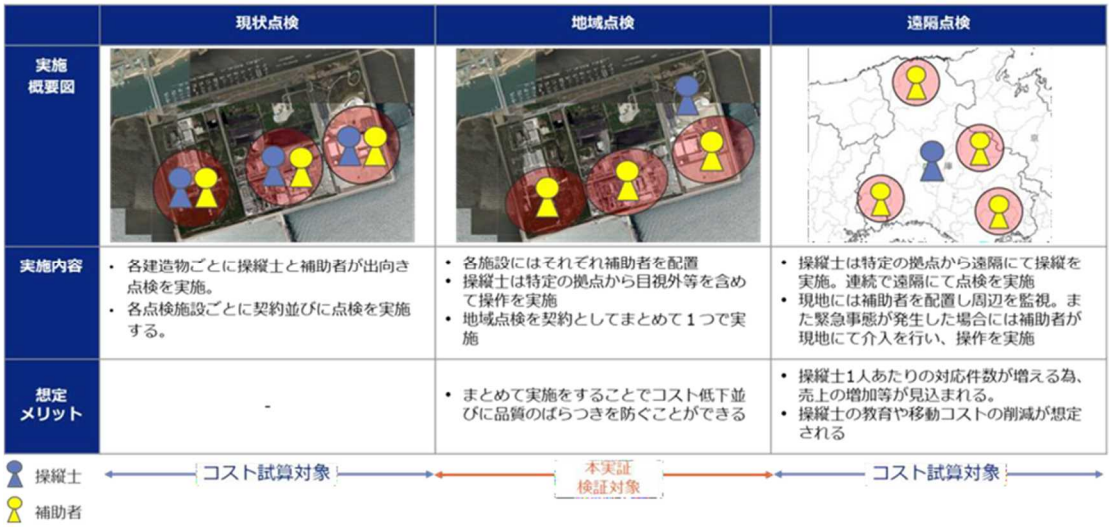


図 2.2.1.14-60 費用構造の検証

上記手段にて実施した内容から遠隔操縦によるコストの想定を算定し、現状点検とのコストについて比較を実施した。

空撮領域ではターゲットに広域スポーツ競技のチームを想定した。現時点では一部を除いてスポーツでは空撮が未活用となっており、ターゲットの想定課題を視点が固定であることによる動画の品質、撮影者スキルのばらつき等であると設定した。

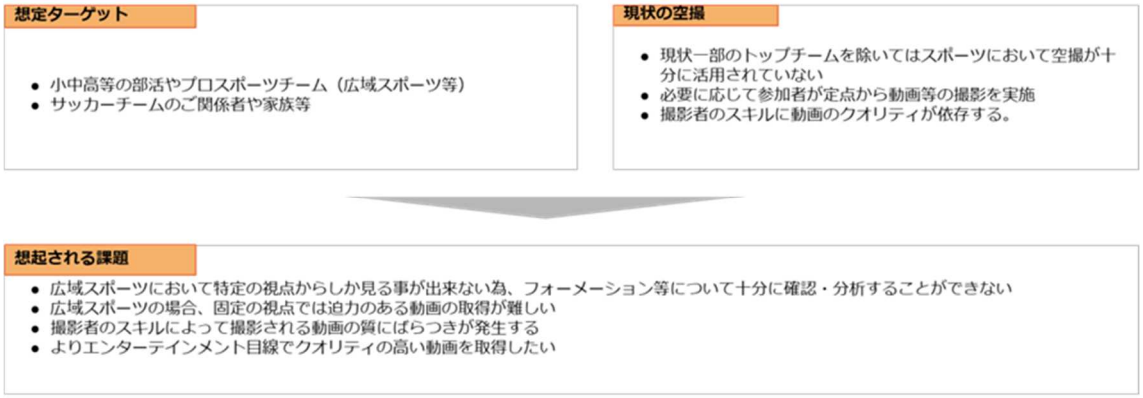


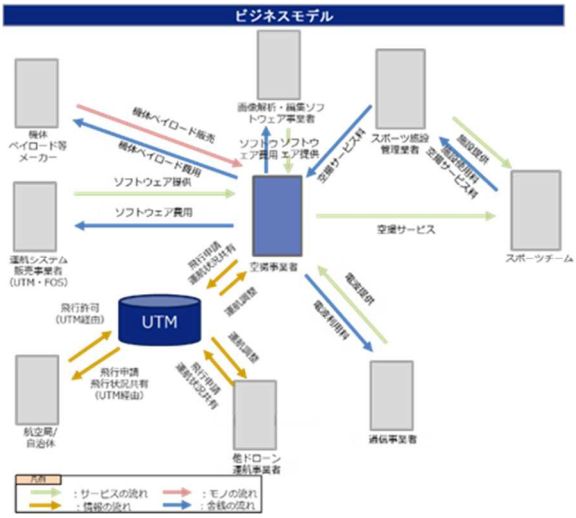
図 2.2.1.14-61 空撮領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、特定のスポーツ施設にドローンを配置し、遠隔で空撮を行うことにより多くのチームに空撮の提供を可能とすることを解決方法とした。



図 2.2.1.14-62 空撮領域の課題解決方法

空撮領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2.2.1.14-63 のとおり。



ステークホルダー

対象	概要
スポーツチーム	大会や練習等にてスポーツ施設を利用すると同時に大会映像や戦略分析目的で空撮サービスを施設を経由して利用
スポーツ施設	スポーツ施設を利用者に提供し使用料を受領する。またスポーツ施設にドローンを配置し、空撮サービスの要望を受け付け、空撮事業者に空撮の実施を委託
空撮事業者	ドローン空撮に必要な機器やシステムを調達しインテグレーション。映像の取得の為のドローンの運航管理並びに動画加工を行いスポーツチームに提供
画像解析・編集ソフトウェア	取得した画像の解析や編集を行うソフトウェアを提供する
運航システム販売事業者	ドローンの飛行を制御するアプリケーションや管制を行うシステムを空撮業者に販売
通信事業者	ドローンの通信に必要な電波の提供を行う
他ドローン運航業者	ドローンにて事業を行う他事業者
航空局/自治体	飛行申請を受け、許認可を実施

図 2.2.1.14-63 空撮領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

- 遠隔による飛行制御

空撮領域における個別課題とした遠隔による飛行制御については、図 2.2.1.14-64 のとおり現地に安全確保の為、操縦士を配置の上遠隔地からの機体運航を実施することで、遠隔による運用方法の検証や遠隔操縦によるシステム面での課題の洗い出しを実施した。

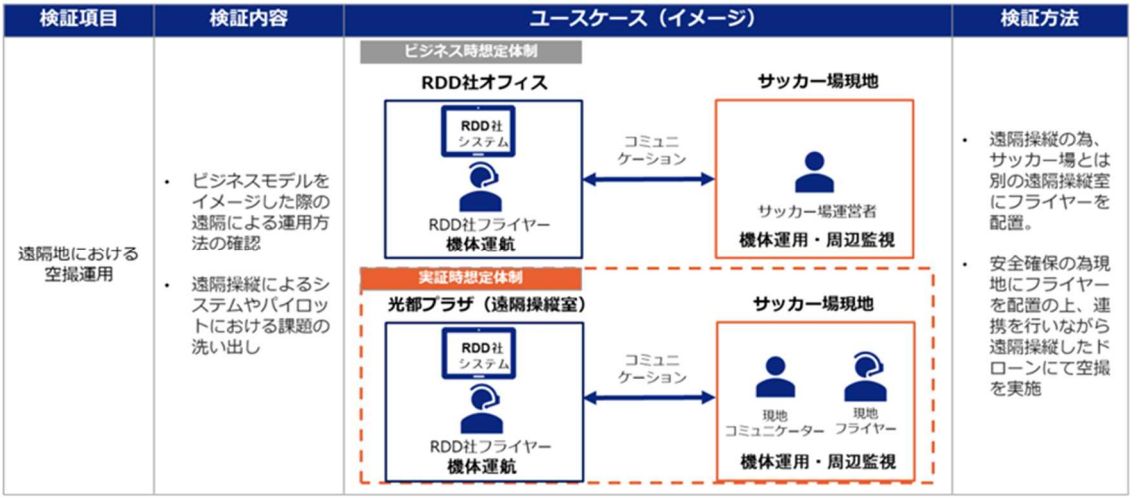


図 2.2.1.14-64 空撮領域における遠隔による飛行制御

● 費用構造の検証

空撮領域についてサービス提供方法や価格の設定を設定の上、ヒアリングやコスト構造の整理を実施し、空撮におけるビジネスの精緻化並びに今後必要な課題の洗い出しを実施した。

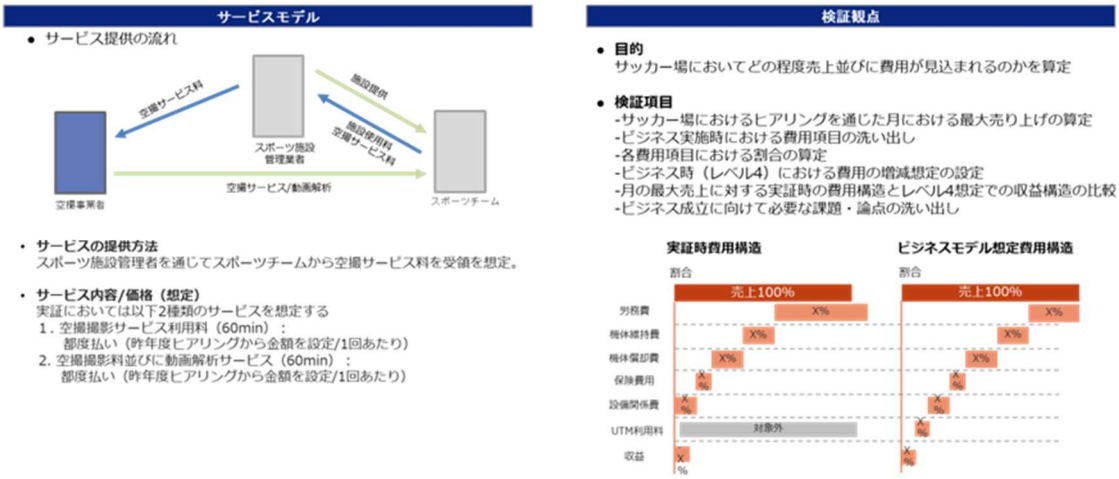


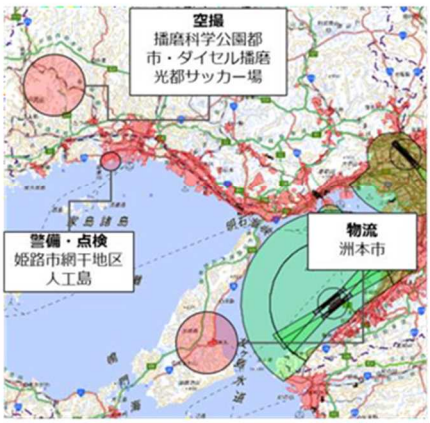
図 2.2.1.14-65 空撮領域における費用構造の検証

(3) 実行計画

①実行計画全体概要

2021 年度実証では、播磨科学公園都市ダイセル播磨光都サッカー場、姫路市（網干人工島）、洲本市の3か所にて実証を行った。計画時点の実施場所、日程、ユースケースの整理は図 2.2.1.14-66 のとおり。

実証場所



実施日

- **事前検証**
  9月末または10月初旬
- **先行実証本番**
  10月27日
  （27日が全体同時実証、28日は個別にて実施。29日予備）

ユースケース一覧

領域	実施者	ユースケース	飛行ルート
物流	日本航空 KADO	医薬品卸企業から病院への医薬品配送	メディセオ淡路支店～県立淡路医療センター
警備	セコム	人工島におけるポートパーク並びに公園（DID地区）の警備	網干ポートパーク～網干なぎさ公園
点検	旭テクノロジー	人力での点検が困難な構造物を対象としたドローン点検	エコパークあぼし～スラッジセンター
空撮	RedDotDrone Japan (RDD)	ドローンを使用し、空からの視点でサッカーの戦術分析	ダイセル播磨光都サッカー場 周辺

図 2.2.1.14-66 2021 年度実証計画概要

本実証におけるシステム全体構成は図 2.2.1.14-67 のとおり。

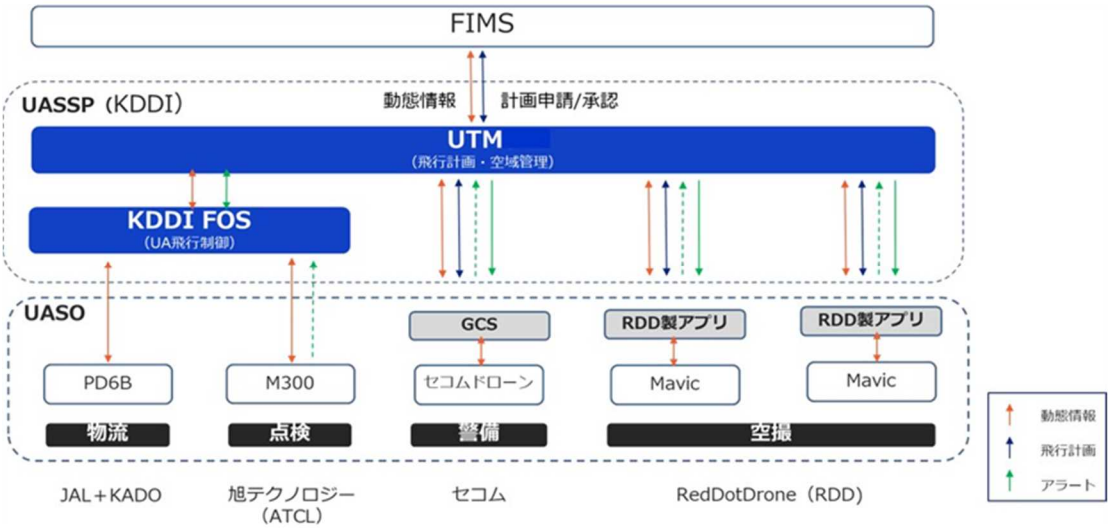


図 2.2.1.14-67 システム全体構成

②各領域実行計画

物流領域は洲本市における医薬品配送を想定した物資輸送を実施。



図 2.2.1.14-68 物流領域実行計画

出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

表 2.2.1.14-18 に示す 6 シナリオについて体制の比較並びに緊急時の対応の実証を実施した。

表 2.2.1.14-18 物流領域の実証シナリオ

	操縦士のみ運航	運航管理者と操縦士運航	緊急時対応運航			
	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3-1	シナリオ3-2	シナリオ3-3	シナリオ3-4
概要	操縦士単独の運航確認	操縦士-運航管理者（情報提供）体制の通常運航	操縦士単独の緊急運航- ホバリング	操縦士単独の緊急運航 - 緊急着陸	操縦士単独の緊急運航 環境センター引き返し	操縦士単独の緊急運航メディセオ側引き返し
目的	操縦士単独運航時運用手順の確認	運航管理（情報提供）と操縦士での運航確認	操縦士単独運航時ホバリング手順の確認	操縦士単独運航時緊急着陸手順の確認	操縦士単独運航時引き返し手順の確認	操縦士単独運航時引き返し手順の確認
実施シナリオ	1. 病院から配送依頼を受領 2. メディセオ担当者/日本航空担当者にて貨物の積み込み 3. ドローンにて配達 4. 病院側に到着。貨物の授受を実施 5. 貨物の授受後、メディセオ側拠点に帰還	左記シナリオ1の手順を情報提供を実施する運航管理者と操縦士にて役割を分けて実施	1. 貨物の配達中、橋梁上の歩行者・別有人機の到来 2. ホバリングを実施 3. 安全確認後、再度飛行再開	1. 貨物の配達を実施中、バッテリー電圧の低下を確認 2. 周囲の安全確認上、事前に設定した緊急着陸地点へ着陸	1. 環境センターからの運航時に船舶の接近を検知 2. 周囲の安全確認上、環境センターに引き返しを実施	1. メディセオからの運航時に船舶の接近を検知 2. 周囲の安全確認上、メディセオに引き返しを実施

実証では株式会社 KADO からドローン運搬用 BOX の提供・実証支援の上実施。BOX は軽量かつ高強度材である、カーボン FRP を代表とする先端複合材料を使用して重量を軽減。形状についても、空気抵抗を軽減する形状を採用することで、コンピューターシミュレーション上 BOX 単体で約 55%の空気抵抗を削減。バッテリーの減少を抑える事につながり、運航距離が延びることが期待される。



図 2.2.1.14-69 運搬用 BOX

警備領域と点検領域は姫路市網干人工島における公園警備及び施設点検を実施した。



図 2.2.1.14-70 警備領域実行計画
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成



図 2.2.1.14-71 点検領域実行計画
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

警備・点検機体の輻輳ルートの位置関係は図 2.2.1.14-72 のとおり。点検機体が最も接近する場合でも道路横断はしないものとした。



図 2.2.1.14-72 警備・点検機体の輻輳ルート
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

警備領域と点検領域では各事業者が回避する表 2.2.1.14-19 に示す４パターンのシナリオによる実証を実施した。

表 2.2.1.14-19 警備・点検領域の実証シナリオ

	点検側回避検証			警備側回避検証
	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4
概要	**点検ドローン緊急着陸**	**点検ドローン上昇回避**	**点検ドローン水平移動回避**	**警備ドローン緊急着陸**
目的	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが緊急着陸回避しその運用手順を確認	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが上昇し離隔を確保しその運用手順を確認	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが水平移動により離隔を確保し運用手順を確認	点検ドローン逸脱時に他事業者のドローンが緊急着陸回避し運用手順を確認
実施シナリオ	1. スラグ置き場点検時に警備ドローンが不審者を発見し逸脱 2. 点検ドローンは逸脱アラート受領し手動介入 3. 接近アラートの発報 4. 点検ドローンは緊急着陸地点へ着陸 5. 警備ドローンが30秒程度ホバリング 6. 警備ドローンが帰還 7. 接近アラート停止後、点検ドローンが点検に復帰	1. スラグ置き場点検時に警備ドローンが不審者を発見し逸脱 2. 点検ドローンは逸脱アラートを受領し手動介入 3. 接近アラートの発報 4. 点検ドローンは高度を上昇離隔を確保 5. 警備ドローンが30秒程度ホバリング 6. 警備ドローンが帰還 7. 接近アラート停止後、点検ドローンが点検に復帰またはバッテリー残量に応じて着陸	1. シナリオ1の3.まで同様の手順にて実施または省略 2. 点検ドローンは水平移動し離隔を確保 3. 警備ドローンがホバリングその後帰還 4. 点検ドローンは警備ドローンが帰還したことを確認し、再度水平移動業務に復帰	1. 警備ドローンが公園上空を飛行時に点検ドローンが逸脱を開始 2. 警備ドローンが逸脱アラートを検知しホバリングを開始 3. 点検ドローンがさらに接近 4. 警備ドローンは接近アラート受領 5. 警備ドローンは接近アラートの情報を確認し、緊急着陸地点へ移動 6. 点検ドローンは移動を停止し元のルートを辿り、帰還 7. 警備ドローンは接近アラート停止を確認し業務復帰
シナリオ想定結果	•プレフライト/インフライトにおけるアラート機能の実現 •優先度に応じた運用の実現 •アラート機能利用による回避行動の実現			
確認観点	**•アラート機能の情報の充足性の確認** **•回避行動における運用手順の確認** **•回避行動におけるメリット/デメリットの確認**			

空撮領域は播磨科学公園都市に位置するダイセル播磨光都サッカー場にてサッカー空撮を実施。

空撮飛行ルート概要



ユースケース概要	ドローンを使用し、空からの視点でサッカーの戦術分析
飛行ルート	ダイセル播磨光都サッカー場
飛行要件	目視外飛行(補助者あり)・DID地区外・人もの30m・施設内に補助者を設置
飛行距離/時間	約100m-200m/実稼働20分
機体	DJI Mavic2 Zoom（2機体実証）

図 2.2.1.14-73 空撮領域実行計画
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

表 2.2.1.14-20 に示す 3 シナリオにより実証を実施。

表 2.2.1.14-20 空撮領域の実証シナリオ

	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
概要	1機体単独運航	2機交代運航	2機同時連続運航
目的	1機単独飛行を実施し、UTM連携に問題がないことを確認	2機体交代での運航確認並びに2機体のUTM連携を実施	2機体利用にてバッテリー交換等による影響なく空撮を実施
実施シナリオ	• 任意の1機体にて飛行計画を公開 • 公開した飛行計画に則り遠隔にて飛行開始 • コートの空撮を実施 • バッテリー減に伴い帰還	• 任意の2機体にて飛行計画を公開 • 1機の機体にて空撮を実施 • 機体のバッテリー残が少になった際にもう1機の準備を開始 • 空撮を実施している機体を帰還 • 準備を行っていた機体を交代の機体として飛行開始 • 上記運用を複数回実施	• 任意の2機体にて飛行計画を公開 • 片方の機体が運航を開始 • 機体のバッテリー残が少になった際に別の1機を飛行開始 • 後から飛行した機体は先に飛行した機体の5m程度上空を飛行し待機、その際に接近アラートの発生を検知し、十分な離隔を確保 • 先に飛行を行った機体は着陸しもう一方が継続して空撮を実施
シナリオ想定結果	• 1機体のUTM連携の実現 • 1機遠隔空撮実現	• 遠隔を含めた2機体による交代運航の実現	• 2機体のUTM連携の実現 • 2機体を利用したバッテリー交換なしによる長時間空撮の実現 • 接近アラート機能の実現
確認観点	• 範囲による飛行領域設定 • 遠隔による機体制御の実施 • UTMへの機体情報の連携	• 2機交代での運航手順の確認 • 2機体のUTM機体情報の連携	• 機体交代手順の確認 • 接近アラートの連携確認

③対外調整概要

本実証においては施設利用にあたり関係各社との調整を実施。

表 2.2.1.14-21 調整先並びに調整概要一覧

調整領域	調整先	調整事項
航空局申請	大阪航空局	飛行ルートや機体情報等の申請
洲本市 物流実証	洲本市用地課・淡路県民局洲本土木事務所	明兆通り補助者配置・看板設置、洲浜橋補助者配置・看板設置
	淡路県民局洲本土木事務所	県道（新加茂橋、下加茂橋、洲本橋）補助者配置・看板設置、洲浜橋上流河川、洲浜橋下流港湾
	洲本炬口漁協共同組合	炬口(ﾀｹﾉｸﾁ)漁港連絡
	洲本市下水道課/水 ing AM 株式会社	洲本環境センター離着陸場所使用
	洲本警察署	道路補助者配置・看板設置
	洲本高校、洲本実業高校、蒼開高校	ボート部への事前連絡
	近畿地方整備局兵庫国道事務所洲本維持出張所	国道補助者配置・看板設置
	関西電力送配電株式会社 兵庫支社	メディセオ付近高圧電線確認
	町内会	メディセオ～川間の田んぼの所有者の確認
	県立淡路医療センター	実証協力、離着陸場所の提供
	洲本市消防防災課	緊急着陸地点の使用
播磨科学公園都市空撮実証	企業庁播磨科学公園都市まちづくり事務所	遠隔監視室の利用依頼
	播磨高原広域事務組合	空撮におけるサッカー場の利用協力依頼
	西播磨サッカー協会（ダイセル播磨光都サッカー場）	
	たつの市企画課	播磨科学公園における実証の周知並びにご理解
	上郡町企画政策課	
	佐用町企画防災課	
	西播磨県民局総務企画室	
	相生警察署	
	西播磨消防組合 たつの消防署光都分署	ドクターヘリ飛来時の対応協議
	県内サッカースポーツチーム	空撮における実証協力のご依頼
姫路市網干警備・ 点検実証	中播磨県民センター姫路港管理事務所	網干人工島における実証の周知、ボートパーク利用許可、事務所施設使用、実施協力
	株式会社ヤマハ藤田	
	公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター	網干人工島における実証の周知、敷地使用
	揖保川流域下水道管理事務所　揖保川浄化センター	
	公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター 揖保川流域下水道管理事務所　兵庫西スラッジセンター	兵庫西スラッジセンター施設内の点検実施、駐車場並びに敷地利用、実施協力
	県土整備部土木局下水道課	網干人工島における実証の周知、兵庫西スラッジセンター施設内の点検実証のご理解
	中播磨県民センター姫路土木事務所	網干人工島における実証の周知、兵庫西スラッジセンター施設内の点検実証のご理解、駐車場並びに敷地の利用許可
		エコパークあぼし施設内の利用許可、点

	姫路市環境局美化部 エコパークあぼし	検実施協力、駐車場並びに敷地・会議室・備品利用
	姫路市公園部公園緑地課	なぎさ公園内ドローンの緊急着陸地点の設置ご理解、補助者配置、利用許可、実施協力
	株式会社ダイセル姫路製造所網干工場	網干人工島における実証の周知、並びにご理解
	姫路市漁業協同組合網干支所	
	網干警察署	
	姫路市消防局網干消防署	ドクターヘリ飛来時の対応

(4) 実証結果

① 実証結果全体概要

2021 年 10 月 27 日における本番実証においては全国他コンソーシアムと同時に飛行を完遂し、全国単位での運航管理システムによる運航管理が可能である事を確認した。また、翌 28 日については西日本コンソーシアム内にて再度同時に実証を実施し、西日本コンソーシアム内複数地域の運航管理が可能である事を確認した。



図 2.2.1.14-74 UTM 画面

② 各領域実証結果

● 洲本市物流実証

洲本市中心部において 7 本の橋梁通過の上、医薬品配送を完遂した。



図 2.2.1.14-75 物流領域の実証の様子と UTM 画面

● 姫路市網干人工島警備/点検実証

姫路市網干実証としては警備並びに点検のケースの実証を実施。また想定した輻輳のケースについても完遂した。



図 2.2.1.14-76 警備・点検領域の実証の様子と FOS・UTM 画面

- 播磨科学公園都市空撮実証

運航管理システムと RDD 社システムを接続し実証を実施。RDD システムからスポーツ空撮を実施すると同時に運航管理システムとの技術検証を完遂した。



図 2.2.1.14-77 空撮領域における RDD 社システム画面と UTM 画面

⑸ 実証評価

① 西日本コンソーシアム目標評価

本年度実証においては昨年度実証が未達成であった項目を目標として実証を実施。課題②「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」については警備、点検ドローンにて逸脱から接近、回避の検証を完遂した。ただし、接近回避等については今後も社会実装を見据えて継続して検証が必要と想定。また課題④「ドローンの地域実装検証」については各領域において現状の課題や解決方法の整理、ビジネスモデルの設定を実施。また物流、点検、空撮領域については個別に地域実装の観点から検証項目の設定を行った上で実証を完遂した。



図 2.2.1.14-78 西日本コンソーシアム目標評価

② UTM 機能検証

UTM 機能検証では他社飛行制御システムとの接続、小型機体による検証、アラート機能検証、接近回避検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

● 他社飛行制御システムの接続

運航管理システムと他社飛行システムを接続し、機体の動態管理が確認可能であることを実証。また近接アラートについても運航管理システムから連携される情報が他社飛行制御システム側に表示されることを確認。実証の様子は図 2.2.1.14-79 のとおり。



図 2.2.1.14-79 他社飛行制御システムの接続

一方で、今後特定目的に特化した運航管理システムが乱立する可能性がある為、機体管理の階層化のコンセプトの明確化やソフトウェアと運航管理システムの接続方式については一定の標準規格が必要である等の問題点並びに課題があげられた。実証を通じて事業者から挙がった問題点並びに課題の一覧は以下のとおり。

表 2.2.1.14-22 運航管理システムに関する事業者から挙がった問題点と課題

問題点	今後の課題
空撮は機体速度が時速 60km 以上となる事が想定される。高速移動する機体に対して UTM の活用可能性について検証が未実施。	高速移動する機体に対して運航管理システムがどの程度活用可能かレスポンス等の観点から検証を行う。
空撮に沿った形での運航管理システムまたは機能が必要だと感じるが、様々な機能に特化した運航管理システムの乱立を招く可能性有。	機体管理の階層化のコンセプトを明確に提示する。それに沿った形で tree 状の管理を実施。
運航管理システム提供者毎に仕様が異なると開発コストが掛かる。	運航管理システムとソフトウェアが接続する際の規格統一が必要。

● 小型機体による実証

小型機体 2 機を運航管理システムと接続し、2 機体を用いた連続運用を実証。離着陸を伴う 2 機体の入れ替えに加え、空中での撮影機体入れ替えのケースも実施。実証の様子は図 2.2.1.14-80 のとおり。



図 2.2.1.14-80 小型機体による実証

複数機体の入れ替えに当たっての手順の精緻化や、小型機体同士の接近等に対する安全管理方法について課題が挙がった。特に、小型機体に関しては機材側での調整余地がないため、機体の利用方法・利用手順を一般化しておくことが重要であるという課題認識が抽出された。実証を通じて事業者から挙がった問題点並びに課題の一覧は以下のとおり。

表 2.2.1.14-23 小型機体・複数機体の利用に関する事業者から挙がった問題点並びに課題

問題点	今後の課題
連続撮影の為の機体の入れ替えは現状パイロット間でやり取りが発生。調整コストがかかる。	ビジネス時は撮影要件がよりシビアになる為、入れ替わり等の手順について運航手順の精緻化が必要。
小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、元々自社機体内で接近が予想されている場合にはどのように安全運航を管理するのか現時点で不明。	元々接近が想定されている場合、UTM で対応するのか、運航を管理している会社で管理して上位の UTM で他社ドローンとのコンフリクトを判定して通知、エスカレーションするのかという仕組み決めが必要。

- アラート機能検証

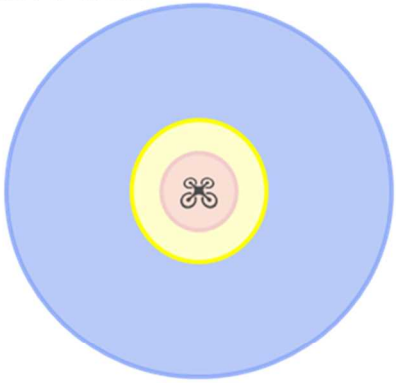
アラート機能検証は警備、点検領域において 2 事業者の機体を輻輳させることにより実証。逸脱アラートは飛行申請を実施した空域外に機体が飛行することにより逸脱アラートが発報されることを確認。また、近接アラートについても各事業者間の機体を接近させた際に発報されることを確認。また近接アラートを受けた事業者が緊急着陸・回避行動を行うことで回避行動をとることができることを確認。



図 2.2.1.14-81 逸脱アラート・近接アラートの UTM 画面表示

上記実証を通じてアラート機能に関してあるべき姿を事業者内にて議論を実施。アラート全体に関して挙がった意見としてアラートの発報周期が機体依存である事の指摘があった。その為、あるべき姿としてテレメトリ周期の固定周期化または頻度が遅い機体に関しては、その事実を可視化する等の対応が必要と意見あり。逸脱アラート機能に関しては現在自社に向けた通知は備えているが、他社へ通知する機能が具備されていない為、近接アラートの情報の中に逸脱状態である等の機体情報の付加が必要と想定される。また、近接アラート機能に関して実証時には閾値 200m からアラートが発報される仕様となっていたが、十分な回避判断時間が設定されていないとの意見があがった。各社議論の上、以下近接アラートの通知目的並びに距離による実装が望ましいと想定される。

● **アラートレベルと位置関係**



	通知目的	衝突時間	閾値(距離)※
INFO	他機体が周辺に存在することを通知(情報提供)	2分	1800m
WARNING	衝突可能性を通知 (回避の検討・開始)	30秒	450m
CRITICAL	衝突直前である事を通知 (回避の実施)	10秒	150m

※向かい合う方向に2機体が7.5m/sで移動しているものとして計算

図 2.2.1.14-82 近接アラートレベル

図 2.2.1.14-82 に示すように近接アラートについては　INFO、WARNING、CRITICAL　とレベルを設け、INFO に関しては情報提供目的として広めの距離を設定するのが望ましいと想定される。また、実際の回避行動については WARNING または CRITICAL を受けてから実施する事を想定する。ただし、上記閾値を設定した場合、機体の位置等が周辺に通知されることが望ましくない事業者の機体位置が提示されることになる。その為、機体情報の通知に関しては位置のみ等最低限とする並びにエリアとして表示する等の対応が必要と想定。空撮のように計画時点から機体同士が接近するケースが想定される為、その場合はクライアント側でアラートを非表示にする、または対象外にする等の対応が必要と想定される。各社アラート機能に関しての問題点並びに今後の課題をまとめると以下のとおり。

表 2.2.1.14-24 アラート機能に関しての問題点と課題

問題点	今後の課題
アラート発報周期が自機体のテレメトリ送信間隔依存であり、アラートとしてのライフタイムが定義されていない。	テレメトリ発報周期にも同程度の通信頻度を要求、またテレメトリは発報周期が遅い機体はその事実を可視化する等の対応が必要。
逸脱アラートは自社機体の逸脱検知はできるものの、周辺（他社）機体の逸脱は検知できず、異常動作機体に備えることができない。	近接アラートに対して相手の機体情報として逸脱有無等を付加する等の対応が必要。
適切な閾値は機体の飛行速度に依存するため、現状の仕組みでは対応が困難。	衝突予測時間(TTC)を閾値に組み入れる。
警備用途など、機体位置が周辺他社へ通知されることを望まない事業者の取り扱いについて要検討。	機体情報は必要最低限とし、用途 - 社名などを含めない。また近接アラートの INFO レベルでは、接近する機体の絶対位置は表示せず、相対位置や接近する機体の方向のみを表示する等の処理を検討する。あるいは、計画された飛行ルート・エリアから脱していない機体であれば、飛行ルート・エリアを示し、ルート・エリアからの対比を促す等の処理により、機体の絶対位置を秘匿化する等の対応を検討する。
高度の取り扱いについて検証が不十分であり、検討が必要。高度は　RTK　非対応機体であると情報信頼性が低い場合がある。	システム対応としてアラート機能は　RTK　搭載機体同士かそうでないかで判定ロジックを分ける。または原則水平離隔をとる前提とし、水平距離で判定する。 RTK　非搭載機体の場合、離陸時に離陸地点の地表からの高度を登録する。
意図的に近距離を飛行する機体に対するアラートの取り扱いについて検討が必要。	自社機体であることが想定されるため、クライアント側でアラートを非表示にする。また空域対機体の近接アラートを追加することで、他社向けには空域での接近を通知し自社機体同士の接近については自社システムにて対応とし運航管理システムの管理外とする。

- 接近回避検証

接近回避検証として警備機体逸脱時に点検機体は上昇、緊急着陸地点への着陸並びに水平移動の 3 種類を回避方法として実施。回避については状況に応じた判断が必要であることを前提に、各回避方法についてメリット、デメリットの整理を実施。結果については表 2.2.1.14-25 接近回避方法別のメリットとデメリットに示す。

表 2.2.1.14-25 接近回避方法別のメリットとデメリット

	緊急着陸地点への着陸	水平移動	上昇
メリット	・着陸後は空中での機体衝突可能性がなくなる為、安全性に関しては最も高いと想定。 ・他バッテリーと違いバッテリー残量の影響を受けにくい。	・接近機体に対して反対の方向に退避できる為、安全性は高いと想定。	・他退避方法と比較し優位点はなし。
デメリット	・事前に第三者が立ち入らない場所等の着陸地点の十分な検討、設定が必要。 ・河川や海上周辺で運航を実施する場合、着陸場所の精査が必要。	・バッテリー残量によっては退避した先での着陸が必要。 ・周囲に構造物が多い環境では選択ができない。 ・相手機体の方向が事前に把握できない為、退避方向の予測、設定が事前に困難。	・退避時間が長くなる場合は着陸に切り替える必要がある。 ・バッテリー残が少ない状況では上昇は安全上不可。 ・建物や橋梁下の場合実施が不可。 ・高度が正確に取得できておらず、表示上の高度と実際の高度が異なっている可能性がある。

回避検証を実施した事業者からの意見としては、どの回避方法を実施するのかについては運航状況次第で変わる部分が多く、ルールベースで回避方法を設定するのは難しいとの意見が挙がった。ただし、機体によっては高度が正しく取得できていないケースがある為、回避方法を実施する場合、水平距離の離隔は必須であると想定されるとの意見が挙がった。また、事前の複数の回避方法を検討、設定するのが望ましいとの意見も挙がった。

③ UTM 運用検証

UTM 運用検証では統合運航方法の検証、運航体制の比較検証、優先度設定検証、緊急時の対応検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

● 統合運航方法の検証

統合運航方法の検証では計画時点にて運航に際して必要な情報整理を事前に実施。また実証と合わせて今後運航管理システム並びに運航制御を行うシステムにて情報提供の拡充が必要な要素並びに情報制限が必要と想定される項目について洗い出しを行った。
挙がった意見については以下のとおり。

表 2.2.1.14-26 情報提供の拡充が必要な要素と情報制限が必要と想定される項目

方針	提供システム（案）	項目	内容
情報提供拡充	運航管理システム	気象情報	現時点では乱気流・視程・雲底・着氷情報は運航管理システム、飛行制御システム上双方で情報連携されない為、提供が必要。また、現時点で運航管理システムには上記含む気象情報が連携されない為、拡充が必要。
		制限区域	対地 150m 並びに小型無人航空機禁止法該当箇所が運航管理システム並びに飛行制御システムの双方で連携されない為、提供が必要。
		障害物情報	NOTAM 等にて有人機では提供されている物件情報を受け取る事ができない為、拡充が必要。また、地形情報は飛行制御システムのみで確認が可能の為、

			運航管理システム側でも情報連携が必要。
		他航空機	無人航空機の場合、該当の運航管理システムに接続しているドローン以外も情報連携が必要。また、有人機情報も連携が必要。 ヘリコプターについては目的地の提示が今後必要。
		第三者	現状システムとしては離着陸地点並びに飛行経路上の第三者について検知する方法がない。離着陸地点は基準に則った安全管理の上、状態連携が必要。
		ポート	ポートの健全性並びに状況についても確認が必要。
	飛行制御システム	フライトプラン	自社機体の飛行目的については確認が必要。
		障害物情報	飛行制御システム側においても NOTAM 等にて有人機では提供されている物件情報を受け取る事ができない為、取得が必要。
		機体システム	機体状況（コンパス等）が不正な場合のアラート発報が必要。事前の整備点検状況も確認可能となる方が良い。
情報提供制限	運航管理システム	他航空機	他社機体情報が運航管理システム上にて確認可能な場合に社名、目的、飛行ルート、機体等の情報は管理者等の適切な権限者以外は提供不可等の制限が必要。

- 運航体制の比較検証

物流

領域においては運航体制として操縦士のみ、または操縦士と運航管理者の 2 つの体制にて実証を実施。各体制におけるメリット並びにデメリットの整理を実施。

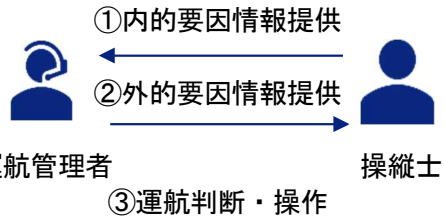
	操縦士のみ	操縦士と運航管理者
運航体制		
概要	・操縦士単体でシステム等を確認の上、操縦士自身が判断し操作を実施。	・操縦士は内的要因（フライトプラン、機体情報）に関する情報提供。それを受け、運航管理者は外的要因の情報を連携。操縦士にて運航判断・操作。
メリット	・操縦士単体で飛行を実施する為、人員並びにコミュニケーションコストが少ない。	・空域の安全担保の観点から運航管理者は見るため、有人機接近時等については認知の早期化を図る事が可能。 ・緊急着陸地点への誘導等、緊急度が高い状況において、外部状況の提示が素早く実施する事が可能
デメリット	・操縦士のみで運航を実施する場合、操縦士は自機体の運航に集中する為、有人機等の接近に対して認知が遅れる等の可能性がある。	・操縦士 1 に対して運航管理者 1 の体制の場合、運航管理者と操縦士間でのやり取りは負荷となる。または有用性が低い。 ①運航管理者分の人員コストが発生。

図 2.2.1.14-83 運航体制の比較

今回実証を行った物流事業者から、運航管理者については主に緊急時等において存在は有用と意見が

挙がった。ただし、本実証にて実施した機体 1 に対して運航管理者 1 人の体制では人員コスト等観点から問題がある。ビジネスモデルを含めた成立の為には次のステップとして図 2.2.1.14-84 のような体制にて検証が有用であると想定される。

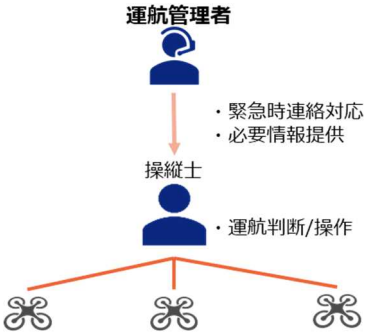
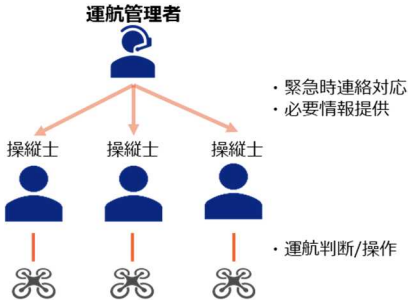
		パターン 1	パターン 2
運航体制概念図			
運航体制		・運航管理者 1 人は 1 人の操縦者の運航状況の管理を行う。 ・操縦士 1 人は複数の機体に対して運航判断並びに操作を行う。	・運航管理者 1 人にて複数の操縦者の運航状況の管理を行う。 ・操縦者 1 人に対して機体は 1 機にて実証を実施。
役割	運航管理者	・運航管理者は自身の担当する操縦士からの要望に応じて受動的に必要な情報の提供を実施。ただし、運航の安全に支障が発生しうる場合、例えば他機体との接近時や機体のバッテリー残量低下時等発生した場合は能動的に連絡、情報提供を実施。	
	操縦士	・操縦士は複数台のドローンの運航判断並びに操作を実施。 ・操縦士は自身にて判断の上、操縦を実施。必要に応じて運航管理者側へ周囲の天候等情報提供を依頼。	

図 2.2.1.14-84
物流領域における人員コストを考慮した体制のパターン

- 優先度設定検証

平時における警備、点検領域にて接近時の回避対象機体決定の為、事前の優先度設定を実施した上で輻輳検証を実施。実証結果から、民間が運用する無人航空機同士の運航調整において、飛行前に何らかのルールに基づいて優先度を設定することが、有用であるとの結論となった。
ただし、同一優先度の機体が接近した場合や、バッテリー残量低下等の緊急事態が発生した場合、飛行中に優先度が変わる場合など、様々なシナリオを基にルールの整理が必要である。優先設定検証に関しての問題点並びに今後の課題をまとめると以下のとおり。

表 2.2.1.14-27 優先設定検証に関する問題点と課題

問題点	課題
同一優先度の機体接近における飛行優先度決定の方法。	有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールを適用。近接アラート発報時、運航管理システムへ優先飛行申請を先に実施した機体を優先。
警備巡回から犯人追跡への切り替えの際、優先度変更を運航管理システムに通知する方法。	優先度・飛行経路の変化する機体は、事前に複数の飛行計画を申請し、飛行計画の切り替え申請を行う仕組みを設ける。優先度は飛行計画に紐づける。
機体緊急時における優先度の設定が必要。	左記優先度設定の中に用途に加え、緊急事態が発生した機体（バッテリー残量低下等）の優先度を追加する。

- 緊急時の対応検証

物流領域において飛行中の有事発生を想定し、緊急着陸地点への着陸を完遂した。シミュレータを活

用し、有人機接近を想定した、無人航空機の引き返しについても実施を行い完遂した。



図 2.2.1.14-85 緊急時の対応検証における UTM 画面

一方で、ドローン機体が GPS やコンパスを喪失した際のフェールセーフ機能について現状考慮されていない事、また上記の喪失状態においても飛行制御を行うシステムからアラート等が発報されるべきである等の意見が挙がった。また本実証では緊急着陸を実施したが、都市部を想定する場合そのような緊急着陸地点の確保が難しく、ヘリポート等の活用等制度措置が必要であると想定される。また現状有人ヘリコプターの機体に関してはそもそも目的地が明示されていない。その為、進行方向が予測困難である為、ヘリコプター側から目的地提示の上、運航管理システムとの連携が必要である等の意見が挙がった。緊急時の対応検証に関しての問題点並びに今後の課題をまとめると表 2.2.1.14-28 のとおり。

表 2.2.1.14-28 緊急時の対応検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
ドローン機体の GPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。	GPS に依存しない位置推定技術（画像認識・5G）の検討。複数 GPS アンテナにより、磁気干渉に影響を受けない方位推定技術の検討が必要。
ドローン機体の GPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。 有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を半径 9km（3 分）圏内到達時と仮定。範囲が広く実運用時に同様の基準を設けるとドローンの回避操作が頻発する懸念あり。	ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能の追加検討が必要。
都市部にて運航を行う場合、緊急着陸地点の設定が困難と想定される。	ビル屋上のヘリポートを緊急着陸地点に設定可能とするなどの法的対応が必要。
機体の状況（コンパス、RTK 等）が離陸前に不正な状態であった場合でもエラー等が発生しない。	運用等で事前確認事項を設定する、飛行制御システムとして警告を発報する等対応が必要。

④ 地域実証検証

地域実証検証では医薬品配送方法の検証、授受管理検証、費用見積と既存交通との比較、遠隔による制御飛行、費用構造の検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

- 医薬品配送の検証

物流領域にて実施した医薬品配送の検証についての結果を示す。医薬品配送として配送時間、配送重量、配送品質の 3 点から要件を設定し検証を実施。配送時間については、求められる要件であった出発から到着までの既存の配送時間 15 分に対してドローン配送時の配送時間が約 9 分と配送時間の短縮可能である事を確認。上記を通じてドローン配送の場合、緊急時等を想定した迅速な配送に関して有用性が見られることを確認した。実証を行った各回における配送時間は表 2.2.1.14-29 のとおり。

表 2.2.1.14-29 物流領域実証における配送時間

実施日	配送出発時間	配送到着時間	配送時間
10 月 27 日	14:40:31	14:49:30	8 分 59 秒
	15:40:42	15:49:48	9 分 06 秒
10 月 28 日	10:35:08	10:44:29	9 分 21 秒
	13:35:16	13:44:25	9 分 09 秒
	14:35:22	14:44:30	9 分 08 秒

配送重量に関して本実証において平時での医薬品卸企業では最小 2kg からの輸送を実施。本実証においては安全等を考慮し上限 5kg までの配送を実施し、問題なく輸送可能である事を確認した。上記を通じて、医薬品卸企業の最低限度求められる重量の輸送が問題なく可能である事を確認した。配送品質に関して本実証においては、医薬品を模擬したアンプル（内容量水）の輸送を紙のケースに梱包の上配送を実施。また内部には温度計を設置し、温度管理に関しても問題ないか確認を行った。

配送物ならびに梱包の様子

● 医薬品配送対象



● 梱包の様子



図 2.2.1.14-86 物流領域実証で使用した配送物及び梱包の様子

上記方法にて梱包・配送の結果、破損等無く輸送可能である事を確認。配送品質については十分に要件を満たしていることを確認。

一方で機体の飛行状況についてエンドユーザ側に還元する方法の検討を必要とする課題があげられた。医薬品配送の検証に関しての問題点並びに今後の課題をまとめると表 2.2.1.14-30 のとおり。

表 2.2.1.14-30 医薬品配送の検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
機体の飛行状況について運航者サイドは把握できるが、エンドユーザ側でどのように確認すればよいか。	運航者側の運航管理システムとは別に顧客向けに配送状況を確認できるシステムを開発する必要。

- 医薬品授受管理

事前に計画実施した方法にて実証を実施した。

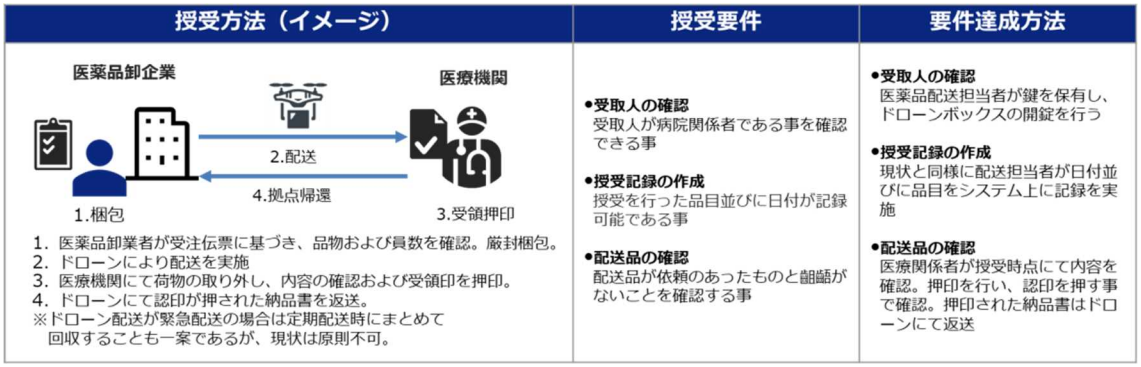


図 2.2.1.14-87 医薬品授受管理方法

実際の授受の様子については図 2.2.1.14-88 のとおり。



図 2.2.1.14-88 医薬品授受の様子

上記の授受管理方法を実際に行う事により現状の医薬品配送の要件である受取人の確認、授受記録の作成並びに配送品の確認の要件を充足し、現状の配送における授受要件を達成する事が可能と確認した。

一方でドローンの医薬品配送を実施する際にガイドラインに則した形にて配送を行う必要があるが、現状のガイドラインではドローンの医薬品配送にあたり満たすべき要件が具体的に示されていない為、ガイドライン側にて規約の策定が必要等の意見が挙がった。
授受管理の検証に関しての問題点並びに今後の課題は表 2.2.1.14-31 のとおり。

表 2.2.1.14-31 医薬品授受管理の検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要であるが、具体的な要件として何を充足すること（現状の配達方法の要件を満たすドローン独自の要件の設定）が求められるのか不明確。	実物の医薬品を医療関係者等へ輸送する際、ガイドラインにて規約の策定が必要。

- 費用見積と既存交通との比較

本実証から算出した本実証における実証時、レベル 4 想定時、軽貨物事業者それぞれの医薬品配送 1 回当たりの費用を記載する。なお、レベル 4 想定時の医薬品配送コストについては実証にて配置を行った飛行ルート上の補助者を配置不要とした際の費用と想定。

表 2.2.1.14-32 費用見積と既存交通との比較

輸送方法	1 回あたりの輸送費用（1～20km 間）	軽貨物事業者との差額
実証時ドローン医薬品配送（補助員あり）	約 200,000 円	約 195,000 円
レベル 4 想定ドローン医薬品配送（補助員なし）	約 50,000～5,000 円	約 45,000～110 円
軽貨物事業者医薬品配送	4,890 円	－

表 2.2.1.14-32 のとおり、現時点の医薬品配送にかかる 1 回当たりのコスト差は軽貨物事業者に対し約 200,000 円もあり、相当規模の乖離が見られるため継続的なビジネスの実現は不可能であると想定される。市街地でのドローン配送の継続的なビジネス化を目指す場合は橋梁上等に配置する補助者の削減は必須である。
レベル 4 を想定し補助者を配置不要とした場合においても、軽貨物事業者に対し最大約 45,000 円から最小 110 円のコストの乖離が想定される。この場合の 1 回当たりの輸送費用は表 2.2.1.14-33 に記載した項目を変動要因として想定している。

表 2.2.1.14-33 輸送費用の変動要因

変動要因	変動要因内容
運航頻度	機体性能向上による就航率向上、配送需要の精緻化による配送頻度の明確化
運用機数	同時運用可能な機数の拡大

その為、上記の運航頻度、運用機数といった変動要素に対して、機体性能向上による悪天候時の就航率向上と、配送需要の精緻化による配送頻度の明確化、そして運航管理システム及び手順を確立させることにより同時運用可能な機数を拡大させる事が今後必要と想定される。

上記のとおり、ドローン配送において他既存の配送方法に対してコスト観点にて同等程度または優位性を目指すにはレベル 4 が可能になる事のみではなく、機体性能の向上や運航上の改善例えば 1 操縦士による複数機体の運航等が必要であると想定される。その為、上記を実現するにあたり、政策上においては１対多数機運航のガイドライン作成や自動操縦に限定したライセンス制度の解禁、制度化が必要と想定される。

- 遠隔制御による飛行

遠隔制御による飛行については、空撮領域にて実証を実施。播磨科学公園都市遠隔操縦室より実際に空撮事業者開発のアプリケーションを利用して遠隔操縦を実施。

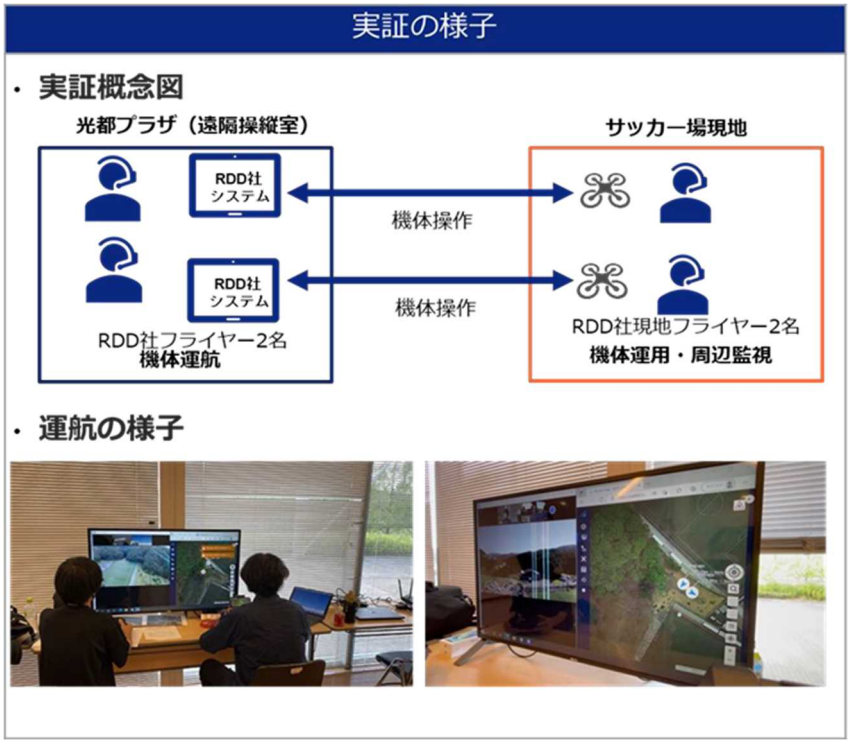


図 2.2.1.14-89 遠隔制御による飛行の様子

記載の体制にてサッカー場現地操縦士と連携の上、遠隔操縦を完遂した。
一方で遠隔操縦を実施する際には遠隔地から周囲の状況把握が必須である為、離発着地点への措置やその基準が必要であると意見が挙がった。また、遠隔操縦は、一般的な操作方法と一部異なる為、遠隔操縦に特化した訓練等が必要ではとの意見があった。
また LTE 断絶時等の対応方法についても代替手段の検討や運航ルールの設定が必要であると想定される。遠隔操縦の検証に関しての問題点並びに今後の課題は表 2.2.1.14-34 のとおり。

表 2.2.1.14-34 遠隔操縦の検証に関しする問題点と課題

問題点	今後の課題
遠隔操縦の場合、遠隔地からの周囲の状況把握（安全確保）が必要。	離着陸地点の基準（ポート有無、離隔基準）が必要。また今後はドローンポートと合わせた実証を実施。
遠隔操縦の場合、目視内での操縦士と操作等が一部異なる。	遠隔操縦に特化した操縦士の訓練の実施が必要。
LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合、操縦が不可となる。	LTE 断絶時の代替手順の検討や運航ルールの整備が必要。
現時点の運航体制ではビジネスの成立が難しい。	ビジネスを成立させるためには今回、リモートパイロット 1 と現地ドローンが 1:1 であった体制を将来はリモートパイロット 1 名が複数のドローンを操作する形が必要。

(6) 実証課題

本実証にて確認した問題点並びに課題についての詳細を記載する。

表 2.2.1.14-35 実証で確認した問題点と課題

領域	問題点	詳細	解決に向けた課題
社会実装	運航管理者： 操縦士：機体が１：１：１となることを前提とした現時点の運航体制ではコストが大きい。	１機体に対して操縦士１人、操縦士 1 人に対して運航管理者が 1 人という前提では、 １機体の飛行に必ず２人以上の人員が必要となる為、コストが大きくビジネスの成立が難しい。	【操縦士一人当たりの操作機体数の拡大】 遠隔操縦士 1 名に対して複数のドローン操作を可能にする。
	空撮領域における連続撮影にて機体の入れ替えは現状パイロット間でやり取りが発生し、調整コストが大きい。	複数機体を用いた連続撮影を行う場合には、パイロットの間での情報伝達が細かに必要で、都度調整が必要となっている。ビジネス時は撮影要件がよりシビアになることから、調整コストが大きくなることで操縦が難しくなることが懸念される。	【入れ替わり手順の整備】 入れ替わり等の手順について運航手順の精緻化を行う。
	ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要。	ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要となるが、現時点で規約等が制定されていない。	【医薬品配送ガイドラインの整備】 実物の医薬品を医療関係者等へ輸送する際、ガイドラインにて規約を策定する。
	警備領域にてドローンが十分に活用可能となるような空域の利用方法検討が必要。	レベル 4 の飛行において警備中に元々の飛行エリア（敷地）外に逸脱する際、どこに逃走するか分からない侵入者を追いかける飛行が現状難しい。	【緊急時の飛行エリア設定の整備】 警備の追跡といった緊急時には、民間機の利用においても特定範囲内であればルートなしで飛行可能となるような措置が必要。
		レベル 3 に関しては 24 時間占有的な利用ができない。	【飛行領域の占有】 事業内容よっては飛行領域の占有が必要になる為、他事業者からの調整要望等がない限り 24 時間占有を認める。
技術開発	高速移動する機体に対する UTM の活用可能性について検証が未実施。	例えば空撮は機体速度が時速 60km/h 以上となる事が想定される為、UTM の近接アラートの閾値やレスポンス要求などが現行の想定と合致せず、適切に機能しない可能性がある。	【高速移動体向けレスポンス検証】 高速移動する機体に対して UTM がどの程度活用可能かレスポンス等の観点からの検証を行う。

	近接アラートの適切な閾値は機体の飛行速度に依存する為、現状の仕組みでは対応が困難。	現在の近接アラートは距離を閾値としている為、例えば 150m の閾値に対し接近する2 機体の相対速度が5m/sであれば衝突までの猶予時間は 30 秒となるが、相対速度が 30m/s となると 5 秒となる。両者の危険度は明らかに異なる為、速度に応じた管理が必要。	【近接アラートへの TTC 組み入れ】 衝突予測時間(TTC)を閾値に組み入れる。
	優先度変更を UTMに通知する方法が必要。	本検証では、警備巡回から犯人追跡への切り替えの際等、飛行中に動的に飛行目的を変更し、優先度を変化させる設計を実施した。本実証では通話によってその変化を管理したが、現実的には UTM へと優先度変化を申請するような仕組みが必要である。	【優先度変更申請の実施】 優先度・飛行経路の変化する機体は、事前に複数の飛行計画を申請し、飛行計画の切り替え申請を行う仕組みを設ける。優先度は飛行計画に紐づける。
	ドローン機体のGPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。	離陸時及び飛行中に GPS/コンパスの喪失が起こった場合、異常な飛行を行う可能性があり、安全上の問題がある。	【GPS/コンパス以外の自己位置推定技術の開発】 GPS に依存しない位置推定技術（画像認識・5G ） を検討する。 また、複数GPS アンテナによる磁気干渉に影響を受けない い方位推定技術も検討する。
	LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合の対応検討が必要。	LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合には、状況把握ができなくなったうえで操縦が不可となり、安全上の問題が発生する。	【LTE 断絶時の代替策の検討】 代替手順の検討を行う。
環境整備	特定領域の要件に沿った形での UTMまたは機能が必要。	空撮の場合、機体同士が接近しやすいことや移動速度が高速になりやすいなどの特徴があり、他領域とは UTM に要求する機能が異なる。一方、各領域に合わせた UTM 開発を行うと様々な UTM が乱立する恐れがある。	【UTM のシステムツリーの検討】 機体管理の階層化のコンセプトを明確に提示し、それに沿った形でtree 状の管理を実施できるようにする。
	UTM 提供者毎に仕様が異なると開発コストが掛かる。	現在、複数の UTM 提供者が存在しており、接続仕様がそれぞれの UTM 間で異なる為、個別の UTM ごとにクライアントソフトウェアは異なる実装を加える必要があり、コストがかかっている。	【UTM の規格化】 UTM に対する接続インターフェースを規格化する。
	自社機体内で接近が予想されている場合にはどのように安全運航を管理するのか現時点で不明。	小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、飛行計画時点で機体接近を前提とするケースが存在する。現行のUTM 設計では飛行中常時複数の近接アラートが発報され、アラートとしての情報価値が低くなってい	【意図的な接近を前提とした安全管理方法・アラートの整備】 元々接近が想定されている場合、UTM で対応するのか、運航を管理している会社で管理して上位の UTM で他社ドローンとのコンフリクトを判定して通知、

		る。一方で、UTM クライアント側でアラート表示を抑止した場合、安全管理上の問題が残ることになる。	エスカレーションするのかという仕組み決めが必要。
	複数機体での空撮用途等、意図的に近距離を飛行する機体に対するアラートの検討が不足している。	小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、飛行計画時点で機体接近を前提とするケースが存在する。現行のUTM 設計では飛行中常時複数の近接アラートが発報され、アラートとしての情報価値が低くなっている。	【UTM アラートの抑止】 UTM としてはアラートを発報し、UTM クライアントで非表示とする。
	警備用途など、機体位置が周辺他社へ通知されることを望まない事業者が存在する可能性がある。	警備業者が巡回警備を行っている場合に、巡回ルートやルート上の監視時刻情報などが他社に開示されることを避けたい場合がある。そのような場合に、近接アラートを利用して広く他社に位置情報を通知することは望ましくない。	【周辺機体情報の匿名化】 ・機体情報は必要最低限とし、用途・社名などを含めない形で情報を送付する。 ・衝突に対する緊急度が高くない段階では他機体の相対方向のみを提示する。 ・逸脱等、異常行動を起こした機体でない場合は、機体位置ではなく、空域を示す。
	高度情報は、RTK 非対応の機体の場合は信頼性が極めて低い。	RTK 対応機体であれば高度情報は誤差数 cm 程度のオーダーであるが、RTK 非対応機体の場合の高度情報の誤差は数 m～数十 m というオーダーになる場合もある。これにより、高度情報の信頼性にばらつきがあり、全体としての動態情報としての信頼性が低下する可能性がある。また近接アラートの判定の信頼性が低下することで安全管理上の懸念が発生する。	【低信頼な高度情報への対応検討】 ・RTK 非搭載機体の場合、離陸時に離陸地点の地表からの高度を登録する。 ・高度情報を正確に取得できる仕組みを整備する。 【近接アラートの信頼性情報の追加】 ・RTK 搭載機体同士かそうでないかで判定ロジックを分ける。 ・原則水平離隔をとる前提とし、水平距離で判定する。
	複数機体での飛行を行う場合に、周辺他社機体の接近に対し領域内の複数機体すべてからアラートが出るのは情報として過剰である。	空撮では比較的狭い範囲内で複数機体の飛行を行うケースが存在する。そのような場合に、周辺他社機体の接近に対し領域内の個別機体すべてからアラートが出るのは情報として過剰である。	【空域単位での近接アラート開発】 空域 vs 機体の近接アラートを追加することで、他社向けには空域での接近を通知する。
	同一優先度の機体接近における飛行方法が検討できていない。	飛行計画時点で用途に応じた優先度設定をした場合にも、同一優先度に設定した機体の接近が発生することは考えられる。その場合にいずれの機体の飛行を優先するのか、またはどの機体が回避行動をとるべきなのかについて検討ができていない。	【UTM による動的な優先度決定方法の整備】 有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールを適用する。近接アラート発報時に UTM へ優先飛行申請を先に実施した機体を優先する方式を導入する。

	優先度設定に、非常時などのインフライトでの優先度変化の仕組みが検討されていない。	バッテリー低下や機体故障など、インフライト中に何らかのトラブルが発生した機体が優先する仕組みが必要。例えば有人機の場合は、燃料残が少なくなった機体を優先して飛行させる仕組みが存在する。	【非常時向けの優先度設計】左記優先度設定の中に用途に加え、緊急事態が発生した機体（バッテリー低下等）の優先度を追加する。
	有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を猶予時間3 分圏内到達時と仮定した場合、ドローンの回避操作が頻発する懸念がある。	本実証では、有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を半径9km（3 分）圏内到達時と仮定したが、範囲が広く実運用時に同様の基準を設けるとドローンの回避操作が頻発する懸念がある。	【有人機の到着地点情報共有】 ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示することで、回避対象範囲を制限する。
	都市部にて運航を行う場合、緊急着陸地点の設定が困難と想定される。	都市部では自由に着陸できる場所を飛行毎に確保するのが難しい。しかし、緊急着陸地点は安全管理上必要 。	【緊急着陸地点の整備】 ビル屋上のヘリポートを緊急着陸地点に設定可能とするなどの法的対応が必要。
	機体の状況（コンパス、RTK 等）が離陸前に不正な状態であった場合でもエラー等が発生しない。	離陸時及び飛行中にコンパスや位置情報に異常が発生した場合、異常な飛行を行う可能性があり、安全上の問題がある。	【機体の正常性確認手順・手法の整備】 ・運用等で事前確認事項を設定する。 ・FOS システムとして警告を発報する仕組みを導入する。
	機体の飛行状況を運航者サイドは把握できるが、UTM を見ていないエンドユーザ側では把握できない。	機体の飛行状況を運航者サイドは把握できるが、UTM を見ていないエンドユーザ側では把握できない為、物流領域での配送管理等エンドユーザ目線での位置情報管理ができない。	【エンドユーザ向け位置情報共有システムの開発】 UTM とは別に顧客向けに配送状況を確認できるシステムを開発する。

5.2.1.3　結論

(1) 実証総括

本研究開発項目の成果および意義は、実運用を想定したユースケース検証により、運航管理システムの社会実装に向けた課題を明らかにしたことにある。本項目では運航管理システム並びに物流、警備、点検、空撮のそれぞれの領域毎に実証の結果と評価、およびそれらを踏まえた提言内容を示す。

- 運航管理システム

本実証では、運航管理システムの機能や運用方法について検証を完遂した。結論として運航管理システムは、レベル 4 並びに複数の無人航空機が運航する場合の運航調整等に有効である。現状、各事業者は運航時、自機体の安全な飛行に対し十分な体制を取っているが、例えば他の事業者が運航する無人航空機や周辺を飛行する有人航空機の情報などは、運航管理システムに接続されていない既存のシステムでは事前に把握する事が難しい。これらの情報を共有する手段として運航管理システムが実装され、運航調整のシステム化が実現することによって、将来的にドローンの運航密度が増えたとしても、空域の安全性の向上と運航調整の効率化の両立することが可能である。

一方で、機能面や運用面では課題も見られた。機能面では現時点で運航監視システムは、UASO 側に提供可能な情報が現行有人機の運航に用いられる情報と比較して劣っている部分が存在する。例えば、現状有人機の NOTAM に提供されている物件情報や、雲底等の視界に関わる情報等も不足しており、今後情報の拡充が必要である。またアラート機能に関しても本実証では接近、逸脱の双方の検証を実施したが、双方接近の閾値等に改善の余地が見られる。

また、運用面では運航管理システムの責任範囲や、全体コンセプトの提示が UASO 側に示されるべきであるとの意見も挙がった。また、今後運航管理システムを誰に対して開示を想定し、どのように運用するかといった運航管理の体制検討が必要である。

- 物流領域

本実証では医薬品配送のケースを想定。実証では医薬品卸企業から病院への配送を想定し、実証を完遂した。配送の迅速性や災害時の代替手段としてドローン配送の有効性を確認した。一方で、物流領域においては運航体制整備に課題が見られる。需要が見込まれる市街地等を対象にドローン物流を行う場合、現行法上では飛行ルートが限られる事や、補助者の設置が必要になる。本実証でも橋梁の通過に際しては、橋梁 1 本に対して 2 名から 4 名の補助者を配置した。その為、現状では人件費によりビジネス成立が困難である。

一方で今後レベル 4 運航が可能になった場合でも、現状の操縦士 1 人が 1 機の機体を扱う体制では、同様に人件費面で継続的なビジネスモデルの成立が困難と想定される。その為、今後は運航管理システムの活用を前提とし、1 人の操縦士が複数機のドローンを運航する等の効率的な運航体制の構築が必要である。

- 警備領域

本実証では地域の施設警備を実施。ドローンを定期的に巡回させ敷地全体、上空からの監視が可能となり、警備レベルの向上を実現する事が可能であると確認した。また、有事にはドローンが空から直接急行し、早期現状把握並びに抑止力の向上が実現可能である。また、警備領域においては不審者等を発見し、侵入監視・急行を行う際に通常想定している飛行ルートから逸脱し、追跡を行う対応が必要である。その為、本実証では運航管理システムを利用した他事業者機体と輻輳検証を完遂した。

一方で、課題としては機体逸脱時の他事業者ドローンとの運航調整に関して、民間機同士の優先度の設定が必要であると想定される。例えば、緊急時に不審者を追跡する機体と点検を行っている機体の空域が重複した場合、より緊急性の高い警備機体に空域の優先的な利用が認められる等の優先度の枠組み並びにその運用が必要である。また、警備といった秘匿性の高い業務については、運航管理システムにて飛行ルートや機体の開示が制限される等の措置が必要である。ビジネスモデル面としては 1 台のドローンが複数の役割を行う、例えば通常時は点検を行い、不審者等を発見した場合、警備ミッションを行うというマルチユースの検討が必要である。

- 点検領域

本実証では地域点検や遠隔点検を想定したケースを実施。太陽光パネル点検等の広大な施設については、自動航行によるドローン点検が有用であることを確認。また、煙突等の複数施設にて地域点検を想定した実証を実施。高所等の人が立ち入り困難な場所や、広大な施設の安全で効率的な点検が可能な事を確認した。現状、既に一部点検にてドローンが活用されているケースについても一部の自治体関係者から意見が挙がった。

一方で、ドローンにて点検可能なコア人材が不足している事が更なるドローンによる点検の活用の一つの課題となっている。その為、遠隔操縦を活用し、操縦士 1 人当たりの点検数を拡大させるなどの対応が必要となる。また、遠隔点検の課題として施設からの電波干渉、非 GPS 環境並びに LTE の通信ができないケースが多く存在する。上記影響の技術的な対応や、LTE の通信ができない場合の対処法等の継続的な検討が必要である。

- 空撮領域

本実証ではスポーツ場における空撮を完遂し、ドローンにおいてスポーツ解析の有用性を確認した。スポーツ施設にて空撮サービスを継続して提供する場合、運航管理システムを利用した遠隔操縦にて、人件費等のコスト削減が有用である事を確認した。また、自社製ソフトウェアと運航管理システムの接続を実施し、連携が可能である事を確認した。

一方で、空撮領域においても物流領域と同様、現状の操縦士 1 人が 1 機体を運航する体制の場合、コスト上継続的なビジネスモデルの成立が難しいと想定される。その為、今後は操縦士 1 人が複数機体を同時に運航する体制の検討がビジネスモデル拡大の為には必要である。また、空撮領域の運航特性上、自社の複数運航機体が特定領域内で意図的に接近する状況が多く発生する。その場合、運航管理システム側がどこまで運航に対してアラートを発報するべきかといった運航管理システムと、他社システムとの機能的な役割分担の検討が今後必要である。

(2) ドローンの社会実装に向けた提言

本項目においてはドローンの社会実装に向けて、本実証の目的である運航管理システムの技術開発並びに持続可能な運用体制それぞれに対して提言事項をまとめる。

①運航管理システムの技術開発に関する提言事項

本項目では、本実証にて実証事業者から挙がった運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。なお、運航管理システムを利用した運航体制の観点は、次項の持続可能な運用体制に関する提言事項にて記載を行う。

- UASO 側にて満たすべき責任/機能を明示したコンセプトの提示が必要。
  運航管理システムがどこまでの責任・役割を担うのか、またどこまでの機能を持つ事を想定しているのかといった全体アーキテクチャが示されていない。その為 UASO 側が運航管理システムを利用する場合、自社としてどこまで責任並びに機能を持つべきなのかというスコープが不明である。その為、特定の領域に特化した運航体制システムの乱立を招く恐れもある。

- UASO システムと運航管理システムの接続方法については統一的な規格が必要。
  運航管理システムの提供者が海外、国内において複数存在する事が想定される場合、提供者毎に接続方法が存在する場合では、UASO の対応コストが大きくなる。その為、運航管理システムとの接続方法については統一的な規格が必要である。

- 運航管理システムからの提供情報の拡充が必要。
  現状運航管理システムから提供される情報は有人機航空機の運航管制にて利用されている情報と比較し、十分な情報が提供されていない。具体的には、物流領域の統合運航方法の検証にて整理した気象情報や障害物情報、第三者の情報が不足している。その為、上記情報を保有する企業、機関の情報開示の促進並びに運航管理システムとの情報連携や、必要な情報の取得方法の検討などを通じ、運航管理システムからの提供情報の拡充が必要である。

- 運航管理システムのアラート機能について改善/拡充が必要。
  本実証においては逸脱並びに近接アラートについて検証を実施した。アラート検証でも記載したとおり、アラート機能については接近の閾値や機体の状況等の通知内容の拡充が必要である。

- 運航管理システムの利用用途、運航状況に応じた開示可能な情報の制限が必要。
  運航者の特性上、例えば警備上の観点から飛行ルートを知られたくない警備事業者や飛行そのものを秘匿したい警察・自衛隊が運営する機体が存在する。その為、運航管理システムに表示/通知されるは利用者の利用用途毎に管理されるべきである。また一方で接近時等運航安全上の観点から、運航者同士で機体の位置情報の共有が必要となる場合においても情報開示を抽象化して表示する等の対応が必要である。

- 運航管理システムから提示される運航情報の信頼性の向上が必要。
  現状運航管理システムから提供される情報は、機体から提示される情報に依存している。その場合、仮に機体から送信されるテレメトリ情報の間隔が遅い場合や RTK 非搭載の機体は、運航管理システム上に表示される情報と実際の機体状況にずれが発生する可能性が高い。その場合は、運航管理システムを活用したとしても正しい運航状況が把握できず、安全上問題がある。その為、運航管理システムに接続する機体に仕様制限を求める、または情報の信頼性が低い事を運航管理システムが明示する等の措置が必要である。

②持続可能な運用体制に関する提言事項

本項では持続可能な運航体制各社から挙がった提言事項を記載する。

- 機体の健全性を担保する指標並びに異常検知の仕組みが必要。
  ドローンが周辺環境例えば磁場等から影響を受ける場合、どこまで運航上許容することが可能なのかについて指標の設定が必要である。また、現状機体の異常時（コンパスのずれ等）を検知発

報する機能が機体並びに飛行制御システムに搭載されていないケースが存在する。リスクの高い空域を運航する機体は、上記通知機能等の具備を求める、または運航にあたる確認事項を設定する等の対応が必要である。

- 緊急着陸地点の利用緩和措置が必要。
本実証では事前に緊急事態発生時の緊急着陸地点を設定の上実証を実施。一方、市街地においては緊急着陸地点の確保が難しい場合等が考えられる。その為、ビル屋上のヘリポートや公共施設の屋上等を緊急着陸地点として設定が可能となるように法的、または制度的な支援措置が必要である。

- 運航前の周辺関係者との調整について法的規定並びに効率化が必要。
レベル 4 がビジネスの前提である物流、警備については運航を行うにあたり、飛行周辺の関係者等が多岐にわたる。現行では上記関係者への運航許可並びに周知が明確に定義されていない為、事業者はより調整に工数が必要となっている。その為、上記の調整は法的義務なのか努力義務なのか不要なのか明確化が必要。また、現状上記関係者の洗い出しは事業者独自に調査確認しているケースが多くを占め、漏れが発生する等の可能性もある。その為、自治体関係者等の申請はシステム化による明確化、短期化が必要である。

- 複数機体を 1 人で操縦する運航体制、方法の制度化、検討が必要。
現状の運航体制は、操縦士：機体の割合が１：１を前提としており、複数機体を１人で操縦する運航方法に関するルールは整備されていない。１：１を前提とした運航体制は、人件費の負荷が大きく、持続可能なビジネスモデルの構築が困難な事業領域が存在する。その為、ビジネスとして社会実装を行う為には、1 人の操縦士にて 2 機以上の運航を可能とする運航体制の検討、１対多数機運航のガイドライン作成や自動操縦に限定したライセンス制度の解禁、制度化が必要である。

- 運航における無人航空機同士の優先度の詳細化・検討が必要。
現状運航管理においては、無人航空機同士の運航における優先度の枠組み設定が示されていない。今後、同一地域にて災害時並びに平時それぞれにおいて複数事業者のドローンが運航する場合、事業者の業務用途や機体状況に応じた複数段階による優先度の枠組み設定が必要。また、同一優先度における優先権の設定方法例えば有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールといった内容の設定が必要である。

- ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能の追加検討が必要。
現状ドローンと空域が重複する可能性が高いヘリコプターは、FOSTER からの情報提供を通じて運航管理システムにて位置情報の取得を行っている。ただし、現状ヘリコプターから目的並びに進行予定ルートは示されていない為、ドローンがどちらに回避するべきなのかといった点で安全上の懸念がある。また、目的地が明示されていない状況で安全措置の為に回避基準を広めに設定した場合、回避行動が頻発し、ドローン運航者の事業が成り立たないことが想定される。その為、ヘリコプターの動態監視装置に目的地や想定運航ルートを明示する機能の追加が必要である。

- 離着陸地点のリスクに応じた基準設定の明確化が必要。
離着陸地点に関して立ち入り禁止の措置を行う場合の明確な基準設定が必要。また、目視外補助者等を設置しない例えばドローンポート等における離着陸地点設定の場合には、電波状況や磁場の状況等の確認手順や方法に関して基準が必要である。

- 電波健全性の確認方法、基準の設定が必要。
LTE を利用した飛行の際には、飛行ルートにおける電波状況の健全性の確認が必要。現状事業者が LTE の健全性を確認する為の方法が存在しない。その為、事業者が想定する飛行ルートの電波健全性を確認する方法や、健全性の基準等が必要である。また、電波干渉等により電波が断絶される可能性もある為、断絶時の対応策の検討も必要である。

- 飛行計画（エリア・ルート）の設定についてより柔軟な対応が必要
  現状システム的に把握する事が難しいケースが存在する現行制度では、民間事業者による飛行制限空域の設定ができず、特定のエリアを占有するような飛行計画の通報も認められていない。、また、目視外飛行の許可・承認申請ではルートを特定する必要がある。警備領域等の特定の事業のビジネス成立のためには、他の事業者が運航するドローンの侵入を制限したり、不審者追従等で計画されたルートから逸脱し、計画外のルートを目視外で飛行する等の自由度が求められる。その為、運航管理システム等を活用することにより、上記の飛行計画の設定に関する制限の緩和が必要である。

(10). 5.2.2.研究開発項目③東日本ユースケース検証（パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

5.2.2.1 事業概要

2020 年度及び 2021 年度に宮城県仙台市にて、物流、警備、鳥獣害調査、点検の領域でドローンの地域実装を想定し、運航管理システムの技術検証とユースケースにおける各種検証を通じてビジネスモデル検証を目的とした。2021 年度は主にレベル 3、レベル 4 環境下に近い実ユースケース上での UTM 検証を実施した。UTM 環境下にて実施した物流・警備・点検の 3 領域におけるユースケース概要については以下のとおりである。

(1) 物流

物流業界では、持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じた CO2 排出量削減に取り組んでいることから、ドローンに代替することで CO2 排出量削減が見込まれている。また、労働力不足への対策や、激甚化、頻発化する災害に強い物流ネットワークの構築にも、ドローンの輸送が期待されている。仙台市の物流事業者では、中山間地域の温泉街から、手荷物、お土産配送や、リネン等を定期便として物資輸送する際、コースとして 1.5 時間程度時間を要することから、中間の区域でドローンが代替して物資を配送することで、集配の効率化や、温泉街の PR にも繋がり自治体にもメリットがある。これらのことから、物流配送のユースケースを設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-36 物流領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-36 物流領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 （ターゲットユーザ）	物流事業者　（顧客イメージ：個人・法人）
サービスの提供先が抱える課題・需要 （現状の課題）	・道路状況に左右される配送手段 ・災害時に、道路等が使用不可となった場合の代替手段の整備 ・環境問題への対応（CO_2 削減等） ・小規模配送時のコスト削減 ・労働人口の減少に伴う人材不足への対応 ・遠距離の配送先（n 時間） ・現状の問題）事業者の配送拠点から離れたエリアで、集荷・配送に要する時間が長く、コストも高い
従来の取り組み 既存のサービス形態他	車（トラック等）を活用した配送

上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	作並温泉街と街の中間拠点（熊ヶ根想定）における物資輸送の実証実験を行う。 観光客の手回り品を想定し、各種重量における衝撃テスト等を行い物資への影響（損傷など）を調査。 ドローンの上空配送による輸送の迅速化、環境問題の改善、災害時の物資輸送手段として貢献することも視野に実施する。 ・UTM 観点の検証 テレメトリ情報(飛行情報)を基に、無人航空機との接近及び衝突リスクの検証。 ・通知(アラート) 確認 アラートを受けた各事業者は、飛行管理システムや飛行制御システム等の機能を通じて、自律飛行中の複数機体や他領域の機体の監視を行う。

(2) 警備（イベント施設）

警備分野において、既にドローンは活用されているが、今年度は東京 2020 オリンピックの開催年度でもあり、仙台市で実際に開催された、東京 2020 オリンピック聖火リレーセレブレーションイベントを想定したユースケースを設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-37 警備（イベント施設警備）領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-37 警備（イベント施設警備）領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 （ターゲットユーザ）	警備会社 （顧客イメージ：イベント運営企業/自治体ほか）
サービスの提供先が抱える課題・需要 （現状の課題）	事前の調査から当日の実施まで次のような様々な対応を要するためコストが高い。 ・事前打ち合わせによるヒアリング ・会場や道路状況、周辺地理等の情報収集 ・収集した情報を基に警備計画や警備指令書の構築 ・イベント会場に、監視カメラ等の設備や警備員を配置 ・現地での警備を実施 ・現状の課題） 当日の警備準備に伴う事前の情報収集が警備品質にも影響する。そのため入念な確認を行う必要があるため一定の時間を要する。その結果、コスト増につながっている。また、警備中の課題としては、防犯カメラでは不審者の逃走経路の把握が難しいことが挙げられる。
従来の取り組み 既存のサービス形態他	警備員（有人）による対応を行っている。
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	大規模イベント「東京 2020 オリンピック聖火リレーのセレブレーションイベント」を想定して実施。 ・不審者、不審車両の画像検証及びドローン警備の各種検証を行う ・UTM 観点の検証 テレメトリ情報(飛行情報)を基に、無人航空機との接近及び衝突リスクの検証。 ・通知(アラート) 確認 アラートを受けた各事業者は、飛行管理システムや飛行制御システム等の機能を通じて、自律飛行中の複数機体や他領域の機体の監視を行う。

(3) 警備（鳥獣害）

イノシシの個体数増加に伴う被害の増加に伴い自治体・猟友会・地域住民や警備会社の協力のもと被害発生後には罠を設置し対応している。ドローンにおいて、狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待されており、ドローンで取得した空撮後の画像データを、将来的にAI 解析する事で、効率的に生息域を割り出せることも同じく期待されている。これらのことから、鳥獣害の警備をユースケースとして設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-38 警備（鳥獣害警備）領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-38 警備（鳥獣害警備）領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 （ターゲットユーザ）	認定鳥獣捕獲等事業者（顧客イメージ：自治体）
サービスの提供先が抱える課題・需要 （現状の課題）	増加傾向にある有害鳥獣に対して、実務者の労働負荷が重くコストが高い ・年々個体数が増加傾向にあるイノシシへの対応 ・季節によっては個体重量も 100kg 近くであるため、捕獲から駆除作業が重労働となることへの対応 ・経験豊富な猟友会の方々の将来的な人材不足への対応 現状の課題として、国からの駆除要請もあり駆除しなければ個体増加の一途をたどる獣害被害に対する自治体・捕獲者の負荷軽減が課題。また、現状の鳥獣対応は地域周辺から被害報告を受けて対応を開始しているため、被害が発生する前に鳥獣を駆除できると農作物被害額を減少させることが図られる。
従来の取り組み 既存のサービス形態他	住民からの被害情報を得て、自治体が地元の猟友会等へ依頼し、わな等を設置。わなにかかった鳥獣を捕獲し、殺処分または各種加工を実施。
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	・獣害被害が発生する前に、ドローン空撮によるイノシシの生息エリアを調査し、予防措置が可能か検証を行う。 ・UTM 観点の検証 ・テレメトリ情報(飛行情報)の確認を行う。

(4) 点検

橋梁点検ビジネスにおいては、人材不足が深刻化しており、各種点検業務において 2030 年には労働人口の減少が加速化すると予測され（出所：パーソル総合研究所-中央大学「労働市場の未来推計 2030」）、人材減によるコスト増加の懸念がある。定期点検における打音診断をドローンが担うことはできないが、災害等のスクリーニング調査においては状況を把握できることから、事故や災害の一斉点検では一次調査に適している。特に陸路の寸断や広範囲の状況の把握等に強いドローンはスクリーニング調査に最適である。また、1 回の点検業務全行程に占める事務処理業務が 60-70%を占めておりドローン× AI による業務効率化が期待されている。これらのことから、橋梁点検のユースケースを設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-39 点検領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-39 点検領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 （ターゲットユーザ）	点検事業者（顧客イメージ：施設管理者）
サービスの提供先が抱える課題・需要 （現状の課題）	・労働人口の減少による専門人材の不足への対応 ・危険を伴う作業による事故リスク削減 ・足場の設置や特殊車両の使用よるコスト増への対応 ・図面作成から対応が必要時の対応 ・ドローンを活用できるか判断する際の条件やルールの整備 ・道路橋の老朽化（2023 年 全体の 39%、2033 年 全体の 63%が建設後 50 年以上経過） ・稼働の季節変動（厳冬・酷暑の実施を避ける傾向） ・（現状の問題）専門性が求められ、高所等、事故リスクを伴う作業が多く、コストが高い。
従来の取り組み 既存のサービス形態他	・5 年に一度は実施が必要な定期点検 ・近接目視目検や打音による点検 ・足場や特殊車両等を用いた点検 ・ロープアクセスを用いた点検
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	・UTM 観点の検証 テレメトリ情報(飛行情報)の確認を行う。

5.2.2.2 実証計画

(1) スケジュール

実証実験実施前の準備から全工程終了までのスケジュールを図 2.2.1.14-90 実証全体スケジュールに示す。

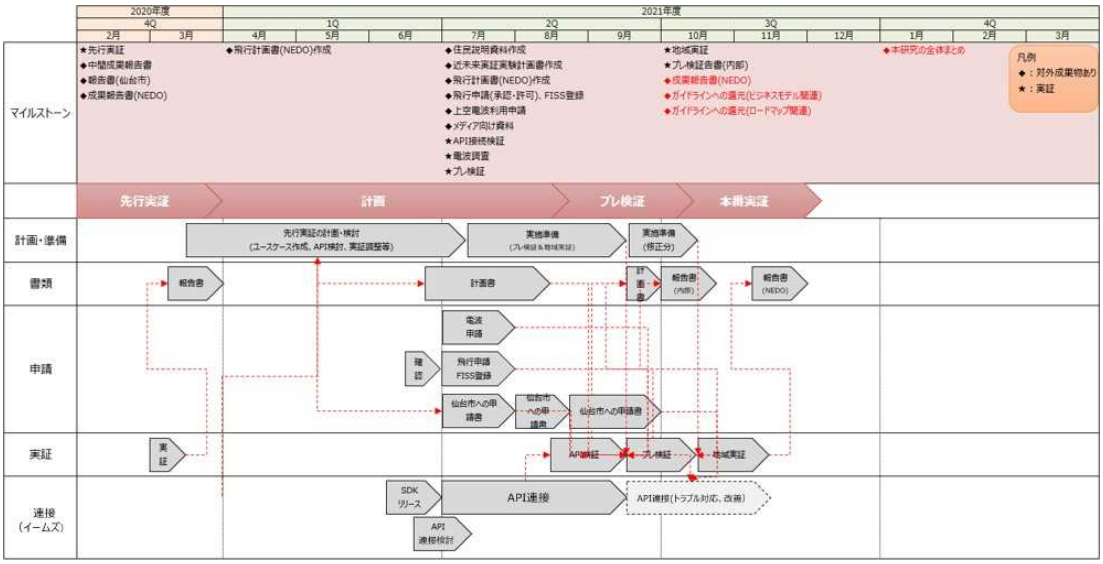


図 2.2.1.14-90 実証全体スケジュール

(2) 飛行ルート

・物流

運航管理システム（UTM）にて 2 機体同時に飛行し、それぞれの機体を運航管理システムにて動態管理できることを検証する。また、機体のコンテナ内に温度計、衝撃計を積載し、コンテナ内の温度及び、急発進、急停止、急旋回など実施し、コンテナ内にどの程度衝撃が加わるか計測する。セイコウ大橋付近で点検作業をしている機体と、物流機体とを接近させ運航管理システムにて近接アラート

が発生することを確認する。物流の飛行ルートは、図 2.2.1.14-91 物流に示す。

日時	10月27日 9時～15時 10月28日 9時～15時
ユースケース	ビジネスケース(非配送エリアへの配送)を想定し、中継地点を経由した配送を実施。また、昨年度比でペイロード増・距離増の飛行をする。
飛行ルート	作並小学校～新川分校～セイコウ大橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
飛行距離/飛行時間/積載重量	※後述参照
機体	イームズロボティクス社製
佐川急便様	UTM対応/配送品交換/ 到着品の状態確認（撮影）
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか



図 2.2.1.14-91 物流

・イベント施設警備

不審車両のナンバープレートや人物の容姿が識別できる限界距離・角度の検証や、不審者の立ち入り認識と追跡検証を実施した。飛行ルートを図 2.2.1.14-92 イベント施設警備に示す。

日時	10月4日 9時～17時
ユースケース	立ち入り禁止区域に侵入しようとする不審者をドローンで検知し、逃走する不審者を警備員とドローンが同時に追跡し、追いつく時間を比較する。
飛行ルート	大倉小学校
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
ALSOK	UTM対応者、警備員、不審者役、画像チェック
eロボ	フライトオペレータ、飛行監視補助者、撮影、機体準備
イームズ	フライトディレクター フライトオペレーター、撮影、機体準備



図 2.2.1.14-92 イベント施設警備

会場内に潜む不審者の検知を想定した飛行ルートを図 2.2.1.14-93 不審者の検知に示す。

日時	10月27日 10時～15時
ユースケース	敷地内に隠れている不審者を、ドローンが上空で捉え、警備本部から外にいる警備員へ連絡。警備員が急行し確保するまでドローンが不審者の追跡を行う。
飛行ルート	大倉小学校
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
飛行距離/飛行時間	100m/12分
機体	イームズロボティクス社製
ALSOK様	UTM対応者/警備員/不審者役/画像チェックアドバイス
eロボティクス様	フライトオペレータ、飛行監視補助者
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか





図 2.2.1.14-93 不審者の検知

・鳥獣害警備

可視光カメラ、赤外線カメラの両方を撮影できるカメラを搭載し、それぞれの映像をもとに有害鳥獣を探索。深夜帯、早朝帯と時間を変えて有害鳥獣の撮影を実施する。深夜帯、早朝帯それぞれの時間帯で飛行させたときの騒音を計測する。鳥獣害警備の飛行ルートを図 2.2.1.14-94 鳥獣害警備に示す。

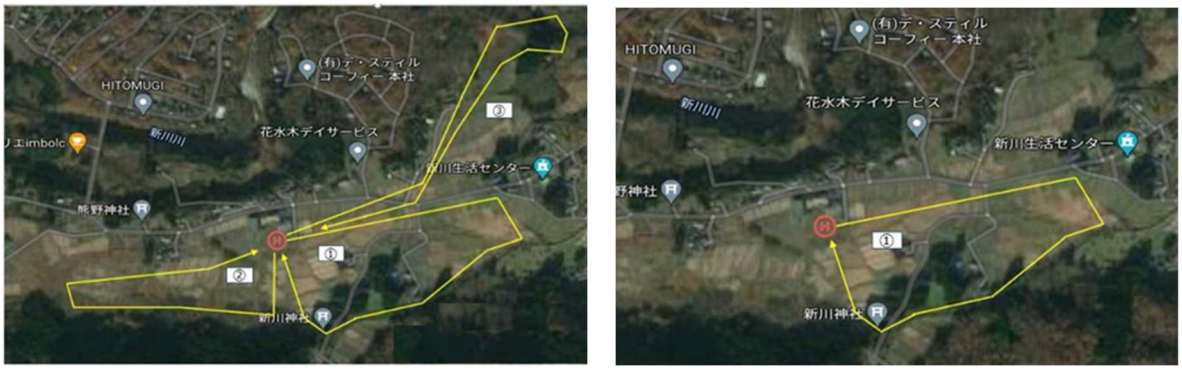


図 2.2.1.14-94 鳥獣害警備

・点検（セイコウ大橋）

橋梁の撮影を行い、上空からの取り付け部段差、鋼材変形・破断の有無がどの程度確認ができるかを

検証する。可視光カメラと赤外線カメラの両方で撮影し、見え方の差異を検証し、新川方面からセイコウ大橋付近まで飛行してくる物流機体と、点検機体を接近させ、運航管理システムにて近接アラートが発生することを確認する。飛行ルートを図 2.2.1.14-95 点検（セイコウ大橋）に示す。

日時	10月28日 9時～15時
ユースケース	災害時を想定したスクリーニング点検をドローンにて実施し精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	セイコウ大橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示（点検箇所指示を含む）
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか



図 2.2.1.14-95 点検（セイコウ大橋）

・点検（新鳴合橋）

橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証する。また、橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。飛行ルートは図 2.2.1.14-96 点検（新鳴合橋）に示す。

日時	10月5日 9時～15時
ユースケース	橋梁の定期点検を想定し、ドローンにて橋梁の撮影、および構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	新鳴合橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示（点検箇所指示を含む）
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか



図 2.2.1.14-96 点検（新鳴合橋）

・点検（渡幸大橋）
橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証し、橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。飛行ルートは図 2.2.1.14-97 点検（渡幸大橋）に示す。

日時	10月6日 9時～15時
ユースケース	橋梁の定期点検を想定し、ドローンにて橋梁の撮影、および構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	渡幸大橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示（点検箇所指示を含む）
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか



図 2.2.1.14-97 点検（渡幸大橋）

(3) 運航管理システム接続
実証実験における運航管理システムへの接続を図 2.2.1.14-98 のとおり示す。

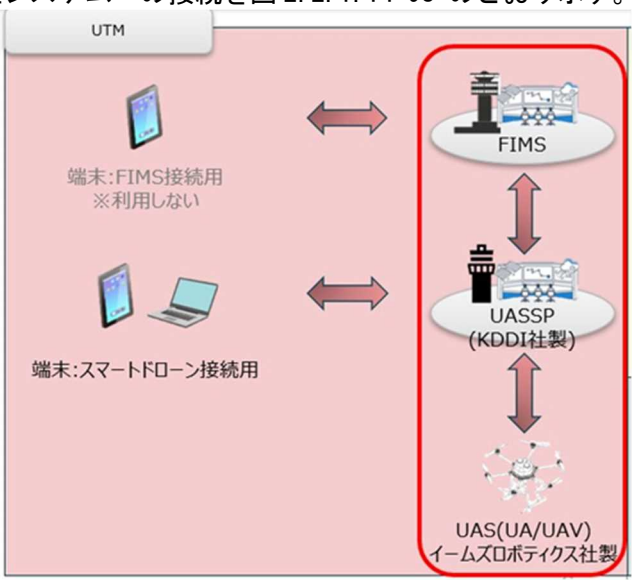


図 2.2.1.14-98 運航管理システム図

5.2.2.3　2020 年度実証実験の詳細

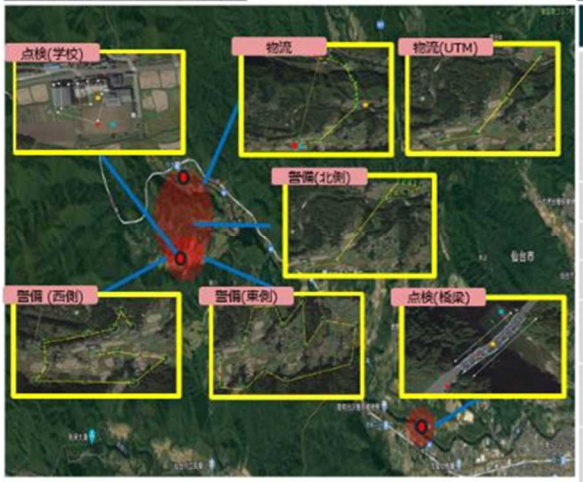
⑴ 実証の概要

2020 年度は、仙台市青葉区において、ドローンの地域実証を実施した。運航管理システムの検証では、UASO⇔UASSP⇔FIMS　の実証準備プロセスにおける課題を洗い出し、同一地域にて同時に３機体の運航が可能であることを目標とした。ユースケースは、物流・警備・点検の領域で仙台市の地域特性など勘案して設定し、ドローンビジネスの確立を目的として実証を実施した。

⑵ 実証の計画

① 実証場所

仙台市青葉区飛行ルート全体概要



ユースケース一覧

領域	日付	ユースケース	離発着地点	飛行ルート
物流	3月5日 3月7日	2拠点間(作並小学校、新川分校)において、ペイロード1～2kg程の日用品・医薬品を、ドローン(自律飛行)により輸送を実施。	【離陸】 新川分校グラウンド または作並小学校グラウンド 【着陸】 作並小学校グラウンド または新川分校グラウンド	新川分校 ⇔作並小学校
警備(東側)	3月5日 3月6日 3月7日	ドローンポートでの離発着。ドローン(自律飛行)により新川エリアにて、有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)を実施。	【離着陸】 新川分校グラウンド	新川エリア (東側)
警備(西側)				新川エリア (西側)
警備(北側)				新川エリア (北側)
点検(学校)	3月7日	特定の施設(渡辛大橋、新川分校)に対し、手動操縦によるドローンにて、施設の点検、および構造物の三次元台帳化等を実施。	【離着陸】 新川分校グラウンド	新川分校
点検(橋梁)	3月6日		【離着陸】 渡辛大橋付近	渡辛大橋
UTM -物流(UTM)- -警備(西側)- -点検(学校)-	3月7日	同一地域にて同時飛行する3機体の運航管理を実施。	【離着陸】 新川分校グラウンド	新川分校⇔作並方面 新川エリア (西側) 新川分校

図 2.2.1.14-99 2020 年度実証概要

② 実施体制

・実施体制図

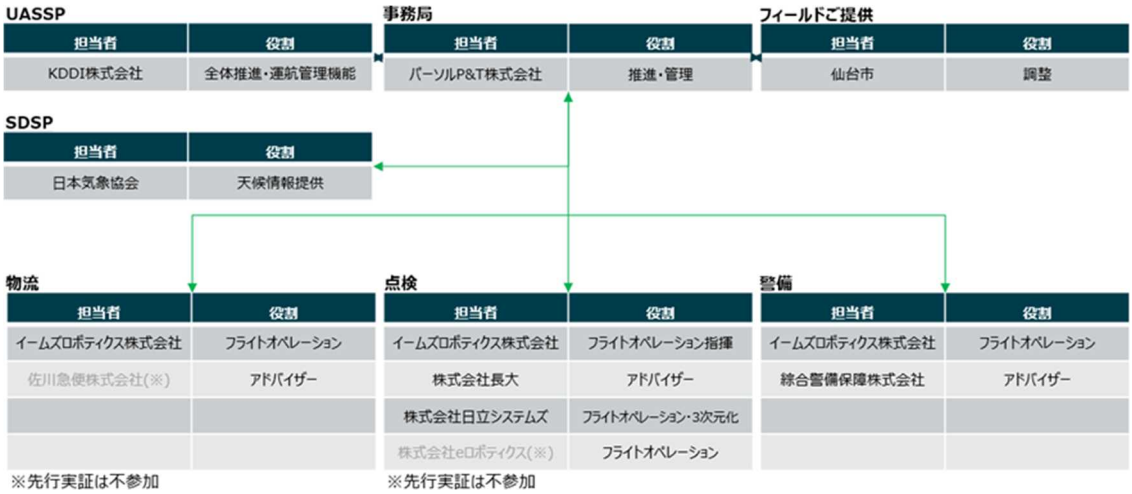


図 2.2.1.14-100 2020 年度実証体制

(3) ユースケースの概要

表 2.2.1.14-40 ユースケースの一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	新川分校⇔作並小学校間においてドローン(自律飛行)による日用品・医薬品輸送を実証した。 山間部(山超え)でのユースケースを実施し、電波等が問題無いことを確認し、 ルートの実装が可能なことを実証した。	LAB6106	1	接続方法は、5.2.2.2(3) 運航管理システム接続を参照 通信回線はLTE
警備	新川エリア	日中帯に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)実施。またドローンポート利用による離発着を実施し、実運用時の自動離発着の姿を地域に周知した。	LAB6106	1	
点検	新川分校	橋梁、構造物(渡幸大橋、新川分校)の点検にて、ドローンを活用し、三次元台帳化等を実証した。	LAB470	1	
	渡幸大橋		LAB470	1	

(4) 実証結果及び課題

表 2.2.1.14-41 2020 年度の実証実験を通じた課題

実証領域	令和2年度実証目標	達成状況	令和3年度に向けた取り組み課題
運航管理システム	・物流および警備のユースケースにおいて，同一空域の複数機体での飛行を行うこと。	・運航管理画面(UASSP)にて，同一地域で同時飛行する3機体の一元管理（3コンソーシアムにて9機同時フライト)ができることを実証した。 ・SDSP(日本気象協会)による天候等の情報提供により，円滑な実施判断を行えた。	・安全な自律飛行を実現させるために，機体の動態管理や，フライトコース上に他機体の侵入を検知したときなど，運行管理者に知らせるアラート機能の実装が課題。 各領域のユースケースに沿ったUA～運行管理システムとの連接強化（機体制御等)を行い，アラート機能など強化されたシステムを検証する。
物流	・特定の2拠点間において自律飛行を行うドローンにより物資輸送することが可能であること。本ルートでは中山間地域特性である，山を超えての飛行を実施する。通常時に加え災害時での道の断絶の可能性等も含めた利用用途の検証を実施する。	・特定の2拠点間(新川分校⇔作並小学校)においてドローン(自律飛行)による日用品・医薬品輸送を実証した。 ・山間部(山超え)でのユースケースを実施し，電波等が問題無いことを確認し，ルートの実装が可能なことを実証した。	・より地域課題やビジネスニーズを想定した特定の2拠点，または複数拠点間にて，ペイロードを増強した荷物の配送か，令和2年度と同等の重さで長距離配送の実施が可能であることが課題。 そのため，令和3年度は飛行距離とペイロードを伸ばし，複数機を用いた複数拠点間での配送を検証する。
警備	・特定の地域にて有害鳥獣の生態調査の精度を確認すること ・ドローンポートの利用による自動離発着が行うこと	・特定地域(新川分校)にて有害鳥獣の生態調査を実証した。 ・ドローンポート利用による離発着を実施し，実運用時の自動離発着の姿を地域に周知した。	・日中帯にてイノシシ等の有害鳥獣を発見できなかった為，調査時間を変更して再検証する必要がある。 そのため，早朝や夜間での実施。または，ビジネスケースを想定した施設内警備が可能であることを検証する。
点検	・橋梁，構造物の点検にドローンを活用する事による生産性・安全性の比較を行うこと。 ・検証結果を受けて，自治体・事業者の役割検討を行うこと。 ・撮影写真の画像処理（三次元化等）を行い，精度の検証を行うこと。	・橋梁，構造物(渡幸大橋，新川分校)の点検にて，ドローンを活用し，三次元台帳化等を実証した。 ・上記情報を基に，精度の検証を実施。	・より地域課題やビジネスニーズを想定した建造物の点検を実施していく必要がある。 現状，図面のない橋や，災害で橋が壊れた時の対策といった地域課題があるため，様々な形状の橋梁を点検する検証を行う。

5.2.2.4 2021 年度 第 1 回実証実験の詳細

(1) 実証の概要

2021 年度は主にレベル 3、レベル 4 環境下に近い実ユースケース上での UTM 検証を実施した。運航管理システムの検証では、複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であることを目標とした。物流は、ビジネスケースを想定した 2 拠点または複数拠点間にてペイロード増もしくは

長距離の飛行を目標とした。警備については、2020　年度の鳥獣害対策に加え、イベント施設警備を追加した。ここでは、イベント会場施設の巡回及び有事を想定したドローンの活用、イベント中の自治体連携を検証した。点検では特定の施設に対し、自律飛行と人間の操縦を組み合わせたドローン点検の実施を目標として 2020 年度同様に仙台市で実証を実施した。

⑵ 実証の計画

① 実証場所

表 2.1.1.14-42 2021 年度第 1 回実証実施場所

項目名	詳細
都道府県名	宮城県
市町村名	仙台市
離発着場所	大倉小学校
	作並小学校、新川分校
	新鳴合橋、渡幸大橋
運航管理を行う拠点	大倉小学校（イベント施設警備）、新川分校（鳥獣害警備、物流）、新鳴合橋（点検）、渡幸大橋（点検）

② 実施体制

●実施体制図

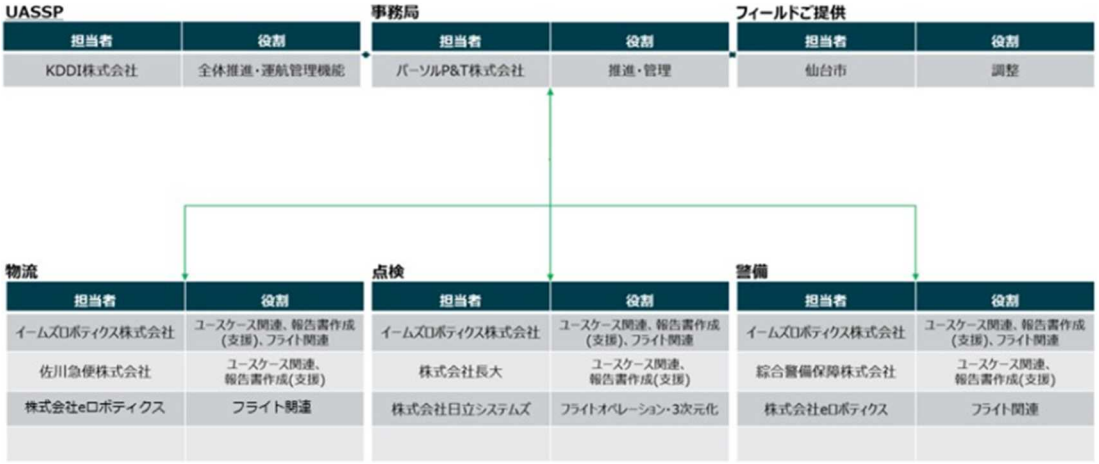


図 2.2.1.14-101 2021 年度実証体制

③ 申請・調整

●官公庁を含む公的機関に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-43 公的機関に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
東京航空局	飛行承認申請（目視外飛行、夜間飛行、人や物との距離が 30m 未満での近距離飛行）	10 日	特になし
仙台北警察署	管轄エリア内での飛行説明	2 日	特になし
仙台市	大倉小学校での飛行	2 日	補助者を付ける事
仙台市	ダム湖畔公園付近での飛行	2 日	利用客の上空飛行禁止
仙台市	作並小学校、新川分校での飛行	2 日	特になし
仙台市	新川地区の深夜帯の飛行	5 日	特になし
仙台市	新鳴合橋での飛行及び離発着	5 日	ヘルメット着用必須

仙台市	渡幸大橋での飛行及び離発着	2 日	ヘルメット着用必須
仙台市	新鳴合橋付近の駐車場所	5 日	特になし
仙台市	渡幸大橋付近の駐車場所	3 日	特になし
仙台市	飛行に関する住民への説明	5 日	特になし
仙台市	新川エリア内にある佐手山地区の住民へ夜間飛行に関する説明と、集会所の使用許可	4 日	特になし

●施設管理者等の民間団体や個人に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-44 民間団体や個人に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
宮城広瀬総合運動場	お手洗いの使用	1 日	特になし
宮城広瀬総合運動場	運動場を使用した飛行及び離発着	1 日	事前使用者情報の登録、事前予約必須、予約日が他者と重なった場合は抽選
東北電力	送電鉄塔及び高圧電線上空の飛行に関する説明	5 日	電線との離隔を十分に取る事
熊ヶ根地区町長	熊ヶ根グランドを使用した飛行及び離発着	1 日	事前予約必須

(1) ユースケースの概要

- ユースケースの一覧

表 2.2.1.14-45 ユースケース一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	ビジネスケース(非配送エリアへの配送)を想定し、中継地点を経由した配送を実施。また、昨年度比でペイロード増・距離増の飛行をする。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
イベント施設警備	大倉小学校	不審者(立入禁止エリアの侵入者)を捉え、ドローンにより、不審者の顔や、逃走車のナンバープレート情報を取得する。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
鳥獣害警備	新川エリア	夜間に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)を実施。捕獲スキームの効率化を目指す。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
点検	新鳴合橋	橋梁に対し、ドローンにて施設の点検、及び構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産	LAB470	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE

	渡幸大橋	性・安全性等の比較を行う。	LAB470	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
	新川～セイコウ大橋		LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE

①物流

表 2.2.1.14-46 物流領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
物流	作並小学校から新川分校、新川分校からセイコウ大橋付近を往復する物資輸送を実施する。 更に新川分校から作並小学校及びセイコウ大橋付近へ飛行する2 機体を同時に飛行させ、動態管理が可能なことを検証する。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照
		LAB6106	1		

②警備（イベント施設）

表 2.2.1.14-47 警備(イベント警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路

イベント施設警備	・不審者警備 不審者役が敷地内を逃走すると同時にドローンが離陸し、不審者役の追跡を開始。ドローンと同時にスタートした警備員役が不審者役を確保するまでの時間と、ドローンの映像からが不審者役の容姿を確認するまでの時間を比較する。 ・車両ナンバープレート/人物撮影 車両と人物の判別が出来る限界距離を調べるため 水平距離 30m、50m、100m、高度 20m、40m、60m、80m、100m に分けて車両と人物の空撮を行う。 ・近接アラート検証 警備機体の飛行ルートに無許可で飛行する機体が飛行しているシナリオを想定し、ホバリングしている機体に警備機体を近接させ、UTM　上でアラートが出ることを確認する。	LAB6106	2	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

③警備（鳥獣害）

表 2.2.1.14-48 警備(鳥獣害警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
鳥獣害警備	イノシシの目撃情報のあった地区において、夜間に赤外線カメラを装備した機体を飛行させ、イノシシの撮影を試みる	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

④点検

表 2.2.1.14-49 点検領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
点検	新鳴合橋、渡幸大橋にて橋梁の撮影を行い、橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証する。また橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。	LAB470	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

5.2.2.5　2021 年度 第 2 回実証実験の詳細

(1) 実証の概要

2021 年度の 2 回目の実証では、前回の実証で出た課題を踏まえ、更に進化した実証を行った。物流においては、不測時におけるコンテナ内の荷物がどの程度衝撃を受けるか、機体を急発進、急停止、急旋回などを行う等を検証した。イベント施設警備においては、不審者の捜索で可視光カメラだけでなく、赤外線映像の有用性等を検証した。鳥獣害警備では、撮影時間をずらすなどの対応を行い、赤外線カメラの有用性等を検証した。点検においては、定期点検ではなく、スクリーニング点検の検証等を行った。

(2) 実証場所

表 2.2.1.14-50 2021 年度 第 2 回実証実施場所

項目名	詳細
都道府県名	宮城県
市町村名	仙台市
離発着場所	大倉小学校
	作並小学校、新川分校
	セイコウ大橋
運航管理を行う拠点	大倉小学校（警備）、新川分校（鳥獣害警備、物流）、セイコウ大橋（点検）

(3) 実施体制

- 実施体制図

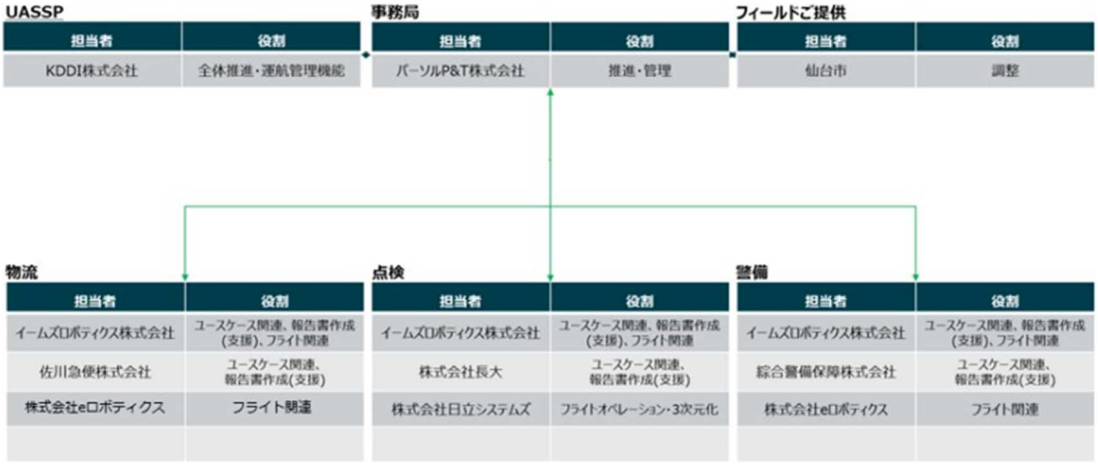


図 2.2.1.14-102 実施体制図

(4) 申請・調整

- 官公庁を含む公的機関に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-51 公的機関に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
東京航空局	飛行承認申請（目視外飛行、夜間飛行、人や物との距離が 30m 未満での近距離飛行）	10 日	特になし
仙台北警察署	管轄エリア内での飛行説明	2 日	特になし
仙台市	大倉小学校での飛行	2 日	補助者を付ける事
仙台市	ダム湖畔公園付近での飛行	2 日	利用客の上空飛行禁止
仙台市	作並小学校、新川分校での飛行	2 日	特になし
仙台市	新川地区の早朝帯の飛行	5 日	特になし

仙台市	セイコウ大橋での飛行及び離発着	5 日	ヘルメット着用必須
仙台市	セイコウ大橋付近の駐車場所	2 日	特になし
仙台市	新鳴合橋での飛行及び離発着	5 日	特になし
仙台市	新鳴合橋付近の駐車場所	3 日	特になし
仙台市	飛行に関する住民への説明	5 日	特になし
仙台市	新川エリア内にある佐手山地区の住民へ早朝飛行に関する説明と、集会所の使用許可	4 日	特になし

- 施設管理者等の民間団体や個人に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-52 民間団体や個人に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
宮城広瀬総合運動場	お手洗いの使用	1 日	特になし
宮城広瀬総合運動場	運動場を使用した飛行及び離発着	1 日	事前使用者情報の登録、事前予約必須、予約日が他者と重なった場合は抽選
東北電力	送電鉄塔及び高圧電線上空の飛行に関する説明	5 日	電線との離隔を十分に取る事
熊ヶ根地区町長	熊ヶ根グランドを使用した飛行及び離発着	1 日	事前予約必須

(5) ユースケースの概要

- ユースケースの一覧表

表 2.2.1.14-53 ユースケース一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	ビジネスケース(非配送エリアへの配送)を想定し、中継地点を経由した配送を実施。また、昨年度比でペイロード増・距離増の飛行をする。 点検機体と物流機体とを接近させ UTM 上で近接アラートが発生することを確認する。 急発進、急停止、急旋回などを実施し荷物にどの程度衝撃が加わるかを計測する。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
イベント施設警備	新川～セイコウ大橋	施設内に隠れている不審者を巡回するドローンにて発見し、警備本部から最寄りの警備員へ連携。警備員が現場に急行し、不審者を確保するまで追跡を行う。 第 1 回実証実験で使用したカメラより高性能なカメラを搭載しドローンにより、不審者	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE

		の顔や、車両ナンバープレート情報を取得する。 ホバリングしている機体にもう一方の機体を接近させ、UTM上でアラートが発生することを確認する。			
鳥獣害警備	新川エリア	早朝に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)を実施。捕獲スキームの効率化を目指す。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
点検	セ イ コウ大橋	災害時を想定したスクリーニング点検をドローンにて実施し精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う。 点検機体と物流機体とを接近させUTM上で近接アラートが発生することを確認する。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE

①物流

表2.2.1.14-54 物流領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
物流	作並小学校から新川分校、新川分校からセイコウ大橋付近を往復する物資輸送を実施する。 更にマニュアル飛行で急発進、急停止、急旋回を行い、荷物にどの程度衝撃が加わるかを計測する。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

②警備（イベント施設）

表2.2.1.14-55 警備(イベント施設警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路

イベント施設警備	・不審者警備 敷地内に不審者役が隠れ、上空を巡回するドローンにて不審者を発見する。施設内に設置した警備本部にて不審者の映像を確認し、最寄りの警備員に連絡し、警備員が現場へ急行する。警備員が到着し不審者を確保するまで、ドローンで不審者を監視及び追跡を行う。 ・車両ナンバープレート/人物撮影車両と人物の判別が出来る限界距離を調べるため水平距離 30m、50m、100m、高度 20m、40m、60m、80m、100mに分けて空撮を行う。 ・近接アラート検証 警備機体の飛行ルートに無許可で飛行する機体が飛行しているシナリオを想定し、ホバリングしている機体に警備機体を近接させ、UTM 上でアラートが出ることを確認する。	LAB6106	2	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

③警備（鳥獣害）

表 2.2.1.14-56 警備(鳥獣害警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
鳥獣害警備	イノシシの目撃情報のあった地区において、早朝に赤外線カメラを装備した機体を飛行させ、可視光カメラと赤外線カメラの両方でイノシシの撮影を試みる。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

④点検

表 2.2.1.14-57 点検領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
点検	セイコウ大橋にて橋梁の撮影を行い、上空からの取り付け部段差、鋼材変形・破断の有無がどの程度確認ができるかを検証する。更に橋梁に負傷している印を付けて、ドローンからどの程度確認ができるかを検証する。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE	5.2.2.2(2)飛行ルート参照

	また物流機体と点検機体を接近させ、UTM 上に近接アラートが発生することを確認する。				

5.2.2.6.実施結果

(1) 各領域のユースケースに対する実施結果

①物流

表 2.2.1.14-58 物流領域検証項目及び結果

仮説検証項目	計測結果
輸送時間の削減の検証車 VS ドローンの検証	【所要配送時間】飛行距離 7.4km ドローン：2.2km ルート：7 分（速度 7m/s） 5.2km ルート：13 分(速度 8m/s) 計 20 分 ※ルートは図 5.2.2.2-5 物流 参照 車：18 分～30 分 ※国道 48 号線ルート 渋滞時も考慮 Google map による道路移動試算約 9km /30km で試算
輸送品の状態の確認破損等の有無	輸送品の破損や目立った損傷はない ①衝撃計 飛行中の最大の衝撃は 2.5G という結果となった。佐川急便の既存のインフラ(営業所間のトラック輸送)における衝撃と比較しても低い数字となっており、輸送品質上の問題は無し。 ②温度計 荷物室の温度は最高で 44.5℃(気象庁発表の気温よりも 16.3℃高い結果)となったため、冷蔵・冷凍の荷物を輸送する場合の運用については検討が必要となる可能性有り。
最大輸送量	5kg
最大輸送距離	約 8km(中継地折り返し)
検証結果から得られた実運用の工数	【所要配送時間】 配送時間 2.2km ルート：7 分（速度 7m/s） 5.2km ルート：13 分(速度 8m/s) 機体準備時間（平均） ：25 分 1 個口あたり配送時間 ：45 分

②警備（イベント施設警備）

ドローン警備において空撮による不審者・不審車両を捉える最適な距離の計測と角度について検証した。

◆不審車両のナンバープレート読み取り検証

ドローンと不審車両の距離・高度を変化させ、ドローンが撮影したナンバープレートの認識可否を検証した。

高度が高い状態で不審車両に近接しすぎると角度がつきすぎてナンバープレートを読み取ることができなかった（距離 30m、高度 100m参照）。距離 100m、高度 100mで撮影したナンバープレートは不鮮明ではあったが、４桁及び識別がわかる画像であれば捜査情報として十分に価値はあると考えられる。そのため、本実証の条件下ではターゲットと十分な距離を保つことができる距離 100m、高度 100mにおいても不審車両のナンバープレートを認識できることが実証できた。

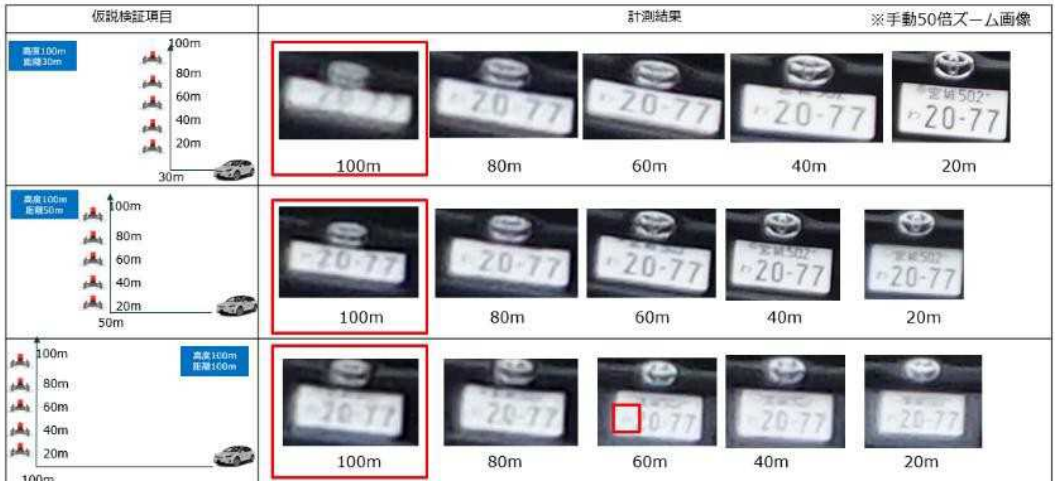


図 2.2.1.14-103 距離・高度ごとのナンバープレート計測結果

◆人物の特徴確認の検証

ドローンと不審者の距離・高度を変化させ、ドローンが撮影した映像から不審者の容貌を判別できるか検証した。

不審車両と同様に高度が高い状態で不審者に近接しすぎると角度がつきすぎて顔までは判別できなかった（距離　30m、高度　100m参照）。また、服装などの人物特長は認識できるが、帽子やヘルメットを着用している場合は、さらに顔の判別が難しくなることがわかった。本実証の条件下では不審者の顔を判別できる限界距離は距離　100m、高度　60mであった。ターゲットと十分な距離を保ちつつドローンを用いた警備活用が可能であることが実証された。

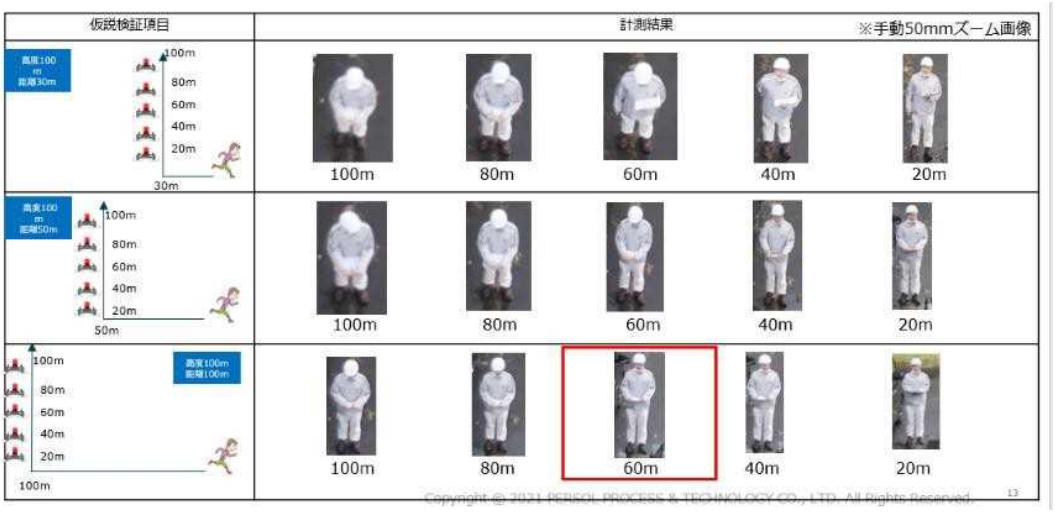


図 2.2.1.14-104 人物の特徴確認の検証結果

◆潜伏者の上空からの警備

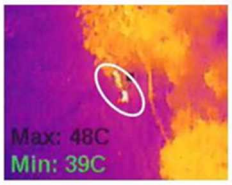
敷地内に潜伏している不審者を上空ドローンからの映像をもとに警備本部から警備員に連絡するとともに、警備員が不審者を確保するまで不審者の動向を監視することが可能か検証した。



図 2.2.1.14-105 上空からの警備検証

③警備（鳥獣害）

表 2.2.1.14-59 鳥獣害警備領域検証項目及び結果

仮説検証項目	計測結果
陸上からは発見しにくい新たな生息エリアの調査 	夜間の目視内飛行を実施したが電線などの障害物を避けるため安全面への配慮から高度を保って飛行した。そのため対象物との距離が生じ多数の発見には至らなかった。 プレ実証でイノシシと思われる画像を捉える事ができた。 本番実証と併せて発見地点の地図へのマッピングを行い参考資料として自治体に共有する。
日中・夜間の騒音計測　※携帯アプリにて計測 <地域住民への配慮>	日中は26db-30dbb　夜間は47.9db 目安　30dbb：深夜の郊外、鉛筆での執筆音　小さなささやき声 50dbb：家庭用のエアコンの室外機の直近　静かな事務所の中　小さな声 ただしイノシシにとっては警戒されてしまった。音に対する警戒を軽減させるうえでも定期的なドローン飛行を行い音に慣れてもらうという側面も重要である。
1フライトで調査できる面積 	今回の実証実験で使用した機体は秒速10mで15分間飛行できる。直線にして9kmの飛行が可能に。今後さらに広範囲での調査が必要な場合はイノシシが出るとされる川沿を中心に飛行すれば右図（黒いライン）に沿う形で調査可能である。 ※安全面を考慮しバッテリー残量を一定数残し7キロで帰還させると仮定 ※ターゲットとなる河川を狙って調査 夜間飛行を実現する上でも電線対策として（障害物センサーなど）の機能向上も期待される。
1フライトで飛行できる時間の計測	機体名：　バッテリ：１５分程度（気温にもよる）

④点検

表 2.2.1.14-60 点検検証項目及び結果

	仮説検証項目	結果
事前作業	・過去点検のデジタルデータが整備されていれば、工数は下がるか？ ・ドローン無シート有りで、効率化する項目はあるか？ 例：どの程度の人員削減等が可能になるか？など	・人員削減についてはドローン活用に応じ道路規制の手間を省力化できる。 加えて誘導人員の省力化も見込める。４名→0 名

現地作業	・実際の点検でドローンが代替できるプロセスとは？ ・内業に利用するにあたっての、撮影精度は確保できるか？ ・ドローン点検の向き不向きの橋はあるか？（ ドローン点検可能な橋の検討）	・今回の実証では、スクリーニング検証項目（73 項目）に対し19項目について検証できた。（※検証項目全体の約30%に相当）カメラのズーム機能や機体性能が今後さらに改善され、かつドローン点検がしやすい外部環境(橋脚周辺の木等)の整備が進めばスクリーニング検証項目の殆どをカバーできるといえる。 ・撮影した画像データは事後判定には十分対応できるクオリティであった。しかし現在のタブレット画像/映像伝送ではリアルタイム判定は画質的に厳しい。パイロットが使用しているモニタの画面と同等またはより大画面/高精細のモニタがあればリアルタイム判定の可能性はある。 ・ドローン点検では桁橋/トラス橋が比較的適しているといえるが実際の現地の状況に応じて判断すべきである（周辺の木々の状況などに起因する）
	・撮影作業工数	・1フライト 12 分で安全確認を含めても計 13 分で完了できる点は早い。特に真横、斜め下などの撮影は人の作業よりも早いといえる。
内業	・データ整理に費やしている時間がどの程度短縮されるのか？ ・必要な処理を行うためのソフトウェアの利用金額についての要望があれば。	・３次元管理台帳システムの効果を定量的に表現するのは難しい。しかし、後処理の作業プロセスの「損傷図」作成に約１日程度要する作業が３次元管理台帳システムを使用する事で１時間程度に短縮できる可能性がある。  約１日→１Hに短縮
その他	・遠隔指示の検証	・現場を見ずにリアルタイム映像だけで判断するのは画質精度が悪く厳しい。今後の画質精度の向上に期待する。

5.2.2.7 持続可能な無人航空機サービスの提供方法

運航管理システムを利用して無人航空機を使ったサービスを安全かつ持続的に提供できる理想的な状態を想定し、サービスの提供方法を記載する。

(1) 各領域の費用比較について

各領域ユースケースのコスト構造の比較について記載する。全領域ともに以下の 3 つの状況で整理を行った。

現状　　：既存の形態でサービス提供の費用
実証実験　　：無人航空機を使用した今年度実証実験の費用
レベル 4 達成時：レベル 4 が実現した環境で無人航空機を活用した費用

上記費用には、運航管理システムを用いた運航管理統合機能、運航管理機能、個別機能費用も含む（※FIMS の接続費用は未定義のため含めず）費用削減が見込まれる項目については、色付きで示した。

①物流

年間コストイメージ ※レベル 4達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		1.4%	8.5%
		設備関係費		0.5%	3.3%
		パイロット育成費		0.0%	6.3%
		保険費用（年間契約）		0.7%	4.1%
		撮影用カメラ使用料一式		0.04%	0.23%
ランニング	PreFlight	設備維持費		0.5%	3.1%
		機体・設備維持費（使用費）		1.3%	7.9%
		飛行申請費		0.03%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		0.02%	0.0%
		自社配送費	29%	0%	0.0%
		諸経費（内経費）	71%	6.2%	38.6%
	Inflight	ドローン関連労務費		89.2%	22.1%
		UTM使用料		0.0%	6.0%
	その他	報告書作成		0.1%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-106 年間コストイメージ①

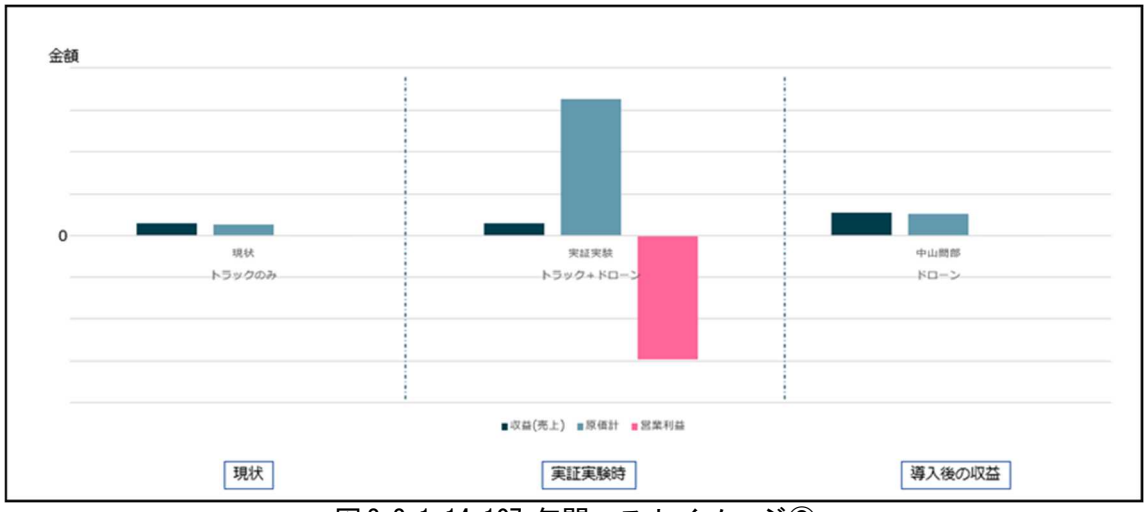


図 2.2.1.14-107 年間コストイメージ②

物流領域ではレベル 4 達成時にわずかながら利益を見込む試算ができた。他の領域同様にビジネスとして安定した利益を確保する上においては数々の課題をクリアする必要がある。

②イベント施設警備

1 警備あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル４達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.2%	9.3%
		設備関係費		1.5%	2.3%
		パイロット育成費		0.0%	4.3%
		保険費用（年間契約）		0.2%	2.8%
		撮影用カメラ使用料一式		16.55%	2.1%
		機体加工費（機体改造費）		1%	1.3%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費（使用費）		3.6%	5.4%
		飛行申請費		4.1%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		2%	0.0%
		諸経費	11%	4.1%	6.2%
		警備員配置労務費	89%	10.6%	52.2%
	Inflight	ドローン関連労務費		33.1%	9.9%
		UTM使用料		0.0%	4.1%
	その他	報告書作成（委託先）		16.6%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-108 1 警備あたりの費用イメージ①

本領域では色付項目についてコスト抑制を見込めるも今年度の実証実験時において利益が出る試算には至っていない。しかし将来的に不審者の自動感知機能や対象人物（物）を指定し容易に追跡できる機能など機体性能改善や飛行計画にはない急遽警備が必要なケースなど緊急時など、状況に応じた UTM 制度面の改定がなされれば大規模イベントの警備にドローンが参入できる余地は十分ある。

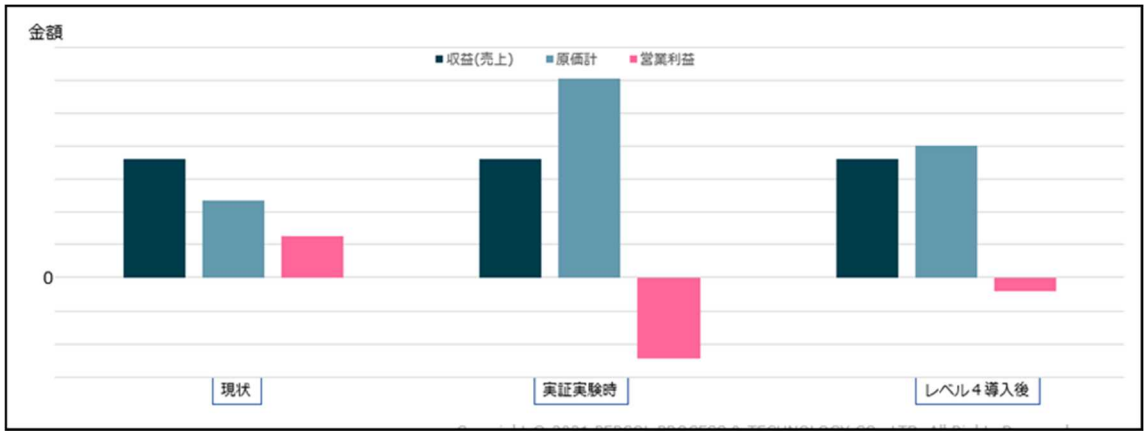


図 2.2.1.14-109 1 警備あたりの費用イメージ②

③鳥獣害警備

生息調査 1 回あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル４達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.5%	18.2%
		設備関係費		1.0%	2.7%
		ドローン関連労務費		34.8%	19.5%
		パイロット育成費		0.0%	5.2%
		保険費用（年間契約）		0.3%	3.3%
		撮影用カメラ使用料一式		17.42%	2.5%
		機体加工費（機体改造費）		1%	1.6%
		機体・設備維持費（使用費）		2%	6%
ランニング	PreFlight	飛行申請費		4.4%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		3%	0.0%
		諸経費		4.4%	12.2%
		罠監視装置設置 (親機・子機)	20%	1.6%	4.6%
		罠監視装置　親機通信費	0.320%	0.027%	0.075%
		罠設置・捕獲・止め刺し	80%	7%	19%
	Inflight	UTM使用料		0.0%	4.9%
	その他	報告書作成（委託先）		17.4%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-110 生息調査 1 回あたりの費用イメージ①

鳥獣害警備に関しても同様で現時点においては利益が出る試算には至っていない。
しかしながら本警備は自治体が目指すイノシシ駆除の年間 900 頭を効率的に駆除する上でも上空からの生息調査は急務であり潜在的な社会的ニーズは高いといえる。

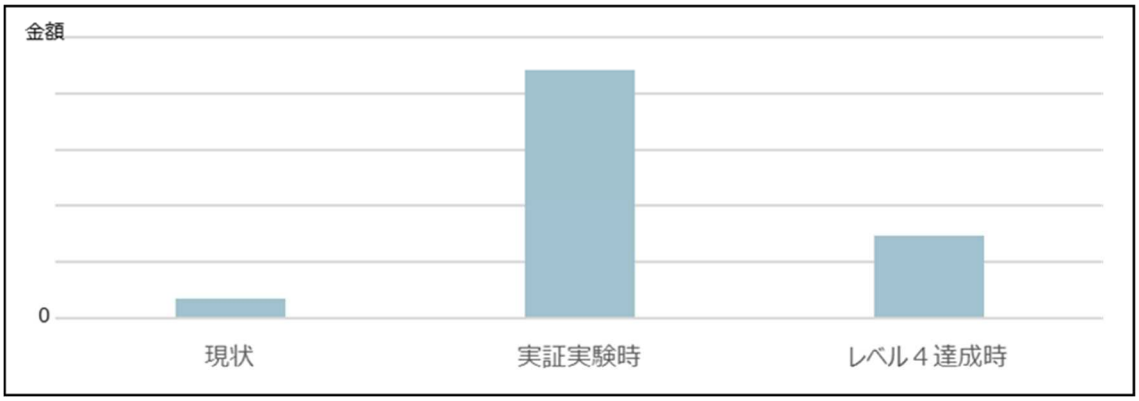


図 2.2.1.14-111 生息調査 1 回あたりの費用イメージ②

④点検

1 橋梁あたりの点検コストイメージ

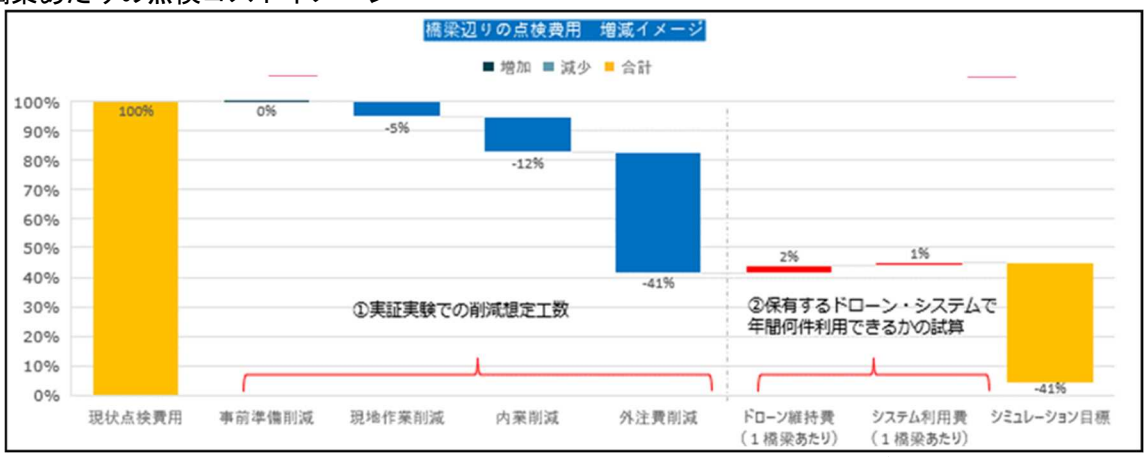


図 2.2.1.14-112 1 橋梁あたりの点検コストイメージ

橋梁点検においても利益が出る試算には至っていない。理由は国が定める橋梁の定期点検の法規にある「近接目視」のすべてをドローンが担保できないため、定期点検にはそぐわないという点にある。ぜひ今後の制度・機体の性能向上に期待している。

(2) 各領域におけるオペレーション シナリオ及び所要時間

①物流

表 2.2.1.14-61 物流所要時間

サービスの 受け手お客様	サービスの提供者 リモートパイロット兼配送作業者	所要時間
〈事前申請〉	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
スマホで注文 （ 配達日の確認・決済）		10 分
	商品梱包	10 分
	上空電波利用申請（キャリア）	10 分（１機 5 分、予備機を含む計２機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録→FIMS への飛行計画が登録される※今回は FIMS 接続なし	10 分 （1 ルートあたり）
	商品の荷積	3 分
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10 分
	無人航空機の離陸	3 分
	無人航空機の運航管理	10 分
機体着陸 （ お客様宅・集会所他		3 分
荷下ろし		3 分
スマホによる受領通知		5 分
無人航空機の再離陸	無人航空機の運航管理	10 分
	無人航空機の着陸（帰還）	3 分
	無人航空機の整備	10 分
合計所要時間		100 分

②イベント施設警備
すべて今回の実証で計測した実測値である。

表 2.2.1.14-62 イベント施設警備所要時間

オペレーション	備考	所要時間
〈事前申請〉	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10 分
	上空電波利用申請（キャリア）	10 分（１機 5 分、予備機を含む計２機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される	10 分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10 分 （1 ルートあたり）
離陸	警備フライト：警備対象によってフライト時間は変化する。 今回の実証では平均 12－15 分のフライトであった。 （追跡フライト：12 分、検証フライト：15 分） ・運航管理チェック	12 分
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1 分
着陸	着陸	2 分
	無人航空機の整備	10 分
合計所要時間		65 分

③鳥獣害警備

表 2.2.1.14-63 鳥獣害警備所要時間

オペレーション	備考	所要時間
〈事前申請〉	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10 分
	上空電波利用申請（キャリア）	10 分（１機 5 分、予備機を含む計２機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される	10 分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10 分
離陸	・モニタチェック：個体の動きを確認、小動物発見時に位置情報などを記録 ・運航管理チェック	1 フライト 12 分
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1 分
着陸	着陸	2 分
	無人航空機の整備	10 分
合計所要時間		65 分

④点検

表 2.2.1.14-64 点検所要時間

オペレーション	備考	所要時間
〈事前申請〉	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10 分
	上空電波利用申請（キャリア）	10 分（１機 5 分、予備機を含む計２機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される ※今回はFIMS 接続なし	10 分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10 分
離陸	点検作業運航管理	12 分（最長 12 分） 平均 1 フライト 7 分で実施
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1 分
着陸	着陸	2 分
	無人航空機の整備	10 分
合計所要時間		65 分

(3) 持続可能な無人航空機ビジネスの実現に向けた課題・解決方法の検証方法

持続可能な無人航空機運航ビジネスの実現のために解決すべき課題と、その解決方法の検証方法を記す。

表 2.2.1.14-65 ビジネスの実現のために解決すべき課題と解決方法の検証方法

実証領域	課題と検証方法
運航管理システム	・技術的課題として、安全な自律飛行を実現させるために、機体の動態管理や、フライトコース上に他機体の侵入を検知したときなど、運航管理者に知らせるアラート機能の実装が課題。 そのため、各領域のユースケースに沿った UA～運航管理システムとの連接強化 (機体制御等)を行い、機体同士が近接した時のアラート機能などを検証する。
物流	・より地域課題やビジネスニーズを想定した特定の 2 拠点、または複数拠点間にて、ペイロードを増強した荷物の配送か、2020 年度と同等の重さで長距離配送の実施が可能であることが課題。 そのため、2021 年度は飛行距離とペイロードを伸ばし、複数機を用いた複数拠点間での配送を検証する。
警備	・日中帯にてイノシシ等の有害鳥獣を発見できなかった為、調査時間を変更して再検証する必要がある。 そのため、早朝や夜間での実施。または、ビジネスケースを想定した施設内警備が可能であることを検証する。
点検	・より地域課題やビジネスニーズを想定した建造物の点検を実施していく必要がある。 現状、図面のない橋や、災害で橋が壊れた時の対策といった地域課題があるため、様々な形状の橋梁を点検する検証を行う。

5.2.2.8 結論

(1) 実証実験の実施結果とその評価

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙がった実施結果と評価について記載を行う。運航管理システムにおける各領域のビジネスモデル観点では共通して以下の事が言える。今後も物流・警備・点

検などの主要領域においてドローンのニーズは高まると予想される。しかし想定される複数機体運航など社会実装に至るまでには様々な課題をクリアしなければならない。今回検証した物流、警備、鳥獣害調査、点検のどの領域においても人手不足解消や現業務の作業効率化のために、ドローン導入を検討しているが、イニシャル・ランニングともにかなりのコスト負荷を事業者は担うことになる。そのため実際にはビジネスで利益を得られるまでの期間を耐えられる経営的体力のある事業者でなければ参入できないのが現状であろう。しかし、労働人口が確実に減少する国内において安全な運航管理システムのもとでドローンが持つ機動力や高精細な画像伝送など人間には対応できない領域へのタスクを担えるような仕組みや制度設計、ひいては都市デザインの改良が急務であるといえる。

【クリアすべき課題】
- UASSP/FIMS 接続費用のコスト低減（年間コストが高額である）
- 警備に特化した UTM プランの検討
- UASSP　の映像伝送の安定性
- 中山間部エリアにおける LTE など電波の改善
- 機体の性能向上（長時間バッテリー、障害物センサーの向上、ペイロードの強化、防水仕様（多少の雨天でも飛行可能に））
- ドローンが飛行しやすい都市計画　（電線の地中化、ドローン点検しやすい橋梁設計）
- 緊急性の高い飛行（警備など）スクランブル飛行の許可・承認の簡略化

⑵ 運航管理システムの社会実装に向けた提言

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙がった運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。

物流において、宅配事業の実用化のためには、コスト低減に向けて複数機体の一元管理の実現や、最大離陸重量や最大飛行時間の性能のある大型の機体の開発が望まれる。同時に荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため保温性能を備えたコンテナも必要である。

また、山間部では特に高圧電線や鉄塔などの建造物が存在するため、そういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。国土交通省では山間部を飛行する際、谷間などの高低差のある場所において一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、電波使用に関する法制度も同時に整備してもらう必要がある。

更に現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無く、実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならないため、ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要がある。ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

通常の物流業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。こうした人道的支援に課金されてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなるため、運航管理システムや FIMS 接続について、年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）が必要である。

警備において、飛行開始までの準備や操作に時間がかかってしまうと緊急性の高い用務へ活用することが困難であるため、容易に扱うことのできる機体や飛行システムの構築や操縦者の育成が必要である。リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実に行える時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要である。

橋梁点検は、橋梁の周囲に木が茂っていたり、電線があったり、風の問題もあり、ドローンが橋梁に近づくのを阻害する障害物の回避、見えにくい部分をいかに多角撮影で補うかなどの技術課題に加えて、今後の無人航空機を使用した維持管理に向け、点検しやすい構造への環境作り（橋梁の周囲に樹木や電線を設置しない等）が必要である。運航管理システムにおいて、UTM 上で発生する近接アラートについて、警察や消防などが緊急で無人航空機を飛行する際、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要である。運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが必要である。

物流の観点から、荷物を配送する際にフライヤーNo や荷物 No が運航管理システム上に表示されると尚良い。荷物照会が運航管理上で分かればよりビジネスがスムーズになる。

設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能の実装が期待される。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。また１週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供される機能が必要である。こうした機能は輸送計画を検討する上でも大変有効である。

(11). 5.2.3 災害時ユースケース検証（ＫＤＤＩ株式会社）

5.2.3.1 事業概要

(1) 実施概要

① 実証実験の概要

2020 年度及び 2021 年度に三重県志摩市において、災害時を想定したドローンの複数ユースケースに関する UTM 接続・運航管理実証を実施した。具体的な内容は以下のとおりである。なお実証に際してはドローンのほか、有人機としてヘリコプターを想定したシミュレーションデータを複数用意し、有人機情報システムを介して UTM に接続した。

- 2020 年度実証試験
  1. 対象地域
     - ✧ 三重県志摩市 阿児町国府地区（国府白浜）
  2. UTM 接続範囲
     - ✧ UASSP、UASO、有人機情報システム、FIMS
  3. 実証期間
     - ✧ プレ実証：2020 年 2 月 22 日
     - ✧ 本実証：2021 年 3 月 6 日～7 日
  4. 対象ユースケース
     - ✧ 広域被害状況把握（市街地確認、避難者確認、火災確認等）
     - ✧ インフラ点検（堤防、排水機場点検）

- 2021 年度実証試験
  1. 対象地域
     - ✧ 三重県志摩市 志摩町和具地区（和具漁港）、布施田地区（志摩総合スポーツ公園、和具広の浜）
  2. UTM 接続範囲
     - ✧ UASSP、UASO、有人機情報システム、FIMS、災害時情報共有システム
  3. 実証期間
     - ✧ プレ実証：2021 年 10 月 26 日、27 日
     - ✧ 本実証：2021 年 11 月 24 日～26 日
  4. 対象ユースケース
     - ✧ 広域被害状況把握（市街地確認等）
     - ✧ インフラ点検（防災拠点、堤防、漁港等）
     - ✧ 物資輸送（緊急医療物資等）

② 志摩市における実証意義

志摩市は、三重県志摩半島に位置し、海岸が複雑に入り組んだリアス海岸が特徴になっている。中央に英虞湾（賢島、間崎島）、北東に的矢湾（渡鹿野島）がある。市内全域が、伊勢志摩国立公園に指定されている。2016 年には、伊勢志摩サミット（第 42 回先進国首脳会議）が賢島で開催された。

志摩市の地形は、観光や水産業を中心に大きな恩恵をもたらしている。古代から御食国として、食文化の発展に重要な役割も担ってきた歴史もある。しかし、その地理的環境は、台風や地震・津波などの脅威ももたらしてきた。志摩市津波避難計画（2017 年 3 月）によると、市全体の世帯数の 33.01%が、津波対象地域に住居をおいている。

こうした課題は、日本全国の自治体に存在している。豊かな自然環境は日本の強みであり、文化や産業形成の基盤になってきた。しかし、同時に、様々な自然災害の要因にもなってきた。岸田政権がデジタル田園都市国家構想を推進するのであれば、こうした課題に正面から取り組む必要がある。日本は人口減少や気候変動、インフラ老朽化、新型感染症などのリスクに直面している。これらのリスクに対して、テクノロジーの実装を通じて、解決を進めるのであれば、社会的な基盤を整備していく必要がある。

以上のような背景を踏まえ、志摩市において災害ユースケースに関する実証実験を行うことで、日本全国の課題解決につながる成果が得られると共に、国際的な PR の観点からも有意義と言える。

③ 対象とするユースケースの考え方

図 2.2.1.14-113 ユースケースの考え方に、本研究開発で対象とするユースケースの考え方を示す。実証では複数の異なる用途の UASO について、平時～災害時の各対応段階を意識し、2020 年度及び 2021 年度はいずれも発災直後の初動段階におけるユースケースを対象に、発災直後及び発災後数時間後を想定した段階的な運航管理を検証した。なお 2020 年度の実証では用途不明のドローンとして「野良ドローン」を、2021 年度は緊急物資の輸送を目的としたドローンをそれぞれ設定した。

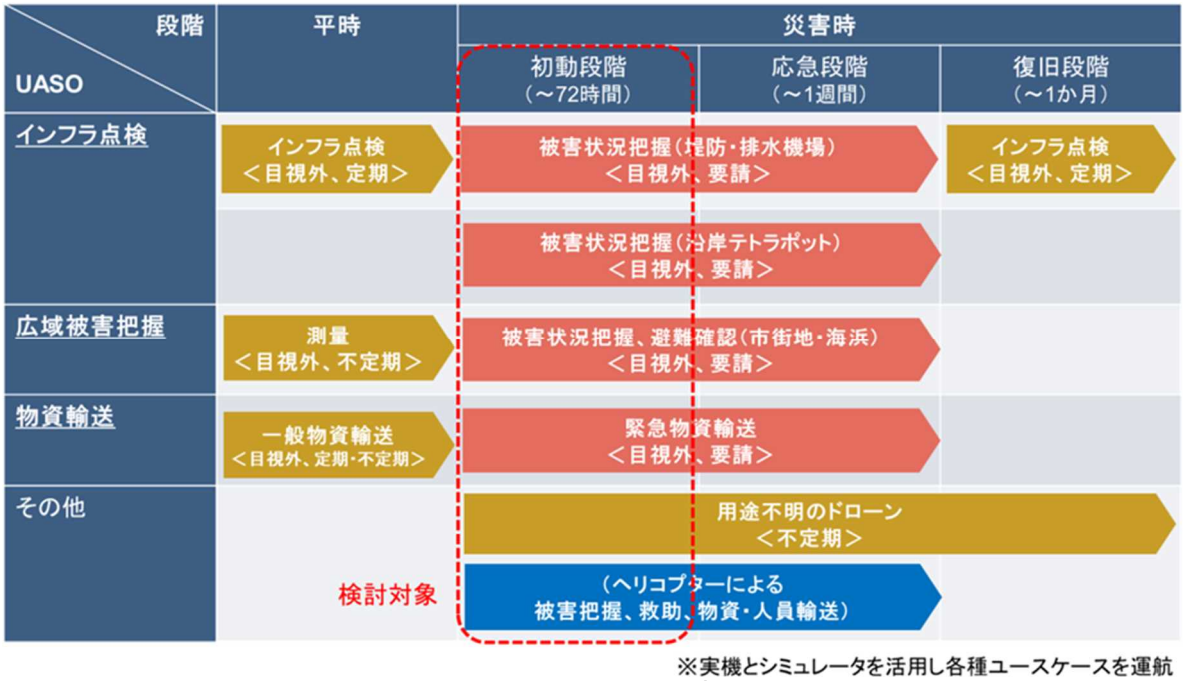


図 2.2.1.14-113 ユースケースの考え方

④ 検証項目の概要

本実証試験で使用した UTM の機能項目と検証対象項目を表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目に示す。今回使用した UTM には、大きく分類すると「登録・認証機能」「計画・飛行承認機能」「追跡・運航実施機能」「監視・検知機能」「緊急対応機能」「分析・報告機能」がある。その中で災害ユースケース検証の観点から、2020 年度、2021 年度の実証で検証対象とした UTM 機能項目を、それぞれ R2、R3 欄に「〇」を示した。

2020 年度は、主にプリフライトの調整に使用される「計画・飛行承認機能」、インフライトの監視に使用される「監視・検知機能」を中心とする、UTM の基本的な管理機能について検証した。一方、2021 年

度は、災害時のミッションや想定される運航状況への対応の観点から、「登録・認証機能」（災害時のドローンユーザや運用優先度の管理等）、「追跡・運航実施機能」（様々な用途・運用者のドローンに対するインフライトの運航管理等）、「緊急対応機能」（災害時特有の突発的なミッションや空域制限等への対応等）を中心に検証を行った。また、災害時を想定した地方自治体における運航調整の方法や、JAXAで研究開発が行われ、その成果の民間への転用が進められつつある災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）との連携についても検証を行った。

表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目

機能区分	業務概要	機能名	概要	検証対象	
				R2	R3
登録・認証機能	・機体認証制度への対応 ・操縦者・運航管理者資格制度への対応 ・機体およびその所有者情報の登録義務化	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証	－	○
		組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録	－	○
		ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる	－	○
		機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象	－	○
		機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理	－	○
計画・飛行承認機能	・携帯電波等の上空利用申請のUTM連携（実用局） ・飛行許可のための電子申請サービスの連携（DIPS・FISS） ・低高度を飛行する有人航空機と無人航空機との時間的・空間的セパレーションの確保 ・異なる事業者間での運航調整環境の整備（Inter USS）	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む	○	－
		飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理	○	－
		空域管理	システム管理者および一部組織による飛行制限空域の管理	○	－
		干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る	○	－
追跡・運航実施機能	・遠隔識別番号の発信義務化への対応（Remote ID連携） ・操縦者が利用する運航アプリケーションとUTMとの連携（FOS連携） ・リルーティング・ダイバート等の衝突回避システムの実現（Detect And Avoid） ・地上局を前提とした人為的運用の自動化（脱GCS） ・第三者上空飛行時の運航者義務の履行徹底	運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知	－	○
		衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避	－	○
監視・検知機能	・運航中の状況認識支援（Situational Awareness） ・法令遵守および公共安全への配慮の意識付け（Conformance Monitoring） ・異常検知時の速やかな原因特定と周囲への注意喚起（Anomaly Detection） ・非協調的な飛翔体検知および対策（カウンタードローン） ・外乱環境の急激な変化の検知（非ノミナル運航）	運航監視	注目範囲の運航の監視、異常検知	○	－
		空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視	○	－
緊急対応機能	・災害発生時等の無人・有人機連携の可能性 ・空中衝突発生時の副次的災害の抑止（NMAC） ・墜落時の落下分散を考慮した運航制限 ・悪意のある第三者による乗っ取りへの対策（サイバーセキュリティ）	緊急退避指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当	－	○
分析・報告機能	・運航ログの分析によるリスク評価および保険料率設定 ・操縦者および機体の傾向分析および運航者へのフィードバック ・干渉判定、衝突検知のための最適な閾値の探索 ・通常運航および事故発生時の当局への報告義務の徹底	ログ保存	運航ログの蓄積および将来的な分析供与のための可視化	－	－
		飛行実績報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告	－	－

5.2.3.2　2020 年度実証

(1) 検証内容・方法

① 検証項目の設定

2020 年度は、災害時のドローン運用において課題となる空域管理に関する基本機能の検証を行った。災害時は、被災現場周辺の限られたエリアに、異なるミッションを有するドローンが飛行すると共に、様々な機関の情報収集や救助等を目的としたヘリコプターが飛来することが想定され、これらの運航管理が重要な課題となる。

そこで、ドローンの実機 2 機に加えて、シミュレータによる 2 機の仮想機ドローンと 2 機の仮想機ヘリコプターが被災現場周辺を飛行する状況を模擬し、プリフライトの飛行計画の調整やインフライトの空域監視、UTM からオペレータへの注意喚起等の検証を行った。特に、オペレータが不明で飛行計画が共有されず、挙動の予測が困難なドローン（リモート ID 情報等により飛行位置情報のみ把握できるドローン）を模擬し、インフライトの注意喚起の方法について検証した。

なお、UTM 機能の具体的な検証項目は、表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目に示したとおりである。

② 実証実験地域

実証実験の地域については、図 2.2.1.14-114 2020 年度における実証エリアに示す。志摩市の中でも南海トラフ地震の際に大規模な被害が懸念される阿児町国府地区（国府白浜）を実証エリアに設定した。拠点として UTM の運航管理室を国府白浜北部の宿泊施設（地元宿泊施設の「ローズガーデン

志摩」の協力の下、当該施設の一画を使用）に設置、ドローンが離着陸を行うミッションの拠点を宿泊施設及び市の管理施設（志摩パークゴルフ場、阿児の松原スポーツセンター）に設置した。

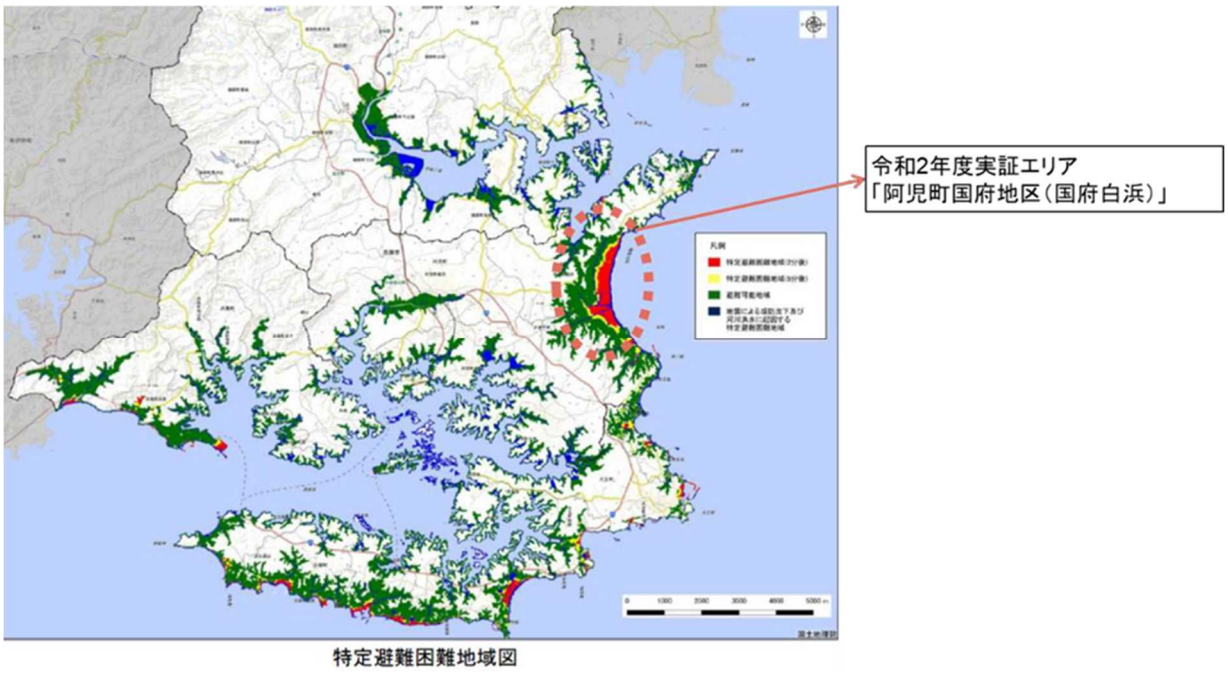


図 2.2.1.14-114 2020 年度における実証エリア
出所）志摩市特定非難困難地域図をもとに MRI 作成

③ システムアーキテクチャ

2020 年度の実証におけるシステムアーキテクチャ概念図を図 2.2.1.14-115 に示す。KDDI が開発する UASSP「スマートドローン」と JAXA が開発するシミュレータ上の UASSP を FIMS に接続した。加えて、各 UASSP に接続されるドローンの動態情報については UASSP 間で直接接続することで、分散型アーキテクチャを考慮した情報連携についても検証対象とした。

ドローンについては、KDDI/UASSP が管理する実機 2 機に加え、JAXA シミュレータ上で 2 機の運航を模擬した。内 1 機は JAXA/UASSP が管理する機体を模擬、残りの 1 機は、UASSP に接続されないがリモート ID 情報等により飛行位置のみ把握できる機体（野良ドローン）として模擬した。なお、KDDI UASSP に接続する UASO のドローンは、UASSP 内に用意されたドローン飛行制御システム FOS を介して制御される。

有人機であるヘリコプターについては、KDDI/UASSP に接続された WNI の有人機情報システムである FOSTER-CoPilot（以下、FOSTER）を介して動態情報（模擬データ）を連携すると共に、JAXA シミュレータでもヘリコプターの運航を模擬した。

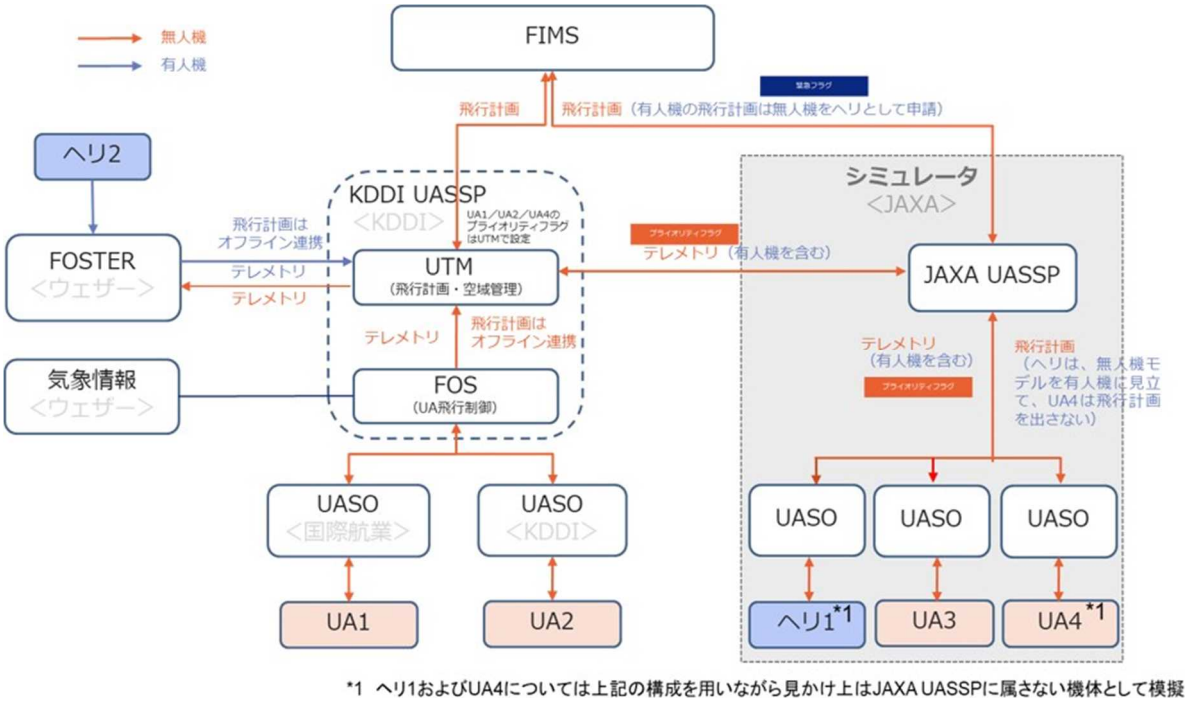


図 2.2.1.14-115 2020 年度実証におけるシステムアーキテクチャ概念図

④ 実証シナリオ

本実証では、発災後の対応に紐づけたミッションを付与したドローンの飛行経路のシナリオを図 2.2.1.14-116 のように設定した。これらの飛行経路に対する飛行計画のシナリオを図 2.2.1.14-117 に示す。具体的には、飛行経路が事前に調整された「事前調整済み」のヘリコプターが飛来するシナリオ A（UA の飛行①に該当）と、緊急医療搬送目的の事前に飛行経路が調整されていないヘリコプターが飛来するシナリオ B（UA の飛行②に該当）の 2 種類を設定した。

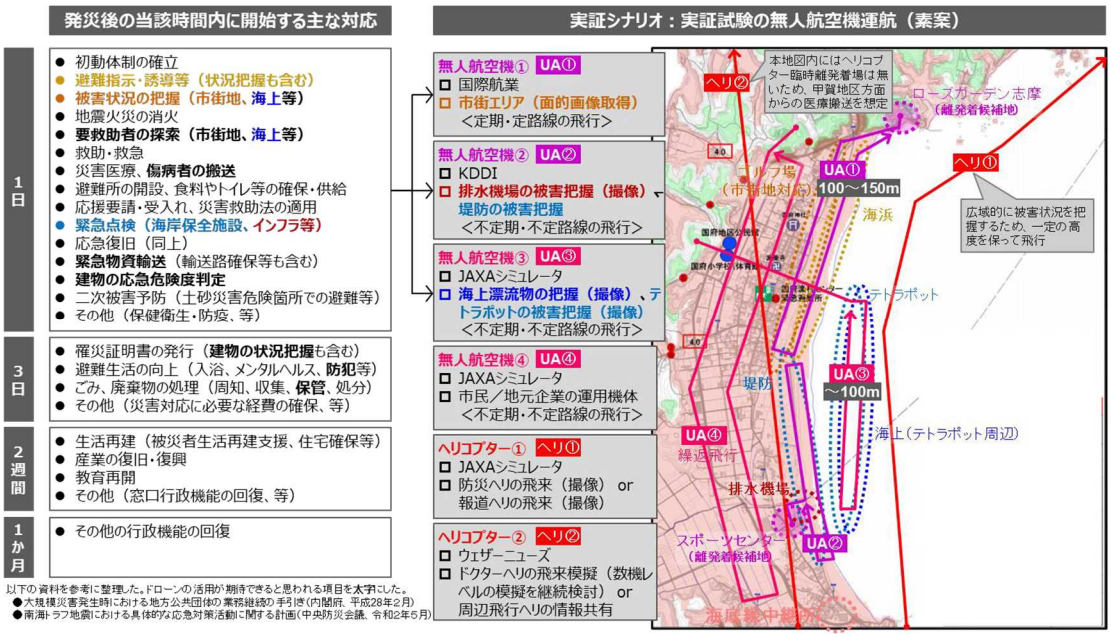


図 2.2.1.14-116 飛行経路の設定

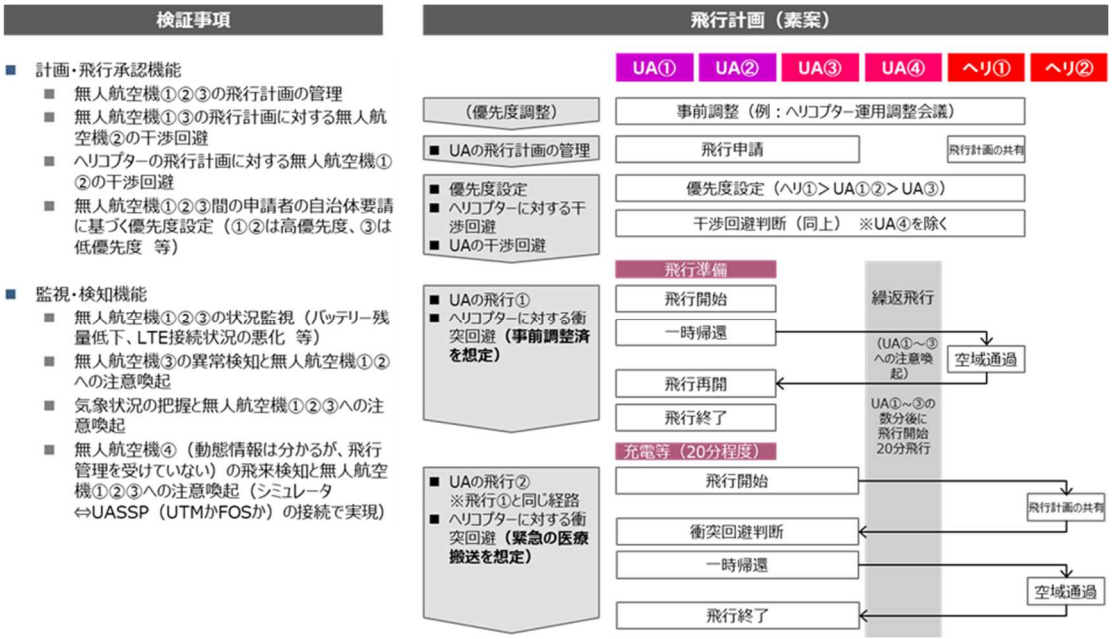
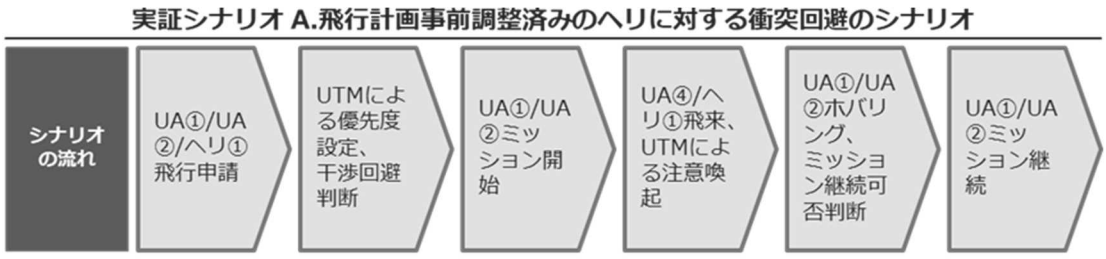


図 2.2.1.14-117 飛行計画の設定

(A) シナリオ A

図 2.2.1.14-118 にシナリオ A のミッション内容を示す。シナリオ A は FIMS に申請された飛行経路に従い事前に各オペレータの運航を調整・管理するシナリオである。機体はドローンとして UA①と②を実機で飛行させ、UA④をシミュレータで運航した。またヘリコプターとしてヘリ①をシミュレータで運航した。UA①は市街地エリアの監視、UA②は排水機場と堤防の被害状況を把握するミッションを実施し、UA④は野良ドローンとして運航した。ヘリ①は防災ヘリ又は報道ヘリと設定した。なお UTM 上の優先度設定としてはヘリ①＞UA①②＞UA④とした。



機体	UA①（実機）	UA②（実機）	UA④（シミュレータ）	ヘリ①（シミュレータ）
ミッション	市街エリア（定期・定路線）	排水機場の被害把握・堤防の被害把握（不定期・不定路線）	-（市民/地元企業の運用機体）（不定期・不定路線）	防災ヘリ or 報道ヘリの飛来
企業	国際航業	KDDI	JAXA	JAXA
海抜高度	100~149m	30m	50m	300m
速度	4m/s	4m/s	現場でJAXA殿判断	現場でJAXA殿判断
優先度	70	70	50	90



図 2.2.1.14-118 シナリオ A のミッション内容

(B) シナリオB

シナリオ　A　をベースに緊急医療搬送を目的としたヘリ②や野良ドローンである　UA④を追加したシナリオ B を作成した。シナリオ B ではドローンとして UA①と②を実機で飛行させ、UA③及び④をシミュレータで運航した。またヘリコプターとしてヘリ①及び②をシミュレータで運航した。UA①は市街地エリアの監視、 UA②は排水機場と堤防の被害状況を把握するミッションを実施し、UA③は調整済みの民間ドローン、 UA④は野良ドローンとして運航した。ヘリ①は防災ヘリ又は報道ヘリと設定し、ヘリ②はドクターヘリ等の緊急医療搬送ミッションを設定した。

実証シナリオ B.緊急医療配送ヘリに対する衝突回避のシナリオ

シナリオの流れ								
	UA①/UA②/UA③飛行申請、UA④飛行	UTMによる優先度設定、干渉回避判断※	UA①/UA②/UA③ミッション開始	ヘリ①/②飛行申請	UTMによる優先度設定、干渉回避判断	ヘリ①/②飛来、UTMによる注意喚起	UA①/UA②/UA③ホバリング、ミッション継続可否判断	UA①/UA②/UA③ミッション継続

機体	UA①（実機）	UA②（実機）	UA③（シミュレータ）	UA④（シミュレータ）	ヘリ①（シミュレータ）	ヘリ②（有人機情報システム）
ミッション	市街エリア（定期・定路線）	排水機場の被害把握・堤防の被害把握（不定期・不定路線）	海上漂流物の把握・テトラポットの被害把握（不定期・不定路線）	-（市民/地元企業の運用機体）（不定期・不定路線）	防災ヘリ or 報道ヘリの飛来	ドクターヘリの飛来模擬 or 周辺ヘリの情報共有
企業	国際航業	KDDI	JAXA	JAXA	JAXA	WNI
海抜高度	100~149m	30m	50m	50m	300m	300m
速度	4m/s	4m/s	現場でJAXA殿判断	現場でJAXA殿判断	JAXA様検討事項	現場でWNI殿判断
優先度	70	70	30	50	90	90



図 2.2.1.14.119 シナリオ B のミッション内容

⑤ ユースケースと使用機体

(A) ユースケース

南海トラフ巨大地震を想定した地震発生前と発生後のドローンの主なユースケースを図 2.2.1.14-120 と図 2.2.1.14-121 にそれぞれ示す。ユースケースは 2 次元でのリアルタイム把握や画像解析、音声・輸送等に大別されるとし、発災前は事前の避難に係る調査、発災後は被害状況把握や医療物資の輸送等が想定される。

	2次元での把握等（リアルタイム）	画像解析（事後）	音声、輸送等
広域的	●事前避難対象地域の監視 ●その他	●事前避難対象地域の測量 ●その他	●観測サンプルの収集 ●その他
局所的	●事前避難対象地域のインフラ点検 ●その他	●左の一部 ●その他	●迷子や不審者等との会話 ●その他

図 2.2.1.14-120 地震発生前のユースケース

	２次元での把握等（リアルタイム）	画像解析（事後）	輸送、音声等
広域的	●**市街地等の状況把握** （津波浸水範囲、市街地の被害、津波避難の状況、等） ●**海岸保全施設の状況把握** （堤防や離岸堤等の被害） ●**海上の状況把握** （漂流物、船舶の被害、油等の海上流出、等） ●**その他**	●**建物の被害**（災害廃棄物の発生量推計等で利用） ●**左の一部**	●**物資等の輸送** （医薬品、応援物資、等） ●**音声探索** （要救助者・生存者、等） ●**その他**
局所的	●**施設等の点検** （防災施設、インフラ施設、危険物施設、土砂災害等の危険個所、等） ●**その他**	●**左の一部**	●**物資等の輸送** （救出用ロープ、等） ●**音声会話** （要救助者・生存者、等） ●**その他**

図 2.2.1.14-121 地震発生後のユースケース

(B) 使用機体

2020 年度実証で利用した機体を図 2.2.1.14-122 に示す。左が国際航業運用機体、右が KDDI 運用機体であり、それぞれ主に観測ミッションを目的とした機体である。





名称	MATRICE 300 RTK（DJI製）
飛行時間	55分
重量	最大離陸重量9kg
飛行速度	最大23km/h
耐風性	風速15m/s以下で飛行可能

名称	PD4-XA1（プロドローン製）
飛行時間	21分
重量	最大離陸重量11kg
飛行速度	最大60km/h
耐風性	風速12m/s以下で飛行可能

図 2.2.1.14-122 2020 年度実証における使用機体

(2) 検証結果

① 実証結果の概要

図 2.2.1.14-123 に実証実験時の体制を示す。各拠点に人員を配置し、現場の UASO とは Teams 会議を介してコミュニケーションを実施した。運航管理卓の様子及び各拠点の様子を図 2.2.1.14-124 から図 2.2.1.14-126 に示す。運航管理卓では FOSTER の気象情報を投影するモニタを併設し、Teams による音声コミュニケーションを実施した。国際航業の機体である UA①は宿泊施設内に設置した拠点より運用し、国府白浜地区北部の監視ミッションを実施した。KDDI の機体である UA②は阿児の松原スポーツセンター内に設置された拠点より運用を実施し、国府白浜地区南部の観測ミッションを実施した。

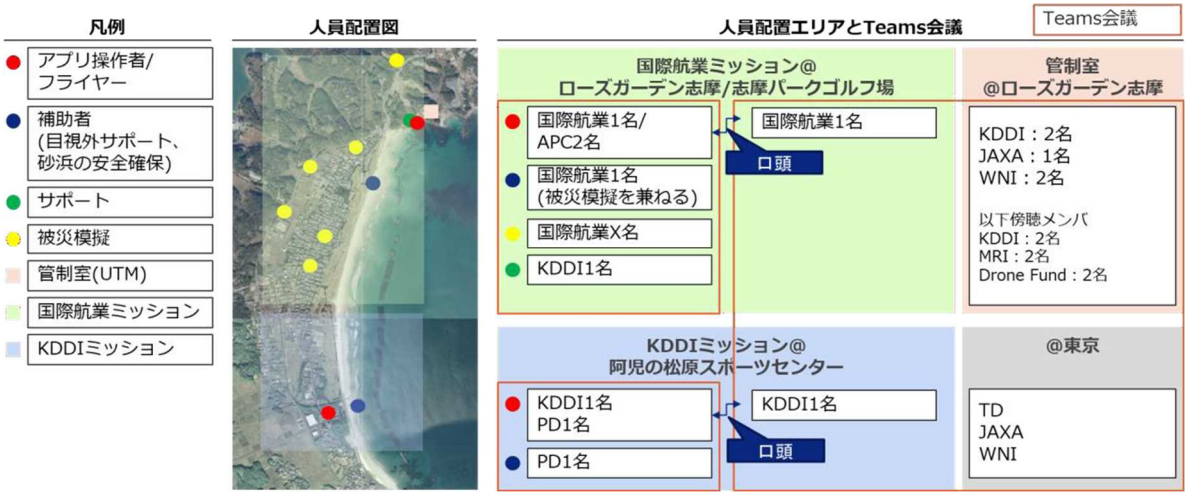


図 2.2.1.14-123 実証時の運用体制出所）Google Maps



図 2.2.1.14-124 運航管理卓の様子（ローズガーデン志摩）



図 2.2.1.14-125 国際航業側の離着陸拠点（ローズガーデン志摩）



図 2.2.1.14.126 KDDI 側の離着陸拠点（阿児の松原スポーツセンター）

以下に本実証での主な達成事項を示す。

- UTM システム検証
  - ✓ 計画したシナリオ飛行を行い、当初想定した UTM の計画・承認機能や監視・検知機能の検証を実施（プレ実証時に生じた課題も改修）
- UTM オペレーション検証
  - ✓ 事前計画有り／計画無し、の双方のヘリコプターに対するドローン向け運航管理を検証
  - ✓ 事前計画済のドローン運航、事前計画にないドローンに対応した運航管理を検証
  - ✓ ドローン最大 4 機（実機 2 機、シミュレータ 2 機）、ヘリコプター同時 2 機に対応した運航管理を実施し、災害時に必要な運航管理の検証を実施
- 災害アプリケーション検証
  - ✓ 災害時のアプリケーションとして、広域被害把握、避難状況把握、インフラ点検等のミッションを確認
  - ✓ 可視カメラ、IR カメラの撮像及び 3D 化、オルソ化処理をリアルタイムで実施し、Google ドライブを介した共有を実現

② UTM システム検証

(A) FIMS/UASSP/UASO 間の接続検証

FIMS、UASSP、UASO 間については、飛行計画の申請・承認を検証した。実証実験では、KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP に接続された UASO より入力された飛行計画について、各 UASSP から FIMS に申請し、FIMS 側で受理及び許可を出した。

(B) UASSP 間の接続検証

KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP 間では、JAXA/UASSP に接続された機体のテレメトリを KDDI/UASSP に共有する実証を行った。UASSP 間で各 UASO が運用するドローンの動態情報を共有したことで、図 2.2.1.14-127 に示すように KDDI/UASSP の画面上で JAXA/UASSP に接続された機体の情報が反映されると共に、近接等のアラートを表示することで、干渉回避等の指示を出すことができた。

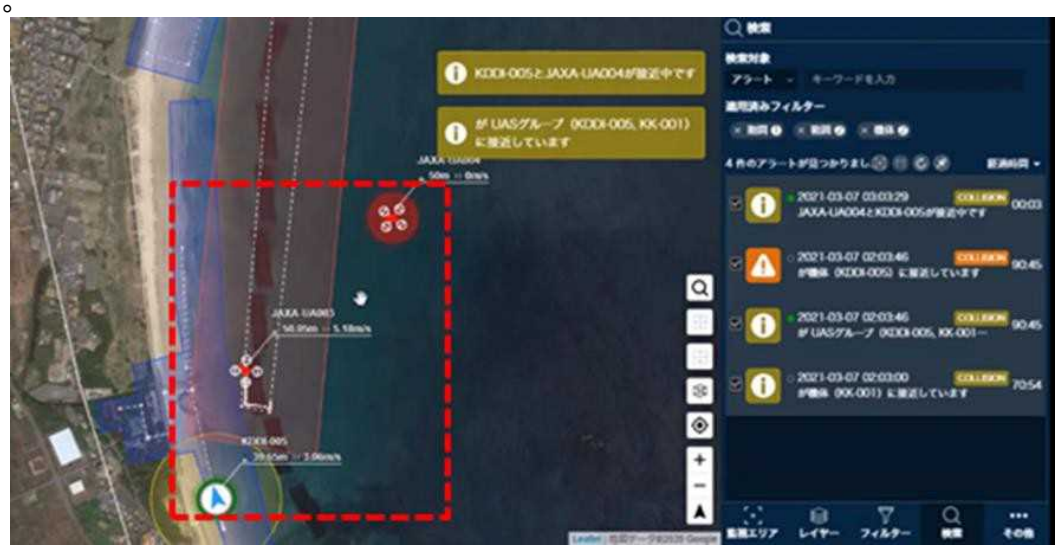


図 2.2.1.14-127 KDDI ドローン(実機)と JAXA ドローン(シミュレータ)の近接時アラート

(C) UASSP/有人機情報システム間の接続検証

ヘリコプターに搭載した端末から、衛星通信回線を経由してヘリコプターの動態を把握する有人機情報システム FOSTER と UASSP の連携を模擬するため、有人機動態情報シミュレータからシナリオに応じたヘリコプターの動態情報シミュレーションデータを UASSP に連携した。当該情報を用いて、UASSP 上でヘリコプターの近接時アラートの表示を検証した。図 2.2.1.14-128 にヘリコプター近接時のアラート表示を示す。

具体的なヘリコプター情報連携の仕様については、5.2.3.2.(2)③ にて後述する。



図 2.2.1.14-128 ヘリコプターとドローンの近接時アラート

③　UTM 機能検証

(A) 計画・飛行承認機能の検証

計画・飛行承認機能としては、「運航計画管理」「飛行申請状況管理」「空域管理」「干渉回避」について検証した。実証時の運用としては KDDI/UASSP に接続された UASO から FOS を介して事前に準備した飛行計画を申請し、FIMS より承認を得ることで飛行許可を出した。また飛行計画については事前に調整している機体とそうでない機体を設定し、プリフライトでの干渉回避とインフライトでの干渉回避をそれぞれ実証した。

(B) 監視・検知機能の検証

監視・検知機能としては「運航監視」と「空域監視」について検証した。実証に際し、UA 同士や UA-ヘリ間の衝突を防止するために目視にて状況を UTM 画面上にて監視・確認し、音声コミュニケーションを介して各 UASO に対し回避行動を促した。また UTM 画面上には機体の動態情報のほか、UA 同士及び UA-ヘリ間の近接時にアラートが表示され、空域管理をより円滑に実施した。

KDDI/UASSP では、管理者が UA-ヘリの近接や UA 同士の近接について、画面を見ながら管理した。UA-ヘリの近接ではアラートの表示を確認し、退避勧告等を実施したが、動態情報の共有頻度や遅延を考慮すると余裕を持った対応が必要であることが判明した。UA 同士の近接では、近接時のアラートの表示を確認し、野良ドローン等に対しても回避を実証した。一方で UA②と③など、優先度が不明確な場合は判断が難しい状況が生じた。

(C) ドローン同士の衝突回避検証

JAXA シミュレータ上で取得されたログを用いて、本実証におけるシミュレータ機に対する実機の衝突回避行動時の接近状況を分析した。本実証でのフライト毎のシナリオを表 2.2.1.14-67 に示す。

表 2.2.1.14-67 衝突回避行動の分析対象のシナリオ

実施日	フライト No.	シナリオ	UA④ 経路パターン
3/6	A１	A	基本ルート
	A２	A	基本ルート
	B１	B	別ルート４
	B２	B	基本ルート
3/7	A３	A	別ルート３
	B３	B	別ルート４
	A４	A	別ルート５
	B４	B	別ルート４

シナリオ A における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離を表 2.2.1.14-68 に示す。

表 2.2.1.14-68 シナリオ A における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離（単位：m）

シミュレータ機	フライト No.		UA① （高度 100～149m）	UA② （高度 30m）
UA④ （高度 50m）	基本ルート	A1	473.6	258.1
	基本ルート	A2	540.8	159.4
	別ルート３	A3	_※1	938.4
	別ルート５	A4	94. 0※2	689.4

※１ テレメトリ途絶のため第 1 回のシナリオから除外
※２ ホバリングではなく、北側へ回避し UA④とすれ違い

シナリオ A において最接近が見られた UA①と UA④の事例について、回避状況を図 2.2.1.14-129 に示す。実証時は、他機接近時にはホバリングしてやり過ごすことを原則的な運用方針としていたが、その場合、相手機の経路上で静止してしまうリスクがあることが確認できる。状況に応じた回避方法の指示等が必要である。

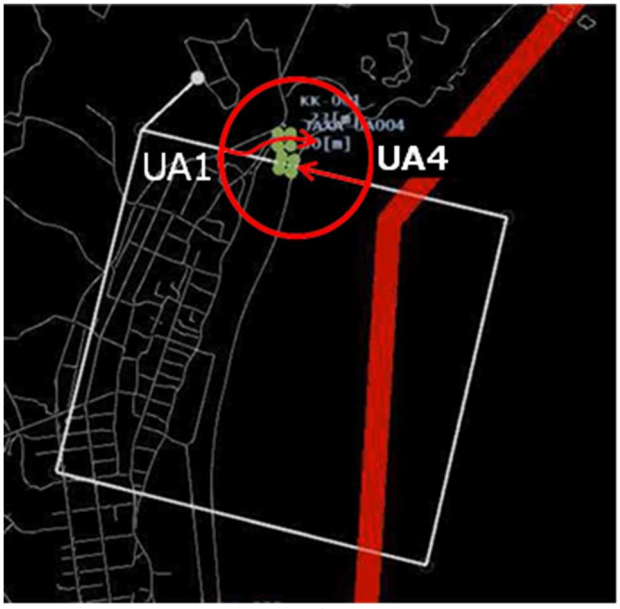


図 2.2.1.14-129 フライト A4（03/07 12:02:23）における回避状況
UA1 が UA4 を北側へ回避して通過（94m）

シナリオ B における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離を表 2.2.1.14-69 に示す。

表 2.2.1.14-69 シナリオ B における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離（単位：m）

シミュレータ機	フライト No.		UA① （高度 100～149m）	UA② （高度 30m）
UA③ （高度 50m）	-	B2	444.7	300.0
	-	B1	204.6	183.3
	-	B3	232.1	124.9
	-	B4	621.4	261.5
UA④ （高度 50m）	基本ルート	B2	362.8	159.9
	別ルート 4	B1	282.4	14.0
	別ルート 4	B3	265.5	47.8
	別ルート 4	B4	639.1	132.0

シナリオ B では、14m というかなり接近した状況が観察できる。このような接近状況を現実の衝突リスクを避けて再現できることが、相手機をシミュレータで模擬することのメリットと言える。シナリオ B において最接近が見られた UA②と UA④の 2 例について、回避状況を図 2.2.1.14-130 に示す。これらの場合は、いずれもホバリングにより相手機の通過を待つことで回避を行っているが、UA②の場合、UA④との高度差が 20m と UA①よりかなり小さく、より早く回避指示を行うことが必要と考えられる。

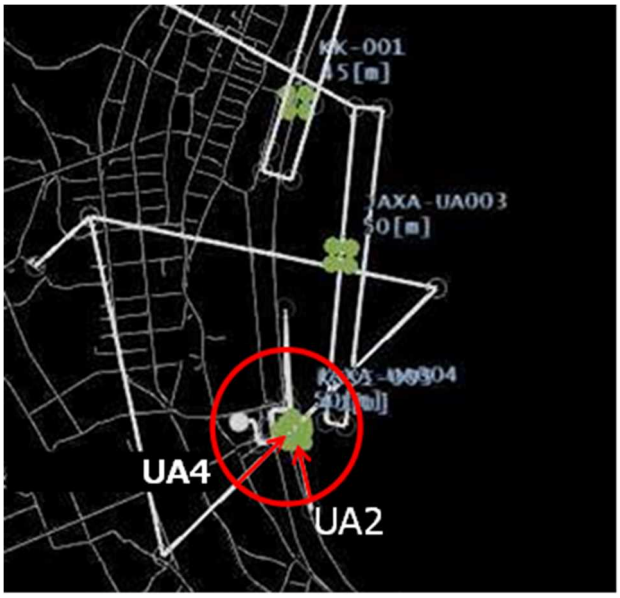


図 2.2.1.14-130 フライト B1（03/06 11:22:59）
UA2 が野良ドローンを回避してホバリング（14m）

④ 災害アプリケーション検証

災害アプリケーション検証では、津波災害発生時を想定した空撮ドローンの運用、及び空撮データの処理に関する検証を実施した。本項では、(1) 検証の概要において、実証全体における本検証の位置づけを整理しながら、検証の全体像を記述する。続く（2）検証のフローでは、本検証の手順を述べ、(3) 検証結果では、空撮及びデータ処理得られた結果を記述し、そして（4）ではその成果と課題を整理した。

(A) 検証の概要

災害アプリケーション検証の実施にあたり、本ドローン運航管理実証における全体シナリオとは別に、災害アプリケーション検証用の個別シナリオを 5 つ策定し、検証を実施した。いずれのシナ

リオにおいても、全長約 2.5km にわたる国府白浜のうち、北端の高台から北側半分の海岸線上空を南北方向に往復して飛行させ、海岸の西部に位置する市街地方向の空撮を実施した。
機体は、運航管理システムに接続可能な専用モジュールを設置した DJI 製「Matrice 300 RTK」を使用し、運航管理システム接続下で運用した。機体高度は、シナリオに応じて 100m～149m の間で設定した。地上の人員体制としては、離着陸拠点に 3～4 名（プロポを持つフライヤー担当、記録担当、FOS アプリがインストールされたタブレットの操作を担当する統括担当など)、飛行ルート周辺に 4～6 名（保安担当、被災模擬担当など）の人員を配置した。

(B) 検証のフロー
本検証は、実際の災害対応を想定し、以下(ア)～(オ)のフローで実施した。(ア)～(イ)は実証実験の事前準備として実施し、(ウ)～(オ)は実証実験当日に実施した。個別の実施項目について、以下に詳述する。

（ア）災害想定シナリオの策定
（イ）飛行計画・ルート策定
（ウ）実機でのドローンオペレーション
（エ）取得データに基づく 3 次元点群データの構築
（オ）クラウドでのデータ共有

まず、先述のとおり 5 つのシナリオ（以下①～⑤）を策定した（ア)。③～⑤は、全体シナリオ下での実施を前提に「津波被災後」のドローン運用を想定し、一方①～②は、③～⑤との比較対象として「平常時」のドローン運用を想定した。それぞれ「広域的な情報収集」と「特定箇所の基礎情報収集」を実施し、「津波被災後」のシナリオ下でのみ、「熱源情報収集」を実施することとした。
「広域的な情報収集」のシナリオは、ドローンによる空撮画像・映像を通じて、被災現場の被害規模等を把握できるかどうかを検証する目的で設定した。「特定箇所の基礎情報収集」のシナリオは、実証エリアに位置する志摩市指定避難所や津波避難タワー等の津波避難施設に地域住民が避難している想定で、その避難状況を空撮によって把握できるかどうかを検証する目的で設定した。「広域的な熱源情報収集」のシナリオは、避難住民の有無や火災の様子など、光学カメラとは異なる情報をサーモカメラで収集可能かどうかを検証する目的で設定した。

①平常時の広域的な情報収集
②平常時の特定箇所の基礎情報収集
③津波被災後の広域的な情報収集
④津波被災後の特定箇所の基礎情報収集
⑤津波被災後の広域的な熱源情報収集

シナリオ策定に続き、(イ)飛行計画・ルートの策定を実施した。まず離着陸拠点の選定においては、シナリオとの整合性も考慮し、津波被災後も活用できる可能性の高い高台であることを重視した。事前の下見をふまえて、地元宿泊施設のローズガーデン志摩の敷地の一画（標高約 16m）を離着陸拠点として活用した。飛行ルートの検討においては、実証エリアは人口集中地区（DID）ではなかったが、志摩市との事前調整を経て国府白浜の砂浜及び海水面の上空を飛行するルートを採用した。そのため海岸線の西側に広がる市街地を斜め撮影できるよう、カメラのジンバルは俯角 40 度に設定した。
実証実験の当日は、(ウ)実機でのドローンオペレーション、(エ)取得データに基づく 3 次元点群データの構築、(オ)クラウドでの情報共有を実施した。
実機の運用にあたっては、既存の一般的なドローンオペレーションとは異なり、運航管理システム下における UASO の役割として、具体的には FOS アプリの操作と運航管理システム側からのアラートに基づく機体操作が求められた。現場では、フライト統括担当が FOS アプリ入りのタブレット操作を担当し、プロポ操作を行うフライヤーと連携することで、運航管理システム下でのフライトを実施した。また安全かつ円滑に被災模擬の検証を進める上で、保安担当者や避難施設等で待機する被災模擬の担当者はトランシーバーを携帯し、緊密なコミュニケーションを図った。特に津波被災後を想定したシナリオ③～⑤における災害アプリケーション検証においては、各担当者は避難者を模して、それぞれの持ち場である避難施設の屋上や広場で「手旗を振る」、また砂浜では「発煙筒を焚く」

「SOS　を砂に書く」等の動作を行った。ドローンはその様子を上空から撮影した。
　機体の着陸後、ドローンに搭載していた　SD　カードから空撮した写真画像をパソコンにコピーし、(エ)、　(オ)の工程に移った。まずドローンの自動航行による連続撮影を行った①、③、⑤のフライトに関しては、オペレーションを担当した国際航業株式会社の 3 次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D®」を活用し、国府白浜北部から国府地区の沿岸市街地にかけての 3 次元点群データを作成した。またそれと併せて、災害時における遠隔地の関係者への情報共有を想定し、模擬的に Google Drive への画像アップロードを行った。Wi-Fi 端末を通じてインターネット回線を確保し、画像アップロードを完了した上で、当該フォルダの URL　を、志摩市の担当者を含む実証実験関係者内にメールで共有した。なお共有データは、全体の業務フロー、アップロードのためのネットワーク環境、Google Drive で閲覧することなどを考慮し、光学カメラ・サーモカメラで取得した画像データ（JPG 形式）のみを対象とした。3 次元点群データは、データ形式に対応するソフトウェアでの閲覧が必要なため、キャプチャで事後的に関係者に共有した。

(C) 検証の結果
　平常時想定のシナリオ①②における空撮結果との比較を通じて、津波被災後を想定したシナリオ③④では広域での斜め撮影、及び特定箇所のズーム撮影による避難者探索模擬において、それぞれ一定の成果が得られた。
　具体的には、志摩パークゴルフ場前の砂浜、国府白浜休憩舎前の砂浜に待機した模擬避難者が砂に描いた「SOS」等のサインが、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時において確認できた。また市街地内の特定箇所を対象とする空撮では、地上 2 階建 RC 造の国府漁村センター屋上に設定された緊急避難所（津波避難ビル）、国府地区公民館（市指定避難所）の前にそれぞれ配置した模擬避難者が手旗を振る様子が、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時に明確に確認できた。
　一方、指定避難所や津波避難施設は、上空からの撮影や目視に対して視認性の高い作りをしていない。また周囲よりも高い建築物であったとしても、斜め撮影の場合はその高さの違いを認識しづらい。したがって、空撮実施時にフライヤー担当者が対象とする建物等の発見に時間を要し、想定よりも飛行時間が長くなる要因となった。

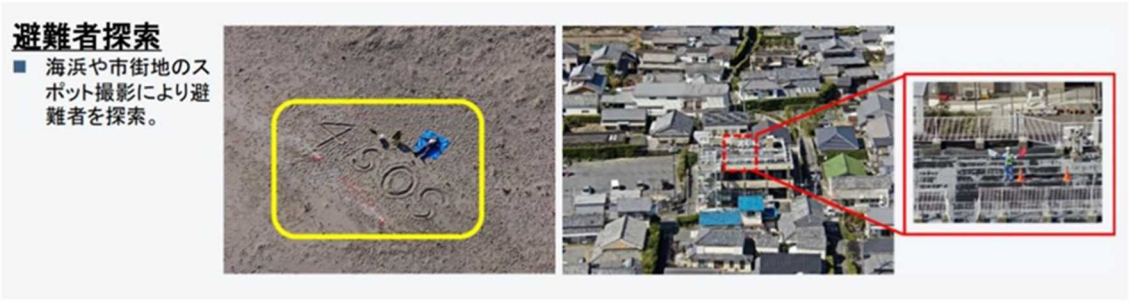


図 2.2.1.14-131 難者捜索のための空撮実施例
（左：砂浜上の避難者と救助を求める文字、右：津波避難ビル屋上の避難者）

　シナリオ⑤では、サーモカメラを活用し、砂浜に待機する補助者が焚いた発煙筒の熱源等から、要救助者の有無や、火災発生の有無の推定に応用可能かどうかを検証し、一定の成果を得ることができた。具体的には、「SOS　を描くことによって地上に露出した、低温の地中部分が文字として浮かび上がる様子や、発煙筒の熱源周囲が高温になっている様子が、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時において確認できた。
　一方、発煙筒の規模の煙は、上空 100m～149m からのサーモ空撮、及び通常の光学カメラによる空撮では十分に視認することができなかった。

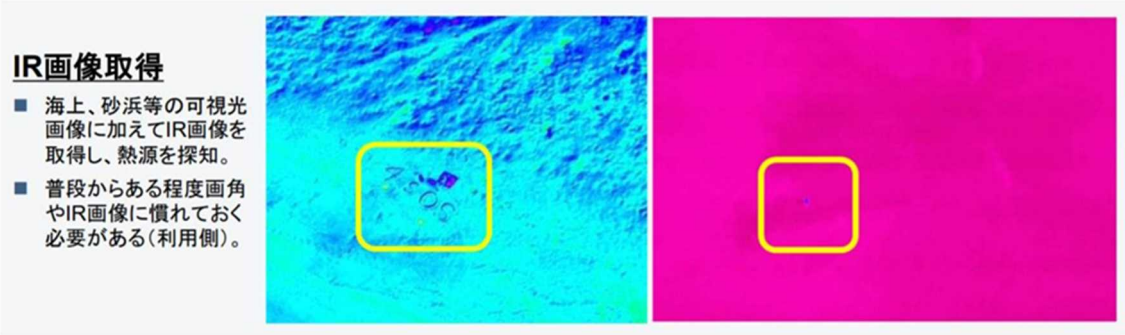


図 2.2.1.14-132 IR 画像の取得例
（左：図 2.2.1.14-131 左側写真と同時・同地点で取得、右：海上のサーファー）

1 次元点群データ解析では、「KKC-3D®」の SfM（Structure from Motion）解析技術により、国府白浜北部から国府地区の沿岸市街地にかけての 3 次元点群モデルを、連続的に撮影した空撮画像をもとに生成した。南北方向に飛ぶ機体で、西側方向に俯角 40 度のカメラ設定で「斜め撮影」を行ったため、もともとの写真に映り込んでいない側（たとえば建物の西面など）の点群は生成されていないが、空撮画像を 1 点 1 点確認する手間を省くことができ、広域にわたる現地の概要を把握する上で有効である。また、平常時から定期的に同様のデータを取得しておくことにより、被災前後の差分解析を行うことが可能となり、非常時に被災状況を効率的に把握することができると考えられる。



図 2.2.1.14-133 KKC-3D®により生成した 3 次元点群データの例

データ共有に関しては、特殊なソフトウェア等を活用せずに、Google Drive を活用し、一定の効果が認められた。参考として、フライト開始から画像データアップロード完了の関係者間周知までの所要時間を計測したところ、およそ 30 分間の総時間で実施することができた。以下の内訳は、1 つのフライトを例にとり記載したものである。

表 2.2.1.14-70 フライト開始から画像データアップロード、関係者周知までの所要時間の例

項目	所要時間
飛行時間（離陸～着陸）	約 12 分
着陸後の諸対応時間（SD カード抜き取りからアップロード準備まで）	約 3 分
撮影データのアップロード時間	約 10 分
アップロード後の諸対応時間（確認から周知メール送付まで）	約 5 分
所要時間合計	約 30 分

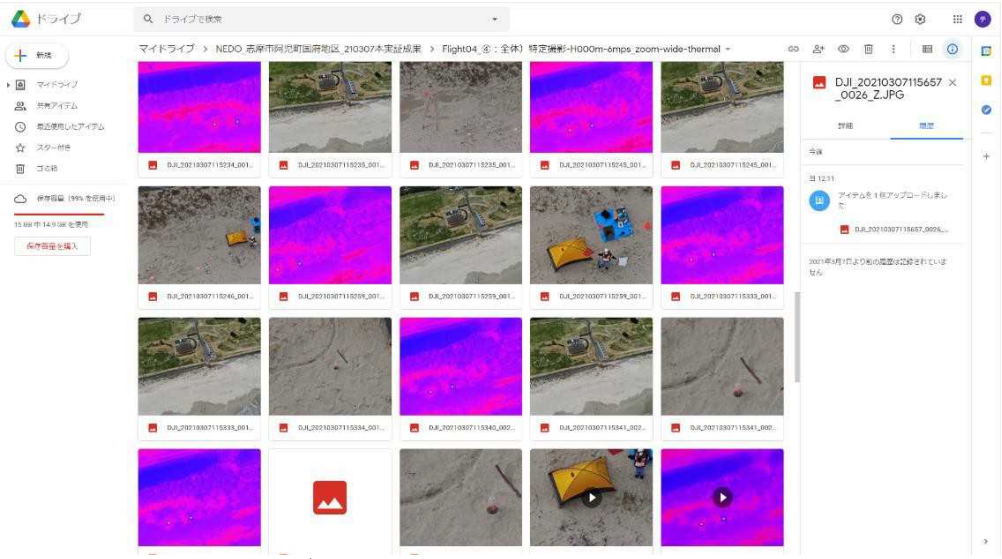


図 2.2.1.14-134 データ共有結果の例（Google Drive による共有）

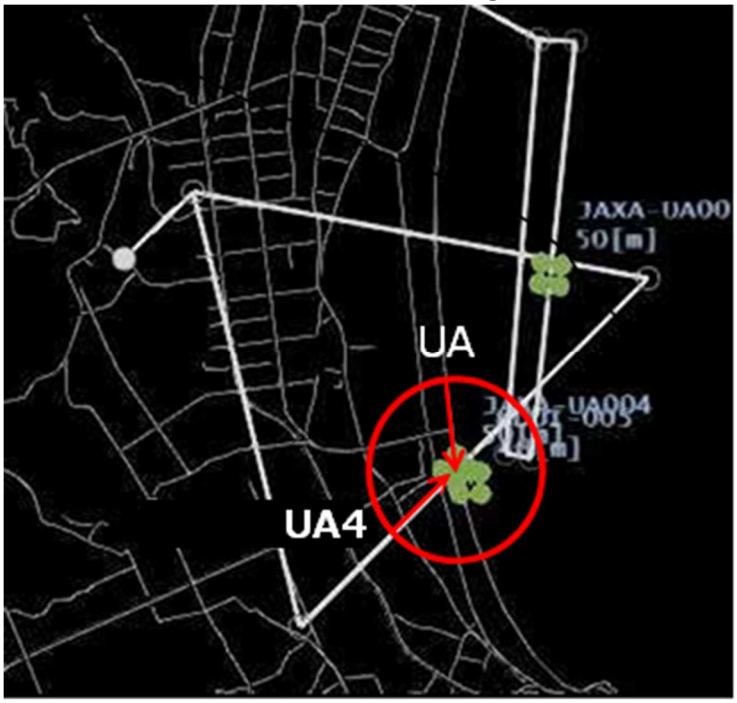


図 2.2.1.14-135 フライト B3（2021/03/07 11:04:14）
UA2 が野良ドローンを回避してホバリング（48m）

(3) 課題の整理

本実証を受けた課題として、以下に UTM における課題と災害アプリケーションにおける課題を整理した。

① UTM における課題

(A) 運航管理の運用課題

ヘリコプターとの事前調整と空域設計については、事前計画段階におけるヘリコプターとの情報共有が重要であり、そのプロセスの明確化と事前調整を踏まえた災害現場の空域設計の検討が必要であることが判明した。

運航管理の最適化に関する観点では、UTM 側の運航管理実施者の音声指示による人的処理と、UTM システムによる自動処理の範囲の最適化が必要である。また、音声通話による指示の有効性と限界の切り分けを整理すること、UTM による運航管理の対象スケールの検討が必要である。対応可能な災害現場レベル、市町村レベル、県レベルといった地理的スケールや管理対象のドローン機数、階層

管理についても同様に検討が必要である。さらに、ヘリコプターとのコンフリクト調整及びドローン同士のコンフリクト調整について、要求されるタイムスケールに応じた運航管理の最適化が必要である。なお実証実験では、ヘリコプターへの対応を早期に実施することで、ドローン同士のコンフリクト調整について余裕が発生した。以上に加えて UTM 側の運航管理実施者に求められる要件(知識、経験等）や教育プログラム等の検討が必要であることも判明した。

ドローンの優先度設定については、災害時のドローンの運航優先度を設定し、コンフリクト発生時の対応方策を予め決めることが必要である。

(B) UASO への情報提供

提供情報の種類に関する課題として、UASO の運用に必要な情報の種類（高度、距離、動態情報、回避指示等）や伝達方法（音声指示、システム上の文字表示）の整理が必要である。またヘリコプター、ドローンの事業上の制約から、UASO に開示可能な情報の範囲や提供方法の整理が必要である。

情報提供のタイミングに関する課題としては、近接に至る時間に応じた情報提供のタイミングと、それに応じた提供情報の整理が必要である（事前の情報提供、接近時の注意喚起、衝突回避のための警告、等)。

② 災害アプリケーションにおける課題

(A) 情報収集

まず特定箇所を対象としたスポット撮影を行う場合には、撮影対象を事前に明確化しておく必要がある。マニュアル操縦で避難者等を捜索する場合、避難者がいそうな場所に接近し、転送されてくる画像・動画から避難者の有無を判断する必要があるため、飛行時間や飛行範囲に大きな制約を受ける。そのため平常時から撮影対象（例：公共施設、避難場所、主要道路 - 交差点、重要インフラ、災害危険箇所など）を整理し、さらにその対象を撮影するのに適したルート、高度、及び撮影諸元（例：画角 - ズームレベル）も整理しておくことにより、緊急時にもスムーズに情報収集が可能となると考える。

またサーモカメラによる撮影では一定の成果を得ることができたが、取得されたサーモ画像の表示閾値を調整し、確認したい温度帯を強調することにより、より明確な推定ができるようになると考える。ただし夏季など浜や路面が高温になるような場合、あるいは津波で一帯が浸水して表面温度が低い場合など、サーモカメラが有効なシーンについては今後も整理・検討が必要と思われる。

そして斜め撮影による連続写真からでも一定の 3 次元点群データが作成できた点は、重要な成果であると考える。本技術を活用すれば、二時期のデータを比較して差分抽出を行うことができるため、災害前と災害後の変異計測にも有効と考えられる。

これらの事項を踏まえると、自治体が中心となって、①平常時から 3 次元点群データを作成しておくこと、そして、②平常時から調査対象、飛行ルート等を整理しておくことにより、津波被災後のドローン活用目的と使い方も明確になり、また迅速な災害復旧・復興にも寄与できると考えられる。

(B) 情報共有

Google Drive を利用した撮影成果の共有については、依然として課題も大きい。技術的な課題としては、1 フライトにおける撮影枚数が多いためサーバ容量に不安のないストレージが必要である点や、災害時にも安定した高速通信回線の確保を必要とする点が挙げられる。運用上の課題としては、Google Drive のようなクラウドサービスを、有償／無償を問わず基礎自治体、広域自治体側が活用できるような環境整備が必要となる点が挙げられる。すなわちドローンに限らず、平時も含め防災・災害対応を広く見据えた、自治体及び地域のデジタルトランスフォーメーションが不可欠であると言える。また、同時期に大量に取得される画像データ群から効率よく必要な情報を取り出す技術についても、処理の自動化・迅速化を推進する必要がある。

5.2.3.3. 2021 年度実証試験

(1) 検証内容・方法

① 検証項目の設定

2021 年度は、2020 年度の課題を踏まえ、以下の事項について検証を行った。なお、UTM 機能に関する具体的な検証項目は、表 2.2.1.14-66 に示したとおりである。

- 管理空域の広域化
  - ✓ 2020 年度に対象とした現場レベルではなく、地域レベル/自治体レベルの空域を対象とした運航管理を実証
  - ✓ 和具地区周辺（和具漁港、市街地、広の浜、志摩総合スポーツ公園、県立水産高校）、寸断地域（船越地区、深谷水道）、志摩地中海村等の複数地域を管理対象として設定

- 災害時の運用に則した実証
  - ✓ 有人機情報システム、D-NET との連携について実証
  - ✓ 災害時のミッションや運用主体の特性等に応じたドローン運用の優先度の管理について実証
  - ✓ 警察・消防の航空機等による救助活動を想定してドローンの飛行を原則禁止にする空域「緊急用務空域」の設定に対する対応を実証
  - ✓ 災害時のドローン運用プロセスの検討した上で実証

- 干渉回避
  - ✓ 災害時に想定されるユースケースの洗い出しに基づく実証シナリオや飛行経路を検討することで、実運用上想定される干渉回避パターンについて実証

  ＜プリフライトの干渉＞
  - ✧ 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証
  - ✧ ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証

  ＜インフライトの干渉＞
  - ✧ 離着陸を伴う緊急度の高いヘリコプターの運航に対し、UTM によるドローン側の干渉回避を実証

本実証を通じて目指す、災害対応における UTM 活用イメージを以下に示す。広域自治体、基礎自治体、災害現場のオペレータが、それぞれの役割の下で UTM を活用すると共に、UTM を介して、ドローンの運航のみならず、空域やヘリコプター、災害に関する情報の連携を実現する。具体的なシステム連携については、D-NET（ヘリ動態管理、災害情報）、FOSTER（ヘリ動態管理、気象情報）との連携を実証することとした。

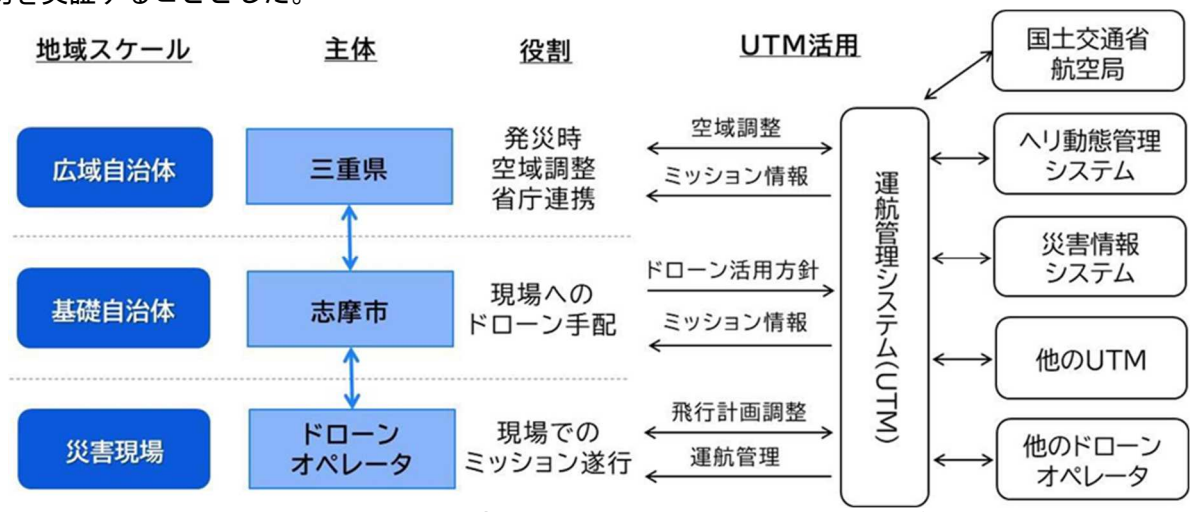


図 2.2.1.14-136 災害対応における UTM 活用のイメージ図

② 実証実験地域

実証実験の地域については、図 2.2.1.14-137 に示すように志摩市の中でも南海トラフ地震の際に主に津波をはじめとした大規模な被害が懸念される和具・布施田地区（和具漁港・和具広の浜・志摩総合スポツ公園）を実証エリアに設定した。実機は和具地区の和具漁港及び布施田地区の志摩総合スポーツ公園を拠点（それぞれ赤字）に運航した。そのほかの地域として、津波被災時にさきしま半島を寸断すると考えられる船越地区及び深谷水道、民間ドローンの運用が想定される志摩地中海村、寸断後に物資輸送の拠点となる可能性のある県立水産高校（それぞれ青字）をシナリオに組み込んだ。

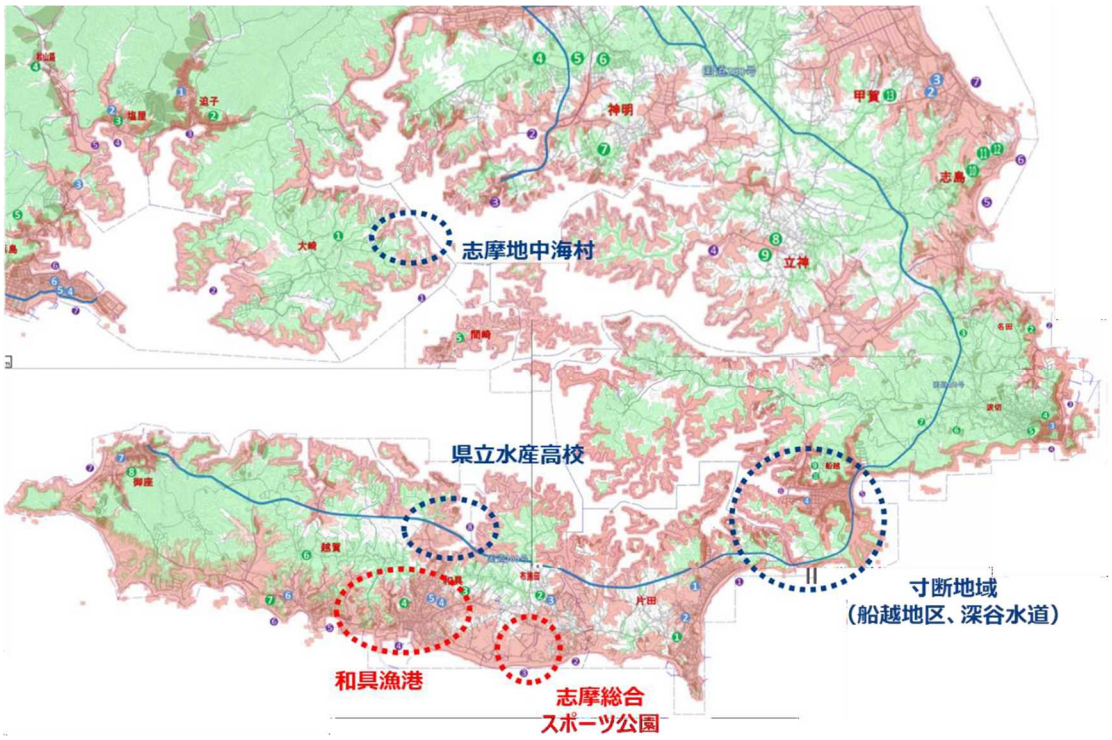


図 2.2.1.14-137 2021 年度における実証エリア
出所）志摩市防災ハザードマップより MRI 作成

③ システムアーキテクチャ

図 2.2.1.14-138 にシステムアーキテクチャ概念図を示す。2020 年度と同様、KDDI/UASSP と JAXA/UASSP（シミュレーション）の 2 つの UASSP を設定し、KDDI/UASSP には実機 2 機、JAXA/UASSP にはシミュレーションによる機体 2 機を接続した。

2020 年度との違いは、ヘリコプターの情報連携である。有人機情報システム（FOSTER）に接続されたヘリコプター動態情報・計画情報に加え、D-NET に接続されたヘリコプターの動態情報を、FOSTER 経由で UTM に連携するアーキテクチャとした。なお、FOSTER 及び D-NET のヘリコプター情報については、シミュレーションデータによる検証とした。D-NET には災害情報も含まれるが、災害情報については、市販製品化されている防災情報共有ツール DigMaps を用いて、実証試験時にはオフラインによる情報共有を行った。

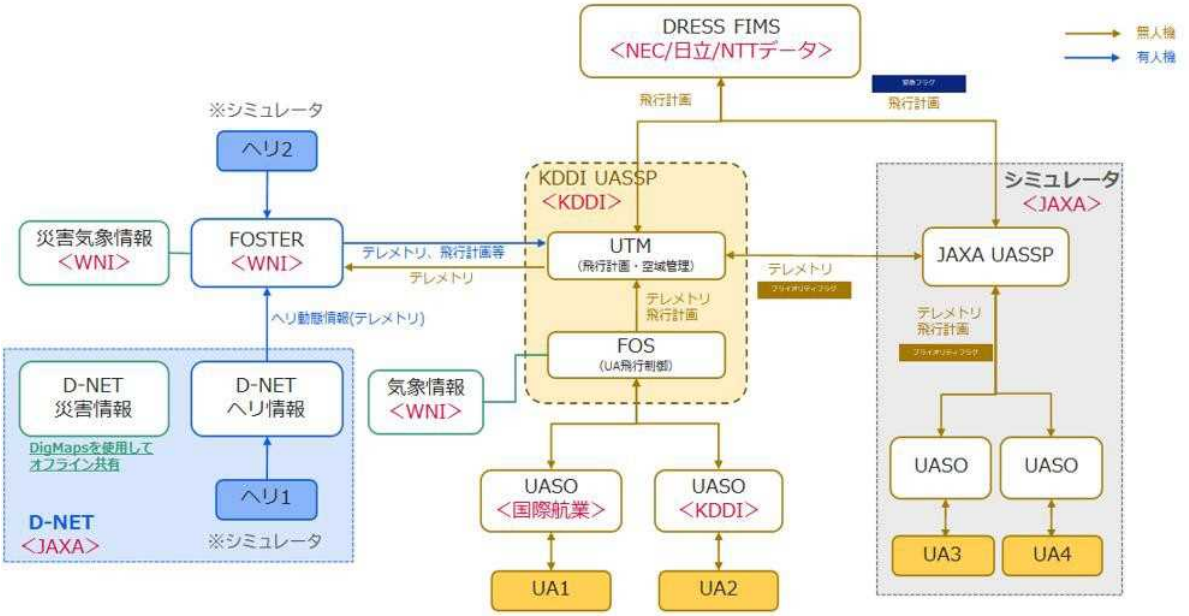


図 2.2.1.14-138 2021 年度実証におけるシステムアーキテクチャ概念図

④ 災害時のドローン利用プロセス

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況と考えられる。また、災害対応は各自治体の実情に応じて実施することになるため、災害対応におけるドローンの活用においても、ドローンの運用に関わる職員数や管理するドローンの数等に応じて調整方法等が変わるものと考えられる。

2021 年度に実証試験を行った三重県志摩市においても災害時のドローン利用プロセスに関する事前の取り決めが無かったことから、志摩市の実情を考慮して災害時のドローン利用プロセスを検討し、実証実験で検討結果に沿った対応を行った。なお、今回の利用プロセスは実証実験のために仮に設定したものであり、今後に志摩市において災害時のドローン活用を具体化していく際には、必要に応じて見直しが求められる。

● 利用プロセスの種類

災害対応にドローンを活用するプロセスには大きく分けて 2 パターンがある。事前に運用調整するパターン（パターン A と呼ぶ）と、災害時に運用調整するパターン（パターン B と呼ぶ）がある。

事前に運用調整するパターン A では、災害発生前にミッション・飛行経路等を決めておき、災害時は予め決められた手順に沿って飛行する。例えば、発災直後に予め決められたルートをドローンが飛行し、被害状況の把握等を行う場合が相当する。

一方、災害時に運用調整するパターン B では、ヘリコプターの飛行経路・運用に関する情報や災害対応全般の対応方針を踏まえてドローンの運用調整を行い、ミッション・飛行経路等を検討する。

2021 年度の実証試験は、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）の２回実施しており、プレ実証はパターン A に基づくシナリオ A で試験を行い、本実証はパターン B に基づくシナリオ B で試験を行った。

なお、パターン A 及びパターン B の各プロセス（ドローンに関する調整会議等）の詳細は、(2)を参照のこと。

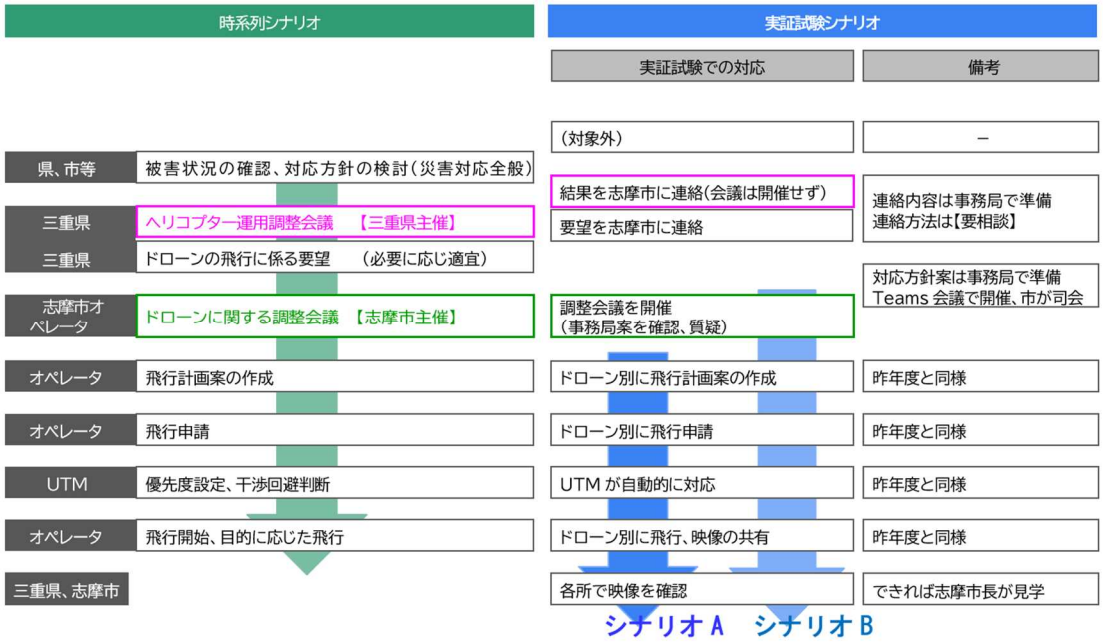


図 2.2.1.14-139 実証試験シナリオ
（シナリオ A：プレ実証で実施、シナリオ B：本実証で実施）

● 利用プロセスにおける各プロセスの概要

災害時に運用調整するパターン B における、災害発生～ドローンの飛行開始に至る全体の手順例は以下のとおりである。なお、パターン A の場合は、以下の手順の(D)（飛行計画案の作成）以降に相当する。

(A) 災害対応全般の対応方針の検討

災害情報システムや現場における調査から、災害対策本部会議等において災害による被害状況の確認と災害対応全般に対する対応方針の検討を行う。災害発生直後には、被害発生箇所が分からないため、どこを撮影するためにフライトするかの判断が重要となる。

なお、以下の運用調整会議を待たずに人員・機器等の準備が整い次第、可及的速やかにドローンを飛行させ、災害直後の被害状況を把握することも考えられる。

(B) ヘリコプターに関する情報の把握（ヘリコプター運用調整会議等）

広域災害等においては、広域自治体主催で、広域自治体・防災機関等によるヘリコプター運用調整会議が開催される場合がある。会議が開催される場合には、ドローンの運用調整で必要となる情報（ヘリコプターの飛行経路等に関する事項等）をヘリコプター運用調整会議で把握する。また、ヘリコプターによる支援を受入れる場合等においてもヘリコプターの飛行経路等が把握できるため、それらの情報をドローンに関する運用調整で参考とする。

(C) ドローンに関する運用調整【5.2.3.3 (1) ⑤参照】

(B)ヘリコプターに関する情報や県等からの要望を踏まえ、活用可能な機体（自治体所有、協定を締結した民間企業等の所有）を把握した上で、ドローンの飛行に関する調整を行う。例えば、ドローンに特有な調整会議を開催することや、会議は開催せずに災害対策本部の中の特定の対応班が調整することも考えられる。

(D) 飛行計画案の作成

ドローンのオペレータ等からの助言等を踏まえ、災害対応に投入するドローンの機体ごとに飛行計画案を作成する。

(E) UTM による飛行の優先度設定と干渉回避判断【5.2.3.3 (1) ⑤参照】

作成された飛行計画案を飛行申請した後に UTM 等で飛行の優先度が設定され、干渉回避判断等

が行われる。

(F) 飛行開始

実際にドローンの飛行を開始する。その際、UTM からのアラートやヘリ動態情報を注視しながら飛行する。

⑤ ドローン運航調整

前項の災害時のドローン利用プロセスでは、ドローンの運航調整として、平時と同様に UTM を通じて調整する場合と、UTM に申請する以前に自治体で調整する場合を想定した。また、自治体で事前に調整する場合にはドローンのミッション別に優先度を設定して、優先度に応じて飛行申請することを想定した。優先度はドローン間で適用されるものであるが、空域制限が設定される場合には警察や消防等のヘリによる救助活動等を優先するため、全てのドローンが影響を受ける可能性がある。

このため、ここではドローンの運航調整に関する２種類のパターンとともに、関連する事項として優先度の設定及び空域制限について整理する。

(A)UTM による運航調整

災害時には狭い空域に多くのヘリやドローンが飛行することとなるため、【5.2.3.3 (1)④】で示したとおり、平時と同様に UTM を通じてドローンの運航調整・空域調整を実施する。各主体によって申請された飛行計画について、広域自治体等による UTM を通じ、空域調整が行われる。その際、各主体が実施する事項は以下のとおりである。

なお、UTM はヘリの動態情報を D-NET や FOSTER 等から収集する。

表 2.2.1.14-71 UTM を通じた運航調整を行う際の実施事項

主体	実施事項
広域自治体	• 自治体内における空域管理・調整 • 各機体のミッション情報の取得
基礎自治体	• 災害対応の基本計画の共有 • 各機体のミッション情報の取得
災害現場	• 飛行計画の調整・運航管理

実証実験での UTM における空域調整の様子は以下のとおりである。

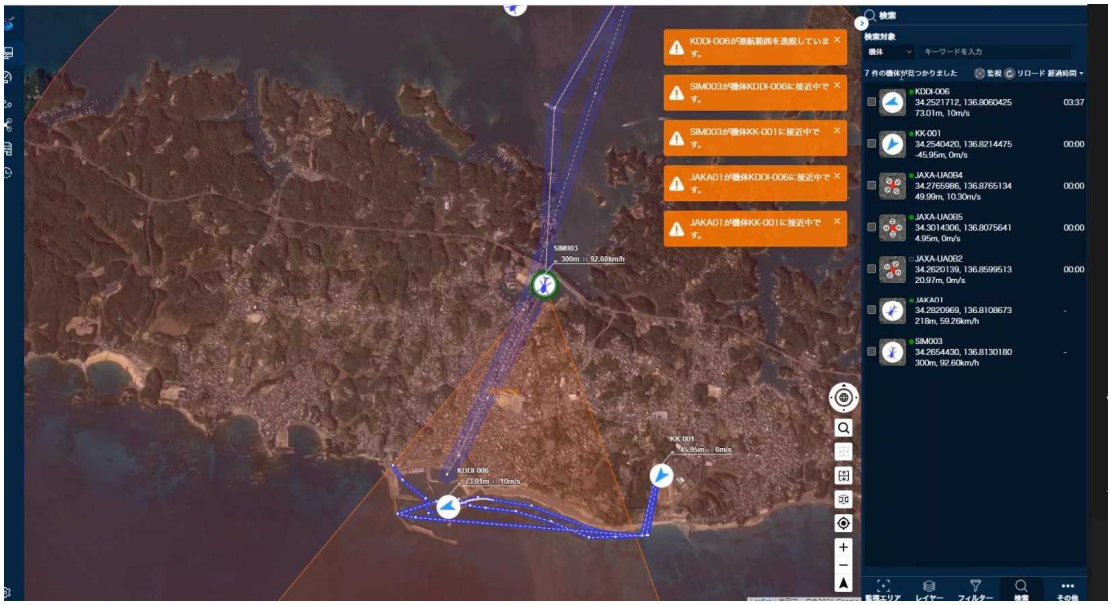


図 2.2.1.14-140 UA-ヘリ の近接に対する対処状況

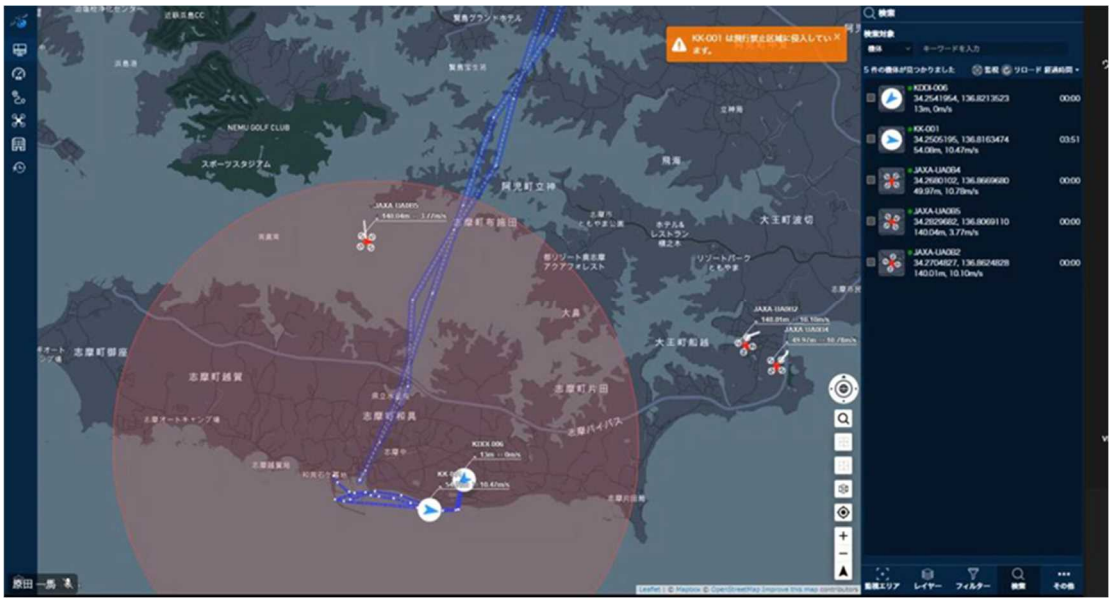


図 2.2.1.14-141 緊急用務空域に侵入した UA に対するアラート

なお、UTM で運航調整を行うことで干渉は回避できるものの、現状では先に申請されたミッションから承認されるため、本来優先すべきミッションの飛行であっても承認順を優先することはできない。このため、 UTM に申請する前にミッションの優先度を決めておき、優先度の高いものから先に申請することが必要となる。ミッションの優先度については、自治体における運用調整において決める必要がある。詳細については、【5.2.3.3 (1)④】を参照のこと。

(B) 自治体における運用調整

(A)で記載したとおり、ドローンの干渉回避のためには、自治体における運用調整においてミッションの優先度を決めておく必要がある。自治体における運用調整の種類については、事前に運用調整しておくパターンと、災害時に運用調整するパターンがある。詳細については、【5.2.3.3 (1)④】を参照のこと。

(C) 災害対応のためのドローン運用における優先度の設定

災害対応のためのドローン運用における優先度の設定は、ドローンの干渉回避のためだけでなく、ドローンという限られたリソースの有効活用の観点からも重要となる。膨大な災害対応業務に対

して投入できるリソース（職員、機材、車両、燃料等）が限定されるため、優先度の高いミッション（業務）からリソースを投入していくことが重要となり、そのために業務継続計画（BCP）を策定している自治体も多い。

このため、災害対応のためのドローン運用における優先度の設定にあたっては、地域防災計画や BCP 等において災害対応業務の優先度が決まっている場合は、それに応じて投入するドローンの優先度を検討することが考えられる。BCP 等で優先度が決まっていない場合には、基本的な BCP の思想を踏まえ、投入できるドローンの数等を考慮して、優先的にドローンを投入するミッションを発災後のフェーズ別に検討しておくことが望まれる。例えば、2021 年度に三重県志摩市で実施した実証実験においては、優先度フラグが二値で設定できたため、図 2.2.1.14-142 のとおり優先度を「高」「低」で設定している。

なお、ここでいう優先度は同じ時間フェーズに実施するミッション同士を比較するものであり、例えば、発災直後に実施する優先度「低」のミッションは、発災数時間後の優先度「高」のミッションよりも優先して実施する。

優先度	条件	ミッションの例
高	● 様々な災害対応の前提となるもの	広域的な被害状況の把握、孤立地域でのヘリポートの状況把握
	● 市民の安全に関するもの	避難誘導、避難状況の把握、遭難者の発見、医療物資の輸送
	● 2次被害の防止に関するもの	危険個所の点検(がけ崩れ等)、延焼状況の把握
	● ドローンの運用に不可欠なもの	関連施設の被害状況の把握(離着陸場所等)
	● その他で以上の項目に準ずるもの	迂回路が少ない緊急輸送道路の点検(長大橋等)
低	●「高」以外のミッション	重要度の低い施設の点検、食料等の物資輸送

図 2.2.1.14-142 災害対応のためのドローン活用における優先度例

(D) 災害時における空域制限（緊急用務空域と飛行自粛）

災害時には、警察や消防等のヘリによる救助活動等を優先するため、ドローンに対して「飛行自粛」「緊急用務空域」といった空域制限が設定される可能性がある。

「飛行自粛」の要請とは、すべての航空機に対して飛行自粛を求める NOTAM が発行されることを指す。実際に飛行自粛が要請された広島県他における 2018 年豪雨や 2021 年 7 月伊豆山土砂災害の事例では、災害発生数日後に、複数の地点を中心とした半径 4km 弱（２NM）の範囲が飛行自粛空域に設定されている。また、飛行自粛要請は航空局 HP や Twitter で公開される。

「緊急用務空域」の設定とは、捜索や救助を目的とする一部の無人航空機以外の無人航空機は飛行を原則不可とすることを指す。緊急用務空域は災害規模に応じて国土交通大臣がその都度設定し、航空局 HP や Twitter の公開を通じて周知する。また、実際に発行された実績はないため、詳細な運用方法は不明である。ただし、航空法第 132 条の 3(捜索、救助のための特例)により、警察等の機関や国土交通省令で定める主体が捜索や救助を目的とする場合は、無人航空機の飛行は可能となる。

表 2.2.1.14-72 飛行自粛と緊急用務空域の詳細（例）

空域制限の種類	対象	範囲	タイミング	発出依頼者	
飛行自粛	全ての航空機	半径 2NM（4km 弱）の円内	発災後数日経過時点	要請空域が広域（2 都県）	政府災害対策本部
				要請空域が 1 都県	都県災害対策本部
緊急用務空域	無人航空機	不明	不明	現地災害対策本部	

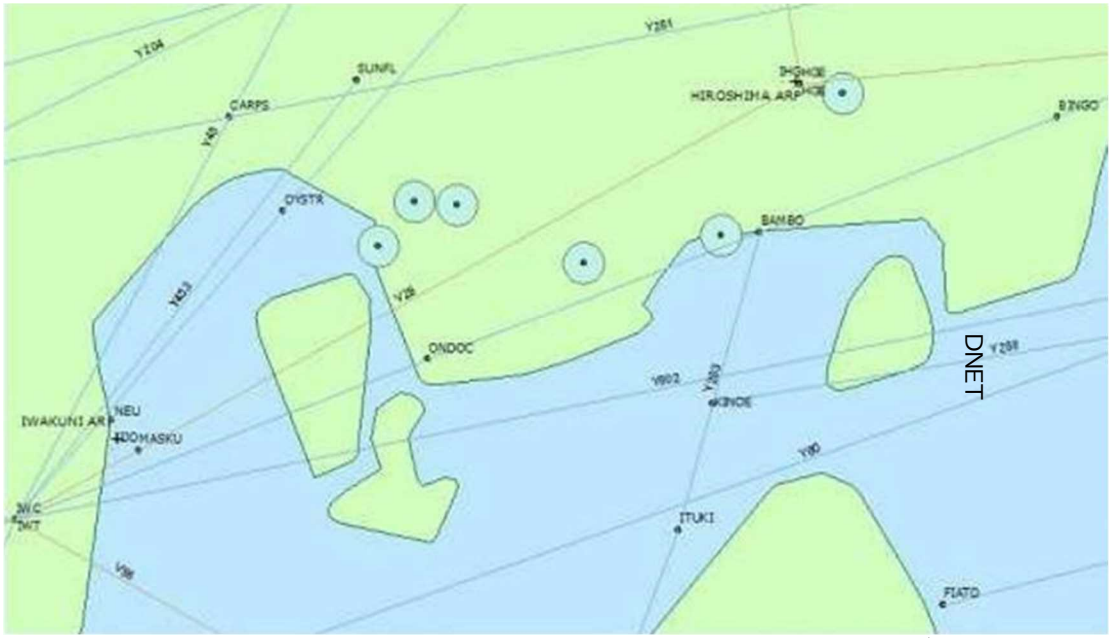
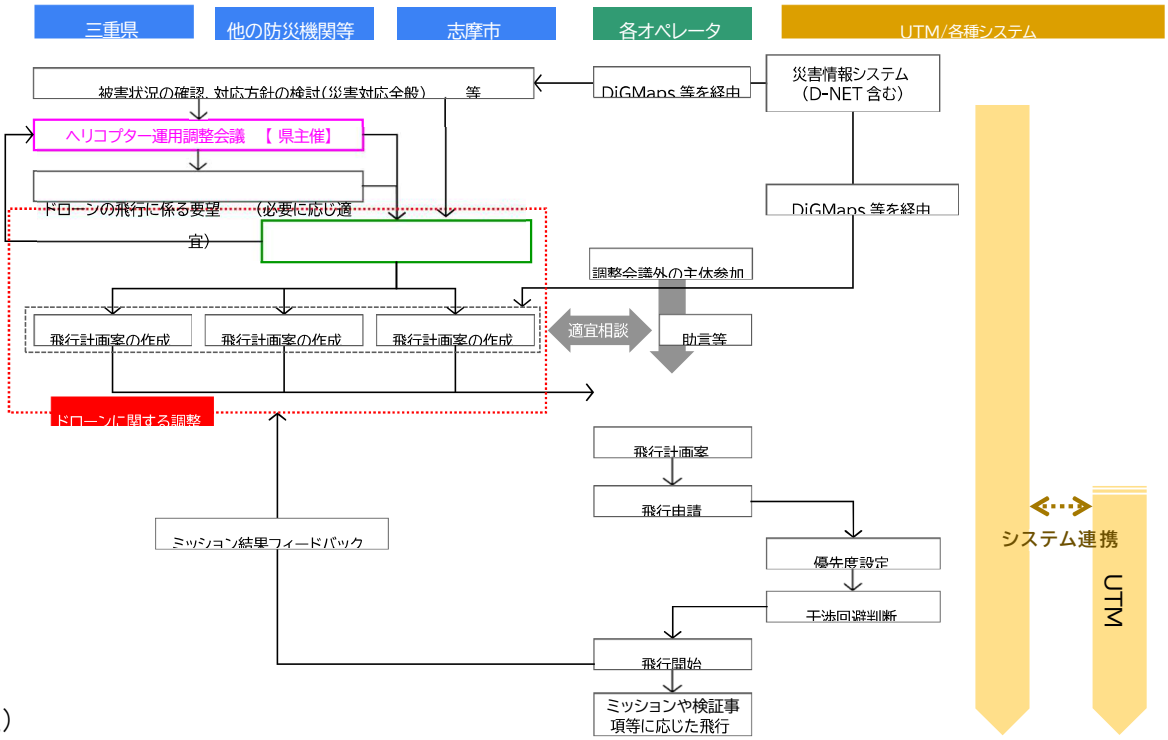


図 2.2.1.14-143 平成 30 年豪雨で設定された飛行自粛 NOTAM[1]

1 国土交通省 AIS Japan、 https://www.japa.or.jp/wp-content/uploads/2018/07/cab_201807_02-2.pdf（閲覧日：2021 年 8 月 11 日）



（注）
調整会議（ヘリコプター、ドローン）が立ち上がっていない場合には、各会議を除いたフローとなる。例えば、発災直後に両方の会議が立ち上がっていない場合には、各ドローンで個別に飛行計画を検討し（一部で事前に相互調整）、飛行申請した際にシステム上で調整が実施される。

図 2.2.1.14-144 災害時のドローン利用プロセス（2021 年度実証試験の場合）

⑥ 実証シナリオ

(A) 実証シナリオの全体像

2021 年度の実証試験は、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）の２回実施しており、プレ実証はパターン A（事前に運用調整）に基づくシナリオ A で試験を行い、本実証はパターン B（災害時に運用調整）に基づくシナリオ B で試験を行った。パターン A 及びパターン B の詳細は、

5.2.3.3(1)④を参照のこと。
　なお、本実証ではドローンに関する調整会議を開催するため、事前にコンソーシアムメンバで会議の議題や主な内容等について検討し、さらに机上演習で調整会議を模擬開催して精査し、その結果を踏まえて本実証で調整会議を開催した。

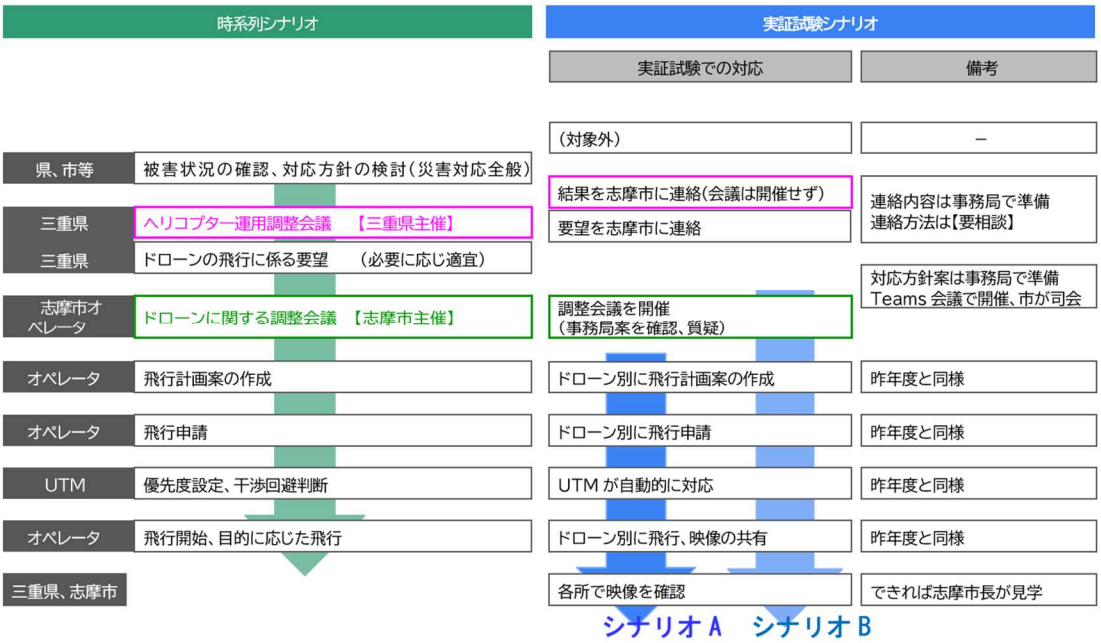


図 2.2.1.14-145 実証試験シナリオ
（シナリオ A：プレ実証で実施、シナリオ B：本実証で実施）再掲


図 2.2.1.14-146 本実証における調整会議の様子



図 2.2.1.14-147 ドローンに関する調整会議の資料イメージ

(B)想定するミッション、優先度、飛行経路等

プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）では、UTM 機能の検証項目を念頭に、個別に異なる災害対応のミッションを有する複数のドローン及びヘリコプターの飛行を想定し、ミッションに応じた優先度の設定や、緊急用務空域の適用等を行った。なお、ヘリコプター及び一部のドローンは、実機ではなくシミュレーションにより飛行を模擬した。

表 2.2.1.14-73 UTM 機能の検証項目と飛行経路の対応

管理空域の広域化

- 現場レベルではなく、地域レベル 自治体レベルの空域を対象とした運航管理を実証
- 和具地区周辺（和具漁港、市街地、広の浜、志摩総合スポーツ公園、県立水産高校)、寸断地域（船越地区、深谷水道)、志摩地中海村等の複数地域を管理対象として設定

ミッションに対する優先度設定

- 調整会議において、各ミッションの目的に対して設定された優先度に基づく管理を実証

緊急用務空域の適用

- 調整会議において調整されていないミッション（民間企業による独自のミッション等）については、適用除外フラグを立てずに緊急用務空域の対象となるように設定（シナリオ B）

干渉回避

- プリフライトの干渉
  - 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証（シナリオ A）
  - ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証（シナリオB）

● プレ実証（10 月）

プレ実証は、パターン A（事前に運用調整）に基づくシナリオ A で試験を行った。プレ実証で想定するミッション、優先度、飛行経路等は、以下のとおりである。

[想定するミッション（目的)、優先度等]

- ✓ シナリオA では全部で以下 6 ケースの飛行経路を設定し、A-1 から A-4 をドローン、A-5 及びA- 6 をヘリコプターとして運航
- ✓ A-1 と A-2 は実機で運航し、それ以外はシミュレータで運航
- ✓ ミッションに対して優先度を設定し、重要地域を観測するミッションを行う A-2、A-3 は「高」と設定
- ✓ A-1 の実機は志摩総合スポーツ公園から和具漁港まで飛行し、その後志摩総合スポーツ公園に戻り着陸し、A-2 の実機は和具漁港公園を離着陸拠点とし、和具漁港周辺を飛行するように運航

表 2.2.1.14-74 シナリオ A における想定するミッション（目的）及び優先度等

経路	A-1（実機候補）	A-2（実機候補） シナリオ上	A-2（実機候補） 実機運用	A-3（仮想）	A-4（仮想）	A-5（仮想） 有人機	A-6（仮想） 有人機
経路作成	国際航業	ー	国際航業	JAXA	JAXA	WNI	JAXA
主な飛行エリア	和具漁港/志摩総合スポーツ公園	和具市街地	和具漁港	深谷水道/船越地区	志摩地中海村	志摩市全域（波切・和具）	志摩市全域（大崎）
離陸/着陸拠点	志摩総合スポーツ公園	志摩文化会館	和具漁港公園	大王分署	志摩地中海村	明野駐屯地	津市伊勢湾ヘリポート
運用主体（依頼者）	志摩市消防本部	志摩市		志摩市消防本部	志摩地中海村（志摩市からの要請で飛行）	自衛隊ヘリ	防災ヘリ
目的	インフラ(防災拠点)点検	広域被害把握（避難状況＋避難者確認）		インフラ点検	広域被害把握	広域被害把握	広域被害把握
概要	和具漁港・場外離着陸場が利用可能か確認/広の浜の状況確認	和具市街地の被害把握	和具漁港・場外離着陸場が利用可能か確認	国道260号の利用可否について浸水状況を確認	地中海村内の広域被害把握	伊勢・志摩地域の広域被害把握	伊勢・志摩地域の広域被害把握
優先度	低	高		高	低	ー	ー
適用除外フラグ	○	○		○	○	ー	ー
緊急フラグ	×	○		○	×	ー	ー
国際航業様番号	2-1	ー	1-1~1-3	4-1	ー	ー	ー

対応

[実証時の飛行経路]

- ✓ 全部で 6 経路設定し、うち A-1 から A-4 の 4 経路を無人航空機であるドローン（青線）、A-5 及びA-6 の 2 経路を有人機であるヘリコプター（赤線）として運航
- ✓ このうちA-1 及び A-2 は実機（実線）で運航し、残りの経路はシミュレータ（点線）で運航
- ✓ ヘリコプターとのドローン干渉については高度差で干渉回避する運用を実証

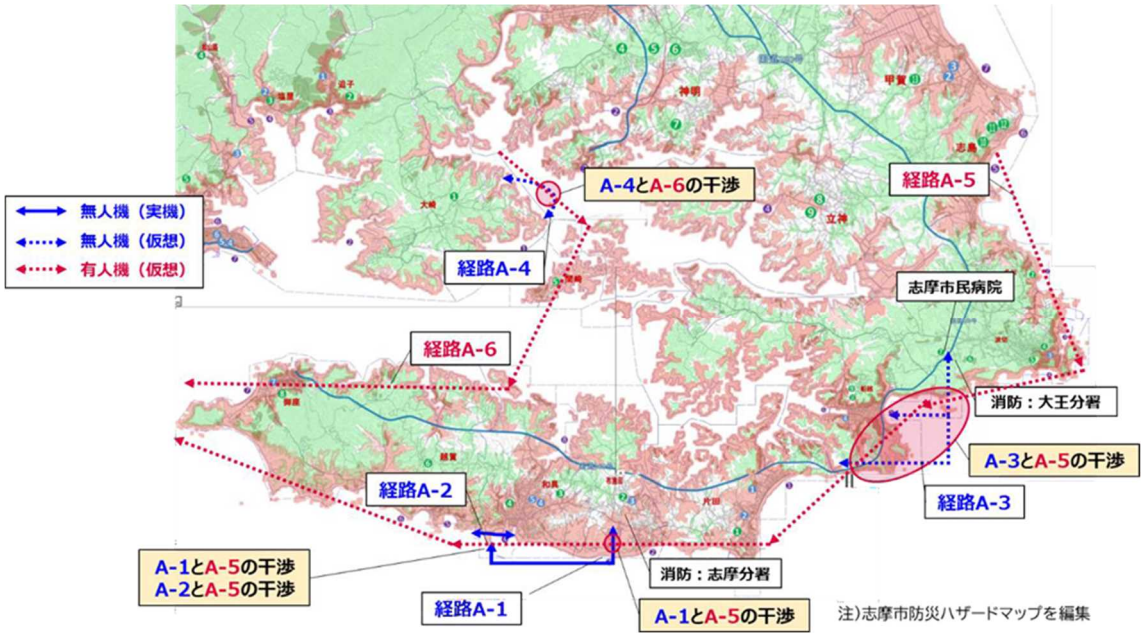


図 2.2.1.14-148 シナリオ A における実証時の飛行経路

- 本実証（11 月）

本実証は、パターン B（災害時に運用調整）に基づくシナリオ B で試験を行った。本実証で想定するミッション、優先度、飛行経路等は、以下のとおりである。

[想定するミッション（目的）、優先度等]

- ✓ シナリオB では全部で以下 7 ケースの飛行経路を設定し、B-1 から B-5 をドローン、B-6 及び B- 7 をヘリコプターとして運航
- ✓ B-1 とB-3 は実機で運航し、それ以外はシミュレータで運航
- ✓ ミッションに対して優先度を設定し、緊急物資輸送を行う B-3 以外は「低」と設定
- ✓ B-1 とB-3 の実機は志摩総合スポーツ公園から飛行し、和具漁港まで飛行するように設定

表 2.2.1.14-75 シナリオ B における想定するミッション（目的）及び優先度等

経路	B-1	B-2（仮想）	B-3		B-4（仮想）	B-5（仮想）	B-6（仮想）	B-7（仮想）
			シナリオ上	実機運用			有人機	有人機
経路作成	国際航業	JAXA	ー	KDDI	JAXA	JAXA	JAXA	WNI
主な飛行エリア	広の浜	船越地区/和具地区	和具地区市街地	広の浜	深谷水道/船越地区	志摩地中海村/志摩小学校	志摩市全域（大崎）	志摩市全域（和具）
離陸/着陸拠点	志摩総合スポーツ公園	波切地区周辺の任意の地点	大王分署	志摩総合スポーツ公園	大王分署	志摩地中海村/志摩小学校	伊勢志摩防災拠点	伊勢赤十字病院/志摩小学校場外離発着
運用主体（依頼者）	志摩市消防本部	マスコミ（調整会議外の民間ドローン）	志摩市消防本部		志摩市消防本部	志摩地中海村（志摩市からの要請で飛行）	防災ヘリ	ドクターヘリ
目的	インフラ点検	広域被害把握	物資輸送		インフラ点検	物資輸送	広域被害把握	急患輸送
概要	和具広の浜における堤防等の状況確認	志摩市南部の被害把握	志摩市民病院の医薬品を志摩小学校に輸送	志摩分署から医薬品を（避難所に見立てた）和具漁港公園に輸送	船越地区堤防の被害状況確認	地中海村の物資を志摩小学校に輸送	伊勢・志摩地域の広域被害把握	伊勢赤十字病院への急患輸送
対応 優先度	低	低	高		低	低	ー	ー
対応 適用除外フラグ	○	×	○		○	○	ー	ー
対応 緊急フラグ	×	×	○		×	×	ー	ー
国際航業様番号	2-2	ー	ー		4-1	ー	ー	ー

[実証時の飛行経路]

- ✓ 全部で 7 経路設定し、うちB-1 から B-5 の 5 経路を無人航空機であるドローン（青線）、B-6 及び B- 7 の 2 経路を有人機であるヘリコプター（赤線）として運航
- ✓ このうちB-1 及びB-3 は実機（実線）で運航し、残りの経路はシミュレータ（点線）で運航
- ✓ 飛行中に「緊急用務空域」を設定し、適用除外を受けていないドローンは全て着陸する運用を実証

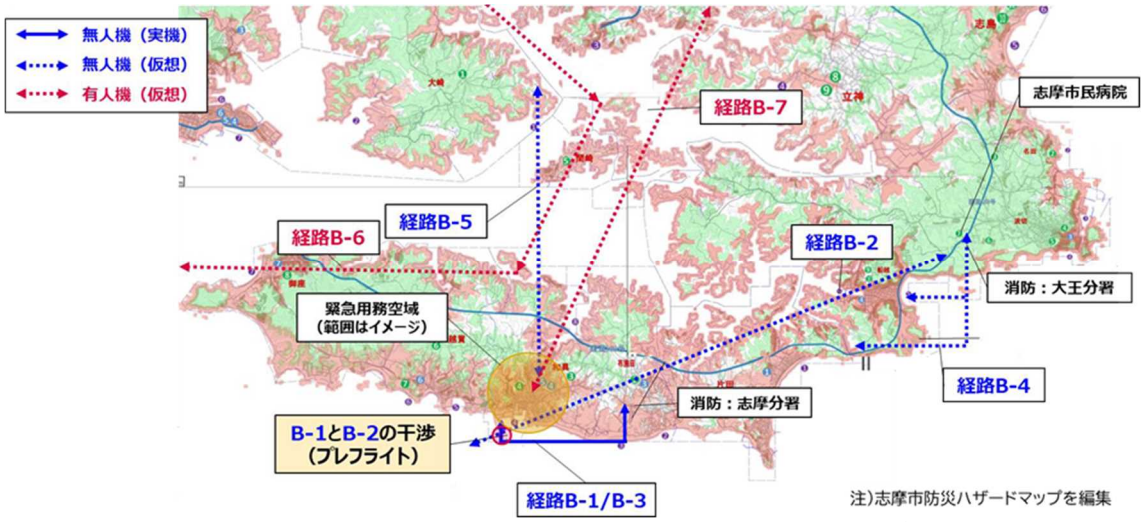


図 2.2.1.14-149 シナリオ B における実証時の飛行経路

⑦ ユースケースと使用機体

ユースケースは、5.2.3.2(1)⑤に記載している内容と同様である。

(2) 検証結果

① 実証結果の概要

図 2.2.1.14-150 に実証実験時の体制を示す。各拠点に人員を配置し、現場の UASO とは Teams 会議を介してコミュニケーションを実施した。UTM 運航管理卓は図 2.2.1.14-151 に示す志摩市役所内の災害対策本部又は隣接する県庁舎会議室に設置した。図 2.2.1.14-152 及び図 2.2.1.14-153 に国際航業及び KDDI がドローンの離着陸拠点として利用した志摩総合スポーツ公園及び和具漁港公園の様子をそれぞれ示す。シナリオ A では国際航業の機体（A-1）が志摩総合スポーツ公園で、KDDI の機体（A-2）が和具漁港公園で離着陸を行った。シナリオ B では国際航業の機体（B-1）が

志摩総合スポーツ公園で離着陸を実施した。なお KDDI の機体（B-3）については志摩総合スポーツ公園を離陸後、和具漁港公園に着陸しその後陸送して志摩総合スポーツ公園に戻す運用を行った。

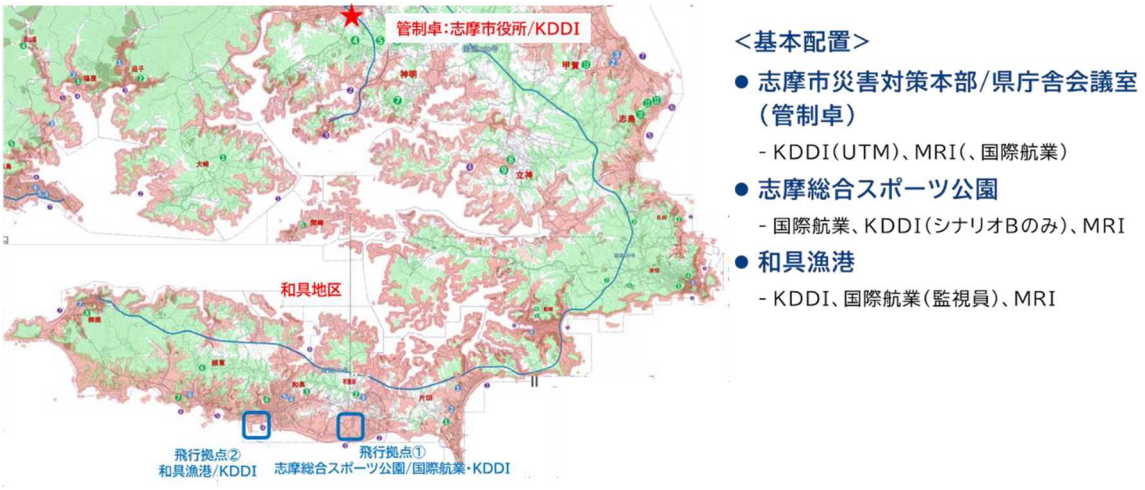


図 2.2.1.14-150 実証時の運用体制
出所）志摩市防災ハザードマップより MRI 作成



図 2.2.1.14-151 志摩市災害対策本部



図 2.2.1.14-152 国際航業側の離着陸拠点（志摩市総合スポーツ公園）
シナリオ B では KDDI も拠点として利用



図 2.2.1.14-153 KDDI 側の離着陸拠点

以下に本実証での主な達成事項を示す。

● 災害時のドローン/UTM の利用プロセスの整理・検証
  ✓ 発災直後の利用方法（事前調整済の重点箇所を飛行）と、②発災後数時間後の利用方法（被害状況に応じた運航状況に基づく飛行)、のシーン別のプロセスを整理
  ✓ ドローンの運航調整手順を整理

● UTM システム検証
  ✓ FIMS／UASSP／UASO 間の接続検証
  ✓ UASSP 間の接続検証（FIMS を介した連携、UASSP 間接続）
  ✓ UASSP/D-NET 間接続検証

● UTM 機能検証
  ✓ ミッション優先度に対する管理
    ✧ ①ミッション自体の重要性に基づく優先度、②自治体要請の有無に基づく優先度、の 2 つの観点から災害時に管理すべき優先度を設定し、UTM による管理を検証
  ✓ 自治体スケールの運航管理
    ✧ 志摩市の 3 地域を中心とするドローン／ヘリコプターの運航管理を検証
    ✧ 複数 UASSP 間の情報連携による広域の運航状況のモニタの実現や、コンフリクト等のアラート自動化の有効性を確認
  ✓ プリフライト干渉回避
    ✧ “優先度設定に基づく”プリフライトのドローン同士の干渉回避を検証
  ✓ ヘリコプターとのインフライト干渉回避
    ✧ ドローン同士、ドローン-ヘリコプター間のインフライトの干渉回避（注意喚起等）を検証
  ✓ 緊急用務空域の設定に対する運航調整
    ✧ 緊急用務空域の設定に対するインフライトの運航調整を検証
    ✧ 優先度の違いによる運航中止・運航継続の管理を含めて検証

● 災害アプリケーション検証
  ✓ ドローン情報収集のプロセス・手法の構築
    ✧ 斜め撮影を通じた被害状況の全容把握、指定しておいた施設等の空撮を実施し、次にそれらの情報から抽出された優先度の高いエリアの簡易オルソ化及び 3 次元点群データ化を前提とした垂直撮影を実施するプロセスを整理
    ✧ 斜め撮影、垂直撮影データの有効性と課題を整理
  ✓ データ共有時間の精査
    ✧ 目的に応じた解析手法と所要時間、データアップロード時間等を考慮した、フライト開始から関係者共有までの所要時間を整理

② 災害時のドローン・UTM 利用プロセスの整理・検証

5.2.3.3(1)④で仮設定した利用プロセスに沿って試験実証を行い、その妥当性等を検証した。事前にコンソーシアムメンバで利用プロセスや調整会議の内容等について検討し、さらに調整会議は机上演習で模擬開催して精査していたこともあり、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）ともに概ね問題なく対応できた。

災害時のドローン活用に向けて更に改善等が求められる点としては、以下の事項が挙げられる。

● 運航管理機能の自動化

今回の実証試験では投入するドローンの数が限られたが、災害時にさらに多くのドローンを投入する場合には、運航管理実施者からの指示等に対する応答、及び指示に対する行動や結果を運航管理実施者に伝える部分を自動化しないとさばききれない可能性がある。

● 各自治体の状況把握と運用プロセスの明確化

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況であり、利用プロセス全体について各自治体の実情に合わせて精査・具体化しておく必要がある（特にドローンの運航調整の部分）。今回の利用プロセスをそのまま全ての自治体に適用できる訳ではないことに留意が必要である。

同様に、災害時にドローンを投入するミッションや優先度、機体の調達方法（自治体所有、民間企業との協定等）、指揮命令系統等も具体化しておく必要がある。なお、各自治体でドローンのミッションを検討する参考とするために、シーン別のドローンのユースケースに関する議論や実績の蓄積等を進めていくことが重要となる。

- 利用プロセスの周知と訓練の実施

災害時のドローン活用には自治体職員や防災関係機関とともに、ドローンを運用する民間企業等の協力が必要となることから、官民の関係者に利用プロセス等を周知し、訓練等を通して対応力の強化を図ることが求められる。

③ UTM システム検証

(A) FIMS/UASSP/UASO 間の接続検証

FIMS と UASSP 間では 2020 年度と同様に飛行計画に関する情報を共有した。実証では KDDI 及び JAXA の UASSP に接続された UASO より申請された飛行計画を各 UASSP より FIMS に申請し、FIMS 側で受理及び許可を出す実証を行った。なお KDDI の UASSP と UASO 間では FOS を介して飛行のテレメトリとカメラ画像の情報を共有した。なおシナリオ B では、図 2.2.1.14-149 に示したように、B-1 と B-2 の経路が被る形で飛行経路を作成した。図 2.2.1.14-154 に示すように、飛行計画を申請し、FIMS で否認される点についても実証した。

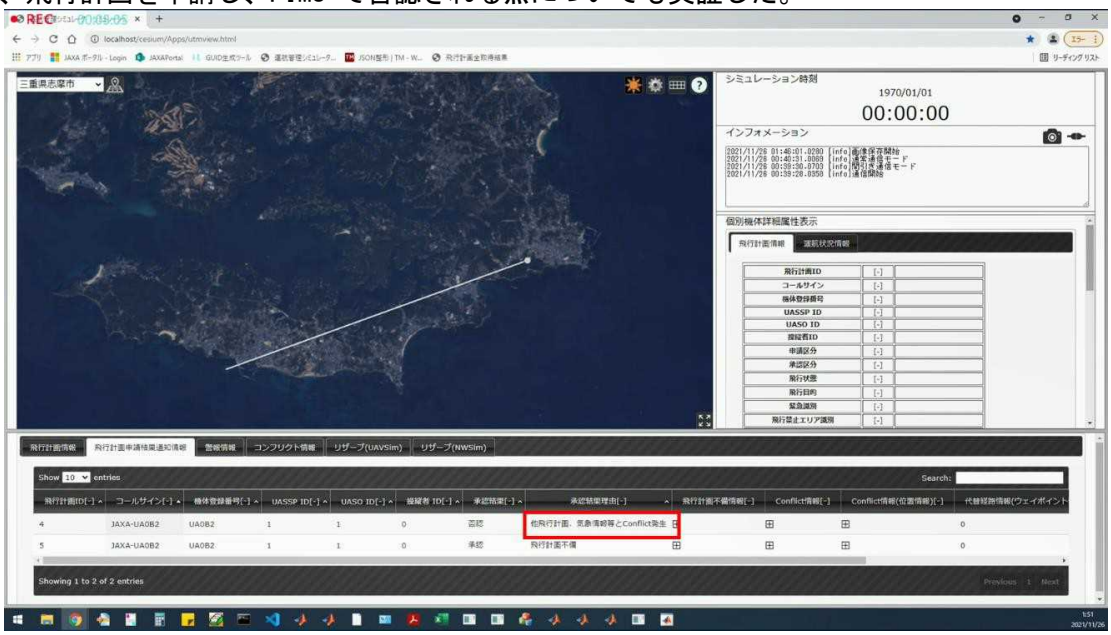


図 2.2.1.14-154 飛行経路干渉時の飛行計画否認

(B) UASSP 間の接続検証

2020 年度と同様に、KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP 間では JAXA/UASSP に接続された UASO のテレメトリを KDDI の UASSP に共有する実証を行った。UASSP 間で各 UASO の動態情報を共有したことで、図 2.2.1.14-155 に示すように KDDI/UASSP 画面でも JAXA/UASSP に接続された機体の情報が反映されており、緊急用務空域についても画面上に反映しアラートを表示した。また各 UASO のミッションに対して優先度を設定したほか、事前調整会議への参加可否を基に緊急用務空域の適用除外フラグを別途設定した。例えば図 2.2.1.14-156 に示すように B-3 は緊急用務空域の適用除外であるため、緊急用務空域を飛行していても B-1 のように「飛行禁止区域に侵入しています」というアラートが表示されないことが確認できた。

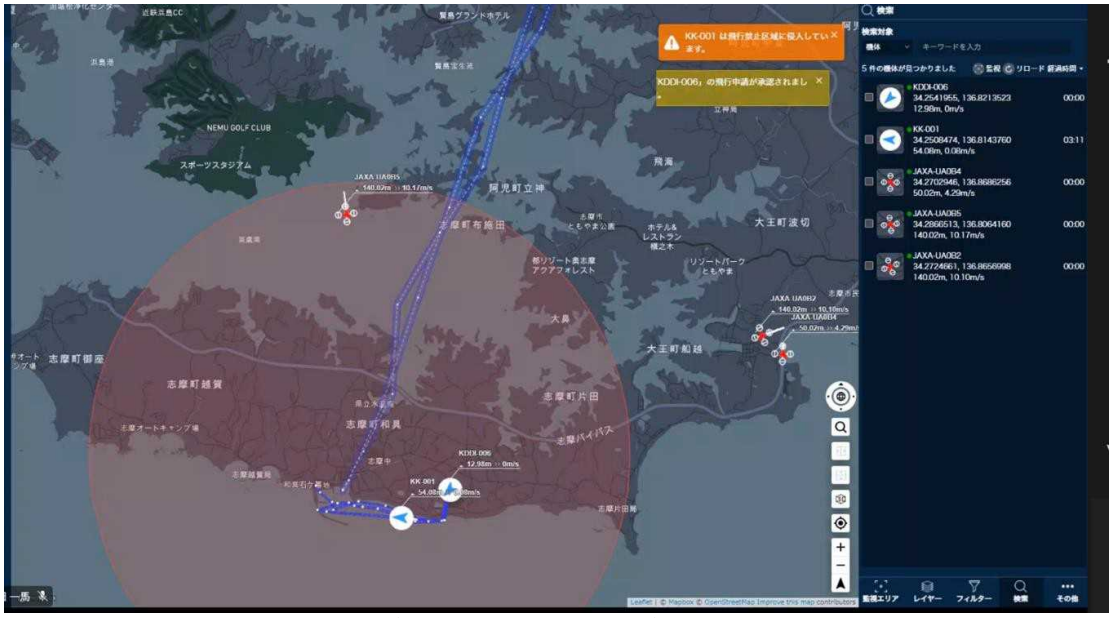


図 2.2.1.14-155 KDDI/UASO（B-3）と JAXA/UASO（B-2、B-4、B-5）の
動態情報と緊急用務空域

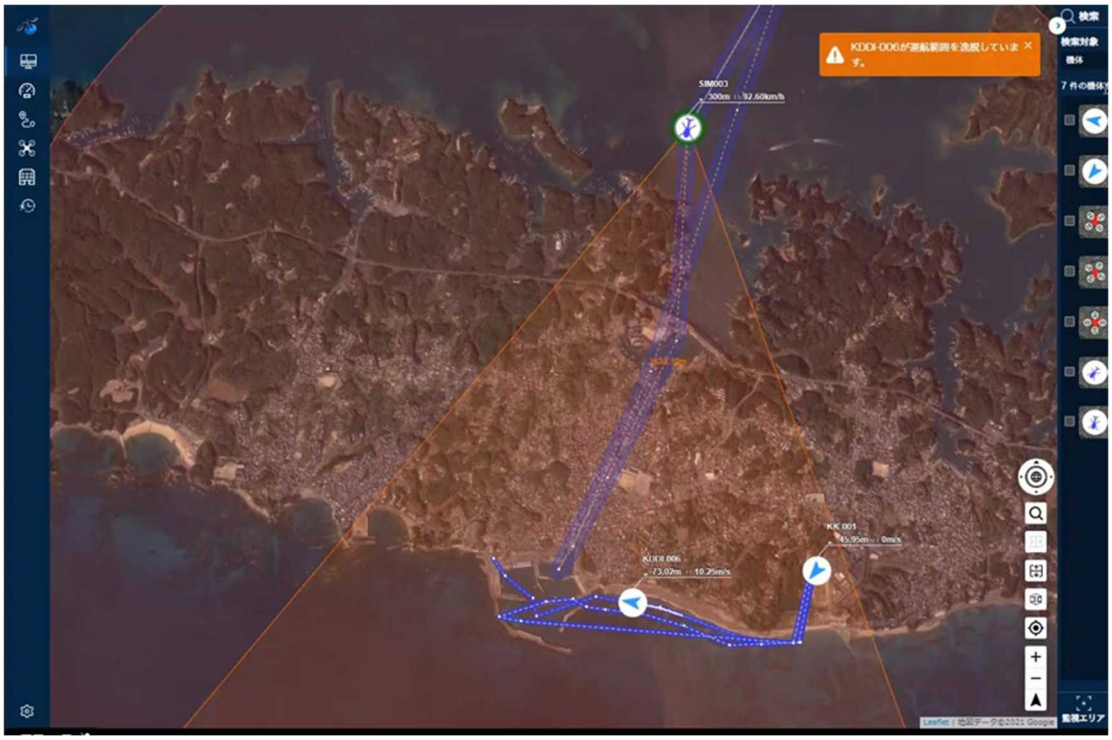


図 2.2.1.14-156 緊急用務空域内を飛行する KDDI/UASO（B-3）

(C) UASSP/D-NET 間接続検証

ヘリコプターの情報については、2020 年度と同様、民間ヘリコプター情報管理システムとの連携の模擬として、「有人機動態情報シミュレータ」により、シナリオに応じたヘリコプターの動態情報シミュレーションデータを UTM に連携すると共に、以下の検証を実施した。

- ヘリコプター飛行計画情報の連携
- 消防・防災ヘリの有人機動態情報を保有する D-NET との連携

これにより、官民のヘリコプター動態情報を統合し、UTM と連携するシステムについて検証を行った。加えて、災害関連の気象情報の連携を実現した。

図 2.2.1.14-157、図 2.2.1.14-158 にシステム連携図を示す。また、表 2.2.1.14-76 に API 仕様

を示す。インターネットを介した接続を前提とし、通信方式は RESTful API を採用した。
検証の結果、D-NET 及び民間ヘリコプター動態管理システムの双方のヘリコプター動態情報を一元的に UTM に連携し、前述のとおり、ドローンとの干渉回避や注意喚起に活用できることを確認した。

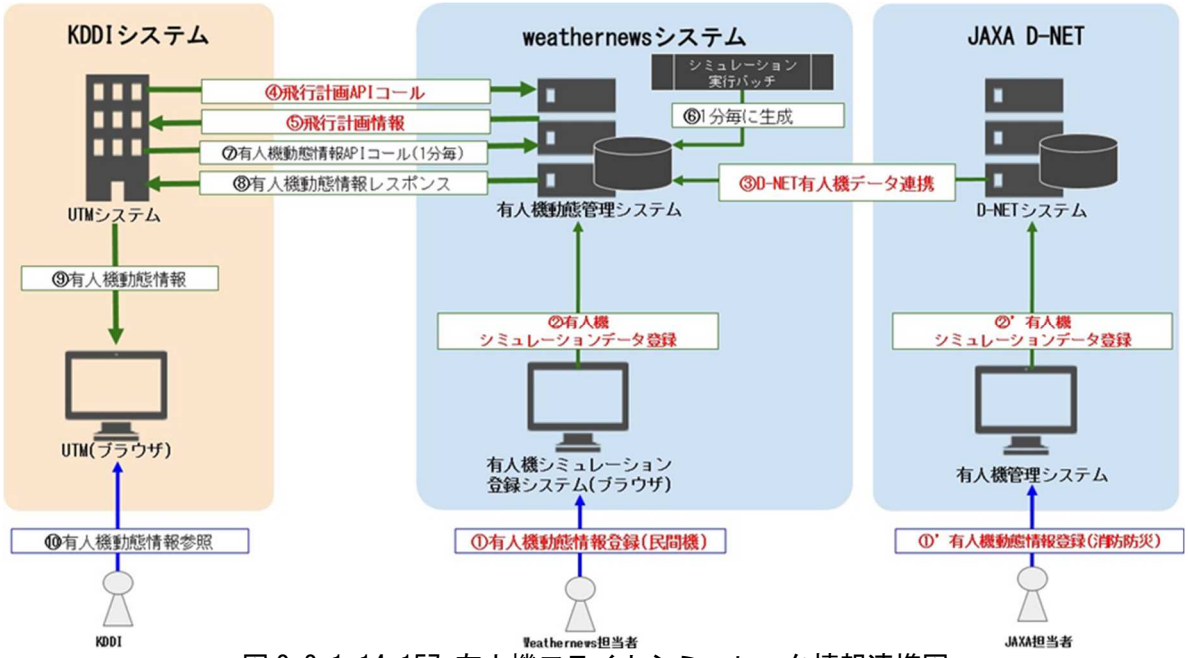


図 2.2.1.14-157 有人機フライトシミュレータ情報連携図

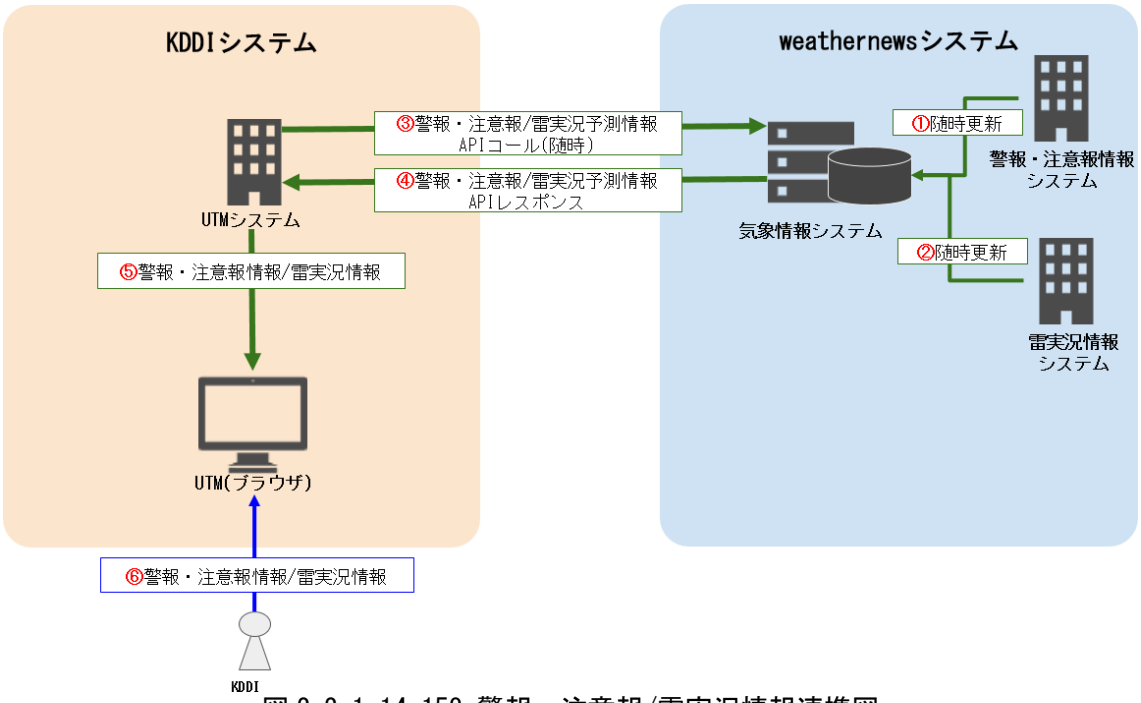


図 2.2.1.14-158 警報・注意報/雷実況情報連携図

表 2.2.1.14-76 有人機フライトシミュレータ API・気象情報 API 仕様

対象 API	機能名	機能説明
共通	認証機能	・すべての API は、本実証固有の API キー(URL の get パラメータ)による認証を行う。

有人機シミュレータ	飛行計画データ	・機体番号毎での登録とする。 ・Map 上に時刻(UTC)、出発地点、WayRoute(中間地点)、到着地点、高度、速度、方角を登録する。 ・同時に連携する機体数については制限がない。 ・登録は実証実験シナリオに応じ、WNI 側で登録を実施する。なお、D-NET の飛行計画は連携対象外とする。 ・データ形式：KML 形式
有人機シミュレータ	有人機動態情報データ	・D-NET から連携されるデータを統合し、KDDI-UTM との API仕様に合わせて加工する。 ・データ項目 有人機の位置情報に関する以下の情報を連携する。緯度、経度、高度、速度、方角、機体識別番号、時刻 ・データ形式：JSON ・更新間隔：１分
警報・注意報	連携データ	・警報・注意報 API での連携データは以下のとおり。 -地震情報（震源・震度に関する情報） -注意報警報(市町村単位・特別警報・時系列予測) -台風情報（位置、発生情報）、発達する熱帯低気圧に関する情報 -津波警報・注意報・予報 ・更新間隔：随時 特段の理由が無い限り、発表後は即時に API でレスポンスを返却する。
雷実況予測	連携データ	・雷実況データ及び過去６０分以内の落雷情報を連携する。 ・データ形式：GeoJSON ・更新間隔：１分

④ UTM 機能検証

UTM 機能に係る検証結果は、以下のとおりである。

(A) ミッション優先度に対する管理

今回の実証試験では優先度フラグが二値で設定できたため、優先度を「高」「低」で設定した。優先度の情報も一緒に UTM に申請し、優先度の高い機体に対して優先度の低い機体が干渉回避する状況を実証した。なおミッションの優先度を災害時に一から検討する時間は無いため、自治体の業務継続計画（BCP）と連携して事前に優先度を検討しておく必要がある。特に、発災直後に予め決められたルートをドローンが飛行し、被害状況の把握等を行う場合等においては、優先度や飛行経路等を事前に検討しておくことが必須となる。また優先度を３区分以上で管理する場合のために、UTMの改良等に係る検討も求められる。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「登録・認証機能」の「優先度管理」に該当する。

(B) 自治体スケールの運航管理

災害対応では基礎自治体である市町村単位での対応が基本となることから、今回の実証試験では志摩市のスケールで運航管理することを想定したが、特段の問題は見当たらなかった。ただし、ドローンの数が多くなる場合には一元的な管理が難しくなる場合も考えられるため、例えば政令市等においては自治体内部で分割して運航管理することも考えられる。

(C) プリフライト干渉回避

プリフライト干渉回避として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。

- 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証（シナリオ A）
- ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急

物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証（シナリオ B）

今回の実証試験では投入するドローンの数が限られたが、災害時にさらに多くのドローンを投入する場合には、干渉回避の場面が増えるものと想定される。安全管理は必要なものの、頻繁な干渉回避でドローンによる各災害対応に支障が及ぶことの無いように、干渉回避を行う際の基準（水平距離、高度差等）を精査していくことが求められる。インフライトも同様である。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「計画・飛行承認機能」の「運航計画管理」「空域管理」「干渉回避」に該当する。

(D) ヘリコプターとのインフライト干渉回避

- インフライト干渉回避として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。ヘリコプターとの干渉について、離着陸を伴うような緊急度の高いミッションに対しては UTM によるドローン側の干渉回避を実証

今回は干渉回避する場合の対応方法を予め検討していたが、各自治体においても対応方法を予め検討しておくことが重要である。例えば、出発地点に戻ることや目的地にそのまま移動すること、周辺の安全な場所に着陸すること等の選択肢が挙げられるが、衝突の緊急性やバッテリーの残量等によって対応が異なると考えられる。また、ヘリコプターの飛行計画から、ドローンの運航経路との高度差が予めわかっている場合には、ドローンの運航を継続することで、ドローンの運用制約を軽減（ミッションを継続）できることを確認した。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「計画・飛行承認機能」の「運航計画管理」「空域管理」「干渉回避」に該当する。なお A-5/B-6 は JAXA/D-NET から動態情報が共有された。この点については表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「緊急対応機能」に該当する。

(E) 緊急用務空域の設定に対する運航調整

緊急用務空域の設定に対する運航調整として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。

- 調整会議において調整されていないミッション（民間企業による独自のミッション等）については、適用除外フラグを立てずに緊急用務空域の対象となるように設定（シナリオ B）

ただし、緊急用務空域は実災害で設定された実績が無く、詳細な運用方法は不明であるため、今後の運用実績を踏まえて緊急用務空域の設定に対する運航調整を適宜見直していくことが求められる。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「追跡・運航実施機能」の「衝突回避」及び「緊急対応機能」の「緊急退避指示」に該当する。

⑤ 災害アプリケーション検証

災害アプリケーション検証では、2020 年度に続き、津波災害発生時を想定した空撮ドローンの運用、及び空撮データの処理に関する検証を実施した。本項では、(A)検証の概要において、実証全体における本検証の位置づけを整理しながら、検証の全体像を記述する。続く(B)検証のフローでは、本検証の手順を述べ、(C)検証結果では、空撮及びデータ処理得られた結果を記述した。

(A) 検証の概要

災害アプリケーション検証の実施にあたり、本ドローン運航管理実証における 2 つの全体シナリオのもと、設定した課題の検証を実施した。いずれのシナリオにおいても、志摩総合スポーツ公園（志摩市志摩町布施田地区）から和具漁港（同和具地区）にかけて、全長約 2km にわたる東西方向に延びる海岸線及び漁港上空を飛行させ、空撮を実施した。

機体は、運航管理システムに接続可能な専用モジュールを設置した DJI 製「Matrice 300 RTK」を使用し、運航管理システム接続下で運用した。機体高度は、シナリオごとに 100m と 140m に

設定した。
地上の人員体制としては、離着陸拠点に 3～4 名（プロポを持つフライヤー担当、記録員担当、FOS アプリがインストールされたタブレットの操作を担当する統括担当など）、飛行ルート周辺に 4～6 名（保安担当など）の人員を配置した。

(B) 検証のフロー
本検証は、実際の災害対応を想定し、以下(ア)～(オ)のフローで実施した。(ア)～(イ)は実証実験の事前準備として実施し、(ウ)～(オ)は実証実験当日に実施した。個別の実施項目について、以下に詳述する。

（ア）志摩市・三重県におけるドローンの災害時利活用に向けた課題と解決策の検討・整理
（イ）災害対応のシナリオの策定支援、飛行計画の立案
（ウ）実機でのドローンオペレーション
（エ）空撮データの処理・解析（簡易オルソ化、3 次元点群データ化）
（オ）クラウドでのデータ共有

2021 年度は、(ア)志摩市・三重県の担当者へのヒアリングや現地視察を通じて、(イ)志摩市志摩町におけるドローンを活用した災害対応シナリオを提案・検討した。最終的なシナリオの全体像については別項にて記述されているため省略するが、実機によるドローンオペレーションに関しては、以下 2 つの詳細シナリオが設定された。

- (A-1) 津波被災後 1 時間以内の広域的な情報収集（海岸構造物等の垂直撮影）
- (B-1) 津波被災数時間後の広域的な情報収集（市街地の斜め撮影）

いずれも自治体（三重県・志摩市）の要請を受けて、「消防等の公共機関や民間企業が運用するドローン」を想定した。そのため飛行計画の立案にあたり、離着陸拠点は志摩広域消防組合志摩分署から 400m ほど離れた、志摩総合スポーツ公園内のゲートボール場（標高約 10m）に設定した。詳細シナリオの(A-1)では、空撮データの簡易オルソ化・3 次元点群データ化を前提に、災害発生から 1 時間以内に海岸線及び漁港施設を垂直撮影する飛行計画を設定した。2020 年度は、砂浜及び海上ルートから各施設や市街地を斜め撮影するに留まったが、2021 年度は、志摩市を通じて漁協と調整の上、和具漁港の上空から建物や港湾施設を垂直撮影するルートを設定した。また、詳細シナリオの(B-1)では、災害発生から数時間経過後に、目視での画像確認を前提に、市街地を斜め撮影する飛行計画を設定した。海岸線から北側に広がる市街地を斜め撮影できるよう、カメラのジンバルは俯角 25 度に設定した。
実証実験の当日は、(ウ)実機でのドローンオペレーション、(エ)空撮データの処理・解析、(オ)クラウドでのデータ共有を実施した。
実機の運用にあたっては、2020 年度と同様、運航管理システムにおける UASO の役割として、具体的には FOS アプリの操作と運航管理システム側からのアラートに基づく機体操作が求められた。現場では、フライト統括担当が FOS アプリ入りのタブレット操作を担当し、プロポ操作を行うフライヤーと連携することで、運航管理システム下でのフライトを実施した。また安全かつ円滑に被災模擬の検証を進める上で、保安担当者はトランシーバーを携帯し、緊密なコミュニケーションを図った。特に詳細シナリオ(B-1)においては、全体シナリオの関係で、離陸後 1～2 分後に「緊急用務空域」が設定され、一度退避し、解除後に再飛行するオペレーションを実施した。
機体の着陸後、ドローンに搭載していた SD カードから空撮した写真画像をパソコンにコピーし、まず（エ)の工程に移行した。詳細シナリオ(A-1)のフライトで垂直撮影した画像を用いて、画像処理・解析を実施した。具体的には、オペレーションを担当した国際航業株式会社により複数の写真画像を 1 枚の画像に合成する簡易オルソ化と、3 次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D®」を活用した 3 次元点群データ化を実施した。
最後に(オ)クラウドでのデータ共有を実施した。2020 年度と同様、災害時における遠隔地の関係者への情報共有を想定し、模擬的に Google Drive への画像アップロードを行った。Wi-Fi 端末を通じてインターネット回線を確保し、画像アップロードを完了した上で、当該フォルダの URL を、

志摩市の担当者を含む実証実験関係者内にメールで共有した。なお共有データは、全体の業務フロー、アップロードのためのネットワーク環境、Google Drive で閲覧することなどを考慮し、光学カメラで取得した画像データ（JPG 形式）と簡易オルソ化した画像データ（JPG 形式）のみを対象とした。3 次元点群データは、データ形式に対応するソフトウェアでの閲覧が必要なため、キャプチャで事後的に関係者内に共有した。

(C) 検証の結果

まず詳細シナリオ(A-1)のもとで空撮した画像データの簡易オルソ化において、データ点数約 300 枚に対して、約 20 分間で画像処理が終了した点は、一定の成果であったと考えられる。

オルソ化・3 次元化を前提に撮影した生データ（2D 画像）は、ラップ率の高さなどを理由にデータ点数が多い。したがって全画像のアップロードを試みると、通信環境次第では膨大な時間を要する。また 1 枚ずつの撮影範囲は局所的で、撮影エリア全体の様子は把握しづらいという課題もあった。しかし簡易オルソ画像の作成は、「整理された情報共有を迅速に行う」という意味において非常に有効である可能性が高いことが確認できた。

また 3 次元点群データについては、簡易オルソ化に用いた元画像と同様のデータから生成することができたため、それぞれのメリット、デメリットを比較検証することができた点も成果である。2020 年度は斜め撮影のみだったため、簡易オルソ化には適さなかった。簡易オルソ画像の有効性は、前述のとおり、比較的短時間で、撮影対象地区における平面的な状況を把握する場合に認められる。一方の 3 次元点群データは、簡易オルソ化よりも生成に時間がかかる（300 枚あたり約 4.5 時間）ものの、過去の点群データ等との差分抽出により、時間的な変位を計測することに適している。

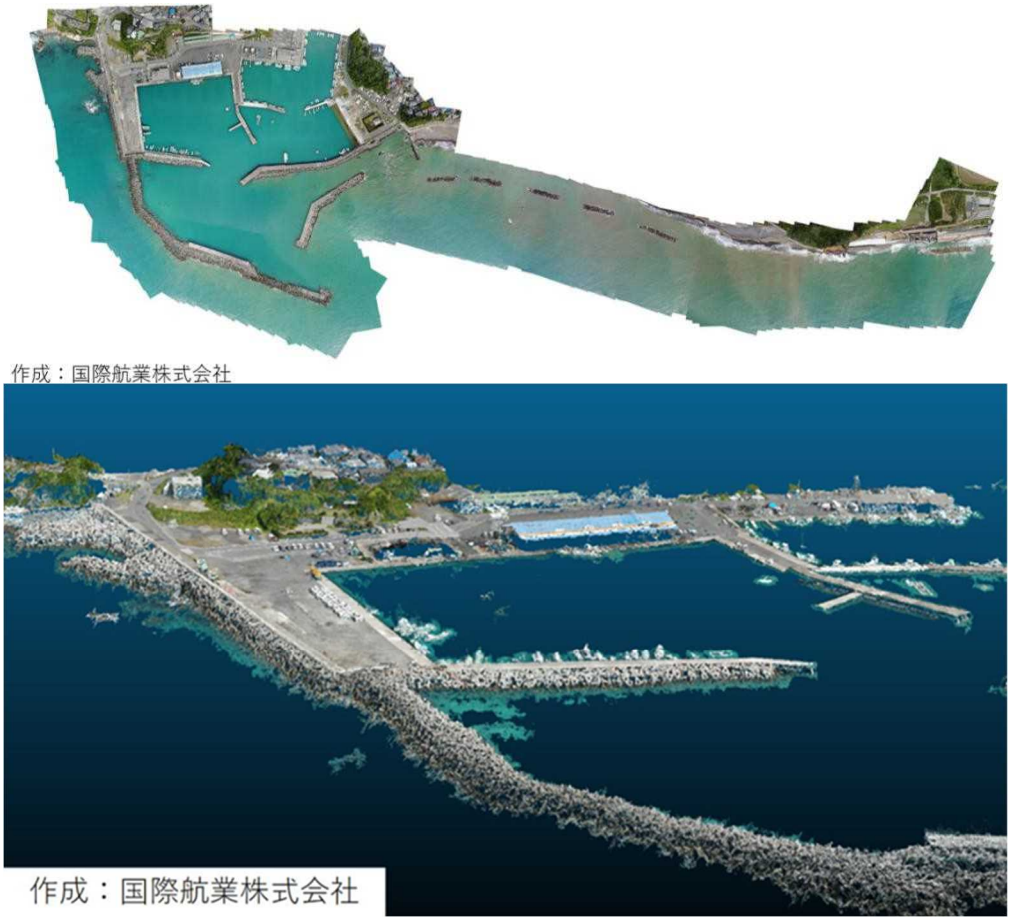


図 2.2.1.14-159 和具漁港周辺の簡易オルソ（上）及び 3 次元点群データ（下）の生成例

次に、詳細シナリオ(B-1)のもとで斜め撮影した空撮画像のデータについて述べる。成果としては、 2020 年度の成果と併せて、斜め撮影の空撮手法の改善につながる知見を得ることができた点が挙げられる。たとえば、1 枚の画像から、和具地区の南北を結ぶみたまとおりの様子が、手

前から奥までのおよそ 500m にわたって確認することができた。

また 2021 年度の実証実験では、度重なるアクシデントを通じて得ることができた知見もある。今回、ハードウェア側の異常や、トビ等鳥類の接近を検知した上空のドローンが、何度も自動航行を自動的に停止し、フェールセーフの一環である RTH（Return to Home）機能を作動させ、計画どおりの空撮が十分に実施できない場面が多々発生した。

前段で述べたような簡易オルソ化・3 次元点群データ化を前提に連続写真の垂直を自動航行で実施している過程で、機体に何らかの異常が発生し、自動航行及び空撮が中断・停止した場合においては、求められる範囲の簡易オルソ化や 3 次元点群データ化を行うことは難しい。また垂直撮影で取得した画像データも、1 点ずつでは局所的で網羅性にかけるため、使いどころも限定されやすい。しかしフライトが一時中断した場合であっても、斜め撮影で途中まで取得したデータは、たとえ画像 1 点であっても、一定の範囲の被害状況を把握する上では垂直撮影の画像データよりも優れていることが確認できた。

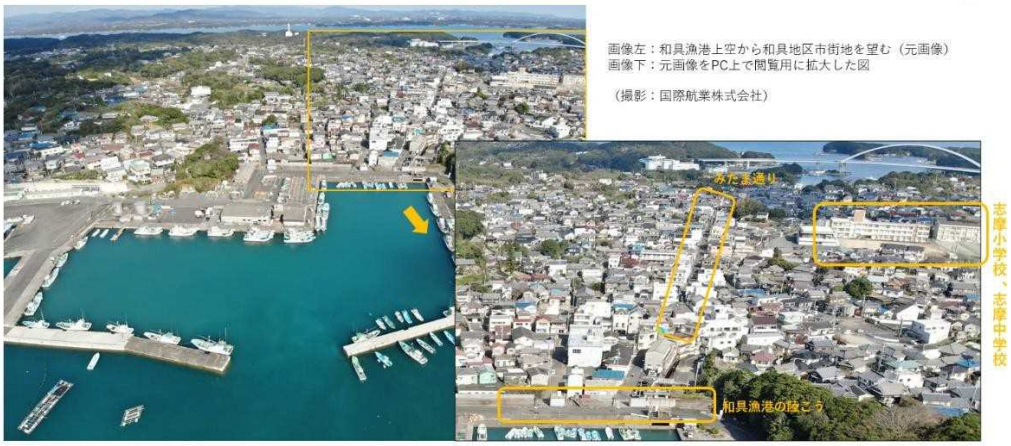


図 2.2.1.14-160 ドローンにより取得した斜め撮影画像の例

データ共有にあたっては、2021 年度に使用した Wi-Fi 端末の回線速度・容量の関係で、特にアップロードに係る所要時間が、2020 年度のものを大きく上回る結果となった。以下の内訳は、1 つのフライトを例にとり記載した。なお 表 2.2.1.14-77 にて、アップロード及びオルソ化の対象としたデータ点数は、それぞれ 286 点であった。

表 2.2.1.14-77 フライト開始から画像データアップロード、関係者周知までの所要時間の例

項目	所要時間
飛行時間（離陸～着陸）	約 17 分
着陸後の諸対応時間（SD カード抜き取りからアップロード準備まで）	約 3 分
撮影データのアップロードにかかる所要時間	約 1 時間 26 分
撮影データの簡易オルソ化にかかる所要時間（ローカル PC 上）	約 22 分
アップロード後の諸対応時間（確認から周知メール送付まで）	約 5 分
所要時間合計	約 2 時間 13 分

(3) 課題の整理

① UTM 機能検証

当初計画していた UTM 機能の検証は概ね達成したが、以下の 2 点が課題として挙げられる。

(A)緊急用務空域の設定について

緊急用務空域は、国土交通省航空局の設定情報等をもとに FIMS で設定され、FIMS から各 UASSP に対して当該情報が共有されるべきと考えられる。しかし、本実証に当たっては、FIMS 側の空域設定の対応が困難であったことから、UASSP 側で模擬的に緊急用務空域を設定した。

今後、FIMS における緊急用務空域の設定と UASSP への連携に基づく運航管理の検証を行うこと

が望ましい。

(B)D-NET ヘリの情報共有について

本実証では、D-NET におけるヘリの動態情報を KDDI/UASSP に共有したが、飛行計画については共有できなかった。今回のシナリオではヘリコプターの B-7 については事前に着陸することが判明していたため、ドローンの運用も問題なく実施できたが、実際の運用では飛行計画が共有されない場合はヘリの挙動が分からず、ドローンの運用が大幅に制限されると考えられる。

今後、D-NET を含めたヘリコプターの飛行計画情報の連携を実現した上で、運航管理の検証を行うことが望ましい。なお、本実証では、WNI/FOSTER のヘリコプターについては、動態情報のほか飛行計画情報の KDDI/UASSP への共有を実施した。

② 災害アプリケーション

災害発生後のドローン運用に関しては、まず斜め撮影を通じた被害状況の全容把握、及び予め指定しておいた施設等の空撮を実施し、次にそれらの情報から抽出された優先度の高いエリアを対象に、簡易オルソ化及び 3 次元点群データ化を前提とした垂直撮影を実施するプロセスを辿ることで、ドローン及び画像処理・解析技術の有効活用を推進できるのではないかと考える。

特に斜め撮影について、今後は道路啓開の必要性の判断を上空から支援できるかどうか、新たに検証・検討を重ねる必要があるだろう。道路が寸断されているか否か、孤立している地区がないかどうか確認・推測・判断を支援できれば、その後の救助・復旧計画にも大いに貢献ができると考えられる。

また垂直撮影で取得した画像データを用いた簡易オルソ化・3 次元点群データ化については、今回の実証実験を通じて、ドローンの自動航行が機器トラブル等によって中断するリスクや、災害対応初期における緊急用務区域の指定等によって強制的に空撮を中止するリスクなどを加味すると、調査目的等の優先度が比較的に明確になる段階で実施する方が望ましいと考えることもできる。

具体的には、簡易オルソ化は、自動航行で連続撮影した 200～300 枚の画像が、1 枚の広域画像として合成されるため、比較的短時間で、撮影時点における平面的な状況を把握することに向いている。一方、3 次元点群データは、簡易オルソ化と比較すると生成に時間を要する（300 枚あたり約 4.5 時間）が、過去の点群データ等との差分抽出により、対象エリアの時系列的な変位を検知することに適している。たとえば、通信環境が不安定化かつ限定される恐れのある災害現場においては、ローカル環境でデータを素早く簡易オルソ化した上で、成果のみをクラウド環境にアップロードすることを優先すべきである。また、3 次元点群データについても、特殊なアプリケーションがなくても遠隔で関係者が閲覧できる仕組みを構築しておくなど、運用調整会議の建て付け等とセットで議論しておくことが望ましい。

5.2.3.3. 結論

(1) 成果のまとめ

本実証では、災害時のドローンのユースケースを対象に、UTM 活用の有効性について検証した。2 ヵ年を通じた成果は以下のとおりである。

- 災害時に想定されるドローンやヘリコプターの運航について、災害現場レベルの高密度な運航管理、自治体レベルの広域を対象とした運航管理に対し、動態把握や干渉回避、優先度に基づくユーザ管理等の観点で、UTM が有効に機能することを検証した。
- FIMS-UASSP-USAO-SDSP といった基本的な UTM アーキテクチャに加え、複数UASSP 間の連携、民間ヘリコプター情報システムや D-NET（ヘリ情報、災害情報を含む）との情報 1 連携を含めたアーキテクチャが、災害時のドローン運航に有効に機能することを検証した。
- 基礎自治体を念頭に、災害時におけるドローン運用のプロセス（運航調整、ミッション優先度設定、UTM 利用等を含む）を提案し、当該プロセスについて自治体の災害対応責任者を含めた実証を行い、有効に機能することを検証した。
- 災害時のドローンのアプリケーションの観点で、広域被害把握や要救助者の探索、インフラ点検等の観点から具体的な画像取得方法とデータ処理・解析手法の検討、データ共有方法について検証し、災害時の情報収集ツールとして有効に機能することを検証した。

⑵ 今後の課題と提言

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙がった提言事項について記載を行う。

① 成果の社会実装に向けた政策への提言

菅政権と岸田政権では、新型コロナウイルスの感染拡大を背景に、公共・産業セクターのデジタルトランスフォーメーションが重要な政策課題となっている。ドローンの運航管理システムの設計・開発・運用についても、この文脈に基づいて進めていく必要がある。ここでは、三つのステップを提言する。

最初のステップとして必要なのが、ユースケースを明確にすることである。防災基本計画では、災害予防・事前準備、災害応急対策、災害復旧・復興という時間順序が示されている。災害予防や、復旧・復興の段階では、インフラ整備・保安などの活動も重要になる。災害応急対策については、現在、ドローンの活用は調査活動が中心だが、緊急輸送活動への応用も想定することが求められる。

次のステップとして重要なことは、公共セクターと民間セクターの役割分担を示すことである。例えば、運航管理システムの場合、Public UTM と Private UTM と分類する方法も考えられる。Public UTM は公共セクターが中心となり整備・運用を行い、警察や消防、海上保安本部、TEC-FORCE、自衛隊などによる利用を想定する。Private UTM はインフラ事業者（通信・輸送など）が中心なって整備・運用を行い、民間での産業活動に活用する。Public UTM と Private UTM は FIMS（飛行情報管理システム）を通じて、情報連携を行い、災害発生時は航空局や災害対策本部などからの指示に基づいて運用する。

三つ目のステップは、アーキテクチャ設計に向けた体制を明確にすることである。行政のデジタルトランスフォーメーション視点の場合、デジタル庁に制度・システム設計の司令塔機能を担わせた方が望ましい。現在、公共セクターにおけるドローンの実装や、各省庁や自治体が、それぞれ独自の動きをしているが、運用システムについては共通の制度・システムを整備した方が望ましい。その上で、関連する省庁や自治体との連携体制の構築を進めていくことが求められる。

具体的な設計・研究開発については、IPA がアーキテクチャ設計の検討、NEDO が運航管理システムの開発についてリードする役割分担が考えられる。運航管理システムの実装については、初期の段階では、空域の対象は低高度が中心になるが、将来的には、大型固定翼型ドローンの実装のため、高高度も含めて、ドローンが航行する全空域の運航管理を行うシステムとして実装を進める流れを想定する。民間の事業者は、それぞれのユースケースに基づいて、運航管理システムの設計・開発・実装を進めていく。

⑴ UTM 高度利用に向けた提言

本実証成果を踏まえ、今後は UTM の具体的な実装を進めていく必要がある。以下に今後の具体的な検討事項を示す。

● UTM アーキテクチャの検討

UTM アーキテクチャは、FIMS による集中管理型と、UASSP 同士による情報連携を主体とする分散型の 2 つが検討されている。本実証の中では双方を含めたシステムの検証を実施したところであり、FIMS との飛行計画申請・承認、UASSP 間の直接的な動態情報共有についてはいずれも機能することを確認した。しかしながら、ユースケースや運航規模、エリア等に対し、いずれが適切であるかについては、本実証の成果から結論付けることはできず、技術、コスト、運用制約等の観点から引き続き検討が必要である。

● リモート ID との連携

本実証では、実機・シミュレータを組み合わせて、目視外飛行を想定した実証を行った。現状の課題として、飛行の許可・承認が不要なドローンについては、国土交通省の FISS への飛行計画の登録が不要であることから、その動態を把握することができない。そこで、本実証では、ネットワークに接続されたリモート ID 情報のみが取得でき、UTM 上でその動態を把握できる状況を模擬したところ、当該ドローンに関する注意喚起など、コンフリクトの解消に有効であることを確認した。

今後、目視外飛行、特に災害時のような高密度な運航環境において、安全な運航管理を実現する上では、100g 以上の全てのドローンへの搭載が義務化されるリモート ID をネットワークに接続し、その位置情報 を UTM による運航管理に活用可能となることが期待される。

● ヘリコプターとの運航管理実証

本実証では、シミュレータによりドローンとヘリコプターの干渉回避について検証を行ったところ、ヘリコプターの飛行計画を把握することで、ヘリコプターの飛行空域を精緻に把握し、ドローンの運航制約を軽減（飛行範囲を拡大）可能であることを確認した。今後、本検討結果が実運用上問題ないかを確認するため、ヘリコプターの実機を用いた実証を行うことで、ヘリコプター操縦者、現場のドローンオペレータによる実感を含めた検証を行うことが期待される。

⑵ 災害時のドローン利用促進に向けた提言

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況と考えられる。このため、従来の防災の仕組みの中にドローン活用を位置づけていく必要があるが、多くの自治体では防災に十分な予算や人員等を確保することが難しいため、災害時のドローン活用を積極的に推進してくれるとは限らない。このため、国や先進的な自治体等で以下の事項に関する実績や知見を蓄積して、他の自治体に社会実装の裾野を広げていくことが重要と考えられる。

● ユースケースの検討

災害時のドローン活用に対する理解を得るために、ヘリコプターに無いドローンの強みやヘリコプターとの連携等を考慮して、ドローン活用のユースケースを検討することが必要である。三重県志摩市の実証試験では、地震や津波を想定して主に発災直後や数日以内に実施する一部の災害対応でドローンを活用したが、同じ時期に実施する他の災害対応やその後の災害対応における活用も考えられる。また、水害や土砂災害等といった他の自然災害での活用のほか、コンビナート災害における危険な現場での活用等も考えられる。

● 自治体でのドローンの運用体制の検討

災害時に自治体がドローンを活用するためには、そのために必要な職員を割り当て、災害対策本部体制のもとでの運用の仕方を検討しておく必要がある。しかし、災害時には自治体職員は避難所運営等で手一杯であり、災害時のドローン活用に新たな要員を割り当てることは容易ではない。例えば、ドローンの運用調整に関しては、簡易的な調整会議を開催することや、災害対策本部の中の特定の対応班・担当が調整すること等の選択肢から、職員数や管理するドローンの数等に応じた体制・方法を検討することになる。要員不足や専門性不足等を補うために、外部の民間事業者等の協力を前提とした体制・方法を検討することも重要である。

● 民間事業者等の活用方法の検討

災害時におけるドローンの機体調達や操作等のほか、平時における機体の維持管理等を自治体が全て行うことは費用面や専門性等の面から容易ではないため、民間事業者等の活用方法を検討することが必要である。例えば、機体調達や操作等に限らず、専門性等の理由からドローンの運用調整への支援等も候補になると考えられる。

● 外部機関との災害協定の締結

災害時に民間事業者等の活用を円滑に進めるため、災害時及び平時の支援に関して災害協定（支援内容、費用負担等）を締結することが重要である。また、災害時には他の自治体や防災関係機関、ドローンに関する関連組織等から支援を受ける可能性があるため、それらの支援に関して災害協定を締結することも考えられる。

● 基本事項の周知、教育・訓練の実施

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況であるため、上記で検討したユースケースや運用体制、災害時の利用プロセス、民間企業等との役割分担等の基本事項について、地域防災計画等に記載するとともに、関係者に周知することが求められる。

また、災害時に基本事項に沿って対応できるように、民間企業や関係機関も含めた教育・訓練が重要となる。できれば、ドローン単独だけではなく、他の防災に関する教育・訓練と連携が求めら

れる。

5.3.研究開発項目③事務局運営（パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社）

5.3.1 事業の概要

5.3.1.1 運航管理機能の接続支援

運航管理機能と接続する運航管理統合機能や情報提供機能、他の運航管理システムは、それぞれ並行して機能拡張を行っており、接続する際に運航管理機能の機能開発が必要になることが予想される。そのため、研究開発を行っている企業・団体と本研究の機能開発実施者の間に立ち、接続のための課題を洗い出し・解決状況の確認を行い機能開発における抜け漏れを防ぐ。特に、安全な運航に不可欠であり、機能拡張を図っている運航管理統合機能を開発する企業と接続方法の変更内容を共有した。

5.3.1.2 公募事務局

今回行う運航管理システムの実証試験では、用途の異なる複数の無人航空機を同一空域で飛行させることになるため、応募する自治体・企業には相応の技術力や事業推進力、コストの妥当性が求められる。公募事務局は、第三者の外部有識者の視点も踏まえ、そうした能力の評価を実施した。

公開した公募時 WEB 画面の一部を図 2.2.1.14-161 公募予告 Web サイトに示す。



図 2.2.1.14-161 公募予告 Web サイト
（https://nedo-dress.jp/news/2211.html）

5.3.1.3　提案者向けのガイドライン整備

地域実証の公募に応募する自治体・企業は、必ずしも無人航空機の実証に習熟しているとは限らない。また、複数の無人航空機が運航管理システムを使用し、飛行する実証を行った経験を有する組織はさらに限られる。そのため、公募に先立って実施する西日本・東日本・災害のユースケース実証で行った各種申請、運航管理システムとの接続、実証実験の運営方法等をガイドライン化し、各地域の自治体・企業が活用できる資料を、公募に関連する資料と共に公開した。

このガイドラインは、本公募における地域実証の考え方と、運航前プロセスの２章で構成されている。本公募における地域実証の考え方では、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討するために、無人航空機によって解決できる地域の課題、その課題を解決するためのユースケースの設定を行ったうえで、本公募に即した地域実証の可能性を検討するプロセスについて説明している。運航前のプロセスでは、地域実証を行うにあたり、安全な飛行をする上で必要な項目と、運航管理統合機能（FIMS）の概要、役割及び接続方法について説明している。このガイドラインは公募開始日に公開した。

（https://nedo-dress.jp/wp-content/uploads/2021/02/地域実証計画策定ガイドライン.pdf）

5.3.1.4　地域実証コンソーシアム運営

地域実証の運用は各コンソーシアムの代表である事業管理機関が行っており、そのプロセスは各コンソーシアムで異なることが想定される。各コンソーシアムが進める地域実証を安全に遅滞なく進めるためには、事務局が地域実証の運用状況を適切に把握し、管理する必要がある。

事務局が地域実証を適切に管理するために、進捗状況、課題管理、実証実験運用及び機体の安全管理等の把握を目的とした資料及びサンプルを作成、配布し、実証実験実施時期に応じた提出スケジュールを定め、それらを運用マニュアルと共に展開し運営した。

5.3.1.5　地域実証立ち会い

事務局は委託元の責任として、実証実験時は原則、ユースケースの現場に立ち会い、安全管理及び検証内容について確認した。やむを得ずリモートでの立ち会いとなってしまう場合は、現場のコミュニケーションツールなどを活用し、安全対策を実施した。

実証実験は、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討することを目的として実施した。実施にあたっては、公募提案時に設定した物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業などのユースケースをもとに事業を計画し、コンソーシアム参加自治体及び参加組織が事前の準備や地域における調整及び許可・申請作業等を行った。

5.3.1.6　地域実証コンソーシアム実証実験結果報告書作成支援

各コンソーシアムが実証を行った結果について、実証の結果をまとめた実証実験結果報告書の作成支援を行った。また、実証時のデータについても内容確認を行った。

5.3.1.7　実施者成果報告

本プロジェクトの成果として、関係者と協力し実施者としての成果報告書をまとめ、資料を作成した。また、実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル４環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的として、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」と題した資料を一般公開した。一般公開にあたっては、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開を行った。このガイドラインは、先行実証・地域実証のうち、3 地域で行った実証実験結果を踏まえ作成した。

(12).　5.3.2 成果の詳細

5.3.2.1　実証実験支援概要

実証実験は、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討することを目的として実施した。実施にあたっては、公募提案時に設定した物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業などのユースケースをもとに事業を計画し、コンソーシアム参加自治体及び参加組織が事前の準備や地域における調整及び許可・申請作業等を行った。

各地域実証コンソーシアムは実証実験を 2 回以上実施しており、参加可能な地域実証コンソーシアムに

ついては、うち 1 回を全国で同時に飛行する全国実証として実施した。実証実験の実施スケジュールを以下表 2.2.1.14-78 地域実証コンソーシアム実証実験スケジュールに示す。

表 2.2.1.14-78 地域実証コンソーシアム実証実験スケジュール

No.	コンソーシアム	実施場所（自治体）	実施スケジュール		
			1 回目	2 回目	3 回目
1	株式会社 イーシーセンター	静岡県富士市	UCa: 10 月 27 日 UCb: 11 月 5 日 UCc: 9 月 29 日 UCd: 8 月 31 日	UCa：11 月 2 日 UCb: 11 月12 日 UCc: 10 月 5 日 UCd: 9 月 7 日	―
2	株式会社 A.L.I. Technologies	高知県高岡郡四万十町	10 月 25 日～ 10 月 28 日	11 月 1 日～ 11 月 2 日	―
3	株式会社 NTT ドコモ	石川県白山市	10 月 4 日	11 月 1 日～ 11 月 4 日	―
4	株式会社オーイーシー	大分県	8 月 27 日	10 月 27 日	―
5	新明和工業株式会社	長崎県対馬市	10 月 18 日～ 10 月 19 日	11 月 1 日～ 11 月 4 日	―
6	株式会社セレス	宮崎県東臼杵郡美郷町	9 月 4 日～ 9 月 10 日	10 月 26 日～ 10 月 29 日	―
7	株式会社そらや	長崎県五島市	10 月 4 日～ 10 月 8 日	10 月 25 日～ 10 月 29 日	―
8	名古屋鉄道株式会社	岐阜県美濃加茂市	10 月 4 日～ 10 月 8 日	10 月 25 日～ 10 月 29 日	―
9	BIRD INITIATIVE 株式会社	北海道稚内市	9 月 7 日～ 9 月 10 日	9 月 13 日～ 9 月 15 日	10 月 27 日 ～ 10 月 29 日
10	福島県南相馬市	福島県南相馬市	9 月 27 日～ 9 月 29 日	10 月 26 日～ 11 月 1 日	―

※UC：ユースケース

5.3.2.2 全国実証

DRESS プロジェクトでは、レベル 4 の実現によって多数のドローンが一定のエリア内を同時に飛行する将来に備え、飛行計画と動態情報の両方を管理するために必要な運航管理システムが開発されてきた。本事業では、先行実証コンソーシアム及び地域実証コンソーシアムが複数のユースケースにおいて機体を同時に飛行させることにより、実ビジネスで必要な UASO の機能及び運航管理システムに必要なオペレーションを検証することを目的として全国実証を実施した。

全国実証には 10 コンソーシアムが参加した。全国実証参加コンソーシアムを以下表 2.2.1.14-79 全国実証参加コンソーシアムに示す。

表 2.2.1.14-79 全国実証参加コンソーシアム

No.	コンソーシアム		実施場所
1	先行実証	西日本コンソーシアム	兵庫県洲本市、姫路市、上郡町
2	先行実証	東日本コンソーシアム	仙台市
3	先行実証	災害コンソーシアム	三重県志摩市
4	地域実証	株式会社イーシーセンター	静岡県富士市
5	地域実証	株式会社 A.L.I. Technologies	高知県高岡郡四万十町
6	地域実証	株式会社オーイーシー	大分県
7	地域実証	株式会社セレス	宮崎県東臼杵郡美郷町
8	地域実証	株式会社そらや	長崎県五島市
9	地域実証	名古屋鉄道株式会社	岐阜県美濃加茂市
10	地域実証	福島県南相馬市	福島県南相馬市

5.3.2.3 実験結果

社会実装に必要となる要素を整理したガイドライン策定に向けて、本事業での地域実証にて運航管理システムに接続した実証事業を離島・山間部を含む多様な環境で実施し、ユースケースにおける地域課題の解決方法、無人航空機導入のメリットや課題を評価・分析・整理し、報告書の提出を求めた。

また、報告書以外に、実証を実施・運用していくにあたり、都度作成される文書やデータを含め、実証実験実施の証跡の保管、実証実験から得られた資料やデータの譲渡を目的として、成果物を定義し、契約書に記載の元、各コンソーシアムに提出を求めた。成果物の種類を以下表 2.2.1.14-80 成果物の種類に示す。

表 2.2.1.14-80 成果物の種類

No.	書類名	
1	実施計画書	
2	計画表	
3	飛行計画書　概要版・完成版（1 回目・2 回目）	
4	各種チェックシート	機体管理シート
		機体点検シート
5	実証実験結果報告書	本紙
		要約
		電子データ 本紙と、実証データ（フライトログ・当日ドローンで撮影した写真及び動画）
6	議事録（コンソーシアム内で開催した会議の議事録）	
7	その他成果物	各ユースケースにおける飛行ルートデータ（ウェイポイント一覧・ルート画像）
		実証実験日程のスケジュール表、参加者一覧、許可承認書の写し
		・実証.実験で利用した以下のデータ -利用機体のフライトログ -実証実験当日にドローンで撮影した写真及び動画データ等

5.3.2.4　ガイドライン等の策定

10 コンソーシアムの成果物をもとにガイドライン等として資料を作成した。作成した資料について以下表 2.2.1.14-83 ガイドライン等として作成した資料に示す。

表 2.2.1.14-81 ガイドライン等として作成した資料

資料の種類	資料名
ガイドライン等の資料	「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」
	「災害時におけるドローン活用ガイドライン」
運航管理システムの提供方法検討資料	「運航管理システムの社会実装に関する提言」

運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」は、運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を掲載した資料であり概要は以下表 2.2.1.14-84 運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿に示す。

表 2.2.1.14-82 運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

項目	詳細
作成目的	運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を提供すること
対象者	・ レベル 4 飛行するドローンを用いたビジネスの提供を行おうとする事業者 ・ ビジネスの提供を受ける顧客となる個人及び事業者、自治体等
主な内容	レベル 4 解禁によって広がるドローン運航ビジネスの可能性の解説 運航管理システムの役割の解説 ビジネスモデル構築方法の具体例の紹介
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト （https://nedo-dress.jp/topics/3032.html）

詳細は、公開資料「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」を参照。

災害時におけるドローン活用ガイドライン

「災害時におけるドローン活用ガイドライン」の概要は災害時にドローンを活用するために必要となる情報を掲載した資料でありその概要は以下表 2.2.1.14-83 災害時におけるドローン活用ガイドラインに示す。

表 2.2.1.14-83 災害時におけるドローン活用ガイドライン

項目	詳細
作成目的	災害発生時にドローンを活用するために必要となる情報を提供すること
対象者	災害対策を目的としてドローンの導入と運用を行うとするに自治体と事業者
主な内容	災害対応におけるドローンの主な活用シーンの紹介 災害対応におけるドローン活用の手順と注意点の解説 災害対応におけるドローンの運航調整と飛行制限の解説
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト （https://nedo-dress.jp/topics/3032.html）

詳細は、公開される資料「災害時におけるドローン活用ガイドライン」を参照。

運航管理システムの提供方法検討資料

「運航管理システムの社会実装に関する提言」の概要は以下表 2.2.1.14-84 運航管理システムの社会実装に関する提言に示す。

表 2.2.1.14-84 運航管理システムの社会実装に関する提言

項目	詳細
作成目的	運航管理システムの社会実装を目指す政府が今後取り組むべき課題を整理すること
対象者	経済産業省次世代空モビリティ政策室 国土交通省航空局 内閣府小型無人機等対策推進室 NEDO　（五十音順）
主な内容	運航管理システムの社会実装に向けたステップ 各ステップを実現するための課題 運航管理システムの地域別の段階的導入の是非に関する論点 運航管理システム提供の官民の役割分担とアーキテクチャの選択に関する論点
公開先	非公開（NEDO と内閣府及び関連省庁のみに提供）

本事業では、無人航空機の目視外飛行（レベル 4）における運航管理システムの社会実装に向けて、実ビジネスを想定したユースケースで実証実験に取り組んだ。実証には、先行実証、地域実証のコンソーシアム合わせて全国 13 地域の自治体・企業が参加した。

各コンソーシアムは、運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスをビジネスとして、持続的に提供するための機能や運用方法の仮説を立てて検証項目を設定した。そして立案した実証計画及び飛行計画に沿って実証実験を行った。また本事業において、多数のドローンが一定のエリア内を同時に飛行する将来を見据え

た全国実証を実施した。実証結果を通じて、レベル 4 で飛行するドローンによるサービスを持続的に提供することの妨げとなる課題に対する解決策を導出した。また、今後のさらなる発展に向けて対応が必要とされる課題の洗い出しや、政府関連、運航事業者関係各位に向けた提言としてまとめた。

3.1 （6）特許出願数、論文等の発表数

(13). 6.1 KDDI 株式会社

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	2	0	－	2
展示会出展	－	－	－	0	2	1	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	2	－	2
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	2	2	1	5
国内出願	－	－	－	0	0	－	0
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

(14). 6.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	0	0	5	5
展示会出展	－	－	－	0	2	－	2
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	2	－	2
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	1	3	－	4
国内出願	－	－	－	0	0	－	0
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

（7）実用化・事業化への道筋と課題

3.2 1. 実用化・事業化に向けた戦略

3.2.1 1.1 KDDI 株式会社

地上の無線通信の信頼性およびインフラ投資の観点からドローン運航における 4G LTE 携帯回線の活用が期待されており、今後も各ユースケースで市場の拡大が予測されている。また、今後本格普及していく 5G ネットワークと共に爆発的な市場拡大を目指し 3GPP 等の標準化団体通じて日本のみならず各国で研究が加速している。

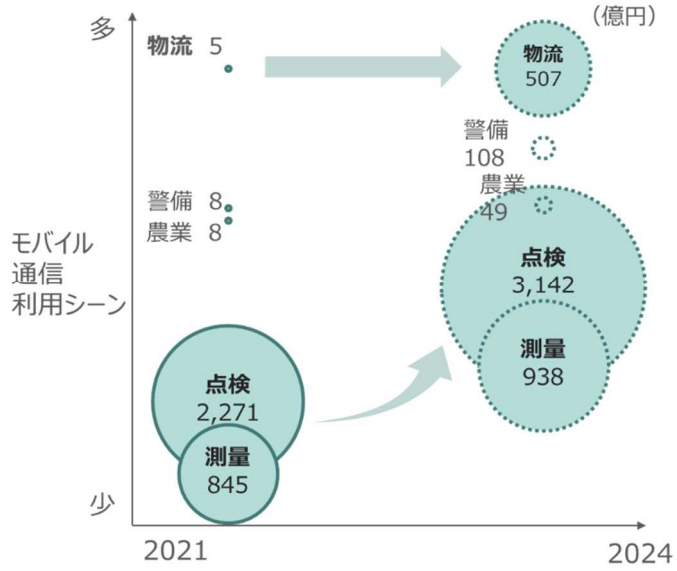


図 2.2.1.14-162 市場規模とモバイル通信利用シーン

「スマートドローンプラットフォーム」は、携帯回線を用いて無人航空機の遠隔飛行制御を行い、監視、警備、点検、物流等のドローン活用をトータルで提供するサービスである。

4G LTE／5G ネットワークに接続するドローン機体、運航管理システム、通信で構成され、モバイル通信ネットワークを利用するスマートドローン機体や、ドローン運航管理、ドローンが取得したデータの蓄積・分析などのクラウドサービスをまとめたトータルソリューションの提供を目指す「プラットフォーム（基盤)」である。

スマートドローンプラットフォームの展開に向けては、NEDO DRESS プロジェクトにおいて 2020 年度～2021 年度に委託事業として参画した「地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」において得たドローンの運航管理に必要な機能やノウハウ等の成果も活用し、2022 年 3 月よりユーザーが自由に上空でのモバイル回線やそれを活用した運航管理、集約されるデータを管理するクラウドをセットで提供する、「スマートドローンツールズ」の提供を開始している。

ただし、実証結果から今後目視外飛行の本格的な社会実装を拡大させていくには、現行制度下ではプレフライトにおける法令の定める各種手続き・関係機関との調整や、インフライトにおける飛行ルート下の第三者の立ち入り管理措置等に多大なコストを要する等のドローンの社会実装に向けた様々な課題が明らかとなった。

また、持続的なビジネスモデルの構築に向けて、一対多運航をはじめとする高度な自動・自律飛行の実現による更なるコスト低減が求められており、一対多運航を前提としたドローンの離島間物流および広域警備の安全性評価手法の構築、技術開発、およびそれら

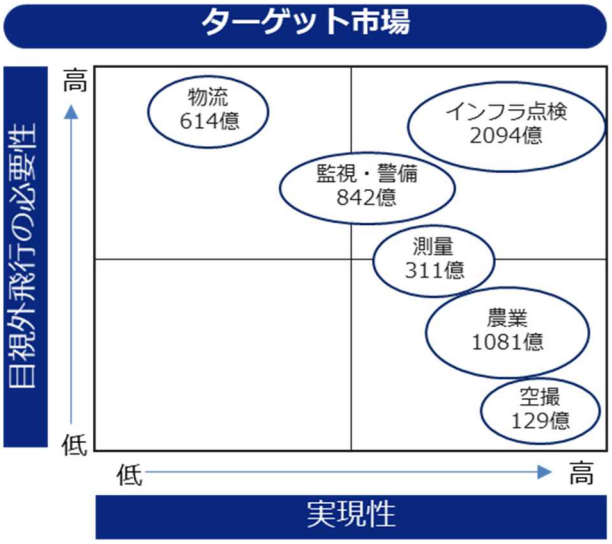
の検証を目的とした飛行実証が不可欠となっている。

ドローンがネットワークにつながり、各事業者が効率的に安全に多数のドローンの運航を実現することで、様々なエリアでドローンが飛び交い、活躍する社会を実現していくことを目標としている。



図 2.2.1.14-163 KDDI スマートドローンツールズ

ドローンについては、これまで利活用できていない低空域が活用可能となるため、「空の産業革命」と言われており、自動車産業、航空産業のような新産業となる可能性がある。また当面は撮影、測量、検査、農業、輸送等のビジネス市場を中心に市場が拡大しているため、本研究開発の中間時点となる 2020 年度には国内で 1000 億円規模、プロジェクト終了後 2022 年度には 3000 億円規模、2024 年度には 4000～5000 億円規模へと拡大する見込みであり、将来的には数兆円規模の市場に拡大する可能性がある。



※インプレス総合研究所　ドローンビジネス調査報告書2019
市場規模は2024年

図 2.2.2.1.14-164 ドローン国内市場規模予測と将来的なターゲット市場の予測

スマートドローンプラットフォームの展開に向けては、携帯回線の広域なカバー率を活かすためのシングルオペレータによる複数台運航（以下、一対多運航）の実現が極めて重要となる。

また、持続的なビジネスモデルの構築に向けて、一対多運航をはじめとする高度な自動・自律飛行の実現による更なるコスト低減が求められており、本研究開発で実施する一対多運航を前提としたドローンの離島間物流および広域警備の安全性評価手法の構築、技術開発、およびそれらの検証を目的とした飛行実証が不可欠となっている。ドローンがネットワークにつながり、各事業者が効率的に安全に多数のドローンの運航を実現することで、様々なエリアでドローンが飛び交い、活躍する社会を実現していくことを目標としている。

3.2.2 1.2　パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

1.2.1　東日本ユースケース

実証実験を行う背景

運航管理システムの技術検証とユースケースにおける各種検証を通じてビジネスモデル検証を目的とした。2021 年度は主にレベル 3、レベル 4 環境下に近い実ユースケース上での UTM 検証を実施した。UTM 環境下にて実施した物流・点検・警備の 3 領域におけるユースケース概要については以下のとおりである。

⑴ 物流

物流業界では、持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じた CO2 排出量削減に取り組んでいることから、ドローンに代替することで CO2 排出量削減が見込まれている。また、労働力不足への対策や、激甚化、頻発化する災害に強い物流ネットワークの構築にも、ドローンの輸送が期待されている。仙台市の物流事業者では、中山間地域の温泉街から、手荷物、お土産配送や、リネン等の定期便として物資輸送する際、コースとして 1.5 時間程度時間を要することから、中間の区域でドローンが代替して物資を配送することで、集配の効率化や、温泉街の PR にも繋がり自治体にもメリットがある。

表 2.2.1.14-84 物流業界の課題

現状の課題	内容	ドローンで解決できること
地球温暖化対策	持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じた CO2 排出量削減に取り組んでいる	現状トラックにて行っている荷物の集配業務をドローンに代替することができれば、CO2 排出量の削減が見込まれる。
人口減	離島　人口減　人口密度が下がる	-

	と毎日配送がコストに見合わない。サービス品質の維持が難しい	
人手不足１	・経験豊富/優秀な人材確保の課題 ・高齢化、担い手の確保	-
人手不足２ 外的要因	・人手不足を補完する代替としてICTの利活用をしたい。 ・配送効率をUPさせたい。	中山間部、離島などにおいては都市部に先行してドローン物流の実用化に向けた検証が開始されている。
業務効率化	・配送効率をUPさせたい。	渋滞回避の手段として上空からのドローン輸送が期待されている。
災害時の配送	・地震や気象災害等で道路が使用できない場合がある。	代替輸送として上空からのドローン輸送が期待されている。

⑵ 警備（イベント施設）

警備業は様々なリスクから人の生命、人体、財産を守り「安心」と「安全」を届け、公共の安全と秩序に寄与する重要な業務である。刑法犯認知件数は減少の傾向にあるものの、高齢者をターゲットとした特殊詐欺、女性や子どもが被害に遭う犯罪やサイバー犯罪などの「犯罪の多様化」、テロに対する脅威などへの「体感治安の悪化」は加速しており、国民の不安や安全安心へのニーズに応える警備業に対する社会的需要がますます高まってきている。

警備分野において、既にドローンは活用されているが、今年度は東京2020オリンピックの開催年度でもあり、仙台市で実際に開催された、東京2020オリンピック聖火リレーセレブレーションイベントを想定したユースケースを設定した。

表 2.2.1.14-85 警備分野（イベント施設）の課題

現状の課題	内容	ドローン･AIで解決できること
人手不足	経験豊富/優秀な人材確保の課題 高齢化、担い手の確保	-
地図と現場の相違への対応（下見/情報収集等）	地図やGoogle Mapの更新が間に合わず地図と現場との相違が生じる。	地上からは見えない情報を空から確認できる。
警備員の負荷とリスクの軽減	警備員の酷暑/厳冬期における負荷軽減と安全性の確保への課題	酷暑や厳冬期の作業やリスクを伴う確認はドローンにて行

	（リスクの軽減） お客様とのトラブル（応対による均一化）	う。 AI などによる異常の判断なら応対の均一化が見込める。
労働環境の改善	人手不足により十分な休憩時間がとれない	目視確認など一部の業務をドローンが担う事ができれば、警備員の業務の内 2-3h 程度の勤務時間削減が見込める。

(3) 警備（鳥獣害）

イノシシの個体数増加に伴う被害の増加に伴い自治体・猟友会・地域住民や警備会社の協力のもと被害発生後に罠を設置し対応している。ドローンにおいて、狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待されており、ドローンで取得した空撮後の画像データを、将来的に AI 解析する事で、効率的に生息域を割り出せることも同じく期待されている。これらのことから、鳥獣害の警備をユースケースとして設定した。

表 2.2.1.14-86 警備分野（鳥獣害）の課題

現状の課題	内容	ドローン･AI で解決できること
生息域・個体数の拡大	気候変動によりイノシシの生息域が北上している。効率的に駆除しなければ個体数は年々増加傾向にある。	・狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待される。 ・空撮後の画像データを将来的に AI 解析する事で効率的に生息域を割り出せる。
耕作放棄地の増加	人がいないことで容易に農地エリアに侵入し掘り起こしや農作物を食べてしまう。	
狩猟者の減少と高齢化 危険な駆除作業	経験豊富な狩猟者の減少 獰猛なイノシシは大きなもので体重 100kg に及び狩猟者にも危険が伴う	
限られた狩猟時期	狩猟時期は年間約半年	

(4) 点検

橋梁点検ビジネスにおいては、人材不足が深刻化しており、各種点検業務において 2030 年には労働人口の減少が加速化すると予測され（出所：パーソル総合研究所・中央大学「労働市場の未来推計 2030」）、人材減によるコスト増加の懸念がある。定期点検における打音診断をドローンが担うことはできないが、災害等のスクリーニング調査においては状

況を把握できることから、事故や災害の一斉点検では一次調査に適している。特に陸路の寸断や広範囲の状況の把握等に強いドローンはスクリーニング調査に最適である。また、1 回の点検業務全行程に占める事務処理業務が 60-70%を占めておりドローン×AI による業務効率化が期待されている。これらのことから、橋梁点検のユースケースを設定した。

表 2.2.1.14-87 点検分野の課題

現状の課題	内容	ドローン･AI で解決できること
実際にドローンでの検証を試みた結果（過去の検証より）	①損傷部の見通しへの懸念 ②トラス格点部や桁下など込み入った橋にドローンが入れない ③打音判断しているコンクリート面浮き確認の懸念	法規の「近接目視」のすべてを担保できないため 定期点検にはそぐわない。 ⇒今後の制度・機体の性能向上に期待
慢性的な人手不足	経験豊富/優秀な人材確保の課題と高齢化の課題	-
稼働の季節変動	厳冬・酷暑期は点検を避ける傾向にある。	
稼働の季節変動	高所作業で重い腰道具を所持しながらの運搬時の肉体的負荷 安全性の確保への課題（リスクの軽減）	酷暑や厳冬期の作業や高所でのリスクを伴う作業はドローンにて行う。
作業員の負荷とリスクの軽減	高所作業で重い腰道具を所持しながらの運搬時の肉体的負荷 安全性の確保への課題（リスクの軽減）	
報告書業務の作業効率化	点検撮影後の後作業の効率化	画像解析は AI による作業効率化が期待される

1.2.2 事務局運営

本研究開発では、2022 年度無人航空機のレベル 4 実用化を見据え、2020 年～2021 年にかけて運航管理システムの実環境における実証を行う必要があり、無人航空機と運航管理システムを接続した実証事業を実施し、運用面と技術面の検証を行った。実証事業は、西日本（兵庫県内）、災害（三重県志摩市）、東日本（宮城県仙台市）の 3 地域による先行実証と、全国を対象とした公募により採択された 10 地域による地域実証を行った。

地域実証は、地域の特性を考慮した実証であり、かつ地域産業振興に資するユースケースを複数検証することを目的に、初年度に公募を実施し、全国の企業・自治体等からの提案を数多く受けた中、10 件の事業者を採択した。事業者の選定には、外部有識者による

委員会を組成し、公平性のある審査を行った。また、これらの公募を提案する企業・自治体に対して、目的に沿った提案ができるよう仕様書やガイドラインを提供する事で、提案促進を行った。

先行実証と地域実証では、物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業等のユースケースを、日本国内の平野部、山間部、及び離島部で分けて想定し、継続的な運航管理システムの活用における課題や季節による実証環境の影響を検証するため、1 週間×2 回程度の実証を行った。2 回目の実証を行う際には初回に実証した際の課題を踏まえた実証を実施した。

加えて、地域実証より先に実施した先行実証での内容や課題を、地域実証事業者に共有する事で、地域実証内容や検証課題が逸れないよう管理を行うと共に、意見交換会を開催した。これらの取り組みでは、実証実験が安全に行われるよう、実施計画・飛行計画を策定する際に参考となる有益な情報の提供も行い、安全管理に努めた。

2021 年度に実施した先行実証、及び、地域実証では、13 地域での同時実証実験を行い、運航管理システムの全国規模への拡張性、多数地域における同時運用への堅牢性を確認した。

実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル 4 環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的として、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」と題した資料を一般公開した。一般公開にあたっては、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開を行った。このガイドラインは、先行実証・地域実証のうち、3 地域で行った実証実験結果を踏まえ作成した。

10 コンソーシアムの実証実験ユースケースを以下に示す。

表 2.1.1.14-88 ①株式会社イーシーセンター（静岡県富士市）

ユースケース a：災害時孤立が予想される室野地区での集落・道路状況確認・必要物資配送

ユースケース名	使用機体(各 1 台)	接続方法	情報提供機能	飛行エリア
A:必要物資配送	Matrice210	FIMS モジュール	ドローン気象 Web	富士川体育館～ たつみ電機製作所
B:孤立集落状況確認	Matrice300RTK（KDDI）	KDDI モジュール・FOS	ドローン気象 Web	たつみ電機製作所～室野集落

C:道路状況確認	Matrice210RTK	KDDI モジュール	ドローン気象 Web	室野道路

ユースケース b：富士川水管橋橋梁点検

ユースケースの説明	橋梁を真上から点検をする飛行経路と水管を下から点検する飛行経路、同時に飛行し橋梁の点検の時短短縮とコスト面を確認する。 ＦＩＭＳに接続して上部、下部同時に点検を行い近接アラートの実験も行う。
使用機体・機体数	Matrice300RTK（KDDI 貸出）1 台　Matrice210　1 台 KDDI タブレット（FOS）1 台
運航管理統合機能と機体の接続方法	FIMS モジュール・FOS
情報提供機能の利用方法	ドローン気象 Web
飛行エリア	富士市中之郷地先　ルート図(1.3.4.1.2-2)参照

ユースケース c ：浮島地区大規模災害時液状化が予想される地帯での状況確認

ユースケースの説明	浮島地区の液状化が予想される範囲全てを把握できる映像を録画する。 外ルートと内ルートで Matrice300RTK 機（KDDI 貸出）（FOS 使用）・Matrice210RTK の 2 機を同時飛行させ周辺道路の状況を撮影する。 1-1 外ルート　高度 100m　速度 5m/s　カメラの角度 90° 内ルート　高度 120m　速度 5m/s　電波干渉エリアのみ 7m/ｓ　カメラの角度 45° 1-2 外ルート　高度 100m　速度 5m/s　カメラの角度 90° 内ルート　高度 120m　速度 5m/s　カメラの角度 90°～40° ※電波干渉エリア回避ルート（画角でフォロー）
使用機体・機体数	Matrice300RTK（KDDI）1 台　Matrice210RTK1 台
運航管理統合機能と機体の接続方法	UASSP FIMS 未接続
情報提供機能の利用方法	ドローン気象 Web
飛行エリア	富士市浮島地区　ルート図(1.3.4.1.2-3)参照

ユースケース d：伝法地区大規模災害時液状化が予想される地帯での状況確認

ユースケースの説明	伝法地区の液状化が予想される範囲全てを把握できる映像を録画する。

	1台飛行させ周辺道路の状況を撮影する。
使用機体・機体数	Matrice300RTK（KDDI）1台　KDDIタブレット(FOS) 1台
運航管理統合機能と機体の接続方法	UASSP FIMS未接続
情報提供機能の利用方法	ドローン気象Web
飛行エリア	富士市伝法地区　ルート図(1.3.4.1.2-４)参照

表2.1.1.14-89 ②株式会社A.L.I. Technologies（高知県高岡郡四万十町）ユースケース一覧

ユースケース	ユースケースの説明		使用機体・機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	情報提供機能の利用方法	飛行エリア
物流	十和体育館から八木集会所を結ぶ、路線の中央に位置する十和隣保館を中継点として生活必要物資のドローン搬送を行う。	HIYOKO20	HIYOKO20	C.O.S.M.O.S経由でのFIMS接続	日本気象協会（webアプリ）	十和-八木
防災	二次避難所となっている四万十町B&G海洋センターを災害支援物資運搬の出発点として、山を超えて興津ヘリポートへ災害支援物資をドローンで運搬する。	HIYOKO20	HIYOKO20	C.O.S.M.O.S経由でのFIMS接続	日本気象協会（webアプリ）	窪川-興津

測量	四万十町立七里小学校の裏手に切り立った森林が広がる七里小学校グラウンドを離発着ポイントとし、近隣の森林をレーザ測量する。	DJI M600 Pro	NEC モジュールを使用したFIMS 直接接続	日本気象協会（web アプリ）	七里
調査	四万十町大正中津川集落から国道へ繋がる唯一の道路に位置する”成川橋”を含む周辺区域に対して、測量前の事前調査としてレーザセンサーを用い地表データを集める。	DJI M600 Pro	NEC モジュールを使用したFIMS 直接接続	日本気象協会（web アプリ）	大正

表 2.1.1.14-90 ③株式会社 NTT ドコモ（石川県白山市）

ユースケース一覧

	ユースケース① 鳥獣害調査	ユースケース② 物資輸送	ユースケース③ 空撮
運航者	ブルーイノベーション株式会社	ブルーイノベーション株式会社	株式会社ドローンショー
実証概要	・セルラー通信による制御を行い、目視内自動飛行(レベル2)を行う ・赤外/可視光カメラにより熊を監視 ・映像は5.7GHz帯VTXにより地上へ伝送	・セルラー通信による制御を行い、目視外補助者無し飛行(レベル３)を行う ・災害時の緊急物資輸送、平時の小口配送を想定	・ドローンショー社開発の機体を使用し、敷地内にて目視内の空撮を実施 ・機体は2.4GHZ帯を用いて制御
特徴	**5Gによる高画質のリアルタイム映像伝送** 	**ドローンポートからの拠点情報(位置や受入可否等)の自動発信** **※LTEの不感地域にも対応** 	**地元企業の開発機体(FIMS、UASSP等への接続経験無し)を使用** 
FIMSへの接続方法	UASSP(Blue Earth Platform)からのAPI接続	UASSP(Blue Earth Platform)からのAPI接続	位置情報装置および上空でLTE通信が可能な端末を搭載
機体	PF2-Survey ［ACSL］	PF2-Delivery ［ACSL］	ドローンショー社開発機体 ※開発中

表 2.1.1.14-91 ④株式会社オーイーシー（大分県）

ユースケース一覧

ユースケース	内容		これまでの取組み（無人航空機関連）
	平常時	災害時	
空撮①	農作物育成観察	人命捜索（湖周辺）	システム開発等
空撮②	獣害侵入確認	人命捜索（全体）	空撮等
点検	地域特産物の配送	災害救助用品の配送	点検・検査・測量等
測量	橋梁点検	ダムの破損調査	
農業	農薬散布	―	農薬散布等

表 2.1.1.14-92 ⑤新明和工業株式会社（長崎県対馬市）
ユースケース一覧

ユースケース	1. 漂着ごみ空撮調査	2. 漂流ごみ空撮調査
概要	海岸を空撮し、空撮画像が漂着ごみの実態調査に有効か検証した。 	沿岸の海面を空撮し、空撮画像が漂流物の発見に有効か検証した。漂流物発見にはAIによる人・船舶の自動検出技術を応用可能か検証した。 
使用機体	XU-S（1機）	XU-S（1機）
FIMSとの接続方法	GCSを経由し、事務局提供UASSP（KDDI UTM）を介して接続	GCSを経由し、事務局提供UASSP（KDDI UTM）を介して接続
SDSPの利用方法	JWAドローン気象Web全国版にて飛行時間帯の風向・風速予測を確認	JWAドローン気象Web全国版にて飛行時間帯の風向・風速予測を確認
飛行エリア	離島部	離島部

表 2.1.1.14-93 ⑥株式会社セレス（宮崎県東臼杵郡美郷町）
ユースケース一覧

ユースケース	実施担当	実施場所（飛行エリア）	実施概要
日程	使用機体・機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	情報提供機能の利用方法
①点検	セレス	南郷神門地区町有林	鳥獣害防護柵の点検
10/25 ～ 10/29	Matrice300RTK ×1 Phantom4Pro ×1	KDDI UASSP経由でFIMSに接続（M300RTKのみ）	・ドローン気象Web ・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用
②測量	九州電力	上渡川地区町有林	森林資源のレーザ測量
10/25 ～ 10/29	Matrice600PRO ×1 Matrice210 ×1 Matrice210RTK ×1	・FIMS直接接続（NEC） ・KDDI UTM（UASSP）経由でFIMSに接続(KDDI、京セラ)	・ドローン気象Web ・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用
③物流	九州電力	南郷支所～又江地区	過疎地における物流

10/25 ～ 10/29	Matrice300RTK ×2 Matrice210 ×1	・FIMS 直接接続（NEC） ・KDDI UTM（UASSP）経由で FIMSに接続(KDDI、京セラ）	・ドローン気象 Web ・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用
④農業	九州電力	西郷和田地区、立石地区	中山間地における農薬散布
10/25 ～ 10/29	AG R-17 ×2 Matrice210 ×1	・FIMS 直接接続（NEC） ・KDDI UTM（UASSP）経由で FIMSに接続(KDDI、京セラ）	・ドローン気象 Web ・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用

表 2.1.1.14-94 ⑦株式会社そらや（長崎県五島市）
ユースケース一覧

ユースケース名	物流	海難捜索	海ごみ調査	農地確認
ユースケースの説明	ドローンを用いた物流事業。	固定翼ドローンを用いて海難捜索を実施。	ドローンを用いて市内海岸に漂着する海ごみの量を調査する事業。	ドローンを飛行させ、農地作付確認用の画像データを取得する。
使用機体・機体数	PD6B-Type3C・1機	オプティムホーク V2（AGDH2-P4600）	DJI Phantom4 Pro V2.0 １機（予備１機）	DJI Phantom4 Pro V2.0
運航管理統合機能と機体の接続方法	事務局 UASSP 経由	事務局提供モジュール接続 airpalette 経由	airpalette 経由 SENSYN CORE	airpalette 経由 SENSYN CORE
情報提供機能の利用方法	・気象情報 WEB ・有人機情報（SDSP 経由）	・気象情報 WEB ・有人機情報（SDSP 経由）	・気象情報 WEB ・有人機情報（SDSP 経由）	・有人機情報（SDSP 経由）
飛行エリア	五島市塩津地区~黄島地区間海上	五島市下大津沖	五島市崎山地区	五島市崎山地区

表 2.1.1.14-95 ⑧名古屋鉄道株式会社（岐阜県美濃加茂市）
ユースケース一覧

	ユースケース 1-①	ユースケース 1-②	ユースケース 2
ユースケースの説明	被災範囲の UAV 撮影	被災範囲のレーザ計測	支援物資の物流

使用機体	Matrice 300 RTK Matrice 210	Matrice 600 Pro Phantom 4 Pro Obsidian	Matrice 600 Pro
運航管理統合機能と機体の接続方法	KDDI の LTE 通信モジュールを使用して接続		
情報提供機能の利用方法	・気象センサーを設置し、iPad から気象データ利用 ・気象Ｗｅｂにて iPad から詳細予報を利用		
飛行エリア	中之島公園・木曽川沿い	木曽川緑地ライン公園・ 木曽川沿い	

表 2.1.1.14-96 ⑨BIRD INITIATIVE 株式会社（北海道稚内市）
ユースケース一覧

ユースケース	ドローンの利用方法
医薬品配送	・へき地などにおいて、薬局から患者への処方箋医薬品の迅速な配送
空港内離着陸	・ドローン物流と航空物流の連接による地方から都市部への迅速かつ一貫した輸送
海獣監視	・洋上のアザラシの頭数把握 ・ドローン接近によるアザラシへの威嚇効果の確認
密漁監視	・ドローンに搭載した赤外線カメラによる暗視下における密漁者の発見 ・ドローンに搭載した拡声スピーカーによる密漁者への警告、抑止 ・ドローンに搭載したスポットライトによる密漁者/不審車両の発見、識別

表 2.1.1.14-97 ⑩福島県南相馬市

ユースケース一覧

名称	内容説明	使用機体(機体数)	情報提供機能	飛行エリア
ユースケース①	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を撮影対象とした写真および動画情報の収集を実施する。 また、収拾した情報をGISに挿入し、Terra Cloudを用いて関係者等へ提供する。	Phantom4 PRO (1機) または Phantom4 PRO+(1機) または Inspire2 (1機) または DOLPHIN4300(1機) または HAMADORI(1機)	利用なし	南相馬市鹿島区 南右田・小島田地区 または 南相馬市原町区 泉・下渋佐地区 または 南相馬市小高区 市街地 または 南相馬市小高区 南鳩原地区 または 南相馬市 沿岸部
ユースケース②	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を撮影対象とした垂直写真撮影を自動航行にて実施する。 撮影した写真は解析を実施し、オルソ補正画像としてGISに挿入後、Terra Cloudを用いて関係者へ提供する。	Phantom4 PRO (1機) または Phantom4 PRO+(1機) または Inspire2 (1機)	利用なし	南相馬市鹿島区 南右田・小島田地区 または 南相馬市小高区 市街地 または 南相馬市小高区 南鳩原地区
ユースケース③	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を対象としたLiDAR(光検出および測距)によるセンシングを実施する。 取得したデータを解析し被害箇所の3次元モデルを生成、GISに挿入後、TerraCloudを用いて関係者へ提供する。	Matrice600 Pro(1機)	利用なし	南相馬市小高区 南鳩原地区
ユースケース④	避難指示等が発出された有事を想定し、拡声器搭載無人航空機による避難誘導を実施する。 あわせて対地撮影を実施し、避難経路の安全確認および避難状況確認を実施する。	Mavic2 Enterprise Dual (1機) Phantom4 PRO+ (1機) Inspire2 (1機) ALTA X (1機)	利用なし	南相馬市小高区南鳩原地区 または 南相馬市原町区 泉・下渋佐地区
ユースケース⑤	自然災害等の有事を想定し、河川湛水等により陸路が寸断された場所への支援物資の空中輸送を実施する。	HAMADORI(1機)	利用なし	南相馬市 沿岸部

3.3　2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

3.3.1 2.1 KDDI 株式会社

KDDI ではこれまでの上空でのモバイル通信活用の知見等の成果を活かし、上空でのモバイル通信が可能な「スマートドローンツールズ」の提供を開始したが、今後一対多運航の社会実装の本格展開に向けて様々な業種のソリューションや用途別機体と接続してサービス拡大をしていく必要がある。

各業種に必要なアプリケーションや用途別機体を全て自社開発することは不可能なためこれまで開発してきた通信や運航管理システムをベースにプラットフォームに各事業者が開発した機体・アプリケーションが接続可能なシステムを開発予定である。

本研究開発における実証を通じて対応機体やアプリケーションを研究協力企業と連携して機能拡張していく予定である。また業界や地域ごとのニーズ、必要機能をプラットフォームにフィードバックすることで運航管理システム利用ユーザの拡大が見込まれる。

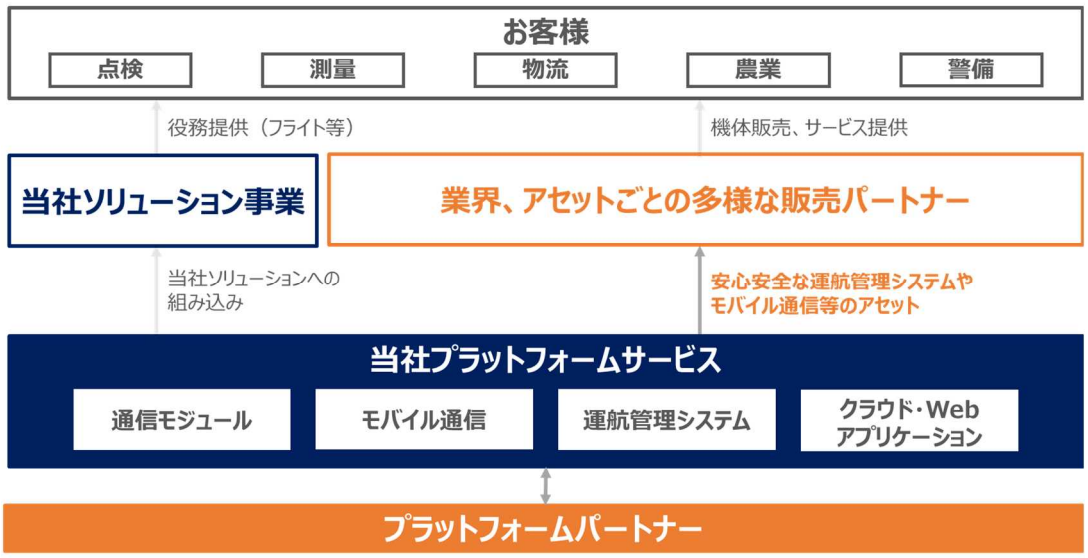


図 2.2.41.14-165 スマートドローンプラットフォームの様々な業界への提供

(1) 用途（販売予定先）

スマートドローンプラットフォームは様々な分野において活用可能なソリューションサービスである。

スマートドローンプラットフォームの活用用途例は以下のとおりである。それぞれの用途に対して最適な機体やシステムをパッケージで提供することを予定している。例えば、災害対応では LTE を活用したドローンによる広域運航、遠隔監視が実施可能であり、販売予定先としては自治体や大規模なインフラを保有する鉄道会社等が想定され、災害時対応の効率化に寄与するものと考えられる。

2020 年 8 月には長野県の伊那市でドローン物流の定期便の配備や 2020 年 9 月には JPOWER と風力発電点検ドローンの配備実証を公表するなど社会実装を推し進めている。

また、将来的には下記ソリューション以外にも、このプラットフォームを活用し、多様な分野の市場開拓が可能となることが想定される。



図 2.2.1.14-166 スマートドローンプラットフォームの活用用途例



図 2.2.1.14-167 長野県伊那市での定期ドローン物流配備や JPOWER との風力発電点検ドローン配備検証

以下　URL　参照

・国内初の自治体運営によるドローン配送事業、伊那市支え合い買物サービス「ゆうあいマーケット」の本格運用開始

https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/08/05/4601.html

・Ｊパワーと KDDI、ドローンを用いた風力発電設備の自動点検の有効性を実証

https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/10/07/4714.html

また、ドローンの適用領域が幅広くソリューション提供の際には専門的な知識が求められるため自社の販売チャネルを活用した直接販売のみでなくパートナーと協業してプラットフォームを展開する間接販売モデルを組み合わせて展開するビジネスモデルを検討している。今後ドローンの社会実装が進むにつれ各領域に強みのある業者と協業して運航管理システムを活用するケースがより増えると見込んでいる。ドローンは法制度的にも地方からの社会実装が進んでいくと予測されるが地方の小規模な会社は大規模な投資でドローンの提供環境を全て構築するのは難しい。そこでスマートドローンプラットフォーム上でニーズに即したアプリケーションを開発するだけでビジネスが可能な環境を構築する予定である。

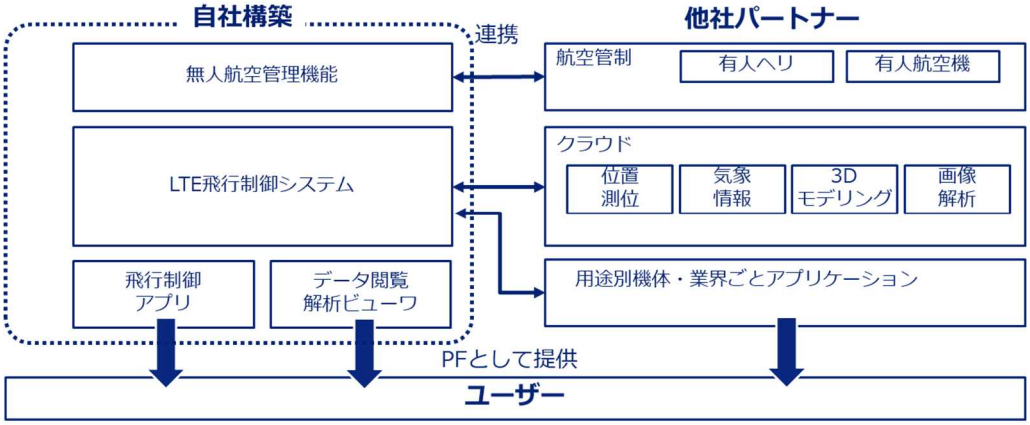


図 2.2.1.14-168 スマートドローンプラットフォームのビジネスモデル案

3.3.2 2.2　パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

2.2.1　東日本ユースケース

持続可能な無人航空機サービスの提供方法

運航管理システムを利用して無人航空機を使ったサービスを安全かつ持続的に提供できる理想的な状態を想定し、サービスの提供方法を記載する。

⑴ 各領域の費用比較について

各領域ユースケース費用の比較について記載する。全領域ともに以下の 3 つの状況で整理を行った。

現状　　：既存の形態でサービス提供の費用

実証実験　　：無人航空機を使用した今年度実証実験の費用

レベル 4 達成時：レベル 4 が実現した環境で無人航空機を活用した費用

上記費用には、運航管理システムを用いた運航管理統合機能、運航管理機能、個別機能費用も含む（※FIMS の接続費用は未定義のため含めず）。費用削減が見込まれる項目については、色付きで示した。

①物流

年間コストイメージ　※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル４達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		1.4%	8.5%
		設備関係費		0.5%	3.3%
		パイロット育成費		0.0%	6.3%
		保険費用（年間契約）		0.7%	4.1%
		撮影用カメラ使用料一式		0.04%	0.23%
ランニング	PreFlight	設備維持費		0.5%	3.1%
		機体・設備維持費（使用費）		1.3%	7.9%
		飛行申請費		0.03%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		0.02%	0.0%
		自社配送費	29%	0%	0.0%
		諸経費（内経費）	71%	6.2%	38.6%
	Inflight	ドローン関連労務費		89.2%	22.1%
		UTM使用料		0.0%	6.0%
	その他	報告書作成		0.1%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-169 年間コストイメージ①

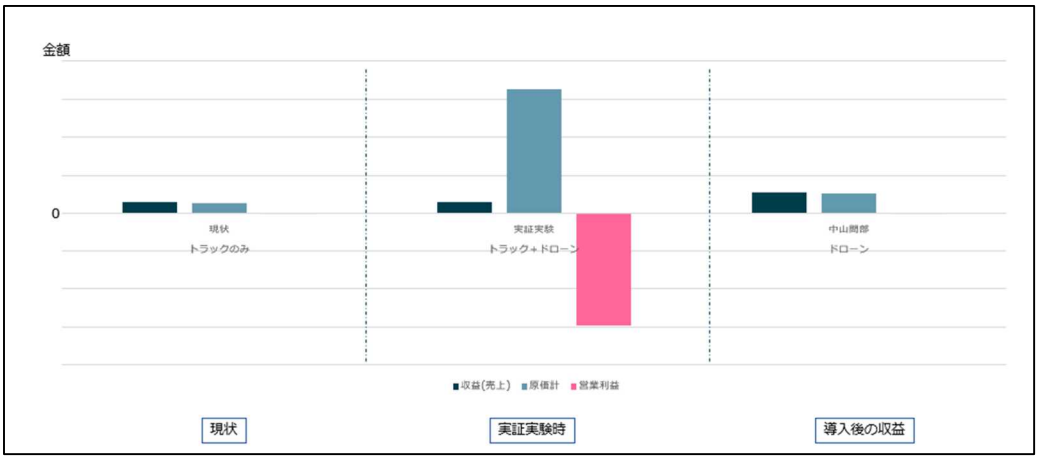


図 2.2.1.14-170 年間コストイメージ②

物流領域ではレベル 4 達成時にわずかながら利益を見込む試算ができた。他の領域同様にビジネスとして安定した利益を確保する上においては数々の課題をクリアする必要がある。

②イベント施設警備

１警備あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル４達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.2%	9.3%
		設備関係費		1.5%	2.3%
		パイロット育成費		0.0%	4.3%
		保険費用（年間契約）		0.2%	2.8%
		撮影用カメラ使用料一式		16.55%	2.1%
		機体加工費（機体改造費）		1%	1.3%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費（使用費）		3.6%	5.4%
		飛行申請費		4.1%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		2%	0.0%
		諸経費	11%	4.1%	6.2%
		警備員配置労務費	89%	10.6%	52.2%
	Inflight	ドローン関連労務費		33.1%	9.9%
		UTM使用料		0.0%	4.1%
	その他	報告書作成（委託先）		16.6%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-171 １警備あたりの費用イメージ①

本領域では色付項目についてコスト抑制を見込めるも今年度の実証実験時において利益が出る試算には至っていない。しかし将来的に不審者の自動感知機能や対象人物（物）を指定し容易に追跡できる機能や、機体性能改善や飛行計画にはない急遽警備が必要なケース、緊急時など状況に応じた UTM 制度面の改定がなされれば大規模イベントの警備にドローンが参入できる余地は十分ある。

１警備あたりの費用イメージ

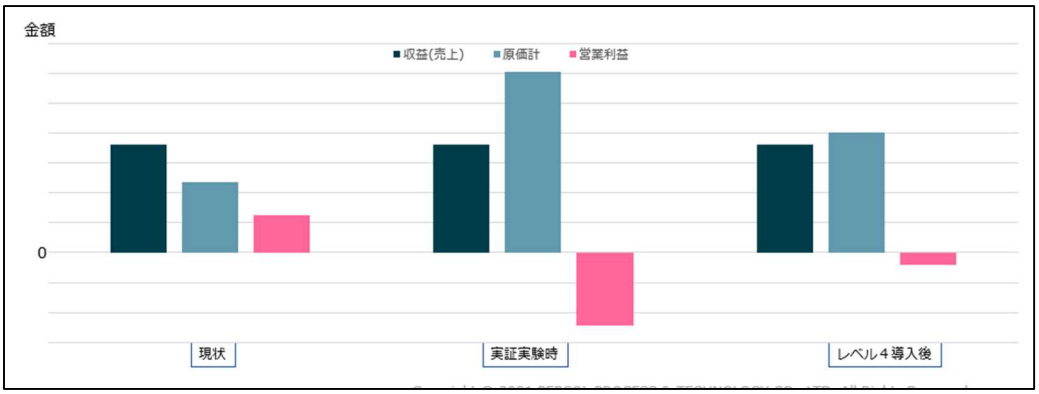


図 2.2.1.14-172　１警備あたりの費用イメージ②

③鳥獣害警備

生息調査 1 回あたりの費用イメージ　※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル４達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.5%	18.2%
		設備関係費		1.0%	2.7%
		ドローン関連労務費		34.8%	19.5%
		パイロット育成費		0.0%	5.2%
		保険費用（年間契約）		0.3%	3.3%
		撮影用カメラ使用料一式		17.42%	2.5%
		機体加工費（機体改造費）		1%	1.6%
		機体・設備維持費（使用費）		2%	6%
ランニング	PreFlight	飛行申請費		4.4%	0.0%
		交通費（レンタカー・ガソリン他）		3%	0.0%
		諸経費		4.4%	12.2%
		罠監視装置設置 (親機・子機)	20%	1.6%	4.6%
		罠監視装置　親機通信費	0.320%	0.027%	0.075%
		罠設置・捕獲・止め刺し	80%	7%	19%
	Inflight	UTM使用料		0.0%	4.9%
	その他	報告書作成（委託先）		17.4%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-173 生息調査 1 回あたりの費用イメージ①

鳥獣害警備に関しても同様で現時点においては利益が出る試算には至っていない。しかしながら本警備は自治体が目指すイノシシ駆除の年間 900 頭を効率的に駆除する上でも上空からの生息調査は急務であり潜在的な社会的ニーズは高いといえる。

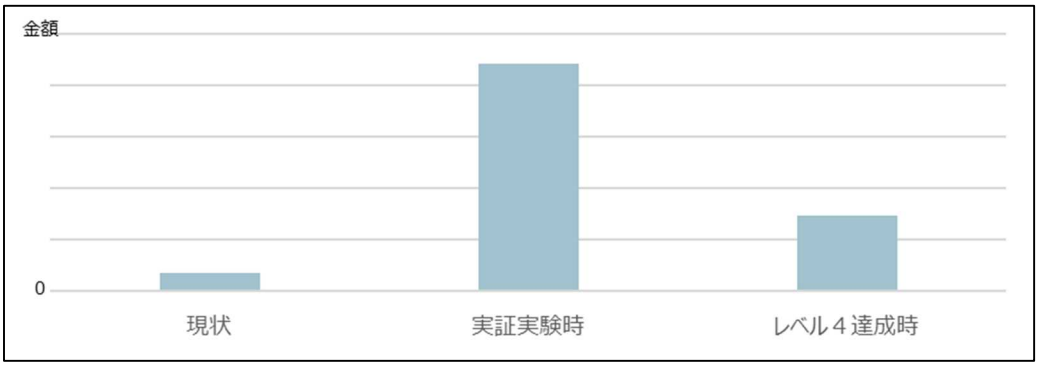


図 2.2.1.14-174 生息調査１回あたりの費用イメージ②

④点検

１橋梁あたりの点検コストイメージ

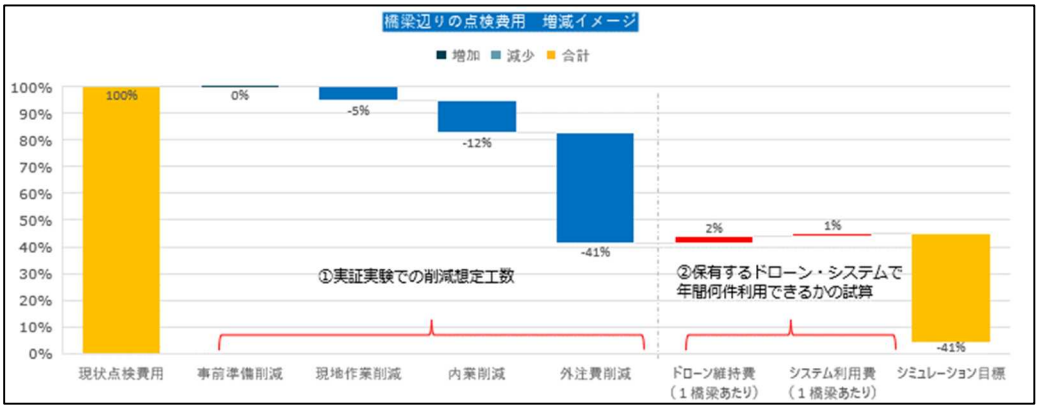


図 2.2.1.14-175　１橋梁あたりの点検コストイメージ

橋梁点検においても利益が出る試算には至っていない。理由は国が定める橋梁の定期点検の法規にある「近接目視」のすべてをドローンが担保できないため、定期点検にはそぐわないという点にある。ぜひ今後の制度・機体の性能向上に期待している。

2.2.2　事務局運営

運航管理システムを活用した持続可能なビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的としたガイドライン等の資料を公開した。

表 2.2.1.14-98 ガイドライン等として作成した資料

資料の種類	資料名
ガイドライン等の資料	「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」
	「災害時におけるドローン活用ガイドライン」

運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」は、運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために

必要となる情報を掲載した資料である。

表 2.2.1.14-99 「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」の概要

項目	詳細
作成目的	運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を提供すること
対象者	・ レベル 4 飛行するドローンを用いたビジネスの提供を行おうとする事業者 ・ ビジネスの提供を受ける顧客となる個人及び事業者、自治体等
主な内容	レベル 4 解禁によって広がるドローン運航ビジネスの可能性の解説 運航管理システムの役割の解説 ビジネスモデル構築方法の具体例の紹介
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト （https://nedo-dress.jp/topics/3032.html）

詳細は、公開資料 「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」を参照。

「災害時におけるドローン活用ガイドライン」は、災害時にドローンを活用するために必要となる情報を掲載した資料である。

表 2.2.1.14-100 「災害時におけるドローン活用ガイドライン」の概要

項目	詳細
作成目的	災害発生時にドローンを活用するために必要となる情報を提供すること
対象者	災害対策を目的としてドローンの導入と運用を行うとするに自治体と事業者
主な内容	災害対応におけるドローンの主な活用シーンの紹介 災害対応におけるドローン活用の手順と注意点の解説 災害対応におけるドローンの運航調整と飛行制限の解説
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト （https://nedo-dress.jp/topics/3032.html）

詳細は、公開資料「災害時におけるドローン活用ガイドライン」を参照。

3.4 3. 実用化・事業化の見通し

3.4.1 3.1 KDDI 株式会社

スマートドローンプラットフォームの運航管理においては、従来のローカル通信網ではなく携帯通信網を活用することが大きな特長である。本研究開発の検証に用いる携帯通信網を活用して自律飛行するスマートドローンは、広域を運航する多数のドローンの運航状況を遠隔から常に把握できる必要がある一対多運航の実現において多く

の優位性を有する。

まず飛行エリアについて、遠隔からの長距離の自律飛行が可能となるため、一人のオペレータが 1 拠点で複数のドローン機体を遠隔監視することが可能となる。また、安全性についても飛行可能なエリアが広いため、ローカル通信網と比較してロストリスクが低く、遠隔操作による人件費の圧縮が可能となる。また、ネットワーク構築にあたっても、Wi-Fi 構築は不要のためモジュールの搭載のみであり、コストの低減を図ることが可能となる。

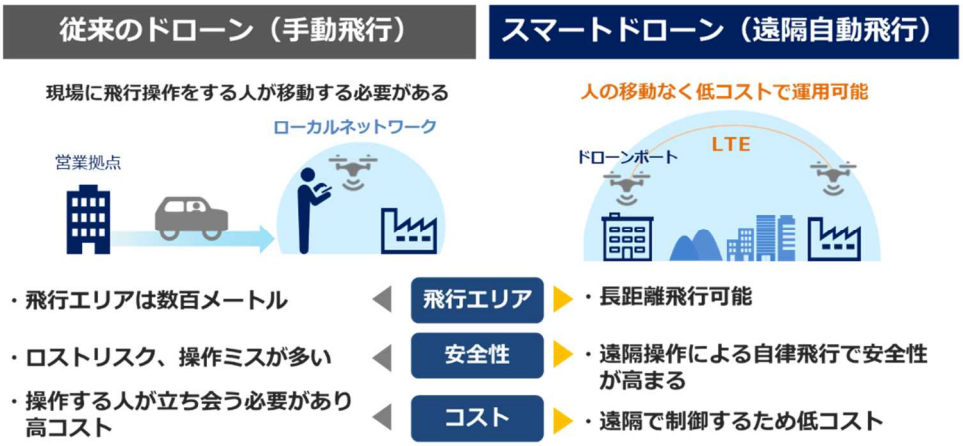


図2.2.1.14-176 ドローン運用における従来のローカル通信網活用と携帯通信網活用との特徴比較

また、携帯電波の上空利用は当初地上などの他システムとの干渉回避の観点から総務省へ通信事業者が実用化試験局免許申請して運用していたが、通信事業者が他システムとの電波干渉を回避する上空電波利用システムを導入することで申請手続きの簡素化を行う法改正が実施されており、より民間普及拡大が見込まれる。

なお、課題としては、多様な用途に応じたプラットフォームの継続的な開発や、規制等の競争環境により市場規模の不拡大や収益悪化のリスクが想定されるが、想定市場分野における徹底したリサーチを実施する。

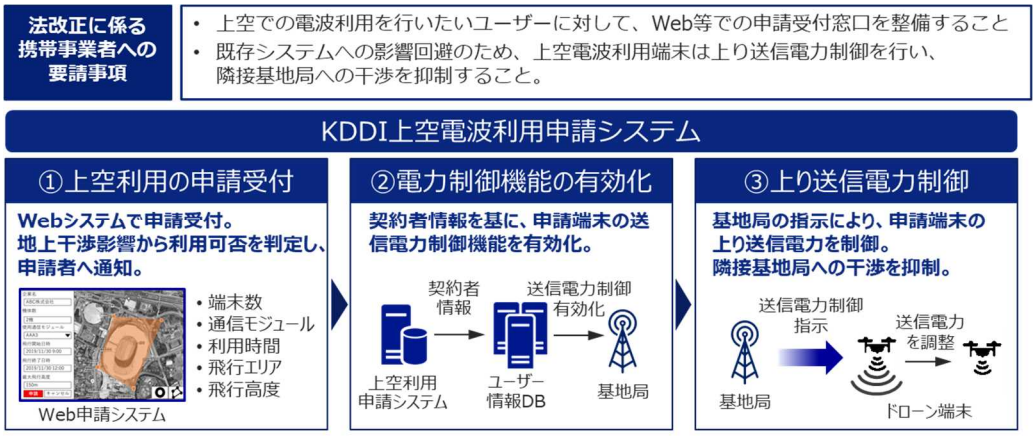


図 2.2.1.14-177 上空電波利用システム概要

今後のビジョン実現に向けたマイルストーン及び、実用化・事業化のスケジュールを下図に示す。

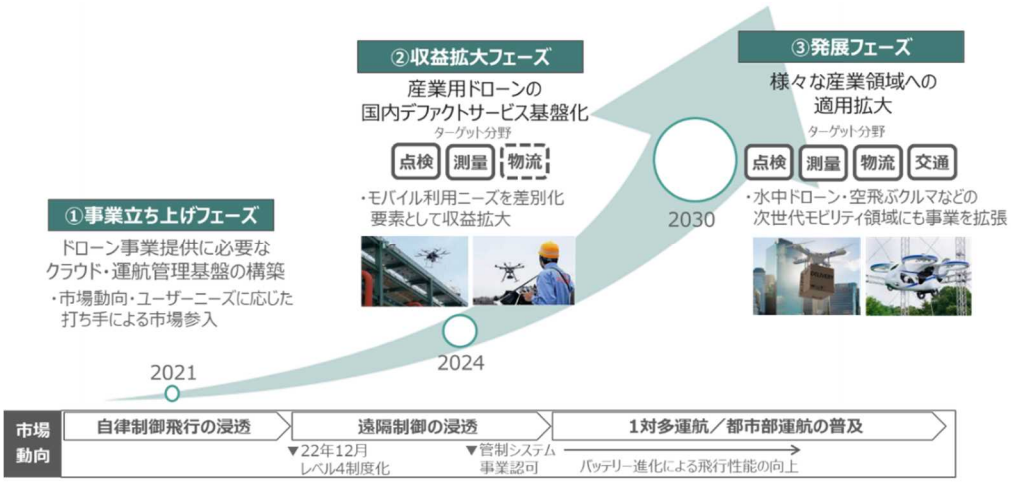


図 2.2.1.14-178 ビジョン実現に向けたマイルストーン

2022 年 12 月 5 日に予定されている航空法改正に伴い実現が可能となるレベル 4 運航を中心に今後、より多数のドローンが場所を選ばず自律的に運航する未来に向け、事業の拡大を図っていく。

3.4.2 3.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

(15). 3.2.1 東日本ユースケース

持続可能な無人航空機の運航を実現するための課題の解決方法

表 2.2.1.14-101 運航管理システムの機能・性能に関する課題

課題	4G/LTE 電波が弱いエリアや圏外のエリアが存在するため、山間部等で無人航空機を飛行する際に、スマートドローンに接続することが困難な場所が存在する。

解決方法	電波の特性として、気象状況や時間帯による周囲からのノイズ、電波干渉など様々な要因で電波が入りにくい状況が起こりうる為、運航管理システムで風速や天候の情報と共に、フライトコース上の電波状況や電波強度が確認できる機能を追加する。
検証結果	昨年度、4G/LTE を使用した飛行が行えた場所と同じエリアでの飛行を今年度も行ったが、今年度はスマートドローンへの接続が困難であった。
検証結果の詳細	鳥獣害警備及び物流において昨年度と同じコースを今年度も飛行したが、スマートドローンとの接続が出来なかった。そのため、今年度の飛行はスマートドローンではなく Mission Planner を使用し、機体映像は VPN を使用した。

課題	遠隔地からの口頭指示のみで、操縦者がドローンをマニュアル操作して被写体を撮影するのは困難。
解決方法	遠隔地の指示者がドローンからの映像をもとに、UASSP 上で直接ドローンを操作する。
検証結果	UASSP に映る映像をもとに、機体の向きや進行方向を操作できるような機能があれば、イベント施設警備において不審者の逃走経路把握に活用できる。
検証結果の詳細	イベント施設警備において、室内にて警備ドローンからの映像をモニタしながら、操縦者に機体の停止や前進/後退などの指示を出して不審者の捜索を行った。UASSP の映像表示画面上で機体の操作が行えると警備しやすい。

課題	不審人物を発見後、警備本部から警備員に直行指示を出す際に、場所の的確な位置を伝えるのが困難。
解決方法	直行警備員にも直行場所が視覚的に分かるような指示がだせるとよい。
検証結果	UTM のマップ上をタッチすると位置情報が直行警備員に直接伝わるような、外部システム（スマホ等）との連携ができると良い。
検証結果の詳細	警備において遠隔地の監視者が現場の警備員に急行場所を指示すると同時に、急行場所の位置情報も連携できるとよい。ＵＴＭと外部システム（スマホ等）とが連携しすばやく位置情報が把握できるようになると良い。

課題	高所から地上の不審者を撮影する際、飛行している高度によって、何倍のズームが最適なのか分からないので、細かく不審者を撮影できるようにしたい。
解決方法	高い所からの撮影ができる俯瞰モード、不審者の容貌を確認できる注視

	モードなど、システム上で操作できるようにする。
検証結果	UASSP からドローンの高度やズームの設定、カメラの種類などを決め打ちのものに切り替えられ、更に操作も簡易的なものだと良い。
検証結果の詳細	飛行している高度や不審者からの距離を UASSP が自動で検知し、俯瞰モードや注視モードなどワンタッチで操作が可能になると良い。

課題	警備活用の観点で、UTM、UASSP 上で、機体同士の接触などの事故発生ポイントを管理したい。
解決方法	UTM 使用者がフライトコース上に事故発生ポイントなどが書き込めるシステムにしていく。
検証結果	事故発生ポイントや危険ポイントなど UTM 使用者が注記したログを共有できる仕組みが欲しい。
検証結果の詳細	安全な飛行計画を策定するために、運航管理に関するナレッジについてもシステム上で管理できると良い。

課題	各種自動検知機能との連携（不審人物、不審車両等）。
解決方法	UASSP と AI を用いた不審者や不審車両などの自動検知システムとの連携
検証結果	ドローン映像から立ち入り禁止区域に侵入した不審者や不審車両を自動で検知
検証結果の詳細	人の目では気づきにくかったり、確認が漏れたりするため、システムで自動検知する機能と連携できると良い。

課題	運航管理システムのアラートの表示。
解決方法	瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や対処法を促すガイダンスを表示させる。
検証結果	実際に運用中にアラートが発生した場合、どのような対応を行うか運用を整理する必要もあるが、アラート自体も分かりやすい事が重要。
検証結果の詳細	運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートが発生した際、アラートに対する判断や対応を瞬時に行わなければならない。そのため分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが表示されることが望ましい。

課題	飛行開始前の飛行可否の判断基準。
解決方法	設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否を、自動で予測して表示する機能を実装する。

検証結果	現状、飛行可否については運航管理者の判断に委ねている。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。
検証結果の詳細	実際に運航可否判断を行うのは当日となる。１週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供してほしい。こうした機能は輸送計画を検討する上でも有効であるため。

表 2.2.1.14-102 運航管理システムの運用方法・運用体制に関する課題

課題	飛行計画になく急遽飛行しなければならないケースにおいて速やかな飛行承認が必要になる。
解決方法	通常飛行と緊急飛行とで FIMS 側で区別して、緊急飛行の場合であれば速やかな飛行承認もしくは飛行承認なしでも飛行できるようにしてほしい。
検証結果	警備会社ではあらかじめ承認済みの飛行の他に、もしもの事態が発生した際、緊急でドローンを飛行させるケースもありうるため、速やかな飛行承認もしくは飛行承認なしでも飛行できると良い。
検証結果の詳細	特定団体・法人（消防・警察・自治体・警備会社など）のみに割り当てられる緊急時コードを入力する等で即時フライトができる柔軟な施策が期待される。

課題	通信コストについて年間換算すると膨大になる。
解決方法	価格体系の改善が期待される。
検証結果	社会実装されていく上でも運航管理システムの重要性は理解しているが、クライアントや自治体も限られた予算の中で委託をしているため改善が期待される。
検証結果の詳細	一律の金額ではなくサービスの利用に応じた価格体系があってもよい。
課題	飛行させている無人航空機と他の無人航空機との接近を運航管理システムが検知した際、接近を警告する機能がないと安全な飛行を確保できない。
解決方法	運航管理システムにて他の無人航空機の接近を知らせる警報を発することで、飛行させている無人航空機と他の無人航空機との動態を管理し、リモートパイロットによる回避行動を実施する。
検証結果	運航管理システムによって現在地が把握されている無人航空機同士の場合、双方の距離が 20m 以下になった場合に運航管理システムが CRITICAL の警報を発することを確認できた。
検証結果	リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を

の詳細	考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実に行える時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要。 有事に警察や消防などが無人航空機を飛行する際、緊急性の高い飛行となるため、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要。 またアラートの種類も「A とＢが接近しています」というアラートもあれば、「ＡとＢが衝突しています」というアラートがあった。

課題	飛行させている無人航空機の情報が、運航管理システムで他者にも見えてしまうため、警備ドローンの監視している位置情報も悪意をもったユーザにも見えてしまう。
解決方法	現状、上記課題についての解決策は無い。
検証結果	運航管理システムにて各地域実証で飛行している無人航空機の情報が表示されてしまっている。
検証結果の詳細	警備や警察、消防、自衛隊など特に機密性の高い無人航空機の情報は、運航管理システム上では表示させないなど、システム側の整備が必要。

課題	柔軟な課金体系。
解決方法	重量課金制などの柔軟な課金体系に期待。
検証結果	物流事業は通常の物流業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。
検証結果の詳細	人道的支援に課金をされてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなる。年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）を期待している。

表 2.2.1.14-103 法制度が抱える課題

課題	山間部では特に高圧電線や鉄塔などの高い建造物が存在するため、飛行ルート上にそういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。 4G/LTEの電波使用は対地高度150m未満と定められているため､高度150mを超えてしまうルートは飛行できない。またそういった箇所を迂回する際、今度は迂回ルートの電波が圏外である場合がある。
解決方法	飛行ルート上に高圧電線や鉄塔などの高い建造物が存在する場合、障害物の高さと無人航空機との離隔を調べ、対地高度が 150m 以上必要と判断される場合は、その箇所は飛行しない。

検証結果	物流の飛行ルート上に高圧線が存在したため、電力会社へ送電線や鉄塔の高さを問い合わせたところ、対地高度が 150m 以上必要と判断したため、そのルートは飛行させなかった。
検証結果の詳細	国土交通省では山間部を飛行する際、谷間など一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、法制度の改正が必要。

課題	現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無い。
解決方法	実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならない。
検証結果	ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要がある。
検証結果の詳細	ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

表 2.2.1.14-104 社会受容性の課題

課題	有害鳥獣によってはドローンの音を警戒してしまう。
解決方法	定期的に巡回飛行する事で音に対する耐性を持たせる。
検証結果	有害鳥獣の生態調査でドローンを飛行させた際、ドローンが発する音によって、動物が警戒して逃げてしまうケースが散見された。
検証結果の詳細	聞きなれない音が鳴ると動物は逃げてしまう為、ドローンで有害鳥獣の調査を行う際は定期的に地域一帯を巡回飛行して音に対する耐性を持たせることも重要。

課題	無人航空機が発する騒音に対して近隣住民が苦情を訴える可能性がある。
解決方法	無人航空機が発する音を計測し、どの程度の騒音を発しているかを確認する。
検証結果	対地高度 60m を飛行する機体の騒音を計測したところ、近隣住民へ迷惑がかかる騒音ではないことが確認できた。
検証結果の詳細	計測結果として日中帯は 26db～30db、夜間帯は 47.9db であった。 目安 30db：深夜の郊外、鉛筆での執筆音、小さなささやき声 50db：家庭用のエアコンの室外機の直近、静かな事務所の中、小さな声

課題	無人航空機を使用した点検において､樹木や電線などの障害物によって、点検できる範囲が限られてしまう。
解決方法	無人航空機で確認できる部分は無人航空機を使用し、それ以外は人の手を使用するしかない。
検証結果	樹木や電線などの障害物によって無人航空機では撮影が出来ない箇所が存在した。飛行する際に接触し墜落を引き起こす恐れもある。
検証結果の詳細	建設や設計の段階で無人航空機を使用した点検を見越して、周りに樹木や電線等の障害物を排除した環境作りが重要である。

表 2.2.1.14-105 機体性能に関する課題

課題	瞬時に飛行できる機体開発。
解決方法	飛行前の機体準備が簡易的にできる機体の開発。
検証結果	緊急で機体を飛行させるケースもある為、すぐに機体準備が完了して飛行できるような機体が理想。
検証結果の詳細	不審者発見時、追跡用の機体を飛行させる際、不審者発見から即時飛行させなければならない。そのため、機体の持ち運びから、飛行前点検、飛行開始までが短時間で可能な機体が必要。

課題	ドローンからの映像を監視している最中に何らかの危険を検知した際、それを知らせる機能。
解決方法	スピーカーなどを搭載して、上空から音声で警告する機能が望まれる。
検証結果	警備ドローンの映像を確認できるだけでなく、警備員が到着するまでに音声での警告ができる機能があると良い。
検証結果の詳細	ドローン警備中に運航管理室から何らかの危険が迫っている場合、警備員が現場へ急行するまで時間がかかる。もしもの時に備えてドローン側から出来る機能があると良い。

課題	天候に関係なくドローンを飛行させるための仕組み。（ドローンポート）
解決方法	機体の防水性能の向上。
検証結果	小雨等で濡れる可能性もあるため、多少水に濡れても飛行できる機体が望ましい。
検証結果の詳細	ドローンが飛行中に雨などで機体が濡れる可能性がある。その都度、飛行中断せずに多少水に濡れても飛行できる機体性能であると良い。

課題	最大積載量と飛行距離。
解決方法	機体の積載性能とバッテリー性能の向上。

検証結果	約 5kg の重量を積載し、2.2km の距離を飛行。物流事業としてドローンを導入するには、更なる積載量と飛行距離が必要。
検証結果の詳細	ペイロード：複数の荷物を積載できる機体 距離　　：約 30km（DID 地区の飛行も含む） ※途中でバッテリー交換の中継は可

課題	荷物を積載するコンテナの開発。
解決方法	温度管理ができるコンテナの開発。
検証結果	10 月初旬に検証を行った際、外気温が高く、直射日光の当たる状態であったためコンテナ内部も 40℃以上となった。
検証結果の詳細	荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため。

実証実験の実施結果とその評価

運航管理システムにおける各領域のビジネスモデル観点では共通して以下の事が言える。

今後も警備・物流・点検などの主要領域においてドローンのニーズは高まると予想される。しかし想定される複数機体運航など社会実装に至るまでには様々な課題をクリアしなければならない。今回検証した物流、警備、鳥獣害調査、点検のどの領域においても人手不足解消や現業務の作業効率化のために、ドローン導入を検討しているが、イニシャル・ランニングともにかなりのコスト負荷を事業者は担うことになる。そのため実際にはビジネスで利益を得られるまでの期間を耐えられる経営的体力のある事業者でなければ参入できないのが現状であろう。しかし、労働人口が確実に減少する国内において安全な運航管理システムのもとでドローンが持つ機動力や高精細な画像伝送など人間には対応できない領域へのタスクを担えるような仕組みや制度設計、ひいては都市デザインの改良が急務であるといえる。

【クリアすべき課題】

- UASSP/FIMS 接続費用のコスト低減（年間コストが高額である）
- 警備に特化した UTM プランの検討
- UASSP の映像伝送の安定性
- 中山間部エリアにおける LTE など電波の改善
- 機体の性能向上（長時間バッテリー、障害物センサーの向上、ペイロードの強化、防水仕様（多少の雨天でも飛行可能に））
- ドローンが飛行しやすい都市計画　（電線の地中化、ドローン点検しやすい橋梁設計）
- 緊急性の高い飛行（警備など）スクランブル飛行の許可・承認の簡略化

運航管理システムの社会実装に向けた提言、波及効果

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙がった運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。

物流において、宅配事業の実用化のためには、コスト低減に向けて複数機体の一元管理の実現や、最大離陸重量や最大飛行時間の性能のある大型の機体の開発が望まれる。

同時に荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため保温性能を備えたコンテナも必要である。

また、山間部では特に高圧電線や鉄塔などの建造物が存在するため、そういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。

国土交通省では山間部を飛行する際、谷間などの高低差のある場所において一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、電波使用に関する法制度も同時に整備してもらう必要がある。

更に現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無く、実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならないため、ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要があるため、ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

通常の物流業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。

こうした人道的支援に課金されてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなるため、運航管理システムや FIMS 接続について、年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）が必要である。

警備において、飛行開始までの準備や操作に時間がかかってしまうと緊急性の高い用務へ活用することが困難であるため、容易に扱うことのできる機体や飛行システムの構築や操縦者の育成が必要である。

リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実に行える時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要である。

橋梁点検は、橋梁の周囲に木が茂っていたり、電線があったり、風の問題もあり、ドローンが橋梁に近づくのを阻害する障害物の回避、見えにくい部分をいかに多角撮影で補うかなどの技術課題に加えて、今後の無人航空機を使用した維持管理に向け、点検しやすい構造への環境作り（橋梁の周囲に樹木や電線を設置しない等）が必要である。

運航管理システムにおいて、UTM 上で発生する近接アラートについて、警察や消防などが緊急で無人航空機を飛行する際、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要である。

運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが必要である。

物流の観点から、荷物を配送する際にフライヤーNo や荷物 No が運航管理システム上に表示されると尚良い。荷物照会が運航管理上で分かればよりビジネスがスムーズになる。

設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能の実装が期待される。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。また１週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供される機能が必要である。こうした機能は輸送計画を検討する上でも大変有効である。

(16). 3.2.2　事務局運営

運航管理システムを用いた持続可能なドローン事業を全国に普及させるために、政府や運航管理システム開発関連事業者等へ対応が求められる検討・対応事項について、実証実験を通して各コンソーシアムから挙げられた。

表 2.2.1.14-106 運航管理システムの技術検証の観点

主体	分類	検討・対応事項　※順不同
政府に対応を期待するもの	UTM の開発関連	UTM アーキテクチャの検討 ・UTM の全国一斉運用の導入 ・中央集権型、分散型を判断する上でのユースケース毎に UTM 要件の明確化 ・FIMS 機能の DIPS、FISS 等との統合 ・アーキテクチャ設計に向けた体制の明確化 ・公共セクターと民間セクターの役割分担
		運航管理システムの段階的且つ適時タイミングでの導入検討
		ドローン専用電波回線の導入検討
		UASSP/FIMS が基礎自治体と連携して且つ提供すべき情報の整理・検討
		UASO 側にて運航管理システム利用時に満たすべき責任/機能を明示したコンセプトの提供
		UASO システムと運航管理システム接続方法の統一的規格の導入検討
		飛行制限空域（空港周辺空域及び DID）での飛行承認プロセスの確立
	有人機との連携	有人機（実機）と運航管理システムを用いた実証実施検討
		有人機と無人航空機との運航を円滑に行うための ATC と UTM の統合に向けた検討
		有人機情報のうちドローン事業者に必要な飛行経路、到達時間、高度情報（特に高度情報）の連携対応
		全ての有人機情報の取得方法の確立
		空港管理会社による空域の調整機能のシステム化

UTM 提供者に対応を期待するもの	UTM の機能面	運航管理システムの新規追加機能 ・現状で有人機の NOTAM に提供されている物件情報や、雲底等の視界に関わる情報等の不足部分の UASO 側への提供として、物流領域の気象情報や障害物情報、第三者の情報 ・LTE 電波状況、GPS 受信状況等 ・地上建造物（塔など）、海上構造物（海上の風力発電設備）等の正確な高度情報 ・飛行ログ（軌跡）の表示 ・各種航空事業を行う組織等と連携した緊急運航機情報 ・リモート ID との連携による位置情報 ・気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能 ・CSV 等、飛行ルート（ウェイポイント）のインポート機能 ・ユースケースの緊急度がわかる情報（例えば E1（人命救助）/E2（災害対応）などの情報）を登録できる機能 ・ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能 ・ヘリコプターの事前飛行計画の周知 ・システム毎(FOS、UTM、気象システム等)の個別表示ではなく、運航管理システムの画面等で一括管理できる機能 ・GCS へ FIMS 機能を導入可能とする仕様 ・ドローン側での有人機の近接アラート発出時にシステム上で強制的にドローンが回避行動を行う仕様（有人機運航者目線）
		運航管理システムの各種機能に対する改善/拡充 ・プライバシー観点から飛行を制限・禁止すべき空域の情報把握・共有 ・緊急着陸が必要なケースや CRITICAL アラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示 ・アラート通知方法（音声、振動による通知、GCS を介した自動通知） ・UI 上の飛行エリア表示範囲の変更 ・システムへの接続方法の簡素化 ・FOS による複数ドローンを一括制御する際の画面 UI 上での操作性向上 ・飛行ルート変更機能の柔軟性向上 ・位置情報の測位精度向上 ・LTE 接続環境の改善・見える化

		・サーバダウン等しない可用性高い運航管理システム構築
	UTM の運用面	運航管理システムから提示される運航情報の信頼性向上 ・運航管理システムに接続する機体の仕様制限（RTK 非搭載の機体等）
		運航時の風速制限の合理的な根拠づけの検討
		飛行時の電波途絶時への対策
その他		FIMS 接続に必要なモジュールの標準化 ・機体に合わせた防水仕様 ・通信モジュール埋め込んだ機体開発
		実証時多数要望があったもの ・各運航管理システムの高度表示の統一（LTE モジュールの電源を ON にした時点を 0m とする相対高度表示や海抜表示など） ・手動回避を想定した適切な衝突予測時間（TTC）の段階的な設定及びアラート通知方法の統一機体位置情報表示のタイムラグ改善

表 2.2.1.14-107 無人航空機の持続可能な運航方法の検証の観点

主体	分類	検討・対応事項　※順不同
政府に対応を期待するもの	運用面	事業者の参入を円滑化するための自治体の受け入れ体制構築
		行政側での配送ビジネス利活用への方針策定
UTM 提供者、UASO に対応を期待するもの	UTM の運用面	複数機体を 1 人で操縦するための運航体制の構築
		運航管理システム利用料に関する柔軟な料金体系の確立
		UASO に向けた UTM の導入広報活動の推進
	その他	災害時におけるドローン活用に関する基本事項に対する各種事項 ・防災基本計画に沿ったドローン活用ユースケースの明確化 ・自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等の整備 ・自治体での災害時におけるドローンの運用体制の検討 ・災害時における民間事業者等のドローン活用方法の検討 ・基本事項に沿った対応への民間企業や関係機関含めた教育・訓練

表 2.2.1.14-108 法規制の観点

主体	分類	検討・対応事項　※順不同
政府に対	UTM にか	無人航空機の運航申請にかかる許可・承認のワンストップ化

応を期待するもの	かる法規制面	緊急着陸地点として、ビル屋上のヘリポートや公共施設の屋上等を設定可能となるよう法的、または制度的な利用緩和措置
		立ち入り禁止の措置等にかかる離着陸地点のリスクに応じた確認手順や方法などの基準の明確化
		LTE の通信環境構築支援及び事前電波調査シミュレーションにかかる補助制度の策定検討
		動態情報の管理や衝突回避に関する責任の所在明確化とルール整備
		運航前の準備にかかる運航調整時に必要な運航許可並びに周知等についての法的規定の整備
		UTM 利用時における飛行計画時から運航前～後までのルール整備 ・運航時における無人航空機同士の飛行優先度の検討 ・運航時の運航者間の交渉について、決められた時間内で確定するなど､UTM 側でシステム的に制限をかけるためのルール設定 ・特定事業者による空域の占有を防ぐためのルール（罰則規定や優先度）や交渉ルール設定 ・動態情報の標準化（基準高度、情報項目・フォーマット、通信間隔等） ・目視内飛行やマニュアル操作者など、動態情報を発信する術を持たないオペレータに対する、運航管理システムの情報確認の義務化 ・警備業務用ドローンの位置情報等、秘匿性の観点から運航管理システム上で開示すべきでない情報の取り扱い方法検討
		有人機管制側での無人航空機側の運航管理システムの確認必須化
		有人機と無人航空機の相互に動態情報及び飛行計画連携を行うための法制度の整備
		上空電波利用（150m 以上の高度）のさらなる規制緩和及び申請の簡略化
	その他	航空管制官、空港運営会社との調整方法のうち、空港を利用したドローン運航における貨物連接対応時の離着陸地点場所（空港内外）
		他の自治体や防災関係機関、ドローンに関する関連組織等との災害協定（支援内容、費用負担等）の締結

		運航時の周辺環境における運航上の許容範囲等、機体の健全性を担保するための指標の検討
		医薬品配送ガイドラインの改善の方向性 ・対象医薬品を劇薬まで拡大 ・医療費控除対象への配送費の追加
		ドローンによる物品輸送の実運用に関する標準運送約款等への反映

無人航空機の目視外飛行（レベル 4）における運航管理システムの社会実装を実現するにあたっては、ビジネス的に成り立つことが重要である。そのためには、今後さらなる運航管理システムの機能・性能の向上、無人航空機の持続可能な運航方法の確立並びに法規制の制定・緩和が必須となることから、これら 3 つの観点に焦点を当てて検討・対応事項を整理した。

まず運航管理システムの機能・性能については、安全性を担保しつつ、ビジネスとして成立させるためのコスト削減を実現できる環境整備や、効率的且つ効果的にアラートを受け取れる仕組みの構築、LTE の通信環境を安価に提供、把握できる仕組みの検討が必要とされている。現状、従来のドローン運航によって生じるオペレーション等にかかる人件費は、コスト構造上、オペレーションコスト全体に占める割合の半分以上にあたることが本事業から判明している。運航管理システムの導入によって、各種申請・登録の簡略化や飛行中の補助者削減等の省人化が実現されることにより、人件費を中心とした費用削減効果が見込まれる。アラートについては、近接機体の状況等のアラート通知に関する仕様（基準高度、閾値）が、接続するシステムによらず規格統一されることが望まれている。緊急着陸が必要なケースやクリティカルアラートの際には、ユーザ側で瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示が求められる。また、ドローン運航上で必要な LTE の通信環境については、局所的な地域環境の違いや飛行中における地理的状況の変化に伴う電波の途絶等が生じたことにより、飛行ルートの変更を余儀なくされるケースが発生した。これについては、電波調査シミュレーションにかかる補助制度等により、安価に把握できる仕組みの検討が望まれる。

次に、無人航空機の持続可能な運航方法の確立については、スムーズな運航体制構築に向けた自治体のサポートや操縦者 1 人に対する複数機運航の実現が必要である。事業者の参入を円滑化するため、自治体によってバラつきのある受け入れ体制の構築が必要である。自治体と地域住民と併せた社会受容性を醸成していく観点からも、今後も密な連携が求められる。現状では、一つの機体をオペレータと複数の補助者で運用している。運航管理システムの実現によって、複数機体を 1 人のオペレータで運航可能とするための体制が構築されることで、目視外での自動・自律運航や高頻度・高密度運航が可能になり、ビジネスの拡大にも繋がる可能性がある。

尚、災害時には、運航管理の主体や方法が平常時と異なるため、災害対応にかかる運用体制、災害時の利用プロセス、民間企業等との役割分担等の基本事項について、災害対応の基本計画の整備等への対応が求められる。

法規制の制定・緩和については、安全且つ公平なドローン運航環境の整備が求められる。多数のドローンが安心安全に運航するためには、動態情報の管理や、衝突回避等のリスク低減、また責任所在の明確化やルール整備等への対応が求められる。無人航空機と有人機においては、相互に円滑な運航ができるような動態情報の連携方法の確立が求められている。そのほかプライバシーの観点から、飛行を制限・禁止すべき空域の情報把握、位置情報等の取得方法から、違反等に対する罰則などの法規制も必要となる。警備など秘匿性を保持した状態での運用が求められるユースケースの場合では、運航管理システム上で開示すべきでない情報の取り扱いに関する検討の必要性が挙げられた。運航時における特定事業者による空域の占有を防ぐための罰則規定や優先度、ならびに交渉のルール策定も今後整備されることが期待される。

資料７(4/4)

「ロボット・ドローンが活躍する
省エネルギー社会の実現プロジェクト」

事業原簿【公開】

6.　　目標及び達成状況の詳細（3/3）

6.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム
及び衝突回避技術の開発」

6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

6.3. 研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」

（添付資料）

	担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・ＡＩ部	

―目次―

6.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

6.2.2.1 1）非協調式SAAの研究開発：電波・光波センサ統合技術の開発 6-1761

6.2.2.2 2）協調式SAAの研究開発：正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発 6-1801

6.2.2.3 2）協調式SAAの研究開発：準天頂衛星対応受信機の低消費電力化の研究開発 6-1808

6.2.2.4 3）衝突回避システムの小型化・低消費電力化：
衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発 6-1823

6.2.2.5 4）準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化：
準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発 6-1842

6.3. 研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

6.3.1. デジュール・スタンダード ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
（1）デジュール・スタンダード 6-1860

6.3.2. デファクト・スタンダード 6-1868

6.3.3. ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた
連携・支援体制の構築に係る調査研究事業 6-1933

6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」

6.4.1 海外における空飛ぶクルマの実証事例調査：
空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査 6-1942

6.4.2 空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査：
空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査 6-1953

（添付資料１）プロジェクト基本計画 7-1

（添付資料２）空の産業革命に向けたロードマップ 7-32

（添付資料３）プロジェクト開始時関連資料 7-35

（添付資料４）特許論文等リスト 7-43

6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

6.2.2.1 １）非協調式 SAA の研究開発：

電波・光波センサ統合技術の開発

（実施期間：3 年間（2017 年度～2019 年度））

（実施者：日本無線株式会社　株式会社 SUBARU　日本アビオニクス株式会社　株式会社自律制御システム研究所）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されている。この際、ロボット・ドローンとしての無人航空機がその能力を十二分に発揮するためには自由かつ安全に運航することが必要不可欠であり、有人航空機のパイロットが危険を避けるように衝突回避を実現する小型で高安全なシステムの構築は重要な研究開発要素である。

このため、有人航空機等の衝突回避対象に対して、電波及び光波センサにより回避対象を探知するシステムを構築する。

特に、物流分野、あるいは災害対応を想定すると、以下に示すような課題が挙げられる。

物流分野では、2016 年の宅配便の取扱個数は約 38 億個と 6 年連続で過去最高を更新し、この 10 年で 3 割増加している。個数が増加する理由としては、消費者のニーズの変化やインターネット通販の拡大による小口化及び多頻度化が進んでいることが挙げられるが、併せてトラックドライバーの不足も顕著になってきていることから、一部では遅配も生じている。現在の宅配業界は長時間労働である反面、他業界に比べて賃金が低い状況にあり人手不足に陥っているため、ヤマト運輸は取扱個数の抑制や配達時間の指定を廃止する等を検討するまでになっている。こうした状況を受け課題解決のため、政府は国家戦略特区法改正案を提出する方針で、先端技術の実験に取り組みやすい環境を整備する予定になっており、また 2030 年をめどに完全に無人化する目標が発表された。

千葉市ドローン宅配構想を図 2.2.2.1-1 に示す。

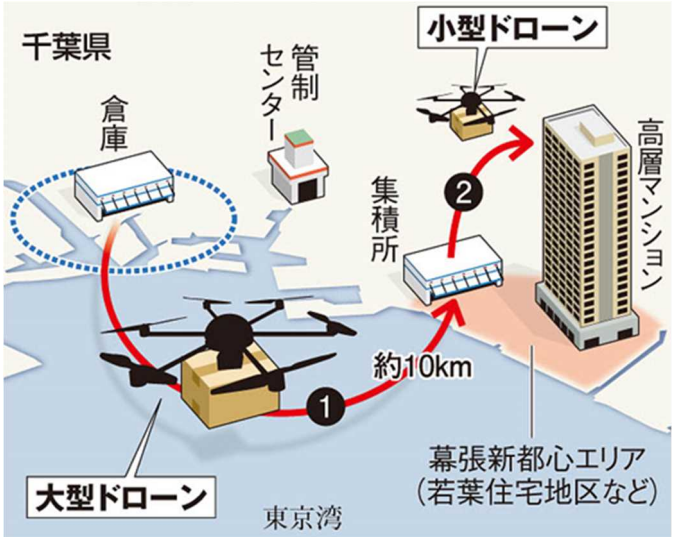
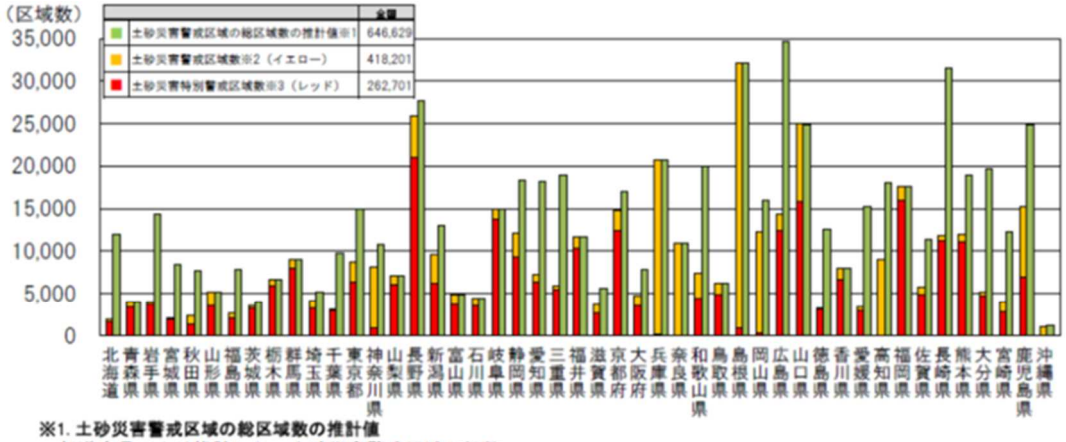


図 2.2.2.1-1 千葉市ドローン宅配構想（出典：朝日新聞 2016 年 4 月 6 日朝刊）

一方、災害対応に関しては、我が国における災害危険個所は国土の広範囲にわたり多数存在しており、地震については、首都直下型（推定値／死者：約 11,000 人、全壊家屋：約 85 万棟、経済損失：約 112 兆円）、東海（推定値／死者：約 9,200 人、全壊家屋：約 26 万棟、経済損失：約 37 兆円）、東南海・南海（推定値／死者：約 18,000 人、全壊家屋：約 36 万棟、経済損失：約 57 兆円）、日本海溝・千島海溝周辺海溝型の主な大規模地震をはじめ、ほぼ国土全域に地震発生の危険性がある。また、土砂災害については、全国に約 65 万か所の警戒区域があり（図 2.2.2.1-2 参照）、年間平均して 1,000 件の土砂災害が発生している。



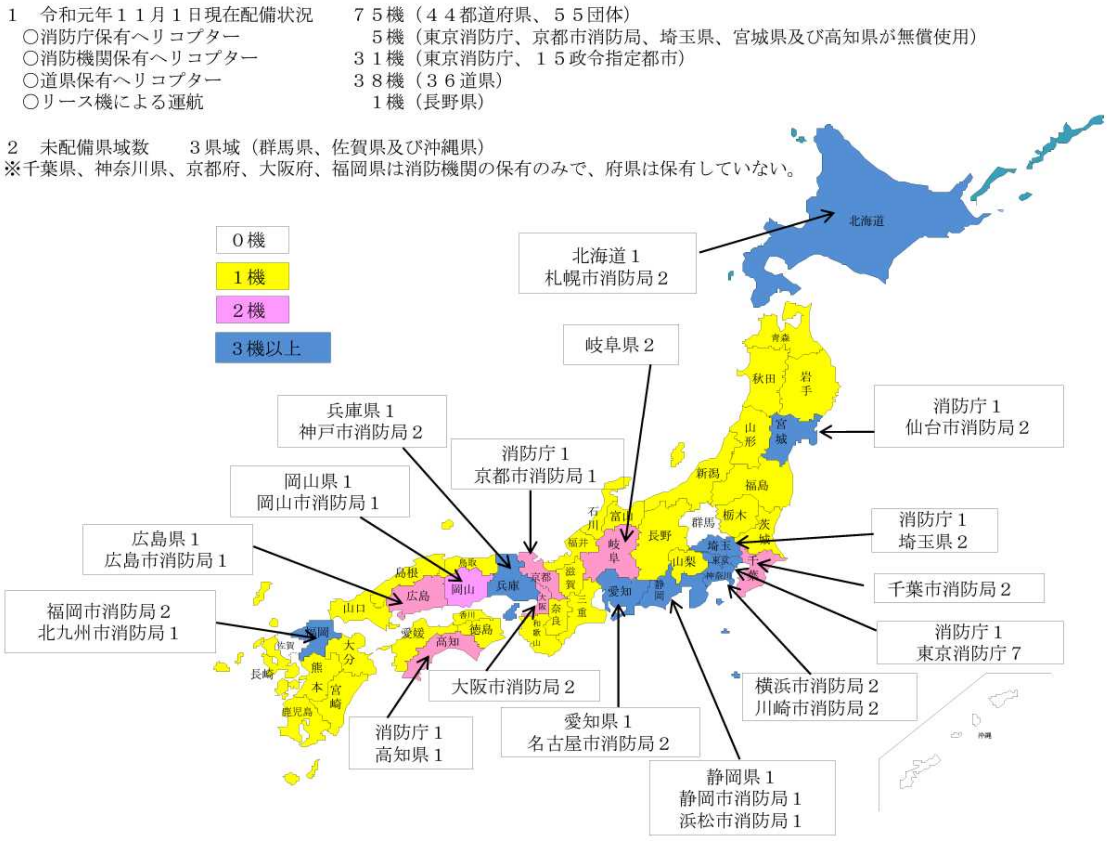
※1. 土砂災害警戒区域の総区域数の推計値
都道府県により推計した、土砂災害警戒区域の総数。
平成27年3月末時点の値であり、基礎調査の進捗に伴い変更の可能性がある。
※2. 土砂災害警戒区域（イエロー：警戒避難体制の整備）（土砂災害防止法） ＜1/2,500の地形図より抽出＞
土砂災害が発生した場合には住民等の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域。
※3. 土砂災害特別警戒区域（レッド：開発行為に対する規制）（土砂災害防止法）
土砂災害警戒区域のうち、土砂災害が発生した場合には建築物の損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域。

http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/guraf-160229.pdf より

図 2.2.2.1-2 全国の土砂災害警戒区域等の指定状況

こういったきわめて広範囲で、高い頻度で災害が発生する危険性がある状況の中で、災害発生時に迅速な被害状況の確認に有効となる航空機の数は極めて限られており、消防防災ヘリについては、75 機（図 2.2.2.1-3 参照）災害派遣に対応可能な防衛省機約 550 機となっている。さらに、有人航空機では、悪天候下における計器飛行方式や、夜間の運用を実施する場合は、それらに対応した設備を有する飛行場を拠点とする必要があり、災害現場への進出に制約が多い。

従って、有人航空機を補完し、迅速かつきめ細やかに災害に対処できる無人航空機が我が国の国民の安全・利便性の向上には不可欠である。



https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-54/01/shiryou2.pdf より
図 2.2.2.1-3 消防防災ヘリコプターの保有状況

上記のように、物流分野や災害対応において、無人航空機の活用が期待されており、飛行回数の爆発的な増加が想定されるが、国土交通省航空局による事故等の情報提供によると、表 2.2.2.1-1 に示すように操縦者の操縦経験や補助者の有無に関わらず接触や接近事例が発生している。事案の報告がないことも考慮すると、より多くの事案が発生していると考えられており、今後増々接触及び接近事案が増加することが懸念される。

表 2.2.2.1-1 無人航空機に係る事故等の一覧（出典：国土交通省航空局）

年（件数）	2015 年（全 12 件）	2016 年（全 41 件）
樹木や電線等の静止物への接触	1	9
ドクターヘリ等の無人航空機への接近	3	1

また、無人航空機を活用して効率よく任務を行うためには、飛行の高速化が必要である。飛行の安全な高速化のためには、樹木を含む地上の障害物や周辺を飛行する有人航空機や無人航空機についても常時把握を行い、衝突を回避する技術が不可欠である。

（２）研究開発目標と根拠

研究開発目標は、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画に示される研究開発内容に基づいて設定した。

この研究開発内容の抜粋を次に示す。

◎「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画からの研究内容の抜粋

【別紙１】研究開発計画

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

2.研究開発の具体的内容

(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

無人航空機が地上及び空中の物件等（地形、樹木、建造物、有人航空機、無人航空機、鳥及び悪天候等）を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術（いわゆるSense And Avoid（SAA)に関する技術）を開発する。

なお、開発する技術は無人航空機の機上に搭載できるものとし、他分野で既に確立されている技術も応用しつつ、本プロジェクト終了時までに当該技術を実装した無人航空機の実用化を目指すものとする。また、開発した技術を(1)無人航空機の運航管理システムの開発 3)運航管理機能の開発（離島対応）に提供し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した飛行試験に協力する。

1)非協調式 SAA

無人航空機に搭載された各種センサ（光学カメラ、LIDAR、レーダ等）からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、他の情報（気象、機体の飛行性能等）も加味した上で、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術を開発する。

例えば、飛行中の有人航空機や他の無人航空機、低高度飛行の妨げとなる送電線（高圧鉄塔間に加えて電柱間等の細径の電線を含む）及び飛行に大きな影響を与える悪天候等を検知するセンサ、ならびに当該センサを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える無人航空機に搭載可能な演算ボードやフライトコントローラ等を含む非協調式 SAA システムを開発する。

2)協調式 SAA

有人航空機及び無人航空機、無人航空機同士が、飛行中の飛行情報（高度、位置、速度等）を相互に通信し共有することで衝突回避する技術を開発する。

例えば、カメラ等の情報と地図情報の照合等により高精度な測位を実現するための準天頂衛星システムを利用した無人航空機に搭載可能な協調式 SAA システムを開発する。

研究開発目標を表 2.2.2.1-2 に示す。

表 2.2.2.1-2 研究開発目標

項　目	研究開発目標
電波センサ	・5km 以内の範囲にある相対速度 200km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できるシステムを開発する。 ・無人航空機に搭載するための事前検証を完了し、衝突回避を行うための有人航空機の探知を少なくとも 1 回以上実証する。 ・福島ロボットテストフィールド等において、5km 以内の範囲にある相対速度 100km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できることを実証する。
光波センサ	・飛行環境において、衝突回避対象を正対して距離 1km で認識が可能であり、距離 500m で 2 種の衝突回避対象の識別が可能なことを検証する。
探知ロジック	・相対速度 200km/h 以上の衝突回避が可能なシステムを開発する。 ・福島ロボットテストフィールド等において相対速度 100km/h 以上での有効性を飛行試験において検証する。
高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避	・衝突回避用光学センサの搭載及び動作検証を行う。 ・福島ロボットテストフィールド等において、相対速度 100km/h での有効性を飛行試験において検証する。

また、研究開発目標を設定した根拠を表 2.2.2.1-3 に示す。

表 2.2.2.1-3 研究開発目標設定の根拠

項　目	研究開発目標
電波センサ	■電波を利用して目標を探知、測距するレーダは、現在も交通、航空分野において様々に活用されている。 ■船舶に対しては、国土交通省令第八四号「船舶設備規程」においてレーダの搭載が義務付けられており、ある種の船舶に対しては自動物標追跡装置、自動衝突予防援助装置の機能も要求され、航行安全に寄与している。 ■航空機に関しては、前方の雨の範囲を検知する気象レーダが搭載され、安全航行に寄与している。 ■自動車についても安全運転支援システムのセンサとして近年レーダが注目され、研究や一部実用化も進められている。 ■これらの既存技術を航空機の衝突回避に応用、適用する場合、以下のような課題がある。 ・船舶用レーダは大きさや重量の点において、無人航空機程度のプラットフォームに搭載することが難しい。 ・船舶レーダは、プラットフォームならびに対象とする目標の運動が比較的低速であるため、航空機を対象とする場合はデータの更新速度をより高速にする必要がある。
電波センサ	・航空機気象レーダは目標とする対象物が気象すなわち雨雲であるた

（つづき）	め航空機を対象とする場合は信号処理等を新たに開発する必要がある。 ・また、航空機気象レーダは前方のみが監視対象であり、無人航空機で必要となる全周囲観測ができない。 ・車載レーダは探知距離が数百メートルであり、無人航空機が回避行動をとるうえで必要となる探知距離が確保できない。 ■ これらの課題を克服し、船舶レーダよりもデータ更新速度が速く、航空機等の目標物探知に信号処理を特化し、衝突回避行動に必要となる探知距離と観測範囲を有するレーダの開発ならびに評価が必要である。 ■ 他の光学センサや衝突回避アルゴリズムとの整合性を高めた無人航空機衝突回避用レーダを実現することは、今後様々な分野で活躍が期待され、飛行機数の増大が見込まれる無人航空機の分野にとって、安全安心に寄与でき、その効果が我が国発で実証されれば、当該装置の海外への輸出による経済的な効果も期待できる。
光波センサ	■ 可視カメラを利用した技術分野は「コスト・メリット」「小型軽量」の観点から、自動車自動運転技術や小型ドローンの衝突回避技術に活用されており、技術の発展が目覚ましい分野である。 ■ ただし自動車自動運転技術は、車間距離等を考慮して 30-100m 程度の短距離で人物、自動車等の識別を行うことを主体としている。 ■ またドローンの衝突回避技術は、現状のドローンの用途が空撮、インフラ点検等、比較的低速で飛行すれば良いものに限られているため、300m 以下の短距離を対象としている。 ■ しかしながら、高速運輸、災害監視等を目的とした大型無人航空機においては、回避対象物体との相対速度を考慮して「長距離で脅威物体の検知・識別を行う」必要がある上、「検知対象物体として有人航空機、無人航空機、ドローン等、空中の脅威物体に特定した特徴量の抽出」を行う必要がある。 ■ 本装置を開発することにより、無人航空機に搭載できる「衝突回避システム」を実現でき、国内民間市場への広がりが期待できると共に、海外への輸出による経済的効果も期待できる。
探知ロジック 探知ロジック（つづき）	■ 航空業界における衝突回避システムは、ADS-B をはじめとする航空機衝突防止装置にみられるような相互通信によるものや地上管制システムからの指示によるもの及び、パイロットの目視により衝突回避を実現している。 ■ 衝突回避システムは近年、自動車業界において、極めて近距離及び低速度における障害物の探知が急速に発展しており、センサの小型化と低価格化が急速に進んでいる。 ■ 無人航空機を想定すると、有人航空機用の衝突回避システムは大型かつ高価であり、自動車用の衝突回避システムは、安価であるが、探知距離が短く無人航空機には適さない。 ■ このため、無人航空機に衝突回避システムを適用するには、パイロットの目視に替わる衝突回避システムであることに加え、装置の小型化及び低価格化が必要である。 ■ 衝突回避するための条件は多種多様であり、小型で低価格化を実現するためには、複数のセンサを適切に組み合わせる必要があり、複数のセンサからの情報を統合するための衝突回避アルゴリズムが必要であ

	る。
高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避	■本開発では、小型無人航空機が衝突回避を可能とする認識システム及びシステムのプロトタイプシステムの開発を目標とする。 ■これまでの飛行から取得されたデータから、小型無人航空機の飛行に適した画像特徴量計算手法を絞り込み、視覚フィードバックによる飛行制御のための高速な特徴点抽出機能を実現する。 ■小型無人航空機の飛行に適した特徴点検出アルゴリズムの開発と、ロバストな認識機能を持つ視覚システムを新たに開発する。 ■また、実際のシステムに容易に組み込み可能な高速ビジョンシステムを開発し、GPU で実装したアルゴリズムの FPGA 化による小型化の検討と実装を行う。 【達成目標】 ■高速時の認識用光波センサの試作、及び GPU による高速演算機能を有する小型軽量高速ビジョンのプロトタイプシステムを搭載し、相対速度 100 km/h 程度での飛行速度における衝突回避を実現することを目指す。 ・フレームレート　30～480fps ・質量（演算装置含）　3kg 程度 ・視野角　60 度 ・解像度　1000～4000 万画素 ・対象物距離　1m～300m ・飛行速度　相対速度 30m/s における視覚フィードバック制御

（３）研究開発スケジュール･実施体制

目標達成に向けた研究開発スケジュール（実施計画書）を表 2.2.2.1-4 に示す。

表 2.2.2.1-4 研究開発スケジュール

（電波センサ：2017 年度）

平成２９年度　開発日程表　（日本無線株式会社）

期間 / 開発項目	平成２９年 ４～６月	平成２９年 ７月～９月	平成２９年 １０月～１２月	平成３０年 １月～３月	開発目標
電波センサ		システム開発 →	→	→	・センサ構成上の各種パラメータの検討に着手していること。
		部分試作レーダ設計製作 →	→	→	・システム開発に資する部分試作の製造を完了し、各種パラメータの確定に着手していること。
			１次試作レーダ設計製作１ →	→	・信号処理の開発に資する１次試作に着手していること。
			試験治具設計製作１ →	→	・部分試作、１次試作と併せて使用する試験治具の製作に着手していること。

（電波センサ：2018 年度）

平成３０年度　開発日程表　（日本無線株式会社）

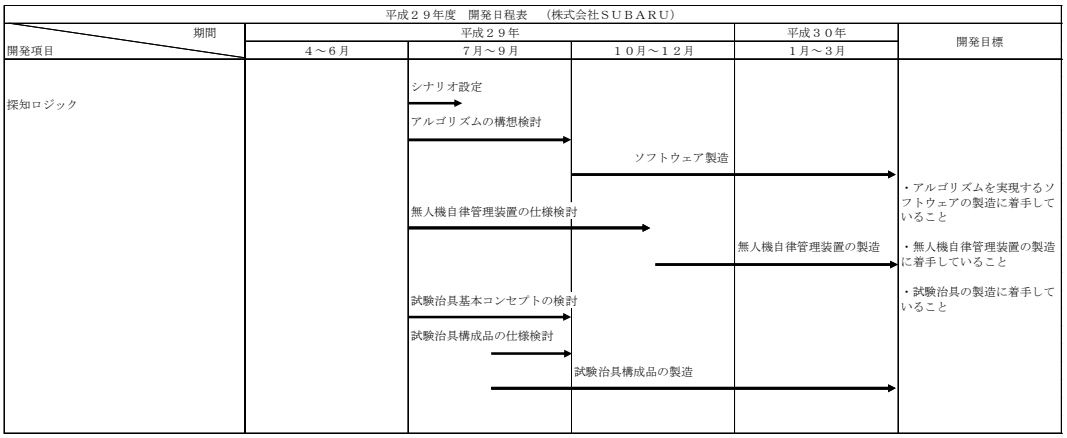
期間 / 開発項目	平成３０年 ４～６月	平成３０年 ７月～９月	平成３０年 １０月～１２月	平成３１年 １月～３月	開発目標
電波センサ	１次試作レーダ設計製作２ →				・試作機の製造を完了させ、地上において動作可能な状態とする。
		２次試作レーダ設計製作 →	→	→	・シミュレーション等により、５ｋｍまでの計測が可能な状態とする。
		試験治具設計製作２ →	→	→	・無人機自律管理装置とのインターフェースを確立し、地上における実証試験を行う。
			地上連接試験結果の課題反映 →	→	・レーダ方式（機械回転／電子走査、変調方式、信号処理等）について検討をおこない、システム設計を完了する。

（電波センサ：2019 年度）

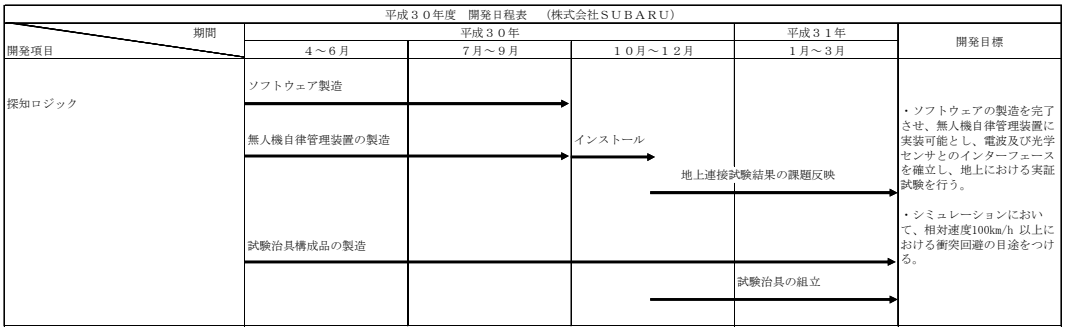
平成３１年度　開発日程表　（日本無線株式会社）

期間 / 開発項目	平成３１年 ４～６月	平成３１年 ７月～９月	平成３１年 １０月～１２月	平成３２年 １月～３月	開発目標
電波センサ	試作レーダ改造 →		試作レーダ改造 →		・5km以内の範囲にある目標が、1kmに接近するまでには探知できるシステムを開発する。
		データレビュー →	→	データレビュー →	・福島県のロボットテストフィールド等において、5km以内の範囲にある目標が、1kmに接近するまでには探知できることを、飛行試験において検証する。

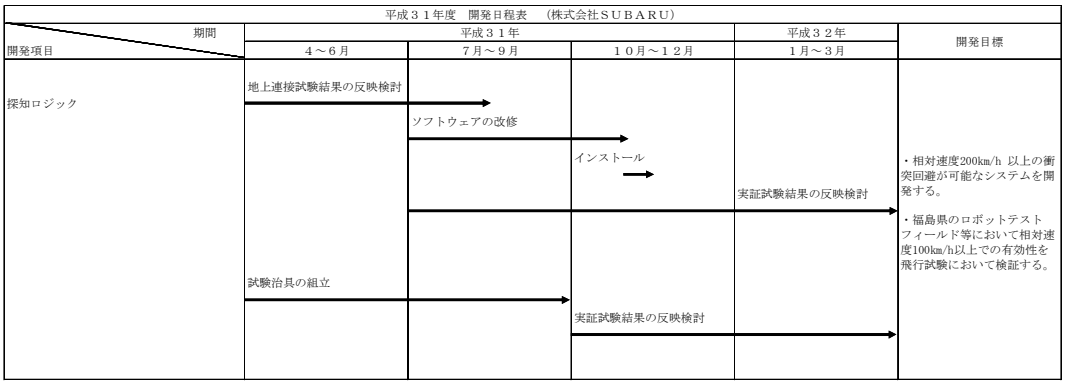
（探知ロジック：2017 年度）



（探知ロジック：2018 年度）



（探知ロジック：2019 年度）



（光波センサ：2017 年度）

平成２９年度　開発日程表　（日本アビオニクス株式会社）

開発項目 ＼ 期間	平成２９年 ４～６月	平成２９年 ７月～９月	平成２９年 １０月～１２月	平成３０年 １月～３月	開発目標
光波センサシステム開発					
（１）物体認識・識別					
アルゴリズムの具現化 ・最適アルゴリズム選定		→	→		・アルゴリズムのH／W落とし込みを実施 ・システム開発要件を整理し、最適アルゴリズムを選定する。
・ソフトウェアベース 有効性検証			→	→	・ＰＣシミュレーションにより有効性検証と各種パラメータを確定
・ＦＰＧＡ　ＩＰ製作（その１）				→	・アルゴリズムの内対象物体特徴量抽出部分のハードウェア（ＦＰＧＡ　ＩＰ）を製作する。

（光波センサ：2018 年度）

平成３０年度　開発日程表　（日本アビオニクス株式会社）

開発項目 ＼ 期間	平成３０年 ４～６月	平成３０年 ７月～９月	平成３０年 １０月～１２月	平成３１年 １月～３月	開発目標
（１）物体認識・識別					
アルゴリズムの具現化 （続き）					
・ＦＰＧＡ　ＩＰ製作（その２）	→	→			・衝突脅威となる物体の認識・識別アルゴリズムの有効性を検証し、ハードウェアへの落とし込み一式を完了する。
・ＦＰＧＡシミュレーション とロジック修正		→	→		・前述アルゴリズムを実装したハードウェアを含む、無人航空機搭載用の画像処理装置１式の設計・製造を完了し、汎用カメラ接続により、地上環境において、模擬物体を正対して距離１ｋｍで認識が可能であり、距離500ｍで２種の模擬物体の識別が可能なことを検証する。
（２）画像処理装置の試作					
・基本設計	→				
・詳細設計		→			
・試作製造			→		
・器材評価			→	→	

（光波センサ：2019 年度）

平成３１年度　開発日程表　（日本アビオニクス株式会社）

開発項目 ＼ 期間	平成３１年 ４～６月	平成３１年 ７月～９月	平成３１年 １０月～１２月	平成３２年 １月～３月	開発目標
（３）実証試験結果の反映					
・飛行試験準備 試験計画立案 機材準備	→	→	→		
・飛行試験（福島）		→	→		・飛行実証試験の結果により、前述物体認識・識別アルゴリズムまたは、画像処理装置へのフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。
・改善・改修計画立案 飛行試験データレビュー 改修計画立案			→		
・改修設計・シミュレーション			→	→	・飛行環境において、衝突回避対象を正対して距離１ｋｍで認識が可能であり、距離500ｍで２種の衝突回避対象の識別が可能なことを検証する。
・再実証試験データ レビュー				→	

（高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2017 年度）

平成２９年度　開発日程表　（株式会社自律制御システム研究所）

開発項目＼期間	平成２９年 ４～６月	平成２９年 ７月～９月	平成２９年 １０月～１２月	平成３０年 １月～３月	開発目標
①アルゴリズム設計・実装					
障害物検知システムの開発					
既存ハードウェアの選定・実装		→			・ホバーまたは静止している機体の認識
アルゴリズム設計		→			
検証・修正			→	→	
軌道予測アルゴリズムの開発					
アルゴリズム設計					
検証・修正					
回避アルゴリズムの開発					
航法規則の策定					
アルゴリズム設計					
検証・修正					
②ハードウェア開発					
センサ系統（光波）					・センサ系統の要件定義
要件定義		→			
試作			→	→	・センサ系統の試作を行いデータ取得及び機体との接続
検証・修正					
GPU					・GPUの要件定義
アルゴリズムのFPGA化			→	→	
検証・修正					・GPUにて基本アルゴリズムの構築
③システム全体の統合・修正					

（高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2018 年度）

平成３０年度　開発日程表　（株式会社自律制御システム研究所）

開発項目＼期間	平成３０年 ４～６月	平成３０年 ７月～９月	平成３０年 １０月～１２月	平成３１年 １月～３月	開発目標
①アルゴリズム設計・実装					
障害物検知システムの開発					
既存ハードウェアの選定・実装					
アルゴリズム設計					
検証・修正					
軌道予測アルゴリズムの開発					
アルゴリズム設計	→	→			
検証・修正			→	→	
回避アルゴリズムの開発					
航法規則の策定			→	→	・衝突回避用光学センサの搭載及び動作検証
アルゴリズム設計					
検証・修正					・相対速度40km/hにおける機体認識
②ハードウェア開発					
センサ系統（光波）					
要件定義					
試作	→	→			
検証・修正			→	→	
GPU					
アルゴリズムのFPGA化			→	→	
検証・修正	→	→			
③システム全体の統合・修正					
実証試験		→	→		

（高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2019 年度）

平成３１年度　開発日程表　（株式会社自律制御システム研究所）

開発項目＼期間	平成３１年 ４～６月	平成３１年 ７月～９月	平成３１年 １０月～１２月	平成３２年 １月～２月	開発目標
①アルゴリズム設計・実装					
障害物検知システムの開発					
既存ハードウェアの選定・実装					
アルゴリズム設計					
検証・修正					
軌道予測アルゴリズムの開発					
アルゴリズム設計					
検証・修正					
回避アルゴリズムの開発					
航法規則の策定	→	→			・福島ロボットテストフィールド等において、相対速度100km/hにおける機体認識及び衝突回避を少なくとも１回以上実証
アルゴリズム設計	→	→			
検証・修正			→	→	
②ハードウェア開発					
センサ系統（光波）					
要件定義					
開発	→	→			
検証・修正			→		
GPU					
アルゴリズムのFPGA化	→	→			
検証・修正			→	→	
③システム全体の統合・修正	→	→	→	→	
実証試験		→	→		

研究開発の実施体制を図 2.2.2.1-4 に示す。

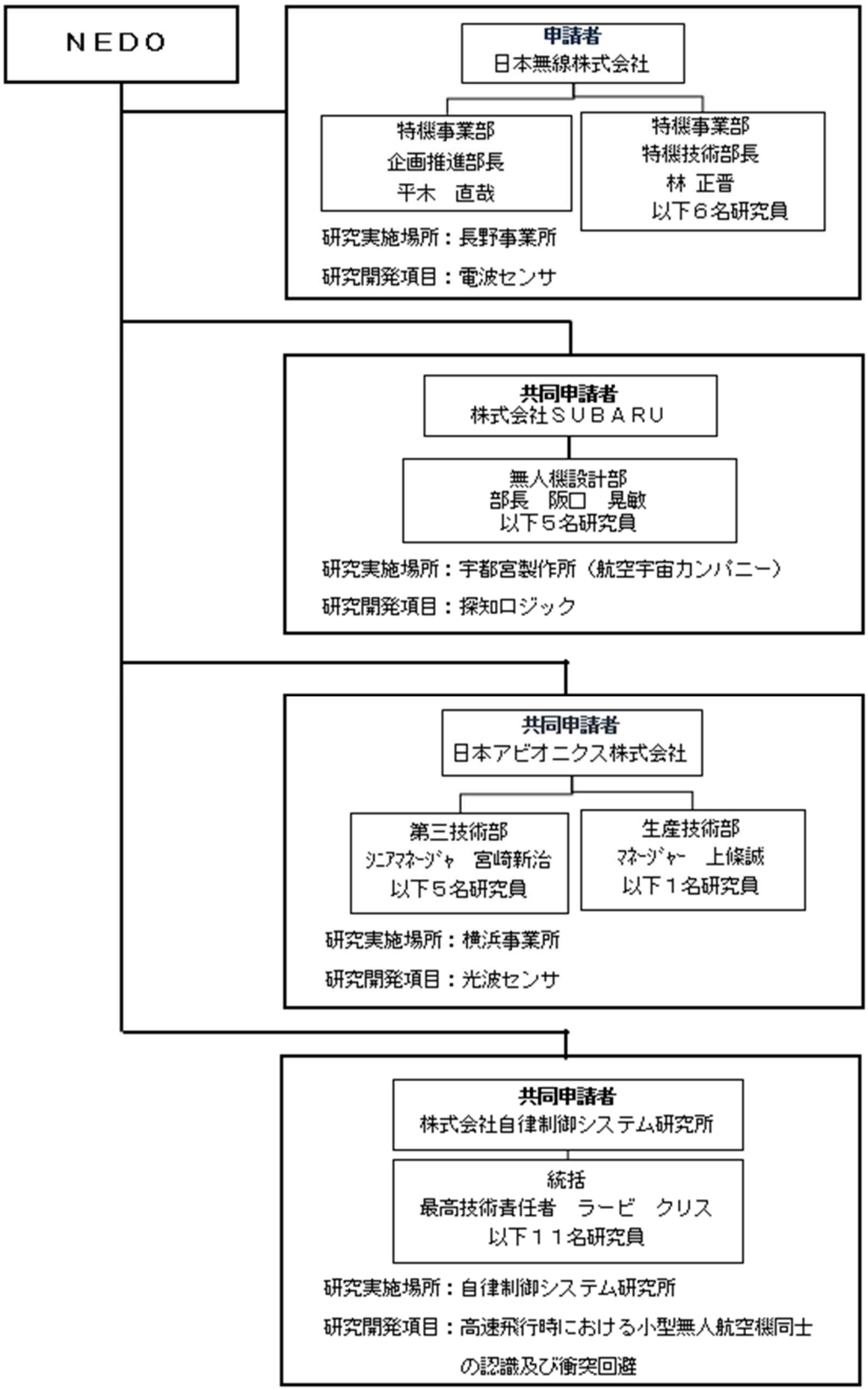


図 2.2.2.1-4 研究開発の実施体制

（４）研究開発の達成状況

4.1 電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

相対速度 100km/h で飛行する有人ヘリコプターを 5km 以遠で探知する事ができた。

最終目標	成果	達成度	備考
・5km 以内の範囲にある相対速度 200km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できるシステムを開発する。	・5km 以内の範囲にある相対速度 200km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できるシステムを開発できた。	○	
・無人航空機に搭載するための事前検証を完了し、衝突回避を行うための有人航空機の探知を少なくとも１回以上実証する。	・福島ロボットテストフィールド等において、無人航空機に搭載するための事前検証を完了し、衝突回避を行うための有人航空機の探知を実施し、有人航空機が探知できる事を確認した。	○	
・福島ロボットテストフィールド等において、5km 以内の範囲にある相対速度 100km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できることを実証する。	・相対速度 100km/h で飛行する有人ヘリコプターを 5km 以遠で探知する事ができた。また、取得したデータを用いて処理アルゴリズムを解析した結果、相対速度 200km/h でも検出可能であることを確認した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

有人機を離隔距離 1km で安定的に探知可能な光波センサを開発した。また、離隔距離 500m で「有人機」／「有人機以外」を識別可能であることをシミュレーションにより達成した。

最終目標	成果	達成度	備考
・飛行環境において、衝突回避対象を正対して距離 1km で認識が可能であり、距離 500m で 2 種の衝突回避対象の識別が可能なことを検証する。	・探知性能（認識）としては、模擬物体として設定した有人機を離隔距離 1km で安定的に探知することに成功した。 ・また、識別性能としては、離隔距離 500m で「有人機」又は「有人機以外」であることを識別することに成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.3 探知ロジック（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ）

相対速度 200km/h の非協調衝突回避が可能な探知ロジックを開発し、これを中型無人航空機に実装して、相対速度 100km/h での有効性を飛行試験において検証した。

最終目標	成果	達成度	備考
・相対速度 200km/h 以上の衝突回避が可能なシステムを開発する。	・相対速度 200km/h で接近する有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できる探知ロジックを開発しハードウェアに実装し	○	

	た。		
・福島ロボットテストフィールド(以下､｢福島 RTF｣)等において相対速度 100㎞/h 以上での有効性を飛行試験において検証する。	・福島 RTF 及び愛知県豊川市において飛行試験を実施し、相対速度 100㎞/h に対する非協調衝突回避を実証した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.4 高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避

（実施者：株式会社自律システム研究所：現_株式会社ＡＣＳＬ）

福島 RTF で実施した飛行試験において、相対速度 100㎞/h で飛行する有人航空機を自動検知することに成功した。また、衝突回避試験を実施し成功した。

最終目標	成果	達成度	備考
・福島ロボットテストフィールド等において、相対速度 100㎞/h での有効性を飛行試験において検証する。	・衝突回避のアルゴリズムを開発、光波センサを搭載するハードウェアを製造、福島 RTF において行われた高速移動する対象機の探知試験を実施し､100㎞/h で飛行する有人航空機を自動検知することに成功した｡また､衝突回避試験も実施して衝突回避に成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
(2)無人航空機の衝突回避技術の開発
／1)非協調式 SAA の研究開発／電波・光波センサ統合技術の開発

5.1.1. 「電波センサの評価」（実施者：日本無線株式会社）

(1) 主要性能

開発した電波センサの主要性能を表 2.2.2.1-5 に示す。

表 2.2.2.1-5 電波センサ主要性能表

項目	性能	達成度	備考
探知性能	相対速度100km/hで飛行する有人ヘリコプターを5km以遠で探知可能	○	相対速度 200km/h まで処理可能
消費電力	70W以下	○	
サイズ	30,000cm^{3}以下	○	
重量	5kg（防振具除く）以下	○	

(2) 系統図

開発した電波センサの系統図を図 2.2.2.1-5 に示す。

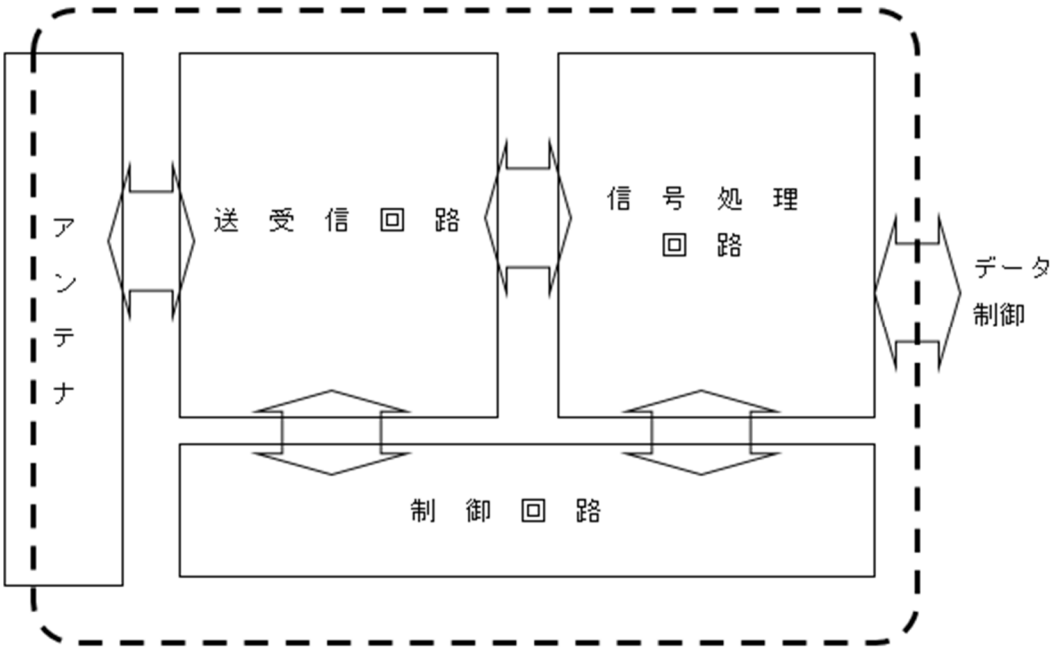


図 2.2.2.1-5 電波センサ系統図

(3) 機能確認

2018 年度は地上試験を中心に評価試験を実施した。試作した電波センサの無線局免許を取得した上で、地上で取得したデータを PC でオフライン処理することで、信号処理アルゴリズムの開発／検証を実施した。図 2.2.2.1-6 は長野市滑空場での実験風景であり、図 2.2.2.1-7 は長野市滑空場で実施した地上試験の結果を示している。



図 2.2.2.1-6 長野市滑空場での実験風景

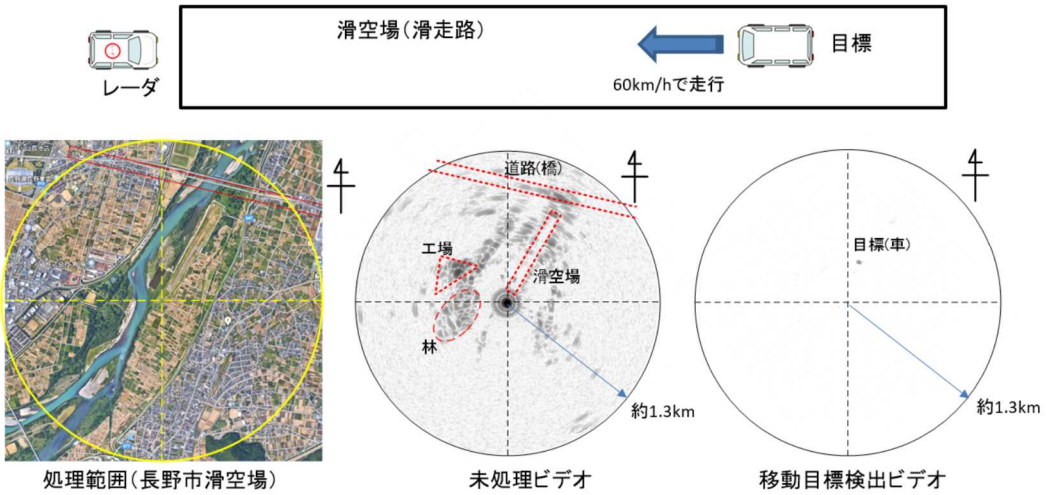


図 2.2.2.1-7 長野市滑空場で実施した地上試験の結果

(4)　性能評価

2019 年度は信号処理アルゴリズムを実装した性能評価用の電波センサを製作し、実験無線局の免許を取得した。図 2.2.2.1-8 は試作した電波センサの外観を示している。



Ⅲ2.2.2.1-8 試作した電波センサ

電波センサを中型無人航空機に取り付け、目標として有人ヘリコプター実機を使用して飛行試験を実施し、取得したレーダの出力データをプロットして評価した。図 2.2.2.1-9 は電波センサの出力データをプロットした一例である。



目標：有人ヘリコプター

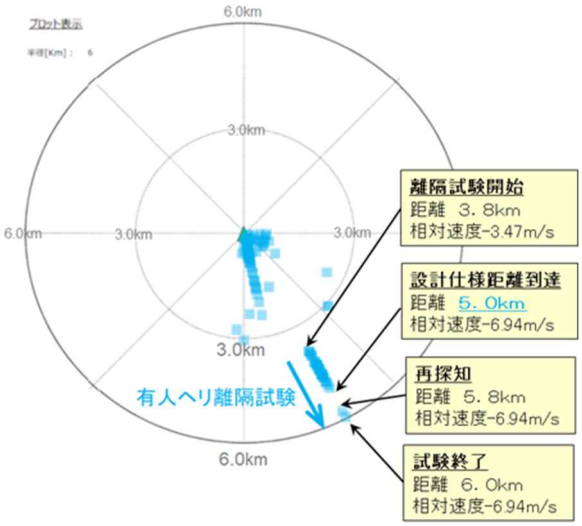


図2.2.2.1-9電波センサの出力データをプロットした例

更に、信号処理を最適化する事により、図 2.2.2.1-10 のレーダ管理装置検出結果に示す通り、目標となる有人ヘリコプターのみを検出結果として表示する事ができる様になった。

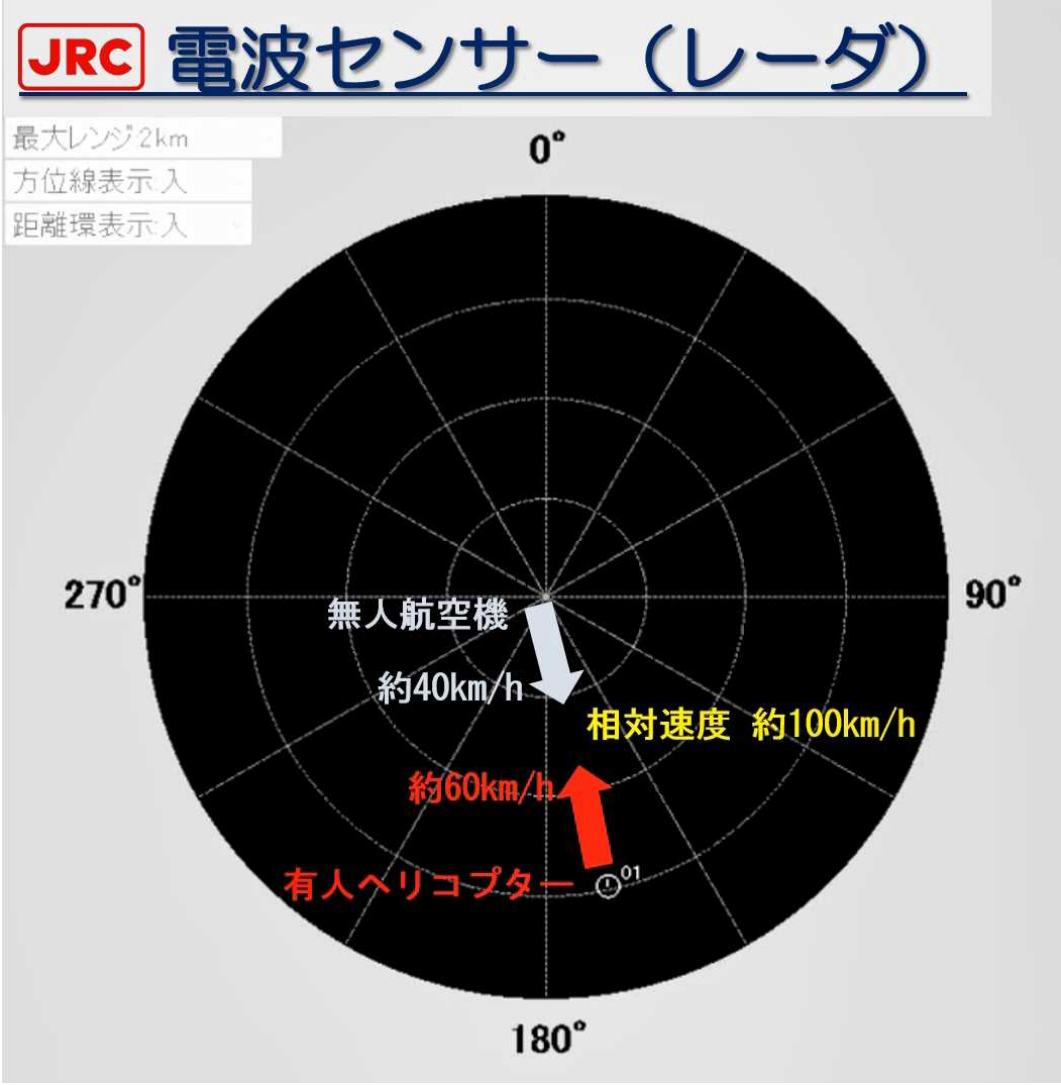


図 2.2.2.1-10 レーダ管理装置での検出目標表示例

以上の実験結果及び取得データを解析した結果、地上のビル等の固定物を取り除き、相対速度 100km/h 程度で移動する目標が検出可能であることを確認した。また、取得したデータを用いて処理アルゴリズムを解析した結果、相対速度 200km/h でも検出可能であることを確認した。

5.1.2. 「光波センサの評価」（実施者：日本アビオニクス株式会社）

(1) 2018 年度までの成果

2018 年度までの成果としては、物体認識・識別アルゴリズムを開発し、光波センサ各ユニットのハードウェア　設計製作を完了。機体振動特性にマッチングした補強および防振機構を搭載、飛行状態において必要解像度・画質の確保を検証した。



図 2.2.2.1-11
前方および全周用光波センサユニット

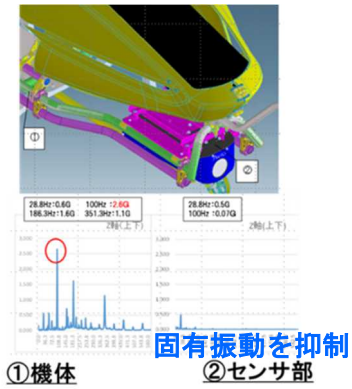


図 2.2.2.1-12
振動実測結果

実空撮映像の処理において背景有利条件では、探知・識別性能の確保ができた。対象距離に依存した識別スコアの変動を改善した。図 2.2.2.1-13 は実空撮映像処理結果と識別スコアのシミュレーション結果を示す。

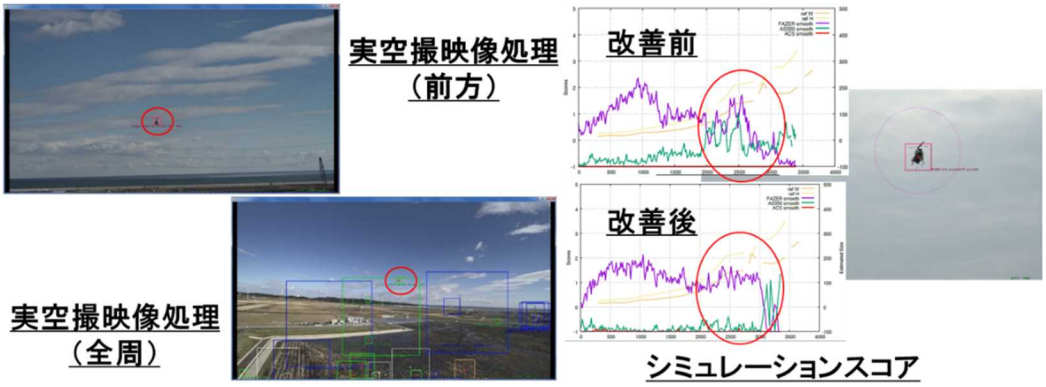


図 2.2.2.1-13 実空撮映像処理結果と識別スコアのシミュレーション結果

2018 年度までの研究においては、以下の課題を得て、解決方法について検討した。

表 2.2.2.1-6 光波センサ課題及び解決法の検討

課題	説明	解決方法
探知アルゴリズム	高輝度地上構造物の影響排除	地上（または海上）と、空の境界処理の改善。 現状の輝度による分離する以外に、地平線、水平線認識等の処理追加
識別アルゴリズム	対象機体の向きに依存する不安定要素の安定化	学習データの改善 更なる学習データ数拡充

(2)　2019 年度の成果

探知性能

探知性能としては、有人機を衝突回避対象とした試験において当初の目標であった、離隔距離 1000m で安定的に探知することに成功した。

図 2.2.2.1-14 の画像は、離隔距離 1000m における有人機探知状態を示し、赤枠が目標を探知していることを示す。赤枠の下にある数値は、SVM を用いた 4 種の識別器のスコアを表す。グラフは、ある飛行試験における前方カメラユニットの探知状況を示す。横軸が離隔距離、縦軸が探知の有無を表しており、離隔距離 1000m 付近で安定的に探知できていることを表している。離隔距離 800m 付近の探知無しは機体姿勢角の変換により画角外となったことによるものである。

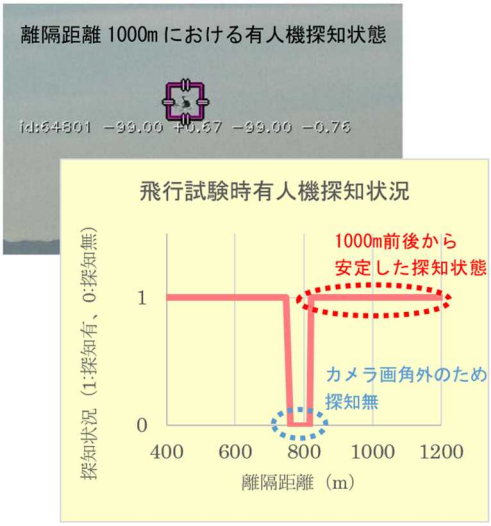


図 2.2.2.1-14
離隔距離 1000m での有人機探知状態

2018 年度までの成果においては、高輝度な地上構造物における探知情報が、脅威機の探知情報や識別結果に悪影響を与えていた。

2019 年度の研究においては、空と地上（又は海上）の境界線を検知することができた。検知した境界を基に処理を分別することにより、脅威機の目標情報に対する高輝度地上構造物や海面の影響を低減することができたため、探知状態の安定性を改善できた。

識別性能

識別性能としても、当初の目標であった、離隔距離 500m で「有人機」又は「有人機以外」であることを識別することに成功した。

図 2.2.2.1-15 の画像は、離隔距離 500m において有人機を有人機と識別している状態と離隔距離 500m において、中型無人機を有人機以外と識別している状態を示す。

4 種の識別器のスコアについて、右から 3 番目が有人機のスコアであり、有人機と識別している状態においては、一番高い値となっていることがわかる。

探知同様に識別においても、高輝度地上構造物や海面の影響を受けており、低減することにより、識別結果を改善できた。

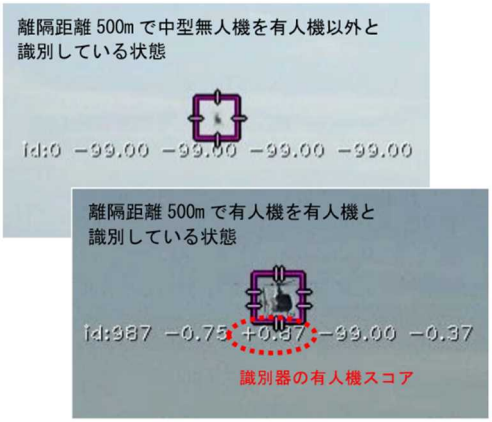


図 2.2.2.1-15
離隔距離 500m での識別状態

その他成果

処理ユニットとしては、耐環境対策を実施した。離島実証実験の長時間飛行を考慮した放熱対策を実施し、運用時間を延長することに成功した。

処理ロジックの更新としては、2018 年度までの研究において未実装であった、全周カメラ処理のカメラ間オーバーラップ領域における物体同定処理の実装を完了した。これにより、カメラ間を移動する脅威機を同一目標として継続して認識することができた。目標情報は、継続して探知している目標の優先順位を高く設定しているため、脅威機の目標情報出力状況が改善した。

また、同様に 2018 年度までの研究において未実装であった、悪天候検知機能（雲密度測定）を実装した。これにより、目標情報と共に雲の分布状況を自律管理装置に出力することができるようになり、地上管理装置において、雲の分布状況を確認可能となった。

悪天候検知機能の検知方法は、全周カメラユニットには左右のユニット合わせて４つのカメラがあり、各カメラ画像について空における左右の雲比率を輝度や色情報から算出（下図の悪天候検知機能実装イメージと同様に空が映ることを想定した固定赤枠内の雲比率を算出）し、目標情報と共に出力する。

現状は、機能個別による評価であるが、自律管理装置の悪天候回避において、情報の活用を想定している。

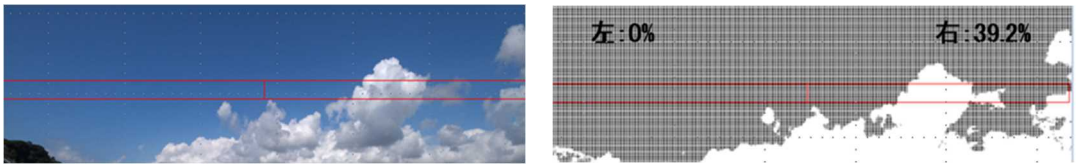


図 2.2.2.1-16 悪天候検知機能実装イメージ

5.1.3. 「探知ロジックの検討」（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ）

(1) 探知ロジックの検討

搭載センサの探知分解能を加味し、脅威機の経路を予測することで安全を確保しつつ、回避手段として、水平旋回に加え、減速・上昇・降下から最適な経路を選択する探知ロジックを構築し、全方位から直線飛行で相対速度 200km/h の有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できる飛行シミュレーション結果を得た。(図 2.2.2.1-17 参照)

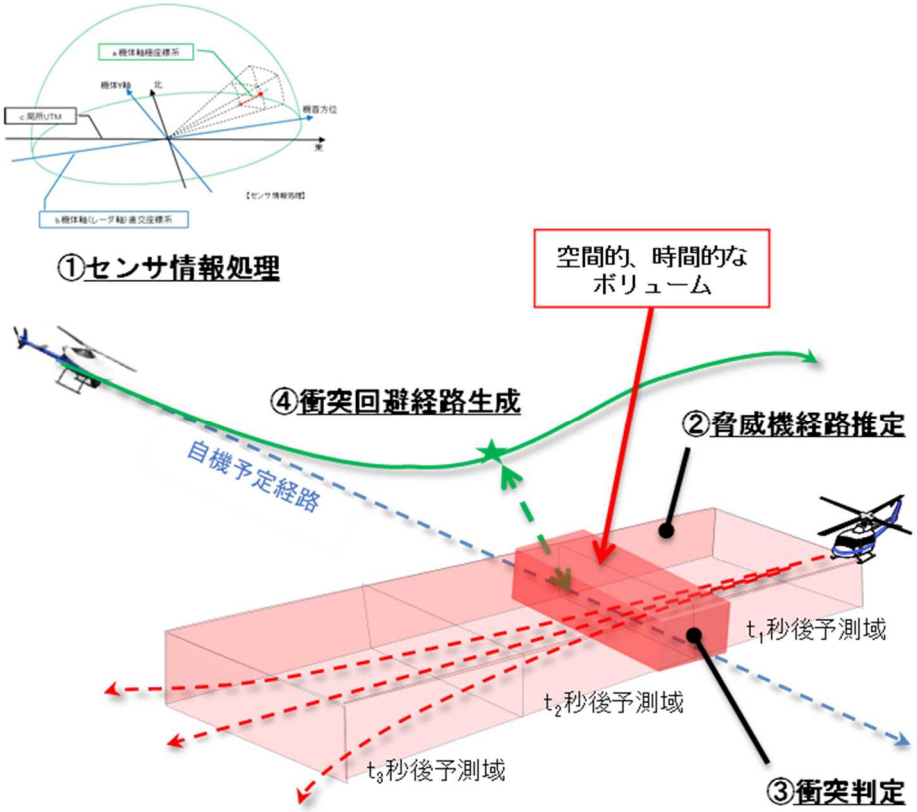
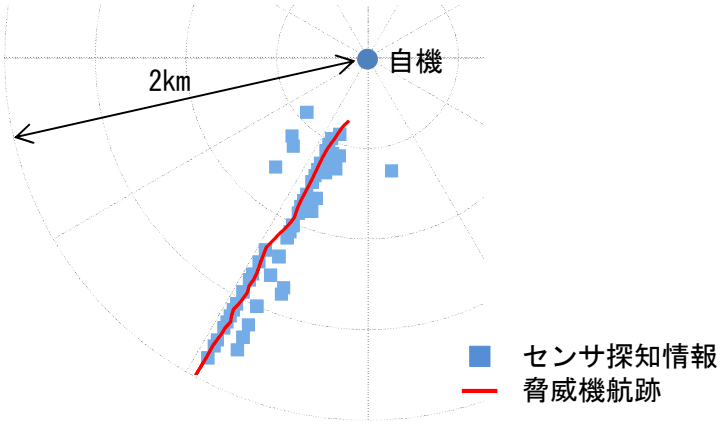


図 2.2.2.1-17 探知ロジック・シミュレーション結果（1/2）

実フィールドでのセンサ探知情報



実フィールドで取得した
センサの探知情報を
探知ロジックへ反映し
シミュレーションを実施

シミュレーション結果

（シミュレーション条件）
・全 312 ケースにて検証
・相対方位：全方位
・交差位置：衝突コース及び非衝突コースの組み合わせ

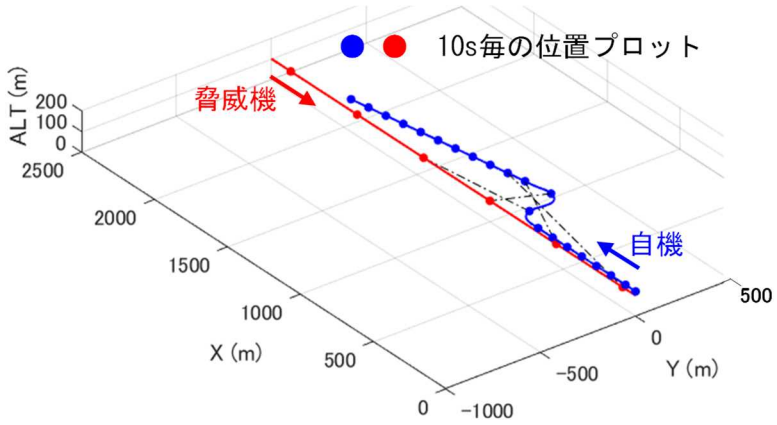


図 2.2.2.1-18 探知ロジック・シミュレーション結果（2/2）

(2) アルゴリズムの開発

有人航空機等の協調・非協調を含めた既存の衝突回避ルールの調査を踏まえ、衝突回避ルールの基本方針を以下の通り整理し、この基本方針に基づき、相対速度 200km/h での衝突回避を実現できるアルゴリズムを開発した。(図 2.2.2.1-19 参照)

【衝突回避ルールの基本方針】

■有人航空機に対し、無人航空機が回避を行う。
■回避行動は、減速、旋回、上昇、降下のいずれかを選択する。
■無人航空機同士は、互いに右へ進路を変更する。

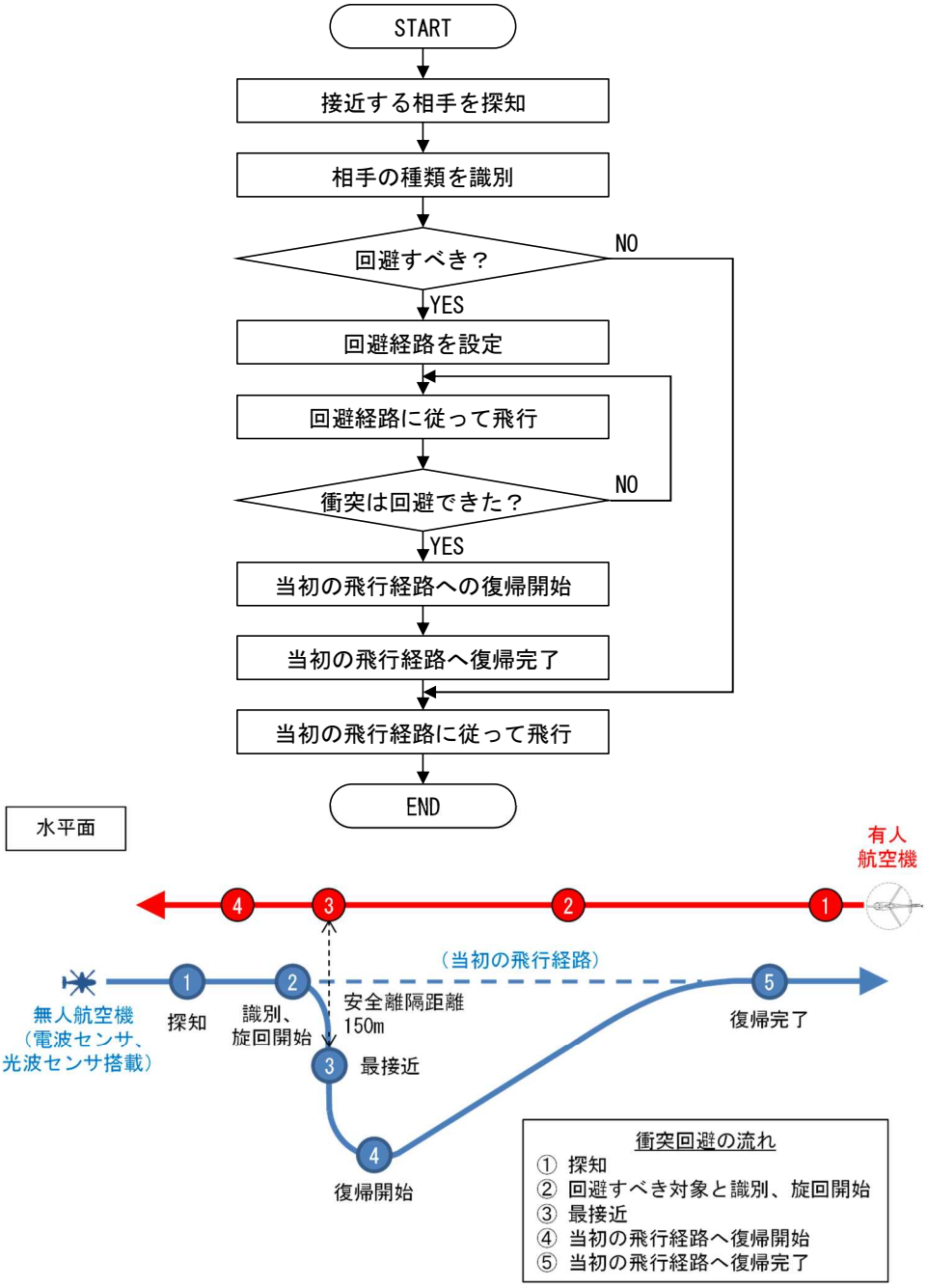


図 2.2.2.1-19 衝突回避アルゴリズム

(3) 搭載ハードウェアの製造

電波センサ及び光波センサから入力されるセンサ情報及び準天頂衛星対応受信機からの自機位置を元に、衝突回避すべき脅威を探知し、旋回・減速・降下／上昇の衝突回避の動作を無人航空機に指示し、衝突回避を実施するための搭載ハードウェア（以下、「自律管理装置」）と搭載センサ等とのインタフェースを明確化して、自律管理装置を製造した。（図 2.2.2.1-20 及び図 2.2.2.1-21 参照）

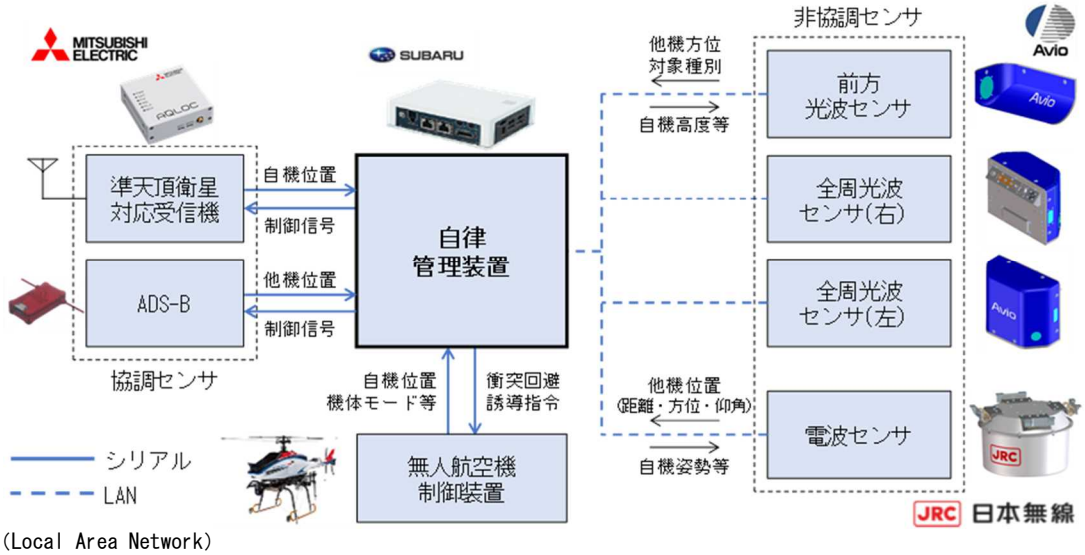


図 2.2.2.1-20 自律管理装置と搭載センサ等とのインタフェース

自律管理装置のハードウェアは、COTS（Commercial Off-The-Shelf）品とし、狭いスペースや厳しい環境に設置可能な、名刺×2 枚サイズの組み込み向けの超小型パソコンを選定して、これに前述の(2)項のアルゴリズムを実現するソフトウェアを実装した。

・長 さ　　：　122mm
・幅　：　93mm
・高　さ　：　41mm
・質　量　：　470g



図 2.2.2.1-21 自律管理装置ハードウェア主要諸元

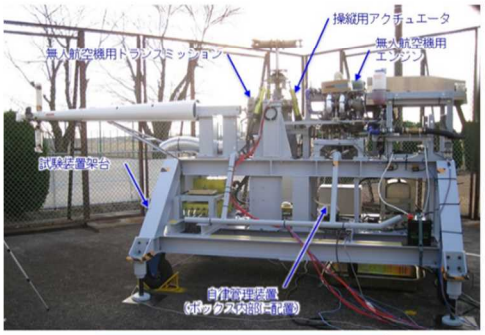
(4)飛行実証試験結果の反映

想定される様々な実フィールドで取得した搭載センサの探知情報を探知ロジックへ反映し、直線飛行で接近する有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できるシミュレーション結果を得て、探知ロジックを確立した。

なお、このシミュレーションは、探知ロジックが将来的に物流や農薬散布などの様々な分野で活用が見込まれる全備重量が 150kg を超え、長時間飛行できるような、大型無人ヘリコプターに対しても正常に機能できることを確認するために、大型無人ヘリコプターを模擬した試験冶具と探知ロジックを実装した自律管理装置を接続して実施した。(図 2.2.2.1-22 参照)

また、2019 年 7 月 21 日から 26 日に福島浜通りロボット実証区域(南相馬市)広域飛行空域において、探知ロジックを含む衝突回避システムを実装した中型無人航空機を飛行させ、相対速度 100km/h で接近してくる有人航空機を探知し、衝突回避を行う機能実証を「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」により実施した。(図 2.2.2.1-23 参照)

・大型無人航空機を模擬した試験冶具と探知ロジックを実装した自律管理装置を接続し、大型無人航空機に対しても探知ロジックが正常に機能できることを確認した。



試験冶具(大型無人航空機を模擬した装置)の外観

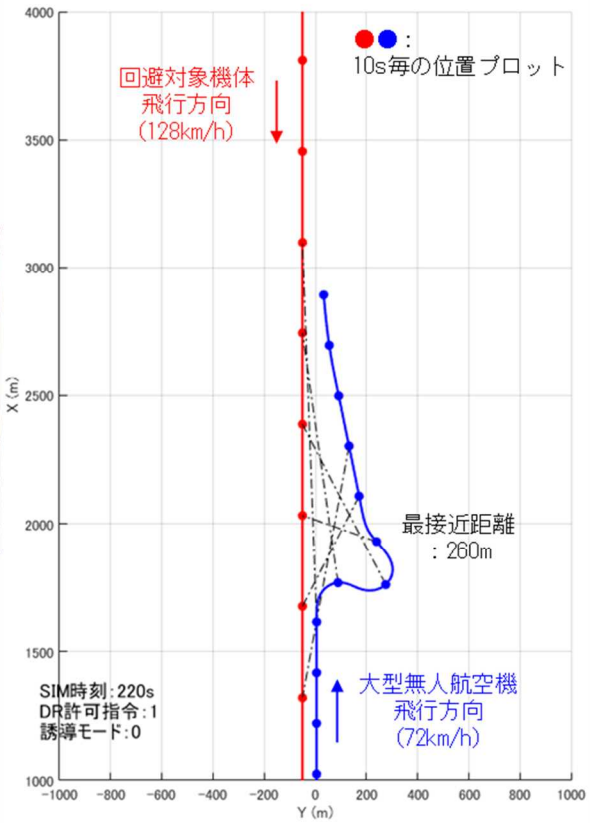


図 2.2.2.1-22 シミュレーション結果
(相対速度 200km/h、回避対象機体正面から接近⇒旋回回避の例)

・相対速度：100km/h
・試験場所：福島 RTF 及び福島浜通りロボット実証区域（南相馬市）広域飛行空域
・飛行試験は、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」により実施した。



衝突回避飛行試験のイメージ

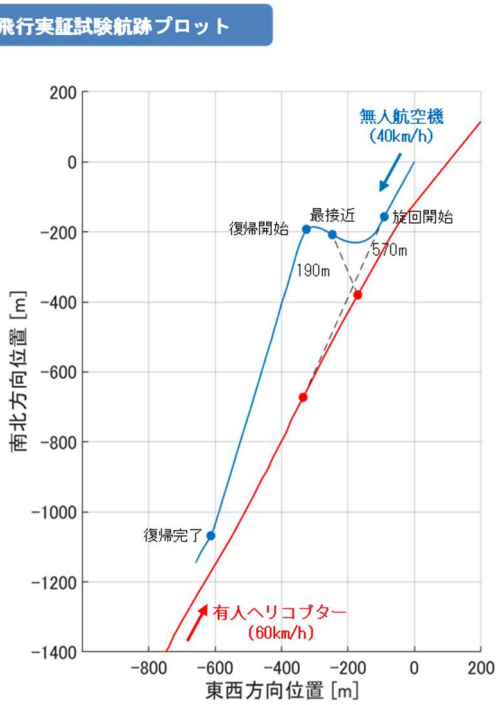


図 2.2.2.1-23 衝突回避飛行実証試験結果

5.1.4. 「高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避」
（実施者：株式会社自律制御システム研究所：現_株式会社ＡＣＳＬ）

(1) 障害物検知センサの選定と障害物検知アルゴリズムの実装

衝突回避に必要な距離を算出し、障害物検知センサ選定のための条件とした。選定にあたっては算出した必要距離を加味した上で複数方式のベンチマークを行い、高速飛行での衝突回避に必要な距離で検知可能な Vision 方式を採用した。

センサー方式	製品名	最大認識距離	角解像度*	更新レート	質量	価格	対象*の検知可能距離
		[m]	[deg]	[Hz]	[g]	[USD]	[m]
Vision	ZED Stereo camera	制限なし	0.6°	30	200	600	95
Radar	Echodyne MESA-DAA	3400	1.0°	1	730	10,000	57
Radar	DroneShield RadarZero	750	1.0° x 3.0°	-	1,250	-	57
LiDAR	Velodyne VLP-16	100	0.1° x 2.0°	20	830	12,000	100
LiDAR	北陽 YVT-35LX	35	0.1° x 2.0°	20	650	6,000	35
			* Visionは認識に必要な20pixelで推定			* 直径1mの小型無人機を想定	

図 2.2.2.1-24 3D 測距センサの比較

遠距離と近距離で異なる処理を組み合わせることで検知性能の向上と早期の回避行動を実現した。まず遠距離での検知においては、遠望カメラレンズを搭載し、対象物を画像認識で一次スクリーニングする。ここでは対象物の早期検知を優先し、距離算出は対象物の基準寸法を元にした近似値を用いる。次に近距離での検知について、まず周囲の環境全体との距離を把握する必要がある。そのために映像内の全ピクセルと自己との距離を対応させ、深度マップを生成する。自動運転などで一般的に用いられる障害物検知アルゴリズムを比較検討し、Center-Symmetric Census Transform と Semi-Global Matching を組み合わせた方法を採用した。

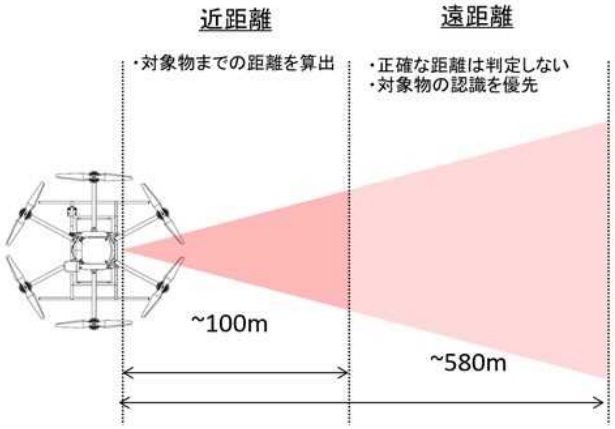


図 2.2.2.1-25 アルゴリズム検知範囲概要図

(2) 搭載ハードウェア製造（光波センサ）

マルチコプター型の無人航空機の高速飛行時の飛行特性を理解するために 2018 年 10 月に大型低速風洞で実際の無人航空機を飛行させる飛行特性検証試験を実施した。

対象物検知のためには加減速時のカメラ視野を水平維持し、振動から防ぐ必要があるため、この試験で得られたデータを基にして高速域でも安定した検知性能を維持可能なカメラジンバルを製造した。



図 2.2.2.1-26 カメラジンバル CAD 図とその可動範囲

開発したアルゴリズムを搭載するためのハードウェアは光波センサ、光波センサ処理装置、光波センサ搭載ジンバルから構成される。

(3)統合・実証・修正・反映

2018 年 12 月に福島ロボットテストフィールドにおいて高速移動する対象機(有人航空機・小型無人航空機)の探知試験を実施した。以下に検知試験結果を示す。

表 2.2.2.1-7 福島ロボットテストフィールドにおける有人機検知試験結果

対象機	有人ヘリ(AS350)正面
飛行速度	100km/h
検知距離	580m
検知画像 (赤枠で示すのが開発したアルゴリズムにより対象物が自動検知された様子)	

表 2.2.2.1-8 福島ロボットテストフィールドにおける無人機探知試験結果

対象機	小型無人機(PF1)
飛行速度	40km/h
検知距離	100m
検知画像 （赤枠で示すのが開発したアルゴリズムにより対象物が自動検知された様子）	

2018 年度の開発及び実証実験により、既に相対速度 40km/h における機体認識及び衝突回避を達成している。最終目標である相対速度 100km/h における機体認識及び衝突回避においては、事業期間内に目標達成に必要な検知・回避に関するアルゴリズムやハードウェアの開発は概ね完了し、2021 年 9 月の実証実験において相対速度 200km/h での衝突回避試験に世界で初めて成功した。

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	－	－	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	1	1	1	－	－	－	3
展示会出展	1	1	0	－	－	－	2
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	－	－	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	－	－	－	0
国内出願	0	0	0	－	－	－	0
外国出願	0	0	0	－	－	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

一般にドローンと呼ばれる小型の無人航空機や、それよりも一回り大きく、より大きなペイロードや長時間の飛行が可能となる大型の無人航空機は、我が国においては、レベル 3 の無人地帯での目視外飛行及びレベル 4 の有人地帯での目視外飛行による「離島や山間部等における荷物配送」、「被災状況の把握及び災害対応活動（救助等）の支援」並びに「都市を含む地域における荷物配送」等の離島間を含む物流や災害対処はもとより、広範囲な分野・用途に利活用されると想定している。

これらの利活用においては、より混雑した空域や通信インフラが十分でない空域での運航が必要となるため、無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する高安全な衝突回避システムを使用できるというニーズは、今後ますます顕在化することが期待できる。

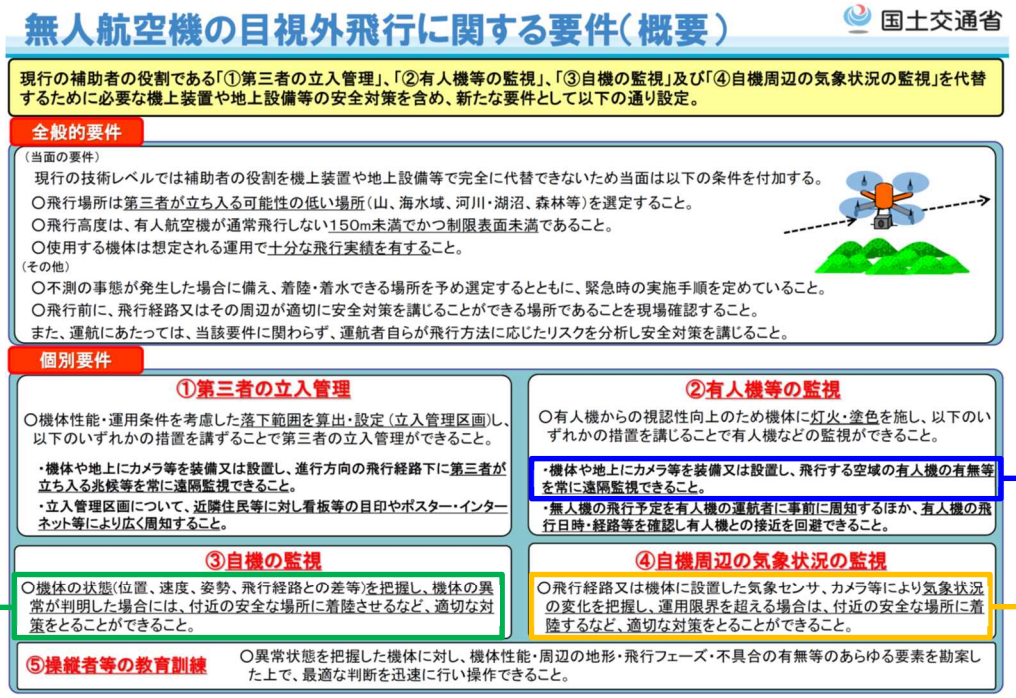
この無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術は、図 2.2.2.1-27 に示すとおり、国土交通省の定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」の目視外飛行に関する要件に対して有効であり、実用化を実現することで成長性が見込まれる。

また、物流や災害対応分野の国内における無人航空機の市場予測は、2022 年時点で年間おおよそ 200 億円の市場規模に拡大すると予想されており（図 2.2.2.1-28 参照）、経済効果も十分に期待できる。

更に、我が国で日常的に運用が可能な安全性・信頼性の極めて高い衝突回避システムを実装した無人航空機が開発できれば、物流や災害対処に限らず、広範囲な用途で、現有の無人航空機に対して高い競争力を発揮し、今後拡大が期待される民間市場の開拓が可能となり、2025 年で約 16 兆円と推定されている米国など海外への輸出による経済的な効果も合わせて期待できる。（図 2.2.2.1-29 参照）

以上より、より小型で安価な衝突回避システムの実用化・事業化を実行することで、本事業の成功が見込まれる。

協調・非協調の衝突回避のセンサで、**飛行経路付近の障害物を探知**し、**衝突回避**もしくは、**緊急的な着陸**を行う



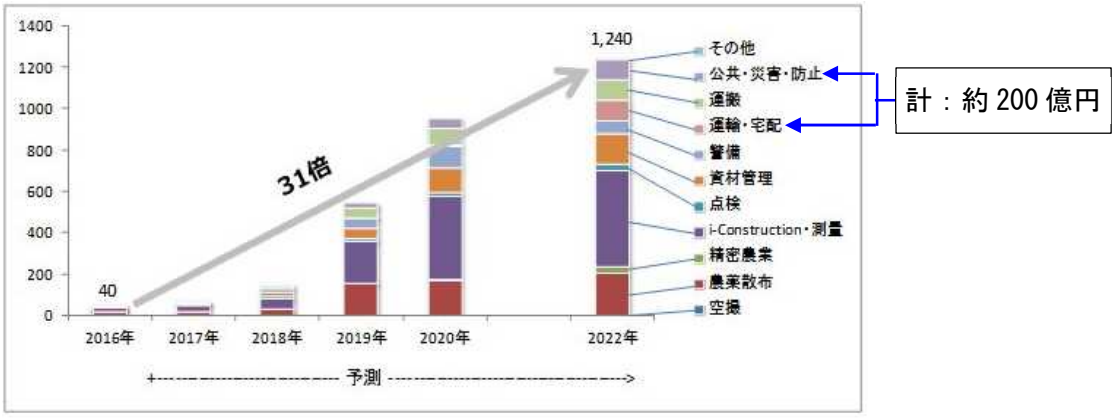
出典：国土交通省ホームページ
https://www.mlit.go.jp/common/001227435.pdf

機上の電波センサ（大型無人航空機）もしくは地上からの情報により**雨雲の接近などを探知**し、**安全な飛行経路に変更**する

飛行中の風速変化により、燃料消費／バッテリ消費が想定外に大きい場合、飛行を中断して**離陸地点に引き返す**

推力の低下、通信の途絶、機体の動揺増加などから故障判定を行い、**最寄の非常着陸地点に着陸**する

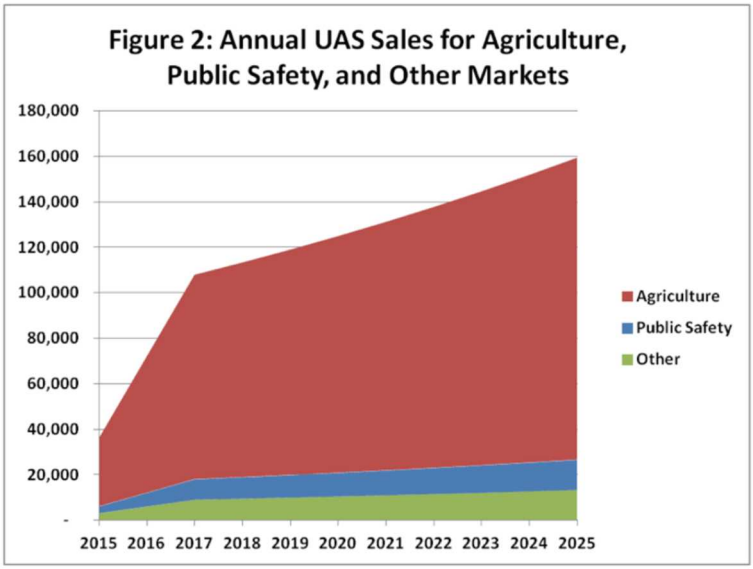
図 2.2.2.1-27 無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術と無人航空機の目視外飛行に関する要件との対応



（シード・プランニング作成）

出典：https://www.lnews.jp/2017/09/j092517.html

図 2.2.2.1-28 物流及び災害対応分野の無人航空機の国内市場規模



出典：

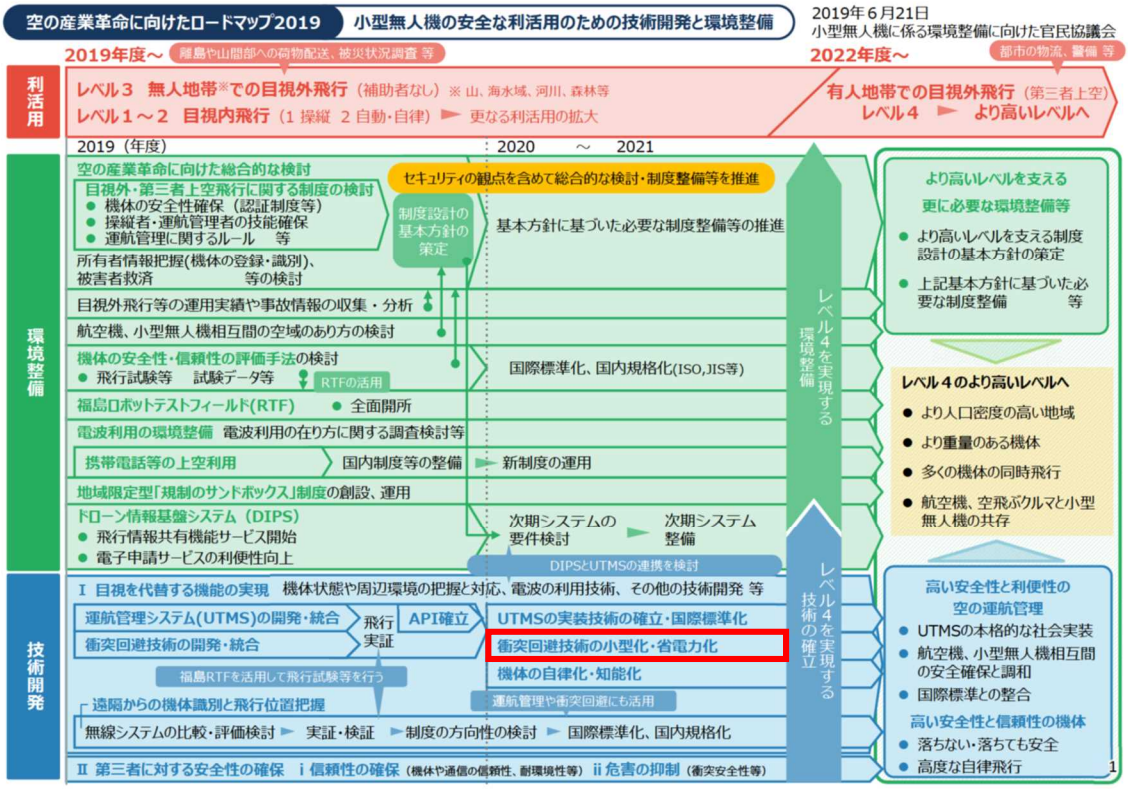
https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf

図 2.2.2.1-29 米国における無人航空機市場の拡大予測

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

小型無人航空機は、図 2.2.2.1-30 のように経済産業省主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行 （レベル 4)」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術 (赤枠内)が項目として明記されており、今後の小型無人航空機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。

本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、相対速度 100km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人航空機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人航空機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。



出典：経済産業省ホームページ
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou12.pdf

図 2.2.2.1-30 空の産業革命に向けたロードマップ 2019

インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1,450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円（32%）、2024 年度は 908 億円(18%)となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD（1,870 億円； 110 円/ドル換算）と推定され、年間 12%CAGR（Compound Average Growth Rate）で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD（2,346 億円）、2024 年は 38 億 USD（4,134 億円)となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品には無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品高性能化により、さらに競争力を持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模及びシェアは表 2.2.2.1-9 の通りを計画する。

表 2.2.2.1-9 今後の国内外ドローンの市場シェア見込

	市場規模（国内/国外）	委託シェア（国内/海外）	委託+助成シェア（国内/海外）
2019 年	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
プロジェクト終了時	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
終了１年目	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
～			
終了後４年目	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

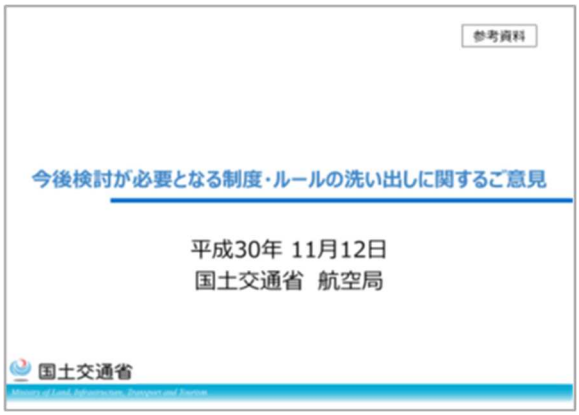
無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術を活用し、無人航空機全体としてのマーケットのみならず安全性や省エネルギーに寄与するセンサや衝突回避判断装置等の無人航空機アプリケーションのマーケットに対して、製品を提供する。

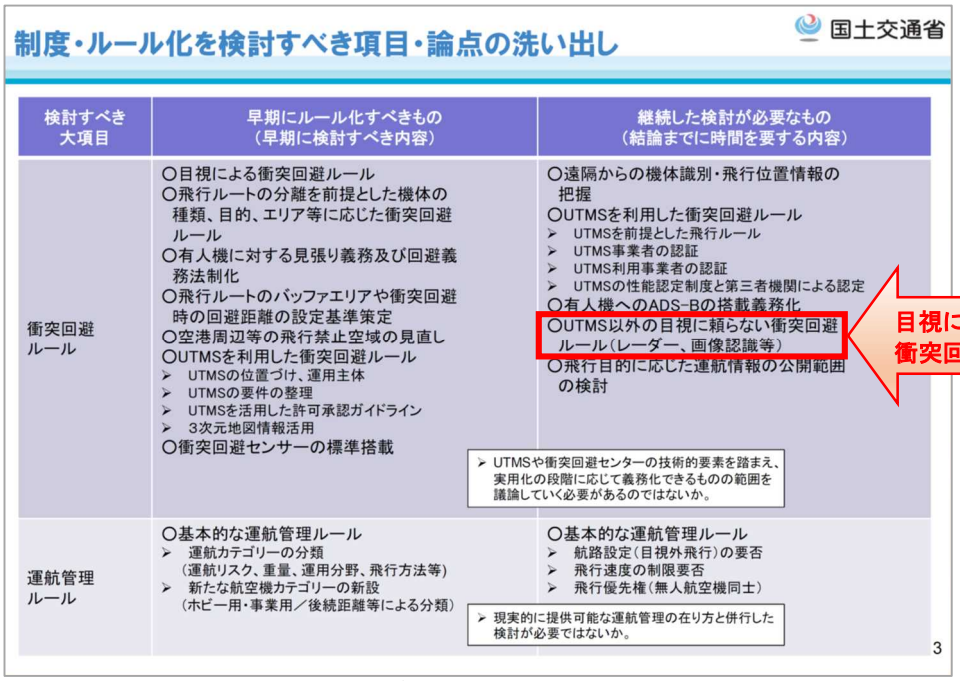
無人航空機としては物流、農業、インフラ監視等の使用ユーザーを対象に販売もしくは使用ユーザーに対するリース会社に提供するとともに、無人航空機用衝突回避システムとしては、無人航空機製造メーカに販売する。

この衝突回避システムの実用化に当っては、下記 2 点の結果などを踏まえながら、電波センサ（レーダ）を担当する日本無線株式会社、光波センサを担当する日本アビオニクス株式会社、準天頂衛星システム対応受信機を担当する三菱電機株式会社と調整を図りながら本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

・レーダ、画像認識による衝突回避ルールについては、2018 年 11 月 12 日に国土交通省がとりまとめた「今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見」では、継続した検討が必要と整理されている。（図 2.2.2.1-31 参照）

・図 2.2.2.1-32 に示す「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ 2019：小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備」において、「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマと小型無人機の共存」に関する環境整備が今後計画されている。



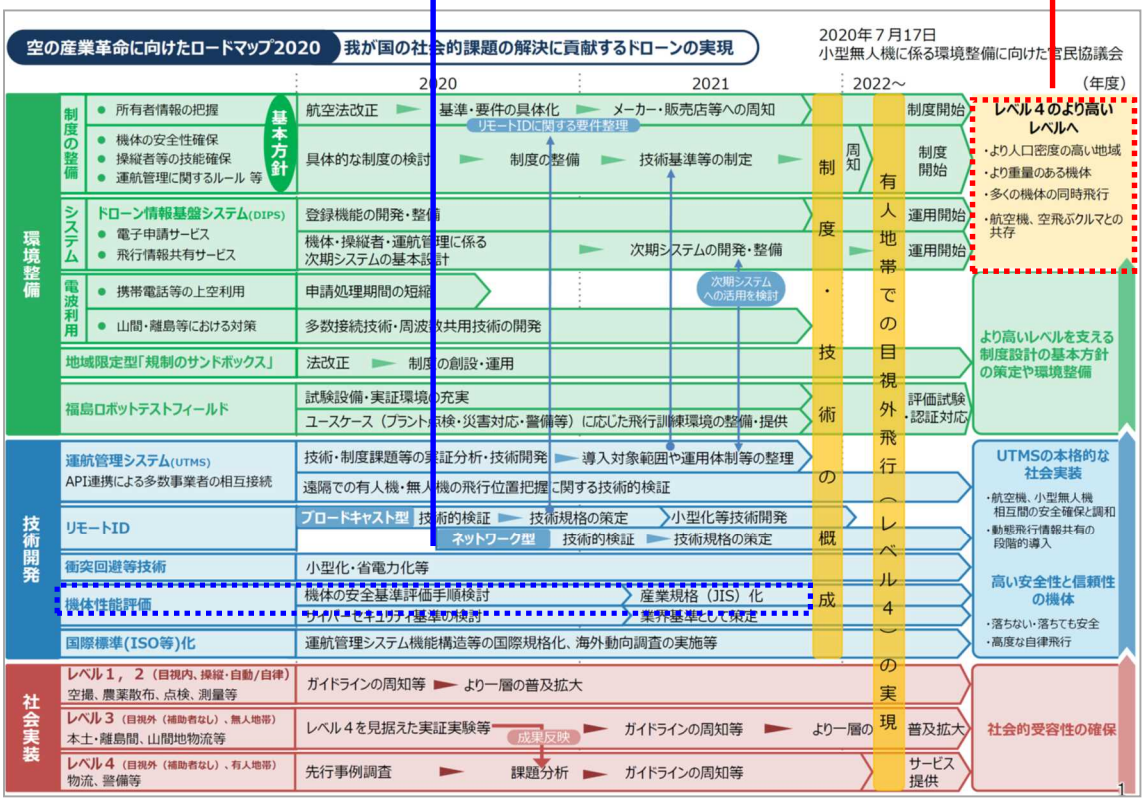


出典：国土交通省ホームページ

・平成 30 年 11 月 12 日　国土交通省　今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho_dai9/sankou1.pdf

図 2.2.2.1-31 制度・ルール化を検討すべき項目・洗い出し結果

「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ 2020：我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現」に示されたとおり、今後「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマとの共存」に関する環境整備が計画されており、この結果などを踏まえながら、本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。



出典：経済産業省ホームページ
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/roadmap2020.pdf

図 2.2.2.1-32 空の産業革命に向けたロードマップ 2020 と
衝突回避システム実用化の対応

(2) 小型の無人航空機用非協調式衝突回避システム

本事業の研究開発成果は、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載したドローンとして開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行（有人地帯目視外）実用化のための重要な安全機能になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、500 万円程度で、年間 200 台程

度の数量を見込んでいる。実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約 5kg 程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル 4 目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。実用化・事業化に向けた計画は下表の通りである。

表 2.2.2.1-10 事業化計画

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品化設計	―				
信頼性試験	―	続行/中断判断			
販売			―	―	―
収益発生			―	―	―

予想される重大な障害：
製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退
信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延
販売： 競合の参入による販売低減

3 実用化・事業化の見通し

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

(a) 実用化・事業化に向けた課題と今後の方針

実用化・事業化に向けた課題と今後の方針については、2. 実用化・事業化に向けた具体的取組のとおりである。

(b) 波及効果

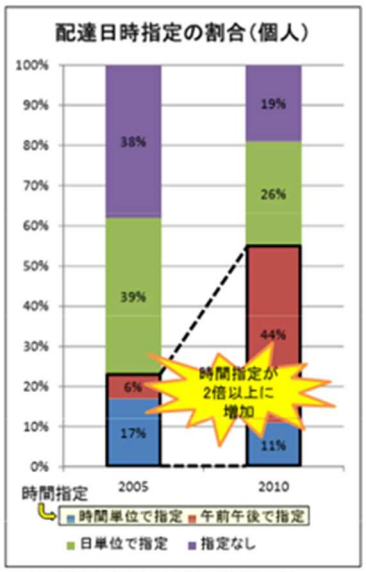
我が国の CO_2 排出量の約 18%を占める運輸部門（2 億 1,300 万トン）のうち、貨物自動車は運輸部門の約 37%（約 7,800 万トン）を排出しており、物流分野において無人航空機が広く活用されることは、CO_2 排出量の削減及び省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待できる。

輸送業者においては、通信販売の急速な利用拡大やネットを利用した個人間売買の増加に伴って宅配便取扱個数が急増しているとともに、クール宅配便や時間帯お届けサービス等、ユーザーニーズの拡大に伴い宅配サービスも多様化し、例えば、「時間指定」の割合が 5 年で急激に増加（図 2.2.2.1-33 参照）している等、きめ細かいサービスへの需要が増大しており、その結果、トラックの積載率も 4 割程度の状況にある。

宅配サービスにおける過疎地域と都市部の輸送効率を比較した場合、一例としては、荷物 1 個あたりのトラック走行距離は、過疎地域の方が都市部より平均で約 6 倍長い。（図 2.2.2.1-33 参照）

こうした中、本研究開発により離島や山間部への無人航空機による小口や即時配送が実現すれば、過疎地における物流改善等を通じてエネルギー消費を大幅に削減

することができる。更に、レベル 4 を実現する環境整備や本研究開発を含む技術の確立によって、都市部物流が本格化し、都市部における渋滞緩和や再配達の減少等を通じてエネルギー消費を削減することが可能になる。



宅配サービスおける過疎地域と都市部の輸送効率の比較（例）
（物流事業者A社実績／月間営業日）

地域	トラック走行距離	トラック台数合計	荷物個数	荷物1つあたりのトラック走行距離
過疎地域	約34万(km/月)	約100(台/月)	約30万(個/月)	約1.2(km/個)
都市部	約37万(km/月)	約350(台/月)	約160万(個/月)	約0.2(km/個)

約6倍

※過疎地域は、過疎地域自立促進特別措置法に基づく地域から選定。

出典：https://www.mlit.go.jp/common/001068998.pdf

図 2.2.2.1-33 宅配サービスにおける配達日時指定の割合
及び過疎地域と都市部の輸送効率の比較

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野や災害調査用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる、真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であると考える。(表 2.2.2.1-11 参照)

2022 年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

表 2.2.2.1-11 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

適用可能範囲	想定される市場	用途
災害対応支援 （監視及び配送等）	各市町村 地方警察消防本部等	災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援
観測支援 （火山及び森林監視等）	各省庁 研究機関等	既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援
緊急報道支援	大手テレビ局等	災害時に中継で使用されるヘリコプ

		ターに代わる報道支援
道路運営	大手道路運営業等	道路橋、トンネル等の点検
鉄道運輸	大手鉄道業等	鉄道橋、トンネル等の点検
土木修繕	大手企業等	修繕対象の点検確認

6.2.2.2 ２）協調式 SAA の研究開発：

正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発

（実施期間：3 年間（2017 年度～2019 年度））

（実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

準天頂衛星システムによる「サブメータ測位補強、センチメータ測位補強サービス」は、2018 年 11 月にサービスが開始されたことで大きく注目されている。現在のカーナビやスマートフォンなどでは、GPS 等の信号として 1 周波で測位を行っているが、測位精度向上のため 2 周波の受信機を計画している海外メーカがある。
また、需要拡大のために安価で小型な受信機が必要となるが、現在 2 周波以上に対応した受信機(特に LSI 化されたもの)は国内には存在しておらず、単機能部品の組合せで回路を構成している。そのため、高価で小型化できない状況にある。

当社は、ローコストでありながら、GPS や GLONASS 衛星を使ったマルチ受信が可能な高精度 RTK 受信機を独自で開発出来る数少ないメーカである。既に農業機械、産業機械や建設機械、ロボット等の自動運転用途に量産ベースで供給を開始しており、特にその高精度技術に関しては、世界トップレベルの豊富な技術資産と経験を保有している。
また、「2015 年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機開発で築いた技術資産を有効活用し、更に現在の大型な評価基板の RF（高周波回路）部を LSI 化することにより、高精度でかつ小型、軽量、省電力化を実現することが可能になる。
これにより、ドローンに搭載してもペイロードへの影響や消費電力を最小限に留め、有人航空機と無人航空機、無人航空機相互間で各々の正確な位置情報を共有することが可能になり、ドローン同士の衝突回避や衝突防止に役立てることが出来る。併せて正確な機体の制御が可能になり、ドローン同士が密集した状況での離着陸や飛行が可能になる。

（２）研究開発目標と根拠

本研究の中間目標として、「2015 年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信評価ボード（基板サイズ：90㎜×100㎜）の RF 部を LSI 化し、小型 B to B ボード（目標基板サイズ：43㎜×59㎜以下）の開発を行う。最終目標として、高精度多周波 GNSS 受信機（基板サイズは前年度と同じ）として、小型、軽量、省電力化を図り、性能は従来と同等とし、PPP による位置精度 10cm 以内を目標とする。(図 2.2.2.2-1)

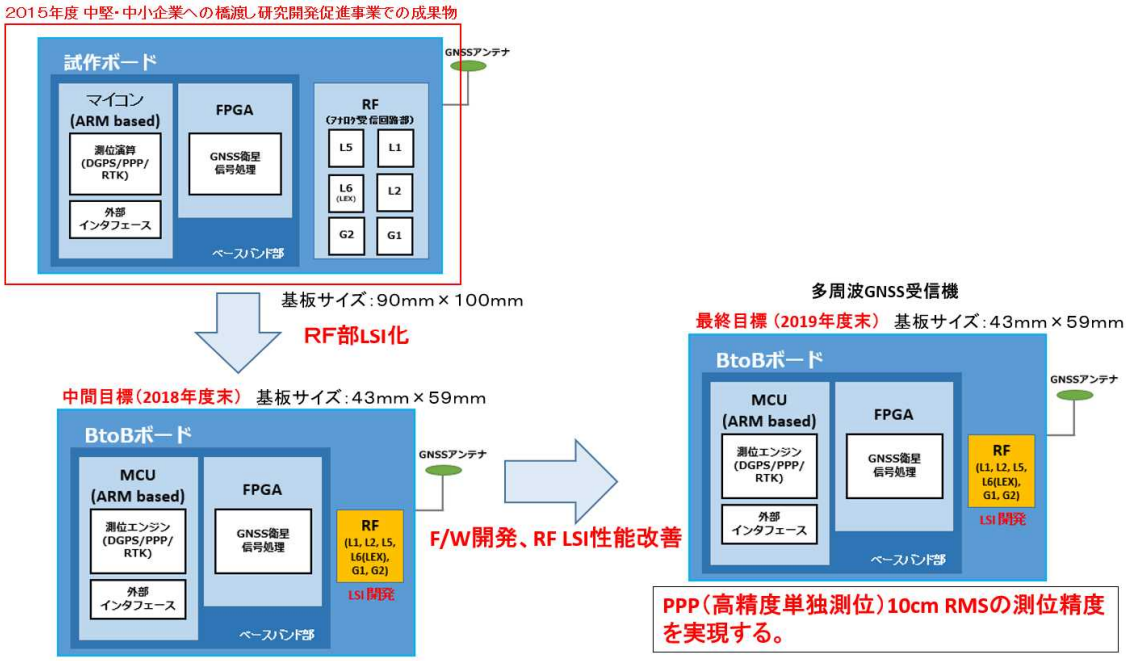


図 2.2.2.2-1 開発の流れ

また、この技術を無人航空機の運航管理機能の開発等に提供し、協調式 SAA に活用することで、無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発に役立てる。
具体的には、高精度位置情報をドローン間の相互通信により相手へ通知し、相互で高精度位置情報を共有することを目標とする。

表 2.2.2.2-1 開発目標と設定根拠

項目	最終目標	設定根拠	中間目標	設定根拠
ドローン搭載用、準天頂衛星システム対応高精度受信機の開発。	開発された評価ボードにて PPP（高精度単独測位）10cm RMS の測位精度を実現する。	従来のボードの性能と同等とするため。	RF 部の LSI 化を実施し、評価ボードを開発する。 目標基板サイズは 43mm × 59mm 以下。	評価ボードの小型、軽量、省電力化のため。
	無人航空機の運行管理機能の開発等にこの技術を提供し、福島ロボットフィールド等を利用した飛行試験に協力する。	基準局不要の準天頂衛星システム対応高精度受信機を活用いただくため。		

（３）研究開発スケジュール･実施体制

研究開発スケジュール

表 2.2.2.2-1 開発スケジュール

項目	2017	2018	2019	2020	最終目標値
RF 部 LSI 化	仕様検討／設計／製造 →		特性改善／改版 →		RF 部 LSI 化
RF チップ 評価ボード開発	回路・基板設計／製造 →	性能評価 →			PPP による位置精度 10cm 以内
小型 B to B ボード開発 (43mm×59mm)		ボード製作 →	性能評価 → ボード改版 → 性能評価 →		
専用 F/W 開発		専用 F/W 開発 →			
飛行情報の相互通信に関する開発	飛行試験(1) ▼	飛行試験(2) ▼	飛行試験(3) ▼		高精度位置情報を相互通信により相手へ通知する。

研究開発体制

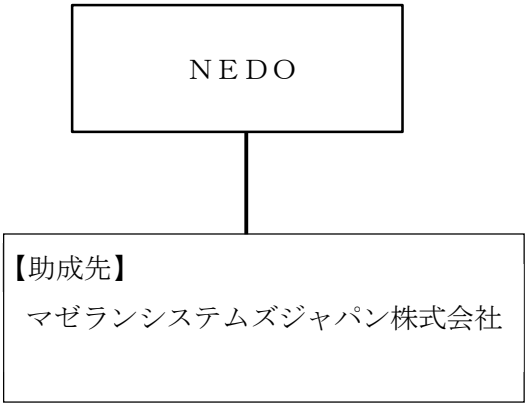


図 2.2.2.2-1 研究開発体制

（４）研究開発の達成状況

研究開発項目と達成状況を表 2.2.2.2-3 に示す。「2015 年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した、従来型の準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信評価ボード（基板サイズ：90㎜×100㎜）の RF 部を LSI 化することにより、中間目標である基板サイズ 43㎜×59㎜ 以下の小型 B to B ボードを実現した。

表 2.2.2.2-3 研究開発目標と達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
RF 部の LSI 化を実施し、評価ボードを開発する。	4 週波対応 RF 部を LSI 化した評価ボードを作成し、受信機の基本性能を満足することを確認すると共に、課題を明確にした。	◎	
小型 B to B ボードを開発（目標 43㎜×59㎜） 低消費電力化（目標 4.5W）	RF 部を LSI 化することにより、目標サイズ・目標消費電力を達成した。 準天頂衛星 CLAS の補強信号を利用し、高精度単独測位（PPP）での測位精度は 2drms（水平）で 10cm 以下であり、測位精度の最終目標を達成した。	◎	(*1)

◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

（*1）RF チップの一部機能に問題があり、メタルレイヤーの配線変更等による性能改善が必要。

（５）成果と意義

(1)RF 部の LSI 化、評価ボードの開発

従来型の準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機の RF 部は、既存の単機能部品を組合せて構成されており、GNSS から 4 周波の信号（L1，L2，L5，L6 帯）を受信できる仕様となっている。

この単機能部品の組合せを LSI 化し 4 周波に対応した 1 チップの RF デバイス（以下 RFIC）は世界に存在しておらず、小型、軽量、省電力化のため、この RF 部の LSI 化の開発を行った。

その後、この RFIC を評価するため、従来のディスクリート部品で構成された RF 部をこの RFIC に変更した評価ボード（図 2.2.2.2-3）の開発を行った。

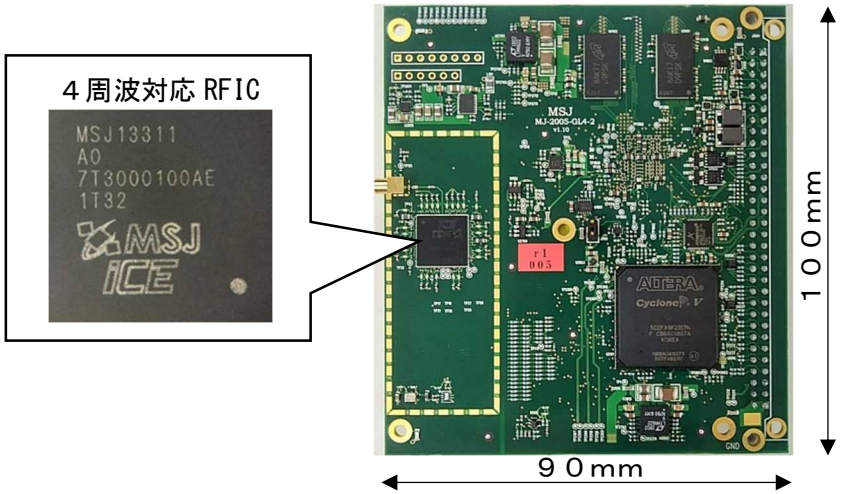


図 2.2.2.2-3 RFIC を搭載した評価ボード

RFIC の性能としては、一部機能に課題はあるものの、受信機としての基本性能は満足しており、評価内容の一部抜粋ではあるが、準天頂衛星の CLAS を使った測位精度（24 時間定点測位）を図 2.2.2.2-4 に示す。

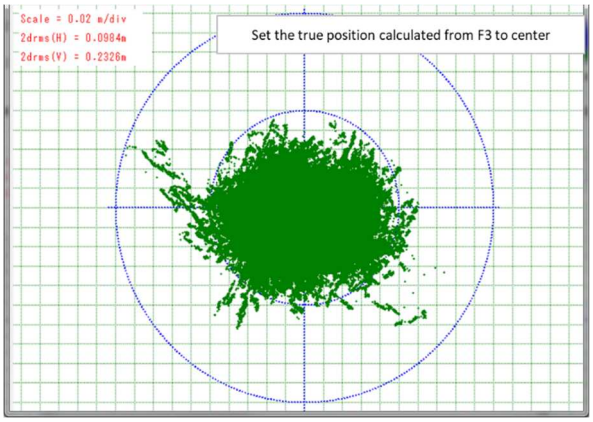


図 2.2.2.2-4 真値に対する精度

（2drms(水平)：9.84 cm、2drms(高さ)：23.26 cm）

準天頂衛星 CLAS の補強信号を利用し、高精度単独測位（PPP）での測位精度は 2drms（Twice the distance root mean square）（水平）で 10cm 以下であり、測位精度の最終目標値を達成した。

RFIC の課題としては、①LNA の周波数特性不良、②高調波による受信感度不足が見られた。

(2)小型 B to B ボードの開発

評価ボードと同時並行で開発を進めていた基板の小型化については、目標である 43mm×59mm のサイズを達成した。(図 2.2.2.2-5)
また、消費電力については、従来型ボードの約 9W に対し、約 4.5W と半分の消費電力に抑えることが出来た。小型、軽量化については従来の約 1/4 を達成した。

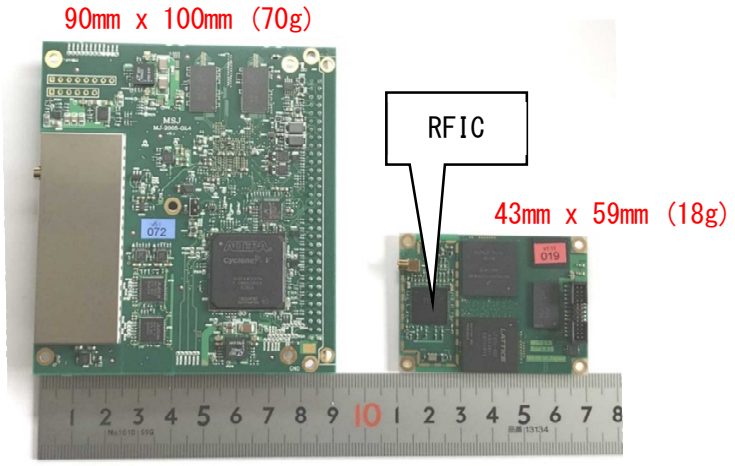


図 2.2.2.2-5 従来型ボード（左側)、小型 B to B ボード（右側）

小型 B to B ボードの性能としては、評価ボードとは異なる小型 LNA を搭載しており、ゲインが不足していたため受信感度が低い傾向となった。外部にアンプを後付けすることで評価ボードと同等の受信感度を得られることを確認した。
準天頂衛星の CLAS を使った測位精度（24 時間定点測位）は図 2.2.2.2-6 の通りである。

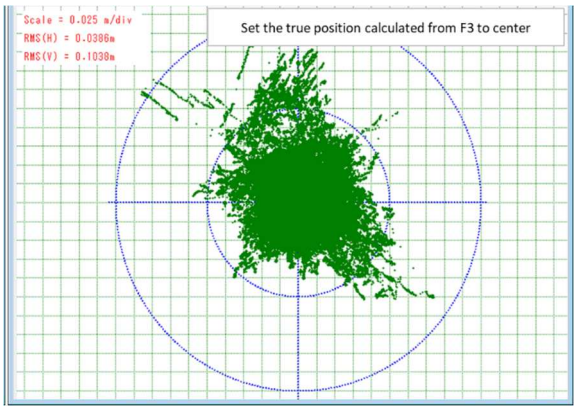


図 2.2.2.2-6 真値に対する精度
(2drms(水平)：7.72 cm、2drms(高さ)：20.76 cm)

準天頂衛星 CLAS の補強信号を利用し、高精度単独測位 (PPP) での測位精度は 2drms (水平) で 10cm 以下であり、測位精度の最終目標値を達成した。
RFIC の課題としては、①LNA の周波数特性不良、②高調波による受信感度不足であり、評価ボードと同じである。
この受信機のサイズ（43mm×59mm）で準天頂衛星の L6 の補強信号に対応し高精度単独測位ができ、かつ、RTK でも利用できる受信機は世の中に存在せず、世界初の成果物である。

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	－	－	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	－	－	－	0
展示会出展	0	2	1	－	－	－	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	－	－	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	－	－	－	0
国内出願	0	0	0	－	－	－	0
外国出願	0	0	0	－	－	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

実用化・事業化まで進めるためには RF ASIC の量産化に係る更なる膨大な投資が必要なため、現時点では企業化（事業化）のフェーズには至っていない。
また上記に加え、本事業終了後についてはデジタルベースバンド部の ASIC 開発に注力する方針に切り替えたため、当初の実用化・事業化の予測に対しての進展はない状況である。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

RF ASIC は事業最終年度に完成した。成果物については IC チップレベルでの改善確認はできたが、RF ASIC を基板に搭載し、モジュールレベルでの性能確認は本事業期間中に実施できなかった。本事業の経験を、RF 部以外のデジタル回路の開発、ファームウェアの開発は今後のデジタルベースバンド部の ASIC 化開発に活用する。

3. 実用化・事業化の見通し

本事業の経験をいかした今後のデジタルベースバンド部の ASIC 化開発における、実用化・事業化の見通しは下記の通りである。

高精度でかつ小型、軽量、省電力化を達成することにより、ドローンに搭載してもペイロードへの影響を少なく出来、消費電力を最小限に抑えることが出来る。準天頂衛星を使い単独で cm 級の高精度測位ができることで、今まで RTK 測位で必要であった補正情報を生成するための基準局の設置や補正情報を機体に送信する通信手段が不要になり低コスト化が図れ、かつ、基準局と機体間の通信距離を気にする必要がなくなる。更に有人航空機と無人航空機、無人航空機相互間で各々の正確な位置情報を共有することが可能になり、ドローン同士の衝突回避や衝突防止に役立てることが出来る。併せて正確な機体の制御が可能になり、ドローン同士が密集した状況での離着陸や飛行が可能になる。
ドローンだけではなく、農機や建機等の自動運転やガイダンス用途にも展開が可能であり、高精度単独測位が必要な様々な分野での利活用が期待できる。

6.2.2.3 ２）協調式 SAA の研究開発：

準天頂衛星対応受信機の低消費電力化の研究開発

（実施期間：3 年間（2017 年度～2019 年度））

（実施者：三菱電機株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

当社では、準天頂衛星システムのセンチメータ級（ｃｍ級）測位補強信号に対応した移動体（陸上）向け準天頂衛星対応測位受信機製品を販売する一方、様々な用途での使用における搭載性を改善するための小型化開発を実施している。ドローン搭載のように電力制限のある環境では電力消費が運用性に影響を与えることが大きく省電力が求められること、省電力はあらゆる用途において運用性の向上に寄与する項目であり、次の開発段階として重視している。

これまで準天頂衛星（みちびき）、センチメータ級測位補強サービス、及び移動体（陸上）向けセンチメータ級測位補強信号対応の測位受信端末を開発してきており、2015 年度から実証用端末（センチメータ級精度）を販売し各種利用実証を経て、2018 年度及び 2019 年度に準天頂対応受信機の製品リリースを行った。
本研究開発の実施に際しては、2019 年度にリリースした小型の準天頂対応受信機をベースに、これら技術、設備等を活用して推進した。

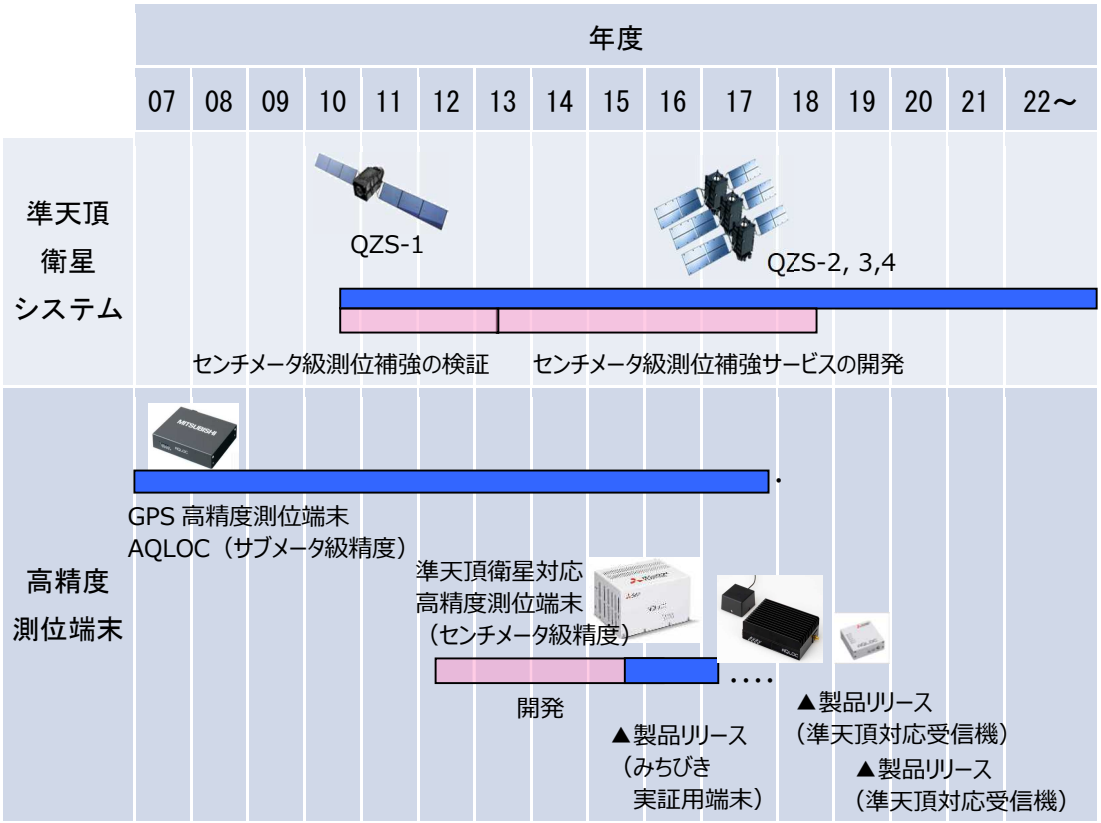


図 2.2.2.3-1 製品開発

（２）研究開発目標と根拠

センチメータ級測位補強信号を含む受信機において、2019 年 11 月に小型の準天頂対応受信機を製品リリースした。ただし、様々な用途への適用や将来運用の拡張性に対応できるようカスタマイズ性を重視した設計であり、バッテリー運用による電力に制約がある用途向けにおいては消費電力に改善の余地がある。

・当社製品の小型の準天頂対応受信機をベースに、ドローン用途としての測位信号処理等を削減する方向で最適化を行い、主にベースバンド信号処理での処理負荷を軽減し消費電力を削減する(受信機消費電力　現行電力比　20%削減を目標)。
・要求分析によるドローン搭載用途での仕様検討、省電力設計、1 次試作と評価、評価結果フィードバックによる受信機製造のステップを 3 ヶ年で実施する計画とした。

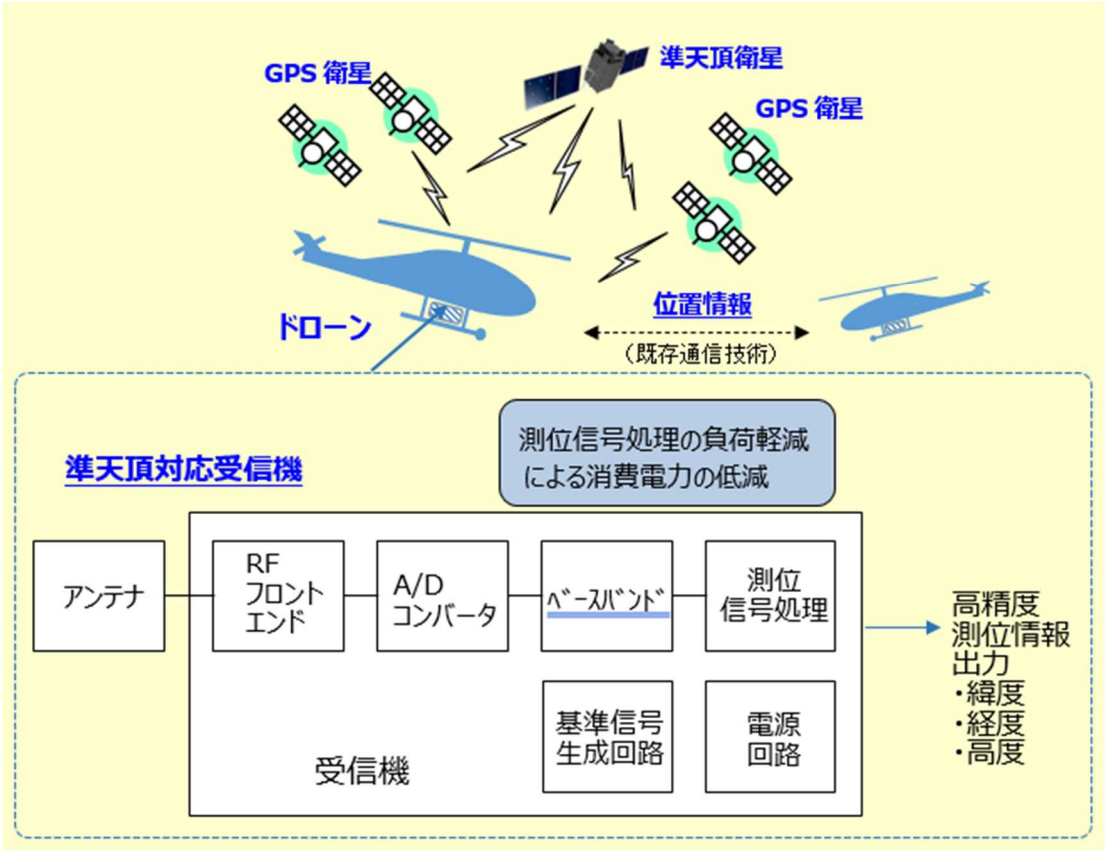


図 2.2.2.3-2 準天頂対応受信機

協調式 SAA の重要な技術課題は、高精度な自己位置認識であり、そのためには高精度な自己位置の測位が必要である。

本助成事業では、飛行中ドローンの位置情報を高精度に測位する小型で省電力な受信端末を開発し、記録・保存、通信の各技術と組み合わせた確認を行う。

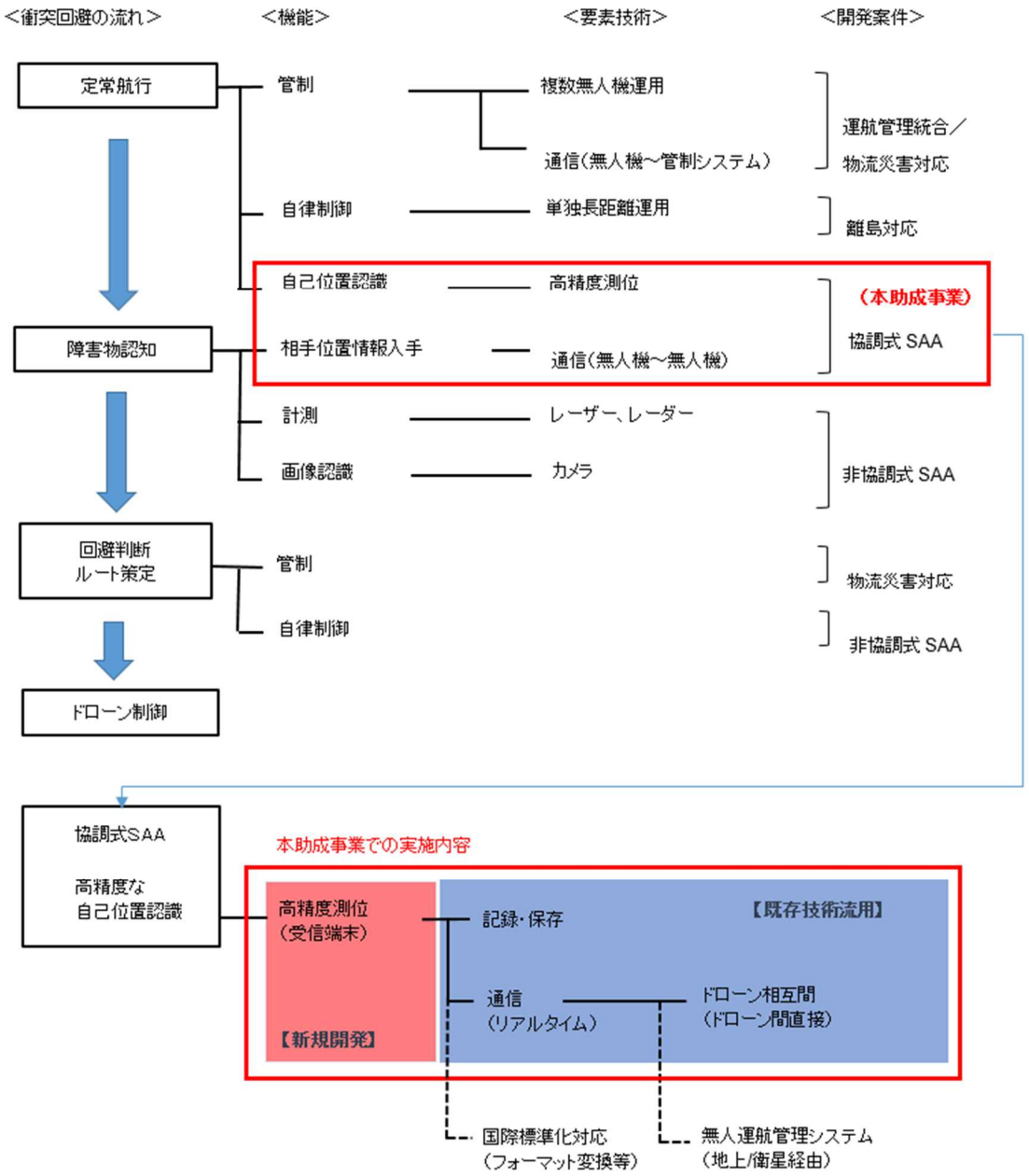
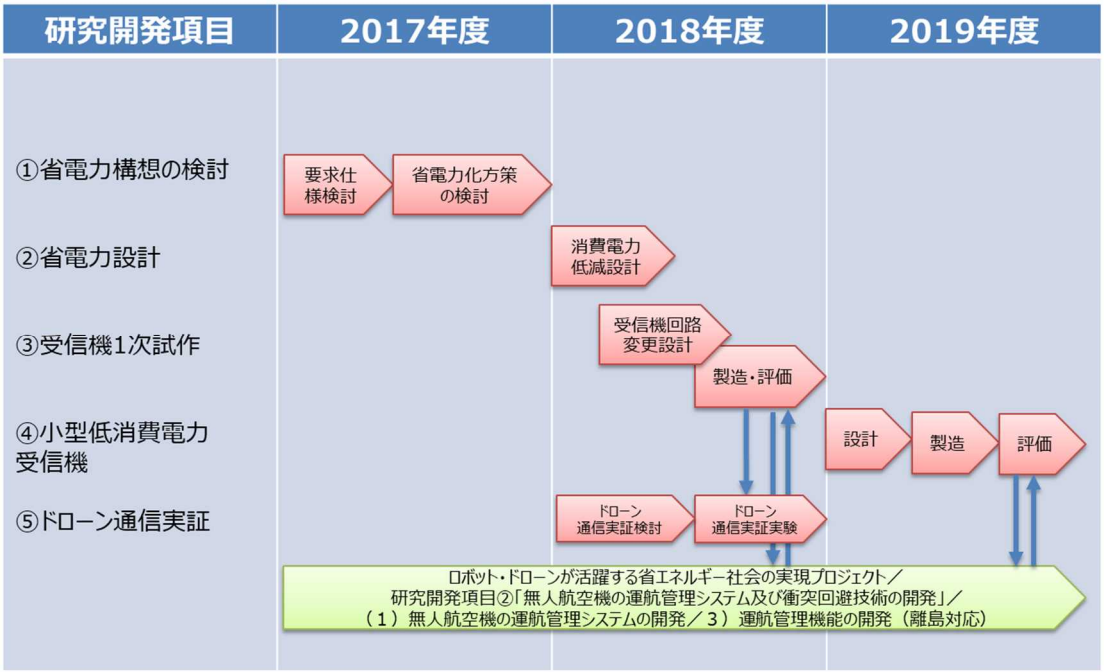


図 2.2.2.3-3 研究の範囲

（３）研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発のスケジュールを表 2.2.2.3-1 に示す。
また研究開発の実施体制を図 2.2.2.3-4 に示す。

表 2.2.2.3-1 研究開発スケジュール



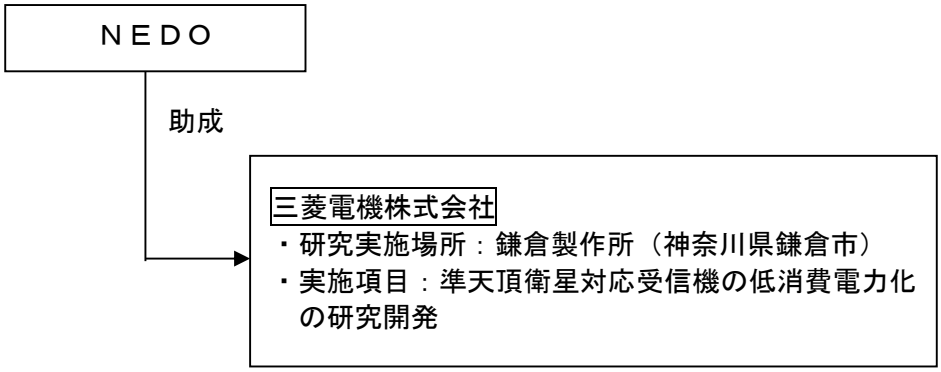


図 2.2.2.3-4 研究開発実施体制

（４）研究開発の達成状況

研究開発の達成状況を示す。

最終目標	成果	達成度	備考
①省電力化構想の検討 （2017 年度） 発熱箇所を分析し省電力化を行う対象を明確化する	基板上で消費電力の大きい FPGA のプログラムの処理低減検討・試作を完了 （回路全体で 43%の削減を達成）	○	
②省電力設計 （2018 年度） ドローン用途での演算処理低減プログラム設計を行う	処理低減検討・試作結果を元に部品再選定（ダウングレード）を行い、受信機基板全体の消費電力低減設計を実施	○	
③受信機一次試作 （2018 年度） 受信機基板への反映	②で設計した受信機基板の 1 次試作を行い、評価・検証	○	
④小型低消費電力受信機 （2019 年度） 低消費電力小型受信機の製作と消費電力現行電力比 20%削減	現行機*1 をベースに低消費電力小型受信機製作、現行電力比 20.4%削減	○	
⑤ドローン通信実証 （2018 年度） 既存技術を用いて飛行情報を相互に通信できること	受信機を搭載したドローンでの通信実証実験を行い、飛行情報を相互に通信し 0.5～0.6s 程度で安定した通信ができることを実証	○	

*1：2019 年 11 月 5 日販売開始した当社製高精度測位端末「AQLOC-Light」

（５）成果と意義

5.1　研究開発項目①「省電力構想の検討」(2017 年度)

2017 年度時点で移動体（陸上）向けとして開発中であった準天頂衛星のセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）に対応する端末を図 2.2.2.3-5 に示す。測位信号として GPS 及び準天頂衛星のＬ１,L2,L5 の３周波及び補強情報として L6 の計４周波を受信し、センチメータ級の高精度測位を実現している。

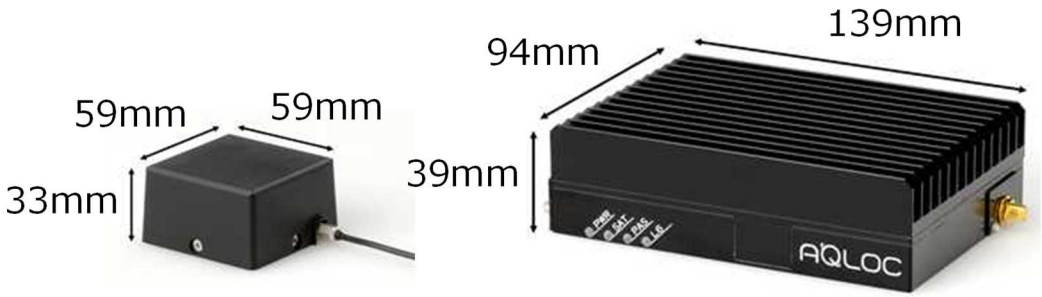


図 2.2.2.3-5 準天頂衛星対応センチメータ級高精度測位端末 AQLOC

省電力化検討のため、シミュレーション及び実機サーマル画像解析にて発熱箇所すなわち高消費電力箇所を特定した。解析結果を図 2.2.2.3-6 及び表 2.2.2.3-2 に示す。

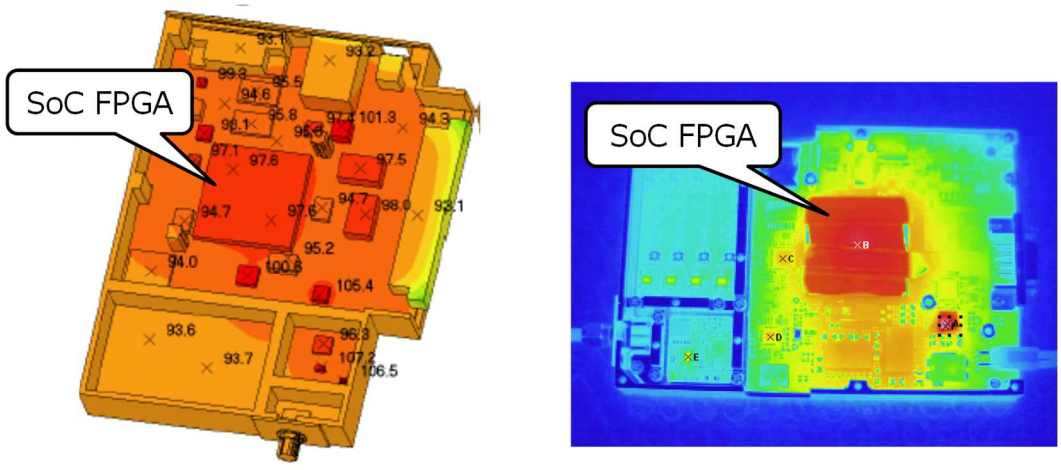


図 2.2.2.3-6 高消費電力箇所の解析結果

表 2.2.2.3-2 部位ごとの消費電力解析結果

No.	名称	回路番号	消費電力(mW) Typ.
1	RFｱﾝﾌﾟ	U1	128.1
2	RFｱﾝﾌﾟ	U2	76.3
3	PLL/VCO	U501	125.1
4	RFｱﾝﾌﾟ	U502	106.8
5	ﾌﾟﾘｽｹｰﾗ	U503	189.1
6	RFｱﾝﾌﾟ	U504	106.8
7	ADC	U601	530.1
8	SoC FPGA	U602	5587.8
9	QSPI	U603	1.8
10	DDR3	U604	216.0
11	CONFIG ROM	U605	1.8
12	RS232C	U610	178.2
13	終端ﾚｷﾞｭﾚｰﾀ	U612	104.6
14	PYT(100BASE)	U613	144.0
15	DDR3	U614	216.0
16	ｸﾛｯｸｼﾞｪﾈﾚｰﾀ	U801	680.4
17	ｸﾛｯｸｼﾞｪﾈﾚｰﾀ	U803	81.0
18	DC/DC	U901	507.4
19	DC/DC	U903	709.4
20	DC/DC	U902	764.0
21		その他（基板）	2490.5
		合計	12945.2

図 2.2.2.3-6 及び表 2.2.2.3-2 の結果より、SoC FPGA の低消費電力化を検討する。FPGA に実装されている信号処理回路の機能毎の回路使用率を図 2.2.2.3-7 に示す。

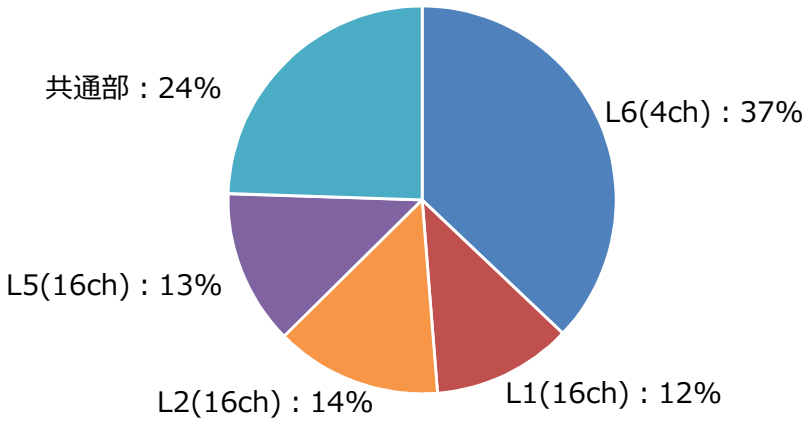


図 2.2.2.3-7 FPGA 回路使用率

低消費電力化のためには低グレードの SoC FPGA で処理可能なように回路規模の削減

が必要である。そこで以下の方策により回路規模の削減を実施した。

回路規模削減方策

・積分回路の共用化・時分割化

・データ保持用レジスタを共用化

・データ保持用レジスタを RAM に置き換え

回路規模削減検討の結果を反映した試作プログラムでの機能毎の回路使用率を図 2.2.2.3-8 に示す。

結果として回路使用量を 43%削減することに成功した。

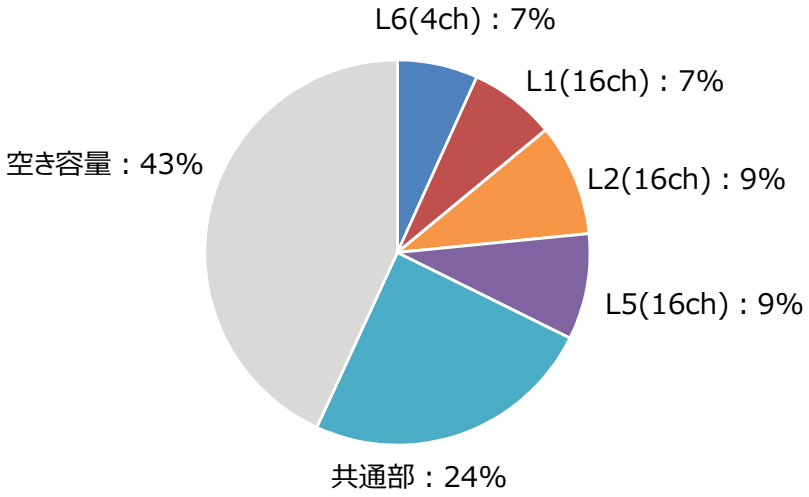


図 2.2.2.3-8 FPGA 回路使用率（削減結果）

5.2　研究開発項目②「省電力設計」／③「受信機一次試作」(2018 年度)

研究開発項目①の成果に基づき、FPGA の回路使用率を 43%削減したことで FPGA のダウングレードを検討する。現行品のロジックエレメントは 660k であるが 480k にダウングレードし PCA を試作、更なる回路規模削減を検証した。

更なる回路規模削減案として次の方策を挙げ、研究開発項目①の成果と合わせて 61%削減案を検討した。検討結果を図 2.2.2.3-9 に示す。

回路規模の追加削減方策

・L6 の 4ch→2ch 化

・L1, L2 の 16ch→11ch 化

・L5 の削除

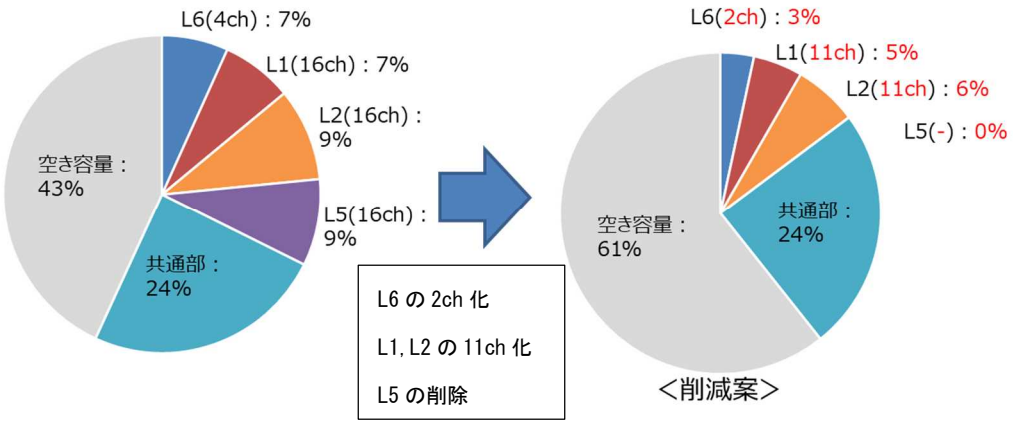


図 2.2.2.3-9 省電力化の追加改善案

5.3 研究開発項目④「小型低消費電力受信機」(2019 年度)

本研究開発は、準天頂衛星対応受信機の消費電力を現行機から 20%削減することを目標としてきた。

一方当社は社内開発で準天頂衛星対応センチメータ級高精度測位端末 AQLOC-VCXⅡを 2018 年度まで開発継続してきたが、当社の端末事業計画変更により AQLOC-VCXⅡに優先してより小型軽量な AQLOC-Light の製品化に取り組み、2019 年 11 月販売開始した。このため、AQLOC-VCXⅡで検討してきた信号処理省力化プログラム(測位演算処理プログラムから L1,L2,L5 の測位信号の処理軽減及び L6 補強信号の処理軽減を適用したプログラム)を活用して AQLOC-Light の改良版（低消費電力版）を製作し、低消費電力化の検証を行った。

研究開発目標は、AQLOC-Light の消費電力(実力値)7.3W に対して 20%削減した 5.84W 以下とする。

消費電力削減にあたっては、汎用性の高い AQLOC-Light からドローン搭載に特化し以下の設計変更を行った。

・CPU クロック低減（1GHz→900MHz）
・LAN　I/F 削除
・Gyro センサ削除
・供給電源局限（9～16V→5V±10%）

AQLOC-Light からの電力削減状況を図 2.2.2.3-10、電力削減効果を表 2.2.2.3-3 に示す。

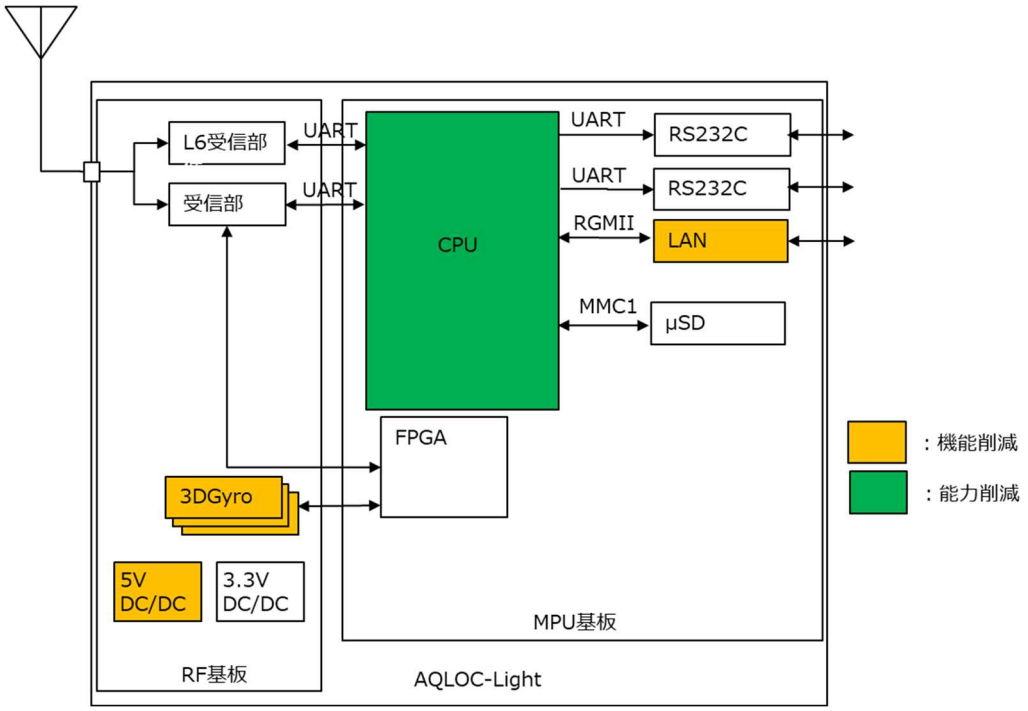


図 2.2.2.3-10 現行機（AQLOC-Light）からの電力削減

表 2.2.2.3-3 電力削減効果

番号	削減目標	項目	削減効果			備考
			現行機	削減量(率)＊	小型低消費電力受信機削減反映後の消費電力	
1			7.3W			
2	5.84W以下(20%減)	CPU クロック低減		0.88W(12.1%)	(1-2) 6.42W	
3		LAN I/F 削除		0.22W (3.0%)	(1-2-3) 6.20W	
4		Gyro センサ削除		0.08W (1.1%)	(1-2-3-4) 6.12W	
5		供給電源局限		番号 4 の 5.0%	(1-2-3-4)×0.95 5.81W	現行機：9～16V 変更後：5V±10%
6		【削減結果】		7.30W から 1.49W 減	5.81W(20.4%減)	設計値
7		【実測】			5.59W(23.4%減)	実測(平均)値

＊：削減率は番号 1(7.3W)に対する削減率を示す。

5.4　研究開発項目⑤「ドローン通信実証」(2018 年度)

2 機のドローンに受信機を搭載し、飛行中の位置情報を地上システムを介して相互に通信する。この際、通信時間の確認を実施し、相互通信による衝突回避の検討を実施した。

ドローン通信実証のシステム構成図及び機材の状況を図 2.2.2.3-11 に示す。

フライト日時：2019 年 1 月 30 日（水）

フライト場所：愛知県豊田市深見町　藤岡ヘリポート

フライト方法：オートフライト

フライトパターン：①　平行通過（図 2.2.2.3-12）

②　交差通過（図 2.2.2.3-13）

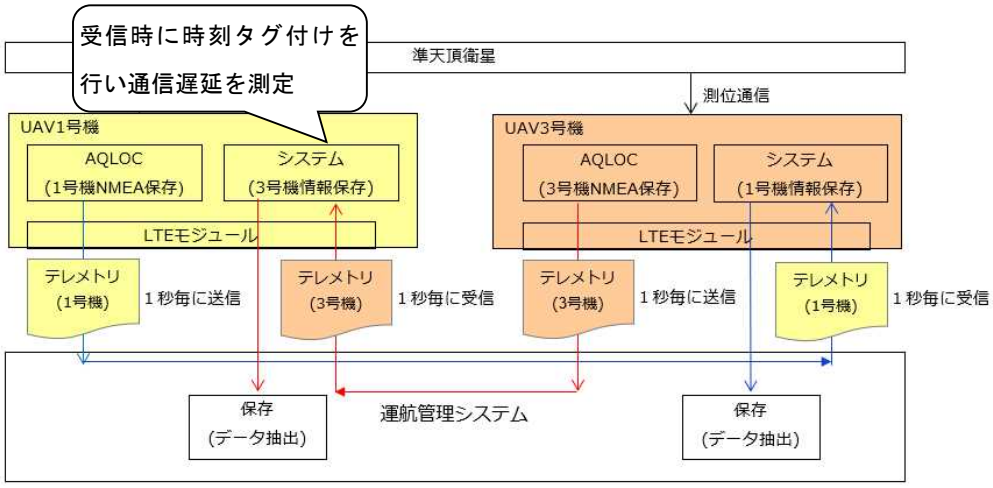
飛行中の相互位置の通信結果を図 2.2.2.3-14 に示す。

フライトパターン①②ともに通信時間として 0.5～0.6s 程度で安定した通信が行えることを確認した。

通信遅延を最大 1s とした場合、100km/h で飛行すると 1s で 27.8m 進むが、高精度測位時の測位精度(水平 12cm、垂直 24cm)はこれに比べて十分小さい。

相互通信により取得した位置情報に対して、速度を考慮した 1s の時間外挿と、測位品質(高精度測位、単独測位等の測位ステータス)を考慮した測位マージンを考慮することが望ましいと考えられる。

これにより、飛行中の相互位置の通信による衝突回避が可能と考える。



＜システム構成図＞



<UAV>

〈UAV スペック〉

機体直径	1544mm(芯間)
機体高	983mm
機体重量	12.34kg
ペイロード	10kg
動力バッテリー	16000mAh×2
最高速度	60Km/h



図 2.2.2.3-11 ドローン通信実証のシステム構成図及び機材状況

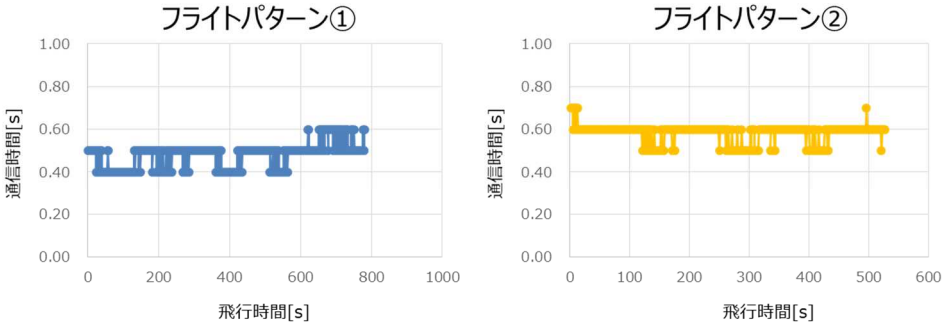


図 2.2.2.3-12 フライトパターン①　平行通過



図 2.2.2.3-13 フライトパターン②　交差通過

飛行中の相互位置の通信結果を示す。
フライトパターン①②ともに通信時間として0.5～0.6s程度で安定した通信が行えることを確認した。



通信遅延を最大1sとした場合でも、100km/hで飛行した場合は1sで27.8mであり
高精度測位時の測位精度(水平12cm、垂直24cm)はこれに比べて十分小さい。
相互通信により取得した位置情報に対して、速度を考慮した1sの時間外挿と、測位品質(高精度測位、単独測位等の測位ステータス)を考慮した測位マージンを考慮することが望ましいと考えられる。
これにより、飛行中の相互位置の通信による衝突回避が可能と考える。

図 2.2.2.3-14 飛行中の相互位置の通信結果

（６）特許出願数、論文等の発表数

準天頂衛星システムを利用した高精度測位をドローンに適用するには、受信機の低消費電力化は必須であり、本開発によりドローンの準天頂衛星システム利用が普及すると考える。またドローンの準天頂衛星システム衝突回避に向けたドローンの相互通信をノウハウとして蓄積した。今後は委託業務で得た成果も反映し、他の受信機と差別化する開発を行っていく。

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	－	－	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	－	－	－	0
展示会出展	0	0	0	－	－	－	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	－	－	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	－	－	－	0
国内出願	0	0	0	－	－	－	0
外国出願	0	0	0	－	－	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発で、準天頂衛星対応受信機のプロトタイプによる評価を行い、ドローン対応に必要な加速度チューニング等の実証試験、技術確立等を行うこととする。

さらに、必要に応じて国内外のドローン機体メーカーやシステムメーカーをパートナーとして選定することにより、ユーザ側のニーズを的確に把握し、成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

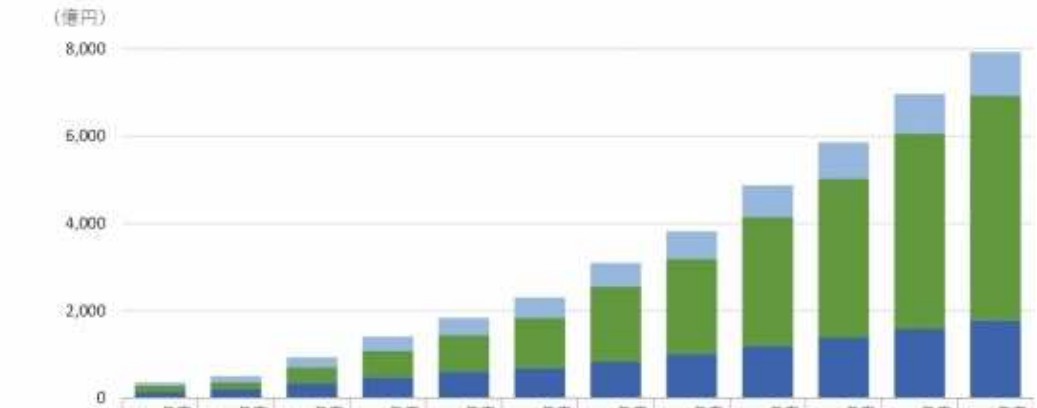
低価格小型軽量型(ボード型)高精度測位端末の開発、多機能測位への対応開発を開始、2023 年度以降に販売開始を狙う。ただし昨今の半導体等部品入手難の影響で販売開始時期は流動的である。本研究開発成果であるドローン向け小型低消費電力受信機の成果反映については、上記開発設計過程で明確化する。

3. 実用化事業化の見通し

現行機(高精度測位端末「AQLOC-Light」)の販売は継続、適用範囲拡大を狙いドローン搭載を含む種々のユースケースにおける性能最適化を加え、提案活動を継続するも、具体的商談に至っていない。

このため、現段階では具体的な販売計画には落とし込める状況には無いものの、多機能測位及び低価格小型化のニーズに答えるため社内開発を継続、提案活動と具体的商談への進展状況を見て、本案件に係る事業計画の具体化を進める。

ドローン市場は急速に拡大しており、5 年後(2027 年度)には機体市場が 1,788 億円(2022 年度の約 2.1 倍)に達する見込みとの報告もある。2021 年度以降も、農薬散布、物流、点検、測量などの各分野に向けた機体が投入されており、産業用機体の市場の増大とともにドローン搭載向け準天頂衛星対応受信機の実用化事業化の見通しは高いと考える。



	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
合計	353	503	931	1,409	1,841	2,308	3,099	3,822	4,875	5,861	6,967	7,933
周辺サービス	65	138	224	326	405	468	540	632	731	831	907	998
サービス	154	155	362	609	828	1,147	1,726	2,168	2,948	3,640	4,476	5,147
機体	134	210	346	475	607	693	833	1,021	1,197	1,390	1,584	1,788

出展：https://research.impress.co.jp/topics/list/drone/643

図 2.2.2.3-15 国内のドローンビジネス市場規模の予測

6.2.2.4 ３）衝突回避システムの小型化・低消費電力化：

衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発

（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））

（実施者：日本無線株式会社　日本アビオニクス株式会社　株式会社自律制御システム研究所）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野を拡大するための制度設計、技術開発が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のため、ロボット・ドローンの高度利活用が期待されている。

この時、ロボット・ドローンとしての無人航空機がその能力を十二分に発揮するためには、自由でかつ安全な運航が必要不可欠であり、有人航空機のパイロットが危険に遭遇しないように、衝突回避や緊急着陸を実現する小型で高安全なシステムの構築が重要な研究開発要素となっている。

このため、衝突回避対象に電波及び光波センサを搭載し、回避すべき対象を探知するシステムを構築すると共に、探知した回避対象を安全に回避可能な衝突回避アルゴリズム及び故障対応システムの小型化開発を目指す。

ロボット・ドローンの利活用が期待されている物流分野では、以下に示すような課題が挙げられる。

図 2.2.2.4-1 は宅配便取扱個数の年度推移を示している。この図に示すように、物流分野では、2019 年の宅配便の取扱個数は約 43 億個と 4 年連続で過去最高を更新し、この 10 年で 3 割増加している。個数が増加する理由としては、消費者のニーズの変化やインターネット通販の拡大による小口化及び多頻度化が進んでいることが挙げられるが、併せてトラックドライバーの不足も顕著になってきていることから、一部では遅配も生じている。現在の宅配業界は長時間労働である反面、他業界に比べて賃金が低い状況にあり人手不足に陥っているため、ヤマト運輸は取扱個数の抑制や配達時間の指定を廃止する等を検討するまでになっている。こうした状況を受け、政府は課題解決のために国家戦略特区法改正案を提出する方針で、先端技術の実験に取り組みやすい環境を整備する予定になっており、2030 年をめどに完全に無人化する目標が発表された。

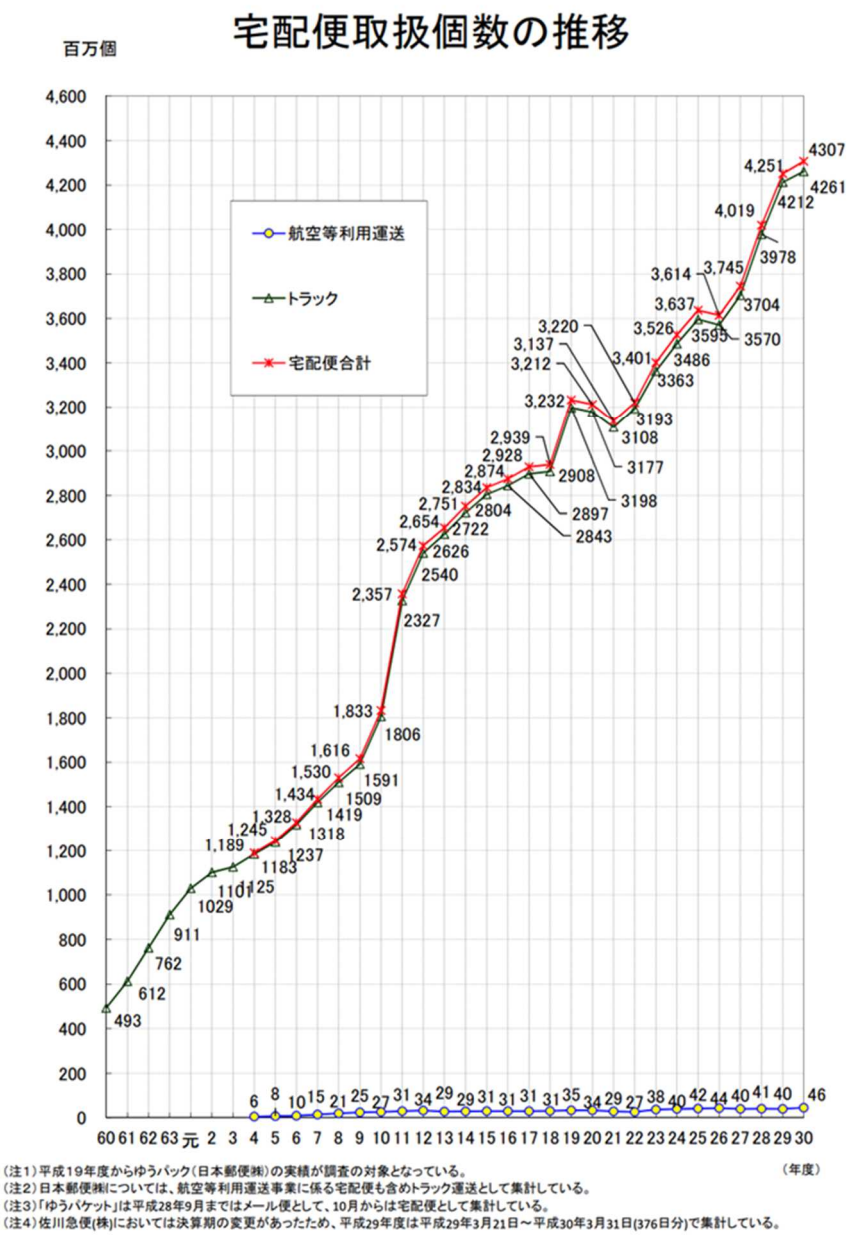


図 2.2.2.4-1 宅配便取扱個数の推移
（国土交通省 「宅配便等取扱個数の調査及び集計方法」）

また、無人航空機を活用して効率よく任務を行うためには、飛行の高速化が必要である。飛行の安全な高速化のためには、樹木を含む障害物や周辺を飛行する有人航空機、無人航空機についても常時把握し、共通化された回避ルールに則って衝突を回避する技術が不可欠である。

更には、万一の事態に備えて地上の状況についても把握し、人や車、道路、鉄道など重要インフラ設備、及び斜面や樹木の上、水面などは可能な限り回避して、平坦な田畑や公園等の空き地を不時着可能な地点として着陸することは、第三者の安全を担保するための技術として実装すべきである。

そこで、ＮＥＤＯ「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」において、2017 年度から 2019 年度までに、大型無人航空機向けの衝突回避用電波セ

ンサおよび光波センサシステムが開発され、実証実験が行われた。小型無人機においても、相対 100km/h での衝突回避用光波センサによる衝突回避試験が行われた。
本事業では、より確実な衝突回避システムの完成を目指すため、上記の大型無人航空機向けに開発された電波センサおよび光波センサを小型化し、相対 200km/h での小型無人航空機向け衝突回避システムの実現を目指す。

（２）研究開発目標と根拠

研究開発目標は、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画に示される研究開発内容に基づいて設定した。
この研究開発内容の抜粋を次に示す。

◎「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画からの研究内容の抜粋
研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
2.研究開発の具体的内容
(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発
無人航空機が地上及び空中の物件等（地形、樹木、建造物、有人航空機、無人航空機、鳥及び悪天候等）を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術（いわゆる Sense And Avoid（SAA)に関する技術）を開発する。
なお、開発する技術は無人航空機の機上に搭載できるものとし、他分野で既に確立されている技術も応用しつつ、本プロジェクト終了時までに当該技術を実装した無人航空機の実用化を目指すものとする。また、開発した技術を(1)無人航空機の運航管理システムの開発 3)運航管理機能の開発（離島対応）に提供し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した飛行試験に協力する。
1)非協調式 SAA
無人航空機に搭載された各種センサ（光学カメラ、LIDAR、レーダ等）からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、他の情報（気象、機体の飛行性能等）も加味した上で、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術を開発する。
例えば、飛行中の有人航空機や他の無人航空機、低高度飛行の妨げとなる送電線（高圧鉄塔間に加えて電柱間等の細径の電線を含む）及び飛行に大きな影響を与える悪天候等を検知するセンサ、ならびに当該センサを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える無人航空機に搭載可能な演算ボードやフライトコントローラ等を含む非協調式 SAA システムを開発する。
2)協調式 SAA
有人航空機及び無人航空機、無人航空機同士が、飛行中の飛行情報（高度、位置、速度等）を相互に通信し共有することで衝突回避する技術を開発する。
例えば、カメラ等の情報と地図情報の照合等により高精度な測位を実現するための準天頂衛星システムを利用した無人航空機に搭載可能な協調式 SAA システムを開発する。

また、本研究開発では以下の事に関する開発を進める。

無人航空機に搭載された各種センサ（光波センサ、電波センサ等）からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術において各種センサの小型化、軽量化、低消費電力化を行い、衝突回避する技術を開発する。
小型無人航空機において飛行中の有人航空機や他を検知するセンサ、並びに当該セン

サを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える小型無人航空機に搭載可能な非協調式 SAA システムを開発する。

以上の背景を開発の根拠とし、表 2.2.2.4-1 に示す研究開発目標を実現する。

表 2.2.2.4-1 研究開発目標

項　目	研究開発目標
電波センサ	・小型化・低消費電力化した電波センサ（レーダ）の開発 ・電波センサ（レーダ）の設計・製作・評価 ・サイズ・重量・消費電力：2400cm^3・1.2kg・45W 以下を目指す ・相対速度 200 km/h 以上での衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証する。 ・有人ヘリコプタに対しては 1km 以遠で探知する。
光波センサ	・既存認識処理方式の最適化によるハードウェアの最小化実現 ・2017 年度から 2019 年度の研究開発の成果である認識処理方式を基に処理の冗長的な部分を最適化することにより、一部の処理をソフトウェア化する。また、後述の光波センサユニットへの実装を完了する。 ・ハードウェア構成の見直しによる構成の縮小 ・工業製品化を意識した小型・軽量および低消費電力である光波センサユニット１式について設計・製造を完了する。また、飛行試験に向けた実行性能を検証し、試験可能な状態とする。 ・光波センサユニットはサイズ：2250cm^3 以下、重量：0.8kg 以下、消費電力：25W 以下を目指す。 ・実証試験結果(委託事業)の反映 ・衝突回避対象物体の認識データについて検証を行う。 ・飛行実証試験の結果により、前述物体認識処理方式へフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。 ・相対 200km/h の速度で衝突回避可能な情報を自律管理装置に提供する。
自律管理装置	・小型無人機の高速飛行時における障害物の認識及び衝突回避 ・小型衝突回避用光学・電波センサの搭載及び動作検証 ・衝突回避システムの設計・開発 ・200 km/h 以上の相対速度での無人航空機同士での衝突回避システム技術の開発および動作検証

（３）研究開発スケジュール･実施体制

目標達成に向けた研究開発スケジュール（実施計画書）を表 2.2.2.4-2 に示す。

表 2.2.2.4-2 研究開発スケジュール

電波センサ研究開発スケジュール（日本無線）

事業項目	2020年度				2021年度			
	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期
衝突回避システムに使用する小型化 ・低消費電力化した電波センサの開発 a) システム開発設計		→	→	→				
b) 設計･製作			→	→				
c) 機材評価				→				
d) 電波センサ改造（評価･レビュー結果の反映）					→		→	
e) データレビュー						→		→

光波センサ研究開発スケジュール（日本アビオニクス）

事業項目	2020年度				2021年度			
	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期
衝突回避用光波センサの小型化開発 a) 既存認識処理方式の最適化によるハードウェアの最小化		→	→					
b) ハードウェア構成の見直しによる構成の縮小		→	→					
c) 実証試験結果の反映				→	→	→	→	→

自律管理装置研究開発スケジュール（自律制御システム研究所）

事業項目	2020年度				2021年度			
	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期
小型無人機の障害物認識及び衝突回避 a) 衝突回避システムの設計･開発		→	→	→	→	→	→	→
b) 小型光波センサ･電波センサ統合		→	→	→	→	→		

研究開発の実施体制を図 2.2.2.4-2 に示す。

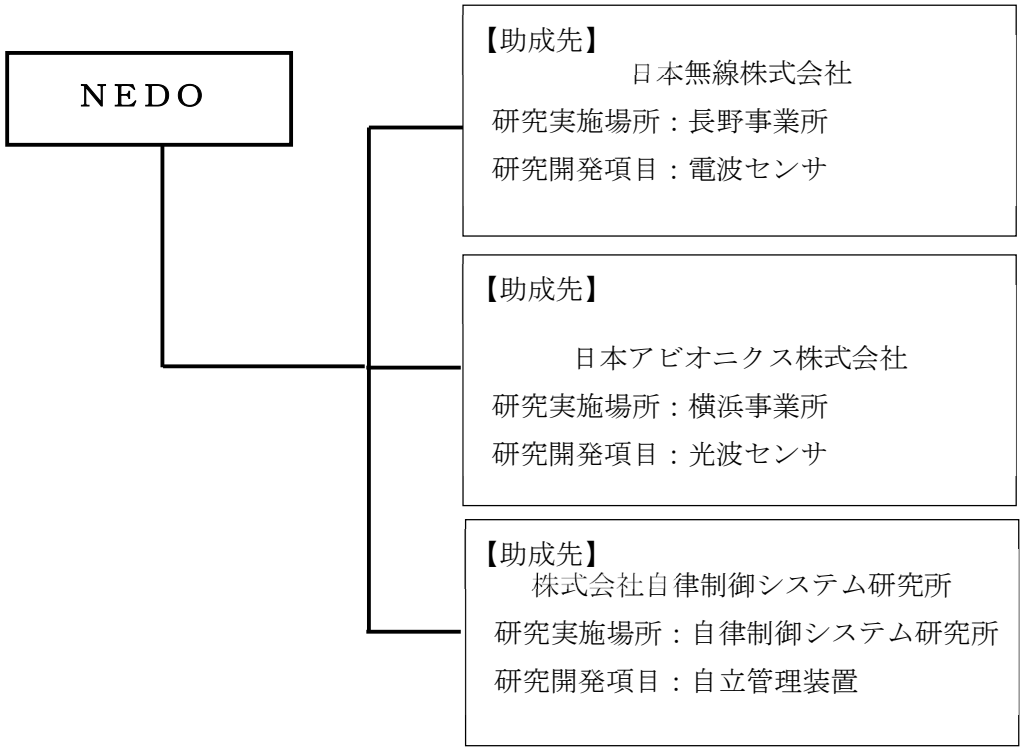


図 2.2.2.4-2 研究開発の実施体制

（4）研究開発の達成状況

4.1 電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

相対速度 200km/h 以上での有人ヘリコプタとの衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証でき、有人ヘリコプタに対しては 1km 以遠で探知できた。

最終目標	成果	達成度	備考
・相対速度 200km/h 以上での衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証する。 ・小型電波センサで探知した情報を適切に自律管理装置に提供できることを確認する。 ・有人ヘリコプタに対しては 1km 以遠で探知する。	・電波センサの性能評価データや実証実験で取得したデータを評価、レビューした結果を、電波センサの処理に反映した。 ・電波センサで探知した情報を、適切に自律管理装置に提供できることが確認できた。 ・相対速度 200km/h 以上での有人ヘリコプタとの衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証できた。 ・有人ヘリコプタに対しては 1km 以遠で探知できた。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

当初の目標に対し、委託事業の飛行試験で取得した映像データを使用したシミュレーションにより、達成した。

最終目標	成果	達成度	備考
・飛行実証試験の結果により、前述物体認識処理方式へのフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。 ・相対 200km/h の速度で衝突回避可能な情報を自律管理装置に提供する。	・実証試験の結果を物体認識処理方式へフィードバック、処理の改修等を実施し、成果を確実に有効利用した。 ・相対速度 200km/h で衝突回避可能な情報（小型無人航空機に対する離隔距離 250m 以遠での探知情報）を自律管理装置に提供できた。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.3 自律管理装置（実施者：株式会社ＡＣＳＬ）

相対速度 200km/h 以上で無人航空機同士での衝突回避システム技術を開発し、動作検証できた。

最終目標	成果	達成度	備考
・200 km/h 以上の相対速度での無人航空機同士での衝突回避システム技術の開発および動作検証	・対有人機で相対速度 200km/h、対無人機で相対速度 100km/h の衝突回避において、光波・電波センサからの情報をもとに回避を行う自律管理装置の開発に成功した。	○	

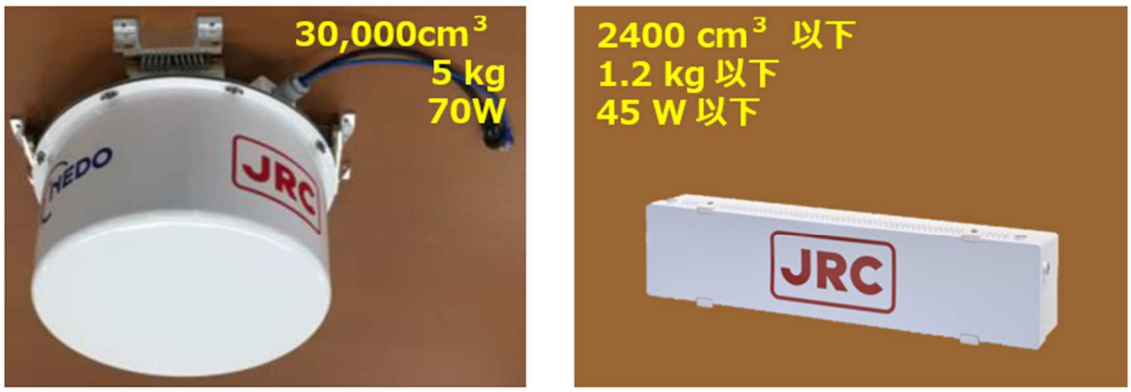
◎大きく上回って達成、〇達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1.　「電波センサ（レーダ）の評価」（実施者：日本無線株式会社）

(1) システム開発設計

電波センサのシステム開発設計を行い、サイズ・重量・消費電力 は 2400cm^3 ／1.2 kg／45W 以下を実現できる見込みを得て設計を進めた。開発した新旧電波センサの外形比較写真を図 2.2.2.4-3 に示す。



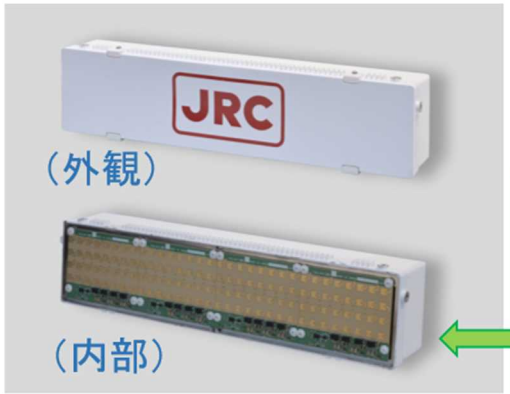
2017 年度～2019 年度において開発した衝突回避技術に使用する電波センサ

開発した小型化、 軽量化、低消費電力化した電波センサ

図 2.2.2.4-3 2017 年度～2019 年度開発電波センサと開発した小型電波センサの比較

(2) 電波センサ設計・製作

電波センサのハードウェアを設計し、製作した電波センサの外観、構成、サイズ・重量・消費電力を図 2.2.2.4-4 に示す。



電波センサ外観

項　目	開発目標値	成　果
サイズ	2400 ㎤ 以下	2080 ㎤
重量	1.20 kg 以下	1.17 kg
消費電力	45.0 W 以下	44.9 W

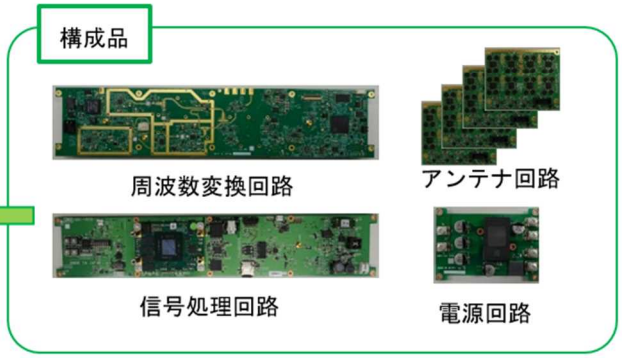


図 2.2.2.4-4 開発した電波センサ

(3) 電波センサ評価・最適化

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」(1)無人航空機の運航管理システムの開発 3)運航管理機能の開発（離島対応）の飛行試験（以降、飛行実証試験と記載）において、衝突回避の回避対象となる有人ヘリを移動目標とし、無人機に搭載した電波センサの受信ログデータを取得した。取得したログデータを

オフラインで解析・評価・レビューした結果、図 2.2.2.4-5 に示す様に、衝突回避の対象となる有人ヘリを抽出可能な、電波センサの信号処理パラメータを最適化することができ、無人機へ搭載する実際の電波センサへ反映することができた。

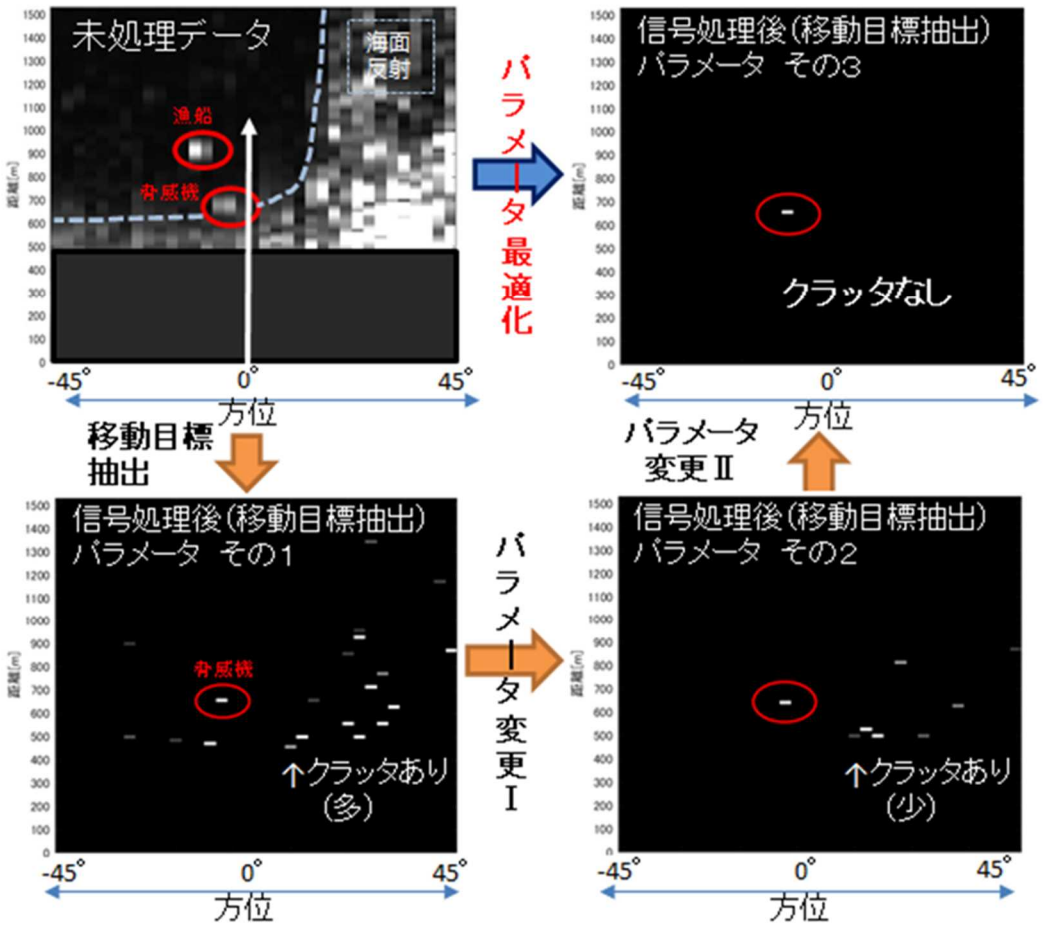
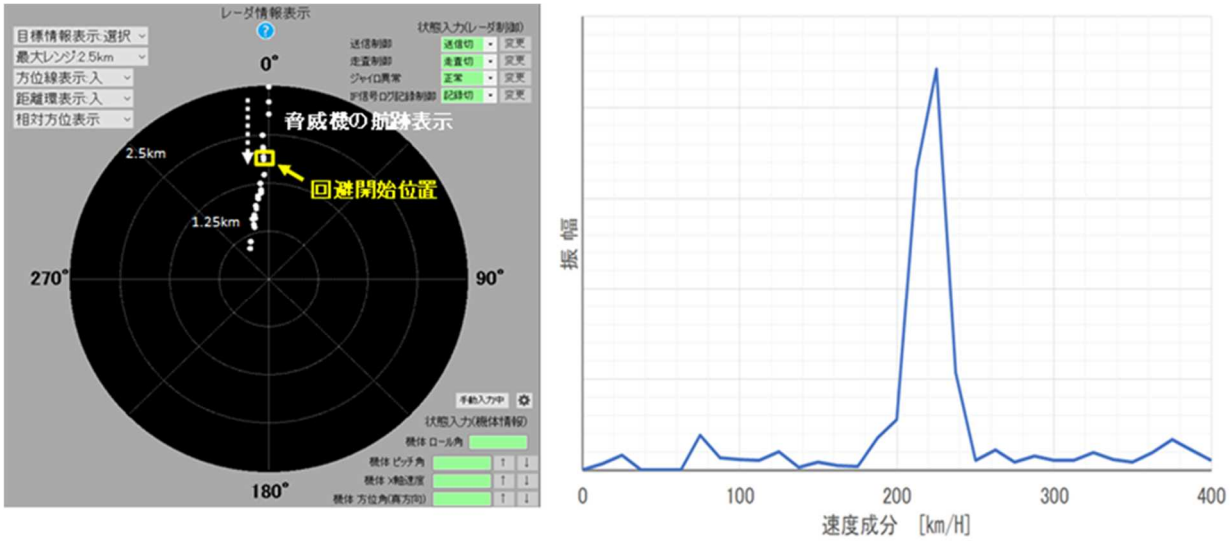


図 2.2.2.4-5 レーダ信号処理パラメータの検証・最適化

(4)衝突回避用センサとしての電波センサ性能検証

飛行実証試験で相対速度 200km/h 以上で飛行する有人ヘリを 1km 以遠で探知、自律管理装置に探知情報をリアルタイムに情報提供して、想定通りの回避軌道で衝突を回避できるか検証した。飛行実証試験における脅威機の移動軌跡データ、速度状況データを図 2.2.2.4-6 に示す。



飛行試験でのレーダ検出例　　飛行試験で脅威機として検出した有人ヘリの速度成分情報

図 2.2.2.4-6 飛行実証試験時の脅威機に関する取得データ

図 2.2.2.4-6 に示す様に、相対速度 200km/h 以上で飛行する有人ヘリを 1km 以遠で探知し、その探知情報を基に自立管理装置が衝突回避動作に入っている事が確認でき、衝突回避用センサとして電波センサの有効性を確認することができている。

5.2. 「光波センサの評価」（実施者：日本アビオニクス株式会社）

(1) 2020 年度までの成果

2020 年度までの開発では、小型・軽量化、低消費電力化した光波センサの設計・製造を行った。2017 年度～2019 年度の成果から大幅に低減すると共に当初の目標を下回る光波センサの製造を実現できた。2020 年度製造の光波センサおよび小型・軽量化、低消費電力化の成果について図 2.2.2.4-7 に示す。

今回、小型・軽量化、低消費電力化するにあたり、構成の変更を行った。大きな変更点は次の３点となる。

- カメラ数の削減（5 台→4 台）
- CPU 数の削減（2 台→1 台）
- 映像処理ボードによる処理を CPU に集約

2017 年度～2019 年度開発の構成および今回の構成について図 2.2.2.4-8 に示す。



目標項目	当初目標値	成果
サイズ	2250cm³以下	2200cm³
重量	0.8kg以下	0.7kg
消費電力	25W以下	22W

図 2.2.2.4-7
2020 年度製造の光波センサ

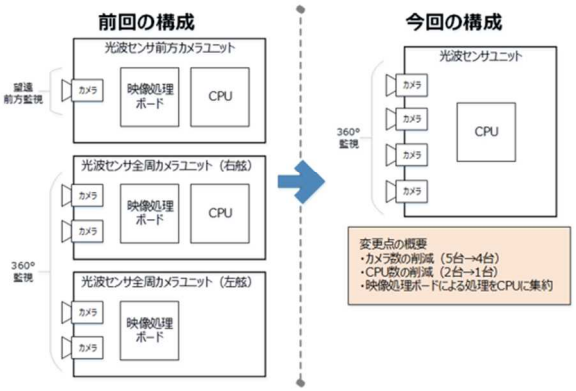


図 2.2.2.4-8
光波センサの構成

2020 年度、構成を変更するにあたり、処理方式の中のハードウェア（FPGA）において実施していた処理について、ソフトウェア化することとした。2020 年度の成果としては、ソフトウェア化の設計まで完了した。処理方式の概要について図 2.2.2.4-9 に示す。

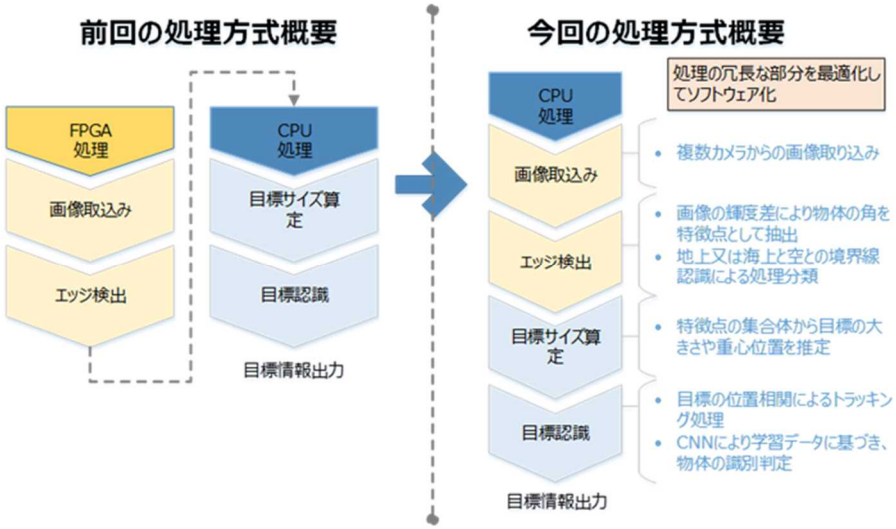


図 2.2.2.4-9 処理方式の概要

(2) 2021 年度の成果

①ソフトウェアの製造

2020 年度の成果を基にソフトウェアの製造を完了した。2021 年度、試験およびシミュレーションによる評価をするにあたり、次の 2 つの動作モードを用意した。イメージを図 2.2.2.4-10 に示す。

- 通常運用モード

  試験時に使用するモード。カメラからの映像をリアルタイムで画像処理し、自律管理装置への目標情報の出力を行う。

- シミュレーションモード

  シミュレーションに使用するモード。委託事業で取得したデータによる映像を画像処理し、自律管理装置への目標情報の出力を行う。

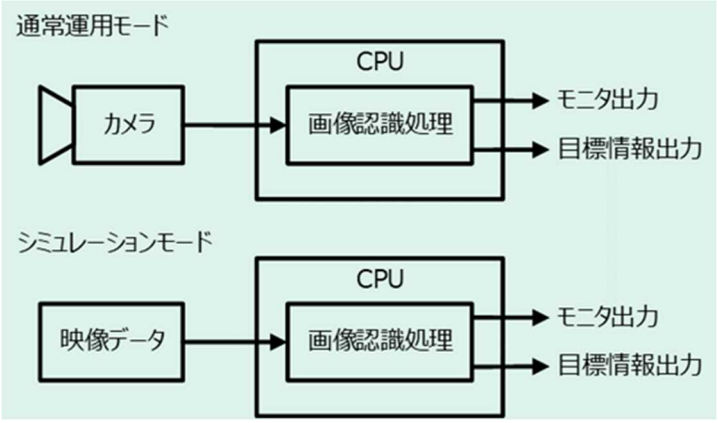


図 2.2.2.4-10 動作モードのイメージ

②シミュレーションによる評価

2021 年度、想定 200km/h を想定した衝突回避試験において、機体動力性能や自律管理装置の処理性能を加味し、衝突回避に必要な離隔距離として、対小型無人航空機：250m 以遠、有人ヘリコプタ：750m と設定した。これを基に委託事業で取得したデータによるシミュレーションで衝突回避に必要な離隔距離において、脅威機の探知が可能であることを確認した。また、探知した脅威機の目標情報が自律管理装置に出力できることを確認した。シミュレーションによる小型無人航空機探知結果を図 2.2.2.4-11 に示す。

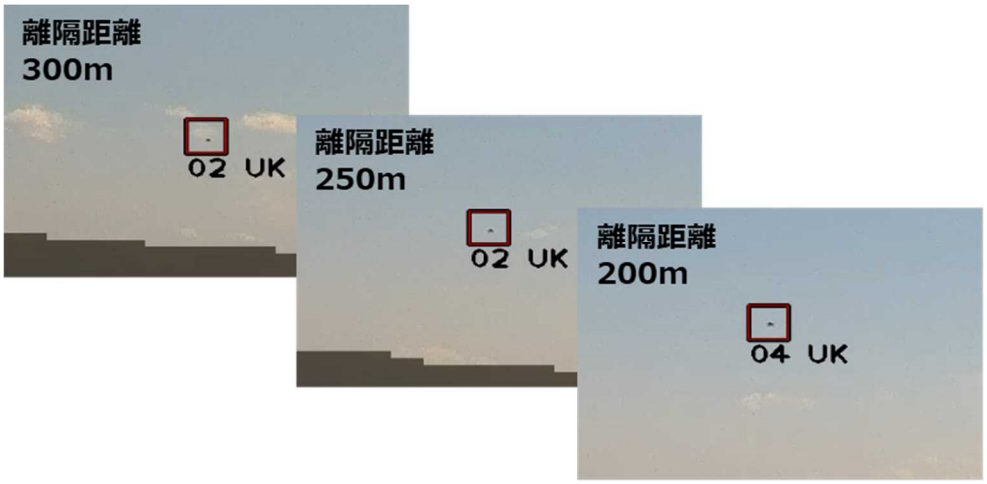


図 2.2.2.4-11 シミュレーションによる小型無人航空機探知結果

③委託事業による実証結果の反映

委託事業による試験では、白波の探知が脅威機の検知に影響を及ぼしている状況が確認された。この事象について解決すべく、コンピュータ解析用データを取得し、シミュレーションにより、解析と改修および評価を実施した。

白波は、太陽光の反射や波の動きによって、刻一刻と状況が変化するため、検知された目標サイズは安定しない。目標サイズの安定性を確認することにより、白波の排除に成功した。白波検知情報排除を図 2.2.2.4-12 に示す。



図 2.2.2.4-12 白波検知情報排除

5.3. 「自律管理装置の評価」（実施者：株式会社ＡＣＳＬ）

これまでの主要な研究開発の成果を以下に示す。

(1) 検知/判断

- 対有人機（相対 200km/h）:

  電波センサで、距離 1500m 以内で、連続 3 フレーム（3 秒間）同一セクタ、フレーム間移動 83m 以内、速度正（接近）

- 対無人機（相対 100km/h）:

  光波センサで、10 フレーム中(1 秒間）で 5 フレーム以上検知
  同一目標の判定基準は方位角、仰角ともに±2° 以内

(2) 回避

- 対有人機（相対 200km/h）:

  電波センサで、セクタ番号が 17 以上（=右側に脅威機を検知）⇒ 左に回避
  セクタ番号が 18 以下(=左側に境域を検知）⇒ 右に回避

- 対無人機（相対 100km/h）:

  光波センサで、方位角 0~180（=右側に脅威機を検知）⇒ 左に回避
  方位角 180~360(=左側に脅威機を検知）⇒ 右に回避

(3) 再検知/待機

- 対有人機（相対 200km/h）:

  電波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止

- 対無人機（相対 100km/h）:

光波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止

- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

(4) 飛行再開

- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

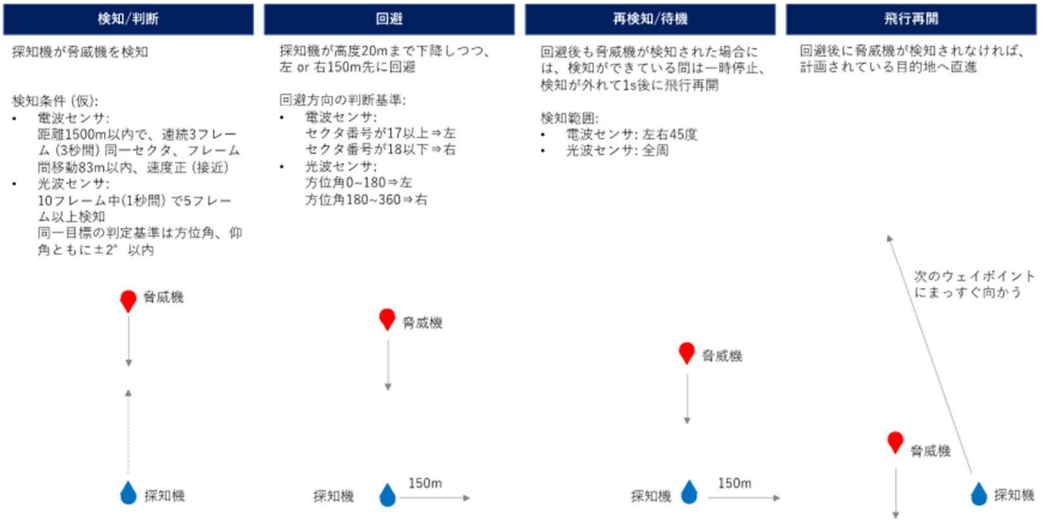


図 2.2.2.4-13 衝突回避アルゴリズムのロジック概要

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	–	–	–	0	0	–	0
学会発表・シンポジウム講演等	–	–	–	0	0	–	0
展示会出展	–	–	–	2	2	–	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	–	–	–	0	0	–	0
ニュースリリース・プレスリリース	–	–	–	3	0	–	3
国内出願	–	–	–	0	0	–	0
外国出願	–	–	–	0	0	–	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

小型無人機は、図 2.2.2.4-14 のように経済産業省主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行 （レベル 4)」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術 (赤枠内)が項目として明記されており、今後の小型無人機でのレベル４目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、100km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。

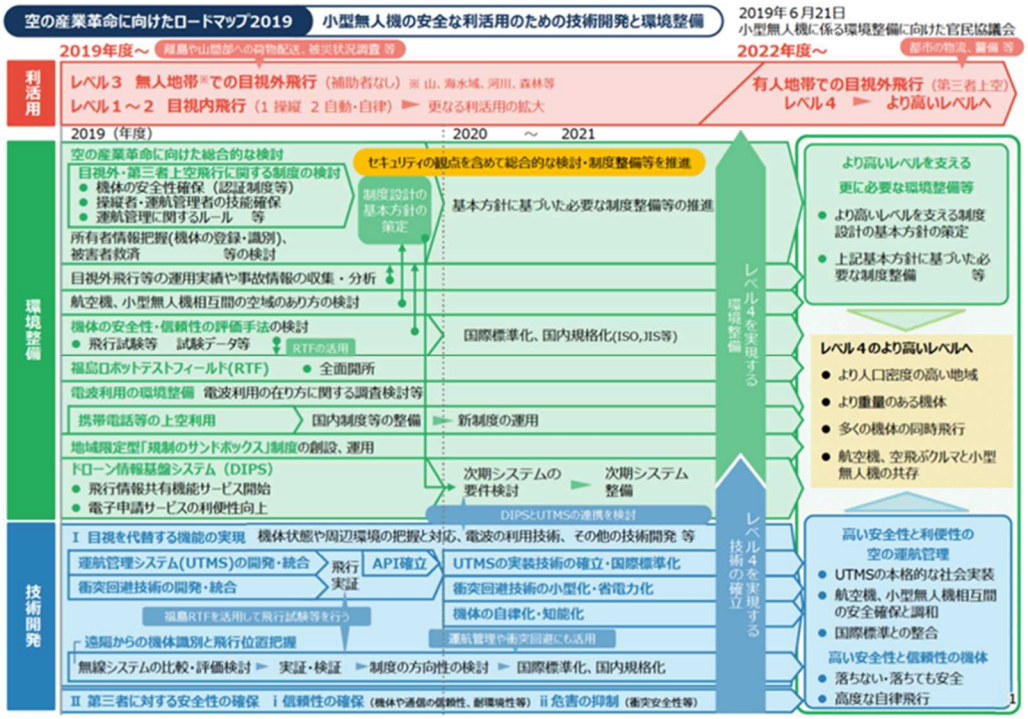


図 2.2.2.4-14 経済産業省「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」

インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円（32%）、2024 年度は 908 億円(18%)となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD（1,870 億円; 110 円/ドル換算）と推定され、年間 12%CAGR で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD（2,346 億円)、2024 年は 38 億 USD（4,134 億円)となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品の無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品高性能化により、さらに競争力が持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模およびシェアは次の通りを計画する。

表 2.2.2.4-3 今後の国内外ドローンの市場シェア見込

	市場規模（国内/海外）	委託シェア（国内/海外）	委託+助成シェア（国内/海外）
現状	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
プロジェクト終了時	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
終了１年目	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
～			

終了後４年目	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業の研究開発成果は、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載したドローンとして開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行(有人地帯目視外)実用化のための重要な安全機能になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、500 万円程度で、年間 200 台程度の数量を見込んでいる。実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約 5kg 程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル 4 目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。実用化・事業化に向けた計画は表 2.2.2.4-4 の通りである。

表 2.2.2.4-4 事業化計画

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品化設計	――				
信頼性試験	――	続行/中断判断			
販売			――	――	――
収益発生			――	――	――

予想される重大な障害：

製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退

信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延

販売： 競合の参入による販売低減

3. 実用化・事業化の見通し

ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、無人航空機はその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器が限られており、大型で高価な衝突回避システムでは本来の性能を制約してしまうため、必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

このため、より小型で安価な衝突回避システムを使用できるというニーズは今後更に顕著化することが予想され、無人航空機の十分な製造・運用実績を有する株式会社ＡＣＳＬ、小型、低消費電力化された電波センサ（レーダ）を実現する日本無線株式会社、同様に小型、低消費電力化された光波センサを実現する日本アビオニクス株式会社で共同し、今回の目的である衝突回避システムの小型化・低消費電力化開発を推進させた。自律的に衝突回避システムを搭載したドローンは物流、インフラ監視等の使用ユーザーを対象に販売もしくはリースで提供する。当該装置を搭載した無人航空機は目視外

並びに第３者の上空を飛行することが期待でき、運用の拡大が期待できる。
現在のところ、相対速度 200km/h の有人航空機を自律的に衝突回避する、無人航空機搭載システムは見当たらない。また、無人航空機に搭載することを前提としたレーダは、軍用を除き、24GHz 帯を使用した送信出力、空中線利得に法的制限のあるシステムであり、本事業で開発した電波センサ（レーダ）の機能性能ならびに容積、重量、消費電力を有するものは見当たらない。光波センサに関しては、無人航空機に搭載する 360 度監視システムが海外に存在するが、それは中型・大型無人航空機をターゲットとしており、本開発品の様に重量が軽く小型無人航空機もターゲットとなるセンサは見当たらず、特に国内用途において優位性がある。更に、小型ドローンの競合品としては中国製が存在するが、本事業の開発品である遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載されたドローンは他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載したドローンは競合が存在しないため、現在のところ価格競争における課題は見られない。以上の事を考慮し、本事業終了後 5 年間の売り上げ見通しを以下の通り計画する。

表 2.2.2.4-5 (1)電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

年度	販売平均単価（万円）	小型機向け販売数（式）	中・大型機向け販売数（式）	売上（百万円）
2023	―	―	―	―
2024	―	―	―	―
2025	200	50	―	100
2026	200	100	400	1000
2027	200	200	800	2000

上記の試算は株式会社ＡＣＳＬがメーカーとして販売する小型無人機に搭載する衝突回避システム、ならびに株式会社ＳＵＢＡＲＵが販売する中型・大型無人機に搭載する衝突回避システムの電波センサを日本無線株式会社が製造するとして試算。小型機向け販売数は、2019 年度株式会社ＡＣＳＬ業績と、上記市場規模成長率から、中・大型機向け販売数は、株式会社ＳＵＢＡＲＵ試算の機体数から試算している。

表 2.2.2.4-6 (2)光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

年度	販売単価（万円）	販売数（式）	売上（百万円）	粗利（百万円）
2023	―	―	―	―
2024	―	―	―	―
2025	75	50	37.5	17.5
2026	75	100	75	25
2027	75	200	150	50

本システムの販売単価は、小型化する光波センサユニットの開発費および部材費から想定。販売数は、株式会社ＡＣＳＬの機体に搭載することから、機体数の試算による。

表 2.2.2.4-7 (3)自律管理装置＋ドローン本体（実施者：株式会社ＡＣＳＬ）

年度	販売単価（万円）	販売数（式）	売上（百万円）	粗利（百万円）
2023	—	—	—	—
2024	—	—	—	—
2025	500	50	250	125
2026	500	100	500	250
2027	500	200	1000	500

本システムの販売単価と製品原価は、株式会社ＡＣＳＬ製 PF2 の物流仕様を想定。販売数は、2019 年度株式会社ＡＣＳＬ業績と、上記市場規模成長率から試算。

なお、物流用途のドローンにおいて価格は未だ公開されていないが、入手できた情報の範囲で比較すると、標準機体で 300 万円、物流仕様 （補助者なし目視外飛行などの航空法対応） で 500 万円、プロドローンの標準機体で 250 万円程度（補助者なし目視外対応の機種なし）であり、仮に競合から補助者なし目視外飛行対応の機体がリリースされたとしても、同価格帯となると見通している。

表 2.2.2.4-8 衝突回避システム売上予測



上記売り上げに加え、販路拡大のために海外への販売も模索する。

6.2.2.5 ４）準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化：

準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発

（実施期間：2 年間（2020 年度～2021 年度））

（実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

1.研究開発を考えるに至った経緯（動機）

弊社は 10 数年前に、高精度 L1 マルチ GNSS RTK 受信機を開発した。この当時、この種の受信機は主に測量用として使用されていた為、受信機市場において非常に高価（200 万円前後）であったが、弊社の受信機は 1/10 以下のコストで同等以上の性能を実現した。これにより、測量用途以外の、ドローン、トラクター・農機、建機、産業機器、ロボット等の自動運転用として注目され、既に量産機の供給を開始している。

また、近年、同程度のコストで準天頂衛星に対応した多周波受信機の需要が高まってくる状況となっている。

現状は、RF 部でデジタル化された信号と PRN コードの相関処理が可能な多周波に対応した LSI が無いため、汎用性が高い FPGA を使用している状況である。そのため、消費電力も高く、測位演算する CPU にも負担が大きい設計となっており、小型で低消費電力な比較的低コストの受信機が実現できない状況である。

今後、海外の受信機メーカも多周波対応のデバイスを開発し、小型・低消費電力の製品を展開することが予測され、海外メーカに市場のシェアを奪われる可能性がある。

上記のとおり、４周波数に対応する ASIC 化されたデジタルベースバンドは市場に無いため、独自に開発する必要がある。

2.概要

独自に開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機（基板サイズ：25.37cm^2[4.3cm×5.9cm]）を元に、デジタルベースバンド部の ASIC 化を行い、受信機の小型・軽量化、低消費電力化（目標基板サイズ/重量/消費電力：12.5 cm^2/0.5kg/2W 以下）を行う。更にアンテナを小型化し、性能は維持しつつ小型化（目標サイズ：5.9cm×5.9cm×3.3cm 以下）を行う。

加えて、当該受信機とアンテナを小型無人航空機に搭載し、協調式 SAA による衝突回避技術の開発を行い、福島県のロボットテストフィールド等で飛行試験を実施する。

（２）研究開発目標と根拠

事業内容

①デジタルベースバンド部の ASIC 化及び、モジュールの開発

①-1 デジタルベースバンドの ASIC 化

受信機のデジタルベースバンド部において FPGA を用いた GNSS 衛星信号処理は、用途に応じた必要な処理を行うといった最適化が可能（対応衛星、チャネル数、フィルタ、インタフェースなど）である。しかし、FPGA はその汎用性の高さから、サイズと消費電力が大きく、更には 1 周波（L1）や 2 周波（L1,L2）に対応した ASIC は存在するが 4 周波数に対応する ASIC 化されたデジタルベースバンドは市場に無いため、独自に開発する必要がある。これを克服するために、マルチ GNSS(GPS 衛星, GLONASS 衛星, 準天頂衛星、Galileo 衛星、Beidou 衛星)の複数周波数に対応した GNSS 衛星信号処理部の ASIC 化を行い、そのデバイスを用いてハードウェア設計と小型モジュールの開発を実施する（図 2.2.2.5-1）。



図 2.2.2.5-1 デジタルベースバンド部の ASIC 化

FPGA を ASIC 化することで、デジタルベースバンド部の消費電力は 2W から 0.5W に削減される見込みであり、受信機の消費電力は弊社既存の多周波受信機（3.5W）に比べ、1.5W 程度まで低消費電力化が期待できる。また、デジタルベースバンド部を ASIC 化することで、FPGA の様にソフトウェアアップデートができなくなることが懸念されるが、ASIC 化については、主にフィルタと GNSS の信号を処理する相関器部分の ASIC 化を行い、MCU は含んでいない。ソフトウェアの変更が必要になる可能性がある高精度測位演算については MCU で行い、外部メモリにソフトウェアを書き込む構成のため、ソフトウェアのアップデートは可能となる。表 2.2.2.5-1 に、対象となる衛星と信号を示す。

表 2.2.2.5-1 対象となる衛星と信号

測位衛星	信号
準天頂衛星（QZSS）	L1, L2, L5, L6
GPS 衛星	L1, L2, L5
GLONASS 衛星	G1, G2
Galileo	E1, E5a, E5b, E5
Beidou	B1, B2

①-2 評価ボード製作

Digital ASIC 開発のための RTL 設計や FW 開発のため、評価ボードを製作する。評価ボードについては、RF 部に問題が生じるリスクを低減する目的で 2 種類の評価ボードを作成する。

①-3 小型モジュール

上記①-1 にて開発した ASIC 化されたデジタルベースバンド部を搭載したモジュールの開発を行う。目標として、独自に開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機（基板サイズ：25.37cm^2[4.3cm×5.9cm]）のデジタルベースバンド部を ASIC 化し、性能は維持しつつ小型化、軽量化、省電力化した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機（目標基板サイズ・重量・消費電力：12.5 cm^2/0.5kg/2W 以下）の開発を行う。また開発する小型モジュールは、表 2 の数値を目標値として小型化・低消費電力化を行う。

①-4 専用 F/W 開発・評価

上記①-1 にて開発した ASIC 化されたデジタルベースバンド部を搭載したモジュールの専用の F/W 開発・評価を行う。

表 2.2.2.5-2 受信機仕様

項　目	仕　様
捕捉衛星・信号	GPS（L1・L2・L5）、QZSS（L1・L2・L5・L6）、GLONASS（G1・G2）、Galileo（E1・E5a・E5b・E5）、Beidou（B1・B2）
初期位置算出時間	コールド・スタート：90 秒（typ.） ウォーム・スタート：35 秒（typ.） ホット・スタート：12 秒（typ.） 衛星再捕捉時間：4 秒（typ.）
測位精度（RMS）	自律測位：1.5m 動的 RTK：5cm+0.7ppm×基線長(km) 静的 RTK：0.5cm+0.7ppm×基線長(km) PPP（MADOCA）：＜10cm PPP-RTK（CLAS）動的：＜6.94cm ※ PPP-RTK（CLAS）静的：＜3.47cm ※
出力レート	50Hz
入力フォーマット	NMEA0183 Version 3.0/RTCM SC104 Version 3.1
出力フォーマット	NMEA0183 Version 3.0

※CLAS の公式な精度が記載されている URL を以下示す。

https://qzss.go.jp/technical/system/l6.html#section02

②アンテナの小型化

アンテナの小型化は、弊社の仕様に基づき外注による製作を行う（目標サイズ：5.9㎝×5.9㎝×3.3㎝以下）。アンテナの小型化に関し、小型化によるゲインの低下は否めないが、アンテナ側でアンテナ素子の選定、ローノイズアンプのゲイン調整、フィルタの選定等を行い対策する。また、アンテナメーカーと密に連携し、受信機側でもファームによる対応等を行う。以下、表 2.2.2.5-3 に対象となる衛星と信号、図 2.2.2.5-2 に外観・外形・使用条件を示す。

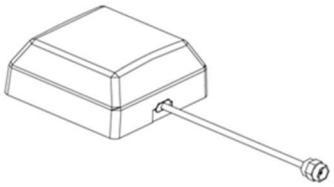
表 2.2.2.5-3 対象となる衛星と信号

測位衛星	信号
準天頂衛星（QZSS）	L1, L2, L5, L6
GPS 衛星	L1, L2, L5
GLONASS 衛星	G1, G2
Galileo	E1, E5a, E5b, E5
Beidou	B1, B2

・外観

寸法	65.0×65.0×25.0 mm
材質	ABS(T.B.D)
コネクタ	SMA PLUG
ケーブル	RG174(ケーブル長は T.B.D)
重量	100g 以下

・外形(T.B.D)



・使用条件

動作温度	-40～+85℃
保存温度	-40～+85℃
保存湿度	65±20 %RH

図 2.2.2.5-2 外観・外形・使用条件

③衝突回避技術の開発

弊社は小型無人機等の設計、開発、製造会社ではないため、受信機とアンテナを小型無人航空機に搭載し、協調式 SAA による衝突回避技術の開発は、小型無人機等を製造されている株式会社自律制御システム研究所（ACSL）に外注する。

（３）研究開発スケジュール･実施体制

研究開発スケジュール及び、実施体制は下記のとおり。

1. 研究開発スケジュール

表 2.2.2.5-4 研究開発スケジュール

事業項目	２０２０年度				２０２１年度			
	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期	第１四半期	第２四半期	第３四半期	第４四半期
①-1 デジタルベースバンドの ASIC 化						テープアウト	出荷	
①-2 評価ボード製作			部材手配／基板試作					
①-3 小型モジュール					部材手配／基板試作			
①-4 専用 F/W 開発・評価						専用 F/W 開発		
②アンテナ小型化				検討／設計／試作／評価				
③衝突回避システム開発					システム開発／飛行試験			

（２）研究開発体制

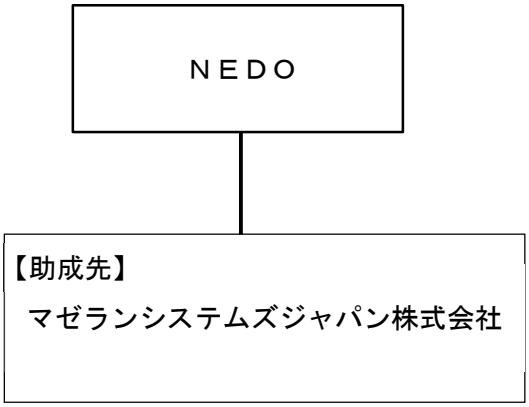


図 2.2.2.5-3 研究開発体制

（４）研究開発の達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
①-1 デジタルベースバンドのASIC化	評価ボードを用いてRTL開発を行い、2021年9月にTape Outを完了。論理合成ツールによりネットリストを作成しチップレイアウトを作成。当初の予定通り2022年1月5日に1stES品を入手した。	○	
①-2 評価ボード製作	2021年5月18日に評価ボードを入手し、RTL開発及び専用F/Wの開発に使用開始した。	○	
①-3 小型モジュール	設計したBB ASICを元に受信機の基板サイズ12.5cm^{2}以下で基板レイアウト設計完了。 重量（0.5kg以下）については十数g程度であり達成する予定。	△	
①-4専用F/W開発・評価	小型モジュールの製作が未達のため、本事業内で小型モジュール対応のF/Wを完成させ、評価まで達成することが出来なかった。	△	
②アンテナ小型化	アンテナサイズは6.5cm×6.5cm×2.54cmを実現し、体積ベースで目標をクリアした。更に測位衛星から送信される信号のL1、L2、L5、L6帯の4周波に対応し、準天頂衛星のCLAS（PPP-RTK方式）によるcm級高精度単独測位が出来ることを確認した。 また、測位衛星から送信される信号のL1、L2、L5、L6帯の4周波に対応し、準天頂衛星のCLAS（PPP-RTK方式）によるcm級高精度単独測位が出来ることを実証した。	○	
③衝突回避システム開発	受信機の小型化が間に合わず、既存の4.3cm×5.9cmの受信機を使用。アンテナは上記小型アンテナを使用し、小型無人航空機に搭載し、協調式SAAによる衝突回避の飛行試験を委託枠(注1)で実施した。	△	

（注1）委託枠の名称：
研究開発項目②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／
（1）無人航空機の運航管理システムの開発／
8）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：“①-3小型モジュール”については、半導体不足による影響が生じ、電子部品や基板材料（基材）も長納期で入手難になっており、製造まで実施することが出来なかった。消費電力（2W以下）については今後試作品を製作・評価の上確認する（※ASIC単体での最大消費電力は0.5W以下。）。このため、“①-4専用F/W開発・評価”は実施できず、また、“③衝突回避システム開発”は既存受信機を使用し飛行試験を実施した。

（５）成果と意義

①-1 デジタルベースバンドの ASIC 化

・ブロック図に応じて論理回路（RTL コード）を作成した。

・作成した RTL を、論理合成ツールを用いてネットリストを作成した。

・RTL 及びネットリストにより、下記項目を実施した。

（Ａ）ゲート数の算出

（Ｂ）消費電力のシミュレーション

（Ｃ）必要なメモリ容量の算出

（Ｄ）ピンアサイン

（Ｅ）ASIC レイアウト設計

（Ｆ）パッケージの選定

・完成した BB ASIC（2022 年 1 月 5 日に入手）は以下の通り。

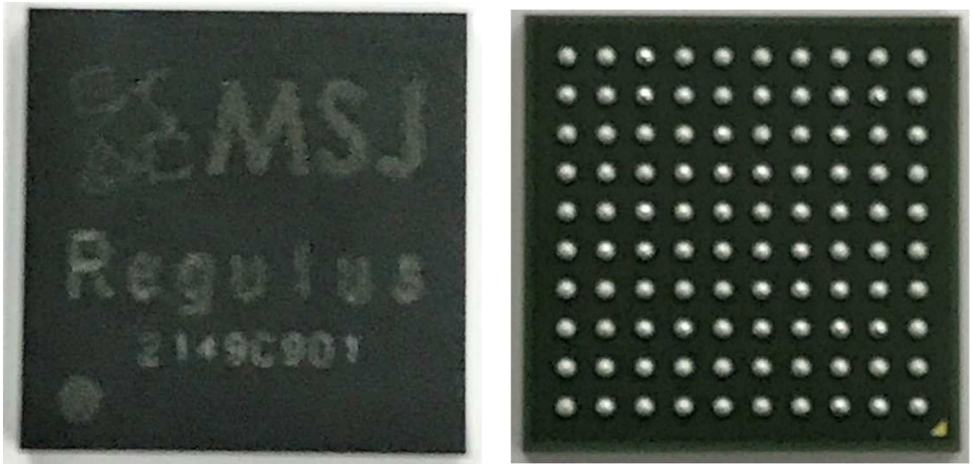


図 2.2.2.5-4 ASIC（Top-View　Bottom-View）

①-2 評価ボード製作

RTL 設計や FW 設計、評価において、RF 部に問題が生じるリスクを低減する目的で、下記の RF 部が異なる２種類の評価ボードの回路設計及び、基板レイアウト設計、製造を実施した。（デジタル部の回路やレイアウトはほぼ共通）

・名称：AVB-A

既に生産実績があり、市場での使用実績のある RF 回路を搭載したボード。このボードにより RF 部の動作に問題が発生するリスクを避けることが可能。

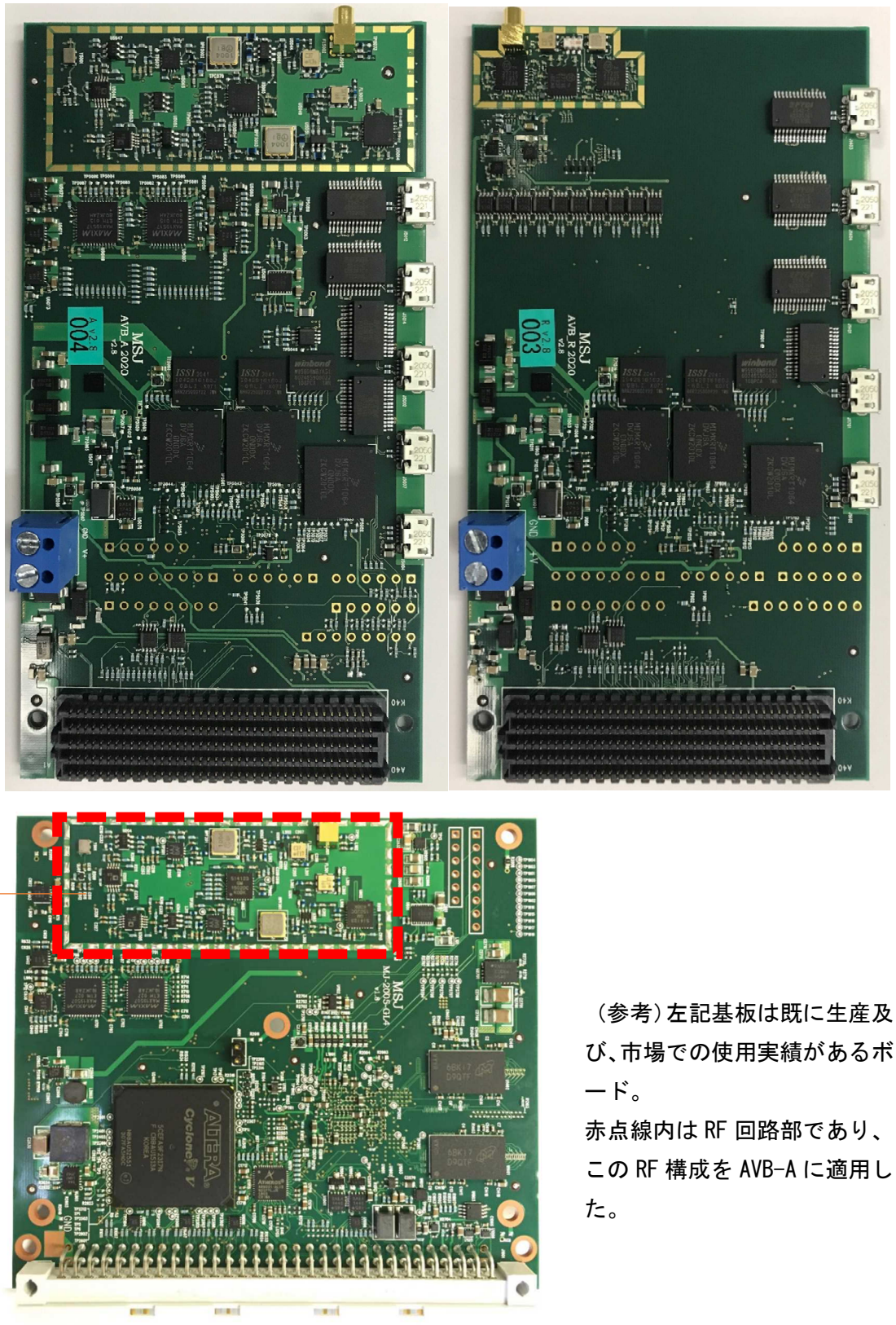
・名称：AVB-R

小型モジュール（基板サイズ 30㎜×40㎜）を想定し、そのサイズに合わせて RF 回路を設計したボード。このボードにより、事前に RF 部の問題を抽出し、小型モジュールにフィードバックすることが可能。

2 種類の評価ボードの実機は以下の通り。

名称：AVB-A

名称：AVB-R



（参考）左記基板は既に生産及び、市場での使用実績があるボードを。

赤点線内は RF 回路部であり、この RF 構成を AVB-A に適用した。

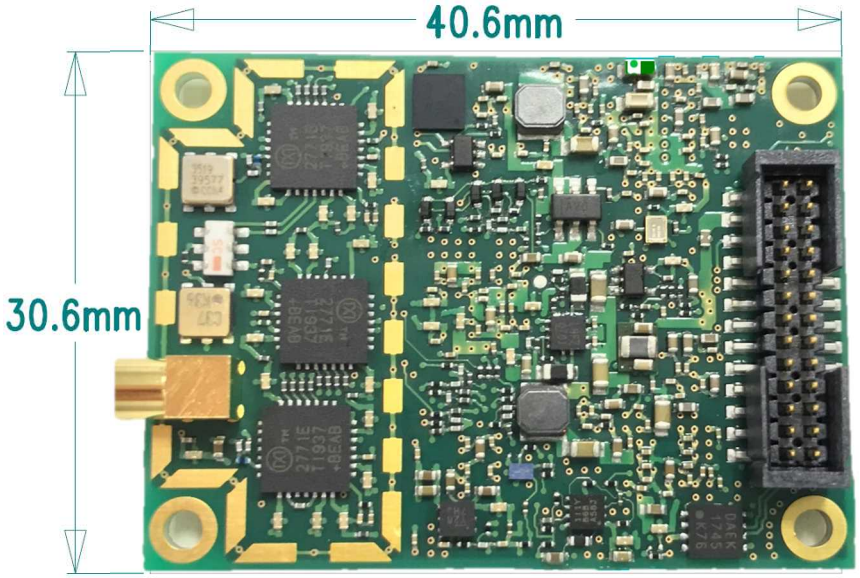
図 2.2.2.5-5 評価ボード

①-3 小型モジュール

BB ASIC は 2022 年 1 月 5 日に 1st ES 品を入手したが、半導体不足による影響が生じ、電子部品のみならず、基板の材料（基材）も長納期で入手難になっており、本事業内で小型モジュールの製造まで達成することが出来なかったが、2022 年 10 月に完成した小型モジュールを入手した。

・面積：3.06cm×4.06cm＝12.4236cm^2⇒目標値 12.5cm^2 以下をクリア

・Top View



・Bottom View

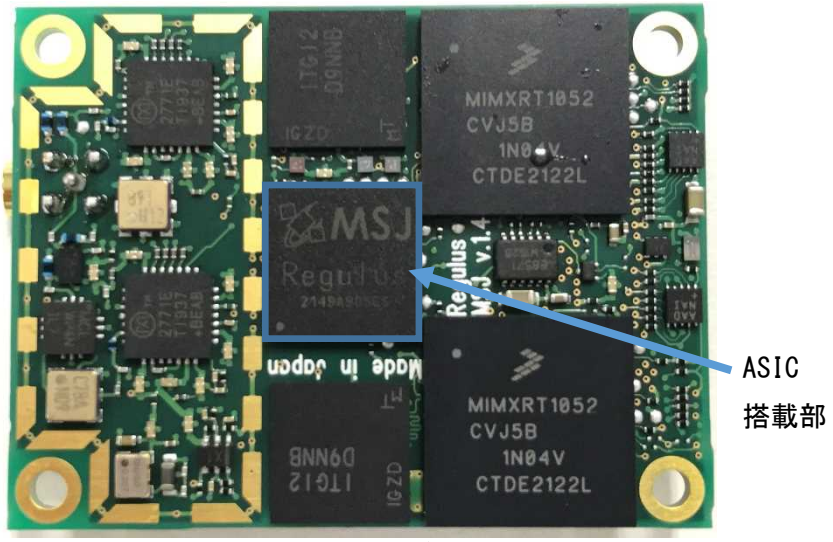


図 2.2.2.5-6 小型モジュール

①-4 専用 F/W 開発・評価

準天頂衛星のセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）では、測位精度のより安定したサービスを提供することを目的に、 2020 年 11 月 30 日から補強対象衛星数を最大 11 機から 17 機へと拡大された。

これに対応した F/W の開発を行い、補強対象衛星数 11 機の場合と 17 基の場合の精度の比較評価を行った。

CLAS の補強対象衛星数 11 機の場合と 17 基の場合の精度比較の結果は以下の通り。

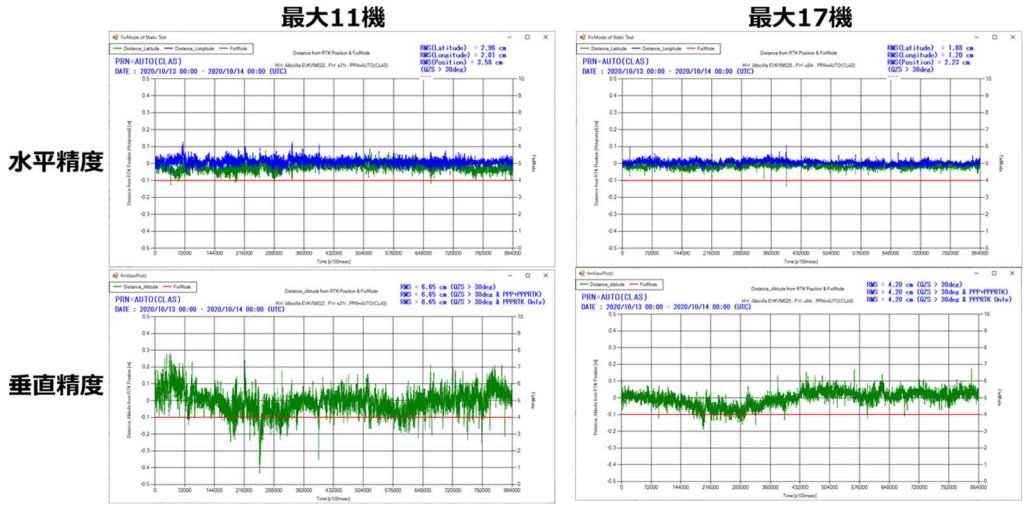


図 2.2.2.5-7 24 時間連続測位の推移プロット図

表 2.2.2.5-5 24 時間連続測位の精度結果

	水平（RMS）	垂直（RMS）
最大11機	3.58 cm	6.65 cm
最大17基	2.23 cm	4.20 cm

補強対象衛星数 17 基の場合、水平方向 2.23cm(RMS)、垂直方向 4.20cm(RMS（二乗平均平方根：Root Mean Square））であり、11 基の場合の水平方向 3.58cm(RMS)、垂直方向 6.65cm(RMS)より精度が高いことが実証できた。

②アンテナ小型化

受信周波数帯を 2 つに分け、それぞれの周波数帯に対応したパッチアンテナを 2 段構造にすることで、目標としたアンテナサイズ（5.9cm×5.9cm×3.3cm 以下）を体積ベースでクリアした。

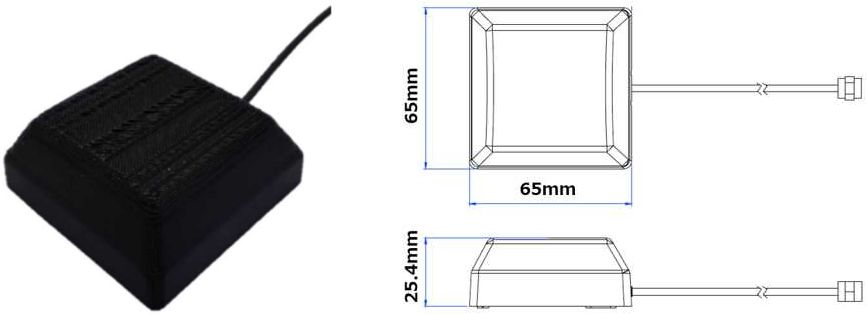


図 2.2.2.5-8 外観（実物、3D プリンタにて製作）・外形図

測位性能評価

（Ａ）静止時の測位精度評価

小型アンテナと既存受信機の組合わせで、静止状態での測位性能を評価した。準天頂衛星システムのセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）の静止時の測位精度仕様は以下の通り。

表 2.2.2.5-6 CLAS 静止時の測位精度仕様

種別	測位誤差	
	水平	垂直
静止	≦6cm(95%) (3.47cm (RMS))	≦12cm(95%) (6.13cm (RMS))

・評価内容

外乱なく衛星からの信号を受信できるオープンスカイ環境下にて測定を行った。CLAS 測位の測位モードが PPP-RTK（高精度単独測位が完了した状態）から、30 分間の定点観測を行い、CLAS 測位時の Fix 率と、水平精度、垂直精度の RMS 値を算出した。

・評価結果

30 分間の定点観測での Fix 率を算出した。

結果は以下の通り。

表 2.2.2.5-7 評価結果

定点観測時間	1800sec
Fix 率	100%

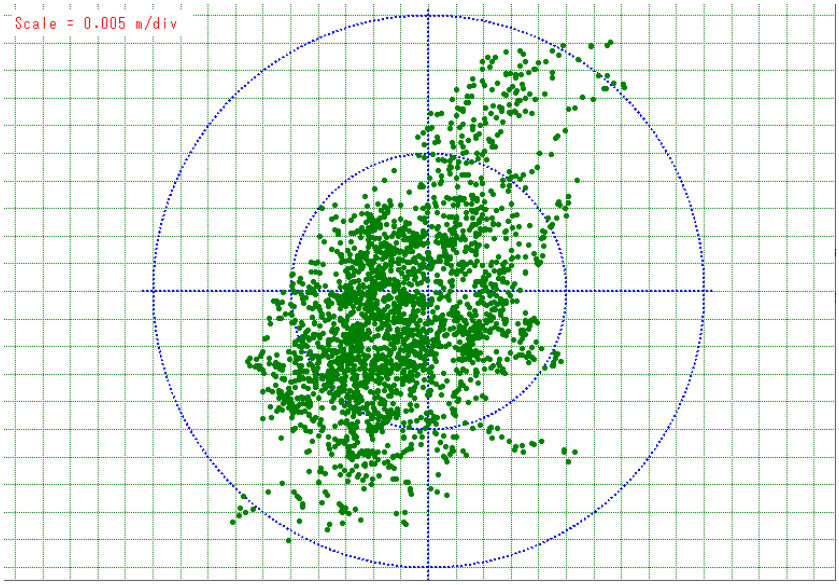


図 2.2.2.5-9 測位精度（水平プロット）

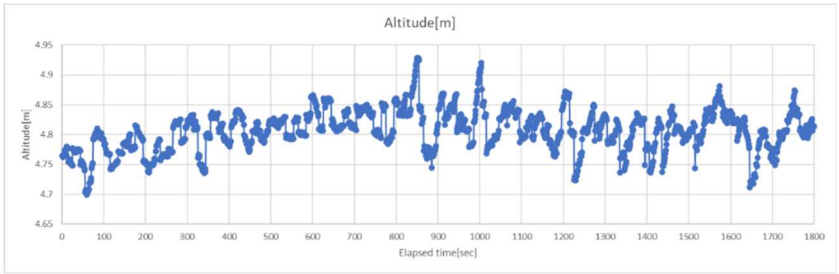


図 2.2.2.5-10 測位精度（垂直プロット）

表 2.2.2.5-8 CLAS 測位精度評価結果まとめ（静止）

種別	測位評価結果	
	水平	垂直
静止	2.13cm (RMS)	3.39cm (RMS)

評価結果から、小型アンテナと既存受信機との組み合わせにて、静止での CLAS 測位精度仕様を満たすことを実証した。

（Ｂ）移動体での測位精度評価

小型アンテナと既存受信機の組合せで小型無人航空機に搭載し、移動体での測位性能を評価した。準天頂衛星システムのセンチメータ級測位補強サービス（CLAS）の移動時の測位精度仕様は以下の通り。

表 2.2.2.5-9 CLAS 移動時の測位精度仕様

種別	測位誤差	
	水平	垂直
移動体	≦12cm(95%) (6.94cm (RMS))	≦24cm(95%) (12.25cm (RMS))

・評価内容

予め設定された飛行パターンで飛行を 7 回行った。評価としては 7 回飛行時の CLAS 測位時の Fix 率と、RTK 測位との精度比較検証を行った。小型無人航空機飛行パターンは以下の通り。

- ✓ 最高飛行速度 50km/h（直進飛行）
- ✓ 回避飛行（高度を下げながら旋回）
- ✓ 離陸地点に帰還

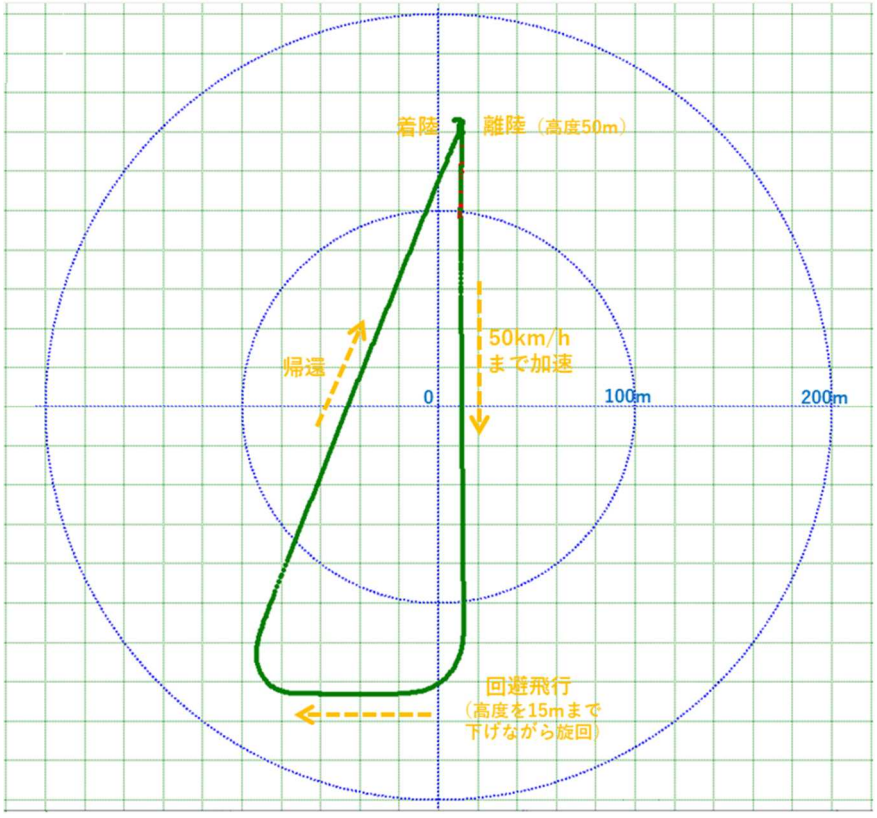


図 2.2.2.5-11 小型無人航空機飛行パターン

・機器構成

小型無人航空機（ACSL 製 PF2）に搭載する機器を以下に示す。

RTK 測位との精度比較を行うために、RTK 基地局（Base）を地上に設置した。

小型無人航空機には 2 台の GNSS 受信機を搭載し、一方は CLAS 測位、他方は RTK 基地局からの補正情報（RTCM）を受信し、RTK 測位を行う。RTCM は特定小電力無線を用いて送受信した。

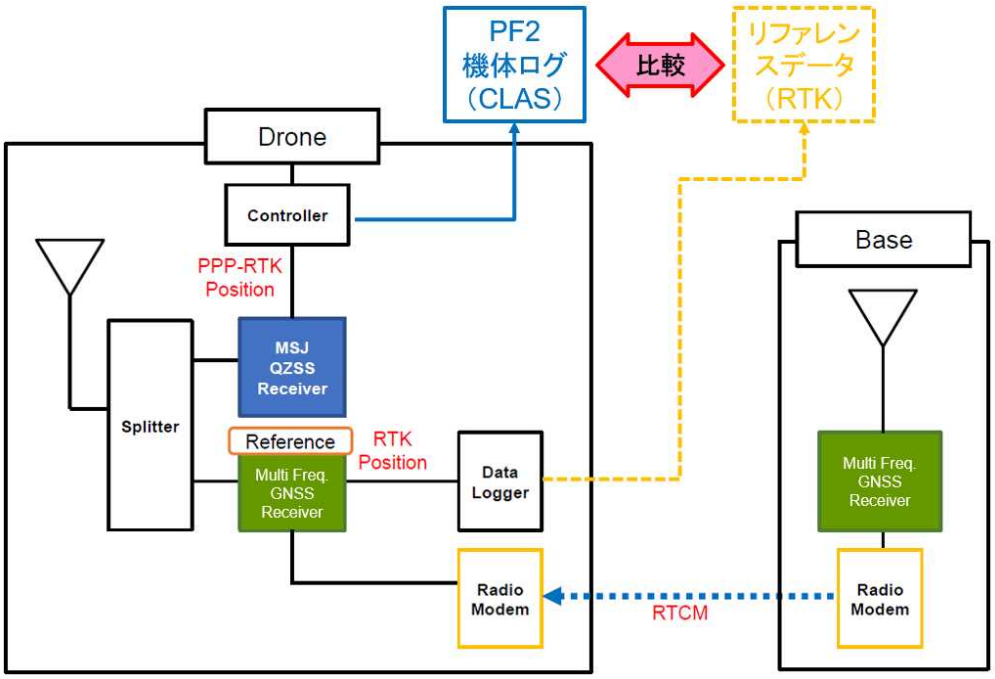


図 2.2.2.5-12 機器構成

・評価結果

計 7 回の飛行を行い、飛行時間内での CLAS 測位の Fix 率を算出した。

結果は以下の通り。

表 2.2.2.5-10 CLAS 測位 Fix 率

	1	2	3	4	5	6	7	Total
飛行時間[sec]	190	275	246	127	140	179	110	1267
Fix 率 [%]	100	100	100	100	100	100	97	99.74

計 7 回の飛行試験における CLAS 測位の Fix 率（時間比）は 99.74%となった。

これは、定点観測の Fix 率と同等であり、離着陸、時速 50km/h での飛行、回避飛行による Fix 率への影響がないことを実証した。

次に、計 7 回の飛行のうち、7 回目の飛行での CLAS 測位と RTK 測位の精度比較を行った。
50km/h での飛行及び旋回飛行が含まれる区間のみを抽出し、RTK 測位結果を真値として比較を行った。

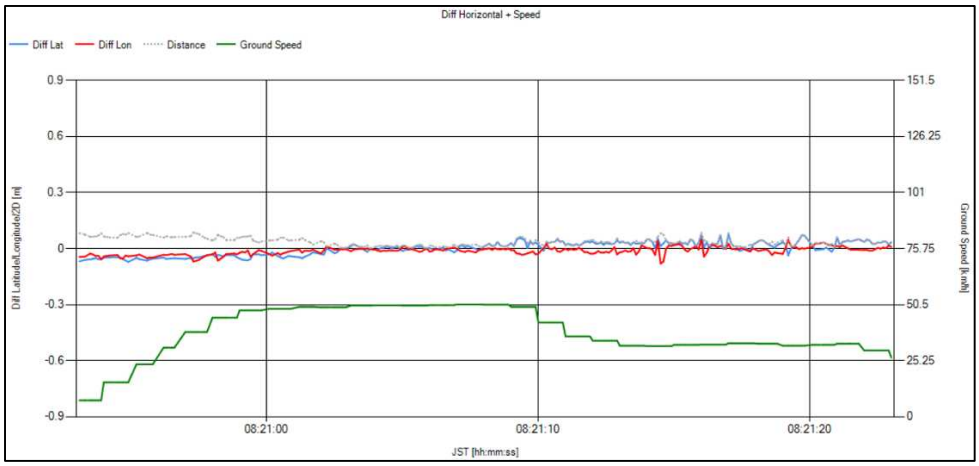


図 2.2.2.5-13 水平精度比較

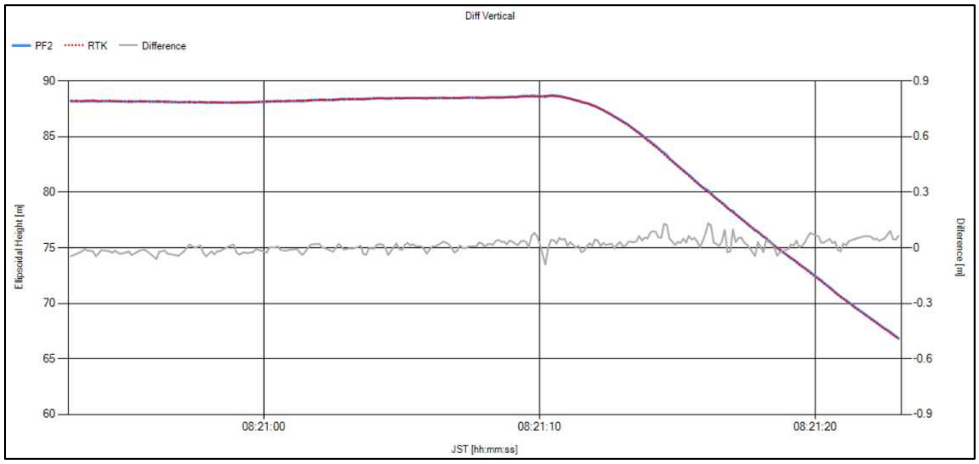


図 2.2.2.5-14 高度精度比較

表 2.2.2.5-11 CLAS 測位精度評価結果まとめ（移動体）

種別	測位評価結果	
	水平	垂直
移動体	4.17cm (RMS)	3.75cm (RMS)

評価結果から、小型アンテナと既存受信機との組み合わせにて、移動体での CLAS 測位精度仕様を満たすことを実証した。

③衝突回避システム開発

小型モジュールの製作が未達のため、本事業内に衝突回避システムによる飛行試験を行うことが出来なかった。

但し、小型アンテナと既存受信機の組合せで小型無人航空機に搭載した衝突回避システムによる飛行試験を委託枠（注 2）で実施した。

上記、②アンテナ小型化の（Ｂ）移動体での測位精度評価が、委託枠で実施した実証実験の一部である。

（注 2）委託枠の名称

研究開発項目②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／

（1）無人航空機の運航管理システムの開発／

8）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	0	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	0	1	－	1
展示会出展	－	－	－	0	1	4	5
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	0	0	1	1
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	0	0	－	0
国内出願	－	－	－	0	0	－	0
外国出願	－	－	－	0	0	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

先ずは、既存取引先を主たるターゲットとし、B to B 市場にて現行機種と同等の価格帯（約 10 万円）でリプレースを提案する。QZSS からの補強情報が受信出来る地域では基地局が不要となるためシンプルな構成となり、さらに本事業による受信機の小型化、軽量化、低消費電力化は大きなアドバンテージになる。また、既存取引先以外でも、受信機の多周波による長基線長での適用や、精度向上等のアドバンテージを訴求出来るため、比較的早いタイミングでの普及が可能となる。

本事業による受信機の小型化、軽量化、低消費電力化を推進する事により、よりコンパクトでの市場導入が可能となり、既存の受信機市場でも、より高い精度が必要とされるドローンをはじめとし、UGV、自動車やパーソナルモビリティ、電動車いす等の自動運転アプリケーションへの短期間での適用が比較的容易になると考える。このタイミングで他の GNSS メーカへも小型化、軽量化、低消費電力化したモジュールを供給し、

市場への浸透拡大を加速させる事ができるため、ビジネスプランにおいて優位性がると考える。

表 2.2.2.5-12 市場の動向

	市場規模	当社のシェア
1 年目（2024 年度）	11200 百万円	2%
2 年目（2025 年度）	11500 百万円	3%
3 年目（2026 年度）	11800 百万円	5%
4 年目（2027 年度）	12100 百万円	5%
5 年目（2028 年度）	12400 百万円	5%

- 市場規模算出の根拠：シードプランニング『衛星測位システム受信機総覧 2019』の、準天頂衛星システム・受信機システム市場規模から算出した。
- シェア見通しの根拠：当社の売上高成長率と市場規模から相対的に算出した。

表 2.2.2.5-13 売上見通し

	販売価格	販売数	売上	製品原価	収益
1 年目（2024 年度）	10 万円	2,000 個	200 百万円	100 百万円	100 百万円
2 年目（2025 年度）	8 万円	5,000 個	400 百万円	200 百万円	100 百万円
3 年目（2026 年度）	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円
4 年目（2027 年度）	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円
5 年目（2028 年度）	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円

- 売上見通し設定の考え方：現在、販売中であり本事業の成果物と同等の仕様をもつ多周波マルチ GNSS 受信モジュールの価格（15 万円）と、2020 以降の準天頂衛星システム利用市場規模の拡大（2020 年 2 兆 641 億円、2025 年 2 兆 3,779 億円）に伴う受信機システム市場規模の拡大（2020 年 100 憶円、2025 年 115 億円）を鑑みて算出した。

出典：シード・プランニング、『衛星測位システム受信機総覧 2019』

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化のスケジュール

助成期間終了後５年間の事業化計画を下記に示す。

表 2.2.2.5-14 事業化のスケジュール

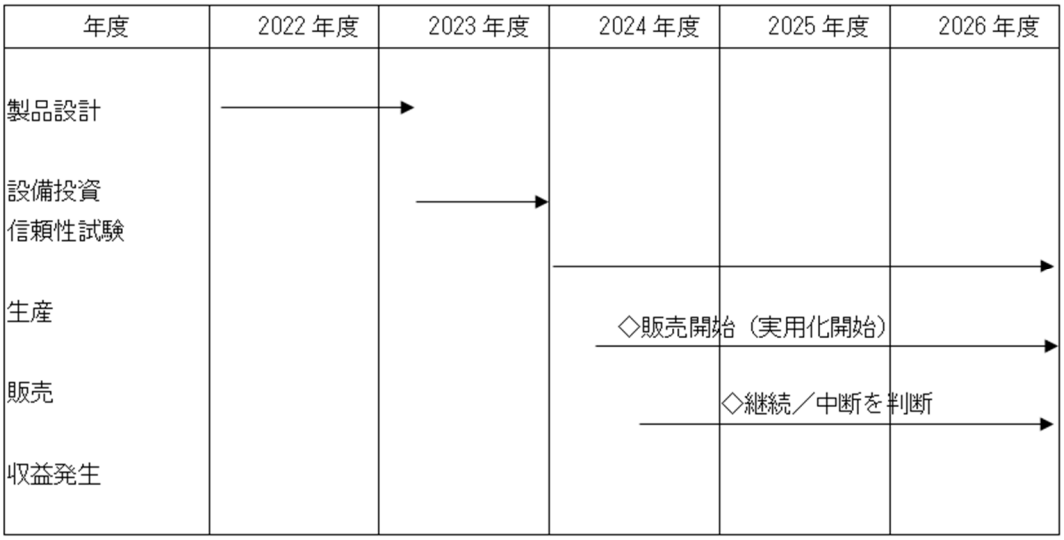


表 2.2.2.5-15 市場の動向

	市場規模	当社のシェア
1 年目（2024 年度）	11200 百万円	2%
2 年目（2025 年度）	11500 百万円	3%
3 年目（2026 年度）	11800 百万円	5%
4 年目（2027 年度）	12100 百万円	5%
5 年目（2028 年度）	12400 百万円	5%

- 市場規模算出の根拠：シードプランニング『衛星測位システム受信機総覧 2019』の、準天頂衛星システム・受信機システム市場規模から算出した。
- シェア見通しの根拠：当社の売上高成長率と市場規模から相対的に算出した。

3. 実用化・事業化の見通し

実用化・事業化の今後の方針は上記の「事業化のスケジュール」に記したとおりである。また、本事業の成果（既存のデジタルベースバンド部の ASIC 化）による、衛星測位受信機の小型、軽量、低消費電力化は、ドローンに搭載する場合、ペイロードを大きくでき、更に長い飛行時間を可能とする。

さらに、準天頂衛星を使い単独で cm 級の高精度測位ができることで、今まで RTK 測位で必要であった補正情報を生成するための基準局の設置や補正情報を機体に送信する通信手段が不要になり低コスト化が図れ、かつ、基準局と機体間の通信距離を気にする必要がなくなる。また、機体間の正確な位置情報の共有は、ドローン同士の衝突回避や衝突防止に役立てることが出来る。

尚、本事業における成果物はドローンのみならず、あらゆる自動運転実現支援ソリューションとなるため、日本国内で世界トップレベルの多周波受信機の開発・製造を進めることは、準天頂衛星（みちびき）対応高精度衛星測位受信機の社会実装を加速させ、今後の産業界の活性化に繋がる。

6.3. 研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

6.3.1. デジュール・スタンダード

ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進（１）デジュール・スタンダード

（実施期間：5 年間（2017 年度~2022 年度））

（実施先：PwC 株式会社）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

無人航空機による「空の産業革命」を早期に実現させるためには、将来的な無人航空機の利活用を見据え、関係者が共通認識を持って研究開発や環境整備を進めていく必要があるが、その要素技術の開発進捗のスピードは極めて速いだけでなく、今後、利活用・研究開発の動向や諸外国の制度設計に関する検討状況等も常に変化していくことが予想されている。また、無人航空機の機体の認証及び操縦者の資格については、その対象、手法、基準、実施の主体等について、安全の確保を前提として制度の柔軟性の確保、諸外国の制度との協調、効率的な制度運用、段階的な取組の検討を踏まえ、今後慎重な議論がなされていく見通しである。

一方、先般施行された改正航空法により、我が国においても無人航空機の運航に関し欧米先進国と同等のルールが導入されたと言える。しかしながら、無人航空機の機体や操縦者、運航管理体制のルールについては、諸外国でも整備途中の段階にあり、また、ICAO や JARUS、ISO といった場での国際ルールや国際標準化の検討も開始された状況であることから、議論の方向性も現時点では見通せない。

今後、海外市場での我が国関係企業の競争力確保を考えれば、国際協調を念頭に制度設計していく必要性も鑑み、国際的なルール検討の場に積極的に参画し、国際的な動向を把握するとともに、我が国産業の強みが発揮できるよう、我が国の取組や技術開発の動向を国際的議論に反映させる必要がある。

そのため、標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、本プロジェクトにおける検討・開発の国際的な連携を進め、将来的に本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。

＜事業概要＞

(ア)国際的な検討状況の把握
(イ)国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築
(ウ)本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信
(エ)本プロジェクト終了後の継続的な施策検討
(オ)ドローンの法的解釈に関する調査検討
(カ)国際標準化に向けた運航管理システム API の公開対応

(ア)国際的な検討状況の把握

ドローンに係る技術開発動向や、標準化動向について、海外の文献調査や現地調査を実施し、報告書を作成することを目標とする。

調査方法は、文献調査を基本として実施する。なお、調査対象技術領域や調査対象機関については、以下とする。を想定しているが、本プロジェクトにおける研究開発動向や平成 30 年度の調査結果の内容等を鑑みて詳細を決定する。

調査対象技術領域は、本プロジェクトにおいて研究開発を推進している航空管制システム

や情報提供システム及び省エネルギー技術とする。
調査対象機関は、上記にかかる技術について研究開発及び標準化等に取り組んでいる米国(NASA・FAA)、EU(SESAR・EUROCONTROL)、ISO（TC20/SC16）や、それらの活動に参加している企業とする。
調査結果の本プロジェクト関係者への共有は、後述するプロジェクト関係者情報共有サイト等やセミナー等において提供する。
(イ)国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築
（ア）において得た結果や構築した人的ネットワークを用いて、海外動向等の情報共有を行う、以下に記載するセミナーを実施するとともに、やプロジェクト情報共有サイトにおいて本プロジェクト関係者に提供する。

〇セミナーの実施
本プロジェクトの研究開発の促進のため、主にプロジェクト関係者を対象としてセミナーを開催し、国際的な検討状況等を周知する。

<対象者>
本プロジェクト各テーマ関係者、NEDO、経済産業省関係者

<セミナー実施時期/回数・場所>
数十人程度収容できるセミナー会場を確保し実施する

<例：実施内容>
無人航空機に係る国際的な検討状況
無人航空機の技術動向
国際標準化の検討状況
無人航空機の法規制にかかる動向

〇プロジェクト関係者情報共有サイトの運用
　本プロジェクトにおける情報共有を活性化することで、各テーマの研究開発の目的を達成することに繋げるため、本プロジェクトの各チームがそれぞれ利用可能な関係者情報共有サイトを運用する。情報共有サイトは、各プロジェクトにおける資料の共有、情報伝達、会議調整が行える機能を搭載したものとする。また、（ア）の調査結果や、その他プロジェクト全体に関係する資料等の共有化を随時実施し、情報が適切に共有されることを目指す。

(ウ)本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信
以下のとおり、本プロジェクトの検討状況や成果等を世界に発信する仕組みを構築し、本プロジェクトの成果を国内・海外の関係者等へ周知を行うと共に、本プロジェクトに対する諸外国からの関心度や意見等を集約・分析する。

〇Web を活用した発信
本プロジェクト情報を国内外に周知するためのプロジェクトホームページ（日本語版及び英語版）を運営することを目標とする。プロジェクトポータルサイトには、本プロジェクトの実施動向（実施内容及び実証試験予定や実証結果）及び関係するコンテンツ等を随時掲載し更新する。なお、本プロジェクトの各テーマが作成する資料や実証動画については、関係者に提供依頼等を行い資料収集し掲載を行う。また、プロジェクトホームページのアクセス解析（訪問者の地域、訪問時間帯、訪問ページ等）を実施し、諸外国などの関心度を把握する。

〇シンポジウムでの発信
本プロジェクトの国内外の発信を目的として、シンポジウムでの発信の場を設定し、本プロジェクト各テーマの活動状況及び成果について周知を図ることを目標とする。そのため、来場者が多く国際的に情報の発信が可能な無人航空機関連のイベントにおいて、本プロジェクトのデモンストレーションや発表が実施可能なブースを構築し周知を図る。イベントにおいては、事務局としてこれらにかかる運営や各プロジェクトとの調整を実施する。また来場者アンケートを実施しレポートとして取りまとめ、各プロジェクトの今後の活動に生かすためのフィードバックを行う。

(エ)本プロジェクト終了後の継続的な施策検討
本プロジェクトの中間評価（平成 31 年度）に向けた実施計画をまとめる。
本プロジェクトが終了後、我が国が強みを有する技術分野の特定と国際標準化を獲得するための継続的な施策について、プロジェクト関係者と合意形成を図る。

(オ)ドローンの法的解釈に関する調査検討
　無人航空機の利活用に係る安全性の担保や商用利用に関するルール検討を進めることを目的として、国内外の法制度等の調査を実施すると共に有識者等からの意見を収集する。
調査内容は、無人航空機を用いた物流等に関するケースを対象として、①国内法制度上の課題、②海外主要国の法制度動向とする。
また、上記調査の結果を有識者に提示し、日本の制度面における課題や今後対応すべき内容・方向性等の意見を収集する。

(カ)国際標準化に向けた運航管理システム API の公開対応
　本プロジェクトにおいて開発している無人航空機の運航管理システムについて、API をプロジェクトウェブサイトを通じて国内外に公開することで運航管理システムの国際標準化に向けた環境作りを行う。公開にあたっては、API の各種説明資料の公開や質問受付、利用登録等の諸機能を構築するとともに、公開後における各種質問等の対応を行う。また、API について、EU・中国・オーストラリア・米国においてイベント等を通じた発表を行い、日本の運航管理システムについて周知を行う。

（２）研究開発目標と根拠

関連する海外の主要標準化団体（ISO 等）の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体（例えば、米国の NASA、FAA 等）との研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみでなく制度設計見直しに関する検討活動や、既に活動されている関連団体、協議会等の活動との協調を図り、本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体へ引き継ぐ。

なお、グローバル市場の拡大に寄与する技術領域においては、複数分野、異なるロボット領域の研究者及び技術者等により構成されるワーキンググループを設置した上で推進し、知的財産の権利帰属等の合意形成を図りつつ、我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う。

研究開発目標	根拠
本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体（ISO/TC20/SC16）へ引き継ぐ（3-4 件を想定）	国際標準化団体、特に ISO の TC20/SC16 Unmanned Aircraft System は欧米に加えてアジアの主要国も参加する世界的なドローンの国際標準策定の場であり、本プロジェクトの成果を標準化する場として相応しい。
我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う	本プロジェクト参加各社において、ISO 等の国際標準化活動に習熟した人材が限定的であるため、人材育成の必要性は高い。

（3）研究開発スケジュール・実施体制

項目		2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021年度				2022年度			
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
(ア)国際的な検討状況の把握	調査項目設計	→				→				→															
	文献調査	→	→			→	→			→	→														
	取りまとめ				→			→				→													
	次年度調査の見直し				→				→				→												
	ISO TC20 SC16の動向把握									→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→				
	国際標準化提案支援（運航管理システム）									→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→				
	国際標準化提案支援（衝突回避システム）									→	→	→	→					→	→	→	→				
(イ)国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築	セミナーの実施		→		→		→					→													
	プロジェクト関係者情報共有サイトの運営					→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→				
(ウ)本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信	webを活用した発信					→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
	シンポジウムの開催			→		→	→	→	→	→	→	→										→	→	→	
(エ)本プロジェクト終了後の継続的な施策の検討	意見の収集								→	→	→														
	実施計画の変更											→	→												
(オ)ドローンの法的解釈に関する調査検討	調査研究の実施								→	→	→	→	→												
	意見の収集								→	→	→	→	→												
(カ)国際標準化に向けた運航管理システムAPIの公開対応	システムの構築									→	→														
	API公開・周知										→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→				

NEDO

↓

PwC コンサルティング合同会社
- 研究実施場所：
  - Digital & Disruptive Technology ラボ
- 研究項目：
  - 海外におけるドローン活用の調査・研究
  - 国内調査結果の海外発信

【再委託】

一般社団法人ドローン操縦士協会
- 研究実施場所：
  - 潮見ドローン専用飛行場
- 研究項目：
  - 国内におけるドローン活用の調査・研究

（4）研究開発の達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体（ISO/TC20/SC16）へ引き継ぐ（3-4 件を想定）	ISO TC20/SC16 において、3 件が公開済、1 件が進行中となっている。 ・【公開済】 Data model for spatial data(ISO 23629-7) UTM Functional Structure (ISO 23629-5) Unmanned aircraft systems - Part 3: Operational procedures (ISO 21384-3)改訂 他 1 件の標準化が進行中 ・Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems (ISO/CD 15964)	○	―
標準化活動に従事する技術者に対する知見獲得・標準化活動支援を開始する。	ISO TC20/SC16 議長や米国の性能評価基準専門家等を招聘してシンポジウムを開催、標準化担当者への手続き・文書策定支援を実施	○	―

（５）成果と意義

ISO TC20/SC16 において、本プロジェクトの成果として、参画企業が 4 本の規格案を提案した。“UAS traffic management (UTM) – Part 7: Data model for spatial data (ISO 23629-7)”は国際標準として既に公開されている。“UAS traffic management (UTM) – Part 5: UTM functional structure (ISO 23629-5)”は 2023/5 に公開された。

“Unmanned aircraft systems – Part 3: Operational procedures(ISO 21384-3) ”の改訂は 2023/10 に公開された。“Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems(ISO 15964)”は CD 段階となっている。

また、標準化活動に資する技術者育成のため、米国においてドローンの性能評価基準を開発した専門家や ISO/TC20/SC16 議長を招聘したレクチャー、国際標準化団体への規格案作成・手続支援を実施した。

その他、事業内容（ア）～（カ）に記載した海外情報の収集・分析、国内外での情報発信イベント実施、Web サイト運営、法的解釈に関する調査等、国際標準化を下支えする事業も実施した。

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	0	0	0	0
学会発表・シンポジウム講演等	2	2	2	2	0	1	9
展示会出展	1	1	5	3	4	3	17
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	0	0	0	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	0	0	0	0

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
国内出願	0	0	0	0	0	0	0
外国出願	0	0	0	0	0	0	0

（7）実用化・事業化への道筋と課題

2.1 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクト成果の ISO における国際標準の成立により、各国のルールに影響を与えることから、国内外の無人航空機の機体や UTM サービス等に日本の技術が実装されやすくなる。今後、無人航空機関連市場は世界的に拡大していくことが予想されていることから、市場成長に伴って、本プロジェクト成果が普及していくこととなる。

2.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

現在、標準化が進展中の 3 件、UTM Functional Structure(ISO 23629-5) ”、“Unmanned aircraft systems - Part 3: Operational procedures(ISO 21384-3) ”の改訂、Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems(ISO 15964)”について国際標準としての成立に向けて継続的なサポートを行う。ISO による国際標準化が成立することにより、研究開発成果が海外を含めて普及することとなり、本プロジェクト成果の事業化の後押しとなる。

2.3 実用化・事業化の見通し

我が国から提案し、ISO において国際標準化が進んだ“Data model for spatial data (ISO 23629-7)”、“UTM Functional Structure(ISO 23629-5) ”、“Unmanned aircraft systems - Part 3: Operational procedures(ISO 21384-3) ”の改訂、Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems(ISO 15964)”は、無人航空機のサービス成立のための基盤技術・ルールであることから多くの無人航空機関連サービスで活用される可能性が高く、実用化及び普及が進んでいく見込みである。

6.3.2. デファクト・スタンダード

（実施期間：5 年間（2017 年度~2022 年度））

（実施先：株式会社日刊工業新聞社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人神戸大学、学校法人玉川学園玉川大学。特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。

製造業の新たな競争力強化及びものづくり産業の革命のために必要な政策の一つとして、ロボット技術の研究開発・社会実装の加速を目的として、イノベーション・コースト構想の下、福島ロボットテストフィールドでは分野毎に求められるロボットの性能等に関する国際標準を見据えた評価基準及びその検証手法の研究開発が進められている。

「日本再興戦略（2014)」では、ロボットの国際競技大会の開催を視野に入れ、日本の最先端技術を世界に発信するとしている。さらに、「ロボット新戦略（2015)」では、ロボットの研究開発を加速し、社会実装を進める一つの方法として、様々なロボットを対象とした競技会や実証実験、デモンストレーションを実施することを掲げている。

技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボット分野において、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるために海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ることを念頭に、競争の場(World Robot Summit：以下、「WRS」）を設定する。

本事業を通したデファクト・スタンダードの取組において、世界の最新技術やニーズを日本に集めるとともに、日本発の競技ルールを開発し、技術開発の競争が加速する手法を開発することを目的とする。

＜事業の概要＞

デファクト・スタンダードの取組において、我が国の研究開発力を促進させるとともに、イニシアティブを取り得る位置づけとするため、人間とロボットが共生し、協働する世界（新しいロボットイノベーション）の実現に向けて、世界からロボットに関する叡智を結集して、様々な課題にチャレンジする競技や展示を行い、技術開発や社会実装を加速させることで、暮らしや産業、社会がどのように変わるかを見せる場（WRS）を設定する。

WRS は、経済産業省及び NEDO が主催し、競技会 「World Robot Challenge（以下、「WRC」)」と展示会 「World Robot Expo（以下、「WRE」)」からなるロボットの国際大会とする。2021 年度に開催する本大会以前に、必要に応じてトライアル試験等の試行的な取組等を行う。WRS は 2021 年に愛知県・福島県で開催を計画し、これに先立ち 2018 年に東京でプレ大会の開催や競技毎にトライアルを実施する等の試行的な取組を行う。

ロボットのバリューチェーンは、ロボットを活用したビジネスモデルをハードとソフトから捉えて開発し、プロトタイプを作っていくことで形作られていく。想定した社会課題をどのように解くかを意識してイノベーションを起こすことを企図した事業設計を行う。挑戦的なテーマを設定して参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場（大会）を活用する研究開発手法に取組む。当該手法により参加者のモチベーションを高めて技術を競い合わすことでイノベーションを促進する。

これまで主要な競技会として、官民双方のアプローチが存在し、DARPA Robotics

Challenge（米国）のように国が主導した賞金の競技会の他、Robo Cup のように、世界中のロボット研究コミュニティを形成する世界的な競技会が存在する。そのような中、ロボットの国際大会を、国が主導して行うはじめての競技会形式により、社会実装を進めるための研究開発を実施する。

また、ロボット技術の社会実装を促進するためには、ロボットを活用する場を紹介し、一般市民にその有用性を示すことが必要不可欠であることから、ロボット関連のデモンストレーションを行う。通常の展示会は、「いかにハードやソリューションを売るか」という点に力点がおかれるのが一般的だが、WRE では、人とロボットが協働する世界を実現するため、体験型の展示、ユーザーと連携した展示を意識し、幅広い交流を図ることを目的とする。WRE は競技会と連動し、試行的取組として、2018 年に WRC と同時期に東京ビッグサイトにおいてプレ大会の開催を企画し、2021 年には、愛知県、福島県での本大会を計画する。

これらの競技、展示を通じて、社会実装と研究開発の両輪を回すことが、本事業の核心となる。具体的には、競技手法を検討することで研究開発を促進させる効果をもたらし、展示手法を検討することにより社会実装を加速させることができる。

これらの活動を包括的に行うため、実行委員会、実行委員会諮問会議、ものづくり競技委員会、サービス競技委員会、インフラ・災害対応競技委員会、ジュニア競技委員会等から構成される多数の委員会を組織し、競技会と展示会双方の研究開発を進める。なお、これらは新しい社会実装手法としての試みであり、関連するステークホルダーとの関係を強化し、研究開発を推進するために、広報手段も重要な研究開発要素となるため、WEB・動画等も含めた展開・周知を行う。

＜事業の内容＞

各種委員会・ワーキンググループの開催を通じて、以下の事項を進める。

①ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発
②ものづくり競技手法の研究開発
③サービス競技手法の研究開発
④インフラ・災害競技手法の研究開発
⑤ジュニア競技手法の研究開発

（２）研究開発目標と根拠

福島県の福島ロボットテストフィールド、愛知県の Aichi Sky Expo で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。（最終目標）

競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、2018 年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームや競技設計を行う。（2018 年度中間目標）

2018 年のプレ大会での結果を受けて、2021 年度には、さらに社会実装を意識した新たな競技ルールのもと、WRS の本大会を実施し、コロナ禍においても安全・安心に参加できる大会の形を実現する。

上記の取組を通じて、世界からロボットに関する叡智を結集して、様々な課題にチャレンジする競技や展示を行い、技術開発や社会実装を加速させる。

①ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発

国際的な競技会と展示会である World Robot Summit の開催を通じて、研究開発を促進し、社会実装を加速するため、各種委員会等を通じて、多様なステークホルダーとの利害調整、情報発信等を実施し、研究開発手法として確立する。

②ものづくり競技手法の研究開発

競技会形式による製品組立に関する挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。

③サービス競技手法の研究開発
家庭において人々の日常生活をサポートするパートナーロボット、店舗でのサービスロボットに関して挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。

④インフラ・災害競技手法の研究開発
プラント災害予防、トンネル事故災害対応復旧をテーマとして、競技会形式による性能評価試験及び標準評価試験法を開発する。

⑤ジュニア競技手法の研究開発
学校生活をサポートするロボット及び家庭内で問題解決を図るロボットに関して提案を募り、競争の場を活用する研究開発手法を確立する

（3）研究開発スケジュール・実施体制

表 2-3-1　ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発

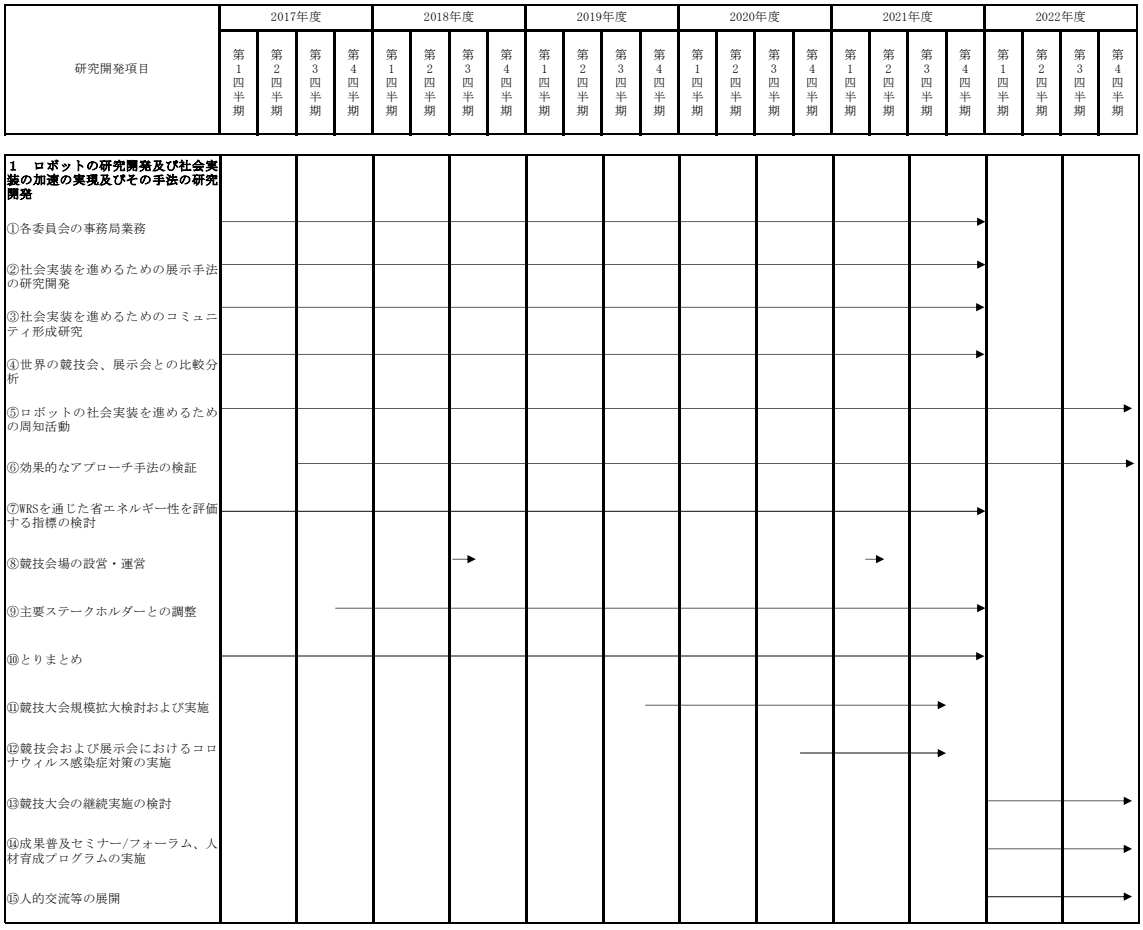


表 2-3-2　ものづくり競技手法の研究開発

研究開発項目	2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
2　ものづくり競技手法の研究開発																				
①トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計	→		→								→							→		
②競技フィールドの概略設計・詳細設計	→																	→		
③モデル製品の設計・製作	→		→																	→
④プラットフォームの選定		→	→		→				→								→			
⑤競技ルールの概略設計・詳細設計	→		→						→								→			
⑥競技の評価試験				→	→				→								→			→
⑦競技チーム等への呼びかけ、対応	→																→			
⑧トライアル、デモンストレーションの実施		→		→							→									
⑨有識者への意見聴取	→																			→
⑩とりまとめ			→				→				→				→					→
⑪本大会に向けた課題抽出					→				→				→				→			
⑫WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討					→				→				→				→			
⑬プレ大会での競技会の実施							→													
⑭競技審査委員会の設立・運用							→								→					
⑮本大会での競技会の実施																	→			

表 2-3-3　サービス競技手法の研究開発

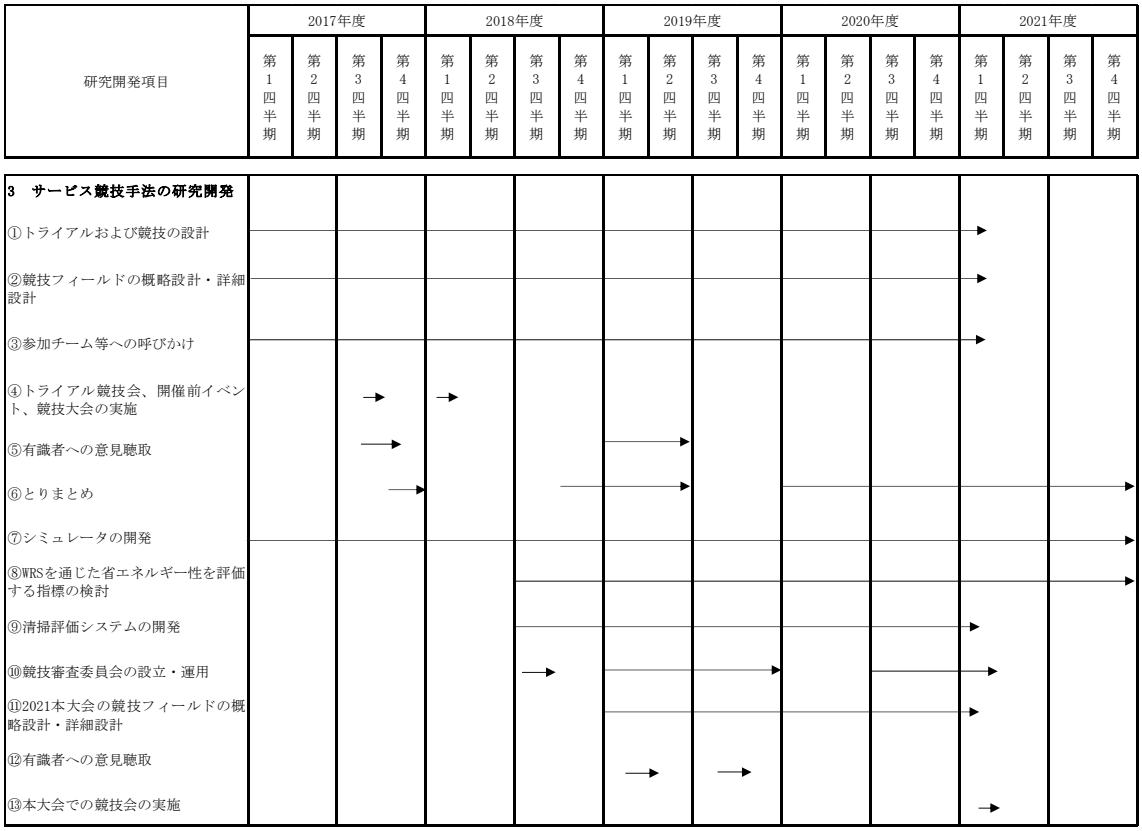


表 2-3-4　ジュニア競技手法の研究開発

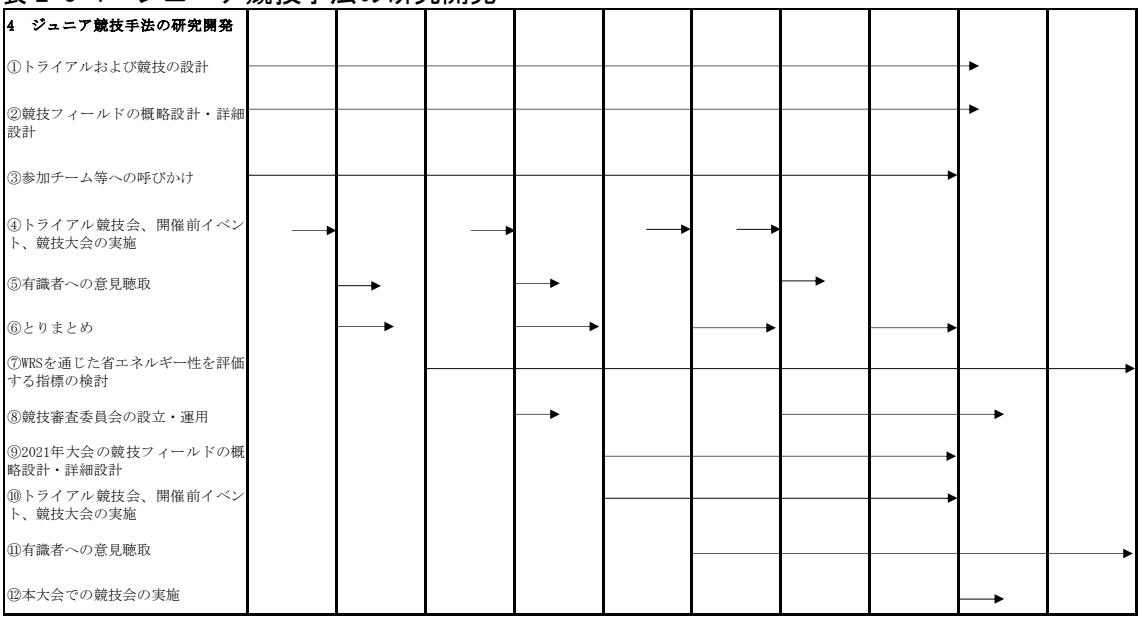


表 2-3-5　インフラ・災害競技手法の研究開発

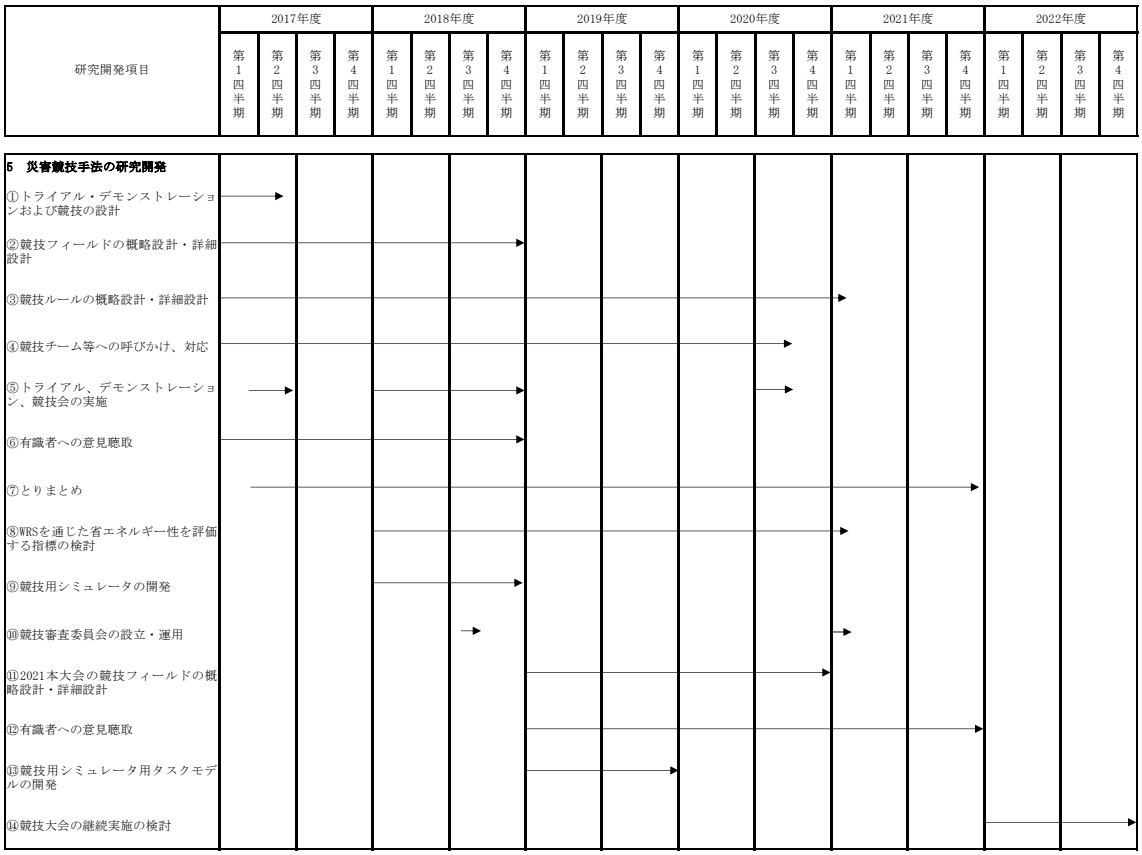
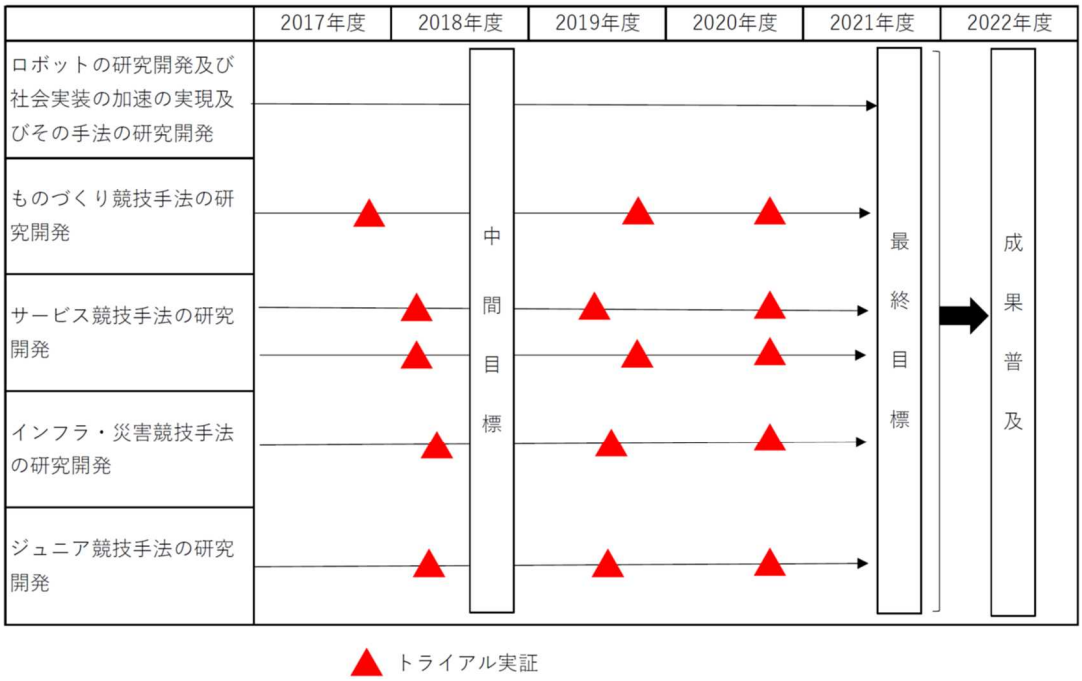


表 2-3-6　全体スケジュール



実施体制

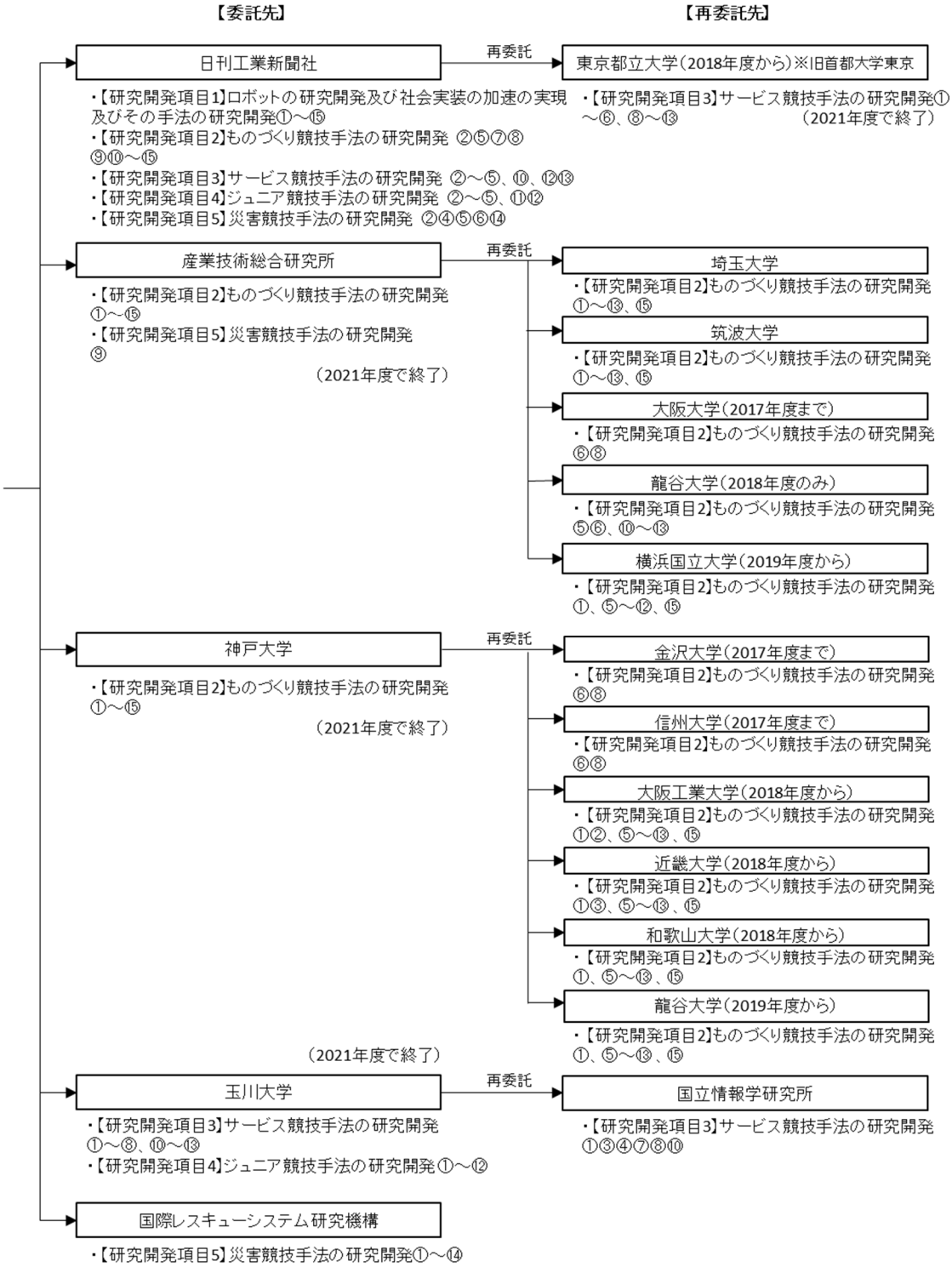


図 2-3-2　実施体制図

【研究開発項目 1】ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発

① 各委員会の事務局業務
WRS は、国際的な競技会と展示会であるため、多様なステークホルダーとの利害調整、情報発信が不可欠となる。これらの意見調整のための事務局業務を実施することで、競技会及び展示会の研究開発を進めるためのプロジェクトマネジメントオフィス（ＰＭＯ）として機能させる。

② 社会実装を進めるための展示手法の研究開発
これまでの展示会にない競技会との連動を行い、WRE の出展者、WRC の競技者が交流する場を設け、ステージやフォーラム、オンラインでの発信などを実施する。

③ ロボットの社会実装を進めるためのコミュニティ形成研究
ロボットの社会実装を加速させるため、本プロジェクトのアウトプット、アウトカムまでを考慮した総合的なコミュニティ形成のための研究を実施する。

④ 世界の競技会、展示会との比較分析
ロボットにかかわる、競技会、展示会が世界中で実施されている。主要な競技会、展示会と比較分析を行い、WRSの独自性向上と、イニシアティブ獲得のための方策を検討する。

⑤ ロボットの社会実装を進めるための周知活動
展示会、トライアルデモ、競技会、Web ページ、動画、展示や競技会でのサイドイベント等を活用して、WRS を世界中に周知する。

⑥ 効果的なアプローチ手法の検証
WRS 周知を図る上で効果的なアプローチ手法を検証するため、マーケティング調査を実施する。特に世界中で認知度を高めていくための戦略的なメディア展開手法を検討する。

⑦ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑧ 競技会場の設定・運営
競技大会でロボットが活動する際の最適な通信環境の調査・設定を含む競技会場の設営・運営を行う。

⑨ 主要ステークホルダーとの調整
WRS には、各種委員会委員及び資金管理団体を含めた多様なステークホルダーが存在する。これらのステークホルダーとの調整を行い、WRS 開催に向けた準備を行う。

⑩ とりまとめ
WRS の実施によるロボットの研究開発及び社会実装の加速を実現し、研究開発手法として確立するための分析を開始する。

⑪ 競技大会規模拡大検討および実施
初計画から競技者募集枠を拡大（2018 年プレ大会同様規模）したことに伴い、本大会での競技大会実施規模の拡大検討を行う。

⑫ 競技会および展示会における新型コロナウイルス感染症対策の実施
コロナ禍におけるイベント開催を想定し、リアル会場（競技・展示）だけでなくバーチャル会場を設置して全世界からリモート参加が可能な開催手法を構築する。

⑬ 競技大会の継続実施の検討
2023 年度以降の民間主体での継続実施を前提に、2021 年度の本大会の実施結果を考慮しつつ検討、実施する。産業界のより強いコミットメントを得つつ、大学やスタートアップ企業が有するシーズ等が新たなビジネスの創出につながるような仕掛けについて検討する。

⑭ 成果普及セミナー/フォーラム、人材育成プログラムの実施
WRS 成果や開発された技術について、競技委員会、企業の専門家によるセミナー等の開催のほか、周辺研究を活用した人材育成プログラムを行う。

⑮ 人的交流等の展開
WRS 成果や開発された技術を中心に、研究者、技術者等のネットワークを構築するとともに、人的交流事業等を実施する。

【研究開発項目 2】ものづくり競技手法の研究開発

① トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計
製品組立チャレンジに関するトライアル、デモンストレーションおよび競技実施に関する競技ルールや審判方法を含む設計を行う。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計
製品組立チャレンジを実施するための競技フィールドの概略設計、詳細設計を行う。

③ モデル製品の設計・製作
製品組立チャレンジで使用するモデル製品の設計・製作を行う。その有効性を検証するため、試験組立を行う。

④ プラットフォームの選定
競技種目や競技ルールに沿ったプラットフォームの選定を行い、競技参加チームに対して公開する。

⑤ 競技ルールの概略設計・詳細設計
製品組立チャレンジを実施する際の競技ルールの設計を行う。後述の評価試験、トライアル、デモンストレーションの分析結果に応じて競技ルールの見直しを随時行う。

⑥ 競技の評価試験
模擬競技フィールドを試作し、産業用ロボットにより、モデル製品の組立を実施し、競技の評価試験を行う。

⑦ 競技チーム等への呼びかけ、対応
学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページなどを活用して、世界中に製品組立チャレンジへの参加を呼び掛けるとともに、本事業の周知を行う。

⑧ トライアル、デモンストレーションの実施
ロボットの国際会議、国際ロボット展などのロボット関係者が集う場において、トライアルやデモンストレーションを実施する。

⑨ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「ものづくり競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。また必要に応じて国内外の専門家の意見聴取を行い、競技内容の改善に努める。

⑩ とりまとめ
2018 プレ大会、2019 トライアル、2021 本大会の競技結果に関する分析を行い、必要に応じて競技内容の検証を行いながら、競技会の成果をまとめる。

⑪ 本大会に向けた課題抽出
2018 プレ大会での競技実施結果を踏まえて、本大会に向けて改善すべき課題を抽出し、競技設計等の見直しを行う。

⑫ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑬ プレ大会での競技会の実施
プレ大会で製品組立チャレンジを実施する。

⑭ 競技審査委員会の設立・運用
大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑮ 本大会での競技会の実施
本大会（愛知大会）で製品組立チャレンジを実施する。

【研究開発項目 3】サービス競技手法の研究開発

① トライアルおよび競技の設計
競技委員会を開催し、上記競技に関するルールの設計を行い、必要に応じてトライアル及び競技大会を実施する。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計
競技会で使用するフィールドの概略設計および詳細設計を行う。その有効性を研究するため、トライアル的なフィールドを試作し、実際の競技を行うことで検証する。

③ 参加チーム等への呼びかけ
参加チーム等へ向けて広く世界に周知するため、学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページ等を活用する。

④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑤ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「サービス競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑥ とりまとめ
競技結果に関する分析を行う。

⑦ シミュレータの開発
社会シミュレーション（社会的相互作用）とロボットシミュレーション（物理的シミュレーション）を統合したシステムを構築し、シミュレータ上での人とロボットのコミュニケーションを競技できる環境を構築する。

⑧ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑨ 清掃評価システムの開発
清掃タスクの得点を自動的に採点するための清掃評価システムを開発する。

⑩ 競技審査委員会の設立・運用
競技大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑪ 2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計
2021 本大会で使用するフィールドの概略設計及び詳細設計を行う。その有効性を研究するため、必要に応じてトライアル的なフィールドを試作し、実際の競技を行うことで検証する。

⑫ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「サービス競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑬ 本大会での競技会の実施
本大会（愛知大会）でパートナーロボットチャレンジおよびフューチャーコンビニエンスストアチャレンジを実施する。

【研究開発項目 4】ジュニア競技手法の研究開発

① トライアルおよび競技の設計
競技委員会を開催し、上記競技に関するルールの設計を行い、必要に応じてトライアル及び競技大会を実施する。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計
競技の舞台となる学校や家庭を競技フィールドにする際の種々の問題点を洗い出し、競技会で使用するフィールドの概略設計および詳細設計を行う。

③ 参加チーム等への呼びかけ
参加者への呼びかけや広く世界に周知するため、学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページ等を活用する。

④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑤ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「ジュニア競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑥ とりまとめ
競技結果に関する分析を行う。

⑦ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑧ 競技審査委員会の設立・運用
大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑨ 2021 年大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計
競技の舞台となる学校や家庭を競技フィールドにする際の種々の問題点を 2018 年度までに実施したものを元に洗い出し、競技会で使用するフィールドの詳細設計を行う。

⑩ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑪ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「ジュニア競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑫ 本大会での競技会の実施
本大会でスクールロボットチャレンジおよびホームロボットチャレンジを実施する。

【研究開発項目 5】災害競技手法の研究開発

① トライアル・デモンストレーションおよび競技の設計
競技委員会を開催し、インフラ・災害対応競技に関するトライアル、デモンストレーションおよび競技実施に関する設計を行う。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計
インフラ・災害対応競技を実施するための競技フィールドの概略設計、詳細設計・設置を行う。

③ 競技ルールの概略設計・詳細設計
インフラ・災害対応競技を実施する際の競技ルールの設計を行う。その有効性を検証するため、試験装置を試作し、試験を行う。

④ 競技チーム等への呼びかけ、対応
学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページなどを活用して、世界中にインフラ・災害競技への参加を呼びかけるとともに本事業の周知を行う。

⑤ トライアル、デモンストレーション、競技会の実施
ロボット関係者が集う国際会議などでトライアルを行うほか、関連するロボットの競技会や展示会などでデモンストレーションを行う。また、競技フィールドを設置して、競技会を実施する。

⑥ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「インフラ・災害対応競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑦ とりまとめ
競技結果に関する分析を行う。

⑧ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑨ 競技用シミュレータの開発
トンネル事故災害対応・復旧をテーマとした災害対応競技をコンピュータ上の仮想環境において実施可能とするためのシミュレータを開発する。

⑩ 競技審査委員会の設立・運用
大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑪ 2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計
インフラ・災害対応競技を実施するための競技フィールドの詳細設計を行う。

⑫ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「インフラ・災害対応競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑬ 競技用シミュレータ用タスクモデルの開発
トンネル事故災害対応・復旧をテーマとした災害対応競技をコンピュータ上の仮想環境において実施可能とするためのシミュレータ用のタスクモデルを開発する。

⑭ 競技大会の継続実施の検討
民間主体での福島県での競技大会継続実施に向け、2021 年度の本大会の実施結果を考慮しつつ検討する。

（4）研究開発の達成状況

ものづくり競技委員会、サービス競技委員会、インフラ・災害対応競技委員会、ジュニア競技委員会等から構成される委員会を開催し、競技会と展示会双方の研究開発を行った。

各競技ともに 2018 年プレ大会での実績をもとに、競技ルールの再設計やトライアル競技会などを実施し、2021 年に本大会を開催した。

競技会では、単に技術を競うだけでなく、社会や暮らしの現場を模した競技フィールドを設けることで、社会実装を意識したロボットやロボットシステムの開発と設計、プログラミングを行った。

WRS を通して、ロボット関連企業による産業界と大学などのアカデミアが合同で技術開発を行うなど産学を結びつけるオープンイノベーションの新しい形となった。また、新型コロナウイルスの感染拡大により、海外チームの来日が難しい中、遠隔参加部門を設けるほか、「WRS バーチャル」での競技会のオンライン配信を行い、世界からの参加者があった。

2021 年の WRS 本大会では、リアル会場とオンラインでのハイブリッド開催となり、競技会、展示会の新たな手法を開発した。

①ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発

（担当：日刊工業新聞社）

最終目標	成果	達成度	備考
各委員会の事務局業務 ※2021 年度まで	諮問会議、実行委員会、競技委員会等の運営および事務局業務を実施した。 競技会、展示会の実施に向けて各委員会の意見をとりまとめて WRS を実施した。	○	
社会実装を進めるための展示手法の研究開発　※2021 年度まで	競技会と展示会を同時開催することにより、ロボット開発者、ユーザー、競技者が交流し、社会実装を促進する展示手法を実現した。 また、本大会では、WRS VIRTUAL を開発し、3D 空間で自らアバターロボットを操作して移動し、最新のロボット技術や競技会の内容に触れるオンラインの展示手法を開発した。	◎	
ロボットの社会実装を進めるためのコミュニティ形成研究 ※2021 年度まで	競技会、展示会（オンラインを含む）を通じて、 新たなロボットコミュニティの形成に向けた研究を実施した。 結果として、WRS 競技参加者は約 2,000 名、競技設計に関わった委員は約 200 名に上り、WRS の参加者は、プレ大会	◎	

	では約 7 万 6 千人、本大会ではオンラインを含めて約 8 万人が参加し、これまでにない社会実装を進めるコミュニティを実現した。		
世界の競技会、展示会との比較分析　※2021 年度まで	各国の競技会、展示会を比較分析することにより、社会実装を目指した競技会、展示会に向けて検討を行った。	○	
ロボットの社会実装を進めるための周知活動	国際ロボット展やロボカップ、ロボット学会、ICRA 等、国内外でのロボット関係者が集う場で周知活動を行った。多くの方に周知させるため、動画コンテンツも充実させて、チーム紹介、競技委員のインタビューなど幅広い活動を行った。TV、新聞などメディアへの露出は合計で 1,167 件にも上った。	◎	
効果的なアプローチ手法の検証	各競技会では、ロボットメーカー、ユーザー企業なども委員会に加わり、社会実装に向けた効果的な競技設計について検討を行い、トライアル競技、プレ大会を通して検証した。	○	
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討 ※2021 年度まで	競技チームに対して、ロボットの出力エネルギー量や省エネルギー性に関する資料を提出させて、評価すること等を実施した。	○	
競技会場の設定・運営 ※2021 年度まで	福島ロボットテストフィールド、愛知スカイエキスポ、東京ビッグサイトを使用して、各競技会の実施概要に合わせてレイアウトを行い、WRS 大会を運営した。	◎	
主要ステークホルダーとの調整　※2021 年度まで	WRS の開催に向けて、2017 年度より、各競技委員との調整、ロボットメーカー、ユーザー企業など約 300 名、ステージなどの講演者約 150 名と調整	◎	

	を行い、競技会や展示会の実施を実現した。		
とりまとめ ※2021 年度まで	各競技の設計や展示会の実施にあたり、競技委員会や関係企業、競技参加者をとりまとめた。 特にコロナ禍により 2020 年の本体会が 2021 年に延期となったが、競技会の再設計、運営方法の変更などを含めて関係者と調整し、WRS を実施した。	○	
競技大会規模拡大検討および実施 ※2021 年度まで	2018 年のプレ大会の結果を踏まえて、本大会では規模を拡大して開催を検討した。 2020 年からの新型コロナウイルスの影響により、海外からのリアル参加が難しくなったが、オンラインでの競技参加を含めて競技規模の拡大を実現した。	○	
競技会および展示会におけるコロナウイルス感染症対策の実施 ※2021 年度まで	2021 年の本大会では、競技参加者およびスタッフの体調管理を行い、会場内パドックでの 3 密回避の他、会場内の消毒・清掃、参加者の抗原検査などを実施した。	○	
競技大会の継続実施の検討 ※2022 年度	競技大会の継続実施に向けて、ロボット関連企業、ユーザー企業を含めてヒアリングを行い、ロボットの社会実装と SIer の人材育成を目指した競技会の継続を検討した	○	
成果普及セミナー/フォーラム、人材育成プログラムの実施 ※2022 年度	SIer やユーザー、競技参加者を交えた成果普及フォーラムを実施。 人材育成プログラムでは、ドローンを使用した小学生の体験プログラムを行った。	○	

人的交流等の展開 ※2022 年度	展示会や国際会議において、競技者、委員、来場者等と幅広い交流を実施した。 FCSC では、3,000 名が参加したロボットの国際会議 IROS での競技と交流を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達
・達成状況：2022 年度までに全て達成

②ものづくり競技手法の研究開発　※2021 年度まで
（担当：産業技術総合研究所（産総研）、神戸大学、日刊工、埼玉大学、大阪大学、金沢大学、筑波大学、信州大学、龍谷大学、和歌山大学、大阪工業大学、近畿大学、横浜国立大学）

最終目標	成果	達成度	備考
トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計	迅速かつスリムに対応できる製品組立システムを構築し、「未来のものづくり」の実現に向けて、トライアルなど新たな競技の設計を行った。	◎	
競技フィールドの概略設計・詳細設計	競技フィールドでは、社会実装を意識して変化に対応でき、安全対策を行ったフィールドを設計した。 2021 年の本大会では、AGV を使用して組立製品を搬送するなど現場を想定したフィールドを実現した。	◎	
モデル製品の設計・製作	製品組立チャレンジでは、「タスクボードタスク」で使用するモデル製品を設計・製作した。 「アセンブリタスク」では、19 種類 33 個の部品を使用するベルトドライブユニットのモデル製品を設計・製作した。	○	
プラットフォームの選定	ロボットメーカーの協力により、競技に対応できる産業用ロボットを選定した。 可搬、サイズ、可動域など各ロボットメーカーとの打ち合わせを行い、ファナック、安川電機、川崎重工、三菱電機、不二越のロボットを選定した。 また、本大会では、トヨタ自	◎	

	動織機の自動搬送 AGV を選定して競技会場で使用した。		
競技ルールの概略設計・詳細設計	社会実装を意識した競技ルールを設計した。 2018年のプレ大会での成果をもとに、2021 年の本大会ではさらに高度な課題を設定した。 競技本番で使用する部品が前日に渡されて、迅速でスリムな生産システムを構築することを求める等、生産現場のニーズに対応した競技ルールを実現した。	○	
競技の評価試験	トライアルやプレ大会を通して、競技の再設計を図った。 また、海外を含めたチーム訪問により、競技の再構築と評価を行った。	○	
競技チーム等への呼びかけ、対応	国内外の優秀なロボットエンジニアの参加を呼びかけた。 国際ロボット展、ロボット学会、IROS、ICRA など、関係者が集う機会で WRS の PR を行った。結果として、ものづくり競技では、プレ大会 16 チーム、本大会 7 チームが選考を通過して競技に進んだ。	○	
トライアル、デモンストレーションの実施	14 万人が参加した 2019 国際ロボット展でものづくり競技のトライアルデモを実施した。競技ルールの見直し、運用を含めて検証した。	○	
有識者への意見聴取	ロボットメーカー、SIer のほか、ユーザー企業などロボットに関わる有識者に意見聴取を行い、競技設計につなげた。	○	
とりまとめ	競技委員会、競技者、ロボットメーカー、ユーザー企業などの意見をまとめ、競技設計を行い、ものづくり競技をとりまとめた。	○	

本大会に向けた課題抽出	プレ大会の課題を踏まえて、キッティングタスクを廃止し、安全に関する講習、現場を意識した AGV の導入等を決定した。	○	
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	無駄なくスリムに対応できる生産システムの構築を実現するため、応募時に省エネルギー性に関する提案を求め、評価する指標を検討した。	○	
プレ大会での競技会の実施	国内外より参加した 16 チームにより、「製品組立チャレンジ」を実施。「タスクボード」「キッティング」「組立」の 3 つのタスクを競い合った。	○	
競技審査委員会の設立・運用	競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。	○	
本大会での競技会の実施	本大会では、プレ大会での結果を踏まえて、製品組立の要素技術を組み込んだ「タスクボードタスク」、19 種類・計 33 個の部品を使用する「アセンブリタスク」を実施した。 競技会を通して、空間配置や把持位置などの領域にも広がり、ロボットが賢く、雑多な環境に適応した。 ロボットシステム構築のプロセスやチームワークを見ることで、各チームの技術などを把握した。 また、参加者に向けた安全講習やルール化により、さらに製造現場に適応できる競技会となった。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：2021 年度までに全て達成

③サービス競技手法の研究開発 ※2021 年度まで

（担当：玉川大学、日刊工業新聞社、国立情報学研究所、東京都立大学）

最終目標	成果	達成度	備考
トライアルおよび競技の設計	「パートナーロボットチャレンジ」「フューチャーコンビニ	◎	

	エンスストアチャレンジ」のトライアルおよび競技を設計した。		
競技フィールドの概略設計・詳細設計　※2018 年度まで	各チャレンジの競技フィールドを設計した。パートナーチャレンジでは、生活の中で人をサポートするタスクであり、棚やテーブルを配置するなど、暮らしを意識している。コンビニチャレンジでは、「陳列・廃棄」「トイレ清掃」「接客」の 3 つのタスクを行うため、コンビニの店舗の一部を再現したフィールドを設計した。	◎	
参加チーム等への呼びかけ	ロボカップなどに参加実績のあるチームや関係者などに呼びかけを行い、プレ大会、本大会ともに多くのチームが参加した。	○	
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施 ※2018 年度まで	ロボットの関係者が集う「ロボカップ」「国際ロボット展」などを利用して、トライアル競技やデモンストレーションを行った。	○	
有識者への意見聴取 ※2018 年度まで	パートナーチャレンジでは、トヨタ自動車からプラットフォームロボット「HSR」の提供があり、競技設計を含めて意見聴取を行った。 また、コンビニチャレンジでは、セブンイレブンからユーザーとしての意見をまとめ、実際の店舗でのニーズを競技に反映した。	◎	
とりまとめ	競技者、ロボットメーカー、ユーザー企業をとりまとめて、各チャレンジの設計を進めた。	○	
シミュレータの開発	仮想現実空間のロボットを使って、人間とロボットの相互作用（インタラクション）により、タスクを達成するための知能ロボットシステムの実験や評価を行うシミュレータ	◎	

	「SIGVers」を開発した。 従来のロボットシミュレーターでは難しかった人間と仮想ロボットのインタラクションを可能にした。人間と仮想ロボットがリアルタイムにインタラクションを行いながらタスクを実行する競技会の開催は世界でも初の試みとなった。		
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	参加者に対して、省エネルギー化に資するシステムの提案を求めた。 現在、コンビニなど店舗では日々排出される多くの廃棄商品が環境負荷や省エネルギーの観点から問題視されており、本競技で培われた自動化技術は、商品の適切なタイミングでの補充や店員を単純労働から解放し接客により多くの時間を掛けることを可能とする。これにより販売機会の損失を防ぎ廃棄商品の削減に寄与することが期待される。	○	
清掃評価システムの開発	トイレ清掃タスクの実施にあたり、模擬尿の除去率を計測する清掃評価システムを開発した。トイレエリアの天井およびドアに設置されたカメラにより、便器上面の縁と床、便座裏と便器側面に付着した模擬尿を画像処理により抽出しその面積を計測する。 清掃前、清掃後の状態を撮影し、それぞれの模擬尿の面積を計測し比較することにより除去率を算出した。	○	
競技審査委員会の設立・運用	競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。	○	

2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019 年度より	2018年のプレ大会の実績をもとに、競技フィールドの設計を変更した。 パートナーロボットチャレンジでは、2 チームが平行して競技を行い、さらに得点もリアルタイムで分かるように競技フィールドを設計した。 コンビニチャレンジでは、コンビニデザインのコンテストの優秀作品を採用して、人が交流できるような未来の店舗を設計し、競技フィールドとして活用した。	○	
有識者への意見聴取 ※2019 年度より	本大会の競技に向けて、国際会議 IEEE／SICE2020 において、ワークショップを開催し、有識者、関係者への意見聴取を行った。 その他、2019国際ロボット展、ロボット学会など複数の場所で幅広い意見聴取を行った。	○	
本大会での競技会の実施	2021 年の本大会では、コロナウイルスの感染拡大の影響もあり、無観客での開催となったが、競技中継のほか、感染対策も行い、愛知県のアイチスカイエキスポで開催した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：2021 年度までに全て達成

⑤ ジュニア競技手法の研究開発 ※2021 年度まで

（担当：玉川大学、日刊工業新聞社）

最終目標	成果	達成度	備考
トライアルおよび競技の設計	ジュニア競技では、スクールロボットチャレンジ、ホームロボットチャレンジの競技を設計した。 生活の中でロボットと一緒にどんな課題を解決するのか、またロボットとの協働のアイデアを提示することが出来るかを競う競技となった。 競技では、Pepper や自作のロボットを使用して参加できる競技を設計した。	◎	

競技フィールドの概略設計・詳細設計　※2018 年度まで	スクールロボットチャレンジでは、学校を意識して Pepper を使用できるフィールドを設計した。ホームロボットチャレンジでは、家を模した小型のフィールドを設計し、人とロボットが協働して暮らすことをイメージして競技フィールドを完成した。	◎	
参加チーム等への呼びかけ	ロボカップの参加チームを中心に、実績のある国内外のチームへ参加を呼びかけた。 プレ大会には 30 チーム、本大会には 27 チームが参加した。	○	
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施 ※2018 年度まで	2017 年には玉川大学でトライアル競技を実施した。国内から 6 チーム、海外から 7 チームが参加し、Pepper を使用したアプリケーションの開発を行った。またタイで開催されたロボカップアジア大会 2017 において、ホームロボットチャレンジのトライアル競技を実施し、競技内容の検討、運営手法を設計した。	○	
有識者への意見聴取 ※2018 年度まで	スクールロボットチャレンジで使用する Pepper は、ソフトバンクの提供であり、競技設計を含めて意見聴取を行った。 また、ロボット教育に関わる多数の関係者の意見をもとに競技ルール等を設定した。	○	
とりまとめ	競技委員会、競技者、ロボットメーカー等のとりまとめを行い、定期的な委員会、ワークショップ、トライアル競技などを実施し、ジュニア競技を開催した。 特に本大会では、コロナ禍によるリモート競技への変更があったが、チーム同士のコラボレーションなど実施し、とりまとめた。	○	

WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	Pepper を使用した家庭での課題解決型の競技により、将来の暮らしでの省エネにつながることが期待できる。 また、本大会では、国内外から参加できるリモート競技方針を採用し、省エネにつながる新しい競技ルールを実現した。	○	
競技審査委員会の設立・運用	競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。	○	
2021 年大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019 年度より	2021 年の本体会では、新型コロナウイルスの感染拡大により、ジュニア競技はリモートでの参加とした。 そのため、リモートで対応できる競技フィールドを設計し、ライブでチームとのやり取りが出来る会場設計を行った。	○	
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施 ※2018 年度より	2019 年には、玉川大学で競技フィールドを想定してトライアル競技を実施した。 2020 年には、ロボカップジャパンオープンにおいて、本大会に向けてリモート参加でのトライアル競技を実施した。	◎	
有識者への意見聴取 ※2019 年度より	本体会では、リモート競技に変更したため、リモート競技の設計にあたり、映像運営に関わる有識者、教育者を含めて意見聴取を行った。	○	
本大会での競技会の実施	コロナ禍により、海外からの来日が難しく、本大会はリモート競技で実施した。 リモート競技の特性を活かして、異なる国のチームによるグローバルコラボレーションによる混成チームが競技を行った。 競技会を通して、オンライン教育を含めた新たなロボットを活用した人材育成の手法を開発することが出来た。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：2021 年度までに全て達成

⑥ 災害競技手法の研究開発

（担当：国際レスキューシステム研究機構（IRS)、産総研、日刊工業新聞社）

最終目標	成果	達成度	備考
トライアル・デモンストレーションおよび競技の設計 ※2021 年度まで	災害競技では､｢プラント災害予防チャレンジ｣｢トンネル事故災害対応･復旧チャレンジ｣｢災害対応標準性能評価チャレンジ｣の 3 つの競技を設計した。 本大会の会場は福島ロボットテストフィールドを設定し、プラントなどを利用する競技を設計した。	◎	
競技フィールドの概略設計・詳細設計　※2018 年度まで	2018 年のプレ大会では、福島ロボットテストフィールドに設置される模擬プラントを使用して競技フィールドを設計した。 災害対応標準性能評価（STM）チャレンジでは、米国の NIST より専門家を招聘し、STM チャレンジのフィールド設計、国際標準に向けた検討を進めて競技フィールドに反映した。	◎	
競技ルールの概略設計・詳細設計 ※2021 年度まで	プラントチャレンジでは、ロボットを使用したインフラ点検に基づくメンテナンス（バルブ開閉等）を目的に競技ルールを設計した。 トンネルチャレンジでは、トンネル災害を想定した情報収集と緊急対応を目的に設計した。 災害対応評価チャレンジでは、災害対応における基本性能を機動性、移動能力、操作能力、探査能力に分けて評価する競技ルールを設計した。	◎	

競技チーム等への呼びかけ、対応 ※2021 年度まで	競技委員を中心に、国内外のロボット競技大会に参加実績のある有力チーム、大学、企業など幅広く呼びかけを行った。 地元の南相馬ロボット産業協議会が連合チームで参加し、本大会では、2 位という成果をあげて、福島のロボット産業の振興にも寄与した。	○	
トライアル、デモンストレーション､競技会の実施　※2018 年度まで	福島ロボットテストフィールドを競技会場として設定し、国際ロボット展、南相馬市などでトライアル競技、デモンストレーションを実施した。	○	
とりまとめ ※2021 年度まで	3 つのチャレンジで関係する競技委員が異なるが、競技委員会を定期的に開催して、それぞれで進捗やルールを共有して、インフラ災害対応競技を実施することが出来た。	○	
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討　※2021 年度まで	一般にロボットは大型になる方が、作業性が高くなるが省エネルギー性は悪くなる。競技においては多様な現場ニーズを系統的に競技課題に反映する事で、省エネルギー性の高い小型のロボットでも現場で必要とする作業性有するかどうか、適正に評価される競技課題を検討し競技を実施した。 さらに本大会では、海外から遠隔での競技参加手法を調査し、省エネにつながる新しい競技ルールを検討した。	○	
競技用シミュレータの開発 ※2018 年度まで	トンネル事故災害対応・復旧チャレンジでは、トンネル内での事故を未然に防ぐ点検のほか、火災の消火、人命の救助など再現が困難な状況について、仮想空間内でシミュレータとして実施することが出来る「Choreonoid(コレオノイド)」を開発した。	○	

競技審査委員会の設立・運用 ※2021 年度まで	ロボットや災害対応分野のほか、性能評価に関わる専門家による審査委員会を設立して運用した。	○	
2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019 年度より 2021 年度まで	本大会では、福島ロボットテストフィールドを使用して競技フィールドを設計した。 プラント災害予防チャレンジは、模擬プラントを利用して競技を行ったほか、性能評価チャレンジ（STM）では、屋内試験棟で競技フィールドを設置した。 競技内容を関係者や来場者にも伝えるため、スクリーンによる中継と解説も実施した。	◎	
有識者への意見聴取 ※2019 年度より 2021 年度まで	インフラ・災害対応に関係する学識者、企業（プラントメーカー）に対して意見聴取を行い、現場で必要とされるニーズを競技設計につなげた。	○	
競技用シミュレータ用タスクモデルの開発 ※2019 年度より 2021 年度まで	仮想空間でシミュレータとして実施できる「Choreonoid（コレオノイド）」を使用して、本大会に向けたタスクを開発した。タスクは以下の通り。 TS1 車両および周辺の調査、救助 TS2 経路の確保 TS3 消火作業 TS4 トンネル壁面、付帯設備の点検	◎	
競技大会の継続実施の検討 ※2022 年度	インフラ・災害対応カテゴリーの競技継続に向けて、プラントメーカー、関係団体など幅広い関係者にて検討を行い、次回の開催に向けて具体的なロードマップを策定した。 STM チャレンジの Negotiate タスクが 2022 年 6 月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の標準化への継続が出来た。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：2022 年度までに全て達成

（５）成果と意義

研究開発項目 1～5「WRS プレ大会の実施」

4 つのカテゴリーで競技設計における研究開発を行い、2018 年度に World Robot Summit のプレ大会（東京大会）を実施した。

開催概要

名　　称：World Robot Summit 2018（東京大会）
日　　時：10 月 17 日（水）～10 月 21 日（日）10：00～17：00
場　　所：東京ビッグサイト　東 6、7、8 ホール
WRC 競技者：23 か国・地域　126 チーム　WRE 出展者：94 社・団体
来場者数：76,374 名
ステージプログラム：37 プログラムを開催
主　　催：経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構
後　　援：総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省

競技の実施成果

研究開発項目 2「ものづくり競技手法の研究開発」

【ものづくりカテゴリー】

「迅速な一品ものづくり」を目指し、さまざまに変化する生産要求に、迅速かつ無駄なくスリムに対応できるシステムを構築することを目指し、モデル製品組み立てのためのロボットシステムの迅速な立ち上げと、素早く正確な組み立てを競った。

特に数ミリメートルの小さい部品は、金属光沢等のノイズにより認識するのが難しく、バラ積みの小ネジをいかにロボットが認識して掴むか、各チームのアイデアが光った。参加チームからは、「競技会を通じて、技術力の向上とユーザーとの連携が出来た」「事業化に向けたスタートが切れた」等の声が上がった。



写真 1 タスクボード競技



写真 2 キッティング競技



写真 3 安全を配慮した競技ブース



写真 4 競技中継による説明

研究開発項目 3「サービス競技手法の研究開発」

【サービスカテゴリー】

人間とロボットの協働を目指し、家庭における整理整頓、収納等の片づけや留守番対応のほか、店舗業務の自動化を目的に、食品等、複数種類の商品の品出しや入替、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃等、店舗を舞台にした世界初の競技となった。

●【パートナーロボットチャレンジ（リアルスペース）（バーチャルスペース）】

家庭における片付け（整理整頓、収納等）や留守番対応を目的とした競技を実施。

人間が生活する雑多な空間では、ロボットのモノの認識が阻害されるため、画像認識や空間把握、把持、移動等、ロボット技術が網羅的に求められる競技設計を行った。



写真 1 整頓タスク



写真 2 ロボットの調整



写真 3 競技中継



写真 4 バーチャル競技

●【フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ】

食品など複数種類の商品の品出し・入替、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃を目的に競技を実施。タスクをこなして従業員の手間を軽減しつつ、安心感を与えるスムーズな動きなど、人と共存するロボットとしての工夫が求められた。実際のコンビニエンスストアでの活用できる技術やシステムが生まれた。

参加チームは、ロボットシステムの事業化に向けて本格的に取り組む等の成果があった。

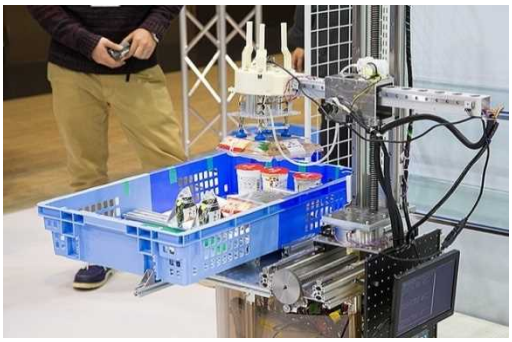


写真 5 商品の品出し



写真 6 ロボットによる商品入れ替え

研究開発項目 4「ジュニア競技手法の研究開発」
【ジュニアカテゴリー】
19 歳以下の若い世代の育成を目的に、学校や家庭というリアルな環境を想定したオープンタスク、チームワーク、開発プロセスを競った。また、タスクに対する解決方法と実現方法を、各チームが会場にて発表し、独創的で革新的なアイデアを披露した。

●【スクールロボットチャレンジ】
学校環境においてニーズのありそうなタスクとそれを実現するプラットフォームロボット「Pepper」を使用してプログラミングを行う競技。
競技中、雑音等が影響を与えましたが、修正を加え、改善して各チームが競い合った。


写真 1 海外チームのプログラミング


写真 2 Pepper を使用した競技

●【ホームロボットチャレンジ】
サービス分野と同様のタスクを設定し、家庭で活用するロボットを製作し競技を行った。ロボットの基本性能を試すほか、自由な発想に基づいたロボット活用による問題解決手法も競い合った。ミニチュアサイズの家を舞台に、家庭で働くロボットのアイデアが生まれた。


写真 3 海外チームによる競技


写真 4 小型ロボットによる競技

研究開発項目 5「災害競技手法の研究開発」
【インフラ・災害対応カテゴリー】
　インフラ、災害予防・対応等における問題解決に向け、ロボットを使用したプラント災害予防やトンネル災害対応といった人間がアクセスできない現場等での特別困難なプラントやトンネル災害などに対応する世界初の競技となった。

●【プラント災害予防チャレンジ】
数種のインフラ点検項目に基づく点検、メンテナンス（バルブ開閉）の競技を実施。
クローラー型ロボットや飛行ロボット（ドローン）がプラント内を動き回り、カメラやセンサで確認した結果を基に、配管が林立する狭い空間でバルブ開閉等の軽作業を行った。

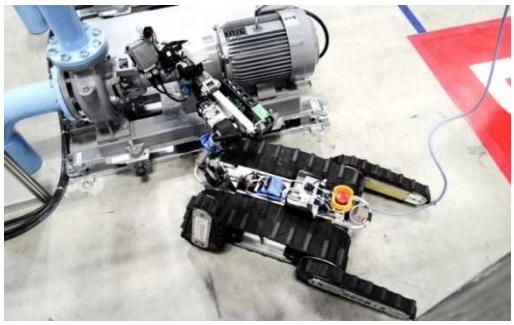


写真 1 バルブの開閉



写真 2 海外チームの競技

●【トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ】
トンネル災害を想定した情報収集、緊急対応（人命救助、障害物排除等）の競技を実施。仮想環境におけるシミュレータ上でがれきの上を進み、工具を使ってドアを破り、消火ホースで火を消すなど高度な技術が必要となり、実環境を想定した競技となった。



写真 3 シミュレータ競技



写真 4 競技の中継映像

●【災害対応標準性能評価チャレンジ】
災害予防・対応で必要となる標準性能評価（移動、センシング、情報収集、無線通信、遠隔操作、現場展開、耐久性等）を競う。階段や斜面等、さまざまな現場を再現した舞台で競技を行い、上位チームはメーター読み取りやバルブ回し、引っかかったパイプを引き抜くなど、ロボットアームの器用さが問われるタスクで高得点を挙げた。



写真 5 バルブ回し



写真 6 ロボットによる情報収集

プレ大会の結果

2018 年の東京大会で実施された競技とその順位については以下の通り。

表 2-5-1　プレ大会の 1 位～3 位

			1 位	2 位	3 位
ものづくりカテゴリー	製品組立チャレンジ		SDU Robotics (University of Southern Denmark)	JAKS (Kanazawa UNIV.)	FA.COM Robotics (office FA.com Co.,Ltd.)
サービスカテゴリー	パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース)		Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology)	OIT Challenger and Duckers (Osaka Institute of Technology)	AISL-TUT (Toyohashi University of Technology)
	パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース)		NICT (National Institute of Information and Communications Technology)	SOBITS (Soka UNIV.)	eR@sers (Okayama Prefectural UNIV)
	フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ	接客	NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology)	TCR (Connected Robotics Inc)	homer@UniKoblenz (University of Koblenz)
		清掃	TCR (Connected Robotics Inc)	TAK (Tokyo Metropolitan University)	H3 (Human Robot Analysis Inc.)
		陳列	U.T.T. (TOSHIBA Corp.)	ROC2 (OMRON.corp)	Hi-KCCT (Hitachi, Ltd. Reserch & Development Group)
		総合	U.T.T. (TOSHIBA Corp.)		
インフラ・災害対応カテゴリー	プラント災害予防チャレンジ		Hector Darmstadt (Technische Universitaet Darmstadt)	Raptors (Lodz University of Technology Institute of Automatic Control)	AiSaFu (Sanritz Automation Co.,Ltd.)
	トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ		REL/UoA (University of Aizu)	MASARU Season 2 (Private)	ODENS (Osaka Ele.-Comm. Univ.)
	災害対応標準性能評価チャレンジ		SHINOBI (Kyoto UNIV.)	Telerob (Telerob GmbH)	AutonOHM (Technische Hochschule Nuremberg)
ジュニアカテゴリー	スクールロボットチャレンジ		I want to eat RAMEN! (Ibaraki Prefectural Takezono Highschool)	SMILE (Niimi Daiichi Junior High School)	DSTY (German School Tokyo Yokohama)
	ホームロボットチャレンジ		Tamagawa Academy Science Club (Tamagawa Academy)	Sinag (Caritas Don Bosco School)	Robo Power (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology)

経済産業大臣賞　：石川 昭政 経済産業大臣政務官
NEDO 理事長賞　：石塚 博昭 NEDO 理事長
WRS 実行委員長賞　：佐藤 知正 WRS 実行委員長

〇特別賞として各学会から以下のチームが特別賞を授与された。

表 2-5-2　プレ大会の特別賞

		日本ロボット学会特別賞	人工知能学会賞	日本機械学会 会長賞	計測自動制御学会賞
ものづくりカテゴリー	製品組立チャレンジ	Cambridge Robotics (University of Cambridge)	SDU Robotics (University of Southern Denmark)	Robotic Materials (Robotic Materials Inc.)	O2AS (Osaka UNIV.)
サービスカテゴリー	パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース)	Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology)	AISL-TUT (Toyohashi University of Technology)		
	パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース)	SOBITS (Soka UNIV.)	NICT (National Institute of Information and Communications Technology)		
	フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ	ROC2 (OMRON.corp)			NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology)
インフラ・災害対応カテゴリー	プラント災害予防チャレンジ	Nexis-R (Nagaoka University of Technology)			AiSaFu (Sanritz Automation Co.,Ltd.)
	トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ	ODENS (Osaka Ele.-Comm. Univ.)	MASARU Season 2 (Private)		
	災害対応標準性能評価チャレンジ	SHINOBI (Kyoto UNIV.)		Telerob (Telerob GmbH)	
ジュニアカテゴリー	スクールロボットチャレンジ	SMILE (Niimi Daiichi Junior High School)	Merrimac State High School STEAM Academy (Merrimac State High School)		
	ホームロボットチャレンジ	Robo Power (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology)	Yumekobo Junior (Kanazawa Institute of Technoiogy)	Sinag (Caritas Don Bosco School)	

日本ロボット学会特別賞：澤 俊裕 日本ロボット学会会長
人工知能学会賞　：浦本 直彦 人工知能学会会長
日本機械学会 会長賞　：川田 宏之 日本機械学会副会長
計測自動制御学会賞　：野田 哲男　計測自動制御学会 SI 部門表彰委員長

表彰式



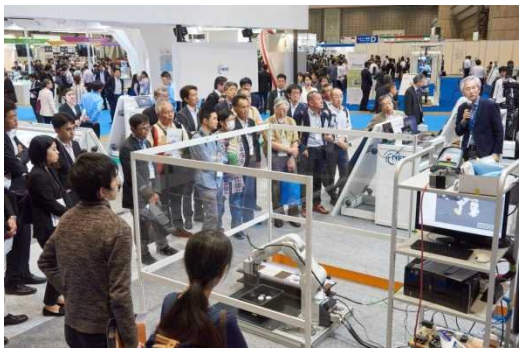
写真 1　大臣賞受賞チーム



写真 2　NEDO 理事長賞受賞チーム

【展示会の実施成果】

ロボットメーカーやユーザー企業による最新技術やニーズの紹介を行った他、フォーラム等を開催した。展示会と競技会を同時開催することにより、競技者と出展者の交流やマッチングが行われ、成果とフィードバックを得ることが出来た。


写真 3　企業による展示

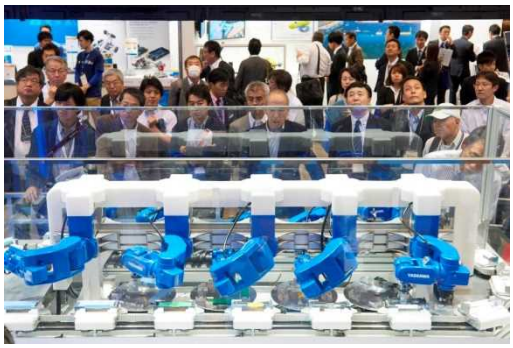

写真 4　ロボットのデモ


写真 5　プログラミング体験



写真 6　海外企業のデモ

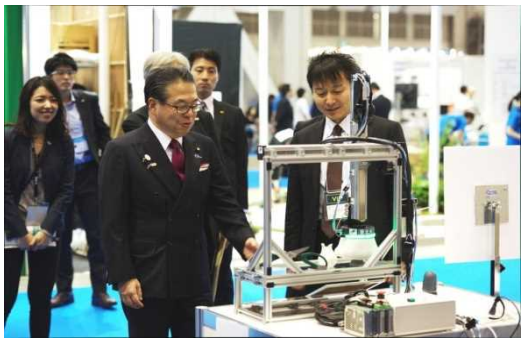

写真 7　世耕大臣（当時）による視察


写真 8　メインステージ

プレ大会のスポンサー

WRS2018 では、競技参加者の支援や賞金の授与を行うことを目的として、スポンサーを募集した。スポンサーの募集は国際ロボット大会連盟有限責任事業組合で実施した。
WRS2018 に協賛した企業・団体の 33 社は以下の通りである。



図 2-5-1　スポンサー一覧

研究開発項目 1～5「WRS 本大会の実施」
WRS 本大会の概要
〇2018 年のプレ大会の結果を受けて、競技設計の改良とルール設定を行い、2021 年に本大会（9 月愛知大会、10 月福島大会）を実施した。
愛知大会は、新型コロナウイルス感染症の拡大と愛知県での緊急事態宣言により、無観客開催となった。福島大会は、感染者数が減少し有観客での開催が可能となったため、感染対策を徹底して有観客で開催した。

愛知大会の開催概要
名　称：World Robot Summit 2020　愛知大会
主　催：経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
日　時：9 月 9 日（木）～9 月 12 日（日）
場　所：Aichi Sky Expo(愛知県国際展示場)　D,E,F ホール

※新型コロナウイルス感染症の感染拡大を受けて、無観客開催と WRE のリアル開催は中止
※WRS VIRTUAL(オンライン)を同時開催し、競技のライブ配信や展示などをオンラインで実施した。

WRC 競技者：14 か国・地域　58 チーム
うち現地参加：4 か国・地域　27 チーム
※ものづくり、サービス、ジュニアの 3 カテゴリー
ステージプログラム：12 プログラムを開催



写真 1　愛知大会開会式


写真 2　ものづくり競技中継


写真 3 ものづくり競技会場


写真 4　ロボットによる整頓

福島大会の開催概要

名　称：World Robot Summit 2020　福島大会
主　催：経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
日　時：10 月 8 日（金）～10 月 10 日（日）
場　所：福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市）
来場者数：10 月 8 日（金）853 名（晴れ）
9 日（土）1,065 名（雨）
10 日（日）1,943 名（くもり/晴れ）
合計：3,861 名

WRC 競技者：　8 か国・地域　29 チーム　うち現地参加：3 か国・地域 22 チーム
※インフラ・災害対応の 1 カテゴリー実施

ステージプログラム：9 プログラムを開催（併催イベントでの開催含む）

【併催イベント】
名称：ろぼいち（ROBOICHI）
主催：福島県（福島県南相馬市）
日程：2021 年 10 月 8 日（金）～10 日（日）
場所：福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市）
内容：企業展示、体験企画、ステージ企画など


写真 1　ロボットによる競技



写真 2　シミュレータを使用した競技

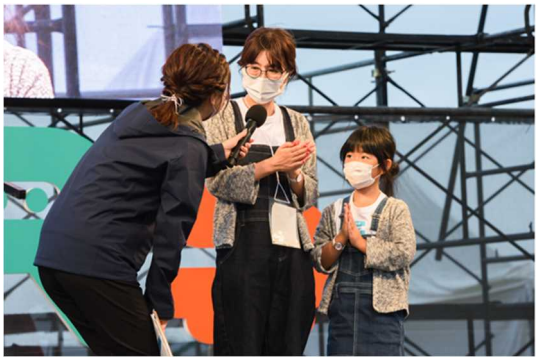

写真 3　参加型ステージプログラム



写真 4　ステージでの発表

研究開発項目 2「ものづくり競技手法の研究開発」

【ものづくりカテゴリー】

ものづくりカテゴリーでは、様々に変化する生産要求の現場の課題を解決するため、迅速かつ無駄なくスリムに対応できる製品組立システムを参加チームが構築し、「未来のものづくり」の実現を目指した。

製品組立チャレンジでは、製品組み立ての要素技術を盛り込んだタスクボードを完成させる「タスクボードタスク」、19 種類・計 33 個の様々な部品を使用するベルトドライブユニットの製品を組み立てる「アセンブリタスク」の 2 つの競技設計を開発した。

2018 年のプレ大会での成果をもとに、さらに高度な課題を設定し、2021 年の本大会を行った。会場では、競技本番で使う部品が前日に渡され、迅速でスリムな生産システムを構築が求められた。刻一刻と変わる生産要求に対し、最少の修正で応える必要があり、変化に対応する柔軟さが求められる競技を開発した。また、無人搬送車（AGV）を導入し、実際の現場を意識して組立て製品を搬送した。

本番では、空間配置や把持位置などのロボットの動きを決める領域にも深層学習が広がり、ロボットがより賢く、より雑多な環境に適応した。本大会では、4K ビジョンハンドカメラのフィードバック制御や電気空圧接続ハンドとツール、3D プリンター治具、画像認識の AI 活用など新しいアプローチが作り出された。

同時に、競技参加者の技術力も向上し、ロボット SIer の育成にもつながった。競技を通じてシステム構築のプロセスやチームワークを見ることで、各チームの技を「見える化」することも出来た。また専門員による安全講習やルール化によりさらに製造現場に適応できる競技会となった。

一品でも迅速に無駄なく作ることにより、環境負荷を抑えつつ、市場ニーズに素早く応えることが出来る独自の競技手法を開発した。



写真 1　設計したタスクボード

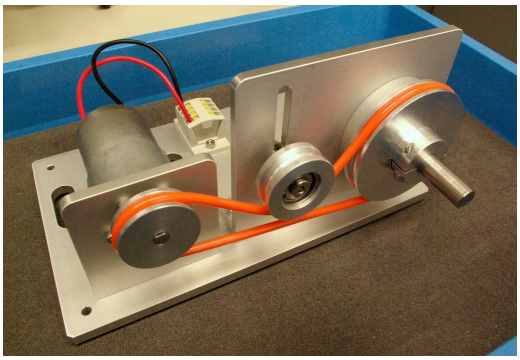


写真 2　アセンブリ組立てタスク



写真 3　タスクボード競技



写真 4　安全対策を行った競技エリア

研究開発項目 3「サービス競技手法の研究開発」

【サービスカテゴリー】

サービスカテゴリーの「パートナーロボットチャレンジ（リアルスペース）」は、「人とロボットの協調」をコンセプトに、子供や老人と暮らす家庭において、人とロボットが助け合い、豊かな暮らしの実現を目指すための競技手法を開発した。

競技では、同一のプラットフォームとしてトヨタ自動車の「HSR」を使用し、「速さ（Speed）」、「滑らかさ（Smooth/Smart）」、「安定（Stable）」、「安全（Safe）」の 4S をテーマに技術を競い合った。

2018 年のプレ大会の成果をもとに、2021 年の本大会では、各チームが HSR の扱いに慣れ、どのようにタスクをクリアするか、チームごとに個性が出た。また同一の機種を使用することにより、3 年間かけたソフトウェアの進化が生まれた。

本大会では、ロボットが停止する時間が各段に減り、動きも滑らかになり、AI による深層学習（ディープラーニング）が進化した。物体認識の精度が向上し、ロボットの動作合成技術が進展した。これにより、腕や足だけでなく、細々とした動きを重ね合わせる動作を実現した。

今回は人間がいない環境下で散乱するモノを掴み、片付ける動作を行ったが、社会実装するには、周囲の動きや状況に対応する必要がある。またロボットによる自己修復などのセルフケアについても今後の技術向上が求められる。

一方、コロナ禍において、家庭用ロボットの必要性とニーズが明確になり、その機能は多岐に渡る。本競技では、家庭用ロボットの社会実装に向けて、評価フィールドや評価法をルールとして開発し、性能評価に資する標準環境を設計した。

また、競技会では、トーナメント制を採用し、2 チームが競うことで技術の比較が可能になり、参加者やユーザーとなる技術者にも明確に情報を届けることが出来た。結果として、参加者と企業とのオープンイノベーションが加速し、家庭用ロボットが環境変化に対応するための新たな競技手法を開発した。



写真 1　競技会の模様



写真 2　競技エリアでの調整



写真 3　整頓競技



写真 4　対戦による解説モニタ

サービスカテゴリーの「フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ（FCSC)」は、コンビニにおける各種業務の自動化を目的とした競技手法を開発した。

「陳列・廃棄タスク」では、商品陳列や賞味期限切れの商品をロボットシステムで回収する。対象となる商品はおにぎりやサンドイッチ、弁当など、見た目の形状や柔らかさの異なる商品を選択した。「接客タスク」では、ロボット技術が導入されることにより実現可能となる新たなサービスを競技者が自由に設定し、競技エリア全体を使用してデモンストレーションを行った。

「トイレ清掃タスク」は、便器や床に付着した模擬尿と床に散乱したゴミを清掃する競技を設計した。いずれのタスクにおいても、ロボット技術が導入される未来のコンビニを想定し、参加者はマーカーや独自の陳列棚などを用いて各自のロボットシステムに適した「ロボットフレンドリー」な店舗環境を構築できる競技設計とした。

プレ大会の結果を受けて、2021 年の本大会では、競技フィールドであるコンビニをデザインコンペにより決定、コンビニと公園を一体化して地域コミュニティのハブになるものを採用した。これにより、接客タスクにおいて現在のコンビニには無い、新たなサービスの提案を促す設計とした。

また、人間の往来が多い場所でロボットが活躍するためには、イレギュラーな要素が起こるため、FCSC では、作業中に人が近づいた場合、安全に作業を止めて退避し、人が離れてから再開するという機能が求められた。競技会では、レギュラー業務をロボットに任せて、多業務を別のロボットが補う、イレギュラーが起きにくい設備を作るなど新たなロボットシステムも開発された。

コンビニ業界からは、特にトイレ清掃のニーズが強い。コンビニでは清掃した後の清潔さを定量評価することが難しいが、ロボットは自分の動作で綺麗になったか計測し判断しながら動作を調整し、やり直すことが出来る。この評価技術について確立することが出来れば、世界展開の可能性があり、デファクト・スタンダードを勝ち得ることが出来る。FCSC では、未来のコンビニエンスストアでのロボット活用に向けた新たな競技手法を開発した。



写真 5　ロボットによる陳列



写真 6 未来のコンビニ競技フィールド

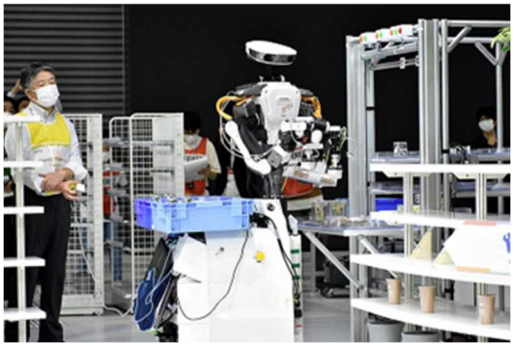


写真 7　陳列タスク



写真 8 トイレ清掃タスク

研究開発項目 4「ジュニア競技手法の研究開発」

【ジュニアカテゴリー】

次世を担うロボット人材の育成を目的として、19 歳以下が参加するジュニアカテゴリーでは、「スクールロボットチャレンジ」と「ホームロボットミニ/リアルチャレンジ」の競技手法の開発を行った。

2021 年の本大会では、コロナ禍で世界から中高生などがリモート参加した。学校で働くヒューマノイドロボットと家で働くロボットをテーマに設定。「スクールロボットチャレンジ」では、ソフトバンクの「ペッパー」を標準機として採用した。

すべてのチームがペッパーを使うため、生徒たちが作成したプログラムをアップロードすれば公平に競える点が特徴。本大会では、リモート競技の特性を活かして、異なる国のチームによるグローバルコラボレーションによる混成チームが競技を行った。

準備から発表までの 2 カ月､全ての過程でオフラインと異なるアプローチが求められた。日本人選手は海外選手との表現力の差に気づかされ、おのおの課題と向き合い、アイデアを形にした。これが疑似的な海外留学と課題解決型学習（PBL）を掛け合わせた体験になった。スクールロボット競技に出場したイタリアと日本のチームは、ヒト型ロボット「ペッパー」が図書館員を担う課題に挑んだ。オンラインで効果的な発表方法を模索し、言葉の壁を越えてより良い発表を目指し、競技課題を克服した。

ホームロボット競技ではミニサイズとリアルサイズの 2 種目が用意された。盲導犬のように障害物を避けるよう人を案内する。実機が手元にあるホーム競技では、ロボットの動きを伝えるためのカメラワーク、説得力あるプレゼンテーションが必要になる。1 日目の指摘を受け、選手たちは最終デモに向け試行錯誤を重ねて、各チームともに大きく進歩した。

今大会はオンライン教育の必要性が高まる中、競技会を通してロボットを活用した新たな教育の可能性を示した。また、人とロボットが協働する社会に向けて、新しい競技手法を開発し、次世代の人材育成に大きく貢献することが出来た。



写真 1　リモート参加の様子



写真 2　競技の配信



写真 3　スクール競技

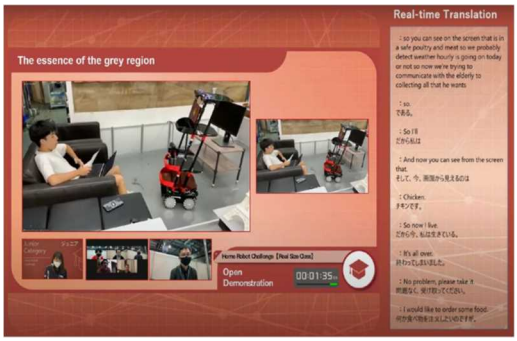


写真 4　遠隔での競技参加

研究開発項目 5「災害競技手法の研究開発」

【インフラ・災害対応カテゴリー】

インフラ・災害対応カテゴリーでは、「プラント災害予防チャレンジ」「トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ」「災害対応標準性能評価チャレンジ」の 3 つの競技を開発した。「プラント災害予防チャレンジ」では、数種類のインフラ点検として、配管結合部の緩み、圧力計の読み取り、バルブ操作などを競技設計した。これは石油プラントで設備を維持する作業員の負担軽減と事故の未然防止を目的としている。

2021 年の本大会では、福島ロボットテストフィールドのプラントを使用し、ロボットがプラントを点検中に爆発事故が起き、行方不明になった作業員を探すという災害現場を想定して競技設計を行った。

優勝したチームは、クローラー型と特殊タイヤ型、ドローンの 3 機体制を敷き、空中と地上から情報収集できるロボットシステムを開発した。作業が点検から被災者捜索に切り替わっても連携を柔軟に組み直せるロボットの構成が生まれた。特にドローンは、らせん階段や高い位置のターゲットなど、地上走行ロボではアクセスしにくい箇所の点検に有効であることが成果として上げられる。

競技では、配管やダクトの狭い空間に腕を伸ばして点検を行うため、アームの機構が重要になった。平行グリッパにベルト状の高摩擦材を組み合わせたハンドを採用し、固いバルブを回す工夫など新たな技術も開発された。

「プラント災害予防チャレンジ」では、日常点検業務で使用するロボットを災害対応に使うための開発の役割も担っている。仮に爆発事故が発生した場合、設置型のセンサなどは壊れてしまうが、ロボットであれば、動く IoT として事故の初動対応も安全に素早く行うことが出来る。また、競技会での成果をデータフォーマットとして積み上げることで、プラント点検におけるロボット活用の標準化が可能となる。

既に確立されたインフラ保守市場とこれから成長する災害対応ロボットの市場を、競技会を通して結び付けたことは、競技手法の研究開発としての実績である。



写真 1 ドローンとの連携による点検



写真 2 プラント点検の競技模様



写真 3　狭い空間でのバルブ操作



写真 4　競技配信

「トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ」は、トンネル災害に対応する競技として設計。トンネル災害の予防点検、緊急時の情報収集、対応などを仮想空間で行うシミュレータを使用した世界初の競技会となる。現実の災害対応で求められている作業をモデルとした障害の復旧を競技に設定した。

はじめに狭く暗い災害現場で車内に人が残されていないか調査する。要救助者を発見したら車両のドアを破り救出する。ドアを破るにはスプレッダーという工具を使う必要がある。遠隔操作だと難しく、負傷した救助者を運び出す際には、細心の注意を払う必要がある。他にも動線確保のためのがれきの片付けや消火ホースを使った放水、トンネル設備の異常点検を競技化した。一連の競技をたった 2 人で行うルールとした。複雑で困難な救助作業を少人数で安全に遂行できると示せれば、災害対応ロボを運用する制度設計につなげる。

ロボット開発では、シミュレーションの比重が増しており、研究開発の道具としても、ロボット競技会の運営においてもシミュレーションの活用が広がっている。

シミュレーションのメリットは、実機競技に比べ参加のハードルが低い。飛行ロボット（ドローン）や多脚ロボット、クローラー式ロボットなど多くの機体を投入して探索技術を競う際に、実機を用意しなくて済む。災害現場を模した広大な競技フィールドも用意できる。実際に DARPA の競技会では、シミュレーション競技で実機競技の 10 倍近い得点をたたき出していることも参考にした。

本競技で優勝したチームは、大学とベンチャー企業の混合チームであり、通常業務では、建設機械などを遠隔化するシミュレーション技術を開発していた。特にコロナ禍であり、遠隔で協力してプログラミングを開発し、本番の会場で初めて会うメンバーもいた。競技の特性を活かして、各チームともにポストコロナを見据えた臨機応変な開発手法も生まれた。

シミュレーションがロボット開発とビジネスを両立させるキーパーツになり、競技会の競技データを開発にフィードバックすればプラットフォームに育つ可能性がある。本競技手法の開発の成果である。



写真 5　シミュレータ競技



写真 6　競技配信

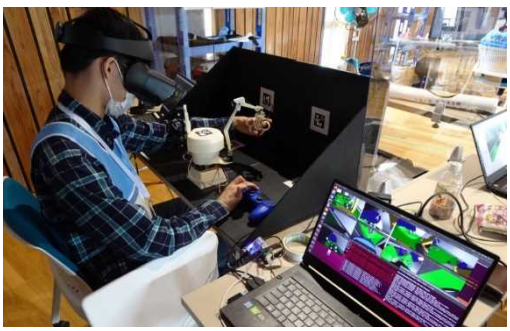


写真 7 チームによる操縦



写真 8　チームによる競技

「災害対応標準性能評価チャレンジ（STM）」は、ロボットの標準性能を評価する競技手法を開発した。移動能力やセンシング能力、情報収集能力、無線通信能力、遠隔操作性能、現場展開能力、耐久性と、個々の性能の評価となる。配管がれきを模擬したパイプをかき分けて進む課題や、不安定な足場での障害物除去など 5 課題を設定した。

評価項目を細分化したのは、災害現場によって状況が全く異なるため。競技でプラント災害とトンネル災害を再現しても、全く同じ災害は二度と起こりえない。救助できた、できなかったと成否だけをみていても意味はない。次に起こるかもしれない災害に備えて、ロボットの基本性能を標準的な方法で評価してカタログ化する必要があり、さまざまな機体の基本性能が可視化されていれば、災害現場に応じて機体を選べる。上位に入ったチームは、11 社の共同でクローラーロボットを開発した。4 本のクローラーが回転し、アームが伸縮して多様な用途に対応する。アームに設置するセンサはスイッチ、ボタンだけで精密操作できる。

本大会に向けて、クローラーベルト、ボディーサイズ、ハンドなどを改造し、地元の高校の生徒 2 人が遠隔操作した。決勝に残った国内 3 チームの一つとして障害のある階段などの移動や、空かない部屋の周囲移動、斜面に設置したメーター、バルブの数値読み取り、バルブの開閉作業などを 30 分で正確にこなした。

STM 競技で基礎力を評価して、プラント災害競技やトンネル事故災害競技で総合力を評価する。この 3 つの競技設計がロボットの進歩を見える化するベンチマークになる。競技会でロボットとチームの姿を見せることで、企業は現場への実践導入が行いやすい。

企業にとっても日常業務の中に、災害時でもロボットが力を発揮する仕組みを埋め込んでいく必要がある。現在、インフラ点検などロボット活用のニーズが増えており、生産性向上と災害への備えは両立できることが分かった。インフラ・災害対応カテゴリーの 3 競技の競技手法の開発は、世界においてもデファクト・スタンダードになり得る成果となった。

米国 NIST では、STM を用い災害対応ロボットの社会実装を推進しており、その一環としてロボット競技会（ロボカップレスキュー実機リーグ）を実施している。WRS の STM チャレンジでは NIST の取り組みを参考にして連携を図っている。STM チャレンジの Negotiate タスクが 2022 年 6 月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の標準化への取組みを進めることが出来た。



写真 9　競技模様



写真 10　フィールド全景



写真 11　バルブ開閉

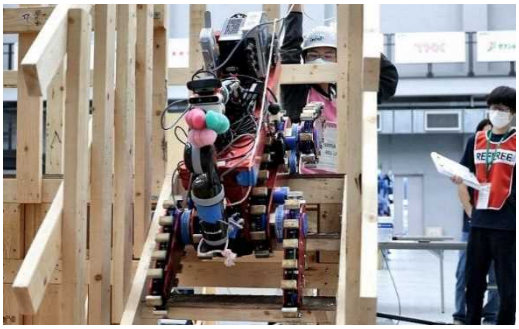


写真 12　階段移動の競技模様

WRS 本大会の結果
WRS 愛知大会

■ものづくりカテゴリー
【現地参加】
1 位（経済産業大臣賞）： ROBO-SUPPO plus
2 位（NEDO 理事長賞）： Garage Robotics
3 位（WRS 実行委員長賞）： O2AC
【遠隔参加部門】
特別賞: YH-CASIA
【学会賞】
日本ロボット学会特別賞：JAKS
人工知能学会賞：O2AC
日本機械学会会長賞： Garage Robotics
計測自動制御学会賞： ROBO-SUPPO plus



写真 1　ROBO-SUPPO plus

■サービスカテゴリー
パートナーロボットチャレンジ
【現地参加】
1 位（経済産業大臣賞）： Hibikino-Musashi@Home
2 位（NEDO 理事長賞）： Team Weblab
3 位（WRS 実行委員長賞）： OIT-RITS
【遠隔参加部門】
1 位：TeamTidyboy
2 位：EPANer
3 位：Team Northeastern
【学会賞】
日本ロボット学会特別賞：eR@sers
人工知能学会賞：AISL-TUT



写真 2　Hibikino-Musashi@Home

■フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ
【現地参加】
<総合優勝＞
（経済産業大臣賞）：NAIST-RITS-Panasonic
＜陳列・廃棄タスク＞
1 位（NEDO 理事長賞）：NAIST-RITS-Panasonic
2 位（WRS 実行委員長賞）：TAK
3 位（WRS 実行委員長賞）：ChiefScientistOffice
＜接客タスク＞
1 位（NEDO 理事長賞）：HARChuo
2 位（WRS 実行委員長賞）：TAK
3 位（WRS 実行委員長賞）：onwai
＜清掃タスク＞
1 位（NEDO 理事長賞）：NAIST-RITS-Panasonic
2 位（WRS 実行委員長賞）：TeaM Ususama
3 位（WRS 実行委員長賞）：MASARU Season 4



写真 3　NAIST-RITS-Panasonic

【遠隔参加部門】
ベストトライアル賞　：　U.T.T.
【学会賞】
日本ロボット学会特別賞：　TeaM Ususama
計測自動制御学会賞：　HARChuo

■ジュニアカテゴリー
※ジュニアカテゴリーはオンライン競技で実施
＜スクールロボットチャレンジ＞
1 位（経済産業大臣賞）：　Saku
2 位（NEDO 理事長賞）：　SAMAGRAM
3 位（WRS 実行委員長賞）：　Pacific Hou-Ou

＜ホームロボットチャレンジ ミニサイズクラス＞
1 位（経済産業大臣賞）：
Tamagawa Academy Science Club
2 位（NEDO 理事長賞）：　March
3 位（WRS 実行委員長賞）：　Sinag

＜ホームロボットチャレンジ リアルサイズクラス＞
1 位（経済産業大臣賞）：
The essence of the grey region
2 位（NEDO 理事長賞）：　KIT Happy Robot

※ジュニアカテゴリーはオンライン競技のためスクリーンでライブ発表



写真 4　Saku

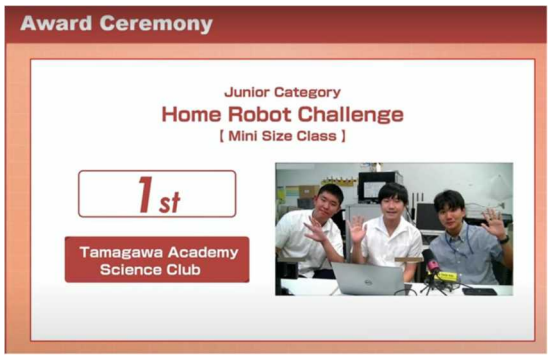


写真 5　Tamagawa Academy Science Club

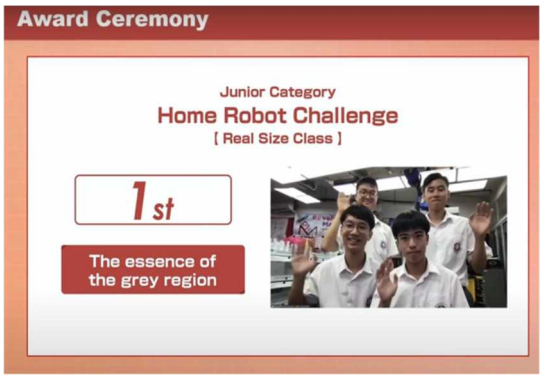


写真 6　The essence of the grey region


写真 7　表彰式会場

新たな展示手法の開発

WRS は、競技と展示の競演プログラムであり、企業・団体、自治体などによる最新のロボット技術を展示紹介するとともに、国内外の有識者やスポンサー企業によるステージプログラムを実施するものである。一方で、2020 年の新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けて、リアル会場での実施が難しくなることも想定し、ハイブリッド開催に向けて独自のバーチャルシステムの開発を行った。

「WRS VIRTUL」は、PC やスマートフォンを活用して、3D バーチャル空間上で自分のアバターロボットを操作し、WRC の競技の LIVE 視聴や競技体験が出来る。WRE ワールドでは、スポンサー企業や関連団体の最新のロボットや技術の資料をダウンロードできるほか、ステージプログラムの LIVE 参加も可能となるシステムを構築した。

2021 年の愛知大会では、当該期間中に愛知県に緊急事態宣言が発出されたことを受け、新型コロナウイルスの感染防止の観点から、リアル展示と一般の来場は取りやめて、「WRS VIRTUL」としてオンラインでの展示と競技配信を行った。

愛知大会の会場では、ロボットによる遠隔参加システムも採用され、複数のテレプレゼンスロボットが会場を回り、リアルタイムで各会場の様子を観戦した。

コロナ禍で海外からの来場も難しい中、24 時間自由に参加が出来て、アバターロボットを操作し、テレプレゼンスロボットを通して参加する新しいイベントの形を示すものとなった。

参加者は、愛知大会と福島大会の 9 月から 10 月の 2 か月で、約 7 万人の参加登録があり、PV 数は 75 万を超えた。また英語対応を行ったため、海外からの参加者も 1 万人を超えて、国際的にも WRS を周知することが出来た。

WRS では、競技会と展示会、ステージプログラムを同時に行う初めてのバーチャルシステムによる新たな展示手法が開発された。このプラットフォームを活用して、グルーバルなロボットコミュニティの形成が可能となる。



写真 1　WRS VIRTUL のエントランス



写真 2　バーチャル展示会場



写真 3　競技体験コンテンツ



写真 4　遠隔参加システム

WRS2020 のスポンサー

WRS2020 では、競技参加者の支援や賞金の授与を行うことを目的として、WRS2018 のプレ大会に続き、スポンサーを募集した。スポンサーの募集は国際ロボット大会連盟有限責任事業組合で実施し、WRS2018 を超える 35 社の協賛があった。



図 2-6-1　本大会のスポンサー

WRS 競技大会の継続実施の検討および成果普及と人材育成(2022)

WRS 競技大会の継続実施に向けて、ロボット関連企業、ユーザー企業を含めてヒアリングを行い、ロボットの社会実装と SIer の人材育成を目指した競技会の継続の取組に関する課題抽出や対策案を検討した。特に福島ロボットテストフィールドを使用するインフラ・災害対応カテゴリーの競技については、プラントメーカー、関係団体など幅広い関係者にて検討を実施し、次回の WRS 開催に向けてロードマップ案を策定した。

また、国際標準化に対しては、STM チャレンジの Negotiate タスクが 2022 年 6 月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の国際標準化へ着実に前進されられた。

WRS 起点のコミュニティ形成の取組として、SIer やユーザー、競技参加者を交えた成果普及フォーラムの実施や、展示会や国際会議において、競技者、委員、来場者等と幅広い交流を実施したことで、ステークホルダーの拡大が進展し、ロボットの社会実装を加速するための WRS コミュニティの基礎を構築できた。これにより、産業界からのニーズに基づく新規競技の設計や、自治体や関連団体の主体的な関与による産業振興への発展など、WRS を中心とした波及効果の高まりが見込まれる。

人材育成としては、ドローンを使用した小学生の体験プログラムを行い、将来の WRS ステークホルダーとなるロボット関係技術者の育成に取組、技術者育成の基礎を築くことができた。

（6）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	1		7	10	11	3	32
学会発表・シンポジウム講演等	2	12	7	2	25		48
展示会出展			7	1	3	6	17
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載		717			444	6	1167
ニュースリリース・プレスリリース		1	1	2	1		5

論文

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	横小路，横井		World Robot Summit 製品組立チャレンジ	計測と制御，Vol.56，		2017
2	横小路，河井，柴田，相山，琴坂，植村，野田，土橋，阪口，横井		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
3	横小路 泰義，河井 良浩，柴田 瑞穂，相山 康道，琴坂 信哉，植村 渉，野田 哲男，土橋 宏規，阪口 健，横井 一仁		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技 「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
4	Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi and Kazuhito Yokoi		Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit? summary of the pre-competition in 2018	dvanced Robotics		2019
5	横小路 泰義，野田 哲男		205X 年の日本のある製造現場の風景	ステム制御情報学会会誌　システム/制御/情報		2019
6	野田 哲男		ロボットシステムインテグレーションのレベル分類と WRS における安全確保の取組み	機械設計		2020
7	Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu		enchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly	EEE Robotics and Automation Letters		2020

	Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, Yasuyoshi Yokokohji		Systems"			
8	Mizuho Shibata, Hiroki Dobashi, Wataru Uemura, Shinya Kotosaka, Yasumichi Aiyama, Takeshi Sakaguchi, Yoshihiro Kawai, Akio Noda, Kazuhito Yokoi & Yasuyoshi Yokokohji		Task-board task for assembling a belt drive unit,	Advanced Robotics		2020
9	岡田 浩之、稲邑 哲也、和田 一義		World Robot Summit サービスカテゴリーは何を競ったのか"	日本ロボット学会誌、37 巻、3 号		2019
10	Jesus Savage, David A.Rosenblueth ,Mauricio Matamoros, Marco Negrete, Luis Contreras, Julio Cruz, Reynaldo Martell,Hugo Estrada, Hiroyuki Okada		Semantic reasoning in service robots using expert systems	Robotics and Autonomous Systems,Volume 114,		2019
11	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura,Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Hiroki Igarashi,Yoshikazu Ohtsubo,Noritaka Sato,Masaru Shimizu, Soichiro Suzuki, Tomoichi Takahashi, Shin'ichiro Nakaoka, Mika Murata, Mitsuru Takahashi, Yumi Morita and Elena Mary Rooney,		The World Robot Summit Disaster Robotics Category - Achievements of the 2018 Preliminary Competition,	Advanced Robotics,		2019
12	横小路泰義, 河井良浩, 柴田瑞穂, 相山康道, 琴坂信哉, 植村渉, 野田哲男, 土橋宏		world Robot Summit 2020 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020

	規，阪口 健，前田雄介，横井一仁					
13	柴田瑞穂，土橋宏規，植村渉，横小路泰義		ベルトドライブユニット組立のためのタスクボードの開発	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
14	西村和樹，土橋宏規		平行グリッパによる個体差に依存しない自動組付けの実現に向けたタイミングベルトの形状測定	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
15	野田哲男		産業用ロボットの新しい価値基準の創生	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
16	K. Tatemura and H. Dobashi: Strategy for Roller Chain Assembly with Parallel Jaw Gripper		The 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation	ICRA 2020		2020
17	野田哲男，相山康道，河井良浩		World Robot Summit(WRS)における安全に関する取り組み，システム／制御／情報	システム制御情報学会誌		2020
18	野田哲男		日本機械学会，機械工学年鑑 17.3 産業分野	日本機械学会		2020
19	柴田瑞穂，土橋宏規，植村渉，横小路泰義		RS2018 競技用タスクボードを用いた複数ロボットアームによる組立作業の分析	システム制御情報学会論文誌，Vol.34		2021
20	村川涼，土橋宏規		丸ベルトのプーリへの組付作業における難度要素の検討，第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	（SI2021）講演論文集		2021
21	Yuka Kanaya and Hiroki Dobashi		Case Study on a Grasping Strategy of a Cylindrical Part along Inner Sides of a Parts Tray Using a Parallel Stick Fingered Hand	roc. of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022		2022
22	K. Nishimura and H.		Robust assembly	Advanced		2022

	Dobashi		strategy of a timing belt in the belt drive unit against its shape uncertainty with a single parallel jaw gripper,	Robotics,		
23	横小路泰義, ものづくり競技委員会(産総研ほか):		WRS2020 ものづくり競技の総括	第 22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
24	野田哲男, ものづくり競技委員会(産総研ほか)		WRS2020 ものづくり競技における安全衛生ルールは何をもたらしたか？,	22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
25	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		World Robot Summit 2020 ものづくりカテゴリー「タスクボード競技」の競技結果および分析,	第 22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
26	琴坂信哉		国際ロボット競技会開催！	埼玉新聞		2021
27	琴坂信哉		特別寄稿　World Robot Summit 2020 製品組み立てチャレンジを終えて	FA ロボットシステムインテグレータ協会会報誌【JARSIA】		2022
28	Luis Contreras, Yosuke Matsusaka, Takashi Yamamoto, Hiroyuki Okada,		sDSPL - Towards a benchmark for general-purpose task evaluation in domestic service robots	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
29	Yosuke Matsusaka, Luis Contreras, Hiroyuki Okada, Yuka Iwanaga, Takashi		公平性と民主性を両立させた RoboCup 用競技シミュレーションシステムの開発	The 39-th Annual Conference of the Robotics		2021

	Yamamoto,			Society of Japan		
30	Arata Sakamaki, Luis Contreras, Yumiko Muto, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		ホームサービスロボットによる物体認識のためのアクティブセンシング戦略	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
31	Leo Miura, Yumiko Muto, Luis Contreras, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		パーソナルモビリティを活用した人とロボットの協調	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
32	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium		2021

学会発表・シンポジウム講演

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	岡田、横小路、田所		2020 年 World Robot Summit は何を競うのか？	日本ロボット学会学術講演会(RSJ2017) オープンフォーラム OF3, 東洋大学 川越キャンパス	2017
2	横小路他		World Robot Summit 製品組立チャレンジの競技デザイン	第 18 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017), 1D1-02, 仙台国際センター	2017
3	横小路		World Robot Summit ものづくり分野では何を競うのか？	龍谷大学セミナーハウス ともいき荘	2018
4	江口, 岡田		If You Give Students a Social Robot - World Robot Summit Pilot Study :	HRI 2018, McCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
5	TAN, 水地, 萩原, 稲邑		Representation of Embodied Collaborative Behaviors of	HRI 2018, MacCormick Place,	2018

			Embodied Collaborative Behaviors in Cyber-Physical Human-Robot Interaction with Immersive User Interfaces	Chicago, IL, USA	
6	田所，横小路，木村，河井，和田		World Robot Summitについて	第23回ロボティクスシンポジア（ONS1），静岡県焼津市松風閣	2018
7	岡田，田所，横小路		2020年World Robot Summitは何を競うのか？，	第36回 日本ロボット学会学術講演会(RSJ2018) オープンフォーラムOF1，中部大学 春日井キャンパス	2018
8	岡田		World Robot Summitパートナーロボットチャレンジで何を競うのか？」	第36回 日本ロボット学会学術講演会RSJ2018	2018
9	Luis Contreras, Hiroki Yokoyama, Hiroyuki Okada,		Multimodal feedback for active robot-object interaction”	arXiv preprint arXiv	2018
10	岡田		「ロボットと暮らす未来の社会」	WRS2018フォーラム	2018
11	横小路		横小路	第19回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2018) 1D1-01，大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
12	野田		WRSものづくり競技2018のルール策定の背景について	第19回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2018) 1D1-09，大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
13	横小路，野田		WRS(World Robot Summit)ものづくり競技ランチョンセミナー	第19回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2018)，大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
14	横小路		World Robotics Summit (WRS) 2018 製品組み立てチャレンジの結果と	計測自動制御学会 システムインテグレ	2018

			WRS2020 へ向けての課題	ーション部門 マニピュレーション部会 マニピュレーション冬の学校，大阪工業大学 梅田キャンパス	
15	横小路		WRS ものづくりカテゴリーでは何を競うのか？－競技会を通しての次世代生産システムの開発促進－	第 173 回 産学交流サロン「ひびきのサロン」，北九州学術研究都市 学術情報センター	2019
16	横小路		コンペティションによる次世代生産システムの開発促進と人材育成 ～World Robot Challenge 2018 ものづくりカテゴリーを例として～	第 12 回 製造・物流等分野ロボット導入実証ワーキンググループ，あいちロボット産業クラスター推進協議会，安保ホール	2019
17	琴坂、野田		World Robot Challenge 2018 の成果及びコンペティションを活かした人材育成・技術力向上について	第 12 回 製造・物流等分野ロボット導入実証ワーキンググループ，あいちロボット産業クラスター推進協議会，安保ホール	2019
18	横小路 泰義,田所 諭,岡田 浩之		020 年 World Robot Summit は何を競うのか？,RSJ2019 オープンフォーラム	早稲田大学	2019
19	河井 良浩		ロボットの知能化に向けた産総研の取り組みについて，中国地域産総研技術セミナー	山口	2019
20	Yasuyoshi Yokokohji:		World Robot Summit (WRS) Assembly Challenge - Results of WRS 2018 and Outlook for WRS 2020	IROS 2019 Work Shop: autonomous assembly	2019
21	野田 哲男		WRS における安全確保の取り組みと協働ロボットの安全設計例,	2019 国際ロボット展併催セミナー 協調安全 Safety2.0 が拓く生産革新と協調安全ロボットのシステム構築術	2019
22	植村 渉		工場におけるオートメーション化を目指したロボット競技大会の紹介	土木学会技　術推進機構インフラマネ	2020

			RoboCup Industrial と World Robot Summit-ものづくりカテゴリー・製品組立チャレンジの 現状とこれから,インフラメンテナンスにおけるロボット活用シンポジウム	ジメント新技術適用推進委員会	
23	鈴木 壮一郎、大金 一二、奥川 雅之、大坪 義一、木村 哲也、田所 諭		狭隘空間を想定した災害対応ロボット用 STM 競技タスクの開発 -World Robot Summit インフラ災害・対応カテゴリープレ大会の事例報告-	第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC1G1-06, 2019 ・大金 一二、“「WRS インフラ・災害対応カテゴリー競技では何を競い、何を計るのか？” レスキュー工学シンポジウム	2019
24	村川涼, 土橋宏規		ゴムベルトの組付け作業の難度評価方法	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
25	金谷由佳, 土橋宏規		平行スティック指汎用ハンドによる仕切りに接した円柱部品把持のための操作戦略	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
26	横小路 泰義		[講演] World Robot Summit「製品組立チャレンジ」～ロボット競技会を通じての次世代生産システム開発の促進～	本機械学会中国四国支部技術フォーラム 2020 ものづくり産業のためのロボット技術～これから先, 何が可能で何が必要か～	2020
27	本佳典、永野光、田崎勇一、横小路泰義		組立作業の直接教示と再生に適したマクロ・マイクロロボットの運動学シミュレーション環境の構築,	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
28	吉田知正、永野光、田崎勇一、横小路泰義		ロボットによる精密組立の事前検証のための シミュレーション手法に関する研究	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1G1-16, 福岡	2020
29	K. Tatemura and H. Dobashi		Study on Generality of Roller Chain Assembly Strategy with	2021 IEEE/SICE International	2021

			Parallel Jaw Gripper, Proc	Symposium on System Integration (SII 2021)	
30	M. Fukunishi, H. Dobashi and Y. Yokokohji:		Optimal Design of Rotational Chuck-type Hand with Three Parallel Stick Fingers for Assembly Tasks through Grasp Optimization	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021),	2021
31	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge	2021
32	Kenichi Ohara		Stock and Disposal Task	, Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
33	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task	orkshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
34	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
35	Daisuke Yamamoto,		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.”, Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
36	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
37	Gustavo Garcia		Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
38	Tsuyoshi Tasaki,		Champion’s Challenge for Future Convenience Store Robots”, Workshop on Future Convenience Store Challenge,	IEEE/SICE SII	2021
39	Gakushi Maruyama,		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving,	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021

			and watching		
40	Masashi Seki,		Team TAK’s approach to the WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
41	鈴木 壮一郎, 木村 哲也,		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ,” 計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会	SI2020	2020
42	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki,		esults of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk,	2021
43	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium,	2021
44	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
45	Kenichi Ohara,		Stock and Disposal Task”, Workshop on Future Convenience Store Challenge, I	EEE/SICE SII	2021
46	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
47	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021

48	Daisuke Yamamoto		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.”, Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
49	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
50	Gustavo Garcia,		“Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
51	Tsuyoshi Tasaki,		“Champion’s Challenge for Future Convenience Store Robots	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
52	Gakushi Maruyama		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching -	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
53	Masashi Seki,		Team TAK’s approach to the WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
54	鈴木 壮一郎, 木村哲也		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot. Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ	計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020	2020
55	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru. Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki, Tomoichi. Takahashi		Results of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk	2021

展示会出展

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日刊工	WRS 競技広報	ロボカップジュニア・ジャパンオープン 2019 和歌山	2019.4.28~29
2	日刊工	WRS 競技広報	ICRA モントリオール	2019.5.20~24
3	日刊工	WRS 競技広報	スマートファクトリーJapan 2019	2019.6.5~7
4	日刊工	WRS 競技広報	RoboCup2019 世界大会（シドニー、オーストラリア）	2019.7.2~8
5	日刊工	WRS 競技広報	中小企業　新ものづくり・新サービス展 大阪	2019.11.6~8
6	日刊工	WRS 競技広報	中小企業　新ものづくり・新サービス展 東京	2019.12.4~6
7	日刊工	WRS 競技広報	2019 国際ロボット展	2019.12.18~21
8	日刊工	WRS 競技広報	ひろしま AI・IoT 進化型ロボット展示会	2020.12.10~11
9	日刊工	WRS 競技広報	ロボテス EXPO 2021	2021.3.18~19
10	日刊工	WRS 成果報告	ロボカップアジアパシフィック 2021 あいち	2021.11.25~28
11	日刊工	WRS 成果報告	スマートファクトリーJapan 2021	2021.12.1~3
12	日刊工	WRS 成果報告	2022 国際ロボット展	2022.3.9~12
13	日刊工	WRS 成果報告	ロボテス EXPO 2022	2022.9.15~16
14	日刊工	WRS 成果報告	Japan Robot Week 2022	2022.10.19~21
15	日刊工	WRS 成果報告	IROS 京都	2022.10.24~26
16	日刊工	WRS 成果報告	高校生ロボットシステムインテグレーション競技会	2022.12.10~11
17	日刊工	WRS 成果報告	防災産業展 2023	2023.2.1~3

新聞・雑誌などへの掲載（多数のため一部掲載）

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	日刊工	各種掲載	日刊工業新聞　掲載期間　記事多数につき一部 PU	2016.1018~2022.1116
2		ワールドロボットサミット、来年プレ大会－ロボ人材の裾野拡大に好機	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.0104
3		ワールドロボットサミット、経産省とＮＥＤＯが概要公表－ものづくりなど４競技	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.04.11
4		ロボットの未来（上）カーネギーメロン大学ワイタカー記念全学教授・金出武雄氏	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.09.08
5		経産省とＮＥＤＯ、ワールドロボットサミットの競技者募集を開始	日刊工業新聞 ピックアップ	2018.01.24
6		ＷＲＳきょう開幕　ロボの現在・未来を発信	日刊工業新聞 ピックアップ	2018.10.17
7		ＷＲＳ、来年開催へ準備着々	日刊工業新聞 ピックアップ	2019.07.30
8		ＷＲＳ２０２０、アンバサダーに俳優のデ	日刊工業新聞	2020.02.13

		ィーン・フジオカ氏	ピックアップ	
9		新型コロナ／「ＷＲＳ２０２０」延期　コロナ影響、チーム集結難しく	日刊工業新聞ピックアップ	2020.04.20
10		ＷＲＳ、愛知・福島で今秋開催　経産省・ＮＥＤＯ	日刊工業新聞ピックアップ	2021.07.19
11		経産省など、ＷＲＳサイト開設　ロボ競技をライブ配信	日刊工業新聞ピックアップ	2021.09.02
12		ＷＲＳ２０２０、きょう開幕　ロボ競技に多様なシーン	日刊工業新聞ピックアップ	2021.09.09
13		ＷＲＳ福島大会、きょう開幕　「工場守れ」ロボ活躍	日刊工業新聞ピックアップ	2021.10.08
14		ＷＲＳアイデアコンテスト、山形大発ＶＢと愛知工業大を表彰	日刊工業新聞ピックアップ	2022.03.15

ニュースリリース・プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ＷＲＳ２０１８開催について	経済産業省	2018.9
2	ＷＲＳについて	経済産業省	2019.6
3	ＷＲＳアンバサダーにディーン・フジオカさんが就任します	経済産業省	2020.2
4	ＷＲＳ２０２０の開催を延期します	経済産業省	2020.4
5	ＷＲＳ２０２０を開催します	経済産業省	2021.7

（7）実用化・事業化への道筋と課題

本事業では 2017 年度より取組を継続したことにより、多くの成果が見えてきた。ロボット新戦略から提起された WRS の実施において、複数のカテゴリーおよびチャレンジを推進し、世界トップレベルのエンジニア等が競う大会として結実している。今後の WRS を通して社会や暮らしの現場、または数年後の未来の現場で活用されるロボット技術が生み出されていくこととなるだろう。

プレ大会から本大会の期間にかけては、プレ大会で考案されたチームの優れた手法を、本大会では複数の他チームが採用するなど、コンペティション形式によるイノベーション推進において有用な事例が蓄積された。

将来的には、WRS に参加して新たなロボット技術・システムを開発したベンチャーや企業、大学とユーザー企業やスポンサー企業が連携・提携するなどし、更なる技術開発が行われ、広い範囲で技術が活用されることが期待される。

また、プレ大会の成果を発信しながら本大会の実施につなげたことから、多くのステークホルダーのネットワークが形成された。特に産業界からの強い支持は、スポンサーとしてロボットや競技に関わる部材の提供という形で得ることができた点は大きな成果となった。これは競技会形式のオープンイノベーションによる社会実装や、産業界のリクルート活動において、WRS のメリットの大きさが国内でも浸透してきたことが理由と考えられる。

2022 年度における継続開催の検討フェーズにおいても、ステークホルダーの拡大が進展しており、産業界からのニーズに基づく新規競技の設計や、自治体や関連団体の主体的な関与による産業振興への発展など、WRS を中心とした波及効果の高まりが見込まれる。

こうした動きを産官学のそれぞれの知見と財源を適切に連携し、マネジメントしながら

進める必要がある。一方で、成果普及に伴うステークホルダーの拡大が進んでいることから、全体のとりまとめ組織と体制を維持しつつ、2024 年度、もしくは 2025 年度に向け継続することが期待される。

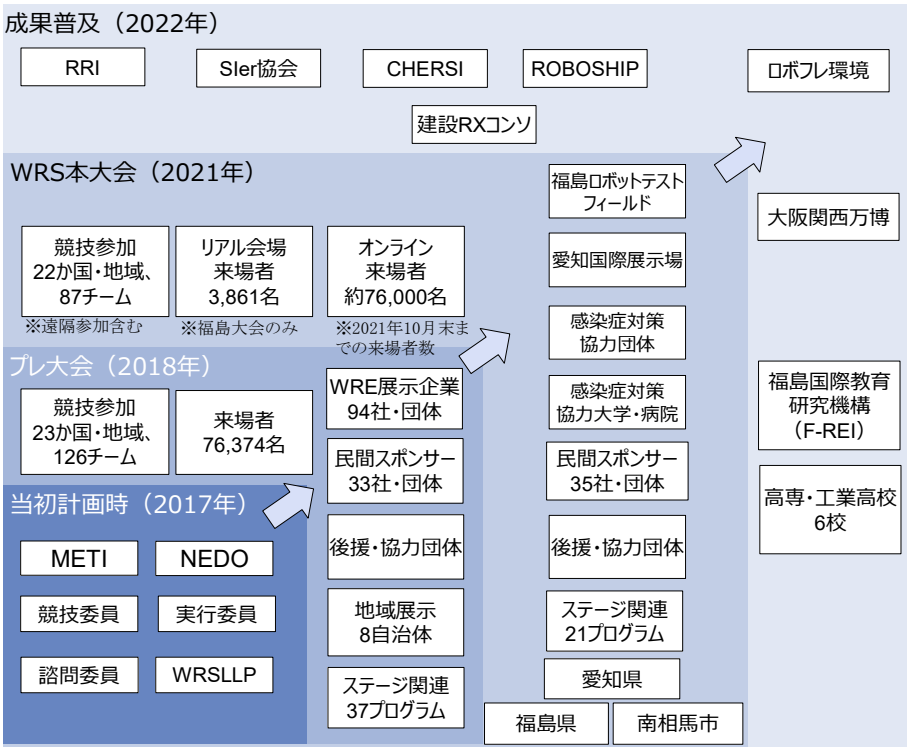


図 2-1　WRS コミュニティの拡大

実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業は、WRS2018（プレ大会）と WRS2020（愛知・福島大会）から構成される。WRS2018 では、各競技のタスクに取り組むことで、ロボットの社会実装の実現に近づく技術が生まれ、2020 年の本大会につながることが重要であった。前項に記載のとおり、WRS のコミュニティは活動を進めるごとに拡大しつつあり、オープンイノベーションのプラットフォームとして発展継続していく素地が出来てきている。

そこで、2022 年度では WRS の継続について検討し、下記のとおり 2025 年度をマイルストーンとして想定した。当該年度には、世界から衆目を集める大阪・関西万博が開催される予定であり、WRS2025（仮称）として更なる具体的な取組を進める計画である。

2023 年度には、2022 年度に実施した WRS2020 の効果検証と継続開催に向けた検討結果より、WRS2025 に向けて設定する解決したい課題やありたい姿を整理し、具体的なスケジュールを設定する。さらに、新規競技を含む競技設計の開発と見直しを行い、それらを技術課題へ落とし組む競技設計を実施する。開催地や必要なステークホルダーとの調整も併せて実施することとなるが、WRS2025 の具体的な情報を発信できるタイミングに合わせ、スポンサー募集を民間主体にて開始する形としたい。競技設計の状況に応じることとなるが、先行する競技についてはトライアルの実施やチーム募集も本格化する見込みである。

2024 年度には、継続して競技設計を続けるとともに、各競技にてトライアルを重ねる。トライアルの内、プレ大会の位置づけで運営を含めた比較的本番に近い形での検証が必要となると考えている。このプレ大会では、WRS2025 に向けた最終の課題抽出とともに、広く開催に向けた機運醸成とスポンサーの更なる募集活動の進展を計る目的として実施する。

マイルストーンとなる 2025 年度には、WRS2025 を開催する。会場は複数に分かれることが想定されており、開催自治体や万博関係者等と調整のうえ、各会場のテーマも加味しながら WRS2025 を実施する。

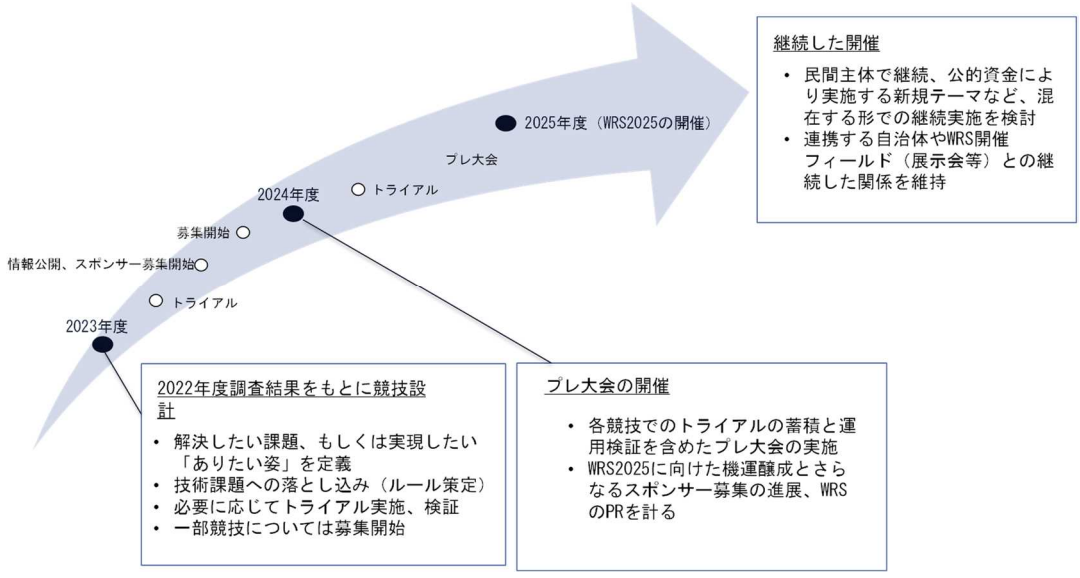


図 2-2　WRS2025 開催に向けたスケジュール想定

実用化・事業化の見通し

(1) 実用化・事業化に向けた課題

・実施競技の選定と競技設計

2022 年度の検討結果をもとに、産業界からの課題抽出と主体的な協力が得られる競技が優先的に検討されるべきと考える。そうした検討の結果、特に新規競技においては、競技設計に確保できる期間が短いことが想定される。

これについては、競技設計においても、ワークショップ形式を取り入れるなど、参加チームが準備に要する時間を短期にできるよう工夫するなど、2022 年度に実施した人材育成の視点を取り入れながら対応することが考えられる。こうした対応により、可能な限り競技設計の期間を確保し、かつロボット人材育成を図るなどの枠組みを検討したい。

・財源とスポンサー募集

国等の資金により担う部分と、WRS2020 の際の WRSLLP によるスポンサー募集による民間資金で担う部分の両輪により官民双方の事業推進が必要である。民側としては国際ロボット大会連盟（WRSLLP）に代わる新たな受け皿の設計とともに、公的な面を持ち合わせた事業推進にあたり、適切な事務執行が可能な体制を整える必要がある。

この課題については、WRSLLP に関与した事業者を中心とし、必要な関係者を巻き込みながら、新たな資金の受け皿を検討することで、短期かつ効果的にスポンサー募集と運用ができるように取り組む計画とする。

・WRE 等の社会実装の姿を発信する事業の推進

WRS は WRC と WRE の複合的な大会として機能する仕組みである。そのため、競技以外にも WRE 関連のコンテンツ開発にも同時に注力する必要がある。この検討においては、2025 年度予定される大阪・関西万博との連携、社会実装が進むドローンやエアモビリティなど、ロボットを含めた幅広い未来像をテーマにすることが考えられる。

2022 年度より、すでに大阪・関西万博関係者との議論をスタートしており、今後もこうした活動を継続することで、WRS2025 開催における国際的な相乗効果の発揮を狙いたい。

(2) 波及効果

ロボットのユーザー企業やメーカーなど、WRS 実施においては産業界からの支援が必須であると考える。WRS の継続実施においては、これら産業界からの支援を継続して確保する必要があり、民間が主体的な課題の抽出と競技課題への組み入れることができるカテゴリーは、ニーズに合わせた競技開発が進展するといった波及効果は大きいと考える。

さらに、WRS2020 においてはコロナ禍の影響により、リアル参加のための制約事項が多数存在した。一方で、来日できなかった海外チームから次の WRS についての問い合わ

せ等も存在し、国際的にも主要な競技会として認知が進んでいるものと考える。WRS2025に向けては、海外チームのより積極的な呼び込みを通し、日本発の競技ルールを世界に向けて発信していく。こうした活動を行うことで、デファクト・スタンダードの確立にWRSは大きく寄与するであろう。

また、2.1に記載とおり、拡大するWRSコミュニティにより、社会実装を目的とした今までにない取組が広がっている。このコミュニティには、アカデミア、企業など広く関係者が入ることのできるオープンな場であり、この場を通して産業界からのニーズの吸い上げと、情報の集約が図れる仕組みとなっている。これをWRS2025に向けて発展させることで、日本発のイノベーションによる社会課題の解決を担うWRSとなることが期待される。

6.3.3. ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携・支援体制の構築に係る調査研究事業

（実施期間：1年間（2022年度））

（実施先：PwC株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

ドローンは様々な分野における利活用の可能性を秘めており、諸外国では利活用分野の拡大のための技術開発、知財獲得及び標準化活動が活発におこなわれている。一方、わが国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにドローンの高度な利活用が期待されている。

そのため、諸外国と同様、我が国でも様々なユースケースでドローンの普及が進んでいる。官民協議会における「空の産業革命に向けたロードマップ」では、2022 年度には、有人地帯における補助者なし目視外飛行（レベル 4）の実現が目標とされ、企業の技術開発や実証実験も活発化している。

既にそうした企業は、知財獲得や国際標準化にも関与しており、特に ISO/TC20/SC16 では、提案した複数の規格が審議されている。

今後、諸外国企業による知財獲得や様々な国際標準化機関における重要規格の審議が活発化する中、我が国としての知財獲得や国際標準化のための連携・支援体制の在り方が問われている。

本調査では、我が国ドローンの関連事業者が知財・国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進められるよう、必要となる連携・支援体制を提言する。

＜事業概要＞

本事業について、以下にその内容を示す。

① 国内外の安全性等の証明手法（MoC; Means of Compliance）の調査と提言
② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言
③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討

① 国内外の安全性等の証明手法（MoC; Means of Compliance）の調査と提言

・調査概要

日本が欧米と調和すべき法規制と独自に設定すべき法規制等、識別ができるよう、現在・今後の法規制の動向を比較できるように整理する。また、法規制の決定に影響を与えている組織・標準化団体も明らかにすることで、継続的な情報収集や関与すべき標準化の対象を明確化することを目指す。

・調査方法

文献調査を基本として実施するが、欧米の規制検討・標準化参加者へのヒアリングを実施し、法規制や MoC の策定状況・内容・体制を検証の上、最終化する。

② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言

（ア） 国際標準化動向

・調査概要

国際標準化については、我が国の企業が国際標準化に参加する際、どの標準化機関・WG に参加すべきか、どの重要人物とコミュニケーションを取るべきかを

把握できるよう、Work Item 一覧だけではなく、標準化機関と検討領域の対応関係や、同一領域内での棲み分け・協力関係を整理する。

・調査方法

欧州や米国でドローン関連の国際標準として取りまとめられている資料を基に、各標準化機関（ISO、RTCA、ASTM、SAE、EUROCAE、JARUS）のウェブサイトで最新動向を調査・更新する。また、知財動向の調査から明らかになる日本が強みを有していると考えられる技術領域ついても調査を行う。なお、該当情報を公開資料で把握できない場合は、欧米の国際標準化参加者へヒアリングを実施して最終化する。

（イ） 知財動向

・調査概要

国全体としての強み・弱みや、各企業にとって競合・連携先となる企業を把握できるよう、領域別・国別の知財保有状況、主要企業の強み（知財を多く有する技術領域）・弱み、オープンソースを活用している領域を分析する。

・調査方法

ドローン関連知財の母集団を作成し、ドローンに関する技術領域を整理した後、国別の知財出願状況から、国レベルでの強みを有すると思われる技術領域を把握する。また、主要なオープンソース技術が存在する領域、および活用状況をまとめる。

③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討

・調査概要

企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、産官学が提供すべき支援などを踏まえ、それを実現する体制を策定する。

・調査方法

企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、政府から支援すべき事項を 10 社へのヒアリングで把握・検証し、日本として不足していると思われる取組を特定し、必要となる体制を検討する。ヒアリングにあたっては、欧米の事例を参照しながら企業ニーズを引き出せるよう、欧米における知財・国際標準化の支援体制を予め調査しておく。

また、検討結果については、知財・標準化を推進している複数の企業・団体が集まる場（ISO/TC20/SC16 等）において説明し、社会実装に向けた意見のすり合わせを行う。

（2）研究開発目標と根拠

本事業では、我が国ドローンの関連事業者が知財・国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進めるうえで必要となる連携・支援体制を提言することを研究開発目標に設定した。

その根拠として、まず、ドローンは、社会課題の解決をはじめ、様々な分野で革命的な発展をもたらす可能性を秘めており、諸外国では、利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発、知財獲得及び標準化活動が活発に行われている。ドローンの高度利活用による産業創出や市場規模拡大が期待される中、海外のドローン関連事業者は、既に知

財獲得や国際標準化にも積極的に関与し、そうした企業が参加する欧米の標準化団体や国際標準化機関においては、一般公開されていないスコープの棲み分けもなされつつある。他方、知財動向に目を向けると、オープンソース技術も普及し始め、オープンソースをビジネスで活用した事例も見られる。

こうした海外の動向を受け、我が国のドローン関連事業者がグローバル展開を実施するために把握しておくべき情報は多様化・複雑化していると考えられる。各社は、事業戦略とあわせ、市場で優位なポジションの確立、また市場を拡大させるために知財・標準化動向を考慮しながらグローバル展開を進める必要があるが、両方の整合を取って戦略を検討できる企業は限られ、それを実行できている企業はさらに限定されると考えられる。

我が国におけるドローン関連の各事業者が、知財・標準化だけでなく、事業戦略と整合する形でグローバル展開できるようになるため、自社がすべきことと産官学で連携・協力すべきことを明確にし、企業・業界・政府の連携・支援体制を具体化していく必要性は高い。

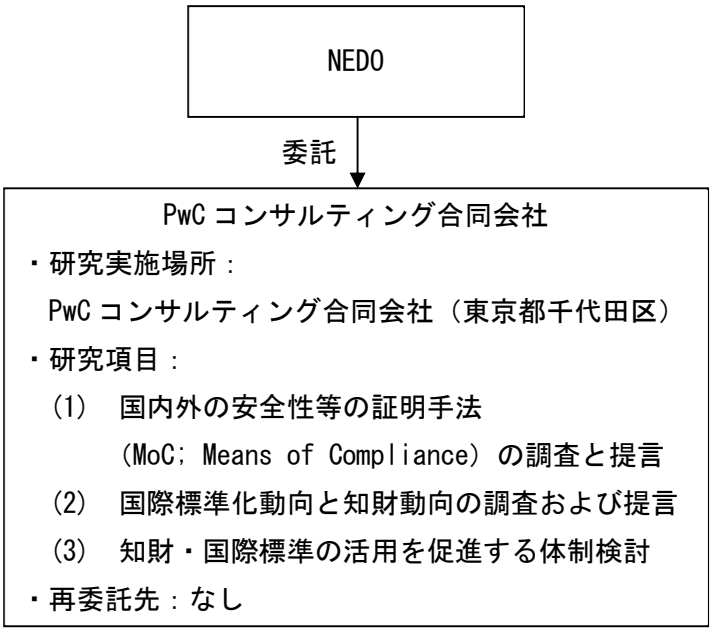
（3）研究開発スケジュール・実施体制

① 実施スケジュール

以下に示すスケジュールで実施する。

事業項目	2022 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
① 国内外の安全性等の証明手法(MoC; Means of Compliance)の調査と提言				
1. 情報整理	→	→		
2. 欧米の規制検討・標準化参加者へのヒアリング・検証			→	
② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言				
[国際標準化動向の調査]		→	→	
[知財動向の調査]		→	→	
[オープンソース化の動向調査]			→	
③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討			→	
1. 欧米における支援体制の概要調査				→
2. 国内関係組織へのヒアリング				→
3. 知財・国際標準の活用を促進する体制の検討				→
報告書作成				

② 実施体制
以下に示す体制で調査を実施する。



（4）研究開発の達成状況

・研究開発項目：
ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携・支援体制の構築に係る調査研究

最終目標	成果	達成度	備考
我が国ドローンの関連事業者が知財･国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進められるよう、必要となる連携・支援体制を提言する。	知財から強みを有すると思われる領域の関連企業にヒアリングした結果、アジア展開を見据えた機体やデータ分析、エンドユーザーの業務システム等の連携、法規制整備･国際標準把握を実施する体制を提言した。	○	知財分析の結果、土木／建築、環境計測分野といったドローンのサービス・ソリューションに強みを有することが明らかとなった

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：
国内外の安全性等の証明手法（MoC; Means of Compliance）の調査及び国際標準化動向と知財動向の調査を実施した。これらの結果を踏まえ、ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携･支援体制案を作成し、企業へのヒアリングを通じて検証した。その結果、強みを持つ土木／建築、環境計測分野のサービスにおいて、産業間で連携してドローンを使った業務効率化を図り、アジアを中心に展開したいという意向を確認した。そのためにも企業へのインセンティブの具体化･標準的な連携の仕組み作り、段階的な許可承認要件の具体化・その検討のための法規制・国際標準の情報収集を両輪として推進する体制が必要となることを提言した。

（5）成果と意義

① 国内外の安全性等の証明手法（MoC; Means of Compliance）の調査

日本と欧米における、現在・今後の法規制・国内外の安全性等の証明手法（MoC; Means of Compliance）の動向を比較しながら整理したことで、我が国のドローンメーカーが欧米の法規制・MoC と整合した製品を製造する際の情報提供や関与すべき標準化の対象を明確化することができた。

欧州の法規制・MoC（抜粋）

カテゴリー			クラス	機体の特性
Specific	PDRA	S01	5相当	• ED Decision 2022/002/R AMC4 Article 11 Rules for conducting an operational risk assessment PREDEFINED RISK ASSESSMENT PDRA-S01 Version 1.1 EDITION January 2022の表PDRA-S01.1に、PDRAの特性および条件が記述されている **1.8 UA は、ペイロードを含む最大離陸重量が25kg未満であること** **1.9 UAは、最大寸法(例：翼幅、ローター直径／面積、マルチローターの場合のローター間最大距離）が3m未満であること** 6.1 UAS運航者は、クラスC5と表示されたUASを使用し、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16に定義された、そのクラスの要件に準拠すること 6.2 6.1の代替として、UAS運航者は、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16の要件に準拠するUASを使用することができる。ただし、以下の要件を満たす必要はない 6.2.1 クラスC3 UASまたはクラスC5 UASの識別ラベルを貼付すること 6.2.2 非電動UASの使用によって生じる環境への影響を最小限に抑えることをUAS運航者が保証する場合、電力によってのみ駆動されること 6.2.3 UASの規則で要求されるように、EASAが発行し、適用される制限と義務を提供する通知を含むこと;および 6.2.4 個人製造UASの場合は、ユーザーマニュアルを含める。ただし、その運用と保守、および遠隔操縦者の訓練に関する情報は、飛行マニュアルに含めること 注1：UASは、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 6に準拠するアドオンを使用することにより、同規則Annex Part 4(9)に準拠することができる 注2：UAが規格ANSI/CTA-2063-A「小型無人航空機システムのシリアル番号」に準拠した物理的なシリアル番号を付けない場合、および／または直接リモートIDの統合システムを持たない場合、同規則Annex Part 6に準拠したアドオンを使用することにより、同Regulation(EU)2019/945 Annex Part 4(9)項に準拠することができる 注3：UASが個人製造の場合、UAに最大離陸重量の識別表示がない場合がある。この場合、UAS運航者は、離陸前のUAの形態において、UAの最大離陸重量が25kgを超えないことを保証すること
		S02	6相当	• ED Decision 2022/002/R AMC4 Article 11 Rules for conducting an operational risk assessment PREDEFINED RISK ASSESSMENT PDRA-S01 Version 1.1 EDITION January 2022の表PDRA-S02.1に、PDRAの特性および条件が記述されている **1.7 UA は、ペイロードを含む最大離陸重量が25kg未満であること** **1.8 UAは、最大寸法(例：翼幅、ローター直径／面積、マルチローターの場合のローター間最大距離）が3m未満であること** 1.9 UAは、水平飛行における最大対地速度が50m/s以下であること 6.1 UAS運航者は、クラスC6と表示されたUASを使用し、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 17に定義された、そのクラスの要件に準拠すること 6.2 6.1の代替として、UAS運航者は、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16の要件に準拠するUASを使用することができる。ただし、以下の要件を満たす必要はない 6.2.1 クラスC3またはクラスC6 UAS識別ラベルを貼付すること 6.2.2 非電動UASの使用によって生じる環境への影響を最小限に抑えることをUAS運航者が保証する場合、電力によってのみ駆動されること 6.2.3 UASの規則で要求されるように、EASAが発行し、適用される制限と義務を提供する通知を含むこと;および 6.2.4 個人製造UASの場合は、ユーザーマニュアルを含める。ただし、その運用と保守、および遠隔操縦者の訓練に関する情報は、飛行マニュアルに含めること 注1：UASは、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 6に準拠するアドオンを使用することにより、同規則Annex Part 4(9)に準拠することができる 注2：UAが規格ANSI/CTA-2063-A「小型無人航空機システムのシリアル番号」に準拠した物理的なシリアル番号を付けない場合、および／または直接リモートIDの統合システムを持たない場合、同規則Annex Part 6に準拠したアドオンを使用することにより、同Regulation(EU)2019/945 Annex Part 4(9)項に準拠することができる 注3：UASが個人製造の場合、UAに最大離陸重量の識別表示がない場合がある。この場合、UAS運航者は、離陸前のUAの形態において、UAの最大離陸重量が25kgを超えないことを保証すること

② 国際標準化動向と知財動向の調査

国際標準化動向については、欧米の標準化機関で検討されているドローン関連のワークアイテムや標準化機関同士の関係を整理したことで、今後我が国のドローン関連事業者が国際標準化活動に参加する際、アプローチすべき機関・WG を示すことができる。

知財動向については、欧米に出願している知財の中で特定ユースケースに絞った知財も分析するとともに、今後利用の増加が見込まれるオープンソースベースの活用事例も調査したことで、企業の実ビジネスでより参考となる情報を提供することができた。

米国において強みを有する日本企業・領域

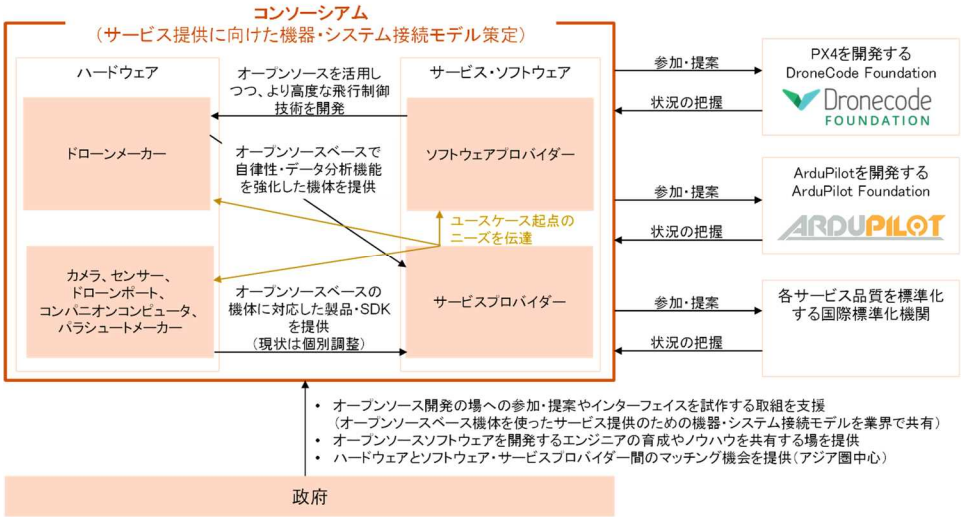
日本企業の被引用数割合1以上　　日本企業の出願数割合6%*5以上かつ被引用数割合1以上

大項目	中項目		小項目	米国特許商標庁への特許出願数*1	日本企業の出願数割合*2	日本企業の被引用数割合*3	米国に出願している日本企業のうち、特許数が3位までの企業	米国に出願している日本企業のうち、1報あたり引用数が3位までの企業	参考）台湾で出願している日本企業*4	参考）台湾で引用されている日本企業*4
サービス・ソリューション	サービス	運行管理・統合機能	飛行許可	12	92%	1.09	• KDDI CORPORATION • PRODRONE CO., LTD. • RAKUTEN GROUP, INC.	• KDDI CORPORATION • PRODRONE CO., LTD.		
	ソリューション	プロバイダー	土木／建築	13	31%	1.54	• Komatsu Ltd. • THE UNIVERSITY OF TOKYO	• Komatsu Ltd.		
			軍事	552	1%	2.17	• MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	• MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	• SKYROBOT INC.	• SKYROBOT INC.
機体・周辺機器	デバイス・動力源・検出技術	エンジン	ロケットエンジン	36	3%	1.08	• EBARA CORPORATION	• EBARA CORPORATION		
	素材	カーボン		288	3%	1.58	• PRODRONE CO., LTD • MURATA MANUFACTURING CO., LTD., • FTEX, INCORPORATED • NEJILAW INC. • TORAY INDUSTRIES, INC • SUBARU CORPORATION • FTEX INCORPORATED	• NEJILAW INC. • PRODRONE CO., LTD. • FTEX INCORPORATED		

③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討

欧米における支援体制と比較して日本に不足していると考えられる事項を把握するとともに、企業のニーズを把握・検証したことで、企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、産官学が提供すべき支援などを踏まえた連携・支援体制を提言することができた。

今後の連携・支援体制



（6）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	0	0	0	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	0	0	0	0
展示会出展	0	0	0	0	0	0	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	0	0	0	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	0	0	0	0

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
国内出願	0	0	0	0	0	0	0
外国出願	0	0	0	0	0	0	0

（7）実用化・事業化への道筋と課題

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1.1. 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう。

2. 研究開発項目毎の実用化の見通しについて

2.1 実用化・事業化に向けた戦略

①【標準的研究開発テーマ】

ドローン関連事業者によるコンソーシアムの組成を政府や関連企業に働きかけ、日本が強みを有するドローン関連ソリューションの基本構造の標準化やオープンソース技術の開発、企業間のマッチングを促進する。ドローンを活用したサービスの関係者は、ハードウェア、ソフトウェア、サービスプロバイダーと多岐にわたり、互いに容易に連携できるようになれば提供できるサービスの幅も拡大する。特に、データ分析に関するソリューションは、知財面で我が国が強みを有する領域であるとともに、今後も成長が見込まれる。

なお、標準化を提案し、国際標準として成立した結果としては、技術・基準等が世界各国のルールに適用され、ルールに準じた製品やサービスが普及していくと考えられる。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

標準化する領域が我が国のドローン関連事業者にとっての競争領域とならないよう、関係者間の合意形成を図る。また、自社のみで技術者の人材育成や標準化を進めるリソースが十分でない事業者のビジネス支援もできるようノウハウを共有する場としてもコンソーシアムを活用する。

2.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

①【標準的研究開発テーマ】

まず、コンソーシアムが組成された場合、情報発信、他機関との連携、情報共有等、今後の取組促進に向けて必要となる各社の役割や仕組みを明確化する。その上で、標準化すべき技術領域を検討する。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

欧米の法規制・MoC の動向を継続的に調査し、ドローン関連事業者に共有していくことで関係者間の認識の統一を図っていく。また、国際標準化動向についても、

規制に影響を与える標準化機関の検討状況や標準の重複・不足を把握しながら、標準化を検討する。

2.3 実用化・事業化の見通し

①【標準的研究開発テーマ】

海外においても同様の標準化検討の動きがある場合は、規格の乱立を避ける必要があるため、我が国のドローン関連事業者が参加するコンソーシアムと海外の事業者との連携も進める。海外の事業者も交えて標準化を検討することで、国際標準化機関における提案に向けて仲間づくりが可能となる。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

コンソーシアムの運用状況を確認しながら、より効果的な活用方法を検討していく。

6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」

6.4.1 海外における空飛ぶクルマの実証事例調査：

空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査

（実施期間：1 年間（2021 年度））

（実施先：日本航空株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

従来の「ロボット・ドローンの活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」では、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発を行ってきた。その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機（いわゆる「空飛ぶクルマ」）の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されている。

本件では、日本においても空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていくため、自動・自律飛行・運航管理等の検討が先行している海外事例を事前に調査するとともに、実装に必要な要素技術や事業モデルを調査・検討し、202 年度以降の国家プロジェクト等に繋げていくことを目的とする。そして、効率的な空の移動を実現し、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、地方自治体の抱えるインフラ老朽化や都市部での交通渋滞削減等の社会課題解決に寄与することを目的に、「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」及び「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」を実施した。

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」においては、海外における先行実証事例の調査を実施し、当該調査結果を基に、日本における実証構想（案）・計画（案）を策定した。

「海外の先行事例の調査」においては、日本における実証実験構想（案）・計画（案）の策定に必要なインプットとするために、海外における空飛ぶクルマに係る実証実験を先行事例として公開情報調査に加え、インタビューを実施した。その内、特に先行して取り組みが進む米国の National Campaign 及び仏国の Re.Invent Air Mobility に加え、空飛ぶクルマの社会実装における地方自治体の役割等を検討している欧州の UIC2（UAM Initiative Cities Community）を中心に調査を実施した。

National Campaign は、空飛ぶクルマを NAS(National Airspace System)に統合するにあたり、既存規制とのギャップを特定し、各ステークホルダーが従うべきルール(FAA 規制・標準等）を策定することを目的として実施されている。実証実験のシナリオ・検証項目等を NASA が策定し、参加企業が当該シナリオを実行するという政府によるトップダウン的なアプローチを採っている。

Re.Invent Air Mobility は、2024 年のパリ五輪において空飛ぶクルマのデモフライトを実施すること及び 2030 年までのパリ地域への UAM（空飛ぶクルマ及びドローン）実装に向けエコシステムを形成することを目的に、Choose Paris Region 及び ADP、RATP 主導の下、実施されている。実証実験のシナリオ・検証項目等は参加企業により現在策定中であり、企業によるボトムアップ的なアプローチを採っている。

UIC2 は UAM に対する地域の理解向上を図りながら実装に向けて取り組む自治体連合であり、都市・地域を中心とした住民視点の制度構築が必要という理念の下、社会受容性の観点から都市・地域の役割・権限を議論している。

日本において 2025 年度を目途に空飛ぶクルマの飛行を実現するためには、政府が指針策定等含め主導しつつ、参加企業が主体となってシナリオ策定・実証実験・テストフライトを行うことで、空飛ぶクルマの社会実装に必要な運航オペレーションを確立す

る必要がある。
「日本における実証構想（案）・計画（案）」については、2025 年度までを念頭にした国内での実証実験構想（案）及び各年度の実施内容を含む実施計画（案）を策定した。特に、2025 年度における有視界飛行方式による「遊覧飛行」及び「二地点間輸送」を想定ユースケースとし、必要な観点（「安全な運航手段の確立」及び「周辺環境への影響把握」、「顧客の利便性（顧客価値）向上」）を基に設定した 6 つの検証観点（案）（「飛行計画の策定・遵守」及び「離着陸場とアプローチ」、「不測事態への対応」、「コンフリクト管理」、「騒音評価・分析」、「旅客オペレーションの効率性」）を設定するとともに、当該観点（案）に基づいた 2022 年度から 2025 年度の各年度における実証計画（案）を策定した。

「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」においては、国内の有望地域における空飛ぶクルマの利活用モデルの整理、及び利活用モデルから想定される有望ルート候補と、以降の検討に際して対象とする代表ルートを整理した。その上で、離着陸場に必要な施設・設備要件、及び離着陸場候補地点の抽出・評価の観点を整理し、代表ルートにおける離着陸場候補地点の抽出・実現可能性評価を実施した。加えて、想定される運航主体のパターンと運航サービスの組み合わせからシナリオを定義し、実現時期別（立ち上げ期・成熟期）にオペレーション体制・事業モデルを整理した上で、代表ルートにおける事業経済性の評価を実施した。前段までの調査内容を踏まえ、今後に向けた課題と解決策を「離着陸場の設置」、及び「オペレーション体制・事業モデルの構築」に向けた観点から整理した。
「国内の有望地域・ルートの検討」においては、有望ルートの要件整理、及び（事業利用に係るユースケース内の）ヒトの移動・モノの輸送に係るユースケース別に具体ルートの評価観点・内容を整理した。これら有望ルートの要件・評価観点等を基に、対象とする地域における空飛ぶクルマの利活用モデルを定義した後、有望ルート候補から以降の検討において対象とする代表ルートを抽出した。
有望ルートの要件整理については、官民協議会ユースケース検討会で整理されている空飛ぶクルマのユースケースの内、事業利用に係るユースケースを対象にして「ヒトの移動」と「モノの輸送」に分類し、有望ルートの要件を整理した。ヒトの移動においては、「潜在的な利用者が多い」・「既存交通モードに課題がある」・「既存交通モードの移動コストが高い」の 3 つの評価観点を設定し、モノの輸送においては、「潜在的な利用者が多い」・「既存配送・輸送モードに課題がある」の 2 つの評価観点を設定し、有望ルートの評価を実施した。
前段の有望ルートの評価結果、及び地域特性や交通特性、自治体等のインタビューを踏まえ、地方部（三重県）、都市部（大阪府）、その他（大分市・大分都市広域圏）における空飛ぶクルマの利活用モデルを定義した。三重県では、「観光を軸にした新たな地域交通ネットワークの構築」、大阪府では「既存の交通ネットワークへの高付加価値（混雑回避・遊覧要素）移動モードとしての組み込み」、大分市・大分都市広域圏では「主要交通拠点をハブとする新たな域内交通ネットワークの構築」が空飛ぶクルマの利活用モデルとして想定される。
前段の空飛ぶクルマの利活用モデルを踏まえ、本調査では、三重県における「主要な観光地を結ぶ周遊交通」、及び「荷物配送（海上）」といった複数のユースケースでの活用が見込まれる「鳥羽エリア（鳥羽市旅館街）⇔答志島ルート」と、大阪府における「空港からの二次交通」としての活用が見込まれる「伊丹空港⇔なんば駅ルート」を代表ルートとして抽出し、以降における離着陸場候補地の抽出・実現可能性評価、及び事業経済性の評価を実施した。
「離着陸場候補の調査」においては、空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件の整理、及び離着陸場を設置するに際して候補地となり得る地点の抽出を行い、前段で整理

した代表ルートの離着陸候補地点に関して離着陸場設置に向けた実現可能性を評価した。

空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件については、米国・欧州の制度化主体（規制当局）や標準化機関等において空飛ぶクルマの離着陸場に関する具体的な要件の規定までには至ってはいないことに鑑み、現行のヘリコプターの離着陸場で求められる施設・設備要件を踏まえ、離着陸場の機能（「Vertistop」・「Vertiport」・「Vertihub」）と実現時期（立ち上げ期・成熟期）の観点から整理を行った。

離着陸場候補地点の抽出・評価については、諸外国において空飛ぶクルマの離着陸場を開発している有識者の知見等を踏まえ、抽出・評価の観点として「エコシステム・ネットワーク」・「空域」・「環境」・「都市計画／制限」・「アクセス性・利便性」・「地域ステークホルダー」・「建設・塗装／その他インフラ」・「設計／運用」の 8 つを設定した。離着陸場の抽出・評価の観点に基づき、有望ルートにおいて離着陸場候補となり得る地点を抽出し、離着陸場設置に向けた実現可能性の評価を行った。試行的に「鳥羽エリア（佐田浜第一駐車場）」と「なんば駅エリア（新南堀江パーキング）」について細部評価を行い、「鳥羽エリア（佐田浜第一駐車場）」については、2 方向の進入表面の設定が可能と想定され、加えて他交通（鉄道）へのアクセス性等が見込まれる一方、近隣の船舶への影響等（地域ステークホルダーへの影響）が以降の留意事項になると想定される。「なんば駅エリア（新南堀江パーキング）」については、中心地のため他交通へのアクセス性、また近隣にイベント会場等が存在することから事業性等も見込まれる一方、空域や周辺の生活環境への影響、地域のステークホルダーへの影響等が留意事項になると想定される。

「オペレーション体制・事業モデル調査（事業経済性）」においては、想定される運航主体のパターンと運航サービスの組み合わせによるシナリオを定義した上で、実現時期別（立ち上げ期・成熟期）のオペレーション体制・事業モデルを整理し、前段で整理した代表ルートにおける事業経済性の評価を実施した。

オペレーション体制・事業モデルについては、想定され得る「運航主体」のパターンと、主たる「運航サービス」のパターンを洗い出した上で、「シナリオ A（エアラインが空港二次交通サービスを展開）」・「シナリオ B（域内密着のヘリオペレーターが域内周遊観光サービスを展開）」・「シナリオ C（空飛ぶクルマメーカーが都市内エアタクシーサービスを展開）」の 3 つのシナリオとして定義した。定義したシナリオと実現時期（立ち上げ期・成熟期）で比較すると、例えば、オペレーション体制について、シナリオ間では機体の研究開発・製造／MRO（重整備）の内製化有無と内製化に伴うパートナーの差異が生じると想定される。

事業経済性については、代表ルートとして選定した「鳥羽エリア（鳥羽市旅館街）⇔答志島ルート」と「伊丹空港⇔なんば駅ルート」において、空飛ぶクルマの利活用モデルとシナリオ（運航主体×運航サービス）から想定するユーザーを定義し、人流データやアンケート調査を通じて年間移動者数に対する空飛ぶクルマの想定利用者数、及び運航コストを算出し、想定される売上と比較することで事業経済性（損益分岐点）の評価を実施した。例えば、三重県の「立ち上げ期・大型機・搭乗率 75%」においては運賃（km 単価）「2,400 円」が、大阪府の「立ち上げ期・大型機・搭乗率 75%」においては運賃（km 単価）「1,000 円」が損益分岐点になると想定される。

「今後に向けた課題と解決策の検討」においては、前述の調査結果を踏まえて「離着陸場の設置」、及び「オペレーション体制・事業モデルの構築」に向けた課題とその解決策の検討を実施した。

離着陸場の設置については、「設置場所の選定」・「施設・設備の整備」・「収益化の実現」が課題と想定される。離着陸場の設置に向けて、離着陸場の設置や施設・設備要件に係る各種基準・要件の明確化や標準化、情報基盤の整備、ガイドライン策定等を推進していく必要があると想定される。

オペレーション体制・事業モデルの構築については、「オペレーションの確立」・「収益化の実現」・「社会受容性の向上」が課題と想定される。オペレーション体制・事業モデルの構築に向けて、収益化やオペレーションの確立に資する情報基盤等の整備、各種基準・要件の明確化、社会受容性に係る利便性・安全性の訴求施策を推進していく必要があると想定される。

（２）研究開発目標と根拠

空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、 2025 年までの実証計画、及び 2025 年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」では、空飛ぶクルマの先行実証事例について、NASA AAM National Campaign（米）、ParisPontoise airfield（仏）、UAM initiative（欧）など複数の海外動向を調査し、実証結果や課題、今後の実証計画等を整理し、日本における 2025 年頃までの飛行に向けた実証のための課題整理、実現可能な実証計画の要件整理及び段階的シナリオを策定する。

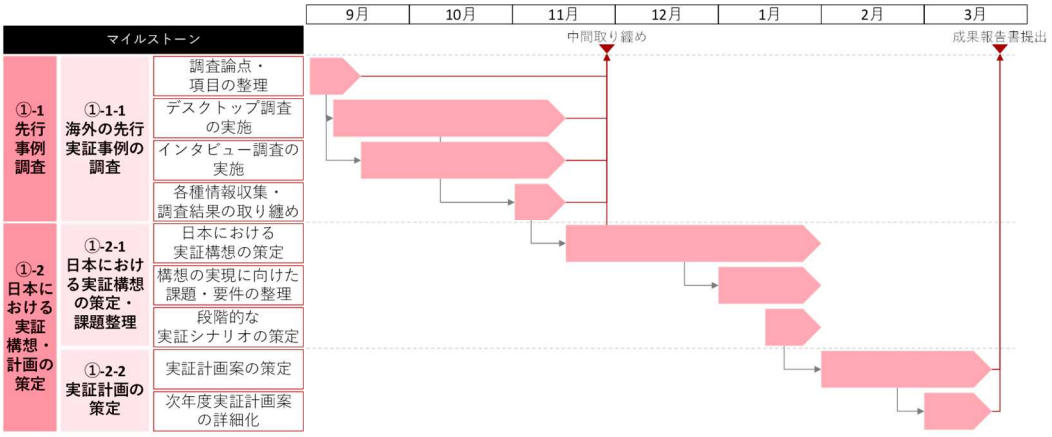
「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」では、空飛ぶクルマの社会実装に向けて、国内の有望地域における具体的な飛行ルートを整理し、空飛ぶクルマの離着陸場に必要な要件を調査、整理し、国内の有望地域における具体的な飛行ルートに対し、離着陸場候補地の選定及び各要件に対する実現可能性を評価する。また、国内の有望地域における具体的な飛行ルートを参考に、空飛ぶクルマの期待される事業モデルを調査、整理する。また、それぞれの事業モデルに対し、技術の発展段階ごとのオペレーション体制を整理し、事業経済性を評価する。

（３）研究開発スケジュール･実施体制

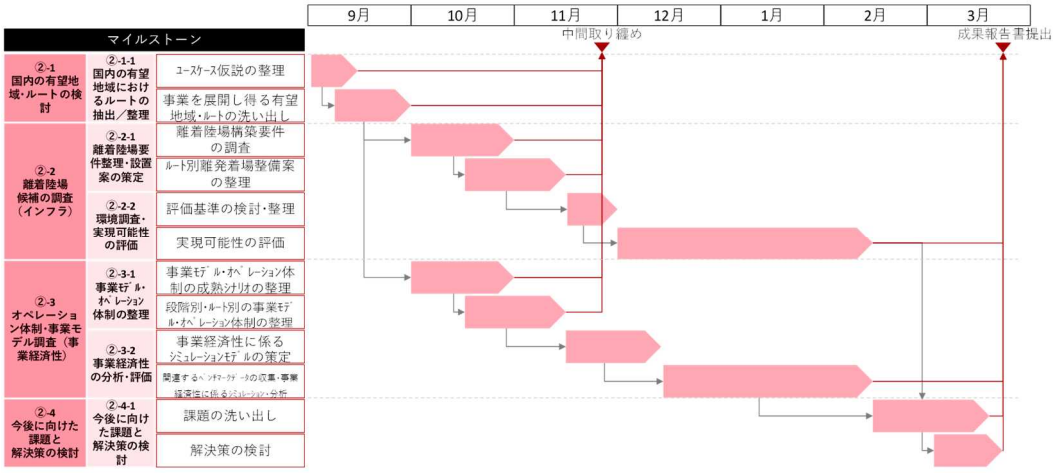
3.1 スケジュール

表 2.4.1-1 実施スケジュール

①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査



②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査



3.2 実施体制

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」および「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」における実施体制は下記の通り。

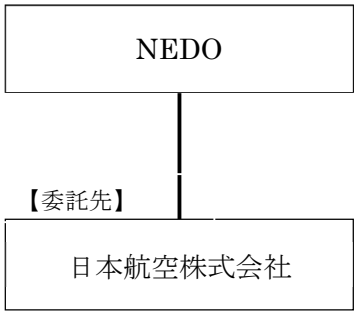


図 2.4.1-1 実施体制

（４）研究開発の達成状況

①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査

NASA AAM National Campaign（米）、Paris Pontoise airfield（仏）UAM initiative（欧）等の先行事例の調査結果を踏まえて、日本における実証実験策定にむけた示唆出しを実施。2022～2025 年度にて実施すべき内容を６つの観点で整理、実証実験計画を策定した。また各観点においてリスクとなりうる事項を抽出した。

最終目標	成果	達成度	備考
日本における実証実験計画の策定	実証実験計画書	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査

国内の有望地域におけるルートの抽出、離着陸場候補地の実現可能性評価の結果を鑑み、成熟シナリオの段階別・ユースケース別の事業モデル・オペレーション体制を整理、事業経済性を評価した。

最終目標	成果	達成度	備考
事業モデル・オペレーション体制の整理	成熟シナリオの段階別・ユースケース別の事業モデル・オペレーション体制	○	
事業経済性の分析・評価	事業経済性に係るシミュレーションモデル	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

5.1.1. 「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」（実施者：日本航空株式会社）

海外における空飛ぶクルマに関する実証実験の先行事例として、「National Campaign（米国）」、「Re.Invent Air Mobility（フランス）」、「UAM Initiative Cities Community：UIC2（欧州）」の調査を実施した。また、SESAR が資金提供を行っている U-space（欧州におけるドローンの運航管理）に関する空飛ぶクルマの実証実験である「Very Large Demonstration」に加え、空飛ぶクルマの実証実験・社会実装に向けた動きがあるその他都市等（イギリス・シンガポール・ドバイ・フロリダ）の調査も実施した。

海外の先行事例調査の結果、米国と欧州で異なるアプローチが採られていることが確認できた。米国では、明確な目標の下、NASA が実証実験シナリオ・検証項目やタイムライン等を策定して、実証実験を主導している（トップダウン型）。

一方、欧州では、都市・地域や参加企業主体で独自に進めている実証実験プログラムを、政府機関等が支援する形を採っている（ボトムアップ型）。

日本における実証実験は、オペレーション確立を中心に、政府が指針策定等含め主導しつつ、参加企業主体で策定したシナリオ及び選定した場所にてテストフライト等を実施する形にすべきであるという示唆を得た。

上述を踏まえ、2025 年度までを念頭に日本における実証構想（いつ頃から、どこで、どのような実証を、どのようなステップで、等の観点）を策定した。さらに、整理した実証構想の実現に向けて空飛ぶクルマに係る各事業領域別に想定される課題・要件の調査・検討を実施した上で、実証実験における検証観点を整理した。整理した実証構想・検証観点を踏まえ、2025 年度までの各年度における実証計画（各年度における実証内容・具体的な検証項目・方法）を策定した。

空飛ぶクルマの社会実装に向けた実証実験計画が策定されたのは日本初であり、社会実装に向けた具体的なステップを業界全体に示すことができた。日本では国を挙げて 2025 年の社会実装開始を目標としている。これまでは概念的な整理や、各自治体が独自のスコープで実証実験等を実施してきている。本調査の結果として日本の実情と先行する海外の事例を調和させる形で計画を示せたことで、実装の蓋然性を高めることができた。

表 2.4.1-2 各年度における検証観点（案）毎の主要検証事項

	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度
1 飛行計画の策定・遵守	■空飛ぶクルマ向けの飛行計画内容を検討・定義する ■運航の多頻度・高密度化も踏まえた飛行計画策定・実行に係る手順の実現性を検討する	■ 飛行計画策定・実行に係る手順の実現性を検討する	■ 航空交通管制圏（クラス D）への進入を考慮した飛行計画を策定し、飛行計画に基づいた管制圏への進入方法の実現性を検証する	■ 2024 年度までの検討結果を統合し、その実現性を検討する ■ 第三者・物件上空における空飛ぶクルマの飛行に係る飛行計画を策定し、更新の要否及び内容を検証する
2 離着陸場とアプローチ	■空飛ぶクルマに係る離着陸・地上オペレーションの手順を検討・定義する	■ 空飛ぶクルマ実機を用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場関連情報と飛行計画の連携を検証する（天候情報等）	■ 複数の空飛ぶクルマを用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場のキャパシティ情報と飛行計画の連携方法を検証する	■ 複数の空飛ぶクルマを用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場のキャパシティ情報と飛行計画の連携方法を検証する
3 不測事態への対応	■飛行中の空飛ぶクルマに生じ得る不測事態及び対応するステークホルダーとその役割を検討・定義する ■代替離着陸場の設定基準や DAA システムの搭載要否を検討する	■ 飛行中の空飛ぶクルマに不測事態が生じた際の対応を検証する ■ 不測事態対応が運航密度及び離着陸頻度の上限に与える影響を検討する	■ 航空交通管制圏（クラス D）を含むが第三者・物件上空を含まない陸地又は海上において、複数の空飛ぶクルマが飛行する中で不測事態が生じた際の対応手順を検証する	■ 航空交通管制圏（クラス D）の第三者・物件上空を含む陸地又は海上で複数の空飛ぶクルマが飛行する中で不測事態が生じた際の対応を検証する
4 コンフリクト管理	■空飛ぶクルマのコンフリクト管理に必要な情報及び情報提供体制を検討・定義する ■同一空域内の運航密度や離着陸回数の変化に鑑みて、必要となる情報及び情報提供体制を検討・定義する	■ 前年度に検討・定義したコンフリクト管理に必要な情報及び情報提供体制の実現性を検証する	■ 航空交通管制圏（クラス D）における同一空域を飛行する他機体の状況を踏まえた飛行計画内容及び飛行経路の調整・実行可否を検証する	■ 第三者・物件上空における同一空域を飛行する他機体の状況を踏まえた飛行計画内容及び飛行経路の調整・実行可否を検証する

5 騒音評価・分析	■騒音の評価軸・方法を検討する ■ヘリコプター等で代替の上での 2023 年度内容の実施是非を検討する	■ 空飛ぶクルマ実機の騒音を測定・分析し、機体の騒音特性を把握する	■ 航空交通管制圏（クラス D）における騒音及び複数の空飛ぶクルマが飛行した際の騒音を測定・分析する ■ 必要に応じて当該エリアにおける飛行経路の調整や離着陸場への施設・設備の追加要否を検討する	■ 第三者・物件上空における騒音を測定・分析する ■ 必要に応じて当該エリアにおける飛行経路の調整や離着陸場への施設・設備の追加要否を検討する
6 オペレーションの効率性	―	■ 旅客事業に係るオペレーションの実施に必要な手順や機材、人員数、資格要件等を検討・定義する	■ 前年度の検討・検証に基づいて高密度オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場内での旅客動線について検討する	■ 実際の旅客事業の実施を通じて、前年度までの検討内容の実現性を検証する

5.1.2. 「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」（実施者：日本航空株式会社）

空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデルを具体的に調査するべく、本調査では国内有望地域を特定し、具体的な飛行ルートを検討した。検討にあたり、官民協議会ユースケース検討会にて検討されていた空飛ぶクルマのユースケースに基づき、特に事業利用に係るユースケースを対象に検討を実施した。事業利用に係るユースケースから、具体的にどのように有望ルートを導出するのか、また導出するに際してどのように評価を行うべきか、といった考え方を整理した。加えて、有望ルートの評価結果や地域特性・交通特性を踏まえた空飛ぶクルマの利活用モデルの定義、及び利活用モデルから想定される代表ルートの選定までの一連の考え方を整理した。

離着陸場候補の調査として、前段の「国内の有望地域･ルートの検討」で整理した代表ルートにおいて具体的な離着陸場候補地となり得る地点の抽出を行うべく、空飛ぶクルマに関して先進的な制度設計等が進む、欧米等諸外国における空飛ぶクルマの離着陸場に関する具体的な要件の規定有無等を調査した上で、空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件、及び離着陸場候補地点の抽出・評価の観点を整理した。当該結果を用いて、候補地における離着陸場設置に向けた実現可能性を評価した。

オペレーション体制・事業モデル調査として、空飛ぶクルマの成熟シナリオ・実現時期（立ち上げ期・成熟期）を整理した後、実現時期と空飛ぶクルマを運航するに際して想定され得る空飛ぶクルマの「運航主体」のパターン、及び主たる「運航サービス」の組み合わせからシナリオを定義し、実現時期別（立ち上げ期・成熟期）にオペレーション体制・事業モデルを整理した。シナリオ別の事業モデル・オペレーション体制も念頭に、「国内の有望地域・ルートの検討」にて整理した三重県・大阪府における代表ルートの事業経済性を評価した。

諸外国においても ConOps（Concept of Operations）に代表される、空飛ぶクルマを社会実装した上での運航概念は作成、公開されてきたが、具体的なユースケースや運航主体、実現時期によってその概念を実現するオペレーション体制を具体的に可視化できたことは世界初と言える。加えて、新しいかつ大きくなりうる空飛ぶクルマ産業において、その運航事業における損益分岐点を含む事業性を、具体的なルートに足をおろして評価できたことも新しい成果であり、今後の産業の創出、発展を実現するために、新規参入する者の試金石を作り上げたと言える。

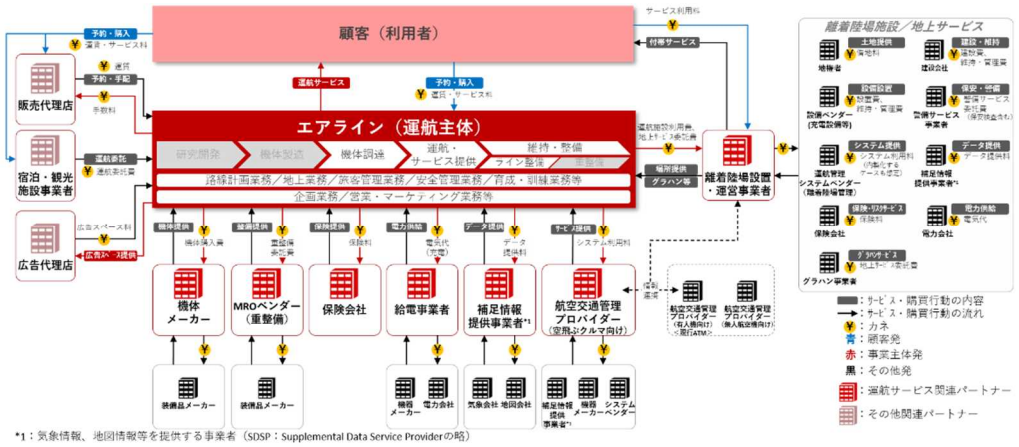
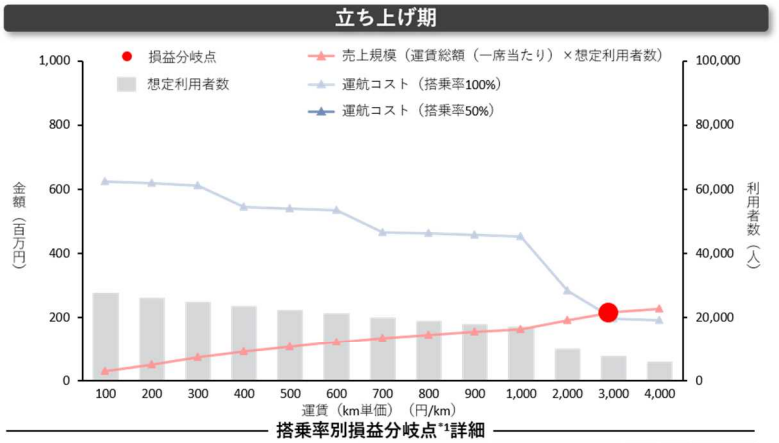


図 2.4.1-2 立ち上げ期：エアラインが空港二次交通サービスを展開する際のオペレーション体制



搭乗率別損益分岐点*1詳細

		搭乗率50%	搭乗率75%	搭乗率100%
一席当たり運賃	km単価（円）			2,700
	運賃総額（km単価×距離）（円）			25,800
想定利用者数（人/年）				8,171
必要機体数（機）				2

*1：利益が出る最初の運賃（km単価）を損益分岐点として設定

図 2.4.1-3 事業経済性の評価結果（小型機・立ち上げ期）

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	–	–	–	–	0	–	0
学会発表・シンポジウム講演等	–	–	–	–	0	–	0
展示会出展	–	–	–	–	0	–	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	–	–	–	–	0	–	0
ニュースリリース・プレスリリース	–	–	–	–	0	–	0
国内出願	–	–	–	–	0	–	0
外国出願	–	–	–	–	0	–	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

調査事業のため非該当。

6.4.2 空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査：
空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査

（実施期間：1 年間（2021 年度））

（実施先：株式会社三菱総合研究所）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

＜事業全体の背景と目的＞

従来の「ロボット・ドローンの活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」では、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発が行われてきた。その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機（いわゆる「空飛ぶクルマ」）の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されている。

本プロジェクトでドローンの社会実装に向けて開発してきた技術等について再整理を行い、日本においても空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていく必要がある。そこで、本調査研究を通じて、自動・自律飛行・運航管理等の検討が先行している海外事例を事前に調査するとともに、実装に必要な要素技術や事業モデルを調査・検討し、2022 年度以降の国家プロジェクト等に繋げていくことを目的とする。

そして、効率的な空の移動を実現し、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、地方自治体の抱えるインフラ老朽化や都市部での交通渋滞削減等の社会課題解決に寄与することを目的とする。

＜考慮すべき背景＞

本調査研究の背景となる国内外の動向を以下に整理する。

- 諸外国の ConOps 等の検討状況

米国では、米国 FAA は 2020 年 6 月「Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0」を発表すると共に、2021 年 1 月には NASA が「UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML) 4」を発表した。同文書では、UAM の成熟度レベル UML を定義した上で、UML4 の実現に向けた UAM 運用環境、UAM の包括的な管理フレームワークとその構成要素を示している。豪州では、2020 年 12 月に豪州航空局と EMBRAERX が連携し、UAM を豪州空域に導入するための ConOps「URBAN AIR TRAFFIC MANAGEMENT CONCEPT OF OPERATIONS Version 1」を発表した。本文書は、UAM の初期運用から長期的な UAM 産業発展までを見据えた交通管理システム(UATM: Urban Air Traffic Management)の構想を提案している。英国では 2021 年 1 月、Eve Air Mobility 社を中心とするコンソーシアムが英国航空当局 CAA の規制サンドボックス

プロジェクトに参画し、UAM に関する ConOps の策定に取り組むことを発表している。欧州では、SESAR が前述の AMU-LED プログラムの中で、Concept of Operations (ConOps) を設計し実証することを検討している。また、韓国では、2021 年 3 月に UAM 商用化ロードマップが策定された。ロードマップでは、2025 年の商用化を目指すと共に、2025～2029 年、2030～2034 年、2035 年以降の 3 フェーズに分けて目標が設定されている。

● 諸外国の機体の開発動向

2023 年～2025 年におけるサービス開始を検討している企業として、まずドイツの Volocopter が挙げられ、2 人乗り Multirotor 方式の VoloCity の開発を進めており、2023 年に EASA の型式証明を取得し、サービス開始を目指している。また、米国の Joby Aviation は、5 人乗り Vectored Thrust 方式の S4 の開発を進めており、2023 年に FAA の型式証明を取得し、2024 年のサービス開始を目指している。次いで、ドイツの Lilium は、7 人乗り Vectored Thrust 方式の Lilium Jet を開発しており、EASA 及び FAA の型式証明を申請し、2024 年の運用開始を目指している。これらの機体は操縦士が搭乗した運航を想定した機体である。

他方、中国の EHang は、操縦士が搭乗しない自律制御による 2 人乗り Multirotor 方式の”216”を開発しており、2020 年に中国国内において乗客を乗せた形の実証飛行に成功している。前述の Volocopter は、VoloCity について操縦士が搭乗しない自律制御モデルの機体コンセプトも発表している。フランスの Airbus も遠隔操縦、自律制御の機体開発を進めており、現在は 4 人乗り Multirotor 方式の実証モデル CityAirbus の屋外試験飛行を進めている。Airbus は、2024 年パリ五輪での初期サービスを計画すると共に、2030 年までに認証取得を予定している。また、米国の Wisk も自律制御で 2 人乗り Lift+Cruise 方式の Cora の開発を進め、ニュージーランドのカンタベリーとアメリカで、実験用飛行免許の下、約 1,000 回の試験飛行を実施した (2016 年 6 月時点)。現在新しい第六世代の機体の開発を進めており、2020 年代後半にニュージーランドでの商用化を計画している。

開発が進められている機体性能としては、Multirotor 方式の機体は 2～4 人乗りで航続距離 30～40km 程度、Vectored Thrust 方式の機体は 5～7 人乗りで航続距離 200～400km 程度、Lift+Cruise 方式の機体は 2 人乗りで航続距離 100km 程度となっている。これに加え、Lilium は、将来的には 15～16 席程度のサイズへの拡張を目指すとしている。推進方式としては、上述した先行する機体はフル電動が採用されているが、ハイブリッド方式のコンセプトも提案されている。

● 国際標準化の動向

空飛ぶクルマに関連する国際標準化については、RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics)、EUROCAE (European Organization for Civil Aviation

Electronics)、 SAE (Society of Automotive Engineers)、ASTM (America Society for Testing and Materials)、ISO （ International Organization for Standardization) で議論が進められている。

RTCA では、eVTOL に関連する委員会として、SC-228 (Minimum Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems) が挙げられ、本委員会において UAS 関連の最低運用性能基準 (MOPS) が策定されている他、UAM に関する新たな規格も SC-228 の今後のアジェンダとして検討が行われている状況である。また、バッテリに関する基準 DO-311 が既に発行されている。EUROCAE では、eVTOL に関連する委員会として、WG-112 (VTOL), WG-113 (Hybrid Electric Propulsion), WG-80 (Hydrogen and Fuel Cells Systems)、WG-105 (UAS) が存在し、これらの WG で議論された規格文書のうち、6 件が発行済み、6 件が策定途中である。

ASTM では、F38 (Unmanned Aircraft Systems), F39 (Aircraft Systems), F44 (General Aviation Aircraft) 委員会の下で、UAS やその要素技術、eVTOL、電動推進に係る規格が多数検討されており、SAE では、eVTOL に特化した委員会はないものの、E-40 電動推進や AE-7D 蓄電・充電といった関連委員会において、電気航空機のエレクトロニクスおよびエンジニアリング設計に重点を置いた規格が検討されている。ISO では UAS に関する委員会である規格が 10 件程度ある他、TC20/SC16 において、eVTOL 関連の新たな議題として、旅客輸送 UAS の運航手順やバーティポートオペレーションに関する文書の提案がなされているところである。

● 国内の動向

我が国では、経済産業省製造産業局、国土交通省航空局が合同で「空の移動革命に向けた官民協議会」を開催しており、2018 年 12 月 20 日に開催された第 4 回官民協議会において「空の移動革命に向けたロードマップ」を取りまとめた。2020 年度は、官・民の実務者レベルで構成される議論の場として、実務者会合が設置されると共に、ユースケース検討会、機体の安全基準 WG、操縦者の技能証明 WG、運航安全基準 WG が設置され、個別論点毎の検討が進められ、2021 年 5 月 21 日に開催された第 7 回官民協議会において、2023 年～2025 年に向けた短期的な課題整理とユースケースの将来展開イメージ、個別論点毎の制度設計に向けた課題・取組み方針等が示された。2021 年度は、当該検討を進めると共に、2021 年度末に空の移動革命に向けたロードマップの改定が予定されている。

＜具体的な成果目標＞

こうした国内外の動向を踏まえ、本調査研究では、諸外国の技術や制度、標準化の最新動向を把握する。加えて、自動・自律飛行や高密度運航に向けた重要な要素技術について、将来の機能・性能や実現方式に関する詳細調査を実施する。これらの成果を踏ま

え、以下の成果物を得る。

● 成熟度レベルのフレームワーク

NASA が UAM エコシステムに関する 6 段階の成熟度レベル（UAM Maturity Level：UML）を策定しているが、本調査研究では、NASA UML との整合性を考慮しつつ、地域特性やユースケースなど我が国独自の観点も含めた成熟度レベルのフレームワークを取りまとめる。

● 要素技術のロードマップ

NASA や SESAR 等において、UAM の短期～中長期の段階的な発展イメージが整理されているが、要素技術ごとのロードマップの策定例はない。本調査研究では、成熟度レベルのフレームワークをもとに、各成熟度に対応した要素技術の要求性能や方式を整理し、ロードマップとして取りまとめる。

● ルール形成戦略

我が国の空飛ぶクルマに関するルール形成戦略は、経済産業省において、民間企業の意見や要望を踏まえつつ検討が進められてきている。本調査研究では、海外の技術、制度、標準化の動向を包括的に整理し、特に注力すべき標準化アイテムについては我が国企業による会合参加・調査を実施すると共に、空飛ぶクルマのサービスを実現するシステムアーキテクチャの検討結果も踏まえ、標準化連絡会による民間企業との合意形成を図りながら、ルール形成戦略のアップデートを行う。

（２）研究開発目標と根拠

本調査研究では、以下の調査を実施する。

① 技術や社会実装の動向調査

空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークや技術ロードマップ策定にあたって考慮すべき国内外の技術開発や社会実装に関する動向を調査する。具体的には、以下の動向について調査する。

- **諸外国の ConOps 等の検討状況の調査**
- **諸外国の機体開発・実用化の動向調査**
- **諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の調査**
- **国内における取組み事例の調査**

② 成熟度レベルのフレームワークの検討

空の移動革命に向けた官民協議会のユースケース検討会の検討状況等を踏まえ、国内

における空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークを策定する。具体的には、空飛ぶクルマの運航の自動化・自律化、高密度化の観点から、空飛ぶクルマの社会実装の成熟度を 6 程度のレベルに区分し、技術的な要件の大枠を整理する。また、各成熟度レベルのイメージを図化する。

③ 要素技術のロードマップ検討

②で策定した成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値を整理し、技術ロードマップとして取りまとめる。その際、④で実施する詳細調査の検討結果を反映する。具体的には、以下の検討を実施する。

- **要素技術の整理**
- **要素技術に関する国内外の動向調査**
- **技術ロードマップの策定**

④ 要素技術に関する詳細調査

③で要素技術の整理結果に対し、⑤の有識者委員会等で更なる調査が必要とされた要素技術を対象に、専門的な深堀り調査を実施する。本調査では、対象とする要素技術について、自動・自律運航、高密度運航の実現の観点から、以下の調査を実施する。

- **実現方式の整理と各方式の特徴等の整理**
- **成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理**
- **特定の成熟度レベルに対する当該要素技術のシステム概念検討**
- **今後の研究開発要素の整理**

詳細調査の対象とする要素技術を以下に示す。

- **機体**
- **通信・航法・監視**
- **交通管理・フリート管理**
- **給電システム**
- **気象情報システム**

なお、通信については、携帯電話網（LTE）について、低高度空域における電波状況に関するデータ取得を行い、空飛ぶクルマへの適用可能性について考察する。

また、特定の成熟度レベルを対象に、空飛ぶクルマの全体システムアーキテクチャを検討し、各要素技術を実現するコンポーネント間の関係を整理し、適用された方式の整合性等を確認する。

⑤ 有識者委員会等の開催

本調査検討の実施に当たり、有識者委員会と技術WGを設置する。

有識者委員会については、調査検討方針や取りまとめ成果の審議を主な役割とし、学識経験者、研究機関、業界団体、関係省庁を中心に構成する方針とする。技術WGについては、技術ロードマップや要素技術詳細検討のレビュー、情報提供を主な役割とし、関係企業空飛ぶクルマの関係企業を中心に構成する方針とする。

⑥ 国際的な制度や海外制度の動向調査

空飛ぶクルマに係る国際的な制度や海外主管庁の制度等に関する議論の動向について調査し、制度の枠組みや個別論点毎の制度・基準等に関する現状と今後の検討方針について整理する。

⑦ 国際的な標準化の動向調査

空飛ぶクルマの産業規格に関する国際標準化団体における議論の動向について調査し、空飛ぶクルマに関連する既存規格や議論中のWork Item（WI）を抽出し、議論のスコープや規格概要、所掌する団体・委員会、議論状況、将来計画、主管庁の制度への影響等について整理する。

⑧ 国際標準化の対応方針の検討

国際標準化に向けた我が国の方針として、どういった国際標準規格に対して、積極的な提案、情報収集と適切な対処、情報収集等、どのような対処をいつ誰がすべきかを具体的に整理するため、前述の調査項目⑥及び⑦の調査結果を踏まえて、国際標準化に向けた今後の対応方針を整理する。

⑨ 国際標準化連絡会の開催

⑥及び⑦の調査結果を国内関係者に共有すると共に、調査項目⑧で整理する対応方針の調整や⑤で検討するルール形成戦略の議論を行うため、「国際標準化連絡会」を設置し、4回程度開催する。同連絡会には、空飛ぶクルマの機体・装備品メーカや関連システムベンダ、運航事業者、大学・研究機関の有識者等を幅広く招聘し、40～50人程度の規模で開催することとする。

⑩ ルール形成戦略の策定

⑥及び⑦に基づく制度化動向・標準化動向の調査結果に加え、④におけるシステムアーキテクチャの検討結果を踏まえ、我が国の空飛ぶクルマ産業の発展や市場創出に向けたルール形成戦略として、来年度以降の国際標準化会合や国内の制度検討・技術開発に向けた対応方針を検討する。今年度の国際標準化活動の成果も踏まえながら、⑨で開催する国際標準化連絡会を通じて国内企業・業界団体と連携してルール形成戦略をまとめ

ることにより、日本におけるルール形成文化の醸成、交渉力強化の推進に寄与する。

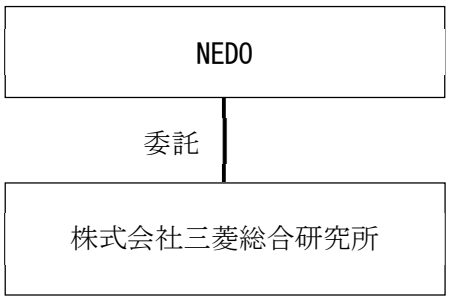
（３）研究開発スケジュール･実施体制

●スケジュール：

表 2.4.2-1 スケジュール

事業項目	2021 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
①技術や社会実装の動向調査		→	→	
②成熟度レベルのフレームワークの検討		→	→	→
③要素技術のロードマップ検討			→	→
④要素技術に関する詳細調査		→	→	→
⑤有識者委員会等の開催			→	→
⑥国際的な制度や海外制度の動向調査		→	→	
⑦国際的な標準化の動向調査		→	→	→
⑧国際標準化の対応方針の検討		→	→	
⑨国際標準化連絡会の開催		→	→	→
⑩ルール形成戦略の策定				→

●実施体制：



研究実施場所：株式会社三菱総合研究所

研 究 項 目 ：

①技術や社会実装の動向調査
②成熟度レベルのフレームワークの検討
③要素技術のロードマップ検討
④要素技術に関する詳細調査
⑤有識者委員会等の開催
⑥国際的な制度や海外制度の動向調査
⑦国際的な標準化の動向調査
⑧国際標準化の対応方針の検討
⑨国際標準化連絡会の開催
⑩ルール形成戦略の策定

図 2.4.2-1 実施体制

（４）研究開発の達成状況

①技術や社会実装の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
諸外国の ConOps 等の検討状況の整理	FAA、NASA、SESAR、豪州、韓国の ConOps を整理	○	－
諸外国の機体開発・実用化の動向整理	米国・欧州・中国の 10 メーカの動向を整理	○	－
諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の整理	米国・欧州・アジアの 9 都市の動向を整理	○	－
国内における取組み事例の整理	三重県、大阪府、愛知県の取り組みを整理	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②成熟度レベルのフレームワークの検討

最終目標	成果	達成度	備考
成熟度レベルのフレームワークを取りまとめ	NASA UML 及び国内の中長期的な社会実装イメージと整合した 6 段階の成熟度レベルのフレームワークを取りまとめ	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③要素技術のロードマップ検討

最終目標	成果	達成度	備考
要素技術の整理	ロードマップの構成として 18 の要素技術項目を整理	○	－
要素技術に関する国内外の動向の整理	上記で整理した要素技術の国内外の動向を整理	○	－
技術ロードマップの策定	上記で整理した要素技術について、成熟度レベルに対応した要求性能と実現方式を整理しロードマップとして取りまとめ	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④要素技術に関する詳細調査

最終目標	成果	達成度	備考
有識者委員会等で更なる調査が必要とされた要素技術に関する詳細調査の実施	機体、通信、航法、監視、交通管理、フリート管理、給電、気象に関する実現方式と成熟度レベル毎の要求値、成熟度レベル 4 のシステム概念検討を実施	○	－
携帯電話網（LTE）について低高度空域における電波状況に関するデータを取得	高度 1000m までの信号強度、電波品質、スループット、遅延、パケットロスのデータを取得し空飛ぶクルマの利用可能性を考察	○	－
特定の成熟度レベルを対象に、空飛ぶクルマの全体システムアーキテクチャを検討	成熟度レベル 4 を念頭に、空飛ぶクルマの全体システムのアーキテクチャを整理	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤有識者委員会等の開催

最終目標	成果	達成度	備考
有識者委員会を設置・運営	有識者委員会を設置し、3 回開催	○	－
技術 WG を設置・運営	技術 WG を設置し、4 回開催	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑥国際的な制度や海外制度の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
国際的な制度や海外主管庁の制度等の議論動向について整理	ICAO、米国、欧州の動向を整理。加えて、豪州・韓国の制度化方針を ConOps 調査の中で整理。	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑦国際的な標準化の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化団体の議論動向について整理	ASTM、SAE、EUROCAE、RTCA、ISO の動向を整理	○	－
関連する国内企業・産業団体の会合参加等により最新の議論状況の詳細を調査	10 の注目 WI を特定し、4 つについては国内企業を派遣、6 つについては国内の従来からの参加者に対してヒアリングを実施	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑧国際標準化の対応方針の検討

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化に向けた我が国の方針整理	国際標準化連絡会の参加企業へのアンケート結果や海外動向をもとに標準化方針を整理	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑨国際標準化連絡会の開催

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化連絡会の設置・運営	連絡会を設置し 3 回開催すると共に、SAE・AIDA と連携した国際ワークショップを開催	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑩ルール形成戦略の策定

最終目標	成果	達成度 １５	備考
ルール形成戦略の取りまとめ	海外動向の調査結果及び標準化連絡会での議論やアンケート結果等を踏まえ、ルール形成戦略を標準化分野ごとに整理	○	－

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

（５）成果と意義

5.1 調査項目①「技術や社会実装の動向調査」

空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークや技術ロードマップ策定にあたって考慮すべき国内外の技術開発や社会実装に関する動向を調査した。具体的には、以下の動向について調査した。なお、調査方法は文献調査を中心とし、必要に応じヒアリングを実施した。

5.1.1. 諸外国の ConOps 等の検討状況の調査

諸外国の空飛ぶクルマ（eVTOL、UAM: Urban Air Mobility / AAM: Advance Air Mobility）の制度設計の動向について調査を実施した。具体的には、米国、欧州、その他地域の調査・分析を実施した。

①　　米国（FAA、NASA 等）の動向

(1) FAA における ConOps

2020 年 6 月に米 FAA より発表された、Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0 において、人や荷物を輸送する eVTOL 等の UAM 機は、UAM コリドーを利用して運航管理を行う方向性が示された。また、UAM の米国空域への段階的な実装に向けて、まずは既存の航空規則の範疇の運用から開始し、徐々に UAM 専用の法改正への改正及び新ルールの策定を通じて、より高密度・複雑性の高い運航を実現する方針が示された。

(2) NASA における ConOps

2020 年 12 月、NASA より UAM Maturity Levels (UMLs) の枠組みの中で数百の UAM が同時飛行するような中密度及び中程度の複雑性が実現された将来のある時点における運用コンセプトを示した「UAM Vision ConOps v1.0」が発行された。当該 ConOps のスコープでは UAM が市民に広く利用されているが、ユビキタス（いつでもどこでも簡単に利用できる）ではない将来が想定されている。

同 ConOps では FAA による ConOps にて示される UAM 専用の交通路である UAM コリドーよりも柔軟な空域の利用を提案しており、高レベルな UAM 運用を実現するための空域の設計、管理、機体開発、運航、コミュニティ統合を主要な議論の柱としてそれぞれに関連する「課題」を整理している。

②　　欧州の動向

(1) SESAR における ConOps

Air Mobility Urban-Large Experimental Demonstration (AMU-LED)

(a) プロジェクト概要

Air Mobility Urban-Large Experimental Demonstration (AMU-LED)は欧州の航空管制近代化プログラム SESAR におけるプロジェクトの一つであり、旅客・貨物輸送を行う

UAM の Concept of Operation の策定及び実証を進めることを目的としている。

本プロジェクトでは、U-space のフレームワークを用いた実証や、旅客・貨物輸送、ドローン配送、インフラ点検、公共・法執行業務の様々なユースケースに基づく実証等、2021 年から 2022 年にかけて、欧州の複数都市において計 100 時間以上の飛行試験が行われる予定。本プロジェクトを通じて収集されたデータは、EASA における規制検討に活用される予定である。

(b) “High Level ConOps – Initial”の概要

2021 年 3 月 29 日、UAM の U-space への統合に関する上位 ConOps 文書の初版として、“High Level ConOps – Initial”が AMU-LED より発表されている。同 ConOps では、中期的な将来（2025－2030 年）において、U1・U2 サービスが実装された U-space 環境下で UAM が運航される将来をターゲットに、UAM の特性、役割・責任分担、空域構成、UAM サービスの概要、セパレーションや干渉回避、有人航空機との共存、緊急時対応、CNS 要件・アーキテクチャ、KPI、ギャップ分析、安全評価手法、認証評価について分析及び整理を行っている。

また、本 ConOps では、Open/Specific/Certified のすべてのカテゴリの運航の統合を促進することを目的に、同カテゴリとは別の、機体性能やニーズと対応した包括的なカテゴリを新たに提言している。

③ その他の動向

(1) 豪州における ConOps

2020 年 12 月、ブラジルの航空機メーカである EMBRAER 社とオーストラリアの航空管制プロバイダである Airservices 社はオーストラリアの LLA（low-level airspace）に UAM を統合するための運用コンセプト（ConOps）を共同で作成した。

同文書は UATM の実現に関する“技術的”な文書であることが明示されており、異なるコミュニティの統合や協調といった各ステークホルダに期待されるような協力体制などについて十分な議論はなされていない。しかし、オーストラリアの空域への UAM の実装において、それらは重要であると認識されており、技術面だけではない観点での検討結果を含めて今後アップデートされる予定である。

(2) 韓国における ConOps

韓国では、都心内での運用が想定される電動垂直離着陸機（eVTOL）による人やモノの輸送、他交通機関との接続に関して検討が行われている。また、韓国では UAM は都心のみの運用だけでなく、都心内外、救急医療、観光事業の促進などあらゆる用途が想定されている。2021 年 9 月、韓国政府は都市型交通（UAM）の勧告空域における初期実装に関する運用コンセプト「K-UAM Concept of Operation 1.0（以下、「K-UAM

ConOps」）」を発行した。

当該 ConOps の作成目的は UAM の韓国空域での商用化のため、韓国政府、自治体、産業界、学界、公共機関及びその他利害関係者の業務及び相互理解を推進することである。当該 ConOps は UAM に関する政策協議体である UAM Teams Korea 1 構成員により検討されている。今後利害関係者が増加し、本文書にて言及されている運用コンセプトが実証・検証されるに伴って、初期運用から派生して追加的なシナリオが盛り込まれることが想定されている。

5.1.2 諸外国の機体開発・実用化の動向調査

各国において開発及び検討されている主要な事業用機体とその運用事業者の動向について整理する。なお各機体の諸元は 2.5.4.2 に整理する。

① 米国の動向

本項では米国における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す 6 事業者について整理する。

Joby Aviation

(1) 事業者の概要

Joby Aviation 社は 2009 年に設立された事業者であり、2022 年 2 月現在で 1000 人のエンジニアを抱えている。トヨタや Intel、Uber 等の事業者が出資しており、2021 年 8 月にはニューヨーク証券取引所に上場した。

事業用の機体としては現在 S4 を開発・製造しており、2024 年のサービス開始を予定している。

(2) 機体の開発状況

2012 年に NASA の電動飛行プロジェクトに参加し、2015 年にはサブスケールモデル、2017 年にはフルスケールモデルの飛行実証を実施している。2019 年からは有人機である量産型の試作 1 号機の飛行実証を実施している。2021 年 1 月には量産型の試作 1 号機に引き続き 2 号機の製造を開始し、FAA の特別耐空認証と米国空軍の耐空証明を取得したことを発表した。

今後事業を開始するにあたり、型式に関する証明（Type Certificate）と生産に関する証明（Production Certificate)、航空事業に関する証明（Air Carrier Certificate）の 3 つの認証が必要であるとしている。型式証明については 2022 年前半に量産機の初号機を初飛行させ、2023 年に part23 の基準で FAA からの認証を取得する見通しである。航空事業に関する証明は part135 で 2022 年中に認証を取得する計画である。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-2 に S4 の機体諸元を示す。S4 はパイロット 1 名を含む合計 4 名が搭乗可能であり、最高速度は約 321km/h（200mph）、航続距離は約 241km（150mi）以上に達する。

表 2.4.2-2 S4 の機体諸元

機体	S4
イメージ図	
サービス開始予定時期	2024
推進方式	Vectored Thrust
座席数	5(パイロット1、乗客4)
質量	2,177kg (4,800 lb)
ペイロード	453kg (約1,000 lb)
形状	長さ: 6.4m (21フィート) 翼幅: 11.6m (38フィート)
速度	最高速度：321km/h (200mph)
航続距離	241km (150 mi) 以上

出所）Joby Aviation 社 HP, https://www.jobyaviation.com/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Bell

(1) 事業者の概要

Bell 社は 1935 年に設立された企業であり、80 年以上にわたりヘリコプターを中心とした機体事業を展開している。

事業用の機体としては Vectored Thrust 方式の機体である Nexus 6HX 及びその後継機の 4EX を発表しており、2025 年のサービス開始を計画している。2020 年時点の見通しでは 2020 年代中盤以降に認証を受けるとしている。

(2) 機体の開発状況

2019 年に Nexus 6HX のコンセプトを発表し、2020 年には Nexus 4EX のコンセプトを発表した。2019 年時点では、2023 年までに試験飛行を実施し、その後商用運航を目指すとしていた。Nexus に関する試験としてはダクトファンの地上試験を実施している。また有人機である Nexus とは別に貨物輸送ミッションを想定した無人機である Autonomous Pod Transport（APT）シリーズを開発しており、2021 年 11 月時点で 420 回を超える飛行実証を実施している。

(3) 機体の諸元

Nexus4EX 及び 6HX の機体諸元を表 2.4.2-3 に示す。Nexus 6HX は 6 基のダクトファンを搭載するハイブリッド式の機体であり、最高速度は 155kt（約 288km/h）、航続距離は 130nm（約 241km）である。Nexus 4EX は Nexus 6HX の後継機として発表された機体であり、飛行速度は最大 150mph（約 241km/h）航続距離は 60nm（約 111km）、安全性については故障発生確率が 10^{-7} から 10^{-9} 程度を想定しているとみられる。

表 2.4.2-3 Nexus4EX 及び 6HX の諸元

機体	Nexus 4EX	Nexus 6HX
イメージ図		
サービス開始予定時期	2025	2025
推進方式	Vectored Thrust	Vectored Thrust（ハイブリッド方式）
座席数	5（パイロット1、乗客4）	5（パイロット1、乗客4）
質量	3,175kg	2,720kg
ペイロード	272kg	272kg
形状	接地部分：12m×12m (40ft×40ft box)	接地部分：12m×12m, 幅：2.4m
速度	約241km/h（150mph）	約288km/h（155kt）
航続距離	約111km（60nm）	約241km（130nm）

出所）TRANSPORT UP, Bell Nexus, https://transportup.com/bell-air-taxi/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Beta Technologies

(1) 事業者の概要

Beta Technologies 社は 2017 年に設立された事業者であり、2024 年を目途に eVTOL による運航サービス事業開始を目指している。

機体としては Alia-250 を開発しており、その給電設備についても合わせて開発している。

(2) 機体の開発状況

Alia-250 は 2020 年に公表された機体であり、2021 年 3 月にニューヨーク州プラッツバーグの空港にあるベータ社の試験施設からバーモント州バーリントン国際空港近くの本社までの試験飛行を実施した。2021 年 7 月には 2 時間 2 分の固定翼モードによる飛行試験を実施しており、最高時速 196km/h、飛行距離は 205nm（約 380km）に達した。充電

システムについては既に米国にて約 60 カ所の充電設備が稼働しており、空港や空港外の場所にスタンドアローンで稼働可能な独自の充電システムを開発している。

2021 年 5 月には米空軍より 2024 年に FAA より MIL-HDBK-516C 規格に準拠した認証を取得しており、2024 年には FAA より part23 での型式証明を取得する計画である。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-4 に Alia-250 の機体諸元を示す。Alia-250 は Lift and Cruise 方式の 6 人乗り機体であり、航続距離は 250nm（約 463km）、巡航速度は 170mph（約 270km/h）を計画している。

表 2.4.2-4 Alia-250 の諸元

機体	Alia-250
イメージ図	
サービス開始予定時期	米国
推進方式	Lift + Cruise
座席数	6
質量	2,722kg (MTOW)
ペイロード	約635kg (1,400ポンド)
形状	幅：15.2m 貨物室：5.7㎥
速度	巡航速度：270km/h (170mph)
航続距離	約463km (250nm)

出所）Aviation Week, eVTOL エアタクシーの認証取得に向けて加速する UAM 先行者たち | UAM Leaders Accelerate Toward Certification Of eVTOL Air Taxis, https://aviationweek.com/asia-aerospace-defense/japanese/evtoleatakushinorenzhengqudenixiangketejiasusuruuamxianxingzhetachi（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Alaka'i Technologies

(1) 事業者の概要

Alaka'i Technologies 社は 2006 年に設立された事業者であり、35 を超える米国特許のほか、複数の外国特許を保有する米国企業である。

機体としては Multirotor 方式の機体である Skai を計画している。

(2) 機体の開発状況

Skai は 2019 年 5 月に発表された機体であり、2020 年時点で第 1 世代試験機の係留飛行を実施している。また第 1 世代に続き第 2 世代の試験機の設計段階であるとしている。

認証については、2019 時点では FAR Part27 の 21.17(b)「特別なクラスの航空機のための」適用除外を使った認証について FAA と協力しており、2021 年 9 月には FAA と G-1 の認証基準に合意し、2022 年にプロトタイプの試験を実施する計画を公表した。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-5 に Skai の機体諸元を示す。Skai は水素燃料電池を搭載しており、1 回（10 分以内）の燃料補給で 4 時間（最大 10 時間）、航続距離にして約 645km を飛行可能であるとしている。飛行速度は最高で 118mph（約 189km）、搭乗員は最大 5 名である。

表 2.4.2-5 Skai の諸元

機体	Skai
イメージ図	
サービス開始予定時期	公開情報なし
推進方式	Multirotor (ハイブリッド方式)
座席数	5
質量	公開情報なし
ペイロード	約454kg (1000lb)
形状	公開情報なし
速度	約185km/h (115mph)
航続距離	645km

出所）DRONE, Alaka’i Technologies、NASA と「空飛ぶクルマ」機体パートナー選出へ。唯一の水素燃料電池搭載, https://www.drone.jp/news/2020112411154641276.html（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Wisk

(1)　事業者の概要

Wisk 社は 2019 年に設立された Boeing 社と Kitty Hawk 社の合弁会社であり、2010 年に設立された Kitty Hawk 社によって開発されていた機体をベースに事業用機体の Cora を開発している。

サービス開始は2024年を計画しており、2021年5月には米Blade社に対して最大30機を提供すると発表した。

(2) 機体の開発状況

2011年に試験機によるホバリング試験を実施し、2014年には第1世代の機体による実証、2015年には世界初の有人フル電動フライバイワイヤ（Fly-by-Wire）機の飛行実証を実施している。2016年には第3世代の試験機を開発し、eVTOL機による完全なホバリング飛行を実施した。2017年には第4世代試験機を用いて無人飛行による自律飛行試験を実施し、2018年に第5世代の機体としてCoraを開発した。なお2022年2月時点で累計1500回以上の試験飛行を実施している。

2019年にはFAA及びニュージーランド民間航空局より実証用の耐空証明を取得しており、自律飛行及び航空管制システムの統合技術について開発を進めている。なお商用運航に向けた認証は2024年を目途に取得するとしている。

(3) 機体の諸元

表2.4.2-6にCoraの機体諸元を示す。Coraは2人乗りのLift and Cruise方式の機体であり、飛行速度は160km/h、航続距離は40kmである。

表2.4.2-6 Coraの機体諸元

機体	Cora
イメージ図	
サービス開始予定時期	2024
推進方式	Lift + Cruise
座席数	2
質量	公開情報なし
ペイロード	181kg
形状	長さ: 6.4m 幅: 11m
速度	最高速度：160 km/h
航続距離	40km以上

出所）Wisk社HP, https://wisk.aero/news/2020/（閲覧日：2022年2月21日）

Archer Aviation

(1) 事業者の概要

Archer Aviation 社は 2018 年に設立された企業であり、2021 年 2 月にニューヨーク証券取引所に上場している。ユナイテッド航空や大手自動車メーカである Stellantis 社からの出資を受けており、Stellantis 社は複合材の製造とサプライチェーン、ユナイテッド航空は型式証明取得について連携する予定である。

機体は実証機である Maker を開発しており、今後事業用機体を別途開発する見通しである。

(2) 機体の開発状況

Maker は 2021 年 6 月に実証機として公開された 2 人乗りの機体であり、2021 年 12 月にホバリングによる飛行試験を実施しており、2022 年以降も継続的に大規模な飛行試験を実施するとしている。また試験機とは別に事業用機体として 2024 年までに 4 人乗りの量産機を開発する計画を発表した。

認証面については、2021 年 9 月には FAA より part23 に基づく G-1 認証基準について承認を受けており、2022 年には G-2 の段階に進む見通しである。また 2024 年のサービス開始を念頭に FAA より認証を取得するとしている。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-7 に Maker の機体諸元を示す。Maker は 2 人乗りの Vectored thrust 方式の機体であり、飛行速度は 150mph（約 241km/h）、航続距離は 60mi（約 97km）である。

表 2.4.2-7 Maker の諸元

機体	Maker
イメージ図	
サービス開始予定時期	2024
推進方式	Vectored Thrust
座席数	2
質量	1,508 kg
ペイロード	公開情報なし
形状	公開情報なし
速度	約241km/h (150mph)
航続距離	約97km (60mi)

出所）Archer Aviation 社 HP, https://www.archer.com/maker（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

② 欧州の動向

本項では欧州における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す 3 事業者について整理する。

Volocopter/ドイツ

(1) 事業者の概要

Volocopter 社は 2011 年に設立されたドイツの機体メーカであり、日本からは三井住友海上等の企業が出資している。

機体に関しては有人機の VoloCity 及び VoloConnect や無人機の VoloDrone を開発している。

(2) 機体の開発状況

Volocopter 社は近距離交通用の VoloCity、航続距離を延長した VoloConnect を開発している一方で、複数の試験機を用いた飛行試験を実施している。2011 年には試験機である VC1 を用いて史上初めて電動マルチコプタの有人飛行を達成し、その後も 2X 等に代表される試験機を用いて様々な飛行実験を行っている。2016 年には自社開発機体による初の有人飛行試験を実施し、2021 年 8 月には 2X を用いて米国で初となる eVTOL による有人飛行試験を実施した。2022 年 1 月末には VoloCity による飛行試験を開始した。

EASA からの型式証明について、VoloCity は 2023 年までに、VoloConnect は 2026 年ま

でに取得するとの見通しを表明している。なお 2021 年時点で EASA より機体設計プロセスに関する認証である DOA（EASA Part-21 J）及び設計から生産までの認証である POA（EASA Part-21 G）を取得しており、EASA から DOA 及び POA の両方の認証を受けた唯一の eVTOL メーカとしている[1]。また EASA の型式証明と同時に FAA からの型式証明の取得も目指しており、14 CFR 21.17 (b) special class に該当するとしている。

(3)　機体の諸元

表 2.4.2-8 に VoloCity 及び VoloConnect の機体諸元を示す。VeloCity は 2 名が搭乗可能な Multirotor 方式の機体であり、航続距離は 35km、巡航速度は 90km/h、ペイロードは 200kg である。VoloConnect は 4 名が搭乗可能な Lift and Cruise 方式の機体であり、航続距離は最大 100km、巡航速度は 180km/h、ペイロードは最大 400kg を計画している。

表 2.4.2-8 VoloCity 及び VoloConnect の諸元

機体	VoloCity	VoloConnect
イメージ図		
サービス開始予定時期	2023	2026
推進方式	Multirotor	Lift + Cruise
座席数	2	4（パイロット 1、乗客 3）
質量	900kg（MTOW）	公開情報なし
ペイロード	200kg	300～400kg (660～880lb)
形状	長さ: 11.3m 幅: 11.3m 高さ: 2.5m	公開情報なし
速度	最高速度：110km/h 巡航速度：100km/h	最高速度：250km/h 巡航速度：180km/h
航続距離	35km	約97km (60mi)

出所）Volocopter 社 HP, https://www.volocopter.com/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）
出所）Volocopter 社, Technical Features, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20190819_VoloCity_Specs.pdf（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Lilium Aviation 社/ドイツ

[1] Volocopter 社, The #UAMglossary is back with the next two terms: DOA and POA., https://www.volocopter.com/newsroom/blog/blog-uamglossary-no-2-doa-and-poa/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

(1) 事業者の概要

Lilium Aviation 社は 2015 年に設立されたドイツの機体メーカであり、2021 年 3 月に NASDAQ に上場した。

なお機体については 2025 年のサービス開始を目指して Lilium jet を開発している。

(2) 機体の開発状況

2013 年にコンセプトを発表し、2015 年にはハーフスケールモデルの飛行試験を実施、2017 年にはフルスケールタイプでの飛行試験を実施した。2019 年 5 月には量産機のプロトタイプによる初の飛行試験を実施した。一方で 2020 年 2 月に試験機の初号機を焼失したことから 2021 年 7 月に 2 号機を製造し、飛行試験を開始した。同年 10 月には約 30 分でフル充電が可能な急速充電インフラ開発について ABB E-mobility 社との提携を発表しており、1 日 1 機あたり 20 から 25 フライトの運用を可能にするとしている。

認証に関しては航空の安全に関する相互承認協定（BASA）のもと、FAA 及び EASA の双方から同時に認証を取得する見通しを公表しており、2020 年時点で EASA から CRI-A01 を取得している。FAA からの認証については part23 での取得を目指している。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-9 に Lilium jet の機体諸元を示す。Lilium jet はパイロット 1 名と乗客 6 名、合計 7 人乗りの Vectored Thrust 方式の機体であり、巡航速度は 280km/h、航続距離は 250km 以上を計画している。

表 2.4.2-9 Lilium jet の諸元

機体	Lilium jet
イメージ図	
サービス開始予定時期	2025
推進方式	Vectored Thrust
座席数	7（パイロット1、乗客6）
質量	3,175kg
ペイロード	700kg
形状	長さ：8.5 m 幅：13.9 m
速度	巡航速度：280km/h（175mph）
航続距離	約249km（155mi）以上

出所）Liiun Aviation 社 HP, https://lilium.com/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

Airbus/フランス

(1) 事業者の概要

Airbus 社は 1970 年に設立されたフランスの大手航空機メーカであり、旅客機やヘリコプターをはじめとした様々な機体を製造している。

eVTOL としては CityAirbus 及び CityAirbus NextGen 等の機体を開発している。

Airbus 社は 2024 年開催予定のパリ五輪にて eVTOL の運航を計画する事業者の 1 つであり、ほかに Volocopter 社、Vertical Aerospace 社、Ascendance 社、Lilium Aviation 社、Joby Aviation 社等が協力する可能性がある。

(2) 機体の開発状況

CityAirbus については 2019 年 5 月に初飛行、2020 年 8 月には完全自律飛行に成功している。2021 年 9 月に発表された CityAirbus NextGen は 2023 年の飛行試験開始、2025 年ごろの認証取得を計画しており、航続距離 80km、巡航速度は 120km を計画している。また CityAirbus NextGen は EASA SC-VTOL Enhanced Category に適合しているとしており、大都市での様々なミッションに利用可能としている。これまで Airbus 社では技術実証機である Vahana による試験を実施しており、CityAirbus と合わせて約 240 回の地上試験及び飛行試験を実施し、累計飛行距離は 1000km に及ぶ。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-10 に CityAirbus 及び CityAirbus NextGen の機体諸元を示す。CityAirbus は Multirotor 方式、CityAirbus NextGen は Lift and Cruise 方式の機体であり、それぞれ 4 名が搭乗可能である。

表 2.4.2-10 CityAirbus 及び CityAirbus Nextgen の諸元

機体	CityAirbus	CityAirbus NextGen
イメージ図		
サービス開始予定時期	2024	2025
推進方式	Multirotor	Lift + Cruise
座席数	4	4
質量	2.2t (MTOW)	公開情報なし
ペイロード	250kg	公開情報なし
形状	長さ: 8m 幅: 8m	公開情報なし
速度	巡航速度: 120km/h	巡航速度：120km/h
航続距離	30km	80km

出所）Airbus 社 HP, https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

出所）Airbus Completes First Full-Scale Demonstration of CityAirbus Electric Helicopter, https://www.news18.com/news/auto/airbus-completes-first-full-scale-demonstration-of-cityairbus-electric-helicopter-4026083.html（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

③ その他の動向

本項ではその他の地域における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す中国の 1 事業者について整理する。

EHang/中国

(1) 事業者の概要

2014 年に設立された中国のドローンメーカである EHang 社は、旅客輸送や消防等の用途を想定した有人の eVTOL を開発している。

eVTOL に関しては、完全自律飛行を行う機体を開発しており、Multirotor 方式の EHang 216 と Lift and Cruise 方式の VT-30 を開発している。

(2) 機体の開発状況

EHang 216 は 2017 以来、世界各国で飛行試験を実施しており、2020 年 5 月には中国民用航空局（CAAC）より商業貨物輸送の承認を取得した。同年 7 月には中国で観光客を乗せた試験飛行を実施した。また 2021 年 6 月には日本でも飛行試験を実施した。2021 年 12 月には旅客輸送について CAAC からの認証取得が今後数カ月以内に実施される見通しを公表しており、11 月末時点で累計 11 か国、2 万回以上の自律飛行試験の実績を持つ。2022 年 2 月には CAAC より認証を取得するために満たすべき特別条件が公開された。

2021 年 5 月には、都市内での運用を想定している EHang 216 に対して都市間での運用を想定した機体である VT-30 が発表され、既に垂直離着陸等の飛行試験を実施していると公表した。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-11 に EHang 216 及び VT-30 の機体諸元を示す。EHang 216 は Multirotor 方式の 2 人乗り用機体であり、最高速度は 130km/h、最大 220kg のペイロードを搭載した状態での航続距離は 35km 程度である。VT-30 は Lift and Cruise 方式の 2 人乗り用機体であり、最大飛行時間 100 分、最大飛行距離 300km を計画している。

表 2.4.2-11 EHang 216 及び VT-30 の諸元

機体	EHang 216	VT-30
イメージ図		
サービス開始予定時期	2025	公開情報なし
推進方式	Multirotor	Lift + Cruise
座席数	2	2
質量	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	220kg	公開情報なし
形状	幅：5.61m 高さ：1.77m	公開情報なし
速度	最高速度：130km/h 巡航速度：約100km/h	公開情報なし
航続距離	35km （最大ペイロード時）	300km

出所）Transport up, EHang 216, https://transportup.com/ehang-216/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）
出所）EHang 社プレスリリース, https://www.ehang.com/news/772.html（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

5.1.3 諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の調査

諸外国における社会実装の検討状況として、都市や自治体が関連企業と連携し、空飛ぶクルマのサービス実装に取組んでいる事例を調査した。主要な例として、米国ではフロリダ州オーランド市、ロサンゼルス市、ニューヨーク市、欧州ではパリ地域、その他の地域ではシンガポール、カナダ、ドバイが挙げられる。

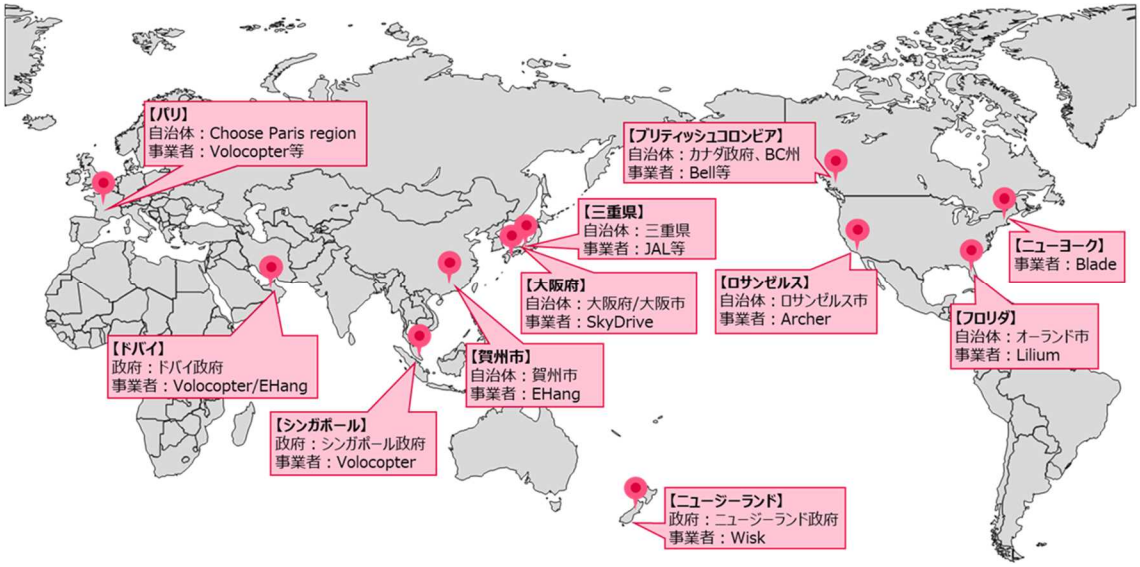


図 2.4.2-2 国内外における社会実装に向けた主な取組

出所）公開情報より三菱総合研究所作成

① 米国の動向

(1) フロリダ州オーランド市

米国フロリダ州オーランド市は、Lilium ならびに Tavistock Development Company とパートナーシップを締結し、オーランド国際空港近くのレイク・ノナ周辺に米国で最初の離発着場を建設して 2025 年ごろからの商用化を目指している[2]。Lilium はレイク・ノナに 56,000 平方フィート（約 5,200 平方メートル）の離着陸場を建設し、地域に新しい雇用や 10 年間で 170 万ドルの経済効果をもたらすと発表している。

また、レイク・ノナがあるオーランド市では、UAM 導入に関するホワイトペーパーの中で、地域におけるルートや離着陸場所候補について検討している。

[2] オーランド市, https://news.orlando.org/success-stories/why-lilium-established-its-first-u-s-vertiport-in-orlando/ （閲覧日：2022 年 2 月 21 日）



図 2.4.2-3 フロリダ州オーランド市が検討しているポート候補

出所）City of Orlando, “URBAN AIR MOBILITY OVERVIEW

(2) LA

米国カリフォルニア州ロサンゼルス市は、2020 年 12 月にロサンゼルス市長室、ロサンゼルス運輸省(LADOT)、都市交通研究所(Urban Movement Labs, UML)と、2023 年頃の UAM 導入を目指すコンソーシアムを設立している 。都市交通研究所は、ロサンゼルス市と協力して、新しい技術の理解を得ていくための活動をしており、このプロジェクトには、Archer aviation、Hyundai、Volocopter がパートナーとして加わっている[3]。

(3) ニューヨーク

ニューヨーク市は自治体としての UAM に関する主体的な取組は発表していない。

ニューヨークに関連する UAM 関連事業者として Blade がある。同社は将来の UAM 機の導入に積極的であり、複数の機体メーカとパートナーシップを締結している[4]。

表 2.4.2-12 Blade 社の UAM 導入に関する機体メーカとの連携状況

機体メーカ	パートナーシップの状況
Airbus helicopters	2018 年に UAM に関するパートナーシップを締結
Beta technologies	2024～2025 年にかけて、Beta technologies の eVTOL を最大 20 機購入する MOU を締結
Eve urban air mobility	2026 年以降、Embraer の Eve urban air mobility から eVTOL の提供を受けるパートナーシップを締結

② 欧州の動向

(1) パリ地域

[3] Urban Movement Labs, https://www.urbanmovementlabs.com/projects/ （閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

[4] Blade, https://www.blade.com/UAM-eva （閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

パリ地域ではパリの産業振興を行うChoose Paris Region、パリ交通公団（RATP)、ADPグループ（パリ＝シャルルドゴール空港などを運営する空港運営企業）が中心となり、2024年7～8月に開催されるパリオリンピックでのショーケースを目指してUAMの実証実験を進めるRe.Invent Air Mobilityプロジェクトが進められている。2021～2023年にかけて実証実験が行われるが、協力企業としてVolocopter, Airbus, EHangをはじめ30社が選定されている[5]。

表2.4.2-13パリ地域の実証実験におけるパートナー企業

	機関・企業	概要
機体開発	Volocopter	ドイツのeVTOLメーカ
	EHang	中国のeVTOLメーカ
	Airbus	欧州の機体メーカ
	Ascendance Flight Technologies	フランスのeVTOLメーカ
	H^3 Dynamics	シンガポールのドローンメーカ
	Pipistrel	スロベニアの軽飛行機メーカ
	Safran Electronics & Defense	民間・軍事向けの航空機器メーカ
	Vertical Aerospace	イギリスのeVTOLメーカ
	Zipline	医療用ドローンの製造・運用会社
オペレーション	Air France	フランスの航空会社
	CAE	フライトシミュレーターの製造メーカ
	Dassault Falcon Service	ビジネスジェットのメンテナンス会社
	ESTACA	フランスの技術専門大学
	Helifirst	ヘリコプターオペレータ
	Helipass	オンデマンドヘリコプターのプラットフォーム
インフラ	Green Motion	電気自動車 の充電システムプロバイダ
	IDEMIA I&S	セキュリティソリューションプロバイダ
	Leosphere	LIDAR機器プロバイダ
	Skyports	Vertiport設計者・オペレータ
空域統合	Cergy University and ESSEC	教育機関によるコンソーシアム
	ENAC	民間機向けの航空専門学校
	Internest	自動着陸用の位置測位システム開発企業
	M3 Systems	位置追跡システム開発企業
	Thales SIX	オンボードの衝突防止システム開発企業
住民理解	Bruitparif	イル・ド・フランス地域の騒音環境技術評価センター
	Ecole Polytechnique	フランスの公立高等教育研究機関
	Envirosuite	環境データからの技術ソリューション
	UC Berkeley Institute of Transportation studies, NEXTOR	FAAが設立したコンソーシアム
	ONERA	フランス国立航空宇宙研究センター
	Royal Netherlands Aerospace Centre	オランダ王立航空宇宙センター

出所）ADP、https://presse.groupeadp.fr/uam-callforexpressions-winners/ （閲覧日：2022年2月21日）

[5] Choose Region Paris, “Re. Invent AirMobility”, https://www.chooseparisregion.org/calls-for-applications/reinvent-air-mobility （閲覧日：2022年2月21日）

(2) ドイツ　バイエルン州インゴルシュタット市

2018 年、インゴルシュタット市議会は都市のデジタル化戦略の一環として、デジタルモビリティを実証するためのパイロット都市を目指すことを宣言し、EIP-SCC（European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities）の UAM イニシアチブに参加した。それ以降、インゴルシュタット市は、旅客輸送や救助サービス等にエアタクシーを活用する革新的な都市モビリティモデルの定義に取り組んでいる。

(3) イギリス

イギリスでは、Eve urban air mobility がリーダーとなり、NATS, Heathrow airport, London city airport, Skyports, Vertical Aerospace, Volocopter, atech が加わる Air Mobility Consortium が立ち上げられている。コンソーシアムとして、英国民間航空局の Future Air Mobility Regulatory Sandbox に協力しており、空域にエアタクシー運航を統合するための ConOps の開発を行っている。

③　その他の動向

(1) シンガポール

Volocopter はシンガポール経済開発庁（EDB）およびシンガポール民間航空庁（CAAS）と協力して、2023 年末頃までにシンガポールでサービス開始することを発表している。初期段階では、マリーナベイの景色を望む南の海を巡る観光ルートが想定されており、中長期的には、国境を越えたフライトも視野に含まれている。

Volocopter は、2030 年までにシンガポールに 4～6 つのポートを設置し、初期はマリーナベイとセントーサ島を巡る観光ルート、中長期的にはマリーナサウスやチャンギ空港からインドネシアやマレーシアへの国境を越えた便を含むようにネットワークを拡大するとしている。



図 2.4.2-4 シンガポールにおける Volocopter のサービス導入ロードマップ

出所）Volocopter, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/Volocopter_Whitepaper_Singapore-Roadmap_Web-2.pdf（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）



図 2.4.2-5 シンガポールにおける Volocopter の中長期的なルートイメージ
（チャンギ空港からマレーシアの Ibrahim International Business District）

出所）Volocopter, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/Volocopter_Whitepaper_Singapore-Roadmap_Web-2.pdf（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

(2) カナダ　ブリティッシュコロンビア

ブリティッシュコロンビア州では主要都市のバンクーバーを含むメトロバンクーバーエリアにおける UAM の導入に関する検討を実施するコンソーシアムとして CAAM（Canadian Advanced Air Mobility consortium）を立ち上げている。コンソーシアムには行政、企業、大学などが参加しており、UAM の導入効果、ユースケース、インフラの整備方針等について議論が行われている[6]。

(3) ドバイ

ドバイ道路運輸局(RTA)は”Dubai Self-Driving Transport Strategy & Roadmap”を策定し、2030 年までにモビリティによるトリップの 25%を自動化する目標を掲げている 。RTA は、2017 年に EHang 社と空飛ぶクルマを推進するパートナーシップを発表しており、EHang はドバイ民間航空局(DCAA)の試験場で飛行試験を実施した 。さらに、2017 年 9 月には Volocopter 社の機体を 8 分間、500m の距離を無人で飛行させる実証実験を実施している[7]。

5.1.4. 国内における取組み事例の調査

空飛ぶクルマの国内における実装に向けては、地方自治体による支援や後押しが重要と考えられる。ここでは、国内の地方自治体において、空飛ぶクルマの実装に向けた具体的な

[6] CAAM, https://canadianaam.com/2021/10/25/toronto-white-paper-press-release/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

[7] Volocopter, https://www.volocopter.com/newsroom/volocopter-as-an-autonomous-air-taxi-in-dubai/（閲覧日：2022 年 2 月 21 日）

取組みを行っている事例を調査した。具体的には、三重県、大阪府、愛知県の取組みを調査した。

三重県や大阪府では、自治体としての今後の取組みの方向性を取りまとめたロードマップ策定を行う他、ヘリコプターやドローンを用いた実証実験を進めている。愛知県では、産業振興の観点から、空飛ぶクルマメーカによる機体開発の後押しを行っている。

① 調査結果

(1) 三重県の取組み

三重県では、地域課題の解決や地域における生活の質の維持・向上、そして新たなビジネス創出を図ることを目的として、民間事業者による実証実験の推進と事業化、県内事業者による空飛ぶクルマに関する将来のビジネス展開を促進している。

2020 年 3 月、三重県における「空飛ぶクルマ」の実現に向けて、活用に向けたスケジュール、産学官による取組を定めた「空飛ぶクルマ三重県版ロードマップ」を策定した。図 2.4.2-6 に当該ロードマップを示す。

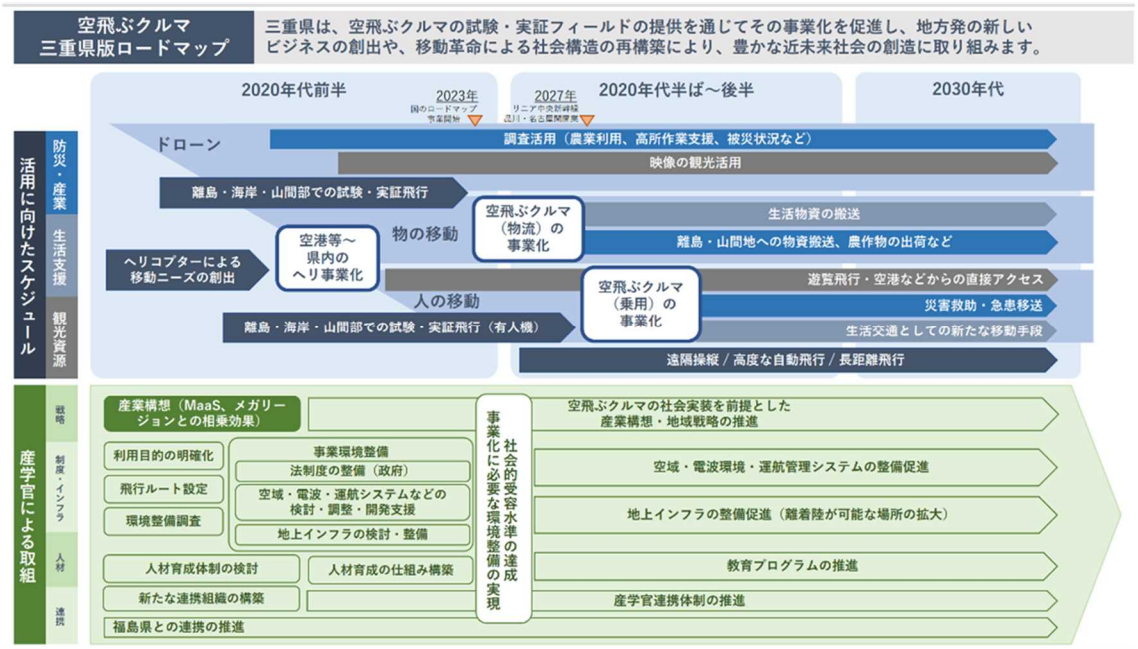


図 2.4.2-6 空飛ぶクルマ三重県ロードマップ

出所）三重県 Web サイト（https://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/m0031500179.htm）

(2) 大阪府の取組み

大阪府は、ポストコロナの成長をけん引する産業の創出、イノベーションの促進のため、空飛ぶクルマ社会実装推進事業に取り組んでいる。2020 年 11 月、大阪府は「空の移動革命社会実装大阪ラウンドテーブル」を設置し、2025 年大阪・関西万博をひとつのマイルストーンとして、関係者間で精力的に協議や実証実験を重ね、国の官民協議会の議論に資する具体的な提案を行うほか、様々なステークホルダと連携して、社会受容性

の向上を図るなど、空飛ぶクルマの実現に向けた取組みを加速させていくため、具体的かつ実践的な協議・活動の核として活動を進めていくこととしている。

離着陸場利活用に向けた可能性調査については、大阪市内のビル屋上ヘリポートにヘリコプターを離着陸させ、ビル屋上や当該ビル内部、地上、経路下等の周辺における騒音を測定すると共に、空飛ぶクルマを想定したヘリコプターによる移動を含めた場合と地上交通機関のみを利用した場合とで、移動時間に関する比較検証を行った。

(3) 愛知県の取組み

愛知県では、「あいち産業労働ビジョン」において、戦略的成長産業分野を「次世代自動車」「航空宇宙産業」「ロボット産業」の 3 分野に設定し、重点的な支援を実施している。愛知県が誇る当該 3 分野の製造技術を集約し、空飛ぶクルマの開発・生産拠点として整備することを目指している。具体的な取組みとしては、産業空洞化に対応する目的で研究開発・実証実験を支援する「新あいち創造研究開発補助金」制度において、SkyDrive による空飛ぶクルマの実証実験の取組みが進められている。

また、愛知県豊田市は、SkyDrive と 2021 年 6 月に物流ドローンの災害時活用及び社会実装促進に向けた協定を締結した。この協定により、災害時には、豊田市の要請に対して、株式会社 SkyDrive が開発した物流ドローンを提供することとしている。

5.2. 調査項目②「成熟度レベルのフレームワークの検討」

空の移動革命に向けた官民協議会のユースケース検討会の検討状況等を踏まえ、国内における空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークを策定する。具体的には、空飛ぶクルマの運航の自動化・自律化、高密度化の観点から、空飛ぶクルマの社会実装の成熟度を 6 程度のレベルに区分し、技術的な要件の大枠を整理した。

各成熟度レベルについて、国内の社会実装イメージとの対応を整理する。具体的には、ユースケース検討会の議論の状況を参照し、短期～中長期的な社会実装イメージと各成熟度レベルとの対応を整理し、整合性を確保した。

以下に、成熟度レベル設定の考え方を示す。

NASA UMLs 等の諸外国の検討事例をもとに、成熟度を説明する基本的な観点として、自動化の進展、運航の複雑性（＝空域利用や気象条件、ポートのキャパシティや周辺環境等）、運航頻度といった複数の観点をもとに成熟度レベルを定義することとした。また、これらの複数の観点について、定量的な数値ではなく、低・中・高、といった段階的なスコアを設定し、その組み合わせにより、6 段階の成熟度レベルを設定した。

ユースケースの特性に応じた要素としては、飛行距離や環境条件を考慮した。

空飛ぶクルマの主なユースケースと、その中長期的な実現イメージは、空の移動革命に向けた官民協議会の下に設置されたユースケース検討会の中で検討が進められ、2021 年度の検討の結果、図 2.4.2-7 に示すように整理された。

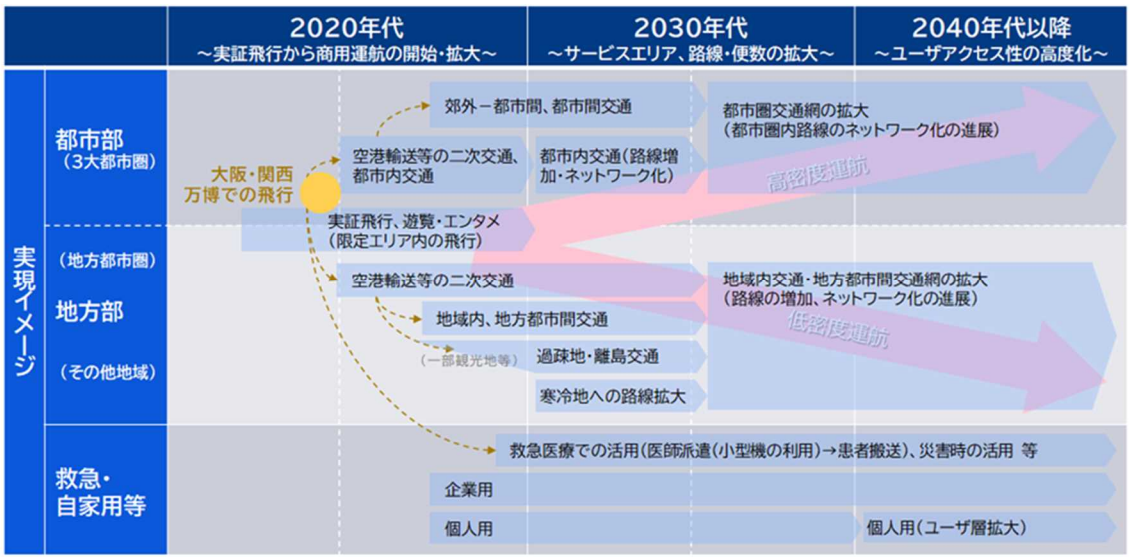


図 2.4.2-7 空飛ぶクルマの中長期的な実現イメージ

出所）空の移動革命に向けた官民協議会ユースケース検討会

成熟度レベルのフレームワークの策定に当たっては、都市部、地方部のユースケースや中長期的な実現イメージを踏まえて、ユースケースに共通の基本要素と、3 つのユースケースに特有の要素に分けて整理した。

① ユースケースに共通の基本要素

(1) 自動化の進展
(2) 空域利用の進展
(3) 離着陸場所の進展
(4) 機体価格
(5) 安全性

② ユースケースに特有の要素

(1) 運航密度
(2) ポート
(3) 運航サービス価格
(4) 飛行環境

成熟度レベルのフレームワークの検討結果を以下に示す。

表 2.4.2-14 に成熟度レベルの基本要素、表 2.4.2-15 にエアタクシー/2 次交通（主に 3 大都市）の要素、表 2.4.2-16 に地方都市間交通/2 次交通（全国の地方都市）の要素、表 2.4.2-17 に離島・過疎地交通の要素を示す。

成熟度レベル 1 は、実証飛行の段階を示す。

成熟度レベル 2 は、商用飛行が開始された段階を示す。

成熟度レベル 3 は、自動化レベルとして、人がシステムを監督的にコントロールする段階に向上し、運航の安全にとって重要なモニタリング機能やシステム内の多岐にわたる特定ハザードの軽減のための介入措置をシステムが提供するが、運航の安全はまだ人が全責任を負う段階となる。

成熟度レベル 4 は、自動化レベルが、人による監視や自動化機能の不具合に対する対応が不要になるほどの自動化機能が担保されているレベル（但し、システムの安全性とレジリエンスを担保するにあたって、人による全体の監督が引き続き必要）となる。

成熟度レベル 5 は、自動化レベルが更に向上し、必要時にシステムから人に対してアクションを起こすよう通知されるレベルとなり、リアルタイムの人間の関与が必要ないレベルとなる。

成熟度レベル 6 は、人による監督も介入も必要ない程度の自動化レベルが達成され、安全のみならず効率の観点でシステムが運用される。

安全性（TLS）については、考え方として、商用運航の開始を示す成熟度レベル 2 以降に設定し、当初は VFR 機や GA 機と同等の安全性を達成しつつ、成熟度レベルの向上と共に、目標とする安全性も段階的に向上する方針を整理した。

機体価格については、成熟度レベル 1～2 は、機体生産数が少ないことから価格「高」としつつ、成熟度レベル 3～4 では機体生産数の向上と機能向上を含めて中程度に低下、成熟度レベル 5 は機体生産数の更なる増加により価格低下、成熟度レベル 6 で大衆化する流れを整理した。運航コストについては、成熟度レベルの高度化と共に段階的に低減する流れを整理しつつ、成熟度レベル 4 以降、運航密度の違いを反映し、都市部では地方部よりも低価格化が 1 段階早く実現する流れを整理した。

表 2.4.2-14 成熟度レベルの基本要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
自動化の進展	人の関与の程度	Human within the loop		Human on the loop		Human over the loop	
		–	Assistive	Comprehensive safety assurance	Collaborative and responsible automation	Highly-integrated automated networks	System-wide optimization
	機上パイロットの有無	機上パイロット有り・無しの双方の機体の実証	機上パイロット有りの機体のみが飛行	機上パイロット無しの機体(遠隔操縦、遠隔監視、自律飛行等を含む)も飛行			
空域利用の進展	気象状態	VMC限定	VMC中心(一部緩和)	IMC相当			
	空域利用	・空域分離された限定エリア内の運航	・従来方式・手順(VFR)を原則、一部修正 ・ATMとの通信は従来通り	・従来方式・手順(IMC対応可)を原則、一部修正 ・サービスプロバイダによる運航調整の導入	・サービスプロバイダによるATM・UTMとの連携と交通管理の開始 ・高リスク空域への効率的な進入	・ATM・UTMとの高度な連携 ・自動化された交通管理・空域管理	・他の航空機、無人航空機等との自律的なコンフリクト解消
離着陸場所の進展		人口密集地外(既存ヘリポート等、港湾部への新規設置等)	人口密集地外(既存ヘリポート等、港湾部や観光地への新規設置等)	人口密集地内(ユーザの集まる交通・観光拠点等への拡大、建物屋上を含む)	人口密集地内(商業・オフィスエリア等への拡大)	人口密集地内(ユーザの多い居住エリア内の拠点等、日常生活圏への拡大)	人口密集地内(住宅地近隣を含め、日常生活圏への統合)
機体価格		高		中(製造効率化↓＋高機能化↑)		低	最低(大衆化へ)
安全性(TLS)		–	VFR機/GAと同等程度以上(段階的に向上)				

表 2.4.2-15 エアタクシー/2 次交通（主に 3 大都市）の要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要		・都市沿岸部等、限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の向上 ・ビル屋上ポートの増加	・既存の大規模空港への効率的な運航 ・路線密度・運航頻度の増加 ・システムの自動化レベル向上 ・大人数乗り機体の利用	・商業地を中心にポート数の増加と一部の居住エリアへの導入によるユーザアクセス性の向上	・住宅近隣を含めたポート数の更なる増加とユーザアクセス性の向上
運航密度		低			中	高	最高
ポート	数	少		中		高	最高
	容量	低		中(一部高)		高	
運航サービス価格		–	高	中	低(大衆化へ)		
飛行環境	移動距離	短	中		中(一部長)		
	環境条件	(VMCでの運航)	(VMC中心での運航)	IMC相当での運航、運航条件の拡大(夜間飛行等)	運航条件の拡大(凍結気象状態等)		

表 2.4.2-16 地方都市間交通/2 次交通（全国の地方都市）の要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要		・限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の向上 ・ビル屋上ポートの増加 ・自家用機の導入	・既存の大規模空港への効率的な運航 ・導入地域の増加 ・システムの自動化レベル向上 ・大人数乗り機体の利用	・商業地を中心にポート数の増加と一部の居住エリアへの導入によるユーザアクセス性の向上 ・自家用機の本格運用	・住宅近隣を含めたポート数の増加とユーザアクセス性の向上 ・自動車との統合型機体の運用
運航密度		低				中	
ポート	数	少			中		
	容量	低			中（一部高）		
	無人運用	－			無人化		
運航サービス価格		－	高	中		低（大衆化へ）	
飛行環境	移動距離	短	中	長		超長	
	環境条件	（VMCでの運航）	（VMC中心での運航）	IMC相当での運航、運航条件の拡大（凍結気象状態等）			

※青字は「エアタクシー/2 次交通（主に 3 大都市）」と異なる箇所

表 2.4.2-17 離島・過疎地交通の要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要		・限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の確保 ・自家用機の導入	・導入地域の増加、長距離化 ・システムの自動化レベル向上	・住宅近隣を含めた居住エリアへのポート導入によるユーザアクセス性の向上 ・自家用機の本格運用 ・自動車との統合型機体の運用	
運航密度		低					
ポート	数	少				中	
	容量	低				中（一部高）	
	無人運用	－			無人化		
運航サービス価格		－	高	中 （社会インフラコスト維持低減を考慮したサービス価格低減）		低 （他地域を含めたトータルコスト低減によるサービス価格低減）	
飛行環境	移動距離	短	中	長		超長	
	環境条件	（VMCでの運航）	（VMC中心での運航）	IMC相当での運航、運航条件の拡大（凍結気象状態等）			

※青字は「エアタクシー/2 次交通（主に 3 大都市）」と異なる箇所

成熟度レベルのフレームワークは、空飛ぶクルマの進展を概念的に整理したが、成熟度レベルに対応した具体的な運航イメージを作成した。

① エアタクシー/２次交通（主に３大都市）に関する運航イメージ

エアタクシー/２次交通（主に３大都市）のユースケースについて、運航サービスの定量的な指標として、就航率、定時運航性、離着陸頻度、運航規模、移動距離の目安を示す。

表 2.4.2-18 エアタクシー/２次交通（主に３大都市）に関する運航指標（目安）

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
就航率		60~80%	80~90%	90~95%	95~99%	99%超	
定時運航性※		ー	3分	2分	1分	30秒	10秒以下
離着陸頻度	1ポート当り	30~60分間隔	5~15分間隔	2~5分間隔	1~2分間隔	1分間隔以下	
	1パッド当り	30~60分間隔	5~15分間隔	5~10分間隔	2~5分間隔	2分間隔以下	
運航規模	機体数	エリアで1~2機	都市圏で十数機	都市圏で数十~百機	都市圏で数百~千機	都市圏で千~数千機	都市圏で数千~数万機
	ポート数	ー	都市圏で数カ所~十カ所	都市圏で十~数十カ所	都市圏で数十~百数十カ所	都市圏で百数十~数百カ所	都市圏で数百カ所以上
移動距離		~10km程度	~50km程度		~80km程度		

② 地方都市間交通/２次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通に関する運航イメージ

地方都市間交通/２次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通について、運航サービスの定量的な指標として、就航率、定時運航性、離着陸頻度、運航規模、移動距離の目安を示す。

表 2.4.2-19 地方都市間交通/２次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通に関する運航指標（目安）

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
就航率		60~80%	80~90%	90~95%	95~99%	99%超	
定時運航性※		ー	3分	2分	1分	30秒	10秒以下
離着陸頻度	1ポート当り	30~60分間隔			15~30分間隔	15分間隔以下	
	1パッド当り	30~60分間隔			15~30分間隔	15分間隔以下	
運航規模	機体数	エリアで1~2機	エリアで数機	エリアで数十機	エリアで数十機~百機	エリアで百~百数十機	エリアで百数十以上
	ポート数	ー	エリアで数~十カ所	エリアで十~数十カ所	エリアで数十~百数十カ所	エリアで数十~百カ所	エリアで百カ所以上
移動距離		~10km程度	~50km程度	~100km程度		~200km程度	

5.3.調査項目③「要素技術のロードマップ検討」

5.2.で策定した成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値を整理し、技術ロードマップとして取りまとめる。その際、5.4.で実施する詳細調査の検討結果を反映する。

5.3.1. 要素技術の整理

空飛ぶクルマの要素技術を網羅的に整理し、技術ロードマップ策定のためのベースとする。整理に当たっては、「技術 WG」において議論し、「有識者委員会」の場で審議、承認を得た。

5.3.2. 要素技術に関する国内外の動向調査

要素技術のロードマップ策定に先立ち、要素技術毎に、国内外の技術開発動向を調査した。諸外国の主要プレイヤーにおける製品化動向や中長期的な開発方針を調査すると共に、国内メーカの技術開発等の取組み状況を調査し、要素技術の区分ごとに動向を整理した。

以下、主な要素技術について、主要な調査対象と動向を示す。

- ✓ **動力**：全電動推進システムの動力源であるモータの海外メーカとしては、MaGicALL、Siemens、YASA、Safran などが挙げられる。
- ✓ **電源**：リチウムイオン電池を中心としつつ、エネルギー密度の向上を求めて、リチウム硫黄電池、リチウム金属電池等の開発が進められている。主な海外メーカとしては、OXIS Energy、Electric Power Systems、E-One Moli Energy、Amprius Technologies、Sion Power、Hypoint などが挙げられ、エネルギー密度としては、400～500Wh/kg を達成している。また、燃料電池を電源として採用するコンセプトも複数の企業から発表されている。
- ✓ **装備品**：飛行制御システムの海外メーカとしては、Thales、Moog、Honeywell 等が挙げられる。
- ✓ **クラッシュワージネス**：BRS Aerospace が eVTOL について自動車業界で確立された安全レベルと同等の安全性を担保できる緊急着陸用パラシュートを開発している。
- ✓ **製造技術**：eVTOL の構造素材には、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）が用いられている。eVTOL 向けの素材メーカとしては、海外では FACC、国内では東レがある。
- ✓ **CNS**：航法システムのメーカとしては、uAvionix が eVTOL 向け GPS「truFYX」を開発した。自律飛行システムや ADS-B システムに対し、航空グレード基準で信頼性のある位置データを提供可能としている。また、Honeywell は文庫本サイズの軽量な慣性航法システム（INS）「HGuide n380」した。
- ✓ **フリート管理システム・交通管理システム**：海外ではコンセプトレベルの提案が複数行われており、UAS の運航管理を行う UTM に eVTOL/UAM を統合するコンセプトと、eVTOL/UAM 専用の空域を設定して運航管理を行い、UTM や ATM と連携するコンセプトが提案されている。

✓ **給電システム**：機体を直接充電する直接充電方式と、バッテリを交換するバッテリ交換方式に大きく分けられる。海外では、EHang の EHang 216、BlackFly の Operner、Airbus の Pop.Up Next は機体の直接充電方式、Volocopter の VoloCity はバッテリ交換方式を検討している。

① 機体

5.1.2 で調査した事業者が計画している機体の諸元について、表 2.4.2-20 及び表 2.4.2-21 、表 2.4.2-22 に整理する。2020 年代前半では 2 人乗りを中心とした機体が多く、2020 年代中盤以降は、4～7 人程度が搭乗可能な機体が中心となる。

表 2.4.2-20 2020 年代前半にサービス開始予定の機体

サービス開始予定時期	2023年	2024年

事業者/機体	Volocopter /VoloCity	Joby Aviation /S4	Beta Technologies /Alia(Alia-250)	Archer Aviation /Maker	Wisk/Cora	Airbus /CityAirbus	Vertical Aerospace /VX4
イメージ図							
国	ドイツ	米国	米国	米国	米国	フランス	英国
推進方式	Multirotor	Vectored Thrust	Lift + Cruise	Vectored Thrust	Lift + Cruise	Multirotor	Vectored Thrust
座席数	2	5(パイロット1、乗客4)	6	2	2	4	5（パイロット1、乗客4）
質量	900kg（MTOW）	約2,177kg (4,800 lb)	2,722kg（MTOW）	1,508 kg	公開情報なし	2.2t（MTOW）	公開情報なし
ペイロード	200kg	約453kg (1,000 lb)	約635kg (1,400ポンド)	公開情報なし	181kg	250kg	450kg
形状	長さ: 11.3m 幅: 11.3m 高さ: 2.5m	長さ: 6.4m（21フィート） 翼幅: 11.6m（38フィート）	幅：15.2m 貨物室：5.7㎥	公開情報なし	長さ: 6.4m 幅: 11m	長さ: 8m 幅: 8m	長さ：13m 幅：15m
速度	最高速度：110km/h 巡航速度：100km/h	最高速度：321km/h（200mph）	巡航速度：270km/h (170mph)	約241km/h (150mph)	最高速度：160 km/h	巡航速度: 120km/h	約325km/h (202mph)
航続距離	35km	約241km（150 mile）以上	約463km (250nm)	約97km（60mi）	40km以上	30km	約161km (100mi)

出所）各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2.4.2-21 2020 年代中盤以降にサービス開始予定の機体

サービス開始予定時期	2025年					2026年
事業者/機体	Lilium aviation /Lilium jet	Bell /Nexus 4EX	Bell /Nexus 6HX	Ehang /Ehang 216	Airbus/CityAirbus NextGen	Volocopter /VoloConnect
イメージ図						
国	ドイツ	米国	米国	中国	フランス	ドイツ
推進方式	Vectored Thrust	Vectored Thrust	Vectored Thrust (ハイブリッド方式)	Multirotor	Lift + Cruise	Lift + Cruise
座席数	7（パイロット1、乗客6）	5(パイロット1、乗客4)	5(パイロット1、乗客4)	2	4	4（パイロット1、乗客3）
質量	3,175kg	3,175kg	2,720kg	公開情報なし	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	700kg	272kg	272kg	220kg	公開情報なし	300～400kg (660～880lb)
形状	長さ：8.5 m 幅：13.9 m	接地部分：12m×12m (40ft×40ft box)	接地部分：12m×12m, 幅：2.4m	幅：5.61m 高さ：1.77m	公開情報なし	公開情報なし
速度	巡航速度：280km/h (175mph)	約241km/h (150mph)	約288km/h (155kt)	最高速度：130km/h 巡航速度：約100km/h	巡航速度：120km/h	最高速度：250km/h 巡航速度：180km/h
航続距離	約249km（155mi）以上	約111km（60nm）	約241km（130nm）	35km (最大ペイロード時)	80km	約97km (60mi)

出所）各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2.4.2-22 サービス開始時期が不明な機体

事業者/機体	Alaka'i Technologies /Skai	EHang/VT-30
イメージ図		
国	米国	中国
推進方式	Multirotor (ハイブリッド方式)	Lift + Cruise
座席数	5	2
質量	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	約454kg (1000lb)	公開情報なし
形状	公開情報なし	公開情報なし
速度	約185km/h（115mph）	公開情報なし
航続距離	645km	300km

出所）各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2.4.2-20 及び表 2.4.2-21 、表 2.4.2-22 に示した機体については、その形状や重量、座席数等の観点から多様な設計がなされているが、推進方式の観点からは、大きく分けて Multirotor 式、Vectored Thrust 式、Lift and Cruise 式の 3 種類に区分できる。

推進方式によって航続距離が大きく異なり、機体のユースケースも異なるものとな

る。例えば、Volocity などの都市部での運用を念頭に開発される機体には高い安全基準、低騒音、有効な航続距離と速度、十分な乗客定員、運用効率、製品ライフサイクルの信頼性が求められることから、安全性が高く低騒音であり、システムが比較的簡素である Multirotor 方式が適していると分析している。また郊外や都市間等の遠距離を飛行するユースケースでは Lift and Cruise 方式や Vectored Thrust 方式の機体が多くみられた。

② 動力

(1) 技術概要

モータシステムは、モータ、インバータ、ギヤ、冷却機構等で構成され、電気エネルギーを運動エネルギー（[W] = 回転数[rpm]×トルク[Nm]）に変換する。内燃エンジン（ICE）と比較して電動モータはピークの回転数が大きく、モータ単体ではエネルギー効率もよいとされているが、その急激な回転速度の増大から加熱が激しく、オーバーヒートを防ぐために相当の冷却が必要となる。この特性から ICE と比較して電動モータの冷却システムの構成比は大きく、重量が大きくなることが課題の一つとされている。NASA では小型エンジン・大型エンジンの重量構成の例示が図 2.4.2-8 のようになされている。

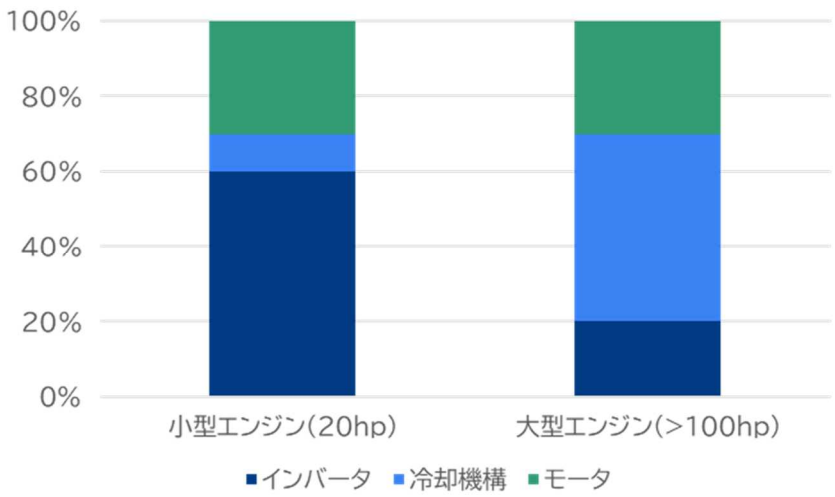


図 2.4.2-8 NASA による小型エンジン・大型エンジンの重量構成

出所）NASA「Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services - A White Paper」より三菱総合研究所作成、URL: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205000636/downloads/2021-08-20-eVTOL-White-Paper-Final_V48.pdf

(2) 製品と性能に関する動向

表 2.4.2-23 各社のモータ製品性能に示すとおり、軽量・高出力のモータ製品が各社から発表されている。各社が発表する機体コンセプトに基づくと、特に離着陸に要する出力を満たしていないことが分かる。不足分は、モータ性能の技術革新の促進、機体モ

デルの修正、あるいは内燃機関を組み合わせたハイブリッド推進システムの登用といった方法で解消する必要がある。

表 2.4.2-23 各社のモータ製品性能

会社名	米 MAGicALL	独 Siemens	英 YASA
モデル	（公開情報では不明）	SP200D	P400RHC
写真			
出力密度（kW/kg）※連続出力時	5.5	4.2	4.2
最大出力（kW）	75	（公開情報では不明）	160
連続出力（kW）	60	204	20-100
回転数（rpm）	（公開情報では不明）	1,300	8,000
トルク（Nm）	最大 130	1,500	最大 370
重量（kg）	11	49	24
その他仕様	冷却方式：空冷	インバータの種類：SiC	（公開情報では不明）
トルク密度（Nm/kg）	最大 11.8	最大 30.6	最大 15.4

出所）以下の出所に基づき三菱総合研究所作成
MAGicALL）MAGicALL の UP、2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.magicall.biz%2F&psig=AOvVaw3kmpHdxLxmhLi87hiJ1TS4&ust=1647669606158000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwii3vbd_c72AhVIDN4KHVY7A4MQr4kDegQIARBD
Siemens）Electric VTOL News「Airbus CityAirbus」 , 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://evtol.news/airbus-helicopters/;
Siemens, 「Electric Flight」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://press.siemens.com/global/en/feature/electric-flight
Siemens, 「Siemens eAircraft」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL:https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%2000%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf
YASA）YASA, 「YASA P400 R Series」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://www.yasa.com/yasa-p400/

(3) 動力の効率性に関する動向

モーターシステムでは、図 2.4.2-9 に示すとおり、エネルギーから運動エネルギーに変換される途中に損失が発生する。損失低減のため、モータ・ギヤ・インバータ等の構成要素を一体化する試みも存在する。

現在の技術では、「システムの平均効率」は 80%程度、維持することが可能であるとされている。将来的には、我が国においては、経済産業省主導の「次世代蓄電池・次世

代モータの開発プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性」（以下、「国の次世代モータ開発指針」）において、効率的な放熱や損失低減等の施策を通じ、2030 年時点で「システムの平均効率」＝85%に達成することを目標として掲げられている。

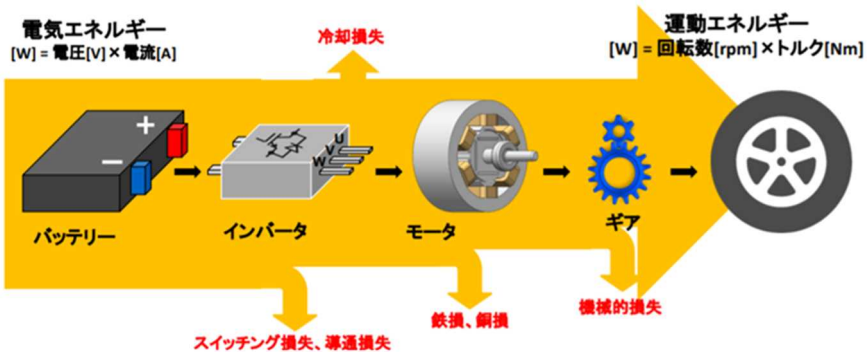


図 2.4.2-9 エネルギー変換の損失イメージ図

出所）経済産業省，「次世代蓄電池・次世代モータの開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性，2021 年 10 月 12 日取得，URL: https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/003_02_00.pdf

(4) 動力の出力密度に関する動向

最大出力が 500W 以上の場合、現在の既製品ではモータ単体で 4～5kW/kg の出力密度が可能であるとされているが、冷却機構等の合わせたモータシステムとしては 2kW/kg に低減するとされている。将来的には、我が国における国の次世代モータ開発指針では、モータシステムの小型・軽量化・高出力化の目標としてモータ単体で 8.0kW/kg、モータシステムとして 3.0kW/kg の出力密度を目指している。

製造面での課題等が詳しく検討されている例があまりないため、実用化・普及に向けた検討が今後の課題となっている。

(5) 空飛ぶクルマへの適用

表 2.4.2-24 に示すとおり、出力の小さいモータを数多く搭載するか、出力の大きいモータを数点搭載するかは、機体のコンセプトに依存する。

表 2.4.2-24 各機体コンセプトの性能とモータ情報

種別	メーカ	機体名	座席数	最大離陸重量（MTOW）	積載重量	距離	モータ	備考
可動有	Bell Helicopter	Nexus 4EX[2)]	5	（公開情報では不明）	（公開情報では不明）	97km	4 基	ダクトプロペラを 4 点搭載。

翼	Airbus (A[3])	Vahana (Beta)	2	815kg	340kg	100km	45kW/基を8基	プロペラを8点搭載。モータはMAGicALL社、バッテリはAirbus Defense社製。
	Joby Aviation	Joby S4	5	2,200kg	380kg	290km	67kW/基を6基	
	Lilium Aviation	Lilium Jet	5	(公開情報では不明)	(公開情報では不明)	300km	36基	ダクトファンを36点搭載。
固定有翼	Boeing/Aurora Flight Sciences	PAV	2	800kg	225kg	80km	75kW/基を8基	垂直飛行用のプロペラを8点、前方推進用のプロペラを1点搭載。
無翼	Airbus	City Airbus	4	2,200kg	250kg	30km[1)]	100kW/基を8基	プロペラを8点搭載。Siemens社のモータ「SP200D」を独自に再設計。
	Volocopter	VoloCity VC 2-1	2	900kg	200kg	35km	18基	ブラシレスDCモータを18基搭載。リチウムイオン電池を9点搭載。

出所）各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

(6) 空飛ぶクルマへの適用における課題

空飛ぶクルマの機体設計では、多くの場合、機体の周囲に複数のモータが分散されている。離着陸時に高出力の要件を満たす必要がある一方、航空機の性能を妨げないように軽量化が課題となる。

③ 電源

蓄電池

(1) 技術概要

バッテリは多様な電池系・材料系が存在するが、携帯型電子機器や電気自動車等で普及しているリチウムイオンバッテリ（現行LiB）の電池系の場合、一般に負極、正極、セパレータ、電解液の材料系で構成され、放電時にはモータシステム等による負荷、充

電時には充電器を通じて電気エネルギー（[W] = 電圧[V]×電流[A]）を供給・需給する。

リチウムイオンバッテリの構成では、繰り返し充放電を行う特性（サイクル寿命）に優れるという利点がある一方で、構成する材料の重量や体積がかさむために、実現可能なエネルギー密度に限界（一般に 250～350Wh/kg）があるとされている。この課題を克服するため、先進 Li-B として正・負極や電解質等の材料系の性能向上や次世代型の電池系の開発が進んでいる。これらはエネルギー密度を理論的には大幅に向上するところ、サイクル寿命に課題があるとされている。

(2) 製品と性能に関する動向

表 2.4.2-25 に示すとおり、OXIS Energy 社、Amprius Technologies 社、Sion Power 社等の多数の企業が軽量でエネルギー密度の高い電池を開発している。

表 2.4.2-25 各社のバッテリ製品性能

会社名	OXIS Energy		Electric Power Systems	E-One Moli Energy	Amprius Technologies	Sion Power
	高容量型	高出力型				
分類	リチウム硫黄電池	リチウム硫黄電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池	シリコンナノワイヤ/リチウムイオン電池	リチウム金属電池
公称電圧 (V)	2.1	2.1	57.6	3.6	（公開情報では不明）	3.82
電圧範囲 (V)	1.9-2.6	1.9-2.6	40-67.2	2.5-4.2	（公開情報では不明）	（公開情報では不明）
容量 (Ah)	19	14.7	60	4.2	（公開情報では不明）	20
エネルギー (Wh)	42	34	3,500	16	（公開情報では不明）	79
エネルギー密度 (Wh/kg)	300	400	151	230	435 以上	500
充電速度 (h)	4	4	（公開情報では不明）	1.5	（公開情報では不明）	（公開情報では不明）
サイクル寿命	60-100	60-100	300	（公開情報では不明）	数百	1,000
サイズ (mm)	151 × 116 × 10.7	145 × 78×10	270×217×397	直径 21.7, 高さ 70.2	（公開情報では不明）	80 × 91 ×10
重量 (g)	141	85	23,200	70	（公開情報では不明）	158

出所）各社 HP に基づき三菱総合研究所作成

(3) 出力密度およびエネルギー密度に関する動向

空飛ぶクルマでは、自動車の場合における EV のように、完全電動化にあたっては航続距離を向上するための重量エネルギー密度の向上が特に課題となる。つまり、完全電動では高容量系、ハイブリッドの場合は高入出力系である。現行 LiB で重量エネルギー密度は一般に 250～350Wh/kg が限界とされているが、Li-Air 等の次世代電池系では 1200Wh/kg のポテンシャルがある。ただし、サイクル寿命は現時点で 50 回以下であり、サイクル寿命の向上が課題となる。

(4) バッテリ寿命に関する動向

図 2.4.2-10 は、100%充電し 100%放電してしまうような充放電サイクルではなく、サイクル寿命に最も効率的な充放電を行うことによるバッテリのカレンダー寿命の高度化の試算結果を示している。寿命（ここでは充電率 85%とする）を下回るのは、約 4,000 回の飛行後までとなる。1 日 12 回飛行とした場合、1 年に 1 度のバッテリ交換で済む。このようなカレンダー寿命の高度化には、充放電を効率化するための適切なバッテリのマネジメントが必要となる。

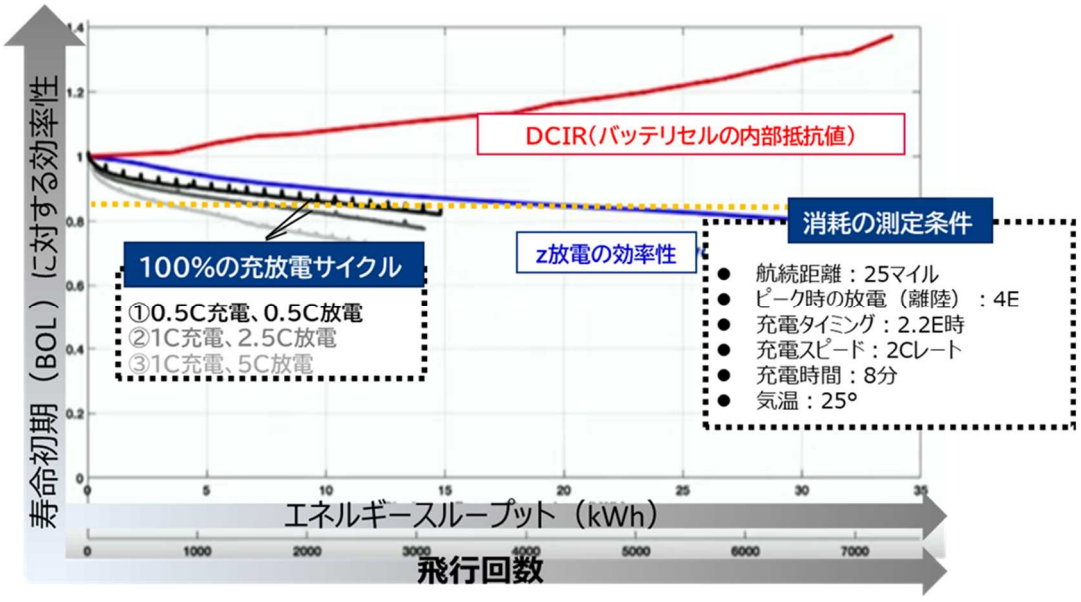


図 2.4.2-10 バッテリの寿命初期（BOL）に対する効率性と飛行回数の関係

出所）Uber Elevate 2018 講演内容に基づき三菱総合研所作成

(5) 正極材料に関する動向

現状のリチウムイオン電池では、正極がリチウムイオンの供給源となる。正極材料の高容量化には、容量密度（Ah/kg）が期待できる硫黄系正極等が検討されている。

(6) 負極材料に関する動向

現状のリチウムイオン電池では、負極として容量と寿命に優れる炭素・黒鉛系材料が主に使用されている。

(7) 電解質材料に関する動向

電解質は電池の入出力特性、寿命、安全性、電圧に直接関わるものであり、高出力が要求される場合高いイオン導電性が要求される。電気伝導率の高い各種電解質材料の組成が検討されている。

(8) 空飛ぶクルマへの適用

空飛ぶクルマにおいては、バッテリの出力密度（W/kg、電池重量に対する最大出力）とエネルギー密度（Wh/kg、電池重量に対する放電容量)、サイクル寿命（充放電を繰り返すことのできる回数）が離着陸性能と航続距離に影響することとなる。なお、小型化では体積エネルギー密度（Wh/L）が重要となる。

ホバリングと巡航に必要となる出力密度は機体コンセプト毎に異なる。推進効率の指標である揚抗比（L/D）が高ければ高いほど、巡航に必要となる出力密度は小さくなり、離着陸効率の指標となるディスクローディング（N/m2）が低ければ低いほど、離着陸に必要となる出力密度は小さくなる。

また、空飛ぶクルマの運用形態としては、巡航がエネルギー密度の大部分を占めることが一般に想定される。このエネルギー密度は充放電を繰り返すうちに充電率が減少する。

燃料電池

(1) 技術概要

燃料電池は、燃料における化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換することによりLiB電池と比較して高いエネルギー効率を実現することが可能であるとされている。空飛ぶクルマへの適用に関しては、エネルギー密度を向上することにより、航続距離を伸ばすことが可能であるとともに、燃料補充にかかる時間についても、通常のバッテリ充電と比較して短縮可能である。

(2) 製品と性能に関する動向

現在、空飛ぶクルマの動力源の主流はLIB電池であるが、より長い航続距離を実現するため、水素燃料電池を動力に採用するコンセプトが複数の企業から発表されている。燃料電池を動力として採用している空飛ぶクルマ、小型航空機の例を表2.4.2-26 に示す。

表2.4.2-26 燃料電池を動力として採用しているeVTOL，小型航空機の例

機体メーカ	FCメーカ	機体	概要

–	Ballard（カナダ） / Honeywell	情報なし	2020 年 10 月、Honeywell は燃料電池メーカである Ballard の航空機事業を買収すると発表し、UAS/UAM 向けに燃料電池を供給する方針を発表
Urban Aeronautics（イスラエル）	HyPoint（米国）	CityHawk	座席：～6 名（パイロット含） 巡航速度：234km/hr 航続距離,飛行時間：150km, 20min（4 名搭乗時） HyPoint の「ターボ空冷」水素燃料電池を採用
Alaka' I Technologies（米国）	情報なし	Skai	航空タクシー、個人用、貨物輸送などの市場を想定 航続距離, 飛行時間：400 マイル（644 km）、4 時間
Pipistrel（スロベニア）/DLR（ドイツ）	Hydrogenics（カナダ）	HY4	最大 300 マイル飛行可能な 19 人乗りの水素駆動航空機を開発中 Pipistrel の固定翼機をベースに DLR が設計。2016 年 9 月に燃料電池を搭載して飛行試験を実施した
Airbus	情報なし	情報なし	2020 年 9 月、水素を動力源とする新しい航空機のコンセプトを発表。2035 年までに就航予定
ATR	UH2 - Universal Hydrogen（米国）	ATR72	2025 年までにゼロエミッションの旅客移動用、2025 年以降に貨物移動用の地域航空サービスを実現するために十分な電力を生成できる水素貯蔵ポッドを発明し、複数の特許を申請中

出所）各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

④ 装備品

本項では機体の装備品として制御システム、Human Machine Interface (HMI)、Detect and Avoid (DAA) システム、クラッシュワージネスについて整理する。

(1) 制御システム

eVTOL の制御システムは、Fly-By-Wire (FBW) 又は Fly-By-Light (FBL) 等の方式が採用されている。一般に FBW は航空機の操舵を電気信号によって行う方式であり、操縦桿とアクチュエータが電線（ワイヤ）で接続されている。FBL は電線を光ケーブルに置き換えることで FBW と比較して配線の軽量化と電磁干渉の低減が可能となる一方で、整備性が悪化するケースも想定される。現在、表 2.4.2-27 に示すような複数の制御システムについて eVTOL への適用が検討されている。

表 2.4.2-27 eVTOL への適用が検討されている制御システム事例

事業者/機体名	制御システム
Vertical Aerospace/VA-X4	• FBWによる制御（Honeywell社製アビオニクス）
Lilium aviation/Lilium jet	• FBWによる制御（Honeywell社製アビオニクス）
Joby Aviation/S4	• FBWによる制御
Bell/APTシリーズ	• FBWによる制御
Volocopter/Volocopter 2X	• FBLによる制御

(2) HMI

ヒューマンインタフェース（HMI）は機体の自動自律化に紐づいており、パイロットによる操縦が想定されている場合はジョイスティック等の機械式インタフェースが装備され、自動自律化が進むにつれてインタフェースは簡素化されると考えられる。

(3) DAA システム

DAA システムについては機体の自動自律化に関する動向を整理した。自動自律化については、初期段階では機上又は地上の人間が操縦を担い、段階的に機上システムによる自動自律化が進むと考えられる。なお機体システムの高度化に伴い HMI も高度化することが予想される。機上の人間が操縦する前提の場合はジョイスティック等の機械式インタフェースが装備されているが、自動自律化が進むにつれて簡素化され最終的には操縦用のインタフェースは搭載されなくなる可能性もある。

(4) クラッシュワージネス

安全に係るシステムとしてクラッシュワージネスについて整理する。図 2.4.2-11 に安全に係るシステムの主な構成要素を示す。クラッシュワージネスでは主に障害物や何らかのシステムエラーに伴う墜落を想定したシステムの搭載が想定される。現状は障害物の検知やパラシュート等のシステムを装備するような検討事例が確認できた。

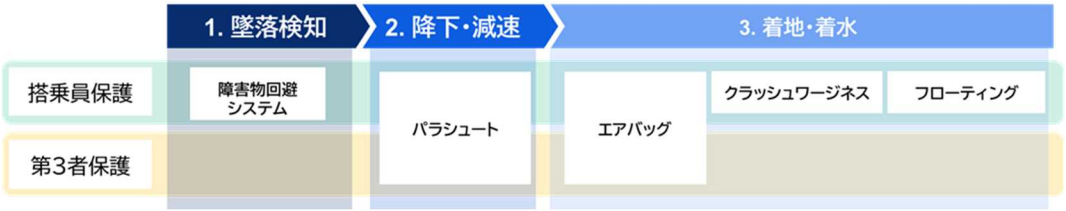


図 2.4.2-11 安全システムの主な構成要素

機体全体のクラッシュワージネスについては、図 2.4.2-12 に示すようにシミュレーションを活用して評価する手法が Siemens・NIAR（National Institute of Aerospace Research）にて研究されている。Simens 社の手法では、統合的に評価するプロセスでは不時着時の状態定義や機体のサブシステム、機体が吸収可能なネルギーなどを定義しモ

デル化（Simcenter multi-body methodology）を実施するとしている。安全装備の検討範囲としては、乗員の安全性だけではなく表 2.4.2-28 に示すような Pre-crash や Post-crash についても検討している。パラシュートに関しては、eVTOL 機体が自動車と同等の安全性を担保できる緊急着陸用パラシュートを開発している事例（米 BRS Aerospace 社）が確認できた。なお既存の固定翼機向けパラシュートは他の手段が全て失敗した場合の最終手段として設計されている。

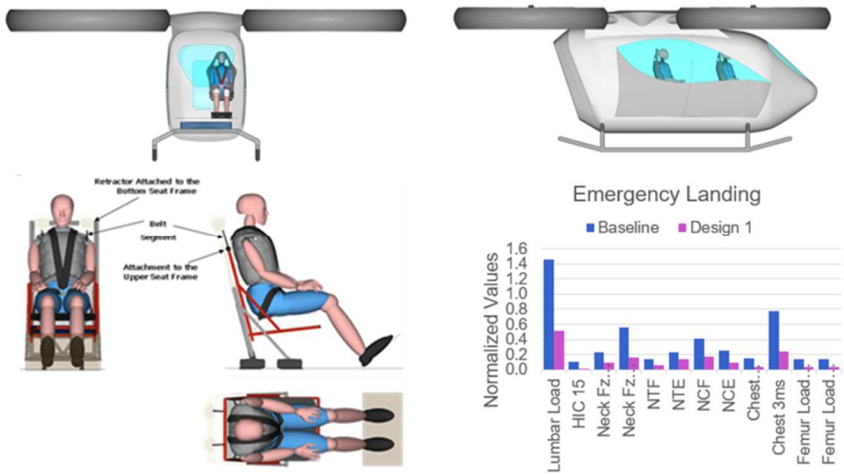


図 2.4.2-12 シミュレーションによる評価イメージ

出所） Siemens, https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/integrated-safety-approach-to-tackle-evtol-crashworthiness/（閲覧日：2021 年 10 月 1 日）

表 2.4.2-28 安全装備の検討範囲

項目	内容
Pre-crash/回避	• 環境認識と飛行経路制御 • 衝撃速度の緩和 • 乗員と機体の最適配置
Crashworthiness/乗員の安全性	• 降着装置と機体の耐衝撃構造 • 乗員拘束装置と座席でのエネルギー吸収 • 着陸・離陸場所でのエネルギー吸収
Post-crash	• バッテリの火災対策、脱出 • 救急隊への連絡、損傷診断

出所）Siemens, Accelerate eVTOLs crashworthiness design with an integrated safety development approach, https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/webinar/evtols-crashworthiness-design/88853 を基に三菱総合研究所作成（閲覧日 ： 2021 年 12 月 22 日）

⑤ 製造技術

eVTOL の機体製造技術については、機体及び部品の構造材料とそのアセンブリ技術に大別される。eVTOL の機体に利用される構造材料としては、表 2.4.2-29 に示すように軽量かつ強靭な炭素繊維複合材料が採用されている事例がある。例えば Joby 社の機体には複

合材が適用される。現状 eVTOL への材料提供を予定しているサプライヤとしては東レや FACC などが存在する。2018 年に東レが買収した TenCate 社の流れをくむ事業ブランド「Toray advanced composites（TAC)」は熱可塑性樹脂複合材に強みを有しており PEKK, LMPAEK, PEEK, PPS, PEI の熱可塑性樹脂複合材を製品化している。

また図 2.4.2-13 に示すように、東レでは三菱重工と共同で航空機部材向けの新規 CFRP 成形技術「A-VaRTM」(Advanced-Vacuum assisted Resin Transfer Molding）の開発に取り組んでおり、「プリプレグ成形法に匹敵する高い性能（特に耐衝撃性）と優れた品質安定性を実現」したとしている[8]。またドライ基盤を活用することでより複雑な形状への加工も可能としている[9]。

豪 FACC 社は仏 Airbus 社における翼部品の製造コスト低減と部品の軽量化に取り組んでおり、特許を取得した独自の MARI 法を利用することで、後続のフライス加工（切削加工の１種）を不要としてコストを削減し、フィラーとマトリックスの新規開発により炭素繊維強化プラスチックの高強度化（軽量化）の実現を企図している。図 2.4.2-14 に MARI 法の概念図を示す。一般に MARI 法は、繊維強化プラスチック部材の製造法である真空含侵工法（VaRTM）の１種である。従来の製造法よりも未含侵領域が発生しにくいとの特長を有するとされる。

表 2.4.2-29 eVTOL への適用が検討されている構造材料事例

事業者	素材メーカ	概要
Lilium/Lilium Jet	東レ	• 東レはUAMメーカーと協業しながら、機体の高性能化・省エネルギー化・低コスト化に向けた革新的な複合材料の開発を行っていく方針 • 東レは、Lilium社とLilium Jet向けCFRPを提供する契約を締結
Joby aviation/S4	東レ	• Toray Advanced Compositesは複合材料についてJoby Aviationと長期供給契約を締結したと発表
Ehang/Ehang 216	FACC	• 機体構造には炭素繊維材料やエポキシの複合材、アルミ合金を利用 • FACCとEhangはパートナーシップを締結 • オーストリアのリンツ市、Ehang、FACCは、リンツ市でUAMのパイロットプログラムを行うことを発表
Beta technologies /Alia-250	Blue Force Technologies	• 複合材構造を採用
Airbus/City Airbus	公開情報なし	• 機体構造及びプロペラに炭素繊維複合材量を使用
Archer Aviation/Maker	公開情報なし	• 機体構造に炭素繊維複合材量を使用 • Fiat Chrysler Automobiles（FAC）と提携しており、材料科学のほかサプライチェーンやデザインに関するアドバイスをFACが共有
Vertical Aerospace/VA-X4	公開情報なし	• 機体構造に炭素繊維複合材量を使用 • 主翼構造と配線システムの開発・製造はGKN Aerospace社が担当

[8] 東レ プレスリリース,
http://cs2.toray.co.jp/news/torayca/newsrrs01.nsf/0/3EA62DE43F71E0A149257EBC001E7B67（閲覧日：2021 年 10 月 5 日）

[9] 経産省中部経済産業局, 技術シーズ集, p9,
https://www.chubu.meti.go.jp/c32automobile/170206/16siizusyuu.pdf（閲覧日：2021 年 10 月 5 日）

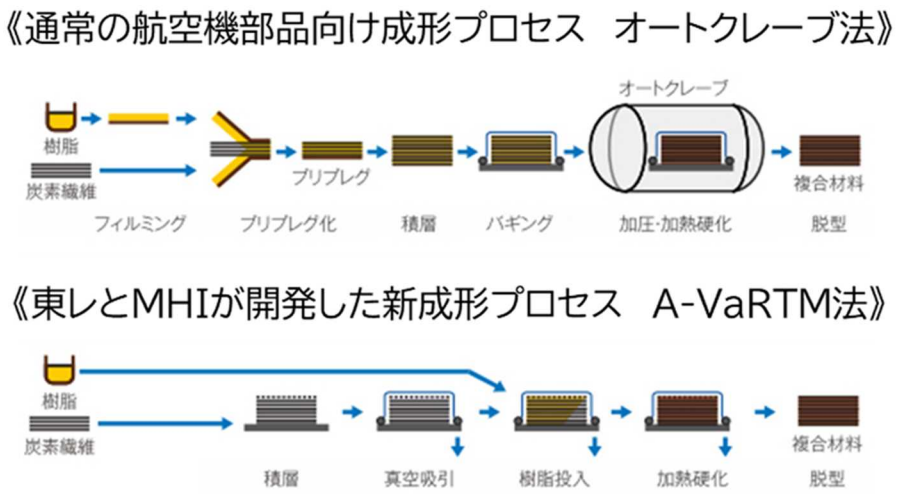


図 2.4.2-13 従来のオートクレーブ法（上）と新規開発した A-VaRTM 法（下）

出所）東レ プレスリリース，
http://cs2.toray.co.jp/news/torayca/newsrrs01.nsf/0/3EA62DE43F71E0A149257EBC001E7B67（閲覧日：2021 年 10 月 5 日）

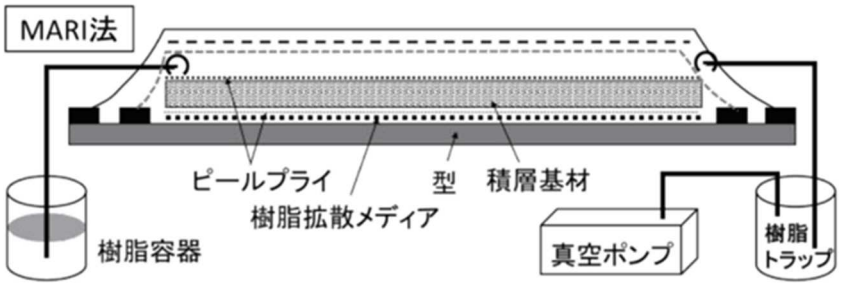


図 2.4.2-14VAP 法と MARI 法の概念図

出所）材料，大型 FRP 構造物に対する真空含侵形成法適用の発展と確立，
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms/67/10/67_943/_pdf（閲覧日：2021 年 10 月 5 日）

⑥　CNS

空飛ぶクルマの CNS（Communication, Navigation, Surveillance：通信・航法・監視）技術（以下 CNS）の動向調査においては、空飛ぶクルマ向けの CNS 技術はほとんど無く、既存システムの活用が想定されることから、通信、航法、監視の各要素別に既存の通信システムや有人航空機システム向けの技術を参考に、空飛ぶクルマに活用可能と考えられる要素技術の整理を行った。

図 2.4.2-15 は既存民間有人航空機で利用されている通信・航法・監視の例を簡単にまとめたものである。

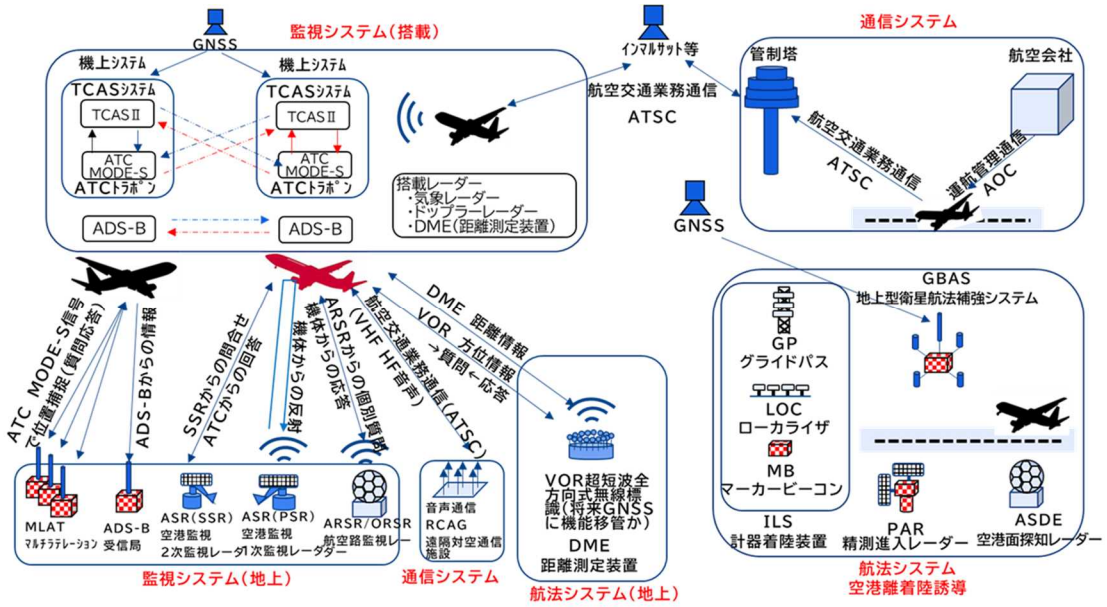


図 2.4.2-15 既存民間有人航空機で利用されている通信・航法・監視システム例

A) 通信

通信では既存民間有人航空機の運用に使用される航空無線システム（音声通信、データ通信）を調査した。さらにその中で地上セルラー及び衛星で使用される周波数、伝送速度、遅延量、同時接続数、普及状況について調査を行った。表 2.4.2-30 既存有人機航空無線システムと空飛ぶクルマに既存有人航空機で使用されている通信システムと空飛ぶクルマに利用可能と想定される通信システムを整理したものを示す。

表 2.4.2-30 既存有人機航空無線システムと空飛ぶクルマで利用が想定される通信システム

		既存有人機航空無線システム(民間)	空飛ぶクルマにおいて利用が想定される通信システム
通信	音声 ・機体間 ・機体地上間	➢ 遠隔対空通信施設 (RCAG) : VHF/UHF 帯無線 ✧ VHF(RLOS 通信)(118～137MHz) 用途:ATSC, AOC, AAC ✧ UHF(RLOS 通信)(225～400MHz) 用途:ATSC ➢ HF(RBLOS 通信)(2.85MHz～22MHz) 用途:ATSC, AOC, AAC	➢ VHF ➢ セルラー: LTE, 5G、B5G, 6G ➢ 衛星通信: GEO/LEO ➢ HAPS ➢ 直接通信(LPWA 等)
	データ通信 ・機体間 ・機体地上間	➢ VHF ACARS : VHF データリンク:2.4kbps 用途 : ATSC, AOC ➢ HFDL:HF 帯長距離データリンク:0.3～1.8kbps 用途 : AOC, AAC ➢ VDL : VHF 帯デジタルリンク:31.5Kbps～4Mbps 用途 : ATSC, AOC, ADS-B (ADS-B, TCAS は監視にて扱う)	
	衛星通信	➢ MTSAT、インマルサット、イリジウム 用途:ATSC, AOC, AAC, APC	

出所）各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

既存民間有人機航空無線システムでは遠隔地の航空機と管制機関は主に遠隔対空通信施設(以下RCAG)によりVHF、UHF帯の周波数を用いて直接交信を行い、見通し外の洋上管制ではHF帯による通信を行っている。データ通信においては、ATSCなどの低レートの通信への利用のほか、放送型自動従属監視(以下ADS-B　SSRモードS)にも利用されている。また衛星通信も利用されておりインマルサット及びイリジウム衛星システムではATSC、AOC、AAC、航空旅客公衆通信(以下APC)などの運航業務と旅客通信サービスに利用されている。

空飛ぶクルマに利用可能な通信システムとしては、地上セルラー通信システムや、衛星通信システム、HAPS(High Altitude Platform Station：以下HAPS)通信システム、直接通信システムなどが考えられる。国内における4G/LTE、5G及び6Gの移動通信システムの通信速度、遅延、使用周波数などの比較を表2.4.2-31 に示す。

表2.4.2-31 LTE／5G／6Gの特徴比較一覧

世代	使用周波数	伝送速度	遅延量	同時接続数	普及状況／予定
4G/LTE	700～900MHz帯 3.5GHz帯	約1Gbps	約10ms	10万台／㎢	山間部や地方の一部で未提供
5G	3.7GHz帯 4.5GHz帯 28GHz帯、他ミリ波帯	約　10　～ 20Gbps	約1ms	100万台／㎢	2022～2023　で人口カバー率90%
6G	90G～300GHz テラヘルツも検討中	約　100Gbps以上	約1ms以下	1000万台／㎢	未定

出所）5Gの通信速度を4G・Wi-Fiと比較　https://boxil.jp/beyond/a7028/、　5Gと4G・LTEの違い　https://colorful-life.co.jp/wimax/5g-4g-tigai.html を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2022年2月10日）

また、衛星システムも低遅延が要求されるデータリンクにはLEO、MEOのような低中軌道衛星システムを用い、遅延が許容される旅客通信サービス等にはGEOの利用が考えられる。

これらの通信システムのほか、直接通信方式としてLPWA（Low Power Wide Area：以下LPWA）なども検討されている。LPWAは明確な定義は定まっていないが、長距離のデータ通信、低消費電流という2つの特徴を満たしている通信ネットワークを指す。

以上を踏まえ、エリア、上空高度を10種に分類・整理した際に、エリア区分ごとに適用可能性のある通信システムを示す。

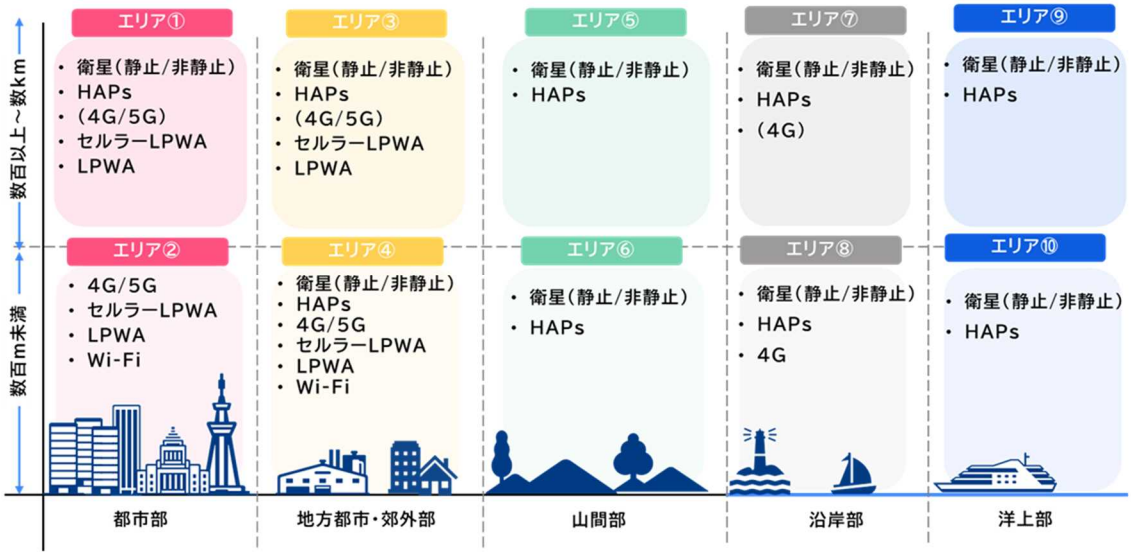


図 2.4.2-16 エリアごとの利用可能性のある通信システム

(B) 航法・監視

(1) 航法の技術概要

航法では既存民間有人航空機の運用に使用される位置把握・誘導システムと着陸誘導システムを調査し、これらの機能が空飛ぶクルマではどのような航法システムとして構成されるかを整理した。表 2.4.2-32 に既存有人航空機で使用されている航法システム、表 2.4.2-33 に既存有人機航法システムに対応する空飛ぶクルマで利用が想定される航法システムを整理したものを示す。

表 2.4.2-32 既存有人航空機で使用されている航法システム

種別	既存有人機航法システム(民間)		用途
航法	航空機用無線標識	超短波全方向式無線標識：VOR	VHF 帯（超短波帯）の電波を用いる航空機用無線標識。標識局を中心として航空機がどの方向にいるかを検知するシステム。
		距離測定装置：DME	UHF 帯の無線通信により航空機と地上局との距離を航空機から測定する装置
	空港離着陸誘導システム	計器着陸装置：ILS	着陸進入する航空機に対して、地上施設から指向性誘導電波を発射し、滑走路上まで誘導する計器進入システム。進入方向（横位置）を示すローカライザ（LOC）、降下経路（縦位置あるいは高度）を示すグライドパス（GP）、滑走路までの距離を示すマーカービーコン（MB）から構成されている
		地上型衛星航法補強システム：GBAS	地上から GPS の精度や安全性を向上させる補強信号や航空機の進入降下経路情報を送信し、航空機を安全に滑走路へ誘導するためのシステム
		精測進入レーダ：PAR	滑走路に最終進入する航空機を誘導する

			ためのレーダ装置
		空港面探知レーダ：ASDE	空港地表面の航空機や車両等の動きを監視し、それらの交通の安全を図るための高分解能レーダで、飛行場管制業務に使用される。

出所）国土交通省　用語集　https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2022 年 2 月 10 日）

表 2.4.2-33 既存有人機航法システムと空飛ぶクルマで利用が想定される航法システム

種別		既存有人機航法システム(民間)	空飛ぶクルマで利用が想定される航法システム
航法	位置把握・誘導	➢ 機上位置把握 GNSS（GPS,QZSS,GLONASS, Galileo 等） ➢ 航空機用無線標識 VOR(方位)/DME(距離)	➢ GNSS（GPS,QZSS,GLONASS,Galileo 等）
	着陸誘導	➢ ILS(GP/LOC/MB) ➢ PAR(精測進入レーダ) ➢ ASDE(空港面探知レーダ) ➢ SBAS(衛星型衛星航法補強システム) ➢ GBAS(地上型衛星航法補強システム)	➢ GNSS（水平／高度） ➢ SBAS/GBAS(衛星航法補強システム) ➢ 環境認識装置 ✓ 安全確保、危険検出装置 ➢ 意思決定システム ➢ 空間情報統合システム ➢ 各種センサ ✓ ビジョンポジショニングセンサ ✓ （画像照合航法） ✓ 障害物検知センサ ✓ 高度センサ ✓ 測距センサ ✓ 方位センサ

出所）国土交通省　用語集　https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2022 年 2 月 10 日）

既存有人機航法システムでは表 2.4.2-32 に示すように航空機の位置を把握・誘導するシステムと空港へ着陸誘導するシステムがあり、位置把握・誘導システムでは、測位衛星を利用した全地球的航法衛星システム(GNSS)や航空機からの問い合わせに対し情報を提供する航空機用無線標識がある。

既存の有人機航法システムに対し、空飛ぶクルマの航法システムでは将来的に無線標識やレーダ設備等の協調型地上インフラ設備が空飛ぶクルマの成熟度レベルに応じて有人機と共用または空飛ぶクルマ専用設備として今後検討されていくと考えられる。一方で重量制限や供給電力に制限がある空飛ぶクルマでは、非協調型でさらに高精度な航法装置を実現するためには飛行制御システムに連動した高精度な環境認識装置や危険検出装置、意思決定システム、空間情報統合システムなどが必要であり、それら装置に与える情報を提供するセンサが重要な要素技術となる。

(2) 監視の技術概要

監視では既存民間有人航空機の運用に使用される監視・衝突回避システムを調査し、これらの機能が空飛ぶクルマではどのような監視システムとして構成されるかを整理し

た。既存有人機の監視システムでは表 2.4.2-34 に示すように地上レーダ、機上レーダ、機上通信による監視システムがある。

表 2.4.2-34 既存有人航空機で使用されている監視・衝突回避システム

種別	既存有人機監視システム(民間)		用途
監視	地上レーダ	航空路監視レーダ：ARSR 洋上航空路監視レーダ：ORSR	レーダにより航空機の位置を検出する他、信号の送受信により、飛行中の航空機の高度や識別番号などの情報を取得するシステム ARSR は航空路を飛行している航空機の誘導と間隔設定に使用するレーダ ORSR は主に洋上の航空路を飛行している航空機の誘導と間隔設定に使用するレーダ
		空港監視レーダ ASR：SSR(2 次監視レーダ) PSR(1 次監視レーダ)	空港から一定空域にある航空機の位置を探知し、出発・進入機の誘導及び航空機相互間の間隔設定等ターミナル管制業務に使用するシステム
	機上レーダ	航空機用気象レーダ	雷雲などの悪天候領域を探知する気象観測レーダ装置
		ドップラーレーダ	対地速度と偏流角(WCA)を算出する航法用レーダ装置
	機上通信	放送型自動従属監視：ADS-B	航空機の動態情報を機体間および地上管制施設に対して放送するシステム。実現システムとしては ATC トランポン SSR(Secondary Surveillance Radar)モードＳ拡張信号（スキッタ）、UAT(Universal Access Transceiver) 、VDL(VHF Digital Link)モード４がある。
		空中衝突防止装置：TCAS	航空機同士が空中衝突する危険回避するためのアビオニクス装置。航空機の周囲を監視し、他の航空機の存在を操縦士に警告するシステム
		GNSS	全地球的航法衛星システム（GNSS）を用いて機体の水平位置／高度を算出
		マルチラテレーション：MLAT	空港内及び空港周辺上空の航空機を監視するシステムで、航空機のトランスポンダから送信される信号（スキッタ）を３カ所以上の受信局で受信し、受信時刻の差から航空機等の位置を測定する監視システム

出所）国土交通省　用語集　https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2022 年 2 月 10 日）

表 2.4.2-35 既存有人機監視システムと空飛ぶクルマで想定される監視システム

種別	既存有人機監視システム(民間)	空飛ぶクルマで利用が想定される監視システム
監視 衝突 回避	➢ 地上レーダ ✓ ARSR（航空路監視レーダ） ✓ ORSR（洋上航空路監視レーダ） ✓ ASR（空港監視レーダ） ➢ 機上レーダ ✓ 気象レーダ ✓ ドップラーレーダ ➢ 機上通信 ✓ ADS-B（放送型自動従属監視） ✓ TCAS(空中衝突警報) ✓ GNSS（全地球的航法衛星システム） ✓ MLAT(マルチラテレーション) ➢ 搭載センサ ✓ 高度/速度/温度/姿勢/方位/気圧等 ➢ 対地高度計（地上接近警報）	➢ 小型 ADS-B ➢ RemoteID(直接放送方式/ネットワーク方式) ➢ 搭載センサ ✓ 超音波センサ(水平／垂直／高度) ✓ 光学センサ及び障害物検知 ✓ レーダ(障害物検知) ✓ 気圧センサ(高度) ➢ ATC トランスポンダ

出所）国土交通省　用語集　https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成
（閲覧日：2022 年 2 月 10 日）

空飛ぶクルマの監視システムでは将来的にはレーダ設備や通信システム等の協調型地上インフラ設備が空飛ぶクルマの成熟度レベルに応じて有人機と共用または空飛ぶクルマ専用設備として検討されていくと考えられる。一方で重量制限や供給電力に制限がある空飛ぶクルマでは、既存システムの小型化や新たな監視システム、衝突防止装置への依存度が高くなると推測される。

(3) 空飛ぶクルマ向け航法・監視システムの開発例

これらの技術の海外動向例として、開発されている航法・監視システム、使用されているセンサ及び企業名一覧を表 2.4.2-36 に示す。

表 2.4.2-36 海外で開発されている空飛ぶクルマ向けの監視・航法システム、各種センサ

企業名	センサ／システム名	センサ／システム種別	機能	目的
Volocopter	voloCHRIS	・環境認識装置／ナビゲーション装置／安全確保,危険検出装置／意思決定システム／空間情報統合システム ・搭載センサ:赤外・電気光学カメラ、長距離レーダ、高度計、GNSS[1]システム:FMS[2]、ミッションコントロール、ランタイムモニタ	・センサによるセンシング ・危険物検出、認識 ・衝突回避、飛行ルート等の意思決定 ・空域管理システム連携	・自律飛行及び機体制御支援 ・空域管理システム連携
Airbus	Vahana Alpha	・衝突回避システム ・搭載センサ：レーダ、カメラ、LIDAR、エアデータプローブ[3]、GPS、IMU[4] などの機体位置・傾き取得センサ	・センサによるセンシング ・機械学習による知覚認識 ・衝突回避、飛行ルート等の意思決定	・自律飛行及び機体制御支援
uAvionix	truFYX	・GPS	・複数の GNSS(GPS12ch)及び SABS(3ch)1 と連携	・位置データ提供
	tailBeaconX	小型 ADS-B out/トランスポンダ	・モード S 拡張信号（スキッタ）ADS-B out/トランスポンダ、GPS アンテナ受信機含む	・近隣航空機への ADS-B 位置情報の送信
	SkyEcho	小型 ADS-B in/out/トランスポンダ、受信機	・モード S 拡張信号（スキッタ）、ADS-B in/out/トランスポンダ､GPS アンテナ受信機含む	・近隣航空機との ADS-B 位置情報の送受信
	pingRX	小型 ADS-B 受信機	・ADS-B 信号受信	・近隣航空機の ADS-B 位置情報の受信

1) 全地球航法衛星システム, 2) 飛行管理システム, 3) 迎え角、横滑り角、流速、高度を測定, 4) 慣性測定ユニット

出所）Wing Ober Quebec「The two challenges of the Bell Nexus project」,
https://www.wingsoverquebec.com/?p=8301 、 uAvionix「Fly Without Boundaries」,
https://uavionix.com/products/tailbeaconx/、uAvionix「Shaping the Future of Avionics」,
https://uavionix.com/uam/などの各種情報を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2022 年 2 月 10 日）

⑦ 地上システム

(A) フリート管理システム・交通管理システム

NASA UAM Vision ConOps UML4 v1.0 においては、フリート管理者と Provider of Services to UAM (PSU)の役割が定められている。それに基づくと、フリート管理シス

テムと交通管理システムの役割は以下のとおり想定される。

表 2.4.2-37 フリート管理システムと交通管理システムの役割

システム名	主な役割
フリート管理システム	• 自社の管理下にある航空機の運航を管理し、各フライトを安全に実施するためのシステム。 • 規制要件の充足、フライトの計画・実行、運航意図情報の共有、安全な運航の実施のためのシステム。
交通管理システム ※Provider of Services to UAM (PSU) および PSU network より作成	• ステークホルダに共通の運航状況といった状況認識を提供するためのデータ交換プラットフォームを提供する。 • 運航計画、UAM 航空機間のデコンフリクション、適合性の監視、緊急時の情報発信などを支援する。 • 交通管理サービスを提供し、安全な情報交換のためのフレームワークを提供し、飛行計画（飛行経路など）を支援する。

出所）NASA UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)4 version 1.0 に基づき三菱総合研究所作成

フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能は、運航フェーズごとに以下の機能を有する必要がある。

表 2.4.2-38 フリート管理システムと交通管理システムの運航フェーズごとの機能

	飛行前	離陸	上昇・巡航	降下	着陸・地上走行・降機
フリート管理システム	• 運航計画を提出 • 乗客情報と目的地を検証 • ディスパッチ（フライトプラン作成）の役割を担う	• 地上走行、離陸許可を承認する	• 運航計画に沿っているかをモニタする • 航空機の状況をモニタする • 交通管理システムと航空機のオープンなデータ交換を維持する • 必要に応じて目的地の変更を行う	• 運航計画に沿っているかをモニタする • 航空機の状況をモニタする • 交通管理システムと航空機のオープンなデータ交換を維持する	• 運航計画に沿っているかをモニタする • 航空機の状況をモニタする • ゲートを割り当てる(UAM 空港運用者と共有する) • 航空機がターンアラウンドの準備ができていることを確認する
交通管理システム	• 戦略的（飛行前の）コンフリクト解決と解決策の交渉を行う	• 地上走行、離陸許可および出発順序に関するコマンドを配信する	• 運航計画に沿っているかをモニタする • 運航計画の更新を伝達 • 戦術的（飛行中）のコンフリクト解決	• 運航計画に沿っているかをモニタする • 順序とルート変更の情報を伝達 • 着陸許可を発出する	• 着陸に関してすべての問題がないことを確認 • 地上走行指示を発出 • 運航計画をクローズする

			を支援 • オープンなデータ交換を維持する		

出所）NASA UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)4 Overview に基づき三菱総合研究所作成

フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能は、欧州 U-space コンセプトに基づき下記機能と想定した。（米国の場合も、運用コンセプトは異なるものの同程度の機能が具備されるものと想定。）

表 2.4.2-39 フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能

	識別と位置特定	空域管理	ミッション管理	コンフリクト管理	緊急時管理	運用状況モニタリング	表示環境管理	ATCとの接続
サブ機能1	登録	ジオアウェアネス	運用プラン準備/最適化	戦略的コンフリクト解決	緊急事態マネジメント	モニタリング	気象情報	ATCとの手続き上のインターフェース
サブ機能2	登録支援	ドローン航空情報(AIS)管理	運用プラン処理	戦術的コンフリクト解決	インシデント・事故報告	交通情報	地理空間情報サービス	ATCとの協調的インターフェース
サブ機能3	e-identification	ジオフェンス提供(動的ジオフェンス含む)	リスク分析支援		市民レポーティングサービス	航法インフラモニタリング	人工密度マップ	
サブ機能4	追跡(位置レポートの提出)		動的容量管理			通信インフラモニタリング	電磁波干渉情報	
サブ機能5	監視データ交換					法的記録	航法覆域情報	
サブ機能6						デジタルログブック	通信覆域情報	

凡例 U1 U2 U3

出所）各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

(B) 給電システム

電動航空機や eVTOL 向けの給電システムとしては、表 2.4.2-40 に示すとおり、小型で 22kW という低出力の充電を可能とする SKYCHARGE Mobile や、エネルギー貯蔵システム（BESS）と統合し 500kW という高出力の充電を可能とする Beta チャージパッドが製品として出てきている。eVTOL 向けとして、 BESS は将来的に効率的な給電方式として NASA 調査報告書でも挙げられている。軽量化・縮小化が課題であり、その解決策としてバッテリ交換方式も構想されているが、米国・欧州でも航空局の認証を受けるに至っておらず、製品化は未だである。

表 2.4.2-40 各社の給電システム製品性能

会社名	Green Motion/Pipistrel		Beta
モデル	SKYCHARGE Mobile	SKYCHARGE 40	Beta Charging Pad
写真			
充電出力	1 × 22kW	2 x 20 kW 1 x 40 kW	1 × 500 kW
充電時間	約 2 時間(21kWh の機体の場合)	約 1 時間(21kWh の機体の場合)	約 1 時間(350kWh の機体の場合)
出力電圧	530V DC	不明	480V, 208V, 120V DC
給電方式	エンド・ツー・エンド	エンド・ツー・エンド	エネルギー貯蔵システム（BESS）

出所）以下の出所に基づき三菱総合研究所作成

- POPOSTREL, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/charging-infrastructure/
- WIRED, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://www.wired.com/story/rest-stop-flying-cars-recharge/
- greenmotion, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://greenmotion.ch/en/products/skycharge、https://greenmotion.ch/en/products/skycharge
- SEMIKRON, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: https://www.semikron.com/jp/applications/charging-stations-for-electric-vehicles/application-examples.html

(C) 気象システム

気象システムについては、ドローンを活用した気象情報収集とドローン向けの気象情報 API が製品として提供されている。

表 2.4.2-41 気象情報に関する製品一覧

分類	事業・製品名称	提供事業者名	国
ドローンを活用した 気象情報収集	METSIS（実証プロジェクト）	NLR and Airhub	アメリカ
	MeteoDrone	Meteomatics	スイス
ドローン向けの 気象情報 API	Airmap/Weather Data	Weather Company (IBM)	アメリカ
	Meteomatics Weather	Meteomatics	スイス
	ClimaCell	Clima Cell	アメリカ
	Dark Sky	Darkskyapis	アメリカ
	Sferic API	earthnetworks	アメリカ

(D) 3D マップ

ドローンを活用した地図情報収集のためのソフトウェア製品一覧を以下に示す。様々な企業が参入しており、企業間の提携も行われている。

表 2.4.2-42 ドローンを活用した地図情報収集の製品一覧

事業・製品名称	提供事業者名	国
Pix4Dcapture	Pixd4D	スイス
DroneDeply	DroneDeply	アメリカ
Propeller	Propeller Aerobotics	豪州
Precision Mapper	PrecisionHawk	アメリカ
DJI Terra	DJI	中国

5.3.3. 技術ロードマップの策定

① 技術ロードマップの考え方と策定方針

成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値と、それを実現するための方式を整理し、技術ロードマップとして取りまとめた。

表 2.4.2-43 に、要素技術のロードマップで整理した技術項目及び整理した主な技術・方式例を示す。また、成熟度レベル 4 を想定した場合、各要素技術がどのステークホルダに必要な技術として位置付けられるかの関係を図 2.4.2-17 に示す。

表 2.4.2-43 要素技術の整理

技術項目		整理対象の技術・方式例
機体		Multirotor、Tiltrotor
動力		モータ、ギヤ、インバータ、冷却機構
電源	蓄電	LiB、Advanced LiB、Beyond LiB
	発電	燃料電池、エンジン発電機
装備品	CNS装備品	通信、航法、監視
	FMS	－
	制御システム	－
	DAA(衝突回避)	協調方式、非協調方式、対地接近
	クラッシュワージネス	座席、フローティング、姿勢安定・降下率低減
製造技術	構造材料	熱硬化材／熱可塑材、オートクレーブ／プレス成形
	アセンブリ技術	ファスナー、熱可塑・熱硬化、溶着
CNS (通信・航法・監視)	通信	航空通信、衛星通信、HAPS、セルラー、RFネットワーク、C帯(航空移動)
	航法	GNSS、SBAS/GBAS、PNT、RFビーコン、地形・地上構造物データベース
	監視	二次レーダ、一次レーダ、マルチラテレーション、IRセンサ、音響センサ
地上システム	交通管理システム	交通流管理、ポート管制、空域管制
	フリート管理システム	飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、スケジュール管理
	給電システム	コンダクティブ充電、電池交換充電、非接触充電
	気象システム	情報(視程、雲底、風、雨、CB)、情報ソース(観測、予測)、情報連携
	3Dマップ	情報(動的データ、仮想データ、障害物情報、地図情報)

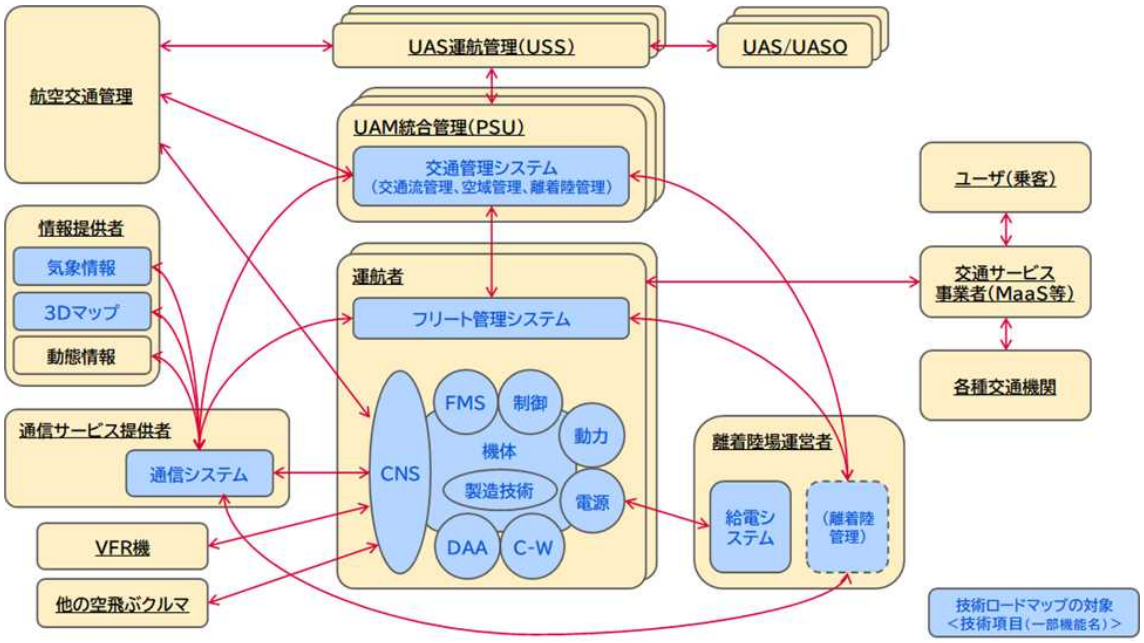


図 2.4.2-17 要素技術とステークホルダの整理（成熟度レベル 4 を想定）

また図 2.4.2-18 に、要素技術毎のロードマップ策定の前提として、成熟度レベルに示した自動化レベルに対応する、機体と地上システム（運航オペレータ及び PSU）の自動化レベルの分担や、空飛ぶクルマが飛行する空域、他の VFR 機や無人航空機等との混在環境に関するロードマップを示す。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
システム毎の自動化レベル	機体(制御)	Secondary level	Primary level		Fully Automated		
	機体(認知・判断)	Manual		Secondary level	Primary level	Fully Automated	
	運航オペレータ	Manual		Secondary level		Primary level	Fully Automated
	PSU	–	–	Manual	Secondary level	Primary level	Fully Automated
飛行環境	空域	• 非管制区域	• 非管制区域／管制区域 • コリドー(空港周辺のみ)	• 非管制区域／管制区域 • コリドー(ルート全体)	• 拡張されたコリドー("空飛ぶクルマ飛行区域") • 非管制区域／管制区域	• 主に"空飛ぶクルマ飛行区域"	
	VFR機/UASとの混在	• 予め空域分離	• VFR機やUASと混在	• コリドー内はVFR機含め一定ルールに基づき飛行 • UASとはPSUを通じ調整済			
	運航ルール	–	–	• 一部、CBRに基づく運航	• CBRの拡大		

図 2.4.2-18 要素技術のロードマップ（前提となるシステム毎の自動化レベルと飛行環境）

② 機体

(1) 指標の選定

指標については機体仕様に関する項目と自動化機能に関する項目、受容性に関する項目の 3 項目を設定した。

機体仕様については、各成熟度レベルに対応した旅客輸送を実現するサービス性能

と、それに対応する推進方式、全備重量等を選定した。

自動化機能については、パイロットのタスクを12種類に細分化し、各タスク項目の自動化レベルをSecondary level、Primary level、Fully Automatedの3段階で整理した。Secondary Levelはパイロットがメインで操作を実施し自律機能は通知・サポートに留まるレベル、Primary Levelはパイロット監視の下で自律機能が主体的に操作するが異常時はパイロットが介入するレベル、Fully Automatedではパイロットが不要なレベル、とした。

受容性については騒音と排気物の観点から整理した。

(2) 要求値の考え方

機体仕様に関する要求値については、代表的な推進方式として、マルチロータ式及びティルトロータ式（Vectored Thrust方式）に分け、それぞれ成熟度レベルや運航イメージを踏まえた要求値を設定した。

- マルチロータ方式
  - Volocopter社Volocity（プロペラス：18）
- ティルトロータ方式
  - Joby社S-4（プロペラ数：6）
  - BELL社Nexus4EX（プロペラ数：4）
  - BELL社Nexus6HX（プロペラ数：4）

自動化機能については、成熟度レベルに定義した自動化レベルを実現する上で必要となる、機体のパイロットタスクごとの自動化レベルを3段階で整理した。各パイロットタスクの概要を以下に示す。

- Basic Airmanship/テクニカルスキル
  - 通常操作手順・非通常操作手順・基本的な操縦操作などのテクニカルスキル全般を指しており、自動化が一番容易なタスクである。
- Sence & Avoid/周辺監視・回避
  - 他機の認識・衝突回避、気象状況の認識・悪天認識・回避、障害物認識・回避等の運航に関与する周辺監視・回避を指す。
- Navigation/航法
  - 機体位置の特定機能に加えて、指定された位置への移動も含めた機能である。
- System Management/機体システム管理
  - Battery Management（例：温度管理）やシステムの異常検知などのHealth Monitoring全般を指す。
  - 異常を表示してパイロットに知らせるのか、表示するだけでなく制御まで行うのか等の機能の範囲は成熟度レベルや、設計思想で変わる。
- Planning/飛行計画
  - ブリーフィング、離陸・上昇、巡航、降下・着陸、スポット移動等、飛行のあらゆるフェーズにおける飛行計画を指す。

- Decision Making/運航判断
  - 通常・非通常状態における意思決定・判断全般を指すものであり、離着陸の判断に関してはTake Off & Landingに整理することとした。
- Take Off & Landing/離着陸判断・操作
  - 旅客機の自動着陸のイメージ（Category 3）に基づいた離着陸時の判断・操作までを指しており、自動着陸のできる要件が揃った前提で自動着陸が可能となる。
- Emergency procedure/緊急操作手順
  - 非通常操作手順の中でもより緊急度が高い操作タスク（例：バッテリ火災、遭難、不時着水）を指す。なおタスクの緊急度までは言及しない。
  - 緊急度の高いタスク全てを自動化した場合はパイロットの警戒を損なう可能性もあるため、全て自動化するのか、最後のタスクはパイロットが担うのかについては技術の進展・設計思想で変わることに注意が必要である。
- Preflight Check/飛行前確認
  - 飛行前の外部点検、飛行に必要な点検・確認作業のタスクを指す。
- Communication/通信
  - 通信に関する諸作業を指す。
- Terminal Procedure/離着陸手順（管制とのやり取り）
  - 飛行場周辺でのタスク全般を指しており、管制承認の要求・受領・待機や着陸空港の状況（例：気象：他機・スポット等）確認、管制の指示に従った飛行・位置通報等を含む。
- Passenger Management/乗客管理
  - 乗客の要望（通常・非通常）や状況（例：急病、ハイジャック）に対するタスク全般を指す。
  - パイロット不在時は乗客の状態を知らせる機能が必要となる。乗客自体が緊急ボタンを押す・ハイジャックされた場合は、遠隔操作に切り替わるなどの対応が考えられる。

(3) ロードマップ

図2.4.2-19に機体のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、まず運航イメージに基づき成熟度レベル4以降は航続距離の延伸（200km以上の移動距離や離着陸時の給電を伴わない連続的な運航も考慮）や乗客数の増加（16人乗りを考慮）に対応するため、固定翼を有するVectored Thrust方式やLift and Cruise方式による対応が必要となる。

成熟度レベル4に該当する自動化レベルの実現時期は、NASAやSESARのConOpsを踏まえると2030年頃以降が想定される。今後、飛行試験や性能評価、認証取得におけるシミュレーション技術の活用について検討が必要である。

<table>
<tr><th colspan="3"></th><th>レベル1</th><th>レベル2</th><th>レベル3</th><th>レベル4</th><th>レベル5</th><th>レベル6</th></tr>
<tr><td rowspan="8">マルチローター仕様</td><td>推進</td><td>推進方式</td><td colspan="6">Multi Rotor</td></tr>
<tr><td rowspan="3">全備重量</td><td>2人乗り [kg]</td><td colspan="6">1,149</td></tr>
<tr><td>5人乗り [kg]</td><td>–</td><td>–</td><td colspan="4">2,498-2,680</td></tr>
<tr><td rowspan="4">サービス性能</td><td>航続距離[km]</td><td>10</td><td>50</td><td colspan="4">100</td></tr>
<tr><td>速度 [km/h]</td><td colspan="6">100</td></tr>
<tr><td>ペイロード [kg]</td><td colspan="2">200</td><td colspan="4">500</td></tr>
<tr><td>座席数 (含Pilot) [人]</td><td colspan="2">2</td><td colspan="4">5</td></tr>
<tr><td>飛行特性</td><td>上昇速度 [ft/min]</td><td colspan="6">500</td></tr>
<tr><td rowspan="8">ティルトローター仕様</td><td>推進</td><td>推進方式</td><td>–</td><td colspan="5">Tilt Rotor</td></tr>
<tr><td rowspan="3">全備重量</td><td>5人乗り、回転面荷重: 50kg/m²程度 [kg]</td><td>–</td><td colspan="4">1,949-1,952</td><td>–</td></tr>
<tr><td>5人乗り、回転面荷重: 100kg/m²程度 [kg]</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td colspan="3">1,787</td></tr>
<tr><td>16人乗り</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td colspan="3">6,065</td></tr>
<tr><td rowspan="4">サービス性能</td><td>航続距離[km]</td><td>–</td><td>50</td><td>100</td><td>200</td><td>400</td><td>600</td></tr>
<tr><td>速度 [km/h]</td><td>–</td><td colspan="4">240</td></tr>
<tr><td>ペイロード [kg]</td><td>–</td><td colspan="2">500</td><td colspan="3">500/1,600</td></tr>
<tr><td>座席数 (含Pilot) [人]</td><td>–</td><td colspan="2">5</td><td colspan="3">5/16</td></tr>
<tr><td>飛行特性</td><td>上昇速度 [ft/min]</td><td>–</td><td colspan="4">500</td></tr>
<tr><td rowspan="13">自動化機能
(パイロットタスク)</td><td>テクニカルスキル</td><td>Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td colspan="3">Fully Automated</td></tr>
<tr><td>周辺監視・回避</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td colspan="2">Fully Automated</td></tr>
<tr><td>航法</td><td colspan="2">Secondary level</td><td>Primary level</td><td colspan="3">Fully Automated</td></tr>
<tr><td>機体システム管理</td><td colspan="2">Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>飛行計画</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>運航判断</td><td>–</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td>Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>離着陸判断・操作</td><td colspan="2">Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>緊急操作手順</td><td>–</td><td colspan="2">Secondary level</td><td>Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>飛行前確認</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td>Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>通信</td><td>–</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>離着陸手順
(管制とのやり取り)</td><td>–</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td colspan="2">Primary level</td><td>Fully Automated</td></tr>
<tr><td>乗客管理</td><td>–</td><td>–</td><td>Secondary level</td><td>Primary level</td><td colspan="2">Fully Automated</td></tr>
<tr><td rowspan="2">受容性</td><td>騒音</td><td colspan="2">人口密集地外(既存ヘリポート等)で許容されるレベル</td><td colspan="2">交通拠点等で許容されるレベル</td><td colspan="2">商業・オフィスビル等で許容されるレベル
住宅地等で許容されるレベル</td></tr>
<tr><td>排気物</td><td colspan="2">従来ヘリレベル(既存ヘリポート等における離着陸想定の為)</td><td colspan="4">自動車レベル(人口密集地における離着陸を想定のため)</td></tr>
</table>

図 2.4.2-19 要素技術のロードマップ（機体）

③ 動力

(1) 指標の選定

動力については、機体の検討結果を踏まえ、マルチロータ方式の機体とティルトローター式の機体の 2 種類に対応した動力の指標を設定した。

(2) 要求値の考え方

要求値については、機体の検討において前提としたマルチロータ式、ティルトローター式の機体を前提として、前述の指標についてのモータシステムとしての要求値を算定した。

電動モータの基本的な性能項目である出力密度については、機体仕様に対応した値を

算定した。フェイル時の短期的な出力密度については、120秒間のホバリングを想定した出力密度を設定した。マルチロータ方式については18ロータ中2ロータがフェイル、ティルトロータ方式については6ロータ中1ロータがフェイルした場合でもホバリング可能な出力を考慮した。

システム平均効率は技術動向を見据えて設定した。寿命については、運航イメージをもとに設定した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、モータを中心とした動力システムを構成する部品として、モータ、ギヤ、インバータ、冷却機構を取り上げ、成熟度レベル毎に、要求値を踏まえて想定される技術方式を整理した。

(4) ロードマップ

図2.4.2-20に動力のロードマップを示す。

要求値、方式・種類共に、機体の推進方式であるマルチロータ方式、ティルトロータ方式に分けて、成熟度レベル毎の要求値と方式を整理した。

次世代モータ開発指針によれば、2030年頃までに、モータ単体で8kW/kg、モータシステムで3kW/kgの出力密度、効率85%以上が目標とされている。フェイル時の短時間出力への対応は技術的な課題となることから、モータの性能向上とフェイル時の運用シナリオの両面から対応の検討が必要となる。また、特にフェイル時等の発熱に対する冷却機構が課題となる。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
機体仕様1（マルチロータ）	要求値	出力密度(kW/kg)@短期(120sec)	2.0	3.5	4.8	–	–	–
		出力密度(kW/kg)@定格	1.2	2.1	2.9	–	–	–
		システムの平均効率(%)	90	90	95	–	–	–
		トルク密度(Nm/kg)	(駆動方式に合わせて出力密度を実現可能なトルク密度を実現)					
		作動領域	(駆動方式に合わせて作動領域を設定)					
		寿命(作動時間)	350	1,250	5,000	–	–	–
	方式・種類	モータ	(ラジアル)	(ラジアル/アキシャル)	(アキシャル)	–	–	–
		ギヤ	(駆動方式を問わず、システムTotalで要求出力密度/要求効率を実現 ※ギアの場合はギア重量/効率を含む)					
		インバータ	(Si)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)
		冷却機構	(水冷/空冷)	(水冷/空冷)	(空冷)	–	–	–
機体仕様2（ティルトロータ）	要求値	出力密度(kW/kg)@短期(120sec)	–	4.0	4.2	5.3	7.8	8.6
		出力密度(kW/kg)@定格	–	1.3	1.4	1.7	2.6	2.8
		システムの平均効率(%)	–	90	90	95	95	95
		トルク密度(Nm/kg)	(駆動方式に合わせて出力密度を実現可能なトルク密度を実現)					
		作動領域	(駆動方式に合わせて作動領域を設定)					
		寿命(作動時間)	–	1,000	3,500	5,000	10,000	50,000
	方式・種類	モータ	–	(アキシャル)	(アキシャル)	(アキシャル)	(アキシャル)	(アキシャル)
		ギヤ	(駆動方式を問わず、システムTotalで要求出力密度/要求効率を実現 ※ギアの場合はギア重量/効率を含む)					
		インバータ	–	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)
		冷却機構	–	(空冷)	(空冷)	(空冷)	(空冷)	(空冷)

図 2.4.2-20 要素技術のロードマップ（動力）

④ 電源

(1) 指標の選定

電源については、動力と同様、機体の検討結果を踏まえ、成熟度レベルに対応した機体仕様に関連付けること、成熟度レベルの向上に対応したバッテリ等の性能向上を表現する観点から、以下の指標を選定した。

- 容量密度
- 出力密度
- サイクル寿命
- システム電圧

(2) 要求値の考え方

要求値については、機体仕様に基づく電源への要求性能としては、マルチロータ方式、ティルトロータ方式の推進方式や、航続距離、機体重量等の機体仕様により異なるが、機体の詳細調査結果に基づく、成熟度レベル毎に想定される複数の機体仕様を総合的に考慮して、バッテリの要求値を設定した。

要求値の算定に当たっては、以下の条件を前提とした。

- サイクル要件

- 飛行時間：20 分
- 平均出力：400kW
- 頻度：24 サイクル/日

● パック化重量係数（バッテリパック重量/バッテリセル重量）

- 空冷の場合：1.25
- 水冷の場合：1.5

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、給電方式としてフル電動と、蓄電・発電のハイブリッドの双方の観点から、成熟度レベル毎の要求を満たす方式の検討を行った。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-21 に電源のロードマップを示す。容量密度と出力密度、サイクル寿命はトレードオフとなるが、本ロードマップでは、それぞれ個別に要求仕様を示している点に留意が必要である。

成熟度レベル 4 の実現には、Li-S、Li-Air 等の Beyond LiB の開発が必要である。

成熟度レベル 5・6 の要求値については、現状の技術見通しではバッテリによる実現の見込みは立たないレベルであり、発電機と組み合わせたハイブリッド方式の採用が必要である。但し、レベル 5 及び 6 については、機体の航続距離や乗員数の要求を高度に設定しているため、電源の要求値も高くなっていることに留意が必要であり、成熟度レベル 5・6 の全てのユースケース・運航について、当該要求値を満足する必要がある訳ではない。

燃料電池については、海外の開発事例として、空冷式水素燃料電池システムにより容量密度 1500Wh/kh を達成しつつ、出力密度 2,000W/kg を実現しているとしている。我が国においても今後高度な成熟度レベルを実現する上での注力技術となり得る。

<table>
<tr><th colspan="3"></th><th>レベル1</th><th>レベル2</th><th>レベル3</th><th>レベル4</th><th>レベル5</th><th>レベル6</th></tr>
<tr><td rowspan="5">要求値</td><td colspan="2">容量密度(Wh/kg)</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>550</td><td>1,000</td><td>1,500</td></tr>
<tr><td colspan="2">出力密度(W/kg)</td><td>400</td><td>600</td><td>1,000</td><td>1,500</td><td>2,000</td><td>2,500</td></tr>
<tr><td colspan="2">セル換算容量密度(Wh/kg)</td><td>250</td><td>375</td><td>500</td><td>688</td><td>1,250</td><td>1,875</td></tr>
<tr><td colspan="2">サイクル寿命(回)</td><td>500</td><td>500</td><td>1,000</td><td>1,500</td><td>2,000</td><td>4,000</td></tr>
<tr><td colspan="2">システム電圧(V)</td><td>500</td><td>800</td><td>900</td><td>1,000</td><td>1,000以上</td><td>1,000以上</td></tr>
<tr><td rowspan="8">方式・種類</td><td rowspan="2">給電方式</td><td>フル電動
(容量密度重視)</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td>ハイブリッド
(出力密度重視)</td><td colspan="2">－</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td rowspan="2">電源種類</td><td>蓄電</td><td colspan="2">Current LiB</td><td>Advanced LiB</td><td>Beyond LiB</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td>発電</td><td colspan="2">－</td><td colspan="4">燃料電池・エンジン発電機</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料</td><td>正極材料</td><td colspan="3">金属酸化物系</td><td>金属化合物など</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td>負極材料</td><td>炭素系材料</td><td>炭素系材料＋
シリコン系材料</td><td>シリコン系材料</td><td>金属Liなど</td><td colspan="2">－</td></tr>
<tr><td colspan="2">BMS</td><td colspan="6">充電率の最適化(SOC)</td></tr>
</table>

図 2.4.2-21 要素技術のロードマップ（電源）

⑤　装備品

装備品のロードマップとしては、まずは交通管理・フリート管理の視点から機体に求められる基本機能を整理した上で、装備品全体として実現すべき基本的な機能要求を整理した。

(A) 装備品の基本機能

(1) 指標の選定

個別の装備品のロードマップ策定の前提として、装備品全般に係る基本的な機能要求を整理した。

交通管理・フリート管理の視点から機体に求められる基本機能としては、以下の指標を選定した。

- 人間の関与の方式
- 提供情報の種類
- 提供情報の位置づけ
- 経路変更の方法

装備品全体への基本的な機能要求としては、以下の項目毎に整理すると共に、HMI への機能要求を整理した。

- オンボード
- リモートパイロットステーション
- 自律機のモニタリング
- HMI

(2) ロードマップ

図 2.4.2-22 に装備品の基本機能に関するロードマップを示す。

各成熟度に対応した自動化レベルの定義及び機体におけるパイロットタスクの自動化進展に対応し、交通管理・フリート管理に求められる基本機能（インテント（飛行意図）情報の共有、およびそれを活用した経路調整・変更）と機体（装備品）への機能要求を整理した。特に成熟度レベル 4・5 あたりから機体の高度な自律化が進むことを踏まえ、共有される情報の拡大・高度化が進み、空域全体を考慮した協調的な自律飛行が可能となる流れを整理した。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
求められる基本機能	人間の関与の方式	オンボードパイロット		リモートパイロット		自律機のモニタリング	
	提供情報の種類	他機動態情報共有	他機インテント情報共有		空域インテント情報共有		
	提供情報の位置づけ	アドバイザリ情報			安全を担保する情報		
	経路変更	マニュアル	システムから提案（Secondary Level）		自動（Primary Level）	空域全体を考慮した協調的な判断（Fully Automated）	
装備品全体への基本的な機能要求	オンボード	VFR機パイロットへの動態情報提供（アドバイザリ情報として）	VFR機パイロットへインテント（飛行意図）を含めた情報提供、自機パイロットへ経路変更提案（アドバイザリ情報として）		VFR機パイロットへインテント（飛行意図）を含めた情報提供、自機経路の自動変更（安全を担保する情報として）		
	リモートパイロットステーション（遠隔操縦）	－	－	他のリモートパイロットへインテントを含めた情報提供、自機リモートパイロットへ経路変更提案	リモートパイロットへインテントを含めた情報提供、自機経路の自動変更		
	自律機のモニタリング	－	－	－	－	多数機・新しい飛行方式のモニタリングに対応するパイロットステーション	
	HMI	シングルパイロットが利用可能なインターフェイス（情報読み取り）		シングルパイロットが利用可能なインターフェイス（情報発信）	安全機能として認証レベルのインターフェイス	多数機・新しい飛行方式のモニタリングに対応するインターフェイス	

図 2.4.2-22 要素技術のロードマップ（装備品の基本機能）

(B) CNS 装備品

(1) 指標の選定

CNS 装備品については、データリンク、航法（衛星航法、バックアップ航法）、監視を指標として設定した。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-23 に、CNS 装備品のロードマップを示す。

機上のパイロットが不在となる成熟度レベル 3 以降は、遠隔操縦・遠隔監視になることを踏まえ、データリンクの伝送情報の増加、離着陸にも対応可能な航法精度および信頼性、空域全般に対応した監視装置等が求められるものとした。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	データリンク		データリンク搭載（動態情報）	データリンク搭載（インテント情報）	伝送情報の増加（C2、気象情報等）			
	航法	衛星航法	－	高精度・高信頼性（巡航フェーズ）	高精度・高信頼性（離着陸フェーズ）	高精度・高信頼性（対応範囲拡大、都市部等）		
		バックアップ航法	－	－	－	衛星航法大規模コンティンジェンシー時に飛行を安全に終了するための機能が必要		
	監視	低高度動態情報共有のための従属監視	－	離着陸場周辺における従属監視	一般空域における従属監視			

図 2.4.2-23 要素技術のロードマップ（CNS 装備品）

(C) FMS

(1) 指標の選定

FMS（Flight Management System）は、飛行管理、システムマネージメント、乗客管理に関する機能を担う技術である。ロードマップの指標としては、自動・自律運航の実現や周辺システムとの連携の観点から、以下を指標として設定した。

- 経路設定
- 動力・バッテリ管理
- 機体システム管理
- 乗客管理

なお、動力・バッテリ管理は機体システム管理の一部であるが、独立して整理することとした。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-24 に、FMS のロードマップを示す。

経路設定に関しては、装備品の基本機能における経路変更機能と関連付けて整理した。なお既存機体については、特に成熟度レベル 3 までは、EFB（Electronic Flight Bag）等の後付けデバイスでの対応も選択肢として想定される。

機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応から、成熟度レベル 1～3 はパイロットの判断が管理の主体となるが、成熟度レベル 4 以降は判断の自動化が管理の主体となるものとした。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	経路設定	手動設定	経路変更を自動提案／地上から受信。パイロットが承認して変更。		経路を自動変更	経路を自動変更（地上と連携して空域全体を考慮）	
	動力･バッテリ管理	状況表示	経路提案と連動		経路変更と連動		
	機体システム管理	状況表示	経路提案と連動		経路変更と連動		
	乗客管理	－		状況表示	経路変更と連動		

図 2.4.2-24 要素技術のロードマップ（FMS）

(D) 制御システム

(1) 指標の選定

制御システムでは、飛行時に必要な各機能項目の自動化レベルを中心に整理した。具体的な対象項目は以下のとおりである。

- 設定経路追従
- 離着陸
- 故障・異常対応
- 環境対応（監視）

- 環境対応（気象）

(2) ロードマップ

図 2.4.2-25 に制御システムのロードマップを示す。

機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応から、成熟度レベル 3 以降はほとんどの制御機能が自動化され、成熟度レベル 5 以降は全ての制御項目の完全自動化するものとした。なお、本表で整理した指標に加え、乗客に優しい制御（スタートやスピードのコントロール等）の観点も必要であり、今後拡充が期待される。AI 技術との対応では、“環境変化にロバストな対応”の産業化は 2020 年代後半～2030 年頃が見込まれる。なお、AI は耐空証明の取得にあたり妥当性の検証方法の検討が必要である。

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>レベル1</th><th>レベル2</th><th>レベル3</th><th>レベル4</th><th>レベル5</th><th>レベル6</th></tr>
<tr><td rowspan="5">要求値</td><td>設定経路追従</td><td colspan="2">Secondary Level
・経路/速度逸脱認識及び警告</td><td>Primary Leve
・経路追従飛行自動化
・状況に応じた他経路提示</td><td colspan="3">Fully Automated
・ATC/UTM等と外部連携した自律的経路追従</td></tr>
<tr><td>離着陸</td><td colspan="2">Secondary Level
・着陸経路逸脱認識及び警告</td><td colspan="2">Primary Level
・風雪等悪環境下での離着陸自動化</td><td colspan="2">Fully Automated
・タワー等と外部連携した離着陸判断</td></tr>
<tr><td>故障・異常対応</td><td colspan="2">Secondary Level
・機体故障/異常認識及び警告
・特定故障のシステム側介入操作</td><td>Secondary Level
・機体故障/異常認識及び警告
・全てのシステム側介入操作</td><td>Primary Leve
・機体故障/異常認識
・全ての故障のシステム側介入操作</td><td colspan="2">Fully Automated
・緊急着陸/着陸地点等判断
・故障/破損時の飛行対応自律化</td></tr>
<tr><td>環境対応:監視</td><td>–</td><td>Secondary Level
・地物等衝突リスク認識及び警告</td><td colspan="2">Primary Level
・衝突回避飛行自動化</td><td colspan="2">Fully Automated
・ATC/UTM等と外部連携した自律的運航維持</td></tr>
<tr><td>環境対応:気象</td><td>–</td><td>Secondary Level
・悪天時の飛行リスク認識及び警告</td><td colspan="2">Primary Level
・悪天リスク回避飛行自動化</td><td colspan="2">Fully Automated
・突風等悪天時の飛行対応自律化</td></tr>
<tr><td rowspan="2">方式・種類</td><td>制御方式</td><td colspan="6">一般に機体の制御システムとしてはFly-By-Wire(FBW)が主に採用されているが、軽量化が求められる場合はFly-By-Light(FBL)主体に変化する可能性がある。</td></tr>
<tr><td>(参考)AI技術発展との対応</td><td colspan="2">行動予測・異常検知</td><td colspan="2">環境変化にロバストな行動</td><td colspan="2">大規模知識理解</td></tr>
</table>

図 2.4.2-25 要素技術のロードマップ（制御システム）

(E) DAA システム

(1) 指標の選定

DAA システムに関する性能指標については、ICAO RPAS Panel 等において、保護すべき空域を定め、それぞれの空域における侵入機との遭遇確率が指標として定義されている。これに基づき、保護すべき空域における遭遇確率として、以下 2 種類を指標として定義した。

- Loss of well-clear risk ratio (LR) : Well Clear 境界内での他機との遭遇確率
- NMAC risk ratio (RR) : NMAC 境界内での他機との遭遇確率

(2) 要求値の考え方

成熟度レベル 1～2 については、機上パイロットの判断が主体となることから要求値は設定しないこととした。成熟度レベル 3 以降は、衝突回避システムによる判断の自動化が管理の主体となり、レベル 5 以降は自律飛行を前提とし緊急操作や動的な経路変更が自動化されるに伴い DAA も完全自動化されていく。LR/RR の具体的な要求値については、航空機や UAS について検討されているが、今後空飛ぶクルマに適した要求値を設定する必要がある。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-26 に DAA のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応やパイロットの状況との対応が挙げられる。成熟度レベル 1～2 はパイロットの判断が主体、レベル 3 以降は判断の自動化が管理の主体となるが、レベル 5 以降は自律飛行を前提とし緊急操作や動的な経路変更が自動化されるに伴い DAA も完全自動化する。GPWS については、成熟度レベル 4 以降は、高密度運航に対応していくために GPWS も精度向上が必要となる。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	Loss of well-clear risk ratio (LR)	―		今後、空飛ぶクルマに適した指標の設定が必要			
	NMAC risk ratio (RR)	―					
方式・種類	アラート内容	―		他機・障害物、回避経路・方法		ー(自動回避)	
	衝突回避(協調方式)			ACAS-X			
	衝突回避(非協調方式)	―		レーザセンサ(LiDAR等)、音波センサ(ソナー等)、RFセンサ、光学センサ			
	対地接近	―		GPWS(機体の高度センサ情報に基づき警告)	EGPWS(GNSS+地形データ)		

図 2.4.2-26 要素技術のロードマップ（DAA）

(F) クラッシュワージネス

(1) 指標の選定

クラッシュワージネスの指標としては、機内保護に関するもののうち、認証対象の技術と認証外の技術に分けて、性能要求の方向性を整理した。機体認証を受ける上で必要となる項目以外のものについては、社会受容性に大きく影響を受ける項目であり、現状想定されるエアバッグ等の項目を設定した。

具体的な整理区分は以下のとおりである。

- 機内保護（認証対象）
  - 座席
  - フローティング
  - 姿勢安定・降下率低減：オートローテーション・冗長化
  - 姿勢安定・降下率低減：パラシュート

- 機内保護（認証外）
  - 機内エアバッグ
  - 外部エアバッグ
  - 第三者への警報装置

(2) 要求値・技術方式の考え方

フローティングは、耐空審査上で必要かつ重要なシステムであるが、機体パラシュート同様に TSO が定義しにくいサブシステムでもある。技術的には軽量化、コンパクト化等の高度化が想定される。

姿勢安定・降下率低減については、Bell 社の Nexus のようにオートローテーションを採用する機体や Volocopter 社のように余剰推力等による冗長性を設計に組み込むケースも存在することから、一概に特定のシステムが必須となる状況は想定されない。一方でそれらのシステムを搭載しない場合は、代替手段としてパラシュートの装備等が想定される。

機内エアバッグや外部エアバッグ、第三者への警報装置等は、社会受容性の動向によっては必要となる可能性がある。なお、成熟度レベル 1 及び 2 の段階では第三者への影響が少ないエリアや頻度で飛行することから、第三者保護を目的とするシステムの搭載は優先度が低くなると想定した。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-27 に、クラッシュワージネスのロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、事故発生等に伴う社会受容性の変化に伴い、必要となる装備やその基準も変化する点があげられる。技術的には、ステアリングパラシュートの開発がブレークスルーとなる可能性がある。

なお、クラッシュワージネスについては、技術 WG における議論を踏まえ、社会受容性によって必要とされる装備が変わる点や耐空性の基準に係る部分があることから、制限値等の定量値を設定しないこととした。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値／方式・種類	機内保護	座席	軽量化やプリテンショナー等の装備による拘束機能(シートベルト)の高度化					
		フローティング	軽量化、コンパクト化 など					
		姿勢安定・降下率低減（オートローテーション・冗長化）	システムの信頼性向上 など					
		姿勢安定・降下率低減（パラシュート）	軽量化、低高度開傘、姿勢制御(ステアリングパラシュート)の実現 など (滑空やオートローテーション等の手段を持たない機体については代替手段として)					
	機内保護（認証外）	機内エアバック	社会受容性によっては装備義務化					
		外部エアバック	－		社会受容性によっては装備義務化			
		第三者への警報装置						

図 2.4.2-27 要素技術のロードマップ（クラッシュワージネス）

⑥　　製造技術

(A) 構造材料

(1) 指標の選定

構造材料の技術は、その成形時間が短縮されることが期待されるため、成形時間に係る技術項目を中心に検討した。具体的な指標としては、構造材料の素材とその積層手法、成形手法、成形手法に基づく成形時間の 4 つの指標を設定した。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-28 に構造材料のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、利用する素材によって積層手法や成形手法が異なり、成熟度レベル 4 から熱可塑性材料が適用されることで、プレス成形による大幅な成形時間の短縮が期待される点が挙げられる。なお一部の特殊な部品では、3D プリント等の成形手法が適用される可能性がある。

構造材料		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	素材	既存航空機用 熱硬化材活用	弾性率・強度向上 (約20%)	速硬化性熱硬化材	熱可塑材適用	高弾性・高強度 熱可塑材	主:熱可塑材 副:熱硬化材
	積層手法	ハンドレイアップ		AFP(熱硬化)		AFP(熱可塑)	
	成形時間	6時間		4時間	2時間以下	1時間以下	0.5時間以下
	成形手法	オートクレーブ			プレス成形		大型プレス成形

図 2.4.2-28 要素技術のロードマップ（構造材料）

(B) アセンブリ技術指標の選定

(1) 指標の選定

アセンブリ技術については、構造材料と同様に成形の時間短縮に係る技術項目を中心に検討を行った。具体的な指標としては、機体の部品点数及びその接合技術の 2 つを設定した。

(2) 要求値の考え方

部品点数については、スキン・ストリンガーの一体成形などによって部品点数が減少し、アセンブリの簡素化及び時間短縮化を実現する技術が成熟度レベル 5 から出現すると考えられる。

接合技術については、現状ではファスナーを用いた接合が主流であり、安全性確保の観点からファスナーレスは困難であることから、成熟度レベル 3 までは当面ファスナーを用いた接合が用いられる。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-29 に、アセンブリ技術のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、熱可塑性材料の使用に伴いレベル 5 あたりから溶着等の技術を中心とした効率的なアセンブリ技術が適用される点があげられる。技術課題としては、成熟度レベル 4 以降、熱可塑材・熱硬化材を一体で成形する技術開発や、熱可塑材向けの溶着技術の開発が必要である。

アセンブリ技術		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	部品点数	100(指数・基準)		90		80	60
	接合技術	ファスナー			熱可塑・熱硬化	溶着(熱可塑)	

図 2.4.2-29 要素技術のロードマップ（アセンブリ技術）

⑦ CNS

(A) 通信

(1) 指標の選定

通信の指標については、通信サービスの性能、航空通信として求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 通信可能範囲
- 通信速度
- 遅延時間
- 完全性
- 継続性
- 可用性

また、各指標の要求値検討の前提として、空飛ぶクルマに搭載された無線局は移動局であることから、その運用条件として、移動局密度、移動局速度を示すこととした。

(2) 要求値の考え方

通信可能範囲については、どのようなエリア・高度をカバーする必要があるかを成熟度レベル毎に示した。

その他の指標については、通信の用途ごとに、各成熟度レベルの要求値を設定した。

表 2.4.2-44 通信の用途

区分	説明
実時間遠隔操縦情報	遠隔操縦者が機体搭載カメラによる一人称視点からの映像を見ながら実時間操縦をするための情報である。
遠隔操縦情報	遠隔操縦者が機体の位置等を確認しながら随時飛行する先を指示する方法による遠隔操縦のための情報である。
動態情報 ルート ポート周辺	機体の ID、位置、速度、方位等からなる情報であり、巡航ルート上とポート周辺とでは機体の密集度が違うことから、やりとりする情報の量も違ってくることを想定し、それらを区別する。
経路情報	動態情報が点の情報であるのに対し、ある程度先経路までを含んだ線の情報を経路情報である。経路情報によって飛行の意図を伝えることができ、飛行経路の調停に使うことができる。
飛行計画	１つの飛行全体にわたる経路情報である。
緊急通信	機体、乗員、及び乗客の緊急事態を伝えるための通信である。乗客が直接使用する場合は、特殊な操作無しに直感的に使用できなければならないことを想定し、映像も含める。
運航環境情報	飛行する機体周辺の気象及び地物の状態等の情報である。機体搭載カメラの画像等を想定する。

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間)、機体密度等）を検討した上で、各通信指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、成熟度レベル 1-2 については、機上パイロットによる VFR 方式による運航を前提に、従来の VHF 航空通信を基本とし、動態情報の共有として、Iridium 等の低軌道衛星通信の活用を想定した。成熟度レベル 3 以降は、広いカバレッジに対するデータ通信を実現する必要があり、その手段として想定される方式を整理した。

なお、航空移動業務に割り当てられたシステムとしては、VHF 帯航空通信、C 帯（航空移動)、L 帯衛星通信(GEO/LEO)等が挙げられる。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-30 に通信のロードマップを示す。

成熟度レベル 1 及び 2 においては機上パイロットが操縦する VFR での運航が基本であり、運航密度及び運航頻度もそれ程高くはない。したがって通信としては VHF 航空無線通信が基本となり、それに気象等の運航環境情報サービス及び乗客が利用する電話等の一般的な通信が加わったものとなる。加えて、動態情報の共有が必要とされる。

成熟度レベル 3 になると路線数の増加、路線の長距離化、ネットワーク化が実現される。機上パイロット無しの機体が飛び始め、夜間飛行、IMC 相当での運航、運航サービスプロバイダによる運航調整も始まる。したがって、運航、安全を支えるための、成熟度レベル 2 までとは質的に異なる通信が必要となる。

成熟度レベル4においては成熟度レベル3の各要素が量的に拡大、高度化される他、都市部のいわゆるアーバンキャニオンでの運航がなされるようになり、通信もこれに対応しなければならない。

成熟度レベル5から6にかけて、空飛ぶクルマは人々の生活圏へ接近していく。自家用機の本格的な運用、飛行機数の大幅な増加となり、その極限においては全ての機体の動態を共有しながらの運航管理はもはや成立せず、個々の機体が周囲の機体との通信等により安全を確保しつつ飛行する。

全ての通信要求を満足する技術方式が無いことから、複数方式の組合せにより実現することが必要となる。特に、遅延、完全性、継続性、可用性を保証する通信システムを、商用のセルラー網や衛星通信網で実現できるかどうか、航空業務の通信システムにおいて高度な通信速度を実現可能か、両者をどのように組み合わせるか、と言った点が技術課題として挙げられる。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	通信可能範囲		都市沿岸部、都市周辺部					
			–	観光拠点、都市周辺部～都市拠点、空港～都市拠点				
			–	–	都市拠点間	都市全域		
			–	–	–	–	居住地拠点間	居住地全域
			高度: 0 - 600 m		高度: 0 - 3,000 m			
	移動局密度		< 0.5 /km²			5 /km²	50 /km²	500 /km²
	移動局速度		200 km/h		400 km/h			
	通信速度	実時間遠隔操縦情報(機体⇒地上)	–	–	10 Mbps			
		実時間遠隔操縦情報(地上⇒機体)	–	–	20 kbps			
		遠隔操縦情報(機体⇒地上)	–	–	300 bps		3 kbps	30 kbps
		遠隔操縦情報(地上⇒機体)	–	–	300 bps		3 kbps	30 kbps
		動態情報ルート(機体⇒地上)	100 bps				1 kbps	10 kbps
		動態情報ルート(地上⇒機体)	1 kbps				10 kbps	100 kbps
		動態情報ポート周辺(機体⇒地上)	100 bps		100 bps (1 kbps)		1 kbps	10 kbps
		動態情報ポート周辺(地上⇒機体)	1 kbps		1 kbps (10 kbps)		10 kbps	100 kbps
		経路情報(機体⇒地上)	–	–	3 kbps			
		経路情報(地上⇒機体)	–	–	30 kbps			
		飛行計画(機体⇒地上)	–	–	3 kbps			
		飛行計画(地上⇒機体)	–	–	30 kbps			
		緊急通信(データ)	–	–	1 kbps			
		緊急通信(音声)	–	–	100 kbps			
		緊急通信(映像)	–	–	10 Mbps			
		運航環境情報	1 Mbps					
		その他一般	10 Mbps					
	遅延時間	実時間遠隔操縦情報	–	–	10 ms			
		遠隔操縦情報	–	–	3.6 s		0.36 s	0.036 s
		動態情報(ルート)	–	–	3.6 s		0.36 s	0.036 s
		動態情報(ポート周辺)	–	–	3.6 s (0.36 s)		0.36 s	0.036 s
		経路情報	–	–	1 s			
		飛行計画	–	–	10 s			
		緊急通信	–	–	1 s			
		運航環境情報	100 s					
	完全性	実時間遠隔操縦情報 (自動化による安全担保あり)	–	–	> 1 - 10^{-7} /FH			
		実時間遠隔操縦情報 (自動化による安全担保なし)	–	–	> 1 - 10^{-9} /FH			
		遠隔操縦情報 (自動化による安全担保あり)	–	–	> 1 - 10^{-7} /FH			
		遠隔操縦情報 (自動化による安全担保なし)	–	–	> 1 - 10^{-9} /FH			
		動態情報、経路情報、飛行計画、緊急通信	–	–	> 1 - 10^{-5} /FH			
	継続性	実時間遠隔操縦情報 (自動化による安全担保あり)	–	–	> 1 - 10^{-3} /FH			
		実時間遠隔操縦情報 (自動化による安全担保なし)	–	–	> 1 - 10^{-5} /FH			
		遠隔操縦情報 (自動化による安全担保あり)	–	–	> 1 - 10^{-3} /FH			
		遠隔操縦情報 (自動化による安全担保なし)	–	–	> 1 - 10^{-5} /FH			
		動態情報、経路情報、飛行計画	–	–	> 1 - 10^{-3} /FH			
		緊急通信	–	–	> 1 - 10^{-7} /FH			
	可用性	実時間遠隔操縦情報、遠隔操縦情報、動態情報、経路情報、飛行計画	–	–	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	
		緊急通信	–	–	> 1 - 10^{-7}			
		運航環境情報	> 90 %	> 99 %				
方式・種類	通信方式		航空通信					
			LEO(L帯)		LEO(全般)			
			–	–	HAPS			
			–	–	GEO			
			–	–	セルラーネットワーク			
			–	–	L5G / LTEサイドリンク			
			–	–	RFネットワーク			
			–	–	C帯(航空移動)			

図 2.4.2-30 要素技術のロードマップ（通信）

(B) 航法

(1) 指標の選定

航法の指標については、航法精度と航空システムとして求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 位置精度
- 更新頻度
- 完全性
- 継続性
- 可用性

(2) 要求値の考え方

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間）、機体密度等）を検討した上で、各航法指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、概して GNSS を基本とし、必要に応じてそれを強化した航法技術が主流となる。

ポート等への離着陸においては、精密な航法精度が要求される。このために離着陸援助用の RF ビーコンや搭載レーダ等の装置の利用が必須となることが想定される。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-31 に航法のロードマップを示す。

成熟度レベル 1 及び 2 においては、従来の VFR で用いられる航法での飛行となる。ただし、成熟度レベル 2 においては定められたルートを飛行するにあたり、必須ではないものの GNSS+SBAS を援用する可能性が考えられる。

成熟度レベル 3 おいては、夜間、IMC 相当での飛行、人口密集地域内での飛行がおこなわれ、ポート周辺の混雑度も増加する。このため、決められたルート及びポート周辺ではより正確に飛行でき、低視程条件でも有効な航法技術が必要となる。またこの頃から機上パイロット無しの機体も飛行を始めるため、飛行の自動化を支える航法技術も必要となる。

成熟度レベル 4 以降においては、各要素が量的に拡大、高度化される他、都市部のいわゆるアーバンキャニオンでの運航がなされるようになり、ビルの谷間を正確に飛行する必要が出てくる。ビルの谷間では GNSS の受信状況が悪くなる可能性があり、また、建物との正確な相対位置、正確な対地高度の把握が困難となることが予想される。

GBAS、SBAS、RF ビーコン等による航法精度、安全性等の向上が必要となる。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	位置精度	ルート	50m				10 m	1 m
		ポート周辺	50m		50 m (10 m)		10 m	
		接地点近傍	1 m			10 cm		
	更新頻度 / 遅延時間	ルート	6 s		3.6 s		0.36 s	0.036 s
		ポート周辺	6 s		3.6 s (0.36 s)		0.36 s	
		接地点近傍	1 s			0.1 s		
	完全性		–	–	$> 1 - 10^{-5}$ /FH			
	継続性	ルート	–	–	$> 1 - 10^{-7}$ /FH			
		ポート周辺/接地点近傍	–	–	$> 1 - 10^{-6}$ /FH			
	可用性		–	–	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	
方式・種類	航法方式		VFR					
			–	GNSS				
			–	GNSS + SBAS				
			–	–	GNSS + GBAS			
			–	–	GNSS + PNT			
			–	–	RFビーコン			
			–	–	RFネットワーク			
			–	–	搭載レーダ			
			–	–	地形データベース			
			–	–	地上構造物データベース			

図 2.4.2-31 要素技術のロードマップ（航法）

(C)　監視

(1)　指標の選定

監視の指標については、監視性能と航空システムとして求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 監視範囲
- 監視精度
- リアルタイム性
- 取得情報の項目・要件
- 監視数（密度）
- 完全性
- 継続性
- 可用性

(2) 要求値の考え方

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間）、機体密度等）を検討した上で、各監視指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

監視の主な目的は 3 つある。1 つ目は運航支援サービスのための飛行中の空飛ぶクルマの動態把握である。2 つ目は混雑空域における安全確保である。3 つ目はポート周辺等における外来機等による危険把握である。

技術方式としては、協調監視が基本となり、空飛ぶクルマに適用する協調監視手段に対応しない航空機や UAS が混在する混雑空域及びポート周辺等、安全性を高める必要がある空域においては、機上装置に依存しない独立型の非協調監視手段も必要と考えられる。低高度、低 RCS かつ多数機に対応しなければならない点で従来の独立監視技術方式とは異なる。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-32 に監視のロードマップを示す。

成熟度レベル 1 及び 2 においては、VFR 機に使用する装置および ADS-B 情報に基づく監視が想定される。成熟度レベル 3 では運航支援サービスのための動態情報の提供及び空域の安全を高めるための監視が必要とされるようになる。

成熟度レベル 4 以降は、一定の地域に多数機が存在する状況に監視システムを対応させていかなければならない。成熟度レベル 5 から 6 にかけて、空飛ぶクルマは人々の生活圏へ接近していく。自家用機の本格的な運航がされ、機体数の大幅な増加となり、個々の機体が周囲の機体との通信等により安全を確保しつつ飛行する。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	監視範囲	地域	–	–	ポートから半径 1.5 km ルート区間 50 km	ポートから半径 1.5 km ルート区間 80 km 都市等飛行域全域		
		高度範囲	–	–	0 - 3,000 m			
		対象	–	–	AAM VFR機 UAS等			
	監視精度		–	–	100 m			
	リアルタイム性		–	–	1 s			
	取得情報の項目・要件	AAM	–	–	位置 ID ステータス			
		VFR機/UAS	–	–	位置 (ID)			
	監視数(密度)		–	–	0.3 /km^2	1 /km^2	10 /km^2	100 /km^2
	完全性	ルート/ポート周辺	–	–	> 1 - 10^{-3} /FH			
		接地点近傍	–	–	> 1 - 10^{-5} /FH			
	継続性	ポート周辺/接地点近傍	–	–	> 1 - 10^{-6} /FH			
	可用性	ルート/ポート周辺	–	–	> 99 %			
		接地点近傍	–	–	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	
方式・種類	従属監視(地上)		(ADS-B/1090ES)		ADS-B/1090ES	ADS-B/UAT		
	独立監視		(二次レーダ)					
			–		一次レーダ			
			–		マルチラテレーション			
			–		IRセンサ			
			–		音響センサ			

図 2.4.2-32 要素技術のロードマップ（監視）

⑦　　地上システム

(A)　　フリート管理システム

(1) 指標の選定

フリート管理とは空飛ぶクルマの運航事業者自身が運航している、または運航管理を受託しているフライトについて、運航管理をするための地上システムである。ここでは特に飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、スケジュール管理の 4 つの指標を選定した。

- 飛行計画
- 情報管理
- フライトウォッチ
- スケジュール管理

(2) 要求値の考え方

フリート管理システムは地上システム以外の要素技術と地上システムの連携として構成されていることから、どのような機能が実現されるのかという観点で整理することとした。

具体的には、飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、ダイヤ・スケジュール管理の各機能に対して、各成熟度レベルを実現するために必要なサブ機能または仕様を整理した。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-33 にフリート管理のロードマップを示す。

情報管理は、レベル 3 からインフライト中の機体データをタイムリーに反映するような仕組みとなる。フライトウォッチ、スケジュール管理は、レベル 4 から自動化要素が盛り込まれる。

交通管理や周辺システムとの標準インタフェースやセキュリティ対策と共に、成熟度レベル 4 以降の自動化やオンデマンド運航への対応機能の開発が課題となる。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値（機能）	飛行計画	VFR飛行計画作成	経路部を詳細化した飛行計画作成（通過予定時刻、高度、速度など）	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成）	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 1日3000便程度（運航者毎） オンデマンドの増加	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 1日8000便程度（運航者毎） オンデマンド、自家用機の受託増加	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 1日26000便程度（運航者毎） オンデマンド、自家用機の受託増加
		－	飛行計画調整	飛行計画の自動調整（交通流管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は更に代替案を生成し調整）			
		－	－	飛行計画を低高度管制へ提出			
	情報管理（個別情報管理）	機体性能データ					
		カンパニーNOTAM					
	情報管理（共有情報管理）	気象情報					
		NOTAM					
		AIP					
		AIC					
		地図地形情報					
		ポート情報					
		－	悪天情報				
		－	障害物情報				
		－	－	機体性能データ（飛行計画を調整する際に必要となるデータの共有）			
		－	－	インフライト中の機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、全体で共有する。			
		－	－	－	交通量予測（空域・コリドー）		
	フライトウォッチ	飛行監視 同時飛行1～2機（運航者毎）	飛行監視 同時飛行10機（運航者毎）	飛行監視 同時飛行30機（運航者毎）	飛行監視 同時飛行数百機（運航者毎）	飛行監視 同時飛行千機（運航者毎）	飛行監視 同時飛行数千機（運航者毎）
		－	運航機体のステータス管理				
		－	インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ（計画との差異、残電力など）		インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ（計画との差異、残電力など） 予兆監視		
		－	機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキストなど）	機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキスト、メンテナンスMSG、アンビュランスMSG、エマージェンシーなど）			
		－	情報提供 （気象、NOTAM、ポート情報など）、フリーテキストなど）	情報提供 （気象、NOTAM、ポート情報など）、フリーテキストなど）	情報提供 （気象、NOTAM、ポート情報など）、フリーテキストなど）	情報提供 （気象、NOTAM、ポート情報など）、フリーテキストなど）	情報提供 （気象、NOTAM、ポート情報など）、フリーテキストなど）
		－	－	－	飛行監視の自動化	飛行監視の自動化※自動化レベルの向上	飛行監視の自動化※完全レベルの自動化
	スケジュール管理	－	1日400便程度 （運航者毎）	1日1000便程度 （運航者毎）	1日3000便程度 （運航者毎）	1日8000便程度 （運航者毎）	1日26000便程度 （運航者毎）
		－	ダイヤ・スケジュール管理・共有		ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドの増加	ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドが増加、自家用の受託	ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドの増加、自家用の受託の増加
		－	ダイヤ・スケジュール調整				
		－	使用機材管理				
		－	運航情報の共有（旅客など）				
		－	－	－	スケジュール管理の自動化	スケジュール管理の自動化※自動化レベルの向上	スケジュール管理の自動化※完全レベルの自動化

図 2.4.2-33 要素技術のロードマップ（フリート管理）

5.4. 調査項目④「要素技術に関する詳細調査」

5.4.1. 詳細調査の位置づけと概要

空飛ぶクルマの要素技術の整理結果に対し、自動・自律運航、高密度運航の実現の観点から重要な技術を対象に、専門的な深堀調査を実施した。具体的な詳細調査の対象と調査方針を表 2.4.2-45 に示す。

表 2.4.2-45 要素技術の詳細調査の対象技術と調査方針

詳細調査対象の技術項目	調査方針
機体	✓ 成熟度レベルに対応した機体コンセプトの検討を実施 ✓ 動力、電源のロードマップ検討に資するため、成熟度レベルに対応した運航を実現するための動力、電源への要求条件を検討 ✓ 装備品の検討のロードマップ検討に資するため、パイロットタスクに対する成熟度レベル毎の自動化レベルを検討
通信	✓ 実現方式の整理と各方式の特徴等の整理 ✓ 成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理 ✓ 成熟度レベル 4 に対するシステム概念検討 ✓ 今後の研究開発要素の整理 ✓ 携帯電話網（LTE）について、低高度空域における電波状況に関するデータ取得
航法 監視 交通管理システム フリート管理システム 給電システム 気象システム	✓ 当該技術の実現方式の整理と各方式の特徴等の整理 ✓ 当該技術の成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理 ✓ 成熟度レベル 4 に対する当該技術のシステム概念検討 ✓ 当該技術の今後の研究開発要素の整理
全体システムアーキテクチャ	✓ 成熟度レベル 4 を対象としたユースケース分析 ✓ 成熟度レベル 4 を対象としたステークホルダ整理 ✓ 各要素技術を包含する成熟度レベル 4 を対象とした全体システムアーキテクチャの検討
特許出願動向分析	✓ 空飛ぶクルマの要素技術項目毎の特許出願動向の調査・分析 ✓ 今後の知財戦略の策定に向けた情報整理

5.4.2. 機体

① 機体規模・性能の検討

本項では表 2.4.2-46 に示すように、UAM の運航コンセプトに基づく成熟度レベル毎のペイロード、巡航速度、航続距離の要求を満たす電動推進の航空機の概念検討を行い、バッテリモジュール（航空機搭載状態）の容量・出力密度、モータ出力に対する要求を定量的に検討・算出した。主な結果は以下のとおりである。

- マルチロータ（MR200/500）：モータに対する要求が低い。空気抵抗が大きいた

め、長距離では容量密度の要求が厳しい。

- ティルトローター（TR500A/B、TR1600）：バッテリモジュール、モータに対する要求が高い。特に出力密度の要求が厳しい。また長距離では容量密度の要求も厳しくなり、内燃機関を併用したハイブリッド推進等の検討が必要となる可能性がある。
- 共通：機体を大型化しても、バッテリモジュールの容量・出力密度に対する要求が一概に高まるわけではない（搭載すべきバッテリモジュールの重量は大きくなる）。モータ出力の要求は、機体の大型化に伴い高くなる。

本検討ではバッテリモジュールの容量・出力密度は航空機搭載状態の実効値として要求を算出している。搭載に際しての重量増（モジュール化や安全対策等）や容量の使用不可領域を考慮すると、バッテリセル単位ではより高い性能が求められることに注意する必要がある。

表 2.4.2-46 各機体の奨励ケースにおける結果

名称（仮称）		MR200	MR500	TR500A	TR500B	TR1600
巡航速度		100km/h	100km/h	240km/h	240km/h	240km/h
ペイロード		200kg	500kg	500kg	500kg	1,600kg
全備重量		1,149~1,155kg	2,502kg	1,949~1,952kg	1,787kg	6,065kg
モータ出力要求		10kW	21kW	82kW	156kW	353kW
バッテリモジュール性能要求	成熟度レベル1 航続距離10km	容量密度 150Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 49kWh	容量密度 150Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 114kWh	-	-	-
	成熟度レベル2 航続距離50km	容量密度 300Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 98kWh	容量密度 250Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 190kWh	容量密度 250Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 112kWh	-	-
	成熟度レベル3 航続距離100km	容量密度 450Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 146kWh	容量密度 400Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 304kWh	容量密度 300Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 135kWh	-	-
	成熟度レベル4 航続距離200km	-	-	容量密度 450Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 201kWh	容量密度 550Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 197kWh	容量密度 400Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 707kWh
	成熟度レベル5 航続距離400km	-	-	-	容量密度 900Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 322kWh	容量密度 650Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 1,149kWh
	成熟度レベル6 航続距離600km	-	-	-	容量密度 1,250Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 448kWh	容量密度 850Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 1,502kWh

出所）JAXA 作成

② 自動化機能の検討

自動化機能については、パイロットのタスクを細分化し、各タスク項目の自動化レベルを Secondary level、Primary level、Fully Automated の 3 段階で整理した。

検討した自動化レベルの成熟度レベルとその内容を表 2.4.2-47 に示す。各タスクの自動化レベルを整理するにあたり、NASA の UML、SESAR AMU-LED の検討の中で用いられている定義（表中、黄色部分）との対応についても考慮した。

なお事故時の責任所在は、パイロットとシステムの責任所在に合わせてセンサ類の要求仕様も変わる可能性があり、認証の観点からも重要である。

表 2.4.2-47 自動化の成熟度レベルの定義と内容

自動化の成熟度レベル		定義	詳細	事故時の責任
1	Human-within-the-Loop (HWTL)	人間が常時オートメーション(システム)を直接的にコントロールする。		パイロット
2	Human-within-the-Loop (HWTL) Assistive		自動化レベルは低く、統合も限定的で、運航の安全に対しては人間が全責任を負う。	パイロット
3	Human-on-the-Loop (HOTL) Comprehensive safety assurance level	・人間がオートメーション(システム)を監督的にコントロールする。 ・人間が積極的にシステムのモニタリングを行い、必要OR望ましいと考えられる場合にフルコントロールをとることができる。	運航の安全にとって重要なモニタリング機能やシステム内の多岐にわたる特定ハザードの軽減のための介入措置(地上への衝突防止、トラフィックの衝突防止等)を提供し、システムの安全性を著しく強化するが、運航の安全はまだ人間が全責任を負う。	パイロット
4	Human-on-the-Loop (HOTL) Collaborative and responsible automation level		人間による監視や自動化機能の不具合に対する対応が不要になるほどの自動化機能のレベルが担保されているレベル。 システムにおける人間の技能要件は、上記自動化機能のケーパビリティに基づく再定義が想定される。 ただし、本レベルにおいても、システムの安全性とレジリエンスを担保するにあたって、人間による全体の監督が引き続き必要であり、機体に搭乗している場合においても、搭乗していない場合においても、パイロットは一対一で個別機体の監督を行うことが求められる。	・パイロット ・機体製造会社(自動化システムの設計が根本原因の場合) ・遠隔操縦関連の会社
5	Human-over-the-Loop (HOVTL) : Highly-integrated automated networks	・人間は、オートメーション(システム)により、アクションを起こすよう通知OR関与される。 ・人間は受動的にシステムのモニタリングを行い、必要が生じた際に、どのようなアクションが必要かについて自動で通知される。 ・人間は、調停のできない例外事態、もしくはエスカレーションルールの一環として、オートメーションにより関与させられる。	リアルタイムの人間の関与が必要ないレベル。 運航の性能や効率は人間による受動的な監督や介入により改善される可能性があるが、安全確保の観点では必要ではない。	・機体製造会社(自動化システムの設計が根本原因の場合) ・遠隔操縦関連の会社
6	Human-over-the-Loop (HOVTL) : System-wide optimization		人間による監督も介入も必要なく、安全のみならず効率の観点でシステムが運用される。	

上記で整理した自動化の成熟度レベルとパイロットの各タスクを対応させたものを表 2.4.2-48 に示す。パイロットのタスクの自動化レベルは以下に示す区分で示す。

- M: Manual：手動操縦
- S: Secondary ： Pilot がメインで操縦。自律機能は飽くまで各種通知・サポートにとどまる（経路や飛行 Plan 変更、危険情報を表示)。
- P: Primary ： 基本は Pilot 監視下の自動操縦。Pilot の承認なしに動くが、Pilot が異常を認識すれば介入する。
- FA: Fully Automated ： Pilot が不要なレベル。

表 2.4.2-48 自動化の成熟度レベルとパイロットのタスクの自動化レベル

	自動化の成熟度レベル	Basic Airmanship	Sense & Avoide	Navigation	Systems Management	Planning	Decision Making	Takeoff& Landing	Emergency Procedure	Preflight Check	Communication	Terminal Procedure	Passenger Management
1	Human-within-the-Loop (HWTL)	S	M	S	S	M	M	S	M	M	M	M	M
2	Human-within-the-Loop (HWTL) Assistive	P	S	S	S	S	M	S	S	M	M	M	M
3	Human-on-the-Loop (HOTL) Comprehensive safety assurance level	P	P	P	P	P	S	P	S	M	S	S	M
4	Human-on-the-Loop (HOTL) Collaborative and responsible automation level	FA	P	FA	P	P	P	P	P	S	P	P	P
5	Human-over-the-Loop (HOVTL) ; Highly-integrated automated networks	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	P	P	P	FA
6	Human-over-the-Loop (HOVTL) ; System-wide optimization	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA

出所）JAXA 作成

Navigation と System Management については、運航状況としては低頻度な商業運航が開始しており、飛行可能なエリアも従来機に比べ制限される可能性があるため「飛行予定ルートを表示する・逸脱を知らせる」等の Secondary 機能が実装されている状況を想定した。

レベル 4 では Fully Automated まで自動化が進むタスクが出現し、完全に機体側に制御が委ねられる状況を想定した。なお System Management については「システムの安全性など、人間の監督が必要」なレベルなので、検知・処置方針は自動で示すが最終判断はパイロットが実施すると推測されることから Primary Level とした。

レベル 5 では Fully Automated のタスクが増加し、気象状況やトラフィック状況によらずあらゆる条件下でシステム側が判断可能な状況である。この場合は、パイロットは仮眠をしながら待機することも可能であり、システム側が対処できない事象が生じた場合にはアラームを発するような状況を想定した。なおパイロットがアラームに応えない場合は自動で安全な場所を探して着陸するなどの機能を持つことが予想される。

レベル 6 ではパイロットもコックピットも不要となる完全な自律飛行を示す。

表 2.4.2-49 にロードマップの指標とパイロットのタスクの対応を示す。表 2.4.2-48 で検討した自動化レベルの内容と装備品の項目との対応を整理した。

表 2.4.2-49 ロードマップの指標とパイロットのタスクの対応

詳細	Basic Airmanship	Sense & Avoide	Navigation	Systems Management	Planning	Decision Making	Takeoff& Landing	Emergency Procedure	Preflight Check	Communication	Terminal Procedure	Passenger Management
交通流管理・フリート管理に必要な機体装備品					○	○					○	
CNS			○							○	○	
FMS			○		△	△					△	
制御システム	○	○					○					
DAA		○										
System Management（FMSに含める）				○				○	○			
Passenger Management（FMSに含める）												○
地上システム		○	○		○	○	○			○	○	

出所）JAXA 作成

5.4.3. CNS

① 通信

(1) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。なお、技術開発のみならず認証のあり方や使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要となる。

- HAPS 基地局を使用したセルラー通信の研究開発
- インフラそのもの及び、セルラー通信において遅延時間、完全性、継続性、可用性を担保する方法の研究開発
- ローカル 5G 及び LTE サイドリンクによる空対空、空対地通信の研究開発
- RF ネットワークの研究開発
- 高信頼性の通信と位置標定が同時に可能な RF ネットワークシステム

② 上空電波測定試験

空飛ぶクルマの運航の自動・自律化・高密度運航の実現にあたり必要となる通信の技術に関する詳細調査の実施を目的とし、上空での LTE 電波状況の測定を行い、空飛ぶクルマの運航や旅客サービス向けの無線通信システムへの適用可能性評価に資する技術的なデータを整理・分析する。

具体的測定内容として、空飛ぶクルマが利用する最高高度を 1,000ｍと仮定し、

測定用スマートフォンを取り付けた機体を、最高高度 1,000ｍまで飛行させて、各高度及びバンド毎の LTE 電波状況の測定を実施した。

＜試験日程＞

■ 2021 年 1 月 17 日（月）～21 日（金）、1 月 24 日（月）

＜試験時間＞

■　各日：午前 6 時～午前 9 時（初日のみ、準備のため午前 5 時 30 分より）

＜1,000m～500mの測定可能時間＞

■　日の出～7 時 30 分まで

※ **本測定では、日の出から仙台空港の始発便までの間（約 30 分）300m以上の飛行が可能なため。**

＜250m、200m、150mの測定可能時間＞

■　7 時 30 分～9 時まで

＜試験場所＞

■　福島ロボットテストフィールド　無人航空機エリア内滑走路

■　住所：福島県南相馬市原町区萱浜字新赤沼 83 番南相馬市復興工業団地内

■　緯度：37.631091

■　経度：141.008397

■　上記の緯度経度周辺にて測定試験を実施した。



図 2.4.2-34 福島ロボットテストフィールド施設図及びフライトポイント

出所）https://www.fipo.or.jp/robot/overview（**閲覧日**：2022 **年** 2 **月** 11 **日**）

電波は建物等の遮蔽物がなくとも大気中を伝搬するなかで減衰するため、基地局から距離が離れると一般に信号強度（RSRP）は低下する。また、通常、基地局のアンテナは地表方向に指向性が向けられているため、上空に向かうにつれ、基地局からの放射電力は減少していく傾向にある。

測定においても機体が飛ぶ高度が高くなると基地局から届く電波が弱くなる結果となった。実際には、単一の基地局ではなく複数の基地局が福島ロボットテストフィールド周辺に配置されており、各基地局から届く電波のうち最も信号強度が高い電波を捕捉するため、一部で飛行高度に単調に従わない形となっている。これらの結果は、周波数（バンド）によらず同様の傾向が出ている一方で、同サイズの基地局アンテナであれば高い周波

数ほど地表に向けて鋭い指向性ビームを構成することが可能となるため、高い周波数においては、上空で急激に信号強度が低下する傾向になっている。
また、データの分散傾向については、信号強度及び電波品質は、物理的な性質からは、低高度では建物による遮蔽の影響でばらつきが大きく、見通し状態の上空ではばらつきが小さいことが予想され、800MHz の電波品質（RSRQ)測定値についてこのような傾向がみられるようにも見えるが、その他の信号強度/電波品質の測定結果には顕著な傾向はみられなかった。その上位レイヤであるスループットや ping データにおいても同様であり、今回の測定の範囲（時間、場所、試行回数）では、分散の傾向についての考察は難しい結果となった。

今後、地上基地局を活用した通信方式を、空飛ぶクルマにて利用していくにあたって、検討されるべき観点の具体案を以下に提示する。実施にあたっては、実施内容等の詳細検討が必要である。

- 異なる環境での電波状況の測定（都市部かつ平野部、郊外地かつ山間部等）
- 上空における電波状況のシミュレーション実施の検討
- 高密度飛行した場合の通信の性能評価
- 移動時の通信の性能評価
- 試験用基地局でのアンテナ指向を上空に向けた場合の通信性能、機体等への影響評価

③　　航法

(A) 技術方式

空飛ぶクルマの航法に利用可能な方式には以下が挙げられる。

- GNSS
- GNSS+SBAS
- NSS+GBAS
- GNSS+PNT
- RF ビーコン
- RF ネットワーク
- 搭載レーダ
- 地形データベース/地上構造物データベース

(B)　　将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標

航法の指標として以下を調査した。

- 位置精度：飛行の局面によって異なることが考えられることから、ルート、ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 更新頻度：飛行の局面によって異なることが考えられることから、ルート、ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 完全性：航法システムが正常に利用できない場合に警告される確率
- 継続性：航法システムの正常な利用を開始した後に、利用が中断されない確率。ルート及びポート周辺/接地点近傍に区分する。
- 可用性：航法システムを利用開始しようとしたときに正常に利用できる確率

(2) 要求値の調査

調査した指標に対して各成熟度レベルに応じた値を設定する。値は成熟度レベル及び運航イメージにおける表現に対して基本的な数値を想定し、スケールアナリシス的に導出する。導出した値の性質は要求値というよりも、おおよその想定される程度を示した値であり、何等かの限度、制約及び仕様等を明示するものではない。

表 2.4.2-50 エアタクシー／２次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	10 m	1 m
ポート周辺 *1	50 m	←	50m(10 m)	←	10 m	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	3.6 s	←	0.36 s	0.036 s
ポート周辺 *1	6 s	←	3.6s(0.36s)	←	0.36 s	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

表 2.4.2-51 地方都市間交通／２次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	50 m	←	←	50m(10 m)	←	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	6 s	←	←	3.6s(0.36s)	←	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

表 2.4.2-52 離島・過疎地交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	50 m	←	←	←	50m(10 m)	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	6 s	←	←	←	3.6s(0.36s)	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

以下の注記は 3 表共通である。

＊ FH:flight hour、飛行時間
*1 空間粒度スケールと定められたルート飛行時の空間粒度を比較し小さい方を仮定した。定められたルート飛行時の空間粒度は表 2.4.2-53 による。
*2 空間粒度スケールを仮定
*3 ICAO の航法装置に対する規定を参考とした。航法システムの利用不可状態が警告されない確率は成果報告書の「表 5-41 故障確率と耐久性」における「improbable」以下の確率と仮定。
*4 ICAO の規定を参考とした。
*5 ICAO の規定を参考とした。1 アプローチあたりの衝突リスクは 10^{-7} 以下。1 アプローチ 5 分として 10^{-7}/5 分～10^{-6}/FH。
*6 運航イメージにおける就航率を妨げることがないよう、欠航率よりも 1 桁低い不能確率となるように仮定

表 2.4.2-53 定められたルート飛行時の時空間粒度

方向	前後	上下	左右
間隔 *1	60 s	500 ft	1500 ft
粒度 *2	6 s	50 ft = 15 m	150 ft = 50 m
*1 TBOV (transit based operational volumes) Savita A. Verma et al., Lessons Learned: Using UTM Paradigm for Urban Air Mobility Operations, NASA Ames, 2020 を参考とする。 *2 間隔の 1/10 と仮定			

(C) システム概念検討

成熟度レベル 4 におけるシステム概念として実現形態の一つを示す。

精度、完全性、搭載機器及び地上設備のコスト等の観点から GNSS+SBAS による航法を基本とする。

GNSS 不全時には地上監視システムで標定した位置情報を機体に伝えるか、または、RF ネットワークを構成し利用することで、精度が悪いながらも航法の継続あるいは機体を退避させることを可能とする。

ポートにおける離着陸及びアーバンキャニオンでの飛行のため、ポート周辺及び都市部等には適切な間隔で RF ビーコンが設置される。機体は RF ビーコンを受信しつつ搭載レーダで周囲の状況を観測し、その情報と地形データベース、地上構造物データベースとを照合して自己位置を推定する。

機上での処理負荷を軽減するため、エッジコンピューティングを活用し、個々の機体の位置に合わせてデータベースを位置推定に適した形に変換し、逐次機上へアップロードし利用する。

(D) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。

- PNT
  - 精度及び完全性等の性能が保証された地上ベースで GNSS を補強する情報を放送する装置研究開発
  - 技術開発のみならず認証のありかた等、制度面での整備が必要

- RF ビーコン
  - 飛行中の機体の位置を精密に決定できる RF ビーコンシステムの研究開発
  - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- RF ネットワーク
  - 高信頼性の通信と位置標定が同時に可能な RF ネットワークシステムの開発
  - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- 搭載レーダ
  - 機体搭載が可能で性能要件を満たすレーダの研究開発
  - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- データベース航法
  - RF ビーコンや搭載レーダにより得られた周囲の状況を手掛かりに地形データベース、地上構造物データベースと照合して自己位置を高精度に推定するアルゴリズム及びその実装の研究開発

④ 監視

(A) 技術方式

空飛ぶクルマに利用可能な監視の方式は以下が挙げられる

- ADS-B
- UAT/UAT2
- マルチラテレーション
- レーダ
- IR センサ
- 音響センサ

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標

監視の指標として以下を調査した。

- 監視範囲：地域、高度範囲及び監視対象からなる。
- 監視精度：監視対象の位置測定精度。
- リアルタイム性：監視情報の更新頻度。
- 取得情報の項目・要件：監視対象として空飛ぶクルマ、VFR 機/UAS の区分を設定し、それぞれについて取得する情報の項目を指標とする。
- 監視数（密度）：監視対象の機数あるいは密度。

- 完全性：監視システムが正常に利用できない場合に警告される確率。ルート/ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 継続性：監視システムの正常な利用を開始した後に、利用が中断されない確率。
- 可用性：監視システムを利用開始しようとしたときに正常に利用できる確率。ルート/ポート周辺及び接地点近傍に区分する。

(2) 要求値の調査

選定した指標に対して各成熟度レベルに応じた値を設定する。値は成熟度レベル及び運航イメージにおける表現に対して基本的な数値を想定し、スケールアナリシス的に導出する。導出した値の性質は要求値というよりも、おおよその想定される程度を示した値であり、何等かの限度、制約及び仕様等を明示するものではない。

表 2.4.2-54 エアタクシー／２次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから半径 1.5 km ルート区間 50 km	← ルート区間 80 km 都市等飛行域全域	← ← ←	← ← ←
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ステータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数(密度) *5	N/A	N/A	0.3 /km^2	1 /km^2	10 /km^2	100 /km^2
完全性						
ルート/ポート周辺 *6	N/A	N/A	> 1 - 10^{-3} /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	> 1 - 10^{-5} /FH	←	←	←
継続性						
ポート周辺」/接地点近傍 *8	N/A	N/A	> 1 - 10^{-6} /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポート周辺 *9	N/A	N/A	> 99 %	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

表 2.4.2-55 地方都市間交通／２次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから半径 1.5 km ルート区間 100 km	← ←	← ルート区間 200 km	← ← 居住地等飛行域全域
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ステータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数(密度) *5	N/A	N/A	0.2 /km^2	←	0.3 /km^2	←
完全性						
ルート/ポート周辺 *6	N/A	N/A	> 1 - 10^{-3} /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	> 1 - 10^{-5} /FH	←	←	←
継続性						
ポート周辺」/接地点近傍 *8	N/A	N/A	> 1 - 10^{-6} /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポート周辺 *9	N/A	N/A	> 99 %	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

表 2.4.2-56 離島・過疎地交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから半径 1.5 km ルート区間 100 km	← ←	← ルート区間 200 km	← ←
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ステータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数(密度) *5	N/A	N/A	0.2 /km^2	←	←	←
完全性						
ルート/ポート周辺 *6	N/A	N/A	> 1 - 10^{-3} /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	> 1 - 10^{-5} /FH	←	←	←
継続性						
ポート周辺」/接地点近傍 *8	N/A	N/A	> 1 - 10^{-6} /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポート周辺 *9	N/A	N/A	> 99 %	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	←

以下の注記は 3 表共通である。

* FH:flight hour、飛行時間、地上装置の場合はサービス時間で置き換える。
*1 成熟度レベルフレームワーク及び運航イメージより
*2 運航スケール特性値より
*3 (ノミナル速度) x 1s で仮定
*4 更新頻度として 1s で仮定
*5 (AAM 機体密度スケール) + (VFR 機密度:0.1/km^2) + (UAS 密度:0.1/km^2)で仮定
*6 監視システムにおいて誤標定が発生したとしても直ちに重大な安全余裕または機能の低減をきたすことはない。
*7 地上からの誘導が必須の場合を想定。ICAO の航法装置に対する規定を参考とした。誘導のための監視システムの利用不可状態が警告されない確率は「improbable」以下の確率と仮定した。これは成熟度レベルによらない。
*8 地上からの誘導が必須の場合を想定。ICAO の規定を参考とした。1 アプローチあたりの衝突リスクは 10^{-7} 以下。1 アプローチ 5 分として 10^{-7}/5 分～10^{-6}/FH。これは成熟度レベルによらない。
*9 仮定
*10 地上からの誘導が必須の場合を想定。運航イメージにおける就航率を妨げることがないよう、欠航率よりも 1 桁低い不能確率となるように仮定

(C) システム概念検討

成熟度レベル 4 におけるシステム概念として実現形態の一つを示す。

機体で受信した GNSS+SBAS 位置情報を含む情報が UAT により周囲の機体及び地上とで共有されることによる協調・従属監視が基本となり、それを元に運航支援サービスにおける動態管理等がなされる。

機体から放送される UAT の信号は広域に分散配置された地上局で受信され、マルチラテレーションによる協調・独立監視もおこなわれる。

混雑する空域及びポート周辺には、低高度で飛行する GA の他、空飛ぶクルマ、UAS 等低 RCS の物体を捉えることができるレーダが配置され、独立監視がおこなわれる。ポート周辺においては音響センサとレーダが併用され、非協調的な外来機による危険への対応もおこなわれる。

混雑する空域に存在する機体を多種類のセンサで捉えることから、情報の錯綜を防ぎ、情報の精度、確度等を向上させるため、センサ情報の統合処理がなされる。

(D) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。

- ADS-B に代わる従属監視方式の研究開発
  - 具体的には UAT あるいは UAT-2 となるが、国内事情に合わせた周波数帯の確保等技術開発のみならず、制度面での整備が必要となる
- ADS-B に代わる従属監視方式を用いた広域マルチラテレーションの研究開発
- 低高度空域監視レーダの研究開発
- 音響センサによる探知技術の研究開発
- 降雨、濃霧時においても使用できる IR センサによる探知技術の研究開発

5.4.4. 地上システム

① フリート管理システム

(A) 技術方式に関する調査

フリート管理システムには「飛行計画」、「情報管理」、「フライトウォッチ」、「スケジュール管理」の 4 つの機能が必要になると考えらえる。

(1) 飛行計画機能

飛行計画機能は、空飛ぶクルマの飛行計画を作成し、運航管理者の承認を行い交通管理へ提出する機能である。交通管理から調整があった場合は、飛行計画を変更し、調整を行う。また、ダイバートやエアターンバックなどに対応し、飛行計画を変更する。

- 実装上の課題
  - 自動化も見据えた、交通管理とフリート管理システムの適切なインタフェースの設定とその実装の同期

- 安全が確保された上で、効率的な運航が実現できているかの評価（最適経路の検証）のための動作検証方法、評価に必要なシステム等の開発
- 飛行計画のデータフォーマット等における国際標準その他への準拠に関する方針・ルールの決定

(2) 情報管理機能

情報管理機能は、運航に必要な情報の収集・管理を行う機能である。

- 実装上の課題
  - 既存航空機運航の枠組みでは議論されていない空飛ぶクルマに適した情報生成や情報共有に関する役割・ルールの決定（情報の与信責任、サービスの提供主体、データ交換の仕組み・インタフェースの標準化等）
  - 情報アクセスのリアルタイム性の確保
  - 情報保管容量の確保
  - 情報セキュリティの確保
  - 情報管理システムの障害対処手順の確立

(3) フライトウォッチ機能

フライトウォッチ機能は、運航事業者の運航管理者が、自身が運航している機体および運航管理を受諾している機体の運航管理を行うために使用する機能である。この機能により、フライト前～インフライト中～フライト後、ターンアラウンドを含めて、機体の状態や運航の進行状態などを管理しながら、情報提供、空地の連携を行い、地上からの飛行支援を行うことを可能とする。

- 実装上の課題
  - 情報品質、鮮度の維持
  - 通信品質の変動への対処
  - 情報ソースシステム／サービスとのインタフェースの確立
  - 情報アクセスのリアルタイム性の確保
  - 情報保管容量の確保
  - 情報セキュリティの確保
  - 情報管理システムの障害対処手順の確立
  - 予兆検出技術の確立

(4) スケジュール管理機能

スケジュール管理機能は、平常時のダイヤ、スケジュールの管理に加え、イレギュラー運航や自然災害発生時における計画の見直し、取り消し等の対応を行う。

また、その際に発生する機材繰りに関する使用機材管理も実施する機能である。

- 実装上の課題
  - イレギュラー発生時に、通常スケジュールに戻すまでの手順の確立
  - 大規模な自然災害時対応の自動化（ポート、空域、コリドー等、それぞれ処理能力の限界がある中での自動化対応。また、需要予測を加味した定期便とオンデマンドの割合調整など）
  - リアルタイム性を確保したオンデマンド運航のための技術方式の確立

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

成熟度レベルに応じて飛行計画機能に新たに必要となる機能の概要、及びその性能の要求値を次の表に示す。

表 2.4.2-57 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（飛行計画機能）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル１	VFR 飛行計画作成	取扱便数：10 便（「運航事業者 1 日当たりの取扱便数算出表」の「1 運航事業者 1 日当たりの取扱便数の概数」参照。以下同様）
レベル２	経路部を詳細化した飛行計画作成 （出発・到着ポートの正確な緯度経度、ウェイポイント、通過予定時刻、高度、速度など）	取扱便数：500 便 定期便
レベル３	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の調整（交通流管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：1,000 便 定期便
レベル４	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：3,000 便 定期便がメイン、オンデマンドが追加
レベル５	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成）飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：10,000 便 定期便、オンデマンドが増加、自家用機の追加
レベル６	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成）飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：30,000 便 定期便、オンデマンドが増加、自家用機が増加

表 2.4.2-58 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（情報管理）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル１	■個別情報管理 機体性能データ カンパニーNOTAM 安全情報 ■共有情報管理 気象情報 NOTAM AIP 地図地形情報 ポート情報	リアルタイム性が求められる情報項目： カンパニーNOTAM、気象情報、NOTAM、ポート情報 情報セキュリティリスク： 機体性能データ 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 カンパニーNOTAM 　秘匿性：中、完全性：大、可用性：中 安全情報 　秘匿性：中、完全性：中、可用性：中 気象情報 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 NOTAM 　秘匿性：中、完全性：大、可用性：中 AIP、AIC 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 地図情報 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 ポート情報 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 [本表での情報セキュリティリスクの定義] 秘匿性：大（漏洩不可）、中（部分的に漏洩不可）、小（オープンデータ） 完全性：大（改ざんされると事故、運航停止に繋がる）、中（改ざんされても直接事故に繋がらない、運航不可とならない）、小：（改ざんされても運航に影響しない） 可用性：大（ロストすると事故、運航停止に繋がる）、中：（ロストしても事故に繋がらない、運航不可とならない）、小（ロストしても運航に影響しない）
レベル２	■共有情報管理 レベル１で取り扱う情報に加えて以下の情報が追加となる。 障害物情報	リアルタイム性が求められる情報項目： カンパニーNOTAM、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 障害物情報 　秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 ※その他の情報のセキュリティはレベル１と同様

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル３	■共有情報管理 レベル 2 で取り扱う情報に加えて以下の情報が追加となる。 交通量予測（空域・コリドー） 悪天情報 機体性能データ（飛行計画を調整する際に必要となるデータの共有） ※インフライト中の機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、全体で共有する。	リアルタイム性が求められる情報項目： 機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 交通量予測（空域・コリドー） 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 気象情報、障害物情報は機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、運航に利用するため、可用性リスクが大となる。 ※その他の情報のセキュリティリスクはレベル 2 と同様
レベル４	（このレベルでの新たな取り扱い項目無し）	リアルタイム性が求められる情報項目： 機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 情報セキュリティリスクはレベル 3 と同様
レベル５	■共有情報管理 交通量予測（空域・コリドー） ※対象エリアが全国へ	リアルタイム性が求められる情報項目： 機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 情報セキュリティリスクはレベル 4 と同様
レベル６	（このレベルでの新たな取り扱い項目無し）	リアルタイム性が求められる情報項目： 機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 情報セキュリティリスクはレベル 4 と同様

表 2.4.2-59 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（フライトウォッチ）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル１	飛行中の機体を MAP 表示し、位置、機体の状態など、飛行に必要な最低限の情報のみを表示する。	同時取扱機数：2 機（「運航事業者 1 日当たりの取扱便数算出表」の「同時飛行監視機数の概数」参照。以下同様）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル２	運航機体のステータス管理 インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ（計画との差異、残電力など） 機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキストなど） 飛行中の機体を MAP 表示 情報提供	同時取扱機数：50 機
レベル３	運航機体のステータス管理 機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキスト、メンテナンス MSG、アンビュランス MSG、エマージェンシなど） 飛行中の機体を MAP 表示する。MAP 上に空域、コリドー、気象、NOTAM などを重畳表示する 情報提供（気象、NOTAM、ポート情報など）	同時取扱機数：100 機
レベル４	フライト毎に運航の進捗状況を監視し、運航管理者の意思決定が必要な場合のみアラートを出して通知する 機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。 機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。 運航管理者の意思決定が必要な場合のみアラートを出して通知する。 機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。 不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。 ※機体が必要とする情報は常に機体側にある状態が基本、必要に応じてリクエストリプライで提供	同時取扱機数：250 機
レベル５	機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。 機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。 運航管理者の意思決定が必要な場合であっても、意思決定する候補を抽出し、候補から運航管理者が選択する。 機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。 不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。	同時取扱機数：650 機

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル６	機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。 機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。 運航管理者の意思決定が必要な場合であってもシステムが自動で応答、結果を運航管理者へ通知する。 機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。 不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。	同時取扱機数：2,000 機

表 2.4.2-60 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（スケジュール管理）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル１	N/A	取扱便数：10 便（「運航事業者 1 日当たりの取扱便数算出表」の「1 運航事業者 1 日当たりの取扱便数の概数」参照。以下同様）
レベル２	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 使用機材管理 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：500 便 定期便
レベル３	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 使用機材管理 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：1,000 便 定期便
レベル４	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 （スケジュール調整の自動化、意思決定要の場合はアラートを出し管理者が判断） 使用機材管理 （機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知） 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：3,000 便 定期便、オンデマンド追加
レベル５	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 （スケジュール調整の自動化、意思決定要の場合は優先度を付けてシステムが候補を提示し、管理者が選択） 使用機材管理 （機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知） 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：10,000 便 定期便、オンデマンド増加、自家用機追加

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル６	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 （スケジュール調整の自動化、調整結果を管理者へ通知） 使用機材管理 （機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知） 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：30,000 便 定期便、オンデマンド増加、自家用機増加

(C) システム概念検討

空飛ぶクルマの運航に必要となるシステムの全体アーキテクチャ、及びフリート管理機能の配置場所を、次の図に示す。尚、この図は全体アーキテクチャのイメージ図である。

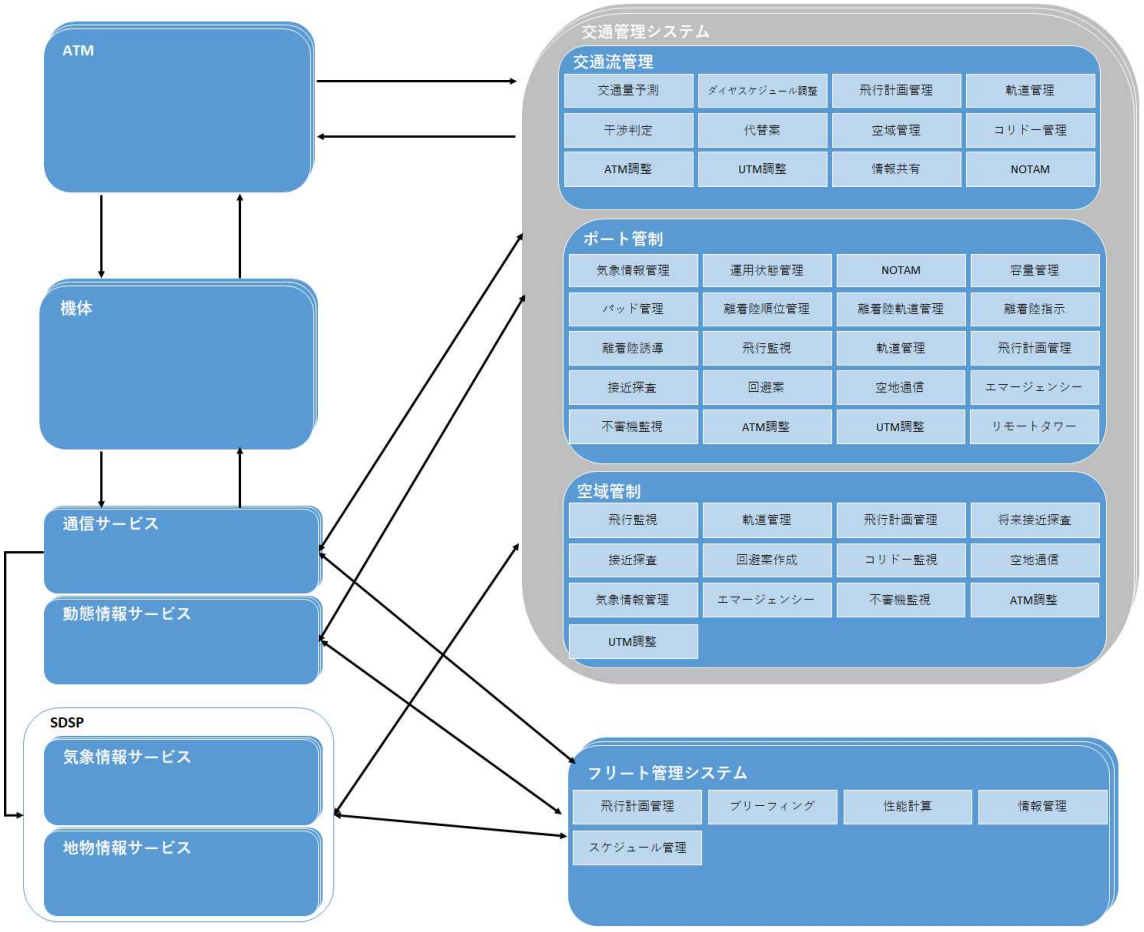


図 2.4.2-35 全体アーキテクチャ及びフリート管理機能の配置

(D) 今後の研究開発要素

機能ごとの技術的な課題と解決のための技術的方向性を記載する。

(1) 飛行計画

- 技術的な課題：
  - 飛行計画調整における交通管理とフリート管理間の適切なインタフェースが必要
  - 飛行計画の最適化要素の導出と最適化要素を加味した最適な飛行計画の作成が必要
- 技術的な方向性：
  - 飛行計画調整における交通管理とフリート管理間のインタフェース標準化、API が必要となる。
  - 最適化要素は、飛行時間、消費電力だけでなく、トータルコストを考えたミニマムコストである必要がある。飛行時間が長かったとしても、最適な速度で、動力装置などの負荷が少なく飛行した場合は、整備コストが抑えられ、最終的にはミニマムコストとなる。運航に係るコストの洗出しと、最適値の導出が必要である

(2) 情報管理

- 技術的な課題：
  - SDSP、フリート管理、交通管理などの関係者間で共有できる標準インタフェースが必要、飛行計画調整における交通管理とフリート管理間の適切なインタフェースが必要
  - **情報セキュリティ対策が必要**
- 技術的な方向性：
  - SDSP、フリート管理、交通管理などの関係者間で共有するための標準化と、機体へのアップロードを想定したインタフェースの標準化が必要
  - 安全運航に直結するデータについては、一貫性、可用性のリスクに対する対策を講じる必要がある。秘匿性リスクの高い情報については、秘匿性リスクに対する対策を講じる必要がある。

(3) フライトウォッチ

- 技術的な課題：
  - フライトウォッチの可用性リスクへの対応が必要
  - フライトウォッチ業務における意思決定の安全な自動化への対応が必要
- 技術的な方向性：
  - 通信、監視などの運航上必要な重要な情報の可用性が担保されない状態であっても、運航が継続可能となる仕組みが必要である。可用性が担保されない状況を再現し、事前に評価する仕組みが必要である。
  - フライトウォッチを自動化するために、運航管理者が意思決定をする業務の自動化が必要だが、安全を担保して自動化するための技術と自動化出来る範囲の明確化が必要である。

(4) スケジュール管理

- 技術的な課題：
  - オンデマンド運航への対応が必要
- 技術的な方向性：
  - オンデマンド運航の需要予測、機材繰りの最適化、結果の評価が可能な仕組みが必要である。

② 交通管理システム

(A) 技術方式に関する調査

空飛ぶクルマの交通管理に必要な機能についてまとめる。

交通管理は大きく以下の 3 つに分類し、それぞれの技術方式に関する調査を行う。

- 交通流管理
- ポート管制
- 空域管制

(1) 交通流管理機能

交通流管理機能は、既存有人航空機(VFR)および空飛ぶクルマが飛行する低高度空域の交通流を管理する機能である。また、飛行計画を運航事業者から受領し、飛行計画のチェックを行い承認する。飛行計画を使って干渉判定を行い、飛行前に飛行計画の調整をする。

- 実装上の課題
  - 交通流管理業務の実施主体の明確化（官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか）
  - 平常時の運航において、必要な情報を、必要なタイミングで収集するための情報管理の方法。特に、空域管理で必要な空域の様々な制約情報の入手方法と情報の精度と鮮度を確保する方法。
  - 精緻な 4D 軌道情報の生成や入手が、段階的な取り扱いとなることを想定した軌道情報のボリューム的管理との併用の方法
  - 自動化を行う上での責任の所在
  - ATM、UTM と共有すべき情報の整理、インタフェースの設定
  - 複数の交通管理に跨る長距離飛行に対して、交通管理間での情報の連携および複数の交通管理のネットワーク化の方法
  - 情報共有すべき外部機関の整理

(2) ポート管制機能

ポート管制機能は、ポート場面、離発着、ポート周辺空域を管理する機能である。また、ポート気象観測および予報情報、ポートの運用状態を共有する。

ポート管制はポートに管理者が存在する場合とリモートで管理する場合がある。

- 実装上の課題
  - ポート管制業務の実施主体の明確化（官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか）
  - 平常時の運航において、ポートアサインの優先・非優先を含めた公平性の確保のルール化
  - リモートタワーにて異常を検出した際や有事（災害時等）の際のポートの運用、交通流管理・空域管制およびフリート管理との連携等、イレギュラー運航時の対応やスケジュールのリカバリー運用に対するための各種調整基準
  - 着陸の順位付け情報の提供等、ミッションクリティカルな情報提供サービスを担うためのシステムとしての可用性・事業継続性の基準設定
  - 自動化を行う上での責任の所在

- ■ ATM、UTM と共有すべき情報の整理、インタフェースの設定
- ■ 情報共有すべき機関の整理

(3) 空域管制機能

空域管制機能は、既存有人航空機(VFR)および空飛ぶクルマが飛行する低高度空域を管制する機能である。

インフライト中の機体の接近探査を行い、接近状態が発生した場合は、回避案を作成し、機体へ送信する。また、コリドーを飛行する機体の監視を行う。

- ● 実装上の課題
  - ■ 空域管制業務の実施主体の明確化（官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか）
  - ■ 精緻な 4D 軌道情報の生成や入手が、段階的な取り扱いとなることを想定した軌道情報のボリューム的管理との併用の方法
  - ■ 各種警告発出等、ミッションクリティカルな情報提供サービスを担うためのシステムとしての可用性・事業継続性の基準設定
  - ■ 自動化を行う上で責任の所在
  - ■ ATM、UTM との共有する情報の整理、インタフェースの設定

(B) 今後の研究開発要素

機能ごとの技術的な課題と解決するための技術的な方向性を記載する。

(1) 交通流管理機能

- ● 技術的な課題：
  - ■ バッテリ容量に制限がある空飛ぶクルマは長い空中待機などは出来ない。空中待機など計画外のオペレーションが発生しないようにするためには、事前に計画を調整し、計画に従って飛行することが重要となる。飛行前に調整するためには、交通量、空域使用状況、コリドー使用状況、気象など不確定要素を可能な限り、現実に近い形で予測しなければ計画外のオペレーションは減らない。
  - ■ 事前に調整した計画、計画から作成した軌道情報は、予測精度が高くなければ、運航中に計画外のオペレーションや接近状態を発生させてしまう。
- ● 技術的な方向性：
  - ■ 定期便スケジュール、オンデマンドフライトの予測を行い、気象予測、NOTAM、空域、コリドー、ポートの状況などの変動要素を加えて、シミュレーションを行う技術の向上が必要である。飛行前の計画調整が交通管理と運航事業者間で自動で行われる必要がある。
  - ■ 飛行計画および飛行計画から作成した軌道情報の精度を上げるには、元になる飛行計画にインプットする情報として経路情報を詳細化するなど、飛行計画を高度化する必要がある。飛行計画を高度化した上で、気象などの変動要素を考慮し、軌道情報を作成する。軌道情報を作成したとしても、あらゆる要因で予測した軌道通りにはいかない。変更があるたびに軌道情報が変わると、軌道情報を使ったあらゆる処理のコストがかかるため、適度なバッファを持った軌道予測が必要となる。

(2) ポート管制機能

- 技術的な課題：
  - 空港内ポートおよび空港周辺に設置するポートから離発着する空飛ぶクルマは、IFR 機、および有人機(VFR)との接近状態が発生する可能性がある。
  - ポートは経路の終点であり、複数の出発地から 1 点に機体が集まり、混雑する。到着ポートの混雑の発生を抑える必要がある。
  - ポート周辺は離発着する機体が低高度で密集しているため、計画外の機体の進入や空中浮遊物などが離着陸機に危険な状態を引き起こす可能性がある。
- 技術的な方向性：
  - 空港の監視レーダの情報と空飛ぶクルマの動態情報のタイムリーな情報共有、軌道情報の不明確な有人機(VFR)との接近探査および回避技術の確立が必要である。
  - 着陸ポートの混雑の発生を抑えるためには、着陸順位を事前に決め、着陸順位に合わせて間隔を保って機体が着陸することが必要。着陸順位に従って、出発から到着までの軌道を調整する技術の確立が必要。
  - ポート周辺の空域に対して、計画外の機体や空中浮遊物を監視・追跡し、必要に応じて制御または措置を行う技術の確立が必要である。

(3) 空域管制機能

- 技術的な課題：
  - 空飛ぶクルマと軌道情報の不明確な有人機(VFR)、小型無人機などとの接近状態が発生する可能性がある。
  - 飛行前に調整した飛行計画および予測軌道は、飛行中に誤差が発生する。誤差の発生が接近状態の発生や混雑による待機を発生させる。
- 技術的な方向性：
  - 軌道情報の不明確な有人機(VFR)、小型無人機との接近探査および回避技術の確立が必要である。
  - 最適なバッファを持った予測軌道の生成と、飛行中の機体の動態情報のタイムリーな連携、地上機上間の軌道連携を行う技術の確立が必要である

③　給電システム

(A) 技術方式に関する調査

電動モビリティのなかで特に導入が進んでいる二次電池式の電気自動車や電気バスへの給電方法として実現されている次の三種類の給電方式について概要調査を実施した。

調査結果から、空飛ぶクルマに適用した場合の特徴と課題を明らかにし、三種類の給電方式を比較する。さらに、EMS（エネルギー・マネージメント・システム）への適用についても検討を行う。

なお、本節以降は特に断りがない限り二次電池を単に「電池」と呼ぶ。

- **コンダクティブ充電方式**
- **電池交換方式**
- **非接触充電方式**

(1) コンダクティブ充電方式

コンダクティブ充電方式は、電池式電気自動車の充電手段として普及が進んでいる。普通充電と急速充電の二つの充電方法がある。急速充電の規格の一つに「CHAdeMO」があり、我が国の急速充電方式として一般的である。急速充電器により交流から直流に変換し、(高めの) 直流電圧で充電することで、普通充電よりも短時間で多くの電力を充電することが可能である。

- 課題
  - 急速充電時、電池の温度が上昇すると満充電に時間を要するので冷却機構が必要になる。
  - 充電時の電池の温度管理が困難なため、急速充電を行うことで電池の劣化を早める。
  - 充電器出力の大容量化でケーブル重量やケーブル径が大きくなる。
  - 重量物となるケーブル接続のため、ロボットアームが必要である。

(2) 電池交換方式

電池式電動モビリティへの電池交換による給電方法は、電気自動車や電気バス、電動バイクで採用例が見られる。比較的小型・軽量の電池を搭載する電動バイクでは、人手による電池交換が可能である。

空飛ぶクルマの場合は、電池交換を駐機場で行うと考えられる。このため、充電済みの電池や使用済み電池を電池保管場所に搬入出するための「電池交換台車」が使用されると考えられる。

- 課題
  - 電池を挿抜可能とするために、空飛ぶクルマ機体構造が複雑になる。
  - 電池保管庫・電池交換台車が別途必要となり設備コストが大きくなる。
  - 電池保管庫内の空調管理設備が必要になる。
  - 規格化を行うことで異種機体との互換性を持たす必要がある。

(3) 非接触充電方式

非接触充電方式は、工場内の荷物搬送に供せられる自動搬送台車（AGV）への給電方法として普及が進む一方、電気自動車への給電にも実績ができつつある。また、金属接点が露出せず、感電のリスクがないのが大きな特徴である。

空飛ぶクルマへの非接触充電は、自動搬送台車や電動モビリティへの実装が進む磁界結合（電磁結合）方式、特に磁界共鳴方式が使われると考えられる。給電用コイルは駐機パッド上に設置されていて、機体側に搭載されている受電用コイルがその真上の位置になるように駐機する。給電用コイルは大型化されると、埋設配置する必要が生じる。

- 課題
  - 空飛ぶクルマ側に受電コイルや充電回路を搭載する必要がある。
  - 送受電コイルが合致する位置に機体を駐機する必要がある。
  - 高出力化に伴い送受電コイルが大きく、重くなる。

■　送受電コイルの冷却機構が必要となる。

(4) 各方式の比較

以下の 4 項目について各給電方式の特徴と課題を比較する。

- 満充電への対応
- 空飛ぶクルマ機体構造への影響
- 電池への影響
- 給電設備コスト

表 2.4.2-61 満充電への対応

コンダクティブ充電	（○）大容量充電が容易 （×）満充電するには電池の温度管理が必要
電池交換	（○）電池保管庫で別途充電しているので、満充電の電池を提供可能
非接触充電	（×）満充電するには電池の温度管理が必要

表 2.4.2-62 空飛ぶクルマ機体構造への影響

コンダクティブ充電	（○）機体側での電池固定位置の制約はない
電池交換	（×）電池を挿抜可能とするために空飛ぶクルマ機体構造が制約される
非接触充電	（×）空飛ぶクルマ側に受電コイルや充電回路を搭載する必要がある 高出力化すると送受電コイルが大きく、重くなる 受電コイルの冷却機構が必要となる

表 2.4.2-63 電池への影響

コンダクティブ充電	（×）機体側での駐機中の充電池の冷却が不十分な場合、急速充電を行うことで電池の劣化を早める
電池交換	（○）電池保管庫での充電のため、充電時の電池の温度管理が容易である 時間をかけて充電するので電池の劣化を遅らせられる
非接触充電	（×）機体側での駐機中の充電池の冷却が不十分な場合、急速充電を行うことで電池の劣化を早める

表 2.4.2-64 給電設備コスト

コンダクティブ充電	（×）重量物となるケーブルの接続のため、ロボットアームが必要である
電池交換	（×）電池保管庫、電池交換台車が必要である 電池保管庫内の空調管理設備が必要である
非接触充電	（×）送電コイル設置工事（埋設工事等）が必要である

(B)　　ＥＭＳの検討

(1) 概要

EMS（エネルギーマネジメントシステム）とは、エネルギー管理システムであり、エネルギー使用に関して方針や目的、目標を設定し、計画を立てて、手順を決めて管理する活動を実施できるようにした仕組みを指す。本報告書で記述する EMS はそのうちの一部として充放電を用いた電力の需給制御について述べることとする。

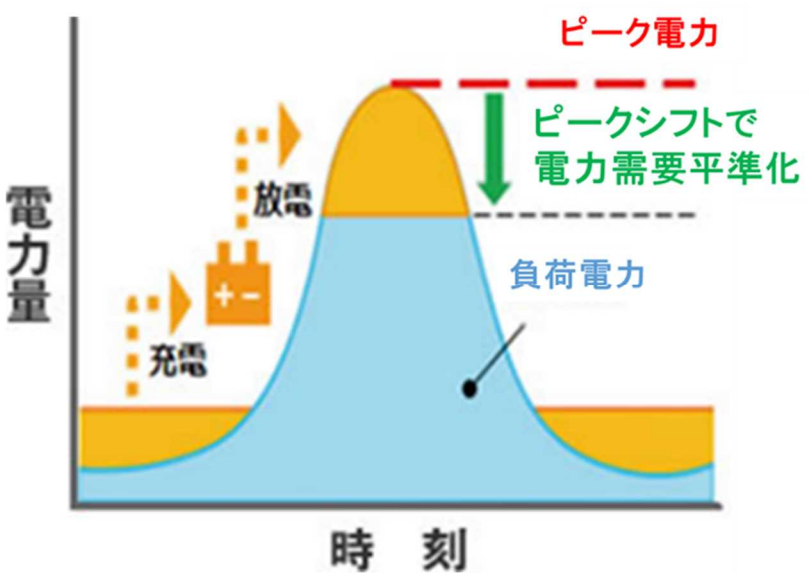


図 2.4.2-36 充放電を用いた電力需給制御の EMS イメージ

出所）エネルギーマネジメントシステム（EMS）とは｜電力計画.com, https://standard-project.net/energy/ems.html（閲覧日：2022 年 2 月 16 日）

電力供給に余裕のある深夜の時間帯に事業所や施設等に設置している蓄電池に電力を蓄えておき（充電)、日中の電力供給がひっ迫する電力ピークの時間帯に蓄電池から放電し、事業所や施設等での電力負荷として使用することにより事業所や施設等での電力のピークシフトの制御を行うものである。

多くの電力会社の電気力料金は、高圧電力契約以上の場合、基本料金と電力量料金の合計により算出され、基本料金は 「デマンド料金制度」 により決定される契約電力をもとに算出される。

(2) EMS の適用例

EMS を用いた成田空港を想定したエアタクシーへの充電電力量のピークシフト試算を行なった

(a) 成田空港入港者数の時間帯別推移

2018 年 7 月 6 日の成田空港に入港する路線バスの時間帯別台数は午前 7 時台が最も入港台数が多く、次いで 14 時台が多くなっている。

(b) エアタクシーへの時間帯別必要充電電力の想定

今回の検討にあたっては成熟度レベル 4（事業拡大段階）に到達したと仮定してエアタクシーへの必要充電電力量を算出する。

成熟度レベル 4 では、充電するのに必要な電力は約 7,235kW に達する。7 時台のピーク時間帯において 7,200kW の電力が使用されると仮定し、それ以外の時間帯の充電電力も路線バスの入港者数に比例して必要になると考え、1 日の時間帯別必要充電電力を想定した。

(c) EMS を活用したピークシフト

7 時台と 14 時台のピーク充電電力を低減するため、比較的電力に余裕のある時間帯に蓄電池もしくはエアタクシーの予備の電池に充電しておくことによって、ピーク電力を目標充電電力値まで低減し、充電に必要な電力量をシフトする EMS(エネルギーマネジメント)を行う。

なお、目標充電電力値は 9～13 時台の間に電力シフトのために充電する電力量と 14～16 時台の電力をシフト（低減）する電力量が等しくなるように算出し、4,700kW を得た。時間帯別充電制御のイメージ図は図 2.4.2-37 のとおりである。

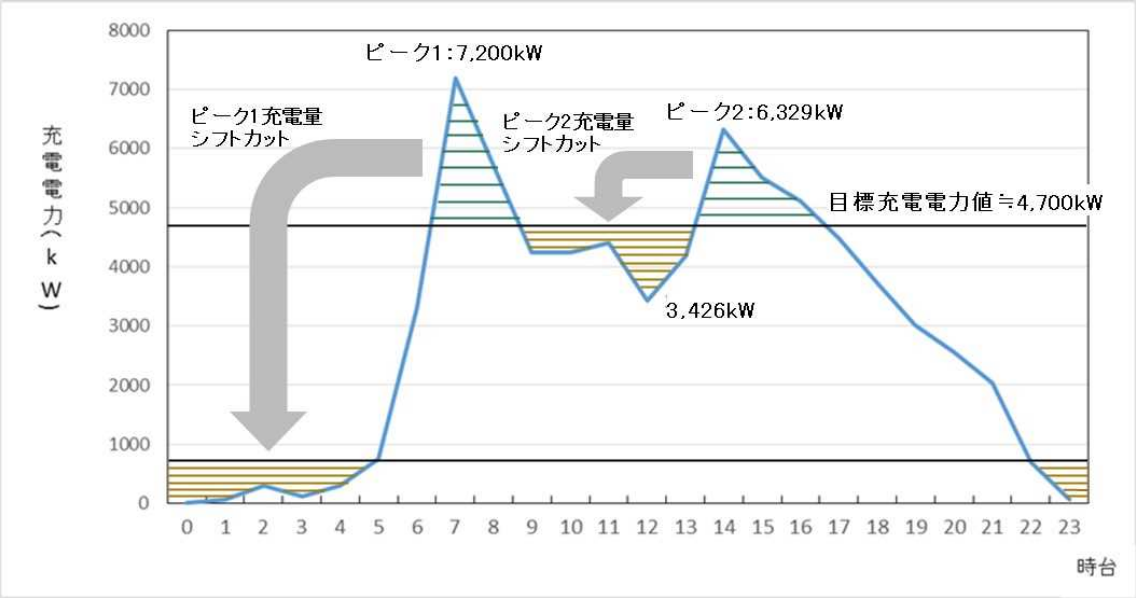


図 2.4.2-37 時間帯別充電制御イメージ

(3) EMS の適用効果

成田空港を想定したエアタクシーの充電に要する最大電力（ピーク電力）を 7,200kW から 4,700kW に抑制できれば大幅に電気料金の基本料金が低減できる。

成熟度レベル 4 では、受電電圧 22kV を想定しているため関西電力の特別高圧電力 A

の 22,000V または 33,000V 供給の適用料金を一例として適用する。これを適用すると基本料金が 1765.5 円/kW のため、充電電力の最大電力を 7,200kW から 4,700kW に低減することにより 1 か月の基本料金は（7,200-4,700）×1765.5（円/kW）=4,413,750 円となり約 442 万円が削減できる。

しかし、コンダクテイブ充電方式および非接触充電方式を用いたピークシフトのための充電を実施する場合、BESS の設置が必要となるため、別途設置費用と設置面積を考慮する必要がある。

(4)　再生可能エネルギーを含んだ場合の適用効果

再生可能エネルギーのうち住宅用太陽光発電からの余剰電力をピークシフトのためのエアタクシーへの充電に利用することを検討した。

成田空港を想定した場合 7～8 時台のピーク 1 の時間帯と 14～16 時台のピーク 2 の時間帯に充電のピークがある。太陽光発電の発電電力に余剰が生じるのは日中の時間帯であり、9～13 時台の時間帯の太陽光発電の余剰電力を利用し、ピーク 2 の時間帯の電力量シフトを行う。

10kW 未満の住宅用太陽光発電システムの場合、余剰売電が適用される。

ピーク 2 のシフトに要する充電電力量は、14～16 時台の電力を目標充電電力値 4,700kW まで低減するため、あらかじめ 9～13 時台の間に住宅用太陽光発電の余剰電力を利用する。住宅用太陽光発電 1 軒あたり 5kW の余剰電力を図 2.4.2-37 に記載のとおり、9～13 時台の時間帯で最も低い電力 3,426kW から目標充電電力 4,700kW までの電力に利用できるとすると、(4,700－3,426)÷5＝254.8 となり約 255 軒の住宅用太陽光の余剰電力が利用できる。

我が国においては、大規模空港として、成田空港を含めた 28 の拠点空港が整備されている 。これら、拠点空港全てにおいて住宅用太陽光発電の電力を利用すると仮定すると、7,000 軒程の住宅用太陽光発電の導入が見込まれる。

(C) 今後の研究開発要素

実装イメージを実現する上での技術的な課題と解決のための技術的方向性を記載する。

成熟度の上位レベルにある高運航頻度を実現するためには、ポートに着陸した空飛ぶクルマをできるだけ早く離陸できる状態にする必要がある。空飛ぶクルマ給電システムで対応する技術的課題として、電池充電時間の短縮および電池交換時間の短縮をあげる。

(1) 電池充電時間

電池充電時間を短縮するには充電器の高出力化および受電設備の大容量化が必要となる。これらを実現するには次の課題が考えられる。

- 技術的な課題：
  - 電池充電時間の短縮＝＞　充電器の高出力化＝＞　充電器の大型化＝＞設置スペースの増大
  - 電池充電時間の短縮＝＞受電設備の大容量化＝＞受電設備の大型化＝＞設置スペースの増大

- 技術的な方向性：
  - 次世代パワー半導体デバイスの採用によって損失を低減する
  - 高温度環境下でも対応可能とする、スイッチングを高周波数化することで変圧器等の磁気部品を小型化する
  - 機器の排熱、放熱を従来の空冷、もしくは間接水冷に対して、直接水冷型パワー半導体モジュールが提案されている。直接水冷型パワー半導体モジュールは電気自動車の動力制御に使われる車載用インバータに適用され、車載用インバータの小型化、省スペース化に寄与している。
  - 変圧器と特高受電設備を一体構成とすることで受電設備の設置スペースを大幅に削減する提案がなされている。

(2)　電池交換時間の短縮

電池交換方式において大型重量物である電池の挿抜を円滑に実施するためにはスライド機構が使われることが想定される。現状は電池交換台車の位置合わせに時間を要している。

- 技術的な課題：
  - 電池交換台車の電池挿抜にかかる位置合わせの高精度化電池充電時間の短縮

- 技術的な方向性：
  - 電池交換台車が空飛ぶクルマそのものとその姿勢を認識して機体に接近し、さらに電池挿抜作業に適した位置に精度よく移動する必要がある。
  - 空飛ぶクルマの認識と姿勢の推定は、発展著しい機械学習（AI）が適用されると考えられる。電池挿抜に適した位置に高精度に移動するためには別に高精度位置合わせが必要となるため、高精度に姿勢や位置を測ることが可能な視覚マーカを空飛ぶクルマの電池挿入口付近にあらかじめ貼付して、電池交換台車のカメラセンサで検出することで、電池挿抜位置に適した場所を高精度に推定することできると考えられる。

(F) 考察

(1) 電源容量の抑制

充電出力を決める時に考慮するのは、電池容量と充電可能時間である。機体に搭載されている電池を駐機時間内に充電することが給電システムに求められる。

電池容量と充電時間から充電器に必要な出力が算出される。電源容量はこの充電出力と充電器の数によって決まるため、電源容量の抑制策が必要となる。

電源容量を抑制するには、１ポート内で同時間帯に着陸している機体すべてを満充電するのではなく、充電せずに飛び立つ機体や、満充電以下の充電に抑える機体を組み入

れるような運航を考える必要がある。

また、ＥＭＳを活用してピークシフトを行うことで、電源容量を抑制させる。

(2) 成熟度レベルごとに推奨する給電システム

表 2.4.2-65 にエアタクシー／2 次交通（Vertihub）における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。

成熟度レベル 1 では機体側への受電装置搭載を考慮すると非接触充電方式は他の方式より劣る。成熟度レベル 2、3 では電池交換方式の方がコンダクティブ充電方式よりも充電出力が少なく、初期設置費用を抑えられるため優位と考える。成熟度レベル 4 ではコンダクティブ充電方式の場合、充電時間が 10 分であり、急速充電に対応できるのはメリットだが、充電器の初期費用が高くなるのと、電池寿命が短くなるデメリットがある。成熟度レベル 5、6 では電池重量が重くなり、それに対応する電池交換台車の大型化が予想され製作に困難が生じると想定し、コンダクティブ充電方式の方が電池交換方式よりも優位であると評価した。

表 2.4.2-65 Vertihub における最適充電方式を表した技術ロードマップ

【凡例】推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

推奨度3
推奨度2
推奨度1

7.3給電システム 【 エアタクシー/2次交通(Vertihub)】

			成熟度レベル1（MR500）	成熟度レベル2（MR500）	成熟度レベル3（MR500）	成熟度レベル4（TR500A）	成熟度レベル5（TR500B）	成熟度レベル6（TR1600）
	ロードマップのポイント		離着陸頻度×パッド数＝駐機時間 ⟹（駐機時間-2)分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間＝充電出力を算出 充電器はパッドと同数とし、充電出力×充電器数÷効率÷力率＝電源容量を算出 受電・給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加					
	補正内容		電源容量が20,000kVAを超えると受電電圧が特高(154kV)となり、受電設備の規模・コストが増大するため、電源容量20,000kVAが上限となるように駐機時間の補正を行う。 レベル5：駐機時間10分では電源容量が 28,246kVAと上限を超えるため、駐機時間を14分に補正し、電源容量を20,000kVA以下にする。 レベル6：駐機時間10分では電源容量が131,754kVAと上限を超えるため、駐機時間を60分に補正し、電源容量を20,000kVA以下にする。					
	運行イメージ	航続距離（km）	10km	50km	100km	200km	400km	600km
		運航頻度(最大) 1ポートあたりの最大離着陸頻度	30~60分間隔 程度(30)	5~15分間隔 (15)	2~5分間隔 (5)	1~2分間隔 (2)	1分間隔以下 (1)	1分間隔以下 (1)
		蓄電池容量(kWh)	114kWh	190kWh	304kWh	201kWh	322kWh	1502kWh
		パッド数	1	2	4	6	10	10
		駐機時間	30分	30分	20分	12分	14分	60分
		充電(電池交換)時間	28分	28分	18分	10分	12分	58分
コンダクティブ充電方式	要求値	充電出力	244kW台	407kW台	1,013kW台	1,206kW台	1,610kW台	1,554kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	286kVA	952kVA	4,741kVA	8,463kVA	18,830kVA	18,173kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)	特高(22kV)	特高(77kV)	特高(77kV)
	方式・種類	給電方法	手差し	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	130.0㎡	130.0㎡	190.0㎡	190.0㎡
		充電器スペース(㎡)	5.9㎡	17.2㎡	74.5㎡	130.9㎡	285.1㎡	275.8㎡
		必要台数	1	2	4	6	10	10
電池交換充電方式	要求値	充電出力	81kW台	136kW台	338kW台	402kW台	537kW台	518kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	286kVA	952kVA	4,741kVA	8,463kVA	18,830kVA	18,173kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)	特高(22kV)	特高(77kV)	特高(77kV)
		充電時間(分)	84分	84分	54分	30分	36分	174分
	方式・種類	給電方法	手動	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	130.0㎡	130.0㎡	190.0㎡	190.0㎡
		充電器スペース(㎡)	4.9㎡	13.1㎡	51.7㎡	90.3㎡	194.7㎡	188.5㎡
		電池保管スペース(㎡)	1.3㎡	3.3㎡	8.4㎡	10.3㎡	21.5㎡	47.7㎡
		走行路スペース(㎡)	5.5㎡	8.8㎡	17.6㎡	25.8㎡	42.2㎡	42.2㎡
		電池数	3	6	12	18	30	30
		充電器台数	3	6	12	18	30	30
		電池交換装置台数	1	2	4	6	10	10
非接触充電方式	要求値	充電出力	244kW台	407kW台	1,013kW台	1,206kW台	1,610kW台	1,554kW台
		充電効率(%)	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上
		電源容量(kVA)	303kVA	1,008kVA	5,020kVA	8,961kVA	19,938kVA	19,242kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)	特高(22kV)	特高(77kV)	特高(77kV)
	方式・種類	給電方法	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	130.0㎡	130.0㎡	190.0㎡	190.0㎡
		送電ユニット(㎡)	5.9㎡	17.2㎡	74.5㎡	130.9㎡	285.1㎡	275.8㎡
		送電コイル数	1	2	4	6	10	10
		必要台数	1	2	4	6	10	10

表 2.4.2-66 にエアタクシー／2 次交通（Vertistop）における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。
成熟度レベルに係わらずコンダクティブ充電方式、電池交換方式、非接触充電方式の順に優位と考える。その理由として、電池交換方式では既設ビルの屋上において、電池交換台車の走行路スペース確保が困難な場合もあると考える。非接触充電方式では機体側への受電装置搭載に加え、ビル屋上にコイルを設置する場合、大容量になると設置が困難（埋設不可）になると考える。

表 2.4.2-66 Vertistop における最適充電方式を表した技術ロードマップ

【凡例】推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

推奨度3
推奨度2
推奨度1

7.3給電システム 【 エアタクシー/2次交通(Vertistop)】

			成熟度レベル1（MR500）	成熟度レベル2（MR500）	成熟度レベル3（MR500）	成熟度レベル4（TR500A）	成熟度レベル5（TR500B）	成熟度レベル6（TR1600）
	ロードマップのポイント		駐機時間はエアタクシー(Vertihub)と同様とする。(Virtistopへの離着陸は最大頻度とはならないと想定) ⟹(駐機時間-2)分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間＝充電出力を算出 パッド数＝1、充電器＝1とする ⟹ 充電出力×充電器数÷効率÷力率＝電源容量を算出 給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加					
	補正内容		充電設備への電源は付随建物（ビル屋上であればビル本体）の予備電源（必要に応じ電源増量）を想定しているので、電源容量1,200kVAが上限となるように駐機時間の補正を行う。 レベル4: 駐機時間10分では電源容量が 1,411kVAと上限を超えるため、駐機時間を14分に補正し、電源容量を1,200kVA以下にする。 レベル5: 駐機時間10分では電源容量が 2,825kVAと上限を超えるため、駐機時間を21分に補正し、電源容量を1,200kVA以下にする。 レベル6: 駐機時間10分では電源容量が13,175kVAと上限を超えるため、駐機時間を90分に補正し、電源容量を1,200kVA以下にする。					
	運行イメージ	航続距離（km）	10km	50km	100km	200km	400km	600km
		蓄電池容量(kWh)	114kWh	190kWh	304kWh	201kWh	322kWh	1502kWh
		パッド数	1	1	1	1	1	1
		駐機時間	30分	30分	20分	14分	21分	90分
		充電(電池交換)時間	28分	28分	18分	12分	19分	88分
コンダクティブ充電方式	要求値	充電出力	244kW台	407kW台	1,013kW台	1,005kW台	1,017kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	286kVA	476kVA	1,185kVA	1,175kVA	1,189kVA	1,198kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)
	方式・種類	給電方法	手差し	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム
		受電スペース(㎡)	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡
		充電器スペース(㎡)	5.9㎡	8.6㎡	18.6㎡	18.5㎡	18.7㎡	18.8㎡
		必要台数	1	1	1	1	1	1
電池交換充電方式	要求値	充電出力	81kW台	136kW台	338kW台	335kW台	339kW台	341kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	286kVA	476kVA	1,185kVA	1,175kVA	1,189kVA	1,198kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)
		充電時間(分)	84分	84分	54分	36分	57分	264分
	方式・種類	給電方法	手動	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送
		受電スペース(㎡)	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡
		充電器スペース(㎡)	4.9㎡	6.6㎡	12.9㎡	12.8㎡	13.0㎡	13.1㎡
		電池保管スペース(㎡)	1.3㎡	1.7㎡	2.1㎡	1.7㎡	2.1㎡	4.8㎡
		走行路スペース(㎡)	5.5㎡	5.9㎡	6.2㎡	6.2㎡	6.2㎡	6.2㎡
		電池数	3	3	3	3	3	3
		充電器台数	3	3	3	3	3	3
		電池交換装置台数	1	1	1	1	1	1
非接触充電方式	要求値	充電出力	244kW台	407kW台	1,013kW台	1,005kW台	1,017kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上
		電源容量(kVA)	303kVA	504kVA	1,255kVA	1,245kVA	1,259kVA	1,268kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.7kV)	高圧(6.8kV)
	方式・種類	給電方法	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴
		受電スペース(㎡)	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡	0.0㎡
		送電ユニット(㎡)	5.9㎡	8.6㎡	18.6㎡	18.5㎡	18.7㎡	18.8㎡
		送電コイル数	1	1	1	1	1	1
		必要台数	1	1	1	1	1	1

表 2.4.2-67 に地方・離島・過疎地における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。
成熟度レベルに係わらずコンダクティブ充電方式と電池交換方式は同評価で、非接触充電方式よりも優位と考える。その理由として、各成熟度レベルにおいて、電源容量、受電・給電スペースは各 3 方式ともに大きな違いはなくコスト面も同程度と想定される。ただし、非接触充電方式は他のユースケースの評価と同様で機体側への受電装置搭載が必要であり、他の方式よりも推奨度合いは劣ると考えられる。

表 2.4.2-67 地方・離島・過疎地における最適充電方式を表した技術ロードマップ

【凡例】推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

推奨度3
推奨度2
推奨度1

7.3給電システム 【 地方都市間交通/2次交通、離島・過疎地交通】			成熟度レベル1（MR500）	成熟度レベル2（MR500）	成熟度レベル3（MR500）	成熟度レベル4（TR500A）	成熟度レベル5（TR500B）	成熟度レベル6（TR1600）
ロードマップのポイント			離着陸頻度×パッド数＝駐機時間 ⟹（駐機時間-2)分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間＝充電出力を算出 充電器はパッドと同数(最大6パッド)とし、充電出力×充電器数÷効率÷力率＝電源容量を算出 受電・給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加					
補正内容			特になし					
	運行イメージ	航続距離（km）	10km	50km	100km	200km	400km	600km
		運航頻度(最大) 1ポートあたりの最大離着陸頻度	30~60分間隔程度(60)	30~60分間隔程度(45)	30~60分間隔程度(30)	15~30分間隔程度(20)	15分間隔以下(15)	15分間隔以下(15)
		蓄電池容量(kWh)	114kWh	190kWh	304kWh	201kWh	322kWh	1502kWh
		パッド数	1	2	4	6	6	6
		駐機時間	60分	90分	120分	120分	90分	90分
		充電(電池交換)時間	58分	88分	118分	118分	88分	88分
コンダクティブ充電方式	要求値	充電出力	118kW台	130kW台	155kW台	102kW台	220kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	138kVA	303kVA	723kVA	717kVA	1,541kVA	7,187kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
	方式・種類	給電方法	手差し	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		充電器スペース(㎡)	4.0㎡	8.4㎡	18.2㎡	22.8㎡	33.0㎡	112.9㎡
		必要台数	1	2	4	6	6	6
電池交換充電方式	要求値	充電出力	39kW台	43kW台	52kW台	34kW台	73kW台	341kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	138kVA	303kVA	723kVA	717kVA	1,541kVA	7,187kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
		充電時間(分)	174分	264分	354分	354分	264分	264分
	方式・種類	給電方法	手動	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		充電器スペース(㎡)	3.4㎡	7.2㎡	15.6㎡	19.3㎡	27.9㎡	78.3㎡
		電池保管スペース(㎡)	1.3㎡	3.3㎡	8.4㎡	10.3㎡	12.9㎡	28.6㎡
		走行路スペース(㎡)	5.1㎡	7.3㎡	13.8㎡	18.9㎡	21.3㎡	25.8㎡
		電池数	3	6	12	18	18	18
		充電器台数	3	6	12	18	18	18
		電池交換装置台数	1	2	4	6	6	6
非接触充電方式	要求値	充電出力	118kW台	130kW台	155kW台	102kW台	220kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上	85%以上
		電源容量(kVA)	146kVA	321kVA	766kVA	759kVA	1,631kVA	7,609kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
	方式・種類	給電方法	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴	電磁誘導or磁気共鳴
		受電スペース(㎡)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		送電ユニット(㎡)	4.0㎡	8.4㎡	18.2㎡	22.8㎡	33.0㎡	112.9㎡
		送電コイル数	1	2	4	6	6	6
		必要台数	1	2	4	6	6	6

④ 気象システム

(A) 技術方式に関する調査

(1) 気象インフラ

空飛ぶクルマの安全運航環境を作る上で活用可能な主な地上気象インフラとその特徴を表 2.4.2-68 に示す。

表 2.4.2-68 空飛ぶクルマ運航を支える地上気象インフラ特徴

	気象庁レーダー（通常配信）	XRAIN(国交省）通常配信データ	空港ドップラーライダー	ドップラーライダー（ビーム型）	雨、霧、雲同時観測多周波レーダー	ライブカメラ	地上気象観測
	既存システム	既存システム	既存システム	既存システム	開発段階	既存システム	既存システム
観測高度	高度2km面	1km以上	350m-30km	40m-250m	0m-600m中心	見通し距離	地点
観測範囲	全国	半径50㎞	半径3km		半径10㎞(目標値)	数十～百km	
観測頻度	5分	1分	10分	10分	5秒(検討中)	1分	1分
解像度	1000m	250m	30,75,150m	20,30,45m	30m	-	-
観測精度(解像度と更新頻度)	低	中	高	高	高	中	中
観測方向	水平方向	水平方向	水平方向・鉛直方向	水平方向・鉛直方向	水平方向・鉛直方向	見通し方向	点
観測面/点	水平面	水平面	水平面・鉛直面	水平面・鉛直面	水平面・鉛直面	表面	点
周波数等	C帯	X帯	光	光	Ku帯以上も含む複数帯	画像	観測機
価格	数十億(高額)	数億(高額)	億(高額)	千万(高額)	百万(中)	数万～十数万(低額)	数万～百万(低額)
大きさ	大型	大型	大型	小型	小型	超小型	小型
■観測項目							
降雨	○	○	×	×	○	○	○
雨雪の判別	×	×	×	×	○	×	△
雲内部の強雨、乱流	△	△	×	×	○	×	×
風	△	×	○	○	○	×	○
弱い雨雪雲、霧、ダスト	×	×	×	×	○	△(表面映像)	×
ドライマイクロバースト、ガストフロント	×	×	○	○	×	×	×
ウエットマイクロバースト、ガストフロント	○	○	×	×	○	×	×
◆総合的なメリットデメリット							
メリット	広範囲に強い雨雲が捉えられる	雨や雪雲を観測。強い雨雪でも、降雨減衰を補正して観測可能。雨雪判別により、地上での降水量推定の精度を高めている	雲の無い晴天時は上空の風が観測できる	雲の無い晴天時は上空の風が観測できる	空飛ぶクルマ飛行高度の雨、雪、霧、吹雪、ダストを伴う視程悪化状況の自動判別が出来、ドップラーライダーでは観測できない雲内部の風分布、降水強度分布、乱流を細かく検知する事ができる	雲等、現象表面(形状)から気象状況がわかる。画像解析技術を併せ、ある程度の視程、雲底の計測もできる	地点の降水量、風向風速値が分かる 安価の為複数台設置が可能
デメリット	対地高度2㎞における雨雲を捉えたものであり、空飛ぶクルマが飛行する低高度の雨分布ではない。基本的に雨を伴う雲が中心/昨今のゲリラ豪雨等急発達中でまだ雨を降らせる直前の雲は捉えられない。また、分解能が粗く、細かく強雨域、弱雨域を判別する事は難しい。	対地高度1㎞における雨雲を捉えたものであり、空飛ぶクルマが飛行する低高度の雲分布ではない。降雨減衰の補正がかかるが、雨雲中の反射強度をとらえきれない可能性がある。降水強度の弱い雲(低高度の層雲、未発達、消散中の雲等)は観測できない。現状、風の情報は配信されていないため、風の情報は得られない。	少しでも雲があると観測できない エアロゾルが多すぎると(例えば黄砂)観測範囲が極端に狭まる	少しでも雲があると観測できない エアロゾルが多すぎると(例えば黄砂)観測範囲が極端に狭まる	開発段階。観測範囲を狭くしコストを抑えているため、複数台設置する必要がある	表面から見えない現象の内部(雲内部)は分からない	その地点のデータしか得られない

(2) 気象情報提供方式

気象情報システムと連携する上で採用すべき方式としてRESTful、MQTT、WebSocketを挙げる。

RESTfulの技術的特徴として、開発やテストが容易であること、ブラウザベースやWebアプリケーション、 API連携など世の中のWebサービスに広く普及していることである。同じような特徴を持つSOAP方式は、開発や学習コストが高いこと、メッセージサイズ、処理負荷、連携難易度が高い特徴があり、必要な時に必要な情報を都度接続により取得するPull型の情報連携では、SOAPよりもRESTfulがふさわしいと言える。

MQTTとWebSocketは、双方向通信、常時接続、メッセージサイズと処理負荷が小さいという共通する特徴を持つ。また、Websocketの Publish機能を使用することで、接続している全システムに対して、一斉同報通知することが可能である。そのため、気象システム⇔UAM統合管理（PSU）、UAM事業者のフリート管理システムとの連携で活用が想定される。

成熟度レベルに応じた活用としては、成熟度レベル1-2では、システム連携先としてUAM統合管理（PSU）、UAM事業者のフリート管理システムを想定している。連携される情報の特徴として、方向が気象システムからの一方通行であること、また、多数の接続が想定されるため、Webインタフェースによる RESTful方式を採用する。成熟度レベル3以降は、機体に配備した観測機からの情報取得（ダウンリンク）があり、MQTT方式での連携を想定している。また、成熟度レベル1-2では操縦士搭乗、成熟度レベル3-4においては遠隔での操縦となり、人間による運航を前提としているため、人間の気象判断を容易にするためのユーザインタフェースも併せて必要であると思われる。

成熟度レベル5-6では、完全な自律運航となるため、気象システムとUAM統合管理（PSU）、UAM事業者のフリート管理システム、UAM機体に対してリアルタイムでの双方向通信が必要となる。

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標の調査

空飛ぶクルマ成熟度レベル1-6の前提条件とするそれぞれの就航率（天候起因）値をもとに、現在の有人航空機（航空機使用事業）VFR機の就航率、航空運送事業計器飛行着陸装置（ILS）による進入方式カテゴリ毎の最低気象条件（成熟度レベル1-2は現VFR機運航相当、成熟度レベル3以降は国内各空港年間平均就航率）を参考に指標を選定した。

成熟度レベル1-2においては、現状のVFRと大きな差は無い為、現在、ヘリコプターや小型固定翼等、航空機使用事業で主に使用されている低空域用気象情報や既存の気象インフラを有効に活用し、空飛ぶクルマの運航オペレーションに適合した、機上操縦側、地上運航管理側へのシステム連携やUI開発が必要になる。また、この間に成熟度

レベル3以降を見越した、地上気象インフラ配備や機体間情報システム整備も必要となる。

更に成熟度レベル3以降は人口密集地における機上パイロット無し、地上側での遠隔操縦/監視、自律飛行となる為、自動悪天候回避機能構築に向けて、情報精度、頻度、粒度、いずれも高品質な運航環境作りが必要となる。

航空機の運航に影響を与え、運航判断に必要となる項目を抽出し、成熟度レベル毎に指標化し、そのレベルに応じた、インフラ展開、実況解析/予測技術等を定義した。

(a) 視程

成熟度レベル1-2は、操縦士が搭乗、VFR方式による運航となる為、管制圏内圏外それぞれ5km/1.5km以上の視程を保てるかどうかを判断するレベルとなる。成熟度レベル3-4については、現在の航空運送事業で本土空港レベルの就航率が求められる事からFG状態で100m解像度での視程観測/解析/予測ができる事が求められる。運航頻度の多いVertiportでは視程計の活用や進入方向、Vertiportを俯瞰した画像解析付ライブカメラ等を用いて観測するものとする。更に、成熟度レベル5-6については100m以下の視程状況において5-10m解像度での観測/解析/予測値の検出、算出が要求される。

(b) 雲底

成熟度レベル1-2は、操縦士の目視、地上運航管理側ではライブカメラ等、現行の航空機使用事業で活用しているものを用いる。成熟度レベル3以降は、1000FT以下の低雲底下や霧の状態下での飛行が想定される為、シーロメーターの設置、ライブカメラによる雲底画像解析、更に、雲内部の反射強度分布把握、Between、Cloud TOP情報が必要となる。上記を観測する手段として、空飛ぶクルマの飛行高度となる1㎞以下の低高度を観測できるKu帯以上の周波数を用いた気象レーダの配備が必要となる。

(c) 風

機体の耐風速性能によるが、成熟度レベル4以上、就航率95%以上の目標値にはMinimumでも20-25KT相当の耐風速性能は必要と思われる。ただし、横風成分、Tail Wind、Gust、Dry/Wet状態等も合わせ総合的に判断する事が必要となり、それらを加味したリスク情報の伝え方が求められる。INCLOUDでの雲内部の乱流検知も含め、Ku帯以上の周波数を用いた気象レーダ、多周波を用いたレーダが必要と考える。また、成熟度レベル3以降、ルート全体のコリドー化が見込まれる事から先行機からの揺れ情報を後続機に伝え、地上との共有ができる事が望まれる。更に、成熟度レベル4以降、運航判断（風）には高精細な「実況解析値」が必須となる。

(d) 雨

成熟度レベル1-2は、出発前の既存レーダエコーの確認、運航管理者による地上レーダ動向を無線等を通じて、アドバイザリ情報として操縦士に伝える形を想定する。成熟

度レベル 3 以降は雲中飛行時の雨/雪雲内部の CB の分布や強雨域の移動方向の把握が必要となる。空飛ぶクルマが実際に飛行する高度の雨雲を捉えるレーダは現在存在しない。空飛ぶクルマの飛行高度である低空域の雲を捉え、反射強度の弱い雨雲や霧も検知できる、新たなレーダの開発と配備が必要となる。

(e) CB（積乱雲）/雷

機体への気象レーダ搭載はペイロードの兼ね合いから難しい事も想定されるが、特に成熟度レベル 3 以降、高頻度観測、（空飛ぶクルマ飛行高度レベルの）低高度スキャン観測ができる気象レーダの配備が必要となる。成熟度レベル 3 以降、高解像度かつ、CB の移動方向、発達消散と機体の進行方向との連動も必要。また、落雷実況と共に、飛行エリアの落雷可能性予測も必要となる。

(f) 着氷

上空の気温実況は高層気象観測の地点等限定的となる。よって、成熟度レベル 3 以降では、飛行中の空飛ぶクルマの機体観測装置で測った気温データの後続機への共有、更にその値を初期値とし、数値予報に同化させた上空気温予測と着氷エリア予測、それを元にしたリスク情報が必要となる。また、既存有人航空機の ACARS データに含まれる上空気温データも共有できる事が望ましい。

(g) 気温

現状、上空の気温実況は高層気象観測の地点のみとなり、地点/観測頻度共に限定的である。一方、成熟度レベル 3 以降では、ルート全体のコリドー化が見込まれる事から先行機の機体観測データの地上と後続機への高速データ配信/共有、機体観測データを初期値とし、数値予報に同化させた上空気温予測活用が望まれる。また、特に空港周辺については、既存有人航空機 ACARS データに含まれる気温の観測データを共有できる事が望ましい。

(h) 火山

活火山周辺のルートを飛行する際には、火山灰回避、飛行計画策定、リルート判断に火山情報が必要となる。噴火発生の際の噴火地点、噴煙柱高度等の VAAC（Volcanic Ash Advisory Center）航空路火山灰拡散情報センターからのデータやライブカメラ、火山灰拡散予測を元にした、運航可否判断、飛行ルート判断の情報として必要となる。

(i) その他（災害情報：台風/地震/津波等）

台風情報は運航スケジュール、飛行計画策定に。地震や津波情報は、飛行中に地震が発生した場合、港湾エリアの Vertiport への着陸の安全性、津波影響等判断に利用する。

(3) システム要件の調査

本調査では、気象システムの役割は、運航支援情報提供事業者（SDSP）であると定義した。また、気象情報の粒度として、不特定多数のユーザに対する情報提供である協調領域と特定事業者に対する個別の情報提供である競争領域の 2 つに分類し、インタフェース先も協調領域では UAM 統合管理（PSU）、競争領域では UAM 事業者のフリート管理システムと UAM 機体を定義した。

(D) 5.4.4.4　今後の研究開発要素

環境整備実現に向けて、具体的には以下 4 点が挙げられる。

- 地上気象観測、ライブカメラ小型/低コスト気象インフラの更なる配備
- 空飛ぶクルマの飛行高度の大気を捉え（晴天時風況のみならず、雲中、霧の中の風況や乱流を含む）運航判断に活かせる「新気象レーダ」の開発（都市部複数地点設置を想定し、小型、高解像度、低コスト、騒音無し）
- 既存気象インフラの利活用（官民が所有する地上観測機/ドップラーレーダ/ドップラーライダー/ドップラーソーダ）
- 観測機の無いエリアを飛行する為の「実況解析値」の運航への活用と、高精細予測データの開発

国内には、諸外国には無い密度での豊富な気象観測インフラも存在する。空飛ぶクルマ安全運航環境構築の為、ゼロからインフラを配備するのではなく、空飛ぶクルマ運航環境に適合したインフラの開発を行いつつも、既存の気象インフラの強みを活かし、それぞれを最大限に活かしていくことが、コスト採算面においても重要であると考える。

また、既存有人航空機と空飛ぶクルマの空の気象情報連携が求められると考える。

5.4.5. システムアーキテクチャ

① 検討方針

以下を目的として、システムアーキテクチャの検討をまとめた。

- 1. 要素技術のロードマップ作成に向けた議論のツール提案
  各要素技術のロードマップを作る上で、それらがどういう繋がりを持つのか、またどういうコンセプトや全体像を想定して書くべきなのかを議論するためのツールとして提案するものである。

- 2. 技術課題および標準化項目の整理・可視化のためのツール提案
  どういった技術開発が求められるのか、また標準化項目として議論すべきことは何かといったことを整理するのにおいて、包括的で、共通の理解が醸成され、かつ議論が空中戦にならないような、可視化されたイメージが必要である。それに

資するツールとして提案するものである。

- 3. アーキテクチャ作成例の提示
  本年度で調査や議論が完結することはなく、むしろさらなる広さと深さを持った議論が必要である。その際、全体感を見ながら議論対象の階層やスコープを絞り、議論が発散しないように整理していく必要がある。そのためのツールとして、図示されたシステムアーキテクチャは有効であり、今年度の調査・検討はその作成例を提示するものである。

以下を前提として、システムアーキテクチャの検討をまとめた。

- 図 2.4.2-38 に示す、NASA によって提案された Urban Air Mobility Maturity Level（UML）の 6 段階の内、UML-4 相当のレベル（数百機の同時運航、高効率な離着陸場、UTM 着想の ATM、簡便な機体運航、低視程下での運航）を想定することとする。
- 上記のレベル設定に伴い、自動・自律運航、高密度運航を前提とした。
- 具体的なニーズや運航方法、各ステークホルダの役割など、現時点では未確定なものが多いため、様々な仮定を置いて検討を行う。

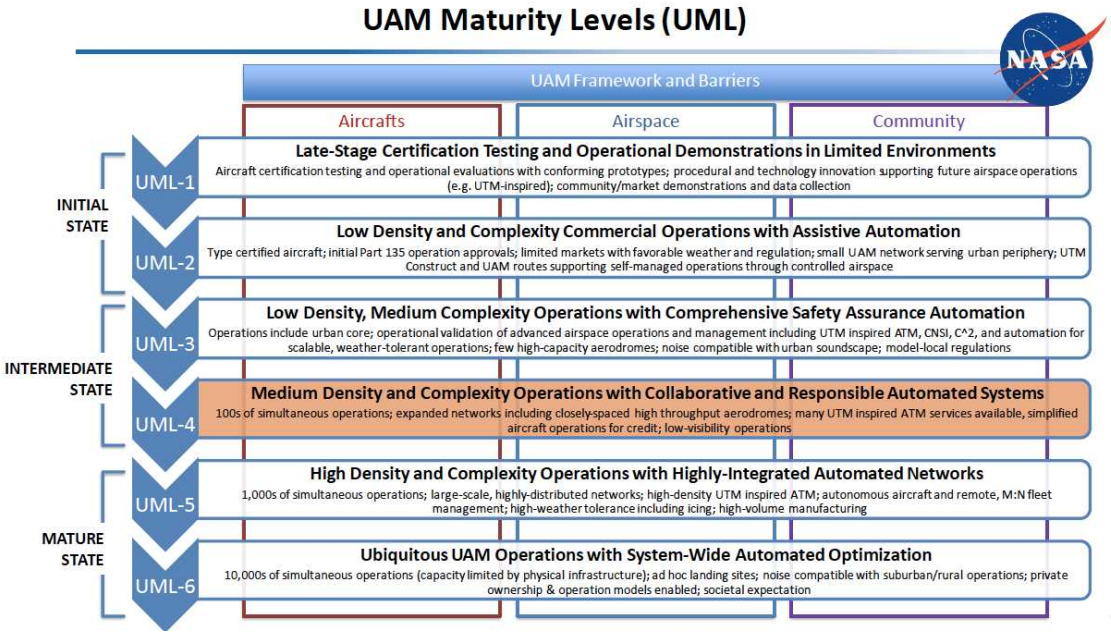


図 2.4.2-38 NASA が提案する UAM Maturity Levels（UML）

出所）NASA(2020), “UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML) 4 Version 1.0”,
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205011091/downloads/UAM%20Vision%20Concept%20of%20Operations%20UML-4%20v1.0.pdf（閲覧日：2022 年 2 月 23 日）

② ConOps（ユースケース）の検討

(A) 前提とするユースケース

本検討は、システムアーキテクチャの作成や、技術項目および標準化項目の洗い出しを目的としている。アーキテクチャを作成するためには、ConOps（ユースケース）や、ステークホルダの役割などについて定義した情報が必要である。しかしながら、本邦では議論が進展する段階に至っていない。そのため、ここではNASAやFAAが作成しているような体系的・網羅的なConOpsの記述は志向しておらず、技術項目や標準化項目を議論する際のシステムアーキテクチャを検討する材料を提供することを目指した。

(B) 本検討におけるUML-4の前提条件

本検討においてはNASA ConOpsにおけるUML-4の前提だけでは条件が定まらない部分が多くある。そこで、以下の通り本検討のために独自に以下の前提条件を追加した。

- 自律化・自動化に必要な要素技術は、既に確立されているものとする
- 500-3000ft（152-914m）の高度帯を飛ぶ航空機は、全て自律化・自動化されているものとする
- 東京都心部においても、複数の駐機場を持つVertiportが新設可能であるとする

(C) 運航／飛行条件の仮目標

本調査の運航条件と飛行条件の仮目標をイメージとして**表2.4.2-69**に示す。

表 2.4.2-69 運航／飛行条件の仮目標

運航条件	片道16NM (30km)	地上タクシー(現状)	ヘリタクシー(現状)	eVTOLタクシー(目標)
	所要時間	75分	15分	15分
	運賃	10,000円*	50,000円**	15,000円 (仮:地上タクシー ×1.5***)
	就航率	99%	~80%****	95%以上
飛行条件	外部環境	風	メーカー規程の横風制限まで可だが、現実的には約10kt (20m/s)程度 向かい風は15kt (30m/s)までを想定	
	内部環境	機体方式	Lift & Cruise or Vectored Thrust	
		機体性能	上昇/下降速度：500ft/min (2.5m/s) 水平速度：130 kt (240km/h)	
		乗員数	4人	

*NAVITIME（https://www.navitime.co.jp/）
**過去のサービス例（https://www.mori.co.jp/company/press/release/2009/07/20090728150000001576.html）
***Uber Technologies Inc. (2016), "Uber Elevate white paper", p. 95, ＜https://evtol.news/__media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf＞
****奥野 善則, 又吉 直樹, 石井 寛一, 小林 啓二（2015）, "実験用ヘリコプタMuPAL-ε活用実績概要", pp. 7-8.＜https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=2467&item_no=1&page_id=13&block_id=21＞
（閲覧日はいずれも2022年2月14日）

(D) ミッションプロファイル

ミッションプロファイルを想定するにあたり、速度、高度、上昇及び降下率は下記のように設定した。

- 巡航速度：130kt（240km/h）
- 上昇及び降下時の速度：60kt（111km/h）
- 巡航高度：1500ft（457m）
- 上昇及び降下率：500ft/min

巡航高度については付近の建造物の高さ（約 200m）を踏まえて、既存の航空法における最低安全高度[10]を考慮し設定されている。巡航速度については既存の公共交通機関に比べて所要時間における差別化を意識し、時速 200 km以上を設定している。飛行のミッションプロファイルを図 2.4.2-39 および表 2.4.2-70 に示す。片道 16.2NM（30 km）のケースを想定し、片道 30 kmの行程を約 11 分程度で飛行するものとしている。

[10] 航空法（1952），<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=327AC0000000231>（閲覧日：2022 年 2 月 23 日）

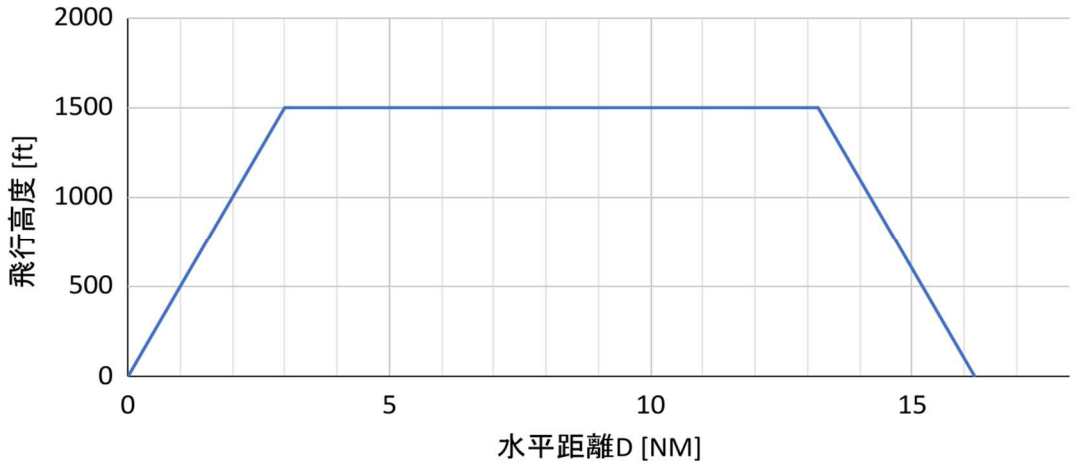


図 2.4.2-39 飛行のミッションプロファイル

表 2.4.2-70 ミッションプロファイル

※トランジションを含む

フェーズ	時間 [min]	各レグの水平距離 [NM]	水平距離 [NM]	垂直方向平均速度 [ft/min]	水平方向平均速度 [kt]	飛行高度 [ft]
離陸-上昇＋加速(※)	3.0	3.0	3.0	500	60	0-1500
水平巡航	4.7	10.2	13.2	0	130	1500
減速+下降(※)	3.0	3.0	16.2	500	60	1500-0
Total	10.7	16.2				

(E) 東京での高密度運航のイメージ

ルートが交差することはなく、また同一ルートにおける往復ルートも一旦ないものとして出発地、目的地、そしてそれらを繋ぐ飛行ルートを示したものを図 2.4.2-40 に示す。白枠は仮想の出発地を示しており、それぞれ着陸帯や駐機スポットの数が異なっている。白枠から出ている黄線はルートを示しており、いずれも羽田管制圏への進入点へと向かっている。それぞれは厚木の管制圏にかからないように設定した。ルート上の数値は巡航時の飛行高度を示している。赤丸は、最初の運航機体である#1 が府中 Vertiport を出発した時刻を 0 分とし、その 10.5 分後における各機体の位置を示している。



図 2.4.2-40 東京における運航イメージ（仮想例）

出所）OpenStreetMap（https://www.openstreetmap.org/）を使用し慶應義塾大学空飛ぶクルマラボ作成

下段左の図は、運航のタイムラインを示す。左側の地名は各出発地を示し、上側の数

字が 0 分からの経過時間を示している。図中縦方向に引かれた赤点線は 10.5 分後を示しており、上段の図における機体の位置を示したタイミングである。

下段右の図は、羽田 Vertihub における駐機のタイムラインを示したものである。上述までの条件において、同 Vertihub に何個の着陸帯（記号：〇V）と駐機スポット（記号：〇S）が必要になるかを検討したものである。前提として、着陸帯から駐機スポットまでの移動に要する時間を 0.5 分とし、降機から次の搭乗が完了するまでに要する時間を 9 分とすることで、2 個の着陸帯（1 つは離陸用）と、6 個の駐機スポットが必要になることが示された（6 個のうち 1 個は予備用）。ここでは、#1 が羽田からの再離陸に向けて、駐機スポットを離れてタキシングを開始するタイミング（20.5 分）と、#6 が羽田着陸後に駐機スポットに到着するタイミング（21.5 分）の間に 1 分のマージンがあり、以降の機体も同様に運航がなされることで、理想的には駐機スポットが混雑せずに流れていくことを示している。

続いて、各ルート上における空域の制約を考慮した飛行方法の詳細について述べる。以下の表 2.4.2-71 に、現行の空域の設定を整理した

表 2.4.2-71 空港からの距離および人口密集度を考慮した管制空域の整理

<table>
<tr><th>空港からの距離</th><th>～5NM (9km)</th><th>5NM (9km) ～
20NM (37km)</th><th>20NM (37km) ～
40NM (74km)</th><th>40NM (74km) ～</th></tr>
<tr><td rowspan="2">人口密集地
(※1)</td><td rowspan="2">クラスD</td><td rowspan="2">クラスE</td><td rowspan="2">クラスE</td><td>高度600m以下
クラスG</td></tr>
<tr><td>高度600m以上
クラスE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">非人口密集地
(※2)</td><td rowspan="2">クラスD</td><td>高度200m以下
クラスG</td><td>高度300m以下
クラスG</td><td>高度600m以下
クラスG</td></tr>
<tr><td>高度200m以上
クラスE</td><td>高度300m以上
クラスE</td><td>高度600m以上
クラスE</td></tr>
</table>

※1　少なくとも高度 300m 以上での飛行が必要

※2　少なくとも高度 150m 以上での飛行が必要

【出発地～羽田管制圏への進入点】における課題と対応方策案は以下のとおりとなる

表 2.4.2-72 【出発地～羽田管制圏への進入点】における課題と対応方策案

前提	• どの出発地も羽田空港から約 30km 以内であり、羽田管制圏への進入点までは**クラス E** • クラス E における現状の VFR では、管制との通信要件や、管制間隔の設定はなし

	• 人口密集地であり、特に横浜や東京都心部においては高さ 200m 級の建物近辺を通過することを想定し、**飛行高度は 1500ft**（500m ＝ 200m + 300m）とする
高密度化時の課題	• UAM のエアタクシー運航が高密度化した際には、現状の方式では間に合わない可能性があり、安全性と効率を両立した**交通整理が必要**
対応方策案	• 管制（ATM）への負荷増大の抑制を考慮し、事前に**所定のルート設定**をした上で（専用コリドーまでは不要)、そのルートからの逸脱確認用に**位置の追跡**を行う • 一方で、エアタクシー以外の VFR 機にとっての運航制約になりうるため、**他の VFR 機との調整が必要。また優先権や進入可能な要件についての整理も必要**

【羽田管制圏への進入点～羽田 Vertihub】における課題と対応方策案は以下のとおりとなる

表 2.4.2-73 【羽田管制圏への進入点～羽田 Vertihub】における課題と対応方策案

前提	• クラス D であり、管制との常時双方向通信が必要 • UAM が羽田 Vertihub に 2 分間隔で着陸するとして、1 時間に 30 機。離陸も同頻度とすると 60 機。羽田空港の離着陸回数は現状で約 80 機/時であり、75%の増加に相当
高密度化時の課題	• Final/Missed approach に入らない範囲で任意のルートを飛行するとした場合、管制側からは常に UAM の動態を監視する必要があり、過大な業務負荷が発生 • タワー管制は単波での音声通信を使用しており、通信面でも余裕はないと想定
対応方策案	• 性能要件を満たした UAM 用に専用コリドー(※)を設定し、管制との通信を最小限に抑制（※北米においてヘリコプターや GA が管制圏内を飛ぶために設定されている、ヘリコプター／GA ルートのイメージ。経路および高度が固定のため、管制とは最小限の通信で可）

	• ルート候補として多摩川上が想定されるが、SVFR のルートと同じであり調整が必要

③　システムアーキテクチャの検討

上述までの運航イメージを基に、システムアーキテクチャを記述していく。

(A) 自律運航システムのコンセプト

本検討で自動化・自律化されたエアタクシーシステムの全体システムアーキテクチャを記述するにあたり、新たに設定した自動運航システムの概念図を以下に示す。

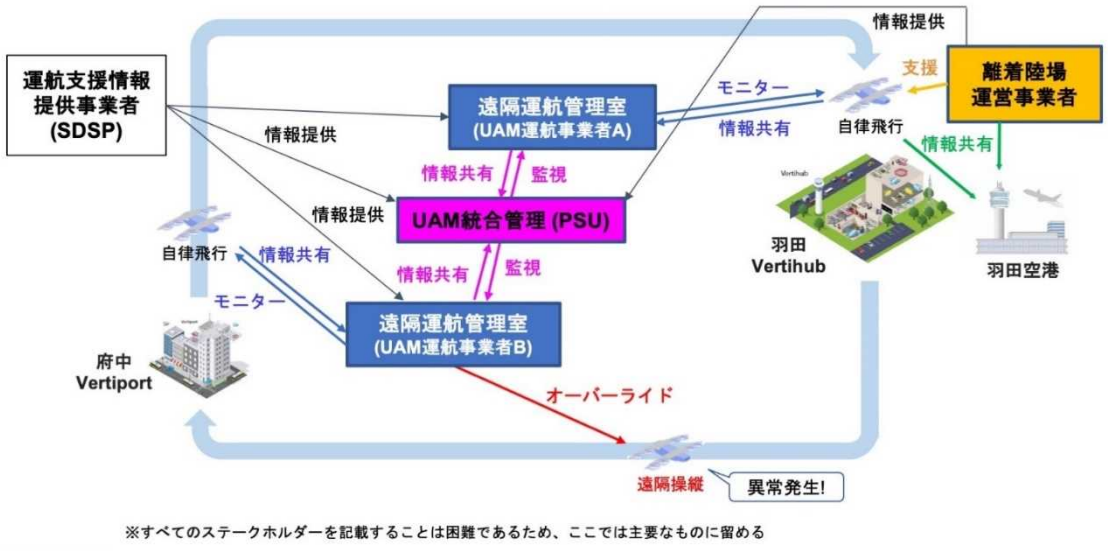


図 2.4.2-41 エアタクシー自律運航システム（全体システム）の概念図

出所）慶應義塾大学空飛ぶクルマラボ作成（一部 NASA 作成イラスト[11]を使用）

(B) ステークホルダの役割概要

NASA ConOps をもとに、UAM 運航の各フェーズにおける各ステークホルダの基本的な役割を**表 2.4.2-74** に纏める。

[11] NASA, High-Density Automated Vertiport Concept of Operations
(https://ntrs.nasa.gov/citations/20210016168)

表 2.4.2-74 運航の各フェーズにおけるステークホルダの役割

	飛行前	タキシング ～離陸	上昇 ～巡航	下降	着陸 ～降機
エア タクシー ユーザ	- 利用予約 - 離着陸場まで移動 - 機体に搭乗	- 自律飛行の運航サービスを享受する形であり、能動的関与は行わない			
MaaS 事業者	- 移動経路候補提示 - 各交通機関と調整 - エアタクシー利用の場合にUAM運航事業者を決定	- エアタクシーを含む各交通機関の運航状況を確認			
UAM 機体	- システムチェック - 出発準備完了確認	- 離陸手順とシーケンスを実行	-上昇および巡航の手順を実行 - V2V データ交換 - 戦術的デコンフリクトと衝突回避を実行 - 機体の状態とステータスをUAM運航事業者および離着陸場運営事業者に伝達	- 降下手順とシーケンスを実行 - V2V データ交換 - 戦術的デコンフリクトおよび衝突回避を実行	- 着陸に向けオールクリアとなっていることをスキャンし確認 - 着陸手順とタキシングを実行 - 必要なメンテナンス/ターンアラウンドの要件を特定
UAM 運航 事業者	- 運用計画への適合性を監視 - 機体の状態監視 - PSU および機体とのデータ交換を継続 - 必要に応じて、目的地などを更新	- タキシング／離陸承認	- 運用計画への適合性監視 - 機体の状態監視および指示 - PSU および機体とのデータ交換を継続	- 運用計画への適合性監視 - 機体監視	- 運用計画への適合性監視 - 航空機監視 - ゲート指定（離着陸場運営事業者と情報共有） - 機体のターンアラウンド準備完了を確認
UAM 統合管理 (PSU)	- 戦略的デコンフリクションを実施し、解決策を交渉	- タキシング/離陸許可および出発順序コマンドを送信 - 飛行プランのオープン	- 適合性監視 - 飛行プランの更新を伝達 - 戦術的デコンフリクションを支援 - データ交換を維持	- 適合性監視 - シーケンスやルート変更を連絡 - 着陸許可を発出 - 機体の離着陸場誘導	- 機体の着陸許可完了を確認 - タキシングを指示 - 飛行プランクローズ
運航支援 情報提供 事業者 (SDSP)	- 気象・障害物・地形・他機体の位置・機体性能情報などを提供				
離着陸場 運営 事業者	- 旅客・貨物のスクリーニング - 乗客の搭乗 - 出発準備完了確認	- 離陸準備完了確認	- 上昇経路にある他機との間隔調整	- 着陸のユーザのため離着陸場のクリアを確認 - 着陸パッドと降機エリアを指示 - 着陸誘導を実施	- 着陸場所のオールクリアを確認 - ゲートの割り当て(UAM運航事業者と共有) - 航空機のゲートエリアへの移動承認
航空局	- 自動データ交換により運航計画を承認	- 積極的な参加はしないが、空域の権限を保持			

出所）FAA NextGen Office (2020), "Urban AIr Mobility (UAM) Concept of Operations (ConOps) v1.0", p. 5, <https://assets.evtol.com/wp-content/uploads/2020/07/UAM_ConOps_v1.0.pdf>（閲覧日：2022 年 2 月 23 日）

(C) 全体のシステムアーキテクチャ

図 2.4.2-42 エアタクシーシステム自動運航システム全体のシステムアーキテクチャ図に、NASA ConOps による UAM 通信ネットワークのアーキテクチャをベースに、著者らが改変・追記したものを示す。

元々のアーキテクチャに記されている UAM 機体、UAM 運航事業者、UAM 統合管理（PSU）、SDSP に加え、上段にはエアタクシーユーザから UAM 運航事業者までの間で関連するステークホルダを、下段には離着陸場運営事業者に加え、既存の航空機（無人航空機含む）に関するステークホルダを記載している。

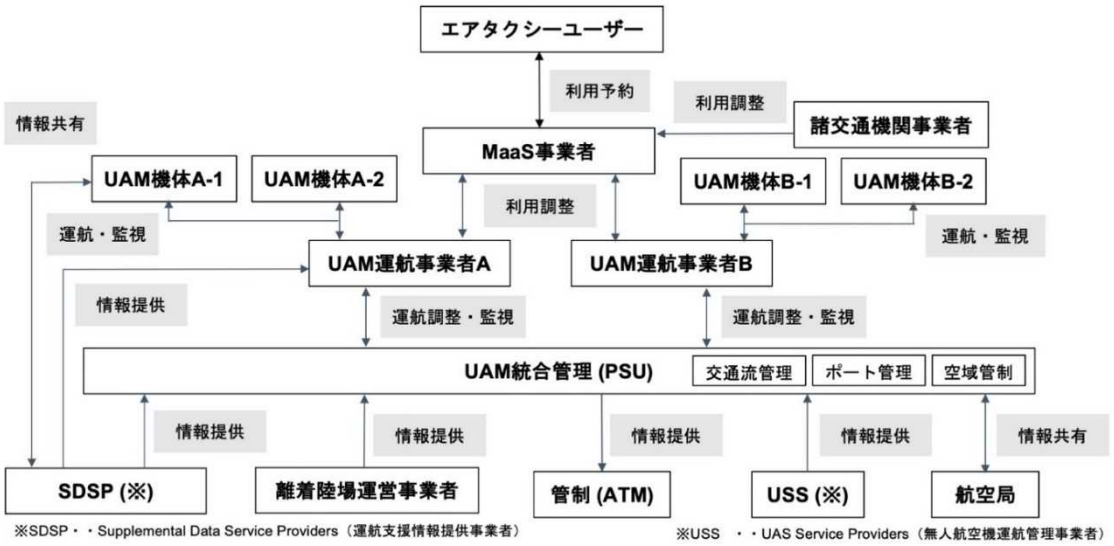


図 2.4.2-42 エアタクシーシステム自動運航システム全体のシステムアーキテクチャ図

(D) 運航シーン毎のシステムアーキテクチャ

図 2.4.2-40 に記した運航イメージの中で、府中 Vertiport～羽田 Vertihub のルートを例にとり、利用予約から着陸までのシーンそれぞれのシステムアーキテクチャを以下に示す。なおシーン⑤は、オフノミナルケースの一例として取り上げたものであり、ノミナルケースにおけるシーン④にあたるものである。

シーン①：利用予約～飛行計画承認

シーン②：府中 Vertiport からの離陸

シーン③：エンルート上での機体間隔調整

シーン④：羽田 Vertihub への着陸

シーン⑤：エンルート中の緊急着陸

赤字：本シーン最初のプロセス、①：１巡目、②：２巡目、黄色：技術課題、水色：

標準化項目とする

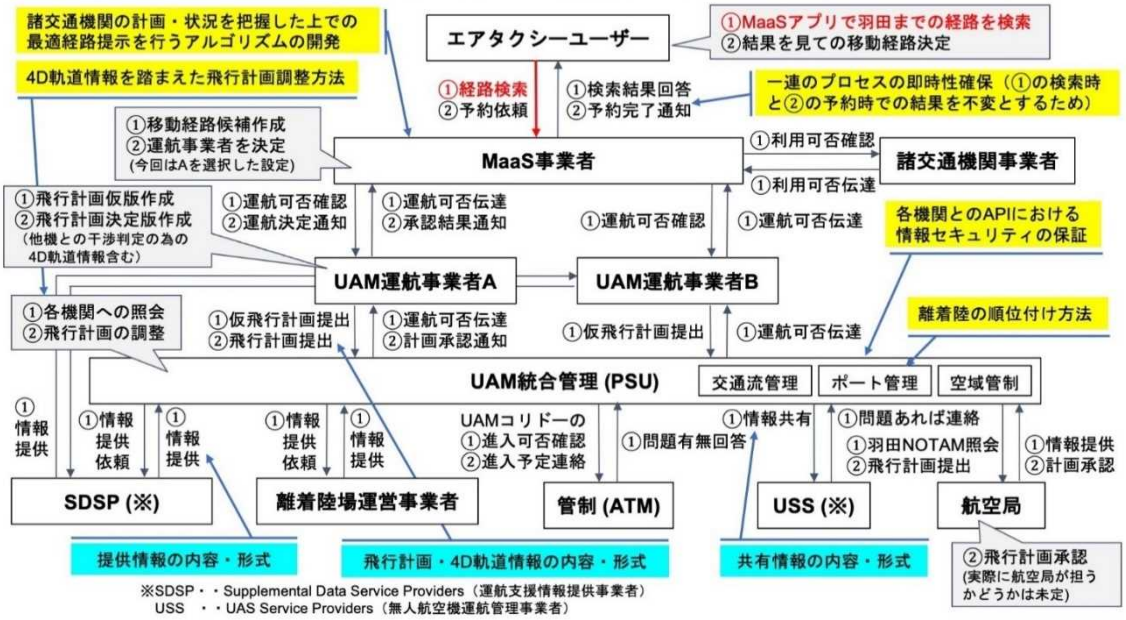


図 2.4.2-43 【シーン①：利用予約～飛行計画承認】におけるアーキテクチャ

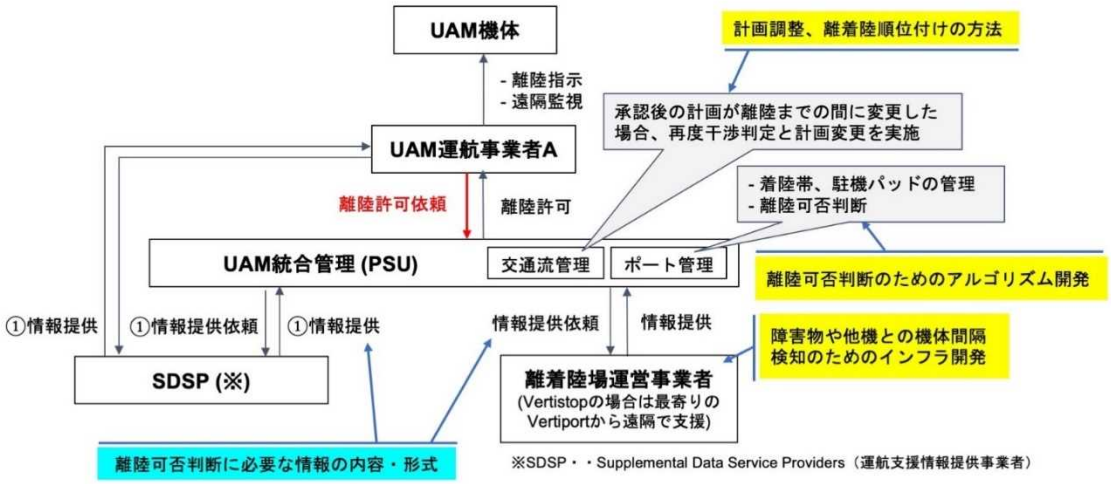


図 2.4.2-44 【シーン②：府中 Vertiport からの離陸】におけるアーキテクチャ

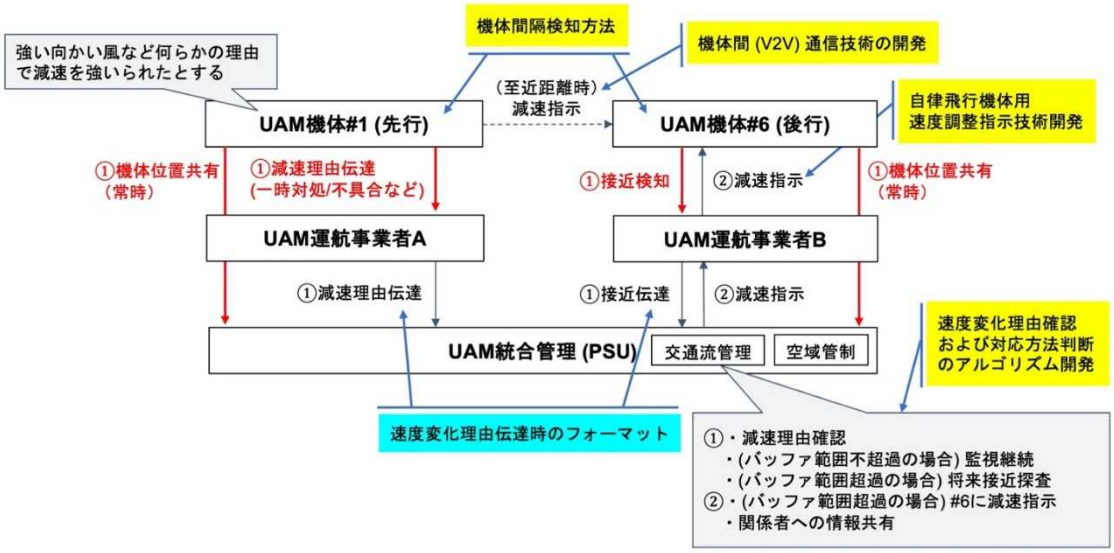


図 2.4.2-45 【シーン③：エンルート上での機体間隔調整】におけるアーキテクチャ

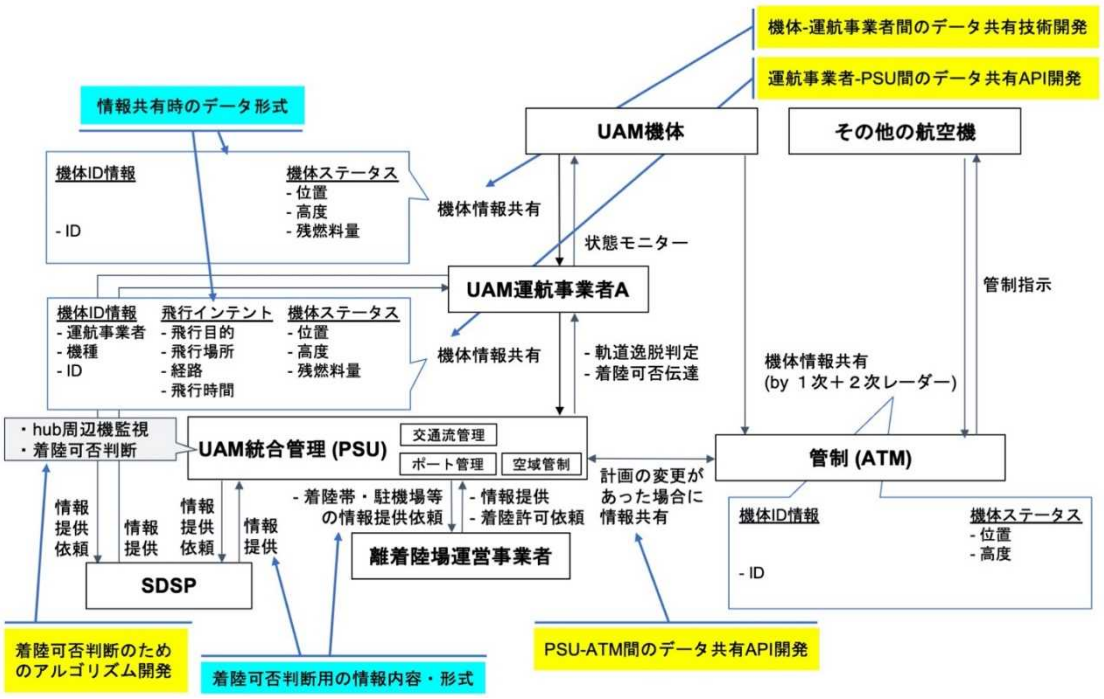


図 2.4.2-46 【シーン④：羽田 Vertihub への着陸（羽田コリドー内の飛行）】におけるアーキテクチャ

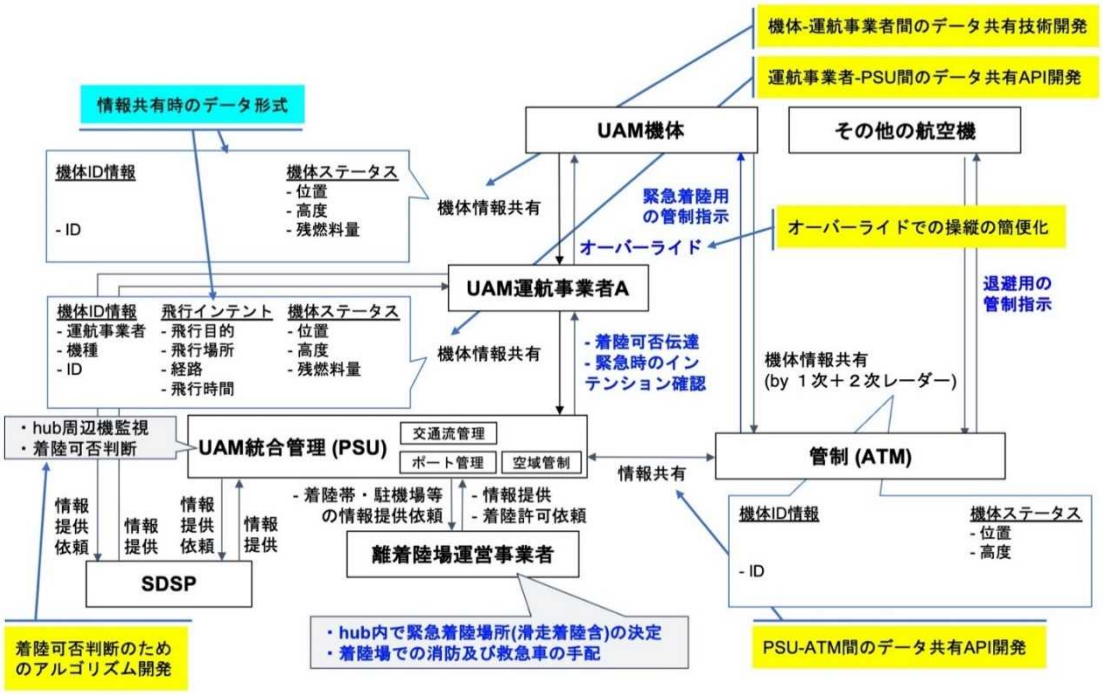


図 2.4.2-47【シーン⑤：エンルート中の緊急着陸】におけるアーキテクチャ

(E) システム構成要素の自動化・自律化の設定

(1) UAM 機体

UAM 機体は、パイロットレスの自律飛行であり、遠隔監視室からの監視を受けながら飛行乱気流対応や突発的な FOD(Foreign Object Debris)12等回避のために、自律的な DAA(Detect And Avoid)機能を有するものとする。以下に三つの主要な機能を示す。

- パイロットレスの自律飛行機能（4～5 人乗り）

  UAM は、飛行計画において設定されたルートに沿って自律飛行する。飛行中、機体位置などの必要な情報を共有し、監視を受けるために、ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)による、遠隔運航管理室と機体との通信を常に実施する。自律飛行における機体制御と乗員の乗り心地の両立は、技術的な課題の一つであると考えられる。

- 自律的な DAA 機能を有する

  飛行中、突発的な事象が起きた際、自律的な DAA で対応する。この機能を実現するための、機体の総重量と体積に対する、センサとコンピュータの重量や体積のバランスと、そのコンピューティングとセンシングによる電力消費とバッテリの容量との兼ね合いは、航続距離等の機体性能に影響を与えるために、検討すべき項目である。

[12] U.S. Army Combat Readiness Center (2019), “Risk Management”, <https://aviation-assets.info/risk-management/risk-of-routine/>（閲覧日：2022 年 2 月 23 日）

- オーバーライドによる遠隔操縦機能

  緊急時、外部からのオーバーライドを受けるために、遠隔運航管理室からのリアルタイム遠隔操縦機能を保有する。外部と機体との通信により遠隔制御を可能とするが、その乗っ取りや遮断や妨害を防ぐ為の、サイバーセキュリティへの対応は課題である。

(2) 遠隔運航管理室（UAM 運航事業者）

遠隔運航管理室では、各運航事業者が自社機の運航を、事前に作成された飛行計画や機体の位置情報と機体状態を基に、遠隔から自動監視する。動力停止や機体損傷等の異常発生時は、遠隔運航監視室から、機体の遠隔制御のために、オーバーライドして、室内担当者が対応する。自動化するにあたって、人と機械の責任範囲を定めるために、遠隔運航監視室における、主要な機能の、人と機械に対する割り当てを以下の**表 2.4.2-75** に纏めている。

表 2.4.2-75 遠隔運航管理室（UAM 運航事業者）の機能および自動化方針

P：Primary, S：Secondary, ―：None

シーン	機能	機械	人	理由
①	飛行計画作成	P	S	必要な情報を集めた上で、瞬時の作成が必要
	MaaS 事業者への運航可否伝達	P	S	〃
②	PSU への離陸許可連絡	P	S	複数機の運航を同時に捌く必要があり、人では困難
③	自社機の減速理由を PSU に伝達	P	S	機械～機械の伝達において人が介在する必要なし
	機体の動体情報監視	P	S	複数機の運航を同時に捌く必要があり、人では困難
	機体への減速指示	P	S	機械～機械の伝達において人が介在する必要なし
④	各プレイヤーとの情報共有	P	S	人による複数機の同時監視は困難
⑤	オーバーライドして機体を制御	S	P	動力停止等の事象が考えられ、柔軟な対応が必要

(3) UAM 統合管理（PSU）

UAM 統合管理（PSU）では、自律飛行機体の挙動を監視する。様々なケースが生じる可

能性があり機械での対処は難しい。そのため、機械がモニタリングを行い、複数運航事業者間のコンフリクト発生時はアラートを出し、人が柔軟に対応する。

(F) 技術・標準化要素のまとめ

以下の表 2.4.2-76 は、「運航シーン毎のアーキテクチャ」に記載されている課題をまとめたものである。自動化のためのアルゴリズム等は競争領域であり、各事業者における技術開発項目としている。一方、各ステークホルダ間での情報のやり取りの部分は協調領域であり、標準化項目としている。

表 2.4.2-76 技術・標準化要素のまとめ

シーン	分類	項目
①	技術	諸交通機関の計画・状況を把握した上での最適経路定時を行うアルゴリズムの開発
		一連のプロセスの即時性確保 （経路検索時と予約時での結果を不変とするため）
		4D 軌道情報を踏まえた飛行計画調整方法
		各機関と PSU 間の API における情報セキュリティの保証
		離着陸の順位付け方法
	標準化	SDSP→PSU、離着陸場運営事業者→PSU への提供情報の内容・形式
		飛行計画・4D 軌道情報の内容・形式
		USS→PSU への共有情報の内容・形式
②	技術	離陸可否判断のためのアルゴリズム開発
		計画調整、離着陸順位付けの方法
		障害物や他機との機体間隔検知のためのインフラ開発
	標準化	離陸可否判断に必要な情報の内容・形式
③	技術	遠隔から自律飛行する機体の速度を調整・指示する技術の開発
		速度変化理由確認及び対応方法判断のアルゴリズム開発
	標準化	速度変化理由伝達時の情報形式
	技術・標準化	機体間隔の検知方法
		機体間（V2V）通信技術の開発
④，⑤	技術	着陸可否判断のためのアルゴリズム開発
	標準化	運航事業者と PSU 間のデータ共有 API 開発・データ形式

		PSU -ATM 間のデータ共有 API 開発
	技術・標準化	機体と運航事業者間のデータ共有技術開発・データ形式
⑤	技術	オーバーライドでの操縦の簡便化

④　まとめと今後の課題

(A) まとめ

今後に向けた参考として、以下の表 2.4.2-77 にまとめた。

表 2.4.2-77 アーキテクチャ構築を進める上で今後調査・検討・確定をする必要のある項目の例

ConOps を作る上での項目	UML-1 から 6 までのそれぞれにおける • 対象とするユースケース • ミッションプロファイル • 運航イメージ（離着陸場・ルート・密度・頻度） など
アーキテクチャを作る上での項目	• 空域管理方法の考え • 各ステークホルダの役割（特に PSU の業務分掌） • 各機能における責任の所在 など
技術要素の発展トレンド	• 自動・自律化技術の実装可能タイミング • 他航空機の自動・自律化に向けた進展スピード • バッテリや通信技術等、他の技術動向の進展見込み など

(B) 今後の課題

上記のまとめを踏まえ、今後に向けた課題を以下にまとめた。

- 成熟度レベル 1～6 における ConOps（ユースケース）の策定とシステムアーキテクチャの作成
  成熟度レベル 1～3 や 5,6 においてもシステムアーキテクチャの作成を実施していくことが必要である。その際、技術ロードマップとの整合を取ることも重要であり、関係者間での緊密な連携が必要であると考えられる。

- 自動・自律化に向けた技術課題に対するディスカッション

本調査では自動化・自律化・高密度運航に向けて、全体感を持った形で技術課題および標準化項目の洗い出しを行った。今後は各々で出てきた技術課題について議論を深めていく必要がある。

- 技術課題や標準化項目に対する議論の進化
  本検討によって、自動化・自律化、高密度運航における技術課題や標準化項目が明らかになった。今後は本邦の標準化戦略としての優先度をつけながら、より深い階層の検討や議論を進めていく必要がある。

5.4.6. 特許

①　目的

空飛ぶクルマの技術に関する諸外国の特許出願動向を調査し整理することを目的とする。

②　調査範囲

- 出願国先、期間、使用データベースの調査範囲は以下と定義する。
- 出願先国(地域)：日本、米国、中国、欧州、韓国、PCT
- 期間（時点）：2012 年以降　ただしデータベース検索日（2022 年 2 月 4 日）までに公開されているもの
- 使用データベース：ULTRA　Patent　（Wisdomain, Inc.）

③　調査方法

(1) 「空飛ぶクルマ」の定義と母集団

本調査における「空飛ぶクルマ」は、下記 2 点のいずれかの条件を満たすものと定義する。

- 「有人、垂直離着陸可能、電動」の特徴を有すると推定される航空機
- 「flying car」およびその類義語の記載が、発明名称等にある輸送機器

前節の調査範囲における上記定義に係る特許を母集団とする。

(2) マクロ調査

各マクロ項目について、以下条件で出願件数を集計した。

- 出願年×出願人国籍（日本、米国、中国、欧州、韓国、他）
- 出願人別の集計
- マクロ項目下の各ミクロ項目の合計値（全期間、全出願国の合計）

(3) ミクロ調査

各ミクロ項目について、以下条件で出願件数を集計した。

- 出願年×出願人国籍（日本、米国、中国、欧州、韓国）
- 出願人別の集計

ただし、ミクロ項目のうち、実際に調査したうえでその特徴が抽出できると判断した項目のみを対象とした。件数が少ないマクロ項目（20 件程度まで）については、特許明細書の要約などからミクロ項目を抽出した（ただし、IPC で適切な区分が可能な場合は IPC を用いる場合もある）。また、件数が少なくないマクロ項目については「IPC」や「キーワード」などによる検索条件を用いてミクロ項目を抽出し、検索条件によって特徴抽出できないミクロ項目は調査対象外とした。

(4) 全体俯瞰

マクロ集計、ミクロ集計に加え、全体俯瞰として以下項目の分析を実施した。

- マクロ項目ごとの俯瞰
- 出願人国籍ごと出願数推移俯瞰
- 上位出願人

④　調査結果

(1) 空飛ぶクルマ調査結果全体のまとめ

(a) マクロ項目ごとの俯瞰

全体として、空飛ぶクルマ本体に深くかかわる「機体形状・方式」、「動力」、「電源」に関連する特許出願が多い。これにクラッシュワージネスが続くが、これは空飛ぶクルマにおいては他の航空機よりも安全性の課題が多いことを示唆している。

一方、これら以外の技術に関する特許出願は少ない。これは通常の航空機やドローン等に共通して使用できる技術を空飛ぶクルマに適用することが想定されているためと考えられる。他方、フリート管理、交通管理については、2019 年、2020 年と米国において出願数が増加しており、今後も増加傾向が続く可能性がある。

(b) 出願人国籍ごとの出願数推移俯瞰

全体として中国の出願が圧倒的に多い。これに米国が続く。欧州、日本、韓国及びその他の国はこれら 2 国よりも圧倒的に少なく、米中が 2 強であるといえる。なお、米国と中国を比較しても中国の方がかなり多いが、中国はそもそも特許出願数が多い傾向がある。全体的にみると、IT やシステムに関する技術については、米国の特許出願の方が多く、それ以外の分野に関しては概ね中国の特許出願の方が多いという傾向がある。これは両国の注力分野の違いを表しているといえるだろう。

(3) 上位出願人

出願人は第 1 位が FOSHAN SHENFENG AVIATION TECH CO LTD である。2 位は JIANGSU

CHANGTAN ROBOT CO LTD でいずれも中国企業である。ただし、JIANGSU CHANGTAN ROBOT CO LTD については詳細不明で、取下や拒絶も多いが、出願数が多くランクインしている（中国にはこのような出願人も多いが、本報告書では除外しない。以下同じ）。3 位と 4 位に米国企業の Kitty Hawk Corporation、Joby Aero, Inc.が続く。５位の FAN LEI（范磊）は中国の個人出願。こちらも詳細不明で、取下や拒絶も多いが、出願数が多いためランクインしている。10 以内にランクインした日本企業はなかった。

(4) 今後の方向性

機体、動力、電源については、既に海外の知財が多く出願されている状況にあり、我が国による知財の確保の観点では、レッドオーシャンの状況にある。他方、フリート管理、交通管理については、米国から特許出願の増加傾向がみられる一方で、全体数としては少なく、今後の注目度と競争力確保の余地があるものと考えられる。CNS、気象システム、給電システムについては、既存技術の適用が想定され、空飛ぶクルマに特化した特許の出願は少ないものの、優位性の高い技術開発が行われれば、海外を席捲できる可能性もある。

交通管理、フリート管理に関する技術を中心に、情報提供やインフラ関連の技術について、今後研究開発を進めつつ、知財確保を進めていくことが期待される。

5.5. 調査項目⑤「有識者委員会等の開催」

学識経験者や研究機関、業界団体等の専門家で構成される「空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術に関する有識者委員会」（以下、有識者委員会）を設置した。本有識者委員会では調査全体の計画や検討結果の審議、成熟度レベルのフレームワークと各成熟度レベルにおける要素技術ロードマップ案について審議した。また本有識者委員会にて審議する各成熟度レベルにおける要素技術ロードマップについては、そのレビュー及び修正案検討、関連情報提供を行うため、学識経験者や研究機関、関係企業の専門家で構成する「空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術に関するワーキンググループ」（以下、技術 WG）を設置した。有識者委員会と技術 WG の位置づけを図 2.4.2-48 に示す。

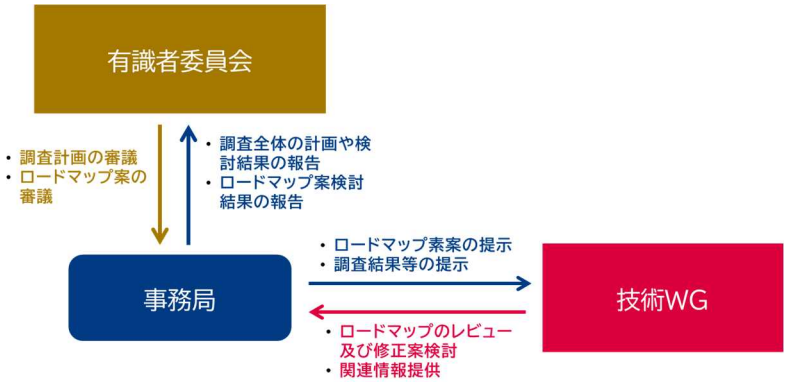


図 2.4.2-48 有識者委員会と技術 WG の位置づけ

- 技術 WG の開催

  計４回の技術 WG を開催した。技術 WG の開催日時と主要議題を以下に示す。

第１回技術 WG
開催日：2021 年 10 月 22 日（金）16：00～18：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■ 本事業の概要と検討の進め方
- ■ 成熟度レベルのフレームワークについて
- ■ 要素技術ロードマップの枠組みについて
- ■ その他（今後の進め方等）

第２回技術 WG
開催日：2021 年 11 月 24 日（水）10：00～12：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■ 前回 WG 及び有識者委員会の議論について
- ■ 要素技術ロードマップについて
- ■ その他（今後の進め方等）

第３回技術 WG
開催日：2022 年１月 27 日（木）15：00～17：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■ 要素技術ロードマップについて
- ■ その他（今後の進め方等）

第４回技術 WG
開催日：2022 年２月 10 日（木）13：00～15：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■ 要素技術ロードマップについて
- ■ その他（今後の進め方等）

- 有識者委員会の開催

  計３回の有識者委員会を開催した。以下に開催日時と主要議題を示す。

第１回有識者委員会
開催日：2021 年 11 月 17 日（木）10：00～12：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■　本事業の概要と検討の進め方
- ■　空飛ぶクルマの動向
- ■　成熟度レベルのフレームワークについて
- ■　要素技術ロードマップの枠組みについて
- ■　議論
- ■　その他（今後の進め方等）

第２回有識者委員会
開催日：2021 年 12 月２日（木）10：00～12：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■　前回議論の整理と検討方針について
- ■　要素技術ロードマップについて
- ■　その他（今後の進め方等）

第３回有識者委員会
開催日：2022 年２月 24 日（木）13：00～15：00　開催方法：Web 会議
議題：
- ■　これまでの議論の整理と対応状況
- ■　要素技術ロードマップ（案）について
- ■　その他

5.6. 調査項目⑥「国際的な制度や海外制度の動向調査」

①　調査概要

世界各国（特に欧米を中心として）で旅客輸送や救命救急、物資輸送などを目的とした電動垂直離着陸機（eVTOL）の機体開発や運用コンセプトの検討が進められている。また、これらの航空機システムは高密度化、高度自律化されることが想定されており、既存制度との間にギャップが存在すると考えられている。

本セクションでは米国と欧州を対象に、各地域で eVTOL 機を含む空飛ぶクルマの位置づけを整理すると共に、社会実装に向けた制度上の課題の抽出、制度上のギャップ克服に向けて各地域でどのような制度方針が検討されているのか調査を実施した。

(1) 米国における空飛ぶクルマの位置づけ

米国では NASA で提唱されている Advanced Air Mobility (AAM)のうち、都市部と郊外の低高度で乗客や貨物を運送する Urban Air Mobility (UAM)の一種として空飛ぶクルマを位置づけている。

(2) 欧州における空飛ぶクルマの位置づけ

欧州では米国のように航空機として定義せず、機体及び運航者の認証が必要なカテゴリである Certified Unmmaned Aircraft System (UAS)の一種に位置付けている。

(3) 空飛ぶクルマの社会実装に向けた制度課題

(A) 調査概要

空飛ぶクルマは都市圏での運航だけではなく、空港へのアクセス、郊外部での運航なども想定され、Vertiport と呼ばれる離発着場から離陸・着陸を行う。

空飛ぶクルマの社会実装に向けて検討する必要があると考えられている制度上の課題を以下に示す。

- 機体に関する制度課題
  - 型式証明・耐空証明の発行。特にバッテリ・垂直離着陸など、既存の航空機の要件の範疇外の特性をどのように扱うか。
- 操縦者に関する制度課題
  - 機上操縦者及び遠隔操縦者向けの訓練プログラムの策定
  - 機上操縦者及び遠隔操縦者の技能証明の方針
- 運航管理に関する制度課題
  - 郊外部や空港周辺（Class B）といった異なる空域を運航する場合の要件
  - 既存 VFR 機や UAS との空域の共用（特に離着陸の際に UAS と空域を共用する可能性あり）
- 離発着場に関する制度課題
  - 空飛ぶクルマ向け離発着場の設置（特に、離発着場のデザインや設置場所、具備すべき機能や手続きに関する具体要件の設定）

② ICAO の動向

遠隔操縦者航空機システム（RPAS：Remotely Piloted Aircraft System）は、免許を持った航空従事者が遠隔地から操縦する高度に複雑化された航空機とされており、大きな経済的可能性を有するとして、RPAS を既存有人機が存在する環境に安全に統合することが世界的に議論されている。

ICAO においても RPAS の議論にフォーカスした RPASP(Remotely Piloted Aircraft System Panel)が設置され、他の ICAO 専門家グループと共同で、当該領域に関わる研究を行っている。

RPASP では、RPAS の遠隔操縦者ライセンスに関わる議論が進められており、2020 年 7 月、IFR で国際飛行を行う RPAS を対象とした国際標準・勧告方式として ICAO Annex 1 “Personal Licensing”, Chapter2 “Licensing and Rating for Pilots”, B ” Licences and ratings for remote pilots” が発行されている。当該規定は 2022 年 11 月 3 日に適用される。

遠隔操縦者ライセンスに関わる ICAO Annex1 だけでなく、その他の Annex においても RPAS に関する規定が今後策定される予定である。

③ FAA の動向

Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0 において、米国では空飛ぶクルマを都市部と郊外の低高度で乗客や貨物を運送する Urban Air Mobility (UAM)機の一種として位置づけ、まずは既存法令の範疇で対応可能な運航から開始し、徐々に高度な運航を行うにしたがい、法令改正等で対応していく考えが以下のとおり示された。

- UAM 導入初期における運用：現行の規制・運用環境下で飛行が認証された機体を使用して実施される。
- ConOps 1.0 における運用：より高密度化された UAM 運用は、既存規制の改訂と UAM コリドーによって実現される。
- UAM 成熟期における運用：新しい UAM 専用の運用ルールやインフラ、高度に自動化された交通管理を導入し、遠隔操縦や自律的に飛行する UAM が、より高密度化された環境で安全に運用できるような環境構築を実施する。

eVTOL の大規模な商業運用を行うためには、機体の型式認証（Type Certification)、生産認証（Production Certification)、耐空性認証（Airworthiness Certification）の取得が必要である。現在、商業化のための第一ステップである型式認証の取得に向けて、多くの eVTOL 機体メーカが FAA に対して申請を行っている。

当該申請において、FAA は 14 CFR Part 21.17(a) もしくは Part 21.17 (b)の適用を想定しており、前者は、既存の認証基準（CS-23, CS-27 など）が適用可能な場合に選択され、eVTOL 機特有の特徴に対しては特別条件（Special Condition）を指定することで対処する。一方で、後者は既存の認証基準の範疇では適用できない特殊なクラスの機体の場合に選択され、既存の耐空性要件と同等の安全性を確保するために、該当する基準を組み合わせて eVTOL 機体特有の基準が決められることとなる。

現在実施されている多くの eVTOL 機の型式認証において、14 CFR Part 21.17(a)が適用され、特に固定翼機の型式証明基準である 14 CFR Part 23 の改正版（14 CFR Part 23 amendment 64）をベースに、特別条件を適宜設定しながら個別審査が行われている最中である。Joby 社は 14 CFR Part 23 amendment 64 をベースに認証プロセスが進行している 1 社であり、2022 年 2 月に認証の重要なマイルストーンである適合試験を開始したとの発表がなされており、2024 年の型式認証取得に向けて活発に活動が行われている。

FAA では新たな Vertiport 用の基準に関わる新たな制度の検討を開始している。当面の目標として、Vertiport に関する Advisory Circular を 2024 年 9 月ごろに発行することを設定しており、当該目標に向けて、既存規則とのギャップ分析や機体メーカへのヒアリングを通じた eVTOL 機のデータ収集、充電インフラ設備の検討等を実施している最中である。

AC 発行に向けたステップとして 2022 年 3 月、Vertiport 設計に係る Engineering

Brief No. 105 の初版（案）が発行されている。

④ EASA の動向

欧州では米国での制度化方針と異なり旅客輸送を含む VTOL 機体は certified UAS の一種に整理されて、検討が進められている。欧州における制度化に係る文書として、2019 年 11 月に EASA より発表された、EASA concept for regulation of UAS 'certified' category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), the certification of UAS to be operated in the 'specific' category and for the Urban Air Mobility operations - Issue 2.1 において人や物品を輸送する eVTOL 機は、無人・有人に関わらず、Certified カテゴリの UAS として整理し、VTOL 機体を含む以下の 3 つに区分し、今後 Certified カテゴリの UAS の法規則を整備していくことが示された。

① 空域クラス A～C（ICAO 空域分類）での貨物輸送を目的とした UAS の IFR による運用で、飛行場から離陸および／または着陸するもの。
② 混雑した環境（例えば都市部）で、U-Space 空域内であらかじめ定義されたルートを使用して離着陸する UAS の運用（運用の一部は混雑していない環境（例えば地方）で行うことも可能)。これには、乗客（例：エアタクシー）や貨物（例：商品配送サービス）を運ぶ無人 VTOL 機の運航が含まれる。
③ ②と同じ運航を行う有人の UAS の運用。(U-space のない空域の飛行を含む)

さらに、eVTOL を含む Certified UAS の運用に関して、既存の航空関連法規則とは違う枠組みで、精度設計を進める予定であり、小型 VTOL 機体に係る型式証明の基準として SC-VTOL-01 が策定されている。

2021 年 4 月に発行された Rulemaking Task (RMT) 0230 Regulatory framework to accommodate unmanned aircraft systems in the European aviation system において上記 3 つの運用タイプに関する既存法令の改訂及び新規ルールの整備スケジュールが示された。当該 RMT では以下に示す (A) ～ (F) までの分野別に法整備のスケジュールが示されている。

A. Open/specific カテゴリの運航ルール
B. U-space との空域統合
C. Certified カテゴリの UAS と UAM
D. UAS と VTOL の機体認証基準と ETSO
E. 空域利用の要件及び ATM/ANS 相互互換性要件
F. 環境保護

直近では有人 VTOL 機体に関する既存法令の改正及び新ルールの策定案（RMT.0230 (C) opinion #1 に係る NPA）は 2022 年公開される予定であることが示された。当該

NPA では、耐空性証明や運送・使用事業、空域管理に係る法令・規則が対象であり、2022 年に Opinion #1 が公開される予定である。

また、パイロットが搭乗しない VTOL 機体に関する既存法令の改正及び新ルールの策定案（RMT.0230（C）opinion #2 に係る NPA）は 2023 年に公開される予定である。当該 NPA では耐空性証明や運送・使用事業、空域管理だけでなく、リモートパイロットライセンスに係る法令・規則が対象であり、2024 年では Opinion #2 が公開される予定である。

機体の安全性に関わる動向としては欧州 EASA より小型の VTOL 機体の型式証明の特別条件を定めた Special Condition (SC)-VTOL-01[13]

及びその遵守方法（現時点では一部基準に対してのみ）を定めた MOC SC-VTOL[14] が発行されており、米国に先行して空飛ぶクルマの実装を視野に入れた法整備が進められている。

当該 SC は、固定翼機の認証要件をベースとしつつ、回転翼機の認証要件の諸要素を組み込む形で策定されている点が特徴的である。また、適用される基準は機体の種類や目的・特性に応じて 2 種類に分類される点も特徴的であり求められる要件が異なる。

表 2.4.2-78 SC-VTOL-01 における小型 VTOL のカテゴリ

カテゴリ	概要
Basic	制御された緊急着陸が可能であり、該当するすべての要件を満たす航空機に対する認定を指す。
Enhansed	混雑地域上での操縦又は旅客の民間航空輸送を目的とする航空機に対してなされる認定を指す。現在お遠投されている各社の eVTOL 機は都市部での利用などの目的から Enhansed カテゴリに分類されるケースが多いと想定される。

2020 年 5 月、SC-VTOL-01 に対する適合手段（MoC）の MOC SC-VTOL issue114が公開され、規定内容への遵守方法が示された。さらに、2021 年 6 月、MOC SC-VTOL ではカバーしきれていない規定項目に対応した MOC-2 SC-VTOL[15] Issue 115が発行され、ほとんどの項目について対応する適合手法が提案されている。今後すべての項目に対応した MOC-3 SC-VTOL が発行される予定である。

欧州では、無人航空機と有人機との空域統合に向けて必要となる新サービスのデジタルインフラ・サービス・手法を含む、UAS の飛行管理のためのコンセプトを “U-

[13] SPECIAL CONDITION Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01.pdf（閲覧日：2022 年 2 月 27 日）

[14] MOC SC-VTOL https://www.easa.europa.eu/downloads/127717/en（閲覧日：2022 年 2 月 27 日）

[15] MOC-2 SC-VTOL https://www.easa.europa.eu/downloads/128938/en（閲覧日：2022 年 2 月 27 日）

Space”と呼び、2017年より、SESARという新世代の航空管理システムの近代化を目的とした欧州の研究開発プログラムにおいて、研究開発を進めてきた。

SESARでは、U-spaceの開発ステージをU1(基盤サービス)、U2（初期サービス)、U3（高度サービス)、U4（フルサービス）の4段階にわけ、U1は既に社会実装が開始されているとともに、U2についても2020年末時点でほとんどの実証実験が完了している。

SESARでのU-Spaceのコンセプト検討と並行して、EASAは、2021年4月22日、U-spaceの法的枠組みに関する新EU規則2021/664[16]を発表しており、2023年1月26日からの遵守が義務づけられた。当該EU規則では、高密度で目視外飛行の運航が実施される将来を想定して、「U-space空域」が新たに定義されているとともに、同空域で提供される運航管理サービス（「U-spaceサービス」）の要件（機能要件等）や、同サービスを提供するU-spaceサービスプロバイダ（USSPs）の認証プロセスについてルールが定められている。また、UAS側への法的枠組みを与えるだけでなく、有人航空機の運航関連の既存規則への追記を規定したEU規則2021/665[17]、EU規則2021/666[18]も2021年4月22日に発行されており、2023年1月26日より発効予定である。

EU規則2021/664の特徴的な点として、UAS同士やUAS・有人機間の空域共有・運航調整の在り方についてルールを定めていることが挙げられる。主なポイントは以下の通り。

- 航空管制サービスプロバイダ（ANSP）は有人機向けに航空管制サービスを提供し、主管庁の認定を受けたU-spaceサービスプロバイダ（USSPs）がUAS向けにU-spaceサービスを提供する。
- 主管庁は、規定の空域リスクアセスメントを実施した後、「U-space空域」を指定し、本空域を飛行するUASに対してU-spaceサービスの利用を義務付けることができる。
- 非管制空域では有人機は管制を受けずに飛行をするが、U-space空域を飛行する際には、USSPsへの飛行位置情報の報告が義務付けられる。
- U-space空域を管制空域内に設定する場合は、航空管制サービスを受ける有人機とUASが確実に分離されるよう、有人機とUASの空域を動的に分離できなければならない（＝動的な空域再設定機能）。

2021年12月、EU規則2021/664,665,666に対応するNPA 2021-14（Development of acceptable means of compliance and guidance material to support the U-space

[16] EU規則2021/664 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0664（閲覧日：2022年2月27日）

[17] EU規則2021/665 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0665（閲覧日：2022年2月27日）

[18] EU規則2021/666 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0666（閲覧日：2022年2月27日）

regulation） が発行されている。本NPAの目的はU-Space空域における無人機及び有人機の運用において高レベルの安全性を保つことであり、U-Spaceに関するEU規則の具体的な適合手法及びガイダンスがまとめられている。

⑤　　その他の動向

空飛ぶクルマに関する議論は海外の主管庁や標準化団体だけではく、航空及びヘリコプターなどの業界団体においても活発に行われている。業界団体のおける議論動向として、特にビジネス航空及びヘリコプター業界として有名な、GAMA (General Aviation Manufacturers Association)、HAI (Helicopter Association International)、NBAA (National Business Aviation Association)の3団体について、動向を整理した。

(1) GAMA (General Aviation Manufacturers Association)の動向

GAMA (General Aviation Manufacturers Association)は米国に拠点を持つ航空業界団体であり、一般及びビジネス航空業界の経済的影響と社会的利益の促進について活動を行っている組織である。

GAMAにおけるGAMAの委員会のうちElectric Propulsion & Innovation Committee (EPIC)の下でeVTOLを含むUAM関連の議論がなされており、「Data Communications」「Infrastructure Subcommittee」、「eVTOL Subcommittee」、「Hybrid & Electric Propusion Subcommittee」、「SVO Subcommittee」などのサブグループで構成されている。

最近ではData Communicationにおいて、次世代型の航空機システムの実現に必要な通信システム要件や技術に関して技術レポートを発行している。

(2) HAI (Helicopter Association International)の動向

HAI (Helicopter Association International)は米国に拠点を持つ、ヘリコプターの専門業界団体であり、ヘリコプター業界の安全ガイドラインを設定することなどを通じて、国際的なヘリコプターコミュニティの発展に寄与している。

HAIにおける空飛ぶクルマ関連の動きとして、2020年1月HAIが主導して実施したHAI Heli-Expo 2020にて”Urban Air Mobility Forum”の実施が挙げられる。当該フォーラムではUA業界の動向や技術の進歩を含む垂直飛行業界の最新動向と予測が報告されると共に、規制当局であるFAAや機体メーカであるUberも交えてパネルディスカッションが行われた。

(3) NBAA (National Business Aviation Association)の動向

NBAA (National Business Aviation Association)は米国に拠点を持つビジネス航空関連企業による業界団体であり、米国および世界中でビジネス航空が繁栄できる環境を育成することを目的として設立された組織である。

2019 年、NBAA は”NBAA Emerging Technologies Committee”と呼ばれる委員会を立ち上げ、無人航空機システム(UAS)、都市航空モビリティ(UAM)、無人交通管理(UTM)、その他の将来の技術や関連するインフラなどの新興航空技術に関する議論を進めている。

5.7. 調査項目⑦「国際的な標準化の動向調査」

空飛ぶクルマ（eVTOL）の標準化は、航空分野での国際規格を検討している米国ならびに欧州の標準化団体での議論を中心に進んでいる。特に、ICAO、ISO、ASTM、SAE、RTCA、EUROCAE で空飛ぶクルマに関連した議論が行われている。これらの国際標準化機関は、各国制度を策定している FAA や EASA といった航空当局と連携して制度の検討や策定に貢献しており、空飛ぶクルマにおいても同様の関係となっている。

CAO、ISO、ASTM、SAE、RTCA、EUROCAE では、空飛ぶクルマである eVTOL の機体から装備品、通信技術、地上インフラなど、幅広い内容を検討している。検討内容は標準化機関ごとに異なり、例えば ASTM では eVTOL の機体や推進システムから、地上インフラまで検討されているほか、UAM や民間機でも標準化活動を進めている。一方、RTCA は航空システム分野の標準化活動を中心に行っており、管制や通信技術を含めた CNS 技術に関する要件や規格を検討している。

各国際標準化機関は、議論の重複を避けるために MOU や MOC を締結して規格を共同で検討している。また、組織同士のみならず、ワーキンググループ WG や委員会レベルでも連携を行っており、類似テーマに関しては情報共有や協議を行っている。

① 標準化テーマ別の動向

(A) 運用コンセプト（ConOps）

米国、欧州を中心に空飛ぶクルマの運用コンセプトを整理した Concept of Operation (ConOps)が作成されており、NASA や SERAR といった主管庁以外の組織でも空飛ぶクルマの社会実装イメージが検討されている。

Eurocae において、空飛ぶクルマ関連の標準化は WG-112（VTOL）にて検討されており、当該 WG の中では VTOL の電気系統に関する規格や地上インフラ等に関する規格策定のための SG（Sub Group）に分かれて個別議論が進められている。特に、今後の VTOL 機に運用コンセプトを検討する SG として SG-7 が該当する。

標準化団体における運用コンセプトの議論動向として、2020 年 9 月、特定のユースケースに依存しない VTOL 機体全般の利用に関する運用コンセプトを定めた「ED-278 Concept of Operations for VTOL Aircraft – Volume 1: General Considerations」が発行されている。

さらに、2021 年 7 月、ED-278 にもとづいて、民間旅客のエアタクシー輸送全般に係る運用コンセプトを定めた「ED-293 Concept of Operations for VTOL Aircraft – Volume 2: Commercial Passenger Air Taxi Transport」が発行されている。

② 自動・自律化

米国、欧州を中心に航空機の自動・自律化に関する議論が進められている最中であり、米国では FAA、NASA だけでなく、民間標準化機関の ASTM の中でも TF を設置して議論が実施されている。また欧州でも AI を活用した自動・自律化の議論が進んでおり、2020 年に商業運航も視野に入れたロードマップも発行されている。

(1) ASTM における自動・自律飛行に関する検討

米国 ASTM では、航空機システムの自動・自律化のため、タスクフォース AC377 が設立され、sUAS や GA、UAM など様々な機体の自律的な設計と運用及びそれらに対するコンセンサス標準策定に関する検討が実施されている。

(2) ASTM での検討内容

米国 ASTM では、eVTOL に係るコンセンサス標準の策定のため、複数技術委員会及びタスクフォースにて議論が進められており、タスクフォース AC433 では、適合手法として受け入れられている ASTM F3264 を eVTOL に適用するためのギャップ分析が行われている。

(3) 地上インフラ（Vertiport）

米国・欧州を中心に空飛ぶクルマの実装に係る地上インフラ、特に離発着場である Vertiport に関する検討が行われている。FAA や EASA にて空飛ぶクルマ専用の Vertiport の基準整備が実施されているほか、民間標準化組織である ASTM や EUROCAE にてそれらの基準に対応する適合手法の策定が進められている。民間の標準化機関にて地上インフラに係る WI(Work Item)が議論されている。

5.8. 調査項目⑧「国際標準化の対応方針の検討」

5.8.1. 検討概要

空飛ぶクルマ（eVTOL）の関連ワークアイテムのうち、今年度は高密度運行の実現に向けて必要となる自動・自律技術や、国内企業からの関心が高いワークアイテムを対象に、各標準化機関への会合参加を通じて情報収集を行った。

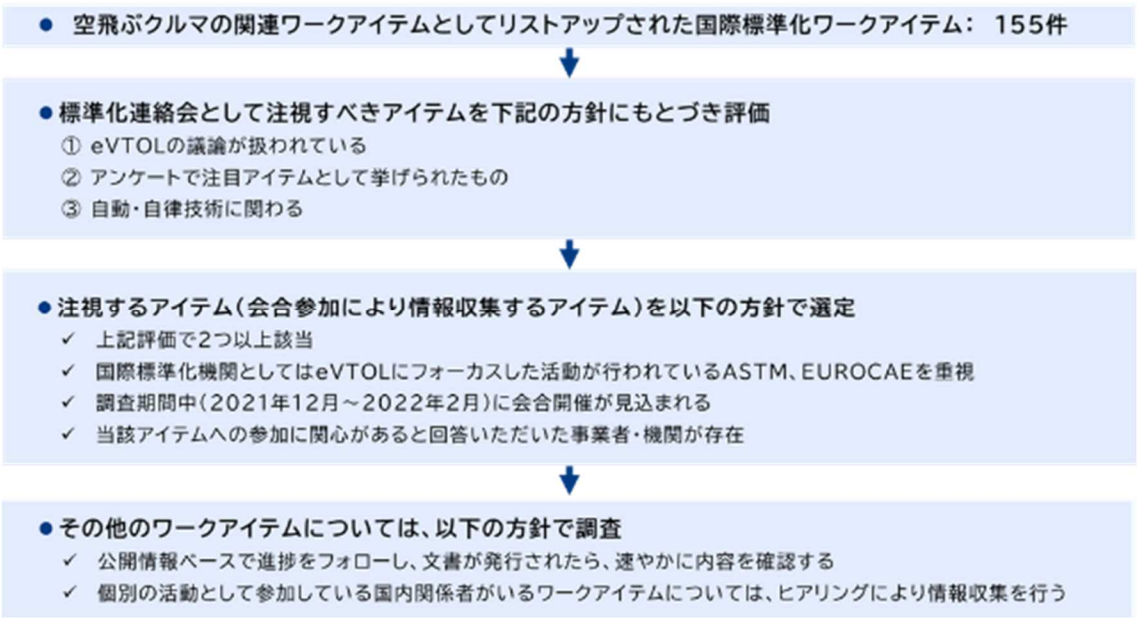


図 2.4.2-49 注視するワークアイテムの選定方法

5.8.2. 国内企業の標準化活動状況と関心事項

国内企業の空飛ぶクルマに関わる標準化活動状況と関心事項を把握するため、第 1 回標準化連絡会の参加企業・機関を対象にアンケート調査を実施した。アンケート調査の概要と結果を以下に示す。

＜アンケート調査概要＞

アンケート名　：標準化活動に関するアンケート
実施期間　　：2021 年 10 月 14 日（木）～10 月 21 日（木）
回答数　　：54 社・機関　※第 1 回標準化連絡会参加企業のうち 13 社は回答なし

表 2.4.2-79 アンケート調査項目

設問	内容
問 1	第 2 回目以降の標準化連絡会への参加を希望されるか。
問 2	ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO, ICAO 等における標準化活動に参加しているか。
問 3	参加している（いた）、あるいは今後参加予定の取組み内容はなにか。
問 4	標準化活動を推進する上での課題や必要な支援等はあるか。
問 5	今後、我が国として注目すべきワークアイテムやテーマはなにか。
問 6	注目すべきワークアイテムについて、本事業の一環として情報提供の協力は可能か。
問 7	2021 年中に SAE International との Workshop を開催する場合、参加を希望されるか。
問 8	その他、自由記述。

＜アンケート調査結果＞

問 1：第 2 回標準化連絡会への参加意向

第 1 回標準化連絡会の参加者に、第 2 回以降の標準化連絡会に対する参加意向を確認したところ、アンケート対象者のうち、7 割強が第 2 回標準化連絡会への参加を希望した。

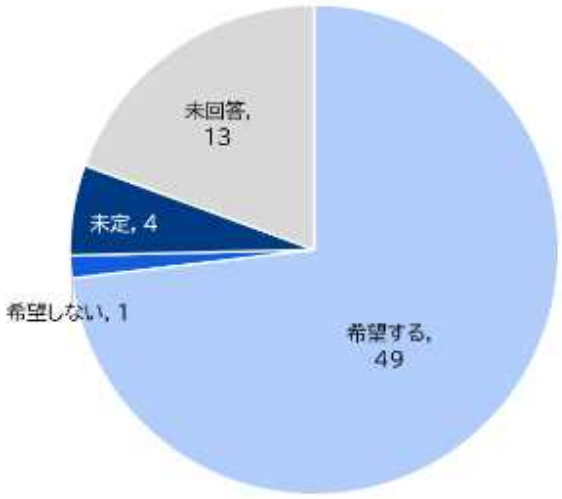


図 2.4.2-50 第 2 回標準化連絡会への参加意向

問 2：国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動への質問に対しては、アンケートに回答した 54 社・機関のうち 19 社・機関で国際標準化機関での活動に参加しているとの回答があった。

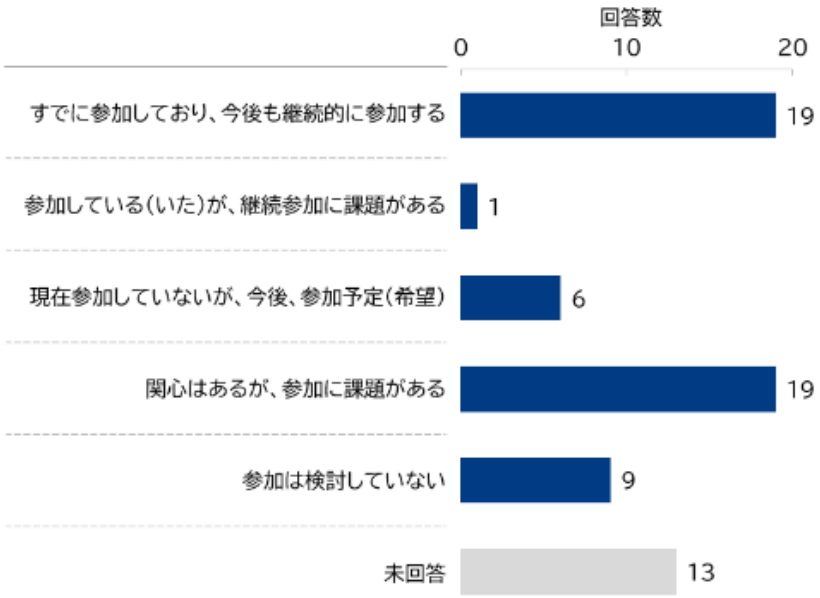


図 2.4.2-51 国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動に参加できていない企業・機関には、参加に向けての課題を確認したところ、国際標準化活動への参加課題は主に人的リソース不足との回答があった。また、金銭面での課題や欧米での会合開催を背景にした深夜対応が国際標準化活動への参加にあたっての障壁となっている。

表 2.4.2-80 国際標準化活動への参加にあたっての課題

分類	回答例
人的リソース不足 (10 社・機関)	• 人員配置が困難なため • 社内リソースおよび技術面に課題がある • 標準化活動に参加できるリソースが十分でない • ヒューマンリソース不足
金銭的リソース不足 (3 社・機関)	• 活動予算が確保できない • 会費等の課題
深夜対応不可 (2 社・機関)	• オンライン会議になり出張は減ったが、深夜の会議であり、毎週の参加は厳しい • SAE 等のワーキンググループの開催時間が深夜であり、通常業務との兼ね合いで参加が難しい
知見・経験不足 (2 社・機関)	• 参加するのに必要な能力や経験が分からず、手が挙げにくい。 • 英語による交渉が困難（英語能力不足や航空技術力不足、国際会議経験無）

その他	• アカデミーの立場では参画の意義が薄い • 社内及び連携している会社との間で、参加する団体・活動について、調整が完了していない • 情報は収集したいが、それ以上の検討ができていない

問 3、問 5：国際標準化活動への参加状況、注目アイテム

アンケート調査では、国際標準化活動への参加状況ならびに参加意向・参加希望を確認した。また、各企業・機関で注目している委員会やワークアイテムを確認した。各社・機関からの回答は、国際標準化機関別に整理した。

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
ASTM	F38 Unmanned Aircraft Systems	1 社・機関	1 社・機関	1 社・機関	• 無人航空機の標準化は現在進行中であり、この機会に日本として標準策定に参加する必要がある
	F38.01 Airworthiness	1 社・機関	2 社・機関	4 社・機関	• WK65056：型式証明で重要となるソフトウェアやシステムに関する標準であるため • WK68098：メーカとして信頼性、品質は一丁目一番地
	F38.02 Flight Operations	1 社・機関	2 社・機関	5 社・機関	• WK63418：まだ標準化されていない交渉・調整に注力し、RTCAにおけるDAA性能の指標を空間バッファ設定ルールに反映させる活動が必要 • WK59317：地上インフラの制度設計、技術実装、自動化は、社会実装やスケール化の必要条件
	F39 Aircraft Systems	1 社・機関			（回答なし）
	F39.04 Aircraft Systems			2 社・機関	• WK76044：空飛ぶクルマの要件である自律飛行に関する基本的な部分であるため
	F39.05 Design, Alteration, and Certification …	1 社・機関		4 社・機関	• 電気エンジンやバッテリーの仕様について世界の標準仕様と日本で行われている内容に乖離が無いか注目したい • WK70381：要素設計の観点から重要
	F44 General Aviation	1 社・機関			（回答なし）
	F44.10 General				（回答なし）
	F44.20 Flight			1 社・機関	• 飛行性能に関わる基本的な部分であるため
	F44.30 Structure				（回答なし）
	F44.40 Powerplant			1 社・機関	• 電動化への対応も重要
	F44.50 System and Equipment		1 社・機関		（回答なし）
	F37 Light Sport Aircraft	1 社・機関			（回答なし）
	その他／全般	1 社・機関 Safety	3 社・機関	1 社・機関	• ASTMの活動は、これまでも技術開発項目抽出に対し大きな影響がある

図 2.4.2-52 ASTM への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
SAE	E-40 Electrified Propulsion	5 社・機関	1 社・機関	4 社・機関	• 今後の航空機産業(含:空飛ぶクルマ)では電動化の技術革新が産業界を牽引することになり、その標準策定に日本は乗り遅れないようにする必要あり • AIR8678:電動推進に関する規格を議論中。日本のものづくりにとってはハードの規格が重要 • ARP8677:要素設計の観点から重要
	AE-7 Aerospace Electrical Power and Equipment	1 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	AE-7C Systems	1 社・機関			(回答なし)
	AE-7D Aircraft Energy Storage and Charging	1 社・機関			(回答なし)
	AE-7F Hydrogen and Fuel Cells	1 社・機関			(回答なし)
	AMS AM (Additive Manufacturing)	1 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	A-20 Aircraft Lighting Steering		1 社・機関		(回答なし)
	G-34 Artificial Intelligence in Aviation	1 社・機関	1 社・機関	1 社・機関	• 空飛ぶクルマを含む今後の航空機にはAI技術を用いた自律化が必須であり、早い段階で標準策定活動に参加する必要がある。
	S-18 Aircraft and Sys Dev and Safety Assessment	3 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	S-18A Autonomy Working Group	2 社・機関		1 社・機関	(回答なし)
	CMH-17 Composite Material Handbook	1 社・機関			(回答なし)

図 2.4.2-53 SAE への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
EUROCAE	WG-80 Hydrogen and Fuel Cells Systems				（回答なし）
	WG-105 UAS				（回答なし）
	SG-1 Detect and Avoid				（回答なし）
	SG-2 C3 Security				（回答なし）
	SG-3 UTM			1 社・機関	（回答なし）
	SG-4 Design and Airworthiness			1 社・機関	・機体開発の観点では基礎となるため
	SG-12 DAA against confliction traffic…				（回答なし）
	SG-22 Spectrum		1 社・機関		（回答なし）
	SG-32 UTM E-Identification				（回答なし）
	SG-62 GNSS for UAS				（回答なし）
	SG-63 Automatic protection function…				（回答なし）
	WG-112 VTOL				（回答なし）
	SG-1 Electrical				（回答なし）
	SG-2 Lift-Thrust				（回答なし）
	SG-3 Safety			2 社・機関	・航空業界で最も重視されている安全に関する事項 ・飛行制御に関連した装備品を生産しているため
	SG-4 Flight			1 社・機関	・ソフトウェア搭載の装備品の設計要求を知るため
	SG-5 Ground		1 社・機関	1 社・機関	・地上インフラ回りでの国内メーカー等の市場参入機会を創出するため
	SG-6 Avionics			1 社・機関	（回答なし）
	SG-7 ConOps			1 社・機関	（回答なし）
	SG-8 Seats				（回答なし）
	WG-113 Hybrid Electric Propulsion			1 社・機関	・日本において各企業が今後挑んでいく分野であるため
	WG-115 Counter UAS	1 社・機関			（回答なし）
	WG-117 Topics on Software Advancement	1 社・機関			（回答なし）
	その他／全般		3 社・機関	2 社・機関	・欧州企業だけでなく、世界中の企業が参加しているため動向を把握する重要性が高い。また文化の違いもありFAAに比べEASAの方が明確な規格・規制を積極的に設定する姿勢があり、これをサポートするためにEUROCAEが動いていることも理由 ・EUROCAE　UTMに関する標準：各国で共通的なルールや技術が必須な領域であり注視が必要

図 2.4.2-54 EUROCAE への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
RTCA	SC-228 Unmanned Aircraft Systems	2 社・機関		3 社・機関	• UASのC2リンクはLTEの利用が最も現実的であり、早急な規格・基準の整備が必要 • DO-362A：目視外運用が標準的となった場合、通信の重要性は高い
	SC-135 Environmental Testing		1 社・機関		（回答なし）
	SC-216 Aeronautical Systems Security			1 社・機関	• DO-356A - Airworthiness Security Methods and Considerationは障害対応として必須
	SC-238 Counter UAS Systems	1 社・機関			（回答なし）
	SC-240 Topics on Software Advancement	1 社・機関			（回答なし）
	Forum for Aeronautical Software (FAS)		1 社・機関		（回答なし）

図 2.4.2-55 RTCA への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
ISO	TC20/SC16 Unmanned aircraft systems	2 社・機関	1 社・機関		（回答なし）
	WG1：全般				（回答なし）
	WG2：製造・整備	1 社・機関			（回答なし）
	WG3：運行・手続き	2 社・機関	1 社・機関	2 社・機関	• 当該ConOpsで定義される内容の具現化についてシステム、サブシステムでの標準化に注視する必要がある
	WG4：UTM	2 社・機関		1 社・機関	• 空飛ぶクルマ含め、管制の仕組みが非常に重要なため
	WG5：試験・評価	2 社・機関			（回答なし）
	WG6：UASサブシステム	3 社・機関			（回答なし）
	TC20/SC17 Airport infrastructure		2 社・機関	1 社・機関	• 空飛ぶクルマについてもVertiportが重要な位置付けになると見ており、注目している
	その他／全般	1 社・機関 TC20/SC14 Space systems and operations	1 社・機関	1 社・機関	• 既に電動の小型無人機を対象に議論が進められている

図 2.4.2-56 ISO への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
ICAO	RPAS Panel	1 社・機関	2 社・機関	（回答なし）	（回答なし）
	FLTOPS	1 社・機関		（回答なし）	（回答なし）
	その他		1 社・機関 （運航・整備制度設計）	（回答なし）	（回答なし）

図 2.4.2-57 ICAO への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

注目分野		回答数	注目するべき内容	注目するべき理由
MoC など	機体	2 社・機関	• 耐空性や維持管理 • 電動航空機の設計例	• 安全性確保のため • 今後、グローバルな産業エコシステムを形成するときに共通要素の定義は重要になる
	推進システム	2 社・機関	• 航空機電動推進用モータ・コントローラの標準化 • 航空機システム電動化に向けた標準化 • 航空機水素燃料電池ハイブリッド電動システムの標準化、認証取得技術確立	• 標準化活動への取組み、認証取得技術確立は個社企業で対応するのは困難 • CerTCASの活動においてeVTOL標準化活動の取組を検討中
	電源	3 社・機関	• 蓄電池や電源システム • バッテリパックの技術標準（一般性能測定方法、安全性確保に必要な要件）	• 燃料の替わりに飛行用エネルギーとして搭載される高出力/大容量のバッテリパックの評価や安全性確保に必要な規格が不足しているように思われる • 機体重量に大きく響くため、途中段階で不利になると開発プロジェクトがやり直しになるリスクがある
	安全システム	2 社・機関	• Safety 全般，空中衝突回避のワークアイテム • AAM運航に関わるSafety Management System	• 何らかの事故発生で市場が無くなるリスクが高いため • ヘリ関係の海外運航事業者との連携検討において、国際機関が制定するSMSのオーディット等を求められたが、国内運航事業者での対応ができずに連携に至らなかった事例があった。AAMのSMS制定議論も進んでいると聞いており、安全面のみならず事業面でも対応が必要になる可能性がある為、フォローしておく必要があると思料
ポート など	地上インフラ	5 社・機関	• バーティポート：無人電動貨物機の垂直離着陸インフラ・設備 • 地上インフラ関連のワークアイテム	• 国内の貨物輸送等について各業界で実証実験が進んでおり、旅客輸送と比較しても早い商業化の実現に期待できるのではないかと思います • 安全で効率的な充電を実現するには、充電インフラに関するルール形成は重要性が高い • 地上インフラは整備のリードタイムが長いため、実装時期に大きく影響する
ConOps など	管制・CNS技術	4 社・機関	• UTMや空域管理、管制の分野 • 安全運航と運航管理（電動航空機の安全性検討） • C2/C3リンク関連のワークアイテム	• 海外でも納得のいくConOpsが提示されていないため • 直近はUASにとっての最重要アイテムであるが、パイロットを不要とする場合にはAAMにとって最重要
	空域関連	4 社・機関	• 空飛ぶクルマが飛行する空域の議論 • 空域設計・飛行経路・飛行方式に関する標準	• 欧米，特に米国では空飛ぶクルマは高度150m以上の主に有人機が飛行する空域を飛行するという前提で議論が進んでいるが、国内では未だに高度150m以下の飛行やドローンとの交錯などの話題が多く、前提が国際動向と乖離している • 既存の有人航空機との空域共用は今後の課題と考える。また、事業化のためには多頻度/全天候運航が必要なため、そのための飛行方式の検討が必要
その他	操縦関係	2 社・機関	• 操縦士の技能証明 • 空クル操縦士／整備士のリソース確保	• 本邦において操縦士（特に回転翼）は不足しており簡易な制度が希望される • 航空事業従事者育成は時間が掛る。現在、空クル向けの訓練制度がない
	素材	1 社・機関	• eVTOLに関わる非金属材料のプロセスや安全性に関わる標準・規格	• 材料が強い日本としては、材料の安全性に関する標準/規格をリードすべき
	保険	1 社・機関	• 保険に係わるテーマ	（特に理由の記載なし）

図 2.4.2-58 その他注目分野

問 4：国際標準化活動の継続・推進上の課題

国際標準化活動に参加している企業・機関に対して、標準化活動の継続ならびに推進上の課

題を確認した。まだ国際標準化活動に参加できていない企業・機関と同じく、人的リソースおよび金銭的リソースの不足が課題となっている。

表 2.4.2-81 国際標準化活動の継続・推進にあたっての課題

分類	回答例
人的リソース不足 (5 社・機関)	• ヒューマンリソース不足 • それほど大きく無い組織でそれぞれの標準化団体に個別に参加することは難しい
金銭的リソース不足 (8 社・機関)	• 工数/資金的に不足している。助成事業などを活用して参加費などが捻出できると良い • 活動は全て個社の持ち出しとなっており、予算的な支援（労務費、渡航費、参加費など)をお願いしたい
社内体制不足 (2 社・機関)	• 標準化活動は非常に重要だが、すぐに成果が事業に直結しないため企業内の体制構築が難しい
知見・経験不足 (1 社・機関)	• 標準化活動の経験者不足、人材育成
日本での体制構築、情報開示範囲など	• 個社で参加して欧米の参加者と議論するのは難易度が高いので日本側の取りまとめ組織があると助かる。議論の進捗状態を整理し、課題を確認して、各社のニーズに照らして何を議論・提案したら良いか支援して貰えると助かる • 当局がガイドラインの発行を主導してきた航空業界において、航空局との議論の機会が非常に少ないために各民間規格の位置づけを高めることが現状では非常に難しいと感じている • 標準化団体に加盟済の日本企業が参加できる日本支部の設置。日本語での情報共有、日本からのインプットを議論したい。標準化団体に加盟していない企業に対する情報開示ポリシーの不明確さ。日本国内の企業・団体から情報開示を迫られるが、基本は不可。ただし、上位概念の開示であれば、宣伝効果になるので、許容される。その基準があいまい

5.8.3. 注目すべきワークアイテムの選定・調査

図 2.4.2-49 の方針に従い選定されたワークアイテムについては、当該ワークアイテムを検討している各国際標準化機関の委員会で開催されている会合へ参加して情報収集を行った。また、個別の活動として参加している国内関係者がいるワークアイテムについては、ヒアリング調査を行うことで情報収集を行った。

国際標準化機関の会合には、BIRD INITIATIVE 株式会社、株式会社スカイワード・オブ・モビリティーズ、一般社団法人航空イノベーション推進協議会（AIDA） 航空機装備品認証技術コンソーシアム（CerTCAS）、株式会社 SkyDrive、兼松株式会社に参加頂き、有益な情報を得ることができた。

組織	委員会	eVTOL関連	アンケート結果（注目アイテム）	自動・自律／高密度運航	調査方法
ISO	TC20/SC16 Unmanned aircraft systems		○	○（UTM）	国内ヒアリング
	TC20/SC17 Airport infrastructure	○	○		国内ヒアリング
ASTM	F38 Unmanned Aircraft Systems		○	○	会合参加
	F39 Aircraft Systems		○	○	国内ヒアリング
	F44 General Aviation	○	○	○	会合参加
SAE	E-40 Electrified Propulsion	○	○		国内ヒアリング
	G-34 Artificial Intelligence in Aviation		○	○	国内ヒアリング
	S-18A Autonomy Working Group		○	○	会合参加
EUROCAE	WG-112 VTOL	○	○	○	会合参加
RTCA	SC-228 Unmanned Aircraft Systems		○	○	国内ヒアリング

図 2.4.2-59 注目したワークアイテムを検討している委員会と調査方法

組織	委員会	注目ワークアイテム	会合参加事業者	ステータス
ASTM	ASTM F38.02 Flight Operations	WK63418 New Specification for UAS Traffic Management (UTM) UAS Service Supplier (USS) Interoperability	BIRD INITIATIVE	2021年11月 F3548-21として成立、 PSUのための規格を ドラフト中
		WK75923 New Specification for Positioning Assurance, Navigation, and Time Synchronization for UAS	BIRD INITIATIVE	新規格案のBallot中
	ASTM F44.30 Structure	F3083/F3083M-20a (WK68781) Standard Specification for Emergency Conditions, Occupant Safety and Accommodations	スカイワード・オブ・モビリティーズ	ドラフトレビュー中 (進行度70%) ※100%で発行
		F3114-21 (WK68805) Standard Specification for Structures	スカイワード・オブ・モビリティーズ	校正中 (進行度90%) ※100%で発行
		WK77098 New Practice for External Loads and Aeroelastic Compliance Demonstration for multimodal VTOL/eVTOL aircraft	スカイワード・オブ・モビリティーズ	会合未開催 (初期段階の見込み)
SAE	S-18A Autonomy Working Group	AIR7121 Applicability of Existing Development Assurance and System Safety Practices to Unmanned Aircraft Systems	AIDA-CerTCAS	ドラフトを再構成予定、 2023年Q1に投票予定
EURO CAE	WG-112 VTOL SG-3 Safety	ED-XXX Partial Generic Preliminary Aircraft Safety Assessment (PASA) for VTOL	SkyDrive	個別文書ではなく、 安全性に関わるトピック について議論中。 ✓ Information Security ✓ Safety Hazard Assessment ✓ Crashworthiness Passenger Injury など
		ED-XXX Information Security Guidance for VTOL and Collaborative Systems	SkyDrive	
		ED-XXX Guidance on the Demonstration of Acceptable Occupant Safety - Injury Prevention Measures	SkyDrive	
	WG-112 VTOL SG-5 Ground	ED-299 Guidance for Vertiport Operators and Operations	兼松	原案作成済み 収集したコメントへ対応中
		ED-XXX VTOL charging infrastructure	兼松	ドラフト作成中 2022年9月発行予定
		ED-XXX Guidance for the use of automated ground movement equipment to move VTOL aircraft with passengers onboard at vertiports and aerodromes	兼松	2021年11月に立ち上げ (検討初期段階)

図 2.4.2-60 注目したワークアイテムの会合参加事業者ならびにステータス

5.9. 調査項目⑨「国際標準化連絡会の開催」

5.9.1. 標準化連絡会の位置づけ

航空機に関わるルール作りのフィールドでは、ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO といった国際標準化機関において、航空機産業メーカ、電機産業メーカ、各国規制当局などを交えて議論がされており、今後、空飛ぶクルマの安全性の証明の手段として各国当局が当該機関のルールを準用する可能性がある。従って、日本が空飛ぶクルマに関する技術開発を主導し、世界に通用する製品開発を進めるためには、国際標準化機関における議論に国内の関連事業者・機関が参加し、ルール形成に関わっていくことが必要不可欠となる。

そこで、空飛ぶクルマに関する制度化や国際標準化の動向を国内の関連事業者・機関に共

有するとともに、参加者からも各社・各機関の国際標準化に関する現状の活動や将来方針を情報共有いただき、我が国として注視すべき領域やそのルール形成への関与の在り方について意見交換する場として「空飛ぶクルマに関する標準化連絡会」を設置した。同連絡会には、60 以上の企業、業界団体、研究機関等が参加した。

5.9.2. 開催概要

空飛ぶクルマに関する標準化連絡会は 3 回開催し、調査結果の共有、ならびに標準化連絡会として注視すべきワークアイテムとその情報収集の方針、ルール形成戦略に関する議論を行った。また、国際標準化活動への理解を深めるため、標準化連絡会のサブイベントとして、AIDA ならびに主要な国際標準化機関の１つである SAE と協力して、「2 日連続 SAE International ドローン・eVTOL 標準化セミナー」を開催した。

表 2.4.2-82 空飛ぶクルマに関する標準化連絡会の開催概要

会合	アジェンダ
第 1 回会合 （2021 年 10 月 14 日）	・開催趣旨、検討概要の説明 ・制度の動向、国際的な標準化動向の調査の結果共有
第 2 回会合 （2021 年 12 月 9 日）	・制度の動向調査、国際的な標準化動向の調査の結果共有 ・注視すべきワークアイテムと対応方針、役割分担
第 3 回会合 （2022 年 2 月 24 日）	・各社・機関からの国際標準化対応の報告 ・空飛ぶクルマのシステムアーキテクチャーの検討結果の発表 ・ルール形成戦略の議論

表 2.4.2-83 2 日連続 SAE International ドローン・eVTOL 標準化セミナーの概要

プログラム	
1 日目 2022/1/13 9:30-10:30	Advanced Air Mobility in Japan
	SAE International Overview
	Discussion
2 日目 2022/1/14 9:30-10:30	Drone and eVTOL standardization activities; advanced materials and engines/electrification
	Discussion

5.10. 調査項目⑩「ルール形成戦略の策定」

5.10.1. 今後の標準化対応方針の検討に関するアンケート

空飛ぶクルマの標準化活動に関する今後の方向性について、標準化連絡会の参加者を対象に 2022 年 2 月 24 日（木）～3 月 3 日（木）にアンケートを実施した。

＜アンケート調査概要＞

アンケート名：空飛ぶクルマに関する今後の標準化対応方針の検討に関するアンケート

実施期間　　：2022 年 2 月 24 日（木）～3 月 3 日（木）

回答数　　：27 件

表 2.4.2-84 アンケート調査項目

設問	内容
問 1	ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO, ICAO 等における標準化活動に参加しているか。
問 2	第３回空飛ぶクルマに関する標準化連絡会の資料に関して、今後、我が国として標準化の対処が必要なテーマ（装備品・機体、地上インフラ、自動・自律、運航ルールなど）や具体的なワークアイテムについてのご意見を教えてください。
問 3	その他、標準化連絡会へのご意見・ご感想、今後の我が国における標準化活動に関するご意見がございましたら、ご自由に記載ください。

問 1：国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動への参加状況は、「すでに参加しており、今後も継続的に参加する」との回答が最も多かった。

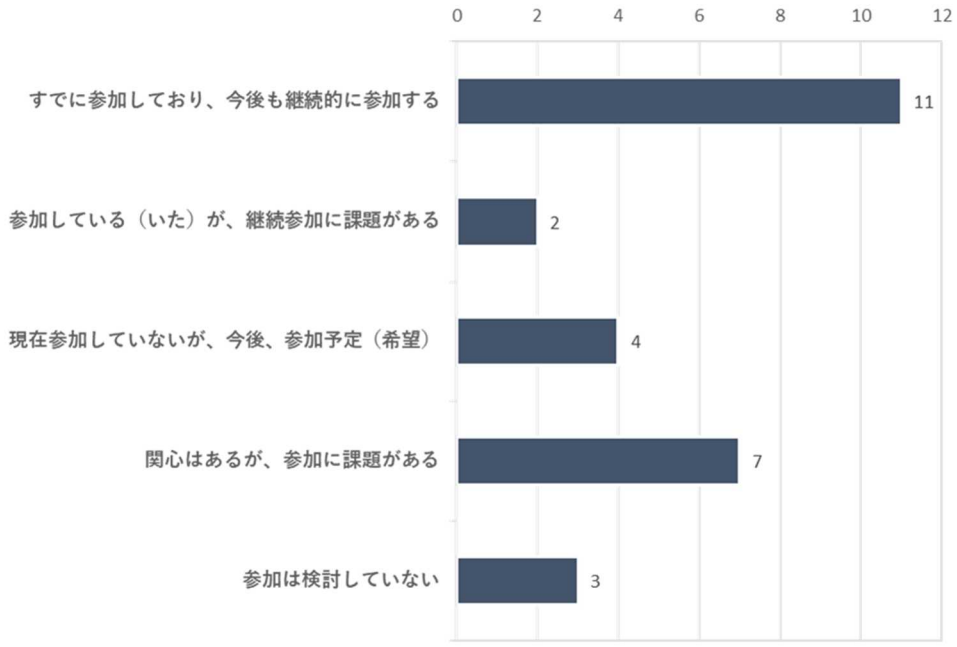


図 2.4.2-61 国際標準化活動への参加状況

問 2：(1)今後、我が国として標準化の対処が必要なテーマ

今後我が国として標準化の対処が必要なテーマは、直近は「機体・装備品」、「インフラ」、「運航ルール/ConOps」とする意見が多く寄せられた。短期的には「機体・装備品」「インフラ」に注目するという意見が多く、中期的には高密度・多頻度運航に向けた「運航ルール/ConOps」、「自動・自律」に関わるテーマに取り組むべきとの意見が多かった。

	機体・装備品	インフラ	運航ルール/ConOps	自動・自律	その他
直近（今すぐ）	8件 機体構造や安全性	8件 充電関連 ポート 通信インフラ	9件 我が国としての ConOpsの策定	3件	
短期（2,3年）	5件 電動推進に関わる標準化動向の把握	7件 駐機の自動化	3件 我が国のConOpsに基づく運航ルール検討	4件 今後の発展が見込まれる市場のため	
中期（それ以降）	3件 蓄電池、電源システム		8件 高密度・多頻度運航を可能とするルール検討 CNSインフラ/機上装置	4件 今後の発展が見込まれる市場のため	1件 操縦者・運航者のライセンス

図 2.4.2-62 今後標準化の対処が必要なテーマ

問 2：(2)今後、我が国としての標準化の対処方針

今後の我が国としての活動方針について、直近は「個社の取組」として「情報収集」を行いつつ、経験者同士の横の連携を促したり取り纏め機関を決めるといった「体制構築」を検討するべきという意見があった。短期的には、規格策定に積極的に関わっていく「情報発信」やそのための国内団体等を設けるとする「体制構築」に取り組むべきとの意見が多い。中期的には国内標準を作り発信していく「情報発信」、業界団体等で役割分担を決めて活動していく「体制構築」を行い、同時に「個社の取組」を強化していくことが望ましいというコメントが多かった。

	情報収集	情報発信	注目分野	体制構築	個社の取組
直近 （今すぐ）	7件	1件 海外と国内の議論の差分を確認して発信	2件 日本が強い領域に絞る	6件 取り纏め機関を決める 個社で取組みつつ経験者同士連携・コンソ化	6件 重視しているワークアイテムに参画していく
短期 （2,3年）	3件	6件 規格策定に積極的に関わっていく 積極的に参加する個社が出てくることが望ましい	1件 標準化で貢献すると情報が集まり、注目分野も特定しやすくなると考えられる	4件 国内で連携し団体等として提言していく 官民協力した推進体制構築	3件
中期 （それ以降）	2件	4件 海外との整合をとりつつ国内標準をつくり発信していく	0件	5件 業界団体で手分けして活動 人材を決めて継続参加を支援する	4件 個社の自立的な取組 個社取組を強化

図 2.4.2-63 今後の標準化の対処方針

問 3：その他のご意見

その他、標準化活動に関する自由回答として寄せられた意見を下記に整理した。

(a)　調査について

- 米国では国プロとして NASA/NIAR(JAMS)が調査研究を行っている。欧州では DLR が近いものを進めており、こういった活動は着地点として標準化を想定している。従って標準だけでなく主要な国プロのウォッチも重要と考える。
- 海外では自国の機体や運用シナリオを中心に想定しているので、日本が違う特性の機体、シナリオで開発する場合に今後の標準改訂に対応できなくなるリスクがあると感じている。
- 我が国として標準化を進める目的・メリットとそれに伴う各社の実益を具体的な事例で実感できると嬉しい。国家レベルと各社レベルでそれぞれの課題があるが、現状は論点が混在し、課題設定が不十分な印象。（例えば、国内標準化と国際標準化の関係や、国際標準化を実現する方法論など。）今後、課題を適切に設定した上で、解決のための実効策が明らかになると良い。
- まずは、業界団体、標準化団体、規制当局が一体となっている欧米との違いとその影響分析が第一歩。

(b)　国際標準化機関への参加の質について

- 各規格団体に参加することは大変重要なことであるが、単なる参加だけでなく、継続的な参加が最も重要であると思う。「継続的な参加」というのも 2-3 年ではなく、もっと長い目線で活動に参加しない限り、各規格の本質を理解することは困難であり、この継続的な参加を各企業が実施していくために必要なことを全体で考えるべきだと思う。

- 現状は規格団体に参加して傍聴という形をとっている企業が多いが、規格作成の Core Member になることにより、より深く各規格を理解できる。規格文書作成の Core Member は大変 Workload が高く、参加継続ためには会社の理解も非常に重要。
- 国内で議論されている内容を海外に積極的に発信していくことが大事だと感じている。欧米の団体は団体間で密に連携しており、それぞれの議論の良いところを積極的に採用している。受け身ではなく、積極的な情報開示により、この枠組みの中に入り込む活動が必要。
- 一方、言語的な課題があるので、日本のグローバル企業の海外現地法人等も絡めて対応することも一案。

(c)　国内の体制について

- 当面は欧米主導で標準化が進むと想定するが、当初より先行する欧米の標準と整合しつつ、将来的には日本およびアジア周辺地域で一体となった検討を推進していくことが必要。そのために国や業界団体が求心力となって推進できる体制が望ましい。
- 技術開発活動と標準化活動を、有機的に紐づけられるよう、オールジャパンで体制面と実行面での組織づくりを推進いただくことを希望する。
- 各分野の開発・検討当事者が参加できることが理想と考える。そのためには参加できていない/参加不十分な分野について具体的な開発・検討が必要となるプロジェクト(受注事業として)を創出していく必要があるのではないか。
- 地上インフラ、運航ルールは、日本国内ユニークな標準が必要となると考えているため、海外標準の調査は必要であるが、それを日本国内にローカライズを推進する団体が必要。ステークホルダが自主的に参集して活動をするような環境づくりを検討する必要があると考えている。
- 装備品・機体関連の標準については、日本国内にローカライズは不要と思わるが、日本製装備品・機体に活用可能な海外標準を識別し、広く適用を推奨する活動があってもよいと思う。このような推進活動を推し進める団体を国内に創設してもよいのではないか。

(d)　連絡会の運営について

- 有識者・有志が WorkingGroup 等の形でもっと集まりやすくして OneTeam 的な感覚で進める覚悟が必要だと感じている。(※EUROCAE だと 2 週間に一度の定期 Mtg+スピンオフ Mtg が、各 WG/SG 毎に行われており、情報の量・スピード感共に、日本で実施している活動ではとても追い切れない状況)
- 支援方法として、例えば『EUROCAE や SAE 等の活動に参加するための費用を負担したり』or『EUROCAE や SAE 等の活動に参加するための手引きをしたり』等の方が効果は

あるのではないか。

- 海外の標準団体の活動に参加することになった企業・メンバーを集めて情報共有会を開催すると有機的に横のつながりができてよいのではないか。
- わが国が得意とする分野に着目して、確かなリソースを長期的に投入することができる領域を特定すること、その特定した領域を専属者が先導することができるように、国がバックアップすることが重要である。

(e)　注目分野・協調領域について

- インフラや交通管理の部分は協調領域が多いので標準化が進行することが想定される。
- 運航ルールの標準作成を進めてもらいたい。
- ポートの設置基準、要件等の整理を議題に挙げてほしい。
- 運航ルールが先に決まらないと、地上や機材の要件を決めるのは難しいと考える。
- 自動車でいう CISPR25（車載受信機保護のための妨害波の推奨限度値および測定法）の標準化に関しても取り組むべき。

(f)　その他

- 日本は全体として航空産業における優位性は低いので、官にも協力をして頂いて底上げの為のプロジェクトを企画して頂きたい。
- 継続した調査を希望。
- 「空飛ぶクルマ」という表現は、新しい航空機の理解を妨げ、世論をミスリードするものであり、ふさわしくないと考えている。
- 標準に準拠するために多大なコストが必要になることがないよう、準拠するためのコストを下げる（たとえば、オープンソースを配布するなど）ような考慮も行いつつ、推進してほしい。

5.10.2. 今後のルール形成戦略

海外動向の調査結果及び標準化連絡会での議論やアンケート結果等を踏まえ、我が国の標準化への対応方針を標準化分野ごとに整理した。

(1)　ConOps

(a)　諸外国の動向

各国主管庁、標準化機関、研究開発期間が短期～中長期の ConOps を策定、公表を進めている。主管庁による ConOps は主に制度設計の前提条件、標準化機関による ConOps は標準化検討の前提条件、研究開発期間の ConOps は研究開発計画策定の前提条件として活用されていくものと考えられる。

(b)　　標準化対応方針

国内において今後 ConOps の策定が進められる見込みであり、国内のユースケースや環境に則した ConOps の策定に向け、業界の関係機関の間で認識共有が図られることが必要である。国内の ConOps は、各分野の標準化議論において、我が国の状況に対応した標準規格が策定されるよう対応する際のベースの考え方、分野横断の共通的な考え方となることから、ConOps 策定に当たっては業界を巻き込んだ議論が行われることが期待される。

(2)　　機体・装備品 MoC

(a)　　諸外国の動向

国際標準化機関については、ASTM では、既存航空機に対する eVTOL のギャップ分析を実施した上で、電気推進、操作特性、低空飛行への配慮、垂直荷重への配慮等の観点から MoC となる規格の改訂作業、新規策定作業が進められている。EUROCAE では、EASA SC-VTOL の MoC 規格の策定が進められており、順次発行されている。SAE では電気推進等の規格が順次発行されている。

(b)　　標準化対応方針

国際標準化機関については、ASTM では、既存航空機に対する eVTOL のギャップ分析を実施した上で、電気推進、操作特性、低空飛行への配慮、垂直荷重への配慮等の観点から MoC となる規格の改訂作業、新規策定作業が進められている。EUROCAE では、EASA SC-VTOL の MoC 規格の策定が進められており、順次発行されている。SAE では電気推進等の規格が順次発行されている。

海外主管庁については、米国 FAA では、eVTOL の認証基準のベースとなる 14 CFR Part 23 amendment 64 の主な MoC として ASTM F3264-19 が採用されると共に、現在 ASTM 等で検討されている規格も順次 MoC として反映されていく見込みである。欧州では、EASA SC-VTOL の MoC が一部項目について発行されており、今後全項目の MoC が発行される見込みである。

(3)　　地上インフラ

(a)　　諸外国の動向

地上インフラについては、ASTM では Vertiport の設計や自動化、SDSP 関連の規格が検討されている。EUROCAE では、同様に Vertiport や給電インフラ、各種地上システムの規格策定が進められている。

主管庁については、FAA が Vertiport に関する Advisory Circular (AC) の策定が予定されており、AC 策定までの代替手段として Vertiport 策定に関わる Engineering Brief の策定が進められ、現在ドラフトが公開されている。EASA においても Vertiport 設計ガイダンスが検討されている。

(b)　　標準化対応方針

地上インフラの規格についても、MoC と同様、現在国内の関心のある企業が個別に会合に参加し情報収集を行うと共に、業界団体としての情報収集も行われている。Vertiport を始め、地上インフラの規格も現在精力的に策定が進められている状況にあることから、引き続き関心のある個別企業、業界団体による情報収集を進め、必要に応じ情報共有していくことが適切である。

また、MoC と同様、これから空飛ぶクルマ市場に参入しようとしている企業も多いことから、標準化会合への参加のハードルを下げる取組みや、会合参加の質を向上させる取組みを行い、標準化活動の底上げを図ることが適切である。具体的には、標準化の技術分野ごとに国内関係者が意見交換、議論できる場を設置すること等の取組みが考えられる。

(4)　　自動・自律

(a)　　諸外国の動向

ASTM では、自律運航に係る TF を開催し技術レポートを策定、順次発行している。また、SAE でも自律運航に係る WG を開催し、レポートを策定中である。他方で、自律運航に関する MoC の規格検討には至っていない。

主管庁においても、FAA、EASA 共に調査レポートやロードマップを発行しているが、安全基準については未整備の状況にある。

(b)　　標準化対応方針

現在、一部の国内企業が関連会合に参加し情報収集を行っている。自動・自律の分野は、機体、地上システムを含め、諸外国でも実装に向けた議論が未成熟な分野であり、2030 年以降の長期的なビジョンにもとづく技術提案や規格提案を検討する余地がある。

機体、装備品等、今後国内に技術開発を進める企業がいる場合には、当該技術を前提とした規格化の戦略策定や標準化活動のバックアップをしていくことが想定される。

(3)　　運航ルール

(a)　　諸外国の動向

ASTM では、UTM に係る規格が検討されており、USS に係る規格は発行済、これを PSU に拡張する議論が行われている。EUROCAE では、U-Space の規格検討が進められている。

EASA では、U-Space の運用に係る EU 規則が発表されると共に、当該規則に係る AMC が発行された。U-Space 空域の運用ルール、U-Space 空域を飛行する際の UAS や UAS オペレータの要件等が規定されている。なお、欧州では eVTOL は UAS の一つとして位置付けられ、遠隔操縦される eVTOL については U-Space 空域を飛行することが想定されている。

(b)　　標準化対応方針

現在、一部の国内企業が関連会合に参加し情報収集を行っている。まだ空飛ぶクルマの運航ルール等に関する議論はまだ開始されたところであり、海外の動向を注視しつつ、日本の都市構造やユースケースをふまえた運航管理手法や運航ルールに関する提案を検討していくことが適切である。特に、国プロでの研究開発や民間の取組と連携した取組みも有効と考えられ、研究開発等の計画を踏まえた標準化活動の方針や計画を検討することが期待される。

（６）特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	－	－	－	－	0	－	0
学会発表・シンポジウム講演等	－	－	－	－	0	－	0
展示会出展	－	－	－	－	0	－	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	－	－	－	－	0	－	0
ニュースリリース・プレスリリース	－	－	－	－	0	－	0
国内出願	－	－	－	－	0	－	0
外国出願	－	－	－	－	0	－	0

（７）実用化・事業化への道筋と課題

調査事業のため非該当。

（添付資料１）プロジェクト基本計画

Ｐ１７００４

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」
基本計画

ロボット・ＡＩ部

１．研究開発の目的・目標・内容

（１）研究開発の目的

① 政策的な重要性

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されているとともに、政府の目指す名目GDP600兆円の実現に向けた新産業創出と市場規模拡大が期待されている。

このような中、日本再興戦略2016（2016年6月2日　閣議決定）において、社会課題を解決し、消費者の潜在的ニーズを呼び起こす、新たなビジネスを創出する第4次産業革命に勝ち残るための具体的な政策の一つとして、「小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備」や「防災・災害対応に係るIoT・ビッグデータ・人工知能・ロボット等の活用推進」が掲げられており、特に、無人航空機においては、官民協議会において、中長期のロードマップ等も示されている。

加えて、製造業の新たな競争力強化及びものづくり産業の革命のために必要な政策の一つとして、産業用ロボット技術の研究開発・社会実装の加速のための環境整備の一環であるイノベーション・コースト構想の下、福島県の浜通り地区で実証実験を行うテストフィールド整備や、分野毎に求められるロボットの性能、操縦技能等に関する国際標準を見据えた評価基準及びその検証手法の研究開発の開始、東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2021年に、世界が注目する高度なロボット技術を内外から集結させ、様々な社会課題の解決を目指した競技やデモンストレーションを行う国際競技大会を開催することが掲げられている。

更に、地球温暖化対策計画（2016年5月13日　閣議決定）において、輸送効率・積載効率の改善による物流体系のグリーン化促進が掲げられており、ロボット・ドローンの活用によるグリーン化加速への期待も大きいところである。

② 我が国の状況

我が国のCO2排出量の17%を占める運輸部門（2億1,700万トン）のうち、最も多くを占める要因が貨物車及びトラック（7,600万トン）であるため、物流

分野において無人航空機が広く活用されることは、CO2 排出量の削減及び省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待される。

また、輸送事業者においては、ネット通販の拡大等を通じて荷主や消費者のニーズが多様化したことにより小口輸送が急速に拡大しており、その結果、トラックの積載率も 5 割を切っている状況にある。こうした中、無人航空機による小口や即時配送が実現すれば、都市部における渋滞緩和や再配達の減少及び過疎地における物流改善等を通じて、エネルギー消費を削減することが可能となる。

一方、高度成長期以降に整備された社会インフラは、今後 20 年で建設後 50 年以上経過する割合が急速に増加するため、効果的かつ効率的なインフラの長寿命化が喫緊の課題である。このため、インフラ維持管理及び更新に従来どおりの支出を行うと仮定した場合、2037 年度には現在の投資総額を上回り、2011 年度から 2060 年度までの 50 年間に必要な更新(約 190 兆円分)のうち、約 30 兆円分（全体の約 16%）の更新ができなくなるとともに、インフラ維持管理の技術者の高齢化が著しいため、一定レベルの知見を有する技術者が不足するという試算もある。

他方で、先進的な自治体では、一律に設定される設計耐用年数に基づく更新投資ではなく、インフラ毎に最新技術を用いて劣化や損傷の程度に基づく耐久性を判断して長寿命化を図ることで、総事業費の縮減を図り、CO2 等の環境負荷低減を目指す取組も進みつつある。

このような背景の下、インフラ点検分野における整備及び点検業務にロボットや無人航空機を活用することで、建設現場のベテラン人材の不足を補いつつ、より効率的な整備及び点検が実施可能となるとともに、既存インフラの長寿命化が図られることにより、建て替えによる資源の消費を抑え、ひいては CO2 の削減を主とした環境負荷の低減に繋げることが可能となる。

③ 世界の取組状況

物流分野における無人航空機の活用については、世界的に開発競争が加速しており、米国では NASA を中心に機体の性能評価のみならず、将来のインフラ輸出も見据えた社会実装に向けたシステム開発にも着手している。また、欧米では標準化に向けた活動が活発化しており、我が国もその動向を把握しつつ、研究開発及び標準提案を進める必要がある。

また、インフラ点検分野におけるロボットの活用については、開発は進んでいるものの標準化はなされていないことから、国内の課題を背景に開発を進めつつ、安全規格の国際基準（ISO13482）を策定した生活支援ロボットの例にならい、日本発の国際標準を積極的に推進していくことが重要である。

④ 本事業のねらい

小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている。

このため、本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活

用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施する。

（2）研究開発の目標

① アウトプット目標

福島県のロボットテストフィールド等を活用した本プロジェクトを通じ、物流、インフラ点検及び災害対応分野等における無人航空機やロボット等の社会実装に向けた取組みを推進するとともに、国際標準の獲得に繋げる。

このため、後述する各研究開発項目の主な目標は、以下のとおりとする。

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

- 3 分野（物流、インフラ点検及び災害対応分野）における各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準に基づく各種試験方法等を福島県のロボットテストフィールド等に提案する。また、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用し、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発する。
- 無人航空機等に省エネルギー性能等を向上させるための研究開発成果を搭載することで、2 時間以上の長時間飛行や火災現場等の特殊環境下での連続稼働を実現する。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

- 無人航空機の物流分野等への適応を想定し、福島県のロボットテストフィールド等に設置された無線基地局等を介して 10km 以上の目視外試験飛行を実施する。
- 単機による障害物との衝突回避に加え、無人航空機同士の衝突回避までを想定し、200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発する。
- 無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等を重畳した 3D 可視化マップを開発し、福島県のロボットテストフィールド等での各種飛行試験に活用する。
- 国内外の関係者を構成員とする委員会を構成の上、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等を策定し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。
- 無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発し、運航管理システムとの情報共有を実施する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

・本プロジェクトの成果（性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言し、標準化団体へ引き継ぐ。
・福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。また、World Robot Summit の継続的な実施に向けた取組や検討を行う。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」
・空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025 年までの実証計画、及び 2025 年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

② アウトカム目標

空撮や農薬散布など従来の無人航空機を活用したビジネスに加え、新たな技術を導入した物流ビジネスの荷物配送業務や災害対応等に展開するとともに、測量や観測、警備など様々な分野にも本プロジェクトの成果を繋げていく。

無人航空機による荷物配送は目視外飛行が前提となり、配送先での離着陸など複雑なプロセスを伴うものとなる。今後、無人航空機での荷物配送サービスが開始され、2020 年代頃以降には、あらかじめ設定されたルートどおりに飛行するだけでなく、衛星測位情報など高精度な位置情報を利用した運航管理システムや衝突回避等の技術の導入による他の有人航空機や無人航空機、障害物等を避けながら有人地帯での目視外飛行を本格化させるロードマップ（小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ(2016 年 4 月 28 日小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定)）の実現に寄与する。

ア）省エネ効果

物流分野における無人航空機の活用については、2020 年に E コマースや物流大手、ベンチャー企業等が試験的に無人航空機による配送を実施することで、約 260 トンの CO2 排出削減効果が期待でき、2030 年には多数の事業者の無人航空機による配送業への参入と技術の進展による 24 時間配送サービスが実現した場合、約 8.6 万トンの CO2 排出削減効果が見込まれる。

また、インフラ点検分野については、2030 年に全国の長大橋の 10%がロボットや無人航空機を活用した整備や点検に置き換わった場合、約 30 万トンの CO2 排出削減効果が見込まれる。

イ）市場形成

ＮＥＤＯが実施した「ロボット産業の新規市場創出に向けた国内外動向及び市場分析に係る情報収集」等の市場推計によると、本プロジェクトでターゲッ

トとする物流、インフラ点検及び災害対応等分野に加え、実施する開発及び試験の応用展開可能な警備等他分野を含めた市場ポテンシャルは、2030 年で約 8,000 億円と推測されており、日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与する。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

本プロジェクトの参加事業者が一体となり確実な成果が得られるよう、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」（１）性能評価基準等の研究開発は 2017 年度に集中的に実施し、策定が完了した基準から、随時、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」（１）デジュール・スタンダードに繋げる。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」については、2018 年度を目途に「目視外・無人地帯」での運用を可能とし、その後は「目視外・有人地帯」での運用に向けた高度化を図る。なお、諸外国の標準化動向と整合をとり、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」（１）デジュール・スタンダードを推進する。加えて、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」（２）デファクト・スタンダードにおいては、日本発のルールで開発競争が加速する手法を活用した研究開発及び社会実装の加速手法を並行して推進する。

さらに、特に小型無人機については、内閣官房による「小型無人機に係る環境整備にむけた官民協議会」で合意された「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」に沿って研究開発を実施する。

（３）研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、【別紙１】の研究開発計画及び【別紙２】の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

なお、産学官の複数事業者等が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業については、委託事業として実施する。また、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発については、助成事業として実施する（NEDO 負担率：大企業 1/2 助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成）。

【委託事業】

・研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」
　（１）性能評価基準等の研究開発
・研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
　（１）無人航空機の運航管理システムの開発　１）から３）及び５）から８）及び１０）
・研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

・研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

【助成事業】
・研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」
（２）省エネルギー性能等向上のための研究開発
（３）無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発
・研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
（１）無人航空機の運航管理システムの開発 ４）及び９）
・研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
（２）無人航空機の衝突回避技術の開発

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

物流、インフラ点検及び災害対応分野等での活用が期待される各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。加えて、目視外及び第三者上空等での飛行に向けた無人航空機の信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発する。また、各種ロボットの省エネルギー性能等向上に資する高効率なエネルギーシステムに関する研究開発を実施する。

加えて、無人航空機の産業規格に資する安全基準策定のための性能評価基準の策定に関する研究開発、無人航空機のエネルギーマネジメントシステムに関する研究開発を行う。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

多数の無人航空機が目視外環境下において、安全な飛行が可能となる運航管理システム及び衝突回避技術を開発する。また、開発したシステム及び技術を活用した飛行試験を福島県のロボットテストフィールド等で実施する。加えて、無人航空機の機体を遠隔から識別する技術（Remote-ID）を開発し、運航管理システムとの情報共有に関する研究開発を実施する。

加えて、運航管理システムの社会実装に資する機能拡張と地域に広く展開するための実証試験を実施する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

（１）標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、それらの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。
（２）技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボットについては、世界の最新技術動向を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する手法を推進する。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

先行する海外における空飛ぶクルマの実証事例の調査を踏まえ、日本での実証計画、段階的シナリオ等の検討を行う。また、空飛ぶクルマの将来的な社会実装に向けて必要な要素技術の調査・適用可能性等の検証を実施する。

２．研究開発の実施方式

（１）研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「ＰＭ」という。）として、１（３）研究開発の内容のうち、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」、研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」及び研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」（１）デジュール・スタンダードについては選定中とし、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」（２）デファクト・スタンダードについてはＮＥＤＯロボット・ＡＩ部　細谷　克己を、研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」についてはＮＥＤＯロボット・ＡＩ部　森　理人を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

ＮＥＤＯは公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外団体の特別な研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、ＮＥＤＯは、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」については中央大学工学部精密機械工学科教授　大隅　久氏を、研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」については国立研究開発法人宇宙航空研究開発機研究領域主幹　原田　賢哉　氏を、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」については株式会社日刊工業新聞社業務局イベント事業部部長　林　英雄　氏、学校法人玉川学園玉川大学教授　岡田　浩之　氏、国立大学法人東北大学教授　田所　諭　氏、国立大学法人神戸大学教授　横小路　泰義　氏、ＵＣ　ＳａｎＤｉｅｇｏ准教授　江口　愛美　氏を、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

（２）研究開発の運営管理

ＮＥＤＯは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

ＰＭは、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会等を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

ＰＭは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策等を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

３．研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2017 年度から 2022 年度までの 6 年間とする。なお、研究開発項目毎の本研究開発の期間は、以下のとおり。

［研究開発項目①（１）１）～６）］	2017 年度から 2019 年度までの３年間
［研究開発項目①（１）７）］	2020 年度から 2022 年度までの３年間
［研究開発項目①（２）］	2017 年度から 2019 年度までの３年間
［研究開発項目①（３）］	2020 年度から 2021 年度までの２年間
［研究開発項目②（１）１）～５）］	2017 年度から 2019 年度までの３年間
［研究開発項目②（１）６）］	2019 年度から 2021 年度までの３年間
［研究開発項目②（１）７）～１０）］	2020 年度から 2021 年度までの２年間
［研究開発項目②（２）１）～２）］	2017 年度から 2019 年度までの３年間
［研究開発項目②（２）３）～４）］	2020 年度から 2021 年度までの２年間
［研究開発項目③（１）］	2017 年度から 2022 年度までの６年間
［研究開発項目③（２）］	2017 年度から 2022 年度までの６年間
［研究開発項目④］	2021 年度の１年間

４．評価に関する事項

ＮＥＤＯは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2019 年度、事後評価を 2023 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

５．その他重要事項

（１）研究開発成果の取扱い

①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。ＮＥＤＯは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。また、研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、ＮＥＤＯ及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

② 標準化施策等との連携

委託事業で得られた研究開発成果については、研究開発項目③（１）にて標準化等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う。なお、先端分野での国際標準化活動を重要視する観点から、ＮＥＤＯは、研究開発成果の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。さらに、本プロジェクト終了後の国際標準化活動の継続のための仕組みについて検討する。

③ 知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「ＮＥＤＯプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用するプロジェクトである。

（２）安全の確保

研究開発及び各種試験にあたっては十分な安全対策を講じる。無人航空機の飛行試験等を実施する者は、第三者に対する損害の賠償に備えるため、適切な賠償責任保険（対人及び対物事故支払限度額１億円以上等）に加入する。

（３）プロジェクト基本計画の見直し

ＰＭは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を

行う。

（４）根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１号二、第３号及び第９号に基づき実施する。

（５）その他

特になし。

６．基本計画の改訂履歴

（１）2017 年１月、制定

（２）2018 年２月、研究開発項目①(１)性能評価基準等の研究開発のうち、項目の追加及び実施期間変更に伴う改訂

（３）2019 年２月、研究開発項目②（１）無人航空機の運航管理システムの開発のうち項目の追加及び実施期間変更、研究開発項目③（２）デファクト・スタンダードに係るプロジェクトマネージャー変更、プロジェクトリーダーの氏名及び所属機関名追記に伴う改訂

（４）2020 年４月、研究開発項目①(１)性能評価基準等の研究開発のうち項目の追加及び実施期間変更、研究開発項目①(３)無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発の追加、研究開発項目②(１) 無人航空機の運航管理システムの開発のうち項目の追加及び実施期間変更、研究開発項目②(２) 無人航空機の衝突回避技術の開発のうち項目の追加及び実施期間変更、プロジェクトリーダーの氏名及び所属機関名追記に伴う改訂

（５）2020 年４月、World Robot Summit の開催延期に伴う改訂

（６）2021 年４月、研究開発項目④空飛ぶクルマの先導調査研究を新規研究開発項目として追加すること等に伴う改訂

（７）2022 年１月、研究開発項目①及び PRISM 予算執行のための期間延長等に伴う改訂

（８）2022 年２月、研究開発項目③（２）の内容追加および期間延長等に伴う改訂

【別紙１】研究開発計画

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

１．研究開発の必要性

小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野等において、無人航空機やロボットの実用化による省エネルギー化の実現が期待されている。

しかしながら、開発される無人航空機やロボットは経済性が優先されるとともに、多様な用途に適応させる必要があるため、各種ユースケースに応じた適切な性能と安全性を備え、長時間飛行や連続稼働性能を向上させる研究開発が必要である。また、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行については、高い信頼性を確保し、人や物件への危害を抑制する他、騒音等の環境への配慮も必要となる。

このため、性能及び安全性の評価軸、評価軸に沿った性能レベル（数値）、それを測定するための標準的な試験方法に加え、長時間飛行や連続稼働性能を向上させる研究開発を実施する。

２．研究開発の具体的内容

物流、インフラ点検及び災害対応分野等での活用が期待される各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。加えて、目視外及び第三者上空等での飛行に向けた無人航空機の安全性及び信頼性等の評価手法及び評価基準を開発する。

また、各種ロボットの省エネルギー性能等の向上に資する高効率なエネルギーシステムに関する研究開発を実施する。

（１）性能評価基準等の研究開発

１）無人航空機を活用した物流分野

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

目視外等での積載飛行、設定された長距離空路での安定飛行のための機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、10km 程度での飛行試験、模擬滑走路での離着陸試験、模擬積載物運搬飛行試験、模擬外乱環境下での積

載物運搬飛行試験等、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

2）無人航空機を活用したインフラ点検分野

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

構造物及び点検個所へのアクセス飛行、点検データ取得に必要な安定飛行、取得データ管理、取得データ活用に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（近接撮影、打音検査密着、壁面追従、位置精度、操縦性、安全性、風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、テスト飛行エリアでの飛行試験、模擬環境再現エリア（橋梁、テストピース等）の飛行点検試験、点検データ取得シミュレーション・実装・飛行試験、データベース運用シミュレーション及び実装試験等、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

3）水中ロボットを活用したインフラ点検分野

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

水中構造物及び点検個所へのアクセスや位置情報取得、水中点検データ取得に必要な近接撮影、水中作業に適した点検データ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（推進力、速度、回頭性、安定性、連続稼働、測位条件、操縦性等）、制御技術基準（リモート、位置決め、動作・姿勢制御等）、データ管理基準（水中近接撮影、濁度、照度、明度、撮像機能、精度、解像度、姿勢記録等）の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、実験水槽での水中動作試験、実験条件可変実験での水中動作試験、模擬環境再現水槽での水中動作試験、実験条件可変水槽での水中センシング試験、データベース運用シミュレーション及び実装試験等、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく稼働試験を実施する。

4）無人航空機を活用した災害対応分野

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

災害調査やデータ取得に必要な安定飛行、災害調査データに適したデータ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（高度、速度、姿勢、計測環境、高精度位置精度、操縦性、安全性、風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）、データ管理基準（3D モデルデータ、照度、明度等）の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、10km 程度での飛行試験、調査データ取得、再現性確認試験、模擬環境再現エリアでの飛行点検試験、模擬外乱環境下での計測飛行試験等、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

5）陸上ロボットを活用した災害対応分野

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

災害構造物・調査個所へのアクセス、災害調査データ取得に必要な安定移動、災害調査作業に適したデータ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（踏破性、速度、回頭性、安定性、防爆性、引火（ガス）、気温、湿度、腐食性等）、制御技術基準（探査、作業動作、姿勢制御等）、運用技術基準（非接触充電、連続稼働、操縦性、半自動、全自動走行、通信、電波障害対応等）、データ管理基準（照度、明度、目視精度、解像度、姿勢記録、レーザレンジファインダ等）の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、防爆実験室での耐圧試験、模擬インフラ施設（トンネル等）での動作試験、点検データ取得、再現性確認試験、データベース運用シミュレーション、実装試験等、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく稼働試験を実施する。

6）目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

（ⅰ）求められる性能評価の研究開発

無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするため、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法に加えて無人航空機の騒音対策に資する性能評価基準を研究

開発する。

（ⅱ）性能評価基準の策定

機体技術基準（信頼性及び安全性、危害抑制、騒音対策等）、制御技術基準（危害抑制機能の自動作動等）等の性能評価基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準の検証

複数事業者の機体を福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して飛行させ、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験に加えて複数の無人航空機が同時に発生する総音圧レベルや異常発生時を想定した際の衝撃量の定量化及びデータ取得等を実施する。

なお、本事業を円滑に推進するための委員会を設置し運営する。また、進捗及び成果は「無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行に関する検討会（以下、「検討会」という。）」等に報告し、それらの検討に資するものとする。

７）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発

（ⅰ）求められる性能評価及びセキュリティ対策の研究開発

無人航空機の目視外及び第三者上空等での安全かつ環境に配慮した飛行の実現に向け、ユースケース毎（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて無人航空機に求められる安全基準の策定のため、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者、航空機に対する危害を抑制する方法を検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法に加えてLidarとビジョンのセンサーフュージョン等による暗所かつ非GPS環境下で飛行可能な小型機体に求められる性能評価基準を研究開発する。

また、無人航空機に求められるセキュリティ対策を検討し、無人航空機のセキュリティ対策基準について研究開発する。

なお、本研究開発に、６）の研究開発成果を反映させるものとする。

（ⅱ）性能評価基準及びセキュリティ対策基準の策定

ユースケース毎（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて求められる安全基準に対応した性能評価基準（信頼性評価、気概抑制評価、騒音評価等）、非GPS環境下で飛行可能な機体の性能評価基準を策定する。

また、無人航空機に求められるセキュリティ対策基準を策定する。

（ⅲ）性能評価基準及びセキュリティ対策基準の検証

複数のユースケースを想定するため複数事業者の機体を福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して飛行させ、上記の（ⅱ）で策定された各種性能評価基準に基づく評価試験に加えて異なるユースケースにおける事故発生時を想定した際の危害レベルの定量化及びデータ取得等を実施する。

また、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して、上記の（ⅱ）で策定された各種セキュリティ対策基準に基づく評価試験を実施する。

なお、本事業を円滑に推進するための委員会を設置し運営する。

（２）省エネルギー性能等向上のための研究開発

各種ロボットの省エネルギー性能等を向上させるための研究開発として、例えば、燃料電池等の重量エネルギー密度の高い電源を搭載する等により無人航空機の長時間飛行を可能とする研究開発、特殊環境下（火災現場等）での連続稼働等の研究開発を実施するとともに、これら技術の実装技術として低コスト及び軽量化、残量モニタリング等の周辺システムの研究開発を実施する。

なお、本技術開発の初年度の成果は、（１）性能評価基準等の研究開発で策定される性能評価基準と共有する。

（３）無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発

将来、無人航空機は衝突回避システムや準天頂衛星システム、機体識別（Remote-ID 等）の関連システム等を搭載することで、これまで以上にバッテリー負荷が高まると想定されることから、飛行の長時間化のためのバッテリーの性能向上も含め、安全で長時間の飛行を可能とするエネルギーマネジメント等の、周辺システムの研究開発を実施する。なお、本技術開発の初年度の成果は、（１） 7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発で策定される性能評価基準と共有する。

３．達成目標

（１）性能評価基準等の研究開発

各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）における適用分野（物流、インフラ点検及び災害対応分野）毎に必要となる性能や安全性に関する性能評価基準と検証方法等を定め、その基準に基づく各種試験方法を、福島県のロボットテストフィールド等に提案する。また、目視外及び第三者上空等での飛行に向け、例えば、住宅地での昼間飛行を想定した場合の 55 デシベル以下等の飛行地域の特性を考慮した基準、ペイロード含む総重量が 10kg 程度の無人航空機が着陸または墜落した際に、約 80 ジュール(250g 以下の機体が墜落した際の衝突エネルギー）と同等まで抑制するための基準を策定し、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用した検証を行う。なお、達成目標については、今後の検討会等での議論を踏まえて必要に応じて改定する。

ユースケース（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて、求められる無人航空機の安全基準策定に必要となる性能や安全性に関する性能評価基準と検証方法等を定め、その基準に基づく各種試験方法を、福島県のロボットテストフィールド等に提案する。

なお、研究成果は、関連する国内外の各種産業規格との整合性を図りつつ、性能評価手順書に取りまとめ、研究期間後速やかに公開する。

（２）省エネルギー性能等向上のための研究開発

技術開発の成果を搭載した各種ロボットにより、例えば、無人航空機においては2時間以上の長時間飛行、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを、福島ロボットテストフィールド等で検証する。

（3）無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発

衝突回避システムや準天頂衛星システム、機体識別（Remote-ID等）の関連システム等を搭載した無人航空機により、福島ロボットテストフィールド等で10km以上の目視外試験飛行を実施する。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

１．研究開発の必要性

現在、無人航空機は空撮や農薬散布等に多く利用され、操縦者の目視内において、遠隔操縦又は自律飛行によって運用されている。これをレベル 1(目視内・操縦飛行)、レベル 2（目視内）とした場合、今後は、運航管理システムや衝突回避技術等を活用した無人地帯での目視外飛行（レベル 3)（例えば、離島や山間部等への荷物配送）及び有人地帯での目視外飛行（レベル 4)（例えば、都市を含む地域における荷物配送）の本格化に向けて、官民の関係者が一丸となって取り組んでいくべきである。具体的には、無人航空機の自動・安定飛行、有人航空機と無人航空機相互間、無人航空機相互間の安全を確保するためには運用ルールが重要事項と位置づけられ、その策定に際し、無人航空機の衝突回避技術等の研究開発が必要不可欠である。

このため、目視外の飛行等及び離着陸時の安全確保、特定の空域における運航管理システムの研究開発と試験環境整備や、他の飛行体（有人航空機、無人航空機等）や障害物との衝突を回避しつつ飛行するための衝突回避技術の開発を行う。

さらに、海外の規格及び規制動向を鑑み、将来的には有人航空機と無人航空機間ならびに無人航空機相互間における衝突回避等のために、有人航空機と無人航空機の双方の各機体の飛行情報を共有できる技術の開発と仕組みの構築が求められる。

これに対応し、必要に応じて地域毎に有人航空機と無人航空機の飛行計画等が関係者において共有・調整が可能となる仕組みの構築や、安全運航を支援する運航管理システムを段階的に構築していくために、地上に設置された無線基地局等を活用した無人航空機の航路設定やフライト情報の収集及び各種情報の管理等に関する研究開発を実施する。

また、災害や事故時の救援、取材活動等における同一空域内での複数の無人航空機の飛行を想定し、無人航空機同士の衝突や通信ネットワークのトラブルに対応する研究開発を行い、無人航空機相互の衝突回避等の運用ルールの導入に資する研究開発を実施する。加えて、無人航空機の普及に伴う機体の登録や識別方法、及び、このシステム全体のセキュリティ等を含めた、機体の遠隔識別（Remote-ID）に関する空域管理等の運用ルールの導入に資する研究開発を実施する。

運航管理システムの社会実装に資する機能の拡張並びに地域により広く展開する為の運用性の検証をするために、実証試験を実施する。

２．研究開発の具体的内容

物流や災害対応等の無人航空機の目視外飛行の本格化を目指して、同一空域内における複数の有人航空機や無人航空機の同時運用を可能とするために、地図情報や気象情報等を参照し作成される飛行計画について、安全性は勿論のこと省エネルギー等効率の観点も考慮した無人航空機の運航を管理する運航管理システムに関する研究開発を行う。

また、無人航空機が地形や建造物、空中を飛行する他航空機等を検知し衝突を回避する技術に関する研究開発を行う。

さらに運航管理統合機能及び運航管理機能の社会実装に向けた開発を実施する。運航管理統合機能について、社会実装に向けたユーザビリティ向上等の機能拡張の検討、課題の抽出と解決を行う。運航管理機能については、地域ごとに異なるユースケースに対応し得る無人航空機によるサービスの実現を目指し、社会実装に向け、地域に広く展開するための課題の抽出と設計を行う。2020 年度に上記の課題抽出と設計を完

了させ一部機能については各エリアで機能検証を実施する。2021 年度に全ての機能を実装し、無人航空機によるサービスの事業化を見据えた実証試験を実施する。

（1）無人航空機の運航管理システムの開発

本プロジェクトにおける運航管理システムは下図に示すとおり、運航管理統合機能、運航管理機能、情報提供機能から構成され、無人航空機の安全な運航をサポートする。

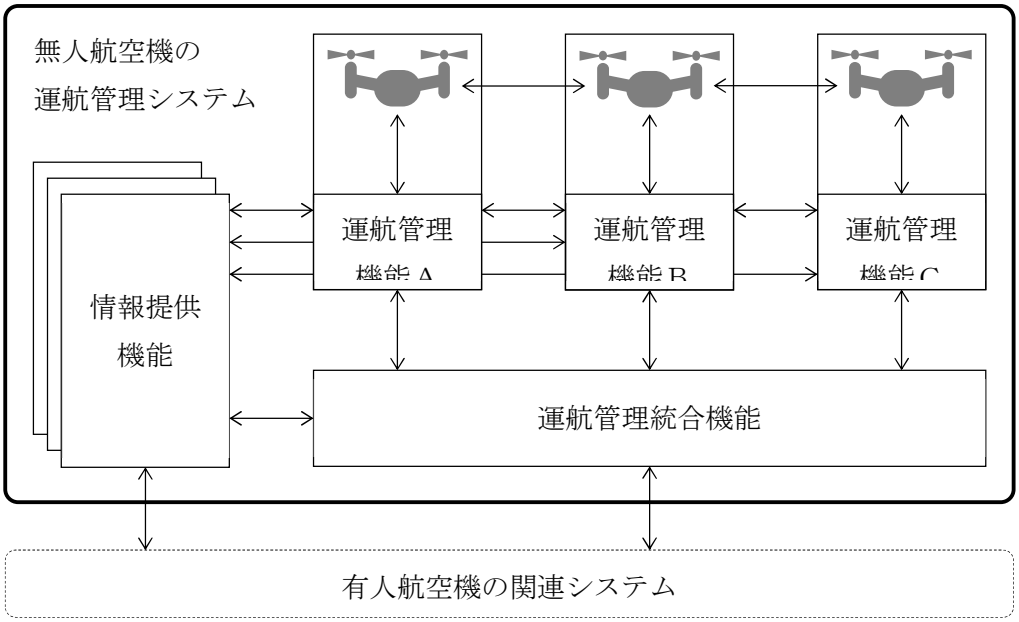


図　無人航空機の運航管理システムのイメージ

以下に各機能の開発内容を示す。

なお、2019 年度以降の事業である７）から１０）の研究開発項目については、2017 年度から 2019 年度の成果に基づき、社会実装に向けた研究開発を行う。

１）運航管理統合機能の開発

無人航空機による物流や災害対応等においては、複数の運航管理機能が管理する無人航空機が同一の空域を飛行することが想定される。このような状況における無人航空機の安全な飛行を実現するため、例えば、以下のような機能を有する運航管理統合機能を開発する。

なお、運航管理統合機能は、十分なセキュリティ強度を確保するよう必要な対策を講じる。

- 無人航空機の運用者が運用する無人航空機の機体情報（所有者及び利用者に関する情報を含む）を管理する。
- 無人航空機の運用者が提出する飛行計画に対して、他の無人航空機及び有人航空機の飛行計画、機体情報及び利用する電波の情報、ならびに地図情報及び気象情報等の様々な情報を統合し、安全の観点から承認又は不承認等を判断して通知する。

・承認済みの飛行計画について、状況の変化に伴う変更（例えば、気象の急変に伴う飛行の中止、優先すべき飛行計画の提出に伴う飛行経路の変更等）を指示する。
・飛行中の無人航空機の情報を収集し、安全の観点から適切な指示（例えば、衝突の危険性を検知したときの飛行経路の変更等）を行う。
・その他、多数の無人航空機の安全な飛行を実現するために必要な機能。

２）運航管理機能の開発（物流及び災害対応等）

運航管理統合機能及び情報提供機能を利用しつつ、物流や災害対応等（※１）において複数の無人航空機を運用するため、例えば、以下のような機能を有する運航管理機能（無人航空機との間の無線通信（※２）の機能を含む）を開発し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した運航管理システムによる無人航空機の飛行試験を行う。

なお、運航管理機能は、十分なセキュリティ強度を確保するよう必要な対策を講じるとともに、１）運航管理統合機能や４）情報提供機能との連携は、５）の共通インターフェースを利用して行う。また、運航管理機能は、将来的に用途、無線通信種別又は地域等によって複数のものが共存すると想定されるため、本プロジェクトにおいても多様な運航管理機能を開発する。さらに、我が国で運用される運航管理システムについて国際的な整合を図るため、一部海外事業者の運航管理機能を利用した検証も可能とする。

・無人航空機の機体情報（所有者及び利用者に関する情報を含む）を管理する。
・情報提供機能を利用し、無人航空機の飛行計画を作成する。
・運航管理統合機能に飛行計画を提出し承認等を得る。または、各運航管理機能間で無人航空機の飛行情報等を授受し、飛行計画の見直しを行う。
・自らが管理する無人航空機の状態を監視しつつ、飛行に関する指示等を行う。

（※１）

・物流分野

無人地帯での目視外飛行（レベル 3）（例えば、離島や山間部等への荷物配送）及び有人地帯での目視外飛行（レベル 4）（例えば、都市を含む地域における荷物配送）を可能とする運航管理機能。なお、無人航空機との通信には、携帯事業者のネットワークに加えて、無人地帯（離島や山間部等）向けには、そのような地域でも利用可能な無線通信を利用できるようにする。

・災害対応

災害発生直後に複数の無人航空機を同時運用することで、速やかな災害対応を可能とする運航管理機能。なお、無人航空機との通信には、災害時には携帯事業者のネットワークが輻輳することも想定し、例えば、可搬型画像伝送システムや衛星通信システム等の無線通信を利用できるようにする。

・その他の分野

必要に応じて、その他の分野における運航管理機能についても開発と各種試験を行う。

（※２）

・携帯事業者ネットワーク、可搬型画像伝送システム、衛星通信システム、

その他の周波数帯（特定小電力無線等）の利用による無線通信。

３）運航管理機能の開発（離島対応）

準天頂衛星システムの補強信号を含むマルチ GNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）により取得した高精度な位置情報により無人航空機の自律制御を行う。なお、本制御システムは、国内のみならず海外での利用も目指すものとする。

また、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、（２）無人航空機の衝突回避技術の開発 において開発された技術を統合し、飛行試験によってその有効性を評価する。

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した飛行試験においては、初年度に技術課題抽出のための飛行試験を実施することとし、福島県のロボットテストフィールド等を利用した衝突回避技術を実装した長距離飛行試験を経て本土及び離島間における飛行試験を行う。

４）情報提供機能の開発

無人航空機の安全飛行に関連する情報を、運航管理機能や運航管理統合機能等に対して API(Application Programming Interface)等により提供する機能を開発する。

また、無人航空機が安全に飛行するために必要な情報の項目とデータ種別等についても検討し、情報を収集する技術の開発、特に福島県の浜通り地区における可視化情報を整備する。

なお、そのような情報（※３）として、例えば、以下に掲げるものを想定するが、将来的に情報提供システムは複数のものが共存すると考えられるため、外部のシステムに提供するための共通 API 等の実装を考慮した多様な情報提供機能を開発する。

（※３）

・飛行情報

運航管理統合機能に対して事前に提出する飛行計画、飛行中の無人航空機の情報（高度、位置、速度、飛行時間等）及び飛行実績に関する情報（事故情報を含む）等の無人航空機の飛行に関する情報。

・機体情報

無人航空機の種類、型式、性能に関する情報、個別の機体を識別する記号、所有者及び利用者に関する情報。

・地図情報

地形及び建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供されるべき無人航空機の飛行のための情報。

特に福島県の浜通り地区における地図情報を整備する。

・気象情報

無人航空機が飛行する空域における、風（風向及び風速等）、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報及び予測情報。

特に福島県の浜通り地区における気象情報を整備する。

・電波情報

無人航空機が飛行する空域における電波の利用状況に関する情報。

特に福島県の浜通り地区における電波情報を整備する。

・空域監視情報

無人航空機が飛行する空域における無人航空機や有人航空機等の高度、位置、速度及びサイズ等の情報。

特に福島県の浜通り地区における空域監視情報を整備する。

・ドローンポート情報（無人航空機の離着陸地点の情報）

無人航空機が離着陸するドローンポートの満空情報、離着陸の可否に関する情報。

５）運航管理システムの全体設計に関する研究開発

無人航空機の運航管理システム全体のアーキテクチャの設計と共通インターフェース（運航管理システムの各機能間、運航管理システムと有人航空機の関連システム間、無人航空機間（後述する（２）２）協調式 SAA を含む上図の矢印を指す））で情報を授受するための共通の API（Application Programming Interface)及びデータフォーマット等の策定、セキュリティ対策の検討等を行い運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

また、シミュレーションにより空域の安全性を評価し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

なお、以上の検討事項については、国際的な検討状況との整合を図りつつ、１）～４）の事業者の他、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討する。

６）遠隔からの機体識別に関する研究開発

遠隔からの機体識別（Remote-ID 等）に必要な、要件定義・通信方式の選定を行い、データ形式・運用シーケンス等を検討し、機体搭載用の送信機・受信機を具備した無人航空機の機体識別情報、及び位置情報等を共有する通信システムのプラットフォームを開発する。また、有人航空機と無人航空機の空域共有を想定した飛行情報（無人航空機の運航管理者情報機能、飛行計画管理機能、機体情報管理機能等）の情報共有システムを開発する。

さらに、運航管理システムに統合するためのアーキテクチャ設計、API 及びデータフォーマット等を策定、セキュリティ対策の検討等を行い、無人航空機の機体情報の遠隔把握や地上の通信インフラを介した情報共有に関する各種試験へ反映させる。

なお、以上の検討事項については、国際的な検討状況との整合を図りつつ、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討する。

７）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発

複数の運航管理機能が管理する多数の無人航空機が同一の空域を飛行するため、運航管理機能間での飛行計画、空域情報、飛行状況を共有するための運航管理統合機能の機能拡張について開発する。

社会実装のためには、将来的に各地域に展開される運航管理機能に対し運航管理統合機能が提供するサービスが、地域特性に応じて柔軟且つ安心して享受されるようにする必要がある。この実現に向け、運航管理統合機能の機能拡張を行う。併せて、運航管理統合機能による無人航空機を扱う事業者向けのサービスのユーザインタフェースを改善する。

また、全国規模で整備されている既存の地図情報と気象情報を活用し、各情報を運航管理統合機能に取り込み、運航管理機能へのサービス提供を実現する。

加えて、運航管理統合機能の社会実装に向け、異常時の対応処理を拡充して、システムの頑健性を向上するとともに、異常時の対処方針に関する関係者・法制度との要調整事項を明確化する。2020 年度に上記の課題抽出と設計を完了させ一部機能については福島ロボットテストフィールドでの機能検証を実施する。2021 年度に全ての機能の実装し相互接続試験を実施する。

８）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

準天頂衛星システムの補強信号を含むマルチ GNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）により取得した高精度な位置情報により、無人航空機の自律制御を行う。なお、本制御システムは、国内のみならず海外での利用も目指すものとする。

また、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、（２）無人航空機の衝突回避技術の開発において開発された技術、特に３）～４）の研究開発で小型化された各種センサ等を統合し、飛行試験によってその有効性を評価する。

なお、無人航空機の衝突回避技術の統合に当たっては、７）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発との接続性を踏まえつつ、離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した運航管理機能について開発を行う。

９）地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発

無人航空機の安全飛行に関連する情報を、運航管理機能や運航管理統合機能等に対して API(Application Programming Interface)等により提供する機能を開発する。

また、無人航空機が安全に飛行するために必要な情報の項目とデータ種別等についても検討し、情報を収集する技術の開発、特に②（１）１０）で指定したエリアに、より実用化に適合させた可視化情報を提供する。

なお、将来的に情報提供システムは複数のものが共存すると考えられるため、外部のシステムに提供するための共通 API 等の実装を考慮した多様な情報提供機能を開発する。

また、福島ロボットテストフィールド広域飛行区域を対象としてプロトタイプを開発し、飛行試験することで開発したルートの安全性を検証し全国展開に向けた実用性の向上を図る。

１０）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業

運航管理システムは、無人航空機が有人地帯で目視外飛行する環境下（レベル4）を念頭に置いた場合、個人・企業の複数の無人航空機が同時に同じ空域を飛ぶ際には必要不可欠なシステムである。

これまで福島ロボットテストフィールドにおいて、運航管理が可能な技術の確立のため、運航管理システムの開発を行ってきたが、2022 年のレベル 4 社会の実現に向け、2020 年～2021 年にかけて運航管理システムの実環境における実証を行う必要があり、技術的な検証を十分に行うためには、無人航空機の活用が想定される運航管理システムに接続した実証事業を実施する。実施体制として、これらの実証事業におけるビジネスモデル、地域における環境整備等を検討・立案推進し得る共同実施者を含める。

なお、実証事業の実施に当たっては、実証を行う地元の地域特性を考慮し、且つ地域産業振興に資するユースケースを複数検証することを目的に、全国の自治体・企業等からの提案・公募を初年度に実施する。また、これらの提案・公募の採択者に対して十分な技術サポートを行う。

提案・公募に際しては、下記のユースケースを明確に示す。

・東日本エリアにおける平常時のユースケース
・西日本エリアにおける平常時のユースケース
・災害対応時のユースケース

本事業を円滑に推進するための委員会を設置し運営する。

（２）無人航空機の衝突回避技術の開発

無人航空機が地上及び空中の物件等（地形、樹木、建造物、有人航空機、無人航空機、鳥及び悪天候等）を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術（いわゆる Sense And Avoid（SAA)に関する技術）を開発する。

なお、開発する技術は無人航空機の機上に搭載できるものとし、他分野で既に確立されている技術も応用しつつ、本プロジェクト終了時までに当該技術を実装した無人航空機の実用化を目指すものとする。また、開発した技術を（１）無人航空機の運航管理システムの開発３）運航管理機能の開発（離島対応）に提供し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した飛行試験に協力する。

なお、３)、４）については 2017 年度から 2019 年度の成果に基づき、社会実装に向けた研究開発を行う。

１）非協調式 SAA

無人航空機に搭載された各種センサ（光学カメラ、LIDAR、レーダ等）からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、他の情報（気象、機体の飛行性能等）も加味した上で、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術を開発する。

例えば、飛行中の有人航空機や他の無人航空機、低高度飛行の妨げとなる送電

線（高圧鉄塔間に加えて電柱間等の細径の電線を含む）及び飛行に大きな影響を与える悪天候等を検知するセンサ、ならびに当該センサを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える無人航空機に搭載可能な演算ボードやフライトコントローラ等を含む非協調式SAAシステムを開発する。

２）協調式SAA

有人航空機及び無人航空機、無人航空機同士が、飛行中の飛行情報（高度、位置、速度等）を相互に通信し共有することで衝突回避する技術を開発する。

例えば、カメラ等の情報と地図情報の照合等により高精度な測位を実現するための準天頂衛星システムを利用した無人航空機に搭載可能な協調式SAAシステムを開発する。

３）衝突回避システムの小型化・低消費電力化

2017年度から2019年度に実施した研究開発である無人航空機に搭載された各種センサ（光学カメラ、LIDAR、レーダ等）からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、他の情報（気象、機体の飛行性能等）も加味した上で、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術において各種センサの小型化、軽量化、低消費電力化を行い、小型無人航空機に搭載し、衝突回避する技術を開発する。

小型無人航空機において飛行中の有人航空機や他の無人航空機、低高度飛行の妨げとなる送電線（高圧鉄塔間に加えて電柱間等の細径の電線を含む）及び飛行に大きな影響を与える悪天候等を検知するセンサ、並びに当該センサを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える小型無人航空機に搭載可能な演算ボードやフライトコントローラ等を含む非協調式SAAシステムを開発する。

４）準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化

2017年度から2019年度に実施した有人航空機及び無人航空機、無人航空機同士が、飛行中の飛行情報（高度、位置、速度等）を相互に通信し共有することで衝突回避する技術において準天頂衛星システム受信機、アンテナの小型・軽量化、低消費電力化を行い、受信機を小型無人航空機に搭載した衝突回避する技術を開発する。

例えば、カメラ等の情報と地図情報の照合等により高精度な測位を実現するための準天頂衛星システムを利用した小型無人航空機に搭載可能な協調式SAAシステムを開発する。

３．達成目標

（1）無人航空機の運航管理システムの開発

福島県のロボットテストフィールド等に設置された複数の無線基地局等を介した飛行経路を設定し、物流分野等への適応を想定した場合の 10km 以上の目視外試験飛行を実施する。加えて、災害時に商用通信ネットワークの輻輳や回線断が発生する場合での迅速な状況把握を想定し、可搬型画像伝送システムや衛星通信システム等の地上には設置されていない無線通信システムを活用した無人航空機の試験飛行を実施する。さらに、マルチ GNSS による高精度な位置情報を活用した自律制御と後述する衝突回避技術を搭載した無人航空機の本土及び離島間飛行を実施する。

なお、福島県の浜通り地区での試験飛行は、無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等の各種情報を重畳した 3D 可視化マップを活用して設定する。

また、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討及び策定を行った上で、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

加えて、複数の有人航空機と無人航空機の空域共有に必要な情報共有システム及び通信システムについて、有人航空機の飛行情報に関する仮想情報シミュレータ等を用いた運航管理システムとの相互接続性の評価を実施し、各システムの仕様及び共通 IF 等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討及び策定を行った上で、情報共有システム及び通信システムの開発及び各種試験に反映させる。運航管理システムの社会実装に向け、実証試験を行い、実用に向けた課題を整理する。

（2）無人航空機の衝突回避技術の開発

単機による障害物との衝突を回避することに加え、無人航空機同士の衝突の回避までを想定した 200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発し、福島県のロボットテストフィールド等において相対速度 100km/h 以上での飛行試験を実施することで、主に物流用途を想定した実環境下における当該技術の有効性を検証する。

また、有人航空機と無人航空機、無人航空機相互間で各々の正確な位置情報を共有するための準天頂衛星システム受信装置を開発し、福島県のロボットテストフィールド等において相対速度 200km/h 以上での飛行試験を実施することで、主に物流用途を想定した実環境下における当該技術の有効性を検証する。

なお、小型無人航空機に搭載するために以下の小型化、軽量化、低消費電力化した衝突回避システムの各種センサ、準天頂衛星システム受信機を開発し、実環境下における当該技術の有効性を検証する。

・光波センサは全方位をセンシングするものとし、サイズ・重量・消費電力は 2250 ㎤/0.8kg/25w 以下を目指す

・電波センサは全方位をセンシングするものとし、サイズ・重量・消費電力は 2400 ㎤/1.2kg/45w 以下を目指す
・自律管理装置のサイズ・重量・消費電力は 270 ㎤/0.3kg/8w 以下を目指す
・準天頂衛星システム受信機のサイズ・重量・消費電力は 12.5 ㎠/0.5 kg /2w 以下を目指す

また、衝突回避システムについては、国際的な標準化動向との整合を図りつつ、我が国としての社会実装に資する機能を規定する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

１．研究開発の必要性

無人航空機による「空の産業革命」を早期に実現させるためには、将来的な無人航空機の利活用を見据え、関係者が共通認識を持って研究開発や環境整備を進めていく必要があるが、その要素技術の開発進捗のスピードは極めて速いだけでなく、今後、利活用・研究開発の動向や諸外国の制度設計に関する検討状況等も常に変化していくことが予想されている。

また、無人航空機の機体の認証及び操縦者の資格については、その対象、手法、基準、実施の主体等について、安全の確保を前提として制度の柔軟性の確保、諸外国の制度との協調、効率的な制度運用、段階的な取組の検討を踏まえ、今後慎重な議論がなされていく見通しである。

一方、先般施行された改正航空法により、我が国においても無人航空機の運航に関し欧米先進国と同等のルールが導入されたと言える。しかしながら、無人航空機の機体や操縦者、運航管理体制のルールについては、諸外国でも整備途中の段階にあり、また、ICAO や JARUS、ISO といった場での国際ルールや国際標準化の検討も開始された状況であることから、議論の方向性も現時点では見通せない。

今後、海外市場での我が国関係企業の競争力確保を考えれば、国際協調を念頭に制度設計していく必要性も鑑み、国際的なルール検討の場に積極的に参画し、国際的な動向を把握するとともに、我が国産業の強みが発揮できるよう、我が国の取組や技術開発の動向を国際的議論に反映させる必要がある。

２．研究開発の具体的内容

無人航空機産業の発展には関連する各種技術等の国際的優位性確保が不可欠であるが、我が国が強みを有する分野の技術活用が期待されていることから、コア技術の見極めと取り扱いを決定する体制を構築しながら、各社共通基盤となるデジュール・スタンダードの早期確立を図る。あわせて、我が国発の目標設定に基づいた技術の競争の場（大会）を設定することによりデファクト・スタンダード化を推進する。

なお、デジュール・スタンダードの提案技術の選定に際しては、各企業及び機関が保有する既得知的財産の扱いや、プロジェクト成果として出願を予定するものも含め、権利帰属に関する慎重な取り扱いが必要となるため、知財調査に立脚した知財戦略に基づくライセンス・フリーや条件付き開示等について合意形成を図りながら共通ルールを設定する。また、欧米等の諸外国の標準化動向を把握するために関連する同活動への参画を進め、研究開発項目①（１）及び研究開発項目②の開発成果を国際標準に繋げる。

一方、デファクト・スタンダードの取組においては、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるた

めに海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ること、を念頭に競争の場（大会）を設定する。

（1）デジュール・スタンダード

研究開発項目①及び研究開発項目②について、国際機関や諸外国の団体及び事業者等（以下、「海外の関係者等」という。）の動向を把握し国際的な連携を図りながら検討と開発を進め、それらの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化のために、例えば、次のような取組を行う。

また、海外の標準化・制度整備動向や国内開発動向の把握を行い、国内プレイヤーのグローバルな産業競争力の強化に向けた提案を行う。

【取組の例】

・国際的な検討の状況を把握する。

海外（特に米国、欧州、イスラエル、ロシア、中国、韓国、東南アジア等。以下同じ。）の関係者等との直接の情報交換や文献調査等を通じて、国際的な動向を把握し定期的（最低でも 4 半期単位）に報告書にまとめ、本プロジェクトの関係者等に共有する。

・本プロジェクトの検討状況や成果等を世界に発信する。

国際的な検討の場や海外の展示会等において、本プロジェクトにおける検討の状況を発信する。また、本プロジェクトにおける関連資料（本基本計画、各委員会、報告会等における公開可能な資料）を英訳し、速やかに web 掲載や海外の関係者等への共有を行う。

・国際的な意見を本プロジェクトに反映する仕組みを構築する。

海外の関係者等と継続的な情報交換を行うとともに、本プロジェクトの検討内容についての意見交換を行う。また、海外の関係者等を日本に招聘し意見交換できる場を設ける。

・本プロジェクト終了後の継続的な施策を検討する。

本プロジェクトの中間評価（2019 年度実施予定）を目途に施策を立案する。

・関連動向の調査・分析を行い、今後の取り組み提案を行う。

欧米の民間標準化団体も含めた標準化・制度整備の動向や国内主要プレイヤーの開発動向等を調査分析し、施策案の提案を行う。

（2）デファクト・スタンダード

1）プラットフォーム

競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームを活用し、研究開発及び社会実装に資するものとする。

2）競技やデモンストレーションによるイノベーション促進手法研究開発

挑戦的なテーマを設定して参加を募り、参加者によるエネルギー消費削減の観点を含む技術開発課題解決に向けた競争の場（大会）を活用する研究開発手法に取組む。当該手法により参加者のモチベーションを高めて技術を競いあわすことでイノベーションを促進する。また、ロボット技術の社会実装を促進するためには、ロボットを活用する場を紹介し、一般市民にその有用性を示すことが必要不可欠であることから、ロボット関連のデモンストレーションを行う。なお、2021 年度の本大会を成功に導くため、必要に応じて本大会以前に試行的な取組等を行う。さらに本大会に向け専任のＰＭを指名し体制を強化する。

３．達成目標

（1）デジュール・スタンダード

関連する海外の主要標準化団体（ISO 等）の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体（例えば、米国の NASA、FAA 等）との研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみでなく制度設計見直しに関する検討活動や、既に活動されている関連団体、協議会等の活動との協調を図り、本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準団体へ引き継ぐ。なお、グローバル市場の拡大に寄与する技術領域においては、複数分野、異なるロボット領域の研究者及び技術者等により構成されるワーキンググループを設置した上で推進し、知的財産の権利帰属等の合意形成を図りつつ、我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う。

（2）デファクト・スタンダード

福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。また、国際標準化を推進するための継続的な実施に向けた取組や検討を行う。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

１．研究開発の必要性

本プロジェクトにおいて、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発等を行ってきた。

その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機（いわゆる「空飛ぶクルマ」）の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されており、欧米中における機体開発が先行している。

現時点では、欧米先進国においては、規制制度等の考え方が検討されている段階であり、我が国においても空の移動革命に関する官民協議会等で制度整備の検討がなされている。日本においても海外に遅れを取ることなく、空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていく必要がある。

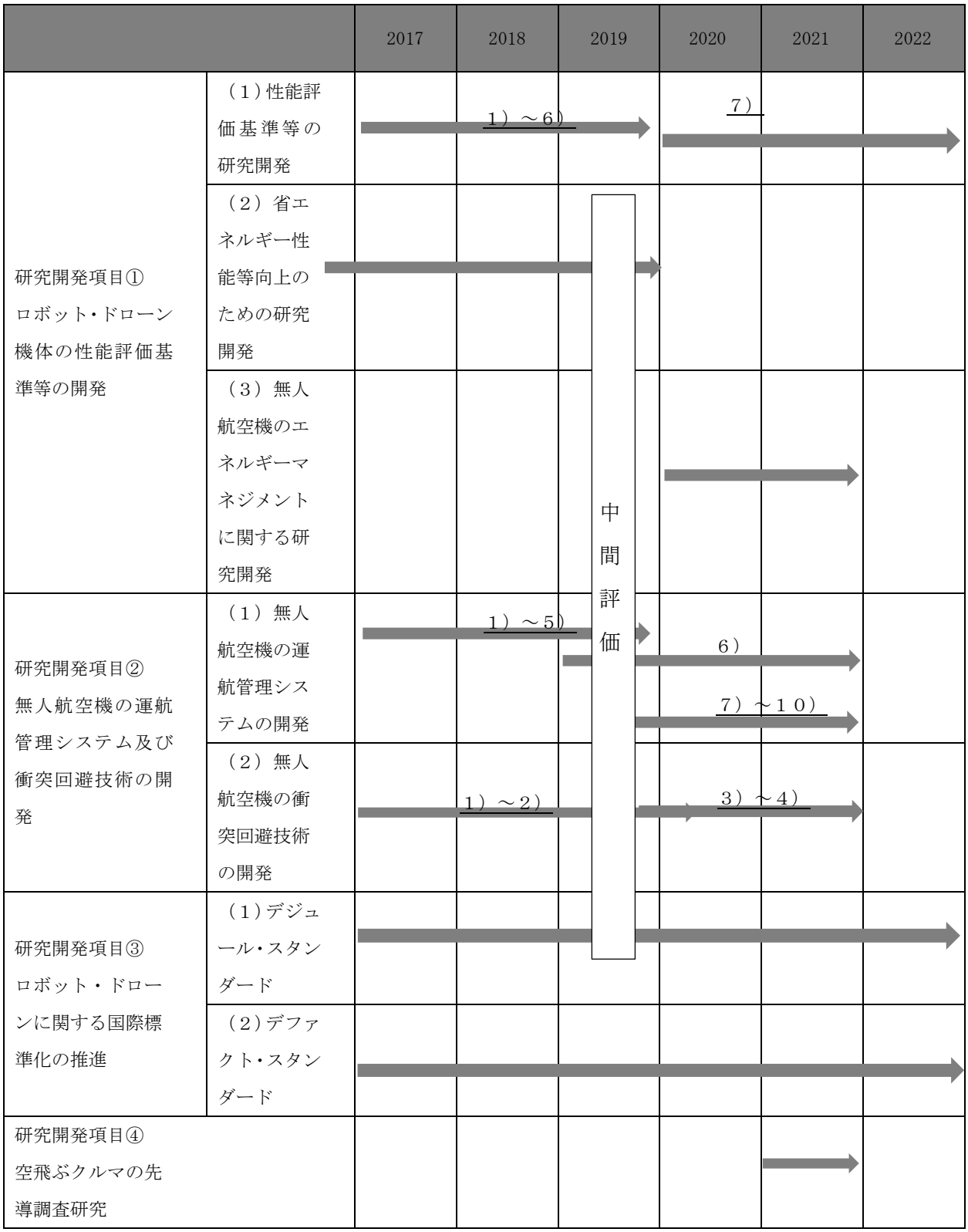
２．研究開発等の具体的内容

空飛ぶクルマの発展段階の整理（シナリオ作成）を行い、2025 年までに必要な技術的検証要素の抽出と具体的な検証項目、実証のプランの作成、2025 年以降の自動・自律飛行、高密度運航の実現に向けた技術的な検証項目の整理を行う。

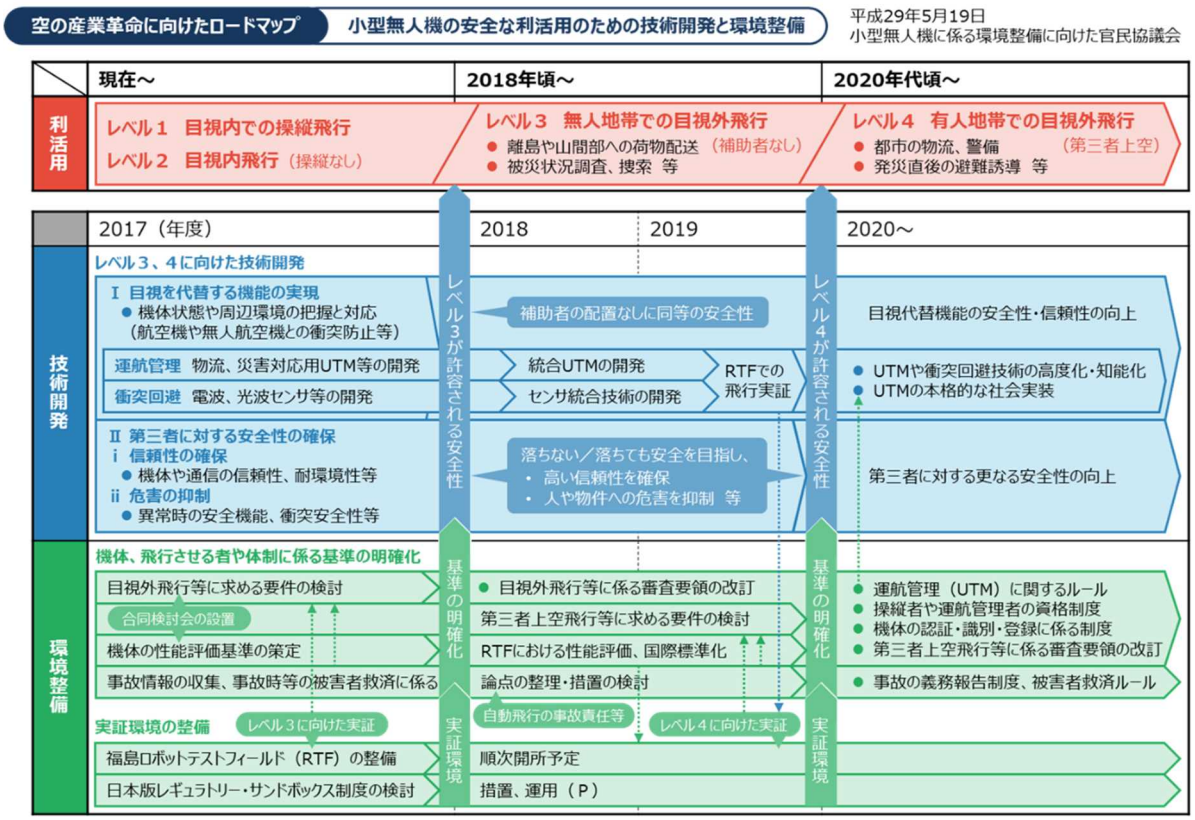
３．達成目標

空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025 年までの実証計画及び 2025 年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

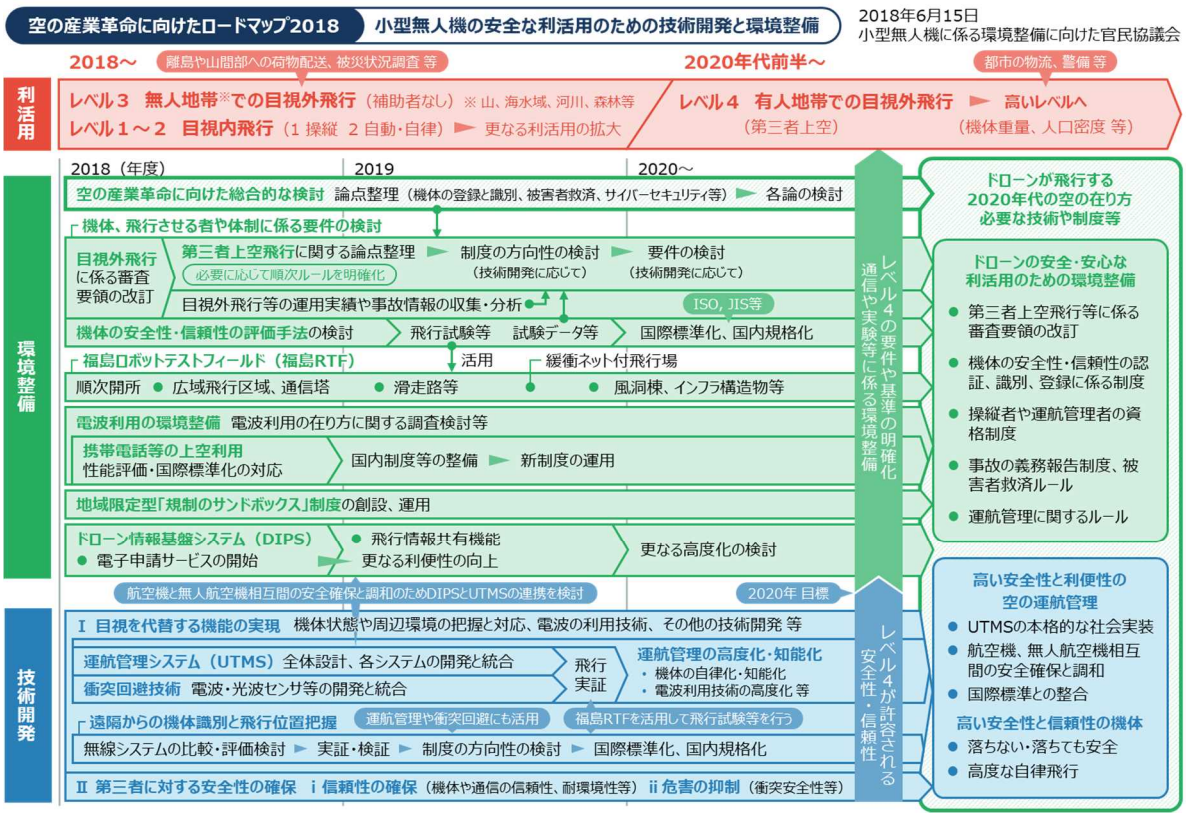
【別紙２】研究開発スケジュール



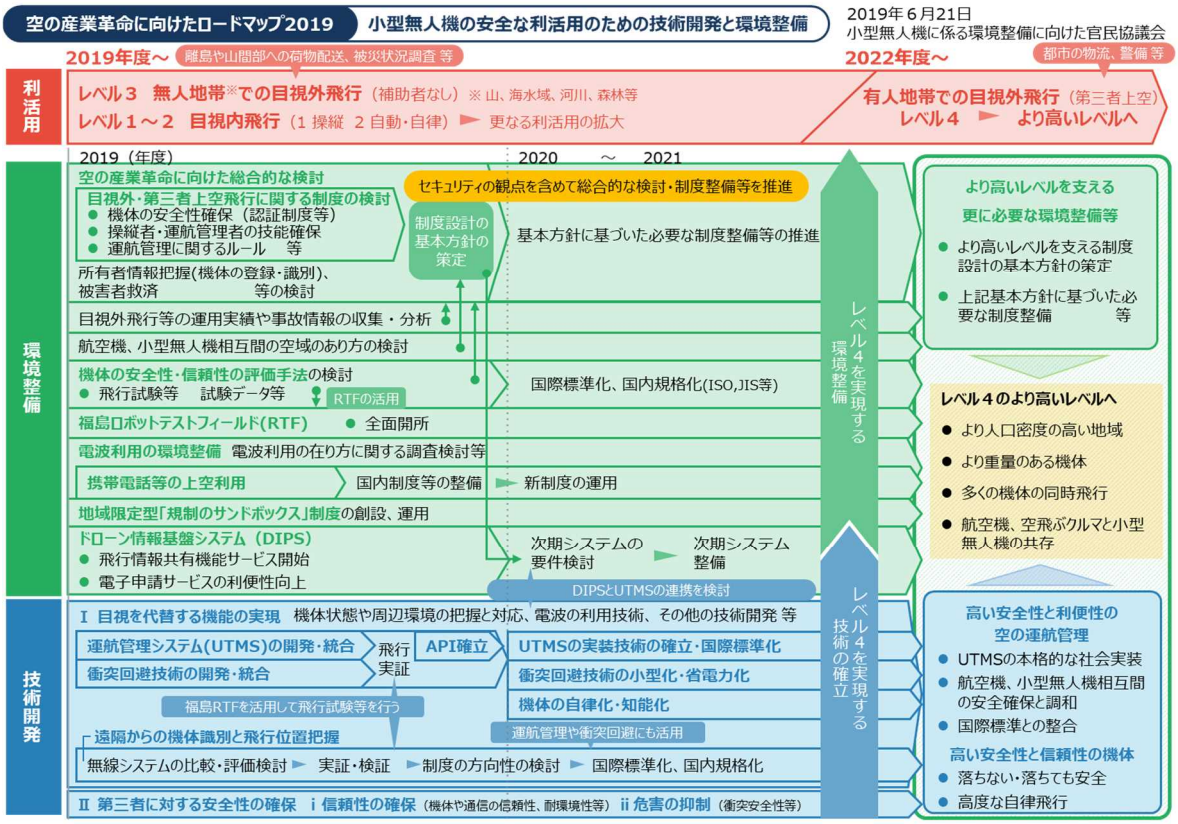
（添付資料２）空の産業革命に向けたロードマップ



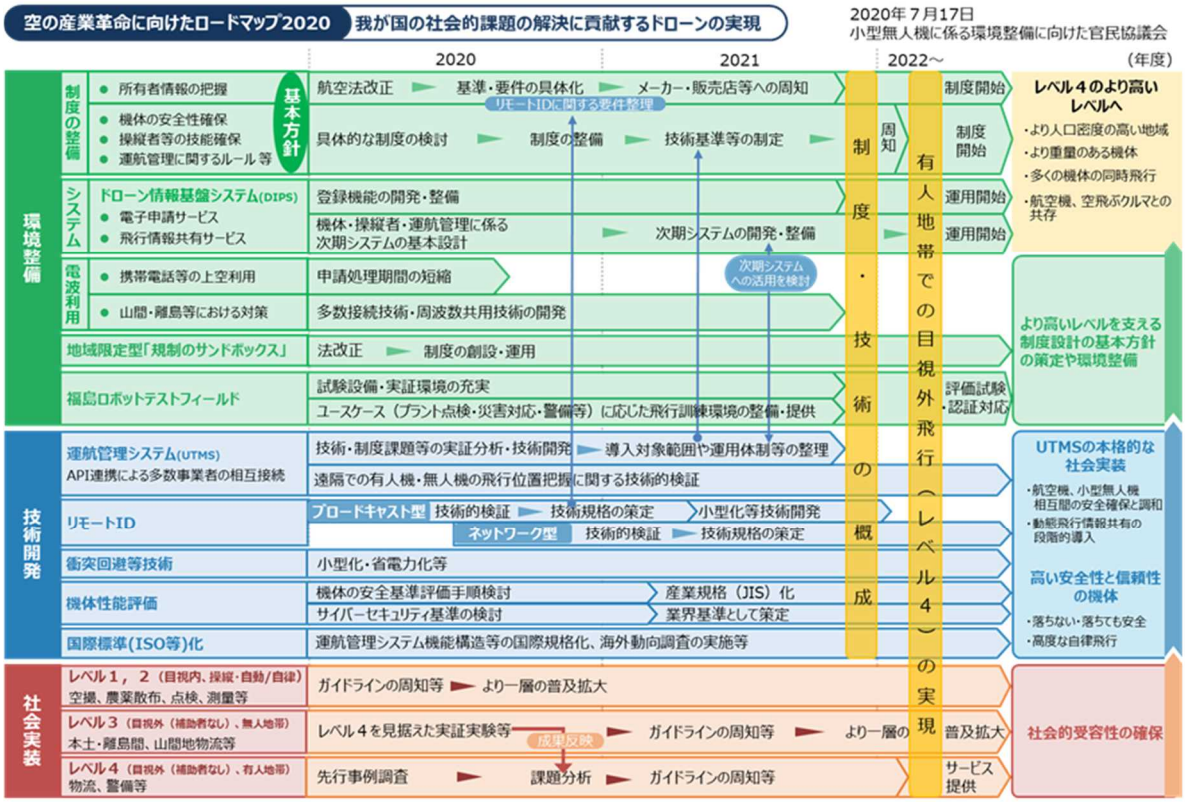
空の産業革命に向けたロードマップ　2017 年公表



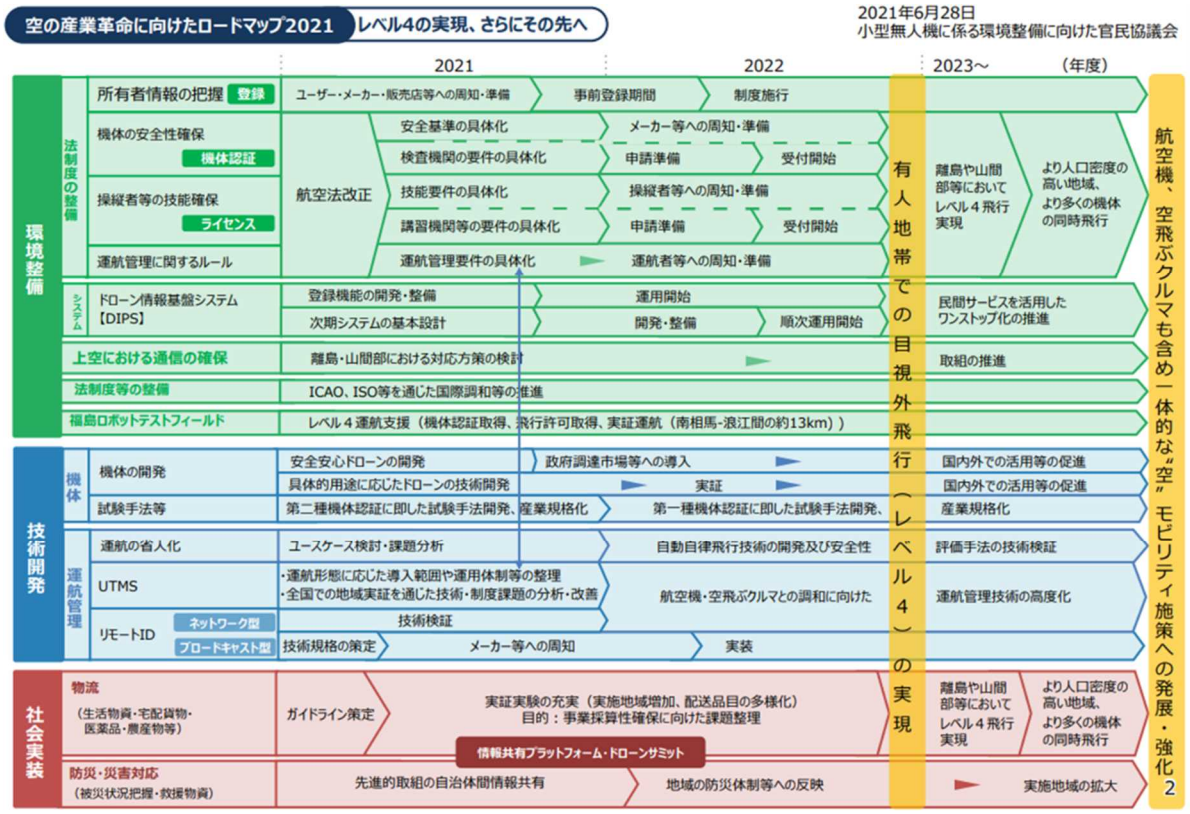
空の産業革命に向けたロードマップ　2018 年公表



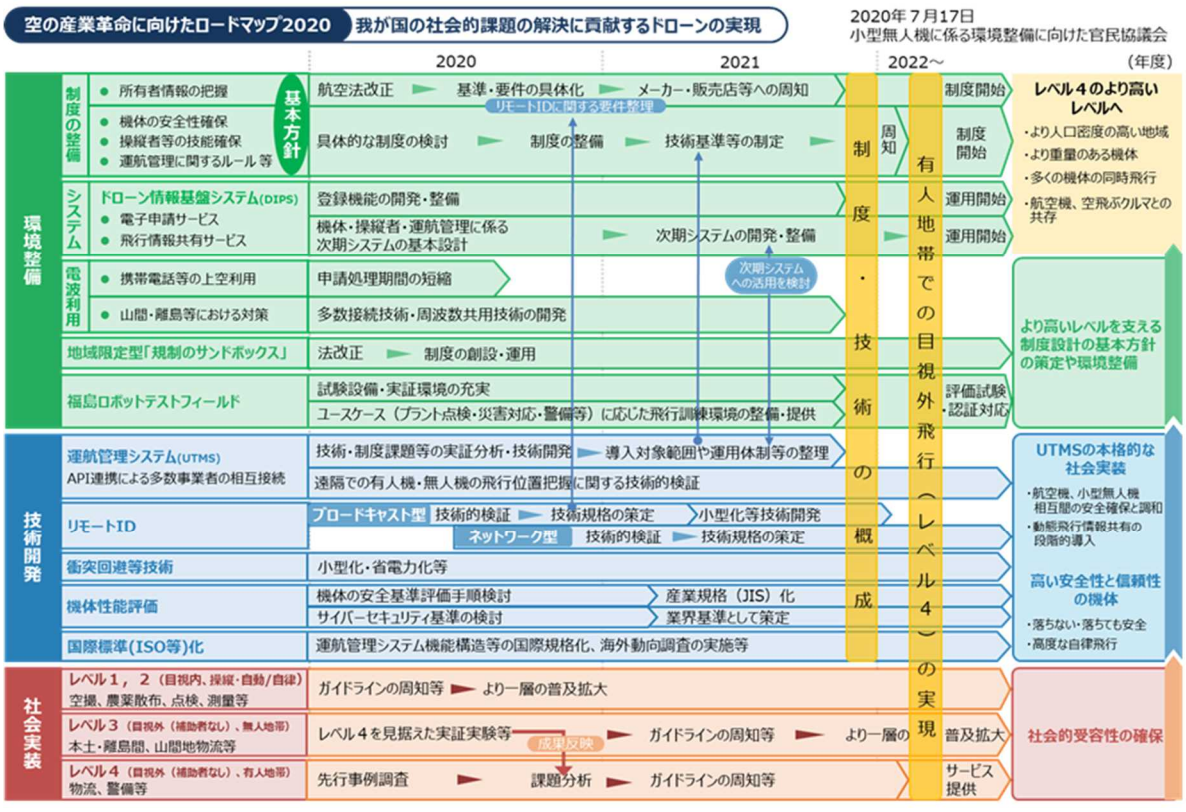
空の産業革命に向けたロードマップ　2019 年公表



空の産業革命に向けたロードマップ　2020 年公表



空の産業革命に向けたロードマップ　2021 年公表



空の産業革命に向けたロードマップ　2022 年公表

（添付資料３）プロジェクト開始時関連資料

●事前評価結果（2017 年度）

平成 28 年度事前評価結果

第 48 回研究評価委員会において、平成 29 年度ＮＥＤＯ新規案件の事前評価を実施し ました。結果は以下の通りです。 当該評価結果は、今後基本計画等に反映してまいります。

平成 28 年 9 月

件名	ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト
推進部署	ロボット・AI 部
総合コメント	新市場分野を開拓する期待が極めて大きい領域であり、当該分野の優位技術を確立していく上で、推進すべきプロジェクトである。運営にあたっては、将来の社会システムを想定し、運行管理システム、安全性・信頼性、国 際標準化、法・制度的課題等を考慮し、人選・権限を含んだマネジメントに係る検討も同時に進めること。また、ドローンと陸上・水中ロボットは開発フェーズが異なるので、標準化を連携して進めつつ、開発計画・目標はそれぞれで整理し、区別すること。

●パブリックコメント募集の結果（2017年度）

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト基本計画（案）」に対する パブリックコメント募集の結果について

平成２９年２月９日
NEDOロボット・ＡＩ部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告致します。
貴重なご意見を頂き、有難うございました。

１．パブリックコメント募集期間
　　平成２９年１月１９日～平成２９年２月１日
２．パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
　　計１１件
３．パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
全体について		
[意見1] ドローンが正確にミッションを遂行するためには、システム化と同時に位置姿勢高度等を正確に把握できる技術開発も必須と考える。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 無人航空機の位置高度の精度の高い把握も重要と認識しており、P13研究開発項目②2(1)3)に記述のとおり、準天頂衛星システムの補強信号を含む高精度な位置情報把握の技術開発を行います。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
[意見2] 市販されている光学センサや慣性センサ等では性能が限られているため、それぞれ、新しい高性能なセンサ技術の開発研究が不可欠であり、また、ソフト開発とハード開発の研究が協同することで初めて、省エネに資する性能を持つドローン技術を生み出すことが可能になると思う。	[考え方と対応] ご意見ありがとうござました。 P10 研究開発項目①2(2)に記述のとおり、無人航空機等の省エネルギー性能等を向上させるために各種ロボットに実装する周辺システムの研究開発を実施します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。

	[意見3] AI に情報を取り込むセンサ等のデバイスの革新はモノづくりの原点であり、地味で時間のかかるもので、何らかのブレークスルーが必要になります。本プロジェクトではもちろん、多くのロボットへの取り組みの中で、考慮すべき点であると考えています。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。センサ等のデバイス開発は重要であるため、P15 研究開発項目②2(2)1)に記述のとおり、無人航空機に搭載する各種センサの研究開発も実施します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見4] 安全性の観点、システム安全としてのドローンのリスクアセスを入れた方がよいと考える。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。無人航空機の機体の安全性においては、P10研究開発項目①3で記述のとおり、安全性に関する性能評価基準と検証方法を定めることとしています。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 5] 本プロジェクトの位置付けを教えてほしい。また、研究開発終了後の運用に関する制度設計を検討する委員会も必要ではないか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。本プロジェクトは P2 研究開発の目的・目標・内容の(1)④に記述のとおり、社会実装を目指した研究開発です。なお、制度設計の検討においては、関係機関と連携を図りながら推進していきます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 6] 昨今特に米国・中国の隆盛、各国法改正の動き、機体及び通信システム等自体の進化が早いこともあり、研究開発・実証のスピード感を損なわないでもらいたい。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。P18 研究開発項目③2(1)に記述のとおり、国際的な検討状況等も把握することに加え、本事業の検討状況を国際的に発信する取組も行い、海外の動向とも歩調を合わせる取組を行います。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	1. 研究開発の目的・目標・内容 研究開発の目的		
	その他重要事項		

	[意見7] P7　5(1)①の「共通基盤」に該当する技術として、例えばどのような成果を想定しているか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③2(1)に記述のとおり、性能評価基準案や運航管理システムのアーキテクチャ、共通ＡＰＩ等を想定しております。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見8] P7　5(1)①の「共通基盤技術」の研究開発項目間での共有については、どのようなプロセスで行われるのか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③3(1)に記述のとおり、ワーキンググループを設置した上で推進します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見9] P7　5(1)②の国際標準化の推進方法や仕組みはどうなっているのか。また、助成事業にて得られた成果については、標準化対象外か。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③2(1)に記述のとおり、平成31年度を目途に国際標準化の継続活動のための施策を立案することとしております。また、助成事業の成果反映においては、事業者と協議していきます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[その他] ＰＭやＰＬ、技術検討委員会の設置に関するコメントをいただきました。		
別紙１　研究開発計画書			
	[意見 10] 運航統合管理機能については、利用者側のユースケース、規模、地域性、管轄、SLAによって要件・仕様・コストも異なってくるため、硬直的にならず、拡張性・柔軟性・連携性等を考慮したシステムデザインを行うべき。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P15研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見11] 情報提供機能が連動する「有人航空機の関連システム」にて、現状想定されている既設システムはあるか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 現段階で想定している既設システムはありません。	[反映の有無と反映内容] 特になし。

	[意見12] 研究開発項目③のデジュール・スタンダードの取組みが平成３３年度まで実施される一方、研究開発項目①、②は平成３１年度で終了となる。 平成３２～３３年度間の外部動向の変化により、研究開発項目①、②成果物の国際標準化に向けた見直しが必要となった場合、どのようにフィードバックをかけるのか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18 研究開発項目③2(1)に記述のとおり、平成 31 年度を目途に国際標準化の継続活動のための施策を立案する際に検討していきます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 13] 無人航空機の運行管理には、機体の運航と電波の運用を統合的に管理するシステムが必要です。これを構築するためには、関連する規制官庁との協議・調整が不可欠となり、個社での対応は厳しいと考えるが、どのような方針で望むのか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 本プロジェクトの推進に際して、関連する規制官庁との協議・調整が必要になる場合は、個別に対応します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 14] 運航管理機能において、災害時に備えて常設可能なドローン自動運用に関する研究開発も必要ではないか。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P13 研究開発項目②2(1)2)に記述のとおり、多様な運航管理機能を開発します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 15] ロボット以外の電波利用者との共用検討や運用調整に対する取組方針を教えてほしい。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P14 研究開発項目②2(1)4)の情報提供機能で記述している「電波情報の提供」にて対応することを想定しております。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 16] 離島対応の運航管理機能において、マルチ GNSS や衝突回避技術のみでなく、無線通信が必要になると思う。また、物流・災害対応の運航管理機能において、マルチ GNSS や衝突回避技術も必要になると思うが、考え方を教えてほしい。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P14 研究開発項目②2(1)3)で記述のとおり、離島間物流のように単独で長距離飛行を行うことを想定しており、本土及び離島間での試験飛行を経て有効性を評価します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。

	[意見 17] 無線基地局を介した目視外飛行は、災害対応時などでも活用が期待されているため、災害時を想定した実証も実施したほうが良い。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P16 研究開発項目②3(1)で記述のとおり、災害対応は、商用通信ネットワークの輻輳や回線断が発生した場合を想定した試験飛行の実施を想定しています。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 18] バッテリーの充電や取得データのアップロードなども含めた「運用」に関しても自動化できているかの基準が必要と思われる。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 研究開発推進過程において検討していきます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 19] 米航空宇宙局（NASA）によって提唱され且つ既に実験が行われている無人航空機の航空管制システムを念頭に置いた技術開発が有効である	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P15 研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、国際的な検討状況との整合を図るために、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討していきます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 20] 運航管理統合機能に、運航管理機能から提出される全ての飛行計画情報の取得・管理や、災害等の緊急時に、全ての運航管理機能に対し緊急制御指令を指示する等の機能を追加することを提案する。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P12 研究開発項目②2(1)1)に記述のとおり、「その他、多数の無人航空機の安全な飛行を実現するために必要な機能」で包含します。	[反映の有無と反映内容] 特になし。
	[意見 21] 運航管理機能同士の連携においても、共通 API を実装することを提案する。	[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 P15研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、共通APIは、運航管理システムの各機能間も対象にしており、各種試験に反映させます。	[反映の有無と反映内容] 特になし。

	［意見 22］ 運航管理機能において、「・管理下にある複数の無人航空機と有人航空機の飛行計画、機体情報及び利用する電波の情報、ならびに地図情報及び気象情報等の様々な情報をもとに、安全の観点から最適な飛行計画を作成する。・承認済みの飛行計画について、状況の変化に伴う変更（例えば、気象の急変に伴う飛行の中止、優先すべき飛行計画の提出に伴う飛行経路の変更等）を指示する。・飛行中の無人航空機の情報を収集し、安全の観点から適切な指示（例えば、衝突の危険性を検知したときの飛行経路の変更等）を行う。」を追加すべき。	［考え方と対応］ ご意見ありがとうございます。 P12研究開発項目②(1)2)に記述のとおり、運航管理機能は、運航管理統合機能及び情報提供機能を利用しつつ運用することを想定していますので、運航管理統合機能が有する機能として例示しています。	［反映の有無と反映内容］ 特になし。

以上

●パブリックコメント募集の結果（2021年度）

「ロボット・ドローンの活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画（案）に対するパブリックコメント募集の結果について

２０２１年５月２０日
ＮＥＤＯ　ロボット・ＡＩ部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集結果をご報告いたします。
貴重なご意見をいただき、ありがとうございました。

４．パブリックコメント募集期間
２０２１年４月５日～２０２１年４月１９日

５．パブリックコメント投稿数
計2件

６．パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
(3)研究開発の内容		
[意見1](1件) 空気の流れ、地面効果、機体の形状、ブレードの振動、ロータ回転数変化といった多数の要素が複合・連成する場面では危険を伴うため、シミュレーション技術を核とした技術検証が極めて有効な手段だと考える。	基本計画には、具体的な手法まで明記をしませんが、提案された内容について、有効性等を審査して進めていきます。	特になし。
2. 研究開発の実施方式 (1)研究開発の実施体制		
[意見1]（1件） 検証フェーズでは、確立した既知の技術を組み合わせるだけでなく、最新の研究成果や革新技術を積極的に取り込む仕組みを前提に実施する必要があり、アカデミアが中心になったオープンプラットフォームを想定した調査研究の内容及び実施方法（体制・管理等）が適する。	審査の際には、研究体制も考慮して進めていきます。	特になし。

（添付資料４）特許論文等リスト

2.1.1.1 無人航空機等を活用した物流システムの性能評価手法等に関する研究開発

（実施先：株式会社自律制御システム研究所）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	稲垣　航治	株式会社自立制御システム研究所	「トンネル災害やプラント災害／点検のための陸上ロボット」に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島	2018 年 2 月
2	稲垣　航治	株式会社自立制御システム研究所	「トンネル災害やプラント災害／点検のための陸上ロボット」に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 大阪	2018 年 3 月
3	稲垣　航治	株式会社自立制御システム研究所	「ダム・河川点検のための水中点検ロボット」に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 名古屋	2018 年 3 月
4	稲垣　航治	株式会社自立制御システム研究所	「ダム・河川点検のための水中点検ロボット」に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 東京	2018 年 3 月

2.1.1.2 無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発

（実施先：富士通株式会社　日本電気株式会社　株式会社イクシス　株式会社エンルート　株式会社プロドローン）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	佐藤 均	富士通株式会社	橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島	2018 年 2 月
2	高梨 伸彰	日本電気株式会社	橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 大阪	2018 年 3 月
3	高梨 伸彰	日本電気株式会社	橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 名古屋	2018 年 3 月
4	佐藤 均	富士通株式会社	橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 東京	2018 年 3 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	橋梁点検に用いる無人航空機の性能評価基準策定に向けた飛行試験を実施	NEDO	2018 年 1 月

2.1.1.3 インフラ維持管理等に資する水中ロボットの性能評価手法等の研究開発

（実施先：パナソニック株式会社　朝日航洋株式会社　パナソニック システムソリューションズ ジャパン株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	九郎丸 俊一	パナソニック株式会社	「ダム・河川インフラ点検　水中ロボット性能評価手法及び実証試験に関する成果報告」	「物流・インフラ点検・災害対応 ロボットシンポジウム in 福島」	2018 年 2 月
2	九郎丸 俊一	パナソニック株式会社	「ダム・河川インフラ点検　水中ロボット性能評価手法及び実証試験に関する成果報告」	「物流・インフラ点検・災害対応 ロボットシンポジウム in 大阪」	2018 年 3 月
3	九郎丸 俊一	パナソニック株式会社	「ダム・河川インフラ点検　水中ロボット性能評価手法及び実証試験に関する成果報告」	「物流・インフラ点検・災害対応 ロボットシンポジウム in 名古屋」	2018 年 3 月
4	九郎丸 俊一	パナソニック株式会社	「ダム・河川インフラ点検　水中ロボット性能評価手法及び実証試験に関する成果報告」	「物流・インフラ点検・災害対応 ロボットシンポジウム in 東京」	2018 年 3 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ダム・河川の水中点検ロボットの性能評価基準策定に向けた試験を実施	NEDO	2018 年 1 月

2.1.1.4 調査用無人航空機の評価手法の研究開発

（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	戸塚 正一郎	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	福島ロボットテストフィールドにおける衝突回避システムの開発について	南相馬市ロボット産業セミナー	2017 年 10 月
2	阪口 晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	“ぶつからないクルマ”から“ぶつからないドローン”へ	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2017	2017 年 11 月
3	阪口 晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	災害調査用無人航空機の評価手法の研究開発	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島	2018 年 2 月
4	阪口 晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	福島ロボットテストフィールドにおける有人ヘリ・無人機の試験実施結果及び性能評価基準書への反映事項	目視外第三者上空要件検討の事前調整会	2018 年 2 月
5	阪口 晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	災害調査用無人航空機の評価手法の研究開発	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム	2018 年 3 月
6	友永 行信	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	災害調査用無人航空機の評価手法の研究開発	物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム	2018 年 3 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	福島ロボットテストフィールドを活用した無人航空機の開発実証	ＳＵＢＡＲＵ技報第４５号	2018 年 6 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	日本初、同一空域で有人ヘリコプターと無人航空機の安全性能試験を福島県で実施	NEDO、福島県、福島県南相馬市	2017 年 12 月
2	NEDO と SUBARU など、福島県で同一空域で有人ヘリコプターと無人航空機の安全性能試験を実施	日本経済新聞	2017 年 12 月

2.1.1.5 陸上移動ロボットの防爆性能評価手法等の研究開発

（実施者：三菱重工業株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆型式検定を国内で初めて取得した遠隔操作移動ロボットの報告	日本ロボット学会発表	2017 年 9 月
2	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットの開発とプラント点検への応用	石油学会発表	2017 年 11 月
3	大西 献	三菱重工業株式会社	陸上移動ロボットの防爆性能評価手法等の研究開発	RTF 着工式シンポジウム発表・出展	2018 年 2 月
4	大西 献	三菱重工業株式会社	陸上移動ロボットの防爆性能評価手法等の研究開発	ロボットシンポジウム発表・出展（大阪，名古屋，東京）	2018 年 3 月
5	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆型式検定を国内で初めて取得した遠隔操作移動ロボットの自律化と応用	日本ロボット学会発表	2018 年 9 月
6	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットによる石油ガスプラント巡回点検	日本ロボット学会発表	2019 年 9 月
7	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆巡回ロボットを活用したプラント点検の高度化について	PwC セミナー	2019 年 10 月
8	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆性能を有するモビリティの可能性について	JOGMEC-TRC ウィーク（施設技術の未来像）	2019 年 10 月
9	大西 献	三菱重工業株式会社	移動ロボットの防爆性能評価手法について	MSTC ロボット性能評価人材育成講座シンポジウム	2020 年 1 月
10	水野 直希	三菱重工業株式会社	EX ROVR “ASCENT”における SORACOM サービスの活用	SORACOM Discovery 2021	2021 年 6 月
11	大西 献	三菱重工業株式会社	自動走行ロボットを活用した監視・点検	危険物保安技術協会　新技術を活用した保安設備等の調査研究会	2021 年 8 月
12	大西 献	三菱重工業株式会社	熱画像カメラを搭載した防爆・プラント自動巡回点検ロボット	第 4 回 ita 赤外線サーモグラフィソリューションセミナー	2022 年 3 月
13	水野 直希	三菱重工業株式会社	製品と共に進化するプラットフォーム	SORACOM Discovery 2022	2022 年 6 月
14	大西 献	三菱重工業株式会社	モバイルロボットの防爆実現方法	日本ロボット学会発表	2022 年 8 月
15	大西 献	三菱重工業株式	性能評価手順書作成への	日本ロボット学会オープ	2022 年 8

		会社	取組み	ンフォーラム	月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボット展示	南相馬シンポジウム出展	2017 年 10 月
2	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボット展示	JOGMEC テクノフォーラム出展	2017 年 11 月
3	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボット展示	国際ロボット展出展	2017 年 11 月
4	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボット展示	World Robot Summit 2018 出展	2018 年 10 月
5	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストレーション	JOGMEC テクノフォーラム出展	2018 年 11 月
6	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストレーション	Sprint Robotics World Conference 2018 USA	2018 年 11 月
7	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストレーションおよび特別講演	防爆防災リスク展	2019 年 11 月
8	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストレーション	Sprint Robotics World Conference 2022 Nederland	2022 年 9 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	三菱重工業株式会社	プラント自動巡回点検する防爆移動ロボット<引火性ガス雰囲気内で無線移動可能な防爆モビリティの開発と応用>	専門誌「配管技術」	2018 年 11 月
2	三菱重工業株式会社	引火性ガス雰囲気内で無線移動可能な防爆ロボット（石油ガスプラントを自動巡回点検するロボットの開発）	専門誌「検査技術」	2019 年 4 月
3	三菱重工業株式会社	石油ガスプラントなどでのガス爆発災害の予防と対応に貢献するロボット技術	ロボット学会「ロボット学会誌」（解説記事）	2020 年 3 月
4	三菱重工業株式会社	引火性ガス環境で人に代わって情報収集や作業をする無人モビリティの防爆設計	計測自動制御学会誌「計測と制御」（解説）	2021 年 4 月
5	三菱重工業株式会社	プラント巡回点検防爆ロボットを実用化へ	専門誌「重化学工業」	2022 年 6 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	災害現場で用いる陸上移動ロボットの性能評価基準策定に向けた試験を実施 http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100913.html	NEDO	2018 年 1 月

2	プラント巡回防爆ロボット「EX ROVR」の走行試験を実施 JXTG エネルギーと共同で、水島製油所にて	三菱重工業株式会社	2019 年 6 月
3	ENEOS と製油所向けプラント巡回点検防爆ロボットの共同研究開発契約を締結	三菱重工業株式会社	2020 年 9 月
4	プラント巡回点検防爆ロボット「EX ROVR」第二世代機の開発を完了　“ASCENT”の製品名で 4 月から市場投入へ	三菱重工業株式会社	2022 年 4 月
5	日本財団―DeepStar 連携技術開発助成プログラムに採択され、AI を活用するロボットシステムの研究開発を共同で実施	横河電機株式会社 三菱重工業株式会社	2022 年 5 月

2.1.1.7 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

（実施先：国立研究開発法人　産業技術総合研究所、株式会社自律制御システム研究所、独立行政法人　労働安全衛生総合研究所、国立大学法人　東京大学、株式会社プロドローン、イームズロボティクス株式会社）

特許件数・出願リスト（出願済み〇件、出願予定１件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	ドローン静音化技術	イームズロボティクス	静謐性を向上した無人飛行体	予定	ー

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	岩田 拡也、山田 桂輔	産業技術総合研究所	無人航空機の性能評価手法に関する研究開発	日本機械学会ロボメック 2019 講演集	無し	2019/06
2	五十嵐 広希	長岡技術科学大	小型 UAV のプロペラによる危害の基礎的評価	第 37 回 日本ロボット学会 学術講演会	無し	2019/09
3	岩田 拡也、岡部 康平	産業技術総合研究所、労働安全衛生総合研究所	福島ロボットテストフィールドとドローン試験	第 40 回レーザー学会学術講演会	無し	2020/01
4	岩田 拡也他	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第 58 回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
5	岩田 拡也他	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第 58 回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
6	岩田拡也、岡部康平、伊藤誠	産業技術総合研究所	ドローンの先進安全へむけて	信頼性	有	2021/03

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	岩田 拡也	産業技術総合研究所	日本の政策と法整備状況、世界の状況と将来の技術開発の展開	電気学会茨城支所講演会	2018/10
2	岩田 拡也	産業技術総合研究所	無人航空機ドローンの最近の動向と俯瞰する未来産業	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018	2018/11
3	岩田 拡也	産業技術総合研究所	空飛ぶクルマ・ドローンモビリティ開発の最新動向と今後	大分県産業科学技術センタードローン産業研究会	2018/12
4	岩田 拡也	産業技術総合研究所	空中移動と世界のエネルギーフロー、キャッシュフローの持続可能な発展	第 5 回フレキシブルエネルギーデバイスコンソーシアム講演会	2019/03

5	岩田 拡也	産業技術総合研究所	目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準	JapanDrone2019	2019/03
6	岩田 拡也	産業技術総合研究所	ドローンと航空機の安全確保について	第 10 回関東地区航空管制協議会	2019/05
7	岩田 拡也、山田桂輔	産業技術総合研究所	無人航空機の性能評価手法に関する研究開発	日本機械学会ロボメック 2019 講演集	2019/06
8	五十嵐広希	長岡技術科学大学	小型 UAV のプロペラによる危害の基礎的評価	第 37 回 日本ロボット学会 学術講演会	2019/09
9	岩田 拡也	産業技術総合研究所	National Drone Safety	World of Drones congress 2019	2019/09
10	岩田 拡也	産業技術総合研究所	Drone Testing in Fukushima Robot Test Field.	レーザー学会 2020	2020/1
11	岩田 拡也	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第 58 回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
12	岩田 拡也	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第 58 回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
13	岩田 拡也	産業技術総合研究所	Research of collision safety testing method of hydrogen cylinder for a fuel cell drone	10th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems	2021/04
14	岩田 拡也	産業技術総合研究所	ドローンとロボティクス、その接点	JapanDrone2021 国際カンファレンス	2021/06
15	岩田 拡也	産業技術総合研究所	無人航空機の光学的位置計測速度と空中位置制御に関する研究	日本機械学会 ROBOMEC2021	2021/06
16	幸嘉平太	大分県産業科学技術センター	ドローン空域における無線・磁気の実測と EMC 試験への取り組み	第 27 回 EMC 環境フォーラム	2021/11
17	岩田 拡也	産業技術総合研究所	産業用ドローンの安全	第 44 回 2022 産業安全対策シンポジウム	2022/02
18	齋藤 喜康	産業技術総合研究所	Sound power level measurement method for multirotor unmanned aerial vehicles using reverberation room	21st International Meeting on Lithium Batteries	2022/05
19	齋藤喜康, 岡田賢, 岩田拡也	産業技術総合研究所	Safety Tests of Lithium-ion Batteries for UAV Assuming Collision Accident	21st International Meeting on Lithium Batteries	2022/6

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月

1	産総研、東大、安衛研、ACSL, EAMS, PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2019	2019 年 3 月
2	産総研、東大、安衛研、EAMS, PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2020	2020 年 9 月
3	産総研、東大、安衛研、EAMS, PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2021	2021 年 6 月

2.1.1.8 無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発

（実施先：国立研究開発法人　産業技術総合研究所、国立大学法人　東京大学、独立行政法人　労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所、国立大学法人　長岡技術科学大学、イームズロボティクス株式会社、株式会社プロドローン、国立研究開発法人　日本原子力研究開発機構）、東京航空計器株式会社、本郷飛行機株式会社

特許件数・出願リスト（出願済み〇件、出願予定１件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	ドローン静音化技術	イームズロボティクス	静謐性を向上した無人飛行体	予定	ー

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	岩田 拡也　他	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第 58 回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
2	岩田 拡也 他	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第 58 回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
3	岩田拡也、岡部康平、伊藤誠	産業技術総合研究所	ドローンの先進安全へむけて	信頼性	有	2021/03

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	岩田 拡也	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第 58 回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
2	岩田 拡也	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第 58 回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
3	岩田 拡也	産業技術総合研究所	Research of collision safety testing method of hydrogen cylinder for a fuel cell drone	10th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems	2021/04
4	岩田 拡也	産業技術総合研究所	ドローンとロボティクス、その接点	JapanDrone2021 国際カンファレンス	2021/06
5	岩田 拡也	産業技術総合研究所	無人航空機の光学的位置計測速度と空中位置制御に関する研究	日本機械学会 ROBOMEC2021	2021/06
6	岩田 拡也	産業技術総合研究所	産業用ドローンの安全	第 44 回 2022 産業安全対策シンポジウム	2022/02

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	岩田 拡也	産業技術総合研究所	JapanDrone2021	2021/06

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	水素燃料電池ドローンにおける高圧ガスの安全に関するガイドライン	経済産業省	2020/04
2	無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0 （長距離飛行ミッション編）	経済産業省	2020/05
3	無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0 （目視内及び目視外飛行編）	経済産業省	2020/05
4	無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0 （第三者上空飛行編）	経済産業省	2020/05
5	無人航空機を対象としたサイバーセキュリティガイドラインを策定	経済産業省	2022/03

2.1.2.2 長時間作業を実現する燃料電池ドローンの研究開発
（実施先：株式会社プロドローン）

学会発表

- 鷲見 裕史，山口 十志明，島田 寛之，藤代 芳伸，淡野 正信，Development of a Portable SOFC System with Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol，第 232 回米国電気化学会，ナショナルハーバー（アメリカ），2017/10/04
- 鷲見 裕史，山口 十志明，島田 寛之，藤代 芳伸，淡野 正信，【招待講演】Development of Portable Solid Oxide Fuel Cell System Driven by Hydrocarbon and Alcohol Fuels， 42nd International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites，デイトナビーチ（アメリカ），2018/01/22
- 高橋 奨，鷲見 裕史，藤代 芳伸,中温作動固体酸化物形燃料電池へのランタンシリケート/セリア二層電解質の適用検討， 平成 30 年度日本セラミックス協会　東海支部学術研究発表会，名古屋，2018/12/15
- 鷲見 裕史，中林 正剛，川田 哲也，内山 靖之，内山 直樹，市原 和雄，Demonstration of SOFC Power Sources for Drones (UAVs; Unmanned Aerial Vehicles)，第 16 回国際固体酸化物形燃料電池シンポジウム，京都，2019/09/10
- 高橋 奨，鷲見 裕史，藤代 芳伸，Ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes for SOFC operating at intermediate temperature，第 16 回国際固体酸化物形燃料電池シンポジウム，京都，2019/09/12
- 鷲見 裕史，【招待講演】Development of Microtubular Solid Oxide Fuel Cells for Mobile Applications，The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13)，沖縄，2019/10/28
- 高橋 奨，鷲見 裕史，藤代 芳伸，Improvement in sinterability of ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes，The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13)，沖縄，2019/10/28

文献

- H. Sumi, Y. Yamaguchi, H. Shimada, Y. Fujishiro, M. Awano, "Development of a Portable SOFC System with Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol", ECS Trans., **80(9)** (2017) 71-77.
- H. Sumi, T. Yamaguchi, H. Shimada, Y. Fujishiro, M. Awano, "Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol for Anode-supported Microtubular Solid Oxide Fuel Cells", Fuel Cells, **17** (2017) 875-881.
- H. Sumi, E. Suda, M. Mori, A. Weber, "Infiltration of Lanthanum Doped Ceria into Nickel-Zirconia Anodes for Direct Butane Utilization in Solid Oxide Fuel Cells", J. Electrochem. Soc., **166** (2019) F301-F305.
- S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, “Development of co-sintering process for anode-supported solid oxide fuel cells with gadolinia-doped ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolyte”, Int. J. Hydrogen Energy, **44** (2019) 23377-23383.
- H. Sumi, S. Nakabayashi, T. Kawada, Y. Uchiyama, N. Uchiyama and K. Ichihara, "Demonstration of SOFC Power Sources for Drones (UAVs; Unmanned Aerial Vehicles)", ECS Trans., **91(1)** (2019) 149-157.
- S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, “Ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes for SOFC operating at intermediate temperature”, ECS Trans., **91(1)** (2019) 571-577.
- S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, “Modification of sinterability and electrical property by Bi_2O_3 addition to $La_{9.333}Si_6O_{26}$ for co-sintering with $Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$”, Chem. Phys. Lett., submitted
- S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, “Influence of cation interdiffusion on electrical properties of doped ceria/lanthanum silicate composite”, Ceram. Int., Submitted.

2.1.3.1 高効率エネルギーマネジメントのための高精度残量計及び高エネルギー密度電池の開発
（実施先：マクセル株式会社、古河電池株式会社）

特許件数・出願リスト（出願済み 14 件）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	佐野健一	マクセル株式会社	マクセルが描く二次電池の進化と社会課題解決	国際二次電池展　基調講演	2021 年 9 月
2	片山秀昭	マクセル株式会社	硫化物系全固体リチウムイオン電池の開発	日本化学会・CSJ 化学フェスタ	2022 年 10 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	マクセル株式会社	ポスター	ロボット航空宇宙フェスタふくしま	2020 年 11 月
2	マクセル株式会社 古河電池株式会社	ポスター	Japan Drone2021	2021 年 6 月
3	マクセル株式会社 古河電池株式会社	ポスター	ロボット航空宇宙フェスタふくしま	2021 年 11 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	古河電池、バッテリーでドローンの社会実装に貢献 安全で長時間の飛行を可能とする、より高いエネルギー密度の電池を開発	古河電池株式会社	2022 年 3 月

2.2.1.1 安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発

（実施者：日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社ＮＴＴドコモ、楽天株式会社、株式会社日立製作所）

研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2018/1/10	月刊パテント（日本弁理士会）－特集（東京２０２０オリンピック・パラリンピック競技大会）－	東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた取り組みについて	NEC 水口
2018/1/25	(株)新社会システム総合研究所 主催セミナー	「ドローン最新動向と３社の戦略」『セルラードローン』構想の実現に向けて	NTT ドコモ原
2018/2/17	「ロボコンマガジン」2018 年 2 月別冊（株式会社 オーム社）－ドローンの産業活用のすべて－	4 章ドローンの管制システム／運行管理システム構築に向けて	NEC 鈴木
2018/3	「日立評論」「Hitachi Review」2018 年 No.2 号	まちづくりに貢献する日立ドローンプラットフォーム	日立 飯野他
2018/6/5～2018/6/8	2018 年度人工知能学会全国大会	繰り返し貪欲組合せオークションを用いた利己的マルチエージェント経路計画	NEC 町田
2018/11	日本機械学会誌 第 121 巻　第 1200 号	特集　空の産業革命 －「飛行ロボット」としての次世代ドローン－ ドローンの広域運航を支えるモバイル通信	NTT ドコモ原、山田
2018/11/29	電子情報通信学会 MWE2018(microwave workshop & exhibition 2018)	ドローンの広域運航を支えるモバイル通信	NTT ドコモ原、山田
2019/3/1	同一空域複数事業者飛行試験プレスリリース	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムの実証	NEDO その他連名
2019/3/27	第 1 回 UTM シンポジウム	福島ロボットテストフィールドにおける実証試験	NEDO その他連名
2019/4/25	月刊テレコミュニケーション 2019 年 5 月号	オールジャパンで取り組む NEDO「DRESS プロジェクト」ドローン「目視外飛行」の早期実現へ	NTT ドコモ
2019/5/13～2019/5/17	International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems 2019	Polynomial-Time Multi-Agent Pathfinding with Heterogeneous and Self-Interested Agents	NEC 町田
2019/5/23	プレスリリース	準天頂衛星システム（みちびき）を活用し	NEDO

		たドローン実証実験	その他連名
2019/6/4～ 2019/6/7	2019 年度人工知能学会全国大会	マルチエージェント経路計画のためのエージェントグループ化を伴う正直申告メカニズム	NEC 町田
2019/6/12～ 2019/6/14	Location Business Japan 2018 セミナー	DRESS プロジェクトにおける準天頂衛星を活用したドローンの研究開発状況	楽天 久住
2019/6/28	API 仕様書公開 プレスリリース	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムの API 仕様書公開	NEDO その他連名
2019/7/26	安全なドローン運航のための相互接続シンポジウム	運航統合管理システムの研究開発・実証・API の公開について	NEDO その他連名
2019/9/11	SATEX 衛星測位・位置情報展	みちびき実証実験の紹介	NEDO、楽天
2019/10/3	相互接続試験環境構築プレスリリース	同一空域・複数事業者のドローン運航管理システムとの相互接続試験の環境を構築	NEDO、NEC、NTT データ、日立
2019/10/30	相互接続試験プレスリリース	一般ドローン事業者も参加したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功－29 事業者が飛行試験を実施	NEDO、その他連名
2019/11/12	ICAO Drone Enable シンポジウム 展示会	日本の運航管理システムの開発の取り組みを紹介	NEDO、NEC、NTT データ、日立
2019/11/22	ふくしま航空宇宙ロボットフェスタ	福島ロボットテストフィールドでの運航管理システムの試験の取り組みを紹介	NEDO、その他
2019/11/28	G 空間 Expo2019	みちびき実証実験の紹介	NEDO、楽天

特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2018/2/28	PCT/JP2018/007453	領域評価システム、方法および記録媒体	日本電気株式会社
2018/3/28	PCT/JP2018/012891	経路決定装置、経路決定方法、及び記憶媒体	日本電気株式会社
2018/11/09	特願 2018-041624	無人航空機離着陸施設管理装置、無人航空機管理方法 および無人航空機システム	楽天株式会社
2018/12/27	特願 2018-048215	空域管理システム、空域管理方法およびプログラム	楽天株式会社
2019/3/20	特願 2019-052904	飛行計画調整技術	株式会社 NTT ドコモ 日本電気株式会社
2019 年 10 月	特開 2022-147583	無人航空機運航管理における飛	株式会社日立製作所

		行中の衝突判定方式	

展示会等（「」内は展示テーマ、() 内は発表日付と発表した委託社名）

[2017 年度]

- C&C ユーザーフォーラム&iEXPO2017「ドローン運航管理サービス」(2017/11/9、NEC)
- Japan Drone 2018（幕張メッセ)「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発 2017 年度研究成果」(2018/3/22-24、NEC コンソ連名）

[2018 年度]

- ふくしまロボットフェスタ（ビッグパレットふくしま)「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発」(2018/11/22-11/23、NEC コンソ連名）
- Japan Drone 2019（幕張メッセ)「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発」(2019/3/14、NEC コンソ連名）

[2019 年度]

- Location Business Japan 2019（幕張メッセ)「準天頂衛星×ドローン」(2019/6/12、NEDO/楽天連名）

2.2.1.2 警備業務に対応した運航管理機能の研究開発

（実施者：KDDI 株式会社　テラドローン株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
１	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	ジャパンドローン 2018 NEDO ピッチ	2019/3/23
２	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	インフラメンテナンス国民会議　革新的技術フォーラム	2019/5/10
３	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	大阪商工会議所　「ドローンビジネス研究会」	2019/6/21
４	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	会津若松市　「まち・ひと・しごと創生包括連携協議会」	2019/7/24
５	杉田　博司 尾坐　幸一	KDDI 株式会社 セコム株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	第三者上空飛行検討会	2019/12/6
６	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	ジャパンドローン 2019 NEDO ピッチ	2020/3/14
７	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	第一回 UTM シンポジウム	2020/3/27
８	博野　雅文	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	ドローンカンファレンス	2020/11/1
９	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	「ロボット航空宇宙フェスタふくしま 2019」	2020/11/22
１０	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	三重県　「空の移動革命実現に向けたシンポジウム」	2021/2/13
１１	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	第四回 UTM シンポジウム	2021/2/14

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
１	KDDI 株式会社、テラドローン株式会社	「DRESS プロジェクトフォーラムドローンの社会実装加速のための研究開発～ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト～」	Japan Drone2018	2018/3
２	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2019	2019/3
３	KDDI 株式会社、テラドローン株式会社	「DRESS プロジェクトフォーラムドローンの社会実装加速のための研究開発～ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト～」	ふくしまロボットフェスタ 2019	2019/11
４	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2021	2021/6

5	KDDI 株式会社	地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業	ふくしまロボットフェスタ 2021	2021/11
6	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2022	2022/6

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	KDDI 株式会社	スマートドローン実現に向けた取り組み	電子情報通信学会誌	2019/6
2	KDDI 株式会社	スマートドローン実現に向けた取り組み	日本機械学会誌	2019/6

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、4G LTE で自律飛行する複数ドローンを活用した広域警備に成功	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2018/3/15
2	国内初、人物検知可能なスマートドローンによるスタジアム警備の実証に成功	KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2018/12/18
3	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムを実証	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 福島県 南相馬市 日本電気株式会社 株式会社 NTT データ 株式会社日立製作所 株式会社 NTT ドコモ 楽天株式会社 KDDI 株式会社 株式会社ゼンリン 一般財団法人日本気象協会	2019/3/1
4	KDDI、テラドローン、セコム、南相馬市において沿岸部および周辺広域施設のドローン警備実証実験を実施	KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2020/3/19
5	KDDI とパーソルプロセス&テクノロジー、ドローンの有人地帯における目視外飛行（レベル 4）の実現を目指す運航管理機能の開発などの実証事業を NEDO から受託	KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2020/12/11
6	複数のドローンを管制し、安全な同時飛行を実現する「KDDI スマートドローン」の管制システムを開発	KDDI 株式会社	2021/3/25
7	国内最大規模、全国 13 地域で同時に飛行するドローンの運航管理に成功	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社	2021/11/24

		パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	
8	KDDI と JAL、ドローンの社会インフラ化に向け、1対多運航の実現を目指す取り組みを開始	KDDI 株式会社 日本航空株式会社	2022/8/26

2.2.1.3 複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発

（実施者：株式会社日立製作所　国立研究開発法人情報通信研究機構）

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	加川 敏規 小野 文枝 単 麟 三浦 龍 中臺 一博 干場 幸太郎 公文 誠 奥乃 博 加藤 周 児島 史秀	NICT 東工大 神奈川大学 早稲田大学 産総研	Multi-hop wireless command and telemetry communication system for remote operation of robots with extending operation area beyond lineof-sight using 920 MHz/169 MHz	Advanced Robotics DOI: 10.1080/01691864.2020.1760934	有り	2020年5月
2	三浦 龍 加川 敏規 小野 文枝 単 麟 松田 隆志 児島 史秀	NICT	Propagation Measurements of Multi-Hop Command and Telemetry Communications System in the 169 MHz Band for Drones	Journal of Robotics and Mechatronics Vol.38, No.2 Special Issue on Novel Technology of Autonomous Drone	有り	2021年2月
3	三浦 龍 松田 隆志 小野 文枝 単 麟 越川 三保 松浦 武	NICT	Performance of Multi-hop Command and Telemetry Communication System in 169 MHz Band for Operation of Drones Beyond Line-of-Sight	Advanced Robotics and Mechanical Engineering Vol.3, Issue 5	有り	2022年9月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	藤田 将史	株式会社日立製作所	「運航管理機能の開発（物流及び災害対応等）」／「複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発」について	Japan Drone 2018 DRESS プロジェクトフォーラム	2018年3月
2	三浦 龍	NICT	ドローンの電波利用技術に関する動向と NICT の研究開発動向（本成果を一部含む）	インフラメンテナンス国民会議革新的技術フォーラム	2018年5月
3	三浦 龍	NICT	無人航空機の安全な見通し外運航の実現のための	IT ヘルスケア学会第 12 回学術大会	2018年6月

			無線通信技術の開発（本成果を一部含む）		
4	三浦 龍	NICT	目視外の安全なドローン運用を支える 電波利用技術について（本成果を一部含む）	周波数資源開発シンポジウム 2018	2018 年 7 月
5	三浦 龍	NICT	ドローンにおける 920MHz 帯活用の取組み	電子情報通信学会ソサイエティ大会	2018 年 9 月
6	単 麟	NICT	Field Tests on 'Drone Mapper' Location Information and Remote ID Sharing Network in the 920MHz Band for Drones	Wireless Personal Multimedia Communication Symposium (WPMC) 2018	2018 年 11 月
7	藤田 将史	株式会社日立製作	「運航管理機能の開発（物流及び災害対応等）」／「複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発」について	Japan Drone 2019 DRESS プロジェクトフォーラム	2019 年 3 月
8	三浦 龍	NICT	小型無人機の電波利用技術に関する動向と NICT の取組み	Japan Drone 2019 特別セミナー	2019 年 3 月
9	加川 敏規	NICT	見通し外ドローン制御を可能とする 169MHz 帯の伝搬特性評価	2019 年電子情報通信学会総合大会	2019 年 3 月
10	三浦 龍	NICT	災害現場でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術（本成果を一部含む）	耐災害 ICT 研究シンポジウム（講演）	2019 年 3 月
11	加川 敏規	NICT	見通し外ドローン運用のための 169MHz 帯無線システムの開発	電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会	2019 年 5 月
12	三浦 龍	NICT	安全なドローンの目視外運航に向けた無線通信技術に関する取組み	北陸地域電波関係研究者ネットワーク	2019 年 10 月
13	三浦 龍	NICT	R&D in NICT on Radio Communication Technologies for Safety Operation of Drones	WPMC2019	2019 年 11 月
14	三浦 龍	NICT	ドローン用遠隔制御・通信技術	次世代安心・安全 ICT フォーラム通信技術部会ワークショップ	2019 年 12 月
15	三浦 龍	NICT	目視外ドローン運航のための 169MHz 帯マルチホップコマンド・テレメトリ	電子情報通信学会 RCC 研究会、RCC2021-17	2021 年 5 月

			通信実験		
16	三浦 龍	NICT	レベル４時代におけるドローンの安全運航のためのワイヤレス技術の研究開発	Society RX 研究会	2021 年 8 月
17	三浦 龍	NICT	レベル４時代の安全な目視外運航のための電波技術	EMC 環境フォーラム	2021 年 11 月
18	三浦 龍	NICT	レベル 4 時代の安全なドローンの目視外飛行に向けた自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発と実証	SICE 九州フォーラム（計測自動制御学会）	2022 年 10 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日立製作所	ポスタータイトル：小型無人航空機(ドローン等)の安全運航のためのワイヤレス通信技術～見通し外中継制御通信システムの伝搬評価～／～ドローン位置情報共有システムによる運航管理～	Japan Drone 2018	2018 年 3 月
2	NICT	ポスタータイトル：ドローンの見通し外運用を支援するワイヤレス技術 -マルチホップ中継制御通信システム／ドローン位置情報共有システム	ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2018	2018 年 5 月
3	NICT	ポスタータイトル：見えないところを飛ぶドローンをあやつる！	NICT オープンハウス	2018 年 6 月
4	日立製作所	リーフレットタイトル：複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発	Hitachi Social Innovation Forum 2018 TOKYO	2018 年 10 月
5	NICT	ポスタータイトル：ドローン物流を支える無線技術 見通し外中継制御通信システム コマンドホッパー	ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ	2019 年 1 月
6	日立製作所	ポスタータイトル：複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発	Japan Drone 2019	2019 年 3 月
7	NICT	ポスタータイトル：ドローンによる災害対応や物流等を支える無線技術「コマンドホッパー」「ドローンマッパー」～見通し外でのドローンの安全運用をめざして～	耐災害 ICT 研究シンポジウム	2019 年 3 月
8	NICT	ポスタータイトル：ドローン制御向け無線中継技術「コマンドホッパー」 飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る「ドローン位置情報共有システム」	ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2019	2019 年 5 月

9	NICT	ポスタータイトル：ドローン物流を支える無線技術見通し外中継制御通信システム コマンドホッパー	ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ 2020	2020 年 2 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	NICT	途切れにくい無線技術による小型無人機の飛行に向けて～ 920MHz 帯と 169MHz 帯の活用 ～	電波技術協会報 FORN, No.323	2018 年 7 月
2	NICT	災害現場等でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術	日本ロボット学会誌　vol.38, no.3 特集「実災害現場に求められるロボット技術」	2020 年 3 月
3	NICT	目視外・見通し外でドローンを運用するための自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発	計測と制御　第 60 巻、第 4 号 特集「環境に打ち克つ「強い」無人システム」	2021 年 4 月
4	NICT	目視外飛行するドローンをつなぐ無線技術　―マルチホップから高高度プラットホームまで―	IEICE Fundamentals Review Vol.15, No.3	2021 年 11 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ニュースリリースタイトル： 同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムを実証-運航管理システムの API の順次公開を目指す-	日立製作所企業情報 ニュースリリース掲載	2019 年 3 月

2.2.1.4 衛星通信を利用するドローンの運航管理システムの開発

（実施者：スカパーJSAT 株式会社）

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Demonstration Experiment of Inter-Aircraft Communication for Location Sharing of Drone and Helicopter	IEICE Technical Report RCC、vol. 118、 no. 343		2018 年 12 月
2	Tasuku Nagoya、Jumpei Kuboniwa、Tetsumi Takamori、Ryu Miura、 Fumie Ono、Toshinori Kagawa、 Shan Lin	スカパーJSAT、NICT	The experiment of Unmanned Aerial System Traffic Management By using satellite communication and the Solar Plane)	信号処理学会		2020 年 2 月
3	安井一平・佐藤昌之・穂積弘毅・河野敬	JAXA	高アスペクト比翼を有する無人航空機用飛行制御システムの安全性確認	日本航空宇宙学会論文集 2021 年 69 巻 1 号		2021 年 2 月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	三浦龍	NICT	小型無人機の電波利用技術に関する動向と NICT の取組み	原財団特別セミナー	2017 年 12 月
2	三浦龍	NICT	ドローンの商用化に向けた取組みと課題／見通し外遠隔制御の通信技術	総務省情報通信政策研修所特定課題研修	2018 年 2 月
3	加川敏規、 単麟、 小野文枝、 三浦龍、児島史秀	NICT	ドローン運行管理のためのドローン位置情報共有システム -ソーラープレーンを用いた見通し外位置情報共有-	2018 年電子情報通信学会総合大会	2018 年 3 月
4	高盛 哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理	Japan Drone 2018（プレゼンテーション）	2018 年 3 月
5	三浦龍	NICT	ドローンの電波利用技術に関する動向と NICT の研究開発動向	インフラメンテナンス国民会議革新的技術フォーラム	2018 年 5 月
6	三浦龍	NICT	無人航空機の安全な見通	IT ヘルスケア学会第 12	2018 年 6

			し外運航の実現のための無線通信技術の開発	回学術大会	月
7	三浦龍	NICT	目視外の安全なドローン運用を支える 電波利用技術について	周波数 資源開発シンポジウム 2018	2018 年 7 月
8	Kazama Harada	スカパーJSAT	Development of UAV Traffic Management System Using Satellite Communication	World of Drone Congress（於：豪州ブリスベン、プレゼンテーション）	2018 年 8 月
9	三浦龍、加川敏規、単麟、小野文枝、李還幇、児島史秀	NICT	ドローンにおける 920MHz 帯活用の取組み	電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTA ソサイエティ大会	2018 年 9 月
10	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Field Tests on 'Drone Mapper' Location Information and Remote ID Sharing Network in the 920MHz Band for Drones	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2018)	2018 年 12 月
11	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Demonstration Experiment of Inter-Aircraft Communication for Location Sharing of Drone and Helicopter	IEICE Technical Report RCC、vol.118、no.344	2018 年 12 月
12	高盛 哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理 平成 30 年度研究開発成果	Japan Drone 2019（プレゼンテーション）	2019 年 3 月
13	三浦龍	NICT	災害現場でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術	耐災害 ICT シンポジウム	2019 年 3 月
14	Misao Furukawa	スカパーJSAT	Development of UAV System for remote sensing	OUTBACK Aerodrone Symposium 2019（プレゼンテーション）	2019 年 9 月
15	三浦龍、小野文枝	NICT	安全なドローンの目視外運航に向けた無線通信技術に関する取組み	北陸地域電波関係研究者ネットワーク	2019 年 10 月
16	高盛哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理システムの開発	ロボット航空宇宙フェスタ 2019（プレゼンテーション）	2019 年 11 月
17	三浦龍	NICT	R&D in NICT on Radio Communication Technologies for Safety Operation of Drones	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2019)	2019 年 11 月

18	三浦龍、小野文枝	NICT	ドローン用遠隔制御・通信技術	次世代安心・安全 ICT フォーラム通信技術部会ワクショップ	2019 年 12 月
19	三浦龍、小野文枝、単麟、加川敏規	NICT	飛しょう体間位置情報共有システム「ドローン マッパー」とドローンに必要な測位技術	測位航法学会部会	2020 年 1 月
20	高盛哲実	スカパー JSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理 FIMS との接続と HAPS	第 4 回 UTM シンポジウム（プレゼンテーション）	2020 年 2 月
21	安井一平、佐藤昌之、穂積弘毅、河野敬	JAXA	高アスペクト比翼を有する無人航空機用飛行制御システムの安全性確認	日本航空宇宙学会第 51 期年会	2020 年 4 月
22	Ryu Miura	NICT	Connection Technologies for Drones -for safety operation beyond LOS-	Kansai-Israel Innovation Seminar	2020 年 11 月
23	三浦龍	NICT	ドローンをつなぐための研究開発	東京電機大-DPN セミナー	2021 年 6 月
24	福田紘大	東海大学	日本が誇る CFRP 技術が切り拓くエコモビリティ開発の最前線	JEC Composite Talks（プレゼンテーション）	2022 年 12 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	NICT	飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る	ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）	2018 年 5 月
2	NICT	飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る	NICT オープンハウス	2018 年 6 月
3	NICT	ドローン物流を支える無線技術	ヨコスカ×スマートモビリテ	2019 年 1 月
4	NICT	ドローンによる災害対応や物流等を支える無線技術～飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る～	耐災害 ICT 研究シンポジウム	2019 年 3 月
5	スカパーJSAT	パネル Supporting utilization of drones in industry	Satellite 2017	2017 年 3 月
6	スカパーJSAT	パネル Supporting utilization of drones in industry	Satellite 2018	2018 年 3 月
7	スカパーJSAT	パネル　Supporting utilization of drones in industry	Communication Asia 2018	2018 年 6 月
8	スカパーJSAT	パネル　衛星ドローンで目視外飛行	国際ドローン展	2018 年 4 月
9	スカパーJSAT	パネル　Controlling drones through HAPS or Satellite in non-visible area, including	Satellite 2019	2019 年 3 月

		ocean and mountain		

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	NEDO、スカパーJSAT、NICT	世界初！機体間通信実験に成功 ドローンと有人ヘリ間で互いの位置等を共有	電波タイムズ	2018 年 3 月 28 日
2	NEDO、スカパーJSAT、NICT	スカパーＪＳＡＴ・ＮＩＣＴなど、ドローン・ヘリ間の位置情報共有	日本経済新聞電子版	2018 年 4 月 9 日
3	NEDO、スカパーJSAT、NICT	ドローン・ヘリと情報共有 スカパーなど実験　無線で位置把握	日経産業新聞	2018 年 4 月 10 日
4	NICT	途切れにくい無線技術によるドローンの安定飛行を目指して	電波技術協会報 FORN、No.323	2018 年 7 月
5	NICT	ドローンにおける電波利用技術	日本機械学会誌、 第 122 巻、第 1207 号 ※電子情報通信学会誌とのコラボ企画	2019 年 6 月
6	NICT	ドローンにおける電波利用技術	電子情報通信学会誌、 Vol.102、 No.6 ※日本機械学会誌とのコラボレーション企画	2019 年 6 月
7	スカパーJSAT	山岳救助にドローン活用	読売新聞（夕刊）	2019 年 7 月
8	NICT	災害現場等でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術	ロボット学会誌、 2020 年 38 巻 3 号	2020 年 5 月
9	東海大学	太陽光ある限り飛び続ける、超軽量ソーラー無人飛行機…東海大開発で世界最優秀賞	読売新聞	2021 年 6 月
10	東海大学	無人飛行機　総合力で世界一 東海大学「ソーラーフェニックス」	毎日新聞	2023 年 1 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	衛星通信を利用した高高度無人航空機の飛行・通信実験を福島県で実施	NEDO、スカパーJSAT、福島県	2017 年 12 月
2	世界初、ドローンと有人ヘリの機体間で位置情報共有のための通信実験を実施―ドローンの安全な目視外飛行を可能とする運航管理システムの実現目指す―	NEDO、スカパーJSAT、NICT	2018 年 3 月
3	衛星通信を利用した衛星ドローンの飛行実験を福島 RTF で実施・成功	スカパーJSAT	2019 年 1 月
4	衛星ドローンによる山岳遭難者救助活動の実証実験に成功	スカパーJSAT	2019 年 5 月
5	衛星ドローンで山岳救助	自社株主通信	2019 年 11 月
6	最大級のソーラー無人機を開発	東海大学	2020 年 2 月

2.2.1.5 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発

（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ　、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所、三菱電機株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	阪口　晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発	JapanDrone2018 DRESS プロジェクトフォーラム	2018年3月
2	塚田 大	株式会社自律制御システム研究所	Safely Enabling UAS Operations Via Dynamic Re-routing Technology	World of Drone Congress (WoDC)	2018年8月
3	阪口　晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	”ぶつからないドローン”を目指して！ ～無人航空機の衝突回避技術の開発～	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018 NEDOセッション講演	2018 年 11 月
4	塚田 大	株式会社自律制御システム研究所	無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティングシステムにおける風速推定手法の開発	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018 NEDOセッション講演	2018 年 11 月
5	阪口　晃敏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	無人航空機の衝突回避システムの開発	精密工学会　画像応用技術専門委員会　2018 年度 第5回定例研究会	2019年1月
6	山根　章弘	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発	ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現（DRESS）プロジェクトフォーラム	2019年3月
7	平木　直哉	日本無線株式会社	「無人航空機搭載レーダについて」	シンポジウム「信越情報懇談会電波利用委員会」	2019年5月
8	笹本　貴宏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	「無人航空機による有人機に対する衝突回避技術について」	日本ヘリコプタ協会2019年度総会・講演会	2019年9月
9	山根　章弘	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	UAS Detect and Avoid Technology versus Manned Helicopter	EUROPEAN DRONE SUMMIT 2019	2019年9月
10	笹本　貴宏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	自律的ダイナミック・リルーティング技術の紹介 ～開発から三河湾での実証まで～	あいちロボット産業クラスター推進協議会 第１４回 無人飛行ロボット活用ワーキンググループ	2020年3月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月

1	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発	Japan Drone 2018	2018年3月
2	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	・展示パネル ・電波・光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018	2018 年 11 月
3	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	・展示パネル ・電波・光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター ・準天頂衛星システム対応受信機搭載ドローン	Japan Drone 2019	2019年3月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、無人航空機に搭載した衝突回避システムの探知性能試験を実施	NEDO、福島県、南相馬市、株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2018 年 12 月
2	世界初、相対速度100km/h での無人航空機の衝突回避試験を実施	NEDO、福島県、南相馬市、公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構、株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2019年7月
3	無人航空機が緊急時でも自律的に危険を回避できる技術を実証	NEDO、株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2019 年 12 月

2.2.1.6 無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発

（実施者：株式会社ゼンリン）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
26	深田 雅之	株式会社ゼンリン	「“空の道”ドローンの安全な飛行を支援！～ドローン向け空間情報基盤の開発～」	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018 NEDO セッション講演	2018 年 11 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本気象協会、株式会社ゼンリン	パネル展示（NEDO ブース内）	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018：展示（NEDO ブース内）	2018 年 11 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムを実証	NEDO、ゼンリン他	2019 年 3 月
2	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムの API 仕様書を公開	NEDO、ゼンリン他	2019 年 6 月
3	一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功	NEDO、ゼンリン他	2019 年 10 月

2.2.1.7 ドローン向け気象情報提供機能の研究開発

（実施者：一般財団法人日本気象協会）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	森 康彰	日本気象協会	「ドローン向け気象情報提供機能の研究開発」	JapanDrone2018 DRESS プロジェクトフォーラム	2018 年 3 月
2	森 康彰	日本気象協会	「ドローン向け気象情報提供機能の研究開発」	JapanDrone2019 NEDO DRESS プロジェクトフォーラム	2019 年 3 月
3	森 康彰	日本気象協会	「『ドローン向け気象情報』-未来社会の安全性実現に向けて-」	ロケーションビジネスジャパン 2019	2019 年 6 月
4	森 康彰	日本気象協会	ドローン運航管理システムの開発及び相互接続試験 「ドローン向け気象情報提供機能の研究開発」	第 4 回 UTM シンポジウム	2020 年 3 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本気象協会	パネル展示、ドローン機体展示（イームズロボティクスブース内）	Japan Drone2018：パネル展示、ドローン機体展示（イームズロボティクスブース内）	2018 年 3 月
2	日本気象協会	パネル展示（NEDO ブース内）	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018：展示（NEDO ブース内）	2018 年 11 月
3	日本気象協会	パネル展示（NEDO ブース内）	Japan Drone2019：パネル展示（NEDO ブース内）	2019 年 3 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	日本気象協会	ドローン専用天気予報	日本経済新聞	2018 年 4 月
2	日本気象協会	特集　安全対策　さらば運用リスク　PART.3 気象編	ドローン.biz	2019 年 8 月
3.	日本気象協会	次世代の空の安全　ドローンの産業活用	Focus NEDO 2019 No.75	2019 年 12 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ドローン向け気象情報提供とドローンによる気象観測の実証試験を南相馬市で実施へ ―安全で効率的なドローン運航の実現を目指す―	日本気象協会（プレスリリース）	2017 年 10 月

2	ドローン×気象　ドローン初心者がみた『最先端』をリポート	日本気象協会（HP）	2017年11月
3	世界初の複数ドローンを活用した広域警備の実証実験を、気象情報でサポート ～KDDI、セコム、テラドローンによる実証実験に「ドローン総合気象情報」を提供～	日本気象協会（HP）	2018年3月
4	日本気象協会、「Japan Drone 2018」にて講演・展示を実施 ～「ドローン総合気象情報」と最新の気象観測ドローンを紹介～	日本気象協会（プレスリリース）	2018年3月
5	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムを実証 ―運航管理システムのAPIの順次公開を目指す―	日本気象協会（プレスリリース）	2019年3月
6	同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムのAPI仕様書を公開 ―福島ロボットテストフィールドに相互接続試験の環境を整備―	日本気象協会（プレスリリース）	2019年6月
7	一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功 ―29事業者が飛行試験を実施―	日本気象協会（プレスリリース）	2019年10月

2.2.1.8 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

（実施者：国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構）

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	Florence Ho、他	NII	Improved Conflict Detection and Resolution for Service UAVs in Shared Airspace	IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol:68, Issue:2	有	2019年2月
2	Prendinger Helmut、他	NII	Pre-flight conflict detection and resolution for UAV integration in shared airspace: Sendai 2030 model case	IEEE Access, vol:7, Issue:1	有	2019年11月
3	Atsushi Oosedo、他	JAXA	Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Simulation of Drone Delivery Models in 2030 Japan	Journal of Robotics and Mechatronics, 33巻, 2号	有	2021年4月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	大瀬戸 篤司、他	JAXA	小型無人航空機運航管理シミュレーションにおける衝突要因解析	日本航空宇宙学会 第55回飛行機シンポジウム	2017年11月
2	河野 敬	JAXA	Recent Progress in Regulation and R&D Program of Small UAS in Japan	Second Meeting of ICAO Asia/Pacific Unmanned Aircraft Systems Task Force	2018年3月
3	原田 賢哉	JAXA	運航管理システムの全体設計に関する研究開発	DRESSプロジェクトフォーラム(Japan Drone 2018)	2018年3月
4	原田 賢哉	JAXA	R&D of UAS Traffic Management in Japan	Global UTM Association Asia Pacific Conference 2018	2018年3月
5	原田 賢哉	JAXA	ドローンの交通整理	Japan Drone2018 国際コンファレンス	2018年3月
6	原田賢哉	JAXA	ドローンの運航管理システムに関する研究開発動向	インフラメンテナンス国民会議 革新的技術フォーラム	2018年5月
7	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発動向	ワイヤレス・テクノロジー・パーク2018	2018年5月
8	原田 賢哉	JAXA	ドローンの運航管理システム	日本ロボット学会 第114回ロボット工学セミナー	2018年6月
9	Florence	NII	Simulating Shared Airspace	The 17th International	2018年7

	Ho、他		for Service UAVs with Conflict Resolution	Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems	月
10	大瀬戸 篤司、他	JAXA	無人航空機の運航管理システムにおける飛行中の衝突回避に対する深層強化学習の適用検討	日本ロボット学会 第 36 回学術講演会	2018 年 9 月
11	原田 賢哉	JAXA	R&D and Related Activities on UTM in Japan	UAS Traffic Management (UTM) International Conference	2018 年 10 月
12	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発動向 -ドローン物流や空飛ぶクルマの実現に向けて-	国際航空宇宙展 2018 空飛ぶクルマ・シンポジウム	2018 年 11 月
13	原田 賢哉	JAXA	ドローン産業の未来を切り拓く！JAXA の挑戦 ～無人航空機運航管理システムの研究開発動向～	大阪商工会議所 ドローンビジネス研究会	2018 年 12 月
14	原田 賢哉	JAXA	「空の産業革命」の実現に向けた官民・国内外の取り組み	電気通信協会 フォーラム	2018 年 12 月
15	原田 賢哉	JAXA	無人機の安全性向上へ向けた最新技術と将来 -無人航空機運航管理システムの研究開発動向	第 1 回静岡県無人機安全協会フォーラム	2018 年 12 月
16	原田 賢哉	JAXA	ドローンの利用拡大～空飛ぶクルマの実現に向けた我が国の取組み	Japan Drone 2019 国際セッション	2019 年 3 月
17	原田 賢哉	JAXA	運航管理システムの全体設計に関する研究開発	DRESS プロジェクトフォーラム(Japan Drone 2019)	2019 年 3 月
18	原田 賢哉	JAXA	運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャ	第 1 回 UTM シンポジウム	2019 年 3 月
19	Prendinger Helmut、他	NII	飛行計画申請～承認プロセスのライブデモ	第 1 回 UTM シンポジウム	2019 年 3 月
20	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発動向	ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2019 セミナー	2019 年 5 月
21	Florence Ho、他	NII	Multi-Agent Path Finding for UAV Traffic Management	International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems	2019 年 5 月
22	原田 賢哉	JAXA	UTM/運航管理システムの研究開発動向	JUAV 産業用無人航空機の現状と利に関する研究会	2019 年 6 月
23	大瀬戸 篤司、他	JAXA	無人航空機運航管理システムに共有された運航情報を用いた多数の無人機の衝突回避経路の生成	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019 in Hiroshima	2019 年 6 月
24	久保 大輔	JAXA	Lessons Learned through UAS/UTM R&D in Japan	Global UTM Association Annual Conference 2019	2019 年 6 月

25	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの運用コンセプト	第 2 回 UTM シンポジウム（名古屋）	2019 年 9 月
26	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの運用コンセプト	第 3 回 UTM シンポジウム（大阪）	2019 年 9 月
27	久保 大輔他	JAXA	無人航空機の運航管理システム（UTM）の技術動向と将来課題	日本ロボット学会 第 37 回学術講演会	2019 年 9 月
28	原田 賢哉	JAXA	運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャ	危機管理産業展（RISCON）2019 セミナー	2019 年 9 月
29	大瀬戸 篤司、他	JAXA	無人航空機の運航管理システムとその運用コンセプトのシミュレーション評価	日本航空宇宙学会 第 57 回飛行機シンポジウム	2019 年 10 月
30	久保 大輔、他	JAXA	無人航空機の Remote ID 技術とその有人航空機飛行安全への応用の基礎検討	日本航空宇宙学会 第 57 回飛行機シンポジウム	2019 年 10 月
31	虎谷 大地、他	ENRI	Altitude Reference System for Small Unmanned Aircraft Systems to Resolve Altitude Discrepancies with Manned Aircraft	ICAO’s Drone Enable/3 Symposium 2019	2019 年 11 月
32	原田 賢哉	JAXA	同一空域における複数ドローンの飛行のための運航管理コンセプトとシミュレーションによる検証	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2019	2019 年 11 月
33	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発状況	第 2 回大分県ドローン物流検討会	2020 年 1 月
34	原田 賢哉	JAXA	無人航空機の運航管理システムとそれをとりまく動向	SJAC 無人航空機システム検討委員会 勉強会（第 3 回）	2020 年 1 月
35	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発状況	第 4 回 UTM シンポジウム	2020 年 2 月
36	Prendinger Helmut、他	NII	飛行前の飛行計画干渉の検出と解決（CDR）手法 ～アルゴリズム、シミュレーション、および結果～	第 4 回 UTM シンポジウム	2020 年 2 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	JAXA	ポスター展示	平成 30 年度 JAXA 調布航空宇宙センター一般公開	2018 年 4 月
2	JAXA	ポスター展示	JAXA 航空宇宙シンポジウム 2018	2018 年 10 月
3	JAXA	ポスター展示	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018	2018 年 11 月
4	JAXA	ポスター及び	Japan Drone 2019	2019 年 3

		運航管理シミュレータ展示		月
5	JAXA	シンポジウム開催	第 1 回 UTM シンポジウム	2019 年 3 月
6	JAXA	ポスター展示	平成 31 年度 JAXA 調布航空宇宙センター一般公開	2019 年 4 月
7	JAXA	ポスター展示及び 運航管理シミュレータ展示	JAXA 航空宇宙シンポジウム 2019	2019 年 9 月
8	JAXA	シンポジウム開催	第 2 回 UTM シンポジウム（ドローン運航管理シンポジウム名古屋）	2019 年 9 月
9	JAXA	シンポジウム開催	第 3 回 UTM シンポジウム（ドローン運航管理シンポジウム大阪）	2019 年 9 月
10	JAXA	ポスター展示	ICAO’s Drone Enable/3 Symposium 2019	2019 年 11 月
11	JAXA	シンポジウム開催	第 4 回 UTM シンポジウム	2020 年 2 月

2.2.1.9 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発

（実施者：日本電気株式会社　株式会社日立製作所　株式会社ＮＴＴドコモ　ＫＤＤＩ株式会社　Terra Drone 株式会社　株式会社エヌ・ティ・ティ・データ　国立研究開発法人　情報通信研究機構　国立研究開発法人　海上・港湾・航空技術研究所　国立研究開発法人　宇宙航空研究開発機構）

特許件数・出願リスト（出願済み 2 件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
特願 2020-055777	飛行体の不要な動態情報に起因する処理負荷や通信負荷の増加を抑制しながら、飛行状況及び周辺状況に応じた適切な態様で飛行体の動態情報を登録する。	株式会社日立製作所	動態情報登録システム及び動態情報登録方法	出願	2020 年 3 月 26 日
特願 2022-149226	補正量算出装置、移動体測位システム、補正量算出方法、及び補正量算出プログラム	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所	補正量算出装置、移動体測位システム、補正量算出方法、及び補正量算出プログラム	出願	2022 年 9 月 20 日

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	三浦龍 小野文枝 加川敏規 単麟 松田隆志 児島史秀	NICT	レベル４時代におけるドローンの安全運航のためのワイヤレス技術の研究開発	Society RX 研究会	2021 年 8 月 5 日
2	三浦龍 単麟 松田隆志、 小野文枝 李還幇 松村武	NICT	レベル４時代の安全な空域共有に向けた機体間通信技術の開発	航空医療学会総会	2021 年 11 月 19 日
3	三浦龍	NICT	レベル４時代の安全な目視外運航のための電波技術	EMC 環境フォーラム	2021 年 11 月 24 日
4	三浦龍	NICT	レベル４時代の安全なドローンの目視外飛行に向けた自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発と実証	SICE 九州フォーラム（計測自動制御学会）	2022 年 10 月 7 日
5	三浦龍 松田隆志、	NICT ナシュア	UAV の 920MHz 帯機体間通信システムの開発とその自動追従飛行	第 60 回飛行機シンポジウム（日本航空宇宙学	2022 年 10 月 11 日

	単麟 越川三保 松村武 森英明	ソリューションズ（株）	及び接近回避への応用実験	会）	
6	久保 大輔	JAXA	ポータブル ADS-B による有人航空機の位置情報共有とドローン運航者の状況認識向上	日本航空宇宙学会 第 60 回飛行機シンポジウム	2022 年 10 月
7	久保 大輔	JAXA	Electronic Conspicuity デバイス（ポータブル ADS-B 等）による有人航空機の動態把握技術	日本航空宇宙学会 第 59 回飛行機シンポジウム	2021 年 11 月
8	真道 雅人	JAXA	無人航空機と有人航空機の空域共有における安全性・運航効率評価のためのシミュレータ開発	日本航空宇宙学会 第 59 回飛行機シンポジウム	2021 年 11 月
9	Jorg Entginger	JAXA	Modeling Low Level Flight Patterns of Manned Aircraft from Actual Flight Tracking Data	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology	2021 年 10 月
10	Daisuke Kubo	JAXA	Manned and Unmanned Aircraft Coordination through UTM for Efficient Disaster Relief Operations	ICAO Drone Enable 2021	2021 年 4 月
11	古賀 禎	MPAT	RTF／南相馬における有人機位置探知システムの研究開発について	超異分野学会 福島ロボットテストフィールド開所記念フォーラム 2020	2020 年 11 月
12	古賀 禎	MPAT		新聞掲載記事（福島民報社）	2020 年 11 月
13	古賀 禎	MPAT	学会発表 IEEE ICNS2021（オンライン） Research and Development of a manned aircraft sureillance system for UTM		2021 年 4 月
14	古賀 禎	MPAT	マルチラテレーション技術を用いた有人機の位置探知システムの開発について	第 60 回飛行機シンポジウム	2022 年 10 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	NICT	ドローンの安全・安心を支える無線技術	ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP2021）	2021 年 6 月 2 日～4 日

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	NICT	目視外・見通し外でドローンを運用するための自営型コマンド・テ	計測と制御（計測自動制御学会）	2021 年 4 月 1 日

		レメトリ通信技術の開発		
2	NICT	目視外飛行するドローンをつなぐ無線技術 ―マルチホップから高高度プラットホームまで―	電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ誌 Fundamental Review	2022年1月1日
3	NICT	レベル4時代の安全な目視外運航のための電波技術	月刊EMC	2022年11月号（予定）
4	NICT	ドローン同士の直接通信で編隊飛行、相互の接近を回避 NICTが実証実験に成功 空の安全性向上へ	ロボスタ	2022年4月11日
5	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信による自動飛行に成功	マイナビニュース	2022年4月11日
6	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功	日本経済新聞、ドローンジャーナル	2022年4月11日～12日
7	NICT	ブロードキャスト通信を用い相互の位置を確認、ドローンが自力で衝突回避	電波タイムズ	2022年4月12日
8	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信による自動追従群飛行と自律接近回避に成功	Digital Shift Times	2022年4月12日
9	NICT	NICT、4機のドローンが自律的に「群飛行」「接近回避」する実証に世界初成功	CNET Japan	2022年4月12日
10	NICT	NICT、ドローン4機の群飛行に成功。自ら接近回避も	Excite ニュース	2022年4月13日
11	NICT	NICT、ドローン4機の群飛行に成功。自ら接近回避も	TECHABLE、mixi	2022年4月13日
12	NICT	世界初、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功、多数のドローンが飛び交う時代における運用の効率化と空の安全性の向上へ	PR Times、読売新聞オンライン、RBB Today、Drone Wiki、JAcom、	2022年4月11日～13日
13	NICT	ドローン衝突回避技術、ドローン同士で位置情報交換	日刊工業新聞	2022年4月14日
14	NICT	ドローンが自律編隊飛行、互いに通信衝突回避、NICTがシステム	電気新聞	2022年4月14日
15	NICT	4機のドローンを安全に編隊飛行、NICTが世界初の制御技術	日経クロステック、日経エレクトロニクス	2022年4月14日
16	NICT	ドローン4機の群飛行と自律接近回避に成功 NICTが実証実験、新システム開発	電波新聞	2022年4月14日
17	NICT	ドローン4機の群飛行と自律接近回避に成功 NICTが実証実験、新シ	Taiwan Tech Stage	2022年4月14日

		ステム開発		
18	NICT	ドローン編隊、情報通信研究機構が世界初の制御技術	日本経済新聞	2022 年 4 月 15 日
19	NICT	ドローン同士が直接通信、物流や災害対応など多様な応用が可能に	電経新聞	2022 年 4 月 18 日
20	NICT	ドローン研究最前線	ＢＳフジ　ガリレオＸ（放映）	2022 年 6 月 26 日、7 月 3 日（再放送）

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功　～多数のドローンが飛び交う時代における運用の効率化と空の安全性の向上へ～	NICT	2022 年 4 月 11 日

2.2.1.10 運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発

（実施者：日本電気株式会社　株式会社エヌ・ティ・ティ・データ　株式会社日立製作所　株式会社ウェザーニューズ）

特許件数・出願リスト（出願済み１件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	動態管理に関わる特許	株式会社日立製作所	運航管理システム、運航管理方法及び運航管理プログラム	出願済み	2021/3/23

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	中台慎二	日本電気株式会社	Auction, Auction, Negotiation Negotiation and Auditand Audit	GUTMA Harmonized Skies 2021/ Airspce Fairness	2021/6/11
2	木島憲一	日本電気株式会社	運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発	DRESS 研究成果報告会	2022/5/20
3	木島憲一	日本電気株式会社	ドローン運航管理システムの研究開発	第 60 回飛行機シンポジウム	2022/10/11

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)	Japan Drone 2020	2020/9/29
2	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2020	2020/11/27
3	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)、実証実験動画	Japan Drone 2020	2021/6/14
4	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)、実証実験動画	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2020	2021/11/19

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	複数拠点で接続した運航管理統合機能の実証試験に成功	プレスリリース	2021/5/20

2.2.1.11 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（実施者：株式会社ＳＵＢＡＲＵ　日本無線株式会社　日本アビオニクス株式会社　株式会社ＡＣＳＬ　マゼランシステムズジャパン株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	笹本　貴宏	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	1A03　無人航空機の有人機に対する衝突回避技術の開発	第 58 回飛行機シンポジウム	2020 年 11 月
2	三輪田学	株式会社ＳＵＢＡＲＵ	安全・安心の ための無人航空機の衝突回避技術の研究	安全工学シンポジウム 2021	2021 年 7 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	Japan Drone 2020	2020 年 9 月
2	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2020	2020 年 11 月
3	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	Japan Drone 2021	2021 年 6 月
4	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021	2021 年 11 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、相対速度 200㎞/h での小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功	株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、マゼランシステムズジャパン株式会社、株式会社ＡＣＳＬ	2021 年 11 月

2.2.1.12 空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化

（実施者：株式会社ゼンリン）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	横須賀玲央	スマートシティ推進部	空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化	第 38 回新産業技術促進検討会シンポジウム	2022 年 5 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ドローン用の地理空間情報に関する国際規格が発行	ゼンリン、日本気象協会、三菱総合研究所	2021 年 9 月

2.2.1.13 地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

（実施者：一般財団法人日本気象協会）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	森 康彰	日本気象協会	地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発	JapanDrone2020 NEDO ブース プロジェクト紹介プレゼン	2020 年 9 月
2	森 康彰	日本気象協会	地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発 ～風を味方に、空の安全を実現するドローン気象 API サービスの実装～	NEDO「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」最終成果報告会	2022 年 5 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本気象協会	パネル・動画展示（NEDO ブース内）	Japan Drone2020：パネル展示（NEDO ブース内）	2020 年 9 月
2	日本気象協会	パネル・気象観測機材・動画展示（NEDO ブース内）	Japan Drone2021：パネル展示（NEDO ブース内）	2021 年 6 月
3	日本気象協会	パネル・動画展示（NEDO ブース内）	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021：展示（NEDO ブース内）	2021 年 11 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1.	日本気象協会	DRESS 研究成果報告	日刊工業新聞	2022 年 7 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	日本発の提案、”ドローン用の地理空間情報に関する国際規格”が発行 ～ドローン運航管理システムに係る国際規格として、世界で初めての発行～	日本気象協会（プレスリリース）	2021 年 9 月

2.2.1.14 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業
（実施者：ＫＤＤＩ株式会社　パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	三重県　「空の移動革命実現に向けたシンポジウム」	2021 年 2 月
2	杉田　博司	KDDI 株式会社	ＫＤＤＩスマートドローンの取り組みについて	第四回 UTM シンポジウム	2021 年 2 月
3	清國 将義	パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	点検・警備・物流、３つの実証実験を支えたパーソル P&T の「ドローン導入効果検討サービス」とは？	ドローンの社会実装を見据えた先駆的企業が語る！ 最新ユースケースの事例紹介（警備・点検・物流）と実証実験を支える「ドローン導入効果検討サービス」とは？	2022 年 6 月
4	岡田 健司	パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	ドローン運航管理システムを使ったユースケースの紹介と研究成果報告の活用方法について	自治体のドローン利活用の事例紹介とサービス JIS への期待	2022 年 7 月
5	岡田 健司	パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	ドローンソリューションサービスの紹介	第一回ドローンサミット	2022 年 9 月
6	清國 将義	パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	導入効果検討支援サービスについて	第一回ドローンサミット	2022 年 9 月
7	岡田 健司	パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	パーソル P&T のドローンソリューションサービスのご紹介	CEATEC2022	2022 年 10 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の目的や研究内容	JapanDrone2021	2021 年 6 月
2	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の目的や研究内容	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021	2021 年 11 月
3	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの	Japan Drone2022	2022 年 6

		取り組みについて		月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1.	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	空の産業革命に向けて ドローンが日本の空から届ける新しい未来	日本経済新聞 朝日新聞	2022 年 2 月
2.	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス＆テクノロジー株式会社	「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の目的や研究内容	NEDO Channel - You Tube	2022 年 3 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	KDDI とパーソルプロセス&テクノロジー、ドローンの有人地帯における目視外飛行（レベル 4）の実現を目指す運航管理機能の開発などの実証事業を NEDO から受託	KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2020 年 12 月
2	複数のドローンを管制し、安全な同時飛行を実現する「KDDI スマートドローン」の管制システムを開発	KDDI 株式会社	2021 年 3 月
3	国内最大規模、全国 13 地域で同時に飛行するドローンの運航管理成功に関する記者説明会	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2021 年 11 月
4	ドローンが安全に飛び交う社会の実現を促進させる研究成果を発表 -ビジネスモデルの構築方法と、災害時の有効活用について提言-	パーソルプロセス＆テクノロジー	2022 年 2 月
5	NEDODRESS ドローン社会実装に向けた地域実証成果発表会	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2022 年 2 月
6	KDDI と JAL、ドローンの社会インフラ化に向け、1 対多運航の実現を目指す取り組みを開始	KDDI 株式会社 日本航空株式会社	2022 年 8 月

2.2.2.1 電波・光波センサ統合技術の開発

（実施者：日本無線株式会社　株式会社 SUBARU　日本アビオニクス株式会社　株式会社自律制御システム研究所）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	平木 直哉	日本無線株式会社	講演タイトル「電波・光波センサ統合技術の開発」	Japan Drone 2018	2018 年 3 月
2	平木 直哉	日本無線株式会社	講演タイトル「電波・光波センサ統合技術の開発」	Japan Drone 2019	2019 年 3 月
3	平木 直哉	日本無線株式会社	講演タイトル「無人航空機搭載レーダについて」	シンポジウム「信越情報懇談会電波利用委員会」	2019 年 5 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本無線株式会社、株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所	電波・光波センサ統合技術の開発成果	Japan Drone 2018	2018 年 3 月
2	日本無線株式会社、株式会社ＳＵＢＡＲＵ、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所	電波・光波センサ統合技術の開発成果 ・展示パネル ・電波･光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター	Japan Drone 2019	2019 年 3 月

2.2.2.2 正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発

（実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社）

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	マゼランシステムズジャパン株式会社	正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発	Japan Drone 2018	2018 年 3 月
2	マゼランシステムズジャパン株式会社	自動運転を支える高精度測位	イノベーション・ジャパン 2018	2018 年 8 月
3	マゼランシステムズジャパン株式会社	・準天頂衛星対応多周波マルチ GNSS 受信機 ・多周波対応アンテナ	Location Business Japan2019	2019 年 6 月

2.2.2.4 衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発

（実施者：日本無線株式会社　日本アビオニクス株式会社　株式会社自律制御システム研究所）

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ	無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 (2)無人航空機の衝突回避技術の開発 3)衝突回避システムの小型化・低消費電力化	Japan Drone 2020	2020年9月
2	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ	無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 (2)無人航空機の衝突回避技術の開発 3)衝突回避システムの小型化・低消費電力化	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2020	2020年11月
3	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ	無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 (2)無人航空機の衝突回避技術の開発 3)衝突回避システムの小型化・低消費電力化	Japan Drone 2021	2021年6月
4	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ＡＣＳＬ	無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 (2)無人航空機の衝突回避技術の開発 3)衝突回避システムの小型化・低消費電力化	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2021	2021年11月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	NEDOの公募による“ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト”採択に関するお知らせ	日本アビオニクス	2020年8月
2	「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」に採択されました	日本無線株式会社	2020年8月
3	「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」採択に関するお知らせ	株式会社ＡＣＳＬ	2020年8月

2.2.2.5 準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発
（実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	岸本信弘	マゼランシステムズジャパン株式会社	The Progress Report for the 3rd Gen. Module & Digital ASIC	国際ドローン展　特別講演	2021 年 11 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	G 空間 EXPO2021	2021 年 12 月
2	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	衛星測位・位置情報展（SATEX）2022	2022 年 2 月
3	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	東京メトロ展示会	2022 年 4 月
4	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	JapanDrone2022	2022 年 6 月
5	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル、モックアップ	国際フロンティアメッセ 2022	2022 年 9 月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	マゼランシステムズジャパン株式会社	連載：電子の統合商社 明光電子の製品紹介③ 準天頂衛星システムによる誤差数センチ以内の測位精度を実現！ 多周波マルチ GNSS 測位モジュール	TRON&IoT 技術情報マガジン「TRONWARE VOL.196」（2022 年 8 月号）	2022 年 8 月

2.3.2 デファクトスタンダード

（実施者：株式会社日刊工業新聞社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人神戸大学、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構、学校法人玉川学園玉川大学）

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	横小路, 横井		World Robot Summit 製品組立チャレンジ	計測と制御, Vol.56,		2017
2	横小路, 河井, 柴田, 相山, 琴坂, 植村, 野田, 土橋, 阪口, 横井		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		採録予定
3	横小路 泰義, 河井 良浩, 柴田 瑞穂, 相山 康道, 琴坂 信哉, 植村 渉, 野田 哲男, 土橋 宏規, 阪口 健, 横井 一仁		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技 「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
4	Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi and Kazuhito Yokoi		Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit? summary of the pre-competition in 2018	dvanced Robotics		2019
5	横小路 泰義, 野田 哲男		205X 年の日本のある製造現場の風景	ステム制御情報学会会誌　システム/制御/情報		2019
6	野田 哲男		ロボットシステムインテグレーションのレベル分類と WRS における安全確保の取組み	機械設計		2020
7	Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, Yasuyoshi Yokokohji		enchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly Systems″	EEE Robotics and Automation Letters		2020
8	Mizuho Shibata, Hiroki Dobashi, Wataru Uemura, Shinya Kotosaka, Yasumichi Aiyama, Takeshi Sakaguchi, Yoshihiro Kawai, Akio Noda, Kazuhito Yokoi &		Task-board task for assembling a belt drive unit,	Advanced Robotics		2020

	Yasuyoshi Yokokohji					
9	岡田 浩之、稲邑 哲也、和田 一義		World Robot Summit サービスカテゴリーは何を競ったのか”	日本ロボット学会誌、37巻、3号		
10	Jesus Savage, David A.Rosenblueth ,Mauricio Matamoros, Marco Negrete, Luis Contreras, Julio Cruz, Reynaldo Martell, Hugo Estrada, Hiroyuki Okada		Semantic reasoning in service robots using expert systems	Robotics and Autonomous Systems,Volume 114,		2019
11	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura,Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Hiroki Igarashi,Yoshikazu Ohtsubo,Noritaka Sato,Masaru Shimizu, Soichiro Suzuki, Tomoichi Takahashi, Shin'ichiro Nakaoka, Mika Murata, Mitsuru Takahashi, Yumi Morita and Elena Mary Rooney,		The World Robot Summit Disaster Robotics Category - Achievements of the 2018 Preliminary Competition,	Advanced Robotics,		2019
12	横小路泰義, 河井良浩, 柴田瑞穂, 相山康道, 琴坂信哉, 植村渉, 野田哲男, 土橋宏規, 阪口 健, 前田雄介, 横井一仁		world Robot Summit 2020 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	第64回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
13	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		ベルトドライブユニット組立のためのタスクボードの開発	第64回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
14	西村和樹, 土橋宏規		平行グリッパによる個体差に依存しない自動組付けの実現に向けたタイミングベルトの形状測定	第64回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
15	野田哲男		産業用ロボットの新しい価値基準の創生	第64回システム制御情報学会研究発表講演会論文集		2020
16	K. Tatemura and H. Dobashi: Strategy for Roller Chain Assembly with Parallel Jaw		The 2020 IEEE International Conference on Robotics and	ICRA 2020		2020

	Gripper		Automation			
17	野田哲男，相山康道，河井良浩		World Robot Summit(WRS)における安全に関する取り組み，システム／制御／情報	システム制御情報学会誌		2020
18	野田哲男		日本機械学会，機械工学年鑑 17.3 産業分野	日本機械学会		2020
19	柴田瑞穂，土橋宏規，植村渉，横小路泰義		RS2018 競技用タスクボードを用いた複数ロボットアームによる組立作業の分析	システム制御情報学会論文誌，Vol.34		2021
20	村川涼，土橋宏規		丸ベルトのプーリへの組付作業における難度要素の検討，第 22 回計測 自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	（SI2021）講演論文集		2021
21	Yuka Kanaya and Hiroki Dobashi		Case Study on a Grasping Strategy of a Cylindrical Part along Inner Sides of a Parts Tray Using a Parallel Stick Fingered Hand	roc. of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022		2022
22	K. Nishimura and H. Dobashi		Robust assembly strategy of a timing belt in the belt drive unit against its shape uncertainty with a single parallel jaw gripper,	Advanced Robotics,		2022
23	横小路泰義，ものづくり競技委員会(産総研ほか)：		WRS2020 ものづくり競技の総括	第 22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
24	野田哲男，ものづくり競技委員会(産総研ほか)		WRS2020 ものづくり競技における安全衛生ルールは何をもたらしたか？，	22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグ		2021

				レーション部門講演会論文集		
25	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		World Robot Summit 2020 ものづくりカテゴリー「タスクボード競技」の競技結果および分析,	第 22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
26	琴坂信哉		国際ロボット競技会開催！	埼玉新聞		2021
27	琴坂信哉		特別寄稿　World Robot Summit 2020 製品組み立てチャレンジを終えて	FA ロボットシステムインテグレータ協会会報誌【JARSIA】		2022
28	Luis Contreras, Yosuke Matsusaka, Takashi Yamamoto, Hiroyuki Okada,		sDSPL – Towards a benchmark for general-purpose task evaluation in domestic service robots	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
29	Yosuke Matsusaka, Luis Contreras, Hiroyuki Okada, Yuka Iwanaga, Takashi Yamamoto,		公平性と民主性を両立させた RoboCup 用競技シミュレーションシステムの開発	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
30	Arata Sakamaki, Luis Contreras, Yumiko Muto, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		ホームサービスロボットによる物体認識のためのアクティブセンシング戦略	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
31	Leo Miura, Yumiko Muto, Luis Contreras, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		パーソナルモビリティを活用した人とロボットの協調	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
32	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium		2021

			filter			

学会発表・シンポジウム講演等リスト

番号	発表者	所属	タイトル	学会・シンポジウム名称	発表年月
1	岡田、横小路、田所		2020 年 World Robot Summit は何を競うのか？	日本ロボット学会学術講演会(RSJ2017) オープンフォーラム OF3, 東洋大学 川越キャンパス	2017
2	横小路他		World Robot Summit 製品組立チャレンジの競技デザイン	第 18 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017), 1D1-02, 仙台国際センター	2017
3	横小路		World Robot Summit ものづくり分野では何を競うのか？	龍谷大学セミナーハウス ともいき荘	2018
4	江口, 岡田		If You Give Students a Social Robot - World Robot Summit Pilot Study :	HRI 2018, McCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
5	TAN, 水地, 萩原, 稲邑		Representation of Embodied Collaborative Behaviors of Embodied Collaborative Behaviors in Cyber-Physical Human-Robot Interaction with Immersive User Interfaces	HRI 2018, MacCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
6	田所, 横小路, 木村, 河井, 和田		World Robot Summit について	第 23 回ロボティクスシンポジア (ONS1), 静岡県焼津市松風閣	2018
7	岡田, 田所, 横小路		2020 年 World Robot Summit は何を競うのか？	第 36 回 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018) オープンフォーラム OF1, 中部大学 春日井キャンパス	2018
8	岡田		World Robot Summit パートナーロボットチャレンジで何を競うのか？」	第 36 回 日本ロボット学会学術講演会 RSJ2018	2018
9	Luis Contreras, Hiroki Yokoyama, Hiroyuki Okada,		Multimodal feedback for active robot-object interaction”	arXiv preprint arXiv	2018
10	岡田		「ロボットと暮らす未来の社会」	WRS2018 フォーラム	2018
11	横小路		横小路	第 19 回 計測自動制御学会 システ	2018

				ムインテグレーション部門講演会(SI2018) 1D1-01, 大阪工業大学 梅田キャンパス	
12	野田		WRS ものづくり競技 2018 のルール策定の背景について	第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2018) 1D1-09, 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
13	横小路, 野田		WRS(World Robot Summit)ものづくり競技ランチョンセミナー	第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2018), 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
14	横小路		World Robotics Summit (WRS) 2018 製品組み立てチャレンジの結果と WRS2020 へ向けての課題	計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 マニピュレーション部会 マニピュレーション冬の学校, 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
15	横小路		WRS ものづくりカテゴリーでは何を競うのか？－競技会を通しての次世代生産システムの開発促進－	第 173 回 産学交流サロン「ひびきのサロン」, 北九州学術研究都市 学術情報センター	2019
16	横小路		コンペティションによる次世代生産システムの開発促進と人材育成 ～World Robot Challenge 2018 ものづくりカテゴリーを例として～	第 12 回 製造・物流等分野ロボット導入実証ワーキンググループ, あいちロボット産業クラスター推進協議会, 安保ホール	2019
17	琴坂、野田		World Robot Challenge 2018 の成果及びコンペティションを活かした人材育成・技術力向上について	第 12 回 製造・物流等分野ロボット導入実証ワーキンググループ, あいちロボット産業クラスター推進協議会, 安保ホール	2019
18	横小路 泰義,田所 諭,岡田 浩之		020 年 World Robot Summit は何を競うのか？,RSJ2019 オープンフォーラム	早稲田大学	2019
19	河井 良浩		ロボットの知能化に向けた産総研の取り組みについて, 中国地域産総研技術セミナー	山口	2019

20	Yasuyoshi Yokokohji:		World Robot Summit (WRS) Assembly Challenge - Results of WRS 2018 and Outlook for WRS 2020	IROS 2019 Work Shop: autonomous assembly	2019
21	野田 哲男		WRS における安全確保の取り組みと協働ロボットの安全設計例,	2019 国際ロボット展併催セミナー 協調安全 Safety2.0 が拓く生産革新と協調安全ロボットのシステム構築術	2019
22	植村 渉		工場におけるオートメーション化を目指したロボット競技大会の紹介 RoboCup Industrial と World Robot Summit-ものづくりカテゴリー・製品組立チャレンジの現状とこれから,インフラメンテナンスにおけるロボット活用シンポジウム	土木学会技　　術推進機構インフラマネジメント新技術適用推進委員会	2020
23	鈴木 壮一郎、大金 一二、奥川 雅之、大坪 義一、木村 哲也、田所 諭		狭隘空間を想定した災害対応ロボット用 STM 競技タスクの開発 -World Robot Summit インフラ災害・対応カテゴリープレ大会の事例報告-	第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC1G1-06, 2019 ・大金 一二、“「WRS インフラ・災害対応カテゴリー競技では何を競い、何を計るのか？” レスキュー工学シンポジウム	2019
24	村川涼, 土橋宏規		ゴムベルトの組付け作業の難度評価方法	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
25	金谷由佳, 土橋宏規		平行スティック指汎用ハンドによる仕切りに接した円柱部品把持のための操作戦略	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
26	横小路 泰義		[講演] World Robot Summit「製品組立チャレンジ」～ロボット競技会を通じての次世代生産システム開発の促進～	本機械学会中国四国支部技術フォーラム 2020 ものづくり産業のためのロボット技術～これから先, 何が可能で何が必要か～	2020
27	本佳典、永野光、田崎勇一、横小路泰義		組立作業の直接教示と再生に適したマクロ・マイクロロボットの運動学シミュレーション環境の構築,	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
28	吉田知正、永野光、		ロボットによる精密組立の事前	第 21 回計測自動制御	2020

	田崎勇一、横小路泰義		検証のための シミュレーション手法に関する研究	学会システムインテグレーション部門講演会, 1G1-16, 福岡	
29	K. Tatemura and H. Dobashi		Study on Generality of Roller Chain Assembly Strategy with Parallel Jaw Gripper, Proc	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021)	2021
30	M. Fukunishi, H. Dobashi and Y. Yokokohji:		Optimal Design of Rotational Chuck-type Hand with Three Parallel Stick Fingers for Assembly Tasks through Grasp Optimization	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021),	2021
31	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge	2021
32	Kenichi Ohara		Stock and Disposal Task	, Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
33	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task	orkshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
34	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
35	Daisuke Yamamoto,		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.”, Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
36	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
37	Gustavo Garcia		Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
38	Tsuyoshi Tasaki,		Champion’s Challenge for Future Convenience Store Robots”, Workshop on Future Convenience Store Challenge,	IEEE/SICE SII	2021
39	Gakushi Maruyama,		Introduction of Intelligent	Workshop on Future	2021

			Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching	Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	
40	Masashi Seki,		Team TAK's approach to the WRS FCSC"	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
41	鈴木 壮一郎, 木村 哲也,		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ," 計測自動制御学会第 21 回システムインテグレーション部門講演会	SI2020	2020
42	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki,		esults of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk,	2021
43	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium,	2021
44	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
45	Kenichi Ohara,		Stock and Disposal Task", Workshop on Future Convenience Store Challenge, I	EEE/SICE SII	2021
46	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task"	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
47	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task"	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE	2021

				SII	
48	Daisuke Yamamoto		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.”, Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
49	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
50	Gustavo Garcia,		“Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
51	Tsuyoshi Tasaki,		“Champion’s Challenge for Future Convenience Store Robots	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
52	Gakushi Maruyama		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching -	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
53	Masashi Seki,		Team TAK’s approach to the WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
54	鈴木 壮一郎, 木村 哲也		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot. Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ	計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会（SI2020	2020
55	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru. Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki, Tomoichi. Takahashi		Results of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk	2021

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月

1	日刊工	WRS 競技広報	ロボカップジュニア・ジャパンオープン 2019 和歌山	2019.4.28~29
2	日刊工	WRS 競技広報	ICRA モントリオール	2019.5.20~24
3	日刊工	WRS 競技広報	スマートファクトリーJapan 2019	2019.6.5~7
4	日刊工	WRS 競技広報	RoboCup2019 世界大会（シドニー、オーストラリア）	2019.7.2~8
5	日刊工	WRS 競技広報	中小企業　新ものづくり・新サービス展　大阪	2019.11.6~8
6	日刊工	WRS 競技広報	中小企業　新ものづくり・新サービス展　東京	2019.12.4~6
7	日刊工	WRS 競技広報	2019 国際ロボット展	2019.12.18~21
8	日刊工	WRS 競技広報	ひろしま AI・IoT 進化型ロボット展示会	2020.12.10~11
9	日刊工	WRS 競技広報	ロボテス EXPO 2021	2021.3.18~19
10	日刊工	WRS 成果報告	ロボカップアジアパシフィック 2021 あいち	2021.11.25~28
11	日刊工	WRS 成果報告	スマートファクトリーJapan 2021	2021.12.1~3
12	日刊工	WRS 成果報告	2022 国際ロボット展	2022.3.9~12
13	日刊工	WRS 成果報告	ロボテス EXPO 2022	2022.9.15~16
14	日刊工	WRS 成果報告	Japan Robot Week 2022	2022.10.19~21
15	日刊工	WRS 成果報告	IROS 京都	2022.10.24~26
16	日刊工	WRS 成果報告	高校生ロボットシステムインテグレーション競技会	2022.12.10~11
17	日刊工	WRS 成果報告	防災産業展 2023	2023.2.1~3(予定)

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	日刊工	各種掲載	日刊工業新聞　掲載期間　記事多数につき一部 PU	2016.1018~2022.1116
2		ワールドロボットサミット、来年プレ大会－ロボ人材の裾野拡大に好機	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.0104
3		ワールド・ロボット・サミット、経産省とＮＥＤＯが概要公表－ものづくりなど４競技	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.04.11
4		ロボットの未来（上）カーネギーメロン大学ワイタカー記念全学教授・金出武雄氏	日刊工業新聞 ピックアップ	2017.09.08
5		経産省とＮＥＤＯ、ワールド・ロボット・サミットの競技者募集を開始	日刊工業新聞 ピックアップ	2018.01.24
6		ＷＲＳきょう開幕　ロボの現在・未来を発信	日刊工業新聞 ピックアップ	2018.10.17
7		ＷＲＳ、来年開催へ準備着々	日刊工業新聞 ピックアップ	2019.07.30

8		ＷＲＳ２０２０、アンバサダーに俳優のディーン・フジオカ氏	日刊工業新聞ピックアップ	2020.02.13
9		新型コロナ／「ＷＲＳ２０２０」延期　コロナ影響、チーム集結難しく	日刊工業新聞ピックアップ	2020.04.20
10		ＷＲＳ、愛知・福島で今秋開催　経産省・ＮＥＤＯ	日刊工業新聞ピックアップ	2021.07.19
11		経産省など、ＷＲＳサイト開設　ロボ競技をライブ配信	日刊工業新聞ピックアップ	2021.09.02
12		ＷＲＳ２０２０、きょう開幕　ロボ競技に多様なシーン	日刊工業新聞ピックアップ	2021.09.09
13		ＷＲＳ福島大会、きょう開幕　「工場守れ」ロボ活躍	日刊工業新聞ピックアップ	2021.10.08
14		ＷＲＳアイデアコンテスト、山形大発ＶＢと愛知工業大を表彰	日刊工業新聞ピックアップ	2022.03.15

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ＷＲＳ２０１８開催について	経済産業省	2018.9
2	ＷＲＳについて	経済産業省	2019.6
3	ＷＲＳアンバサダーにディーンフジオカさんが就任します	経済産業省	2020.2
4	ＷＲＳ２０２０の開催を延期します	経済産業省	2020.4
5	ＷＲＳ２０２０を開催します	経済産業省	2021.7

２．分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

資料5

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」（終了時評価）

2017年度～2022年度　6年間

プロジェクトの概要（公開版）

2023年12月

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

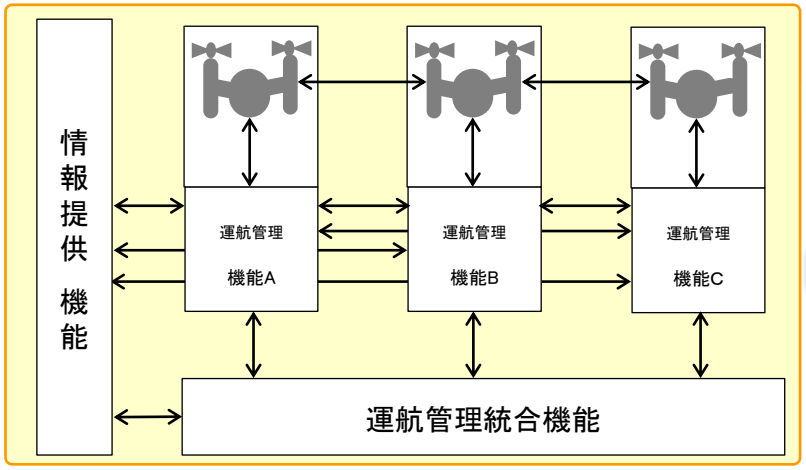
ロボット・AI部

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」全体概要

プロジェクト概要（2017-2022：6年間）

■小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野等において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている。

■本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施する。



無人航空機の運航管理システムのイメージ

①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発

(1)性能評価基準等の研究開発（2016-2017）＋（2018-2019）+（2020-2021）
※2022まで一部延長

各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。

(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発（2017-2019）

各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。

(3)無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発（2020-2021）

各種ロボットの安全で長時間の飛行を可能とするエネルギーマネジメント等の周辺システムの研究開発を実施する。

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

(1)無人航空機の運航管理システムの開発（ 2017-2019 ）＋（2019-2021）

本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを

(2)無人航空機の衝突回避技術の開発（ 2017-2019 ）＋（2020-2021）

無人航空機が地上及び空中の物体等を検知し、即時に当該物体等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。

③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進

(1)デジュール・スタンダード（ 2017-2021）※2022まで延長

標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。

(2)デファクト・スタンダード（ 2017-2020 ）※2022まで一部延長

技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボットについては、世界の最新技術動向を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する手法を推進する。

④空飛ぶクルマの先導調査研究（2021）

空飛ぶクルマを活用した社会の実現に向け離着陸時等の安全性と効率性を実現する運航技術の開発及び落下時の安全システム等の開発に向け、先導調査研究を行う。

プロジェクト推進体制

経済産業省

NEDO ロボット・AI部

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発
(1)性能評価基準等の研究開発
(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発
(3)無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
(1)無人航空機の運航管理システムの開発
(2)無人航空機の衝突回避技術の開発

③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
(1)デジュール・スタンダード



③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
(2)デファクト・スタンダード

WRS World Robot Summit

④空飛ぶクルマの先導調査研究



World Robot Summit①

社会的背景



写真:首相官邸ホームページより

- 2014年5月、安倍総理が「2020年には世界中のロボットを集めた、ロボットの技能を競うロボットのオリンピックを目指していきたい」と発言。
- その後、「日本再興戦略」(2014年6月)、及び「ロボット新戦略」(2015年2月日本経済再生本部決定)に盛り込まれた。

■ 「日本再興戦略」改定(2014)

3.(3)iii) ロボットによる新たな産業革命の実現 (抜粋)

「2020年ｵﾘﾝﾋﾟｯｸ・ﾊﾟﾗﾘﾝﾋﾟｯｸ東京大会等に合せたﾛﾎﾞｯﾄｵﾘﾝﾋﾟｯｸ(仮称)の開催を視野に入れるなど、ﾛﾎﾞｯﾄｽｰﾂや災害対応ﾛﾎﾞｯﾄをはじめとした様々な分野のﾛﾎﾞｯﾄやﾕﾆﾊﾞｰｻﾙﾃﾞｻﾞｲﾝなどの日本の最先端技術を世界に発信する。」

■ 「ロボット新戦略」(2015)

第2部 第1章 第8節ロボットオリンピック(仮称)の検討(抜粋)

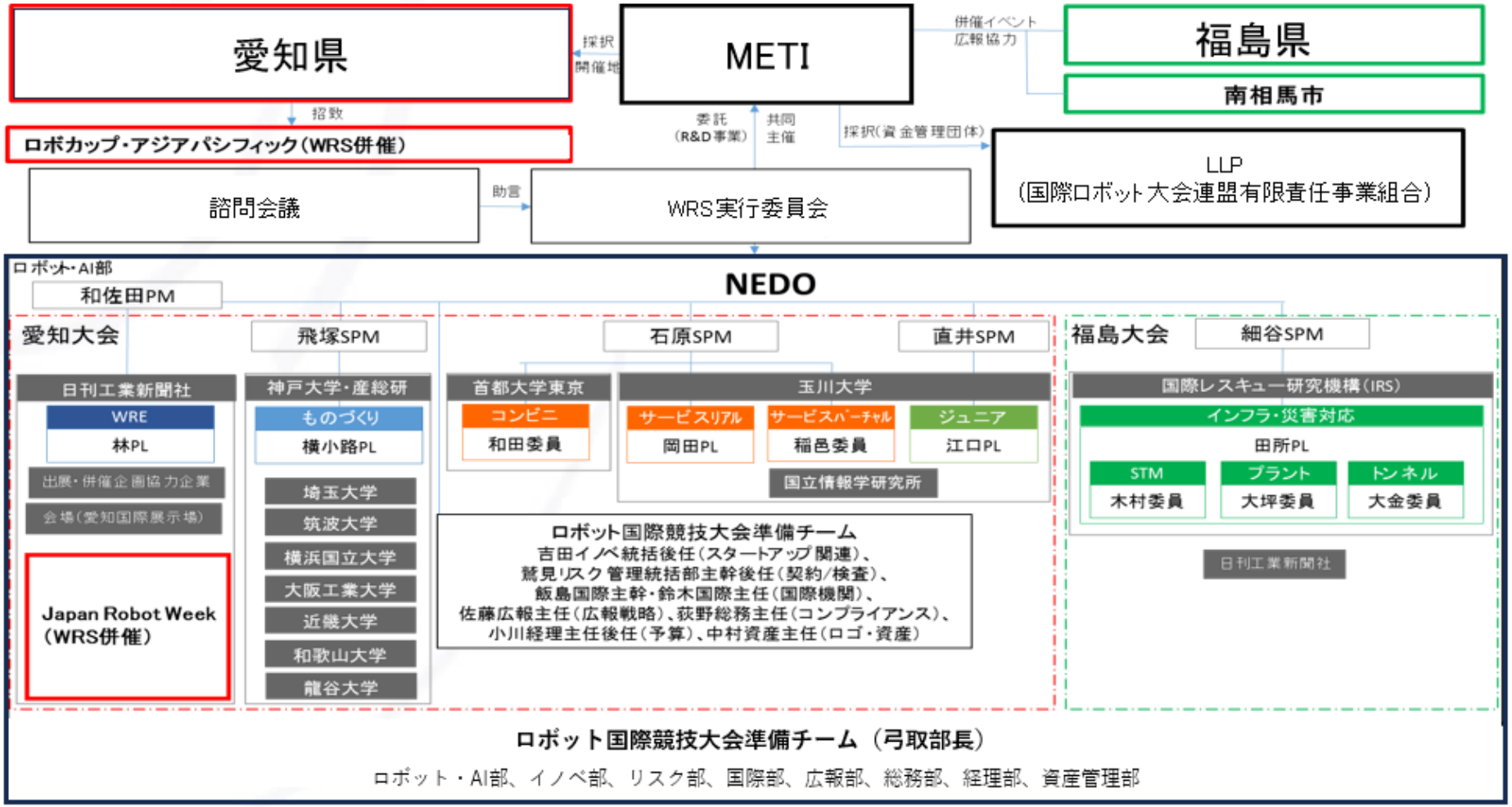
「ロボットの研究開発を加速し、実社会への導入・普及を図る、すなわち社会実装を進める一つの方法として、様々なロボットを対象とした競技会や実証実験、ﾃﾞﾓﾝｽﾄﾚｰｼｮﾝ、すなわちロボットオリンピック(仮称)を実施する。」

事業の目的

デファクト・スタンダードの取組において、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるために海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ること、を念頭に競争の場(大会:World Robot Summit)を設定する。

World Robot Summit②

◆ 実施体制 （2021年10月時点の体制）



後援：総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省

協力団体：IROS、日本ロボット学会、人工知能学会、日本機械学会、日本計測学会、RoboCup

World Robot Summit③

◆ アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果（実績） （2023年11月）	達成度	達成の根拠／解決方針
研究開発項目③ 「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」 （2）デファクトスタンダード	・福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。 また、World Robot Summit の継続的な実施に向けた取組や検討を行う。	・コロナ禍中に、独自の感染症対策を行い、当初予定より1年遅れの2021年に「World Robot Summit」の開催。継続的な実施にむけた課題の整理も実施。	○	・新型コロナ禍でも対応できるリアルとリモートのハイブリッド協議会・展示会を実施。海外ロボット関係者から次回開催が切望され、デファクトスタンダードとしての地位を獲得。

WRS 2020



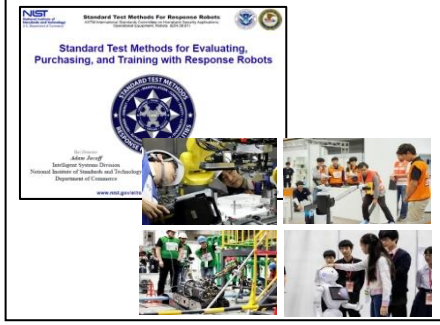








◆ 波及効果・副次的効果



◆ 災害対応ロボット分野で有力な、米国NIST（国立標準技術研究所）との連携を競技設計段階から進めた。
国際的な標準化団体であるASTMでの規格化への道筋を立て、
E54委員会（Homeland Security Applications） のロボット小委員会での検討が開始されている状況。

◆ WRS開催を通じて、国内で研究開発、社会実装を推し進める競技内容の設計・競技会を運営するノウハウの蓄積が進み、関連人材育成が順調に進行

◆次期WRSの2025年開催に向け、経産省の取組や、一部民間主導での継続開催の準備が進められている状況

空飛ぶクルマ　先導調査研究①

④ 空飛ぶクルマの先導調査研究（関連次期プロジェクトの立ち上げに必要な情報の整理）

調査研究項目詳細

空飛ぶクルマの発展段階の整理（シナリオ作成）を行い、2025年頃までの飛行に向けた実証のための課題整理、実証計画の作成、2025年以降の自動・自律飛行、高密度運航の実現に向けた要素技術の抽出と具体的な検証項目、ルール動向の調査、整理を実施

①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査

空飛ぶクルマの先行実証事例について、NASA AAM National Campaign（米）、Re.Invent Air Mobility（仏）、UAM initiative（欧）など複数の海外動向を調査し、日本での実証計画及び段階的シナリオを策定

②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査

空飛ぶクルマの社会実装に向けた具体的な実証地やオペレーション体制、事業モデルについて調査・検討

③空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査

空飛ぶクルマの将来的な社会実装に向けて必要となる要素技術を調査・適用可能性等の技術検証

④空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査

空飛ぶクルマに関する最新の国際的な制度や海外制度、国際的標準化の動向の調査、整理

◆ アウトプット目標の達成状況

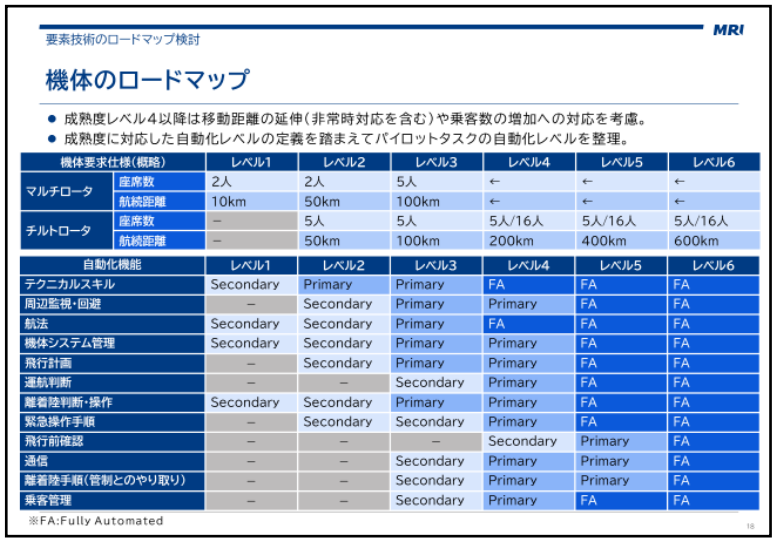
研究開発項目	目標 （2022年３月）	成果（実績）	達成度	達成の根拠／解決方針
研究開発項目④ 「空飛ぶクルマの先導調査研究」	・空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025 年までの実証計画、及び2025年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。	・空飛ぶクルマの発展シナリオ（成熟度レベル）やそれに向けた技術ロードマップなどを策定。 ・前提となる制度・標準化動向も整理。 ・初期の飛行に必要な実証コンセプト、発展段階での技術検証項目を整理し、次期プロジェクトの公募、基本計画等に反映を行った。	○	・先導調査研究として求められる成果を達成し、新規プロジェクト立ち上げに貢献。 ・また副次的効果として、業界の発展を促進する、ロードマップ等を策定。

空飛ぶクルマ　先導調査研究②

成熟度レベルの策定



技術ロードマップの策定



機体要求仕様（概略）		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
マルチロータ	座席数	2人	2人	5人	←	←	←
	航続距離	10km	50km	100km	←	←	←
チルトロータ	座席数	–	5人	5人	5人/16人	5人/16人	5人/16人
	航続距離	–	50km	100km	200km	400km	600km

自動化機能	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
テクニカルスキル	Secondary	Primary	Primary	FA	FA	FA
周辺監視・回避	–	Secondary	Primary	Primary	FA	FA
航法	Secondary	Secondary	Primary	FA	FA	FA
機体システム管理	Secondary	Secondary	Primary	Primary	FA	FA
飛行計画	–	Secondary	Primary	Primary	FA	FA
運航判断	–	–	Secondary	Primary	FA	FA
離着陸判断・操作	Secondary	Secondary	Primary	Primary	FA	FA
緊急操作手順	–	Secondary	Secondary	Primary	FA	FA
飛行前確認	–	–	–	Secondary	Primary	FA
通信	–	–	Secondary	Primary	Primary	FA
離着陸手順（管制とのやり取り）	–	–	Secondary	Primary	Primary	FA
乗客管理	–	–	Secondary	Primary	FA	FA

※FA:Fully Automated

- ◆ 国内主要関係者を巻き込みながら策定。技術成熟度の共通認識作り。
- ◆ 次世代空モビリティの社会実装にむけた実現プロジェクトの開発目標作りに貢献。
- ◆ 広く参照できるように委託成果報告書としてとりまとめ、関係者の研究開発ターゲットの見える化。

評価対象

経済産業省

NEDO ロボット・AI部

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発
(1)性能評価基準等の研究開発
(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発
(3)無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
(1)無人航空機の運航管理システムの開発
(2)無人航空機の衝突回避技術の開発

③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
(1)デジュール・スタンダード



③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
(2)デファクト・スタンダード

World Robot Summit

④空飛ぶクルマの先導調査研究



本日主にご評価頂きたい項目

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム（社会実装）達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

- □ 事業の背景・目的・将来像
- □ 政策・施策における位置づけ
- □ 技術戦略上の位置づけ
- □ 国内外の動向と比較
- □ 他事業との関係
- ■ アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- ■ 知的財産・標準化戦略
- ■ 知的財産管理

2. 目標及び達成状況（概要）

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

- ■ アウトカム目標の設定及び根拠
- ■ 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み
- □ 費用対効果
- ■ アウトプット（研究開発成果）のイメージ
- ■ アウトプット目標の設定及び根拠
- ■ アウトプット目標の達成状況
- ■ 副次的成果及び波及効果
- ■ 特許出願及び論文発表

3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

（※）評価対象外

- ■ NEDOが実施する意義
- ■ 実施体制
- ■ 個別事業の採択プロセス
- □ 受益者負担
- ■ アウトプット（研究開発成果）のイメージ（再掲）
- ■ 目標達成に必要な要素技術
- ■ 研究開発のスケジュール
- ■ 進捗管理
- ■ 進捗管理：中間評価結果への対応
- ■ 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- ■ 進捗管理：開発促進財源投入実績
- ■ モティベーションを高める仕組み（該当事業のみ）

2. 目標及び達成状況（詳細）※

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

□（塗りつぶしなし）評価対象外

＜評価項目１＞意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

（※）本事業の位置づけ・意義　＊終了時評価においては対象外

（1）アウトカム（社会実装）達成までの道筋

（2）知的財産・標準化戦略

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
   （※）本事業の位置づけ・意義
   (1)アウトカム（社会実装）達成までの道筋
   (2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況
   (1)アウトカム目標と達成見込み
   (2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント
   (1)実施体制
   (※)受益者負担の考え方
   (2)研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）※
   (1)アウトカム目標と達成見込み
   (2)アウトプット目標と達成状況

- □ 事業の背景・目的・将来像
- □ 政策・施策における位置づけ
- □ 技術戦略上の位置づけ
- □ 国内外の動向と比較
- □ 他事業との関係
- ■ アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- ■ 知的財産・標準化戦略
- ■ 知的財産管理

事業の背景・目的・将来像

◆事業の将来像

多くの物流無人航空機が都市部で飛行できる社会



出所：株式会社ゼンリン提供

有人ヘリコプター等と「同一空域」で安全に飛行できる社会



出所：株式会社SUBARU提供

事業の背景・目的・将来像

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

製造産業局 産業機械課
03-3501-1691

令和３年度予算額 40.0億円（40.0億円）

事業の内容

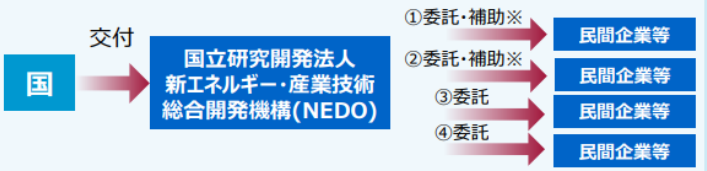
事業目的・概要

- 物流やインフラ点検分野等の省エネルギー化の実現に向けて、小口輸送や点検作業を行うロボット・ドローンの活躍が期待されています。
- そのため本事業では、物流やインフラ点検等の分野で活用できるロボット・ドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、分野に応じて求められる機体性能の評価手法や運航管理と衝突回避の技術開発を行います。
- 開発されたロボット・ドローン技術やシステムの今後の国際標準化に向けた取組を併せて実施することで、世界の省エネに貢献するとともに、我が国発の省エネ製品・システムの市場創造・拡大を実現します。
- また、ドローンが大型化し人が乗ることが可能ないわゆる“空飛ぶクルマ”を活用した社会の実現に向け、離着陸時等の安全性と効率性を実現する運航技術の開発及び落下時の安全システム等の開発に向け、先導調査研究を行います。

成果目標

- 2022年（令和4年）の有人地帯での目視外飛行（レベル4）の実現を目指し、令和３年度は、福島ロボットテストフィールド等を活用した実証等を行い、ロボットやドローンの社会実装に向けた事業環境整備や国際標準の獲得を推進します。（事業期間：平成29年度～令和3年度）

条件（対象者、対象行為、補助率等）



※大企業1/2補助、中小企業2/3補助

事業イメージ

（１）性能評価基準等の開発

- 物流やインフラ点検等の各分野の特性に応じた機体の性能やセキュリティ対策を評価する手法や、その基準を満たすためのドローンの省エネルギー技術等の開発を行います。

（２）運航管理と衝突回避の技術開発

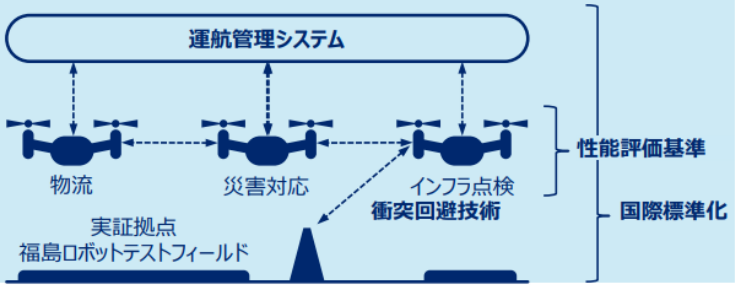
- 同じ空域を飛行する多数のドローンの運航を管理するシステムの社会実装に向けた開発・実証、飛行する機体を遠隔から識別・把握するための技術、他の機体や地上の建物等との衝突を回避する技術等の開発を行います。

（３）国際標準化の推進

- 上記開発成果の海外発信を進め、今後の国際標準化活動につなげます。
- 技術開発スピードが速く、デファクトスタンダード獲得が鍵を握るロボットについては、世界の最新技術を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する仕掛けを構築します（World Robot Summit等）。

（４）空飛ぶクルマの先導調査研究

- 離着陸時等の安全性と効率性を実現する運航技術の開発及び落下時の安全システム等の開発に向け、先導調査研究を行います。



政策・施策における位置づけ

■ 経済産業省　施策名　6-2　新エネルギー・省エネルギー
・施策の概要：新エネルギー・省エネルギーの推進
・達成すべき目標：徹底した省エネの更なる追及、蓄電池等の分散型エネルギーリソースの有効活用など二次エネルギー構造の高度化、水素社会の実現、再エネの主力電源化を徹底し、再エネに最優先の原則で取り組む、カーボンニュートラルに向けた米欧等先進国との間での連携・協力及びアジアの現実的なエネルギートランジションに向けた支援
・目標設定の考え方・根拠：第6次エネルギー基本計画（令和3年10月閣議決定）
・達成手段17：ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト
・測定指標7：最終エネルギー消費量＜運輸部門＞（原油換算百万kl）：目標値　60百万kl（2030年度）
省エネルギーについては、長期エネルギー需給見通しにおいて、最終エネルギー消費で6,200万kl程度の省エネルギーを実施することにより、2030年度のエネルギー需要を280百万kl程度と見込んでいることから、部門ごとのエネルギー消費量を測定指標として設定。また、エネルギー消費効率についても、徹底した省エネルギーの推進により、2021年度比で40%程度の改善を見込んでいることから、当該数値を測定指標として設定。

【測定指標】

測定指標（定量的）		基準値		目標値		年度ごとの目標値 年度ごとの実績値					
			基準年度		目標年度	30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
7	最終エネルギー消費量 ＜運輸部門＞ （原油換算百万kl）			60	2030	－ 79	－ 78	－ 70	－ 測定中	－ 	－

出所：令和4年度実施施策に係る政策評価の事前分析表（経済産業省）
施策名　6-2　新エネルギー・省エネルギー
https://www.meti.go.jp/policy/policy_management/seisaku_hyoka/index.html

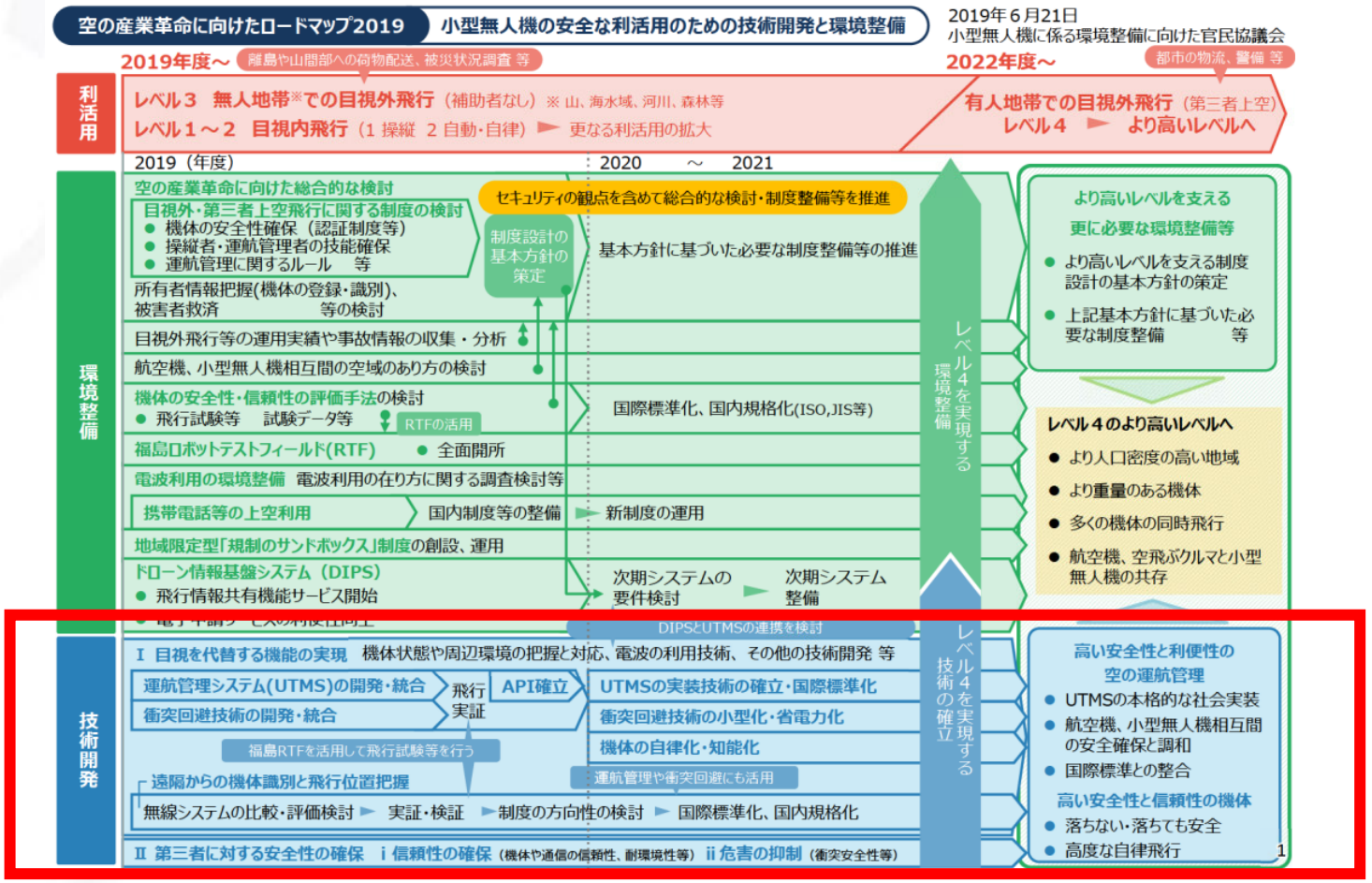
政策・施策における位置づけ

未来投資会議
成長戦略実行計画案　2019年6月5日閣議決定／24頁
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai28/siryou1.pdf
＝＝＝
3．モビリティ
（3）ドローンの有人地帯での目視外飛行
①現状
ドローンについては、無人地帯での目視外飛行が可能になり、荷物配送を実施する事業者も登場したが、地方の配達困難地域での配送、農作物の生育状況の把握、老朽化するインフラの点検、高齢化が進む市街地の広域巡回警備などを可能とするためには、有人地帯での目視外飛行を可能とする必要がある。
有人地帯におけるドローンの活用例としては、
（a）陸上輸送が困難な地域での生活物品や医薬品などの配送、
（b）散在する農地の作物の生育や害虫・病害の発生を空からまとめて広域的に確認、
（c）人の手で確認しにくい街中の橋、建物や道を広域的に点検、
（d）高齢化が進む地方の市街地などでの広域巡回警備、などが想定される。
②対応の方向性
飛行禁止区域を除き、飛行ルートの安全性確保を前提として、有人地帯での目視外飛行の目標時期を2022年度目途とし、それに向けて、本年度中に制度設計の基本方針を決定するなど、具体的な工程を示す。
＝＝＝

出所：中間評価時資料から引用　https://www.nedo.go.jp/content/100898605.pdf

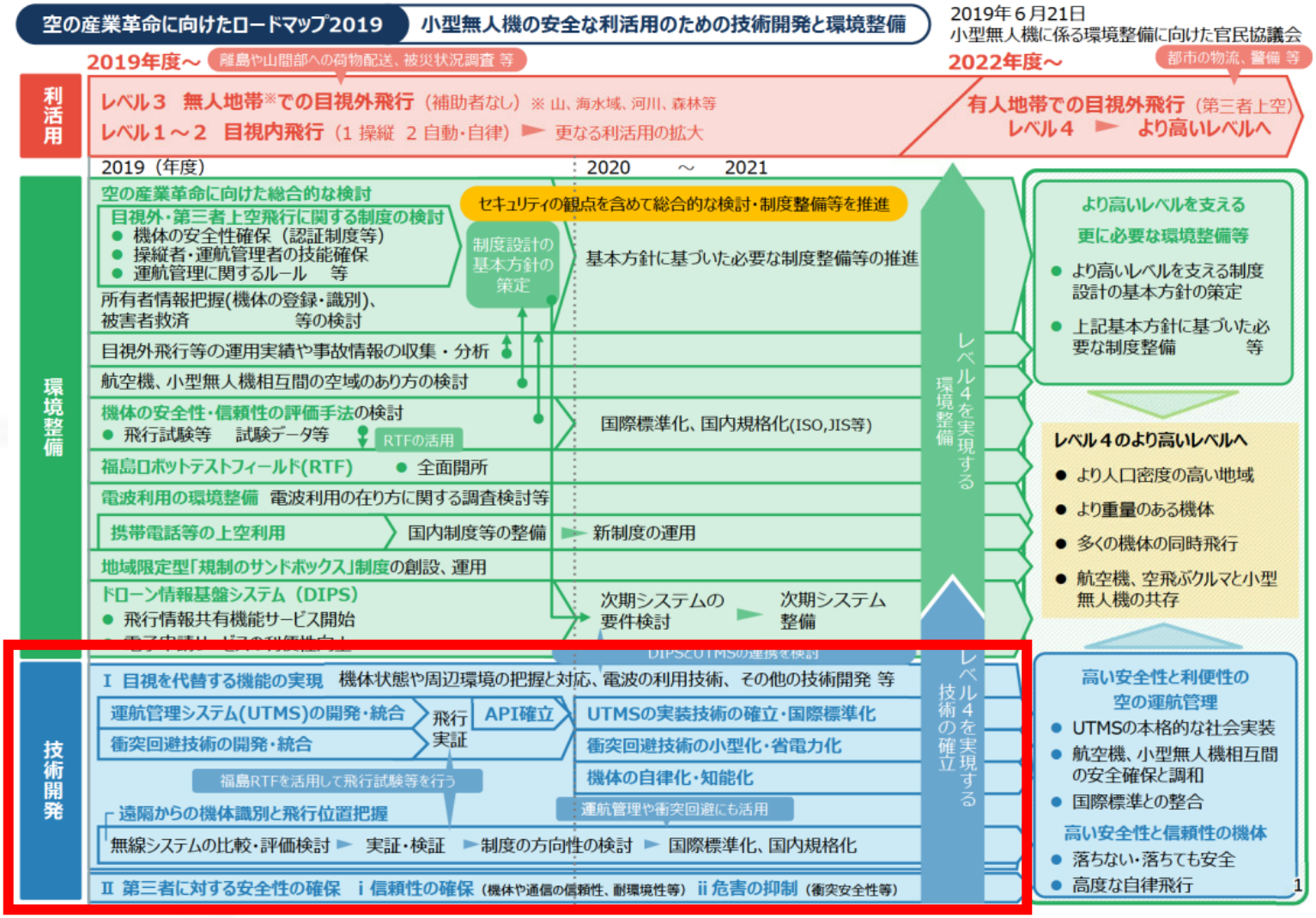
政策・施策における位置づけ

✓ 本事業で取り組むべき事項、方向について、ロードマップ上位置付けられている（赤囲み部分）。



出所：小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（2019年6月21日公表）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

技術戦略上の位置づけ



出所：中間評価時資料から引用　https://www.nedo.go.jp/content/100898605.pdf

国内外の動向と比較

- ✓ 国内外のプロジェクトにおいては、利活用の推進か、特化した研究開発プロジェクトを実施
- ✓ 一方で、本プロジェクトは、利活用の創出を見据えつつ機体性能基準、運航管理、衝突回避、国際標準化まで統合的な研究開発を実施

	組織・プロジェクト名		プロジェクトの目的・概要
海外	アメリカ航空宇宙局（NASA）	The Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System Project（17-20年度（フェーズ2））	無人航空機と有人機が安全に運航するための技術的障壁を解消するための研究を実施 （有人機と無人機の衝突回避(固定翼、150m以上)、C2通信技術及びそれらの実証実験）
		NASA UTM（2014年-2019年）	運航管理システム、無人機同士の衝突回避技術、機体ID管理、通信技術、サイバーセキュリティ、ジオフェンシング等に関する研究・開発
	SESAR Joint Undertaking（欧州委員会と欧州航空航法安全機構が設立）	U-Space（2017年-期間未定）	無人航空機と有人機が安全に運航できる環境を整備するための技術開発を実施 CORUS：U-Spaceのオペレーションコンセプトを確立し、実現に必要な技術開発を特定 PercEvite：地上と空中の協調的および非協調的な障害物の検出に関し、ドローンの自動化レベルを高めるためのセンサー・通信・および情報処理機能の開発 TERRA：U-Spaceのコンセプトに沿ったドローン運航のための性能要件を定義し、その要件を満たす地上設備技術の有無を特定
国内	農林水産省	農業分野における補助者なし目視外飛行実証PJ(令和元年度)	農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協議会の枠組みを活用し、農業分野における**補助者なし目視外飛行による取組事例を早期に創出**し、横展開を図ることにより、農業現場への普及拡大を加速。
		スマート農業技術の開発・実証プロジェクト(平成30年度)	省力化・高品質生産等を実現するためのスマート農業の普及・実装。ドローンにおいては、農薬散布・営農・生育診断等の事例を創出。
	国土交通省	CO2排出量削減に資する過疎地域等における無人航空機を使用した配送実用化推進調査（平成30年度）	**過疎地域等におけるドローン物流モデルの構築を行う**もの。5つの実証地域において、協議会を主体とするドローン物流の検証実験により必要なデータ等を取得。各実証の課題整理・分析を横断的に行い、ドローン物流の実用化に求められる要件及び過疎地域等における CO2排出量削減効 果のあるドローン物流の基本モデルの評価・改善を実施。
	NEDO	DRESSプロジェクト（平成29年～平成33年度）	物流、インフラ点検、災害対応等の様々な分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施。具体的には、機体性能評価基準等の開発、運航管理システムの開発、有人機・無人航空機(150m以下)の衝突回避技術の開発、国際標準化の推進まで一連の研究開発を行い、統合的な飛行試験等を実施。

出所：中間評価資料抜粋　PwC提供（NEDO DRESSプロジェクトにおける委託業務）

他事業との関係

✓ 福島イノベーションコースト構想への貢献に向け、福島RTFとの設立支援、活用など図ってきた

福島ロボットテストフィールド（南相馬市・浪江町）

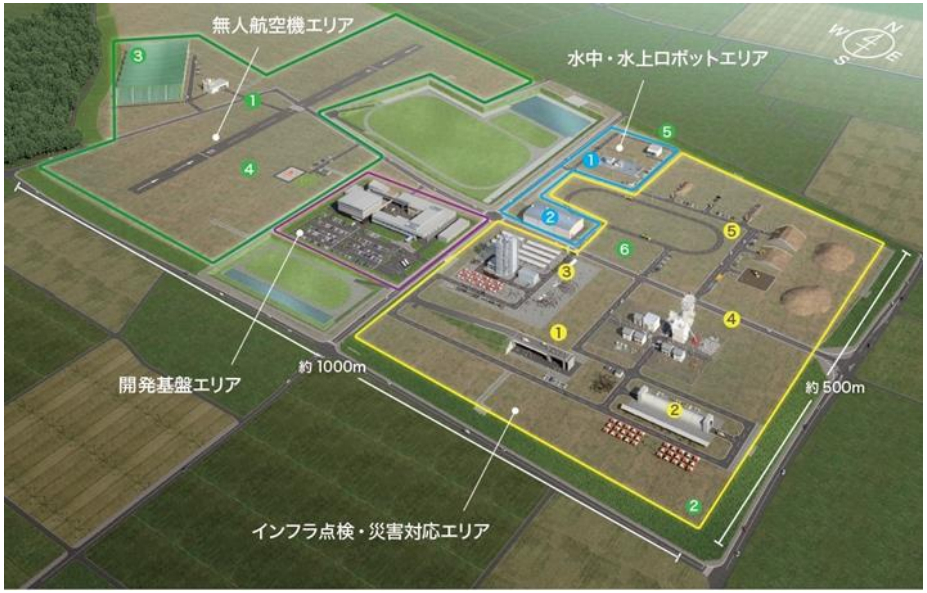
・建設期間：2016年度～2019年度
（2018年度より順次開所し、2020年4月全面開所）

・南相馬市・復興工業団地内の東西
約1000m×南北約500m（約50ha）

・浪江町・棚塩産業団地内に長距離
飛行試験滑走路（約13km）



出所：福島県ホームページ　（中間評価当時）

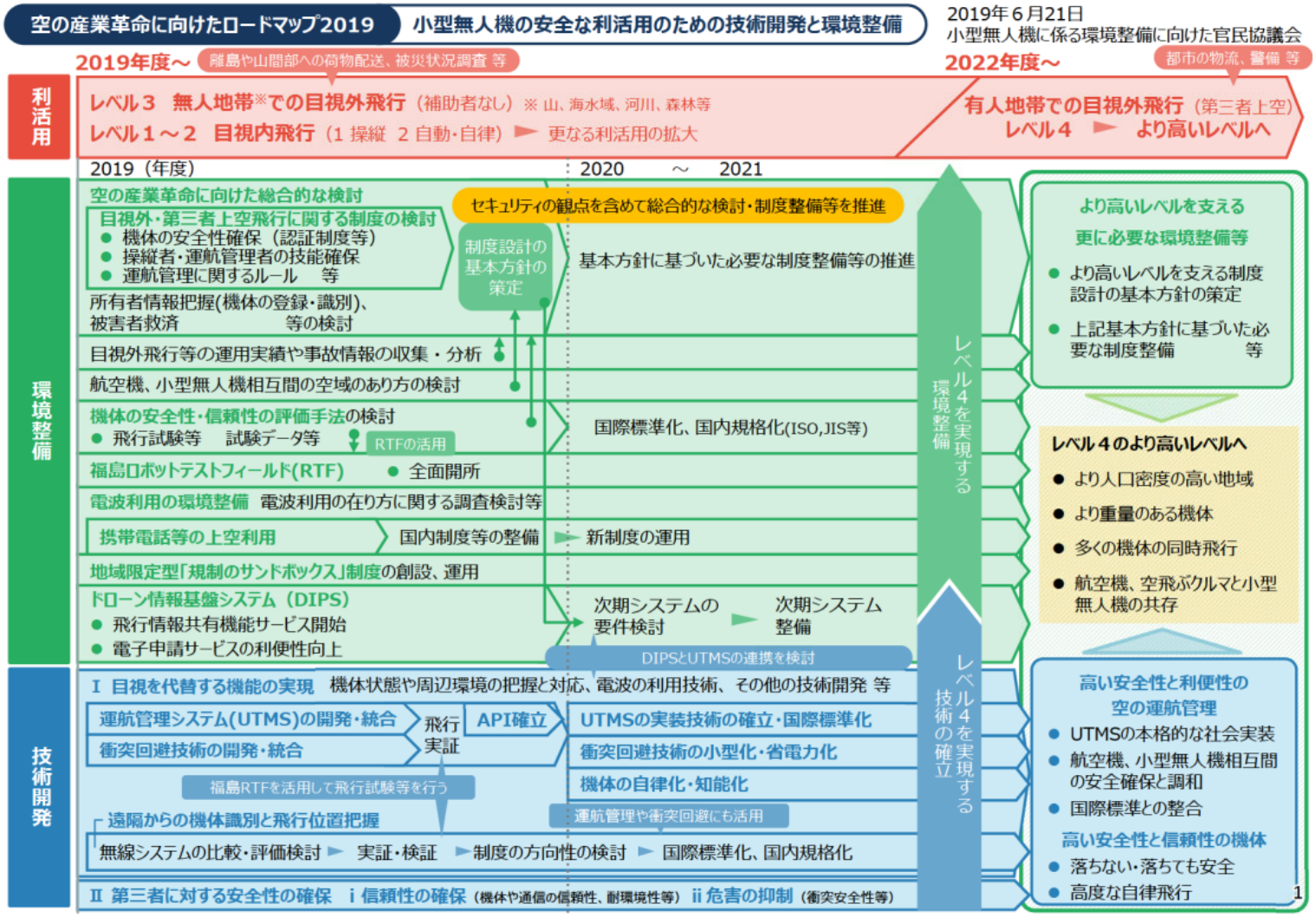


出所：福島イノベーションコースト構想推進機構ホームページ　（中間評価当時）

（※）福島イノベーション・コースト構想とは
東日本大震災及び原子力災害によって失われた福島県浜通り地域等の産業を回復するため、当該地域の新たな産業基盤の構築を目指す国家プロジェクト（経済産業省、復興庁）

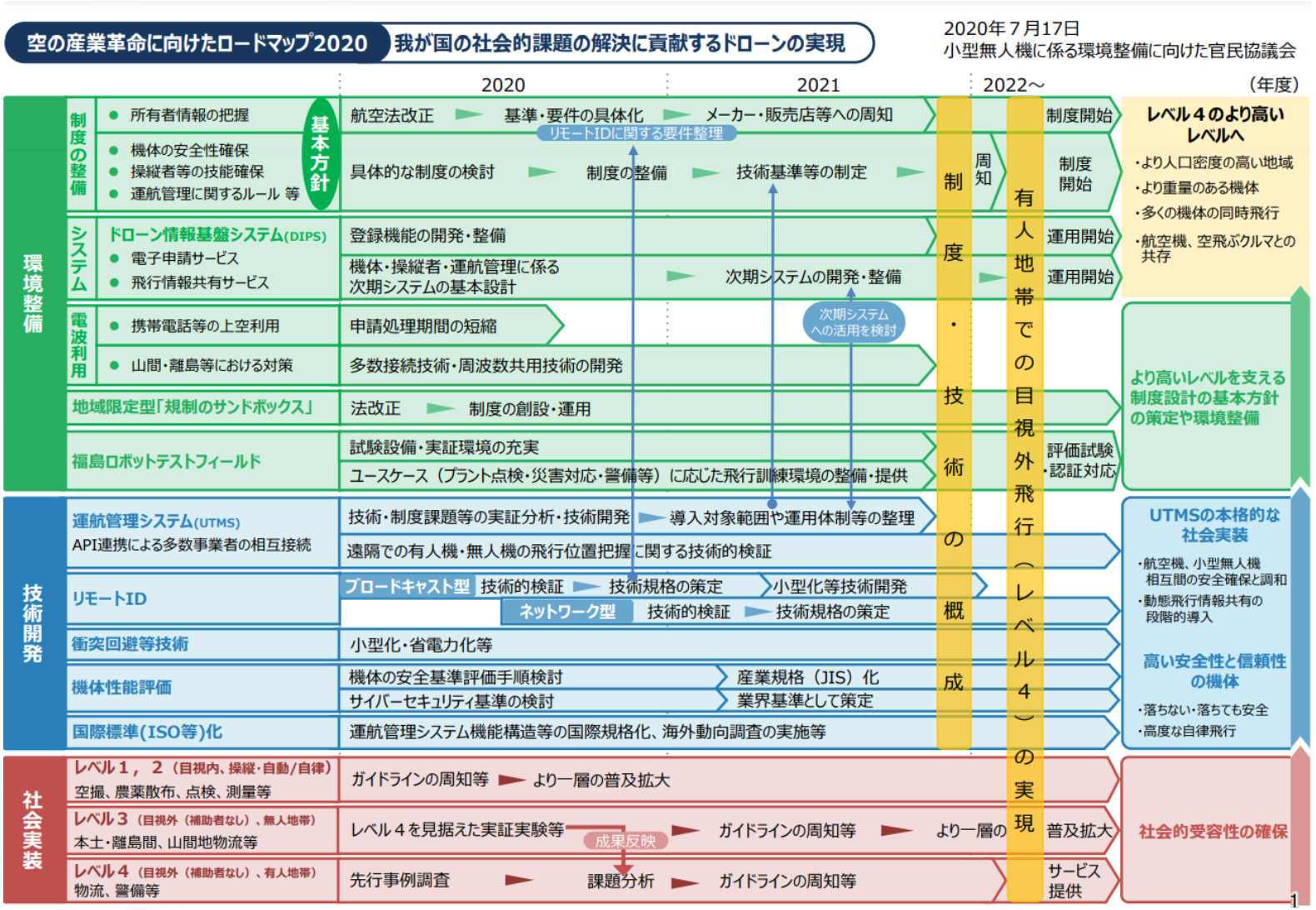
出所：中間評価資料抜粋

アウトカム（社会実装）までの道筋



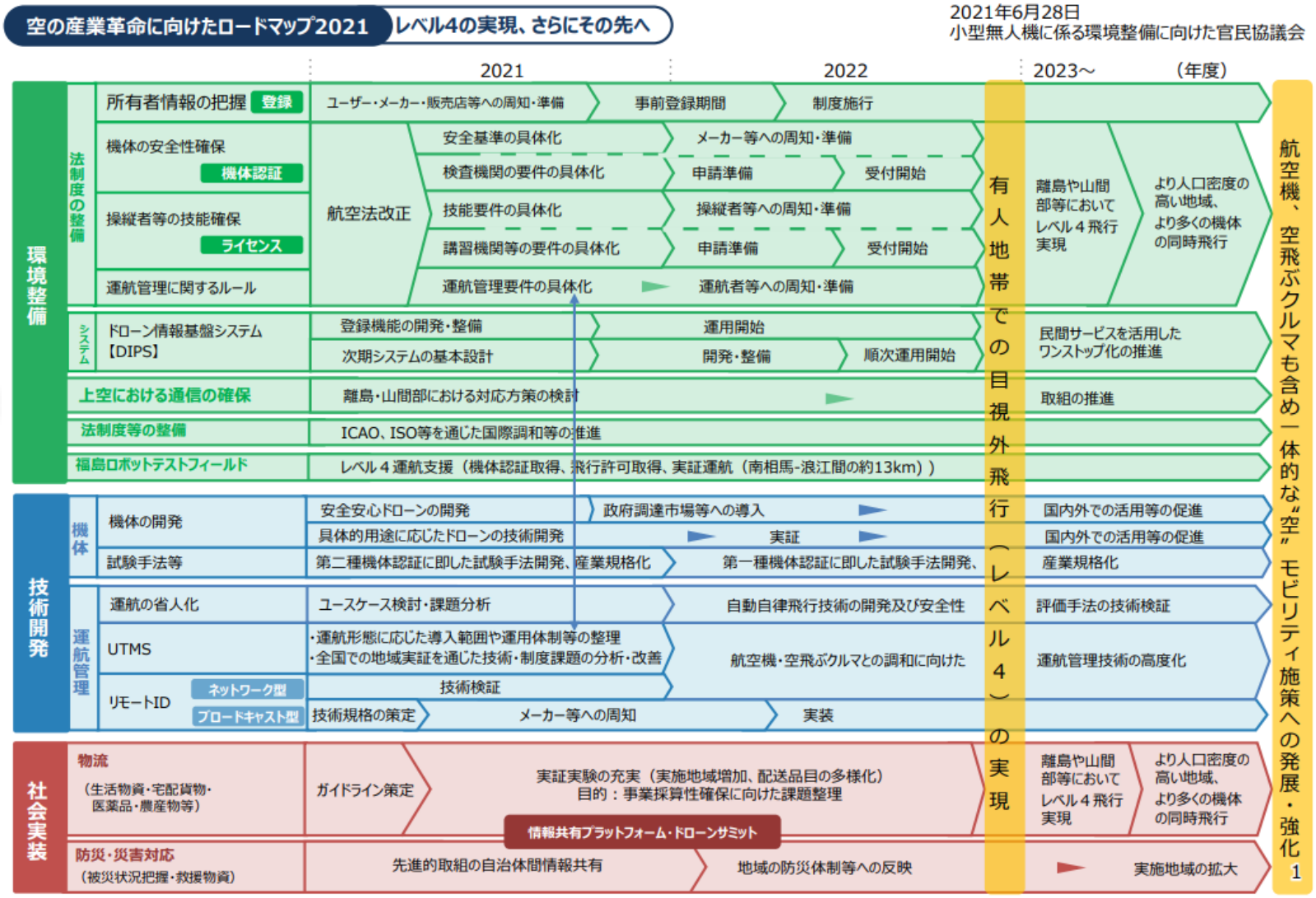
出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2019年6月21日公表）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

アウトカム（社会実装）までの道筋



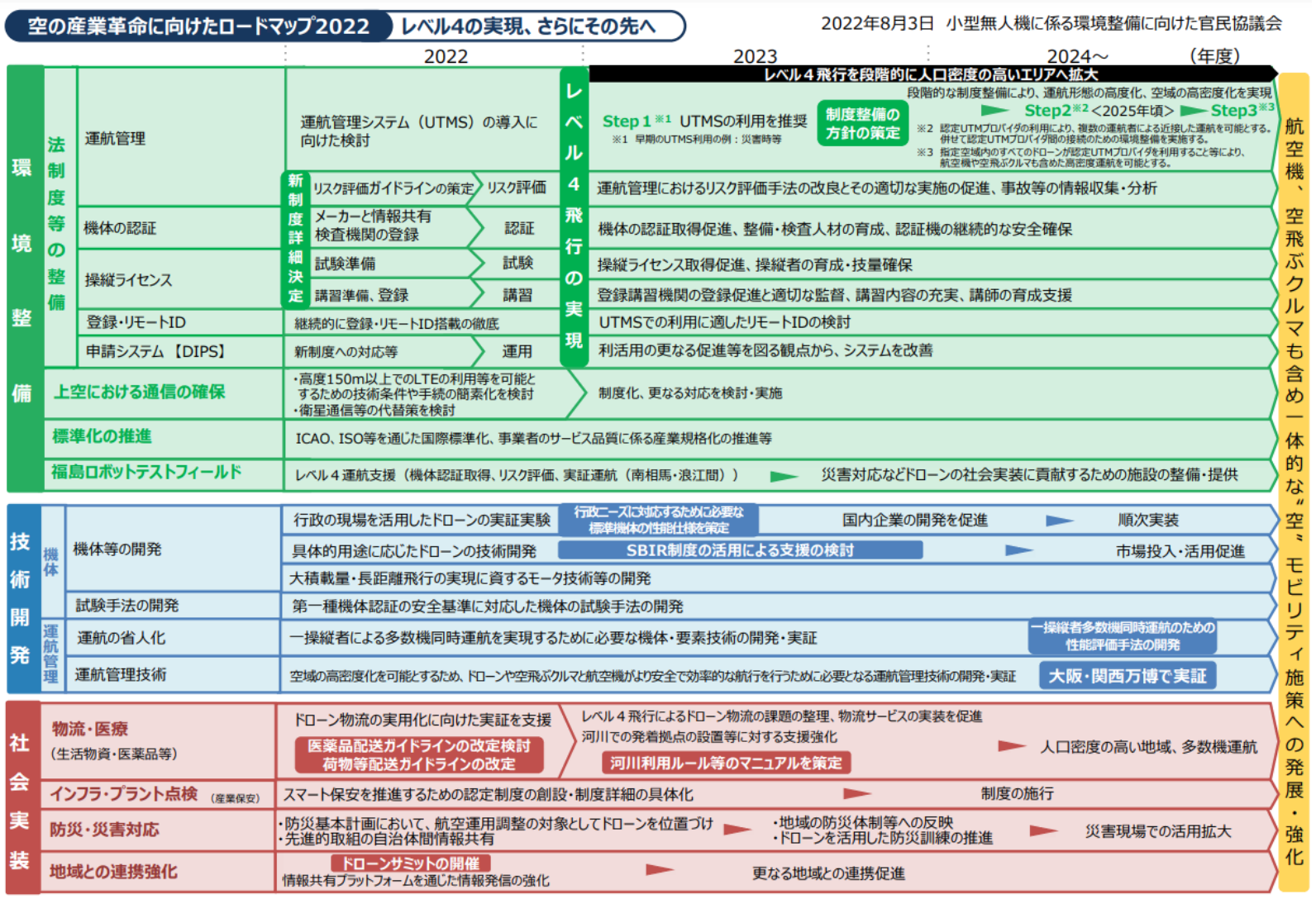
出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2020年7月17日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

アウトカム（社会実装）までの道筋



出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2021年6月28日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

アウトカム（社会実装）までの道筋（参考）

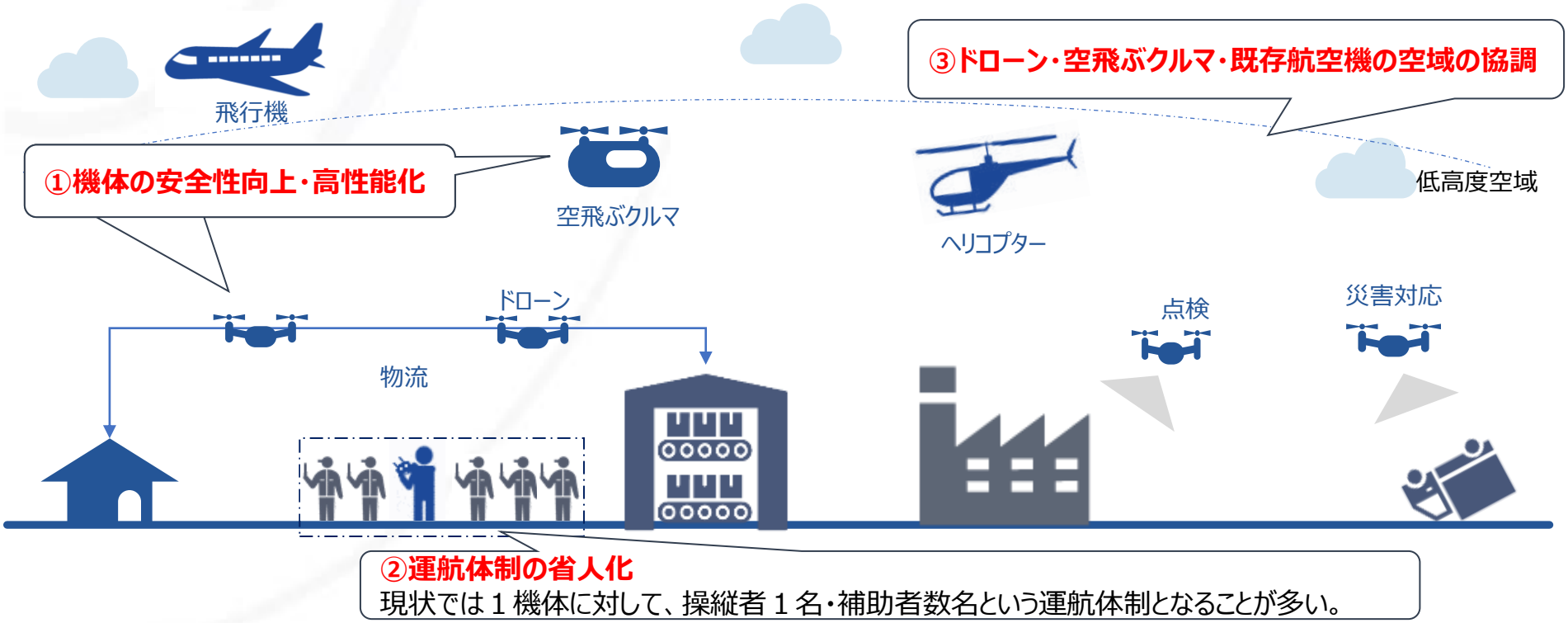


出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2022年8月3日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

アウトカム（社会実装）までの道筋（参考）

次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト（ReAMoプロジェクト）概要

今後の産業拡大を見据え、
①**試験方法の標準化**や**産業規格化**により、**「機体の安全性向上・高性能化」を進め**、**ドローンの活用の幅を拡大し、空飛ぶクルマの市場を創造**する。
②**「運航体制の省人化」**によって**１人の操縦者が複数の機体を操縦**できるようにし、**ドローン利活用のポテンシャルをさらに引き出す**。
③また、空飛ぶクルマが登場することも見据え、**ドローンと空飛ぶクルマ、既存航空機が空域を協調し、より安全で効率的な航行を行うための技術の確立**を目指す。



出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2022年8月3日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

知的財産・標準化戦略

公開/非公開、及び 競争領域/非競争領域　を想定し、設定

	非競争領域	競争域
公開	運航管理システム アーキテクチャ ・情報提供機能 ・相互接続/API等 衝突回避ルール ・安全離隔距離等 機体性能評価手順 ・機能評価/試験方法 国際標準化へ提案	運航管理統合機能 ・空域割り当て技術等 情報提供機能 ・データ多重化技術等 運航管理機能 ・飛行計画設計技術等 衝突回避技術 ・衝突回避経路設定技術等 機体材質・構造技術 ・耐熱材料/電源制御技術 積極的に権利化
非公開	通信ネットワークPF ・LTE/衛星通信等 飛行情報共有PF ・リモートID技術等 サイバーセキュリティ 運用支援・PF技術	機体の飛行制御ノウハウ ・回避行動制御技術等 機体認識システム ・センサー認識技術等 位置同定システム ・機体位置制御技術等 特殊環境への対応機体 ・高温環境/長時間飛行等 ノウハウ秘匿

○「公開×非競争領域」にかかる基本計画の記載ぶり

基本計画（抄）
1．研究開発の目的・目標・内容
（2）研究開発の目標
① アウトプット目標
研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」
・本プロジェクトの成果（性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言し、標準化団体へ引き継ぐ。

5．その他重要事項
（1）研究開発成果の取扱い
② 標準化施策等との連携
委託事業で得られた研究開発成果については、研究開発項目③（1）にて標準化等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う。なお、先端分野での国際標準化活動を重要視する観点から、NEDOは、研究開発成果の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。さらに、本プロジェクト終了後の国際標準化活動の継続のための仕組みについて検討する。

知的財産管理

●知的財産権に関する事項

項目	委託（共同研究含む）	助成
事業の主体	NEDO	事業者
事業の実施者	委託先	事業者
取得資産の帰属	NEDO（約款20条1項該当）	事業者
事業成果（知的財産権）の帰属	NEDO バイドール条項（※）遵守の場合は委託先帰属	事業者
収益納付	ー	あり

（※）産業技術力強化法第17条第１項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属

●知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成

●データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会に向けた実現プロジェクト　基本計画　5. その他重要事項（抜粋）

（1）研究開発成果の取扱い

①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。また、研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

② 標準化施策等との連携　（略）

③ 知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用するプロジェクトである。

＜評価項目 2＞目標及び達成状況

（1）アウトカム目標及び達成見込み

（2）アウトプット目標及び達成状況

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム（社会実装）達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

■ アウトカム目標の設定及び根拠
■ 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み
□ 費用対効果
■ アウトプット（研究開発成果）のイメージ
■ アウトプット目標の設定及び根拠
■ アウトプット目標の達成状況
■ 副次的成果及び波及効果
■ 特許出願及び論文発表

□（塗りつぶしなし）評価対象外

3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

（※）評価対象外

2. 目標及び達成状況（詳細）※

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

アウトカム目標の設定および達成見込み

➢ 省エネ効果及びCO2削減ポテンシャル

将来の物流分野の無人航空機活用による省エネ効果及びCO2排出削減効果が期待

	期待されるCO2の削減効果	想定
2020年	約260トン	ベンチャー企業等による試験的な無人航空機による配送
2030年	約8.6万トン	多数の事業者の無人航空機による配送業への参入と技術の進展により、24時間配送サービスが実現

2022年12月には、改正航空法が施行され、第三者上空補助者無し目視外飛行が制度として開始された。本事業のアウトプット目標については概ね達成をしているところ。そのほか、既存モビリティとの運用コストが比較優位になること目指した多数機同時運航に向けたNEDOプロジェクトや必要な実証や事業環境整備が進められており、2030年時点でのCO2削減効果目標は、達成される見込み

➢ 市場形成

物流、インフラ点検、災害対応、警備等分野のロボット市場が2030年には約8,000億円と推測される中、
日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与

2022年12月には、改正航空法が施行され、第三者上空補助者無し目視外飛行が制度として開始された。今後、更なる市場の拡大が期待されている。
インプレス総合研究所作成の国内ドローンビジネス市場規模の予測（2023年3月公表）によれば、2027年度時点で、市場全体が8000億円を越えるとの試算がなされている。

本事業における「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう

費用対効果(本項目については、評価対象外)

【インプット】

・プロジェクト費用の総額　　約180億円(6年)

2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	**総額**
33億円	32.2億円	36億円	40億円	40億円	0.4億	**約180億円**

【アウトカム】

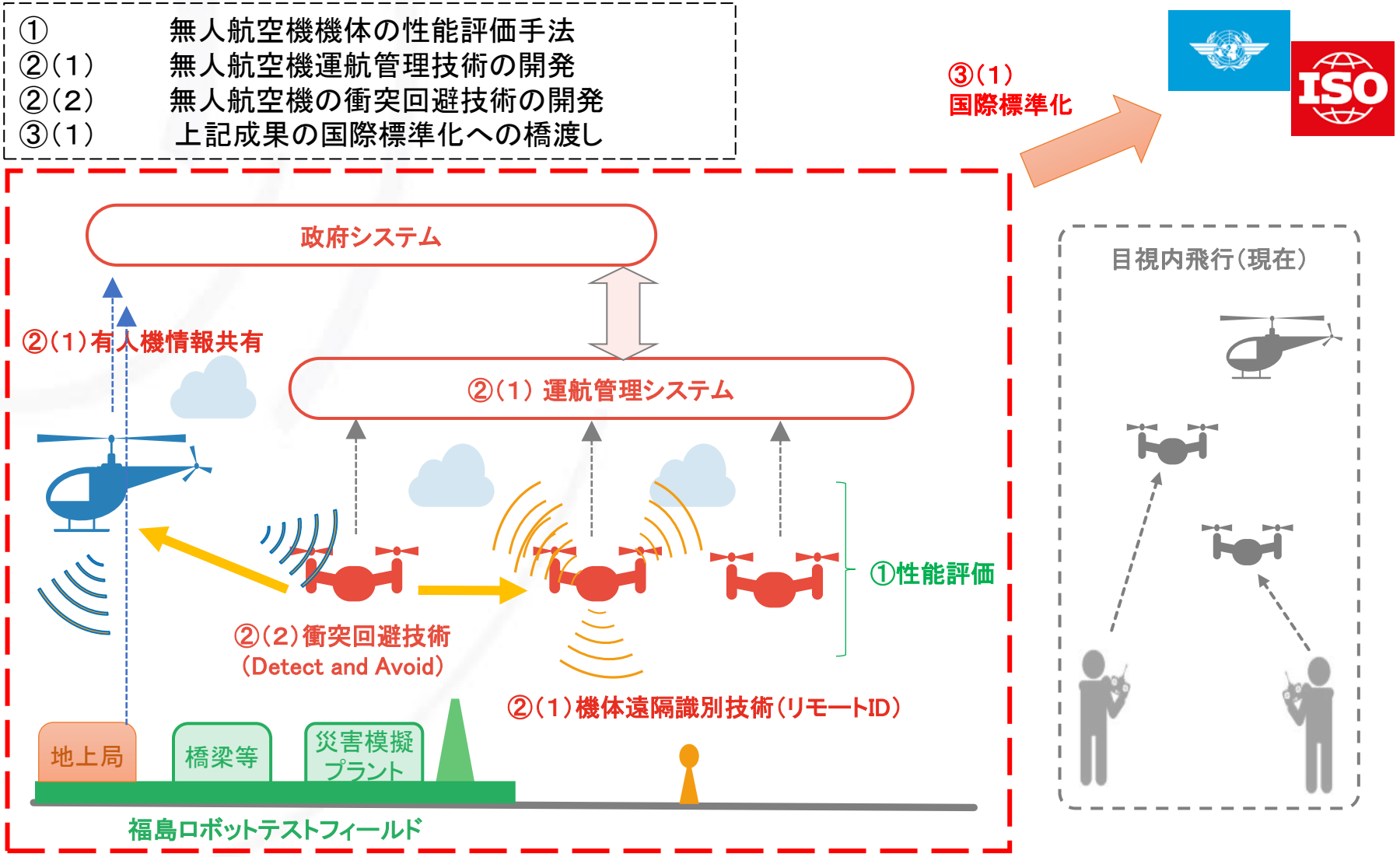
・ドローン市場規模予測(2030年)　8000億円/年

➢ 市場形成

物流、インフラ点検、災害対応、警備等分野のロボット市場が2030年には約8,000億円と推測される中、日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与

アウトプット（研究開発成果）のイメージ

①	無人航空機機体の性能評価手法
②（1）	無人航空機運航管理技術の開発
②（2）	無人航空機の衝突回避技術の開発
③（1）	上記成果の国際標準化への橋渡し



アウトプット目標の設定・達成状況

研究開発項目	目標 （2022年３月）	成果（実績） （2023年12月）	達成度	達成の根拠／解決方針
研究開発項目① 「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」	・福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用し、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発する	・「無人航空機の第二種認証に対応した証明手法の事例検討WG」活動報告の公表 ・無人航空機を対象としたサイバーセキュリティガイドラインの策定　など	○	無人航空機を対象分野としたサイバーセキュリティガイドライン等を策定。 第二種機体認証等の証明手法の検討は課題を残し、2022年度から開始事業への引継ぎ
研究開発項目② 「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」	・国内外の関係者を構成員とする委員会を構成の上、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF 等を策定し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。 ・無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発し、運航管理システムとの情報共有を実施する。 ・単機による障害物との衝突回避に加え、無人航空機同士の衝突回避までを想定し、200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発する。	・無人航空機の運航管理システムについては一定の検討が行われ、全国１３地域での実証を実施し、評価を実施、また、実装に向けた技術課題・制度課題を整理。 ・遠隔識別に必要な試験法、要素技術開発など行い、リモートID制度構築に貢献。また、運航管理システムとの統合実証も実施。 ・200km/hの相対速度で、10kg級の無人航空機に搭載するセンサーの開発・統合した衝突回避システム技術の飛行実証を実施し、機能の検証の実施。	○	概ね、アウトプット目標として設定していた技術課題の機能検証・飛行実証を実施。 実際の社会実装に向けた制度の構築への貢献や、制度検討に向けた技術・制度課題の整理を実施し、社会実装に向けた議論開始に貢献を行った。

◎　大きく上回って達成、○達成、△一部未達、　×未達

アウトプット目標の設定・達成状況

研究開発項目	目標 （2022年３月）	成果（実績） （2023年11月）	達成度（見込み※）	達成の根拠／解決方針
研究開発項目③ 「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」	・本プロジェクトの成果（性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言し、標準化団体へ引き継ぐ。	・無人航空機の運航管理システムの共通IFのAPIサイトでの公開を実施。 ・無人航空機の運航管理システムの機能構造（ISO 23629-5）や衝突回避の運用手順が追加された運航手順（ISO21384-3）など規格発行済。その他、関連規格の開発が引き続きISOで進行中。	○	・ISOでの無人航空機システム関連の議論を進めるため、本事業を通じ、得られた技術成果をベースに国内審議団体と連携しながら、規格の策定作業を進め、複数の規格発行にこぎつけた。

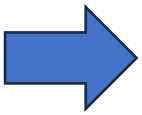
◎　大きく上回って達成、○達成、△一部未達、　×未達

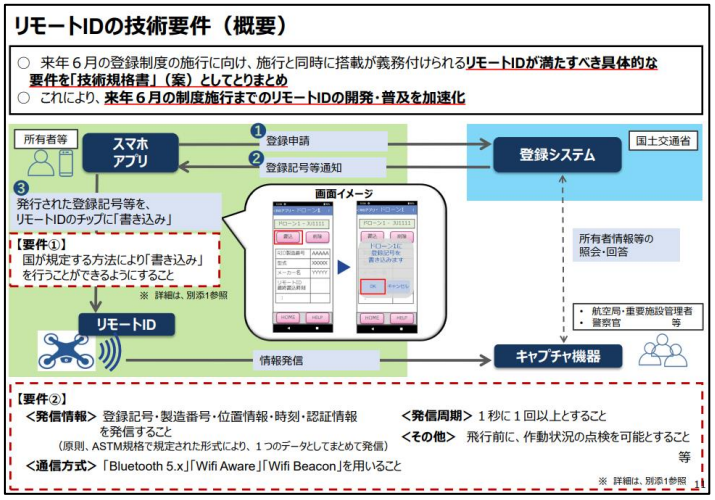
アウトプット(研究開発成果)の波及効果・副次的成果

＜波及効果＞

◆ できるだけ早期に機体情報と所有者等の情報を把握する仕組みを構築する必要がある中、本事業における技術開発等の結果を官民協議会等への報告等を通じ、無人航空機の所有者等を把握するための制度（2022年6月施行）構築に貢献。







小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会
（第16回）令和3年6月28日　NEDO提出資料

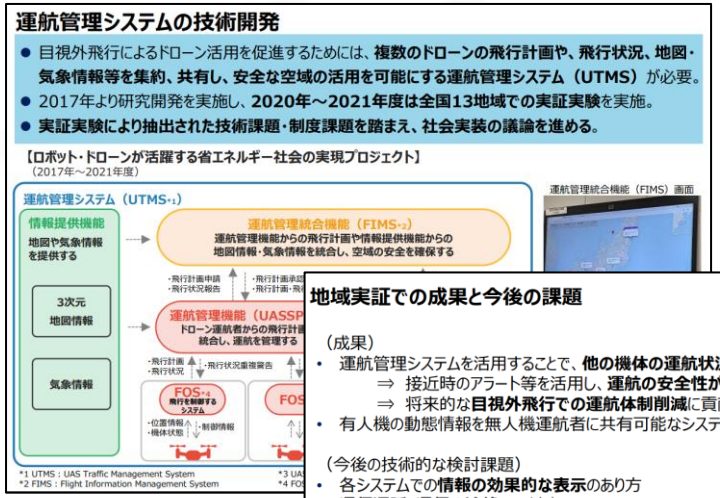
小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会
（第16回）令和3年6月28日　資料抜粋

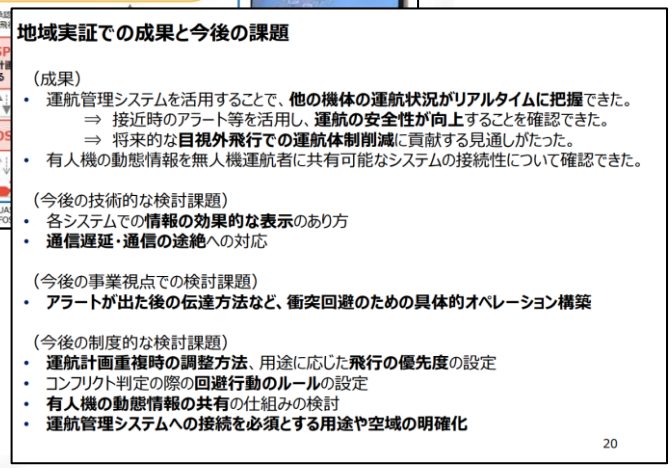
アウトプット(研究開発成果)の波及効果・副次的成果

＜波及効果＞

◆ レベル4飛行の実現等に伴って無人航空機の運航頻度が上がるにつれて、空域内でのコンフリクト回避が必要。そのため、運航管理システム（UTM）の導入が必要。本事業を通じ、検討課題を整理し、官民協議会に提示。

◆ UTMの段階的な導入にむけた方向性検討への貢献







小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会
（第17回）令和4年4月20日　経済産業省説明資料抜粋　ほか

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会
（第18回）令和4年8月3日　国土交通省説明資料抜粋

特許出願及び論文発表

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
特許出願（うち外国出願）	4(2)	3(0)	2(0)	2(0)	10(2)	4(2)	25(6)
論文	2	4	21	17	12	4	60
研究発表・講演	50	72	74	20	61	24	301
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	7	721	14	2	453	27	1224
展示会への出展	9	30	30	16	22	12	119

※2023年3月31日現在

●規格提案活動を円滑を進めるために主要ステークホルダが集う場での成果発表、ブース出展なども実施。

ISO/TC20/SC16総会での成果発表

・総会において、他国に先行して運航管理システムや衝突回避技術の成果をPRすることで、その後の標準化提案を日本主導で実施できるようにした



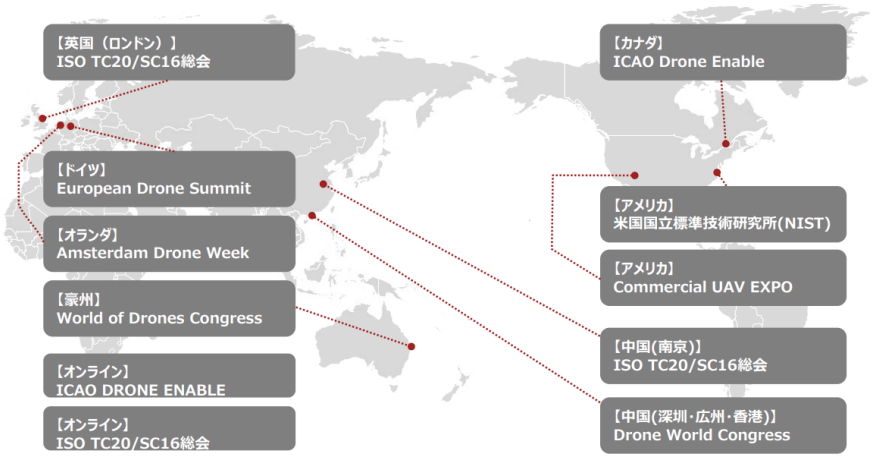
ICAO Drone Enableでのブース出展

・ICAO本部で開催されたドローンに関する国際シンポジウム会場で、DRESSプロジェクトの情報発信ブースを設置した

・海外での情報発信の中で、最も多くの航空局・企業トップ層と対話を実現



海外で実施した情報発信の一覧



＜評価項目３＞マネジメント

（１）実施体制

（※）受益者負担の考え方　　＊終了時評価においては対象外

（２）研究開発計画

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義
(1)アウトカム（社会実装）達成までの道筋
(2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

(1)実施体制
(※)受益者負担の考え方
(2)研究開発計画

(※) 評価対象外

2. 目標及び達成状況（詳細）※

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

- ■ NEDOが実施する意義
- ■ 実施体制
- ■ 個別事業の採択プロセス
- □ 受益者負担
- ■ アウトプット（研究開発成果）のイメージ（再掲）
- ■ 研究開発のスケジュール
- ■ 進捗管理
- ■ 進捗管理：中間評価結果への対応
- ■ 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- ■ 進捗管理：開発促進財源投入実績

□（塗りつぶしなし）評価対象外

NEDOが実施する意義（中間評価時点）

Ⅰ．事業の位置付け・必要性　(2)NEDOの事業としての妥当性

◆NEDOが関与する意義

自律制御無人機による長距離荷物配送



少量荷物を約12km配送(2017.1.12)

有人機と無人機の同一空域飛行



有人機から無人機の視認性を確認(2017.12.15)
衝突回避システムの探知性能を確認(2018.12.14)

同一空域・複数事業者の同時飛行



災害調査、警備、物流、郵便、合計10機のドローンを目視外自律飛行(2019.3.1)

無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

- ✓ 福島ロボットテストフィールド等を活用した飛行試験
  - → 研究開発型ベンチャー含むオールジャパン体制（現在のべ42組織）で、先進的な社会実装を進める。
- ✓ 運航管理システムのAPIなどを公開し、国内外の人材が集う環境を整備
  - → 現在参画しているドローン事業者以外の国内外のドローン事業者が活用できる環境づくりを進める。
  - → 福島県及び南相馬市と協力協定を締結し、福島ロボットテストフィールドの活用を進める。

NEDOが実施する意義

◆ ドローン分野については、市場の伸びが大きく期待されていたものの、制度については、発展している途上であり、安全性などに関するハードルが具体化されるまでは、企業単体にとっては、事業化リスクは依然として高く、国家プロジェクトとして進め、資金を提供する仕組みが必要。

◆ また、市場の立ち上がり、拡大に必要となる、機体の安全性に関する評価手法や、運航管理システムなどの技術開発については、多様な機関（アカデミア、公的研究機関、企業等）が連携し、取り組む必要があり、さらに、官民協議会などを含めて、政府や関係する企業等と、委託先のみならず、関係ステークホルダーを巻き込んだ活動を進めていく必要がある。

◆ このような中で、NEDOが実施することで、多様な機関が連携した体制を組むことが可能となった。また、官民協議会などとの連携観点でも、NEDOが運営するプロジェクトだからこそ、技術開発・検証から得られた知見を提供することが可能となる。

◆ 制度構築のために必要な技術エビデンスの提供についても、NEDOの委託事業として実施することで柔軟に対応ができるようになり、また、制度側からの検証要望などにも柔軟に対応を行って、研究開発内容の変更・追加なども容易となっている。

◆ 加えて、NEDOが、福島県、及び南相馬市と連携協定を結んでおり、実証に係る自治体との調整などについては、中立的な立場として調整を行い、円滑な飛行実証などに取り組むことが可能。

実施体制（ドローン：2020年度以降）

経済産業省

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

航空局等

連携/研究報告

NEDO
ロボット・AI部

進捗評価

技術委員会

※2021年度以降実施課題のみ記載

①性能評価基準等の開発	<委託>※一部2022まで延長 無人航空機に求められる安全基準策定	産総研・東大・プロドローン・イームズロボティクス他
	<助成> 無人航空機のエネルギーマネジメント	マクセル・古河電池
②運航管理と衝突回避の技術開発	<委託> 運航管理統合機能の機能拡張	NEC・日立・NTTデータ・ウェザーニューズ
	<委託> 単独長距離飛行を実現する運航管理機能	SUBARU・日本無線 日本アビオニクス 自律研・マゼランシステムズジャパン
	<委託>【2019から継続】 遠隔からの機体識別（ﾘﾓｰﾄID）及び有人機からの位置情報共有	NEC・日立・NTTﾃﾞｰﾀ・NTTﾄﾞｺﾓ・KDDI・JAXA・ENRI・NICT
	<委託> 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業	KDDI・パーソルプロセス＆テクノロジー
	<助成> 地域特性に考慮した情報提供機能	ゼンリン
	<助成> 地域特性に考慮した情報提供機能	日本気象協会
	<助成> 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	日本無線・日本アビオニクス・自律研
	<助成> 準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化	ﾏｾﾞﾗﾝｼｽﾃﾑｽﾞｼﾞｬﾊﾟﾝ
③国際標準化の推進	<委託>【2017から継続】※　2022まで延長 デジュール・スタンダード	PwCｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ

連携協定

福島県

南相馬市

個別事業の採択プロセス

2020年以降開始の採択テーマについては以下のスケジュールで実施。公正なプロセスで進めた。

	採択テーマ	公募予告	公募開始期間	採択数
A	**研究開発項目①ロボット・ドローン期待の性能評価基準等の開発** （１）性能評価基準等の研究開発 7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発 （３）無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発 **研究開発項目②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発** （１）無人航空機の運航管理システムの開発 7）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発 8）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応） 9）地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発 10）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業 （２）無人航空機の衝突回避技術の開発 3）衝突回避システムの小型・低消費電力化 4）準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化	2020年3月3日	2020年5月7日～2020年6月27日	研究開発項目① （１）１件 （３）１件 研究開発項目② （１）２件 （２）２件
B	**研究開発項目②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発** （１）無人航空機の運航管理システムの開発 10）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業	2020年7月31日	2020年9月16日～2020年10月16日	１件
C	**研究開発項目④空飛ぶクルマの先導調査研究** （１）海外における空飛ぶクルマの実証事例調査 （２）空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査 （３）空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査 （４）空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査	2021年4月5日	テーマ①、③、④ 2021年6月7日～7月7日 テーマ② 2021年6月7日～7月19日	研究開発項目④ （１）１件 （２）１件 （３）１件 （４）１件

例：公募Aの場合の進め方

【公募】

公募予告（3月3日）⇒公募（5月7日）⇒公募〆切（6月22日）

【採択】

採択審査意見交換会（7月13日）

採択審査項目；NEDOの標準的採択審査項目にて実施された。

留意事項；

研究の健全性・公平性の確保に係る取組；公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

（参考：公募要領の留意事項(18)）

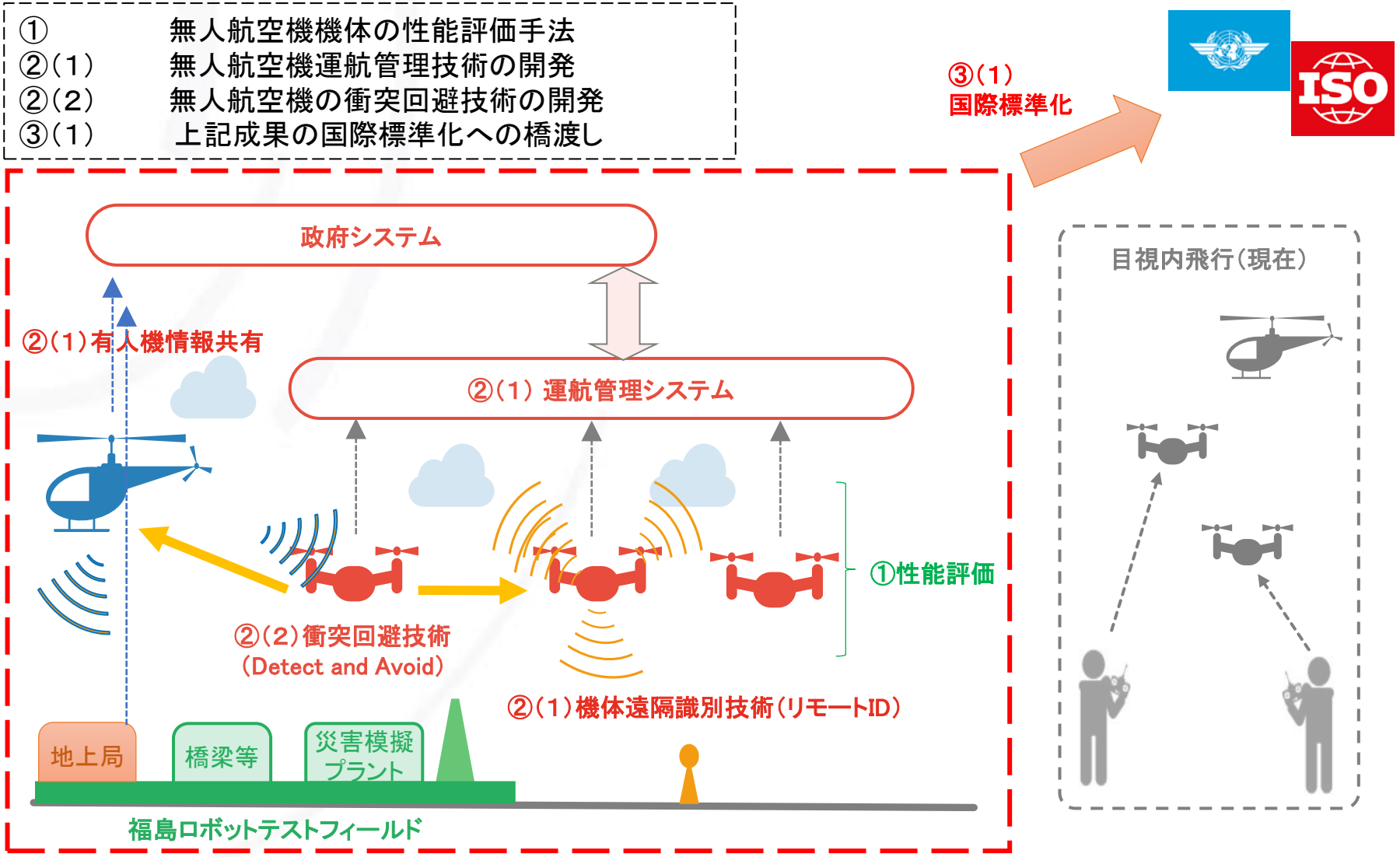
受益者負担

- 有人地帯での目視外飛行を実現するために必要な性能評価基準等の策定　や、協調的な仕組みで制度としても位置付けられなければ機能しない運航管理システム関連開発などについては、政策実施に必要なデータ等の取得、分析又は提供を目的としていることから、委託にて実施。
- また、バッテリーのエナジーマネジメントや、各種センサーの小型化・小電力化などの要素技術開発については、助成（大企業　1/2、中堅・中小・ベンチャー企業　2/3）とされた。

研究開発項目（大項目）	研究開発項目（中・小項目）	委託/助成
①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の研究開発	（1）性能評価基準等の研究開発 無人航空機に求められる安全基準策定	委託
	（3）無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発 無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発	助成
②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発	（1）無人航空機の運航管理システムの開発 運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発	委託
	（1）無人航空機の運航管理システムの開発 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）	委託
	（1）無人航空機の運航管理システムの開発 ＜委託＞【2019から継続】 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発	委託
	（1）無人航空機の運航管理システムの開発 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業	委託
	（1）無人航空機の運航管理システムの開発 地域特性に考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発	助成
	（2）無人航空機の衝突回避技術の開発 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	助成
	（2）無人航空機の衝突回避技術の開発 準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化	助成
③国際標準化の推進	（1）ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 デジュール・スタンダード	委託

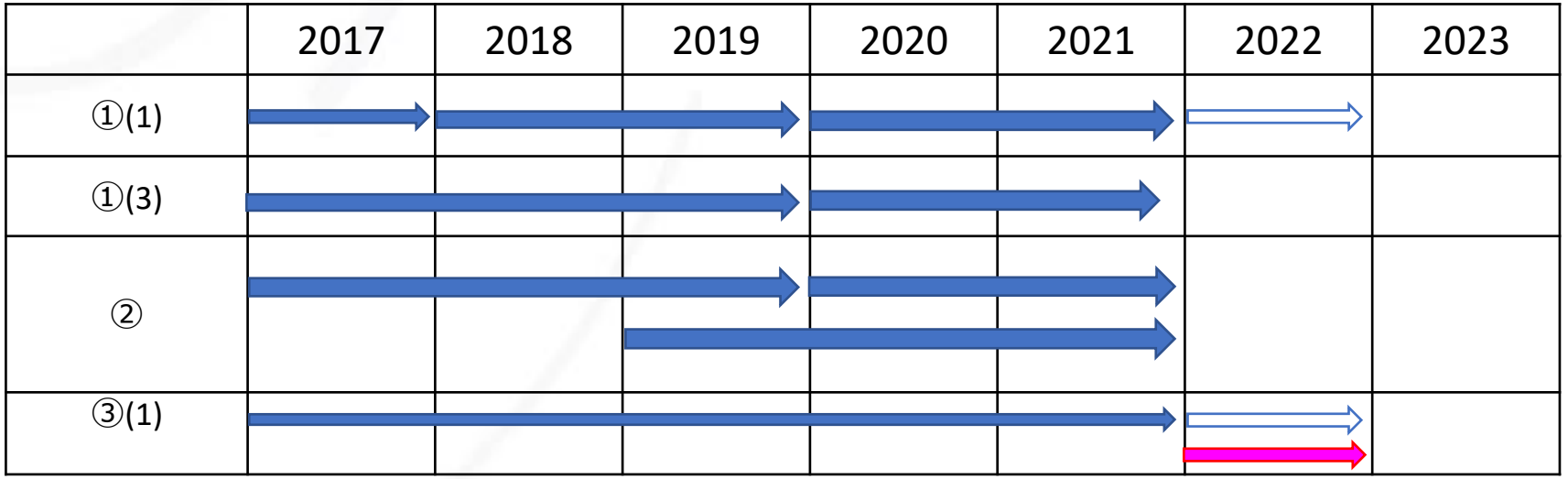
アウトプット（研究開発成果）のイメージ（再掲）

①　無人航空機機体の性能評価手法
②（1）　無人航空機運航管理技術の開発
②（2）　無人航空機の衝突回避技術の開発
③（1）　上記成果の国際標準化への橋渡し



研究開発のスケジュール

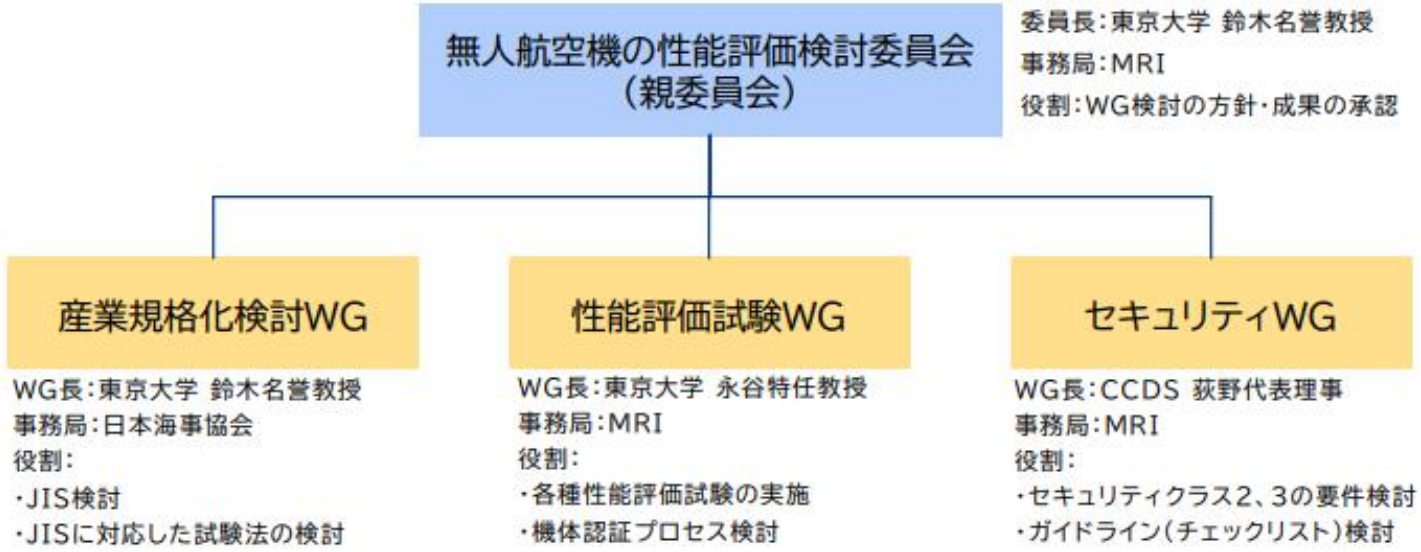
- 2020年度からは2年間を基本とし、委託/助成事業を進めてきた。
- 例えば衝突回避技術の開発については、要素技術の開発（助成）と統合実証の実施（委託）など、各項目間の連携を図りながら実施。
- また、一部、基本計画の延長を行い、社会情勢などを鑑み、後継プロジェクトにスムーズにつなげるためにも、切れ目のない取り組みを進めた。



進捗管理

◆ NEDOに技術委員会を設置（年1，2回程度の進捗確認、アドバイス）

◆ その他、各研究項目に合わせて、進捗管理を実施。
例）研究開発項目①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発／
（1）性能評価基準等の研究開発／
7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」
においては、主要関係者での専門的な知見での議論を行うため、WGを設置し、全体進ちょくを確認するため、委員会を設置する形とした。



図：2021年度の有識者委員会の構成

進捗管理：中間評価結果への対応

2019年度中間評価での指摘事項と対応状況

指摘事項	対応状況
ロボット・ドローン技術は、期待される機能を発揮するための技術開発と、安全性確保を含めた運航システムの確立が極めて重要であり、国内の公的機関との連携、さらには国際的な協力が必要である。様々な利用における期待が大きいので、慎重にかつ迅速に研究開発を進めていただければと思う。	期待される無人航空機の機能を発揮する趣旨で、2020年度より助成事業を4テーマを開始し、事業化に進める一方、運航管理システムに関しては国内政府、研究機関、民間事業者、関連団体とも連携した。 迅速に取り組むべき事項については、研究内容の追加なども図り進めた、

進捗管理：中間評価結果への対応

2019年度中間評価時の指摘とそれへの対応は以下のとおり

カテゴリ	指摘	対応
全体マネジメント	・研究開発の実施内容については、最終目標へ向けた開発スケジュールや具体的開発項目をより明確化することを望む。 ・最初に示されている全体計画は明確なものの、個別の成果それぞれが全体計画にどのように寄与できたかのまとめが必要である。 ・今後については、研究開発の運営管理を行う技術委員会に、ドローン技術の現状に精通した上でユーザーの立場からの意見を反映できる常任の外部有識者を含めると更に良い。 ・また、国内外の動向を注視し、技術の進歩や社会・経済情勢の変化に応じて、新たな技術開発項目の追加の要否について、今後も定期的に検討が行われると良い。 ・なお、実用化・事業化に向けては、民間企業だけでは実証実験からの壁があるため、NEDOが制度設計や実用化のステップを構築していくことが必要である。 ・短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待する。	・2020年度から開始した研究項目において、レベル4の実現にむけて必要な要素技術開発、システム、飛行等の実証を実施することとし、公募を行った。 ・運航管理システムや遠隔識別技術の検討にあたっては、委員会の設置を行い、ドローン関連団体、全航連、操縦者団体などの意見を伺いながら、最終的な実証試験の行い方などを検討し、事業を実施した。 ・各年度、途中に、技術進歩や社会情勢を踏まえ、研究内容の追加などを行い、また、一部項目については、期間延長の措置もおこなった。 ・ 性能評価、運航管理の両項目ともに、本事業を終了するに当たって、技術課題・制度課題の整理をおこない、経済産業省や航空局等との議論を行い、制度整備の方向性などの議論を行った。
安全	・多くの人が行き交う都市部の頭上を多数のドローンが飛行することを目指すのであれば、安全面を最大の課題とすべきであると考えられる。 ・安全な社会実装を実現するためには、様々な環境下における自立性、フェールセーフなどシステムとしての安全性、悪意ある第三者を想定したセキュリティなどについて，さらなる検討が必要である。 ・無人航空機の安全性・騒音などの性能評価について、社会的利用の価値を高めるために、人を意識した研究開発も実施されることを期待する。	・2020年度には研究開発項目①（1）8）「無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」を追加公募し、安全面に考慮した性能評価基準を研究開発した。 −産業規格化WGを主催（航空局や関係ステークホルダが一同に会する）し、安全性の証明方法を議論した。 −労働安全観点でプロペラガード、ゴーグルの安全性を検証した。 機体セキュリティのほか、情報セキュリティ観点での、無人航空機分野におけるセキュリティガイドラインの策定を行い、経済産業省とともにリリースを行った。 ・研究開発項目②（1）6）「遠隔からの機体識別に関する研究開発」において、2022年6月に開始したリモートIDで想定される脅威（なりすましなど）に対する暗号方式の検討・作動環境の確認等を実施し、業界・政府の制度策定議論や運用開始へ貢献した。 ・騒音の測定法の確立や、第三者のみならず、ドローンのパイロットなどの安全を鑑み、安全ゴーグルやプロペラガードなどの危害に関する評価などを実施した。

進捗管理：中間評価結果への対応

2019年度中間評価時の指摘とそれへの対応は以下のとおり

カテゴリ	指摘	対応
国際標準化	・ここでの研究開発成果は、国際標準化されないと実用化を完了したとは言えないので、それぞれの研究開発毎に検討を強化していただきたい	・国際標準化については 、2019年度に③（1）デジュール・スタンダードの国際標準推進活動にて中期的な研究開発戦略としてPDCAを構築し、ISO/TC20/SC16への提案を通じ、4件の研究開発テーマの標準化活動を推進支援している。 ・この成果として2021年9月に“ドローン用の地理空間情報に関する国際標準が発行”されている。引き続き、3テーマの国際標準発行に向けた活動支援を実施している。 ・国際標準化は短期間では達成できないことから、後継事業（ReAMo）で継続支援している。また、航空局とともに、ICAO DroneEnableに参加するなど、普及に向けた取り組みを並行して実施している。
実用化・事業化	・なお、実用化・事業化に向けては、民間企業だけでは実証実験からの壁があるため、NEDOが制度設計や実用化のステップを構築していくことが必要である。 ・短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待する。	・「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」との活動を通じて、関係組織との連携を図りながら制度設計や実用化ステップ構築を目指した。2019年度に②（1）7）遠隔からの機体識別に関する研究開発を追加、2020年度にドローンなど無人航空機の安心・安全な運航の制度設計に関連する、ブロードキャスト型通信システムによるドローンを遠隔から識別する研究開発及び評価試験を実施公表し、2021年度に実証実験成果等を「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」へ報告している。 ・その他、運航管理システムの開発については、制度整備及び官民の役割分担が明確化されることが不可欠なため、経済産業省のみならず、航空局・内閣官房ドローン室と連携を図り、実際の実装の絵姿や、開発状況の議論や実証の場へ参画していただくなど、具体的な制度整備、実装に向けた議論を進めている。
		・2020年度に追加公募した②（1）10）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業において、全国的な実証実験を公募し、運航管理システムへの接続を事業者・自治体のマイルストーンに設定させることで、ユースケース開発レベルを一気に向上させる戦略を建てた。 ・このような事業設計を行うことで、運航管理システムの実証のみならず、複数地域・複数事業者・複数ユースケースでのビジネスモデル検討に貢献した。

進捗管理：開発促進財源投入実績

主な開発促進財源投入実績は以下のとおり。
欧米の規制当局や標準化機関の動き等を踏まえて、日本での制度構築に向けて、機動的に手当てを実施。

	テーマ名（委託先）	加速内容	効果・成果	金額（百万円）
1	(②-(1)-3) 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発 （株式会社SUBARUほか）	無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準への提案の為の海外調査や技術レポート作成業務(2020年度)	・各国が提案できていない状況の中、いち早くNP提案に反映し、当該技術分野における日本の主導権獲得につなげた。	２０
2	(②-(1)-6)遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発 （KDDI株式会社、日本電気株式会社、国立研究開発法人情報通信研究機構、ほか）	例）政府のロードマップ改訂踏まえ、関係省庁との意見交換を経て、顕在化したブロードキャストタイプのセキュリティ技術や、Wifi及びBLE5の比較可能な通信性能評価手法の開発を追加(2020年度)	・リモートIDの制度化に向けての課題であった、複数の直接放送方式リモートIDの通信手法を比較する性能評価手法などを開発し、制度の裏付けとなる性能評価手法の妥当性検証・実証を実施。プレスリリースなどを行い、広く周知できるものにし、官民協議会などへの報告、制度策定に貢献した。	３０
3	(②-(1)-10)地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業(KDDI株式会社、パーソル＆プロセステクノロジー株式会社)	・運航管理システムの制度実装に向けての課題を深く特定するための体制強化するための追加措置（2021年度）	・得られた成果を元に、官民協議会等に報告を行い、運航管理システムの導入のステップの検討、政府からの官民協議会での報告へとつなげた。	５０

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
   （※）本事業の位置づけ・意義
   (1)アウトカム（社会実装）達成までの道筋
   (2)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）
   (1)アウトカム目標と達成見込み
   (2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント
   (1)実施体制
   （※）受益者負担の考え方
   (2)研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）※
   (1)アウトカム目標と達成見込み
   (2)アウトプット目標と達成状況

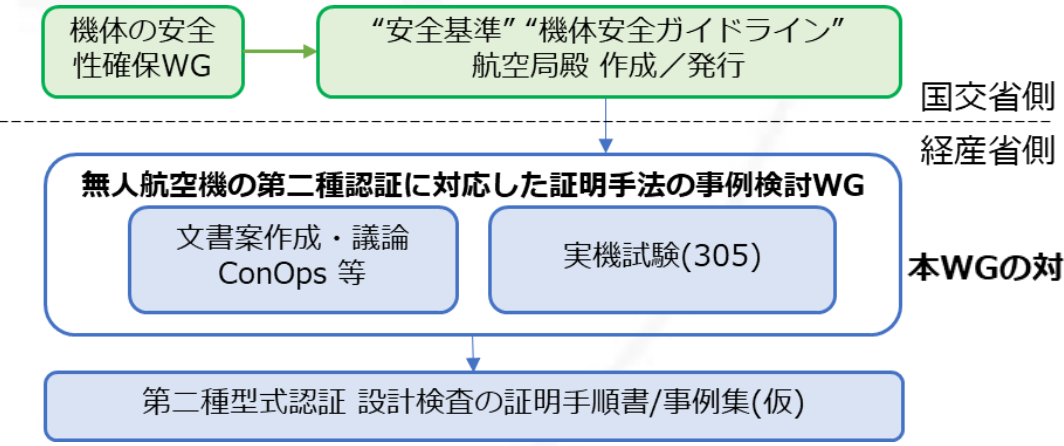
「（1）性能評価基準等の研究開発
7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」の成果と意義

無人航空機の第二種認証に対応した証明手法の事例検討WG

国土交通省航空局発行「安全基準(※1)」「認証ガイドライン(※2) 」を元に、

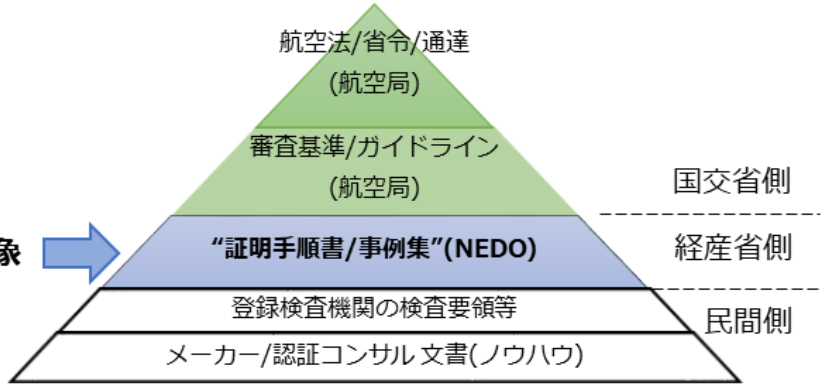
第二種型式認証 設計検査の証明手順書・事例集を検討する。

※1 無人航空機の型式認証等における安全基準及び均一性基準に対する検査要領(2022/9/7 制定, 2022/12/2 一部改正)
https://www.mlit.go.jp/koku/content/001520547.pdf
※2 無人航空機の型式認証等の取得のためのガイドライン
https://www.mlit.go.jp/common/001574425.pdf



国土交通省と経済産業省との役割分担イメージ

本WGの対象



各文書等の位置づけイメージ

「（1）性能評価基準等の研究開発
7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」の成果と意義

主な成果

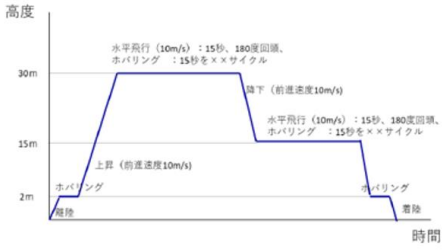


図5「空撮」における飛行プロファイル

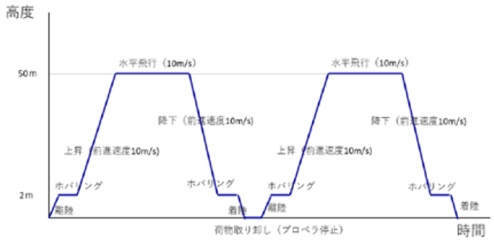
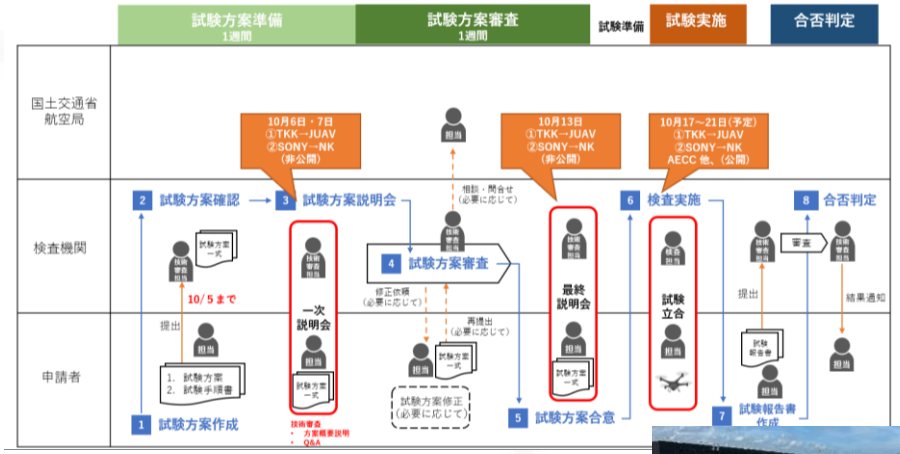


図6「輸送・宅配」における飛行プロファイル

2021年度「飛行試験法案開発」に使用された飛行プロファイル





2022年度「305起こりうる故障」模擬検査試験の実施プロセス及び試験（福島RTF）

主な課題や意義

- 研究期間の都合などにより、基準案に対する、証明手法案の検討に留まり、論点整理と今後の課題の整理にとどまったこと。
- 実地での模擬検査等を通じて、機体認証のプロセスをドローン業界関係者の理解を深めたこと。

「（1）性能評価基準等の研究開発
7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」の成果と意義

研究開発内容及び成果

福島ロボットテストフィールドを含む、各種試験場で実施可能な無人航空機の新しい性能評価試験法を開発

- 飛行、構造、動力装備、装備品、通信等、無人航空機の安全性の確認に必要な性能項目を中心に設定。
- 飛行性能、対人安全、騒音評価、センサ評価などの新たな試験法開発を実施、基礎データを取得

＜研究開発の事例＞

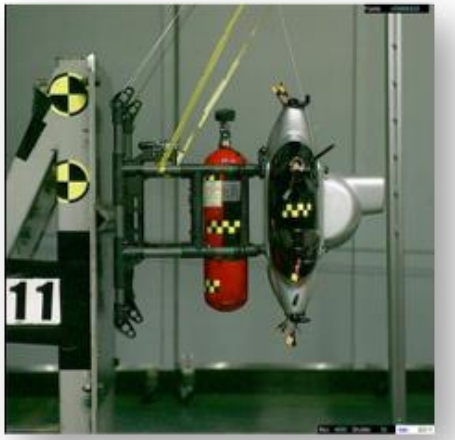
事例①
墜落・衝突時の衝撃力、部品の飛散状況の確認実験



事例②
プロペラガードの有効性に関する検討



事例③ “HYGE衝撃試験装置”を用いた
ドローン搭載用水素タンクの安全性確認試験



意義

◆ 新たな機体開発・製品化時の性能評価に資する新たな試験法の開発・提案を行い、各メーカーの各種認証取得、社内試験等へ参考となる情報の提供。

「（1）性能評価基準等の研究開発 7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」の成果と意義

研究開発内容

無人航空機システムが活用されるユースケース及びそれぞれで扱われる情報などの特性を踏まえ、機体メーカ・サービス事業者が活用可能なセキュリティガイドラインを策定

- 無人航空機システムが遂行すべきミッション・扱う情報について、社会的、経済的な影響や安全や人命に対する影響の観点から4つのセキュリティクラスを設定
- Common Criteria(CC: ISO15408) 等を参考に、セキュリティ要件の対策内容の詳細化
- 機体メーカーやサービス事業者へのヒアリングを実施し、実ビジネスを踏まえ、チェックリスト含むガイドライン案を作成

セキュリティクラス	用途	概要
クラス１	一般利用	ホビー利用を想定した領域
クラス２	産業利用	ビジネス資料を想定した領域
クラス３	産業／公共利用	人命や安全にかかわる領域
クラス４	防衛など	軍事や国防を想定した領域

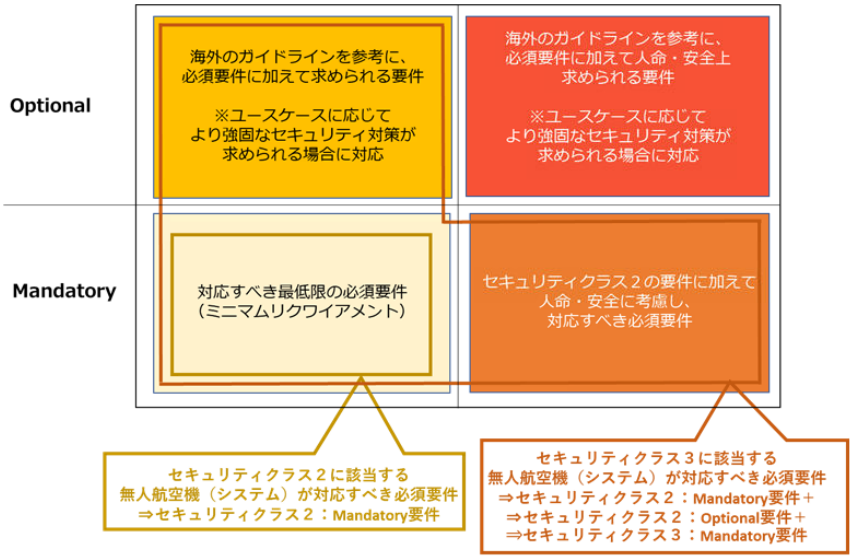


図2　各クラス区分に対するセキュリティ要件

主な成果と意義

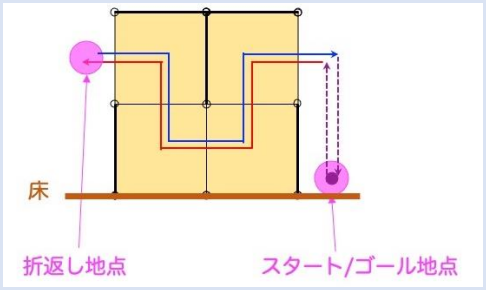
・無人航空機システムで扱う情報の性質や漏洩リスクなどに基づくセキュリティクラス2,3への適合性を示す際に活用可能なセキュリティガイドライン
・機体メーカーやサービス事業者が本ガイドラインに沿ったセキュリティ要件を活用し対策を行うことで、利用目的に応じたセキュリティ基準に適合していることを容易に示すことができる。

「（1）性能評価基準等の研究開発
7）無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」の成果と意義

研究開発内容

- 非GPS環境下(※)で要求される要素機能の性能を定量的に評価するための試験法（試験供試体と 試験実施方法）の開発　※GPS等の外部リファレンスに基づいた位置測位系からのデータ受信が遮断された環境や状況
- 狭隘環境下の飛行制御、飛行中の環境計測を性能評価の対象として選択
- 議論・開発・試験のサイクルを回す活動の基盤づくり
  - JAEA楢葉遠隔技術開発センターにおいて、2021年5月・8月・11月に意見公開会を実施
  - 第1回意見交換会の様子：https://youtu.be/KhLwxArkhIM

試験法の開発



飛行試験



ユーザ、メーカ、試験法開発者を交えた議論



主な成果と意義

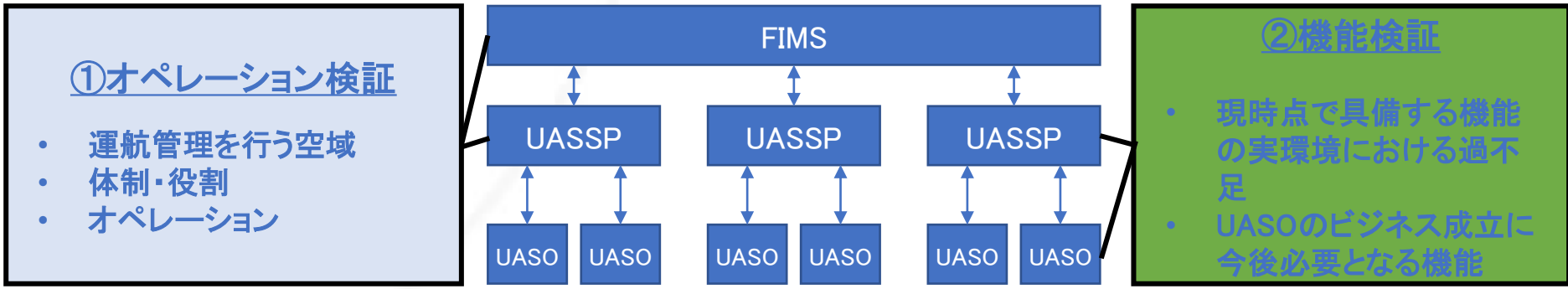
非GPS環境の性能評価法に関して手順書としてまとめる

非GPS環境下を飛行する小型機体の技術開発の促進

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
10）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業の成果と意義

研究開発内容

- DRESSプロジェクトでは、レベル4飛行の実現によって様々な産業分野におけるドローンの利用が増えることによって多数のドローンが一定のエリア内を同時に飛行する将来に備え、飛行計画と動態情報の両方を管理するために必要な運航管理システムが開発されてきた。
- その一方で、運航管理システムにおいて「実環境利用に向けたオペレーション体制・内容」、「現時点具備する機能の実環境における過不足」ならびに「UASOのビジネス成立に今後必要となる機能」は、まだ明らかになっていない。この2点を明確にすることを目的として運航管理システムの「①体制オペレーション検証」「②機能検証」を全国実証で実施

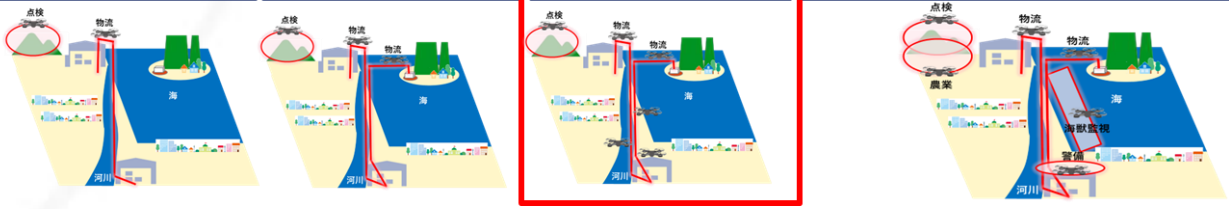


②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
10）地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業の成果と意義

主な成果と意義

＜地域の状態に応じて必要な機能の検討＞
「空域の重複が少ない地域」では、計画段階の調整、「特定空域で重複が発生している地域」では計画の直接交渉や動態管理、「複数の空域で重複が発生している地域」では計画の自動交渉や回避方法の指示が必要。3年後は、Step3の動態管理を実現することを目標とし、重複が頻発する地域で実装するべきと整理。

			Step1	Step2	Step3	Step4	Step5
無人機の管理	Pre-Flight	計画調整	○	○	○	○	○
		計画交渉（直接）		○	○	○	○
		計画交渉（自動）				○	○
	In-Flight	動態情報提供			○	○	○
		回避方法提案					○
有人機の管理	Pre-Flight	計画調整	有人機（特にVFR機）の飛行計画に詳細ルートが含まれないため、共有はできないか				
	In-Flight	動態情報提供	○	○	○	○	○
		回避方法提案					○
地域の状態			空域の重複が少ない地域	特定空域で重複が発生している地域	特定空域で重複が発生し、頻度が高い地域	複数の空域で重複が発生している地域	



官民協議会や関連WG等に、報告を行い、運航管理システムに関する具体的な検討へとつなげた。

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
6）遠隔からの機体識別に関する研究開発の成果と意義

主な成果と意義

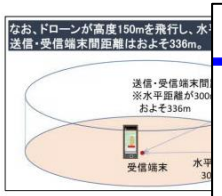
- 2021年6月の小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会において、以下のようにNEDOよりも資料の提示。
- リモートIDの制度化の基盤となる情報提供を業界団体等含めて実施し、制度化に貢献。

リモートIDの技術開発について

1．実証実験概要（2021年3月）

ブロードキャスト型リモートID小型試作送信機の通信性能の技術評価を実施





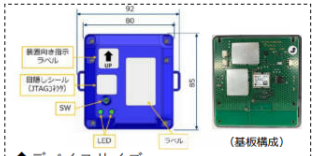
○送信端末：　ブロードキャスト型リモートID小型試作送信機（外付け型、内蔵型）
　　ドローンに搭載し高度150mを飛行、機体の向きを変えて測定
○無線方式：　Bluetooth5.0
○受信端末：　地上の中央通路上を移動
○試験条件：　ブロードキャスト型通信評価仕様書※1に準じて実施
○発信情報：　144byte（リモート ID の基本設計（案） ※2 に基づく）
○評価指標：　通信成功率※1
○試験結果：　外付け、内蔵型ともに水平距離300mにて通信の成功を確認

※1　NEDOプレスリリース（無人航空機を遠隔から識別できるブロードキャスト型通信機
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101376.html
※2　小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第１５回）（2020.12.10）資料３
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai15/siryou

リモートIDの技術開発について

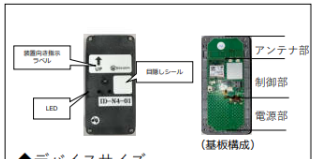
2．リモートID試作デバイスの仕様概要

（参考）2020年10月実証（外付け型）



◆デバイスサイズ
　75.0mm (W) x 80.0mm (H) x 15.0mm (D)
◆ユニット質量　約134g
　(電池約31g, 基盤約30g, ケース約73g)

2021年3月実証（外付け型）



◆デバイスサイズ
　36.3 mm(W) x 92.85mm(H) x 14.4mm(D)
◆ユニット質量　約100g
　(電池約31g, 基板約14g, ケース約55g)

2021年3月実証（内蔵型）



◆基板サイズ
　36.3 mm(W) x 36.2mm(H) x 9.8mm(D)
◆ユニット質量　約29g
　(基板約7g, アンテナ約22g)

基板関連仕様

分類	項目	外付け型・内蔵型に共通
無線	無線方式	BLE（Bluetooth v5.0）
CPU	プロセッサ	Cortex-M4 (TI CC2642R)
メモリ		RAM:20kbyte/ROM:352kbyte
センサ	温度	TI TMP112
	Motion	ICM-42605
	GPS	ublox NEO-M8Q
	追加	気圧・コンパス（ASTM（オプション））

アンテナ、電源、機構等関連仕様

分類	項目	外付け型仕様	内蔵型仕様
アンテナ	送信出力	3.3mW/2MHz (5.19dBm)	3.3mW/2MHz (5.19dBm)
	アンテナ利得	3.5dBi（アンテナ数１、基板にパターン組み込み）	3.24dBi（外付けダイポールアンテナ）
電源	電池	リチウムイオン二次電池 3.8V/1670mAh (7時間以上)	機体バッテリーに接続
	スイッチ方式	メカニカルスイッチ (タクトスイッチ)	-
機構	筐体材質	ナイロン12 (3D Printer品) (機能安全等非対応)	-
	工具	筐体ネジは特殊ネジ (トルクスネジ)を使用 (電波法)，電池交換部は十字穴付ネジ	-
法令	電波法	認証番号：003 200276	認証番号：003 200277

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
6）遠隔からの機体識別に関する研究開発の成果と意義

主な成果と意義

2019年時点



2021年時点



相対速度２００ｋｍ／ｈでの
有人ヘリコプタとの衝突回避

小型化、軽量化、低消費電力化

		2019年度実績	開発目標	低減率
サイズ (cm^3)	光波センサ	13,100	2,250	-83%
	電波センサ（レーダ）	30,000	2,400	-92%
89%低減	自律管理装置	465	270	-42%
	トータル	43,565	4,920	-89%
重量 (kg)	光波センサ	5.0	0.8	-84%
	電波センサ（レーダ）	5.0	1.2	-76%
78%低減	自律管理装置	0.5	0.3	-40%
	トータル	10.5	2.3	-78%
消費電力 (W)	光学センサ	80.0	25.0	-69%
	電波センサ（レーダ）	70.0	45.0	-36%
53%低減	自律管理装置	14.6	8.0	-45%
	トータル	164.6	78.0	-53%

10kgクラス無人航空機搭載可能なセンサー等の開発
目視外飛行に必須な有人機との衝突回避技術の提案

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
6）遠隔からの機体識別に関する研究開発の成果と意義

主な成果と意義

② **定量的な評価試験**：有人航空機に対する相対速度200km/hの自律的な衝突回避機能を実証するとともにニュースリリースを実施した。

③ **実環境での飛行実証**：「小型化・低消費電力化の衝突回避技術」と「離島対応の運航管理機能」を組み合わせて、本研究開発の技術の有効性を確認した。



News Release
2021.11.08

株式会社 SUBARU
日本無線株式会社
日本アビオニクス株式会社
マゼランシステムズジャパン株式会社
株式会社ACSL

世界初、相対速度 200km/h での小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功
―小型化／低消費電力化したセンサで有人ヘリコプターを自律的に衝突回避―

（株）SUBARU、日本無線（株）、日本アビオニクス（株）、（株）ACSL、マゼランシステムズジャパン（株）は、9月9日から10日、広域飛行空域（福島県南相馬市）で、小型化／低消費電力化されたセンサを10kgクラス無人航空機に搭載して、自律的な衝突回避試験を実運用速度域である相対速度200km/hで実施し、世界で初めて成功しました。これは小型無人航空機を社会実装するための目途立てとして、大きな前進となるものです。

一般にドローンと呼ばれる小型の無人航空機や、それよりも一回り大きく、より大きなセンサなどを搭載できる中型の無人航空機は、既に農業分野などで利用が広がり、さらには災害時の物資運搬や遭難者捜索、物流インフラなどの用途に大いに期待され、運用数は増加しています。

しかし、無人航空機とドクターヘリなどの有人航空機のニアミス実例※1が国内で報告されるなど、衝突回避技術は、安全利用のための喫緊の課題となっています。また、衝突回避技術は、無人航空機の実用化に必要とされる、「目視外飛行※2」および「第三者上空飛行※3」の実現に欠かせない技術です。

今後、本成果を活用して衝突回避システムを確立し、無人航空機の社会実装推進に努めて参ります。

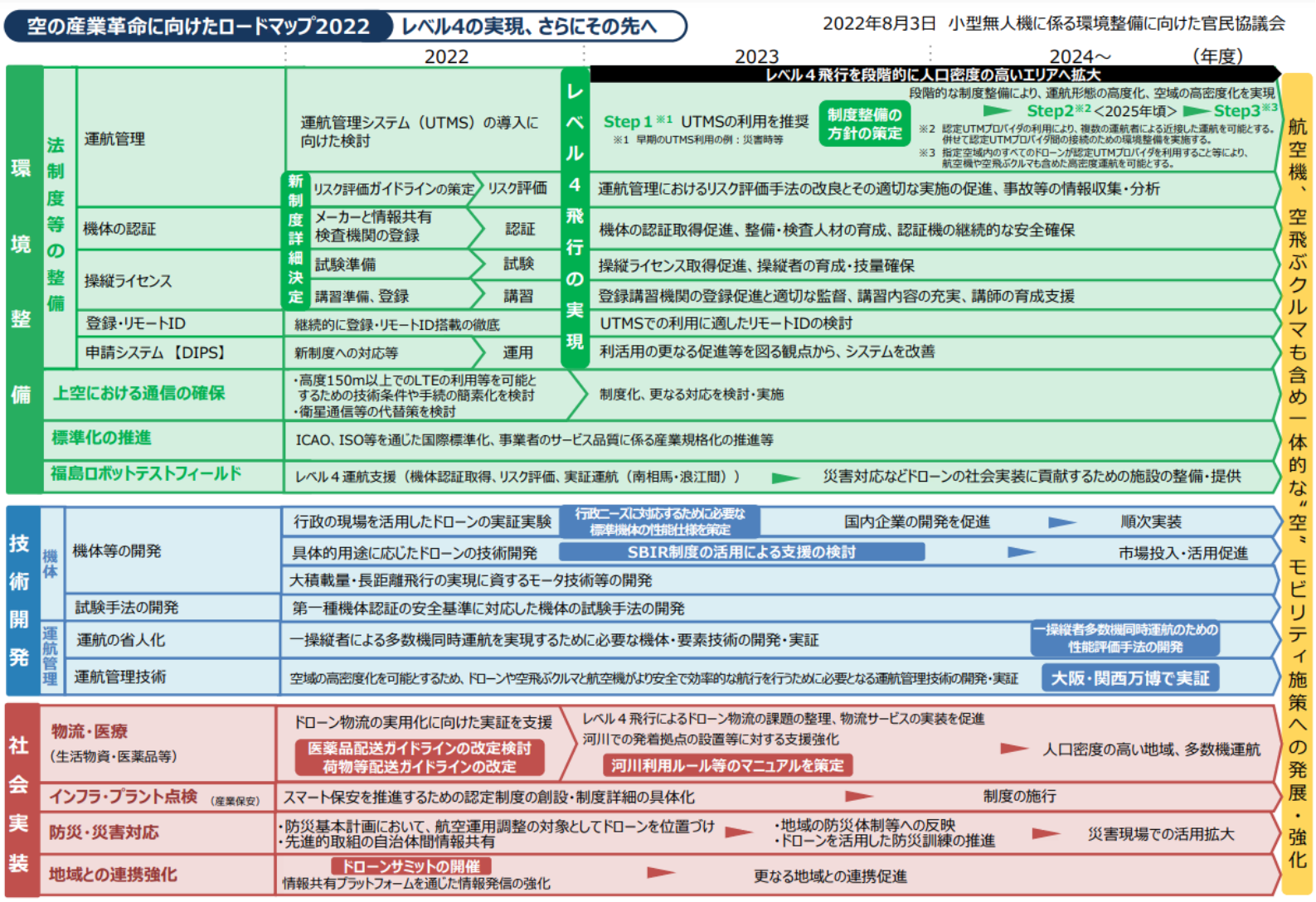
なお、本試験は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」の一環として実施されたものです。

図 1　衝突回避飛行試験イメージ



技術の有効性を示し、ISO等への提案の根拠へとつなげた。
（詳細は非公開プレゼンにて。）

アウトカム（社会実装）までの道筋（参考）

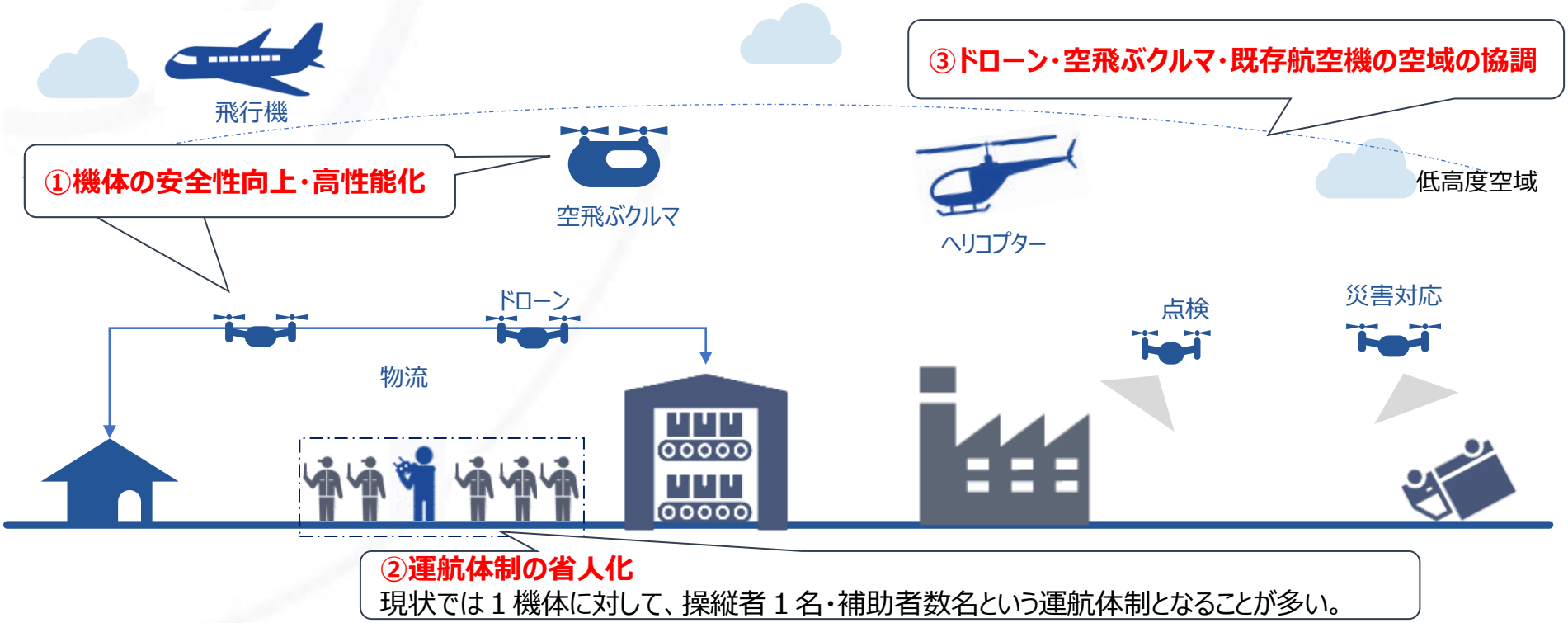


出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2022年8月3日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

アウトカム（社会実装）までの道筋（参考）

次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト（ReAMoプロジェクト）概要

今後の産業拡大を見据え、
①**試験方法の標準化**や**産業規格化**により、**「機体の安全性向上・高性能化」を進め**、**ドローンの活用の幅を拡大し、空飛ぶクルマの市場を創造**する。
②**「運航体制の省人化」**によって**１人の操縦者が複数の機体を操縦**できるようにし、**ドローン利活用のポテンシャルをさらに引き出す**。
③また、空飛ぶクルマが登場することも見据え、**ドローンと空飛ぶクルマ、既存航空機が空域を協調し、より安全で効率的な航行を行うための技術の確立**を目指す。



出所：「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」（2022年8月3日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html

参考資料１　分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」
（終了時評価）分科会 議事録および書面による質疑応答

日　時：2023年12月12日（火）10：00～16：30
場　所：NEDO川崎本部2301～2303会議室（オンラインあり）

出席者（敬称略、順不同）
＜分科会委員＞

分科会長	小林　哲則	早稲田大学　理工学術院　教授
分科会長代理	高野　滋	株式会社ANA総合研究所　顧問
委員	市川　芳明	多摩大学　ルール形成戦略研究所　客員教授 一般社団法人ドローンサービス推進協議会　理事/認証担当
委員	岩本　学	株式会社日本政策投資銀行　産業調査部　兼　航空宇宙室　調査役
委員	佐藤　彰	静岡理工科大学　理工学部　機械工学科　教授
委員	堀口　賢一	大成建設株式会社　技術センター　社会基盤技術研究部 先端基盤研究室　先端施工チーム　チームリーダー　主席研究員
委員	米田　洋	帝京大学　理工学部　航空宇宙工学科　航空宇宙工学コース　教授

＜推進部署＞

古川 善規	NEDO ロボット・AI部 部長
関澤 和広	NEDO ロボット・AI部 主幹
千田 和也	NEDO ロボット・AI部 主幹
森 理人(PMgr)	NEDO ロボット・AI部 主査
細谷 克己(PMgr)	NEDO ロボット・AI部 主査
安生 哲也	NEDO ロボット・AI部 主査
平山 紀之	NEDO ロボット・AI部 主査
監物 真保	NEDO ロボット・AI部 職員

＜実施者※メインテーブル着席者のみ＞

鈴木 真二	東京大学 未来ビジョン研究センター 特任教授
岩田 拡也	国立研究開発法人産業技術総合研究所 情報・人間工学領インダストリアル CPS 研究センター フィールドロボティクス研究チーム 主任研究員
杉田 博司	KDDI 株式会社 事業創造本部 LX 統括本部リーダー
田靡 哲也	日本電気株式会社 クロスインダストリーユニット クロスインダストリー事業開発本部シニアエキスパート
久保 大輔	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門 航空利用拡大イノベーションハブ CONCERTO プロジェクトチーム (兼) 多種機体・多様運航統合技術チーム 主任研究開発員
山根 章弘	株式会社 SUBARU 航空宇宙カンパニー 航空宇宙技術開発部 部長
平木 直哉	日本無線株式会社 事業本部 執行役員 特機事業本部長
林 正晋	日本無線株式会社 特機事業部 企画推進部 担当部長

＜オブザーバー＞

石尾 拓也	経済産業省 製造産業局 航空機武器宇宙産業課 次世代空モビリティ政策室 室長補佐

＜評価事務局＞

三代川 洋一郎	NEDO 評価部 部長
山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
木村 秀樹	NEDO 評価部 専門調査員
北原 寛士	NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

（公開セッション）

１．開会、資料の確認

２．分科会の設置について

３．分科会の公開について

４．評価の実施方法について

５．プロジェクトの概要説明

5.1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

5.2 目標及び達成状況

5.3 マネジメント

5.4 質疑応答

（非公開セッション）

６．プロジェクトの詳細説明

6.2 無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

6.2.1 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業

6.2.2 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発

6.2.3 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

6.2.4 質疑応答

6.1 ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発／性能評価基準等の研究開発

７．全体を通しての質疑

（公開セッション）

８．まとめ・講評

９．今後の予定

１０．閉会

議事内容

（公開セッション）

１．開会、資料の確認

・開会宣言（評価事務局）

・配布資料確認（評価事務局）

２．分科会の設置について

・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。

・出席者の紹介（評価委員、評価事務局、推進部署）

【小林分科会長】　分科会長を仰せつかりました早稲田大学の小林と申します。私の専門はロボットとのヒューマンインターフェースが主な仕事であり、そういった意味ではドローンとの関連が濃いわけではありませんが、中間評価の際にも担当をしたことからお声がけをいただいた次第です。長丁場になりますが、本日はどうぞよろしくお願いします。

【高野分科会長代理】　ANA 総合研究所の高野でございます。私は、もともと国土交通省の航空局に長くおりまして、そのときからドローンであるとか、空飛ぶクルマの社会実装関係の仕事をしていました。現職でも引き続き似たようなことをやらせていただいており、その関係でお呼びいただいたものと思っています。本日はよろしくお願いいたします。

【市川委員】　多摩大学の市川でございます。私は JUTM(日本無人機運行管理コンソーシアム)というドローンの空域管理をやっている団体の標準化の主査をしております。また、そこが国内の審議団体となり、ISO/TC20/SC16 というところで多数のドローンの国際標準をつくっております。そこの UTM 関連、WG4 の国際主査もしております。本日はよろしくお願いいたします。

【岩本委員】　日本政府投資銀行の岩本と申します。もともと航空宇宙分野において、特に航空機に携わる機会が多かったのですが、数年前からドローン、空飛ぶクルマの社会実装に取り組むようになりまして、地方自治体との連携であるとか、産業界のいろいろなプレーヤーとの会話であるとか、そういったところを今積極的に進めているところです。皆様、今日はどうぞよろしくお願いいたします。

【佐藤委員】　静岡理工科大学の佐藤です。私はメーカーで無人ヘリコプターの開発をしており、大学に入ってからも、その研究であるとか、特に制御関係の研究をしております。現在では JUAV(日本産業用無人航空機工業会)の顧問、JUI(日本無人航空機検査機構)の理事をしております。よろしくお願いいたします。

【堀口委員】　大成建設の堀口と申します。私はゼネコンにおいて、コンクリート材料の研究開発に主に従事しております。そういった中で、もう七、八年になりますが、第一期の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)のときにドローンを使い、インフラの点検、特にひび割れの点検等に活用させていただいております。それ以来、ユーザーの立場でドローンを活用させていただいているところであり、本日はそういった点から評価をさせていただけると思っておりますので、よろしくお願いいたします。

【米田委員】　帝京大学の米田と申します。私は航空機メーカーで長く無人航空機開発に従事してきました。多数の機体、防衛省関係、JAXA の研究関係、その他とやってきており、今は無人機システムという研究室を持っています。また、先ほど佐藤委員も自己紹介で申されていましたが、私も JUAV の顧問及び JUI の検査員をやっていますので、どうぞよろしくお願いします。

３．分科会の公開について

評価事務局より資料２及び３に基づき説明し、議題 6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題 7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

４．評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料 4-1～4-5 に基づき説明した。

５．プロジェクトの概要説明

（1）意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【小林分科会長】　ご説明ありがとうございました。

ただいまの説明に対して、何かご意見、ご質問等がございましたら、お受けいたします。市川委員お願いします。

【市川委員】　市川です。3 点ほど伺います。まず 1 点目は資料 5 ページになります。そこに、WRS のロボットシンポジウムの話が ASTM の規格に反映されているといったところで、「E54」という ASTM を書かれています。そこを調べてみますと、「WK58931」という規格があるように思いますが、これが対象規格になるでしょうか。「New Test Method for Evaluating Aerial Drone Maneuvering and Payload Functionality」といった話になっており、ロボットのサブコミッティのように思えるのですが、「Sub Committee on Response Robot」というのはこれでよろしいのか、こちらで活躍されるという理解で合っているでしょうか。

【細谷 PMgr】　そのような認識でおります。

【森 PMgr】　少し詳細を確認させていただきますと、規格化の方向を立てたというところまでと承知しておりまして、具体的なワークアイテムとしてどこまで進んでいるかまでは至っていないと思われます。

【細谷 PMgr】　補足のとおり、まだ検討をしている段階と伺っております。

【市川委員】　分かりました。それでは 2 点目を伺います。資料 29 ページの 8,000 億円市場の話になりますが、私、別途業界団体のいろいろな皆様から「なかなかドローンは儲からない。大きな会社もいないし、中小企業の 8 割は赤字だ」という話も聞いているため、本当にそれほどあるのだろうかという思いがございます。2023 年時点でのドローンをやられている市場規模として、黒字会社になっているのかどうか、また 2027 年に 8,000 億円にいくというすごい勢いだというところで、そのあたりの状況を教えていただければと思います。

【森 PMgr】　申し訳ございません。今、手元に詳細資料がなく、ご返答に少しお時間をいただければと思います。

【市川委員】　承知いたしました。それでは、後ほどご回答いただけますと幸いです。質問の意図としましては、私、ビジネススクールの客員教授をしているのですが、ビジネスの現状は結構厳しいものですから、本当にこんなにすごい未来があるのだろうかと感じる一方、テラドローンという会社だけは、実は社長と私は知人でもありまして、国際規模で活躍し、世界 1 位か、2 位の大会社であることを存じ上げておりますが、そのほかでは、あまりドローンで儲けている話を聞いたことがなかったため、伺った次第です。

それから、3 点目は 53 ページになります。これは、実は議題 6 にも似たようなものが出てくるのですが、いわゆる日本の安全を司る社会システムの典型だと思います。法律がありまして、省令や通達がある。そしてガイドラインが出る。これに関して、なぜ JIS や ISO を使わないのだろうかといったところです。諸外国は、ほとんど法律のコンプライアンスは規格で担保をすることになっています。特にヨーロッパの場合には、New Legislative Framework というのが 80 年代から始まっており、法律を一個つくると指標づくりに Mandate といって規格化要求が政府から出てくるのです。法律ではコンプライアンスをはっきりとするというのが難しいです。だからこそ、日本もガイドラインをつくっていると思うのですけれども、特に機体認証に関しては、これは基本的に標準でいくほうが正しく、ガイドラインを出すというのは何か妙だと感じます。そういうガイドラインが、多分ほぼ英語化されていないので、外国人から見たら読めない代物になります。ですから、せめて JIS とかそういった選択肢はないのだろうかというのが最後の質問になります。

【森 PMgr】　私の立場でお答えを差し上げることが悩ましいところですが、まず 2 点目の質問に対しまして、現状の市場規模というところについては、周辺サービス、サービス、機体ということを含めて、インプレス総合研究所のほうで出されている市場ですと 2022 年度で 3,000 億円となっており、かなりのところで成長していくことが見込まれております。また、この市場の大きな特徴としては、サービスのところが一番実入りがよいということだと思っております。そういう意味で、いろいろな国内の小さな企業、ドローンのオペレーターのところまでお金が行き渡っているといったことだと思っております。ただ、市場をつくるにあたって難しいという観点では、個別特化した新しいソリューションをつくっていかなくてはいけないという積み上げ式で、そういう意味で一つのサービスモデルで一気に稼ぐことができるところがあまりございません。点検も一つのソリューションを一つ一つ積み上げる、そういう意味でテラドローンは丁寧にプラントメーカーに寄り添ってつくられているといったことでやられているものだと承知しておりますし、そういう努力なしには市場を取れないと認識しております。そういう意味で、物流はもしかしたらそういうマスが一気に取れるモデルの可能性はあるのではないかと個人的には期待をしております。

【市川委員】　今単価が高いサービスというのは、点検であるとか、医療もまだお金になってはいないと思いますが、単価が高くてもよいといったところがある中、物流が一番厳しそうなところで、宅急便と競わなければいけないため、1 回当たり 500 円とかそんなことが出来るわけがないので制度を変えて、レベル 3.5 であるとか、4 が一番よいのでしょうけれども、第三者上空を操縦士や補助者なしで、ブンブン飛んでいけるという世界を目指しているのだと思いますし、それに向けて今 ReAMo をやられていると思います。確か、中間評価の時に実施者が「1 平方キロ当たり何台ぐらい飛べば、今の物流と大体同等になる」ということをおっしゃったと思うのですが、あれが本当に実現できる社会に向けて、ぜひその制度をつくるために、航空局が気にしている安全性はこれでクリアできますという技術成果につなげていただくと、多分如実に NEDO 前・NEDO 後で市場がぐんと伸びた、特に物流は 10 倍になったというすごいことが起こるのを期待したいと思いますので、今は ReAMo で頑張っていただくことを森様にはぜひそこをお願いしたいというのが 2 番目に関しての私の気持ちです。ありがとうございました。

【森 PMgr】　それから 3 点目になりますが、欧州のニューアプローチ等を引用されてご指摘いただいているものと思います。実際にドローンの欧州の制度は EASA(欧州航空安全機関: European Aviation Safety Agency)がしっかり持つことをオープンにし、ニューアプローチに委ねている状態と認識しております。日本のここの部分については、欧州で言えば EASA が見ているような部分と承知しておりますし、そこだと、このレベルの審査基準を出されていると思われます。

【市川委員】　ただ、EASA は EURECA(European Research Coordination Action)の規格に任せていること、それから最近出来た CEN(欧州標準化委員会)の新しい TC で、ドローンに CE マークをつけるような話が始まったというのをつい先日 ISO/TC20/SC16 のロンドン会合に CEN の人がやってこられて伺いました。やはり、そういう意味ではニューアプローチなのです。その点は大分彼我の差があるように思います。EASA が直接出しているガイドラインも確かにあるのですけれども、大体 EURECA か CEN になるのではないかと思います。その辺は、よいところはまねをしたほうがいいと思っているのですが、そのあたりは何かアプローチとして、例えば国交省に「JIS にしましょう。ISO を使いましょう」といった話はされているのでしょうか。

【森 PMgr】　そこは、別途ご相談になるかと思います。ただ、実際に CE マーキングをつけるという世界であれば、CENELEC(欧州電気標準化委員会)で使っている EN の規格でなければコンプライアンス手段として認められないと認識しておりますので、そこと、それ以外のところを EURECA がやるというデマケがはっきりしている世界と承知しております。日本はそれを連続するような世界で扱っているわけですので、どういうものが適切な形なのかということが一つと、ドローンは多様性がある世界なので、アクセプタブルなコンプライアンス手段をつくるということがございます。

【市川委員】　確かに、それはあります。

【森 PMgr】　それが業界のために必要な活動だと思っていますので、本ワーキングでは「こういうことがあり得る」、あるいは、「大元の考えはこういうものだ」ということを共有するということで、このワーキングでも行っていますし、今も進めているところでございます。根本で必要なのはこういう文章をつくるということではないと私は思っております。

【市川委員】　論点であるとか、観点といいますか、そういったところでしょうか。

【森 PMgr】　そういった哲学的なところを皆様に共有されることが重要だろうと思います。

【市川委員】　あとは、それを JIS にするなりガイドラインにするなりは、また別のインプリメントの問題であり、政府筋の関係もあるといったところでしょうか。

【森 PMgr】　そのように承知しております。

【市川委員】　ありがとうございます。以上です。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。

それでは、ほかにございますか。岩本委員、お願いします。

【岩本委員】　ご説明ありがとうございました。今の市川先生の質問でもありました市場規模のところで質問をいたします。まず、事業全体の達成までの道筋をこの場では議論をするということですが、「社会実装」という言葉を使うと正直少しよく分からなくなるところもございます。そこで具体の数字をもって議論した方が良いと思いますが、社会実装されることで実現するアウトカムというのは、結局これだけの市場規模と、脱炭素・省エネのところを実現することであると理解しています。この 8,000 億円の市場規模を実現するために、制度であるとか、運航管理の基盤となるところを整えないといけない。それを DRESS の中でやってきたというのが大枠であると考えます。その上で、8,000 億円という数字は非常に大事だと思っているのですが、先ほどおっしゃっていた 2019 年度で見たときに、2030 年に 8,000 億円になる予定だったということですけれども、この 2023 年度という意味だと、プロジェクト開始当時にどれぐらいの市場規模がそもそも見込まれていて、さらに内訳が多分サービスによってもまた違っていたのではないかと思いますが、そこと今の時点の予測と実際の数字を比較したときにどういった感じで出てきているのでしょうか。その趣旨としましては、DRESS でつくった基盤によってどういった形で市場が立ち上がったのか、それによって分かるという話になると思いますし、2019 年度に見ていた数字として、中のシェアも含めたところで今見えている数字というところの比較感はしっかりと見ておきたいという感覚からになります。さらに言えば、2030 年、2027 年のところまで、8,000 億円という市場規模が農薬散布、物流、インフラ管理といったどういうサービスから構成されているのかというのは、つぶさに見てもいいのではないかといった思いがございます。

あと、まさにドローン産業自体は、グローバルに見ても一から今立ち上げているようなタイミングだと思います。日本だけが 8,000 億円で、こういうカーブで立ち上がっていてという議論をしても、良し悪しを議論しにくいところがございます。これは何か相対的に欧米を比べたときに、彼らの市場の立ち上がりのスピードと、今実現している市場規模と将来の見通しというところが、日本の現状と比べたときにどうなっているのだろうかというのは、すごく気になるところです。そこで日本が相対的に早いのか、遅いのか、規模が大きいのか、小さいのか。そういったところをもって今回の DRESS の事業、さらに言えば後続の ReAMo もということになるかもしれませんが、それらの事業が日本での市場形成に貢献してきたかという、そういう話ができるのではないかという感覚がありますので、やはり海外との比較は市場規模の確認は必要になってくるのではないでしょうか。

さらに、冒頭に申し上げたとおり、NEDO が取り組んでいることは、結局基盤づくりだと思いますので、それと森様からお話のあったサービスを一個一個積み重ねて、それが民間のビジネスになって市場規模につながっていく、売上げにつながっていくというところとはギャップがあると思うのです。単純に DRESS のインパクトは市場形成だけでは測られないところがあるのではないかという感覚もありまして、逆にそうな

ると、そこの部分を埋めるような取組もまた必要になってくるのではないかと考えるのですが、何かそのあたりというのは、具体的な活動でいくと展示会に出すであるとか、中間評価のコメントであったかもしれませんけれども、ビジネスモデルを横展開していけるようなそういう戦略をつくるとか、そういったところの取組で民間のビジネスと NEDO がやっている基盤づくりのところをブリッジさせるような取組というのをやってこられたであるとか、そういった位置づけ、もしくは、ほかにやってきたところがあれば、ぜひ教えていただければと思います。

【森 PMgr】 本事業については、アウトカムへの寄与については非常に評価が難しい事業と承知をしております。また、欧米との比較の数字につきましては、ただいま手元に持っていないため、昼休み等に整理をし、間に合いましたら、議題 6 の場面で報告できればと思っております。そして、ご指摘のとおり、ギャップを埋める活動は悩ましいところといいますか、このプロジェクト範囲の外側の活動が求められる部分であります。2021 年度まではこの事業を進めることが手いっぱいで、それ以外のところは NEDO としてやっていたかという観点ではあまりないというのが正直なところだと思います。ただ、政府の施策パッケージという観点では、実際にユースケースを広げるようなものというところもあると思いますし、実際に、例えばその農業用途では農研機構がやられているものがございます。恐らくユースケースの開拓が十分ではないという指摘として受け止め、ストレートなよい回答ができないところでございます。そこは課題としてちゃんと整理をできればと思います。

【岩本委員】 ありがとうございます。そうなってくると、この場で議論する話でもないかもしれないのですが、やはりこのアウトカム設定が正しいのかというところは今回の研究開発内容と市場の状況を踏まえると、どうしてもそこになってくるところがございます。さらに、そこに直接的な貢献というものが、今おっしゃっていただいたような形でプロジェクトの範囲外となったときに、市場形成のアウトカムの目標を変えたほうがよかった、違うもののほうが実はよかったのか、それとも本当にそこの活動を実はやったほうがよかったのかといった道筋の議論をしようと思うと、そのアウトカムのところがしっかりしていないと議論をしづらいというのが、今日お話を伺った正直な感想になります。いろいろ申し上げてすみませんが、そういったところを思っております。

【森 PMgr】 ご指摘いただきありがとうございます。基盤がなければ市場は形成されないということ、またその基盤ができた上で、どういう海外展開ができるかという効果等も見据えたもので行ったほうがよかったのかもしれないと思いながら聞かせていただきました。いずれにせよ、欧米との比較を議題 6 に間に合わせていただくところですが、感覚としては欧州等と比べれば日本の市場の伸びは早いと認識をしております。一旦、回答は以上とさせていただきます。

【小林分科会長】 どうもありがとうございました。そのほか何かございますか。佐藤委員、お願いします。

【佐藤委員】 今のところにも若干関係するのですが、資料の 31 ページにありますように、市場が 2030 年には 8,000 億円と推測される中、180 億円の予算で行ってきたということですけれども、これは結構大きな額だと思います。海外では、ドローンに対してこういう助成事業なり研究なりをやられている国はあるのか。また海外と比べ、非常に大きな額となるのでしょうか。そのあたりを教えていただきたいと思います。

【森 PMgr】 金額等については、手元に資料がないので数字は申し上げられないのですが、欧州においては SESAR(Single European Sky ATM Research)ということで官民のプロジェクトがあります。実際に細かく様々探索的な研究から TRL4 から TRL6 ぐらいのシステムをつくっていくような研究、あるいは実装するようなプロジェクトというもので、TRL7 から TRL8、TRL9 を目指すようなものを様々な研究ブロックをつくってやられているものがございます。運航管理という観点では、FAA あるいは NASA が中心に進めてきたプロジェクトもございますし、現状でも FAA がリードを取って進めているプロジェクト、フィールドテストということで、どう実装するべきか、ということで課題を整理するようなプロジェクトが行われております。直近だと UTM を実装するという観点で、ダラスのほうで確か来年にプロジェクトをするというとこ

ろを承知しております。どのぐらい政府がお金を出し、どのぐらい民間から引き出しているのかといったところに関しては、今、数字を持ち合わせていないので説明できませんが、各国、政府が強く関与するような形、あるいは官民で共同出資をしたような形、拠出するような形でデータを取得するというのが進められていると承知しております。あとは、FAA のほうで COE プログラムがございまして、ASSURE というプロジェクトを 2016 年ぐらいから進められています。実際にドローンの規制をするためにどういう課題があるのか、技術的課題は何か、落下分散の範囲はどうであるか、どういう衝突があるのか。そういったことを個別に大学にお金をつけるような形で進められているプロジェクトがあると承知しております。その金額については今手元に持ち合わせておりません。

【佐藤委員】　どうもありがとうございます。海外と比較し、ドローンに関して日本の中での立場というものが、今の状況になるためには必要だったものということで理解をいたしました。それから、5 ページにあります「World Robot Summit」ですが、この参加国数であるとか、国内参加数といったものは分かるでしょうか。

【細谷 PMgr】　申し訳ございません。正確な数字を確認した上で後ほどお伝えさせていただきたく存じます。

【佐藤委員】　ありがとうございます。これは非常によい仕組みだと思っております。次回は 2025 年の開催が決まっているようですが、資料を見ますと、「継続的にやっていくような仕組みをつくりたい」と書かれておりますから、その後も続ける意向があるといったところでしょうか。それとも今のところはまだはっきりしていないところになりますか。

【細谷 PMgr】　こちらは、経産省が中心となりまして、福島の復興庁の F-REI(福島国際研究教育機構)が福島で大会をすることが決まっておりますし、大阪と愛知で民間主導によりスポンサーを集めまして、競技の一部において大会を開催することで準備を進め出したという状況です。NEDO が直接関与することはないのですが、引き継いだ形で開催を継続している状況になっております。

【佐藤委員】　ありがとうございます。あともう一点、61 ページの衝突回避に関して、性能的な面は議題 6 の話とのことですが、サイズダウンを行ったことで 10.5 キロから 2.3 キロになったということですけれども、これはコスト的にも安くなったのですか。市場に普及するためには、コストも非常に重要な要点だと思いますので、その点を伺います。

【森 PMgr】　もちろん企業としては、そういうところを目指してやっていただいていると承知しておりますが、どのぐらいの数字というのは持っておりません。まだ製品化の手前ということで、見据えた市場サイズに合わせて量産の手段が変わってくるかと思うので、そこは可能ならば非公開のところで、難しければそこまでというところでご容赦いただければと思います。

【佐藤委員】　重量には目標があったものの、コストは特に今回設定をしていないということですか。

【森 PMgr】　事業のアウトプット目標としては、そうなります。

【佐藤委員】　分かりました。以上です。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。それでは、ほかにございますか。堀口委員、お願いします。

【堀口委員】　ご説明ありがとうございました。資料 31 ページ、32 ページになりますが、まず 31 ページのほうはアウトカムの話で、それから 32 ページからアウトプットという形で具体的な開発イメージになっているわけですが、そもそもの事業背景として、物流であるとかインフラ点検とか、または災害、警備といったところでの市場という話の中で、例えば 32 ページを見ますと、運航管理のシステムというのは、それが一律のところで運用できるようなイメージのように見えますが、使いたい用途によって、この運用管理のシステムというのは個別に本来変わってくるのか、それとも共通 PF で今後進めていけるといった判断になるのか。そのあたりについて、運行管理システムの汎用性については、どのようにお考えでしょうか。

【森 PMgr】　この運航管理システムで実現したい機能というのは、飛行計画を事前に調整することで衝突するような場面を避けることと、飛行状況を共有し、それが逸脱してきたことを共有する、あるいは近づいてきたことを把握し、事前に避ける。飛行位置、情報としてのやり取りにおいてはそういったものがございます。

それらの機能的には共通ですから、いろいろなユースケースで活用可能だと思っております。本日の説明では紹介し切れていないものがありますが、実際に情報提供機能ということで、天候に関する情報であるとか、地図に関する情報については助成事業で進めさせていただいております。それについては実際のご指摘いただいたような警備であるとか物流であるとか、そこで使われる機体の性能によって、どこまでの情報、細かさが必要なのかというところがあるので、それに合わせて加工をいただいて製品化していただく必要があるだろうと思っております。それが一緒くたに入ってくるかというところは、多分この事業が始まった当初はそういうことを想定していたのではないかという気がしておりますが、この事業を通じて、特に 2021 年度に実際のユースケースを見ながら検討をしていくと、実際に航空局の方、あるいは業界の方とを含めて議論をしていても、「余計なサービスは要らない」というのが正直なところですので、実際には多少グラデーションになるのだろうと思っております。

【堀口委員】　基本的に、今回構築といいますか、提案されたシステムがベースにはなるということで理解いたしました。ありがとうございます。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。それでは、そのほかよろしいでしょうか。米田委員、お願いします。

【米田委員】 あまりまとまりのある話にならないかもしれませんが、これは ReAMo のところでも話したことで、「ドローンが活躍する社会」という大きく目指すところがあるものの、先ほどまで ReAMo で問題になっているのは「ドローンが確立すべき安全とは何か」という話になっていて、安全の定義がいろいろ人によってまちまちになっているのです。これが何で起こるかというと、私の中の理解では、例えば、道路交通とか地上を歩くというのは、要するに人間が歩くところから始まるので、100%全ての人が関わる世界なのですが、空というのは、今まではプロフェッショナルしか関わらない世界であって、そこにドローンというものが出てきた。それこそ、その辺の子供でも飛ばそうと思えば飛ばせるものが空に入ってきたという、大きなインフラの革命であり、チェンジでもあるわけです。それを社会実装していくという話になると、新しい文化をつくっていくといった話ですので、省庁分断ではなかなかできない話だと思います。そこで大きく政策として実現しようと思ったときに、例えばドローンに関わるところでいうと、経産省もそうですし、国交省もそうですし、研究開発というと文科省もそうですし、それから電波を管理しているというと総務省もそうだということで非常に連携をしないといけません。例えば、衝突回避のことをいろいろな機器を駆使して、出来た、出来ない、とやっているのですけれども、一刀両断で言えば、ああいう分解能で実現できる話ではないので、あれを早く電波の世界に移していかないといけない。実際、航空の世界では、あれでは回避できないのは分かり切っています。したがって、ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)等で何とかいろいろとやっている訳で、そこのところを大きく変えようと思うと、例えば ADS-B の有人ヘリの義務化とか、補助金を出してでも全部搭載させるとすれば、ドローンは安いモニターだけ持っていればそれで回避できてしまう世界になっているわけで、実際にそうしている国もあるわけです。そういう議論を全体的にやらないといけないという話になるとすると、NEDO でやりますという世界ではないところで、もっと大きな枠組みをつくっていかないといけない気がいたします。

先ほど JIS 化の話がありましたが、本件だって JIS 化で進んでいたものを 1 種認証のサブセットのような 2 種認証に切り替えられてしまったというのが客観的な認識になります。あれは国交省の担当者が変わったからだと私は思っているのですが、そんなもので押し切られるような JIS 化の概念ではなかったはずなのです。せっかく大きく進めようと思っているのに、そういう連携ができていないような気がしてなりません。したがって、個別課題に落としていくと、その課題を与えられた人たちが、その課題の遂行に邁進して、それができた、できないという話になるのですが、全体として見ていれば、ドローンが社会実装されるのはもっと加速できたのではないのかと。反省がよいとは思いませんが、もっとこうしていればこうだったのではないか、次にはどうしたらいいのかといったところで、お考えを聞かせていただきたく思います。

【森 PMgr】　率直に申し上げますと、私自身もこのプロジェクトに途中から入ってきたもので、外の分野から見てきており、外部からのいろいろな情報がもっと早く伝わっていれば、こういうことができたのではないかという思う面は多々あります。ご指摘いただいているとおり、今、後継の ReAMo プロジェクトでも悩んでいる安全の定義であるとか、さらに上位の安全を定義するためには、実際に一般市民の方との本当は対話が必要なのだろうと思っております。それを NEDO の立場でどこまでできるかということは思いつつも、そこまでつなげなければ加速はしないと承知をしておりますが、それをこのプロジェクトの間にできていたかというのは悩ましいところです。NEDO の立場に置き換えますと、そういう議論を喚起することまでは、少なくとも NEDO でできる範囲だと思っておりまして、こういう考えが必要ではないかであるとか、ご指摘いただいたような有人機の情報共有のところは非常に重要だと思っております。議題 6 で、取組を進めていただいた実施者からご紹介いただきますけれども、細かいところでは、実際に Electric Conspicuity という、電子的に目立つという手法について、アメリカでは ADS-B を 10 年以上前から搭載義務化に向け検討され、今では義務化されており、有人機に入っている世界になります。欧州では U-SPACE というレギュレーションの中で、そういうものを mandate にしていくところができている世界の中で、日本はまだできていないというのは何なのか。技術的な課題はしっかりと整理しましょうというのが NEDO のミッションだと思っていますし、その議論をしっかり喚起するためには、コスト的にスケーラブルなのかというところまでは NEDO で出来ることだと考え、そこは提示をできるようにしたいと思ってプロジェクトを進めさせていただきました。そういう意味で、NEDO の研究開発の立場としても、いただいたミッションをそのままやるということでは新しい産業を立ち上げるのは非常に難しいだろうと思っており、実際に社会実装し、本当にサービスが成立するまでを見据えて、細かいアウトプットの設定をし、実際にかなり揺らぎはあると思うのですけれども、そこまで意識をして関係のステークホルダーと実際にコミュニケーションを取るという機会を取り、見落としているようなことをしっかりと気付けるような機会をつくるというマネジメントを NEDO としてはやる必要があるのだろうと思っており、本事業の終盤ではそういうことを意識したつもりですが、至らないところはありつつ、ReAMo のほうでは、そういうことをできるだけ意識しながらやっております。そこは業界に関わる皆様がそういう意識をすること自体が必要だと思っていて、そういう意味で皆様と一緒にできたらと思っております。すみません、回答といいますか、個人的なところが入ってしまいましたが、そのような思いでございます。

【米田委員】　ありがとうございます。回答といいますか、話しにくい内容だったと思います。恐らく NEDO の立場から、例えば DRESS のときもそうですが、恐らく業界のいろいろなメーカーが笛吹けども踊らずといったところがあって、それはプロフェッショナルな航空の分野にドローンが入ってきた段階で、ドローンの人たちの空を飛ぶということに対する認識がすごく甘いのです。甘いというのは考えていないとか、出来ていないというのではなく文化の違いなので、全部航空の文化に染まれとは思いませんが、例えば高度一つに取っても、有人航空機は気圧高度計で測りますが、ドローンは GPS(GNSS)の計測が主流であって、両者には違いが生じることが、必ずしも理解されていないなどあります。例えば密集したところを飛ばすとなったら、航空の空を飛ぶことの当たり前というのを皆に持ってもらわないといけない世界なのですが、そういうのはなかなか事業として見た段階では皆がついてきてくれていないところがあると思います。では、それをどうやってついて来させるのかということと、それから「俺は知っているぞ」という顔をしている国交省に対して、経済という立場でもっと何か言うことがあるのではないかと私も思いますので、願わくは ReAMo では、経済を縦にもっと他省庁を動かすぐらいのことをやっていただきたいと、DRESS を振り返って思いました。感想になりますが、以上です。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。高野会長代理、お願いします。

【高野分科会長代理】　2つほど確認させてください。まず1つ目は、資料の30ページに「実用化・事業化とは」ということが書いてありまして、実はNEDOプロでやられたような技術とかいろいろなものは実用化の原石みたいなものも多いと思っております。そこで、時間が結構かかる課題かもしれないのですが、その後どうなっていったかのフォローアップというのをされる予定の有無であるとか、そういったことをされた場合に、どうPDCAを回していくかといったところのアイデアがあるかというのを一つ伺いたいです。

もう一つは、今日ご説明いただいた資料ではないのですが、事業原簿の第一巻を見ると、2017年度から2022年度までこのようなサブプロジェクトをやっているといった表がずらりと並んでいますが、多分2017年、2018年、2019年までの部分と2020年以降でがらりと模様替えをされています。私は2019年度まで航空局におりましたが、肌感覚としてNEDOプロを意識する場面があまりなかったのが正直なところです。私は現役を辞めておりましたが、2020年度以降また制度が動く中でいろいろとお世話になった部分が確かあったように思っております。そういう意味で、例えばNEDOとしてプロジェクト前半2019年度までと、2020年以降というのを分けて考えたときにどう自らを評価されているのかを伺えたらと思います。以上です。

【森PMgr】　1点目でございます。NEDO全体として事業終了後はどうなっていくのかというのは、重要な課題でして、助成事業であれば毎年会計年度が終わった後に「企業化状況報告書」を出してもらい状況をフォローアップさせていただくというのが基本セットとなっております。また、評価部で行われている追跡調査というものでフォローアップがなされているということでございます。ご指摘は、推進部の活動にどうフィードバックされるかですが、NEDO全体にどう波及するかは、評価部が進められているところです。「企業化状況報告書」については、推進部署が事務としてやっていますので、つぶさに状況は確認させていただきます。もともとNEDOの事業は、委託、助成に限らず、ビジネス化の時期も含めた展望も公募の時に出していただいているので、計画時からどうなっているのか。終了時も、このぐらいのビジネスが出る見込みということで助成事業を閉じていただきますので、そこの乖離は、フォローアップをさせていただいております。場合によっては、そこで技術的な課題、隘路といったものがあり、実はさらに技術的な課題がある場合は、事業への展開もあるものと思っております。

また、事業が2017年から2019年と2021年、2022年の2段階になっていることについては、ドローンの当時の担当者から聞いているところですと、一旦中間評価時点で、事業として続ける価値があるかの判断をするということでプロジェクトを進めていたと認識をしております。一定の要素技術、システム開発ができるということを確認した上で、最後4年目、5年目を当時の担当者、経産省等とも相談し、社会実装に向けてのところに踏み切るということで、4年目、5年目の設計をしたと承知しておりますし、そのように中間評価当時もご説明をしていたのではないかと思っております。ただ、2017年、2019年当時からの政府との関係という観点では、空域情報の共有であるとか、実際の審議会の関係ではNEDOもオブザーブをさせていただくであるとか、実際にNEDOのプロジェクトでこういうことをやっていますということは経産省から発言をしていただいていたものと承知しております。そういう意味で、具体的に制度が、あるいはドローンというものがより現実味ができてくるのに時間がかかったというところで、今のステージは本当に制度をよりよくしていかなければいけないというステージとして、より積極的に政府の方々とやらせていただく状況になっているものと思っております。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。それでは一通りの意見、質疑応答を踏まえて、何か補足のようなものがあればお願いしたいと思うのですが、いかがでしょうか。市川委員、お願いします。

【市川委員】　今の高野会長代理の話とも関係しますが、そもそも今回のプロジェクトはすごく変わっておりまして、私、フォローアップ評価も幾つか関わらせていただいていますけれども、通常のNEDOのプロジェクトですと、その担当された企業がそれなりに事業で成功されて、ご自分が開発したものをビジネスにして、これだけ儲けたというところが多分すごくよい評価で、残念ながら半分以上は何のビジネスにもならなかっ

たというのが経験として非常に多いと思います。それはともかく、そういう感じである中、今回は、参加した企業だけではなく、他にもいっぱいいる企業の人たち、皆のために技術開発をするプロジェクトというところがすごく変わっていると思うのです。フォローアップ評価がこれから多分何年かしたら始まると思いますけれども、100 億円を超えているものは全部引っかかっていきますので、そのときにここに並んでいる企業だけではなく、関係するドローン産業界全体がこれのおかげでどのぐらい便益をこうむったかということをしっかりと調査いただくことを覚悟の上で ReAMo 等も進めていただきたいと思います。

また、これは結局、社会制度をつくったおかげで皆がビジネスをやりやすくなるというのが目標なのですから、30 ページに書いてあることは実は違うのだろうと思っています。この 30 ページで、多分、毎回同じもののコピーが出てくるのではないかと思うのですが、技術開発をしました、それをやった会社が売りましたという話ではなく、技術開発したものを例えば国が導入したり、あるいはインフラをやっている会社が導入したりすることによって、ほかの企業も含めてすごく助かって、これほど売上げを上げたという間接効果みたいなものであり、今ここでやっているのはインフラをつくっていることだと思うので、そのあたりが今後問われてくるでしょうか。そういう意味では、シナリオ的にちょっと踏み込みが不十分だと少し気づいてしまいました。つまり、31 ページと 32 ページの連携性、市場が 8,000 億円になるために、32 ページにあるような①から③で本当によいのか。これが本当にボトルネックになっているのか、ギャップ分析はしっかりとやったのかという話になるのです。ここのところで、この 3 つさえやればいきなり市場拡大ができる、逆にこの 3 つができていないから今の市場が小さいのだとか、そういう分析をしっかりとやっているのだろうかというのが少し気になるのですが、このシナリオ 31 から 32 までの連携をどう設計されたのかはお分かりでしょうか。

【森 PMgr】　少なくとも有人機と空域を共有するという観点で、ドローンがレベル 4、そして目視外でという観点では運航管理システムであるとか、あるいは有人機の情報共有という手段が日本国内で整理されなければ、バンバン飛べるという世界は不可能でございます。有人機には人が乗っていますし、そこのガラスを傷つけて事故になったら、それは業界全体がシャットアウトをするというところなので、そこは明らかに必要な取組と承知しております。そういう意味では、少しその間のシナリオ上のステップが足りなかったというご指摘として受け止めます。

【市川委員】　必要性は理解しております。それがプライオリティ、ナンバーワンで必要なものなのかという話と、必要十分なのかどうか、それだけでいいのかという話と、やはり両方をきちんと詰めていく部分が若干残っていると思います。そういう意味で、実は UTM はどうあるべきなのか、運航管理システムというのは、日本の中でどのような形で導入するべきなのかというあたりがまだふらついています。産業界がベネフィットを得るためには日本型の UTM が制度的にどうあるべきか、自治体が一つ持つべきなのか、それともサービスやセクターごとに、あるいは会社ごとに異なった UTM がどんどん入り、その間が連携したほうが実はベターなのか、FIMS(運航管理統合機能)はどうしたらよいのかといった話は、全てビジネスがいかに儲かるかを効率的に見て、最大効率のところで答えを出していくべきだと思います。今まさに ReAMo でやっていらっしゃることだと思いますけれども、そこのあたりは今でも間に合いますので、技術中心にならずに、しっかりビジネス中心で考えていくべきと感じました。これは感想になります。ありがとうございました。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。共通して、皆様が気にされていることは 8,000 億円がどうかというところがもちろんあるわけですが、それに加えて、やはりこの達成に向けてプロジェクトはどれだけ貢献したかということなのだと思います。そうしたときに、「何が」ということは書いてあるものの、それがどういうレベルで実現されると、目的、アウトカムの達成というのは加速されるのかというところが、報告書を見ていても分かりにくいというところがあることで、それに関連した質問があるのではないかと思いました。議題 6 の発表にも関連すると思いますので、そういったことも意識されながらプレゼンを組んでいただければと思います。

あと、中間報告のときから似たような懸念がございまして、ステークホルダーが多いため、十分な人を入れて、委員会を通して、その周囲の意見を入れるべきだというコメントがありました。例えば48ページの資料を見ますと、運航管理システムについては国内政府機関、民間事業者、関連団体とも連携し、そういったものも含めて進めたとのことだったと思いますが、ここで何か効果であるとか、一つ輪を広げて検討した効果があったかどうか、それがあったとすればどんなことか、あるいは不十分だとすればどんなことかといったところを教えていただければと思います。

【森PMgr】　ありがとうございます。「多くのステークホルダーを巻き込む」ということは非常に重要かつ適切なご指摘をいただいたものと思っております。議題6でも紹介をさせていただきますが、安全性に関係するところは、利用者あるいは開発者と共に議論をしなければいけないことから、そういう場として、委員会やワーキングの設置をやっております。ただ、そういう活動に業界としてまだ慣れていないという感覚は正直ございましたので、こういうことは引き続きやっていく必要があると思っております。運航管理というところで、特に有人機位置情報共有という観点では、米田先生のおっしゃるとおり補助金であるとか、一気に強制的にということで位置情報を共有すればよいということもございますが、まずドローンがどういう状況になっているのかであるとか、どういう技術を蓄えているのかをしっかりと見ていただく必要があると思っております。そういう検証をしている場というところにヘリの団体の方々にも来ていただくというのを設計し、ちょっとリアリティを持ってもらうところまでしかたどり着けていないのですけれども、そういうことは取組として進めさせていただきました。学びとしては、そういうことがまだまだ足りないという感覚はあるので、今後のプロジェクトにおいても、そういうことをしっかりと進めていきたいと思っております。

【小林分科会長】　どうもありがとうございました。それでは、時間が参りましたので、以上で議題5を終了といたします。

（非公開セッション）

6．プロジェクトの詳細説明

省略

7．全体を通しての質疑

省略

（公開セッション）

8．まとめ・講評

【米田委員】　米田です。本日はありがとうございました。ReAMoに続いている事業もあると思いますし、目標どおりに進んでいると思います。ただ、先ほども申し上げましたように、得られた技術成果をもう少しアクセスしやすい形で公表願えたらと思っております。以上です。

【小林分科会長】　ありがとうございました。続いて、堀口委員お願いいたします。

【堀口委員】　堀口でございます。足かけ6年から7年にわたる非常に膨大な事業をこれだけまとめられたことにまず敬意を表します。ただ、途中の議論の中でもございましたけれども、やはり事業ごとに評価結果の温度差が若干あるように感じたこと、実用化のフェーズにおいてどこまでできているのだろうかと若干疑問を思う部分があったことは否めません。また、今回の事業の評価対象外であったとは思うのですが、こういった今回の取組のようなものが既存のインフラ構造物、もしくはこれから新しくつくるインフラ構造物にどういったものが要求事項として必要になるのか、もしくはそういったところに波及するのかどうか、私自身がインフラに関わるというところがあってそうした視点から見ておりました。無人化のドローン技術の進展に

大いに期待を持っていたのですが、逆に既存のもの、新しいインフラ、そういったところにどうフィードバックされてくるのかといった視点も、今後加味して次の事業のほうを取り組まれていただけるとありがたいです。以上になります。

【小林分科会長】　ありがとうございました。続いて、佐藤委員お願いいたします。

【佐藤委員】　佐藤です。6 年間にわたるプロジェクトということで、内容を今日聞かせていただきまして、非常に真摯に取り組まれて成果も上げられていると思いました。ただ、やはり金額的にも大きいものですし、日本のドローン産業に与える影響というのは非常に大きいものですから、最初のテーマの選定について、米田委員も言っておりましたが、慎重にいろいろな省庁をまたいで、日本全体の国益として何がテーマとしてよいのか、今回もそのようにされていると思いますが、その点をしっかり選定していただけたらと思います。また、最終的に出た結果というのは、そのテーマに対してはきちんと報告されていますけれども、残念ながら時間の流れによって、出た結果が当初の成果に対して若干変わってしまったものもあるかもしれません。そういうものは全体を通じてまとめをしていただいて、テーマとしての成果はあったものの、現状に対してはこういうところが若干弱かったであるとか、それというのは若干自己否定になりますから非常に難しいとは思うのですが、それが次のプロジェクトなり、本当にこのプロジェクトの成果を生かせる、皆様が利用しやすい情報となるのではないかと思いますので、その辺もできればお願いしたいと思います。以上です。

【小林分科会長】　ありがとうございました。続いて、岩本委員お願いいたします。

【岩本委員】　岩本です。新しい産業をつくる、さらに事業も 6 年間と長期にわたる中で、社会情勢、制度、体制変更など様々なことがあったと思うのですけれども、非常に柔軟にマネジメントをされてきた、いろいろなことにもチャレンジされてきた、そういった総括ができるのではないかと思います。一方、成果そのものについてどう評価するのかというのは非常に悩ましいというのは午前中のセッションでもお話ししたとおりです。やはり市場規模というところで考えてよいのか、特にインフラをつくりにいく話になりますので、なかなか市場規模では推し量られないようなところがあるのではないかというのはDRESS 全体にも言えると思います。さらに、それは DRESS そのもので評価軸をつくっていくというよりは、ReAMo という後継もありますので、その DRESS、ReAMo の中で新しい産業をつくるときにどうしてもインフラの部分をやらなくてはいけないというところの評価軸をどうやってつくっていくのか。そこは安易に市場規模ではなく、一から何か別のアプローチが必要にはなってくるものと考えますので、ぜひどういった形でやっていくのかを ReAMo とセットで考えていっていただけるよいのではないでしょうか。また、途中で少し話に上がったとおり、今 NEDO のところで担っている役割というところを、ReAMo が今後どう継続していくかというのも分からない中で、どうやって管理、マネージをしていくのか。それを行っていく体制がどういうものが本当によいのか、こういったところも同時に議論していく必要があるのだろうと思います。DRESS、ReAMo が意味あるプロジェクトであるからこそ、こういった議論をしっかりとしていく必要があると感じます。以上です。

【小林分科会長】　ありがとうございました。続いて、市川委員お願いいたします。

【市川委員】　市川でございます。私は、従来から NEDO の大型のプロジェクトにおける数々の成果を見させていただいておりましたが、その中では特に標準化の視点で見ていることが多く、またそれら全てに標準化が一種の成果のジャンルに入っておりました。それと比べると、今回の DRESS の成果は多分一番成績がよいと言わざるを得ないぐらい標準化を頑張っていただいたと思います。特に ISO を 4 つか 5 つほど日本主導で規格が既に出ておりますし、それから日本がリーダーをやるチームの中で、中国やイタリアがまたよいものをつくっていただいて、これを間接的に日本がコントロールしているわけですから、そういうことを考えると、すごい成果が DRESS で出ていますし、今でも継続して DRESS の方々がそこで標準化活動をされていることも大変敬意を表したいと思います。もちろん標準というのはつくるだけでいいというわけではなく、それをどうビジネスに生かすかが問われていくわけですし、当初のシナリオは当然あったと思います。端的

に言えば、標準をつくったらこうして儲けるといったものですが、それは時代とともに変わると思いますので、今もどうやったらこの標準を生かせるのかという視点で、特に事業者の方が追求していただくことが必要であり、期待したいと思います。その中で、やや気がかりなのは後継の ReAMo のほうで国際標準を同じように 7 つぐらいつくるのだろうかと。そこのところはまた何か機会がありましたら、ぜひフォローさせていただきたいと思いますので、期待しております。以上です。

【小林分科会長】　ありがとうございました。続いて、高野会長代理お願いいたします。

【高野分科会長代理】　高野です。DRESS の成果という意味では、例えばリモート ID の規格であるとか、これから UTM を実装していくときの原案みたいなものであるとか、認証のガイドラインであるとか、そういった結構地に足のついたものに関して成果が出ていて大変すばらしいと思っています。6 年間という長い期間のプロジェクトで、その間に社会情勢や技術環境も変わっている中において、割と柔軟にきちんとマネジメントしていただいたことにより、成果が出ているものと感じます。一方、やはり 6 年間という長いプロジェクトなのですが、実はドローンのマーケット自体はまだまだ変わっていきますし、その先を見据えたプロジェクトであったということを考えると、先ほど岩本様も言われていたように、どう評価していいのかというのは結構難しいところです。成果の利用の方法もそうですが、評価の部分も、要するにこの後どうやってその成果を扱っていくのかが非常に大事だと思っていますので、その点はフォローアップをお願いできればありがたいです。以上です。

【小林分科会長】　ありがとうございました。それでは、最後に分科会長の小林より申し上げます。このプロジェクトは、インフラベースのプロジェクトであると理解しております。NEDO のプロジェクト評価には私もいろいろ関わらせていただいているのですが、こうしたインフラ関係のプロジェクトは、他とは性格が少し違うのではと思っております。評価が難しいという話もありましたし、参加者の選定の仕方の問題もありました。要するにインフラみたいな大きなものに影響を与えようというときには、ビジョンをもう少し明確化しておかないと、なかなか効率的に進まない。そういった意味で、NEDO のリーダーシップが問われるわけで、今後インフラプロジェクトにおいては、NEDO の関わり方はどうあるべきか、ということも含めて、検討するのがよいのではないかと思った次第です。プロジェクト参加者個々の成果はよかったと思っております。以上です。

【北原専門調査員】　委員の皆様、ご講評をありがとうございました。続きまして、推進部署のほうからよろしくお願いいたします。

【森 PMgr】　NEDO ロボット・AI 部の森でございます。本日、長時間にわたり評価、ご議論をいただきまして、誠にありがとうございました。正直こちらの評価を通じて、しっかりと後に繋げなくてはいけないものを改めて発見したものもあり、ご指摘いただいて気づいたものもございます。そういうものをしっかりとフォローアップし、より皆様に使いやすい形を考えていきたいと思いますし、後継のプロジェクトとして既に 2 年目に入っているプロジェクトもございます。また、それ以外に引き継ぐものもあるかと思いますけれども、NEDO で扱っている関係プロジェクトが幾つかある中で、どうつなげていくかも含め、本日のご指摘をつなげていければと思っております。ありがとうございました。

【古川部長】　NEDO ロボット・AI 部の古川と申します。本日は、本当に終日ありがとうございました。皆様からご指摘いただいたことは非常に大切なことであると思っておりますが、我々だけではなかなかできないこともありますので、経済産業省、それから航空局、この分野に関わる業界の皆様とビジョンをぜひつくっていきながら、その中で我々がやっていることを全体の中で位置づけていく必要がある。今回そのように大きなご指摘であったと受け止めた次第です。「個別最適を狙うのではなく、全体最適の中で意味を持つ研究活動をしてください。」というところが、皆様からの非常に大きな期待でもあり、一部分を担い研究開発費を投じているという責任でもあると考えますので、ぜひまた皆様のお力もいただきながら、将来の産業に向けて何が必要なのかということをアドレスしながら、他の方と一緒に進めてまいることが重要であろうと考えてお

ります。それから、やったことをやりっぱなしではなく、一部の成果についてはReAMoのほうでもやり方を含め、マネジメント方法の工夫をしているところではありますが、過去に実施した事業の成果を分かりやすい形で発信していくとともに、まさにドローン、空飛ぶクルマ等についてはこれから産業が育っていく中で、規制も含めてどのように変わっていくか分からないところもありますので、古いものを古いまま置いておくわけではなく、例えば先ほども委員から指摘がありましたけれども、DRESSとしてずっと残していくのではなく、ある段階で整理統合していくということも重要な指摘だと思いますので、これも考えていくべき課題だと思っております。そういった意味でやりっぱなしにせずに新しい後継のプロジェクトでどう引き取っていくか。ずっとNEDOができるわけでもないでしょうから、引き続きやるべきもの、誰かにパスしていくもの、こういったところもReAMoの中で検討しながら次のやり方を考えていきたいと思っております。本日は、本当に多面的な視点からいろいろご評価を賜りまして誠にありがとうございます。厳しいご指摘も、期待の裏返しとポジティブに受け取っておりますので、引き続きご指導いただければありがたいです。ありがとうございました。

【北原専門調査員】　推進部の皆様、ありがとうございました。

【小林分科会長】　それでは、以上で議題８を終了いたします。

９．今後の予定

１０．閉会

配布資料

資料1	研究評価委員会分科会の設置について
資料2	研究評価委員会分科会の公開について
資料3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料4-1	NEDOにおける技術評価について
資料4-2	評価項目・評価基準
資料4-3	評点法の実施について
資料4-4	評価コメント及び評点票
資料4-5	評価報告書の構成について
資料5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料7	事業原簿（公開）
資料8	評価スケジュール
番号なし	質問票（公開 及び 非公開）

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」（終了時評価）分科会

ご質問への回答（公開分）

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
全般	各プロジェクトについて、ReAMO に引き継がれているものとそうでないものがあるように見受けられますその仕分を教えてください	高野分科会長代理	本事業については、経済産業省における課室が産業機械課であったこと、他方、次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクトについては、次世代空モビリティ政策室であることから、事業の対象となる産業分野が大きく異なります。 次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクトについては、ドローン・空飛ぶクルマの市場拡大、市場創造を目的に、2021 年度に課題設定、基本計画策定を行いました。 ドローン関連では、採択審査を経て、結果として、以下のとおり。 性能評価手法の開発関連において、第一種、第二種機体認証関連の性能評価手法の開発や、主に屋内や目視外でのドローン利用を想定した非 GPS 環境下での性能評価手法が引き継がれております。 運行管理関連については、低高度での運行管理技術として、UTM や有人機の位置情報に関する研究開発が引き継がれております。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
全般	各プロジェクトの成果物について、現実の活用状況を、わかる範囲でけっこうですので、教えてください	高野分科会長代理	主な例として、以下のとおり。 ・機体の安全性評価の関係で、第二種認証 WG での成果は、現在、 ReAMo プロジェクトで実施されている検討の基礎として、使われている。 ・2016-2017 で策定をされた、ロボット関連性能評価手順書については、福島ロボットテストフィールド設計の基礎として用いられた。 ・運航管理システムの開発において、気象、地図など、情報提供機能とし、開発してきたものについては、現在企業において、製品化等の検討が進められている。 ・衝突回避技術関連については、現在、開発展開実証した成果に基づき、国際標準の策定などを進めているうえでのエビデンスとして活用されている。 ・助成事業として、実施してきた三次元地図情報、気象情報などの情報提供機能などについては、順次企業において、商品としての検討などが進められている。 その他、可能な限り、質疑対応等において説明をさせていただきたい。
全般	2017 年度や 2018 年度の単年度プロジェクトの成果についての記述において「期待される」などの記述が多いですが、これらは当時のものでしょうか？それとも現時点でのものでしょうか？当時のものであれば、現時点でのフォローアップは必要ないのでしょうか？	高野分科会長代理	今般の事後評価に向けて、事業原簿については、中間評価時からの更新し、2022 年度に更新を行ったものである。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
全般	DRESS の一つの成果である、「無人航空機の性能評価基準書」は、業界等ではどの程度活用されているのでしょうか？	高野分科会長代理	例えば、国土交通省にて開催されていた「行政ニーズに対応した汎用性の高いドローンの利活用等に係る技術検討会」第 2 回においても、機体性能比較を行うための性能評価資料としても活用されているものと認識しております。 その他、機体/型式認証の取得に必要な、300 試験飛行法案作成に向けて、ミッションプロファイルの考え方が活用されたり、耐環境性能などの証明する評価手順の検討などに使用されている実態があることを確認している。 加えて、福島ロボットテストフィールドにおける令和 2 年度「無人航空機性能評価手順の試行（風洞試験装置を使用したペイロード― 飛行時間性能試験)」の策定の基礎にされるなど、活用がなされていた。
全般	成果の物差しの一つとして論文数が掲載されていますが、引用数は見ないのでしょうか？	高野分科会長代理	性能評価手順書などについて、論文等ではなく、手順書などで公表文書を作成し、引用などを通じて、活用されることが期待されている。本事業については、アウトカムに向けての評価指標として、引用件数については有効な指標として検討をしておりませんでした。
4-3ﾍﾟｰｼﾞ (2)達成状況 (2)-1 事業全体	「達成」の物差しを具体的に教えてください例えば、「〇〇手法の開発」といったテーマの場合、「開発できていれば」達成したことになるということでしょうか？各プロジェクトの成果について、現場で実装なり活用されていること、その見込みがあること、継続研究で実用化を目指すこと、こでスト	高野分科会長代理	ご指摘のとおり、開発できていれば、達成したものとみなして、評価をしております。 他方、ご指摘の視点で、達成度の度合いとして評価をしていただければと考えております。 例えば、ドローンサイバーセキュリティガイドラインについては、設定されていたアウトプット目標自体は、必要な研究・議論を経て策定、経済産業省と NEDO から公表に至ったことで、達成をしているものと考えております。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
	ップすること、など、様々な場合があると思いますが、これらは「達成度」の評価では考慮されるのでしょうか？（例えば、ドローンのセキュリティ対策基準に関する研究がありますが、現時点で成果物は具体的にはどのように取り扱われているのでしょうか？）		波及効果としては、民間活動である、セキュアドローン協議会が作成している「ドローンセキュリティガイド」には、引用されるなどされていると承知しております。
資 料 5 P.55	「(1) 性能評価基準等の研究開発」において、「新たな機体開発・製品化時の性能評価に資する新たな試験法の開発・提案を行い、各メーカーの各種認証取得、社内試験等へ参考となる情報の提供。」とあるが、実際にメーカーが認証取得や社内試験に用いたという情報を得ているのか？	佐藤委員	水素ボンベ等の HYGE 試験など、企業においても試験に用いられているものがあると承知。 詳細については、当日参加される実施者より回答とさせていただきたい。
資 料 7 P.5-22	「(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発」において、「本プロジェクト終了時までに当該技術を実装した無人航空機の実用化を目指すものとする。」とあるが、実用化をおこなうことができたのか？	佐藤委員	本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することを指している。 具体的には、当日参加する実施者より、回答をさせていただきたい。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7 P.3-4	「(5) NEDO が関与する意義」において、「ロボット産業の競争力強化のため、世界の最新技術動向を日本に集め、日本初のルールで開発競争が加速する手法を開発することが必要」とある。「世界の最新技術動向を日本に集め」とは競技大会 WRS の開催のことと思うが、「日本初のルールで開発競争が加速する手法を開発」とは具体的にはどのようなものなのか？また、「日本初」とは「日本発」の間違いではないのか？	佐藤 委員	日本発の誤りである。 日本発とすることで、日本の実際の社会課題をベースとした競技ルールの設定と、日本企業のロボットをプラットフォームとし、開発競争を誘発させる競技形式での取組とした。 より具体的な課題として、トンネル崩落や地震災害の救助活動、コンビニ弁当おにぎりの把持配置、一品一葉の短時間段取替えによる製品組立など、実際の日本の社会課題を競技ルールに設定した。
資料 7 P.4-5	「(2) 無人航空機の衝突回避システムの開発」において、「無人航空機同士の衝突の回避までを想定した 200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発」とあるが、近年 eVTOL 機の実用化がおこなわれており、物流では主流になると言われている。eVTOL 機を想定した場合には、相対速度 200km/h では不十分ではないか？また、今回開発したものは、相対速度最大何 km/h まで対応が可能なのか？	佐藤 委員	本事業においては、無人のマルチコプタ-機 50km/h 及び有人ヘリコプター150km/h で直行する場合で機能する非協調的な衝突回避技術について開発を進め、相対速度 200km/h まで対応可能であることを実証的に検証を行うことができた。 一方で、ご指摘の過疎地などでの物流用途を想定した eVTOL 無人機については、巡航速度 100km/h などで開発されているものもあり、本事業で開発した技術単独での適用は困難であると考えられ、協調的・非協調的な手段も含めて、考えていく必要があると考えられる。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 P.3-4	今回のプロジェクトの大きな目的は、周回遅れとなっていた日本の無人航空機技術を NEDO が中心となりオールジャパン体制にて、本プロジェクトを実施することにより世界に追いつき、ある部分では世界のトップになることを目指したものと理解している。もし、この理解が正しい場合は、その結果はどうであったのか？また、それはどのような客観的な事実より説明することができるのか？	佐藤 委員	ご指摘のとおり、一定程度、世界と競争できる状態となることが目指されていたもの。 例えば、リモート ID 技術については、本事業を通じて、評価・実証等を経たことにより、世界に先駆けて、ブロードキャスト型のリモート ID 技術（機体識別技術）を前提とした制度整備、施行を行うことに貢献した。 運行管理技術の部分については、機能実証等を行うことができたことから、それを前提とした ISO への規格提案、及び策定までこぎ着けており、一定程度、追いつく施策をすることができたと考えている。
資料 5･ 2 頁	本プロジェクトにおける，(1) デジュール・スタンダードと (2) デファクトスタンダードとは，具体的にどのような施策や成果を目指すものでしょうか.	堀口 委員	デジュールスタンダードとは、ISO/IEC などの、一定の手続きを経た上で作られる標準を指す言葉であり、本事業の成果を最大化する目的で、標準化提案を円滑化する周辺状況を明確化する施策等を通じて、規格提案等を支援にすること、 デファクトスタンダードについては、WRS というイベントを通じて、開発目標となるような STM（Standard Test Method）を策定し、開発の方向性を明確にすることを目指すもの。
資料 5･ 5 頁	World Robot Summit の開催を通じて，デファクトスタンダードについての目標が達成されたとありますが，具体的な規準類などの策定はこれからのようですが，WRS の成果が今後の規準化にどのように寄与しているのでしょうか.	堀口 委員	ワールドロボットサミット自体が盛会に終わったこと（策定した STM での評価会自体に価値があったこと）自体において、一定の成果が出たものと考えている。あくまで、ロボット技術の評価系であって、流動的なものであると考えており、競技会を通じて、そのタイミングでの評価系が多くの参加者を通じて、技術評価がなされること自体が重要。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 5･ 6 頁	空飛ぶクルマの先導研究調査について，本技術の社会実装のためには，既存もしくは新設のインフラ基盤の整備が必要に思われますが，これについても具合的な提案が成果に含まれるのでしょか.	堀口 委員	空飛ぶクルマとは、電動、無操縦者、垂直離着陸、が特色であり、新しいモビリティとして、身近になるモノが期待されるものであり、2023/3 政府策定の空飛ぶクルマの運用概念においては、2030 中盤に実装が期待されているもの。 空飛ぶクルマの先導調査研究においては、段階を追って、具体的な研究、実証的な取り組みを進めるために、技術の成熟度レベルや、それを達成するために必要な技術のロードマップを策定することによって、本調査事業のアウトプットは達成したもの。ご指摘のとおり、無操縦者など地上等のインフラが必要であるとされており、具体的に、国際的動向を踏まえながら、ReAMo PJ を進めることで、実際のインフラの性能要件等を明らかにしてまいりたい。
資料 5･ 29 頁	アウトカム目標の達成見込みについて，本プロジェクトの実施成果が，具体的にどのように貢献すると想定されているのでしょうか.	堀口 委員	寄与度の計算が困難ではあるものの、第三者上空においてドローンを飛び交うために必要な安全観点での証明方法の提示により、物流ドローンが飛び交うの必要な運行管理システムや衝突回避システム等の機能性検検証びその後の検討につないだことにより、国内企業等への知見を貯め。さらに官民協議会での検討を進めることで、貢献できているものと考えている。
資料 7･ 4-1 頁	「また、インフラ点検分野については、2030 年に全国の長大橋の 10%がロボットや無人航空機を活用した整備や点検に置き換わった場合、約 30 万トンの CO_2 排出削減効果が見込まれる。」について，具体的にどのような	堀口 委員	2016 年当時の事前評価を行った際の、CO_2 削減ポテンシャルの試算方法の考え方は以下のとおり。 ・東京都では、最新技術を活用した整備・点検業務を通じて橋梁の長寿命化が実現することで、鋼材等資源のリデュースや工事による交通渋滞の軽減が進むことから、それらによる CO_2 排出量の低減分を積み上げ。都内の橋梁全体（延べ 71.5km）で、

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
	仮定に基づく試算であるかをご提示ください.		今後、年間約 3.73 万トン（30 年間で約 112 万トン)、体積で東京ドーム約 15 杯分（年間約 450 杯分）の CO_2 削減が達成されると試算。(出典；東京都「橋梁の管理に関する中長期計画」) ・特に長寿命化のインパクトがある全国の長大橋を対象にすると、全国の延べ距離は 5,810km であるところ、東京都の CO_2 排出量計算を適用すれば、全国の長大橋の 10%でもロボット・ドローンを使った整備・点検に置き換わった場合の CO_2 排出削減量は、約 30 万トン。 ＜2030 年＞ ◎3.73×104 [tCO2] × (5,810 [km] / 71.5 [km]) × 0.1(10%) ＝ 30.31×104 [tCO2]
資料 7･6-43 頁	「表 2.1.1.2-3 近接画像の取得に関する性能評価基準」に，網羅性評価指標として示されていますが，これには個別の撮影画像の位置情報の取得も含まれるのでしょうか．含まれる場合，具体的にどのような手法によって，複数撮影位置の情報を効率的に取得したのでしょうか.	堀口委員	ご指摘の「近接画像の取得に関する性能評価指標」として、網羅性については、「全撮影対象画像に対して判読できた撮影箇所の総数との比」として定義を行っており、位置情報の取得については問うていない。 また、データ取得の網羅性は、ミッションで求められる全ての撮影箇所に対して予め定めた線幅の実線を人が判読できた撮影箇所の総数との比で算出し、加えて、判読できた撮影箇所を明確にするために、ミッションでの撮影対象箇所中で判読できた箇所を明記することとしている。

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答 説明
資料 7- 6-140 頁	「水中ロボットを活用した水中インフラ点検を実施する上での機体の性能評価基準等の開発」について，水中の濁度と撮影機材に必要な照明の照度など，撮影条件や使用する撮影機材についても規準化されているのでしょうか.	堀口 委員	ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書 Ver1.0（経済産業省、NEDO）として、2018.5 に公開を行っている。その中において、濁度の設定方法、撮影方法等についての設定の考え方へ示しているが、照度などについては、ロボット等の計測装置によるものとして、個別に設定することと整理されている。
資料 7- 6-1433 頁	「6.2.2.無人航空機の衝突回避技術の開発」と同様の衝突回避や衝突による影響評価に関する技術開発が，「6.1. 研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」」においても実施されているようですが，両者の目的と成果の違いはどのような点でしょうか.	堀口 委員	「6.1. 研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」」においては、非協調型の衝突回避技術において、回避するための機能、回避されるための機能の性能評価方法について、定義や試験環境条件の記述などを行った。 詳細は、無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0（目視内及び目視外飛行編）を参照。 https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200529004/20200529004-1.pdf 一方で、「6.2.2.無人航空機の衝突回避技術の開発」においては、具体的に 100kg 級のシングルローターターイプの無人機に搭載し、非協調型の衝突回避技術を実現する各種センサーや自律管理装置の開発を行ったもの。

参考資料２　評価の実施方法

NEDO における技術評価について

1. NEDO における技術評価の位置付けについて

NEDO の研究開発の評価は、事業の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおける PDCA サイクル（図 1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODA ループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価事業等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

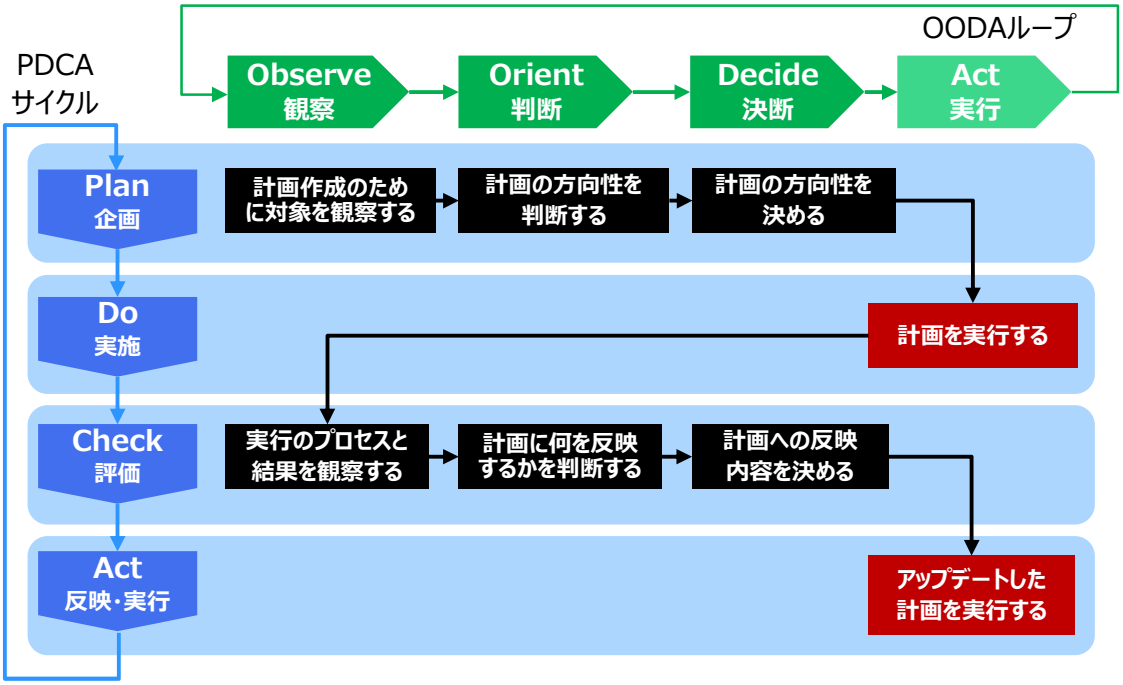


図 1　研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDO では、次の 3 つの目的のために技術評価を実施しています。

(1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。

(2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。

(3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の 5 つの共通原則に従って行います。

(1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。

(2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。

(3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。

(4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。

(5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価の実施体制

プロジェクト評価については、図 2 に示す実施体制で評価を実施しています。

(1) 研究開発プロジェクトの技術評価を統括する研究評価委員会を NEDO 内に設置。

(2) 評価対象プロジェクト毎に当該技術の外部の専門家、有識者等を委員とした分科会を研究評価委員会の下に設置。

(3) 同分科会にて評価対象プロジェクトの技術評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮る。

(4) 研究評価委員会の審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告。

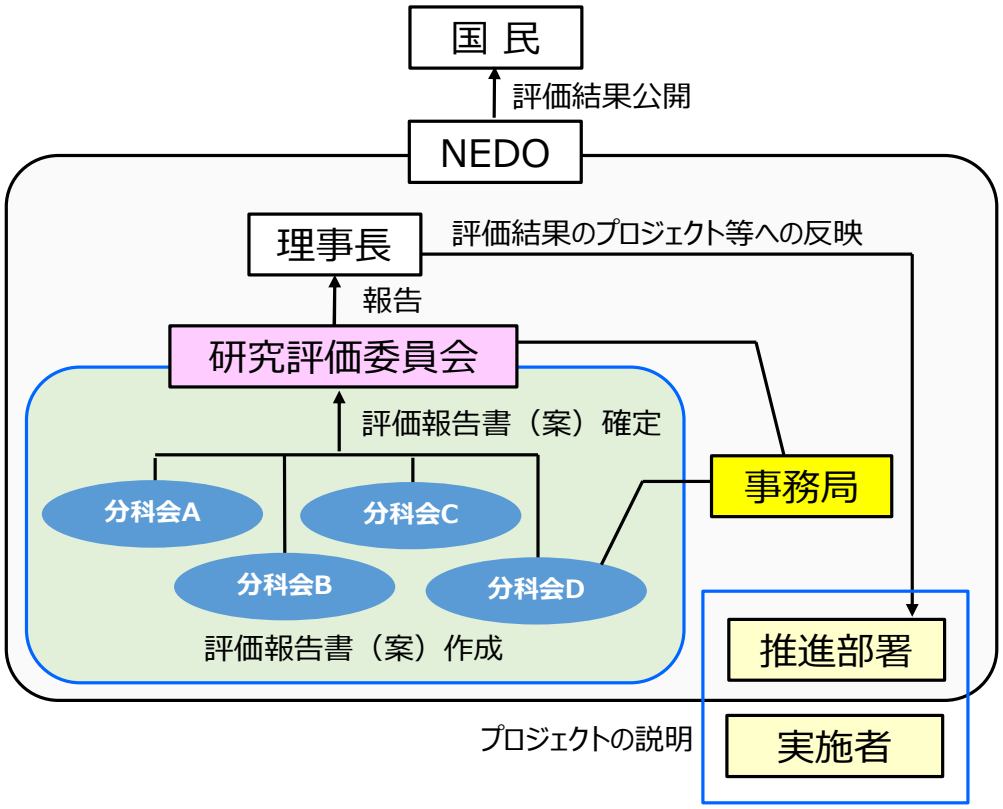


図 2　評価の実施体制

5. 分科会委員

分科会は、研究開発成果の技術的、経済的、社会的意義について評価できる NEDO 外部の専門家、有識者で構成する。

6. 評価手順

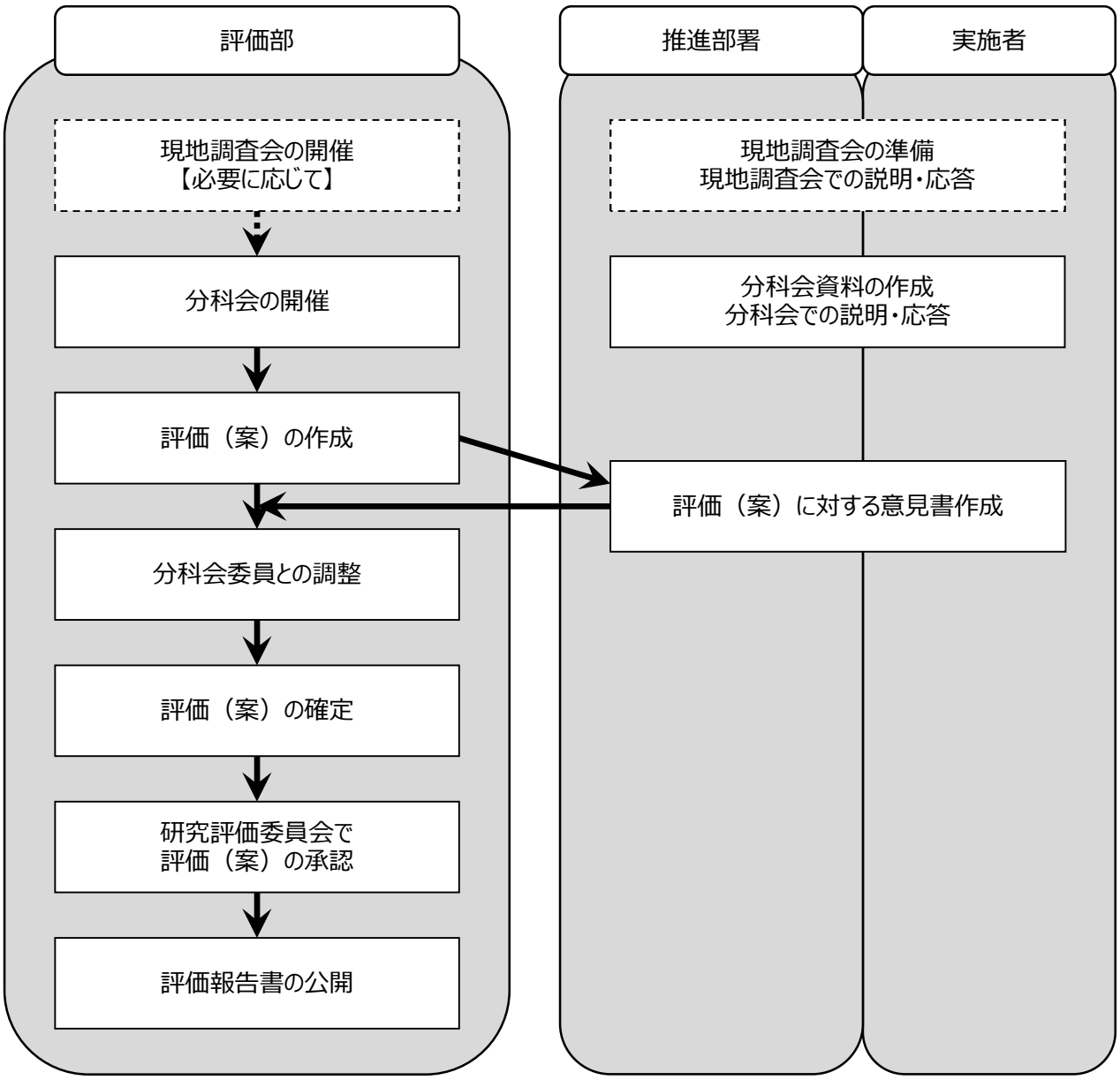


図 3 評価作業フロー

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」
（終了時評価）分科会に係る
評価項目・評価基準

1．意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋

・「アウトカム達成までの道筋」※の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項
・将来像（ビジョン・目標）の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
・本事業終了後の自立化を見据えていること。
・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
・本事業の参加者間での知的財産の取扱い（知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等）や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点（デジュール、フォーラム、デファクト）で取り組んでいたか。
・国際標準の制定の計画において、制定までの役割分担が示されていたか。

2．目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に※見直していたか。
・アウトカム目標の達成の見込みはあったか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか）。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項
・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO_2 削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況
・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に※見直していたか。
・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあったか。
・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項
・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックと TRL※の併用）により設定されていること。

※ TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3．マネジメント

(1) 実施体制
・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっていたか。
・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

(2) 研究開発計画

・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。

・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS※1 等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長　三代川　洋一郎
担当　北原　寛士

＊研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。
（https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html）

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミューザ川崎セントラルタワー20F
TEL 044-520-5160　FAX 044-520-5162