

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業 ／大規模水素サプライチェーンの構築に係る技術開発 ／大流量・高圧・高効率な液化水素昇圧ポンプの開発

倉田直幸（西島製作所）

株式会社西島製作所

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

国立大学法人京都大学

公立大学法人山陽小野田市立山口東京理科大学

国立研究開発法人物質・材料研究機構

2025 年 7 月 16 日

連絡先：
株式会社西島製作所
<https://www.torishima.co.jp/>

事業概要

1. 期間

開始 : 2023 年 8 月
終了（予定） : 2028 年 3 月

2. 最終目標 :

大規模水素サプライチェーン構築に貢献するため、
大流量・高圧・高効率な液化水素昇圧ポンプを開発する

3. 成果・進捗概要

事業内容	SG					評価	成果・進捗
	FY2023	FY2024	FY2025	FY2026	FY2027		
①中流量・中圧力ポンプ開発	開発、試験	試験				◎	試験実施し、目標を達成 有用なデータを取得した
②中流量・高圧力ポンプ開発	要素開発		開発、試験			○	要素開発中
③大流量・高圧力ポンプ開発			開発、試験			-	2025年度から実施予定
④高効率モータ開発	Step1 用 モータ	Step2 用モータ	Step3 用モータ			◎	Step1 ポンプ用モータ開発 Step2 ポンプ用モータ開発
⑤モータ要素技術開発	要素開発		開発、試験			○	多芯撚線の損失予測方法の構築 撚線製作技術開発

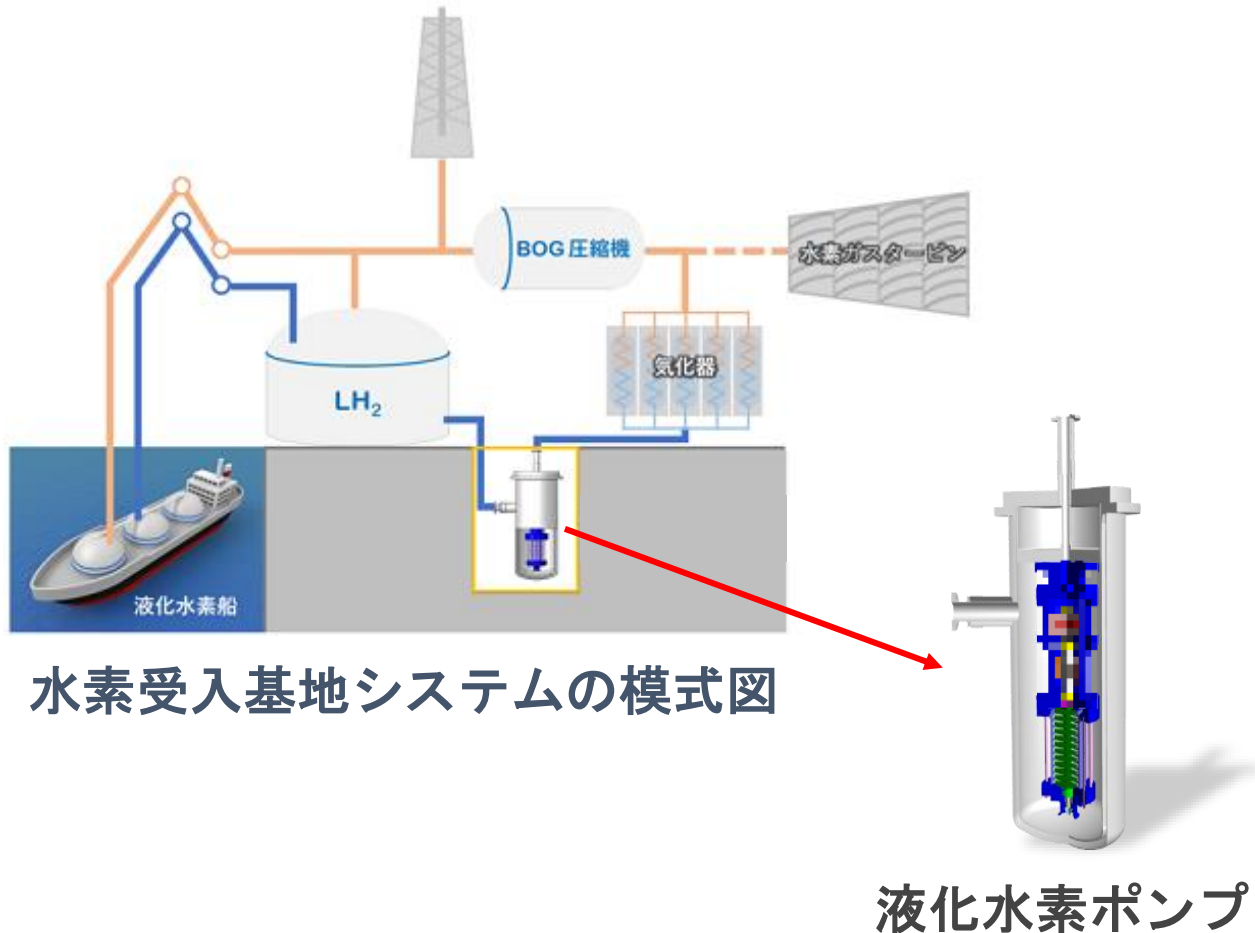
1. 事業の位置付け・必要性

本事業を実施する背景・目的

GI 基金事業「大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクト」

＞大規模水素サプライチェーンの構築には液化水素昇圧ポンプが必要不可欠である。

将来の水素コスト低減に、大流量・高圧・高効率なポンプで寄与する。



社会課題：水素コストの低減→水素供給量拡大が必須

技術課題：現技術レベルではポンプが複数台必要
(揚程不足、流量不足、効率低下)



高圧化、大容量化、高効率化

水素コスト低減に寄与

170円/Nm³ → 30円/Nm³ → 20円/Nm³
現在 2030年 2050年

2. 研究開発マネジメントについて①

研究開発の目的設定と方針

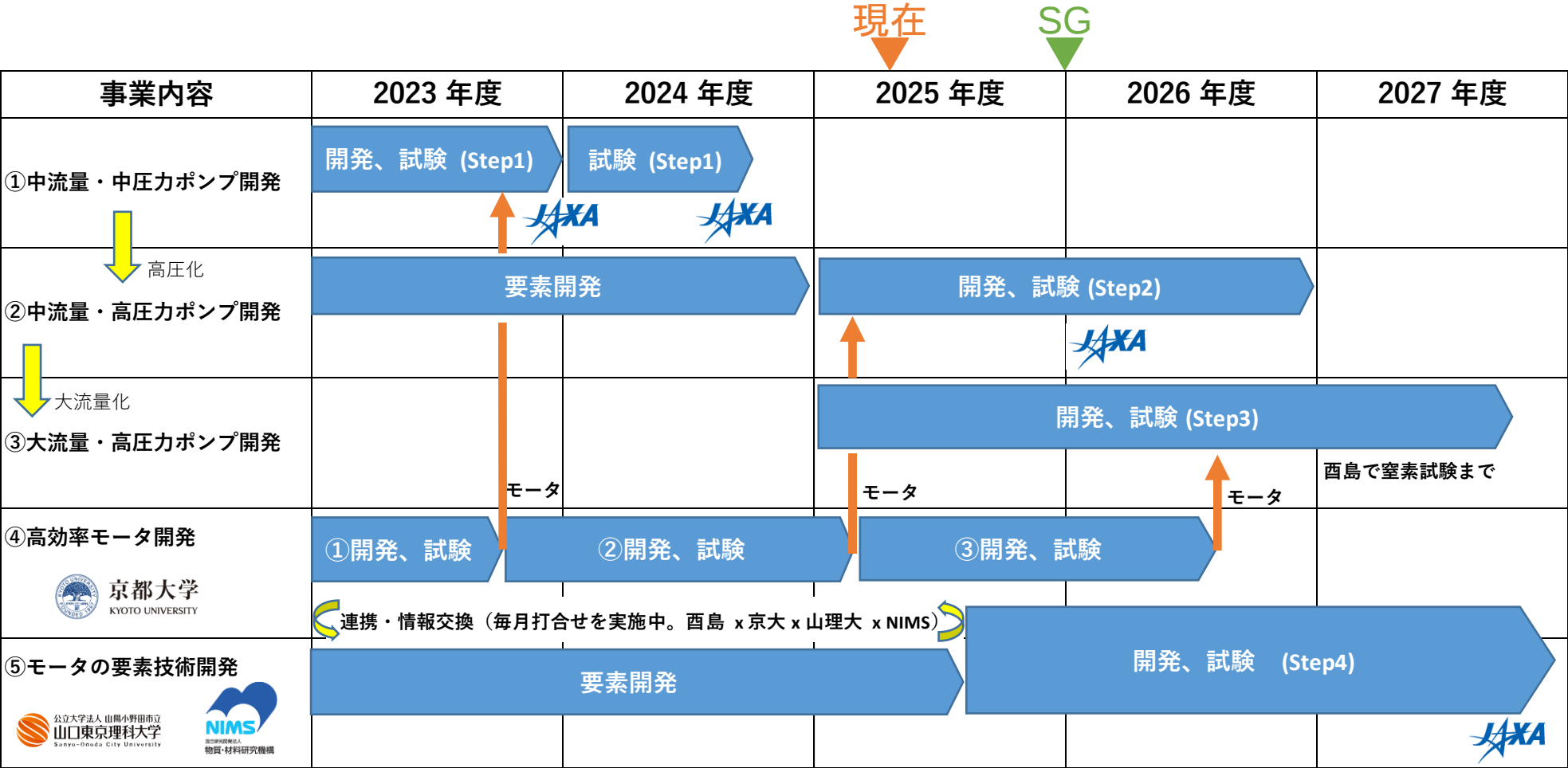
- ・ 3つのステップ（Step 1, 2, 3）で、大流量・高圧力・高効率なポンプの開発を行う
各 Step において、大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクトにおける
商用化実証や商用化のサプライチェーンへのポンプを開発のターゲットにする
- ・ Step 4 として、経済性、品質、市販性の付加価値を高めたモータを開発し、 Step 1 のポンプに搭載して試験する

研究開発対象	開発 Step	構成イメージ	流量比	圧力比	サプライチェーンのターゲット
大流量・高圧力・高効率なポンプの開発 水素発電向け液化水素昇圧ポンプ	Step 1	中流量・中圧力	1 (基準)	1 (基準)	商用化実証 ～2030 年
	Step 2	中流量・高圧力	1	高圧化 3	商用化 2031 年～
	Step 3	大流量・高圧力	大流量 8	3	商用化 複数チェーン ～2050 年
経済性、品質、市販性の付加価値を高めた 超電導モータの開発と実機適用性検証	Step 4	Step 1 ポンプに搭載して試験する	1	1	-

2. 研究開発マネジメントについて②

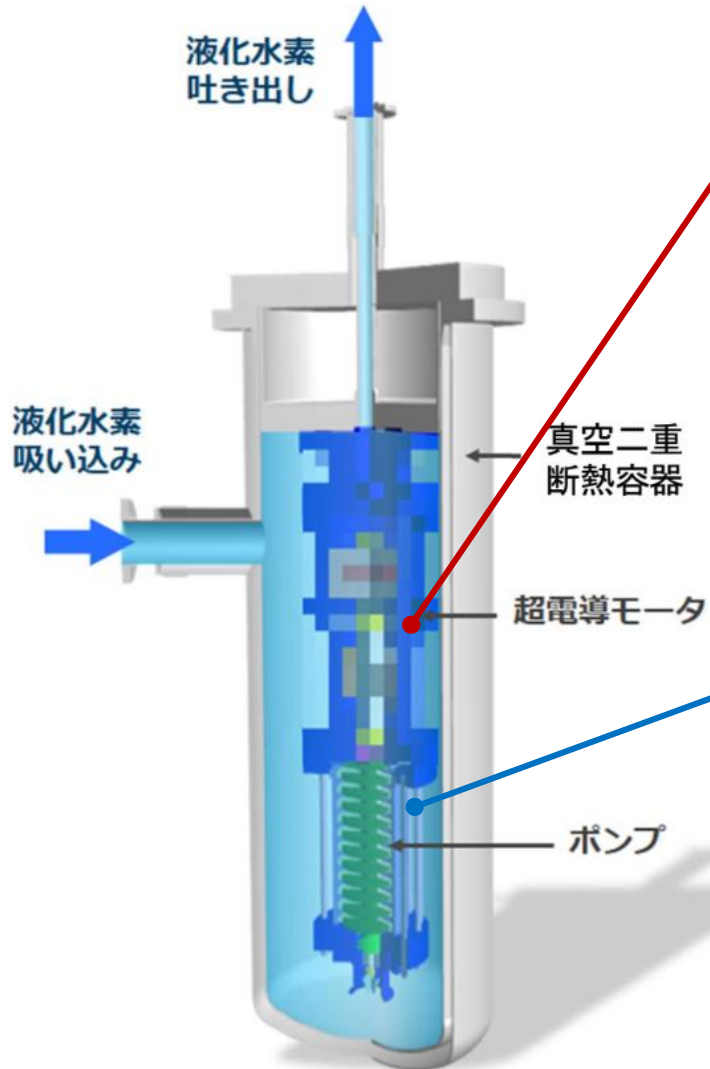
研究開発のスケジュールと研究開発体制

- ・ JAXA 能代ロケット実験場にて、Step 1, 2, 4 を試験する（Step 3 は液化窒素試験まで）
- ・ 京都大学にて、各ステップに対する超電導モータを開発、支給する
- ・ 山口東京理科大学にて、低損失な巻線構造を開発する
- ・ NIMS にてより経済性、品質、市販性の付加価値を高めた超電導線材、低損失巻線材を開発する



2. 研究開発マネジメントについて③

開発要素と実施内容



【モータ】

- ・ モータ発熱を最小化 → 超電導モータによる高効率化

【ポンプ】

- ・ 気密性の確保、外部漏洩 → サブマージドモータポンプ構造
- ・ 高圧、大容量 → 遠心多段ポンプを採用
- ・ 外部入熱を抑制 → 真空二重断熱容器を採用
- ・ 水力設計：流体加振力が小さい羽根車、高効率
- ・ 回転体設計：回転体の固有値解析により定格速度と危険速度との離調を検討。高速回転にて低振動で安定して運転可能。

2. 研究開発マネジメントについて④

超電導モータによる高効率化

・超電導モータの採用



- ・ BOG 量を減らすために、ポンプ+モータで高効率を達成したい

高効率なモータ ⇒ 超電導モータ

【超電導モータのメリット】

- ・ 小型化可能：
流体損失が減る、軸を短くできる。
- ・ 液化水素（-253℃）で利用可能：
没液させて積極的に冷やして使える

効率のメリットだけでなく、
ポンプ設計で見てもメリットがある。
極低温流体との相性◎



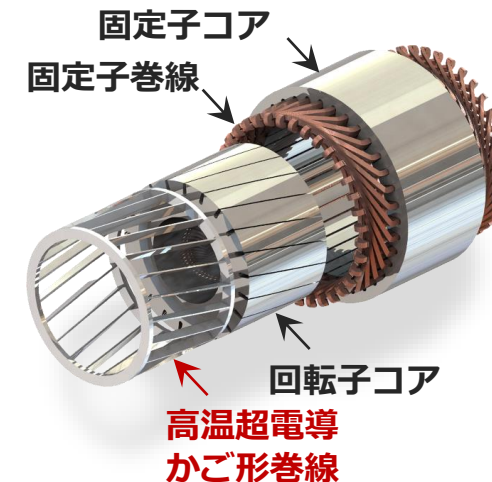
京大の独自技術



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

かご形誘導モータの特長
「**単純な構造で堅牢**」を
活かしつつ、超電導化する

⇒ ポンプへの搭載に適している



高温超電導誘導同期モータの概略図

3. 研究開発成果について①

目標達成に向けたアプローチ

- ・ 液化窒素試験設備を建設 @西島製作所 本社工場

2023 年 11 月に Step 1 ポンプの低温流体での動作確認のため、液化窒素での試運転を実施した

- ・ 液化水素試験設備を開発、建設 @ JAXA 能代ロケット実験場

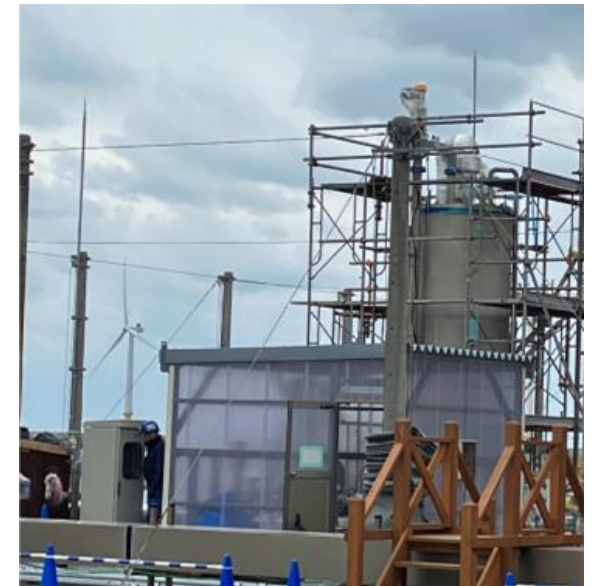
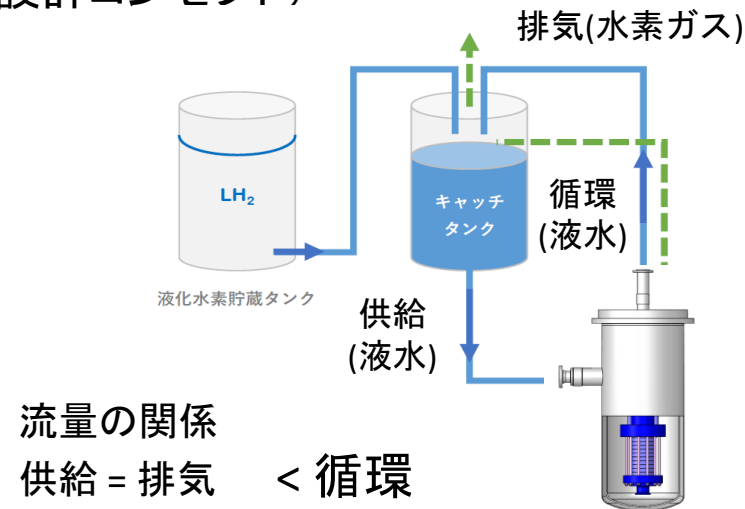
2024 年 3 月にポンプ運転による液化水素試験設備の有用性確認、Step 1 ポンプの信頼性、性能、機能確認のため、液化水素での試験を実施した

Step 2 の設計のために参照できる実測データを取得すべく、2024 年 11 月 12 月に再度液化水素で試験を実施した

液化窒素試験設備



液化水素試験設備
(設計コンセプト)



3. 研究開発成果について②

研究開発の成果 Step1 ポンプ

2023年度の成果

- ・ 液化水素試験設備を用いて、
液化水素**実液でのポンプ運転**を実施し、**世界初の仕様を達成**

- ▶ ポンプ設計の妥当性を確認
- ▶ 試験設備の有用性（循環による大流量運転）を確認
- ▶ 性能予測に対する有用な実測データを取得

- ・ 本結果は当社調べで**超電導モータを搭載した産業機械として世界初**であり、産業利用に大きな意義がある

達成した運転条件

最大回転速度 : $5,000 \text{ min}^{-1}$
最大流量 : $30.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ($24,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$)
最高圧力 : 1.6 MPa

2024年度の成果

- ・ 実機の固有振動数が**設計通り離調**されていることを確認できた
- ・ 定格速度 $5,000 \text{ min}^{-1}$ における振動値も問題なく、
ポンプ構造に作用する**加振力が想定したレベル**であることを確認できた
 - ▶ 回転体 固有振動数の設計手法が妥当と確認でき、Step2ポンプへ反映
- ・ **部分流量（小流量）**においてもポンプが健全に運転できることを確認できた



3. 研究開発成果について③

Step2 ポンプの開発



○開発目的

ポンプの高圧化による、ポンプ台数の削減

○目的達成方法

ポンプ高速回転化による吐出圧増加

【課題】

- ・ 高速化、高圧化による流体加振力増加
- ・ 危険速度の離調
- ・ 高速回転での回転体振動

【解決の道筋】

- ⇐ Step1 で流体加振力低減について設計手法を確立した
- ⇐ Step1 で固有値計算の妥当性を確認。手法を踏襲する
- ⇐ Step1 の実測振動データを参照し、振動予測を行う

研究開発の成果 Step2 ポンプ

- ・ 想定回転速度で要素試験を行い、**振動特性を把握**
- ・ 詳細設計、ポンプ製作中
 - ▶ 2026年度：LN2試験予定、LH2試験予定



3. 研究開発成果について④

Step2 ポンプ用 超電導モータの開発

- 【課題】 極低温下では、金属抵抗 ρ が減少
⇒ ジュール損失減少
⇒ ただし、渦電流損失 P_e が増加



渦電流損失増加を抑制することで損失を最小化させる

【解決策】 線径 d の細い線材を採用

- NIMS：線の導体設計、製作
- 山口東京理科大学：損失評価、構造立案
- 京都大学：モータ設計へ組み込み、性能評価

ジュール損失 $P_J (\propto \rho)$

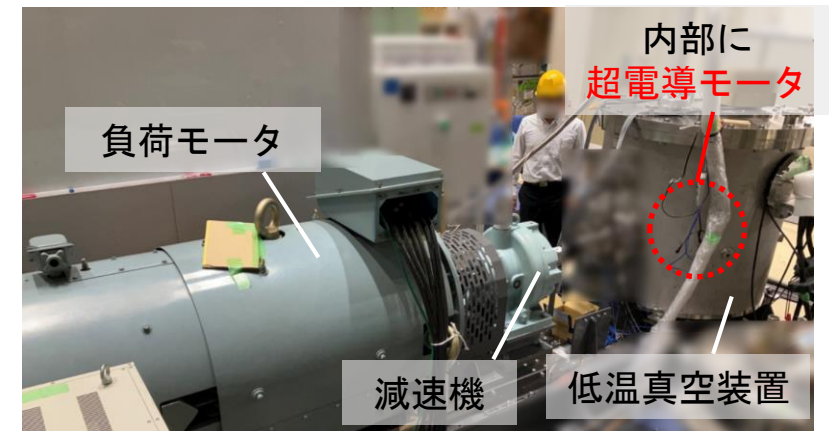
渦電流損失 $P_e (\propto B_m^2 f^2 d^2 / \rho)$

多芯撚線



研究開発の成果 Step2 ポンプ用 超電導モータ

- ・ 液化窒素温度条件にて、目標効率達成、想定出力密度確認
- ・ 本試験装置にて、20K 環境を維持し運転可能なことを確認
- ・ 20K 環境にてモータ単体試験実施中
 - ▶ ポンプに組み込み検証試験予定 (LN2, LH2)



3. 研究開発成果について⑤

成果の意義：次のステップに向けて 大流量・高圧力・高効率ポンプの開発

- ・ 成果) Step 1 ポンプの開発完了、 Step 2 ポンプ設計に向けたデータ取得完了
 - ▶ 設計中の Step 2 に向けたポンプ設計に反映する
- ・ 成果) 超電導モータの設計と製作を行い、ポンプに搭載しての運転のノウハウを得た
 - ▶ 設計中の Step 3 に向けたモータ設計に反映する

特許や論文，学会発表，広報等の取組

- ・ 特許出願 1 件取得（特許第7629567号）
- ・ 学会発表・雑誌投稿 6 件

公開形態	雑誌名・学会名・イベント名	タイトル	所属	発表者
講演	2024年度火力原子力発電大会	カーボンニュートラルに向けた次世代エネルギー用ポンプの開発	(株)西島製作所	野間口 慧
講演	H2 POWER WORLD OSAKA 水素エネルギーワールド 関西	高温超電導モータ搭載型液化水素昇圧ポンプ開発について	(株)西島製作所	三浦 知仁
講演	第37回超伝導国際シンポジウム（ISS2024）	Development of Liquid Hydrogen Pump with High-temperature superconducting motor (invited)	(株)西島製作所	三浦 知仁
研究発表	10th International Conference on Superconductivity and Magnetism(ICSM2025)	Numerical and Theoretical Analyses of Losses in Armature Windings of HTS Motors for Liquid Hydrogen Pumps (invited)	山口東京理科大学	柁川 一弘
研究発表	10th International Conference on Superconductivity and Magnetism(ICSM2025)	Development of Liquid Hydrogen Submerged Pump with High-temperature Superconducting Motor (invited)	(株)西島製作所	増田 直樹
研究発表	2025年度春季低温工学・超電導学会研究発表会	鉄心スロット内に配置した多芯金属撚線における損失の定量的評価	山口東京理科大学	柁川 一弘

4. 今後の見通しについて

実用化・事業化に向けた具体的な取り組み

- ・ 水素サプライチェーン適用に向けて本事業で確立された技術を製品化する
- ・ 水素サプライチェーン向けポンプの仕様について情報収集し、中流量・高圧ポンプ、および大流量・高圧ポンプの設計に反映し、2026年、および2027年に実サイズでの検証試験を実施して、技術を確立する

「脱炭素社会の実現に向けたエネルギー課題への取り組み」として
大流量・高圧・高効率な液化水素昇圧ポンプの開発を成功させ、

大規模水素サプライチェーンの構築に貢献し、

社会に欠かせない企業をめざします。

ご清聴ありがとうございました