

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決 型産学官連携研究開発事業/水素利用等高度化先端技 術開発/革新的低コスト燃料電池自動車用高压水素容 器の健全性を保証するための非破壊検査，オンライ ンモニタリング，損傷許容技術の開発

発表者名	水谷義弘、小林訓史、植松美彦、岡部洋二、内一哲哉、伊藤海太、松尾卓摩
団体名	科学大 都立大 岐阜大 東大 東北大 NIMS 明治大
発表日	2025年7月16日



連絡先：
国立大学法人 東京科学大学 工学院 水谷義弘
(E-mail: mizutani.y.aa@m.titech.ac.jp)

1. 期間

開始：2021年7月

終了：2025年3月

2. 最終目標

オンラインモニタリング技術を開発し、接合構造の適用により、産業界の合意の元、炭素繊維使用量を**30%**削減可能であることを示す。ただし、上記の炭素繊維使用量の削減比率は第一世代MIRAIのタンクに対しての値である。

3. 成果・進捗概要

- ・各種継手の静的・疲労試験を実施。疲労寿命データを各継手の引張強度で正規化することで、接合条件の違いを超えておおむね一本の**S-N**線図に整理できることを確認。
- ・**CFRP**試験片の繰返し荷重負荷後の残留強度を評価。目標とする破裂圧力比該当の繰返し応力を**33,000**回与えた後でも、引張強さは初期強さの**90%**以上を維持することを確認
- ・繊維束破断はモニタリングで検知可能とし、繊維束破断以外の損傷モードは設計で許容するとした場合の損傷許容設計法の開発とそれを用いた積層構成/積層数最適化
- ・繊維束破断を検知可能な**AE**（アコースティック・エミッション）モニタリング技術の確立と検査規格のドラフト開発
- ・上述の結果を応用することで、炭素繊維使用量を**30%**以上削減可能であることを示唆

1. 事業の位置付け・必要性
意義と必要性
背景と目的
2. 研究開発マネジメントについて
目標
研究開発の実施体制
研究開発の進捗管理（マネジメント）
3. 研究開発成果について
研究開発の成果と意義（1）材料データ取得
研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案
研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り
特許、論文、学会発表、広報等の取り組み
4. 今後の見通しについて
実用化のイメージと今後の課題

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

本事業の位置づけや意義、必要性

本事業の位置づけや意義

- ・「燃料電池等利用の飛躍的拡大」という大目的に対して「低コストな燃料電池自動車用高圧水素容器」を実現することで、燃料電池利用の飛躍的拡大に貢献

本事業の必要性

- ・燃料電池自動車の普及には低コスト化が必要。低コスト化にはコストの多くを占める高圧水素容器の低コスト化が必須

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

1. 事業の位置付け・必要性



本事業を実施する背景と目的

「低コストな燃料電池自動車用高压水素容器」の実現

⇒タイプ4水素容器に用いられる炭素繊維の高コストが課題

⇒炭素繊維使用量削減と高い安全性の両立が必要

現状の設計と運用：

- ・ 破裂圧225%NWP以上を全タンクに要求
- ・ 15年間（GTR Phase1）は詳細検査なし，15年経過後は一律廃棄

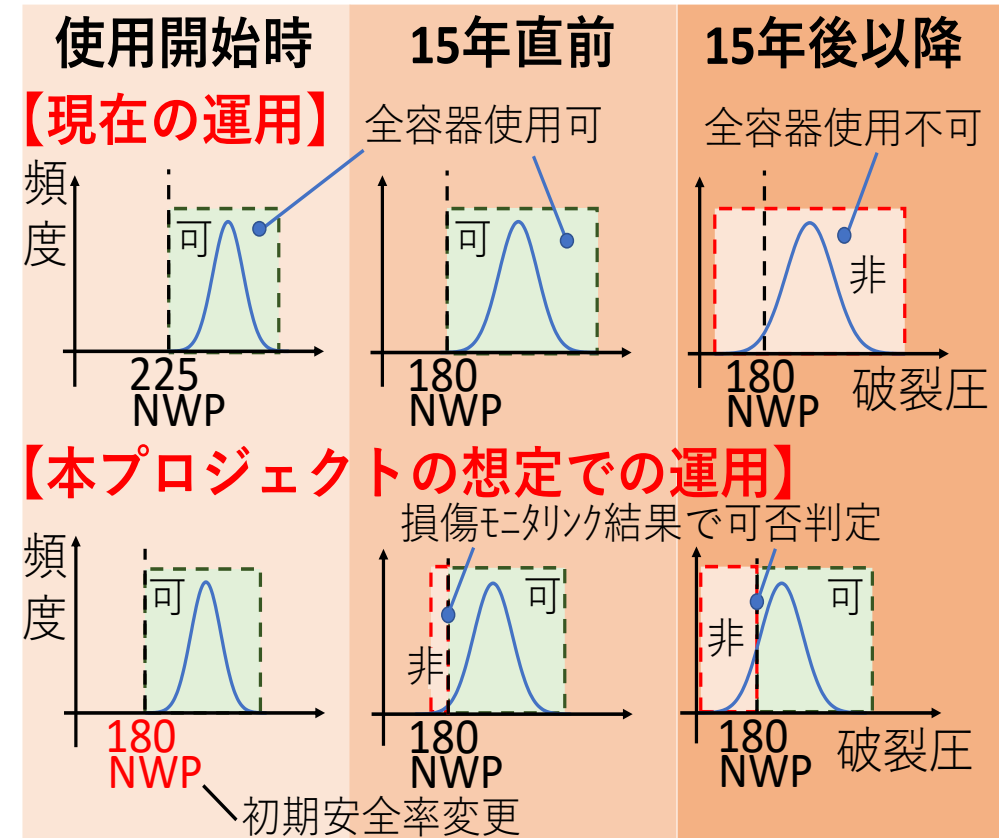
提案する新運用：

- ・ 損傷モニタリング前提で破裂圧180%以上を確保
- ・ 供用中に損傷検知で使用継続の可否を判断

本事業の目的：

炭素繊維削減と容器健全性保証の両立

- ・ 繊維束破断の早期検出に特化したモニタリング技術の開発
- ・ 損傷許容設計と合理的な安全率最適化の構築



1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

研究開発の目標

オンラインモニタリング技術を開発し、接合構造の適用により、産業界の合意の元、炭素繊維使用量を**30%**削減可能であることを示す

(※上記炭素繊維使用量の削減比率は第一世代MIRAIのタンクに対しての値)

サブテーマA目標：

- ・接合型容器の成立性を検証するため、容器で求められる繰り返し負荷後に十分な残留強度が確保できていることを示すためのデータを試験片レベルで取得する。

サブテーマB目標：

- ・オンラインモニタリングの適用を想定した圧力容器の設計思想と安全率を下げるための構想と戦略の立案。損傷と強度の関係を明確にしたうえでのオンラインモニタリングに資する技術を開発。検査規格のドラフトを開発。

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

研究開発の実施体制

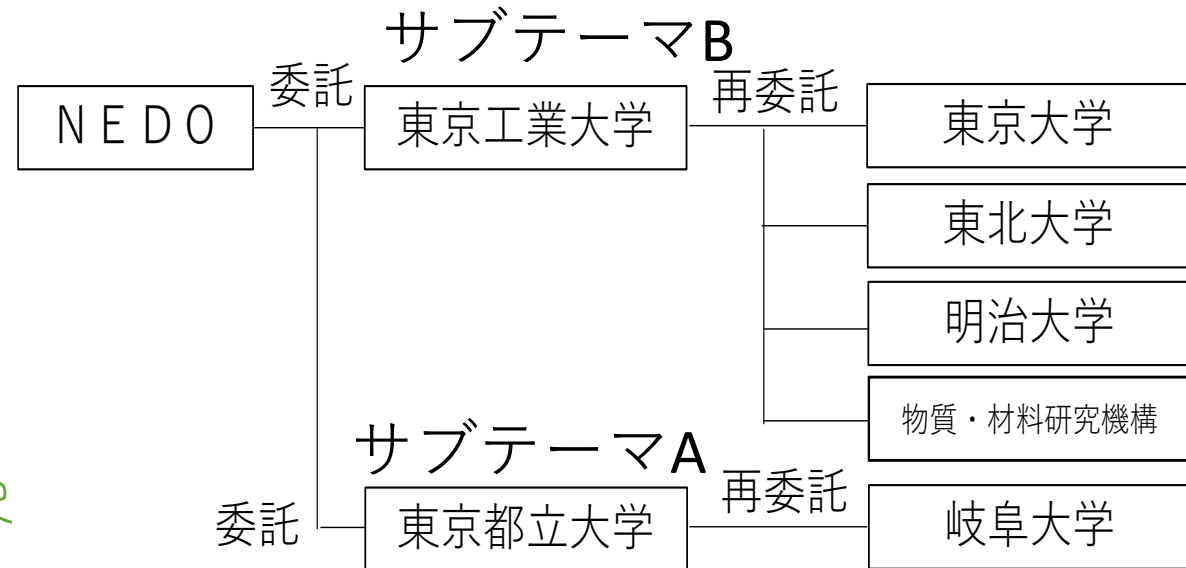
GL: 水谷 義弘、東京科学大学(旧 東京工業大学)

SGL: 小林 訓史、東京都立大学

ステージゲート前



ステージゲート後



本事業の位置づけや意義、必要性

本事業の位置づけ

- ・ 目的達成「炭素繊維削減と容器健全性保証の両立」に向けてこれまでにない新しい視点での解決手段を模索

ステージゲート前：国内の複合材料と非破壊検査の研究に従事している大学、国研の研究者が各人の得意な分野で研究

ステージゲート後：開発項目・方針の絞り込み。各機関が協力して研究開発。信頼性工学の専門家にも協力を仰ぐ

本事業の必要性

- ・ 一機関だけでは創造できないような融合的アプローチ（複合材料技術×モニタリング×信頼性設計の融合的アプローチ）を模索し、日本発の設計手法・検査法の国際展開へ貢献するため

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

研究開発の進捗管理（マネジメント）

①全体会議（年3～4回）ハイブリッド

- ・ NEDO事業受託機関・再委託先研究者（各機関PI、研究者、学生研究員）
- ・ NEDO関係者（PL、SPL）
- ・ 関心表明企業の技術者・研究者
- ・ 有識者

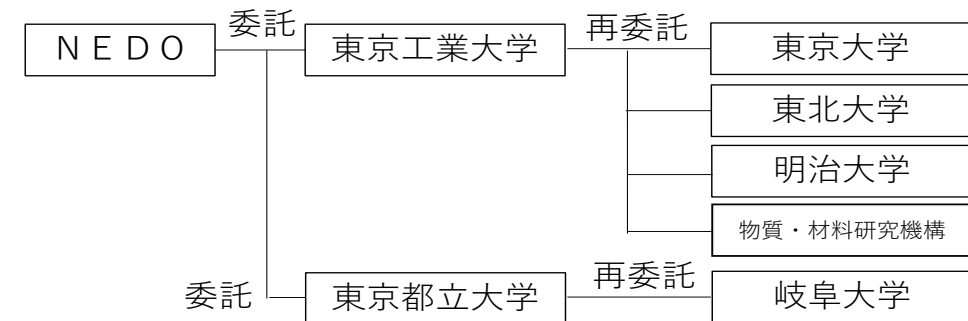
②幹事会（年3～4回）ハイブリッド

- ・ NEDO事業受託機関・再委託先のPI

③GL/SGL会議（月1～2回）対面/オンライン

- ・ NEDO事業受託機関のGLとSGL

SLACK、BOXの活用



1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

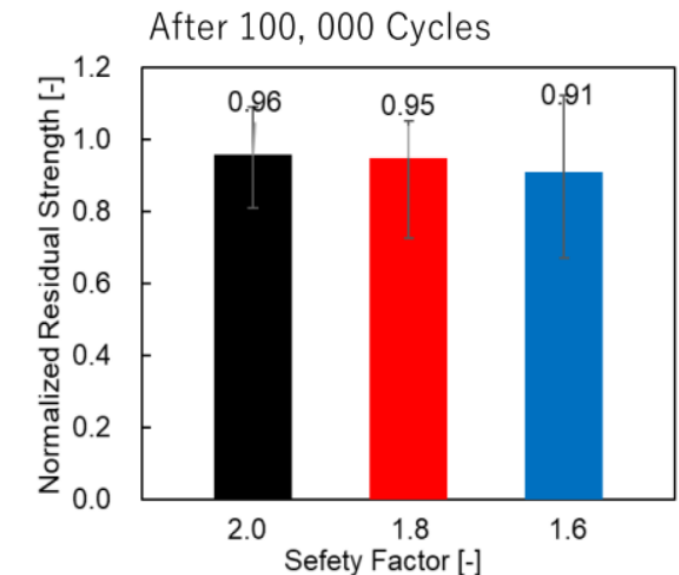
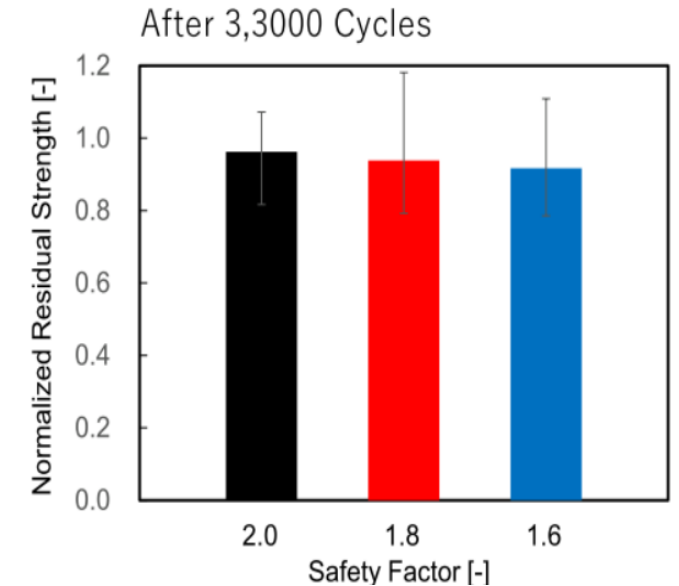
実用化のイメージと今後の課題

1. 事業の位置付け・必要性
意義と必要性
背景と目的
2. 研究開発マネジメントについて
目標
研究開発の実施体制
研究開発の進捗管理（マネジメント）
3. 研究開発成果について
研究開発の成果と意義（1）材料データ取得
研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案
研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り
特許、論文、学会発表、広報等の取り組み
4. 今後の見通しについて
実用化のイメージと今後の課題

(1) 材料データ取得

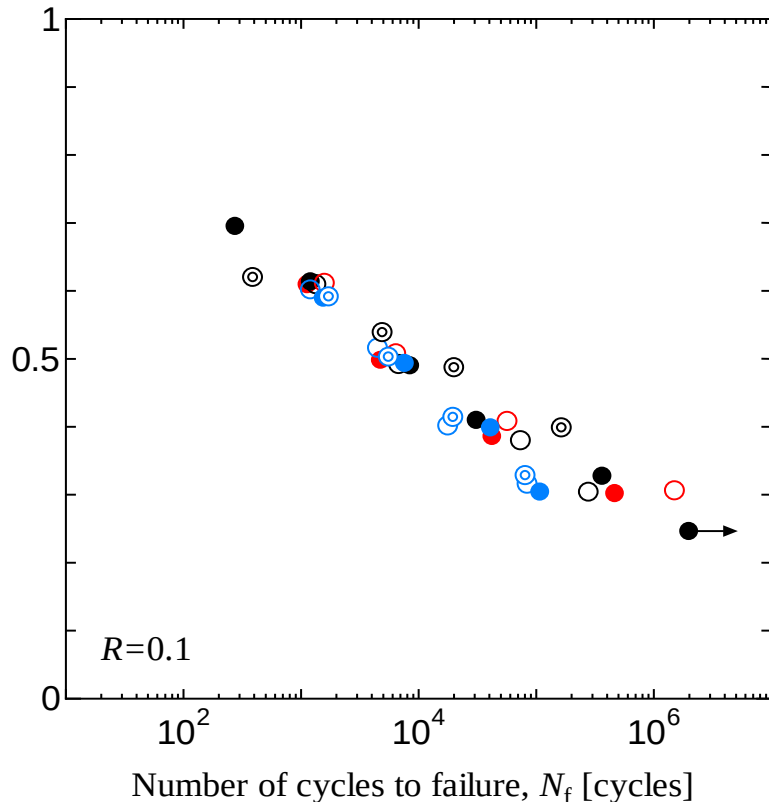
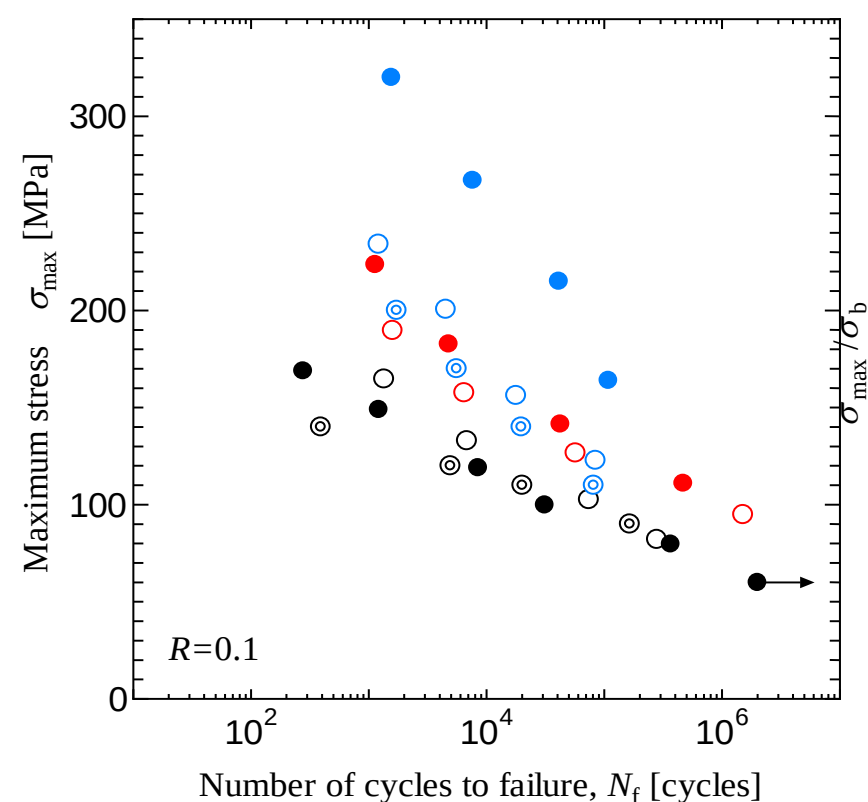
胴部余寿命予測のための材料データ取得と簡易余寿命予測技術

- ・ 安全率1.6, 1.8, 2.0を想定したクロスプライCFRP試験片の疲労試験データを拡充
- ・ 33,000回の疲労試験後の残存強度は、疲労試験後でも90%以上に維持。100,000回の疲労試験後でも、残存強度の平均値は33,000回と同程度
- ・ 残留強度低下量と繰返し回数依存性が小さいことから、現状想定される充填回数に対しては、試験片の疲労試験に基づく余寿命予測は不必要な可能性を見出す

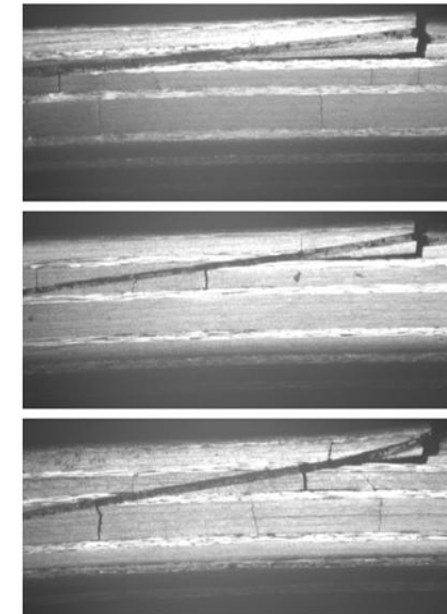


(1) 材料データ取得

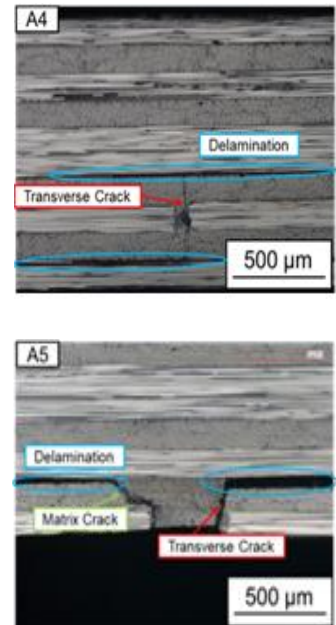
- ・ 接着剤種や積層構成を変えた場合の疲労データを拡充
- ・ 応力振幅を引張強度で正規化することで継手条件の違いを超えて1本のS-N線図に整理できることの再確認



スカーフ



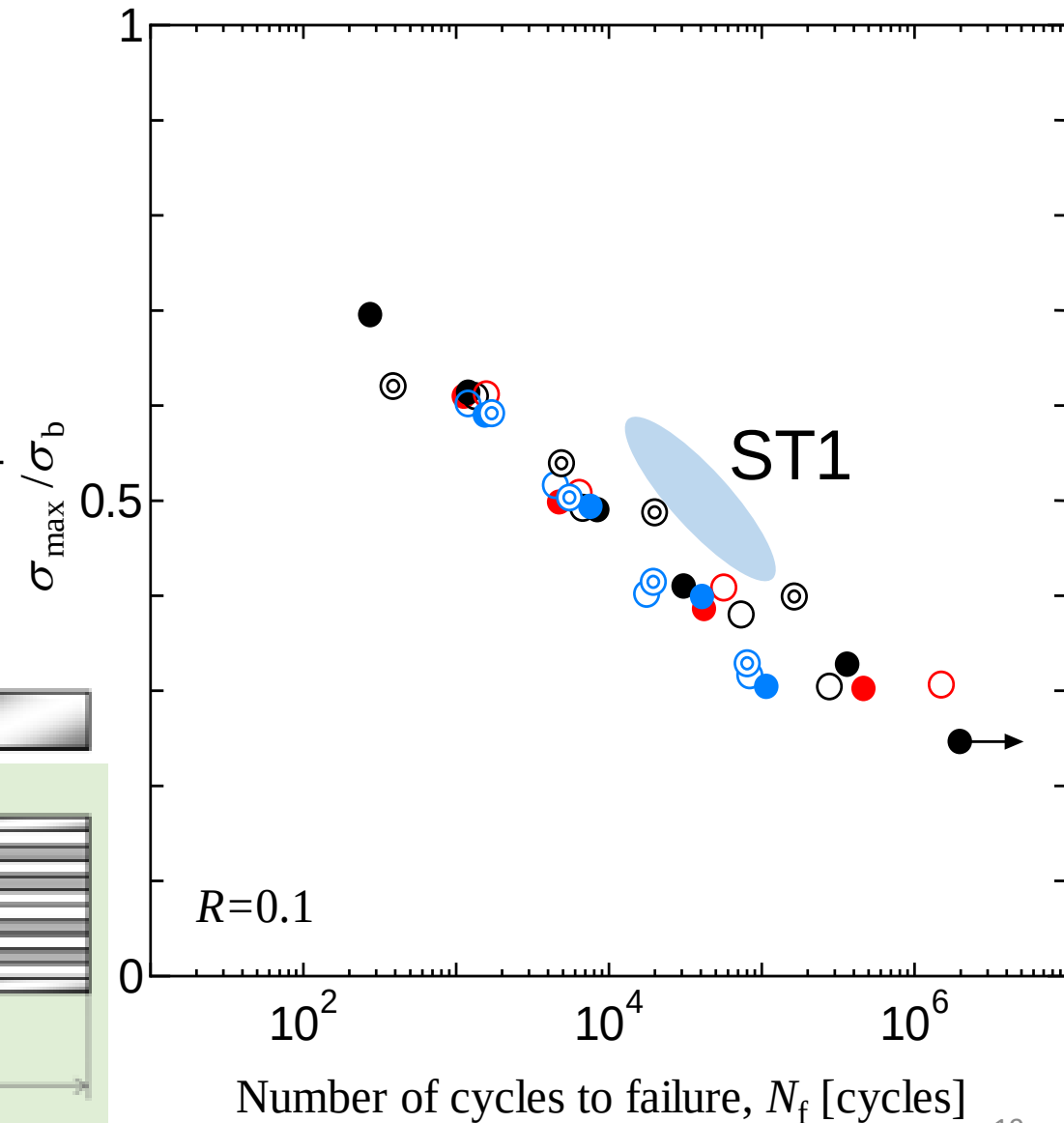
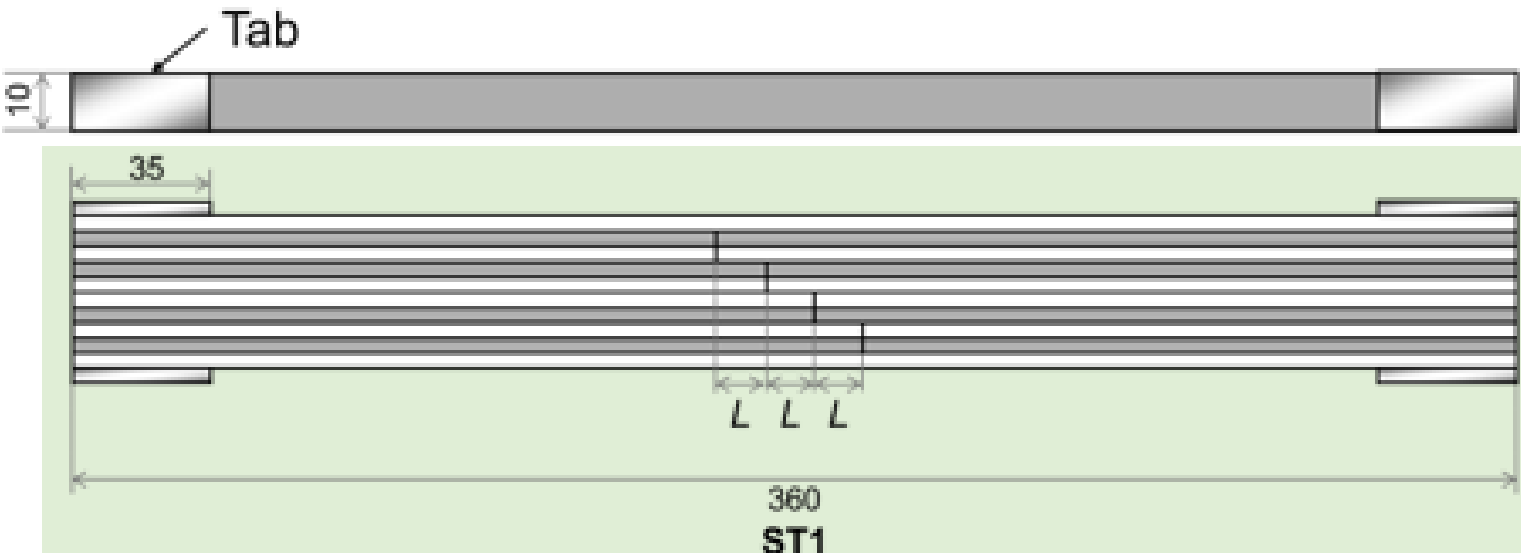
ステップドロップ



(1) 材料データ取得

接合型容器の設計に必要な材料データの取得

- ・継手の外層に連続層を1層導入した試験片（図中ST1）では，他の継手のS-N線図より高寿命側に外れ，疲労強度向上に有効となる可能性を示唆



1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

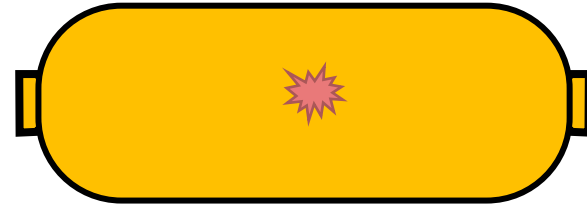
特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

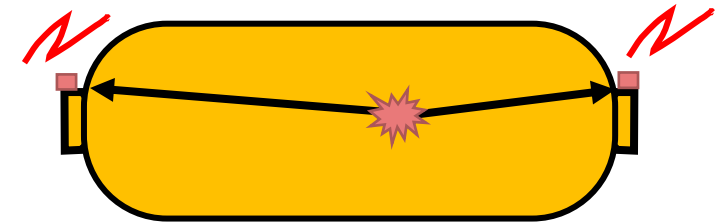
損傷許容設計の背景と実現の条件

安全寿命設計



供用中：損傷検知不可
安全率と使用期限で安全を担保

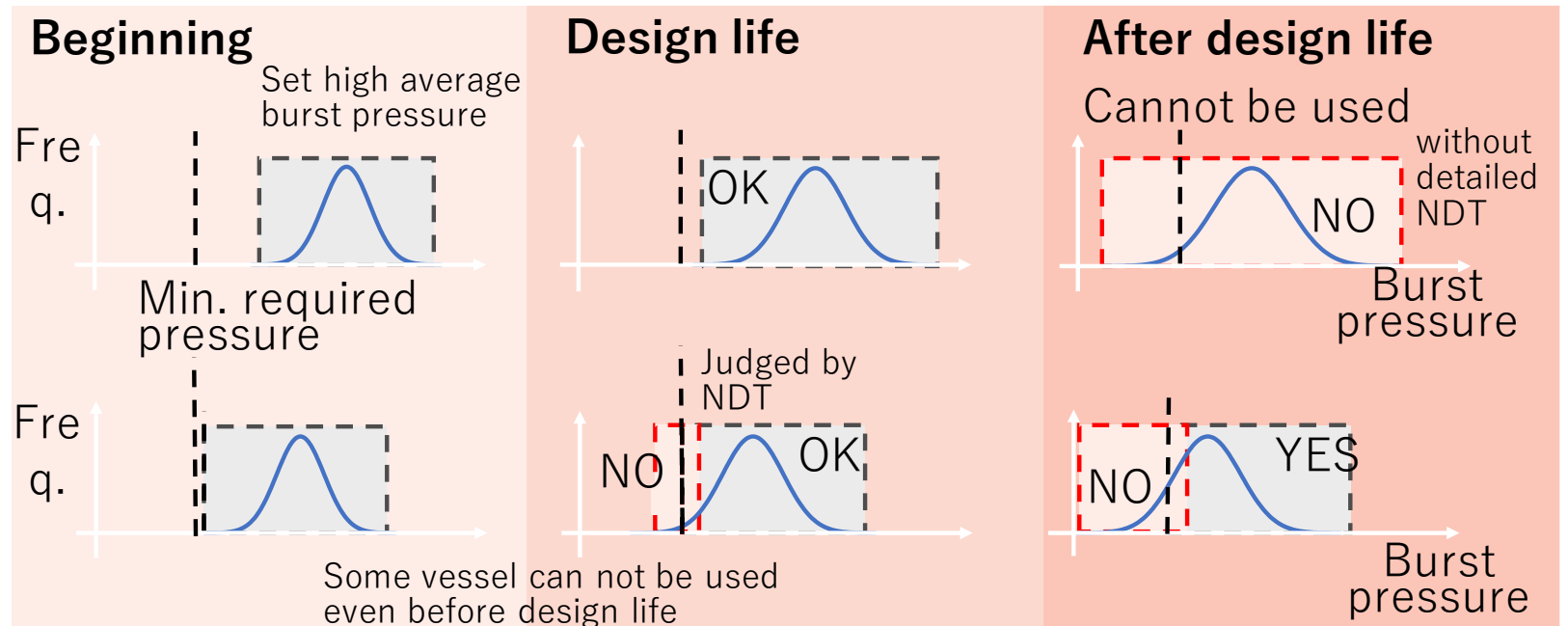
損傷許容設計



供用中：損傷検知可能
⇒適切な設計法は？
⇒低価格化できるのか？

Safe Life
(Detailed NDT is unnecessary)

Damage tolerant
(Detailed NDT is necessary)



破裂圧のばらつきと使用可否条件

3. 研究開発成果について

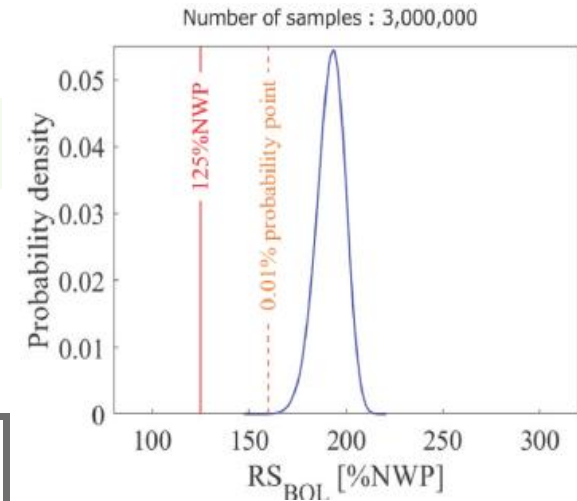
全ての層に樹脂
割れを模擬

■ 残留強度(RS)の計算方法

✓ 破裂圧力を繊維方向応力が最も大きい層の繊維が切れる圧力と定義

$$RS = \frac{X_L \times s_f}{\max\{\sigma_L\}} \times 100 \quad [\%NWP]$$

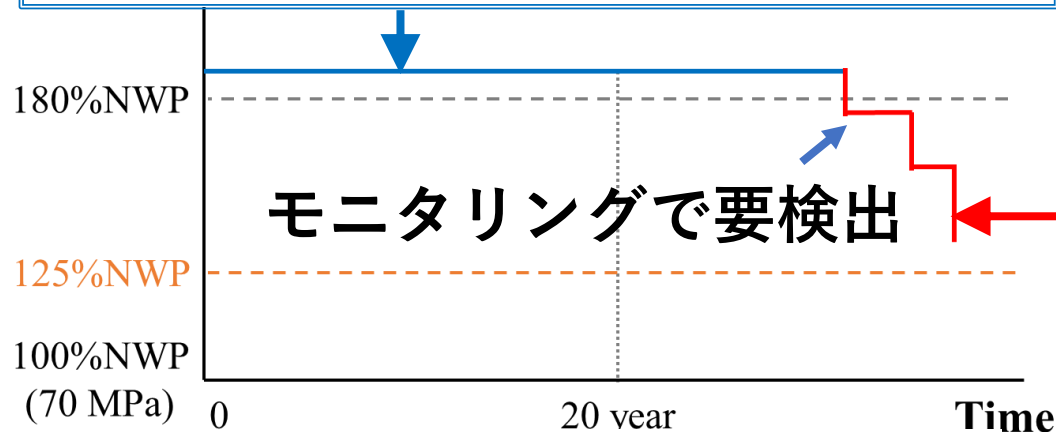
σ_L : 各層の繊維方向応力
 X_L : CFRPの繊維方向引張強度
 s_f : 炭素繊維の強度発現率(0.9)



初期残留強度: RS_{BOL} (Beginning-Of-Life)

⇒ 全ての層に樹脂割れを模擬

※Non-criticalな損傷の発生は許容



各残留強度の計算方法

繊維破断後の残留強度

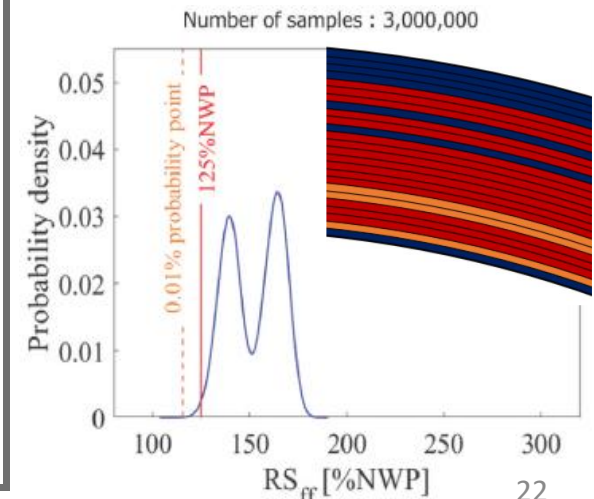
: RS_{ff} (fiber failure)

⇒ 任意の2層に繊維破断 +
それ以外の全ての層
に樹脂割れを模擬

※繊維束1束の破断でも可聴音

2層の繊維破断はAE検査
で検出可能と仮定

任意の二層の繊維が
すべて破断した場合
の破裂圧力の分布



肉厚の最小化

■ 目的関数 (Objective Fnc.)

$$\text{Objective Fnc.} = t_{\text{all}} + \frac{1}{\min\{\text{RS}_{\text{ff}}\}}$$

t_{all} : 残留強度要件を満たす
範囲での最小肉厚

任意の2層に繊維破断を
模擬する組み合わせの
全通りで RS_{ff} を計算

最小値を $\min\{\text{RS}_{\text{ff}}\}$ として計算

残留強度要件を満たす**容器肉厚の最小化**
最小肉厚における **$\min\{\text{RS}_{\text{ff}}\}$ の最大化**

➤ 残留強度要件

※各圧力での破裂確率も考慮可

- 初期残留強度

$$\text{RS}_{\text{BOL}} \geq 180\% \text{NWP}$$

- 繊維破断後の残留強度

$$\min\{\text{RS}_{\text{ff}}\} \geq 125\% \text{NWP}$$

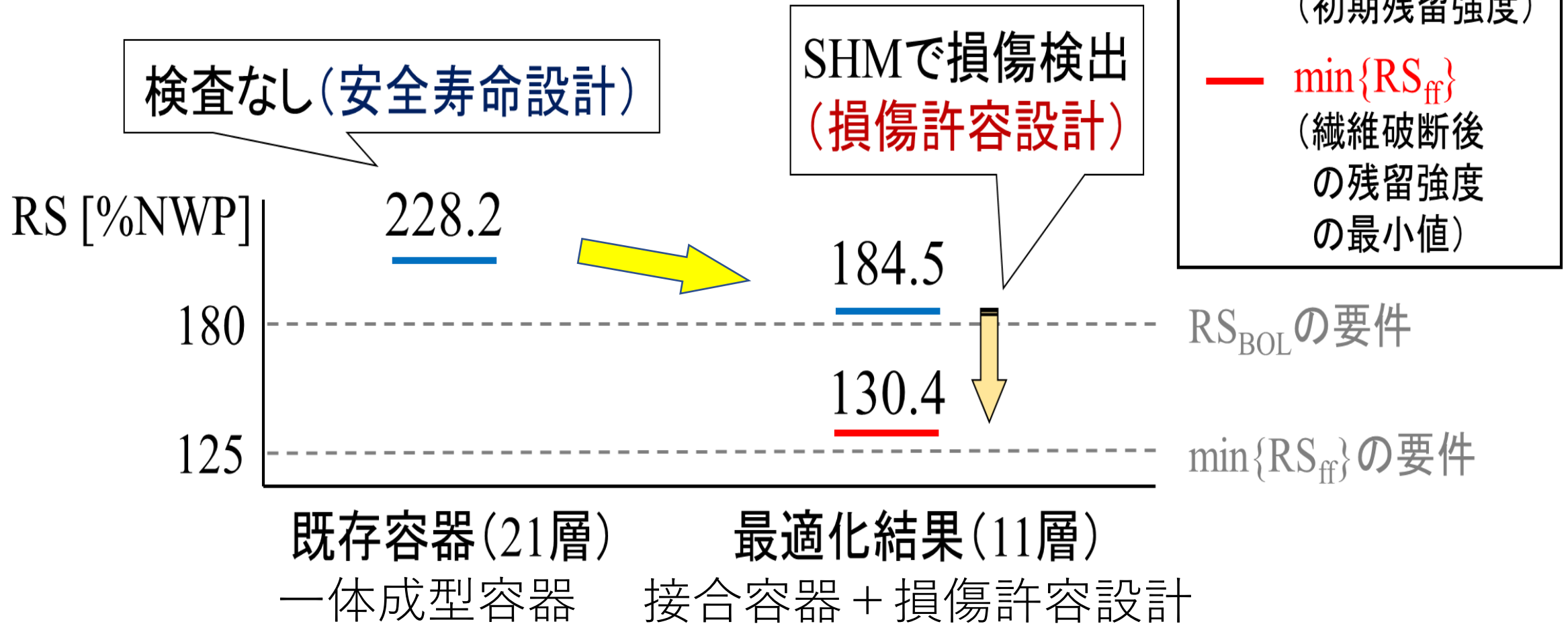
最適化の結果の例

Layer No.	Winding	Fiber angle ϕ [°]
1	Hoop	78
2	Hoop	82
3	Low-angle helical	30
4	Hoop	86
5	Hoop	89
6	Low-angle helical	31
7	Hoop	89
8	Low-angle helical	32
9	Low-angle helical	32
10	Hoop	89
11	Low-angle helical	33

3. 研究開発成果について



■ 残留強度の計算結果の比較



既存容器と比較して積層数が**約 48%減少**
⇒**繊維使用量を30以上削減可能**

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

3. 研究開発成果について



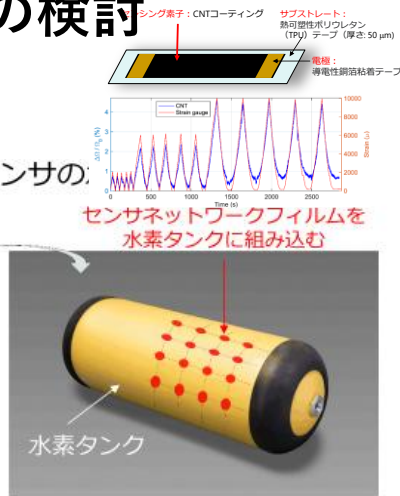
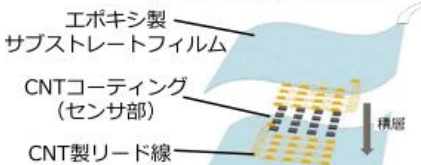
(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り ステージゲート前

詳細非破壊検査法の検討

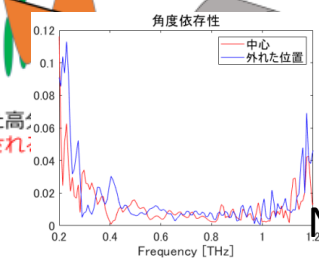
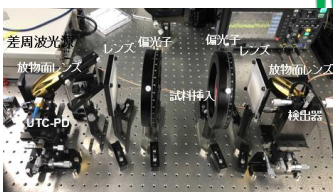
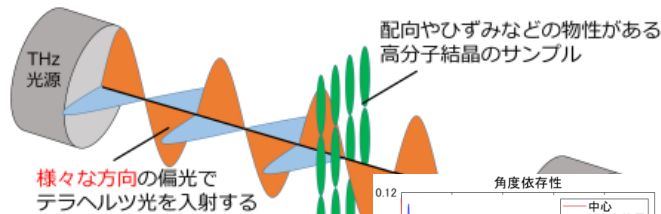
東大（岡部研）

カーボンナノチューブひずみセンサの

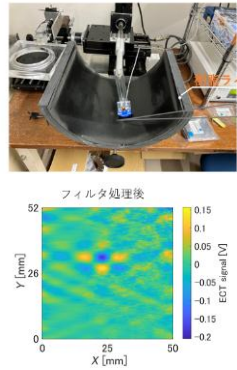
柔軟性に優れる
フィルム状CNTセンサアレイ



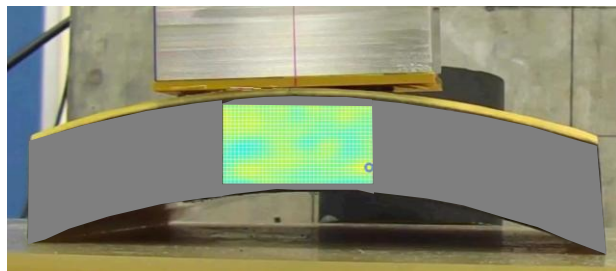
東大（梶原研）



東北大 + 科学大
(ECT)



科学大（UT）



非破壊検査・評価・モニタリングの研究に従事している大学、国研の研究者が各人の得意な分野で研究



NIMS、明治、科学大（AE、GW）

3. 研究開発成果について



ステージゲート

開発項目・方針の絞り込み。
各機関が協力して研究開発

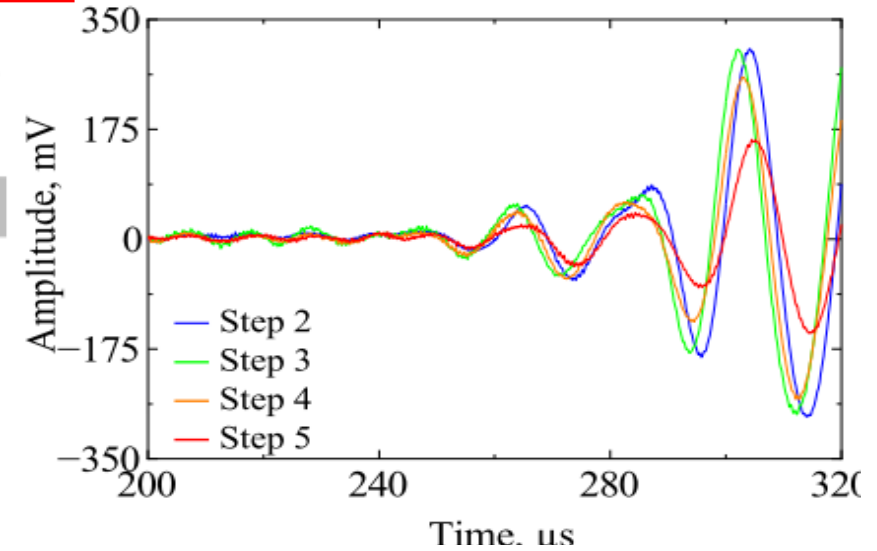
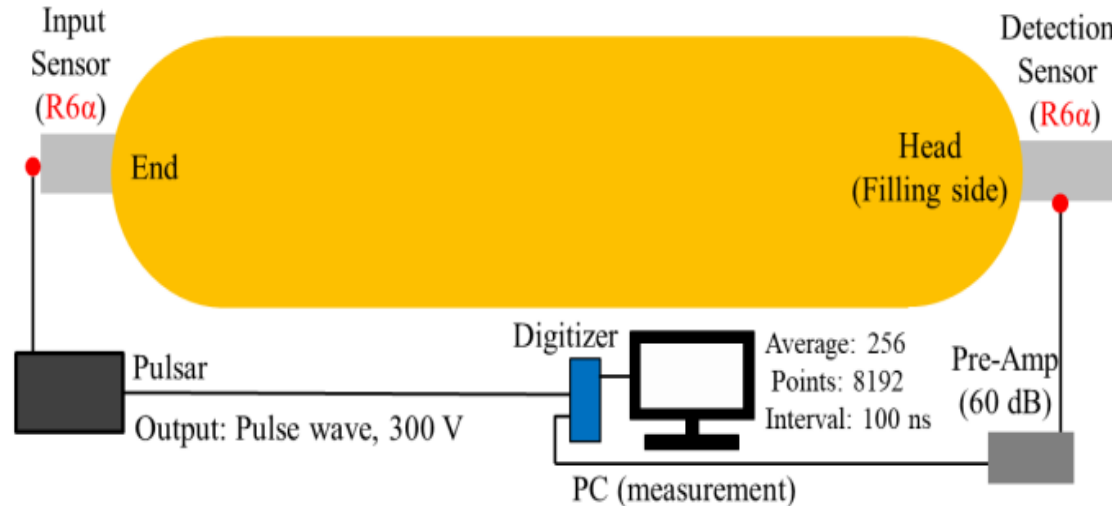
	適用箇所	検出対象	検査時期	欠陥検出精度	開発状況, その他
超音波探傷試験	胴部, 接合部 (タンク外側から探傷)	CFRPの層間剥離, 接合部界面の剥離	詳細検査時	良い	現状は加圧済タンクの一部の箇所で適用不可
渦電流探傷試験	胴部 (タンク内側から探傷)	タンク内面近傍CFRP層の繊維破断, うねり	詳細検査時	良い	タンク内側炭素繊維の状態を計測可
テラヘルツ試験	接合部 (タンク内側から探傷)	接合部の疲労の蓄積	詳細検査時	良い (き裂発生前の疲労の蓄積を評価可能)	CFRPについては断念, 現行タンクライナにも接合部があるが供用中検査はしていない
超音波ガイド波	ドーム部, 胴部および接合部	樹脂割れ密度, 層間剥離等	水素充填時	おそらく悪い (スクリーニング検査)	ガイド波は送受信可能だが, 検出精度は不明
マーカー材料を使用したAE試験	ドーム部, 胴部および接合部 マーカー材含まないAE試験も含む	繊維破断, 樹脂割れ	水素充填時	計測環境による. 口金で計測する場合はおそらく悪い (スクリーニング検査)	タンクで大規模な損傷が発生した場合に充填口で計測できる可能性を見出している マーカー材混入が強度に与える影響は未検討
CNTセンサ	ドーム部, 胴部および接合部	過大ひずみ	水素充填時	悪い (剛性低下する規模の大きさの損傷)	センサとしての性能が安定してきたが, ひずみゲージと性能が似てきてしまった. ひずみゲージと差別化するためには大面積化が必要. (大面積化は本プロジェクト中には困難)

3. 研究開発成果について

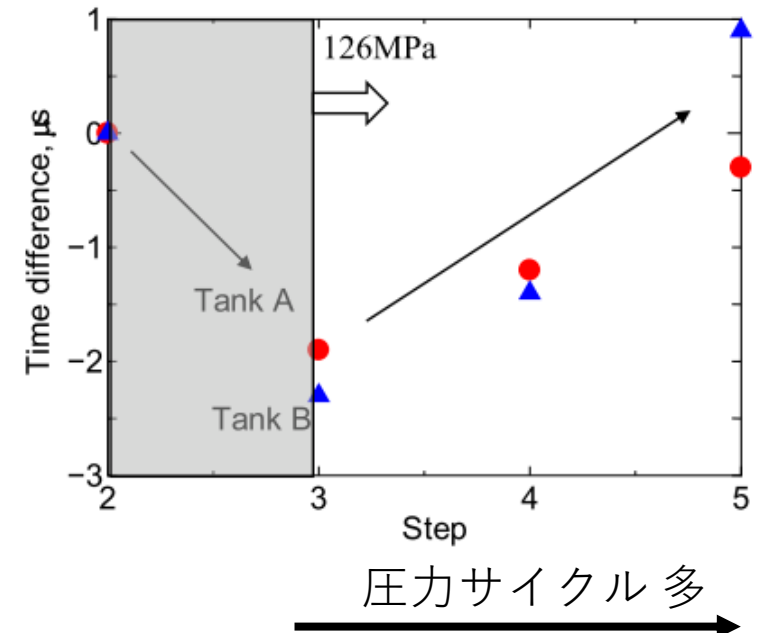
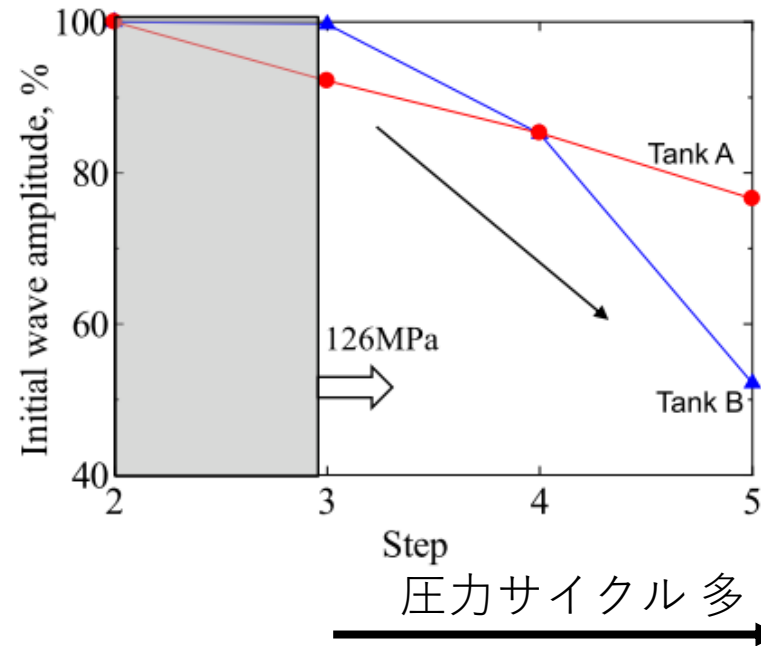


(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

圧力サイクル試験中の超音波ガイド波

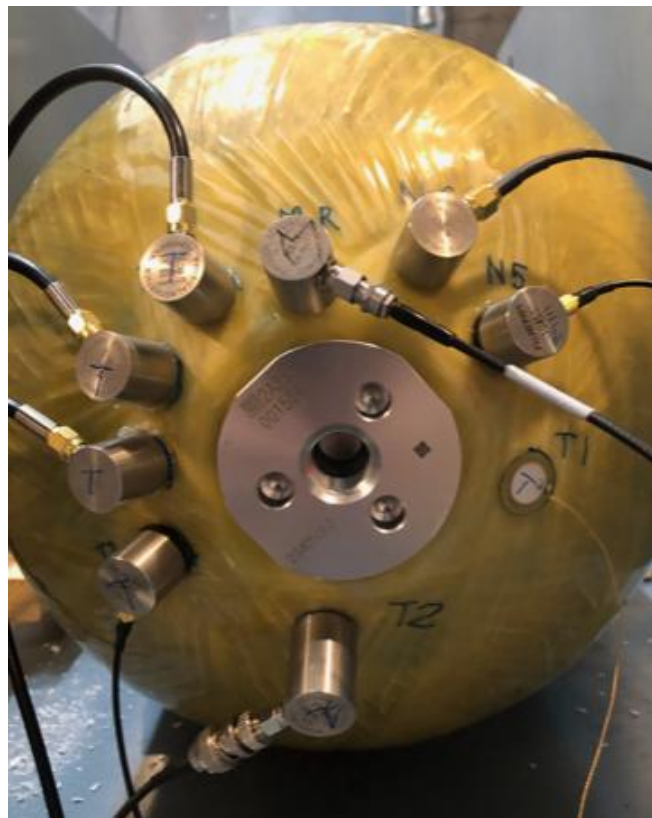


圧力サイクル数と超音波ガイド波の初動波に何らかの相関あり

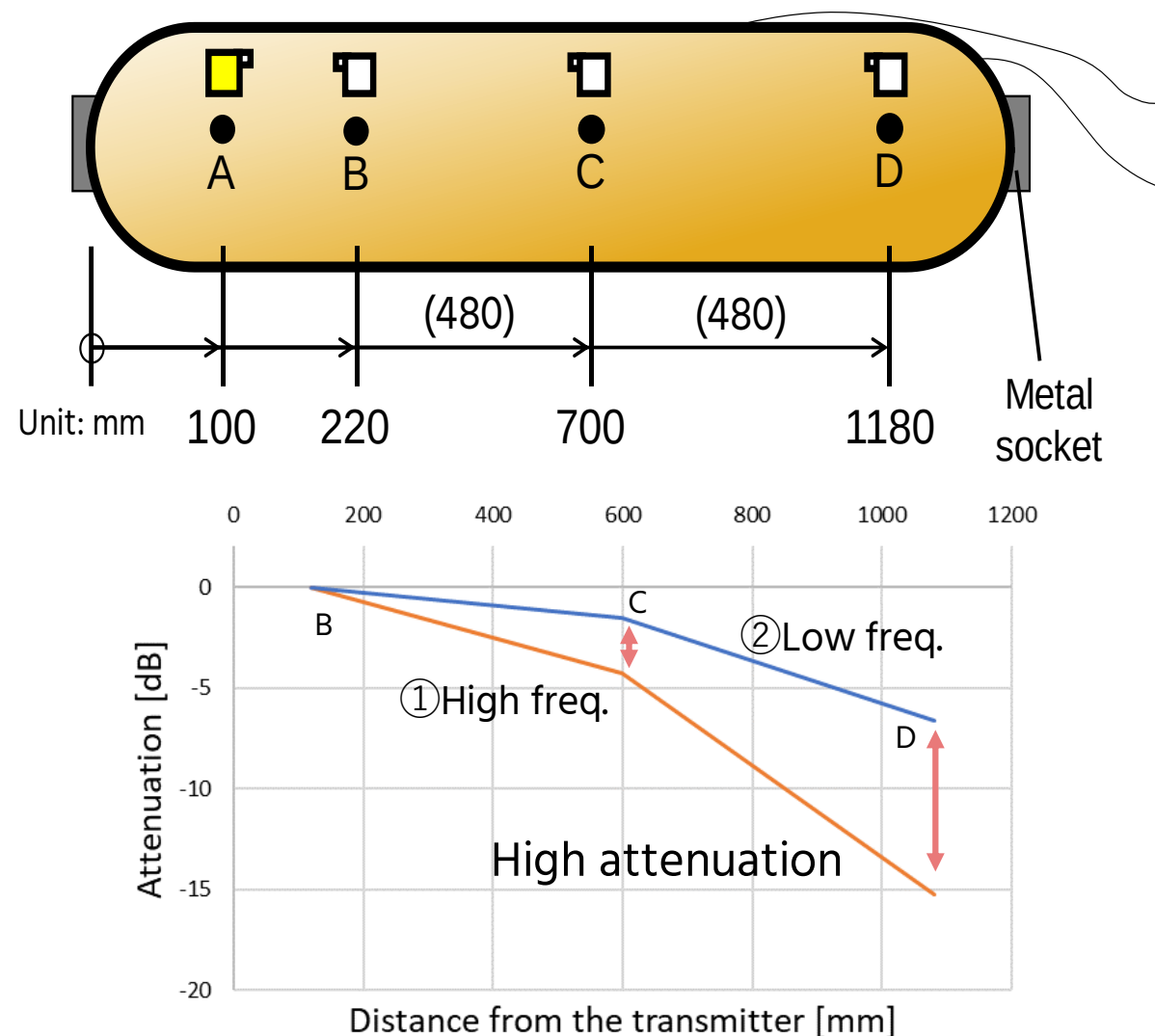


(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

AEセンサと取付箇所を選定

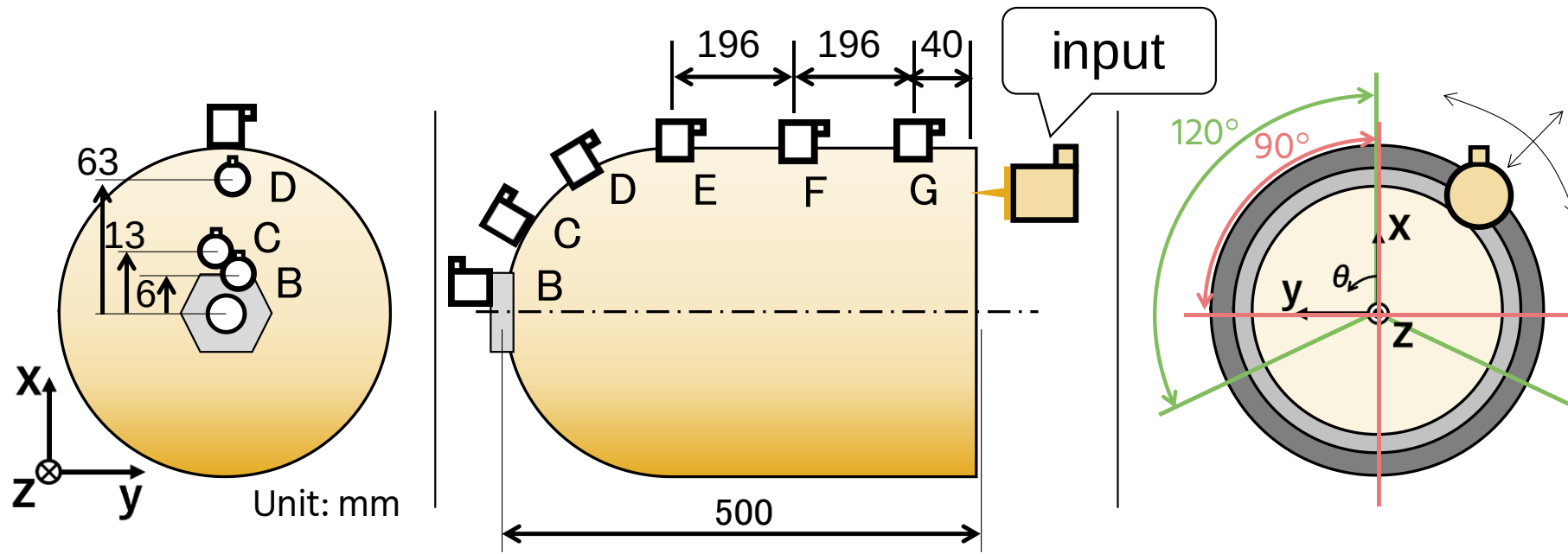


様々なセンサを候補として本プロジェクトで使用するのに適切なセンサを選定



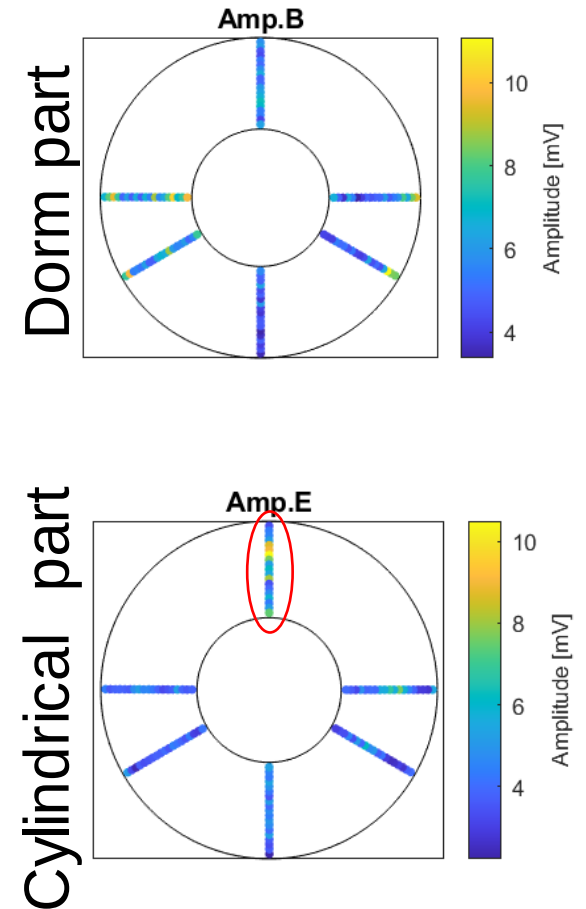
高周波数のAEは減衰が大きいため、低周波数のAEに注目

(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り



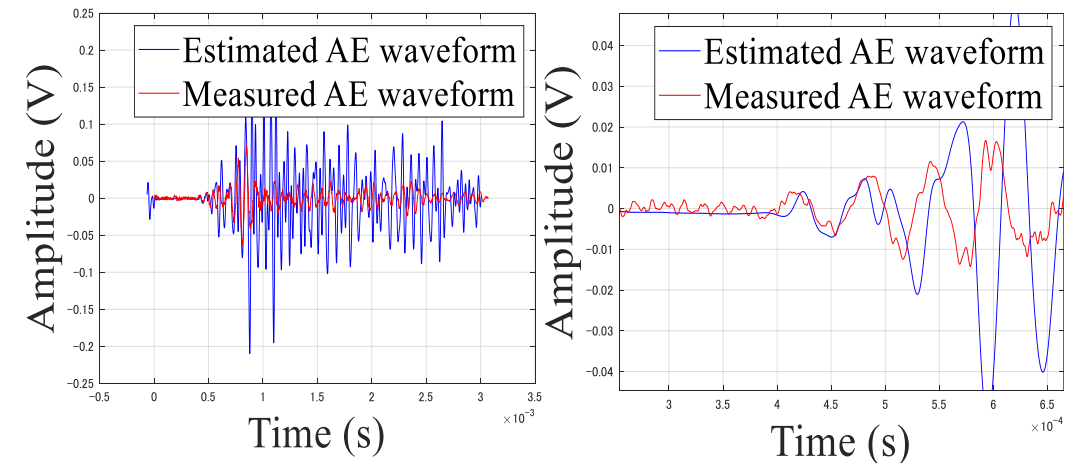
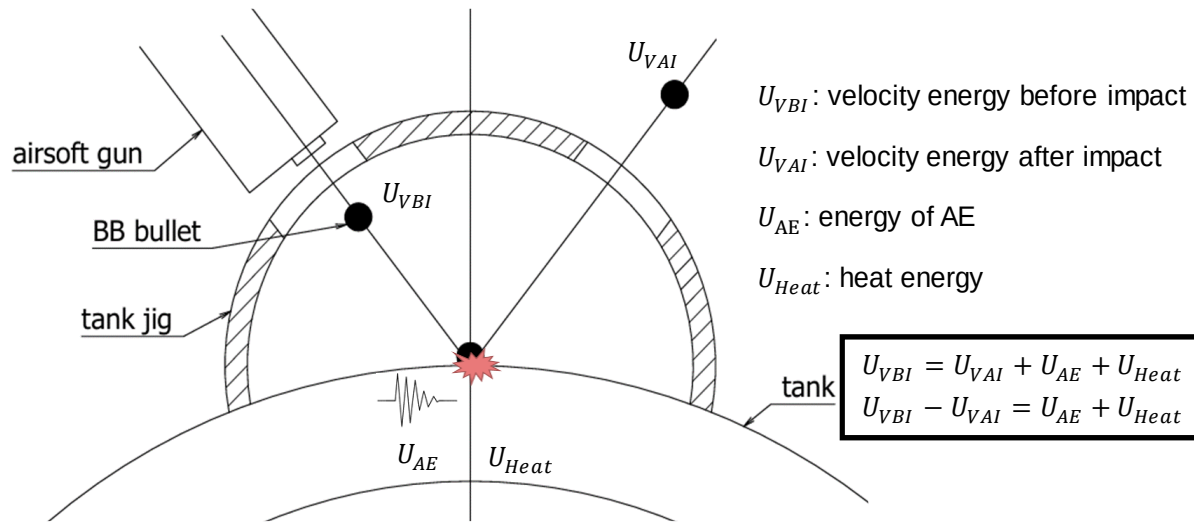
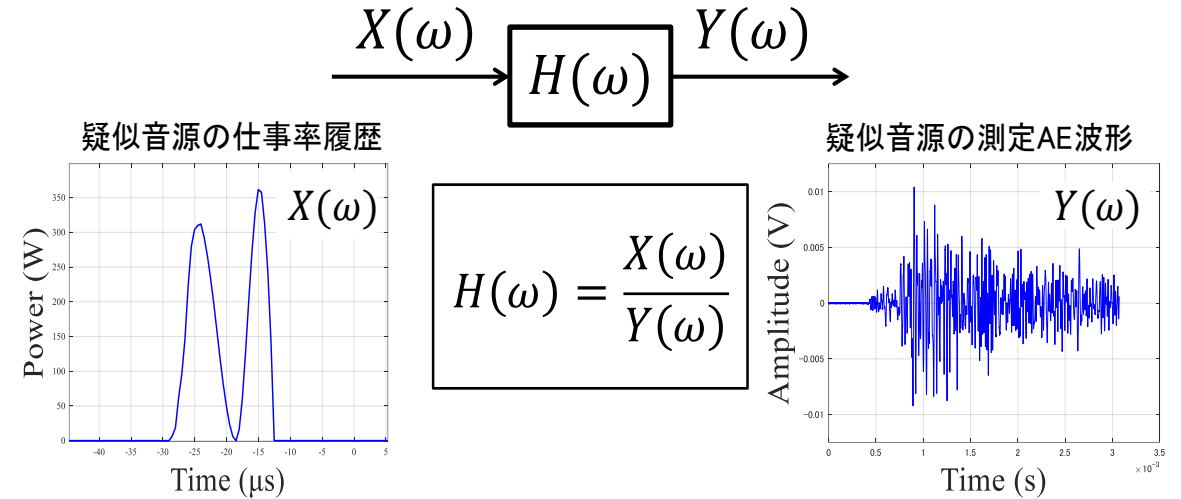
AE源の肉厚方向および周方向位置の影響

周方向の発生位置の違いによる影響が少ない
口金部に取り付けることに決定



(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

エアガンを用いたセンサ校正法の開発

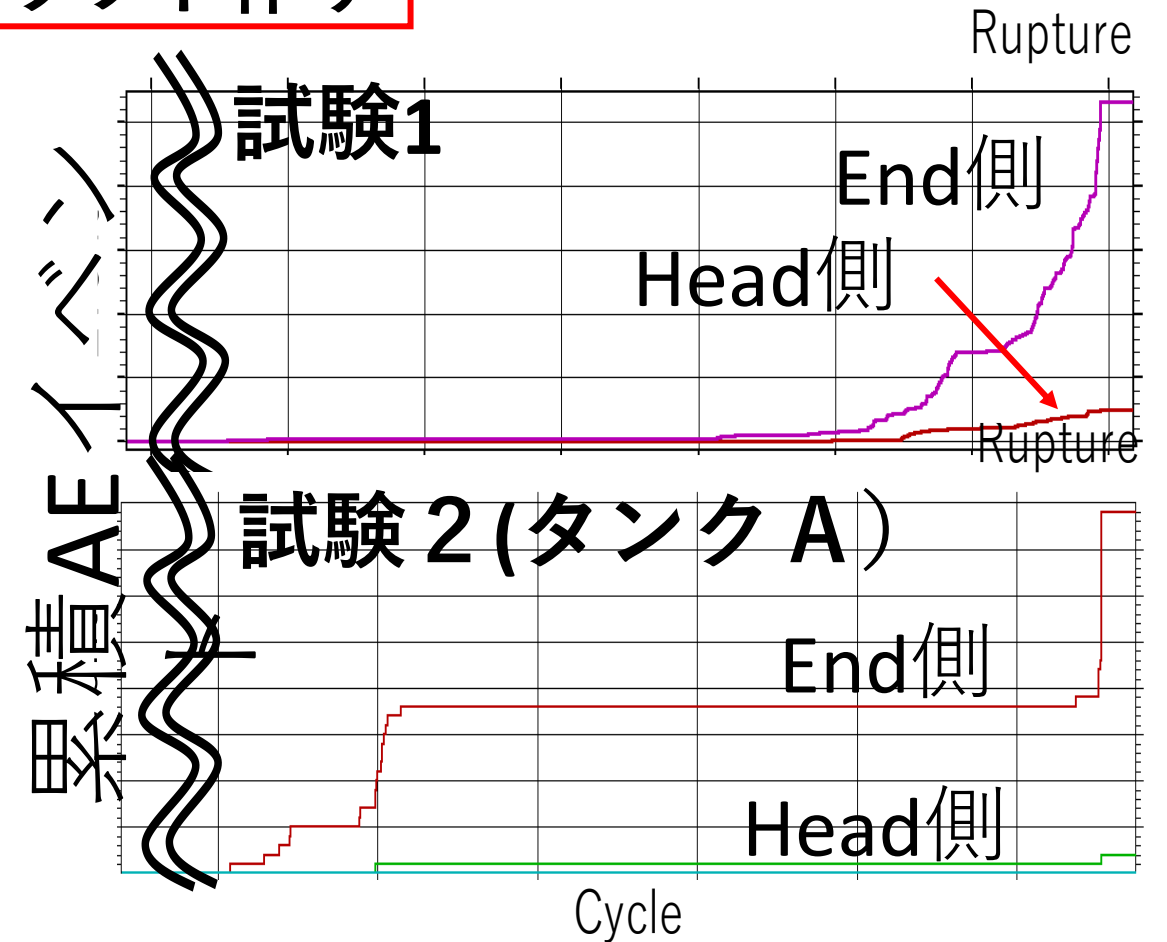


計測したAEから破壊源で発生したエネルギーを推定

3. 研究開発成果について



(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り



繊維束破断発生をタンク破裂の十分早い段階で検知可能

(3) 損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

NDIS 24〇〇:202X

日本非破壊検査協会規格

NDIS 2436 :202X

燃料電池自動車用複合圧力容器のアコースティック・エミッション試験

Acoustic Emission Testing of Composite Pressure Vessels for Fuel Cell Vehicles

1. 適用範囲

本規格が適用される容器の定義

- ・燃料電池自動車用のタイプ4容器
- ・損傷許容性が保証された容器
- ・非破壊試験の結果に応じて容器の圧力を減圧できる機構をもつ

上記を満たした容器と機能をもつ燃料電池自動車に対し、車載された AE システムにより水素充填中に自動的に AE 試験を行う方法を規定する

2. 引用規格

次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項を構成している。これらの引用規格は、その最新版(追補を含む。)を適用する。

ISO 19016 Gas cylinders — Cylinders and tubes of composite construction — Modal acoustic emission (MAE) testing for periodic inspection and testing

高圧水素複合圧力容器において、
繊維束破断を検出するためのAE試験規格のドラフトを作成

⇒正式に規格化を目指すかどうかは、産学官で相談をして決定する必要あり

1. 事業の位置付け・必要性

意義と必要性

背景と目的

2. 研究開発マネジメントについて

目標

研究開発の実施体制

研究開発の進捗管理（マネジメント）

3. 研究開発成果について

研究開発の成果と意義（1）材料データ取得

研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案

研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

4. 今後の見通しについて

実用化のイメージと今後の課題

3. 研究開発成果について

特許、論文、学会発表、広報等の取り組み

学会発表 51
学術論文 6
受賞 1
(HPIの科学技術奨励賞)
特許 0

(一社)日本非破壊検査協会主催
安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウムにて、NEDOプロジェクトセッションを設定

安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム

主催：(一社)日本非破壊検査協会
新素材に関する非破壊試験部門
開催日：2025年3月17日(月)、18日(火)

会場：平良港ターミナルビル 2F 大研修室
〒906-0000 沖縄県宮古島市平良字下里108-11

参加費：

参加費：	JSNDI正会員		7,000円
	登壇者		7,000円
	学生会員		5,000円
	非会員	一般 学生	12,000円 8,000円

・懇親会参加費： 5,000円 ・見学会： 2,000円

参加申込み方法：

「学術申込 Web システム」を利用してお申込みください。
協会ホームページ⇒学術活動⇒部門・研究会⇒新素材部門(NMT)
<https://www.jsndi.or.jp/gaku/sas/sas00.do?gaku=136>

問合せ先：

〒136-0071 東京都江東区亀戸2-25-14 京阪亀戸ビル10階
(一社)日本非破壊検査協会 学術課
「安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術
シンポジウム」係
TEL：03-5609-4015 E-mail：nakamura@jsndi.or.jp

プログラム

第1日目 3月17日(月)

13:00～13:10 開会の挨拶
主査 遠山暢之(産業技術総合研究所)

13:10～14:10 基調講演
座長 小笠原俊夫(東京農工大学)

光学的全視野変位・ひずみ計測技術の開発とその応用
産業技術総合研究所 李志遠

16:00～17:15 セッションI
座長 水谷義弘(東京科学大学)

OFDR-FBGによるCFRP直交積層板のマトリクスき裂モニタリング

東京農工大学 ○小笠原俊夫、池田ゆき乃
宇宙航空研究開発機構 久田深作、武田真一
デジタルホログラフィによる電子デバイスの熱変形計測
産業技術総合研究所 ○夏 鵬、李志遠
大規模ビジョンモデルによる波動伝搬映像解析：アプローチと実践
産業技術総合研究所 ○叶 嘉星、遠山暢之

18:00～20:30 懇親会 《シンポジウム会場周辺で開催予定》

第2日目 3月18日(火)

9:30～11:35 NEDOプロジェクトセッション
座長 遠山暢之(産業技術総合研究所)

高圧水素複合圧力容器の非破壊試験法の開発および安全率の適正化に向けたNEDOプロジェクトの紹介

東京科学大学 ○水谷義弘
物質・材料研究機構 伊藤海太
明治大学 松尾卓摩

渦電流試験を用いたCFRP複合圧力容器の炭素繊維の評価
東北大学 ○内一哲哉、田中洸大

東京科学大学 水谷義弘
ガイド波を用いた燃料自動車用水素タンクの状態評価手法の開発

明治大学 ○松尾卓摩、大橋明果
物質・材料研究機構 伊藤海太
東京科学大学 水谷義弘

水素容器用CFRP積層板の残留強度評価および接合法の検討
東京都立大学 ○小林訓史、大島草太
岐阜大学 植松美彦

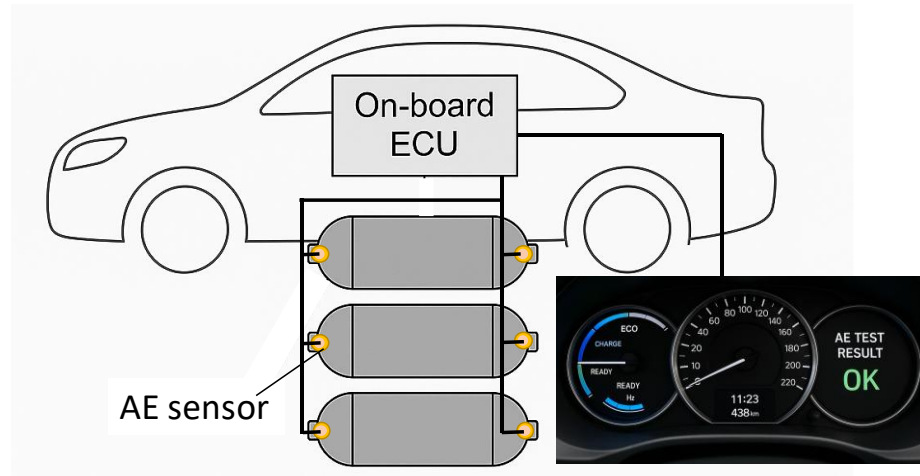
1. 事業の位置付け・必要性
意義と必要性
背景と目的
2. 研究開発マネジメントについて
目標
研究開発の実施体制
研究開発の進捗管理（マネジメント）
3. 研究開発成果について
研究開発の成果と意義（1）材料データ取得
研究開発の成果と意義（2）損傷モニタリングを前提とした設計法の提案
研究開発の成果と意義（3）損傷モニタリング法と規格のドラフト作り
特許、論文、学会発表、広報等の取り組み
4. 今後の見通しについて
実用化のイメージと今後の課題

4. 今後の見通しについて

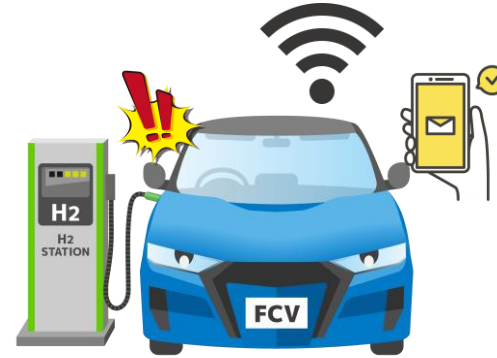


実用化のイメージと今後の課題

水素ステーション



FCV低価格化
⇒FCVの飛躍的普及
異常検知時



- ①充填最高圧力を制限
- ②数ヶ月以内の詳細検査を要求

- ①損傷モニタリングのPOD (Probability of Detection)を考慮した容器破裂確率の推定法開発
- ②損傷モニタリングシステムの実適用化 (信頼性向上と判定方法の高度化)
- ③繊維束破断以前 (容器寿命の初期～中期) の破壊の検査/モニタリング法開発
- ④モニタリングの実施を前提とする場合の設計に関する標準化・制度化