

# NEDO水素・燃料電池成果報告会2022

発表 No.A-3

大項目／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

中項目／水素利用等高度化先端技術開発

小項目／革新的低コスト燃料電池自動車用高圧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

水谷義弘（東京工業大学）、小林訓史（東京都立大学）、内一哲哉（東北大学）、  
岡部洋二（東京大学）、松尾卓摩（明治大学）、伊藤海太（NIMS）、  
荒井政大（名古屋大学）、植松美彦（岐阜大学）、梶原優介（東京大学）

2022年7月27日

連絡先：水谷 義弘  
東京工業大学  
(<http://www.ffs.mech.e.titech.ac.jp/>)

# 1. 事業概要

## 1\_1. 期間

開始 : 2021年7月  
終了（予定） : 2023年3月

## 1\_2. 最終目標

**革新的低コストタンクの実現に必要な要素技術を開発し、燃料電池自動車の飛躍的普及に貢献する**

### 目標達成の手段

炭素繊維使用量削減 → 接合型タンク + 安全率の引き下げ

### 具体的目標

- ・接合型タンクを実現するための要素技術開発
- ・安全率の引き下げを可能とする非破壊検査、オンラインモニタリング技術および損傷許容設計技術の開発

# 1. 事業概要

## 1\_3. 成果・進捗概要

### A. 接合型タンクを実現するための要素技術開発

- 接合型タンクを実現するための接合方式のアイデアだしおよび成立性の検討中
- 接合型タンクの損傷許容性を検討するための基礎的検討開始
- 接合部が繰り返し荷重を受けた場合の損傷進展メカニズム解明のための検討中
- 接合部の非破壊検査の検討中

### B. 安全率の引き下げを可能とする非破壊検査，オンラインモニタリング技術の開発

- タンクの詳細検査を可能とする検査方法の検討中
- 水素充填時に行う簡易検査法の開発中
- 水素充填時等に行うオンラインモニタリングを可能とする技術の開発中

### C. 損傷許容設計技術の開発

- 損傷許容設計を検討するための方法を開発済
- 損傷許容を実証するための方法の検討中

### D. 規格・基準のドラフトの開発

- 国内外の関連規格の調査中

# 2. 事業の位置付け・必要性

## 2\_1 本事業を実施する背景や目的

### 産業界のニーズ

2050年カーボンニュートラルの実現

FCVの飛躍的普及

高圧水素容器の低価格化



適用可能な非破壊検査法  
および余寿命予測法なし

使用期限

15年 (20年)

本テーマの目的

- ・高圧水素容器の「低価格化」と「長寿命化」
- ・関連規格の適正化

**目指すべきターゲット** NEDO殿ロードマップ (2019.3)

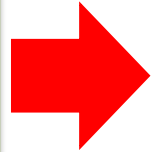
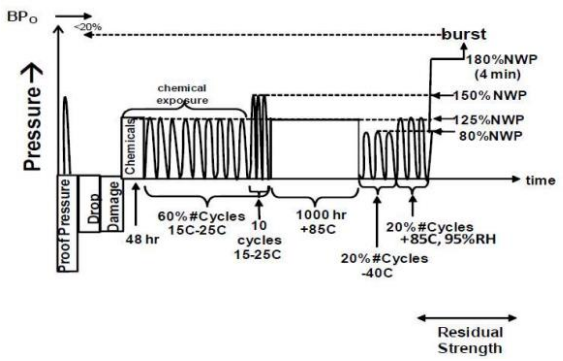
- 2025年20万台、2030年80万台
- 2025年頃にFCVをHV並の価格競争力へ価格差低減 (FCVとHVの価格差300万円→70万円)
- 2025年頃に主要な要素技術のコスト低減
  - 燃料電池システム約2万円/kW→0.5万円/kW
  - 水素貯蔵システム約70万円→30万円→10万円(2040年)
- 2025年にポリウムゾーン向け車種展開

**ターゲット達成に向けた取組**

- ・ 関係企業・研究機関等の間での協調領域の技術情報や課題の共有
- ・ 貴金属の使用量低減等に向けた技術開発
- ・ 水素貯蔵システムにおける炭素繊維の使用量低減等に向けた技術開発

<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001.html>

国際規格 GTR No.13  
の適正化の提案



FCVの飛躍的普及に貢献

## 2. 事業の位置付け・必要性

### 2\_2 本事業の位置づけや意義、必要性

下記に示した技術要素および規格ドラフトの開発は水素貯蔵タンクの低価格化に直接的に貢献する

- A. 接合型タンクを実現するための要素技術開発
- B. 安全率の引き下げを可能とする非破壊検査，オンラインモニタリング技術の開発（厚肉FW-CFRPの検査技術がない）
- C. 損傷許容設計技術の開発
- D. 規格・基準のドラフトの開発

#### 間接的な意義・必要性

CFRP製の高圧水素貯蔵タンクにおいて，設計，非破壊検査，オンラインモニタリングを組み合わせて健全性を保証しようとする考え方は世界的にみても例がなく，日本が水素の分野で主導権を握り続けるためにも必要な技術開発である

## 3. 研究開発マネジメントについて

### 3\_1 研究開発の目標と目標設定の考え方（根拠）

- A. 炭素繊維使用量低減：Bの検討結果とあわせて現状比30%削減可能であることを示す
- B. 長寿命化：25年以上の使用を可能とする。炭素繊維使用量低減：Aの検討結果とあわせて現状比30%削減可能であることを示す
- C. 寿命予測：残存寿命（余寿命）の予測技術開発。破裂するまでの寿命が短くなっていることを検知可能な埋め込み式センサの開発
- D. 国内規格：ドラフト（目次、項目内容の案）の作成
  - ・ 30%という数字が実現できれば燃料電池自動車の飛躍的普及に貢献できるとして、関連事業者と相談して目標値を決定した
  - ・ 将来的に国際規格（GTR）に提案できそうな国内規格を作ることに ついて、ニーズがあることを関連業者等へのヒアリングで明らかにした。<sup>6</sup>

### 3\_2 研究開発のスケジュール

- **A, B, C グループ会議** (毎月開催)
- **Dグループ会議**  
2021年度は東工大の中で準備  
2022年度からスタート. まずはA,B,C会議に合わせて開催
- **全体会議**  
2021年度は11/25, 1/4, 3/18  
2022年度は6/2, 11/25, TBD
- **幹事会**  
2021年度は9/13, 3/17  
2022年度は全体会議前と8月22日に実施予定

### 3. 研究開発マネジメントについて

## 3\_3 研究開発の実施体制

<b>東京工業大学</b> 准教授 水谷義弘 (PI) 教授 轟章 研究員 菅原麻衣 近藤翔午	<b>東京大学</b> 教授 岡部洋二 (PI) 助教 齋藤理 特任助教 于豊銘 <hr/> 准教授 梶原優介 (PI) 助教 木村文信	<b>物質・材料研究機構</b> 主任研究員 伊藤 海太 (PI)  <b>名古屋大学</b> 教授 荒井政大 (PI) 准教授 吉村彰記 准教授 後藤圭太
<b>東京都立大学</b> 教授 小林訓史 (PI) 助教 大島草太 特任助教 長田稔子 助教 井尻政孝	<b>明治大学</b> 准教授 松尾卓摩 (PI)	<b>岐阜大学</b> 教授 植松美彦 (PI) 准教授 柿内利文
<b>東北大学</b> 教授 内一哲哉 (PI) 助教 武田翔		

PI: Principal investigator  
研究室の主宰者

- テーマA 接合型タンクの接合方法 (代表: 都立大)
- テーマB 損傷許容型タンクと詳細非破壊検査 (代表: 東工大)
- テーマC 余寿命予測技術、容器が破裂する前に検知可能なオンラインモニタリングシステムの開発 (代表: 東工大)
- テーマD 将来的に世界統一基準 (GTR) に取り込みが可能な国内規格のドラフト (目次と項目) の開発 (代表: 東工大)



### 3. 研究開発マネジメントについて

#### 3\_4 その他、研究開発の進捗管理（マネジメント）

##### 定期的に会議を開催して進捗管理

- ・ A, B, C グループ会議（毎月開催）
- ・ Dグループ会議

2021年度は東工大の中で準備

2022年度からスタート．まずはA,B,C会議に合わせて開催

- ・ 全体会議

2021年度は11/25, 1/4, 3/18

2022年度は6/2, 11/25, TBD

第2回	24名	(関連事業者	3名)
-----	-----	--------	-----

第3回	27名	(関連事業者	3名)
-----	-----	--------	-----

- ・ 幹事会

2021年度は9/13, 3/17

2022年度は全体会議前と8月22日に実施予定

## 4. 研究開発成果について

### 4\_1 研究開発の目標及び進捗状況、目標達成に向けたアプローチ

目標	現状の達成度 (%)	進捗状況, アプローチ
A: 高圧水素容器の炭素繊維使用量の低減に向けた, 接合型容器の接合方法の確立	70%	<p>接合部静的引張試験, 疲労試験継続中, 破面解析開始 (都立大, 岐阜大), 接合部の応力解析開始 (都立大), 圧力容器の接合方式を検討中 (名古屋大), CFRP接合部の評価は一旦保留, ライナ接合部を検査するための計測系を作成中 (東京大)</p> <p>担当機関: 都立大学 (責任機関), 東京大学: 梶原研, 名古屋大学, 岐阜大学</p>
B: 高圧水素容器の炭素繊維使用量の低減と容器を25年超えて使用可能とすることを目指した, 損傷許容設計技術と非破壊検査技術を組み合わせた構造健全性保証の考え方の確立	55%	<p>損傷許容となる積層構成検討開始, 損傷許容を確認するための試験片および実験方法を検討中 (東工大), タンク外面からの超音波探傷を実現するための方法の検討を継続中 (東工大), 内面探傷用ロボットは完成. 計測法を検討中 (東工大, 東北大), ライナを介してCFRPを探傷するための試験条件検討を継続中 (東北大), 燃料電池自動車用水素タンクで左右の口金部を利用して超音波ガイド波を伝搬させることに成功. 探傷法の検討中 (明治大)</p> <p>関連業界から協力が得られれば最終年度に実機で実証したい</p> <p>担当機関: 東京工業大学 (責任機関), 東北大学, 明治大学</p>

## 4. 研究開発成果について

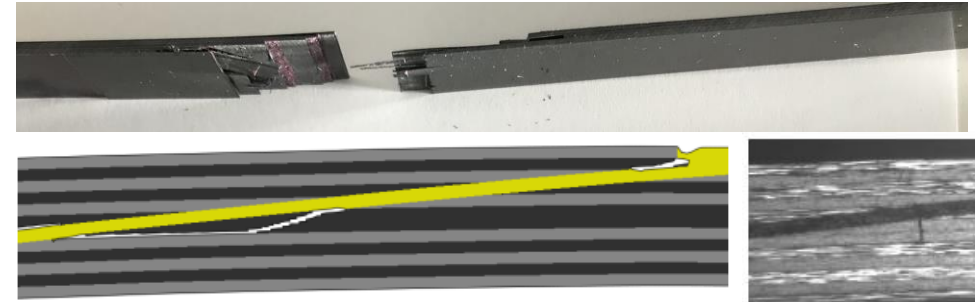
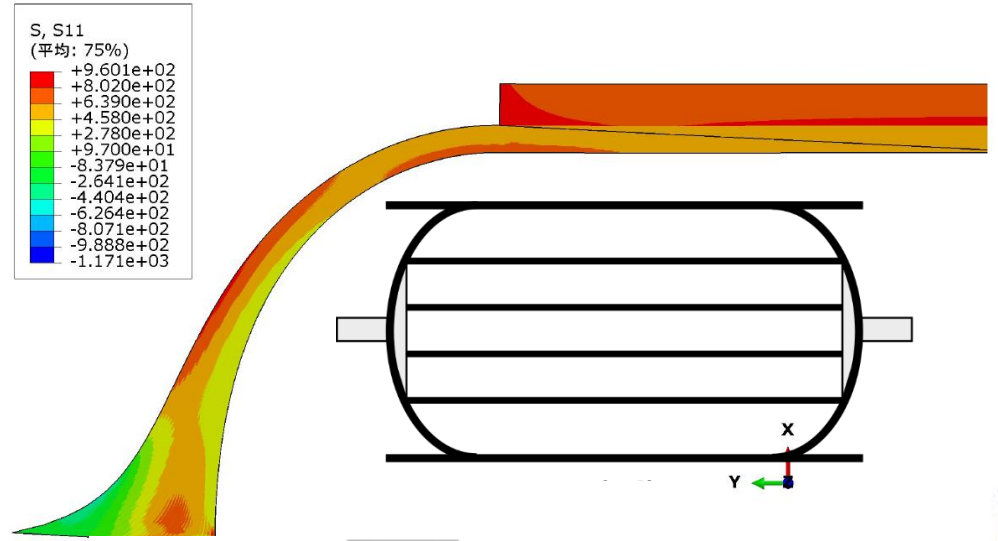
### 4\_1 研究開発の目標及び進捗状況、目標達成に向けたアプローチ

目標	現状の達成度 (%)	進捗状況, アプローチ
C:余寿命予測技術, 容器が破裂する前に検知可能なオンラインモニタリングシステムの開発	55%	樹脂・CFRPの疲労試験および試験時のAE計測と計測結果の評価を継続中（都立大）, センサ性能を安定化させる方法の検討中（東大）, マーカー材料を埋め込んだ試験片作成方法を確立. 実証するための試験の準備中（NIMS） 関連業界から協力が得られれば最終年度に実機で実証したい 担当機関：東京工業大学（責任機関）, 都立大, 東京大学：岡部研, NIMS
D:将来的に世界統一基準（GTR）に取り込みが可能な国内規格のドラフト（目次と項目）の開発	35%	国内外の水素タンク的设计/検査規格の動向調査はほぼ完了（主に東工大と都立大）. 規格の骨子づくりに向けた準備を開始. Dの検討はA～Cの成果が出始めてから開始する予定となっており, 他の項目よりも達成度が低くなっている. 担当機関：東京工業大学（責任機関）, A～Cのテーマに係わる全機関

# 4. 研究開発成果について

## 4\_2 研究開発の成果と意義

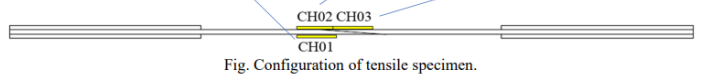
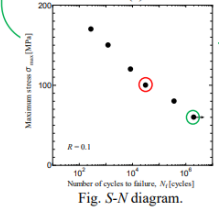
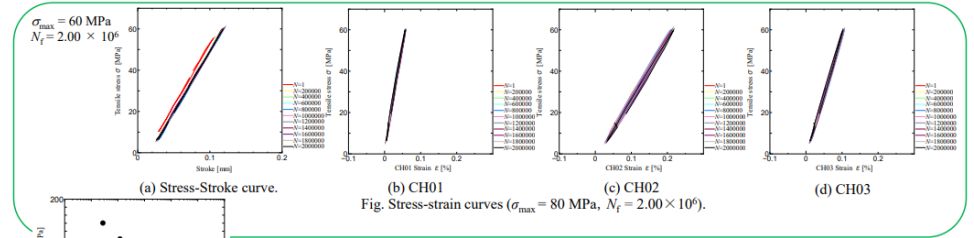
- ・ 解析上、接合容器が成立する方式の第一案を提案した（継続検討中）  
（炭素繊維使用量を削減できる可能性を示せた）
- ・ スカーフ継手は不安定破壊する前に亀裂進展することを実験と解析で示した。（不安定破壊する前に非破壊検査で検出できる可能性を示した）



当て板の効果を検証

最終破壊時

(都立大：小林)



(名大：荒井)

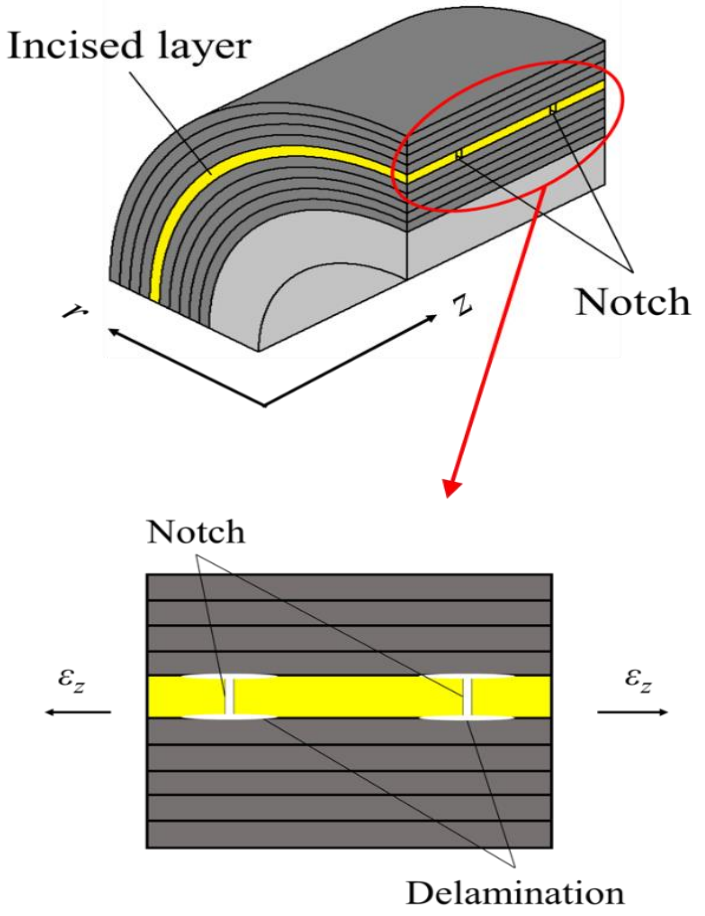


(岐阜大：植松)



# 4. 研究開発成果について

## 4\_2 研究開発の成果と意義



= 損傷許容 =

破壊が開始してもしばらくの間は  
破裂しないような積層構成，積層  
数を検討する方法を開発した

= 破壊制御 =

破裂圧にできるだけ影響を与えず，  
かつ，非破壊検査で見つけやすい破  
壊モードを発生させる方法を提案

(破壊する前に欠陥検出できるよう  
なタンクの積層構成を検討するた  
めのツールができた)

この層が破壊  
すると破裂

- 1
- 6
- 2
- 3
- 4
- 5
- 7
- 8

1	$\theta 1$	90
6	$\theta 2$	87
	$\theta 3$	22
2	$\theta 4$	90
3	$\theta 5$	90
4	$\theta 6$	90
5	$\theta 7$	90
7	$\theta 8$	90
8	$\theta 9$	90
	$\theta 10$	90
	$\theta 11$	90
	$\theta 12$	90
	$\theta 13$	90
	$\theta 14$	90
	$\theta 15$	90
	$\theta 16$	90
	$\theta 17$	90
	$\theta 18$	90
	$\theta 19$	20
	$\theta 20$	20
	$\theta 21$	90
	$\theta 22$	20
	$\theta 23$	20
	$\theta 24$	20
	$\theta 25$	90

= 余寿命予測 =

樹脂割れ等の情報から余寿命を予測



東工大 (水谷)



(都立大：小林)



# 4. 研究開発成果について

## 4\_2 研究開発の成果と意義

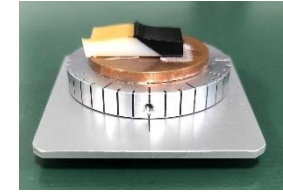
### 本プロジェクトの紹介（検査，モニタリング）

- ライナ接合部の検査  
(剥離状欠陥)

テラヘルツ波



(東大：梶原)



接合部をテラヘルツで検査するための計測装置の開発がほぼ終了

- CFRP接合部の検査/モニタリング  
(剥離状欠陥)

東工大 (水谷)



超音波

AE



NIMS (伊藤)

CNTセンサ



東大 (岡部)

加熱でバインダを除去したファイバー(バルク)  
[-45/0/45/90]2sの16PLY擬似等方CFRP



AEを大量に発生するマーカー材料の選定終了

- CFRP全体のマトリックスクラック  
(マトリックスの縦割れ)

ガイド波



明治大 (松尾)

- CFRP全体の衝撃損傷  
(層間剥離)

超音波

東工大 (水谷)



ガイド波



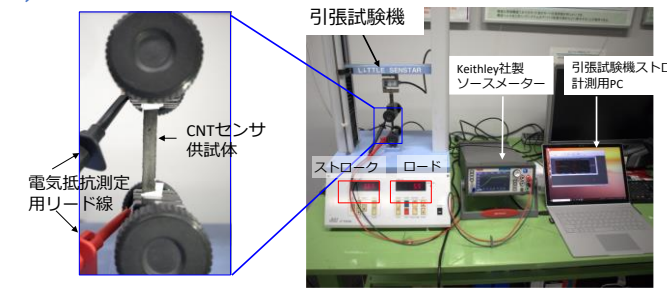
明治大 (松尾)

- CFRP内側の繊維破断等  
(繊維破断)

渦電流探傷試験



東北大 (内一)  
④容器内側CFRP



異常なひずみが発生した際に検知するためのCNTセンサ開発に必要な計測装置開発，検討方法確立終了

# 4. 研究開発成果について

## 4\_2 研究開発の成果と意義

### ・ CFRP全体の衝撃損傷

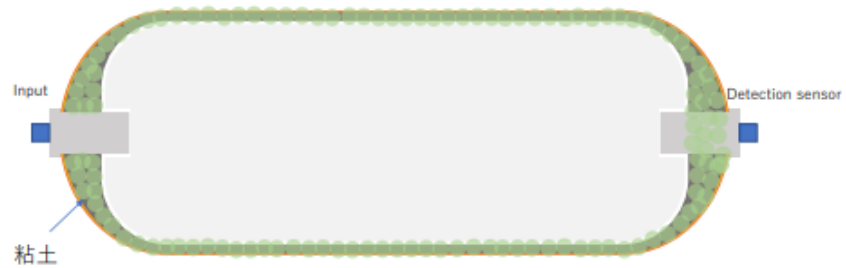
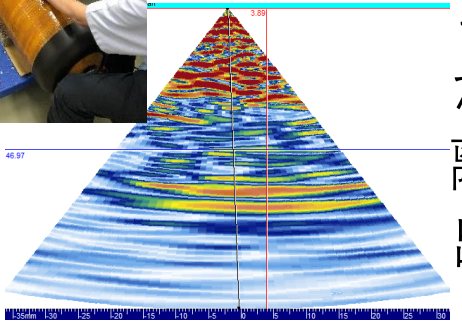
超音波  
東工大 (水谷)



タンクの左右の口金を利用して超音波ガイド波を送受信可能な方法を開発 (水素充填中に簡易検査を行い、マトリックスクラック、衝撃損傷を検出できる可能性を示した)



タンク外面から超音波を送信し、底面エコーを観察することができた (内部に剥離が生じた場合に検出できる可能性を示した)



ガイド波

明治大 (松尾)



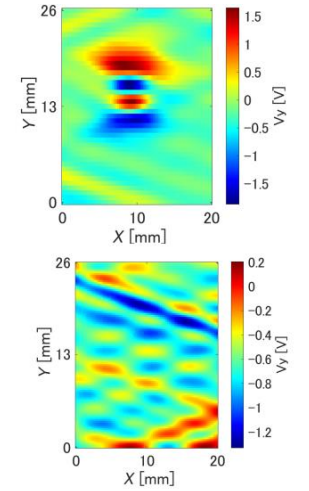
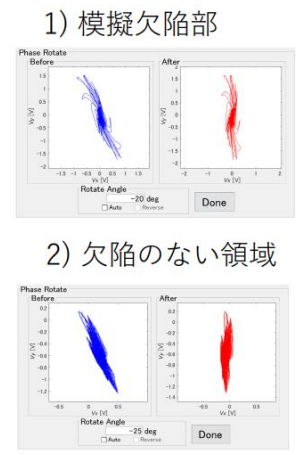
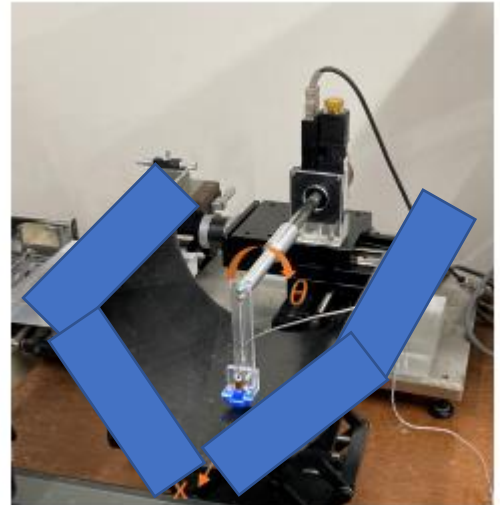
### ・ CFRP内側の繊維破断等

渦電流探傷試験



東北大 (内一)

ライナを介して内面の繊維破断を検出可能な信号処理法を開発 (開放検査時に詳細検査できる可能性を示した)



## 4. 研究開発成果について

### 4\_3 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み

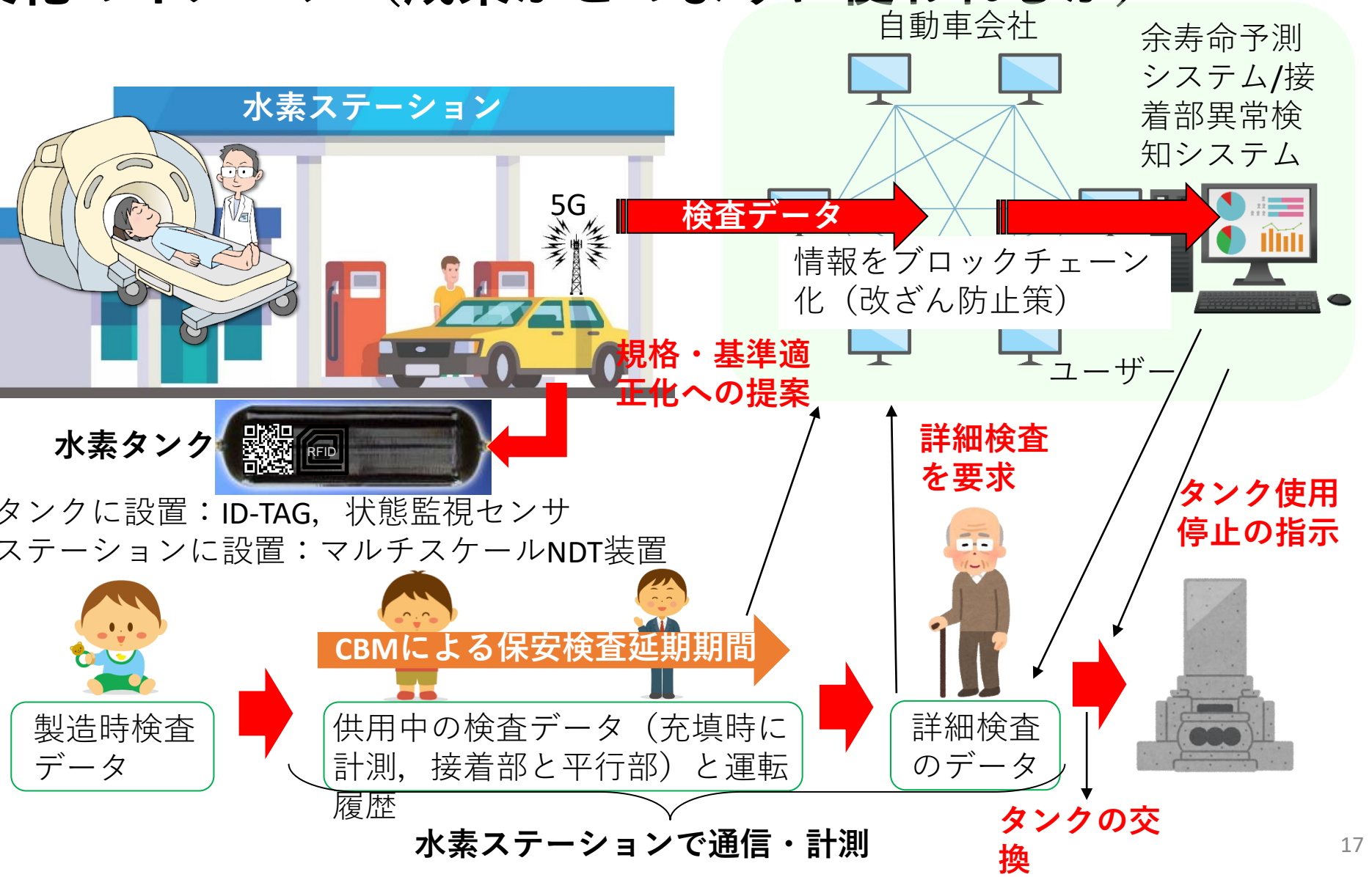
- ・ 国内の学会において、プロジェクト全体の話、各技術要素の話の両方について、口頭発表を実施。今後発表数、論文発表数は増える予定
- ・ 国際会議でもプロジェクトについて紹介。将来的に日本提案の国際規格成立が実現することを目指して、国際的なネットワークを構築していく予定



# 5. 今後の見通しについて

## 5\_1 実用化・事業化のイメージ（成果がどのように使われるか）

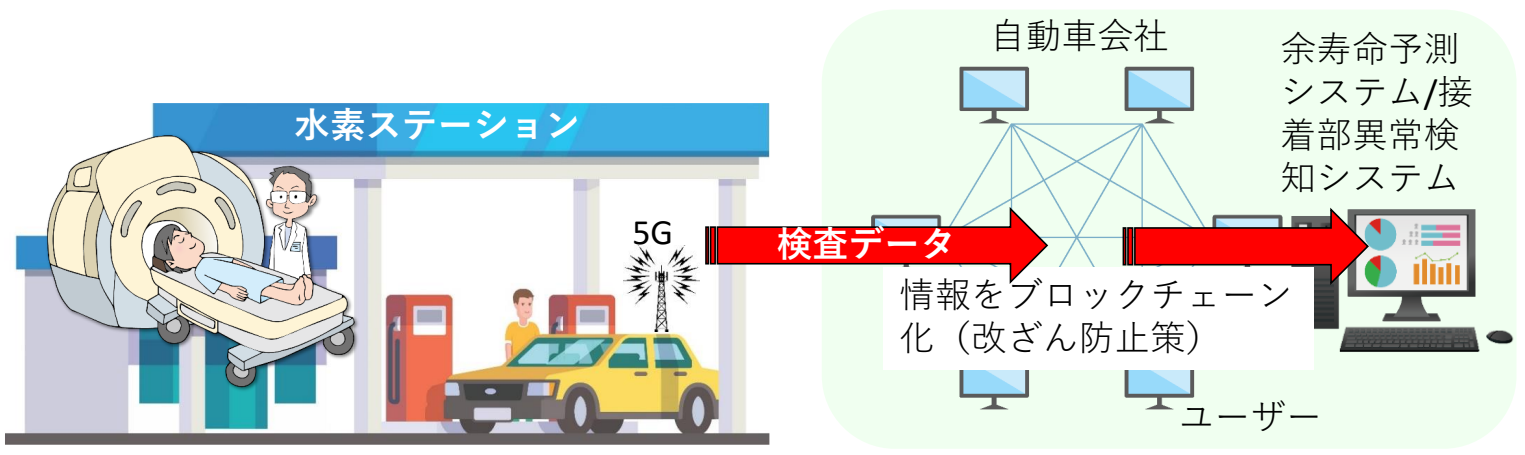
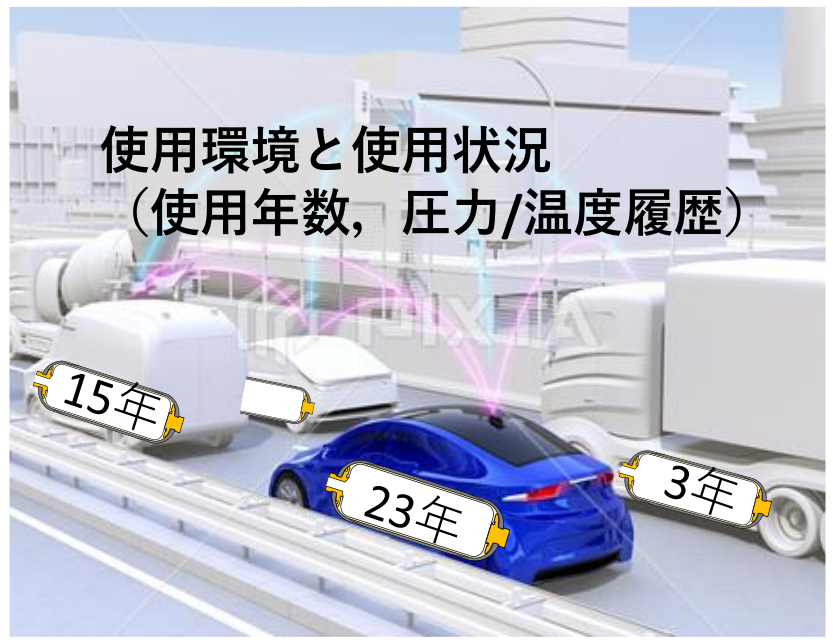
=水素ステーションのピットイン（人間ドック）化=  
水素充填時の圧力変動を利用してタンクの健全性評価に必要な情報を取得し、  
運転履歴とあわせてクラウド上にアップロード



# 5. 今後の見通しについて

## 5\_2 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

- ・ 非破壊検査, オンラインモニタリング, 状態監視 (水素充填回数等) の情報を水素貯蔵タンクの健全性評価に使用することについての国の法規制の整備
- ・ コネクティッドカーの通信機能を用いて収集したデータの管理 (誰がどのように管理するのか?)



関連する省庁と打ち合わせをする

### 5\_3 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等）

- ・ 関連事業者との定期的な情報交換，意見交換
- ・ 学協会等への研究/開発成果の積極的な発表
- ・ GTRに関係する海外の技術者との情報交換