

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ中間報告会

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ (FCV・HDV 用燃料電池技術開発) 水素貯蔵システムWG

プレゼンター:高見昌宜(トヨタ自動車)、森大五郎(トヨタ自動車)

NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 燃料電池・水素室
(委託先)みずほリサーチ&テクノロジーズ

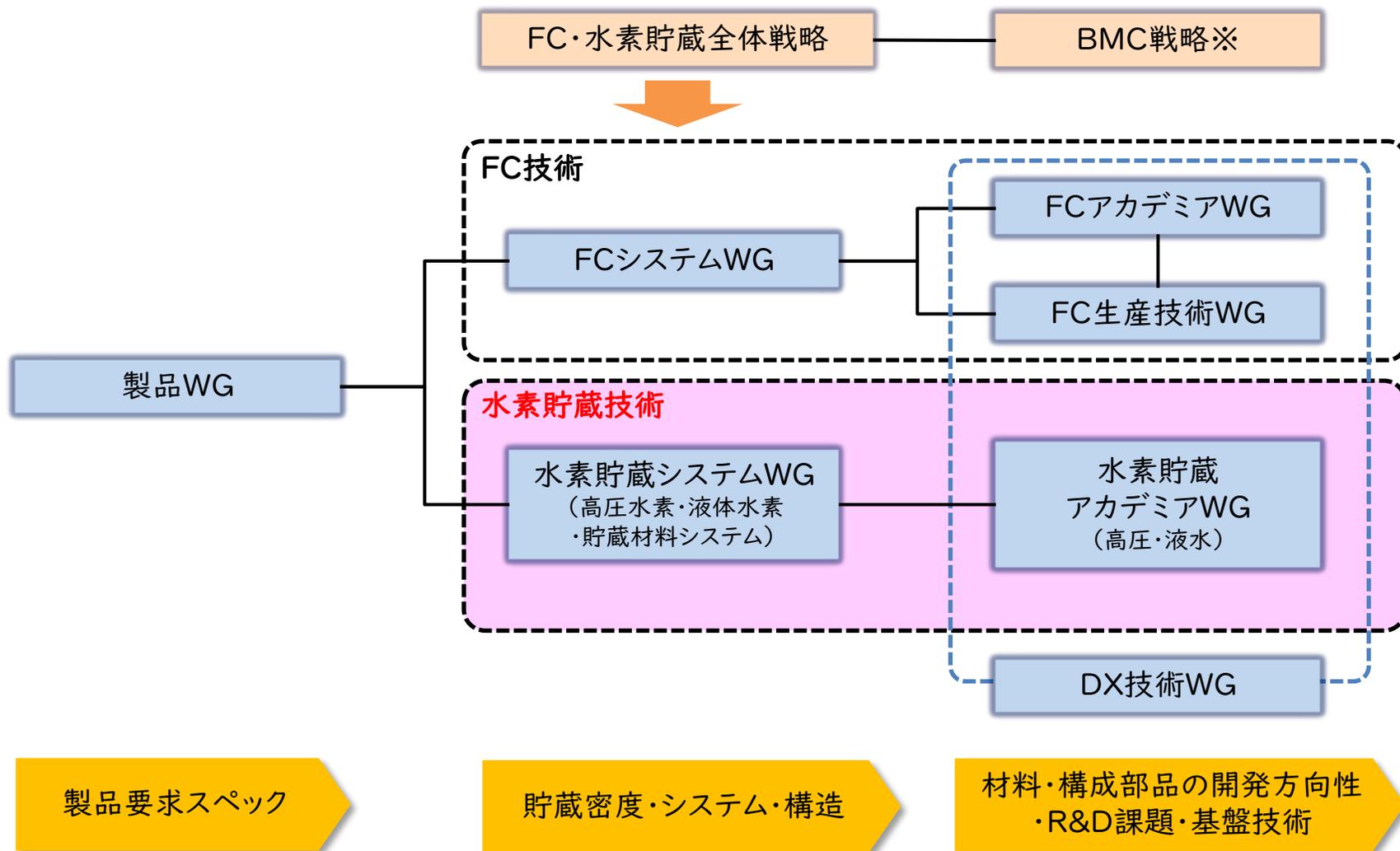
1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加

【アカデミア】

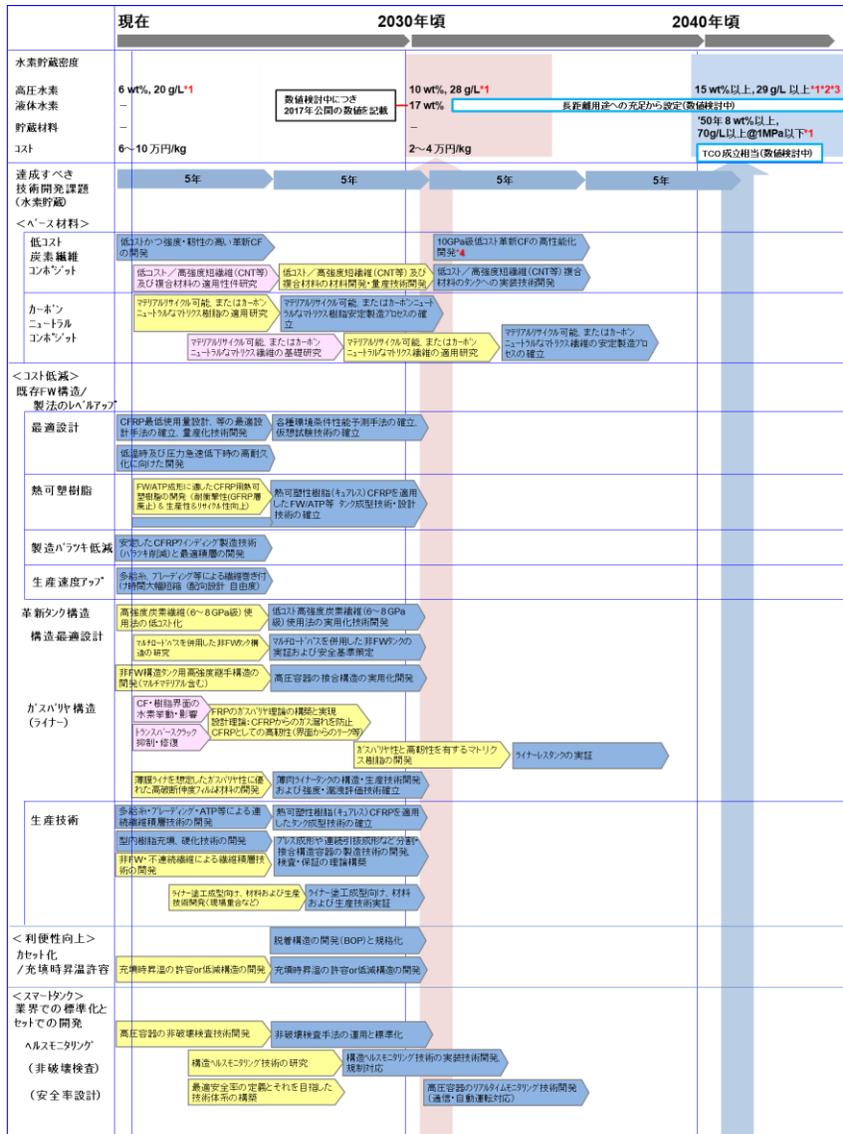
- ・金沢工業大学: 鶴澤先生
- ・名古屋大学: 荒井先生
- ・東京大学: 横関先生
- ・東京工業大学: 水谷先生
- ・岐阜大学: 入澤先生
- ・神戸大学: 武田先生
- ・東京大学: 姫野先生
- ・東北大学: 折茂先生

【産業界】

- ・トヨタ自動車: 高見、森、山本
- ・本田技研: 漆山様
- ・豊田中研: 渡辺様
- ・デンソー: 川村様、山田(貴)様
山田(直)様、福田様、五味様
- ・岩谷産業: 吉野様
- ・JARI: 富岡様、田村様
- ・川崎重工: 東様
- ・豊田合成: 山口様
- ・アツミテック: 内山様



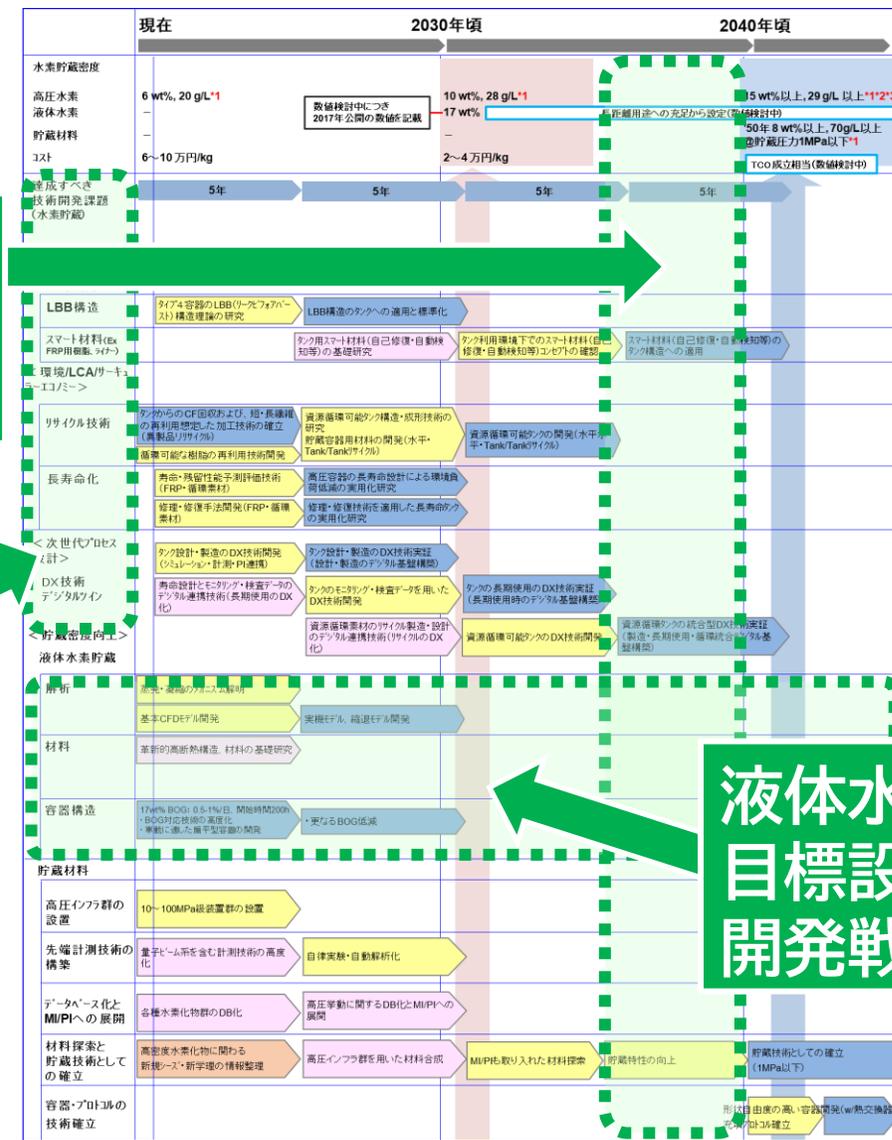
2022年度ロードマップ



2022年度ロードマップ改訂箇所



**2035年の
開発目標
追加設定**

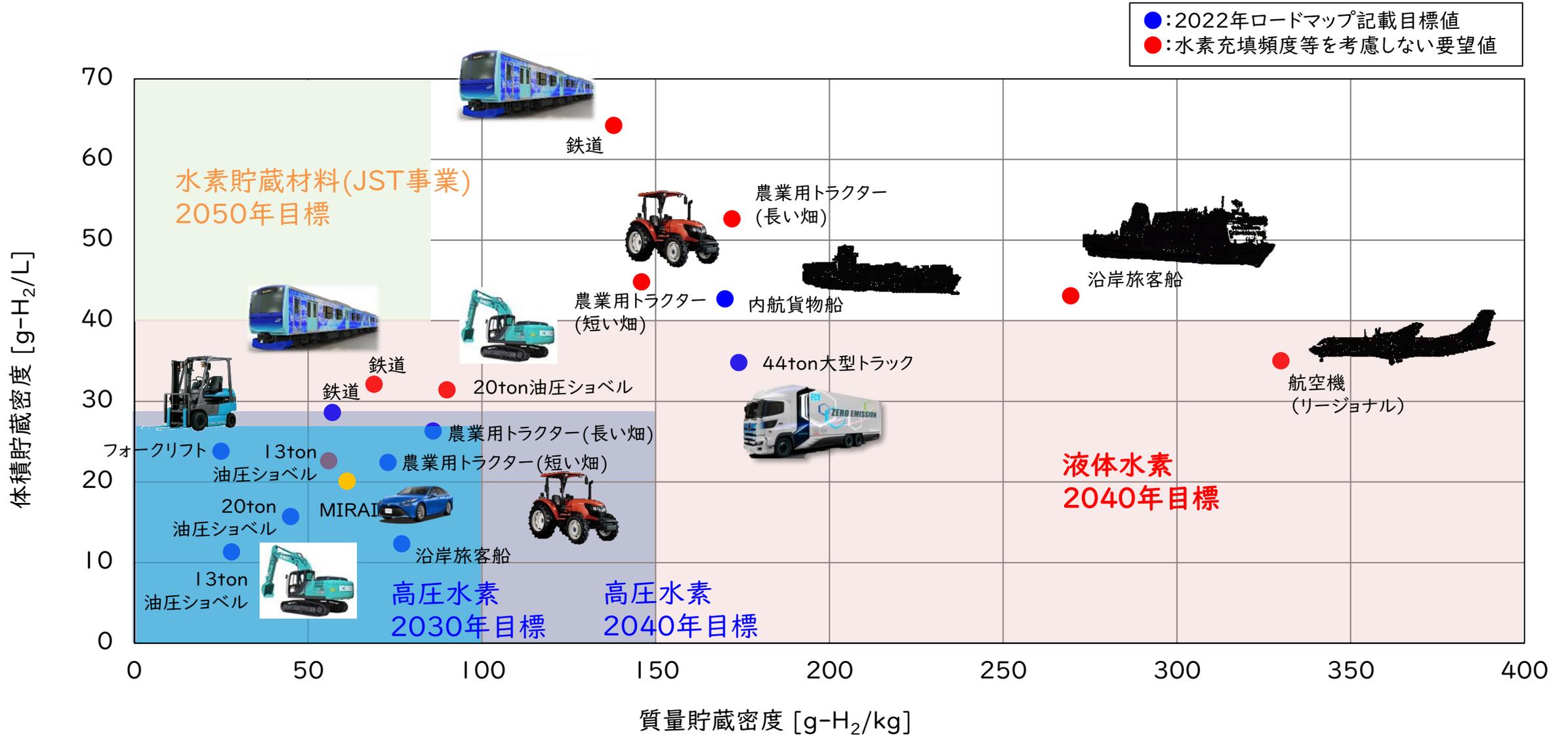


**液体水素の
目標設定と
開発戦略を設定**

1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加

		2025年	2030年頃	2035年頃	2040年頃
			2030年目標	2035年目標	2040年目標
高圧水素 目標仕様1 高貯蔵効率仕様	質量密度	6 wt%	10 wt%	—	15 wt%
	体積密度	20 g-H ₂ /L	28 g-H ₂ /L	—	29 g-H ₂ /L
	コスト	14 万円/kg-H ₂	4 万円/kg-H ₂	—	2 万円/kg-H ₂
高圧水素 目標仕様2 低コスト仕様	質量密度	—	—	4 wt%	4 wt%
	体積密度	—	—	28 g-H ₂ /L	29 g-H ₂ /L
	コスト	—	—	2 万円/kg-H ₂	(1 万円/kg-H ₂)
液体水素 (水素量 ≥ 70 kg)	質量密度	—	—	20~30 wt%	30~40 wt%
	体積密度	—	—	35 g-H ₂ /L	40 g-H ₂ /L
	ホールドタイム	2 日未満(現在)	—	5 日以上	7 日以上
貯蔵材料システム	質量密度	—	—	—	'50年 8 wt%以上,
	体積密度	—	—	—	70 g-H ₂ /L以上 @1 MPa以下

高圧水素 → 2035年の目標を追加
 液体水素を追加



1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加

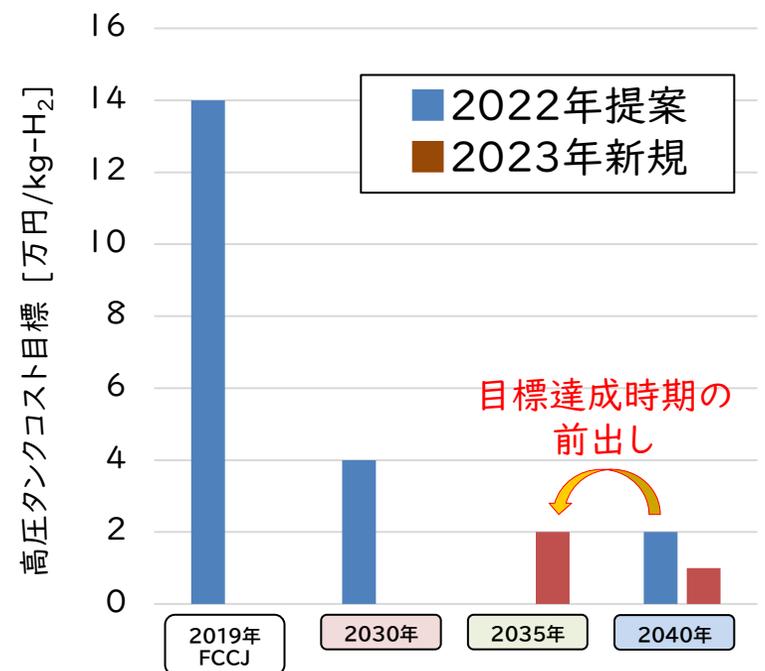
2-2. 高圧水素 ①35年目標の新設定

2025年		2030年頃		2035年頃		2040年頃	
		2030年目標		2035年目標		2040年目標	
高圧水素 ^{*1} 質量密度 目標仕様1 高貯蔵効率仕様	6 wt% 体積密度 20 g-H ₂ /L ^{*2} コスト 14 万円/kg-H ₂	10 wt% 28 g-H ₂ /L ^{*2} 4 万円/kg-H ₂	-	-	15 wt% 29 g-H ₂ /L ^{*2*3*4} 2 万円/kg-H ₂	-	-
高圧水素 ^{*1} 質量密度 目標仕様2 低コスト仕様	- - -	-	4 wt% 28 g-H ₂ /L 2 万円/kg-H ₂	4 wt% 29 g-H ₂ /L 2 万円/kg-H ₂	-	-	-
液体水素 ^{*1} (水素量≧70 kg)	質量密度 体積密度 ホルドタイム 2 日未満(現在) ^{*6}	- -	20~30 wt% ^{*5} 35 g-H ₂ /L 5 日以上 ^{*6}	40 wt% 50 g-H ₂ /L 7 日以上 ^{*6}	-	-	-
貯蔵材料 システム ^{*1}	質量密度 体積密度	- -	-	-	50年 8 wt%以上, 70 g-H ₂ /L以上@1 MPa以下 ^{*2}	-	-

革新材料	革新タンク構造・工法・材料	低コスト仕様タンク (目標仕様2)
<ul style="list-style-type: none"> 高強度炭素繊維 (6 GPa級) の実用化技術開発 炭素繊維の高強度化(6~8 GPa級 & /or 高弾性率) やCNT等短繊維を活用した燃り糸等の炭素系高強度繊維の研究 高機能マトリックス材料(エポキシ系) 炭素繊維の高強度化(6~8 GPa級 & /or 高弾性率) やCNT等短繊維を活用した燃り糸等の炭素系高強度繊維向けマトリックス樹脂の研究 炭素繊維使用量低減構造 ▶ 新CFRP積層構造 CFRP最低使用量設計をはじめとする積層構造最適設計手法の確立、量産化技術開発 炭素繊維使用量低減構造 ▶ 高効率成形方法 多給糸・ブレードング・ATP等による連続繊維積層技術の開発。熱可塑性樹脂を含む、新規マトリックス材の開発とセットで。 非FWW構造タンク用高強度継手構造の開発 新コンセプト 分割成形・接合構造容器の開発 型内樹脂充填、内圧成形技術、成形速度向上技術の開発 ガスバリア構造 ▶ ライナーレス CFRPのガスバリア理論の構築とCFRPの耐漏洩設計と高ガスバリア性を有する高弾性マトリックス樹脂の開発 新樹脂開発と高負荷荷重を繰り返すFRP容器への適用に向けたガスバリア性の成立条件と原理立証研究(新コンセプト立案) ガスバリア構造 ▶ 薄肉ライナー 薄膜ライナーを想定したガスバリア性に優れた高破断伸度材料の研究開発 ライナー塗工成形向け、材料および生産技術開発(現場重合・金属メッキなども含む) 	<ul style="list-style-type: none"> 炭素系高強度繊維(6~8 GPa級 & /or 高弾性率) 使用法の実用化技術開発 繊維強度発現率の向上を実現する、マトリックス樹脂と高強度繊維との複合化による実用化技術開発 新規FRP積層方法および新規材料とセットでの実用化技術開発 高圧容器の接合構造の実用化開発 新コンセプト 分割成形・接合構造容器の実用化 プレス成形や連続引抜成形など分割・接合構造容器にも対応可能な製造技術の開発、検査・保証の理論構築 ライナーレスタンクの製造法の確立と実証 新樹脂材料開発およびFRP成形法の研究 ライナーレスタンクの実証 薄肉ライナータンクの構造・生産技術開発および強度・漏洩評価技術確立 ライナー塗工成形向け、材料および生産技術実証 	<ul style="list-style-type: none"> マルチマテリアル・マルチロードパス設計 マルチロードパスを併用した非FWWタンク構造の研究 タンクシステム構造の最適化設計(BOP: Balance of Plant 含む) 細部設計および製造基本工程に関する研究開発。リアルワールドを想定する検証実験

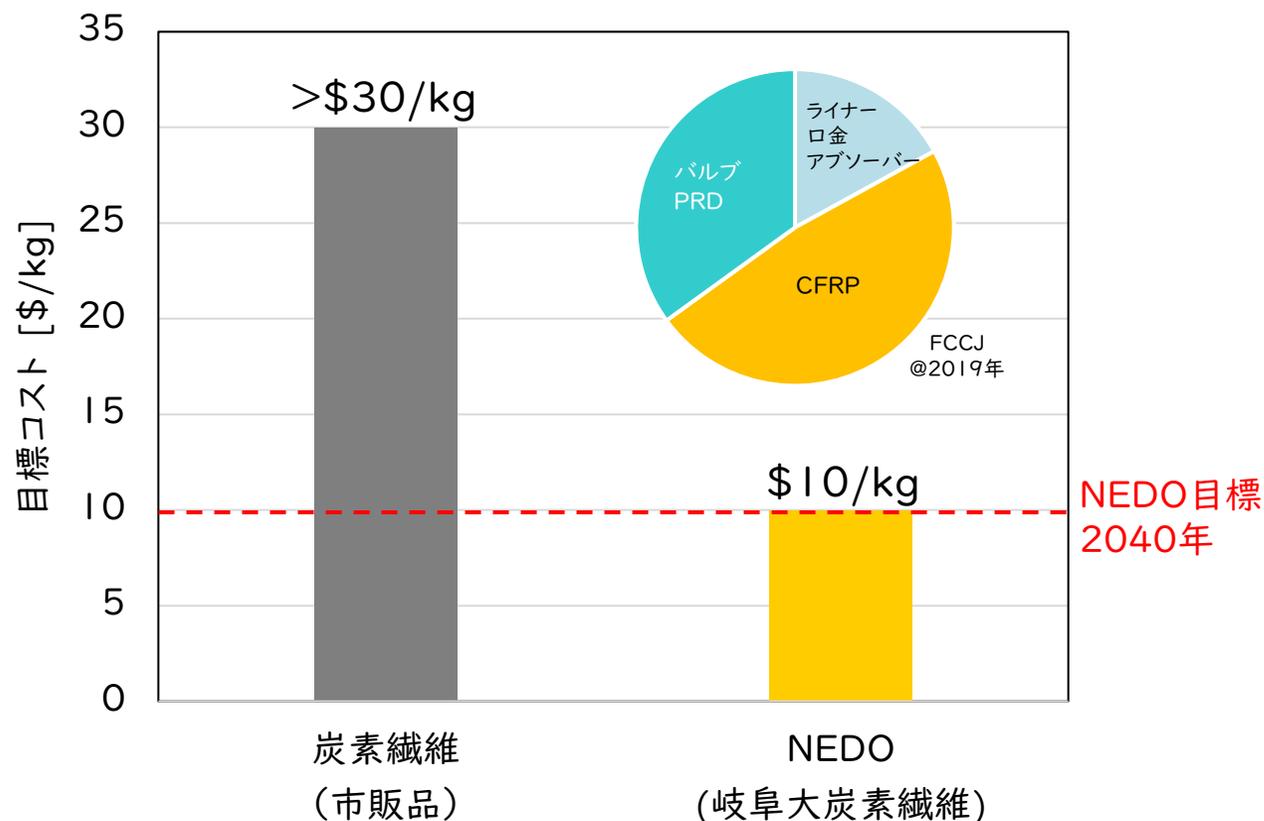
2035年頃の製品目標を新たに設定

「低コスト仕様」タンクの開発戦略を提示 → 目標時期を5年前出し



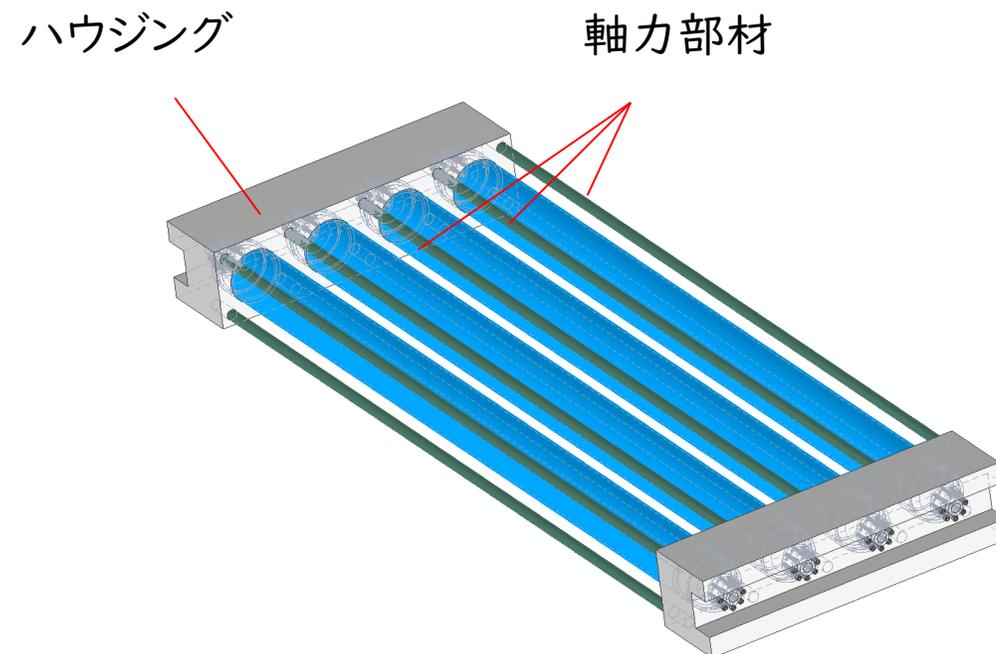
低コスト化の共通アイテム

- ・炭素繊維等の材料コスト・使用量低減
- ・CFRP分割構造等を実現する新工法



低コスト仕様 独自アイテム

- ・マルチロードパス構造等を採用
- ・金属材料を適材・適所で使用
- ・多品種炭素繊維の活用



1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加

		2025年	2030年頃	2035年頃	2040年頃
			2030年目標	2035年目標	2035年目標
高圧水素*1 目標仕様1 高貯蔵効率仕様	質量密度	6 wt%	10 wt%	—	15 wt%
	体積密度	20 g-H ₂ /L*2	28 g-H ₂ /L*2	—	29 g-H ₂ /L*2*3*4
	コスト	14 万円/kg-H ₂	4 万円/kg-H ₂	—	2 万円/kg-H ₂
高圧水素*1 目標仕様2 低コスト仕様	質量密度	—	—	4 wt%	4 wt%
	体積密度	—	—	28 g-H ₂ /L	29 g-H ₂ /L
	コスト	—	—	2 万円/kg-H ₂	(1 万円/kg-H ₂)
液体水素*1 (水素量≥70 kg)	質量密度	—	—	20~30 wt%*5	30~40 wt%*5
	体積密度	—	—	35 g-H ₂ /L	40 g-H ₂ /L
	ホールタイム	2 日未満(現在)*6	—	5 日以上*6	7 日以上*6
貯蔵材料 システム*1	質量密度	—	—	—	*50年 8 wt%以上, 70 g-H ₂ /L以上@1 MPa
	体積密度	—	—	—	

「適正な技術基準」
設定活動として、
DX活用やSHM運用
などを集約

安全率・認証試験条件等適正化 (目標仕様1,2共通)

認証試験条件等適正化に資するタンク損傷のモデル化

安全率適正化とそれに向けた市場不具合防止および設計思想の確立

実タンクCFRP疲労現象観察技術

CFRP疲労現象観察技術確立

認証試験(シリーズ試験)の仮想試験技術の確立と残存寿命予測モデル

シリーズ試験のモデル化と残存寿命予測モデルの確立
各種環境条件性能予測手法・仮想試験技術の確立
標準TP試験法の確立

シリーズ試験の最適化と実証
仮想試験による最適設計手法の実用化
標準TP試験運用提案と普及化

製造時のバラツキと破損確率を考慮した最適安全率の定義

最適安全率の定義とそれを目指した技術体系の構築(許容損傷確立に応じた安全率設定)

高圧容器のリアルタイムモニタリング技術開発(通信・自動運転対応)

タンク設計・製造のDX技術開発(シミュレーション・計測・PI連携)

タンク設計・製造のDX技術実証(設計・製造のデジタル基盤構築)

ヘルスマニタリング技術・運用と設計思想

寿命設計とヘルスマニタリング・検査データのデジタル連携技術の基本構想・アーキテクチャ研究

実車搭載タンクを想定したSHM(Structural Health Monitoring)技術確立および検査データを用いたDX技術開発およびSHM利用を前提とした安全率適正化

タンクの長期使用のDX技術実証(長期使用時のデジタル基盤構築)

LBB(Leak Before Burst)運用

タイプ4容器のLBB(Leak Before Burst)構造理論の研究

LBB構造のタイプ4タンクへの適用と標準化およびLBBが成立するタンクに対する安全率設定

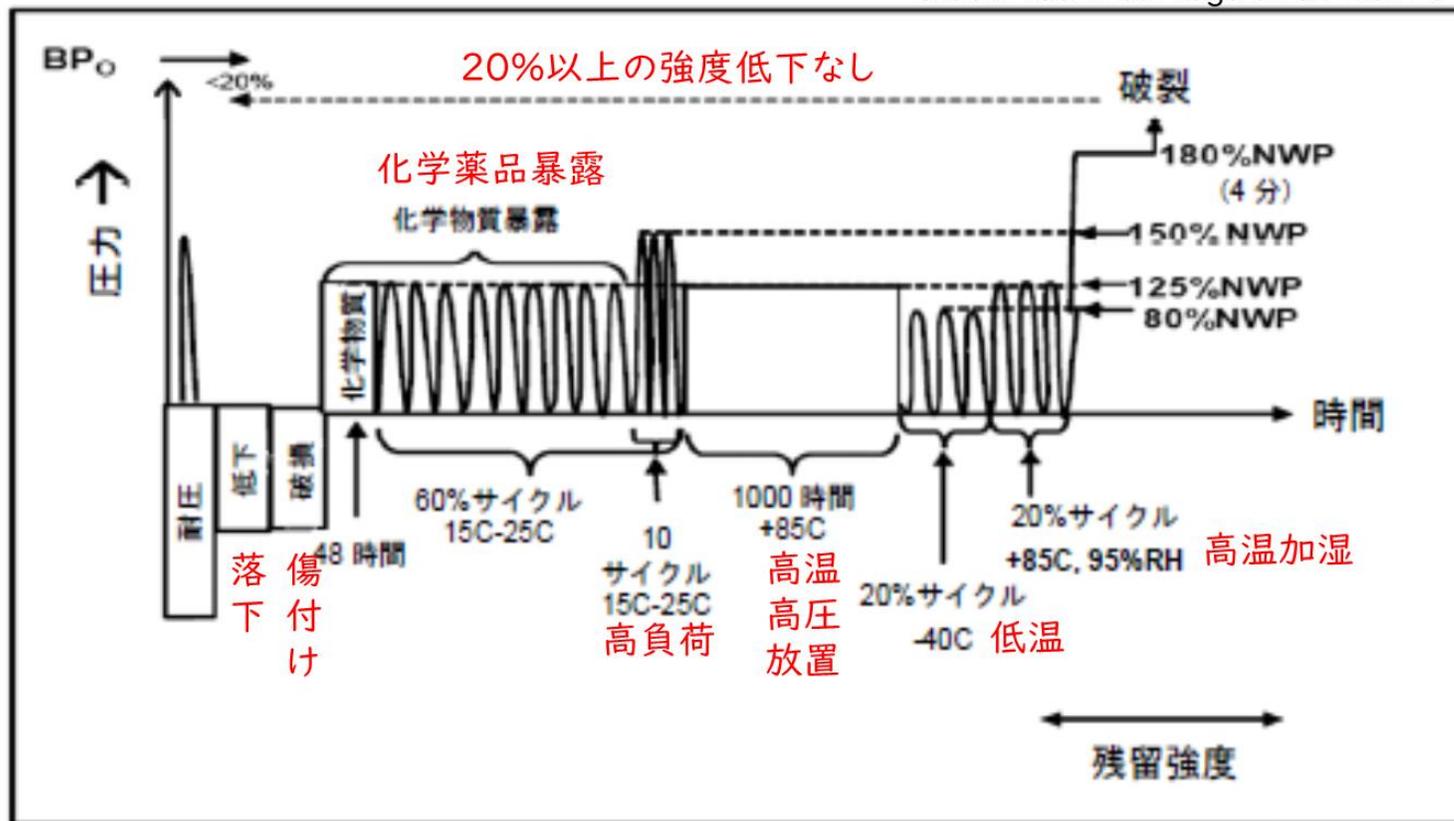
ON/OFFポート非破壊検査(検査による寿命延長管理)

ON/OFFポート非破壊検査技術提案

ON/OFFポート非破壊検査の実装技術開発、寿命管理の運用提案



Global technical regulation No. 13



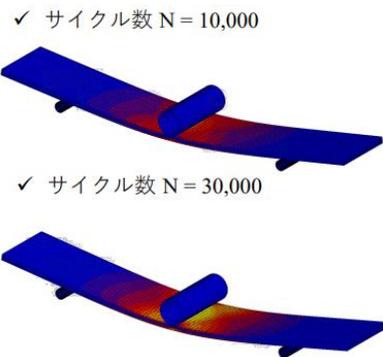
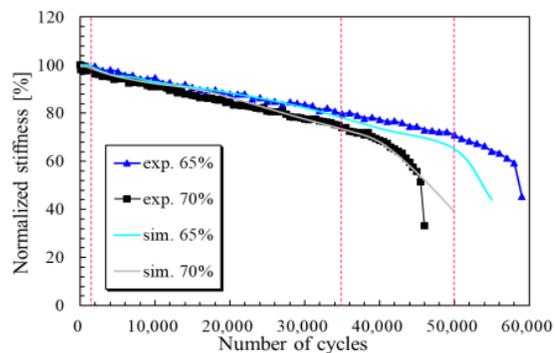
“Design by Test” → “Design by Analysis”へ

シリーズ試験⇒パラレル試験化、加速倍率(温度、試験荷重)適正化など

疲労理論

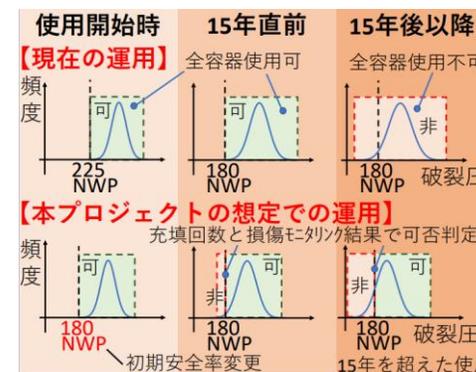
疲労後強度予測シミュレーション

NEDO事業 東大・横関Gr



ヘルスマニタリング (SHM)

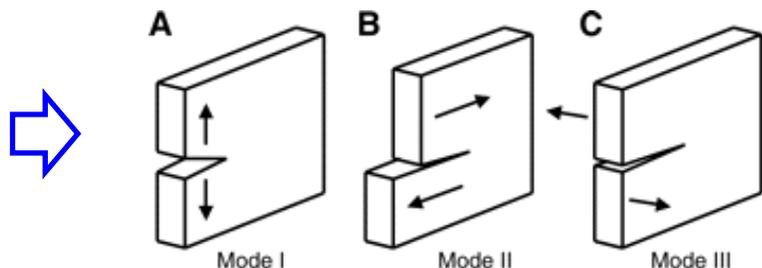
推定する疲労現象を把握できる検査法の確立



NEDO事業
東工大・水谷Gr

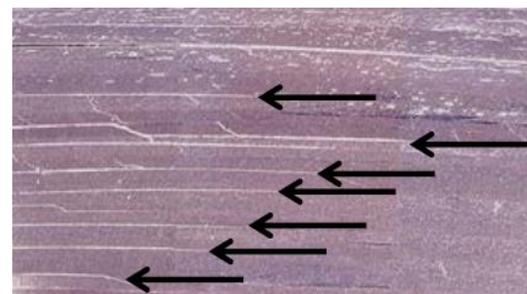
テストピース試験

実タンクの疲労現象を反映した試験法を確立

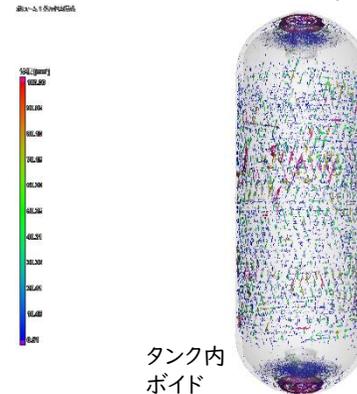


タンク解析技術

タンク内疲労状態の把握 (疲労理論との一致性確認)



CFRP層間亀裂



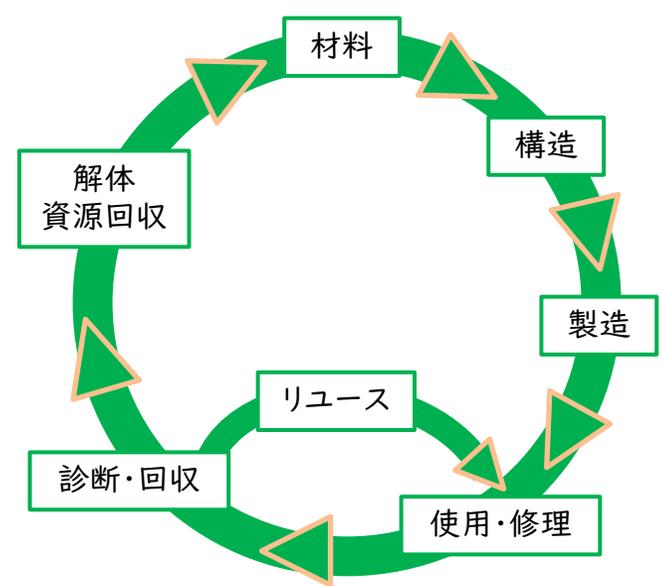
タンク内ボイド

1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加

	2025年	2030年頃		2035年頃		2040年頃	
			2030年目標		2035年目標		2035年目標
高圧水素*1 質量密度 目標仕様1 体積密度 高貯蔵効率仕様 コスト	6 wt% 20 g-H ₂ /L*2 14 万円/kg-H ₂	10 wt% 28 g-H ₂ /L*2 4 万円/kg-H ₂	-	-	15 wt% 29 g-H ₂ /L*2*3*4 2 万円/kg-H ₂		
高圧水素*1 質量密度 目標仕様2 体積密度 低コスト仕様 コスト	-	-	4 wt% 28 g-H ₂ /L 2 万円/kg-H ₂	4 wt% 29 g-H ₂ /L (1 万円/kg-H ₂)			
液体水素*1 質量密度 体積密度 (水素量≧70 kg) ホルトタイム	-	-	20~30 wt%*5 35 g-H ₂ /L 5 日以上*6	30~40 wt%*5 40 g-H ₂ /L 7 日以上*6			
貯蔵材料 システム*1 質量密度 体積密度	-	-	-	-	50年 8 wt%以上, 70 g-H ₂ /L以上@1 MPa以下*2		

環境負荷低減	2025年頃	2030年頃	2035年頃	2040年頃
長寿命化	残存寿命予測 寿命・残留性能予測評価技術(FRP・循環素材) 高圧容器の長寿命設計による環境負荷低減の実用化研究			
	修理・修復 修理・修復手法開発(FRP・循環素材)	修理・修復技術を適用した長寿命タンクの実用化研究		
	自己修復・自動検知 タンク用スマート材料(自己修復・自動検知等)の基礎研究	タンク利用環境下でのスマート材料(自己修復・自動検知等)コンセプトの確認	スマート材料(自己修復・自動検知等)のタンク構造への適用	
環境負荷低減	連続繊維回収技術 資源循環可能タンク構造・成形技術の研究およびCFRPを溶解解舒可能な熱可塑性樹脂に代表される貯蔵容器用マトリックス樹脂材料の開発	資源循環可能タンクの開発 →水平・Tank/Tankリサイクル		
	CFRP製タンクの資源循環技術 マテリアルリサイクル樹脂 マテリアルリサイクル可能、またはカーボンニュートラルなマトリックス樹脂の適用化研究。FRP機能とセットで	マテリアルリサイクル可能、またはカーボンニュートラルなマトリックス樹脂の安定製造プロセスの確立		
GX (カーボンニュートラル)	炭素繊維 サステナブル原料、低生産エネルギー製造可能な原料を用いた革新炭素繊維の開発	サステナブル原料、低生産エネルギー製造可能な原料を用いた革新炭素繊維の実用化		
	マテリアルリサイクル高強度繊維 マテリアルリサイクル可能、またはカーボンニュートラルな高強度繊維(無機/高分子)の基礎研究	マテリアルリサイクル可能、またはカーボンニュートラルな高強度繊維(無機/高分子)の選定およびFRPへの適用研究		
	マトリックス樹脂 サステナブル・カーボンニュートラル資源由来マトリックス材料研究	サステナブル・カーボンニュートラル資源由来マトリックス材料開発とCFRP開発		
資源循環設計	資源循環設計 資源循環素材のリサイクル製造・設計のデジタル連携技術(リサイクルのDX化)	資源循環可能タンクのDX技術開発	資源循環タンクの統合型DX技術実証(製造・長期使用・循環統合デジタル基盤構築)	

環境負荷低減に向けた活動を強化

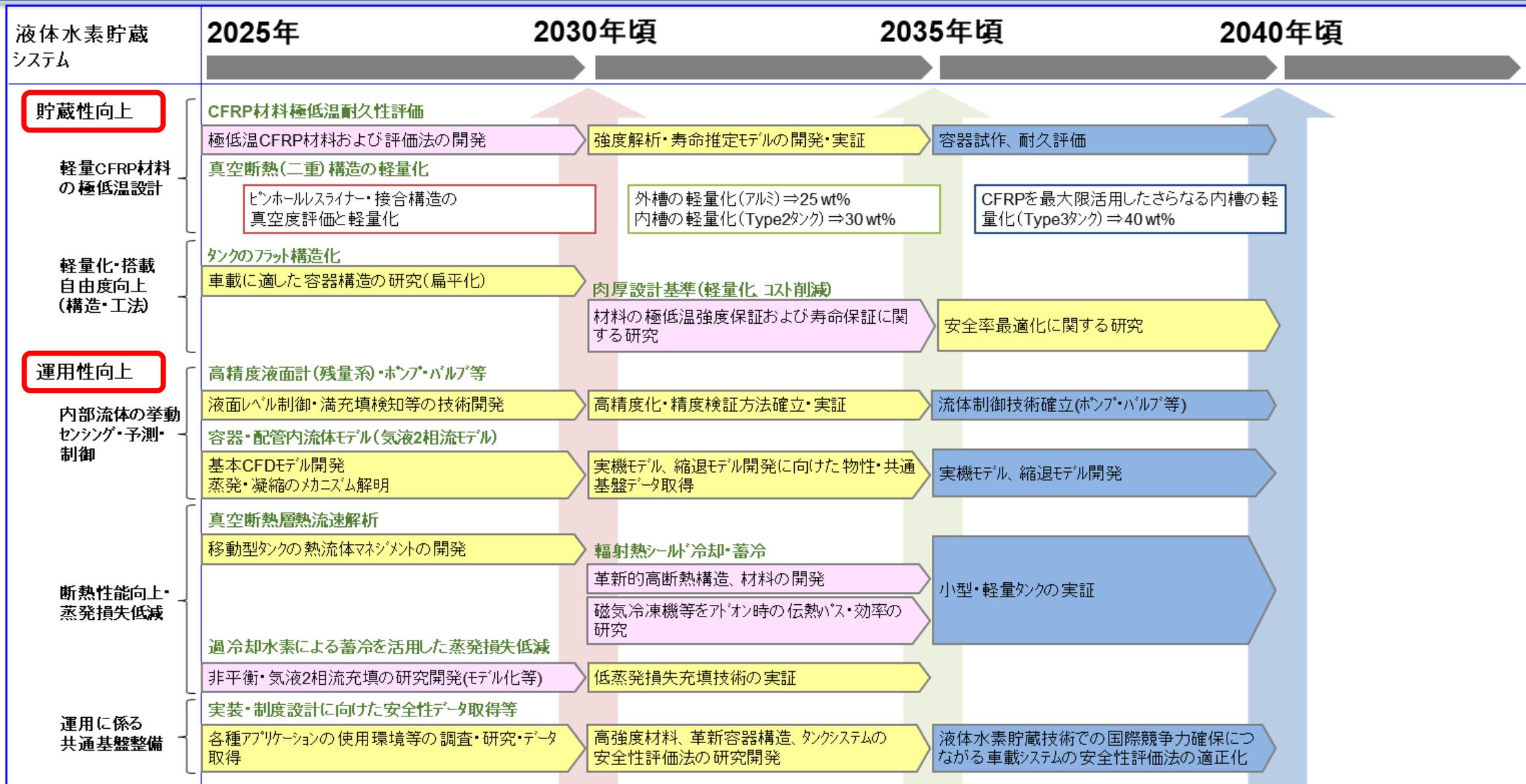




【タンク独自課題の解決を目指す】

- ・CFRPとGFRPを分離、回収する技術
- ・“連続した”炭素繊維を取り出しやすいタンク構造
- ・連続炭素繊維と樹脂を、繊維ダメージなく分離する手法

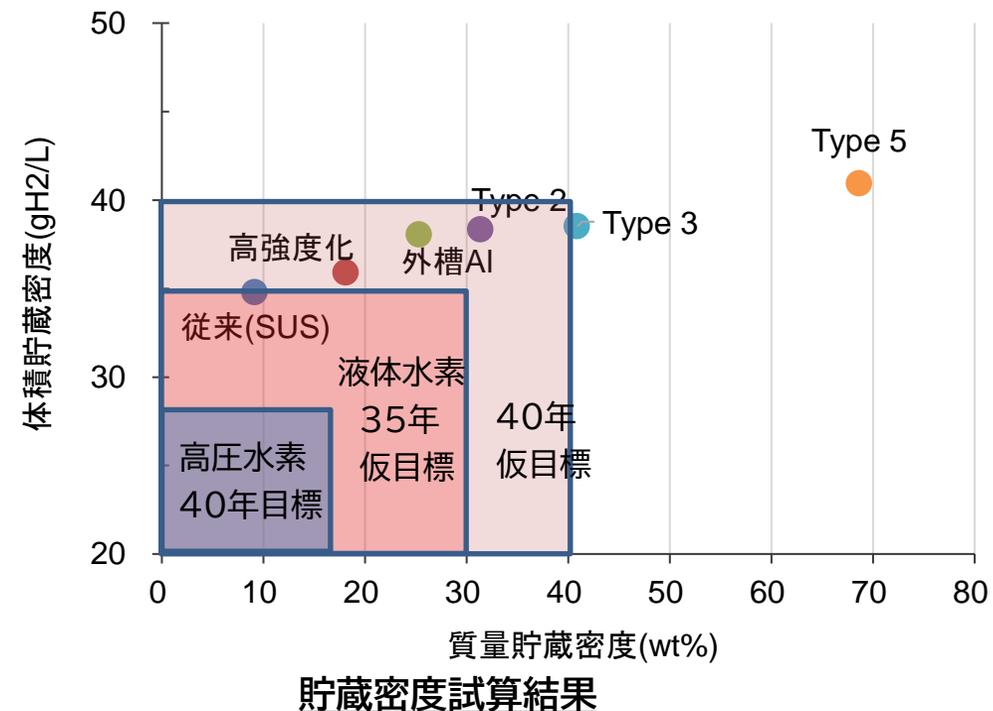
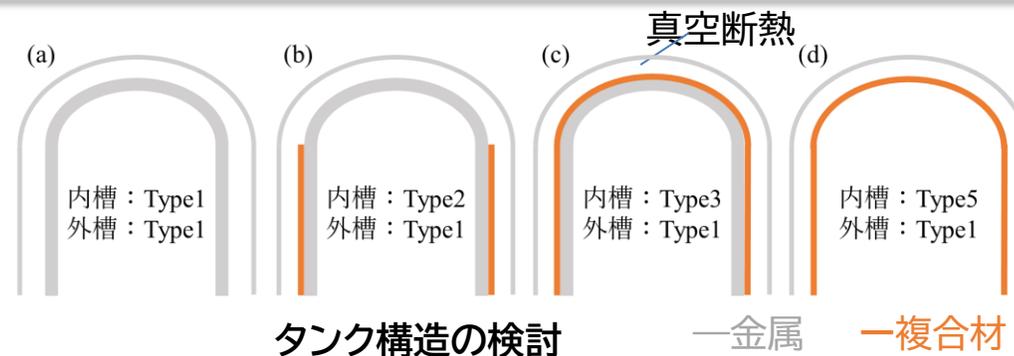
1. 水素貯蔵システムWG体制
2. ロードマップおよび解説書の主な追加・変更箇所
 - 2-1. 水素貯蔵システム 水素貯蔵密度目標の更新
 - 2-2. 高圧水素
 - ①35年目標の新設定
 - ②安全率等適正化戦略
 - ③環境負荷低減強化
 - 2-3. 液体水素システムを追加



凡例 新規ソース・新学理探索 新学理に基づくコンセプト・技術ソース確立 要素技術開発 実用化技術開発

試算パラメータ

		従来構造	高強度化	外槽AI	CFRP化		
		Type 1	Type 1	Type 1	Type 2	Type 3	Type 5
内槽	タンク構造	Type 1	Type 1	Type 1	Type 2	Type 3	Type 5
	材料	SUS316L	SUS	SUS	SUS /CFRP	SUS /CFRP	CFRP
	アレージ容積割合(%)	10	10	10	10	10	10
	圧力(MPa)	0.6	0.6	0.6	2.5	2.5	2.5
	水素量(kg)	35	35	35	35	35	35
	槽間距離(mm)	50	50	40	40	40	30
	安全率	引張強度の4倍	引張強度の3倍	←	←	←	←
外槽	材料	SUS316L	SUS316L	A6061	A6061	A6061	A6061
	安全率	降伏応力の1.5倍	←	←	←	←	←



利便性との両立という観点から、圧力・貯蔵密度・材料の関係を定量化
 LNG技術を基にDOE等の海外動向を上回る目標水準を設定