

FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ（製品・システム）

	現在	2030年頃	2035年頃	2040年頃
市場規模*1	2GW程度 (FC容量) 補助金支援も含めて緩やかに市場拡大、多用途展開で市場形成	60GW程度 水素供給が充足、FC原価も下がり市場拡大	150GW程度 燃料パリティに近づき更に市場拡大	300GW程度 低価格なクリーン水素が大量流通
普及シナリオ (HDV)	燃料電池HDVの初期導入 ・国内はバス(約130台)・フォークリフト(約400台)で先行、トラック、鉄道、船舶で試験運転・技術実証の開始、海外でも幅広いHDVで実証段階、鉄道、フォークリフトは商用運転開始、航空用システム開発も本格化 ・国内運輸部門のCO ₂ 排出量1.85億トン内、HDVで56%(内、トラック40%)*2	燃料電池HDVの本格普及開始 ・技術開発の推進(DX活用による開発競争力確保) ・多用途活用に向けた技術実証の拡大 ・国内外の主要国で大型トラックをはじめ、船舶、電車、建機・農機などのアプリケーションへの本格普及の開始 ・国内運輸部門のCO ₂ 排出量低減に向け、FC商用車は小型トラック(総重量8トン以下)で累計1.2~2.2万台、大型トラック(総重量8トン以上)で累計5千台程度*3	燃料電池HDVの普及加速(2030~2040年) ・更なる技術開発進展(DX本格活用による開発の加速・効率化、等) ・幅広いHDVアプリケーションへ本格普及、FC・水素貯蔵システムの大量供給によるコスト低減が加速 ・水素供給価格の低下によるTCO低減	HDV領域のカーボンニュートラル実現 ・【2050年】燃料電池HDVによる運輸部門のカーボンニュートラル実現に貢献 ・FCトラックのグローバル市場規模100万台以上/年*4
製品目標 (HDV)	FCシステムは大型トラック(2030年頃:25トクラスまで、2035,40年頃:44トクラスまで)を対象に目標を検討し、船舶(内航貨物船、沿岸旅客船)、鉄道(2両編成)、油圧ショベル(20トン/13トクラス)、農業用トラクタ(50 kWクラス)、フォークリフト(1-2トクラス)の各アプリケーションに対して成立する共通目標として設定 水素貯蔵は大型トラック、船舶(内航貨物船、沿岸旅客船)、鉄道(2両編成)、油圧ショベル(20トン/13トクラス)、農業用トラクタ(50 kWクラス)、フォークリフト(1-2トクラス)の各アプリケーションを対象にした各々の製品目標の検討と、各貯蔵技術目標が網羅的に成立性を確認し目標として設定			
FCシステム仕様				
FCシステム出力密度	0.24 kW/L*5	0.60 kW/L*6	0.75 kW/L*6	0.80kW/L*6
FCスタック性能*7 I-V要求性能(1セル)*8		BOL: 0.77V@1.63 A/cm ² EOL: 0.72V@1.76 A/cm ²	BOL: 0.76V@2.18 A/cm ² EOL: 0.71V@2.37 A/cm ²	BOL: 0.86V@2.29 A/cm ² EOL: 0.81V@2.44 A/cm ²
作動温度範囲	起動最低温度: -30°C 作動最高温度: 90-95°C	起動最低温度: -30°C(外気) 作動最高温度: 105°C (冷却水出口温度)	起動最低温度: -30°C(外気) 作動最高温度: 120°C (冷却水出口温度)	起動最低温度: -30°C(外気) 作動最高温度: 120°C (冷却水出口温度)
入口湿度		20%RH	12%RH	12%RH
耐久性	約4,100時間*9	50,000 h	50,000 h	50,000h
コスト		0.9 万円/kW*10 0.45 万円/kW*10	数値検討中	コソ ⁶ 相当(数値検討中)
Pt量		0.19 g/kW*11	0.13 g/kW*12	0.07 g/kW*13*14
水素貯蔵システム仕様				
高圧水素*16 質量密度 体積密度 高貯蔵効率仕様 コスト	6 wt% 20 g-H ₂ /L*17 14 万円/kg-H ₂	10 wt% 28 g-H ₂ /L*17 4 万円/kg-H ₂	—	15 wt% 29 g-H ₂ /L*17*18*19 2 万円/kg-H ₂
高圧水素*16 質量密度 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*16 (水素量≧70 kg) 質量密度 体積密度 ホールドタイム	—	—	20~30 wt%*20 35 g-H ₂ /L 5 日以上*21	30~40 wt%*20 40 g-H ₂ /L 7 日以上*21
貯蔵材料 システム*16 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*17
LCA				カーボンニュートラル達成レベル
普及シナリオ (FCV)	車両導入支援 各社単一車種 ・国内約8千台(累計) ・グローバル約6.5万台(累計)	FCVの本格的な普及拡大(FCVの世界最速普及) ホリウムゾーン向けのFCVの投入 ・スタック、周辺機器の製造・供給プレーヤーの拡大	多数車種へ拡大 ・燃料電池スタック供給による適用範囲の拡大、低コスト化の加速	スタック排熱量大幅削減 高出力密度化 低コスト化 高耐久性
製品目標 (FCV)	車種展開を想定しセガン以外のSUV、バン、ピックアップも対象に目標を検討。今後具体的な目標値を設定する。			
システム仕様				
高圧水素*16 質量密度 体積密度 高貯蔵効率仕様 コスト	6 wt% 20 g-H ₂ /L*17 14 万円/kg-H ₂	10 wt% 28 g-H ₂ /L*17 4 万円/kg-H ₂	—	15 wt% 29 g-H ₂ /L*17*18*19 2 万円/kg-H ₂
FCスタック性能			2035年頃の目標は 今後検討予定	
I-V要求性能(1セル)		BOL: 0.84V@0.2 A/cm ² BOL: 0.66V@3.8 A/cm ²		効率向上による燃費改善と出力密度向上によるFC小型化
作動温度範囲	起動最低温度: -30°C 作動最高温度: 90-95°C	起動最低温度: -30°C(外気) 作動最高温度: 105°C (冷却水出口温度)		起動最低温度: -30°C(外気) 作動最高温度: 105°C~120°C (冷却水出口温度)
入口湿度				未来社会に相応するレベル*15
耐久性	無交換(15年以上)	無交換(15年以上)	2040年頃のHDV目標並みか 技術開発課題と合わせて今後、 目標値の具体化予定	資源循環可能となる レベルへ更なるPt量低減*14
Pt量	数値検討中につき 2017年公開の数値を記載	0.05~0.1g/kW		コソ ⁶ 相当(数値検討中)
コスト		0.4 万円/kW 0.2 万円/kW		
FCシステム (内、FCスタック)		0.4 万円/kW 0.2 万円/kW		
水素貯蔵システム	14 万円/kg-H ₂	4 万円/kg-H ₂		
LCA				カーボンニュートラル達成レベル
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> ・研究人材確保(若手研究者への重点投資、キャリアパス整備、雇用機会確保、海外連携・人材流動) ・異分野融合のチーム型研究、俯瞰・統合研究プログラムダイレクタの育成 ・産官学連携・人材流動による若手を中心とした研究者育成(サテライト、社会人博士、産学クロスポイント) 			

【備考】

*1 IEA "Net Zero Roadmap – A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach"等の将来見通しに基づき市場規模を試算(FCVおよびFCトラック搭載の総容量)(解説書1.2を参照)

*2 国土交通省「2021年度における運輸部門における二酸化炭素排出量」より引用

*3 経済産業省「モビリティ分野における水素の普及に向けた中間とりまとめ」(2023/7)より引用

*4 IEA, "Net Zero Roadmap - A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach"等の将来見通し等に基づいた推計値(解説書1.2を参照)

*5 現行の市販FCモジュールのカタログ値から算定(定格出力80 kW、システム容積約328 L)

*6 各アプリケーションのFC最大出力/FCシステム搭載スペースで算出し、最も厳しい値を設定(解説書2.3.2参照)

*7 各アプリケーションの使用環境・使われ方・耐久性・冷却性能・搭載性を満たす共通の2030年頃のスタック目標を設定(解説書2.2.2, 2.2.3参照)

*8 大型トラックの製品要件から導出された2030年頃、2040年頃の目標I-V特性上の熱定格動作点(解説書1.3参照)

*9 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record #20005, "Automotive Fuel Cell Targets and Status", Aug. 2020

*10 大型トラック年産10万台前提のコスト、水素貯蔵システム、二次電池、インバータ、モータ等の電動化部品を含まない(解説書2.3.1参照)

*11 Pt目付量0.24 mg/cm²(空気極0.2 mg/cm²、水素極0.04 mg/cm²)としてスタック1基あたりの定格出力114 kW, MEA面積273 cm², 330セルを前提条件とした数値

*12 Pt目付量0.22 mg/cm²(空気極0.18 mg/cm²、水素極0.04 mg/cm²)としてスタック1基あたりの定格出力186kW, MEA面積283 cm², 396セルを前提条件とした数値

*13 Pt目付量0.14 mg/cm²(空気極0.12 mg/cm²、水素極0.02 mg/cm²)としてスタック1基あたりの定格出力190 kW, MEA面積293 cm², 330セルを前提条件とした数値

*14 2050年にはPtの資源循環可能なレベルまでの低減が必要(解説書2.3.3参照)

*15 シェアリング、自動運転等の社会の変化に相応する耐久性

*16 水素貯蔵システムの目標値は補機を含まない

*17 水素貯蔵密度はL/D=5の容器の目標とする

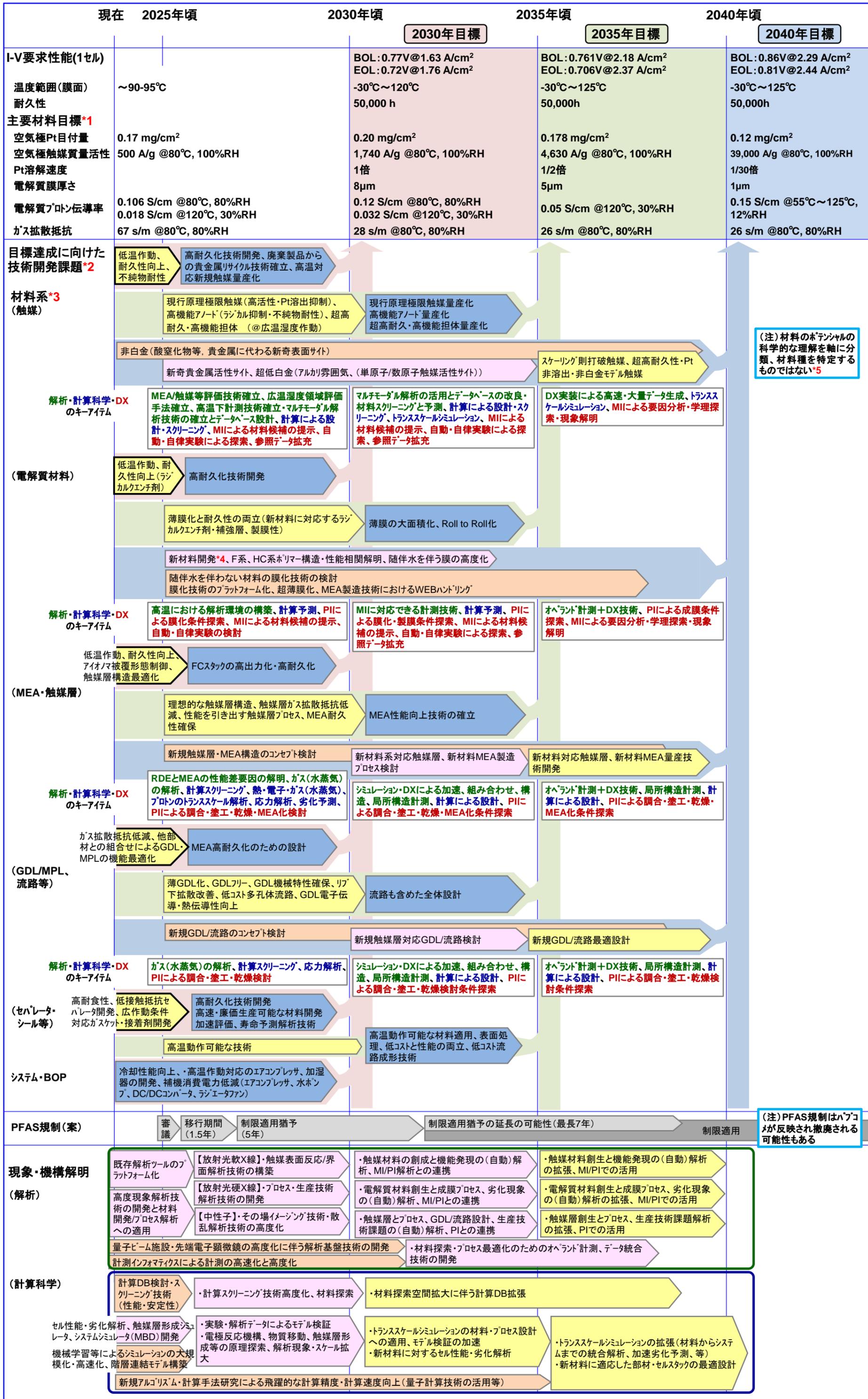
*18 超高強度のFRP用繊維、IoT、DX技術を活用した検査技術とそれによる貯蔵容器の安全率等規制緩和などもあわせて目指す想定

*19 HDV・FCV以外の産業用アプリケーションでは、運用現場への水素供給手段の整備課題への対応が前提となる

*20 液体水素貯蔵の質量密度目標値については、用途、仕様ごとに決定

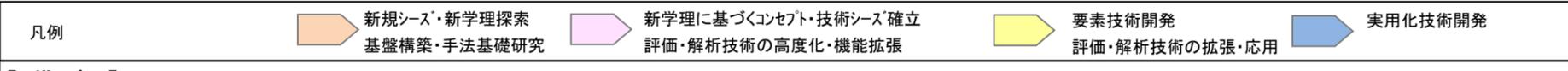
*21 2044トトラック向けタンク(水素必要量70~90kg)のホールドタイムとして目指す目標値

FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ (FCスタック)



(注) 材料のポテンシャルの科学的な理解を軸に分類、材料種を特定するものではない*5

(注) PFAS規制はパワコメが反映され撤廃される可能性もある



【備考】

*1 現在は第二世代MIRAI(乗用車)の値。I-V要求性能を達成するための材料目標の詳細については別途記載(解説書1.4および解説書2.5.3を参照)

*2 2030年および2035年頃までのFCスタックの生産技術開発課題は「FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ(FC生産技術)」を参照

*3 FCスタックの冷却水出口温度に対して電解質膜面の温度は最大で+5~10°C、広範囲な作動温度に対する材料開発が必要(解説書2.5.3および解説書2.6.1~2.6.3を参照)

*4 55(高RH)~125°C(RH12%)でのプロトン伝導性確保が前提(解説書2.5.3を参照)

*5 材料開発の方向性に関する詳細については解説書2.6.1~2.5.3を参照

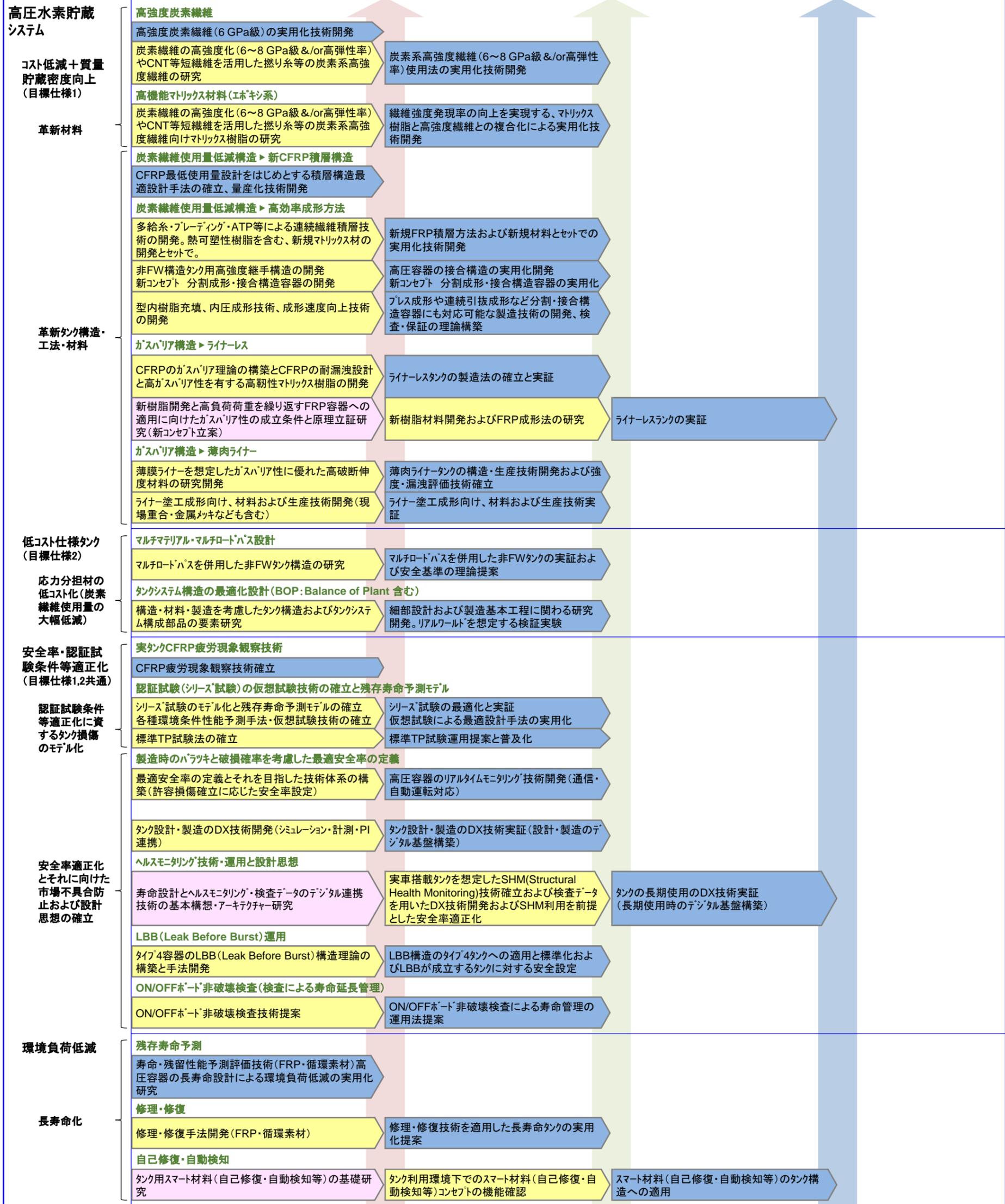
FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ（FC生産技術）

	現在	2030年頃	2035年頃	2040年頃	
普及シナリオ (HDV)	【燃料電池HDVの初期導入段階】 ・国内バス、フォークリフト等数百台 ・トラック、鉄道、船舶で試験運転・技術実証	【HDV初期導入開始段階】 ・燃料電池HDVトラック、船舶等への本格普及開始 ・欧州10万台 国内数万台		【HDV領域のCN実現】 ・FC HDVトラックグローバル1,500万台*2	
HDVコスト目標		FCシステム FCスタック 0.9万円/kW*1 0.45万円/kW	更なるコスト低減	コシ相当(数値検討中)	
普及シナリオ (FCV)	【FCV初期導入開始段階】 ・国内7,500台程度	【FCV本格普及開始段階】 ・国内普及目標FCV80万台相当*3 ・国内普及推定約FCV200万台相当*8		【FCV領域CN達成時期】 ・FCV 300-600万台*4	
FCVコスト目標		FCシステム FCスタック 0.4万円/kW*1 0.2万円/kW	更なるコスト低減	コシ相当(数値検討中)	
製造能力目標 HDV+FCV※	3万台/年 (公表値)	→7万台/年→21万台/年 *FC HDVとFCV混流	21万台/年	32万台/年	→ 50万～120万台/年
ライン原単位 (想定規模)	2,500台/月/ライン	6,000台/月 1か所→3か所程度	6,000台/月 3か所程度	7,000台/月 4か所程度	→ 10,000台/月 ×複数か所
生産速度 (タクトタイム)	枚葉工程 1.3秒/セル*6 連続工程 6m/分*7	0.5秒/セル*6 15m/分*7	0.4秒/セル*6 19m/分*7	→ 0.33秒/セル*6 → 25m/分*7	
加工費低減目標	100%	▲70%*5	▲72%*5	▲74%*5	
材料費低減目標	100%	▲70%	▲72%	▲74%	
工場エネルギーグリーン化	50%程度	80%		→ 100%達成	
達成すべき生産技術課題 (FCスタック)		5年	5年	5年	
触媒調合 触媒塗工乾燥 MPL塗工乾燥	計測・定量技術探索 (イオン分散状態、触媒イオン構造、イオンの静的・動的的特性)	インク物性計測技術の確立 (インライン) 連続インク製造技術の確立	触媒インクの均一分散状態の見える化技術の確立 (高度解析・放射光) 触媒層ミクロ構造制御手法の確立		
	触媒インクの塗工乾燥条件へのPI適用手法の確立*9	触媒調合・新塗工技術へのPI適用手法の確立*9			
	乾燥レス化技術の探索	乾燥レス化技術の確立	乾燥レス化技術の高速化		
	新規材料に対応するプロセスシミュレーション技術の確立	極薄電解質膜のロール搬送技術の確立	極薄触媒層のロール搬送技術の高速化 新規触媒インクの塗工技術の高速化		
MEA化 セル化	シール性検査プロトコルの確立	界面接合の高速化と高接着性の両立技術の確立	新規シール材を活用したMEA化工程の高速化		
	MEA化・セル化へのPI適用手法の確立*9				
	ウェブハンドリング技術の探索、コンバーティング技術の改良	加圧加熱工法の高度化 高速ハンドリングの確立 高速把持位置決め技術の確立	位置決めの高速度、高精度化 コンバーティング技術の革新化 型レス切断技術の確立		
流路形成	プレス加工技術の高精度・高速化	プレス連続成形技術の高精度化・高速化			
	微細パターン流路形成技術適用手法の探索	微細パターン流路形成技術の確立 スクリーン印刷等の高速化技術の確立	微細パターン流路形成技術の高速化		
		マルチカーボン等の高耐腐食材料・表面処理後材料の加工技術の確立			
表面処理	低真空表面処理技術の探索	低真空表面処理技術の確立	ロールtoロール高速表面処理技術の確立		
	低コスト・高ハンドリング基材の導電性・耐腐食性を確保する表面処理・改質技術の確立				
	表面エネルギー・親水性・の制御技術の向上	表面処理の高耐久・低抵抗化			
エージング	電解質湿潤過程の原理説明	予備湿潤技術の確立			
	コンタ成分の分析手法の探索	低コンタ材料を活用したエージング技術の確立	オンボードエージングプロトコルの確立 ・低コンタ材料の活用 ・コンタ物質の付着防止 ・予備湿潤 ・触媒クリーニング		
	触媒コンタ成分の付着要因の特定	コンタ物質の付着防止技術の確立			
品質検査	異物金属検査方法の探索	高速異物金属検査技術の確立			
		リーク検査技術の高速化			
		塗布膜厚測定技術、塗布欠陥検出技術の確立	塗布膜厚測定の高速度化 塗布欠陥検出の高速度化		
		表面欠陥検出技術の探索	表面処理のナノ欠陥検出技術の確立	表面処理のナノ欠陥検出技術の高速化	

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

【備考】
 *1 NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ -FCV・HDV用燃料電池ロードマップより(DOE2030年目標値を参考として設定されている)
 *2 Hydrogen Council「Hydrogen Scaling up」等に基づいた推計値
 *3 METI 水素・燃料電池戦略ロードマップ
 *4 FCCJ(燃料電池実用化推進協議会)が2015年公表のIEA「Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells」を参考に策定した目標台数(2050年の目標である温室効果ガス排出量80%削減に貢献すべく設定した数値、大幅な技術進展を期待したハイシナリオでは600万台)
 *5 DOE Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications:2018 Update
 現在コストと2030年コスト予測値の比率、材料費と加工費とも同率で70%低減する前提、2050年までにDOE Ultimate targetを達成するための低減率として2035年以降の値を設定
 *6 試算の仮定 スタック仕様 125kW、300セル、電極面積250cm²、20日稼働、2直生産および生産数量(台/月)よりタクトタイムを試算
 *7 試算の仮定 電極面積250cm² 幅320×130で*3稼働条件で製造した場合、生産数量(台/月)短辺長より塗工速度を試算
 *8 IEA「Net Zero by 2050」における運輸部門の水素消費量の増加分から比率で推定した値
 *9 PIの適用先については、現時点で特定された生産技術のボトルネックから具体的に対応が想定される技術課題のみを記載

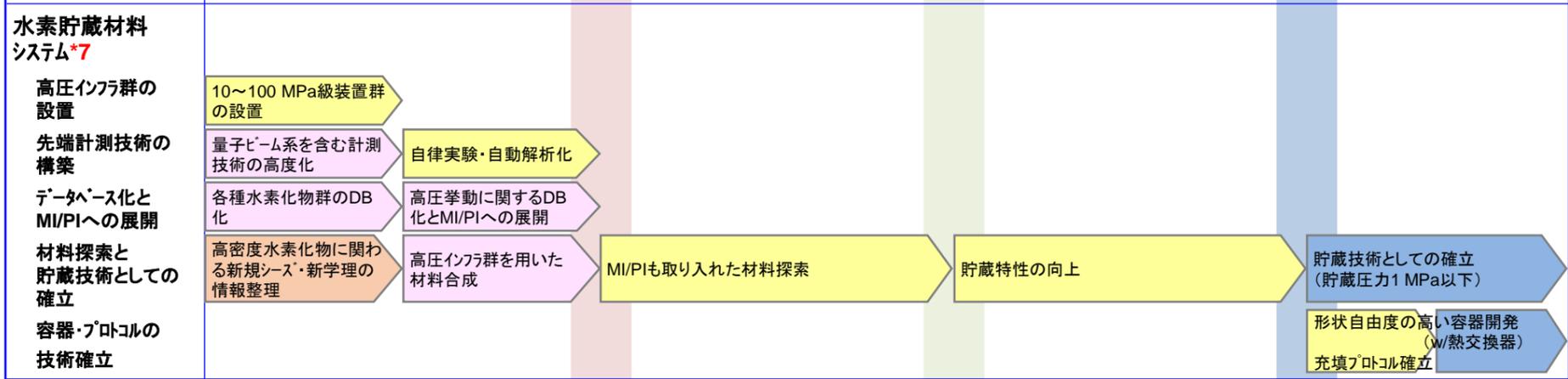
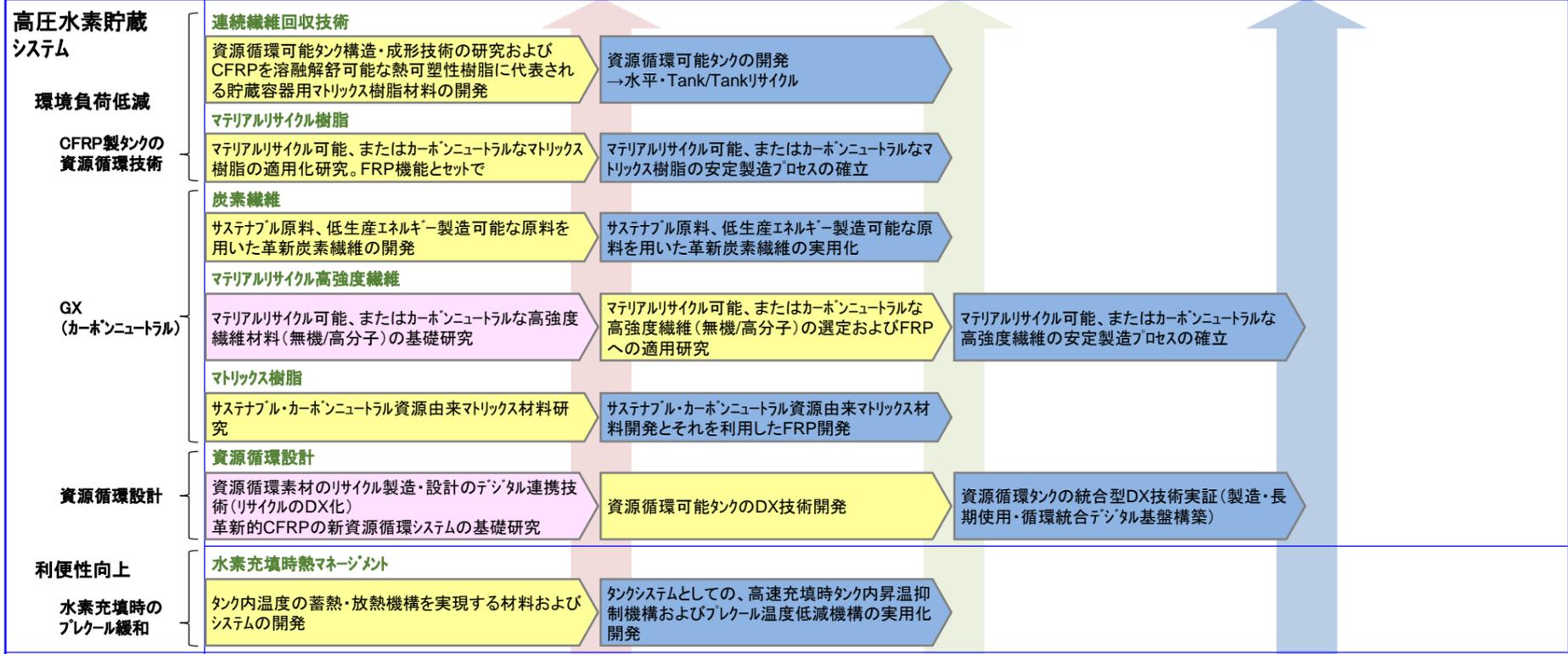
	2025年	2030年頃	2035年頃	2040年頃
高圧水素*1 目標仕様1 高貯蔵効率仕様	質量密度 6 wt% 体積密度 20 g-H ₂ /L*2 コスト 14 万円/kg-H ₂	10 wt% 28 g-H ₂ /L*2 4 万円/kg-H ₂	— — —	15 wt% 29 g-H ₂ /L*2*3*4 2 万円/kg-H ₂
高圧水素*1 目標仕様2 低コスト仕様	質量密度 — 体積密度 — コスト —	— — —	4 wt% 28 g-H ₂ /L 2 万円/kg-H ₂	4 wt% 29 g-H ₂ /L (1 万円/kg-H ₂)
液体水素*1 (水素量≧70 kg)	質量密度 — 体積密度 — ホールドタイム 2 日未満(現在)*6	— — —	20~30 wt%*5 35 g-H ₂ /L 5 日以上*6	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



凡例 ▶ 新規シーズ・新学理探索 ▶ 新学理に基づくコンセプト・技術シーズ確立 ▶ 要素技術開発 ▶ 実用化技術開発

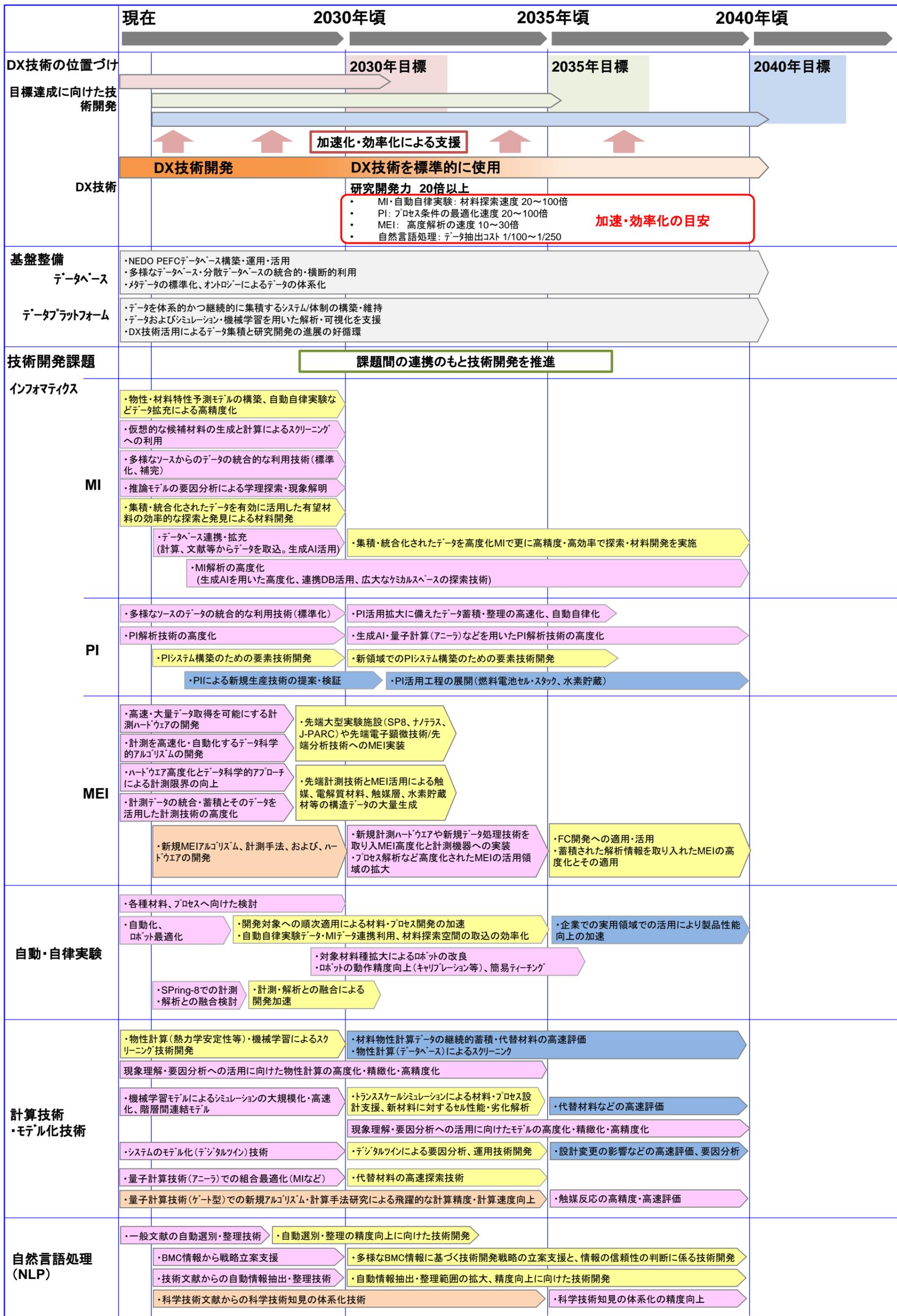
【備考】
 *1 水素貯蔵システムの目標値は補機を含まない
 *2 水素貯蔵密度はL/D≒5の容器の目標とする
 *3 超高強度のFRP用繊維、IoT、DX技術を活用した検査技術とそれによる貯蔵容器の安全率等規制緩和などもあわせて目指す想定
 *4 HDV・FCV以外の産業用アプリケーションでは、運用現場への水素供給手段の整備課題への対応が前提となる
 *5 液体水素貯蔵の質量密度目標値については、用途、仕様ごとに決定
 *6 44トントラック向けタンク(水素必要量70~90kg)のホールドタイムとして目指す目標値

	2025年	2030年頃	2035年頃	2040年頃
高圧水素*1 目標仕様1 高貯蔵効率仕様	質量密度 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 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 (1 万円/kg-H ₂)
液体水素*1 (水素量≧70 kg)	— — —	— — —	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	— —	— —	— —	*50年 8 wt%以上, 70 g-H ₂ /L以上@1 MPa以下*2



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

【備考】
 *1 水素貯蔵システムの目標値は補機を含まない
 *2 水素貯蔵密度はL/D≒5の容器の目標とする
 *3 超高強度のFRP用繊維、IoT、DX技術を活用した検査技術とそれによる貯蔵容器の安全率等規制緩和などもあわせて目指す想定
 *4 HDV・FCV以外の産業用アプリケーションでは、運用現場への水素供給手段の整備課題への対応が前提となる
 *5 液体水素貯蔵の質量密度目標値については、用途、仕様ごとに決定
 *6 44tトラック向けタンク(水素必要量70~90kg)のホールドタイムとして目指す目標値
 *7 2022年度FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ「水素貯蔵材料」情報



凡例 DX技術の新規ソース・基礎的技術の研究開発 DX技術のコンセプト・技術ソース確立 要素技術開発として取り組むDX技術の開発 実用化技術開発として取り組むDX技術の開発

【備考】