

発表No.A-9

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/
大型FCV燃料装置用液化水素技術に関する
フィジビリティ調査

富岡 純一
一般財団法人日本自動車研究所
岩谷産業株式会社

2022年7月27日

連絡先：
一般財団法人日本自動車研究所
富岡 純一
jtomioka@jari.or.jp

1. 調査の背景・目的

背景：

- 商用車の低炭素化、水素利用用途の拡大のため、商用車のFCV化が必要
- 商用車ではタンク搭載スペースが限られるため、70MPa圧縮水素貯蔵では、航続距離500km～600km程度までが現実的
- 航続距離800km以上が要求される長距離用大型商用車については、貯蔵密度の大幅向上が必要
- 水素燃料搭載方法の候補のひとつとして、液化水素が有力
(貯蔵密度向上、ステーションのシンプル化・省電力化)
- 乗用車では、ボイルオフガスの排気ロス等のため、液化水素は採用されていない

目的：

- 液化水素技術（特に貯蔵技術・充填技術）の調査を実施し、液化水素技術の有効性の判断、技術課題の整理および目標設定を行う

2. 調査項目

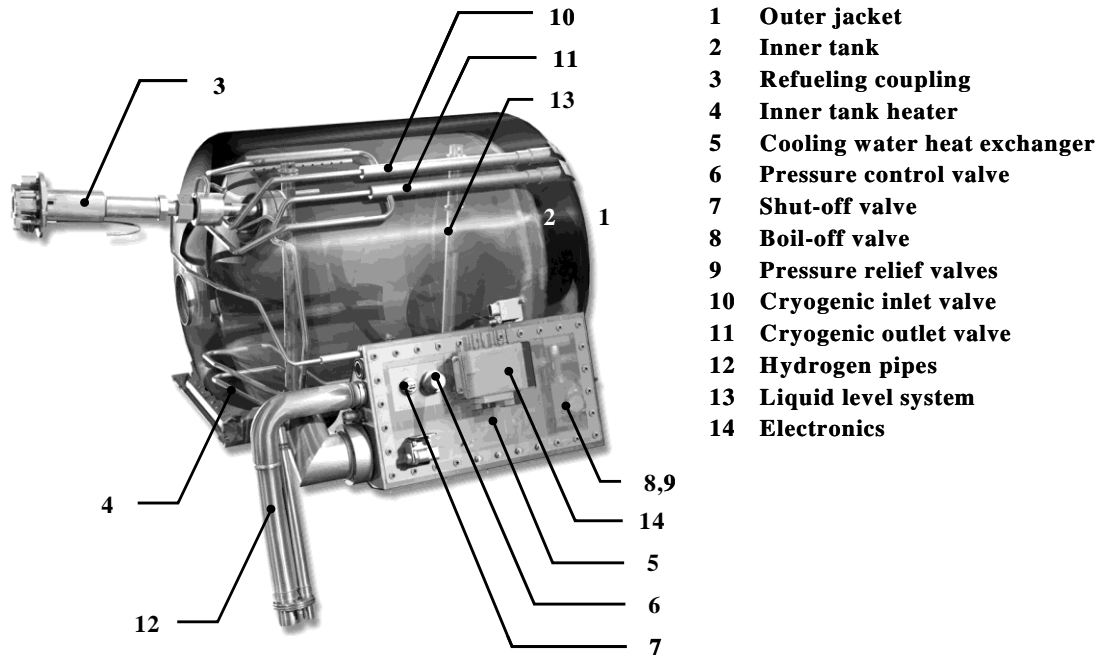
- ① **燃料として液化水素を搭載するFCV（液化水素FCV）の課題調査（JARI）**
 - ✓ **液化水素FCVの容器・附属品等の技術課題調査
（要素技術、HDVの稼働率、容器・附属品の安全性評価法等）**
 - ✓ **液化水素FCVの車両安全調査
（事故事例、事故時のシナリオ、取得すべきデータ等）**
 - ✓ **他の貯蔵技術ベンチマーク**

- ② **車載容器への液化水素充填設備の実現性と課題抽出（岩谷）**
 - ✓ **液化水素の車載容器への充填モデルの検討**
 - ✓ **液化水素充填技術の実現性検討と構成機器の仕様明確化**

- ③ **充填インターフェースの課題抽出（JARI、岩谷）**
 - ✓ **充填カップリング（岩谷）**
 - ✓ **充填プロトコル（JARI）**

- ④ **基準・標準の方向性検討（JARI、岩谷）**
 - ✓ **容器・付属品の基準・標準（JARI）**
 - ✓ **ステーションの基準・標準（岩谷）**
 - ✓ **インターフェースの基準・標準（JARI）**

液化水素貯蔵システムについて（低圧貯蔵、sLH2、CcH2）



出典：H. Rybin, etc., Safety demands for automotive hydrogen storage systems. (MAGNA STEYR)

液化水素貯蔵システム（低圧：0.4~0.8MPa）
 (BMW Hydrogen7, 2005~2007)

- ・ボイルオフガスの低減
- ・充填時の水素排気口入の削減

subcooled liquid hydrogen (sLH2)貯蔵システム
 (最高許容圧力：2.0~2.5MPa)
 (Daimler Truck, Linde, 2020~)

BMW Hydrogen
 ICHS 2011
 San Francisco
 9/14/2011
 Page 9

Cryo-compressed Hydrogen Storage. (CcH2) System layout – BMW prototype 2011.

Modular Super-insulated Pressure Vessel (Type III)		
Max. usable capacity	CcH ₂ : 7.8 kg (260 kWh) CGH ₂ : 2.5 kg (83 kWh)	+ Active tank pressure control + Load carrying vehicle body integration + Engine/fuel cell waste heat recovery
Operating pressure	≤ 350 bar	
Vent pressure	≥ 350 bar	
Refueling pressure	CcH ₂ : 300 bar CGH ₂ : 320 bar	
Refueling time	< 5 min for 7.8kg (according to SAE J2601)	
System volume	~ 235 L	
System weight (incl. H ₂)	~ 140 kg	
H ₂ -Loss (Leakage max. loss rate infr. driver)	<< 3 g/day 3 – 7 g/h (CcH ₂) no significant losses	

出典：VALIDATION OF CRYO-COMPRESSED HYDROGEN STORAGE (CCH2) – A PROBABILISTIC APPROACH, ICHS2011, 258

CcH2貯蔵システム（高圧：35MPa）
 (BMW, 2011年前後)、(CRYOMOTIVE, 2020~)

液化水素貯蔵システムの調査結果まとめ

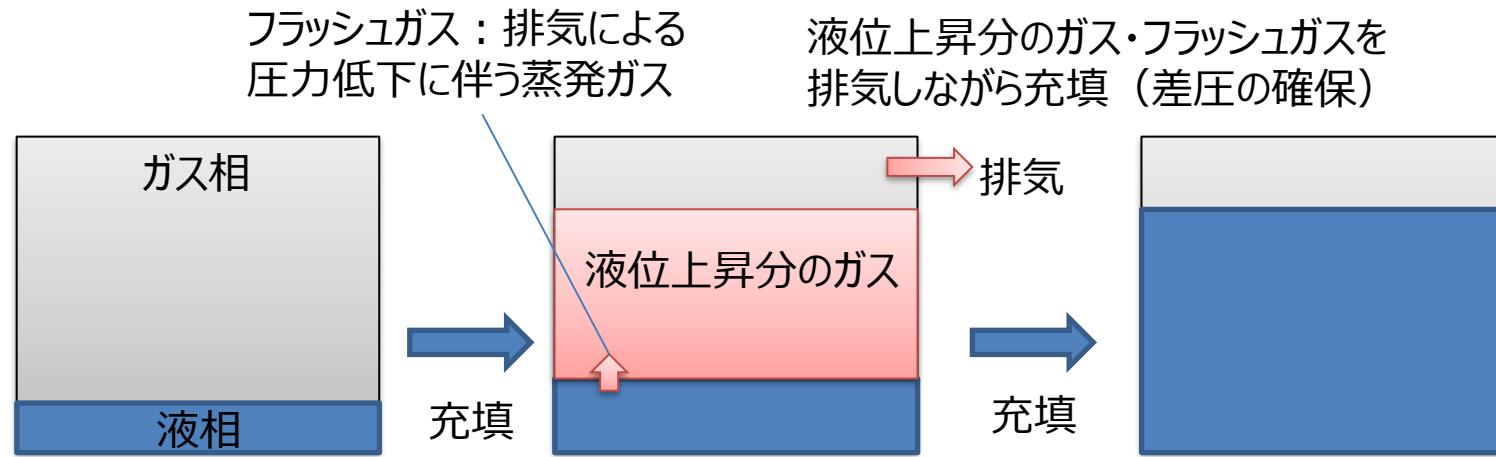
赤字：利点

	低圧充填・低圧貯蔵 liquid hydrogen (従来技術)	中圧充填・低～中圧貯蔵 subcooled liquid hydrogen (sLH2)	高圧充填・高圧貯蔵 Cryo-compressed Hydrogen Strage (CcH2)
最高許容圧力	1MPa未満	2.0MPa～2.5MPa程度	20MPa～35MPa程度
容器	金属容器	金属容器	複合容器（重量増・コスト増）
充填方法	1MPa未満の差圧充填 または充填用ポンプ	1.5～2.0MPa程度の 充填用ポンプ（圧縮機）	20MPa～35MPa程度の 充填用ポンプ（圧縮機）
充填時のガス回収 (排気)	必要（課題）	不要 または大幅削減 (課題：容器内ガスの液化)	不要 (超臨界状態で保持)
通信	必要（満タン情報）	不要	不要
満タン検知	液面計	圧力（液面計）	圧力
使用時の圧力	0.4MPa 課題：水素供給制御が必要	0.4～0.8MPa 課題：水素供給制御が必要	2.0～35MPa 圧力保持不要
BOG保持時間	・短時間でBOG放出が必要 (1日程度)	・最高許容圧力を超えるまでBOG放出 が 不要 （2日程度～）	・最高許容圧力を超えるまでガス放出 が 不要 （4～7日程度）
開発状況	特になし	ダイムラートラック+リンデ	CRYOMOTIVE（トラック用）

sLH2が最も利点が多い。特に、sLH2による充填時の排気ロス削減効果への期待が大きい。

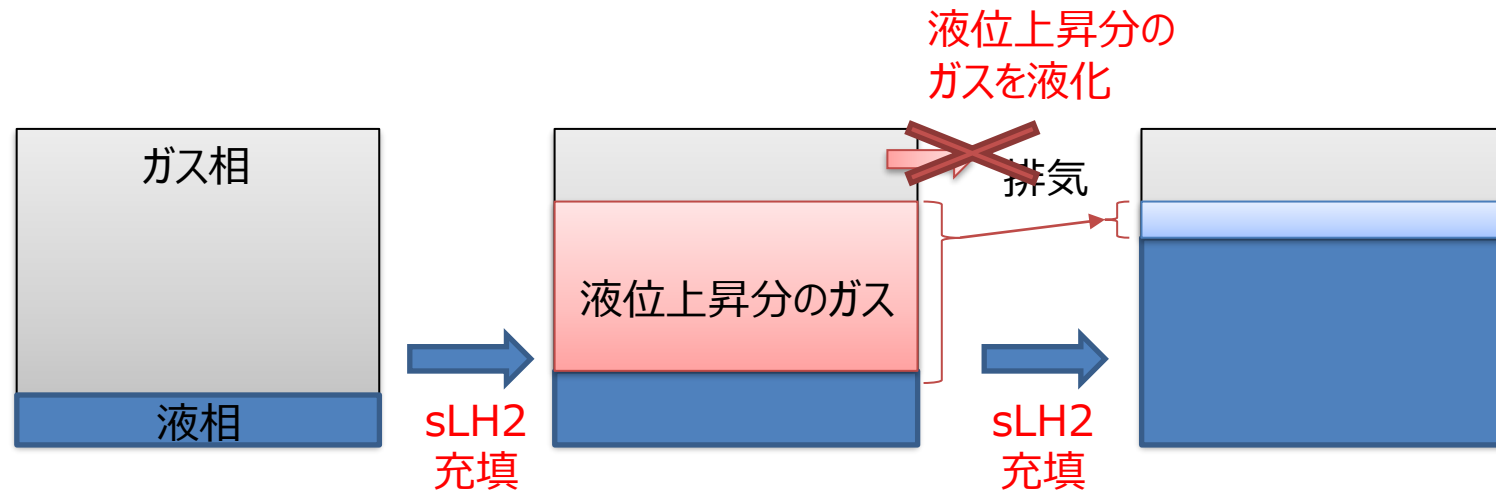
充填時の水素排気ロスの削減：sLH2充填技術

差圧充填



100kg充填の場合、
30kg程度の排気が必要
(岩谷産業試算)

sLH2充填



・sLH2により、充填時の水素排気ロスの大幅削減が期待される
課題：最大限に再液化するため、再液化の物理現象を理解することが必要

FCスタックへの水素供給システムの課題

- FCスタックからの要求
 - 大型車の必要出力：10t～25t、200～300kW程度
 - FCスタックへの水素供給流量：最大4000～5000NL/min（JARI推計）
 - FCスタックへの水素供給温度：室温程度
- タンクの貯蔵圧力 → FCスタックへの水素供給
 - 圧縮水素貯蔵：2～70MPa → 差圧による供給が可能
 - 液化水素貯蔵：0.4～1.0MPa → **能動的な水素供給が必要**
- 車載用タンク特有の課題
 - 走行中にFCへの水素供給が必要 → **振動の影響**を受ける
秒単位の流量制御が必要

**課題：走行環境を想定した、FCスタックへの水素供給制御（流量・温度）が必要
→容器内の気体／液体水素の物理的挙動の把握が必要**

● FCで使い切る（システム起動前提）

- 車内空調、荷室の空調（冷凍車）：
 - 長期駐車（休車）時は空調不要だが、BOG処理のために稼働させる（追加投資なし）
- **外部給電：（高圧ガス保安法・電気事業法で規制の問題あり）**
 - V2L（AC100V）：外部電源式アイドリングストップ給電システム等への給電
 - V2H（AC100V、AC200V、10kWまで）：事務所・倉庫等への給電
 - V2V（DC）：EVトラック等への充電。
 - 売電

課題：簡便な外部給電の実現、規制緩和

● MH容器等による回収（課題：搭載スペース・重量増）

● 触媒燃焼

- 貴金属触媒：モノメタル（プラチナ、バナジウム等）、バイメタル（Pt-Sn、Pd-Pt等）
- 非貴金属酸化物触媒： Co_3O_4 、 MnO_2 、NiO、CuO、Co-Mn-Ag、ペロブスカイト触媒

● 希釈放出

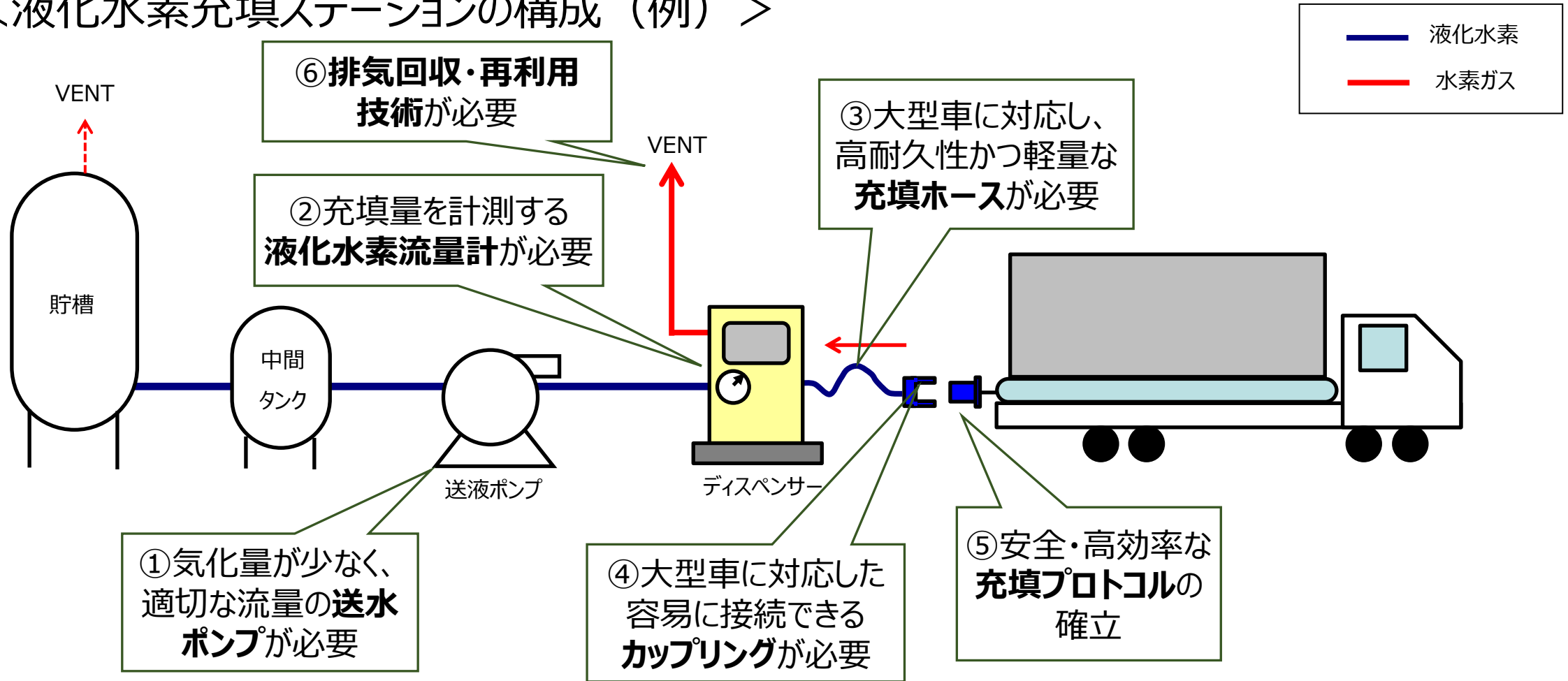
● 生ガス放出

- 放出速度規制

課題：システムダウン状態での安全性の確保

液化水素充填ステーション・インターフェースに必要な要素技術まとめ

<液化水素充填ステーションの構成（例）>



課題：要素機器の開発が必要

(大型車への充填に適した流量への対応、sLH2対応のための耐圧性の向上等)

● 液水トラックの適用性

- **運送業用のトラック（小型～大型）は月間稼働日数が多く、液水適用可**
- **特に各エリアの倉庫・物流センター間を結ぶ幹線輸送（500km以上）を行う、運送業用の大型トラックおよびトラクタは液水のメリットが大きい**
 - 倉庫・物流センターに液水ステーションを設置することで運用できる
 - 自家用トラックは、運行距離・稼働日数が少ない場合が多く、運行経路も定まらないため、ステーション設置場所の検討とBOG対策（V2H等）が必要となる

BOG : ボイルオフガス

V2H : Vehicle to Home

● 液水バスの適用性

- **乗合バス（小型～大型）は月間稼働日数多く、液水適用可**
- **特に乗合の高速バス（大型、長距離）は液水のメリットが大きい**
 - 乗合バスの車庫に液水ステーションを設置することで運用できる
 - 貸切バスも、車庫にステーション設置することで液水を適用できると考えられるが、稼働日数によってBOG対策（V2H等）が必要となる
 - 自家用バスは、稼働日数・運行経路が定まらないため、ステーション設置場所の検討とBOG対策（V2H等）が必要となる

液化水素・液化天然ガス関連の基準・規格を調査

- 水素・燃料電池自動車の国際技術基準 GTR13
- 液化天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準 JGA指-NGV 06-01-99
- 天然ガス自動車の国連基準 UNR110
- 一般高圧ガス保安規則（第7条 CNGスタンド、第7条の2 LNGスタンド、第7条の3 圧縮水素スタンド）

課題：

- **液化水素温度での材料評価法**
- 容器の**振動試験**の必要性（JGA指-NGV 06-01-99で規定）
- 容器への**過充填防止システム**確認試験（液面計等）
- ステーションの過流防止弁や逆流防止弁の開発もしくは代替措置
- 充填の非常停止時等の液封防止措置
- CcH2 (Cryo-Compressed Hydrogen)容器の評価
- **日本国内での評価設備の整備**

課題：安全性確保のために必要な基準・評価法の見極め、および法対応機器の開発が必要

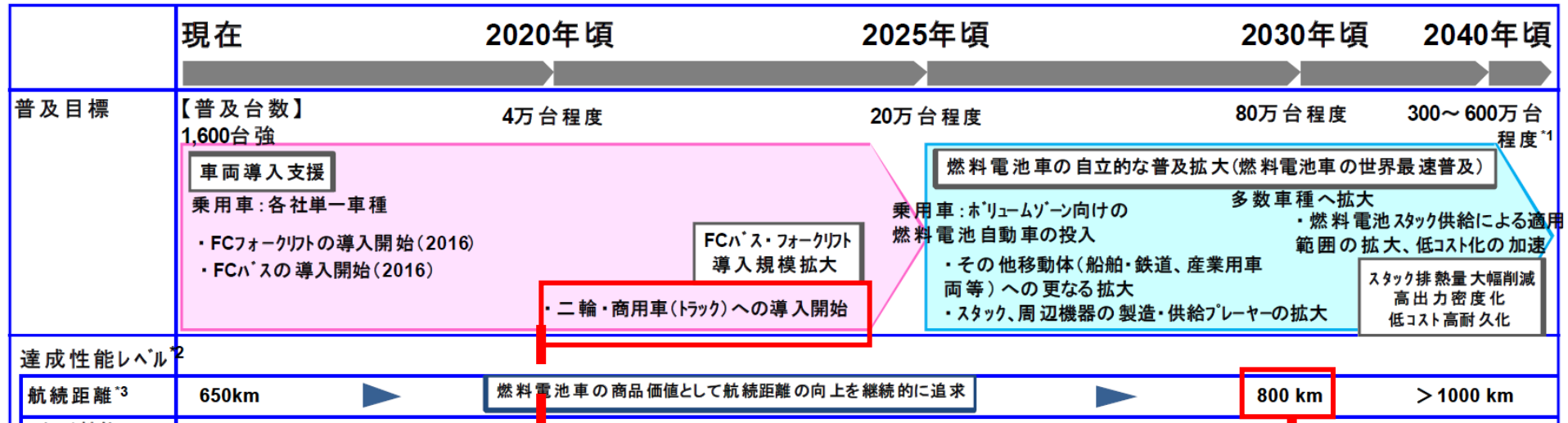
大型FCV燃料装置用液化水素技術に関する調査結果まとめ

- 荷室の確保と長距離運行が必要とされる大型商用車においては、技術的な課題はあるものの、重量増加が少なく高密度貯蔵が可能な液化水素貯蔵が最も有望である
- 調査結果から得られた液化水素貯蔵システムを実現するための主な課題：
 - A) 液化水素充填時の水素排気ロスの削減
 - B) 液化水素容器からFCスタックへの安定した水素供給制御方法の確立
 - C) 液化水素容器からのボイルオフガス（BOG）の処理方法の確立
 - D) 液化水素関連要素技術の開発（容器、液面計、カップリング、充填ポンプ等）
 - E) 液化水素容器・車両・ステーションの安全性評価基準の確立

- 課題A,B解決のための**基礎研究**として、液体・気体水素の**低温物性**の見極め、容器内での挙動把握が必要
- 課題A～D解決のため、**要素技術**の開発および実機ベースでの評価設備の整備が必要
- 課題E解決のため、液化水素特有の**安全対応技術**の開発および**基準整備（規格化）**が必要

大型FCV燃料装置用液化水素技術の開発スケジュール（想定）

出典：NEDO「技術開発ロードマップ（FCV・移動体）」（2017）



車両導入支援

- 乗用車：各社単一車種
- ・FCフォークリフトの導入開始(2016)
- ・FCバス¹の導入開始(2016)

FCバス・フォークリフト導入規模拡大

- ・二輪・商用車(トラック)への導入開始

燃料電池車の自立的な普及拡大(燃料電池車の世界最速普及)

- 乗用車：ホリウムゾーン向けの燃料電池自動車の投入
- ・その他移動体(船舶・鉄道、産業用車両等)への更なる拡大
- ・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
低コスト高耐久化