

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ報告会

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

プレゼンター:山本敦巳(トヨタ自動車)、渡辺隆男(豊田中央研究所)、大神敦幸(トヨタ自動車)

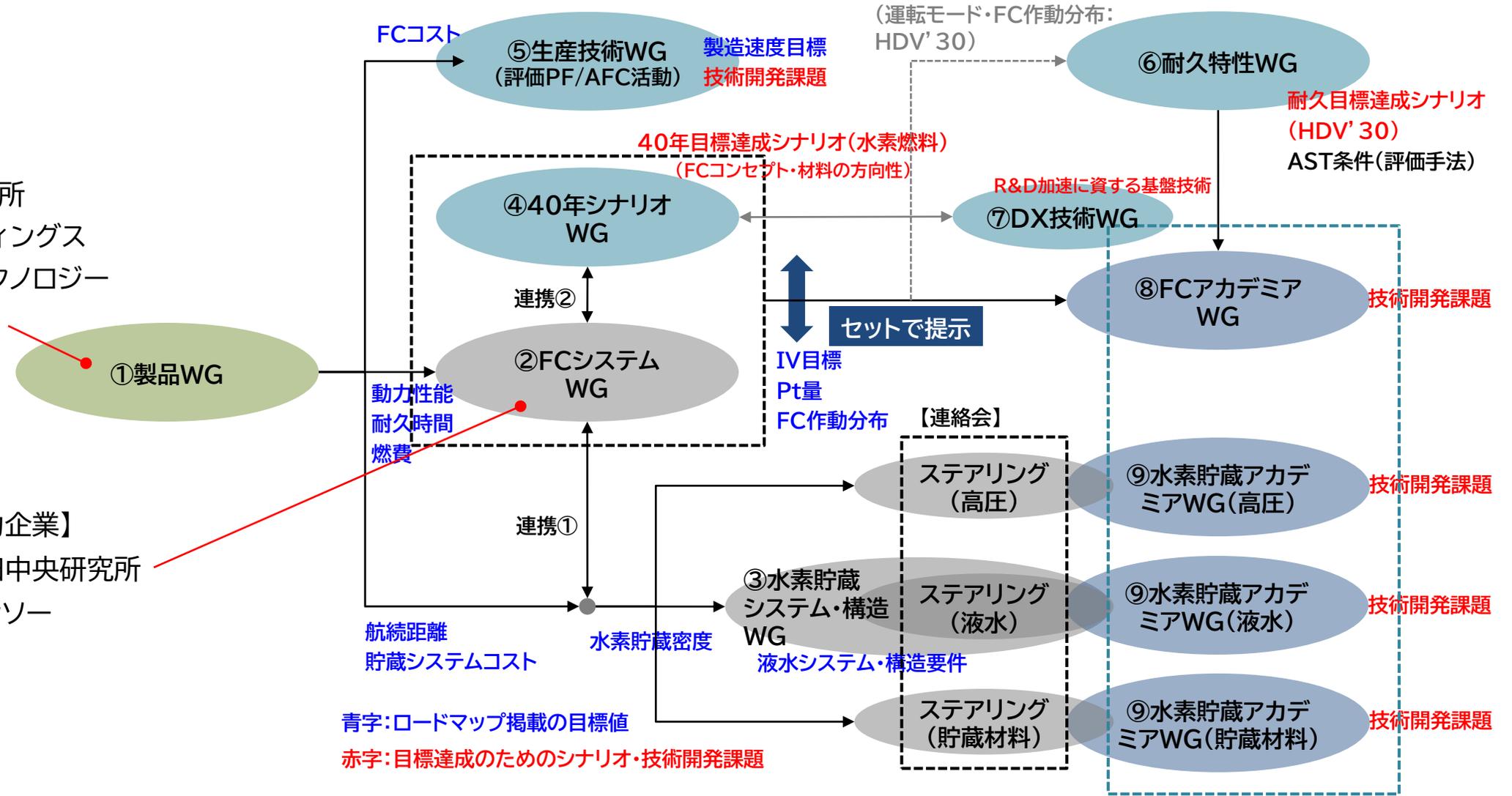
NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 燃料電池・水素室
(委託先)みずほリサーチ&テクノロジーズ

【協力OEM】

- ・本田技研工業
- ・トヨタ自動車
- ・日野自動車
- ・鉄道総合技術研究所
- ・ヤンマーホールディングス
- ・ヤンマーパワーテクノロジー
- ・コベルコ建機
- ・クボタ
- ・豊田自動織機

【協力企業】

- ・豊田中央研究所
- ・デンソー



製品の要求仕様からFCシステム目標の設定、水素貯蔵や生産技術への要求を提示

2030年頃のFCシステム目標

2021年度 of 取組 (目標値の欧米との比較)

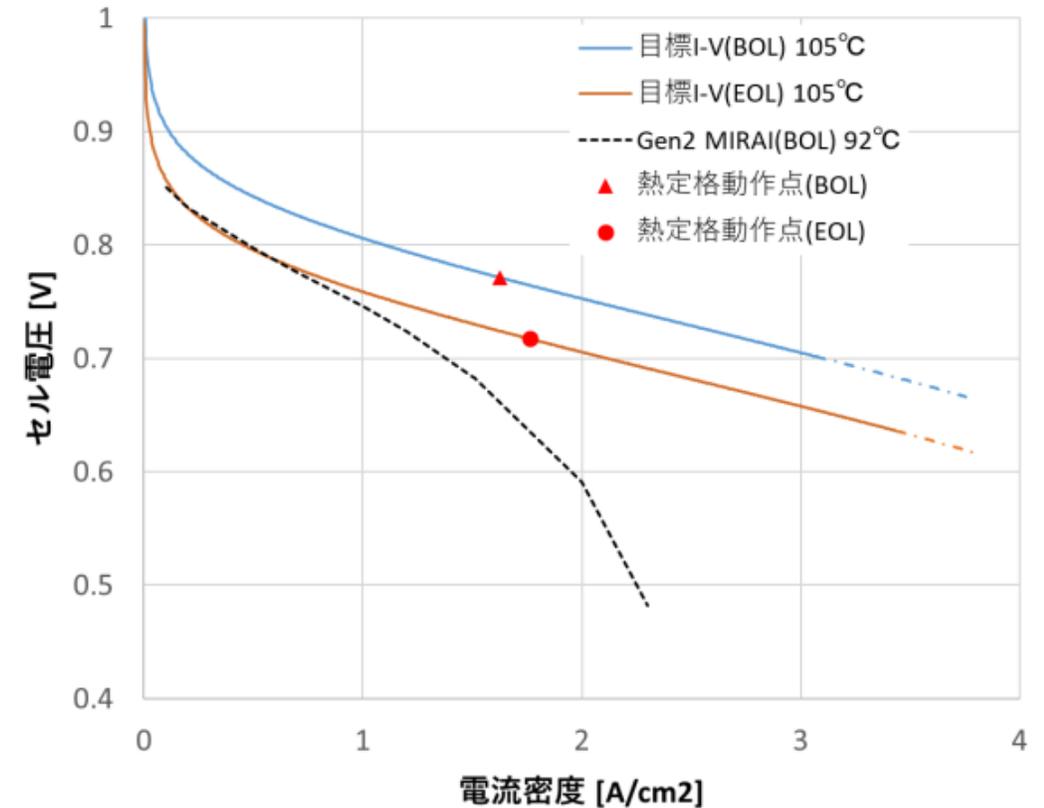
関係者内限定

	NEDO (2030年頃) 	DOE※1 (2030) 	DOE※1 (Ultimate) 	M2FCT※2 (2025) 	IMMORTAL※3 
対象アプリケーション	大型トラック・船舶・鉄道・建機・農機・フォークリフト	大型トラック	大型トラック	大型トラック	大型トラック
冷却出口最高温度 °C	105	-	-	90	-
膜面最高温度 °C	~120	-	-	-	-
動作点I-V	(EOL)0.72V @1.77A/cm ²	0.769V @1.09A/cm ²	0.769V @1.09A/cm ²	(EOL)0.7V @1.07A/cm ²	(EOL)0.675V @1.2A/cm ²
Pt目付量 [mg/cm ²]	0.24	0.3	0.25	0.3	-
Pt量 [g/kW]	0.19	0.357	0.298	0.4	-
耐久時間 [hr]	50,000	25,000	30,000	25,000 (30,000@ 30)	30,000

※1: DOE Program Record #19006, "Hydrogen Class 8 Long Haul Truck Targets", Aug. 2019
 ※2: DOE Annual Merit Review 2021, "M2FCT: Million Mile Fuel Cell Truck Consortium" (Project ID: FC339)
 ※3: IMMORTAL Website, https://immortal-fuelcell.eu/index.php/about-immortal/overview#_ftn3

幅広いアプリに対する共通目標として海外と比べて高い性能・耐久目標を設定

目標IV特性



昨年度は2030年頃に向けた商用用途のFCシステム目標を設定

<2040年頃の目標>

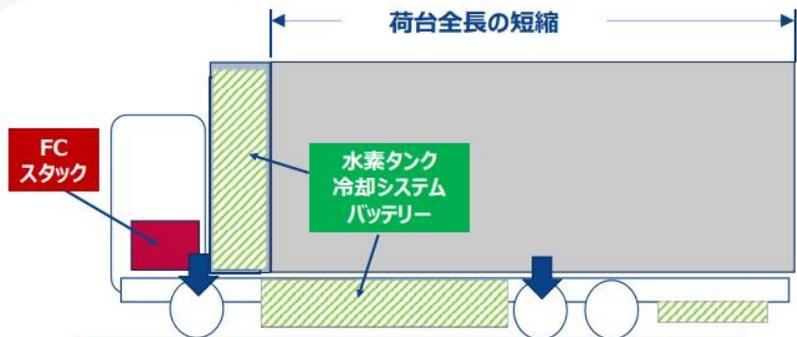
幅広いアプリケーションにFCを適用しCNに対応
 ⇒44トン大型トラックまでは対応できていない
 例)事業性、搭載性、出力など

<44トン大型トラックの主な製品目標>

項目	目標値
システム最大出力	450kW(うちFC最大400kW)
FCシステム許容体積	502L
FCシステム許容重量	460kg
FCシステム体積出力密度	0.8kW/L(=400kW/502L)
1充填あたりの航続距離	1000km以上
水素貯蔵許容搭載スペース	2000L
水素貯蔵許容搭載重量	400kg
ラジエータ冷却能力	210kW(3.5kW/°C)
耐久時間	50,000h

大型FCトラックを普及させるための課題1

◎搭載レイアウト



重量増加
各部品容積増加

重量
規制

長さ
規制

高さ
規制

規制緩和

積載量低下
荷室容積低下

・積み荷が減少

・大型トラック用の各部品は生産台数も少ないため高価

44トン大型トラックを対象にディーゼルパリティと規制緩和の観点から製品目標を決定

<未来社会(システム進化)の想定>

<ラジエータ能力> ※デンソー様試算

■ 直交流熱交換器の温度効率

$$\text{放熱量} Q = \epsilon_a \times cm_a \times \Delta T$$

ϵ_a : 空気温度効率 = 空気温度上昇 / (ΔT)

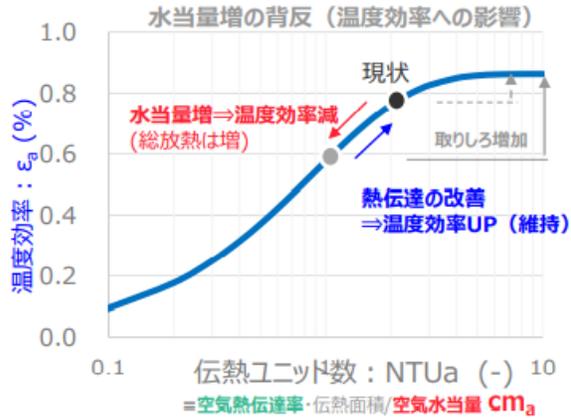
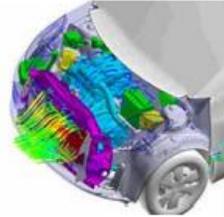
cm_a : 空気水当量 = 風量 × 比熱 × 密度

ΔT : 入口水温 - 入口空気温

■ 風量の増加 (通風改善)

HPより引用 一般社団法人日本機械学会流体工学部門

車両などの搭載と
セットで改良



冷却性能は熱伝達改善と
風量増加が影響

ラジと風量改善による冷却能力感度を調査

<走行抵抗>



走行抵抗 =
空気抵抗
($1/2 \times \sigma CdSV^2$)
+ 転がり抵抗 (μMg)
+ 勾配抵抗 ($Mg \sin \theta$)

<https://blog.evsmart.net/ev-news/nikola-motor-electric-truck/>

空気抵抗(Cd値)感度を調査

<BOP> ※デンソー様試算

FCウォーターポンプ エアコンプレッサー 水素ポンプ

昇圧コンバータ



補機損の大きなBOP部品で感度を調査

2040年頃の目標設定前提(2030からの変化点)

2030年頃

○25トン2スタック

- (課題)44トントラック
- ・スタック×4
- ・ラジエータ×2



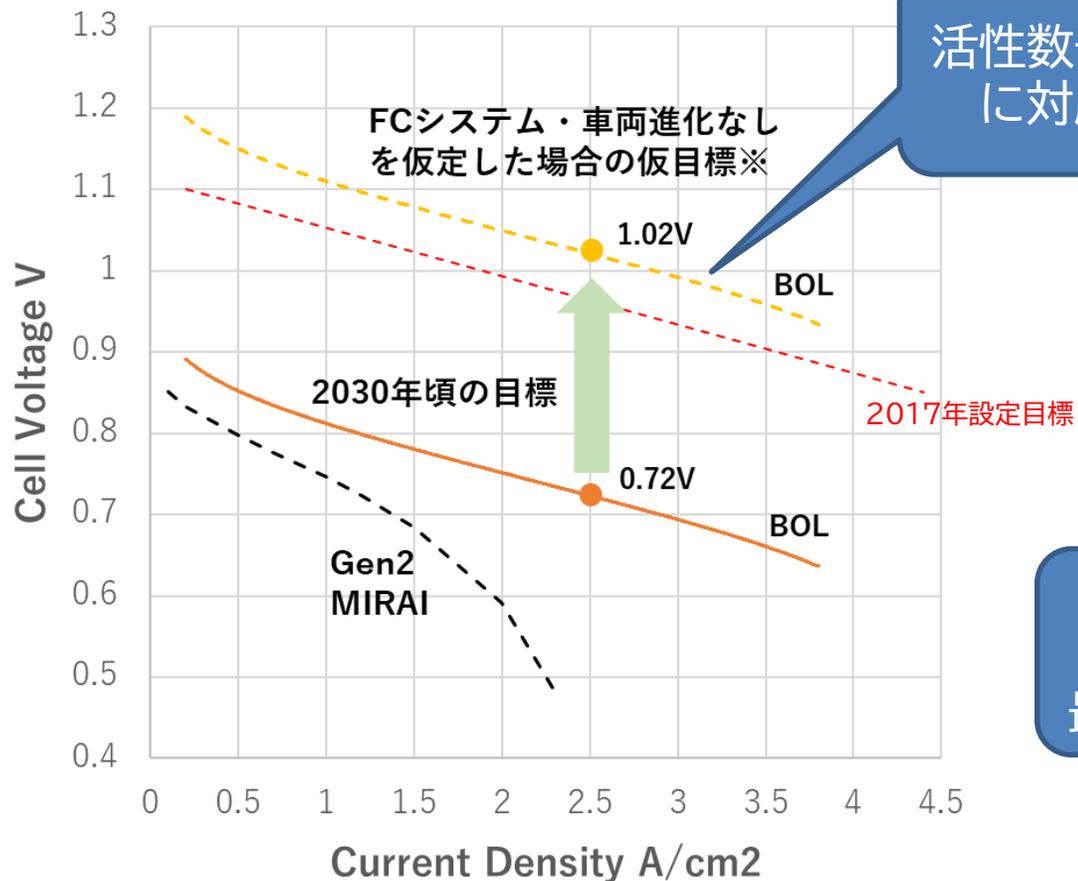
2040年頃

- 44トントラック
- ・スタック×2
- ・ラジエータ×1

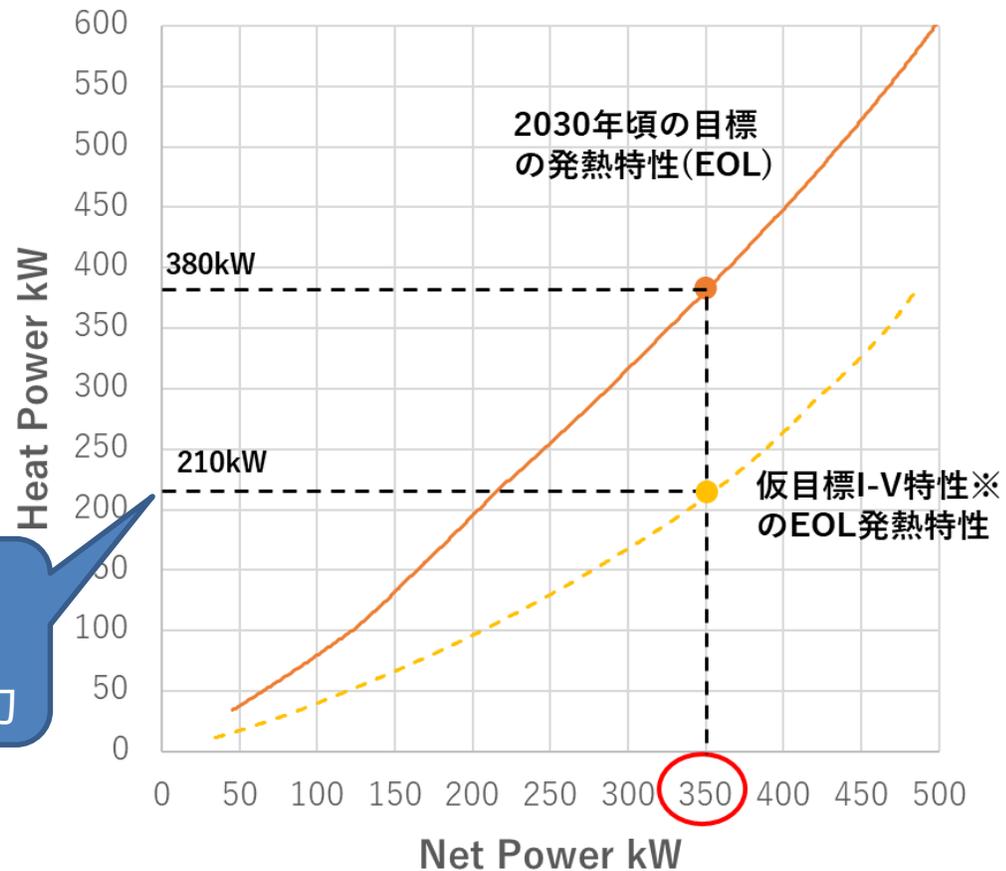
項目		2040年頃の目標値	参考:2030年頃の目標値	
車両		44トントラック	25トントラック	44トントラック
製品目標	耐久時間	5万時間	←	
	航続距離	1000km以上	-	
出力	FC定常出力 [kW] ※走行抵抗を現行値とした場合	350	200	300
	システム最大出力 [kW] ※走行抵抗を現行値とした場合	450	300	400
車両・システム	走行抵抗(空気抵抗Cd)	現行値(非公開)~10%低減	現行値(非公開)	
	FCスタック数 [基]	2	2	4
	セル枚数 [枚]	330	←	
	セル面積 [cm ²]	273, 293	273	
	2次電池容量 [kWh]	90	←	
	ラジエータ放熱量 [kW]	210, 220, 263※最大水温 120℃前提	210	336
	FC最大水温[℃]	105, 120	105	
	FC補機消費電力 ※Gen2を100%とした比率	ACP:93%, WP:90%, HP:0%,FDC:80%, RadFan:80%	各100%	
耐久要件	耐久走行パターン	WHVC+始動停止(1回/cycle)	←	
	動力性能要件(耐久走行後)	350kW定常発電可能	200kW定常	300kW定常
触媒耐久前提	触媒溶出・析出速度(対Gen2)	1, 1/30	1	

(共通)各種アプリの中で最も厳しい大型トラックの製品目標からI-V目標を算出
(2040年)2030年目標の課題となっていた44トントラックの目標を見直し

I-V特性



FC発熱量



I-V特性だけへの性能向上割り付けでは不成立



エアコンプレッサーACP
豊田自動織機様HPより



FC用DCDCコンバータ(FDC)



水素循環ポンプ(HP)
豊田自動織機様HPより

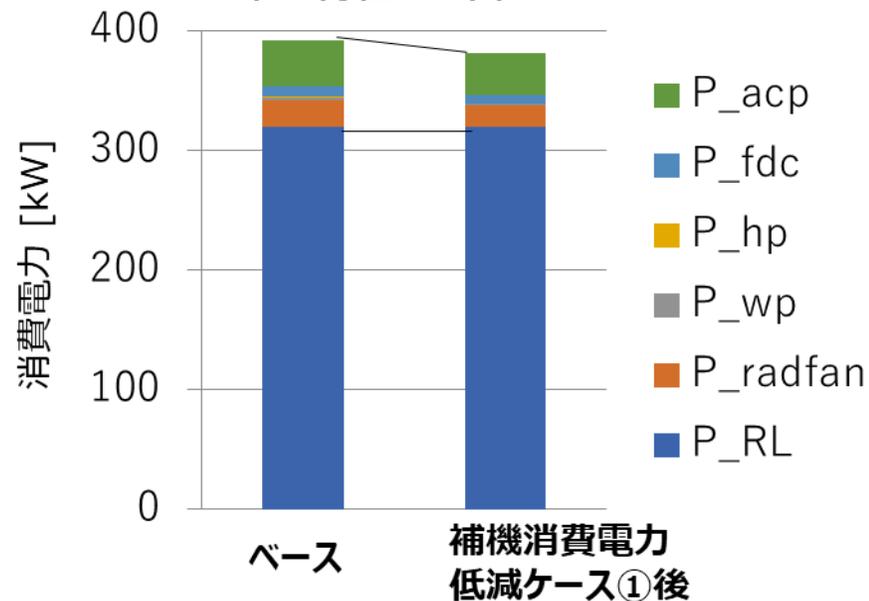


FCウォーターポンプ(WP)



ラジエータ用ファン(RadFan)
デンソー様HPより

走行負荷に対する補機消費電力内訳@熱定格出力点
(IV特性:B案)



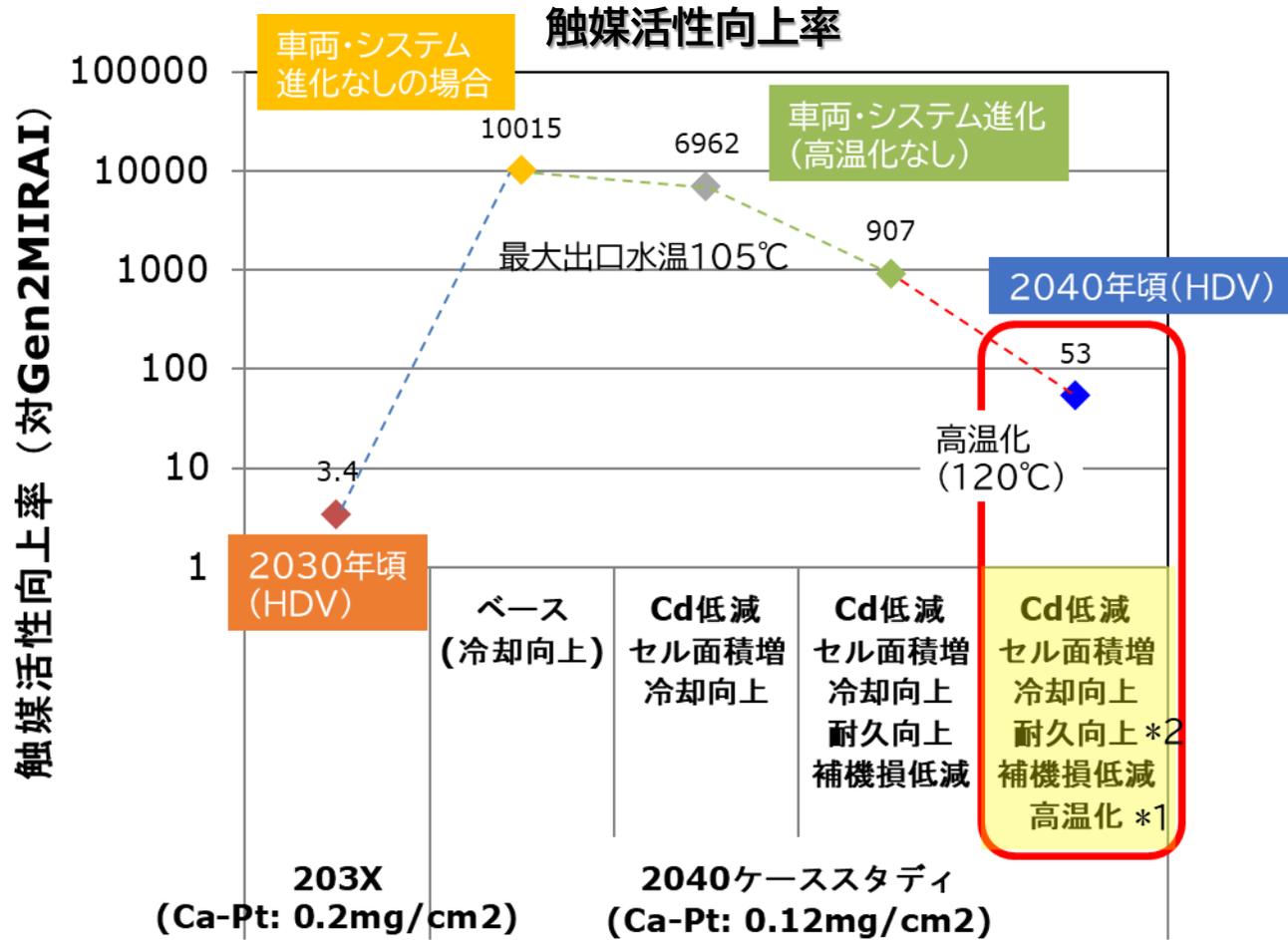
各補機消費電力低減ケース(ベースに対する比率)※デンソー様試算

	ケース①	ケース②	ケース③
ACP	93%	96.5%	98.25%
WP	90%	95%	97.5%
HP	0	0	0
FDC	80%	90%	95%
RadFan	80%	90%	95%

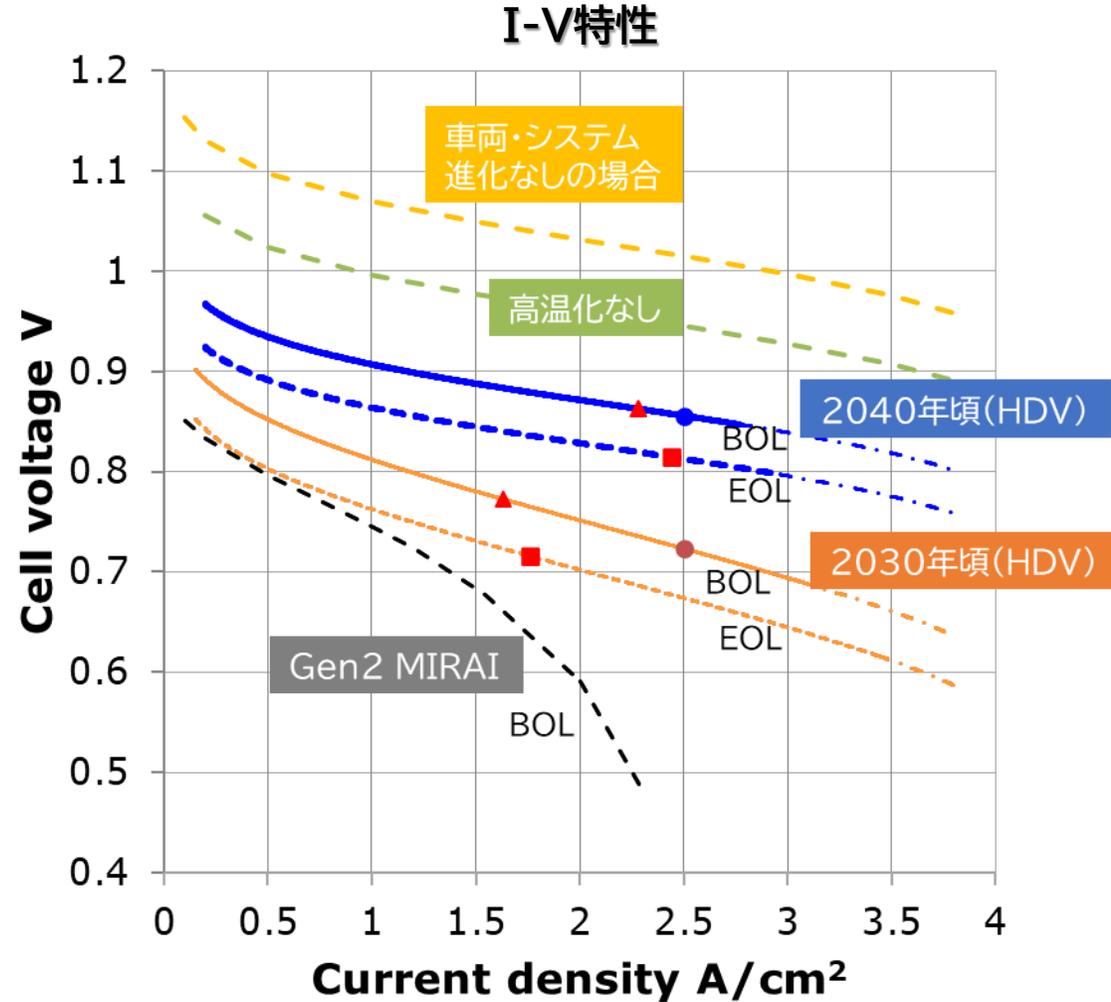
IV性能要求値, 燃費への影響を解析

補機消費電力低減による効果をケーススタディ

車両走行抵抗低減・システム冷却進化・補機消費電力低減等を含めたケーススタディ



*1)高温化:最大出口水温120°C
 *2)耐久向上:触媒溶出・析出速度Gen2の1/30



2040年WGとも協議し、活性向上率100倍以内となる技術シナリオを選定、I-V目標を設定

2020

2030

2040

FC-HDV普及開始

本格普及

各種アプリケーションに普及



Gen2 MIRAI



2040年頃
(HDV全般~44トン)
ディーゼルパリティ



2030年頃(HDV~25トン)

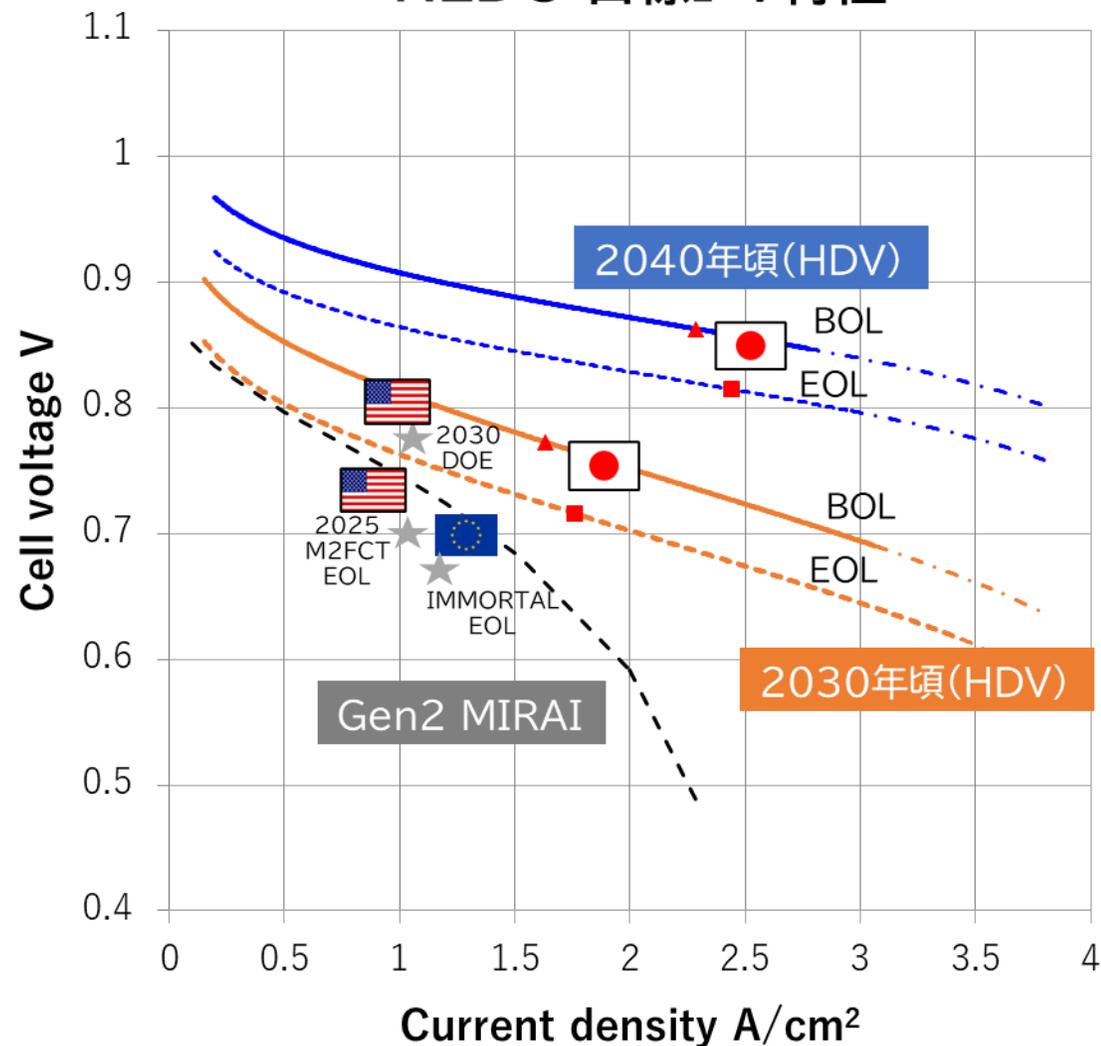


FCV(検討中)



各種アプリケーションに活用

NEDO 目標I-V特性



FC製品・アプリケーションの普及シナリオから, システム進化も踏まえてI-V目標を設定

FC目標の海外との比較

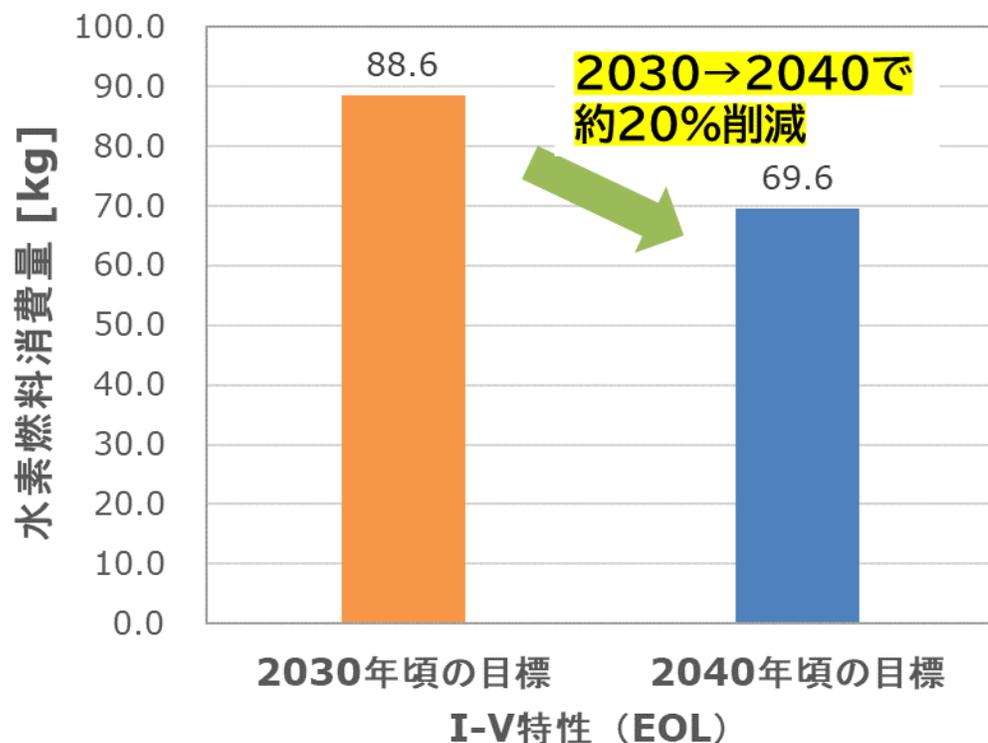
	NEDO (2030年頃) 	NEDO (2040年頃) 	DOE※1 (2030) 	DOE※1 (Ultimate) 	M2FCT※2 (2025) 	IMMORTAL※3 
対象アプリケーション	大型トラック・船舶・鉄道・建機・農機・フォークリフト	大型トラック・船舶・鉄道・建機・農機・フォークリフト	大型トラック	大型トラック	大型トラック	大型トラック
冷却出口最高温度 [°C]	105	120	—	—	90	—
動作点I-V	(EOL)0.72V @1.77A/cm ²	(EOL)0.81V @2.44A/cm ²	0.769V @1.09A/cm ²	0.769V @1.09A/cm ²	(EOL)0.7V @1.07A/cm ²	(EOL)0.675V @1.2A/cm ²
Pt目付量 [mg/cm ²]	0.24	0.14	0.3	0.25	0.3	—
Pt量 [g/kW]	0.19	0.07	0.357	0.298	0.4	—
耐久時間 [hr]	50,000	50,000	25,000	30,000	25,000 (30,000@'30)	30,000

※1: DOE Program Record #19006, “Hydrogen Class 8 Long Haul Truck Targets”, Aug. 2019
 ※2: DOE Annual Merit Review 2021, “M2FCT: Million Mile Fuel Cell Truck Consortium” (Project ID: FC339)
 ※3: IMMORTAL Website, https://immortal-fuelcell.eu/index.php/about-immortal/overview#_ftn3

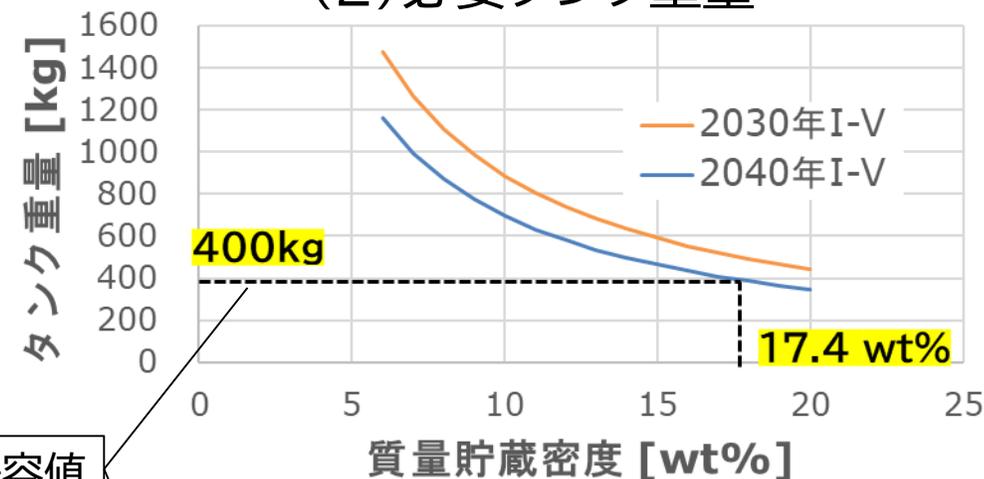
幅広いアプリに対する共通目標として海外と比べて高い性能・耐久目標を設定

航続距離1000kmとした場合

(1)必要な燃料(WHVC)

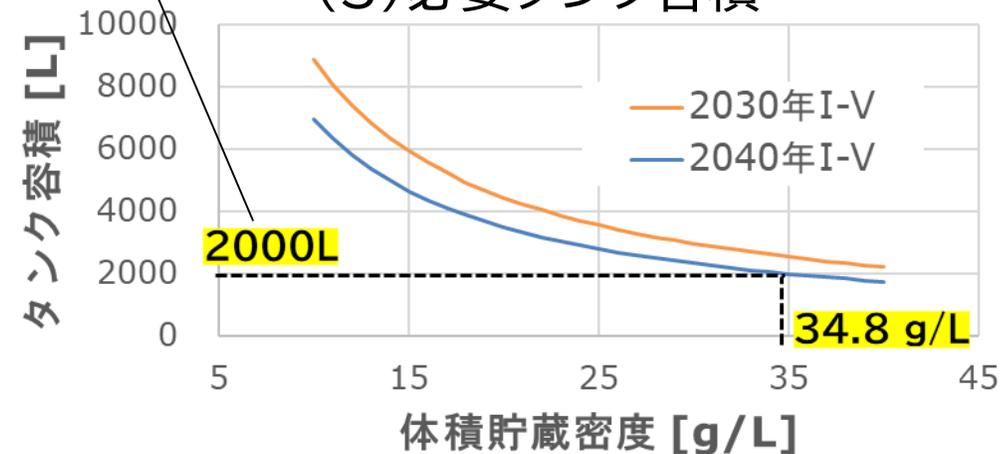


(2)必要タンク重量



タンク搭載許容値

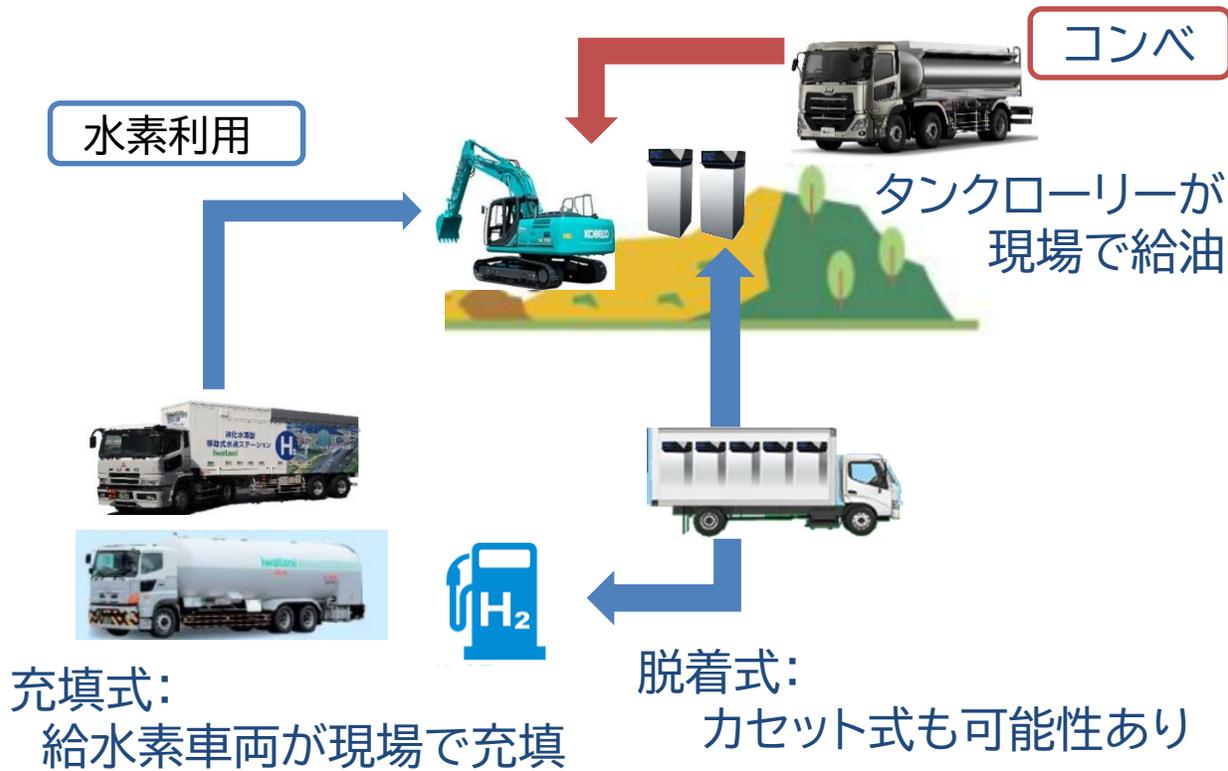
(3)必要タンク容積



燃費は約20%低減, タンク搭載許容値からタンクの質量貯蔵密度, 容積貯蔵密度の要求値を提示

	航続距離/ 連続運転時間	燃料補給	備考
25トンクラス大型トラック 44トンクラス大型トラック	1000km	水素ST	国内規格は海外より一回り小さい。搭載スペース増加のため 規制緩和 も必要。 ※ 全長+2m(トラクタ)、+1m(単車)、質量+2t を涉外中。
内航貨物船	5日	水素ST	内航貨物船は質量許容 沿岸客船は2~3日運用を稼働率考慮し選定 将来貯蔵密度向上で小型化期待
沿岸客船	2日(将来7日)	移動充填車 水素充填船	
鉄道 2両編成	500km	基地ST	屋根上搭載検討し高圧貯蔵で500km走行を目標。運用で充填回数増やせる。 1000kmは電車置換想定。
油圧ショベル 20トンクラス	4hr	移動充填車	20tは搭載量増加見直し。 移動充填車など があれば半日運用可
13トンクラス			
フォークリフト	4.5hr	水素ST(自前)	LiB車に対応し、昨年比2倍
農業用トラクタ 50kWクラス	4hr	移動充填車	泥寧地での沈み込みのため質量増加はネック。 移動充填車などがあれば半日運用可

エネルギー密度が小さい水素でも運用可能な使用条件を、製品メーカーと個別に協議
⇒ 充填手段開発、規制緩和も進めることで航続距離、時間を短縮

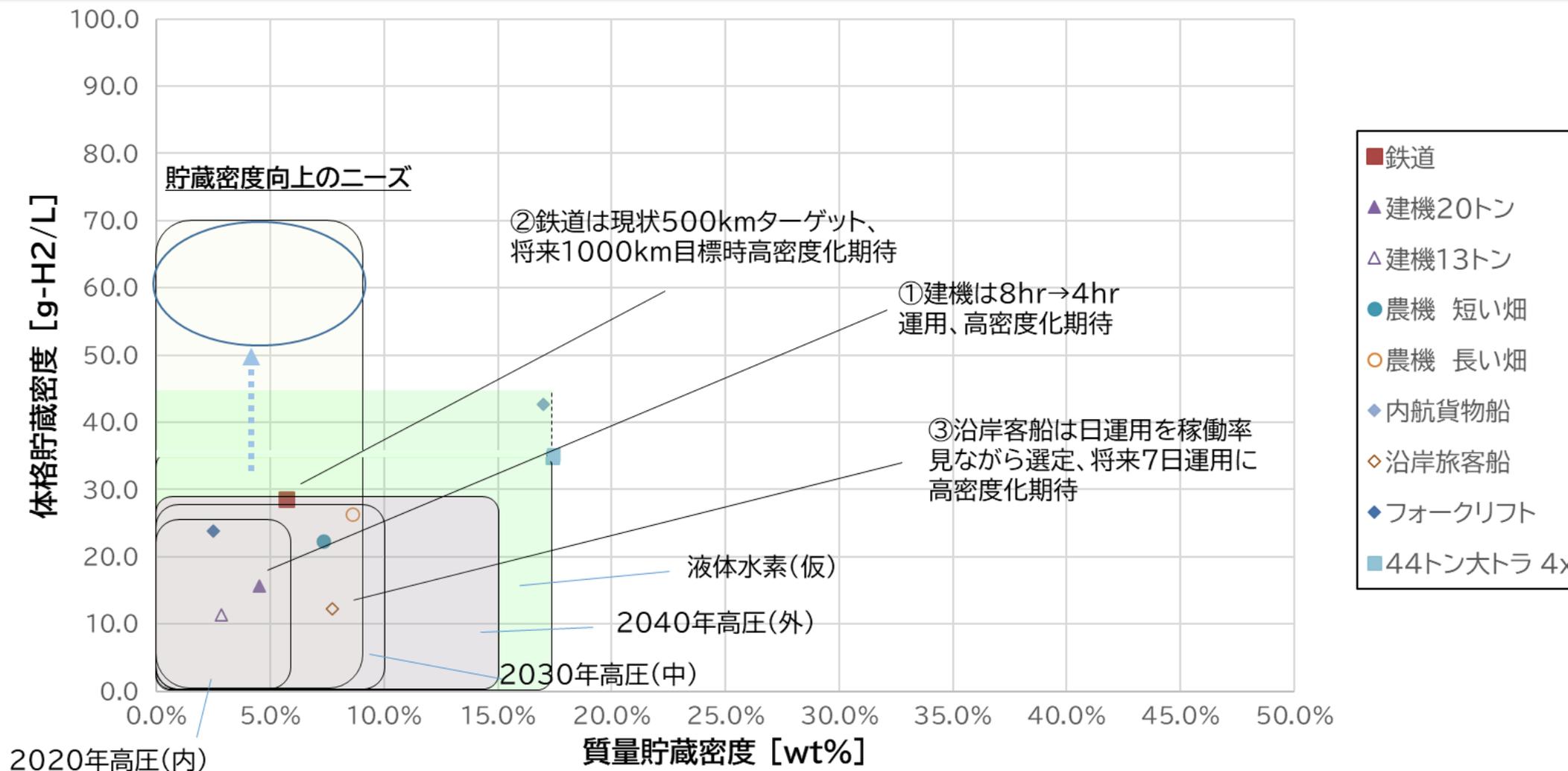


出典:
<https://ishigochi-group.com/group/ishigochi/ishigochiservice/refueling-service/itsukaichi/>



出典:
<http://www.toyotatsushopetroleum.com/jp/business/>

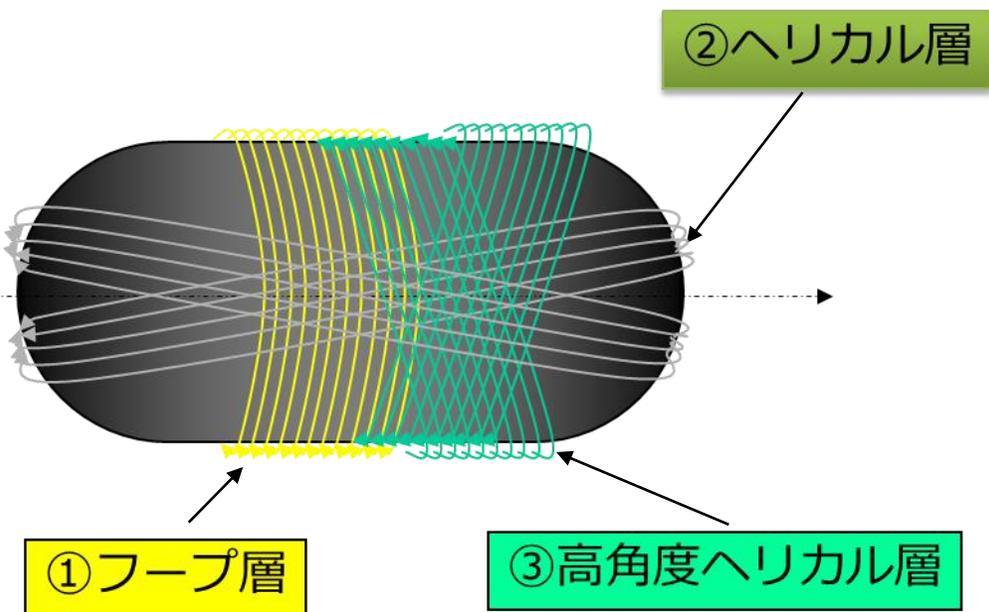
現場で充填可能な手段の開発・整備が進んだ場合、水素・燃料電池適用の敷居が下がると期待される。



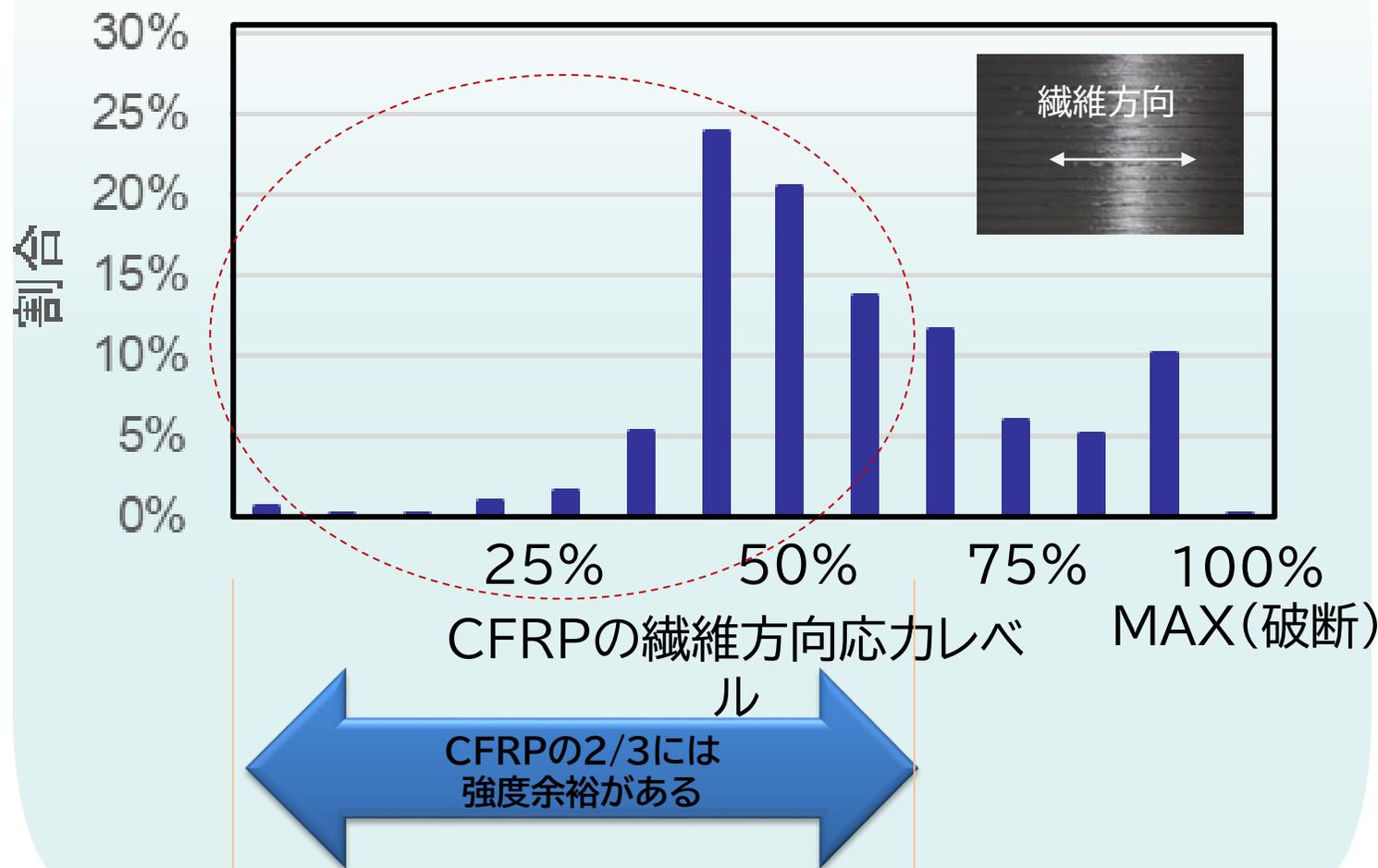
充填手段の開発とセットでの使用条件の緩和、規制緩和を想定して貯蔵効率目標を示した貯蔵技術の進歩を想定して、各種用途に適用の可能性はある
潜在的ニーズに応えるため、体積貯蔵密度改善技術が必要

設計上の支配因子

FW+CFRPの因子①～③



タンク破裂直前でのCFRP応力分布割合(FEM)

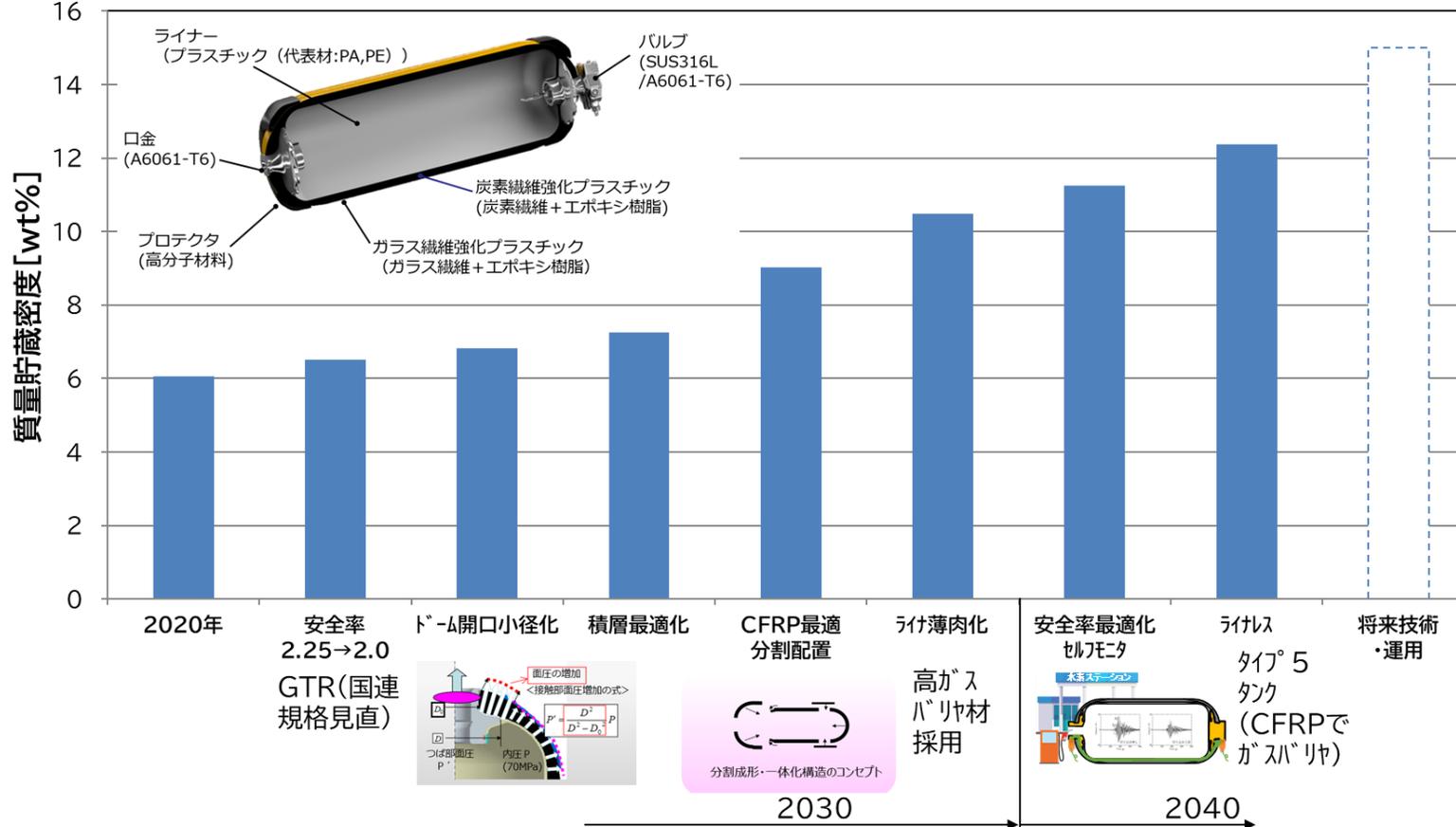


出典: 第2回FC-Cubicオープンシンポジウム資料

フィラメントワインディング(FW)工法で製造されたタンクは、部分的に繊維強度の余裕があることが知られている ⇒ 均一化により材料削減が可能

水素貯蔵の目標値

< 高圧水素貯蔵技術のシナリオ >



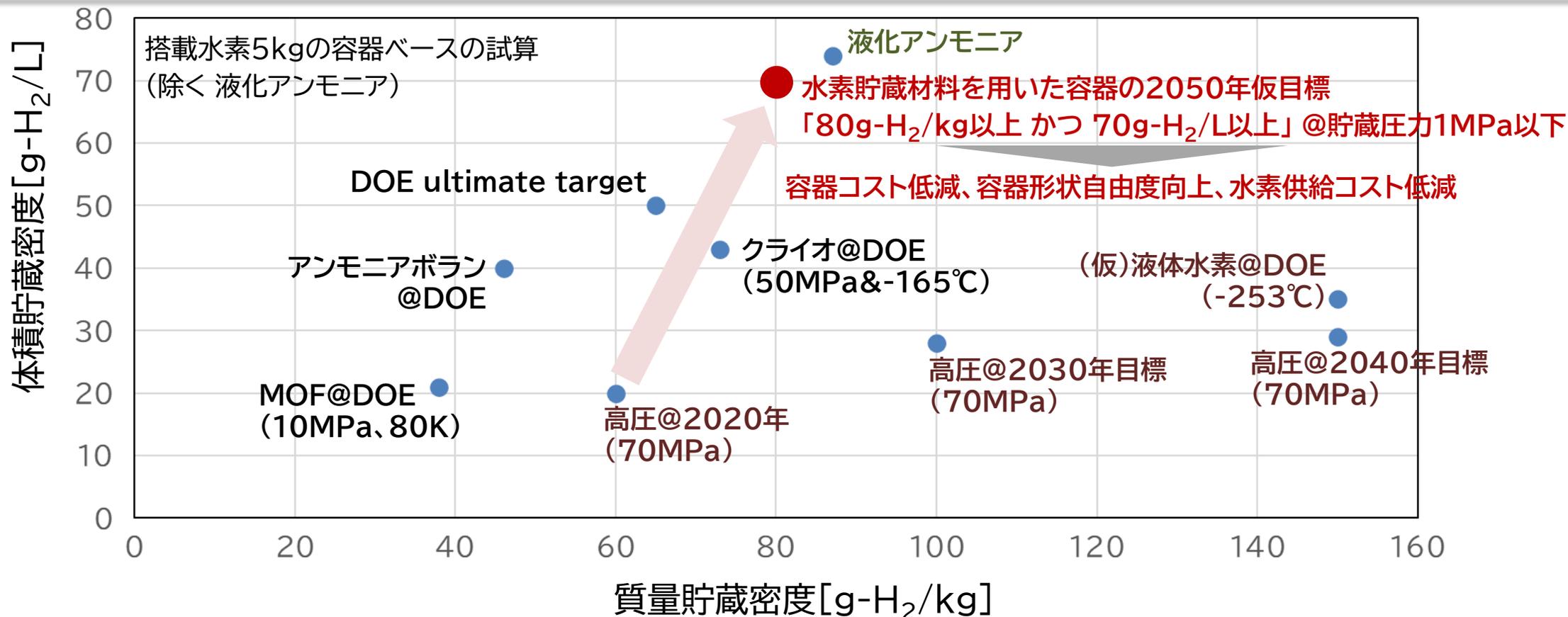
CFRP削減量から体積減少分を算出、体積貯蔵密度目標を検討

質量貯蔵密度 = 搭載水素質量(kg) / 貯蔵容器質量(kg) × 100
 体積貯蔵密度 = 搭載水素量(g) / 貯蔵容器体積(L)

※1 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。目標の前提はL/D≒5の容器
 ※2 数値検討中につき2017年公開の数値を記載
 ※3 使用圧力は1MPa以下を目指す

貯蔵方式	2030年頃の目標		2040年頃の目標		2050年頃の目標	
	質量貯蔵密度 wt%	体積貯蔵密度 g/L	質量貯蔵密度 wt%	体積貯蔵密度 g/L	質量貯蔵密度 wt%	体積貯蔵密度 g/L
高圧水素貯蔵	10	28	15 以上※1	29 以上※1	—	—
液体水素貯蔵	17※2	検討中	検討中	検討中	—	—
水素貯蔵材料	—	—	—	—	8 以上※3	70 以上※3

材料、構造、生産技術、検査、規制緩和、リサイクル、DX の開発項目を設定して達成を目指す



容器材質	SM5208	アルミニウム
水素貯蔵材料の質量貯蔵密度(仮)目標	186g-H ₂ /kg	115g-H ₂ /kg
水素貯蔵材料の体積貯蔵密度(仮)目標	115~184g-H ₂ /L (材料充填率80~50%の場合)	118~188g-H ₂ /L (材料充填率80~50%の場合)

液化アンモニアに匹敵する革新的水素貯蔵材料の目標（貯蔵密度・貯蔵圧力）を設定