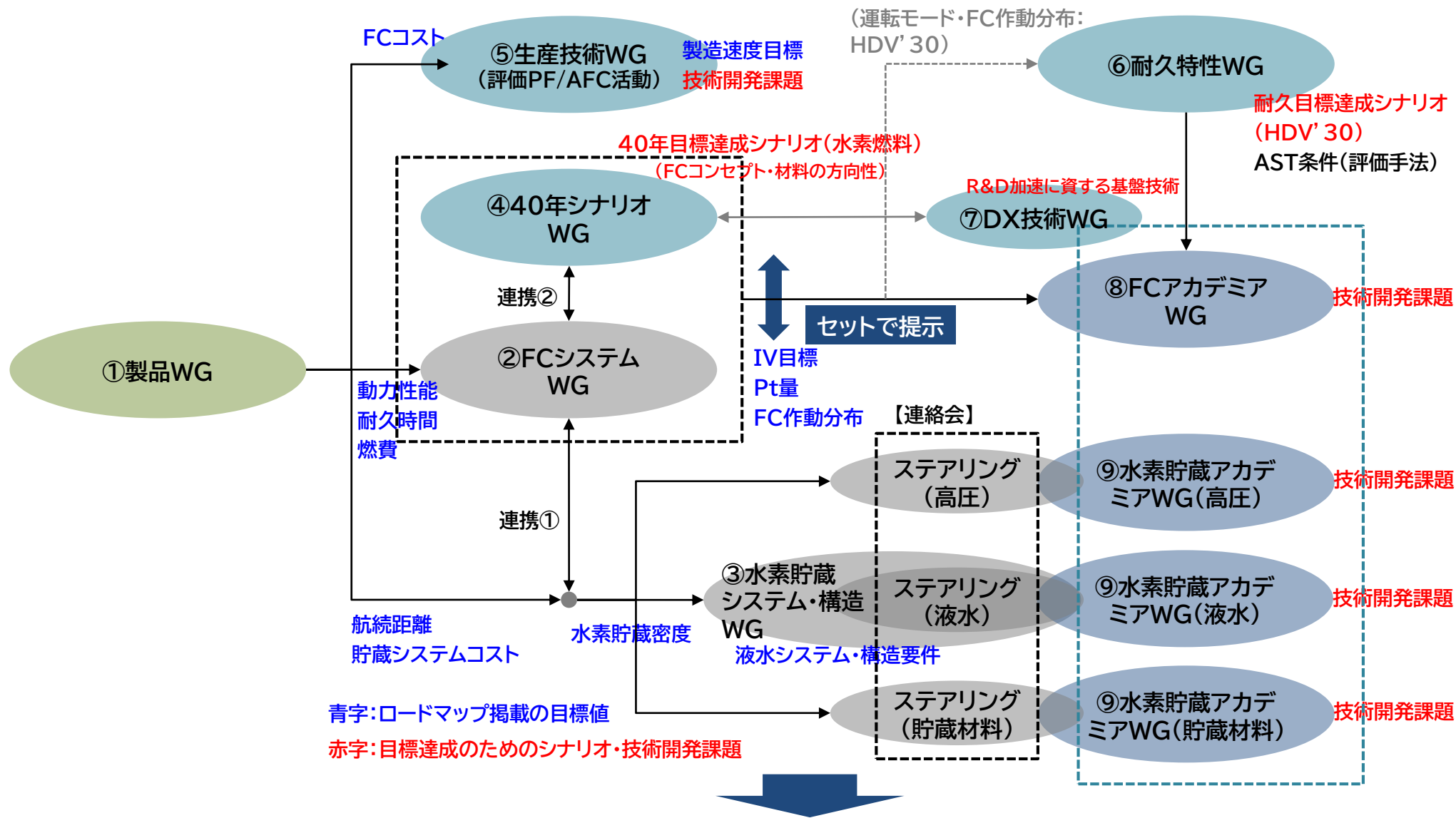


NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ報告会

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ (FCV・HDV用燃料電池)

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)30年HDVロードマップ概説 | 13:05~13:20(15分) |
| (2)製品・システム(FC・水素貯蔵) | 13:20~13:40(20分) |
| (3)40年シナリオ(FC) | 13:40~14:05(25分) |
| (4)生産技術(FC) | 14:05~14:15(10分) |
| (5)水素貯蔵技術 | 14:15~14:25(10分) |
| (6)DX技術 | 14:25~14:35(10分) |
| 質疑応答 | 14:35~14:50(15分) |



産業界・アカデミアの有識者を糾合した検討委員会(計4回)を開催し、各WGのロードマップ検討内容の報告・議論を踏まえ、ロードマップおよび解説書の最終案を合意形成







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) 30年HDVロードマップ概説

プレゼンター: 米田雅一(みずほリサーチ&テクノロジーズ)、小山茂樹(FC-Cubic)

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

- 燃料電池の本格普及を具現化するために取り組むべき技術的課題を明確化するとともに時系列に整理した「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ」(FCV・定置用FC)は2017年に現行バージョンを公表してから5年が経過
- 近年、世界的なSDGsの広がり、主要各国のカーボンニュートラル宣言をはじめとした社会環境の変化が急速に進むなかで、移動体の変革がその重要な1つとなっており、2017年ロードマップに明示した乗用車に加え、変革すべき移動体のカテゴリーが急速に広範囲化
- 世界各国で大型・商用モビリティ(以下、HDV)のパワートレインとして燃料電池が注目され、その代表的なカテゴリーがCO₂排出量が多いトラックへの適用であり、さらに鉄道、船舶、フォークリフト、重機、建機といった用途への適用が注目されつつある状況
- 燃料電池のHDVへの適用において重要となる広作動温度への対応や耐久性向上に対し、産業界や大学・研究機関と議論を重ね、2030年頃の本格普及開始時に要求される①HDVの各アプリケーションの製品目標、②それらの製品要求を満足する共通目標となるFC性能、③スタックを構成する材料目標と開発の方向性へブレークダウンし、2022/3にHDV用燃料電池ロードマップを策定、公開
- 今年度は将来のディーゼルパリティの達成に向け、新たに2040年頃の製品目標、FC材料開発の方向性(40年シナリオ)・水素貯蔵技術課題に加え、本格普及開始を見据えたFC生産技術、水素・FCの開発力の強化に結びつけていくためのデジタル・トランスフォーメーション(DX)技術、人材育成の在り方を整理

アプリケーション	規制や動向
<p>大型トラック</p> 	<p>日本: 8トン以上の大型の車について2020年代に5千台(累計)の先行導入を目指す 水素や合成燃料等の価格低減に向けた技術開発・普及の取組の進捗も踏まえ、 2030年までに2040年の電動車の普及目標を設定(規制なし)</p> <p>米国: (CA州+15州) 2030年Class 7-8の30%、Class 7-8トラクターの50%をZEV化 Class 7-8は2045年以降、コンテナ陸送用ドレージトラックは2035年以降、100%ZEV化</p> <p>欧州: 新車トラックのCO₂排出量を、2019年に比べ2025年に15%、2030年には30%の削減</p> <p>タイ: (政府目標)2035年迄に 新車販売100%ZEV化 (BET、FCTのみ) 内商用車: '25年 3.1万台、'30年 15.6万台、'35年 45.8万台</p>
<p>船舶</p> 	<p>2030年ゼロエミッション(ZE)を目標に掲げる地域や、ZEに向け取組みを実施する地域の存在</p>
<p>鉄道</p> 	<p>ヨーロッパの一部の国では既に新製又は大規模改修時に排ガス規制あり、ZEの規制予定なし</p>
<p>建設機械</p> 	<p>ノルウェー: 7都市で2030年までに建設現場のZE化方針 C40に参加の「オスロ、ブダペスト、ロサンゼルス、メキシコシティ」が2030年までに都市建設プロジェクトからのCO₂排出量半減を目指す”Clean Construction Declaration”を締結</p>
<p>フォークリフト</p> 	<p>米国 CA州Clean Air Action Planにて、2030年までにLA港、LB港のフォークリフトを含む全ての荷役機器をZEV化する計画進行</p>
<p>農業用機械</p> 	<p>ディーゼル禁止規制(例:パリ2024年以降)</p>

CNやZEの潮流に応じ、世界中で規制や取組みが活発化

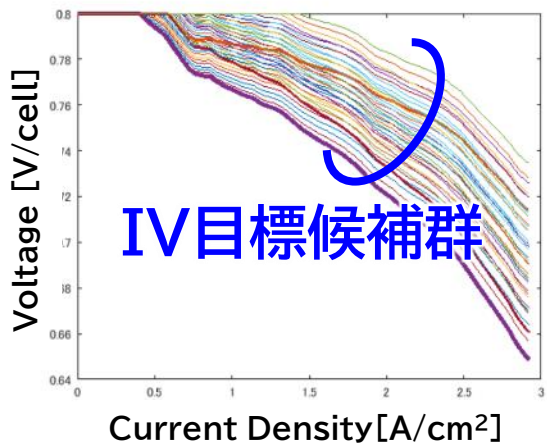
各アプリケーションの2030年頃の主要要求仕様一覧

アプリケーション	システム 最大/定格出力 [kW]	FCシステム 定格出力 [kW]	使用 外気温 [°C]	耐久時間 [万hr]	冷却 性能 [kW/°C]	最高使用 高度 [千m]	FCシステム 許容搭載 スペース [L]	FCシステム 許容搭載 重量 [kg]
25トンクラス 大型トラック	300	200	-30~50	5	3.5	5(性能減を許容) ³	502	230
44トンクラス 大型トラック	400	300	-30~50	5	7.0	5(性能減を許容) ³	502	460
内航貨物船	600	600	-25~50	6	100	0.02	18,000	11,000
沿岸旅客船	480	480	-25~50	3	100	0.02	7,000	4,000
鉄道2両編成	800	400	-30~45	5	6	1.3	1,300	1,000
油圧ショベル 20トンクラス	120	120	-30~50	1	1.27	5(出力を制限)	1,300	1,000
油圧ショベル 13トンクラス	70	70	-30~50	1	1.0	5(出力を制限)	400	500
フォークリフト 1-2トンクラス	30	8	-20~40	2	1.0	0.5	339	500
農業用 トラクタ	50kW~	50kW~	-30~45	1	1.14	2	125	250
						50kWクラスを想定		

I-V目標の候補

材料目標への繋がりを考え、**活性指標**、**オーム抵抗**、**ガス拡散抵抗**のパラメータの組合せでIV候補を表現

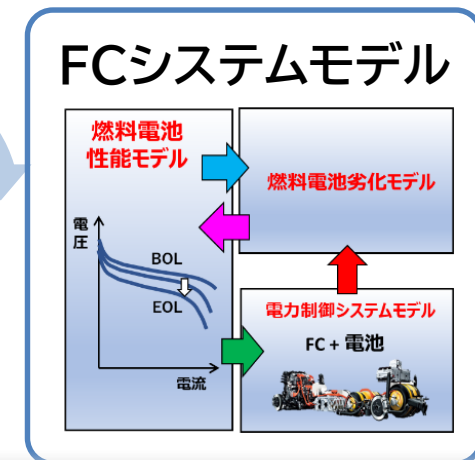
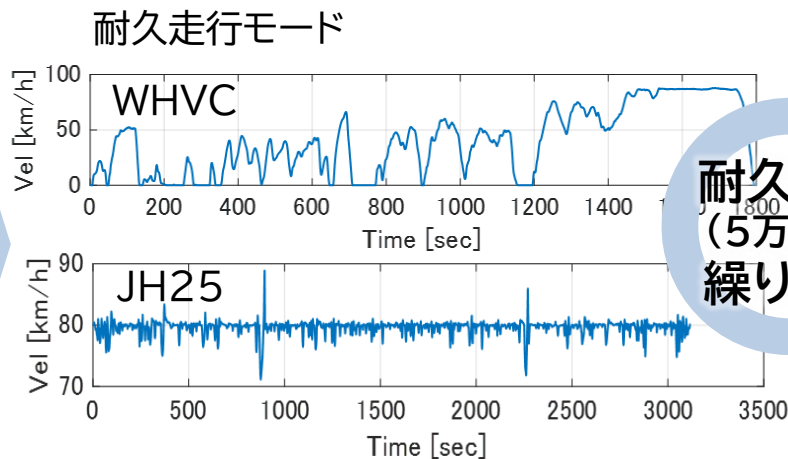
$$V = V_{OCV} - \underbrace{R_o I}_{\text{オーム抵抗}} - \frac{RT_{cl}^{out}}{\alpha F} \log\left(\frac{I}{i_0}\right) - \frac{RT_{cl}^{out}}{\alpha F} \log\left(\frac{C_{ref}}{C_{O_2} - \underbrace{R_{gas} \frac{I}{4F}}}_{\text{ガス拡散抵抗}}}\right)$$



V_{OCV}	開回路電圧
R	気体定数
T_{cl}^{out}	冷却水出口温度
α	バトロホルム式の移動定数
F	ファラデー定数
C_{ref}	基準酸素濃度
C_{O_2}	セル面内代表酸素濃度

使われ方に応じたFC劣化を予測

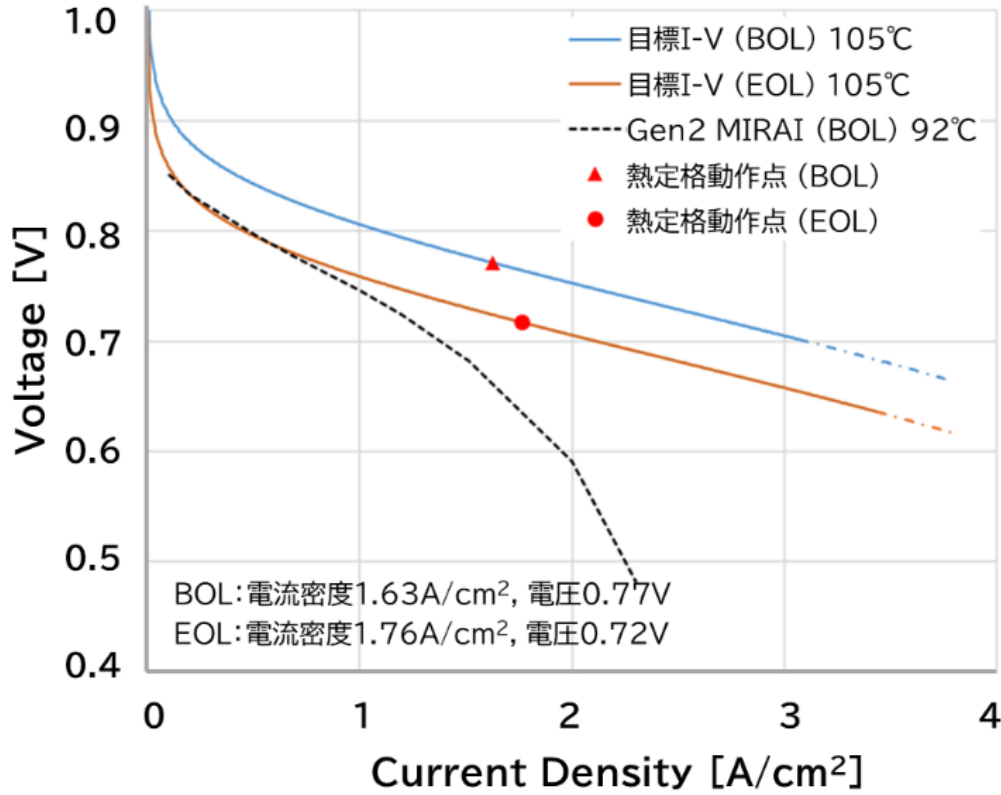
各アプリの使われ方を想定して、**市場劣化を模擬**
最低限満たすべき性能要件からIV目標を絞り込み



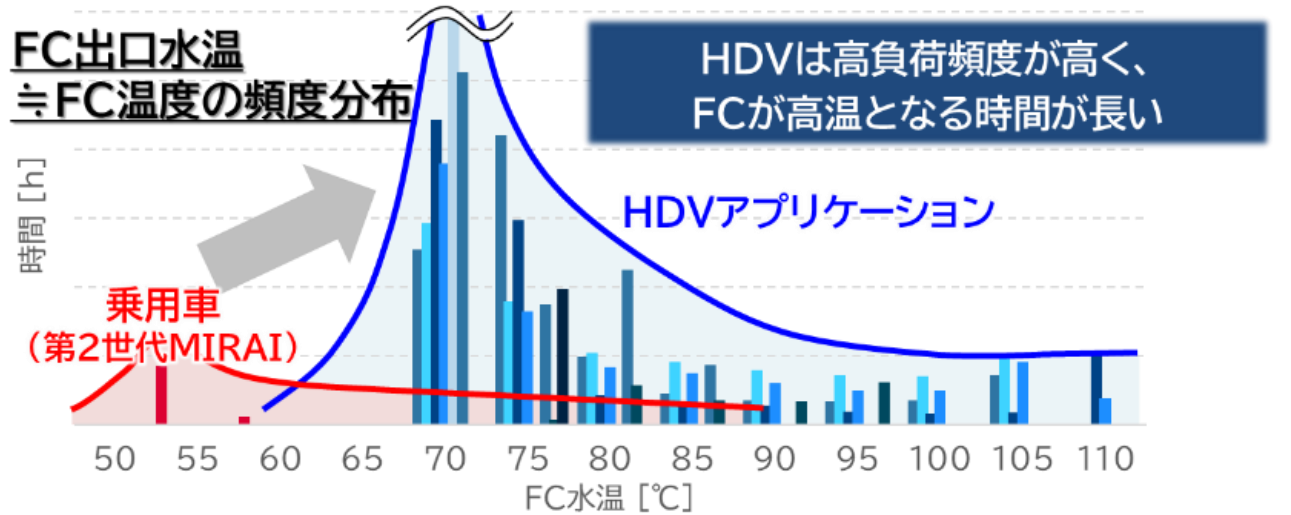
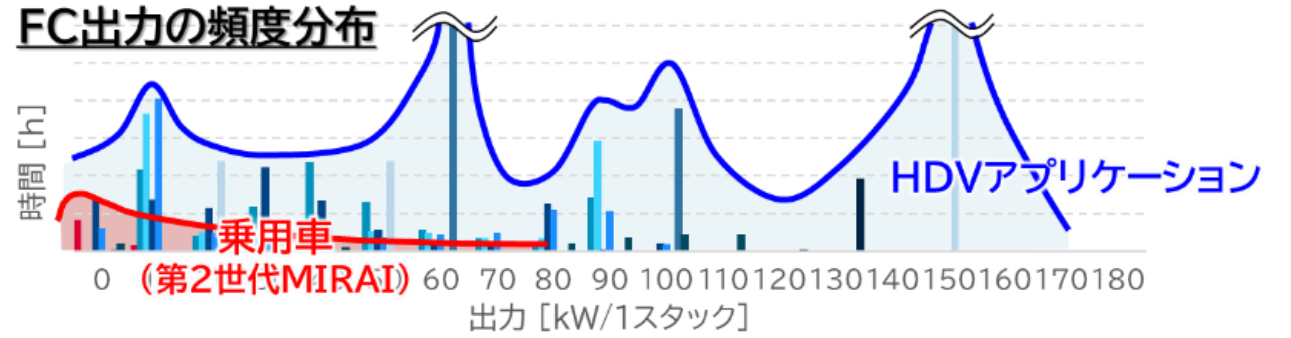
TOYOTA CENTRAL R&D LABS

耐久後の動力性能要件判定(OK/NG)

【Step1】大型トラック(25トンクラス)を対象にIV目標を検討し、【Step2】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トンクラス)、農業用トラクタ(50kWクラス)、フォークリフト(1-2トンクラス)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



※ EOLはWHVC走行後のIV特性
 ※ Pt量0.19g/kW前提(FCVと比較して長時間耐久性が要求されるため)



Step1で検討した目標IVにて、他アプリケーションの動力性能要件を包含することを確認(次頁)
 目標IV以外で考慮すべき点として、FCスタックの状態頻度が乗用車(FCV)と異なることであり(右:代表的なFCの頻度分布)、今後、各アプリケーションごとのストレスの違いを耐久試験の策定に反映

アプリケーション

耐久走行モード

性能要件

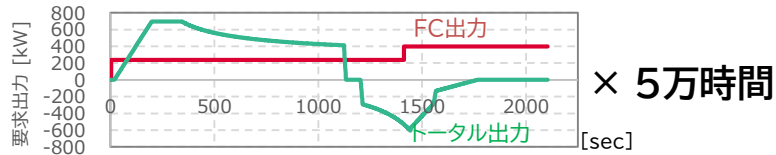
判定

2両編成
鉄道



スタック基数:4基
冷却性能:10kW/°C

都市部近郊の線区を模擬



耐久走行モードが
走破できること

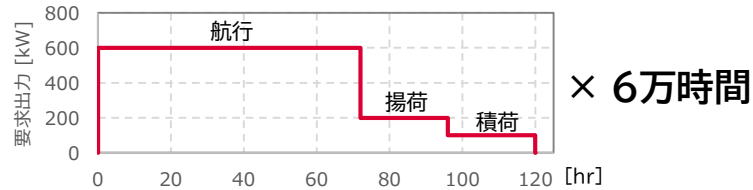


内航貨物船



スタック基数:4基
冷却性能:- (海水冷却)

国内貨物輸送を模擬



耐久走行モードが
実施できること

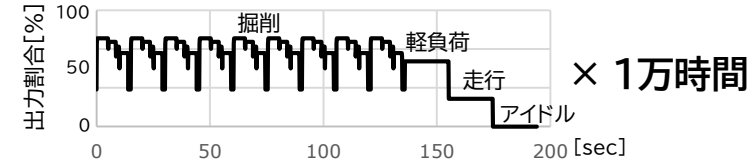


20トン
油圧ショベル



スタック基数:1基
冷却性能:1.8kW/°C

土砂の掘削積込 & 軽作業を模擬



連続で掘削作業が
可能なこと



50kWクラス
トラクタ



スタック基数:0.32基
冷却性能:1.71kW/°C

耕うん & 旋回作業を模擬



連続で耕うん作業が
可能なこと



Step1で設定したIV目標にて、他アプリの要件を包含することを確認

項目		現在	2030年頃	2030年頃以降
システム仕様	FCシステム 体積出力密度	0.24kW/L	0.60kW/L	—
	作動条件範囲	起動最低温度-30℃ 作動最高温度90~95℃ (冷却水出口温度)	起動最低温度-30℃ 作動最高温度105℃ (冷却水出口温度) 入口加湿度 20%RH	起動最低温度-30℃ 作動最高温度105℃以上 (冷却水出口温度)
スタック性能	I-V要求性能	—	【連続(熱)定格出力点】 BOL:0.77V@1.63 A/cm ² EOL:0.72V@1.76 A/cm ²	冷却性能向上によるラジエータ を含めたシステム小型化 効率向上による燃費改善、出力 密度向上によるFC小型化(耐 久時間との両立が前提)
	耐久性	約4,100時間	50,000時間	
コスト	FCシステム	—	0.9万円/kW	更なるコスト低減⇒ディーゼル パリティが成立するコスト達成
	FCスタック	—	0.45万円/kW	
Pt量		—	0.19g/kW	更なるPt量低減⇒資源循環可 能となるレベルへの低減

2040年頃のFCシステム目標は今年度実施(後ほど説明)

主要材料の2030年頃の物性目標と現状

要素	項目		2030年頃の目標値		実測値		
			物性値	仕様・特性値	Gen2 MIRAI	一般材料	
空気極触媒(層)	PGM目付量 (mg/cm ²)			0.20	0.17	0.20	
	ECSA (m ² /g)		60		48	61	
	質量活性 (A/g) @0.9V	at100°C、100%RH	1,810		★	★	
		at80°C、100%RH	1,740		500	95	
	触媒層厚さ(μm)			6.0	9.1	7.4	
触媒層ガス拡散抵抗 (s/m)		at 80°C, 80%RH	10		9.1	18.1	
電解質	膜	膜厚 (μm)			8.0	8.5	25
		H ⁺ 伝導率 (S/cm)	at 120°C, 30%RH	0.032		0.018	0.016
			at 100°C, 40%RH	0.041		0.027	0.024
			at 80°C, 80%RH	0.12		0.106	0.086
			at -30°C, 0%RH	★		★	★
	水素透過性			★	★	★	
	酸素透過性			★	★	★	
	機械強度	(暫定)引張最大強度 (MPa) at 23°C, 50%RH		★		50	30
		(暫定)引張破断伸び (%) at 23°C, 50%RH		★		★	250
	アイオノマ	H ⁺ 伝導率(S/cm)	at 120°C, 30%RH	0.032		★	★
at 100°C, 40%RH			0.041		★	★	
at 80°C, 80%RH			0.12		—	★	
空気極触媒層抵抗(Ωcm ²)		at 120°C, 30%RH			0.13	0.77	0.37
		at 100°C, 40%RH			0.10	0.41	0.24
		at 80°C, 80%RH	0.035		0.10	0.060	
GDL・流路・セパレータ	GDL面積抵抗 (Ωcm ²)			0.0010	★	<0.01	
	流路・GDL(分子拡散抵抗) (s/m)		at 80°C, 80%RH	18	58.3 (並行流路)	60.8 (並行流路)	
	GDL/セパ、セパ/セパ等:接触抵抗合計 (Ωcm ²)			0.0065	★	—	
	GDL機械強度物性		(暫定)圧縮弾性率	★		★	
			(暫定)曲げ剛性 (N/mm)	★		★	0.9~1.5

ORR質量活性:3.4倍

膜プロトン抵抗:約半減

ガス拡散抵抗:約1/4~1/3

ガス拡散抵抗:約1/3

★:今後設定

★:今後測定

田中貴金属
Pt/C TEC10V30E

Chemours
Nafion™ NR211

Chemours
Nafion™ D2020

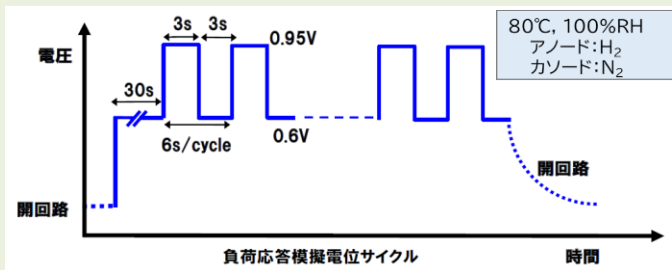
SGL CARBON
SIGRACET® 22BB

材料・部材		開発の方向性
電解質	膜	<ul style="list-style-type: none"> ■ 80℃、80%RH～120℃、30%RHの広範囲な作動条件におけるプロトン伝導性 ■ 10μm以下の薄膜化、補強層の組み込み ■ 高いガスバリア性、ラジカルクエンチ剤導入後のプロトン伝導性の維持 ■ 作動条件により変化する温度・湿度に対応できる弾性、剛性
	アイオノマー	<ul style="list-style-type: none"> ■ -30℃から120℃の広範囲な作動条件におけるプロトン伝導性と酸素透過性、およびPt系触媒への特異吸着の緩和 ■ プロトン伝導性、酸素透過性の向上、被覆形態の制御
触媒	空気極	<ul style="list-style-type: none"> ■ -30℃から120℃の広範囲な作動条件に適応し、性能と耐久を両立させる触媒 ■ 触媒活性の向上に対しては組成、形態、修飾、相互作用の観点からの新たなアプローチも必要 ■ カーボン担体の劣化抑制、非カーボン担体については、カーボン担体では求め難い機能(電子的相互作用・界面相互作用等)を積極的に利用した新たな触媒設計
	水素極	<ul style="list-style-type: none"> ■ -30℃から120℃の広い温度範囲における高い水素酸化反応(HOR)活性と耐久性の両立、耐酸化性 ■ H₂O₂生成の抑制、不純物耐性、転極耐性の向上
GDL		<ul style="list-style-type: none"> ■ 酸素拡散抵抗の低減(①薄くする、②空隙率を上げる、③幾何形状の工夫) ■ 熱・電子伝導性や解質膜や触媒層の安定保持のための高い剛性の確保
MEA		<ul style="list-style-type: none"> ■ 触媒層形成プロセスにおける各工程の現象解明、新規工程の検討

- 冷却水出口温度105℃に対して膜面で+10℃近く上昇、材料開発として-30℃～120℃の広範囲な作動条件の対応必要
- 触媒活性、プロトン伝導性の向上、ガス拡散抵抗の低減に加え、触媒・担体劣化抑制、膜劣化に起因するH₂O₂生成の抑制、ラジカルクエンチ剤の開発などHDVに要求される耐久性確保も重要な課題
- 材料・部材の「生産技術」については別途、FC生産技術ロードマップとして整理(後ほど説明)

耐久試験における材料評価の考え方として、ラボでの材料評価試験と実車の走行耐久品の相関をシミュレーションを用いて検証。このシミュレーションより2030年頃想定でのEOL性能を満足する目標条件と物性値を導出。

ラボ負荷応答サイクル耐久試験 (0.6V - 0.95V 矩形波)



空気極触媒のECSA低下を指標とし検証

2030年頃想定でのシミュレーション

第1世代MIRAI MEAでのラボ試験及びシミュレーション

実走耐久テスト 20万km後のMEAのECSA解析

HDT 2030年頃想定 5万時間運用でのシミュレーション

実走行耐久 (トヨタ自動車)

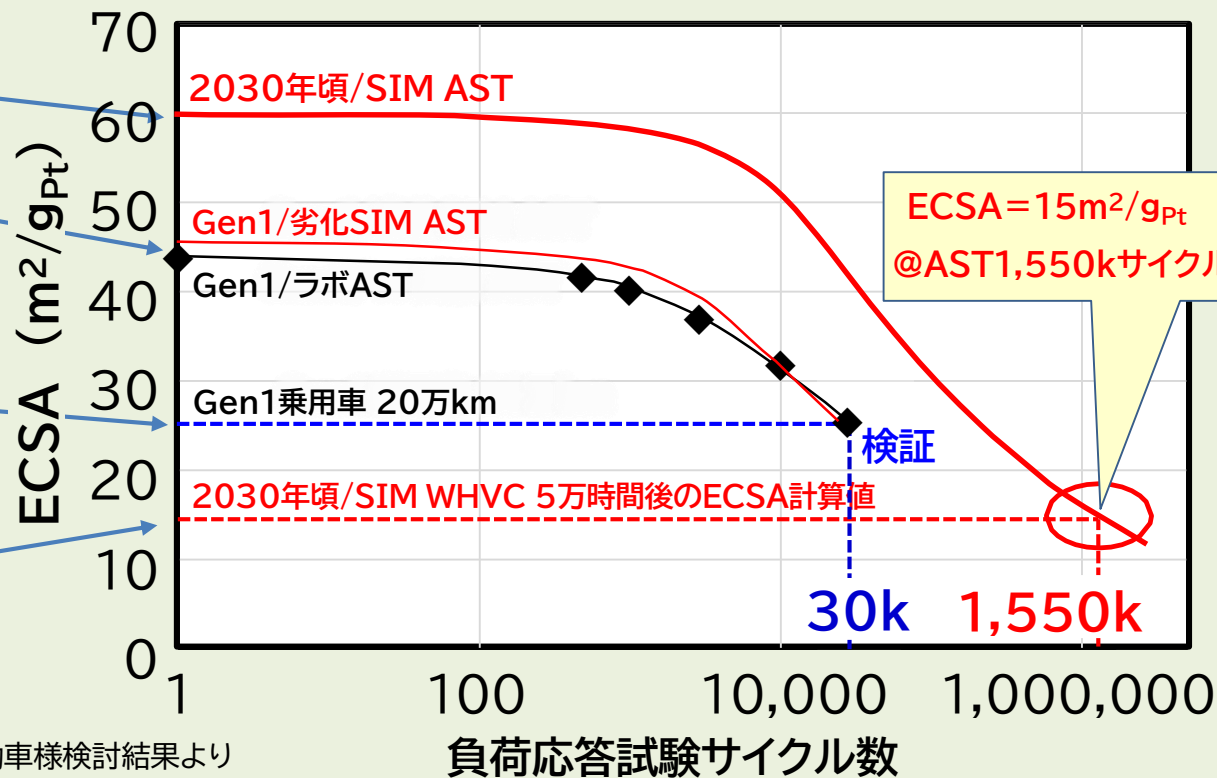


<https://global.toyota.jp/detail/4197769>

WHVCモード(トヨタ自動車)



負荷応答サイクル(AST)でのECSA推移 ~ラボ評価/劣化SIMの相関と2030年頃の目標設定~

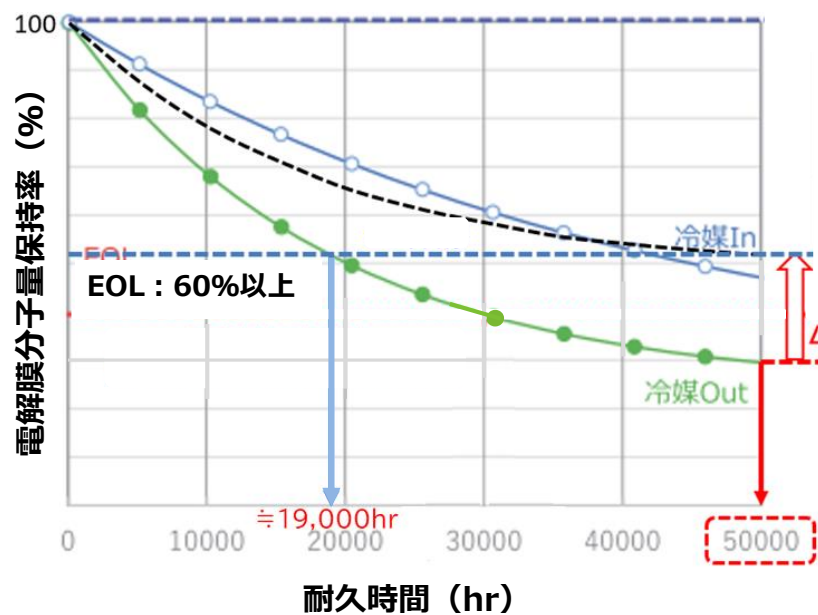


豊田中央研究所様/トヨタ自動車様検討結果より

性能耐久の検証手法として空気極触媒のECESAを指標とする評価を適用できることが明らかとなった。
シミュレーションより、2030年頃の目標はECESA: 15m²/g_{Pt} @負荷応答サイクル: 1,550k サイクル

耐久試験における材料評価の考え方として、2030年頃想定でのWHVCモード(トヨタ自動車)5万時間の頻度データを基に電解膜の劣化ストレスと分子量低下を計算するにあたり、高温/高負荷領域の実測を補完し目標とのギャップを算出。

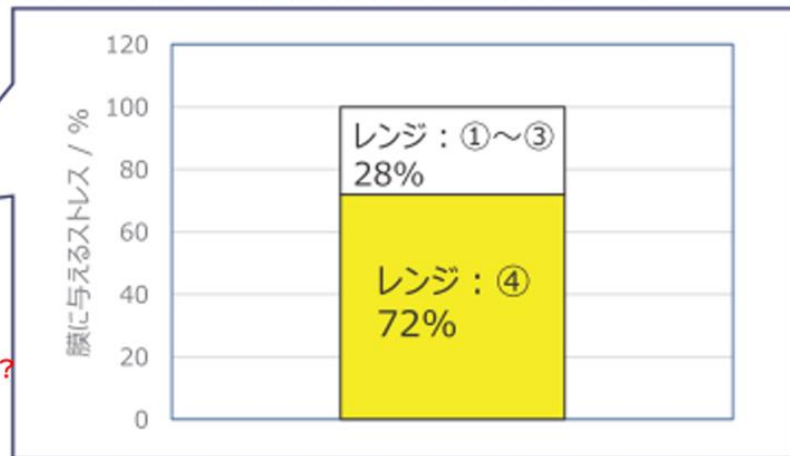
● ご提供山岳路モードでの膜劣化挙動計算結果



【前提】

- ・クエンチャー(Ce)の移動/減少は除外
- ・Fe等コンタミ影響は除外

● 高温運転のストレスが劣化に与える影響度について

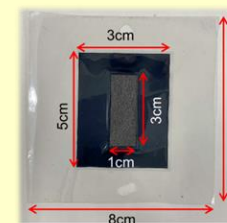


	電流密度レンジ (A/cm ²)	割合 (%)	条件
①	0.1	15	Honda条件
②	0.2~1.0	57	Honda条件
③	1.1~1.8	22	Honda条件
④	1.8	5	Ca In : 90°C、20%RH An In : 105°C、30%RH

高温運転でのストレスが支配的⇒高温タフネス向上により耐久性向上

<確認試験条件>

- ・MEA:MIRAI2G仕様
- ・セル温度:105°C(冷媒出口設定)
- ・電流密度:1.8A/cm²
- ・RH:An0%、Ca60%
- ・背圧:An190kPa、Ca220kPa
- ・耐久時間:465hr
- ・JARIセル(MEA寸法は下記の通り)



	Mn維持率	Mw維持率
検証品	≒ 100	≒ 100

今回検証の条件では劣化が見られない

確認試験の結果からMEA仕様(Ce効果など)による劣化見積もりについて、より詳細なテストを伴う検討が必要であることから、継続し次期以降解説書へ追記予定

ご清聴をありがとうございました