

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ成果報告会

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)

NEDO 水素・アンモニア部
(委託先) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| (1) NEDO様ご挨拶 | 14:30 ~ 14:35 (5分) |
| (2) これまでの経緯と今回のロードマップの狙い | 14:35 ~ 14:50 (15分) |
| (3) 製品・FCシステム | 14:50 ~ 15:00 (10分) |
| (4) FCスタック | 15:00 ~ 15:20 (20分) |
| (5) FC生産技術 | 15:20 ~ 15:30 (10分) |
| (6) 水素貯蔵システム | 15:30 ~ 15:45 (15分) |
| (7) DX技術 | 15:45 ~ 16:05 (20分) |
| 質疑応答 | 16:05 ~ 16:20 (15分) |

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ成果報告会

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) これまでの経緯と今回のロードマップの狙い

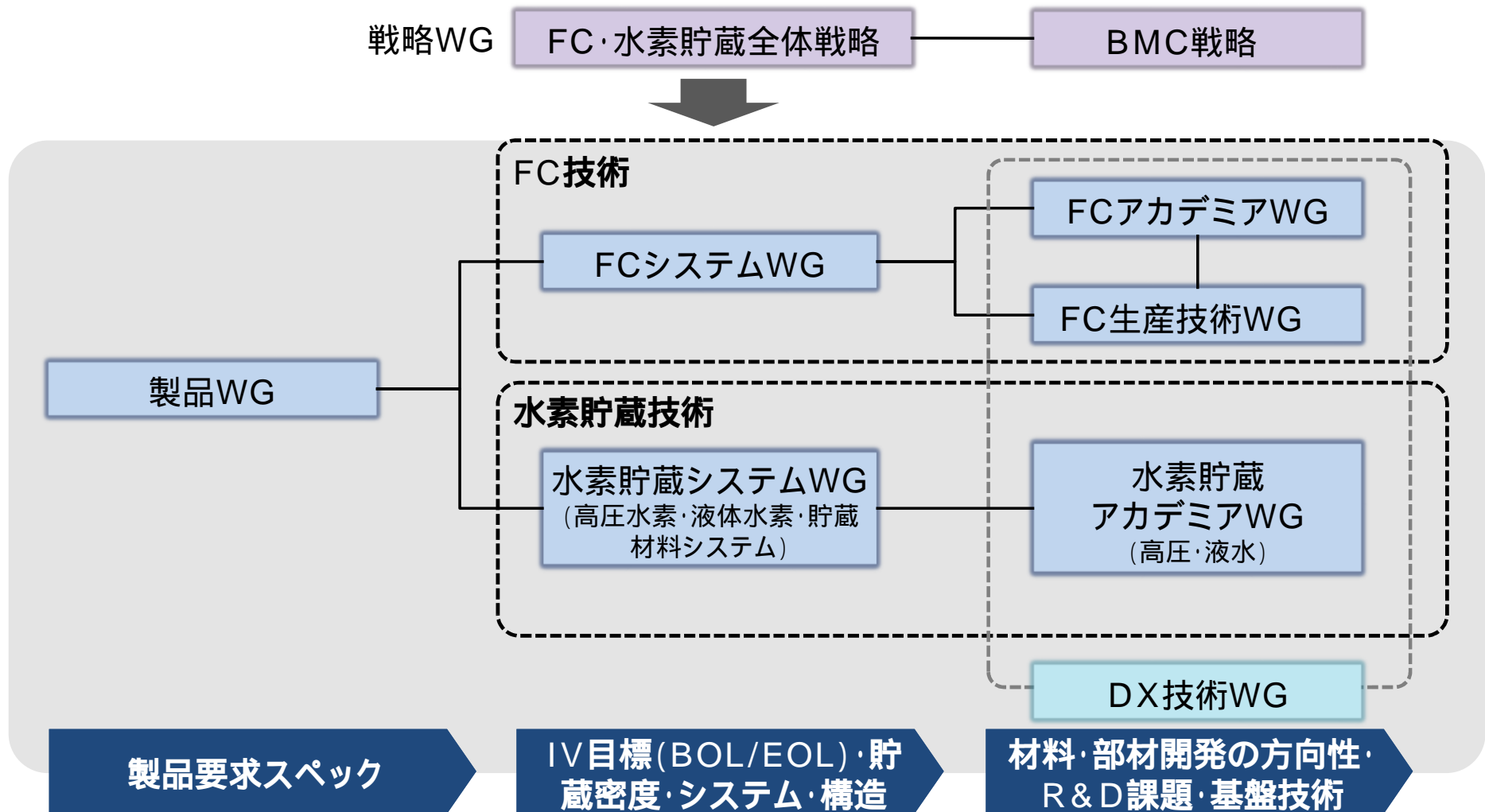
プレゼンター: 米田雅一(みずほリサーチ&テクノロジーズ)

NEDO 水素・アンモニア部
(委託先)みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

	FY21	FY22
検討内容	<ul style="list-style-type: none">● 2030年の大型・商用モビリティ (HDV) 燃料電池の製品・システム目標を新たに設定● 多様なアプリを対象とした共通となる目標 (大型トラック、鉄道、船舶、建機、農機、フォークリフト)● 上記目標を達成するためのFC材料目標と技術開発課題の整理● ロードマップ本体に加え、目標に対する考え方、目標値の設定根拠や技術開発の方向性および材料特性の評価方法の方針をまとめた「解説書」を新たに作成	<ul style="list-style-type: none">● 2040年のHDV燃料電池のシステム目標を設定 (44トントラックをベース)● 40年達成シナリオに注力、限界を打破するための基礎研究 (新学理・革新コンセプトの創出)、高度な解析、計算科学技術による機構・現象解明、人材育成の在り方を検討● 2030年頃の本格普及開始時期を前提としたFCの生産技術目標と技術開発課題の整理● 2030年頃および2040年頃に達成すべき高圧水素貯蔵、および長期的な水素貯蔵材料の目標と技術開発課題の整理● 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) 技術の在り方を整理

- FCVについては2023年2月に公開したロードマップの検討結果を参考として2035年頃のシステム目標を策定する。HDV用燃料電池で設定したセルスタックの目標と材料目標と比較し、FCVの目標の考え方を整理する。
- HDVについては2035年頃の目標を検討する。さらに、DX技術による開発加速目標と具体的な活用シナリオを検討する。
- FCVおよびHDVに適用される水素貯蔵技術に関しては、2023年2月に公開したロードマップの検討結果を参考として、液体水素による貯蔵システムの設定、高圧水素貯蔵に関する2030年度以降の目標と課題を検討する。
- 燃料電池および水素貯蔵システムに関してコスト分析を実施、今後、性能目標達成に加え、コスト目標達成に向けた取り組むべき方向性を検討する。
- 2035年頃の生産技術目標と優先すべき開発工程の具体化、目標との関係性を整理する。
- その他、最新の動向等を踏まえこれまでに策定したロードマップ内容の見直しを必要に応じて図る。
- NEDO革新FC事業の評価解析プラットフォームとは密に連携しつつ業務を進める。
- 2025年1月中に検討委員会で議論したロードマップ最終案を提示する。また、2024年1月末までに中間段階のロードマップ案を提示する。
- NEDOを含めた他機関の情報等も活用しつつ、ベンチマーク等に基づく全体戦略を練り、ロードマップ全体統括の機能を果たす。(本日はこのうち、将来の市場見通しとFCコスト分析に関する報告を実施)

WG体制



評価解析プラットフォームマネジメントグループ(BMC検討およびオールスターFC生産技術WG)と連携

WGの活動概要

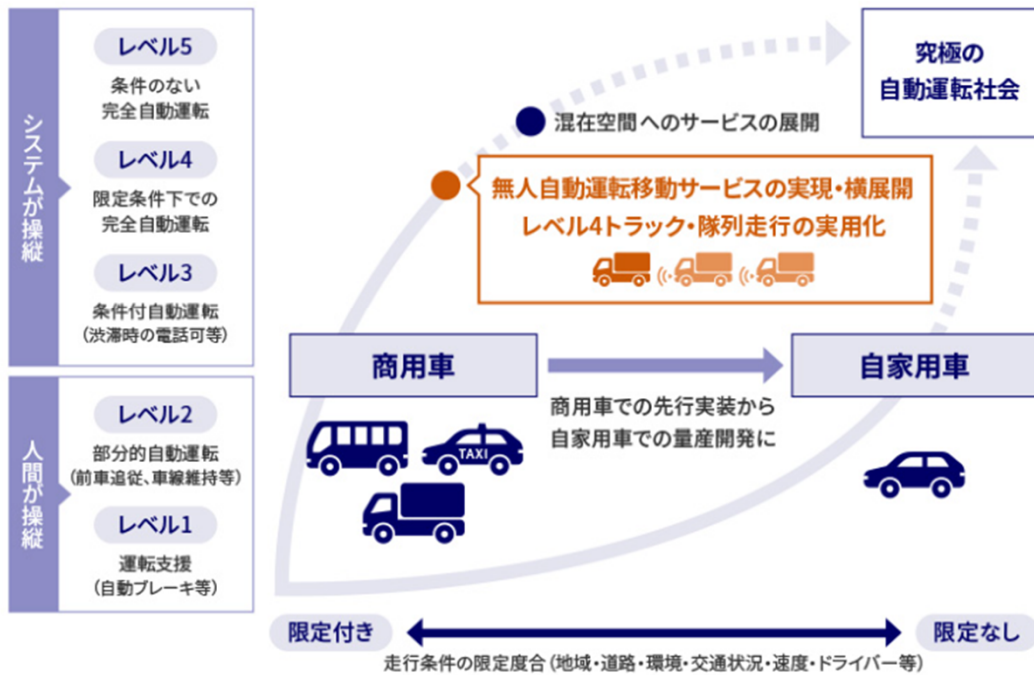
WG	活動概要
製品WG	<ul style="list-style-type: none"> ● FCアプリケーション別(乗用車、トラック、鉄道、船舶、建機、農機、フォークリフト等)の製品としての要求スペックの検討
FCシステムWG	<ul style="list-style-type: none"> ● FCシステムの目標設定のための製品WGへの追加アンケート、情報整理 ● 2035年頃のHDV向けFCシステム目標の検討 ● 2035年頃のFCV向けFCシステム目標の検討
FCアカデミアWG	<ul style="list-style-type: none"> ● 2035年頃のHDV向けFC目標の達成シナリオ、アクションプランの検討(DX活用等を含む) ● 2040年頃のHDV向けFC目標の達成シナリオのブラッシュアップとアクションプランの検討(DX活用等を含む) ● 2035年頃のFCV向けFC目標の達成シナリオ、HDV向けの共有課題および固有課題の整理
FC生産技術WG	<ul style="list-style-type: none"> ● 2035年頃のFC生産技術目標の検討 ● 目標達成に向けた新たな生産技術の課題(DX活用等を含む)、および目標KPIの検討 ● FC製造コスト目標達成に向けた優先開発工程、具体的指針の検討
水素貯蔵システムWG	<ul style="list-style-type: none"> ● [高圧水素] 2035年頃の目標設定(低コスト仕様を追加)、環境循環、セルフモニタリング戦略等の検討、材料目標と補強事項の追加、コスト分析 ● [液体水素] 貯蔵密度の目標見直し、HDVに要求されるスペックを両立する容器・システムの検討、航空機用との連携、軽量材(高圧水素用CFRPの極低温用途への展開)、共通基盤技術(極低温流体マネジメント)
水素貯蔵アカデミアWG	<ul style="list-style-type: none"> ● [高圧水素] カーボンニュートラルな材料開発、スマートタンク化、CEなど2030年以降に要求される課題のブラッシュアップ(DX活用等を含む) ● [液体水素] 共通基盤技術(極低温流体マネジメント)
DX技術WG	<ul style="list-style-type: none"> ● 産学連携データプラットフォーム構築の課題、提供者、利用者の観点からのDX技術の整理 ● FC材料・部材、生産技術、高圧タンク、貯蔵材料の開発加速に向けた具体的な活用シナリオの検討
戦略WG (全体戦略)	<ul style="list-style-type: none"> ● ロードマップ策定の全体統括機能の設置 ● FCモビリティの価値創造、自動車社会変化を踏まえた市場予測、製品アーキテクチャー・勝ち筋の検討、知財、経済安全保障対応、将来のコスト見通しに関する分析
(ベンチマーク(BMC)戦略)	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内外の政策・技術動向や競合技術の進捗など、必要な情報をタイムリーに収集、分析、活用するためのBMC戦略の検討

青字は2023年度の主な活動、赤字は2024年度の主な活動

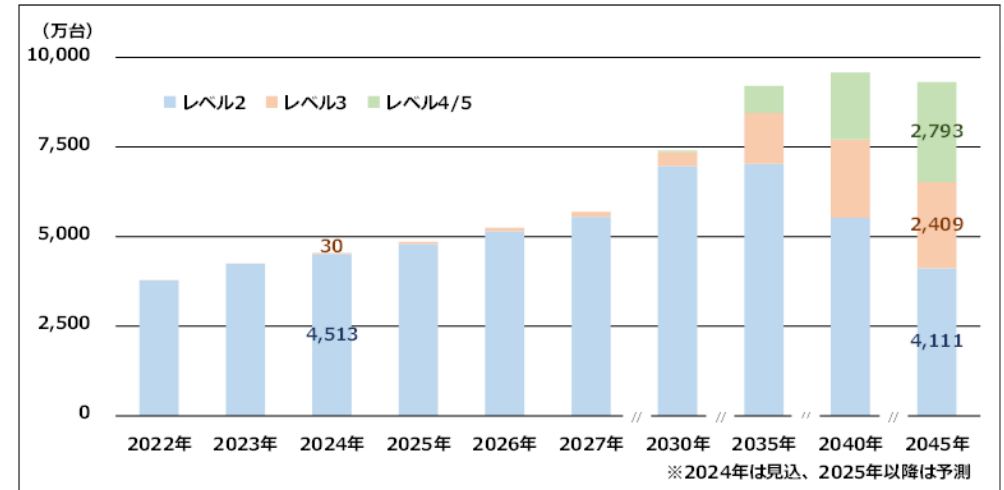
モビリティに変革をもたらす自動運転車の普及・市場予測

- 公共交通を含む商用車と自家用車は、それぞれ異なるアプローチで社会での自動運転の普及が進むと予測
- 完全自動運転(レベル5)までには、様々な課題が存在することから、利用条件を限定しやすい商用車から先行して、無人自動運転サービスの実証へ移行
- グローバル市場において、主操縦がドライバーからシステムへ移行する**レベル3は2030年頃までは限定的、2035年以降、2040年代にかけて増加、自動車交通体系が大きく変化する時期**

RoAD to the L4の取り組み



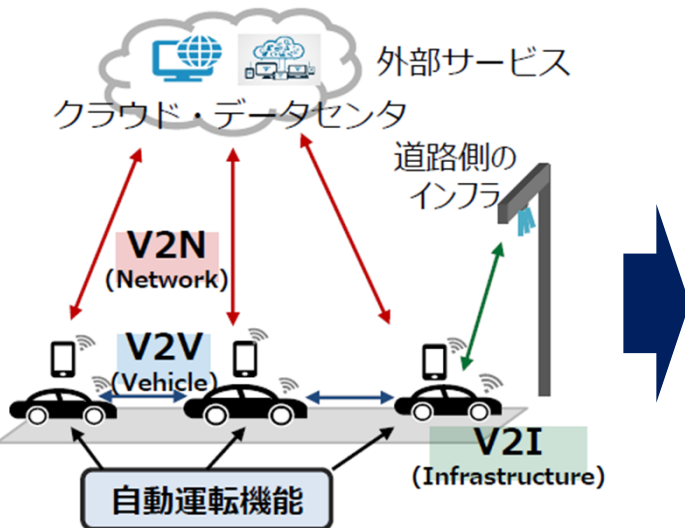
(出所)経産省、国交省、「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト」より当社作成



(出所)富士キメラ総研プレスリリース

- 2024年の自動運転車(自家用車)の生産台数はレベル2が4,513万台、レベル3が30万台(中国先行)、2030年頃でもレベル3が数%にとどまる(法整備や責任所在の課題)
- 2040年頃はレベル3以上で40%程度に増加、エコドライブの本格化、渋滞緩和など交通体系が大きく変化するタイミングと予測

- 自動車がコネクテッド・自動運転機能を有することで、交通流の最適化の観点から、例として、**平常走行時における高度なエコドライブ(走行性能改善)、サグ部(下り坂から上り坂への変化点)・トンネルに起因する渋滞の解消、事故に起因する渋滞の解消のユースケースが実現**
- 平常走行時における高度なエコドライブの効果として、国内で**2030年には168.7万t-CO₂を削減するポテンシャル(自動車全体の約1%)**、2050年には自動運転・コネクテッド技術の社会実装を通じた**事故・渋滞の緩和による交通流改善効果により、国内で1,320万t-CO₂を削減するポテンシャル(自動車全体の約8%)**が見込まれる
- 交通流改善等の効果により、**世界全体で約3.4億t-CO₂を削減するポテンシャル(全CO₂排出量の約1%)**が見込まれる



(出所) METI, 「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発」・「スマートモビリティ社会の構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性

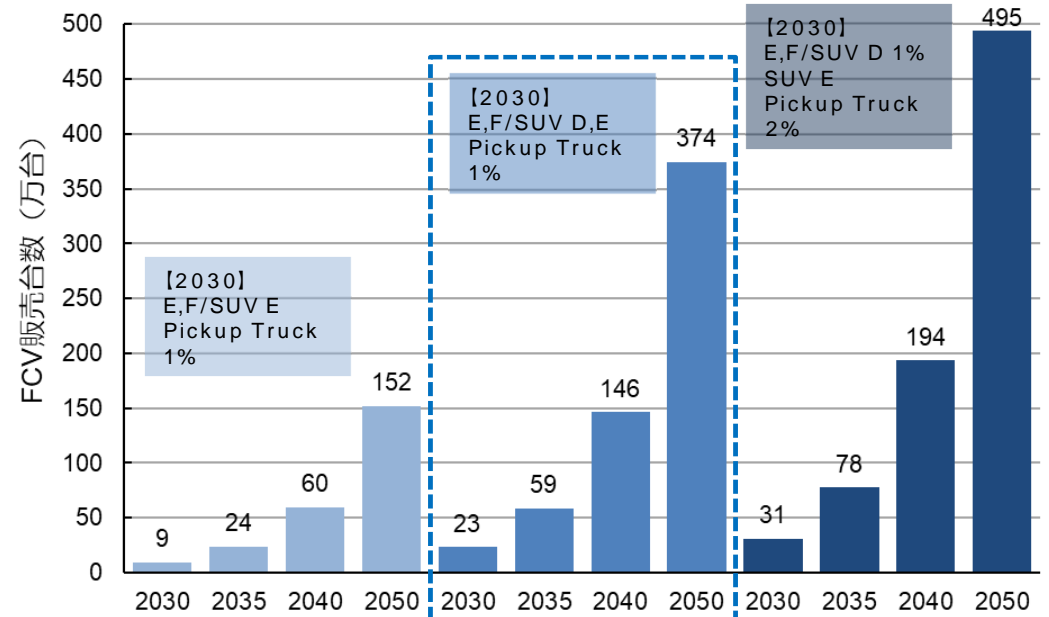
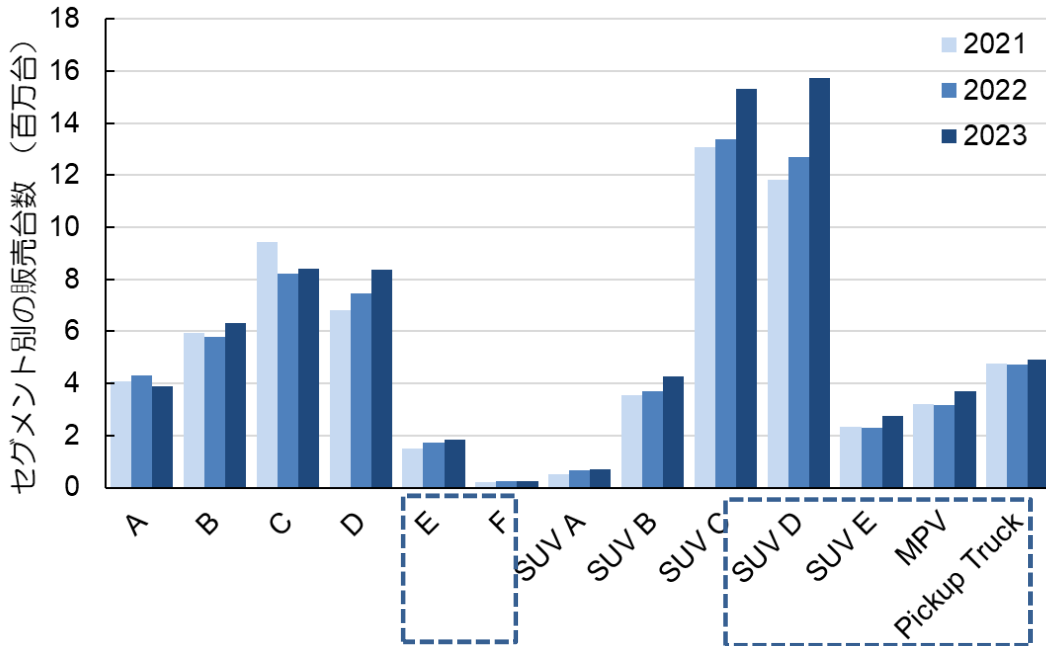
ユースケース	運転モードへの効果	CO ₂ 削減ポテンシャル
平常走行時における高度なエコドライブ	周辺状況を踏まえ、システムが車両を最適制御→ unnecessary ブレーキ操作防止により、 少なくとも7%の走行性能改善 トラックの高速道隊列走行(車間2m)で最大25%の燃費改善との試算	2030年以降、自動的に加減速の支援を行う機能が高速道路で稼働、2050年には一般道での稼働も実現、全車に搭載された場合、 unnecessary ブレーキ操作の軽減で、 約769万t-CO₂の削減 が期待
サグ部・トンネルにおける渋滞の解消	高速道での渋滞の 52%がサグ部・トンネルでの人間操作に起因 →自動運転・コネクテッドによる渋滞解消	高速道での渋滞原因の 52%を占めるサグ部・トンネルにおける渋滞解消 により、 約418万t-CO₂の削減 が期待
事故に起因する渋滞の解消	高速道での渋滞の 16%が事故に起因 、さらに一般道の死傷事故のうち 9%が渋滞を招く →自動運転・コネクテッドによる事故防止を通じて解消	高速道での渋滞原因の 16%を占める事故 や、一般道での渋滞原因の 9%を占める死傷事故による渋滞解消 により、 約133万t-CO₂の削減 が期待

他、トラックの**高速道自動隊列走行(車間2m)**で最大25%の燃費改善との試算

FCモビリティの市場規模(乗用車市場予測)

- グローバル人口増加とシェアリング進展(2040年でカーシェア率18%)を考慮した乗用車市場をもとに試算
- 乗用車タイプは高いエネルギー密度が要求される大型のセグメント(E/SUV E, MPV、Pickup Truck)がマーケットのポテンシャルと想定(FCVの製品・システム目標の前提を大型SUVと定義)
- SUVはFC・貯蔵システムのスペース許容度も含めてFCVのポテンシャル(充填時間・航続距離、等)を発揮できる可能性があり、エネルギー密度向上による技術進化で、SUVは大型(E)から中型セグメント(D)への展開も含め、乗用車市場で伸びるSUVとPickup Truckの領域でのシェア拡大が鍵(ここではミドルケース(点線)を採用)

乗用車セグメント別の年間販売台数

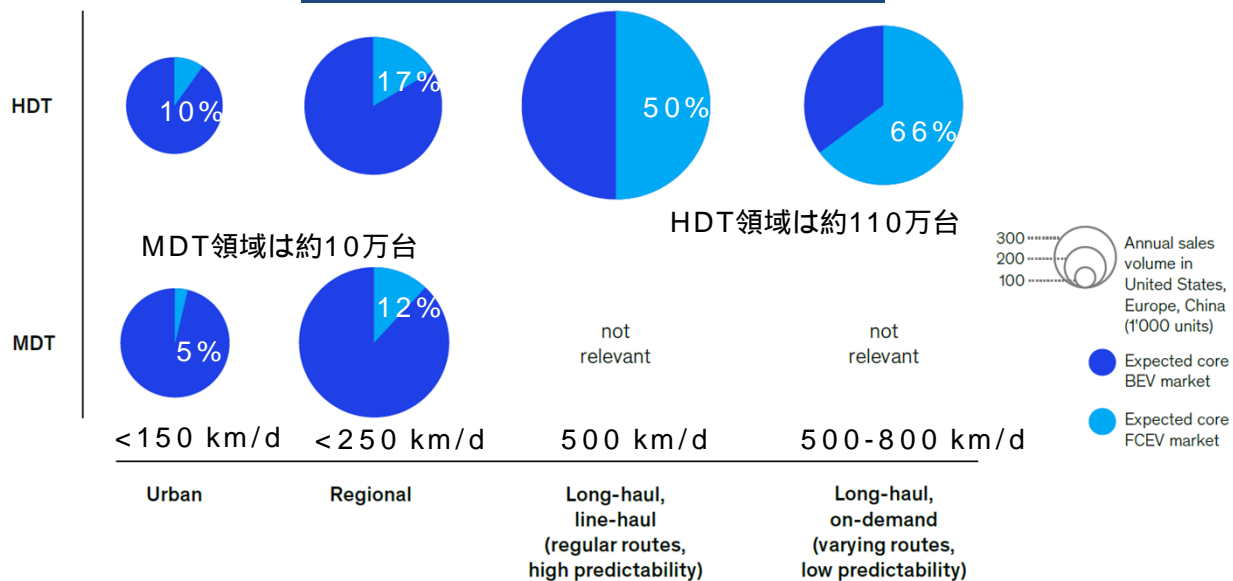


成長率: 2030-2040年: CAGR20%、2040-2050年: CAGR10%

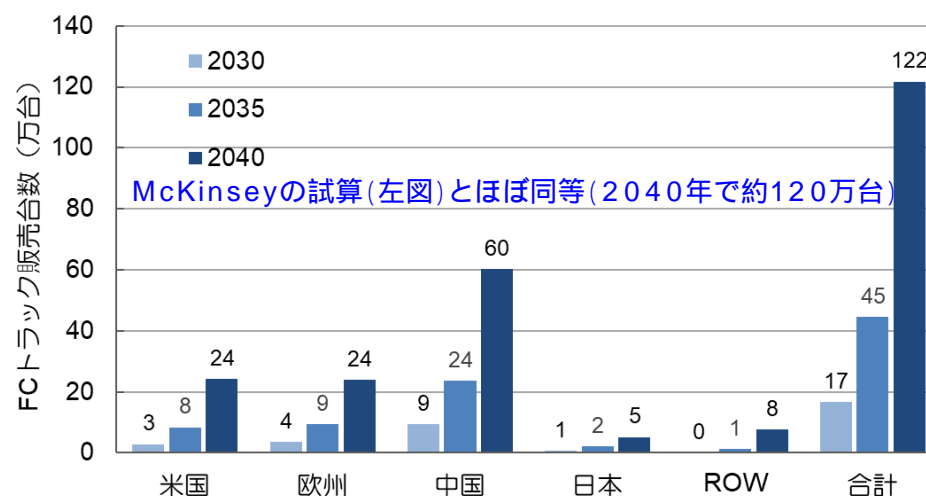
FCモビリティの市場規模(トラック市場予測)

- ZEトラック市場と比較してFCTの主要マーケットはHDTの長距離輸送用途(Long-Haul)、将来的に幹線輸送用(500km前後メイン)で50%、オンデマンド用(500-800kmメイン)で66%と予測、一方、都市部・地域内輸送用はBETが支配的
- 米欧中(主要3地域)の2030/2035年のHDTおよびFCTの市場規模はPwCのレポートを前提、2040年のFCTは30-35年のCAGRから市場規模を予測
- 日本のFCTの市場は現在の普通トラック14.7万台(一定)に対し、主要3地域の平均シェアを仮定
- 日本を含む主要4地域を除くROWの市場は、HDT全体台数(将来の人口増に比例して輸送量増加)から4地域のHDTを差し引いた台数に対し、主要4地域の10年遅れのシェアで算出

2040年+のFCトラック市場規模



2030~2040年のFCトラック市場規模



(出所)McKinsey & Company, "Preparing the world for zero-emission trucks" (2022/11)

(出所)PwC Strategy&, "The Dawn of Electrified Trucking" (2022/10)の予測データに基づき当社が試算

車載用FCの将来の普及見通し

- 乗用車はシェアリング普及によるマーケット変化を前提として市場規模を再試算
- 1台あたりのFCスタック容量については、乗用車を120kW、トラックを200kWと仮定(ロードマップでは2035/2040年の目標値を44トントラック前提の325/350kWとしているが、ここでは25トントラックの前提条件200kWを代表値とした)
- 自動運転・コネクテッド技術ではエコドライブによる渋滞の解消が期待され、車の走行パターンの緩和・空気抵抗低減、さらにCO₂排出量低減にも繋がる。将来のFCEVの技術目標への要求緩和も期待されるが、当初の技術目標達成により、将来の自動車社会のなかで、より商品性が期待されることを鑑み、これまで設定した目標値は修正しない方針

		現在	2030年～	2035年～	2040年～
市場規模 (年間)	FC容量ベース	2GW程度 (2021-2023平均)	60GW程度 (2030年頃)	160GW程度 (2030年頃)	420GW程度 (2040年頃)
	FCV台数	約1.3万台	約23万台	約60万台	約150万台
	FCトラック台数	約0.2万台	約17万台	約45万台	約120万台
想定される普及シナリオ		補助金支援も含めて緩やかに市場拡大	水素供給が徐々に充足、FC・水素貯蔵システムコストも下がり市場拡大	燃料パリティに近づき更に市場拡大	低価格なクリーン水素が流通、あらゆる産業で利活用本格化

【背景と課題認識】

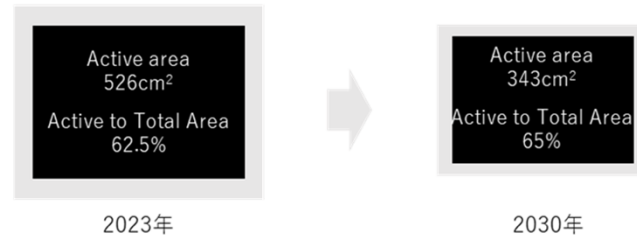
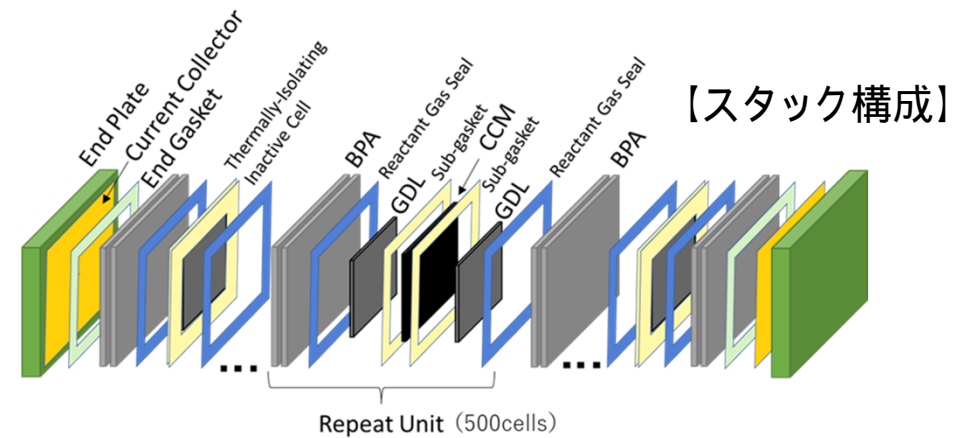
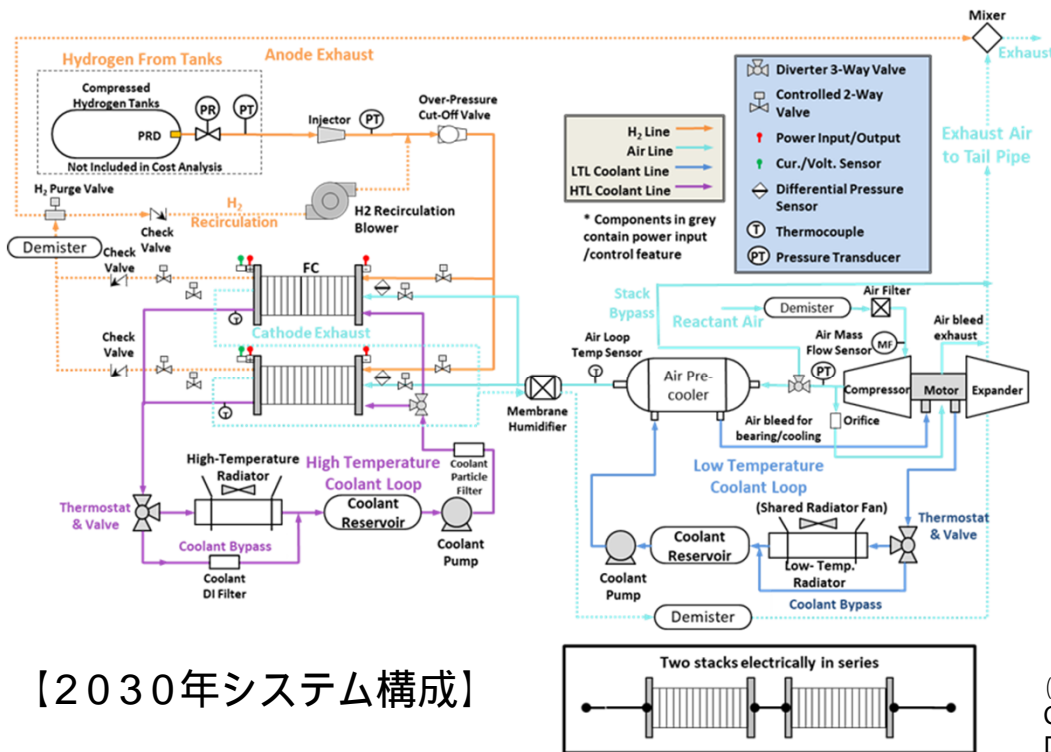
産官学への期待:コスト低減に繋がる技術の創出

現在:

- コスト低減に繋がる技術開発へのフォーカスがなされていない
- 原材料費の低減、例として、PGM低減(FCスタック)、CF量低減や低コストCF(高圧水素タンク)など技術開発と直結するアイテムはあるが、
 - コスト内訳が不明(非公開)
 - 何がコスト低減に繋がる技術か(原材料費、加工費、エージング等)、ボトルネックがどこかが曖昧
 - 目標設定も不十分
- 今後、コスト低減に向けた道筋と材料開発・生産技術開発との有機的な連携が重要
- 米国では最終目標をトップダウンで定め、DOEの取り組みの重要テーマとして、R&D成果によるコストインパクトを反映することでコスト低減の道筋を継続的にアップデート
- 今回は、今後のコスト分析の足掛かりとして、海外研究機関のHDV燃料電池システムのコスト分析を参考に、ロードマップで定めた技術目標に対するコスト低減の見通しについて考察

米国Strategic Analysis社(SA社)のHDV用燃料電池システムのコスト分析レポート(ドラフト版)をベースに検討

- 出力275kW(net)のFCシステムには2つのスタックを直列接続、各スタックは500セルで構成
- システム構造: **水素系**は圧縮水素タンクから供給され、再循環ブロワを使用して循環: **エア系**はデミスター、エアフィルタを通してコンプレッサーへ入り、プリクーラ、加湿器を通してスタックに供給: **冷却系**は燃料電池スタックを冷却するための高温ループと、電子部品を冷却するための低温ループの2つ、低温ループは、圧縮空気を冷却するためにも使用
- 2023年のセルのアクティブエリア(発電領域)は526cm²、2030年には高出力密度化により343cm²に小型化を前提



(出所) B. D. James, et al., "Mass Production Cost Estimation of Direct H₂ PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2023 Update on Heavy and Medium-Duty Vehicles" (Draft)

【参考】FCシステムコスト分析(スペック前提条件)

	2023 HDV System	2030 HDV System
ネット出力 (kW _{net})	344 (BOL), 275 (EOL)	340 (BOL), 275 (EOL)
グロス出力 (kW _{gross})	407 (BOL), 338 (EOL)	393 (BOL), 327 (EOL)
セル電圧 (V)	0.779 (BOL), 0.70 (EOL)	0.779 (BOL), 0.70 (EOL)
スタック出力密度 @ 定格出力 (mW/cm ²)	774 (BOL), 642 (EOL)	1143 (BOL), 953 (EOL)
Pt目付量 (mgPt/cm ² total area)	0.45	0.35
	(0.4 ca/0.05 an)	(0.3 ca/0.05 an)
Pt担持量 (g/kW _{gross})	0.700	0.367
触媒耐久性: ECSA低下率 (25,000時間運転後)	50%	30%
	(based on ANL durability modeling)	(SA Estimate)
運転圧力 (atm)	2.5	2.5
スタック温度 (冷却水出口温度) (°C)	90	90
Air ストイキ比	1.5	1.5
H2 ストイキ比	2	2
Q/ΔT (kW _{th} /°C)	5.31	5.14
総セル数	1,000	1,000
アクティブエリア面積 (cm ²)	526	343
アクティブエリア / セル面積比	0.625	0.65
スタック数	2 (直列接続)	2 (直列接続)
スタックオーバーサイジング	67%	35%
総アクティブエリア面積 (m ²)	52.6	34.4
スタック重量出力密度 (kW _{gross} /kg)	1.81	2.76
スタック体積出力密度 (kW _{gross} /L)	2.09	3.08
システム効率 @ 定格出力 (%)	53%(BOL), 46%(EOL)	53%(BOL), 47%(EOL)

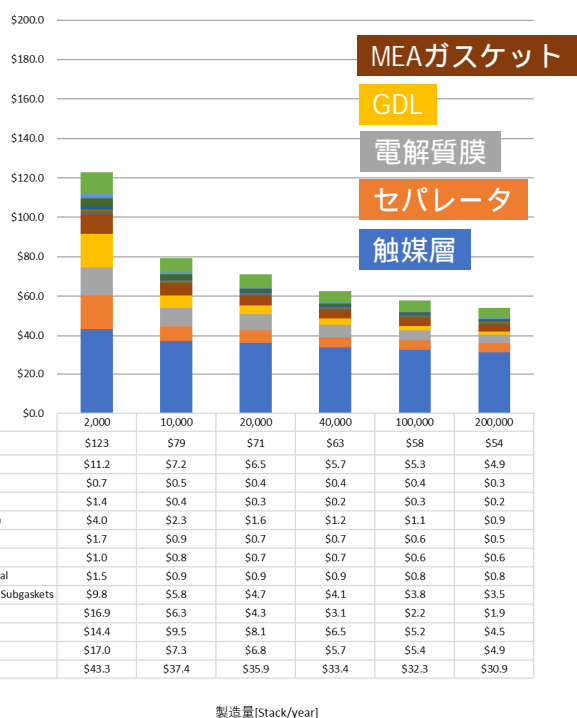
(出所) B. D. James, et al., "Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2023 Update on Heavy and Medium-Duty Vehicles" (Draft)

		2023 HDV System	2030 HDV System
膜材料	薄膜化	20-micron Nafion® (850EW)	15-micron Nafion® (850EW)
膜補強材	低コスト材料	ePTFE	Electrospun PPSU
GDL		150 μm	150 μm
		(105 μm GDL, 45 μm MPL, uncompressed)	(105 μm GDL, 45 μm MPL, uncompressed)
触媒	カソードPt量低減	カソード: Dispersed 0.4 mgPt/cm ² a-Pt/HSC	カソード: Dispersed 0.3 mgPt/cm ² a-Pt/HSC
		アノード: Dispersed 0.05mgPt/cm ² Pt/HSC	アノード: Dispersed 0.05mgPt/cm ² Pt/HSC
CCM		Gore Direct-Coated Membrane with dual-side slot-die coated electrodes	Gore Direct-Coated Membrane with dual-side slot-die coated electrodes
MEAシール		R2R PEN sub-gaskets	R2R PEN sub-gaskets
BPP・表面処理	含浸樹脂カーボン前提(国内は金属製)	Flexible graphite with resin impregnation	Flexible graphite with resin impregnation
BPPフォーミング		Embossed	Embossed
BPP接合		Adhesive	Adhesive
MEAガasket		Screenprinted polyolefin elastomer seal on BPP	Screenprinted polyolefin elastomer seal on BPP
冷却/エンドガasket		Adhesive(Cooling)/	Adhesive(Cooling)/
		Screen-Printed Polyolefin Elastomer (End)	Screen-Printed Polyolefin Elastomer (End)
エンドプレート		Composite Molded End Plates with Compression Bands	Composite Molded End Plates with Compression Bands
スタック締結方法		Composite Molded End Plates with Compression Bands	Composite Molded End Plates with Compression Bands
セルアセンブリ		Robotic assembly of graphite BPP assembly, sub-gasketed MEA	Robotic assembly of graphite BPP assembly, sub-gasketed MEA
セル電圧モニタリング	センサ数低減	Sensor every 3 cells (low volume)	Sensor every 4 cells (low volume)
		Sensor every 4 cells (high volume)	Sensor every 10 cells (high volume)
コンディショニング (hrs)	短時間化	2.5	1

FCシステムコスト分析 (SA社: スタック内訳)

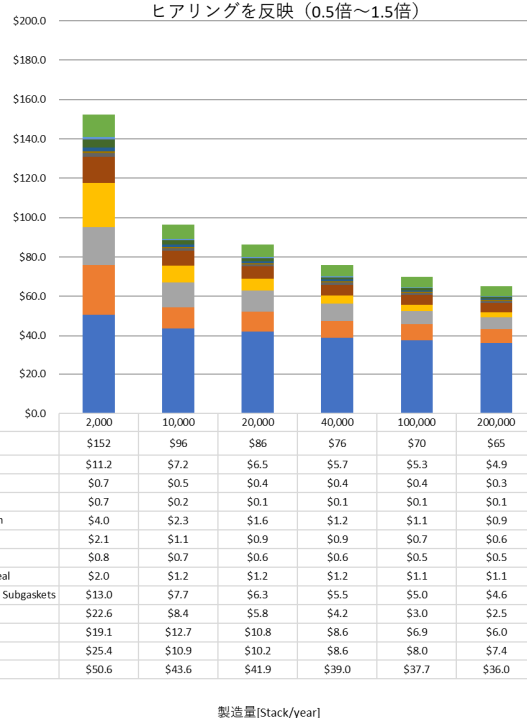
- SA社分析(左): 主要構成材料(触媒層・膜・GDL・BPP)でスタックコストの75-80%、技術進化において触媒層・電解質膜のコスト低減率が高い(約 50%)
- SA社の結果に対してOEMのアンケートを実施、「高い」と評価された項目を 50%、「安い」と評価された項目を+50%および+100%として計算 → 電解質膜、触媒層、GDL、セパレータ、シール材の主要部材・プロセスは総じてコスト増の結果

2030 Stackコストの内訳 (\$/kWnet)



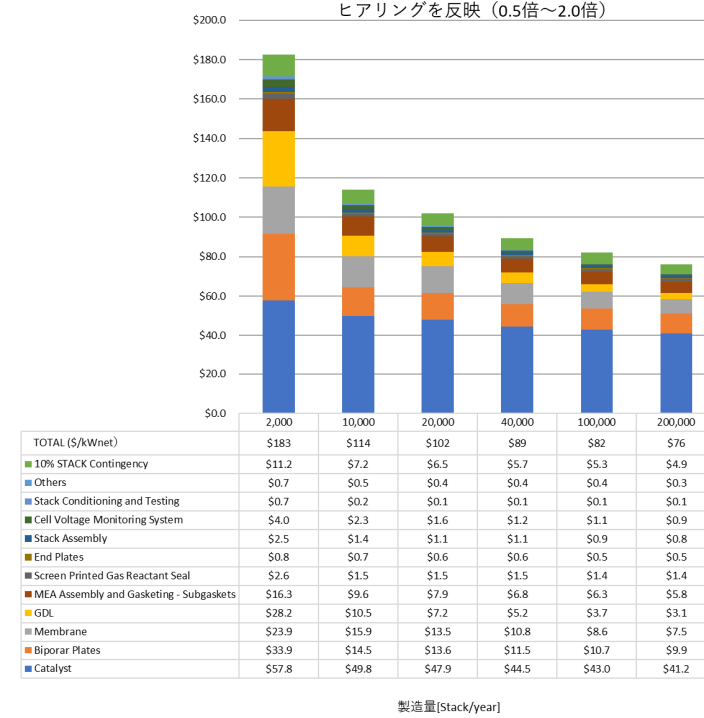
2030 Stackコストの内訳 (\$/kWnet)

ヒアリングを反映 (0.5倍~1.5倍)



2030 Stackコストの内訳 (\$/kWnet)

ヒアリングを反映 (0.5倍~2.0倍)



製造量[Stack/year]

製造量[Stack/year]

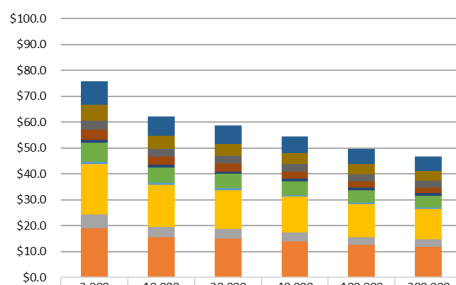
製造量[Stack/year]

(左図) (出所) B. D. James, et al., "Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2023 Update on Heavy and Medium-Duty Vehicles" (Draft) に基づきみずほR&T作成

FCシステムコスト分析 (SA社: BOP内訳)

- SA社分析(左): 水素系では循環ポンプが65%、エア系ではコンプレッサで約80%、冷却系ではファン・ラジエータで約80%を占め、量産効果10倍で約 20%、100倍で約 40%、技術進化による各BOPの製造コスト低減は小さい(エアコンプレッサ効率向上のみ)、交換コスト(35%から15%へ低減 = 耐久性向上)がBOP低減の主要因
- SA社の結果に対してOEMのアンケートを実施、「高い」と評価された項目を 50%、「安い」と評価された項目を+50%(中央)および+100%(右)として計算 ➡ エア系・燃料系は安め、冷却系は高めの結果
- システム構成によってBOPコストの変動要因は大きく、日本版のシステム前提条件を決めた上で今後の精査が必要

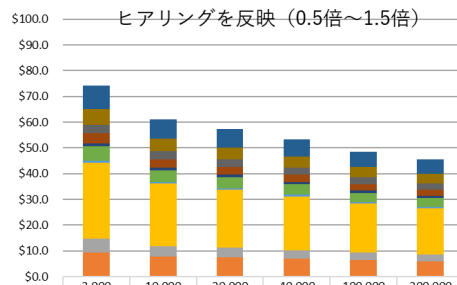
2030 BOPコストの内訳 (\$/kWnet)



	2,000	10,000	20,000	40,000	100,000	200,000
BOP TOTAL	\$75.7	\$62.2	\$58.6	\$54.6	\$49.8	\$46.7
BOP Replacement Cost	\$9.1	\$7.5	\$7.0	\$6.5	\$6.0	\$5.6
10% BOP Contingency	\$6.1	\$5.0	\$4.7	\$4.4	\$4.0	\$3.7
Miscellaneous BOP Components	\$3.4	\$3.0	\$2.9	\$2.8	\$2.7	\$2.6
Sensors	\$4.0	\$3.3	\$3.0	\$2.8	\$2.5	\$2.3
System Controller	\$1.0	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.9
Fuel Loop	\$7.4	\$6.0	\$5.6	\$5.3	\$4.8	\$4.5
Low-Temperature Coolant Loop	\$0.8	\$0.7	\$0.7	\$0.7	\$0.6	\$0.6
High-Temperature Coolant Loop	\$19.7	\$16.2	\$15.0	\$13.9	\$12.7	\$11.8
Air Precooler and Water Recovery Loop	\$5.2	\$4.0	\$3.7	\$3.3	\$3.0	\$2.7
Air Loop	\$19.0	\$15.5	\$15.0	\$13.9	\$12.6	\$11.8

製造量[Stack/year]

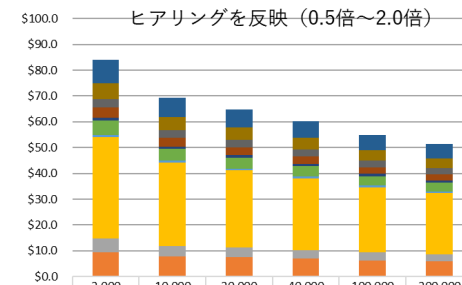
2030 BOPコストの内訳 (\$/kWnet)



	2,000	10,000	20,000	40,000	100,000	200,000
BOP TOTAL	\$74.2	\$61.1	\$57.2	\$53.3	\$48.6	\$45.6
BOP Replacement Cost	\$9.1	\$7.5	\$7.0	\$6.5	\$6.0	\$5.6
10% BOP Contingency	\$6.1	\$5.0	\$4.7	\$4.4	\$4.0	\$3.7
Miscellaneous BOP Components	\$3.4	\$3.0	\$2.9	\$2.8	\$2.7	\$2.6
Sensors	\$4.0	\$3.3	\$3.0	\$2.8	\$2.5	\$2.3
System Controller	\$1.0	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.9
Fuel Loop	\$5.6	\$4.5	\$4.2	\$3.9	\$3.6	\$3.4
Low-Temperature Coolant Loop	\$0.8	\$0.7	\$0.7	\$0.7	\$0.6	\$0.6
High-Temperature Coolant Loop	\$29.5	\$24.3	\$22.5	\$20.9	\$19.0	\$17.8
Air Precooler and Water Recovery Loop	\$5.2	\$4.0	\$3.7	\$3.3	\$3.0	\$2.7
Air Loop	\$9.5	\$7.7	\$7.5	\$7.0	\$6.3	\$5.9

製造量[Stack/year]

2030 BOPコストの内訳 (\$/kWnet)



	2,000	10,000	20,000	40,000	100,000	200,000
BOP TOTAL	\$84.0	\$69.2	\$64.7	\$60.2	\$54.9	\$51.5
BOP Replacement Cost	\$9.1	\$7.5	\$7.0	\$6.5	\$6.0	\$5.6
10% BOP Contingency	\$6.1	\$5.0	\$4.7	\$4.4	\$4.0	\$3.7
Miscellaneous BOP Components	\$3.4	\$3.0	\$2.9	\$2.8	\$2.7	\$2.6
Sensors	\$4.0	\$3.3	\$3.0	\$2.8	\$2.5	\$2.3
System Controller	\$1.0	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.9
Fuel Loop	\$5.6	\$4.5	\$4.2	\$3.9	\$3.6	\$3.4
Low-Temperature Coolant Loop	\$0.8	\$0.7	\$0.7	\$0.7	\$0.6	\$0.6
High-Temperature Coolant Loop	\$39.3	\$32.4	\$30.0	\$27.9	\$25.3	\$23.7
Air Precooler and Water Recovery Loop	\$5.2	\$4.0	\$3.7	\$3.3	\$3.0	\$2.7
Air Loop	\$9.5	\$7.7	\$7.5	\$7.0	\$6.3	\$5.9

製造量[Stack/year]

(左図) (出所) B. D. James, et al., "Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2023 Update on Heavy and Medium-Duty Vehicles" (Draft) に基づきみずほR&T作成

FCシステムコスト分析(NEDO技術目標に対する試算の前提)

	DOE 2030	NEDO 2030	NEDO 2035	NEDO 2040
FCシステム出力 (kWnet)	275(Class8, 34t)	200(25t)	325(44t)	350(44t)
スタック数 (直列接続)	2	2	2	2
セル数/スタック	500	330	396	330
アクティブエリア面積 (cm ²)	343	273	283	293
総アクティブエリア面積 (m ²)	17.15	9.01	11.21	9.67
EOL出力密度 (W/cm ²) (熱定格点)	0.953 (0.70V at 1.36A/cm ²)	1.267 (0.72V at 1.76A/cm ²)	1.683 (0.71V at 2.37A/cm ²)	1.976 (0.81V at 2.44A/cm ²)
スタック出口温度 (°C)	90	105	120	120
耐久時間 (hour)	25,000	50,000	50,000	50,000
Pt目付量 (mg/cm ²)	0.35	0.24	0.22	0.14
PEM厚 (μm)	15	8	5	1
GDL厚 (μm)	150	50	40	40
BPP (バイポーラプレート)	樹脂含浸グラファイト	金属プレート + 表面処理	金属プレート + 表面処理	金属プレート + 表面処理

- システム構成は同一を前提、BOPは出力に対して0.8乗則で試算(システム簡素化やBOPの技術進化によるコスト低減は今回は含まず)
- 総アクティブエリアの小面積化により、スタック部材の材料コスト低減を想定(セル面積に対するアクティブエリア面積比は65%で固定)
- 主要部材に対し、Pt目付量低減およびPEMの薄膜化で材料コスト低減を想定。BPPに関しては、DOEはカーボン、NEDOは金属によるコストを想定(金属セパレータはDOEのLDV向け2018年コスト分析に従う。DOEでは母材SS314、表面処理はPVDによるTiOxコーティングに基づくが、NEDOでは母材・表面処理は異なる可能性)、その他スタック構成材料は同一コストを仮定
- 各部材の製造工程、スタック・システム組立工程も同一と仮定(最終的に更なるコスト低減に向けては生産技術の革新が必須)
- なお、耐久時間に対するコスト増の要因は未反映(Pt目付量は耐久時間想定済の値、電解質膜・GDL・BPP・シールなど他の主要部材のコストへの影響は要検討項目)

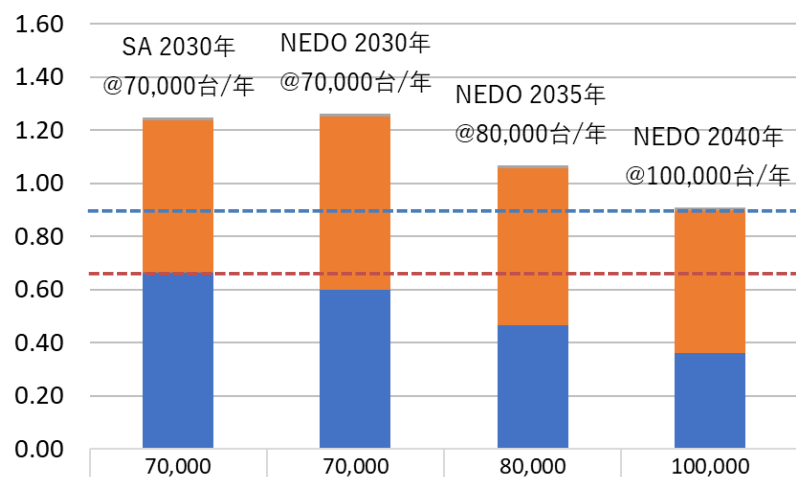
FCシステムコスト分析(NEDO技術目標に対する試算の結果)

- ライン原単位は2030年頃7万台/年、2035年頃8万台/年、2040年頃10万台/年を前提
- 米国と比べてNEDO技術目標では出力密度、Pt使用量等の観点でスタックコストは低下
- 2030年頃では1.1~1.26万円/kW、2035年頃では0.93~1.07万円/kW、2040年頃では0.79~0.91万円/kW、2030年頃の間目標0.9万円/kWに向けては乖離(為替レートは2021年の110円/ドル、中間目標の設定時と同一)

ケースA(SA社のコストに対して安価な項目を1.5倍と仮定)

ケースB(SA社のコストに対して安価な項目を2.0倍と仮定)

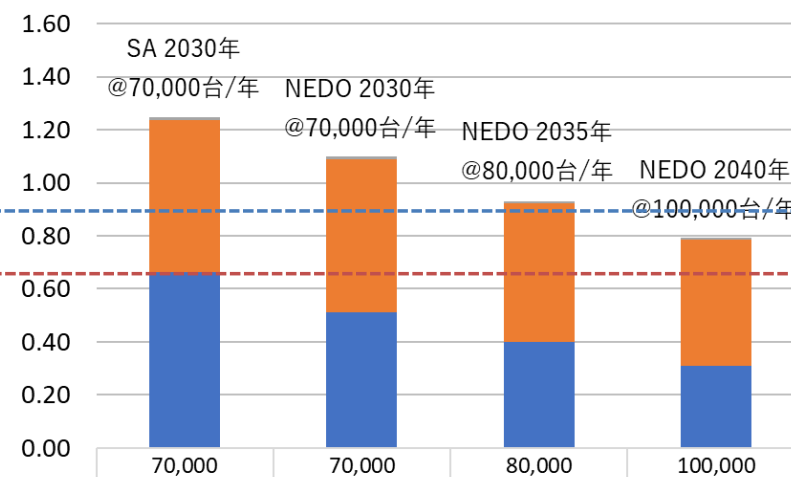
システムコスト (万円/kWnet)



TOTAL(万円/kW net)	1.25	1.26	1.07	0.91
System Assembly & Testing	0.01	0.01	0.01	0.01
BOP TOTAL	0.57	0.65	0.59	0.54
STACK TOTAL	0.66	0.60	0.47	0.36

製造量[unit/year]

システムコスト (万円/kWnet)



TOTAL(万円/kW net)	1.25	1.10	0.93	0.79
System Assembly & Testing	0.01	0.01	0.01	0.01
BOP TOTAL	0.57	0.58	0.52	0.48
STACK TOTAL	0.66	0.51	0.40	0.31

製造量[unit/year]

- 米国では最終目標をトップダウンで定め、DOEの取り組みの重要テーマとして、R&D成果によるコストインパクトを反映することでコスト低減の道筋を継続的にアップデート 国内でもR&D成果によるコスト目標達成に向けたギャップ分析・課題整理を継続的に行い、産業競争力強化に向けた戦略立案を継続する仕組みは重要
- Strategic Analysis社のコスト分析(ドラフト):
 - HDV燃料電池システムの積上げコストについてはトップダウン目標(DOEが定めた中間の2030年、最終)に対する乖離あり
 - 量産効果については2,000台/年に対して10倍の規模で 35%、100倍規模で 50%と試算。材料においては触媒層、電解質膜で50%前後のコスト低減効果(現在から2030年)を見込む
- NEDO目標に対するコストのベース試算
 - SA社のコスト構造分析に対してOEM4社へのアンケートを実施、スタックコストは全体的に高く、BOPコストはほぼ同等となる傾向
 - NEDO目標(2030/2035/2040年)に対してPt使用量、薄膜化等の材料費削減と出力密度向上によるスタック部材の使用量低減を考慮して想定コストを試算
 - FCシステムの想定コストは2030年頃で1.1~1.26万円/kW、2035年頃で0.93~1.07万円/kW、2040年頃で0.79~0.91万円/kW、2030年頃のトップダウンの中間目標0.9万円/kWに対して乖離
 - 今後は日本版のシステム前提条件を決めた上で、製造プロセス、BOPも含めて精査が必要