

第14回FC-Cubicオープンシンポジウム

定置用燃料電池の新たな技術・市場展開ーグリーン・デジタル社会への貢献ー

みずほリサーチ&テクノロジーズ

サイエンスソリューション部

2024年8月2日

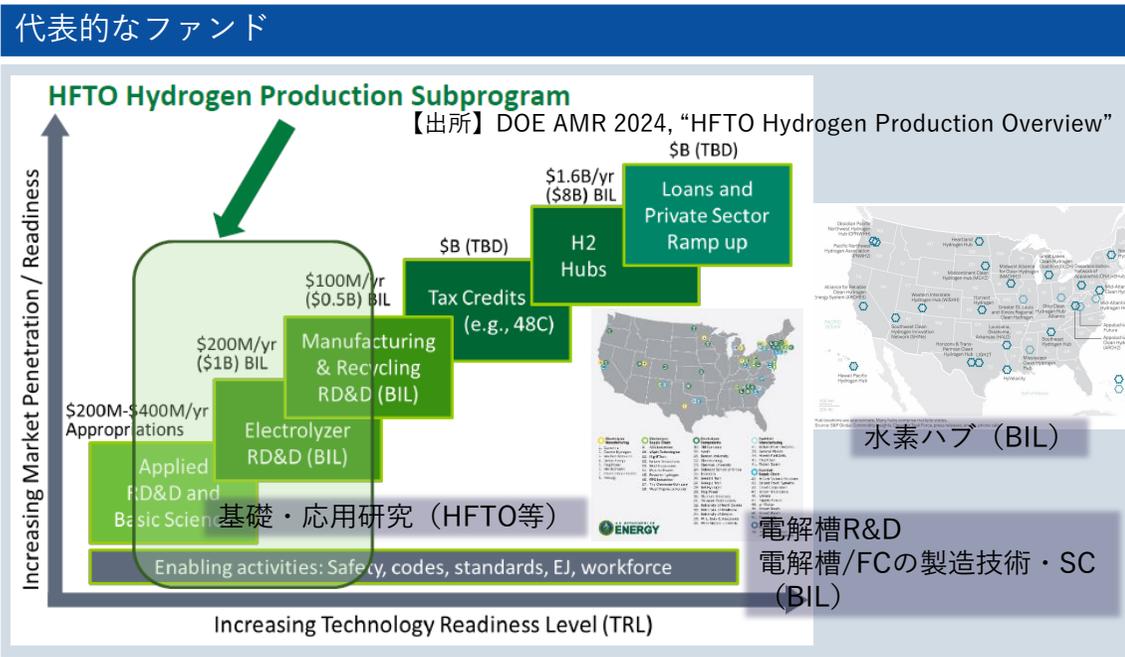
ともに挑む。ともに実る。

MIZUHO

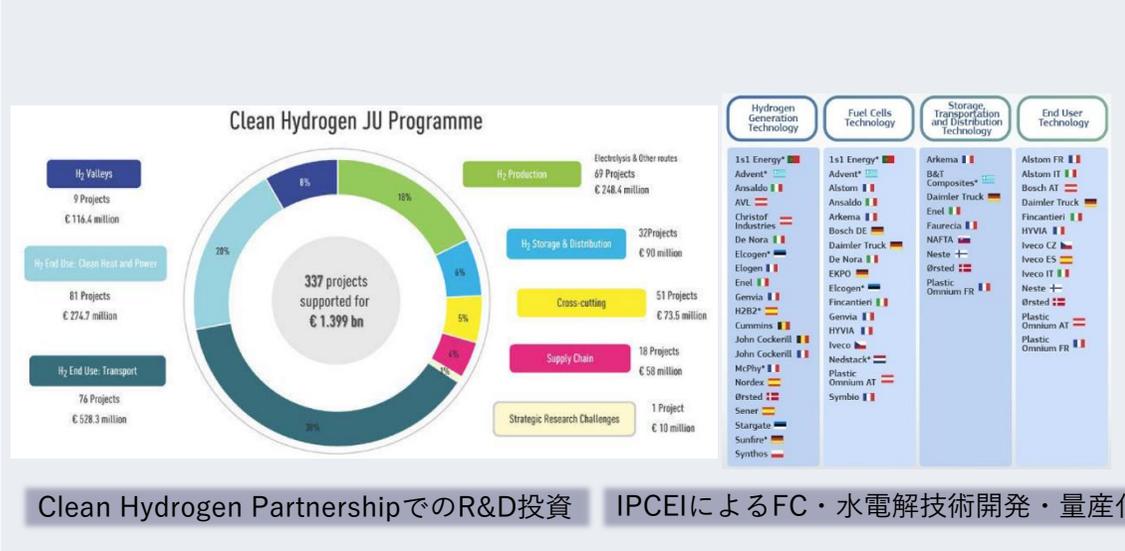


1. 加速する水素・燃料電池への投資

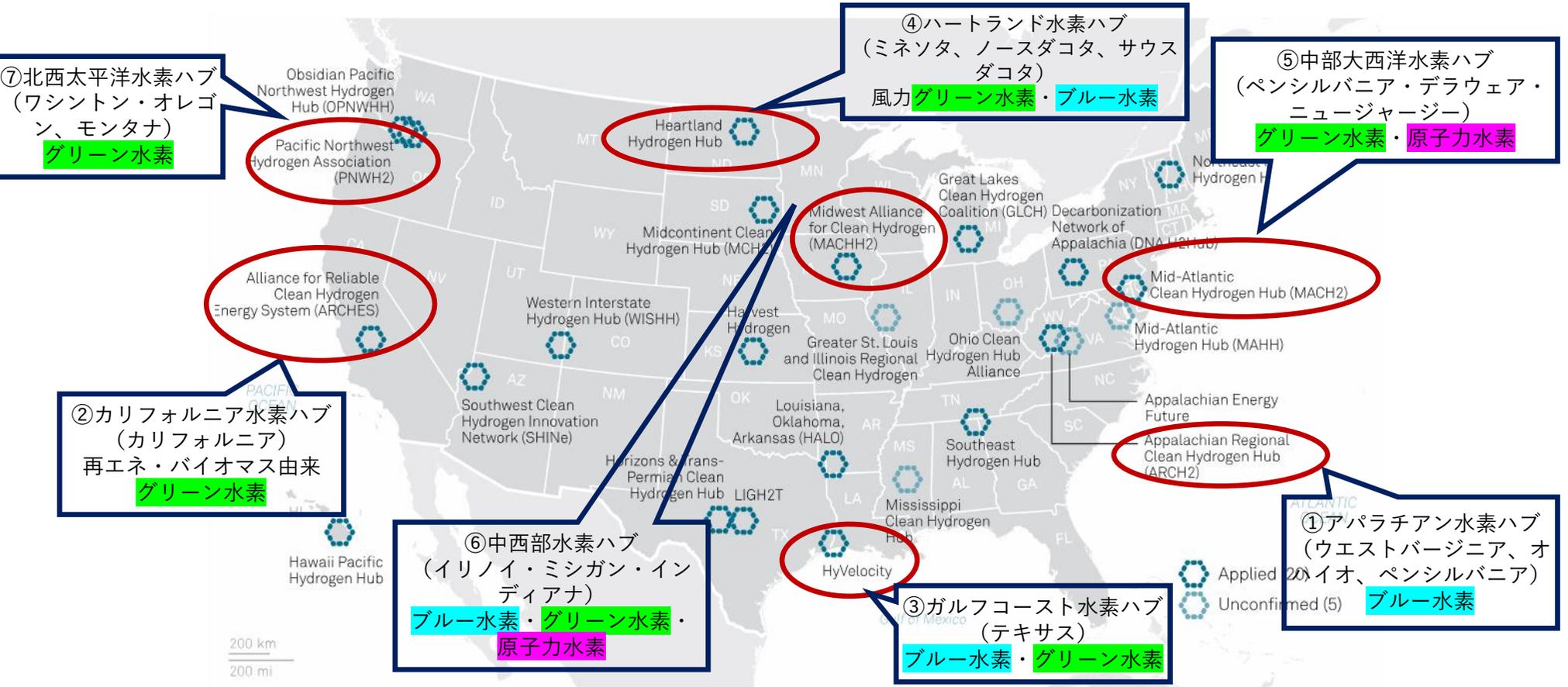
概要
<p>米国</p> <ul style="list-style-type: none"> DOEの水素・FC関連予算はFY23で417.5M (約626億円)、うちHFTO (水素・燃料電池技術室)のRD&D予算は\$170M (約255億円) 2023/10に採択されたHydrogen Hubs (水素ハブ)は7地域で\$7B (約1兆500億円)で超党派インフラ法 (BIL) によるファンド さらにBILファンドで2024/3に電解・FC技術の進歩、スタック・部材の製造技術・サプライチェーン開発およびリサイクル力向上に対し、\$750M (約1,130億円)の投資を発表 2024/4にインフレ抑制法 (IRA) による48C (認定適格先進エネルギープロジェクト)で電解・FC分野に\$336M (約504億円)の税額控除を決定



<p>欧州</p> <ul style="list-style-type: none"> CHJUの累計R&D予算は2008~2023年の16年間で総額€14.0億 (約2,240億円、平均140億円/年)を投資 CHJUの予算は近年増加傾向、2024年は総額€113.5M (約182億円)の新規テーマ募集 (グリーン水素製造€25M、水素貯蔵・輸送€27M、モビリティ€19M、等) 「欧州共通利益に適合する重要プロジェクト」IPCEIでは水素・FC関連で最大€175億 (約2.8兆円)の国家補助が承認済、第1弾のHy2Techでは電解槽・FC関連企業へ最大€1,000M/件の投資が開始、欧州全域の大学・研究機関とも協力
--

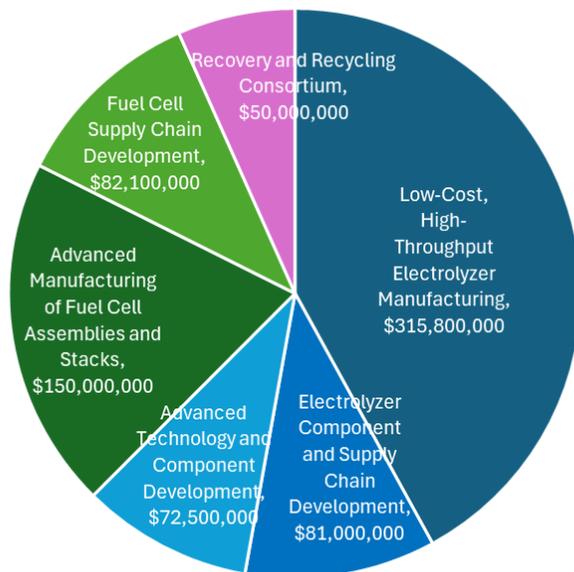


- 2023/10に下図囲みの7地域が「水素ハブ」として採択（最大\$70億）、各地域における再エネ、バイオマス、天然ガス、CO2貯留の幅広いエネルギー資源・設備を活かし、特徴ある水素ハブを形成、特にテキサスでは海外輸出も視野に入れた多数のプロジェクトを創出
- 各プロジェクトではパートナー機関として大学・DOE傘下の国立研究機関も協働・参画していることも特徴

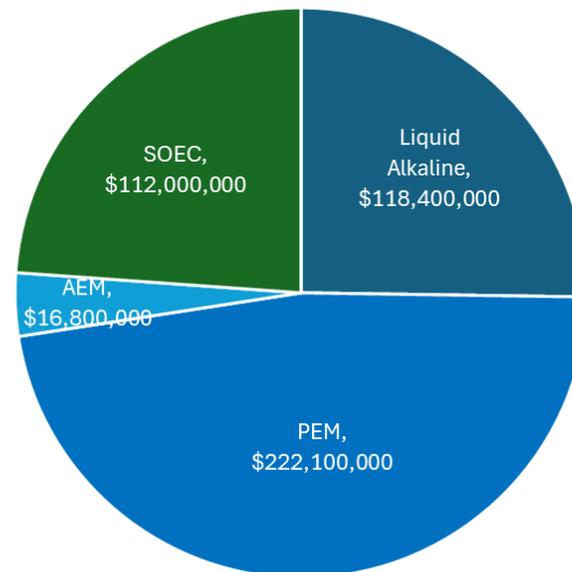


Hub locations are approximate. Many hubs comprise multiple states.
Source: S&P Global Commodity Insights, Clean Air Task Force, press releases, emails, phone calls

- 2024年3月13日、DOEはクリーン水素のコストを大幅に削減し、成長する水素産業における米国のリーダーシップを強化するために、**24州、52のプロジェクトに\$751M（約1,130億円）の資金を提供**すると発表
- 超党派インフラ法の条項で総額\$1.5B（約2,250億円）が承認済、今回は第1段階の投資（約半分）
- 電解・燃料電池技術を進歩させ、クリーンな水素システムおよび部材の製造技術・サプライチェーン開発およびリサイクル能力を向上
- 全6つのトピックから構成、**電解技術に\$469M（約703億円）、燃料電池技術に\$232M（約348億円）、電解・燃料電池共通の回収・リサイクル技術に\$50M（約75億円）**を計上（アカデミアへも\$98M投資）

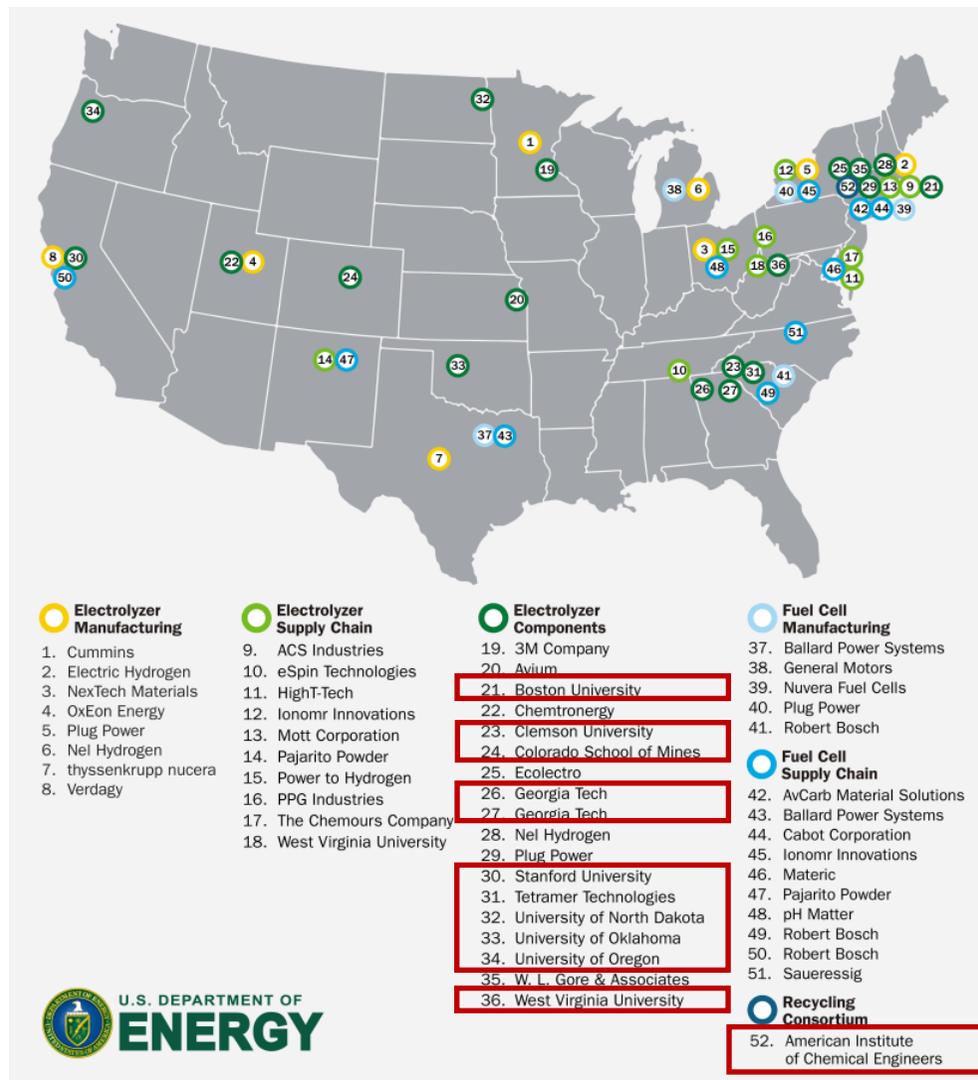


トピック別の予算内訳



電解種別の予算内訳

【出所】 DOE HFTO ウェブサイトの情報より当社作成



アカデミアへの投資額は\$97.7M（約147億円）

【出所】 DOE HFTO ウェブサイトの情報より当社作成

トピック（テーマ）	概要	予算
Topic-1: Low-Cost, High-Throughput Electrolyzer Manufacturing（電解槽の低コスト、ハイスループットの製造技術）	<ul style="list-style-type: none"> 自動化された製造プロセスを含む電解槽製造の革新を通じて、より大きな規模の経済を可能にする研究開発を実施 加工性とスケールアップを考慮した設計、高度な品質管理方法、重要な資源負荷の低減、寿命後の回収とリサイクル可能性を考慮した設計 	\$315.8M
Topic-2: Electrolyzer Component and Supply Chain Development（電解槽部材とサプライチェーンの開発）	<ul style="list-style-type: none"> 触媒、膜、多孔質輸送層などの主要な電解槽部材の米国サプライチェーンの製造および開発ニーズを支援（Alkaline：チェーンの開発） 	\$81.0M
Topic-3: Advanced Technology and Component Development（電解槽の先端技術と部材開発）	<ul style="list-style-type: none"> コスト低減を可能にし、サプライチェーンのリスクを軽減するために、性能、寿命、コスト指標を満たす電解槽の新規材料、部材の設計を実証 	\$72.5M
Topic-4: Advanced Manufacturing of Fuel Cell Assemblies and Stacks（燃料電池アセンブリおよびスタックの高度な製造技術）	<ul style="list-style-type: none"> 低コストの燃料電池のハイスループット製造を支援し、規模の経済を達成するための主要なスケールアップの課題に取り組む 	\$150.0M
Topic-5: Fuel Cell Supply Chain Development（燃料電池サプライチェーンの開発）	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池材料および部材の国内サプライチェーンにおける重大な欠陥に対処するための研究開発を実施（PFAS等の永久化学物質の低減あるいは排除も含む） 	\$82.1M
Topic-6: Recovery and Recycling Consortium（回収・リサイクルコンソーシアム）	<ul style="list-style-type: none"> クリーン水素に関わる材料の回収、リサイクル、再利用を可能にする革新的かつ実用的なアプローチを開発するための産学界、国立研究所のコンソーシアムを設立 電解槽と燃料電池のシステムと部材をリサイクルし、長期的なサプライチェーンの安全性と環境の持続可能性を確保するための 	\$50.0M



- 2024年4月19日、DOEは20州、35のプロジェクトの詳細を発表、**適格先進エネルギープロジェクトクレジット(48C)の総額\$1.93Bを割り当て**、48Cはインフレ抑制法(IRA)によるInvestment in America Agendaによって資金提供された配分税額控除
- 48Cは、2009年の米国再生・再投資法によって設立され、2022年のインフレ抑制法に基づく100億ドルの投資で拡大
- 燃料電池・電解分野では合計\$336M（約504億円、**燃料電池：102億円**、**電解：402億円**）の配分が決定

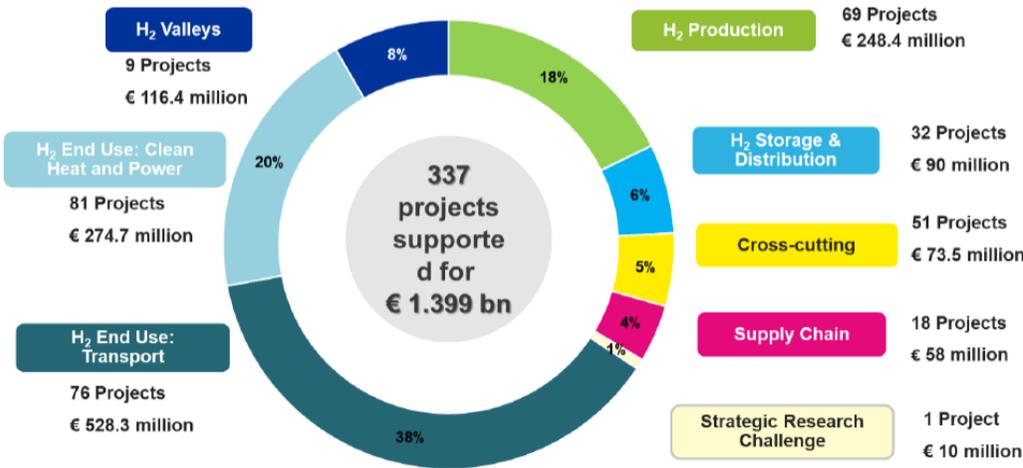
テーマ	ターゲット
Clean Energy and Clean Vehicle Manufacturing (14プロジェクト、うち 燃料電池スタック・システム2プロジェクト)	エネルギー安全保障、経済競争力を高めるためのクリーンエネルギー製品と材料の製造を拡大、BEVの充電設備、PV用のリサイクルガラスやポリシリコン、洋上風力発電の鉄鋼など、様々な製品を生産するための新規・拡張施設が含まれる
Critical Minerals and Materials (8プロジェクト)	大型電力変圧器、送電網規模のバッテリー、変電所の変圧器・整流器、地下および海底の電気ケーブルなど、送電網の回復力を強化し、送電網のアップグレードに対するサプライチェーンの制約を克服するために必要な重要な送電網コンポーネントを生産
Grid Components and Modernization (5プロジェクト)	電磁鋼、炭酸リチウム、合成黒鉛などの材料の製造をサポートするために必要な重要鉱物と材料の国内生産と精製を拡大、LiB材料のリサイクルを促進、重要鉱物を国内で再利用し、長期的なサプライチェーンとエネルギー安全保障を確保することも含まれる
Industrial Decarbonization (8プロジェクト、うち 電解装置6プロジェクト)	鋼やセメントなどのエネルギー集約型セクターの脱炭素化を促進するために、既存の産業施設での排出量を削減するほか、電解槽の製造を含むクリーンな水素と低炭素燃料の製造を加速

企業名	対象	予算
Ballard Power Systems	燃料電池	\$54.0M
Cummins, Inc.	LT水電解	\$10.6M
Electric Hydrogen Co.	LT水電解	\$18.3M
John Cockerill Hydrogen North America	LT水電解	\$34.1M
Nel Hydrogen	LT水電解	\$41.0M
Nuvera Fuel Cells, LLC	燃料電池	\$14.1M
Topsoe SOEC Production US Inc	HT水電解	\$135.9M
Twelve Benefit Corporation	LT水電解	\$28.5M

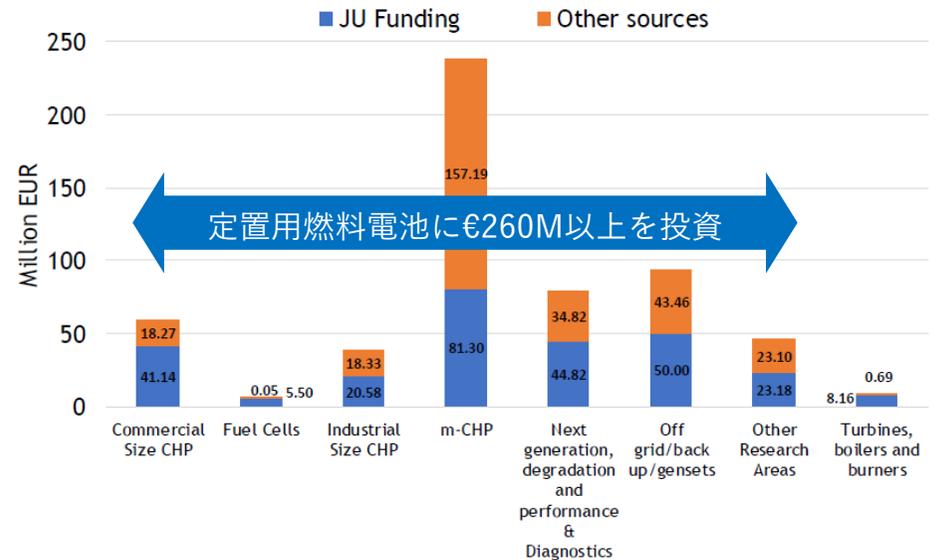
【出所】 DOE HFTO ウェブサイトの情報より当社作成

- CHJU (前身のFCHJUを含め) の累計R&D予算は2008~2023年の16年間で総額€14.0億 (約2,240億円、平均140億円/年) を投資
- 2021年からスタートしたHorizon Europeプログラムでは3年で€320M (約510億円、平均170億円/年) と年平均では増加、2024年は総額€113.5M (約182億円) の提案を募集
- クリーンコジェネ分野においても近年では減少傾向であるものの、2021~2023年で€17.7M (約28億円) のR&D投資を継続

CHJUの水素・燃料電池分野への投資



クリーンコジェネ分野への投資



【出所】 Clean Hydrogen Partnership, “Programme Review Report 2023”等より当社作成

近年ではμ-CHP向け燃料電池の普及プロジェクト (PACE、2023年終了)、業務用SOFC (10-50kW) の実証と製造技術、MWクラスを想定したPEFC次世代発電所の実証、オフグリッド/BCP対応の実証、定置用FCの監視・診断・予後制御技術の開発に投資



- EUでは、加盟国間の競争環境を不当に歪める可能性があるとして、加盟国による企業への国家補助は原則禁止
- 「欧州共通利益に適合する重要プロジェクト」IPCEIは複数の加盟国に跨り、EU目標に沿った高い公益性を有する事業に対して国家補助を認める国家補助規制の特例措置で水素・FC関連ではHy2Tech：最大€54億（約8,600億円）、Hy2Use：最大€52億（約8,300億円）、Hy2Infra：最大€69億（1.1兆円）、総額最大で€175億（約2.8兆円）の国家補助が承認済、第4弾としてHy2Move（モビリティ分野技術支援）も2024/5/29に承認

Hy2Tech（産業部門や運輸部門の水素バリューチェーンの技術革新）

Hy2Use（水素関連インフラの整備や産業部門の水素活用に必要な技術革新）

水素生産技術	燃料電池技術	貯蔵・輸送運搬技術	エンドユーザによる活用技術	水素インフラ	産業における水素の活用
1s1 Energy*（ポルトガル） Advent*（ギリシャ） Ansaldo（イタリア） AVL（オーストリア） Christof Industries（オーストリア） De Nora（イタリア） Elcogen*（エストニア） Elogen（フランス） Enel（イタリア） Genvia（フランス） H2B2*（スペイン） Cummins（ベルギー） John Cockerill（ベルギー） John Cockerill（フランス） McPhy*（フランス） Nordex（スペイン） Ørsted（デンマーク） Sener（スペイン） Stargate（エストニア） Sunfire*（ドイツ） Synthos（ポーランド）	1s1 Energy*（ポルトガル） Advent*（ギリシャ） Alstom（フランス） Ansaldo（イタリア） Arkema（フランス） Bosch DE（ドイツ） Daimler Truck（ドイツ） De Nora（イタリア） EKPO（ドイツ） Elcogen*（エストニア） Fincantieri（イタリア） Genvia（フランス） HYVIA（フランス） Iveco（チェコ） Nedstack*（オランダ） Plastic Omnium AT（オーストリア） Symbio（フランス）	Arkema（フランス） B&T Composites*（ギリシャ） Daimler Truck（ドイツ） Enel（イタリア） Faurecia（フランス） NAFTA（スロバキア） Neste（フィンランド） Ørsted（デンマーク） Plastic Omnium FR（フランス）	Alstom FR（フランス） Alstom IT（イタリア） Bosch AT（オーストリア） Daimler Truck（ドイツ） Fincantieri（イタリア） HYVIA（フランス） Iveco CZ（チェコ） Iveco ES（スペイン） Iveco IT（イタリア） Neste（フィンランド） Ørsted（デンマーク） Plastic Omnium AT（オーストリア） Plastic Omnium FR（フランス）	Air Liquide France（フランス） Air Liquide Netherlands – CurtHyl（オランダ） Air Liquide Netherlands – ELYgator（オランダ） Bay of Biscay Hydrogen（Petronor/Repsol）（スペイン） Bondalti（ポルトガル） Cartagena Hydrogen Network（Repsol）（スペイン） ENGIE Belgium（ベルギー） ENGIE Netherlands（オランダ） Fluxys（ベルギー） H2 Aboño（EDP）（スペイン） H2-Fifty（オランダ） H2 Los Barrios（EDP）（スペイン） HyCC（オランダ） Iberdrola（スペイン） MassHylia（TotalEnergies and ENGIE France）（フランス） Ørsted（オランダ） P2X Solutions*（フィンランド） PKN Orlen（ポーランド） Shell（オランダ） Uniper（オランダ）	Borealis（オーストリア） Enel Green Power/Endesa（スペイン） ENGIE Belgium（ベルギー） Everfuel*（デンマーク） Hybrit Development（スウェーデン） IAM Caecius（スペイン） NextChem（イタリア） RINA-CSM（イタリア） RONA（スロバキア） SardHy Green Hydrogen（イタリア） Solar Foods*（フィンランド） South Italy Green Hydrogen（イタリア） TECforLime（ベルギー） TITAN Cement（ギリシャ） VERBUND（オーストリア）

*は中小企業

【出所】IPCEI Hydrogen ウェブサイトの情報より当社作成

- IPCEIでは各国の政府を通じて主要FCメーカーや電解槽メーカーに次世代製品の開発、商業化に向けて多額の資金を提供開始、プロジェクトでは**欧州全域の大学、研究機関とのコラボレーションも含んでいる**

EKPO	Symbio	Sunfire
<ul style="list-style-type: none"> ■ 独連邦政府とバーデン・ヴュルテンベルク州を通じて2027年までに最大€177M（約283億円）の資金提供 ■ HD用途向けの新世代の高性能PEM燃料電池スタックモジュールの開発と産業化を目的としており、高性能スタックモジュールを商用車分野だけでなく、バスや船舶用途、鉄道輸送分野、定置型システムにも展開される ■ 技術開発と並行して、革新的な燃料電池スタックの商業レベルでの準備から大量生産へ移行 	<ul style="list-style-type: none"> ■ European Commissionと仏政府が支援するプロジェクトHyMotiveの一環で、Faureciaを傘下を持つFORVIAグループ、タイヤ製造販売MICHELIN、大手自動車メーカーStellantisが折半出資する合弁会社のSymbioがFCシステムのギガファクトリーSymphonHyを建設、現在の生産能力は1.6万ユニット/年 ■ 投資額は最大€1B（約1,600億円）、2028年までに10万ユニット/年の生産規模に拡大 ■ 設立時50名から750名以上の従業員増（技術者・研究者も含む） ■ 独Schaefflerと合弁会社Innoplates社を設立、年産5,000万枚のBPP製造を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 独連邦政府および各州を通じて最大169M€（約270億円）の資金提供 ■ 最大電解技術の最初の工業的量産を確立することが目的 ■ 先立って独の電解槽量産化技術プロジェクト「H2-Giga」で€60Mを受け、加圧型アルカリ水電解装置（AWE）を立ち上げ、SOECの量産化技術の開発も推進 ■ IPCEIの資金提供により加圧型アルカリ水電解およびSOECの主要な産業スケールアップを実行

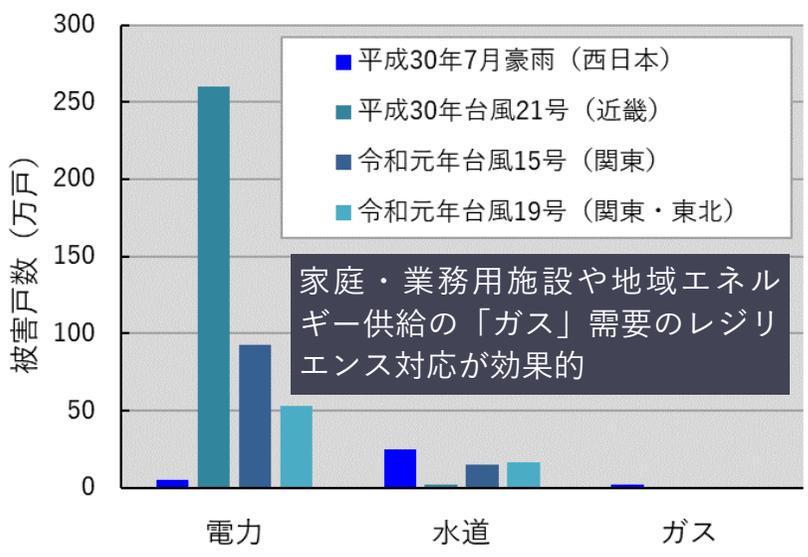
他の主なプロジェクト事例として、**BoschにSOFCの商業化で€160M**、**elcogenにrSOCの技術開発と実用化で€25.4M**、Salzgitterにグリーン水素（100MW級）による還元製鉄で最大€700M、Advent TechnologiesにHT-PEM燃料電池・電解槽で\$60M、BASFにグリーン水素（54MW）による化学品製造で€134Mなど

2. サステナ・デジタル社会に向けた定置用FCへの期待

定置用燃料電池への期待

- 省エネコジェネレーション機器としてCO2排出量低減、将来的には燃料の低炭素化（混合ガス）、カーボンニュートラル燃料の普及に伴い、更なる低減に貢献（省エネ・低炭素化）
- 地震・水害等の災害の多い地域では停電時のBCP（事業継続計画）対応としての期待も大きく、日本ではガス供給インフラは、他のインフラと比較して被害影響が少ない（レジリエンス強化）
- 分散型エネルギーインフラを活用した地域エネルギー事業が期待、地域の資源を活用して域内で地産地消することで、経済好循環、効率的なエネルギー利用、エネルギーセキュリティの確保（エネルギーの地産地消）
- 再生可能エネルギー普及に伴い、分散化してエネルギーリソースを束ねて遠隔で発電所のように制御（VPP）、電力供給構造の変化に伴う系統混雑や電力品質の調整力として機能（電力需給の高度化）

自然災害による被害戸数（国内）



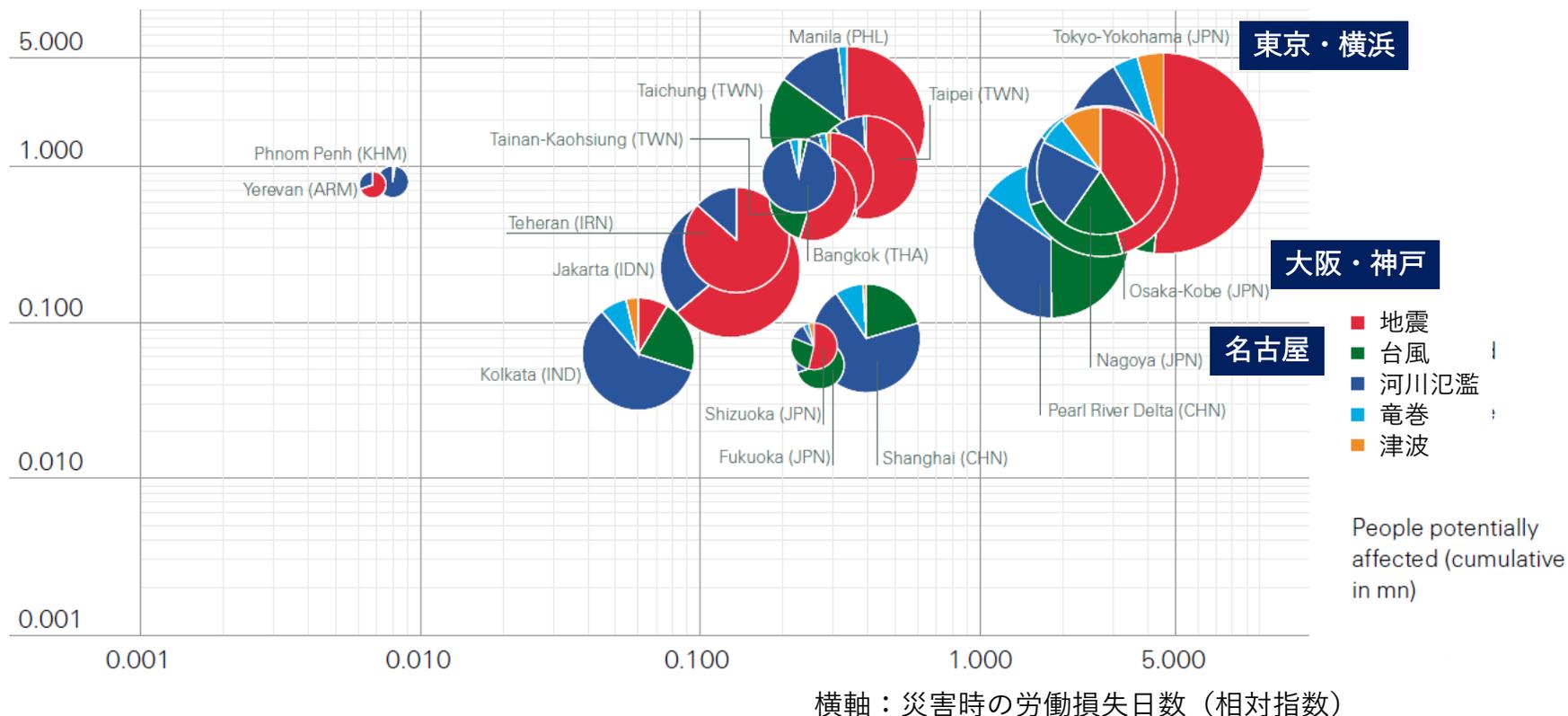
【出所】 内閣府の公表情報に基づき当社作成

項目	導入の意義
経済好循環	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地域に存在する資源・産業の副産物（間伐材、家畜ふん、廃熱等）を活用することでバリューチェーンが拡大、地域産業の新たな収益化 ■ エネルギーの地産地消により地域で資金が循環、雇用増や税収増を期待
効率的エネルギー利用	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電気と熱の効率的なエネルギー利用でエネルギーコスト削減による地元産業の収益力向上 ■ エネルギーに係る新たな産業やサービスの創出
エネルギーセキュリティの確保	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地域において非常時のエネルギー源を確保することで、災害に強いエネルギーシステム構築や、地域拠点におけるエネルギー確保

【出所】 総務省「自治体主導の地域エネルギーシステム整備研究会、コージェネレーション白書2021」に基づき当社作成

- 日本の大都市は他国に比べても特に災害時損失による経済的な影響が大きく、レジリエンスの重要性が高い
- アジア圏では台湾、フィリピン、インドなども災害時損失の影響が大きく、同様の問題意識が予想される

縦軸：災害時の労働損失（当該国経済への影響、相対指数）

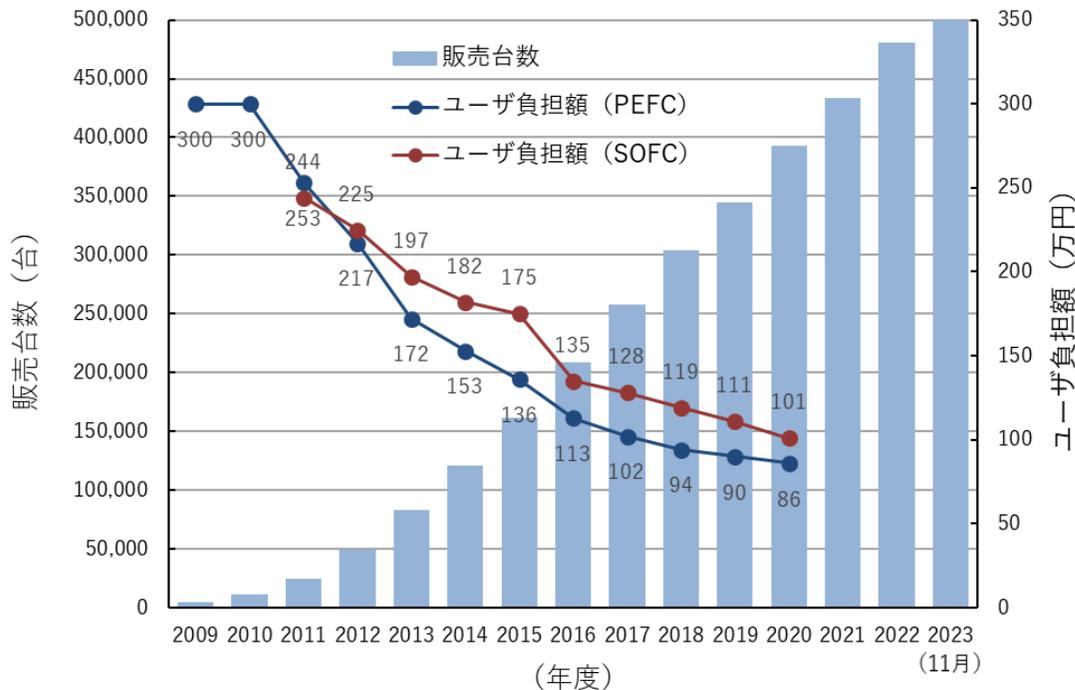


【出所】 Swiss Re, "Mind the risk - A global ranking of cities under threat from natural disasters"

国内「エネファーム」の普及状況とレジリエンスへの注目

- 2009年に世界で初めて家庭用燃料電池「エネファーム」として PEFCタイプが売されて以降、2011年のSOFCタイプの販売開始に加え、集合住宅への対応、停電時発電機能、寒冷地対応、小型化を実現した機種などラインナップを拡充、**2023年11月に累計販売台数50万台を突破**
- 「エネファーム」数千台を遠隔制御し、系統電力に対する調整力の供出や系統需給状況に応じた制御の確立に向けたVPP実証への参画等、「エネファーム」の技術革新に向けた取り組みも推進
- 停電時発電で**高い省エネ・省CO₂性能だけでなく、災害による停電時におけるレジリエンス（強靱性）**へも対応

エネファーム累計販売台数・ユーザ負担額の推移



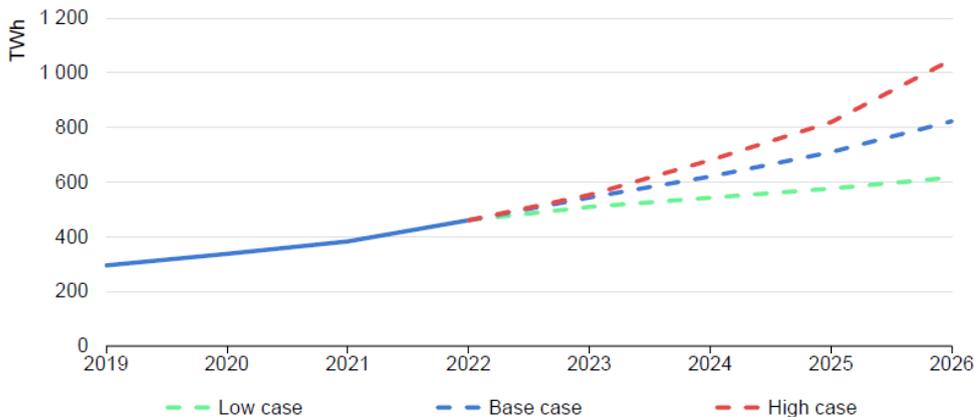
【出典】資源エネルギー庁、エネファームパートナーズ資料に基づき当社作成

メーカー	外観	製品仕様
パナソニック (PEFC)		出力：700W 発電効率：41% 総合効率：98% 燃料：都市ガス/LPガス
アイシン (SOFC)		出力：700W 発電効率：55% 総合効率：87% 燃料：都市ガス/LPガス
京セラ (SOFC)		出力：400W 発電効率：50% 総合効率：85% 燃料：都市ガス(13A)

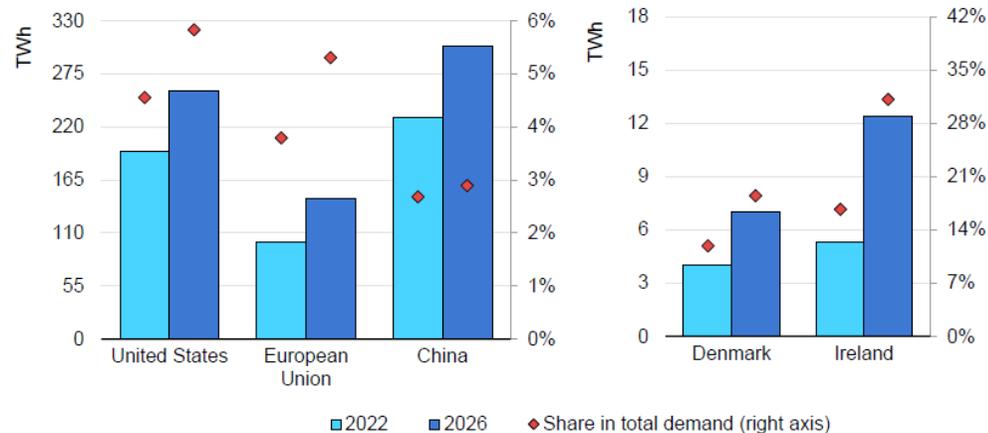
※定格出力、発電効率および総合効率は、戸建住宅向け都市ガス用の数値

- 世界でデータセンター（DC）の電力消費量が急増、膨大な計算が必要なAI（人工知能）の利用拡大が背景で、IEAは2026年の電力消費量が22年から最大で2.3倍になるとの試算
- 米国OpenAIの「Chat GPT」で1回問答するときの消費電力量は2.9Wh、一般的な「Google検索」の10倍に相当
- 欧州ではデンマークとアイルランドにDC拠点多く、将来は国内の電力需要の20%以上に迫り、電力インフラに強い負担、DCのオフグリッド非常用電源として燃料電池の期待も高い
- 欧州におけるエネルギー使用量と炭素排出量の削減を目的とした欧州エネルギー効率指令が2023年9月に公表、第一弾として500kWを超えるブロック内のデータセンターのエネルギー使用量と排出量の報告を義務付け
- DC向け燃料電池市場は2032年までに\$573M（約860億円）まで成長する予測あり（Future Market Insightsデータ）

データセンターの電力需要見通し

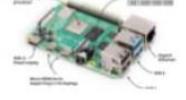


欧米中における電力需要と全電力に対する割合



【出所】 IEA, “Electricity 2024”

- 大量データの一元集中処理を行うクラウドDCの電力需要は5~10MW、近年、現場サイドにデータを集約して処理を行うエッジコンピューティングが台頭
- 小規模のオンプレミスでは1~数10kW、中規模では数100kW~1MWの電力需要であるが、AIによるデータ・処理能力の増加でエッジコンピューティングでも電力需要が増加する傾向

Category		Type	Deployment	Performance Features	
				Power Capacity	Latency
Cloud		In-country data centres		Between 5MW and 10MW	Up to 20ms
Edge	Metro-edge	In-country data centres (edge)		Up to 5MW	Between 10 and 20ms
	Medium-edge	Near Edge		Up to 1MW	<10ms
		Far Edge		Up to 200kW	<5ms
	Micro-edge	On-premise (small scale)		Up to 30kW	<3ms
		On-premise (micro scale)		Up to 1kW	~1ms
	Device edge	On device		N/A (widely depending on the specific objective or function)	<1ms

Edge Computing

Near

Far

On-premise



エネルギー・小売・製造・デジタルツインで約60%を占める

【出所】 European Commission, “Edge Deployment Data Report 1st report”

- 米国ではMicrosoft社がDC向けのバックアップ電源としてPEFCの活用実証を先行実施、国内のプレーヤーもDC向けの活用検討を開始

プレーヤー	概要	製品・システム概観
Microsoft	<ul style="list-style-type: none"> ■ ディーゼル発電機に代わるバックアップ電源として、PEM型燃料電池の実証実験を実施、250kWのDCを48時間連続で稼働させることに成功（2020年） ■ Azureデータセンター全体のバックアップ電源（3MW級）のFC調達と実証に成功（2022年） ■ 水素は再エネ余剰電力から、または水素動力の長距離トラックによる供給を検討 	 <p>【出所】マイクロソフト、データセンターのバックアップ電源に水素燃料電池を試行 - News Center Japan (microsoft.com)</p>
本田技研工業 トクヤマ 三菱商事	<ul style="list-style-type: none"> ■ ホンダが有する車載用からのリユースも想定した定置用FC電源をトクヤマが手掛ける食塩電解事業で発生した副生水素で稼働 ■ 三菱商事所有のDCの電源に使用、DCのグリーントランスフォーメーションを目指す 	 <p>【出所】Honda・トクヤマ・三菱商事が、副生水素と車両からのリユースを想定した定置用燃料電池電源の活用により、データセンターの脱炭素化を図る共同実証を実施 Honda 企業情報サイト (global.honda)</p>
Keppel 三菱重工	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keppel Data Centers Holdingと三菱重工のシンガポール現地法人が水素発電に関する覚書を締結 ■ 水素動力の環境負荷の小さいDCをどのように運営できるか研究していく 	 <p>【出所】Keppel and Mitsubishi Heavy Industries to explore hydrogen power plant for data centers - DCD (datacenterdynamics.com)</p>

- Bloom Energy :
 - AppleやGoogleなどの世界有数のグローバル企業100社以上を含む、世界中の700以上の場所で運用
 - 2024/5にIntelとの電力容量契約を発表、シリコンバレー最大のFC駆動High-Performance Computing DCを計画
 - シリコンバレーに建設予定のAWSのDCに15年間の20MW電力購入契約（PPA）を締結予定
- Ballard Power Systems :
 - DC向けPDUや電源・熱管理のシステム・インフラ保守のグローバルプロバイダーであるVertiv社とデータセンターと重要インフラのバックアップ電源アプリケーションに焦点を当てた戦略的技術パートナーシップを締結、200kW～数MWまで拡張が可能
 - Caterpillar社と連携してDC向けに信頼性と持続可能性のあるバックアップ電力を供給するための大型水素燃料電池の使用可能性を実証（H2@ScaleのものDOEの支援を受け、NRELとも経済性・LCA評価で連携）

Bloom Energy : IntelのサンタクララDCでのSOFC発電拡大



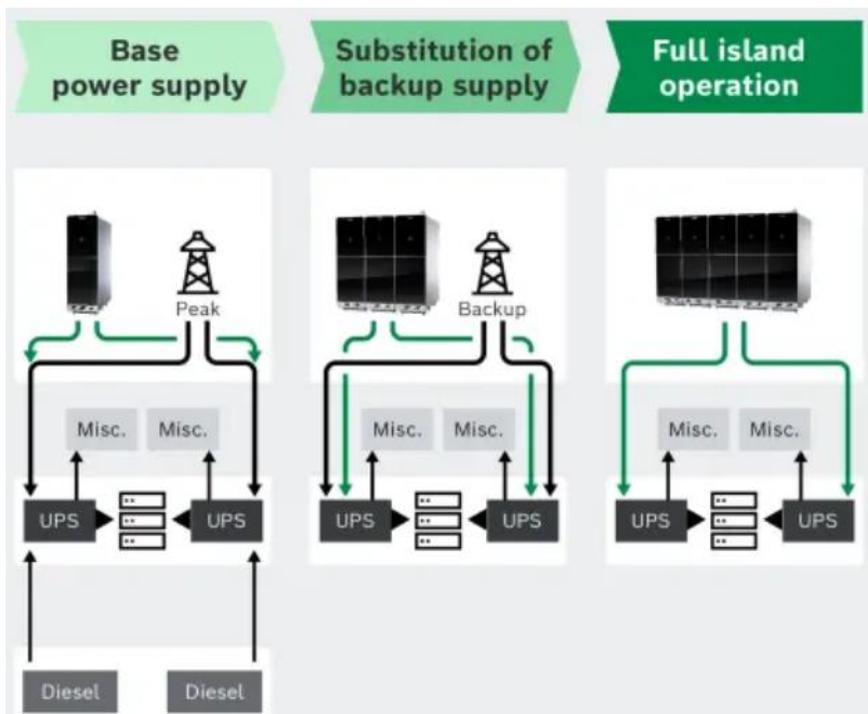
【出所】 Bloom Energy社のウェブサイト

Ballard : Microsoft DCのバックアップ電源用1.5MW水素燃料電池技術の実証



【出所】 Ballard社のウェブサイト

- Bosch GmbHは独・第7次エネルギー研究プログラムの一環として独・連邦経済・気候行動省から資金提供を受け、**グローバルDCのパイロット燃料電池システムの実証を開始**（実証の各ステップにおいてTÜV ITの安全基準の認証）
- 100kWのSOFCシステムをベースとして1台ずつグローバルデータセンターの電源システムに段階的に統合し、完全なオフグリッドDC向け電源を目指す
- 最終的にはグリーン水素でカーボンニュートラルなシステム運用が可能



実証フェーズ	システムの進化
第一段階	SOFCシステムは、DCに一次エネルギーを供給、従来の外部グリッドは負荷ピークを平準化、ディーゼル発電機は当面の間、バックアップシステムとして保管
第二段階	SOFCシステムを追加することで、燃料電池がDCの潜在的なピーク負荷をカバー、停電が発生した場合は、従来の電力網がバックアップとして機能ディーゼル発電機が不要
第三段階	電力需要に足るSOFCシステムを導入することでバックアップシステムは不要、DCは電力網から完全に独立して運用し、信頼あるオフグリッド電源を確立。グリーン水素・グリーンメタンを利用することで、DCをカーボンニュートラルで運用可能

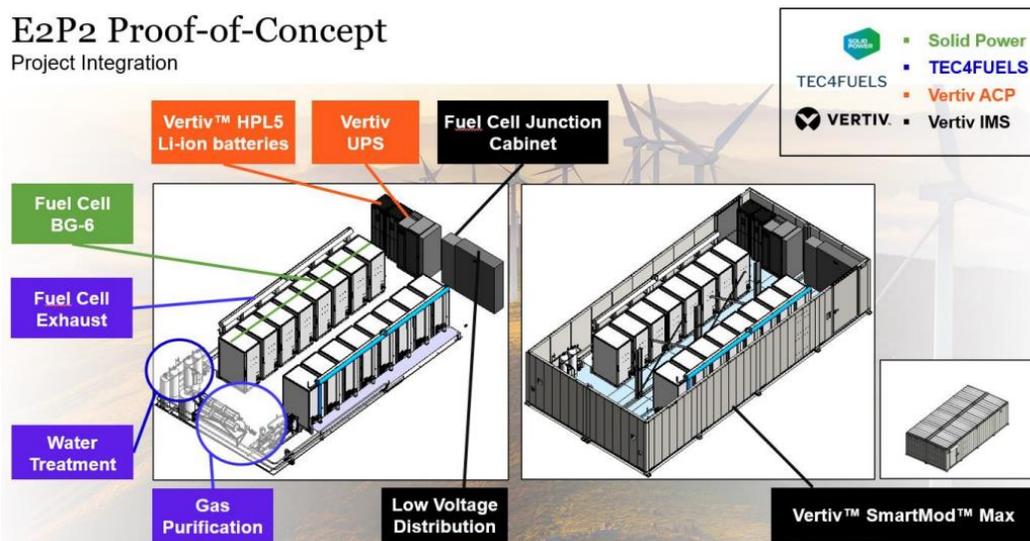
【出所】 <https://www.bosch-hydrogen-energy.com/sofc/applications/data-center/>

- CHJU支援のE2P2 (Eco Edge Prime Power) プロジェクトにおいて、燃料電池を利用したDCでのオンサイトの主力電源の開発・実証、欧州内DC向けの燃料電池の商用化へ向け、オープンスタンダードを開発することが目標
- VERTIV社の無停電電源装置とリチウムイオン電池を統合した燃料電池電源モジュールを設計・開発、2023年までにオールインワンの100kW SOFCモジュールを設計、最終的には数MWの臨界負荷をサポートできる商業的に実行可能な製品開発が目標
- イタリア・ミラノのDCのキャンパスに展開し、天然ガス、バイオガス、LPG、またはグリーン水素を使用して運用

E2P2プロジェクトのシステムコンセプト

E2P2 Proof-of-Concept

Project Integration



参画機関	ミッション
RISE Research Institutes of Sweden	プロジェクトコーディネーターとして技術開発・実証を推進
SOLIDpower S.P.A.	SOFCの技術・システム提供
TEC4FUELS	燃料供給・精製に関するノウハウ提供、ガス・水の品質モニタリング検知システムの開発
SNAM S.P.A.	天然ガス輸送網のノウハウ提供
Equinix	イタリア・ミラノのデータセンターでの実証担当
InfraPrime GmbH	燃料電池プラットフォームのオープンスタンダード化
Vertiv	燃料電池電源モジュールの設計・開発

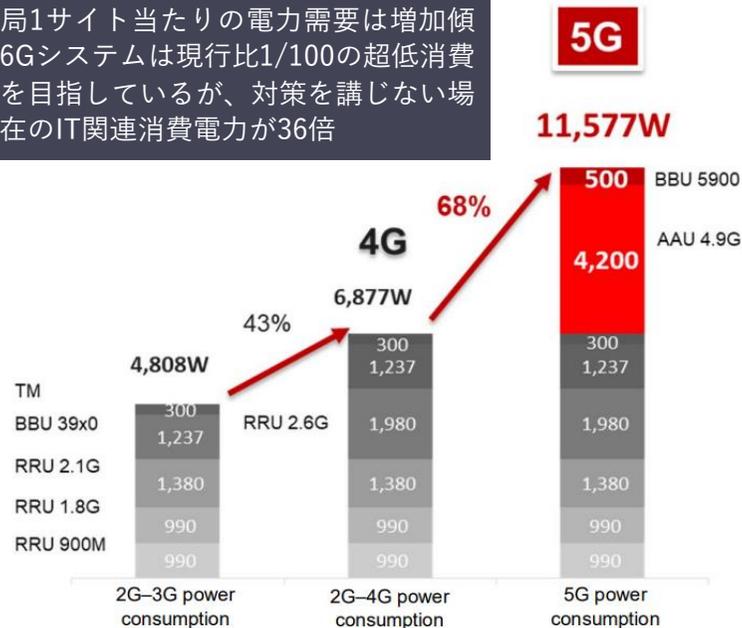
【出所】 VERTIV, "Bring Your Own Power: Exploring alternative energy sources and grid support capabilities for UPS systems"

【出所】 E2P2プロジェクトウェブサイト (<https://e2ps.eu/>) 等の情報に基づき当社作成

- 近年の台風による大規模停電とそれに伴う携帯電話の障害を受け、総務省は2020年に基地局で最低24時間以上、災害時対策拠点となる都道府県庁、離島や山間僻地では最低72時間以上の予備電源を備えることを義務付ける方針を示した（2019年10月時点で国内基地局の内、24時間以上の予備電源を備えたのは0.8%程度）
- 海外でも同程度の持続性を持った電源が求められていること、また今後5G/Beyond 5G（6G）等の移動通信技術の向上に伴って基地局あたりでの消費電力が増加する見通しもあることから、長時間・多量の電力を安定的に供給できる通信基地局向けの非常用電源として燃料電池が大いに活用できる可能性がある用途と期待

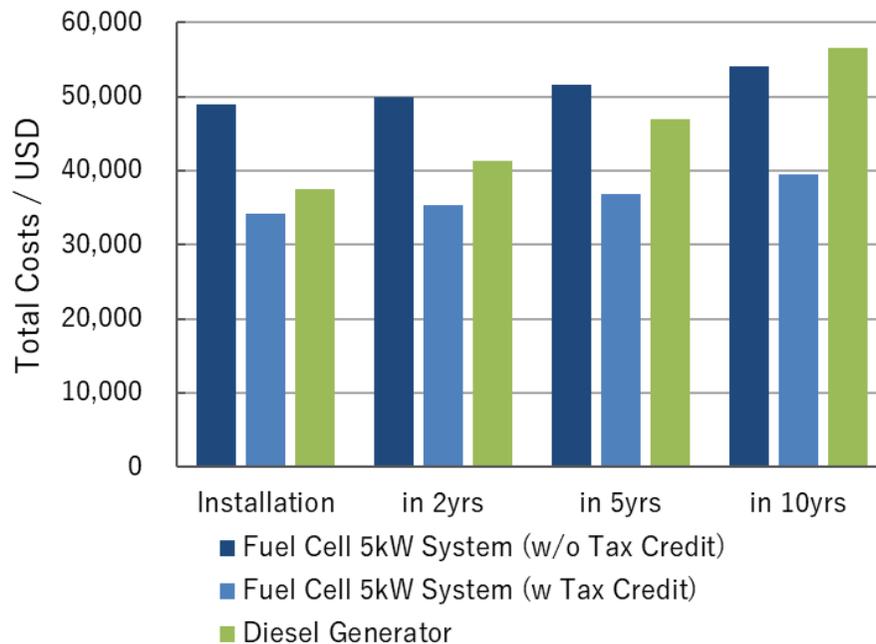
移動通信技術の進展による電力消費

基地局1サイト当たりの電力需要は増加傾向、6Gシステムは現行比1/100の超低消費電力を目指しているが、対策を講じない場合現在のIT関連消費電力が36倍



【出所】 HUAWEI 5G Power Whitepaper

通信基地局用バックアップ電源のコスト比較



【出所】 Plug Power, “COMPARING BACKUP POWER OPTIONS FOR COMMUNICATIONS”
 の情報に基づき当社作成

- 水素は、太陽光や風力発電の時間変動とは無関係に、エネルギーを効率的に貯蔵・放出することができ、高効率の燃料電池を使用することで、電力グリッドへの負担を軽減しながら、持続可能な水素駆動の充電システムが可能
- 普及が進むBEV向け急速充電ステーションにおいて、米国を中心に燃料電池による安定な電力供給が一部企業によって実証・導入されている状況

プレーヤー	システムイメージ	技術概要
GM		<ul style="list-style-type: none"> ■ GSより手頃な価格でDC急速充電設備の導入を目的とし、大きな給電線や変圧器、変電設備の新設など投資の回収が不可能な電力インフラの拡充に多額の投資をせずに、必要なPEFCによる急速充電設備（EMPOWER）を導入、2025年までに500基の計画 ■ 水素による移動型充電ステーションMPGも開発
AFC Energy		<ul style="list-style-type: none"> ■ 10kW AEM燃料電池システムを利用した充電ステーションへの電力供給を実施 ■ 2021年8月よりエストニアにてテスト運転を実施中、電力供給事業者ABB社と2020年12月より共同製品開発契約を締結、市場の成長に伴いモジュールの大型化(20kW→1MW)を目指す方針
Ballard Power Systems		<ul style="list-style-type: none"> ■ 6つの200kW PEFCを備えAC正味電力で1MWの40フィートコンテナで充電システムを提供 ■ コンテナ化されたシステムにより、現場での設置時間が短縮され、完全な供給サービスとスペアパーツのサポートによりスムーズな運用を保証
Plug Power		<ul style="list-style-type: none"> ■ テネシー州ナッシュビルにある2MWのPEFCシステムを設置、シフト中に200台のフリート車両を充電が可能、15,000kgの水素タンクが付属しており、電力需要に応じて何度でも補充することが可能 ■ グリッドとは独立しているため、グリッドからの電力供給の停止や価格変動に関係なく、安定した充電を保証

【出所】 各社ウェブサイトの情報に基づき当社作成

3. 定置用燃料電池の目標と技術開発

- 日本、米国、欧州における2030年頃までの定置用FCの技術目標（コスト、発電効率、耐久性、等）は以下のとおり
- 日本では2040年に向けてPCFC、オフガスリサイクルSOFCの技術で目指す努力目標として発電効率70%の高効率次世代型の技術開発、65%以上の純水素型PEFCもターゲット
- 米国でも2030年以降の定置用FCの究極（Ultimate）目標として発電効率65%以上、耐久性13万時間、システムコスト\$750/kW（2030年の1/2のレベル）と設定

国・地域		システムコスト		発電効率(LHV)	耐久性	達成時期
日本		家庭	50万円以下	45~65%	15万時間	2030年
		低圧	50万円/kW	60%以上		
		高圧	30万円/kW			
米国		定置	15万円/kW (\$1,000/kW) ※3	65%	8万時間	2030年
		再生可能	27万円/kW (\$1,800/kW)	60% (round-trip)	4万時間	
欧州 (SOFC)		<5kW	56万円/kW (€3,500/kW) ※3	55% (57%) ※2	0.2%/1,000h	2030年
		5-50kW	40万円/kW (€2,500/kW)	62% (57%) ※2		
		50-500kW	32万円/kW (€2,000/kW)	65% (57%) ※2		
欧州 (PEFC)		<5kW	64万円/kW (€4,000/kW)	56%	0.2%/1,000h	2030年
		5-50kW	19万円/kW (€1,200/kW)	56%		
		50-500kW	14.4万円/kW (€900/kW)	58%		

※1：700W級システム標準機

※2：CH₄燃料の場合（カッコ内は純水素）

※3：1\$=150円, 1€=160円の為替レート換算

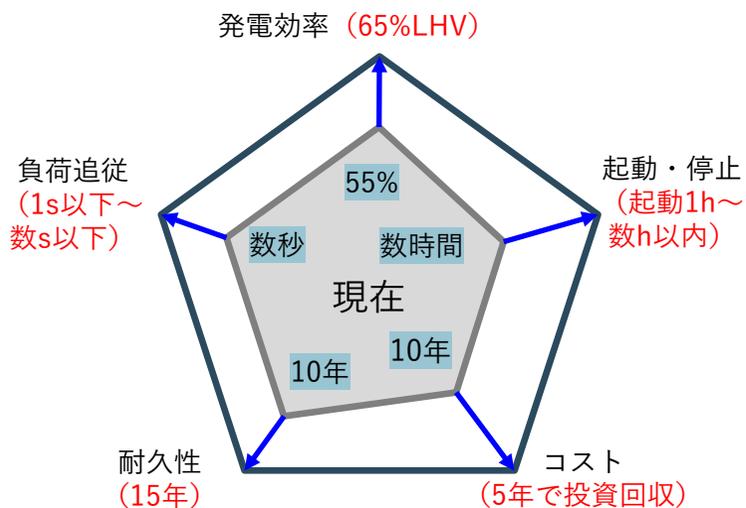
【出所】 日本：NEDO 定置用燃料電池技術開発ロードマップ

【出所】 米国：Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office Multi-Year Program Plan 2024

【出所】 欧州：Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027

- ①上市・製品化されているセルスタックの商品性向上と、②現在研究開発段階の次世代型セルスタックの二つの方向性が存在
- SOFCの基本技術はセルスタックであるため、セルスタックができた段階で次世代セルスタック技術は現行型へ適用

製品の技術目標チャート図



項目	定置用独自の技術開発課題
高効率化	<ul style="list-style-type: none"> ■ モノジェネを実現する超高発電効率化 ■ セルデザイン改善、スタッキング改善 ■ 次世代セル開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ 高燃料利用率対応技術（オフガスリサイクル等） ・ PCFC（プロトンセラミック燃料電池）
長寿命化	<ul style="list-style-type: none"> ■ セルスタック・モジュール耐久性の継続的な向上 ■ 金属系インターコネクト材耐久性向上 ■ 周辺機器（補機類、電力変換装置等）の高耐久化 ■ 燃料種毎の耐久性向上（不純物・窒化耐性） ■ 燃料利用率向上（高燃料利用率耐性向上）
低コスト化	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高出力密度化による低コスト化（モノジェネへの適用） ■ 廉価な部材（次世代セル低温作動、希少元素リサイクル） ■ 製造プロセス（インクジェット、3Dプリント等） ■ 量産技術確立（Roll to Rollプロセス等） ■ 補機類（ブロワ、流量計、弁、熱交換機等）
負荷追従性向上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 運用性向上（負荷追従性、部分負荷率向上、VPP対応）
強靱化	<ul style="list-style-type: none"> ■ 運用性向上（起動停止） ■ 次世代セル開発（金属支持型の開発）

【出所】 NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ（定置用燃料電池）報告会資料に基づき当社作成

- 低温型のPEFCは高温化すると蓄熱量が増え、一次エネルギー削減率が向上し、省エネ性を高めることが可能（高温作動運転）※排熱の回収効率を考慮し、最高温度80～90°C程度が妥当
- 高効率純水素型システム（発電効率65%以上@2040年）実現に向けては、FCV・HDV用の燃料電池と同様、次世代材料開発やDX技術を用いた材料・プロセス探索や現象・機構解明が必要
- 定置用では特に、一定出力で長時間連続運転・DSS運転といった使い方を前提とした、高出力化と材料の耐久性の両立が重要（例、車載用に比して、膜は薄膜化の追求より耐久性重視、等）

①高効率化

- 発電効率
- 省エネ性

②高耐久化

- 化学的耐久性
- 機械的耐久性

技術開発課題の方向性

③低コスト化

- 部材低コスト化
- 大量生産技術

④製品性向上

- 小型化・軽量化

項目	定置用独自の技術開発課題
電解質膜材料	<ul style="list-style-type: none"> ■ ラジカルクエンチャー改良による膜高耐久化 ■ 反応ガスのクロスリーク抑制
電極触媒	<ul style="list-style-type: none"> ■ セルスタックの高効率化に伴い、カソード触媒の高電位耐性
セパレータ	<ul style="list-style-type: none"> ■ セパレータの薄膜化 ■ 加熱硬化の必要ない材料開発
燃料系	<ul style="list-style-type: none"> ■ 硫黄耐性がある触媒や、システム前で簡易かつ安価に脱硫出来るシステム開発 ■ セルスタックや改質器の耐久性向上や、吸気フィルターの不純物除去機能 ■ 水質ロバスト（高硬度水への対応）
実用化技術	<ul style="list-style-type: none"> ■ セルスタック・システムのコンパクト化・軽量化 ■ 不可逆的な吸着種への対策 ■ 補機類の小型化 ■ 小型水素専用循環ポンプ開発

【出所】 NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ（定置用燃料電池）報告会資料に基づき当社作成

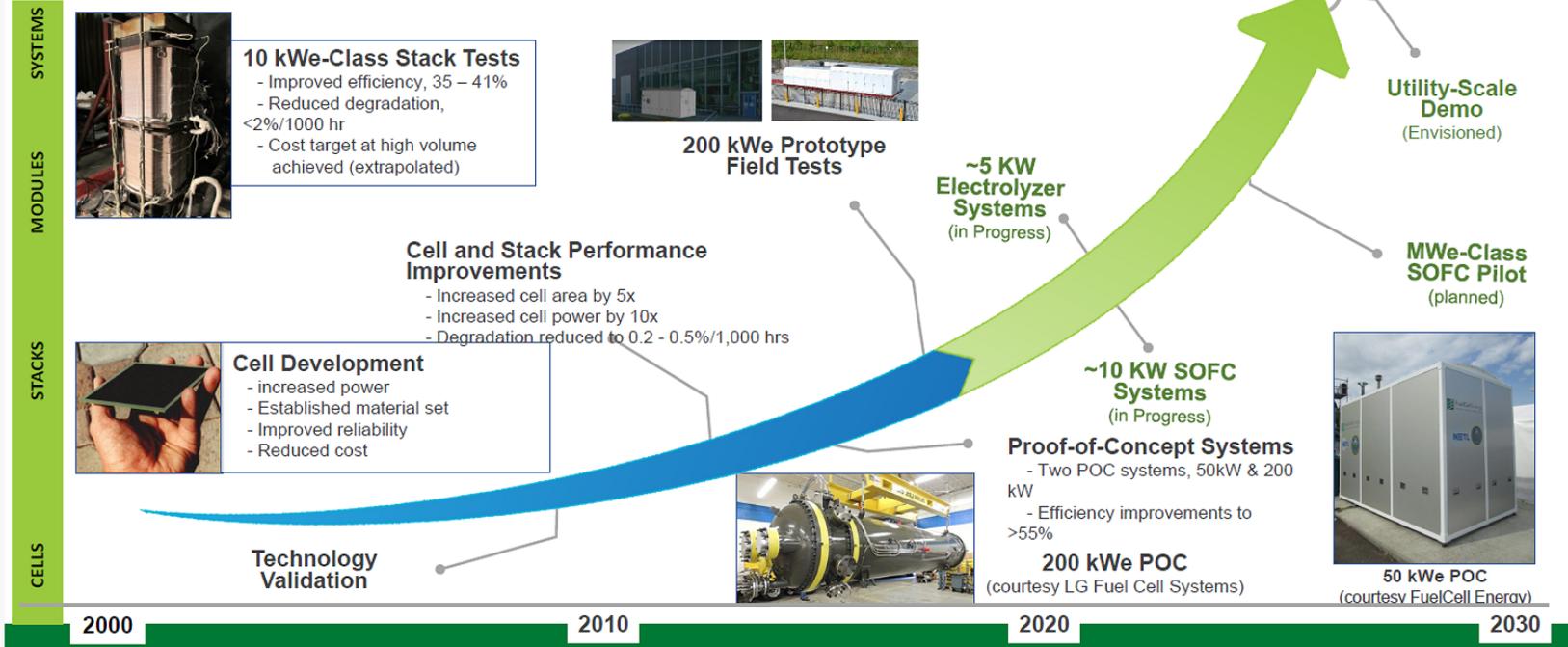
- NETLでSOFCの研究開発と実証を支援、現在FECM (Fossil Energy and Carbon Management) オフィスでReversible SOFCを中心に投資を継続
- 2010年代にセル・スタックの性能向上・大面積化、数万時間の耐久性実証を経て、2020年より200kW級実証、将来的にはMWクラスパイロットへ発展
- FY23は\$10M/yr、FY24は\$5M/yrのR&D予算、定置用FCは電解技術へ研究投資がシフト (欧州も同様)

ACTIVITY	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Industrial Engagement	Data sharing and scaling of commercial systems						
Validation and FEED Studies (Ongoing)		200 kWe Long-Term Testing 5,000 and up to 8,000 hours	FEED Study for 1MWe SOFC System				
Early-Stage Applied and Basic SOFC R&D on Coal Syngas for Electricity and Hydrogen Generation			Effects of High-Temperature Operations on Materials Degradation	Optimizing Systems Performance – Operating Lifetime Longevity	Simulation of Optimized SOFC systems – Reducing Costs		
					Replacing Specialty Items and Materials (Supply chain R&D)		
SOFC Demonstrations							1+ MWe demonstration projects that meet DOE Goals

R-SOFC Projectで推進

- 材料劣化
- システム最適化
- サプライチェーン

【出所】 DOE, “OVERVIEW OF FECM HYDROGEN PROGRAM R&D”, 2023/6

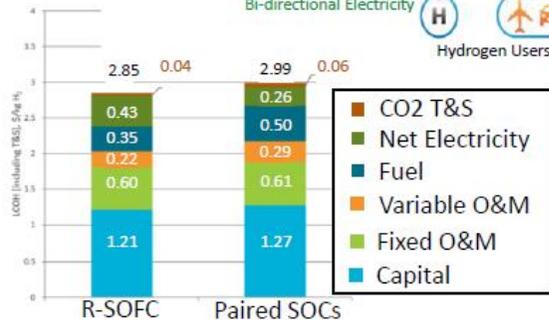
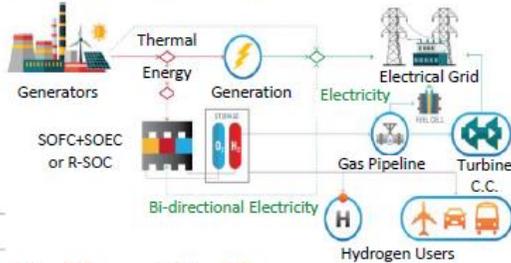


- SOFC/r-SOCの耐久性向上に向け、①システム解析とコスト分析、②マルチスケール性能・耐久性モデリングおよび③電極最適化と産業応用を連携させて研究開発を推進

研究テーマ	
①システムエンジニアリング	システムコスト分析・研究開発目標に対する技術評価
②性能・耐久モデリング	耐久プロトコル・マルチスケールモデリングと検証・各種設計ツール整備
③電極エンジニアリング	電極劣化低減策・電極微細構造最適化・産業応用とシステム実証

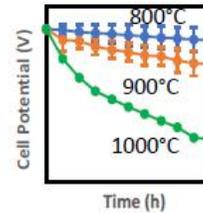
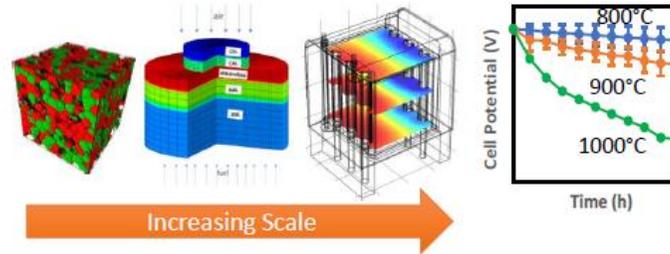
Systems Engineering and Analysis

- Techno-Economic Analysis
- Hybrid configuration assessment
- R&D Goals Evaluation

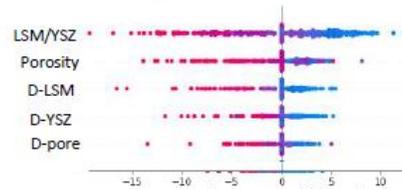


Performance Degradation Modeling

- Degradation prediction tools
- Atoms-to-System scale bridging
- Experimental validation
- Advanced Gas, Temperature Sensors



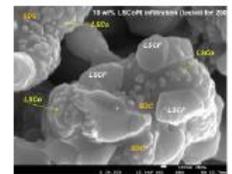
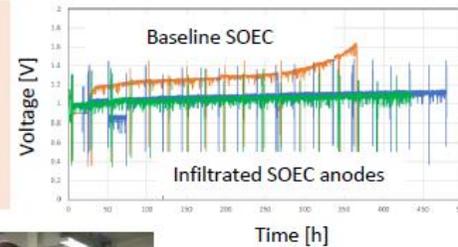
Machine learning-informed design tools



Electrode Engineering

- Degradation mitigation
- Microstructure optimization
- Technology transfer to industry
- System demonstrations

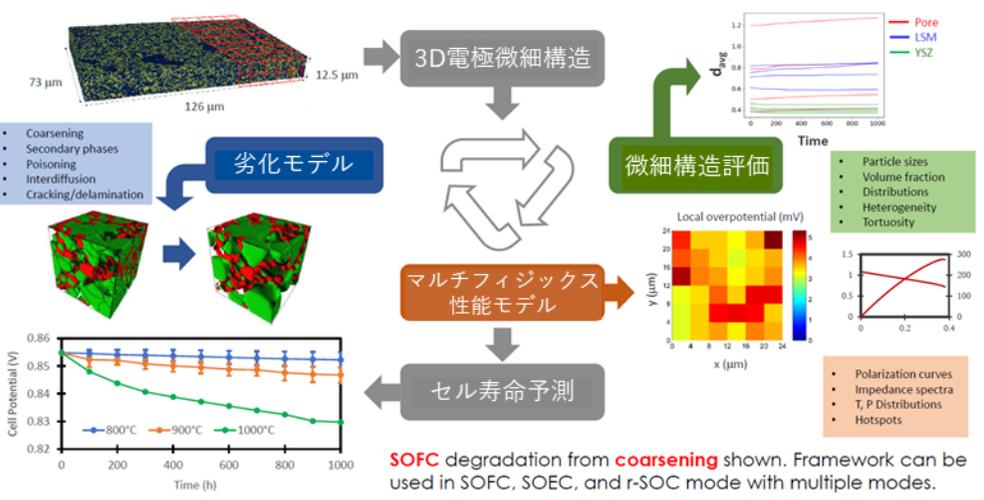
Infiltrated Cells from 6 Partners



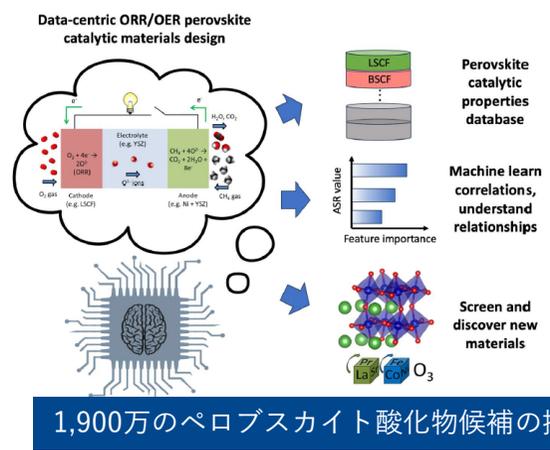
【出所】 2024 FECM/NETL Spring R&D Review Meeting, “Degradation modeling and electrode engineering of SOFCs SOECs and R SOC”

- SOFC/SOECおよびr-SOCの共通劣化モデルで長寿命化の評価を検討
- 機械学習による大量のペロブスカイト材料候補の探索、耐久性向上に対する電極構造・諸元の最適化技術と連携

SOC劣化評価モデルの構築

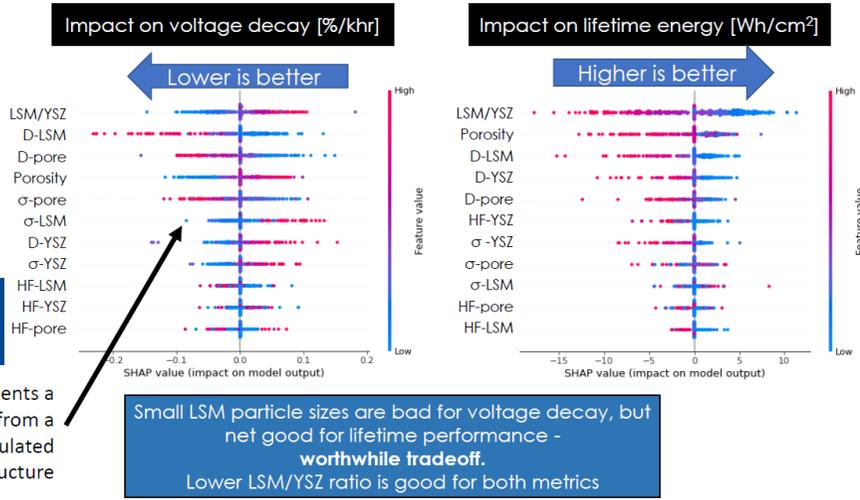


LSM/YSZの諸元（拡散係数・伝導度・空孔率、等）に対する劣化と性能向上の評価



- 749 data points from 313 studies for 299 unique perovskite compositions
- Elemental features calculated using MAST-ML (UW-M) instead of using DFT
- **19 million perovskite oxides** were examined using ML model

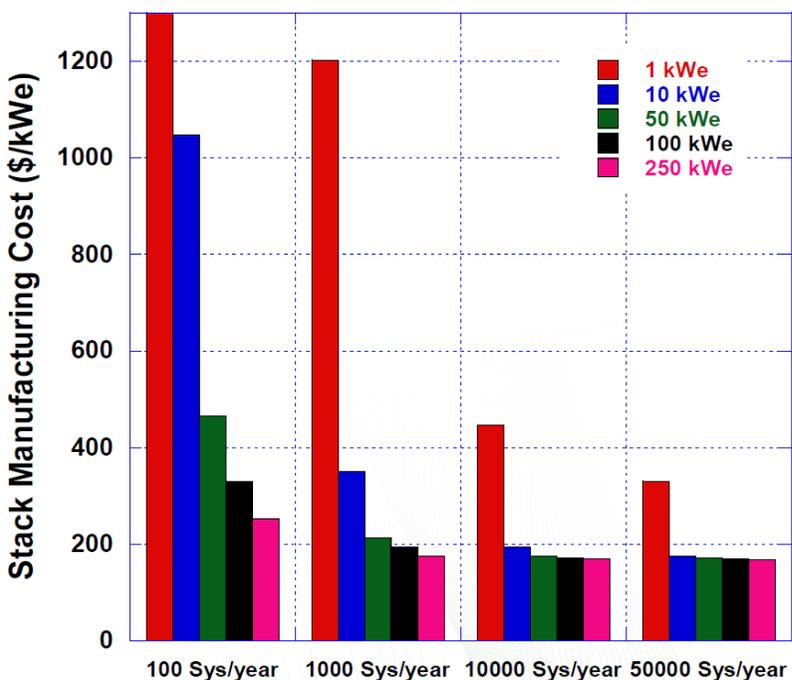
Property	Number of studies examined	Number of measurements extracted	Number of unique materials
k_{chem}	70	98	62
D_{chem}	56	83	58
k^*	39	80	48
D^*	37	66	42
SR	235	422	257



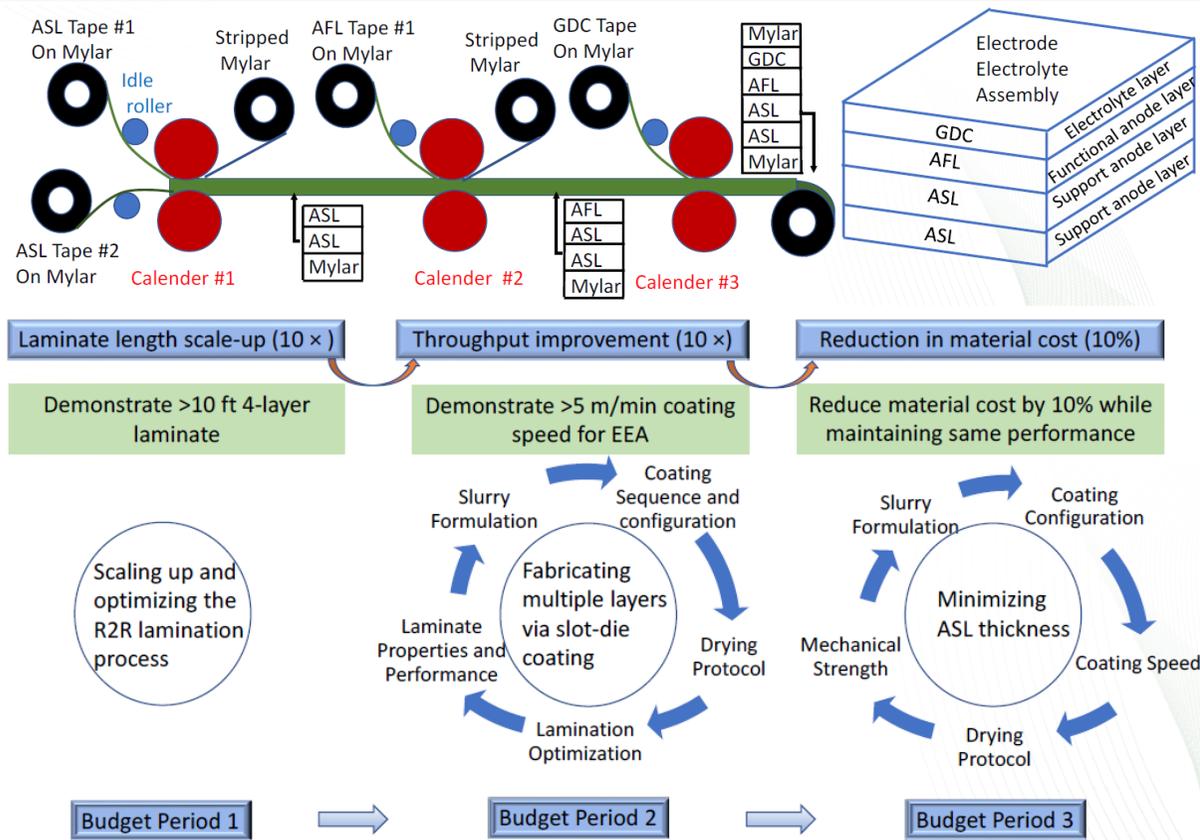
【出所】 2024 FECM/NETL Spring R&D Review Meeting, “Degradation modeling and electrode engineering of SOFCs SOECs and R SOC”

- SOFCスタックの製造コストはシステム容量の数量効果に影響、従来型のEEA（Electrode Electrolyte Assembly）の製造スループットは5-8min/ラミネート程度（テープキャスト+スクリーン印刷）
- R2RラミネーションプロセスはEEA製造の高スループットが可能であり、従来型と比べて30%のコスト低減の可能性
- LiB電極の製造技術も応用し、①ラミネート長のスケールアップ、②スループット改善（塗工速度向上）、③原材料コスト低減の3段階でR2RによるSOFCスタックの製造コスト低減を検討

Stack manufacturing cost variation with system size.



R. Scatagliani, et. al., "A total cost of ownership model for solid oxide fuel cells in combined heat and power and power-only applications", Lawrence Berkeley National Laboratory, December 2015



【出所】 2024 FECM/NETL Spring R&D Review Meeting, "Roll-to-Roll Manufacturing of Solid Oxide Fuel Cells"

5. まとめ

■ 加速する水素・燃料電池への投資

- 欧米の水素・燃料電池への投資は従来の基礎・応用研究に加えて大幅に拡大
- 米国：超党派インフラ法による電解技術・FC製造技術やサプライチェーン開発に1,000億円規模、水素ハブ形成に1兆円規模の投資決定
- 欧州：IPCEIで最大約3兆円の国家補助が承認済、FC・水電解、インフラ技術支援を開始
- 追加投資先は企業中心であるものの、アカデミアへの直接投資や産学連携も多く、技術も進化させ商業化を加速することが窺え、日本も適正な投資の実行がますます重要に

■ サステナ・デジタル社会に向けた定置用FCへの期待

- 国内では家庭用燃料電池エネファームが50万台を突破、家庭でのレジリエンス対応としての製品力も市場価値が高い
- 昨今のAIの普及によるデータ・計算量の増大から世界でデータセンター（DC）の電力消費量が急増、将来的にはオフグリッド電源として定置用FCへの期待が高く、海外の主要メーカーでは100～数MWの実証も進む
- 他に、BEV用急速充電や5G/6Gといった通信基地局向けなどグリーン・デジタルへの社会変化に伴い、定置用FCの導入価値も高まっている

■ 定置用燃料電池の目標と技術開発

- 我が国では定置用SOFC・PEFCの技術目標と課題をロードマップとして策定、従来製品の商品性向上と高効率次世代スタックの開発の方針
- 欧米でもR&Dへの政府ファンドは減少しているものの、耐久性改善に向けたデジタルツイン、量産技術などに注力、競争力向上への取り組みには以前として注力

ともに挑む。ともに実る。

MIZUHO



本資料は、当社が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、当社はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際して、貴社ご自身の判断にてなされますよう、お願い申し上げます。

本資料の著作権は当社に属し、本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他の如何なる手段において複製すること、②当社の書面による許可なくして再配布することを禁じます。