

資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部
新エネルギーシステム課 水素・燃料電池戦略室 御中

令和3年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業 (国内外における水素・燃料電池に関する動向及び利活用可能性調査) 報告書

2022年3月31日

みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

Mizuho Research & Technologies

目次

(1)国内外動向の調査・分析、国際会議への出席

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

(1)－2 国内外の最新動向に関する情報収集

①デスクトップ調査

②海外ヒアリング

③多国間枠組の活動への参加を通じた情報収集

④多国間枠組が発刊するレポート等の要約

(2)福島県における水素社会のモデル構築に関する調査

(2)－1 福島県における水素社会のモデル構築に関する調査

(2)－2 関連産業の集積・育成に関する調査

(3)協議会等の開催

(3)－1 水素・燃料電池戦略協議会の開催

(3)－2 福島産官学協議会・定例会議の開催

調査の目的

本事業では、国内外における水素・燃料電池に関する動向を幅広く情報収集することで、我が国の水素社会実現の実現に向けた課題の現状及び将来的な市場の見通しを分析・評価し、その結果をもとに、課題解決に必要な取り組み内容等を検討・提案し政策立案に反映させることを目的とする。

また、福島県において水素社会のモデルを構築すべく、福島新エネ社会構想に基づく取組の進捗状況をフォローアップするとともに、福島県内における水素利活用の更なる拡大、関連産業の育成・集積に向けた新たな取組や課題等についての検討を幅広く行うことを目的とする。

さらに、多国間枠組みでの水素利活用促進のための国際的な議論に積極的に関与し、各国との関係を強化するとともに、国際動向についての調査・情報収集を行い、今後の我が国による水素利活用に向けたビジネスの活用方法について分析することを目的とする。

(1)国内外動向の調査・分析、国際会議への出席

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

調査項目の整理

- 「第18回水素・燃料電池戦略協議会」(2020年11月)において提言された、2050年カーボンニュートラルに向けて検討すべき以下の4項目について、貴庁とご相談の上で以下の観点で課題抽出・分析を行った。

大項目	分析
①水素利用先の多様化・クリーン化	<ul style="list-style-type: none">・世界各国で進む水素エコシステムの構築・国内外の燃料電池多用途展開の取り組み・最近の諸外国の燃料電池商用車・水素インフラ関連動向及び支援制度・環境規制・定置用燃料電池の動向 など
②国際水素サプライチェーンの構築の加速化	<ul style="list-style-type: none">・国際水素サプライチェーン構築動向・水素供給への支援のあり方(英国の水素ビジネス戦略を例に)・技術開発動向(各国水素燃焼技術開発を例に) など
③水電解装置の更なるコスト低減・電力システムへの統合、革新的な水素製造技術への投資	<ul style="list-style-type: none">・各電解装置のタイプと棲み分け・世界市場のトレンドとその特徴・国内外企業(システムメーカー、部材メーカー)の技術動向・日本での社会実装・燃料電池・水電解の技術開発のシナジーの可能性・諸外国と日本の開発目標・計画の水準比較・水電解装置の普及を後押しする政策・低炭素・グリーン水素認証制度 など
④資源外交・インフラ輸出等の一体的な推進	<ul style="list-style-type: none">・資源国での水素輸出支援プロジェクト動向(豪州を例に) など

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

①水素利用先の多様化・クリーン化

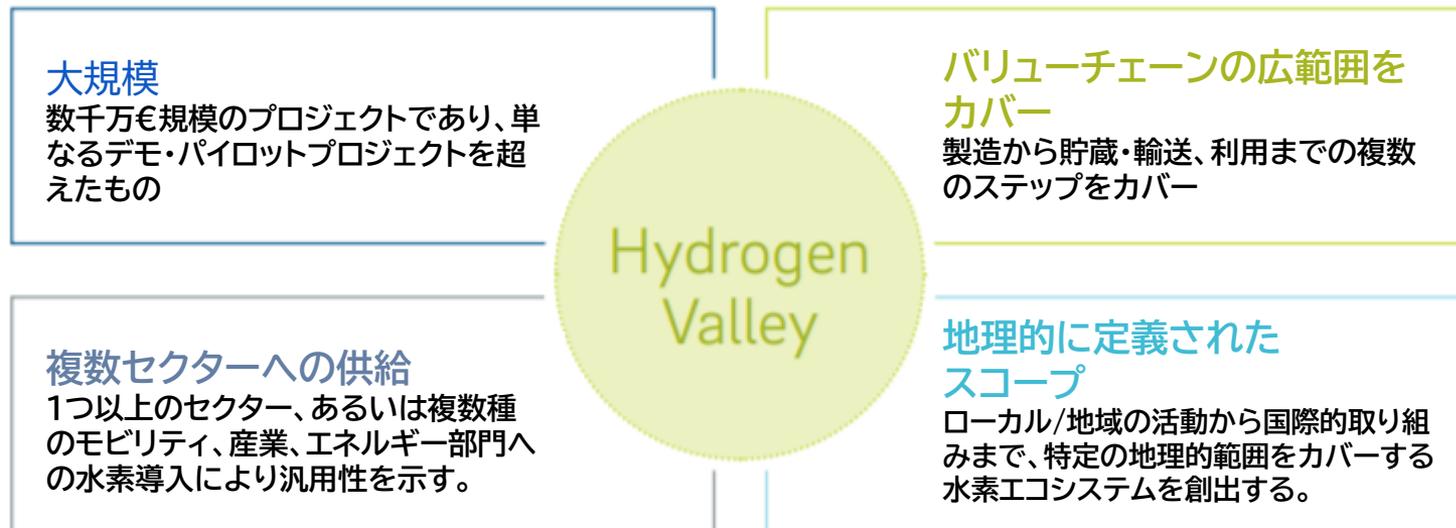
世界各国での水素エコシステム構築の取り組み

世界各国での水素エコシステム構築の取り組み(Hydrogen Valley)

- Mission Innovationにおいて、複数の水素アプリケーションを組み合わせることで大量の水素を消費する水素エコシステムを推進すべく、各国の主要プロジェクトを“Hydrogen Valley”と位置付け、国際協力や情報共有を推進中。計画段階のものを含めて2021年5月時点ではグローバルで36プロジェクトが発表されている。

(参考)Mission Innovationは、COP21で発表されたクリーンエネルギーイノベーション加速のための国際イニシアチブ。水素も注力するテーマの一つとして取り上げられており、2021年6月発表のMission Innovation 2.0においても、水素は“Clean Hydrogen Mission”としてテーマアップされた。2030年までにend-to-endの水素コストを\$2/kgにすることを目標に、グローバルで少なくとも100のHydrogen Valleyを提供することで、コスト削減を促進することがミッションとして掲げられた。

Hydrogen Valleyプロジェクトのコンセプト



出典: “Hydrogen Valleys Insights into the emerging hydrogen economies around the world “

Hydrogen Valleyプロジェクト一覧(2021/05)

イギリス:2

- United Kingdom**
 → HyNet North West
 England
 → BIG HIT Orkney Islands

オランダ:4

- Netherlands**
 → HEAVENN
 → Hydrogen Delta
 → H2 Proposition
 Zuid-Holland/Rotterdam¹
 → Port of Amsterdam region¹

Germany **ドイツ:5**

- H2Rivers/
 H2Rhein-Neckar
 → HyBayern
 → Norddeutsches
 Reallabor
 → eFarm
 → Hyways
 for Future

デンマーク:1

- Denmark**
 → HyBalance
オーストリア:1
Austria
 → WIVA P&G

ヨーロッパ(IPCEI):5

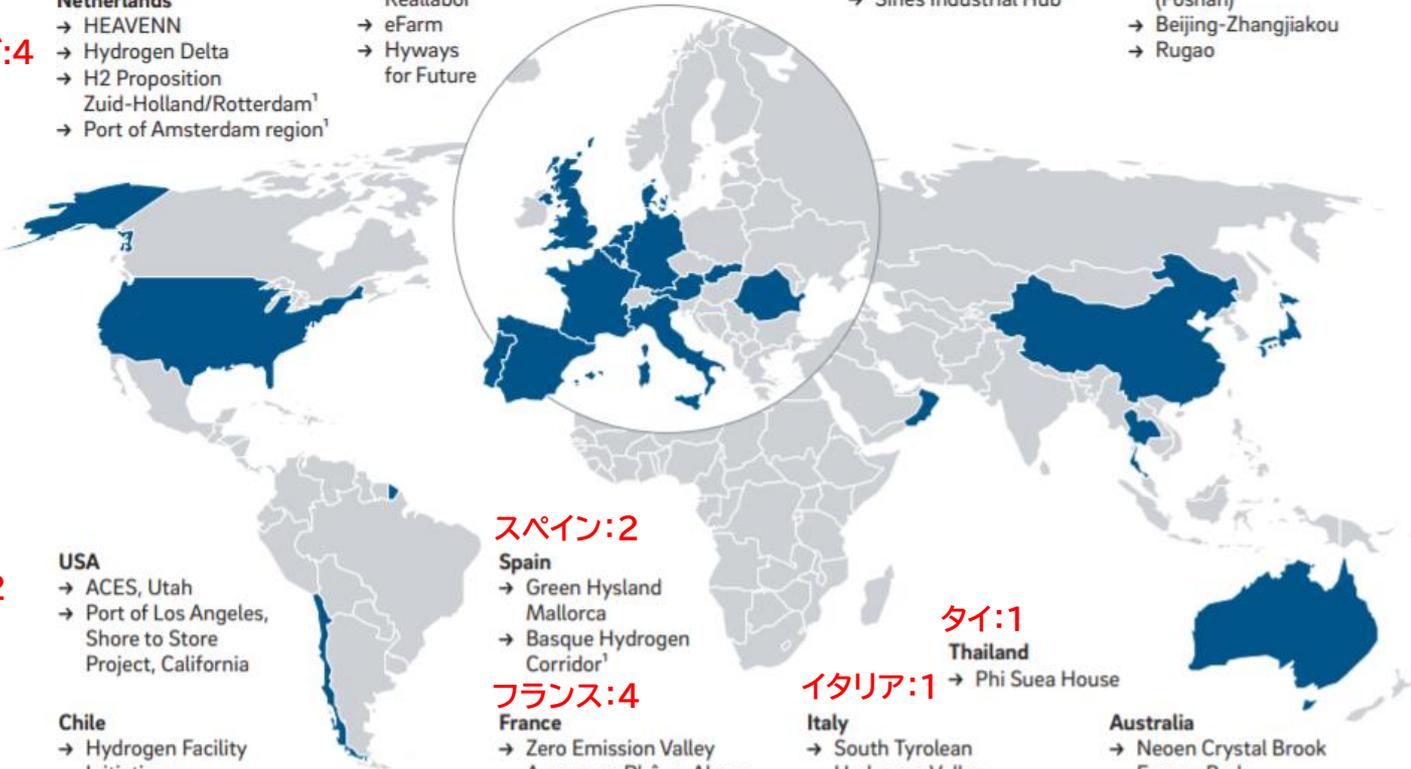
- Europe [IPCEI]**
 → Blue Danube
 → Black Horse
 → Green Octopus
 → Green Crane
 → Sines Industrial Hub

Japan **日本:1**

- FH2R Fukushima

China **中国:3**

- Pearl River Delta
 (Foshan)
 → Beijing-Zhangjiakou
 → Rugao



米国:2

- USA**
 → ACES, Utah
 → Port of Los Angeles,
 Shore to Store
 Project, California

チリ:1

- Chile**
 → Hydrogen Facility
 Initiative

スペイン:2

- Spain**
 → Green Hysland
 Mallorca
 → Basque Hydrogen
 Corridor¹

フランス:4

- France**
 → Zero Emission Valley
 Auvergne-Rhône-Alpes
 → Normandy Hydrogen
 Deployment Plan
 → Hydrogen Territory Bour-
 gogne Franche Comté
 → CEOG, French Guiana

タイ:1

- Thailand**
 → Phi Suea House

イタリア:1

- Italy**
 → South Tyrolean
 Hydrogen Valley

オマーン:1

- Oman**
 → Green Hydrogen &
 Chemicals Oman¹

- Australia**
 → Neoen Crystal Brook
 Energy Park
 → Eyre Peninsula
 Gateway

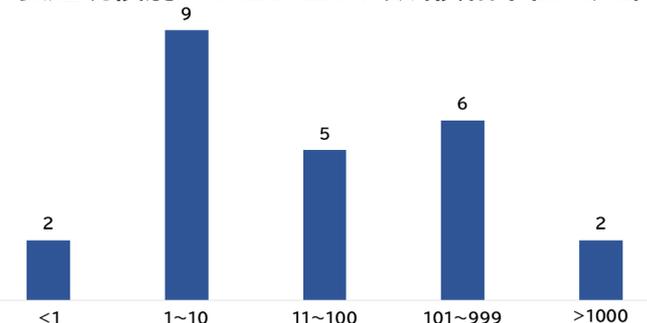
オーストラリア:2

出典: “Hydrogen Valleys Insights into the emerging hydrogen economies around the world “

Hydrogen Valleyプロジェクトの詳細(水素製造規模)

- 製造規模にして>1t/dayのプロジェクトが大多数。(右図)
- 中東、南米などの再エネ適地、CCSポテンシャルと洋上風力のポテンシャルに富む北海で、大規模なプロジェクトが計画されている。(下表)
- ただし、ステータスはいずれも計画～関係者合意の段階。

製造規模別のプロジェクト数(横軸単位:t/d)



Hydrogen Valleyにおける大規模製造プロジェクトの概要 (一部抜粋)

出典: <https://www.h2v.eu/hydrogen-valleys>をもとに作成

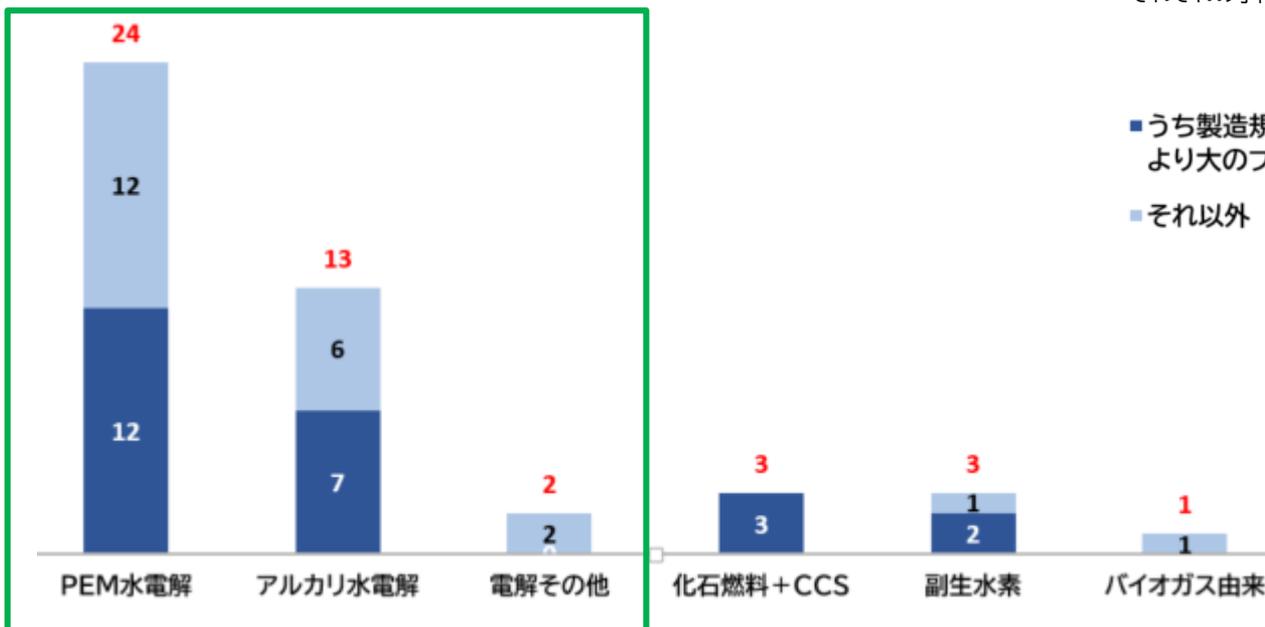
プロジェクト名称	国	製造規模 [t/d]	概要	プロジェクトのステータス	主な用途	PEM	アルカリ	ブルー水素	副生水素
Europe's Hydrogen Hub: H2 Proposition Zuid-Holland/Rotterdam	オランダ	3180	洋上風力由来水素・ブルー水素・輸入水素の工業利用が中心の港湾部大規模水素プロジェクト	主要ステークホルダーで具体的な計画について合意。	産業、輸送、熱(ガス管注入)、発電(GT)	○		○	
HyNet North West	イギリス	2160	天然ガス改質+CCSによる大規模水素製造・工業利用プロジェクト	主要ステークホルダーで具体的な計画について合意。	産業、熱(ガス管注入)、発電(GT)			○	
Green Octopus	オランダ	800	フランス・ベルギー・オランダ・ドイツ間でのパイプライン(Hydrogen Backbone)によるグリーン水素供給・利用計画。	政府レベルのハイレベル計画	産業、輸送、熱(FC)、発電(FC)	○	○	○	
Hy-Fi (Hydrogen Facility Initiative)	チリ	650	チリの水素経済加速のため、公用地での太陽光発電から大規模水素製造を行うための募集を実施している。(詳細不明)	政府レベルのハイレベル計画	産業、輸送	○			
Green Hydrogen & Chemicals Oman	オマーン	390	世界最大規模(アンモニア2200t/日、水素390t/日)のグリーン水素・アンモニア製造プロジェクト	主要ステークホルダーで具体的な計画について合意。	産業、輸送、熱(ガス管注入)、発電(GT)		○		
Black Horse	スロバキア	320	東欧での1万台HDV導入・グリーン水素供給インフラ整備プロジェクト。	政府レベルのハイレベル計画	輸送(HDV)	○			
Green Hydrogen @ Blue Danube	ルーマニア	220	グリーン水素製造・LOHC輸送によるドナウ川沿いの産業での水素利用計画。(詳細不明)	政府レベルのハイレベル計画	—				
Hydrogen Delta	オランダ	140	ベルギー・オランダに跨る産業分野(製鉄、石油精製、化学)での大規模な低炭素水素導入プロジェクト。	主要ステークホルダーで具体的な計画について合意。	産業	○	○	○	○

Hydrogen Valleyプロジェクトの詳細(水素製造技術)

- プロジェクトにおいては、水素製造手段として水電解を採用しているものが多数を占める。プロジェクトでの水素の製造規模が10t/dを超えるような大規模のものでも水電解が採用されている。
- ブルー水素製造技術は大規模な水素製造プロジェクトで採用されている。(いずれも100t/d超え)

プロジェクトにおいて採用されている水素製造手段(n=36)

水電解による水素製造



注)複数手段を用いるプロジェクトはそれぞれの手段を加算。

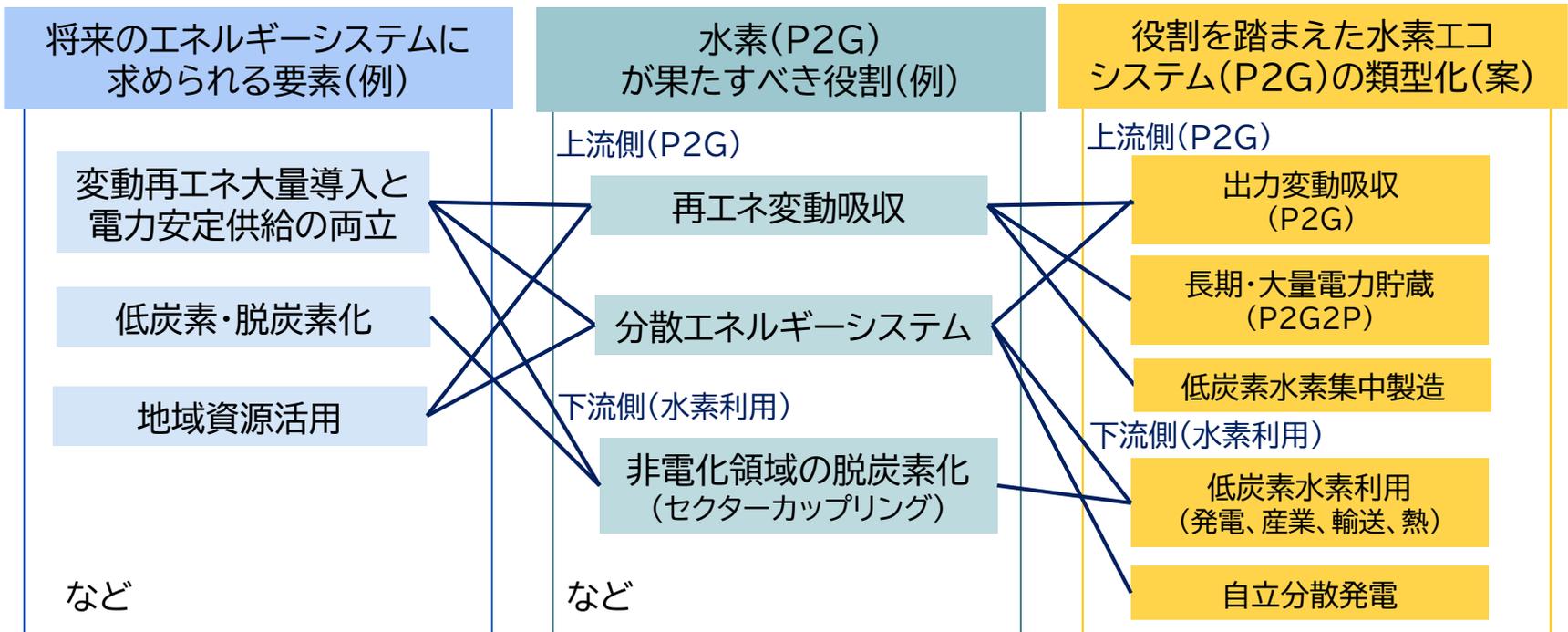
- うち製造規模が10t/dより大のプロジェクト
- それ以外

出典: <https://www.h2v.eu/hydrogen-valleys>をもとに作成

各国のプロジェクト類型化の観点

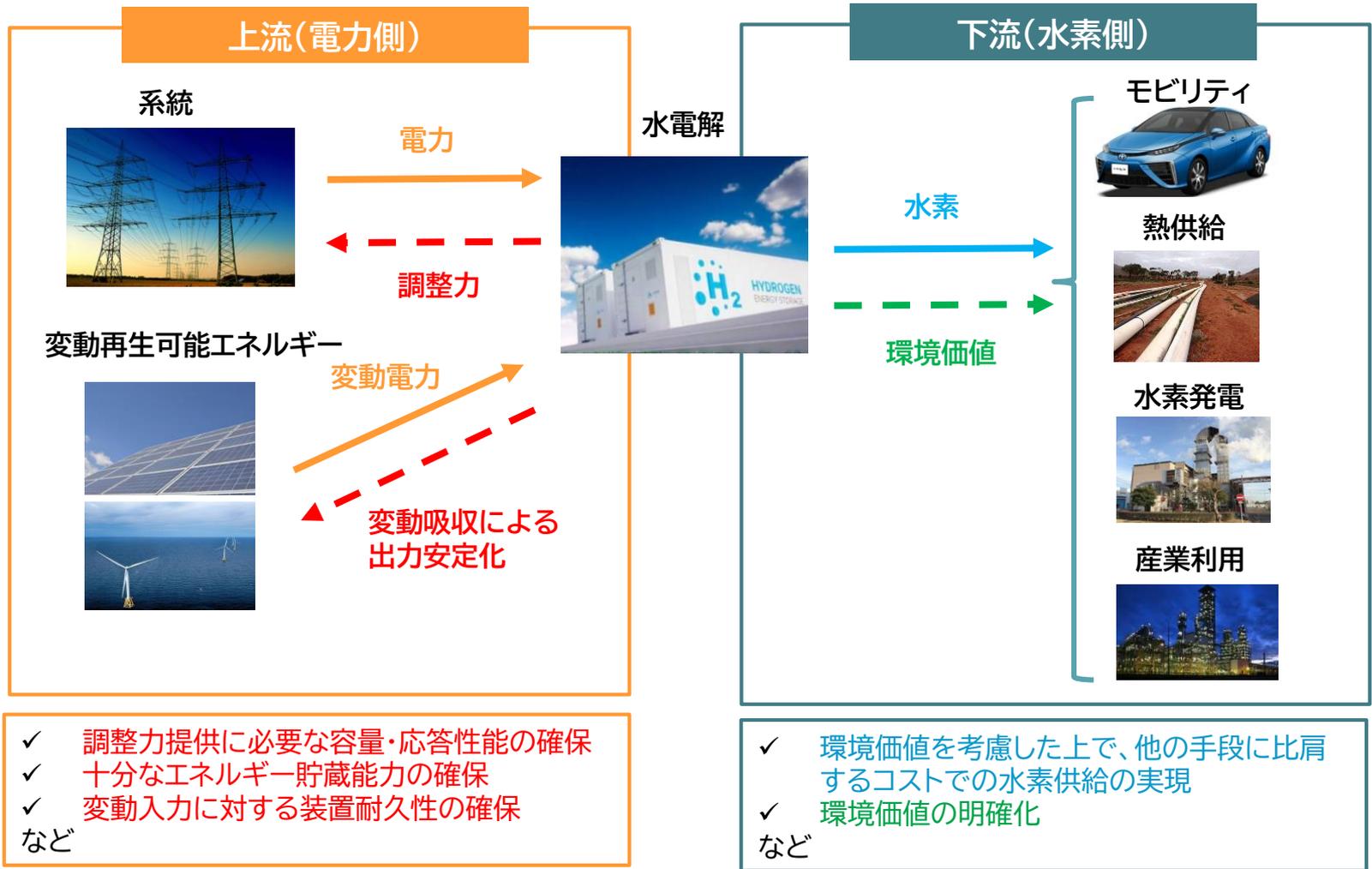
- 変動再エネの導入拡大と脱炭素化の必要性の高まり、という流れの中でP2Gは上流(電力側)、下流(水素利用側)の双方に付加価値を提供し得ることから、キーアイテムになる可能性。
- 今後の国内での地域実証モデルを考える一助とすべく、特にP2Gを中心にHydrogen Valleyプロジェクトを題材に、エネルギーシステムに求められる要素と水素の役割、それに対応するエコシステムの類型化を試みた。

水素エコシステムの類型化の観点



参考:Power to Gas(P2G)の提供価値

- 電力側・水素側それぞれで価値提供が可能である点に特色。この特色を活かし、価値を拡大することが重要。



類型化—出力変動吸収①

再エネ発電側でのP2G(再エネ豊富な島しょ部でのP2G)

- 英国オークニー諸島での「BIG HIT」プロジェクト(風力由来水素を船舶輸送、定置用燃料電池・モビリティで利用)、
スペインマヨルカ島での「Green Hysland」プロジェクト(太陽光から製造した水素をモビリティ、燃料電池コジェネ
やガス管注入で利用しバレアレス諸島に水素圏を構築する)などが代表例。

BIG HITプロジェクト(イギリス)

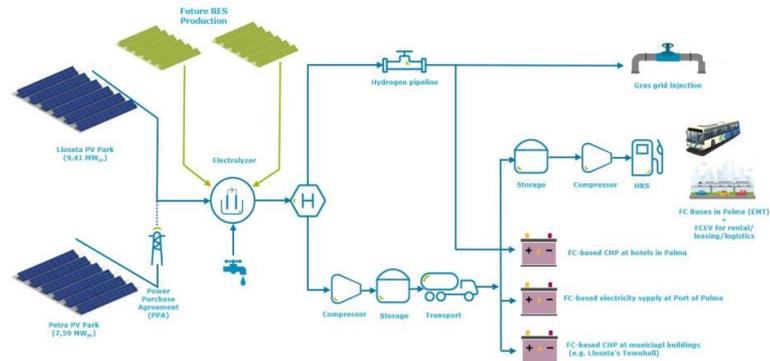
- ✓ 風力余剰電力をPower to Gasにより水素に変換、フェリーに圧縮水素で搭載し、島外に輸出して輸送用・定置FC用に供給を行う。



出典:FCHJU資料

Green Hyslandプロジェクト(スペイン)

- ✓ 太陽光由来水素は、車両・パイプライン輸送を経て商用車や建物、港湾部電力供給で利用。



- Site 1: Lloseta Green H2 plant
- Site 2: Lloseta Municipal building FC
- Site 3: Cas Tresorer H2/NG mixing station & connection to NG gas grid
- Site 4: Palma hotel FC
- Site 5: Palma HRS at EMT bus depot
- Site 6: Port of Palma FC
- Pipeline - Lloseta to Cas Tresorer

出典:María Jaén “Green Hysland”

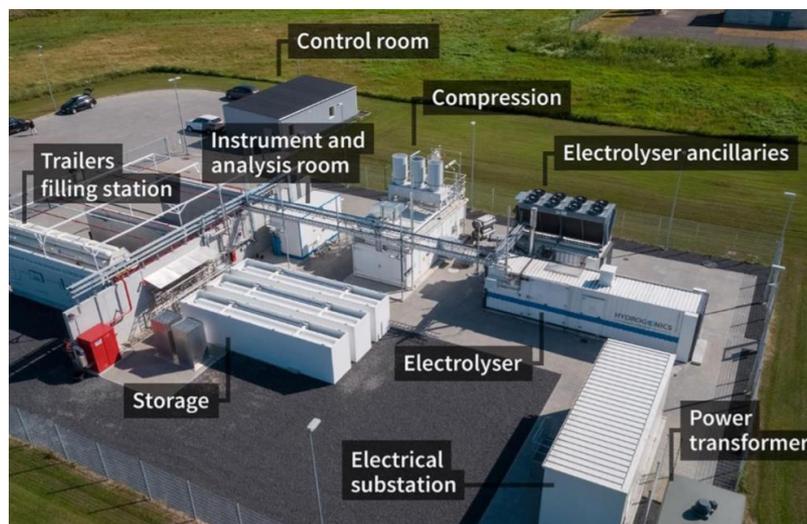
類型化—出力変動吸収②

系統側でのP2G

- 発電設備側での水電解を行うプロジェクトに比べると数は多くないが、変電所でのP2Gプロジェクトも欧州(デンマーク)で「HyBalance」プロジェクトが実施されている。
- その他最近では、オーストラリアにおいてスマートバッテリーを含む再エネ発電所・変電所において、新たに州から助成金を受けて最大で25t/dの水素製造が可能な電解装置を導入してP2Gを行う調査をNeoenが実施している。製造した水素は輸出も射程内である。

HyBalanceプロジェクト(デンマーク)

- ✓ 風力発電の出力変動吸収・系統安定化を電力価格に応じたダイナミックな制御を通じてPEM電解装置で問題なく行えることの実証プロジェクト。Air LiquideやHydrogenicsが参画。
- ✓ 製造した水素は定置用燃料電池やモビリティ用に供給する。デンマーク初のグリーン水素サプライチェーンプロジェクト。



出典:Hybalance 資料(FCHJU Programme Review days)



類型化—長期・大規模電力貯蔵

大規模エネルギー貯蔵+P2G2P(Power-to-Gas-to-Power)

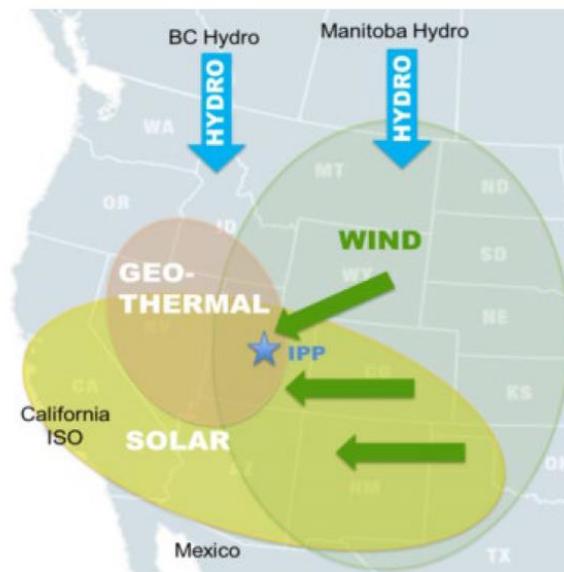
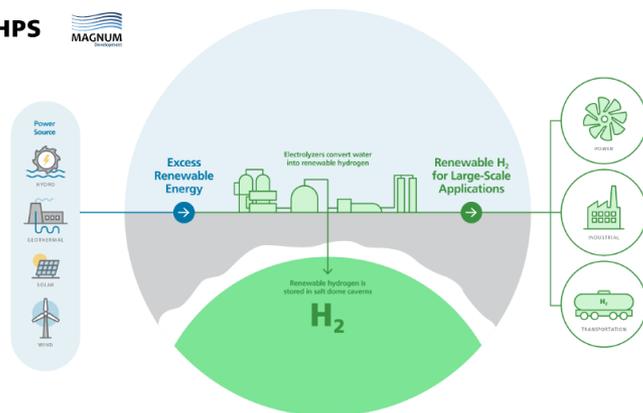
- 米国ユタ州の火力発電所(周辺の発電に対するトランсмッションも実施)で再エネ季節変動をP2Gによりグリーン水素化して地下貯蔵、ガスタービンで水素発電。
- 背景にはカリフォルニアの脱石炭への動きと増加する風力他再エネからの余剰電力吸収の必要性が存在。
- 類似事例として、地下・岩塩ドームを利用した水素大規模貯蔵にはドイツ・オランダ・イギリスなどが取り組む。
- その他、化石燃料が高いギアナ(フランス領)ではPV+水素大規模貯蔵+MW級FCのベース発電が実施されている。

Advanced Clean Energy Storage(米国)

- ✓ 再エネ余剰電力を変電所においてP2Gにより水素に変換、岩塩ドームに大量貯蔵、必要時に水素ガスタービンで電力として供給。
- ✓ 三菱パワー、Magnum developmentが取り組む。
- ✓ 2025年迄に石炭火力を天然ガスタービンに転換、その後2026年から30%水素混焼を行い、2045年迄に100%グリーン水素へ燃料転換する計画。

プロジェクトの背景

- ✓ プロジェクト実施場所は再エネが豊富であり、北部南部からの発電に対するトランсмッションも担う。増加する余剰電力の季節変動吸収が重要。



出典:MHPS“Advancing Green Hydrogen for the Danskammer Project”

出典:LADWP “Intermountain Power Project & Green Hydrogen”

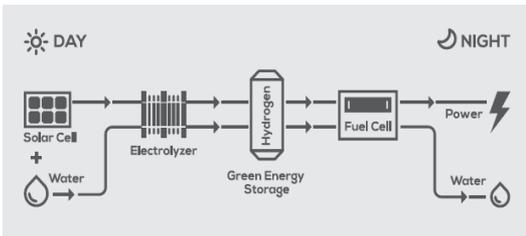
類型化—自立分散発電

自立型エネルギーシステム(建物等のエネルギー自立化・脱炭素化)

- Phi Suea Houseプロジェクト(タイ)は、東南アジア唯一のHydrogen valleyプロジェクト。
- AEM電解装置メーカーである伊Enapter社製の自立型エネルギーシステムを導入し、ゼロエミッション建物を実現しているとする。
- なお、Enapterはその他の地域でも小規模電源装置を積極的に展開。

Phi Suea Houseプロジェクト(タイ)

- ✓ 太陽光発電+水電解水素+FCによるゼロ・エミッション自立型の戸建て集合住宅プロジェクト。2015年以降利用開始。
- ✓ 太陽光余剰電力をEnapterのAEMによるPower to Gasで水素に変換、夜間に燃料電池で電力として供給。



PV installed:	86kW
Average daily power production:	326.8kWh
Phi Suea House energy demand:	6000kWh monthly
Battery:	2x 2000Ah, 48V lead-acid battery banks
Hydrogen gas production rate:	max. 2000 litres/hour
Hydrogen storage capacity:	90,000 litres of H2 at 30 bar, equivalent to 130 kWh in the fuel cell

参考:電解装置メーカーEnapterの取り組み

- ✓ Enapterは2kW級と小規模なAEM電解装置を開発しており、現在数少ない商用AEMを扱う企業。
- ✓ 小規模な装置を大量に製造してコストダウンする戦略であり、ドイツで大規模な設備工場の建設を発表している。
- ✓ 特に、外部から購入するディーゼル燃料が高額な地域を主な展開先と位置付けて自立型の電力供給設備の導入を積極的に進めており、東南アジアやヨーロッパで導入例が見られる。



マファートのマイクログリッド
Mafate, レユニオン [詳細](#)



水素を用いたピークシェーピング
Loire-Aquitaine, フランス [詳細](#)



農村部の電化プロジェクト
Kyenjojo, ウガンダ [詳細](#)



住宅一体型ソリューション「Picea」
Zusmarshausen, ドイツ [詳細](#)



住宅向け貯蔵
Münster, ドイツ [詳細](#)



戸建て集合住宅「Phi Suea House」
Chiang Mai, タイ [詳細](#)



水素の季節的貯蔵
Col du Palet, The Alps, フランス [詳細](#)



通信基地局
Rompin, Pahang, マレーシア [詳細](#)

出典:Phi Suea House Leaflet

類型化—低炭素水素の集中製造・利用(産業分野)

低炭素水素の集中製造・利用(産業分野)

- Hydrogen Deltaプロジェクトをはじめ、欧州、なかでもオランダでは産業分野(化学、石油、製鉄)へのグリーン水素導入の検討が積極的に進められている。(一部ブルー水素を用いるプロジェクトも存在)。産業分野での水素利用のプロジェクトはその他ドイツやイギリスでも複数進められている。
- その他、IPCEIのプロジェクトではEU国間にまたがる水素サプライチェーン(パイプライン・LOHCによりスペインやポルトガルといった南欧から北部への水素輸出+産業や熱などでの利用)の計画も複数発表され検討が進んでいる。

Hydrogen Delta(オランダ)

- ✓ Nouryon、Orsted、Shell、YARAらによる、洋上風力発電+GW級電解装置でのグリーン水素製造+産業分野(製鉄、石油精製、化学)での利用プロジェクト



Category:	production of H ₂
Capacity:	1 GW
Process phase:	FEED-study
Project period:	2019 -
Project costs:	TKI subsidy

アムステルダム港プロジェクト(オランダ)

- ✓ Nouryon、Tata Steelらはアムステルダム港で製鉄所の排出ガスや廃棄物と100MW級の電解槽力のグリーン水素を組み合わせるプラスチックや合成燃料を製造する、CCUプロジェクトの検討を開始。



Category:	production
Capacity:	100 MW
Process phase:	FEED-study
Project period:	2019 -
Project costs:	150 M



出典:TKI NIEUW GAS “Overview of Hydrogen Projects in the Netherlands”

類型化—低炭素水素集中製造・利用(輸送分野)

低炭素水素の集中製造・利用(輸送分野)

- ドイツでは電解装置によるグリーン水素集中製造から水素ステーションへの供給ネットワーク・水素ステーション整備、モビリティ導入までのサプライチェーンを導入するプロジェクトとしてeFarmが実施されている。
- また、過去水素ステーションが未整備であった東欧でもIPCEIプロジェクトBlack Horseの下で270箇所のステーション整備・1万台のトラック導入・水電解装置によるグリーン水素供給という野心的目標が掲げられている。
- ドイツではその他にも、H2RiversやHyBayernといった、複数のFCモビリティ・水素ステーション導入プロジェクトが進められている。

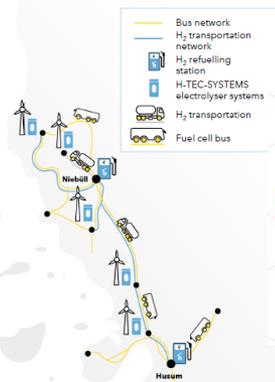
eFarmプロジェクト(ドイツ)

- ✓ エネルギーソリューション事業者のGP JouleウィンドファームとPEM電解によるグリーン水素製造から水素ステーションへの輸送・消費までのサプライチェーンを構築するドイツ内最大級のグリーン水素モビリティ導入プロジェクト

Project eFarm.

Largest green hydrogen mobility project in Germany.

- **H₂ production** (5 x 225 kW PEM electrolysis at wind farms)
- **H₂ transportation** (7 mobile H₂-containers at 300 bar)
- **H₂ processing** (2 HRS at 350/700 bar)
- **H₂ consumption** (starting with 2 buses in public transport)
- Integration of a decentralized hydrogen value chain
- Local and direct use of wind energy for green mobility
- Project volume at 16 Mio. € (circa 50% national funding)
- Under construction, overall commissioning in early 2021
- Project is designed for scale-up towards Multi-MW ranges



Black Horseプロジェクト(東欧)

- ✓ 水素ステーションが未整備の東欧(スロバキア、チェコ、ハンガリー、ポーランド)において、1万台のFCのトラックと270箇所の水素ステーションを整備するとともに、40箇所の水電解装置・液化装置を備えたプラント導入により水素ネットワークを構築する計画。



出典: Bioway “Black Horse”

出典: GP Joule “Green Hydrogen Mobility Project eFarm”

取り上げた事例と類型化のまとめ

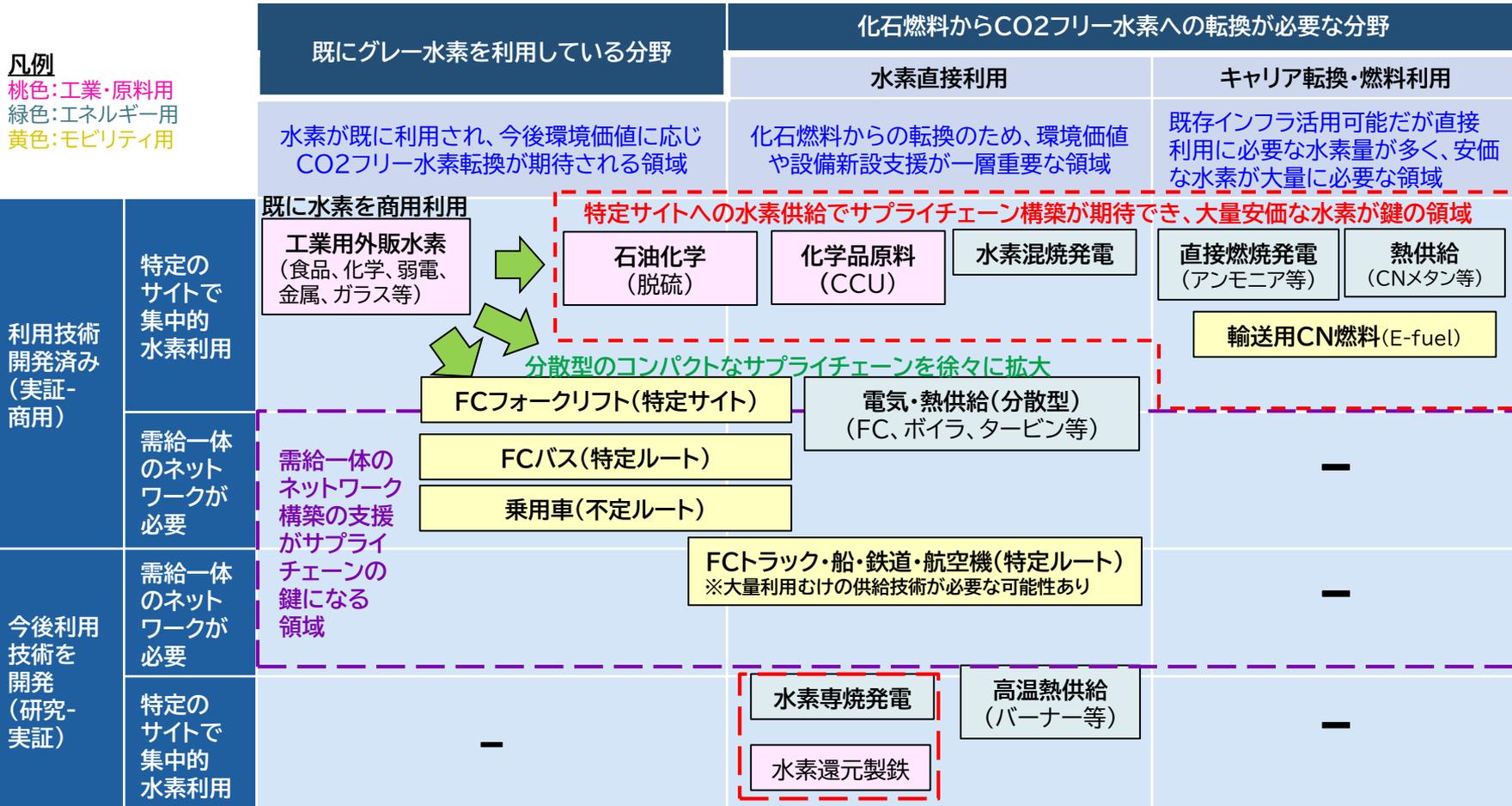
役割を踏まえたP2Gの類型化	今回取り上げた具体例 (海外事例)	規模イメージ	下流側水素利用分野 (事例で取り上げたもののみ)
・自立型エネルギーシステム (再エネ発電設備に併設)	・Phi Suea House(タイ)	正確な値不明 (大きくないと予想される)	・発電・熱供給(FC)
・出力変動吸収 (再エネ発電設備に併設)	例:島しょ部での水素製造+域外供給 (※規模にはバリエーションあり) ・BIG HIT(イギリス) ・Green Hysland(スペイン)	<1t/day~ 数t/day (幅あり)	・産業、輸送、発電・熱供給(FC)、熱 (ガス管注入)
・出力変動の吸収 (変電所等に併設)	・HyBalance(デンマーク) ・Crystal Brook Hydrogen Superhub(オーストラリア)	~25t/d (幅あり)	・産業、輸送、発電・熱供給(FC)、熱 (ガス管注入)
・低炭素水素集中製造	ブルー水素 ・Hynet(イギリス)	>2000t/day	・産業、熱(ガス管注入)、発電(GT)
	グリーン水素(産業部門脱炭素) ・Hydrogen Delta(オランダ) ・アムステルダム港(オランダ)	数十t/d~ 数百t/d	・産業(石油、化学、鉄など)、輸送、熱 (ガス管注入)、発電(GT)
	グリーン水素(輸送部門脱炭素特化) ・eFarm(ドイツ) ・Black Horse(東欧)	<1t/day~ 数百t/day (幅あり)	・輸送(FCV,HDV)
・長期・大規模電力貯蔵	・Advanced Clean Energy Systems (米ユタ州)	100t/day	熱(ガス管注入)、発電(GT)

参考:水素利用手段のマッピング例

- 「スモールスタート」には、設備費用抑制の観点からは利用技術が確立しており、「定サイト」で供給・利用可能なことが好ましい。
- 水素ネットワーク構築の観点からは、各需要サイトで安定的な需要が見込めることが好ましい。
- 投入エネルギーの効率的利用の観点からは、水素はインフラの整った特定サイトでの小中規模利用からはじまり調達可能性・需要量の増加に伴い、徐々に供給ネットワークを拡大する方向が考えられるのではないかと。(下図の左上から右や下に拡大)

凡例

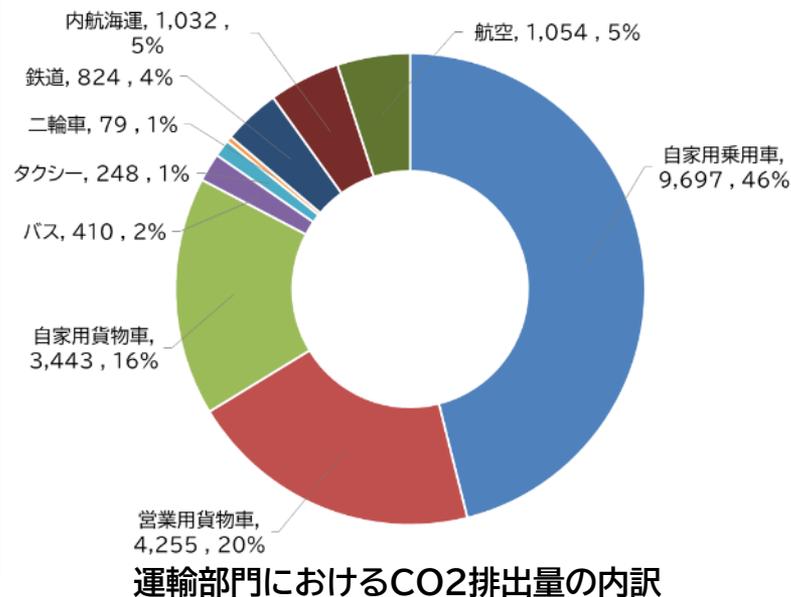
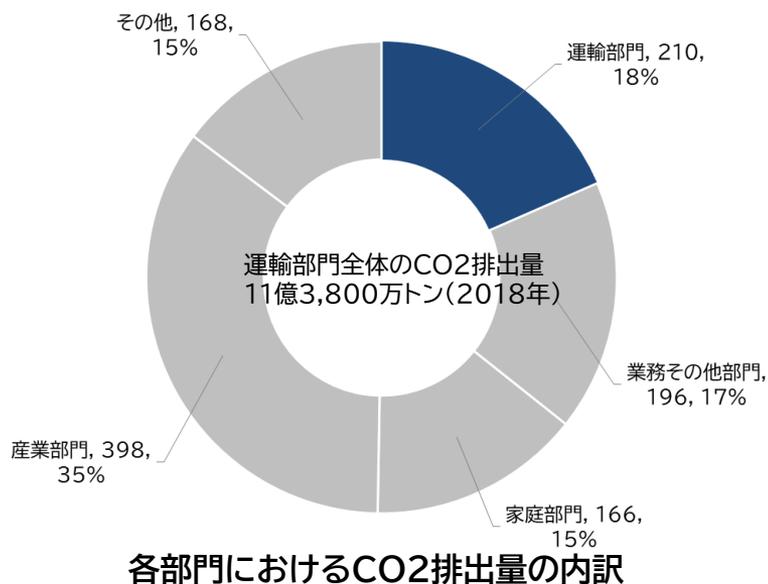
- 桃色:工業・原料用
- 緑色:エネルギー用
- 黄色:モビリティ用



国内外の燃料電池多用途展開の取り組み

運輸部門の燃料電池の多用途展開の必要性

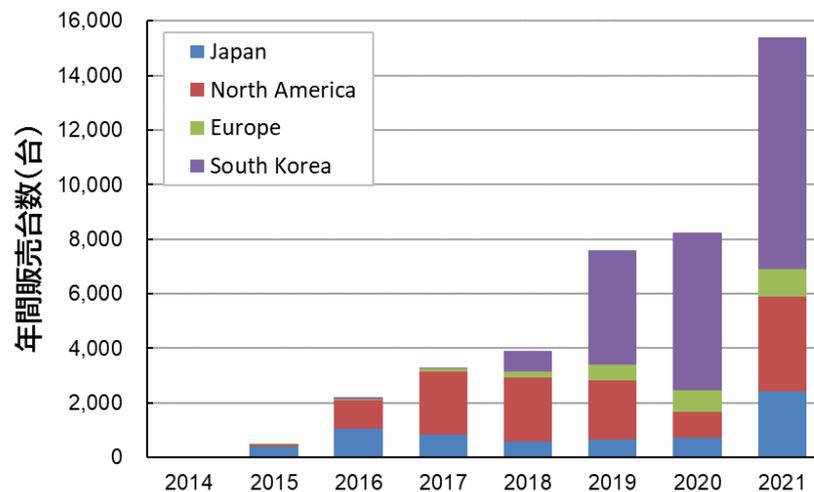
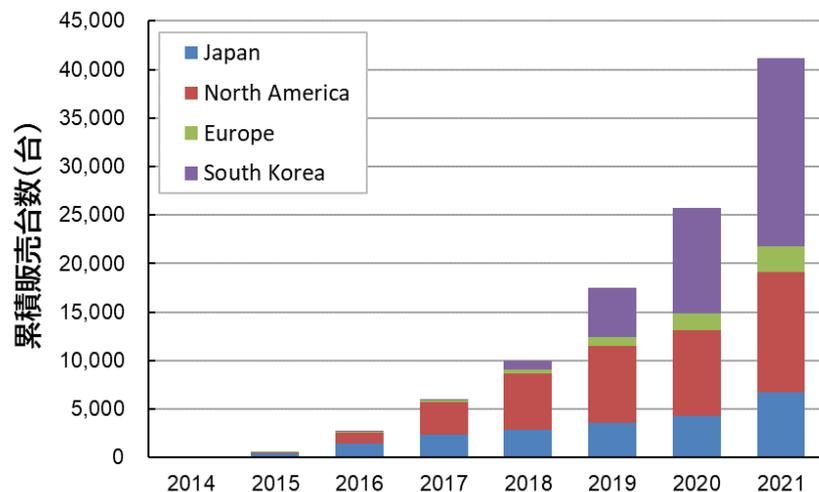
- 我が国でも運輸部門のうち、CO2排出量は自家用乗用車以外の移動体は約50%を占める。
- こうした状況において、FCEV(乗用車)のタクシー等への活用、バス・トラックなどの商用車両、フォークリフトなどの産業用車両、船舶、鉄道をはじめとする様々な輸送用途に燃料電池の活用を拡大することは、省エネルギーや低炭素化等の観点から有効。
- 燃料電池の用途拡大に伴い、一層の耐久性などが要求される商用車両等に対応するための**技術開発促進**、燃料電池スタックや部材の**流通量増加による車両価格低減**、水素ステーションの稼働率向上による**インフラ事業者の採算性の改善**などへの貢献に繋がる。



【出典】温室効果ガスイベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2018年度)確報値」より作成
 ※電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、各消費量に応じて最終需要部門に配分

FCEV(乗用車)の販売台数の推移

- FCEV(乗用車)の販売台数については、市場投入開始から2021年末時点で全世界で累計約4.1万台。内訳は、日本約0.67万台、北米約1.24万台、欧州約0.27万台、韓国約1.92万台(中国はバス・物流車で約0.8万台)、絶対量はまだ小さいものの、平均成長率50%以上で市場が拡大。
- 韓国は最近3年間で現代自動車のNEXOが約2.1万台販売、世界シェアでトップ(約52%、参考:トヨタ自動車約43%)、トヨタ第2世代MIRAIの販売開始で2021年の日米販売台数を牽引。
- FCEVの市場成長を加速するためには、車両価格の低減に加え、ユーザの選択肢が増える(参入メーカーの増加、車種の多様化)ことが重要。

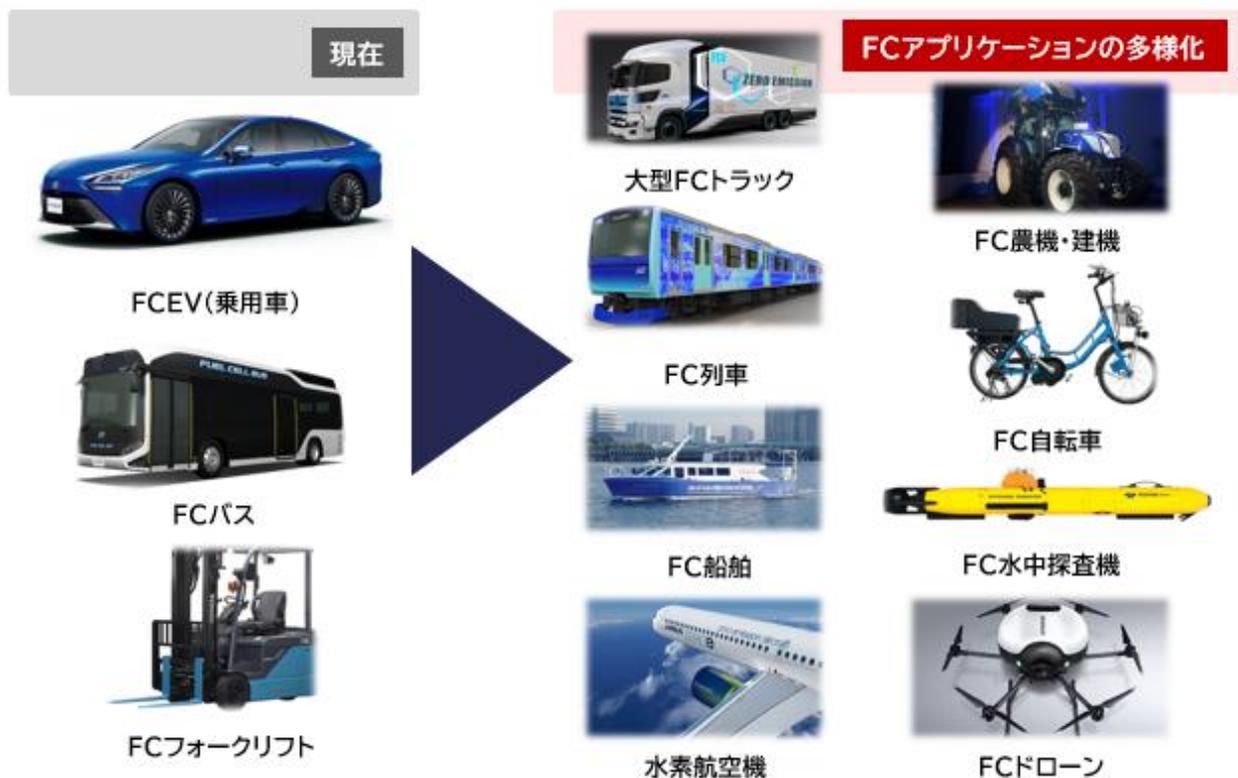


出典:Marklines社データより当社作成

市場投入開始(2014年)から2021年までのFCEVの販売台数の推移

FCパワートレインの多様なアプリケーションへの展開

- 運輸部門の脱炭素化に向けて乗用車に加え、大型商用車・鉄道・船舶や農機・建機といった産業用車両でもパワートレインとしてFCの可能性が注目されている。
- バッテリー駆動のアプリケーションの進展・サービスの拡大に伴い、より長時間・安定な電源として空中・水中ドローン、フォークリフト、自転車等の市場からも期待される。



FCパワートレインの多様なアプリケーションへの展開

- 日本企業勢に加え、韓国の現代自動車、米国Hyzon Motors、Nikolaおよび大手エンジンメーカーCummins等が大型FCトラックの事業に参画、北米市場は大型トラックの最大の市場であり、製品投入と走行試験の実績で日本・韓国自動車メーカーとの競争が激しくなると予測される。
- 独Daimlerも現行のディーゼルトラックに匹敵する航続距離1,000kmを目指した液化水素搭載の大型トラックを開発中、Shellとの共同で欧州内の水素ステーションの整備と同時に2030年までに約5,000台の普及を目指す。

Hyundai(現代自動車)	Hyzon Motors	Daimler
<ul style="list-style-type: none"> ● 大型トラック「XCIENT」のFCモデルをスイスに10台輸出。同社は環境規制が厳しい欧州市場への参入を通じて、商用車シェアの拡大を目指す物流業務におけるCO₂排出量削減に向け、水素燃料活用の可能性を検証 ● 欧州・米国・中国向けのFCトラックの具体的な輸出計画、新型モデルの投入等も発表。2030年には約6.4万台の海外輸出目標を設定 	<ul style="list-style-type: none"> ● ゼロ・エミッション商用車の世界的な展開に焦点を当てた燃料電池自動車会社として事業を開始 ● 多くの自動車OEMにサプライヤーとして提供してきたHorizon Fuel Cell(シンガポール)の成果を活用、2021年からNZで大型FCトラックを展開予定、2026年までに1,500台が目標 ● 現在は北米市場に視点を定め、米国内に2工場の建設を予定 	<ul style="list-style-type: none"> ● VOLVOと大型トラックの共同開発を開始、2021年に公道テストを実施 ● 2027年の量産に向けて、液化水素を搭載した航続距離1,000kmの40トントラックを開発中、2023年に顧客に引き渡して実証テストを開始する計画 ● Shellと欧州内で大型トラックの導入を共同で推進、150箇所の水素ステーションと約5,000台のトラックを市場に提供することを目標
 <p>【出典】https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/07/06/2020070601323.html</p>	 <p>【出典】Hyzon Motors Website</p>	 <p>【出典】Daimler Website</p>

FC電車の実証・商用運転の本格化

- Alstom社は2018年9月にドイツ・ニーダーザクセン州で**世界初のFC電車Coradia iLintの商用運転を開始**。
- オーストリアでは4路線でテスト走行に成功、英国でもテスト走行開始、ポーランド、オランダ、スペイン、イタリア、スウェーデンなど欧州主要国で順次導入が決定。
- JR東日本、日立製作所、トヨタ自動車が連携して燃料電池・バッテリーハイブリッドシステムを搭載した試験車両「FV-E991系(HYBARI)」の開発、**実証実験は2022年に予定**され、試験区間は神奈川県鶴見線・南武線尻手支線、南武線(尻手～武蔵中原)で実施される予定。



【出典】JR東日本ニュースリリース(2020/10/8)

燃料電池・バッテリーハイブリッド車両EV-E991系



ドイツ・ニーダーザクセン州での商用運転



オーストリアでの試験運転

Alstom社 "Coradia iLint"

【出典】Alstom社HP

欧州を中心に進むFC船舶の実証

- 欧州では運輸部門のCO₂排出量の13.5%を内航船が占め、水素を燃料とした船舶が注目。
- FCHJUのFLAGSHIPSプロジェクトでは2023年までに2隻の商用FC貨物船を配備、最も環境規制要求の厳しい地域の一つである仏ローヌ川で2022年に、オランダを拠点とするFuture Proof Shipping(FPS)がライン川(ロッテルダム～デュイスブルグ)で2023年に運航開始。
- 欧州初のFC駆動の航海フェリーとなる設計が完了、EUが資金提供するHySeas IIIプロジェクトの一環として開発された旅客船は120人の乗客と16台の車または2台のトラックを運搬。
- 日本では、日本郵船、東芝エネルギーシステムズ、川崎重工業、日本海事協会、ENEOSの5社は、NEDO助成事業の採択を受け、2020年9月より「高出力燃料電池搭載船の実用化に向けた実証事業」を開始。商業利用可能なサイズ(旅客定員100名程度、150トンクラス)のFC搭載船の開発、日本初の水素燃料の供給を伴う実証運航に取り組む。

FLAGSHIPプロジェクトにおける商用水素貨物船



プロジェクトパートナー機関

ABB

NORLEDE

BALLARD



COMPAGNIE FLUVIALE DE TRANSPORT

VTT

LMG

WESTCON

NCE Maritime CleanTech

【出典】<https://flagships.eu/>

HySeas IIIプロジェクトのFC旅客船



【出典】<https://cordis.europa.eu/article/id/435312-unveiling-europe-s-first-hydrogen-powered-seagoing-ferry>

商用車の導入支援に関する各国動向

諸外国の燃料電池商用車両向け水素供給に関する支援制度・規制

対象	区分	米国(加州)	欧州	中国
再エネ水素燃料	導入目標	—	—	— ※過去の「省エネルギー・新エネルギー車技術ロードマップ」では2030年に水素St.1000箇所導入時、 5割以上の水素を再エネ由来 とする目標。
	規制	補助金取得への条件付与 水素St.への 補助金取得のためには供給量の4割以上再エネ由来が必要。 (LCFSのHRIクレジット) 2021年に 100%再エネ由来水素供給が可能な設備(供給能力1000kg/day以上)への補助金制度(GFO-20-609) を設立。	事業者への再エネ導入量設定 再エネ指令(RED II)では2030年までに 輸送用燃料部門で再エネ14%導入義務 が事業者に対し課せられている。	—
	導入補助	CO2排出量低減効果に応じたクレジット獲得制度(LCFS)	—	—
インフラ	導入目標	○ 2030年水素St.1000箇所導入	○ 2030年水素St.1000箇所導入 ※2020年12月にOEM、トラックオペレータ、インフラ事業者ら64機関の共同声明で 2030年までにFCトラック導入量を睨みつつ欧州で水素St.最大1500基導入実現へコミット 発表。	○ 水素St.導入目標は以下の通り。 ・2020年 100箇所 ・2025年 300箇所 ・2030年 1000箇所
	導入補助	整備費用支援 GFO-19-603(MD/HDVむけ) ※その他2021年4月にCEC発表の商用車ZEVエネルギーインフラインセンティブ(EnergIIZE)で 2025年までに200箇所水素St.を設置予定。	整備費用支援 欧州FCHJU下H2MEプロジェクト ※その他各国も個別に支援	整備費用支援 200kg/dayの新設ステーションに 400万人民币元補助(IPHEより) ※その他地方自治体の支援ケースあり

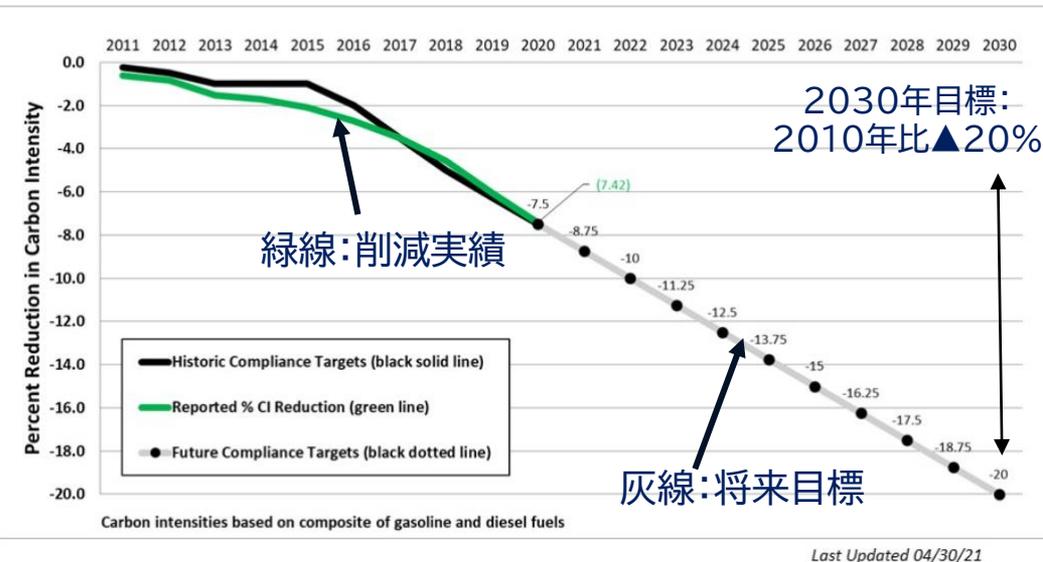
諸外国の燃料電池商用車両向け支援制度・規制

対象	区分	米国(加州)	欧州	中国
商用車	導入目標	<p>FCTトラック単独の目標はなし</p> <p>※2016年CARB発表の導入目標は、「2030年にZEVトラック(FCTトラックに限らない)を10万台導入」。</p>	<p>FCTトラック単独の目標はなし</p> <p>※2020年12月のOEM、技術提供社、トラックオペレータ、インフラ事業者ら64機関の共同声明では、2030年以降のFC Heavy Dutyトラック最大10万台導入の目標実現へコミットしていくことを発表。</p>	<p>FCVIについて導入目標設定</p> <p>2035年 100万台 (省エネルギー・新エネルギー車技術ロードマップ2.0) ※2016年のロードマップでは2030年に乗用車・大型商用車で100万台が目標。</p>
	規制	<p>ZEV規制(クレジット)</p> <p>Advanced Clean Trucks規制(2020年6月)により2024年からトラックメーカーへZEV規制適用されることが決定。</p> <p>2035年にClass4-8のZEV新車販売率75%(上方修正検討中)</p> <p>※Advanced Clean Trucks規制により2035年ZEV商用車全体で累計約30万台走行見通し。</p>	<p>CO2排出規制</p> <p>大型トラックメーカーを対象に、19年度比で2025年排出15%、2030年排出30%削減を要請。</p> <p>ドイツ、フランス、イギリスなどが各国でICEの販売禁止計画を発表。また大気汚染対策のため都市の規制でディーゼル車両立入禁止とするケース多数。</p>	<p>CO2排出規制</p> <p>省エネルギー・新エネルギー車技術ロードマップ2.0では、トラックを対象に、19年度比で2030年排出10%、2035年排出15%削減を要請。</p>
	導入補助金	<p>○</p> <p>CARBはHVIPプロジェクトで商用ZEVへ支援を実施。 特に、class8 FCTトラックには基準額+100%の補助を実施。額は以下。 \$300k(Drayageのみ21年末迄) \$240k(22年以降)</p>	<p>—</p> <p>※2021年4月設立のDaimler・Volvoの合弁会社CellCentricがFCTトラックへのEUの支援を要望。</p>	<p>○</p> <p>24万-40万人民元(2019) 今後は技術開発・産業振興、サプライチェーン構築にシフト ※その他自治体支援ケースあり</p>

米国カリフォルニア州のLow Carbon Fuel Standard制度

- Low Carbon Fuel Standard(LCFS)は、2030年に2010年比排出量20%減を目標に、バックキャストで定められた**毎年の排出量目標低減を燃料供給事業者に義務付ける制度**。
- 目標以上の削減量はクレジットとして獲得され、クレジットは事業者間での売買が可能。**目標未達の場合は最大で\$1000/t-CO₂のパナルティが事業者に課される**。
- LCFS制度において水素関連クレジットは「燃料販売に伴うクレジット」と「水素供給能力に関するクレジット」が存在。
- 「燃料販売に伴うクレジット」では、「基準値」を下回るCO₂排出量の水素販売量に比例したクレジットを獲得できる。**事業者間での取引額は2021年現在\$200/t-CO₂前後**。
- 「水素供給能力に関するクレジット」では、**ステーション供給能力と充填量の差に比例したクレジットを獲得できる**。取得には再エネ4割以上由来の水素供給が求められる。

LCFSにおける削減目標の推移・実績と見通し

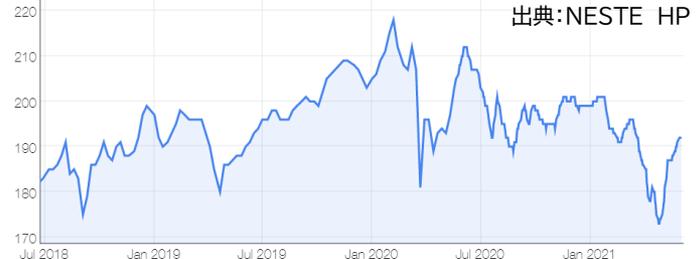


出典: CARB "LCFS Data Dashboard" をもとに作成

LCFSにおける燃料販売に伴うクレジット対象

水素用途の分類	詳細
FCモビリティ用燃料 (Hydrogen Used in Fuel Cell Electric Vehicles)	<ul style="list-style-type: none"> •Light-Duty FCEV •Heavy-Duty FCEV •FCフォークリフト
燃料合成用再エネ水素 (Renewable Hydrogen Used for Fuel Production)	<ul style="list-style-type: none"> •他の輸送燃料製造に用いる再エネ水素 •リファイナリーでの再エネ水素利用

LCFSにおける燃料販売に伴うクレジット取引額推移



参考:燃料販売クレジットの算出式

■ 燃料販売クレジットの算出式 = (ベンチマーク排出量 - 水素排出量 / 補正係数) × 販売量。

CARBドキュメントで示されている水素製造パス別の排出量算出例

水素製造パス	天然ガス SMR(集中) 圧縮水素輸送 昇圧・プレクール	天然ガス SMR(集中) 液化水素輸送 昇圧・プレクール	バイオガス SMR(集中) 圧縮水素輸送 昇圧・プレクール	系統電力 水電解 (オンサイト) 昇圧・プレクール	再エネ 水電解 (オンサイト) 昇圧・プレクール
CARBドキュメント の排出量算出例 [g-CO2/MJ]	117.67	150.94	99.48	164.46	10.51

LCFSでのベンチマーク排出量(基準値) (ガソリン、ディーゼル)

✓ 年とともにベンチマーク排出量は低下

Year	Gasoline Average CI (gCO ₂ e/MJ)	Diesel Average CI (gCO ₂ e/MJ)
2019	93.23	94.17
2020	91.98	92.92
2021	90.74	91.66
2022	89.50	90.41
2023	88.25	89.15
2024	87.01	87.89
2025	85.77	86.64
2026	84.52	85.38
2027	83.28	84.13
2028	82.04	82.87
2029	80.80	81.62
2030 onwards	79.55	80.36

LCFSにおけるクレジット算出時の補正係数(水素関連)

EER (補正係数)	FCEV(乗用車) ガソリン比	FCEV(HDV) ディーゼル比
値	2.5	1.9

LCFSにおける燃料販売クレジット算出例

クレジット算出の例

(2020年ディーゼルvs天然ガス-SMR-圧縮水素輸送ケース)

$$(92.92 - 117.67 / 1.9) [g-CO_2/MJ] \times \text{販売量} [MJ] / 1000000 [g-CO_2/t-CO_2] = \text{獲得クレジット} [t-CO_2]$$

LCFSクレジットの算出例

- 「水素供給能力に関するクレジット」(HRIクレジット)は、供給能力と充填量の差に比例したクレジットである。
(ただし申請後15年間。なおクレジット獲得量の上限は供給能力1200kg/day相当まで)
- HRIクレジットの算出式 = (ベンチマーク排出量 - 水素排出量 / 補正係数) × (供給能力 - 販売量)。
- 以下表にPowerTap社(オンサイトバイオガス改質 + CO2回収ステーション)の資料によるクレジット獲得例を示す。
- LCFS制度は、燃料販売クレジットとHRIクレジットの2つの枠組みにより、再エネ4割以上の水素ステーションへの供給能力に応じた支援(クレジット発行)を行っていることに相当することが見て取れる。

PowerTap社による、水素ステーションでのクレジット獲得の算出例

Hydrogen Station - Capacity of H ₂		1,250 kg ⁵		水素売上小	水素売上大
Revenue Source		Rate	kg/day	185 kg/day	500 kg/day
水素売上 LCFS クレジット	Hydrogen Sales	\$16.00 per kg/day	\$ -	\$ 2,960	\$ 8,000
	LCFS/HRI (Carbon Credits)	\$2.95 per kg	\$ 6,720	\$ 5,684	\$ 3,920
	Conventional LCFS (Carbon Credits)		\$ -	\$ 1,036	\$ 2,800
Total LCFS Value			\$ 6,720	\$ 6,720	\$ 6,720
その他 クレジット	RIN (RFS Credits)	\$1.71 per kg	\$ -	\$ 316	\$ 855
	45Q (Tax Credits)	\$0.36 per kg	\$ -	\$ 67	\$ 180
Total Revenue - Daily			\$ 6,720	\$ 10,063	\$ 15,755
Total Revenue - Monthly			\$ 201,600	\$ 301,889	\$ 472,650
Total Revenue - Annual			\$ 2,452,800	\$ 3,672,977	\$ 5,750,575

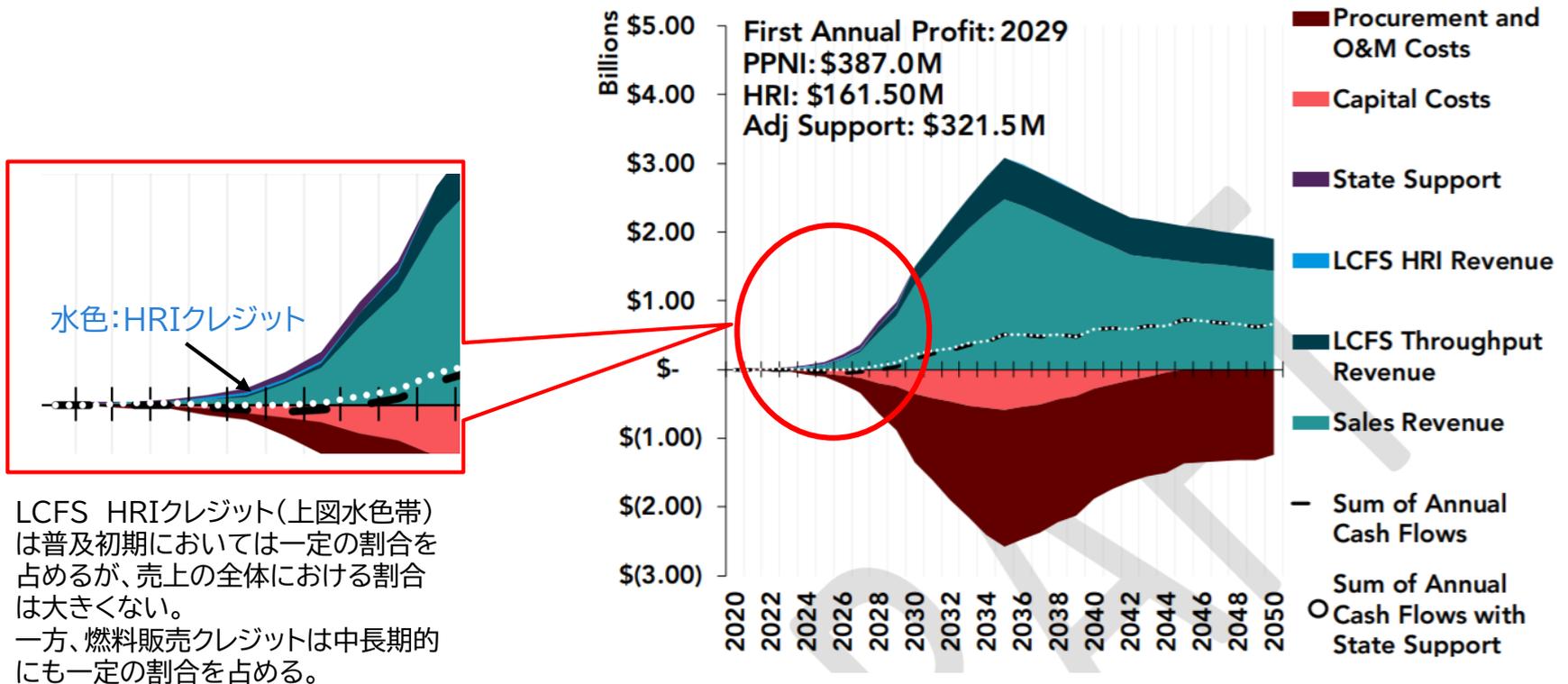
上の表(供給能力一定)において、
 水素売上小のケース: HRIクレジット(\$5684) > 燃料供給クレジット(\$1036)
 水素売上大のケース: HRIクレジット(\$3920) < 燃料供給クレジット(\$2800)
 ただし、いずれのケースでも2つのLCFSクレジット和は売上によらず\$6720で等しい。
 再エネ4割以上の水素ステーションに対して、LCFSクレジットは供給能力に応じた支援をしていることに相当。
 (その他クレジットは水素売上にスケールしている)

出典: PowerTap
 "Generating Credits
 Under California's Low
 Carbon Fuel Standard
 (LCFS)"をもとに作成

参考: CARBによる水素ステーション自立化検討(クレジットの役割)

- CARBでは、カリフォルニアの2030年目標であるFCV100万台導入実現を前提に、水素ステーションの自立化条件に関する分析を実施している。
- 自立化シナリオの検討結果では、普及初期においてLCFSのHRIクレジットは一定の割合を占めるが売上全体において占める割合は大きくない。一方LCFSの燃料販売クレジットは中長期的にも一定の役割を占める。

CARBによる水素ステーション自立化の検討例



出典: CARB "Hydrogen Station Network Self-Sufficiency Analysis per Assembly Bill 8"

カリフォルニア州での再エネ由来水素供給について

- CAFCPによる2020年の年次報告・CAFCP提供のステーションマップによれば、現状カリフォルニア州でのオンサイト水電解による再エネ由来水素100%の供給ステーションはオープンなのが2箇所、1箇所が許可申請中。(利用可能なステーションは2021年6月1日時点で46箇所)
- LFCSの要請を満たすために必要な再エネだが、現状カリフォルニアでは(水電解のケースを除き)天然ガス改質+バイオメタンの認証を得ることでみなし調達されている。

カリフォルニアのオンサイト水電解水素ステーション

名称	供給能力 [kg/day]	オープン年	ステータス	再エネ率
Emeryville	350	2018	Open retail	100%
CSULA	60	2019	Open Legacy retail	100%
Chino	100	2021	Permitting	100%

参考:100%再エネステーションへの補助金プロジェクト

州内での原料調達-水素製造、かつ少なくとも1000kg/dayの供給能力をもつことが要件

事業者名	供給能力 [kg/day]	完了年	再エネ	電解装置メーカー
Stratos Fuel	2000	2019	ウィンドファームのPPAから調達	Hydrogenics
Shell-Equilon	1000	2020	オンサイト太陽光発電	不明
H2B2	1000	2020	オンサイト太陽光発電	Giner

出典:CAFCP
“Crating
Dedicated
Renewable
Hydrogen Supply”

カリフォルニア州での商用車向けZEV規制

- 2020年6月に“Advanced Clean Truck Regulation”(ACT)が認可。中大型車メーカーが対象のZEV規制。
 - 2035年にClass4-8の車両の新車販売のうち75%を、2045年に100%をZEV化する目標。
 - なお、2021年4月にはより強力な“Advanced Clean Fleet Regulation”として2035年までに全ての新車※販売をZEVに移行させる、という内容がCARBから提案されている。年内に採用如何が決定する予定。
- ※8500ポンド(=約3.9t)以上の車両総重量(GVWR)を持つ新車

米国における商用車の区分

区分	重量[t]	車両例
Class1	-2.7	Minivan, Cargo Van, SUV, Pickup Truck
Class2a	2.7-3.9	Minivan, Cargo Van, Full-Size Pickup, Step Van
Class2b	3.9-4.5	
Class3	4.5-6.4	Walk-in, Box Truck, City Delivery, Heavy-Duty Pickup
Class4	6.4-7.3	Large Walk-in, Box Truck, City Delivery
Class5	7.3-8.8	Bucket Truck, Large Walk-in, City Delivery
Class6	8.8-11.8	Beverage Truck, Single-Axle, School Bus, Rack Truck
Class7	11.8-15	Refuse, Furniture, City Transit Bus, Truck Tractor
Class8	15-	Cement Truck, Truck Tractor, Dump Truck, Sleeper

ACTにおける商用車のZEV化マイルストーン

Model Year (MY)	Class 2b-3	Class 4-8	Class 7-8 Tractors
2024	5%	9%	5%
2025	7%	11%	7%
2026	10%	13%	10%
2027	15%	20%	15%
2028	20%	30%	20%
2029	25%	40%	25%
2030	30%	50%	30%
2031	35%	55%	35%
2032	40%	60%	40%
2033	45%	65%	40%
2034	50%	70%	40%
2035+	55%	75%	40%

出典
 左表: DOE EERE HP <https://www.energy.gov/eere/vehicles/fact-707-december-26-2011-illustration-truck-classes>をもとに作成
 右表: CARB“Advanced Clean Fleets Regulation”(2022 AQMP Mobile Source Working Group, 2021/3/24)

ACTの対象

米国企業のFCトラック導入・水素ステーション整備計画(Hyzon社)

- 米国のFC商用車メーカーのHyzon社は(既存水素ステーションと別に)独自の水素供給ネットワークを徐々に拡大する計画を発表。
- 4月にはバイオガス由来の水素製造技術を持つRaven SOと協力して米国はじめグローバルで100箇所の水素ステーション整備する計画を発表。米国ではLCFSクレジット獲得が狙い。
- なお、Raven SOは独自のCO2改質技術で\$2-3/kgのコストで水素製造可能とする。

Hyzon expects to exceed its business plan with very few additional key customers

	SEED THE MARKET (2021 ORDERS GROWING)				GROW THE MARKET (2022 - 2024, BACKLOG BUILDING)			MATURE VOLUMES (AFTER 2025)		
	CUSTOMER	CATEGORY	QUANTITY	\$ MM	TOTAL FLEET	QUANTITY	HYZON REVENUE \$MM	TOTAL FLEET	HYZON VOL. @ 20% SHARE	HYZON REVENUE \$MM
Customers	Customer 1	Class 8	100	20	Class 6, 8	1,400+	500+	15,000	3,000	1,200+
	Customer 2	Class 8	20	9	Class 8	1,400+	500+	8,500	1,700	800+
	Customer 3	Coach Bus	10	8	Bus, Other	100+	60+	2,000	400	250+
	Customer 4	Class 8	10	4	Class 6, 8	1,000+	300+	30,000	6,000	1,800+
Vehicles ¹	FUEL CELL	New York, Shanghai			Formalize Partnership with existing rolling chassis providers			Development of own captive chassis with third party providers		
	CHASSIS									
	ASSEMBLY									
		SERVICE: HYZON + CUSTOMER			SERVICE: HYZON + CUSTOMER			SERVICE: HYZON + CUSTOMER		
Hydrogen Source	On-site customer supply (95% of existing customers) Existing hydrogen stations (5% of existing customers)				Hyzon-created capacity (~25%) On-site supply and existing stations (~75%)			Hyzon network (50%)		3rd Party capacity (50%)
	LEVERAGE EXISTING SUPPLY				BUILD HYZON / PARTNER SUPPLY			HYZON AND 3RD PARTY SUPPLY ESTABLISHED		

Source: Management data and projections ¹ Chassis and assembly suppliers indicative of anticipated relationships.

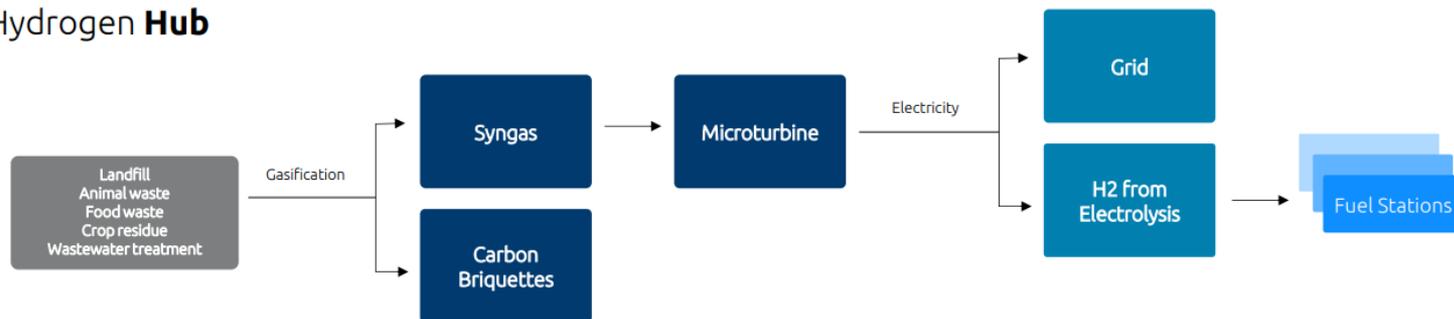
30

出典: Hyzon社資料

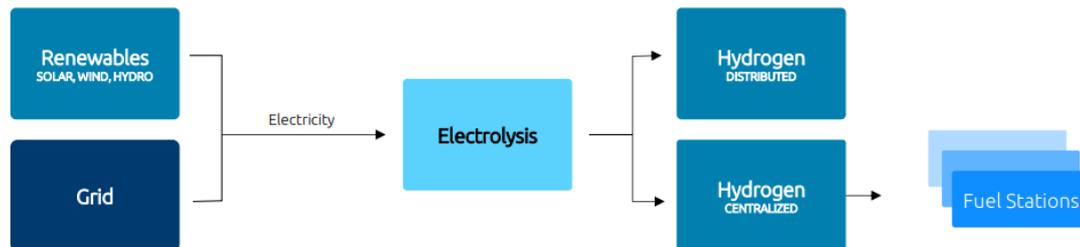
参考:Hyzonの米国外での水素調達計画

- Hyzon社は**バイオマス由来の電力+水電解で水素製造する「Hydrogen Hub」構想を発表**。電力が安価なタイミングでのみ水素製造することで、\$1/kg-\$2/kgと安価な水素製造を行うとしている。オーストラリアで最初の「Hydrogen Hub」建設を予定。
- その他にも、ニュージーランド(水力発電のポテンシャルが豊富)、オーストラリア(太陽光、風力のポテンシャルが豊富)で安価な電力からの**グリーン水素調達にもパートナーシップ締結を通じて取り組む**。

Hydrogen Hub



The Process of **Electrolysis**



出典:Hyzon社資料

米国企業のFCトラック導入・水素ステーション整備計画(Nikola社)

- FCトラックベンチャーのNikola・電解装置メーカーのNelは、Nel製アルカリ電解装置・ステーションを用いて、オンサイトで再エネ水素を供給する計画。パイロットを2021年アリゾナで実証、その後23年にカリフォルニアで導入予定。
- ディーゼルパリティ実現条件(\$6/kg)実現には、<\$0.04/kWhの電力調達が必要とする。
- 2021年1月にNikolaはArizona Public Serviceとのグリッドサービス提供と引き換えに安価な価格での電力調達を行う契約を発表した。\$0.027/kWhの電力確保とされる。

8t/Day Pilot Station

Green Power + Electrolysis = Green Hydrogen

70mpa heavy duty & light duty
8T/Day Station Development Concept

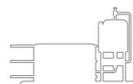


Key to Cost Parity
with Fossil Fuels: using
Renewable/ Nuclear < \$0.04 / kWh



Hydrogen Generation
with renewables & grid
with low cost electricity

<\$0.04 / kWh
@Cost of
electricity



Alkaline Electrolysis
"tried and true" technology



70 MPA Hydrogen
Fueling for heavy
duty applications

<\$6.00 / kg
Sale price of
hydrogen



出典：Nikola "Hydrogen Truck Progress, Plan, and Opportunity"

欧州での商用車へのCO2排出規制

- 2025年に排出量19年比15%削減、30年30%削減といった目標がトラックメーカーに課されている。

商用車CO2排出規制の概要

目標	大型トラックメーカーを対象に、2019年度比で2025年排出15%、2030年排出30%削減を要請。
対象	技術的に許容される最大積載量 > 16tのトラックで、車両グループが4,5,9,10に属するもの(詳細は下図) ※これらの4グループが、商用車からのCO2排出量の2/3を占める。
ペナルティ	25年に€4250/tkmCO2 30年に€6800/tkmCO2
インセンティブ	2024年まではスーパークレジット制を導入。

規制の対象

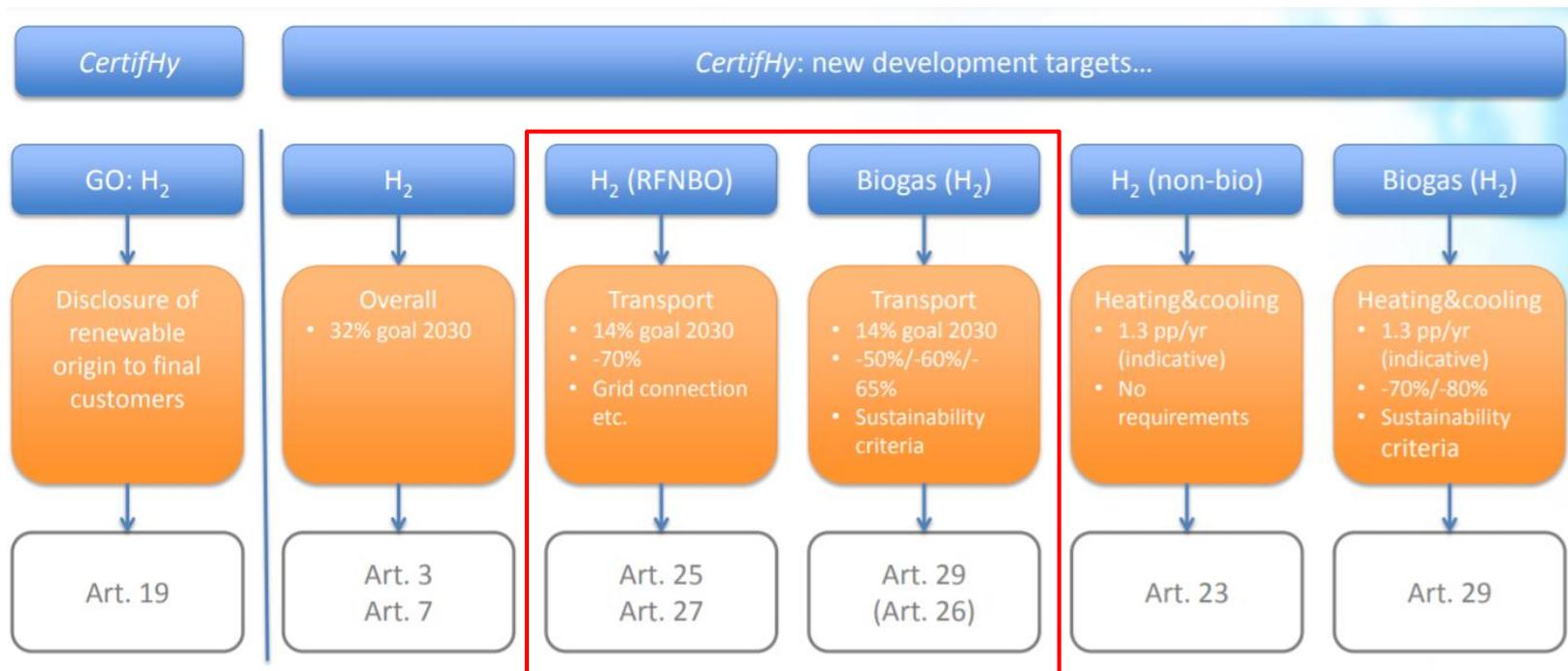
Vehicle group	Axle and chassis configuration	Without trailer
4	4x2 Rigid	
5	4x2 Tractor	
9	6x2 Rigid	
10	6x2 Tractor	

出典：“CO2 emission standards for heavy-duty vehicles”

欧州の輸送用燃料における再エネ導入目標と水素の扱い

- 再エネ指令 (RED II) では、2030年までに輸送用燃料部門で再エネ14%導入義務が事業者に対し課せられている。輸送用の水素燃料については、生物由来水素と非生物由来の再エネ水素がこの目標に貢献する。
- RED IIでは再生燃料カテゴリの一つとして、非生物由来再生液体/気体燃料 (RFNBOs) が定められている。RFNBOとして非生物由来の水素が認められるにはCO2排出量天然ガス改質比3割以下を満たす必要がある。(この前提下で再エネ水電解水素はRFNBOsに属する。)

再エネ指令と水素(赤枠:輸送用燃料に関する部分)



出典: Matthias Altomann (TUV SUD) "CertifHy European Certification of Green and Low-Carbon Hydrogen" (2019/4/8)

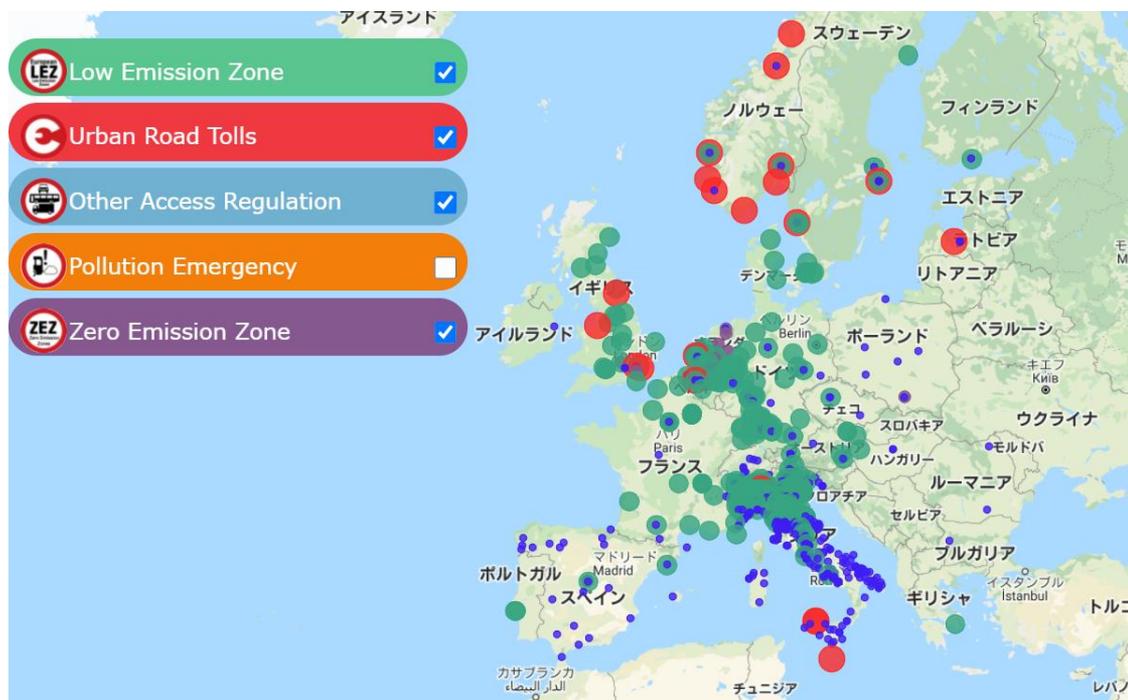
欧州都市部の大気汚染規制の例

- 欧州では既に広域に渡り大気汚染対策で都市部へのディーゼル車両の(ユーロ基準に基づく)立入規制や課金などの規制が課されている。
- ロンドンやオランダの一部の都市では、更にZEV車両のみが立ち入り可能なZero Emission Zoneが存在。

都市部での大気汚染規制の例

分類	概要
Low Emission Zone ※右図緑	大気汚染物質(Nox、PM2.5、オゾン)排出量の低い車両のみ都市への立ち入りが許される。比較的中央ヨーロッパに多い。
Urban Road Tolls ※右図赤	大気汚染対策や渋滞緩和を目的に課金が行われる都市。比較的北ヨーロッパに多い。
Other Access Regulation (Key-ARS) ※右図青	課金や排出量以外の規制。都市部へのアクセスが特定時間帯や特定の車両(電動車など)のみ許可されるなど。比較的南ヨーロッパに多い。
Zero Emission Zone ※右図紫	都市への立ち入りが許される車両はZEVに限られる。(ロンドン、オランダの一部都市等)

欧州都市部での大気汚染規制のマッピング



出典: <https://urbanaccessregulations.eu/userhome/map>

欧州での企業のFCトラック導入・水素ステーション整備計画

- 2020年末の64機関からのFCトラック・水素ステーション整備目標へのコミット発表以降、Daimlerをはじめメーカー・インフラ事業者が需給一体での導入計画を複数発表。
- グリーン水素供給についての計画は不明。なお、ShellがDaimlerと協力してのネットワーク整備計画は既に導入計画発表済みの大型の水電解設備を持つサイトを結ぶものである。

企業	取り組み
メーカー、OEM、技術提供社、トラックオペレータ、インフラ事業者	2020年12月のOEM、技術提供社、トラックオペレータ、インフラ事業者ら64機関の共同声明では、2030年以降のFC Heavy Dutyトラック最大10万台導入の目標実現へコミットしていくことを発表。同時に、FCトラックの需要拡大と同期する形で2030年までに水素ステーション最大1500箇所を整備する目標実現へコミットしていくことを発表。
Daimler,Linde	2020年12月にDaimlerとLindeはFCトラック向けの液体燃料充填技術の共同開発契約を発表。過冷却液体水素(「sLH2」)により、高いエネルギー貯蔵密度や効率的な燃料補給、ステーション設備の簡素化を狙うとしており、2023年に最初の試作車への充填を行う予定。
Daimler,Shell, Volvo,Iveco,OMV	2020年12月にFCトラック普及に向けた団体「H2accelerate」の設立を発表。 2020年代前半に数百台のFCトラック導入と20以上の大型水素ステーション設置を計画。 さらに20年代後半には累計1万台以上のFCトラック導入に加えて主要幹線道路を水素ステーションでカバー。
ACEA(欧州自動車工業会)	欧州の代替燃料インフラ指令(AFID)の見直しにおいてEUでのZEV商用車用インフラ整備に関する目標設置を求めるレポートを発表。2025年までにおよそ300の水素ステーションを欧州で展開、2030年までに1000箇所に拡大する必要があると提言。
Cellcentric (Daimler+Volvoの合弁会社)	FCトラック向けのFC製造を2025年に開始することを4月に発表。 商用車用大型ステーションを2025年までに300箇所、2030年までに1000箇所整備するという計画を支持。 また、欧州の政策立案者にCO2排出量に関する課税などのインセンティブ追加を要望。
Daimler,Shell	ロッテルダム-ケルン-ハンブルグでの3つのグリーン水素拠点を結ぶネットワークを整備する計画を5月に発表。 (※いずれもShellが参画するプロジェクトで各100MW級の電解装置での工業用水素製造を計画しているサイト) 2025年までに1200kmの「Hydrogen Freight Corridor」を構築、ルートには6-8箇所のステーションを配備する計画。 2030年までに150箇所の水素ステーションと約5000台のFCトラックを導入する計画。

参考:ACEAによる商用車向け大型水素ステーション整備の提言

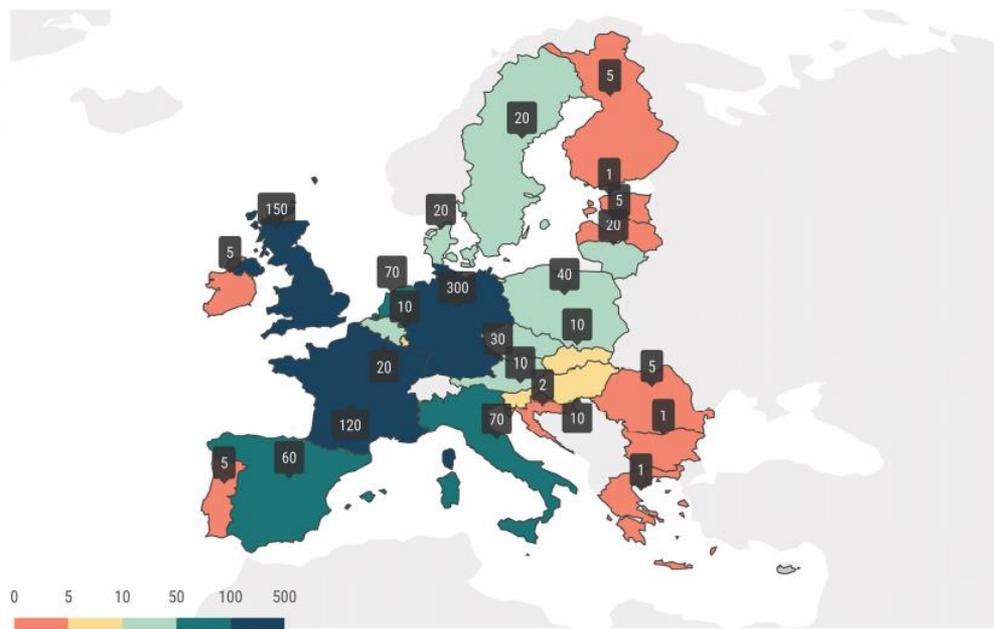
- カーボンニュートラルに向けて、欧州の代替燃料インフラ指令(AFID)の見直しにおいてEUでのZEV商用車用インフラ整備に関する目標設置を求めるレポートを発表。
- 同レポートによれば、2025年までに商用車向け大型水素ステーションを300箇所、2030年までに少なくとも1000箇所、コアネットワークにおいて200kmごとに整備するべきという提案がなされている。
- 20年代中盤からFC商用車トラックは徐々に増加し、2030年までには少なくとも6万台が運転されるとしている。

ACEAによるインフラ整備への要求

ACEAメンバー



ACEAによる2030年の国別水素インフラ配置案 (新車登録数ベースにGDP、走行距離で重みを考慮)



出典:ACEA資料

諸外国のインフラの整備状況と 供給能力の弾力性について

カリフォルニア州の水素ステーションリスト(1/2)

■ 2015～2016年頃は全て供給能力<300kg/dayだが、19年以降は>500kg/dayが多数と供給能力増加傾向。

Name	Address	City	Capacity (kg/day)	Retail Open	County	Renewable %	Name	Address	City	Capacity (kg/day)	Retail Open	County	Renewable %
Coalinga	24505 W Dorris Ave	Coalinga	266	2015	Fresno	40%	South Pasadena	1200 Fair Oaks Ave	South Pasadena	206	2017	Los Angeles	40%
Diamond Bar	21865 E Copley Dr	Diamond Bar	180	2015	Los Angeles	33%	Torrance	2051 W 190 th St	Torrance	200	2017	Los Angeles	33%
San Juan Capistrano	26572 Junipero Serra Rd	San Juan Capistrano	350	2015	Orange	33%	Citrus Heights	6141 Greenback Ln	Citrus Heights	513	2018	Sacramento	40%
UC Irvine	19172 Jamboree Rd	Irvine	180	2015	Orange	33%	Emeryville	1152 45 th St	Emeryville	350	2018	Alameda	100%
West Sacramento	1515 S River Rd	West Sacramento	350	2015	Yolo	33%	LAX	10400 Aviation Drive	Los Angeles	200	2018	Los Angeles	40%
Anaheim	3731 E La Palma Ave	Anaheim	180	2016	Orange	33%	Mountain View	830 Leong Drive	Mountain View	350	2018	Santa Clara	33%
Campbell	2855 Winchester Blvd	Campbell	266	2016	Santa Clara	40%	Newport Beach	1600 Jamboree Rd	Newport Beach	100	2018	Orange	33%
Costa Mesa	2050 Harbor Blvd	Costa Mesa	266	2016	Orange	40%	Ontario	1850 Holt Blvd	Ontario	100	2018	San Bernardino	100%
Del Mar	3060 Carmel Valley Rd	San Diego	266	2016	San Diego	40%	Palo Alto	3601 El Camino Real	Palo Alto	136	2018	Santa Clara	40%
Fairfax	7751 Beverly Blvd	Los Angeles	180	2016	Los Angeles	33%	Thousand Oaks	3102 Thousand Oaks Blvd	Thousand Oaks	266	2018	Ventura	40%
Hayward	391 West A St	Hayward	266	2016	Alameda	40%	CSULA	5151 State University Dr	Los Angeles	60	2019	Los Angeles	100%
Hollywood	5700 Hollywood Blvd	Los Angeles	266	2016	Los Angeles	40%	Harrison St	1201 Harrison St	San Francisco	513	2019	San Francisco	40%
La Cañada-Flintridge	550 Foothill Blvd	La Canada Flintridge	266	2016	Los Angeles	40%	Oakland	350 Grand Ave	Oakland	808	2019	Alameda	40%
Lake Forest	20731 Lake Forest Dr	Lake Forest	266	2016	Orange	40%	Sacramento	3510 Fair Oaks Blvd	Sacramento	513	2019	Sacramento	40%
Long Beach	3401 Long Beach Blvd	Long Beach	266	2016	Los Angeles	40%	Third St	551 Third St	San Francisco	513	2019	San Francisco	40%
Mill Valley	570 Redwood Hwy	Mill Valley	266	2016	Marin	40%	Berkeley	1250 University Ave	Berkeley	513	2020	Alameda	40%
Playa Del Rey	8126 Lincoln Blvd	Los Angeles	266	2016	Los Angeles	40%	Burbank	145 W Verdugo Rd	Burbank	100	2020	Los Angeles	33%
San Jose	2101 North First St	San Jose	266	2016	Santa Clara	40%	Campbell-Hamilton	337 E Hamilton Ave	Campbell	1200	2020	Santa Clara	40%
Santa Barbara	150 S La Cumbre Rd	Santa Barbara	266	2016	Santa Barbara	40%	Concord	605 Contra Costa Blvd	Concord	1200	2020	Contra Costa	40%
Santa Monica	1819 Cloverfield Blvd	Los Angeles	180	2016	Los Angeles	33%	Fountain Valley	18480 Brookhurst St	Fountain Valley	1200	2020	Orange	40%
Saratoga	12600 Saratoga Ave	Saratoga	198	2016	Santa Clara	40%	Mission Hills	15544 San Fernando Mission Rd	Mission Hills	1200	2020	Los Angeles	40%
South San Francisco	248 S Airport Blvd	South Francisco	266	2016	San Mateo	40%	Mission St	3550 Mission St	San Francisco	513	2020	San Francisco	40%
Truckee	12105 Donner Pass Rd	Truckee	266	2016	Nevada	40%	Rancho Palos Verdes	28103 Hawthorne Blvd	Rancho Palos Verdes	180	2020	Los Angeles	33%
Woodland Hills	5314 Topanga Canyon Blvd	Woodland Hills	180	2016	Los Angeles	33%	Redwood City	503 Whipple Ave	Redwood City	1200	2020	San Mateo	40%
Fremont	41700 Grimmer Blvd	Fremont	266	2017	Alameda	40%	San Diego	5494 Mission Center Rd	San Diego	1200	2020	San Diego	40%
Lawndale	15606 Inglewood Ave	Lawndale	180	2017	Los Angeles	33%	San Jose- Bernal	101 Bernal Rd	San Jose	513	2020	Santa Clara	40%
Riverside	8095 Lincoln Ave	Riverside	100	2017	Riverside	33%	Sherman Oaks	14478 Ventura Blvd	Sherman Oaks	808	2020	Los Angeles	40%
San Ramon	2451 Bishop Drive	San Ramon	350	2017	Contra Costa	33%							

出典:CARB資料

カリフォルニア州の水素ステーションリスト(2/2)

■ 21年以降予定されているステーションでは、1200kg/dayの供給能力を持つものが多数存在。

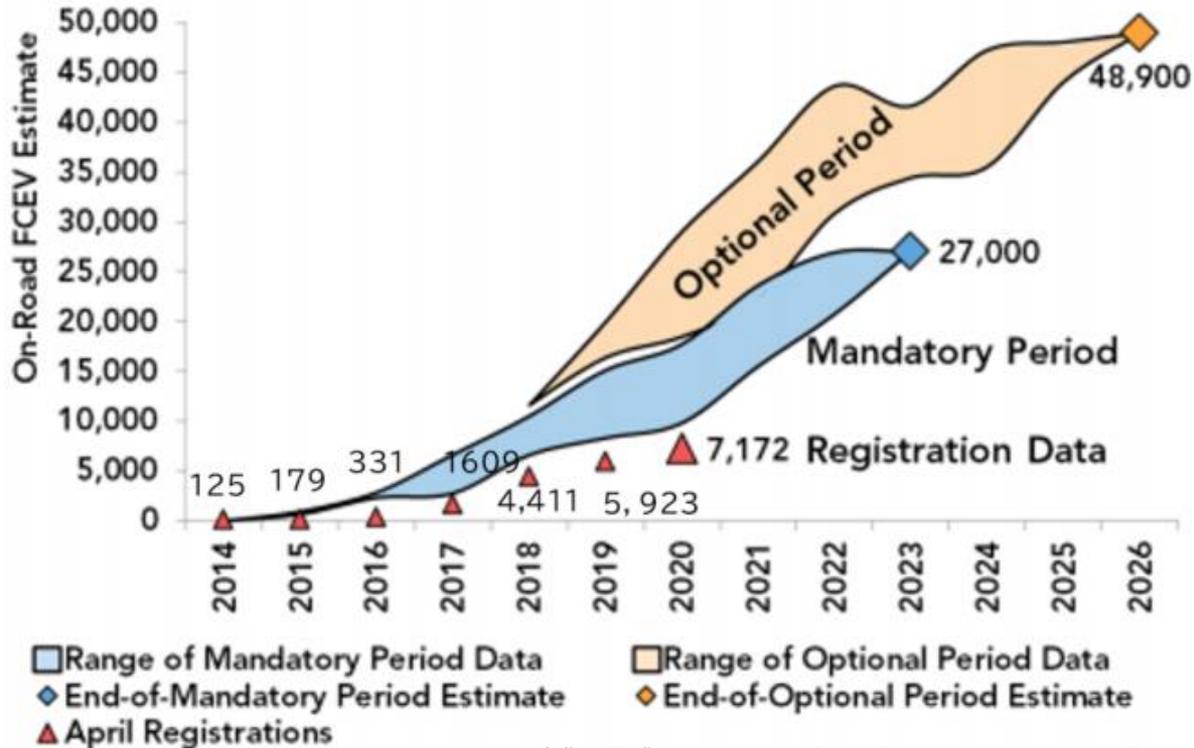
Name	Address	City	Capacity (kg/day)	Retail Open	County	Renewable %
Studio City	3780 Cahuenga Blvd	North Hollywood	808	2020	Los Angeles	40%
Sunnyvale	1296 Sunnyvale Saratoga	Sunnyvale	1200	2020	Santa Clara	40%
Woodside	17287 Skyline Blvd	Woodside	140	2020	San Mateo	33%
Chino	12610 East End Ave	Chino	100	2021	San Bernardino	100%
Culver City	11284 Venice Blvd	Culver City	1200	2021	Los Angeles	40%
Laguna Beach	104 North Coast Hwy	Laguna Beach	1200	2021	Orange	33%
Santa Clarita	24551 Lyons Ave	Santa Clarita	180	2021	Los Angeles	33%
Aliso Viejo	26813 La Paz Rd	Aliso Viejo	1200	2022	Orange	40%
Baldwin Park	14472 Merced Ave	Baldwin Park	1200	2022	Los Angeles	40%
Costa Mesa-Bristol	2995 Bristol St	Costa Mesa	1200	2022	Orange	40%
Cupertino	21530 Stevens Creek Blvd	Cupertino	1200	2022	Santa Clara	40%
Orange	615 South Tustin St	Orange	1200	2022	Orange	40%
Palm Springs	I-10 and North Indian Canyon Dr	Palm Springs	783	2022	Riverside	40%
Placentia	313 West Orangethorpe Ave	Placentia	1200	2022	Orange	40%
San Diego-Washington	1832 West Washington St	San Diego	1200	2022	San Diego	40%
San Jose- Snell	3939 Snell Ave	San Jose	1200	2022	Santa Clara	40%

出典:CARB資料

カリフォルニア州のFCV普及台数推移

■ 2020年4月のRegistration DataではカリフォルニアのFCV台数は7,172台。

カリフォルニアのFCV普及台数推移

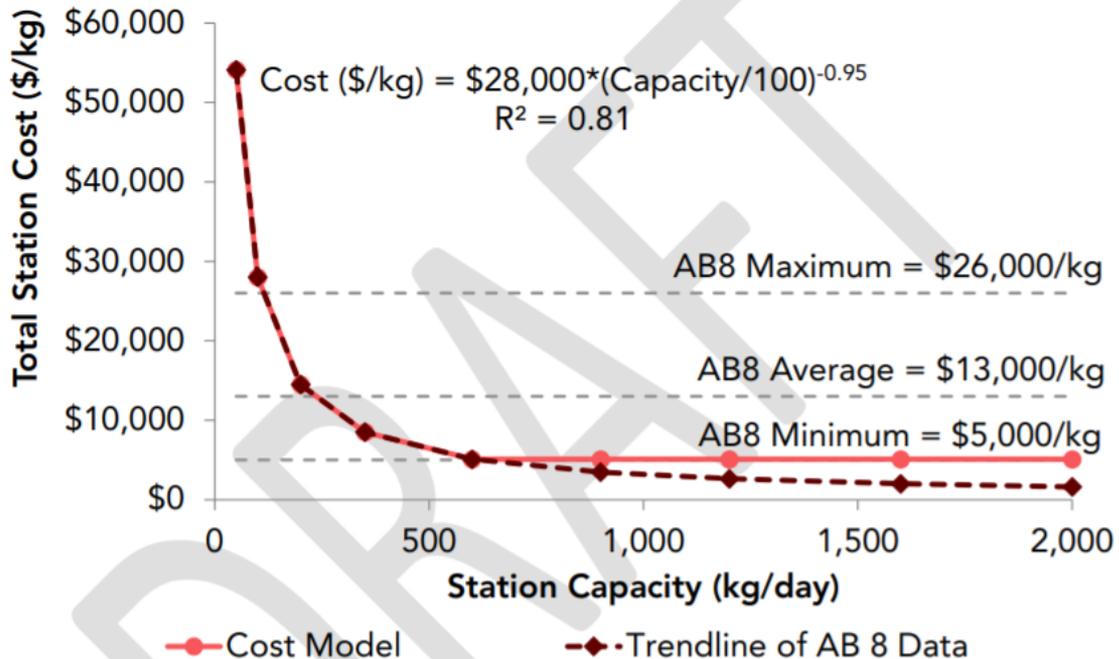


出典:CEC“Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8: 2020 Annual Assessment of Time and Cost Needed to Attain 100 Hydrogen Refueling Stations in California”

CARBによる水素供給能力-建設費用推定モデル

- CARBは過去のファンド(AB8)実績に基づいて、ステーション供給能力から建設費用を推定するモデル式を作成。
- ステーション供給能力が600kg/day程度に至るまで、供給能力増加に伴い水素kgあたりの建設費用は大きく減少する傾向にある。

CARBによる水素供給能力-建設費用のモデル式



モデル式での計算例

供給能力100kg/day
⇒kgあたりコスト\$28,000
ステーションあたりコスト\$2,800,000

供給能力600kg/day
⇒kgあたりコスト\$5,100
ステーションあたりコスト\$3,060,000

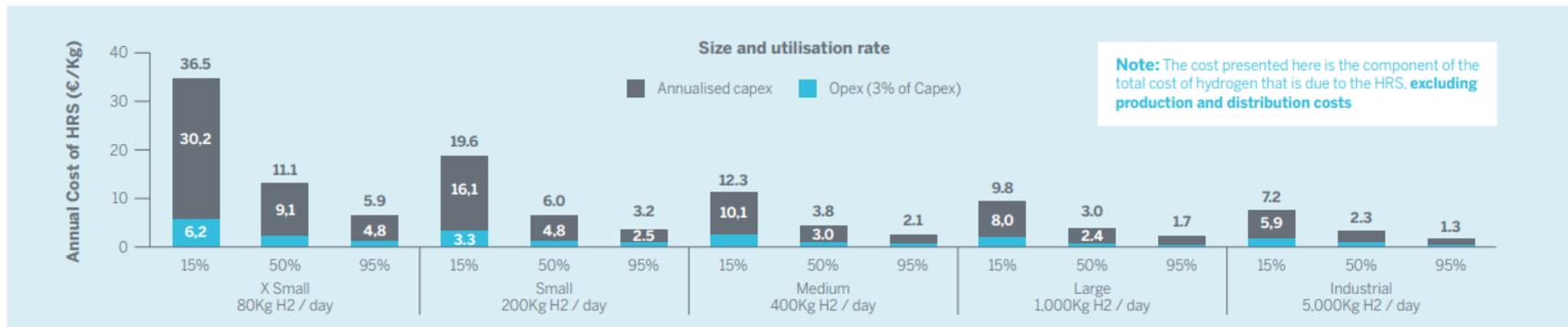
供給能力が6倍となったケースでも、
ステーションあたりコストは1.09倍程度

出典: CARB "Hydrogen Station Network Self-Sufficiency Analysis per Assembly Bill 8"

欧州H2MEでの水素ステーションの規模と稼働率に関する整理

- 水素コストに占める水素ステーションコスト(製造、輸送を省いたもの)は供給能力にはスケールせず、供給能力が大きい設備のものの方が安くなると整理されている。
- 一方、現状ではステーションのCAPEXが高いことから、稼働率を高めることがコスト低減には大きく寄与。
- 水素コスト低減のためには供給能力の大きなステーションを高稼働率で利用することが重要という考えのもと、欧州ではHDVへのフォーカスが進んでいるとされる。

水素コストに占める水素ステーションコストの規模・稼働率依存性 (製造・輸送は含まない)



出典: H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

欧州での水素ステーション整備状況

- 欧州では現在、144箇所の水素ステーションが存在。建設中を含めると190箇所。

欧州での水素ステーションの整備状況



出典:H2mobility“H2Live”(2021/6/8確認)

FCHJUプロジェクト H2ME下での水素ステーション整備

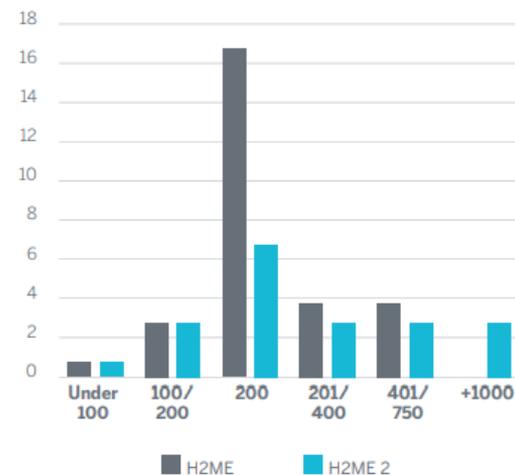
- 欧州ではFCHJUプロジェクトH2ME(2016年から後継プロジェクトH2ME2が合わせてスタート)で、2015年から2022年にかけて49のステーション整備とFCV(Symbioのレンジエクステンダーバン含)1400台導入を進める。
- H2MEで整備されたステーションでは、供給能力200kg/dayの水素ステーションが多数だったが、後続のH2ME2ではより供給能力の大きいステーションも一部整備されつつある。

H2MEプロジェクト(2015-2022)の概要

国・地域	H2ME、H2ME2での水素ステーション整備数
ドイツ	20
スκανジナビア	9
フランス	13(35MPaと70MPa合計)
イギリス	6(35MPaと70MPa合計)
オランダ	1
車両種類	H2ME、H2ME2での整備数
FCV	500
レンジエクステンダーバン	900



STATION CAPACITY BY PROJECT



▶ The daily capacity of the stations has increased over time, reflecting the increase in multi-use stations with dual pressure options.

出典: H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

H2MEでの欧州各国の水素ステーション整備指針に関する整理

- 欧州各国で水素ステーション整備・FCモビリティ導入の指針は異なる。H2ME報告書では以下のように整理。
- ドイツでは水素ステーションを先行して整備する計画であり、リスク低減のためのパートナーシップとしてH2mobilityを組織。スカンジナビアでもネットワーク構築を先行させる類似の方針。
- フランスでは、地域・クラスターで水素需要と紐付けながら水素ステーションネットワークの構築を図る。
- イギリスでは地域のハブ構築にフォーカスしてFCV・ステーション導入プロジェクトに官民共同で投資。

欧州での国別の水素ステーション整備戦略(初期)とそれに対するリスク・投資形態

Region	Initial strategy for HRS network development	Level of risk: low utilisation	Ownership models	Number of HRS ¹	HRS pressures for light vehicles
Germany 	Extensive national coverage + major cities	High: first 100 HRS will have been installed regardless of demand. However, letters of intent to deploy vehicles increasingly sought to minimise risk of low utilisation	H2MOBILITY is a joint venture between industry partners from hydrogen production and retail, as well as some automotive involvement: demonstrates commitment and shares the risk. Funding is received from National and European programs	84	Mainly 700 bar
France 	Local/regional clusters linked to demand (captive fleet approach)	Low: demand is secured in advance of investment decision	Individual investments, with coordination by Mobilité Hydrogène France; joint venture in Paris (HysetCo)	12	700 bar, 350 bar and dual pressure (350 bar + 700 bar)
UK 	Mainly regional (south-east) focus to build 'H ₂ hubs'	Moderate: stations built with a mix of public and private investment in projects which group vehicles and stations	Individual investments with government support	11	Mainly dual pressure (350 bar + 700 bar)
Nordic region 	Develop network to allow long distance mobility across the region	High: network coverage achieved in advance of significant vehicle deployment	Predominantly individual investments, with a joint venture structure in Denmark. Case is based on expected increases in vehicle deployment	20	Mainly 700 bar

出典:H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

H2MEでの欧州各国のFCモビリティ導入指針に関する整理

- 欧州各国で水素ステーション整備・FCモビリティ導入の指針は異なる。H2ME報告書では以下のように整理。
- ドイツでは乗用車中心。徐々に商用車・バスが増加する傾向にあるとされ、いくつかの都市部に需要は集中する傾向にあるとされる。スカンジナビアも類似の傾向だが、タクシー利用プロジェクトが開始しつつあるとされる。
- フランスでは、レンジエクステンダーバン、タクシー、バスが導入され主に公共機関により利用されている。タクシー利用は大きく水素需要を押し上げたとされる。
- イギリスでは乗用車、バン、バスが導入され、乗用車はパトロールカーやタクシーなどで利用されている。フランス同様にタクシー利用が水素需要を増加させているとされる。

H2MEでの欧州各国のFCモビリティ導入指針に関する整理

Region	Initial light vehicle types	Light duty vehicle applications	Total FCEVs on the road (aprx. in summer 2020)	Diversity of vehicles deployed	Implications for overall hydrogen demand and HRS utilization
Germany 	  	>750	Mainly cars to date; growing numbers of trucks & buses	Car clubs; B2B leasing; Ride Pooling; local authorities	Demand is distributed across several cities ; very few HRS are seeing high levels of utilisation
France 		>400	Range-extended vans; cars as taxis; buses	Utility fleets; delivery vans; local & national agencies; taxis	Recent adoption of taxis in Paris has led to significant increases to the hydrogen demand on the local network
UK 	 	>200	Passenger cars, vans and buses	Taxis; police vehicles; local authorities	Recent adoption of taxis in London has led to significant increases to the hydrogen demand on the local network
Nordic region    	 	>300	Passenger cars; some buses and trucks	Local & national government agency fleets; taxis; private customers	Demand is distributed across several cities ; few HRS are seeing high levels of utilization. Programs now being established to promote taxi use.

出典: H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

H2MEでの各国のFCモビリティ水素利用量見積もり

- 欧州各国の水素ステーション整備・FCモビリティ導入状況をもとに、H2MEでの水素利用量見積もりがされている。結果は以下の表の通り。
- FCVの水素利用量を一日あたり2kg/dayと一律仮定。またバンでの利用量を0.1kg/dayと一律仮定。
- FCV・バンの数から求めた水素利用量をステーション数で除することで平均需要を算出している。
- 報告書では、ドイツの平均需要は他国に比べて限定的な一方で、フランスの比較的少ないモビリティ導入量に比しての**高い平均需要は同国の「Captive fleet」(フリートの局所的な需要に応じてステーションを配置)の戦略の結果と位置づけている。**

H2MEでの各国のFCモビリティ水素利用量見積もり

Region	Germany 	France 	UK 	Nordic region 	BeNeLux 
Number of FCEV cars	750	180	200	300	300
Assumed demand per FCEV car (kg/day)	2	2	2	2	2
Number of FCEV vans	20	196	45	-	5
Assumed demand per FCEV van (kg/day)	0.1	0.1	0.1	-	0.1
Total demand per day (kg)	1502	380	404	600	600
# of HRS for cars and vans	71	12	11	18	6
Average daily demand per HRS (kg)	18	32	37	33	100

Scandinavia includes data from Denmark, Norway, Sweden and Finland

出典:H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

参考:H2MEでの水素ステーション導入状況(ドイツ・フランスの例)

- 現状いずれの国でも、供給能力は200kg/day以下。

ドイツ

OEM	ステーション数	ステーションの詳細			水素供給
		供給能力所	圧力	備考	
Air Liquide	10以上	200kg/day	70MPa	すべてガソリンステーション併設	トレーラー供給
Linde	10以上	150kg/day	70MPa	8箇所ガソリンステーション併設	トレーラー供給

フランス

OEM	ステーション数	ステーションの詳細			水素供給
		供給能力	圧力	備考	
Air Liquide	5以上	200kg/day	dual	—	トレーラー供給(低炭素水素)
ArevaH2Gen/EIFER	1以上	160kg/day	35MPa	100%RE tariff	オンサイト水電解
ArevaH2Gen/EIFER/SEMITAN	1以上	80kg/day	35MPa	100%RE tariff	オンサイト水電解
McPhy/EIFER/CASC	1以上	40kg/day	35MPa	100%RE tariff	オンサイト水電解

出典:H2ME “H2ME Emerging Conclusions”

ドイツ「NIP 2」での水素ステーションへの補助金制度

- NIP 2では水素ステーションに対して支出の5割を支援。また水電解装置には別途参照値との差分の4割を補助。
- 補助を受けるためには、ステーションで供給する水素の5割以上がグリーン水素である必要がある。

NIP 2における水素ステーション補助の要約

項目	補助の内容
整備費	支出の5割 注)ここで支出は「適格支出」とされる。 適格支出は、ステーション建設に伴って発生する有形資産(建物および設備、機械装置)および無形資産(特許、知的財産)に対する支出を指す(土地代は含まない)
水電解装置	参照値(€280/kW)と比較して追加分のうち、4割
運営費	(補助なし)
その他 必要要件	水素ステーションの運営事業者は、販売された水素に占めるグリーン水素の割合が、少なくとも50%であることを証明するものとする。 水電解を水素ステーション用に利用する場合、投入電力の100%を再エネとする必要がある。 水素ステーションはAFIDのAnnex IIに定める要件(※)に従う必要がある。 ※ISO基準(ISO/TS 20100、ISO 14687-2)に従う必要がある

出典: NOW“ Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen im Straßenverkehr (05/2019) ”
https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/06/2019-05_nip_aufruf_oeffentliche-tankstellen.pdf
をもとに作成

ドイツでのFCトラック用水素ステーションへの補助金制度

- 2019年秋に連邦政府が採択した「気候保護プログラム2030」を実施するため、2021年8月にBMWi(交通デジタルインフラ省)から資金調達ガイドラインが発表された。
- 水素インフラへの支援として、整備費に関する支出の8割が支援されるとする。運営費は含まない。
- 「気候保護プログラム2030」の資金はエネルギー気候基金(Energie- und Klimafonds)から提供されている。

ドイツでのFCトラック用水素ステーションへの補助金制度の要約

項目	補助の内容
整備費	燃料電池トラック用インフラとして、コンテナまたは移動式ステーション、ならびに固定式水素ステーションへの投資にあたっての支出の8割 (最大支援額は1500万€まで、他の支援制度との併用は不可とする) 注)ここには水素貯蔵設備(蓄圧器または液体水素タンク)、圧縮機、プレクーラー、燃料ポンプ及びトレーラ、その他防護壁などが含まれる。 なお積荷基地は対象外。
運営費	(補助なし)

出典: NOW“ Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen im Straßenverkehr (05/2019) ”
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzprogramm_2030_bf.pdf
をもとに作成

欧州の政策アップデートの概要と 再エネ指令の履行手段について

欧州グリーンディールの発表(7/14)

- 水素に関する政策フレームワークは12月に完成する予定としており、今後水素・ガスの脱炭素化に関する提案が欧州委員会から提出される予定。

項目	提案内容(水素関連)	URL
Revised RED II	<ul style="list-style-type: none">・再生可能燃料用のEu-wideの認証スキームに水素が含まれるようにスキームを拡充する。(P7)・RFNBO目標2.6%が設定。(P13)・産業分野での水素利用のうち50%を再エネ由来に。(P36)	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amen-dment-renewable-energy-directive-2030-climate-target-with-annexes_en.pdf
EU-ETS	<ul style="list-style-type: none">・現状のルールではETSの対象外である水電解での水素製造をEU-ETSに加えることを提案。(P501)	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revisio-n-eu-ets-with-annex_en_0.pdf
Energy Taxation Directive	<p>再生可能・低炭素水素を最終消費者が利用する際の優遇税率が指定されている。</p> <ul style="list-style-type: none">・化石燃料由来の水素は10年の移行期間の間基準税率の2/3が適用される。(P31)・再生可能エネルギー由来の水素・e-fuelは最低税率に属する。(Table2)	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revisio-n_of_the_energy_tax_directive_0.pdf
FuelEU Maritime Proposal	提案では海上輸送部門においてあらゆる再生可能・低炭素燃料がカバーされている。(水素のみに限らず、そこから合成されるメタノール・アンモニア含む)	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/fueleu_maritime_-_green_european_maritime_space.pdf
CO2 standards for cars and vans	技術中立目標(新車平均排出量2030年55%、2035年100%)が課されており水素はその一手段。	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amen-dment-regulation-co2-emission-standards-cars-vans-with-annexes_en.pdf
Alternative fuel infrastructure regulation	TEN-Tネットワーク(主要な高速道路)に沿って150kmごとに水素ステーションが整備される。各都市ノードにおいても同様である。	https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revisio-n_of_the_directive_on_deployment_of_the_alter-native_fuels_infrastructure_with_annex_0.pdf

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_367および各項目のドラフトを参照した。

再エネ指令(RED II)の運輸部門での履行について(ドイツ国内法の例)

- RED IIでは輸送用燃料に関して、各加盟国が国内法で燃料供給事業者に目標達成を義務付けることを求めている。
- ドイツでは、連邦環境・自然保護・核安全省(BMU)が2021年5月にRED IIを受けた運輸部門の排出量削減に関する国内法の改正を実施。2026年にEUの2030年目標を前倒しで達成する設定となっている。
- 運輸部門でのRED IIの記述と国内法の対応は以下の表の通り。なお、7月のFit for 55の内容も併記した。

項目	RED II(2018)での目標設定	履行の手段	国内法への移行	運輸部門の排出量削減に関するドイツ国内法(2021年5月)	備考
再エネ導入目標	2030年までに道路および鉄道輸送での消費エネルギーの14%以上を再生可能エネルギーにより供給。	各国法を通じて燃料供給事業者に目標達成を義務付け。	2021年5月にRED IIを国内法に移行。	国内の燃料供給事業者は2026年までに運輸部門のエネルギー消費の14%を再エネ由来とし、2030年までに28%とする義務を課される。	※2021年7月のFit for 55では、再エネ燃料の適合基準としてCO2削減量が規定。RFNBOなら化石燃料比で7割減が必要。(Article 1(19))
燃料の温室効果ガス削減	— ※2021年7月のFit for 55では、再エネ電力・再エネ燃料の輸送部門導入により2030年に13%削減の義務を導入。(Article 1(14))	— ※各国法を通じて燃料供給事業者に目標達成を義務付け。 また、各国に燃料供給事業者向けの再エネクレジット制度設置を求める。	2021年5月にGHG削減義務を設定。 ※Fit for 55の移行は未定。	国内の燃料供給事業者がGHG排出量を一定の割合で削減する義務を課されている。(GHG Quota) Greenhouse gas reduction Quotaでは2020年の6.5%削減目標を進めて2026年に温室効果ガス10%削減、2030年25%削減。 なお、リファイナリー・陸上輸送でのグリーン水素利用は2倍でカウント。	—
水素・P2X燃料導入目標	— ※2021年7月のFit for 55で2030年にRFNBO2.6%導入の目標導入。(Article 1(14)) また2030年に産業部門で利用する水素の5割をRFNBOとする。(Article 1(11))	— ※各国法を通じて燃料供給事業者に目標達成を義務付け。	— ※Fit for 55の移行は未定。	航空部門で2030年までに合成燃料を2%導入。 ※2021年7月のFit for 55では、航空部門のロードマップ”refuelEU aviation”で、航空燃料供給事業者は定められた体積割合の合成燃料供給が義務付けされた。(後述)	—

参考:ドイツ国内法での目標未達に対するペナルティ

- 「Greenhouse gas reduction Quata」では、CO₂削減の目標未達分に対して、€470/t-CO₂のペナルティが課される。

Regulations on the GHG quota



- Petroleum industry must ensure GHG reduction
 - 2015/2016 → 3.5 %
 - 2017 to 2019 → 4 %
 - From 2020 → 6 %
- Bringing fossil fuels into the market triggers quotas.
- Calculation of quota fulfilment compared to base value: 83.8 g CO₂/MJ
 - According to 37. BImSchV 94 g CO₂/MJ
- **Penalty for not meeting the quota: 0.47 €/kg CO₂ = 470 €/t CO₂**
- **In comparison to CO₂ certificates: 7 €/t CO₂**

Fit for 55での航空燃料規制について(合成燃料の供給義務)

- 2021年7月にFit for 55パッケージの一部として提出された、「ReFuelEU Aviation」では、航空機燃料供給事業者に、EU内の空港において下表の通り定められた量のSAFを供給することを義務付けている。
- ある定期報告期間において、求められる量のSAF供給ができなかった場合、航空機燃料供給事業者はその後の定期報告期間で不足分を補填して供給を行う必要がある。
- また、違反時の罰金は各国によって2023年末までに設定される。少なくとも年間の非充填量×航空燃料平均価格の2倍である必要がある。

“ReFuelEU Aviation”でのSAF供給義務

	2025-2029	2030-2034	2035-2039	2040-2044	2045-2049	2050-
SAF (体積割合)	最低2%	最低5%、	最低20%、	最低32%、	最低38%、	最低63%、
合成燃料 (体積割合)	—	上のSAFのうち、 合成燃料が最低0.7%	上のSAFのうち、 合成燃料が最低5%	上のSAFのうち、 合成燃料が最低8%	上のSAFのうち、 合成燃料が最低11%	上のSAFのうち、 合成燃料が最低28%

出典:

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refuelevu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf

をもとに作成

Fit for 55での船舶燃料規制について

- 2021年7月にFit for 55パッケージの一部として提出された、「FuelEU Maritime」では、5000t以上のEU内の港に寄港する、または留まるもしくは出発する船を対象として、船主などの船舶の運行に責任を持つ組織・個人を規制の対象に、船舶のエネルギー消費に伴うGHG排出削減を義務付けている。
- 目標未達の場合は目標超過のCO2排出量に応じたペナルティを支払う必要がある。
- GHG排出の計算に当たり、RED IIで定められたRFNBOと、認証されたCO2排出量(または定められたデフォルトの排出量)を用いることが出来る。
- なお、加盟国管轄外の船についても、加盟国管轄の港に寄港する場合、その船の消費エネルギーの5割にこの規制が適用されるべきという提案がこの規制でされている。

“ReFuelEU Maritime”での船舶のエネルギー消費に伴うGHG削減目標

	2025-2029	2030-2034	2035-2039	2040-2044	2045-2049	2050-
2020年比削減割合 ※基準値は後の立法手続きにおいて決定される。	最低2%	最低6%、	最低13%、	最低26%、	最低59%、	最低75%、

出典:

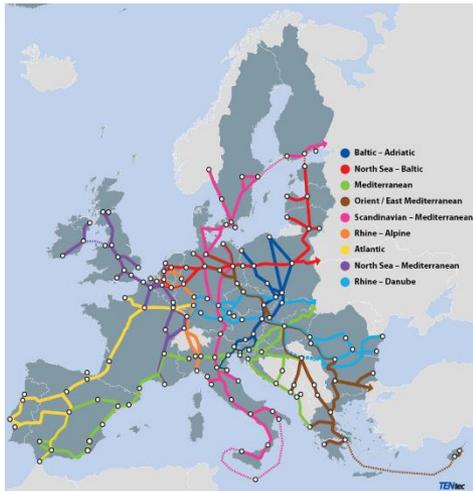
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refuelev_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf

をもとに作成

Fit for 55での代替燃料インフラ規制について

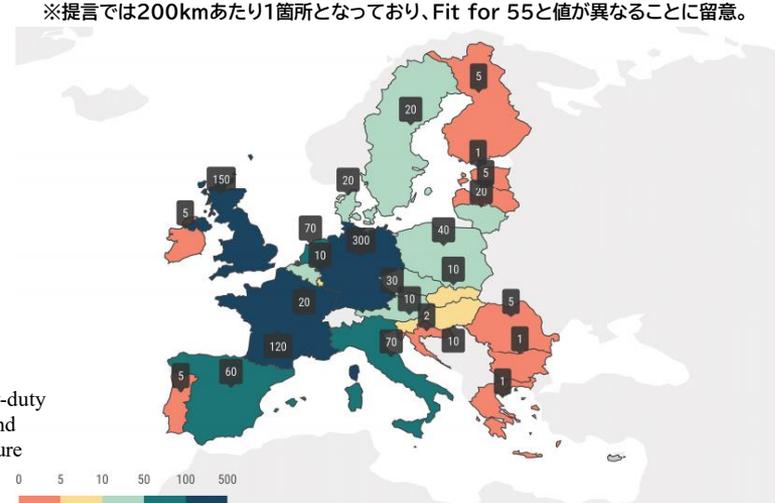
- 2021年7月にFit for 55パッケージの一部として提出された、「Alternative fuel infrastructure directive」では、加盟国に対して2030年までにTEN-T(高速道路)に沿って供給能力2t/dayを持った700気圧の水素ステーションを150kmごとに(液体水素ステーションの場合は450kmごと)整備することを義務付けている。
- TEN-Tの各都市ノードにも水素ステーションを少なくとも1つ設置するとともに、最適な配置を検討する。
- 2024年までに各国はインフラ整備計画と燃料普及のための政策枠組みのドラフトを欧州委員会に提出する必要がある。そこには整備計画と、強制的な国家目標、これを達成するために必要な政策枠組み、とりわけ公的モビリティとしてのcaptive fleetのためのインフラ整備計画、都市部での代替燃料インフラ整備促進の施策、空港や港湾、内航船向けでの代替燃料インフラ整備計画が盛り込まれる必要がある。
- なお、欧州の資金調達プログラム「Connecting Europe Facilityプログラム2021-2027 (CEF II)」は、気候変動に対応し、予算(約330億ユーロ)の60%を気候変動対策支援のための共同融資に拠出する計画。
- 再生可能燃料や低炭素燃料のための代替燃料インフラに、CEFの助成金と金融機関からの融資を組み合わせる資金を提供し、投資の効果を高める「代替燃料ファシリティ」が設置される予定である。

欧州横断輸送ネットワークTEN-T(商用車・乗用車用)



出典: ACEA²² Heavy-duty vehicles: Charging and refuelling infrastructure requirements²³

参考: 欧州自動車工業によるTEN-Tに沿ったHDV向け水素ステーション整備の提言(2030年各国分布)
※提言では200kmあたり1箇所となっており、Fit for 55と値が異なることに留意。



出典:
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=TEN-T_Core_Network_Corridors_\(Freight_and_Passenger\)_RYB17.png&oldid=338850](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=TEN-T_Core_Network_Corridors_(Freight_and_Passenger)_RYB17.png&oldid=338850)

定置用燃料電池の動向について

定置用燃料電池の発電出力帯と用途の対応イメージ

■ 定置用燃料電池による電力や熱の供給を想定した場合の、発電出力規模と考える用途の対応を以下の表に示す。

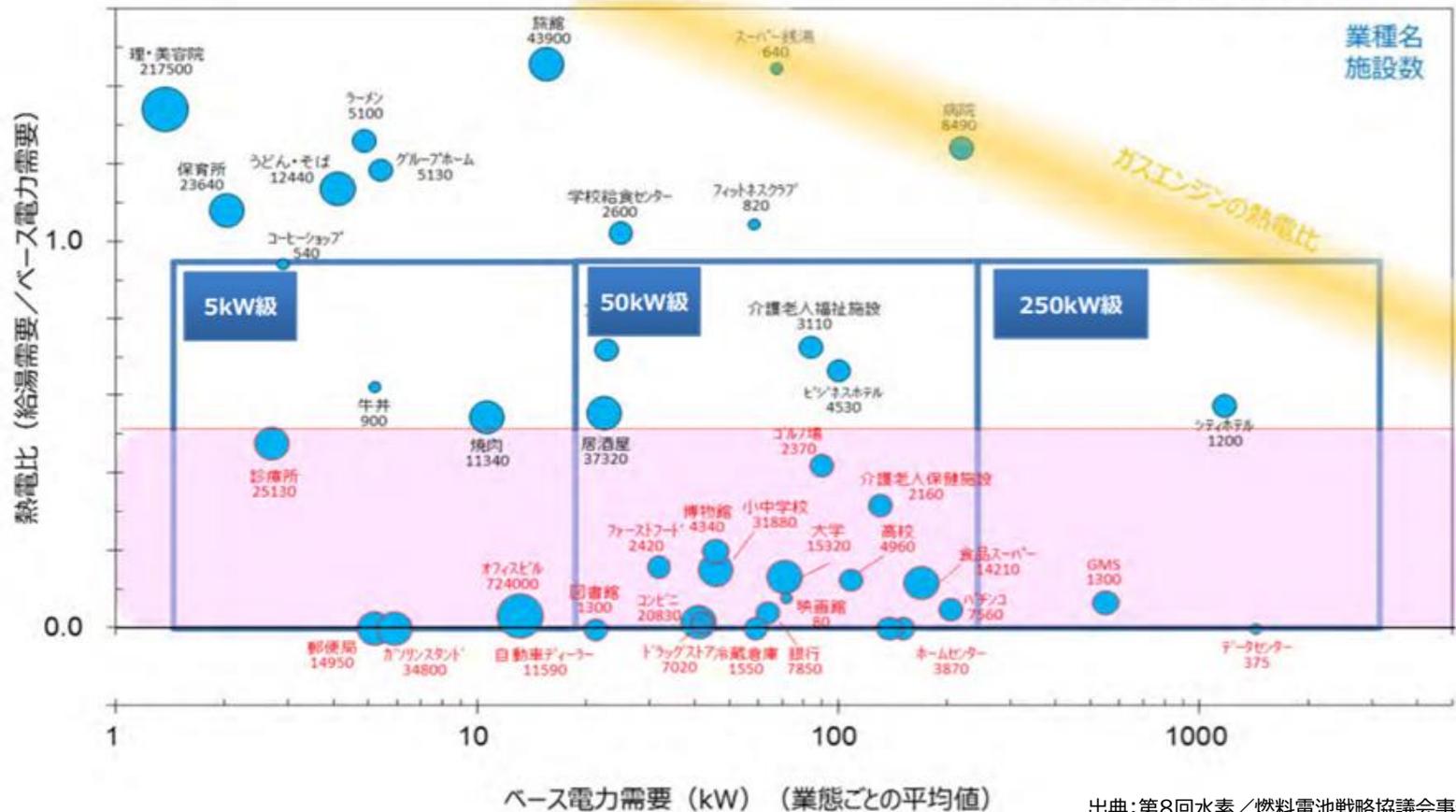
発電出力帯(規模帯)	用途の例(赤:コージェネ、青:モノジェネ) ※次頁を参考に示した一例であることに留意
<1kW程度	家庭用
～数kW	美容院、診療所、外食店舗(小規模) 通信基地局用非常用電源、GS、郵便局 等
～数十kW前半	外食店舗、学校、介護施設 オフィスビル、コンビニ、ドラッグストア、分散型発電 等
数十kW後半 ～百kW程度	大学、介護施設、ホテル、温浴施設、フィットネス、食品スーパー 冷蔵施設、ホームセンター、分散型発電 等
数百kW～	食品スーパー、病院、ホテル、GMS、工場(蒸気利用等) 工場、データセンター、燃料電池発電所 等

出典:各種資料を参考に作成

国内市場セグメントにおける電力需要-熱電比の整理

- 各種建物種類でのエネルギー需要について、ベース電力需要-熱電比と施設数の関係を下図に示す。
- 熱電比が大きいエネルギー消費特性をもつ建物も種類・施設ともによく存在することから、既に広く用いられているガスエンジン等のコジェネレーション技術と組み分ける形で、燃料電池が利用できる可能性があると考えられる。

施設数は独立型のみカウント（ビルイン型は除外）



出典:第8回水素/燃料電池戦略協議会事務局資料

欧州における市場セグメントの調査結果(概要)

- 欧州ではFCHJUプロジェクト「ComSos」下で10-60kWのSOFC(CHP)に関する導入実証および市場・ビジネスモデル分析が進められている。特に電気代が高く、ガスが安い国、系統不安定な国、施設が多い国を市場として重視。
- ComSosでは、分析の結果、イタリア・ドイツをSOFC(CHP)の市場として有望視。

SOFC-CHPへのEU各国別潜在期待値分析

要素	説明	SOFC(CHP)期待値の高い国
①スパークスプレッド	電力価格とガス価格の大小の指標 ※両者の差、比を用いる文献が存在し、定義は画一ではない	<ul style="list-style-type: none"> ・スペイン ・ベルギー ・スロヴァキア ・ラトビア ・イタリア ・イギリス
		<ul style="list-style-type: none"> ・ラトビア ・マルタ ・クロアチア ・ルーマニア ・スロベニア
②系統安定性	停電時間	<ul style="list-style-type: none"> ・ラトビア ・マルタ ・ルーマニア ・スロベニア
	停電頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・ラトビア ・マルタ ・ルーマニア ・ポーランド ・スペイン ・イタリア ・ポルトガル ・ギリシャ
③支援制度		<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツ ・イタリア

セグメント別施設数上位国

セグメント	施設数の多い国
小売店	<ul style="list-style-type: none"> ・米国 ・イタリア ・スペイン ・スウェーデン
ホテル	<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツ ・イタリア ・スペイン ・イギリス ・フランス
病院	<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツ ・リトアニア ・ブルガリア ・オーストリア ・ベルギー
ショッピングセンター	<ul style="list-style-type: none"> ・イギリス ・フランス ・イタリア ・ドイツ ・スペイン ・オランダ
データセンター	<ul style="list-style-type: none"> ・米国 ・中国 ・日本 ・オーストラリア ・ドイツ

プロジェクトの報告書では

イタリア
(小売店、ホテル、ショッピングセンター)

ドイツ
(ホテル、病院、ショッピングセンター、データセンター)

をSOFC(CHP)の適用先として特に有望視。
(施設数・スパークスプレッドではイギリスも有力だが、支援制度が打ち切られた)

出典:ComSos” Market analysis of CHP solutions applied in commercial applications”

米国でのCHP導入ポテンシャルの検討

- 米国ではDOEが業務用・産業用でのコジェネレーションの業種・出力帯別ポテンシャルを大規模に調査。
- 特に化学、石油、食品、製紙、金属といった産業において大きな導入ポテンシャルを見込んでいる。

DOEによる米国での商業用・産業用のCHP導入ポテンシャル検討

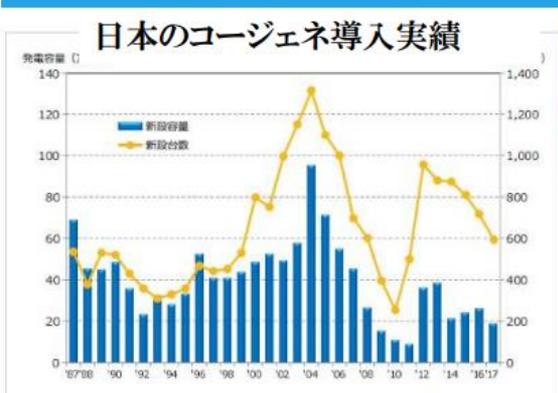
Industrial Facility	50-500 kW (MW)		0.5-1 MW (MW)		1-5 MW (MW)		5-20 MW (MW)		>20 MW (MW)		Total MW	
	# Sites	Capacity (MW)	# Sites	Capacity (MW)	# Sites	Capacity (MW)	# Sites	Capacity (MW)	# Sites	Capacity (MW)	# Sites	Capacity (MW)
Chemicals	5,507	1,003	1,315	955	2,231	4,935	883	7,822	220	9,514	10,156	24,229
Petroleum Refining	26	4	201	143	370	890	86	912	135	8,625	818	10,574
Food	6,656	1,283	1,115	818	1,544	3,001	266	2,307	36	1,683	9,617	9,092
Paper	1,813	467	497	345	643	1,423	186	1,802	77	3,263	3,216	7,299
Primary Metals	1,529	360	563	407	522	1,145	204	2,186	75	2,737	2,893	6,835
Lumber and Wood	5,737	1,030	830	572	647	1,231	56	383	3	76	7,273	3,292
Textiles	1,353	281	317	244	588	1,166	145	1,163	8	241	2,411	3,095
Transportation Equip.	2,226	364	482	337	457	915	95	860	10	256	3,270	2,733
Rubber/Misc Plastics	5,891	957	538	372	268	488	34	381	4	104	6,735	2,302
Stone/Clay/Glass	106	16	28	23	203	639	108	901	5	136	450	1,714
Oil and Gas Extraction	217	53	89	63	99	201	21	161	1	60	427	538
Gas Processing	285	60	78	56	79	171	10	80	1	47	453	413
Fabricated Metals	1,405	180	26	15	3	5	3	29	0	0	1,437	229
Machinery/Computer Equip.	348	54	29	21	53	109	4	29	0	0	434	212
Printing	878	121	54	37	13	23	0	0	0	0	945	182
Instruments	275	39	13	8	27	57	1	6	0	0	316	110
Misc. Manufacturing	395	57	20	16	12	26	1	5	0	0	428	104
Furniture	177	25	4	3	1	1	0	0	0	0	182	29
Mining, Except Oil and Gas	5	1	2	1	5	8	2	13	0	0	14	23
Beverage and Tobacco	2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.3
Total	34,831	6,354	6,201	4,435	7,765	16,435	2,105	19,039	575	26,742	51,477	73,006

出所: 米国エネルギー省 Combined Heat and Power (CHP) Technical Potential in the United States (2016)

定置用燃料電池の普及に向けた課題

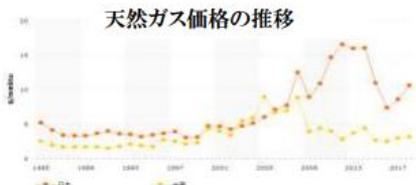
- 燃料価格上昇、電源低炭素化や災害対策への注目、電源価値の上昇等新たな流れの中では定置用燃料電池にも新たな価値付与が求められ、電気・熱併給を前提としない視点の必要性についても過去産業界から指摘あり。

現状認識～業務・産業用燃料電池

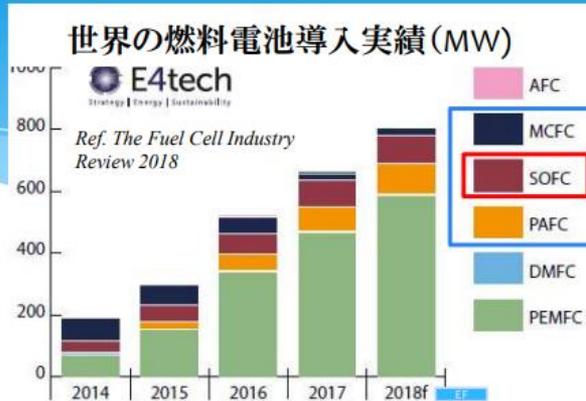


Ref. コージェネ財団Webpage

2017年度の導入は200MW程度
 ・燃料費上昇でコージェネ販売減速
 ・環境価値、BCP防災価値で導入



電力・ガス自由化⇒新たなビジネスモデル
 新たな顧客価値創造が必要 (電源価値)



定置用燃料電池全体では2018年に
 240MWの導入 (市場は拡大している)
 ・SOFCは設置台数・容量が増加 (90MW)
 ・トップランナーはBloom Energy (80MW)
 ・分散電源としての導入 (経済性、BCP)

Product & Install Unit Economics (\$/kW) ¹	Q4'17	Q3'18	Q4'18	FY'17	FY'18 ²
ASP	5,295	7,231	6,756	5,542	7,155
TISSC ³	4,231	5,648	5,344	5,084	5,425
Profit (Loss)	1,064	1,583	1,412	458	1,730

Total Acceptances (100 kW units): 257 systems

⇒システム価格は5千ドル/kWレベルに (低コスト化も進んでいる)

Ref. Lettre to Shareholders, Feb. 3, 2019, Bloom Energy

最近の事例①：長時間対応の非常用電源への注目（携帯通信基地局）

- 近年の台風による大規模停電とそれに伴う携帯電話障害を受け、総務省は2020年に基地局で最低24時間以上、更に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月時点では、国内で74万の基地局のうち、稼働時間が24時間以上の予備電源を備えたのは5800局に留まっていた。
- 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は、燃料電池が大いに活用できる可能性がある用途と期待される。

<令和元年台風第15号における
携帯電話基地局停波の原因(例:A社)>



※その他：光ファイバ断線等の回線障害、
水没による設備故障等

「情報通信ネットワーク安全・信頼性基準」(告示)の改正

<停電対策>

- 市町村役場等をカバーする携帯電話基地局等
→ **少なくとも24時間の停電対策（義務化）**
- 都道府県庁をカバーする携帯電話基地局等
→ **少なくとも72時間の停電対策（推奨）**
- 災害拠点病院をカバーする携帯電話基地局等
→ **少なくとも24時間の停電対策（推奨）**

加えて、**台風等により被災が想定される地域には移動電源車等を事前に配備**

出典：恩賀一「大規模災害時における通信確保等に関する取組み」

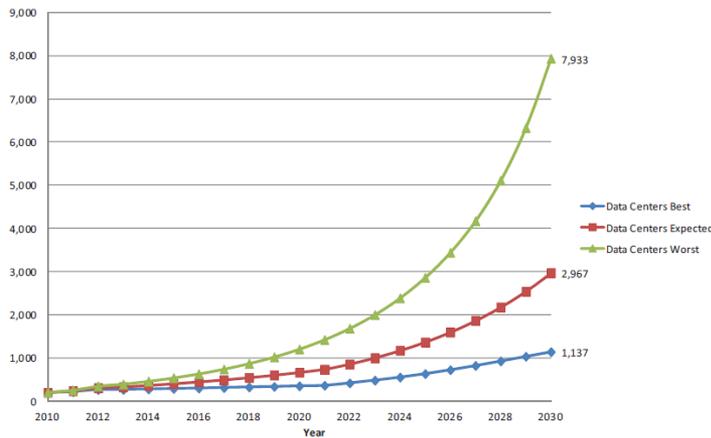
最近の事例②:分散型電源への注目(市場見通しの例)

- 大出力の置用燃料電池のアプリケーションとして、近年市場拡大が予想されるデータセンター用電源、マイクログリッド用電源が注目されている。
- 背景にはIT企業がRE100はじめ、自社の調達する電力のクリーン化を図るトレンドがあることや、災害発生時でも問題なく運転し続けられる電源の確実な確保といった要素があると考えられる。

データセンター市場見通しの例

- ✓ データセンターの消費電力は今後も一層増加の見通し。
- ✓ 非常時対応の必要性による分散型電源への注目の高まりや、IT企業の環境意識の強まりを背景に、クリーンな分散型電源のデータセンターでの利用が脚光を浴びる。

Electricity usage (TWh) of Data Centers 2010-2030



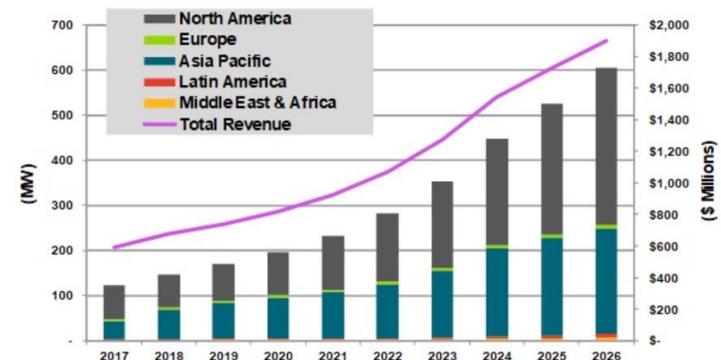
出典: Huawei Technologies Sweden AB

"On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030"

マイクログリッド市場見通しの例

- ✓ 調査会社のNavigantによれば、燃料電池のマイクログリッドへの導入市場は米国・アジア中心に2020年以降も大きく成長。
- ✓ オフグリッド電力供給に加え、グリッドサービスの提供もポテンシャルが存在。応答性に優れるPEMFCに可能性。

Annual Fuel Cell Microgrid Capacity and Implementation Spending by Region, World Markets: 2017-2026

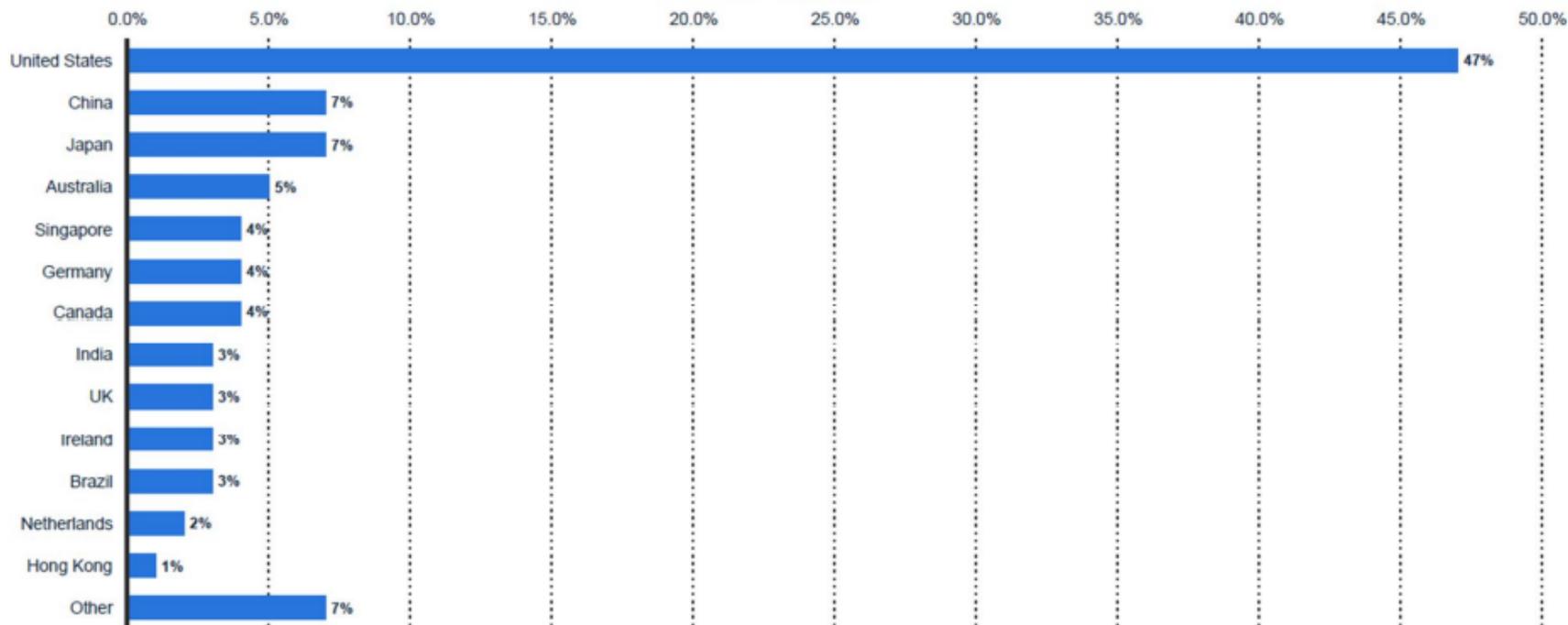


出典: Navigant社資料

参考:ハイパースケールデータセンターの国別比率

- 現状(2017)導入されているハイパースケールデータセンターの国別比率は米国が半数程度を占める。
- 中国、日本、オーストラリアがそれに次ぐ状況。

ハイパースケールデータセンターの国別比率

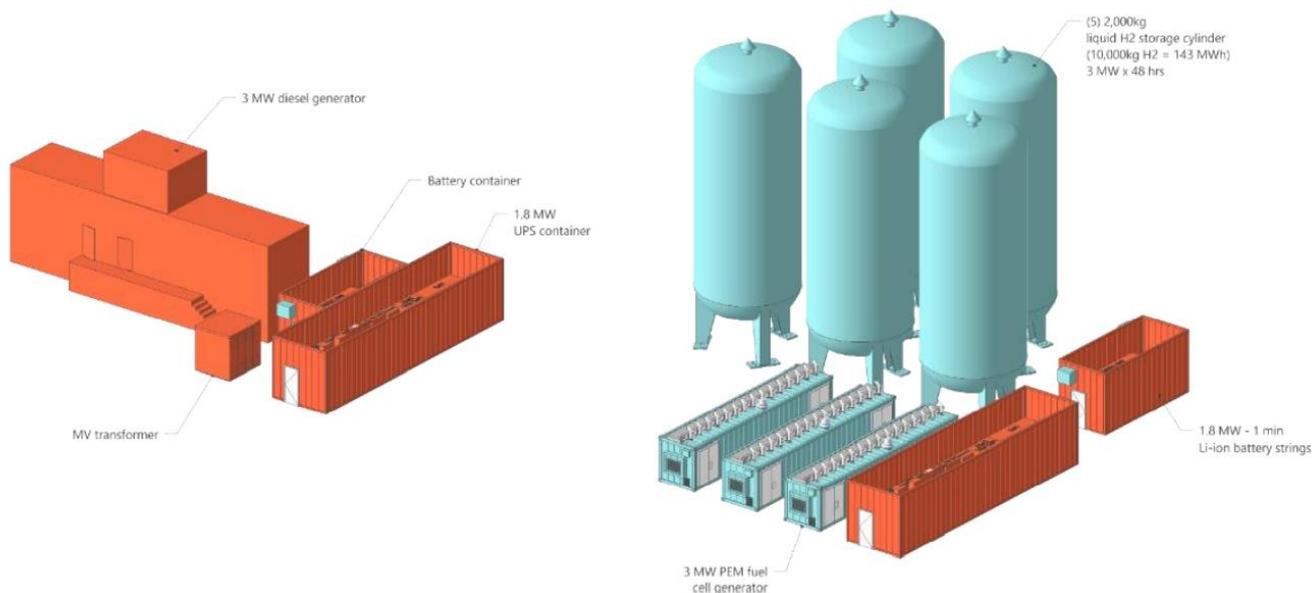


出典:ComSos” Market analysis of CHP solutions applied in commercial applications”

参考:ディーゼル発電機からの転換

- Microsoftはデータセンターのバックアップ電源であるディーゼル発電機は騒音や大気汚染といった課題があるとしており、ハイパースケールデータセンターに対応して更に大規模(～100MWも視野)にするには課題があるとしている。(当局から大規模なディーゼル発電機が許可されない恐れ)
- 過去米国ではNRELとDaimler、HPにより車載用燃料電池のデータセンターへの適用事例があり、Microsoftは2020年にデータセンターで250kWのPEMFCによる電力供給を試験。
- Microsoftは21年に3MWのPEMFCによるディーゼル発電機の転換試験を実施する計画。

3MWのPEMFCによるディーゼル発電機代替の概念設計 (左:ディーゼル発電機利用、右:PEMFC利用)

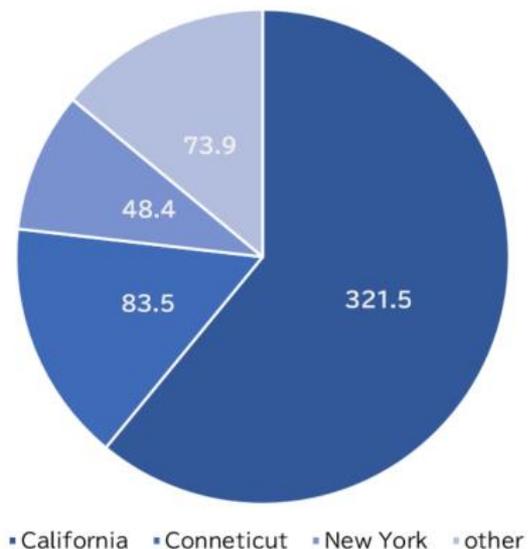


出典:Mark Monroes” Hydrogen-Powered Backup Generators for Hyperscale Datacenters”

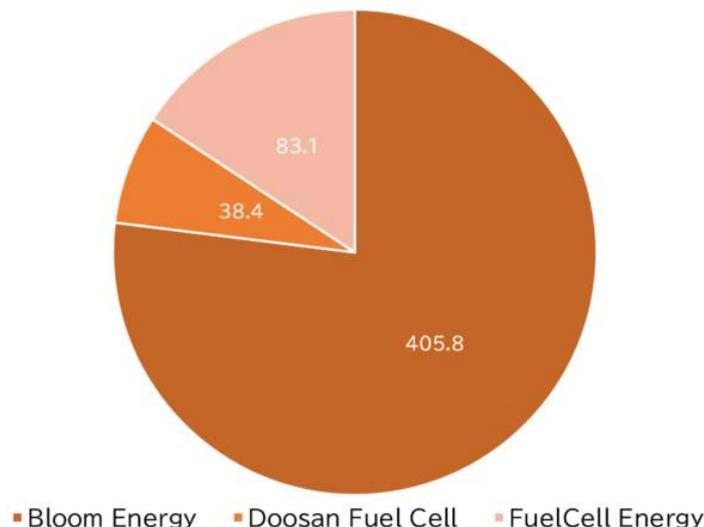
米国の定置用燃料電池導入状況(Bloom Energyのモノジェネ)

- 米国において25kW以上の定置用燃料電池は累計500MW強導入。過半数がカリフォルニア州である。
- シェアの大半を占めるのがBloom Energyである。同社は単一装置の出力として200kW-300kWを中心に、これらを複数組み合わせることで数MW程度までの装置を供給、モノジェネによる発電ビジネスの実績を持つ。
- Bloom EnergyはHome depotに200サイト以上、Walmartに60サイト以上と導入。前者では停電対策として、マイクログリッドを店舗に導入している。同社は30箇所以上マイクログリッドを構築。
- また、同社はAT&TやEquinixといった企業のデータセンターにもサイトあたりMW級のSOFCを導入。
- 現状米国では、同社はバイオガス・天然ガスを燃料としている。RE100対応として韓国工業団地で水素燃料対応のSOFCを2021年に導入したことを発表。燃料水素は副生物を利用しているが22年に同社のSOECから供給予定。

現在運転中の定置用燃料電池の導入先-導入量[MW]

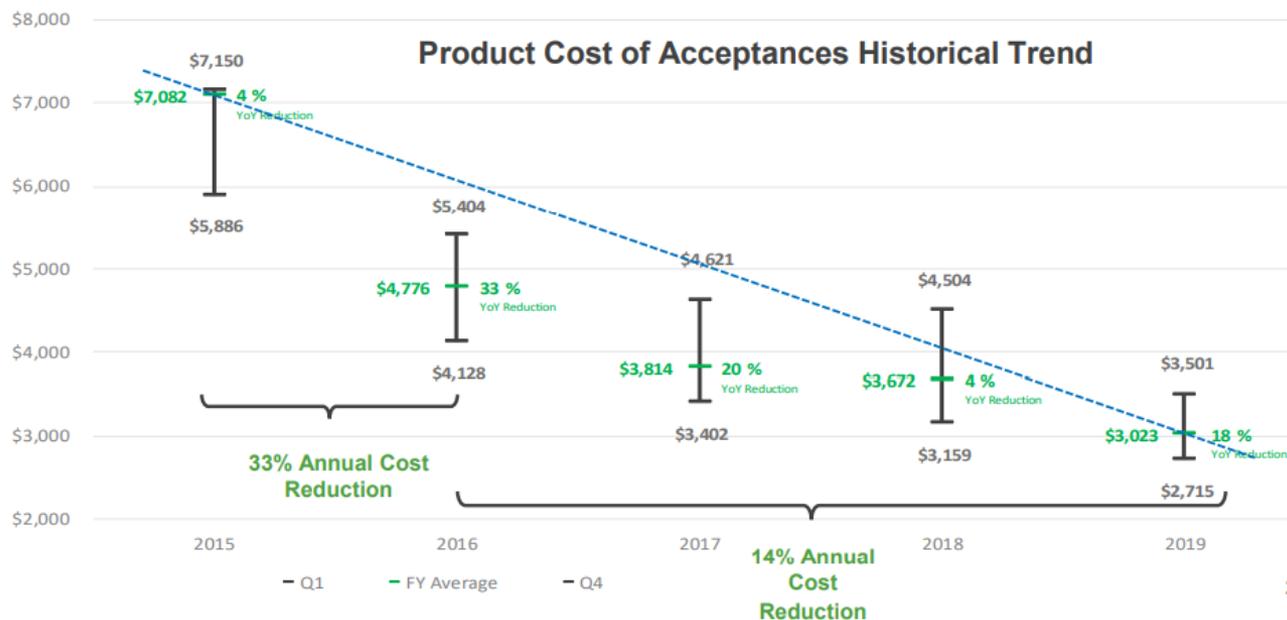


現在運転中の定置用燃料電池の導入先-導入量[MW]



Bloom Energyの製品とコスト推移

- 2021年には750kWのモデルを発表、最近5年前(2世代前)と比較してコストを約半分に抑制。



出典: Bloom Energy社IR資料

参考:米国における定置用燃料電池への支援制度

- 米国では再生可能エネルギー設備への投資額の一部に対する法人税控除制度(Investment Tax Credit)があり、SOFCの導入拡大に対して寄与していると考えられる。
- 2020年末に制度の延長が発表された。ただし、2023年末で支援制度は終了、その後は不明。

米国の再エネ設備投資への税控除制度(ITC)

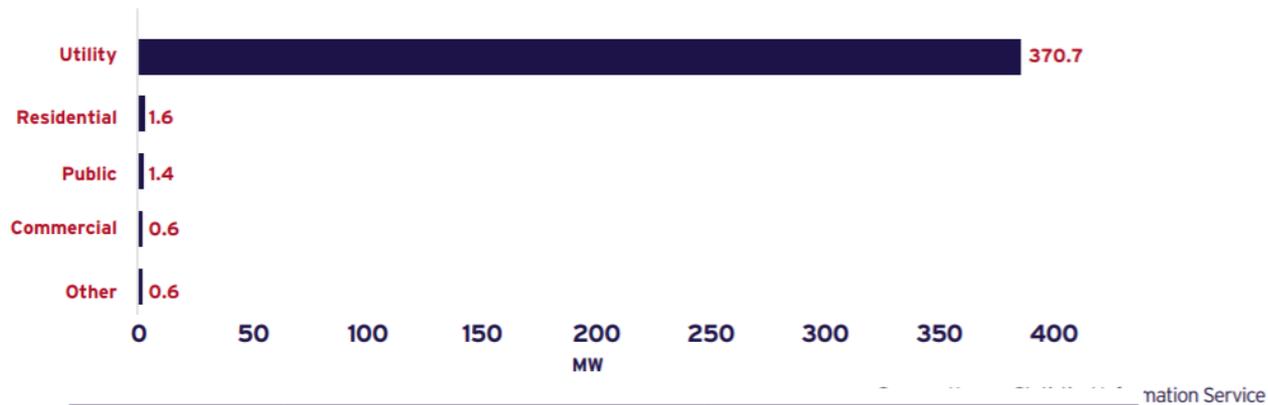
運転開始年次	-2019	2020-2022	2023-2024
控除比率(最大)	30%	26%	22%
対象	<ul style="list-style-type: none">・発電効率が30%以上の性能をもち、かつ容量0.5kW以上の燃料電池が対象・設備容量0.5kWあたり\$500が控除の上限・該当年次の控除比率適用には当該年次内にFCシステム建設開始が必要・2023年末までに稼働を開始していることが税控除適用に必要		

出典:DSIRE

参考:韓国における定置用燃料電池導入状況(燃料電池発電所)

- 現状韓国で導入されている燃料電池の大半は、大型の発電設備用のものであり、その他の領域では普及は限定的。すでに累積で370MW(国内総発電容量の0.3%)が燃料電池によるものとされる。
- 背景には、発電事業者(500MWを上回る設備を持つ事業者が対象)が、同国のRPS法において新エネ・再エネ発電設備導入義務を課せられていることがある。2020年には設備容量の7%を、2023年までに10%をこれらの設備にする必要があり、燃料電池は2倍カウントとなるため、導入が進んでいるものと考えられる。

韓国の分野別燃料電池導入量と主要メーカー



Company	Product Type	Capacity	Original Technology	Application Field
POSCO Energy	MCFC	300kW, 2.5MW	FuelCell Energy	Utility
Doosan	PEMFC	600W, 1kW, 5kW, 10kW	Fuel Cell Power	Residential/ Commercial
	PAFC	400kW	Clearedge Power	Utility
	SOFC	5~20kW	Ceres Power	Commercial
	PEMFC	1~10kW	CETI, GS Fuel Cell	Commercial
S-FuelCell	PAFC	100kW	S-FuelCell	Utility
	SOFC	300kW	Bloom Energy	Utility

出典: "The Hydrogen Economy South Korea"

国内メーカーによる定置用燃料電池開発・導入の状況(純水素)

■ 家庭用FCメーカーの他、**車載用FCメーカーも定置用FCを開発。コジェネに限らず工場等でのモノジェネも視野。**

企業	ラインナップ(出力)	導入ドメイン・事例	水素供給の例	備考	
東芝エネルギーシステムズ	H2Rex (純水素FC)	<導入済> ・0.7kW,0.35kW,100kW <開発中> ・MW級 ※100kWモジュール組み合わせ	・コンビニ(0.7kW) ・道の駅(3.5kW) ・卸売市場(100kW) ・ホテル(100kW) ・体育館(100kW) ・プール(100kW)	オフサイト供給(ポンベ) (コンビニの例では岩谷産業が水素ポンベを供給、浪江道の駅ではカードルで供給) オフサイト供給(ローリー) (周南市卸売市場ではトクヤマ工場の副生水素を液化、ローリーで施設に供給)	・発電効率50% ・全国100台以上導入 ・導入事例ではコジェネで温水も活用
	H2One (自立形EMS 太陽光+水電解+FC)	<導入済> ・3.5kW <開発済> ・300kW	・(非常用)電源 (3.5kW) ・離島用電源 (300kW)	オンサイト供給	・コジェネとして温水も活用
Panasonic		<導入済> ・0.7kW ・5kW	・工場 (500kW=5kW×100)	オフサイト供給(ローリー) (草津工場の実証では液化水素ローリーで施設に供給)	・発電効率56%と現在業界最高水準
ブラザー工業		<導入済> ・4.4kW	・工場用電源 ・柱上パイプライン (検討中)	オフサイト供給 (ボンベやパイプライン)	・導入事例ではコジェネで温水も活用
豊田自動織機		<開発済> 8kW <開発中>(2025年頃迄) 24kW,50kW	・(非常用)電源	—	—
トヨタ自動車		<導入済> ・50kW ・100kW <開発済> ・60kW,80kW	・工場 (50kW、100kW)	オフサイト供給(ローリー) (トクヤマ工場の実証では副生水素を定置用燃料電池に供給、電力を製造所内供給)	・発電効率50%以上 (※実証の目標) ・導入事例はモノジェネ

海外メーカーによる定置用燃料電池開発・導入の状況(純水素)

- 複数の車載用FCメーカーも定置用FCを開発。マイクログリッド、データセンター等での活用を視野に入れる。

企業	ラインナップ(出力)	導入ドメイン・事例	水素供給の例	備考
現代自動車	・500kW (FCV用のFC95kWを複数連ねて構成)	・燃料電池発電所 (韓国、1MW=500kW×2)	近隣の石油精製所からの副生水素を供給	発電所は電力事業者が設備運用・売電を行う。
		・マイクログリッド (韓国、500kW)	不明	燃料電池マイクログリッドを構築、再生エネルギー変動への対応可能性を検証する実証開始を2021年10月に、発表。
Daimler	・250kW	・データセンター		Rolls-Royceと共同で車載用燃料電池をデータセンター向けに提供するパイロットプロジェクトを2019年に発表。Hewlett Packardと協力してデータセンター適用プロジェクトにも参画。
Plug Power	・1.6kW	・通信基地局	・オンサイト水素供給 (同社GenFuel)	現在まで500箇所に導入。
	・125kW (数MWまで拡充可能)	—	—	2020年に新たにGensureとして125kWの装置を発表。データセンター、マイクログリッドなど向けに複数モジュールからなるシステムを提供可能。
Ballard	・1, 7kW, 5kW (最大60kWまでモジュール組み合わせで対応可能)	非常用電源 (デンマークで約120の無線基地局に、ドイツで通信塔の非常用電源で500基導入)	ガスシリンダー貯蔵	—
	・3MW級 (1.5MW×2)	マイクログリッド (電力は系統、データセンター、建物に供給)	オンサイト製造+圧縮貯蔵 (再生水電解)	・フランス領ギアナで、ベースロード電源として電力を供給。再生可能エネルギーからのPower to Power。
Bloom Energy	・1MW	・RE100工業団地	副生水素⇒同社SOECでの製造水素	韓国でSK E&Cと協力してSOFCを導入、

参考:その他海外メーカーの定置用燃料電池開発・導入の動向例(SOFC)

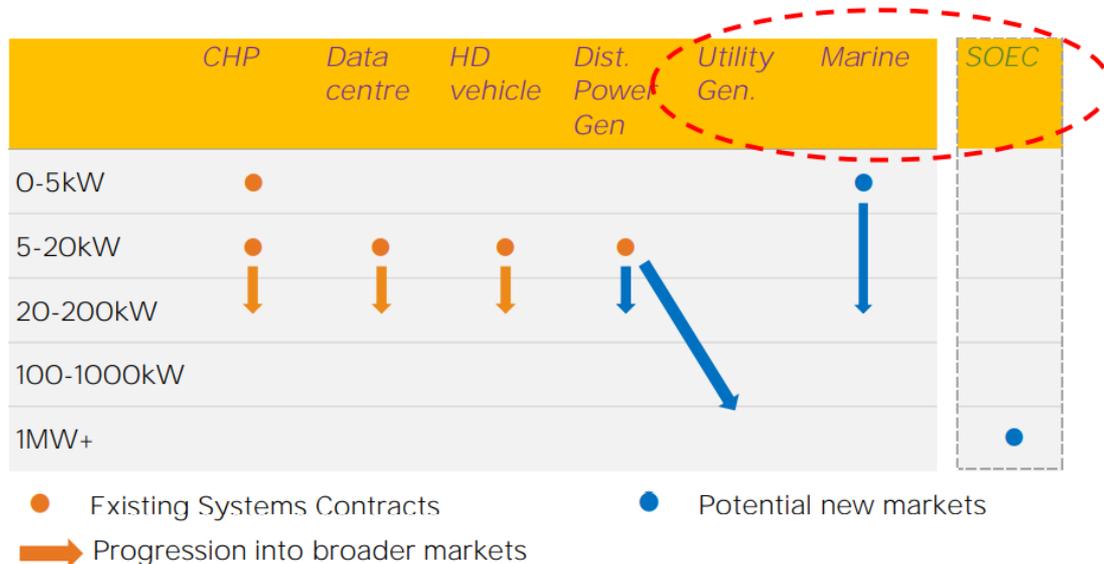
- イギリスのCeres Powerは、金属支持形のSOFCに強みを持つベンチャー。
- Boschヘセルスタック提供しており、BoschのSOFCは総合効率>85%、発電効率>60%と高効率。
- 同社は2024年から10kWSOFCを500MW/年製造計画。建物・データセンター・船舶市場を狙う。
- Ceres Powerはその他にもHDV、ユーティリティ用発電などの市場を有力視。SOFCの技術の展開としてSOECの開発にも取り組み、25年に水素製造コスト\$1.5/kgを目指す。

BoschのSOFC



出典: Bosch社
HP

Ceres Powerの有力視するSOFC市場



出典: Ceres Power社IR資料

国内外での家庭用燃料電池関連の取り組み状況の概要

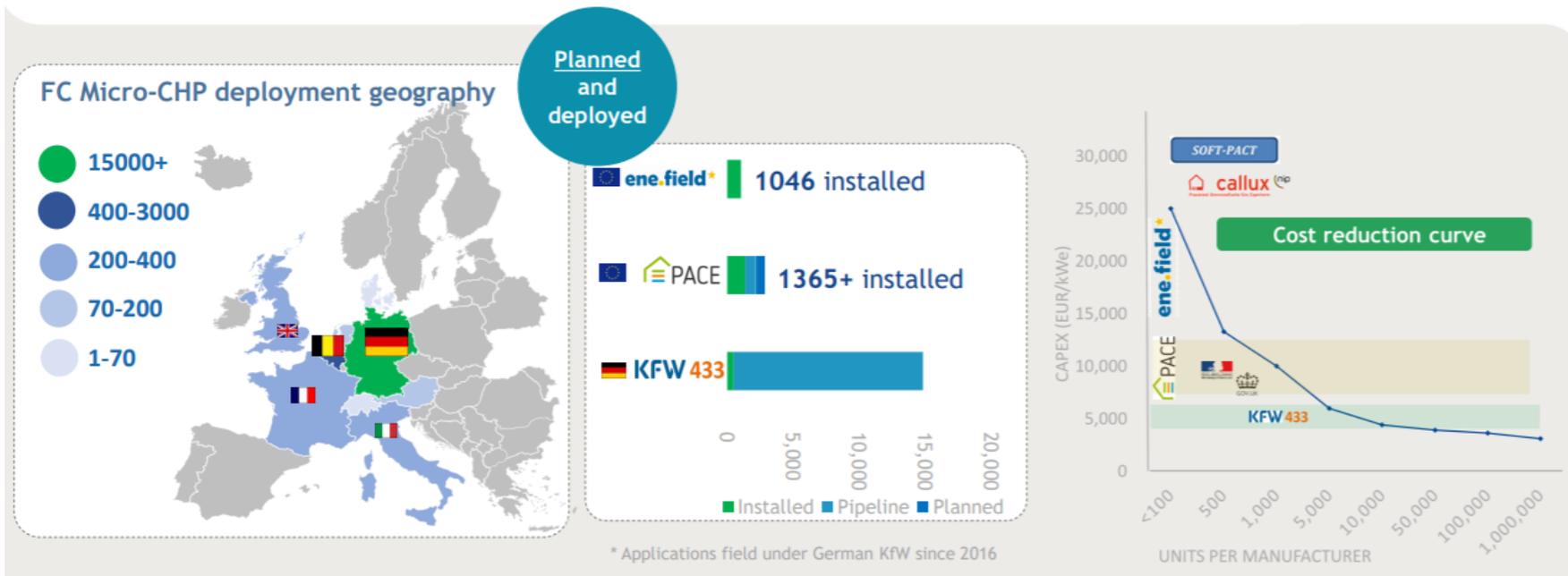
- 家庭用燃料電池は日本で特に普及が進む状況。また、国内メーカー製品は欧州でも利用されている。
- 近年では純水素燃料電池の実証等プロジェクトも進められており、4月には中国山東省で大型導入計画が発表。

		日本	欧州	中国	
ガス燃料 (商用化)	導入状況	2021年8月にエネファーム累計販売台数40万台突破 (メーカー販売台数)	2020/11時点で欧州全体で約1万8千台導入。 (ドイツ補助金(KFW433)やFCHJUの大規模実証プロジェクトPACE、ene.fieldで導入を推進)	—	
	燃料種	都市ガス、LP	都市ガス(一部メーカーがLP対応)	—	
	主なメーカー	<ul style="list-style-type: none"> ・Panasonic(PEMFC) ・アイシン精機(SOFC) 	<ul style="list-style-type: none"> ・BDR Therma(独、PEMFC) ・Viessmann(独、PEMFC) ・Bosch(独、SOFC) ・SOLIDpower(独、SOFC) ・Sunfire(独、SOFC) 	—	
純水素 (実証)	導入状況	特定のサイトで水素ステーションや水電解装置等を起点として、パイプラインや車両での輸送による燃料電池への水素供給を実施するプロジェクト・実証等の事例・計画が存在。			
	水素供給手段	パイプライン	○ (晴海の選手村地区で新設水素パイプラインにより住宅共用部・商業施設に設置された純水素燃料電池へ水素供給)	— (オランダやイギリスでは既設ガスパイプラインを水素転換、住戸にエネルギー供給する例があるが、これらは主に水素ボイラーを採用)	○ (2021年4月山東省で“気透万家”プロジェクト発表。その中で水素パイプラインを活用し工業団地・コミュニティに12000台FCを導入する計画)
		車両輸送	○ (宮城県富谷町で水素吸蔵合金を利用し家庭用純水素燃料電池に水素供給)	—	—
	主なメーカー	<ul style="list-style-type: none"> ・Panasonic(選手村地区) ・ブラザー工業(富谷町実証) 	— (水素レディの製品を扱うメーカーあり)	—	

欧州での家庭用燃料電池関連の取り組み状況の概要

- 欧州では、ドイツでの補助金(KFW433)や、FCHJUによる家庭用燃料電池の大規模実証プロジェクトPACE、ene.fieldを通じて、燃料電池の導入を推進してきた。大量導入によりコストダウンを図る方針。
- 現在までのおよそ18000台のうち、ドイツでの補助金による導入量が大きな割合を締めている。
- PACEプロジェクトは2022年に完了、プロジェクトでは2800台以上の燃料電池を欧州全体で導入する計画。

欧州での家庭用燃料電池導入量と分布、コストダウンの推移



出典: Antonio Aguilo Rullan "Fuel Cell microCogeneration: Latest Developments and Future Perspectives"

参考:国内の家庭用燃料電池(エネファーム)

- 国内では現在PEMFC(Panasonic)、SOFC(アイシン精機、京セラ)が商品として販売されている。
- 下表には戸建・都市ガス用の諸元を示したが、その他現在までに集合住宅向け・LPガス対応・寒冷地用などの機種が開発されている。

	Panasonic	アイシン精機	京セラ
タイプ	PEM	SOFC	SOFC
外観			
発電出力	0.7kW	0.7kW	0.4kW
総合効率(LHV)	97% (発電効率38%)	87% (発電効率55%)	80% (発電効率47%)
対応燃料	都市ガス LPガス	都市ガス LPガス	都市ガス

出典:エネファームパートナーズ資料をもとに作成

参考: 欧州の家庭用燃料電池

- 欧州では現在PEMFC(BDR Therma,Viesman)、SOFC(Bosch、Sunfire)が商品として販売されている。
- 家庭用燃料電池についても水素レディとされ、一定の水素混合に対応可能であることがアピールされている。

	BDR Therma	Viessmann	Bosch・SOLIDpower	Sunfire
タイプ	PEM	PEM	SOFC	SOFC
外観				
燃料電池	Panasonic製	Panasonic製	伊SOLIDpower製	同社製
発電出力	0.75kW	0.75kW	1.5kW	0.75kW
総合効率(LHV)	92% (発電効率38%)	92% (発電効率37%)	90% (発電効率57%)	88% (発電効率38%)
対応燃料	ガス(H-Gas, L-Gas) 水素レディ(割合記載なし)	ガス(H-Gas, L-Gas) 5%水素レディ	ガス(H-Gas, L-Gas) 20%水素レディ	LPG ガス(H-Gas, L-Gas) 水素レディ(割合記載なし)
起動停止	4000cycle	4000cycle	6cycle/year	1cycle/1000h
スタック寿命	8万時間	8万時間	4万時間	4万時間
システム寿命	20年	12年	15年	15年
備考	PACEプロジェクトでオランダにおいて2020年に同国初の燃料電池導入。		最新モデルは貯湯タンクを合わせ熱供給の柔軟性を増加。	

出典:PACE“Summary report on specifications for newest model deployment in PACE(May 2021)”をもとに作成

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

②国際水素サプライチェーン構築の加速

国際水素サプライチェーン構築の動向

水素サプライチェーン構築に関する取り組みの動向(1/2)

■ 豪州でブルー・グリーン水素の製造・日本への輸出の検討計画が立て続けに発表。

輸出国	参画機関(輸出側)	参画機関(日本側)	製造法	概要	発表時期
オーストラリア	AGL Energy (電力・ガス)	川崎重工 岩谷産業 J-Power 丸紅 住友商事 シェルジャパン 川崎汽船 ENEOS	ブルー	ビクトリア州の褐炭をガス化し、CCSと合わせてブルー水素を製造、日本へ輸出。 CO2は豪州CCSプロジェクトCarbonNetに引き渡し予定。 2021年にパイロット実証を実施。 2030年以降に22.5万トン/年の水素を輸出予定。	2015年12月 (パイロット実証プロジェクト開始)
	H2U (エンジニアリング) Thyssenkrupp (独、電解装置) Baker Hughes GE (米、ガスタービン)	三菱重工	グリーン	南オーストラリアのエア半島で120t/日のアンモニア合成を統合した最初の(商業規模)実証を行う。最大1万t/年の再エネ水素と4万t/年のグリーンアンモニアの生産能力を持つ。 実証施設からは国内市場に供給、再エネ水素とアンモニアの日本他アジア市場への試験的な輸出輸送を行う。グリーン水素はアンモニア製造の他ガスタービンでの実証に利用予定。	2018年2月 (三菱重工は2020年11月出資発表)
	Origin Energy(電力)	川崎重工	グリーン	クイーンズランド州タウンズビルでのグリーン水素液化・輸出プロジェクトで協力発表。2020年代中盤の輸出開始を目指す。	2021年4月
		ENEOS	グリーン	クイーンズランド州からのMCHによるグリーン水素国際サプライチェーン構築調査のための覚書を締結。	2021年8月
	Australian Future Energy(電力)	伊藤忠商事	ブルー・グリーン	クイーンズランド州グラッドストーンでのグラッドストーン・エナジー・アンド・アンモニア事業に関して覚書に調印、同事業ではブルー水素・グリーン水素の両方を利用、アンモニアや合成天然ガス、最終的には電力を製造。2024年にも操業開始予定。	2021年6月
	Neoen(電力)	ENEOS	グリーン	世界有数の再生可能エネルギー専門発電事業者のNeoen社とグリーン水素サプライチェーンに関する協業検討を発表、覚書を締結。	2021年8月
	Stanwell(電力) APT(コンサル)	岩谷産業 川崎重工 関西電力 丸紅	グリーン	クイーンズランド州グラッドストーンでグリーン水素を大規模製造・液化して日本へ輸出するプロジェクトについて事業化調査を共同実施のための覚書を締結。2026年頃100t/日、2031年以降に800t/日以上の水素生産規模を目指す。	2021年9月
	Fortescue Future Industries(金属)	ENEOS	グリーン	日豪間グリーン水素サプライチェーン構築に向けた協業検討を実施することとし、覚書を締結した。豪州で製造したグリーン水素をMCHとして輸送、国内の製油所に供給する計画。	2021年9月

水素サプライチェーン構築に関する取り組みの動向(1/2)

- その他にも東南アジア・ニュージーランド・ロシアで副生水素・ブルー・グリーン水素の製造・日本への輸出の検討計画が複数発表されている。

輸出国	参画機関(輸出国側)	参画機関(日本側)	製造法	概要	発表時期
ブルネイ	－ (Brunei LNG社が天然ガス液化プラントのプロセスからの副生ガスを供給)	千代田化工建設 三菱商事 三井物産 日本郵船 ENEOS	副生水素	MCHを用いた水素サプライチェーンを構築、輸入した水素を東亜石油製油所内の火力発電設備で発電に利用する実証を実施。2020年5月に発電設備への供給を開始。 2021年にはENEOSとの間でMCHの売買基本契約が締結。ENEOSはMCH受け入れから製油所設備を利用した水素利用プロセスを検証。	2015年12月 (パイロット実証プロジェクト開始)
ニュージーランド	Halcyon Power(電力) Tuaropaki Trust (地熱開発・運転)	大林組	グリーン	2018年から2023年までニュージーランド内での地熱発電由来グリーン水素のサプライチェーン構築実証を実施、100t/年の生産規模。2025年以降、液化水素タンカーによる海上輸送の実証を実施。 ニュージーランドは将来(2030年)には16万8千トンの地熱由来水素の供給余力ポテンシャルを持つとする。	2018年12月
ロシア	Rosatom(原子力)	経済産業省 川崎重工	グリーン	ロシアから日本への水素輸出に関する調査を行うための覚書を締結	2019年9月
	Gazprom(ガス)	経済産業省	ブルー	水素、アンモニア、CCUSに関する協力覚書を締結。	2021年9月
マレーシア	SEDC Energy(電力)	ENEOS 住友商事	グリーン	マレーシア・サラワク州において、水力発電所により数万トン規模のCO ₂ フリー水素を製造、るMCHに変換し、ケミカル船によりマレーシア国外の需要地に海上輸送するFSを実施。	2020年10月
	PETRONAS Gas & New Energy(電力・ガス)	ENEOS	副生水素	ペトロナスの石油化学工場における数万トン規模の未利用の副生水素を利用、MCHに変換し国内製油所へ輸送するサプライチェーンを共同で検討。その他近隣火力発電、製鉄所への供給も検討。 将来的にはブルー水素・グリーン水素の供給も検討。	2021年9月

英国の水素ビジネス戦略について(概要)

英国水素ビジネス戦略の概要(1/4)

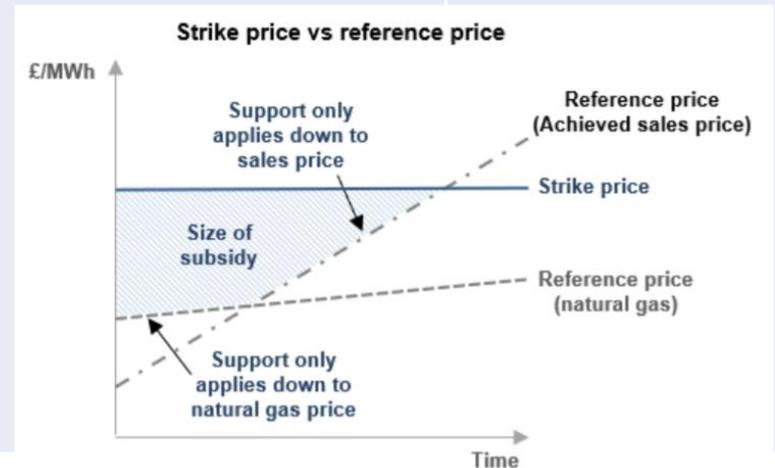
- 大規模な水素製造・供給プロジェクトを念頭に、支援の姿について議論。

章	論点	項目	メリット	課題
2章	製造側支援vs エンドユーザー支援 (P21)	製造側支援	ユースケースによらず明快な支援が可能 ⇒迅速・簡明な支援が可能であり投資を喚起しやすい。英国はこちらを選ぶ。	水素需要が保証されていない
		エンドユーザー支援	直接水素需要を喚起可能	テクノロジーニュートラルとの整合性
3章	<p>「よい」制度設計が必要(P25) よさとは？</p> <ul style="list-style-type: none"> ・製造プラントに資本が導入され、需要に応じた水素製造がなされ、妥当な価格で製造されることを喚起 ・プラントが抱える不確実性(リスク)の排除 ・市場の成長とともに支援額が0に近づくこと 	生産者の経済的リスク	—	コストが回収できない
		生産者の量的リスク	—	十分な量の水素を販売できない

英国水素ビジネス戦略の概要(2/4)

■ 経済リスク緩和のための制度設計について検討。特に変動プレミアムを用いるための参照値の設定を議論。

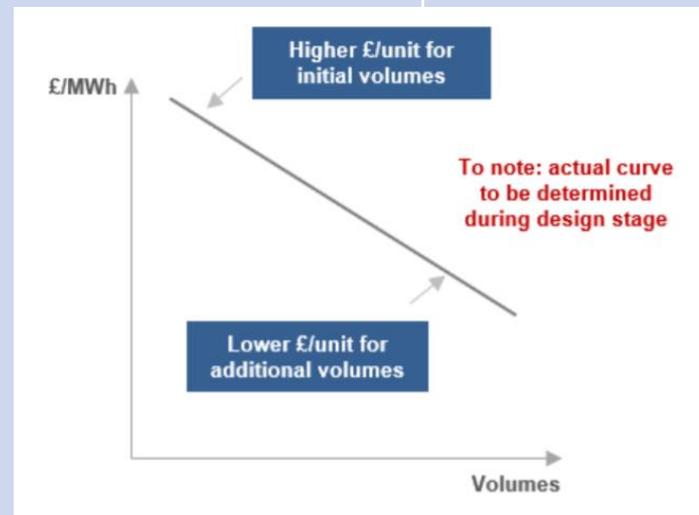
章	論点	項目	メリット	課題
4章	経済リスク緩和のための制度設計	プレミアムとしては変動プレミアムが妥当	<p>生産者-消費者-政府間で決定できる(例:入札)Strike Price(コスト)という指標をベースにすることで、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・市場成長を考慮した支援 ・多様な用途への対応 <p>をできる。</p>	水素需要が保証されていない
		<p>参照価格(市場価値)の決め方</p> <p>⇒ 下限(天然ガス)つきの売値を参照価格とする</p>	<p>低炭素水素の価値に近い。</p>	天然ガス利用者へ水素転換を喚起できない。



英国水素ビジネス戦略の概要(3/4)

- 量的リスク緩和のための制度設計について検討。特に政府による引取を行うかどうかについて議論。

章	論点	項目	メリット	課題
5章	量的リスク緩和のための制度設計	<p>参照価格(市場価値)の決め方</p> <p>⇒スライディングスケールを導入し、ユーザーの引取量に応じて支援額を変化させる。 (引取が少ないうちは支援を多く行い、採算性を賄うために最低限必要な水素製造量の条件を緩和する。引取量が増加するにつれて支援を抑制する)</p>	<p>政府が水素を引き取ることなく、支援額の変動を通じて買い手が引き取る量をコントロールできる。</p>	<p>スライディングスケールをどう決めるか</p>



英国水素ビジネス戦略の概要(4/4)

- 小規模な水素製造プロジェクトへの対応について検討。既存の枠組みで対応できるとされている。

章	論点	項目	メリット	課題
6章	前章までで想定している大規模な水素供給以外のビジネスモデルへの適用可能性	<p>契約形式が小規模プロジェクトにそぐわない可能性</p> <p>⇒別のスキームを考える必要があるかどうか、が論点だが、英国としては不要と考える</p> <p>(小規模な水電解⇒グリーン水素のモビリティへの供給等の扱いなら、既存の枠組み(RTFO)の範疇)</p>	—	—

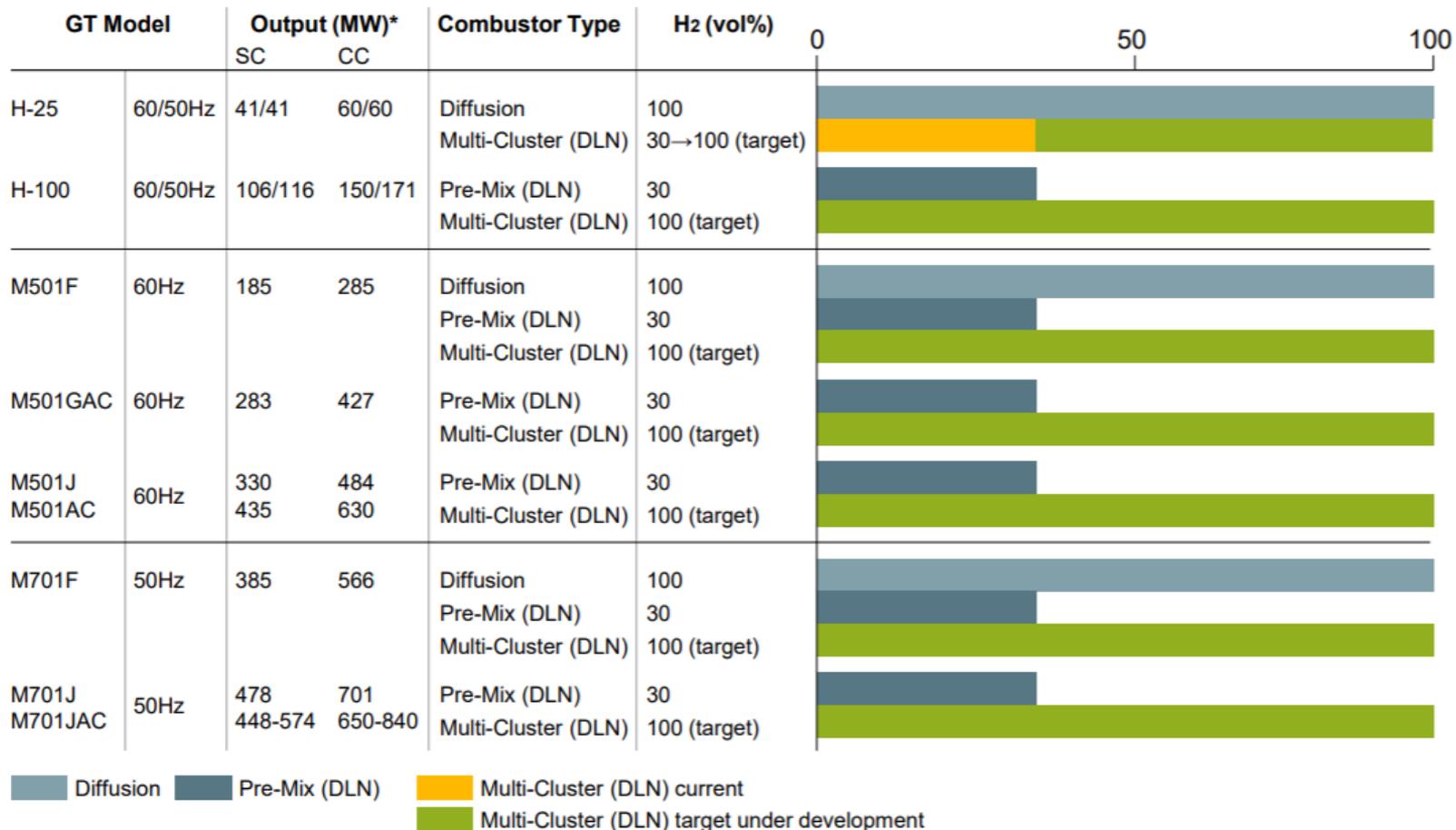
水素燃焼技術開発の動向について

水素燃焼に関する企業の技術開発の動向

- 水素ガスタービンの技術開発に積極的に取り組んできた三菱重工が、専焼対応タービン導入スケジュールでは先行。
- しかし、GE・Siemensともに大型ガスタービンで既に30%-50%程度の混焼は実現可能とし、加えて専焼に向けた開発計画を具体化させており、今後競争が激しくなることも予想される。

	三菱重工	GE	Siemens	Ansaldo Energia	斗山重工業
事業用ガスタービン	<p>2018年には予混合型の燃焼器を開発、30%混焼試験を完了。</p> <p>2025年までにドライなマルチクラスタ専焼ガスタービンを開発、試験完了予定。</p>	<p>448-571MW(SC)の大型ガスタービン(9HA)を開発、水素50%まで混焼可能とする。</p> <p>Long Ridgeで2021年から15-20%の混焼を開始予定。10年かけて専焼へ移行。</p>	<p>大型の593MW(SC)のガスタービン(SGT5-9000HL)では、現在30%の水素混焼が可能とする。</p> <p>2030年までに大型のガスタービンで専焼を目指す。</p>	<p>大型の369-538MW(SC)のガスタービン(GT36)で水素50%まで混焼可能とする。</p> <p>2019年にEquinorと協力して水素専焼の検証に取り組むことを発表。</p>	<p>2020年以降水素50%混焼可能な300MW級のガスタービンを開発中。</p> <p>2027年までに蔚山火力発電所で韓国初の大型水素ガスタービンの実証を開始する計画。</p>
参考：小中型ガスタービン	<p>30%混焼技術は予混合・マルチクラスタともに開発済。</p> <p>41MW(SC)のドライなマルチクラスタ燃焼器を開発、2022年までに60%混焼、2024年までに専焼試験完了予定。</p> <p>116MW(SC)のドライなマルチクラスタ燃焼器を開発、2020年代後半に専焼試験完了予定。</p>	<p>EnelのイタリアFusina発電所で12MW(SC)のコンバインドで水素混焼を実証。(燃焼器は拡散型)</p>	<p>14.3MWの小型タービンでは水素10%混焼可能としており、米国Clemson大学でDuke Energyらと協力して水素CHPの実証を実施。</p> <p>2023年までに産業用ガスタービンで専焼を目指す。</p>	<p>185MW(SC)ガスタービン(AE94.2)では、予混合モードで25%まで混焼可能とする。今後2023年までに40%混焼を目指す。</p>	<p>5MWの水素専焼ガスタービンを開発中。</p>

参考:三菱重工の水素ガスタービンラインナップ



出典: Prof. Emmanouil Kakaras (Mitsubishi Power Europe GmbH) "Current picture of co-firing and future prospects for hydrogen-rich fuels"

参考:三菱重工の水素ガスタービン導入計画

Zero Carbon Humber (H2H Saltend)

M701F, 1202MW (3 CCGT)

Hull, Humber, UK

H2M (Magnum)

M701F, 440MW (1 CCGT out of 3 CCGT)

Eemshaven, the Netherlands

Energy Decarbonization

Decarbonizing Energy' utilities

4 Southern States*, USA

*Arkansas, Louisiana, Mississippi and Texas

Intermountain Power

M501JAC, 840MW (1 CCGT)

Salt lake City, Utah, USA

Advanced Clean Energy Storage

Green Hydrogen Production and Storage

Salt lake City, Utah, USA

Keppel Data Canter

Tri-generation plant with H2 GT

Singapore

H2U

Carbon-free ammonia production PJ with H2 GT

South Australia

出典: Prof. Emmanouil Kakaras (Mitsubishi Power Europe GmbH) "Current picture of co-firing and future prospects for hydrogen-rich fuels"

参考:Siemensの水素ガスタービンラインナップ

- 2030年までに大型のガスタービンでも水素専焼を可能にする計画。

Siemens is continuously investing into developing 100% hydrogen capabilities by 2030

The pathway to burn 100% hydrogen



until **2023** – 100% H₂ in
Industrial Gas turbines

until **2030** – 100% H₂ in
Heavy Duty Gas turbines

Released hydrogen capability Ongoing Development

Investments for upgrading the global fleet of gas turbines by making them a key technology for transitioning to a decarbonized world

- **Large GTs:** >45 years of accumulated experience on H₂ (syngas) combustion
- **Medium GTs:** >10 years experience based on H₂ admixture
- **Small GTs:** ≈1 m OH of high hydrogen combustion experience
- **Aero GTs:** >100k hours of recorded operation on high hydrogen fuels (up to 78 vol%)

¹ The performance may be reduced based on H₂ concentration, emissions requirement and power rating

April 2021

Dr. Vinayaka Nakul Prasad 15
Unrestricted © Siemens Energy, 2021

出典:Prof. Emmanouil Kakaras(Mitsubishi Power Europe GmbH)“Current picture of co-firing and future prospects for hydrogen-rich fuels”

参考:GEの水素ガスタービン開発工程

- 2021年までに開発した水素混焼大型ガスタービンをLong Ridgeに導入、さらに水素割合を上げていく計画。

F and HA DLN 2.6, 2.6+ combustion systems



First commercial use: 1996
Fuel nozzles: 6
H2 limits: ~ 5 to ~18% (by volume)

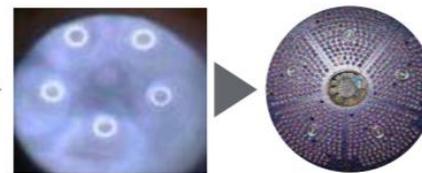
US DOE High Hydrogen Turbine Program



Program dates: 2005–2012

GE Gas Power developed a combustion system targeted at operation on high H₂ fuels

50% Hydrogen capable combustor for HA gas turbines



First commercial operation: 2021*
Fuel injectors: > 500
H2 limits: ~ 50% (by volume)

*COD expected in 2021 on 100% natural gas

Long Ridge Energy Terminal (USA)



- Long Ridge Energy intends to begin blending hydrogen in their **new 7HA.02** gas turbine later this year
- The owner's plan is to transition the plant to 100% hydrogen in 10 years

Tallawarra B (Australia)



- EnergyAustralia intends to begin blending hydrogen in their **new 9F.05** gas turbine starting in 2025
- This will be the first 9F gas turbine to operate on a blend of hydrogen and natural gas

出典: Jeffrey Goldmeier (GE Gas Power) "GE Gas Power – Hydrogen Technology"

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

**③水電解装置の更なるコスト低減・電力システムへの統合、
革新的な水素製造技術への投資**

各電解装置のタイプと棲み分け

水電解装置の主な種類と概要

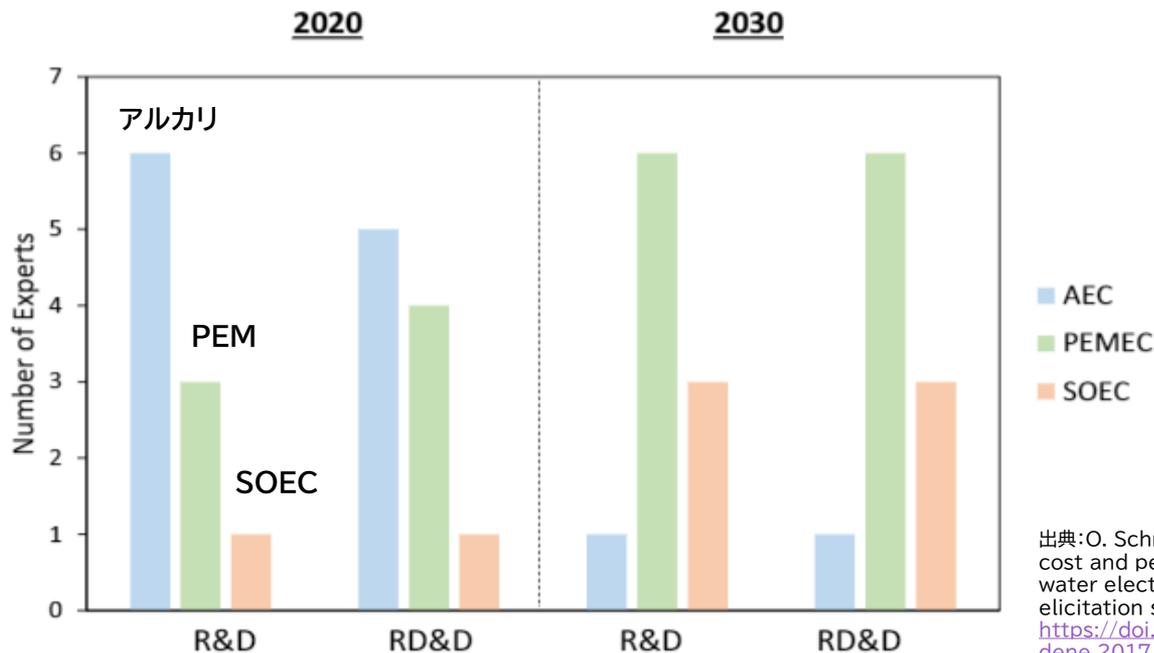
	アルカリ水電解	固体高分子形水電解 (PEM)	固体酸化物形水電解 (SOEC)
概念図			
実績	<ul style="list-style-type: none"> 肥料製造などで古くから実績豊富。 	<ul style="list-style-type: none"> 小規模な装置は商用実績多数。 近年大型装置の実証が進む。 	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発から実証の段階。 ドイツで市場投入例あり(Sunfire)。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 技術成熟度が高く大型化可能。 工業用途で長期運転実績も豊富。 他の電解装置に比べ比較的安価。 	<ul style="list-style-type: none"> 設備がコンパクト。 製造水素の純度が高い。 負荷変動追従性に優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 他の電解装置に比べて高効率。 高温(600度-850度)環境下で運転するため熱源が必要。
課題	<ul style="list-style-type: none"> 電流密度がPEMに比べ小さい。 装置フットプリントが大きい。 水素純度がPEMに比べ低い。 再生可能エネルギー入力に伴う起動停止の繰り返しに対する耐久性向上が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> アルカリに比べてコストが高い。 触媒として希少な貴金属(Ir,Pt)の利用が必要とされ、大量製造時に課題。 <p>⇒新たな研究として、電解質をアニオン交換膜とした装置(AEM)が注目されつつある。貴金属使用量を低減することができる点に大きなメリット。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高温、水蒸気存在といった環境での運転が必要であり材料耐久性やガスシール性確保に課題。 運転条件が高温であり、起動に時間を要する。
規模イメージ	<ul style="list-style-type: none"> 100MW級装置の商用実績あり。(Norsk Hydro(現Nel)社製135MW装置、ノルウェー) 	<ul style="list-style-type: none"> 10MW級の装置の実証が進む。 100MW級の大型装置の開発計画も発表されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 150kWの装置がドイツで商用化。 独Sunfireが3MW級システム開発。(2021年5月、FCHJU“MultiPLHY”プロジェクト)

各種水電解装置に関する棲み分け

- インペリアル・カレッジ・ロンドンの研究者らは、欧州の水電解技術の研究者・メーカーらを対象としたインタビューによる、将来の電解技術に関する調査を2017年に実施。
- 変動再エネ対応にはPEMが適しており、2030年頃には中心的になるという意見が多数。
- SOECは、高効率に厳しく要求され、かつSOECへ排熱利用も期待できる工業プロセスで特に利用されうる。

将来の「中心的」電解技術に関する有識者の投票

- ✓ 負荷追従性に優れたPEMが適しており2030年には中心的になると回答する有識者が多数。ただし製造技術や運用面での向上が必要。
- ✓ 一部の有識者は効率に優れたSOECが工業プロセスにおいて好まれるという予想を回答。負荷追従性については可逆形などで対応。



投票にあたって前提とされたシナリオ

<想定する利用形式>
 入力: 変動再エネ
 電解装置規模: 10MW
 水素圧力: 20-30bar
 水素用途: ガス管注入

<導入量>
 R&D: 360MW/年の生産規模
 RD&D: 2.5GW/年の生産規模

出典: O. Schmidt, et al., "Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study", <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>

各種水電解システムのCAPEX見通し(2030)

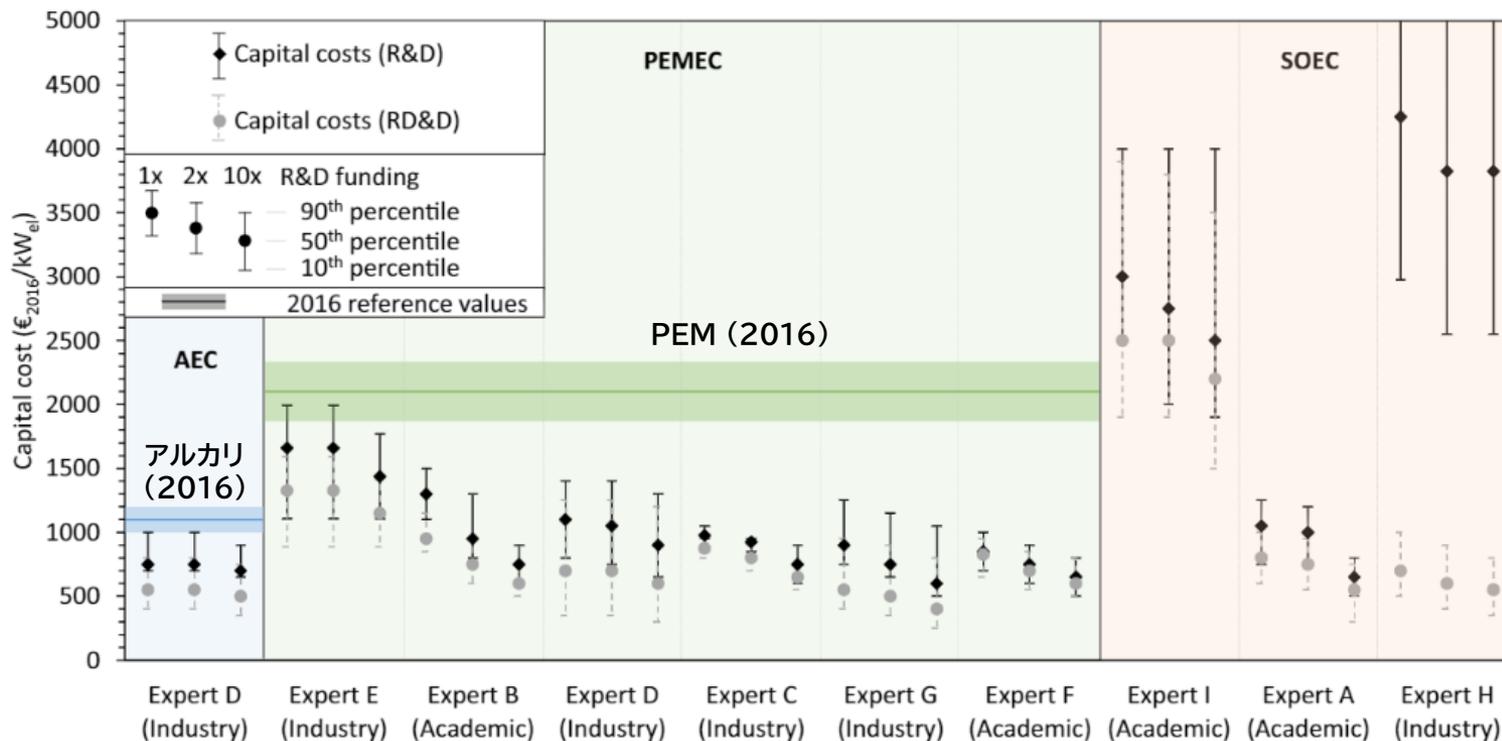
総論

- ✓ 各種水電解装置に共通して、**低コスト化に向けては生産規模拡大の効果**が大きい。
- ✓ R&Dと製造規模拡大の両者の効果を合わせたケースでは、**有識者見通しの中央値で2030年断面でkWあたり、€500(アルカリ)、€600(PEM)、€1886(SOEC)という水準。**

参考:有識者インタビューで想定されているシナリオ

項目	シナリオの仮定
R&Dファンド	現在(2017)の1倍、2倍、10倍 ※絶対値不明
導入量	R&D:360MW/年の生産規模 RD&D:2.5GW/年の生産規模

有識者による各種水電解システムのCAPEX見通し(2030)



出典:O. Schmidt, et al., "Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study", <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>

R&D・製造規模拡大による低コスト化効果の見積もり

結果に関する整理(前ページ結果含む)

アルカリ

- ✓ 他の電解装置に比べて、2030年段階でも依然相対的に安価である。
特に生産規模拡大(R&D⇒RD&D)によるコスト低減効果が大きいと考えられている。
- ✓ 技術が成熟しており、将来のコスト見通しの幅・下限見通しが相対的に小さいとみなされている。

PEM

- ✓ アルカリに比べ技術がこなれておらず、R&Dによるコスト低減余地が相対的に大きいと考えられている。
- ✓ 生産規模拡大によるコスト低減効果が大きいと考えられているのはアルカリと同様。

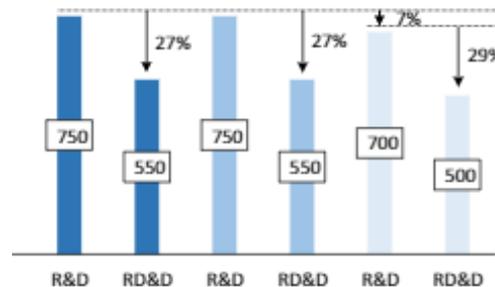
SOEC

- ✓ アカデミックと産業界でのCAPEX見通しの差が特に大きい。回答者のコスト見通しの幅も大きく技術開発の余地が大きいことが伺える。
- ✓ 特に産業界において生産規模拡大が大きなコスト低減効果を持つと見込まれている。
(技術が未成熟のため)

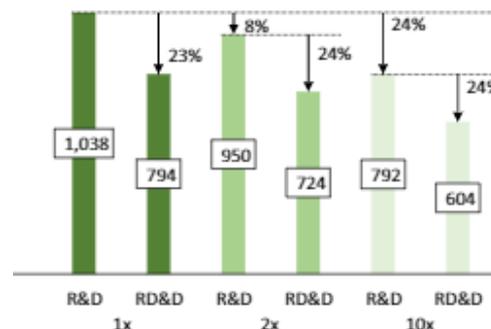
R&D・製造規模拡大による低コスト化効果(2030)

単位:€/kW

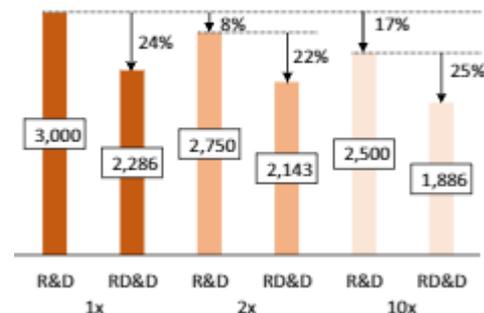
アルカリ



PEM



SOEC

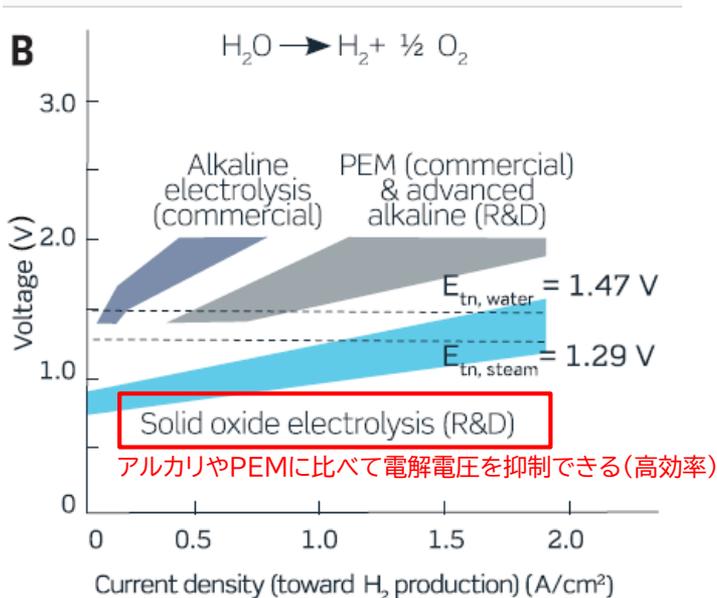


出典:O. Schmidt,et al.,“Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study”, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>

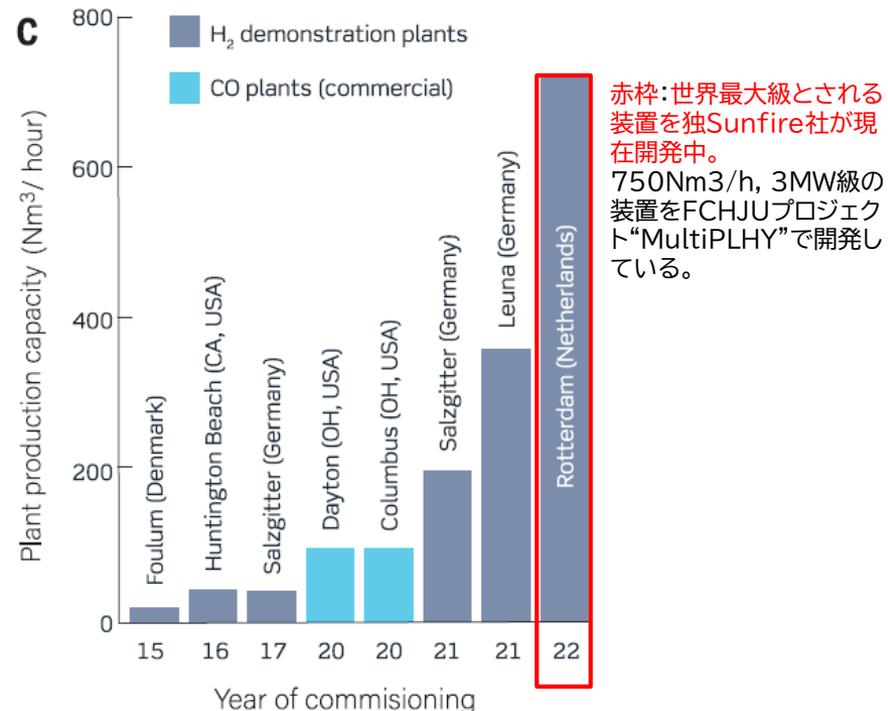
参考: 固体酸化物形水電解(SOEC)の概要

- SOECは電解時に高温熱源を必要とするが、アルカリ・PEM水電解に比べ電解効率に大きく優れる。(下左図)
- 主な技術的課題としては高温・水蒸気環境下でのセラミックやシール材の耐久性向上が挙げられる。
- 現状低温水電解より水素製造規模スケールは小さいが、ここ数年で水素製造能力も大きく拡大しており、世界最大級の装置として独Sunfire社が750Nm³/h(3MW級)の水素製造能力を持つ電解装置を開発中。(下右図)
(FCHJU「MultiPLHY」プロジェクトで蘭ロッテルダムのNeste社保有の製油所に水素を供給予定。)

SOECの性能 (電流密度-電圧)



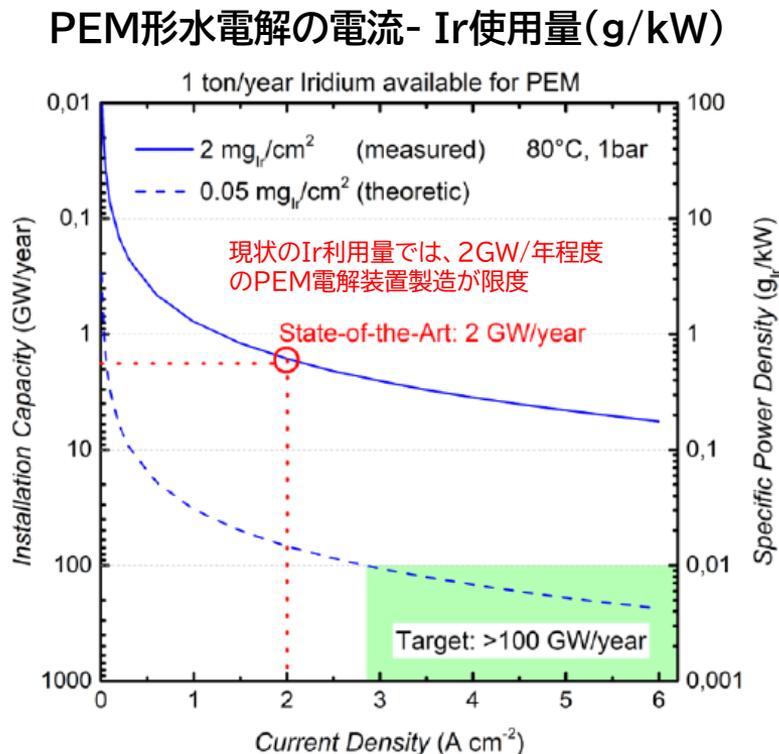
SOECの水素製造能力の推移 (年-製造能力)



出典: A. Hauch et al. "Recent advances in solid oxide cell technology for electrolysis"

参考: PEM形水電解の大量導入に向けた潜在的課題

- PEM水電解では酸素発生電極において、高い電位・酸性電解質といった厳しい条件下で利用できる材料として希少金属であるIr酸化物が利用されている。現状ではkWあたり0.5g程度の利用がなされている。
- しかし、Irはグローバルでも数トン/年しか産出されておらず、今後大量のPEM電解装置を導入する場合、Irの量がボトルネックになることが予想される。年あたりGW-百GWスケールの電解装置の導入にはIr使用量を数十分の1-数百分の1にする必要。



上記数値出典： Maximilian Bernt, 1,2,* ,z Armin Siebel, 2,* and Hubert A. Gasteiger^{2,*} Analysis of Voltage Losses in PEM Water Electrolyzers with Low Platinum Group Metal Loadings(Journal of The Electrochemical Society, 165 (5) F305-F314 (2018))

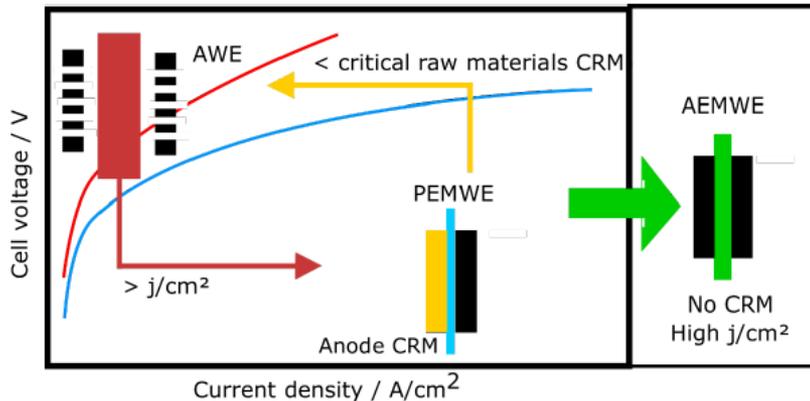
参考: AEMへの注目

- 前述のPEM電解の課題などを背景に、将来技術として貴金属利用量を大きく低減する可能性のあるAEMに近年注目が集まりつつある。
- AEMはアルカリ電解とPEM電解のハイブリットを目指すことで、低コスト化を目指すことが出来る技術と目される。
- 現状では研究開発段階の技術だが、中長期的に市場が拡大すると期待するプレーヤーも存在。

AEMへの注目

- ✓ アルカリ電解の特徴(安価な部材を利用可能)と、PEM電解の特徴(電流密度を高く出来ること)のハイブリットを目指す手段として、AEMが注目されつつある。

アルカリ電解とPEMのハイブリットとしてのAEMの概念図

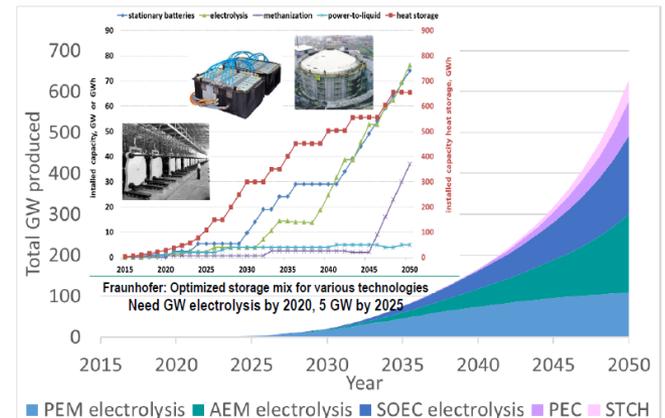


出典: Energy-X
 “research needs towards sustainable production of fuels and chemicals”

AEMへの注目・将来性

- ✓ AEMはセルスタックの構造がPEMに類似しており、PEM電解装置や部材を手掛ける企業も注目する。
- ✓ Nel(旧Proton Onsite)はその一つの例であり、中長期的にはAEM(やSOEC)の導入が拡大する可能性を指摘しており、DOEファンドで技術開発に取り組む。

Proton Onsiteによる将来の水素製造手段拡大イメージ(緑:AEM)



New technology 20-25 years from impact even with aggressive assumptions
 Need focus on near term technology to accelerate 1st 10 years

出典: Kathy Ayers “Commercial Electrolysis: Setting the Stage for H2@Scale”

参考:海外の小型AEM装置メーカーの取組

- イタリアのEnapterは2kW級の小型AEM電解装置を近年積極的に開発しているメーカー。
- 特に燃料電池と組み合わせた、小規模な電力供給システムを住宅や通信基地局、マイクログリッドなどに提供している。33カ国、欧州に限らず東南アジアやアフリカでも製品を展開。
- 提供するシステムは離島のディーゼル発電機と比べてメンテナンス費用などでメリットが有り、COVID-19後のディーゼル価格(\$0.7/L)での発電に対しても同程度のコスト(\$0.62/kWh)とできるとする。
- 同社の電解装置は約€5000/kW、水素製造能力は4kWh/Nm³。過去2年で4割水素製造コストを低減し、€6.8/kgだが、今後5年で€1.5/kgを目指す。
- 2020年に10万台/年の製造能力を持つ工場をドイツで2021年から稼働する計画を発表。装置の数を増やすことで、コストを低減する方針。

Enapter社の水電解装置導入実績



マファートのマイクログリッド

Mafate, ラレユニオン [詳細](#)



水素を用いたピークシェーピング

Loire Aquitaine, フランス [詳細](#)



農村部の電化プロジェクト

Kyenjojo, ウガンダ [詳細](#)



住宅一体型ソリューション「Picea」

Zusmarshausen, ドイツ [詳細](#)



住宅向け貯蔵

Münster, ドイツ [詳細](#)



戸建て集合住宅「Phi Suea House」

Chiang Mai, タイ [詳細](#)



水素の季節的貯蔵

Col du Palet, The Alps, フランス [詳細](#)



通信基地局

Rompin, Pahang, マレーシア [詳細](#)

出典：Enapter HP

ここまでの要約(各種水電解の棲み分けについて)

(1)各電解装置のタイプと棲み分け

- ◆水電解装置は作動温度が100℃以下の低温(アルカリ、PEM、AEM)と高温(SOEC)に大別できる。
- ◆電解装置の主な棲み分け・位置づけは以下の通り。

アルカリ形:

最も技術面で成熟しており、大出力装置の導入実績が豊富なほか、設備コストも他の装置より経済的。周辺機器含め装置が大きくなる傾向にあるため、技術的には集中製造に適していると考えられる。

固体高分子形(PEM):

アルカリ形に比べると負荷追従性に優れる、設備がコンパクトなどの特長がある。出力変動の著しい再エネとの接続や、分散型水素製造に適していると考えられる。要素技術・部材は燃料電池と共通点が多く、コストダウンポテンシャルも大きい。そのため、欧州では2030年頃に中心的になると期待する声あり。ただし、他の電解装置に比べて貴金属を多く要するため、普及に向けては貴金属使用量抑制が重要。

固体酸化物形(SOEC):

特に低温電解に比べて効率で大きく優れ、排熱利用が期待できる工業プロセスでの利用が有力と考えられる。また、同技術は合成メタンやe-fuel、化学品などの原料となる合成ガス製造にも適用できる。現状アルカリ・PEMに比べ技術的成熟度は低く、耐久性や負荷追従性には改善の余地が残されている。

固体高分子形(AEM):

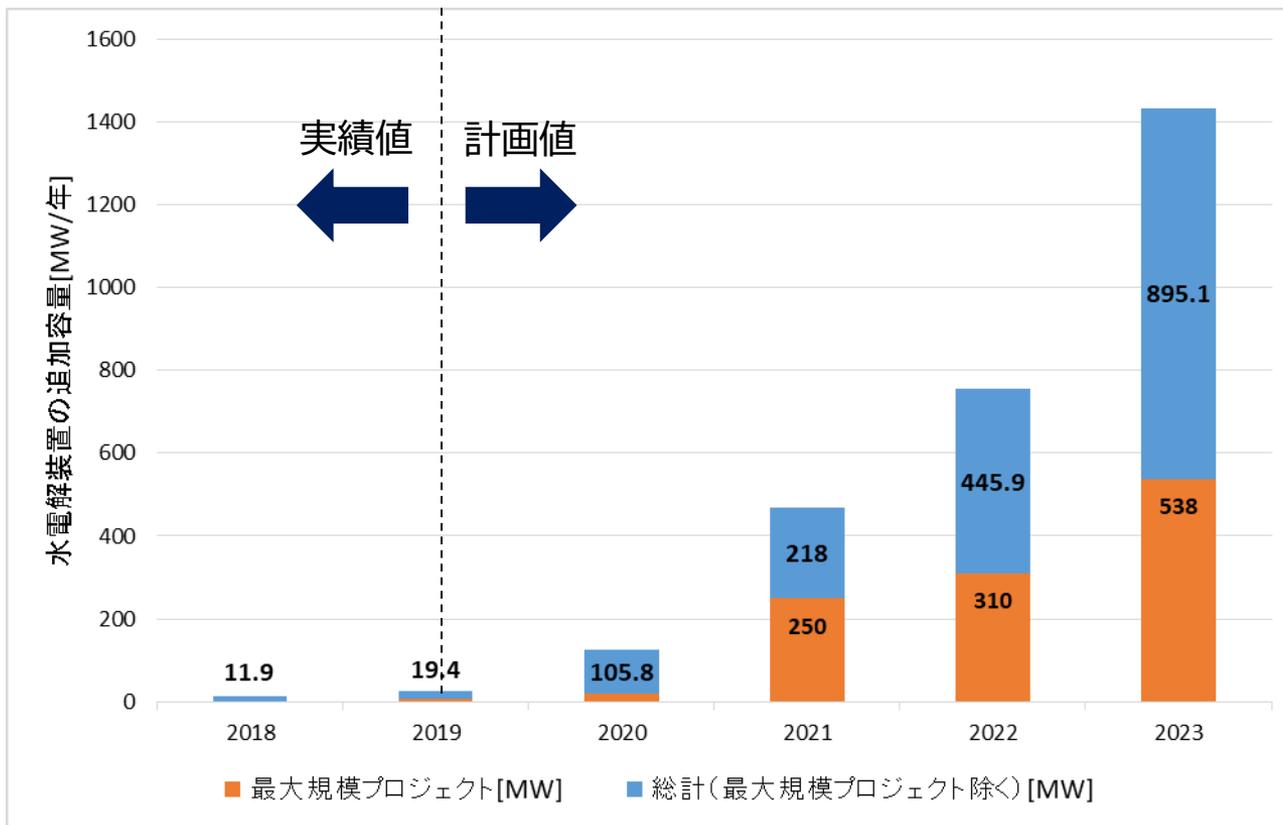
電解質膜をアニオン交換形とした装置であり、アルカリ形とPEM形の間の子のような装置といえる。特にPEM形と比べて貴金属触媒の利用量を低減できる点から近年注目されている。現状アルカリ・PEMに比べ技術的成熟度は低く、電解質膜の耐久性に改善の余地が残されている。

世界市場のトレンドとその特徴

世界の水電解装置の導入量(実績・短期動向)

- 世界の水電解装置の導入量は近年増加傾向にある。2020年以降、急速に拡大する見通し。
- 2023年には年間で1GWを上回る量の電解装置が導入される予定。
- プロジェクトあたりの水電解装置も拡大傾向にあり、数百MW規模の水電解装置の導入が2021年以降毎年計画されている。

世界の水電解装置の年間導入量



出典:IEA

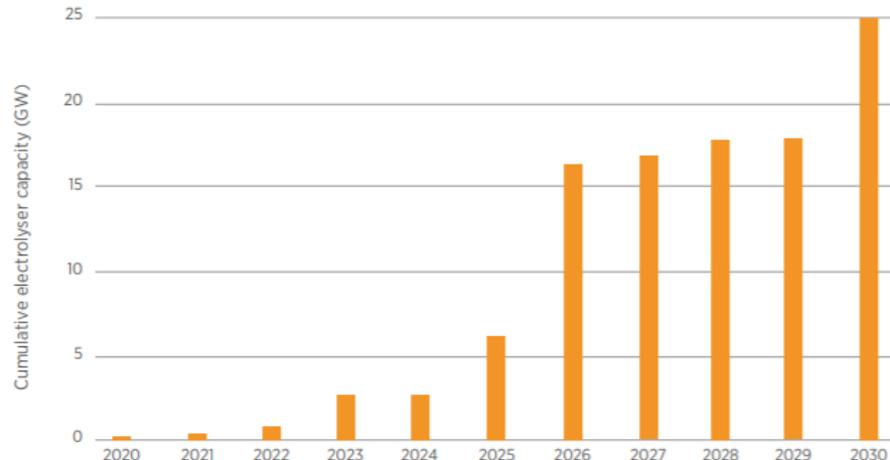
世界の水電解装置の導入量見通し(中長期)

- 現在までに発表されているプロジェクトに基づく2030年までに25GWの電解装置がグローバルで導入予定。
- 一方IRENAによれば、脱炭素化に向けたシナリオ(Transforming Energy Scenario)では将来的にTWスケールの水電解装置が導入されることも必要とされている。
- 2050年に累計でTWスケールの電解装置導入に至るには、2030年以降大きく年間導入量を拡大する必要に迫られる。その際には数十-数百GW/年といったきわめて大規模な導入が必要となるとしている。

水電解導入量の世界的な見通し(IRENA)

2030年までの電解装置導入見通し(発表に基づく)

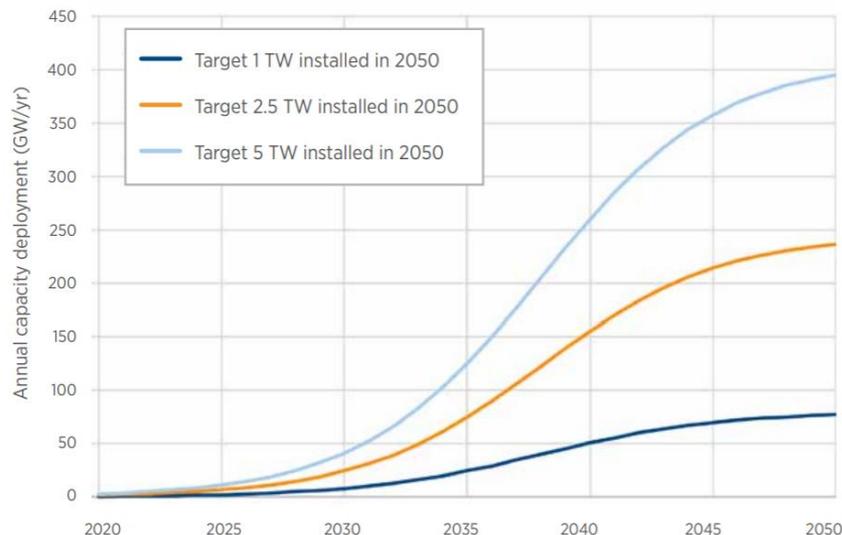
- ✓ 2030年には累計で25GWが導入される見通し。



出典:IRENA“Green Hydrogen Cost Reduction”
(数値はIEA ETPIに基づく)

将来の電解装置TWスケール導入シナリオ下での年間導入量の試算例(IRENA)

- ✓ 2030年以降数十-数百GW/年導入が必要とされる。



大型電解装置のプロジェクト動向(IEA)

- IEAデータベース(2020年版)では、100MW以上の電解装置導入計画は以下の通り。
- 電解装置種類はおよそ半分がアルカリ。用途は工業用が大半。記載の公開情報は全て欧州(スケールアップ込み)。

プロジェクト	国(サイト)	開始予定年	電解種類	電解出力[MW]	製造品	水素用途	備考(追記)
その他プロジェクト(非公開)	-	-	PEM	10000	-	モビリティ 化学	Siemensらのドイツ AquaVentusPJ? (2035年10GW予定)
その他プロジェクト(非公開)	-	-	PEM	5000	-	-	Siemensの豪州PJ?
その他プロジェクト(非公開)	-	-	ALK	310	-	モビリティ 化学	Thyssenkruppの パラグアイPJ? (2022年運転予定)
その他プロジェクト(非公開)	-	-	ALK	120	-	地域熱	
その他プロジェクト(非公開)	-	-	ALK	100	-	工業用 メタネーション	
その他プロジェクト(非公開)	-	-	ALK	100	-	発電	
その他プロジェクト(非公開)	-	-	ALK	100	-	-	
SilverFrog	イタリア	2030	PEM (Hydrogenics)	(100)	H2	モビリティ ガス管注入 工業用	年2GWの製造ハブ建設 将来500MW×20サイト 100MWの情報なし
HYBRIT demo	スウェーデン	2025	ALK (Nel)	(100)	H2	工業用	2024年に4.5MW導入 100MWの情報なし
Multhiphly	オランダ	2024	SOEC (Sunfire)	(100)	合成 炭化水素	工業用	2024年に3MW導入。 将来100MWに拡充の 可能性
GreenHydroChem Central German Chemical Triangle	ドイツ	2024	PEM (Siemens)	(100)	H2	発電 工業用	プロジェクトでは50MW。 将来100MWに拡充の 可能性

最近のGW級プロジェクトの動向(再エネ資源国への注目の高まり)

- 水電解水素製造コストは電力価格に大きく依存。再エネ資源国で水素製造プロジェクト計画が相次ぎ発表。
- 水素は肥料やアンモニア製造の原料利用やモビリティ用燃料として利用されるほか、輸出も視野。

水素製造コストの前提

電解装置CAPEX: \$450/kW

効率: 74% (LHV)

再エネ

太陽光CAPEX: \$400-

1000/kW

風力(Onshore)

CAPEX: \$900-2500/kW

※地域依存

割引率8%

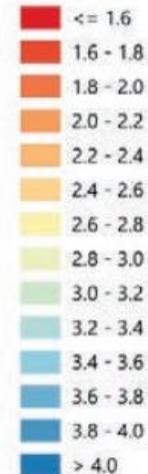
世界の再エネ(太陽光+風力)由来水素の製造コスト見通し(IEA)と最近の世界のグリーン水素製造プロジェクト(not exhaust)

【サウジアラビア】

Thyssenkrupp(独)らが2020年7月に4GWの太陽光・風力からのグリーン水素製造プラント(650t/日の生産能力)建設計画発表。

再生可能エネルギーからの水素製造コスト
(赤に近いほど低コスト)

USD/kgH₂



【チリ】

2019年発表のEngie(仏)とEnaex(チリ)による「HyEx」イニシアチブでは1GWの太陽光からのグリーン水素製造プラント(6万2千t/年の生産能力)を目標としたFSを実施中。

【北海(ドイツ、オランダ)】

ドイツでは47機関からなるAquaVentusコンソーシアムが洋上風力からの水素製造のため2030年までに5GW、2035年までに10GW電解装置導入を計画。オランダではShellやGasunieらが参画するNorH2で洋上風力を2030年までに4GW導入、GW級電解装置で100万トン水素製造する計画。

【オーストラリア】

2019年10月にSiemens(独)が西オーストラリアで5GWの太陽光・風力からの低コストグリーン水素プラント建設計画を発表。

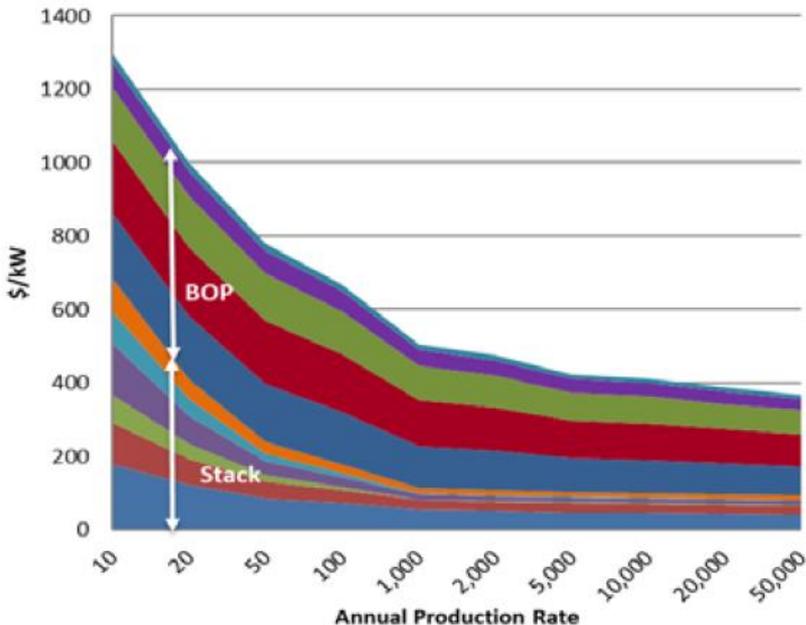
出典: IEA “The Future of Hydrogen”、各種公開情報をもとに作成

コスト低減に向けたアプローチ(電解装置の製造量拡大)

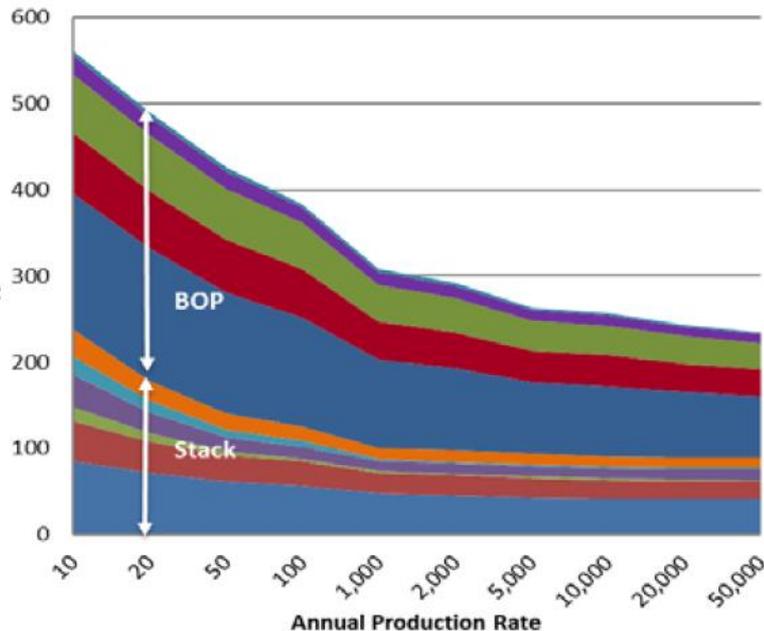
- 現状水電解装置の導入量は限定的だが、今後の大量導入時には、装置の量産によるコスト低減が期待できる。
- 米国のNRELによる、PEM形水電解を対象とした出力規模別の製造コスト調査結果は以下の通り。
- **スタック・補機(BOP)ともに出力規模の拡大・製造量の拡大による大きなCAPEX低減効果が期待可能である。**
- 大量製造ケースでは、MEAをはじめ製造ラインの自動化を実施できることから大きくコストを下げる事が出来る。
(下図の試算例では1000ユニット/年の製造規模で自動化を導入可能としている)
- **電解装置の大型化・大量製造技術の開発は、低コスト化に向けて重要な要素と考えられる。**

電解装置の大量製造によるコスト低減効果の試算例

PEM形200kWシステム



PEM形1MWシステム



凡例

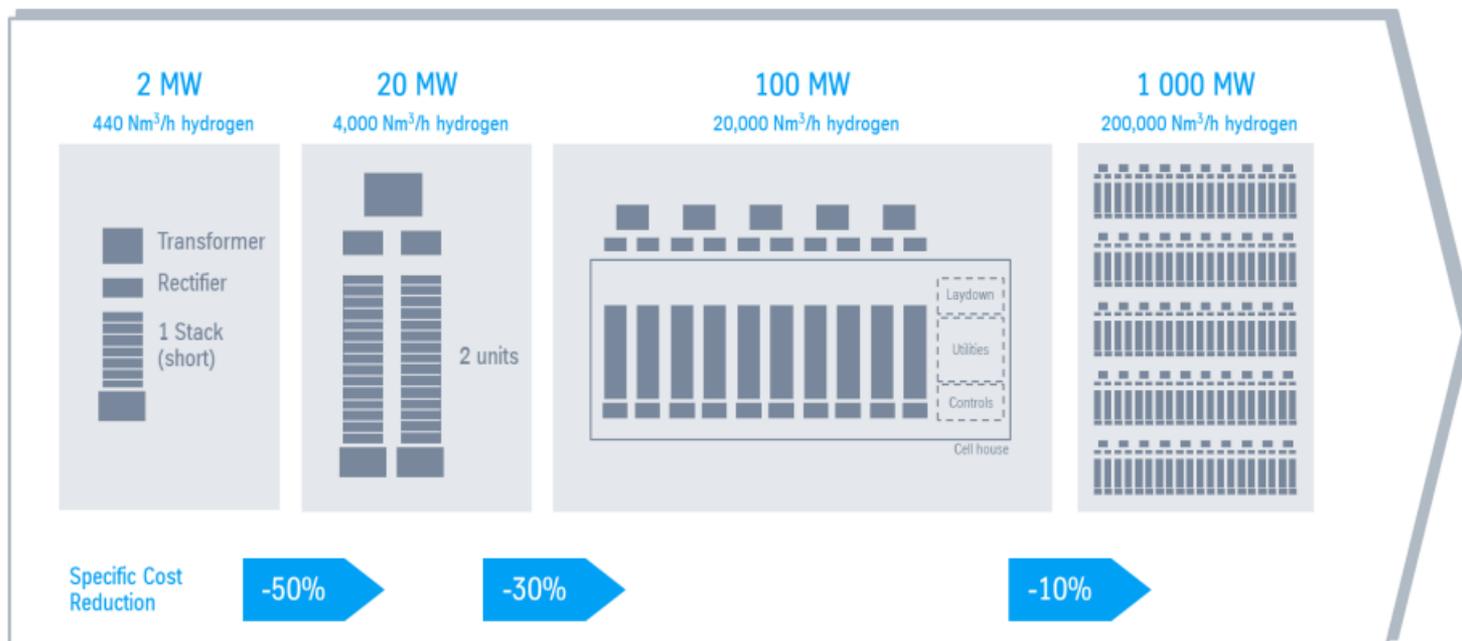
- その他
- 冷却系
- 水素処理
- 水循環系
- パウエレ
- 補機 (スタック)
- エンドプレート
- BPP
- フレーム
- PTL
- CCM

出典 : Ahmad Mayyas (NREL) et al, "Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers"

参考:モジュール化+スケールアップによるコストダウン戦略の例

- Thyssenkruppは€2/kgという水素製造コスト(工業用での受容レベル)を目指して、数MW級のスタックを基本単位として周辺機器と組み合わせたモジュールを構成、それを連ねて数百MW級以上の大規模な水素製造装置としている。
- モジュール数を増加させて水素製造能力を増強することで、コストダウンにつなげる計画を打ち出している。

Thyssenkruppのモジュール化+スケールアップによるコストダウン戦略

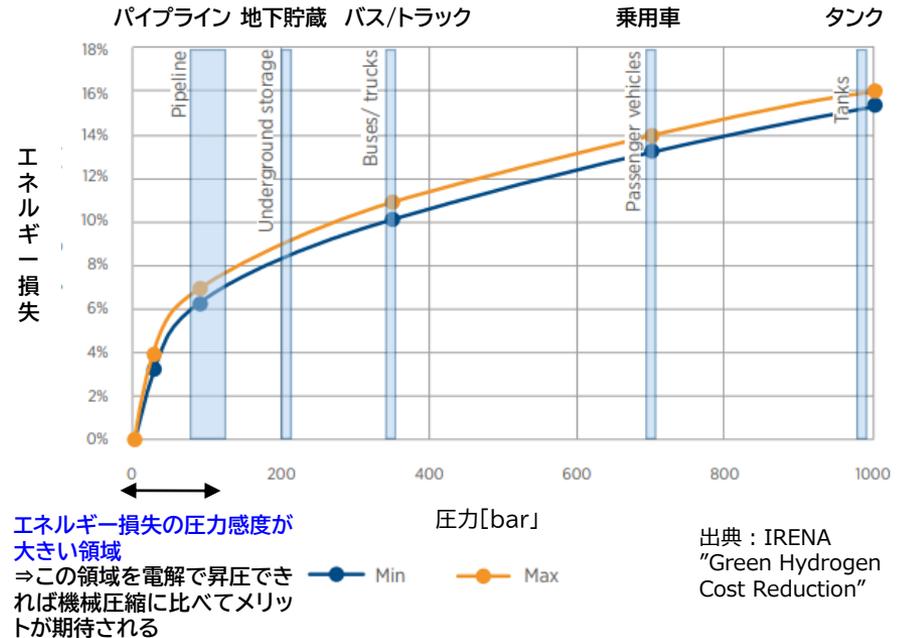
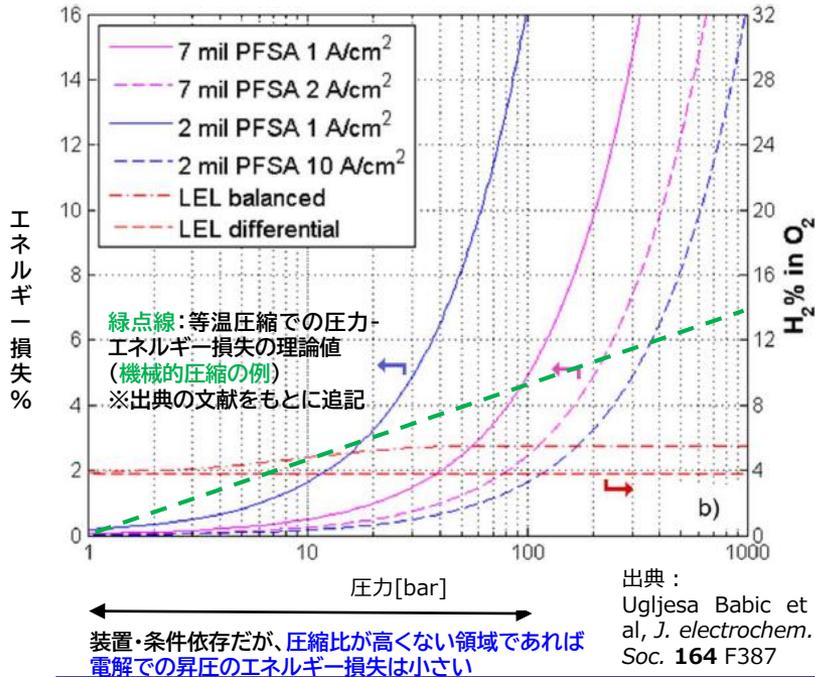


出典:Tristan Kretschmer(Thyssenkrupp)“ thyssenkrupp Alkaline Water Electrolysis -Hydrogen technology

水電解装置での水素昇圧について

- 水電解時の水素昇圧は後段の圧縮プロセスの負荷を軽減でき、設備やプロセスも簡略化可能などのメリットがある。
- 一方で、昇圧は以下のような新たな課題を伴う。そのため、水電解装置での昇圧にはトレードオフが存在。
 - 機器の加圧対応が必要となること(コスト面の課題)
 - 加圧に伴いクロスリークガス量が増加する(安全性や効率面の課題)
- 特に大型の電解装置で高圧まで昇圧すると設備側で大きなコスト増を招くおそれがある。また圧縮機は設備の大型化によってコスト面でのスケールメリットを得られやすいとされる。
- コンパクトな装置で低圧領域の昇圧をする場合、電解時昇圧は機械圧縮に対しメリットが得られやすいと考えられる。

PEM水電解での昇圧に伴うエネルギー損失と圧力の関係 圧縮機での昇圧に伴うエネルギー損失と(用途別)圧力の関係



海外企業・国内企業の動向

主要電解装置メーカーの最近の動向(アルカリ形水電解)

メーカー	最近の主なプロジェクト・納入動向	最近の生産能力・製品動向
Nel (ノルウェー)	<ul style="list-style-type: none"> ●デンマークのFredericiaでEverfuelと20MWの電解装置でグリーン水素をShellの製油所に導入。2022年運転開始。将来GW級に拡大を検討。 ●2021年6月にスウェーデンの製鉄業者Ovakoの製鉄グリーン化のため17MWの電解槽を納入する契約を締結。 ●2021年7月にオランダ「PosHYDon」プロジェクトで、洋上風力設備上で水電解を行うための1MWの電解槽導入を発表。海上プラットフォームを活用し、海水を原料に水素製造する。水素は天然ガスと混合してパイプライン輸送。 ●2021年9月にイギリスで、家庭用の熱供給を目的にイギリスのガス事業者SGNへ5MWの電解装置を導入する契約を締結。洋上風力・系統からの電力で製造した水素を最大2100kg/day供給する。300戸に供給。 	<ul style="list-style-type: none"> ●ノルウェーの工場の製造能力を2GW/年と拡充する計画。 ●2021年のIR資料で、これまでの2MWのスタックから、さらにコンパクト・高出力なスタックを開発中とする。(20MW、2スタック)
Thyssenkrupp (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年2月にデュイスブルグでSteagと500MWの電解槽を導入して製鉄グリーン化を図る計画を発表。 ●2021年9月にUAEのHeliosから同国初のグリーン水素・グリーンアンモニア製造プラントを受注したことを発表。2万t/年のアンモニア製造を行う。 ●2021年9月にドイツのルール地方で、RWE、Evonikらと共同でグリーン水素へのエネルギー転換を同地域で行う計画を発表。 	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年6月に年間1GWに電解槽生産能力を拡充することを発表。
McPhy (フランス/イタリア)	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年9月にフランス領ギアナで16MWの電解装置がオフグリッド電力供給用に採用されたことを発表。 	<ul style="list-style-type: none"> ●年間1GWの製造能力を持つ工場を2024年前半までに稼働する計画を2021年6月に発表。IPCEIからの補助を想定。
PERIC (中国)	—	<ul style="list-style-type: none"> ●ABB(大手重工メーカー、水電解関連では整流器を手掛ける)との協力を発表。

主要電解装置メーカーの最近の動向(PEM形水電解)

メーカー	最近の主なプロジェクト・納入動向	最近の生産能力・製品動向
Cummins (カナダ)	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年7月にShevronと覚書を締結、燃料電池関連の協力の他、Shevronの製油所への電解装置導入の検討で協力を発表。 	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年5月、スペインをGW工場の生産地を選択。Iberdrolaとも協力。 ●2021年7月DOEプロジェクトで、SOEC自動生産技術開発に取り組むことを発表。
Siemens (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年7月にヴンジーデルに8.75MWと現状ドイツ最大級の電解槽の導入を発表。水素は系統安定化に寄与するとともに、トレーラー輸送されトラックやバスの燃料として利用。 ●ドイツBMBFから1億ユーロの支援を受け、「H2Mare」プロジェクトで洋上風力発電から海上で水素を製造する実証に取り組む。使用形態に最適な電解装置を開発するとともに、メタン、メタノール、アンモニアなど、輸送が容易な合成エネルギー担体および燃料への変換を促進。 ●2021年8月にAir Liquideと協力してドイツのオーバーハウゼンで30MWの電解槽を導入計画を発表。 ●2021年8月にテキサス州でMMEX ResourcesとSilyzer300による大規模グリーン水素製造に関する調査のための覚書を締結。 ●2021年8月にエジプトのEgyptianElectricityと200MWの電解槽開発に関する覚書を締結。グリーン水素輸出も視野。 	<p>— (準備は進めているとのことだが詳細不明)</p>
ITM Power (イギリス)	<ul style="list-style-type: none"> ●2021年7月に東京ガス・住友商事への電解槽納入・共同実証を発表。 ●2021年9月にEUプロジェクト「OYSTER」で英国ハンバーで洋上風力と合わせたMW級のオフショア水素製造の実証を発表。 	<ul style="list-style-type: none"> ●Gigastackプロジェクトで1GW/年の工場を製造計画。スケールアップ計画あり。
Nel (アメリカ)	<ul style="list-style-type: none"> ●DOEプロジェクトで、1.25MWの装置を原子力発電プラント向けに導入。水素は冷却用で、原子力発電の柔軟な運用に利用。装置は260万ドル。 ●2021年6月にスペインの電力事業者Iberdrolaに20MWの電解槽を納入する契約を締結。100MWの太陽光発電と合わせアンモニアを製造。 	<p>—</p>

Thyssenkruppの最近の大型水電解装置導入計画

- 2023年には同社の数十MW級の装置がドイツ、中東、カナダ、米国など複数地域で運転開始予定。
- その後2025年には同サイトでのスケールアップを含め、数百MW～数GWの装置が運転開始予定。

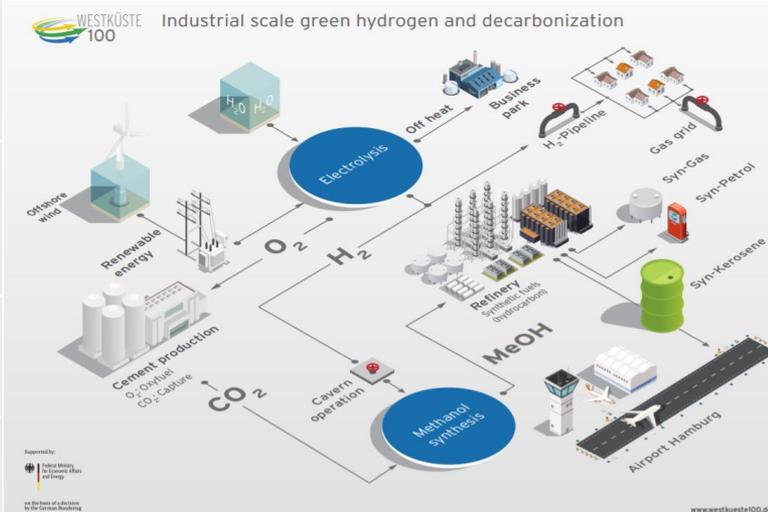
導入プロジェクト ・企業(国)	概要	電解出力	電解槽導入計画	パートナー
Westküste 100 (ドイツ)	洋上風力の電力から水素を製造、製油所での利用の他、パイプラインで輸送しセメント工場由来CO2と合わせて合成メタノール・燃料を製造。水素はモビリティ・熱供給でも利用。	30MW ⇒700MW	2020年8月にBMWに採択、5年プロジェクトが開始。 2023年運転開始予定。 (2025年以降のプロジェクト第2フェーズで700MWへ拡大計画)	・Ørsted(電力) ・Hynamics(電力) ・Raffinerie Heide(リファイナー) ・Holcim(セメント)等
CF Industries (米ルイジアナ州)	系統から調達したグリーン電力でアンモニアを年2万トン製造、既存アンモニアプラントをグリーンへ転換。	20MW	2023年運転開始予定。 (2021年後半建設開始)	・CF Industries(肥料)
Hydro-Quebec (カナダ)	水力由来のグリーン水素と廃棄物を原料にメタノール・エタノール、DMEなどの燃料を製造。	88MW	2023年後半試運転開始予定。	・Hydro-Quebec(電力)
Element 1 (サウジアラビア)	太陽光・風力の電力からグリーン水素を製造。 (下のHELIOSの第1フェーズ)	20MW	2023年運転開始予定。	・NEOM(産業都市)
HELIOS (サウジアラビア)	太陽光・風力の電力からグリーン水素を製造し、キャリアとしてアンモニアを製造、国外へ輸送後FCバス・トラックへ供給。	数GW級 (650t/日)	2025年運転開始。	・Acwa Power(電力) ・Air Products(産業ガス) ・NEOM(産業都市)
HydrOxy Walsum (ドイツ)	高炉を1基水素還元製鉄に転換。系統・太陽光由来グリーン水素を利用。	500MW	2025年運転開始予定。 (2023年に投資決定)	・Steag(エネルギー)

出典:各種公開情報をもとに作成

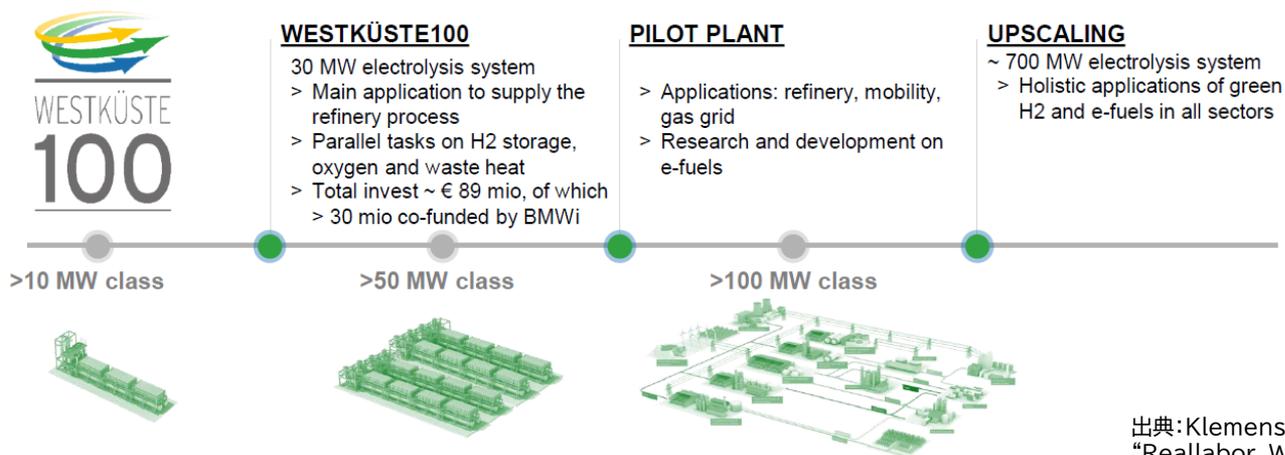
参考:スケールアップ計画を含むプロジェクト例(ドイツ「Westküste 100」)

プロジェクトの概要・スケールアップ計画

Step1 概要	<ul style="list-style-type: none"> ・洋上風力と30MWのアルカリ電解による水素製造 ・システムの運用、保守、制御、およびグリッドの保守性の実証 ・ドイツ Heide製油所の既存プロセスへのグリーン水素統合 ・水素貯蔵、酸素・熱の活用も検証
Step2 概要	<ul style="list-style-type: none"> ・700MWに電解装置をスケールアップ ・航空機用の代替燃料の生産 ・新設の水素パイプラインを介しHeide市の公益事業に輸送、天然ガスネットワークへの一部水素混合
支援	<ul style="list-style-type: none"> ・連邦経済・エネルギー省(BMWi)の「Reallabor」(新技術による地域の産業規模のエネルギー転換を主眼としたプログラム)の助成3000万€を受けて2020年8月より実施。
サイト 特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・380kV高压電線・変電所が至近に存在 ・製油所での水素需要、水素貯蔵に適した岩塩ドームの存在 ・(燃料需要地の)ハンブルグ空港が付近に存在



出典: Westküste 100 HP

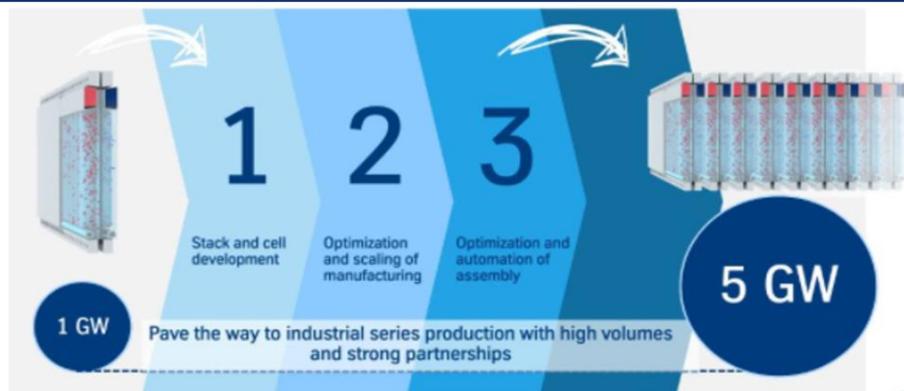


出典: Klemens Kaar(Ørsted)
“Reallabor Westküste 100”

Thyssenkruppの水電解装置大型化のロードマップ

スケールアップの計画

- ✓ 現在最新の製品は出力20MW。
- ✓ 2021年6月には1GW/年へと水電解装置生産能力を拡大する計画を発表していたが、10月には生産規模を5GW/年へとさらに拡大させる計画を発表。



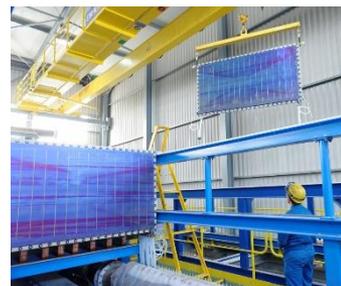
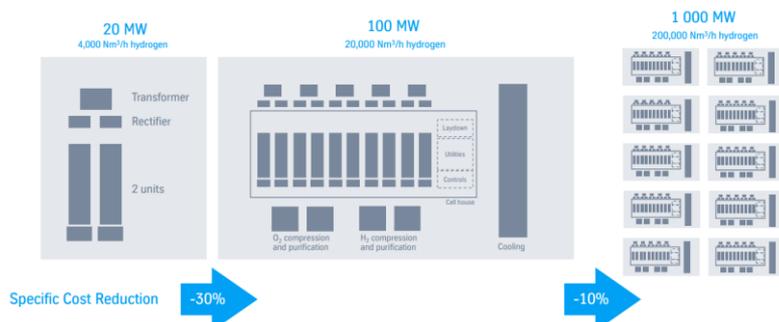
GWスケールを実現する手段

①標準化・モジュール化

- ✓ 標準化された20MWモジュールを提供。
- ✓ プラントモデリングツールの活用によるコストの最適化

②量産技術の開発

- ✓ ドイツ連邦教育・研究省の電解装置量産技術開発プロジェクト「H2Giga」に参画。次世代電解スタックを開発するとともに、連続生産のための自動化・ロボティクス技術を開発。



出典: Thyssenkrupp社
プレスリリース

出典: Christoph Noeres (Thyssenkrupp) "Why the Industrial Sector is No.1 Driver to Scale-up of Green Hydrogen Today"

Siemensの最近の大型水電解装置導入計画

- 2024年頃までに数MW～数百MWの装置複数運転開始予定、再エネ適地ではGW級の導入計画発表済。
- 特にSAF・e-fuelなど合成燃料製造用の原料としての水素活用にも積極的に取り組む傾向。

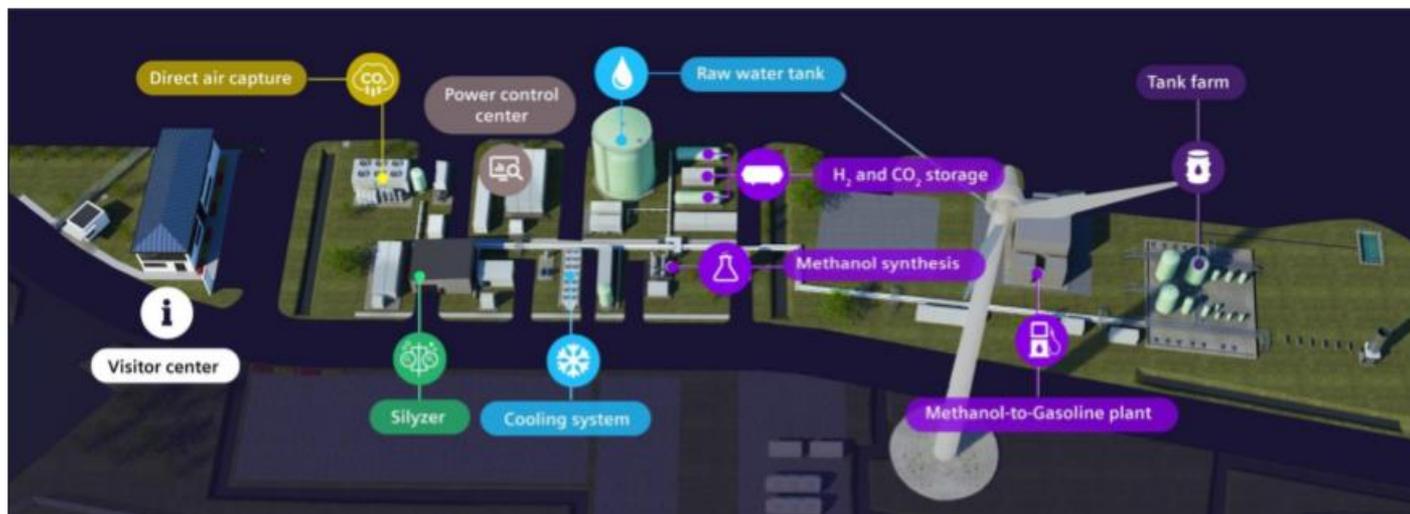
導入プロジェクト(国)	概要	電解出力	電解槽導入計画	パートナー
WUN H2 (ドイツ)	ドイツ最大級の電解槽の導入を発表。系統安定化に寄与すると共に、水素はトレーラー輸送、トラック・バスの燃料として利用。	8.75MW (最大1350tH ₂ /年)	2021年7月に建設開始、 2021年末試運転予定。	・WUN H2 (地元のシュタットベルケ等との 合併会社)
プロジェクト名不明 (UAE)	SAF、乗用車・バス向け水素、船舶用燃料を製造するためのグリーン水素を20MWの太陽光から電解で製造。将来のスケールアップも検討。	不明 (最大1000tH ₂ /年)	2022年までにプラント 建設予定。	・Masdar(エネルギー) ・丸紅(商社) ・Lufthansa(航空) ・Etihad Airways(航空) 等
プロジェクト名不明 (ドイツBMWifaンド)	ドイツNRW州のOberhausenで30MWの電解槽導入計画を発表。Air Liquideの既設水素・酸素パイプラインに電解装置を統合、産業分野、ほかモビリティ向けに水素供給。	30MW	2023年初頭までに20MWの電解装置を稼働、その後30MWに拡張予定。	・Air Liquide(産業ガス)
FlagshipOne (スウェーデン)	北東部Örnsköldsvikで排ガス由来のCO ₂ とグリーン水素からe-メタノールを製造する、産業・輸送部門で利用。	70MW	電解装置導入時期不明。 2024年からe-メタノールを生産予定。	・LiquidWind(e-fuel) ・Alfa Laval(機械) ・Carbon Clean(CO ₂ 回収) ・Falkor(投資) ・Haldor Topsoe(化学) ・Uniper(電力)
Haru Oni (チリ)	チリで風力由来グリーン水素からe-fuel(自動車、航空機、船)を大規模製造。2026年までにe-fuelを5.5億L/年製造する計画。	175MW ⇒～2GW	2022年パイロットフェーズで1.25MW 2024年までに175MW 2026年までに～2GW	・Porche(自動車) ・Enel(電力) ・ExonMobile(石油) 等
Murchison Renewable Hydrogen (豪州)	太陽光・風力発ハイブリッドの5GWの再エネより国内利用・輸出用のグリーン水素を生産。国内ではモビリティ・ガス管注入で利用。	約4GW	2030年までに最大38.5万t/年水素製造。	・Hydrogen Renewables Australia(再エネ) ・Copenhagen Infrastructure Partners(投資)

参考:スケールアップ計画を含むプロジェクト例(チリ「Haru Oni」)

- 風況の良い(稼働率最大70%)のチリで風力由来グリーン水素から液体燃料を製造、ヨーロッパへの輸出を計画。

プロジェクトの概要・スケールアップ計画

計画	燃料・用途	風力出力	電解出力	E-fuel製造量	CO2削減量
パイロットフェーズ (2022年まで)	・自動車用e-fuel (ポルシェ向け)	3.4MW	1.25MW	13万t/年 (+350t/年の メタノール)	~900t/年
フェーズ1 (2024年まで)	・自動車用e-fuel ・航空機用e-ケロシン ・船舶用e-メタノール	280MW	175MW	55万t/年	~15万t/年
フェーズ2 (2026年まで)	・自動車用e-fuel ・航空機用e-ケロシン ・船舶用e-メタノール	~2.5GW	~2GW	~5.5億t/年	~170万t/年



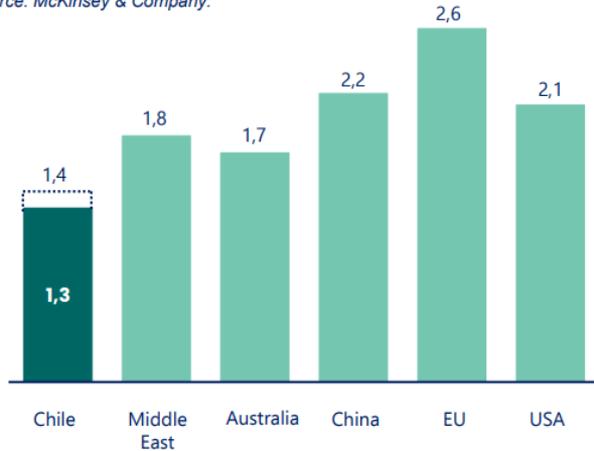
出典: Alexander Tremel
(Siemens Energy)
“E-fuels as opportunity
to transport Chile’s
wind to Europe”
をもとに作成

参考:チリの水素戦略

- チリは世界屈指の安価なグリーン水素製造が可能な地域として、2030年の製造コストを\$1.3-1.4/kgと推計、日本着コストが\$2.5/kgとする。2025年迄に電解装置5GW・水素20万トン製造、2030年には25GW導入が目標。
- ドイツ政府、欧州企業(Siemens)と共同でグリーンメタノール製造をHaru Oniで開始することを発表。

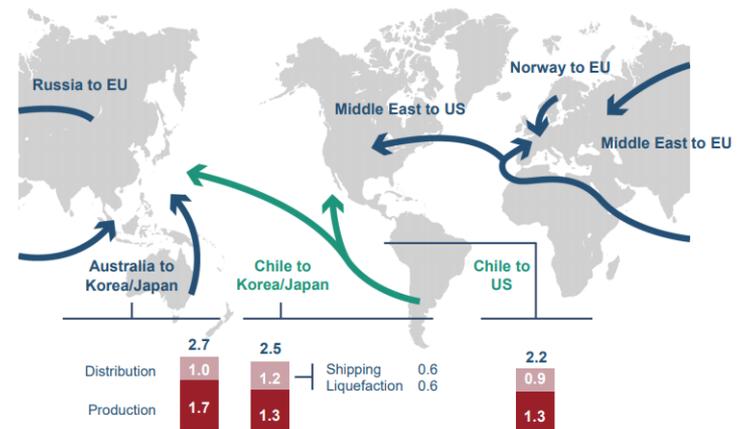
Levelized cost of production by 2030 (USD/kg H₂)

Source: McKinsey & Company.



Cost of liquid H₂ at port of destination, 2030 (USD/kg H₂)

(Source: McKinsey & Co)



2025

- 5 BUSD: Top destination for green hydrogen investment in LATAM
- 5 GW: Electrolysis capacity operating and under development
- 200 kton/year: Production in at least 2 hydrogen valleys in Chile

Leaders in export of green hydrogen and derivatives

The cheapest green hydrogen on the planet

Leaders in production of green hydrogen via electrolysis

2.5 BUSD/year

<1.5 USD/kg

25 GW

2030

Haru Oni Plant

Developer

Key Partners

Location

Magallanes region

Export to Germany

Pilot phase until

2022

~130,000 liters e-fuel per year

1st phase until

2024

~55 million liters e-fuel per year

2nd phase until

2026

~550 million liters e-fuel per year

出典: "The National Green Hydrogen Strategy of Chile"

Siemensの水電解装置大型化のロードマップ

スケールアップの計画

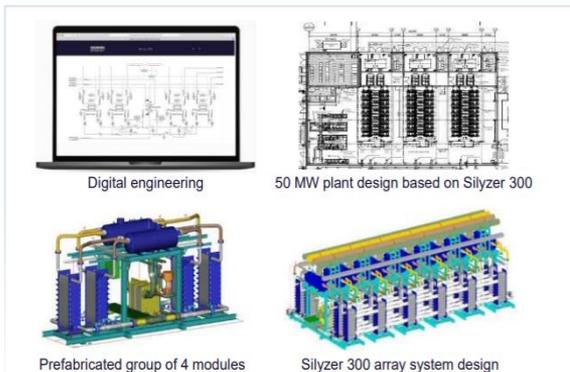
- ✓ 現在最新の製品は2018年の「Silyzer 300」。(出力17.5MW、水素製造335kg/h)
- ✓ 2023年以降に、Silyzer 300の製造プラントを構築。
- ✓ 2028年以降、より大型の電解装置に対応したプラントを計画、GWスケールへ。



GWスケールを実現する手段

①標準化・モジュール化

- ✓ プラント設計の標準化・モジュール化
- ✓ デジタルエンジニアリングツールの活用



②量産技術の開発

- ✓ 数GWの生産規模への柔軟な拡張を見据えたGigafactory構築（自動化かつ高品質の実現）
- ✓ ドイツ連邦教育・研究省の電解装置量産技術開発プロジェクト「H2Giga」に参画。



出典: Armin Schnettler (Siemens energy)
“New Energy Business Large-scale PEM Electrolysis for Industrial Applications”

参考:その他のSiemensの最近の大型水電解装置導入計画

- その他、導入時期等は不明だが、企業間で覚書が締結されている数十MW～数百MWの装置導入計画も複数存在。

導入プロジェクト ・企業(国)	概要	電解出力	電解槽導入計画	パートナー
MMEX Resources (米テキサス州)	2021年8月にSilyzer300による大規模グリーン水素製造に関する調査のための覚書を締結。	17.5MW	不明(FEED段階)	MMEX Resources (エネルギー)
BASF (ドイツ)	Ludwigshafenのプラント低炭素化に向けグリーン水素導入を計画。	50MW	不明	BASF(化学)
Egyptian Electricity (エジプト)	パイロットプロジェクトの開発を検討中。	100-200MW	不明	Egyptian Electricity(電力)

ITM Powerの最近の大型水電解装置導入計画

- 現在製油所で10MWのPEM電解装置を運転中。その後、2023年にかけて数十MWの装置を複数運転開始、さらにFCHJUプロジェクト「REFHYNE」のスケールアップの計画あり。

導入プロジェクト(国)	概要	電解出力	電解槽導入計画	パートナー
Refhyne (ドイツ、FCHJUプロジェクト)	ラインランド州のShellの製油所でグリーン水素をグリーン水素へ転換。2021年運転開始。 プロジェクトは2022年完了するが、後続プロジェクトで100MWへスケールアップし、バイオマスと再生エネルギーからのSAF生産を予定。	10MW ⇒100MW	2021年7月に運転開始、	<ul style="list-style-type: none"> •Shell(石油) •SINTEF(研究機関) •sphere(コンサル) •elementenergy(コンサル)
プロジェクト名不明 (ドイツ、連邦政府・ザクセンアンハルト州プロジェクト)	Lindeの保有するLeunaの化学プラントに電解装置を導入。Lindeとの合弁会社で運営、パイプラインを通じて産業顧客に水素を供給する。液化グリーン水素をモビリティ向けにも供給する。 電力は当初認証+系統でみなし再生エネルギーとするが、太陽光・風力に徐々に転換する。	24MW	2022年後半に運転開始予定。	<ul style="list-style-type: none"> •Linde(産業ガス)
プロジェクト名不明 (イギリス)	イギリス最大の陸上風力発電所Whitelee(539MW)近傍の変電所に太陽光発電(20MW)・蓄電池(最大50MW)とともに電解装置を導入、8t/日のグリーン水素を製造する計画。水素はモビリティ・産業用に供給予定。計画実施は21年秋に正式決定予定。	20MW	2023年より前に運転開始予定。	<ul style="list-style-type: none"> •BOC(産業ガス) •ScottishPower(電力)

出典:各種公開情報をもとに作成

ITM Powerのスケールアップ計画(Gigastackプロジェクト)

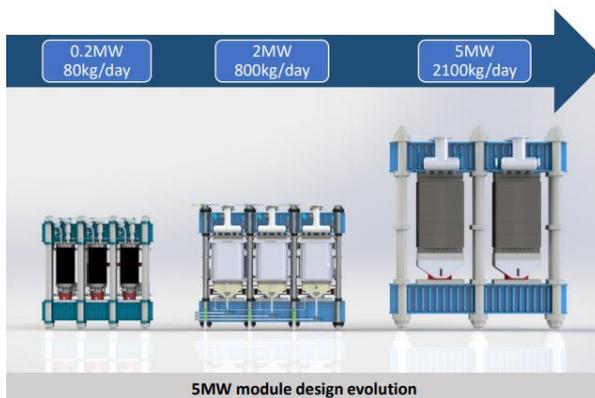
- ITM Powerは2020年にGigastackプロジェクトで£400/kWを実現する5MW級の次世代スタックの設計を完了、従来のスタックから4割のコストダウンを実現できるとする。これはFCHJUの2030年目標を上回る水準である。
- 補機、膜なども改善して性能の向上も図っている。(下表)
- 同社は2025年までに「Gigafactory」において年産1GWの半自動スタック製造を実施する計画を立てていた。2021年にGigafactoryでの製造開始を発表。

FCH 2 JU Multi-Year Annual Work Plan Targets		State of the Art (2017)	2020	2024	2030	Gigastack
KPI1	Electricity Consumption @ Nominal Capacity (kWh/kg)	58	55	52	50	54
KPI2	Capital Cost (£/kW) ¹	1,090	820	640	450	300-400
KPI3	Degradation (%/1,000hrs)	0.25	0.19	0.125	0.12	0.09
KPI4	Hot Idle Ramp Time (s)	10	2	1	1	<1
KPI5	Cold Start Ramp Time (s)	120	30	10	10	<30

1: Assuming €1.10/£

KP4 & KP5 shall be considered as optional targets to be fulfilled according to the profitability of the services brought to the grids thanks to the addition of flexibility and/or reactivity (considering also potential degradation of the efficiency and lifetime duration).

出典：Element energy "Gigastack Bulk Supply of Renewable Hydrogen"



出典：ITM Power HP

Plug PowerのPEM形水電解装置に関する取り組み

- Plug Powerは2020年にPEM形電解装置メーカーのGinerを買収、水電解装置も積極的に展開。
- 米国では水力発電から10t/dayの水素製造(Brookfield)、ウインドファームから30t/dayの水素製造(Apex)などの計画を発表。2024年までにグリーン水素を米国に渡り5箇所以上整備、100t/dayの規模とするとしている。
- 9月にカリフォルニア州で120MWの電解装置による30t/dayの水素製造プラントの建設計画を発表。

Plug PowerのPEM形電解装置と米国でのグリーン水素プラント計画



50 kW: 65 kg/day H₂

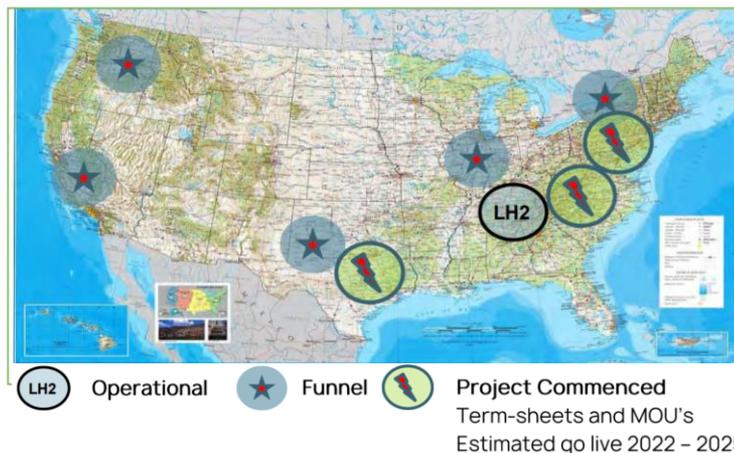
10, 20 or 30 Ft containers
Integrating 1, 2, or 3 Merrimack Stacks
Power conditioning AC / DC
Water Purification Unit
Gas Separation & Gas Purification



1 MW: 450 kg/day H₂

40 ft container
Integrating 1 - 2 MW Stacks
Power conditioning AC / DC
Water Purification Unit
Gas Separation & Gas Purification

Green Hydrogen Network Development



欧州への進出: DUWAALプロジェクト

- ✓ オランダで風力発電設備から直接電力を調達
- ✓ 需要地までの約600マイルを水素パイプラインで輸送(輸送費€0.15/kg)
- ✓ 水素製造コストは€2.5/kg輸送と合わせて<€3/kgでモビリティ・工業に提供可能とする



出典: Plug Power IR資料

SOEC主要メーカー(独Sunfire社)の諸元・目標と想定市場

- SOEC技術は水電解の他、CO2を原料に化学品・燃料原料となる合成ガス製造(共電解)にも適用可能。
- 先行する独Sunfire社は双方に取り組む。同社は水素製造では2030年に効率88%、水素コスト€2/kgを目指す。
- 有力な市場として、特にe-fuel(航空・船舶燃料むけに合成ガス製造)、製鉄・製油(水素製造)などを想定。

独Sunfire社が開発するSOECの諸元・目標

製品名	HyLink	SynLink	目標	2020	2025	2030
生産物	水素	合成ガス(一酸化炭素+水素)	効率 (HyLink)	84%	86%	88%
効率	84% (3.6kWh/Nm3)	82% (3.85kWh/Nm3)	効率 (SynLink)	82%	84%	86%
製造量	750Nm3/h	750Nm3/h	寿命	4万時間	6万時間	8万時間
その他	水素純度99.99vol%	H2/CO=1.5-3.5	水素コスト	€5/kg	€2.3/kg	€2/kg
想定市場	・製鉄 ・製油所 など	・e-fuel ・化学品 など				

出典: Oliver Posdziech "PRODUCTION OF RENEWABLE HYDROGEN AND SYNGAS VIA HIGH-TEMPERATURE ELECTROLYSIS" をもとに作成

独Sunfire社の想定するSOECの市場



参考:その他SOECに関する最近の動向(海外動向)

- 近年海外では、SOFCを開発してきた企業がSOECの開発計画を相次いで発表。
- SOFCの主要メーカーのBloom EnergyもSOECへ参入、2022年以降に製品提供予定。船舶燃料や工業プロセスでの水素利用に向けてグリーン水素を製造する計画。
- Haldor Topsoe は500MW/年の電解装置製造設備への投資計画を発表。アンモニアやメタノールなどの原料水素製造用にグリーン水素を製造する計画。
- その他、Schlumbergerと仏CEAらにより設立されたGenviaが可逆形のSOECを開発中。2023年には300kWシステムを、2024年には数MWのシステムを開発予定。

SOECに関する最近の動向(相次ぐ海外企業の参入発表)

Bloom Energy(米)

- ✓ Bloom energyはSK&Eとともに韓国でRE100に向けた取り組みとして、同社のSOFCと合わせてグリーン水素を製造するためのSOECを提供予定である。製品は2022年供給予定。船舶への燃料提供などへの取り組みも発表。
- ✓ 2021年5月にはBaker Hughes(重工メーカー)とも協力してSOECを製鉄他の工業プロセスに適用していく計画。
- ✓ ただし、製品の詳細は不明。



出典：Bloom Energy社HP

Haldor Topsoe(デンマーク)

- ✓ 2021年3月にHaldor Topsoeは500MW/年のSOECの製造施設への投資計画を発表した。今後さらに生産能力を10倍にするオプションもあるとする。2023年から運転開始予定。
- ✓ 製品の詳細は不明だが90%を超える効率とする。
- ✓ 船舶用燃料(アンモニア)や化学品原料の水素製造を想定。



出典：Haldor Topsoe社HP

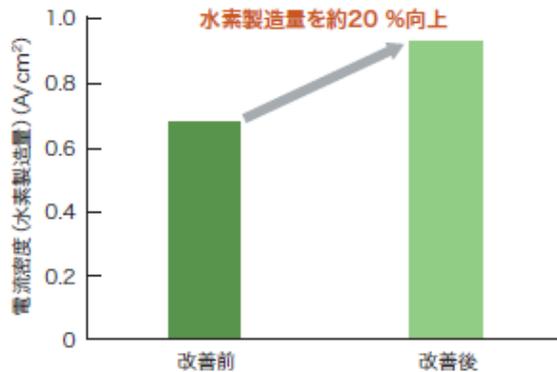
参考:SOECについての最近の動向(国内)

- 国内では東芝エネルギーシステムズが継続的にSOECの技術開発に取り組む。実用化は20年代後半とされる。
- また、従来SOFCの開発を行ってきた三菱重工や日本特殊陶業もSOECへの参入を近年発表。

SOECに関する最近の国内企業の取組例

東芝エネルギーシステムズ

- ✓ NEDOプロジェクトへの参画を通じて、抵抗抑制により従来に比べて電流密度を2割アップし、耐久性を向上させた電解セルを開発した。
- ✓ 実用化は20年代後半予定だが、スタックの試作品で現在出力2kW程度のものであるという記事も存在。



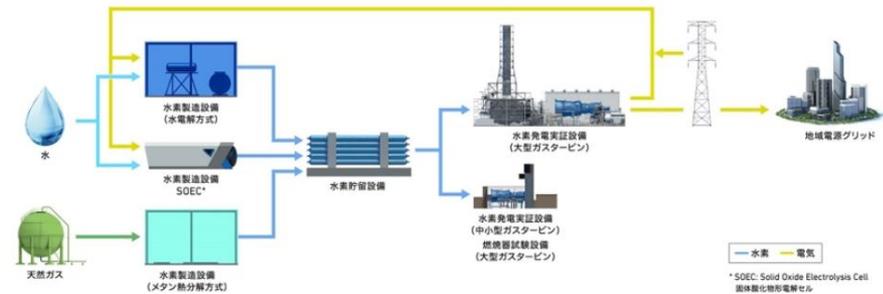
運転点(1.3V)におけるセル性能の比較

Improvement of cell performance under operating condition of 1.3 V

出典:東芝レビュー(2021年3月)
日経クロステック「東芝系の次世代水電解、3割高効率に 多積層で「50MW級」へ」

三菱重工

- ✓ 従来大型(0.2MW-1MW)のSOFCを開発してきた三菱重工だが、同技術を活用してSOEC開発にも取り組む。
- ✓ 2022年2月発表の、同社施設内の水素発電実証設備「高砂水素パーク」でも、燃料水素の製造手段の一つとして、同社技術によるSOECを適用する計画。実証設備は2023年に運転開始予定。



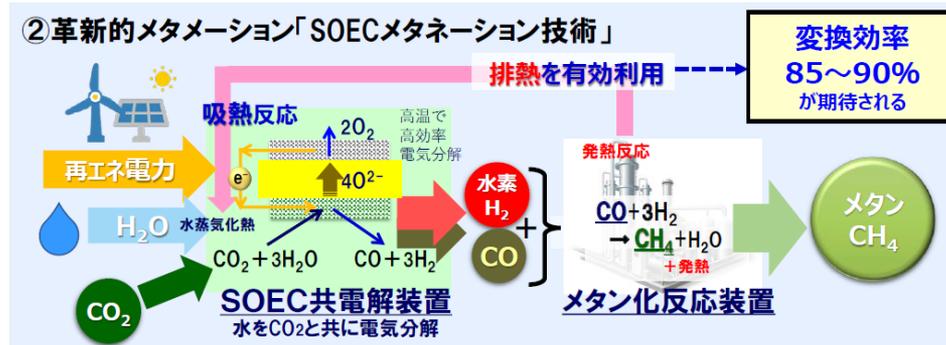
出典:三菱重工プレスリリースより

参考:SOEC共電解についての最近の動向(国内動向)

- 大阪ガスがメタルサポート型のSOECを用いた共電解についての取り組みを発表。
- 製造した合成ガスはメタネーションに利用する計画。

SOEC共電解に関する最近の国内企業の実組例(大阪ガス)

- ✓ CO₂と水・電力からSOEC共電解により高効率に製造した合成ガスをメタネーションに利用する技術開発を進める。



- ✓ 2021年1月に試作成功を発表。セルは耐久性や低温化などメリットのあるメタルサポート形とする。



出典：大阪ガス資料

参考:革新的な技術開発の例(高効率な高温水電解)

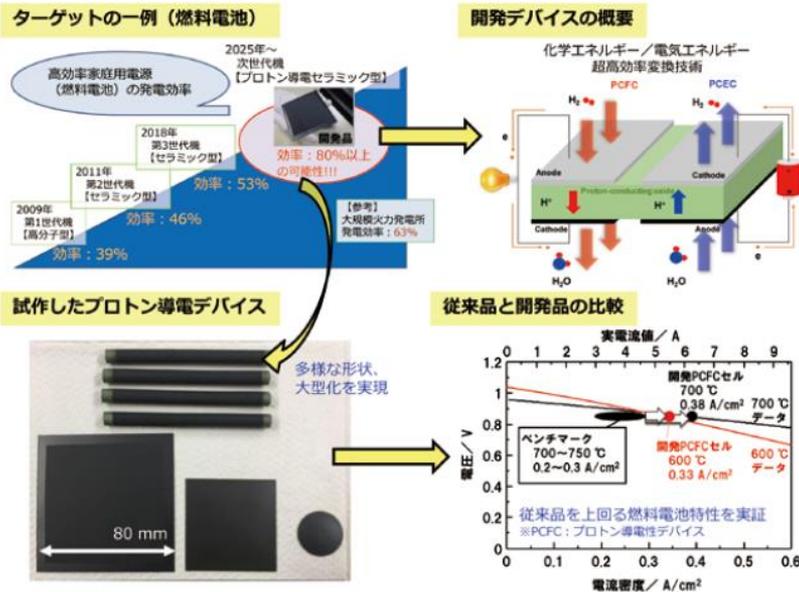
- プロトン伝導セラミックを電解質に用いた固体酸化物形燃料電池(PCFC)が作動温度の低温化や非常に高い発電効率(80%)というメリットから注目され、現在研究開発がなされている。
- 日本は材料開発で優れた成果を挙げているが、欧州ではプロトン伝導セラミックを用いた水電解(PCEC)の研究が進められており、10kWの試作品が出てきている。
- 国内ではNEDO先導研究プロジェクトでIHIや住友電工、京都大がPCECのFSを過去実施した段階。

プロトン伝導セラミックを用いた燃料電池の研究開発 (NEDO先導プロジェクト、産総研他)

- ✓ 2018年に、産総研・東邦ガスは世界初の実用サイズのPCFCセルを製造。

プロトン伝導セラミックを用いた水電解の研究開発 (欧州FCHJUプロジェクトGAMER)

- ✓ 現在(2021年1月)、10kWの電解装置を作成、30barのドライ水素を製造。



出典: NEDO 先導研究プログラム

GOAL: Demonstrate high temperature steam electrolysis using proton ceramic electrolysis cell:

- 10 kW system with BoP for thermal integration
- 30 bars dry hydrogen
- 600 °C

Partners	Country
SINTEF (coordinator)	Norway
Carbon Recycling International	Iceland
CSIC-ITQ	Spain
Coorstek Membrane Science AS	Norway
University of Oslo	Norway
MC2 Ingenieria y Sistemas SL	Spain
Shell Global Solutions International BV	Netherlands

Advisors: YARA and Air Liquide

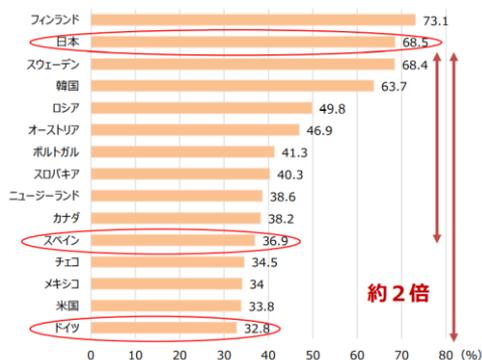
出典: GAMER発表資料

日本での水電解の社会実装について

日本における変動再エネについて

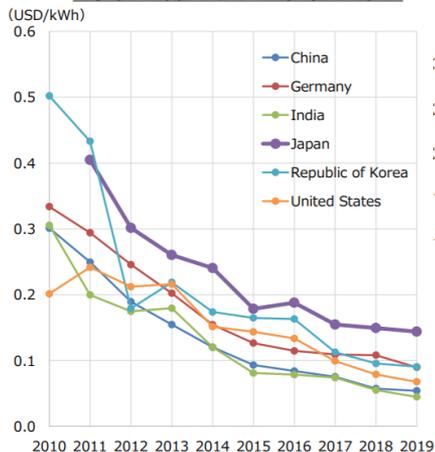
- 太陽光・風力など再エネコストは近年世界的に大きくダウン。ただ相対的に見ると日本は他国に比べてコスト高傾向。
- また、例えば欧州と日本を比較すると自然環境が大きく異なり、再エネ導入サイトの分布や導入規模といった導入の姿も異なると考えられる。よって、国内でP2Gによる再エネ水素導入を行う際もそれに応じた姿となると考えられる。

世界各国の森林率（国土面積に占める森林面積の割合）

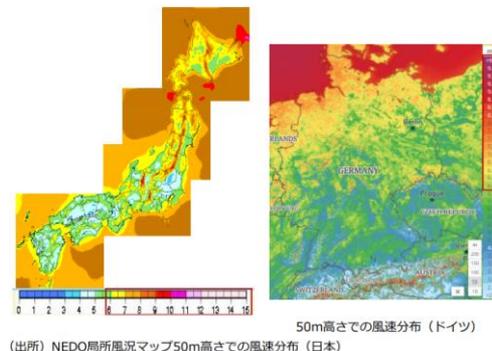


(出所) FAO「Global Forest Resources Assessment 2015」
データを元に事務局作成

<事業用太陽光の発電コスト (LCOE) >



日本と欧州における風況の違い



<世界と日本の陸上風力発電のコスト推移>

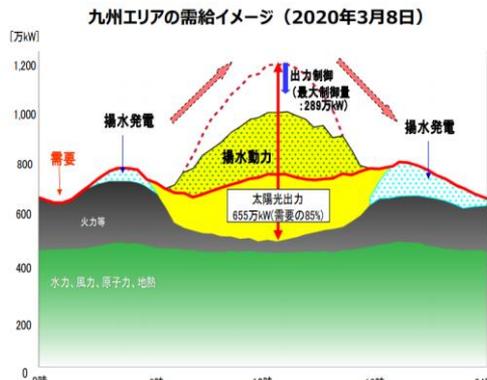


出典：資源エネルギー庁

日本における再エネ導入に伴う出力制御とP2G

- 太陽光・風力といった変動再エネの導入が進む九州では、既に出力制御が発生しており、2020年はCOVID-19の影響下での需要減などを背景に出力制御が増加。スポット市場価格0.01円/kWhの発生日も増加している。
- 地域によっては既に顕在化している出力制御やその結果生じる余剰電力を活用するための手段としてP2Gへの注目が現在進行系で高まりつつあり、この傾向は今後国内の再エネ導入拡大に伴ってさらに進むと考えられる。

九州エリアの需給イメージと出力制御・0.01円/kWh発生日



出典：資源エネルギー庁

赤 抑制実施日 (前日,当日指令)	青 抑制実施日 (前日指令のみ)	0.01円/kWh 発生日																																																																																																																																																			
<p>2019年3月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> </table> <p>16日 7日</p>	月	火	水	木	金	土	日						1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	<p>2019年4月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>20日 10日</p>	月	火	水	木	金	土	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						<p>2019年5月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> </table> <p>27日 11日</p>	月	火	水	木	金	土	日						1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																					
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
					1	2																																																																																																																																															
4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																															
11	12	13	14	15	16	17																																																																																																																																															
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																															
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																															
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																															
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																															
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																															
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																															
29	30																																																																																																																																																				
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
					1	2																																																																																																																																															
4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																															
11	12	13	14	15	16	17																																																																																																																																															
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																															
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																															
<p>2020年3月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>16日 17日</p>	月	火	水	木	金	土	日							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						<p>2020年4月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr> <tr><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td></tr> <tr><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>24日 20日</p>	月	火	水	木	金	土	日						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								<p>2020年5月</p> <table border="1"> <tr><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td><td>日</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr> <tr><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td></tr> <tr><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>22日 21日</p>	月	火	水	木	金	土	日						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
						1																																																																																																																																															
2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																															
9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																															
16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																															
23	24	25	26	27	28	29																																																																																																																																															
30	31																																																																																																																																																				
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
					1	2																																																																																																																																															
3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																																															
10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																															
17	18	19	20	21	22	23																																																																																																																																															
24	25	26	27	28	29	30																																																																																																																																															
月	火	水	木	金	土	日																																																																																																																																															
					1	2																																																																																																																																															
3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																																															
10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																															
17	18	19	20	21	22	23																																																																																																																																															
24	25	26	27	28	29	30																																																																																																																																															

出典：自然エネルギー財団「九州エリアにおける太陽光・風力発電の出力抑制に関する分析結果と出力抑制電力量率の低減策(2020年版)」

九州エリアでのP2Gによる余剰電力の活用への取り組み



代表事業者	(株)北九州パワー	事業の全体統括 事業展開モデルの検討、ごみ発電の電力供給
共同実施者	(株)IH I	水電解活用型エネルギー・マネジメントシステムの設計・開発・運用
	福岡酸素(株)	水素の圧縮・配送 水素ステーション (久留米市) での水素利用
	ENEOS(株)	水素パイプラインへの水素供給 水素ステーション (北九州市) での水素利用
	北九州市	水素利用先や関係機関との各種調整
	福岡県	実証フィールドの提供

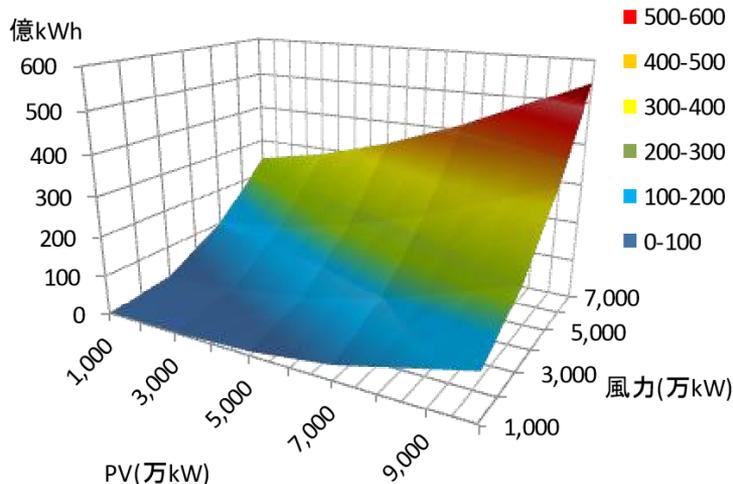
出典：IHIプレスリリース

将来の国内余剰電力に関する分析結果の例

- 国内において太陽光6,400万kW+風力1,000万kW導入の場合、余剰電力は40億kWh~220億kWhという分析結果がある。水素に換算して8.3万トン-46万トンに相当。
(「長期エネルギー需給見通し(骨子)案」の電源構成と2030年目標の水電解装置原単位4.3kWh/Nm³に基づく)
- 特に風力発電の導入量拡大に伴って、余剰電力が大きく増加する、という結果が得られている。(下引用左図)
- 一方余剰電力の負荷率は10%程度までと小さくなく、余剰電力を入力とした場合電解装置の稼働率は高くない。
- 更にその後の分析結果では、PV3億kW+風力1億kWのケースで2,400億kWhの余剰電力が発生する可能性も示唆。水素に換算して560万トンに相当。(このときの負荷率は不明)

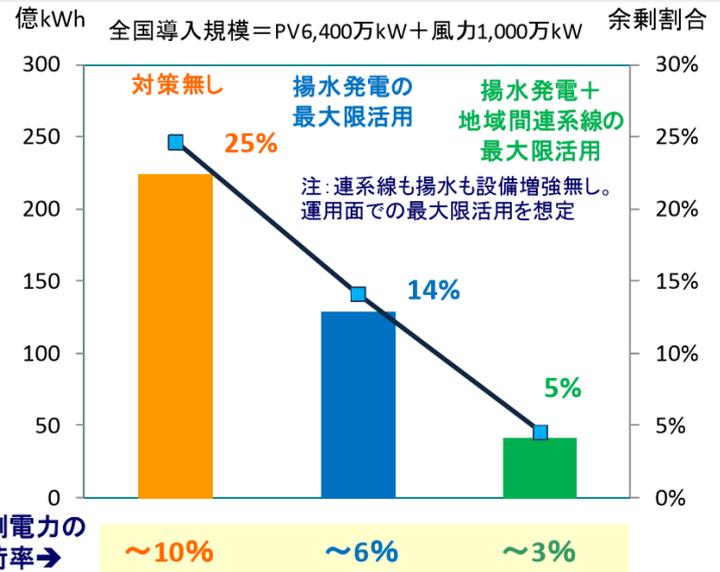
(参考: JPEA「PV OUTLOOK 2050」で、2050CO2削減に向けて太陽光発電300GW導入目標発表、JWPA目標では2050年: 洋上風力90GW + 陸上40GW=130GW)

再生可能エネルギーからの余剰電力量



注: 地域間連系線、揚水発電を最大限活用できる場合。
ただし、設備増強は無し。

系統対策別の余剰電力規模

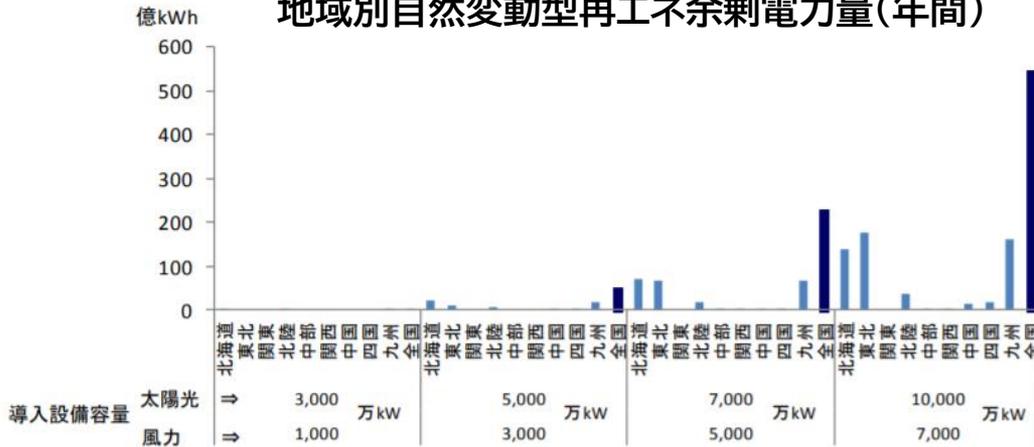


出典: 柴田 (日本エネルギー経済研究所)「国内再生可能エネルギーからの水素製造の展望と課題」(第2回CO₂フリー水素ワーキンググループ 資料)

参考:将来の国内余剰電力の分布に関する分析結果の例

- 前ページの分析における、電力系統シミュレーションの結果算出された地域別余剰電力量・負荷率は以下の通り。
- 北海道、東北、九州といった地域で余剰電力が特に大きい。ただし、負荷率は必ずしも高くない。

地域別自然変動型再生エネ余剰電力量(年間)



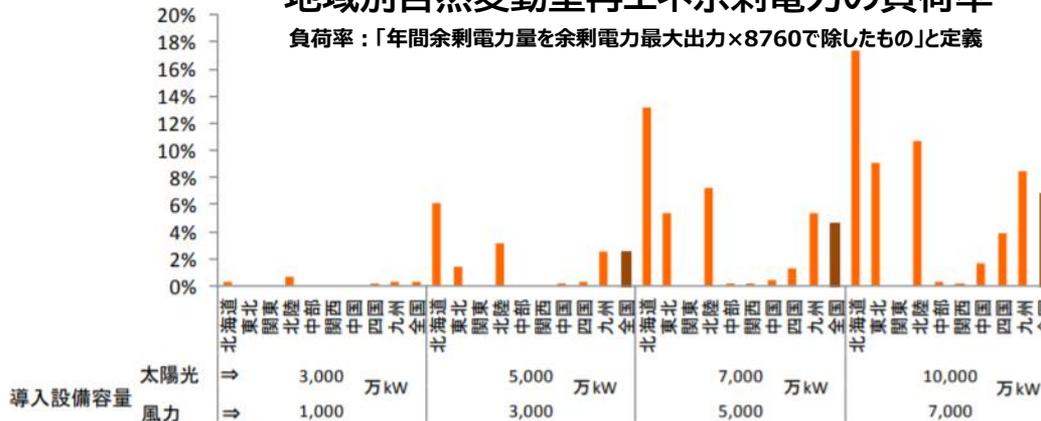
参考:前提条件

[前提条件]

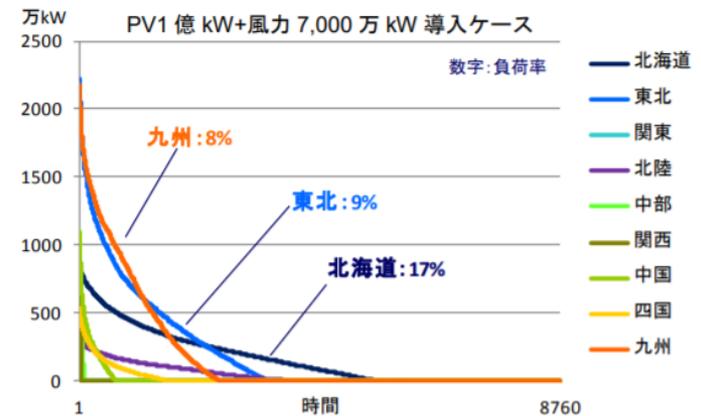
- ・ ベースロード電源（原子力発電、水力発電、バイオマス発電、地熱発電等）の発電電力量の全国シェアは30%を想定。
- ・ 最低限必要な火力発電出力は、常時電力需要の2%を確保
- ・ 可能な限り各電力会社管内で自然変動型再生可能エネルギーを吸収するように、まず揚水発電を活用（ただし、揚水発電は原子力対応を優先）。
- ・ 揚水発電活用後の余剰電力は地域間連系線を通じて他地域へ融通（ただし、現状の運用容量[9]を前提とし、連系線の増強は行わない）。
- ・ それでも系統で吸収できない分を余剰電力と定義
- ・ 本研究では、蓄電池の利用は想定しない。

地域別自然変動型再生エネ余剰電力の負荷率

負荷率：「年間余剰電力量を余剰電力最大出力×8760で除したもの」と定義



余剰電力の負荷持続曲線



出典：柴田（日本エネルギー経済研究所）「再生可能エネルギーからの水素製造の経済性に関する分析」（2015）

水電解水素製造のコストダウン(電気代と稼働率)

- 水素製造コストの試算例を下に記載。稼働率を上昇させると水素製造コストへの設備費用寄与が減少するため、設備費用抑制の観点から稼働率上昇は特に重要。一方30円/Nm³水準を得るには安価な電力が必要(下図緑、濃緑)
- 余剰電力投入を行ったとして10%程度の稼働率が得られた場合、電力が0円とすれば、\$250/kWの設備費用で30円/Nm³を下回るケースが現れてくる、といった状況。稼働率が低い場合水素製造コストは高止まりの傾向。
- 稼働率が高まらない利用ケースでは、調整力提供などを利用して副収入を得るなどの手段がコストの低減に必要と考えられる。
(調整力として設備利用率10%のケースで10円程度の削減効果が期待できるという試算も存在。)
- 化学、発電、製鉄などの産業部門で要求されるような、20円/Nm³をさらに下回る要請には、電気代が0-1円/Nm³で調達でき、最低20-30%の稼働率が確保できる必要がある(濃緑)。産業向けには再エネコスト大幅低減が必要と考えられる。

電解装置の稼働率、電気代、設備コストの関係 単位: \$/kg



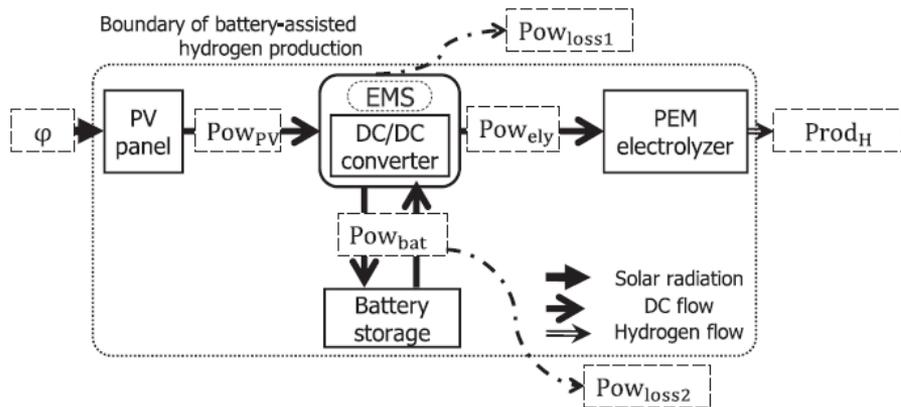
出典:Hydrogen Council”path to hydrogen competitiveness a cost perspective”

参考:稼働率向上に向けたエネルギーシステムの研究

- 水素製造コストの低減に向けては、投入電力コストの低減に加えて、電解装置の設備費用の稼働率の向上を図ることも重要となる。
- 再エネ発電設備と電解装置に加えて、蓄電池との組み合わせによるエネルギーシステムを構築し、最適な規模の電解装置を備え、かつ蓄電池への電力貯蔵とそこからの水電解装置への電力供給により、電解装置の稼働率を向上させることができるシステムが構築可能、といった提案もなされている。
- その他、廃棄物発電や複数の変動再エネといった特性の異なる電源を組み合わせることで電解装置への入力とすることで、設備稼働率を向上させ、安価な水素製造を図るような検討もなされている。
- 十分に設備・再エネコストが安くなったケースでは水素製造コストとして20円/Nm³を得ることもできる、という試算もなされており、今後個別技術の開発に加えて、複数の技術の組み合わせで稼働率を向上させ、水素製造コストへの設備コストの寄与を抑制していくといった方向も重要と考えられる。

太陽光発電と蓄電池、水電解装置を組み合わせたシステム

特性の異なる複数電源と電解装置を組み合わせたシステム



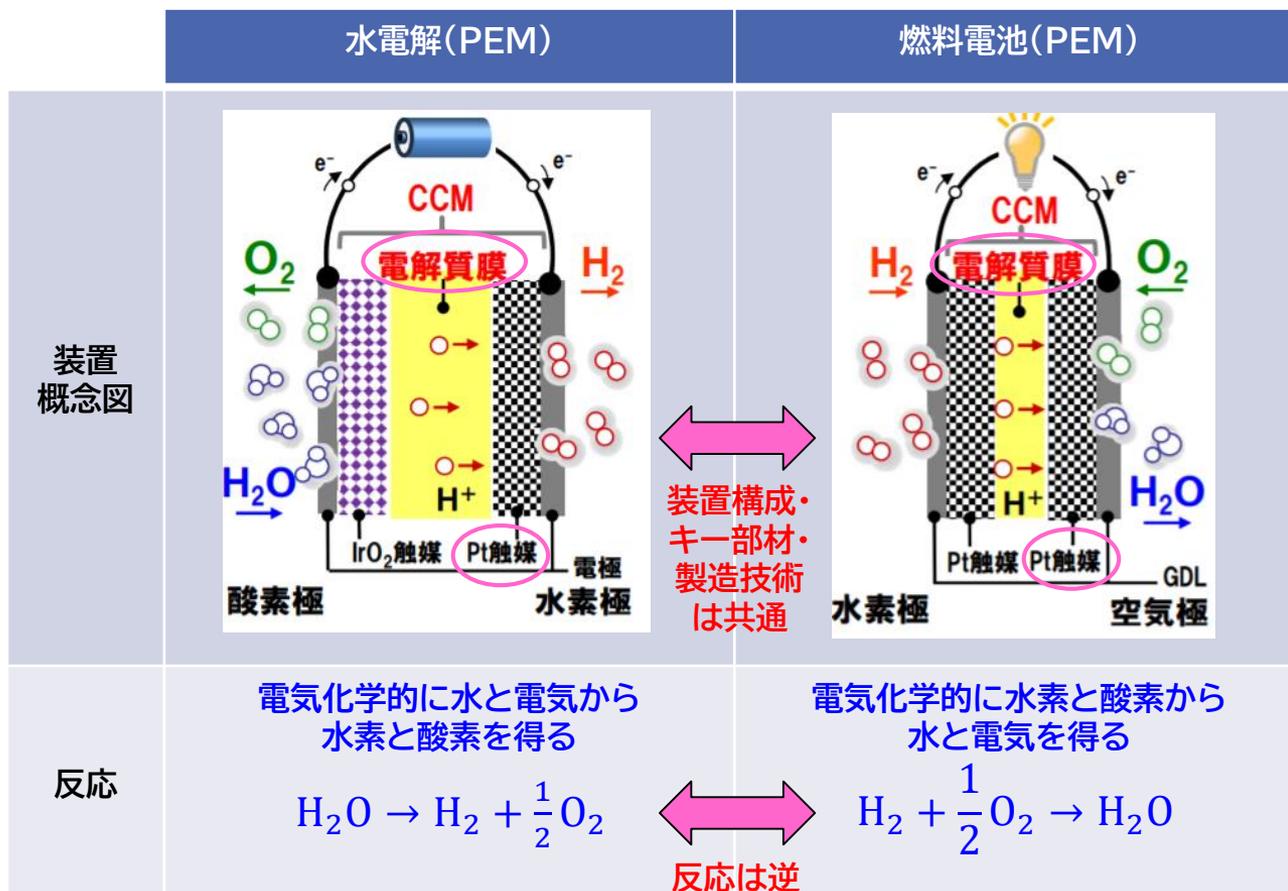
出典:Kikuchi et al." Battery-assisted low-cost hydrogen production from solar energy: Rational target setting for future technology systems", Int . J. Hydrogen Energy, 44(2019) 1451-1465

出典 : IHIプレスリリース

燃料電池・水電解の技術開発シナジーの可能性

水電解技術・燃料電池技術の類似性

- 水電解・燃料電池(FC)は、作動原理である「電気化学反応」が、逆の関係にあるデバイス。
- 触媒や電解質膜などのキーとなる部材、製造技術など共通点がきわめて多い、いわば表裏一体の関係にある。
- したがって、片方で培われた技術をもう片方へも展開するなど、技術開発間でシナジー効果が期待できる。



出典: 東レ「水素社会実現に向けた 東レの取り組み」をもとに作成

①システム・部材・材料

- ◆ 装置の作動原理が共通(電気化学反応と物質移動の連成)
⇒高性能化・高耐久化等の共通課題に対して、技術・ノウハウの展開可能。
- ◆ 材料が共通であれば、サプライヤにとって市場の拡大も期待できる。

②製造技術

- ◆ 装置構成が共通(2次元的なセルが基本単位、それを積層したスタックを構成)
⇒共通する製造技術に対して、技術・ノウハウの展開可能。
(例:Roll to RollでのCCM製造技術、BPPの加工技術など)
- ◆ 部材が共通なら大量製造によるコストダウン効果も期待できる。

③評価解析

- ◆ 作動原理や材料が共通、現象の特性も類似(現象スケール、物理法則、観測対象等)
⇒現在まで培われてきた評価解析の技術・ノウハウの展開可能。

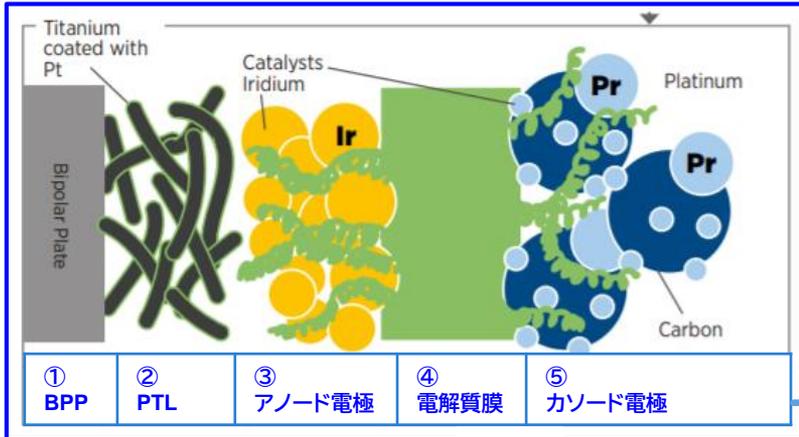
FCシステム開発実績を持ち、近年水電解にも取り組む企業(not exhaustive)

種類	企業名	概要(近年の水電解への取り組み)	備考
PEM	東芝エネルギーシステムズ	H2Oneをはじめ、水電解装置を含む自立型エネルギーシステムの開発に取り組む。	その他、SOECの開発も実施。近年定置用燃料電池の技術を活用しCO2電解も開発。
	東京ガス・SCREEN	燃料電池大量製造技術を持つSCREENと協力して、2021年5月に水電解用セルスタックの共同開発を行うことを発表。	東京ガスがセルスタックの仕様検討および評価、SCREENがセルスタックの製造技術および製造装置の開発を担う。低コスト製造技術の2年での確立が目標。
	本田技研工業	2021年6月に宇宙での循環エネルギー利用に向けた高圧水電解+FCシステムをJAXAと開発することを発表。	過去小型水素ステーション用の高圧水電解システムを開発。
	Cummins(米)	ディーゼルエンジンメーカーの同社は2019年にFCスタック・PEM・アルカリ電解技術を持つHydrogenicsを買収。FC・電解技術の開発・展開に積極的に取り組む。	近年SOEC開発にも取り組み。2021年、SOECの大量製造技術開発プロジェクトでDOEから採択。
	Plug Power(米)	2020年に水電解技術をもつGinerを買収、その後米国中心に積極的に水電解導入計画を発表。	同社は北米中心にFCフォークリフトを展開、トップシェアを有する。
固体酸化物形	大阪ガス	2021年にメタルサポート形のSOEC開発を発表。	SOECは共電解に利用、製造した合成ガスを活用した高効率メタネーションに取り組む。
	日本特殊陶業、日本ガイシ	中期経営計画でSOECの開発を進めていることを発表。	2021年3月、森村SOFCテクノロジーで業務・産業用SOFCセルスタック量産開始。
	Bloom Energy(米)	2021年7月に360kWモジュールを発表(原単位39kWh/kg)。2022年秋から提供予定。	同社は2008年以降SOFCを提供しているSOFCの主要メーカー。
	Ceres Power(英)	1MWのSOEC実証機を2022年に導入予定。排熱再利用で効率は95%、25年までには\$1.5/kgの水素製造が可能とする。e-fuelや工業用に活用予定。	メタルサポート形SOFCの技術を有する。2020年にSOFC開発加速のため、BoschはパートナーのCeres Power出資比率を7%から18%へ引き上げ。
	Haldor Topsoe(デンマーク)	効率90%超えのSOECを500MW/年製造する工場を建設。2023年稼働予定。	もともと開発していたSOFC技術を2014年にクローズ、SOEC関連技術にリソースを注力。
	Sunfire(独)	オランダのNestle製油所に2.7MWモジュールを導入。2023年運転開始予定。	SOFCの技術を有するほか、2021年に加圧形アルカリ電解装置メーカーIHTを買収。アルカリも手掛ける。

主な部材と水電解・燃料電池での役割(PEM形の例)

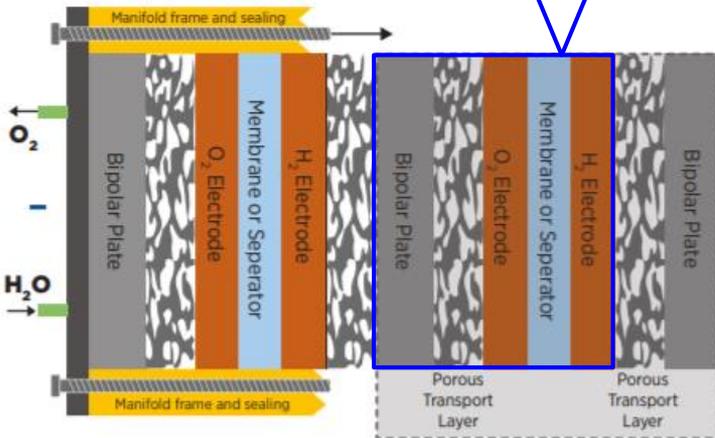
■ 心臓部を構成するセルには同じ部材、あるいは素材は異なるが類似した技術が適用される。

PEM形水電解セル(基本単位)



図出典:IRENA
"Green hydrogen cost reduction"

スタック(セルを複数連ねて構成)



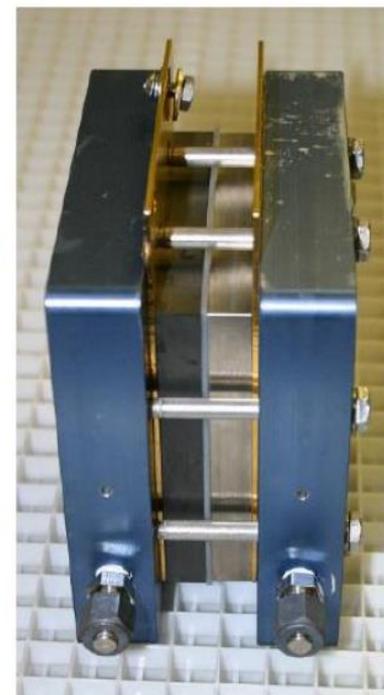
部材	水電解	燃料電池
① バイポーラプレート (BPP)	金属製の、プレス成形や切削等で流路が形成された板。 流路を介した水や生成ガスのセル内供給・セル外排出を行うとともに電極を隔てる役割を果たす。 高電位・酸性のアノードでは貴金属コーティングが必要。	金属やグラファイト製の、プレス成形や切削等で流路が形成された板。 流路を介した水や生成ガスのセル内供給・セル外排出を行うとともに電極を隔てる役割を果たす。
② ガス拡散層 (PTL/GDL)	チタン(アノード)、カーボン(カソード)製の多孔質体で、ガス拡散性を向上させる役割を果たす。 高電位・酸性のアノードでは貴金属コーティングが必要。	カーボン製の多孔質体であり、ガス拡散性を向上させる役割を果たす。
③ アノード電極	貴金属触媒 (IrO ₂ 等)、担体、アイオノマーからなり、酸素発生反応を起こす役割。	貴金属触媒 (Pt等)、担体、アイオノマーからなり、水素酸化反応を起こす役割。
④ 電解質膜	陽イオン伝導性の高分子膜であり電極間のガス透過を抑え陽イオンを伝導する役割を果たす。	
⑤ カソード電極	貴金属触媒 (Pt等)、担体、アイオノマーからなり、水素発生反応を起こす役割。	貴金属触媒 (PtCo合金等)、担体、アイオノマーからなり、酸素還元反応を起こす役割。

参考:材料メーカーの視点(3M)

- 3Mは燃料電池用触媒・アイオノマーなどを開発・販売しており、過去にはMEAの供給も実施。
- 近年水電解事業に注目。特に独自のナノ構造触媒(NSTF)は、水電解との相性に優れるとする。

Why is **3M** interested in water electrolysis?

- ❑ Has the potential to address primary energy industry priority – grid level storage;
- ❑ Compatible with core **3M** technologies;
- **3M** has a well established fuel cell program;
- Source of H₂ necessary for deployment of fuel cells – electrolysis is one of the most promising sources (environmentally clean, can use renewables, meets energy independence goals, etc.);
- **3M** developed techniques, procedures and processes for making and testing fuel cell MEAs – something readily adaptable to electrolyzer MEAs;
- **3M** made investment in facilities and equipment for making fuel cell related materials - again readily adaptable to electrolyzer materials;
- **3M** proprietary NSTF catalyst seemed an extremely good fit to water electrolysis (carbonless - durability, thin layer – low mass transport losses, high conductivity, good heat dissipation, strongly hydrophilic – weakness in fuel cells, but strength in electrolysis;



出典: Laura Nereng (3M) “Operation of low-temp electrolyzers at very high current densities: A pipe dream or an opportunity?”

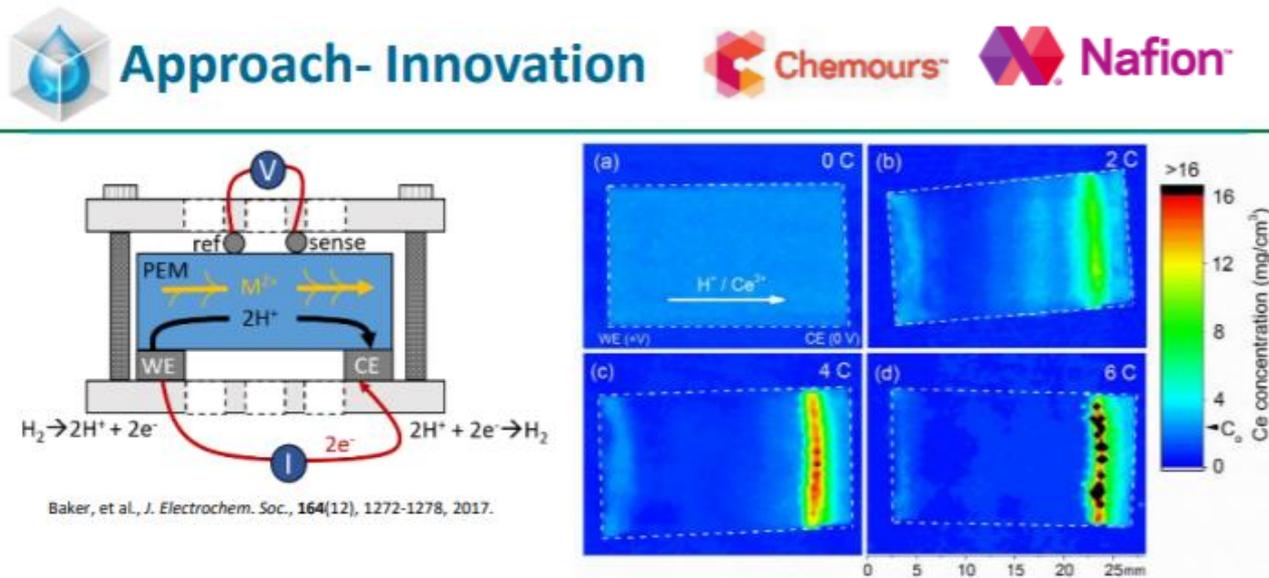
主な部材についての要求機能の例(PEM形燃料電池・水電解)

■ 運転の条件や使用部材に依存する部分もあるものの、共通課題も複数存在。

部材		水電解	燃料電池
① バイポーラ プレート (BPP)	要求機能例 (共通)	・接触抵抗抑制と耐食性両立	
	要求機能例 (特有)	・コーティング材(貴金属)利用量の抑制	・空気(酸素)と水素、発電による生成水を効率的に運ぶ流路設計
② ガス拡散層 (PTL, GDL)	要求機能例 (共通)	・基材の低コスト化	
	要求機能例 (特有)	・貴金属コーティング量低減 ・接触抵抗抑制	・ガス拡散性の向上
③ アノード電極	要求機能例 (共通)	・貴金属利用量低減・耐久性向上 ・貴金属フリー触媒の研究開発	
	要求機能例 (特有)	・特に希少な貴金属であるIrの利用量低減 (世界で年間7000t程度の生産量) ・気泡発生への触媒の耐久性	・電解質膜劣化の起因となるH ₂ O ₂ の発生抑制
④ 電解質膜	要求機能例 (共通)	・化学劣化への耐久性 ・高いガスバリア性能(クロスリーク抑制) ・プロトン伝導性向上(同じ材料なら薄いもの)	
	要求機能例 (特有)	・高耐久性(加圧電解)	・高耐久性(ラジカル耐性、乾湿繰り返し強度) ・高温(>100℃)・低～無加湿での高イオン伝導性
⑤ カソード電極	要求機能	・貴金属利用量低減・耐久性向上 ・担体の腐食抑制	
	要求機能例 (特有)	・気泡制御性 (反応活性向上、抵抗抑制、触媒脱離抑制)	・活性向上 ・高酸素透過アイオノマー、担体構造

参考:共通する課題への対策の横展開の一例(膜の化学劣化対策)

- 水電解の高効率化に向けては膜を薄くしたいが、一方で(化学)劣化しやすくなるおそれが存在。
- DOEでは膜メーカー(Chemours)が国立研究所(LANL)と協力して、FCで開発・適用されている化学劣化対策技術(ラジカルクエンチャー)の水電解への適用に関する研究を実施。

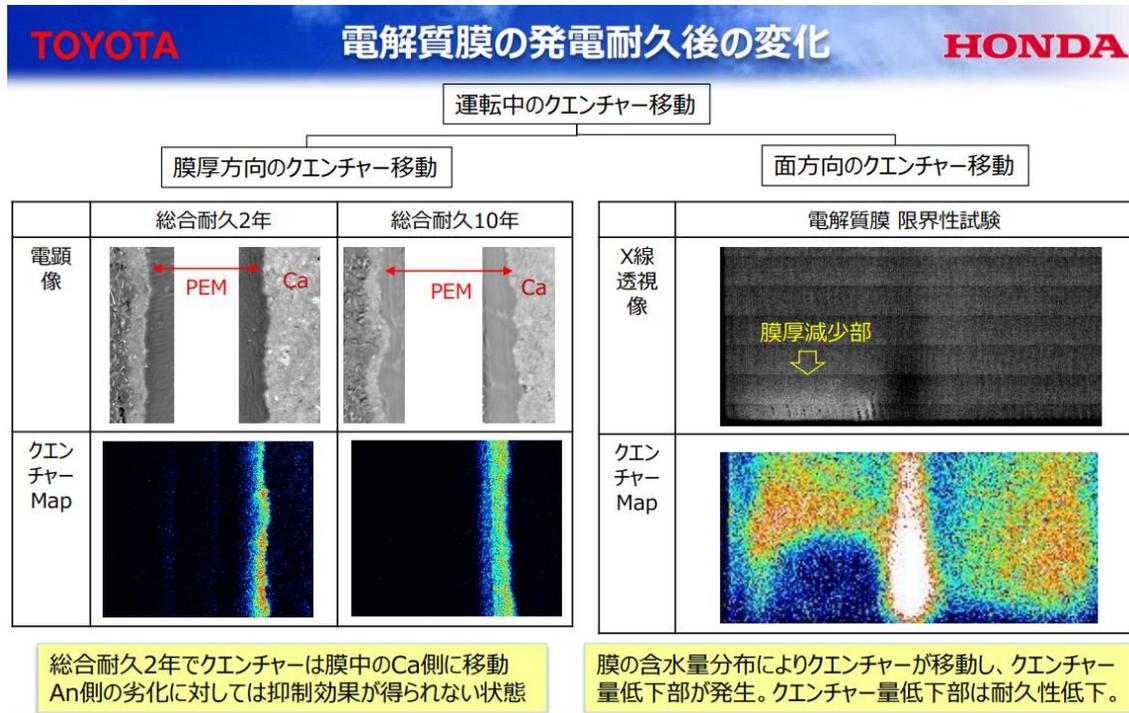


- BP1 will adapt cerium migration work for fuel cell membranes into water electrolyzer space to investigate movement of platinum GRC and radical scavenger in PFSA membrane in PEMWE conditions
- Mobility data will feed into fabrication efforts to optimize placement and composition of additives for reduced/eliminated mobility and/or dissolution

出典: Andrew Park (Chemours) "Performance and Durability Investigation of Thin, Low Crossover Proton Exchange Membranes for Water Electrolyzers"

参考:膜の化学劣化対策技術開発(ラジカルクエンチャー)

- 現在FC用の電解質膜では、耐久性向上に向けた化学劣化対策の手段として、ラジカルクエンチャーを添加。
- 膜内のラジカルクエンチャー分布にばらつきがあると、分布の薄い所で劣化が進んで膜の耐久性が低下。
- そのためラジカルクエンチャーの分布や移動状況を把握し、効果的な耐久性向上を図る研究が現在なされている。
- (参考)ラジカルクエンチャーの役割
化学劣化要因の一つである「OH-ラジカルによる膜の分解」に対して、電解質に添加されるラジカルクエンチャー(Ce)は、電解質膜の代わりにOH-ラジカルの攻撃を受けることでラジカルにより膜自体の分解・劣化を防ぐもの。



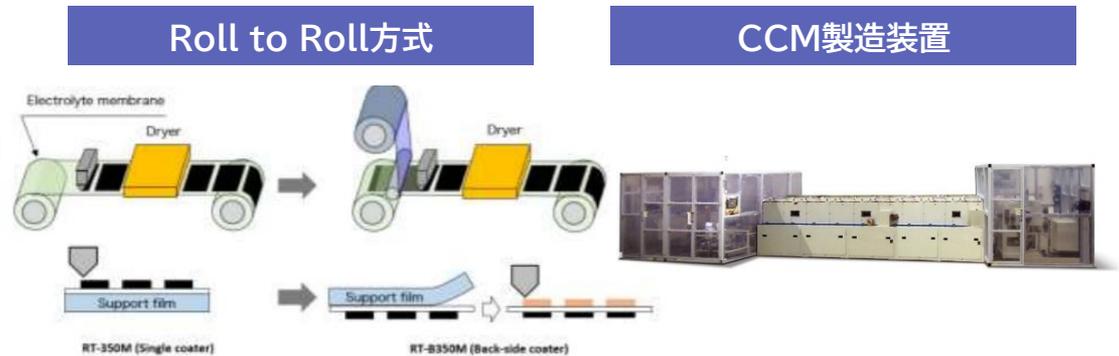
膜厚/面内方向のラジカルクエンチャー移動抑制と、高機能ラジカルクエンチャー(膜劣化と発電機能の両立)の研究・開発が必要である。

出典:課題共有フォーラム資料

共通製造技術の横展開の例(東京ガス・SCREENの取り組み)

燃料電池用CCM製造装置

- ✓ SCREENは、同社がディスプレイ製造装置で培った塗布・乾燥技術を活用して燃料電池用CCM(触媒層つき電解質膜)製造技術をNEDOプロジェクトで開発。
- ✓ 2016年からSCREENは製造装置を販売。



出典:SCREENプレスリリース

水電解への展開

- ✓ 東京ガスとSCREENは水電解セルスタックの共同開発に取り組むことを2021年に発表。
- ✓ 燃料電池用CCMの製造技術(Roll to roll)をPEM形水電解のCCM製造に展開し、製造効率化による水電解セルスタックの低コスト化を図る。

CCM製造装置での製造効率化によるセルスタック低コスト化



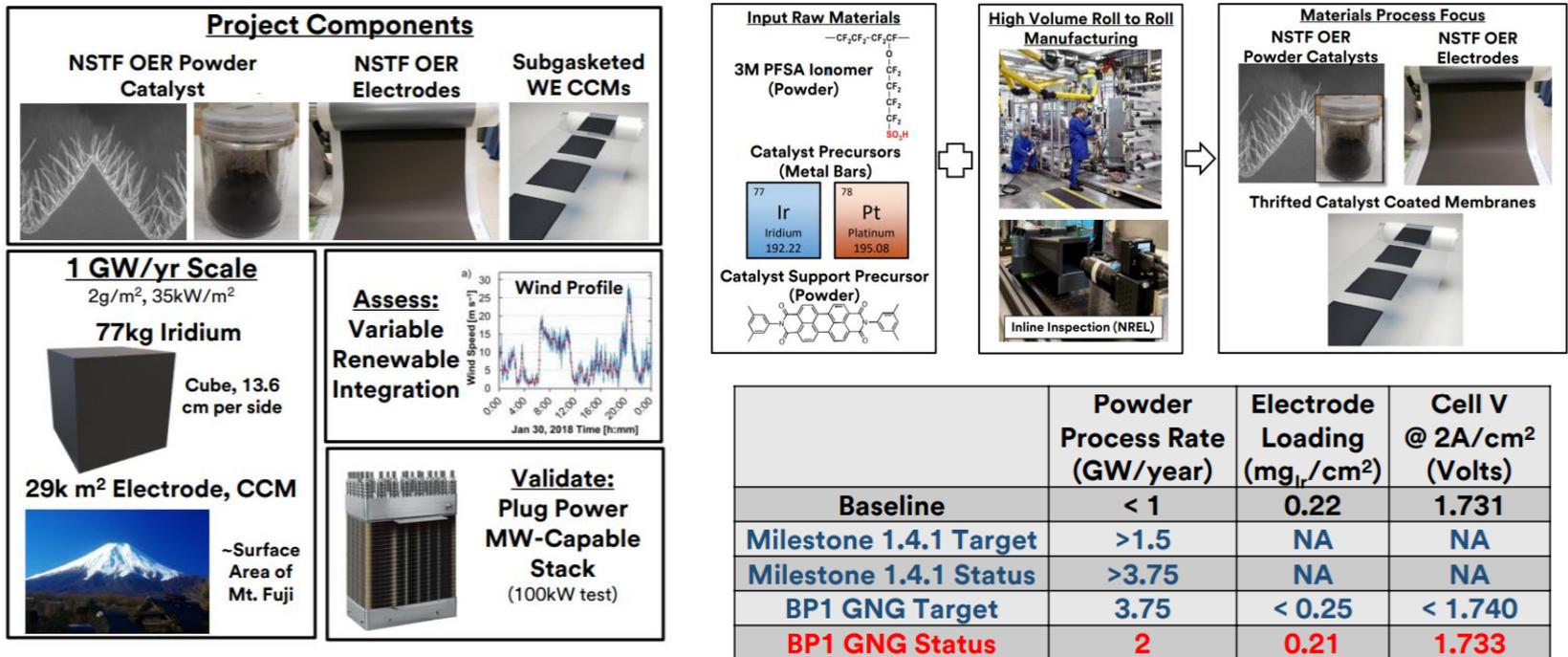
図1 水電解用セルスタックの低コスト製造 (イメージ図)

出典:東京ガスプレスリリース

DOEプロジェクトでの製造技術への企業の取り組み(3M)

- 3Mは、GW/年級の電解装置大量製造に向けた技術開発をDOEプロジェクトで実施中。
- 同社のナノ構造触媒技術(低Ir・高効率)を大量製造対応とし、従来の倍以上の製造スケールを実現。セルにおいて従来相当の低Ir量・セル電圧を実現も可能とする。
- 製造されたCCM(触媒層つき電解質膜)は、Plug Powerの製品で検証される計画。

3MのPEM形電解装置用CCM大量製造技術開発プロジェクト



	Powder Process Rate (GW/year)	Electrode Loading (mg _{Ir} /cm ²)	Cell V @ 2A/cm ² (Volts)
Baseline	< 1	0.22	1.731
Milestone 1.4.1 Target	>1.5	NA	NA
Milestone 1.4.1 Status	>3.75	NA	NA
BP1 GNG Target	3.75	< 0.25	< 1.740
BP1 GNG Status	2	0.21	1.733

出典: Andy Steinbach(3M) "Advanced Manufacturing Processes for Gigawatt-Scale Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers"

2GW/年の製造スケール(従来の2倍)と、従来水準の低Ir量、セル電圧(効率)の両立も可能とする。

評価解析技術等の活用拡大のための仕掛け作り(DOE)

- DOEでは、“Energy Materials Network“(EMN)と題し、政府支援下で国立研究所主導のコンソーシアムを通じ、情報技術や合成・特性評価、実験に関して国立研究所が有するノウハウ・リソースへの業界のアクセスを促進。

業界の国立研究所へのニーズ・要望



材料に関する課題解決のためのリソースを見つけない。



National Labと効率的に協力関係を構築したい。



HydroGENプロジェクト
Node Labs (研究機関)
※低温水電解の例

LTE Node Labs



EMNの研究機関

DOE

公募プロジェクト

EMN

HydroGEN

Core labs
capability
nodes

Data Hub

FOA Proposal
Process

- Proposal calls out capability nodes
- Awarded projects get access to nodes

プロジェクト実施者
(企業、大学、研究機関)
※低温水電解の例

LTE Projects



<https://www.h2awsm.org/capabilities>

出典: Guido Bende(NREL)
” HydroGEN: Low-temperature
Electrolysis (LTE) and LTE/Hybrid
Supernode ”をもとに作成

参考:EMN下で組織されたコンソーシアム一覧

HydroGEN



水素製造技術の材料、特に光電気化学、熱化学、及び高度な電解水素製造用の高度な材料に焦点を当てている。

DuraMat



低コストPVモジュールの信頼性と容量を最適化するため、高耐久性のPVモジュール材料に焦点を当てている。

HyMARC



水素貯蔵材料の開発課題となっている科学的な問題に焦点を当てている。

ChemCatBio



バイオマス変換プロセスの触媒作用の課題を特定して克服することに焦点を当てている。

ElectroCat



燃料電池の白金族貴金属代替材料(鉄・コバルトなど)に転換する技術に焦点を当てている。

H-Mat



水素インフラ及び車載用燃料電池に関連する金属・ポリマーの研究に焦点を当てている。

LightMat



金属合金や炭素繊維複合材など車両重量を減らして燃費を向上させる材料技術に焦点を当てている。

(注)赤枠は水素・燃料電池関連のプロジェクト

出典:DOE EMN HPをもとに作成

国立研究所による研究支援機能提供の例

- 各国立研究所はそれぞれの研究機関の特長を生かして、ツール・技術・知見を組み合わせた「ノード」をプロジェクトをサポートするための機能として提示。ノードは分野・機能・整備状況含めてHP上で誰でも確認可能。



検索

フィルタリングをリセット

機能クラス ▲

- 分析
- ベンチマーク
- 特性評価
- 計算ツールとモデリング
- 材料合成
- プロセスと製造のスケールアップ
- システム統合

水分解技術 ▲

高温電解

- HTE 1 HTE 2 HTE 3

低温電解

- LTE 1 LTE 2 LTE 3

光電気化学

- PEC 1 PEC 2 PEC 3

19エントリ中1~12を表示

1 2 次

計算材料の診断と光電気化学デバイスの最適化

LLNL LTE 1, PEC 1, STCH 2

材料の腐食分析

NREL HTE 3, LTE 1, PEC 1

リアルタイムの時間依存密度関数を含む水分解のDFTおよびabinitio計算...

LBNL HTE 2, LTE 1, PEC 1, STCH 3

電解触媒合成、ex-situ電気化学的性能および耐久性の特性評価..

NREL LTE 1, PEC 2

高温X線回折 (HT-XRD) および相補的熱分析

SNL HTE 1, LTE 1, PEC 1, STCH 1, HT 1

水素の生産、圧縮、貯蔵、利用：システム統合とインフラストラクチャ

NREL LTE 1

出典:HydroGEN HP

要約:水電解技術・燃料電池技術間で期待されるシナジーの可能性

①共通する部材・材料の技術開発

- ◆ 電解質膜、低貴金属・高耐久性触媒など…
- ◆ システムメーカー・サプライヤとともにFC技術を持つ企業が水電解にも注目。取り組みが加速中。

②製造技術の開発

- ◆ CCM製造技術、BP加工技術など…
- ◆ 燃料電池・水電解双方で近年製造技術開発プロジェクトが欧米で複数立ち上がり。低コスト化に直結する領域。

③評価解析

- ◆ 運転モードや条件は異なるが、手法の転用・知見の活用が可能。
- ◆ 研究機関のリソース活用も重要。(DOEの例)

④その他基盤技術

- ◆ 情報技術を活用した、革新的な材料の探索なども近年進展著しくシナジーが期待できる領域。
- ◆ 取り組み動向は(参考)をご参照。

**(参考)水電解材料関連基盤技術開発
マテリアルズ・インフォマティクス**

参考:触媒研究におけるAI活用の方向性(欧州研究機関の提言より)

■ 欧州プロジェクト「ENERGY-X」による、触媒研究におけるAI活用の可能性と今後効果が期待されるタイミングは以下の通り。

触媒研究におけるAI活用の方向性

触媒研究でのAI活用の方向性	アプローチ	期待される効果
既存の物理・化学では明らかでない相関についての特定	・活性、選択性、安定性などの触媒性能と特徴量との相関の特定	・触媒作用のメカニズムの理解 ・触媒特性の予測
統計的手法による例外点の特定	・圧縮センシング、クラスタリングなどによる、データ点の妥当性の識別 ・統計的に例外的なデータ群を特徴づける記述子を識別	・高次元空間に分布したデータから、探索の目的である例外点を誤差と区別して抽出
シミュレーション(第一原理計算)よりも高速かつ正確な予測 ※研究が急激に進展しており、5年以内に効果が期待される領域	・代理ポテンシャル・力場の学習	・第一原理計算より遥かに(数桁)高速な予測結果の取得 ・その他より正確な予測実現の可能性あり。
能動的学習による実験とシミュレーションへの示唆出し ※5-10年以内に効果が期待される領域	・バイズ最適化などによる、学習で構築したモデルの不確実性評価とその改善	・実験やシミュレーションと連動した効率的なモデルの改善
第一原理計算、統計力学、実験の統合 ※研究は未開拓であり、10年以上の中長期的取り組みが必要と予想される領域	・理論と実験データの補完を行う代理モデルを作成	・作動条件における触媒の機能の記述 ・複雑なプロセスのモデル化の必要の回避

出典: EnergyX " Research needs towards sustainable production of fuels and chemicals(2020/2)"をもとに作成、一部加筆

参考: 米国のAIによる材料開発動向 (Facebookによるオープンデータセット)

- 2020年10月に、カーネギーメロン大学とFacebook AI Researchが水素製造要反応の触媒に関するオープンプロジェクト「Open Catalyst Project OC20」とデータセットを公開。
- 機械学習モデルをトレーニングするためのOpenCatalystデータセットには120万の分子緩和が含まれており、2億5000万を超えるDFT計算の結果が得られる。

Open Catalyst Project OC20

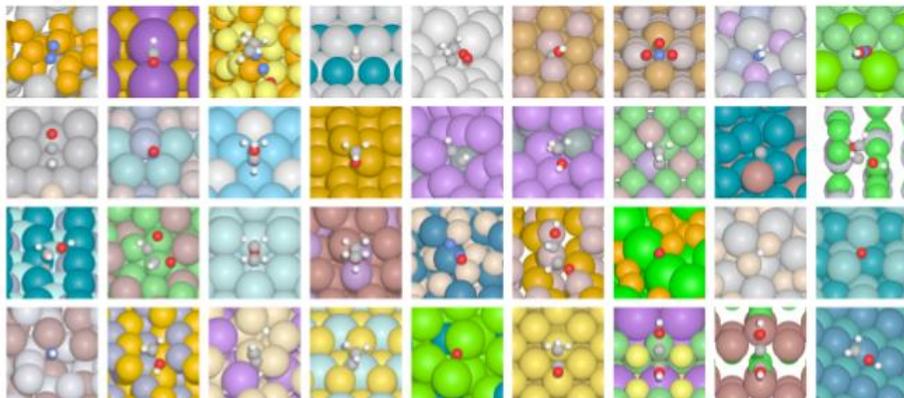


Figure 13. Examples of catalysts (larger atoms) and adsorbates (smaller atoms) in the OC20 dataset. Spheres represent the atoms with their color and size indicating the atomic number (element type) and the atomic radii, respectively. For example, the small white, red, grey, and blue spheres are hydrogen, oxygen, carbon and nitrogen, and the larger spheres are mostly metals.

Reaction	Name
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$	Hydrogen Evolution Reaction (HER)
$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	Oxygen Evolution Reaction (OER)
$\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	Hydrogen Oxidation Reaction (HOR)
$4\text{e}^- + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	Oxygen Reduction Reaction (ORR)
$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	Methanation
$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$	Haber-Bosch
$\text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \longrightarrow 2\text{NH}_3$	Nitrogen Reduction Reaction (NRR)
$2\text{NH}_3 \longrightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	Ammonia Decomposition
$\text{CO}_2 + \text{ne}^- + \text{nH}^+ \longrightarrow \text{products}$	CO_2 Reduction Reaction (CO_2RR)
$\text{CO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{products}$	Fischer-Tropsch
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Water Gas Shift (WGS)
$\text{C}_2\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	Non-Oxidative Ethane Dehydrogenation

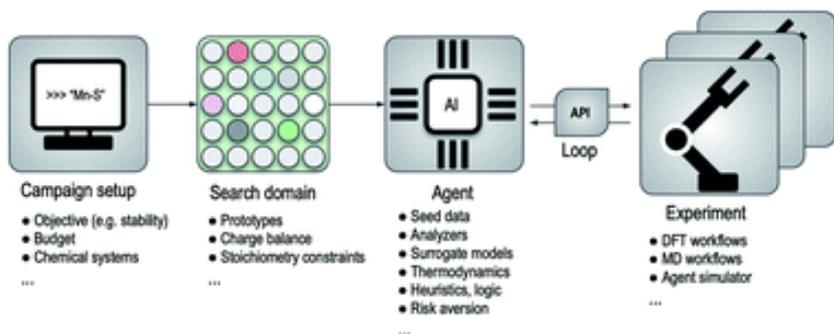
出典: "An Introduction to Electro-catalyst Design using Machine Learning for Renewable Energy Storage"

国外の取組事例(SUNCAT)

- スタンフォード大とSLAC(国立加速器研究所)は共同で「SUNCAT」という研究センターを立ち上げ、計算化学・データサイエンスと実験の連携により、エネルギー転換・貯蔵に必要な材料の研究開発を進めている。
- 水素製造関連触媒については、水素発生反応・酸素発生反応の触媒改良、貴金属代替触媒探索、反応メカニズム解明のための界面の研究に取り組む。
- 水電解関連では、MI以外でもPEM用の非貴金属コバルトリン触媒をNelと開発するなどの成果を挙げているが、最近では国やToyota Research Instituteの資金を受けながら、触媒をターゲットにマテリアルズ・インフォマティクスの研究を推進している。

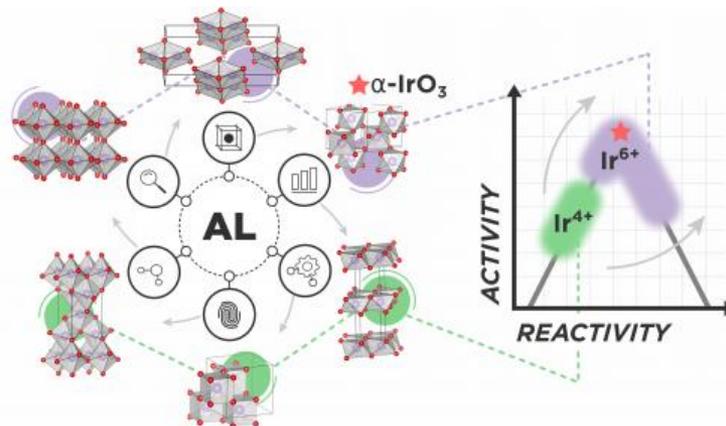
SUNCATにおけるマテリアルズ・インフォマティクスの研究事例

- ✓ 自律的な材料発見のためのEnd-to-Endの計算システムを提案。



出典: Joseph H. Montoya et al., “Autonomous intelligent agents for accelerated materials discovery” (2020)

- ✓ 適応型機械学習により、安定した酸素発生反応(OER)触媒の構造を発見。



出典: Zheng Li, Luke E. K. Achenie, and Hongliang Xin ” An Adaptive Machine Learning Strategy for Accelerating Discovery of Perovskite Electrocatalysts” (2020)

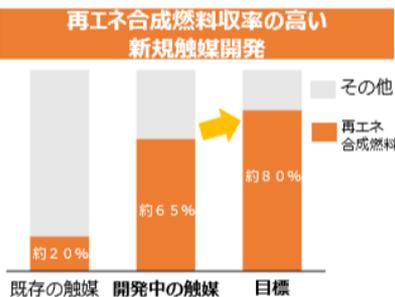
参考:触媒研究におけるAI活用の可能性(国内事例)

- 「水電解用触媒」以外の分野でも、触媒研究へのAI活用の取り組みが進められている。
- ENEOSはCO2を原料とした合成燃料(e-fuel)製造のための触媒開発に向けて、MI技術を活用。2030年頃にe-fuelの商用化をめざす。
- 国内屈指のAIベンチャーであるPreferred Networksと共同でAIによる分子シミュレーションの高速化にも取り組む。共同出資で企業「PFCC」設立、ソフトウェア「Matlantis」によるサービスを提供。

触媒開発に関するマテリアルズ・インフォマティクスの国内企業事例

再エネ合成燃料商用化への課題解決 (収率向上)

- 主な解決策は**高効率触媒の開発**と**製造プロセスの改良**
- 触媒開発については、これまでに培った技術とMI技術を組み合わせて推進



既存の触媒利用時と比較し、収率が約4倍高い触媒の開発を目指す

↑

MI技術活用による開発の加速

触媒開発を支える技術: MI*
*マテリアルズ・インフォマティクス

Preferred Networks社との協業によるMI開発

超高速AI分子シミュレータの開発に成功



再エネ合成燃料商用化へのロードマップ

- 2030年頃の商用化・規格認定を目指し、実証等の取り組みを推進

	2022~	2025~	2030~
規模	~1 BPD	~100 BPD	~10,000 BPD
H ₂ 水素源	国内再エネ電力 + 水電解	海外再エネ電力 + 水電解 + 大規模輸送	
CO ₂ CO ₂ 源	製油所 (ポンベ)		製油所 (排ガス)
装置イメージ			
目的	<ul style="list-style-type: none"> ● リアクター形状 ● 再エネ合成燃料の性状確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● プロセス最適化 ● 規格適合性検討 	<ul style="list-style-type: none"> ● 商用化 ● 規格認定

出典: ENEOS「ENEOSグループにおけるESG経営」

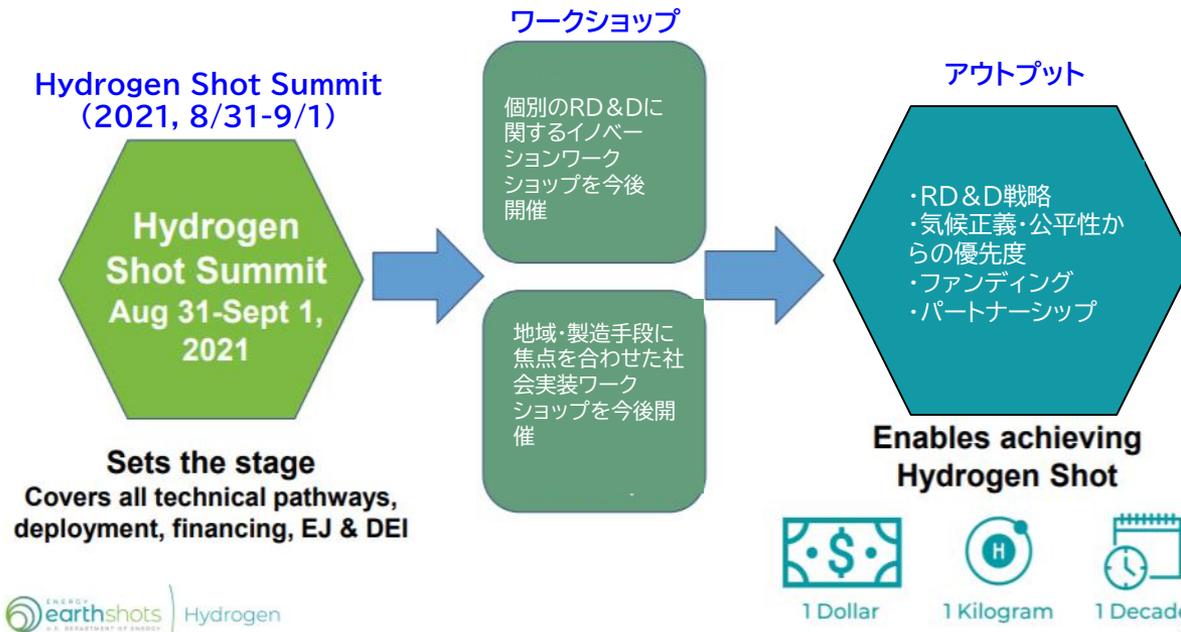
諸外国と日本の開発目標・計画の水準

DOE Hydrogen shot

- DOEが新プロジェクト「Hydrogen shot」を立ち上げ。8/31に「Hydrogen Shot Summit」開催。
- 「今後10年で水素製造コストを1\$/kgとする」という野心的目標に向けて、水電解や化石燃料改質+CCSの他にも、あらゆる製造技術の可能性を追求、複数の製造技術の開発を推進する計画。
- 個別のRD&Dや社会実装に向けたワークショップでの議論を経て、今後RD&D戦略等を打ち出す計画。



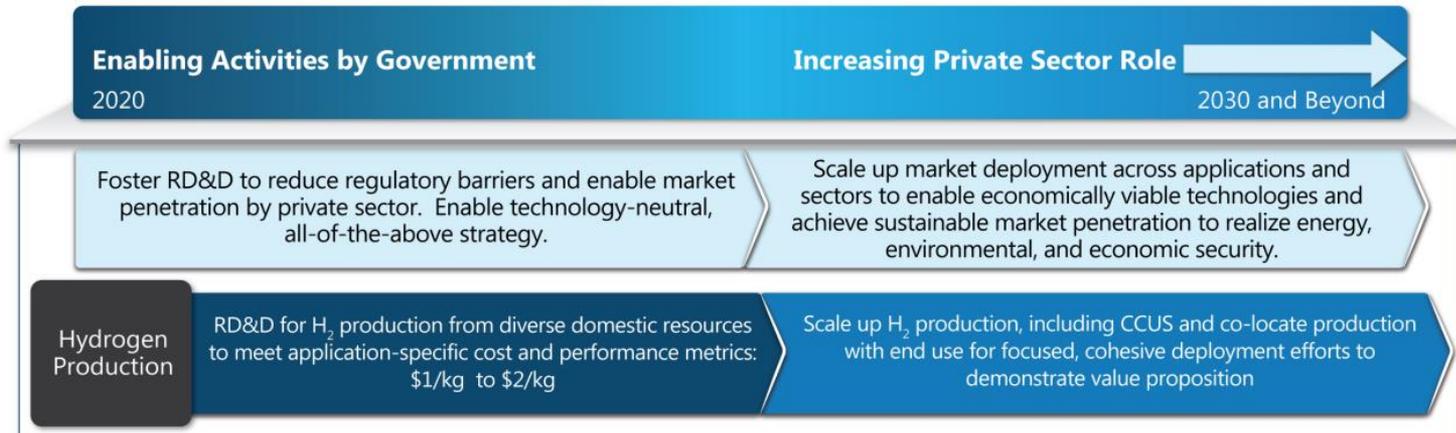
「Hydrogen Shot」の今後の計画



出典: Sunita Satyapal, John Litynski, Linda Horton (DOE) "Hydrogen shot Overview"

参考:米国の水素戦略

- 「Department of Energy Hydrogen Program Plan」では、化石燃料由来の水素製造が、現状\$2/kgのコスト水準であるとしながら、触媒やプロセスの改良を通じて更にコスト低減が可能であるとし、究極的にはカーボンニュートラルな水素を\$2/kg(輸送用途向け)、\$1/kg(工業用、発電用向け)で作ることが目標とされている。



水素製造のための共通のRD&D注力領域

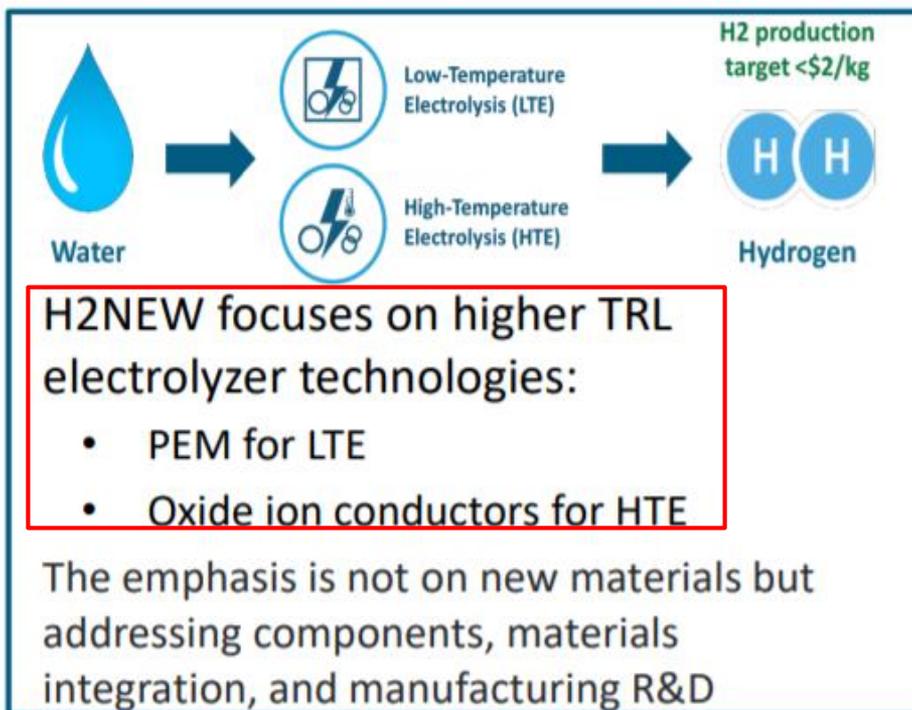
水電解に関連の
深いトピック

- 白金族金属を削減した**新しい触媒と電極触媒**
- 分散型および大規模電力システム用の、**モジュール式ガス化システム、及び水電解システム**
- **低コストで耐久性に優れた膜および分離材料**
- 新規で耐久性に優れた、低コストの**熱化学・光電気化学材料**
- 耐久性向上のための**加速ストレステストと劣化メカニズムの解明**
- ATR(Autothermal Reforming)を含む**改質技術の資本コストの削減**
- パワーエレクトロニクス、精製、暖気ガスの浄化など、**プラントの補機やサブシステムの改善**
- 量産時の**スケールアップと製造効率を考慮した部品設計と材料の統合**
- 電気と水素の多量生産を可能にする**可逆性燃料電池システム**
- プロセス強化を含む**システム設計、ハイブリッド化、および最適化**

出典：DOE“ Department of Energy Hydrogen Program Plan”

米国National Labによる「H2NEW」コンソーシアム

- National Labによる水電解のR&Dコンソーシアム「H2NEW」が昨年10月より立ち上げ。5年間\$50Mの予算。
- 過去のNational Labによる水電解R&Dプロジェクト「HydroGEN」は材料開発にフォーカスしていたが、H2NEWではより実地的な課題として部材や材料のインテグレーション、製造技術のR&Dにフォーカス。
- 対象とする電解装置の種類も、TRLの高いPEM・SOECに集中するとする。
- 2025年水素製造コスト\$2/kg、スタックコスト\$100/kWという高い目標に向けて優先度の高い課題として、特に性能、耐久性、スケールアップ(大量製造)を重視。加速試験(年⇒月/週)の確立などを目指す。



Electrolyzer Stack Goals by 2025		
	LTE PEM	HTE
Capital Cost	\$100/kW	\$100/kW
Elect. Efficiency (LHV)	70% at 3 A/cm ²	98% at 1.5 A/cm ²
Lifetime	80,000 hr	60,000 hr



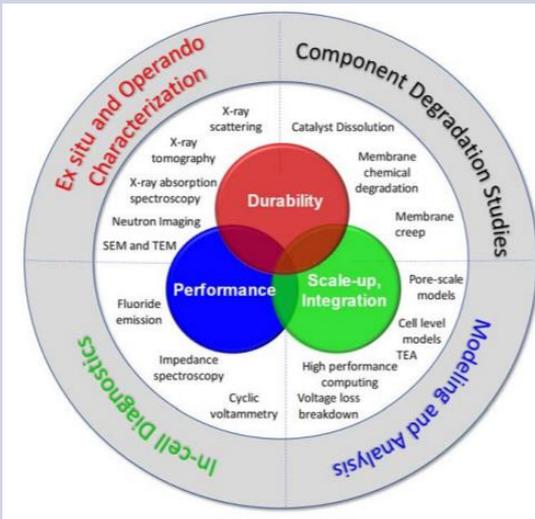
出典: Bryan Pivovar(NREL) "Current Status of (Low Temperature) Electrolyzer Technology and Needs for Successful Widespread Commercialization and Meeting Hydrogen Shot Targets"

H2NEWの取り組み概要

- ①耐久性向上・加速試験、②性能向上とそのためベンチマーク、③スケールアップのための製造技術、を開発。
- ①と②ではオペランド測定・評価とモデリングによる効率的な設計を推進、③では大量生産に適した技術を開発。
- ①・②は国内でも類似の取り組みが見られるが、③製造技術の開発にも取り組む点が注目される。

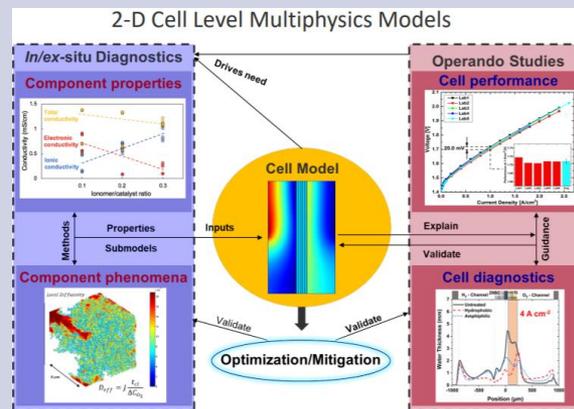
①耐久性・加速試験構築

- ・オペランド測定による劣化因子の改名
- ・Ex-situでの部材測定・劣化評価
- ・加速試験の構築
- ・劣化軽減手段の構築



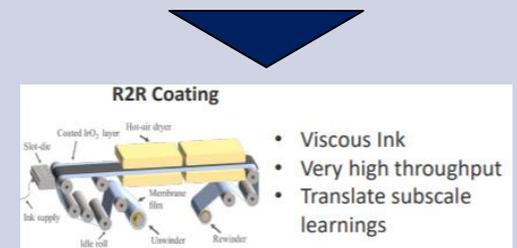
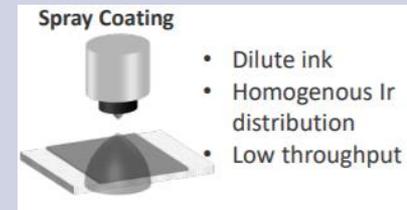
②性能(コスト・効率)ベンチマーク

- ・プロトコル構築・標準材料評価
- ・セル性能
- ・セルモデリング
- ・これらの結果を活用した、膜・触媒などの部材スクリーニング・効率的設計



③スケールアップ

- ・ラボレベルのCCM製造技術(スプレーコーティング)から大量製造に適した製造技術(Roll to Roll)への移行
- ・Ti PTLへの積層製造技術適用

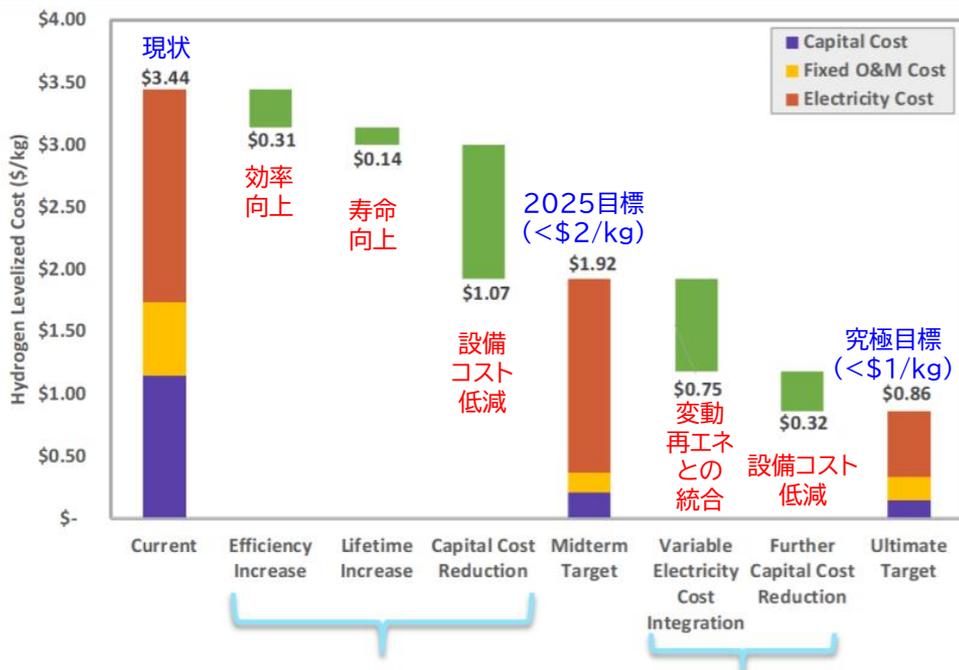


出典:DOE AMR 2021資料

参考:H2NEWでの水素製造コスト低減に向けたアプローチ

- H2NEWの分析・目標設定では、2025年の水素製造コスト\$2/kg、究極目標の\$1/kgという目標に向け、設備コスト低減・電気代抑制を追求。
- 電解装置の運用として変動再エネへの追従を想定、装置の耐久性向上を図ると同時にコスト・性能との両立を目指す。

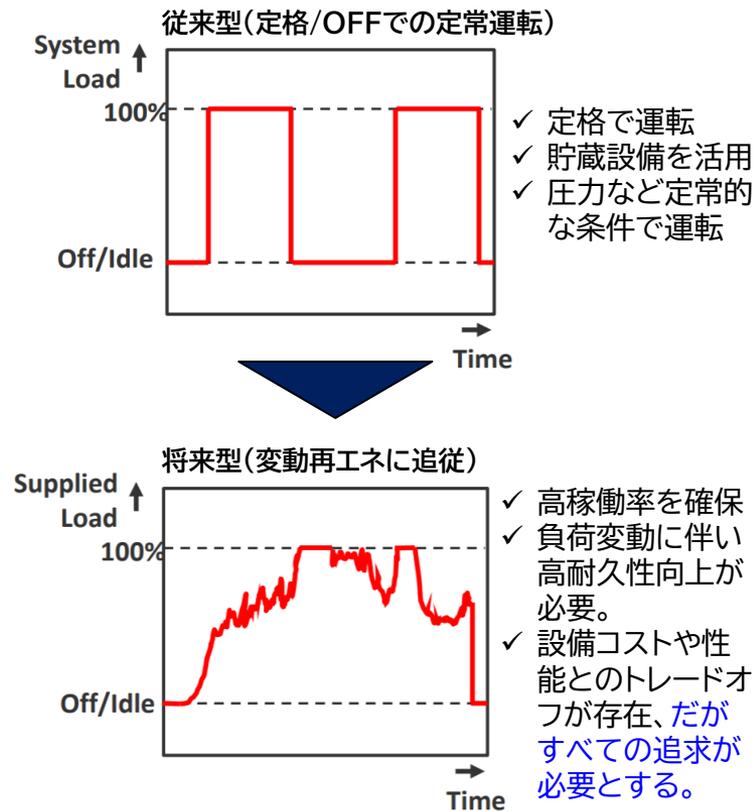
水素製造コスト低減の方針



H2NEWでのコストダウン取り組み

出典:Bryan Pivovar(NREL) "Current Status of (Low Temperature) Electrolyzer Technology and Needs for Successful Widespread Commercialization and Meeting Hydrogen Shot Targets"

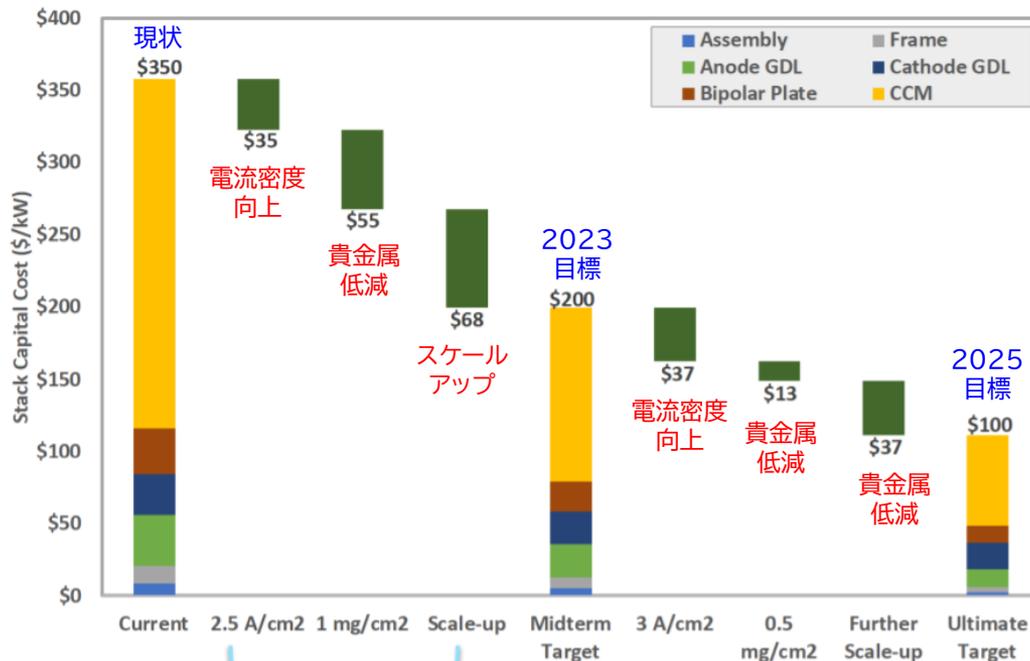
電解装置運用の方針



参考:H2NEWでのPEM形電解装置のコスト低減に向けたアプローチ

- H2NEWの分析・目標設定では、PEM形電解装置の**スタックコスト目標\$100/kW**に向けたアプローチとして、
 - ①電流密度向上(2.0A/cm²⇒3.0A/cm²)
 - ②貴金属使用量の低減(3mg/cm²⇒0.5mg/cm²)
 - ③スケールアップ(製造量の拡大、Roll-to RollプロセスによるCCM大量生産などを検討。

PEM形電解装置(集中製造)のコスト内訳と目標



H2NEWでのコストダウン取り組み

スタック諸元目標

Stack Targets	Status	2023	2025
Cell (A/cm ² @1.9V)	2.0	2.5	3.0
Efficiency (%)	66	68	70
Lifetime (khr)	60	70	80
Degradation (mV/khr)	3.2	2.75	2.25
Capital Cost (\$/kW)	350	200	100
PGM loading (mg/cm ²)	3	1	0.5

出典:Bryan Pivovar(NREL) ”Current Status of (Low Temperature) Electrolyzer Technology and Needs for Successful Widespread Commercialization and Meeting Hydrogen Shot Targets”

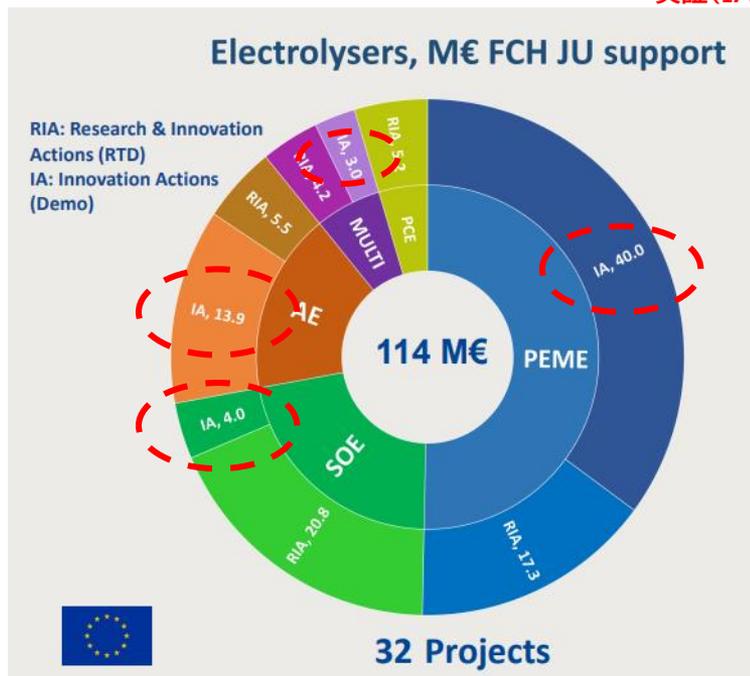
欧州FCHJUの水素製造技術開発戦略

- FCHJUでは水素製造プロジェクト59のうち32が水電解であり、水電解技術に非常に力を入れている。
- また、実証(下左図の「IA」)についても積極的に投資を行っている点が特色と言える。PEM形電解装置に関する実証で、電解装置全体の投資額の1/3を占める。
- 分野別投資額内訳の時間推移を見ると、PEMが一貫して多いが近年はSOEC、アルカリ形に関するプロジェクトも見られる。

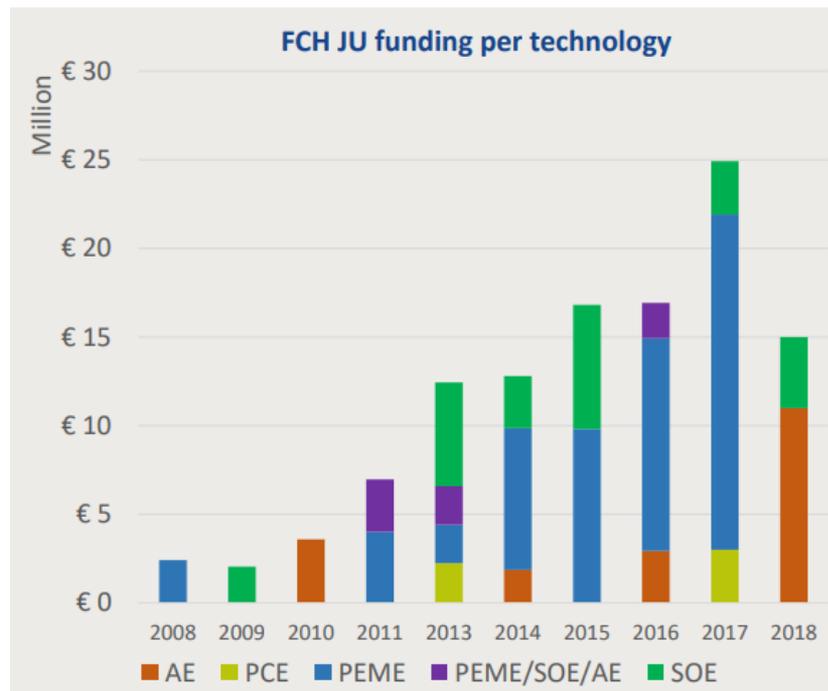
FCHJUプロジェクトでの各種電解技術開発の内訳

技術開発投資額の内訳

赤囲み：
実証(IA)



分野別内訳の推移



出典：FCHJU Programme Review Days資料をもとに作成

FCHJUでの2020採択の水電解関連プロジェクト

- 研究開発は本年はSOECに関するものが対象(去年はAEM)である。実証はスペインマヨルカ島のものが採択。

プロジェクト名	水電解技術	概要	参画プレーヤー
MegaSyn	SOEC (共電解)	MWスケールの高温SOEC共電解装置を製造し、製油所で合成ガスを提供する実証を通じて劣化に関する知見を蓄積し、技術をTRL7へと引き上げる。	<ul style="list-style-type: none"> •Sunfire(電解装置メーカー) •OMV Downstream(石油精製) •グラーツ工科大 •Paul Wurth(エンジニアリング)
PROMETEO	SOEC	安価な再エネが調達可能な地域で、熱エネルギー貯蔵装置を備えた太陽熱からのSOEC(25kW級)での水素製造に取り組む。	<ul style="list-style-type: none"> •SolidPower(電解装置) •Cpital Energy(ガス) •SNAM(ガス) •Stamicarbon(肥料) •ローザンヌ工科大 •NextChem(エンジニアリング) •IMDEA(研究機関)
WINNER	PCEC (プロトン伝導セラミック高温電解)	プロトン伝導セラミックセルを用いたアンモニア分解、炭化水素脱水素化、可逆水蒸気電解のセル開発を行う。	<ul style="list-style-type: none"> •SINTEF(研究機関) •COORSTEK Membrane Science(セラミック) •Shell(エネルギー) •SANDVIK(材料) •Engie(エネルギー) •オスロ大 •デンマーク工科大 •CSIC(研究機関)
Green HysLAND	PEM	Hydrogen valleyプロジェクトの一つ。スペインマヨルカ島に水素エコシステムを構築すべく、PVに接続された7.5MWの電解装置とモビリティ(バス・乗用車)、CHPプラント(建物へ熱電併給)、港湾電力供給、ガス管注入を統合する。	<ul style="list-style-type: none"> •スペイン他の30機関

FCHJUプロジェクトでの電解装置導入状況

- 現状開始中のFCHJUプロジェクトでは、オランダデルフトザイルでの20MWの加圧形アルカリ電解装置(McPhy製)によるグリーン水素からのメタノール製造プロジェクト「Djewels」が最大級。2022年運転開始計画。
- 2025年までには数百MWの電解装置導入予定。

Hydrogen production, new generation of low temperature electrolyzers



Scaling up challenges: new manufacturing processes to lower cost, increase capacity and lifetime

出典: Bart Biebuyck(FCHJU)“Scaling-up Innovations on Renewable Hydrogen Production and Use”

参考:オランダのグリーンケミカルプロジェクト「Djewels」

- オランダデルフトでは、20MWの加圧形アルカリ電解装置(McPhy製)によるグリーン水素からのメタノール製造プロジェクト「Djewels」がスタートしている。
- 参画企業は、Nouryon(化学メーカー)、Gasunie(ガス)、Denola(電極メーカー)など。



INNOVATION
| Augmented McLyzer

High current density

Flexibility and fast response time
from 0 to 100% in < 30 sec
from 100% to 0 in < 5 sec

High efficiency: < 4,9 KWh / Nm³

High-pressure: 30 bar

Life time > 70.000 hours

Best TCO on its segment

Compact footprint:
20 MW installed in less than 1000 m²

Highest quality & safety standards



Key project to establish zero-carbon hydrogen competitiveness at large-scale

20 MW: 3,000 tons of zero-carbon H₂ / year and 27,000 tons of Co₂ emissions avoided / year

First 20 MW Unit in Europe, dedicated to Renewable Methanol

出典:McPhy「DJEWELS」

欧州各国の水素製造技術開発戦略の例(オランダ)

- オランダの研究機関であるISPTでは既存用途で利用されている水素をグリーン水素で代替していくため、「MW Test Centre」、「GW Electrolyzer」、「Hychain」という3つの取り組みを進めている。
- 「MW Test Centre」では、アルカリ形水電解・PEM形水電解それぞれ250kWの設備を備えた試験設備により、GW級へのスケールアップに向けた耐久性の試験を実施する。現在EPCが完了、20年の第4Qから本格的に試験を開始。

MW Test Centreコンソーシアムへの参画機関



ISPT
(オランダの研究機関)

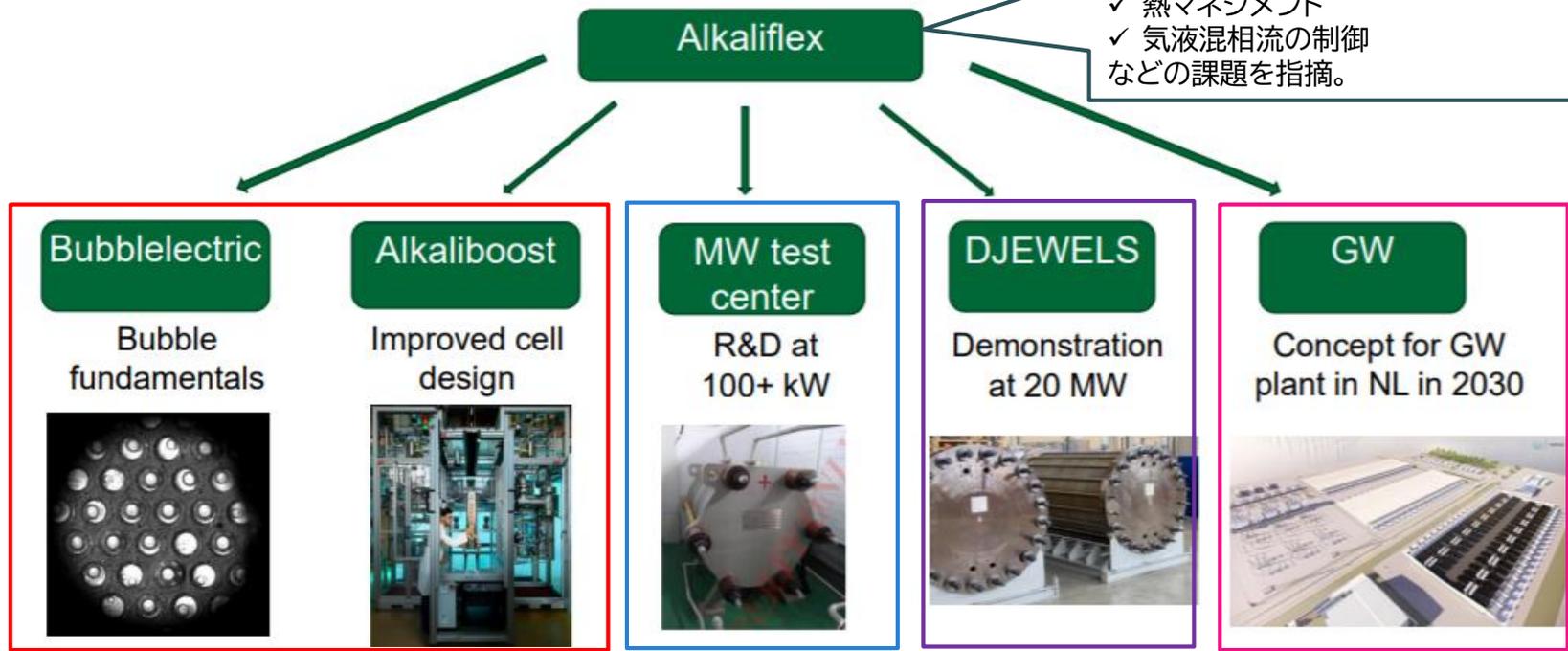
- MW Test Centreはオープンイノベーションを推進する施設であり、膜や電極、補機などの部材のサプライヤも試験・性能評価を遂行可能。電解槽メーカーから入手しづらい情報を得ることができる施設となる。また、パートナーとして、イギリスの水電解メーカーとも共同研究している。
- アルカリ形とPEM形は両方を有力と考えている。定常運転が求められるならアルカリ形が有力だが、PEM形はランプアップダウンが素早くできる点にメリットがある。小型・分散型の利用時にはむしろPEMが有力。
- ただ、アルカリ形は成熟した技術。PEM形には技術の伸びしろがある。

出典:平成31年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業 水素・燃料電池戦略ロードマップの進捗確認及び国内外における水素・燃料電池利活用状況調査 調査報告書

オランダNouryon社の研究開発ポートフォリオ

- 低コスト化・スケールアップ・高性能化などの目標に向けて、国の研究機関やサプライヤと共同しながら多様なプロジェクトを通じ、基礎研究から応用・実証まで技術開発を推進している。

Alkaliflexプロジェクト
 2019年迄アルカリ電解の柔軟性を研究。柔軟な運用は低コスト化に繋がるため。
 ✓ 高性能な整流器の利用
 ✓ ガスバリア性に優れた膜の必要性
 ✓ 熱マネジメント
 ✓ 気液混相流の制御などの課題を指摘。



基礎研究
 大学と共同で先進的なアルカリ電解のための技術を開発する。

スタック設計
 サプライヤとプロジェクトに適した技術を開発。

実証
 20MW級の装置の実証。

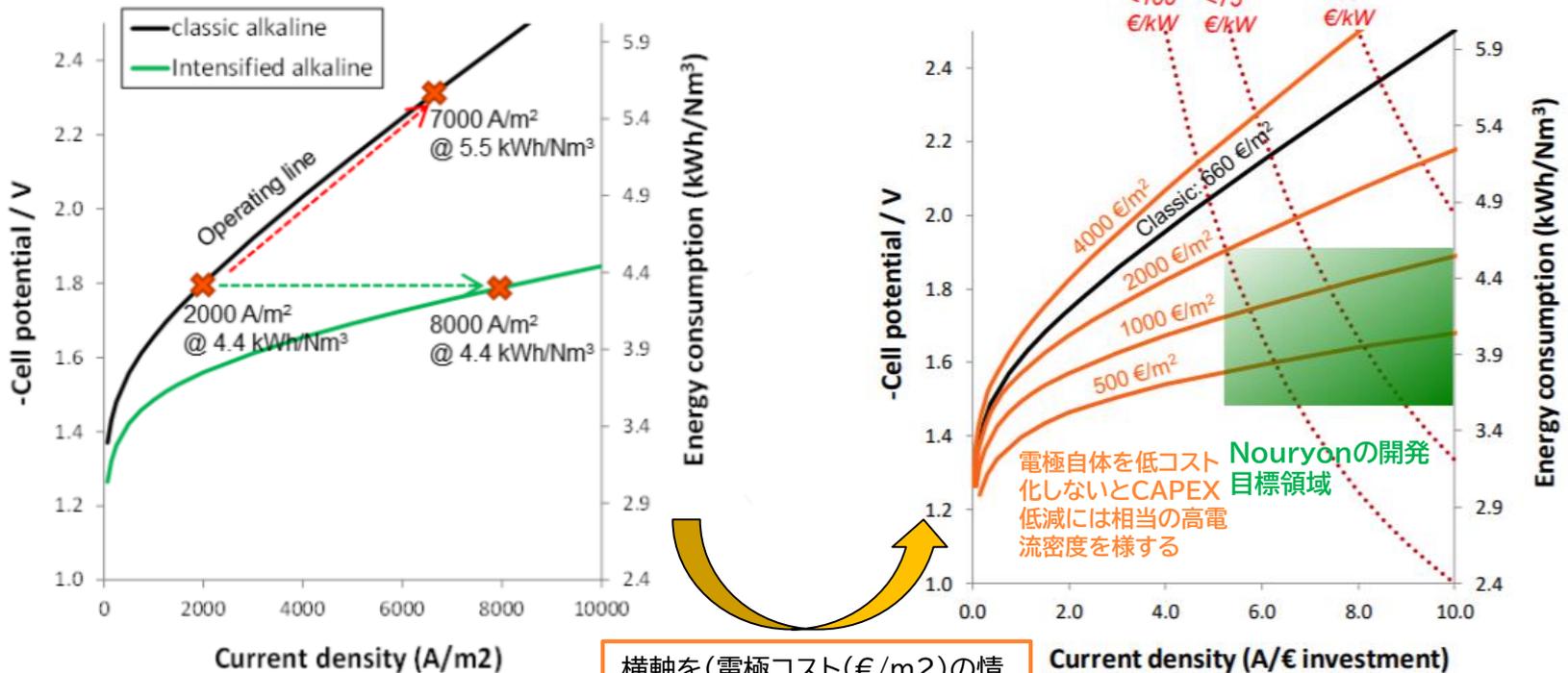
コンセプト検証
 GWスケールでのコストダウン工科や最適設計の検討

出典: Nouryon「Alkaliflex: vergroting van de flexibiliteit en productiecapaciteit van alkalische waterelektrolyse」をもとに作成

参考:Nouryonのアルカリ電解開発目標

- Nouryonは食塩電解の技術を持つメーカー。電解装置についても開発を行っており、2030年頃に€100/kWの水準を目指すことで€2/kgの水素を提供することを目標としている。
- 高効率・高電流密度を目指す際に電極を安価に抑えることが、現実的な電流密度でこの目標を実現する鍵である。
- 現在アルカリ電解では、アノードの他にカソード触媒として貴金属(白金など)を大きいと数g/m²程度使っているケースもあると思われる。しかし、現在白金は4000円/g前後のため、これは下右図でいえば数百€/m²に相当。
- 電極での貴金属利用量を抑制することは、低コスト化を図る上で重要と考えられる。

I-V特性とNouryonの目指す目標



横軸を(電極コスト(€/m²)の情報)でコスト当たりの電流に換算

出典: Nouryon「Intensification of alkaline electrolysis」

日本の水電解技術の現状・目標との比較

- 2020年6月に報告された国内の水電解技術に関する「現状値」および日本国内の目標・海外との比較は以下の通り。
- アルカリ・PEM共に日本の「現状値」は海外と同程度かそれ以上に高効率であるが、設備・メンテコスト目標に隔たり。

アルカリ・PEM形電解装置の国内の「現状値」とロードマップ目標および海外との比較

(表1 アルカリ形水電解装置の現状と目標値)

項目	単位	現状値 (2019年度末) ※1		ロードマップの目標値		海外の現状
		メーカー想定値※2	実証値	2020年	2030年	
エネルギー消費量※3	kWh/Nm3	4.3 (0.15A/cm2時) – 5.0 (1.0A/cm2時)	4.3 (0.15A/cm2時) – 5.0 (1.0A/cm2時)	4.5	4.3	4.6
設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	60 (12)	72 (14.4)	34.8 (7.8)	22.3 (5.2)	- (5.5-15.4)
メンテナンスコスト	円/(Nm3/h)/年	24,000	29,000	7,200	4,500	8,900
劣化率	%/1000時間	評価中	評価中	0.12	0.10	0.13
電流密度	A/cm2	0.15 – 1.0	0.15 – 1.0	0.7	0.8	0.5
触媒でのコバルト使用量	mg/W	0.7以下	0.7以下	3.4	0.7	7.3

※1 前提条件：水素純度99.9%、水素圧力0.05MPa ※2 水素製造量100,000 – 200,000 Nm3/hの場合の水電解装置メーカーによる試算値 ※3 劣化前

1. 解決すべき課題

- ①水電解装置の高効率化・高耐久化に向けた隔膜・電極等の技術開発。②電解槽部材のメンテナンス最適化によるコスト削減。

(表1 PEM形水電解装置の現状と目標値)

項目	単位	現状値 (2019年度末)		ロードマップの目標値		海外の現状
		メーカー想定値※1	実証値(見込み)※2	2020年	2030年	
エネルギー消費量	kWh/Nm3	5.0	4.6 – 4.8	4.9	4.5	5.2
設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	125 (25)	182 (37.9)	57.5 (11.7)	29.0 (6.5)	- (12.1-19.8)
メンテナンスコスト	円/(Nm3/h)/年	2020年目標未達見込	12,000	11,400	5,900	16,200
劣化率	%/1000時間	2020年目標未達見込	-	0.19	0.12	0.25
電流密度	A/cm2	1.0 – 2.0	2.2以上(最大性能)	2.2	2.5	2.0
触媒貴金属量(PGM)	mg/W	0.5 – 1.5	2.7以下	2.7	0.4	5.0
触媒貴金属量(白金)	mg/W	0.2 – 0.5	0.7以下	0.7	0.1	1.0
ホットスタート	秒	1 – 2	0.1以下	2	1	10
コールドスタート	秒	ホットスタートと同様(1-2)	-	30	10	120
設置面積	m2/MW	30	91	100	45	48

※1 水電解装置メーカーのカタログ値・試算値 ※2 本格的な実証開始前であるが、これまでの検証結果から達成見込みの値。

1. 解決すべき課題

- ①水電解装置の高効率化・高耐久化に向けた膜・触媒等の技術開発。②セルスタックの複層化と運転性能の両立に向けた技術実証。

出典：資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」(第2回 水素・燃料電池戦略ロードマップ評価ワーキンググループ 資料)

水電解装置の普及に向けた政策支援

諸外国の支援制度の例(蘭SDE++)

- SDE++は脱炭素技術に対する支援制度であり、(上限額はあるものの)CO2削減費用と商品価格の差額を補填する補助金制度である。
- CCSはSDE++の補助の対象である。ブルー水素の製造にもSDE++を活用できる。
※ただしSDE++の対象としては、工業用のCCSでは貯留量上限(7.2Mt/年)が課されている。
- 再エネ+水電解によるグリーン水素製造は補助の対象である。だが、2021年-2026年までは、稼働時間に上限が定められている。再エネ電力を十分長い時間の電解への入力とするには再エネが十分でないためとされている。

水電解による水素製造時間の上限

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
稼働時間上限 [h/年]	0	0	1490	1590	1820	2330

出典：オランダ政府“SDE++ 2020”

参考：H31年度の海外視察(2020年2月)時の政府・業界団体のコメント

水素に与えられるインセンティブ (SDE++制度) について



オランダ経済・気候政策省

- SDE++は革新的な脱炭素技術に対する補助制度。対象技術によるCO2削減費用と商品価格との差を補助する。上限を€300/tCO2とし、これを下回る技術に補助がなされる。
- 例えばCCSはSDE++の対象なので、CCSによるブルー水素製造は補助を受けられる。



TKI Nieuw Gas

- グリーン水素のCO2削減費用は現状€1064/tCO2と高額だが、補助対象項目としてグリーン水素は残されており、稼働年間2000時間以下のものがSDE++の対象項目として残されている。稼働時間の指定が加えられたのは、系統の電源ではなく再生可能エネルギーが電解装置に投入されることを推奨するためではないか。
- しかし、我々は稼働率が4-5割見込める洋上風力の利用を考えている。

参考:SDE++での支援額の計算例(CCS)

- SDE++では(CO2削減手段の基準額-エネルギー/CO2価格)×年間のCO2削減量分の金額を支援。
- CCSの場合なら(CCSに定められた基準額-ETS額)×年間貯留量を支援。

CCSに対するSDE++での支援額の計算例(SDE++ドキュメントより)

This example is calculated based on CO₂ capture in an existing production process with 8,000 full-load hours and a capacity of 100 tonnes of CO₂/hour. Participation in the ETS has been factored into this example.

Category: Existing CO₂ capture in existing production processes (8000 full-load hours)

Maximum application amount, Phase 1 onwards	62.476 €/tonne CO ₂
ETS	25.264 €/tonne CO ₂
2020 provisional correction amount*	0.000 + 25.264 = 25.264 €/tonne CO ₂

Provisional 2020 SDE++ subsidy	€62.476 - €25.264 = €37.212
--------------------------------	-----------------------------

Maximum number of full-load hours entitled for the subsidy	8,000 Full-load hours
--	-----------------------

Total capacity	100 tonnes of CO ₂ /hour
----------------	-------------------------------------

Maximum annual production entitled for the subsidy for a facility with a capacity of 100 tonnes of CO ₂ /hour	8,000 * 100 = 800,000 tonnes CO ₂ /year
--	--

Provisional 2020 SDE++ subsidy	800,000 * €37.212 = €29,769,600
--------------------------------	---------------------------------

* In the calculation of the provisional correction amount, the product CO₂ itself has no value, but in this example the ETS value is included

出典：オランダ政府“SDE++ 2020”

低炭素・グリーン水素の認証制度

(クリーン水素の定義・方法論に関する国際的議論状況は(1)-2 ③参照)

欧米のトラッキング制度の概要 (水素との関連を中心に)

世界各国での再エネ証書の利用状況

- 各国におけるエネルギーの原産地証明制度では、地域に応じて利用されている再エネ証書が異なる。
- 北米ではRECsが、欧州ではGuarantees of Origin(GO)が利用されている状況。

世界各国で利用されている原産地証明の認証システム



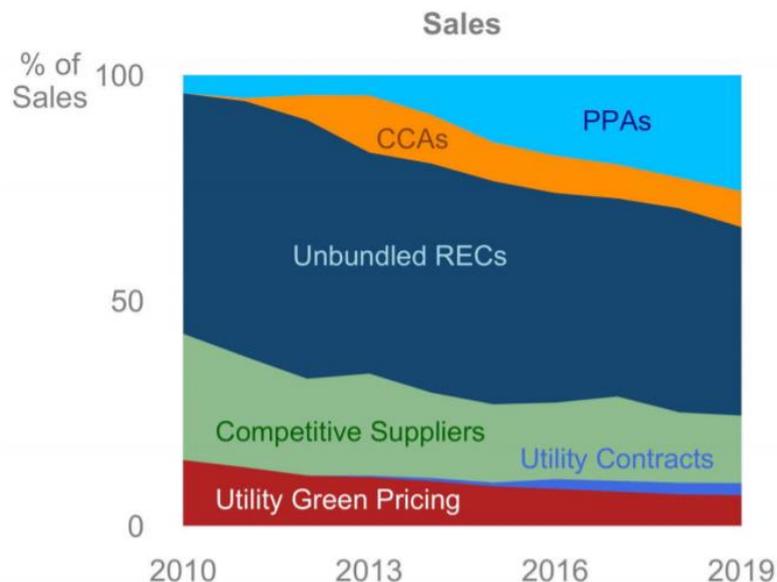
出典: Energy Community “on Implementation of the Guarantees of Origin System in the Energy Community”

米国のRECsについて

- 北米では発電源の原産地証明としてRECsが用いられ、RPS制度での再エネ導入目標達成や企業のRE100などの持続可能目標達成のために取引されている。
- RECsは、米国において再エネ由来の電力に付随する各種属性の所有権を主張するシステムである。
- 2019年にはおよそ780万の顧客(全米のリテール顧客の5%)・1億6400万MWhの電力(全米のリテール売上の4%)が、RECs市場に参画している。

米国の消費者のグリーン電力調達の種類と売上内訳

Utility Green Pricing	電力会社顧客がプレミア価格を支払いグリーン電力を調達(電力会社がRECsを調達)	住宅、小規模な企業が対象
Utility Contracts	特定顧客が電力会社とグリーン電力調達契約を結ぶ(電力会社がRECsを調達)	大企業
Unbundled RECs	顧客は発電源証明(RECs)を購入し、電力は市場から調達。(顧客がRECsを調達)	全顧客
Competitive Suppliers	市場でグリーン電力を購入(顧客がRECsを調達)	全顧客
CCA	コミュニティが電力を共同で購入(コミュニティがRECsを調達)	全顧客 (主に住宅、小規模な企業)
PPA	オフサイト再エネ発電所と顧客がグリーン電力調達の長期契約を結ぶ(顧客がRECsを調達)	企業、公共機関



出典: Jenny Sauer (NREL) "Status and Trends in the U.S. Voluntary Green Power Market (2019 Data)"

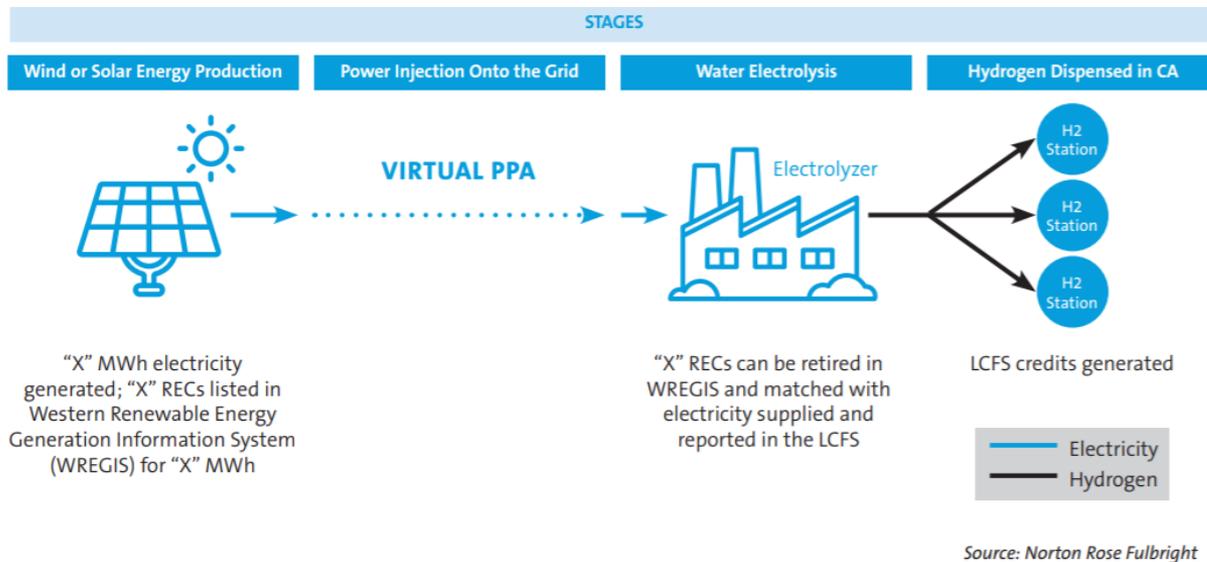
出典: Eric O' Shaughnessy, Jenny Heeter, and Jenny Sauer (NREL) "Status and Trends in the U.S. Voluntary Green Power Market (2017 Data)" をもとに作成

カリフォルニア州でのLCFSクレジット獲得へのRECsの利用

- 水素ステーションでの燃料販売クレジット獲得のために、RECsを利用して「みなし」での再エネ由来水素を販売するという手段が現在でも利用可能である。

カリフォルニア州における、RECsを利用したLCFSクレジット獲得の概念図・手順

Virtual Renewable Power Supply for H2 Production in California



Step1	西部再生可能エネルギー発電情報システム(WREGIS)へのアカウント登録
Step2	LCFS獲得に必要なRECsの売却
Step3	LCFSにおけるRECs売却の実証 (四半期ごとに低炭素電力であることの実証として、報告書をWREGISで提出)
(Step4)	州外の発電設備由来RECsを利用する場合、WREGISへeTagsをインポート。 (必要の場合のみ)

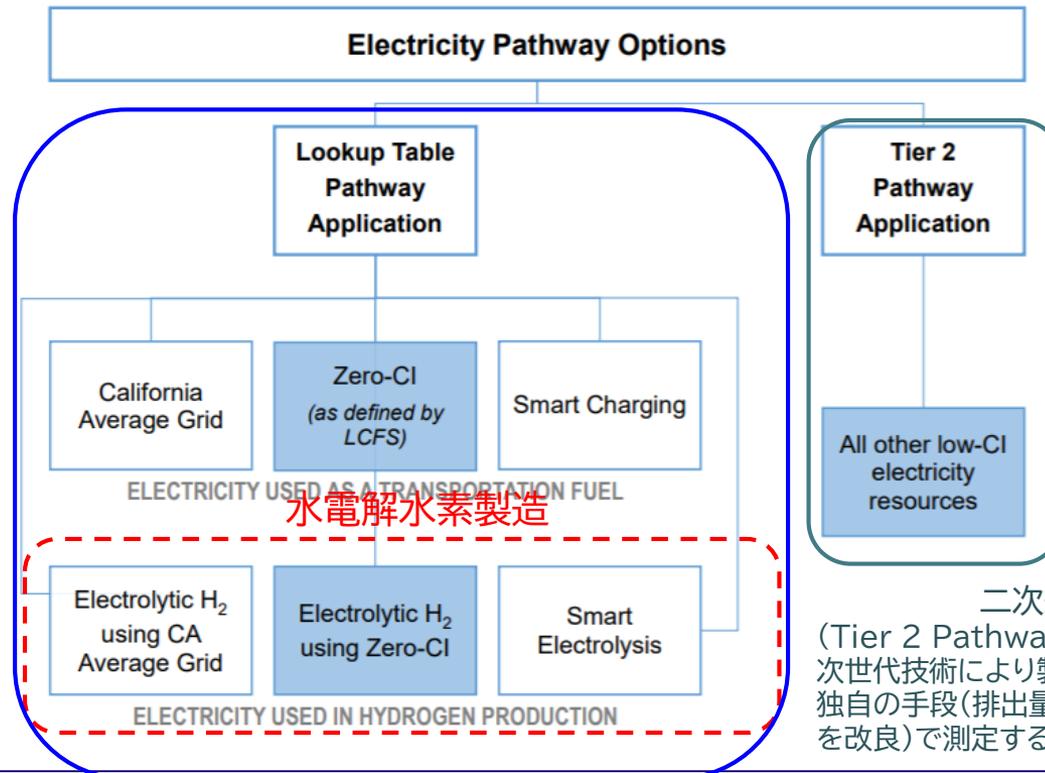
出典:Norton Rose Fulbright

出典:CARB“LCFS Guidance 19-01 Book-and-Claim Accounting for Low-CI Electricity”

RCFsを用いたLCFS燃料クレジット獲得

- 水電解での水素製造への投入電力にRCFsを使い、LCFSクレジットを獲得することが可能である。排出量評価には、CARBにより与えられたルックアップテーブルが利用可能。このスキームが機能する理由は、以下の通りと思量。
- LCFSでは、水素のクレジット計算にWell-to-tankの排出量を用いている(前ページ参照)ため、クレジット獲得にはWell-to-tankの排出量情報が必要。製造源保証のRCFs(=製造時ゼロ排出)のみでは情報は十分でない。
- (少なくともルックアップテーブルを利用する経路であれば)LCFS側で輸送・貯蔵の部分を含めた排出量が与えられているため、製造部分の製造源保証ができれば十分(=RCFsが持つ情報で十分)と考えられる。

RCFsを用いたみなし再エネでのLCFS燃料クレジット獲得の分類(青塗り:RCFsの利用が可能な製造法)



二次経路
(Tier 2 Pathway Application)
次世代技術により製造された燃料は、
独自の手段(排出量算定ソフトウェア
を改良)で測定する。

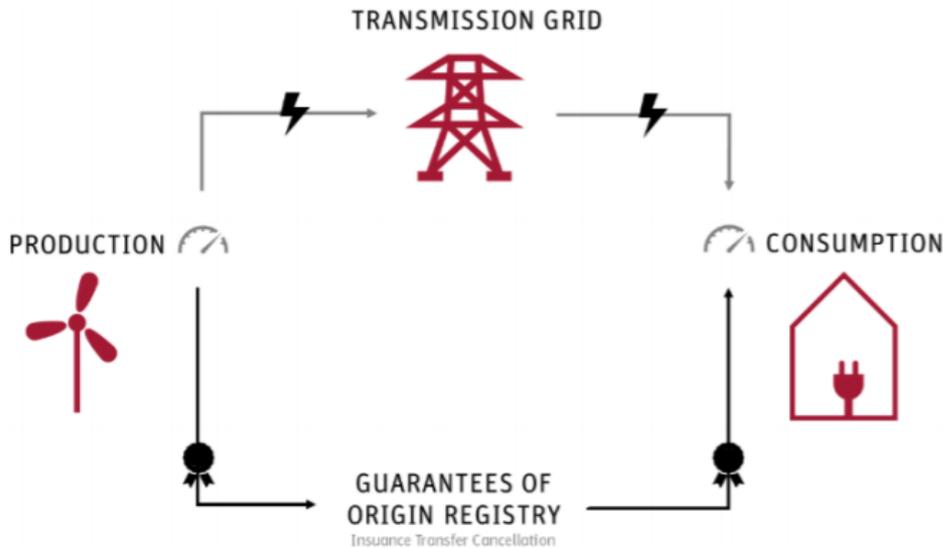
ルックアップテーブル経路
(Lookup Table Pathway
Application)
典型的な製造パスによる燃料
は、業界平均に基づく排出量
がCARBから提示されている。
みなし再エネ+水電解もルッ
クアップテーブル利用可能。

欧州のGOについて

- 欧州では再エネ指令 (RED II) において各国に再エネの属性証明 (GO) を与えるシステム構築するよう規定している。
- GOは企業による再エネ利用の主張で利用され、市場参加者の間で取引が行われる。GOは再エネ電力製造者の要求に応じて発行される。原単位は1MWhであり、有効期限は1年間とされている。
- なお、GOの需要は拡大傾向にあり、2018年には1.0-2.5€/MWhで取引されていた。GOは水力・風力により大半が発行されている。

GOの概念図

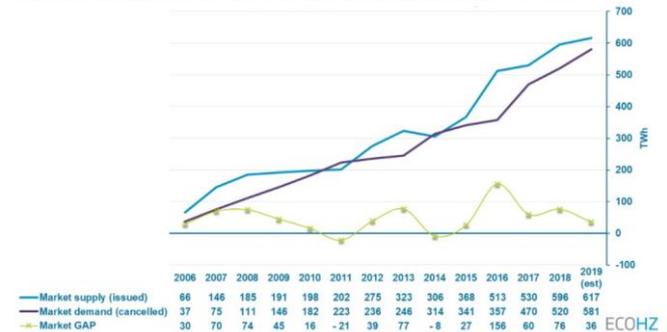
- ✓ 再エネ発電の原産地保証の価値(証書)と電力を分離して、証書を市場で取引することを可能とする。



出典: EEX HP

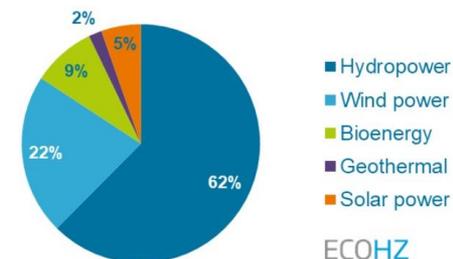
GOの市場取引量の推移

Market Development Guarantees of Origin (TWh) 2006 – 2019



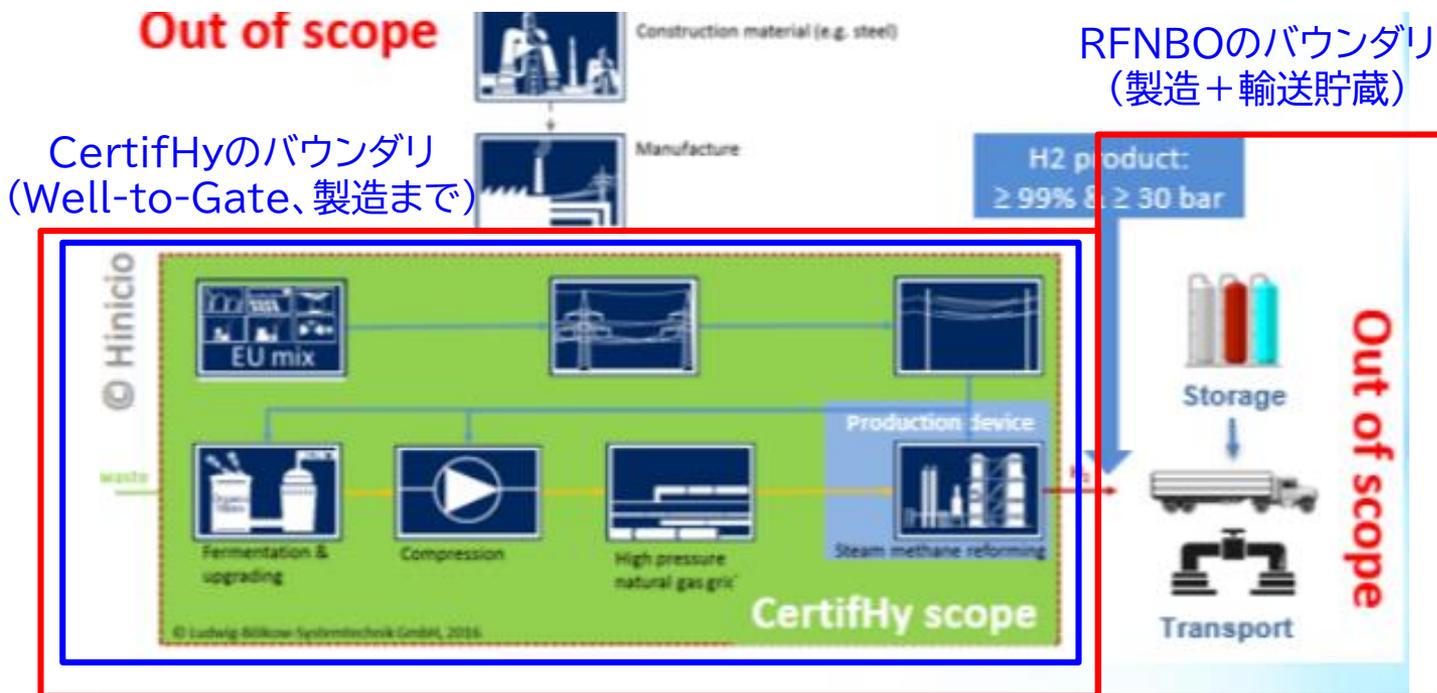
GOの市場取引量の推移

Market supply (issued) Guarantees of Origin per technology 2019



CertifHy GOとRFNBO

- Fit for 55では、RFNBOに対して導入量の目標が設定されたところ。
- RFNBOはWell-to-TankでのCO2排出量で定義づけられているため、RFNBOの条件に適合するには原産地証明(CertifHy GO)の情報に加えて輸送・貯蔵の部分の排出量の情報が必要。
⇒ CertifHy3(2020/12-)では、このRFNBOとCertifHy GOの整合性確保が課題の一つ。これにより、CertifHy GOに基づく再エネ水素由来RFNBOが認証されることが期待される。



出典：CertifHy 「CertifHy –Developing the 1st EU-wide Guarantee of Origin scheme for Premium Hydrogen」

輸送燃料としてのグリーン水素に対する原産地証明の活用状況(ここまでの整理)

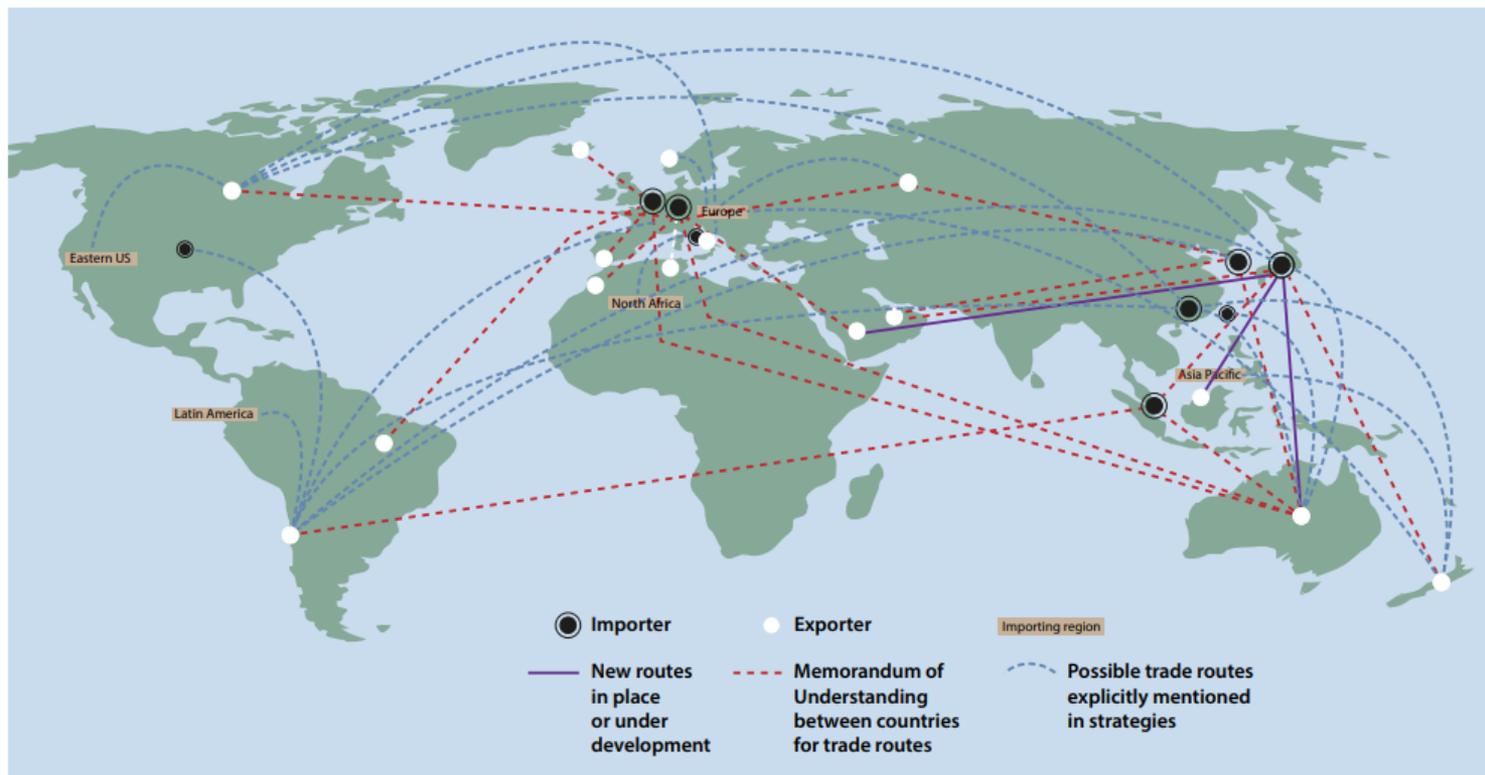
	米国カリフォルニア州	EU
原産地証明	RECs (再エネGO)	CertifHy GO (水素GO)
輸送燃料に対する規制の例	LCFSクレジット制度 (CO2排出抑制量のクレジット化)	RED II (再エネ由来かつ化石燃料比3割以下の排出量で製造される燃料(RFNBO)の導入目標)
規制での水素・RFNBOの排出量算出バウンダリ	Well-to-tank	Well-to-tank
原産地証明を用いたグリーン水素の製造時排出量(Well-to-Gate)	ゼロ (LCFSクレジットでの扱い)	化石燃料比で6割減。 (CertifHy GOスキーム)
Gate-to-tankでの排出量情報	パスを規定した上で、LCFS側で提示(ルックアップテーブル) ⇒RECsを消費してWell-to-tankの排出量を担保することでLCFSクレジット獲得に必要な十分な情報といえる。	GOスキームの枠とは別に算出が必要 ⇒CertifHy GOを消費してWell-to-tankの排出量を担保するだけではRFNBO状況件に適合的な燃料とはいえない。
原産地保証の輸送用水素での活用状況	既にLCFSクレジット獲得が可能	— (今後CertifHyスキームの検討を通じ、RFNBOと統合的なGOが構築される必要。CertifHy3での取組が計画されている)

(1)－1 将来の水素社会のあるべき方向性の整理

④資源外交・インフラ輸出等の一体的な推進

現在の情報に基づく水素貿易ルート

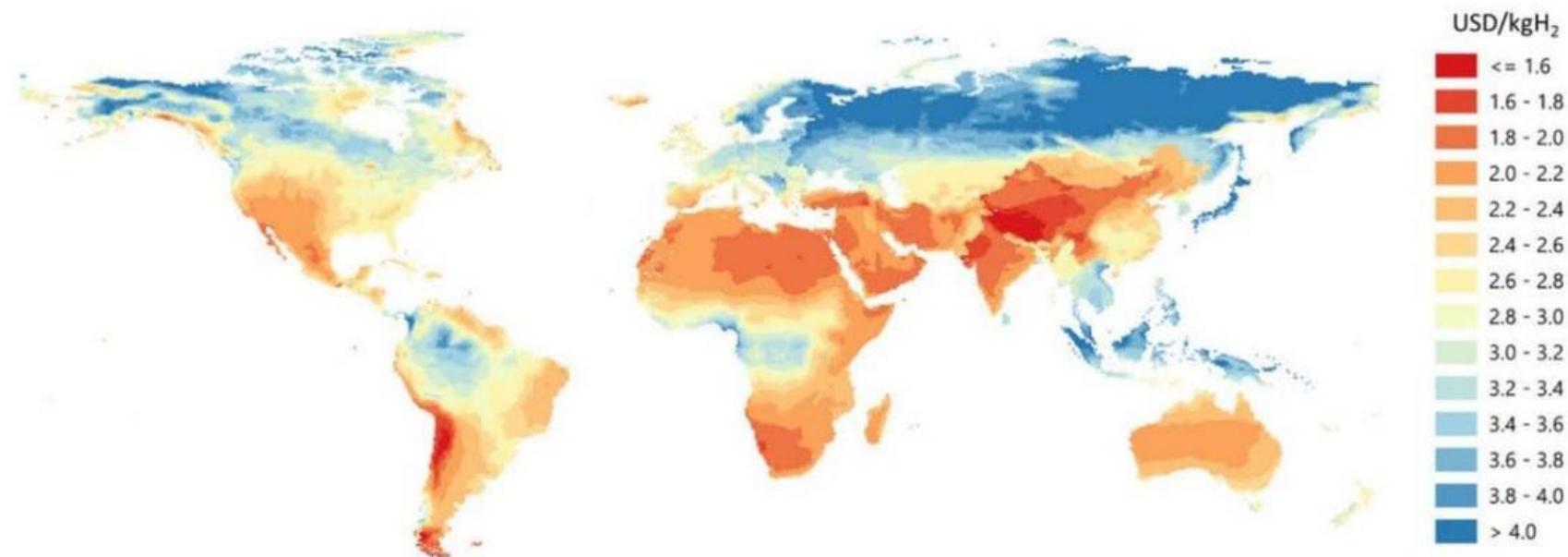
- 日本は世界に先駆け国際水素サプライチェーン構築に取り組んできたが、近年は将来の自国水素需要を見込んで輸入を検討する国が、韓国、欧州(ドイツ、オランダなど)、シンガポールなど増加傾向。
- また、日本がすでに水素輸入実績を有する国のほかにも、中東、南米、北米・カナダ、東南アジアなど新たな資源としてのクリーン水素輸出を検討する国が増加。国際水素サプライチェーン構築が注目を浴びつつあり、安価な水素調達に向けた関係構築の重要性が高まっている。



出典: IRENA “Green Hydrogen Supply”

参考:太陽光・陸上風力からのグリーン水素製造コストの地域分布

- 水電解によるグリーン水素製造コストには電気代が大きく寄与するため、再エネ発電コストの低い地域が価格競争力を有すると考えられる。
- 結果として、水電解によるグリーン水素製造コストは強い地域依存性を有し、安価な地域は偏在。
- 安価なグリーン水素の調達には、再エネ資源に富んだ国との関係早期構築が重要な意味を持つと考えられる。
- その観点で、以降では資源国(豪州)が構築を図る水素サプライチェーンの情報について調査・整理した。



出典:IEA“The Future of Hydrogen”

豪州での水素支援と「クリーン水素ハブ」プロジェクト

現在取り組み継続中のARENAの支援プロジェクト

- 豪州では、連邦政府による水素に関する支援プロジェクトはARENA・CEFC(Clean Energy Finance Corporation, 政府金融機関)により運営。以下の4つが取り組み継続中。うち水素に関するものは以下3つ。

Advancing Renewables Program (ARP)

ARP supports a range of development, demonstration and pre-commercial deployment projects. This includes opportunities to optimise the transition to renewable electricity, commercialise clean hydrogen and support the transition to low emissions metals.

Status: Ongoing

Industrial Energy Transformation Studies Program

The Industrial Energy Transformation Studies Program aims to assist large energy users to undertake studies to identify opportunities to lower energy costs and reduce emissions.

Status: On hold

Regional Australia Microgrid Pilots Program

The Regional Australia Microgrid Pilots Program (RAMPP) supports pilot demonstrations of microgrid technologies in rural and regional Australia.

Status: Open

Innovation Fund

Emerging Australian technologies & businesses that can accelerate Australia's transition to a renewable energy economy.

Status: Ongoing

出典: ARENA HP
<https://arena.gov.au/funding/>

現在取り組み継続中のARENAのファンド

プログラム名	概要	支援額	備考
Advanced Renewable Program	<p>Advancing Renewables Program(ARP)は、投資重点分野に対応するアプリケーションに対して継続的にオープン。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・再生可能エネルギーへの移行を最適化 ・クリーン水素の商品化 ・低排出金属への移行をサポート 	<p>10万豪ドル～5000万豪ドル/件。ただし応募者はARENAからのファンド以上を負担することが求められる。</p>	<p>応募者はデスクトップ調査でない限り豪州法人であることが必要。</p> <p>2020年度は、「Renewable Hydrogen Deployment Funding Round」と銘打って、グリーン水素プロジェクトを支援。2021年5月に採択機関を決定。(次々ページ参照)</p>
Industrial Energy Transformation Studies Program	<p>大規模なエネルギーユーザーがエネルギーコストを削減し、排出量を削減する機会を特定するための調査を実施するのを支援する。</p>	<p>応募者は、次の2つのラウンドのいずれかで応募できる。</p> <p>ラウンド1A 実現可能性調査 (最大1000万豪ドルが利用可)。助成金は対象となるプロジェクト費用の最大75%(10万豪ドルから50万豪ドル)</p> <p>ラウンド1B エンジニアリング研究(最大1500万豪ドルが利用可能)。助成金は、適格なプロジェクト費用の最大50%(25万豪ドルから500万豪ドルの間)。</p>	<p>ラウンドの開始は、ARENAがプログラムでサポートできるテクノロジーを明確にする新しい規制を政府が発行するまで延期。</p>
Clean Energy Innovation Fund	<p>オーストラリアの排出量を削減できる活動を行う革新的なビジネスに投資。</p>	<p>総額2億豪ドルまで利用可能。</p>	<p>スタートアップ投資であり、CEFCが運営。水素関連では、Wollongong大の水電解技術への投資実績あり。</p>

現在取り組み継続中のCEFCのファンド

プログラム名	概要	支援額	備考
Advancing Hydrogen Fund	<p>クリーンでイノベーティブなオーストラリアの水素産業を育てるために、投資を行う。</p> <p>対象となるプロジェクトは</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先進的な水素製造 ・国内・輸出サプライチェーン構築、輸出インフラを含む。 ・Hydrogen Hubの構築 ・国内水素需要創出を支えるその他のプロジェクト 	総額3億豪ドルまで利用可能。	<p>初期は、ARENAの「Renewable Hydrogen Deployment Funding Round」に含まれるプロジェクトへの投資を優先的に行う。</p> <p>グリーン水素、特に10MW以上の電解装置プロジェクトにフォーカス。(豪州ではファンド設立当時、1MW程度の実証を完了した段階のため)</p>

参考:

ARENA Renewable Hydrogen Deployment Funding Round (2021年5月に採択機関決定済み)

- ✓ 3つの商業規模の再生可能水素プロジェクトに向けて1億330万豪ドルを条件付きで承認。
- ✓ 政府目標の「2\$/kg未満のH₂」を達成するためのオーストラリアの道筋を前進させるプロジェクト。

代表機関	概要	金額
Engie	西オーストラリア州でYaraのアンモニアプラントで10MWの電解槽で水素製造。	4250万豪ドル
ATCO	西オーストラリア州のATCOクリーンエネルギーイノベーションパークで10MW電解槽でガス管混合用の水素製造。	2870万豪ドル
AGIG	ビクトリア州のAGIGマレーバレー水素パークで10MW電解槽でガス管混合用の水素製造。	3210万豪ドル

豪州「クリーン水素ハブ FS」プロジェクトの概要

プロジェクトの目的・概要

目的

- ✓ オーストラリアでの地域の「水素ハブ」構築
- ✓ 既存インフラ活用での最小コストの水素産業構築
- ✓ 低炭素水素の国内・国際供給の土台づくり

グラント概要

- ✓ 「Development and Design」(FS)と「Implementation Round1」の2種類が存在
- ✓ 期間:最大18ヶ月(延長の可能性あり)
- ✓ 支援額:(総額3000万豪ドル)
最大で総費用の50%(50万から300万豪ドル)
他のグラントからの支援を受けることも可能
(合計支援額が総費用の50%を超えない限り)

水素ハブに求められる要件

- ✓ 産業部門のエネルギー需要が存在すること
- ✓ 大規模プロジェクトの遂行能力があること
- ✓ 活用可能な既存インフラ(港湾・ガスパイプライン・CCS貯留地、高圧電流線等)が存在すること
- ✓ 高稼働率の再エネ、石炭・ガス資源、豊富な水資源が近辺にあること
- ✓ 水素製造・消費ポテンシャルが存在すること

応募資格

- ✓ オーストラリアビジネスナンバー(ABN)
- ✓ オーストラリアの法人であるか、またはオーストラリアの州/領政府機関であること

プロジェクト採択の流れ

✓ 公募開始(~2021/11/22)

✓ 提案のレビュー・採択機関決定(時期不明)

採択の観点	ポイント	点数
1. プロジェクトが地域の水素産業の活性化に適合しているか	・国内外の水素需要・供給量をどう拡大させるか ・既存産業資産をどう活用するか ・地域の水素産業のイノベーションをどう支えるか ・どのように輸出・サプライチェーン・国際協力を構築・加速するか ・その他知見共有戦略など	30
2. 水素ハブを「投資レディ」へと進める計画	・フィージビリティ実証の手段 ・政府・州政府支援のレベル ・リスク同定・コントロール ・投資家への水素ハブの価値伝達 ・水素ハブの商業価値	30
3. 応募者の能力	・類似案件の実績 ・ファイナンス・インフラ・設備へのアクセシビリティ ・保有するネットワーク活用 ・プロジェクト計画	30
4. ファンディングの効果	・ファンドのプロジェクト推進効果 ・追加支援の有無 ・その他波及効果 ・地域からのハブへの支援	10

豪州「クリーン水素ハブ 実装ラウンド1」プロジェクトの概要

プロジェクトの目的・概要

目的

- ✓ オーストラリアでの地域の「水素ハブ」構築
- ✓ 既存インフラ活用での最小コストの水素産業構築
- ✓ 低炭素水素の国内・国際供給の土台づくり

グラント概要

- ✓ 「Development and Design」(FS)と「Implementation Round1」の2種類が存在
- ✓ 期間:最大3.5年(延長あり、最長2026/3/31)
- ✓ 支援額(総額4億3400万豪ドル)
3,000万から7,000万豪ドル
- ✓ 他のグラントからの支援を受けることも可能
(合計支援額が総費用の50%を超えない限り)

水素ハブに求められる要件

- ✓ 産業部門のエネルギー需要が存在すること
- ✓ 大規模プロジェクトの遂行能力があること
- ✓ 活用可能な既存インフラ(港湾・ガスパイプライン・CCS貯留地、高圧電流線等)が存在すること
- ✓ 高稼働率の再エネ、石炭・ガス資源、豊富な水資源が近辺にあること
- ✓ 水素製造・消費ポテンシャルが存在すること

応募資格

- ✓ オーストラリアビジネスナンバー(ABN)
- ✓ オーストラリアの法人であるか、またはオーストラリアの州/領政府機関であること

プロジェクト採択の流れ

✓ 公募開始(~2021/11/22)



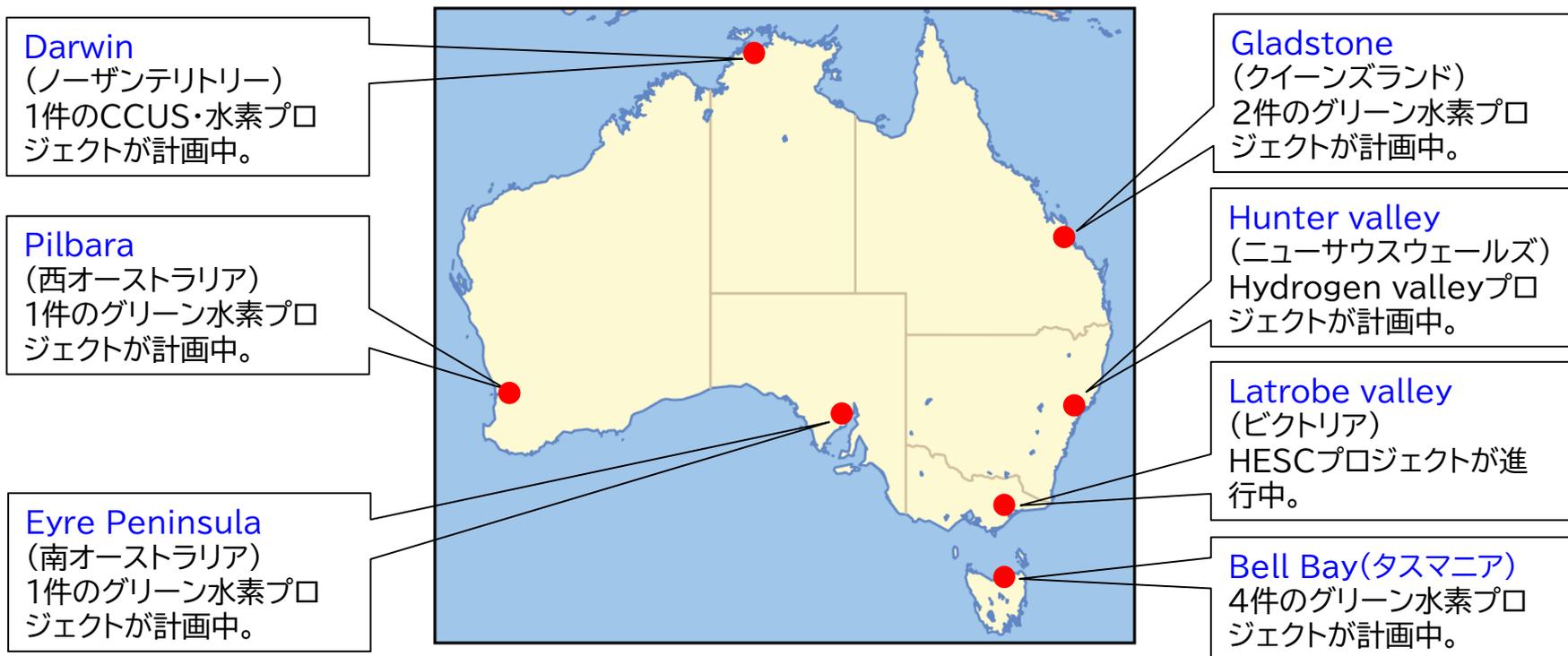
✓ 提案のレビュー・採択機関決定(時期不明)

採択の観点	ポイント	点数
1. プロジェクトの地域の水素産業の活性化。クリーン水素の国内・輸出需要喚起	・水素需要の商業ポテンシャル ・どう国内クリーン水素需要拡大するか ・どのように輸出を創出・推進するか ・既存産業との関係、どのようにコスト低減するか、またどのように既存産業プロセスを転換するか	30
2. どう既存産業インフラを活用してクリーン水素の実現性を確立していくか	・応募者の研究機関・企業とのつながり ・共存する産業をどう拡大するか ・知識共有の戦略 ・雇用ギャップにどうアクセスするか ・他のクリーン水素産業拡大のための取り組みとの連携	20
3. 応募者の能力	・コンソーシアム構成とその適切性 ・実績 ・ファイナンス、インフラなどへつながり ・既存設備やネットワークを活用策 ・計画	30
4. ファンディングの効果	・どう既存・将来のオーストラリアクリーン産業を盛り上げるか ・追加予算 ・ハブの社会的インパクト ・コミュニティからの支援	20

豪州「クリーン水素ハブ」の候補地

- モリソン政府は2500人の雇用創出をめざしてクリーン水素・CCUSプロジェクトに2021年～2022年予算で5億3920万ドルの投資を行うことを2021年4月に発表。
- うち2億7550万ドルが「クリーン水素ハブ」の開発加速とクリーン水素認証スキームの実装を行うためにあてられる。
- クリーン水素ハブの候補地は以下の7つ。いずれもクリーン水素ハブ選定に先行してFS等が進行しているサイト。
- 豪州の国家水素戦略では、2025年までに多業種の水素ユーザーを集約した「水素ハブ」の実証規模の建設、ハブ予定地でのサプライチェーン構築と言った行動計画が盛り込まれており、それを反映したものと考えられる。

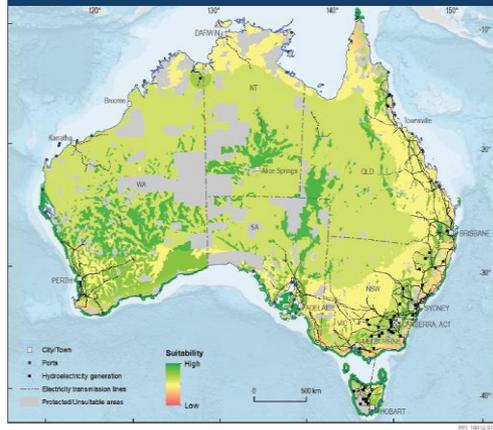
「クリーン水素ハブ」の候補サイトと各サイトでの開始済みのプロジェクト(詳細後述)



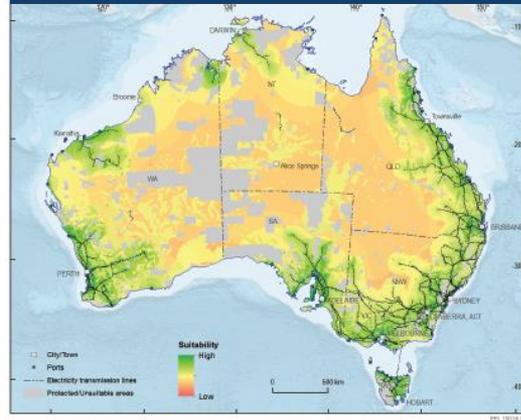
参考：豪州水素プロジェクトの地域分布とポテンシャルの関係

■ 既存インフラ(電力網・港湾等)の活用可能性を踏まえ東西沿岸部中心にプロジェクトが進められていると考えられる。

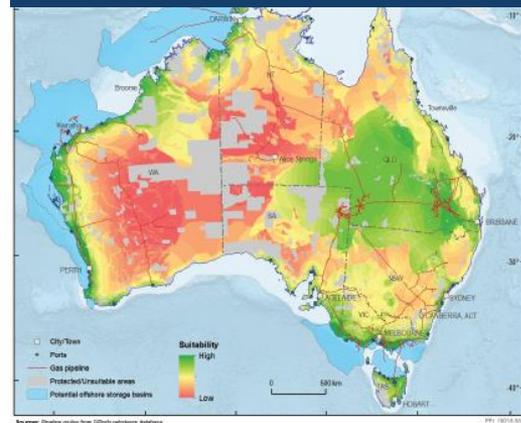
参考：再エネポテンシャルに基づく再エネ水素製造ポテンシャル分布



既存インフラを考慮した再エネ水素製造ポテンシャル分布



ブルー水素製造ポテンシャル分布



豪州水素プロジェクトの分布



出典：AusH2 - Australia's Hydrogen Opportunities Tool

※地図中で緑の色が濃いほど水素製造ポテンシャルに富むことを表し、赤の領域はポテンシャルが乏しいことを表す。灰色の部分は利用不可な土地。

また、スライド中央の「既存インフラを考慮した再エネ水素製造ポテンシャル分布」では既存の電力網や港湾、工業地帯との距離、土地利用可能性を考慮して水素製造ポテンシャルを算出している。

出典：“Prospective hydrogen production regions of Australia”

タスマニアBell Bayにおいて発表済の水素関連プロジェクト

- 水力・風力資源に富んだ港湾であるタスマニアBell Bayでは既に4つの大規模グリーン水素プロジェクトが検討。
- 複数のグリーンアンモニア輸出プロジェクトに国内企業も関与。

プロジェクト名	概要	電解容量	電解装置メーカー	水素用途	事業者	ステータス
Bell Bay Powerfuels Project	豊富な水力・風力発電から水電解で製造した水素と、現地の木材廃棄物や大気回収から得られたCO2を原料に、6万t/年のメタノールを合成、輸出を行うプロジェクト。 メタノールは船舶・エンジン用や現地向けDME原料として利用。	100MW	Thyssenkrupp	メタノール合成	ABEL Energy (豪)	州政府が支援し、FSを実施。2023年中に製造開始予定。
H2TAS	水力・風力発電から運輸部門向け燃料としてグリーン水素を製造、合わせてタスマニアのガスネットワークへの水素注入を行う。 2021年5月にグリーンアンモニア製造に関する覚書を丸紅・IHIと締結。	10MW	不明	モビリティ用燃料、ガス管混入	Woodside (豪)	ARENAのHydrogen Funding Roundのショートリストにノミネート。
Fortescue Green Hydrogen and Ammonia plant	再エネ由来の大規模水素・アンモニア製造を検討。25万t/年のアンモニアを生産、国内・海外への輸出を想定。 IHIが共同でグリーンアンモニアの日本輸出の経済性を評価。	250MW	不明	アンモニア合成	Fortescue Metals (豪)	州政府が支援し、FSを実施。2021年中に投資判断完了予定。
Origin Green Hydrogen and Ammonia plant	再エネ由来の大規模水素・アンモニア製造を検討。42万t/年のアンモニアを生産予定。 商船三井がOrigin Energyとグリーンアンモニアサプライチェーンに関する覚書を締結。	不明	不明	アンモニア合成	Origin Energy (豪)	州政府が支援し、FSを実施。2021年中に投資判断完了予定。20年代半ばの製造開始を計画

出典:CSIRO“HyResource”、企業HPを参考に作成

ニューサウスウェールズHunter valleyの水素プロジェクト

- ニューサウスウェールズ州では、州内の石炭産業撤退・石炭火力廃止後の雇用創出に向け、内陸部の大量の再生エネを活用した水素製造による豪州初のHydrogen Valley構築をHunter valleyで計画。日本企業では出光も参画。

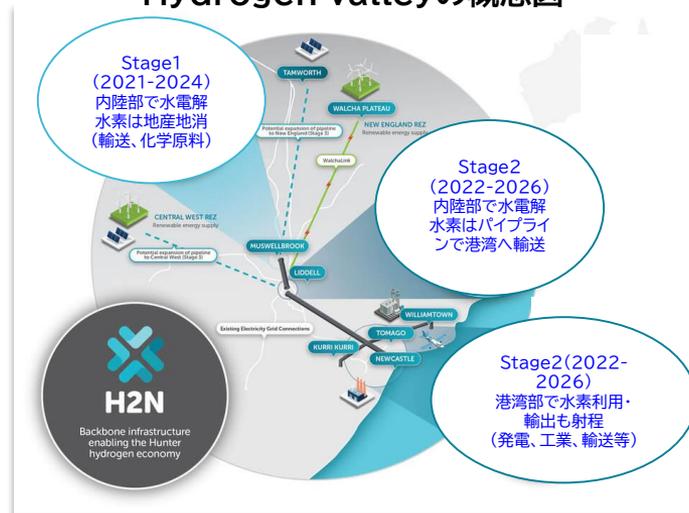
プロジェクト名	概要	電解容量	電解装置メーカー	水素用途	事業者	ステータス
Hunter Hydrogen Network	<p>Phase 1(2021-2024) 内陸のマスウェルブルックで水電解により水素製造。モビリティ・鉱山機械用、化学原料用として利用。</p> <p>Phase2(2022-2026) 内陸からパイプラインで港湾部への水素輸送を検討、輸出用グリーンアンモニア製造、化学品製造、水素発電、燃料として供給。</p>	不明	ITM Power	モビリティ 鉱山機械 化学原料 水素発電 燃料	AGL(豪) APA(豪) ITM Power(英) 出光(日) Trafigura(スイス) RESAustralia(豪) WalchaEnergy(豪)	州政府が7000万ドルの支援を発表、FSの段階。

ニューサウスウェールズ州の石炭火力の今後の予定

発電所	所有者	ユニット	運開時期	発電設備容量 (MW)	現状、今後の予定・計画
Bayswater	AGL Energy	1号機	1985年	660	2035年、廃止の予定
		2号機	1985年	660	
		3号機	1986年	660	
		4号機	1986年	660	
Eraring	Origin Energy	1号機	1982年	720	2032年、廃止の予定
		2号機	1983年	720	
		3号機	1983年	720	
		4号機	1984年	680	
Liddell	AGL Energy	1号機	1971年	合計 1,680	2022年4月、廃止の予定
		2号機	1972年		2023年4月、廃止の予定
		3号機	1972年		
		4号機	1973年		
Mt. Piper	EnergyAustralia	1号機	1993年	700	2042年、廃止の予定。
		2号機	1996年	700	
Vales Point B	Delta Electricity	1号機	1976年	660	2029年、廃止の予定
		2号機	1980年	660	

出典: JOGMEC「主要国における今後の石炭活用の在り方及び気候変動緩和策等の動向と課題調査」

Hydrogen valleyの概念図



出典: Energy Estate HPをもとに作成

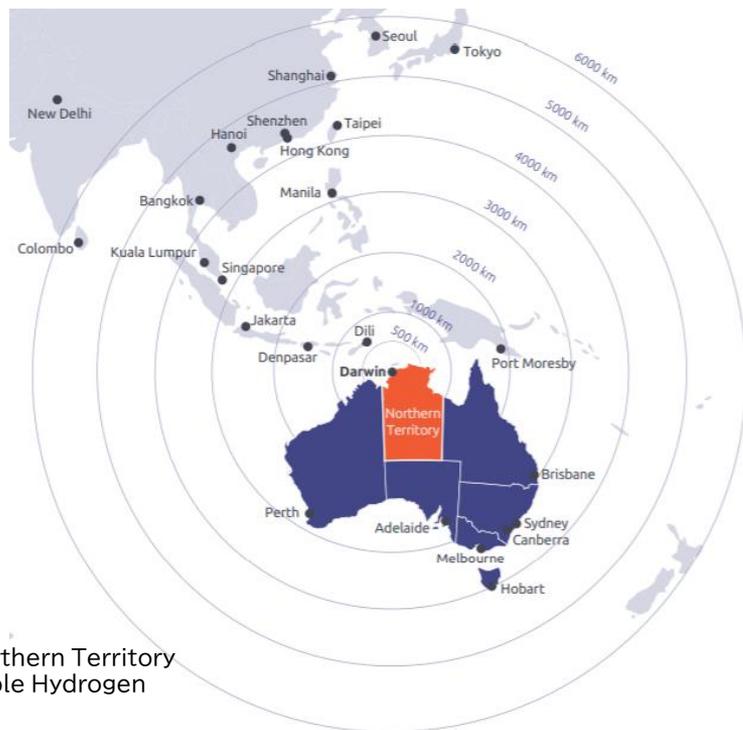
クイーンズランドGladstoneにおいて発表済の水素関連プロジェクト

- 水力・風力資源に富んだ港湾であるタスマニアBell Bayでは既に4つの大規模グリーン水素プロジェクトが検討。
- うち、グリーン水素輸出を含むプロジェクト2件に国内企業も関与。

プロジェクト名	概要	電解容量	電解装置メーカー	水素用途	事業者	ステータス
Hydrogen Park Gladstone	再エネ由来水素をPEM水電解で23.5t/年製造し、ガス管に最大10%注入することで、770件の家庭・商業の顧客へのガスを低炭素化。	175kW	不明 (PEM)	メタノール合成	Australian gas Networks (豪)	州政府が178万AUDの支援発表、現在開発中。2022年には水素製造開始予定。
Stanwell Renewable Hydrogen Production	太陽光・風力などの再エネから水素製造し、船で日本へ輸出する計画。岩谷産業が協業。 ⇒拡張する形で9月に関電、川崎重工、丸紅、APAが参画、国際グリーン液化水素チェーンのFS実施を発表。2026年に100t/日以上、2031年に800t/日以上の規模を想定。	10MW	不明	輸出	Stanwel (豪) APA(豪) 岩谷産業 関西電力 丸紅 川崎重工	開発中
住友商事・日揮による水素製造プロジェクト	住友商事・日揮は太陽光発電由来グリーン水素製造プラント建設を計画、2023年稼働予定。250-300t/年の水素製造計画でモビリティ・産業用で現地消費をまずは想定。	不明	不明	モビリティ・産業用	住友商事 日揮	開発中
Bio-Hydrogen Demonstration Plant	バイオマスからのケミカルループ水素製造実証プロジェクト。水素は17t/年製造、ディーゼルへの水添に利用	—	—	石油精製	Southern Oil(豪)	開発中
Queensland Solar Hydrogen Facility	Queenslandの中央にあるCallideの3.6GWの太陽光発電からの電力で、Gladstoneで20wt/年の水素製造、輸出を行う。	不明	不明	輸出	Austrom Hydrogen (豪)	開発中。2022年第4Qまでに承認見込み、23年第2Qまでに建設開始。

ノーザンテリトリー州の水素戦略

- ノーザンテリトリー州では、LNG基地やガスパイプラインを持つ北端のDarwinを、オーストラリアでアジアに最も近くエネルギー輸出に適したサイトであると位置づけている。
- 州政府、CSIRO、INPEX、その他Santos、Woodside、Eni、Origin Energy、XoduらはDarwin近郊で水素製造を含むCCUSプロジェクトの事業化検討に取り組むことを9月に発表。
- NEDO人工光合成プロジェクトでINPEXらはDarwinで光触媒によるソーラー水素実証プロジェクトを実施中。
- その他、豪州のスタートアップであるLH2 Energy Pty Ltd.は韓国のLattice Technologies(压力容器会社)と協力して、2027年以降の韓国への水素輸出を計画。なお、Lattice Technologiesは液化水素船についてLloyds registerの認証を取得済み。



出典: "Northern Territory Renewable Hydrogen Strategy"

INPEXらによるソーラー水素実証



出典: INPEXプレスリリース

南オーストラリア州Eyre Peninsulaにおいて発表済の水素関連プロジェクト

- 南オーストラリア州では、エア半島において75MWの電解装置による大規模なグリーン水素・アンモニア製造プロジェクトが発表されている。
- 日本企業では三菱重工が出資を発表済。なお、4月にはH2UとRWEはオーストラリア-ドイツ間での水素取引に関する覚書に署名。

プロジェクト名	概要	電解容量	電解装置メーカー	水素用途	事業者	ステータス
Eyre Peninsula Gateway Project	<p>75MWの電解装置で120t/日のアンモニア合成機能を統合する最初の(商業規模)実証を行う。最大1万t/年の再エネ水素と4万t/年のグリーンアンモニアの生産能力を持つ。</p> <p>実証施設からは国内市場に供給し、再エネ水素とアンモニアの日本ほかアジア市場への試験的な輸出輸送を行う。</p> <p>第2フェーズでは電解装置の出力を20倍に拡張することを計画。</p> <p>2020年11月には三菱重工が出資を発表。グリーン水素はアンモニア製造の他ガスタービンでの実証に利用される予定。</p> <p>2021年4月にRWE Supply&TradingとH2Uがオーストラリア-ドイツ間の水素取引開発のための覚書に署名。</p>	75MW	Thyssenkrupp	アンモニア合成 水素輸出	H2U(豪) Thyssenkrupp(独) Baker Hughes GE(米)	州政府が4,5百万AUDの支援を発表、開発中。2022年末にグリーン水素・アンモニア生産開始予定。

出典:CSIRO“HyResource”、企業HPを参考に作成

西オーストラリア州Pilbaraにおいて発表済の水素関連プロジェクト

- 西オーストラリア州では大量の再エネ資源を背景に輸出を伴うグリーン水素プロジェクトが複数計画中。
- アンモニア製造者のYaraはPilbaraのアンモニア製造プラントをグリーンアンモニアに一部転換する計画を推進中。

プロジェクト名	概要	電解容量	電解装置メーカー	水素用途	事業者	ステータス
Yara-ENGIE Pilbara Renewable Ammonia	Yaraが保有する天然ガス改質由来水素によるアンモニア製造プラントで、水素の一部をグリーン水素に転換する計画。実証プラントでは10MWの水電解により、625t/年の水素製造を行う。	10MW		アンモニア合成	Yara Pilbara Fertiliser s Pty Ltd, (豪) ENGIE Renewables Australia Pty Ltd (豪)	ARENAがFSに99.5万AUDの支援を発表、州政府から200万AUDの支援を受けて、開発中。 2021年にARENAから4250万AUDの支援に採択されたことが発表。2023年にグリーン水素・アンモニア生産開始予定。

YaraらによるPilbaraでのスケールアップ計画

出典:CSIRO“HyResource”、企業HPを参考に作成



出典:Luke Blackbourn(Yara) “Yara Pilbara’s green ammonia project”

参考:その他日本企業の豪州における最近の取り組み

■ クリーン水素ハブ7サイトでのプロジェクトの他、最近国内企業が発表した豪州における主な取り組みは以下の通り。

企業名	場所	協業先	概要	発表日
伊藤忠	クイーンズランド州 Gladstone	Australian Future Energy(豪)	伊藤忠商事は、再生可能エネルギー会社AFEが手掛けるGladstone Energy and Ammonia事業(GEAP)に関して覚書に調印、10億AUD規模の水素事業で連携する。ブルー水素、グリーン水素の両方を利用し、アンモニアや合成天然ガス、最終的には電力を製造する。	2021/6/22
商船三井	—	Origin Energy(豪)	商船三井は、豪州の大手エネルギー企業であるOrigin とグリーンアンモニアのサプライチェーン構築について共同検討を行う為の覚書を締結した。2021年12月までを目途として、グリーンアンモニアの海上輸送手段や、日本やアジアにおける需要について調査を行い、サプライチェーン構築における課題を共同で検討する。	2021/8/11
ENEOS	南オーストラリア州	Neoen(豪)	世界有数の再生可能エネルギー専門の発電事業者であるNeoen社とグリーン水素サプライチェーンに関する協業検討を行うことを発表。	2021/8/2
	クイーンズランド州	Origin Energy(豪)	豪州企業のOrigin Energyと日豪間のCO2フリー水素サプライチェーン構築に向けた協業検討を実施とし、両社で覚書を締結したことを発表。Origin Energyは再エネ電力の安定供給および水素を製造する水電解槽について、ENEOSは水素の貯蔵・輸送形態の一つであるMCHの効率的な製造および日本への海上輸送についての検討を行う。	2021/8/23
	西オーストラリア州	Fortescue Future Industries(豪)	ENEOSはFortescue Future Industries社と日豪間のCO2フリー水素サプライチェーン構築に向けた協業検討を実施することとし、覚書を締結した。豪州で製造したグリーン水素をMCHとして輸送、国内の製油所に供給する計画。	2021/9/16
住友商事	クイーンズランド州 Gladstone	Rio Tinto(英、豪)	リオティントと住友商事は、リオティントのヤーワン・アルミナ精製工場に水素の試験製造プラントを建設し、同工場での水素活用について検討するパートナーシップを締結した。今回の提携は、先ごろリオティントが発表した、ヤーワンのアルミナ精製工程において、天然ガスを水素で代替する計画に関するフィージビリティ・スタディーの実施に沿うもの。	2021/8/24

出典:各社プレスリリースを参考に作成

(1)－2 国内外の最新動向に関する情報収集

(1)–2 国内外の最新動向に関する情報収集

①デスクトップ調査

デスクトップ調査の概要

調査概要

インターネット調査や文献調査を通じて、日頃から国内外における水素・燃料電池に関する動向等の情報を網羅的に収集した。(以下、便宜的に「日々の調査」と呼ぶ)

結果については、週に1回程度取りまとめ、水素・燃料電池戦略室へそれぞれメール・情報を格納したExcelにて報告を行った。

合わせて、毎週報告した内容についてはデータベース化し(下図は一部抜粋)、月に1回程度の頻度でそれらを取りまとめてご報告した。

以降のページでは、報告内容から一部抜粋したものを掲載する。

日々の調査 国・分野別リンク

日本	米国・カナダ	ドイツ	フランス	イギリス	オランダ・ベルギー	ノルウェー・スウェーデン・デンマーク	欧州その他	中国・台湾	韓国	オーストラリア・ニュージーランド	アジアその他	中東・アフリカ
定置用燃料電池	定置用燃料電池	定置用燃料電池	定置用燃料電池	定置用燃料電池	定置用燃料電池	定置用燃料電池						
燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体	燃料電池車・移動体						
水素ステーション	水素ステーション	水素ステーション	水素ステーション	水素ステーション	水素ステーション	水素ステーション						
水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン	水素発電・サプライチェーン						
CO2フリー水素	CO2フリー水素	CO2フリー水素	CO2フリー水素	CO2フリー水素	CO2フリー水素	CO2フリー水素						
その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)	その他(研究開発・企業動向)						
その他(政策動向)	その他(政策動向)	その他(政策動向)	その他(政策動向)	その他(政策動向)	その他(政策動向)	その他(政策動向)						

ドイツの動向(モビリティ・政策)

要約

- 連邦政府および州政府からの資金提供を受け大規模な水素関連プロジェクトが推進されている。
- 燃料電池の大量製造に向けた研究開発が進行中。

モビリティ(自動車)分野の詳細情報

Fraunhofer IPTは、燃料電池モジュールを秒単位のサイクルで加工できる連続製造のパイロットラインを、ハノーバー・メッセ・デジタル・エディションで披露した。持続可能な道路交通システムを構築するためには、将来的に水素自動車用の燃料電池が何十万台も必要になるが、これまで、燃料電池の製造は複雑で時間がかかりすぎている。そこで Fraunhoferのチームは、燃料電池の部品をわずか数秒のサイクルで処理できる連続生産ラインを開発に着手している。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/research-team-at-fraunhofer-developing-continuous-rapid-manufacturing-lines-for-fuel-cells/> (2021年4月2日)

Daimler TruckAGとShell New Energies NLB.は、欧州における燃料電池トラックの導入を共同で推進する契約を締結した。Shellは、オランダとドイツにある3つのグリーン水素製造ハブを結ぶ水素燃料供給ネットワークを展開する予定。2025年までに1200kmに及ぶ貨物回廊を拡大し、2030年までに150カ所の水素ステーションと約5,000台のメルセデス・ベンツの大型燃料電池トラックの提供を目指す。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/daimler-truck-ag-and-shell-target-accelerated-rollout-of-hydrogen-based-trucking-in-europe-simultaneously-building-truck-refuelling-infrastructure-and-rollout-of-fuel-cell-vehicles/> (2021年5月20日)

政策分野の詳細情報

連邦経済省と連邦運輸省は、欧州共同水素プロジェクト(IPCEI - Important Projects of Common European Interest)の一環として、国費で実施する62の大規模水素プロジェクトを選定した。本日選定されたドイツの62のプロジェクトには、連邦政府および州政府から80億ユーロ以上の資金が提供され、水素の生成、輸送、産業用アプリケーションなど、バリューチェーン全体をカバーするプロジェクトが行われている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/german-government-is-launching-62-large-scale-hydrogen-projects/> (2021年5月28日)

オーストラリアとドイツは、水素産業の発展を加速させ、新たな経済機会と雇用を創出するとともに、排出量を削減するためにクリーンな水素産業に投資する。この協定は、オーストラリアが主要な水素輸出国になることを目指していること、ドイツが水素技術の専門知識を持ち、将来的に大量の水素を輸入することを計画していることなど、両国の強みを活かしたものである。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/australia-and-germany-partner-on-hydrogen-initiatives/> (2021年6月14日)

ドイツの動向(CO2フリー水素)

要約

- CO2フリー水素への取り組みが一段と積極化。連立政権は水電解槽の生産能力を10GWに引き上げる計画を発表。
- BASFとRWEが、化学工場で洋上風力からのグリーン水素製造プロジェクトに着手。

CO2フリー水素分野の詳細情報

RWE Supply & Tradingとオーストラリアの水素プロジェクト開発会社The Hydrogen Utility Pty Ltd (H2U)は、オーストラリアとドイツ間の水素取引を発展させるためにMoUを締結した。両社は、オーストラリアで製造されたグリーン水素をヨーロッパに供給することを目的としている。

H2UのCEOは、日本の三菱重工業から礎となる投資を受けており、電力網、ガス網、モビリティ、産業における脱炭素エネルギーとして、グリーン水素の将来性を確信している、と述べている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/rwe-and-h2u-join-forces-to-develop-global-hydrogen-trading-between-australia-and-germany/> (2021年4月15日)

BASFとRWEは、化学工場で洋上風力からのグリーン水素製造プロジェクトを発表した。

プロジェクトでは、ルートヴィヒスハーフェンの化学工場に2ギガワットの洋上風力発電所を設置し、グリーン電力を供給するとともに、CO2フリー水素の製造を行う。

プロジェクトを進めるために、BASFとRWEのCEOは、再生可能電力の追加容量の開発と環境保全に向けた革新的な技術の使用に関する広範囲な協力についての意向表明書に署名した。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/green-hydrogen-will-be-part-of-a-4-9-billion-wind-project-by-rwe-and-basf/> (2021年5月21日)

ドイツのグリーン水素輸入イニシアチブ「H2Global」は、2024年末までに、ドイツへの水素の輸入を開始する予定である。ドイツのエネルギー省は、電解槽プロジェクトの立ち上げを支援するために、H2Globalに約9億ユーロを提供する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/first-hydrogen-cargo-into-germany-to-be-delivered-2024-h2global/> (2021年6月28日)

11月、ドイツ連立政権は、2030年までに水素電解槽の生産能力を当初の2倍の10GWに引き上げる計画を発表し、同時に発電用燃料としての水素の利用を拡大することを明らかにした。この計画では、2030年までに太陽光発電を200GW、洋上風力発電を30GW導入し、「グリーン水素」の目標を達成することを目標としている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/germany-to-double-2030-hydrogen-production-target-to-10gw/> (2021年11月25日)

欧州最大のPEM水素電解装置は、本日、Shellのエネルギー・ケミカルズパーク・ラインランドで操業を開始し、グリーン水素を生産する。Refhyneの一員として、FCH JUを通じた資金援助を受けたこのプラントは、この技術を製油所で大規模に使用した初めての例となる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/shell-starts-up-europes-largest-pem-green-hydrogen-electrolyser/><https://fuelcellsworks.com/news/shell-starts-up-europes-largest-pem-green-hydrogen-electrolyser/> (2021年7月2日)

フランスの動向(CO2フリー水素・サプライチェーン・企業動向)

要約

- 世界初の数メガワット規模の燃料電池発電所が西ギアナで建設開始。
- ArdianとFiveT Hydrogenがクリーン水素インフラに特化した世界最大の投資プラットフォームを設立。

CO2フリー水素分野の詳細情報

フランスのガス配電ネットワーク事業者GRDFと欧州13カ国のガス配給会社66社は、水素の配給網への導入促進のために、「Ready for Hydrogen(Ready4H2)」イニシアチブを立ち上げる。ガス配送ネットワークが果たすべき重要な役割を実証する。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/grdf-and-66-gas-distributors-in-13-european-countries-are-launching-the-ready-for-hydrogen-ready4h2-initiative/> (2021年11月23日)

Total Erenは、チリ南部サン・グレゴリオ区近で、合計10GWに及ぶ大規模グリーン水素プロジェクト「H2 Magallanes」の開発検討を開始したことを発表した。
H2 Magallanesは、最大10GWの風力発電設備と最大8GWの電気分解設備を有しグリーンアンモニアを国内外の市場へ輸送する。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/total-eren-secures-lands-and-launches-studies-aiming-to-develop-a-large-scale-green-hydrogen-project-in-chiles-magallanes-region-2/> (2022年1月27日)

サプライチェーン分野の詳細情報

SARAとMeridiamおよび HDFは、Centrale Électrique de l'Ouest Guyanais(西ギアナ発電所)の建設を開始する。世界初の数メガワット規模の燃料電池発電所であると同時に水素貯蔵する世界最大のプロジェクトでもある(貯蔵エネルギーは128MWh)。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/rubis-rubis-participates-in-the-construction-of-the-worlds-first-multi-megawatt-hydrogen-power-plant-in-french-guiana/> (2021年9月29日)

その他(企業動向)分野の詳細情報

Air Liquide、Airbus、グループADPは、水素を動力源とする民間航空機開発の一環として、2035年までに空港に水素を導入するための覚書を締結した。
第一段階として、世界の約30の空港を対象に、液体水素の製造、供給、流通のための潜在的な構成を評価する調査を開始する。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/air-liquide-airbus-and-groupe-adp-partner-to-prepare-paris-airports-for-the-hydrogen-era/> (2021年6月21日)

民間投資会社であるArdianと投資プラットフォームであるFiveT Hydrogenは、合弁会社「Hy241」を設立することを発表した。
Hy241は、クリーン水素インフラに特化した世界最大の投資プラットフォームであり、脱炭素化プロジェクトへの投資を目的としている。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/ardian-and-fivet-hydrogen-launch-hy24-the-worlds-largest-clean-hydrogen-infrastructure-investment-platform/> (2021年10月1日)

ENGIEとEquinorは、ベルギーで天然ガスから低炭素水素の製造を開発することを目的としたH2BEプロジェクトを発表した。
回収されたCO2は液体で輸送され、ノルウェー領北海の地下に恒久的かつ安全に貯蔵される予定だ。

出典:<https://fuelcellworks.com/news/engie-equinor-launch-the-h2be-project-to-kick-start-low-carbon-hydrogen-market-in-belgium/> (2021年12月16日)

イギリスの動向(燃料電池・水素発電・サプライチェーン)

要約

- 電力部門での低炭素化の動きが活発化。InterGen はゼロエミッションの発電所の建設を検討。
- Equinorは、世界初の600MW級低炭素水素製造プラントの開発に向けてPre-FEEDスタディ契約を締結した。

水素発電・サプライチェーン分野の詳細情報

HyNet North Westと独立系電力会社のInterGenは、リバプール市域にあるInterGenのRocksavage Power plantに低炭素発電所を共同で建設するという計画を発表した。

この計画は、2020年代半ばに開始される予定で、ランコーンにある発電所から排出される二酸化炭素を年間15万トン以上削減することができる。

ガスタービンの技術が利用可能になれば、100%水素を使用したゼロエミッションの発電所を作るためのオプションをHyNet North Westと検討予定である。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hynet-north-west-and-intergen-announce-plans-for-a-zero-carbon-power-plant/> (2021年6月24日)

Equinorは、天然ガスから水素を製造する世界初の低炭素水素製造プラント「H2H Saltend」(600MW)の開発に向けて、Pre-FEED(Front End Engineering and Design)スタディ契約を締結したことを発表した。

この水素は、主にキードビー水素発電所の燃料として使用され、この発電所は、100%水素を使用して発電する世界初の大規模施設となる可能性がある。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/equinor-awards-contracts-for-its-h2h-saltend-hydrogen-plant-project/> (2021年11月2日)

グリーン水素の主要企業は、学界やサプライチェーンのパートナーと協力して、「Hydrogen Skills Partnership」を立ち上げた。このパートナーシップは、英国の将来の水素産業から生まれるサプライチェーンに関する洞察を提供することを目的としている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hydrogen-skills-partnership-launch/> (2021年9月13日)

Loughborough UniversityがBladonと共同で、水素を燃料とするマイクロタービン発電機を開発する。Bladonのマイクロタービン発電機(MTG)は、クリーンで信頼性の高い電力を提供している。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/loughborough-joins-forces-with-clean-power-pioneer-bladon-to-develop-hydrogen-fuelled-micro-turbine-generator/> (2021年11月25日)

燃料電池分野の詳細情報

国際海事機関(IMO)は、2022年5月に燃料電池推進装置を搭載した船舶を承認するための安全規則を発効する。

「燃料電池を搭載した船舶の安全性に関するガイドライン」では、商業船舶に幅広く適用するための枠組み条件が設定されており、海事分野における燃料電池システムの市場拡大につなげる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/fuel-cells-are-finally-allowed-on-board/> (2021年10月4日)

イギリスの動向(CO2フリー水素・企業動向)

要約

- EI-H2はアイルランド初のCO2フリー水素プラントを建設。二酸化炭素排出量削減に積極的に取り組む。
- 天然ガスネットワークに水素を混合する英国初のプロジェクトHyDeployが完了し、成功と位置づけられた。

CO2フリー水素分野の詳細情報

アイルランドのグリーン水素専門企業のEI-H2は、アイルランド初のグリーン水素プラントを公開した。同社は、コークハーバー沿岸のAghadalに50MWの水電解プラントを建設し、年間63,000トンの二酸化炭素排出量を削減を目指している。この施設は、世界最大級の再生可能エネルギー工場となる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/irish-energy-company-ei-h2-is-planning-to-build-a-green-hydrogen-facility-in-cork/> (2021年5月25日)

Zenith EnergyとEI-H2は、Bantry湾に3.2GWのグリーンエネルギー施設を建設し、グリーン水素とグリーンアンモニアを製造する計画を発表した。

この施設は、Zenith Energy社の既存のバントリー湾・ターミナルに併設され、この種の施設としては世界最大級のものとなる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/zenith-energy-and-ei-h2-announce-joint-venture-for-green-energy-facility-at-bantry-bay/> (2021年7月7日)

英国のガス供給網は、来年から全国で水素の混合を開始する準備が整い国産のエネルギー供給を家庭に提供できるようになる。2023年から家庭や企業に20%の水素を供給できるようにするという政府目標を達成するための施策「Britain's Hydrogen Blending Delivery Plan」を発表した。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/britains-gas-grid-to-be-ready-to-deliver-hydrogen-across-the-country-from-2023-energy-networks-announce/> (2022年1月13日)

天然ガスネットワークに水素を混合する英国初のプロジェクトであるHyDeployの第一段階において成功したと評価された。顧客は、既存の機器に変更なく、水素を混合したガスを自宅で安全に使用することができた。キール大学のプライベートガスネットワーク上の100軒の家庭と30棟の大学の建物に、18ヶ月間にわたり水素を混合したガスを供給し、2021年春に終了したこの試験は、公共のガスネットワークでの大規模な実証に道を開くものである。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/first-uk-trial-of-hydrogen-blended-gas-hailed-a-success/> (2021年9月10日)

その他(企業動向)分野の詳細情報

Loyds Registerらは、AP Moller Maersk、MAN Energy Solutions、三菱重工、日本郵船、Totalと燃料アンモニアの利用のためのガイダンス整備に取り組む。

本プロジェクトの目的は船舶燃料としてのアンモニア利用を理解し、ガイドラインを作ることであり、フェーズ1では定量的なリスク評価を行う。2021年を通じてプロジェクトは遂行される。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/loyds-register-guidance-to-be-developed-by-the-industry-concerning-the-use-of-ammonia-as-a-fuel/> (2021年4月21日)

米国・カナダの動向(モビリティ・水素ステーション・企業動向)

要約

- 大型の燃料電池トラックの導入や大型向け水素ステーションの設置が推進される。

モビリティ(自動車)分野の詳細情報

NikolaとBoschは、Nikola TreとTwoのトラックアプリケーションのために、Boschの大型商用車用燃料電池スタックを利用した複数の燃料電池パワーモジュールの使用に基づく契約を締結した。

この契約に基づき、ボッシュは組み立てられた燃料電池パワーモジュールと、燃料電池スタックを含む主要部品の両方をNikolaに供給し、Nikolaはクーリッジの製造施設で組み立てることになる。燃料電池パワーモジュールは2023年に発売される予定で、最初のアプリケーションはクラス8のNikola Tre FCEVである。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/nikola-announces-strategic-agreements-with-bosch-for-fuel-cell-manufacturing/> (2021年9月2日)

カリフォルニア州知事は、2022年の予算追加し、交通部門の脱炭素化のために6年間で合計100億ドルの投資を行うことを提案する。

クリーンエネルギー技術の開発に取り組む企業に対する新たな税額控除(年間1億ドル、3年間)も盛り込まれている。

この税額控除は、電気自動車の製造とインフラ、地熱、リチウム抽出、バッテリー製造、長期保存、メタン排出対策、天然ガスの使用を減らすための水素技術などの新技術の開発前費用に充当される予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/california-governors-2022-budget-additions-includes-100-million-for-green-hydrogen/> (2022年1月12日)

水素ステーション分野の詳細情報

NikolaとTravelCenters of America Inc.は、既存のTA-Petroの2つの施設に、大型トラック用の水素ステーションを設置することに合意した。

最初の2つのステーションは、カリフォルニア州のTA-Petro社の既存拠点に建設され、2023年第1四半期までに商業運転を開始する予定だ。

これらのステーションの建設により、水素燃料電池を搭載した商用電気トラックの導入が加速されることが期待される。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/nikola-energy-and-travelcenters-of-america/> (2021年4月22日)

Loop Energy社とBayoTech社は、ゼロエミッションの商用車および発電機技術への移行を加速させる目標を掲げ、燃料電池車および水素燃料インフラの展開に関する共同市場開発契約を発表した。

この提携は、燃料電池車と水素燃料インフラに関して、フリートオペレーターに戦略的方向性を提供することで、水素ソリューションを採用する際の複雑さを軽減することを目的としている。

この契約に基づき、Loop Energy社とBayoTech社は、Loop Energy社の顧客が製造する車両とBayoTech社が提供するオンサイト水素生成インフラを組み合わせる市場を共同開発する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/bayotech-and-loop-energy-announce-a-joint-market-development-agreement-to-deploy-hydrogen-fueling-infrastructure-and-hydrogen-vehicles/> (2021年4月6日)

米国・カナダの動向(CO2フリー水素)

要約

- 海外での大規模なCO2フリー水素を製造するプロジェクトの推進が目立つ。
- Port of Açulは、300MWのグリーン水素プラントを建設し、年間25万トンのグリーンアンモニアを生産する予定。

CO2フリー水素分野の詳細情報

Koch Engineered SolutionsはFidelis Infrastructureと契約し、92億ドルの複数年プログラムにより、グリーン水素、再生可能ディーゼル、サステナブル航空燃料、バイオプラスチック原料の生産を行うことを発表した。

1GWの電解装置で製造したグリーン水素とCO2分離回収により再生可能燃料の製造を行う。サイトはグレーターバトンルーージュ港に位置し、鉄道や港、パイプラインの交差する場所であり東海岸、西海岸の市場やカナダ・ヨーロッパの海外市場へのアクセスも可能とする。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/green-hydrogen-koch-engineering-fidelis-infrastructure-invest-9-2-billion-in-renewable-energy-ecosystem-in-louisiana/> (2021年4月21日)

「The Hydrogen Coalition」は、ロサンゼルス水電力局(LADWP)およびその他の主要なパートナーと共同で、2030年に1.5ドル/キログラムでグリーン水素の調達を実現するためのイニシアチブ「HyDeal LA」を開始することを発表した。これは、2030年までにロサンゼルス盆地で1キログラムあたり1.5ドルでグリーン水素の調達を実現するための取り組みである。HyDeal LAは、グリーン水素のコストの高さを克服し、商業的なグリーン水素クラスターを大規模に立ち上げることを目的としている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/ladwp-joins-hydeal-la-targets-green-hydrogen-at-1-50-kilogram-by-2030/> (2021年5月17日)

Port of Açulは、ブラジルのリオデジャネイロにおいて、水素を利用したグリーン産業プロジェクトの開発機会を評価するための覚書を締結した。

本プロジェクトでは、この調査結果を受けて、300メガワットのグリーン水素プラントをAçul港に建設し、年間25万トンのグリーンアンモニアを生産することを想定している。

グリーン水素と再生可能エネルギーの利用が可能になれば、グリーンスチール、港の持続可能な工業化がさらに促進されると期待される。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/thursday-throwback-story-fortescue-future-industries-and-port-of-acu-join-forces-to-develop-green-hydrogen-plant-in-brazil/> (2021年4月7日)

Babcock & WilcoxはPort Anthony Renewables Limitedとの間で、バイオマスから水素へのクリーンエネルギープロジェクトをオーストラリアのビクトリア州で共同開発する契約を締結した。

このプラントが完成すれば、オーストラリア南東部で最大のグリーン水素ハブの一部となることが期待される。

BrightLoop技術は、独自に開発した再生可能な酸化物粒子を利用して、様々な燃料から水素を発生させるのと同時に二酸化炭素を集積的に発生させ、分離または利用する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/bw-renewable-signs-agreement-to-jointly-develop-innovative-biomass-to-hydrogen-clean-energy-project-in-australia-using-brightlooptm-technology/> (2021年10月18日)

中国の動向(モビリティ・CO2フリー水素・政策)

要約

- 北京市経済情報局は水素エネルギー産業の規模を1,000億元以上とする目標を設定した。
- 石油化学メーカーのSinopecが、中国初の1万トン規模のグリーン水素プロジェクトを開始した。

モビリティ(自動車)分野の詳細情報

上海REFIREは TÜV Nordの支援を受けて、欧州市場への製品・サービスの導入に道を開くRDW認証を取得したことを発表した。ECE R10は、REFIREの主力製品であるPRISMA VI燃料電池システムが、乗用車と商用車の両方に安全に搭載できることを証明するものである。PRISMA VIは、中国で初めてこの認証を取得した燃料電池製品だ。今回の認証取得は、電磁両立性に配慮した燃料電池システム的设计における当社の優れた専門性を反映したものである。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/refire-cements-european-hydrogen-fuel-cell-footprint-with-certification-from-eu-authority/> (2021年5月18日)

Shangjiagang Haili TerminalとHyzon Automotive が、フォーチュン500のShagang Group、Jiangsu Guofu Hydrogen Technology and Equipmentと共同で、49トンの大型水素燃料電池トラックの試験運用協力契約を締結した。今後、三者は共同で水素燃料電池車の実証運転を推進し、水素製造装置、水素貯蔵、水素化、水素供給、燃料電池大型トラックの提供を行い、鉄鋼輸送分野における省エネ・排出ガス削減用途で包括的かつ綿密な協力を行っていく。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/shagang-group-along-with-hyzon-automotive-and-guofu-hydrogen-to-jointly-promote-49t-hydrogen-fuel-cell-heavy-trucks/> (2022年11月10日)

CO2フリー水素分野の詳細情報

Sinopecは、11月、北京、ウルムチ、クチャの各都市でオンラインの進水式を開催し、中国初の1万トン規模の太陽光発電グリーン水素パイロットプロジェクト「Sinopec新疆クチャグリーン水素パイロットプロジェクト」の建設を正式に開始したことを発表した。年間2万トンのグリーン水素を生産することになり、太陽光発電によるグリーン水素生産プロジェクトとしては世界最大となる予定。Sinopecは、設備容量300MW、年間発電量6億1800万キロワット時の太陽光発電所、年間生産量2万トンの電解水素プラント、水素貯蔵容量21万標準立方メートルの球形水素貯蔵タンク、毎時2万8000標準立方メートルの水素輸送パイプラインを新設する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/sinopec-lands-worlds-largest-photovoltaic-green-hydrogen-production-project-in-kuqa-xinjiang/> (2021年11月30日)

政策分野の詳細情報

北京市経済情報局は7日、「北京市水素エネルギー産業発展実施計画(2021~25年)」を公開し、25年までに京津冀(北京市、天津市、河北省)エリアの水素エネルギー関連産業の規模を1,000億元(約1兆6,700億円)以上とする目標を設定した。

出典:<https://www.nna.jp/news/show/2174874> (2021年4月9日)

韓国の動向(モビリティ)

要約

- 政府は来年度の電動車導入台数・インフラ整備目標の引き上げを発表。
- Hyundaiはじめ各社が燃料電池商用車の開発・導入を精力的に推進している。燃料電池供給メーカーも拡大。

モビリティ(自動車)分野の詳細情報

Hyundai MotorsのGenesisブランドは9月に10年後までにすべてのエンジン車を廃止し、2025年以降にデビューする高級車は燃料電池またはバッテリーで走ると発表した。

また、2040年までに水素を普及させ、2028年までに新型商用車の全モデルを電動化し、パワートレインにバッテリーや燃料電池システムを採用するという計画を発表した。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundais-luxury-brand-genesis-to-run-on-fuel-cells-and-batteries-by-2030/>
<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-motor-group-presents-its-vision-to-popularize-hydrogen-by-2040-at-hydrogen-wave-forum/> (2021年9月7日)

環境部など4省は12月に来年の政策計画を共同で発表し、政府が電気自動車と燃料電池自動車の普及台数を現在の約24万8000台から2022年には約50万台まで引き上げることを目指すとした。

計画では、電気自動車は20万台、水素自動車は3万5千台、それぞれ増加することになる。

また、政府は来年、電気自動車と水素自動車の充電器・水素ステーションを全国で16万台、310台まで拡大する予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/s-korea-to-double-electric-hydrogen-cars-in-2022-in-net-zero-emission-drive/> (2021年12月29日)

Hyundai Motor GroupのXcient Fuel Cell大型トラックは、11月から韓国の路上で走行する予定である。

Hyundai Glovisは、Hyundai Motorから10トン級のXcient Fuel Cellを2台購入し、韓国での貨物配送サービスに使用する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-motors-xcient-fuel-cell-trucks-to-hit-korean-roads-starting-in-november/> (2021年9月29日)

韓国の大手電気自動車メーカーであるEdison Motorsは、Plug Powerと、水素燃料電池搭載の電気都市バスの開発・市場投入に関する契約を締結したことを発表した。

両社は、2022年後半までに燃料電池電気バスのプロトタイプを完成させ、2023年前半までに量販用プラットフォームを立ち上げる準備をする予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/edison-motors-and-plug-power-inc-sign-agreement-for-mass-production-of-hydrogen-powered-city-buses/> (2021年12月15日)

Doosan Groupは、11月に商用車用の水素パワーパックを開発し、燃料電池バスおよびトラック市場への参入を表明した。Doosanはこれまで、ドローン用の水素パワーパックを製造していたが、自動車用の水素パワーパックを開発するのは今回が初めて。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-to-develop-hydrogen-power-pack-for-cars/> (2021年11月22日)

韓国の動向(モビリティ・発電)

要約

- 水素航空機の開発に積極的に取り組むAirbusが、韓国においても空港での水素利用を目指して覚書を締結。
- Dosan はアンモニアを利用した発電事業の取り組みを推進。

モビリティ(その他)分野の詳細情報

Air Liquide、Airbus、大韓航空、仁川国際空港公社は、2月に仁川国際空港における水素利用を検討するための覚書に調印した。このMoUの枠組みにおいて、4つのパートナーは、まず仁川空港とその周辺での水素利用を開発するためのロードマップを作成し、韓国の他の空港に接続する水素エコシステムの展開をサポートするためのシナリオを構築し、第二段階として、パートナーシップは、水素を動力源とする最初の航空機の到着に備え、仁川空港で必要な液体インフラの定義と開発を目的とした研究を実施することに重点を置いている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/air-liquide-airbus-incheon-airport-and-korean-air-partner-to-prepare-the-use-of-hydrogen-in-the-decarbonization-of-the-aviation-sector-in-korea/> (2022年2月9日)

韓国のHyundai Rotemは2022年1月にOrascom Construction、フランスのColas Rail と共同で、エジプトの新首都に水素トラムを建設する覚書に調印した。Hyundai Rotemは、コンソーシアムは今年上半期中にトラムプロジェクトに関する調査書をエジプト運輸省に提出し、承認を得る予定であることを明らかにした。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-rotem-led-consortium-to-build-green-hydrogen-tram-in-egypt-new-capital/> (2022年1月27日)

発電分野の詳細情報

Doosanは7月、POSCOおよび産業科学技術研究所(RIST)と「クリーンなアンモニア燃料ガスタービンの研究開発に関するMoU」を締結したと発表した。今回の覚書締結により、POSCOはアンモニアの生産・供給を担当し、POSCOとRISTはアンモニア分解機の開発を共同で進め、Doosan Heavy Industries & Constructionはアンモニア分解で発生するガスを燃焼させる水素ガスタービンと燃焼器の開発を担当することになる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-heavy-pursues-ammonia-fueled-hydrogen-gas-turbine-development-together-with-posco-and-rist/> (2021年7月20日)

Doosan Heavy Industries & Constructionは2月、KEPCO E&Cとアンモニア改質ガス発電所の商用化に向けた事業契約を締結したと発表した。アンモニア改質ガス発電所は、アンモニアから取り出した水素を燃焼させて水素タービンを稼働させ、発電を行う。KEPCO E&Cは、プラントの最適化を含む発電所全体のエンジニアリング技術を開発し、Doosan Heavy Industriesは、アンモニア改質設備や水素タービンなど主要機器開発を担当。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-heavy-industries-construction-accelerates-hydrogen-turbine-technology-development-with-kepcO-ec-and-korea-midland-power/> (2022年2月17日)

オランダの動向(モビリティ・CO2フリー水素・政策)

要約

- Shell は 2030年までにグリーン水素市場シェアの拡大を目指す計画を発表。
- 長期投資NationalGrowth Fundは3億3800万ユーロを投資。グリーン水素利用の加速を目指す。

CO2フリー水素の詳細情報

石油大手のShellは、2030年までに世界のグリーン水素販売の2桁の市場シェアを達成し、2035年までに年間2500万吨(mtpa)の炭素回収貯留容量にアクセスできるようにする計画を発表した。

Shellの目標は、風力と太陽光からの再生可能エネルギーを使用して、電気分解によってグリーン水素を生成することだ。

同社の新しい水素戦略には、統合水素ハブの開発、小売サイトやガスパイプラインなどの既存のインフラの転用、2030年までに世界のグリーン水素販売の2桁のシェアを獲得が含まれる。

出典:

<https://www.icis.com/explore/resources/news/2021/04/21/10630771/shell-eyes-hydrogen-growth-and-25mtpa-of-carbon-capture-and-storage-capacity-by-2035> (2021年4月21日)

RWEとNeptune Energyは、2030年に向けた洋上グリーン水素実証プロジェクト「H 2opZee」の開発に関する共同開発契約を締結したことを発表した。

H2opZeeは、オランダ領北海の沖合に300~500 MW の電解槽を建設し、洋上風力を利用したグリーン水素の製造を目指す実証プロジェクトで、その水素を既存のパイプラインで陸上まで輸送する。

2022年第2四半期にフィージビリティスタディを開始する予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/rwe-and-neptune-energy-join-forces-to-accelerate-green-hydrogen-production-in-dutch-north-sea/> (2022年2月15日)

モビリティ分野の詳細情報

Air Liquide、DATS 24、アントワープ港は、HyTrucksコンソーシアムに参加し、HyTrucksイニシアチブの一環として、300台の水素駆動トラックと、それに関連する再生可能な水素製造インフラおよびサプライチェーン資産をベルギーに展開する。

このプロジェクトでは、2025年までに合計1,000台の水素を搭載したゼロエミッションのトラックの走行を可能にし、ベルギー、オランダ、ドイツ西部を結ぶ適切なインフラを構築することを目指している。今回のパートナーシップでは、主にベルギーのアントワープ港周辺や主要な物流拠点に水素駆動トラックを配備することを目指している。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hytrucks-consortium-aims-to-have-300-hydrogen-powered-trucks-on-the-road-in-belgium-by-2025/> (2021年5月6日)

政策分野の詳細情報

オランダの長期投資NationalGrowth Fundはグリーン水素に基づくエコシステムに3億3800万ユーロを投資する。

これにより化学、運輸、重工業の各セクターでのグリーン水素利用を加速する。研究には水電解装置開発と化学産業のサステナビリティ向上が含まれ、2026年までに200億ユーロが利用可能となる計画である。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/green-hydrogen-ecosystem-project-green-power-of-the-dutch-economy-to-receive-e338m/> (2021年4月20日)

オーストラリア・ニュージーランドの動向(CO2フリー水素)

要約

- 大規模なグリーン水素製造プロジェクトが複数計画が発表。
- オーストラリアの大手エネルギー生産者のウッドサイド社は、世界規模の水素・アンモニア生産施設の建設を計画。

CO2フリー水素分野の詳細情報

InterContinental Energy、CWP Global、Mirning Green Energy Limitedからなる国際コンソーシアムは、西オーストラリア州南東部における統合グリーン燃料のメガプロジェクトを発表した。

西部グリーン・エネルギー・ハブ(WGEH)は、段階的に建設され、最大で年間350万トンのゼロカーボン・グリーン水素または2,000万トンのグリーンアンモニアを生産し、国内で供給するとともに、2030年以降のグリーン燃料市場の拡大に合わせて海外に輸出する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/western-green-energy-hub-in-australia-set-to-transform-global-green-fuels-production-in-historic-partnership-with-the-mirning-people/> (2021年7月14日)

Plug PowerとFortescue Future Industries (FFI)は、本日、オーストラリアのクイーンズランド州にギガファクトリーを建設するための合併事業意向書に署名した。

この合意の一環として、両組織は2GWの工場を建設し、大規模なプロトン交換膜(PEM)電解槽を生産する予定だ。

Plug Powerは、電解槽と燃料電池の技術を提供し、FFI社は高度な製造能力を提供する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/plug-power-to-partner-with-fortescue-future-industries-to-manufacture-electrolyzer-technology-in-australia/> (2021年10月14日)

オーストラリアの大手エネルギー生産者のウッドサイド社は、西オーストラリア州政府の支援を受けて、世界規模の水素・アンモニア生産施設をパース市南部の都市に建設する計画を発表した。本プロジェクトの施設は世界最大級のものとなり、アンモニアと液体水素の形で輸出用の水素を1日1500トン(tpd)まで生産する。水素とアンモニアは、電気分解技術と天然ガス改質の両方を用いて製造され、炭素排出量の100%が削減または相殺される。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/woodsides-h2perth-to-make-western-australia-a-hydrogen-powerhouse/> (2021年10月25日)

オーストラリア水素プロジェクトは、ニューサウスウェールズ州で初めて、家庭、ビジネス、輸送用のグリーン水素の利用を開始した。このプロジェクトでは、グリーン水素を既存のガスネットワークに混合し、23,500件の一般家庭、100の商業施設、7つの工業施設に提供する予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/first-green-hydrogen-for-new-south-wales-homes-and-businesses/> (2021年11月18日)

オーストラリア・ニュージーランドの動向(政策・サプライチェーン)

要約

- オーストラリアはシンガポール・英国・韓国と水素エネルギー技術に関するパートナーシップを確立。
- Amp Energyは、戦略的ポートフォリオ「南オーストラリア再生可能エネルギーハブ」(「REHSA」)を設立。

政策分野の詳細情報

オーストラリアとシンガポールは、海運・港湾事業における排出ガス削減のための低排出ガス燃料やクリーン水素などの技術の展開を加速するため、3,000万ドルのパートナーシップを設立する。Scott Morrison首相は、「新たな低排出ガス産業の発展は、オーストラリアの労働者の雇用拡大を意味し、安価なエネルギーは企業のコスト削減につながり、企業はより多くの人材を雇用するために再投資することができる」と述べている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/australia-partners-with-singapore-on-hydrogen-in-maritime-sector/> (2021年6月10日)

オーストラリアと英国は低排出ガスソリューションに関するパートナーシップを確立するためのLetter of Intent(意向書)に署名した。

オーストラリアと英国は、クリーン水素、二酸化炭素の回収と利用(CCUS)、二酸化炭素の回収と貯留(CCS)、先進的な原子力設計と実現技術を含む小型モジュール炉、グリーン・スチールと土壌炭素測定を含む低排出材料など、6つの主要技術の研究開発に重点的に取り組むことになる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/australia-uk-partnership-to-drive-low-emissions-solutions-including-hydrogen/> (2021年7月29日)

オーストラリアと韓国は、新たな低・ゼロエミッション技術パートナーシップに署名した。

両国は今後10年以上にわたって協力し、低排出ガスおよびゼロ排出ガス技術の導入を促進するためのイニシアチブを開発・支援し、国家決定拠出金(NDC)を含むパリ協定の下での我々の約束を果たし、それを達成するための努力を支援することを約束する。韓国政府は、韓国とオーストラリアの企業間の水素サプライチェーンの研究を支援することを決定した。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/australia-republic-of-korea-sign-low-zero-emission-partnership-that-includes-hydrogen/> (2021年11月1日)

サプライチェーン分野の詳細情報

Amp Energy は、南オーストラリア州に大規模な太陽光発電、風力発電、バッテリーエネルギー貯蔵(BESS)を統合した戦略的ポートフォリオである「南オーストラリア再生可能エネルギーハブ」(「REHSA」)を設立したことを発表した。

南オーストラリア州の再生可能エネルギーハブへの投資総額は20億ドルを超える見込み。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/amp-energy-will-develop-a-2-billion-renewable-energy-hub-incorporating-hydrogen-energy-in-south-australia/> (2021年5月8日)

韓国の動向(モビリティ)

要約

- 政府は来年度の電動車導入台数・インフラ整備目標の引き上げを発表。
- Hyundaiはじめ各社が燃料電池商用車の開発・導入を精力的に推進している。燃料電池供給メーカーも拡大。

モビリティ(自動車)分野の詳細情報

Hyundai MotorsのGenesisブランドは9月に10年後までにすべてのエンジン車を廃止し、2025年以降にデビューする高級車は燃料電池またはバッテリーで走ると発表した。また、2040年までに水素を普及させ、2028年までに新型商用車の全モデルを電動化し、パワートレインにバッテリーや燃料電池システムを採用するという計画を発表した。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundais-luxury-brand-genesis-to-run-on-fuel-cells-and-batteries-by-2030/>
<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-motor-group-presents-its-vision-to-popularize-hydrogen-by-2040-at-hydrogen-wave-forum/>

環境部など4省は12月に来年の政策計画を共同で発表し、政府が電気自動車と燃料電池自動車の普及台数を現在の約24万8000台から2022年には約50万台まで引き上げることを目指すと明らかにした。

計画では、電気自動車は20万台、水素自動車は3万5千台、それぞれ増加することになる。

また、政府は来年、電気自動車と水素自動車の充電器・水素ステーションを全国で16万台、310台まで拡大する予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/s-korea-to-double-electric-hydrogen-cars-in-2022-in-net-zero-emission-drive/>

Hyundai Motor GroupのXcient Fuel Cell大型トラックは、11月から韓国の路上で走行する予定である。Hyundai Glovisは、Hyundai Motorから10トン級のXcient Fuel Cellを2台購入し、韓国での貨物配送サービスに使用する。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-motors-xcient-fuel-cell-trucks-to-hit-korean-roads-starting-in-november/>

韓国の大手電気自動車メーカーであるEdison Motorsは、Plug Powerと、水素燃料電池搭載の電気都市バスの開発・市場投入に関する契約を締結したことを発表した。

両社は、2022年後半までに燃料電池電気バスのプロトタイプを完成させ、2023年前半までに量販用プラットフォームを立ち上げる準備をする予定。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/edison-motors-and-plug-power-inc-sign-agreement-for-mass-production-of-hydrogen-powered-city-buses/>

Doosan Groupは、11月に商用車用の水素パワーパックを開発し、燃料電池バスおよびトラック市場への参入を表明した。Doosanはこれまで、ドローン用の水素パワーパックを製造していたが、自動車用の水素パワーパックを開発するのは今回が初めて。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-to-develop-hydrogen-power-pack-for-cars/>

韓国の動向(モビリティ・発電)

要約

- 水素航空機の開発に積極的に取り組むAirbusが、韓国においても空港での水素利用を目指して覚書を締結。
- Doosan Heavy Industryがアンモニアをクラッキングして取り出した水素によるガスタービン発電への取り組みをPOSCO、KEPCOといった複数の事業者と進めている。

モビリティ(その他)分野の詳細情報

Air Liquide、Airbus、大韓航空、仁川国際空港公社は、2月に仁川国際空港における水素利用を検討するための覚書に調印した。このMoUの枠組みにおいて、4つのパートナーは、まず仁川空港とその周辺での水素利用を開発するためのロードマップを作成し、韓国の他の空港に接続する水素エコシステムの展開をサポートするためのシナリオを構築し、第二段階として、パートナーシップは、水素を動力源とする最初の航空機の到着に備え、仁川空港で必要な液体インフラの定義と開発を目的とした研究を実施することに重点を置いている。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/air-liquide-airbus-incheon-airport-and-korean-air-partner-to-prepare-the-use-of-hydrogen-in-the-decarbonization-of-the-aviation-sector-in-korea/>

韓国のHyundai Rotemは2022年1月にOrascom Construction、フランスのColas Rail と共同で、エジプトの新首都に水素トラムを建設する覚書に調印した。Hyundai Rotemは、コンソーシアムは今年上半期中にトラムプロジェクトに関する調査書をエジプト運輸省に提出し、承認を得る予定であることを明らかにした。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/hyundai-rotem-led-consortium-to-build-green-hydrogen-tram-in-egypt-new-capital/>

発電分野の詳細情報

Doosanは7月、POSCOおよび産業科学技術研究所(RIST)と「クリーンなアンモニア燃料由来の水素ガスタービンの研究開発に関するMoU」を締結したと発表した。

今回の覚書締結により、POSCOはアンモニアの生産・供給を担当し、POSCOとRISTはアンモニア分解機の開発を共同で進め、Doosan Heavy Industries & Constructionはアンモニア分解で発生するガスを燃焼させる水素ガスタービンと燃焼器の開発を担当することになる。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-heavy-pursues-ammonia-fueled-hydrogen-gas-turbine-development-together-with-posco-and-rist/>

Doosan Heavy Industries & Constructionは2月、KEPCO E&Cとアンモニア改質ガス発電所の商用化に向けた事業契約を締結したと発表した。

アンモニア改質ガス発電所は、アンモニアから取り出した水素を燃焼させて水素タービンを稼働させ、発電を行う。

KEPCO E&Cは、プラントの最適化を含む発電所全体のエンジニアリング技術を開発し、Doosan Heavy Industriesは、アンモニア改質設備や水素タービンなど主要機器開発を担当。

出典:<https://fuelcellsworks.com/news/doosan-heavy-industries-construction-accelerates-hydrogen-turbine-technology-development-with-kepcoc-and-korea-midland-power/>

(1)–2 国内外の最新動向に関する情報収集

②海外ヒアリング

海外ヒアリングの実施概要

- 本年度は、将来の技術開発やインフラの社会実装、グリーン水素市場構築に向けた制度設計についての最新の動向把握をすべく、以下の機関へのヒアリングを実施。

区分	テーマ	機関名	業種	取り組み概要
技術開発 (グリーン成長戦略関連)	HDV用水素インフラ最適化	Fraunhofer ISE (ドイツ)	研究機関	ドイツにおいて燃料電池商用車とそれへの水素供給ネットワークを構築する際の、シミュレーションによるシナリオ分析を実施。
技術開発 (R&D戦略関連)	燃料電池R&D	Fraunhofer IWU(ドイツ)	研究機関	金属BPP加工・設計ツール開発(IWU)、Roll to roll生産技術(IPT)等大量製造技術開発プロジェクトを強力に推進中。
		Fraunhofer IPT(ドイツ)		
	水電解R&D	HyCC(オランダ) (Nouryonからスピンアウト)	化学メーカー (アルカリ)	基礎研究から、MW級試験設備、20MW級設備でのSAF製造実証、GW級プラント設計などの水電解技術開発・実証プロジェクトを戦略的に配備、取り組む。
	燃料電池R&D・水電解R&D連携	NREL (米国)	研究機関	昨年からのHDV用FC開発プロジェクト・低コスト水素製造用水電解のプロジェクトに国立研究所として深く関与。
政策	グリーン水素市場構築に向けた制度設計	H2Global (ドイツ)	政府設立のイニシアチブ	ダブルオークションによる市場構築+CfDによる差額補填により、ドイツのグリーン水素輸入立ち上げを支援

燃料電池商用車向け水素ステーションの最適化の検討

- 現在まで欧州内の水素インフラ整備においてはシミュレーションは利用されていなかったが、Fraunhoferの研究(注)は業界で反響があった模様。
(注)Nugroho, Rizqi, et al. "Cost of a potential hydrogen-refueling network for heavy-duty vehicles with long-haul application in Germany 2050." International Journal of Hydrogen Energy 46.71 (2021): 35459-35478.
- 商用車向けにも、車載の水素貯蔵手段として圧縮水素を有力視。

Fraunhoferでの水素インフラ最適配置シミュレーションとその活用について



Fraunhofer ISI

- 欧州では水素ステーション整備計画において最適配置シミュレーションをベースにしたという話はこれまでは聞いていない。
- ただ、我々が2021年に発表した燃料電池商用車向け水素ステーションの最適配置の研究の論文については反響があり、さまざまな機関から問い合わせを受けた。
- 現状は他の地域についての研究をする計画はないが、同様のことを実施する場合は交通データがあれば可能と考える。

論文でのシナリオ分析設定、及び商用車向けの水素供給のあり方について



Fraunhofer ISI

- ドイツのエネルギー事情(北部に洋上風力のポテンシャルが豊富、南部に需要が偏在)を考慮して、北部の洋上風力資源からの水電解水素製造+パイプラインでの輸送と、分散型でのオンサイト電解のコスト比較を実施した。これが論文の設定の背景である。
- 輸送・供給の手段については、250km未満なら陸送がよいと考える。キャリアについては、LOHCはインフラが複雑なので商用車よりも船舶などでメリットがあるのではないかと考える。
- 商用車のオンボードストレージは高圧水素が妥当と考える。
- 液化水素に関しては500-600km走行する長距離トラック向けという認識だが、追加コストやエネルギー効率に課題があるという認識。

燃料電池大量製造に関するFraunhoferの取り組み

- 特にロールフォーミングを採用することで、製造速度をスタンピングの倍(120BPP/min)とするべく、開発に取り組んでいる。

FC大量製造に向けたBPP製造装置の技術開発の状況について



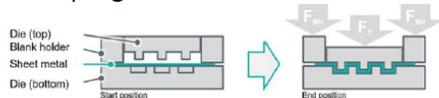
Fraunhofer IWU

- 今後5年程度で120BPP/minの製造速度を目指す計画。現在コロナで遅れているが製造装置を22年度後半に完成させる予定。製造マシンの実用化は5年間(2026年まで)で行う。技術の実用化は2028年から2030年の実用化を目指す。
- (BPP加工法である)ローラーエンボス加工は、スタンピング加工よりも製造速度を大幅に挙げられる点にメリット。成形性には劣る。
- ローラエンボス加工については、シミュレーションなどを利用しながら徐々にシワがないぐらいの水準に近づいている。ロールは現状のものから更に大きくする計画。

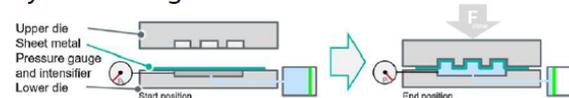
BPP手法比較

	Stamping	Hydroformen	Roll-Forming
Area (total)	500 cm ²	500 cm ²	500 cm ²
production rate	60 BP-HP/min	6,7 BP-HP/min	> 120 BP-HP/min
Compare of:			
▫ Formability / Geometry	→	↑	↘
▫ Produktion rate	↗	↘	↑
▫ Prozess Complexity	↘	↘	→

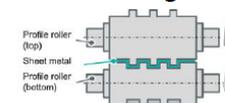
Stamping



Hydroforming



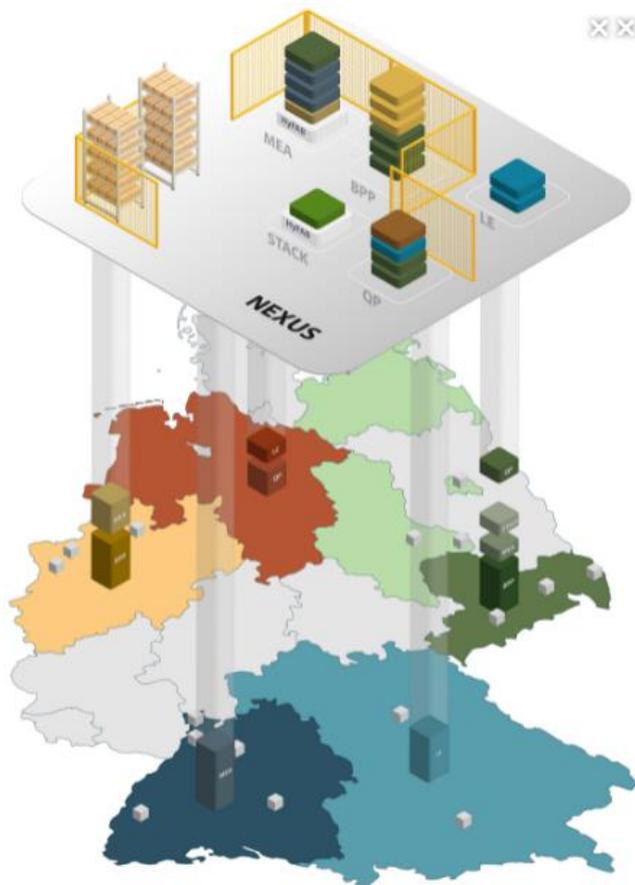
Roll-Forming



参考:燃料電池大量製造の技術開発に関するドイツ・Fraunhoferの取り組み

- Fraunhoferは74機関からなるドイツの研究機関の集合。燃料電池の製造技術に対しても、ドイツBMVIから80億ユーロの支援を受け、得意分野の異なる複数の研究機関が「クラスター」を構成して、研究開発にあっている。
- スタック製造量年間22万台、FCスタック製造コスト€32/kW、これによりシステムコストを€100/kWとする計画。

クラスター概念図と研究機関の役割



Fraunhofer 研究所	FC製造技術関連の研究分野
Fraunhofer IPT	BPP製造技術 (設計ツール整備など)
Fraunhofer IWU	BPP製造技術 (ローラーエンボス加工装置)
Fraunhofer ILT	レーザー加工・切断技術
Fraunhofer IFF	プロセス設計
Fraunhofer ENAS	MEAの製造技術 (Roll to Roll)
Fraunhofer IFAM	接着技術

出典:Fraunhofer HP

水電解に関するNRELの取り組み

- Hydrogen shotの高い目標に向けては、基礎研究・企業の強みを背景にPEM・SOECの開発に取り組み、十分目標達成可能としている。
- 次ページで見るように大量製造によるコストダウンにも取り組む。また、BOPのコストダウンも重要とし、着目。

DOE Hydrogen shotの目標に向けた水電解の開発について



NREL

- H2NEWでPEM電解とSOECにフォーカス。理由としては、これらの分野には取り組む企業も複数おり、米国は高い技術力を持っていると考えている。
- 中国の電解装置はたしかに安いと聞くが、耐久性など条件が不明である。
- H2NEWは過去のプロジェクト(HydroGEN)とは異なり、既存の材料中心で目標達成を目指す。HydroGENでは材料開発が主眼だった。
- コスト目標は高レベルだが達成する必要があるものと理解しており、実現できると考える。
- BOPのコストダウンも重要であり、整流器にも注目。近くワークショップを開催予定。

参考:DOEでの水電解の目標

Draft Electrolyzer Stack Goals by 2025		
	LTE PEM	HTE
Capital Cost	\$100/kW	\$100/kW
Elect. Efficiency (LHV)	70% at 3 A/cm ²	98% at 1.5 A/cm ²
Lifetime	80,000 hr	60,000 hr

出典: Brian Pivovar
“H2NEW: Hydrogen (H2)
from Next-generation
Electrolyzers of Water
Overview”

参考:水電解に関するNRELの取り組み

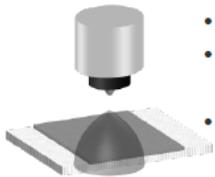
- 耐久性向上や性能向上だけでなく、大量製造技術開発にも取り組むことでコストダウンを図る。

DOE Hydrogen shotの目標に向けたH2NEWプロジェクトでの水電解の開発

Approach: Manufacturing Scale Up

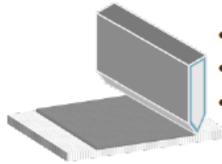


Spray Coating



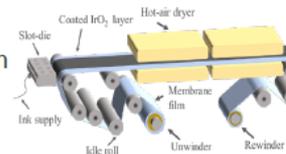
- Dilute ink
- Homogenous Ir distribution
- Low throughput

Slot Die Coating



- Viscous ink
- Heterogenous Ir distribution
- Serves as a model high throughput deposition technique

R2R Coating



- Viscous Ink
- Very high throughput
- Translate subscale learnings

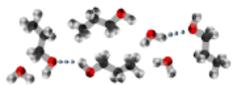
Understanding/Legacy

Model/Scalable Fabrication

Engineered @Scale/H2NEW

2025
100 \$/kW

Ink Composition



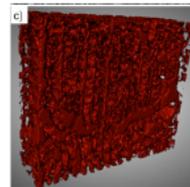
Study the impact of ink composition, solids content, I/C ratio and solvent types

Ink Mixing



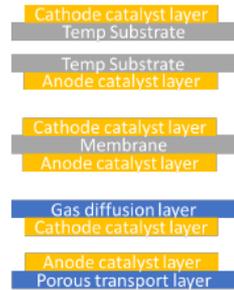
Study the impact of mixing on the ink stability and agglomeration

Electrode Structure/Function



Impact of ink, deposition technique on the catalyst layer structure, ionomer distribution, catalyst distribution, agglomerate size on performance and durability.

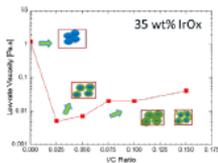
Substrates



Impact of substrate type and deposition method on structure and function of the resulting catalyst layers.

Downselect based on techno-economic and manufacturing considerations.

Ink Rheology



Study the relationships between ink composition, rheology and the of ink rheology on

出典: Brian Pivovar
“H2NEW: Hydrogen (H2) from Next-generation Electrolyzers of Water Overview”

アルカリ水電解に関するHyCCの取り組み

- RED IIのグリーン水素導入目標に向けて、オランダの化学メーカーであるHyCCも水電解導入を加速。
- 大型化を重視するとともに、将来的には国内サプライチェーンを構築する必要があると考えている。

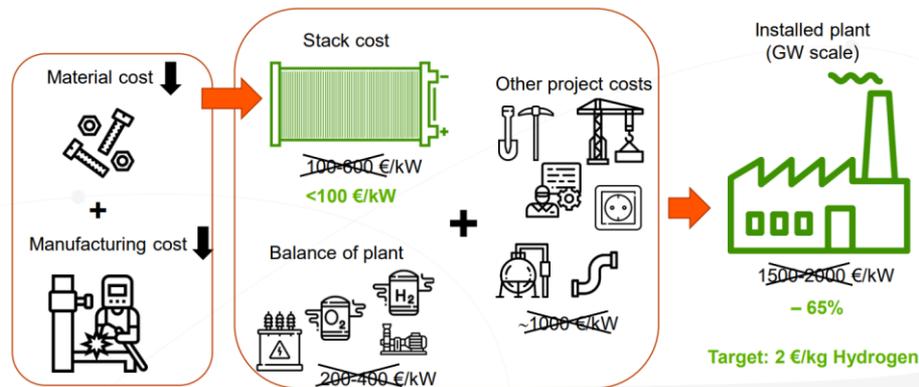
オランダでのアルカリ水電解の開発について



HyCC

- HyCCは化学メーカーとして、RED IIでの2030年目標(5割グリーン水素導入)に向けて取り組んでいる。この目標は絶対遵守という認識。
- 25-26年にかけて250MWのアルカリ電解を導入する計画で、大型の装置が必要。日本には大型の装置を手掛ける企業がまだいないと認識。
- コスト目標として€2/kgの水準を目指す。想定する市場としては航空機用燃料やリファイナリー、メタノールの原料としてのグリーン水素。
- コスト目標は高レベルだが達成する必要があるものと理解しており、実現できると考える。
- 次のページに示す課題は全て重要。最終的にはコストに帰着。
- オランダは現状水電解は国外調達。国内サプライチェーン構築は重要。野心ある企業もいる。

参考:Nouryon(HyCC)の目指すアルカリ水電解の目標水準

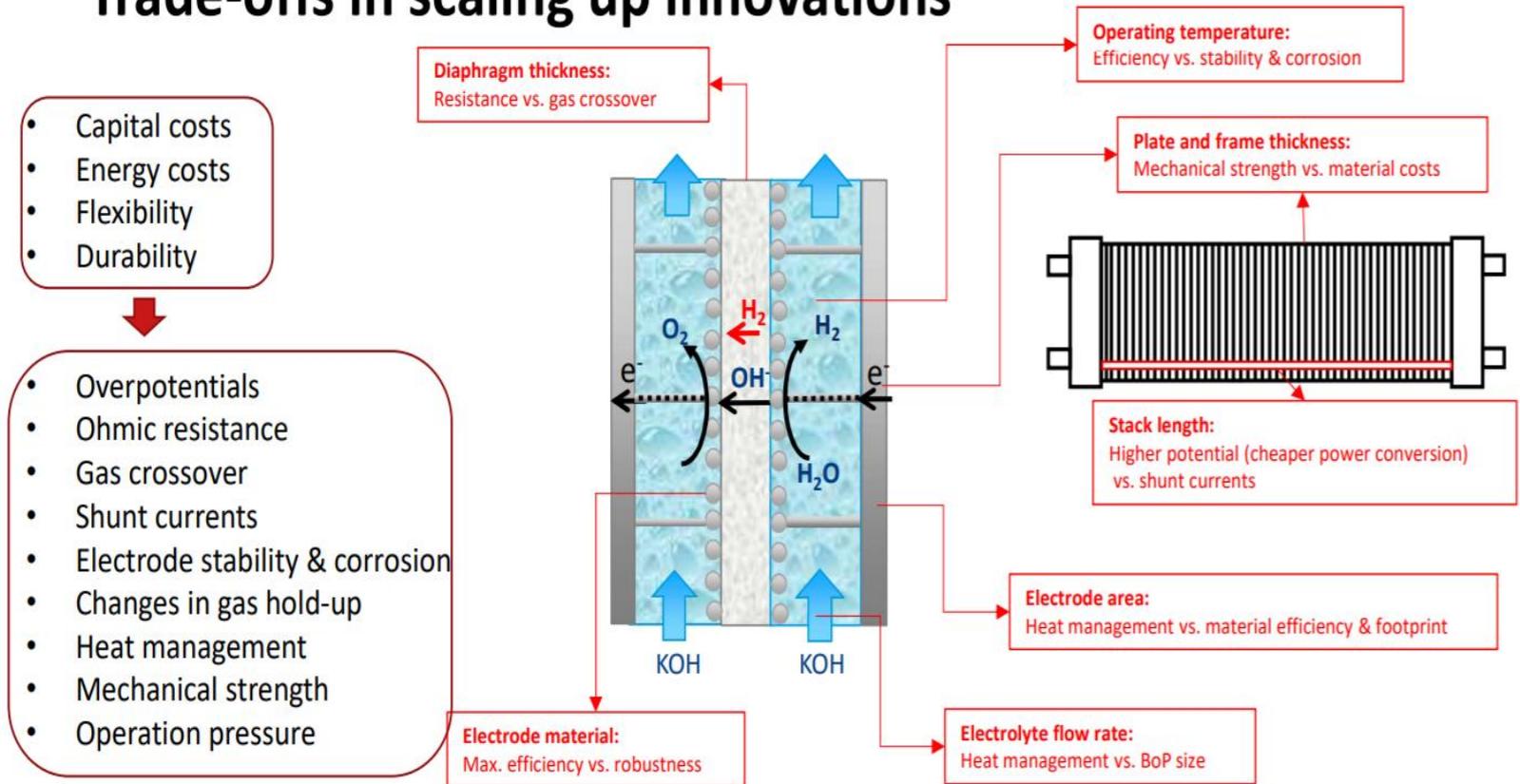


出典:Thijs de Groot
“Intensification of alkaline
electrolysis”

参考:アルカリ水電解に関する技術課題のトレードオフ(HyCC意見)

- 部材の開発目標の間には、コスト目標・柔軟性・耐久性を追求する上でのトレードオフが存在。
- 全体最適の観点での技術開発が重要と考えられる。
- 統一的な性能評価・プロトコル作成も重要だが、オランダではTNOがこの役割を担っている。

Trade-offs in scaling up innovations



出典:Thijs de Groot“Scaling up electrolyzers”

水素サプライチェーン構築に向けたリスク低減スキーム(H2Global)

- 市場黎明期の水素サプライチェーン構築のリスク低減スキームとして、ドイツ政府・20以上の民間企業からなるH2Globalコンソーシアムが、グリーン水素の供給側・需要側の価格差分を補填、媒となり市場の創生を目指す。
- 同時にダブルオークションにより補填額も最小に抑制する点に特色。

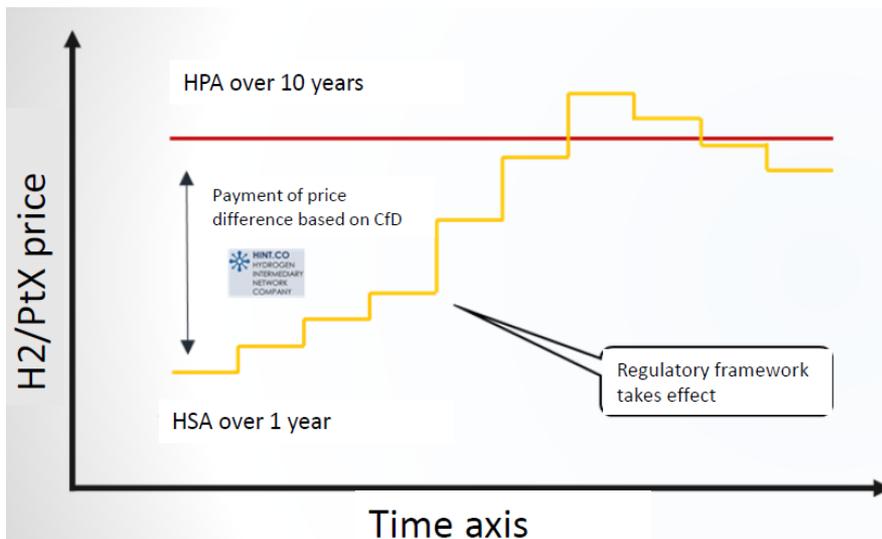
H2Globalのスキームについて



- 今後の規制強化に伴って水素の買取価格も上昇すると見込んでおり、このスキームが機能すると考えている。(スキームの詳細は下図・次ページも参照)
- 買取期間(10年)などは経済的な専門家も交えて検討してモデルを構築している。

H2Global

参考:
H2Global
のスキーム
概念図





HINT.CO
HYDROGEN
INTERMEDIARY
NETWORK
COMPANY

Supply side:	Demand side:
Long-term (10-year) auction-based purchase agreements (HPAs) with producers	Short-term sales contracts (HSAs) with purchasers

Financing needed by HINT-CO for paying the price difference is reduced over the course of the funding period

出典:H2Global
“H2Global-
Shaping the
global energy
transition”

*The price difference depends on the development of the actual PtX price. This means that the capital required by HINT-CO depends on the quantities guaranteed to be purchased under the HPA, the negotiated price and the development of the H2 price on the purchaser's side.

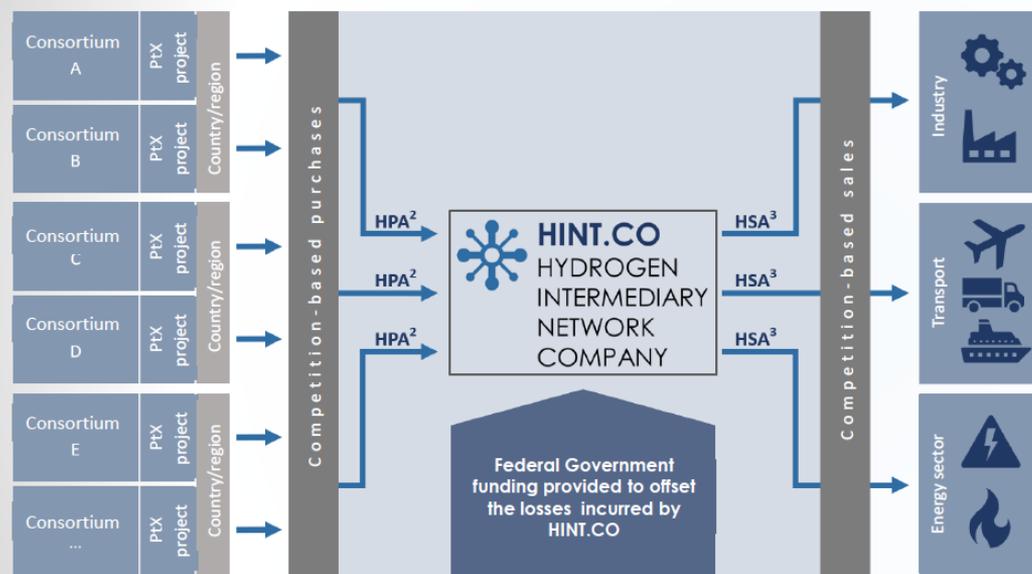
参考:H2Globalのスキーム

- H2Global下のHint.COが市場構築を担う。
- 供給側では今後100-150MWの電解装置を含むプロジェクトを4-5個支援する計画。

供給側とは10年固定価格で契約

需要側とは1-2年の短期で契約

Overview of the HINT.CO model¹



- HINT.CO serves as a market maker, it buys and sells PtX products
- Long-term (10-year) competition-based purchase agreements (HPAs) with producers
- Short-term (1-2 years), product-specific sales contracts (HSAs) on the demand side
- Federal Government funding provided to offset the losses incurred by HINT.CO
- HINT.CO guarantees availability of PtX supply to final customer

¹ Exemplary representation

² Supply side: 10-year hydrogen purchase agreement (HPA)

³ Demand side: hydrogen service agreement (HSA)

© H2Global Advisory GmbH

需要-供給双方でオークションを実施し、
補填額を抑制

出典:H2Global
“H2Global-Shaping the global energy transition”

日本への示唆

<燃料電池・水電解のコストダウンー大量生産技術の必要性>

- 今後のコストダウンに向けて鍵となる量産技術に対して、欧米は技術開発を推進。特にドイツは国としてファンディングで強力的に支援。研究推進にあたってはFraunhoferを挙げて生産技術の開発に注力する構え。
- とりわけ、Roll to Roll技術、BPPの加工技術(ローラーエンボス)、レーザー加工・切断などに注力。
- 日本としても過去国家プロジェクトでRoll to Roll技術等の生産技術開発に取り組んできており、その技術が製品化されている。更に近年ではPEM形水電解に技術の水平展開を行う例も見られる。
- 今後拡大が期待される大型商用車市場等で、大出力の燃料電池向けにセルを大量生産する技術はコスト競争力に直結し、かつクリーンエネルギー供給技術の鍵である水電解にも展開が可能であることから、国としても世界動向を注視し、支援も検討すべき領域候補の一つではないか。

<水素サプライチェーンの構築ー国際的な注目の高まりと支援スキームの必要性>

- 水素サプライチェーン構築に向けて、市場黎明期のリスク低減の手段が欧州(特に英独)で検討され始めている。とりわけ、独ではすでに官民一体となって新たなスキームを立ち上げ。
- 水素輸入の検討を開始した国が複数現れ、安価な(グリーン)水素の調達競争が一層激化する可能性。国内でも支援制度の早期検討の必要性が高まっていると言える。

(1)–2 国内外の最新動向に関する情報収集

③多国籍組の活動への参加を通じた情報収集

多国間枠組(IPHE)下での国際会議への参加

- IPHEは2003年に設立された政府間パートナーシップ。政府間の情報共有、国際協力を図ることが活動の目的。
- IPHE下では現在2つのタスクフォースが設置されている。(下図赤囲み)
テーマはそれぞれ「水素製造時のGHG排出量算定の方法論」、および「水素の国際貿易」。
- 本業務では主にこれらのTFに継続的に参加、各国の議論状況の把握と日本からの情報提供、国内情報共有を実施。

IPHE: Global Government-to-Government Partnership Accelerate Hydrogen and Fuel Cell (FCH) Deployments



Formed in 2003



Chair



Vice-Chairs



Past Chairs

Priorities:

1. Share Information on Latest Developments
2. Inform Future Government Policy
3. Foster Collaboration

The IPHE addresses these Priorities by,

- **Coordinating and Sharing Information** – at Bi-Annual Steering Committee Meetings, and through Webinars, Brochures, Newsletter
- **Developing Country Updates** – Country Profiles at www.iphe.net
- **Working Groups:**
 1. Regulations, Codes, Standards & Safety (RCSS)
 2. Education & Outreach (E&O)
- **Task Force:**
 1. H₂ Production Analysis
 2. H₂ Trade Rules

And by, Coordinating with International Initiatives and Organizations including the IEA, HEM, CEM/MI, HC, IRENA & Others



21 Countries & European Commission



2

出典: Tim Karlsson

“Policy Actions to Facilitate the Global Hydrogen Market Role of the International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy”

IPHE下のTask Forceについて

- IPHE下では現在主に2つのタスクフォースが設置されている。
H2 Production Analysis Task Force (H2PA TF)では、クリーン水素の定義決定時に必要な、水素製造時のGHG排出量算定の方法論に関するガイドラインを作成。2021年10月にドキュメント公開に至った。
- また、H2 Trade Rules Task Force (H2TR TF)では水素貿易を想定した関連情報の整理・レビューを実施。2022年2月にドキュメント公開に至った。

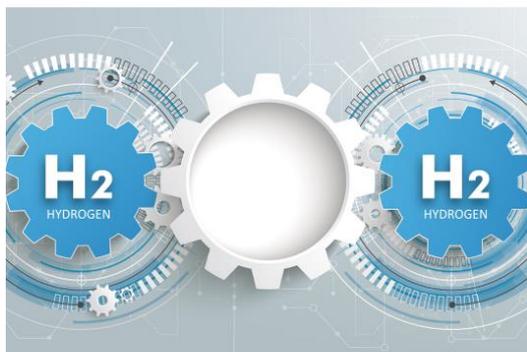
IPHEのタスクフォースから発刊されたドキュメント

水素製造時のGHG排出量算定の方法論 (2021年10月)

**Methodology for Determining
the Greenhouse Gas
Emissions Associated With
the Production of Hydrogen**



A Working Paper Prepared by the
IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force



VERSION 1 - OCTOBER 2021

https://www.iphe.net/files/ugd/45185a_ef588ba32fc54_e0eb57b0b7444cfa5f9.pdf

水素の国際貿易に関する情報のレビュー (2022年2月)

**International Trade Rules for
Hydrogen and its Carriers:
Information and Issues for Consideration**



A Discussion Paper for the
IPHE Hydrogen Trade Rules Task Force

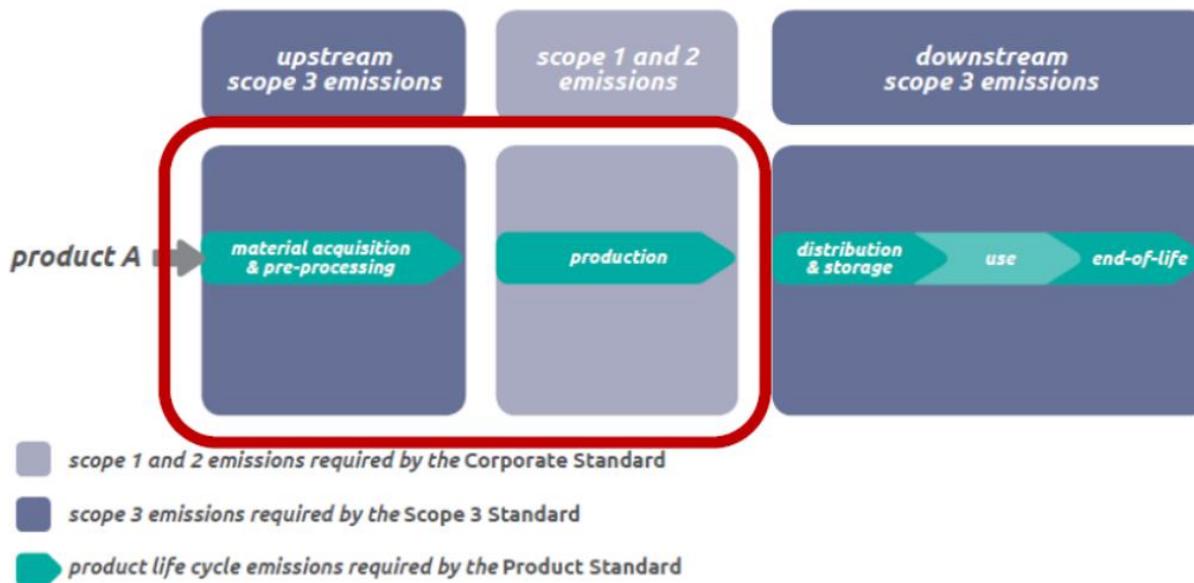


FEBRUARY 2022 (Rev 1)

https://www.iphe.net/files/ugd/45185a_29c90ec0ea154_63eadf5d585cfd7b20a.pdf

IPHE H2PA TFのスコープ・議論の対象

- H2PA TFでの議論は、クリーン水素の「定義」を定めるものではない。あくまで製造手段に応じたGHG排出量の算定の方法論を議論するもの。
- ドキュメントには、「水電解、天然ガス改質+CCS、副生水素、石炭ガス化+CCS」の4つの製造手段ごとに方法論が掲載されている。この確立に向けては、製造手段別にサブワーキンググループ(SG)が設置され、議論を実施した。ただし、ドキュメントは今後もアップデートされるものであり、今回のドキュメントで取り上げられた4つの製造手段のみに、想定する製造手段が限られるものではない。
- システム境界として、“well-to-gate”が採用されており、Scope 1, 2, Partial Scope 3が考慮対象。(下図)

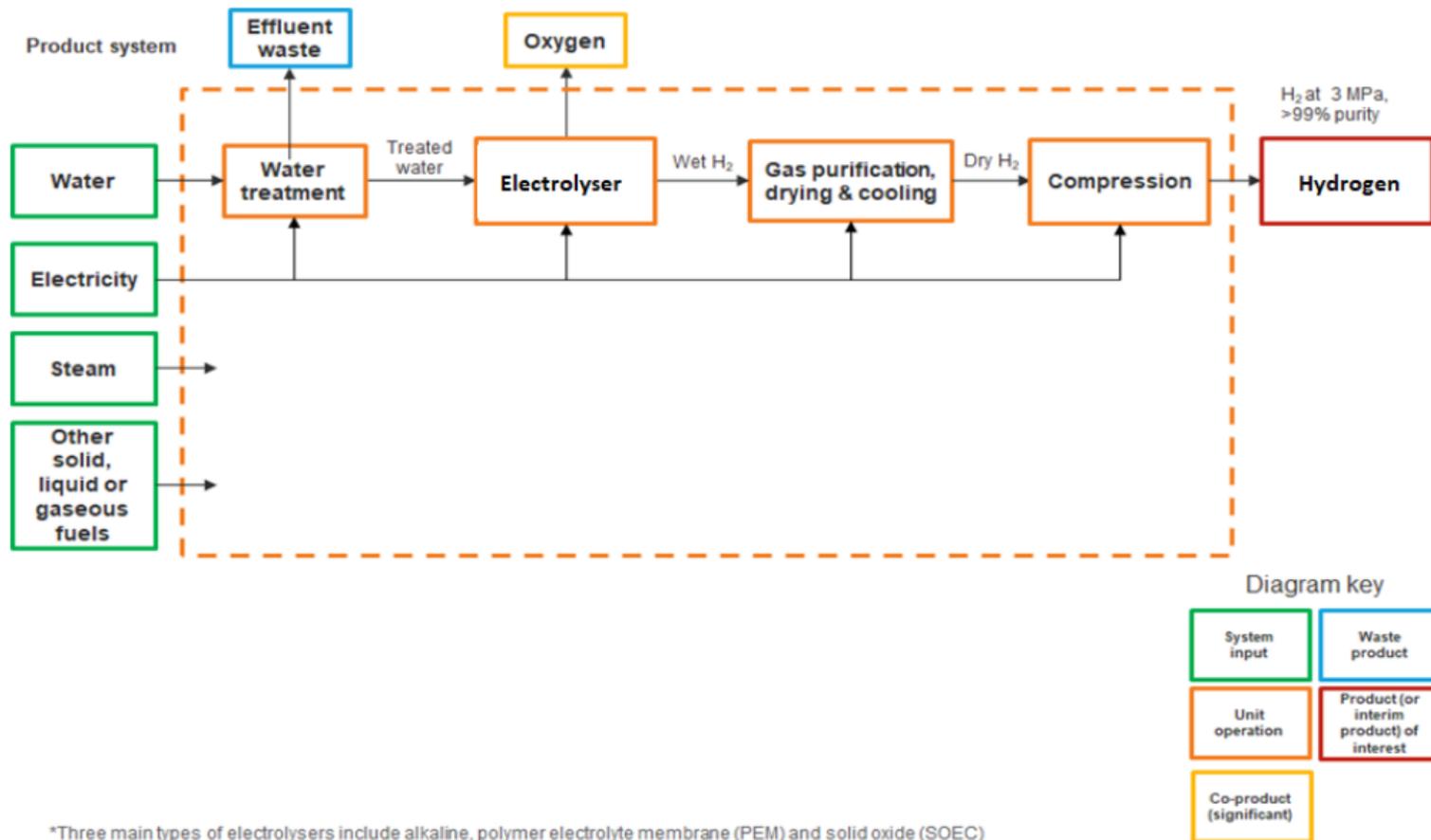


Source: Green House Gas Protocol: Product life Cycle Accounting and Reporting Standard - WBCSD, WRI

出典: IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force “Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen”

参考:各製造手段のプロセスフロー例(水電解)

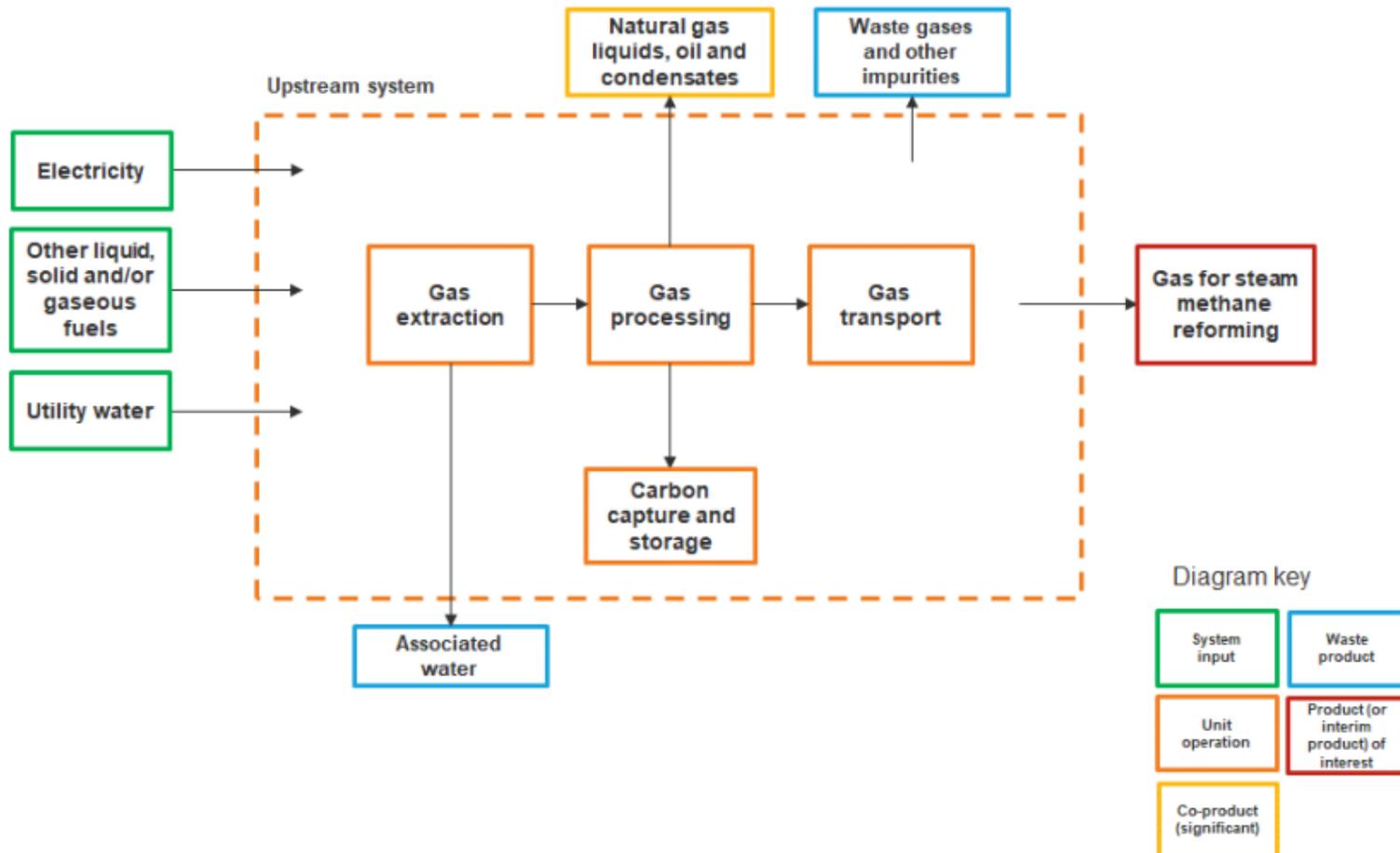
■ ドキュメント掲載の水電解での水素製造におけるプロセスフロー例を示す。



出典:IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force “Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen”

参考:各製造手段のプロセスフロー例(天然ガス改質+CCS)

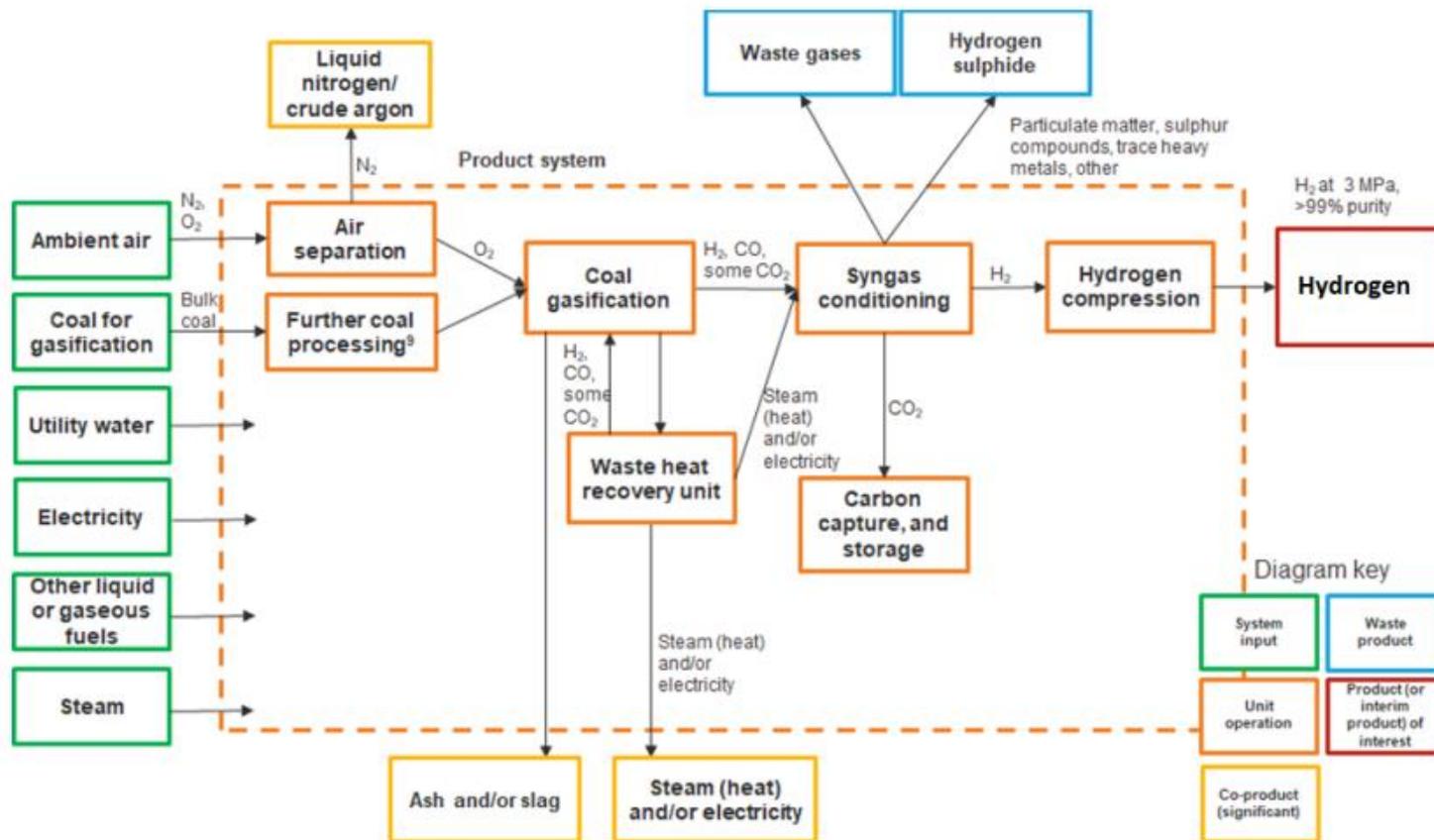
■ ドキュメント掲載の天然ガス改質+CCSでの水素製造におけるプロセスフロー例を示す。



出典:IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force “Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen”

参考:各製造手段のプロセスフロー(石炭ガス化+CCS)

■ ドキュメント掲載の石炭ガス化+CCSのプロセスフロー一例を示す。

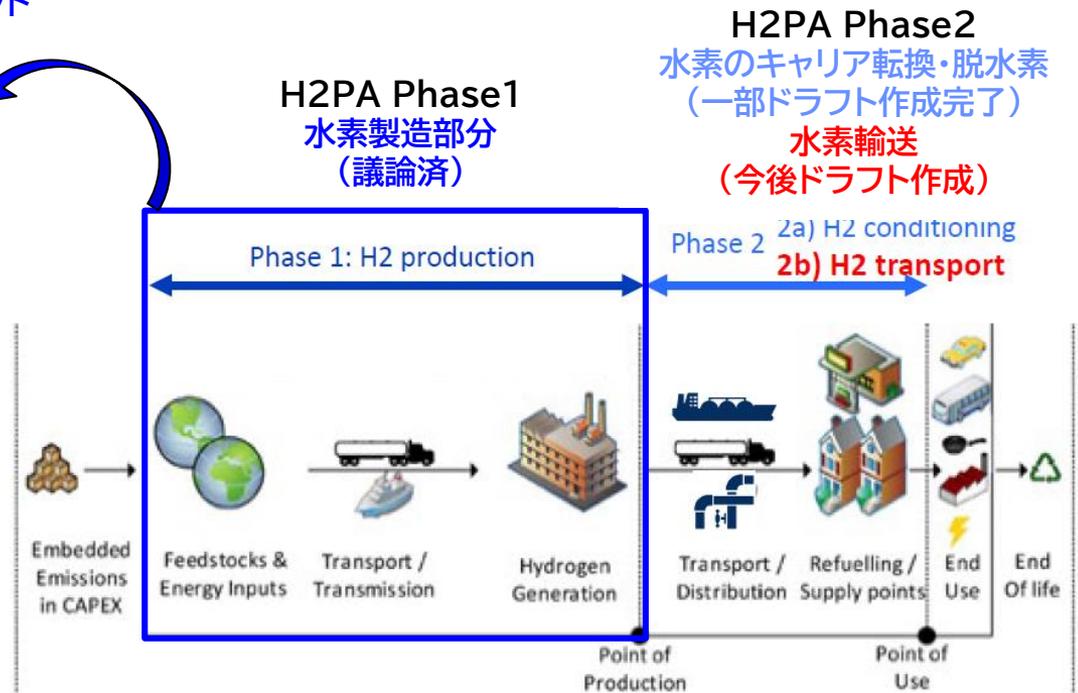
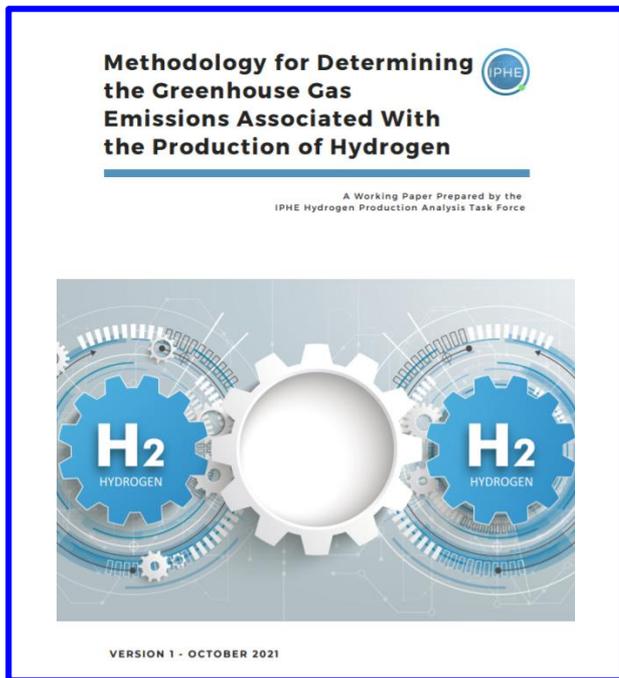


出典: IPHE Hydrogen Production Analysis Task Force “Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen”

ドキュメント公開後のIPHE H2PA TFでの議論状況

- IPHE H2PA TFでは、2021年10月に水素製造部分に関する方法論のドキュメントを公開。(Phase 1)
- Phase2 としてキャリア転換・脱水素の議論を現在実施中。12月からは輸送の議論も開始。
- 今後、これらのキャリア転換・輸送部分をAppendixに追加したドキュメントを公開する予定で、検討を進めている。
- キャリアに関しては、アンモニア、LOHC、液化水素が現状での主な議論の対象。

水素製造時の排出量算定の方法論のドキュメント (2021年10月に公開)



(1)–2 国内外の最新動向に関する情報収集

④多国籍組が発刊するレポート等の要約

実施内容の概要

- 定期的に下表に示す各種レポートの発刊動向に目配りし、月1回の頻度で発刊された以下の内容の要約(A41-2枚)を貴庁へご報告した。

調査対象	概要	備考
IPHE Newsletter	多国間枠組のIPHEが定期的に発信するニュースレター	特になし。
Mission Innovation's newsletter	多国間枠組のMission Innovationが定期的に発信するニュースレター	特になし。
Hydrogen Council レポート	世界各国の民間企業が参画する団体であるHydrogen Councilが定期的に発信するレポート	特になし。
FCHJU newsletter	欧州FCHJUが定期的に発信するニュースレター	特になし。
その他	<p>各国の水素戦略・ロードマップ等についても必要に応じて速報した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・英国 水素戦略 ・インド 水素戦略 ・中国 ロードマップ ・豪州 水素ハブ ・米国 水素ハブ 	<p>英国 水素戦略に付属のビジネス戦略についての情報は報告書の(1)－1に収めた。</p> <p>豪州水素ハブの情報は報告書の(1)－1に収めた。</p>

参考:定期報告内容のイメージ

- 定期的に下表に示す各種レポートの発刊動向に目配りし、月1回の頻度で発刊された以下の内容の要約(A41-2枚)を貴庁へご報告した。

ニュースレターの要約イメージ

FCH JU newsletter (4月分要約)

URL: <https://www.fch.europa.eu/page/newsletter-archive/3497>

FCH JU のニュースレターの4月分について、水素・燃料電池に関する箇所を抜粋・要約したものを以下に報告する。

1. FCH JU プログラム及びプロジェクトの更新事項

◆H2PORTS: 船舶の脱炭素化の原動力としての水素
International Energy Agency, 2021/03/29
安全かつ低炭素の運用モデルへのヨーロッパの海事産業の移行を加速することを目的とする H2Ports プロジェクトには、エネルギー効率及び安全性を高めながら港湾ターミナルを脱炭素化するように設計された新しい燃料電池技術の試験運用、評価、実証が含まれている。プロジェクトは2019年に開始され、2022年末まで実行される予定である。

◆FCH2RAIL: TME が FCH2Rail 電車プロジェクトに燃料電池モジュールを供給
newaroom-toyota, 2021/04/07
燃料電池パワーパックにより、架線のなし電車での排出ガスのなし移動が可能になる。トヨタ自動車は、カーボンニュートラルと水素社会に向けた水素利用を促進するためのプロジェクト燃料電池システムモジュールを発表した。トヨタモーターヨーロッパ (TME) 燃料電池事業が燃料電池モジュールを供給し、ゼロエミッション列車のプロトタイプに統合する。

◆FLAGSHIPS: フランスのグループが世界初の商用水素貨物船を発表
The Maritime Executive, 2021/04/07
欧州のプロジェクトでは、2021年にバリのセーヌ川を航行する世界初の水素を使った商業貨物輸送船を配備することを発表した。

◆PROMETEO: ENEA がグリーン水素コストを削減するために270万ユーロの EU プロジェクトを調査
ENEA - Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, 2021/04/01
イタリアの新技術・エネルギー・持続可能な経済発展のための国家機関である ENEA は、再生可能な太陽熱と電力を利用して高温固体酸化燃料電池 (SOE) の革新的なプロトタイプを開発し、グリーン水素を連続的に生産するために、欧州のパートナー9社からなる学際的なコンソーシアムを主導する。このプロジェクトでは、固体酸化燃料電池を用いて、1日あたり15kgの水素を製造できる25kWeの電解槽のプロトタイプを構築する。

各国水素戦略の要約イメージ

Designing the Net Zero Hydrogen Fund consultation (要約)

UK hydrogen strategy の関連文書として示されている [Designing the Net Zero Hydrogen Fund](#) の Executive summary を以下に示す。

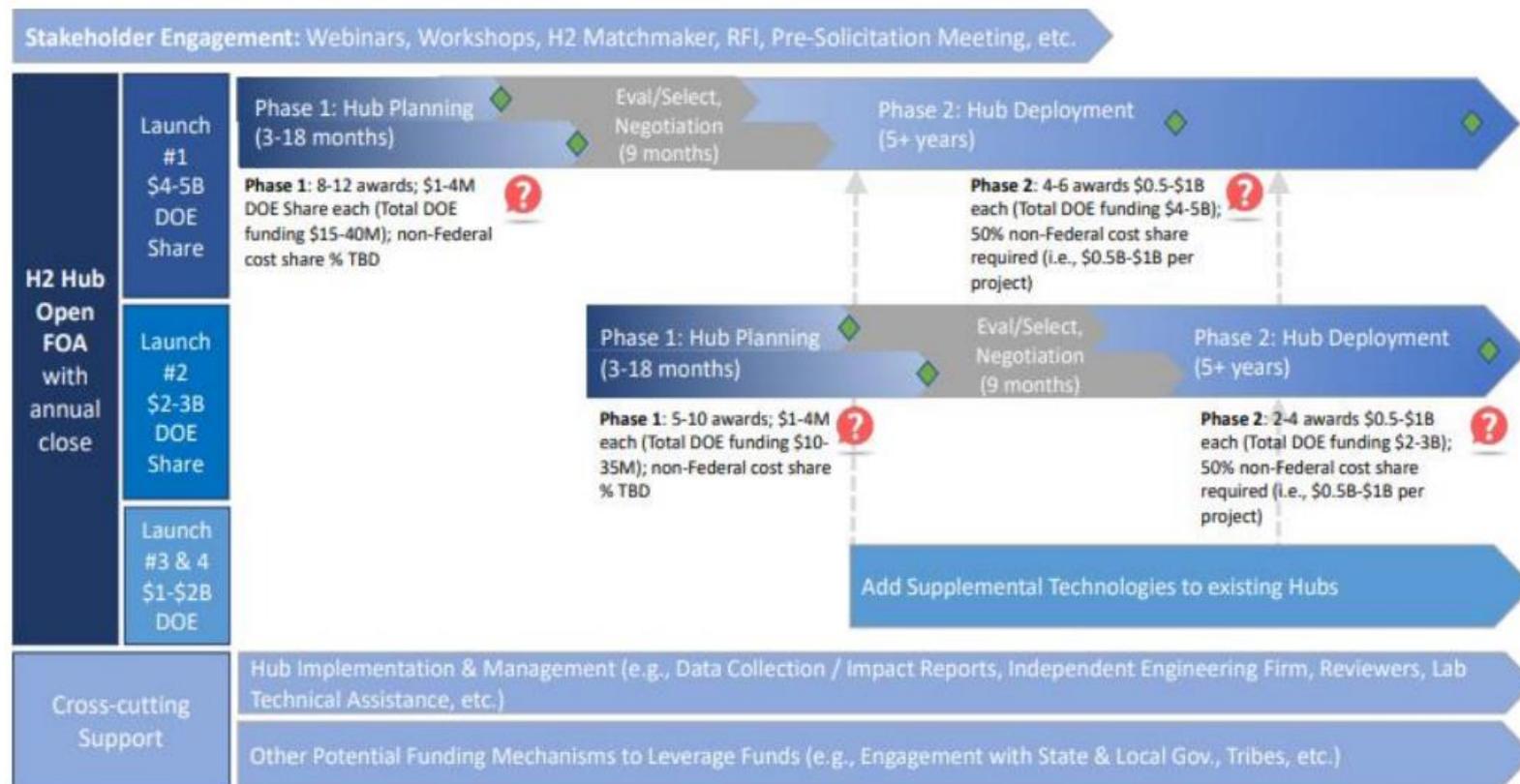
ネット・ゼロ・ハイドロジェン・ファンド (NZHF) は、首相の「グリーン産業革命のための10ポイントプラン」で発表されたものである。NZHF は、2022年から2025年の間に最大2億4,000万ポンドの資金を投入する予定。NZHF の目的は、2020年代に新しい低炭素水素製造プロジェクトの商業展開を支援し、2030年までに5GWの低炭素水素製造を実現し、2050年までにネット・ゼロを達成するために、英国の多様で安全な脱炭素エネルギーシステムを確保することにある。このコンサルテーションは、水素戦略パッケージに含まれる一連の文書の一部であり、このパッケージの他の文書、特に「低炭素水素ビジネスモデルの提案に関するコンサルテーション」との相互依存関係がある。また、我々は包括的な「水素分析付属書」を発行し、NZHF の分析上の検討事項を詳細に説明している。また、以下の表は、我々が提案する NZHF の政策設計の枠組みを示す。

NZHF の政策設計フレームワーク案	
スキームデザイン要素	我々の提案
資金調達の種類	・ 助成金 (民間企業の資金との共同出資を予定)
技術	・ 主要な製造方法 (炭素回収利用と貯蔵可能な水素と電解水素) を含む、複数の水素製造技術を支援。 ・ 2020年代に低炭素水素の製造を開始することが可能なプロジェクトを対象とする。
活動内容	・ 以下を含む新しい低炭素水素製造施設を建設するための資本共同出資を行う。 <ul style="list-style-type: none"> 水素ビジネスモデルによる収益支援を必要とするプロジェクト 水素ビジネスモデルによる収益支援を必要としないプロジェクト
適格性とプロジェクト評価基準	・ フィージビリティスタディ、フロントエンドエンジニアリングデザインスタディ (FEED) の開発費、ポスト FEED スタディへの支援も可能。 ・ 英国における信頼できる新規低炭素水素製造プロジェクトであることを確認するための適格性基準。 ・ NZHF が支援すべきプロジェクトを選定し、資金が NZHF の目的や政府の戦略的目標に沿っていることを確認するための評価基準。

米国の水素ハブ(Regional Clean Hydrogen Hub)計画(速報)

要約

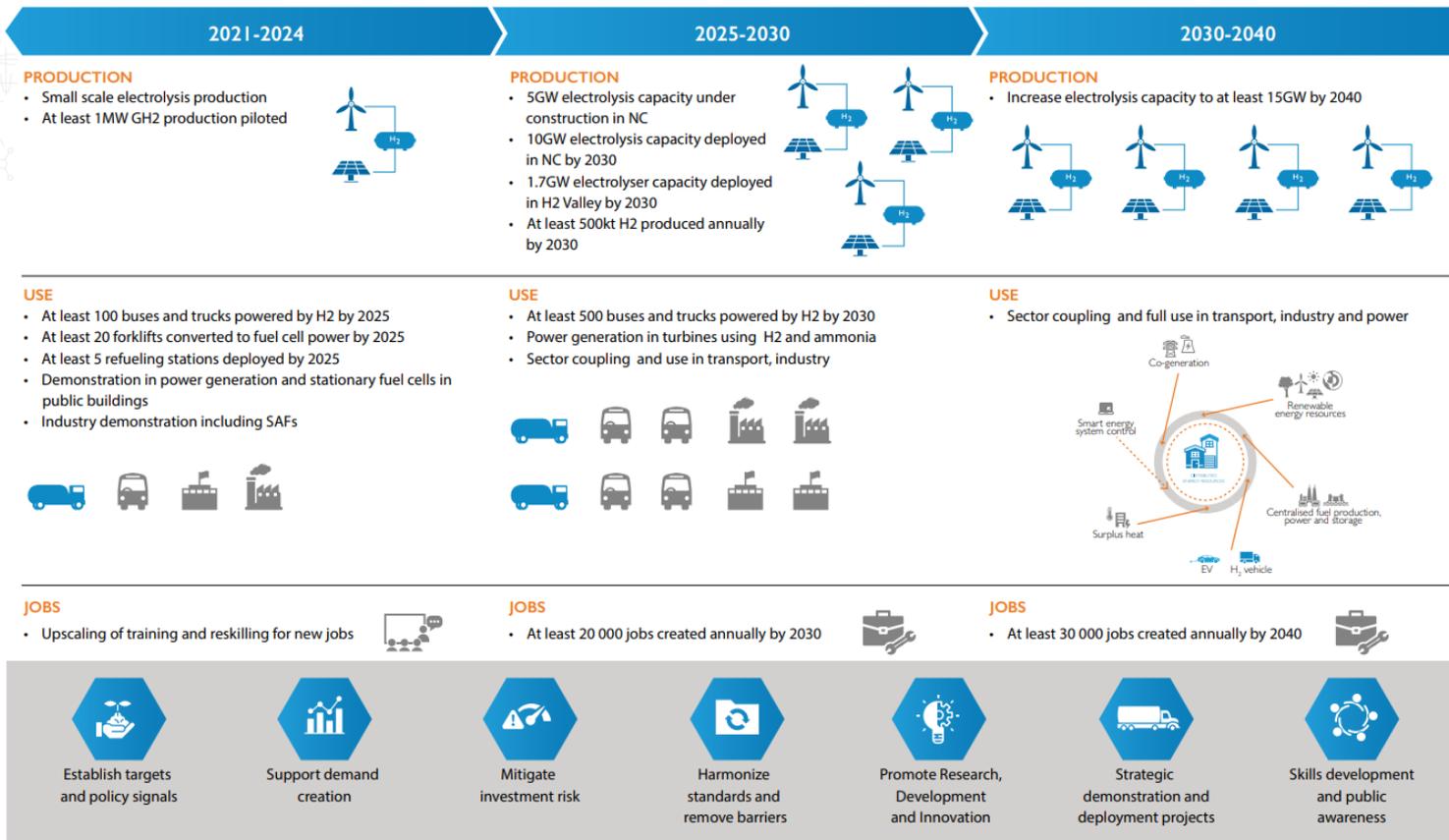
- 米国DOEは80億ドル(約1兆円)を投入し、最低4地点でRegional Clean Hydrogen Hubを作ることを目指す。
- 多様な水素源を活用したクリーン水素の供給拡大による該当エリアの脱炭素化、地域の雇用拡大・経済成長を実現。
- 2026年時点の水素製造コスト目標を2ドル/kgと設定し、2030年1ドル/kgの目標を達成することを目指す。



出所) DOE "Bipartisan Infrastructure Law Regional Clean Hydrogen Hubs"

南アフリカの水素ロードマップ(速報)

- 2022年2月に南アフリカ共和国科学・イノベーション省が「水素社会ロードマップ」を発表。
- 同国資源を活用するための「プラチナバレーイニシアチブ」という白金族貴金属に関するエコシステムを立ち上げ、現在主に利用されているグレー水素のグリーン水素への転換を図る。
- また、水素輸出も検討しており、日本も輸出先候補国の一つ。



出典: DEPARTMENT OF SCIENCE AND INNOVATION “HYDROGEN SOCIETY ROADMAP FOR SOUTH AFRICA 2021”

インドの水素政策(速報)

要約

- 2022年2月にインド電力省はグリーン水素・アンモニア政策を発表。
- 政府は2070年までにカーボンニュートラルを目指し、2030年までに500GWの電源を非化石燃料由来とする方針。
- 水素・アンモニアは、余剰分の電力も変換すれば貯蔵が可能となる再生可能エネルギーキャリアとして政府が注目。

タイトル	Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy 日本語 : グリーン水素・アンモニア政策
発表日	2022年2月17日
策定者	インド電力省
内容	<ul style="list-style-type: none">● 「国家水素ミッション」の具体的な計画内容● 配電事業者やグリーン水素・グリーンアンモニアメーカーに以下に示すインセンティブや優先権を付与する施策を中心とした施策を規定<ul style="list-style-type: none">・ グリーン水素・アンモニア生産者が、再生可能電力の購入や再生可能エネルギー容量の拡張を自由に行うことができる。・ 事前契約のうち消費しなかった再エネ電力枠を最長30日間まで流通会社に預けられる。・ 配電事業者は、グリーン水素・グリーンアンモニアメーカーに対して、譲歩価格で再生可能エネルギーを調達・供給することができる。・ グリーン水素・アンモニアの製造業者と再生可能エネルギープラントは、優先的に送電網への接続を与えられる。・ 再生可能エネルギー購入義務は水素・アンモニアメーカーと配電事業者に、再生可能エネルギー電力消費のためのインセンティブとして付与される。・ グリーン水素／グリーンアンモニアの製造業者は、輸出用／船舶用グリーンアンモニアの貯蔵のために、港の近くにバンカーを設置することを許可される。

参考:中国の水素エネルギー産業発展中長期戦略(速報)

要約

- 2022年3月に「水素エネルギー産業発展中長期計画(2021~2035年)」を発表。
- 2030年までに再エネ利用水素の利活用を多様な分野で展開し脱炭素を目指す。
- さらに、水素エネルギーインフラ設備の拡充を目指す。

タイトル	氢能产业发展中长期规划(2021-2035年) 英語 : Medium and long-term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035) 日本語 : 水素エネルギー産業発展中長期計画(2021~2035年)
発表日	2022年3月23日
策定者	中国・国家発展改革委員会
内容	<ul style="list-style-type: none">● 国としての水素エネルギー産業発展戦略計画● 2025年まで モデル都市群(北京市、上海市、広東省)における実証事業を行う。● 2030年まで 水素エネルギー産業技術のイノベーションシステムを完成させる。再エネ由来水素の利活用による脱炭素を推進。● 2035年までには、水素エネルギー産業システムを形成し、多様な水素エネルギー応用のエコシステムを構築する● 水素エネルギーインフラ施設の建設を推進する<ol style="list-style-type: none">1. 水素製造施設の設置2. 水素貯蔵・輸送システムの構築3. 水素補給ネットワークの構築、既存ガソリンスタンドの水素ステーションへ改築

(2)福島県における水素社会のモデル構築 に関する調査

アウトライン

○はじめに

1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義
2. 水素社会のモデル構築に関する調査
 - ① 調査の方針
 - ② 水素ポテンシャル評価方法と試算
 - ③ アンケート・ヒアリング調査(個別、県内産業団地・工業団地)
 - ④ 水素コスト
3. 関連産業の集積・育成に関する調査
 - ① 概要
 - ② 福島県における取組
 - ③ 事例調査
 - ④ 取組を加速させる方策

〇はじめに

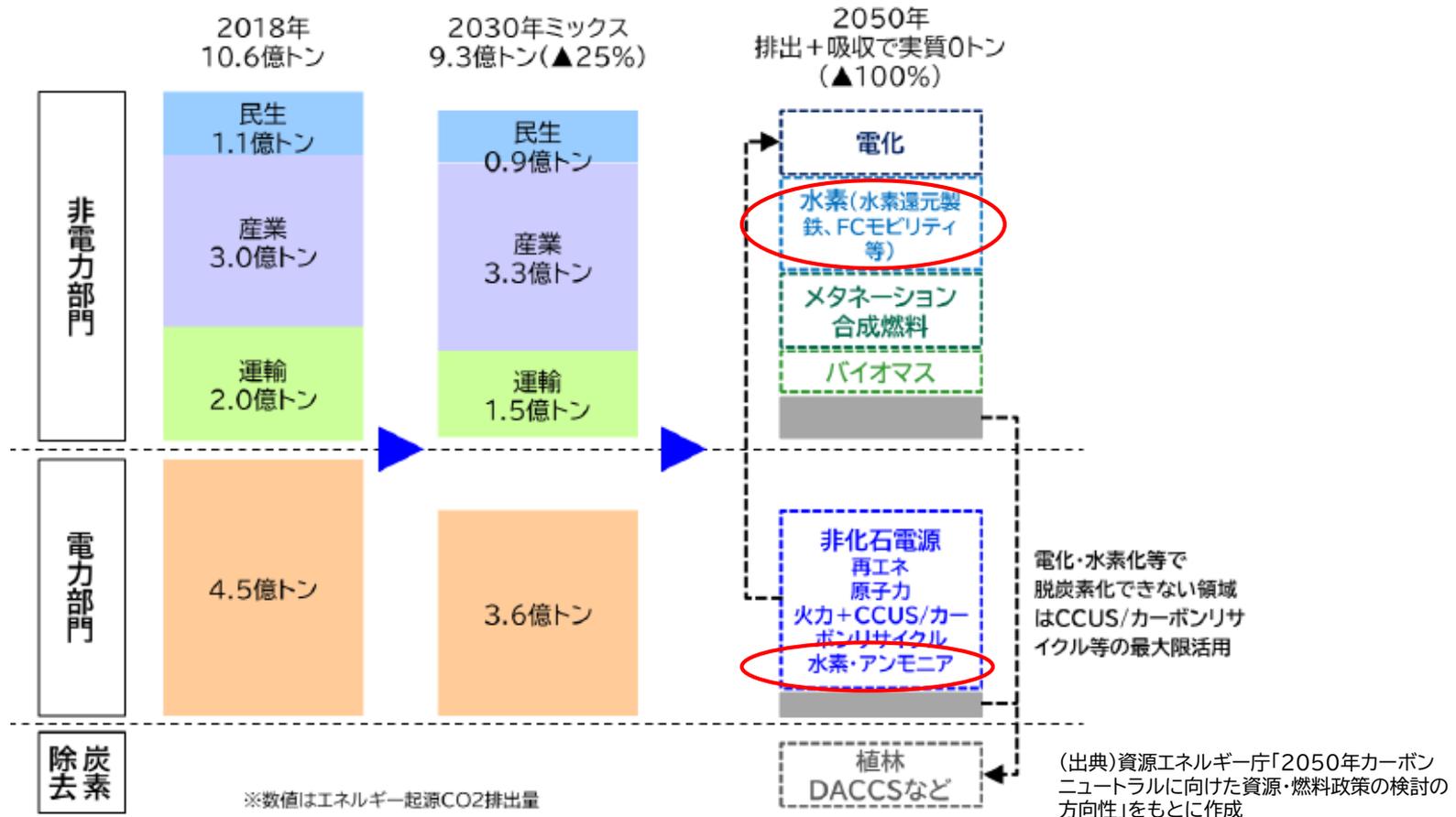
- 日本において水素が本格的に利活用される社会、すなわち「水素社会」の実現に向けて、2017年12月には、世界で初めて、水素についての国家戦略である水素基本戦略が策定されました。2020年10月には、菅総理(当時)が2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを宣言しました。これを受け、2020年12月には、経済産業省は関係省庁と連携し、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を取りまとめました。
- 2050年カーボンニュートラルの実現は、並大抵の努力では実現できず、関連する規制緩和、積極的な取組に対する各種優遇措置や補助金等の交付、エネルギー・産業部門の構造転換、大胆な投資によるイノベーションの創出といった取組を、官民一体となって、大きく加速することが必要です。そのためには、取組推進に向けた現状や課題を把握し、適切な将来像・ロードマップを描いた上で、より実効性の高い取組を策定することが重要となります。
- これらの取組加速は、国内市場はもちろん海外市場における日本企業の価値や競争力を高めるものであり、製品への付加価値の創造、新たな市場の開拓につながることを期待されます。
- 本調査では、福島県において水素社会のモデルを構築すべく、福島県内における水素利活用の更なる拡大、関連産業の育成・集積に向けた新たな取組や課題等についての検討を幅広く行います。具体的には、資源エネルギー庁、県、自治体、関連機関、事業者等にご協力いただきつつ、以下を行います。
 - ① 水素社会のモデル構築に関する調査
福島県における各種関連情報・統計情報を収集・整理し、最終的には県内における持続可能な案件組成を視野に入れた水素需要あるいは供給のポテンシャル評価を行います。
 - ② 関連産業の集積・育成に関する調査
水素社会のモデルを持続可能なものとするために、水素関連産業の集積・育成を行うことが必要と考えられます。将来的な水素関連産業の集積・育成を進めるにあたっての、福島県内の各地域における課題の抽出や対応策の提案等を行います。

1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義

①2050年カーボンニュートラルに向けた道筋

■ カーボンニュートラルに向け、水素は電力部門(水素発電)に加え、電化の難しい領域での貢献が期待されている。

2050年カーボンニュートラルへ向けた道筋のイメージ



1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義

②2050年カーボンニュートラルに果たす水素の役割

- 自国の資源に限られる日本では、資源調達にあたり海外からのクリーン水素に加えて、国内供給源からの副生水素活用、またPower to Gasを通じた国内再生可能エネルギー及びグリーン水素の導入を拡大することが重要。

2050年カーボンニュートラルへ向けた水素供給の道筋

	短期 (-2025頃)	中期 (-2030頃)	長期 (-2050)
実績・目標量	約200万トン	最大300万トン	2000万トン程度
コスト目標	—	30円/Nm ³	20円/Nm ³ 以下
既存供給源 (副生水素等)	主要な水素供給源として最大限活用	供給源のクリーン化 (CCUSの活用等)	
輸入水素	実証・準商用化等を通じた知見蓄積、コスト低減	商用ベースの大規模国際水素サプライチェーン構築	調達源多様化・調達先多角化を通じた規模拡大
新たな国内供給源 (電解水素等)	実証を通じた知見蓄積、コスト低減	余剰再エネ等を活用した水電解の立ち上がり	電解水素の規模拡大・新たな製造技術の台頭

(出典)資源エネルギー庁「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理(案)」をもとに作成

1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義

③カーボンニュートラル社会に貢献する水素アプリ

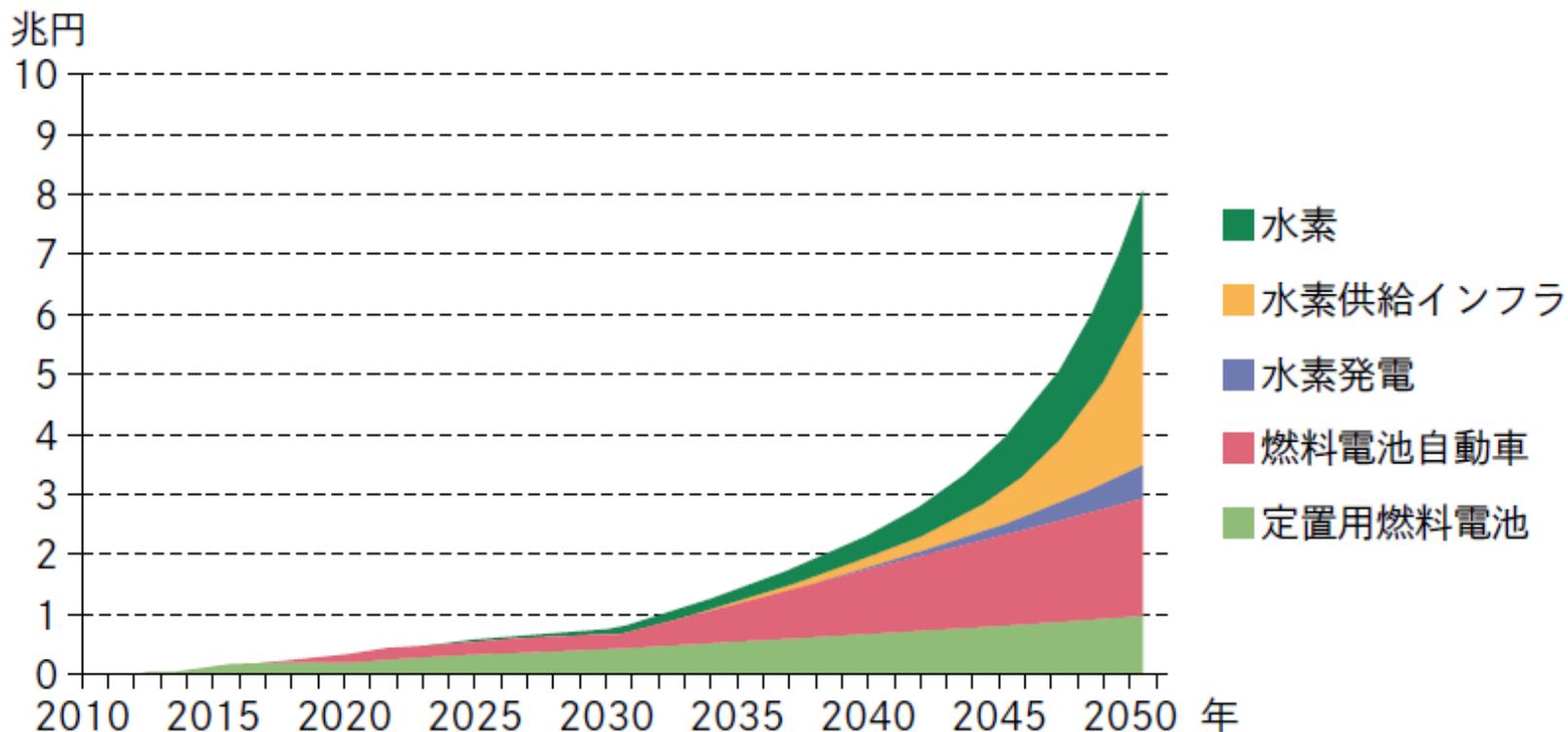
- カーボンニュートラル(CN)社会に向け、多様な水素アプリが貢献できる可能性がある。



1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義

④水素・燃料電池関連の市場規模の拡大と産業の育成

- 水素・燃料電池関連の市場規模は、国内市場だけでも2030年に1兆円程度、2050年に8兆円程度に拡大すると試算されており、今後10～35年間で大きく成長する分野と期待されている。

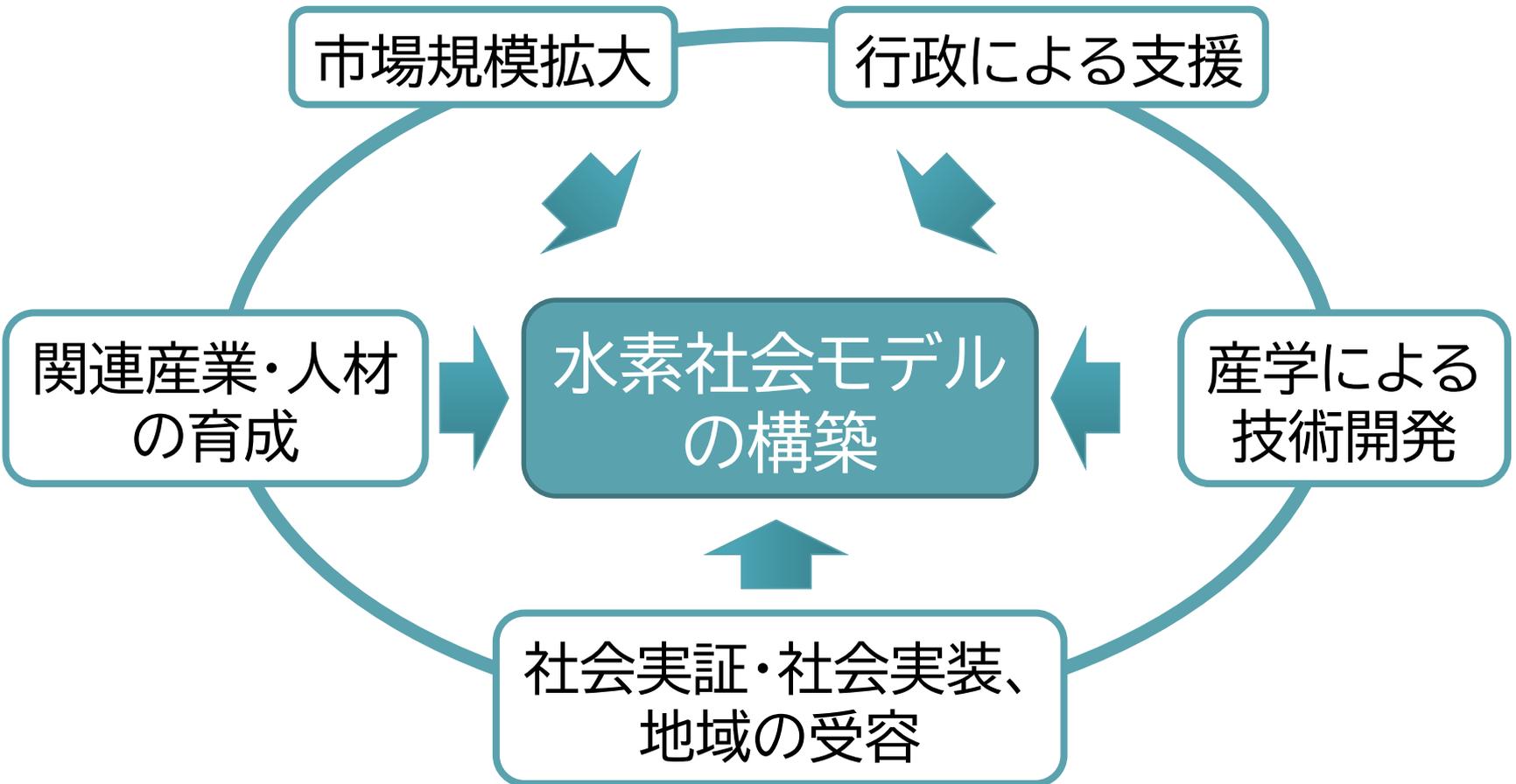


(出典)NEDO「水素エネルギー白書」

1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素利活用拡大の意義

④水素・燃料電池関連の市場規模の拡大と産業の育成

- 多様な水素アプリの利用拡大、技術進展において、市場規模の拡大、行政による支援、産学による技術開発、社会実証・社会実装にともなう、産業・人材の育成や雇用の創出が期待され、しいては水素社会モデルの構築が期待される。



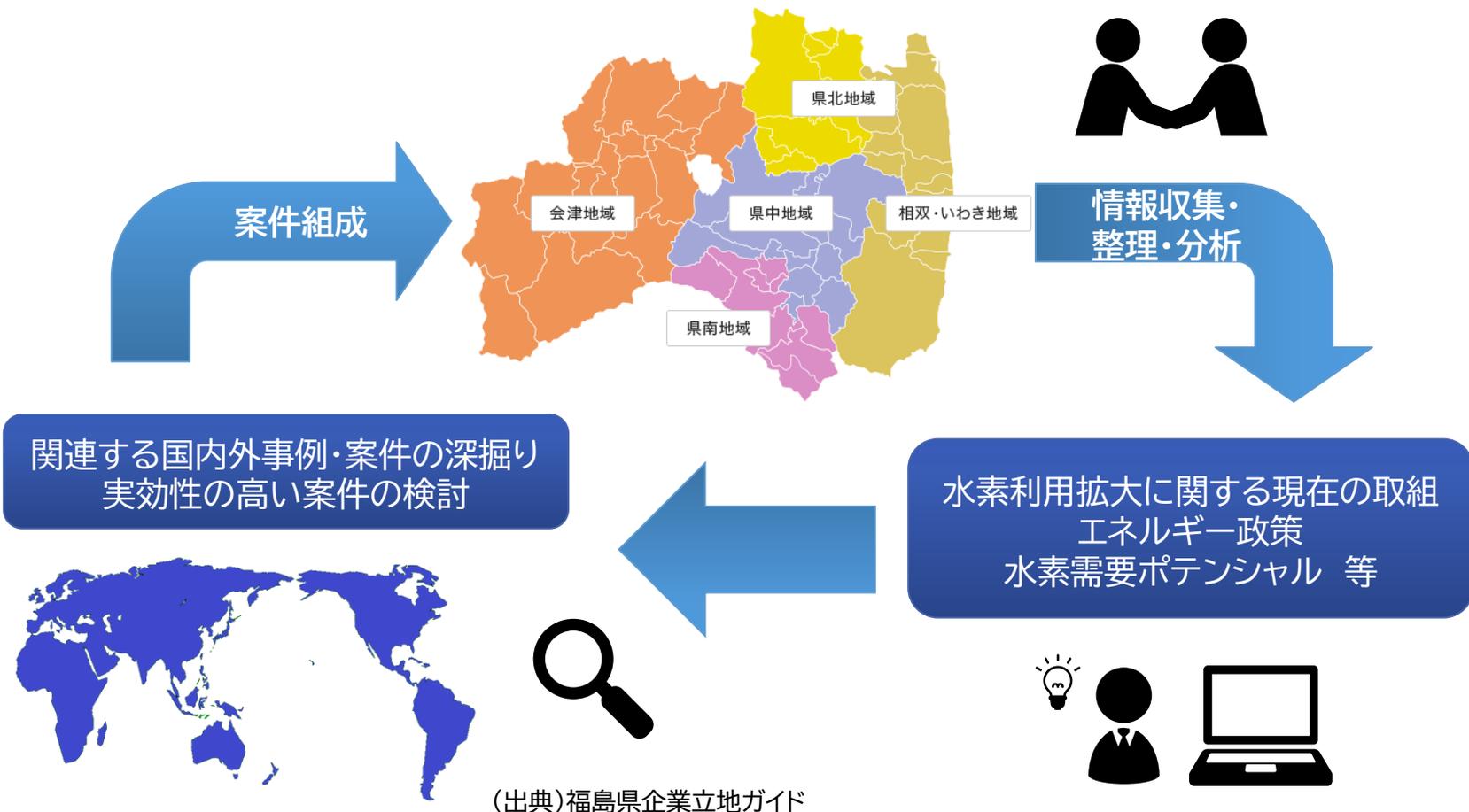
(出典)各種公開情報から作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

① 調査の方針

福島県における水素ポテンシャル評価のための調査の方針

- 福島県の現状に即し、実効性の高い案件の提案につながるポテンシャルを評価するため、所要の調査を行う。



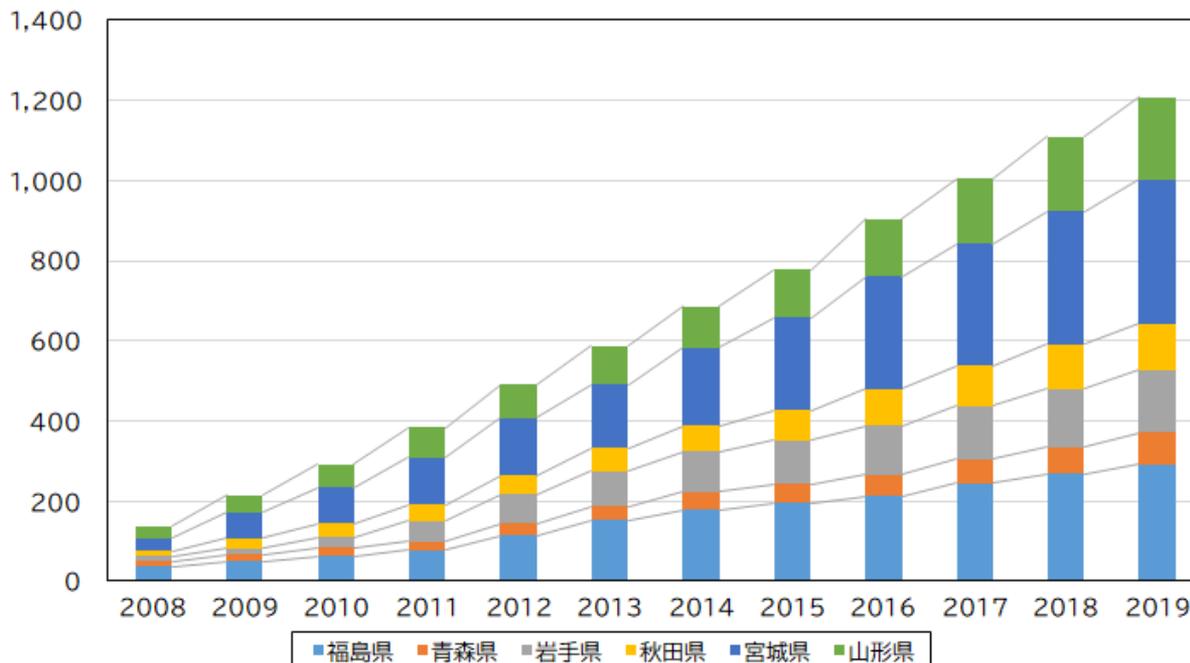
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

① 調査の方針

福島県の特徴(工場立地)

- 福島県は東北地方最南端に位置し、陸海空の交通網が整備され、仙台や東京といった都市圏へのアクセスにおいて優位性を有する。
- また、情報系や医療系の大学が設けられ、震災復興や原発廃炉に向けた技術、産業、研究が集まりつつある点や、航空エンジンなどを製造する重工業メーカーを中心として、航空宇宙産業に携わる企業が数多く進出している点も特徴として挙げられる。
- 2008年以降の東北6県における工場立地の累積件数では、宮城県に次いで2番目となっている。

県別工場立地累積件数(2008年以降)



(出典)経済産業省東北経済産業局、福島県企業立地ガイドから作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

① 調査の方針

福島県の特徴(1人1日あたりのごみ排出量、リサイクル率)

■ 一般廃棄物

- 令和元年度の福島県のごみ排出量は721千t/年、1人1日あたりに換算して1,035gであり、全国平均値の918gより100g以上多く、都道府県別では2番目に多い値となっている。
- また、令和元年度の福島県のリサイクル率は12.7%となっており、全国平均値19.6%を大きく下回っている。

■ 産業廃棄物

- 福島県では、産業廃棄物税の導入等により、各種法令及び前計画に基づく施策の実施や、産業廃棄物の減量や適正処理の推進に努めている。
- 一方、産業廃棄物の排出抑制、減量化、再生利用及び最終処分について、「汚泥を始めとした排出量の多い廃棄物の排出抑制や再生利用」「国際的に問題となっている海洋プラスチックごみに対する取組」「廃棄物分野においては、焼却量や輸送量の削減などが、温室効果ガスの削減に寄与することから、産業廃棄物の排出抑制を促進する取組」の必要性をあげている。

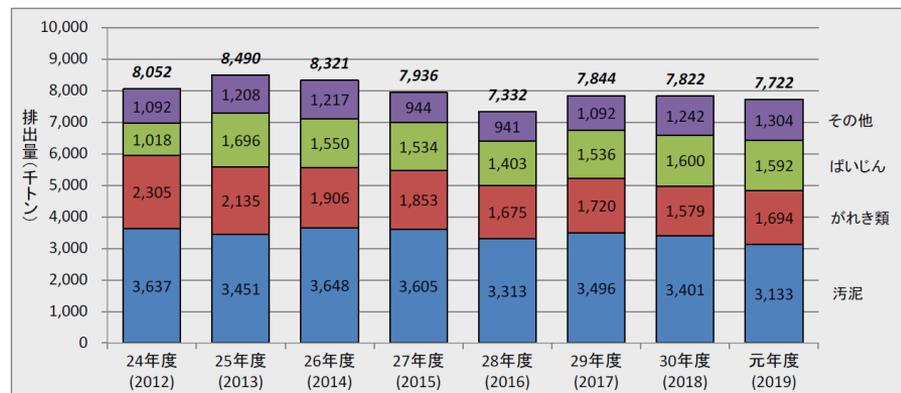
ごみ排出量の推移



図3-1 ごみ総排出量、1人1日あたりのごみ排出量の推移

データ出典: 「一般廃棄物処理実態調査」(環境省)

産業廃棄物の種類別排出量の推移



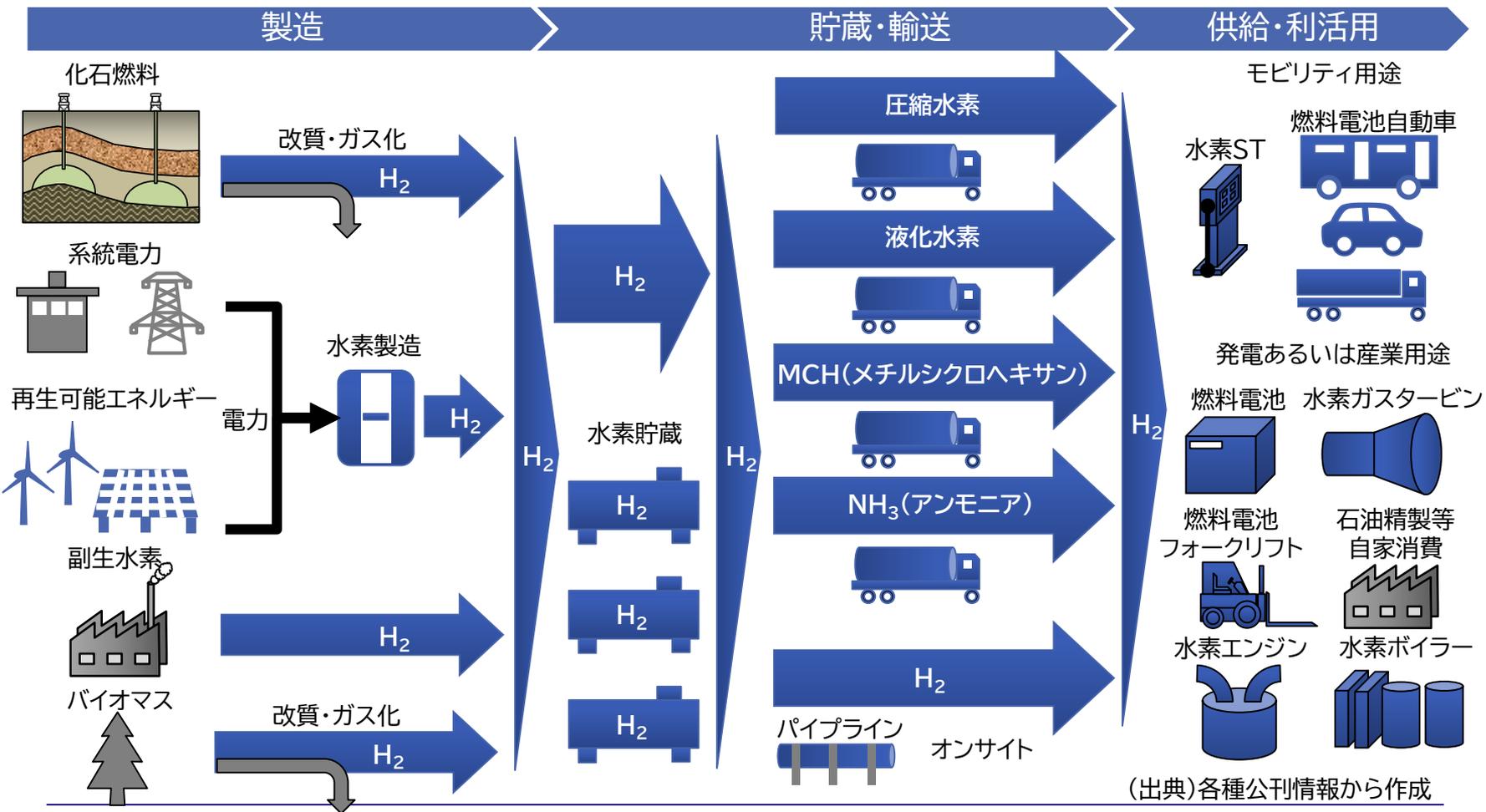
(出典)福島県

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

① 調査の方針

(参考)一般的な水素サプライチェーン

- 水素の製造・貯蔵、輸送、供給・利活用にはさまざまな構成要素が存在する。
- ポテンシャル評価は対象の地域に寄り添い、実効性の高い案件組成につながるよう各構成要素を選択することが望ましい。



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県における水素ポテンシャル評価にあたっての基本的な考え方

- 既に策定されている水素・燃料電池戦略ロードマップ、福島新エネ社会構想(2021年2月改定)、福島県再生可能エネルギー推進ビジョン2021、あるいは県内市町村が策定した各種計画に記載の取り組みや導入目標を取り込む。
- 福島県内の各地域の特性を踏まえる。
- 国の水素基本戦略及び水素・燃料電池戦略ロードマップをはじめとする公刊情報、統計情報、ヒアリング調査結果、アンケート調査結果に基づく。
- 需要ポテンシャル評価(現在は利活用されていないが、水素の利活用が可能な手段とその量)・供給ポテンシャル評価(現在は供給源として用いられていないが、水素の供給源となり得る手段とその量)においては、事業性(継続性・計画性)が見込めるものを評価対象とする。
- 需要・供給ポテンシャルが存在する位置を可能な限り正確にマッピングする。

水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ (全体)

- 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、
 - ① 目指すべきターゲットを新たに設定(基礎技術のバック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定
 - ② 有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施

	基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組	
利用	モビリティ	FCV 20万台@2025 80万台@2030	2025年 ● FCVとHVの価格差 (300万円→70万円) ● FCV主要システムのコスト (燃料電池 約2万円/kW→0.5万円/kW 水素貯蔵 約70万円→30万円)	● 徹底的な規制改革と技術開発
		ST 320ヵ所@2025 900ヵ所@2030	2025年 ● 整備・運営費 (整備費 3.5億円→2億円 運営費 3.4千万円→1.5千万円) ● ST構成機器のコスト (圧縮機 0.9億円→0.5億円 蓄圧器 0.5億円→0.1億円)	● 全国的なSTネットワーク、土日営業の拡大 ● ガリッド/リチウムイオン併設STの拡大
		バス 1200台@2030	20年代前半 ● FC/バス車両価格 (1億500万円→5200万円) ※トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める	● バス対応STの拡大
	発電	商用化@2030	2020年 ● 水素専焼発電での発電効率 (26%→27%) ※1MW級ガスタービン	● 高効率な燃焼器等の開発
供給	化石+CCS 再生水素	グリッドバリエーションの早期実現	2025年 ● 業務・産業用燃料電池のグリッドバリエーションの実現	● セルスタックの技術開発
		水素コスト 30円/Nm ³ @2030 20円/Nm ³ @将来	20年代前半 ● 製造：褐炭ガス化による製造コスト (約10円/Nm ³ →12円/Nm ³) ● 貯蔵・輸送：液化水素タンクの規模 (数千m ³ →5万m ³) 水素液比効率 (13.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 褐炭ガス化炉の大型化・高効率化 ● 液化水素タンクの断熱性向上・大型化
		水電解システムコスト 5万円/kW@将来	2030年 ● 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW) ● 水電解効率 (5kWh/Nm ³ →4.3kWh/Nm ³)	● 浪江実証成果を活かしたF1地区実証 ● 水電解装置の高効率化・耐久性向上 ● 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

(出典)水素・燃料電池戦略ロードマップ

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

水素ポテンシャル評価の対象(供給)

- 福島県の特徴を踏まえ、参照可能な福島県に関する統計情報等から、水素供給ポテンシャル評価を行う。

水素供給ポテンシャル評価の対象

段階	評価対象	ポイント	
供給	①既に供給を実施しているもの	①-1FH2R	・20MWの太陽光発電の電力を用いて、世界最大級となる10MWの水素製造装置で水の電気分解を行い、最大2,000Nm ³ /hの水素製造を行う。
		①-2副生水素(工場未利用)	・昭和電工ガスプロダクツは、いわき市にソーダ電解副生による1,000Nm ³ /hの製造能力を有する製造拠点を有する。
		①-3都市ガス改質(産業ガス供給)	・昭和電工ガスプロダクツは、郡山市に都市ガス改質による1,000Nm ³ /hの製造能力を有する製造拠点を有する。
	②将来供給が期待されるもの	②-1未利用電力	・出力抑制により発生が予想される未利用電力によるグリーン水素製造量の評価を行う。
			・再生可能エネルギー 事業計画認定情報から、県内における出力抑制対象の再生可能エネルギーの分布を推定する。
		②-2下水汚泥	・福岡市の実証事業で、バイオガスからの水素製造が実証されている。
			・国土交通省の算出式により、下水汚泥由来のバイオガス発生量を評価する。 ・各自治体、(公社)福島県下水道公社が公開している下水道施設への流入水量を参照する。
		②-3生ごみ	・国土交通省の算出式により、生ごみ由来のバイオガス発生量の評価が可能である。
			・福岡市の実証事業結果から、バイオガスからの水素製造量の評価が可能である。 ・環境省「一般廃棄物処理実態調査結果・施設整備状況」で都道府県別のごみ組成量が公開されている。
		②-4廃プラスチック	・各事業者の資料から、廃プラスチックからの水素製造量の評価が可能である。 ・福島県産業廃棄物排出処理状況確認調査業務報告書から、未利用の廃プラスチック(最終処分及び焼却)の量が公開されている。
②-5アンモニア分解	・昭和電工ガスプロダクツは、相馬市にアンモニア物流基地を有し、水素キャリアとしてのアンモニアの供給拠点としての活用可能性を有する。		

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

水素ポテンシャル評価の対象(需要)

■ 福島県の特徴を踏まえ、参照可能な福島県に関する統計情報等から、水素需要ポテンシャル評価を行う。

水素需要ポテンシャル評価の対象

段階	評価対象	ポイント
需要	①モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> 全国及び福島県の車種別自動車保有台数から、水素・燃料電池ロードマップのFCV・FCバスの普及台数目標を按分、あるいは水素ステーションの整備目標から、2030～2040年の福島県における普及台数を評価する。 FCトラックの普及シナリオの検討事例により、2030～2040年の福島県における普及台数のシナリオ設定を行う。 「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン2021」で水素ステーションの整備目標が示されている。 国土交通省東北運輸局が公開している次世代自動車普及状況を、実績値として参照する。
	②工場・事業所の熱利用	<ul style="list-style-type: none"> 業種別の燃料受払量、電力受払量が公開されており、参照する。 産業部門のエネルギー消費量構成が公開されており、参照する。 アンケートで、生産工程におけるボイラー、バーナー等による熱利用量について回答が得られており、参考とする。
	③工場・事業所の自家発電	<ul style="list-style-type: none"> 資源エネルギー庁「電力調査統計」で、東北経済産業局内の原動力別(汽力、ガスタービン、内燃力等)の自家発電量と自家消費電力量が公開されており参照する。 産業部門のエネルギー消費量構成が公開されており、参照する。 ヒアリングで、自家発電用のガスタービンを水素タービンで代替することを検討している、という意見があり、自家発電用のガスタービン及びエンジンをそれぞれ水素タービン、水素エンジンで代替する。
	④工場・事業所の車両系機械利用	<ul style="list-style-type: none"> 業種別の燃料受払量、電力受払量が公開されており、参照する。 産業部門のエネルギー消費量構成が公開されており、参照する。 アンケートで、車両系機械(フォークリフト等)による燃料利用量について回答が得られており、工場のエネルギー消費量から車両系機械の利用量を推定する。
	⑤その他公共施設等における熱電利用	<ul style="list-style-type: none"> 現在、実証によりFCの利用が行われている道の駅なみえ、あずま総合運動公園、Jヴィレッジにおける水素消費量を推算する。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価①-1

■ FH2R

- 10MWの水素製造装置で水の電気分解を行い、最大2,000Nm³/h、200t/年の水素製造を行う。

FH2Rの水素供給ポテンシャル

諸元	水素消費量
水素製造能力	・最大2,000Nm ³ /h、200t/年の水素を製造。
水素供給ポテンシャル	・200t/年×1000×11.127Nm ³ /kg=2,225千Nm ³ /年



(出典)経済産業省

FH2Rの水素供給ポテンシャル
200t/年(2,225千Nm³/年)

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

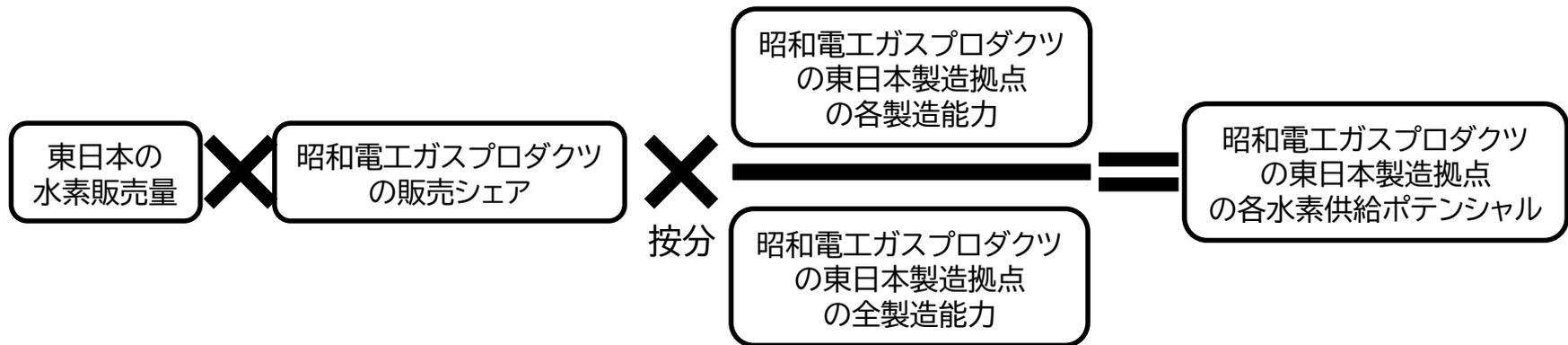
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価①-2、3

■ 副生水素、都市ガス改質

- 昭和電工ガスプロダクツは、いわき市にソーダ電解副生による1,000Nm³/h、郡山市に都市ガス改質による1,000Nm³/hの製造能力を有する製造拠点を有するほか、東日本では、直江津に1,000Nm³/h、市原に600Nm³/h、川崎に9,000Nm³/hの製造能力を有する製造拠点を有する。
- 東日本の水素の販売量4,500万m³(2017年実績)のうち、昭和電工ガスプロダクツのシェアは43%。

副生水素、都市ガス改質による水素供給ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

副生水素、都市ガス改質による水素供給ポテンシャル

項目	内容
東日本の水素の昭和電工ガスプロダクツの販売量(推算)(2017年実績)	・1,935万 m^3 (=4,500万 m^3 ×43%)
昭和電工ガスプロダクツの製造拠点(東日本)と製造能力	・郡山水素センター(郡山市):1,000 Nm^3/h ・福島水素(いわき市):1,000 Nm^3/h ・昭和電工・川崎事業所(川崎市):9,000 Nm^3/h ・千葉アイエススイソ(市原市):600 Nm^3/h ・新潟水素(上越市):1,000 Nm^3/h
昭和電工ガスプロダクツの製造拠点(東日本)の販売量(推定)(2017年実績)	・東日本の各製造拠点で同等と仮定し、東日本の水素販売量を按分する。 ・郡山水素センター(郡山市):154万 $\text{Nm}^3/\text{年}$ ・福島水素(いわき市):1,540千 $\text{Nm}^3/\text{年}$ ・昭和電工・川崎事業所(川崎市):1,382万 $\text{Nm}^3/\text{年}$ ・千葉アイエススイソ(市原市):92万 $\text{Nm}^3/\text{年}$ ・新潟水素(上越市):1,540千 $\text{Nm}^3/\text{年}$



水素供給ポテンシャル(推算)
いわき(副生水素): 1,540千 $\text{Nm}^3/\text{年}$
郡山(都市ガス改質): 1,540千 $\text{Nm}^3/\text{年}$

(出典)福島県産官学連携会議資料に基づき作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-1

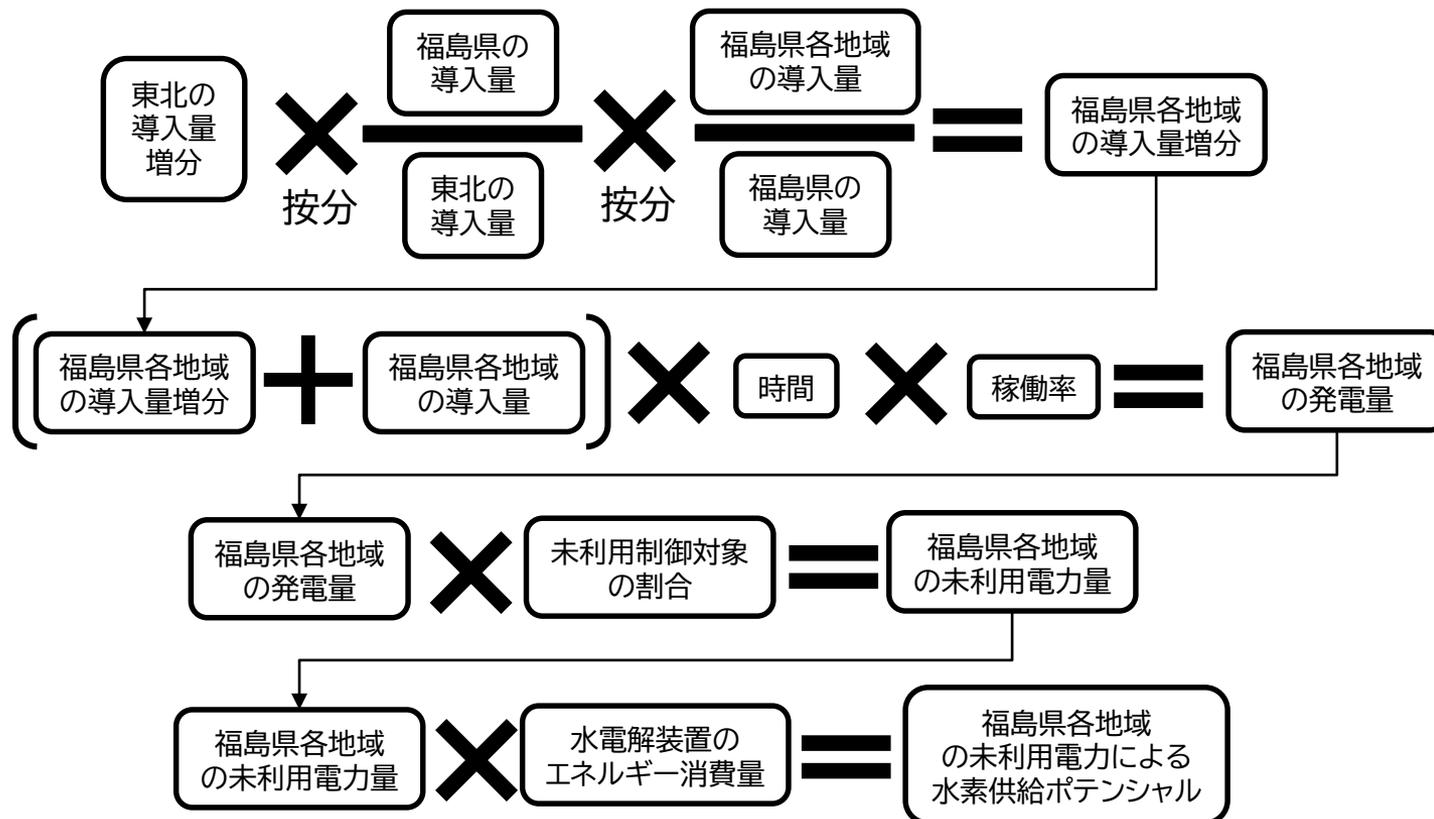
■ 未利用電力(概要)

- 再エネ由来電力のうち、想定年間発電電力量の出力抑制対象の割合を設定し、未利用の再エネ由来電力を水素製造に利用すると想定。
- 電力各社では、2021年9月末時点の太陽光発電及び風力発電の連結量を前提として、太陽光・風力の発電設備が追加的に接続され、出力制御低減対策を踏まえた場合の無制限無保証ルール事業者の出力制御見通しを算定している。
- 東北6県を対象に算定した見通しを、福島県の導入量に基づき按分を行い、2030年における未利用の再エネ由来電力を推算する。2025年は、2021年9月と2030年の値の平均と仮定し、推算する。
- 2020年10月～2021年9月の発電量から稼働率を推算し、将来においても稼働率が同程度と仮定し、2025年と2030年の発電量を推算する。
- 福島県を管内とする電力会社が算定した出力制御対象の割合を用いて、福島県における2025年と2030年における未利用電力量を推算する。
- 推算した未利用電力量から、2025年と2030年の水素供給ポテンシャルを推算する。
- 福島県の各地域の導入量から案分し、各地域における2025年と2030年の水素供給ポテンシャルを推算する。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県における未利用電力による水素供給ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県における未利用電力(2025年、2030年)

項目	内容
東北6県の出力抑制対象の発電電源の導入量(2021年9月)	・太陽光発電(①):7,050千kW ・風力発電(②): 1,700千kW
東北6県の出力抑制対象の発電電源の発電実績(2020年10月~2021年9月)	・太陽光発電(③):3,636,606千kWh/年 ・風力発電(④): 3,215,070千kWh/年
東北6県の出力抑制対象の発電電源の平均稼働率(2020年10月~2021年9月)	・太陽光発電(⑤):5.89%(=③/(①×24h/日×365日/年)) ・風力発電(⑥):21.59%(=④/(②×24h/日×365日/年))
東北6県の出力抑制対象の発電電源の導入量増分(2030年)(前提)	出力制御対象の割合:0.6%における前提 ・太陽光発電(2030年)(⑦):4,500千kW ・風力発電(2030年)(⑧): 6,900千kW
福島県の出力抑制対象の発電電源の導入量(2021年9月)	・太陽光発電(⑨):2,392千kW ・風力発電(⑩): 176千kW
福島県の出力抑制対象の発電電源の導入量(2030年)(推算)	東北6県の増分を、2021年9月の導入量で按分し、福島県の2030年の導入量を推算。 ・太陽光発電(2030年)(⑪):3,918千kW(=⑨+⑦/①×⑨) ・風力発電(2030年)(⑫): 890千kW(=⑩+⑧/②×⑩)
福島県の出力抑制対象の発電電源の導入量(2025年)(推算)	2021年と2030年の導入量から、福島県の2025年の導入量を推算。 ・太陽光発電(2025年)(⑬):3,155千kW(=(⑨+⑪)/2) ・風力発電(2025年)(⑭): 533千kW(=(⑩+⑫)/2)
福島県の出力抑制対象の発電電源の発電量(2025年、2030年)	将来においても稼働率が現在と同等と仮定し、太陽光発電と風力発電の地域ごとの発電量(2025年、2030年)を推算する。 ・太陽光発電(2025年)(⑮):1,627,378千kWh/年(=⑬×24h/日×365日/年×⑤) ・風力発電(2025年)(⑯):1,007,440千kWh/年(=⑭×24h/日×365日/年×⑥) ・太陽光発電(2030年)(⑰):2,021,098千kWh/年(=⑪×24h/日×365日/年×⑤) ・風力発電(2030年)(⑱):1,682,327千kWh/年(=⑫×24h/日×365日/年×⑥)
福島県の出力抑制対象の発電電源の未利用電力量(2025年、2030年)(推算)	出力制御対象の割合:0.6%を⑮~⑱に乘算する ・太陽光発電の未利用電力量(⑲): 9,764千kWh/年(2025年)、12,127千kWh/年(2030年) ・風力発電の未利用電力量(⑳): 6,045千kWh/年(2025年)、10,094千kWh/年(2030年)

(出典)資源エネルギー庁 電力調査統計表都道府県別発電実績、再エネ出力制御の長期見通しについて、に基づき作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県における未利用電力による水素供給ポテンシャル(2025年、2030年)

項目	内容
福島県の出力抑制対象の発電電源の未利用電力量(2025年、2030年)(推算)	・太陽光発電の未利用電力量(①⑨): 9,764千kWh/年(2025年)、12,127千kWh/年(2030年) ・風力発電の未利用電力量(②⑩): 6,045千kWh/年(2025年)、10,094千kWh/年(2030年)
福島県の出力抑制対象の発電電源の未利用電力による水素供給ポテンシャル(2025年、2030年)(推算)	水電解装置のエネルギー消費量:4.3kWh/Nm ³ で①⑨、②⑩を除算 ・太陽光発電の未利用電力による水素供給ポテンシャル: 2,271千Nm ³ /年(2025年)、2,820千Nm ³ /年(2030年) ・風力発電の未利用電力による水素供給ポテンシャル: 1,406千Nm ³ /年(2025年)、2,347千Nm ³ /年(2030年)

(出典)資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況、に基づき作成



未利用の再エネ由来電力による水素供給ポテンシャル

2025年:3,676千Nm³/年(太陽光発電:2,271千Nm³/年、風力発電:1,460千Nm³/年)

2030年:5,168千Nm³/年(太陽光発電:2,820千Nm³/年、風力発電:2,347千Nm³/年)

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-1(続き)

- 福島県全域に導入されている太陽光発電設備、風力発電設備の設備導入量(2021年9月)と福島県の増分から、各地域の増分を按分し、各地域の2025年と2030年の設備導入量を推算した。

地域別の設備導入量(2025年、2030年)

地域	2021年9月	2025年	2030年
	設備導入量(kW)	設備導入量(kW)	設備導入量(kW)
県北	太陽光: 349,929 風力: 39	太陽光: 461,608 風力: 118	太陽光: 573,288 風力: 197
(福島市)	太陽光: 152,507 風力: 0	太陽光: 201,179 風力: 0	太陽光: 249,852 風力: 0
県中	太陽光: 469,587 風力: 43,816	太陽光: 619,455 風力: 435,678	太陽光: 769,323 風力: 727,540
(郡山市)	太陽光: 134,813 風力: 66,347	太陽光: 177,838 風力: 200,992	太陽光: 220,864 風力: 335,637
県南	太陽光: 406,569 風力: 26	太陽光: 536,325 風力: 79	太陽光: 666,081 風力: 133
会津	太陽光: 102,991 風力: 16,000	太陽光: 135,860 風力: 48,471	太陽光: 168,730 風力: 80,941
南会津	太陽光: 13,406 風力: 0	太陽光: 17,685 風力: 0	太陽光: 21,964 風力: 0
相双	太陽光: 748,141 風力: 15,860	太陽光: 986,910 風力: 48,046	太陽光: 1,225,678 風力: 80,233
いわき	太陽光: 300,971 風力: 100	太陽光: 397,025 風力: 301	太陽光: 493,080 風力: 503

(出典)資源エネルギー庁 再生可能エネルギー 事業計画認定情報に基づき作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-1(続き)

- 福島県全域に導入されている太陽光発電設備、風力発電設備の設備容量から、稼働率がそれぞれ同程度であると想定し、未利用電力による水素供給ポテンシャルの量とロケーションを推算した。

未利用電力による地域別の水素供給ポテンシャル(2025年、2030年)

地域	2025年			2030年		
	設備導入量(kW)	未利用電力 (太陽光+風力) (千kWh/年)	水素製造量 (千Nm ³ /年)	設備導入量(kW)	未利用電力 (太陽光+風力) (千kWh/年)	水素製造量 (千Nm ³ /年)
県北	太陽光: 461,608 風力: 118	1,430	333	太陽光: 573,288 風力: 197	1,777	413
(福島市)	太陽光: 201,179 風力: 0	623	145	太陽光: 249,852 風力: 0	773	180
県中	太陽光: 619,455 風力: 435,678	6,861	1,596	太陽光: 769,323 風力: 727,540	10,637	2,474
(郡山市)	太陽光: 177,838 風力: 200,992	2,831	658	太陽光: 220,864 風力: 335,637	4,492	1,045
県南	太陽光: 536,325 風力: 79	1,661	386	太陽光: 666,081 風力: 133	2,063	480
会津	太陽光: 135,860 風力: 48,471	970	226	太陽光: 168,730 風力: 80,941	1,441	335
南会津	太陽光: 17,685 風力: 0	55	13	太陽光: 21,964 風力: 0	68	16
相双	太陽光: 986,910 風力: 48,046	3,600	837	太陽光: 1,225,678 風力: 80,233	4,704	1,094
いわき	太陽光: 397,025 風力: 301	1,232	287	太陽光: 493,080 風力: 503	1,532	356

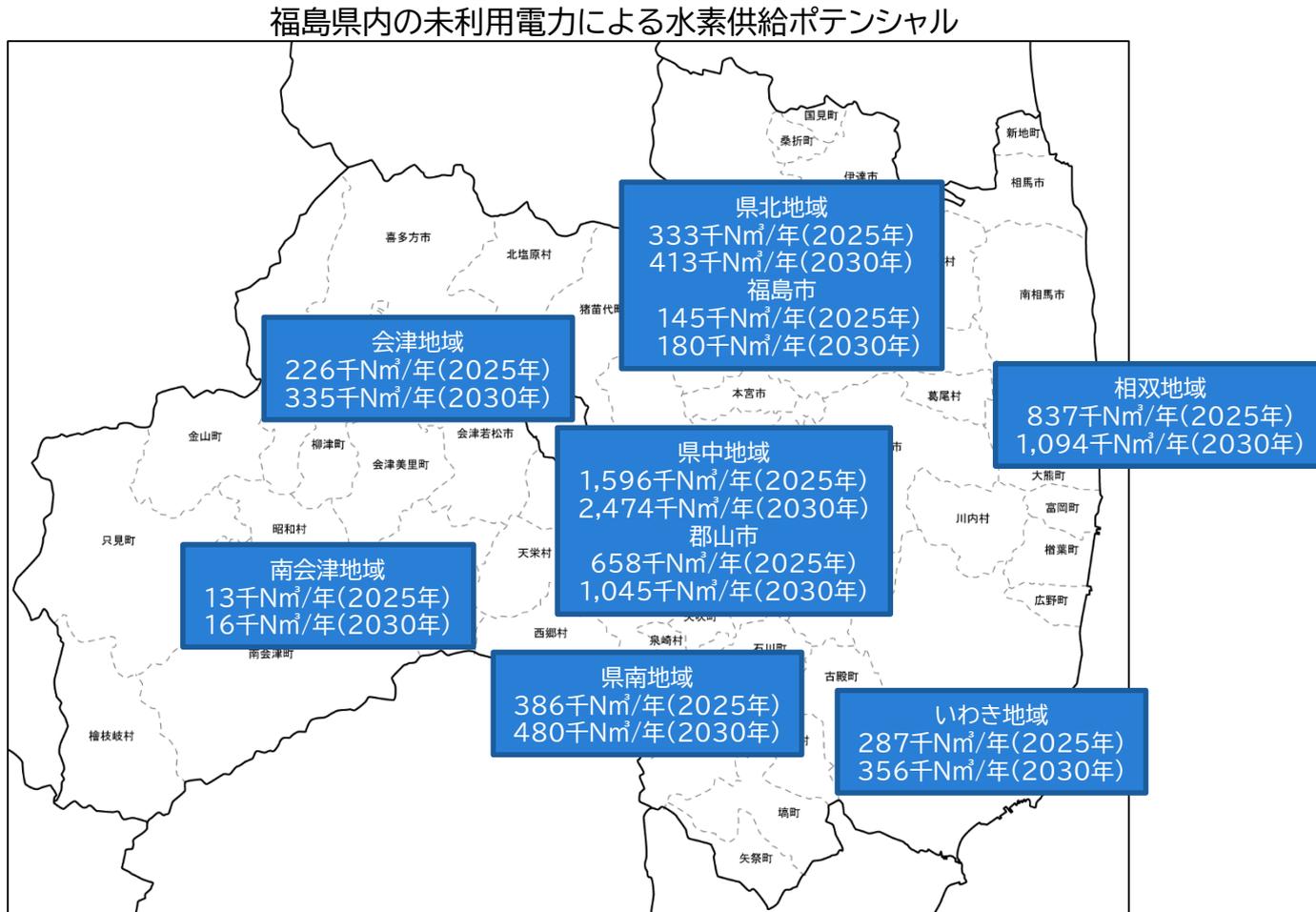
(出典)資源エネルギー庁 再生可能エネルギー 事業計画認定情報に基づき作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-1のまとめ

- 未利用電力による水素供給ポテンシャルの評価結果を福島県内の地図上にプロットした、ロケーションと供給ポテンシャルを以下に示す。



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-2

■ 下水汚泥

- ① 下水量から汚泥量及びバイオガス量を算出する。下水量は、公開の統計情報を用いる。
- ② 未利用のバイオガスから水素製造を行うと仮定する。
- ③ バイオガス量から水素製造量を算出する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
下水量	(公社)福島県下水道公社、福島市、いわき市、会津若松市の公開の統計情報
下水量からの汚泥量及びバイオガス量	国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術 ガイドライン—平成 29 年度版—」(2018年1月) の算出式
バイオガスの未利用量	国土交通省「下水道における水素製造・利用の取組」 ・約3割
バイオガス量からの水素製造量	国土交通省 下水道革新的技術実証事業「下水バイオガス原料による水素創エネ技術実証事業—水素リーダー都市プロジェクト—」 ・バイオガス処理量2,400Nm ³ /日に対し、水素製造量3,311Nm ³ /日

下水汚泥による水素供給ポテンシャル算出フロー

福島県各下水道施設
の流入水量

福島県各下水道施設
の汚泥

福島県各下水道施設
のバイオガス量

福島県各下水道施設
の未利用バイオガス量

福島県各下水道施設
の水素供給ポテンシャル

(参考)バイオガスからの水素製造プロセス

- ・バイオガスの主な成分はメタン(CH₄)が60~70%、二酸化炭素(CO₂)が30~40%、その他微量の窒素(N₂)や酸素(O₂)、硫化水素(H₂S)及び水(H₂O)等を含む。
- ・バイオガスから精製されたメタンから、次の反応式により水素を製造することができる。
$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2 \quad (\text{水蒸気改質反応})$$
$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 \quad (\text{CO変正反応})$$
- ・現在バイオガスから製造した水素利用以外に、発電等に利用されている。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-2のまとめ

- 下水汚泥を利用した水素供給ポテンシャルを評価する。
- 導入シナリオでは、2025年で全体の50%、2030年までに関連する設備が整備されると仮定する。

下水汚泥を利用した水素供給ポテンシャル

No	下水道施設	流入水量	汚泥量	バイオガス量	未利用 バイオガス量	水素製造量 (2030年)
1	県北浄化センター(国見町(県北))	45,305m ³ /日	263t/日	4,047Nm ³ /日	1,214Nm ³ /日	611,304Nm ³ /年
2	県中浄化センター(郡山市(県中))	98,308m ³ /日	570t/日	8,781Nm ³ /日	2,634Nm ³ /日	1,326,477Nm ³ /年
3	あだたら清流センター(二本松市(県北))	3,862m ³ /日	22t/日	345Nm ³ /日	103Nm ³ /日	52,110Nm ³ /年
4	大滝根水環境センター(田村市(県中))	1,911m ³ /日	11t/日	170Nm ³ /日	51Nm ³ /日	25,785Nm ³ /年
5	堀河町終末処理場(福島市(県北))	14,443m ³ /日	84t/日	1,290Nm ³ /日	387Nm ³ /日	194,880Nm ³ /年
6	北部・東部・中部・南部浄化センター(いわき市)	66,149m ³ /日	384t/日	5,908Nm ³ /日	1,773Nm ³ /日	892,553Nm ³ /年
7	会津若松市下水浄化工場(会津若松市(会津))	28,000m ³ /日	162t/日	2,501Nm ³ /日	750Nm ³ /日	377,806Nm ³ /年
8	喜多方・塩川・山都・熱塩加納処理区 (喜多方市(会津))	10,030m ³ /日	58t/日	896Nm ³ /日	269Nm ³ /日	135,335Nm ³ /年
9	公共下水道事業(猪苗代町(会津))	3,865m ³ /日	22t/日	345Nm ³ /日	104Nm ³ /日	52,151Nm ³ /年
					計	3,668千Nm ³ /年

(出典)(公社)福島県下水道公社、福島市、いわき市、会津若松市、喜多方市、猪苗代町

下水汚泥による水素供給ポテンシャル
2025年:1,834千Nm³/年、2030年:3,668千Nm³/年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-3

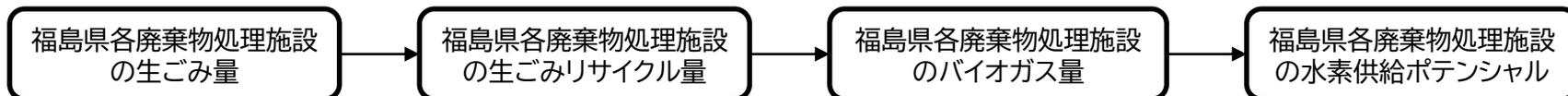
■ 生ごみ

- ① 生ごみ量(厨芥類のごみ)からバイオガス量を算出する。生ごみ量は、公開の統計情報を用いる。
- ② 生ごみのうちリサイクル率、及びメタンガス化用途の割合に基づき、バイオガス製造を行うと仮定する。
- ③ バイオガス量から水素製造量を算出する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
生ごみ量	環境省「一般廃棄物処理実態調査結果・施設整備状況」福島県(2019年度) ・92,423t/年(乾ベース)
生ごみのリサイクル率	「平成30年度 福島県の一般廃棄物処理の状況」 ・12.9%
メタンガス化用途の割合	農林水産省「食品循環資源の再生利用等実態調査」(2017年度) ・食品産業の廃棄物再生量12,708千t/年に対し、 メタンガス化用途506千t/年
生ごみ量からの バイオガス量	国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術 ガイドラインー平成29年度版ー」(2018年1月) の算出式
バイオガス量からの 水素製造量	国土交通省 下水道革新的技術実証事業「下水バイオガス原料による水素創エネ技術実証事 業ー水素リーダー都市プロジェクトー」 ・バイオガス処理量2,400Nm ³ /日に対し、水素製造量3,311Nm ³ /日

生ごみによる水素供給ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-3のまとめ

- 生ごみを利用した水素供給ポテンシャルを評価する。
- 導入シナリオでは、2025年で全体の50%、2030年までに関連する設備が整備されると仮定する。

生ごみを利用した水素供給ポテンシャル

No	一般廃棄物処理施設	生ごみ量(乾ベース)	水素製造量
1	あらかわクリーンセンター、あぶくまクリーンセンター(福島市(県北))	22,045t/年	107,578Nm ³ /年
2	郡山市富久山クリーンセンター、郡山市河内クリーンセンター(郡山市(県中))	19,560t/年	95,449Nm ³ /年
3	南部清掃センター、北部清掃センター(いわき市)	14,403t/年	70,285Nm ³ /年
4	クリーン原町センター(南相馬市(相双))	2,957t/年	14,431Nm ³ /年
5	伊達地方衛生処理組合清掃センター(伊達市(県北))	5,602t/年	27,338Nm ³ /年
6	須賀川地方衛生センターごみ処理施設(須賀川市(県中))	1,181t/年	5,764Nm ³ /年
7	環境センターごみ焼却処理施設(会津若松市(会津))	8,278t/年	40,394Nm ³ /年
8	東白衛生組合東白クリーンセンターごみ処理施設(塙町(県南))	1,903t/年	9,288Nm ³ /年
9	石川地方ごみ焼却場(石川町(県南))	1,271t/年	6,202Nm ³ /年
10	田村東部・西部環境センター(田村市(県中))	2,839t/年	13,856Nm ³ /年
11	光陽クリーンセンター(相馬市(相双))	2,044t/年	9,975Nm ³ /年
12	西白河地方クリーンセンター(白河市(県南))	3,822t/年	18,651Nm ³ /年
13	環境センター山郡工場(喜多方市(会津))	1,430t/年	6,978Nm ³ /年
14	もとみやクリーンセンター(本宮市(県北))	3,633t/年	17,730Nm ³ /年
15	双葉地方広域市町村圏組合北部・南部衛生センター(檜葉町(相双))	734t/年	3,581Nm ³ /年
16	東部・西部クリーンセンター(下郷町(南会津))	720t/年	3,511Nm ³ /年
		計	451千Nm ³ /年

生ごみによる水素供給ポテンシャル
2025年:226千Nm³/年、2030年:451千Nm³/年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-4

■ 廃プラスチック

- ① 廃プラスチック量は、公開の統計情報を用いる。
- ② 廃プラスチックのうち未利用(最終処分、焼却処分かつ、自己、域内及び県内)を対象に、水素製造を行うと仮定する。ここで、未利用の廃プラスチック量が公開されているのは産業廃棄物のみであるため、産業廃棄物由来の
- ③ 廃プラスチック量から水素供給ポテンシャルを評価する。

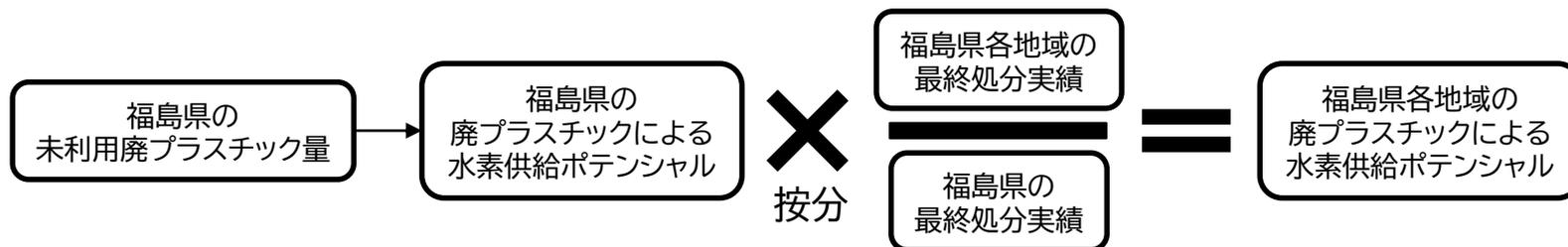
■ 福島県全域の産業廃棄物排出処理状況で公開されている地域ごとの最終処分実績に、廃プラスチックの最終処分や焼却の量が比例すると想定し、廃プラスチックを利用した水素供給ポテンシャルの量とロケーションを推算する。

■ 導入シナリオでは、2025年で全体の50%、2030年までに関連する設備が整備されると仮定する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
未利用の廃プラスチック量	令和2年度福島県産業廃棄物排出処理状況確認調査業務報告書(令和元年度実績) ・焼却(自己、域内)64千t/年 ・最終処分(県内)33千t/年
廃プラスチック量からの水素製造量	JGC GROUP「WASTE PLASTICS CHEMICAL RECYCLING BY GASIFICATION」 ・廃プラスチック量10,000tに対し、水素1,450t

廃プラスチックによる水素供給ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

廃プラスチックを利用した水素供給ポテンシャル

No	廃プラスチックの処理	廃プラスチック量	水素製造量
1	焼却(自己、域内)	64千t/年	103,259千Nm ³ /年
2	最終処分(県内)	33千t/年	53,243千Nm ³ /年
計			156,502千Nm ³ /年

廃プラスチックを利用した水素供給ポテンシャル

No	地域	最終処分実績	廃プラスチック量 (推定)	水素製造量
1	県北地域(福島市以外)	25千t/年	6千t/年	8,974千Nm ³ /年
2	福島市	89千t/年	20千t/年	31,946千Nm ³ /年
3	県中地域(郡山市以外)	7千t/年	2千t/年	2,513千Nm ³ /年
4	郡山市	2千t/年	0.4千t/年	718千Nm ³ /年
5	会津地域	20千t/年	4千t/年	7,179千Nm ³ /年
6	相双地域	121千t/年	27千t/年	43,433千Nm ³ /年
7	いわき市	172千t/年	38千t/年	61,739千Nm ³ /年
計				156,502千Nm ³ /年

(出典)令和2年度福島県産業廃棄物排出処理状況確認調査業務報告書(令和元年度実績)



廃プラスチックによる水素供給ポテンシャル
2025年:78,251千Nm³/年、2030年:156,502千Nm³/年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価②-5

■ アンモニア分解

- 昭和電工ガスプロダクツは、相馬市に液化アンモニアの物流基地(東北アンモニアセンター)を構築し、アンモニア供給事業を行っている。
- 同基地を水素キャリアとしてのアンモニアの供給拠点としての活用を想定し、水素供給ポテンシャルを評価する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
アンモニアタンク容量	・120t × 2基 ・アンモニアの重量水素密度(水素含有率)17.8%、水素の密度11.127Nm ³ /kgから、水素キャリアとしての貯蔵量を推算する。
時間あたりの水素製造量	・液化アンモニア処理能力を400L/h、稼働率を10%程度と仮定。 ・液化アンモニアの密度0.73kg/m ³

(出典)第3回産学官連携資料、公開情報より作成



液化アンモニアの物流基地の水素キャリアとしての貯蔵量:475千Nm³
水素供給ポテンシャル:0.51千Nm³/年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価のまとめ(2025年)

■ 各供給ポテンシャルの評価結果を以下に示す。

福島県内の水素供給ポテンシャルの整理(2025年)

	県北 地域※	(福島市)	県中 地域※	(郡山市)	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	計
FH2R	-	-	-	-	-	-	-	2,225 千Nm ³ /年	-	2,225 千Nm ³ /年
副生水素の 供給・製造	-	-	-	-	-	-	-	-	1,540 千Nm ³ /年	1,540 千Nm ³ /年
都市ガス改質 の供給・製造	-	-	1,540 千Nm ³ /年	1,540 千Nm ³ /年	-	-	-	-	-	1,540 千Nm ³ /年
未利用電力	333 千Nm ³ /年	145 千Nm ³ /年	1,596 千Nm ³ /年	658 千Nm ³ /年	386 千Nm ³ /年	226 千Nm ³ /年	13 千Nm ³ /年	837 千Nm ³ /年	287 千Nm ³ /年	3,676 千Nm ³ /年
下水汚泥	429 千Nm ³ /年	97 千Nm ³ /年	676 千Nm ³ /年	663 千Nm ³ /年	-	283 千Nm ³ /年	-	-	446 千Nm ³ /年	1,834 千Nm ³ /年
生ごみ	76 千Nm ³ /年	54 千Nm ³ /年	55 千Nm ³ /年	48 千Nm ³ /年	20 千Nm ³ /年	31 千Nm ³ /年	2 千Nm ³ /年	7 千Nm ³ /年	35 千Nm ³ /年	226 千Nm ³ /年
廃プラスチック	20,460 千Nm ³ /年	15,973 千Nm ³ /年	1,615 千Nm ³ /年	359 千Nm ³ /年	-	3,589 千Nm ³ /年	-	21,716 千Nm ³ /年	30,870 千Nm ³ /年	78,251 千Nm ³ /年
アンモニア分解	-	-	-	-	-	-	-	0.51 千Nm ³ /年	-	0.51 千Nm ³ /年
計	21,298 千Nm ³ /年	16,269 千Nm ³ /年	5,482 千Nm ³ /年	3,268 千Nm ³ /年	406 千Nm ³ /年	4,129 千Nm ³ /年	15 千Nm ³ /年	24,786 千Nm ³ /年	33,178 千Nm ³ /年	89,292 千Nm ³ /年

※県北地域、県南地域の値は、それぞれ福島市、郡山市の値を含む

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価のまとめ(2030年)

■ 各供給ポテンシャルの評価結果を以下に示す。

福島県内の水素供給ポテンシャルの整理(2030年)

	県北 地域※	(福島市)	県中 地域※	(郡山市)	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	計
FH2R	－	－	－	－	－	－	－	2,225 千Nm ³ /年	－	2,225 千Nm ³ /年
副生水素の 供給・製造	－	－	－	－	－	－	－	－	1,540 千Nm ³ /年	1,540 千Nm ³ /年
都市ガス改質 の供給・製造	－	－	1,540 千Nm ³ /年	1,540 千Nm ³ /年	－	－	－	－	－	1,540 千Nm ³ /年
未利用電力	413 千Nm ³ /年	180 千Nm ³ /年	2,474 千Nm ³ /年	1,045 千Nm ³ /年	480 千Nm ³ /年	335 千Nm ³ /年	16 千Nm ³ /年	1,094 千Nm ³ /年	356 千Nm ³ /年	5,168 千Nm ³ /年
下水汚泥	858 千Nm ³ /年	195 千Nm ³ /年	1,352 千Nm ³ /年	1,326 千Nm ³ /年	－	565 千Nm ³ /年	－	－	893 千Nm ³ /年	3,668 千Nm ³ /年
生ごみ	153 千Nm ³ /年	108 千Nm ³ /年	109 千Nm ³ /年	95 千Nm ³ /年	40 千Nm ³ /年	62 千Nm ³ /年	4 千Nm ³ /年	14 千Nm ³ /年	70 千Nm ³ /年	452 千Nm ³ /年
廃プラスチック	40,920 千Nm ³ /年	31,946 千Nm ³ /年	3,231 千Nm ³ /年	718 千Nm ³ /年	－	7,179 千Nm ³ /年	－	43,433 千Nm ³ /年	61,739 千Nm ³ /年	156,502 千Nm ³ /年
アンモニア分解	－	－	－	－	－	－	－	0.51 千Nm ³ /年	－	0.51 千Nm ³ /年
計	42,344 千Nm ³ /年	32,429 千Nm ³ /年	8,706 千Nm ³ /年	4,724 千Nm ³ /年	520 千Nm ³ /年	8,141 千Nm ³ /年	20 千Nm ³ /年	46,766 千Nm ³ /年	64,598 千Nm ³ /年	171,095 千Nm ³ /年

※県北地域、県南地域の値は、それぞれ福島市、郡山市の値を含む

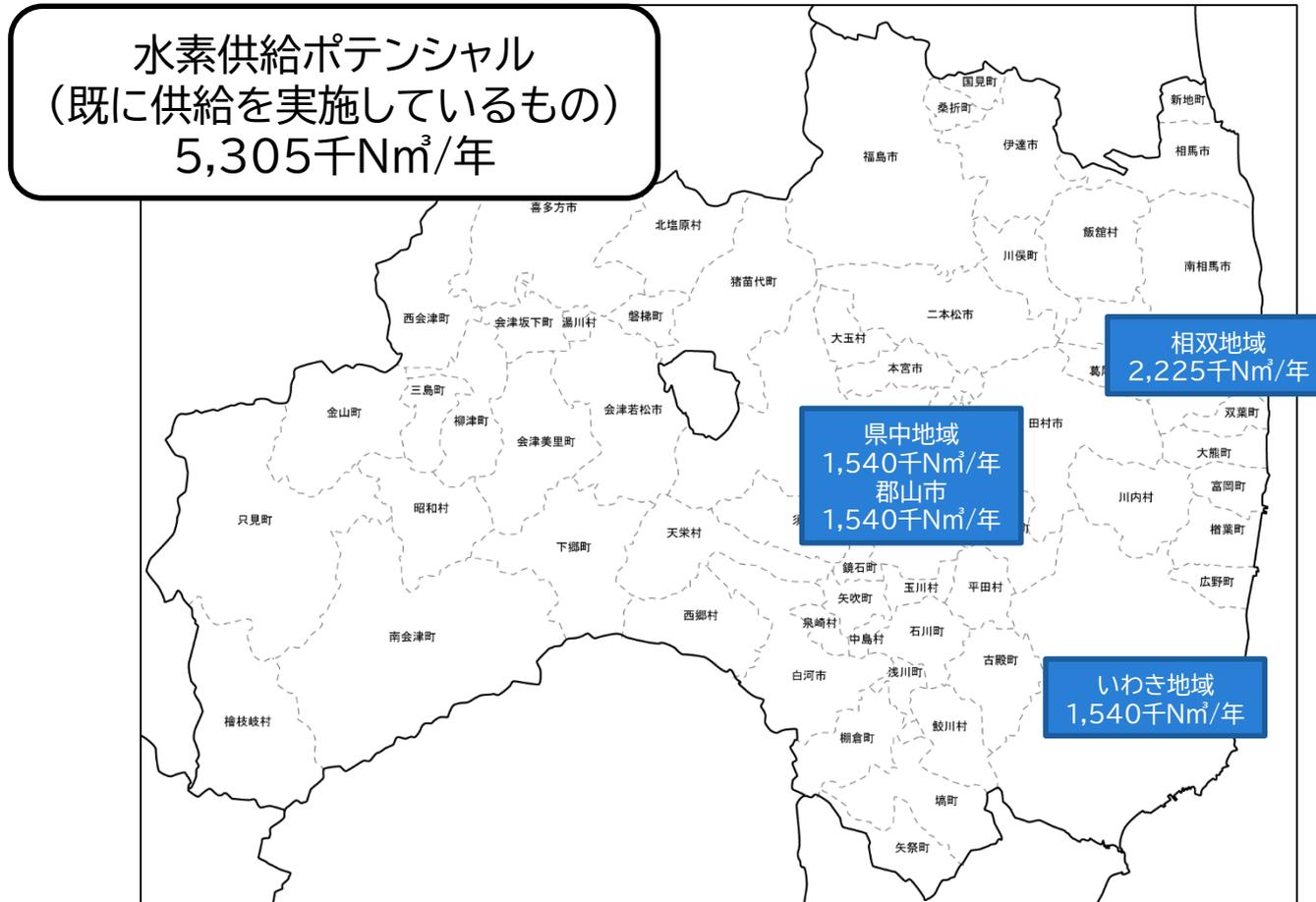
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価のまとめ(既に供給を実施しているもの)

- 各供給ポテンシャルの評価結果(既に供給を実施しているもの)に基づく福島県内におけるロケーションと供給ポテンシャルを示す。

福島県内の水素供給ポテンシャル(合計)



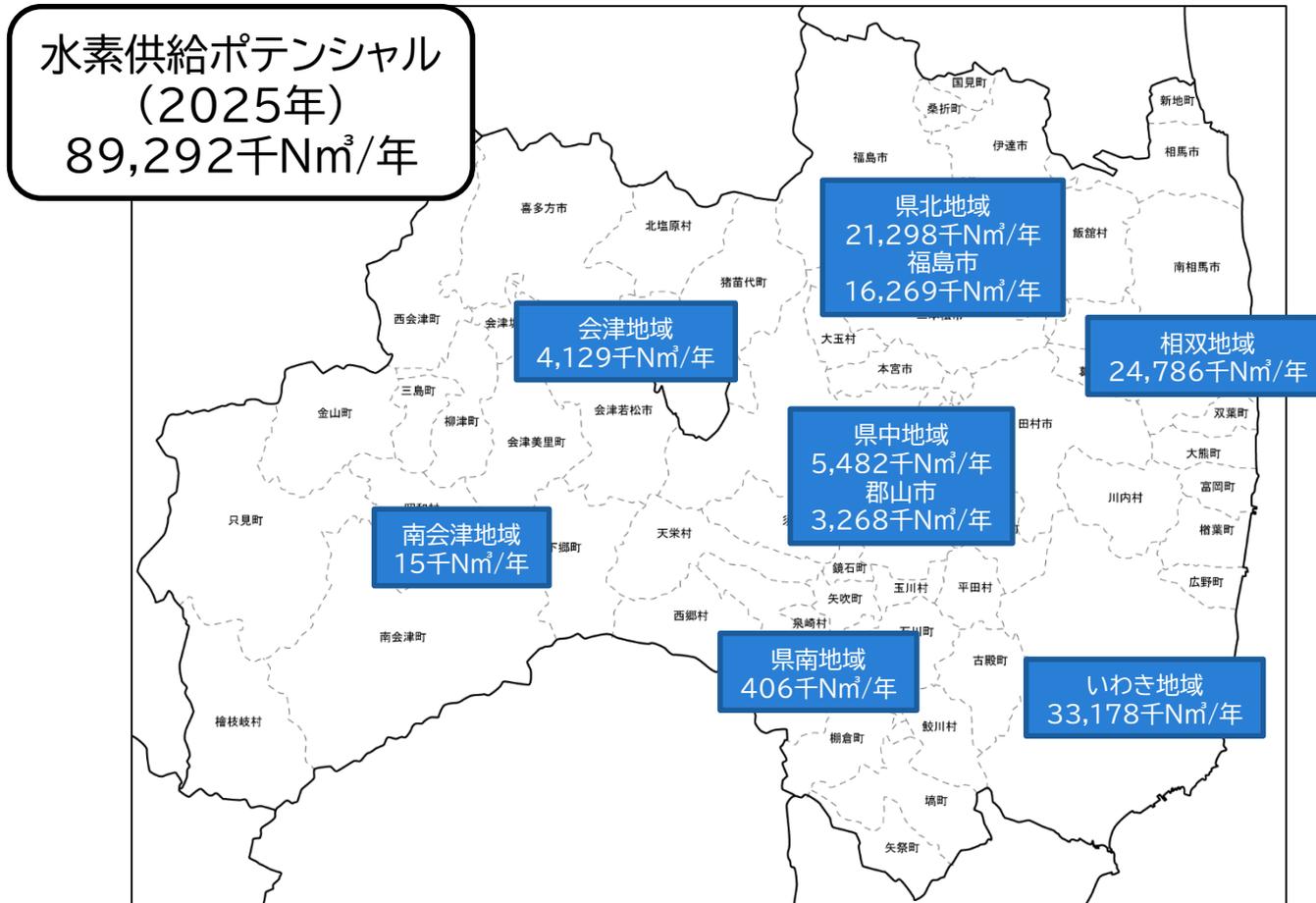
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価のまとめ(2025年)

- 各供給ポテンシャルの評価結果(2025年)の福島県内におけるロケーションと供給ポテンシャルを示す。

福島県内の水素供給ポテンシャル(合計)



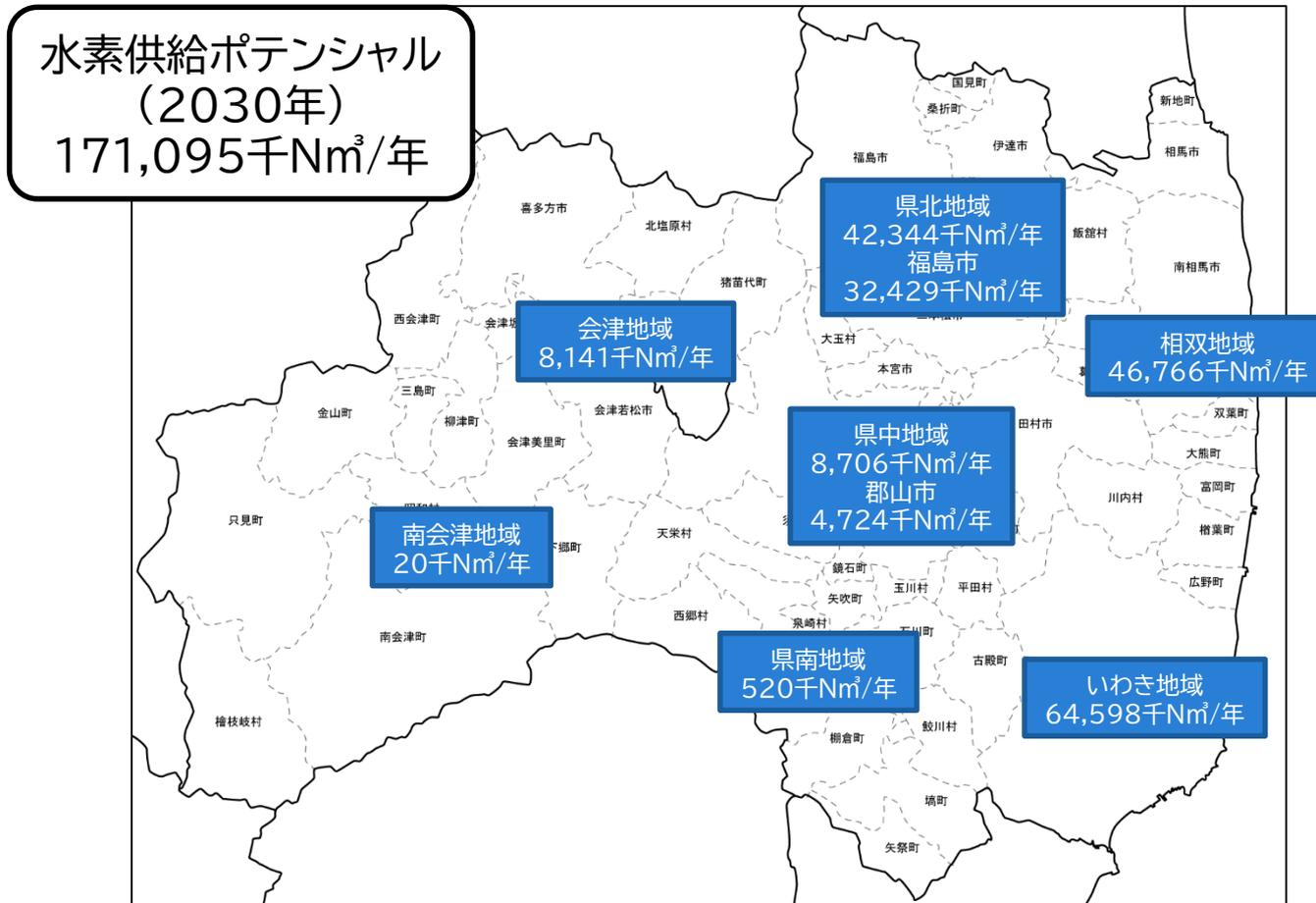
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

供給ポテンシャル評価のまとめ(2030年)

- 各供給ポテンシャルの評価結果(2030年)の福島県内におけるロケーションと供給ポテンシャルを示す。

福島県内の水素供給ポテンシャル(合計)



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)

■ 乗用車、バスの台数

- ① 全国及び福島県の車種別保有自動車台数は、公開の統計情報を用いる。
- ② 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」のFCV及びFCバスの導入目標から、福島県の導入見込みを算定する。
- ③ 水素ステーションは、福島県の導入目標の値を用いて、福島県内の導入見込みとのバランスを検証する。

■ 乗用車、バスの水素消費量

- ① 福島県の車種別の自動車走行距離は、公開の統計情報を用いる。
- ② FCV及びFCバスの燃費は、公開情報を用いる。
- ③ 燃費と走行距離から水素消費量を算出する。

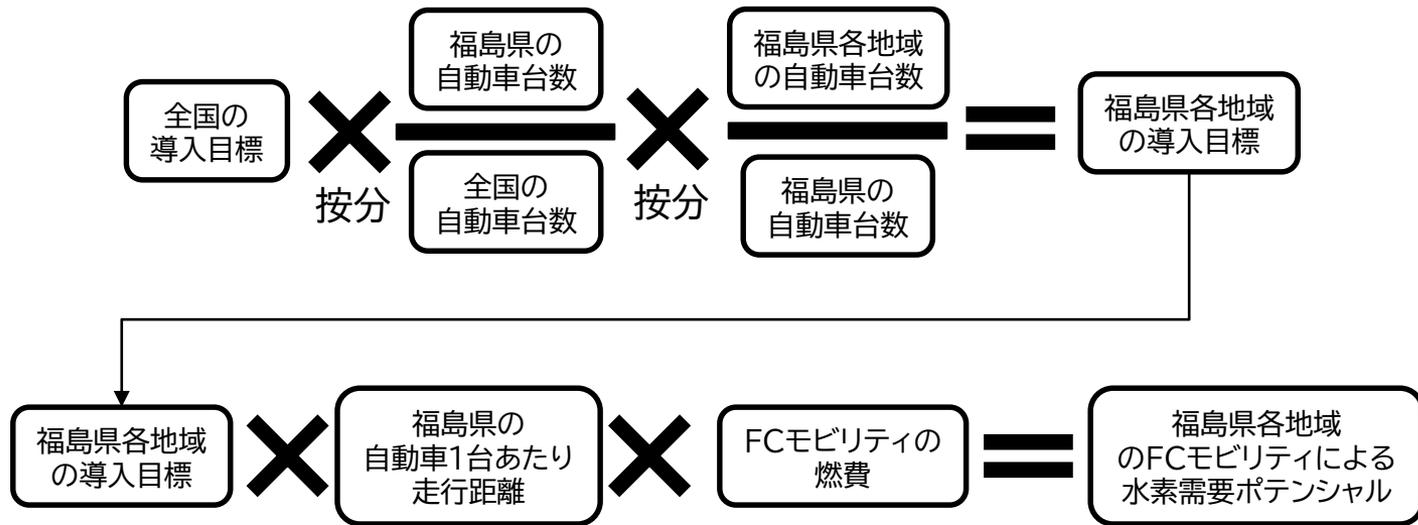
算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
車種別保有自動車台数	(一財)自動車検査登録情報協会「都道府県別・車種別自動車保有台数」、国土交通省東北運輸局「福島県市町村別保有車両数」 ・全国:乗用車62,149,139台、乗合車218,775台 ・福島県:乗用車1,227,244台、乗合車4,813台
FCV及びFCバスの導入目標	「水素・燃料電池戦略ロードマップ」 ・FCV台数20万台(2025年)、80万台(2030年) ・FCバス1,200台(2030年)
FCVの普及状況	国土交通省東北運輸局「次世代自動車普及状況」 ・FCV台数338台(2022年2月)
FCバスの普及状況	新常磐交通株式会社 ・FCバス台数1台(2020年4月以降)
水素ステーションの基数	「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン2021」 ・8基(2023年)、12基(2025年)、20基(2030年)
福島県の車種別の自動車走行距離	国土交通省「自動車燃料消費量調査」 ・乗用車10,583,727千km/年 ・バス107,436千km/年
燃費	資源エネルギー庁「FCV・水素ステーション事業の現状について」 国土交通省自動車局環境政策課、環境省水・大気環境局自動環境対策課「燃料電池バスの普及及び導入支援策について」 岩谷産業株式会社「水素ステーション事業の自立化と水素サプライチェーンの構築」 ・FCV燃費12.1km/Nm ³ (MIRAIカタログ値) ・バス燃費9.1km/kg(1台あたり30台のFCVに換算)

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県におけるFCモビリティによる水素需要ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

■ シナリオの考え方

- FCVの普及の進展度合いに応じた、以下の3つのシナリオを想定する。

- ① 現在の普及のペースが将来においても進展したFCV普及シナリオ(ベースシナリオ)
- ② 補助金等の政策が一定程度効果を成したFCV普及シナリオ(中位シナリオ)
- ③ 補助金等の政策が成功し、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に到達するFCV普及シナリオ(高位シナリオ)

- いずれのシナリオも、FCバス及びFCトラックを含むと想定する。

シナリオの考え方

シナリオ	ポイント	シナリオ設定
①ベースシナリオ	現在の普及のペースが将来においても進展	・2020年から2022年にかけてのFCVの普及のペースが、線形比例的に将来においても継続する。 ・FCバスもFCVと同程度のペースで普及が進展する。
②中位シナリオ	補助金等の政策が一定程度効果を成し、普及ペースが現状より上向く	・2020年から2022年にかけてのFCVの普及のペースが、等比級数的に5年後の2027年まで継続し、その後線形比例的に継続する。 ・FCバスは、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に示されているFCVの普及計画に対するFCVの普及台数の比で普及が進展する。
③高位シナリオ	補助金等の政策が成功し、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で示されている計画に到達する	・「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に示されているFCV及びFCバスの全国普及の進展と同程度に福島県においても普及が進展する。
全シナリオに共通	FCトラックを含む	・FCトラックの普及シナリオは、FCトラックの市場販売開始時期が未定であることから、ベースシナリオとする(シナリオの内容は後述)。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

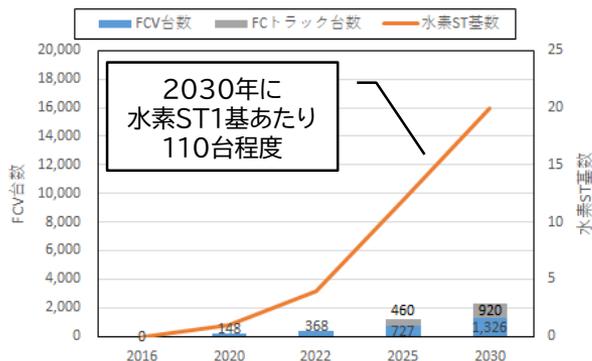
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

■ 普及シナリオ

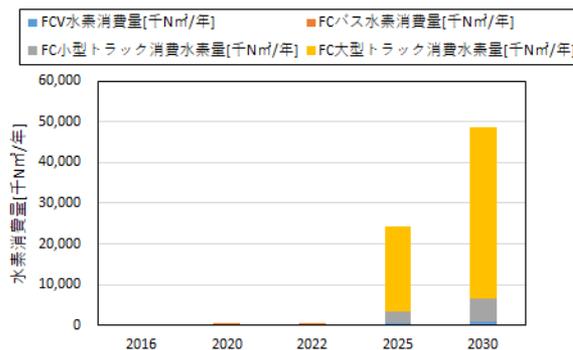
① 現在の普及のペースが将来においても進展したFCV普及シナリオ(ベースシナリオ)

FCVの普及台数(ベースシナリオ)



※FCバスは1台あたり30台のFCVに換算

FCVの水素消費量(ベースシナリオ)



※FCトラックの普及シナリオは、FCトラックの市場販売開始時期が未定であることから、ベースシナリオとした。

FCVの普及台数(ベースシナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	28	34	10	14	2	9	22	118
2022*	79	99	28	40	5	26	63	338
2025	157	195	55	78	9	50	124	668
2030	286	355	101	142	17	92	226	1,218

*福島県内のFCV普及台数「338台」は2022年2月時点の値で、年末までに想定される増分は含まれていない。

FCバスの普及台数(ベースシナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	1	1
2022	0	0	0	0	0	0	1	1
2025	0	1	0	0	0	0	1	2
2030	1	1	0	1	0	0	1	4

水素ステーションの整備基数(ベースシナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	1
2022	1	2	0	0	0	0	1	4
2025	3	3	1	1	0	1	2	12
2030	5	6	2	2	0	2	4	20

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

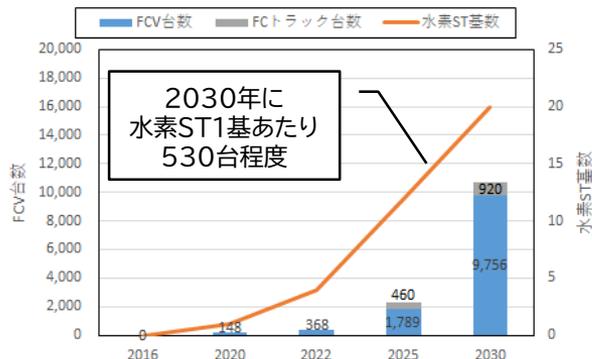
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

■ 普及シナリオ

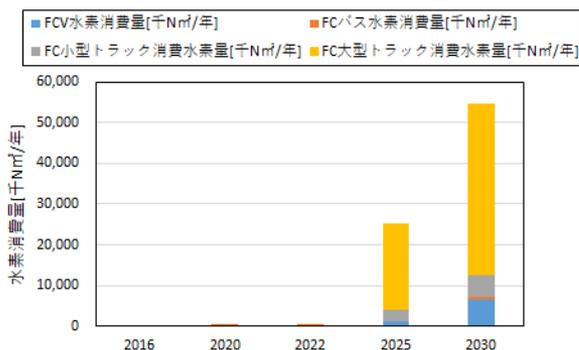
② 補助金等の政策が一定程度効果を成したFCV普及シナリオ(中位シナリオ)

FCVの普及台数(中位シナリオ)



※FCバスは1台あたり30台のFCVに換算

FCVの水素消費量(中位シナリオ)



※FCトラックの普及シナリオは、FCトラックの市場販売開始時期が未定であることから、ベースシナリオとした。

FCVの普及台数(中位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	28	34	10	14	2	9	22	118
2022*	79	99	28	40	5	26	63	338
2025	384	478	136	192	22	124	304	1,639
2030	2,175	2,703	767	1,085	127	700	1,719	9,276

*福島県内のFCV普及台数「338台」は2022年2月時点の値で、年末までに想定される増分は含まれていない。

FCバスの普及台数(中位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	1	1
2022	0	0	0	0	0	0	1	1
2025	1	1	0	1	0	1	1	5
2030	3	4	1	3	0	2	3	16

水素ステーションの整備基数(中位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	1
2022	1	2	0	0	0	0	1	4
2025	3	3	1	1	0	1	2	12
2030	5	6	2	2	0	2	4	20

※端数処理のため合計が合わない場合がある

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

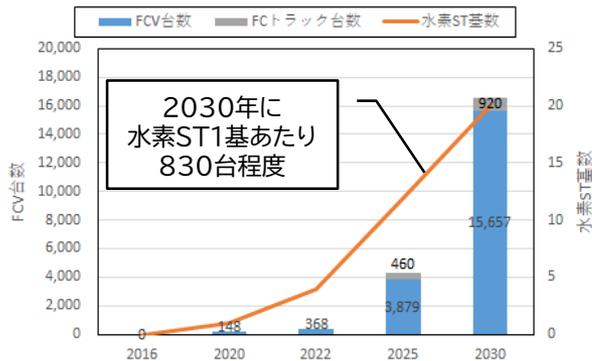
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

■ 普及シナリオ

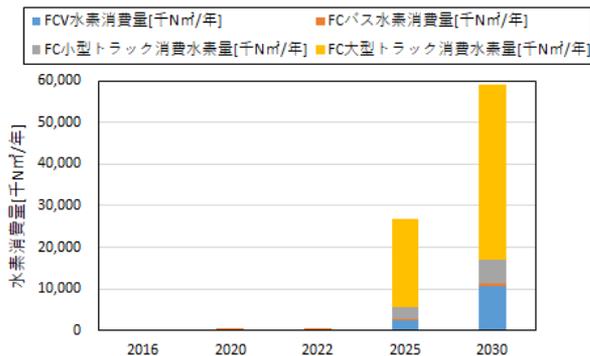
③ 補助金等の政策が成功し、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に到達するFCV普及シナリオ(高位シナリオ)

FCVの普及台数(高位シナリオ)



※FCバスは1台あたり30台のFCVに換算

FCVの水素消費量(高位シナリオ)



※FCトラックの普及シナリオは、FCトラックの市場販売開始時期が未定であることから、ベースシナリオとした。

FCVの普及台数(高位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	28	34	10	14	2	9	22	118
2022*	79	99	28	40	5	26	63	338
2025	818	1,017	289	408	48	263	647	3,489
2030	3,488	4,336	1,230	1,740	204	1,123	2,757	14,877

*福島県内のFCV普及台数「338台」は2022年2月時点の値で、年末までに想定される増分は含まれていない。

FCバスの普及台数(高位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	1	1
2022	0	0	0	0	0	0	1	1
2025	3	3	1	2	0	1	2	13
2030	5	7	2	4	1	3	4	26

水素ステーションの整備基数(高位シナリオ)

	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき	合計
2016	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	1
2022	1	2	0	0	0	0	1	4
2025	3	3	1	1	0	1	2	12
2030	5	6	2	2	0	2	4	20

※端数処理のため合計が合わない場合がある

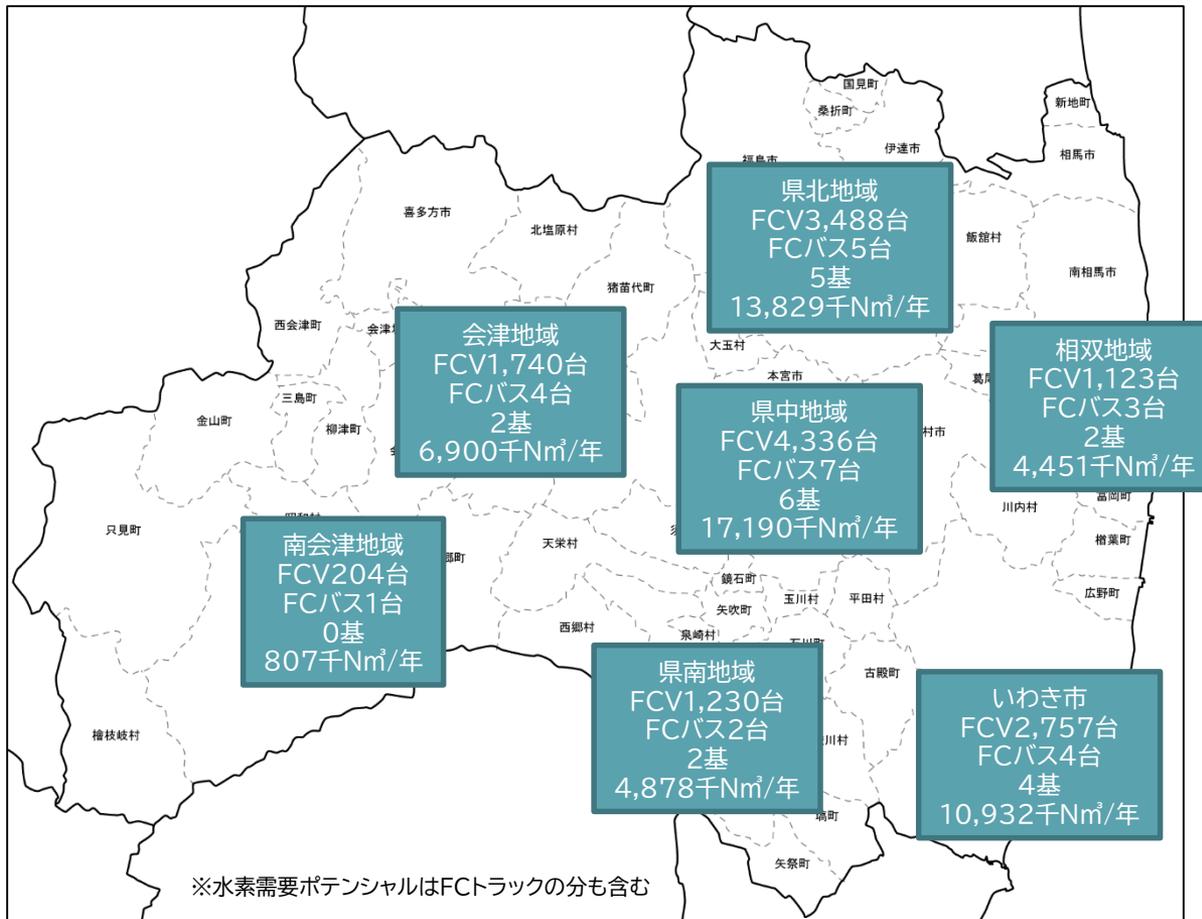
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

- 高位シナリオの2030年における、FCV及びバスの普及台数、水素ステーションの整備基数を示す。

福島県内のFCV及びバスの普及台数、水素ステーションの整備基数、水素需要ポテンシャル(高位シナリオ、2030年)



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)(続き)

- 普及シナリオごとの水素需要ポテンシャル等の推算結果を示す。

福島県内における仮定のFCV、FCバスの普及シナリオにおける水素需要ポテンシャル(2030年)

	FCV台数	FCバス台数	水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)	水素ステーション基数
ベースシナリオ (現在の普及のペースが将来においても進展したFCV普及シナリオ)	1,218	4	48,629	20
中位シナリオ (補助金等の政策が一定程度効果を成したFCV普及シナリオ)	9,276	16	54,710	20
高位シナリオ (補助金等の政策が成功し、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に到達するFCV普及シナリオ(高位シナリオ))	14,877	26	58,987	20

※水素需要ポテンシャルはFCトラックの分も含む

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(貨物車)

■ 前ページまでに示した、需要ポテンシャル評価①(乗用車、バス)に含まれるFCトラックの値について以下に示す。

■ 福島県内に登録されている貨物車の台数(国土交通省東北運輸局「福島県市町村別保有車両数」(2019年度))

■ 貨物普通車※:55,055台

■ 貨物小型車※:74,788台

※貨物普通車:4輪以上で小型貨物車より大きいもの、貨物小型車:4輪以上で、長さ・幅・高さがそれぞれ4.7m以下・1.7m以下・2.0m以下。

■ 貨物車の水素消費量

① 国内において導入ロードマップは定められていないため、海外の事例を参考にシナリオを仮定する。
シナリオでは、現在開発されている車格と同格のトラックをFCにリプレースすると仮定する。

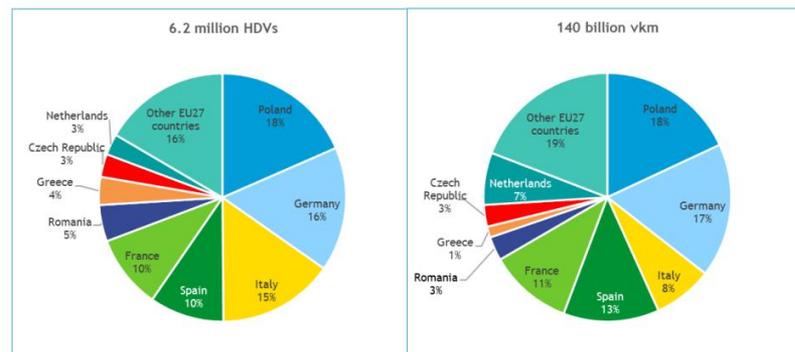
② 台あたり年間消費量から、水素需要ポテンシャルを算定する。

■ 貨物普通車:6.88t/年/台=76.6千Nm³/年/台

■ 貨物小型車:1.35t/年/台=15.0千Nm³/年/台

諸外国の目標・研究

諸外国	FCT	HRS	時期	FCV/HRS	出典
カリフォルニア州(目標)	70,000	200	2035	350	https://cafcp.org/blog/california-fuel-cell-partnership-envisions-70000-heavy-duty-fuel-cell-electric-trucks-supported
欧州(ACEA)	60,000	1000	2030	60	https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690888/IPOL_STU(2021)690888_EN.pdf ※欧州委員会のFit for 55パッケージ(AFID)では、この4/3倍のステーションを置く目標と予想される(TEN-TIに150kmごとに置く。ACEA目標は200kmごと想定。)が、FCTの目標とは不明。ここではFCT・HRSともに目標設定され、業界のポジションペーパーとして提出されたACEAの値を参照。
ドイツ(研究)	50,000	70	2030	714	https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2020/presseinfo-18-wasserstoff-tankstellen-brennstoffzellen-lkw.html
ドイツ(研究)	176,000	137	2050	1285	



2019年のHDVの割合。EU全体で620万台、うちドイツの割合は16%=99万台。

(出典)European Parliament「Alternative fuel infrastructures for heavy-duty vehicles」

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(貨物車)続き

- 2019年のHDVの割合。EU全体で620万台、うちドイツの割合は16%=100万台。
ドイツの試算(Fraunhofer ISI)では、FCT5万台普及(2030年)と見ている。
 - 全体に比して、5%程度、というレベル感。
- カリフォルニアの目標設定について、現状では100万台保有台数。目標は7万台普及(2035年)。
 - 全体に比して7%というレベル感。
- 2030年は、ドイツやカリフォルニアなどFCTトラックメーカーを擁し、普及に熱心な国は「全体」に対して、5%という仮定。
- 普及に力を入れていない国・地域も勘案すると、たとえばACEAの数字をベースにEU全体のトラック比でFCTトラックは1%。
 - 最終的に、普及の割合は、「全体」に対して1~5%

日本の貨物車台数とFC代替領域

区分	全国(A)	うちFC代替領域(B)	B/A
貨物普通車	2,386,000	627,855	0.26
貨物小型車	3,501,000	1,518,707	0.43

(出典)国土交通省「数字でみる自動車2019」、水素・燃料電池戦略協議会

福島県におけるシナリオ

区分	福島県(2019)	FC代替領域	ベース 県全体の1% @2030	高位 県全体の5% @2030	FC代替比率 @2030
貨物普通車	55,055	14,487	550	2,750	4%-20%
区分	福島県(2019)	FC代替領域	ベース 県全体の0.5% @2030	高位 県全体の4% @2030	FC代替比率 @2030
貨物小型車	74,788	32,442	370	2,960	1%-10%

(出典)国土交通省東北運輸局「福島県市町村別保有車両数」(2019年度)

- ※普通車は、高位シナリオでFC代替領域が全て2050年にFCTトラックへ代替表現を想定し、2030年はFC代替領域の約20%(全体の5%)がFCTトラックへ代替、ベースシナリオでは全体の1%が代替と仮定した。
- ※小型車は、高位シナリオでFC代替領域が2050年にEVもとFCVで半々代替表現を想定し、2030年はFC代替領域の約10%(全体の4%)がFCTトラックへ代替、ベースシナリオでは全体の約0.5%が代替と仮定した。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(貨物車)続き

- 貨物車の水素消費量をシナリオから、推算する。国土交通省東北運輸局「福島県市町村別保有車両数」に基づき、地域ごとの貨物車の保有台数で按分し、地域ごとの量を推算する。
 - 貨物普通車: 6.88t/年/台=76.6千Nm³/年/台
 - 貨物小型車: 1.35t/年/台=15.0千Nm³/年/台

FCTトラック(貨物普通車)普及台数(ベースシナリオ)

	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき地 域	合計
2025	61	31	82	52	21	28	4	33	46	275
2030	122	62	165	104	42	55	8	65	92	550

FCTトラック(貨物普通車)水素需要ポテンシャル(ベースシナリオ)

千Nm ³ /年	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき地 域	合計
2025	4,678	2,384	6,297	3,987	1,618	2,105	311	2,502	3,540	21,052
2030	9,356	4,767	12,594	7,973	3,237	4,210	623	5,004	7,081	42,105

FCTトラック(貨物普通車)普及台数(高位シナリオ)

	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	306	156	411	260	106	138	20	163	231	1,375
2030	611	311	823	521	211	275	41	327	462	2,750

FCTトラック(貨物普通車)水素需要ポテンシャル(高位シナリオ)

千Nm ³ /年	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	23,389	11,919	31,485	19,933	8,092	10,526	1,556	12,510	17,702	105,261
2030	46,778	23,837	62,970	39,867	16,184	21,052	3,113	25,021	35,404	210,523

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

FCトラック(貨物小型車)普及台数(ベースシナリオ)

	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	41	21	55	35	14	19	3	22	31	185
2030	82	42	111	70	28	37	5	44	62	370

FCトラック(貨物小型車)水素需要ポテンシャル(ベースシナリオ)

千Nm ³ /年	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	617	315	831	526	214	278	41	330	467	2,779
2030	1,235	629	1,662	1,053	427	556	82	661	935	5,558

FCトラック(貨物小型車)普及台数(高位シナリオ)

	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	329	168	443	280	114	148	22	176	249	1,480
2030	658	335	885	561	228	296	44	352	498	2,960

FCトラック(貨物小型車)水素需要ポテンシャル(高位シナリオ)

千Nm ³ /年	県北 地域	福島市	県中 地域	郡山市	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双地 域	いわき地 域	合計
2025	4,940	2,517	6,650	4,210	1,709	2,223	329	2,642	3,739	22,232
2030	9,880	5,035	13,300	8,420	3,418	4,446	657	5,284	7,478	44,463

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価①(貨物車)続き

- 普及シナリオごとの水素需要ポテンシャル等の推算結果を示す。

福島県内における仮定のFCトラック普及シナリオにおける水素需要ポテンシャル(2025年、2030年)

(2025年)

貨物普通車台数	貨物普通車台数	貨物普通車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	275	21,052
高位シナリオ	1,375	105,261

(2030年)

貨物普通車台数	貨物普通車台数	貨物普通車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	550	42,105
高位シナリオ	2,750	210,523

貨物小型車台数	貨物普通車台数	貨物普通車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	185	2,779
高位シナリオ	1,480	22,232

貨物小型車台数	貨物普通車台数	貨物普通車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	370	5,558
高位シナリオ	2,960	44,463

貨物車台数	貨物車台数	貨物車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	460	23,831
高位シナリオ	2,855	127,493

貨物車台数	貨物車台数	貨物車の水素需要ポテンシャル(千Nm ³ /年)
ベースシナリオ	920	47,663
高位シナリオ	5,710	254,986

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

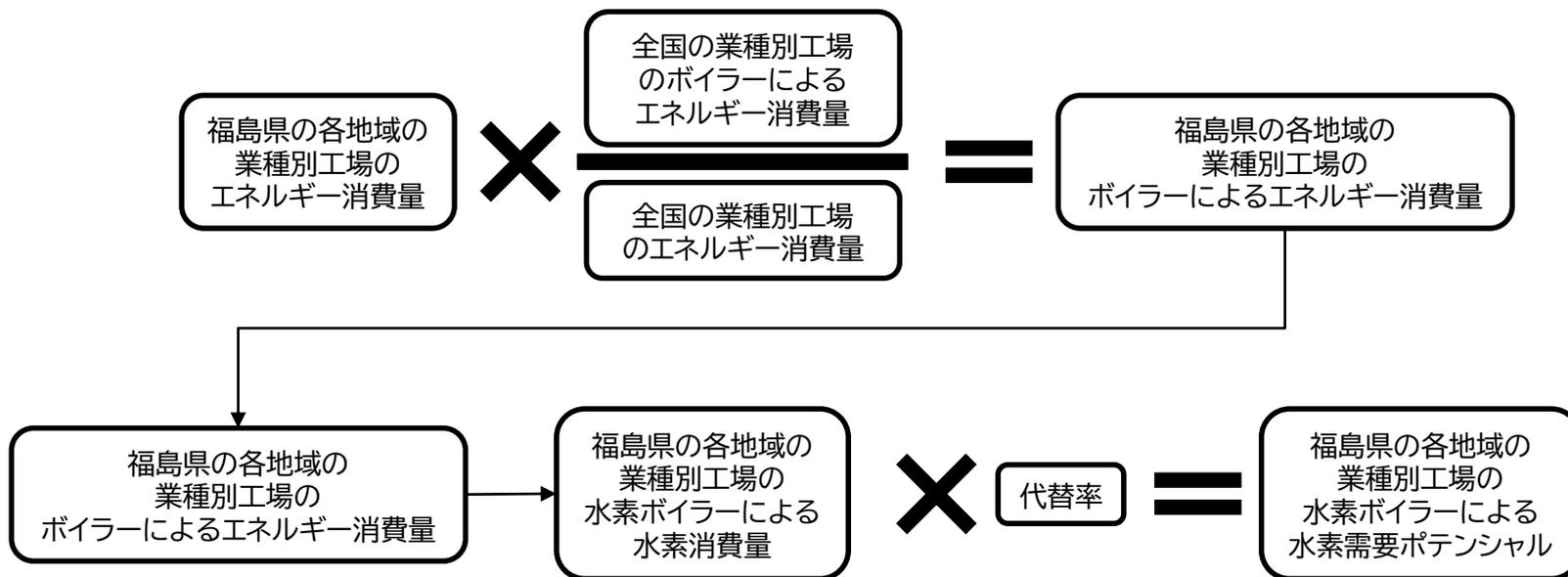
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価②

■ 工場、事業所の熱利用

- ① 業種別に工場や事業所(以下「工場等」という。)のエネルギー消費量やその内訳(ボイラー等)を示した公開の統計情報から、業種別の熱利用として燃料消費量の内訳を把握する。
- ② 県内の市町村ごとの業種別にエネルギー消費量を示した公開の統計情報から、各地域のエネルギー消費量の業種別の内訳を把握する。
- ③ ①と②を乗算することにより、各地域の工場等におけるボイラーによる熱利用における水素需要ポテンシャルを推算する。
- ④ また数工場等について、アンケートからバーナーによる熱利用における水素需要ポテンシャルを推算する。

福島県内工場のボイラーによる熱利用による水素需要ポテンシャル算出フロー



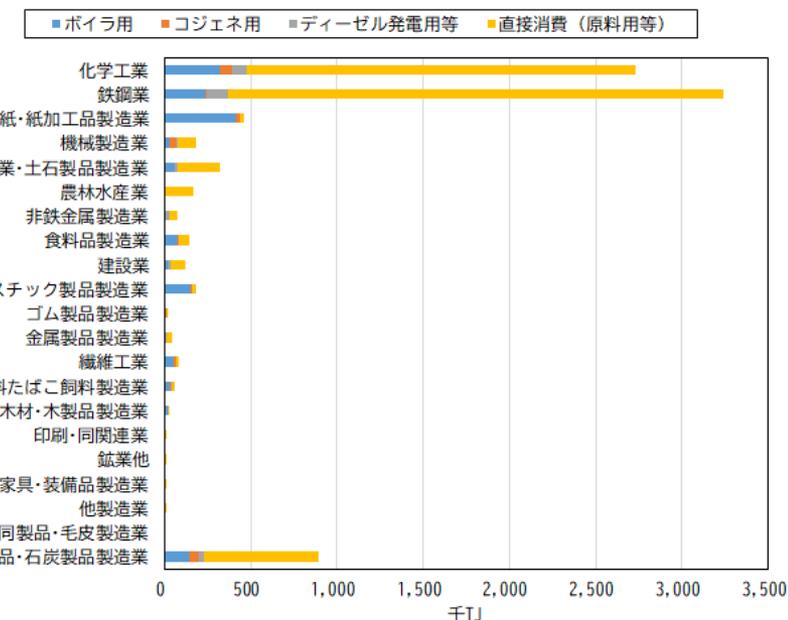
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

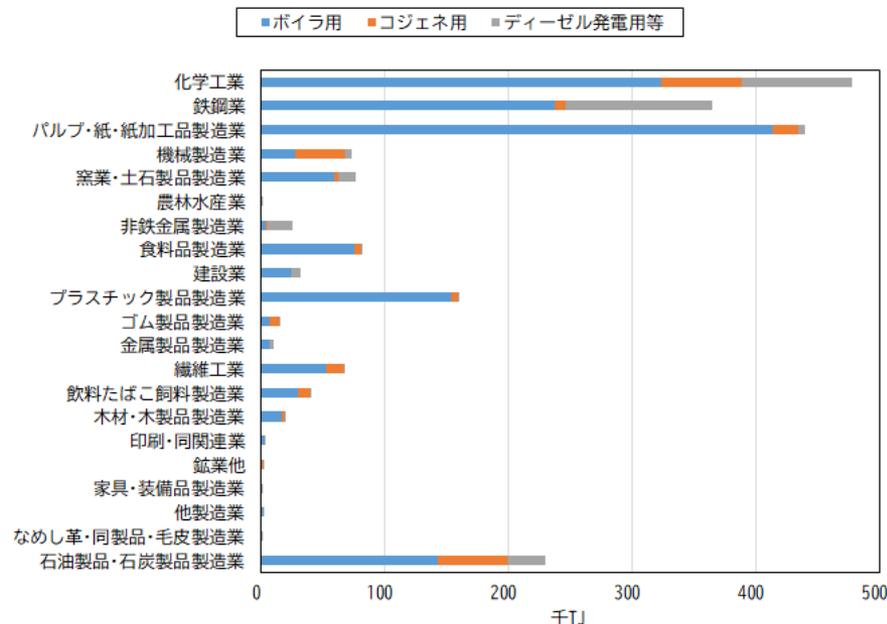
需要ポテンシャル評価②

■ 全国の業種別の燃料消費量の内訳を示す。パルプ・紙・紙加工品製造業、プラスチック製品製造業、ゴム製品製造業では、燃料消費量においてボイラーによる熱利用の割合が大きい。

業種別の燃料消費量（原料利用等による直接消費分を含む）（2019年度）



業種別の燃料消費量（原料利用等による直接消費分を除く）（2019年度）



（出典）資源エネルギー庁「令和元年度 エネルギー消費統計調査集計表（石油等消費動態統計対象事業所等のエネルギー消費量を含めた集計値）」

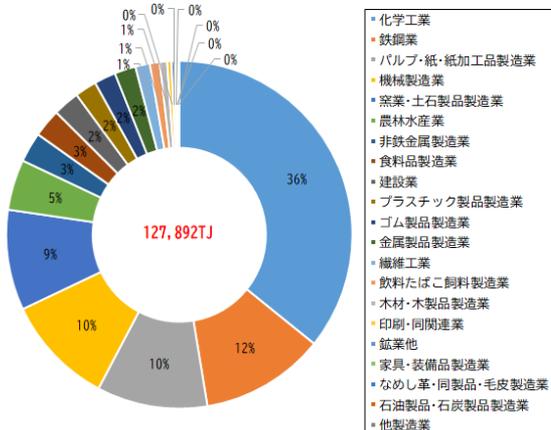
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

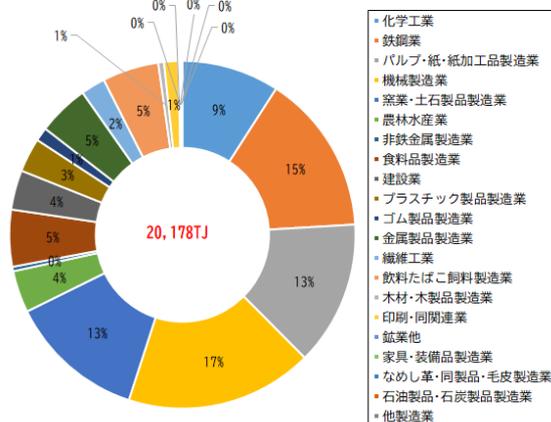
需要ポテンシャル評価②続き

- 県内地域ごとの業種別のエネルギー消費量を以下に示す。
- 福島県全体では、化学工業、鉄鋼業、パルプ・紙・紙加工品製造業の順にエネルギー消費量が多い。

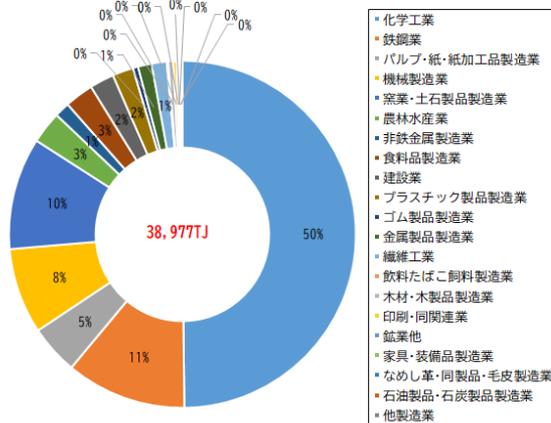
福島県の製造業等のエネルギー消費量（2018年度）



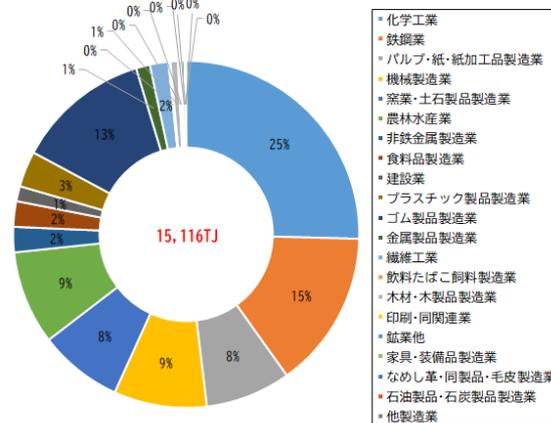
県北地域の製造業等のエネルギー消費量（2018年度）



県中地域の製造業等のエネルギー消費量（2018年度）



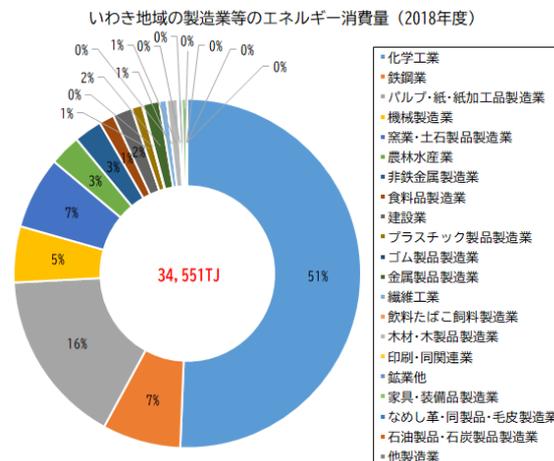
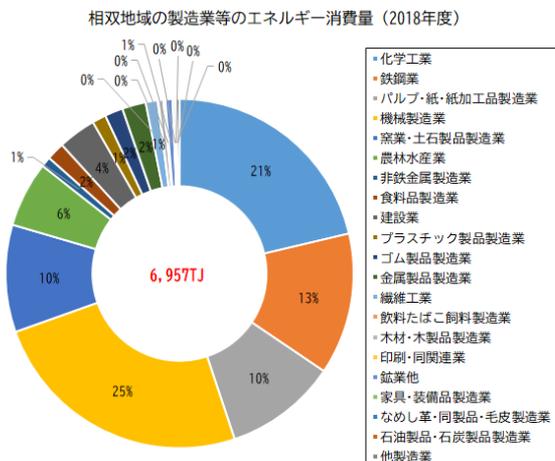
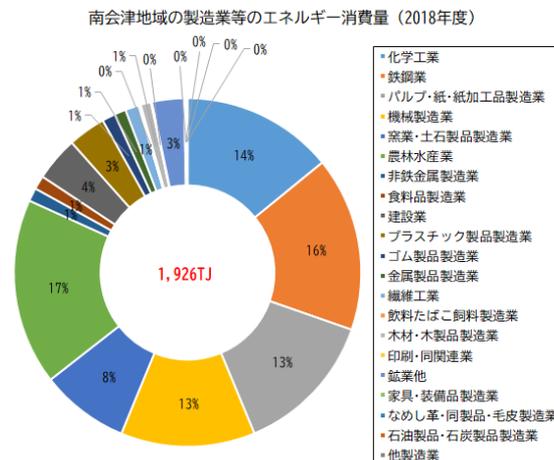
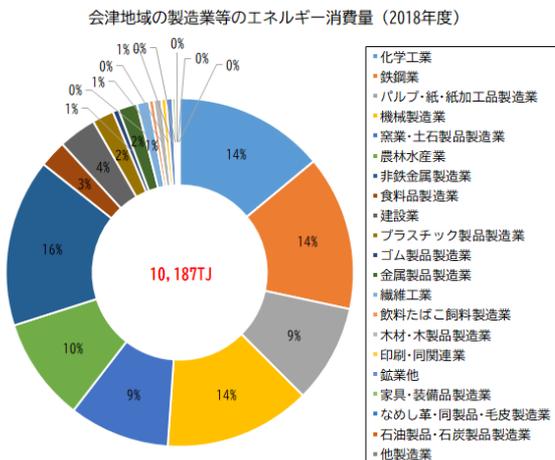
県南地域の製造業等のエネルギー消費量（2018年度）



(出典)株式会社E-konzal「地域E-CO2ライブラリー-Ver3.1 福島県内市町村のエネルギー起源二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量（2018年度）」(2022)

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算



(出典)株式会社E-konzal「地域E-CO2ライブラリー-Ver3.1 福島県内市町村のエネルギー起源二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量(2018年度)」(2022)

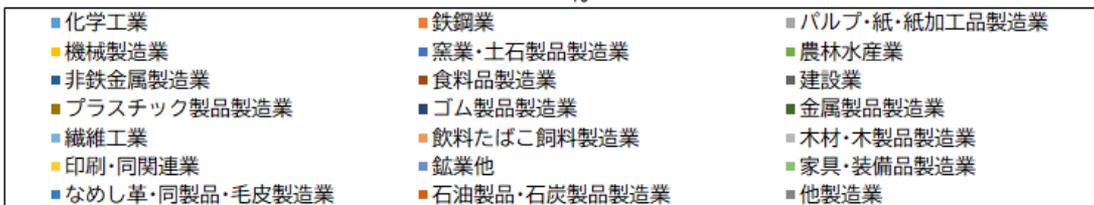
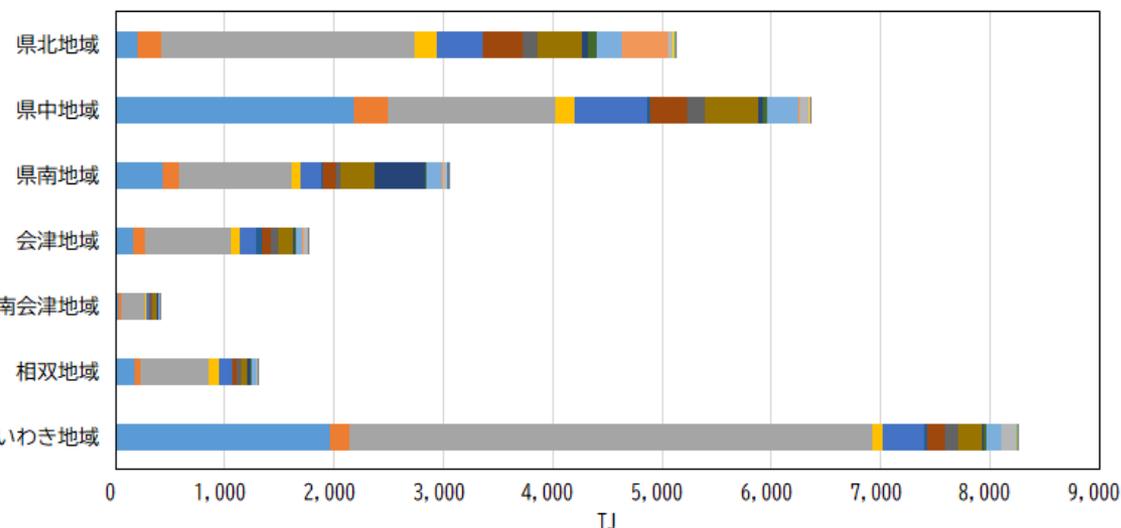
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価②続き

- 各地域の工場等におけるボイラーによる熱利用量の推算結果を以下に示す。
- 福島県全体では、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、窯業・土石製品製造業の順にボイラーによる熱利用量が多い。

福島県内各地域における業種ごとのボイラーによる熱利用量（推算）



福島県内工場等におけるボイラーによる熱利用量（推算）

業種	ボイラーによる熱利用量(TJ)
化学工業	5,148
鉄鋼業	1,036
パルプ・紙・紙加工品製造業	11,288
機械製造業	753
窯業・土石製品製造業	1,957
農林水産業	0
非鉄金属製造業	109
食料品製造業	1,113
建設業	573
プラスチック製品製造業	1,667
ゴム製品製造業	620
金属製品製造業	187
繊維工業	897
その他	919
計	26,268

（出典）公開情報から作成

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価②続き

- 各地域の工場等における水素ボイラーによる熱利用の水素需要ポテンシャルを推算する。
- ボイラーの耐用年数を12年と想定し、2030年までの間に3分の2がリプレース、そのうち半分の3分の1が水素ボイラーに代替されると想定する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
代替率	「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表第二 機械及び装置の耐用年数表」の「パルプ、紙又は紙加工品製造業用設備」 ・12年 →2030年までの8年間に3分の2がリプレースされると想定。そのうち半分の3分の1が水素ボイラーに代替されると想定 関西広域連合エネルギー検討会「将来における関西圏の水素サプライチェーン構想」 ・3分の1
水素ボイラーの諸元	三浦工業の水素ボイラ(ボイラー取扱技能講習終了者が取扱い可能な小規模ボイラー) ・水素使用量576.7Nm ³ /h、相当蒸気量2,500kg/h、蒸気発熱量2.675MJ/kg



福島県内工場等におけるボイラーによる熱利用の水素需要ポテンシャル(推算)

千Nm ³ /年	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	合計
水素需要ポテンシャル	147,155	183,019	87,437	50,722	11,768	37,564	237,401	755,067

(出典) 公開情報から作成

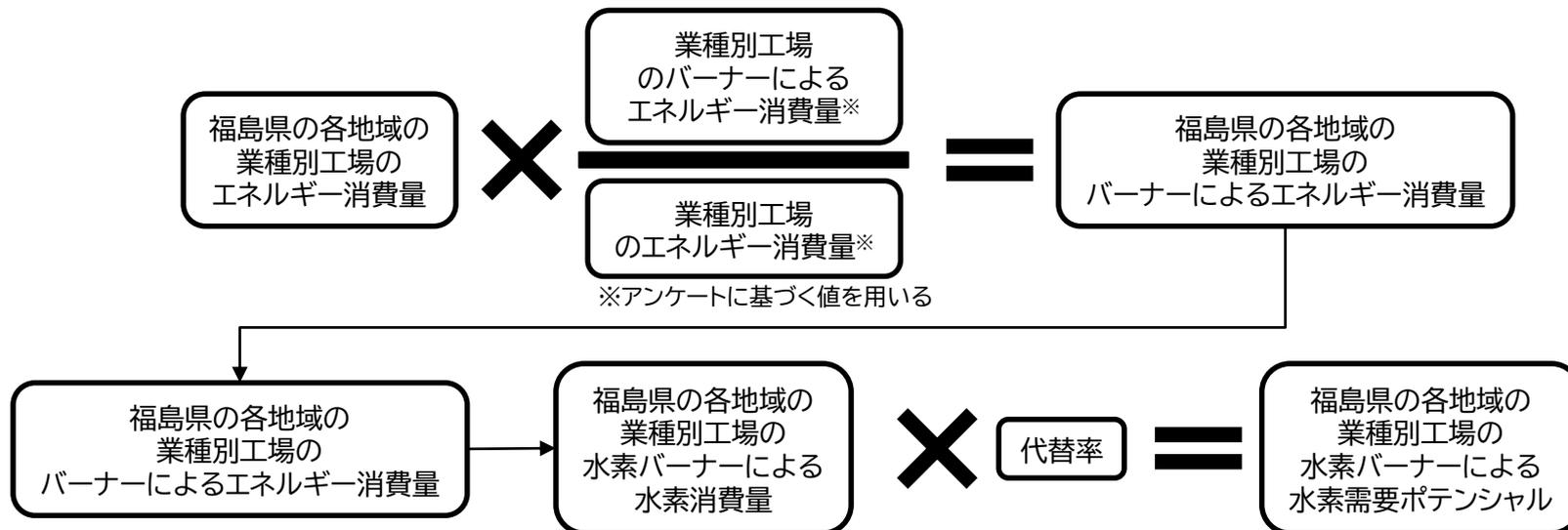
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価②続き

- 各地域の工場等における水素バーナーによる熱利用の水素需要ポテンシャルを推算する。
- 今回回答があった業種において、他の工場でもバーナーは使用されると仮定する。
- ただし、統計情報はバーナーによるエネルギー消費量は「燃料直接消費(その他)」に含まれるが、項目はなく、工場で製造する製品の種類は工場や企業ごとに異なる。このため、以下のような想定の下、バーナーのエネルギー消費量の割合を一律に設定した。
 - 統計情報の「燃料直接消費(その他)」の割合と、アンケート回答結果のバーナーによるエネルギー消費量の割合を比較する。
 - バーナーによるエネルギー消費量が過大とならないように、各値のうち、より小さい値を、工場全体のエネルギー消費量に対するバーナーによるエネルギー消費量の割合と設定する。
 - エネルギー消費量の割合を設定するのは、今回アンケート回答があった業種かつ製造業に限ることとする。具体的には、機械製造業、金属製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業の3業種とする。

福島県内工場のバーナーによる熱利用による水素需要ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

アンケート回答結果

業種	エネルギー消費量 (TJ/年)	回答	バーナーによる熱利 用(推算)(TJ/年)	割合 (%)
機械製造業	95.8	A炉 約40t/月	24.4	25.4
金属製品製造業	45.1	A工程 LPG 364.7t/年 B工程 LPG 400t/年 C工程 LPG 112.7t/年	44.6	98.9
パルプ・紙・紙 加工品製造業	71.1	A処理装置 221KL(2020年度) 45850kJ/kg(2021年4月度の総発熱量)	8.64	12.1
廃棄物処理業	164.2	B炉 平均 250 kL/月	114.6	-

機械製造業、金属製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業のエネルギー消費量と燃料直接消費(その他用)

業種	エネルギー消費量(TJ/年)	燃料直接消費(その他)(TJ/年)	割合(%)
機械製造業	179,881	107,184	59.6
金属製品製造業	43,491	33,844	77.8
パルプ・紙・紙加工品製造業	461,978	22,746	4.9

(出典)資源エネルギー庁「令和元年度 エネルギー消費統計調査集計表(石油等消費動態統計対象事業所等のエネルギー消費量を含めた集計値)」

機械製造業、金属製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業のエネルギー消費量に対する
バーナーのエネルギー消費量の割合の設定

業種	エネルギー消費量に対する バーナーのエネルギー消費量の割合(%)
機械製造業	25.4%
金属製品製造業	77.8%
パルプ・紙・紙加工品製造業	4.9%

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価②続き

- 各地域の工場等における水素バーナーによる熱利用の水素需要ポテンシャル推算する。
- バーナーの耐用年数を12年と想定し、2030年までの間に3分の2がリプレース、そのうち半分の3分の1が水素バーナー(水素専燃)に代替されると想定する。

算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
代替率	「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表第二 機械及び装置の耐用年数表」のうち設備の耐用年数が最も長い「パルプ、紙又は紙加工品製造業用設備」を代表して仮定・12年 →2030年までの8年間に3分の2がリプレースされると想定。そのうち半分の3分の1が水素バーナーに代替されると想定
水素バーナーの諸元	・水素高位発熱量 12.8MJ/Nm ³ 水素専燃

福島県内工場等におけるバーナーによる熱利用の水素需要ポテンシャル(推算)

千Nm ³ /年	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	合計
水素バーナー	46,508	32,957	14,201	16,995	2,337	15,448	29,586	158,032

※廃棄物処理業者のバーナーの水素需要ポテンシャルは別途会津地域に加算した。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価③

■ 工場、事業所の自家発電

- ① 東北経済産業局の自家発電量(原動力別)、福島県の自家発電量は、公開の統計情報を用いる。
- ② 東北経済産業局の自家発電量から、原動力別の自家発電量の割合を算定する。
- ③ ガスタービン、内燃力による自家発電をそれぞれ水素タービン、水素エンジンで代替すると想定する。発電効率、混焼割合は、公開の情報を用いる。
- ④ ガスタービン、内燃力(エンジン)の耐用年数を12年と想定し、2030年までの間に3分の2がリプレース、そのうち半分の3分の1が水素タービン、水素エンジンに代替されると想定する。

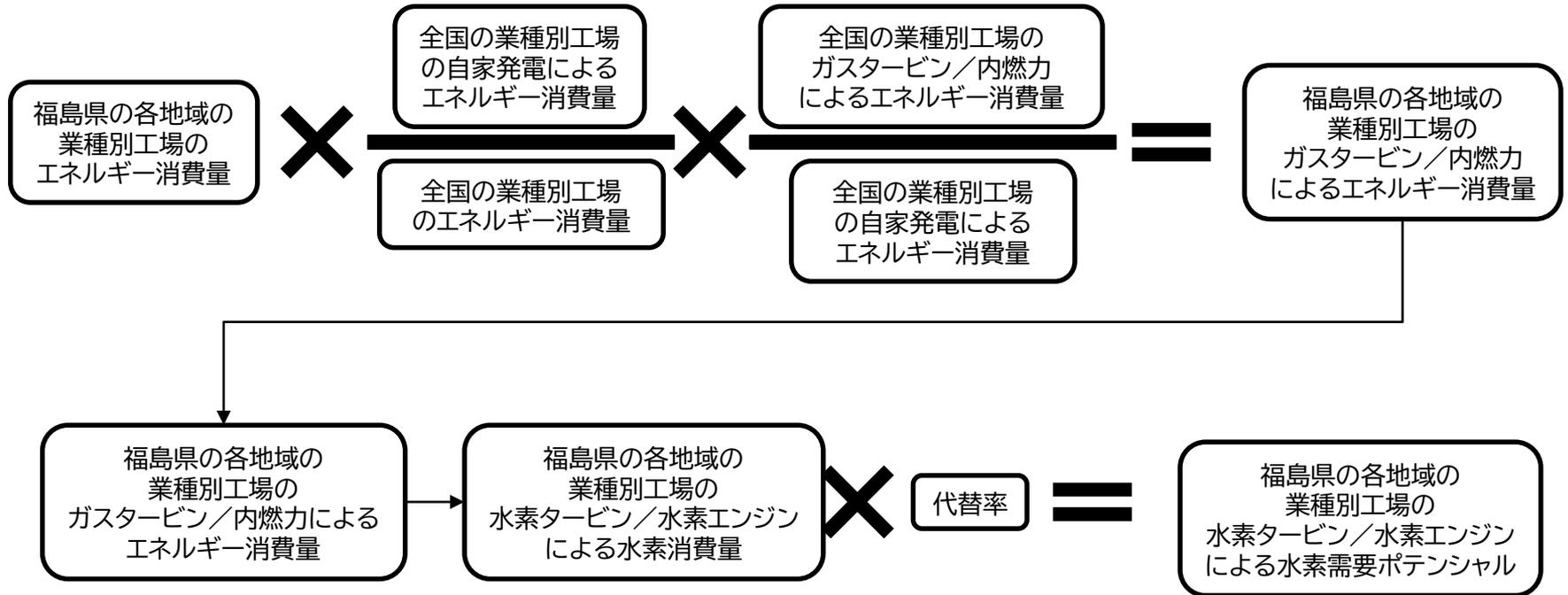
算出対象及び算出方法

算出対象	算出方法等
東北経済産業局の自家発電量、 自家消費電力量	資源エネルギー庁「電力調査統計 5-(2) 自家用発電実績(2020年度(令和2年度))」 ・自家発電量:6,648,883千kWh/年 ・ガスタービン:自家発電量533,350千kWh/年 ・内燃力:自家発電量620,699千kWh/年
代替率	「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表第二 機械及び装置の耐用年数表」のうち設備の耐用年数が最も長い「パルプ、紙又は紙加工品製造業用設備」を代表して仮定 ・12年 →2030年までの8年間に3分の2がリプレースされると想定。そのうち半分の3分の1が水素タービン、水素エンジンに代替されると想定
水素タービンの諸元	川崎重工業 水素リッチガス焚ガスタービン ・発電効率37.2%、混焼割合(体積比)50% ・水素高位発熱量142MJ/kg、重量あたり体積11.127Nm ³ /kg ・LNG高位発熱量54.7MJ/kg、重量あたり体積1.36Nm ³ /kg
水素エンジンの諸元	FREAの水素技術開発について ・発電効率40%、混焼割合(供給熱)50%

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

福島県内工場の自家発電(水素タービン、水素エンジン)による水素需要ポテンシャル算出フロー

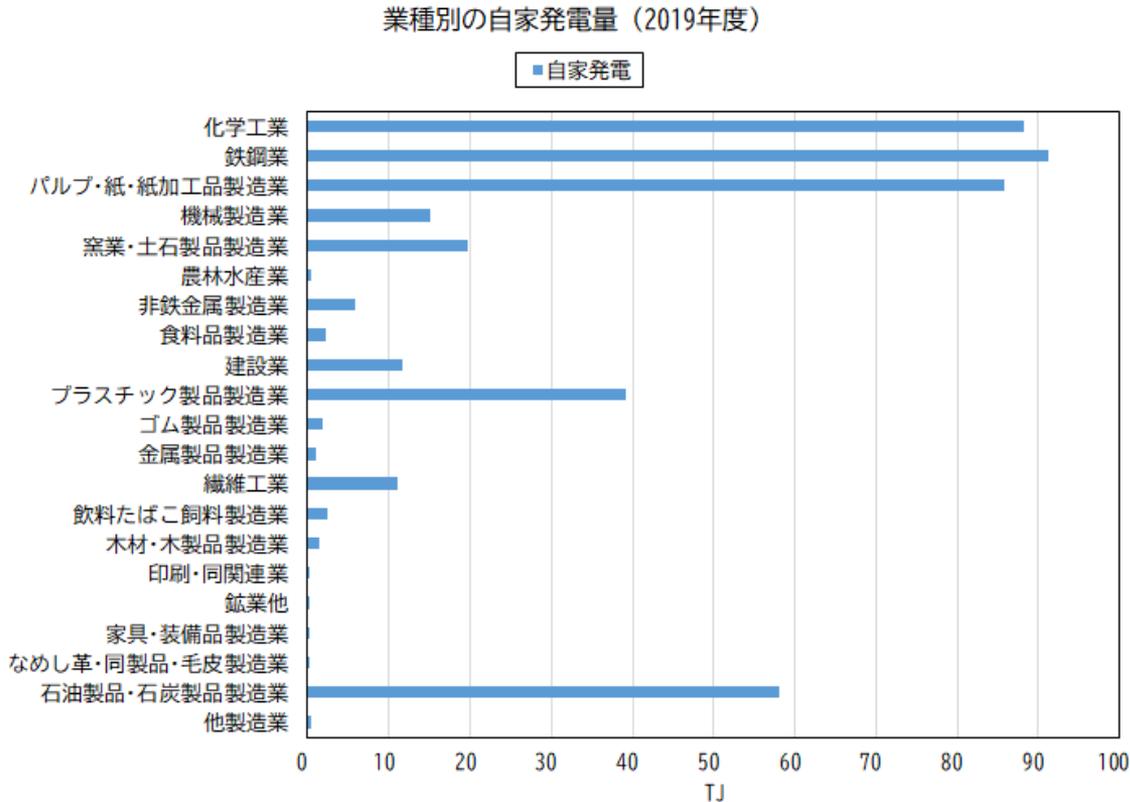


2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価③続き

- 全国の業種別の自家発電量を示す。
- 鉄鋼業、化学工業、パルプ・紙・紙加工品製造業の順に自家発電量が多い。



(出典)資源エネルギー庁「令和元年度 エネルギー消費統計調査集計表(石油等消費動態統計対象事業所等のエネルギー消費量を含めた集計値)」

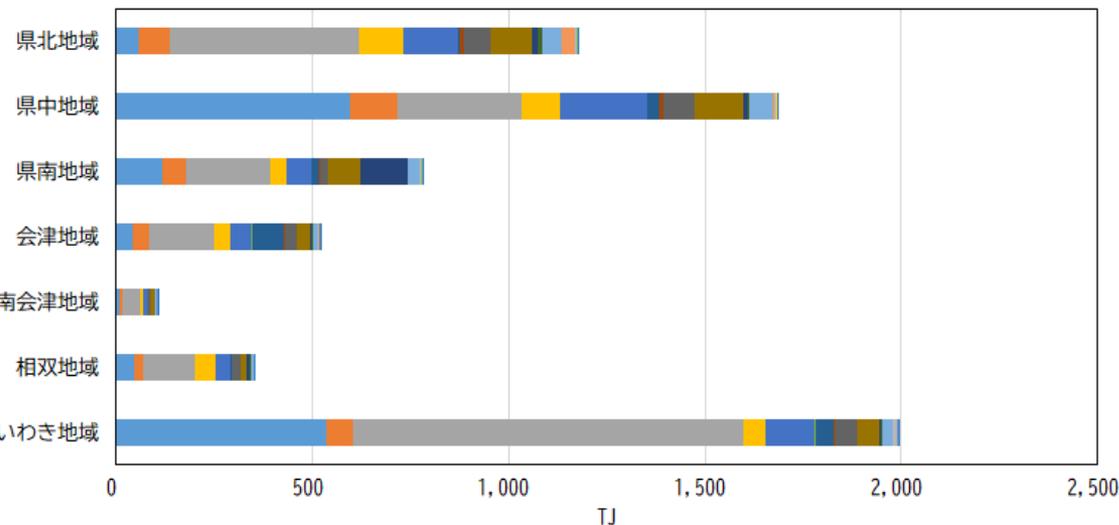
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価③続き

- 各地域の工場等における自家発電量の推算結果を以下に示す。
- 福島県全体では、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、窯業・土石製品製造業の順に自家発電量が多い。

福島県内各地域における業種ごとの自家発電量（推算）



福島県内工場等における自家発電量（推算）

業種	自家発電量 (TJ)
化学工業	1,406
鉄鋼業	399
パルプ・紙・紙加工品製造業	2,342
機械製造業	413
窯業・土石製品製造業	648
農林水産業	16
非鉄金属製造業	182
食料品製造業	34
建設業	280
プラスチック製品製造業	426
ゴム製品製造業	162
金属製品製造業	29
繊維工業	188
その他	90
計	6,614

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価③続き

- 各地域の工場等の自家発電量により、県全体の値を按分することにより、各地域の自家発電による水素需要ポテンシャルを算出する。

福島県内工場等における自家発電による水素需要ポテンシャル(推算)

千Nm ³ /年	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	合計
水素タービン	1,593	2,287	1,055	704	142	479	2,704	8,965
水素エンジン	3,578	5,139	2,371	1,581	320	1,076	6,075	20,141

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

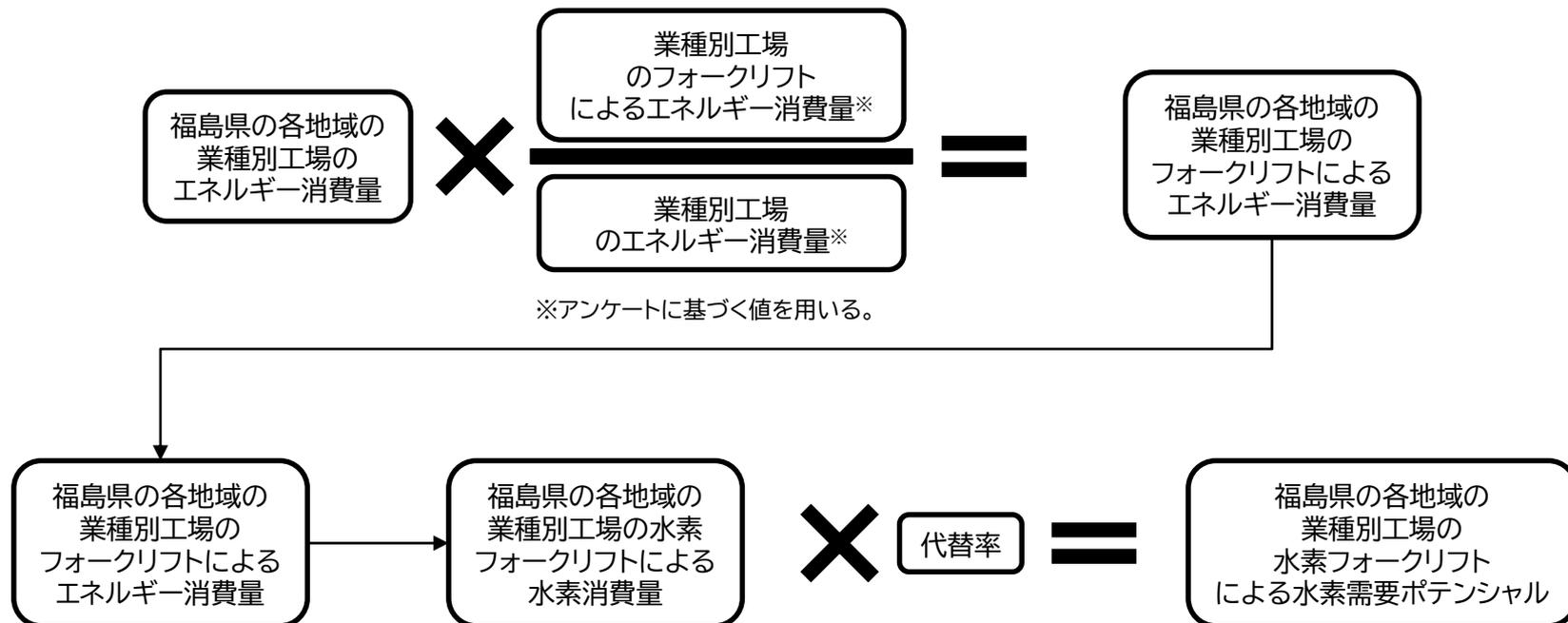
② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価④

■ 工場、事業所の車両系機械利用

- ① アンケート回答から、工場のエネルギー消費量のうちフォークリフト利用によるエネルギー消費量の占める割合を算出する。
- ② 地域・県全体の工場のエネルギー消費量から比例計算し、フォークリフト利用による水素需要ポテンシャルを推算する。

福島県内工場のフォークリフトによる水素需要ポテンシャル算出フロー



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

アンケート回答結果

業種	回答	仮定等	フォークリフトエネルギー消費量 (GJ/年)(推算)
機械製造業	10～14時間(充電時間を除く) 14台(生管12台、利材2台)	平均燃費0.529時間/L-軽油(周南市の実証事業における比較値)、月の使用時間と仮定	143.7
ゴム製品製造業	13000 L/月 61台(フォーク以外の動力車含む)	消費燃料をすべてフォークリフトと仮定	5881.2
機械製造業	(ガソリン)40 l/月(一台当たり) (軽油)41 l/月(一台当たり) 5台	—	35.2
金属製品製造業	1台 8時間/日 7台	平均燃費0.529時間/L-軽油(周南市の実証事業における比較値)	388.7
窯業・土石製品製造業	5,000L/月 フォークリフト4台、重機5台	—	2262.0
パルプ・紙・紙加工品製造業	フォークリフト、1台・燃料ガソリン フォークリフト、2台・バッテリー式 トータル60L / 月 3台	—	24.9
パルプ・紙・紙加工品製造業	2020年度 (1)LPG 4099kg/年 (2)ガソリン 164L/年 (3)電気 個別の集計はできていない。 7台	—	213.9
倉庫業	・月/10 L ・1台	—	4.5
非鉄金属製造業	各2時間/日 2台	平均燃費0.529時間/L-軽油(周南市の実証事業における比較値)	99.2
化学工業	3時間/日程度(10/15台は電動) 15台	平均燃費0.529時間/L-軽油(周南市の実証事業における比較値)	620.0
プラスチック製品製造業	軽油 26.6GJ/年 エネルギー換算値 15	—	27.3
非製造業	平均 0.7 kL/月 30台	—	316.7
化学工業	燃料使用量:310L/月 利用時間:6h/日 エンジン車:3、バッテリー車:10	—	140.2

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価④続き

- フォークリフトのエネルギー消費量とアンケート回答があった工場等の年間のエネルギー消費量を按分し、業種ごとに係数を算出する。
- 算出した計数を福島県全体の同業種に対して一律に適用することにより、県の地域ごとのフォークリフトのエネルギー消費量を推算。
- 水素高位発熱量12.8MJ/Nm³、代替率3/4を仮定し、水素需要ポテンシャルを推算する。
- 代替率について、フォークリフトの耐用年数4年※から、2030年までに2回リプレース、リプレースごとに半分がFCフォークリフトに代替(2030年までに全体の3/4が代替)されると想定する。

※「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表第一 機械及び装置以外の有形減価償却資産の耐用年数表」。

アンケート回答結果に基づく係数の算出

業種	エネルギー消費量(TJ/年) (アンケート回答結果に基づく)	フォークリフト エネルギー消費量 (GJ/年)(推算)	係数
機械製造業	605.3	178.8	0.30
ゴム製品製造業	1427.4	5881.2	4.12
金属製品製造業	45.1	388.7	8.62
窯業・土石製品製造業	393.5	2327.6	5.92
パルプ・紙・紙加工品製造業	82.1	238.8	2.91
非製造業	474.4	321.2	0.68
非鉄金属製造業	238.8	99.2	0.42
化学工業	194.9	760.3	3.90
プラスチック製品製造業	289.0	27.3	0.09

福島県内工場等におけるFCフォークリフトによる水素需要ポテンシャル(推算)

千Nm ³ /年	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき 地域	合計
FCフォークリフト	2,400	6,550	2,089	985	183	844	6,100	19,150

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価⑤

■ 既にFCが導入されている施設

- 現在、FH2Rから、5カ所の公共施設(道の駅なみえ、あづま総合運動公園、Jヴィレッジ、水素ステーション(仙台空港、いわき市))に水素供給を行っている。
- 水素ステーションにおける水素需要は、①のモビリティにおいて評価し、水素ステーション以外の3カ所の公共施設に設置されたFCを対象に、現在の水素消費量を推算する。
- その上で、FCがフル稼働した場合の水素需要ポテンシャルを推算する。
 - 稼働率は1年に1回3日の定期点検を行うことを想定し、99%とした。

算出対象及び算出方法

FCが導入されている施設	水素消費量
道の駅なみえ(浪江町)	<ul style="list-style-type: none">・容量3.5kW、定格運転時で2.1Nm³/hの水素を消費。・水素消費量(実績)は、300Nm³/月=3,600Nm³/年、稼働率(推算)は、20%。・水素需要ポテンシャルは、99%の稼働率を想定し、18千Nm³/年。
あづま総合運動公園(福島市)	<ul style="list-style-type: none">・容量100kW、定格運転時で66Nm³/hの水素を消費。・貯蔵量2,642Nm³で月に2回搬入(実績)。・水素消費量(推算)は、5,284Nm³/月=63,408Nm³/年、稼働率(推算)は、11%。・水素需要ポテンシャルは、99%の稼働率を想定し、573千Nm³/年。
Jヴィレッジ	<ul style="list-style-type: none">・容量700W、定格運転時で0.4Nm³/hの水素を消費。・稼働率をあづま総合運動公園と同程度と仮定した場合に、水素消費量(推算)は、32Nm³/月=384Nm³/年。・水素需要ポテンシャルは、99%の稼働率を想定し、3千Nm³/年。



(出典)財団法人新エネルギー財団 事業用燃料電池発電システム導入検討の手引き、公開情報、関係者ヒアリングに基づき作成

既にFCが導入されている公共施設の水素需要ポテンシャル(推算)
595千Nm³/年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価のまとめ(2030年)

- 各需要ポテンシャルのシナリオごとの評価結果を、ロケーションと需要ポテンシャルの一覧を示す。
- シナリオが複数設定されている評価対象は、ベースシナリオとした。

福島県内の水素需要ポテンシャルの整理(ベースシナリオ、2030年)

	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき地域	計
FCV、バス、トラック	11,400 千Nm ³ /年	14,172 千Nm ³ /年	4,021 千Nm ³ /年	5,688 千Nm ³ /年	666 千Nm ³ /年	3,669 千Nm ³ /年	9,013 千Nm ³ /年	48,629 千Nm ³ /年
工場・事業所の 熱利用(ボイラー)	147,155 千Nm ³ /年	183,019 千Nm ³ /年	87,473 千Nm ³ /年	50,722 千Nm ³ /年	11,768 千Nm ³ /年	37,564 千Nm ³ /年	237,401 千Nm ³ /年	755,067 千Nm ³ /年
工場・事業所の 熱利用(パーナ)	46,508 千Nm ³ /年	32,957 千Nm ³ /年	14,201 千Nm ³ /年	16,995 千Nm ³ /年	2,337 千Nm ³ /年	15,448 千Nm ³ /年	29,586 千Nm ³ /年	158,032 千Nm ³ /年
工場・事業所の 自家発電 (水素タービン)	1,593 千Nm ³ /年	2,287 千Nm ³ /年	1,055 千Nm ³ /年	704 千Nm ³ /年	142 千Nm ³ /年	479 千Nm ³ /年	2,704 千Nm ³ /年	8,965 千Nm ³ /年
工場・事業所の 自家発電 (水素エンジン)	3,578 千Nm ³ /年	5,139 千Nm ³ /年	2,371 千Nm ³ /年	1,581 千Nm ³ /年	320 千Nm ³ /年	1,076 千Nm ³ /年	6,075 千Nm ³ /年	20,141 千Nm ³ /年
工場・事業所の 車両系機械利用	2,400 千Nm ³ /年	6,550 千Nm ³ /年	2,089 千Nm ³ /年	985 千Nm ³ /年	183 千Nm ³ /年	844 千Nm ³ /年	6,100 千Nm ³ /年	19,150 千Nm ³ /年
道の駅、総合運動公園等	573 千Nm ³ /年	-	-	-	-	22 千Nm ³ /年	-	595 千Nm ³ /年
計	213,208 千Nm ³ /年	244,125 千Nm ³ /年	111,174 千Nm ³ /年	76,675 千Nm ³ /年	15,415 千Nm ³ /年	59,102 千Nm ³ /年	290,878 千Nm ³ /年	1,010,579 千Nm ³ /年

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価のまとめ(2025年)

- 各需要ポテンシャルのシナリオごとの評価結果を、ロケーションと需要ポテンシャルの一覧を示す。
- シナリオが複数設定されている評価対象は、ベースシナリオとした。2025年の個別の設定がないものは、2030年の50%とした。

福島県内の水素需要ポテンシャルの整理(ベースシナリオ、2025年)

	県北 地域	県中 地域	県南 地域	会津 地域	南会津 地域	相双 地域	いわき地域	計
FCV、バス、トラック	5,711 千Nm ³ /年	7,100 千Nm ³ /年	2,015 千Nm ³ /年	2,850 千Nm ³ /年	333 千Nm ³ /年	1,838 千Nm ³ /年	4,515 千Nm ³ /年	24,361 千Nm ³ /年
工場・事業所の 熱利用(ボイラー)	73,578 千Nm ³ /年	91,510 千Nm ³ /年	43,718 千Nm ³ /年	25,361 千Nm ³ /年	5,884 千Nm ³ /年	18,782 千Nm ³ /年	118,700 千Nm ³ /年	377,533 千Nm ³ /年
工場・事業所の 熱利用(バーナー)	23,254 千Nm ³ /年	16,479 千Nm ³ /年	7,101 千Nm ³ /年	8,498 千Nm ³ /年	1,168 千Nm ³ /年	7,724 千Nm ³ /年	14,793 千Nm ³ /年	79,016 千Nm ³ /年
工場・事業所の 自家発電 (水素タービン)	797 千Nm ³ /年	1,144 千Nm ³ /年	528 千Nm ³ /年	352 千Nm ³ /年	71 千Nm ³ /年	240 千Nm ³ /年	1,352 千Nm ³ /年	4,483 千Nm ³ /年
工場・事業所の 自家発電 (水素エンジン)	1,789 千Nm ³ /年	2,570 千Nm ³ /年	1,186 千Nm ³ /年	791 千Nm ³ /年	160 千Nm ³ /年	538 千Nm ³ /年	3,038 千Nm ³ /年	10,071 千Nm ³ /年
工場・事業所の 車両系機械利用	1,200 千Nm ³ /年	3,275 千Nm ³ /年	1,045 千Nm ³ /年	492 千Nm ³ /年	91 千Nm ³ /年	422 千Nm ³ /年	3,050 千Nm ³ /年	9,575 千Nm ³ /年
道の駅、総合運動公 園等	573 千Nm ³ /年	—	—	—	—	22 千Nm ³ /年	—	595 千Nm ³ /年
計	106,902 千Nm ³ /年	122,076 千Nm ³ /年	55,591 千Nm ³ /年	38,343 千Nm ³ /年	7,708 千Nm ³ /年	29,565 千Nm ³ /年	145,448 千Nm ³ /年	505,634 千Nm ³ /年

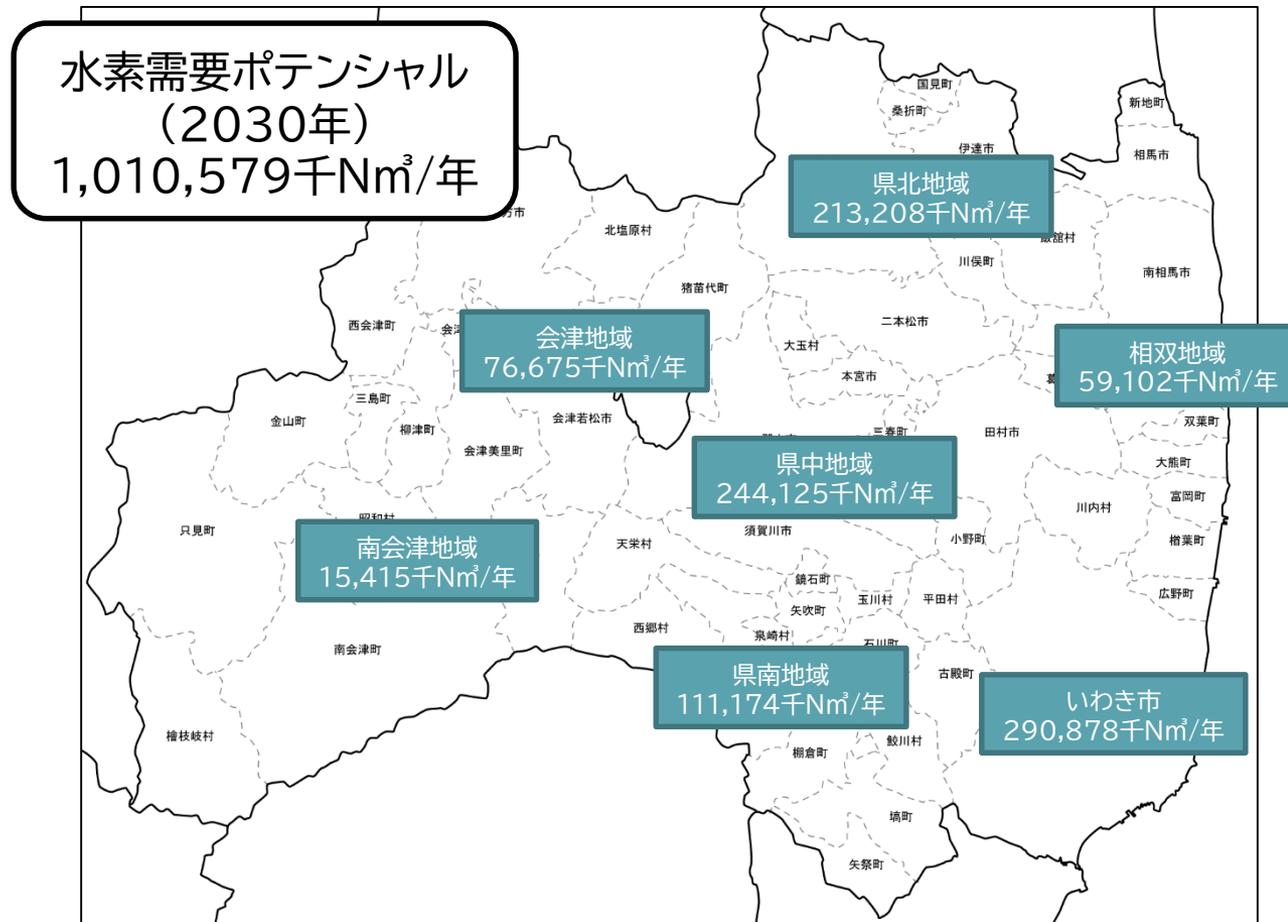
2. 水素社会のモデル構築に関する調査

② 水素ポテンシャル評価方法と試算

需要ポテンシャル評価のまとめ(2030年)

- 各需要ポテンシャルの評価結果(2030年)に基づく福島県内におけるロケーションと需要ポテンシャルを示す。

福島県内の水素供給ポテンシャル(ベースシナリオ、2030年)



2. 水素社会のモデル構築に関する調査

③ アンケート・ヒアリング調査(個別、県内産業団地・工業団地)

アンケート調査(県内産業団地・工業団地)

- 県内工場等の現在の用途別のエネルギー利用状況、水素利用の関心や利用の条件等について把握するべく、アンケート調査を行った。
- 福島県次世代産業課様から提供いただいたリストに基づき、福島県にご協力をいただき、以下の観点で、アンケート対象候補の事業者を選定した。
 - 水素を自家製造及び消費していると考えられる工場(半導体、電子部品、ガラス、化学品、金属等)
 - 水素エネルギーの導入の取組を推進している、あるいは関心があると考えられる企業

ヒアリング調査(県内産業団地・工業団地)

- 福島県次世代産業課様から提供いただいたリストに基づき、以下の観点で、ヒアリング対象候補の事業者を選定した。
 - 水素を自家製造及び消費している工場(半導体、電子部品、ガラス、化学品、金属等)
 - 水素エネルギーの導入の取組を推進している企業
- 需要側(一部供給側、機器製造側)、供給側(副生水素)の立場として、水素利活用の現状や将来計画、シナリオ策定のための材料(水素原料の調達・製造・利用、熱電エネルギーの需要、水素関連技術開発の状況)の提供を依頼した。
- FH2R関連事業者に対しては、実証の現状やコストについてヒアリングを行った。
- また独自に、弊社が選定した地方自治体や事業者等に個別にヒアリングを実施した。

アンケート調査(県内第1種エネルギー管理指定工場)

- 資源エネルギー庁様から提供いただいたリストに基づき、アンケート調査を実施。
- 43事業所・工場等へアンケートを送付、28事業所・工場等は辞退あるいはコンタクト不能、残り約40は保留となっている。
- 22事業所・工場等から回答を受領した(アンケート配布先に対する回答率51%)。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

③ アンケート・ヒアリング調査(個別、県内産業団地・工業団地)

アンケート調査結果(環境目標と取組)

- 産業団地・工業団地はカーボンニュートラルに関する取組が多く、エネルギー消費量削減や消費原単位の改善をあげているところが多い。

アンケート調査結果(水素利活用の課題)

- 各工場等から寄せられた水素利活用の課題について示す。
- カーボンニュートラル達成に向けて水素の利活用が必要と認識している工場等があった。
- 課題として、水素価格や機器導入コスト、水素供給の安定性(供給インフラの整備)を挙げる意見が多かった。
- ほか、燃料の置換を行う場合の「高圧ガス保安法」対応(国家資格者の常駐や土日夜間の資格者配置、法定自主点検)、水素利用に関する支援制度や認証制度に関する意見もあった。

業種	水素利活用の課題
機械製造業	<ul style="list-style-type: none">・今使用している燃料と比較しても供給停止リスクが非常に高い。従来燃料と同様に供給される体制が整うこと。・他燃料と同程度の価格で調達できること。災害時の供給体制に課題があると感じる。・現状では水素を活用した利用設備などが少ない。・設備の維持管理が容易にできること。水素保管や運搬に関わる技術レベルが高く、掛かる費用が大きい。・今後、水素保管や運搬に関する革新的な技術開発や大幅なコスト低減が望まれる。・水素によるガス置換を検討する際、「高圧ガス保安法」対応が大きな課題で、1MPaを超える貯圧では、国家資格者の常駐や、土日夜間の資格者配置が必要になる。また、高圧貯蔵時のコスト(法定自主点検を年1回、有資格者人件費負担)が大きくなる。都市部での利活用を考えると保安距離も問題となる。
化学工業	<ul style="list-style-type: none">・安全性の担保、購入単価、補助金・助成金。・既存の燃料や電力と比して、GJやKWh当たりのコストが高額という認識がある。・水素は爆発範囲が非常に広いため、安全性の確保という点も普及への課題と考える。
ゴム製品製造業	<p>コストと供給が最大の課題。水素価格自体の低廉化策だけではなく、オンサイト製造への助成金を拡充するなどして、供給拠点を増やしたりトレーラーでの輸送を減らしたりする方策を望む。</p> <p>他には水素を使うことによる社会評価の向上を図るため、エコマークのような認証制度を希望する。</p>
パルプ・紙・紙加工品製造業	<ul style="list-style-type: none">・グリーン水素の単価、タンクの設置場所など課題も多い。
窯業・土石製品製造業	<ul style="list-style-type: none">・工場で使用する熱源としては活用できない。・商用車に利用となると、車両代金が高い、ステーションが近くにない・フォークリフト系となると、補充及び構内保管ができない。
金属製品製造業	<ul style="list-style-type: none">・現時点ではグリーン水素の調達手段やコストの確認までは着手できていない。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

③ アンケート・ヒアリング調査(個別、県内産業団地・工業団地)

ヒアリング調査結果(水素利活用の課題)

- 個別に行ったヒアリング調査において寄せられた水素利活用の課題について示す。
- アンケートと同様の課題(コスト、法規制の対応)のほか、機器の信頼性、オンサイトにおけるグリーン水素製造の認定要件の緩和に関する意見があった。

業種	水素利活用の課題
機械製造業	・導入コスト、維持管理コストがまだまだ高額であること、水素の利用先が限定的であることが課題である。 ・高圧ガス保安規制の緩和も必要と感じる。燃料電池車も乗用車は商用化しているが、長距離バス、トラックは基準が異なると聞いている。
ガス事業者	・系統電力で水電解を行い、使った電力分を太陽光で発電し逆潮流するという「みなし発電」でグリーン水素製造の認定を受けると利活用が進むのではないか。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

水素コストの整理

- アンケート・ヒアリング調査において、特にコスト面の課題があげられた。
- これを踏まえ、本調査では以下のコストについて整理を行う。
 - パリティコスト：
燃料や系統電力等の比較対象となるエネルギー価格、エネルギー発熱量、水素高位発熱量（12.8MJ/Nm³）を前提に試算した。
[パリティコスト(円/Nm³)]
=[エネルギー価格(円/kgまたはNm³)]/[エネルギー発熱量(MJ/kgまたはNm³)]×12.8(MJ/Nm³)
 - 製造コスト：
公刊情報から可能な限り水素製造コストあるいは施設・設備・機器導入の情報を収集した。

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

パリティコスト

- 本調査では、熱利用(ボイラー、バーナー)、自家発電(タービン、内燃力)、フォークリフトについての検討を行った。
- これを踏まえ、LPG(ボイラー、バーナー)、LNG(タービン)、軽油(内燃力、フォークリフト)を対象に比較を行い、パリティコストの整理を行った。

パリティコストの試算:LPG

	ブタン	プロパン	LPG	プロパン比
発熱量(MJ/kg)	50.32	49.43	50.08	0.73
価格(円/t)	117,000	62,400	102,276	—



パリティコスト(比較対象:LPG):

$$26.1(\text{円}/\text{Nm}^3) = 102,276(\text{円}/\text{t}) \times 1000 / 50.08(\text{MJ}/\text{kg}) \times 12.8(\text{MJ}/\text{Nm}^3)$$

(出典)資源エネルギー庁、日本LPガス協会

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

パリティコストの試算:LNG

	LNG
発熱量(MJ/MMBtu)	1,054
価格(円/MMBtu)	1,060



パリティコスト(比較対象: LNG):

$$12.9(\text{円}/\text{Nm}^3) = 1,060(\text{円}/\text{MMBtu}) / 1,054(\text{MJ}/\text{MMBtu}) \times 12.8(\text{MJ}/\text{Nm}^3)$$

(出典) 一般社団法人エネルギー情報センター(2018年2月)

パリティコストの試算:軽油

	軽油
発熱量(MJ/L)	37.7
価格(円/L)	108.4



パリティコスト(比較対象:軽油):

$$36.8(\text{円}/\text{Nm}^3) = 108.4(\text{円}/\text{L}) / 37.7(\text{MJ}/\text{L}) \times 12.8(\text{MJ}/\text{Nm}^3)$$

(出典)周南市(2018年)

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

製造コスト

- 本調査では、供給あるいは需要の調査を行った中から、公刊情報から入手が可能な範囲で、アンモニア分解、バイオガス改質、及び廃プラスチックによる水素製造コスト、水素ボイラー、湿式メタンシステム(生ごみ)、下水汚泥エネルギー化施設(下水汚泥)、及び水素フォークリフトの導入・ランニングコストについて、情報を収集した。

製造コスト

項目	価格	出典
アンモニア分解	122.86ポンド/MWh×160円/ポンド ／3,600MJ/MWh×22.5MJ/Nm ³ -NH ₃ =82円/Nm ³ -H ₂	・SIEMENSら「Ammonia to Green Hydrogen Project Feasibility Study」 ・アンモニア高位発熱量：22.5MJ/Nm ³
バイオガス改質	下水道施設の規模により、73～606円/Nm ³ 。 バイオガスを大量に処理する大規模な施設ほど、 製造コスト面では有利になる。	・NEDO「大阪市における都市型水素利活用モデルの検討2019年度～2020年度成果報告書」
廃プラスチック	40Mt/日の廃プラスチックから、3Mt/日の水素を製造し、コスト目標を\$3.50/kgに設定し、2022年に最初の製造を見込んでいる。 3.50ドル/kg×121円/ドル／11.127Nm ³ /kg =38円/Nm ³	・S&P Global「Linde, Hydrogen Utopia to deploy plastic waste-to-hydrogen technology in Poland」

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

施設・設備・機器導入等コスト

項目	価格	出典
水素ボイラー	導入コスト:81,000千円 ランニングコスト(メンテナンス):800千円/年	・令和3年度「先進的省エネルギー投資促進支援事業費補助金」先進事業」における『先進設備・システム』応募申請書 ・三浦工業株式会社 ・環境省「メタン化導入見通し・効果の評価」
湿式メタンシステム(生ごみ)	・施設規模:20t/日 導入コスト:534,041千円 ランニングコスト:40,909千円/年 ・施設規模:50t/日 導入コスト:654,325千円 ランニングコスト:55,530千円/年	
下水汚泥エネルギー化施設 (下水汚泥)	導入コスト:262,005千円 ランニングコスト:5,405千円/年	・国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインー平成 29 年度版ー」
水素フォークリフト	導入コスト:13,400千円	・株式会社豊田自動織機

2. 水素社会のモデル構築に関する調査

④ 水素コスト

水素コストのまとめ

- 水素コストとして、パリティコストの分析、製造コスト、施設・設備・機器導入等コストの情報収集を実施した。
- パリティコスト
 - パリティコストの高い順に、軽油、LPG、LNGとなった。
 - 大規模な供給網を必要とせず、かつパリティコストの高い需要家等から徐々に水素利活用の拡大を見込む上で、軽油利用の機器(内燃力、フォークリフト)から水素利活用の拡大を進めることが考えられる。
- 製造コスト
 - 世界各地で実証段階であるものの、廃プラスチックによる水素製造にコスト面で優位性が期待できる。
- 福島県内においては、工場等のフォークリフト利用量、廃プラスチックの処分量(推算)に地域差があるため、各需要と供給のバランスがマッチしていると考えられる地域からサプライチェーンを構築し、徐々に拡大することが考えられる。

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

① 概要

基本的な考え方

- 水素関連施設の建設や機器の敷設の推進にともない、管理・保全を県内企業が担うことが期待されることから、関連事業者・関連機関と連携を取りながら、県内企業に裨益する取組について検討する。
- 同時に、福島県内で関連事業者・関連機関と連携し、協業する取組を加速させ、水素関連の取組に関わることのできるプレーヤー、次世代の人材の育成に資する方策について検討する。

福島県における取組のフォローと事例調査

- まず、福島県内における取組についてフォローする。その上で、国内外において、地域の特性を踏まえた特定分野における関連産業の集積・育成に関して事例調査を行う。
- 事例調査の結果から、福島県における県内企業・関連事業者・関連機関の連携のあり方、福島県における取組を加速させる取組について提示する。

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

② 福島県における取組

福島県の現状と取組

- 福島県のネットワーク形成や技術開発支援に加え、官民連携の研究会・協議会を組織する自治体もあり、全国に先駆けた水素社会の実現に向けた機運が高まっている。
- FCVの普及台数は338台(2022年2月末時点、東北地域最大数)となり、2022年2月に新たな水素ステーションがオープンするなど水素ステーションの整備も進展している。
- 水素の製造や利活用に向けた実証事業が多数進められており、今後さらに多くの実証事業や具体的な産業利用などが進展することが期待される。
- 一方で、現時点では市場が未成熟であり、県内事業者の参画は限定的と認識され、県内企業の参画を促進するためには、技術力、経験、資格、人材等の課題があるとされている。



2022年2月にオープンした「エネルギーPark郡山南」

(出典)佐藤燃料株式会社

県内産業育成に向けたこれまでの主な施策

- | | |
|----------|---|
| ネットワーク形成 | <ul style="list-style-type: none">◆再エネ研究会「水素分科会(登録数：138)」・県内企業による水素関連産業への新規参入・販路拡大を目的とし平成30年に創立・水素関連分野専門家によるセミナーや国内先進地視察などをタイムリーに開催・大手メーカーとのビジネスマッチング |
| 技術開発 | <ul style="list-style-type: none">◆県内事業者に対する各種研究開発支援・6件(2017～2020年度)◆被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業[FREA事業]・5件(2017～2020年度) |
| 人材育成支援 | <ul style="list-style-type: none">◆産総研FREAにおける産業人材育成◆伴走支援型人材育成の実施 |

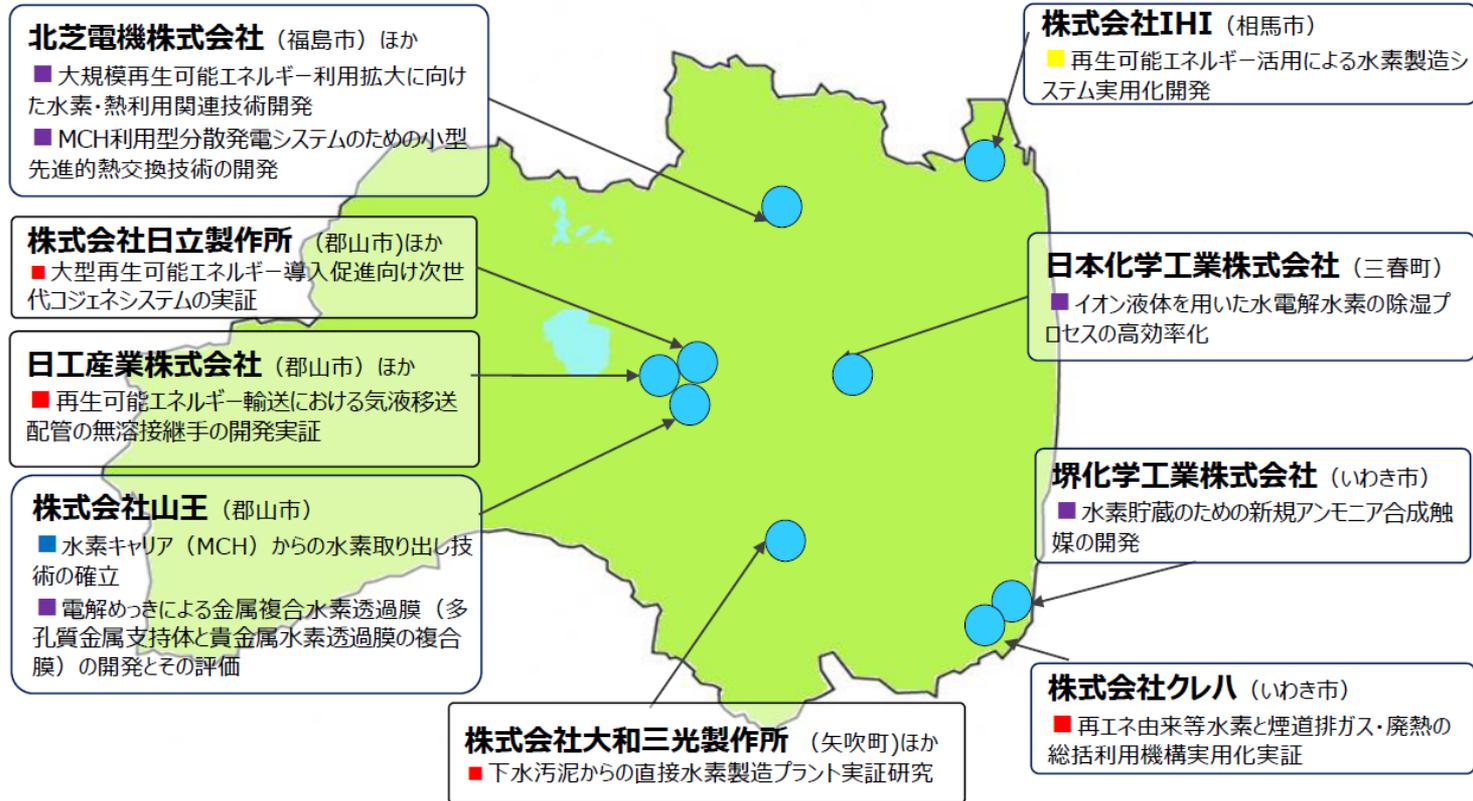
(出典)エネルギーエージェンシーふくしま、福島県

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

② 福島県における取組

福島県の現状と取組(続き)

■ 県内事業者に対し、実証研究・実用化開発・海外連携など各種の事業化補助事業を推進している。



凡例：(H29～R2年度の支援実績)

- 再生可能エネルギー関連技術実証事業
- 海外連携型再生可能エネルギー関連研究開発支援事業
- 産総研連携再生可能エネルギー等研究開発補助事業
- 被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業
- 地域復興実用化開発等促進事業

(出典)エネルギーエージェンシーふくしま、福島県

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

② 福島県における取組

福島県の現状と取組(続き)

■ 経済産業省/NEDOおよび環境省の事業を通じて多くの事業が実施されており、以下はその事例である。

東芝エネルギーシステムズ株式会社、東北電力株式会社、岩谷産業株式会社、旭化成株式会社
■ 福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)

住友ゴム工業株式会社
■ 水素エネルギーの地産地消と、工業的熱利用による温室効果ガスの総合的削減効果の実証研究

株式会社デンソー
■ 分散電源等を用いた福島地域における工場への再生可能エネルギー導入率向上技術の開発

豊田通商株式会社、一般社団法人いわきバッテリーバレー推進機構、日本環境技研株式会社
■ 福島県小名浜港の大規模受入基地の基本検討及び利活用トータルシステムの実現可能性調査

岩谷産業株式会社、相馬ガスホールディングス株式会社、相馬ガス株式会社
■ 水素混合LPガスの供給利用に関する調査

スターリングパートナーズ合同会社、常磐共同ガス株式会社
■ 福島県小名浜港の大規模受入基地の基本検討及び利活用トータルシステムの実現可能性調査

株式会社デンソー、トヨタ自動車株式会社
■ 水素のオンサイト製造と燃料利用による工場脱炭素化技術の開発と地域展開原単位の提案

大林組
■ 最適運用管理システムを活用した低コスト再エネ水素サプライチェーン構築・実証

丸紅株式会社、みやぎ生活協同組合
■ 浪江町における水素サプライチェーン構築に係るFS調査

IPイノベーション株式会社、郡山観光交通株式会社、株式会社孫の手、i Labo株式会社、一般社団法人食大学
■ 浪江町における水素観光事業等に係るFS調査

(出典)NEDO (出典)環境省

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

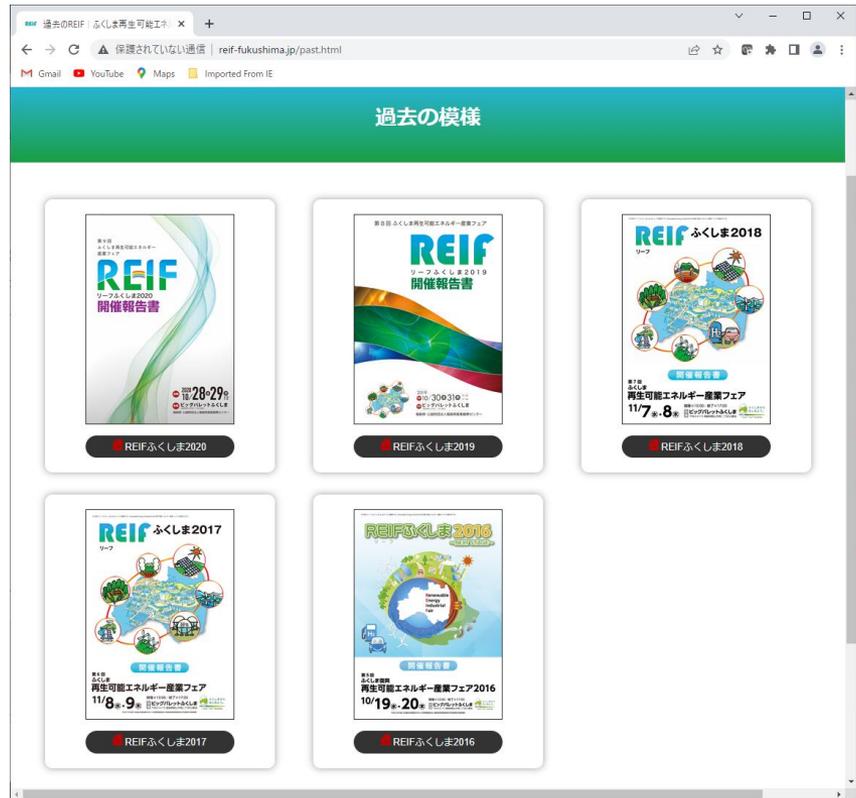
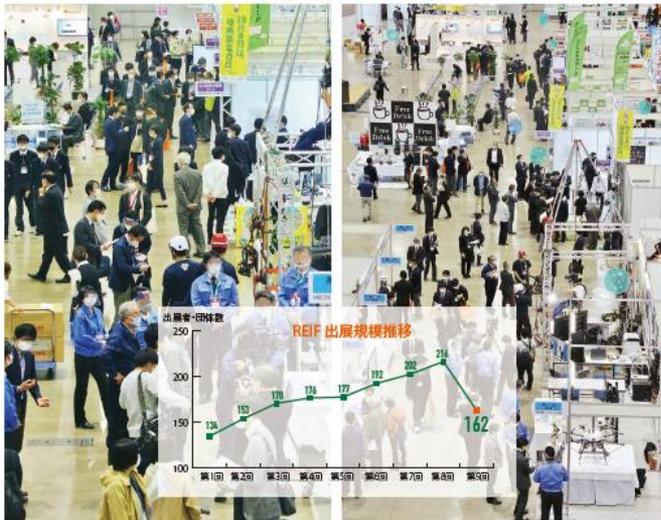
② 福島県における取組

福島県の現状と取組(続き)

■ 2016年からREIFふくしまが開催され、福島におけるビジネスマッチングなどの促進が図られている

東北最大の再エネ展示会 出展 162 企業団体、5,347 名来場

REIFふくしま2020には世界の最先端の技術が集結し再エネ産業の集積・拡大に向けた活発なビジネスマッチングが繰り広げられました。



(出典)REIFふくしま

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

② 福島県における取組

福島県の現状と取組(続き)

- 県内事業者に対し、新規参入企業発掘、人材育成、研究開発、事業化支援、カーボンニュートラル実現の支援を行うこととしている。

アプローチ項目		具体的取組の方向性	
①	県内企業による水素関連産業の事業化・集積	新規参入企業の発掘、人材育成支援	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、「再エネ関連産業推進研究会」の場を活用し、水素関連の最新動向、水素利活用の場面等を共有し、県内企業が水素関連産業への新規参入や事業拡大に取り組めるよう機運を醸成する。 ・水電解装置（水を電気分解し水素を発生させる装置）をはじめ、様々な設備の県内設置が進む将来に備え、地元の高校生から即戦力である企業人までがO&M産業に参入できる体制を構築することを目指すべく、福島県は、関係機関と連携した人材育成に取り組む。 ・エネルギーエージェンシーふくしまは、水素関連ビジネスに参入可能な企業を発掘するとともに、独自のコーディネート機能を発揮して事業化までの伴走支援をする。福島県は、意欲のある企業の技術者等の人材育成を関係機関と連携して取り組む。
		実証事業への参画支援	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、県外大手企業が本県で実施する水素関連の実証事業に、県内企業が参画できるよう支援する。
		販路拡大支援	<ul style="list-style-type: none"> ・毎年、県主催で開催している展示会である「REIFふくしま」において、水素関連ビジネスの製品やサービスを紹介し、販路拡大機会の創出支援を行う。
		水素関連工場・研究拠点誘致	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、本県外から、水素関連産業の工場及び研究拠点を誘致できるよう取り組む。
②	水素関連技術の研究開発の推進、実用化・事業化支援	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、FREA、ハイテクプラザ、大学等を核とした水素関連技術の研究開発を支援するとともに、企業ニーズを踏まえた水素関連技術の実用化・事業化を支援する。 	
③	カーボンニュートラル実現に向けての取組の推進	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、エネルギーエージェンシーふくしまとともに、県内工場のカーボンニュートラル化に向けて、先進モデル創出を目指し、県内企業の参画を支援する。 ・小名浜港のカーボンニュートラル化を進める取り組みと連動して、福島県は、港湾施設の後背企業の工場等のカーボンニュートラル化に向けて、県内企業の参画をはじめとする取組内容を精査していく。 	
	グローバルな展開を視野に入れた取組の推進	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県は、現在検討中の国際教育研究拠点を始め、再エネのみならず水素分野においても、海外との連携を深め、展示会等で本県の取組を発信していくことで、海外企業と県内企業とのビジネスマッチングや共同研究につなげていくとともに、水素関連のグローバルなネットワーク構築を推進する。 	

(出典)エネルギーエージェンシーふくしま、福島県

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

③ 事例調査

事例調査①やまなし水素・燃料電池ネットワーク協議会

- 山梨県は、研究開発拠点等が集積しているといった県の優位性を活かし、水素・燃料電池関連産業の集積地「やまなし水素・燃料電池バレー」の実現を目指して、産学官金が連携して進める取り組みの方向性と目標を示す「水素・燃料電池バレー戦略工程表」を2018年3月に策定し、水素・燃料電池関連産業の集積・育成を進めている。

やまなし水素・燃料電池ネットワーク協議会 概要と特徴

1 産学官連携体制

山梨燃料電池産業化推進会議

- ✓ 2009年に、産業界、大学・研究機関、行政が連携して、燃料電池に関連する研究開発、産業の集積・育成を促進することを目的に設立（メンバー：39名）
- ✓ 大手燃料電池システムメーカー、県内企業、研究機関など県内外の関係者と産学官連携ネットワークを構築

やまなし水素・燃料電池ネットワーク協議会

- ✓ 2015年に、「燃料電池関連産業の集積に向けた取組みに関する基本協定」に基づき山梨大学、やまなし産業支援機構、山梨県の三者で設立
- ✓ 県内に集積する研究開発・実証拠点等の関係機関が、相互に連携することで、面的かつ重層的に関連産業の集積・育成に向けた取り組みを推進

2 研究開発・実証拠点の集積



山梨大学

- ✓ 産業界と緊密に連携した研究開発
- ✓ 県内企業への技術移転の促進



山梨県産業技術センター

- ✓ 燃料電池セルの性能・耐久性評価
- ✓ 評価ノウハウを活用した県内企業の支援



HySUT水素技術センター

- ✓ 水素ステーション運用実環境下での試験・評価
- ✓ 水素ステーション運営等に係る人材育成



米倉山電力貯蔵技術研究サイト

- ✓ 太陽光発電で水素を製造・貯蔵・利用するシステム実証
- ✓ 水素のサプライチェーン構築による県内への水素供給

3 高い技術力を有する県内中小企業群

- ✓ 燃料電池を構成する金属や樹脂部品に求められる精密な加工技術や高精度を要求される製造装置は、本県中小ものづくり企業が得意とする分野
- ✓ 本県製造業の主要製品の一つである電子部品・デバイス・電子回路が部品として用いられるなど様々な業種・企業に波及効果をもたらす

- 山梨大学は、1978年に国内外で初となる燃料電池実験施設を設置して以来、改組拡充を経て、国家プロジェクト等を通じて**基礎研究・教育拠点に拡充・発展**させてきた。
- 2015年には、**山梨大は、県、(公財)やまなし産業支援機構と協調**して、県内企業の水素・燃料電池分野への参入を支援し加速することを目的として大学直属の「水素・燃料電池技術支援室」を設立した。2020年度から、水素・燃料電池関連の企業団として「やまなしHFC(水素・燃料電池)クラスター」を設立し、県内企業の技術力を束ね、国内外への産業展開を推進している。
- ほか、**公設試験研究機関**である山梨県産業技術センター、一般社団法人水素供給利用技術協会(HySUT)水素技術センター、米倉山電力貯蔵技術研究サイトなど、**研究開発・実証拠点等の関連機関が相互に連携**し、関連産業の集積・育成に向けた取組を実施している。
- また2021年には、日本初となる「燃料電池電動アシスト自転車」の試作を山梨県、山梨大及び地元企業で行い、**国内外に水素関連技術をアピールするような取組**を行っている。



お披露目された電動アシスト自転車（後部の箱が電源となる燃料電池）



県内企業の(株)エノモト製のGDLを用いて日邦プレジジョンが開発した燃料電池スタックを採用（写真手前）

(出典)山梨県成長産業推進課、山梨大

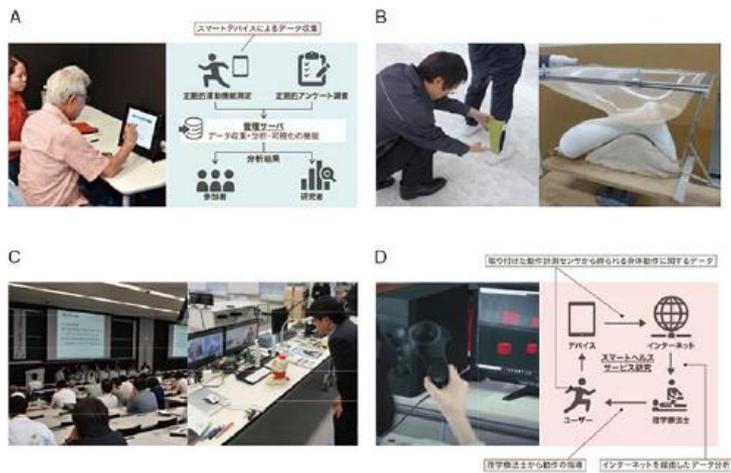
3. 関連産業の集積・育成に関する調査

③ 事例調査

事例調査②北海道の地域性に根ざした産学官連携研究

- 本事例は水素に関連する事例ではないが、大学による地域と密着した研究活動と人材育成の事例である。
- 北海道科学大学では、寒地未来生活環境研究所や寒地先端材料研究所など、大学の研究所が中心となり、寒冷地である北海道の地域性に根ざした産学官連携研究を進めている。

北海道科学大学の産学官連携研究 概要と特徴



- 北海道科学大学には、異分野融合型の5つの研究所があり、産学官連携はこれらの研究所が主体的・組織的に担っている。いずれの研究所においても、学術的「基礎研究」と産学官連携の「実学研究」の双方に軸足を置いて研究活動を行っている。産学官連携先としては、一般企業の他に、自治体、教育研究機関、公的研究機関、一般社団法人、医療施設などの連携協定締結先がある。
- 5つの研究所の設立趣旨として、積雪寒冷地における、持続可能な住環境の構築、材料の課題解決、高齢者・障がい者の可能な限り自立した日常生活、地域及び住民の健康・福祉の増進等、**積雪寒冷地である地域の特性に根ざした研究活動**を行っている。
- **道内大学生のビジネスアイデアによる北海道の活性化を目的**として、札幌商工会議所、北海道経済連合会、(公財)北海道科学技術総合振興センター及び北海道ニュービジネス協議会の主催事業として、「ものづくり製品化&起業化支援事業」がある。



図1 産学官連携研究の概要

- A: 寒地型疾病や障害を伴う在宅生活を維持するためのサポートシステムの開発
- B: 積雪寒冷地環境下における装具材料の性質評価
- C: 地域課題の解決をともに目指す道内自治体と本学の協働
- D: 積雪寒冷地の高齢者・在宅患者を対象とした遠隔ヘルス・リハビリテーションシステムの開発
- E: 北海道の農林業・健康医療の発展に資するライフサイエンス研究



(出典)北海道科学大学、JST

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

③ 事例調査

事例調査③ドイツの水素のスタートアップハブ「H2UB」

■ ドイツ西部ノルトライン・ウェストファーレン州は2021年10月29日、将来的な水素経済の構築の加速を目的に、同州エッセン市における水素のスタートアップハブ「H2UB」への約450万ユーロの助成を発表した。同ハブには民間企業も出資者として参画しており、プロジェクトの総額としては約900万ユーロとなる。

H2UB 概要と特徴

- H2UBのプロジェクトでは5年間にわたって、欧州全土で活躍するスタートアップや既存の企業、研究機関、投資家などをつなぐ**イノベーションクラスターの形成**を目指す。
- H2UBはデジタルとリアルの両方で、マッチングイベントや特にスタートアップを対象としたプログラムなどを提供することにより、これまで**研究機関や企業が中心だった水素経済と、有望なスタートアップを結び付ける**。
- 具体的には、「H2-LABNET」というネットワークシステムにより、スタートアップが研究機関や企業にすばやく簡単にアクセスすることができる。
- なお、NRW州は2020年11月に同州の水素戦略として「水素ロードマップ」を発表し、2030年までの目標と目標達成のための具体的な手段を示した。同ロードマップでは、重要な措置の1つとして**研究・イノベーションの強化**を挙げており、その中で**水素関連スタートアップの支援**についても触れていた。H2UBのネットワークには現在、100社以上の欧州の水素関連スタートアップが参加している。

H2UB IS SUPPORTED BY THREE SHAREHOLDERS



H2UB HAS STRONG PARTNERS

FURTHERMORE, WE ARE VERY HAPPY ABOUT THE SUPPORT OF THE FOLLOWING H2UB PRO PARTNER



H2UB ALSO BUILDS ON OUR BASIC PARTNERS



OUR H2UB NETWORK ALREADY INCLUDES MORE THAN 100 EUROPEAN H2 STARTUPS



(出典)H2B、JETRO

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

③ 事例調査

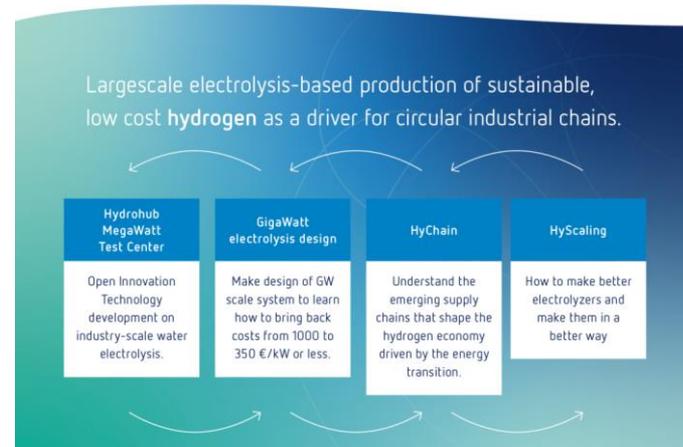
事例調査④オランダISPT

- 研究機関であるISPT (Institute for Sustainable Process Technology)では既存用途で利用されている水素をグリーン水素で代替していくため、「Hydrohub Innovation Program」を進めている。

ISPT 概要と特徴

- 「Hydrohub Innovation Program」は、循環型産業チェーンの推進力として、持続可能で低コストな水素の大規模な電気分解ベースの生産を開発するためのミッション指向プログラムで、「MW Test Center」、「GW Electrolyzer」、「Hychain」、「HyScaling」という4つの取り組みを進めている。
- 特に、2018年から開始している「MW Test Center」は、アルカリ形水電解・PEM形水電解それぞれ250kWの設備を備えた試験設備により、GW級へのスケールアップに向けた耐久性の試験を実施する。オープンノベーションを推進する施設であり、部材のサプライヤも試験・性能評価を遂行可能となっている。電解槽メーカーから入手しづらい情報を得ることができる施設となっている。

MW Test Centreパートナー企業



(出典)ISPT

3. 関連産業の集積・育成に関する調査

④ 取組を加速させる方策

福島県の取組を加速させる方策

- 事例調査の結果から、県及びエネルギーエージェンシーふくしまにより提示されている取組の方向性を加速させる方策について、特に福島県における県内企業・関連事業者・関連機関の連携のあり方について提示する。

1. 大学等の水素関連取組への関与の促進

- 大学等が地域をけん引する役割の一部を担いうると同時に、次代を担う若い人材を育成することが可能となる。
- 現在、福島県にはエネルギーエージェンシーふくしまが設置した「福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会水素分科会(分科会長:古谷研究センター長)」を通して、県、研究機関、エネルギーエージェンシーふくしま、県内企業が一体となり水素関連産業集積を推進しているが、さらに多くの大学等が参加することが期待される。
- また、福島県における水素社会のモデル構築に向けた産学連携会議において、企業ニーズが把握できれば大学等の新たな関与を検討できるかもしれないというコメントがあった。例えば、技術研究組合FC-Cubicは、燃料電池に関する様々な技術情報や課題に関する情報を提供している。福島県または大学等がFC-Cubicへ賛助会員としての参加や、会員外でも参加可能なオープンシンポジウムへの参加からでも参加を行い、大学等の水素関連取組への関与の促進の素地を強化していくことも一案であると考えられる。

2. 県内企業の関与の促進、協業等の促進

- すでに取り組まれているように、県内企業の水素関連取組への関与を促進していくことは重要である。据付、運用、メンテナンスなど、可能性を最大限追求していくことが望まれる。
- また、必ずしも水素に関する製品やサービスを提供する側になるだけでなく、水素利用のユーザー側として関与して水素に関する知見を深めていくことも有効である。現在取り組まれている実証事業や調査においても、水素利用に関する取り組みも多い。水素観光事業に関する調査もある。
- 海外の事例では、地域の関連機関・企業のみならず、地域や国境をまたいだスタートアップハブを形成しており、関係者の規模を拡大し、協創の可能性を広げているケースがある。福島県においても県内企業の育成と同時に、県外企業や海外企業の誘致並びにマッチングや共同研究を強化することが有効であると考えられる。
- 新たな技術やビジネスモデルを実現していくスタートアップの創出や誘致も、魅力的な水素社会を実現していく上で効果的であると考えられる。

(3) 協議会等の開催

(3)－1 水素・燃料電池戦略協議会の開催

水素・燃料電池戦略協議会の開催

■ 本年度は水素・燃料電池戦略協議会を以下の日程で全2回開催した。

回数	開催日程	議題
第26回	2021年6月25日	<ul style="list-style-type: none">・水素政策の最近の動向等について(事務局)・自由討議
第27回	2021年8月27日	<ul style="list-style-type: none">・水素社会実現に向けた社会実装モデルについて(事務局)・今後の水素ステーション政策の方向性について(事務局)・ヒアリング (PDC Machines LLC)・自由討議

次ページ以降に協議会での主なご意見を記載

第26回 委員からの主なご意見(1/5)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
社会実装の方向性について	<ul style="list-style-type: none">・全体戦略においては優先順位付けが必要であり、low-hanging fruit から確実に収穫することが重要。・戦略としては需要の電化と電源低炭素化を徹底し、水素についても水電解で間接電化ということで、水素化も電化の一環。電化・水素化を進めるという大きな筋をぶらさずに進めていくのが重要かと思う。水素とカーボンニュートラルメタンは同じガス体であり、両睨みで検討する必要がある。・社会実装フェーズの取り組みに関しては、地域の観点を含めて頂きたい。既存インフラを最大限に活用するためには全国一律ではない立地や資源の投入が有効。
社会実装の推進手段について	<ul style="list-style-type: none">・グリーンイノベーション基金で研究開発支援が実施される中、社会実装に向けた議論が早期に必要と感じる。民間資金投入の話も出てくると思うが、民間支援のリスクシェアの仕組みを検討する必要がある。・グリーンイノベーション基金を有効活用するための取り組みとして、WG を設置してレビューを行うPDCAを明確化したのは良いことと思う。・グリーンイノベーション基金は大規模な長期支援で素晴らしい取り組み。一方で研究開発から一気通貫でないものやフェーズが合わないものは対象になりづらい。これらの技術の社会実装に向けて、ファイナンスリスクがある場合は通常予算や拡充で効果的な支援をお願いしたい。・技術開発に関しても民間と官の役割分担を考える場があるとありがたい。・社会実装を早める手段として、自動車工業会の中でタスクフォースを作って水素消費活性化の検討をしている。重点地域を決めて集中的にモデル化を行う方針であり、大量消費に向かっていきたい。弊社においてもFC システムを多用途に展開する中での消費拡大を考えており、コストダウンを含めた包括する取り組みにできないか。・2030年の水素価格やロードマップを実現するにはコストダウンが必須であり、既存インフラ設備の評価方法の検討をしてほしい。日本の作る水素システムが国際標準として認めていただくには評価方法が役立つかと思う。・今後海外企業との連携が非常に増えてくるため、G2Gで利害の一致する国と連携して頂けると大変安心でき、推進材料となるため積極的にお願いをしたい。

第26回 委員からの主なご意見(2/5)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
社会実装の タイムライン について	<ul style="list-style-type: none">・クライメート・トランジション・ファイナンス推進のためのロードマップの検討が進んでおり、モデル事業の募集も開始される。今後の水素・アンモニア戦略や個々の産業へのアプリケーション導入時期等は、ロードマップとの整合性も意識して頂きたい。・水素を活用できる工場など現実的な場所から好事例を作ることも重要。良い事例を早く多く作るためには地域特性が非常に重要であり、特性に応じて必要コストも異なる。コストも明らかにしながら事例の発信推進をお願いしたい。・欧州、中国など海外の動きが盛んであり、動向を睨みながら国内のスケジュールと一緒に作らせて頂きたい。
制度設計に ついて	<ul style="list-style-type: none">・CO2 排出削減対策について、CCUS や植林も含めて様々なオプションが認められるよう日本政府にも多国間連携や議論のリードをお願いしたい。・国際化・標準化については官もルールメイキングに積極関与することが重要かと思う。・ものづくりの国際競争力に繋がる仕組みを強く希望する。・水素・アンモニアは燃焼時に排出係数ゼロということで制度上担保頂ければ、環境価値の顕在化につながるのをお願いしたいと思う。並行で、水素・燃料アンモニアの電気、原料、最終消費者が付加価値を理解し負担を頂く制度も検討進めて頂きたい。JOGMEC 法の整備も進めて頂きたい。・安価な再エネ電力を入手できる仕組みが必要である。実証での特区などを設けて頂き、安価な電力を供給して頂く措置があれば技術開発が加速するのでお願いしたい。・SOEC をはじめ様々なイノベーションがメタネーションには必要だが、国際的な認証や国内法における位置づけによる需要側でのインセンティブ喚起が必要。・ネガティブエミッション技術が出てきた際のマーケットについてもユーザーに実利があるように、金融関係の方もいると思うので知恵を出して頂き検討頂きたい。

第26回 委員からの主なご意見(3/5)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
クリーン水素の定義について	<ul style="list-style-type: none">・プロジェクトファイナンスの国際会議でもクリーン水素の定義には非常に関心が高い。日本企業が不利にならないためにも、日本としての定義を作り込むことが必要である。・水素と水素派生体を含めて調整を行う場を設けてもらえるとありがたい。グリーン水素の定義や各種法律での整合性をとる場が必要である。・全ての水素キャリアの環境価値を適切に評価し、顕在化する仕組みが必要。アンモニアや合成メタンについてもサプライチェーン全体の環境価値を適切に評価して国際的に発信していく枠組みを構築してほしい。・CO2フリー水素の定義は非常に重要であり、シンプルにしてコストへの影響が生じないようにすること、また定義を過剰に厳しくして十分な水素量確保が難しくなるようなことがないこと、という2点がポイント。・クリーン水素に関しては、CO2トラッキングを実際にするのが重要。構築してきた水素サプライチェーンを実証プラットフォームにすることもあるかと思っている。
国際水素サプライチェーンについて	<ul style="list-style-type: none">・国の導入目標である2030年水素300万トンと比べると、グリーンイノベーション基金で確保できる量は一桁程度少ないのではないかと思う。海外の資源開発については戦略性をもった追加的な支援策をお願いしたい。
国内水素サプライチェーンについて	<ul style="list-style-type: none">・定置用燃料電池の実装に向けては、港湾から内陸へのサプライチェーン構築が必要であり、内陸へのサプライチェーン構築の議論を深める必要がある。・国産グリーン水素は厳しいがエネルギーセキュリティの観点で、可能な限り確保することが重要。地域の特色に合わせたシステムとすることが重要。・再エネを作る所と水素を作る所とをなるべく近くするのが理にかなう。日本の中で再エネ戦略をどう立てるかが、国内水素と海外製造で輸入する水素の考え方に関する全体的な枠組みにつながると思う。

第26回 委員からの主なご意見(4/5)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
熱の脱炭素化と水素について	<ul style="list-style-type: none">・2030年46%削減の目標に向けて、熱需要における水素の利用をこの戦略協議会で積極的にテーマとして扱ってほしい。・熱FITや水素の環境価値整備の取り組みを加速頂くことをお願いしたい。
規制改革について	<ul style="list-style-type: none">・規制改革の進め方について、事務局からの説明に賛同する。推進に当たっては複数の関連業界団体が一丸となって、効果的に制度設計を進めて頂きたい。・実証用設備に対する規制緩和をして開発を速く進められるようにして頂けるとありがたい。・水素供給設備のコストダウンのためには、設備の大幅なコストダウンと運用の効率化が必要である。運用効率化のためには遠隔監視化によるステーションの無人化や蓄圧器の常用圧力上限見直しを期待したい。設備の大幅なコストダウンのためには安全確保を前提に、国内機器および国内製品と仕様の異なる海外機器などの競争力ある製造装置の導入促進など、海外事例も参考に幅広い改革をお願いしたい。・今後は水素の社会実装が発電や化学など多様な分野で進むため、コンビナートでの社会実装やモビリティの社会実装を進める上では、既存の法規見直しのみならず、新たな法整備を含めて抜本的な規制のあり方を議論いただきたい。・モビリティの規制緩和について資料記載の通り積荷が減ると事業者の経営に影響があるため車両重量・寸法の規制緩和をお願いしたい。規制緩和には実証における検証が必要であり、グリーンイノベーション基金を含めてご支援をお願いしたい。・水電解装置による水素製造について国内の高圧ガス保安規制で1MPa 未満となっている。海外ではすでに3MPa や5MPa と高圧が可能となっている。規制緩和が必要である。・具体的な制度設計や保安規制等については、本協議会の議論を踏まえて関係省庁での審議会で議論されると理解しているが、総合的かつ効率的、迅速な議論のため、各審議会と本協議会の役割を明確化することが必要。

第26回 委員からの主なご意見(5/5)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
水素ステーションの自立化について	<ul style="list-style-type: none">・水素ステーションへの補助金の執行率が低いというお話があったが、事業採算性の見通しづらさが原因かと思う。最初の補助金だけがあっても難しいのではないか。最初の数年間のステーション運用に伴うランニングコストの補填などの観点も必要ではないか。・水素ステーションに関する論点としては、商用車の増加、都市部での設置、自立分散型のエネルギー供給設備としての検討なども重要である。・水素ステーション自立のためにはモビリティ分野での需要拡大と規制改革による供給設備の運用要件緩和、供給設備のコストダウンが必須。モビリティ分野での更なる需要拡大に向けては海外のFCモビリティ動向を踏まえた多様なFCモビリティの導入検討をお願いしたい。・水素ステーションに関しては、乗用車向けにこれまで取り組んできたが、今後はFC商用車、バスやトラックの利用拡大が見込まれる。乗用車向け最適配置の考え方から脱却し、商用車の効率的な普及を促す政策パッケージが新たに必要である。・水素コストに関して、商用車の普及を考えての売価の議論をさせて頂きたい。燃費改善にはしっかり取り組んでいくが、販売価格の議論をこれからさせて頂きたい。・自立化に向けては、水素販売価格と水素販売原価の差益確保、販売量の確保、コスト低減の3点が関係する。地域によって水素販売量に差があるためベースラインとして自立できる仕組みが必要。・水素ステーションの運営は非常に厳しい状況にあり設備のメンテナンス費用を確保いただくことが厳しい状況にある。非常に高度な技術が必要な一方で市場が年間20箇所だと量産対応もできず、設備メーカーサイドとしてコスト低減の手段も限られている。・地方へのステーション配備に関しては、規制改革と併せて整備への継続的な支援が重要。
情報発信について	<ul style="list-style-type: none">・水素に関する情報も溢れ始めたので、日本の存在感確保のための情報発信もお願いしたい。・自治体への水素に関する情報発信が止まっているように思う。周知を徹底してほしい。

第27回 委員からの主なご意見(1/4)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
社会実装の方向性について	<ul style="list-style-type: none">・地域でのカーボンニュートラルや港湾でのモデル事例を多く作るのは重要である。これにより海外、特にアジアへのモデル輸出も可能になる。・社会実装モデルを考えるには将来不確実性を伴う中で柔軟な整理と運用を期待したい。・社会実装には水素の需要拡大が重要で、足元はブルー水素を中心に利用が進むことになろうかと思う。欧州からはグリーン水素偏重の意見もあるが、日本としてしっかり発信していくことが必要。・Hard-to-abateセクターの化学産業において重要なのは国際競争力である。欧州やアメリカが設定するコスト目標に対して現状の20円/Nm³という目標に競争力があるのかどうか。海外と比べて高い場合には国内製造を少なくする他ない。国際競争力という観点は重要。
制度設計について	<ul style="list-style-type: none">・水素の社会実装・自律的普及には経済的措置、インセンティブが極めて重要。非化石ガス体エネルギーの水素やCNメタンなどに、時間軸に応じたインセンティブ導入が必要。・経済性の実現には規模拡大とコスト低減が必要。発電設備は消費量が多いので有力。・余剰電力を安価に利用できる制度や国産グリーン水素への制度設計をご検討頂きたい。・日本がASEANなど今後の成長地域と組みながら、欧米に伍する事ができる国際ルールづくり・標準化を目指して頂きたい。・電力系統の安定化を通じた再エネ電力の拡大への寄与や産業セクターの熱需要の脱炭素化に貢献する大型水電解装置、クリーン水素の利活用なども導入促進支援をご検討頂きたい。・実証が進んだ技術の社会実証に焦点を当てた補助金やFIT、FIP、カーボンプライシング等制度的な枠組みなどがロードマップとして示されていることが必要である。

第27回 委員からの主なご意見(2/4)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
社会実装の推進手段について	<ul style="list-style-type: none">・港湾・コンビナート等では複数事業者・プロジェクトで共通の設備が利用可能とも想定されるので、一体化可能な部分については企業のアライアンスによる設備投資の促進が重要である。そのためには公的なフューチャーのある投資により民間投資を呼び込んでいくことが必要ではないか。・JOGMEC のファイナンスについて記載があるが、同様の課題は上流だけでなく中流や下流でも想定される。公的金融も巻き込みながら民間資金呼び込みのリスクシェアの議論にも積極的に関与したい。
クリーン水素の定義について	<ul style="list-style-type: none">・クリーン水素の定義については、CO2のトラッキングにより水素の価値が国際的に認定されるようにして、水素のマーケットが形成されることを視野に入れて検討して欲しい。国境炭素税が課されたときも評価が数値的に行われるためには水素の CO2トラッキングは必須と考える。・グリーン水素の定義が現状明確でない。最終的な普及期にはグリーン・ブルーになると思うが、国際標準化の観点でグリーン・ブルーの定義付けに取り組んで頂きたい。
水電解のコスト低減について	<ul style="list-style-type: none">・水電解装置は規模に応じてBOP 含めて大規模化でのスケールメリットもあるが、グリーン水素市場規模を増やすことによる数量効果も重要である。・再エネ電力コストを下げないと水素製造コストが下がらない。さらに、設備稼働率を上げるため、再エネ電力を系統から取れるようにして頂きたい。そのために系統から得た再エネ電力をグリーンとみなすための制度整備も頂きたい。・政策が設備の低コスト化に偏っていると感じる。目的は自立化なので、行政として水素の販売差益をとれるような全体バランスのある施策を考えて欲しい。
エネルギーキャリアについて	<ul style="list-style-type: none">・システム全体のコスト最小化には各キャリアの長所を活かした適材適所の使い分けが有効。アンモニアやメタネーションなど他の協議会とも連携して推進の議論をお願いしたい。・水素キャリアに関しては、アンモニアや合成メタン含め各キャリアに特徴があり、社会実装の時間軸も異なるという認識。特定のキャリアに偏らない社会実装モデルの構築、政策支援をお願いしたい。・2030年に向けては即効性が求められているので、既存インフラが活用可能なメタンが重要ではないか。

第27回 委員からの主なご意見(3/4)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
水素ステーションの自立化について	<ul style="list-style-type: none">・水素の需要量と経済性が見合うロケーションでは小型充填設備というソリューションは有効と感じた。・一方で大型商用車への水素導入は長距離・一定ルート走行という特徴上、設備投資コストを運営費で回収しうる数少ないソリューション、政策的支援を提供することは有効ではないか。・水素を周辺に供給する拠点として活用することも追記してはどうか。・ステーション整備や運営自立には水素を安定大量に消費する商用車が重要になると考える。・国に既存ステーションのきめ細かな運営支援も引き続きお願いしたい。・グレー水素も含めたモビリティ分野でのサプライチェーン構築という方向性に賛同する。・コロナ禍を経て陸上輸送の重要性が改めて注目されており、商用車への燃料電池の技術開発、ステーションの分野に引き続きご支援をお願いしたい。・MCH に関しては小型脱水素装置などの開発を NEDO の支援を受けて完了した。実装を進める際はこれまで取られてきた方式に続く第3の形で支援をお願いしたい。・海外製35MPa 対応の車両の導入も視野に入れた展開が必要。ステーションの用途拡大に向けた技術面や規制緩和への支援も引き続き頂きたい。・水素ステーションの仕様を見直すことも安くするためには必要ではないか。・水素ステーションではきちんとメンテナンスを行うことだけでなく、安全への配慮はきわめて重要である。・運送会社などのユーザーにおける経済性は大きな課題。水素と軽油とのコストの差、商用車ではランニングコストが大きな割合を占めることが最大の課題である。

第27回 委員からの主なご意見(4/4)

テーマ	主なご意見(一部抜粋)
<p>小型水素ステーションについて (PDC社プレゼン)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・シンプルフューエルは興味深い技術。充填時間はまだかかるようだが、技術改良の状況・見通しはどうか。 ・(PDC)OEM のパートナーらとより充填速度の早いバージョンを開発中である。充填速度向上とコスト低減とを両立した開発が必要であり、技術開発のロードマップとしてはマナタイズが近いところまで来ている。 ・シンプルフューエルは面白い発想。どのような顧客を対象としているだろうか。 ・(PDC)早期市場として、小型商用車や小型船。日本や米国など、より大きな容量が必要な地域も重要である。
<p>規制緩和について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の海外輸出も視野に入れると、規制面で高圧ガス保安法の規制緩和も必要。 ・サプライチェーン全体で考えたときのスキームの整備について、大量に水素・アンモニアを日本に持つてくる際のエネルギー資源の確保のための整備を期待している。 ・国際的な基準と整合性を持たせながら、水素一体での法整備をして欲しい。
<p>熱需要について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地域の中小規模の工場や商店の熱・エネルギー需要へどうアクションするか、これを含めて検討してほしい。 ・将来的にも電化が難しいと考えられる熱需要については、需要の規模、分散・集中などの需要密度や既設インフラの地域特性も様々であるため、まず水素を需要側でどのように活用できるかを具体化することで効率的に検討を進められるのではないかと。 ・熱需要の脱炭素を推進するため、水素の価格が下がりきらない移行時期の導入支援策も検討してほしい。
<p>情報発信について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・社会実装モデルと水素ステーションに関して、技術の進展を見える化し、社会を巻き込んで進めていってほしい。東京2020で水素の具体例が色々出ているところ、次は身近なところで広めていけるような具体例や情報発信をお願いしたい。

(3)－2 福島県内での事業者、学識者、政府関係者等による会議の開催

福島県内での会議の開催

- 本年度は福島県内で会議を以下の日程で全1回開催した。

回数	開催日程	議題
第3回 (昨年度より継続)	2021年12月6日	(非公開)

本年度調査を踏まえた今後の方向性に関する提案

- 本年度の調査事業全体をふまえて、(1)－1の「大項目」・本年度分析事項に合わせて今後の方向性を提案。

大項目	本年度の分析項目	今後の方向性の提案
①水素利用先の多様化・クリーン化	世界各国で進む水素エコシステムの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・社会実装モデル構築支援の継続 ・「好事例」の分析・共有・情報発信
	・国内外の燃料電池多用途展開の取り組み	・新たな用途を目指した技術課開発・普及目標の検討
	・最近の諸外国の燃料電池商用車・水素インフラ関連動向及び支援制度・環境規制	<ul style="list-style-type: none"> ・商用車及びインフラ普及の最適な整備検討の継続 ・エネルギーマネジメント・セクターカップリングの検討継続
	・定置用燃料電池の動向	<ul style="list-style-type: none"> ・カーボンニュートラルに向けた、燃料電池普及拡大に向けた在り方・新たな技術課開発・普及目標の検討
②国際水素サプライチェーンの構築の加速化	・水素供給への支援のあり方	<ul style="list-style-type: none"> ・市場黎明期のリスク低減に向けた官民連携・支援の早期検討 ・クリーン水素の基準策定の議論へ参加継続・日本の意見打ち込み
	・技術開発動向(例:水素燃焼技術開発動向)	・国際競争の活性化を受けた、技術開発の継続と将来の新興国へのインフラ輸出戦略の検討・推進
③水電解装置の更なるコスト低減・電力システムへの統合、革新的な水素製造技術への投資	<ul style="list-style-type: none"> ・各電解装置のタイプと棲み分け ・世界市場のトレンドとその特徴 ・国内外企業の技術動向 ・日本での社会実装 ・燃料電池との技術開発シナジーの可能性 ・諸外国と日本の開発目標・計画の水準比較 ・水電解装置の普及を後押しする政策 ・低炭素・グリーン水素認証制度 	<ul style="list-style-type: none"> ・クリーン水素の定義検討推進と価値顕在化の議論推進(②と関連) ・設備コスト低減に向け、量産技術開発の支援・推進 ・日本が強い燃料電池技術と水電解技術のシナジー発揮の追求
④資源外交・インフラ輸出等の一体的な推進	・資源国での水素輸出支援プロジェクト(例:豪州)	・資源確保・国内企業のインフラ輸出に向けたG2Gでの関係構築推進の継続



二次利用未承諾リスト

報告書の題名：令和3年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（国内外における水素・燃料電池に関する

委託事業名：
令和3年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（国内外における水素・燃料電池に関する動向及び利活用

受注事業者名：みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

頁	図表番号	タイトル
9		Hydrogen Valleyプロジェクト一覧
14		BIG HITプロジェクト(イギリス)
14		Green Hyslandプロジェクト(スペイン)
15		HyBalanceプロジェクト(デンマーク)
16		Advanced Clean Energy Storage(米国)
16		プロジェクトの背景
17		Phi Suea Houseプロジェクト(タイ)
17		参考：電解装置メーカーEnapterの取り組み
18		Hydrogen Delta(オランダ)
18		アムステルダム港プロジェクト(オランダ)
19		eFarmプロジェクト(ドイツ)
19		Black Horseプロジェクト(東欧)
25		FCEV(乗用車)
25		FCバス
25		FCフォークリフト
25		大型FCトラック
25		FC列車
25		FC船舶
25		水素航空機
25		FC農機・建機
25		FC自転車
25		FC水中探査機
25		FCドローン
26		Hyundai(現代自動車)
26		Hyzon Motors
26		Daimler
27		燃料電池・バッテリーハイブリッド車両EV-E991系
27		Alstom社 "Coradia iLint"
28		FLAGSHIPプロジェクトにおける商用水素貨物船
32		LCFSにおける燃料販売に伴うクレジット取引額推移
34		PowerTap社による、水素ステーションでのクレジット獲得の算出例
35		CARBによる水素ステーション自立化の検討例
37		米国における商用車の区分
37		ACTにおける商用車のZEV化マイルストーン
38		米国企業のFCトラック導入・水素ステーション整備計画(Hyzon社)
39		参考：Hyzonの米国外での水素調達計画
40		参考：Hyzon社のFC商用車導入見通し
41		米国企業のFCトラック導入・水素ステーション整備計画(Nikola社)
42		規制の対象
43		再エネ指令と水素(赤枠：輸送用燃料に関する部分)

44	欧州都市部での大気汚染規制のマッピング
46	ACEAメンバー
46	ACEAによる2030年の国別水素インフラ配置案 (新車登録数ベースにGDP、走行距離で重みを考慮)
48	カリフォルニア州の水素ステーションリスト(1/2)
49	カリフォルニア州の水素ステーションリスト(2/2)
50	カリフォルニアのFCV普及台数推移
51	CARBによる水素供給能力-建設費用のモデル式
52	水素コストに占める水素ステーションコストの規模・稼働率依存性 (製造・輸送は含まない)
53	欧州での水素ステーションの整備状況
54	H2MEプロジェクト(2015-2022)の概要
55	欧州での国別の水素ステーション整備戦略(初期)とそれに対するリスク・投資形態
56	H2MEでの欧州各国のFCモビリティ導入指針に関する整理
57	H2MEでの各国のFCモビリティ水素利用量見積もり
64	参考:ドイツ国内法での目標未達に対するペナルティ
67	参考:欧州自動車工業によるTEN-Tに沿った HDV向け水素ステーション整備の提言(2030年各国分布)
70	国内市場セグメントにおける電力需要-熱電比の整理
72	DOEによる米国での商業用・産業用のCHP導入ポテンシャル検討
73	定置用燃料電池の普及に向けた課題
74	最近の事例①:長時間対応の非常用電源への注目(携帯通信基地局)
75	データセンター市場見通しの例
75	マイクログリッド市場見通しの例
76	ハイパースケールデータセンターの国別比率
77	3MWのPEMFCによるディーゼル発電機代替の概念設計(左: ディーゼル発電機利用、右:PEMFC利用)
78	現在運転中の定置用燃料電池の導入先-導入量[MW]
79	Bloom Energyの製品とコスト推移
81	韓国の分野別燃料電池導入量と主要メーカー
84	BoschのSOFC
84	Ceres Powerの有力視するSOFC市場
86	欧州での家庭用燃料電池導入量と分布、コストダウンの推移
87	Panasonic
87	アイシン精機
87	京セラ
88	BDR Therma
88	Viessmann
88	Bosch・SOLIDpower
88	Sunfire
95	英国水素ビジネス戦略の概要(2/4)
96	英国水素ビジネス戦略の概要(3/4)
100	参考:三菱重工の水素ガスタービンラインナップ
101	参考:三菱重工の水素ガスタービン導入計画
102	参考:Siemensの水素ガスタービンラインナップ
103	参考:GEの水素ガスタービン開発工程
106	アルカリ水電解
106	固体高分子形水電解(PEM)
106	固体酸化物形水電解(SOEC)
107	将来の「中心的」電解技術に関する有識者の投票
108	有識者による各種水電解システムのCAPEX見直し(2030)
109	アルカリ

109	PEM
109	SOEC
110	SOECの性能(電流密度-電圧)
110	SOECの水素製造能力の推移(年-製造能力)
111	PEM形水電解の電流-Ir使用量(g/kW)
112	AEMへの注目
112	AEMへの注目・将来性
113	Enapter社の水電解装置導入実績
117	2030年までの電解装置導入見通し(発表に基づく)
117	将来の電解装置TWスケール導入シナリオ下での年間導入量の試算例(IRENA)
119	世界の再エネ(太陽光+風力)由来水素の製造コスト見通し(IEA)と最近の世界のグリーン水素製造プロジェクト(not exhaust)
120	PEM形200kWシステム
120	PEM形1MWシステム
121	Thyssenkruppのモジュール化+スケールアップによるコストダウン戦略
122	PEM水電解での昇圧に伴うエネルギー損失と圧力の関係
122	圧縮機での昇圧に伴うエネルギー損失と(用途別)圧力の関係
127	プロジェクトの概要・スケールアップ計画
128	スケールアップの計画
128	GWスケールを実現する手段
130	プロジェクトの概要・スケールアップ計画
131	参考:チリの水素戦略
132	スケールアップの計画
132	GWスケールを実現する手段
135	ITM Powerのスケールアップ計画(Gigastackプロジェクト)
136	Plug PowerのPEM形電解装置と米国でのグリーン水素プラント計画
136	欧州への進出:DUWAALプロジェクト
137	独Sunfire社の想定するSOECの市場
138	Bloom Energy(米)
138	Haldor Topsoe(デンマーク)
139	東芝エネルギーシステムズ
139	三菱重工
140	SOEC共電解に関する最近の国内企業の取組例(大阪ガス)
141	プロトン伝導セラミックを用いた燃料電池の研究開発(NEDO先導プロジェクト、産総研他)
141	プロトン伝導セラミックを用いた水電解の研究開発(欧州FCHJUプロジェクトGAMER)
143	日本における変動再エネについて
144	九州エリアの需給イメージと出力制御・0.01円/kWh発生日
144	九州エリアでのP2Gによる余剰電力の活用への取り組み
145	将来の国内余剰電力に関する分析結果の例
146	地域別自然変動型再エネ余剰電力量(年間)
146	地域別自然変動型再エネ余剰電力の負荷率
146	参考:前提条件
146	余剰電力の負荷持続曲線
148	太陽光発電と蓄電池、水電解装置を組み合わせたシステム
148	特性の異なる複数電源と電解装置を組み合わせたシステム
150	水電解(PEM)
150	燃料電池(PEM)
153	PEM形水電解セル(基本単位)
153	スタック(セルを複数重ねて構成)
154	参考:材料メーカーの視点(3M)
156	参考:共通する課題への対策の横展開の一例(膜の化学劣化対策)

157	参考: 膜の化学劣化対策技術開発(ラジカルエンチャー)
158	燃料電池用CCM製造装置
158	水電解への展開
159	3MのPEM形電解装置用CCM大量製造技術開発プロジェクト
160	評価解析技術等の活用拡大のための仕掛け作り(DOE)
161	参考: EMN下で組織されたコンソーシアム一覧
162	国立研究所による研究支援機能提供の例
166	Open Catalyst Project OC20
167	SUNCATにおけるマテリアルズ・インフォマティクスの研究事例
168	触媒開発に関するマテリアルズ・インフォマティクスの国内企業事例
170	「Hydrogen Shot」の今後の計画
171	参考: 米国の水素戦略
172	米国National Labによる「H2NEW」コンソーシアム
173	H2NEWの取り組み概要
174	水素製造コスト低減の方針
174	電解装置運用の方針
175	PEM形電解装置(集中製造)のコスト内訳と目標
175	スタック諸元目標
176	技術開発投資額の内訳
176	分野別内訳の推移
181	オランダNouryon社の研究開発ポートフォリオ
182	I-V特性とNouryonの目指す目標
186	CCSに対するSDE++での支援額の計算例(SDE++ドキュメントより)
190	米国の消費者のグリーン電力調達の分類と売上内訳
191	カリフォルニア州における、RECsを利用したLCFSクレジット獲得の概念図・手順
192	(青塗り: RCFsの利用が可能な製造法)
193	GOの概念図
193	GOの市場取引量の推移
193	GOの市場取引量の推移
197	現在の情報に基づく水素貿易ルート
198	参考: 太陽光・陸上風力からのグリーン水素製造コストの地域分布
206	豪州水素プロジェクトの分布
208	Hydrogen valleyの概念図
210	INPEXらによるソーラー水素実証
212	YaraらによるPilbaraでのスケールアップ計画
235	BPP手法比較
237	参考: DOEでの水電解の目標
238	DOE Hydrogen shotの目標に向けたH2NEWプロジェクトでの水電解の開発
239	参考: Nouryon (HyCC) の目指すアルカリ水電解の目標水準
240	参考: アルカリ水電解に関する技術課題のトレードオフ(HyCC意見)
241	参考: H2Globalのスキーム概念図
242	参考: H2Globalのスキーム
245	多国間枠組(IPHE)下での国際会議への参加
246	IPHEのタスクフォースから発刊されたドキュメント
247	IPHE H2PA TFのスコープ・議論の対象
248	参考: 各製造手段のプロセスフロー例(水電解)
249	参考: 各製造手段のプロセスフロー例(天然ガス改質+CCS)
250	参考: 各製造手段のプロセスフロー(副生水素)
251	参考: 各製造手段のプロセスフロー(石炭ガス化+CCS)
252	ドキュメント公開後のIPHE H2PA TFでの議論状況

(様式2)

256	米国の水素ハブ(Regional Clean Hydrogen Hub)計画(速報)
257	南アフリカの水素ロードマップ(速報)
349	福島県の現状と取組(続き)
351	やまなし水素・燃料電池ネットワーク協議会 概要と特徴
352	北海道科学大学の産学官連携研究 概要と特徴
353	H2UB 概要と特徴
354	ISPT 概要と特徴