

第8回FC-Cubicオープンシンポジウム

競争が激化するグリーン水素製造の世界動向

～P2Gと水電解の市場・技術動向、および燃料電池との共通課題～

2022.07.13

みずほリサーチ&テクノロジーズ

本日のアジェンダ

1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢
2. P2Gシステムにおける類型化
3. 水電解装置の研究開発動向
4. 水電解・燃料電池の技術開発シナジーの可能性
5. まとめ

1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢

1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢

2. P2Gシステムにおける類型化

3. 水電解装置の研究開発動向

4. 水電解・燃料電池の技術開発シナジーの可能性

5. まとめ

多様な資源から製造できる水素

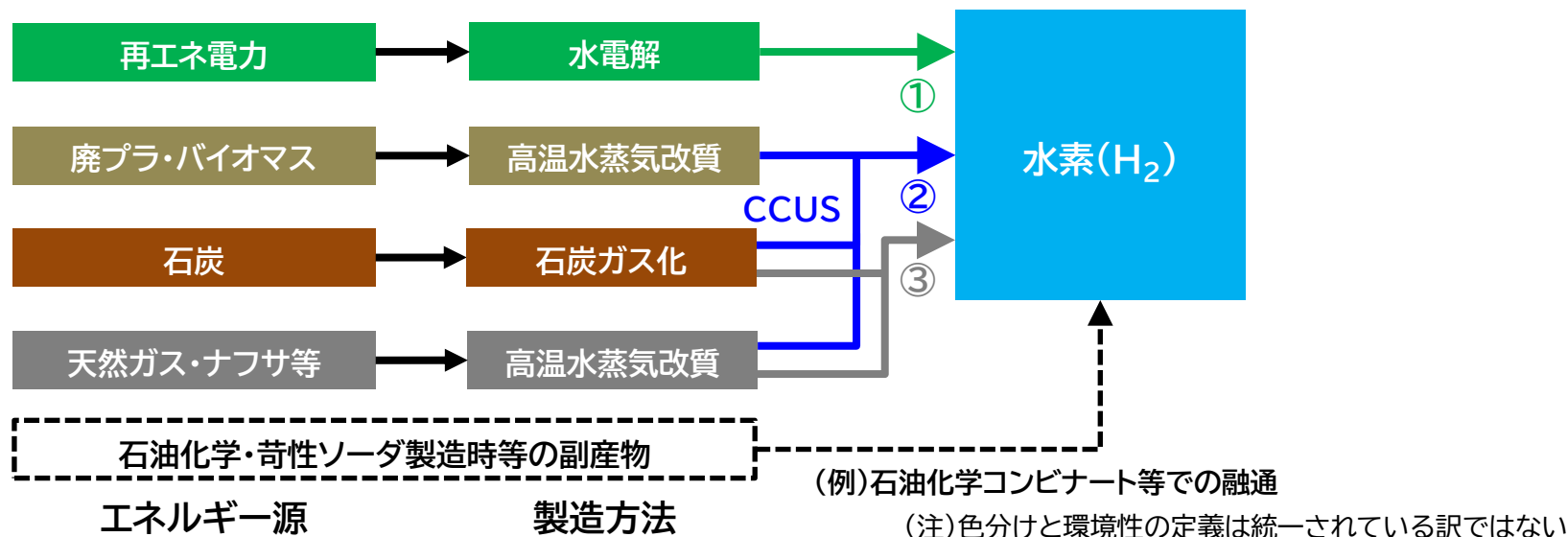
【低炭素水素製造】

- 再エネ電力による水電解(①グリーン水素)→「CO₂フリー水素として期待」
- グレー水素で発生するCO₂を回収・貯留あるいはリサイクル(②ブルー水素)

【従来の水素製造】

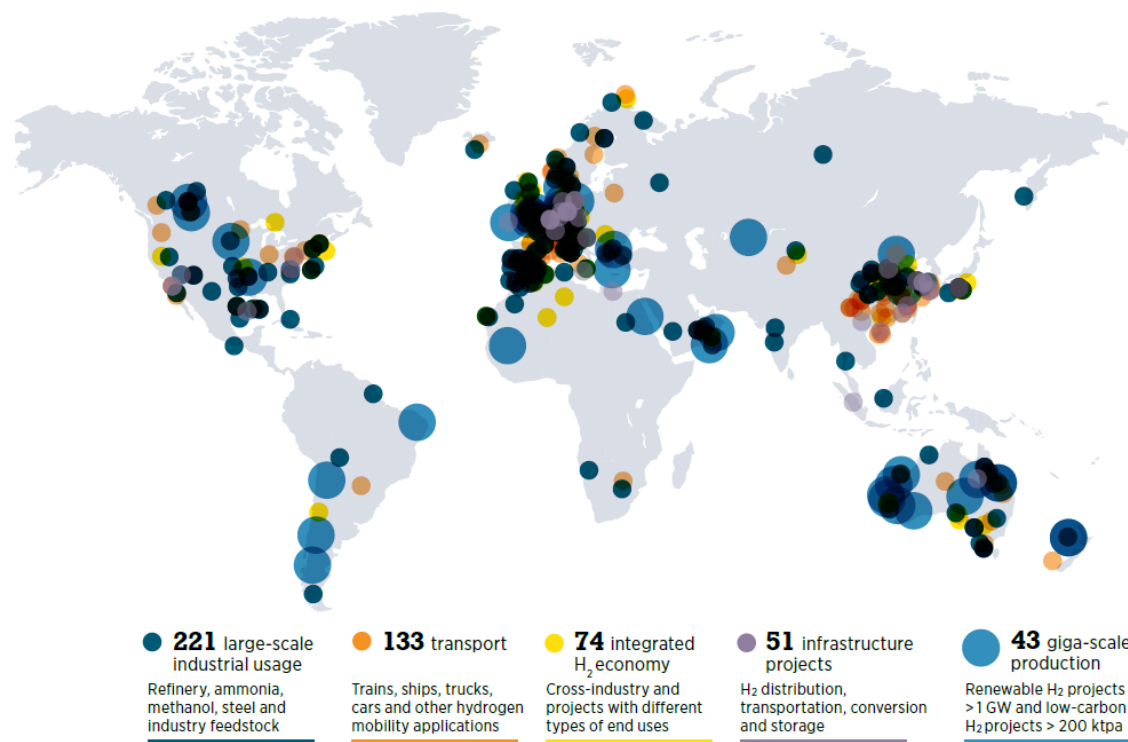
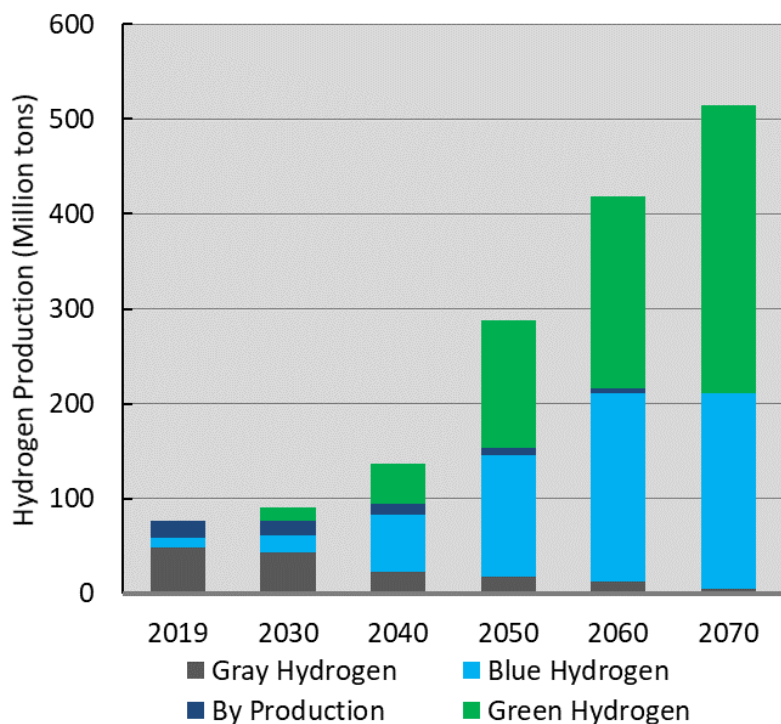
- 化石燃料由来の高温水蒸気改質(③グレー水素) ⇒ CO₂排出
- 製鉄・石油化学(エチレンプラント等)・苛性ソーダ工場等からの副生水素

他に、原子力の電力・熱による高温水蒸気電解あるいは高温ガス分解(ピンク水素)
メタンをプラズマで高温熱分解(ターコイズ水素) ⇒ 副産物のカーบอนはタイヤなどで利用
廃プラ・バイオマスを高温水蒸気改質(ホワイト水素) ⇒ CO₂は清涼飲料水などで産業利用、など



脱炭素化に向けたグリーン水素製造量の見通しと拡大の動き

- IEAによる低炭素化の進展を前提(パリ協定における2℃目標達成等を前提)とするシナリオにおいて2030年以降でブルー水素(化石燃料由来w/CCS)に加え、**再エネ水電解によるグリーン水素量が急拡大**する見通し
- 水素本格普及のターニングポイントである2030年頃に向けてグローバル全体で水素バリューチェーン(製造から輸送・貯蔵、利用)における500以上のプロジェクトが計画・推進中、**1GWを超えるグリーン水素製造プロジェクトも欧州・南米・豪州・中東など再エネ資源国を中心に増加**

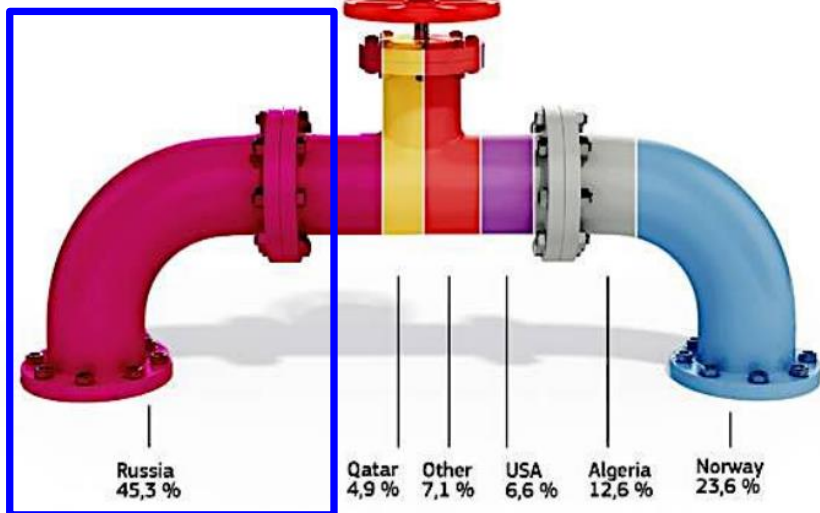


REPowerEU(ウクライナ情勢による欧州水素目標の加速)

- 欧州委員会はロシアのウクライナ侵攻を受け3月に概要を発表したエネルギー政策パッケージ「**REPowerEU**」について、5月18日にその詳細を発表
- **ロシア産化石燃料への依存を2030年よりも早期に脱却**し、かつ2021年に発表の政策パッケージ「Fit for 55」での**2030年GHG55%削減の目標**を計画、この実現には€2,100億の投資が更に必要とする
- 目標実現に向けた手段として**再生可能水素にも重点**が置かれており、**特に2030年に2,000万トンの再生可能水素導入**、また**25年までに水電解装置の年間生産能力を17.5GWに引き上げる**といった目標を設定

EUの天然ガス輸入先(2021)

45%をロシアに依存



【出典】欧州委員会

REPowerEU(2022/5)



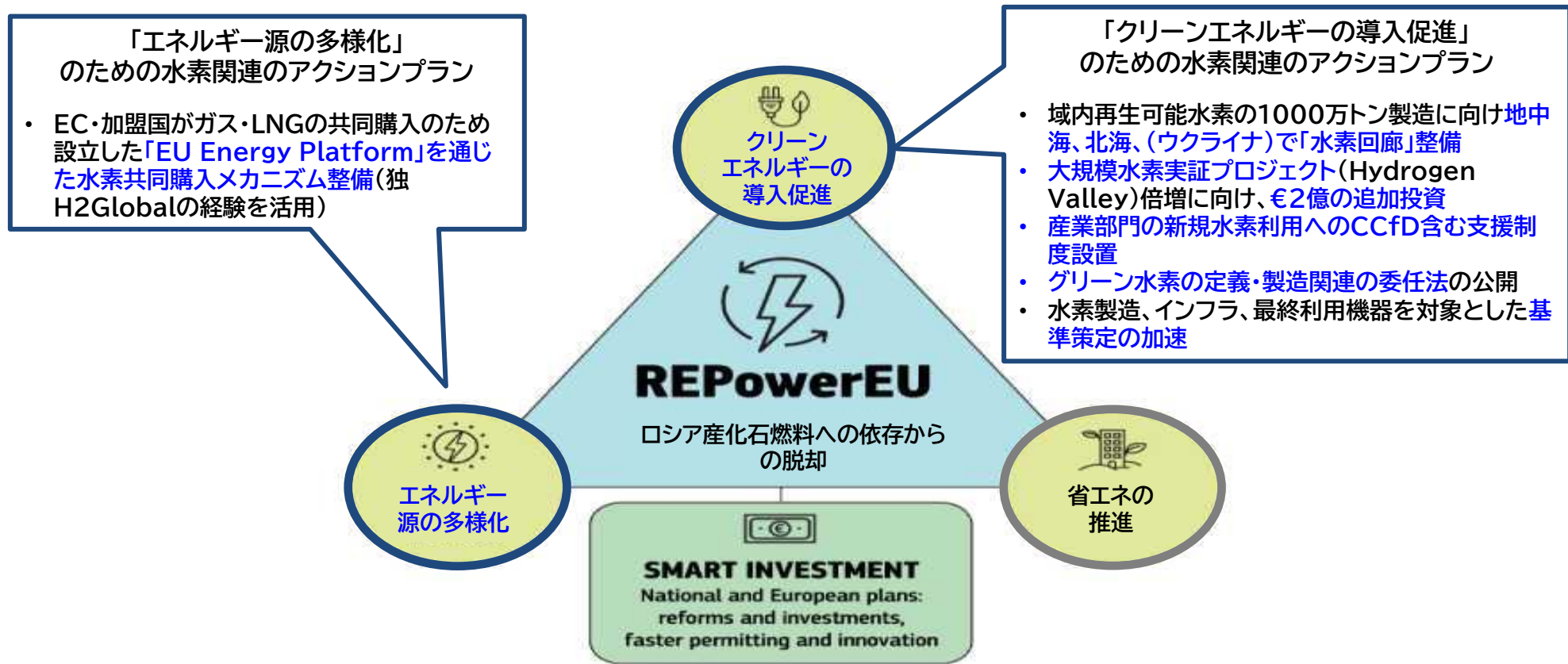
(昨年発表の)2030年GHG 55%削減の実現に加えて、2030年より早期にロシア産の化石燃料からの脱却を実現

水素関連の主要な目標

- 2030年までに域内再生可能水素生産量を1,000万トン、輸入量を1,000万トンとし、合計2,000万トンの再生可能水素を導入
- 非バイオ再生可能燃料(RFNBO)導入目標を拡大(産業部門75%、運輸部門5%)、それに向けて水素・ガスパッケージを改訂
- 2025年までに電解装置の生産能力を17.5GW/年に拡充(先行発表された業界との共同声明の反映)

REPowerEUにおける水素関連アクションプラン

- 「エネルギー源の多様化」「クリーンエネルギーの導入促進」の実現手段の一つとして水素を位置付けており、**再生可能水素の導入目標を2,000万吨へと引き上げ、域内生産に加え域外から大量輸入**も計画
- 目標へ向けたアクションプランとして、**今後実証への大規模投資や支援制度の整備**などを実施予定、**域外からの水素調達に向けた水素共同購入メカニズムの整備**も計画



欧州の水電解装置の導入加速に向けた目標

- 欧州域内での再生可能水素1,000万トン製造には、90-100GWの水電解装置が必要と予想されているが、現状、欧州の水電解装置メーカーの生産能力は1.75GW/年と見積もられている
- これを受け、欧州委員会は5月に関係企業20社と共同で、2025年までに17.5GW/年の水電解装置の生産規模を実現する共同声明を発表、REPowerEUの詳細計画にもこの目標が盛り込まれた
- 欧州委員会はこの声明において、水素の定義や再エネ電力の調達に関する制度面の整備の他、EU Innovation Fundを通じた生産技術開発への資金提供などの支援を行う計画を発表

政府・業界団体	水電解装置メーカー	部材・周辺機器メーカー
 	               	  

共同声明「2025年までに水電解装置17.5GW/年の生産規模実現」の発表機関

米国のクリーン水素政策

- バイデン政権がカーボンニュートラル社会を実現するためにクリーンエネルギーとインフラへの投資を通じて経済成長と雇用を促進、2035年までに電力脱炭素化、2050年までにGHG排出ネットゼロを表明
- 2020年11月には米国エネルギー省(DOE)が新しい水素プログラム計画を発表、既存需要から運輸部門では大型モビリティを中心とした多用途展開、化学・工業プロセスでは製鉄・セメント分野のCO₂低減、発電では火力発電代替、エネルギー統合システムでは原子力および化石燃料+CCUSの組み合わせによるハイブリッドシステムなどの新規需要の創出を目標とし、現在(1,000万トン)の2~4倍程度の水素需要を見込む
- 水素製造コストは**2030年頃までに1ドル/kgを目指し(2025年までに2ドル/kg)**、2022年2月、**超党派インフラ法(BIL)**において、①地域クリーン水素ハブ(80億ドル)、②**クリーン水素電解プログラム(10億ドル、5年)**、③クリーン水素製造およびリサイクルRD&D活動(5億ドル)の投資を計画

	運輸	化学・工業プロセス	定置用電源・発電用	エネルギー統合システム
既存需要	<ul style="list-style-type: none"> ・マテリアルハンドリング(フォークリフト等) ・バス ・乗用車(LDV) 	<ul style="list-style-type: none"> ・石油精製 ・アンモニア製造 ・メタノール製造 	<ul style="list-style-type: none"> ・分散電源:一次電力およびバックアップ電力 	<ul style="list-style-type: none"> ・再エネ接続グリッド(貯蔵・アンシラリーサービスを含む)
新規需要	<ul style="list-style-type: none"> ・商用車(MDV/HDV) ・鉄道、船舶、航空機 ・建機 <small>※脱炭素化・電化が困難な領域(長距離商用航空機、等)はe-fuelの可能性</small>	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄・セメント製造プロセスの低炭素化 ・工業熱 ・合成/バイオ燃料 	<ul style="list-style-type: none"> ・火力発電(水素/アンモニア) ・可逆燃料電池 ・長期間エネルギー貯蔵 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力ハイブリッドシステム ・化石エネルギーハイブリッドシステム(+CCUS) ・水素混合

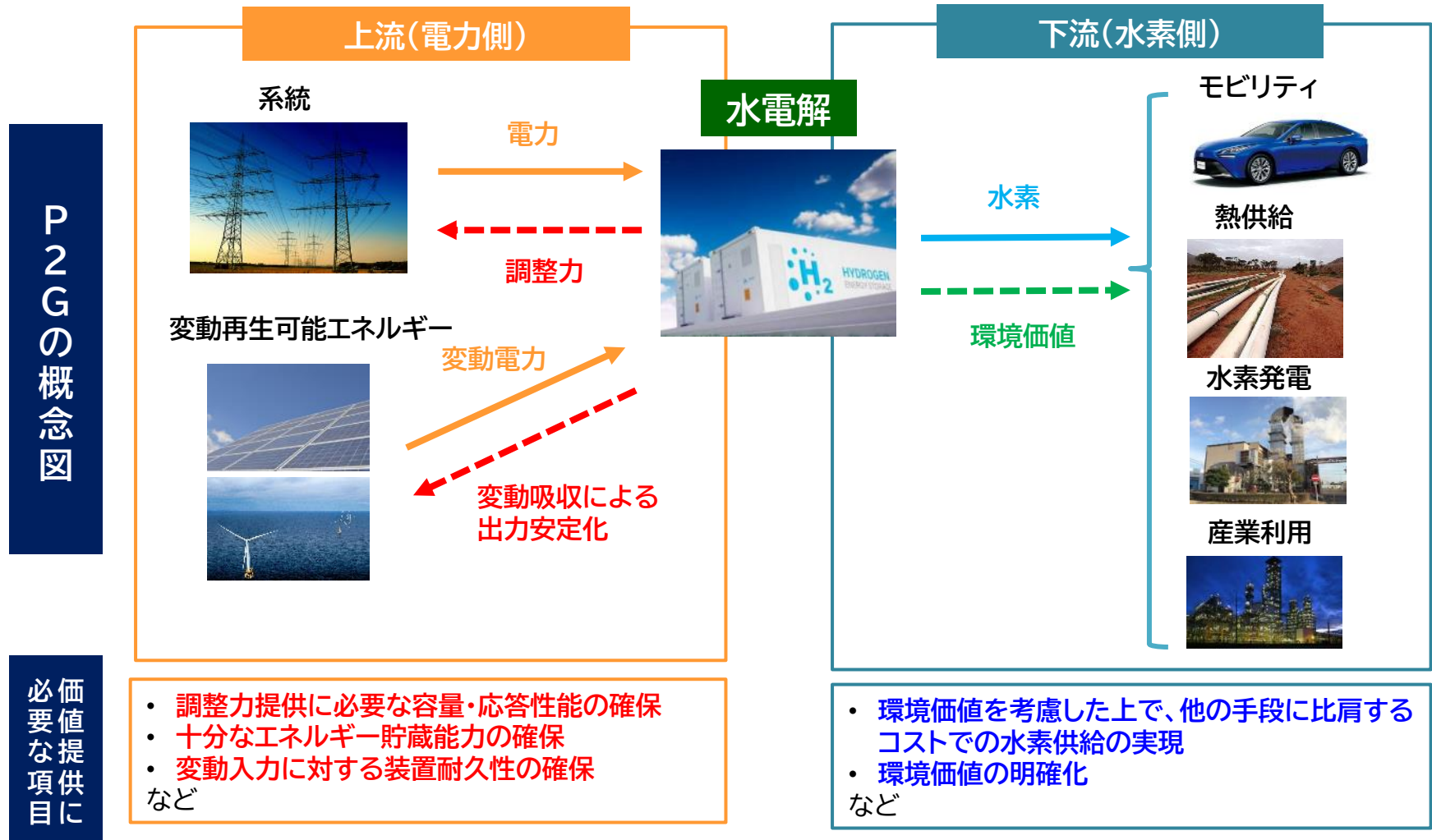
【出典】DOE “Hydrogen Program Plan”(2020/11)

2. P2Gシステムにおける類型化

1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢
- 2. P2Gシステムにおける類型化**
3. 水電解装置の研究開発動向
4. 水電解・燃料電池の技術開発シナジーの可能性
5. まとめ

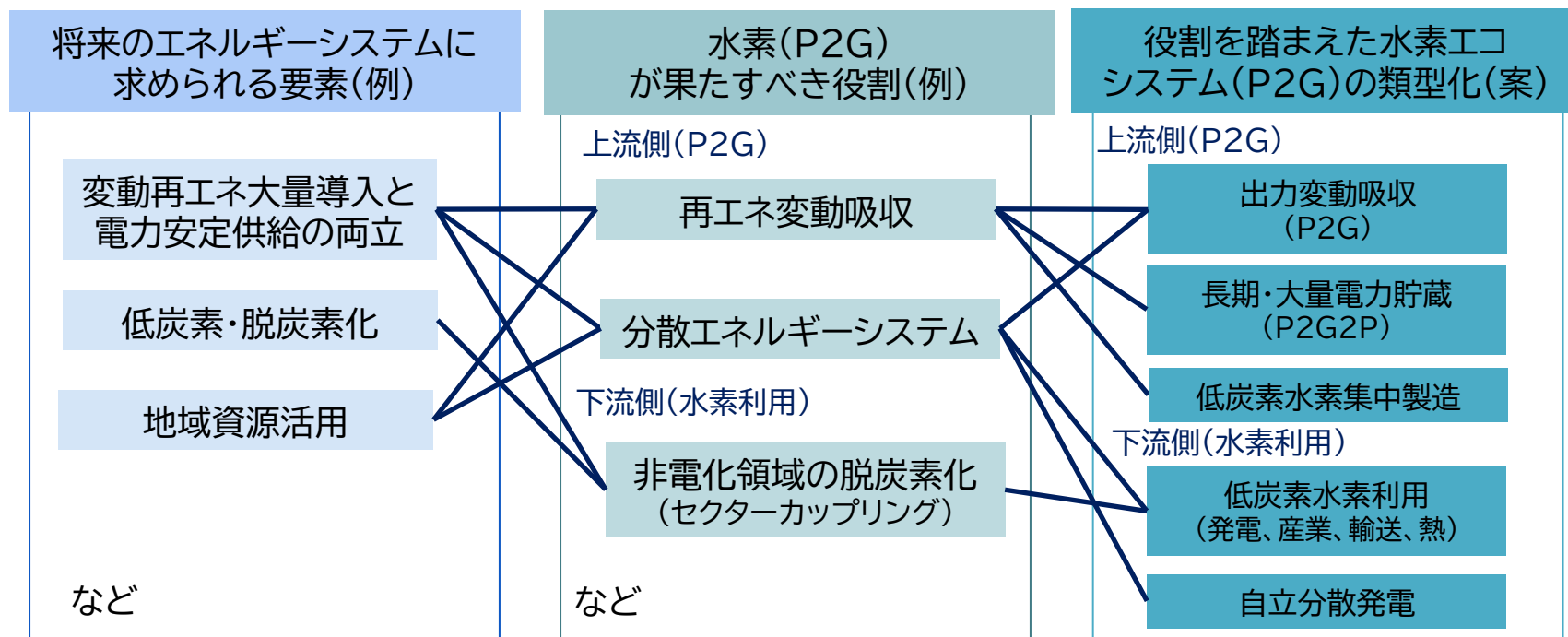
P2Gの提供価値

■ 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、これを活かし、価値を拡大することが重要



各国のP2G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高まり、という流れのなかで**P2X(Power to Gas/Liquid)**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大**
- 今後のグリーン水素を活用した地域実証モデルの参考として、P2Gを中心として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を類型化**



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)

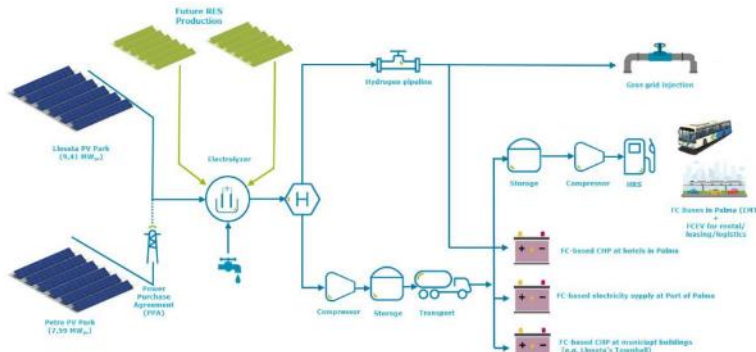
- 英オークニー諸島「BIG HIT」プロジェクト(風力由来水素を船舶輸送、定置・モビリティ利用)、スペインマヨルカ島「Green Hysland」プロジェクト(太陽光由来水素をモビリティ、FCコジェネやガス管注入で利用しバレアレス諸島に水素圏を構築)などが代表例

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

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

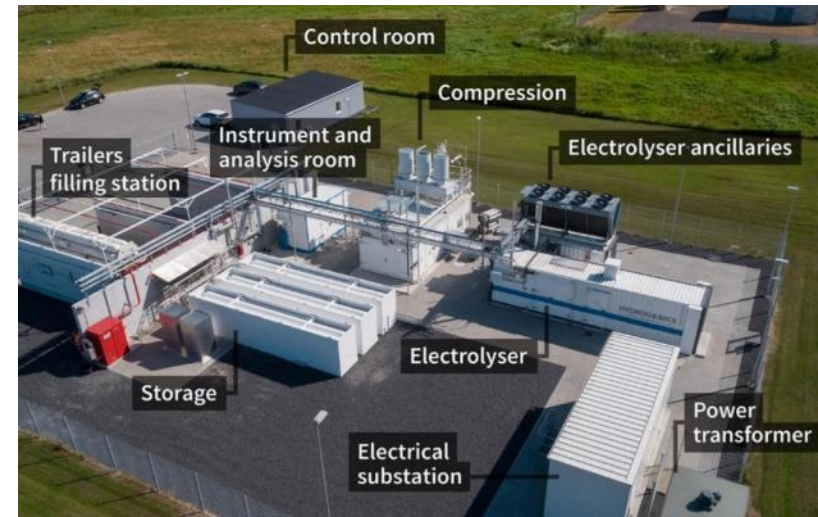


- Site 1: Lloseta Green H2 plant
- Site 2: Lloseta Municipal building FC
- Site 3: Cas Tresorer H2/NG mixing station & connection to NG gas grid
- Site 4: Palma hotel FC
- Site 5: Palma HRS at EMT bus depot
- Site 6: Port of Palma FC
- Pipeline - Lloseta to Cas Tresorer

【出典】María Jaén “Green Hysland”

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FCやモビリティ用に供給、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)

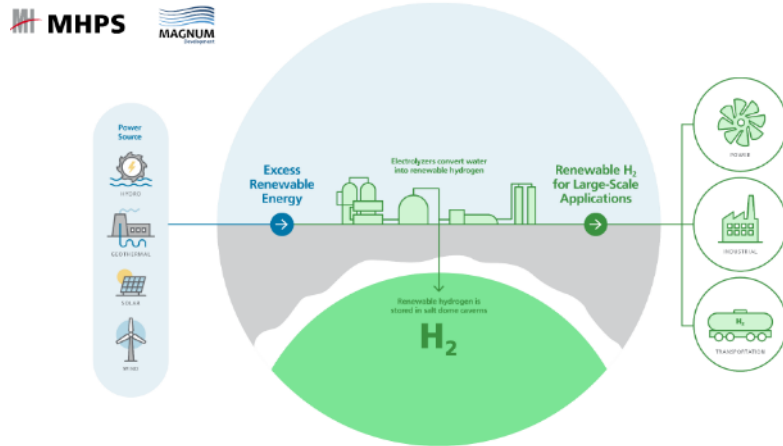
類型化－長期・大規模電力貯蔵

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スマッションも実施)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

Advanced Clean Energy Storage(米国)

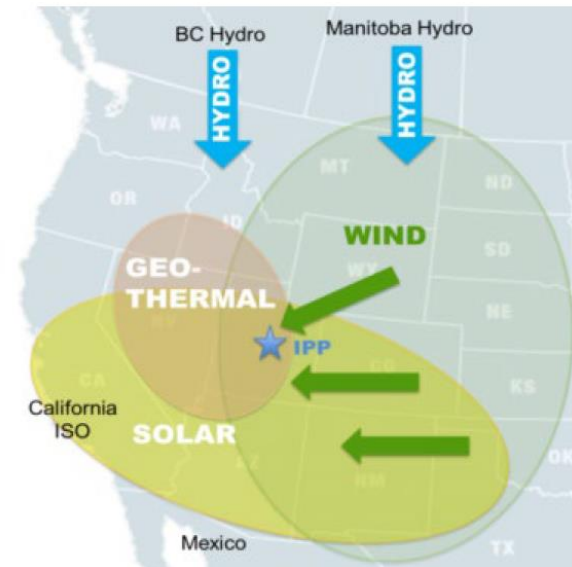
- **再エネ余剰電力を変電所においてP2Gにより水素に変換、岩塩ドームに大量貯蔵、必要時に水素ガスタービンで電力として供給**
- 三菱パワー、Magnum Developmentが取り組む
- 2025年迄に石炭火力を天然ガスタービンに転換、その後2026年から30%水素混焼を行い、2045年迄に100%グリーン水素へ燃料転換する計画



【出典】MHPS“Advancing Green Hydrogen for the Danskammer Project”

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スマッションも担う
- 増加する**余剰電力の季節変動吸収が重要**



【出典】LADWP “Intermountain Power Project & Green Hydrogen”

類型化－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

Hydrogen Delta(オランダ)

- Nouryon, Orsted, Shell, YARA等による、**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等が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て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－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
- 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
- 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捗中

eFarmプロジェクト(ドイツ)

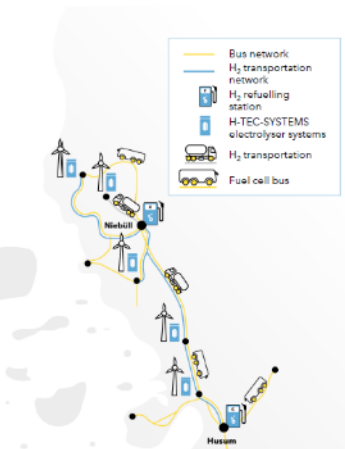
- ・ エネルギーソリューション事業者のGP JouleウィンドファームとPEM電解によるグリーン水素製造から水素ステーションへの輸送・消費までのサプライチェーンを構築するドイツ内最大級のグリーン水素モビリティ導入プロジェクト

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



【出典】GP Joule “Green Hydrogen Mobility Project eFarm”

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”

【参考】類型化のまとめ

P2Gの類型化	具体例なプロジェクト (今回取り上げた例を含む)	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)
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	産業、輸送、CHP(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	産業、輸送、CHP(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)	>2,000 t/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、製鉄など)、 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	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)

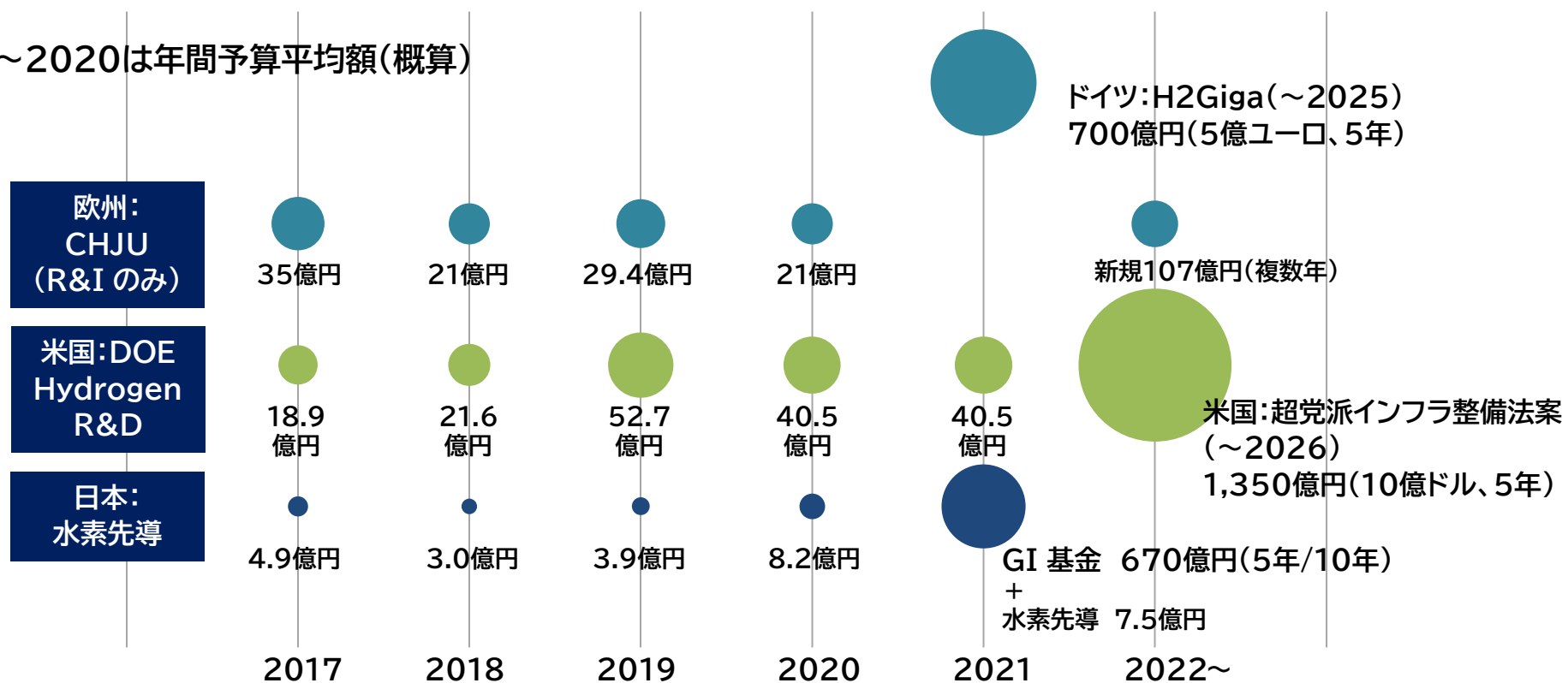
3. 水電解装置の技術動向と課題

1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢
2. P2Gシステムにおける類型化
- 3. 水電解装置の研究開発動向**
4. 水電解・燃料電池の技術開発シナジーの可能性
5. まとめ

海外と国内の水素製造(電解)に対する研究開発予算

- 水電解(低温・高温)の研究開発に関する予算の推移についてはグラフに示す通り、2021年までは各国数十億円規模の予算の下で研究開発が進行
- 昨年度、国内はGI基金「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」で670億円(政府支援分)、ドイツでも2030年5GWの電解装置大量生産を目指したH2Gigaプロジェクト(総額5億ユーロ)が開始。米国ではクリーン水素電解プログラムで電解装置の大量普及に向けた総額10億ドルの大規模な投資が計画

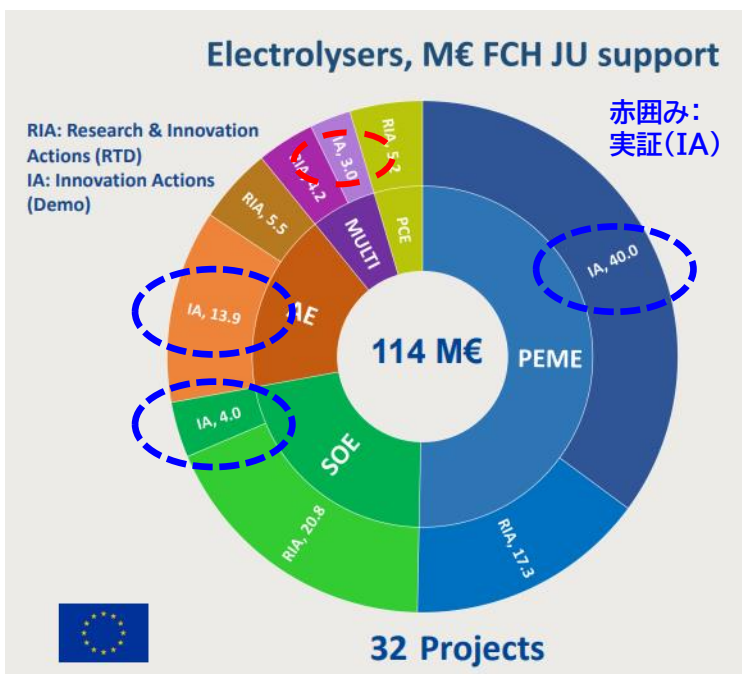
※～2020は年間予算平均額(概算)



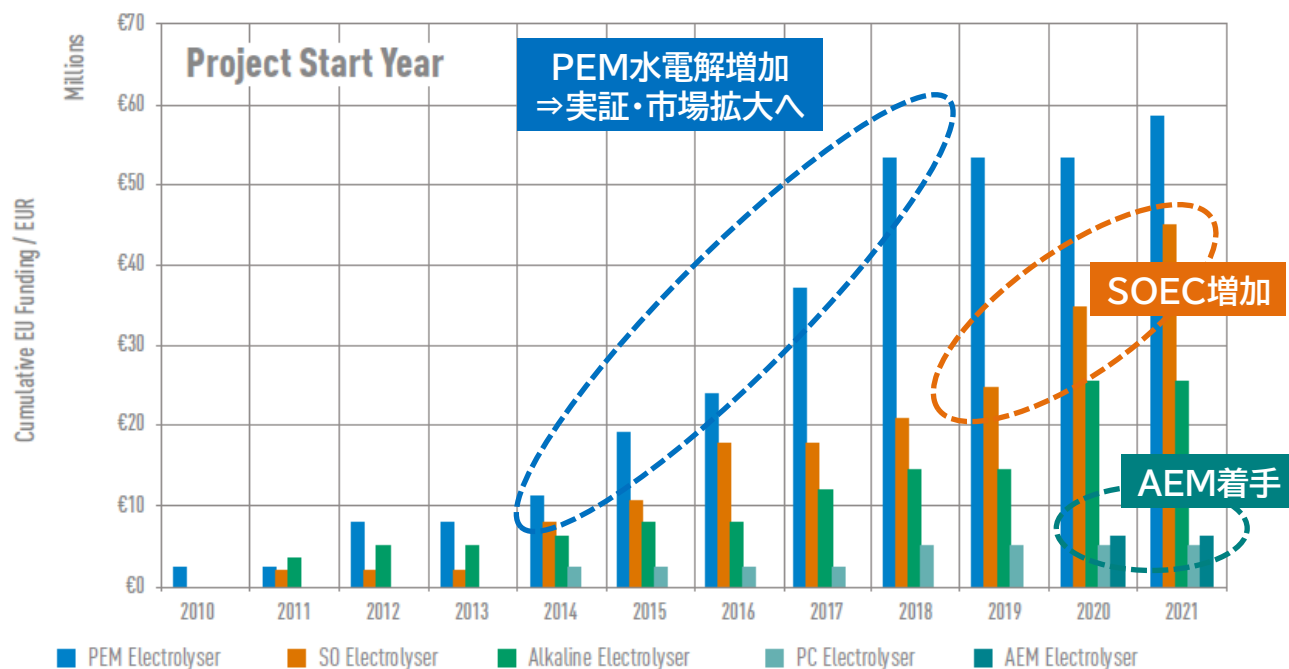
【出典】各種資料よりMHRT作成。金額は以下のレートを使用:135円/ドル, 140円/ユーロ

欧州におけるグリーン水素製造の研究開発(電解種別予算の変化)

- 水素製造プロジェクト50%以上が水電解であり、水電解技術に注力、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。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
- 電解種別の投資額内訳の推移を見ると、PEM水電解が一貫して多かったが近年はSOEC/アルカリ水電解への投資も拡大していることに加え、AEM(アニオン固体高分子形)への研究開発も開始



技術開発投資額の内訳(FY2019)



過去約10年間の電解種別予算の推移(累計)

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

欧州におけるグリーン水素製造の研究開発(MWからGWスケールへ)

- 現状開始中のFCHJUプロジェクトでは、例えば、オランダデルフトザイルでの20MWの加圧形のアルカリ水電解装置 (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
- 今後、**2025年までに数百MWの電解装置、2030年頃までにGWスケールに拡張する計画**

Hydrogen production, new generation of low temperature electrolyzers

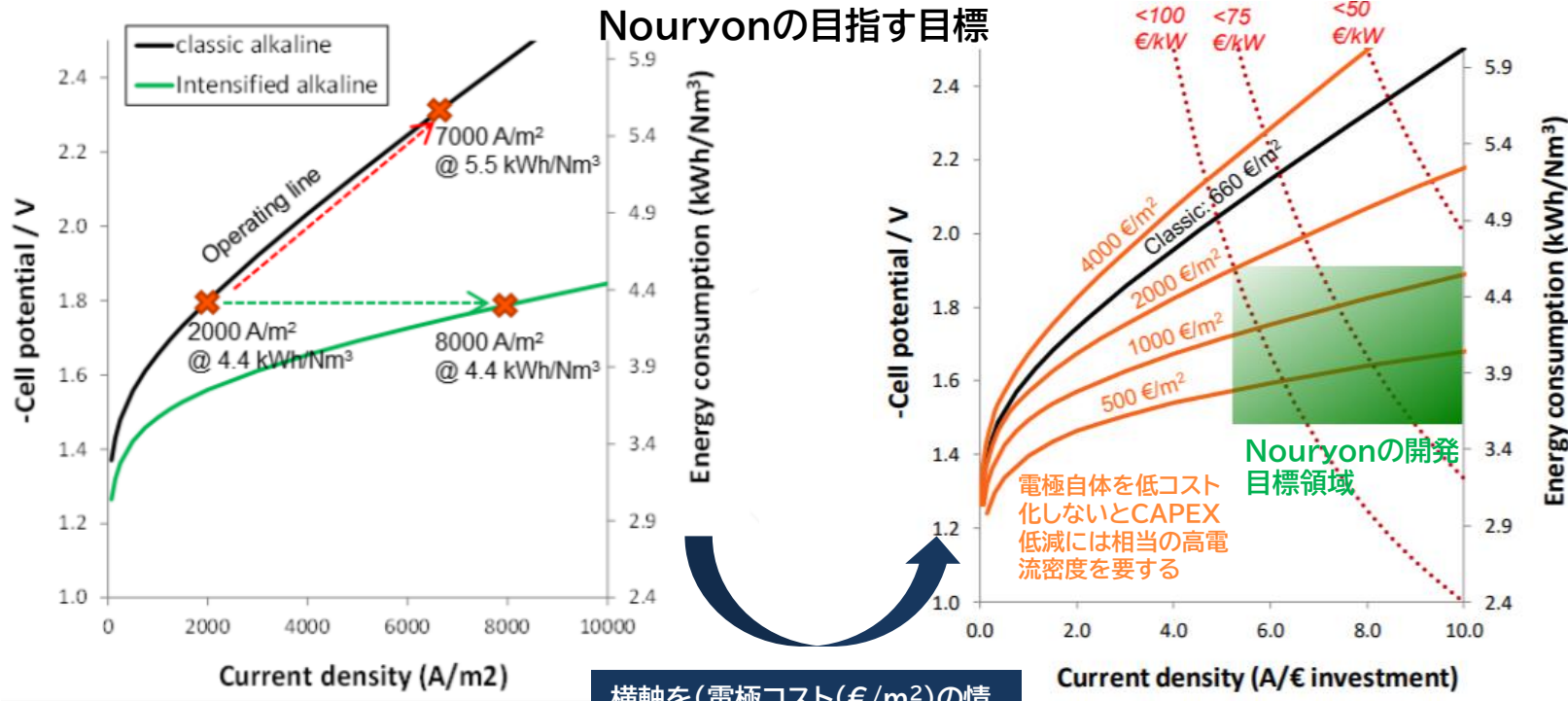


Scaling up challenges: new manufacturing processes to lower cost, increase capacity and lifetime

【出典】Bart Biebuyck(FCHJU)“Scaling-up Innovations on Renewable Hydrogen Production and Use”に基づき当社作成

欧州におけるグリーン水素製造の研究開発(アルカリ水電解の事例)

- Nouryonは食塩電解の技術を持つメーカーでアルカリ水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
- 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
- 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を数g/m²程度使っているケース**もあると思われるが、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

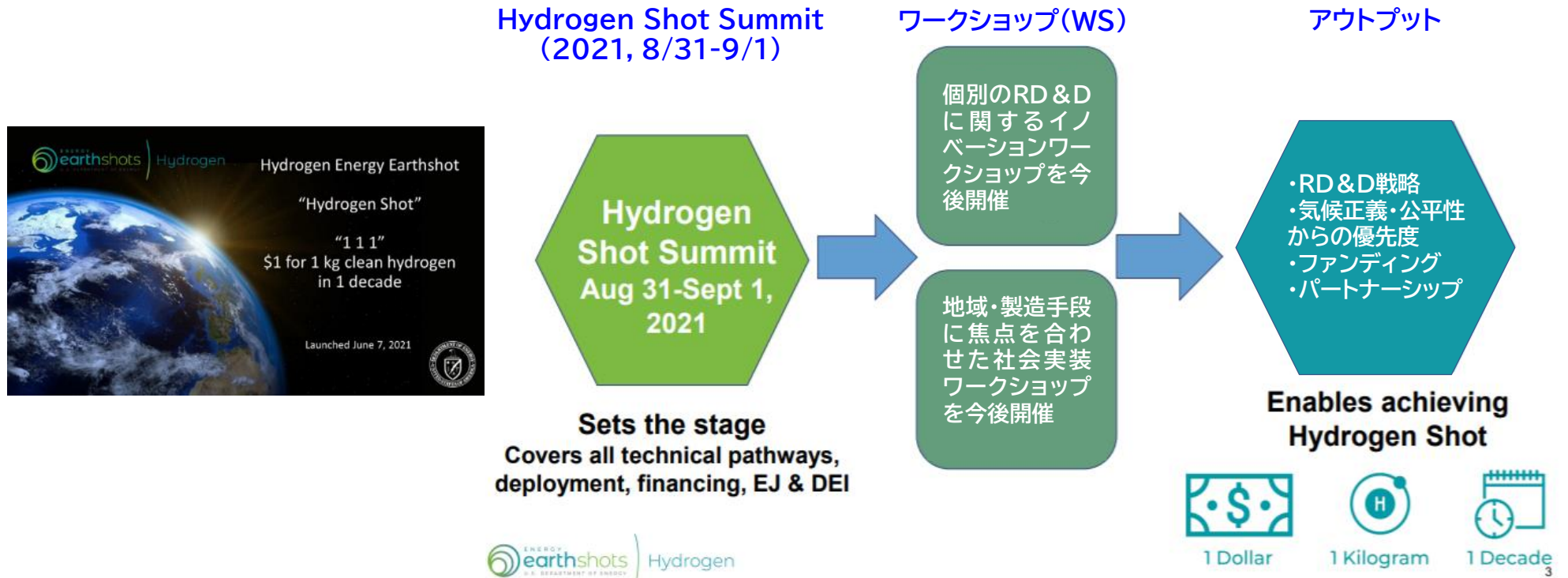


【出典】Nouryon, “Intensification of alkaline electrolysis”

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

米国におけるグリーン水素製造の研究開発(Hydrogen Shot)

- DOEが新プロジェクト「**Hydrogen shot**」を立ち上げ、2021/8/31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(研究開発&技術実証)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**



【出典】Sunita Satyapal, John Litynski, Linda Horton(DOE)“Hydrogen shot Overview”

“Hydrogen Shot”の今後の計画

米国におけるグリーン水素製造の研究開発(H2NEW)

- National Labによる水電解のR&Dコンソーシアム「**H2NEW**」が2020年10月より立ち上げ(5年間50Mドル)、過去のR&Dプロジェクト「HydroGEN」は材料開発に注力していたが、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**
- TRLの高いPEMEX・SOECを対象、2025年水素製造コスト\$2/kg、スタックコスト\$100/kWの目標に向け、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**、①と②ではオペラント測定・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

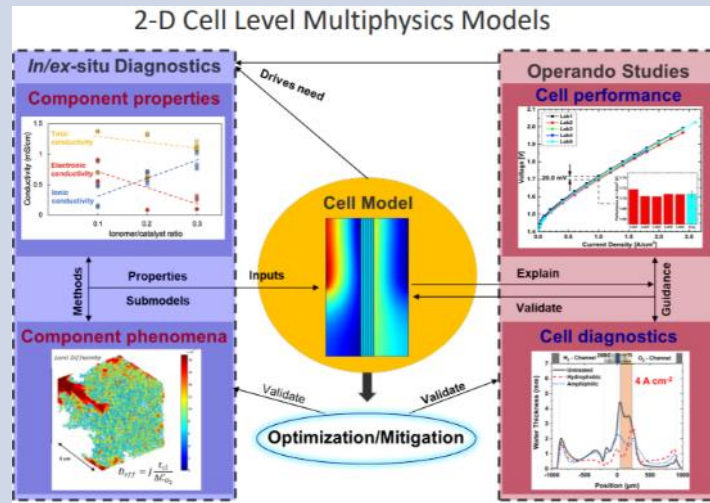
①耐久性・加速試験構築

- オペラント測定による**劣化因子解明**
- Ex-situの**部材測定・劣化評価**
- **上記成果に基づく加速試験および劣化抑制対策の構築**



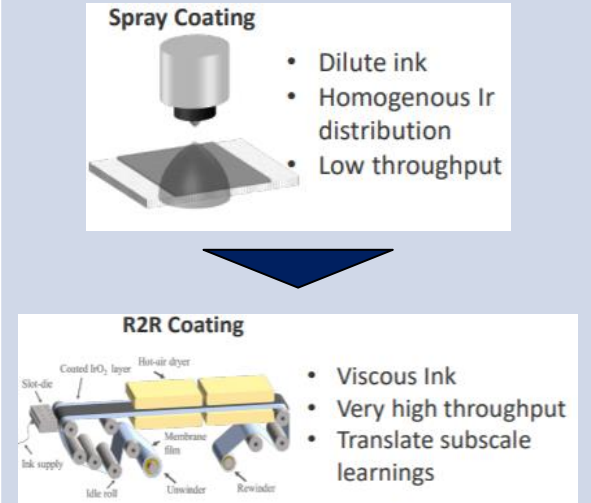
②性能(コスト・効率)ベンチマーク

- プロトコル構築・標準材料評価
- セル性能、モデリング
- 上記評価・解析技術を活用した、**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

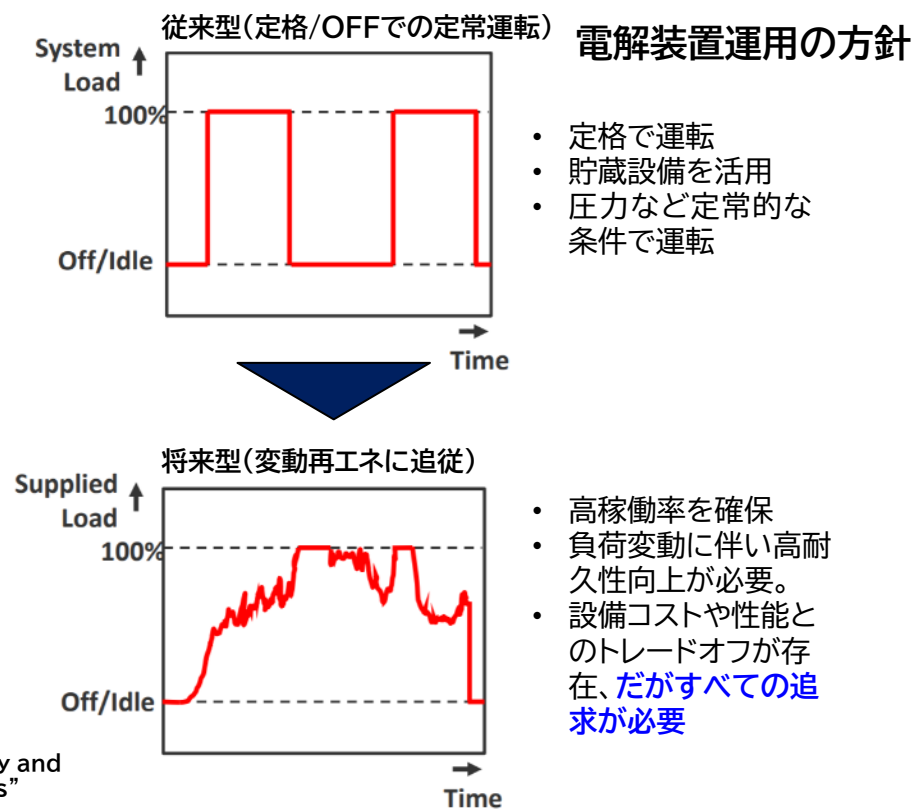
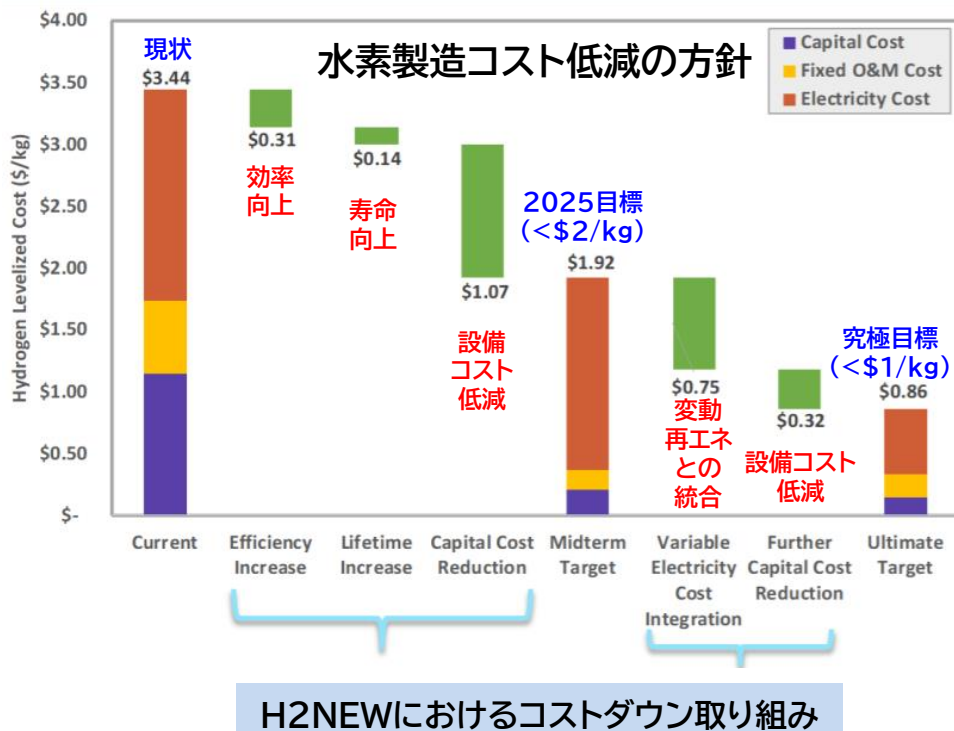
- ラボレベルのCCM製造技術(スプレーコーティング)から**大量製造に適した製造技術(Roll to Roll)**への移行
- Ti製PTLに対する**積層製造技術適用**



【出典】DOE AMR 2021資料に基づき当社作成

米国におけるグリーン水素製造の研究開発(PEM水電解の事例)

- 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
- 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(2.0⇒3.0A/cm²)、②貴金属使用量の低減(30.5mg/cm²)、③スケールアップ(製造量拡大、R2RプロセスによるCCM大量生産、等)
- 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



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

【参考】国内・海外の水電解装置の目標および現状値の性能・コスト比較

- 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とおり、アルカリ・PEM水電解装置の国内の「現状値」は海外と同程度かそれ以上に高効率であるものの、アルカリ形については設備・メンテコスト、PEM形については設備コストに隔たりあり

(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		
システム	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
スタック	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		
システム	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
スタック	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
その他	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。

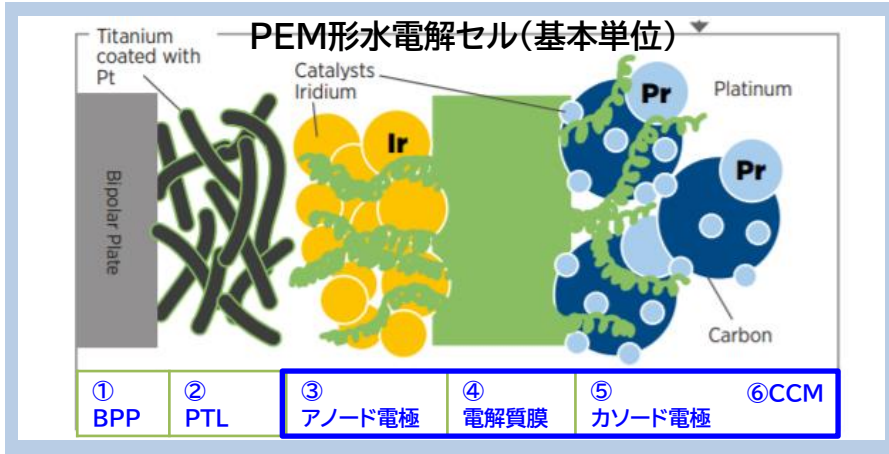
【出典】資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」(第2回 水素・燃料電池戦略ロードマップ評価ワーキンググループ 資料)

4. 燃料電池・水電解の技術開発シナジーの可能性

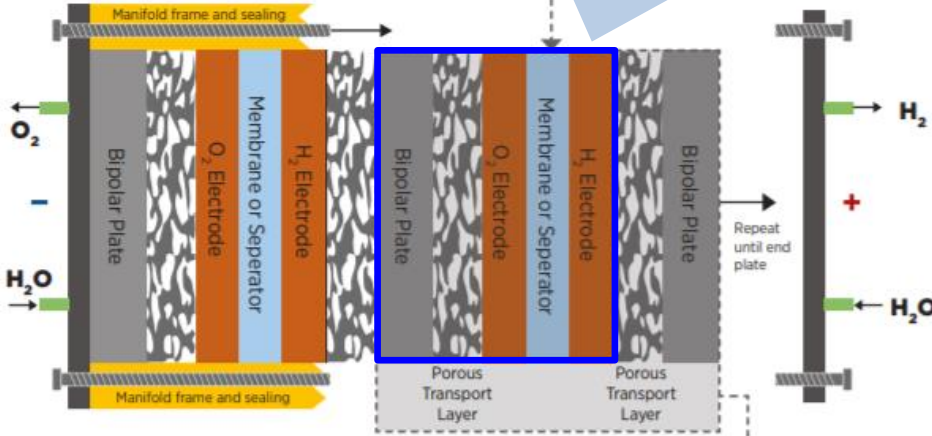
1. グリーン水素製造を取り巻く最新情勢
2. P2Gシステムにおける類型化
3. 水電解装置の研究開発動向
- 4. 水電解・燃料電池の技術開発シナジーの可能性**
5. まとめ

水電解技術・燃料電池技術の類似性(特にPEM形)

- 触媒や電解質膜、BPPなどのキーとなる部材、生産技術から評価・解析等の基盤技術など共通点も多いと考えられ、一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



スタック(単セル積層)

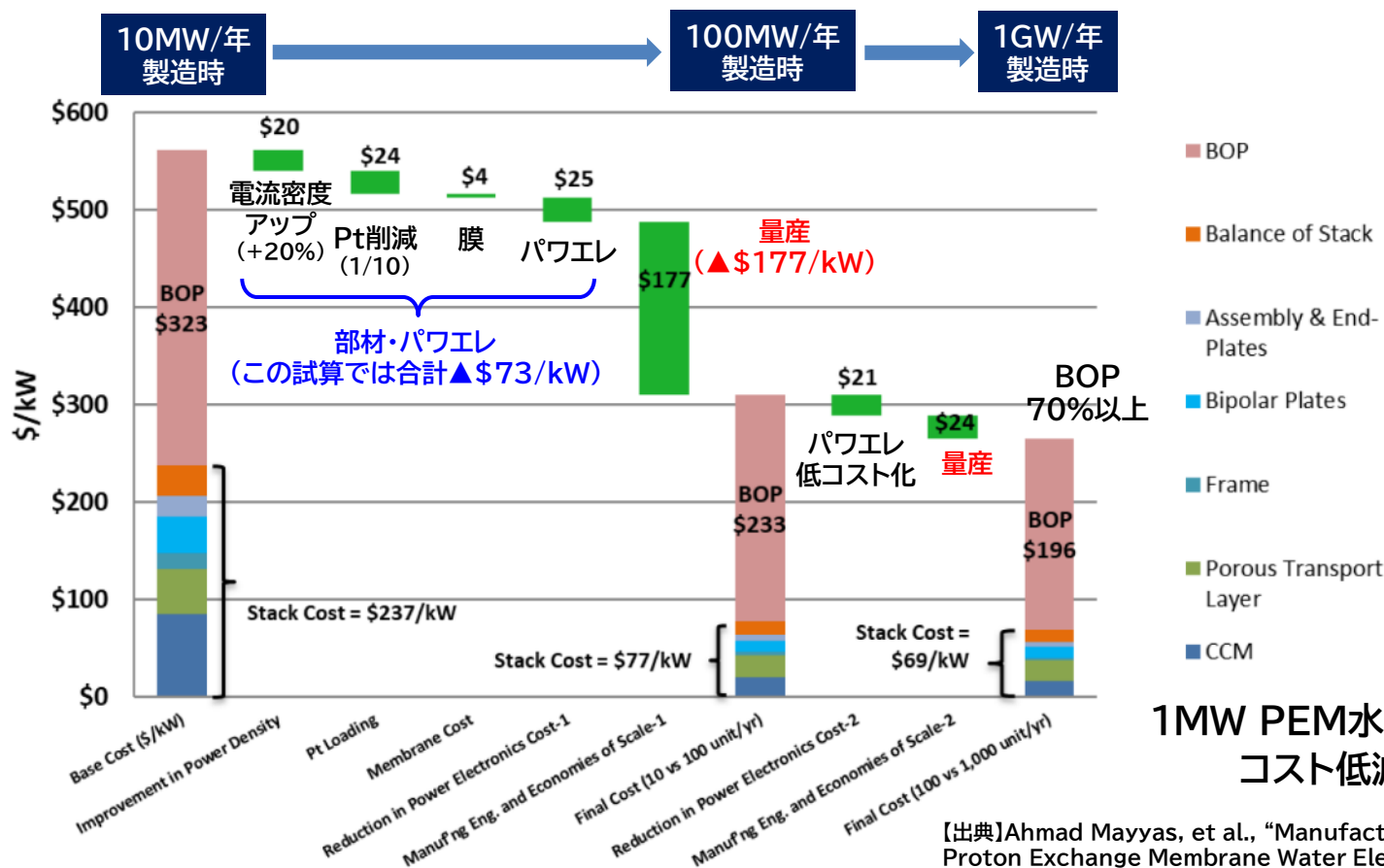


【出典】IRENA, "Green hydrogen cost reduction"に基づき当社作成

部材	要求機能	水電解	燃料電池
①バイポーラプレート(BPP)	共通	・接触抵抗抑制と耐食性両立 ・大量生産、高速化技術	
	特有	・コーティング材(貴金属)利用量の抑制 ・気泡排出の流路設計	・水素・空気の均一供給、 液水排出の流路設計
②ガス拡散層(PTL、GDL)	共通	・基材の低コスト化	
	特有	・貴金属コーティング量 低減	・ガス拡散性・排水性の向上
③アノード電極	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	
	特有	・特に希少な貴金属であるIrの利用量低減	・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	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(同じ材料なら薄膜化)	
	特有	・高耐久性(加圧電解)	・高耐久性(ラジカル耐性、 機械強度) ・高温(>100℃)・低~無 加湿での高イオン伝導性
⑤カソード電極	共通	・貴金属利用量低減・耐久性向上 ・担体の腐食抑制	
	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 ・高酸素透過イオノマー、 担体構造
⑥CCM	共通	・大量生産、高速化技術 ・触媒層構造の最適化	

水電解装置のコスト低減の方向性(量産効果のインパクト)

- 部材改善・セル性能向上も重要だが、初期段階では量産効果がコスト低減への寄与が大きく、スタックコストではCCMとBPPの量産効果が大きく、大量生産技術の進展が求められる(⇒生産技術としてのFCとの共通課題)
- 生産量が大きくなると、スタックがコストに占める割合は小さくなり、BOP(整流器等のパワエレ、水循環系、水素処理)のコストを低減する必要



1MW PEM水電解システムのコスト低減シナリオ

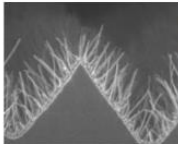
CCM製造技術の水電解装置への適用(米国3M)

- 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MEA供給も実施。近年、**水電解事業に注目し、CCM(Roll-to-Roll)の大量製造技術、独自のナノ構造触媒(NSTF)は水電解への適用性が高い**と考えている
- 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**、製造されたCCMは、Plug PowerのPEM水電解装置で検証される計画


3MのPEM形電解装置用CCM大量製造技術開発プロジェクト

Project Components


NSTF OER Powder Catalyst



NSTF OER Electrodes




Subgasketed WE CCMs




1 GW/yr Scale
2g/m², 35kW/m²

77kg Iridium



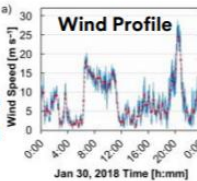
Cube, 13.6 cm per side

29k m² Electrode, CCM




~Surface Area of Mt. Fuji

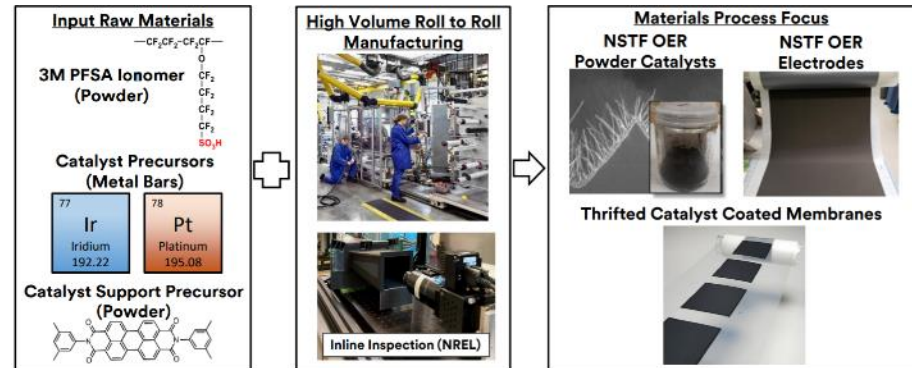
Assess: Variable Renewable Integration



Wind Speed (m s⁻¹) vs Time (h:mm)

Validate: Plug Power MW-Capable Stack
(100kW test)





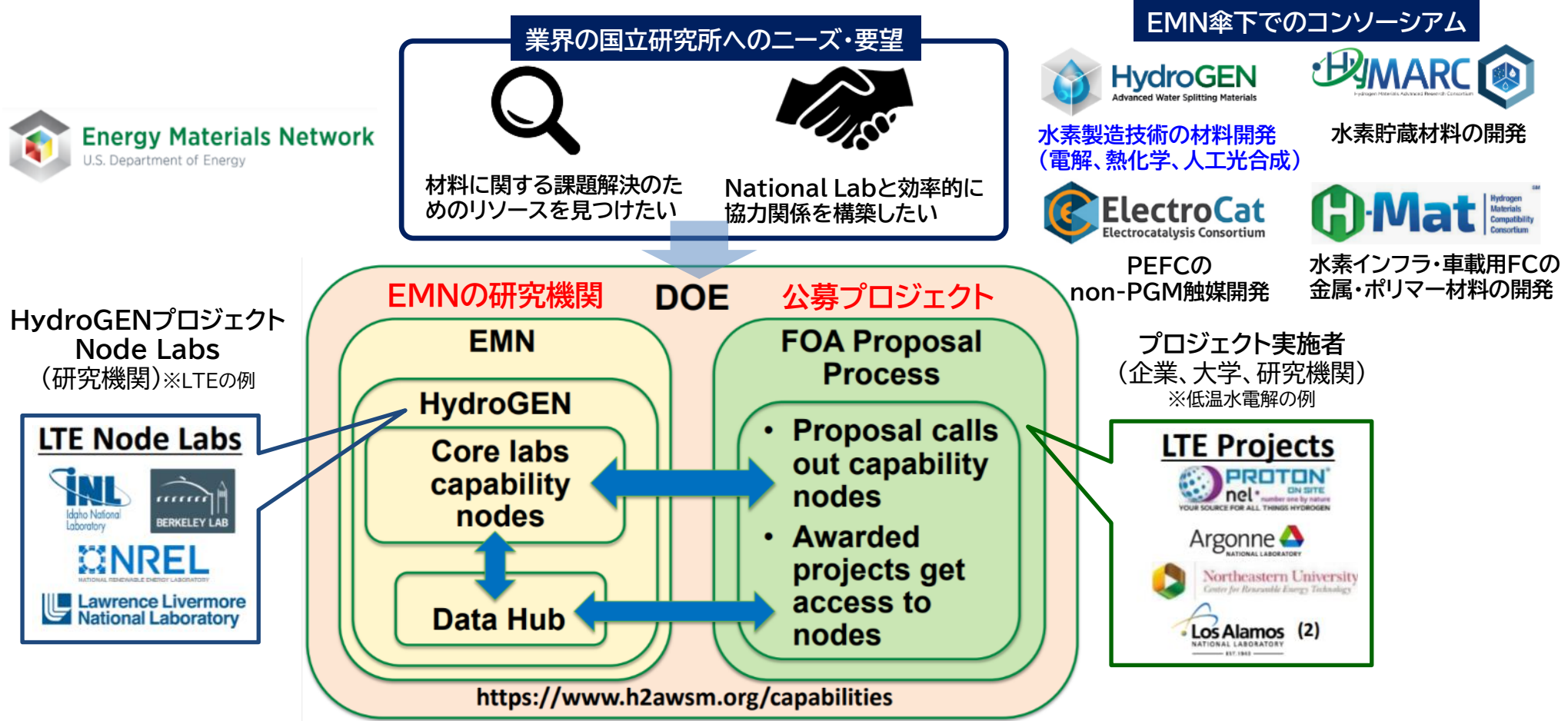
	Powder Process Rate (GW/year)	Electrode Loading (mg _{Ir} /cm ²)	Cell V @ 2A/cm ² (Volts)
Baseline	< 1	0.22	1.731
Milestone 1.4.1 Target	>1.5	NA	NA
Milestone 1.4.1 Status	>3.75	NA	NA
BP1 GNG Target	3.75	< 0.25	< 1.740
BP1 GNG Status	2	0.21	1.733

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

2GW/年の製造スケールと、従来水準の低Ir量、セル電圧(効率)の両立も可能

材料研究・評価解析技術等の活用拡大のための仕掛けづくり(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、DX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



【出典】Guido Bende(NREL), "HydroGEN: Low-temperature Electrolysis (LTE) and LTE/Hybrid Supernode"に基づき当社作成

5. まとめ

【本日の講演のポイント】

- カーボンニュートラル実現に向けてグリーン水素関連のプロジェクトが計画・進展、**ウクライナ情勢の影響で欧州はグリーン水素の製造量目標、および水電解装置導入の年間生産能力の引き上げる**目標設定がなされた。
- P2Xは再エネ大量導入・電力安定供給(上流)から水素利用サイド(下流)の付加価値を提供しうる重要な役割を果たし、**再エネ水素製造はそのブリッジとなる基幹技術**。P2Xにより、再エネ出力変動吸収から長期エネルギー貯蔵、産業・輸送・発電・熱など低炭素水素利用まで幅広いシーンで普及が期待される。
- 水電解水素製造への**R&D投資規模は日本と比べて欧米が大きく、2021年以降、米国・ドイツで電解装置の大量生産に向けた新たな大規模資金の投入**が開始。欧州ではGWスケールへの拡張計画、米国では2030年に1ドル/kgを目指し、コスト低減シナリオを具体化。
- 例えば、PEM形においては水電解と燃料電池に共通となる部材・生産技術、基盤技術も多く、技術開発でのシナジーが期待。今後、再エネ資源国を中心に水電解装置の市場拡大が急速に進むと予想されるが、我が国の水電解装置の競争力確保・市場獲得に向けた研究開発の加速に加え、**大量生産技術、産業界と研究機関との連携による研究開発コンソーシアムの立ち上げ**など、今後、燃料電池分野との連携による横断的なR&Dのテーマ創出・効果的な推進が重要となる。

ご清聴ありがとうございました。

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

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