

第12回FC-Cubicオープンシンポジウム

世界の水素製造と水素資源化の取り組み

2023.12.6

みずほリサーチ&テクノロジーズ

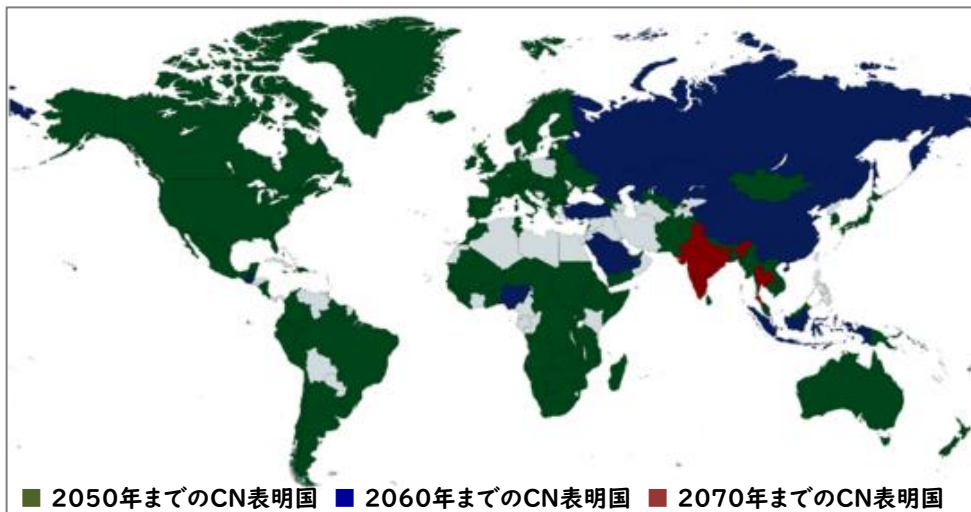
1. 水素の期待と製造・利用の拡大に向けた政策

加速するカーボンニュートラル(CN)への取り組みと、脚光を浴びる水素

- 2022年10月時点で、**年限付CN(カーボンニュートラル)宣言を発表した国は150カ国を上回る**
 - その他、米国・EU・中国・日本などは2030年の中間目標も設定
- CN実現へ向けて必要な**脱炭素手段の一つとして、「水素」が世界的に注目を集めている**
 - 2021年10月時点で17カ国が「水素戦略」を発表済、2022年に入って中国・インド等も発表、2023年には日本、ドイツが水素戦略を更新、更に米国が「国家クリーン水素戦略・ロードマップ」を発表

年限付CN宣言発表済の国・地域 (2022年10月時点)

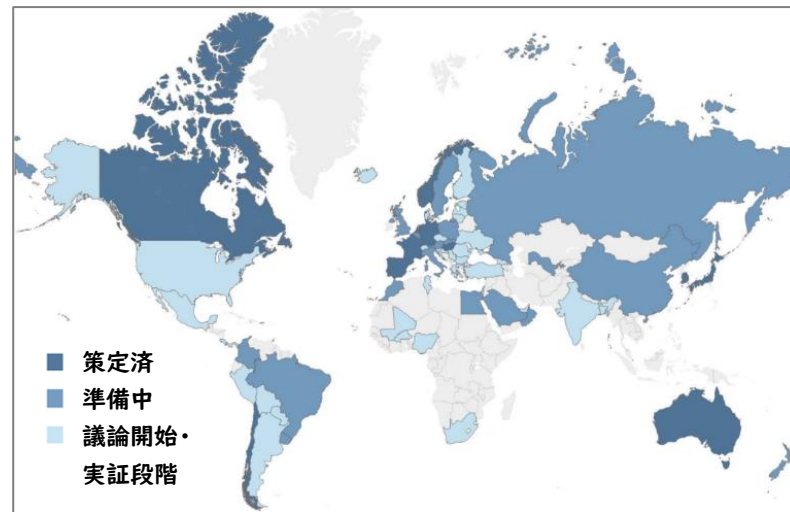
- 先進国の他、中国や、中東(UAE・サウジ)・ロシアも発表済
- 2021年のCOP26では新たにインドが「2070年カーボンニュートラル(CN)」宣言を発表



【出所】資源エネルギー庁「エネルギー白書2023」

「水素戦略」発表済の国・地域 (2022年10月時点)

- 2023年9月時点で「水素戦略」を41カ国が発表済、2017年末の1カ国(日本)から6年で大幅増加
- 先進国のみならず、水素大量製造が可能な南米、アフリカ、中東などの国が水素輸出構想を含む「戦略」を発表



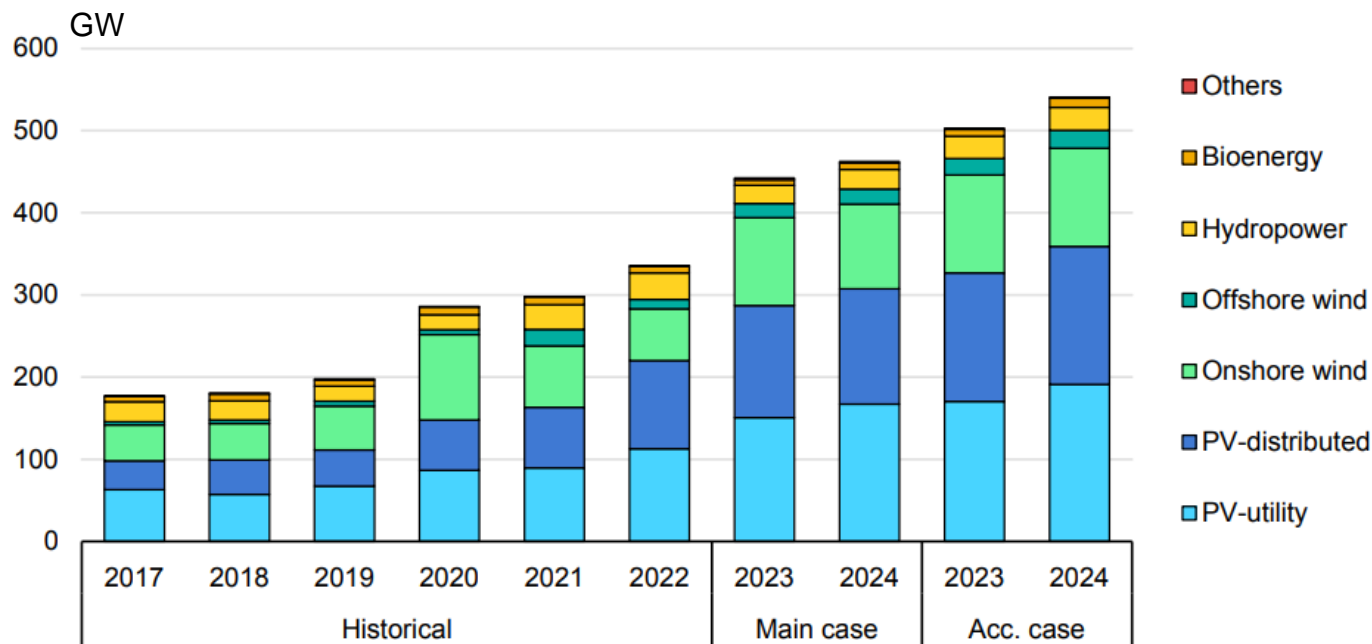
【出所】World Energy Council (2021/10)

水素が注目される背景#1 (再生可能エネルギーの普及拡大)

【再生可能エネルギーの増加】

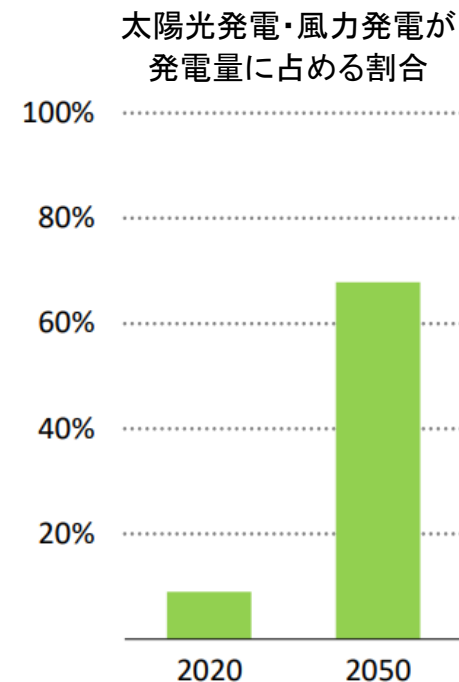
- 太陽光発電・風力発電を中心に**再生可能エネルギーの導入量は加速度的に増加中**
- 中長期的にも導入量拡大が見込まれており、国際エネルギー機関(IEA)のシナリオでは太陽光発電・風力発電が**発電量の60%以上を占める**、というシナリオも存在
 - 再生可能エネルギーを活用したグリーン水素製造と様々な利用への期待

再生可能エネルギーの容量追加量(2017-2024)



【出所】IEA, "Renewable Energy Market Update" (2023)

太陽光発電・風力発電の長期見通し



【出所】IEA, "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector" (2021)

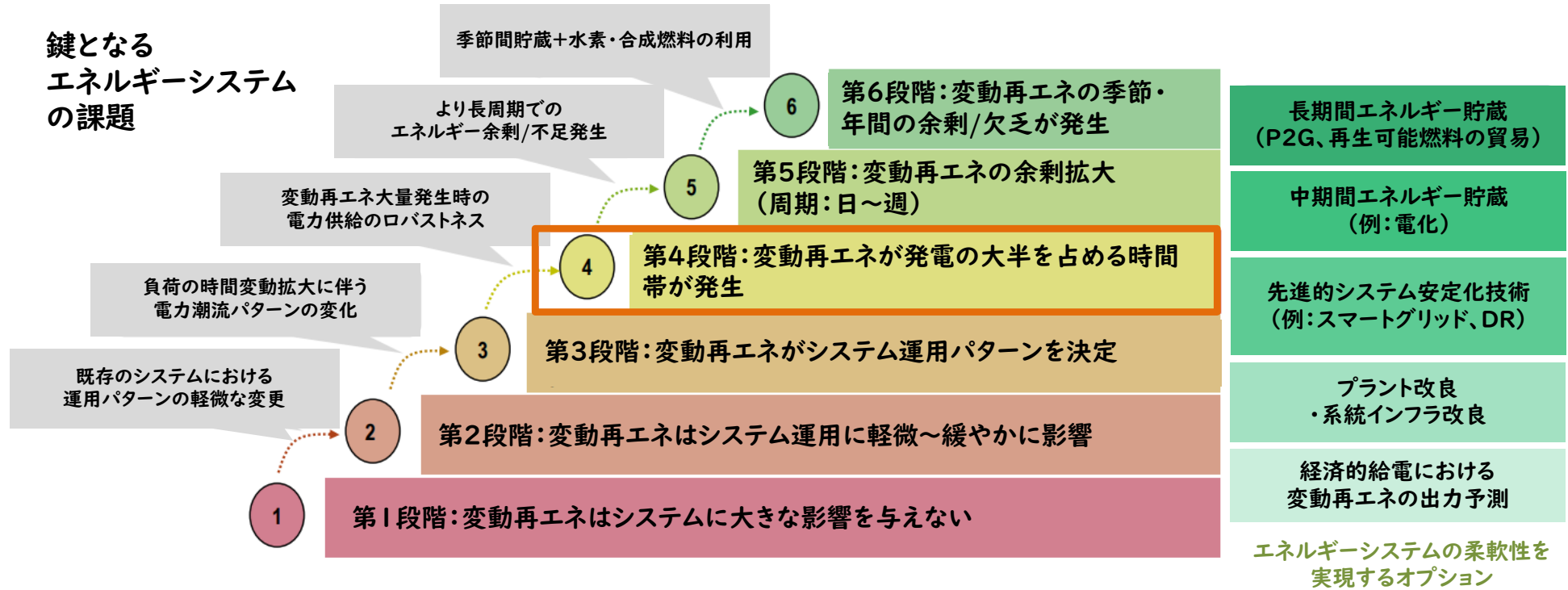
水素が注目される背景#2（変動再エネ大量導入時のエネルギーシステム）

【将来のエネルギーシステムの要請】

- 時間変動する再生可能エネルギーの普及に伴い**需給アンバランスが増加、エネルギー貯蔵技術が重要性を増す**
- 電力供給側での貯蔵・転換と、電化困難なエネルギー需要家の脱炭素化を結びつける「**セクターカップリング**」の手段が将来の脱炭素化エネルギーシステムでは求められており、「水素」および「水素由来燃料」が脚光を浴びている

変動再生可能エネルギー増加に伴いエネルギーシステムに求められる柔軟性

鍵となる エネルギーシステム の課題



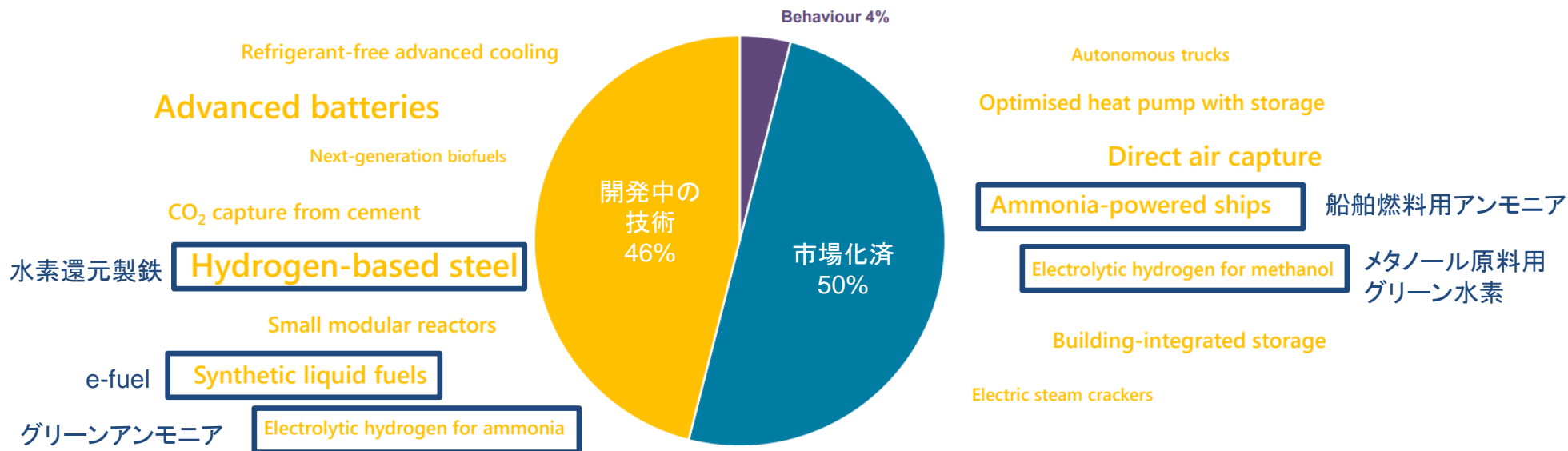
【出所】IEA, "Wprd;Energy Outlook 2018"に基づき当社作成

水素が注目される背景#3（脱炭素技術の必要性）

- CN実現には、従来脱炭素化が困難であった領域でも今後脱炭素化に向けたエネルギー転換が不可避
- このためには新たな技術のR&D・実証が必要であり、IEA Net Zeroシナリオでは今後2030年までに実証に900億ドルの投資が必要とされている
- 水素はアンモニア、e-fuel(合成燃料)等を含めた**水素由来のカーボンニュートラル燃料**も含めて複数の”Hard-to abate“な分野の脱炭素化実現のキー技術と位置づけられている

技術別のCO₂削減量(IEA Net Zeroシナリオ)

CO₂ savings by technology maturity in 2050, NZE scenario



Unlocking the next generation of low-carbon technologies requires more clean energy R&D and \$90 billion in demonstrations by 2030; without greater international co-operation, global CO₂ will not fall to net-zero by 2050.

水素が注目される背景#4 (エネルギー・経済安全保障)

- ロシアのウクライナ侵攻を背景に、欧州委員会はエネルギー転換を加速する政策「REPowerEU」を2022年発表、ロシア産の天然ガス脱却を目指す中で水素の役割が大きく拡大。
- 欧州にとどまらず、**脱炭素化へのエネルギー転換と自国のエネルギー自給の両立手段**として米国やインドなど、自国内に豊富な水素製造ポテンシャルを持つ国でも水素へ注目が集まっている
- 水素をはじめ、脱炭素化に向けたエネルギー技術はこれらの環境の下で各国の戦略分野となっており、**欧米は自国の経済安全保障・産業保護・育成を意識した政策を発表、水電解技術での覇権**を目指す

EUの産業政策例 「ネットゼロ産業法案」

- ネットゼロ技術として以下8分野(電解・燃料電池含む)のEU域内でのスケールアップを支援、**2030年の年間生産量の少なくとも4割をEU域内生産・供給することを目指す**

米国の産業政策例 「インフラ投資法」

- インフラ投資法で支援の対象となる「**水素ハブ**」では、**水素の利用先や利用する工業製品・材料に関して米国の雇用に寄与するよう**、以下の条件が求められている

対象(ネットゼロ技術)	支援策
太陽光・太陽熱エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> □ 規制サンドボックス設置でのイノベーション加速 □ 許認可手続きの短縮化 □ ネットゼロ技術調達先の多角化(レジリエンスへ貢献) □ 2030年までにCO₂の圧入能力を5000万トン/年とする □ ネットゼロ・ヨーロッパプラットフォーム設立(情報交換、スキル強化)
陸上風力・洋上再エネ	
バッテリー/蓄電	
ヒートポンプ・地熱	
電解装置・燃料電池	
持続可能バイオガス/バイオメタン	
CO ₂ 分離回収・貯留	
系統技術	

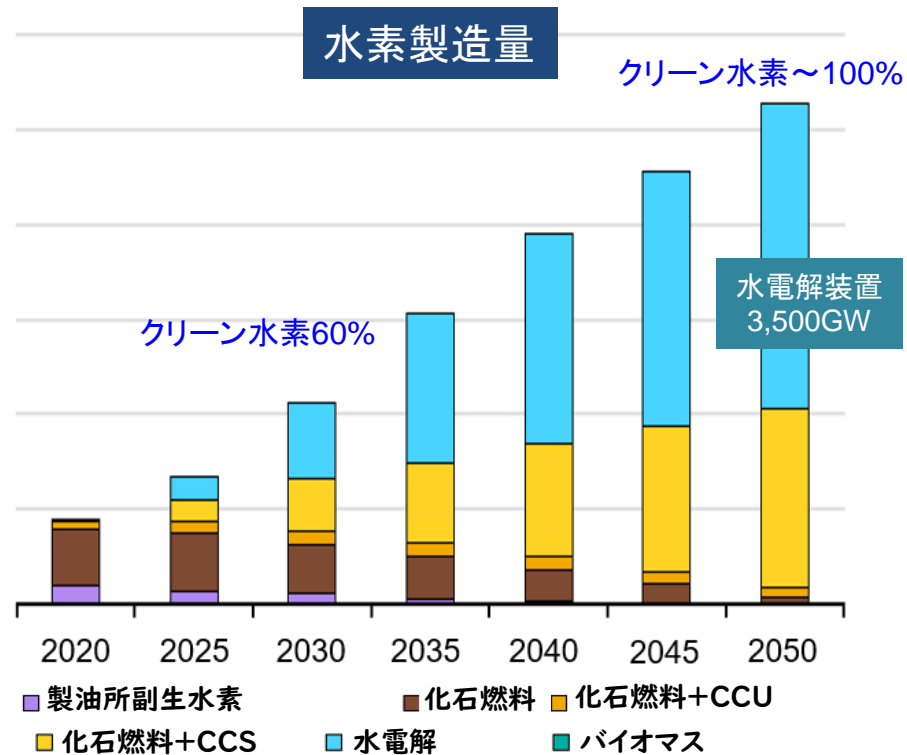
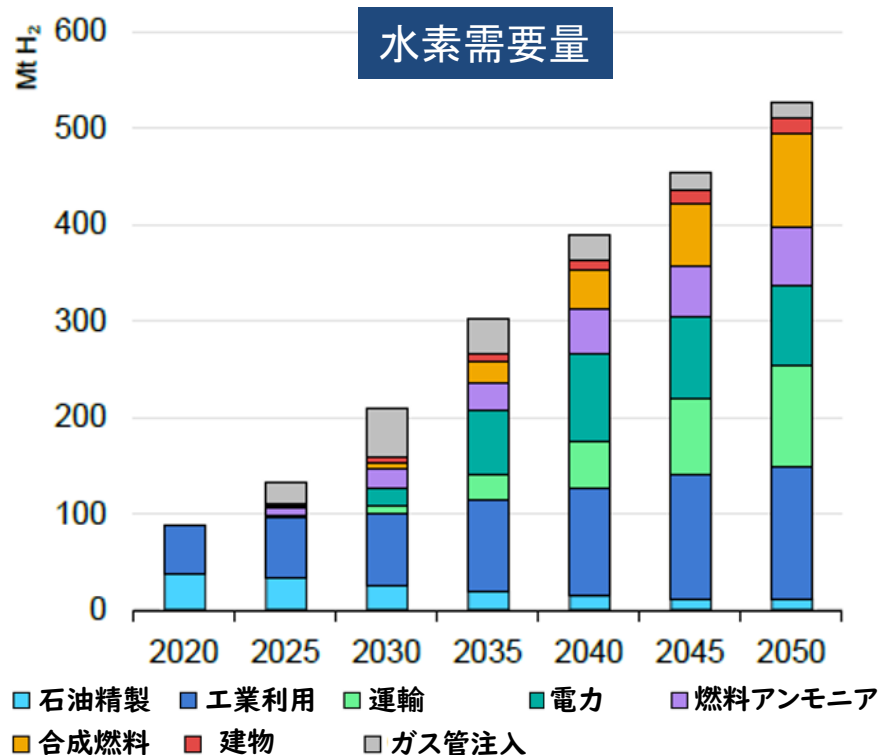
対象	要求条件(生産・雇用創出関連)
生産要件	<ul style="list-style-type: none"> □ 水素利用先が国内であること(強い推奨) □ ただし、需給バランスの確保のため、ハブ地域外への一部水素の輸出も提案可能 □ すべての鉄鋼・鋼材は全製造工程が米国内で行われる必要 □ すべての工業製品は米国内で採掘・生産・製造された部材のコストがトータルコストの55%を超えていること
雇用創出要件	<ul style="list-style-type: none"> □ 地域のできるだけ多くの住民に技能研修を行い、長期の雇用を生み出す機会を提供するハブを優先

【出所】European Commission” Factsheet: Net Zero Industry Act”に基づき当社作成

【出所】DOE Website等に基づき当社作成

カーボンニュートラル実現に向けた水素需給量の将来見通し(IEA)

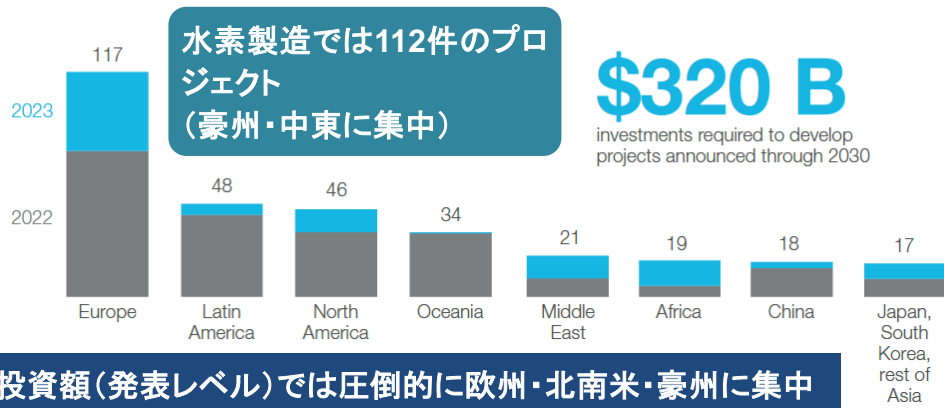
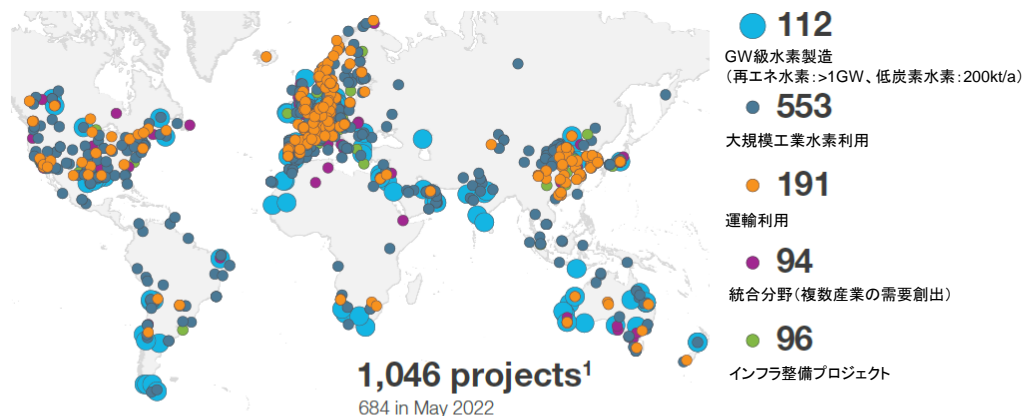
- IEA(国際エネルギー機関)Net Zeroシナリオでは今後世界の水素利用量は大きく拡大、**2050年に500Mt超**と2020年の6倍
 - ー 特に**電化が困難な領域**(工業原料や運輸部門の内長距離走行・高負荷を要する領域の燃料)、発電用燃料等で活用
 - ー 短中期的には石油精製・工業利用が利用量の大半を占めるが、中長期的に運輸用・発電用燃料での利用量が拡大
 - ー 運輸用・発電用は水素直接利用に加え、**合成燃料(e-fuel等)**や**燃料アンモニア**も増加
- 利用量を賄うための水素製造手段として、**クリーン水素製造技術(水電解、化石燃料+CCS)**が今後大きく増加



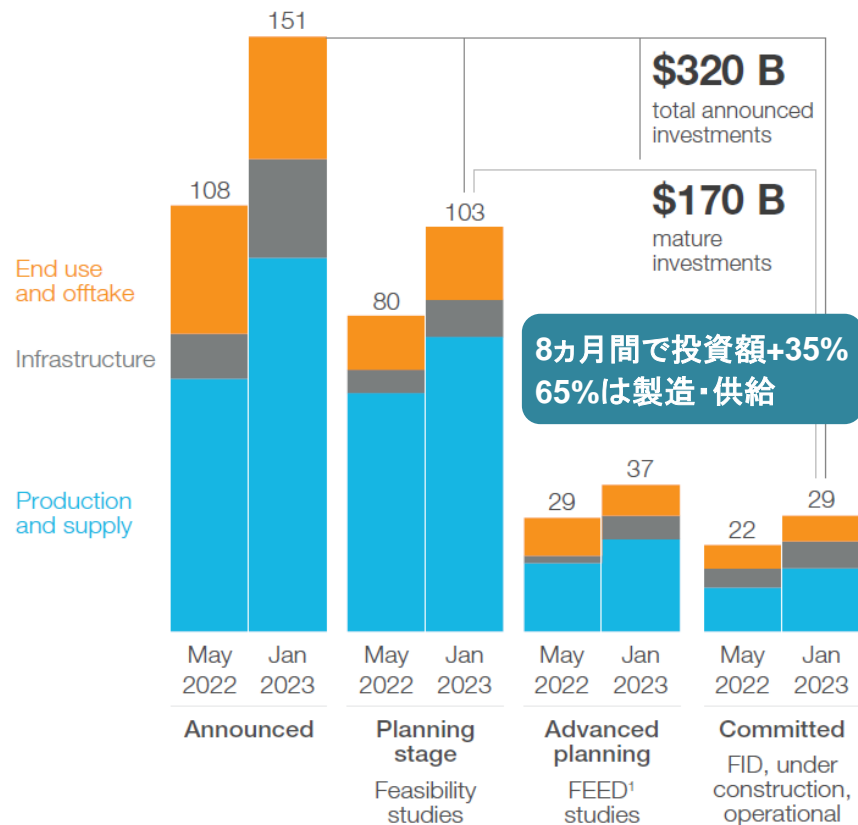
【出所】IEA, "Global Hydrogen Review 2021"に基づき当社作成

最新の水素関連プロジェクトのグローバル分布と動向

- 水素関連の発表済プロジェクトは1,000件以上に達し、2022年5月から2023年1月の8ヵ月で350件以上増加、**GW級の水素製造プロジェクトは8ヵ月でほぼ倍増**、運輸利用も200件近くに達する(欧州・中国・米国に集中)
- 複数の産業分野に対し水素供給する「水素経済圏」(統合分野)の構築も世界各地で進む
- 投資額(発表レベル)も8ヵ月で35%増加(3,200億ドル、48兆円以上)、**65%は水素製造とサプライチェーン構築**



投資額(発表レベル)では圧倒的に欧州・北南米・豪州に集中



【出所】Hydrogen Council, "Hydrogen Insights 2023"

主要国・地域の水素政策と水素製造に関する計画

■ 2030年頃の水電解装置の導入規模で見た政策目標の「3位」は日本、普及に向けた産業戦略の具体化が課題

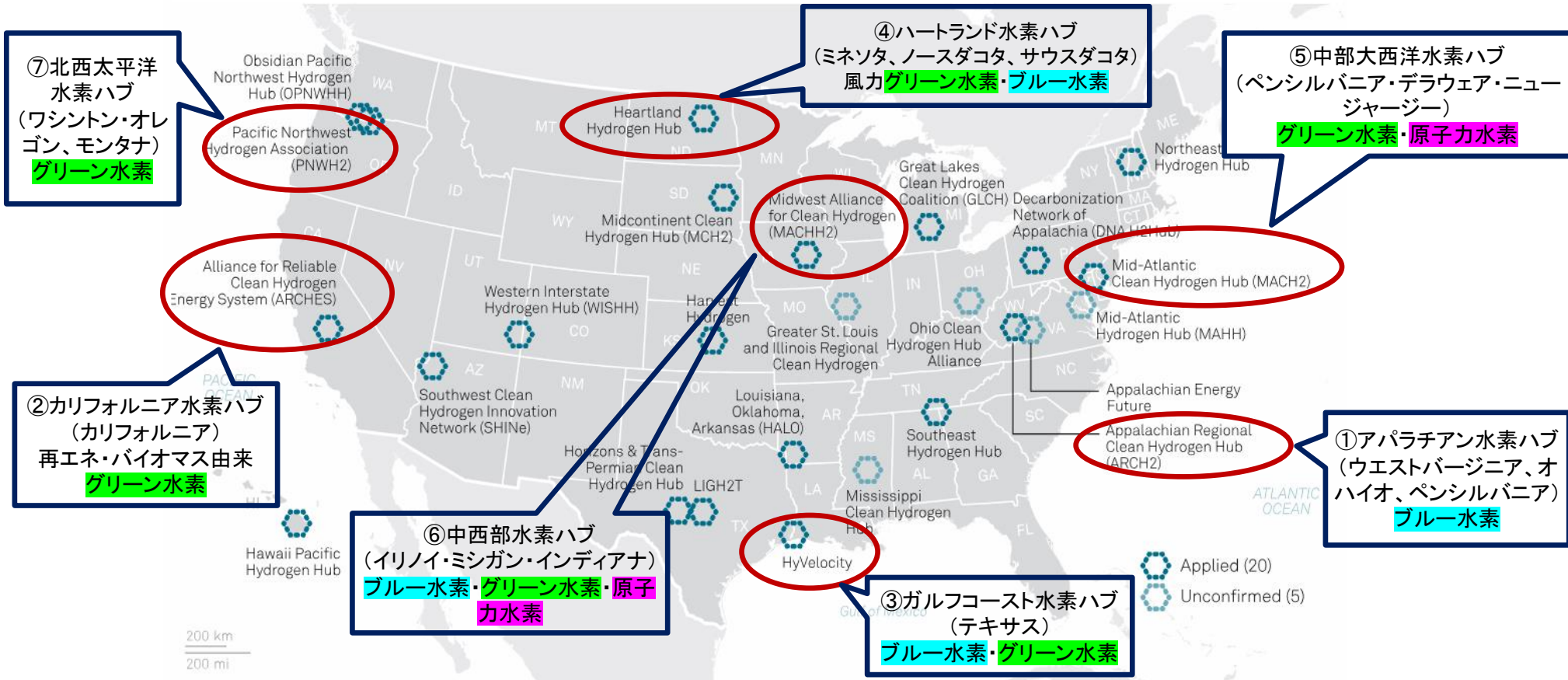
国・地域	政策名	クリーン水素関連	投資額
EU	REPowerEU, Fit for 55 (欧州脱炭素化政策パッケージ)	<ul style="list-style-type: none"> 2030年に2,000万吨/年のクリーン水素を消費、内1,000万吨/年は域内生産、600万吨/年は輸入、400万吨/年はアンモニアあるいは水素誘導体のキャリアで輸入 電解装置は2030年までに累計90~100GW(40%以上をEU製) 	REPowerEUでは総額300B EUR(約48兆円)を想定、うち225B EURは融資
米国	Hydrogen Shot, National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap	<ul style="list-style-type: none"> 10年以内(2031年まで)にクリーン水素1USD/kg(IRAで最大3USD/kgの補助)、生産量は2030年までに1,000万吨/年、全米で7~10箇所の水素ハブを選定し、70B USD(約1兆円)を助成 	8B USD(約12兆円)
インド	National Green Hydrogen Mission	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに60~100GWの水電解装置を導入、グリーン水素500万吨/年を生産、再エネは450GW導入し、うち125GWを水電解に充当 	100B USD(約15兆円)
ドイツ	The National Hydrogen Strategy	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに水電解装置5GW以上を導入(2023年7月に10GWへ引き上げを表明)、量産技術への投資も積極的(後述) 	62の水素プロジェクトを選定、計8B EUR(約1.3兆円)を支援
英国	Powering Up Britain	<ul style="list-style-type: none"> 2025年までに水電解装置1GW、2030年までに5GW以上を導入 	240M GBP(約440億円)をクリーン水素の基金に
豪州	Regional Hydrogen Hubs Program	<ul style="list-style-type: none"> 国内7箇所の大型水素ハブと9箇所の中小ハブに計526M AUD(約500億円)を助成 	2B AUD(約1,900億円)
中国	第14次5カ年計画、水素エネルギー産業発展中長期計画	<ul style="list-style-type: none"> 2025年までにグリーン水素を年産10~20万吨、2030年までにクリーンエネルギー水素製造・利用体系の整備 	N. A
韓国	水素先導国家ビジョン	<ul style="list-style-type: none"> クリーン水素を2030年までに100万吨/年(内、グリーン水素は25万吨)、2050年には500万吨/年(同300万吨)に拡大 	N. A
日本	水素基本戦略	<ul style="list-style-type: none"> 2040年水素等導入目標1,200万吨、2030年までに国内外関連企業の水電解導入目標15GW程度 水素製造(水電解装置・部材生産能力増強)を水素産業戦略の重要テーマの1つと設定 	(GX)に国から20兆円の先行投資、水電解装置・燃料電池、サプライチェーン構築等への投資額は15年で15兆円)

※「クリーン水素」はグリーン水素(再エネ由来)に限らない

【出所】各国・地域の政策関連資料に基づき当社作成

【参考】米国の地域クリーン水素ハブ(全体マップ)

- 米国では2023/10に下図囲みの7地域が「水素ハブ」として採択(最大70億ドル)
- 各地域における再エネ、バイオマス、天然ガス、CO₂貯留の幅広いエネルギー資源・設備を活かし、特徴ある水素ハブを形成、特にテキサスでは海外輸出も視野に入れた多数のプロジェクトを創出



注) 最終奨励通知を受けた33拠点の内、最終申請を実施したことを認めた20機関のみプロット

【出所】S&P資料に基づき当社作成

【参考】米国の地域クリーン水素ハブ(各地域の詳細)

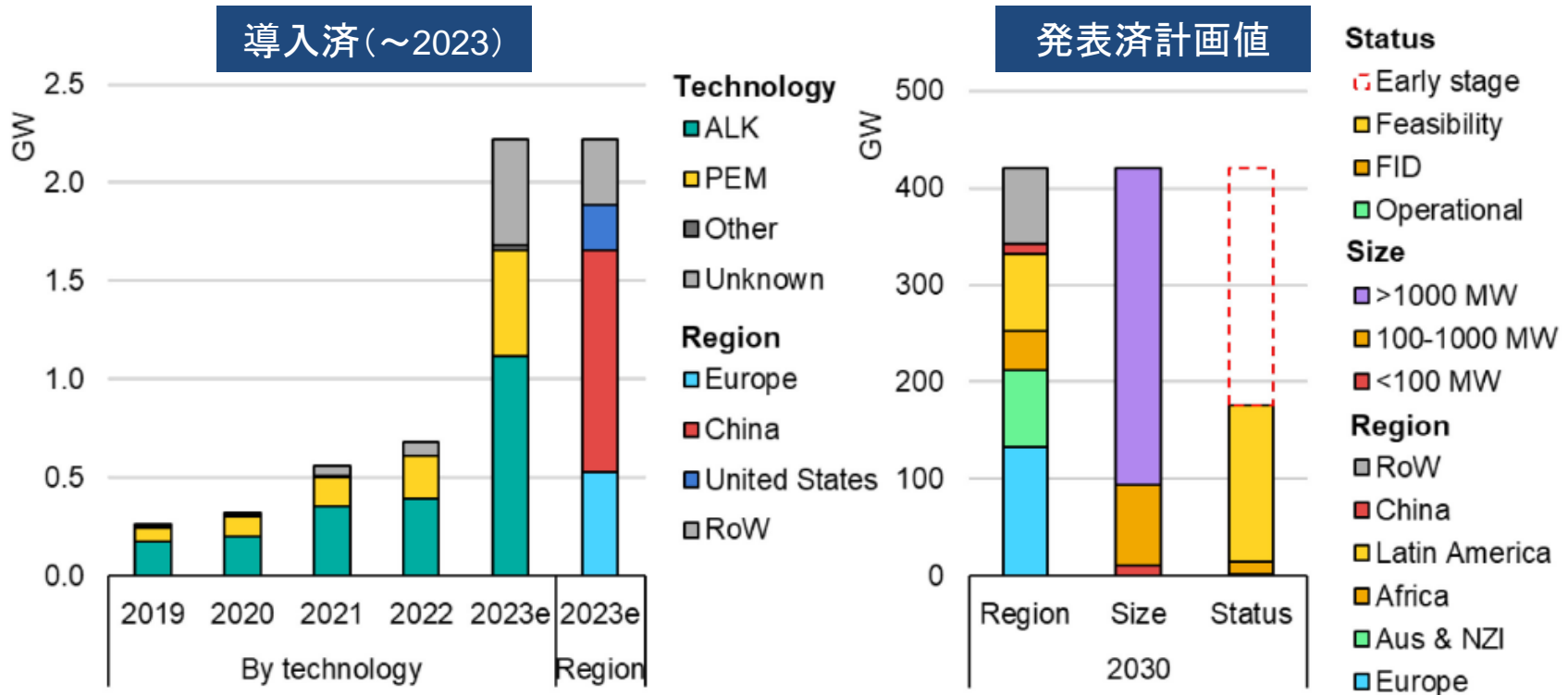
名称	州	連邦コスト負担	主要事業者	概要	アウトカム
①アパラチア水素ハブ (ARCH2)	ウエストバージニア・オハイオ・ペンシルバニア	最大9.25億ドル (約1,400億円)	Battelle	地域の低コスト天然ガスを利用したクリーン水素を製造・CO ₂ を恒久的に貯留、施設も同時に開発	・CO ₂ 排出量を900万トン/年削減 ・21,000件以上の直接雇用創出 (うち3,000件が常時雇用、18,000件が建設)
②カリフォルニア水素ハブ (ARCHES)	カリフォルニア	最大12億ドル (約1,800億円)	ARCHES LLC	再エネ・バイオマス由来水素で公共交通機関、大型トラック、港湾の脱炭素化、他、水素によるバックアップ電源も提供	・CO ₂ 排出量を200万トン/年削減 ・220,000件以上の直接雇用創出 (うち90,000件が常時雇用、130,000件が建設)
③ガルフコースト水素ハブ (HyVelocity H2Hub)	テキサス	最大12億ドル (約1,800億円)	HyVelocity, Inc.	天然ガス・再エネ水電解双方で大規模水素製造を行い、トラック、産業プロセス、アンモニア、製油所、e-methaneに水素を利用	・CO ₂ 排出量を700万トン/年削減 ・450,000件以上の直接雇用創出 (うち10,000件が常時雇用、35,000件が建設)
④ハートランド水素ハブ (Heartland Hydrogen Hub)	ミネソタ・ノースダコタ・サウスダコタ	最大9.25億ドル (約1,400億円)	Energy & Environmental Research Center	地域の豊富なエネルギー資源を活用しての肥料生産の脱炭素化、発電部門でのクリーン水素活用を計画	・CO ₂ 排出量を100万トン/年削減 ・3,880件以上の直接雇用創出 (うち703件が常時雇用、3,067件が建設)
⑤中部大西洋水素ハブ (MACH2)	ペンシルバニア・デラウェア・ニュージャージー	最大7.5億ドル (約1,100億円)	Mid-Atlantic Clean Hydrogen Hub, Inc.	既存の石油インフラを活用し、再エネと原子力による水素製造施設を開発することを計画、水素を運輸(トラック、バスなど)・産業用に活用	・CO ₂ 排出量を100万トン/年削減 ・20,800件以上の直接雇用創出 (うち6,400件が常時雇用、14,400件が建設)
⑥中西部水素ハブ (MachH2)	イリノイ・インディアナ・ミシガン	最大10億ドル (約1,500億円)	MachH2	鉄鋼、ガラス、発電、石油精製、大型の輸送、航空燃料等で水素を利用、再エネ、天然ガス、原子力から水素製造する計画	・CO ₂ 排出量を390万トン/年削減 ・13,600件以上の直接雇用創出 (うち1500件が常時雇用、12,100件が建設)
⑦北西部太平洋水素ハブ (PNWH2 Hub)	ワシントン・オレゴン・モンタナ	最大10億ドル (約1,500億円)	Pacific Northwest Hydrogen Association	電気分解のみでクリーン水素を製造し、大型トラック輸送や農業、産業、港湾で水素を利用	・CO ₂ 排出量を170万トン/年削減 ・10,000件以上の直接雇用創出 (うち350件が常時雇用、8,050件が建設)

【出所】DOE Webisteの情報に基づき当社作成

2. 諸外国の水電解装置動向－潜在市場での先行競争－

グローバルでの水電解装置の導入状況・発表済計画

- 最近5年で水電解の導入容量は大きく拡大、2023年にはGW超えの約2.2GWに到達
 - 電解種類の内訳では**Alkaline**が約50%を占め**PEM**が約25%、導入地域は中国が50%、欧州が続くが米国も増加
- 2030年に向けて発表されている計画は既に400GWを突破
 - 導入地域では欧州が最多だが、**豪州、南米、アフリカ**などの再エネ資源国が大きな割合を占めている
 - プロジェクトあたり容量規模は2030年にはGW級が大半、ただし**最終投資決定(FID)**に至ったものは限定的

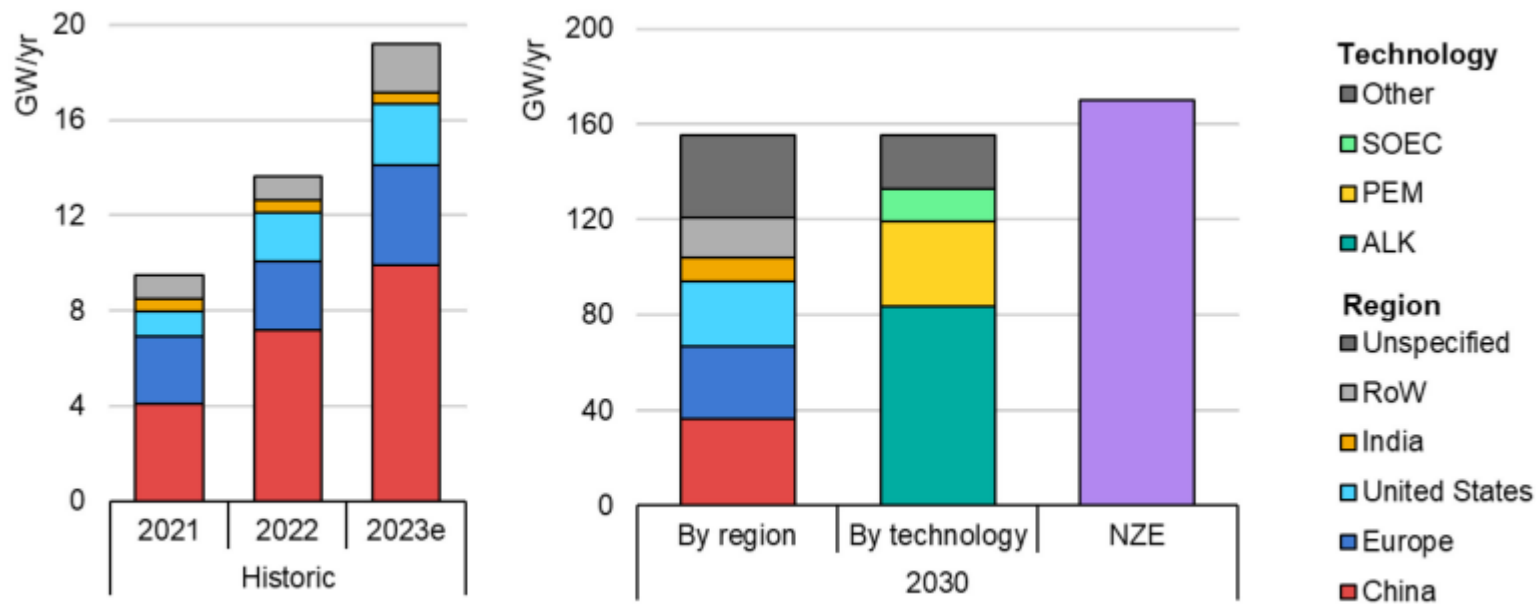


【出所】IEA, "Global Hydrogen Review 2023"

グローバルでの水電解装置の生産能力の推移と見通し

- 水電解の生産能力も**グローバルでは18GW/年**と大きく拡大、**2021年から2023年**でおよそ**2倍に成長**
 - 生産地域は特に中国、欧州が主要な割合を占めるが、米国・インドも徐々に生産能力を拡大
- 2030年には**グローバルで155GW/年の生産能力が計画**され、中国・欧州・アメリカで半数以上を占める
 - ただし、**現状FIDに至っている生産量は計画の8%程度**、30%程度が既存設備の拡充
 - また、生産拠点が未確定の情報が一定程度存在、**各国支援制度の生産拠点決定への影響**が大きいと想定
 - 電解種ではAlkalineが50%以上、PEMが20%強でそれに次ぐが、**SOECも年産10GW以上の規模**

国・地域別の水電解装置の生産能力と電解種別の予測値



【出所】IEA, "Global Hydrogen Review 2023"

水電解装置の生産に関する政策的支援(欧州)

- 欧州域内での**グリーン水素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**2022/5に関係企業20社と共同で、2025年までに現状の10倍の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

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

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
 	               	  

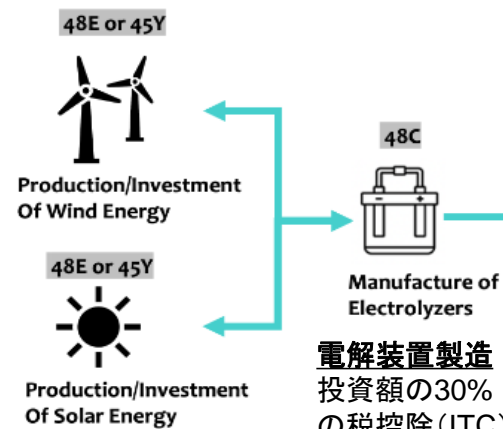
水電解装置の生産に関する政策的支援(米国)

- インフレ抑制法(IRA)では、**水素製造設備での水素の製造を対象として大規模な税控除**が新たに発表
 - この支援の対象は米国企業に限らず、生産量に応じた控除が10年間与えられる。その他、電解装置の製造設備も税控除対象とされる
- IRA発表後、**米国内外のメーカーから水電解装置の生産設備の建設計画発表**が相次いでいる

水素製造におけるIRAのインセンティブ

再生可能エネルギー

投資額の30%の税控除(ITC)
または\$27.5/MWhの税控除(PTC)



水素貯蔵

投資額の30%の
税控除(ITC)



45V
Production
of Hydrogen

水素製造

1kg水素製造あたり最大3\$の税控除(PTC)
水素製造時のCO₂排出量に応じて控除額は変化(※2)
または投資額の30%の控除(ITC)

48C
Manufacture of
Electrolyzers
電解装置製造
投資額の30%
の税控除(ITC)

(※1) 上記記載値で控除を受けるには労働に関する条件の満足が必要
(※2) 2032年末までに建設開始プロジェクトが対象、制度の最終ガイダンスは今後発表、支援条件に、追加性・タイムマッチングなどの条件が課されるかが論点となっている

米国での水電解装置メーカーの生産設備建設動向の例

企業名(国)	電解種	概要
Nel(ノルウェー)	アルカリ・PEM	ミシガン州デトロイトでGMと協力し最大4GW/年の工場を建設する計画(2023/9)
	PEM	コネチカット州ウォーリングフォードの水電解装置工場を2025年までに500MW/年まで拡張するFIDを実施(2023/3)
Cummins(米国)	PEM	政府支援を背景に、ミネソタ州フリドリーの同社生産設備を増強、500MW/年の製造能力を実現、将来1GW/年へ拡張可能とする(2022/10)
Electric Hydrogen(米国)	PEM	約9000万ドルを投資しマサチューセッツ州デベンズに1.2GW/年の電解槽工場を建設予定(2023/5)
Topsoe(デンマーク)	SOEC	連邦奨励金を活用して、米国内で新たに作る水電解装置工場に3億ドルを投資する構想を発表、最終決定は今年末までに実施(2023/5)
Verdogy(米国)	AEM	カリフォルニア州ニューアークに水電解装置工場を開設、2024年第1Qに運転開始予定(2023/9)

【出所】RMI資料、DOE MESC資料に基づき当社作成

水電解装置の生産に関する政策的支援(中国)

- 2022年に「国家水素産業中長期計画(2021-2035年)」を示し、中長期的な計画・目標を設定
 - 2025年: **再エネ由来水素10~20万トン/年**、2030年: 完備なクリーン水素製造・供給体制の確立など
- 中国科学技術部は別途2030年に向けた目標として再エネ水の確立を目指す方向性を提示
 - 上記政策が打ち出される前から、**国家重点研究事業として水電解技術の有力企業に資金援助**を実施
- 上記に加え、再エネ資源に優れる内陸部を中心に、地方政府におけるグリーン水素関連計画発表が増加

【国家単位】での水素(・カーボンニュートラル)関連目標

「国家水素エネルギー産業中長期計画(2021-2035年)」
(以下、水電解関連)

- **2025年**: 再エネ由来水素製造量 10-20万トン/年
- **2030年**: クリーンエネルギー水素製造・利用体系の完備
- **2035年**: 末端需要中の再エネ由来水素比率の顕著な向上

「カーボンピークアウト・ニュートラルを支援する科学技術の支援に関する計画(2022-2030年)」

- **再エネ由来高効率低コスト水素製造**
- 大規模物理/化学水素貯蔵
- 大規模・長距離水素パイプライン
- 新型水素製造・貯蔵
- 合成生物・太陽エネ水素製造

【地方単位】での再エネ由来水素製造関連の目標設定や補助政策

地域	目標設定	地域	支援政策
甘肅省	2025年: 20万トン	成都市	対象事業向け電力代補助(0.15~0.2元/kWh)
寧夏省	2025年: 8万トン 2030年: 30万トン	深セン市	水素ステーション向け水素製造設備購入費の3割(最大200万元)補助 同ステーション運営における電力補助等
内モンゴル自治区	2025年: 50万トン		
成都市	2025年: 1万トン		

国家支援対象の主な水電解技術プロジェクト

【2020年】

- アルカリイオン交換膜技術とその応用

【2021年】

- PEM電解水素触媒と界面構造のマルチスケール設計と統合応用
- 低エネルギー消費・安定性の高い連続海水電解水素製造の材料とシステム
- 固体酸化物電解セルを用いた高温電極触媒の研究
- 太陽光・風力等の変動電源向け電解水素製造材料とプロセス基盤
- 低コストPEM水電解主要材料調製技術と水素製造への応用実証
- 高効率・高出力アルカリ水電解装置の技術開発と装置開発
- 再エネ電気分解水素製造~低温・低圧水素合成の主要技術と応用~
- 10万トン級再エネ電解水素製造アンモニア実証事業

【2022年】

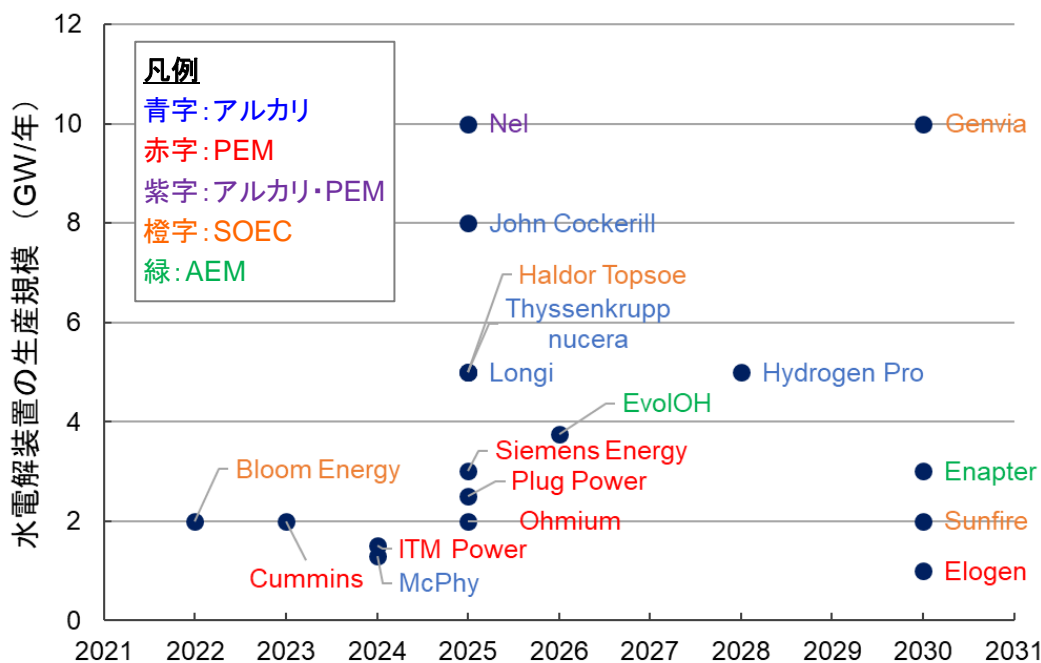
- MW級水電解水素製造固体高分子交換膜電解スタック
- 水電解制高圧アンモニアのためのスタック・システム主要技術
- 固体酸化物電解水蒸気水素製造システムとスタック技術
- 固体高分子型電解水素製造試験・診断技術・装置の研究開発
- 高温プロトン伝導体電解水素製造技術
- 新規中低温固体電解質アンモニアの電気化学合成・変換技術
- 電解水素製造技術と高付加価値酸化製品

【出所】「中国電解水制水素産業ブルーブック2022(TrendBank)」に基づき当社作成

海外主要企業の水電解装置生産目標

- 主な海外企業の、2030年までの水電解装置年間生産目標と、その実現時期は以下のとおり
 - 2025年頃に**GW/年クラス**の生産規模を目指す企業が多数現れている
 - アルカリは特に2025年以降で大規模化(>4GW/年)、**Genvia(仏)**や**EvoIOH(米)**など新興企業の**SOEC、AEM**の野心的な目標も発表
- 海外水電解メーカーは現状で利益を生み出す事業構造ではない中、生産能力拡大への投資を継続、**マザーマーケットでの水電解のニーズが強く見込まれ将来的に黒字化するシナリオが描けている(事業予見性がある)**ためと推測

海外企業の水電解装置生産目標とその実現時期



【出所】各社資料・情報に基づき当社作成

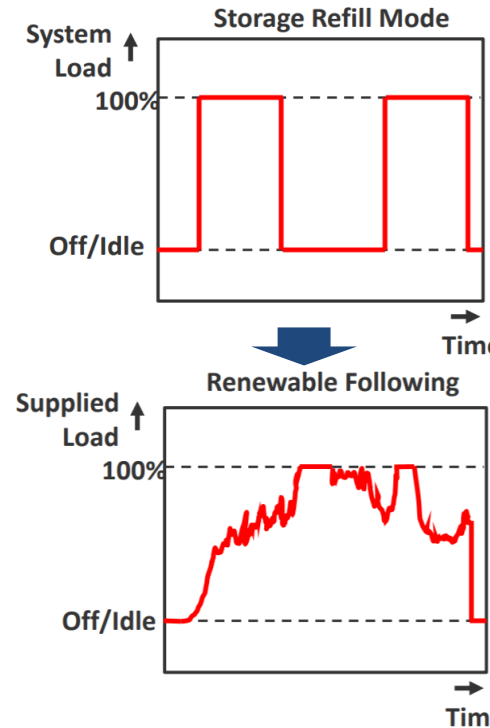
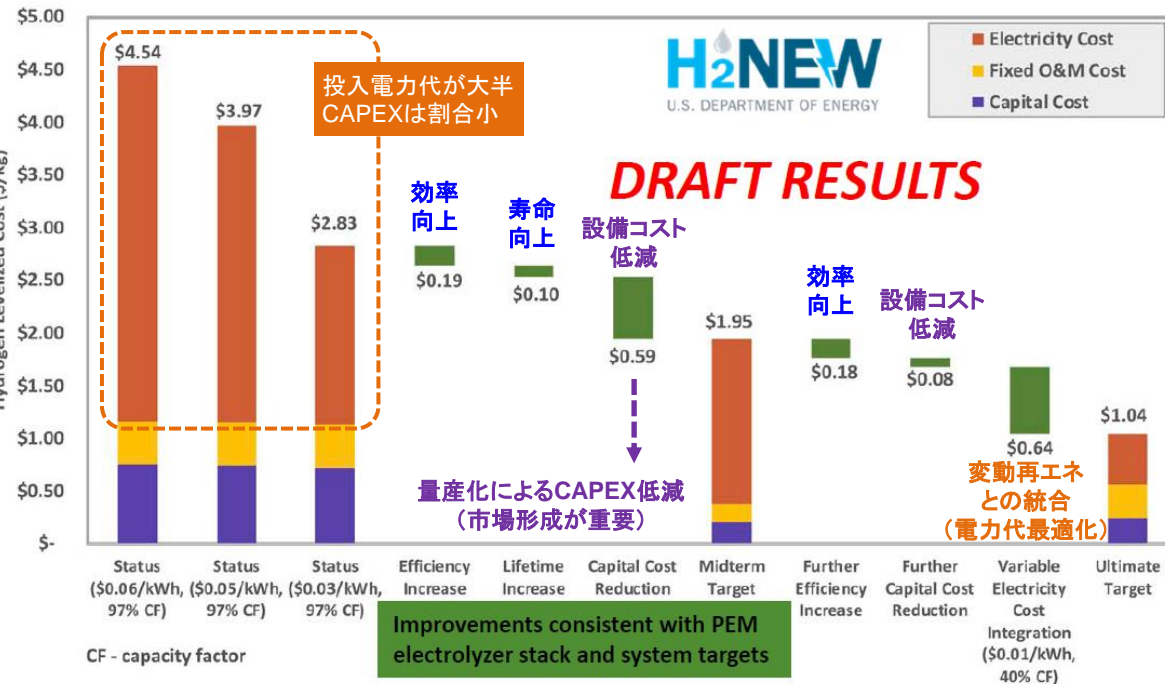
主要水電解メーカーの業績

	Nel	ITM Power	McPhy Energy	Thyssenkrupp nucera
上場	上場	上場	上場	非上場
決算期	2022/12	2022/04	2022/12	2021/09
時価総額 (M\$)	2,187	2,532	239	—
売上額 (M\$)	95	8	17	355
EBITDA (M\$)	▲112	▲59	▲39	33

【出所】Thyssenkrupp Nucera は公表資料より、その他はSPEEDAよりみずほ銀行産業調査部作成の内容を当社が再構成

水素製造コスト低減に向けたシナリオ事例 (DOE Hydrogen Shot)

- 水素製造コストは**投入電力代が大半を占め**、如何に安価な電力が調達できるか、運用面に対応できるかが鍵
- 米国DOEのH2NEWの分析において、2026年の水素製造コスト\$2/kgに向けては、
 - 効率・耐久性向上(電解スタック・BOP、**但しトレードオフ存在**)、設備コスト低減(材料費低減より**量産化効果**)
- 「Hydrogen Shot」の最終ゴールである2031年の究極目標\$1/kgに向けては、
 - 更なる効率向上、設備コスト低減(低PGM化)に加え、**性能・耐久性・設備コストとのトレードを克服を含めた変動再エネ追従の対応**、投入電力の最適化でコストを低減



従来型
(定格/OFFでの運転)

- 定格で運転
- 貯蔵設備を活用
- 圧力など定常的な条件で運転

将来型
(変動再エネに追従)

- 高稼働率を確保
- 負荷変動に伴う耐久性向上が必要
- 設備コストや性能とのトレードオフが存在

【出所】DOE AMR2023, "HFTO Hydrogen Production Overview"

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

水電解槽の量産化を目指したドイツの投資

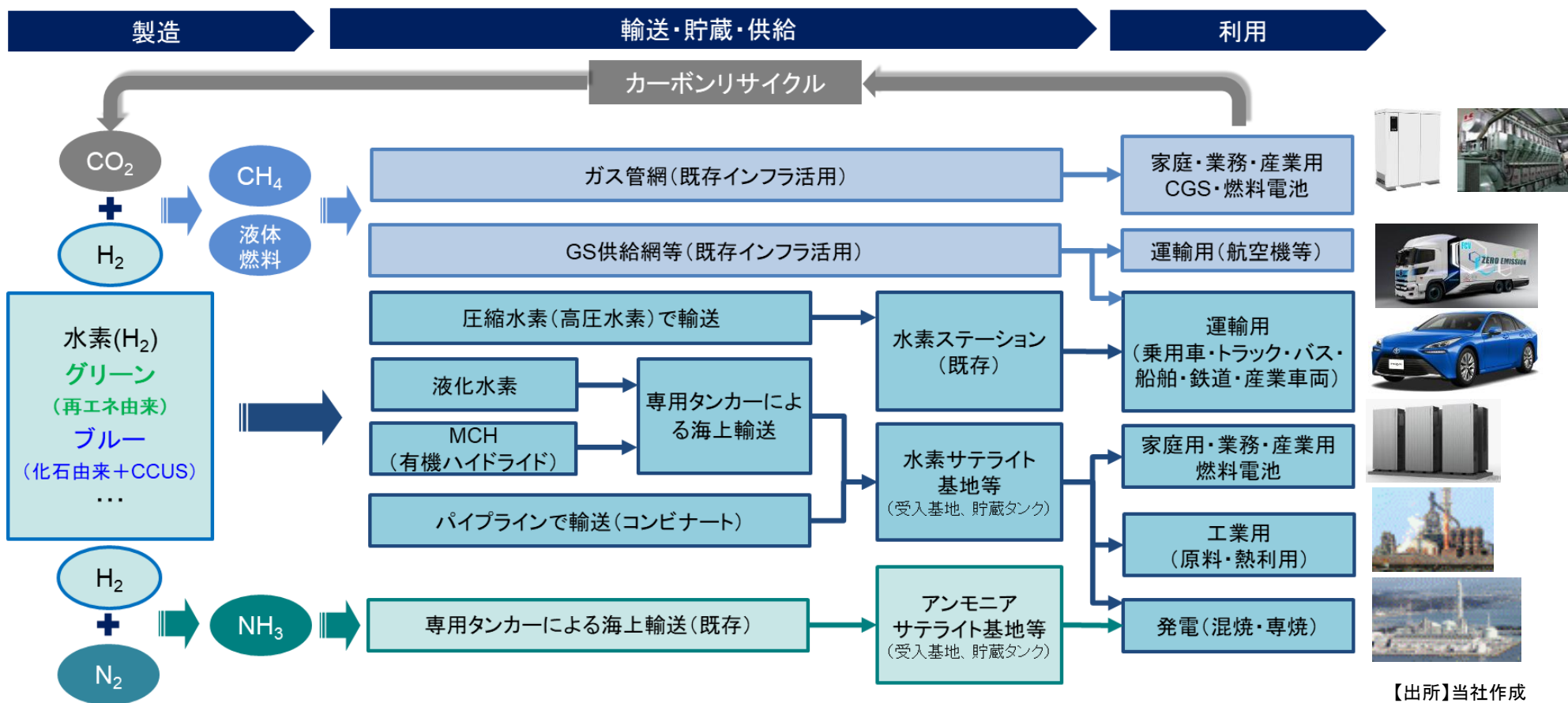
- 教育・研究省(BMBF)は、2021年1月にR&Dプロジェクト「H2Giga」(水電解槽の量産)、「H2Mare」(洋上風力+グリーン水素)、「TransHyDe」(水素輸送技術)の3件に総額7億€(約1,120億円)の助成を行う旨を発表
- 国家水素戦略(2020)の水電解5GW導入目標を受け、**H2Gigaでは総額5億€(約800億円)を投じ高耐久・低コストな水電解量産技術開発を産学官連携で推進**、電解槽メーカーおよびサプライヤーを支援

主なプロジェクト名	概要	電解槽メーカー	支援額
INSTALL AWE	GWスケールでのアルカリ水電解の産業化に向け、 ロボット工学と自動化による生産の最適化で製造コストを大幅に削減 し、従来技術と比較してスループットを向上することに取り組む	Thyssenkrupp nucera	約20.7M€(約33億円)
AEL4GW	GWスケールの 加圧アルカリ水電解 として、大規模生産に適したAELモジュールの製造プロセス、新規シール材料とコンセプトの開発、多孔質電極の開発と拡張および大型アルカリ電解槽の量産化に取り組む	Sunfire	約27M€(約43億円)
SEGIWA	GWスケールでのSiemensのSilyzer300のPEM電解のシリアル生産の実現に向け、 MEA生産プロセスからモジュール組み立てまで製造チェーン全てを網羅 し、GWスケールでの完全自動化連続生産まで対応 サブプロジェクトでは、 フッ素を含まないMEAのスケールアップと産業分野での特性評価 に取り組む	Siemens Energy	約30M€(48億円)
DERIEL	電解の劣化の分析・モデリング、Silyzer300に基づく 加圧モジュールのラウンドロビン試験、大規模な電解試験システム用のデジタルツインの開発 、最適化・検証、 貴金属触媒リサイクル などに取り組む	Siemens Energy	約95M€(150億円)
HTEL Ready for Gigawatt	高温水蒸気電解の量産によるスケールアップに注力 、自動化プロセス、生産のスケールアップ、セルと相互接続の性能と寿命の観点からの単一ユニットの改善、プラントコンポーネントなどの開発、全自動の200MW工場概念設計に取り組む	Sunfire	約33M€(約51億円)

3. 海外の水素資源化(燃料・原料)の取り組み動向

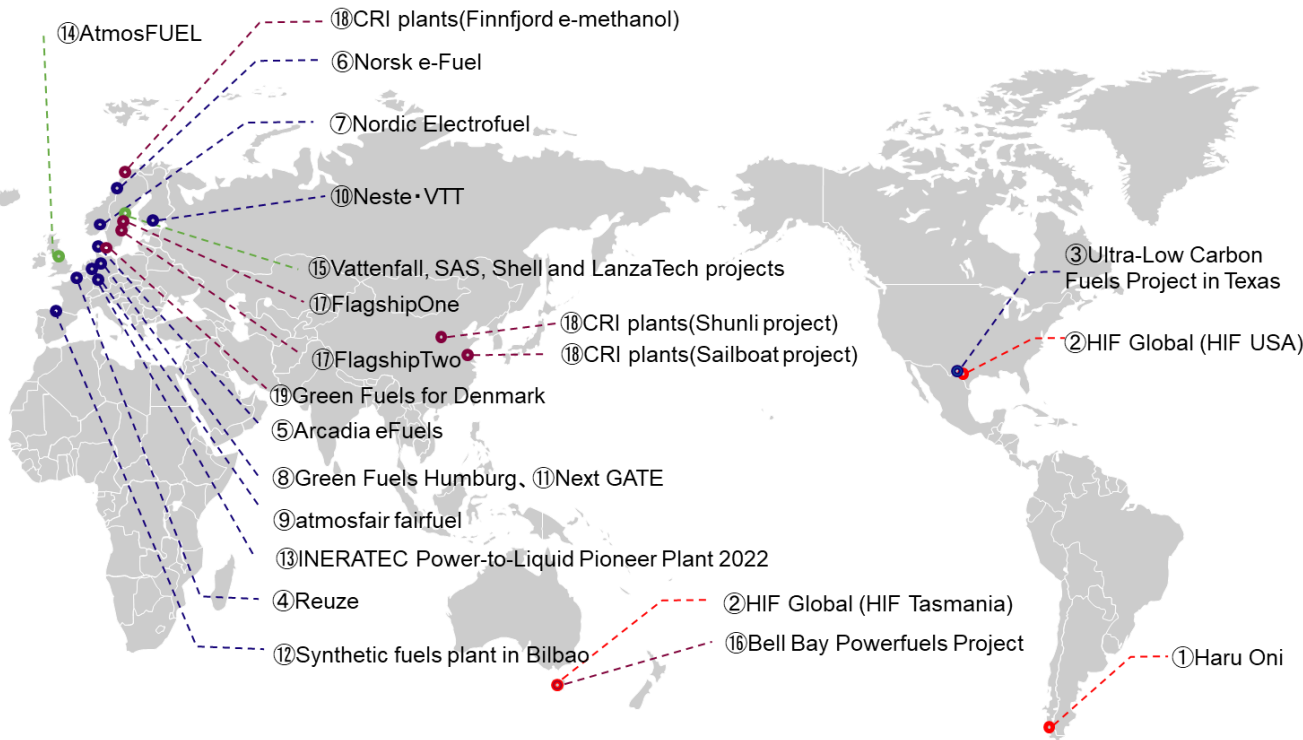
水素を起点とした資源化(燃料・原料)とサプライチェーン全体像

- 水素は運輸部門、家庭・業務部門、産業部門、発電部門への利用、CO₂のリサイクルによる合成燃料(e-methane, e-fuel)や化学基幹品、アンモニアへの変換など更に適用範囲を広めることで、**カーボンニュートラル実現に向けた社会への変革の鍵**
- 水素は**さまざまな手段で製造・輸送可能でそのキャリアに適した形態で利用**、将来的な大規模水素利用には大型船による海上輸送とサテライト基地の整備、大需要エリアではパイプラインの構築も重要

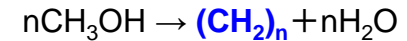


e-fuel(液体合成燃料)の製造プロジェクト加速

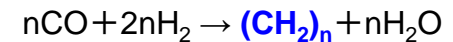
- 欧米を中心にe-fuel(再エネ電力を利用した液体合成燃料)のプロジェクトの計画が複数発表、早期に商業利用が見込まれるプロジェクトでは、MtGプロセスとRWGS+FT合成による合成燃料製造の動きが活発
- 2020年代の前半に小規模の製造が開始され、早期の商用化を目指すプロジェクトでは2020年代後半には大規模な生産が達成される見込みで、現在の高い製造コストの大幅低減を推進
- CO₂供給源としてDACを用いるプロジェクトやCCU(産業由来)を用いるプロジェクトがあり、多様な選択肢からCO₂回収が行われているが、原料水素の製造のほとんどは再生可能エネルギー(原子力を含む)を利用した水電解



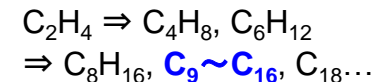
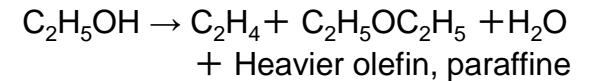
● Methanol-to-gasoline(MtG)による燃料製造



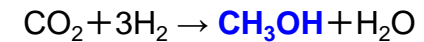
● Fischer-Tropsch (FT) 合成による燃料製造



● Alcohol-To-Jet(AtJ)による燃料製造



● Methanol製造



【出所】各公開情報等をもとに当社作成

実証・商用規模の主なe-fuel海外プロジェクト(MtG・FT合成)

プロジェクト ※1	国・地域	主な燃料供給先	主な燃料種 ※2	燃料合成手法	生産目標 (万kL/year) ※3									
					2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2030年代
① Haru Oni	チリ マガリヤネス地方	自動車	methanol gasoline	MtG (ExxonMobil)		0.075(メタノール) 0.013(ガソリン)		5.5(ガソリン)	55(ガソリン)					
② HIF Global (HIF USA / HIF Tasmania)	米国テキサス州 豪州タスマニア州	自動車 運輸部門	gasoline	MtG 等 (Topsoe/TIGAS™)					79(USA) 10(Australia)					
③ Ultra-Low Carbon Fuels Project in Texas	アメリカテキサス州	運輸部門	jet diesel	FT合成 (Infinium)		0.7		58 (燃料製造目標は不明のため利用CO2量から換算)						
④ Reuze	フランス ダンケルク	航空 船舶 化学産業	jet diesel	FT合成 (Infinium)					12					
⑤ Arcadia eFuels	デンマーク ボアディン グボー	航空 運輸部門	jet Diesel Naphtha	FT合成 (TOPSOE and Sasol)				10						
⑥ Norsk e-Fuel	ノルウェー モー シェーン	航空	kerosene diesel	FT合成			1.25	2.5		10				
⑦ Nordic Electrofuel	ノルウェー ヘロヤ	航空	e-fuel	FT合成				1.0				100		
⑧ Green Fuels Humburg	ドイツ ハンブルク	航空	kerosene	FT合成 (Sasol ecoFT)				1.2						
⑨ atmosfair fairfuel	ドイツ エムスラント	航空	kerosene	FT合成	0.04									
⑩ Neste-VTT	フィンランド エス ポー	自動車 航空 船舶	e-fuel	FT合成 (INERATEC)		0.04								
⑪ Next GATE	ドイツ ハンブルグ	自動車 鉄道	e-fuel e-wax	FT合成 (INERATEC)	0.02 (e-fuel) 0.015 (e-wax)									
⑫ Synthetic fuels plant in Bilbao	スペイン ビルバオ	自動車 航空 船舶	e-fuel	FT合成 (Johnson Matthey's FT CANS)			0.21							
⑬ INERATEC Power-to-Liquid Pioneer Plant 2022	ドイツ ヘーヒスト	自動車 航空 化学産業	diesel gasoline kerosene	FT合成	0.46		~1万kL/年		1~10万kL/年		10万kL/年以上			

※1 プロジェクト名があるものは記載、計画のみが発表されているものは代表的な企業名やプロジェクト内容を反映して記載

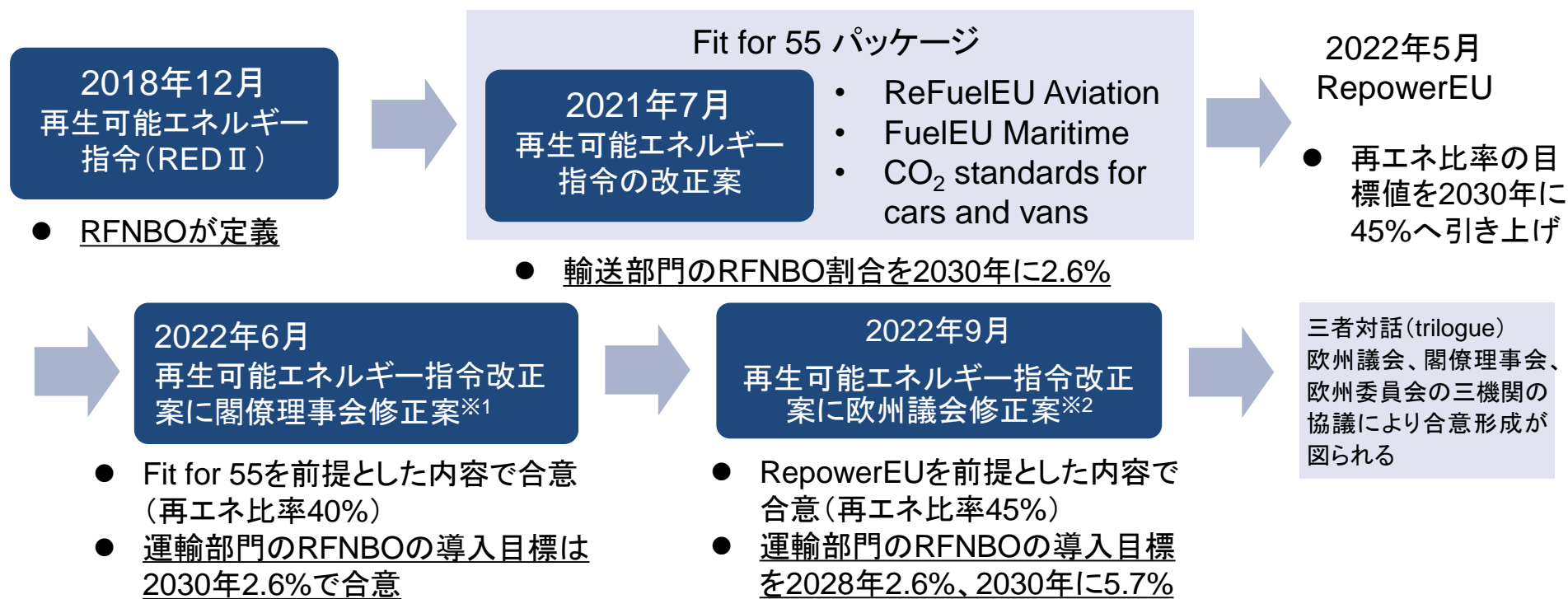
【出所】各プロジェクト公開情報等をもとに当社作成

※2 主な燃料種はホームページ等の情報源に記載のある燃料種名を記載 (electricを表す接頭の「e」は除いている)、また、特に燃料種に言及のない場合は「e-fuel」と記載

※3 製造目標値は簡単のため各燃料の密度等を考慮せず、一律に体積に換算、1ガロン= 3.79リットル、1バレル= 159リットル、1トン = 1170L、2.6 kg-CO2/L (原油の二酸化炭素排出量の近似値)、

欧州における合成燃料の導入義務(再生可能エネルギー指令と関連政策)

- 欧州では再エネ指令 (RED II) により**合成燃料はRFNBO(Renewable Fuels of Non-Biological Origin)と分類**
- RED II の改正案がFit for 55パッケージの一環として提案され、2022年度に閣僚理事会、欧州議会それぞれ異なる内容で修正案が提出された。ロシア産化石燃料からの脱却のため再エネへの迅速な移行を進めるためのRepowerEU計画の発表により、再エネ比率等の目標の上方修正が行われたことが影響
- 2022年に示された欧州議会の合意では、**RFNBOの導入目標は輸送部門で2028年に2.6%、2030年に5.7%となり、2021年の欧州委員会の提案よりも2倍以上の目標値**が提示



大規模e-fuel製造プロジェクト(MtG、①Haru-Oni)

- HIF Globalを筆頭としてPORSCHEとENELが共同創設者となり、風力発電の適地であるチリのマガジャネス地方に合成燃料の生産プラントを建設する**プロジェクトHaru Oni(強風の意味)**、製造されたガソリンは、コンテナ船で欧州に輸送される計画
- 風力発電による水素製造、**DACによるCO₂回収からメタノール合成を經由してガソリンを製造**(Methanol to Gasoline)
- HIF GlobalはHaru Oniの経験をもとに、商業規模プラントの製造を計画、現在では**米国テキサス州と豪州タスマニア州にプラント製造が計画**されている(前表の②のプロジェクト)

実施地域	チリ マガリャネス地方	製造燃料	methanol, gasoline
CO₂供給源	Global Thermostats社のDAC	水素供給源	水電解(風力)
製造目標	実証プラントは2022 年末までに操業開始を目指しており、メタノール生産量は2023年に年間約75万Lで、一部はガソリンに変換される(13万L)。商用段階では2025 年までにガソリンを年間5,500万L、2027 年までにメタノールを100万トン、ガソリンを5億5,000万L以上に拡大予定	実施主体	HIF Global、PORSCHE、ENEL
		関連企業	SIEMENS energy、ExxonMobil、ENAP、EMPRESAS Gasco



【出所】Haru Oni PJ HP – Tomorrow's fuel (haruoni.com)

e-fuel製造プラント概要

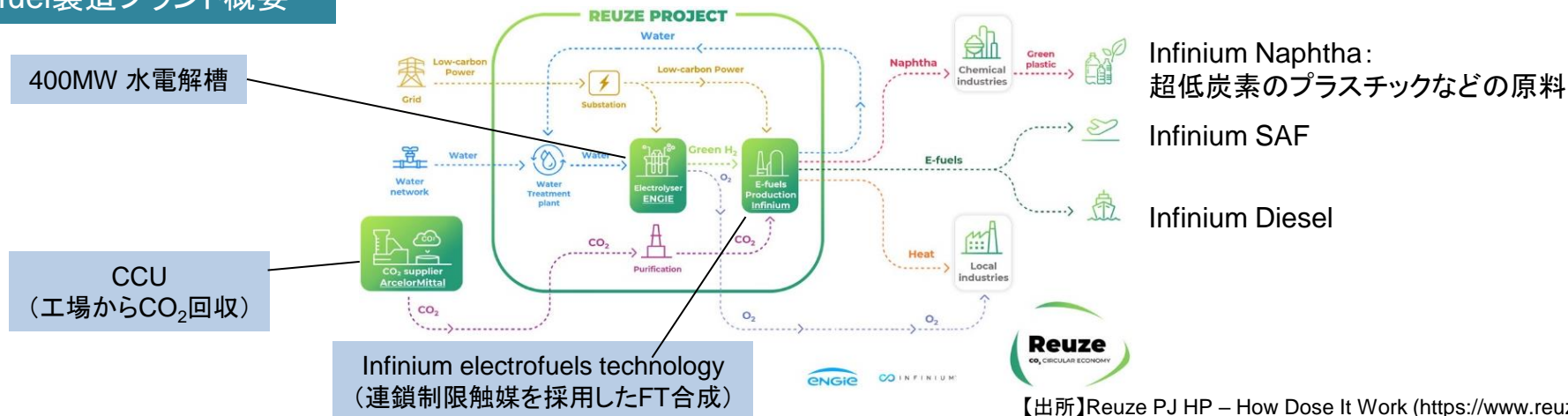
- 風力発電: Siemens Gamesa (3.4MW)
- CO₂供給: Global Thermostats 社のDAC (250 kg-CO₂/h)
- 水素供給: Siemens Energy 社のPEM型水電解装置 (Silyzer 200 PEM、20kg-H₂/h)
- メタノール合成: MAN Energy Solution社のメタノール反応器 (750kt/year)
- ガソリン製造: ExxonMobil社が開発したMtGにより製造 (130kL/year)

大規模e-fuel製造プロジェクト(FT Synthesis、④Renze)

- 製鉄工場(世界最大手アルセロール・ミタル)から排出されるCO₂を利用し、グリーン水素と反応させることで**運輸部門向けに合成燃料(ジェット燃料、ディーゼル燃料)およびプラスチック原料(ナフサ)**を製造するプロジェクト
- FT法による燃料合成にはInfinium社の技術を採用、独自の連鎖制限触媒を採用した製造効率化を図る

実施地域	フランス ダンケルク	製造燃料	jet, diesel, naphtha
CO ₂ 供給源	CCU (ArcelorMittal社の製鉄工場由来)	水素供給源	水電解(再生可能エネルギー)
製造目標	年間10万トンの合成燃料及びナフサを製造 2026年から商業運転開始	実施主体	Infinium、ENGIE
資金調達	フランス環境エネルギー管理庁より 5億ユーロ以上に相当する投資を受ける	関連企業	ArcelorMittal
背景・目的	主に欧州の航空及び海運分野の脱炭素化に向けた取り組み		

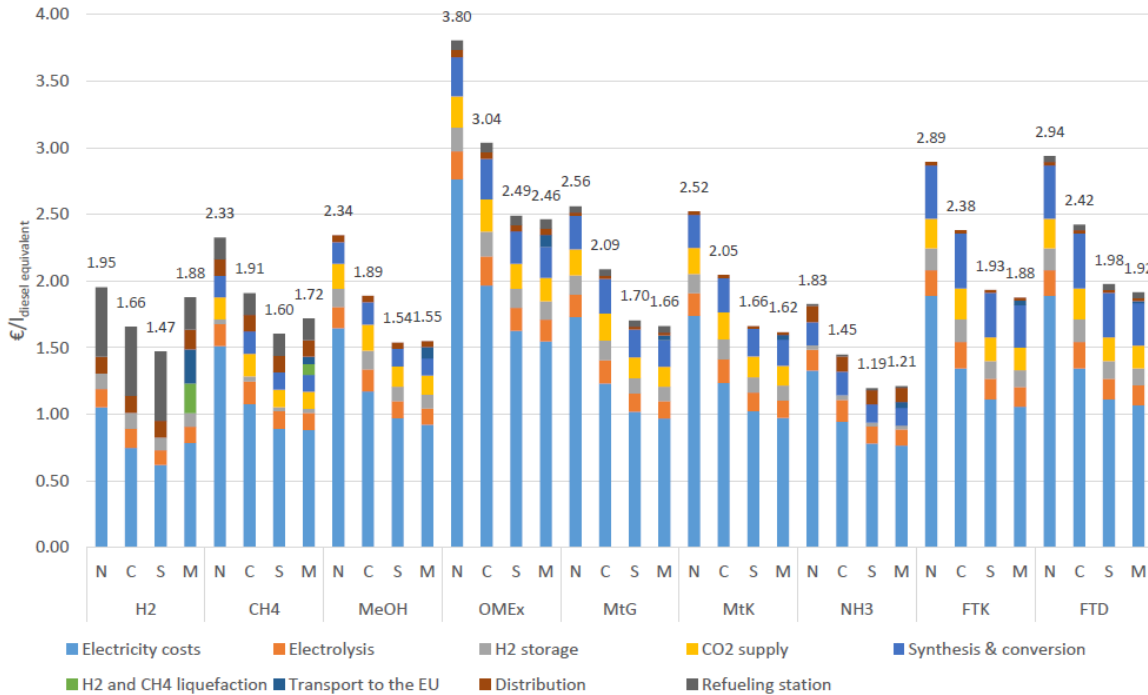
e-fuel製造プラント概要



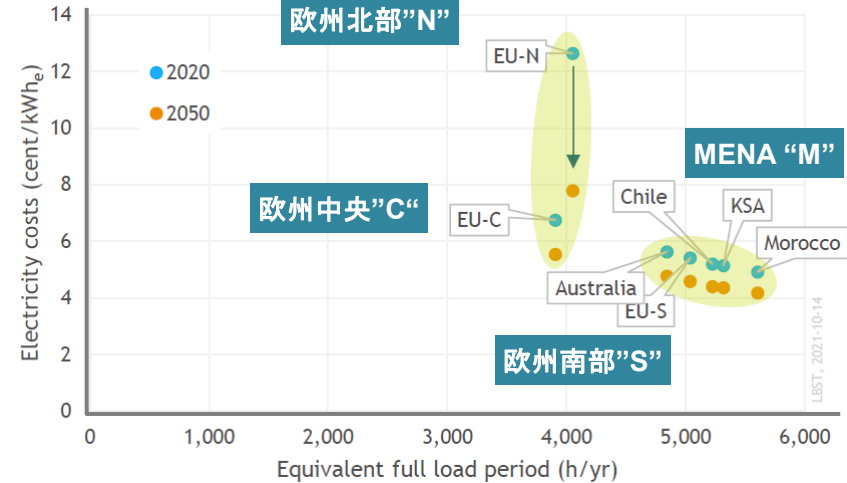
e-fuelの最大の課題は製造コスト

- e-fuelの最大の課題は製造コスト、水素・アンモニアと比較して、特に**OMEx(含酸素燃料)、FTK(合成ケロシン)、FTD(合成ディーゼル)の製造コストは高い**
- 製造コストのうち、水素製造の投入電力価格が大半を占め地域差が大きい
 - SAFとして期待されるFTK: 1.88~2.89€/L(300~460円/L)
 - 商用車ディーゼルとして期待されるFTD: 1.92~2.94€/L(310~470円/L)
- 1.2~1.3€/L(200円/L程度)までコストダウンするには**2cent/kWh程度の電力価格、電解・FT合成の効率向上**が求められる

地域別(北欧・中欧・南欧・MENA)の合成燃料製造コスト(ディーゼル等価)



地域別の電力コスト



【出所】Concawe, "E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050" (2022/11)

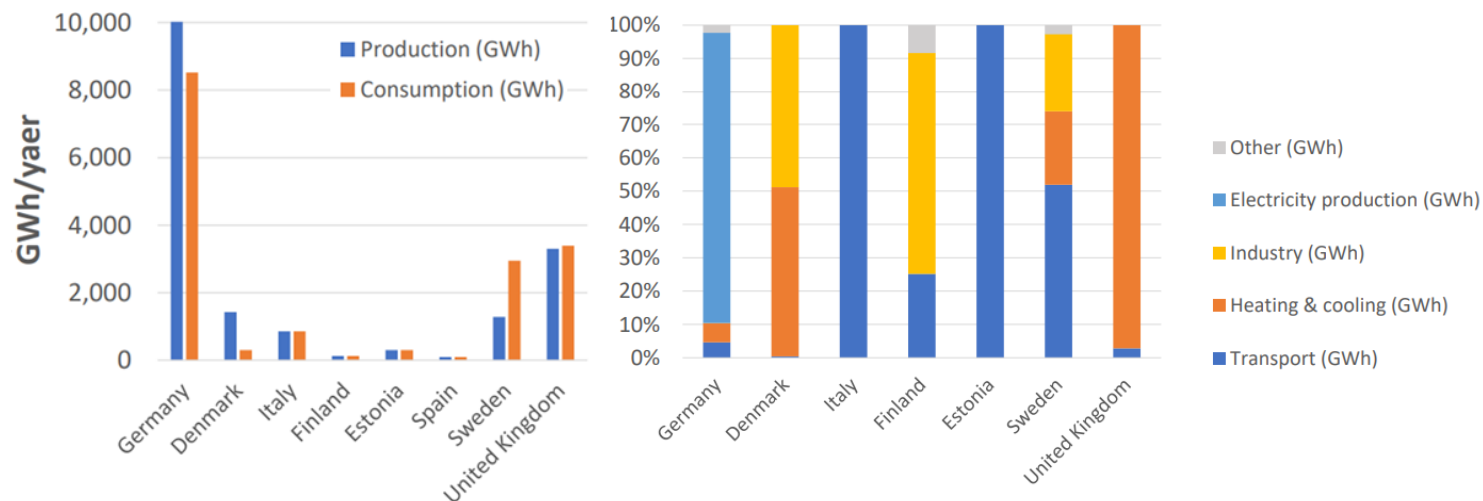
欧州におけるメタネーション(e-methane)の動向

- 欧州委員会が2022年5月に発表した政策パッケージ「REPowerEU」ではロシア産ガス脱却のため、**バイオメタンを2030年までに350億m³導入する計画**。バイオメタンの大量導入を目指すEUでは、**バイオガス中のCO₂を再エネ水素と合成してバイオメタンの収率を上げる取組が今後拡大の見込み**
- 欧州でバイオメタンの製造量に富む国としては、ドイツ、英国、スウェーデン、イタリア、デンマークなど、特に**ドイツが製造量、消費量共に突出**
- バイオメタンの用途は国に応じて異なり、ドイツでは発電用、デンマーク・英国では熱、イタリア・スウェーデンでは輸送用燃料が多いことが特徴

REPowerEUの2030年 バイオメタン生産目標

原料	供給量
家畜ふん尿	160億m ³
農業残渣	100億m ³
食品廃棄物	20億m ³
産業排水	30億m ³
連作・二毛作のサイ レージ(作物を嫌気性発 酵させて製造した飼料)	40億m ³
合計	350億m³

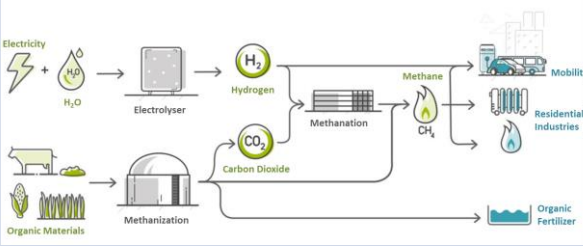

欧州各国のバイオメタン需給状況と用途内訳



【出所】Renewable Gas Trade Centre in Europe, "Mapping the state of play of renewable gases in Europe"

欧州におけるグリーン水素由来のバイオメタンの取り組み

- MethyCentreプロジェクトはメタン化ユニットと組み合わせたPower to Gas実証であり、経済合理性を検証(最長2036年頃まで嫌気性処理を継続)
- 独MicrobEnergy社が取り組むバイオメタンプロジェクトでは生物由来のバイオメタネーション検証を実施、従来比でGHG約94%減

プロジェクト	概要	水電解規模	投入電力	供給手段
MethyCentreプロジェクト(2020～) (仏・アンジェ)	<ul style="list-style-type: none"> ■ バイオガスプラントR&Dに取り組むStoregy(Engieの子会社)らによる、バイオガス由来のメタネーションの実証 ■ 2021年以降15年運転予定で13m³/hのメタン供給予定(水素50kg/日) 	250kW (PEM)	太陽光・風力	ガスグリッドへ投入 (一部、モビリティ・定置用FCに活用)
グリーン水素+バイオメタネーションでのバイオメタン製造プロジェクト(2015～) (独・アレンドルフ)	<ul style="list-style-type: none"> ■ バイオガスプラントR&Dに取り組むMicrobEnergy GmbH(21年Hitach Zosen Inovaが買収)が、生物由来のバイオメタネーションによる60Nm³/h規模のメタン製造の実証 ■ 2015年3月以降、8,000時間以上の運転実績保有 	300kW (PEM)	冷熱発電等	ガスグリッドへ投入

【出所】MethyCentre Website および <https://www.gie.eu/wp-content/uploads/filr/3234/4.%20Thomas%20Heller-MicrobEnergy.pdf>

4. まとめ

本日の世界動向のまとめ

- **再生可能エネルギーの普及拡大、変動再エネ導入によるエネルギーシステムへの柔軟性、脱炭素技術の必要性およびエネルギー・経済安全保障の観点から「水素」は注目**
 - 水素直接利用として工業利用(原料・熱)・モビリティ、水素派生の燃料としてアンモニア、合成燃料への需要が期待
 - 2050年にはクリーン水素製造がほぼ100%、グリーン水素製造の水電解容量は3,500GW
 - GWクラスの水素製造プロジェクトの計画が増加、主要国・地域で2030年に数GW~100GW(欧州、インド)の普及目標、米国では水素ハブ7箇所を採択、再エネ・バイオマス・天然ガス・CO₂貯留の幅広いエネルギー資源・設備を活かし、水素の海外輸出も視野
- **潜在市場において水電解装置の先行競争が進む一方、水素製造コストは克服すべき課題あり**
 - 2030年に向けて発表されている水電解装置の導入計画は400GWを突破したが、最終投資決定(FID)に至ったものは限定的
 - 欧州・米国では水電解装置普及の政策支援が本格化、特に米国ではIRAの補助金政策で国内外からの生産建設計画が進む
 - グリーン水素製造コストは電力代が大半であるが、量産化、性能・耐久性・設備コストとのトレードオフの克服を含めた変動再エネ追従の対応、投入電力の最適化で製造コストを低減
- **海外では水素の資源化としてe-fuelのプロジェクトが多数進行、欧州でバイオメタンに注力**
 - 2030年に向けて商用規模を目指した合成燃料(e-fuel)の製造プロジェクトが欧州を中心に進行、ただし最大の課題は製造コスト、投入電力代の他に、電解・合成技術の効率向上が必須
 - 欧州ではRepowerEU以降、メタネーションとしてバイオメタンの導入に注力

MIZUHO



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

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