
水素 エコシステム 実現への道筋

何が
前進を妨げているのか
どうすれば
加速することができるのか

H₂

H₂



日本への提言

脱炭素は本当に来るのか

多くの日本企業を悩ませている論点の一つが「脱炭素は本当に来るのか」だろう。「いつかは来ると思うが、いつ来るかが見えない」と悩んでいる企業もいる。COP（国連気候変動枠組条約締約国会議）や各国・地域の規制動向・企業動向など世界の潮流を踏まえれば「来る」と考えるのが妥当であると思いつつ、少なくとも現在の日本においては経済合理性を伴わないため、顧客がついてくるイメージを持たず、収益性を確保できるイメージも持たず、二の足を踏んでいる状況がある。

この悩みは正しい。経済合理性を伴わないビジネスは成立しない。たとえどれほど環境に優しい商品やサービスであったとしても、経済合理性を伴わなければ持続性を欠き、結局社会にインパクトをもたらすことはできない。先行する欧州も当初の計画どおりに進捗していないのが実情である。

その上で、日本企業は脱炭素が「来る」と認識し、目指すべき姿を見極め、適切な移行計画を立て、準備を進めておくべきである。

IPCC AR6（気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書）が科学的根拠に基づき示したとおり、地球温暖化によるリスクは以前にも増して確信度が高いものになっている。それが明確に反証されない限り、国際社会が温室効果ガス対策を緩めることはない。

また、日本は、法的拘束力のある温室効果ガス排出量削減目標を掲げるEUに対し、約10兆円の輸出、約50兆円の直接投資（残高ベース）を行っている。よって、欧州市場を捨てない限り、欧州の法規制に対応しなければならない。なお、温室効果ガス排出量はサプライチェーン全体（スコープ3）でカウントされるようになるのが世界の潮流のため、国内納入のサプライヤーも油断するべきではない。

以上を踏まえれば、脱炭素は「来る」と認識し、対応を進めるべきである。重要なのは、移行計画にステージを設け、準備を進めつつ市場の規制動向／カーボンプライシング動向／補助金動向／インフラ整備状況／競争環境／顧客の受容動向などを踏まえて移行タイミングを見極めることだ。そうすることで、経済合理性のある事業を、計画性を持って、市場の形成に乗り遅れない形で構築することができるし、万が一の場合の撤退リスクを最小化することも可能だ。

— IPCC AR6 の予測 —

IPCC AR6は、地球温暖化を産業革命以前の水準比で+1.5°Cに抑制するためには、これからの10年間に全ての部門において急速かつ大幅な、そして即時的な温室効果ガス排出量削減（2030年までに2019年比43%削減）が必要になると指摘している。また、確信度が高い予測として、オーバーシュートした場合は悪影響を伴い、その一部は不可逆なものであり、人間と自然のシステムにとって追加的なリスクをもたらすと指摘している。

水素はどうすれば良いか

そうしたなか、ここ数年注目を集めている「水素」も、関係各社を迷わせるテーマになっている。

水素はもともと、石油精製（水素化脱硫等）、石油化学（樹脂生成時添加剤等）、肥料等用アンモニア（合成）、化成品等用メタノール（合成）、製鉄（光輝焼鈍用添加剤等）、半導体（雰囲気ガス等）など、幅広い産業分野で使用されている。しかし、従来の水素製造方法はCO₂が発生する。よって、これらの産業が脱炭素を実現するためには「グリーン水素（再生可能水素）」への置き換えが必要になる。

水素はエネルギーの文脈で話題になる傾向があるが、こうしたエネルギー以外の需要が多分に存在することを常に念頭に置いておく必要がある。

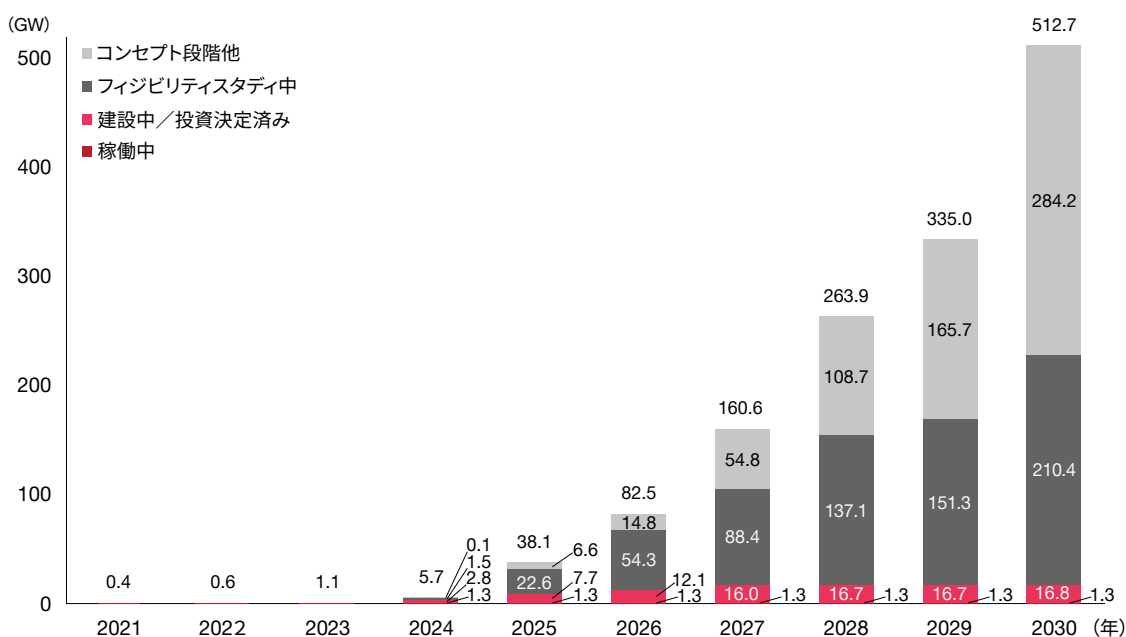
その上で、脱炭素社会においては、製鉄（水素還元製鉄／水素直接還元）、熱（天然ガス代替／コージェネ）、発電（水素発電／アンモニア発電／燃料電池）、燃料（合成燃料／水素エンジン）などの新たな水素需要が見込まれる。

すなわち、脱炭素を実現するためには、相当量のグリーン水素が必要になり得る。

グリーン水素の代替策ないし移行過渡期の解決策として、また、信頼性の高いベースロードの提供や少しでも安価なコストを実現するための解決策として、ブルー水素（低炭素水素）も考えられる。しかしながら、ブルー水素も依然として輸送やCCS／CCUS（炭素回収・利用・貯蔵）などの実力を見極める必要がある。例えば、日本にとってブルー水素は輸入が選択肢になり得るが、水素の輸送は、短距離の場合は水素の形でのパイプラインによる輸送が有利である。一方、生産拠点から2,300km以上離れる場合は、アンモニアの形での船舶による輸送が有利だと予想される。しかし、船舶での輸送については港湾のキャパシティおよびオペレーションに起因する非効率を考慮する必要があるし、陸揚げ後にアンモニアを分解して高純度の水素をコスト効率よく大量に取り出す技術を確認する必要がある。また、船舶での輸入への依存は、コロナ禍において顕在化したサプライチェーンリスクを抱え続けることにもなる。この辺りは、もともと地理的に天然ガスの輸入の多くをパイプラインで行っているEUと日本の環境差でもあり、考慮しなくてはならない。

そうしたことを踏まえると、水素の検討をするのであれば、必ずグリーン水素も検討した方が良好だろう。国内、さらにはオンサイトでの純水生産／水電解によるグリーン水素生産も検討対象になり得る。国際社会においても電解キャパシティは継続的に増加し続けており、公表情報ベースでは今後も増加する見通しである。

— 水電解装置の公表されているステータス別容量推移 —



出所：IEA（2024）、Hydrogen Projects Databaseに基づくStrategy&による分析

国や企業が取り組むべきこと

しかし、実際は、グリーン水素もブルー水素も、先行企業が取り組みを進めているものの、コスト高やインフラ未整備などの問題により本格展開の見通しが立っていない。

本レポートは、そうした状況に対し、各国・地域の状況を分析することで、国や企業がどのようなアクションをとるべきかを考察している。総合的に見て先行しているのはEUであるが、EU以外の国や地域もそれぞれの状況に合わせたなんらかの取り組みを進めている。また、EUも決して順調には進捗しておらず、むしろ苦労しており、その苦労を踏まえて有効な解決策を模索している。そうした模索およびその解決策は、日本や日本企業にとって大いに参考になるだろう。

結局のところ、グリーン水素もブルー水素も、従来の水素や化石燃料に比してコスト高であることが最大のボトルネックになっている。コスト高ゆえにオフテイカーが採用に至らず産業として成長しない。そして、オフテイカーが増えなければ生産量が増えないためコストが下がらずオフテイカーが増えない悪循環に陥っている。よって、脱炭素社会、すなわちグリーン水素やブルー水素が利用される社会へ移行するためには、コスト高の障壁を超える強制力のある法規制（輸出先国や進出先国における法規制を含む）の導入やカーボンプライシングの強化が必須要件である。

また、もし法規制が導入されたとしても、ボリュームがまとまるまでの痛みを限られた民間企業が背負い続けるのは限界があるため、脱炭素社会への移行を実現するためには補助金などの支援も必要である。

もちろん、企業のコストダウン努力や消費者の理解なども必要である。

私の経験も踏まえ、各ステークホルダーが取り組むべきことは、概ね以下のように整理される。

ステークホルダー	主な取り組むべきこと
国	<ul style="list-style-type: none"> ・明確かつ現実的な脱炭素規制の導入 ・関連規制の複雑性の解消 ・カーボンプライシングの強化 ・移行を可能にするための補助金の導入 ・許認可プロセスの合理化 ・インフラ整備の促進 ・水資源利用の支援 など
水素生産事業者	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な事業計画の策定 ・純水生産や水電解などの技術および量の確保 ・再生可能エネルギー事業者との提携ないし垂直統合 ・安全かつコスト競争力のあるサプライチェーンの構築 ・（アンモニアをキャリアにする場合）アンモニア分解の技術の確立 ・水素ハブの形成（アグリゲーター化）を含むオフテイカーの獲得 ・補助金を活用しつつ依存しないコストダウンの推進 など
流通事業者	<ul style="list-style-type: none"> ・国や企業が計画している水素プロジェクトを踏まえた安全で信頼できる水素インフラの整備（その計画の策定と公表） など
イネイプラー	<ul style="list-style-type: none"> ・より安価で高効率な、オンサイト／ニアサイト／オフサイトでの水素生産／活用を可能にする設備や機器の確立（純水製造装置、電解装置、タンク、燃料電池、EMS、水素ボイラー、FCEV など）
オフテイカー	<ul style="list-style-type: none"> ・規制動向のモニタリングと見立て ・自社が目指すべき姿の見極め ・適切な移行計画の策定 ・準備の推進 ・移行タイミングの見極め ・水素生産事業者との協力による有効なサプライチェーンの構築 ・需要家側インセンティブの政府への働きかけ など
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・正しい情報の提供および国民の理解の醸成 など

結語

カーボンニュートラルの必要性は、CO₂をはじめとする温室効果ガスと地球温暖化は関係ないという科学的な根拠が示されない限り否定困難であり、「脱炭素は来ないから対応しない」と意思決定できる経営者はなかなかいないだろう。

一方、水素については、コスト高という前提を乗り越えなければならないがゆえに問題が複雑化し、時間軸を読みにくいという難しさがある。だからこそ、自社が目指すべき姿を見極め、適切な移行計画を策定し、準備を進め、移行タイミングを見極め、適切な事業化を実現する企業が、脱炭素社会でのポジションを獲得することになるだろう。

本レポートが、読者の参考になるとともに、脱炭素社会実現の一助になれば幸いである。

PwCコンサルティング合同会社
Strategy& ディレクター
赤路陽太

執筆者について

Dirk Niemeier は、ミュンヘンを拠点とする Strategy&のディレクターであり、クリーン水素・代替燃料部門のリーダーである。エネルギーセクター、製造業、モビリティ業界のクライアントを対象に、脱炭素関連の市場やビジネスモデル、戦略開発、企業変革のサポートを担う。

Dr. Daniel Haag は、Strategy&のディレクターであり、シュトゥットガルトを拠点に、工業生産と運輸・ロジスティクスのESG（環境、社会、ガバナンス）リーダーを務める。輸送・ロジスティクスと工業製造業のクライアントの戦略、オペレーション、サステナビリティ変革に注力している。

Florian Schäfer は、Strategy&のシニアアソシエイトで、ハンブルグに拠点を置く。クリーンエネルギーソリューション、特に水素と持続可能な燃料に注力。エネルギーおよび産業製造セクターのクライアントに対し、持続可能な市場参入戦略や、エネルギー転換の一環としての新しいビジネスモデルの開発をサポートしている。

Marie Hufen は、Strategy&のアソシエイトで、ESG戦略の策定と実施において、さまざまな業種のクライアントをサポートし、脱炭素化や、より広範な持続可能性への取り組みの一環としてのクリーンエネルギーソリューションの導入に焦点を当てている。

水素普及に関する見解を詳述したゲスト投稿をご提供いただいたRWEとHynamicsに謝意を表します。

監訳者について

赤路 陽太 (あかじ・ようた)

PwCコンサルティング合同会社、Strategy&のディレクター。エネルギー産業、自動車産業、情報サービス産業に精通し、新事業開発、事業戦略、事業変革、デジタル、Go to Market、サステナビリティなどのテーマについて豊富なコンサルティング実績を有する。有識者としてメディアや産業団体などからの取材、セミナー登壇など多数。デンソー、リクルート、複数のコンサルティングファームを経て現職。

目次

要旨	08
世界の水素市場のダイナミクス	10
地域別分析	14
欧州	14
オーストラリア	17
北アフリカ	19
中国	22
中東	24
中南米	26
米国	28
課題	30
ゲスト投稿 - RWE	32
ゲスト投稿 - Hynamics	34
求められるアクション	36
結論	38
文末脚注	39

要旨

再生可能エネルギーを利用して生成するクリーン水素は、鉄鋼生産、化学工業、長距離トラック輸送など、最も脱炭素化が困難なセクターを脱炭素化するためのソリューションとして、また、PtL（パワー・ツー・リキッド）製法で製造される航空機や船舶用の燃料の原料として世界的に期待されている。それ故、水素は気候変動を抑制するための国家戦略や地域戦略において重要な役割を担っている。EUは、2030年までに2,000万トンのクリーン水素（再生可能水素だけでなく低炭素水素も含む）を使用し、同年までに温室効果ガス（GHG）を55%削減するという目標を掲げている¹。米国は、化石燃料をクリーン水素に置き換えることで、2050年までに全体の排出量を10%削減できると見積もっている²。

こうした野心とは裏腹に、世界的に市場はまだ黎明期にあり、その進展は（いくつかの例外を除いて）極めて緩慢である。これは、すでに発表されているクリーン水素プロジェクトの容量が840GWであるのに対し、最終投資決定（FID）または建設段階に達したプロジェクトの容量がわずか15GW（1.8%）と、大きな隔たりがあることから明らかである。

最も多くの水素プロジェクトが発表されている欧州を例にとると、本レポートにおける私たちの調査³では次のことが明らかとなった：

- 2030年までにEUで1,000万トンの再生可能水素を生産するという目標を達成するためには、約120GWの電解装置容量が必要となる⁴。
- この目標を達成するためには、今後6年間、毎年約20GWの容量を追加する必要がある。しかし、過去2年間、年間1GWしかFIDに達していない（しかもこれは建設が完了したことを意味しない）。電解装置の市場投入までの期間は通常3年から5年である。
- 発表済みのクリーン水素プロジェクトのほとんどは、まだコンセプトやデモの段階であり、2023年時点でFIDまたは建設段階に達しているのは、電解装置容量約3GWのプロジェクトのみである。

840GW

容量相当のクリーン水素プロジェクトが発表されている。

そのうち、 わずか 15GW

相当のクリーン水素プロジェクトが、最終投資決定（FID）または建設段階に達している。



世界的に見ると、主な障害は5つある：

第一に、クリーン水素のコストが高いため、支払い意思や能力を持つ十分なオフテイク（引き取り手、購入者）がない。つまり、明確かつ収益性の高いビジネス案件が存在しないため、生産者は生産開始に必要な投資を確保できないのだ。

第二の障壁は、上記の事情と密接に関連している。初期投資コストが高水準で高止まりしているため、買い手のコストを低減するような大規模プロジェクトの実現が困難なことだ。金利の上昇と建築資材のインフレ要因により、投資コストは昨今一段と上昇しており、以前は採算が取れていたプロジェクトも今では採算が取れなくなっている⁵。

第三に、規制当局が進展を支援するために十分なインセンティブを設定するのに苦慮していることが挙げられる。欧州では、水素に関する欧州共通利益に適合する重要プロジェクト（IPCEI）の支払いが2年以上遅れ、差金決済契約も最近になって導入されたばかりである。

第四の課題は、電気分解によって再生可能な水素（再生可能水素と呼ばれる）を製造するための再生可能エネルギーの供給不足である。さらに、再生可能電力が生産される時だけでなく、多くの産業分野の顧客の必要に応じてベースロードまたは計画的に供給される製品として水素を生産するという課題もある。

最後に、クリーン水素を貯蔵し、オフテイクに輸送するインフラが欠如していることが大きな障壁となっている。大容量の輸送はパイプライン、船舶、ターミナルに依存しており、生産量の変動に基づく計画配送には、配送を平準化するための保管設備が必要である。

本レポートでは、7地域（欧州、オーストラリア、北アフリカ、中国、中東、米国、中南米）の水素市場を詳細に分析し、それぞれの地域について、クリーン水素プロジェクトに関するこれまでの進捗状況を評価し、開発ペースを上げるために何が必要かを特定する。

さらに、生産者、オフテイク、流通業者、その他の仲介業者、そして政府と規制当局といったエコシステムの各プレーヤーが、世界経済の脱炭素化に必要とされるスピード感で水素市場を構築するための一貫した協力体制において、どのようにそれぞれの役割を果たすことができるかを示す。



2030年までにEUで1,000万トンの再生可能水素を生産するという目標を達成するためには、120GWの電解装置容量が必要である。

第1章

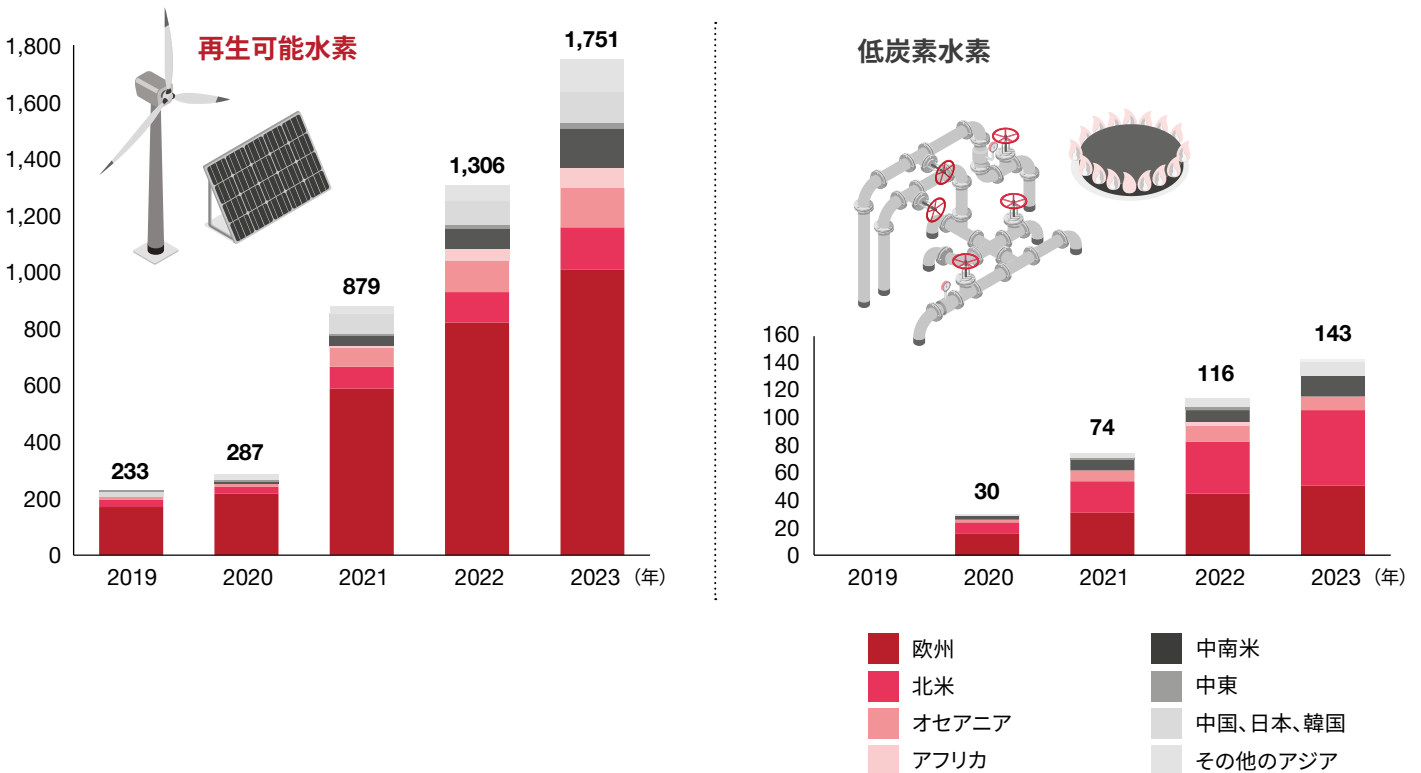
世界の水素市場のダイナミクス

世界中で発表されている低炭素・再生可能水素プロジェクトの数は着実に増加しており、2020年から2023年の間に1,500以上の新規製造プロジェクトが発表されている。

再生可能電力を使って水を酸素と水素に分解して製造する再生可能水素に関しては、欧州が優位を保持しており、世界で確認されている再生可能水素プロジェクトの半数以上が欧州で実施されている（図表1参照）。

低炭素水素（天然ガスから水素を製造する過程で排出される炭素を削減するための炭素回収・貯蔵（CCS）技術を含む方法を用いて製造される水素）については、2023年に発表されたプロジェクトの数で北米がリードしている（図表1参照）。

図表1
再生可能および低炭素水素プロジェクトの数と地域



出所：IEA（2023）に基づくStrategy&による分析

低炭素水素プロジェクトの数は、再生可能水素の発表数に比べればまだはるかに少ないが、特に水素市場開発の初期段階において、信頼性の高いベースロードエネルギーを供給するという重要な役割を果たすだろう。これは特に、需要が高い時期や再生可能エネルギーが容易に利用できない時期に重要である。低炭素水素のもう一つの重要な利点は、再生可能水素よりも安価なことである。

プロジェクトの数だけでなく、再生可能水素の容量を見ると、2023年までに発表された容量が最も大きい欧州（200GW）がトップで、アフリカ（169GW）、オセアニア（130GW）がこれに続く（次ページの図表2参照）。ただし、「発表済み」と「建設済み」は同じではなく、これらのプロジェクトが完成しないリスクも残っていることに注意が必要である。



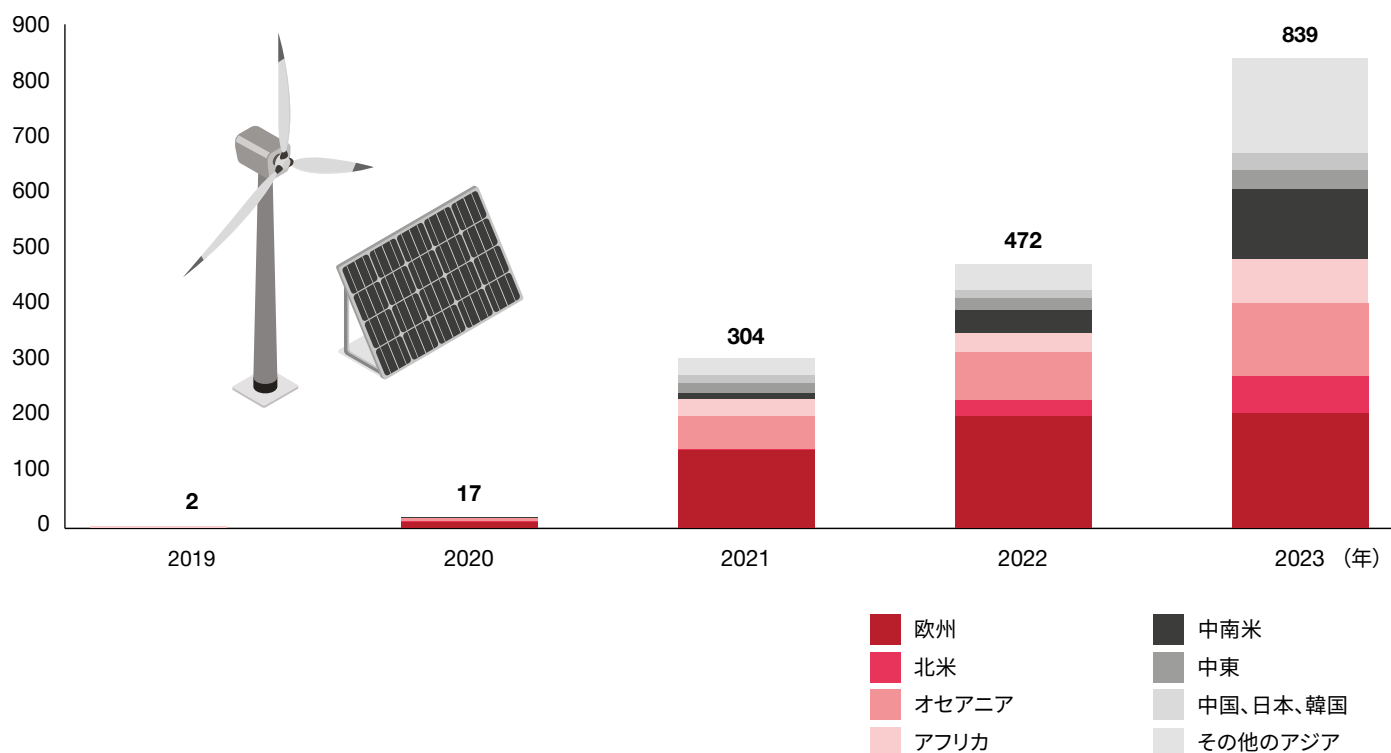
低炭素・再生可能水素プロジェクトの世界的な発表数の増加は、クリーンエネルギーの可能性を顕著に表している。ただ、これらの実現が遅々として進まないことは、生産プロジェクトのバンカビリティ（融資適格性）を向上させるために長期的なオフテイク契約を確保することが急務であることを示唆している。

Dirk Niemeier
再生可能水素・代替燃料部門リーダー
PwC Strategy&ドイツ

欧州では、電解装置容量200GWの再生可能水素プロジェクトが発表されており、これらが建設されれば、2030年までに達成を目指す1,000万トンを超えるクリーン水素の生産が可能になる。200GWの電解装置容量があれば、約560テラワット時 (TWh) の再生可能水素を生産でき、これは1,700万トンの容量に相当する⁶。

しかし、上述のように、欧州ではこれまで、発表された容量の実現は遅々として進んでいない。2023年末までにFIDまたは建設段階に達した電解装置プロジェクトはわずか3GW（発表された合計200GWのうち）であり、2021年以降2GWの増加であった。2030年の目標達成に必要な、稼働中のプロジェクトによる年間20GWの達成には、まだ道のりが遠い。

図表2
発表された再生可能水素プロジェクトの容量と地域 (単位: GW)



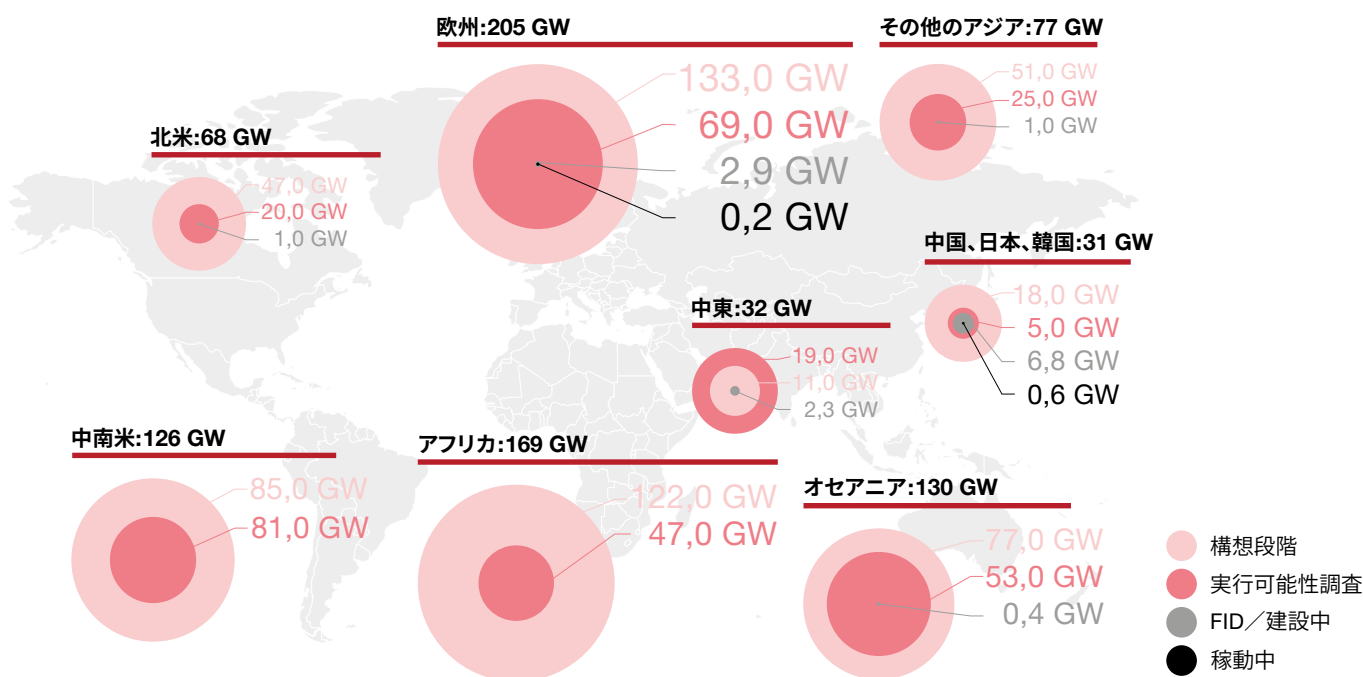
出所: IEA (2023) に基づくStrategy&による分析

これに対し、中国、日本、韓国では、2023年までに7GW近い電解装置容量がFIDまたは建設段階に達している（図表3参照）。

今後、パリ協定の気候目標を達成するためには、2030年までに世界で約1億トンのクリーン水素が必要となる。2050年までには、世界経済の脱炭素化に必要な水素量は5億トンになると予想されるが、信頼性の高いベースロードを提供する役割とコストの低さから、低炭素水素も引き続きソリューションの一つとして含まれることになるだろう。

しかし、現在世界で稼働している電解装置の容量は約14GWにすぎず、再生可能水素を100万トン程度（十分な再生可能エネルギーがある場合）しか製造できない。これを2030年までに100倍、2050年までに500倍にするためには、喫緊に世界中で生産能力を増強する必要がある。以下の章では、2000年代にドイツの再生可能エネルギー法（EEG）により再生可能エネルギー拡大に向けた取り組みが講じられたような、政策や資金提供のイニシアティブによる変革の開始を含め、どのようにすればこれが可能になるかを見ていく。

図表3
再生可能水素プロジェクトの現状



出所：IEA（2023）に基づくStrategy&による分析

第2章

地域別分析 - 欧州

図表4
欧州におけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 欧州は、2030年までに1,000万トンの再生可能水素の国産化と1,000万トンの輸入を目標とし、主要な輸入ハブになることを目指している¹。
- 欧州大陸は、2050年までにクライメートニュートラル(気候中立)になる最初の大陸となることを目指す。



状況

- 2023年の電力構成に占める再生可能エネルギーの割合44%²。
- 低炭素水素製造のための天然ガス埋蔵量は限られている。



政府の支援

- EUも加盟国も、水素経済の拡大を促進するために多額の資金を提供している。IPCEI(欧州共通利益に適合する重要プロジェクト)は、水素インフラにフォーカスした資金提供を、2021年に総額54億ユーロ、2024年にはさらに69億ユーロ決定している³。
- 再生可能水素オークションの上限価格は1kgあたり4.50ユーロで、5年以内に開始されるプロジェクトに助成金が支給される⁴。



インフラ

- RePowerEU計画(ロシアの化石燃料脱却および気候変動対策向けの施策)では、中長期的に欧州の地域の需要と供給をつなぐ5つの大規模パイプライン回廊を構想している。
- 例えば、ロッテルダムとヴィルヘルムスハーフェンにアンモニア輸入ターミナルを設置する。
- ドイツは2030年までに、産業センター、貯蔵所、発電所、輸送回廊など、主要拠点を結ぶ水素インフラを確立し、生産者と産業オフテイクを結ぶことを計画している。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計:1,007件、容量205GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計: 51件⁵。

注: IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス(2023年)を示した図。

出所: 1 European Commission "Hydrogen Systems" (2023), 2 Solarpower Europe (2023), 3 European Hydrogen Observatory (2023), 4 European Commission "Hydrogen Bank Auction" (2023), 5 IEA "data base" (2023)

水素経済の創出は、2050年までに最初のクライメートニュートラル大陸になるというEUの法的拘束力のある公約の重要な要素である。そのためにEUは、2030年までにEU域内で1,000万トンのクリーン水素を製造し、同量の水素を輸入するという目標を掲げている⁷。

この地域は、発表された水素プロジェクトの数では世界をリードしているが、前述の数字が明らかにしているように（第1章「世界の水素市場ダイナミクス」を参照）、発表を生産につなげるという点では大きな進展がない。

では、現状を好転させるには、何を変える必要があるのだろうか。

コスト削減のための財政支援を強化

再生可能水素の開発には膨大な費用がかかり、当初は排出量削減の実現がより困難な産業部門の大規模な導入プロジェクトに依存する。再生可能水素と天然ガスの価格を比較してみると、EUにおける再生可能水素の価格はMWhあたり200～250ユーロ、低炭素水素の価格はMWhあたり100～150ユーロであるのに対し、天然ガスはMWhあたり25～40ユーロ（さらに炭素排出量取引制度（ETS）によりMWhあたり15～20ユーロ追加）である⁸。

潜在的なオフテイクは明確だが、再生可能水素と化石燃料のコスト・ギャップを埋めるために必要な多額の資金は、徐々にしか増強されていない。産業界のオフテイクのリスクを軽減するためにはより多くの財政支援が必要である。一例としては、EU、特にドイツにおける、より持続可能な鉄鋼生産への移行支援がある。全ての鉄鋼メーカーが、低炭素鉄鋼プラントへの投資のために多額の資金援助（鉄鋼セクター全体で約100億ユーロ）を受けており⁹、そのうちの1社は、すでに直接還元鉄（DRI）プラント用にクリーン水素の購入を開始している。また、グリッドへの接続が不十分なため、現地で電解装置プロジェクトを立ち上げている企業もあり、近い将来、クリーン水素の利用が開始される見込みだ。

この変化の背景には、いくつかの理由がある。コスト・ギャップの一部にOPEX（運用維持費）資金が投入されること、一部の顧客が低炭素鋼の高コストを受け入れると予想されること、鉄鋼メーカーが得るCAPEX（資本的支出）資金が天然ガスから水素への漸進的なシフトを求めること、などである。しかし、主要な推進力は、ドイツのH2Global政府支援による輸入オークション、直接資金調達、あるいは新しい炭素差額契約（Klimaschutzverträge）のいずれかを介してのコスト・ギャップを埋めるための部分的な資金調達である。

再生可能（“グリーン”）水素以上に、低炭素（“ブルー”）水素の導入拡大を推進する¹⁰

最近の天然ガス価格の下落により、低炭素水素は再生可能水素に比べて費用対効果の高い選択肢となっており、2023年に資金を調達するプロジェクトでは、平準化コストは50～60%程度低くなる。

ドイツの国家水素戦略（改訂版）は、低炭素水素に対するスタンスをよりソフトにすることを示唆しており、再生可能エネルギーを動力とする電気分解から得られる水素を優先するこれまでの姿勢からシフトしている。

このシフトは、ドイツ国内での生産や同国への輸出を目指す低炭素水素メーカーにとって、例えば再生可能エネルギーや低炭素水素の買い手に対してEU ETS価格に基づいて支払いを行う気候保護契約のような、需要側インセンティブからの恩恵を受ける機会を生み出している。

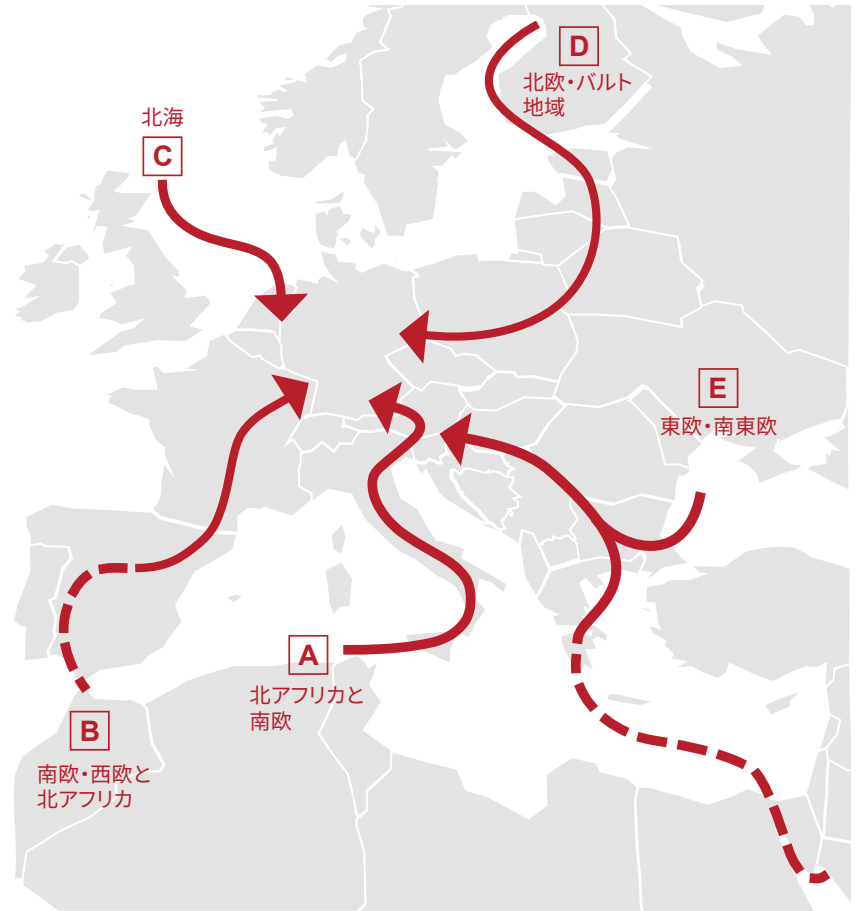
プロジェクト所在地と潜在的輸送回廊の間のインフラ構築

EUの水素生産・輸入目標を達成するためには、クリーン水素を生産する国（例えばスペインのような再生可能エネルギーコストが低い国）と使用する国との間で燃料を移動させるパイプラインの建設について、適切な調整が必要である。

欧州水素バックボーン（EHB）構想は、欧州内に5つのパイプライン回廊（図表5参照）を設置し、その後、輸出の可能性がある近隣地域と欧州を接続し拡大していくことを目的とした、包括的なインフラパイプライン計画である。

図表5
EHB供給回廊

例えばスペインやオランダから中欧、北欧へのように、適切に調整されている部分もある。しかし現在、パイプラインの接続性と生産プロジェクトの計画が適切に調整されていないように見える回廊も計画されている。例えば、北アフリカから南欧および中欧への回廊である（北アフリカの分析、19ページを参照）。パイプラインにとどまらず、欧州はアンモニアターミナルとクラッキング（炭化水素の分解プロセス）インフラの建設にも力を入れ、中東を含む海路での水素輸送を可能にしようとしている。現在のところ、船舶による水素輸送方法としては、アンモニアが最も可能性が高いと思われる。



出所：European Hydrogen Backbone (2022) に基づくStrategy&による分析

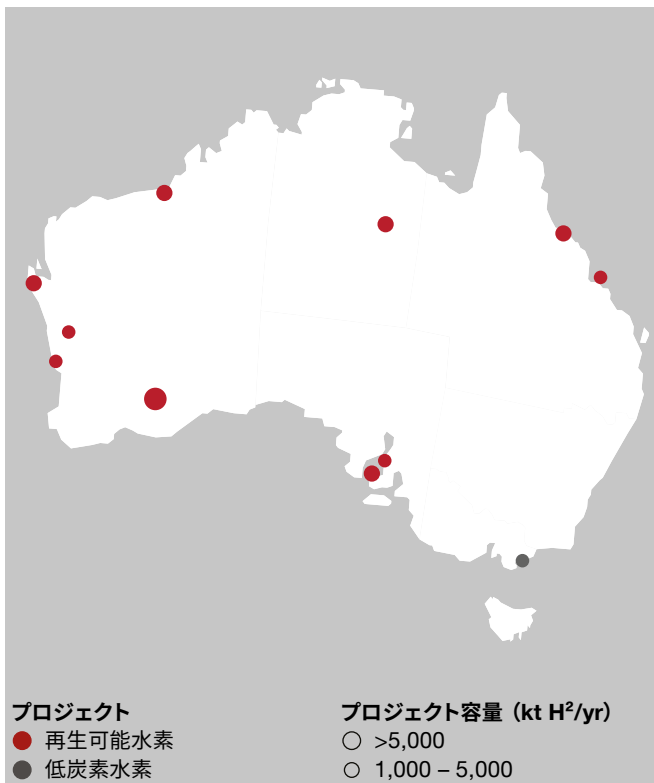


欧州のまとめ

EUは、2050年までに世界初のクライメートニュートラルな大陸に変貌することを公約している。この目標を達成するため、クリーン水素を欧州のエネルギー転換計画に統合するという野心的な取り組みを推進しており、すでに首尾よく前進している。現在発表されているプロジェクトの実現こそが極めて重要である。

地域別分析 - オーストラリア

図表6
オーストラリアにおけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- オーストラリアは当初、アジア、EU、米国への輸出を目標とし、その後、国内での引き取りを目指す。
- 生産目標はまだ公表されていないが、政府は2030年までに世界的なプレーヤーになることを目指している。



状況

- 2023年の電力構成における再生可能エネルギーの割合は37%、2030年までに82%を目指す¹。
- 再生可能エネルギーによる発電に理想的な状況として、低炭素水素製造のための天然ガス埋蔵量は多くない。



政府の支援

- 2030年まで大規模な再生可能水素プロジェクト (50MW以上、合計1GWを目標) を支援する新しい「Hydrogen Headstartプログラム」に20億豪ドル (12億ユーロ) を投資²。
- 国家水素戦略は「Hydrogen under 2」を目標とし、1kgあたり2豪ドル (1.2ユーロ) 以下のコストで水素を製造する³。



インフラ

- 沿岸地域における包括的な水素プロジェクト・インフラ計画。
- 水素製造拠点に焦点を当て、長距離水素パイプラインの必要性を制限する。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計：オセアニアで139件、容量130GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計：オセアニアで10件⁴。

注：IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス (2023年) を示した図。
出所：1 Renew Economy (2024), 2 Australian Government (2023), 3 Australian Embassy Germany (2023), 4 IEA "data base" (2023)

2023年、オーストラリアは国家水素戦略を更新し、大規模な太陽・風力エネルギー資源を背景に、再生可能水素の主要輸出国になる可能性を強調した。しかし、輸出に必要な水素の製造やインフラ整備は、これまでほとんど進んでいない。前連立政権下では、クリーンエネルギー分野は「失われた10年」を強いられ、政府は再生可能エネルギーよりも石炭生産者や老朽化した石炭火力発電所を優先した。

オーストラリアの水素戦略では、水素の生産目標は定められていないが、IEAは、2030年までに600万トンの“低排出”水素を生産できると見積もっている。国家水素戦略の一環として、オーストラリアはスケールアップにフォーカスし、必要なインフラを限定するために“水素ハブ”¹¹とそれに対応する再生可能エネルギーゾーン¹²を定義した。政府は、2030年までに32GWの再生可能エネルギー容量を追加することを目標に、容量投資スキーム¹³を設定し、Hydrogen Headstartプログラムのもと、大規模な再生可能水素プロジェクトに20億豪ドル (12億ユーロ) を投資する計画も発表した。気候変動・エネルギー・環境・水資源省の発表によると、成功したプロジェクトは、再生可能水素の製造コストと市場価格とのギャップをカバーするための資金クレジットを申請することができる。

これにより、生産者は燃料をより低コストで販売できるようになる。総発電容量3.5GWを超える6つのプロジェクトが、資金援助の候補に挙がっている¹⁴。しかし、このような資金は小規模プロジェクトにはまだ提供されていない。

オーストラリアが水素市場のポテンシャルを十分に引き出すためには、他に何を考える必要があるだろうか？

水素輸出のためのオフテイク誘致

特にオーストラリアの生産者は、カーボンプライシングや水素オフテイク支援スキームが限定的であるため、自国市場で化石燃料と価格競争するのは困難である¹⁵。その結果、水素エコシステムは、まずは国際的なオフテイクに供給する輸出プロジェクトによって確立され、その後、これにより水素ハブ内に構築されたインフラを背景に、国内市場が発展すると予想される。

政府はドイツ（H2Globalの4億ユーロの補助金入札プロジェクトなど）、日本、韓国を含む国々とパートナーシップを結んでおり、再生可能水素市場への海外からの投資は増加している。発表されたプロジェクトのパイプラインは、2021年の2,300豪ドル（1,400億ユーロ）から2022年には3,000豪ドル（1,800億ユーロ）に増加しており、これには韓国鉄鋼大手ポスコによる400豪ドル（240億ユーロ）の投資計画も含まれている。

必要なインフラの構築

インフラへの投資は、クリーン水素産業にとって世界的に重大な課題のひとつになっている。オーストラリアでは、市場のポテンシャルを最大限に引き出すためには、大規模な電解装置と、そこに供給する十分な水および水用パイプラインの建設、再生可能エネルギーの電力生産と送電能力の増強、低炭素水素のためのCCS、輸出用の水素パイプライン、貯蔵施設、港湾施設が必要となる。

これらは全て、コストのかかる長期プロジェクトである。オーストラリア水素協議会（AHC）の試算によると、例えば非常に大規模なプロジェクトでは、初期調査から最終的な投資決定までに8年もかかるという。また、同国には現時点では電解装置の現地製造能力がないことも、サプライチェーンを構築するうえで不利な要因となる。

必要なインフラの整備に真の弾みをつけるには、オーストラリアの再生可能エネルギー目標を延長し、石炭火力発電所の明確な閉鎖時期を設定することが、将来のエネルギー情勢について投資家に透明性を与えるだろう。さらに、米国や欧州などの電解装置メーカーとの戦略的パートナーシップも、世界中で電解装置が不足している現在、オーストラリアの水素製造業者にとって大きな助けとなる。オーストラリアの鉱業・グリーンエネルギー企業であるフォーテスキュー社は、クイーンズランド州に電解装置工場を持つが、同州での水素プロジェクトのために、米国のサプライヤーであるプラグ・パワー社から550MWの容量を持つ電解装置の納入を受ける予定である。それ以外にも、Hazer Group（低排出水素・黒鉛製造法）、Hysata（毛細管式電解法）、H24U（高温廃棄物ガス化水素製造法）、Energys（海洋セクター用燃料電池）などの新技術メーカーの出現が、オーストラリア国内で見られている。

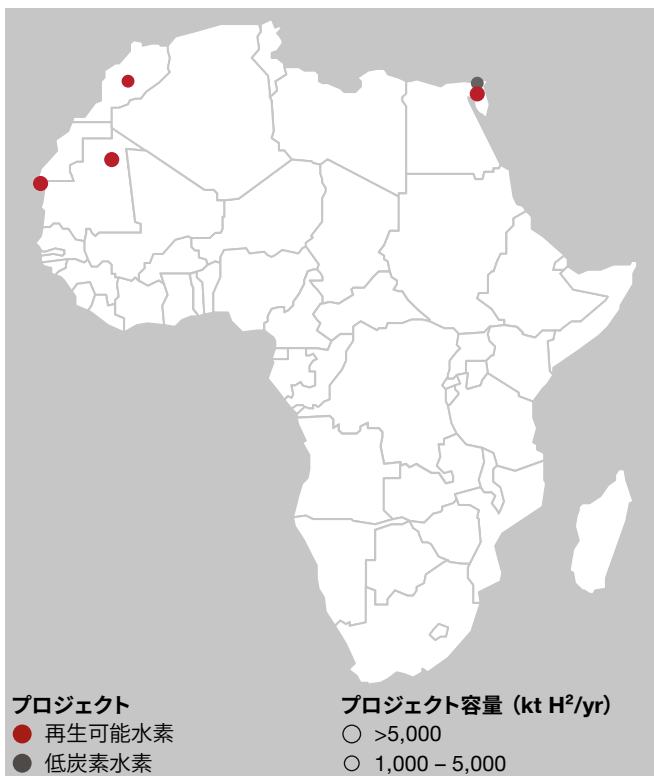


オーストラリアのまとめ

クリーン水素の潜在力を引き出すために、オーストラリアは豊富で質の高い再生可能エネルギーを活用し、大規模な輸出プロジェクトを軌道に乗せ、低コストの大規模輸出生産を背景に国内ビジネスを確立しなければならない。究極の課題は、再生可能エネルギーや有望な重要鉱物を生かした産業を創出し、長期的な成功に向けて経済を多様化させることである。

地域別分析 - 北アフリカ

図表7
北アフリカにおけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 北アフリカ諸国は、特に欧州への水素輸出を目標としている。
- 水素の目標は国によって異なるが、生産ポテンシャルは2050年までに2,000万トンから4,000万トンに達する可能性がある¹。



状況

- 再生可能エネルギーのシェアはさまざまで、比較的低い。例えば、モロッコは38%、エジプトは20%、チュニジアは3%²である。
- 主に太陽光と風力を中心に、最適な再生可能資源のポテンシャルを有する。
- 低炭素水素製造のために必要な天然ガスの埋蔵量がない。



政府の支援

- 政府の安定性とインセンティブ付与のレベルが国によって異なるため、外国投資家誘致の可能性が制限されるケースもある。
- 水素プロジェクトへの外国投資と支援が必要。例えば、グリーンTRANSフォーメーションのための1,500億ユーロのEU-アフリカ・グローバル・ゲートウェイ投資パッケージなど³。



インフラ

- パイプラインネットワークや輸出ターミナルの未整備によるインフラギャップ（インフラ整備状況による需給のずれ）により、欧州をターゲットとする回廊Aや回廊B経由での輸出の可能性が妨げられている。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計：アフリカで71件、容量169GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計：アフリカでは0件⁴。

注：IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス（2023年）を示した図。
出所：1 UNFCCC (2022), 2 US Trade Government (2022), 3 European Commission (2023), 4 IEA "data base" (2023)

北アフリカの気候と欧州への距離的な近さにより、この地域が世界の水素市場で重要な役割を果たす可能性が見込まれている。北アフリカのソーラーパネルは、確実に晴天に恵まれるため、欧州のソーラーパネルに比べて最大3倍のエネルギーを生み出すことができ、また、人口密度の高い欧州よりも設置スペースが広い。野心的な脱炭素化目標達成のために再生可能水素を輸入に依存するEU諸国に対し、再生可能水素を直接輸送するため、新しいパイプラインを建設するだけでなく、既存の港湾や一部のパイプラインを利用できる可能性がある（16ページの欧州分析の地図内の回廊Aを参照）。例えばドイツとイタリアは、北アフリカからドイツへ再生可能水素を輸入するための回廊を構築する一環として、アルプスを横断するパイプラインの建設を共同で進めることにコミットしている。

生産・供給インフラの構築には、EUの支援を受けた海外からの投資が不可欠であるうえ、北アフリカはグリーン水素のコストが高く、国内での引き取り手を見つけることが難しい場合もあるため、輸出市場に依存することになる。しかし、国によっては政情不安の度合により、投資に疑問が生じる。現在、多くの企業が、潜在的な投資の安全性を高めるための政府保証がなければ、北アフリカでの水素プロジェクトには投資しないという立場をとっている。

ここでは、アルジェリア、チュニジア、モロッコ、エジプトの4カ国の市場ポテンシャルを検討する。

アルジェリアとチュニジア

前述の欧州分析で示したように、回廊Aは既存のガスインフラであるトランスメッドパイプライン（地中海縦断パイプライン）を活用し、コスト競争力のある大量の再生可能水素を、チュニジアとアルジェリアから、イタリアを經由して中欧に輸送することができる。回廊は2030年代初頭には完成し、11,000kmの大規模水素パイプラインで構成される。そのうちの約60%は再利用で、40%は新規に建設されるであろう¹⁶。また、アルジェリアの既存の2つの液化天然ガス（LNG）の輸出ターミナル（Arzew/BethouiaとSkikda）を活用することも可能である。

アルジェリアは2023年時点で水素プロジェクトを稼働させていないが、ドイツの開発銀行KfWが50MWの再生可能水素パイロットプロジェクトに融資する予定であり、ドイツ政府とアルジェリア政府は2024年2月に共同で水素タスクフォースを設置すると発表した¹⁷。チュニジアも2023年時点では水素プロジェクトはなく、既存のガスパイプラインを活用するためにアルジェリアとのパートナーシップに大きく依存することになる。

ただ、アルジェリアには独自の再生可能水素戦略はないものの、低コストの国産天然ガスと、ガス田に関連したCCS技術の経験がある。そのため、仮にビジネス案件が発生し、水素を輸送するための適切なインフラが整備されれば、低炭素水素の輸出に関心が高まる可能性がある。

しかしながら、海外からの強い関心にもかかわらず、プロジェクトはまだ活発化していない。アルジェリアとチュニジアの両国は、紛争が絶えない地域であるため、輸出回廊の起点としてはリスクがある。米務省によれば、アルジェリアで事業を行う国際企業は、法律や規制の適用が一貫していないことにも留意しており、水素プロジェクトへの外国投資家の商業的リスクを高めている。

モロッコ

モロッコはEUの長年のパートナーであり、EUへの再生可能水素の輸出国となることを目標としている。モロッコの再生可能エネルギーにおける潜在的なエネルギーポテンシャルは目覚ましく、競争力がある。特に風力エネルギーと太陽エネルギー（年間日照時間が3,000時間を超え、年間平均風速が毎秒10メートルを超える区域を含む沖合と陸上の大規模な風力フィールドがある）¹⁸は、高パフォーマンスの太陽光発電所と風力発電所を可能にし、グリーン発電の大きな可能性を提供する。同国は、国内の需要を満たし、特に輸出を通じて国の潜在力を最大限に活用するため、グリーン分子、とりわけ水素アンモニアとメタノールを中心とした経済・産業セクターを創出すべく、グリーンH2国家戦略（Green H2 National Strategy）を打ち出した。この戦略には、2020年から2050年までのタイムラインも含まれており、再生可能水素のさまざまな使用、応用について予測されている。

このタイムラインから、以下の短期、中期、長期の目標と優先順位が明らかになっている。

- 短期的な(2020年~2030年)用途として、H2製品の輸出と国内産業(特にリン酸塩)への利用がある一方、天然水素鉱床の探査が最優先課題。
- 中期的な用途と優先課題(2030年~2040年)は、水素をエネルギー貯蔵の手段としたプロジェクトを開発すること。
- 長期的な用途(2040年~2050年)は、より多くのより良質なアンモニア、水素、グリーン合成燃料の輸出であり、さまざまなニーズに対応する再生可能水素の国内利用が挙げられる。

エジプト

エジプトでは2023年に17の水素プロジェクトがあり、そのうち16が再生可能水素であった¹⁹。エジプトは、北アフリカの他の国々とは異なるアプローチを追求している。水素の生産と輸出だけでなく、低炭素鋼や化学物質、燃料の生産も行っている。ナイル川とスエズ運河を有するエジプトは、これらの製品の買い手である造船業者や国際海運業界とのつながりが深い。

また、エジプトは、EUとパイプラインでつながっている地域の他の国々と水素輸出国として競争することができないだろう。パイプラインの接続は期待できないし、水素を液化して輸送するコストも高すぎる。その代わりに、同国はe-fuel(合成燃料)生産国になったり、水素を使って製造されるアンモニアやメタノールを輸出したりする可能性がある。

エジプトはまた、潜在的な水素投資家にとって、政治・経済・環境面で多くのリスクを抱えている。これらは、政府債務危機、高いインフレ率、深刻な環境悪化に起因する。さらに、重要なインフラが軍によって所有・運営されており、国際機関や民間企業にとって投資の障壁となる可能性がある。



北アフリカのまとめ

北アフリカはクリーン水素の生産に最適な条件を誇り、欧州のパイプラインに地理的に近いという利点もある。とはいえ、政府の安定性やインセンティブのレベルはまちまちで、特に政府の保証がない場合は、投資を検討している企業の足かせとなっている。

地域別分析 - 中国

図表8
中国におけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 主に国内向け、自給自足を目指す。
- 2030年までに電解装置容量100GWを目指す水素ロードマップを策定¹。



状況

- 2023年の電力構成における再生可能エネルギーのシェアは51%²。
- 再生可能エネルギーによる水素プロジェクトは、世界全体の20%近くを占める。



政府の支援

- 政府が大規模な資金援助を実施している。例えば、中国の国家電力投資会社は、風力発電から水素燃料を製造するために、中国北東部で58億5,000万米ドル(55億ユーロ)の投資を発表した³。



インフラ

- 輸出も視野に入れた電解装置エンジニアリングの高度な専門技術を保有している。
- CCSの技術進歩により、既存の施設を改修し、石炭事業から開発された水素を低炭素水素に転換させる可能性がある。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計：中国、日本、韓国で110件、容量31GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計：中国、日本、韓国で15件⁴。

注：IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス（2023年）を示した図。
出所：1 World Economic Forum "China" (2023), 2 Reuters (2023), 3 Green Hydrogen News (2023), 4 IEA "data base" (2023)

中国はすでに世界最大の水素生産国で、アンモニアやメタノールの製造、精製に水素を使用している。同国は、再生可能水素の生産量を、水素生産量の1%未満から、2030年までに15%まで増加させる計画であり、2050年までに70%を達成することを目標としている²⁰。技術開発と市場創出への政府支援を背景に、再生可能水素への大規模な移行が行われている。同国は2060年までにネットゼロを達成するという公約に沿って排出量削減に向け努力している²¹。

大規模な再生可能水素プロジェクトと電解装置技術への多額の投資が成長を牽引しており、中国の設備容量は2023年末までに1.2GW²²に達し、世界の容量の50%を占めると予想されている²³。中国は輸出向けではなく、国内産業向けにクリーン水素を生産する計画であるが、再生可能水素の規模の経済を達成するために効率性の向上に取り組んでいることから、電解装置技術の輸出機会もあるだろう。

これらを踏まえ、以下の理由から、中国はクリーン水素のリーダーとして決して過小評価されるべきではない：

水素目標達成のための政府による投資

2021年から2035年までの中国の水素計画は、水素燃料を中国の将来の国家エネルギー供給とネットゼロ経済への移行の主要な要素として位置づけている。しかし、同計画には、2025年までに年間10万～20万トンの再生可能水素を生産し、同年までに約5万台の水素燃料自動車を導入するという目標が盛り込まれているに過ぎない（これは中国特有の目標である）²⁴。中国のカーボンニュートラルへの道筋で重要な役割を果たすと期待されているのは、化石燃料ベースの水素製造にCCSを利用した低炭素水素技術である。

この国の目標を支援するため、政府による投資も活発化している。すでに機能している、建設中、または建設承認申請中の再生可能水素プロジェクトの数は、2023年には57件に達した。例えば、中国の国家電力投資公司（SPIC）は、風力発電による電力で生産された水素から派生した燃料を生産するため、中国東北部で420億元（55億ユーロ）の投資計画²⁵を発表した。

電解装置の容量・規模の拡大と技術革新

中国では電解装置プロジェクトの発表が急増しており、2024年における同国の設備容量は、2023年比で3倍の3.3GWとなっている。さらに2025年には5.4GW近くまで増加すると予想されている。プロジェクトの規模も急速に拡大しており、2023年に発表されたプロジェクトの約60%が100～500MWの範囲に収まっている。2025年からは500～1,000MWの大規模設備の設置が計画されており、ギガスケール（1,000MW以上）のプロジェクトは、同年に世界で最終投資決定段階に達したプロジェクトの総容量の20%近くを占めている²⁶。

中国企業も電解装置技術を進歩させている。ペリック・ハイドロジェン・エナジー・テクノロジーは2022年12月、単体で最大となる水素アルカリ電解装置（約9MW）を発表し、ロンギ・ハイドロジェンは2023年2月に、消費電力4kWh/Nm³（水素44.5kWh/kgに相当）と、市場に出回っているほとんどの電解装置モデルの効率を上回るアルカリモデルを発表した²⁷。

中国の膨大な国内エネルギー需要、水素の長距離輸送の制約、EUと中国の距離の遠さを考慮すると、両地域間で水素の貿易関係を確立する機会は限られている。しかし、研究開発、標準化、低炭素水素技術・設備の貿易、第三国での共同プロジェクト、特に電解装置の輸出の分野では、協力の機会が存在すると考える。このようなプロジェクトは、両地域における再生可能水素への移行を加速するのに役立つだろう。

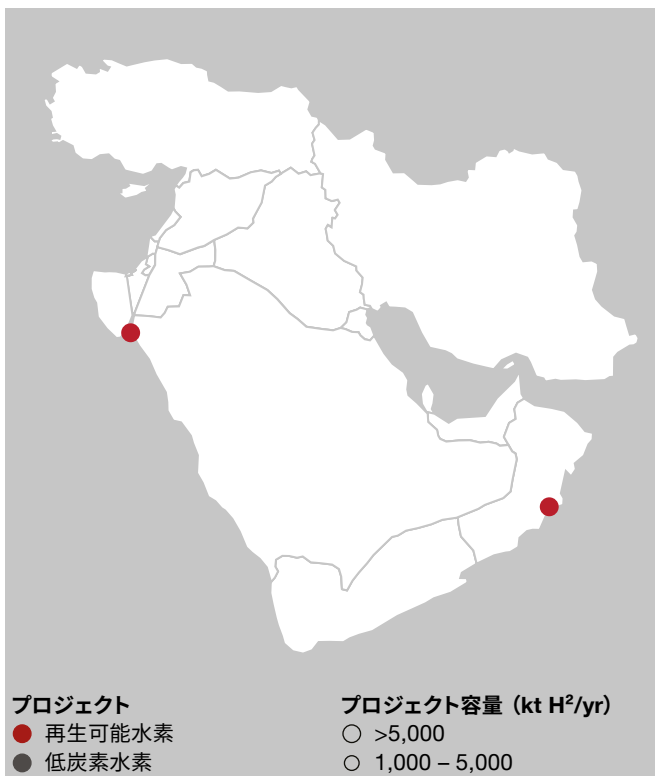


中国のまとめ

電解装置製造のトップランナーである中国は、再生可能な水素技術を輸出する能力を持っている。同国は、人口密集地域の公害問題に取り組むために、国産水素の利用を優先すべきである。

地域別分析 - 中東

図表9
中東におけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 中東はアジア、EU、米国への輸出が目標。
- 2030年までに再生可能水素を100万トン生産する目標を掲げているのはオマーンのみで、サウジアラビア、UAE、カタールはまだ生産目標を公表していない¹。



状況

- 2023年、中東の電力構成に占める再生可能エネルギーの割合は20%²。
- 主に太陽エネルギーなど、最適な再生可能資源ポテンシャルを有する。低炭素水素製造のための天然ガス埋蔵量が大い。



政府の支援

- エネルギー、インフラ、航空プロジェクトに焦点を当てたムバダラ (UAE) などの政府系ファンドなど、公的資金と結びついた資金援助が多い。



インフラ

- パイプラインシステムがないため、水素回廊を活用し、極めて重要な市場であるEUにアクセスするためのパイプラインを建設する必要がある。
- 現在はアンモニア輸送に重点を置いているが、サウジアラビアとオマーンから欧州へのパイプラインによる水素輸出回廊を現在検討中 (回廊E)。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計: 20件、容量32GW (世界最大の再生可能水素プラントであるNEOMを含む)。
- 低炭素水素プロジェクトの総計: 2件³。

注: IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス (2023年) を示した図。
出所: 1 World Economic Forum "Oman" (2023), 2 O&G Middle East (2023), 3 IEA "data base" (2023)

中東の産油・産ガス国は、サウジアラビアの「ビジョン2030」のような国家的な変革イニシアティブを打ち出し、世界的な需要がネットゼロのコミットメントに沿って再生可能なエネルギー源にシフトする中、化石燃料への経済的依存を減らしている²⁸。中東諸国は、自国の経済についてもネットゼロ目標を設定している (サウジアラビアに関しては、EUやUAE、オマーンより10年遅い2060年であるが)。

サウジアラビア、アラブ首長国連邦、オマーンの3カ国は、2030年を生産目標とする国家水素戦略を打ち出している。しかし、現在知られている再生可能水素プロジェクトは20件、総発電容量は約30GWで、その大半は実行可能性の調査段階である²⁹。全体として、この地域における再生可能水素の生産は、オフテイカーの不足、再生可能エネルギー源の不足、燃料を輸出するためのインフラの不足によって妨げられている。

中東の国々は、天然資源、資金力、エネルギー産業の専門知識を有しており、再生可能水素製造の主要なイノベーターになることができる。中でも、サウジアラビア、UAE、オマーンは、再生可能水素輸出の実現に最も近いと思われる。

資源

中東は砂漠気候のため、豊富な太陽エネルギーと風力エネルギーが利用でき、再生可能エネルギーにおいて有利な立場にある。また、これら2つのエネルギー資源の生産コスト低下による恩恵も享受できる。グローバル・エネルギー・モニターの調査によると、中東諸国は2022年から2023年の間に再生可能エネルギー容量を57%増の19GWに増加させ（主にUAEがけん引）、2024年はさらに50%の増加が見込まれている³⁰。例えばサウジアラビアは、2030年までに電力の半分以上を自然エネルギーで賄うという目標を掲げている。さらに、中東の国々は、大規模な再生可能エネルギープロジェクトを構築するために必要な専門知識、資金力、組織力を有している。

資金力

中東の化石燃料生産国には、石油とガスの富のおかげで、大規模な水素プロジェクトを開発する財源がある。サウジアラビアは、低炭素で再生可能な水素を製造・輸出するために必要な輸送ラインや流通網を含め、クリーンエネルギー生産³¹に約2,660億米ドル（2,480億ユーロ）を投資する計画だと発表している。84億米ドル（78億ユーロ）³²の再生可能水素プロジェクトは、サウジアラビアが建設中の新都市NEOMにあるアンモニア製造施設で、さらなるプロジェクトファイナンスを確保するためのモデルとなりうる。

エネルギー産業の専門知識

2026年に完成予定のNEOMの再生可能水素プロジェクト³³は、再生可能エネルギーのみを動力源とする世界最大の水素施設（4GW）である。このプロジェクトのリーダーは、サウジアラビアの数十年にわたる大規模エネルギー開発の専門知識と、同国で活動するパートナーのネットワークを活用し、取り組んでいる。

サウジアラビアの大手石油会社は、アンモニアを水素と窒素に大規模に分離するプロセスであるアンモニア分解分野でも技術革新を推進している。その目的は、水素の長距離輸送の難しさを克服するため、アンモニアは船でコスト効率よく輸送し、直接利用することができる。例えばグリーン肥料として使用したり、需要地やパイプラインの近くで再び水素に分解したりすることが可能になる。

長期的には、EHB基幹計画の南東回廊の延長として、中東へのパイプラインネットワーク接続が可能だが、短期・中期的には、燃料は船で輸出する必要がある。



中東のまとめ

中東には、大規模なクリーン水素プロジェクトに着手するための大きな資金と組織的資源があるため、再生可能エネルギーへの移行を受け入れ、長期的なエネルギー輸出国としての地位を維持することが可能だろう。しかし、水素を輸出するには、パイプラインがないため、アンモニア製造とクラッキングプロセスに依存しなければならないかもしれない。

地域別分析 - 中南米

図表10

中南米におけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 中南米は特に米国への輸出を目標とし、次いでEUを見据えている。
- 生産目標を公表しているのは数カ国のみで、2030年までの総発電容量は80GW¹。



状況

- 2023年の電力構成に占める再生可能エネルギーの割合は60%、90%を超える国もある (EUの基準値)²。
- 最適な再生可能資源のポテンシャル、主に水力発電。



政府の支援

- G政府による国内投資家へのインセンティブが不足しており、ブラジルのみが国内での再生可能水素製造にインセンティブを与える税額控除の導入を検討している。
- 各国は、再生可能エネルギーの入札など、資金調達を外部投資家に依存している。
- クリーンエネルギープロジェクトへの資金調達は、2030年までに2倍の1,500億米ドル、2050年までに5倍に増加する必要がある³。



インフラ

- 大規模プロジェクトのための流通・生産インフラの不足。
- プロジェクトはチリ、ブラジル、アルゼンチンなどの沿岸地域で主に計画されており、輸出ターミナルもある。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計: 138件、容量126GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計 0件⁴。

注: IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス (2023年) を示した図。
出所: 1 IEA "data base" (2023), 2 IEA Report "Latin America" (2023), 3 IEA Report "Latin America" (2023), 4 IEA "data base" (2023)

中南米諸国には潜在的な再生可能エネルギー資源が豊富にあり、この地域の再生可能エネルギーの割合は60% (世界経済フォーラムの数字)³⁴と世界で最も高い。アルゼンチン、ブラジル、チリ、コロンビア、コスタリカ、エクアドル、パナマ、ウルグアイなど、複数の国が水素戦略やロードマップを策定している。

しかし、この地域のクリーン水素市場はまだ立ち上がっていない。ブラジルやチリなどの主要国はプロジェクトを発表済みだが、それらを最終的な投資・稼働段階に押し上げるには、適切な規制の枠組み、投資、補助金が不足しており、多くの場合、国際投資家からの外部支援が必要である。中南米では、クリーン水素よりも、すでに確立されている大規模なバイオマスエネルギー産業を支援して排出量を削減する可能性が高い。

では、この地域で何を変える必要があるのか？

投資家誘致のための規制と連携

中南米をクリーン水素製造の世界的リーダーへと押し上げるには、各国における支援的な政策や規制、投資、国内外の支援、技能開発などが必要であり、水素の供給と需要を同時に高めるための協調的な取り組みが必要とされる。

ブラジルが良い例である。ブラジルには、19のクリーン水素プロジェクト（実行可能性調査6件、構想中7件、FID1件、操業中5件）がある³⁵。しかし、何が再生可能水素に該当するかを規制・定義する法律がまだ整備されていないため、投資家にとって不確実性が生じている。ブラジルの議会は、2023年末に洋上風力発電と再生可能水素市場を規制する法案を承認し、上院で審議されることになっている³⁶。

一方で、戦略的パートナーシップも国際的な投資家を惹きつけるために利用されている。こうした協力関係は、資金的な支援にとどまらず、専門的な知識、技術的な進歩、市場開拓の機会をもたらす。チリやウルグアイなどの国々で成功した協力関係によって実証されているように、より多くのパートナーシップを構築することは、中南米のクリーン水素の状況に大きな影響を与えるだろう。

チリでは、再生可能水素に関するチーム・ヨーロッパ・イニシアティブ³⁷(TEI GH2) が、再生可能水素の原産地証明制度などの措置を通じて、再生可能水素を可能にする環境の強化、技術開発の支援、市場成長の促進など、多くの分野におけるEUとの協力関係の促進を目指している。

ウルグアイでも同様に、国営エネルギー会社Auncapが発表した再生可能水素と洋上風力発電プロジェクトの入札ラウンドには、シェルやAPA Corp.を含む国際企業がすでに大きな関心を寄せている。投資総額は30億米ドル（28億ユーロ）に達すると見積もられている³⁸。さらにウルグアイ政府は、パイサンドゥ州に再生可能水素プラントを建設するため、国際的な燃料会社HIFと60億米ドル（56億ユーロ）の投資を見込んで覚書を交わした³⁹。

中南米諸国は生物資源に恵まれている

中南米のエネルギー部門の特徴として、この地域の大規模な農業部門と恵まれた気候から得られる資源を活用したバイオエネルギーの利用が目覚ましく進んでいることが挙げられる。例えば、2020年のIEAの統計によると、この地域の一次エネルギー総供給量に占めるバイオマスの割合は約15%で、風力と太陽光はわずか1%に過ぎない⁴⁰。

ブラジルはこの分野の重要なプレーヤーであり、サトウキビの大規模栽培をエタノール生産に活用し、年間約270億リットルを生産している⁴¹。バイオエネルギー資源の割合が高いのは、液体バイオ燃料の輸送が容易であることなどが影響しており、ブラジルでは、新車の80%⁴²以上が高エタノール混合ガソリンで走行可能であり、現行の20%~27%という義務付けを上回っている⁴³。同様に、アルゼンチン、コロンビア、ペルー、ウルグアイもバイオ燃料混合目標を導入しており、各国のエネルギーポートフォリオにおけるバイオ燃料の存在感が増している。



中南米のまとめ

中南米が、バイオエネルギーと再生可能水素のどちらを優先させるかは、この地域がどちらの選択肢にも有利な条件を備えていることから、不透明なままである。クリーン水素製造が優先される場合、北米がその主要輸出市場になる可能性があり、その開発における海外投資の重要性を示唆している。

地域別分析 - 米国

図表11
米国におけるクリーン水素プロジェクトの概要



目標

- 主に国内向けで、自給自足を目指す。
- 米国はクリーン水素を1,000万トン(2030年)、5,000万トン(2050年)を目標とする¹。



状況

- 2023年、米国の電力構成に占める自然エネルギーの割合が23%になる²。
- 低炭素水素製造のための天然ガス埋蔵量が大きい。



政府の支援

- クリーン水素製造税額控除により、温室効果ガス排出量の少ないプロジェクトに最大3米ドル/kg(2.8ユーロ/kg)の水素を提供³。
- 総額70億米ドル(65億ユーロ)の「クリーン水素ハブ・プログラム」により、米国内の10のハブで約500億米ドル(470億ユーロ)の投資を促進する⁴。



インフラ

- 長距離水素輸送の必要性を回避し、水素製造ハブに焦点を当てる。
- 再生可能水素のインフラ不足は、天然ガスインフラを低炭素水素に再利用する容易さとは対照的である。



プロジェクト展開

- 再生可能水素プロジェクトの総計：北米で110件、容量68GW。
- 低炭素水素プロジェクトの総計：北米で55件⁵。

注：IEA インタラクティブ・プロジェクト・マップに基づき、構想、実証、実行可能性調査、FID/建設中、運転中のステータス(2023年)を示した図。
出所：1 US Government (2023), 2 EIA (2023), 3 US Gov. Department of Treasury (2023), 4 US Gov. Energy Department (2024), 5 IEA "data base" (2023)

水素市場開発のために米国が取っているアプローチは、欧州とは異なる。第一に、米国は水素の輸送を必要としない水素製造ハブの構築に集中しているのに対し、欧州は最適な立地の生産地からオフテイクまで水素を供給するパイプラインを基盤とした流通網の構築を目指している。第二に、2022年インフレ抑制法に基づくクリーン水素に対する現行の税額控除も、再生可能水素に重点を置くEUとは対照的に、国内生産および輸入による低炭素水素製造に大きなメリットをもたらす。

ここでは、両アプローチがクリーン水素エコシステムの発展にどのように貢献するかを考察する。

水素ハブのネットワーク

欧州では、水素の移行に必要な計画的インフラは、燃料を使用する企業に届くように建設される。一方、米国では、企業は低炭素水素と再生可能水素の双方に対応する個別の水素ハブにアクセスすることになる。特に、欧州や日本への輸出の可能性を考慮し、海岸線近くに大規模なネットワークシステムを構築することに重点を置き、大規模な投資が行われている。

超党派インフラ法 (BIL) が資金提供する地域クリーン水素ハブ (H2-Hubs) は、燃料の製造、貯蔵、配送、利用を促進することで、クリーン水素の大規模導入を加速することを目的としている。

その一例が、再生可能クリーン水素エネルギーシステム同盟 (ARCHES) が主導するカリフォルニア水素ハブ計画である。カリフォルニアの太陽エネルギーの可能性を活用し、再生可能エネルギーとバイオマスのみから水素を製造することを目的としている。州をまたぐこのプロジェクトは、公共交通機関、大型トラック輸送、港湾業務の脱炭素化を目標とし、年間200万トンの二酸化炭素排出量削減を目指す。連邦政府は、ハブの設立にかかる費用のうち最大12億米ドル (11億ユーロ) を負担する。

低炭素水素が先導役となる

米国では現在までに、低炭素水素よりも再生可能水素のプロジェクトが多く発表されている (それぞれ26件、82件⁴⁴) にもかかわらず、発表された容量では低炭素水素のほうが大きい。推計⁴⁵によれば、2025年までに米国で年間280万トンのクリーン水素が生産され、そのうち200万トンが低炭素水素だ。2030年には年間930万トンのクリーン水素が生産され、そのうち700万トンが低炭素水素になると予測されている。

その理由として、再生可能水素補助金が2022年11月に法制化されたばかりだが、低炭素プロジェクトはすでに2008年からCCSに対して45Q税額控除 (内国歳入法45Q条に基づく税額控除) を利用することができたからである。米国インフレ抑制法 (IRA) はまた、補助金を、恒久的に貯蔵されるCO₂1トン当たり85米ドル (80ユーロ) に拡大、温室効果ガスを石油回収促進やその他の産業プロセスで使用する場合は1トン当たり60米ドル (56ユーロ) に拡大した。この60米ドル (56ユーロ) は、水素とCO₂を結合させて製造されるeフューエルやメタノールなど、他の化学物質の製造に使用される二酸化炭素にも適用される⁴⁶。

また、低炭素水素の製造は再生可能水素よりも容易であると認識されており、かつ、オフテイカーは通常、供給の不安定な再生可能電力に依存する再生可能エネルギーによる生産では現状困難な大量で中断のないボリュームを必要としている。そのため、エネルギー貯蔵、送電網のバックアップ、または大規模な水素貯蔵が必要となる。これらの要因は、全体的な製造コストを押し上げる。

このほか、自国での製造コストを押し下げることには注力する一方で、米国には再生可能水素を欧州に輸出するチャンスもある。テキサス州の豊富な太陽光発電と風力発電資源を利用し、IRAの新しい再生可能水素インセンティブを活用すれば、グリーン水素由来の燃料をメキシコ湾岸の港から欧州などに輸送することができる。



米国のまとめ

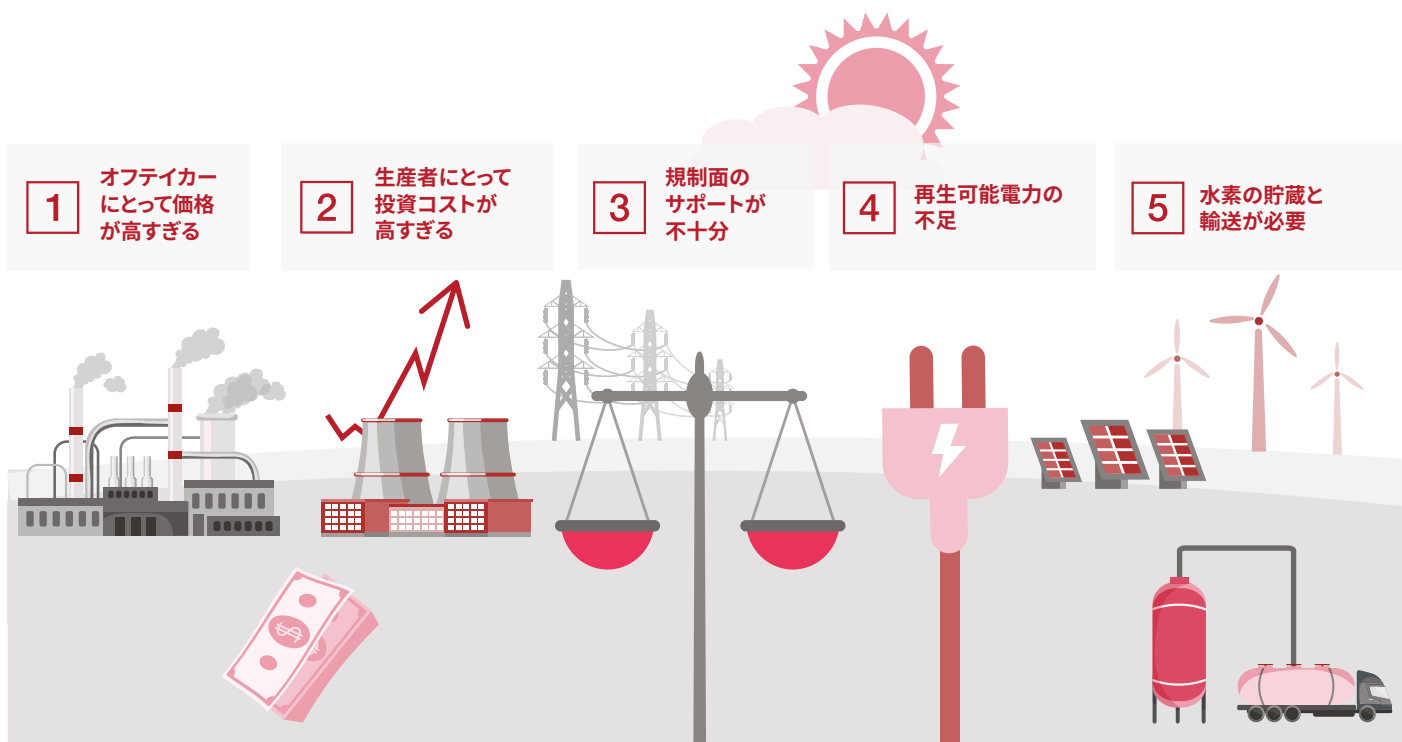
米国は、化石天然ガス産業を将来の水素エコシステムに統合するため、低炭素水素の増産を戦略的な目標としている。第一段階では、現在の水素利用を置き換えることに重点を置きつつ、新たな用途を模索し、製造と利用を整合させるため、分散独立した水素ハブの利用を目指している。

第3章

課題

図表12

世界的にクリーン水素製造能力を必要なレベルまで向上させる上で、以下の5つの障壁がある。



出所：Strategy& による分析

前述の地域別分析で明らかになったように、クリーン水素製造能力を必要なレベルまで高めることを阻む障壁は、以下の5つのカテゴリーに分類される（図表12参照）。

オフテイクヤーにとって価格が高すぎる

潜在的な水素製造者は、拘束力のあるオフテイク契約を結んでいないため、FIDや建設段階に到達するために必要な資金を調達することができない。一方、オフテイクヤー側は、クリーン水素の価格が一般的に化石燃料より高いため（何倍もするというほどではないが）、必要な拘束力のある契約を結べない。例えば、EUにおける再生可能水素の価格は、メガワット時（MWh）あたり約200～250ユーロであるのに対し、低炭素水素の価格はMWhあたり約100ユーロであり、天然ガスのコストは現在MWhあたり30～50ユーロ（ETSではMWhあたり15～20ユーロ）である⁴⁷。このようなギャップは、補助金や差額契約が利用可能な場合か、水素コスト

が最終製品に与える影響が低い場合か、高い低炭素製品のコストを顧客が受け入れられる場合にのみ埋めることができる。ただし、クリーン水素の値ごろ感は、炭素コストが上昇するにつれて、また低炭素製品の割当がある産業において、改善されると想定される。

生産者にとって投資コストが高すぎる

生産者は苦境に立たされている。一方では、前述のようにクリーン水素の価格が高いため、契約や資金を確保することができない。他方、まだ実現率が低いためスケールメリットがなく、生産設備を建設するための自己投資額が非常に高い。これらのコストは、建築資材のインフレと金利の上昇により、規模拡大による緩やかな改善が打ち消され、実際には増加の一途をたどっている。例えば、電解装置システムの現在の価格は、平均して1kWあたり約2,000~3,000ユーロと推定される。

規制面のサポートが不十分

水素市場の規制は、特に欧州では依然として厳しい。(当該再生可能エネルギーの購入により、新たな再生可能エネルギーへの投資を促す効果がある) 追加性や、再生可能エネルギーと水素生産の時間的・地域的相関性など、高い要件と持続可能性基準が水素製造のための再生可能電力の製造方法を管理するために設けられており、製造量増加の障壁となっている。世界の他の地域では、一般的に規制はそれほど厳しくないが、多くの場合、適切なインセンティブも設定されていない(前ページの地域分析を参照)。

政府による資金援助に関しては、これまでの欧州での経験から、CAPEX資金を可能にすることは必要ではあるが、十分なメカニズムではないように思われる。また、クリーン水素とその代替化石燃料の間の大きなOPEXコストのギャップも、欧州の風力発電や太陽光発電市場の初期にそうであったように、当初は埋める必要がある。政府と規制当局は、再生可能エネルギーの場合と同様、市場確立と成長を可能にし、規模の効果を実現するために、10年から20年間はこのギャップを受け入れなければならないだろう。

再生可能電力の不足

再生可能水素の製造は、再生可能電力を十分に利用できることが前提条件となる。1,000万トンの再生可能水素を生産するためには、約500TWhの電力が必要である。したがって、風力タービン1基が年間20GWhの電力を生産するとして、電解装置に必要な電力をまかなうだけでも25,000基の風力タービンが新たに必要となる。2022年のドイツの純電力消費量は491TWhであり⁴⁸、これはEUで10トンの再生可能水素を製造するのに必要な量に近い。同時に、経済全体の他のセクターでも電化が進み、再生可能エネルギー発電所の増設が必要となり、資源を巡る争奪戦が激化することが予想される。欧州の道路交通(乗用車とトラック)の電化のためには、2030年までに130TWh、2040年までに350TWhの電力が必要になる⁴⁹。このことも、当初はギャップを埋めるために低炭素水素が必要になる理由である。

水素の貯蔵と輸送が必要

最も低コストで水素を製造できる地域は、多くの場合、水素が消費される場所から遠く離れており、このような状況では、包括的な水素インフラがないことが大きな障壁となる。水素の生産、貯蔵、流通のネットワークを構築するには、多額の投資と多くの関係者の調整が必要である。EUでは最近、ドイツにコアネットワークを構築することで合意したほか、水素のための独立したネットワーク計画機関が設立されるなど、進展が見られる⁵⁰が、国際的な協調はまだ不十分である。例えば、チュニジアから地中海を横断する既存のガスパイプラインを利用して、再生可能な水素を輸送し、欧州の需要を満たすための水素プロジェクトはまだ立ち上げられていない。

ゲスト投稿 - RWE



グリーン水素はRWEの投資戦略の基本要素であり、2030年までにグリーン発電容量を世界で50GWまで拡大するために550億米ドルを投資する計画である。これには、RWEの中核市場で2030年までに2GWの電解能力を建設する計画も含まれる。当グループは、水素バリューチェーンの全段階に関与している。規制、支援スキーム、販売可能性の面で条件が適切な場合において、当社は電解装置の開発、建設、運営を行い、輸入パートナーシップを結んでいる。RWEはパートナーとともに、主に北西欧と北米を中心に、世界中で30以上の水素プロジェクトを推進。とりわけ当社の再生可能エネルギーにおける強みを生かしたグリーン水素の生産に重点を置いている。さらに、ドイツの石炭廃止を促進するため、2030年までに3GWの水素対応ガス火力発電所の建設も計画している。ただし、この計画の実現はドイツ政府の適切な枠組み構築の成否に依存している。

私たちは今、水素経済の成長において重要かつ刺激的な段階にいる。水素に関する規制の枠組みが整いつつあるため、パワーポイントで描かれたビジョンは、ゆっくりと、しかし確実に具体的なアセットへと変化している。RED II委任法やRED IIIといった最近の動きは、グリーン電力基準について切望されていた明確性を提供し、産業用水素のかなりの部分をグリーンとすることを義務付け、市場の成長を促している。EUのガス指令は効率的な欧州水素インフラの確立を目指しており、ドイツのH2コアグリッド計画は、水素の

拡大をさらに後押ししている。一方、EUは再生可能エネルギーの野心的な導入目標を設定し、許認可手続きも加速している。また、斬新な資金調達手段も注目を集めている。つい最近、水素インフラ構築への勢いが増す中、EUは欧州共通利益に適合する重要プロジェクト (IPCEI) の一環として、約60のプロジェクト群への資金援助を承認した。

こうした進歩にもかかわらず、いくつかの課題が残っている。十分かつコスト競争力のあるグリーン水素製造のためには、再生可能アセットを迅速に構築することが依然として重要であり、そのためにはより現実的な許認可が必要となる。同時に、いくつかの重要な分野で規制の不確実性が続いている。貯蔵・輸送戦略はまだ保留中である。また、これまでのところ需要側の支援がないため、企業は長期的な購入契約に二の足を踏んでいる。また、RED IIIによるグリーン水素の使用割当が業界でどのように実施されるのか、割当達成の相互承認が市場でどのように確立されるのかも、まだ不透明である。

さらに、水素経済は現在、全てのアセットへピーナ産業が直面している課題の影響を受けている。つまり、金利上昇に伴う資金調達の制約やサプライチェーンへの不安、さらに多くの選挙を控えていることから政策が不透明であることなどが、ストレスを高めている。

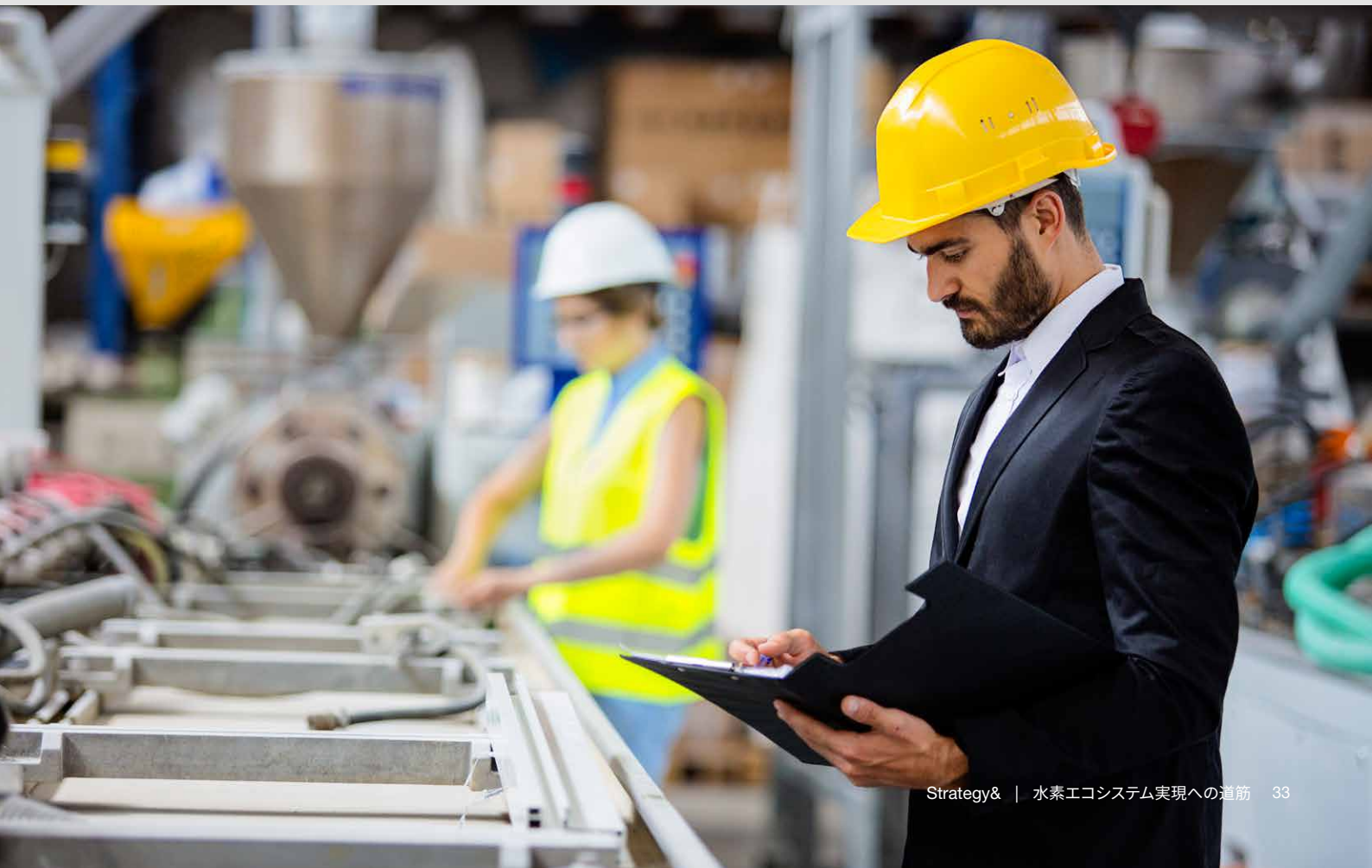
しかし、これらの課題は克服することが可能であり、克服されるであろう。今後数年間は、パートナー間の実用的で目的に合ったプロジェクトが中心となるはずだ。水素バリューチェーンは、産業界のオフテイクに距離的に近く、インフラが整備された、統合された地域である「H2バレー」で発展すると当社は確信している。その好例が、RWEがドイツのリンゲンで進めているGET H2 Nukleusプロジェクトである。このプロジェクトには、300MWの電解プラントの建設も含まれている。近く、ライン・ルール地域とオランダの産業界のオフテイクとインフラ事業者が、近隣の天然ガスパイプラインを水素輸送用に転換する準備を始める。またRWEは、水素バリューチェーンにおいて最も重要でありながら見過ごされがちな要素のひとつである、地下の水素貯蔵設備の設置も進めている。

欧州の水素生産がどれほど急速に拡大しようとも、輸入は、主にグリーンアンモニア、グリーンメタノー

ル、そして化石燃料のドロップイン代替としてのeフューエルという形で、欧州の供給確保に大きな役割を果たし続けるだろう。しかし、欧州以外の多くの地域が風力発電や太陽光発電にとってより良い条件を提供しているとはいえ、政治的安定と規制の明確化は依然として投資判断の重要な要素である。

欧州でオフテイクを確保し、インフラを整備するのは難しいが、国際的な規模ではさらに難しく、時間がかかるだろう。第一の理由は、資本コストとリスクが、水素インフラ構築の初期段階で必要とされる大規模投資の決断において大きな要素となるためである。第二に、チリ、米国、オーストラリアなどで水素を製造するコスト的な利点は、輸入された水素を目的地まで輸送し、目的地で分解しなければならない場合、すぐに失われてしまうからである。

だからこそ、まずは安定し成熟した欧米市場で水素バレーを確立するのが最善だと考えるのである。



ゲスト投稿 - Hynamics



EDFグループの子会社であるHynamicsの使命は、低炭素で環境に優しい水素とその派生品を提供することにより、経済の脱炭素化に貢献することである。フランス、ドイツ、英国に設立されたHynamicsは、電解ベースの水素ソリューションの開発、投資、導入、運営を行っている。当社は、産業、eフューエル、大型モビリティをターゲット市場としている。

多くの課題が欧州の水素製造能力の発展を遅らせている

2022年当時、EUでは2024年までに約6GWの電解プロジェクトが発表されていた。この見通しは、2023年には2.4GWに縮小している (Clean Hydrogen Monitor 2023)。主な理由は、規制の不確実性、補助金の入手難、エネルギー・技術コストの高騰などである。全体として、ドイツにおける再生可能水素製造のコスト見積もりは、2019年以降50%以上上昇している。

さらに、異なるセクターの市場を結びつけ、それらのリスクのバランスを取る必要があるため、事情はより複雑になる。水素プロジェクトには、電力市場、電解プラントなどのサプライヤー、十分な水素インフラ、オフテイク、そして脱炭素製品にグリーンプレミアムを支払う顧客の意欲などが関係する。これら全ての関係者は、いまだ整備途中の法律によるさまざまなルールやインセンティブによって動かされている。

例えば、RED II委任法の採択が遅れたため、投資決定が1年以上妨げられた。ドイツでの導入には、水素製造業者にとってまだ多くの不確定要素が含まれている。PPA (電力購入契約) アグリゲーターに必要な役割や、再給電指令の状況、時間相関に関連する課題なども、まだ明確になっておらず、その結果、電

解資産の有効利用を確保するためには電力の供給過剰が避けられない状況になりつつある。

オフテイク側にとっては、インセンティブが欠けている。製油所などでの化石水素の代替は、技術的には最も迅速で簡単な応用のひとつである。しかし、市場の混乱により、ドイツでは2023年、GHG割当価格が大幅に下落し、グリーン水素による製油プロセスの脱炭素化は魅力的なものではなくなった。他の産業部門にとっては、RED IIIの水素消費目標の導入が待ち望まれている。

H2の立ち上がりは予想より遅いが、ようやくスタートラインに立った

持続可能な水素市場と必要な技術はまだ新しく未成熟である。困難と遅れは想定されるべきものだった。しかし、上記のような課題にもかかわらず、事態は前向きに進展している。補助金制度 (H2バンク、差金契約など) が検討され、定義と法的枠組みが最終決定されつつある。さらに、脱炭素化への意欲は、国家戦略や産業界のクライメートニュートラル計画にも明記されている。

カーボンニュートラルに強くコミットしているHynamicsは、それを実現する準備が整っている。電気に関するEDFグループの専門知識とHynamicsの役割により、当社は効率的で統合されたソリューションを顧客に提供することができる。当社はすでにくつかの電解ベースのアセットを開発し、現在運用中であり、いくつかのEU加盟国および欧州以外の国々で、本格的な産業およびeフューエルプロジェクトを積極的に推進している。

実現には何が必要か？

1. 支援なくしてプロジェクトなし。CO₂排出削減が困難なセクター（産業、航空、海運）には十分な補助金が保証されなければならない。CAPEX補助金とOPEX補助金を組み合わせる可能性が鍵となる。また、分散型水素製造に対する具体的な補助金制度も策定すべきである。
2. グリーン製品への需要を促進するためには、製造過程の下流部門でのインセンティブ強化が必要である。これは、RED IIIの迅速な実施と、脱炭素製品のラベルや割当量によって実現されるであろう。
3. グリーン水素とその派生品の、従来の製造プロセスに対する魅力を高めるには、高く安定したCO₂価格（GHG割当とEU ETS）が最も重要である。
4. 強固な水素輸送インフラを確立することは、生産、貯蔵、需要の各拠点を結びつけ、供給の安定性を確保する上で極めて重要である。水素の基幹ネットワークは、流通ネットワークとともに、迅速に開発されなければならない。



第4章

求められるアクション

各地域の分析結果や市場に参入している企業によるゲスト投稿が示すように、コスト、規制、再生可能エネルギーの供給、貯蔵・輸送といったさまざまな障壁が、国際的な水素市場の創出を阻み、地域や国家が気候変動に関する公約を達成することを一層困難にしている。これらの課題は、業界が一丸となって取り組み、全てのエコシステムプレーヤーが同じ方向を向くことによるのみ克服できるものである。私たちは、それぞれのステークホルダーが取るべきアクションを以下のように特定した。

規制当局と政府

水素製造に必要な大規模投資のための安定した基盤を提供するためには、世界中の規制当局が明確で支援的な規制の枠組みを確立しなければならない。これには、明確な目標と基準を設定すること、そして、過度に細かい規制（例えば、追加性の要件や、再生可能水素のための電力については時間的・地理的な相関が求められる一方、バッテリー式電気モビリティのための電力については無制限であること）によって生産を抑制しないことが含まれる。

水素技術に関する規格や規制、認証プロセスについて、国際的な協力と調和を促進することも不可欠である。なぜなら、こうした取り組みによって国境を越えた貿易と投資が促進され、水素経済の世界的な拡大が可能になるからである。

同様に重要なのは、政府、投資家（機関投資家、富裕層）、企業が出資と財政支援を拡大することである。水素技術の研究、開発、商業化を支援するには、十分なインセンティブが必要である。これには、助成金、補助金、税制優遇措置、低利融資などがあり、それらにより民間投資を呼び込み、水素経済の成長を加速させることができる。例えば、ドイツは2023年、クリーン水素のような低炭素技術へと転換する重工業企業に対し、化石燃料を使用し続ける場合と比較して高いコストを相殺するために、差額の炭素契約を提供すると発表した⁵¹。差金決済契約は、水素市場を発展させるための主要な金融支援メカニズムになると予想される。

規制当局や政策立案者はまた、クリーン水素プロジェクトや再生可能エネルギー発電所の設置を迅速に承認し、煩雑な手続き上の負担や遅れを軽減するために、許認可プロセスを合理化しなければならない。

生産者

明確な規制と十分な財政的インセンティブの後押しを受けて、コスト競争力を向上させることが、将来の水素製造業者にとっての最優先課題である。化石燃料との差を縮めるために、生産者は技術の進歩、規模の経済、生産プロセスの最適化に力を注がなければならない。

オフテイカーとコンソーシアムを組むことで、生産者は十分な量の買い手を確保して健全なビジネス案件を構築し、プロジェクトのリスクをより多くのプレーヤーに分散させることができる。

特に再生可能水素の生産者は、信頼性が高く一貫した水素生産を確かなものにするため、強靱なサプライチェーンの構築にも取り組むべきである。これには、再生可能電力源の多様化、戦略的貯蔵施設の設置、不慮の事態による生産体制の遮断に対する緊急時対応計画の策定などが含まれる。

オフテイカー

排出削減義務を果たすためには、排出削減が困難なセクターのオフテイカーは、水素をエネルギーミックスに組み込むことにコミットし、水素利用の明確なスケジュールを設定する必要がある。その結果、安定した水素需要を生み出すことで、製造業者や販売業者は必要なインフラに投資するようになる。生産者はその後、規模の経済を享受できるまで数量を増やし始め、オフテイカーのコストを引き下げることができる。

生産者や販売業者との協力関係を成功させるには、長期供給契約、共同インフラ開発、水素利用を最適化するための知識共有が必要である。オフテイカーは、水素導入のインセンティブとなるような政策や規制を支援することもできる。これには、規制当局、業界団体、政策立案者を巻き込んで、水素の利点についての認識を高め、有利な市場条件を後押しすることが含まれる。

オフテイカーはまた、燃料電池車、水素貯蔵システム、水素を利用した工業プロセスなど、水素に対応したインフラへの投資も行う必要がある。

流通業者、貿易業者、仲介業者

世界のクリーン水素市場の成功は、パイプライン、貯蔵施設、燃料補給ステーションなど、必要なインフラの拡充に投資する流通業者や貿易業者にかかっている。これにより、エンドユーザーへの水素の効率的な流通と輸送が可能になる。輸送回廊は、その国や地域で計画されている水素プロジェクトに合わせて、生産者とオフテイカーを結ぶのが理想的である。

安全で信頼できる水素サプライチェーンの構築も不可欠であり、流通業者や貿易業者は、燃料の取り扱い、貯蔵、輸送に関する標準化されたプロトコルや安全ガイドラインを確立すべきである。

アグリゲーター

H2Globalのような再生可能エネルギーのアグリゲーターは、水素経済を拡大するために重要である。アグリゲーターは需要を集約し、より大規模なプロジェクトの建設を可能にし、生産者に必要な長期契約をオフテイカーが求める短期契約に変換する。政府や民間の資金提供を受け、アグリゲーターは価格差を埋め、市場の非効率性を減らし、ゲーム理論で展開される各主体のアプローチをまとめ上げて物資調達のコストを最適化する。強固で持続可能な水素市場を構築する上で、アグリゲーターの役割は極めて重要である。

第5章

結論

世界の水素市場は、脱炭素化が困難なセクターの脱炭素化や温室効果ガス排出量削減において、大きな可能性を秘めている。しかし、高コスト、規制の壁、再生可能エネルギー供給の制限、インフラの不足など、大きな課題も残されている。私たちの分析によれば、欧州では複雑すぎる規制、北アフリカや中南米では国家目標の欠如や投資家にとっての明確性の低さなど、それぞれの地域が各地域特有の制約に直面している。このような課題を克服し、水素市場の可能性を最大限に引き出すためには、全てのエコシステムプレーヤーが連携力を合わせて取り組む必要がある。これには、政府、規制当局、生産者、オフテイカー、流通業者、仲介業者、研究機関、投資家などが含まれる。

これらの障壁に対処し、全てのステークホルダーが協力して連携の取れたアクションを起こすことで、水素市場は急速に成長し、低炭素経済への移行を可能にし、気候変動目標の達成に貢献することができる。今こそ行動を起こす時であり、その潜在的利益は計り知れない。



水素エコシステムの実現を阻む障壁を乗り越え、国際水素市場を成功させ、気候目標を達成し、持続可能な未来への移行を推進するためには、規制機関、政府、生産者、購入者、流通業者を含む全てのステークホルダーが協力して連携したアクションを起こすことが必要不可欠である。

Dr. Daniel Haag
工業生産ESGリード



文末脚注

- 1 https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/hydrogen_en
- 2 <https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy->
- 3 All figures based on the International Energy Agency (IEA)'s data on hydrogen projects announced over the past five years
- 4 Assumption: 4000 full load hours and 70% efficiency, Lower Heating Value
- 5 In the last year, a cost increase for electrolyzer systems of about 30-50% could be observed
- 6 Assumption: 4000 full load hours and 70% efficiency, Lower Heating Value
- 7 https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en
- 8 https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_MMR_2023_Gas_market_trends_price_drivers.pdf
- 9 <https://www.windindustry-in-germany.com/publications/aus-den-ministerien/hydrogen-takes-centre-stage>
- 10 <https://about.bnef.com/blog/2023-hydrogen-levelized-cost-update-green-beats-gray/>
- 11 <https://research.csiro.au/hyresource/hubs/>
- 12 <https://www.infrastructureaustralia.gov.au/map/national-electricity-market-renewable-energy-zone-expansions>
- 13 <https://www.dcceew.gov.au/energy/renewable/capacity-investment-scheme>
- 14 <https://arena.gov.au/news/six-shortlisted-for-2-billion-hydrogen-headstart-funding/>
- 15 Australian Hydrogen Council
- 16 <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Supply-corridor-presentation-Full-version.pdf>
- 17 <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240208-germany-and-algeria-set-up-hydrogen-taskforce.html#:~:text=Federal%20Minister%20Robert%20Habeck%3A%20Germany,thus%20create%20new%20local%20value>
- 18 <https://www.climatehmea.com/article/morocco-renewables-1.23>
- 19 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>
- 20 https://publications.iass-potsdam.de/rest/items/item_6002649_2/component/file_6002650/content
- 21 <https://www.irena.org/Publications/2022/Jul/Chinas-Route-to-Carbon-Neutrality#:~:text=In%20September%202020%2C%20China%20announced,achieve%20carbon%20neutrality%20by%202060>

- 22 <https://www.irena.org/Publications/2022/Jul/Chinas-Route-to-Carbon-Neutrality#:~:text=In%20September%202020%2C%20China%20announced,achieve%20carbon%20neutrality%20by%202060>
- 23 <https://economictimes.indiatimes.com/industry/renewables/china-to-control-half-the-worlds-hydrogen-electrolyser-capacity/articleshow/103858313.cms?from=mdr>
- 24 <https://www.iea.org/policies/16977-hydrogen-industry-development-plan-2021-2035>
- 25 <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/chinas-spic-plans-59-bln-investment-turning-green-hydrogen-into-fuel-2023-12-11/>
- 26 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cb9d5903-0df2-4c6c-afa1-4012f9ed45d2/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- 27 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- 28 <https://www.kapsarc.org/research/publications/saudi-arabia-net-zero-ghg-emissions-by-2060-transformation-of-the-electricity-sector/#:~:text=The%20Kingdom%20has%20recently%20amplified,from%20renewable%20sources%20by%202030>
- 29 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>
- 30 <https://globalenergymonitor.org/report/mena-grows-renewables-by-half-but-clings-to-risky-hydrogen-and-gas/>
- 31 <https://www.reuters.com/world/middle-east/saudi-arabia-invest-about-266-bln-clean-energy-minister-2023-01-30/>
- 32 <https://www.neom.com/en-us/newsroom/neom-green-hydrogen-investment>
- 33 <https://acwapower.com/en/projects/neom-green-hydrogen-project/>
- 34 <https://www.get-transform.eu/services/latin-america-the-caribbean/>
- 35 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>
- 36 <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2515656-incentives-might-return-to-brazil-s-h2-bill>
- 37 <https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/2023/TEI%20RH2%20Brochure%20%28ENG%29.pdf>
- 38 <https://www.rechargenews.com/energy-transition/understanding-expectations-uruguay-mulls-tenders-for-offshore-wind-plus-hydrogen/2-1-1292606>
- 39 <https://en.mercopress.com/2024/02/29/uruguay-signs-mou-to-produce-green-hydrogen-locally>
- 40 <https://www.cambridge.org/core/journals/latin-american-research-review/article/review-of-the-progress-and-potential-of-energy-generation-from-renewable-sources-in-latin-america/74860E95C5C97E944BFD796393343378>
- 41 <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/06/brazil-emerges-as-corn-ethanol-producer-with-expansion-of-second-crop-corn.html>
- 42 <https://www.bloomberg.com/news/features/2023-07-19/why-brazil-is-falling-behind-in-the-electric-car-transition>
- 43 <https://www.iea.org/policies/2021-ethanol-blending-mandate>
- 44 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-production-projects-interactive-map>

- 45 <https://www.hydrogeninsight.com/analysis/analysis-why-blue-hydrogen-may-grow-faster-than-green-h2-in-the-us/2-1-1473091>
- 46 <https://www.iea.org/policies/16255-inflation-reduction-act-2022-sec-13104-extension-and-modification-of-credit-for-carbon-oxide-sequestration>
- 47 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics
- 48 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164149/umfrage/netto-stromverbrauch-in-deutschland-seit-1999/#:~:text=Der%20Nettostromverbrauch%20in%20Deutschland%20betrug,Netzverluste>
- 49 “European Fleet Electrification: From Electric Vehicle Sales to a complete Fleet Transition” - Strategy& + Fraunhofer Institute, 2023
- 50 <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/statement-eu-agrees-a-dedicated-hydrogen-operator>
- 51 <https://www.hydrogeninsight.com/policy/hydrogen-in-industry-germany-to-set-aside-roughly-50bn-for-carbon-contracts-for-difference-subsidy-scheme/2-1-1462051>

Strategy&

Strategy&は、他社にはないユニークな特長を持つグローバルな戦略コンサルティングチームであり、クライアントの戦略的な意思決定と変革を通じた成果の実現に向けて、ニーズに応じたテイラーメイドな支援を行います。私たちはPwCの一員として日々、戦略的視点から考え抜いた、クライアントにとって最適な解を提供しています。圧倒的な先見力と、具体性の高いノウハウ、テクノロジー、そしてグローバルな規模を融合し、クライアントがこれまで以上に革新力に富んだ、即座に実行に移せる戦略を策定できるよう支援しています。

グローバルなプロフェッショナルサービスネットワークに属する戦略コンサルティング部門として随一の規模を誇るStrategy&は、実現性の高い戦略策定のクイパリティをPwCの最前線のチームに提供することで、クライアントが目指すべき方向と、そこに向かうための方法の選択肢や実現の道筋を提示することを可能にしています。

その結果、私たちの戦略プロセスは、可能性を最大化できる強力なものであると同時に、確実に成果を上げられる実践的なものにもなっています。“Strategy, made real.”——即座に実行でき将来にも効果をもたらす“Practical Strategy”を、私たちが構築します。

www.strategyand.pwc.com/jp

本報告書は、PwCメンバーファームが2024年に発行した『Navigating the global hydrogen ecosystem』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

電子版はこちらからダウンロードできます。
<https://www.strategyand.pwc.com/jp/ja/publications/report.html>

オリジナル（英語版）はこちらからご覧ください。
<https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/energy-utilities/navigating-the-hydrogen-ecosystem.html>

日本語版発刊年月：2024年12月



最新情報を常に把握しよう。—
最新のStrategy&のインサイト
や業界動向は、こちらをご覧ください。