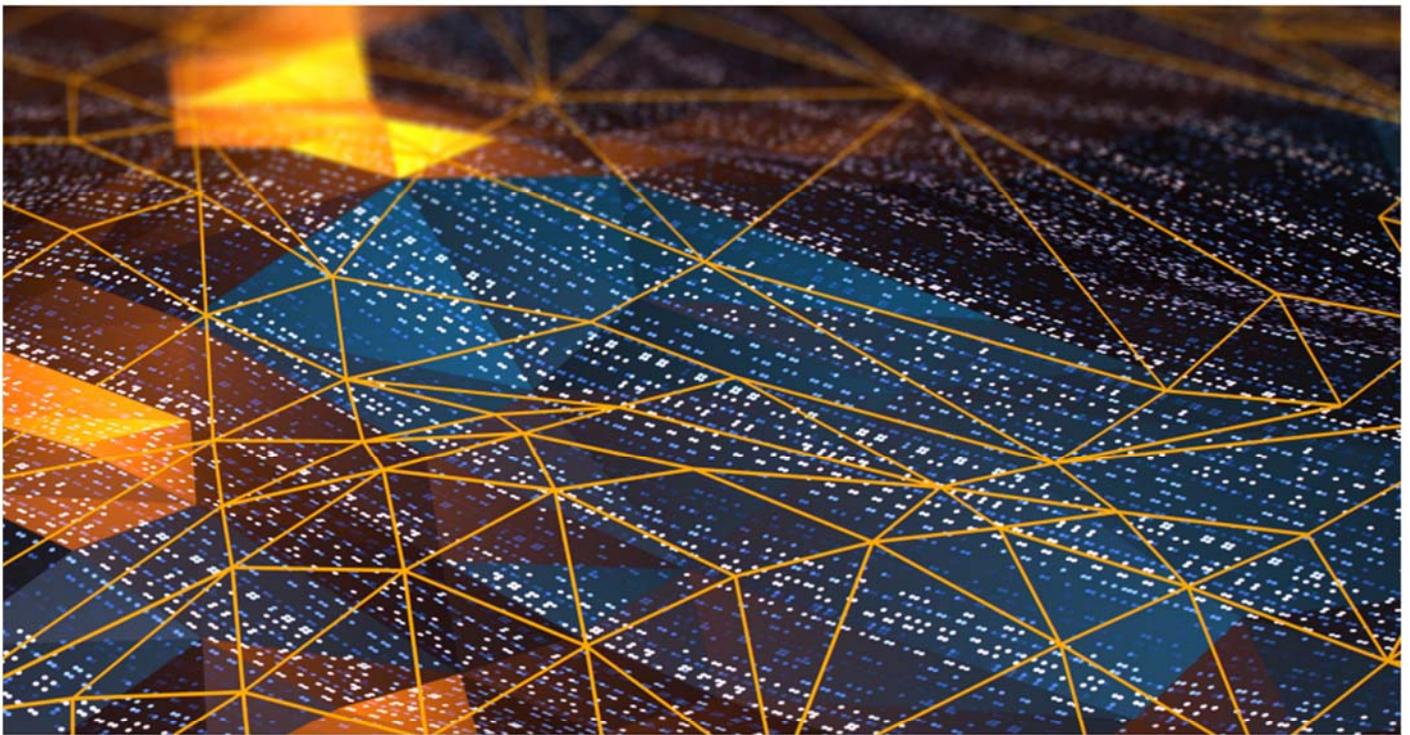


THE BREAKTHROUGH AGENDA REPORT **2022**



Accelerating Sector Transitions Through
Stronger International Collaboration



UN Climate Change High-Level Champions
in collaboration with:

Marrakech
Partnership



IEA ブレークスルー・アジェンダレポート 2022（第3章水素）

～“手頃な再生可能・低炭素水素が 2030 年までに世界的に利用可能になる”ー水素ブレークスルー目標～

第3章 水素

（訳者注）

重要と思われる部分にはアンダーラインを付した。なお、文中のゴシック、イタリック体部分、色付き文字は原文のままである。

重要事項

- 今日のエネルギーシステムでは、水素は石油精製や化学品製造のための工業原料として狭い役割に留まっており、使用されている水素のほとんどは化石燃料に由来するものである。
- 再生可能・低炭素水素が、既存の化石燃料ベースの水素に取って代わる必要があるが、代替クリーンエネルギーソリューションが限定される CO2 低減が困難な用途（主に、重工業、海上輸送、航空、季節電力貯蔵、大型トラック輸送の一部など）で、迅速なクリーンエネルギー移行をサポートする重要な役割を果たすと考えられている。 私たちはこのような分野を「新規優先アプリケーション」と呼んでいる。
- これまでの進捗は限定的で、2030 年までに 140～155 百万トン/年の再生可能・低炭素水素の生産量が必要であるのに対し、2020 年の生産量は百万トン/年未満である。これは、2023 年から 2030 年にかけて、毎年生産能力を約 2 倍にする必要があることを意味する。 そのために、再生可能エネルギーの導入の加速が必要である。これらの目標を達成するためには、水素のバリューチェーン全体で資金調達を急激に拡大する必要がある。
- 共通の基準、研究開発へのより高い持続的な投資、現在、化石燃料の水素が使われている分野や新しい優先的なアプリケーションにおいて、低炭素/再生可能エネルギーの両方の水素に対する需要のコミットメントを増加させることが、脱炭素化をコスト効率よくサポートするための課題克服にすべて貢献することになる。
- 再生可能・低炭素水素に関する国際協力には長い歴史があり、2000 年代半ばからかなりの活動が行われてきたが、この 3～5 年で活動が大幅に増加した。
- 水素分野における移行を加速し、2030 年のブレークスルー目標達成に向けた軌道に乗せるためには、実現可能な条件に関して多面的、横断的な、より強力な国際的行動が不可欠である。今後 1～2 年の間に国際協力を強化するための優先事項として、4 つの分野が際立っており、我々は以下のアクションを推奨する：
- 政府及び企業は、現在、水素が利用されている分野において、特定の政策や購入の約束による支援により再生可能・低炭素水素の利用に対するコミットメントを国際的に協調、増加させ、強いまとまった需要の信号を送り、生産に対する投資を動機づけるべきである。新規優先アプリケーション分野においては、各国は、早期導入を加速させるために得られた教訓を共有すべきである。 これは、国際貿易において公平な競争条件を確保する方法で行われるべきである。
- 政府及び企業は、低炭素・再生可能水素のための国際規格及び関連する認証制度の包括的なポートフォリオに合意し、排出量計算、安全性、漏れを含む運用上の問題を扱うべきである。 これは、関連する技術団体に明確な方向性と十分なリソースを提供するプログラムによってサポートされるべきである。これは、他の一連の行動、特に質の高い需要公約や貿易協定を支援するために不可欠である。

- ・政府と企業は、水素実証プロジェクトの数と地理的な広がりを劇的に増やし、これらが海運、重工業、長期エネルギー貯蔵を含む高付加価値の最終用途を適切にカバーすることを保証するために協力すべきである。政府と民間部門は、公的資金により全実証プロジェクトから得られた教訓を共有するという約束を含め、これらの実証プロジェクトからの知識をより深く、より迅速に共有することに向けた原則に合意する必要がある。そうすることで、技術利用の障壁を克服し、複数の地域での導入を並行して加速させることができる。
- ・援助国政府および MDBs（国際開発金融機関）は、途上国の水素製造、流通、および最終消費プロジェクトにおいて大規模な民間投資を呼び込むことができるよう、十分に的を絞りに容易に利用できる譲許的融資のレベルを上げるべきである。これは、資本コストの高さによって遅れている実行可能なプロジェクトを特定し、投資に対する障害を評価するために、各国が融資機関と協力するプロセス、および政府の政策設計を支援するための技術支援プログラムによって支援されるべきである。これは、再生可能・低炭素水素プロジェクトの初期に必要な支援を提供し、より多くの国が必要な技術を導入できるようにするものである。

分野の重要性

今日のエネルギーシステムにおいて、エネルギーとしての水素の役割は比較的わずかである。水素は、石油精製プロセスや肥料などの化学製品の生産において、主として工業用原料として使用されている。現在、水素の製造はほぼすべて化石燃料に由来しており、2020年には約900百万トンの二酸化炭素を排出している。これは世界のエネルギー関連の二酸化炭素排出量の約3%に相当する（IEA, 2021年）。

世界の需要の3割近くを中国が占め、次いでアメリカ、インドと続く。この3カ国で、生産される水素のほぼ半分を使用していることになる。生産量の約60%は天然ガスから、20%近くは主に中国での石炭から、20%は工業プロセスからの副産物として供給されている。温室効果ガス排出量の少ない水素を製造するには、再生可能な電力を使った電気分解による再生可能水素と、炭素の回収・利用・貯蔵（CCUS）による化石燃料からの低炭素水素の二つのルートがある。どちらも、ネットゼロ・エネルギーシステムには必要なものである。水素は、低炭素な未来を支える重要な役割を果たす。特に、重工業、海上輸送、航空、季節的電力貯蔵、大型トラック輸送など、排出量の削減が困難で、クリーンエネルギーへの代替手段が限られている新しい優先的用途で有望な可能性を秘めているからである（IEA, 2020年）。これらを「新規優先アプリケーション」と呼んでいる。

分野目標

低炭素・再生可能水素の製造と利用は、開発の初期段階にある。1.5°Cに沿った道のり下では、現在1%未満である水素が、2050年までに世界の最終エネルギー需要の12~22%を満たすと予測されている（IEA, 2021b; Hydrogen Council, 2022; DNV, 2021; IRENA, 2022a; BP, 2022）¹ シナリオでは、水素の需要が2030年に向け加速することを予測しているが、今後数年がこの潜在能力を満たす基礎を築くために非常に重要であろう。

1 ここに示したシェアは、製油所での水素使用は最終エネルギー需要ではないため、除外している。

第一に、既存の水素利用を脱炭素化するために、低炭素、再生可能エネルギーの両方を迅速に普及させな

なければならない。後者は、現在の化石燃料による水素製造と比較して、最も大きいコストプレミアムを持っており(図 3.3 参照)、この 10 年間で最もコストを削減できる可能性を秘めている。コストの低下は、低炭素水素の目標展開に関する教訓の実行と規模の経済によるフィードバックを強化することによってもたらされるであろう。

本報告書では、低炭素水素と再生可能水素の比炭素強度の上限を定義していないが、これらの生産ルートは、2030 年までに、ゼロに近い水準に向け、検証可能な低炭素強度を達成する必要がある。このことは、化石燃料による水素製造は、二酸化炭素排出があるすべての工程において炭素捕捉率を高くし、捕捉された炭素が大気中に放出されないように永久に地下に貯蔵されなければならないことを意味する。さらに、メタンの漏洩を完全に回避できないまでも、ゼロに近い水準で最小化することが重要である。排出量の厳格な測定、報告、検証が必要である。

第二に、2030 年以降、再生可能・低炭素水素を新しい優先的用途に大規模に展開するためには、この 10 年間に行うべき多くの重要なアクションがある。これらのアプリケーションにおける水素利用は、程度の差こそあれ、まだ商業化されていない。つまり、この潜在力を引き出すには、研究開発、運用基準・ガイドラインの開発、水素利用を促進するための的を絞った支援政策に関する協調的かつ国際的に調和された取り組みが必要であることを意味している。さらに、再生可能な低炭素水素を新たな優先的用途に拡大するためには、この 10 年間に、再生可能な電力プロジェクト、送電、貯蔵、輸送インフラを含む、効率的な許認可プロセスに支えられた実現基盤を構築することが必要である。

パリ協定に沿った道筋を実現するためには、世界の水素生産と需要の 3 分の 2 以上を占める 35 カ国と欧州連合が COP26 で承認した、水素のブレークスルー目標を各国と企業が達成する必要がある：

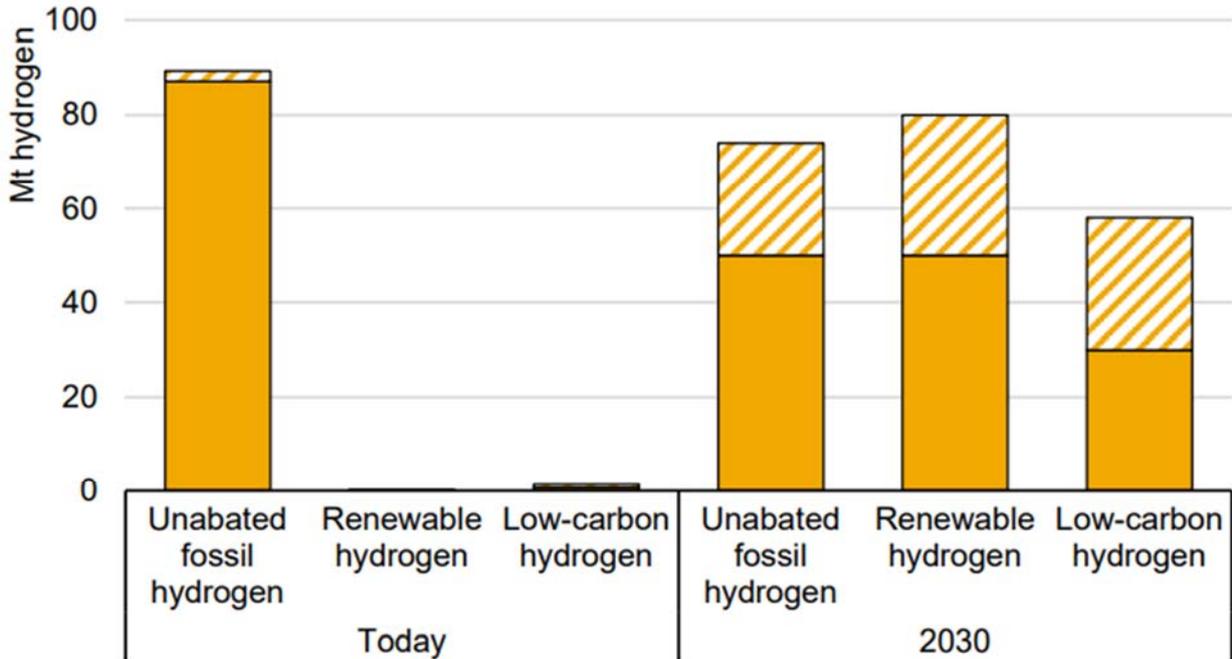
"2030 年までに手頃な価格の再生可能・低炭素水素を全世界で利用可能にする。"

そのためには、再生可能・低炭素水素の供給が劇的に増加し、関連分野の需要に見合うシェアが増え、コスト低下により加速されることが必要である。2030 年までに、国際的な気候変動目標に沿ったシナリオでは、以下のようになることが予想される：

- ・再生可能・低炭素水素の供給量は、2020 年の 百万トン/年未満から、2030 年には 140-155 百万トン/年に増加する(図 3.1 参照)。これは、2023 年から 2030 年まで、毎年、生産能力を約 2 倍にしなければならないことを意味する。
- ・化学部門の最終エネルギー需要に占める水素の割合は、2020 年の約 28%から 2030 年には最大 44%に増加する(図 3.2 参照)。現在、水素が使われていない他の分野では、必要となる成長率はさらに高く、再生可能・低炭素水素は、2030 年までに最大 10%のシェアを達成する必要がある。
- ・再生可能水素の製造コストは、この 10 年間で 40~55%低下し、最も有利な場所で、ほぼ水素 1kg あたり 1 ドルになる(図 3.3 を参照)。

図 3.1 1.5°Cに整合する経路における 2020 年及び 2030 年の削減困難な化石、低炭素及び再生可能水素の供給

Figure 3.1 Supply of unabated fossil, low-carbon and renewable hydrogen, 2020 and in 2030 in 1.5°C-compatible pathways



Note: Shaded bars represent the range of supply across various scenarios.
Sources: IEA, 2021b; BNEF, 2021; IRENA, 2022a; and BP, 2022.

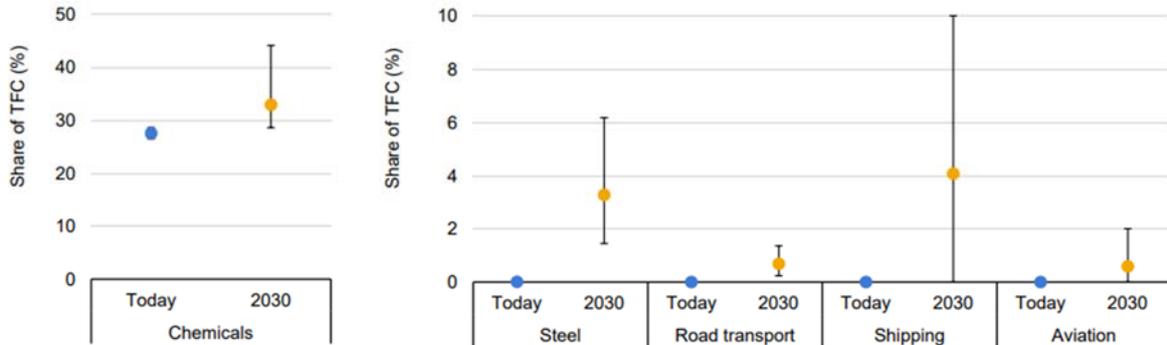
注：斜線棒グラフはいろいろなシナリオにわたる供給範囲
出典：IEA, 2021b; BNEF, 2021; IRENA, 2022a; 及び BP, 2022

このようなレベルで水素の生産や利用を実現するには、大きなギャップがある。2020 年の低炭素水素の生産量は約 700 万トン/年で、CO₂ を 1,000 万トン/年回収・貯蔵する能力が必要である (IEA, 2021a)。2030 年までに生産量の大きなシェアを占めると予想される再生可能水素については、2020 年の電気分解槽容量は 0.5GW 未満であり、生産量は 10 万トン/年以下である。

電解槽の事業計画は急速に拡大しており、今後 10 年間で約 50~90GW (この数字はビジネス上の決定により常に変化する) に達しているが、開発中のプロジェクトのうち最終投資決定に至ったものはごく一部に過ぎない。これは、ほんの数年前に比べてコミットされたプロジェクトのレベルが大幅に増加したことを意味するが、1.5°C 整合シナリオ (図 3.1 参照) で予測される年間 5~8,000 万トンの再生可能水素を製造するために必要な 2030 年までの電解能力 350~850GW にはまだ大きく届かない (IEA, 2021b; Hydrogen Council, 2021a 参照)。この推定値の上限は、現在の世界の風力と太陽光の全発電量に相当する電力が必要である。

図 3.2 1.5°C 整合経路において、現在及び 2030 年に水素に適合するいくつかの分野の全最終エネルギー消費量の割合

Figure 3.2 Share of total final energy consumption in selected sectors met by hydrogen today and in 2030 in 1.5°C-compatible pathways



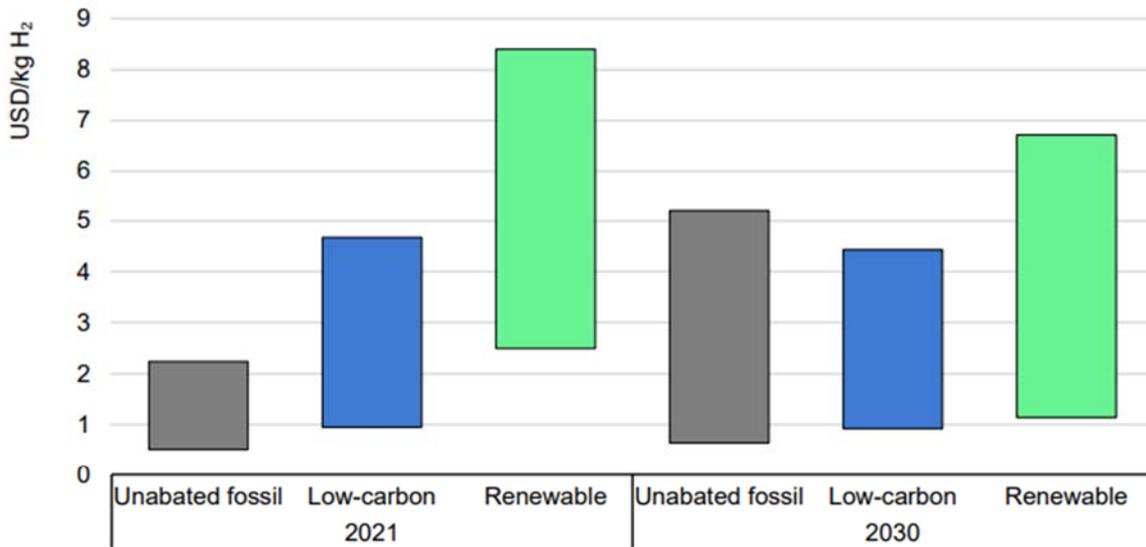
Notes: Shipping and aviation include hydrogen derivatives. Hydrogen used for direct reduction of iron with natural gas is excluded.

Sources: IRENA, 2022a; BP, 2022; IEA, 2021b; and BNEF, 2021.

注 : 海運及び航空の水素派生物を含む。天然ガスを用いた鉄の直接還元に使われる水素は除く。
出典: IRENA, 2022a; BP, 2022; IEA, 2021b; 及び BNEF, 2021

図 3.3 2021 年及び 2030 年における技術ごとの水素製造の平準化コスト

Figure 3.3 Levelised cost of hydrogen production by technology in 2021 and 2030



Notes: All references were published before gas prices started to rise as a consequence of the current energy crisis. Based on gas prices of USD 200/MWh (vs historical averages of USD 15-20/MWh in Europe), the levelised cost of unabated fossil hydrogen could reach up to USD 10/kg H₂.

Sources: IRENA 2022c; IEA, 2021a; ETC, 2021; IRENA, 2020; and BNEF, 2020.

注 : すべての文献は、現在のエネルギー危機の結果、ガス価格が上昇し始める前に出版されたものである。200 米ドル/MWh のガス価格(欧州の過去の平均は 15~20 米ドル/MWh)に基づくと、化石燃料による水素の平準化コストは 10 米ドル/kg H₂ まで達する可能性がある。

出典: IRENA 2022c; IEA, 2021a; IRENA, 2022; 及び BNEF, 2020

我々はどうのようにそこに行きつくか？

この 10 年の早い時期に一連の実現可能な条件について、挑戦的かつよく検討・調整された行動をとることが非常に重要であり、再生可能・低炭素水素の供給を速いペースで支援できる必要な生産、貯蔵、輸送、最終用途技術を確実にすることができる。しかし、注意深く見守る必要がある多くのリスクと課題がある²。手頃な価格と入手可能性を高めることに加え、ブレークスルー目標の達成方法（その過程で刺激される特定の再生可能・低炭素水素最終用途や水素導入による気候への影響など）も同様に重要である。

2 水素の製造、輸送、使用には高いエネルギー損失が伴うため、代替のクリーンエネルギーでより効率的に脱炭素化できる分野に広く（水素が）使用されると、クリーン経済への移行コストが増加する可能性がある。厳密で検証可能な排出基準がない場合、水素の製造は非常に高い排出をもたらす可能性がある。水素は間接的な温室効果ガスであり、大気に漏れ出すと、気候の温暖化に寄与する可能性がある。

政府および企業は、資本集約的な再生可能・低炭素水素供給への短期的な投資リスクを軽減するため、信頼でき、かつ持続する需要を創出する必要がある。これには、肥料製造や石油精製など、既に水素が利用されている場所での導入を後押しするための、支援的な政策メカニズムや購入契約が含まれる。可能性のあるメカニズムは、低炭素水素使用のための最低割当量、公共調達政策、炭素差損益契約（CFDs）などの量的手段である。

また、水素とその派生物が代替物よりも費用対効果の高い脱炭素ソリューションとなるような新しい優先的用途での使用を増やすために、支援的な政策メカニズムを採用することも必要である。

水素の普及は、厳格な排出基準に裏打ちされなければならない。これは、2020 年代初頭の需要サイドの行動を補完し、この導入が気候目標に沿ったものであることを保証し、低炭素水素市場に対する消費者と投資家の信頼を醸成し、法域を超えた投資シグナルを調和させるものであるべきである。

排出基準と並び、政府と企業は、しっかりとした共通の水素漏れ検知・修理プロトコルと解決策を開発しなければならない。これは、高い水素漏れが地球温暖化に寄与するのを防ぐために、入念な測定、報告、検証の仕組みによってサポートされるべきである³。さらに、海上輸送、大型トラック、製鉄などの新しい優先的な水素アプリケーションのために、世界的に調和された安全基準と運用基準が開発されなければならない。これらは、これらの用途に関連する RD&D プログラムや需要サイドのコミットメントと並行して開発される必要がある。その結果、2020 年代半ばから後半にかけて、新しい最終用途のための商業規模に達する技術が生まれるはずである。

3 水素の間接的な地球温暖化係数は、100 年間で、11 +/- 5 に相当する。(Warwick ら, 2022).

新しい優先的な用途における水素とその派生物の普及を加速するために、政府と企業は研究、開発、実証への投資を増やす必要がある。これらの用途における水素の利用は、現在、大部分が商業前段階的であり、商業的に成り立つまでには協調的な研究開発が必要である。関連技術の多くは、2020 年代半ばまでに商業化に向けて実証されるべきであり（例：鉄鋼）、遅くとも 2030 年までにはすべて商業的に実現可

能でなければならない。

そのためには、水素のバリューチェーン全体で適切かつ持続的な資金調達が必要である。 1.5°Cに整合した経路に沿った水素の導入には、過去 10 年間の年間平均投資額が 10 億ドル未満であるのに対し、2030 年までに約 600~1,300 億ドルの年間投資が必要となる (IEA, 2021a; IRENA, 2022b; Hydrogen Council, 2021a; BNEF, 2021; ETC, 2021)。この投資の大部分は民間部門からもたらされなければならないが、政府は、初期のプロジェクトのリスクを軽減し、民間部門の関与を支援することができる政策を導入することによって、投資を動機づける上で重要な役割を果たすことができる。導入のペースが上がるにつれ、政府と企業はインフラを支えるための長期計画を策定する必要がある。これには、再生可能エネルギーによる発電、電力・ガスの送電・供給、二酸化炭素の回収・貯留・インフラが含まれる必要がある。これらは、天然ガスインフラの再利用を含め、可能な限り既存の資産を最大限に活用する必要がある。

政府や企業は、主要港が水素（および派生物）を取り扱えるようにし、再生可能・低炭素水素の世界貿易を促進する必要がある。 繰り返しになるが、コスト削減のために既存のインフラを再利用する機会がある。2020 年代半ばから後半にかけて、水素貿易の長期契約の締結を支援することで、サプライチェーンへの信頼をさらに高めることができるだろう。

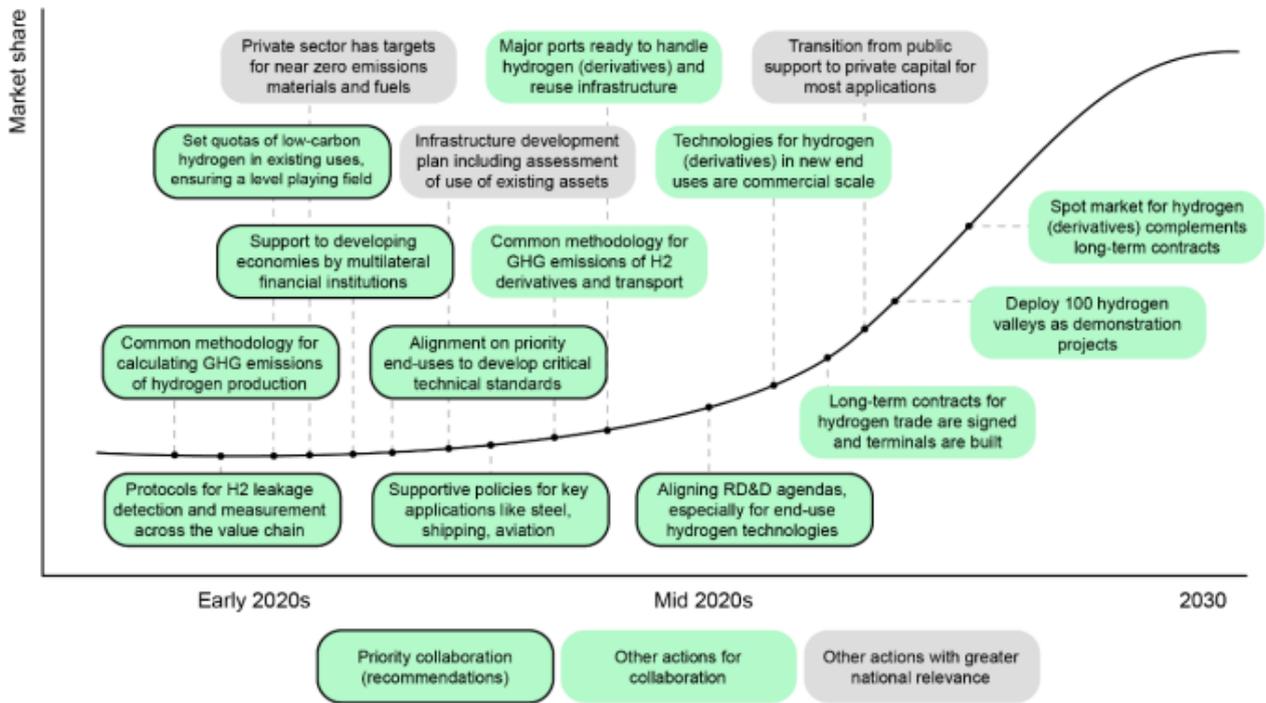
推奨報告書

我々は、再生可能・低炭素水素の普及のために、国や企業が個別に行える行動について、より詳しく説明している以下の報告書を勧める。

- The Future of Hydrogen (IEA, 2019).
- Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy (Energy Transitions Commission, 2021).
- Global Hydrogen Review 2021 (IEA, 2021).
- Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated With the Production of Hydrogen (IPHE, 2021).
- Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor (IRENA, 2022).
- Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5° C Climate Goal: Green Hydrogen Cost and Potential (IRENA, 2022).
- International Trade Rules for Hydrogen and its Carriers: Information and Issues for Consideration (IPHE, 2022).

図 3.4 再生可能・低炭素水素およびその派生物のための 2030 年までの重要な経路

Figure 3.4 Critical path to 2030 for low-carbon and renewable hydrogen and derivatives



国際協力の現状

再生可能・低炭素水素に関する国際協力には長い歴史がある。最初の狙いは、共通基準の定義、研究・開発、実証およびエネルギー分野の役割に関する長期ビジョンの策定であった。

2003 年以来、経済における水素及び燃料電池の国際パートナーシップ（IPHE）は、安全事項や基準に関する業務の促進や、情報交換を行ってきた。最近では、GHG の定量化手法に関する協調的な業務により力を入れている。

研究開発に関する国際協力は、1977 年に 26 の締約パーティー（24 개국、欧州委員会及び UNDO(国際連合工業開発機関)とおよび七つの民間スポンサーから構成される IEA の水素技術連携プログラム (TCP) のもとで始まった。水素 TCP は、研究者ネットワークが協力して行うタスクの研究結果を定期報告書として出版している。先進燃料電池 TCP (16 メンバー) は、定置式、運輸用及び可搬式燃料電池に関する分析や知見の共有を行っている。2021 年に水素技術と産業プロセスの研究開発を促進し、コスト削減の触媒となることを主眼とした、新しい「クリーン水素ミッション」を立ち上げた。

この 5 年間で、水素に関する官民の連携が急速に進んでいる。2018 年には日本主導で「水素エネルギー

大臣会合」が発足し、これに続いて 2019 年にはクリーンエネルギー大臣会合の下で「水素イニシアティブ」(24 メンバー)、2020 年には IRENA (168 メンバー) から「グリーン水素に関する協働フレームワーク」が発足した。

これらの新しい取り組みにより、水素に関する協力は、研究開発から、政策のベストプラクティスの情報交換、短期的な普及促進、国際的な市場原理の定義にまで広がっている。2000 年代の水素への関心は、主に自動車交通用燃料としての利用が中心だったが、最近では、鉄鋼、航空、電力システムのバランス調整などの最終用途も共同研究の範囲に含まれるようになってきている。また、当初は先進国での活動が多かったが、現在では途上国でも共同イニシアティブが開始されている。例えば、エジプト、ケニア、モーリタニア、モロッコ、ナミビア、南アフリカが設立したアフリカ・グリーン水素アライアンスのメンバーは、国内外でのグリーン水素製造を促進するため、公共・規制政策、融資、認証について協力している。各国政府が水素戦略を実施し始めたことで、こうしたフォーラムでの協力はより有意義なものとなり、各国は政策的支援による技術導入の成功例から学ぶことができるようになった。

民間分野の主な取り組みとしては、サプライチェーンのあらゆる部分を代表する 130 以上のメンバーを擁する「水素協議会」がある。水素協議会は、水素技術の現状と展望、その普及を支援する政策手段、政府の政策を形成するための会員の権利擁護の調整に関する報告書を積極的に発表している。グリーン水素機構、Green Hydrogen Catapult、First Movers Coalition は、再生可能・低炭素水素の市場を創出することを目的とした民間分野のイニシアティブの例である。

(訳者注)

Green Hydrogen Catapult : “グリーン水素カタパルト”は、国連のハイレベル気候行動チャンピオンと RMI の招集支援を受けて 2020 年に発足、2026 年までにグリーン水素の大規模なスケールアップを推進することを目標としたグローバルなイニシアティブ)

First Movers Coalition : COP26 において米国が世界経済フォーラムと協力して立ち上げたイニシアティブであり、2050 年までにネット・ゼロを達成するために必要な重要技術の早期市場創出に向けた、世界の主要グローバル企業が購入をコミットするためのプラットフォーム、日本も戦略パートナー国として参画)

グリーン水素機構は、市民社会組織とも幅広く連携しており、最近では、水素プロジェクトが自主的に採用する初のグリーン水素証明書を発表している。さらに、WEF Accelerating Clean Hydrogen Initiative は、主要な障壁を取り除き、水素経済を完全に実現するネットゼロ経済に向けて後押しし、プロジェクトの発表から運営までの道筋を加速させることを目的としている。

要約すると、水素に関する国際協力は十分に確立され、かつ広範囲に及んでおり、その実現に必要な制度やイニシアティブはほぼ整っている。とはいえ、水素分野の開発をより迅速に進めるためには、さらなるリソースと、このしくみにおけるより強力な集团的行動が必要である。

国際協力のための優先領域

国際協力を強化するための当面の優先事項として、需要の創出、標準と認証、研究とイノベーション、資金・技術支援の4つの主要分野が挙げられる。これらは、今後1~2年の国際協力の優先事項であり、10年後のさらなる行動とより速い進展を引き出すことができる。

再生可能・低炭素水素の需要を創出するための行動を調整、まず既存の産業用途から着手
前述したように、現在、生産されている水素のほとんどは化石燃料を原料としている。また、脱炭素社会の実現に最も役立つと思われる分野でも、水素はほとんど利用されていない。そのため、再生可能・低炭素水素の市場には、全く新しい需要創造政策、取引のしくみ、規制、ビジネスモデルが必要である。

強力な需要創出政策は、現在、化石燃料水素が使われている分野における再生可能・低炭素水素のため、また、再生可能・低炭素水素がまだ使われていない用途における水素やその派生品のために重要な柱である。国レベルでは、政府は価格（化石燃料代替品とのコスト差を縮める）または量に働きかける政策を用いて需要を創出することができる。量に基づく政策としては、公共調達や、特定の分野で再生可能・低炭素水素を最低限使用することを義務付けることなどがある。民間企業も同様に、特定の用途で一定量の水素を使用する（または一定のシェアを達成する）ことを約束し、水素利用資産に投資することで需要創出を支援することができる。

国際協力は、再生可能・低炭素水素の需要をより速く拡大するために、政策のベストプラクティスの情報交換、需要を集約しコスト削減を加速、及び競争の激しい分野での公平な競争条件の策定の3つの方法で支援することができる。

政策設計及び実行に関するベストプラクティスの情報交換

特定の国や環境で何がうまくいったかを理解することは、成功の再現と失敗の回避に役立つ。各国はすでに多様な政策アプローチを開発・実施している。

；英国は、エンドユーザーによる利用も促進する、生産者に焦点を当てた水素ビジネスモデルの契約を進めている。

；ドイツは、産業界における水素利用を促進するための炭素差損益契約を考慮している。

；ポルトガルやインドでは、水素供給に関するオークションをテストしている。

；米国では低炭素水素製造のコスト削減のための生産税額控除を検討している。

これらの政策やその他の政策の設計と実施から得られた教訓を包括的に共有することは、多くの国が自国の状況において効果的なアプローチをより迅速に特定するのに役立つだろう。

いくつかの国際的なイニシアティブは、すでに水素政策に関する国家間の相互学習を支援している。しかし、地域やテーマごとに異なる国際的なイニシアティブの間では、より協調的に学習を共有することで、より速い進展が期待できる。例えば、特定の地域の状況に焦点を当て、水素普及に対する地域の障壁に取り組むことを目的としたイニシアティブもある。このような取り組みにはそれぞれ価値があるが、地域のイニシアティブでは、より遠く離れた市場で得られた経験や教訓を容易に利用することができな

い。そのため、知見は国際企業や二国間関係を通じて、ある地域から別の地域へ徐々に浸透していくことになる。既存の取り組みに基づき、地域間の取り組みをより体系的に連携させることで、努力の重複を減らし、より早く知見を共有することができる。また、産業界は、ある政策が他の政策よりも効果的であると証明された理由についての考察を共有することで、このプロセスを支援することができる。

需要を集約し、コスト削減を加速

各国が協力して行動すれば、大幅なコスト削減に必要な水素製造量をより早く達成することができる。この面で協調して行動することで、より少ない個々の努力で必要な需要に到達することができる。協調的な展開は、投資家により強いシグナルを送り、さまざまなビジネスモデルやアプリケーションのテストを可能にし、コストだけでなくリスクも減らすことができる。この機会を、公共部門と民間部門に等しく適用される。

さらに、再生可能・低炭素水素の需要を促進するための努力を調整することは、インフラ開発にとって有益である。パイプライン、港湾施設、取引ルートはすべて規模の経済から利益を得ることができる。複数のユーザーが協力することで、水素の輸送、貯蔵、充填施設の改造や建設を計画し、そのようなインフラへの投資の価値を高め、リスクを低減することができる。輸送コストの削減、生産コストの低い場所へのアクセス、システムの回復力の向上（より多くの供給者をネットワークでつなぐことができるため、1社への依存を避けることができる）などのメリットがある。

多くの国際的なイニシアティブが、政策実施に関する教訓の共有と、市場規模の拡大によるコスト削減の両方をサポートする形で、需要創出に取り組んでいる。Mission Innovation は、2030 年までに、世界の生産、貯蔵、最終消費を網羅する 100 の水素バレーを作るという目標を掲げている。クリーンエネルギー大臣会合の水素イニシアティブは、港湾とその周辺地域における低炭素水素技術と水素ベース燃料の需要を促進することを目的とした世界港湾水素連合を設立した。港湾は、複数の水素利用をまとめ、優れた接続性とインフラを構築する機会であることを認識している。世界経済フォーラム (WEF) の First Movers Coalition は、民間分野の関係者を集め、航空、船舶、アルミニウム、二酸化炭素除去、トラック、鉄鋼における水素を含む低炭素技術と燃料の利用について明確な目標を設定するものである。WEF と IRENA は、政府が需要創出を支援するための様々な方法に関する概要を示す実現施策ロードマップ（欧州と日本向け）を発行している。Green Hydrogen Catapult イニシアティブでは、グリーン水素の供給を増やすことに重点を置いているが（電解水素 45GW とコスト目標 2 米ドル/kg）、「水素ハブ」での需要集約も目指している。

これらのイニシアティブは、再生可能・低炭素水素の世界市場の構築に寄与しており、複数の関係者の努力を集約することに成功しているものもある。しかし、確認された需要の全体的レベルはまだ低い。発表された目標や公約は、300 万トン未満の再生可能・低炭素水素の需要を生み出すだろう（CEM, 2022; IRENA, 2022c）。これは、現在の世界の水素需要の約 3%に相当する。このような低レベルの需要創出では、今後数年間に可能なコスト削減を完全に達成することはできない。コスト削減を加速するために、国と企業は、再生可能・低炭素水素の導入に関するより強力な短期目標に合意し、これを具体的な政策に転

換し、水素製造への投資を動機づける購入公約を行う必要がある。短期的には、水素の普及とコスト削減を促進する最大の機会は、肥料、化学製造、精製など、すでに水素が使用されている部門である。

競争の激しい分野で公平な競争環境を作る

短期的な普及が大きな見込まれるいくつかの分野は明らかに国際貿易に直面している。これらはアンモニア(肥料用)とメタノールであり、それぞれ世界生産量の15%、28%が国際的に取引されている(UNSW, 2021; IRENA, 2022d)。現在のところ排出削減対策が講じられていない水素と比較して再生可能・低炭素水素のコストが高いことを考慮すると、先行する国や企業がペナルティを受け、産業が移転したり、貿易の流れがより低コストでより排出量の多い競合他社に流れたりするリスクがある。その結果、再生可能・低炭素水素の普及が停滞する可能性がある。長期的には、鉄鋼など、水素の新しい最終用途分野にも同じリスクがある。

各国は、関連する分野において水素導入政策を調整することで、このリスクを軽減することができる。これには、分野別に規制するなどの量的政策、あるいは炭素価格設定のどちらかによる調整が必要である。いずれのアプローチも、低炭素水素製品のコスト・プレミアムが地域間で同程度となるように、公平な競争条件を確立するよう使うことが必要である。アンモニアとメタノールの重要な生産者である国、あるいは生産規模の拡大に関心を持つ国は、当面の優先事項として、これらの分野における協調的措置に合意するための議論を開始すべきである。再生可能・低炭素水素の導入において、先行企業がグローバル市場で弱体化するリスクを回避するため、時間をかけて、より多くの国の参加による合意が必要であろう。

推奨事項 1

国や企業は、既に水素が利用されている分野において、再生可能・低炭素水素の利用に対するコミットメントを、特定の政策や購入協定の支援を受けながら、国際的に協調して増加させ、まとまった強い需要シグナルを送り、生産投資を動機づけるべきである。新たな優先的適用分野においては、各国は、早期導入を加速させるために教訓を共有すべきである。これは、国際貿易において公平な競争条件を確保する方法で行われるべきである。

水素の排出、安全、運用に関する共通規格の早急な合意

低炭素経済における水素の可能性を十分に実現するためには、水素の排出、安全、運用に関する厳格で国際的に調和された規格が不可欠である。水素規格に関する国際協力は、これまで主に精製や化学といった伝統的な水素使用分野における安全性や運用プロトコルに焦点を当てたものであった。低炭素経済における水素の利用範囲が広がるにつれ、より広範で新しい規格の合意が必要となる。これは、国際協力のための他の多くの政策や優先事項を実現するための重要な要素である。

水素規格の策定と施行については、すでにいくつかの国際的なイニシアティブが活発に行っている。経済界における水素および燃料電池のための国際パートナーシップ(IPHE)は、共通かつ調和のとれた水素規格および規制の策定を支援する可能性を持つ政府間フォーラムとして注目されている。その焦点は、

水素の排出、安全、運用プロトコルやガイドラインに関する優先事項の調査と特定にあり、その後、国際標準化機構（ISO）や国際電気標準会議（IEC）などの規格開発機関（SDOs）に情報を提供している。

しかし、こうした取り組みは、迅速な進展を達成するのに必要なレベルの政治的関心や資金は得られていない。規格の策定を支援する標準化前研究に割り当てられる資金は不十分である⁴。技術に関する組織によって特定された規格のギャップの多くはまだ対処されておらず、SDOsのプロセスはしばしば長期化している。排出量の測定と安全および運用という二つの分野で進展を得るためには、政治的なコミットメントと資金を含むより協調的な取り組みが必要である。

4 標準化前研究（または規格化前研究）とは、標準の開発に必要な技術的・科学的知識を提供するもの。

水素の排出を測定する基準

水素は、化石燃料から再生可能エネルギーによる電気分解まで、さまざまな技術的手法で製造することができるため、製造に伴う排出強度が幅広くなる可能性がある。また、水素の輸送や利用においても、排出が生じうる。再生可能・低炭素水素の市場の迅速な成長を支えるためには、水素の製造、輸送、使用によって生じる水素の排出量を測定するための基準や、認証制度を設けることが重要であろう。これらは、水素やその派生商品・サービスを購入する公共・民間部門に信頼感を与えるために必要である。いずれは、これらの基準や認証制度を、土地や水の利用、大気汚染、社会開発など、他の持続可能性基準の拡大のアドバンテージにもなる可能性もある。この分野では、国際的な協力が不可欠である。GHG 算定に関する共通の調和された方法論について政府間で早急に合意することは、再生可能・低炭素水素の国際取引を支援し、上述のように展開を調整するための国際的努力の基盤を提供することが可能である。逆に、合意された基準がない場合、国際貿易の障害となる可能性が高い。厳密性や透明性の異なる方法論が採用されれば、低炭素水素市場に対する投資家や消費者の信頼が損なわれ、国境を越えて活動する水素企業のオペレーションが複雑になる可能性がある。

これに関連し、不可欠なニーズは、水素漏れを検知し修復する方法に関する国際協力である。新しい科学的研究によれば、水素はこれまで評価されてきたよりも間接的な温室効果ガスとして強力であり（Warwick et al, 2022）、現在の漏れ検知のやり方や技術では十分に正確な測定ができないことが示唆されている。水素排出量の測定と認証のためのシステム、および気候変動対策としての水素の役割に対する信頼を維持するためには、水素漏れの測定と報告、およびその対策の検証のための国際的に合意されたガイドラインとプロトコルが緊急に必要となるであろう。

安全及び運用規格

国際的に合意された安全および運用規格は、これまで水素が利用されてこなかった分野での利用を可能にするために極めて重要である。これらの分野では、長期的には水素が脱炭素化に最も貢献する可能性が高い。優先順位は以下の通り。

海 運: 水素又は水素ベース燃料を動力源とする船舶の相互運用性及び安全性を確保するための基準及びガイドライン、並びに港湾における水素及び水素ベース燃料の貯蔵及びバンカリングに関する基準及

びガイドラインを定める。規格はまた、船舶設計及び運航対策に関する既存の国際海事機関のガイドライン、例えば、船舶からの水中放射音の低減に関するガイドライン（IMO, 2014）と整合している必要がある。

自動車交通: 大型トラック用水素充填ステーションの安全プロトコル、特に必要なセットバック距離（他の構造物からの最低離間距離）に関連するもの。

製鉄: 鉄の直接還元における水素の使用に関する運用・安全規格。各国は、これらすべての優先事項について足並みをそろえ、IPHE や SDOs などのフォーラムを通じて協力し、標準の開発を加速させるべきである。民間分野は、優先順位の高い規格策定と実施を促し、規格策定を支えるために必要な技術革新を進めることで、こうした努力を大いに支援することができる。政府はまた、規格や規制に焦点を当てた国際機関（IPHE や SDOs など）と、研究開発に焦点を当てた機関（Mission Innovation や Hydrogen TCP など）の活動間の整合性を高めるよう努力すべきである。これにより、調和された運用・安全規格の策定が、関連技術の開発に密接に追随することが保証される。海運、大型トラック、製鉄などの新しい優先的用途における水素利用の安全および運用規格だけでなく、必要な技術の開発に焦点を当てた合同タスクフォースの創設によって、より強い整合性を達成することができるだろう⁵。

5 国際水素安全協会（HySafe）は、基準開発を支援するために、標準研究における最先端の最近の進歩をマッピングし、保留中の研究ニーズを特定してランク付けした。同様に、IPHE は、開発が必要な優先度の高い標準の概要をまとめた。

推奨事項 2

政府及び企業は、再生可能・低炭素水素のための国際規格及び関連する認証制度の包括的なポートフォリオに合意し、排出量計算、安全性、漏れを含む運用上の問題を扱うべきである。これは、関連する技術団体に明確な方向性と十分なリソースを提供するプログラムによってサポートされるべきである。これは、他の一連の行動、特に質の高い需要コミットメントや貿易協定を支援するために不可欠である。

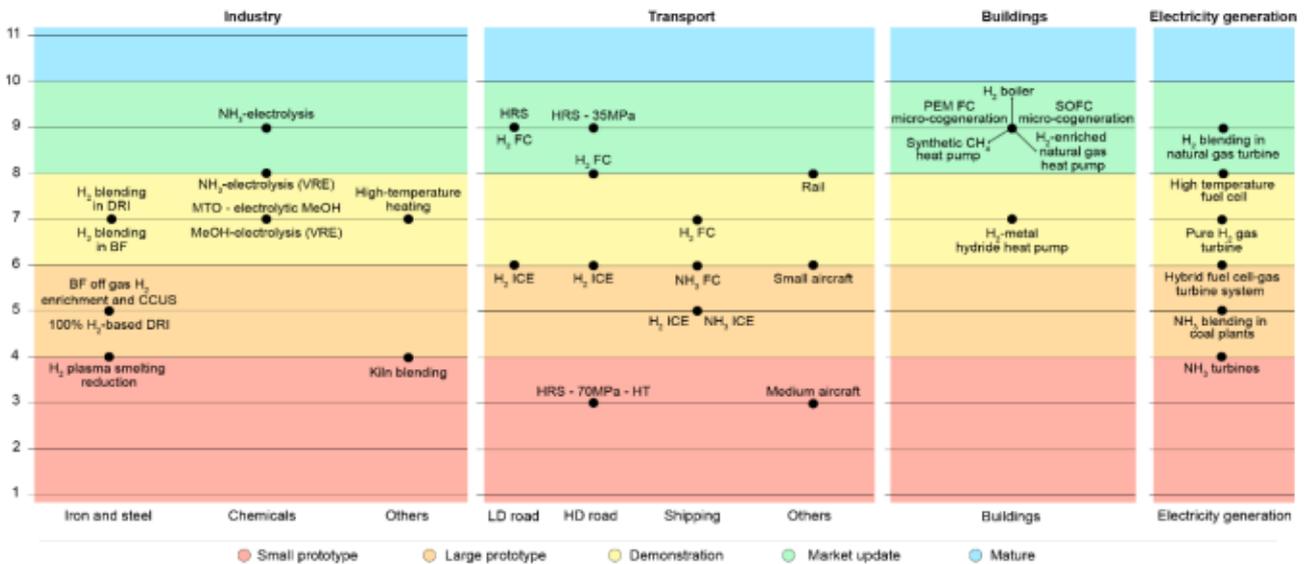
水素技術の研究、開発、実証の加速

研究開発と実証は、次世代水素技術の実現可能性を示すためにも、継続的なコスト削減を支援するためにも重要である。供給側では、他のキャリア（アンモニアや有機液体水素キャリアなど）への転換および水素への再転換を含め、再生可能・低炭素水素の製造、貯蔵、輸送のコストを削減するための技術革新が必要とされる。また、電解槽のような主要な水素技術の製造の持続可能性を向上させるための技術革新も必要である。これは、重要な材料の需要を減らすことを含めて、装置の設計改善と、材料の回収と寿命末期のリサイクル促進の両方によって達成できるかもしれない。

最終用途面では、再生可能・低炭素水素の短期的な普及機会は、既に利用されている分野に集中しているが、より長期的な普及の可能性は、新たな優先用途での水素とその派生物の利用技術が十分に実証された後に実現するものである。商業化のごく初期段階にある例外もあるが、これらの技術のほとんどは、パイロットまたは実証の段階にある。

図 3.6 水素及び水素派生物の重要な最終用途技術の技術成熟度

Figure 3.6 Technology readiness levels of key hydrogen and hydrogen-derivatives end-use technologies



Notes: BF = blast furnace. DRI = direct iron reduction. FC = fuel cell. HRS = hydrogen refuelling station. HD = heavy-duty. HT = high throughput. ICE = internal combustion engine. LD = light-duty. MeOH = methanol. MTO = methanol to olefins. PEM FC = polymer electrolyte membrane fuel cell. SOFC = solid oxide fuel cell. VRE = variable renewable electricity. Cogeneration refers to the combined production of heat and power. TRL classification based on Clean Energy Innovation (2020), p. 67.

Source: IEA, 2022.

注：BF=溶鉱炉 DRI=鉄の直接還元 FC=燃料電池 HRS = 水素充填所 HD = 大型車 HT = 高速充填 ICE = 内燃機関 LD = 小型車 MeOH = メタノール MTO = メタノールからオレフィン PEM FC = 高分子電解膜燃料電池 SOFC = 固体酸化物燃料電池 VRE = 変動再生可能電力
 コージェネレーションとは、熱電力併給をさす。

Clean Energy Innovation (2020), p. 67. に基づく TRL 分類

出典: IEA, 2022.

ネットゼロシナリオでは、2030 年以降の再生可能・低炭素水素の需要のかなりの部分は、水素利用がまだ商業化されていない新しい優先的なアプリケーションによるものである。従って、緊急の優先課題は、この 10 年間で、これらの新技術の商業的な実現性を確保し、その後の導入を大幅に加速できるような形で実証することである。そのためには、以下の技術の実証を優先させる必要がある。

精製、化学物質（メタノール、アンモニア）、合成燃料の生産における再生可能水素の利用、これは、新しい水素の用途に比べれば障壁は低いが、再生可能水素を使用する場合の体制である。水素の供給量が変動する条件下での化学プラントの運用に課題が残っている。このため、変動する運転体制に対応するための革新的なプロセスの実証や、変動を平準化するための高い貯蔵ニーズに対応するための新しいビジネスモデルが必要となる場合がある。

- ・海運における水素、メタノール、アンモニア燃料の使用と、同時に船舶からの水中騒音を低減するこれらの燃料を使用する船舶の技術開発。製鉄における直接還元鉄 (DRI) 製造プロセスにおける再生可能・低炭素水素の利用。
- ・ 高速充填できる充填所含む大型トラックにおける水素の利用
- ・再生可能な水素を利用した電力の長時間貯蔵や、水素とアンモニア 100% で駆動できるタービンの開発により、系統電力のバランスングや季節ごとの電力貯蔵のサポート
- ・持続可能な航空燃料として使用できる合成炭化水素の大量生産と水素を直接航空機に利用するための技術開発
- ・産業界の高温加熱オペレーションへの再生可能・低炭素水素の利用
- ・大量のガス状水素を地下に貯蔵するための、岩石洞窟などの多孔質貯留層の使用
- ・液体水素、アンモニア、有機液体水素キャリアなどの水素キャリアへ（から）の水素（再）変換のための低エネルギー消費

再生可能・低炭素水素技術の研究開発に焦点を当てた国際的なイニシアティブとして、IEA の水素 TCP、先進燃料電池 TCP と Mission Innovation のクリーン水素ミッションの三つがある。IEA の水素および先進燃料電池 TCP は、世界中の主要な研究者を集めた科学的知見の主要な源であり、クリーン水素ミッションは、研究、開発、イノベーションを促進し、少なくとも 100 のクリーン水素バレーを展開することを目的としている。

現在進行中の取り組みにより、一部の技術は実用化に近づいている。大型の自動車交通では、主に中国、欧州、米国で実証実験が散見される (FuelCellsWorks, 2021; IVECO, 2020; Truckinginfo, 2021)。海運では、小型短距離船での水素利用の実証プロジェクトがいくつか進行中であり、業界の主要関係者は、早ければ 2023 年までに 100% アンモニア燃料の船舶用エンジンを利用可能にする計画を発表した (Wärtsilä, 2021 年)。しかし、産業界では、再生可能水素からのアンモニアを製造するため稼働しているパイロット事業 (Iberdrola, 2022)、鉄の直接還元における再生可能水素の使用のための実証実験 (Hybrit, 2022)、限られた数の高温加熱における水素使用実験しか行われていない。水素バレーを作るための国際的な取り組みは、現在、欧米に高く集中しており、産業や海運への応用に重点が置かれていないのが現状である。

これらの取り組みは心強いものではあるが、これらの技術を商業規模にし、この 10 年で大規模に導入を開始するために必要な知見、運用経験、自信を身につけるには不十分である。各国政府は、上記の各分野における実証プロジェクトの臨界点を発展させるために協力する必要がある。重点分野、目的、スケジュールに関する努力を一致させることで、イノベーションを大幅に加速することができる。民間分野はこのプロセスに参加し、共通目標の定義のために情報提供し、政府が新技術を市場に投入するために必要な支援をする必要がある。

各国間でより深い知見の共有をすれば、国際的に強調して研究、開発、実証のための努力を進めるメリットはより大きくなっていく。共有することが有効な知見は、異なるアプリケーションにおける水素技術

の試験結果のみならず、“最初の”プロジェクトは複雑化する傾向にあるプロジェクト管理、計画、大規模実証の実行における教訓も含まれる。

知見共有は、特に資本集約的である水素の産業応用において、リスクが高いと認識されることで民間投資が妨げられる場合に有効である。IEA の技術連携プログラム (TCP) は通常、主要なタスクの終了後に報告書を発行しており、Mission Innovation の Clean Hydrogen Mission などのイニシアティブによって、知見の共有がすでに奨励・支援されている。しかし、共有される情報の質は、参加国がいかに情報をオープンにするかにかかっている。利害関係者との議論から、各国の産業上の国益を損なうことなく、知見をより深く共有する余地は大きいと考えられる。

私たちは、政府が一連の知見共有原則に合意することを提案する。この原則は、最低限、すべての公的資金による実証プロジェクトから「教訓」報告書を作成し、技術的パフォーマンスだけでなくプロジェクト管理の問題にも言及することを義務付けるものである。また、現在最も一般的に行われているように、国の研究プログラムを国内の参加に限定するのではなく、他国の専門家や企業の参加に開放することによって、より深い知見の共有を可能にすることができる。

このような国際協力は、先進国に次いで水素技術を導入する可能性の高い新興国にとって、特に有益である。また、IEA TCPs や Mission Innovation に参加している国だけでなく、水素技術の開発や実証に積極的なすべての国に対して、知見の共有を可能な限り拡大することが、より早く世界的な導入を支援することになる。

技術開発とは別に、インフラ（特に再目的化された天然ガスインフラ）からの水素漏れの程度を計測し、水素の地球温暖化係数⁶をよりよく理解し、水素漏れ検知・修理 (LDAR) システムのベストプラクティスを開発するための国際協力も必要である。政府と企業は、効果的な漏洩・検知・修理システムができるだけ早く広く採用されるよう、国際的な水素イニシアティブの支援を受けながら、これらの取り組みに参加すべきである。IEA の TCP、Mission Innovation の Clean Hydrogen Mission、IRENA のグリーン水素に関する Collaborative Framework などの研究開発・知識集約型組織と、IPHE などの規格集約型組織の間で、より強力な連携と優先順位付けが必要である。強化された協力関係は、新たな優先的用途における水素利用の安全性と運用基準の開発に必要な研究ギャップを迅速に埋めるために、科学資源と専門家を動機づけるための規範と基準の開発のための研究に焦点を当てた共同タスクの作成を通じて達成することができる。

6 最近の研究によると、水素の 100 年間の地球温暖化係数は 11 ± 5 である。

推奨事項 3

政府と企業は、水素実証プロジェクトの数と地理的分布を飛躍的に増やし、これらが、海運、重工業、長期エネルギー貯蔵を含む、水素が高価値を持つ最終利用分野をそれぞれ適切にカバーすることを保証するために協力するべきである。政府と民間部門は、公的資金によるすべての実証プロジェクトから得ら

れた教訓を共有するという約束を含め、これらの実証プロジェクトの知見をより深く、より迅速に共有するための最低限の報告原則に合意すべきである。そうすることで、技術利用の障壁を克服し、複数の地域で並行して導入するペースを加速させることができる。

再生可能・低炭素水素製造への投資を迅速に拡大し、新興国での発展を支援

2030年までに再生可能・低炭素水素を安価でグローバルに利用できるようにするには、莫大な投資増が必要であり、2030年まで年間約600～1,300億ドルの投資が必要であると考えられる。現在、再生可能・低炭素水素とその派生品の製造、および必要なインフラへの投資は、年間10億米ドル未満である（IEA, 2021a）。

民間部門の投資は、適切な政策を講じることで動機づけすることができる。Hydrogen Councilによれば、水素投資に対する民間部門のコミットメントは急速に拡大しており、現在から2030年までに発表されたプロジェクトは、生産、インフラ、最終用途にわたって1,600億米ドル以上を占める（Hydrogen Council, 2021b）。しかし、これらのほとんどは、まだフィージビリティやプレフィージビリティの段階にあるプロジェクトに関連しており、計画中やより進んだ開発段階にあるプロジェクトに関連しているのは3分の1に過ぎない。これらを実際のプロジェクトに転換するには、投資の流れを急速に拡大し、強力な需要創出政策を実施するとともに、主要技術の実証を行う必要がある。

これは、上述したように、的を絞った政策と支援メカニズムの採用によって達成することができる。いくつかの政府は、差金決済の仕組みに似た新しい金融メカニズムに基づくイニシアティブを始めており、ドイツ政府のH2Global制度、米国エネルギー省の融資保証、あるいは開発の初期段階で産業ビジョンとバリューチェーン全体の範囲を持つプロジェクトを支援する欧州グリーン水素加速センター（DOE, 2022）などがある。成功したベストプラクティスの情報共有と促進は、その普及を促し、プロジェクトの展開を加速させ、投資家の信頼を高めることができる。

新興国や発展途上国は、一般的に資本コストが高く、ビジネス環境も厳しいため、投資を呼び込むことが難しい場合がある。このような国の多くは、雇用、輸出、クリーンエネルギーの源として水素経済の発展に関心を持っており、再生可能な水素が肥料などの製品の国内需要を満たすと同時に、高価格な輸入ガスから消費者を守る機会として関心が高まっている。途上国の中には、低コストでの再生可能・低炭素水素の製造に特に適した場所や資源を持つ国もある。

国際的な支援は、政策設計やプロジェクト準備のための技術的な支援や、“最初の”プロジェクトのための譲許的な資金提供によって、途上国が水素経済への資金をあてがうことを助けることができる。現在、このような支援はほとんど行われていないようである。MDBsは、各国政府の脱炭素化計画における水素の役割を示す戦略策定や、戦略実行のための政策設計をある程度支援しているが、再生可能・低炭素水素プロジェクトに対する資金援助は今のところ行っていない。

このギャップは解消される必要がある。金融支援はまた、総プロジェクトコストを最小化し、民間の資金

導入を動機づける上で最も効果的な政策や金融モデルを含む事項および水素バリューチェーンの様々な関係者間でのリスク共有のアプローチに力点を置いている技術支援プログラムにより補完されるべきである。

推奨事項 4

支援国およびMDBs は、途上国における再生可能・低炭素水素の製造、流通、最終消費プロジェクトにおける大規模な民間投資を動機づけることができ、十分に的を絞って触媒的に作用するために、譲許的資金のレベルを増加させることが望ましい。これは、資本コストが高いことにより遅れている実行可能なプロジェクトを特定し、投資に対する障害を評価するために、各国が融資機関と協力するプロセス、および政府の政策設計を支援するための技術支援プログラムによって支援されなければならない。これは、再生可能・低炭素水素プロジェクトの最初のうねりに必要な支援を提供し、より多くの国が必要な技術を展開できるようにするものである。

文 献

BNEF (Bloomberg New Energy Finance) (2021), New Energy Outlook 2021,

<https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>

BP (2022), Energy Outlook 2022, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/energy-outlook.html>

CEM (Clean Energy Ministerial) (2022), Global hydrogen targets,

<https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/05/aspirational-targetsbriefing-100522.pdf>

DNV (2022), Hydrogen Forecast to 2050, <https://www.dnv.com/focusareas/hydrogen/forecast-to-2050.html>

ETC (Energy Transitions Commission) (2021), Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy,

<https://www.energytransitions.org/publications/making-clean-hydrogen-possible/>

FuelCellsWorks (2021), Great Wall Motor's Subsidiary FTXT Delivers 100 Hydrogen Heavy Trucks Demonstration Project for Xiongan New Area, <https://fuelcellsworks.com/news/great-wall-motors-subsidiary-ftxts-delivers100-hydrogen-heavy-trucks-demonstration-project-for-xiongan-new-area/>

HYBRIT (2022), Fossil-free steel, <https://www.hybritdevelopment.se/en/> Hydrogen Council (2021a), Hydrogen for Net Zero, <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogenfor-net-zero/>

Hydrogen Council (2021b), Hydrogen Insights July 2021, <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2021/>

Iberdrola (2022), His Majesty the King inaugurates Iberdrola's green hydrogen plant in Puertollano, the largest for industrial use in Europe,

<https://www.iberdrola.com/salacomunicacion/noticias/detalle/su-majestad-el-rey-inaugura->

planta-hidrogeno-verdepuertollano

- IEA (International Energy Agency) (2022), Global Hydrogen Review 2022, (forthcoming).
- IEA (2021a), Global Hydrogen Review 2021, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogenreview-2021>
- IEA (2021b), Net Zero by 2050, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, <https://www.iea.org/reports/energytechnology-perspectives-2020>
- IMO (International Maritime Organization) (2014), Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts on Marine Life, <https://cetsound.noaa.gov/Assets/cetsound/documents/MEPC.1-Circ%20883%20Noise%20Guidelines%20April%202014.pdf>
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2022a), Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor, <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-TransformationHydrogen>
- IRENA (2022b), World Energy Transitions Outlook 2022, <https://irena.org/publications/2022/mar/world-energy-transitions-outlook-2022>
- IRENA (2022c), Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5° C Climate Goal: Green Hydrogen Cost and Potential, <https://www.irena.org/publications/2022/May/Global-hydrogentrade-Cost>
- IRENA (2022d), Innovation Outlook: Renewable Ammonia, <https://www.irena.org/publications/2022/May/Innovation-Outlook-Renewable-Ammonia>
- IRENA (2020), Green hydrogen cost reduction, <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>
- IVECO (Industrial Vehicles Corporation) (2020), H2Accelerate – new collaboration for zero emission hydrogen trucking at mass-market scale, <https://www.iveco.com/en-us/pressroom/release/Documents/2020/H2Accelerate.pdf>
- Truckinginfo (2021), Hyundai to Deploy Hydrogen-Fuel-Cell Trucks in California, <https://www.truckinginfo.com/10148044/hyundai-to-deploy-hydrogen-fuel-cell-trucks-incalifornia>
- United States Department of Energy (2022), DoE Announces First Loan Guarantee for a Clean Energy Project in Nearly a Decade, <https://www.energy.gov/articles/doeannounces-first-loan-guarantee-clean-energy-project-nearly-decade>
- Wärtsilä (2021), Wärtsilä launches major test programme towards carbon-free solutions with hydrogen and ammonia, <https://www.wartsila.com/media/news/14-07-2021-wartsilalaunches-major-test-programme-towards-carbon-free-solutions-with-hydrogen-andammonia-2953362>
- Warwick, N., P. Griffiths, J. Keeble, A. Archibald, J. Pyle (2022), Atmospheric implications of increased hydrogen use, <https://www.gov.uk/government/publications/atmosphericimplications-of-increased-hydrogen-use>

添付資料

有効条件	2030年までの経路	追跡（2022年7月）
<p>長期ビジョンと行動計画</p>	<p>2020年代初めまでに、各国政府は、既存の産業用途における再生可能・低炭素水素の取り込みを促進するための支援政策枠組みを導入すべき。これには、高コストに対処するための政策手段、炭素漏洩を防ぐために貿易が行われる商品（アンモニアなど）に対して公平な競争環境を作ること、分野別割当の利用を含むこれらのアプリケーションの脱炭素化の明確なタイムラインを設定することなどが含まれる。また、各国は、需要主導型政策の早期実施で得られた教訓を共有し、横断的な政策設計に役立てるための国際的なプラットフォームを持つべき。先進諸国は、共通インフラに対する初期需要や規模の経済を惹起するような、様々な条件を備えた水素バレーを特定。同時に、民間分野は、再生可能・低炭素水素（誘導体）の需要を促進するゼロエミッションに近い材料や燃料の目標を設定する必要あり。</p> <p>2020年代半ばまでに、各国政府は、鉄鋼、国際海運、航空、長期貯蔵などの主要用途において、再生可能・低炭素水素の取り込みを促進するための支援政策枠組みを整備することが必要。これには、水素の経路が新しいため、これらの用途では排出量の増分削減だけでなく、燃料転換を促進する政策を用いることが含まれる。10年後までには、すべての政府が、新しい分野での需要が再生可能で低炭素の水素だけで満たされるように、規制の枠組みを整備する必要あり。すべての先進国は、既存の産業用途のための化石燃料による水素生産を段階的に停止する戦略を定めている。ミッション・イノベーションが掲げる「クリーン水素ミッション」を達成するために、世界中で少なくとも100の大規模な水素バレーを実現するための努力が必要。</p>	<p>17か国プラスEUは、生産および利用の目標を含む水素戦略を持っている。</p>
<p>需要の創出と管理</p>	<p>2020年代初めまでに、すべての先進国および主要新興国は、長期的な脱炭素化計画において水素が役割を果たせるかどうかを評価し、それに応じて水素戦略を定義し、エネルギーシステムの脱炭素化のための包括的な戦略の中に統合すべき。これらの戦略には、2030年までに完全に実施可能な短期アクションプランと、進捗状況を確認するためのマイルストーンが必要。また、これらの戦略には、その策定と実施の過程で得られた教訓を新興経済圏と共有する計画も盛り込まれるべき。これにより、すべての経済が2030年までにエネルギーシステムにおける水素の役割に関するビジョンを策定し、実施計画を採択することが促進される。政府は、再生可能・低炭素水素を脱炭素化の手段として採用する方法について、独自のビジョンを策定する必要がある民間分野の対応によって、行動を補完する必要あり。</p>	<p>発表されているコミットメントおよび目標は水素需要300万トンのカバー</p>
<p>金融および投資</p>	<p>先進国は、民間分野が再生可能・低炭素水素プロジェクトに投資する際のリスク回避を支援する政策、規制枠組み、新たな融資メカニズムを2020年代初頭に導入する必要あり。また、投資誘致に効果的なベストプラクティスを共有し、促進するための協力プラットフォームを構築する必要がある。2020年代半ばまでに、政府及び民間部門は、再生可能・低炭素水素への年間投資額を500億ドル以上に拡大すべきである。先進国は、新興国における再生可能・低炭素水素プロジェクトに対して、国際金融を利用できるようにすべき。金融機関は、水素の様々なビジネスモデルに関連する緩和策やリスクをとるべき。</p> <p>10年後までには、電解や送電といったバリューチェーンの最も伝統的な部分のリスク認識は、化学や電力セクターの同等のプロジェクトと同等の資本プレミアムのコストで競争できるほど低くなっているはず。現段階では、最も進んだアプリケーション（アンモニア生産など）は、主に公的資本に頼っていたものが、民間資本に移行しつつある。</p>	<p>電解槽の総投資は2021年に2億ドルに到達</p>

有効条件	2030年までの経路	追跡（2022年7月）
研究イノベーション	<p>先進国政府は、水素及びその派生燃料の最終利用技術の規模での実証に関連する投資リスクを軽減するための資金及び実施に関する決定を可能な限り早期に行うべき。各国における公的な水素研究開発アジェンダは、相乗効果と調整利益を最大化し、他の効率的な低炭素技術に代替ができないために優先されるべき水素とその派生燃料の用途をターゲットにして、調整されるべき。2020年代半ばまでに、変動する再生可能エネルギーを利用したアンモニアやメタノールの製造、あるいはアンモニアやメタノールを利用した船舶用エンジンなどの技術が実証され、商業化の準備が整っている必要あり。2030年までには、鉄鋼生産用のDRI（鉄の直接還元）における100%水素還元と液体水素船舶の利用が本格的な商業規模に達するべき。さらに、液体水素の貯蔵と使用のための安全プロトコル、材料の互換性、または漏れ検知に関連する研究ギャップは、厳格な基準と規制の開発に必要な証拠を構築するために、できるだけ早く埋められなければならない。特に新興国での展開を促進・加速するため、公的資金によるプロジェクトについては、知見の移転を保証すべき。</p>	<p>主要技術のTRL <small>（訳者注）TRL：技術成熟度</small> アルカリ電解-TRL 9 PEM電解-TRL 9 固体酸化物電解-TRL 7 AEM電解-TRL 4 CCUSによる蒸気メタン改質-TRL 8 CCUSによるオートサーマル改質-TRL 8 部分酸化-TRL 7 メタン熱分解-TRL 6 その他の技術（インフラや水素の最終用途など）は近日発表の「グローバル水素レビュー 2022」を参照</p>
市場の仕組み	<p>2020年代半ばまでに、長期的な排出削減政策の枠組みが整備され、新たな再生可能・低炭素水素製造能力の確実性を提供。Contracts for difference（訳者注：変動する卸売価格からの直接保護。再生可能エネルギーへの投資を奨励し、電力価格が高い時には、消費者をコストの増加から保護するもの。炭素差損益契約。）や調達などの初期の需要サイドの対策に加え、大規模市場でのカーボンプライシングや、高排出ガス水素の製造を制限する排出ガス性能基準も含まれるべき。</p>	
基準及び規制	<p>すべての主たる水素製造の経路において世界調和されたGHG排出量計算法を早急に合意し、10年後には水素の輸送と使用にも拡大されるべき。各国は、水素漏洩測定技術や漏洩検出・修復（LDAR）のベストプラクティスを開発し、大規模試験にむけ早急に協力すべき。政府および関連機関は、水素漏洩の研究およびLDARのベストプラクティスに関する情報共有に定期的に参加する必要あり。2030年までに、漏洩の測定、検出、修理システムが広く採用されるべき。2020年代半ばまでに、国や管轄区域を越えた相互運用性を保証する世界調和された規格とガイドラインが存在（すなわち、船舶はすべての寄港地で同じハードウェアを使って燃料補給ができる必要がある）。特に、港湾における水素及び水素ベースの燃料の貯蔵とバンカリング、並びに船舶における水素及び水素ベースの燃料の船内貯蔵のための世界的に調和された安全プロトコル、ガイドライン及び規制が存在。さらに、製鉄用の鉄の直接還元や大型トラック輸送における水素の利用についても、世界的に合意された安全基準と運用基準が存在。</p>	
サプライチェーンおよびインフラ	<p>2020年代初頭までに、世界の大きな港湾は、ネットゼロ目標に沿った規模で水素（派生物）インフラを整備。既存天然ガスネットワークを持つ国は、水素の再利用の適性、技術経済性、転換のリスク（水素漏洩含む）を評価、適する場合、転換ロードマップを策定。世界の様々なタイプの貯留槽の貯蔵容量、貯蔵ニーズをよく理解。2020年代半ばまでに、コスト回収、運用、アクセス、水素ネットワークの計画など、規制に関する明確なガイドラインが存在。主要経済国は、長いリードタイムに対応するために必要な水素インフラの資金調達と建設を開始、後段階への準備も万全。世界中の主要港湾は、水素の派生物を扱う準備を完了し、コスト削減のため水素への再利用を最大化しつつ化石燃料インフラ停止の計画を持つ。電解槽と燃料電池は、多様で強固なサプライチェーンにより世界各地で製造。プロジェクトのパイプラインは急速に拡大しており、今後10年間で電解槽は約50~100GW、燃料電池は約270GWに達するが（この数字は事業決定により常に変化）、開発中のプロジェクトのうち最終投資決定に達したものはごく一部（IRENA, 2020；IEA, 2021a）。10年後、主要国は主要水素クラスターを結ぶ水素パイプラインを建設。（IRENA, 2020; IEA, 2021a）</p>	<p>水素（派生物）の受け入れが可能なターミナルを持つ港とその内陸での流通がゼロ</p> <p>100万トンH₂/年を超える水素フローを扱うハブがゼロ</p>

有効条件	2030年までの経路	追跡（2022年7月）
国際市場及び貿易	<p>2020年代初めまでに、各輸送経路（海運、パイプライン、水素輸送船）を魅力的にする条件と、そのコストを削減するために必要なステップを定義。港湾の地域連合が設立され、港湾間の知見交換のための国際的なプラットフォームがある。輸入国と輸出国は、水素貿易を促進し、コストを削減できる広範で信頼できる港湾ネットワーク開発を可能にするため、貿易インフラの開発、規模、特性（水素キャリア）の時間軸を合わせるべき。2020年代半ばまでに、生産プロセスによって差別化された地域別価格ベンチマークを確立。低炭素水素とアンモニアの最初の長期契約が締結され、輸出入ターミナルの建設が開始。貿易を自国のシステムに関連する部分として認識したすべての国は、水素戦略の中で水素（派生物）の輸出入について明確な目標を設定。これまで、規格、輸入関税、税、さらに広くはWTOの枠組みにおける規則が水素に対応、貿易の早期立ち上げを促進するよう適応。10年後には、主要な水素ハブに複数供給者と利用者が存在し、将来の投資の指針となる地域間の価格ベンチマークが確立され、新規契約作成のための標準的なガイダンスが存在。長期契約を補完する水素のスポット市場（デリバティブ）が並存（新興）。規制の範囲と脱炭素化目標に一貫性があり、異なる市場の連携と市場間の水素取引が促進。</p>	<p>各国からの輸出入フローゼロ 長期供給契約締結ゼロ 現在最大のプロジェクトは、オーストラリアから日本へ年間最大300tのH₂を輸出できる水素エネルギーサプライチェーン実証プロジェクト</p>
知識・能力・スキル	<p>関心を持つすべての途上国（および途上国に焦点を当てたイニシアティブ）代表者が、世界の主要な水素およびエネルギー関連のイニシアティブに積極的に参加。2020年代半ばまでに、すべての国の教育制度が新しいエネルギーのベクトルを採用する際の課題に対応できる専門的労働力を養成するための計画（技術・大学の学位を含む）を策定。これら計画には、より先進的な国で開発された知識を共有し、遅れている国とのギャップを作らないようにするための国家間交流プログラムを含む。能力開発とトレーニングプログラムは、すべての人が利用でき、建設、機器製造、施設運営、規制要件を含む関連スキルセットをカバー。化石燃料を多用する分野からの移行を経験しているコミュニティや、歴史的に十分なサービスを受けていないコミュニティにおける能力開発と訓練プログラムに特に注意。2030年までに、水素バリューチェーンに関連した資格と経験のある専門家が豊富に存在。先進国、途上国を問わず、クリーン水素分野には質の高いキャリアが存在。建設プロジェクト、運用・保守、そして製造から最終使用までの水素サプライチェーンにおいて、持続可能な雇用が存在。2030年までに、各国間の知識格差が大幅に縮小し、政策、プロジェクトの実施、製造、規制の各分野で教訓を移転するためのプラットフォームが確立。</p>	