

■海外情報

★IEA グローバル水素レビュー《第2章 水素の需要（運輸）》
(IEA Global Hydrogen Review 2024)



出典： <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>

目 次

Executive summary	9 (翻訳: 配信済)
Recommendations	14 (翻訳: 配信済)
Global Hydrogen Review Summary Progress	16
Chapter 1. Introduction.....	17
Overview.....	17
The CEM Hydrogen Initiative	18
Chapter 2. Hydrogen demand.....	20
Highlights.....	20 (翻訳: 配信済)
Overview and outlook	21 (翻訳: 配信済)
Refining	28
Industry	32
Transport.....	37 (翻訳)
Buildings	53
Electricity generation	54
Chapter 3. Hydrogen production.....	59
Highlights.....	59
Overview and outlook	60
Electrolysis.....	66
Fossil fuels with CCUS.....	78
Comparison of different production routes	81
Emerging production routes	94
Hydrogen-based fuels and feedstock	99
Chapter 4. Trade and infrastructure	104
Highlights.....	104
Overview	105
Status and outlook of hydrogen trade	105
Status and outlook of hydrogen infrastructure	113
Chapter 5. Investment, finance and innovation	135
Highlights.....	135
Investment in the hydrogen sector.....	136

Innovation in hydrogen technologies.....	150
Chapter 6. Policies	163
Highlights	163
Overview	164
Strategies and targets	166
Demand creation.....	172
Mitigation of investment risks.....	178
Promotion of RD&D, innovation and knowledge-sharing.....	190
Certification, standards, regulations	194
Chapter 7. GHG emissions of hydrogen and its derivatives.....	203
Highlights	203
Overview	204
System boundaries and scope of emissions	206
Emissions intensities of hydrogen production routes	208
Emissions intensities of ammonia production routes	215
Emissions intensities of (re)conversion and shipping of hydrogen carriers	216
Emissions intensity of carbon-containing hydrogen-based fuels.....	223
Effect of temporal correlation on GHG emissions	230
Chapter 8. Latin America in focus	234
Highlights	234
Unlocking the potential of low-emissions hydrogen in Latin America and the Caribbean	235
Overview	237
Low-emissions hydrogen production	242
Low-emissions hydrogen demand.....	247
Moving towards implementation	269
Annex	287
Explanatory notes	287
Abbreviations and acronyms	289

第2章 水素の需要

石油精製（割愛）

産業（割愛）

運輸

自動車交通

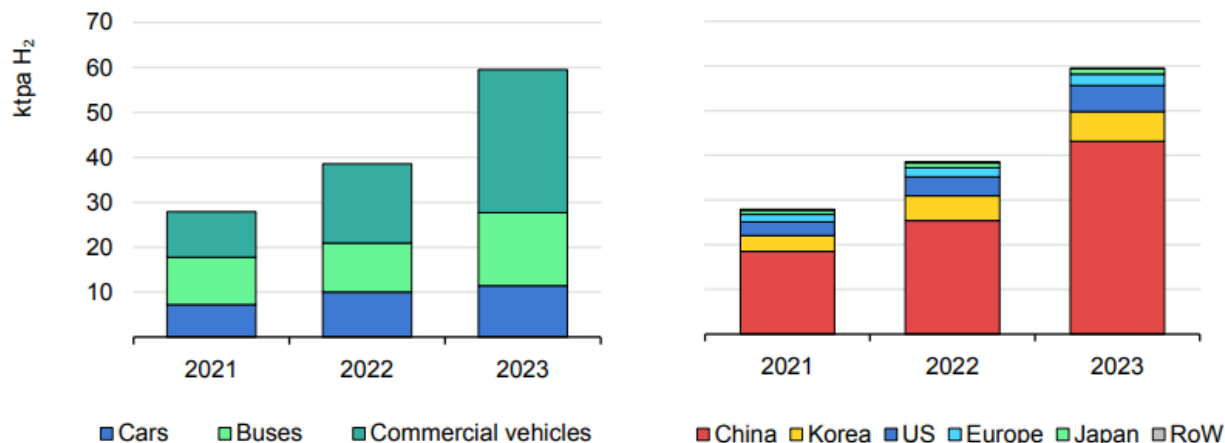
自動車交通の脱炭素化⁹の手段としての水素利用は拡大を続けており、特に中国における大型燃料電池トラックとバスの増加により、2023年には2022年（約40%）¹⁰よりも急速に増加した（約55%）。それにもかかわらず、自動車交通における水素需要は、2023年にはわずか60千トンにしかならない（世界需要の0.1%未満）。

⁹ 脱炭素化のためには、使用される水素は低炭素水素でなければならないが、今日、輸送における水素需要は、CO2削減ができない化石燃料を含むさまざまな供給源に対応している。

¹⁰ グローバル水素レビュー 2023 で示された対前年比水素需要増加率（45%）の見積もりは、平均燃費と走行距離の過去の値を考慮して修正した。

図 2.8 自動車交通における水素消費量（自動車用途別および地域別）、2021-2023 年

Figure 2.8 Hydrogen consumption in road transport by vehicle segment and region, 2021-2023



IEA. CC BY 4.0.

Notes: RoW = Rest of World; US = United States. Commercial vehicles include light commercial vehicles and medium- and heavy-duty trucks. Assumptions on annual mileage and fuel economy come from the IEA [Global Energy and Climate Model](#).

Hydrogen use in road transport increased by around 55% in 2023, with heavy-duty vehicles accounting for almost 85% of this growth.

注: RoW = その他世界各国; US = 米国。商用車には小型商用車と中型・大型トラックを含む。年間走行距離と燃費の前提は IEA Global Energy and Climate Model による。

自動車交通における水素利用は 2023 年に約 55%増加し、大型車がその 85%近くを占める。

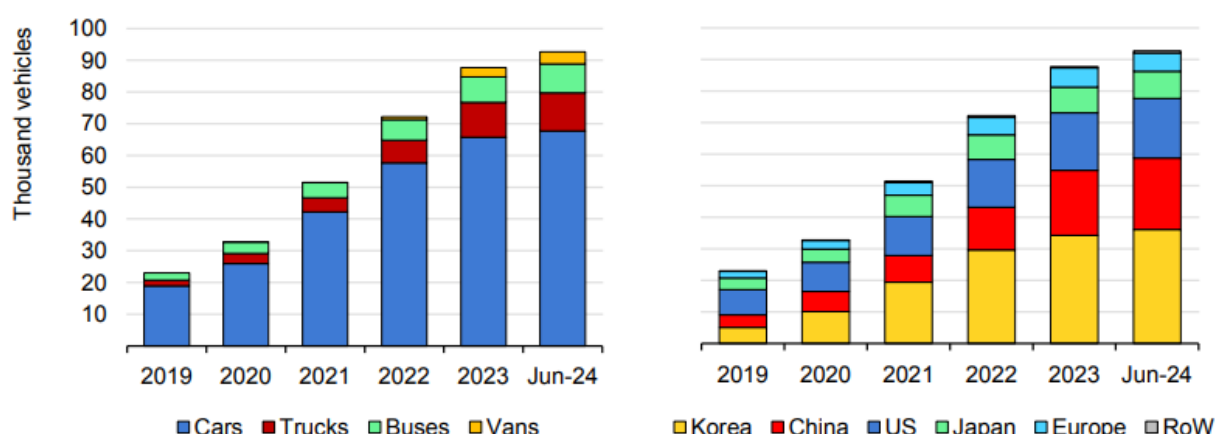
中国では、燃料電池電気自動車（FCEV）の導入は、走行距離が比較的長い大型車に集中しており、2023 年の自動車交通の水素消費量は、米国のほぼ 2 倍、欧州の 3 倍以上の速さで増加した。韓国と日本では、小型車分野が FCEV のターゲットであり続けているが、この分野の成長は鈍化しており、2023 年の自動車交通における水素使用量は合計で 7 千トン 程度にしか達していない。

FCEV（乗用車）の保有台数の伸びはこの 1 年で大幅に鈍化し、2022 年の 35% 超から 2023 年には 15% 弱に低下し、販売不振は 2024 年前半まで続く。これとは対照的に、FCEV のバスとトラックの販売は好調で、2022 年から 2023 年にかけてそれぞれ 25% と 50% 以上保有台数が増加した。2024 年 6 月末現在、すべての自動車用 FCEV の総保有台数は約 93,000 台である¹¹。

¹¹ これに対し、『Global Electric Vehicle Outlook 2024』に記載されているように、2023 年末時点のバッテリー電気自動車とプラグインハイブリッド電気自動車（二輪車と三輪車を除く）の台数は 4,000 万台を超えている。

Figure 2.9 用途別、地域別の燃料電池電気自動車の保有台数, 2019-2024 年

Figure 2.9 Fuel cell electric vehicle stock by segment and region, 2019-2024



IEA. CC BY 4.0.

Notes: RoW = Rest of World; US = United States. Commercial vehicles include light commercial vehicles (LCV), medium freight trucks and heavy freight trucks. Includes data until June 2024.

Sources: IEA analysis based on data from Advanced Fuel Cells Technology Collaboration Programme; [Hydrogen Fuel Cell Partnership](#); [Korea, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport](#); [International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy](#); and Clean Energy Ministerial Hydrogen Initiative country surveys.

Growth in FCEVs was strongest in the truck segment for the second year in a row.

注: RoW = その他世界各国; US = 米国。商用車には小型商用車（LCV）と中型・大型トラックを含む（2024 年 6 月までのデータ）。

出典: 先進燃料電池技術連携プログラム、水素燃料電池パートナーシップ、韓国国土交通省、経済における水素と燃料電池のための国際パートナーシップ、クリーンエネルギー大臣会合水素イニシアティブ国別調査データによる IEA 分析。

FCEV の伸びは、2 年連続でトラック分野が最も強かった。

乗用車およびバン

韓国、米国¹²、日本は引き続き燃料電池車の普及をリードしており、世界の保有台数のそれぞれ 50%以上、25%以上、10%以上を占めている。しかし、販売はすべての地域で減速しており、2022 年から 2023 年にかけての世界の保有台数の増加率はわずか 15%¹³、2023 年末から 2024 年 6 月までの増加率は 5%未満である。

¹² 米国における燃料電池自動車はカリフォルニア州に集中している。

¹³ 比較として、2022～2023 年の EV（乗用車およびバン）の保有台数は約 50%増加した。

この減速の中、ホンダはベストセラー CR-V の燃料電池バージョンをカリフォルニアで発売し、トヨタ・ミライやヒュンダイ・ネクソと競合している。中国では乗用車販売が伸びており、マクサス Euniq 7 は 500 台以上、Hongqi H5 は 150 台以上になった。BMW は FCEV のプロトタイプを日本、アメリカ、ヨーロッパで試験的に導入しており 2028 年には FCEV の量産開始予定である。タクシー事業でも、EV と比較して構造距離が長く燃料充填時間が短いことから、興味あるケースが続いている。フランスの FCEV タクシー事業者である Hype 社は、事業をブリュッセルに拡大している。これらの利点は宅配事業の脱炭素化にもつながる可能性が高いことである。バン型自動車分野に対して自動車メーカーの関心も見られ、Stellantis 社は欧州で燃料電池バンを生産するというコミットメントを再確認し、スウェーデンは現在、燃料電池バンに対する補助金を提供している。中国の燃料電池バンの数は、燃料電池乗用車の 4 倍以上であり、世界全体の 90%以上を占めている。とはいえ、2023 年には、燃料電池バンの販売台数はプラグイン・ハイブリッド車、バッテリー電気自動車、燃料電池バンの合計台数の 0.5%未満、保有台数はわずか 0.2%にすぎない。

トラック

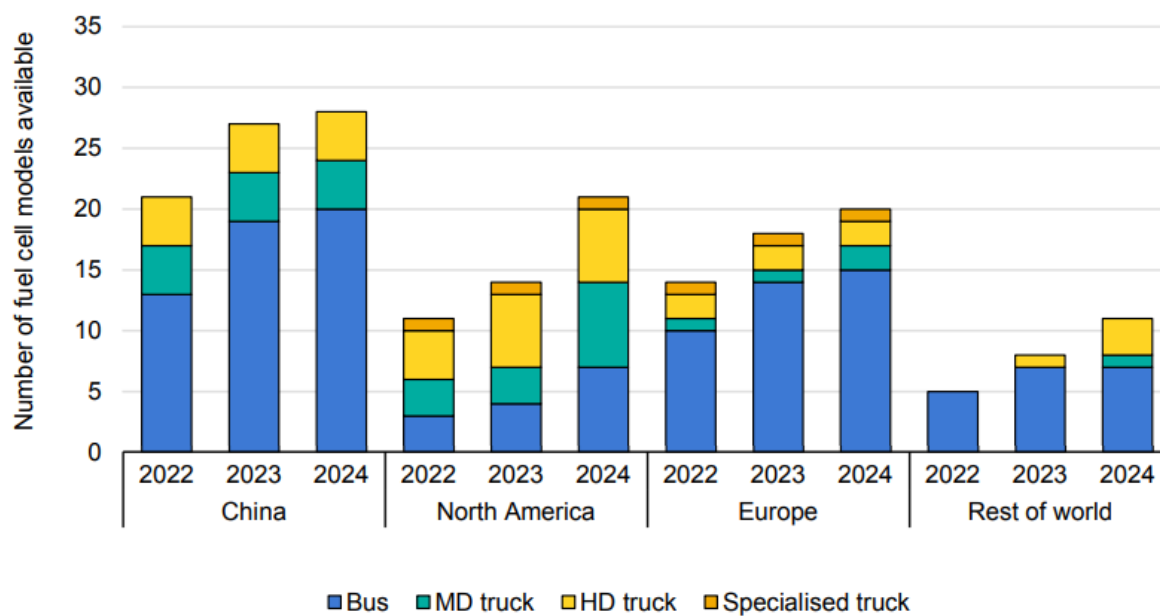
トラックは FCEV の分野で最も急成長しており、2023 年には保有台数は 50%以上増加し、バスの 2 倍以上、乗用車の 3 倍の速さで増加している。2024 年 6 月現在、世界の保有台数は 12,000 台以上だが、2022 年同様、その約 95%は中国にある。ベースが低いとはいえ、米国と欧州で大幅な成長が見られている。欧州では 2022 年末までに約 135 台の燃料電池トラックが走っていたが、2024 年 6 月時点では約 350 台にまで増えている。米国では、同期間に燃料電池トラックはわずか 10 台から約 170 台に増加した。そのため、世界の FCEV 運送事業におけるトラックのシェアは、2021 年の 9%未満から、2024 年 6 月時点ではほぼ 13%に上昇している。

英国、ニュージーランド、サウジアラビアなど、世界各地で技術を実証し、さまざまな実用ケースにおける性能データを収集するための商業試験が行われている。例えば、昨年正式に市場に参入した Nikola 社の燃料電池トラックは、2023 年に 35 台が納車される。2025 年にはさらに 100 台のトラックが発注され、ロサンゼルス港で拡大する水素ハブに貢献する。また、約 2 年の試験の結果、EV トラックでは不十分と判断した運送業者から、さらに 50 台のトラックが発注された。このような前向きなニュースにもかかわらず、Nikola 社は 2023 年に約 10 億米ドルの損失を計上するなど、依然としてかなりの逆風に直面している。米国のもうひとつの燃料電池トラックメーカー、Hyzon 社は、2 億 7,500 万米ドル以上の損失を計上したこともあり、欧州とオーストラリアでの事

業を停止した。この決定は、グラスゴー市議会（英国）などの購入がキャンセルされ、需要が予想を下回ったことに少なくとも一因がある。

図 2.10 メーカー（本社）別、タイプ別、発売時期別の燃料電池自動車モデル, 2022-2024 年

Figure 2.10 Fuel cell electric vehicle models by original equipment manufacturer headquarters, type of vehicle, and release date, 2022-2024



IEA. CC BY 4.0.

Notes: MD = medium-duty; HD = heavy-duty. This figure is based on a continuously updated inventory and may not be fully comprehensive due to new model announcements and small manufacturers not yet captured in the database. Values for 2022 include models released between 2016 and 2022 inclusive. The database contains coaches, school buses, shuttle buses, and transit buses, categorised here as "Bus", which refers to those with more than 25 seats. "MD truck" includes medium-duty (MD) trucks, MD step vans, and cargo vans with a gross vehicle weight (GVW) of greater than 3.5 t but less than 15 t. "HD truck" includes all freight trucks with a GVW of greater than 15 t. "Specialised truck" includes garbage trucks, concrete mixers, and other specialised mobile commercial trucks. Buses with 25 seats or fewer and light commercial vehicles, which have a GVW of less than 3.5 t, are excluded from this analysis. Vehicles of the same model that appear more than once in the database, but with small variations in specifications, such as power, payload or seating, are counted as one model.

Source: IEA analysis based on the [Global Drive to Zero ZETI](#) tool database.

North American producers offer the widest range of trucks, while Chinese manufacturers lead in the bus sector, with Europe lagging behind in terms of heavy-duty fuel cell vehicle offering.

注: MD = 中型; HD = 大型.

この数値は、継続的に更新される保有台数情報に基づいているが、新モデルの発表や小規模メーカーの情報がまだデータベースに反映されていないため、完全には網羅されていない可能性がある。2022 年の数値は、2016 年から 2022 年の間に発売されたモデルを含む。このデータベースには、コーチ、スクールバス、シャトルバス、トランジットバスが含まれ、ここでは 25 席以上のものを「バス」として分類している。「MD トラック」には、車両総重量 3.5t 以上 15t 未満の中型 (MD) トラック、MD ステップバン、カーゴバン、「HD トラック」には、車両総重量 15t 以上のすべての貨物トラック、「特殊トラック」には、ゴミ収集車、コンクリートミキサー、その他の特殊な移動商用トラックを含む。座席数 25 以下のバスと GVW3.5t 未満の小型商用車は、この分析から除外されている。データベースに複数回登場する同一モデルの車両であっても、出力、積載量、座席数などの仕様に若干の差異がある場合は、1 モデルとしてカウントしている。

出典: Global Drive to Zero ZETI ツールデータベースに基づく IEA の分析

北米メーカーは最も幅広いモデルのトラックを提供、中国メーカーはバス部門でリード

燃料電池がレンジエクステンダーとして機能する水素－電気ハイブリッドシステム燃料電池トラックの技術革新はまだ続けられている。これにより、パワートレイン技術はより多くの運行パターンに対応できるようになる。他にも、Daimler 社と Linde 社は、航続距離 1,000km 以上¹⁴を目指した新しい液化水素充填プロセスを共同開発し、現在ドイツで展開している。両社はまた、この技術の商業利用を可能にするため、液体燃料補給に関する共通の燃料補給規格の確立を支援することを目指している。トラックへの水素燃焼エンジンの使用は、従来のディーゼル・トラックに比べて排出ガスが削減される可能性もある。MAN 社は 2025 年に、Volvo Trucks 社は 2026 年に、このようなトラックを発売する予定である。燃料電池は、高コスト、厳しい運転条件下での耐久性の低さ¹⁵、熟練技術者や予備部品の入手可能性に関する不確実性といった課題に直面し続けている。

¹⁴ Global Drive to Zero ZETI ツールデータベースによると大型燃料電池トラック平均航続距離は約 600km である。

¹⁵ 内燃機関は、現在利用可能な燃料電池パワートレインよりも、埃などの環境汚染物質に対する耐性が高く、燃料純度が低くても運転でき、運行時の振動にも耐えられる。

特に短期～中期的に燃料電池トラックの普及を拡大する上で、種々の自動車モデルの入手可能性は重要な要素であり、顧客のニーズに合った選択肢とオプションを提供するため、自動車モデルの種類は世界中で拡大している（図 2.10）。しかし、トラックの販売台数は中国が最も多いが、利用可能なモデル数は北米よりも少ないことを考えると、モデルの利用可能性だけでなく、政策が普及に影響を与えていることも明らかである。欧州では、北米や中国よりも利用可能なモデル数が少ないが、Symbio（2024 年後半予定）のように新たな追加モデルが発表されている。ホンダといすゞ、Quantron とフォードの提携もまた、今後数年のうちに利用可能なモデル数が増えたと予想される。ディーゼルエンジンを燃料電池パワートレインに置き換える既存トラックの改造も、車両の利用可能性を高める可能性がある。改造を専門とする H2X Global 社は、2024 年に 3.5t の小型トラックと 16～44t のトラックの両方を開発すると発表した。

バス

燃料電池バスの保有台数は、2023 年には 2022 年比で 25% 近く増加した。中国は、2023 年に増加した燃料電池バス 1,500 台以上のうちの 75% 以上が導入され、再び新規導入台数の大半を占め、2024 年 6 月時点で 9,100 台以上の燃料電池バスの世界保有台数と相当のシェアを占めた。保有台数の前年比増加率では、欧州と日本は中国と同程度の 20%～25% であり、韓国は 130% である。

トラックと同様、燃料電池バスも、多くの場合、EV モデルと並行して試験が続けられている。バルセロナ（スペイン）、ボローニャ（イタリア）、コッتبス、オーバーベルク（ドイツ）、パリ（フランス）、ワウブリッチ（ポーランド）など、欧州の多くの都市が燃料電池バスを導入または発注している。フランクフルトやケルンなど、すでに燃料電池バスを運行しているドイツのいくつかの都市は、車両台数の増加を選択した。デュイスブルク市（ドイツ）では、以前はバッテリー式 EV バスを採用する予定だったが、コストが決め手となり、燃料電池バスが採用された。韓国の天安市は、SK E&S とのパートナーシップにより、2027 年までに 350 台の燃料電池バスと必要な燃料供給インフラを整備し、昨年発表された仁川市での車両を拡大する予定である。いずれも、輸送用

に副生水素を液化する SK E&S のプラントから供給される。しかし、信頼性やコストの問題を理由に、試験運用を終了したり、既存のフリートから撤退したりする都市もいくつかある。フランスのモンペリエやポー、オーストリアのカリンシア、ドイツのヴィースバーデンなどがその例である。

燃料電池バスの販売増加の鍵は、十分な利用利便性である。ヨーロッパでは、Solaris 社や Wrightbus 社といった企業が生産を拡大している。韓国では、現代自動車が年間生産能力を 500 台から 3,000 台に拡大し、普及の歩調に合わせている。北米では、NFI グループが新たな需要を取り込むため、燃料電池の供給契約を結んでいる。しかし、大規模な国内市場とオーストラリアなど成長する海外市場の両方に供給するため、比較的少数の中国の自動車メーカーが、圧倒的に幅広いモデル（およびそのバリエーション）を生産している。フランスで 50 台のコーチに同社の技術を導入している Green Corp 社が実証しているように、水素の既存車両への後付けも果たすべき役割がある。最後に、バス用水素レンジエクステンダーの継続的な導入は、現在バッテリーEV バスに適さないとされている路線の脱炭素化を可能にし、二つの技術を組み合わせる可能性を示している。

水素充填ステーション

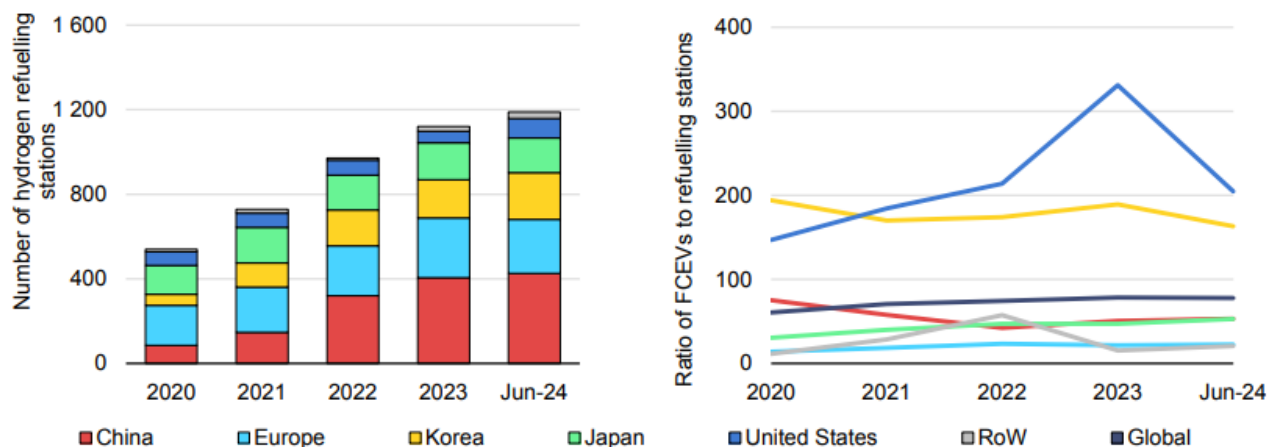
水素ステーション（HRS）¹⁶は現在、世界で 1,200 カ所近くが稼働しているが、この 1 年間は、新規開設された HRS の数が世界各地でのステーション閉鎖によって一部相殺され（ボックス 2.3 参照）、また、古い HRS が改修または更新されたため、全体ではわずかな増加にとどまった（図 2.11）。2022 年と同様、2023 年のステーション数は中国が 400 以上と最も多く、ヨーロッパが 280、韓国が 180、日本が 170 以上と続く。このパターンは 2022 年から現在までの保有数の増加にも反映されており、中国が 100 以上のステーションを新たに追加し、次いでヨーロッパが 45 以上、韓国が 60 近く追加している。過去数年間、日本では稼働中の HRS のストックが比較的一定に保たれており、顧客の期待に応え続けるため、老朽化した HRS の保守に補助金を出すようになっている。韓国は、国内の水素コストの上昇に対応するため、既存のステーション所有者に多額の補助金を提供している。米国では、2024 年 6 月には約 90 カ所の HRS があったが、2023 年には 55 カ所まで減少し、多くのステーションが閉鎖または一時的に使用できなくなっている。

¹⁶ 2024 年 6 月現在。これは、自動車用 HRS のみであり、フォークリフトのような非自動車用途の給油ポイントは含まない。2024 年の HRS の保有数と増加数については、閉鎖の多さと、様々な情報源の数値発表時期の違いにより、例年よりも不確実性が高い。

調査対象地域の大部分（図 2.11 参照）では、HRS に対する FCEV の比率は近年安定している。特に韓国は、2022 年に約 50 基の HRS を建設することで、HRS あたり 200 台以下の比率を維持している。米国は特筆すべき例外であり、FCEV が集中しているカリフォルニア州で多くのステーションが閉鎖され、2023 年には顧客にとって大きな問題となった。

図 2.11 地域ごとステーションに対する FCEV の比ごとの水素充填ステーション, 2020-2024

Figure 2.11 Hydrogen refuelling stations by region and ratio of fuel cell electric vehicles to refuelling stations, 2020-2024



IEA. CC BY 4.0.

Notes: FCEV = fuel cell electric vehicle; RoW = rest of world. The number of hydrogen refuelling stations refers to both public (retail) and private stations. 2024 includes data until June 2024.

Sources: IEA analysis based on data from [Advanced Fuel Cells Technology Collaboration Programme](#), [H2stations.org](#) by [LBST](#), International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy and Clean Energy Ministerial Hydrogen Initiative country surveys.

Despite a number of station closures around the world, global stock of HRS increased in 2023, driven by growth in China and Europe.

注: FCEV = 燃料電池自動車; RoW = その他世界各国

水素ステーション数は、公共ステーションと民間ステーションの両方である。2024 年は 2024 年 6 月までのデータ。
出典: 先進燃料電池技術連携プログラム、LBST による H2stations.org、経済における水素と燃料電池のための国際パートナーシップおよびクリーンエネルギー大臣会合水素イニシアティブ国別調査データによる IEA 分析。

世界中で多くのステーションが閉鎖されたにもかかわらず、2023 年の HRS の世界保有数は、中国とヨーロッパの成長に牽引されて増加

日本や韓国と同様、ドイツも大型車（HDV）に対応するためのアップグレードなど、既存のステーションへの投資を進めている。これはより広い流れに沿ったもので、欧州の新設 HRS の 90%以上が HDV への給油に対応しており、新設 HRS の 70%が乗用車への充填にしか対応していなかった 2019 年とは対照的である。欧州で HDV に充填できるステーションのシェアは、2019 年の 27%から 2023 年には 40%近くまで増加している¹⁷。米国も HDV への対応を進めており、カリフォルニア州にトラック専用 HRS を 3 カ所、バス専用 HRS を 4 カ所開設している。

¹⁷ ここでいう充填能力とは、大型車両に物理的に適合する能力、（一般的に HDV が使用するような）350 気圧のディスペンサーを持つこと、予想される大きな需要に対してより大きな水素貯蔵量を確保すること、あるいはこれらの要因の組み合わせである

中国以外では、今後数年間に 340 近い HRS の新設が計画されている。この中には、英国の Stellantis (Vauxhall) 社、オーストラリアのトヨタとヒュンダイの共同、アメリカの HYL A ブランド

による Nikola など、需要拡大を支援する OEM とステーション開発企業との提携によって提供されるステーションも含まれる。また、オーストラリア、カナダ、フランス、ニュージーランド、英国の企業からも、さらなる HRS の導入が発表されている。しかし、今後数年間で、圧倒的に多くのステーションが建設されるのは中国で、2025 年には 1,200 か所に達するという野心を持っている。これには、それぞれ 100HRS 以上を計画している 5 つの省・市が含まれ、導入の進展に基づき、以前に発表された計画の上方修正と下方修正の両方が行われる。

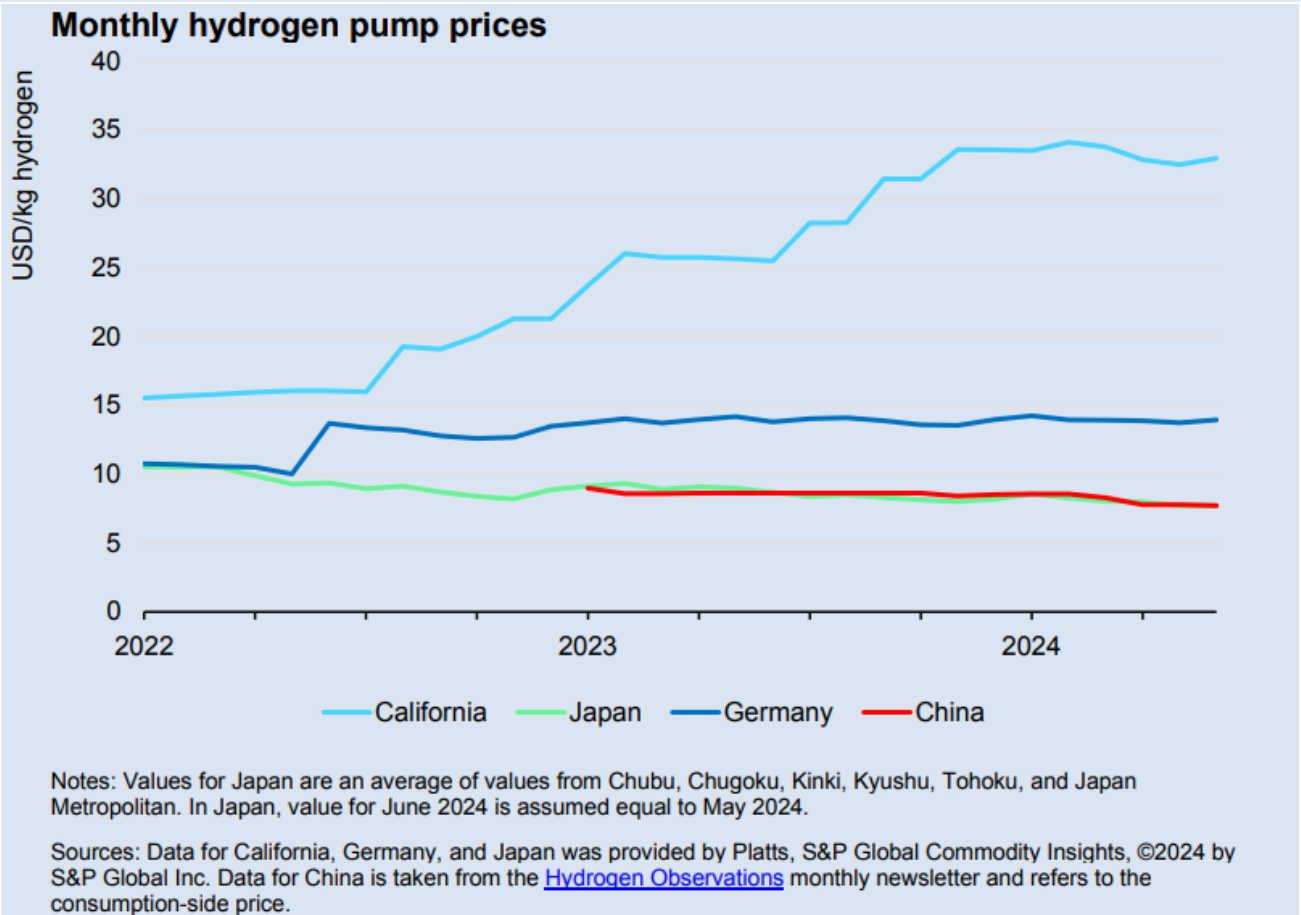
Box 2.3 この 1 年、欧州と北米の水素ステーションは苦境に立っている

去年は、HRS 導入の減速に関する発表が相次ぎ、多くの国で多くの既存スタンドが閉鎖された。Everfuel 社は 2023 年 9 月にデンマークのステーション閉鎖を発表し、シェルは 2022 年 10 月に英国のステーションを閉鎖した後、2024 年 2 月にカリフォルニアのステーションを閉鎖した。Everfuel 社は、デンマークの水素タクシー 100 台が水素充填を受けられなくなり、シェルは水素供給の問題を挙げているが、両社に共通しているのは、自動車から HDV セグメントへの再重点化である。比較的好調なバス部門でも、カナダのエドモントンのように需要不足のために HRS 計画が中止されたり、英国の Crawley タウンのように大幅な遅れが生じている。

業界が成長するのに苦労しているかもしれないもう一つの兆候は、水素充填事業の売却の多さである。2023 年 10 月、英国の ITM パワー社は合併事業である Motive Fuels 社を売却し、2024 年 7 月にはフランスの McPhy 社が HRS 事業の売却を決定した。2024 年 6 月には、ノルウェーを拠点とする Nel が HRS 事業を分離し、HDV 燃料補給に特化した別会社 Cavendish Hydrogen を設立した。これらの企業はいずれも、電解槽の中核事業に集中したいとの思いから、このような変更を行ったと述べている。このようなトレンドを形成しているのは、三つの主要な課題、すなわち需要の低下、信頼性の問題、水素価格の大幅な上昇である。

欧州では燃料電池乗用車の販売が伸び悩み、コストのかかるインフラの多くが未利用のままとなっている。また、カリフォルニア州では、販売台数が多いにもかかわらず、水素ステーションが頻繁に停止するため、消費者心理が悪化している。カリフォルニア州では、2021 年から 2023 年末までの間に充填所の水素小売り価格が 100% 以上上昇した。この問題はカリフォルニアで最も深刻だったが、ヨーロッパで起きている同様の問題を軽減するため、H2 Mobility 社は、変動価格制を導入した。変動価格制とは、水素の産地やステーションの規模、圧力レベルによって価格が変動する仕組みだ。これにより、同社の再生可能水素の販売価格（トラックとバスは約 10.3 米ドル/kg、自動車とバンは約 11.9 米ドル/kg）は、2023 年 10 月時点で標準価格より 25~30% 安くなった。

月間の充填所の水素小売り価格



注: 日本の値は、中部、中国、近畿、九州、東北、首都圏の平均値。日本では、2024年6月の値を2024年5月と同じと仮定。

出典: カリフォルニア、ドイツ、日本のデータは Platts, S&P Global Commodity Insights, ©2024 by S&P Global Inc. 中国のデータは月刊ニュースレター「Hydrogen Observations」から引用したもので、消費者サイドの価格を指す。

船 舶

水素ベースの燃料は、最近改訂された国際海事機関（IMO）の温室効果ガス戦略の目標達成に重要な役割を果たすと予想されており、これには2030年の国際海運燃料消費量の5～10%をゼロまたは「ゼロに近い」低炭素燃料が占めることが含まれている。これらの燃料のかなりの部分がバイオ燃料になると予想されるが、この需要をすべて水素ベースの燃料で満たした場合、水素換算で4～9.3百万トン/年（Mtpa H₂-eq）に相当する¹⁸。これらの目標が2027年に発効することを考えると、必要量の低炭素燃料を確保するために必要とされる生産量増を達成するのは難しいかもしれない。しかし、代替燃料対応船¹⁹の予約オーダーは増加しており、2024年9月現在、290隻を超えるメタノール燃料船、約30隻のアンモニア燃料船、約30隻の水素船²⁰が発注されている。メタノール燃料船の大半はコンテナ船で、アンモニア燃料船はばら積み船とタンカーが大半を占めている。水素を燃料とする船舶の予約オーダーは、タグボート、クルーズ船、フェリーなどの小型船舶が特徴である。

¹⁸ 2030 年の国際海運における燃料消費量を IEA 政策シナリオの 9,700PJ と仮定。下限範囲は、5%の目標を水素で直接達成するために必要な水素需要を表し、上限は、10%の目標を達成するためにメタノールを製造するために必要な水素需要を表す。

¹⁹ “Fuel-ready”とは、将来の代替燃料への転換を可能にする柔軟性と能力を有する船舶設計を指す。このような設計は将来の改造を容易にするためのものであり、“Fuel-ready”船は、新しい燃料システム設置を必要とする場合がある。

²⁰ 水素内燃機関と水素燃料電池の両方を含む。

現在、時価総額上位 10 社の海運会社は、それぞれ様々なレベルの CO2 削減目標を掲げている。さらに COP28 では、Green Hydrogen Catapult（再生可能水素の需要と供給を同時に拡大するため、他分野での機会を活用する非営利団体）が国連気候変動ハイレベル・チャンピオンと協力し、海運リーダーとの行動要請を取りまとめた。これには、2030 年までに再生可能水素由来の海運燃料を 1,100 万トンに増やすという拘束力のない約束が含まれている。

最も注目すべき例は、FuelEU 海事規制の採択であるが、この政策は 2030 年までの e フューエル²¹の使用を義務付けていないため、e フューエルの短期的需要への影響は不透明である。その代わりに、欧州理事会による規制は、2034 年までに海運における RFNBO の 2%というサブ目標の可能性を設定している²²。この目標を達成すると、その年に 90~105 千トン相当量の水素需要が発生することになる²³。EU 排出量取引制度に海運が組み込まれたことで、域内を発着地とする内航・国際航路の両方に低炭素燃料を導入するインセンティブも生まれる。

船舶の導入や水素ベース燃料の供給だけでなく、代替燃料バンカリングを支援する技術や規制の開発も重要である。²⁴

²¹ e フューエルは電気からの水素を使って製造され、e アンモニア、e メタノールなどがある。

²² FuelEU 海事規制は、船舶用燃料の CO2 排出強度を削減する目標を定めている。2%というサブ目標は、2031 年までに RFNBO が船舶の全エネルギー消費の 1%に達しない場合にのみ発効する。このようなサブ目標がない場合でも、2035 年までに温室効果ガス強度を 14.5%削減するという包括的な目標があるため、これらの燃料に対する需要は大きいと思われる。

²³ 2034 年における EU 域内の船舶燃料消費量の 1,100PJ が、IEA の政策シナリオに従って FuelEU 海事規制で賄われると仮定。下限範囲は、2%目標を水素で直接達成するために必要な水素需要を表し、上限は、2%目標を達成するためにメタノールを製造するために必要な水素需要を表す。この計算には、規制に従って、RFNBO のエネルギー含有量に 2 倍したものが含まれ、目標達成に必要な実際の燃料量を減らしている。

²⁴ 近刊の『エネルギー技術展望 2024』レポートでは、港湾におけるメタノールとアンモニアのバンカリング・インフラの導入に関する検討事項を検証している。

メタノール

メタノール船は、代替燃料船（液化天然ガス[LNG]²⁵を除く）の中では、技術的・商業的な即応性が高く、アンモニアに比べて取り扱いが容易なため、先頭を走っており、現在すでに約 50 隻のメタノール対応船が運航されている。既存のメタノール二燃料船の約半数は石油・化学タンカーであるが、今後発注されるメタノール燃料船の約 3 分の 2 はコンテナ船である。

²⁵ LNG（電気からの水素を用いて合成生産することも可能）は、海運用代替燃料の定義においてしばしば考慮されるが、本報告書では、メタノール、アンモニア、水素の直接利用に焦点を当てる。これらは、海運分野の脱炭素化において最も大きな役割を果たす水素ベースの燃料になると予想されるからである。

現在、低炭素メタノールの供給は限られており、既存の二燃料船での燃料使用は限度がある。主にバイオメタノールや不特定の供給源からのメタノールの引取契約は、この 10 年間でこれらの船舶へのメタノールの供給が増加することを示している。また、低炭素水素を使用して製造されるメタノールに関する有望な発表もいくつかある。Goldwind 社は、A.P. Møller-Mærsk 社に対し、中国で生産される年間 500 千トンの低炭素メタノールを提供する契約を締結した。Ørsted 社は、テキサス州メキシコ湾岸地域で最大 300 千トンの e メタノールを生産できる e メタノール・プロジェクトを支援するため、米国 DoE から 1 億米ドルの資金援助を受けている。しかし、2024 年 8 月、Ørsted 社は Liquid Wind 社から買収したスウェーデンの FlagshipONE e-メタノール・プロジェクトを、長期引取契約の不足を理由に破棄した。Liquid Wind 社は、FlagshipTWO と FlagshipTHREE という 2 つの同様のプロジェクトを開発中であり、それぞれ年間 100 千トンの e メタノール生産を目指している²⁶。しかし、Liquid Wind 社が水素に重点を置くように優先順位を変えたため、これらのプロジェクトが成功するかどうかは不透明である。

²⁶ E メタノールは電気からの水素を用いて製造される。

メタノール燃料の船舶が広く運航されるためには、低炭素メタノールの利用可能性だけでなく、メタノール燃料の船舶への燃料補給に関する規制が前提条件となる。2023 年、イエテボリは世界で初めてメタノール燃料補給に関する運用規則を発表し、タンカー船以外のメタノール船舶間バンカリングを実施する港となった。燃料バンカリングにおいて最大級の港であるシンガポール港とロッテルダム港も、Mærsk 所有のコンテナ船のメタノール燃料バンカリングに成功している。

アンモニア

アンモニアを燃料とする船舶は、メタノールを燃料とする船舶よりも開発の初期段階にあり、アンモニアを燃料とする船舶の安全規制はまだ確立されていない。様々な船級協会が、アンモニア燃料船の設計と建造に関するガイダンスを発表しているが、IMO の「ガスまたはその他の低引火点燃料を使用する船舶のための国際安全コード」(IGF コード) は、中間ガイドラインの最終化に近づいているものの、燃料としてのアンモニアの使用をまだカバーしていない。とはいえ、海運用途のアンモニア燃料エンジンは試験済みであり、船舶試験もすでに進行中または計画中である。

注目すべき動きとしては、Wärtsilä 社が海運業界初の商業用 4 ストローク・アンモニア・エンジンを発表した一方で (第 5 章 投資、金融、イノベーション参照)、エンジン・メーカーの MAN エナジー・ソリューションズがアンモニア・エンジンの商業販売を 2027 年に開始する見込みであることなどが挙げられる。2024 年 3 月には、液体アンモニアが二燃料船に積み込まれ、シンガポールでアンモニアとディーゼルの船上燃焼試験が初めて成功した。日本では、LNG を燃料とするタグボートがアンモニアで航行できるように改造され、燃焼テストでは亜酸化窒素 (N₂O) とアンモニアのスリップが最小限に抑えられた。また、船上でアンモニアを分解して固体高分子形燃料電池に利用することも検討されており、将来的には水素を直接利用できるようになるかもしれない。

アンモニアはメタノールと同様、すでに取引されている商品であるため、多くの港湾には既存の貯蔵・輸送インフラがある。ノルウェーでは、アンモニア・バンカリング施設の建設に対する安全許可が下りている。ロッテルダム港も、2027年にアンモニアのバンカリングを開始する予定である。しかし、船舶用燃料としてのアンモニアの安全なバンカリングと使用のための基準策定には、さらなる取り組みが必要である。また、トラックから船への燃料補給システムなど、燃料補給方法の革新も続いている。

水 素

特に短距離用途の水素船が数多く就航している。中国は2023年に初の水素燃料電池船を就航させ、液化水素フェリーは2023年からノルウェーで商業運航されている。オランダでは2023年に水素燃料電池船が進水し、2024年3月には別の船が試験を完了した。米国では、水素を燃料とするフェリーが6ヶ月間の試験運航を経て商業運航を開始した。日本では、水素とバイオディーゼルのハイブリッド船が2024年4月に認証航海を完了した。船舶におけるさまざまな水素技術や、水素の充填作業を実証するプロジェクトも行われた。さらに、BeHydro社の二燃料技術は、船級協会のロイド レジスターから原則承認²⁷されており、これは技術が実証から商業応用へと移行しつつあることを示すものである。

水素を動力源とする船舶、特に大型船舶の経験をさらに積むための追加プロジェクトも計画されている。これには、2026年の引き渡しを目指してノルウェーで建造中の2隻の大型水素フェリー（乗用車120台収容）や、2024年にパリで導入が予定されている水素のバージ実証船が含まれる。ベルギーを拠点とする海運会社CMB.Techは、ベトナムで水素を動力源とする貨物船4隻を建造中で、2025年後半に引き渡され、北欧、地中海、北アフリカ、西アフリカなどの主要航路に投入される予定である。他にも、SeaShuttleプロジェクトの一環として、インドのCochin造船所で2024年2月、3.2MWの水素燃料電池を搭載した世界初の水素エンジン搭載の短海コンテナ船の建造が始まった。スイスとオランダからの発表は、この分野におけるプロジェクトの地理的多様性を示している。

²⁷ Approval in Principle（原則承認）とは、合意された枠組みの中で、概念的で革新的な造船について独立した評価を行うもので、船の設計が実現可能であり、コンセプトの実現を妨げる重大な障害が存在しないことを確認するものである。

航 空

短中期的には、航空分野における水素関連事業は、持続可能な航空燃料（SAF）に集中すると期待されている。²⁸ これらの燃料は、燃料貯蔵インフラや航空機に比較的最小限の変更を加えるだけで導入できるため、（水素を直接利用するような）技術よりも導入が容易である。

²⁸ ここでいう SAF とは、バイオ燃料、低炭素水素と生物起源の炭素源、または直接空気中の炭素を回収して製造される水素ベースの合成燃料を含む。水素も SAF とみなされ、水素化植物油のような特定のバイオ燃料の製造に使用される。

さらに、グローバル水素レビュー2023の発表以降、水素ベースの航空燃料を購入することを確約する企業が増えている。2023年11月、エールフランス-KLMはDGフューエルズに470万米ドルを投資し、これには2029年から数年間にわたって年間75千トンのSAFを購入するオプションも含まれている。2024年1月には、ノルウェー・エアシャトルとCargolux航空インターナショナルS.A.がNorsk e-Fuelから合計140千トンの合成燃料の購入を約束した。最後に、2024年2月、IAGはe-フューエルメーカーのTwelveと、合計785千トンのSAFを購入し、早ければ2025年に最初の納入を行うことで合意した。これらの合意のほとんどは、欧州で事業を展開する企業が関与しているもので、ReFuelEU航空規則（2030年までに燃料使用の1.2%をRFNBOで賄う）によって定められた義務などの政策が、航空会社の間でこれらの燃料の供給確保に対する懸念があるにもかかわらず、この分野での行動を刺激している。業界はまた、Vattenfallとシェルが、年間82千トンのe-SAFの生産を目指していたスウェーデンのHySkiesプロジェクトでの協力を一時停止すると発表するなど、逆風にも直面している。2030年にReFuelEUの航空指令を満たすには、その年に0.6百万トンの合成ジェット燃料（水素相当量0.3百万トン）が必要となる²⁹。前述の3つのプロジェクトは、2030年の燃料生産量の0.25百万トン、つまりReFuelEU目標の半分近くを占める可能性がある³⁰。

²⁹ 2030年にEUの航空機で消費される燃料が、IEAの政策シナリオに従い2,200PJであり、合成ジェット燃料を使用して目標が達成されると仮定する。

³⁰ 発表された総量が2030年を含む5年間に均等に供給されると仮定した場合

さらに、民間企業による分野連合が発足し、SAF証書の共同購入を通じてSAFの需要を集約している。これは水素ベースのSAFに限ったことではないが（証書にはバイオ燃料も含まれる）、SAFの導入を拡大するのに役立つ。このようにして購入力を集めると、調達資金の規模が大きくなり、一般市場で燃料を販売する新しい生産施設への投資に回すことができる。その例としては、持続可能な航空燃料購入者連合（2024年4月に、20社近くの企業が約2億米ドルを投じてSAF認証書を購入するという、過去最大規模の共同購入を実施）や、最近加盟企業を拡大したカンタス航空持続可能な航空燃料連合などがある。

航空機での水素の直接利用はまだ開発中であり、業界には厳しい規制があることから、新型水素航空機は商業利用されるまでに実証段階で長い時間を費やす可能性が高い（第5章 投資、資金、イノベーション参照）。最も有名な水素航空機開発プログラムの一つが、水素燃焼と燃料電池を研究するエアバスZEROeであり、2024年1月には、極低温液化水素の貯蔵と供給に焦点を当てたセンターをドイツに開設した。エアバスはまた、航空用燃料電池の開発に取り組む他の企業とも提携している。しかし、この分野での発表のほとんどは、液化水素を動力源とするナローボディ・ジェットの製造を目指すFokker Next Genや、水素航空機推進メーカーのZeroAviaのような新興企業によるものである。ZeroAviaはまだ事業開発段階だが、燃料電池ベースのパワートレインの受注に十分な進展を示しており、現在のところ10～20人乗りおよび40～80人乗りの航空機サイズの改修をターゲットにしている。

しかし、これらの新興企業は、重要な技術的マイルストーンを達成したにもかかわらず、注目されたユニバーサル水素プロジェクトの終了が発表されたことからわかるように、複数の課題に直面

している。彼らの斬新なアプローチは、モジュール式の液化水素燃料貯蔵システムであったが、このシステムの開発と同時に航空機の改修にもコストがかかることが判明した。同社は持続可能なビジネスモデルを開発することができず、追加投資の確保にも失敗した。

Schiphol 空港（オランダ）は、2024 年に水素を動力源とする初の国際便の就航を目指しているが、航空業界における水素の最も早い段階での重要な利用方法は、地上車両への動力供給であった。しかし、気体水素と液化水素の両方の用途が開発されているという事実は、この戦略にリスクをもたらしている。空港で使用する燃料としての水素の試験、開発、確立を目指す重複するコンソーシアムは、ニュージーランド、北米、スカンジナビア、英国で設立されており、Bristol 空港は実質的な進展を遂げ、2024 年 4 月までにいくつかの試験を完了した。

水素はまた、十分なエネルギー密度と CO2 削減の可能性を提供する非従来型の航空用途でも検討されている。例えば、無人航空機のプロトタイプ用のカートリッジ式燃料貯蔵ソリューションや、オーストラリアとスイスの二つの垂直離着陸機などである。

自動車交通以外の他の分野

鉄 道

水素燃料電池列車はさまざまな環境で試行されており、最近のレビューでは、2018 年から 2024 年の間に発表された 15 の水素鉄道試験が含まれており、ローカル列車（日本）、都市間列車（インド）、貨物列車（オーストリア）への適合性が評価されている。水素鉄道はまた、1 回の燃料補給で走行した距離の記録を更新し続けており、バッテリー駆動の 244km に対して 2,803km と、その潜在的な優位性を実証している。さらに、フランス、イタリア、米国の鉄道事業者が昨年、バッテリー式水素鉄道を発注した。

しかし、鉄道における水素にはまだ大きな逆風が吹いており、多くのプロジェクトが中止されたり、進展しなかったりしている。ドイツの Lower Saxony 州の鉄道事業者による前述の試験のうち、最も早い段階で実施されたものは、その後、脱炭素化のための技術としてバッテリー式電気鉄道を選択した。オーストリアの別の鉄道事業者は、水素鉄道を採用する計画を中止し、この技術を支持して 1 年も経たないうちにバッテリー式電気鉄道を採用した。これらの発表は、鉄道の脱炭素化に向けた最も一般的な道筋として、電化の傾向があることを示唆している。

産業機械、重機、その他機械

低炭素水素は、遠隔地での連続運転の必要性和高い電力需要を併せ持つ用途における脱炭素化にとって魅力的な選択肢である。必要な技術は成熟しており、コスト効率が高く、必要な稼働時間が長い場合、代替品と比べて有利な総所有コスト（TCO）となることが多く、Plug 社のような企業がこの分野で頻繁に新しい発表を行なっている。

一方で、大きさの点で掘削機のような機械があり、Applied Hydrogen 社は 30 トンの機械に燃料電池を供給している。遠隔地での超重量作業が一般的な採掘分野では、Liebherr が水素駆動とバッテリー電気駆動の両方の運搬トラックを開発中であり、コマツも既存のバッテリー電気技術に基づいた水素のトラックを開発している。

港湾荷役機械のような、高負荷で連続運転する用途では、水素の役割はまだ見えていない。スペインのバレンシア港とアメリカのロサンゼルス港は、水素を動力源とする荷役機器のパイオニアであり、後者は Shore to Store プロジェクトに基づき、世界初の水素ゴムタイヤ式ガントリークレーンを導入した。

ビル（割愛）

発電（割愛）