

欧州で先行する水素関連の大規模インフラ計画

—世界の現状と事業に与え得る影響—



三井物産戦略研究所
産業社会情報部社会調査室
堀田竜士

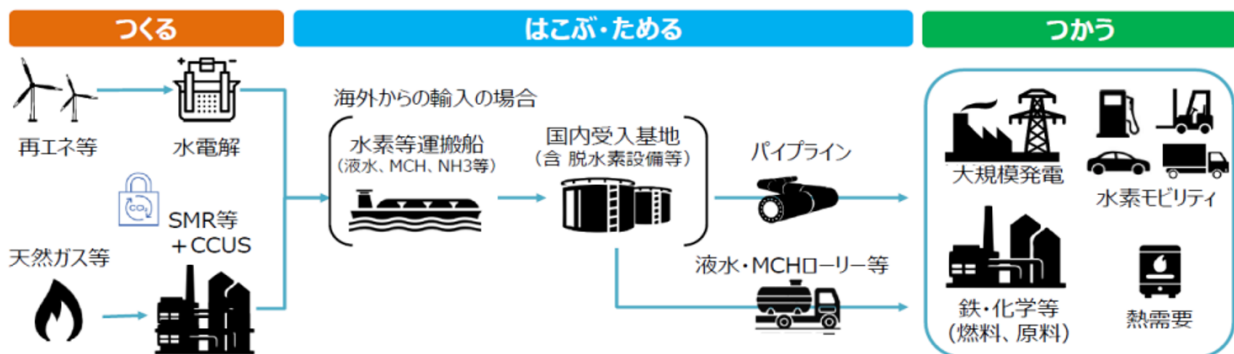
Summary

- 本稿は、水素に関する世界の大規模インフラ計画の現状を明らかにした上で、先進事例調査を通じて、大規模インフラが水素関連事業に与え得る影響を整理した。
- 大規模インフラ計画の多くは欧州に集中しており、2030年までの運用開始を目指している。欧州に計画が集中している理由として、クリーン水素の需給拡大を意図した政策群、水素用途への転用が見込める既存インフラ、大規模インフラの計画・導入を牽引する業界団体が存在すること等が挙げられる。
- 大規模インフラが整備されると、クリーン水素の供給コストの低下や、地域・季節を超えた安定供給等の効果が見込まれ、需給双方の水素関連事業の採算性向上・リスク低下につながる可能性が高い。

1. クリーン水素のサプライチェーンと投資発表動向

クリーン水素¹は、エネルギー効率の向上や、再生可能エネルギー（以下、再エネ）等と電化の組み合わせでは温室効果ガスの排出削減が難しい分野の脱炭素化の手段として注目されている。クリーン水素のサプライチェーンは、「つくる、はこぶ、ためる、つかう」の4要素から構成される（図表1）。

図表1：クリーン水素のサプライチェーン



注：図中の「SMR」は水蒸気メタン改質（Steam Methane Reforming）、「CCUS」は二酸化炭素回収・利用・貯留（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）、「液水」は液化水素、「MCH」はメチルシクロヘキサン、「NH3」はアンモニアを指す。

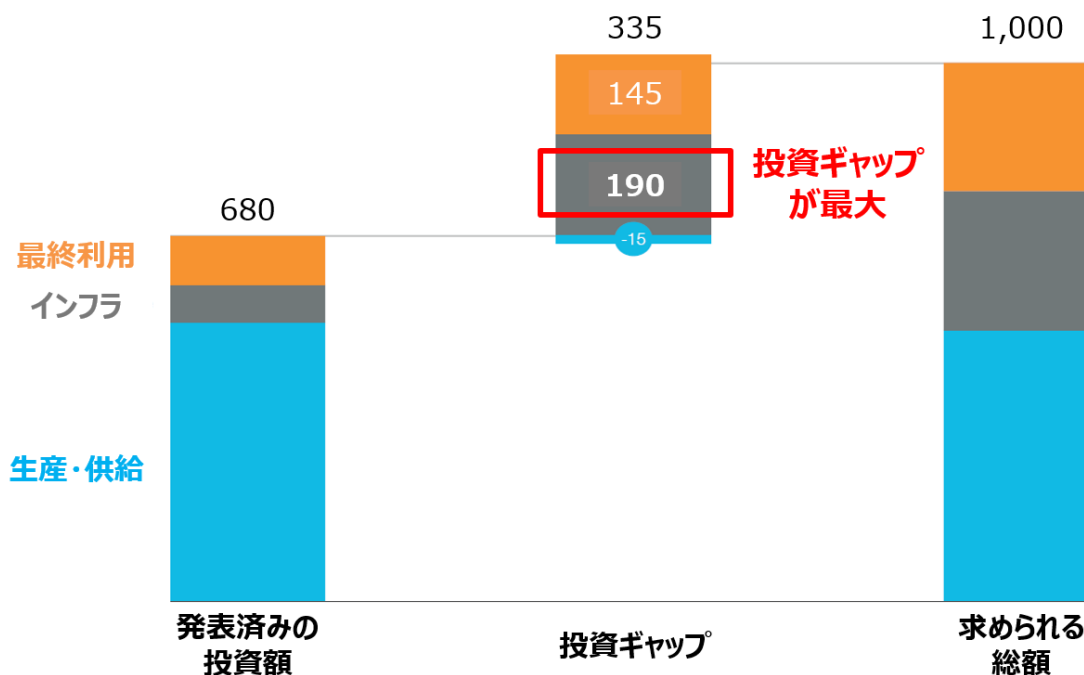
出所：経済産業省、水素等の保安を巡る環境変化と課題、https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/009_03_00.pdf（最終閲覧日：2024年12月3日）

¹ クリーン水素：製造時の温室効果ガスの排出を抑制した水素

各要素に対する投資発表動向をみると、「はこぶ、ためる」に該当するインフラ関連の投資発表が最も不足している（図表2）。インフラ投資は、クリーン水素の生産・利用地の確定後に本格化するため、今後の拡大が予想される。投資が進み大規模インフラが整備されると、クリーン水素の供給コスト低下、地域・季節を超えた安定供給実現等の効果が見込まれ、需給双方の水素関連事業者に大きな影響を及ぼす可能性がある。

図表2：サプライチェーンの各要素に対する投資発表動向（2030年まで）

(USD billion)



出所：Hydrogen Council, McKinsey & Company, Hydrogen Insights 2024, <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2024/09/Hydrogen-Insights-2024.pdf>（最終閲覧日：2024年11月12日）から三井物産戦略研究所作成

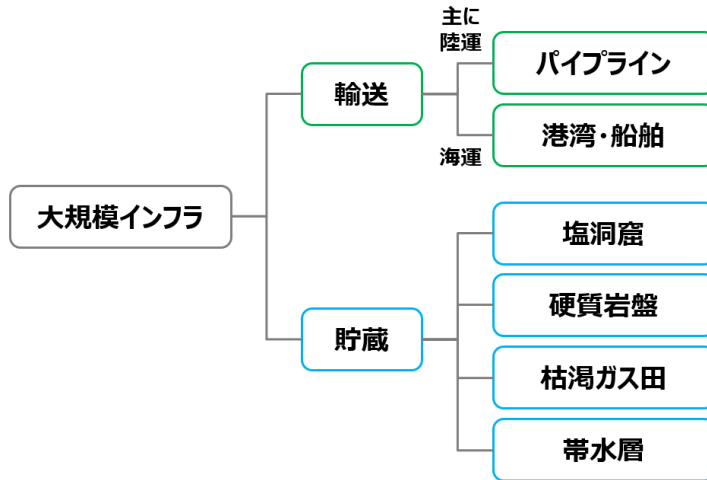
しかし、クリーン水素に関する動向調査の多くは、「つくる、つかう」に該当する生産・利用分野に注目しており、インフラを対象とした調査は少ない。そこで本稿は、水素に関する世界の大規模インフラ計画の現状を明らかにした上で、先進事例調査を通じて、大規模インフラが水素関連事業に与え得る影響を整理する。

2. 大規模インフラ計画の現状

2-1. 大規模インフラの分類

本稿は、トラック輸送やタンク貯蔵等の小規模インフラではなく、大規模インフラを対象とする。大規模インフラは輸送と貯蔵に大別され、さらに輸送は主に陸運のためのパイプラインと、海運のための港湾・船舶の2つに、貯蔵は地下貯蔵である塩洞窟・硬質岩盤・枯渇ガス田・帯水層の4つに分類される（図表3）。

図表3：大規模インフラの分類

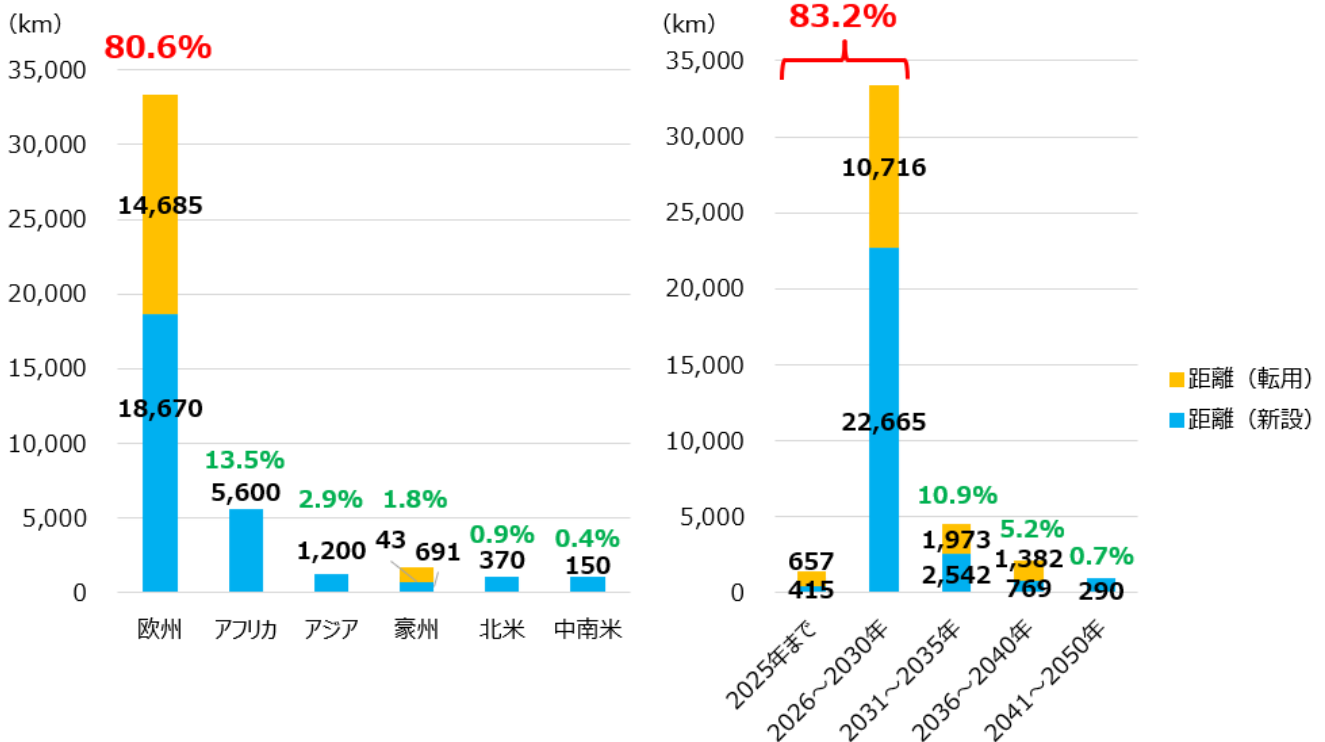


出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

2-2. パイプライン

パイプラインには、水素輸送用の新設と、ガス用途から水素用途への転用の2つが含まれる。2050年までに運用開始を計画しているパイプラインの総距離は、世界で約41,000kmである。総距離の約8割が欧州で計画されており、うち転用が約4割を占める（図表4左図）。総距離の約8割が2030年までの運用開始を計画しており、うち2026～2030年が大半を占める（図表4右図）。

図表4：地域別（左）、運用開始年別（右）の水素パイプライン敷設距離の計画



注：運用開始時期が「NA」の計画は集計対象から除外した。

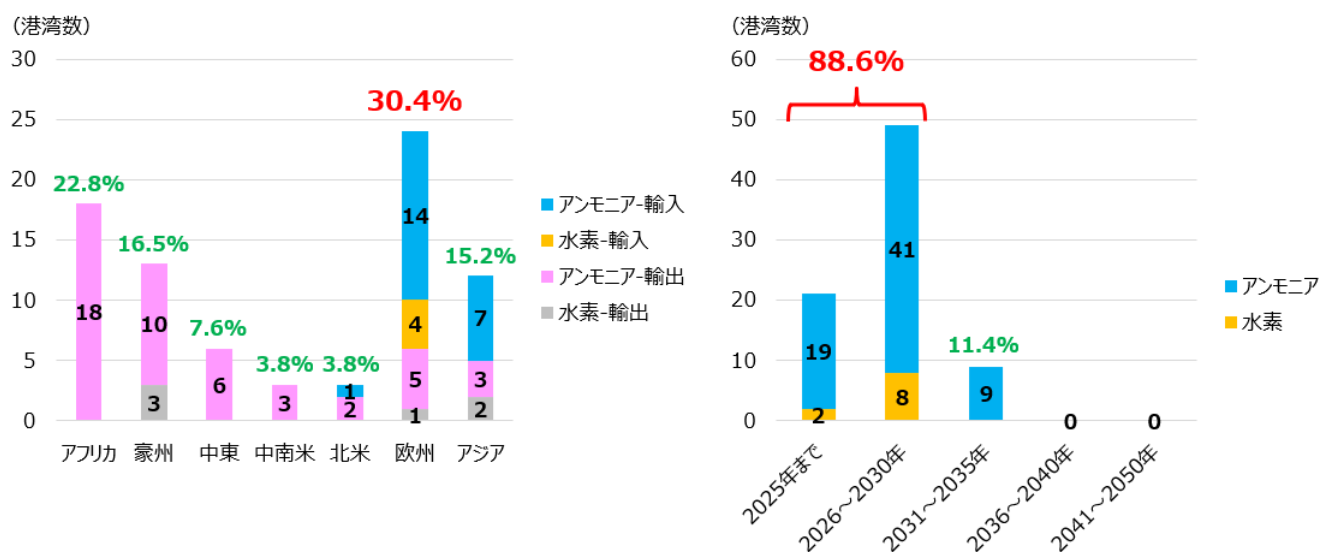
出所：IEA, IEA Hydrogen infrastructure projects, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database> (2024年10月25日ダウンロード) から三井物産戦略研究所作成

2-3. 港湾・船舶

水素は常温常圧で気体だが、気体水素は体積当たりのエネルギー密度が低く、海上輸送の効率が悪い。輸送効率向上のためには、液化水素、アンモニア、メチルシクロヘキサン等の水素キャリアへの変換が有効である。なかでもアンモニアは、取扱可能な港湾が世界で既に約150カ所存在する等、一定のインフラが整っている。世界の新たな港湾計画でも、総数79件のうち約87%が水素キャリアにアンモニアを選択している。

輸出入に関しては、輸出が53件、輸入が26件と、輸出目的の計画が多い。地域別にみると、輸出入を合わせた計画数は欧州が24件（約3割）と最も多く、輸出はアフリカ・豪州、輸入は欧州・アジアが多い（図表5左図）。計画全体の約9割が、2030年までの運用開始を目指している（図表5右図）。

図表5：地域別（左）、運用開始年別（右）の港湾における水素関連インフラの計画



注：運用開始時期が「NA」の計画は集計対象から除外した。
 ステータスが「DEMO」の計画は実証目的と考えられるため、集計対象から除外した。
 水素キャリアにメタノールを選択した港湾（1件のみ）は、集計対象から除外した。

出所：IEA, IEA Hydrogen infrastructure projects, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>（2024年10月25日ダウンロード）から三井物産戦略研究所作成

船舶に関しては、アンモニアを輸送できる中型タンカーが、現在世界で約40隻存在する。しかし2030年に想定されている70Mtの貿易量を実現するためには、積載量が8万m³以上の大型タンカーが、新たに約70隻必要と推定されている。一方、液化水素を輸送できる商用実績のあるタンカーは、現在は存在しない。

2-4. 地下貯蔵

地下貯蔵の各手段は、技術成熟度²が異なる（図表6）。塩洞窟は、原料用途の水素貯蔵で商用実績があり、経済効率性・漏出リスクの低さ・純度維持の点で優れているため、現時点で最も有望な選択肢であるが、

² 技術成熟度（Technology Readiness Level）：特定の技術の成熟度の評価を行い、異なったタイプの技術の成熟度の比較をすることができるシステムティックな定量尺度（出所：内閣府、<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kagaku/kagaku-dai20/sankou1-3.pdf>）

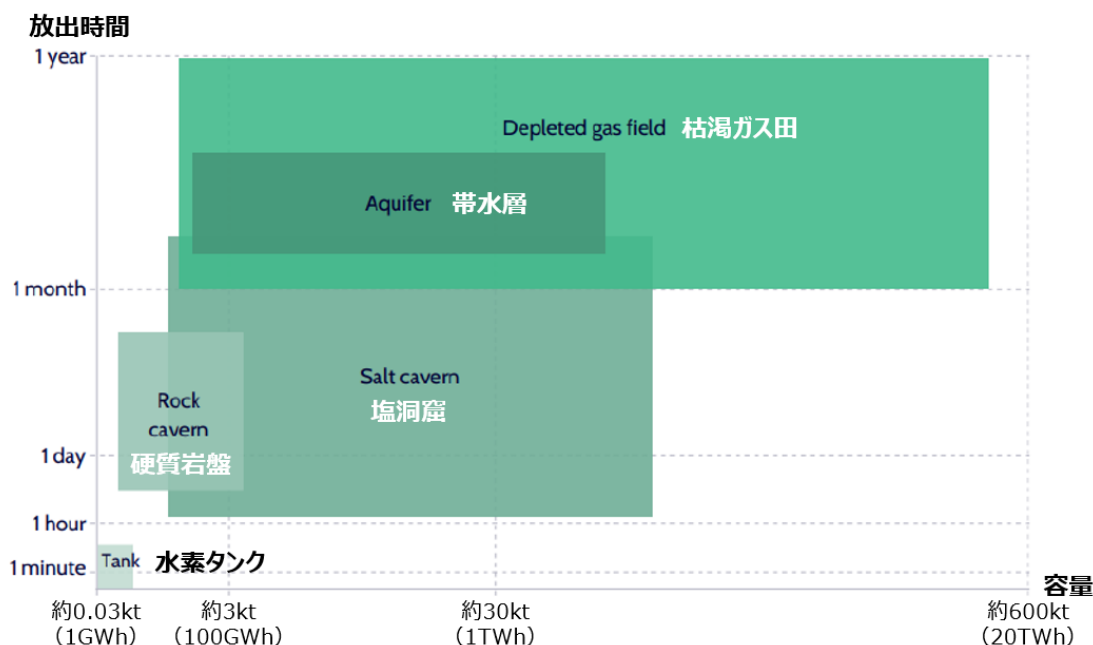
エネルギー用途では実証段階である。他の手段は水素貯蔵の商用実績がないが、塩洞窟とは適する容量や放出時間が異なり（図表7）、用途も異なることが想定されるため、実証の進捗を注視する必要がある。

図表6：地下貯蔵の各手段の技術成熟度

レベル	概要	塩洞窟	硬質岩盤	帯水層	枯渇ガス田
コンセプト	1 初期構想				
	2 アプリケーションの明確化			水素のみ	
	3 コンセプト検証		水素のみ		
小規模のプロトタイプ	4 実験室環境における実証				
大規模のプロトタイプ	5 構成要素の実証	水素のみ (エネルギー用途)	混合水素		水素のみ
	6 プロトタイプ全体の実証				
実証	7 商用化前のデモ				
	8 最初の商用化				
早期導入	9 関連環境における商用運用	水素のみ (原料用途)		都市ガス	
	10 実スケールにおける統合				
成熟	11 安定性の証明				

出所：IEA, Hydrogen TCP-Task 42 Underground hydrogen storage, https://www.ieahydrogen.org/download/17/task-reports/7067/task42_uhs_technologymonitoringreport.pdf（最終閲覧日：2024年11月17日）から三井物産戦略研究所作成

図表7：地下貯蔵の各手段の容量と放出時間の関係

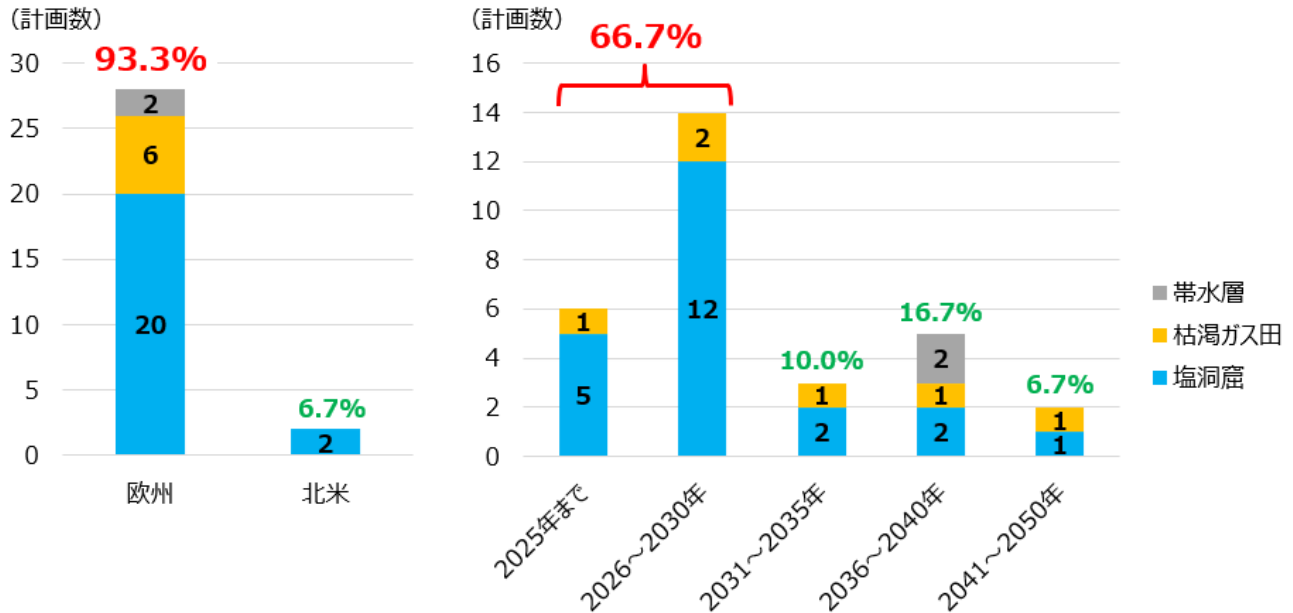


注：「放出時間」は、貯蔵した水素を引き出すためにかかる時間を示す。放出時間が長いと、急な引き出し要請には応えられない。「容量」は、水素を貯蔵できる量を示す。Whからktへの単位変換は、IEAを参照し、0.0333TWh=1ktとして計算した。

出所：H2eart for Europe, The role of underground hydrogen storage in Europe, https://h2eart.eu/wp-content/uploads/2024/01/H2eart-for-Europe_Report_Role-of-UHS-in-Europe.pdf（最終閲覧日：2024年11月21日）から三井物産戦略研究所作成

地下貯蔵の世界の計画総数は30件で、塩洞窟が最も多い。計画全体の約9割を欧州が占め、約7割が2030年までの運用開始を計画している（図表8）。

図表8：地域別（左）、運用開始年別（右）の水素関連地下貯蔵施設の計画



注：運用開始時期が「NA」の計画は集計対象から除外した。
 ステータスが「DEMO」の計画は実証目的と考えられるため、集計対象から除外した。

出所：IEA, IEA Hydrogen infrastructure projects, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database> (2024年10月25日ダウンロード) から三井物産戦略研究所作成

2-5. 小括

図表4・5・8で示したとおり、大規模インフラ計画の多くは欧州に集中しており、2030年までの運用開始を計画している。欧州に計画が集中している理由として、クリーン水素の需給拡大を意図した政策が整備されていること（図表9）、水素用途への転用が見込める既存インフラが存在すること（図表10・11）、パイプラインではEuropean Hydrogen Backbone、地下貯蔵ではH2eart for Europe等の業界団体が早期に立ち上がり、計画・導入を牽引していること、ウクライナ侵攻を契機としたロシア産天然ガスの代替が求められていること等が挙げられる。国際エネルギー機関（IEA）の見通しでは、保守的なシナリオであるSTEPS³でも、EUの水素需要は徐々に増加する見込みであり、大規模インフラが需要拡大を支えると想定される（図表12）。

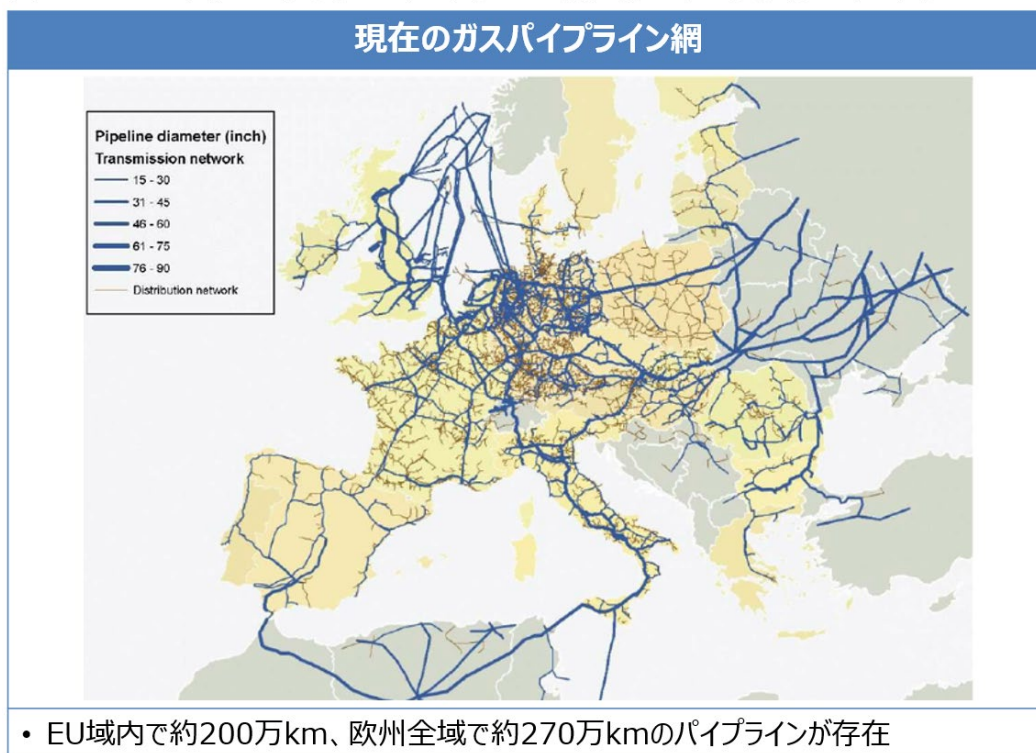
³ STEPS (Stated Policies Scenario)：現在の政策設定を反映したシナリオ（出所：IEA, <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/understanding-gec-model-scenarios>）

図表9：欧州におけるクリーン水素の需給拡大を意図した主な政策

名称	分類	概要
再生可能エネルギー指令（RED III）	規制	2030年までに産業における総水素消費量の42%を非生物由来の再生可能燃料（RFNBO）に転換。
ReFuel EU Aviation	規制	2025年から2050年まで、5年ごとに航空分野のSAF・e-SAFの混合率を引き上げ（SAFは非食物・飼料由来のバイオ燃料、e-SAFは再生エネルギー由来の水素 + 二酸化炭素の合成燃料）。
FuelEU Maritime	規制	2025年から2050年まで、5年ごとに海運分野のGHG排出量削減率を引き上げ（用いる技術は限定されていないが、選択肢に再生エネルギー由来の水素、合成燃料等を含む）。
排出量取引制度（EU ETS）	規制	EU域内の対象企業に、GHG排出量に応じた課金。2013年以降、発電部門は原則有償。鉄鋼・水素等の製造についても2026年以降無償枠を段階的に削減し、2034年から全量有償に移行。
EU CBAM	規制	輸出入品に二酸化炭素排出量に応じた課金。2026年から段階的に課金開始。対象セクターに電力、肥料、鉄鋼、水素等を含む。
European Hydrogen Bank	インセンティブ	非生物由来の再生可能燃料（RFNBO）水素に固定プレミアムを支給。2024年4月に最初の落札結果が発表され、7件のプロジェクトに約7.2億ユーロを拠出。

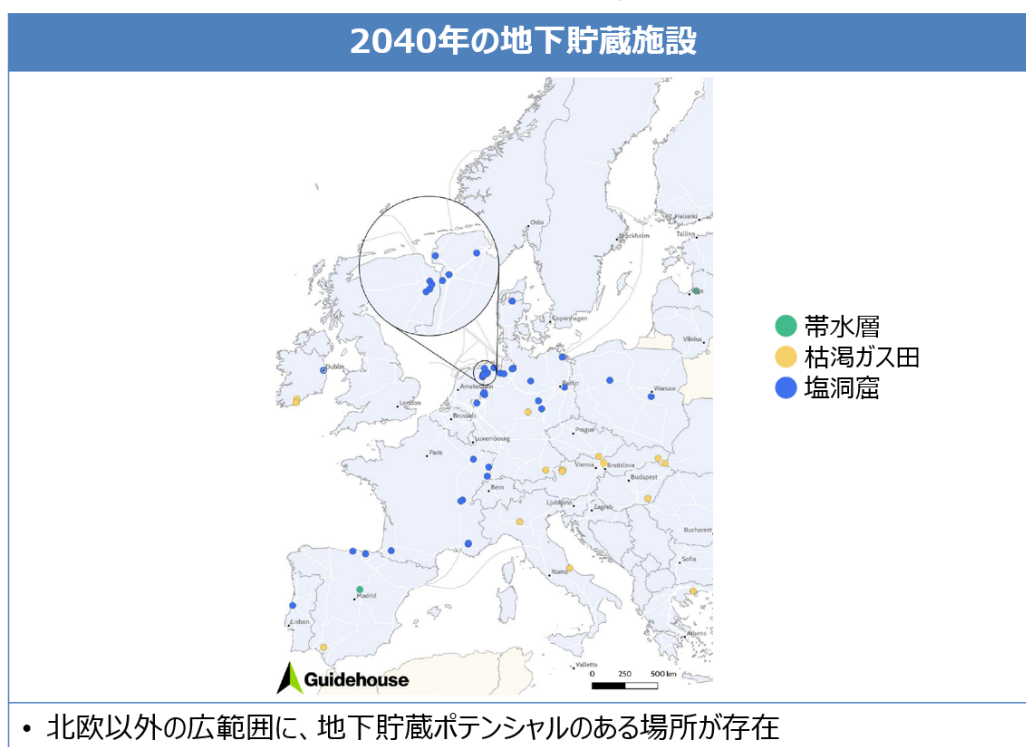
出所：欧州委員会資料から三井物産戦略研究所作成

図表10：欧州における水素インフラへの転用が見込める既存インフラ1



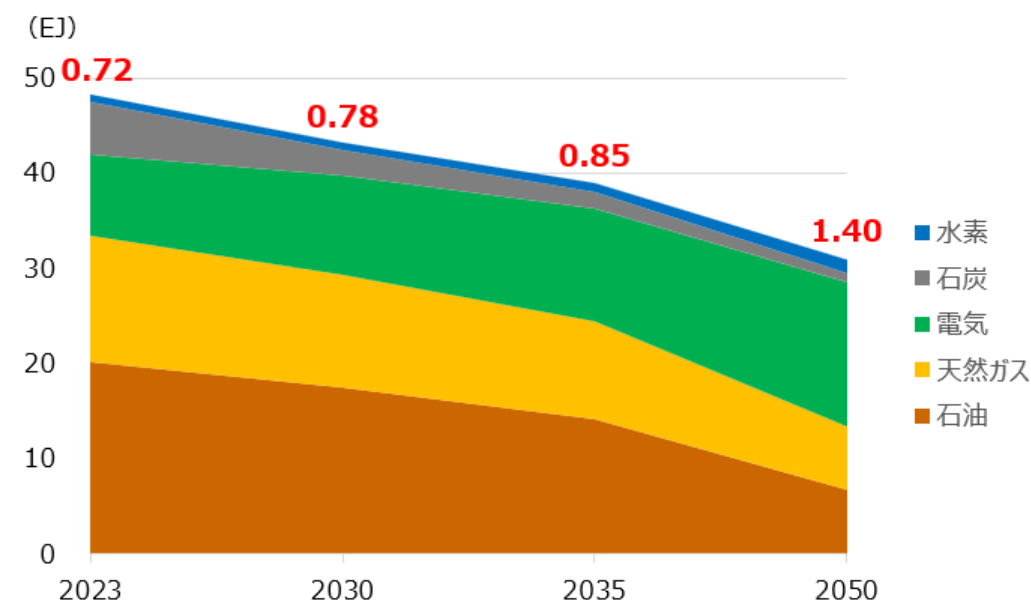
出所：Hydrogen Europe, Hydrogen Infrastructure Report: The Recipe for a Hydrogen Grid Action Plan, https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2024/10/2024.09_HE_Hydrogen-Infrastructure-Report-1.pdf（最終閲覧日：2024年11月13日）から三井物産戦略研究所作成

図表11：欧州における水素インフラへの転用が見込める既存インフラ2



出所：H2eart for Europe, The role of underground hydrogen storage in Europe, https://h2eart.eu/wp-content/uploads/2024/01/H2eart-for-Europe_Report_Role-of-UHS-in-Europe.pdf
 (最終閲覧日：2024年11月13日) から三井物産戦略研究所作成

図表12：EUのエネルギー需要見通し



注：IEAのSTEPSから作成。赤字は水素需要量を示す。

出所：IEA, World Energy Outlook 2024, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/02b65de2-1939-47ee-8e8a-4f62c38c44b0/WorldEnergyOutlook2024.pdf>
 (最終閲覧日：2024年12月6日) から三井物産戦略研究所作成

課題としては、(a) 計画の遅延・中止、(b) 地域偏在、(c) 技術開発の不確実性等が挙げられる。

(a) について、クリーン水素の需要の少なさや、法整備の停滞等の理由で、計画遅延や中止が散見される。パイプラインを例に挙げると、オランダ・ドイツ間の完成目標が延期され、ノルウェー・ドイツ間の計画中止が発表されている。今後も各地で遅延や中止が発生し、大規模インフラの整備が遅れる可能性がある。

(b) について、大規模インフラ計画は欧州に集中しており、他地域の計画は少ない。今後も大規模インフラ開発が行われる見込みが小さい地域では、水素の導入が遅れる可能性がある。

(c) について、輸送インフラの多くは商用実績があるが、貯蔵インフラの多くは実証段階である。実証の進行状況によっては、計画が遅延・中止となる可能性がある。商用実績があるインフラに関しても、水素需給量の拡大に伴って新たな技術開発が必要になる場合は、同様の懸念が生じる。

3. 先進事例調査

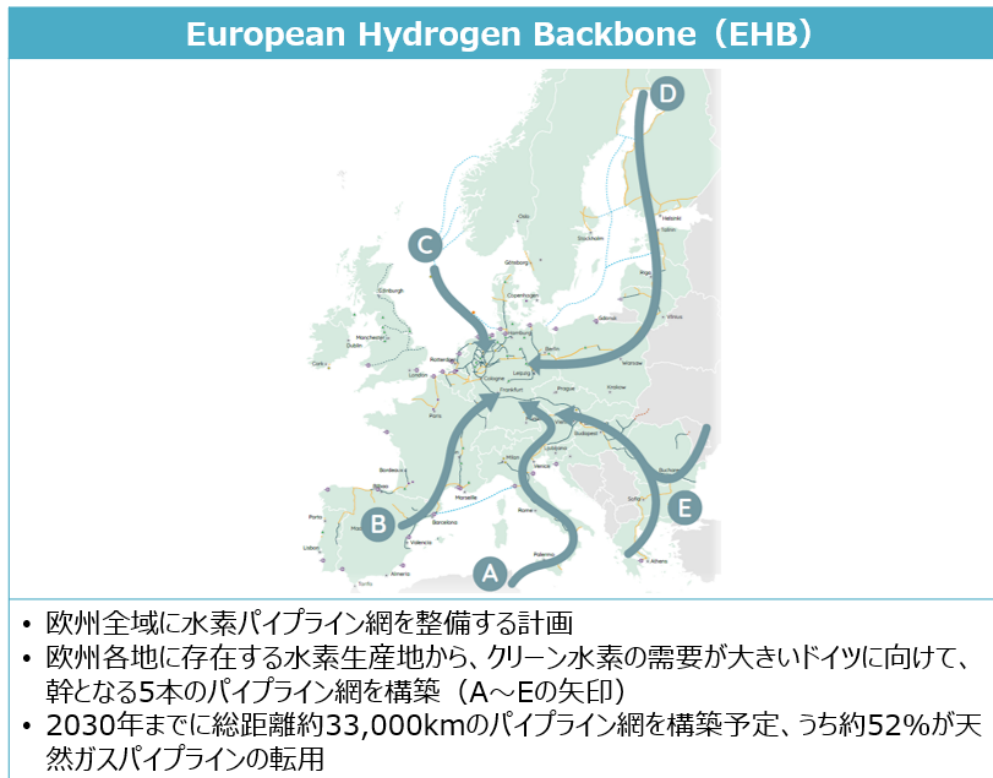
先進事例調査では、商用実績が少ないパイプラインと地下貯蔵を対象として、概要や効果等を整理する。

3-1. European Hydrogen Backbone (EHB)

EHBは、欧州全域に水素パイプライン網を整備する計画である（図表13）。幹となるパイプラインは5本あり、各地に存在するクリーン水素の生産地から、需要が大きいドイツに向けて敷設される。パイプライン網の総距離は、2030年までに約33,000kmを予定し、うち約52%が天然ガスパイプラインの転用である。特にドイツでは、政府がガス輸送システム事業者による9,040kmの水素パイプライン網計画を承認したため、整備の本格化が見込まれる。

パイプラインは、水素を長距離・大量輸送するための最も低コストの手段である。EHBは、クリーン水素の生産地と需要地が離れている欧州において、輸送効率向上による水素の供給コスト低減と、需給の地理的・時間的なマッチングによる安定供給の実現を目指している。

図表13 : パイプラインの先進事例



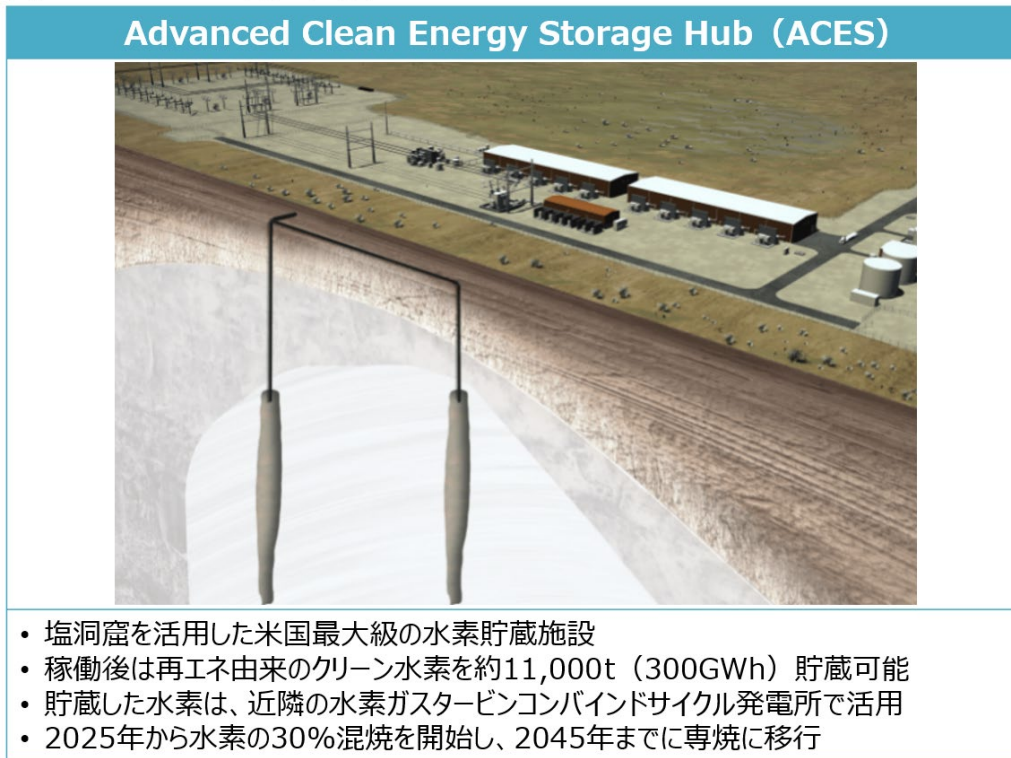
出所：European Hydrogen Backbone, Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030, <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Supply-corridors-presentation-ExecSum.pdf>（最終閲覧日：2024年11月13日）から三井物産戦略研究所作成

3-2. Advanced Clean Energy Storage Hub (ACES)

ACESは、塩洞窟を活用した米国最大級の水素貯蔵施設である（図表14）。稼働後は、余剰再エネ等を用いて製造した水素を約11kt貯蔵可能になる。貯蔵した水素は、近隣の発電所等で活用予定である。

大規模貯蔵は、再エネの余剰電力を用いたクリーン水素の製造と、季節を超えた供給を可能にする。ACESは、クリーン水素の低コスト化と安定供給によって、近隣の発電所や産業設備の脱炭素化を目指している。

図表14：地下貯蔵の先進事例



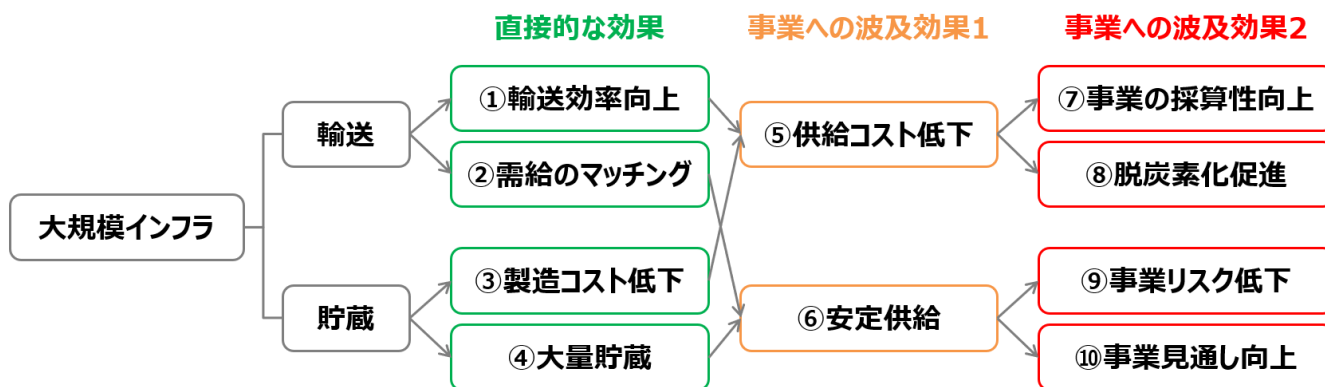
出所： U.S. Department of energy, Advanced clean energy storage, <https://www.energy.gov/lpo/advanced-clean-energy-storage>（最終閲覧日：2024年11月13日）から三井物産戦略研究所作成

4. 水素関連事業に与え得る影響

先進事例調査をふまえ、大規模インフラが水素関連事業に与え得る影響を整理した（図表15）。

大規模インフラのうち、パイプライン等の輸送インフラは、再エネ適地と水素需要地をつなぎ、①輸送効率の向上と、地理的・時間的な②需給のマッチングに寄与する。一方、地下貯蔵等の貯蔵インフラは、再エネの余剰電力を活用したクリーン水素の③製造コスト低下と④大量貯蔵を可能にする。①輸送効率向上と③製造コスト低下は、クリーン水素の⑤供給コスト低下を促進し、②需給のマッチングと④大量貯蔵は、地域・季節を超えた⑥安定供給を実現する。⑤供給コストが低下すると、需給双方の事業者の⑦事業の採算性が向上するとともに、クリーン水素の大量使用が可能になり、事業の⑧脱炭素化が促進される。さらにクリーン水素の⑥安定供給は、水素関連事業者の⑨事業リスクの低下や⑩事業の見通しの向上につながる。

図表15：大規模インフラが水素関連事業に与え得る影響



出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

5. まとめ

本稿は、水素に関する世界の大規模インフラ計画の現状を分析し、欧州が先行している実態を明らかにした。加えて先進事例調査から、大規模インフラは、クリーン水素の供給コストの低下や、地域・季節を超えた安定供給を実現し、需給双方の事業者の採算性向上・リスク低下等につながる可能性が高いことを示した。今後は計画が先行する欧州におけるインフラ整備状況や、他地域の新たな計画発表の動向を注視したい。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。