

ドイツの国家水素戦略：エネルギー転換に向けた水素支援

電力・新エネルギーユニット新エネルギーグループ 松本知子

はじめに

2020 年 6 月 10 日、ドイツの「国家水素戦略（The National Hydrogen Strategy）」が公表された¹。2020 年初めにドラフトの段階でメディアが報じていた内容から大きくかけ離れてはいなかつたが、ドイツの水素分野における内外での戦略が明らかになったことは注目に値する。

ドイツはエネルギー転換政策を積極的に進めており、化石燃料および原子力から再生可能エネルギーへの移行を図っている。エネルギーの安定供給、環境保全、経済性を保ちながら、再エネの拡大および省エネの推進を主要政策としてエネルギー転換の目標（例えば、2030 年までに GHG 排出量 55% 減（1990 年比）、再エネが発電量に占める割合 65% 等）達成が目指されている。しかし、電力部門における再エネは順調に拡大したが、再エネに恵まれた地域（陸上風力は北部に偏在）と電力需要の高い地域（産業地域がある南部や西部）が離れており、系統安定化が課題となった。また、産業部門や運輸部門の低炭素化はあまり進まず、2030 年目標達成は厳しい状況にある。このような事情を背景に、脱炭素化を可能にする技術として水素が注目されるようになった。

本稿では、国家水素戦略における注目点を取り上げ、国家水素戦略の目標やアクションプランの要点を概略する。そして、ドイツがこれまで水素を推進するためにどのような政策やプログラムを講じて支援してきたかを整理する。最後に、Power-to-Gas (PtG) の事例も紹介する。

1. ドイツの国家水素戦略

2019 年に予定されていた国家水素戦略がようやく公表された。遅れていた背景には、グリーン水素²の目標やどの程度ブルー水素を中心的な技術として利用するかについて、関係省庁間で折り合いがつかなったことが指摘されている³。PtG で世界を先導するドイツが水素をどのように位置づけ、水素に関する国際協力の在り方や水素のサプライチェーン（生産

¹ The Federal Government (2020). *The National Hydrogen Strategy*. Berlin/ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)

² 水素は製造される方法の違いによって識別する呼称が定着しつつあり、再生可能エネルギーから水を電気分解することで生産されるグリーン水素の他に、化石燃料（石炭や天然ガス）を用いて CCS（carbon capture and storage）によって CO₂ 排出を抑えながら製造されるブルー水素、CCS を伴わず化石燃料から製造されるグレー水素、メタンの熱分解によって製造される水素としてターコイズ水素（結果として炭素が固体炭素として分離される）がある。

³ Amelang, S. (May 18, 2020) “Merkel's coalition partner pushes for ambitious green hydrogen production” *Clean Energy Wire*

から輸送、利用に至るまで) におけるアクションプランがようやく明らかになった。国家水素戦略によってドイツが水素技術分野での世界的なリーダーになるための道標が示された。

1.1. 国家水素戦略における注目点

国家水素戦略はこれまでのドイツの水素に関する動向から想定される内容ではあったが、ブルー水素の利用が受け入れられしたこと、水素の輸入を計画していること、水素委員会および水素評議会を設立すること、の 3 点を注目点として取り上げたい。

① グリーン水素 vs. ブルー水素

国家水素戦略では、グリーン水素を推進することが明確にされている。グリーン水素のみが長期的に持続可能だとし、グリーン水素の市場における急速な拡大を推進し、必要なバリューチェーンを確立する。ただし、今後 10 年程度で世界や欧州で水素市場が成立し、カーボンフリー水素（ブルー水素やターコイズ水素）の取引が考えられるため、カーボンフリー水素も、経済性をもったグリーン水素が十分に供給されるまでの中間的な手段としてではあるが、ドイツでも利用することを認めた。ドイツでは環境面から化石燃料利用への反対があり、加えて、CO₂ 貯留の永続性に対する懸念から、CCS に対する国民の反対が根強く、ブルー水素の生産は視野に入っていたが、水素戦略でカーボンフリー水素の利用について譲歩されたのは、気候変動対策の緊急性から、脱炭素化のために水素の導入を優先したものと考えられる。ただし、ブルー水素は国内で生産されるのではなく、輸入されたものに限定される。

② 水素輸入を視野に入れた対策

水素技術の市場拡大における最初の段階として、国内での確実で持続可能な水素生産・利用 (home market) が欠かせないとしている。現時点のドイツの水素需要は 55TWh (約 138 万トン) で、グリーン水素は約 7% (3.85TWh、約 9.6 万トン) を占めているにすぎない。ドイツはこれまでも水素技術の研究開発 (R&D) に注力してきたが、加えて、2020 年 6 月 3 日に発表された新型コロナウイルスパンデミック後の景気対策 (2020~21 年で €1,300 億) のうち、€70 億が水素技術開発を支援するために割り当てられた⁴。

争点の一つであった水電解装置の目標は 2030 年までに 5GW、2035 年もしくは 2040 年までにさらに 5GW とされた。水電解装置 5GW から水素 14TWh (約 35 万トン)⁵ が生産されることになるが、2030 年までにドイツの水素需要は 90~110TWh (約 225~275 万トン) になる見通しであるため、国内の水素供給だけでは足りないことになる。そのため、ドイツは水素輸入も視野に入れ、国際的な協力やパートナーシップの構築に注力している。

⁴ Wehrmann, B. and Wettengel, J. (June 4, 2020). "German gives energy transition mild boost with economic stimulus program." *Clean Energy Wire*

⁵ 全負荷時間 (full-load hours) 4,000 時間と仮定。

EU 内でグリーン水素生産のポテンシャルが高い国は多く、特に、北海やバルト海の洋上風力、南欧の太陽光に注目して、EU 加盟国との協力関係強化が目指される。また、開発協力の形で、途上国においてグリーン水素生産の支援も行われる。このような国際的な協力関係構築に対し、コロナ後の景気対策のうち€20 億が割り当てられる。

③ 水素委員会および水素評議会の設立

国家水素戦略を着実に実行するため、関係省庁次官レベルの水素委員会（State Secretaries' Committee on Hydrogen）が設立される。水素戦略の実施における遅延や目標が達成できない場合、同委員会が連邦内閣と調整して修正措置を講じる。

水素委員会に対して水素戦略の実行に必要な提案を行って支援する国家水素評議会（National Hydrogen Council）も重要な役割を担う。この評議会は各分野（ビジネス、科学、市民社会）から連邦政府に指名を受けた専門家 26 名から構成され、関係省庁や地方政府代表者もゲストとして参加できる。国家水素評議会は年 2 回以上開催され、水素委員会とも調整のため定期的に共同で会議を行う。

さらに、水素調整局（Hydrogen Coordination Office）も設立される。水素戦略の実施面で関係省庁に協力し、調整や提言について水素評議会を支援する。水素調整局は水素戦略のモニタリングを行い、毎年モニタリングの報告書を水素委員会および水素評議会に提出する。年次のモニタリング報告書に基づいて、3 年毎に、水素戦略やアクションプランを評価し、今後の展開に関して提案を行う報告書が作成され、水素戦略が市場の動向や目標に沿ったものに改善される。

1.2. 国家水素戦略の目標

国家水素戦略は、水素サプライチェーンに必要な枠組みとなり、技術革新や民間部門の投資を促進する。また、国家水素戦略によって、気候変動目標達成の一助となり、ドイツ経済の新しいバリューチェーンの創出や国際的なエネルギー政策の協力の推進が期待される。国家水素戦略では下記の目標が掲げられている。

- ・ GHG 排出削減における国際的な責任を果たす。
- ・ 水素技術のコスト低減を図り、水素の競争力をつける。
- ・ 水素の国内市場を育成し、水素輸入への道筋をつける。
- ・ 水素を脱炭素化に資するエネルギー源として確立する。
- ・ 産業部門において持続可能性のある水素利用を推進する。
- ・ 水素の輸送・配送インフラを規制や技術面から整備し、水素利用の安全性を確保する。
- ・ 優秀な科学者や専門家を養成し、研究機関の設立を支援する。
- ・ 水素によるエネルギー転換プロセスを形成する。
- ・ 水素技術によってドイツ経済を強化し、ドイツ企業にグローバルな市場機会を提供する。

- ・ 中長期的に水素輸入国になることを鑑み、水素の国際的な市場や協力関係を構築する。
- ・ 世界的に水素技術への期待が高まる中で気候変動対策や持続可能な成長に向けた国際協力をを行う。
- ・ 水素の生産、輸送、貯蔵、利用における質の高いインフラを整備し、水素利用者の信頼を醸成する。
- ・ 定期的に国家水素戦略の進捗を評価し、必要な対策を含めて今後の進め方について検討する。

1.3. 水素サプライチェーンにおけるアクションプラン

国家水素戦略は、2030 年までを 2 つのフェーズに分けている。第 1 フェーズ（～2023 年）では水素市場の拡大、および、国内水素需要の基盤を築き、並行して、研究開発（R&D）のような基本の課題にも取り組まれる。第 2 フェーズ（2024～2030 年）では、国内水素市場が定着し、水素について欧州や世界的な方向性が定まり、ドイツ産業が活躍していく青写真が描かれている。この水素戦略によって民間投資を促し、新型コロナウイルスパンデミック後の景気回復策としての役割も含めて、第 1 フェーズにおいて、水素のサプライチェーンから国際協力まで 38 の対策が検討されている。サプライチェーンにおける枠組みを構築し、技術開発や投資をもたらすことが目指される。なお、これらの各対策は関係省庁の所管となり、それぞれの予算内で行われる。38 対策のうち、主要な（もしくは注目すべき）対策を概略する。

① 水素生産

水素の生産技術に関しては、コスト低減のため、生産規模の拡大が目指される。支援策として、グリーン水素生産に用いられる電力相当分に対する優遇税制（一案として EEG（再エネ）賦課金の減免）の検討や水電解装置への投資支援が挙げられている。また、洋上風力をグリーン水素生産における有望な技術として位置付け、洋上風力に対する投資を促す枠組みの整備も言及されている。

② 水素利用

水素利用に関しては、短中期的に、水素利用の経済性の成立に近い分野や他に脱炭素化の技術がない分野を重視すべきとしている。

輸送部門では、まず、石油燃料に代わるグリーン水素の利用について、EU の改正再生可能エネルギー指令（Renewable Energy Directive, RED II）を国内法へ整備する際に組み込まれるとしている。その一つとして、石油燃料に依存している航空部門に対して、グリーン水素から生産された合成燃料（ジェット燃料）の利用について 2030 年までに 2% の導入義務（quota）

を検討している。また、Energy and Climate Fund⁶から水素利用に対する助成が計画されている。2023 年までに、燃料電池車両も含めたクリーンエネルギー自動車に対して€36 億、合成燃料生産設備の開発に€11 億、水素ステーションのインフラ整備に€34 億が割り当てられる。水素ステーションについては、各輸送手段の需要に合わせて開発されるが、連邦政府は商用車（重量車両）のグリーン水素利用を注視しており、早急に整備されるべきとしている。

産業部門では水素需要が早期に拡大すると期待されている。化学産業や製油所ではグリーン水素がグレー水素に代替可能であり、鉄鋼部門でも水素を鉄鉱石の還元に用いる試験も行われる。水素戦略では、鉄鋼・化学産業を対象に炭素差額決済契約（Carbon Contract for Difference, CfD）の試験的なプログラムを検討している。これは、回避できた GHG 排出削減量に対して契約で定められた CO₂ 価格と排出量取引制度（ETS）での CO₂ 価格との差額を補償する仕組みで、もし ETS での CO₂ 価格が契約上の CO₂ 価格を上回る場合は、事業者は政府にその差額を支払うことになる。また、水素を利用した長期的な脱炭素化戦略についてステークホルダーと議論を進めるとしており、まずエネルギー集約型産業（化学、鉄鋼、ロジスティクス、航空）から行われる。

③ 热供給

热供給プロセスや建物における省エネや電化が取り込まれた後でも、水素や合成燃料が热供給の脱炭素化に貢献すると考えられる。建物の暖房に関しては、2016 年より行われていた「省エネ促進プログラム（Energy Efficiency Incentive Programme）」⁷の一部として高効率の燃料電池暖房設備の購入の推進が継続される。

④ 水素供給インフラ

安全で確実、需要に合った効率的な水素供給システムが将来の水素市場では必要となる。水素輸送では、既存のガスインフラへの水素混合もオプションとしているが、水素専用の輸送インフラも検討すべきとしている。国際的な輸送の場合は、その方法として、液化水素、有機ハイドライド、アンモニアやメタンをエネルギーキャリアとする形が考えられている。水素インフラの建設や改修に必要な法整備を早急に着手すべきとされる。また、電力・熱・ガスインフラとの連結（Sector Coupling）の促進も必要である。新規インフラでは、陸上輸送・鉄道・海上輸送分野での需要に応じた水素ステーション整備に注目されている。

⑤ 研究・教育・イノベーション

⁶ 2011 年にエネルギー転換のために設立された基金で、毎年予算が計上される（2019 年は€45 億）。建物の省エネ、再エネ、蓄電池等が対象となる。

(The Federal Government (March 12, 2019). “More money for the energy shift”
<https://www.bundesregierung.de/breg-en/service/more-money-for-the-energy-shift-1589036>)

⁷ 建物の暖房や換気システムの近代化を支援するプログラム。

(BMWi. “Energy Efficiency Incentive Programme - Targeted funding for more investment in comfort and efficient heating in the home”
<https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/enhancing-energy-efficiency-in-buildings.html>)

ドイツは世界市場でグリーン水素技術供給国として先頭に立つことを目指しており、その指針とすべくドイツ水素産業のロードマップが策定される。短期的にはグリーン水素の実証プロジェクトが実施される。また、新しいイニシアティブ“hydrogen technologies 2030”の下、主要な水素技術に関する研究支援が取りまとめられて戦略的に実施される。加えて、2020～2024年にかけて、航空部門では Aviation Research Programme から€2,500 万が、また、船舶部門では Maritime Research Programme から€2,500 万の一部が、水素技術開発のために提供される。

⑥ 欧州レベルで必要なアクション

ドイツは 2020 年下期の欧州理事会議長国となることを、セクターカップリングやガス市場設計の法整備を準備するにあたって、水素を推進する機会として捉えている。水素がエネルギー転換や脱炭素化の一助となり、ドイツおよび欧州の輸出機会を高める市場を育成するために、持続可能性基準や高品質のインフラ、再エネ電源やグリーン水素の証明制度が必要である。また、欧州レベルで水素や Power to X（余剰再エネから水素、合成燃料、熱等へ転換する技術の概念）に関して持続可能性や品質の基準設定が必要とされる。また、EU レベルでは、グリーン水素に関する研究開発・実証（RD&D）への投資を促すために、他の加盟国と水素技術・システムに関する共同プロジェクトとして「欧州共通利益に適合する重要なプロジェクト（Important Project of Common European Interest, IPCEI）」⁸の下承認されるよう、ドイツ政府は欧州委員会や他の加盟国にすでに働きかけている。

⑦ 国際的な水素市場とパートナーシップ

水素に関する国際協力として、ドイツの水素生産技術によって化石燃料輸出国を水素輸出国にする可能性を検討している。このような協力関係によって、ドイツは水素輸入をでき、化石燃料輸出国は化石燃料に依存しつつ水素生産・輸出国となり、脱炭素化や経済成長も図ることができる。また、既存の国際的な枠組みでのパートナーシップや協力関係も強化される。

2. ドイツの水素利用に向けた取り組み

ドイツでは発電部門において再エネ導入が拡大し低炭素化が順調に進む一方で、他の産業、運輸、建築物での省エネ・低炭素化の進展が遅れている。日本と異なるドイツのエネルギー需要の特徴として、ドイツでは熱・暖房需要が最終エネルギー需要の半分以上を占めることが挙げられる。そのため、建築物や産業部門での熱需要における脱炭素化がエネルギー転換の成果を左右するともいえる。これら低炭素化が難しい部門での対応策として期待さ

⁸ EU では域内での競争を歪めるような国家補助は規制されているが、域内全体に経済成長をもたらすような条件を満たす場合は、国家補助でも規制対象外となり、IPCEI として欧州委員会によって承認される。

れるのが水素やカーボンニュートラルメタンなどの合成燃料である。2019 年 9 月に採択された気候保護プログラム 2030 (2030 Climate Action Programme)⁹でも、研究開発 (R&D) において水素の重要性が記されており、「水素戦略」についても触れられていた。次に、ドイツがこれまでどのように水素を支援してきたか整理する。

2.1. 水素支援策

2.1.1. 研究開発 (R&D) 支援

ドイツにおける水素導入の支援は、燃料電池および水素技術に関する R&D を中心に行われてきた。1977 年以降、エネルギー研究プログラム (Energy Research Programme) を通じて、エネルギー技術の研究に対して資金が提供されている。最新は、2018 年 9 月に採択された第 7 次エネルギー研究プログラムで、連邦政府は RD&D に 2018 年から 2022 年で€64 億を割り当てた (第 6 次エネルギー研究プログラムから 45% 増加)¹⁰。第 7 次エネルギー研究プログラムから、特定の技術だけでなく、エネルギーシステムの根本的な再構築において主要な役割を担う分野横断的な技術についても適用されるようになった。「デジタル化」や「エネルギー転換」と共に、輸送や産業・建物の冷熱分野において再エネが効率的に利用されることを可能とする「セクターカップリング」が重要視されている。余剰の再エネ電源からグリーン水素 (合成燃料) を製造して各分野での燃料や熱としての活用が目指される。

第 7 次エネルギー研究プログラムでは大規模実証 (ドイツ語で'Reallabor'という言葉が使われており、「実際の環境での実験 (laboratory)'を示す¹¹) も注力されている。2019 年 7 月、ドイツ連邦経済エネルギー省 (BMWi) は、低炭素水素を対象とする「エネルギー転換のための大規模実証 (Reallabore der Energiewende)」に関する競争入札の結果を公表した¹²。低炭素水素の製造・輸送・利用に関する 20 のプロジェクトが選ばれ、これらのプロジェクトに対して BMWi は年間€1 億の資金を提供する。大規模実証からエネルギーシステムやエネルギー転換に対する影響等、新しい技術を実際に運用していくための知見の習得が期待される。また、ビジネスモデルが長期的に競争力を持つために必要な法的枠組みの構築にも役立てる。

連邦政府による水素・燃料電池の R&D 支援は年間€2,000 万前後で推移しており、2018 年は€2,441 万であった (図 1)。以前は、燃料電池技術に関するプロジェクトへの支援が多かったが、近年では水素生産・貯蔵技術に関するプロジェクトへの資金も拡大している。

⁹ The Federal Government (September 20, 2019). "Climate Action Programme 2030"

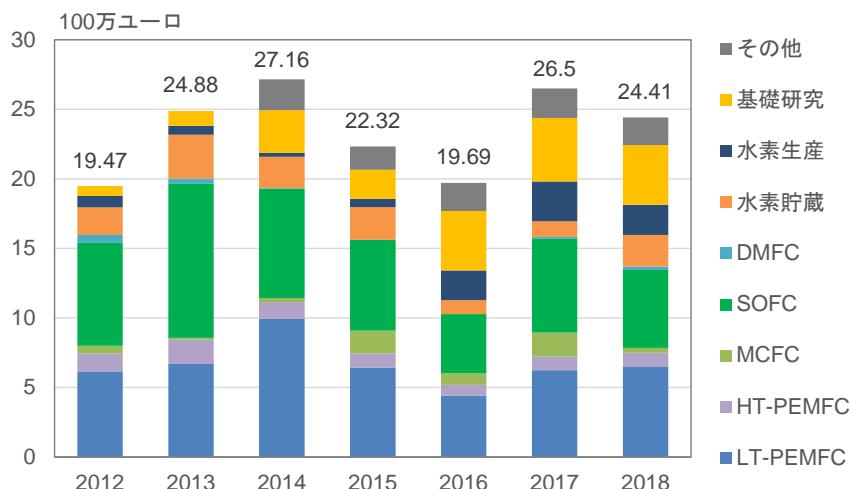
(<https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action/klimaschutzprogramm-2030-1674080>)

¹⁰ BMWi (2018). *Innovations for the Energy Transition – 7th Energy Research Programme of the Federal Government*. Berlin/BMWi. p.8

¹¹ Jensterle, M. et al. (2019). *The role of clean hydrogen in the future energy systems of Japan and Germany*. Berlin/Adelphi. p.14

¹² BMWi (July 18, 2019). "Altmaier verkündet Gewinner im Ideenwettbewerb ,Reallabore der Energiewende': „Wir wollen bei Wasserstofftechnologien die Nummer 1 in der Welt werden“." (<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20190718-altmaier-verkuendet-gewinner-im-ideenwettbewerb-reallabore-der-energiewende.html>)

図 1 水素・燃料電池プロジェクト支援資金



(注) LT-PEMFC : 固体高分子形燃料電池（低温）、HT-PEMFC : 固体高分子形燃料電池（高温）、MCFC : 溶融炭酸塩形燃料電池、SOFC : 固体酸化物形燃料電池、DMFC : ダイレクトメタノール形燃料電池

(出所) BMWi (2019) Table 2¹³より作成

2.1.2. 国立水素・燃料電池技術機関 (NOW) による水素・燃料電池の推進

ドイツで水素・燃料電池開発・推進の中心的な役割を担うのが国立水素・燃料電池技術機関 (National Organisation of Hydrogen and Fuel Cell Technology, NOW) である。NOWは、政府と産業界や研究機関の連携を図り、国内外での活動を調整・推進している¹⁴。NOWの主要な活動が、水素・燃料電池技術革新国家プログラム (National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology, NIP) の管理・運営である。NIPは、水素・燃料電池技術の市場参入を可能とし、国際的にも競争力のある技術の育成を目的としており、輸送部門を中心に燃料電池の開発や水素ステーションの整備等を支援している。連邦政府は、第1フェーズ (2007~2016年) では€7億、第2フェーズ (2016~2026年) では€14億を拠出する¹⁵。第2フェーズであるNIP2では、水素・燃料電池技術のR&D支援を継続しつつ、市場の活性化を追求し、競争力が低い製品に対して必要とされるサポートが提供される¹⁶。NOWがNIPの枠組みで支援している主要なプログラムにH2 MOBILITYおよびHyLandがある。

① H2 MOBILITY

NOWは、ドイツ国内の水素ステーション（水素充填設備）の整備を管理しており、NIP

¹³ BMWi (2019). 2019 Federal Government Report on Energy Research – Funding research for the energy transition. Berlin/ BMWi. Table 2 (pp.57-58).

¹⁴ Jensterle, M. et al. (2019). *op.cit.* pp.14-15

¹⁵ The Federal Government (2020). *op.cit.* p.3

¹⁶ NOW. “NIP Programme Funding” (<https://www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme/funding-programme>)

の枠組みで H2 MOBILITY を支援している¹⁷。H2 MOBILITY は、2015 年に 6 社 (Air Liquide、Daimler、Linde、OMV、Shell、Total) が設立した合弁事業会社 (H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co.KG.) で、水素ステーションの整備を行うパートナーシップである。水素回廊 (hydrogen corridor) に沿った 6 つの主要都市 (Hamburg、Berlin、Rhine-Ruhr、Frankfurt、Stuttgart、Munich) にそれぞれ最大 10 ヶ所の水素ステーション設立を目指す。このパートナーシップは、欧州委員会の燃料電池水素共同実施機構 (Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, FCH 2 JU) からも支援を受けている。

② HyLand

NOW は、新たな取り組みとして、NIP の下、2018 年に「HyLand」と称する地方自治体の水素・燃料電池技術の導入を支援するプログラムを開始した。CO2 排出削減目標達成に資するよう輸送部門におけるグリーン水素の導入を目指す。各地域の水素に関するコンセプトの作成や計画の実現化を支援するため、地域の知見に応じて、支援するプロジェクトは「HyStarter」(啓蒙活動や組織立ち上げの支援)、「HyExperts」(コンセプトの作成および詳細な分析)、「HyPerformer」(設備の購入およびコンセプトの実施) に分けられ、競争ベースでの公募が行われた¹⁸。

その結果、2019 年 9 月には、「HyStarter」として応募数 85 の案件から 9 地域 (7 分野) が選ばれ、続いて 2019 年 12 月に「HyExperts」13 地域および「HyPerformer」3 地域が決定された¹⁹。「HyStarter」の 9 地域は、ステークホルダーの研修や輸送・暖房・電力・貯蔵分野でのグリーン水素・燃料電池に関する初期のコンセプト作成に関して約 2 年間指導を受ける。一方、「HyExperts」には水素に関するコンセプトを明確なプロジェクト案として作成するために €30 万が支給され、「HyPerformer」は水素や燃料電池に関するコンセプトを実施するるために €2,000 万が投資される形で支給される。

2.2. 水素利用推進に向けた取り組み

2.2.1. 部門別水素利用の現状

ドイツでは日本と同様に化石燃料から生産されるグレー水素が利用されている。ただし、次項でみると余剰再エネを使ったグリーン水素の実証が積極的に行われている。

産業部門で生産される水素のうち、約 4 分の 3 は、製油所および化学産業で生産・消費さ

¹⁷ NOW. "Development of a hydrogen refuelling station network" (<https://www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme/aufbau-wasserstoff-tankstellennetz>)

¹⁸ NOW. "HyLand- Hydrogen regions in Germany" (<https://www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme/hydrogen-regions-in-germany>)

¹⁹ NOW (September 9, 2019). "HyStarter competition: nine regions win hydrogen region status" (<https://www.now-gmbh.de/en/news/press/hystarter-competition-nine-regions-win-hydrogen-region-status>)

NOW (December 11, 2019). "Germany on its way to becoming a hydrogen country: Another 16 regions receive support for H2 projects" (<https://www.now-gmbh.de/en/news/press/germany-on-its-way-to-becoming-a-hydrogen-country>)

れている²⁰。ただし、低炭素化が困難な産業部門における水素の活用は、CO₂ 排出を削減するために重要な技術であるため、後述するように、様々な水素利用の実証が行われ、その可能性が探求されている。

輸送部門では、燃料電池自動車（fuel cell vehicle, FCV）の普及が進められており、2019 年 10 月時点で FCV530 台、FC バス 21 台、FC トラック 2 台、FC フォークリフト約 100 台と報告されている²¹。燃料電池車両の普及に必要な水素ステーションの整備も順調に行われており、2020 年 6 月時点で、稼動している水素ステーションは 84 カ所、建設・計画中は 21 カ所となっている²²。水素ステーション整備目標であった 2020 年 100 ケ所を達成する見通しである。また、ドイツでは、2018 年 9 月に世界で初めて燃料電池で走る列車が試験的に導入された²³。Lower Saxony 州の Cuxhaven と Buxtehude を結ぶ 100km の区間で運行され、2020 年 2 月末に試験運転は無事終了している。2022 年には、水素ステーションを設置し、燃料電池の列車 14 両がディーゼル車両に代替する予定である。

家庭用燃料電池では、日本のエネファームのように燃料電池を用いたコジェネレーションシステム（ミニ CHP もしくはマイクロ CHP）が普及している。燃料電池を用いた暖房システムは、2019 年 10 月時点で、6,600 台が設置されている²⁴。ドイツの民生部門では、すでに再エネの余剰電力を使って、水素を生産・貯蔵・燃焼させるシステムを集合住宅に導入する試みがなされている²⁵。また、水素から合成燃料（メタン）に転換して貯蔵する動きも見られる。

発電部門に関して、ドイツでは、燃料電池と無停電電源装置（uninterruptible power supply, UPS）を組み合わせたシステムが、停電時や遠隔地等の非常用電源として普及していることが、日本と異なる点として挙げられる。なお、水素を燃焼させるタービンの研究も行われており、現時点では水素混合 60%まで可能で、将来的には 100%が目指されている²⁶。

2.2.2. Power to Gas (PtG) にみる多様な水素利用の推進

ドイツは、電力から水電解装置によって水素や合成燃料を生産して利用・貯蔵する PtG で世界を先導している。ドイツエネルギー機関（German Energy Agency, DENA）は、2011 年に創設した PtG 戦略プラットフォーム（Strategieplattform Power to Gas）によって、PtG の普及、技術開発、市場への参入を促進している²⁷。約 30 のパートナー企業が、ビジネスモデルお

²⁰ Jensterle, M. et al. (2019). *op.cit.* p.6

²¹ International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE). “Germany” (<https://www.iphe.net/germany>)

²² H2.LIVE. <https://h2.live/en/>

²³ Alstom (May 19, 2020). “Successful year and a half of trial operation of the world's first two hydrogen trains, next project phase begins” (<https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/5/successful-year-and-half-trial-operation-worlds-first-two-hydrogen>)

²⁴ IPHE. *op.cit.*

²⁵ Jensterle, M. et al. (2019). *op.cit.* p.5.

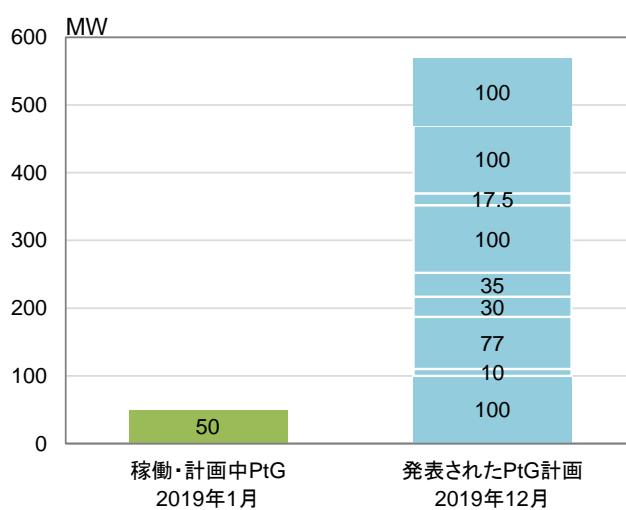
²⁶ *Ibid.* p.7

²⁷ Strategieplattform Power to Gas. <https://www.powertogas.info/die-plattform/>

より規模の経済の確立のため、PtG の商業化および市場開発に参加している。PtG の事例は着実に増加しており、同プラットフォームでは、計画段階のプロジェクトから、稼働中、商業化したものまで 68 事業（2020 年 6 月時点）の概要が確認できる。この中には、第 7 次エネルギー研究プログラムの支援対象となった大規模実証も含まれている。

2019 年は特に PtG に関する動きが顕著で、2019 年初めは PtG における計画・稼働中の水電解装置容量は 50 カ所で約 50MW であったのが、同年末までに公表された PtG の計画における水電解装置容量は 600MW に迫る勢いで増加した（図 2）²⁸。水電解装置の規模が大きくなっており、近い将来、100MW レベルの PtG システムも導入される見通しである。

図 2 2019 年ドイツにおける PtG 設備容量の変化



（出所） TÜV SÜD より作成

多様な PtG の事例の中から、以下に、大規模なグリーン水素事業、産業部門、民生部門で活用される事例を紹介する。

(1) 大規模グリーン水素事業

ELEMENT EINS : TenneT（送電）、Gasunie Deutschland および Thyssengas（ガス輸送）が、Lower Saxony 州で TenneT が所有する変電所に風力を使う 100MW の PtG プラントの建設を計画している²⁹。2022 年から運転を開始し、水素は既存のガスパイpline を活用して輸送され、暖房や産業部門でのガスを代替することで低炭素化を可能にする。

Hybridge : 同様のプロジェクトに Amprion（送電）と Open Grid Europe（ガス輸送事業）

²⁸ TÜV SÜD (January 28, 2020). “Power-to-Gas expansion on steep growth path” (<https://www.tuv-sud.com/en/press-and-media/2020/january/power-to-gas-expansion-on-steep-growth-path>)

²⁹ TenneT (January 20, 2020). “Power-to-Gas-Projekt ELEMENT EINS fasst Standort Diele ins Auge” (<https://www.tennet.eu/de/news/news/power-to-gas-projekt-element-eins-fasst-standort-diele-ins-auge/>)

が計画している「Hybridge」がある³⁰。€1 億 5,000 万を投じて Emsland 南部（Lower Saxony 州と North Rhine-Westphalia 州の間）にある Ampriion の変電所に 100MW の PtG システムの建設を計画している。2023 年から運転を開始し、当プロジェクトも既存のガスパイpline を活用して水素を輸送する。輸送部門への燃料としての水素供給や水素の貯蔵も計画されている。

ReWest 100 (Reallabor Westküste 100) : Schleswig-Holstein 州で「Westküste 100」が、洋上風力による電力から水素を製造して、産業・輸送部門の低炭素化、および、水素の貯蔵（岩塩空洞や枯渇ガス田）を行うプロジェクトである³¹。5 年間のプロジェクトでは水電解装置 30MW が設置され、運転や管理に関する知見を蓄積した後、次の段階として 700MW の水電解装置が考えられている。水の電気分解によって水素と共に得られた酸素を、セメント工場の燃焼工程に用いることで CO2 排出を抑制できる³²。さらにセメント工場から排出される CO2 は、製油所で原料として合成燃料（航空用燃料もしくは化学原料）の製造に活用される。このように、セメント産業および航空部門の低炭素化を促す仕組みとなっている。

(2) 産業部門

GrInHy および GrInHy2.0 : GrInHy (Green Industrial Hydrogen via steam electrolysis) (2016 年 3 月～2019 年 2 月) は、可逆型高温水電解装置 SOEC (150kW) を製鉄プロセスに組み込んで、その効率性および機能の検証が行われた。約 10,000 時間運転を行った結果、再エネからの電力だけでなく製鉄工程における排熱を利用してグリーン水素を生成し、電解効率 84% (LHV) と高い効率性が示された（燃料電池の実験は試験台に問題が生じ中断）³³。GrInHy2.0 (2019 年 1 月～) では、この電解効率 84% を証明することに加えて、SOEC を 720kW に拡大して同様の実証が続けられる（図 3）³⁴。2022 年までに 13,000 時間運転し、€7/kg 以下の高純度の水素 (99.98%) 100 トンを生産し、製鉄プロセスで活用する。GrInHy2.0 の予算は €550 万で、5 社 (Salzgitter AG (鉄鋼)、Sunfire (高温水電解装置製造)、Paul Wurth (エンジニアリング)、Tenova (金属鉱業)、CEA (フランス研究機関)) が参加している³⁵。なお、Salzgitter グループが進めている CO2 排出を削減するための SALCOS (Salzgitter Low

³⁰ Hybridge. <https://www.hybridge.net/index-2.html>

³¹ Westküste 100. <https://www.westkueste100.de/en/>

「Westküste 100」は、Schleswig-Holstein 州で設立した異業種の 9 企業・機関 (EDF Germany (エネルギー)、Holcim Germany (建築材料製造)、OGE (ガス輸送)、Ørsted (洋上風力)、Raffinerie Heide (製油所)、Stadtwerke Heide (電力・ガス・水・熱の公益企業)、thyssenkrupp Industrial Solutions (エンジニアリング)、Heide Region Development Agency (都市計画・地域経済の公益機関)、the Fachhochschule Westküste University of Applied Science) から構成されるパートナーシップ。

³² 酸素燃焼 (oxyfuel combustion) という CO2 回収技術の一つ。

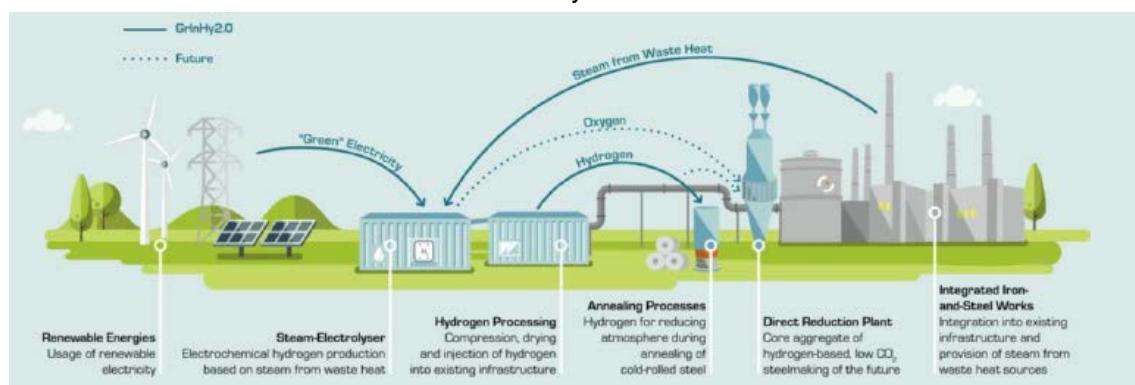
³³ GrInHy2.0. <https://www.green-industrial-hydrogen.com/>

³⁴ Salzgitter AG and Sunfire GmbH (March 14, 2019). “GrInHy2.0 – Hydrogen for low-CO2 steelmaking.” (https://www.green-industrial-hydrogen.com/fileadmin/user_upload/2019_March_GrInHy_2.0_press-release.pdf)

³⁵ GrInHy はドイツ国内外から 8 企業・機関 (Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH、Salzgitter Flachstahl GmbH、Boeing Research and Technology Europe、Sunfire GmbH、VTT Technical Research Centre of Finland、EIFER - European Institute for Energy Research、Institute of Physics of Materials, Brno、Politecnico di Torino) が参加。

CO₂ Steelmaking) プロジェクトでは水素を重視しており、GrInHy2.0 でも鉄鉱石の還元技術として注視している。

図 3 GrInHy2.0 の概念図



(出所) GrInHy2.0

CCU P2C Salzbergen : Salzbergen の清掃工場から排出される CO₂ を CO₂ 分離回収装置 (64,000 t-CO₂/年) で回収し、グリーン水素と CO₂ から合成燃料（メタン）を製造し、合成燃料を活用する CCU について実証が計画されている³⁶。

(3) 民生部門

Exytron climate-friendly living および **Exytron Zero-Emission residential park** : Exytron 社は、再エネの余剰電力から生産した水素を建物の地下等で合成燃料（メタン）に転換して貯蔵し、需要に応じてメタンを CHP やガスボイラーの燃料として用いて建物に電力・冷熱・温水を供給するシステムを提供している³⁷。CHP やガスボイラーから排出される CO₂ はメタン製造に活用されるため循環利用となり、CO₂ 排出を抑えている。このシステムは新築（「Exytron Zero-Emission residential park」では 37 戸の新築テラスハウス型集合住宅に設置）だけでなく、古い建物を改修する方法としても有効で、「Exytron climate-friendly living」は既存の集合住宅（1974 年築、70 戸）にルーフトップ PV を設置してこのシステムを導入し、建物の省エネ・低炭素化を可能にした。

おわりに

ドイツのエネルギー転換に向けた動きを加速するべく国家水素戦略が策定された。連邦政府が国家水素戦略を提示し、技術開発の支援も明確にしたことから、民間部門からの投資

³⁶ BMWi (2019). “Gewinner des Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende“ – Steckbriefe –” p.1 (https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/reallabore-der-energiewende-gewinner-ideenwettbewerb-steckbriefe.pdf?__blob=publicationFile&v=9)

³⁷ Exytron. <https://exytron.online/en/the-principle-of-smart-energy-technology-zero-emission-technologys/>

が促進される見通しである。水素輸入も視野に入れているため、水素輸出を検討している国との協力関係も進められていいくだろう。現に、国家水素戦略発表直後、ドイツはモロッコとグリーン水素生産に関する協力で合意している³⁸。

ドイツの強みは、欧州大での水素推進が可能であることだと考えられる。ドイツだけではなく欧州全体で水素を推進する機運が高まっている。EU は欧州グリーンディール（2050 年に GHG 排出量をネットゼロとする）を掲げ、脱炭素化が進められている。欧州にはノルウェー やスペインのように再エネが電源構成に占める割合が高い国も多い。ノルウェーも同じく 2020 年 6 月に水素戦略を発表しており、燃料電池や都市ガスインフラの活用など、水素利用に関する欧州での法規制について合意されれば、グリーン水素導入の展開が急速に進む可能性もあると考えられる。

日本はいち早く 2017 年に「水素基本戦略」を発表した。日独両国が目指す水素社会への方向性は同じであるが、ドイツの水素戦略と異なり、日本は、水素供給コストや水素利用分野での具体的な数値目標を提示した戦略となっている。例えば、2030 年頃に商用規模の国際的なサプライチェーンを構築し、年間 30 万トンの水素調達、水素コスト 30 円/Nm³ が目標とされる。また、日本の水素戦略では利用分野として発電も含まれており、2030 年頃に水素発電コスト 17 円/kWh で商用化が目指される。なお、輸送部門では、日本は燃料電池の活用が中心で、FCV、FC バス、FC フォークリフトについては明確な導入目標もあるが、航空部門の燃料については言及していない。他方、合成燃料にも注力するドイツは、グリーン水素から生産された合成燃料（ジェット燃料）の利用目標を掲げている。

最後に、ドイツと日本は良好な経済関係が築かれている。水素技術においても、切磋琢磨して技術革新を進めていくことが望ましい。水素分野の連携でも、これまでグリーン水素のみであったが、ドイツがつなぎとしてブルー水素も輸入限定ではあるが容認するようになった。日本も、ブルー水素の輸入・利用だけではなく、グリーン水素を国内で生産する実証も進めている。2020 年 3 月には、10MW の水電解装置を備えた福島水素エネルギー研究フィールド (FH2R) の稼働が開始した³⁹。技術開発によって水素生産コストが低減すれば、水素社会へと近づくことになる。ドイツと日本が水素技術のそれぞれの強みを活かして、世界の脱炭素化へ貢献することが期待される。

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp

³⁸ Guessous, H. (June 10, 2020). "Morocco First to Partner with Germany to Develop Green Hydrogen Sector" *Morocco World News*

³⁹ 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2020 年 3 月 7 日）「再エネを利用した世界最大級の水素製造施設「FH2R」が完成 - クリーンで低コストな水素製造技術確立を目指す - 」
(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101293.html)