JPECレポート
No.221002

2022 年 10 月
調査国際部

北欧におけるe-fuel政策とプロジェクト動向

◇北欧は世界的に見ても再生可能エネルギーの導入比率が高く、2050 年のネット・ゼロに向け水素や e-fuel 製造に関する積極的な取組み政策を打ち出している。
◇2022 年 2 月に始まったウクライナ危機によりエネルギーセキュリティ議論が高まる中、北欧では、自国での再生可能エネルギー導入に加え、新たなエネルギー輸出産業の構築を目指す動きがある。
◇e-fuel 製造には、大量の水素と炭素源となる CO2 の確保が重要であり、北欧各国が連携して技術開発を進めている。
◇北欧の中でも、デンマークは e-fuel に関する具体的国家戦略を打ち出しており、隣接ドイツ市場も念頭に、相次いでプロジェクトを立ち上げている。

1. はじめに

1. はじめに
2. 北欧各国の水素及び e-fuel 政策
3. 北欧の注目 e-fuel プロジェクト動向
4. おわりに

北欧 5 カ国(ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、アイスランド)は、人口は合計で約 2,800 万人、名目 GDP の合計は 1.8 兆ドル強であり、欧州地域ではドイツ、英国、フランス、イタリアに続く経済圏を構成している。

北欧各国とも地球温暖化レベルを 2℃未満に抑えることを目的としたパリ協定に参加しており、自国の豊富な再生可能エネルギーを利用して、2050 年ネット・ゼロの目標達成に向けた技術開発に取組んでいる。

ノルウェーは、2050 年までに 1990 年比で 90～95%の CO2 排出量の削減を見込んでいる。スウェーデンは、2045 年までに他の欧州諸国より 5 年早く CO2 排出量ゼロを達成する計画を打ち出している。フィンランドは、先進的なエネルギー転換の経験が豊富で、2035 年までにカーボンニュートラルを達成する計画である。デンマークは、2030 年までに温室効果ガス排出量を 1990 年比で 70%削減することを約束している。さらに、アイスランドでは、既に総エネルギー消費量の約 80%が自然エネルギーで賄われており、政府は、2030 年までに 2005 年比で 29%の削減を目指している。

各国の目標の達成には、e-fuel の導入が盛り込まれており、政府による開発支援が相次いで立ち上がっている。

なお、e-fuel とは、合成燃料の一部であり、再生可能エネルギーによるグリーン水素を使って生成する炭化水素化合物やメタノール、アンモニア、メタン等を言う。また、Power-to-X とも呼ばれ、液体の場合は Power-to-Liquid (PtL)、ガス状生成物では Power-to-Gas (PtG) と表記される場合もある。

本報では、炭化水素化合物とメタノール(e メタノール)を対象とし、政策とプロジェクトの動向を取りまとめた。

2. 北欧各国の水素及び e-fuel 政策

欧州では、気候変動対策の要となる再生可能エネルギーの導入が着々と進んでおり、欧州各国の最終エネルギーに占める割合の平均値は 2019 年時点で 2020 年目標の 20%を達成している(図 1)。この中で、北欧 5 カ国の比率は環境政策を強化しているドイツ、英国よりも高く、特にノルウェーは水力発電、アイスランドは地熱発電の利用により、再生可能エネルギーの比率が北欧の中でも群を抜いている状況である。

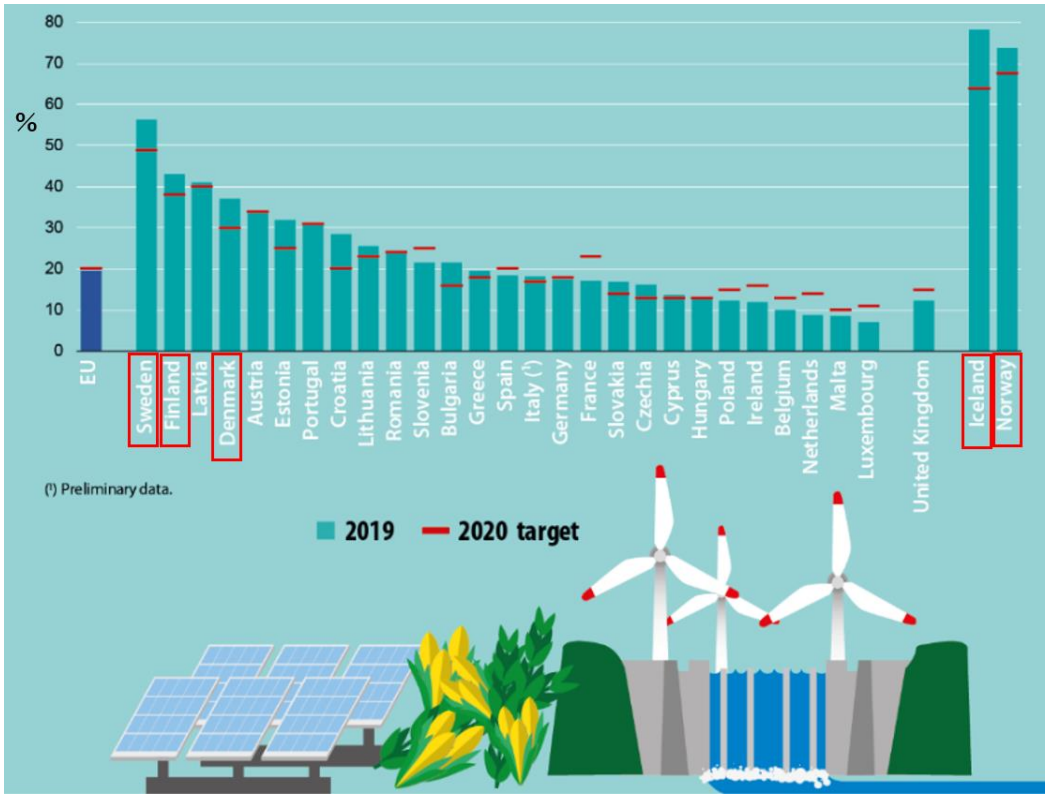


図 1　欧州各国の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギー比率（2019 年）

（出所）Eurostat[1]

北欧各国にとっては、国際的な 2050 年ネット・ゼロの動きに対して、自国の環境対策と合わせ、エネルギー産業の育成の観点も踏まえ、自然エネルギーを最大限活用して製造するグリーン水素や、グリーン水素を使って製造する e-fuel を運輸部門での気候変動対策につなげていく政策を打ち出している。

ノルウェー・オスロに拠点を置く政府系シンクタンクである Nordic Energy Research は、北欧での水素、e-fuel 及び CO2 資源化に関するレポート[2]を取りまとめており、本章では、その一部を紹介する。

(1) ノルウェー

ノルウェーは、北欧で初めて CO2 回収・貯留（CCS）と水素の両方の戦略を策定した国であり、

[1] https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20201218-1

[2] "Hydrogen, electrofuels, and CCUS in a Nordic context"（2022/2/7）
https://www.nordicenergy.org/publications/hydrogen-electrofuels-ccu-and-ccs-in-a-nordic-context/

CCS 戦略は 2014 年に遡り、同国の水素戦略は 2020 年に公表された[3]。

2020 年時点で同国は、2030 年までに GHG 排出量を 1990 年比で 50～55%削減し、2050 年までに 90～95%削減する、いわゆる「低排出社会」に移行するという政策を打ち出している。

さらに、政府は 2021 年 6 月に水素戦略のフォローアップとして、需要分野毎に予測される短期、中期、長期の解決策をまとめたロードマップを発表した。

まず、2025 年までの短期的には、政府は民間企業と協力して、

・海上輸送や大型車両のための 5 つの水素ハブの設立

・バリューチェーンの実証のため水素製造施設を備えた 1～2 件の産業プロジェクトの立ち上げ

・水素ソリューション技術の開発と実証のため 5～10 件のパイロットプロジェクトの立ち上げ

2030 年までの中期的には、

・船舶や自動車の供給に合わせて地理的に分散した需要ベースの水素ハブのネットワーク構築

・ノルウェー海域や近海航路に水素船舶（高速フェリー）を代替船舶として導入

・欧州やその他の地域への大きな輸出可能性を持つ大規模水素プロジェクトの立ち上げ

・化石エネルギーに代わる競争力ある水素の利用

・ノルウェー水素ビジネスの欧州水素市場発展への寄与

を実現するとしている。

上記目標達成のために、ノルウェーは、再生可能エネルギーにより製造されるグリーン燃料の需要と供給の両方を刺激するために、いくつかの財政措置を講じている。供給面では、電気分解に使用する電力は現在、電力税が免除されている。需要面では、2025 年まで、電気自動車と同様に、水素自動車にも低税率と様々な利用上の利点が与えられている。

(2) スウェーデン

スウェーデン議会は、2016 年、グリーンテクノロジーと再生可能エネルギーの高い比率を実現し、2040 年までに電力を 100%再生可能エネルギーとすることを決議した。

さらに、議会は、2017 年にスウェーデンの気候法を用いた気候政策の枠組みを採択し、同国の長期的な目標を掲げている。

温室効果ガス排出量に関するマイルストーン目標は、2020 年までに 1990 年比で 40%削減、2030 年までに 1990 年比で 63%削減、2040 年までに 1990 年比で 75%削減、2045 年までにネット・ゼロにし、2045 年以降にマイナス排出を目指す。

さらに、スウェーデンでは、航空を除く国内輸送による排出量を 2030 年までに 2010 年比で 70%削減することを目指している。

世界で最初に化石燃料を使わない国になるという目標を達成するため、企業、自治体、地域、団体等からなる組織「Fossil Free Sweden」が 2015 年に設立され、政府主導で活動を開始している。

[3] https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/the-norwegian-governments-hydrogen-strategy/id2704860/

「Fossil Free Sweden」は、政府に提出する政治的な提案[4] を作成し、政治的に合意された対策を実行するために参加者を集めており、2018 年には、スカンジナビア航空（SAS）、スウェーデンの空港運営会社（Swedavia）、スウェーデン国立研究所（RISE）によって、同様のプロジェクト「化石フリー航空輸送 2045（Fossilfritt Flyg Sverige 2045）」が設立された。このプロジェクトの共通の目標は、2030 年までにスウェーデンのすべての国内線、2045 年までにスウェーデンの空港を離陸するすべての便で化石燃料の使用を廃止することを目指している。

2021 年 12 月には、政府は、2045 年までに温室効果ガス排出量をネット・ゼロにする「国家水素戦略（Hydrogen strategy）」[5]を発表したが、この中では戦略のヒントとして、「Fossil Free Sweden」が 2020 年に発表した水素戦略を引用しており、目標を 2030 年までに 5GW の電解電力導入、2045 年までに少なくとも 15GW の電解槽を導入と提案していた。

スウェーデンには、パルプ・製紙工場からのバイオマス由来 CO2 とセメント工場からの化石燃料由来 CO2 の排出源が多数あることから、CCS へ取組みも検討されていたが、同国とフィンランドの地域では CO2 貯留に適した地盤がないことから、CO2 利用への関心が高まっている。

運輸部門での CO2 排出量削減策として、船と航空機への持続可能なバイオ燃料の配合に対してはエネルギー税と炭素税が免除されている。また、ガソリンとディーゼルに対する排出量削減義務では、バイオ燃料の利用が奨励されている。さらに、同国の法律では、再生可能燃料の利用促進のため、2020 年から大型給油所には少なくとも 1 つの再生可能燃料を提供することが義務付けられている。

しかしながら、e-fuel はこれらの燃料に含まれていないため、政府は今後、e-fuel も含めた法律整備を図るべく検討を行っている。

(3) フィンランド

フィンランドは、世界初の脱化石福祉社会を目指しており、現行の気候変動法では、国の長期的な温室効果ガス排出削減目標を、2050 年までに 1990 年比で少なくとも 80%削減としている。

しかし、この長期目標は、気候変動法改正の一環として、2035 年にカーボンニュートラルを達成するとの目標で見直しが行われている。達成手段として、短期的にも長期的にも、CCS を含む炭素吸収・貯留の強化を謳っている。

水素、e-fuel、CCUS については、まだ具体的な政府戦略はないが、2014 年策定のフィンランド・エネルギー・気候ロードマップ 2050 では、まず CCS が実用化されなければ、排出量の 80%削減は達成できないことが明示されている。

そのため、国のロードマップ改訂の準備として、フィンランドの 13 のセクターが協調してセクター別のロードマップを作成し、2035 年のカーボンニュートラルなフィンランドに向けて必要な行動の規模、コスト、条件について理解を深める協議が行われた。

2022 年 9 月には、2035 年に向けた気候変動対策戦略“Carbon neutral Finland 2035 – national

[4] https://fossilfrittsverige.se/en/start-english/strategies/hydrogen/
[5] https://www.enlit.world/hydrogen/sweden-a-national-strategy-for-green-hydrogen/

climate and energy strategy”[6]が公表された。水素と e-fuel が産業（特に鉄鋼生産）および輸送セクターで大きな役割を果たすことが期待されており、フィンランドで消費されるすべての輸送用燃料に占める再生可能燃料（水素と e-fuel を含む）の割合を 2030 年までに 30%に引き上げるとしている中で、e-fuel 需要は 2030 年までに運輸部門全体の 3%まで目指すとしている。

CO2 対策については、スウェーデンと同様に CO_2 貯留に適した地盤がないため、ノルウェー西部に輸送して貯留すべく、ノルウェー政府系企業と協議を進めている。

現在、ガソリンとディーゼルの販売業者は、バイオ燃料とバイオガスを最大 20%まで混合することが義務付けられているが、最近の規制の改訂により、2023 年から e-fuel が追加され、市場においてより公平な競争条件が提供される準備が整った。これにより 2030 年までに輸送用燃料中の再生可能燃料の割合を 30%に高めるとしている。

しかし、他の北欧諸国と同様に、フィンランドも、燃料を輸送する機能的なインフラがないため、水素と e-fuel の導入に大きな課題を抱えている。

フィンランドの低炭素水素製造のほとんどは Neste の Porvoo 製油所等がある南部で行われるが、産業界からの引き取りは主に中部または東部フィンランドで行われている。水素供給ネットワーク構築に参画する一部の企業が独自の取組みを目指しているが、地理的な問題やガソリンスタンドなどのインフラ整備にもコストがかかるため、この課題を改善する国家計画は現在のところ存在しない。

フィンランドの電力に占める再生可能エネルギー比率は約 40%であり、今後、石炭を廃止し、原子力の割合（現在 2 基）を増やすことで水素を製造する電力を確保するとしているが、フィンランドには CO2 と同様に、水素の貯蔵に適した自然由来の場所がないことは、今後の国家水素戦略を進めていく上で大きな課題となる。

(4) デンマーク

2020 年、デンマークの気候法は、2030 年に CO_2 排出量を 1990 年比で 70%削減し、遅くとも 2050 年にはネット・ゼロにする目標を掲げている。政府は、まず 2030 年の目標に向けたロードマップに必要なすべての決定を 2025 年までに行う予定となっている。

2021 年 12 月、政府は、水素、e-fuel と CO2 利用・貯留（CCUS）に関する戦略“The Government’s Strategy for Power-to-X”[7]を発表した。

水素、e-fuel、CCUS のプロジェクトには、いくつかの政府ファンドが投入されており、2020 年の国家予算で 250 億デンマーククローネ（約 34 億ユーロ）の緑の未来基金（Green Future Fund）を創設し、エネルギーシステムを再生可能エネルギー利用へ転換、エネルギーの貯蔵と効率的な利用、新しい技術の開発等を推し進め、風力発電やエネルギー効率の改善など、グリーンテクノロジーの世界的な輸出を促進するとしている。

また、政府は、財団 Innovation Fund Denmark を通じて、2021 年に 7 億デンマーククローネ（9,400 万

---

6 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164323

7 https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/strategy_ptx.pdf
https://investindk.com/-/media/websites/invest-in-denmark/files/stig-rasmussen-ptx-conference-presentation.ashx

ユーロ)を確保し、CCUS やグリーン燃料(PtX を含む)等の分野での研究に投資することを決定した。

特に、水素と電解技術は、デンマークの Topsoe 等の企業や、デンマーク工科大学(DTU)や Aalborg(オールボー)大学等での伝統的な研究分野であるため、政府は PtX における商業的な強みを活かしつつ、国内の GHG 排出量を削減することと、風力エネルギーと同様に輸出の可能性のある新しい技術分野を支援する方針を打ち出している。

エネルギーセキュリティの面で見ると、デンマークの電力および熱源用のバイオマスの約 50%は輸入されており、その量は過去 30 年間で着実に増加しているため、国家的な観点から、将来的には、安価で持続可能なバイオマスの調達に加え、e-fuel 製造に必要な CO2 源の確保が重要となる。

(5) アイスランド

2020 年に一次エネルギー消費の 90%を再生可能エネルギーが占めるまでに脱炭素化が進んでいる。国民一人当たりの再生可能エネルギーによる発電の割合は世界一であり、暖房や給湯も完全に再生可能エネルギーで賄われている。また、同国は CO2 の回収・利用・貯留においても顕著な成果を上げている。

アイスランドは、気候行動計画を 2018 年に開始し、2020 年 6 月に改定した[8]。2030 年のパリ協定の排出削減約束を上回ることと、2040 年にアイスランドのカーボンニュートラルを達成することの 2 つの目標に焦点を当てている。この行動計画は、2030 年までの森林再生の増加から化石燃料車両の新規登録の禁止に至るまで、政府の複数の施策から構成されている。

計画の一部は、水素や e-fuel、バイオメタン、炭素回収、必要な移行を促進するためのインセンティブの創出と利用に関連するアクションに焦点を当てている。これらのアクションのほとんどはまだ開発中であり、そのため定量化されたものはごく僅かである。

2021 年に発表された 2050 年までのエネルギー戦略では、2050 年のビジョンを提示した。このビジョンでは、気候変動を緩和する主な手段として、再生可能エネルギーを掲げ、アイスランドが生産、移行、効率性、効率的な多目的利用コンセプトのリーダーとなり、2050 年には化石燃料に依存せず、化石燃料を完全に廃止するとしている。

現在、同国の一次エネルギー需要の 10%は化石燃料に依存しているため、陸上輸送、漁業、航空におけるエネルギー転換のため、主に 2 つのアプローチとして、技術的に可能な限り直接電化を行うことと、代替燃料を使用することを掲げている。直接電化は、エネルギー効率の面で代替燃料よりも優れているため、乗用車や様々なサイズのトラックやバスにまで普及する可能性が高く、ノルウェーに次いで電気自動車の新規登録台数が多い国となっている。さらに、同国は、地熱発電による競争力のある電力価格と 100%グリーン電力網により、グリーン水素と e-fuel の国内生産に必要な条件が整っている。政府当局は、現在、国内での水素および e-fuel のロードマップを策定中である。

[8] https://www.government.is/library/01-Ministries/Ministry-for-The-Environment/201004%20Umhverfisraduneytid%20Adgerdaaaetlun%20EN%20V2.pdf

3. 北欧の注目 e-fuel プロジェクト動向

現在、スカンジナビア地域全体で 36 カ所グリーン水素施設が稼動しており、2022 年から 2030 年にかけて、さらに 64 件のプロジェクトが立ち上がる予定と報道されている[9]。この地域における現在のグリーン水素の生産能力は年間 1 万 3,000 トンで、進行中のプロジェクトに基づくと、2030 年までに総生産能力は年間 210 万トン超に達することとなり、e-fuel 向けに供給の拡大が期待できる。

一方、e-fuel 製造には、グリーン水素に加え、炭素源となる大量の CO2 の確保が課題となる。直接空気回収(DAC)は実用化までに時間がかかるため、中期的には、工場から排出される CO2 の回収が実用化で先行するとみられる。そのため、北欧各国は e-fuel 製造拠点ともなり得る CO2 の排出源となる工場 232 カ所を調査し、産業分類別に整理を行った。

図 2 に示すように、スウェーデンとフィンランドは豊富な森林資源を持つため、パルプ関連工場や木質バイオマス発電所が南部で稼働しており、CO2 排出源となっている。

このうち、輸送用燃料を製造している石油会社は、フィンランドに 1 カ所(Equinor)、スウェーデンに 3 カ所(Preem, St1)、フィンランドに 1 カ所(Neste)、デンマークに 2 カ所(Klesch, Crossbridge Energy)あり、気候変動対策として、バイオ燃料やグリーン水素、e-fuel 製造への取組みを公表している。この中で、e-fuel 製造については、フィンランドとスウェーデン、デンマークの石油会社 3 社がプロジェクトに参画しており、後述する。

これまでに当センターの調査で得られた情報をもとに、北欧での e-fuel プロジェクトの事例を以下に記載する。また、本章の最後には一覧表として整理した。

(1) ノルウェー

Norsk e-Fuel

2019 年設立の同社は、当初、第 1 号プラントをノルウェー南部の Herøya に建設と発表していたが、2022 年 2 月に北部の Mosjøen(モーシェーン)に建設地を変更すると発表した[10]。

現時点での建設計画は、2023 年に第 1 号機建設開始、2024 年末に年間生産能力 1.25 万 KL で運転を開始し、2026 年には装置をフル稼働して年間 2.5 万 KL の SAF 用 e-fuel を製造するとしている。

グリーン水素は、Gen2 Energy AS から調達するとしており、同社は Mosjøen の海岸にプラントを建設し、国内及び欧州市場向けの水素輸送を開始すべく、2024 年に建設を開始し、2025 年前半に水素の製造が始まる。また、再生可能電力は Mosjøen 近郊の丘陵に建設中の Øyfjellet(オイフェレ)風力発電所(400MW)から調達の見込みであり、風力発電所は 2022 年稼働を開始している。

株主には、ドイツの電解槽メーカーSunfire や直接空気回収(DAC)ライセンサーであるスイス Climeworks、ルクセンブルグのエンジニアリング会社 Paul Wurth、さらにノルウェーの投資会社 Valinor 等が含まれており、国際的な経営体制となっている。

---

[9] https://stratasadvisors.com/insights/2022/07232022-greenhydrogenscandinavia

[10] https://www.norsk-e-fuel.com/articles/coming-soon-green-jet-fuel-from-mosjoen?fbclid=IwAR1aOjLus4wZpAYFtIngSAuoNFFSVaITVypEvL8Ma87_ed-n_hfWARH5UW4

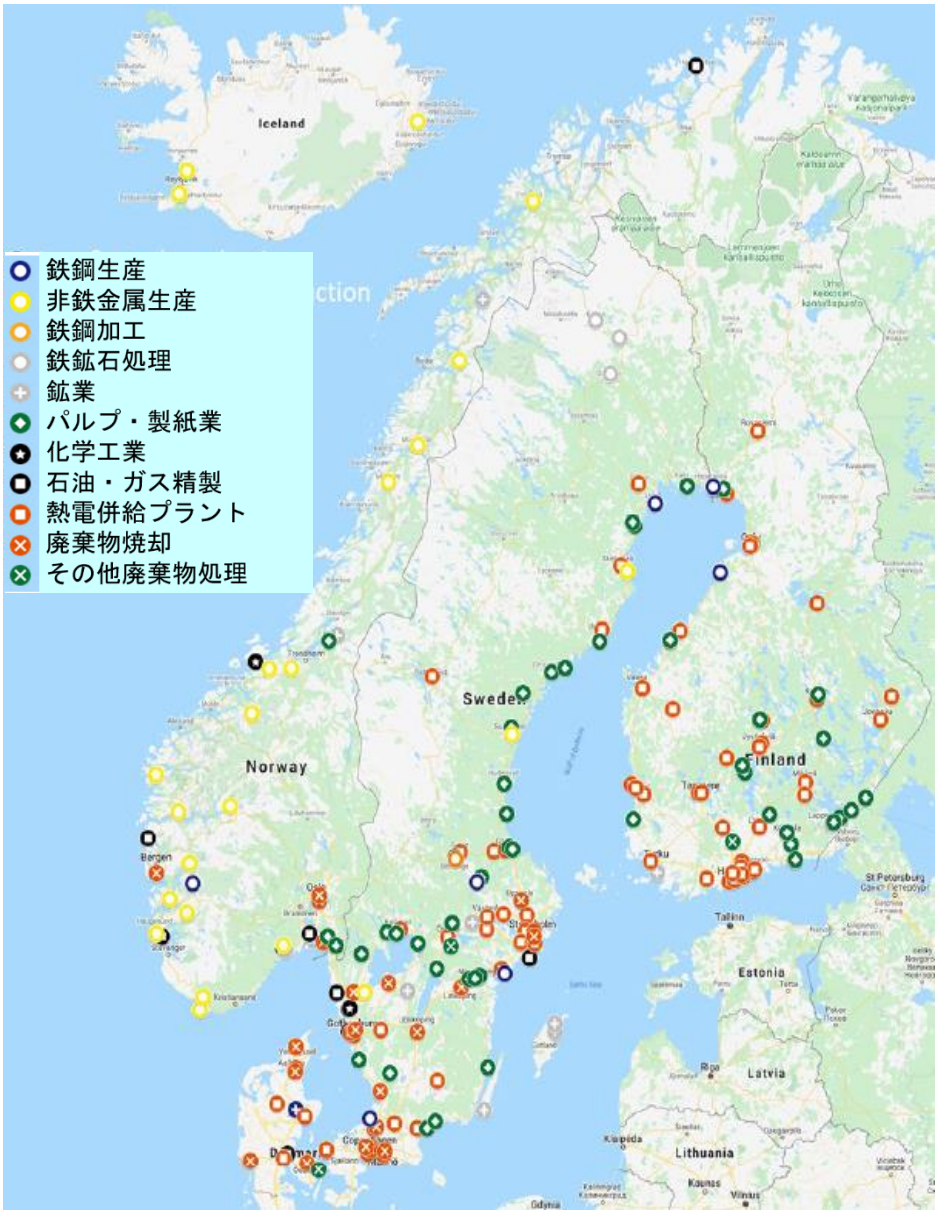


図 2　産業活動別に分類された e-fuel 製造用 CO2 排出源調査 232 カ所

（出所）Nordic Energy Research[11]

Nordic Electrofuel

同社は、2015 年に設立され、資金調達のため、国際会議等で頻繁に事業戦略の発表を行っている。

プロジェクト初期は、ドイツ Sunfire が電解槽供給メーカーとして参画していたが、途中、離脱し、他社のアルカリ電解槽に変更している。

また、将来の製品の流通を見据え、ドイツのエネルギー製品輸送会社 Marquard & Bahls からの出資契

[11] "Nordic Energy Research, Nordic Power 2X for Sustainable Road Transport"（2020/9/28）
https://www.nordicenergy.org/publications/nordic-power-2x-for-sustainable-road-transport/

約を締結、ノルウェー科学技術大学(NTNU)が開発した部分酸化反応と逆水性ガスシフト反応器(POX-RWGS)の導入も決定している。e-fuel 製造用電力調達のため、子会社 Nordic Wind を設立している。

2021 年 5 年、ノルウェー大手エンジニアリング会社 Aker Solutions と FEED 契約を結んだ後、2022 年 1 月に Herøya 工業団地内でプラント建設に着工した。当初、2023 年に第 1 号機の運転開始を公表していたが、計画が都度見直されており、現時点では 2025 年に稼働開始がずれ込んでいる。

製造能力年間 1 万 KL 規模で設備投資額は 1.2 億ユーロとし、資金調達は表 1 の構成となっている。

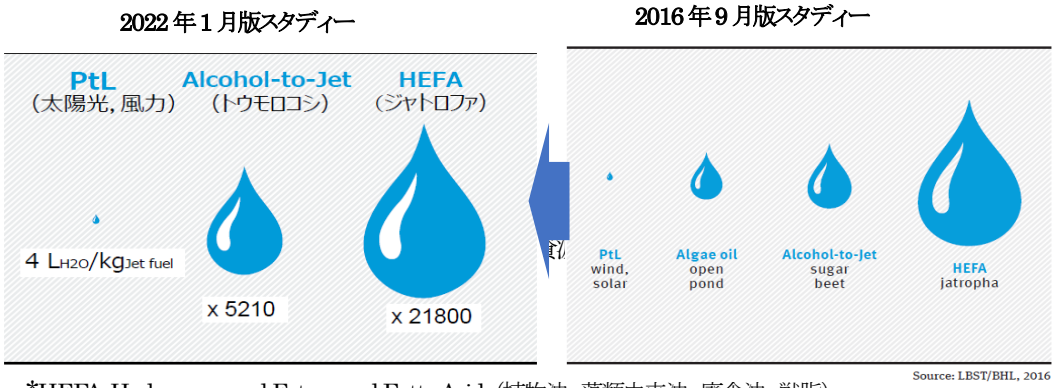
表 1　Nordic Electrofuel の 1 号プラントの資金調達構成

	出資者	出資額(百万€)	出資比率 (%)
助成金	ノルウェー投資銀行 ENOVA / 欧州投資銀行(EIB)	30	25
融資	商業銀行/輸出信用機関(ECA)	30	25
株主	産業界/戦略的投資家/ IPO	60	50
合計		120	100

(出所) Noridic Electrofuel

さらに、年間 20 万 KL 規模でのフィージビリティスタディ中であり、設備投資 2.62 億ユーロと概算を公表している。

同社は、ドイツ連邦環境庁(UmweltBundesamt, UBA)の e-fuel スタディー(図 3)を引用し、バイオ燃料製造にはバイオマス資源確保に大量の水と土地が必要であるが、e-fuel は水需要が極めて少なく、単位面積当たりの飛行距離が極めて長いことで優位性があると一貫して主張している。



*HEFA:Hydroprocessed Esters and Fatty Acids(植物油、藻類由来油、廃食油、獣脂)

図 3　航空燃料製造(PtL、合成とバイオマス由来燃料)における水需要量比較

(出所) ドイツ連邦環境庁(UmweltBundesamt, UBA)[12]

また、2030～2035 年には航空燃料向け e-fuel として、バイオ系航空燃料である Alcohol-to-Jet 製品と同等の価格になるとの分析を行っており、長期計画として、ノルウェー国内に e-fuel プラントを展開し、2050 年に年間生産規模 100 万 KL を目指すとしている。

[12] "Power-to-Liquids A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation" https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/power-to-liquids_ptl_barrierrefrei.pdf

Finnfjord

ノルウェー北部の Finnfjord（フィンフィヨルド）精錬所からの排出 CO2 と水力発電事業者 Statkraft による電解水素から e メタノールを年間 10 万トン製造するプロジェクトとして、当初、2021 年末に最終投資決定が行われると発表されていたが、決定が 2023 年末に延期されている[13]。

プラントの情報開示が限られているが、燃料化技術には、アイスランドでの e メタノール製造に採用されている Carbon Recycling International（CRI）の Emissions-to-Liquids（ETL）技術を採用するとしている。

(2) スウェーデン

Liquid Wind

Liquid Wind とデンマーク風力発電大手 Ørsted が共同出資する FlagshipONE は、スウェーデン初の大規模なグリーン電力燃料プラントを中部海岸の Örnsköldsvik（エルンシェルツビク）で建設する申請を 2021 年夏に行い、本年 7 月に認可が下りた。計画では、2022 年に投資決定、2024 年に稼働開始としている[14]。

パートナーとして、スウェーデンの熱交換器メーカーAlfa Laval や CO2 回収技術を提供する英国の Carbon Clean、グリーン水素製造用 PEM 型電解槽メーカーであるドイツ Siemens Energy、フィッシャー・トロプシュ（FT）合成ユニットを供給する Topsoe 等が参画している。

2022 年 6 月には、Liquid Wind は、Sundsvall Energi（スンズヴァル・エネルジ）の Korstaverket（コルスタベルケット）サイトに 2 番目の e-fuel 施設の建設「FlagshipTWO」計画を発表した[15]。

CO2 供給は、Sundsvall Energi（スンズヴァル・エネルジ）が担う。

このプラントは、FlagshipONE プラント（年間 5 万トン）の 2 倍の年間 10 万トンの製造能力を有し、船舶用 e メタノールを製造する。最終投資決定は 2023 年後半、生産開始は 2025 年末から 2026 年初頭と計画している。

Liquid Wind は、このような Flagships プラントを 2030 年までに国内 10 カ所以上に建設することを計画している。

(3) フィンランド

Neste - VTT

石油精製会社 Neste と VTT フィンランド技術研究センター（VTT）は、2021 年 2 月に e-fuel 製造のデモプロジェクトを立ち上げると発表した[16]。政府ファンド 330 万ユーロを獲得済みである。

建設場所は VTT の Bioruukki（ビオルーキ）研究所内であり、プロジェクトの進捗について、2022 年 6 月

---

13 https://www.carbonrecycling.is/projects#finnfjord-emethanol

14 https://www.liquidwind.se/flagships
https://www.di.se/hallbart-naringsliv/Ornskoldsvik-far-miljardinvestering-i-fossilfri-sjofart/

15 https://www.liquidwind.se/news/liquidwind-announces-plans-for-flagshiptwo-sundsvall

16 https://www.neste.com/releases-and-news/innovation/nestes-veturi-partner-programme-commercialize-e-fuels

にオンライン・ワークショップ[17]での報告があった。

FT 合成にはドイツ INERATEC のモジュールを採用、電解槽等も専門メーカーから調達し、統合プロセスを構築することを目指している。2022 年 5 月に建設を開始しており、2023 年後半にデモンストレーション装置が完成することとなっている。

Neste は、化石燃料中心の製油所をバイオ燃料等の次世代燃料や化学品の製造拠点へ転換することを進めており、欧州で e-fuel が航空燃料として利用が義務化されることを見据え、自国での製造技術開発に取組むとしている。

St1

北欧でのエネルギー製造・販売事業を手掛けているフィンランド St1 は、スウェーデンの Gothenburg（ヨーテボリ）製油所で石油製品の製造を行っているが、本年 10 月、フィンランド初の e メタノール製造プロジェクトを立ち上げたと発表した[18]。

同社は、Lappeenranta（ラッペーンランタ）の Ihalainen（イハライネン）工業用地にある Finnsementti（フィンセメント）工場の隣に、グリーン水素利用したパイロットプラントによる合成メタノールの製造を計画している。

フィンランド経済・雇用省は、欧州復興ファンドを活用して 3,540 万ユーロの資金を供与するとしており、欧州委員会の決定待ちの状況となっている。

事業計画と、環境影響評価等、許可に必要なすべての手続きが完了後、プロジェクトの投資決定段階に進むが、現時点で時期は公表されていない。計画通りに進めば 2026 年に年間 2.5 万トンの e メタノール製造プラントが稼働するとしている。

(4) デンマーク

政府の“Power-to-X Strategy”により、2022 年に入り、プロジェクトの発表が続いている、

e-fuel 製造者だけでなく、同国には、脱炭素ソリューションを提供する国際的な企業であるエンジニアリング会社 Topsoe や Ramboll、洋上風力会社 Ørsted、風力発電機メーカーVestas があることも再生可能エネルギー産業の発展に貢献するとしている。

図 4 に示したデンマークの Power-to-X プロジェクトマップには、グリーン水素、e-fuel、e メタノール、グリーン水素製造拠点が含まれる。北欧の中でも、これだけ具体的なプロジェクトを政府戦略文書に謳っているのはデンマークだけである。

以下、e-fuel と e メタノールのプロジェクト（図 4 のなかで番号を□で囲った 5 カ所）に関わる企業について概要を述べる。

17 https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/e-fuel-mid-term-online-workshop
18 https://www.st1.com/st1-is-planning-a-synthetic-methanol-pilot-plant-in-lappeenranta-finland

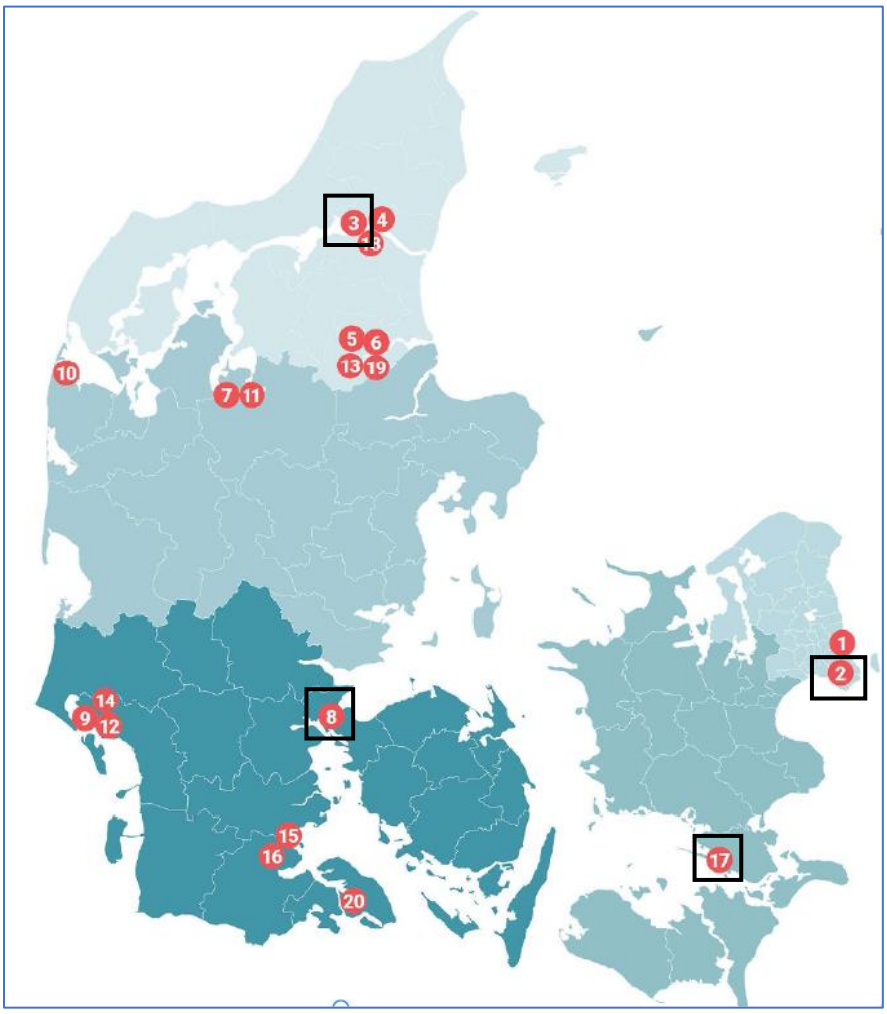


図 4　デンマーク政府 Power-to-X 戦略におけるプロジェクトマップ

（出所）脚注文献 7）の 18 頁）

Reintegrate（図 4 の③）

同社は、Aalborg(オールボー)大学の eMethanol 合成研究からスピンアウトしたスタートアップ企業で、大学敷地内にパイロットプラントを建設した。港湾地区での CCU プロジェクトの一環として、バイオマス由来 CO2 とグリーン水素から輸送用 e メタノールの製造を目指している。2030 年に年間 50 万 KL のプラント稼働を目指しているが、グリーン水素の調達に課題があるとのことで、プロジェクトの具体的な情報発信が滞っている。

Everfuel（図 4 の⑧）

HySynergy PtX プロジェクトとして、デンマークエネルギー庁より 650 万ユーロのファンドを獲得している。

プロジェクトは 3 つのフェーズで計画されており、Phase 1 として既に着工している。パートナー企業として同国の電力関連企業が参画しており、本年中に 20 MW の電解槽によるグリーン水素製造を始める。

Phase 2 は 2025 年から開始され、電解槽能力を 300MW に拡張、さらに Phase 3 に入る 2030 年には 1

GW の能力を計画している。

このプロジェクトの中核となる水素製造及び輸送会社 Everfuel は、電解槽プラントに隣接する Crossbridge Energy の Fredericia（フレゼリシア）製油所へのグリーン水素の供給とともに、製油所から CO2 の供給を受け、e-fuel の製造を目指している[19]。

ただし、グリーン水素の事業を優先しているため、e-fuel 製造の検討は、本年 6 月から政府の研究ファンドを獲得して、Aarborg 大学と調査を始めた段階である。

Arcadia eFuels （図 4 の⑰）

2030 年までにデンマークでカーボンニュートラルなフライトを実現するという同国の戦略に呼応して、ネット・ゼロの航空燃料の生産を目的に 2021 年に設立されたコペンハーゲンに本社を持つ新興企業である。

本年 2 月に Port of Vordingborg （ボアディングボー港）に第 1 号プラントを建設する計画を発表した。

3 月には、フランスのエンジニアリング会社 Technip Energies がプラントの基本設計に着手しており、本年末までに最終投資決定を行うとしている[20]。

生産規模は年間約 10 万 KL とし、内訳として航空用燃料（同社は eJet と呼ぶ）を年間 5.5 万トン、ナフサ 2.5 万トンを見込んでいる。

燃料製造にはデンマーク Topsoe と南アフリカ Sasol が共同でライセンスしている FT 合成のための統合 G2L™ eFuels 技術[21]を導入する。

順調にいけば、2023 年に建設に着手し、2024 年末に商業運転を開始する予定となっている。

Green Power Denmark （図 4 の②）

同社は、2022 年に Dansk Energi (Danish Energy)、Wind Denmark、Solar Power Denmark が合併して設立され、再生可能エネルギー関連企業からの人材により構成される非営利の事業組織である。

水素製造・・販売の Everfuel や洋上風力発電の Ørsted 等が参画した大型プロジェクトとなっている。

PtX プロジェクト Green Fuels for Denmark (GFDK)[22]と称して、3 つのフェーズで電解槽の拡張を行う。

Phase 1 (2021～2023 年)では、電解槽能力 10MW で、年間 1,000 トンのグリーン水素と 5 万トンの e メタノールを生産、Phase 2 では、当初 2027 年としていた電解槽能力 250MW を 2 年前倒しすることも検討されており、eJet と e メタノールを生産する。eJet については持続可能な航空燃料（SAF）として、国内需要に対応する。その後 Phase 3 では、2030 年頃に 1.3GW の電解槽能力到達を目標としている。

---

19 https://crossbridge.dk/en/everfuel-og-crossbridge-energy-er-enige-om-vilkaarene-for-hysynergy-fase-ii-brintforsyning/
https://newsnreleases.com/2022/06/21/everfuel-and-crossbridge-energy-receive-grant-for-hysynergy-liquid-e-fuels-study/

20 https://www.arcadiaefuels.com/arcadia-efuels-announces-its-first-efuels-plant-location-in-vordingborg-denmark

21 https://www.topsoe.com/our-resources/knowledge/our-products/process-licensing/g2ltm-efuels-technology

22 https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2022/02/20220204476711

(5) アイスランド

Carbon Recycling International (CRI)

2006 年設立の CRI は、アイスランド南東部の Svartsengi (スヴァルツェンギ) の地熱発電所の煙道ガスと工場排ガスからの CO2 を利用した e メタノール製造プラントを 2012 年から稼働している[23]。

開発過程では、水素は電解槽からのグリーン水素と天然ガス改質装置からのブルー水素を利用しているとみられるが、その比率は公表されていない。現在、e メタノールの生産規模は年間 4 千トンと報じられている。

なお、CRI はこのプロセスを Emissions-to-Liquids (ETL) 技術と称して海外展開しており、ノルウェーでの e メタノール製造プロジェクトに 1 件、中国に 2 件をライセンスしている。

以上、北欧 5 カ国の e-fuel 製造に向けたプロジェクト動向を紹介した。現時点で得られている情報として、表 2 にとりまとめた。

[23] https://www.carbonrecycling.is/project-goplant

表２　北欧の e-fuel プロジェクト

実施企業／研究機関	製造場所	開発スケジュール／規模	製造
Norsk e-Fuel パートナー：Climeworks, Sunfire, Paul Wurth, Valinor	ノルウェー南部 Herøyaから北部Mosjoen（モーシェーン）に変更 （2022年2月発表）	2023年　建設開始 2024年(Phase 1)　年間1.25万KL 2026年(Phase 2)　年間2.5万KL	固体酸化物型電解セル(SOEC)共電解槽、FT合成 Gen2 Energyからグリーン水素調達 Oyfjellet（オイフェレ）からグリーン電力調達
Nordic Electrofuel パートナー：Marquard & Bahls, ARVOS, Aker Solutions,　Emerging Fuels, Norwegian Technological University(NTNU)	ノルウェー Herøya （ヘロヤ）	2021年5年　Aker SolutionsとFEED契約 2022年1月　建設開始 2025年 1万KL/年 設備投資　€120MM 年間20万KL規模のFS中、 設備投資　€262MM	NTNU開発POX-RWGS反応器 アルカリ電解槽 FT合成 2022/8/25 プロセスシミュレーターサービス会社BPTと提携
Finnfjord AS パートナー：Statkraft AS Carbon Recycling International (CRI)	ノルウェー Finnfjord （フィンフィヨルド）	2023年末　最終投資決定 建設に2年 eメタノール年間10万トン	Finnfjord精錬所からの排出CO2利用 水力発電を利用した電気分解水素 Emissions-to-Liquids (ETL) 技術
Liquid Wind FlagshipONE パートナー：Alfa Laval, Carbon Clean, Falkor, Topsoe, Siemens Energy, Uniper	スウェーデン Örnsköldsvik （エルンシェルツビク）	2021年5月　豪州エンジ会社WorleyとFEED契約 2022年　最終投資決定 2024年　商業運転開始	Siemens製70MW PEM 年間7万トンのCO2から船舶用eメタノール 年間5万トン製造
Liquid Wind FlagshipTWO パートナー：Sundsvall Energi	スウェーデン Korstaverket （コルスタベルケット）	2023年後半　最終投資決定 2025～2026年　製造開始	船舶用eメタノール　年間10万トン製造
Neste、VTTフィンランド技術研究センター パートナー：AW-Energy、Helen、Carbon ReUse Finland、Kleener Power Solutions、Agco Power、ESL Shipping、Meriaura Group、ABB、Ineratec	フィンランド Bioruukki （ビオルーキ）	2021/2/8　プロジェクト立ち上げ 2022年5月　デモプラント建設開始（VTT研究所内） 2023年後半　デモプラント完工	固体酸化物型電解槽セル（SOEC） INERATEC FTモジュール e-fuel製造効率改善10～15%を目指す。
St1 パートナー：LUT University	フィンランド Lappeenranta （ラッペーンランタ）	2022/10/4 欧州復興ファンドを活用、€35.4 MM承認待ち 今後、事業申請と影響評価の後、最終投資決定 2026年　稼働開始	風力発電によるグリーン水素と隣接セメント工場のCO2利用によるeメタノール 年間2.5万トン製造
REintegrate ApS （2020年、Aalborg大学からスピンオフ）	デンマーク Aalborg （オールボー）	2030年　年間50万KLのe-メタノール製造計画	バイオ由来CO2とグリーン水素からeメタノール製造
Everfuel パートナー：Crossbridge Energy Aarborg大学	デンマーク Fredericia （フレゼリシア）	HySynergy PtXプロジェクト 2022年後半　20MW電解槽稼働 2025年(Phase 2)　300MWへ拡張 2030年(Phase 3)　1GWへ拡張 2022/6/11 Fredericia製油所でのPhase 2 のe-fuel スタディー発表	Topsoe SOEC電解槽の水素と製油所CO2からe-fuelを製造
Arcadia eFuels	デンマーク Vorgingborg （ボアディングボー）	2022/2/16　第1号プラント建設計画発表 生産規模 年間10万KL（eJET, eナフサ） 2022年末　最終投資決定 2023年　建設開始 2024年末　商業運転開始	FEED及びEPC：Technip Energies （フランス） FT技術：　G2L（Topsoe+Sasol）
Green Power Denmark （2022/3/23 Dansk Energiら3社が合併） パートナー：Orsted、Copenhagen Airports, A. P. Moller-Maersk, DSV Panalpina, DFDS, SAS, Everfuel, NEL, Molslinjen, Topsoe他	デンマーク Copenhagen	PtXプロジェクトGreen Fuels for Denmark (GFDK) Phase 1 (2021-2023): 電解槽 10MW Phase 2 (2023-2027): 電解槽 250MW Phase 3 (2027-2030+): 電解槽 1.3 GW	洋上風力発電による水素製造、CO2回収によるeメタノールとeSAF製造
Carbon Recycling International (CRI)	アイスランド Svartsengi（スヴァルツェンギ）	2012年　George Olah Renewable Methanol Plant稼働開始 eメタノール 年間4千トン製造	地熱発電所煙道及び工場煙道からの回収CO2と工場及び電解槽由来水素を使ったeメタノール製造 独自技術Emissions-To-Liquid™ （ETL）

（出所）各社公表資料をもとに JPEC 作成

4. おわりに

Power-to-X 分野での技術開発は、2010 年以降、ドイツが世界の先陣を切って進めてきた。その中で、輸送用燃料となる e-fuel 分野では、昨年来、複数のデモンストレーションプラントがドイツ国内で稼働する状況となっている。欧州では、2050 年のネット・ゼロ社会に向け、持続可能な航空燃料(SAF)として、バイオ由来燃料だけでなく e-fuel の混合義務化も検討されていることから、ドイツだけでなく欧州各国でプロジェクトが立ち上がっている。

本報で取り上げた北欧 5 カ国は自然エネルギーに恵まれていることから、各国政府は、気候変動対策に対する国際的な約束の実現と再生可能エネルギーを活用したエネルギー産業の育成による経済発展を果たすため、e-fuel 製造開発に対する政策及び資金支援を行っている。

特に、デンマークは、北欧諸国の中でも具体的な e-fuel に関する国家戦略を打ち出し、再生可能エネルギー輸出だけでなく、e-fuel 製造に関わる技術輸出を視野に入れた国際的な取組みを進めている点で注目される。

また、北欧の石油会社であるフィンランド Neste やスウェーデン St1、デンマーク Crossbridge Energy は e-fuel プロジェクトに参画し、新たな燃料製造事業に向けた検討を進めている。

e-fuel の取組みに関する情報は日々増加し、更新されていることから、当センターでは、欧州に加え、他の地域での e-fuel のプロジェクト動向についても注視しながら、今後とも情報収集・分析に努めていく。

(問い合わせ先)

一般財団法人石油エネルギー技術センター　調査国際部　jrepo-0@pecj.or.jp

本調査は、一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)が資源エネルギー庁からの委託により実施しているものです。無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2022 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved