

[調査研究報告]

2050 年カーボンニュートラルを目指す欧州連合の エネルギー戦略と CCUS 取り組み状況

橋崎 克雄 (プロジェクト試験研究部
部長)



1. はじめに

欧州連合 (EU) では、2005 年から火力発電や鉄鋼・セメントなどの産業分野、域内の航空便などエネルギー集約産業を対象に二酸化炭素 (CO₂) 排出量に上限を設け、それを超える場合は排出枠を購入できる EU 排出量取引制度 (ETS) を運用してきた。そして、今年 7 月 14 日、EU の政策執行機関である欧州委員会 (EC) は、2030 年の CO₂ を含む温室効果ガス (GHG) の削減目標を 1990 年比で最低 40% から 55% 以上とするために、ETS の改正も含む包括的な気候変動政策パッケージ “Fit for 55” を公表した。これは、2050 年までに気候中立を達成する目標を掲げた「欧州グリーン・ディール」(2019 年 12 月) を推進する包括パッケージとなっている。

この「欧州グリーン・ディール」は、気候変動だけを解決しようとしているのではない。EU 域内の多くの産業で製品や製法が環境に影響を及ぼさないものになっていくことにより、EU が「持続可能な社会」を目指す世界のルールメーカーになろうとする、環境保護を謳った成長戦略なのである。

その「持続可能な」経済活動への独自の投資基準として、2022 年 1 月から「EU タクソノミー」の適用を開始しようとしているが、そこに「原子力」が適合するのかが大きな争点となっている。昨今、欧州議会の約 90 名の

議員が原子力の投資に不利益が生じないように要請を行っているが、電力の一次エネルギー源における原子力の依存度 (47%) を考えれば、容易に結論を出せない大きなジレンマであることは間違いない。

本稿では、EU の CO₂ 排出量の推移、エネルギーフローと削減戦略について日本と比較しながら紹介し、削減策として進行中の炭素回収・利用・貯留 (CCUS) プロジェクトを紹介する。

2. EU のセクター別 CO₂ 排出量

欧州の 27 カ国^{注1}で構成される EU を一国と捉えた場合、2019 年の GHG 排出量 (CO₂ 換算) は図 1 に示すように約 38 億 7,000 万トンとなる⁽¹⁾。図 2 に示すように CO₂ のみの排出量は、日本の約 2.5 倍に相当する約 30 億

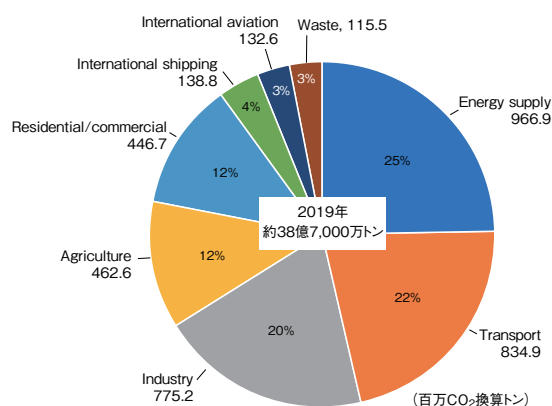


図 1 EU の部門別 GHG 排出量 (2019 年)

注1: フランス、ドイツ、イタリア、ベルギー、オランダ、ルクセンブルク、デンマーク、アイルランド、ギリシャ、スペイン、ポルトガル、オーストリア、スウェーデン、フィンランド、キプロス、チェコ、エストニア、ハンガリー、ラトビア、リトアニア、マルタ、ポーランド、スロバキア、スロベニア、ブルガリア、ルーマニア、クロアチア

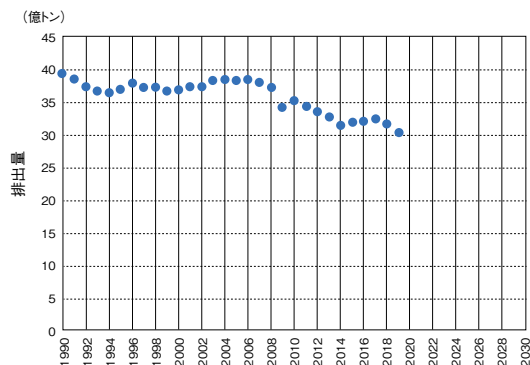


図2 EUのCO₂排出量の推移

トンである。日本の分類で比較すると、産業、運輸の各部門のCO₂排出量はほぼ同じである。次いで、その他／民生部門が続くが、運輸や民生・家庭部門からのCO₂排出量の比率が日本より高いことが伺える。

なお、農業部門などでは、メタン（CH₄）が多くカウントされており、欧米の環境保護団体などから、CH₄の温室効果についても指摘がされており、対処を望む声も聞かれているが、本稿では農業部門は考察の対象としない。

問題は、これらCO₂排出部門に対するEU

のエネルギーフロー構造と内訳が、気候・地勢状況の違う日本とどう異なっているかである。それによりCO₂削減策も異なるはずで、まったく同じになるとは考え難い。

3. EUのエネルギーフローとCO₂排出量削減戦略

欧州27カ国も各国によりエネルギー事情が異なっている。特に、ポーランドやドイツの石炭火力からの脱却政策には一部強引とも思える廃止処置がとられている。なぜこのような施策をうつほどの決断ができるのであろうか。EUのエネルギー事情はどのような構造になっているのであろうか。

図3と図4に、EUの供給側エネルギーフローと需要側エネルギーフローを示す⁽²⁾。

図5には、図3の③④、図4の⑧～⑪でのエネルギー源の構成比を示す。EUの一次エネルギー源は、図5-aに示す通り、約82,800 PJ(輸出18,600 PJがあるので実質64,200 PJ)で、

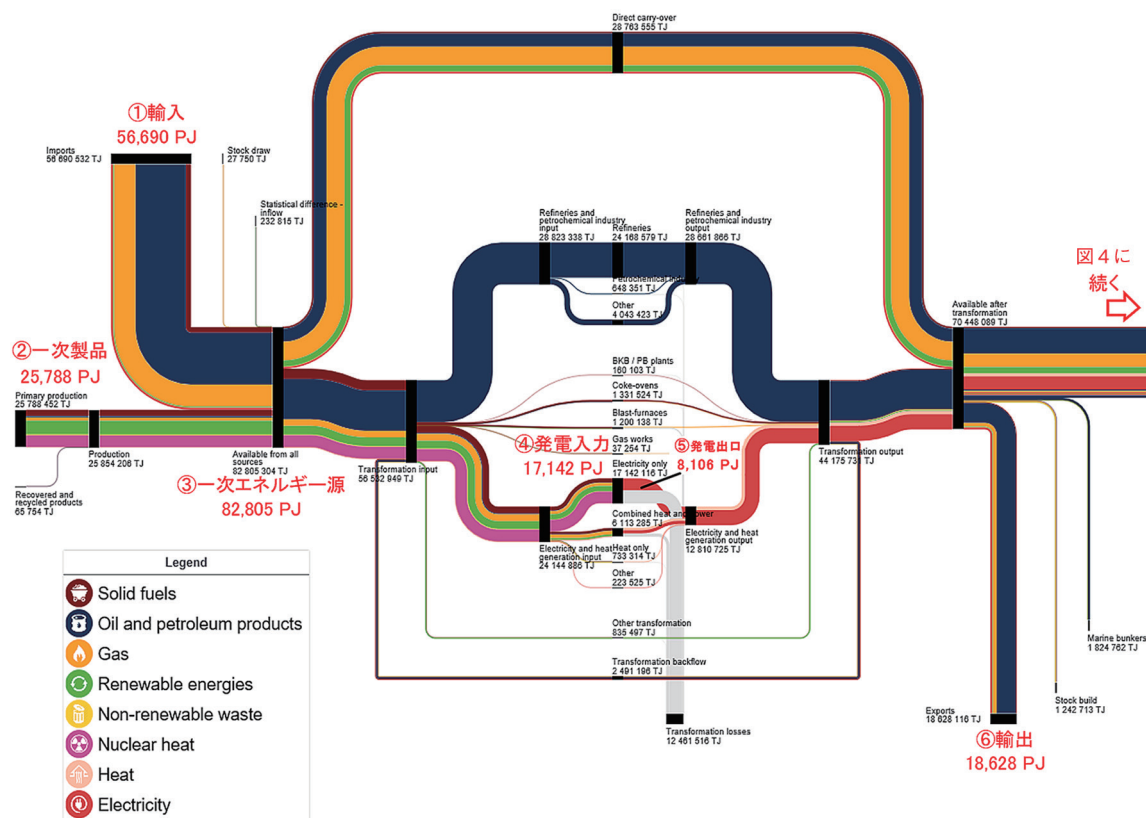


図3 2019年のEUのエネルギーフロー（供給側）

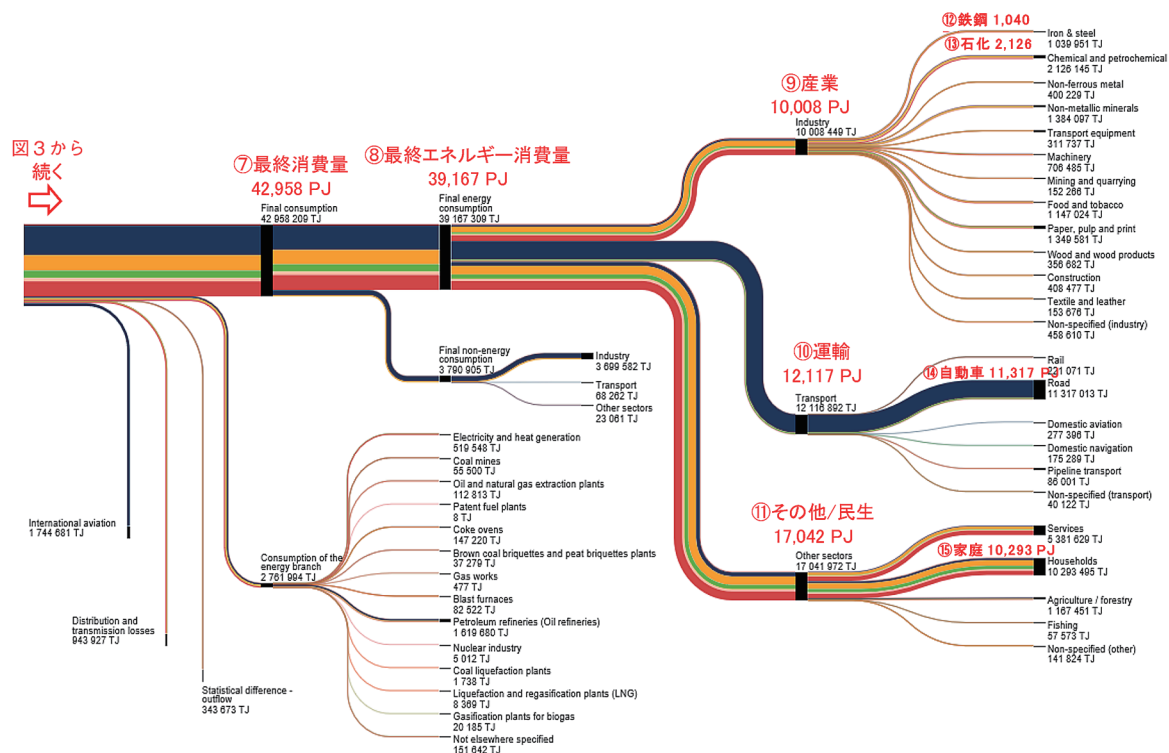


図4 2019年のEUのエネルギーフロー（需要側）

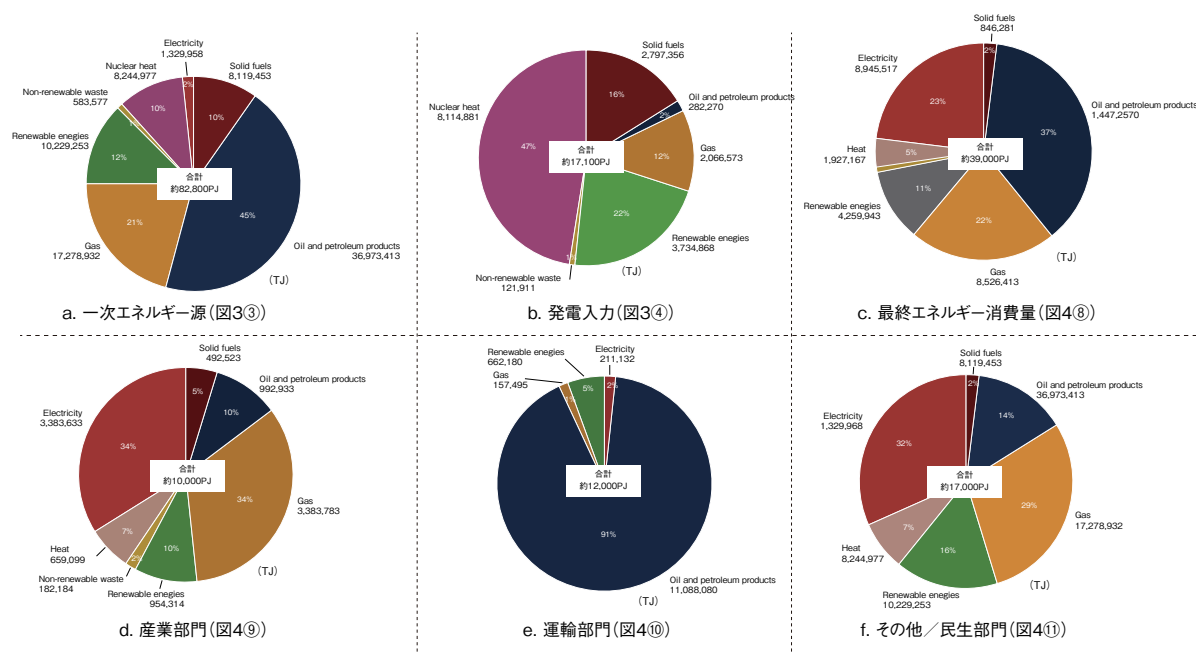


図5 エネルギーフローの各所におけるエネルギー源の構成比

日本の実質約3.3倍である。2019年のEUの名目国内総生産（GDP）は、16兆4,520億ユーロ、日本は5兆1,550億ドルであるから⁽³⁾、エネルギー消費量がGDPの比にもよく反映されていることが伺える。

注目すべき点は、EUの発電用燃料源である。

図5-bに発電入力側のエネルギー源の構成とエネルギー量を示す。約17,100PJのエネルギー入力量に対し、実にその50%近くを原子力に依存し、かつ20%強は、その多くをバイオマスとする再生可能エネルギー（再エネ）に依存しているのである。従って、EUの電力の約

70%はすでにカーボンフリーになっていると言える。これにより、残り16%程度を占める石炭の使用を是が非でも最初に止めようとする意識が働いているのではないかと推測される。

これに対し、日本の現在の発電入力側のエネルギー量は約7,900 PJ程度で、その80%以上が天然ガス、石炭といった化石燃料に依存している⁽⁴⁾。

EU対日本でカーボンフリー競争をすれば、現状のままでは負け戦でしかなくことがよく分かる。ドイツ、そしてポーランドでさえ石炭火力が廃止処置に追い込まれてしまうこともよく理解できる。そして、その代替エネルギー源として北海・バルト海の洋上風力を主とする再エネにシフトしようとしているのである。

しかし、そのEUにもアキレス腱はある。特に、図5-dに示す産業部門の天然ガス(34%)、図5-eに示す運輸部門の石油(91%)、そして、図5-fに示すその他／民生部門の天然ガス(29%)である。日本は、産業部門で石炭が多いため天然ガスの比率は低い⁽⁴⁾。これはCO₂排出の観点では日本の弱点でもある。しかし、EUの産業部門では天然ガスの比率が日本の2倍と高くなっている。

また、EUの一次エネルギー源に対する発電入口に向かうエネルギー源の比率27%(17,100 PJ／64,200 PJ)は、日本の41%(7,900 PJ／19,284 PJ)よりもかなり低い。日本の発電によるCO₂排出量の比率の高さ、運輸部門での低さの要因はここにある。逆に、これはEUでは、運輸部門のCO₂排出量比率が高くなるということであり、このことは図1からも理解できる。

さらに、日本は、発電入口に向かう一次エネルギー源の比率が高いことから、需要サイドでの電力消費量が大きくなると言える。これは、図5(f)に示すように、EUのその他／民生部門での電力の割合が32%に留まっているのに対し、日本では50%を越えていることから理解されるところである⁽⁴⁾。

以上の状況をまとめると表1の通りとなる。

EUの排出CO₂削減戦略では、まさに天然ガスのグリーン水素への転換、カーボンフリー電源を活用した自動車の電動化が主力になるのは間違いないと思われる。グリーン水素を利用した燃料電池自動車の導入も考えられるが、インフラ投資と開発に時間を要するため、まずは電動化が優先施策になるのではないかと考えられる。

このままでは日本がEUにCO₂削減競争で負けてしまうことは明白で、裏を返せば、これは脱炭素・グリーン経済成長という名の下で資金を集める枠組みを作ろうとする欧州の戦略に対して大きな後れを取っているとみてもいいだろう。元々、カーボンニュートラルを達成するためにはEU内の公的資金だけでは達成し得ないことは明らかであり、欧州域外からも民間資金を持ってこないと成立しない戦略である。この資金集めのツールが炭素税、炭素排出権、炭素国境税と言えるであろう。EU内の企業にしてみれば、将来的に欧州に資金が集まってくるということでwin-winな関係にあることから、政治主導の下、一部強引とも思える施策が次々と打ち出せているのだと思われる。

欧州の政策では、よく“ambitious”という言葉が乱舞する。これは数値目標に対する「野

表1 EUと日本の現状のエネルギー事情の比較

	EU	日本
一次エネルギー源	7割がカーボンフリー	カーボンフリーは2割未満
産業部門	天然ガスの比率が高い (日本の2倍)	石炭と天然ガスの合計比率が EUとほぼ同等
運輸部門	石油エネルギー使用量が 日本の4倍(約12,000PJ)	石油エネルギー使用量が約3,000PJ
その他／民生部門	電化率が約30%	電化率が約50%

心」という意味ではなく、「欧州グリーン・ディール」によって、世界における持続可能社会のルールメーカー、そして、そのリーダーになろうとする欧州の成長戦略に対する「野望」だと言えるであろう。そう捉えたと、中国が取り組んでいる「一帯一路」政策にも類似した感じもあるが、そこには「グリーン」という文字はない。そこが欧州らしい大きな違いであろう。

4. 2050 年カーボンニュートラル達成のための欧州の CCUS プロジェクト

2050 年カーボンニュートラルに向け欧州各国で CCUS プロジェクトは着々と進められている。図 6 に CCUS プロジェクトの実施場所分布を示す。

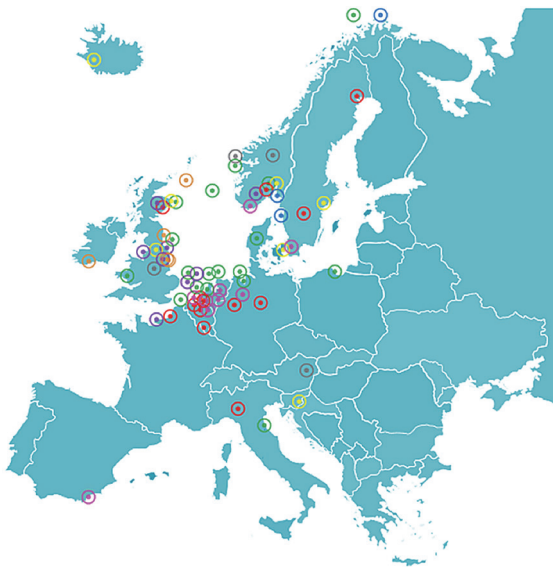


図 6 欧州の CCUS プロジェクトの実施場所

CCUS プロジェクトは、CO₂ を海洋の地下に貯蔵隔離する関係もあり、その多くは北海周辺に集中していることがわかる。

これらの中から主要プロジェクトを選出し、以下にその内容を紹介する

(1) ArcelorMittal Steelanol Ghent⁽⁵⁾

鉄鋼業から排出される炭素の一部を回収し、微生物による発酵機能を利用して高品位の燃料エタノールを作ろうとするものである。図 7 に全体のシステムフローを、図 8 には搬送中の発酵槽を示す。

このプロジェクトには、ArcelorMittal 社、LanzaTech 社、Primetals Technologies 社、E4tech 社が参画している。開発資金として、EU・イノベーションプログラム「Horizon 2020」の助成を受けている。プロジェクト期間は、2015 年 5 月 1 日～2021 年 12 月 31 日である。

ArcelorMittal 社の Ghent 製鉄所から排出される高濃度（24～56%）CO 含有排出ガスの約 90%を取り込み、製鉄 1 トン当たり約 50kg のバイオマス（主にバイオエタノール）を LanzaTech 社の微生物発酵槽を用いて生産する。Ghent 製鉄所には年間約 25,000 トンのエタノールを生産できる実証プラントを建設している。ArcelorMittal 社は実証機の運用・保守、Primetals Technologies 社はエンジニアリング、および試運転、そして E4tech 社がライフサイクルアセスメント（LCA）評価、エタノールの環境影響評価などを行う。

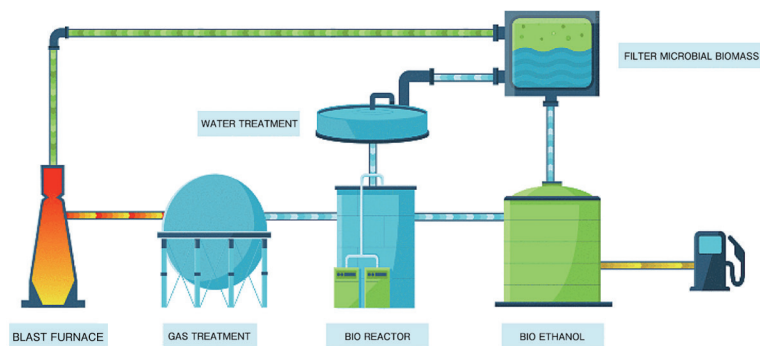


図 7 Steelanol 全体システムフロー



図8 運搬中の Steelanol 発酵槽

(2) Power-to-Methanol Antwerp BV ⁽⁶⁾

回収したCO₂と、再生可能エネルギー電力（再エネ電力）から生成した水素を組み合わせ、メタノールを製造するものである。図9に構想を示す。

プロジェクトには、ENGIE 社、Fluxys 社、Indaver 社、INOVYN 社、Ooltanking 社、Participate maatschappij Vlaanderen (PMV) 社、Port of Antwerp が参画している。

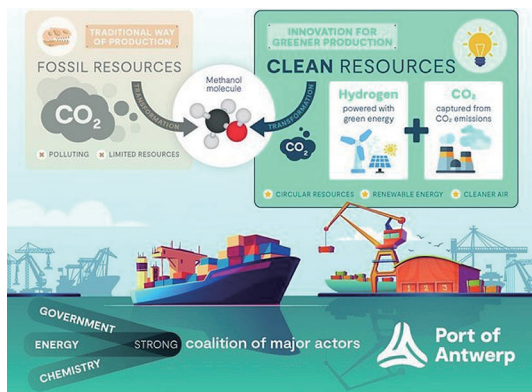


図9 Power-to-Methanol Antwerp 構想

INOVYN 社の Scheldelaan 地区に、2022 年からデモプラントの建設を開始する予定である。年間 8,000 トンのサステナブルなメタノールの生産を目指している。

地元のフランドル政府から 100 万ユーロの資金提供を受けている。プロジェクト期間は、2019 年第 2 四半期から 2023 年までで、今年度から設計・製作に入る予定である。

(3) CarbFix Project ⁽⁷⁾

大気中の CO₂ を分離・回収して炭酸水を作り、地下岩盤に注入することで岩石中の Ca, Mg, Fe などと炭酸塩鉱物を形成させ、地下で永久固定しようとするものである。従来の地層のキャップロックに依存する CO₂ 地下貯留とは異なるものである。図10に Carbfix のプロセスを示す。

このプロジェクトは、2006 年に Reykjavik Energy 社、アイスランド大学、フランス国立科学研究センター (CNRS)、コロンビア大学によって始められた。以後、EU 資金によるサブプロジェクトとして基礎研究が続けられていた。2012 年、ON Power 社の協力の下、Hellisheidi 発電所から排出された 73 トンの 75%CO₂-25%H₂S 混合ガスを水に溶解させ地下に注入したところ、注入した CO₂ が急速（2 年以内）に鉱化していることが確認されたという。この Carbfix プロセスは、鉄鋼、鉄、セメント製造などの他の CO₂ 排出産業にも適用可能であり、現在いくつかのプロジェクトが進行中である。

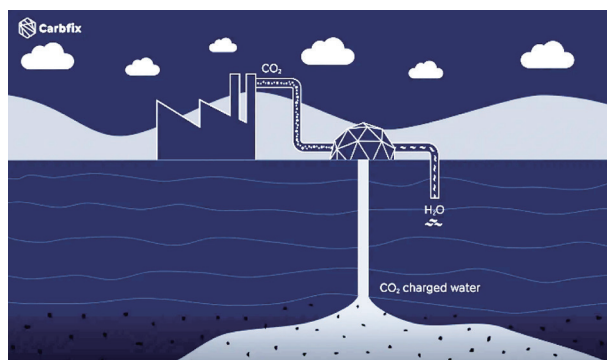


図10 Carbfix のプロセス

Carbfix は、2019 年末に Reykjavik Energy 社の子会社として設立され、2020 年 1 月 1 日には独立企業として事業を開始している。同社は、現在 10 億トンの CO₂ の永久貯蔵を目指している。

なお、2017 年 8 月 1 日から 2021 年 1 月 31 日まで、EU 資金を用いて Carbfix2 プロジェクトが行われた。これは、スイスの Climeworks 社の空気直接回収 (DAC) 技術を用いて大気中 CO₂ の鉱床への固定を目指したもので、その有効性が実証できたとして、現在、年間 4,000 トンの CO₂ を回収する Orca プロジェクトが進行中である。

理論的には、少なくとも欧州で 4,000 億トン、アメリカで 7,500 億トンを蓄えることができると言われている。

(4) Hydrogen 2 Magnum (H2M) ⁽⁸⁾

オランダにある Vattenfall 社の子会社 Nuon 社が所有する Magnum 発電所 (1.32GW、3 基のガスタービンコンバインドサイクル (GTCC)) の 1 基を 2023 年までに水素焚に変換し、年間 130 万トンの CO₂ 排出量の削減を目指そうとするものである。図 11 に発電所の外観を示す。

2017 年 7 月に Nuon 社、Gasunie 社、Equinor 社 (旧 Statoil 社) の間で、カーボンフリーガス発電プロジェクト開発の覚書が交わされ、2018 年 3 月には、三菱パワー (旧 MHPS) 社が 100% 水素発電の実現可能性調査とそのタービン技術の開発が任されている。



図 11 Nuon Magnum 発電所の外観

Equinor 社は、ノルウェーの天然ガスからの水素製造、Gasunie 社は、発電所での水素輸送・貯蔵の開発を行う。水素製造の際、発生する CO₂ は、ノルウェー沖の地下施設に貯蔵する。将来的には Nuon 社は、再エネ電力で製造した水素を利用する予定である。

(5) Norsk e-fuel ⁽⁹⁾

ノルウェーの再生可能エネルギーを利用して、CO₂ と H₂O を燃料に転換しようとする独自のプロセスだという。ノルウェーに設立された e-Fuel 社の Power-to-Liquid を実現させるために、(高温)電解技術、燃料合成技術を有す Sunfire 社、DAC 技術を有す Climeworks 社、および工業化に向け EPC パートナーとして Paul Wurth 社 (SMS グループ) がコンソーシアムに入っている。図 12 に Norsk e-fuel の構想を示す。

今後 3 年以内にノルウェーの Herøya 地区に年間 1,000 万リットルの再生可能燃料製造デモプラントを作るとしている。

さらに、スケールアッププラントとして年間 1 億リットルの生産能力を持つ工場を全国に展開していくとしている。

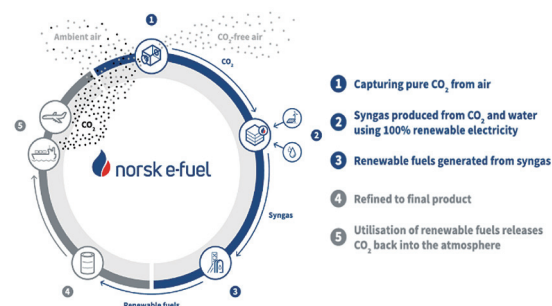


図 12 Norks e-fuel 構想

(6) Northern Lights ⁽¹⁰⁾

ノルウェー政府が進める本格的な CO₂ 回収・貯留プロジェクトである。CO₂ 貯留施設「オーロラ」は、史上初の国境を越えたオープンソースの CO₂ 輸送・貯留インフラネットワークである。プロジェクトの第 1 段階は 2024 年半ばに完了する予定で、年間最大 150 万トンの CO₂ を貯蔵することができる。

陸上で回収されたCO₂は、新設計の船舶でノルウェー西部のオイガルデン市にあるNaturgassparken工業地帯の敷地内に設置されるCO₂受入ターミナルに輸送される。そこからCO₂は北海の海底2,600メートルの深さに注入され永久に貯蔵される。図13にターミナルの想像図を、図14にCCSバリューチェーン構想を示す。

このCO₂貯留施設は2019年1月に「オーロラ」と名付けられ、2021年3月にはNorthern Lights JVが発足している。

今後、市場の需要に応じて、さらに500万吨まで容量を拡大することも考えられている。

この中で、ロングシッププロジェクトは、2024年までにノルウェーで本格的な液体CO₂輸送と貯蔵というCCSバリューチェーンの構築の可能性を欧州や世界に示すという役目を担っている。Northern Lights社が輸送と貯蔵の部分を請け負う。このロングシップによる年間80万トンのCO₂に加え、欧州各国からのCO₂も「オーロラ」は受け入れる予定だという。



図13 ターミナルの想像図

(7) FReSMe^{(11) (12)}

鉄鋼業の高炉排ガスからCO₂や水素を回収し、船舶輸送分野の燃料として使用されるメタノール燃料を生産するためのプロセス全体を実証することを目的としている。このプロセスでは、電解水素を必要としていない。本プロジェクトは約5年の歳月を経て、2021年6月に終了したばかりである。ルレア（スウェーデン）に建設されたパイロットプラントでは、最大800m³/hの高炉ガスを処理し、最大50kg/hのメタノールが生産された。ここには、CRI-Carbon Recycling International社の水素をメタノールに転換するEmission-to-LiquidsTM (ETL)技術が採用されている。この実証プロジェクトにより製造されたメタノールは、スウェーデンのフェリー会社Stena社の所有する旅客船“Stena Germanica”に世界で初めて船舶燃料として利用され、船舶輸送用の燃料として十分利用できることが実証されたとしている。図15にCRI社のETL装置の外観を、図16にFReSMeの構想を示す。

FReSMeプロジェクトには、i-deals社、CRI社、SSAB社、Tata Steel社、TNO、NIC、Stena Rederi社、Array Industries社、SWERIM社、Politecnico di Milano社、Kisuma Chemicals社が参画した。

EUの「Horizon 2020」プログラムの下で1,100万ユーロの助成金が投入されている。

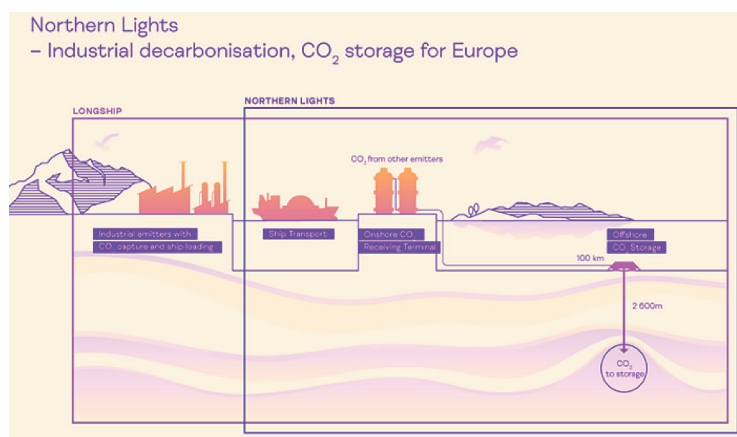


図14 Northern Lights CCSバリューチェーン構想



図 15 CRI 社 ETL 装置の外観

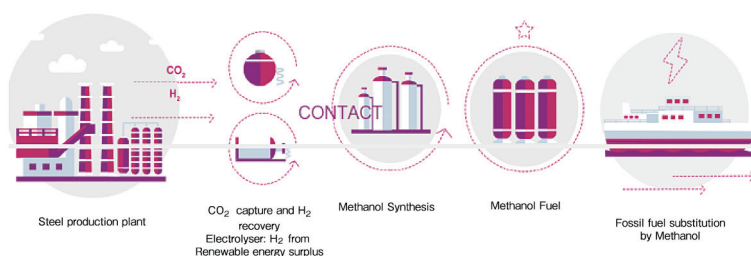


図 16 FReSMe 構想

(8) Net-Zero Teesside⁽¹³⁾ /Humber Zero⁽¹⁴⁾

この2つのプロジェクトは、イングランド北東部のティースサイドとハンバーをそれぞれ拠点とする炭素回収・利用・貯蔵（CCUS）プロジェクトである。両地域で回収されたCO₂は、輸送され英国最大のCO₂貯蔵用塩水帯水層として評価されているエンデュランスの地下深くに永久に貯蔵される。図17にプロジェクトの全体構想を示す。

Net Zero Teessideでは、CO₂の回収・貯蔵を行う柔軟性のあるガス火力発電所を新たに開発する。また、CO₂を集めるネットワークを構築し、ティースサイド地域の産業の脱炭素化、水素製造・発電の導入を目指していく。このプロジェクトは、BP社主導の下、Eni社、Equinor社、Shell社、Total社と提携し、2026年の操業開始を目指して、フロントエンドエンジニアリング

デザイン（FEED）を進めている。

Humber Zeroでは、世界初の低炭素水素製造プラントの1つである“H2H Saltend”を開発し、ハンバー地域の工業用地やガス・バイオマス発電所を結ぶCO₂と水素のパイプライン・ネットワークを構築して、排出物の回収や低炭素水素への切り替えを行っていく。

この2つのプロジェクトは別に北海の海底パイプライン網と地中貯留の開発を加速するためにBP社主導の下、Equinor社、Eni社、National Grid社、Shell社、Total社によるNorthern Endurance Partnershipが2020年に設立されている。

Industrial Decarbonisation Challenge fundから資金が出ており、この3件において、民間と公的資金を合わせて総額2億2,900万ポンド（3億1,800万ドル）が投下されている。

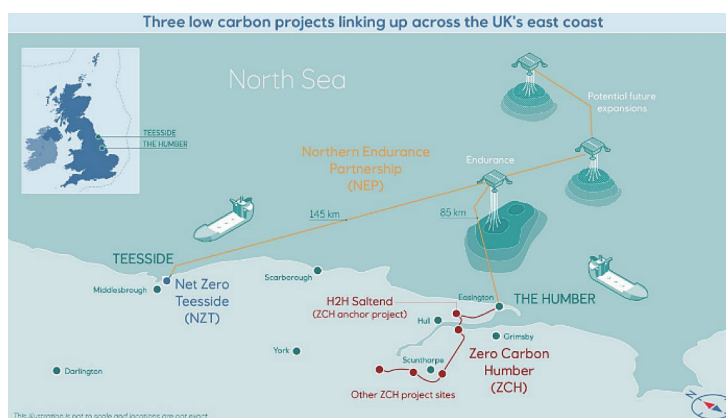


図 17 Net-Zero Teesside/Humber Zero の全体構想

5. おわりに

EU を一国とみなせば、その電力のカーボンフリー電源化はかなり進んでいることがわかった。

今年4月、ECが公表した投資基準「タクソノミー」に合致した企業活動リストから、原子力、天然ガス火力に関連する活動は外され、議論は先送りされている。しかし、昨今、一部情報では、天然ガス火力については基準が一部緩和されタクソノミーに合致する方向性になると聞かれる。原子力については、どのような評価が下されるのか。評価次第で日本の原子力政策にも大きな影響を与える可能性があると共に、それは世界のルールメーカー、リーダーになろうとする自らの「野望」をも打ち砕きかねない大きな判断にも成り得る。

そういう意味において、今回紹介した欧州の再エネの活用、CCUS技術をベースとしたエネルギー供給システムの構築こそ日本も注力していかなければならない方向性なのではなかろうか。

参考文献

- (1) eurostat, Greenhouse gas emissions by source sector.
- (2) eurostat, Energy flow diagrams.
- (3) 日本貿易振興機構 (JETRO), 概況・統計資料
- (4) 電力時事通信, 「カーボンリサイクル社会構築に向けて一前編」2021年1月6日, 第8032号
- (5) <http://www.steelanol.eu/en>
- (6) <https://powertomethanolantwerp.com/>
- (7) <https://www.carbfix.com/>
- (8) <https://www.nsenergybusiness.com/projects/nuon-magnum-power-plant/>
- (9) <https://www.norsk-e-fuel.com/en/>
- (10) <https://northernlightsccs.com/what-we-do/>
- (11) <http://www.fresme.eu/>
- (12) <https://www.carbonrecycling.is/projects>
- (13) <https://www.ogci.com/funding-secured-for-net-zero-teesside-and-other-uk-hubs/>
- (14) <https://www.gazettelive.co.uk/news/teesside-news/teesside-humber-unite-beis-bid-21008246>