

海外視察

ノルウェーにおける世界最大規模 CCS の視察報告

松本和正*

Kazumasa MATSUMOTO

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて、世界各国で CO₂ の回収・貯留・有効利用 (CCUS) 技術の開発・実証が加速している。特にノルウェーは、25 年以上も前から CO₂ の海底貯留（以下、CCS と記す）に取り組んできた先進国であり、2025 年 8 月に本格稼働を予定する世界最大規模の CCS プロジェクト「Longship」は、国際的に注目を集めている。このような背景のもと、日本環境衛生施設工業会は海外環境事情調査の一環としてノルウェーを訪問し、Longship プロジェクトに参画する 4 社と意見交換をおこなうことができた¹⁾。その中で、日本の CCS 推進に有益な知見が得られたため、その調査内容を以下に報告する。

2. Longship プロジェクトの概要

2.1 ノルウェーの CCS 戦略

ノルウェーが CCS に積極的に取り組む背景として、石油産業で培われた高い技術力と資金力、さらにヴァイキング時代から続く海洋貿易で形成された輸送インフラを持つ点があげられる。北海油田の発見により石油産業は急成長したが、その一方で化石燃料による温室効果ガス排出増加という課題に直面している。これを受け、ノルウェー政府は CCS 技術の研究・開発・実証を目的とした国家プログラム CLIMIT を設立し、2012 年には世界最大

規模の公開型テストセンター TCM (Technology Centre Mongstad) を稼働させた。同センターはアミン系プラント（年間 75,000 トン）と未完成技術用プラント（年間 18,000 トン）を備え、商業化直前の実証の場を国内外の企業・研究機関に提供している。なお、CCS プロジェクトでは 1996 年の Sleipner で年間 100 万トン、2008 年の Snøhvit では年間 70 万トンの海底貯留を達成し、現在は年間 500 万トンの Longship 稼働を目前に控えている（図 1）。

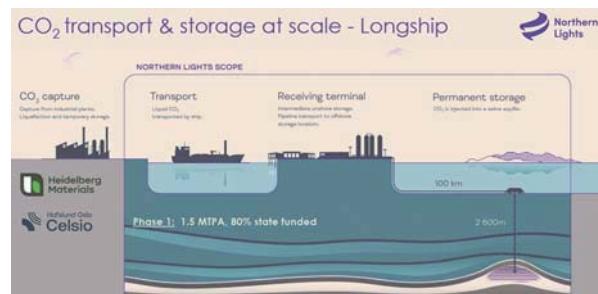


図 1 Longship プロジェクトの全体フロー

2.2 Longship プロジェクトの特徴

Longship は、セメント製造施設や廃棄物発電施設の排ガスから CO₂ を回収し、北海海底に貯留するプロジェクトである。特徴的なのは、回収した CO₂ の輸送に船舶を活用する点で、7,500m³ の CO₂ 輸送能力をもつ船舶 4 隻を運行する。海洋国家としての強みを活かした輸送方法により、EU 全域からの CO₂ 輸送が計画されている（図 2）。

当初 2024 年末の稼働を予定していたが、予算超過や新型コロナウイルス流行、ウクライナ情勢の影響により遅延し、2025 年 8 月の開始予定に変更さ

* 技術企画推進部

Technology Research & Planning Enhancement Dept.

図2 船舶を活用したCO₂輸送計画

れた。初期段階は年間150万トン規模で稼働し、将来的には年間500万～700万トン規模への拡張が見込まれている。

2.3 プロジェクトの実施体制と役割分担

ノルウェーのCCSプロジェクトは、日本のように商社が全体管理を担う方式ではなく、国営企業のGassnovaがエネルギー省の管轄下で各社と直接契約を締結して統括するとともに、運搬・貯留の支援もおこなう。プロジェクトに参加する企業のうち、Heidelberg Materials（セメント工場）とHafslund Celsio（廃棄物発電所）はCO₂の分離・回収を担い、Northern Lightsは回収されたCO₂の海上輸送とパイプラインによる海底貯留を担う。EU諸国からは、Yara（オランダ、アンモニア・肥料製造）とØrsted（デンマーク、電力）が顧客として参加予定で、国内2社と合わせて年間150万トン超のCO₂貯留が見込まれる。

2.4 事業費と資金補助の仕組み

Longshipプロジェクトの総事業費と政府補助の概要を表1に示す。運営費(OPEX)への補助期間は10年間とされ、初年度に最も高い補助率を設定し、段階的に縮小する仕組みとなっている。この制

表1 政府からの資金補助(2025年度予算)

項目	企 業	総費用	資金補助
		億円*	億円*
CAPEX (設備投資)	Northern Lights	2,390	1,802
	Heidelberg Materials		
	Hafslund Celsio		
OPEX (運営費)	Northern Lights	1,001	814
	Heidelberg Materials		
	Hafslund Celsio		

* 1 NOK=13.35 円 (2025年3月1日のレート)

度は、将来的にCO₂市場が拡大し、補助なしで事業継続が可能になることを見据えたものである。

3. 調査訪問先の紹介

3.1 Heidelberg Materials

(セメント工場からのCO₂回収)

3.1.1 会社概要

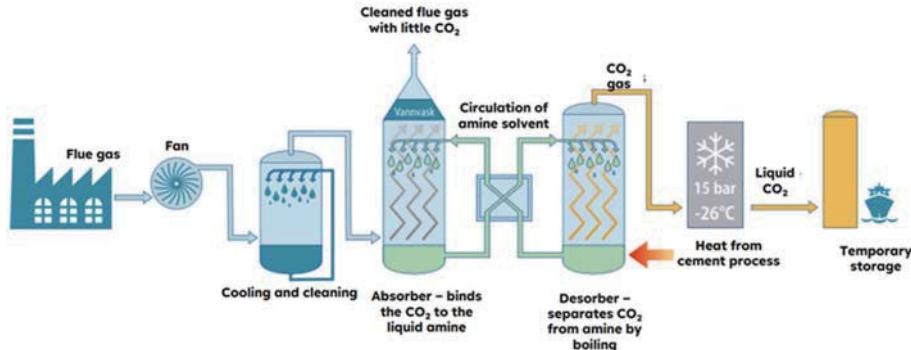
Heidelberg Materialsは、ドイツに本社を置く世界第4位のセメントメーカーである。世界のCO₂排出量の5～7%がコンクリート製造に起因しており、「燃料の代替、原材料の転換、CCUSの導入」を柱として排出削減を進め、2030年までに石炭使用ゼロを目指している。また、同社が運営するBrevikセメント工場では、2025年より世界初のCO₂排出ネットゼロのCCSセメント「evoZero」を生産する(図3)。



図3 Brevikセメント工場の外観

3.1.2 CO₂回収設備の仕様

本設備はアミン吸収方式を採用し、全排出量の約半分に相当する年間40万トンのCO₂を回収する計画である。排ガス中のCO₂濃度は20～22%と比較的高く、効率的に回収できる。さらに、セメントケルン炉およびCO₂圧縮機から計46MWの廃熱を取り、廃熱ボイラ9基を稼働させる。これにより、CO₂分離に必要な蒸気を供給し、外部エネルギーの購入を抑えている。回収後のCO₂は16barに圧縮し、-26℃に冷却して液化された後、貯蔵タンクに一時貯留される。タンクは5,000m³×6基で構成され、輸送船の運行間隔に合わせて最大4日分を貯蔵

図4 CO₂回収および貯留フロー

できる（図4）。

3.2 Hafslund Celsio

（廃棄物発電所からのCO₂回収）

3.2.1 会社概要

Hafslund Celsioは、オスロ市内にある15か所のプラントから、年間約2TWhの熱を市内へ供給する地域暖房システムを運営している。その中核施設が、今回視察したKlemetsrud廃棄物発電所（最大熱供給55MW）である。

3.2.2 発電所の仕様

同発電所にはストーカ式焼却炉が3炉あり、1985年に2炉、2011年に1炉が稼働を開始した（図5）。廃棄物の年間処理量は35万トンで、内訳は家庭系49%、事業系49%、有害廃棄物2%で、バイオ・化石由来の比率はほぼ1:1である。



図5 Klemetsrud 廃棄物発電所の外観

2011年に稼働した炉の仕様は以下のとおり。

- ・処理能力：480トン/日（年間15万トン）
- ・焼却炉形式：ストーカ炉
- ・蒸気条件：41.5 bar/402°C

・発電出力：最大13MW

・地域熱供給：最大55MW

施設の職員は約100名で、3交代制を採用している。メンテナンスは1系統につき約1か月実施し、地域暖房の需要が低下する夏季は3系統のうち2系統を停止させ、常時いずれかを運転する体制をとっている。さらに、夏季には発電出力を増加させ、余剰熱は空冷コンデンサで処理している。また、夏季の余剰熱を岩石に蓄熱し、冬季に利用する「岩石蓄熱システム」の導入も検討されている。

3.2.3 CO₂回収計画

事業コンペの結果、政府からの支援が一部補助にとどまり、残りの資金を株主および市場から調達する必要があった。さらに、2023年には約21億NOKのコスト増により計画が一時中断された。主なコスト増の要因として、以下があげられる。

- ・陸上輸送（内陸から港湾まで）の発生
- ・オスロ港の利用料負担
- ・為替影響による輸入機器の高騰
- ・オスロ市近郊特有の物価高
- ・排ガス中CO₂の低濃度に伴う回収効率の低下
- ・地域暖房利用による余剰エネルギー不足

その後、設備の標準化・モジュール化によって約10億NOKの削減を実現し、2025年1月24日に投資決定され、27日に計画再開が正式に発表された。CO₂回収設備は2029年に運用開始予定であり、年間35万トンのCO₂を回収する。技術はSLB Capturi社のアミン吸収方式を採用し、熱回収効率を高めるためにヒートポンプの設置も計画されている。排ガス中の全CO₂に対する回収率は最大90%で、定期点検などを含めた年平均は85%となる。技術的には100%に近づけることも可能であるが、消

図 6 CO₂回収設備の完成イメージ

費電力が増大するため経済性を考慮して回収率を抑えている(図6)。回収したCO₂は液化し、1,000~1,200トン/日を一時貯留した後、EVローリー車(5~7台)で12km離れたオスロ港ターミナルへ輸送される。ターミナルの貯蔵容量は5,400m³(4~5日分)であり、Northern Lightsによる海上輸送と北海海底への貯留がおこなわれる。将来的にはこのターミナルを地域のCO₂ハブとして活用する構想がある。

3.3 Northern Lights

(回収されたCO₂の輸送・貯留)

3.3.1 事業概要

Northern Lightsは、Equinor、TotalEnergies、Shellの3社がそれぞれ3分の1ずつ出資する合弁企業(JV)で、回収されたCO₂の輸送・貯留を担う。CO₂は2か所の排出源近傍の港から船舶で中間貯蔵施設に輸送され、パイプラインにて約100km離れた北海海底2,600mの塩水帶水層(トロール油ガス田南部)に年間150万トン規模で注入される。貯蔵施設の運転期間は25年間を計画している(図7)。



図 7 Northern Lightsの中間貯蔵施設

3.3.2 モニタリングと安全管理

受け入れるCO₂は事前に定められた品質基準を満たす必要があり、供給者は品質証明書を提出し、受入施設でも検査を実施する。漏洩監視は坑口とパイプラインの流速計測によっておこない、予測値との不一致時は警報発報とバルブ遮断を実施する。監視は、①坑口での圧入量・流速や坑井内の温度・圧力を監視する一次監視と、②地震探査による貯留状況把握をおこなう二次監視に分かれ。これらの管理体制により、漏洩リスクは極めて低く、環境影響も限定的と評価されている。

3.3.3 経済性と資金支援

ノルウェー政府はCAPEXとOPEXの両面で支援をおこなっており、CAPEXは最大80%、追加船舶や圧入井については50%の補助が予定されている。日本のRITE(地球環境産業技術研究機構)の推定によれば、操業5年目に黒字化し、10年目には安定した黒字基盤を確保できるとされる²⁾。

3.3.4 輸送計画

輸送は液化CO₂輸送船4隻によっておこなわれ、うち3隻は川崎汽船の子会社“K”LINE LNG Shipping(UK) Ltd.が管理する。2025年1月時点で2隻は中国・大連で建造を終えノルウェーへ航行中であり、残り2隻は2025年11月と2026年5月に竣工予定である(図8)。

図 8 液化CO₂輸送船

3.3.5 受入・圧入施設

- (1) 受入桟橋：液化CO₂輸送船が接岸する設備とローディングアーム3基(受入用1、返送用1、予備1)を有し、最大能力800m³/hで1隻分のCO₂を約10時間で受入可能。受入時には分析計で純度を確認する。

- (2) 中間貯蔵タンク：12 基、総容量 $8,250 \text{ m}^3$ （船 1 隻分+10%）。タンクは連通して一体運用され、気化装置で圧力を維持する。
- (3) 注入ポンプ・海底接続トンネル：ブースターポンプとエクスポートポンプで圧入圧力 50~90 bar に昇圧し、1 隻分の CO₂ を 2 日で注入する。パイプラインは長さ 680 m・深さ 266 m の海底トンネル内を通じ、凍結防止の海水循環システムと電気ヒータを備える。施設全体の消費電力は約 3 MW である。
- (4) 将来拡張エリア：受入規模を 500 万~700 万トンに拡張する計画があり、同時に 2 隻受入対応の桟橋、タンクの増設、陸上ターミナルの整備、圧入井の追加が検討されている。

3.3.6 地下貯蔵

圧入は口径 12 インチの海底パイプライン 2 本（うち 1 本は予備）を通じておこなわれ、沖合 100 km・深さ 2,600 m のトロール油田付近の圧入井に接続される。耐用年数は 25 年で、Oseberg 油田の遠隔監視下にある。地下貯蔵層は Cook 層および Johansen 層（砂岩）で構成され、上部には一次・二次遮蔽層が存在する。一帯には 1.3 億トンの CO₂ 貯留ポテンシャルが見込まれ、最終的に井戸を閉鎖するが、その後も圧力監視は継続される。

3.3.7 顧客契約状況

現在、国内企業 2 社、海外企業 2 社と CO₂ 受入契約を締結済みで、海外企業（オランダの Yara、デンマークの Ørsted）とは商業契約である。CO₂ 輸送には二国間協定を締結し、EU 規制をクリアしている。さらに、EU 域内 15 か国から商談があり、潜在需要は年間 1 億トンに上る。

3.4 Gassnova (Longship プロジェクトの管理)

3.4.1 組織概要

Gassnova は、エネルギー省の管轄下で 2005 年に設立された国営企業であり、CCS 政策における政府の実行機関として位置づけられている。従業員は約 30 名と小規模ながら、技術開発の推進、政策提言、国際協力、知識共有を通じて CCS 分野の発展

に重要な役割を果たしている。

3.4.2 主要プロジェクト

同社の代表的なプロジェクトを以下に示す。

- (1) CLIMIT プログラム：CCS 技術の研究・開発・実証を支援する国家プログラム
- (2) TCM の運営：世界最大級の CO₂ 回収試験センターを国内外の企業や研究機関に開放
- (3) CCS の推進：Longship プロジェクトを統括

これらの取り組みを通じて得られた CCS に関する知識や経験を国内外の関連機関と共有することも重要な使命であり、ウェブサイト (gassnova.no, ccsnorway.com) を通じて情報を公開し、国際的な知見の交流を促進している。

4. おわりに

本調査では、ノルウェーの Longship プロジェクトに参画する 4 社との意見交換を通じ、CCS に関する最新の知見を得ることができた。ノルウェーの北海沿岸域には発電、セメント、鉄鋼、製油といった多様な二酸化炭素排出源が立地しており、これらを対象とする CCS の取り組みは、沿岸工業地帯が発達した日本にとっても極めて示唆に富むものである。特に、回収から輸送・貯留に至るチェーン全体を国家主導で整備し、民間企業の参入を促す仕組みは、日本の CCS 推進にも重要な参考事例となる。

最後に、本調査の実施にあたり、快く受け入れご対応いただいた各社の関係者、団長の田中先生、事務局の牧谷様をはじめ、多大なご協力を賜ったすべての方々に深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本環境衛生施設工業会：第 22 回海外環境事情調査団報告書, pp.1-43 (2025)
- 2) 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構：資料 4 海外 CCS プロジェクトにおける事業取支事例、総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会カーボンマネジメント小委員会(第 4 回), p.7 (2023)