

第22回
海外環境事情調査団報告書

令和6年度
(2024年度)
(オスロ、ベルゲン、リュブリャナ)

令和7年3月

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日程表

	月日曜	都市名／滞在地名	現地時間	交通機関	摘 要
1	1月25日（土）	羽田空港 羽田空港 発 フランクフルト着 フランクフルト発 オスロ着	10:30 12:35 19:00 21:40 23:45	LH717 LH864 専用車	羽田空港第3ターミナル Z団体カウンター集合 空路フランクフルト経由オスロへ 空港到着後ホテルへ (オスロ泊)
2	1月26日（日）	オスロ	11:00	専用車	ホテル発 市内観光 (オスロ泊)
3	1月27日（月）	オスロ	8:00 9:00～10:30 14:00～16:00	専用車	ホテル発 Heidelverg Materials Norway（Brevik セメント工場）視察 Gassnova視察 (オスロ泊)
4	1月28日（火）	オスロ オスロ 発 ベルゲン 着	8:30 9:00～11:30 15:30 16:30	専用車 SK271 専用車	ホテル発 Celsio/Klemetsrud 廃棄物発電所視察 空路ベルゲンへ (ベルゲン泊)
5	1月29日（水）	ベルゲン 発 ベルゲン 発 オスロ 着	8:00 9:00～11:30 15:35 16:30	専用車 SK272 専用車	ホテル発 Norhern Lights/Energiparken視察 空路オスロへ (オスロ泊)
6	1月30日（木）	オスロ オスロ 発 フランクフルト 着 フランクフルト 発 リュブリャナ 着	11:00 16:10 18:30 20:40 21:55	専用車 LH863 LH1460 専用車	ホテル発 空路、フランクフルトへ 空路リュブリャナへ (リュブリャナ泊)
7	1月31日（金）	リュブリャナ	9:00 10:00～12:00 午後	専用車	ホテル発 リュブリャナ地域廃棄物管理センター視察 市内観光 (リュブリャナ泊)
8	2月1日（土）	リュブリャナ リュブリャナ 発 フランクフルト 着 フランクフルト 発	8:00 10:35 12:05 14:05	専用車 LH1459 LH716	ホテル発 空路フランクフルト経由羽田へ (機中泊)
9	2月2日（日）	羽田空港 着	10:45		通関後解散

第22回海外環境事情調査団 行程図



→ 航空機

① Gassnova 社〔プロジェクト管理〕

【訪問先】 Gassnova（ノルウェー）

【所在地】 Dokkvegen 11, N-3920 Porsgrunn, Norway

【訪問日】 2025 年 1 月 27 日（月） 14:00～16:00

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて、CO₂の回収・貯留・有効利用（CCUS）技術の開発・実証が、世界各国で加速している。日本においても、CO₂の貯留（CCS）や有効利用（CCU）に関する取り組みが進められている。一方、ノルウェーは 20 年以上前から CO₂の海底貯留に取り組んでおり、現在では世界最大規模の CCS プロジェクト『Longship』が操業開始を目前に控えている。

こうした背景から、今回の海外環境事情調査では、CCS 分野で世界をリードするノルウェーを訪問した。Longship プロジェクト参画 4 社との意見交換を通じて、日本の CCS プロジェクト推進にも有益な多くの知見を得ることができたため、以下にその内容を報告する。

1-1 ノルウェーの CCS 戦略と歴史的背景

ノルウェーの CCS 戦略を紐解くと、その根底には、石油産業の歴史の中で培われた高い技術力と資金力、そしてヴァイキング時代から続く海洋貿易の歴史によって築かれた輸送インフラと国際的な繋がりが深く関わっていることが分かる。ノルウェーは 20 世紀後半、北海での大規模油田の発見により主要なエネルギー輸出国となり、経済的繁栄を遂げた。しかしその一方で、化石燃料の生産と利用に伴う温室効果ガス排出量の増加という課題にも直面することとなった。

こうした背景のもと、ノルウェーは石油・ガス産業を含む産業部門からの CO₂排出削減の有力な手段として、早くから CCS 技術の推進に取り組んできた。1996 年の Sleipner、2008 年の Snøhvit では、いずれも海底への CO₂貯留に成功し、CCS 分野で世界をリードする実績を積み重ねてきた。現在、ノルウェーは世界初のフルスケールでの CCS チェーン実証を目指す画期的なプロジェクト『Longship』に注力しており、国際的にも大きな注目を集めている。



図 1 ノルウェーの地図¹⁾



図 2 石油産業(イメージ)



図 3 ヴァイキング(イメージ)

1-2 Longship プロジェクトの特徴

Longship プロジェクトでは、ノルウェー国内のセメント製造施設や廃棄物発電施設で回収した CO₂ を船舶で輸送し、北海海底 2,600m の地層にパイプラインを通じて圧入・貯留する。プロジェクト全体は国営企業 Gassnova が統括し、各企業が CCS チェーンとして機能する体制が構築されている。

※各企業の詳細は本報および②～④を参照

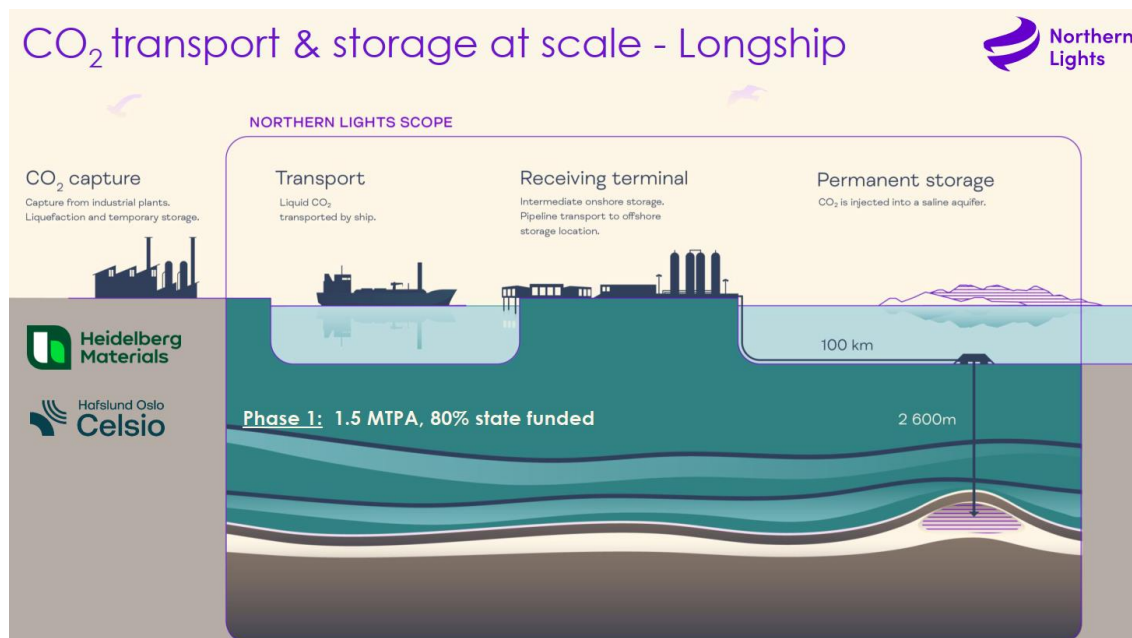


図4 Longship の CCS チェーン

もう 1 つの特筆すべき点は、CO₂ 輸送における船舶の活用である。ノルウェーは、ヴァイキング時代の海洋活動、中世の貿易、近代の海運業の発展を通じて、卓越した航海技術と海洋インフラを培ってきた。こうした歴史的背景が、CCS という新たな分野においても柔軟かつ効率的な輸送手段の確立を可能にしており、非常に興味深い。なお、オランダやデンマークからの CO₂ も船舶で輸送する計画となっており、将来的には EU 全域から受け入れる。



図5 船舶を活用した CO₂ 輸送計画

1-3 プロジェクトの進捗状況

Longship プロジェクトは 2020 年 9 月に発表され、2024 年度の操業開始が予定されていたが、CO₂ 回収設備の予算超過やコロナ禍、ウクライナ情勢の影響により開始時期が遅れていた。2025 年 1 月末の視察時点では、Heidelberg Materials の CO₂ 回収設備と Northern Lights の輸送・貯留施設がほぼ完成し、2025 年度初頭の稼働に向けて順調に進んでいた。一方、Hafslund Celsio の設備は予算超過のため一時中断していたが、視察期間中に最終投資決定が公表され、計画再開に至った。各社担当者の安堵の表情が印象的で、同社は 2029 年度の稼働を予定している。

1-4 参画企業に対する政府からの資金補助

Longship プロジェクトの総事業費および政府からの資金補助に関しては、表 1 に最新情報を記載している。OPEX の補助期間は 10 年間とされ、初年度の補助率が最も高く、その後は段階的に引き下げられる設計となっている。政府が多額の資金援助を行うことで、民間企業の初期投資リスクを軽減し、CCS 市場の成熟と将来的な自立運営を促す狙いがある。資金の配分を見ると、Heidelberg Materials と Northern Lights には多くの補助が出ているのに対し、Hafslund Celsio は部分的な補助にとどまっている。これは、同社の詳細計画の遅れなどが影響しており、詳細は報告書③を参照のこと。

表 1 政府からの資金補助（2025 年度予算※1）

項目	企業	総費用		政府からの資金補助	
		百万 NOK	億円※2	百万 NOK	億円※2
CAPEX	Northern Lights	17,900	2,390	13,500	1,802
	Heidelberg Materials				
	Hafslund Celsio	6,900	921	2,550	340
OPEX	Northern Lights	7,500	1,001	6,100	814
	Heidelberg Materials				
	Hafslund Celsio	4,000	534	1,500	200

※1 From proposition 1S for the Norwegian Stortinget, Budget year 2025. Cost frame for Longship

※2 2025 年 3 月 1 日時点のレート：1NOK=13.35 円で換算

2. Gassnova の概要

2-1 Gassnova の企業概要

Gassnova はエネルギー省の管轄下にある国営企業で、2005 年に設立された。従業員は約 30 名で、技術開発の推進、政策提言、国際協力、知識共有を通じて CCS 分野の発展に貢献している。

オフィスは首都 Oslo からバスで約 2 時間の場所に位置しており、車窓からノルウェーらしい雪景色を眺めていると、ひと際目を惹く特徴的な建物が現れた。

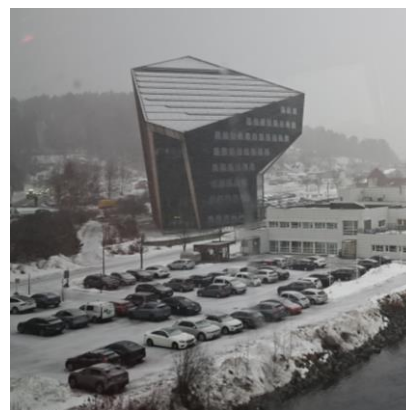


図 6 オフィス外観

2-2 ノルウェーCCS 政策における戦略的役割

Gassnova は、ノルウェーCCS 政策における各プロジェクトを政府に代わって主導する役割を担っている。代表的なプロジェクトとして次の3つがあり、詳細については次項以降で述べる。

- (1) CCS 技術の研究・開発・実証を支援する CLIMIT プログラムの運営
- (2) 世界最大級の CO₂ 回収試験センター TCM (Technology Center Mongstad) の管理
- (3) フルスケール CCS チェーンの構築を目指す Longship プロジェクトの推進

これらで得た CCS に関する知識や経験を国内外の関連機関等と共有することも重要な使命としており、ウェブサイト (gassnova.no、ccsnorway.com) を通じて情報を公開している。

また、国際協力にも積極的で、Mission Innovation の Carbon Dioxide Removal (CDR) 部門にノルウェー代表として参加するほか、日本とグリーン移行パートナーシップを締結し、バイオマス炭素除去・貯留技術の開発や、米国エネルギー省 (DOE) とも CCS 技術協力を行っている。

3. Gassnova の活動事例

3-1 CLIMIT を通じた研究開発支援 -Research & Development-

CLIMIT は、CCS 技術の研究、開発、実証を目的としたノルウェーの国家プログラムで、ノルウェー研究評議会 (The Research Council of Norway) が管理する研究開発 (R&D) の支援と、Gassnova が開発・実証 (Demo) を支援する 2 つの枠組みで構成されている。2005 年の設立当初はガス火力発電所向け CCS 技術の開発に特化していた。しかし、2008 年には対象をすべての化石燃料による発電に拡大し、2010 年には産業由来の排出も対象になった。さらに、2021 年からはすべての CO₂ 排出源に対する支援が対象に含まれるようになった。

Gassnova は、Demo 部分と CLIMIT 全体の調整及びプログラム事務局の管理をしており、CO₂ 回収のコスト削減と幅広い国際展開が期待されている。



図7 CLIMIT プログラムの概要

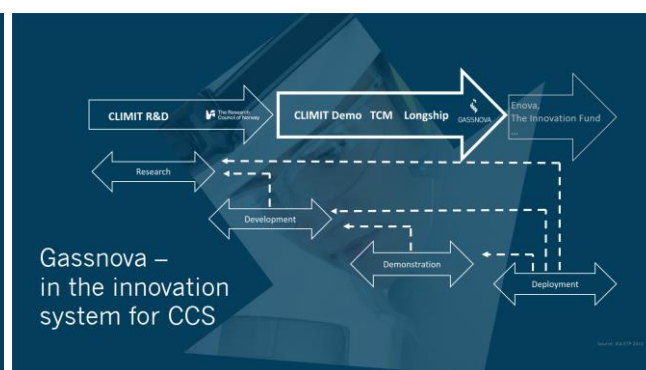


図8 CLIMIT プログラムの内容

3-2 TCM の運営と CCS 技術の実証 -Demonstration-

(1) TCM の概要と役割

TCM (Technology Center Mongstad) は、CO₂ 回収技術の実証試験を行う世界最大規模の公開型テストセンターである。2006 年 10 月にストルテンベルグ政権のもとで建設が開始され、2009 年 6 月 17 日に TCM が正式に設立、2012 年に稼働を開始した。工場の建設と開発には、合計約 70 億 NOK (約 935 億円) が投資されている。出資比率は、Gassnova (34%)、Equinor (22%)、Shell (22%)、

TotalEnergies（22%）で、最大出資者である Gassnova は、TCM に対する国家所有権の保護、運営や TCM 関係社との契約などをフォローアップしている。

TCM は特定の企業に限定されず、国内外の企業や研究機関に広く開かれた試験センターである。施設は 24 時間・週 7 日体制で稼働しており、技術試験に加え、情報公開や技術的助言も行っている。TCM は主に、技術の市場投入に向けた最終ステップ、すなわち調査、ケーススタディ、ラボテストなどを経た後の段階で活用される。このように「商業化直前」の実証試験の場として重要な役割を果たしており、北欧で実施されている多くの CCS プロジェクトも TCM を通じて展開されている。

（2）TCM のキャパシティ

TCM では、Equinor の製油所にある 2 か所の煙道から排出されるガスを採取し、CO₂の分離・回収に関する各種テストを実施している。採取したガスの CO₂濃度は、1～20%の範囲で調整することが可能で、さまざまな条件下での検証が行える。TCM には、アミン系技術用の試験プラントに加え、メンブレン（膜）などの未完成技術の試験を行うための専用プラントも整備されており、多様な技術の開発・検証に対応している。これまでに行われた試験の結果は可能な範囲で情報公開されており、70 本以上の論文などが発表されている。

<キャパシティ>

- ・アミン系技術用のプラント：年間 75,000 トン（図 10 の上段）
- ・未完成技術用のプラント：年間 18,000 トン（図 10 の下段）

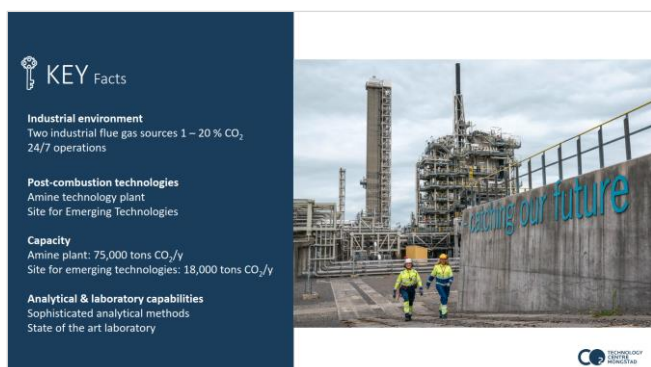


図 9 TCM の概要



図 10 参画企業

3-3 Longship を通じた CCS の商業化 -Deployment-

Gassnova はノルウェーの CCS プロジェクトにおいて調整や管理、情報公開などを幅広く担っており、本項では商業化を目指す大規模プロジェクト『Longship』の調査内容を報告する。

（1）Longship プロジェクトの概要

Longship は、Heidelberg Materials、Hafslund Celsio および Northern Lights を構成する Equinor、Shell、TotalEnergies が参画する大規模 CCS プロジェクトである。各社は相互に契約関係を結んでおらず、すべての契約はノルウェーのエネルギー省管轄のもと、Gassnova が各社と個別に締結しており、日常的に連携を図っている。各社の所在地と CO₂運搬ルートは図 5 を参照。

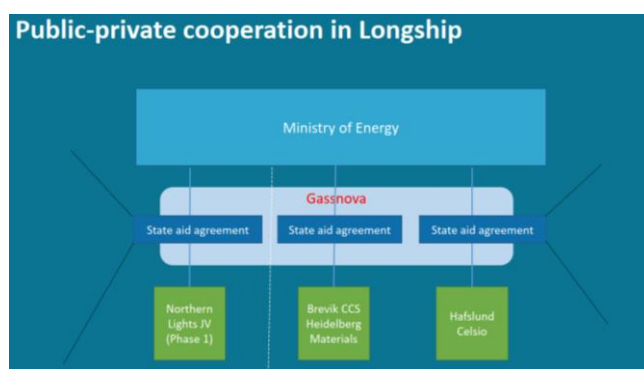


図 11 官民連携の実施体制

【ノルウェー国内】

Heidelberg Materials はセメント製造施設（Brevik）、Hafslund Celsio は廃棄物処理発電施設（Oslo）の排ガスから CO₂を分離・回収する。Northern Lights は回収された CO₂を貯留地点まで船舶で輸送し、海底パイプラインを通じて水深 2,600m の地層に貯留する。Gassnova は、2 社が回収した CO₂の運搬（船舶・パイプライン）を支援しており、その計画運搬量は年間 1,500 万トンにのぼる。また、海底貯留に用いられるパイプラインの整備についても支援を行っている。

【EU 諸国】

Yara（オランダ、アンモニア・肥料製造）と Ørsted（デンマーク、電力）が関連企業としてプロジェクトへの参画を予定している。

ノルウェー国内 2 社と EU 諸国 2 社からの CO₂の回収・運搬・貯留の総量は、年間 150 万トンを超える見込みである。

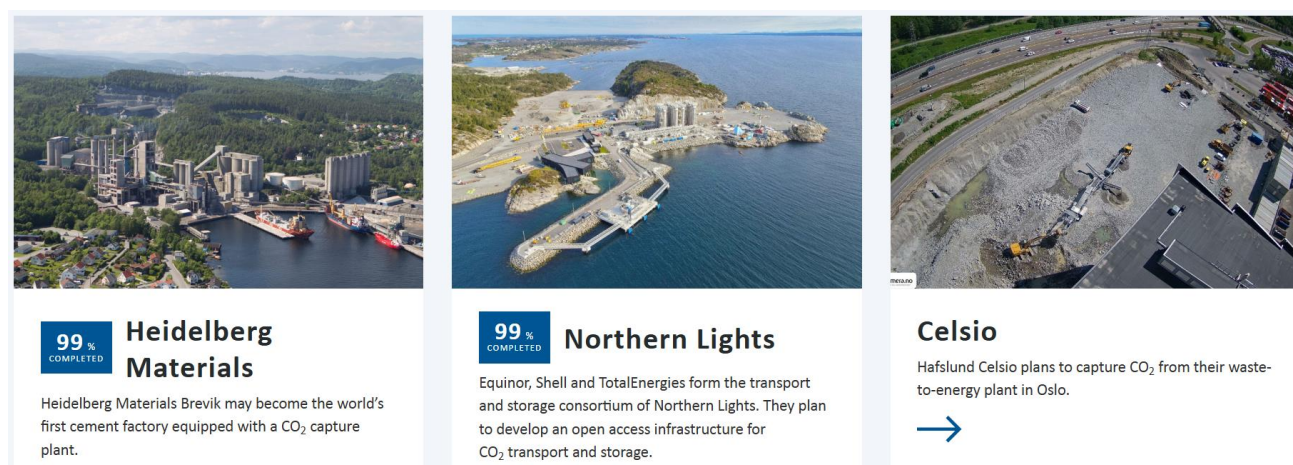


図 12 ノルウェー参画企業の CO₂ 回収・貯留拠点³⁾

（2）参画企業の選定経緯

Longship プロジェクトでは、2015 年前後に CO₂排出量の多い企業が招集され、話し合いを経てコンペ形式で参加企業の募集が行われた。Heidelberg Materials と Hafslund Celsio が次の段階に進み、2 年かけて設計資料を作成した。完成度の高い資料を提出した Heidelberg Materials には多額の補助金が交付されたが、Hafslund Celsio は資料の完成度が不十分と判断され、部分的な補助にとどまった。

このため、同社は資金調達などに時間を要し、計画が一時停止していたが、2025 年 1 月 27 日（視察の前日）、ノルウェー政府およびオスロ市の関与のもと、Aker Solutions および SLB Capturi と CO₂回収設備に関する契約を締結し、計画の再開に至った。

（3）参画企業への資金補助

運営費に対する資金補助には、2 か所の排出源から Northern Lights までの CO₂輸送コストも含まれており、政府による手厚い支援が行われている。一方、国外の Yara および ØRSTED には補助金は適用されず、CO₂の輸送・貯留にかかる費用は Tariff として各社が自社負担することになっている。

この運営費補助の期間が 10 年と設定された背景には、現時点では CO₂の需給バランスが確立されておらず、市場がまだ成熟していないという事情がある。将来的に市場が成熟し、より多くの企業が CO₂の回収・輸送・貯留を実施するようになれば、補助金なしでも事業の自立運営が可能になるとの期待が

込められている。10年後、Heidelberg Materials と Hafslund Celsio の2社は、Northern Lights との再契約を選択するか、新たな市場での取引を模索することになる。

(4) プロジェクトの進捗状況

Longship プロジェクトは現在 99.1%が完了しており、CO₂バリューチェーンの進行状況により多少の前後はあるものの、2025 年 5 月初旬に Northern Lights が稼働開始する予定である。また、CO₂回収設備の稼働スケジュールは、Heidelberg Materials が 2025 年 5 月頃に開始予定で、それに続き Yara と ØRSTED が 2025 年後半から 2026 年初頭にかけて、Hafslund Celsio は 2029 年頃の稼働を見込んでいる。CO₂輸送船（輸送能力 7,500m³/隻）は全 4 隻中 2 隻がすでに完成し、中国・大連からノルウェーに向けて航行中であり、残り 2 隻も建造中である。

さらに Northern Lights は、フェーズ 2 への移行を見据えて、現在 4 か所ある受け入れ地点を拡大する方針を検討しており、近く意思決定がなされる見込みである。その際は、輸送船の着岸箇所の増設も計画されている。また、施設近隣には CO₂排出源となるプラントもあることから、トラックによる陸上輸送の導入も併せて検討されている。

4. CCS プロジェクトへの示唆

ノルウェーの 25 年以上にわたる CO₂貯留での経験を踏まえたアドバイスや、日本の CCS プロジェクトを成功に導く知見が得られたので紹介する。

Q1：CCS は公的支援が無くても経済的に自立できるのか？

A1：CCS プロジェクトは、現状では経済的自立ができないため、CAPEX・OPEX への公的資金の注入が不可欠である。なお、公共性の高い事業であるため、一定の利益を超えると支援額を減少させるなど OPEX 支援への工夫を行っている。また、Northern Lights では、顧客（CO₂排出者）数の増加に伴い OPEX を按分する仕組みを設定している。

Q2：どういった業界が CCS に興味をもつのか？

A2：各業界の CCS へのモチベーションとしては以下が考えられる。

- ・セメント業界：建設業界で使用するグリーンセメントの CO₂クレジットがモチベーションになる
- ・肥料業界：農家への直接販売のため CO₂クレジットのモチベーションは無いが、欧州では炭素税導入等の動きがあるため、炭素税を支払うより CCS の方が安価であれば CCS を採用する
- ・廃棄物発電所：欧州では CCS を行っても補助制度は無く、自己負担となる
- ・その他：石油・ガス業界、バイオガス化施設は CCS へのモチベーションが高い

Q3：CO₂回収・運搬コストが安価になる条件は何か？

A3：排ガス中の CO₂濃度が高いほど CO₂回収コストが安い。一般的に、廃棄物焼却排ガスよりセメント製造排ガスの方が CO₂濃度は高いため、CO₂回収コストが安価になる。また、アミンによる CO₂回収の場合は熱を必要とするため、CO₂回収コストを抑えるには、十分な余剰熱が必要となる。CO₂を液化して CCS へ運搬するため、CO₂発生源の立地が大きく影響する。CO₂を海上輸送する場合は、港の混雑を考慮する必要がある。

Q4：CO₂の受入基準はどのようになっているか？

A4：CO₂濃度の受入基準を設けると幾つかの産業がドロップアウトするため、受入側の Northern

Lights としては基準を設けていない。腐食などによる設備故障の原因となる酸素や不純物の濃度は排出源によって異なるが、どのように定めるかが課題。EU で受け入れ品質基準を検討中ではあるが、現状は CCS の業界スタンダードは無い。Longship プロジェクトでは、受け入れ開始前に分析を実施することになっている。

(参考：現状の日本の CO₂濃度に関する規格としては、工業用 1 種 99.5%以上、同 2 種 99.5%以上、同 3 種 99.9%以上、溶接用 99.8%以上、食品用 99.5%以上、炭酸飲料用 99.95%以上、医療用 99.5%以上、がある²⁾)

5. 所感

- ・ Longship プロジェクトには、ヴァイキング時代からの海洋ノウハウを活かした船舶輸送や、近代の石油採掘ノウハウを活かした海底貯留など、自国の強みが見事に凝縮されていた。さらに、CCS 技術の開発・実証をしている事例は多くあるが、CCS チェーンの構築までをプロジェクトとして位置付け、Gassnova という組織を介して国が主導している点が Longship の肝であろうと思う。CCUS は途上にあり、事業リスクが大きい分野であるため、ノルウェーのような体制づくりや経済支援が、日本においても期待される場所ではないかと感じた。
- ・ 視察前のノルウェーに対しては、いち早く洋上風力発電を行い自国の電力をほぼ賄っている再生可能エネルギー先進国であり、北海油田での石油産業は海外系の会社が行っているという漠然としたイメージであった。今回の Gassnova におけるヒアリング等をとおして、ノルウェーは、CO₂の排出源が日本と比較し少ないのではないかと、そのため CO₂回収貯留をビジネスにするモデルが成立し、分散された排出源から CO₂を回収し、まとめて特定の貯留層へ埋めるプロジェクトが成立しやすいのではないかと印象を受けた。そのための政府からの直接補助金や CO₂排出クレジット制度の充実化が図られており、CO₂チェーンにおける民間事業者が負担するリスクを低減する仕組みが構築されていると感じた。国営企業が中心となり積極的に CCS 事業を取り組むことで、民間事業者が躊躇なく取り組むことができる土壌が形成されたのではないかと感じた。
- ・ ノルウェーはほぼ全ての電力を再生可能エネルギーでまかなう等、環境意識が高い国であるが、石油や天然ガスの輸出大国でもある矛盾のある国。その矛盾があるが故に、早期に炭素税を導入したり、エネルギー会社が率先して CCS を行ったり、CCS に向けた技術開発を行ったりしたことが功を奏し、CCS における世界をリードする国になったとの印象を受けた。CCS に関する知見をノルウェーから学びつつ、日本特有の事情を考慮した上で、日本においても CCS プロジェクトが進むことを期待している。

出典：

- 1) <https://www.guideoftheworld.com/norway-map.html>
- 2) JIS K 1106、JIS Z 3253、第 10 版食品添加物公定書、JAS 0567、第十八改正日本薬局方
- 3) <https://ccsnorway.com/>

②ブレヴィックセメント工場

【訪問先】 Heidelberg Materials Norway（オスロ）

【工場所在地】 Setrevegen 2, 3950 Brevik

【訪問日】 2025 年 1 月 27 日（月） 9:00～10:30



1. 視察先の概要

調査対象であるブレヴィックセメント工場は稼働前であるため、今回プラント施設の視察はかなわなかったが、工場を経営している Heidelberg Materials Norway 社にて Mrs. Pia Prestmo さんから同社のロングシッププロジェクトへの取り組みについてプレゼンを受け、質疑応答を実施した。（写真 1、2）



写真 1 Heidelberg Materials Norway 社



写真 2 プレゼン風景 Mrs. Pia Prestmo

1-1 ハイデルベルグマテリアルズ社について

Heidelberg Materials 社はドイツ ハイデルベルクに本社を置くセメント会社である。1874 年創業で、その後国内外で積極的な M&A を繰り返しヨーロッパ、アジア、北米アフリカなど 50 か国以上で事業を行っている世界第 4 位のセメントメーカーであり、50,000 人以上の従業員を擁しセメントメジャーとして認知されている。主力事業はセメント、骨材、生コンクリート、アスファルトの製造と流通である。資本金は€558m、2023 年の収益は€21,177m（それぞれ 87,215 百万円、3,309,965 百万円 1€=¥156.3：2025 年 3 月 1 日）となっている。

ブレヴィックセメント工場を運営している Heidelberg Materials Norway 社(旧 Norcem)は、1916 年から事業を行っており、1999 年に Heidelberg Materials 社が買収した子会社である。

1-2 ブレヴィックセメント工場の概要

今回の調査対象であるブレヴィックセメント工場があるブレヴィックは、ノルウェー南東部に位置するテレマルク県ポールスグルン市南端の海に面した街である。19 世紀から 20 世紀初頭にかけて航海や貿易で栄えてきた街で、港は北海に通じている。(図 1)

ブレヴィックセメント工場は世界初の CO₂ 排出ネットゼロの CCS セメントである evoZero を生産する工場として、2025 年より稼働を始める。CO₂ の年間排出量約 80 万トンの半分に当たる 40 万 t を回収し、ノーザンライツに移送する計画である

当工場では、同敷地内に設置している廃棄物焼却炉の廃熱を利用しており、9 基の廃熱ボイラーを設置している。計 46MW の排熱を再利用しており、30 MW はセメントキルン炉、16 MW は CO₂ 圧縮機からの排熱利用を予定している。廃棄物はオスロ市を含む近郊の自治体より購入しており、医療系廃棄物も受入れている。また、焼却炉にて発生する焼却灰や飛灰もセメントの材料として有効利用している。(写真 3)

CCS 施設の建設には、1,000,000 h 以上の総労働時間をかけ、健康安全に配慮してプロジェクトを実施している。2020 年のコロナ禍では、特殊な部品の納期遅れがあったり、またウクライナ戦争の影響で納期が遅れたりすることがあり、工期が予定より半年遅れたとのこと。

シミュレーターによる運転トレーニングも実施している。工場の従業員は 195 名であり、そのうち 29 名が CCS プロジェクトに従事することとなる。

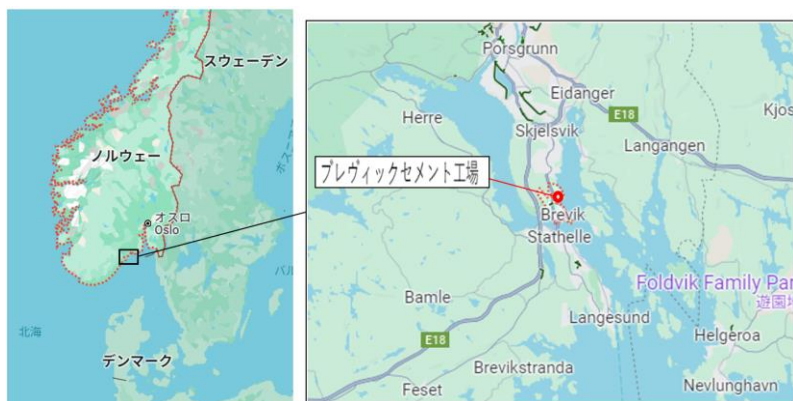


図 1 ブレヴィックセメント工場 の位置



写真 3 ブレヴィックセメント工場全景

2. CO₂ 排出量削減の取り組み

2-1 CO₂ 排出状況と削減に対する取り組みについて

世界の CO₂ 排出量全体の 5~7% がコンクリート製造に由来するものであり、コンクリートのうちセメント/バインダーが CO₂ 排出量の 91% を占めている。CO₂ 削減の取り組みとして、①燃料の代替、②原材料の転換、③CCUS の導入がある。燃料としては、石炭の代替として一般廃棄物や廃油を利用しており、近年では 70~80% を代替燃料としている。(図 2)

代替燃料のうち約 30%がバイオマスエネルギーとしている。セメントプラントでは温度を 1400℃～1500℃に昇温する必要があるため、20%程度は石炭を使用している。RDF などの発熱量の高い廃棄物や廃油などの利用により、2030 年までに石炭使用料 0%を目指している。

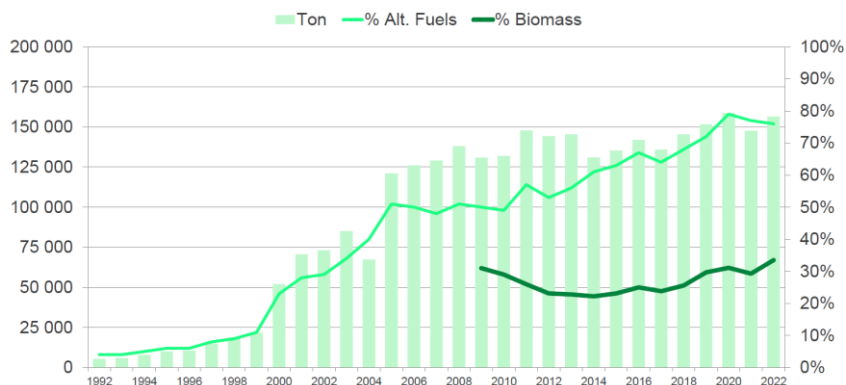


図2 セメントプラントにおける代替燃料利用

2-2 CCS 設備のプロセス

セメントプラントからの CO₂ の排出は、2/3 がプロセス由来、1/3 が燃料由来である。排ガス中の CO₂ 濃度は 20～22% であり、アミン吸収法により CO₂ を回収する。CO₂ は液化に適した 16 bar に圧縮、-26℃に冷却して液化し、5,000 m³ の CO₂ タンク 6 基に 4 日分の貯留が可能である。アミン技術については非常に大きな要素であり、分子構造を変えようとする非常に電力がかかってしまう。この点は知的財産に係る理由により詳しくは聞くことができなかった。本施設からの CO₂ 回収 40 万 t/年は排出量の半分にあたる。この割合を増加させるためには、より多くのエネルギーを必要とし、さらに施設の規模を拡張する必要がある。

How to catch the carbon dioxide - and store it

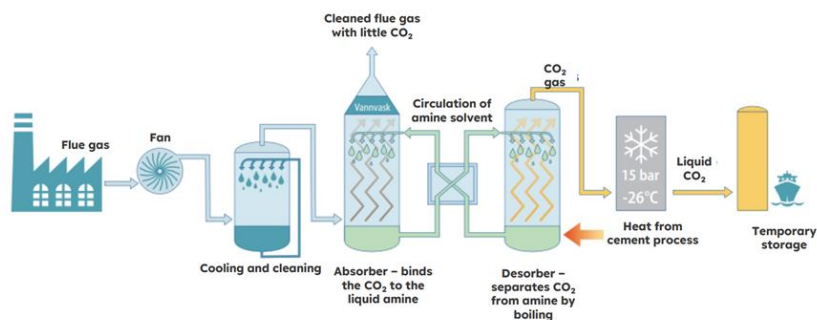


図3 CO₂ 回収および貯留フロー



写真4 CO₂ 貯留タンク

2-3 CO₂の固定化事業

ロングシッププロジェクトでは、ブレヴィックのセメント工場で産業由来のCO₂を回収し、ノーザンライツまで船舶により輸送し、パイプラインにより北海にCO₂を貯留する計画である。年間2隻の船を有しており、4日おきに船による運搬を計画している。

回収したCO₂をノーザンライツのCO₂貯蔵施設に船で輸送し、海底下2,600 mの安全な貯留槽に輸送貯蔵する計画である。セルシオの廃棄物処理施設からは年間35万tのCO₂を輸送する計画である。今後、デンマークのバイオマスエネルギープラントや、オランダの肥料会社も参加する予定。

船での運搬をパイプラインと比較した場合、1,000 kmのパイプラインで試算した場合、パイプラインの方がコストは半になるとのこと。これはCO₂ハイウェイヨーロッパと呼ばれている（図5）



図4 ロングシッププロジェクト全体計画

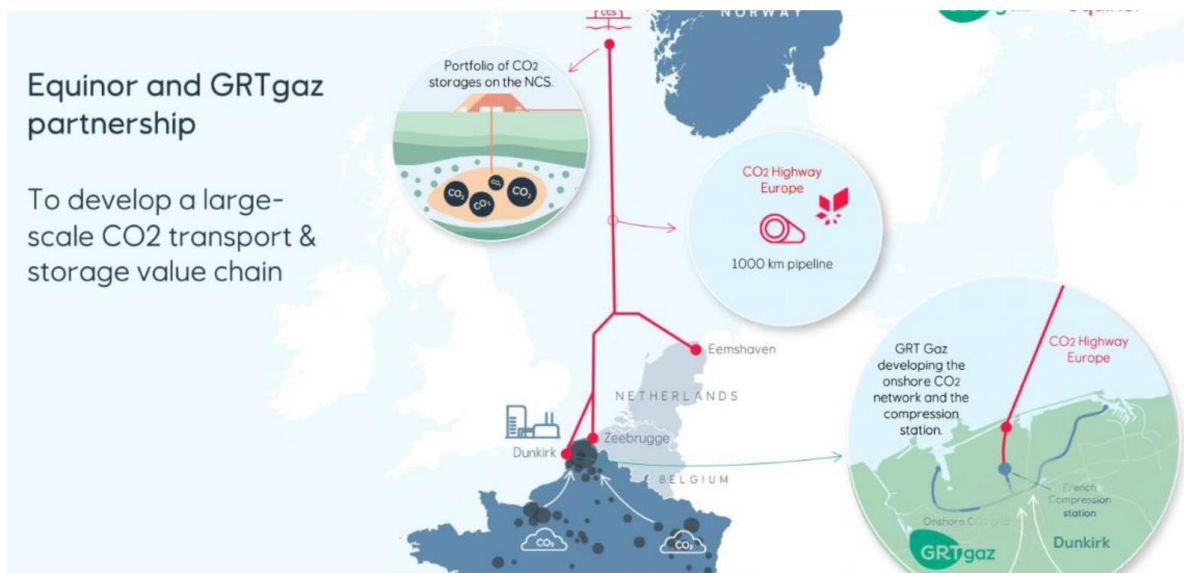


図5 パイプライン（CO₂ハイウェイヨーロッパ）

2-4 CCS事業への国による補助制度

ロングシッププロジェクト全体（回収、輸送、保管）の総費用は、300億NOK＝約4,000億円（1NOK＝¥13.35：2025年3月1日）であり、そのうち200億クローネ＝3,600億円を政府が支援している。ブレヴィックCCSプロジェクトには40億NOK＝約530億円の費用がかかっており、政府がその75%の30億NOK＝約400億円を支援している。年間運営費用は非公開となっている。

3. プロジェクトの課題と今後の予定

CCUS を実現するためには、サプライチェーンをどうマッチングするかが重要であり、業界スタンダードを作り活用することがコスト削減には重要となってくる。CO₂の回収固定といった一連のサプライチェーンには、多くの国や企業が関わることとなり話し合いが必要になる。ノルウェー国内では、1996 年から事業が始められており、世論としても CCUS 自体の取り組みが大きな問題とはならない。議論となるのは経済的に成り立つのかというところになる。カーボンネガティブ達成のためには、EU や政府の後押しが不可欠である。CCUS を実施するとインフラに用いられる鉄やアルミ、セメント等のコストが増加するため、公共施設の建設時などには CCS に取り組んでいる材料を使用するなどの協力が必要である。今後 EU での調達に関する指令が出る予定なので期待しているとのこと。今後、製品の最適化、処理プロセスの最適化、CCS で排出量を 400 kg/t まで下げていく予定で、2030 年までに累積で 1,000 万トンの CO₂を貯留する予定である。

この先 10 年間は、CO₂の貯留についてはノルウェー政府から保証されている。その後については CO₂の利用先について検討することになる。

欧州では、ETS としての CO₂排出量の取引する仕組みができています。是非日本政府も取り入れてできるだけ早く開始するようコメントがあった。

出典：

- 1) Heidelberg Materials Norway 社プレゼンテーション資料
- 2) Heidelberg Materials Norway 社 HP

③クレメトスラッド廃棄物発電所

【訪問先】 Hafslund Celsio Klemetsrud 廃棄物発電所（ノルウェー）

【所在地】 Klemetsrudveien 1, 1278 Oslo, ノルウェー

【訪問日】 2025 年 1 月 28 日（火） 9:00～11:00

1. はじめに

ノルウェーは気候変動対策のリーダーとして、二酸化炭素回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage、以下 CCS）技術の導入を積極的に推進している。廃棄物発電所は、都市部における主要な二酸化炭素の排出源の一つであり、CCS 技術の導入はノルウェーの気候目標達成に不可欠となっている。

今回の調査では、Longship プロジェクトの一員であり、世界初の廃棄物発電所でのフルスケール CCS 施設の建設が進められている Hafslund Celsio の Klemetsrud 廃棄物発電所を訪問し、質疑応答および施設見学にて得た知見を報告する。

2. 視察先の概要

2-1 Hafslund Celsio について

Hafslund Celsio はノルウェー最大の送配電会社である Hafslund の子会社にあたる。オスロ市内の地域暖房システムを運営しており、廃棄物発電やバイオマス発電によって熱と電力を供給している。Hafslund Celsio 全体での社員数は 234 名。

北欧では電力よりも熱供給が求められ、オスロ市域で年間約 2TWh の熱供給を行っている。

地域暖房は従来から行っているが、フィヨルドの冷水を利用した地域冷房の提供を一部の地域で実施しており、今後拡大していく計画。

ノルウェーでは豊富な水資源を利用した水力発電が国内電力の約 9 割を占めるが、オスロの近郊には小規模の水力発電所が 1 か所のみで、Klemetsrud 廃棄物発電所が最大の発電所である。

Hafslund Celsio は CCS に関してもパイオニア的存在であり、2015 年頃から取り組んでおり 2025 年 1 月 27 日に CCS の投資の意思決定をリリースした。

現在オスロ市内 15 か所のプラントより全体の 30% のエリア（図 1 の斜線部分）に全長 700 km のパイプラインを介して熱供給しており、今後さらに供給エリアを拡大していく計画（図 1 の緑色部分）である。

地域暖房供給のための熱源は複数あり、コストや調達性を考慮して最適なものを選択している。

2023 年の実績値としてのエネルギー源ごとの比率は、廃棄物焼却時の廃熱（Klemetsrud 廃棄物発電所およびオスロ市所有の廃棄物発電施設）が約 50%、購入した電力が約 20%、下水処理場からの廃熱が約 10%、木質ペレットが約 10%、バイオ燃料が約 7%、化石燃料が約 2%、データセンター廃熱が約 1 %であった。リスク分散を目的として廃熱以外にも木質ペレット、バイオ燃料を利用している。ただし、バイオ燃料は価格が高いため寒波襲来などの非常時に利用している。



図1 Hafslund Celsio によるオスロ市における地域暖房供給エリア

2-2 Klemetsrud 廃棄物発電所の施設概要

オスロ市郊外に位置する Klemetsrud 廃棄物発電所はノルウェー最大の廃棄物発電所であり、年間のごみ処理能力 35 万トンを有する。

集まるごみを処理している。処理しているごみの内訳は、バイオ由来：化石由来＝１：１程度となっている。

市民が自治体へごみ処理費用を支払い、自治体のごみ収集を行う。入札によって収集されたごみを処理する事業者を決定する。入札額はその時々状況によって大きく異なる。

通常はごみの処理費用としての対価が Hafslund Celsio へ支払われるが、ウクライナ戦争が始まった際には、ロシアの天然ガスおよび石油に依存していたドイツを始めとする各国が代替燃料としてごみの取り扱いになり、逆にごみを購入する事態となった。



図2 Klemetsrud 廃棄物発電所 所在地と全景

<施設概要>

焼却施設：３系統（１９８５年稼働：２系統、２０１１年稼働：１系統）

２０１１年に稼働した１系統の仕様を以下に示す。（１９８５年稼働の２系統については不明）

定格処理能力	：４８０トン／日（年間処理能力１５万トン）
焼却炉形式	：ストーカ炉
蒸気条件	：４１．５bar／４０２℃
発電出力	：１３MW（最大）
地域熱供給	：５５MW（最大）

Klemetsrud 廃棄物発電所に勤務する職員は約１００名、３シフト制を組んでいる。

メンテナンスは１系統につき１か月程度で３系統の内２系統を地域暖房が不要な夏季に停止するが、常にいずれかの系統を運転する計画としている。

夏季の熱需要が少ない時期は発電の出力を上げ、それでも余剰となる熱は空冷コンデンサで処理する。

夏季に余剰となる熱を岩石に蓄熱させ、冬季に熱利用する岩石蓄熱を検討している。

３．CO₂回収設備の計画一時中断と再開の経緯

Heidelberg Materials、Northern Lights は政府から大部分の資金調達ができただ、Hafslund Celsio は政府からの支援が一部しか得られなかったため、株主およびマーケットから資金調達することとなった。

2023 年 4 月にはコストの大幅な増加（約 2,100 百万 NOK）により、コストを削減するために仕様の見直しなどを行うため、計画は一時中断された。

コストの大幅な増加の要因として、Gassnova 訪問時に以下の情報を得た。

- ・ Klemetsrud 廃棄物発電所の立地の影響が大きい。Heidelberg Materials Brevik セメント工場が海沿いに立地しているのに対して、Klemetsrud 廃棄物発電所は内陸にあるため、後述する Northern Lights への輸送拠点となるオスロ港のターミナルへ運搬する必要があり運搬コストが発生する。
- ・ オスロの港湾で他プロジェクトの進行により、土地確保が難しく、競争が激しかった。
- ・ クローネ安の影響を受け輸入機器がコスト増加。また、首都オスロ市に立地するため物価が高い。
- ・ 廃棄物発電所の排ガスはセメント工場排ガスよりも CO₂ 濃度が低く効率が悪い。
- ・ Heidelberg Materials Brevik セメント工場は余剰エネルギーがあるのでそれを CO₂ 回収に使用可能であるが、Klemetsrud 廃棄物発電所は既に暖房等で熱利用していたためコストが発生した。

2025 年 1 月 24 日に Hafslund Celsio 役員会において投資決定がなされ、Hafslund Celsio が Aker Solutions および SLB Capturi Norway と契約を締結し、CO₂ 回収プロジェクトを再開することが決定したことが、我々調査団が訪問した前日の 1 月 27 日にプレス発表された。2029 年に運用開始予定。

Aker Solutions : オスロに本拠を置く大手エンジニアリング会社

SLB Capturi Norway : SLB と Aker Carbon Capture が CO₂ 回収事業を合併し、設立した新会社

CO₂ 回収設備を実現するための設備投資は 8,300～9,500 百万 NOK（約 1,100～1,270 億円）であり、資金の調達状況は以下のとおり。

表 1 Klemetsrud 廃棄物発電所 CO₂ 回収設備の資金調達

負担者	調達額		備考
	百万 NOK	億円	
ノルウェー政府	10,000	約 1,340	・ 対象：CAPEX、OPEX、輸送および保管 ・ 10 年間にわたる支援
オスロ市	2,600	約 350	
Hafslund Celsio	4,300	約 570	・ 炭素税を回避/CO ₂ 除去証明書の販売

設備の標準化およびモジュール化を推進することで、2023 年に計画が一時中断となった時と比べて約 1,000 百万 NOK のコスト削減ができたとのこと。

4. CO₂ 回収設備の概要と今後の展望

排ガスからの CO₂ 回収設備はアミン法が採用される。Heidelberg Materials へも技術提供している SLB Capturi 社の技術を採用する（図 3）。

また、CO₂ 回収プロセスでのさらなる熱回収をするために、エネルギーポジティブとなるヒートポンプの設置も計画している。

計画されている CO₂回収設備は非常に大きな設備であり、図 4 の完成予想図に示すように既存の廃棄物発電所と同等のエリアを占めている。

CO₂回収量は年間 35 万トン、排ガス中の全 CO₂に対する回収率は最大 90%、定期点検などを考慮すると平均 85%となる計画である。技術的には限りなく 100%に近づけることが可能であるが、回収設備の消費電力が増加するため、経済性を考慮した計画としている。

プラスチックごみは、化石燃料の利用に伴う CO₂排出量に応じて課税される炭素税を回避しながら、化石燃料由来ではあるがごみであることからカーボンクレジットを得られる仕組みとなっている。

オスロ市は 2030 年までに温室効果ガス排出量を 1990 年比で 95%削減するという非常に高い目標を掲げており、Hafslund Celsio の取り組みはそのうちの 19%を占めている。

CO₂回収設備は完成していないにも関わらず、年間数百名の見学者を受け入れており、業界団体の視察のみならず、政治家の関心も高く、元エストニア首相、オーストリア首相など各国の首脳が視察に訪れている。ヨーロッパに 500 か所以上ある廃棄物発電所すべてで CO₂回収ができれば年間 8,500 万トン以上となり、気候変動に対する貢献度が大きいため、内外からの関心の高さがうかがえる。

EU の中でも最大の CCS 研究プロジェクト ACCSESS に参画しており、パイロットプラントとしての役割を果たしている。欧州各国の関連施設と互いに協力している。

「ACCSESS」：CCS の広範な展開を可能にする技術の実証、ツールや計画の作成を目的としたプロジェクト

廃棄物発電所での CO₂回収を優先することは、廃棄物管理による汚染回避、地域暖房システム用エネルギーの生産、化石燃料由来の二酸化炭素排出回避、生物起源の投入物からの二酸化炭素排出削減といった点から効果が大きい。



図 3 CO₂回収設備概要



図4 CO₂回収設備完成予想図

回収した CO₂ は液化された後、貯留タンク（1,000～1,200 トン、1 日分）に一時貯留し、ローリー車で約 12 km 離れた CO₂ 貯留基地である Northern Lights への輸送拠点となるオスロ港のターミナルへローリー車で輸送される。ローリー車は 5～7 台の EV 車を計画しており、365 日 24 時間体制で輸送する。CO₂ 回収量に応じて 1 日あたり 30～40 回の運搬を行う。

ターミナルはオスロ市の所有施設であり、5,400m³（4～5 日分）の貯留設備を設ける。Hafslund Celsio の所掌範囲はターミナルまでの輸送までとなる。ターミナルは当初は Klemetsrud 廃棄物発電所のための施設であるが、将来的には CO₂ 回収のハブターミナルとして機能させたい考えがあり、他所からの CO₂ も受け入れる構想がある。

廃棄物発電所からのカーボンクレジットの仕組みをどのように作り上げていくか、英国に拠点を置くバイオマス発電企業である Drax 社やスウェーデンの地域冷暖房/電力供給大手の Stockholm Exergi 社といった国を超えた複数の事業者と模索している。

5. 所感

ノルウェーでは、CCS が国家プロジェクト Longship として強力に推進されており、政府、産業界、研究機関が一体となって取り組んでいることを実感できた。Klemetsrud 廃棄物発電所のプロジェクトも、その一環として位置づけられ、大規模な廃棄物発電施設からの CO₂ 回収の実装が目前に迫っていることを肌で感じる事ができた。

ノルウェーでは CCS を社会インフラの一部として捉え、長期的な視点で投資している。日本でも、ノルウェーの事例を参考にしながら、自国の状況に合わせた CCS 戦略を策定し、着実に実行していく必要があると感じた。

④Northern Lights CO2 受入貯蔵施設

【訪問先】 Northern Lights JV DA (incorporated General Partnership with Shared Liability (DA) owned by Equinor, Shell and TotalEnergies.)

【所在地】 Byfjordparken 15 , 4007 Stavanger , Norway

【訪問日】 2025 年 1 月 29 日 (水) 9:00～11:30

1. はじめに

Northern Lights プロジェクトは、ノルウェーで進められている Longship プロジェクトのうち、輸送・貯留を行うプロジェクトである。セメント工場、廃棄物発電施設で回収された液化CO₂を、Øygardenにある中間貯蔵施設まで船で輸送・受入し、パイプラインにて100km離れた北海の海底2,600m（トロール油ガス田の南部、塩水帯水層）に年間150万トン注入・貯留するプロジェクトである。

2. ノルウェーのCCSについて

ノルウェーでは世界に先駆けてCO₂の回収・貯留（CCS: Carbon dioxide Capture and Storage）の取り組みが実施されている。ノルウェー大陸棚（NCS: Norwegian Continental Shelf）の石油・天然ガス地であるSleipner（図1-①）では世界初のオフショアCCS施設として1996年から年間100万トン規模のCCSが実施されている。本施設は国営石油企業のEquinor主導で運営され、28年以上の長期に渡るCCS稼働プロジェクトとなっている。また2008年にはノルウェー北部バレンツ海のSnøhvit（図1-②）の天然ガス田でも年間70万トン規模のCCSが開始されている。これら施設はいずれも天然ガス精製過程のCO₂を分離・回収し、地中に貯留するものである。

ノルウェー政府もCCSに積極的に投資する方針をとっており、世界初のCCSバリューチェーン構築プロジェクト計画を「Longship」と名付け（2020年9月21日に発表）、新たなCCS施設の建設を進めている。（図1-③）

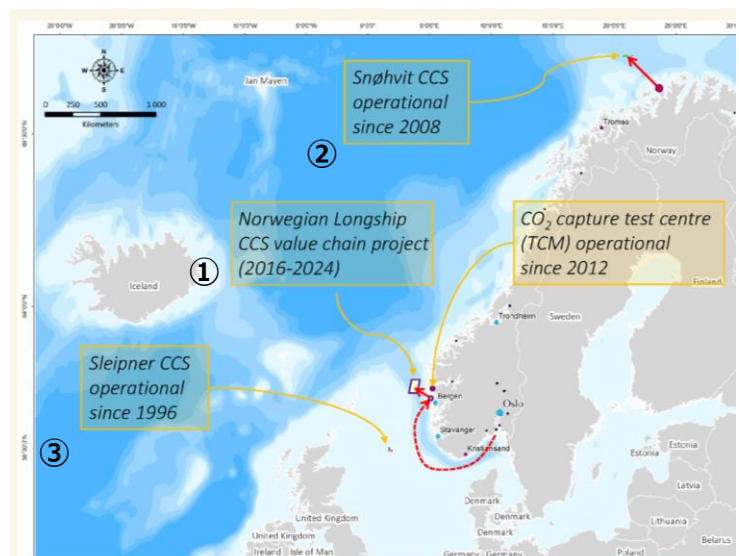


図1: ノルウェーにおけるCCSプロジェクト

3. 日本国内での CCS について

日本国内では 2016 年 4 月から北海道苫小牧沖において、国内第 1 号の CCS 実証事業が実施され、2019 年に累計 CO₂ 圧入量 30 万トンを達成し、現在はモニタリングを実施中である。その後 2023 年 3 月には経済産業省を中心に CCS 長期ロードマップが纏められ、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）による先進的 CCS 支援事業が進められている。（図 2）〔独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構, 2025〕

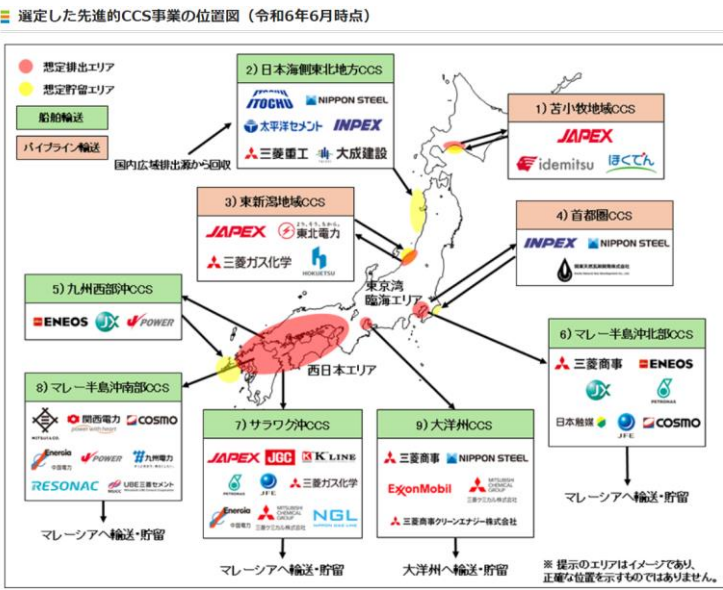


図 2: JOGMEC 先進的 CCS 支援事業

4. Northern Lights プロジェクトの安全性評価について

4-1 はじめに

Northern Lights プロジェクトでは影響評価報告書 [Northern Lights JV DA, 2019] が提出されている。環境と調和した CCS 事業のあり方に関する検討会（令和 4 年 10 月 17 日第 2 回）ではこの影響評価報告書の概要 [環境省, 2022] が紹介されており、以下その一部を紹介する。

4-2 受け入れ基準

Northern Lights プロジェクトでは受入・貯留可能な CO₂ の基準が定められている（表 1）。

CO₂ の供給業者は、この基準を満たすことを説明した文書の提出が求められている。また、持ち込まれた CO₂ は、受取側の施設で検査を行うことになっている。

表 1: Northern Lights プロジェクト受入基準

成分	濃度限界値、ppm (mol)
水 (H ₂ O)	≤ 30
酸素 (O ₂)	≤ 10
硫黄酸化物 (SO _x)	≤ 10
窒素酸化物／二酸化窒素 (NO _x)	≤ 10
硫化水素 (H ₂ S)	≤ 9
一酸化炭素 (CO)	≤ 100
アミン	≤ 10
アンモニア (NH ₃)	≤ 10
水素 (H ₂)	≤ 50
ホルムアルデヒド	≤ 20
アセトアルデヒド	≤ 20
水銀 (Hg)	≤ 0.03
カドミウム (Cd)、タリウム (Tl)	(合計) ≤ 0.03

4-3 漏洩対策等

CO₂ の漏洩検知のために、坑口及びパイプライン内での流速を計測し予測値と不一致が生じた場合、制御室にて警報が作動することとしている。警報がでた場合には制御室のオペレーターは坑口のバルブをシャットダウンすることとしている。

CO₂ 貯留施設の監視としては、

① 圧入井（一次監視）

- 坑口での CO₂ の圧入量と CO₂ 流速の監視
- 坑井内の温度と圧力の監視→貯留層内の状態の変化、坑井からの漏洩の可能性の検出

② 地下（二次監視）

- 地震探査により貯留された CO₂ の動きの監視

また、CO₂ 貯留層等からの CO₂ の漏洩の可能性については表 2 のリスク評価を行っており、CO₂ の漏洩の可能性は低く環境影響も小さいと考えられるとして監視計画の策定は不要と判断しており、一次監視で漏洩（の可能性）が確認された場合に環境監視を実施するとしている。

表 2：Northern Lights プロジェクト受入基準

場所	評価結果
貯留層	• 環境影響が無視できるレベルの漏出率として、50kgCO₂/m²/日未満の閾値を使用 • 潜在的な漏出ルート（①圧入井からの漏洩、②他の既存の坑井からの漏洩、③断層と地質漏洩経路に沿った漏洩）について、閾値を超えて海底に漏出する可能性は非常に低い（<1%）
陸上の受入れ施設（栈橋のCO ₂ 船含む）	• 受入施設からCO₂ 排出、岸壁に係留しているCO₂船からのLNG排出による大気環境リスクは、低／無視できるレベル • 船舶からのディーゼル排出による環境リスクも低い • レッドリストに記載されている種が発生する近くの地域では、油流出対策計画の策定を推奨
受入れ施設から圧入井までのパイプライン	• パイプラインからのCO₂漏洩による海底・水柱への環境リスクは、最も保守的な推定でも低いレベル • 海面への環境リスクは低～中レベル

5. Northern Lights プロジェクトの経済性について

5-1 概要

CCS 事業を継続するためには、CCS 事業を担う各事業者が CCS に要するコストに見合う利益を得る仕組みが必要であり、CCS に要するコストや補助金等の年次展開、すなわち事業収支の把握が重要となる。ノルウェーの場合は、直接補助が中心となっているが、輸送・貯留については、CO₂ の受け入れにあたり利益の計上が認められており、Gain sharing mechanism により一部国庫返納される。本プロジェクトの経済性については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）において公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）による調査結果 [公益財団法人 地球環境産業技術研究機構, 2023] が 2023 年に報告されており、以下 RITE の調査結果から要点を紹介する。

5-2 補助制度

Northern Lights プロジェクトでは CAPEX、OPEX ともに支援が行われている。

CAPEX については 80%の補助が行われるほか、輸送用の船舶や圧入井の追加についても 50%の補助が予定されている。

OPEX については、当初計画されているセメント工場と廃棄物発電所からの受入れ分（80 万トン／年）は 95～80%の補助が行われる。年間受入れ可能量は 150 万トンであり、残りの 70 万トンについては、事業者が独自に実施し利益を得ることが出来るが Gain sharing mechanism により一部国庫返納がされる仕組みとなっている。

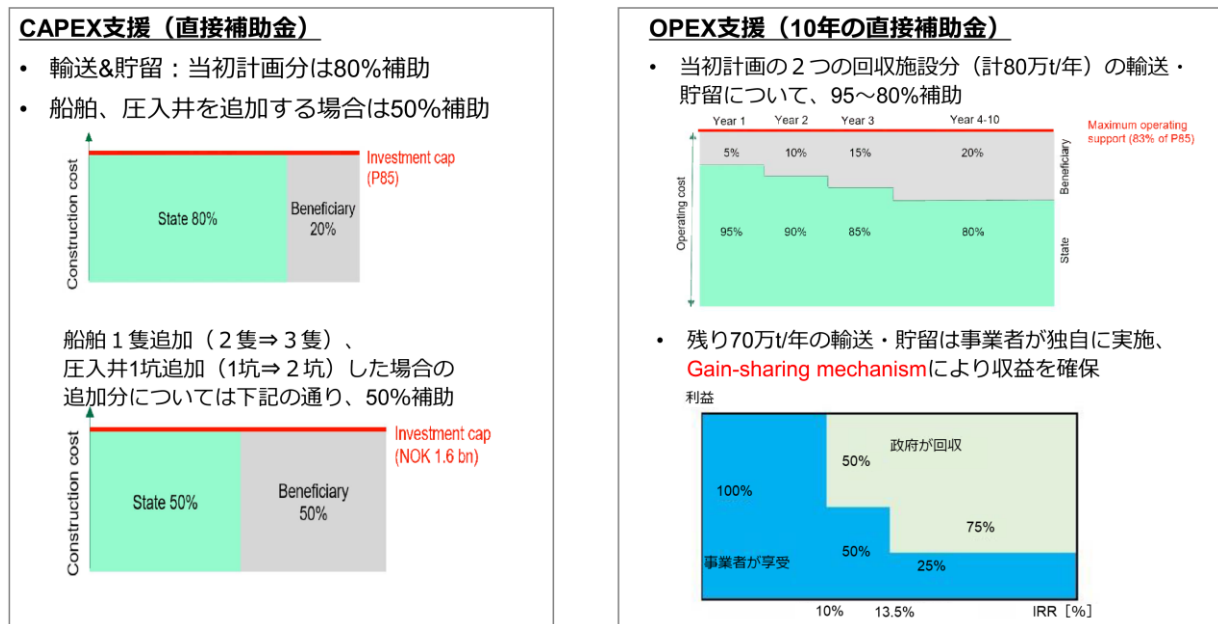


図 3: Northern Lights における政府支援

5-3 事業収支

RITE による 2023 年の調査報告では、公開情報に一部仮定を加えることにより、事業収支を推定している。これによると、事業収支は操業開始 5 年目の 2028 年にはプラスに転じ、補助満了の 2033 年には黒字が確保されると推定している。

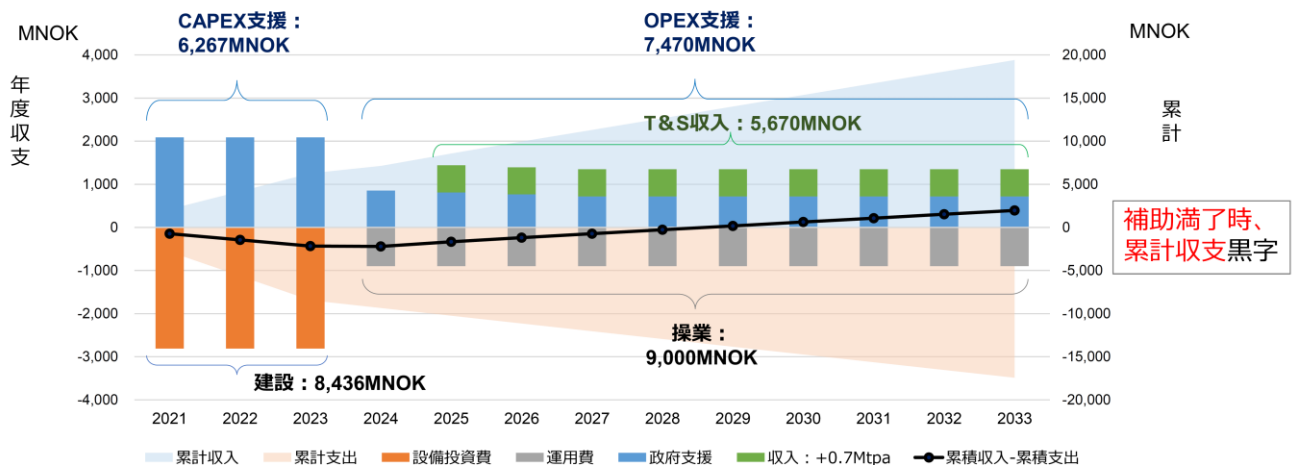
試算の前提（*は、仮定）

- 建設期間：3年（コスト均等配分）*
- 操業期間：10年（Phase1、150万トン）
- CAPEXは、船舶3隻、圧入井2本を含む*
- Longship PJの80万トンは無償（政府支援）、残り70万トンを有償で受入*
- 受入価格（900NOK/t×0.7Mt/y）は、内部収益率（IRR）10%* となるよう設定
- Gain-sharing mechanism により、税引き前のIRRが10%を超えると超えた部分の50%、13.5%を超えると同じく75%が国庫返納される。

項目（単位 MNOK）	2021	2022	2023/ 2024	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Capex 支出	-2,812	-2,812	-2,812										
Capex 政府支援	2,089	2,089	2,089										
Opex 支出				-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900	-900
Opex 政府支援				855	810	765	720	720	720	720	720	720	720
政府支援 (%)				95	90	85	80	80	80	80	80	80	80
収入：Norcem/FOV, 0.8Mtpa				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
収入：+0.7Mtpa				0	630	630	630	630	630	630	630	630	630
Cash flow	-723	-723	-723	50	630	580	530	530	530	530	530	530	530
Accumulated Cash flow	-723	-1,446	-2,169	-2,119	-1,489	-909	-379	151	681	1,211	1,741	2,271	2,801

ESA (2020)を元に二酸化炭素地中貯留技術研究組合が試算

図 4: Nothern Lights の事業収支①（RITE 調査報告）



ESA (2020)を元に二酸化炭素地中貯留技術研究組合が試算

図 5: Nothern Lights の事業収支②（RITE 調査報告）

6. Northern Lights 視察の状況

6-1 Nothern Lights JV について

Nothern Lights はノルウェー政府主導の CCS バリューチェーン構築プロジェクト（Longship プロジェクト：2016~2024）における CO₂ 輸送及び貯蔵を担当する企業共同体（Joint Venture：

以下 JV）である。JV は Equinoll（ノルウェー）、Shell（英・蘭）、および TotalEnergies（仏）の欧州を代表する石油企業で構成され、各社 1/3 ずつ出資している。ノルウェー政府によるプロジェクトの立ち上げ後の 2017 年に各構成企業のパートナーシップ契約が行われ、2021 年に JV として設立された。JV は北海のノルウェー大陸棚（NCS）における貯留ライセンスを持ち、Longship プロジェクトに基づき年間 150 万トンの CO₂ 受入・貯蔵が可能な施設を同国西部の Øygarden に建設、今後 25 年間の CO₂ 貯蔵の運転を担う計画となっている（Phase 1）。施設は 2024 年 9 月 26 日に完成・開所されている。（図 6：写真）

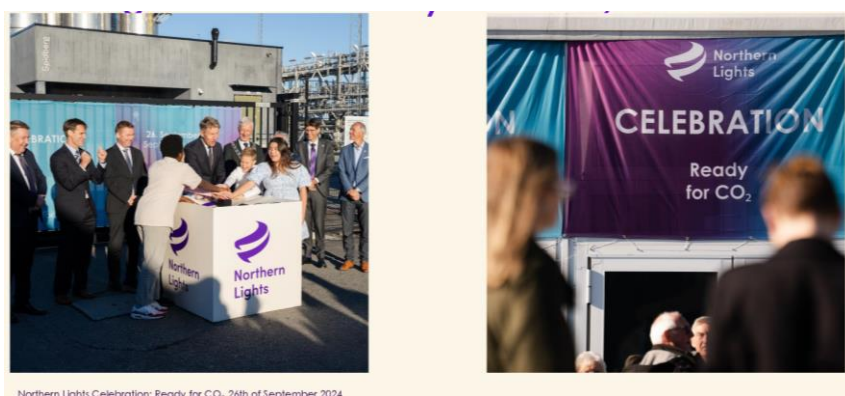


図 6： Northern Lights 開所セレモニー

6 – 2 Northern Lights 施設整備状況

Northern Lights の担当範囲を図 7 に示す。Northern Lights は輸送および貯留サービスの提供を目的に 1) 輸送（Transport）2) 受入・圧入施設（Receiving terminal）3) 貯蔵（Permanent storage）で構成される。施設は陸上からの CO₂ 受入確認を終え、実運転前の状態であり、訪問時（2025 年 1 月 29 日）ではまだ CO₂ を注入していない。以下各構成内容を説明する。

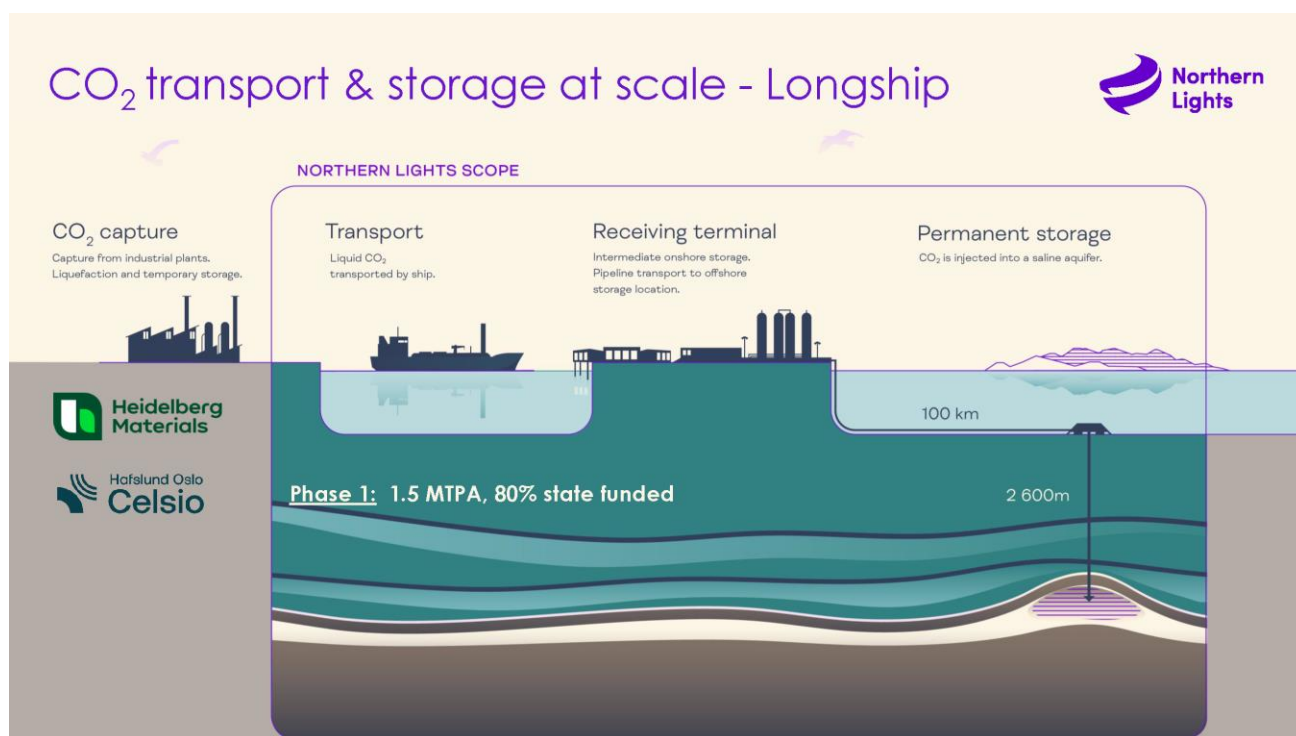


図 7： Northern Lights Scope

1) 輸送 (Transport)

Nothern Lights は欧州域内で CO2 排出者および回収地点への柔軟かつ汎用的な CO2 受入れを目指しており、顧客（排出元）から液化 CO2 輸送船で受け取りと受入れ基地までの輸送を業務範囲に含む。液化 CO2 輸送船は 4 隻で運用する計画である。なお 3 隻の液化 CO2 輸送船の船舶管理は川崎汽船株式会社のロンドンを拠点とする子会社“K” LINE LNG Shipping (UK) Ltd.が行い、ノルウェー国内等の CO2 回収施設から受入基地まで液化 CO2 を輸送することとなっている。

訪問時において、液化 CO2 輸送船 2 隻（Nothern Pioneer 及び Nothern Pathfinder）の建造は中国で完了し、ノルウェーにむけての航行中であった。（※訪問後 Nothern Pioneer は 2025 年 2 月 9 日ノルウェースタヴァンゲル入港している。）また残りの 2 隻についても中国で建造される予定で、3 隻目が 2025 年 11 月竣工予定に向けて建造中となっており、4 隻目は 2026 年 5 月竣工予定である。

竣工した液化 CO2 輸送船（Nothern Pioneer 及び Nothern Pathfinder）の仕様を以下にまとめる。

【表 3 液化 CO2 輸送船仕様】

全長／船幅	130m／21m
タンク容量	7,500m ³ (3,750 m ³ × 2 タンク)
輸送条件	圧力 15bar(g)・最低温度-26℃
主燃料	LNG
低炭素技術	ローターセール 空気潤滑システム (従来比で計 35%の CO2 削減)

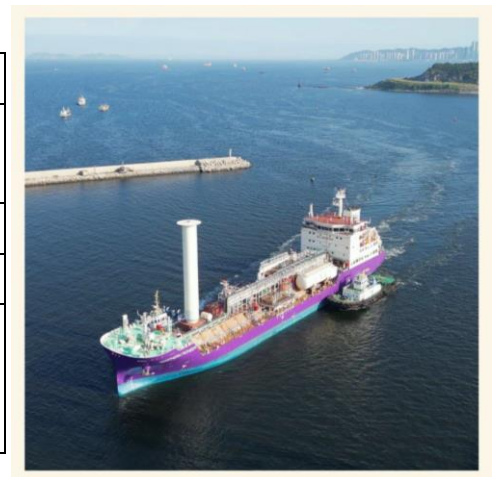


図 8: 液化 CO2 輸送船

2) 受入・圧入施設 (Receiving terminal)

受入・圧入施設の配置写真を図 9 に示す。以下各設備を説明する。



図 9: Northern Lights 受入設備

① 受入棧橋 (Import jetty)

液化 CO₂ 輸送船の陸上側受入設備として、接岸場所・ローディングアーム設備で構成される。ローディングアームは液化 CO₂ 受入用 (1 基) とタンク内圧力維持のための気化 CO₂ 返送用 (1 基)、予備用 (1 基) の合計 3 基である。接岸後、ローディングアーム 2 基を液化 CO₂ 輸送船に接続し、船内タンク内部の圧力調整を行いながら貯蔵タンクに CO₂ を輸送する。設備能力は、1 日以内に 1 隻分の液化 CO₂ が受入れ可能なものとして、最大 800 m³/h である。およそ 10 時間の受入れ時間を見込んでいる。受入時には分析計による CO₂ 純度の確認を行う。

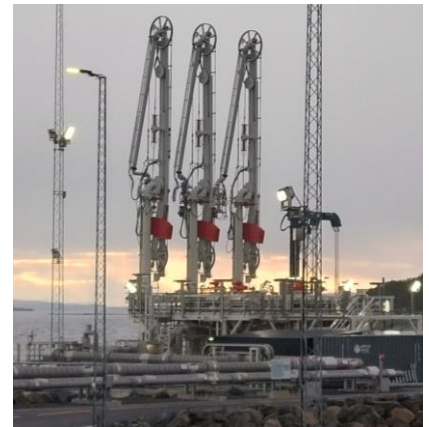


図 10: 受入棧橋・ローディングアーム

② 中間貯蔵タンク (Storage tanks)

中間貯蔵タンクは 12 基で構成され、合計の貯蔵容量は液化 CO₂ 輸送船 1 隻の積載量 7,500 m³+10% の容量の 8,250 m³ である。中間貯蔵タンクはそれぞれ連通しており、1 つのユニットとして運用する。また CO₂ 気化装置を併設し、注入作業時及び液化 CO₂ 受入時における貯蔵タンクと船舶タンクの圧力を維持する機能を持つ。

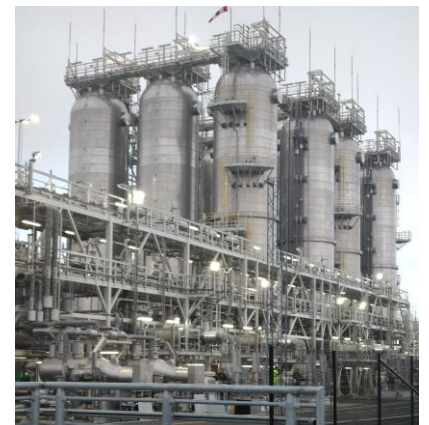


図 11: 中間貯蔵タンク

③ 注入ポンプ（Injection pumps）・海底接続トンネル

注入ポンプは加圧ポンプ（Booster Pump）と排出ポンプ（Export Pump）で構成されている。本設備で地下貯留部（圧力井）の注入圧力（50~90Bar(g)）に昇圧する。中間貯蔵タンクから圧入井へは、液化 CO₂ 輸送船 1 隻分の CO₂ を 2 日間かけて注入する。地上設備からのパイプラインは、長さ 680m、深さ 266m（フィヨルド海底）の地中トンネルを通り、海底パイプラインに接続する。トンネル内は海水で満たされており、海水循環システムで配管の凍結を防止する措置が取られている。また海水循環システムのバックアップとして電気式の加温ヒータ（4 MW）が設置されている。なお施設消費電力は 3 MW 程度であり、ヒータ容量はそれを超える。

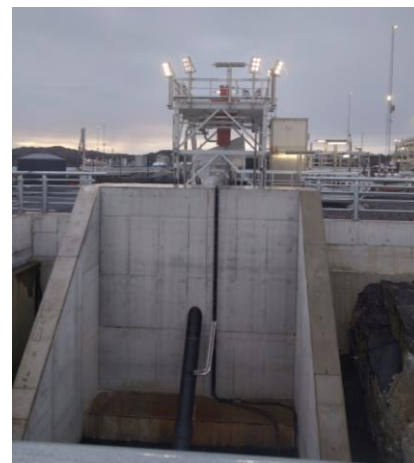


図 12: 注入配管及びトンネル

④ 管理棟／ビジターセンター（Admin/Visitor Centre）

Nothorn Lights は、施設見学や知見の共有を積極的に行っており、建設開始（2021 年）時から 68 か国、11,000 人の見学者を受入れている。なお管理棟は CO₂ 漏洩時の安全対策として床レベルを周囲より高く設定している。



図 13: 管理棟／ビジターセンター

⑤ 将来拡張エリア

Nothorn Lights は Longship 以降の商業化拡大段階（Phase2）を想定し 4 倍程度（5-7MT/year）の受入れ規模拡大を目指している。本エリアは、将来の 2 隻の同時受入れ計画として、受入栈橋・中間貯蔵タンクの追加エリアとして確保されている。また陸上側の受入ターミナルの整備、圧入井の増設も検討中である。なお既にパイプラインはその容量を見込んだものとなっている。



図 14: 将来拡張計画図

3) 貯蔵 (Permanent storage)

①パイプライン及び圧入井

受入・圧入設備及び圧入井のルートを図 15 に示す。海底パイプライン（口径 12in）はターミナルのある Øygarden のフィヨルド海底を通り、およそ沖合 100km、水深 2600m の北海 Troll 油田付近の圧入井に接続する。圧入井は 2 本設置されており、1 本は予備となっている。石油産業の実績から、圧入井の耐用年数は、25 年間を見込んでいる。

圧入井のオペレーション・モニタリングは構成企業の Equinoll が運営する Oseberg 油田から遠隔で実施されている。なお同様の監視はターミナル内のコントロールルームからも運営可能となっているが、ターミナル側は人員削減を目的に、液化 CO₂ 輸送船が着岸時のみ有人の運営となる。

②地下貯蔵部

圧入井の注入部は海底の地下 2600m の塩水帯水層に接続する。該当の貯留地層域は Cook & Johansen 層と呼ばれる砂岩層で、その上部に十分な厚さの 1 次・2 次シルト遮蔽層

（Primary seal、Secondary seal）をもつ。地層特徴から、安全で永続的な CO₂ 貯蔵に適した地形として選定された。Phase1 では 3,750 万トン（150 万トン/年の 25 年分）CO₂ 貯蔵を想定している。なお一帯の貯蔵エリアで 1.3 億トンの CO₂ 貯蔵が可能とされ、Phase1 の想定貯蔵量は十分満足するものと想定されている。なお抗井は最終的にプラグにより閉止し、圧力をモニタする義務を負うことになる。

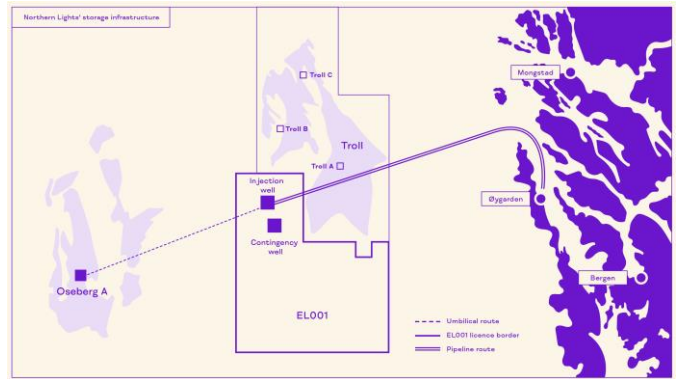


図 15: 海底パイプライン及び圧入井位置

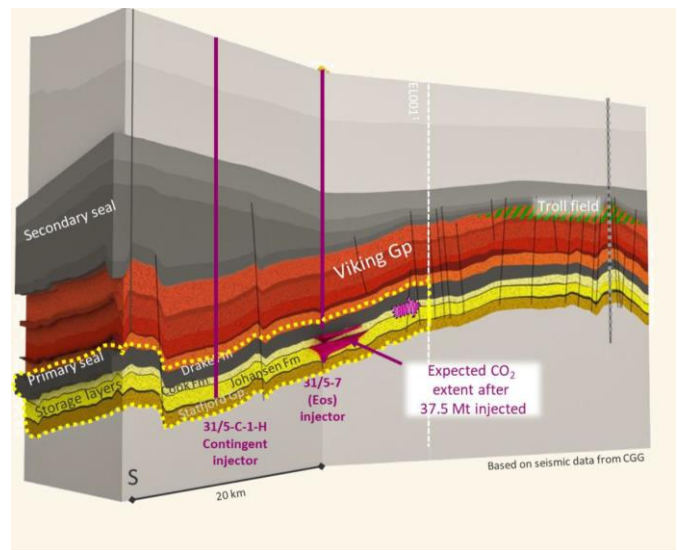


図 16: 圧入井模式断面図



図 17: 地層標本（左：1 次シルト層／右：砂岩層）

6－3 顧客契約状況

1) 顧客契約状況

前述のとおり本プロジェクトの目標は、国際的な CO2 の輸送と貯蔵をサービスとしたバリューチェーンの商業化であり、Northern Lights は現在 4 社と CO2 受入契約を行っている。このうち 2 社は同 LongshipPJ でノルウェー政府の支援を受けた国内のセメント工場、廃棄物発電施設の運営業者である。他の 2 社は国外顧客のオランダのアンモニア・肥料工場とデンマークのバイオマス発電所であり、商業的な契約締結となる。なお EU 域においても国境を越えた廃棄物には制限があるが、CO2 輸送のための二国間条約協定を実施されており、契約締結の前提となっている。現在 Northern Lights は EU 域内の 15 か国の様々な業種から商談を受けている状況であり、その潜在的顧客量は年間 1 億トンにのぼるとのことである。

表 4 Northern Lights の受入れ契約先

	契約先	国	CO2 回収量	備考
①	セメント工場 Brevik CCS	ノルウェー	40 万トン/年	Longship PJ
②	廃棄物発電施設 Celsio	ノルウェー	35 万トン/年	Longship PJ
③	アンモニア・肥料工場 Yara SLUISKIL	オランダ	80 万トン/年	Commercial (2023.11 契約)
④	バイオマス発電所 ØRSTED	デンマーク	43 万トン/年	Commercial (2023.5 契約)



図 18 Northern Lights の受入れ契約先（4 件）

7. おわりに

Nothern Lights における現在の整備状況（Phase1）を以下にまとめる。

- 1) 150 万トン／年の CO₂ を受入・貯留する CCS 設備が完成。
- 2) 2 隻の液化 CO₂ 輸送船が中国で完成。訪問時は施設へ向け航行中。
(2025 年 2 月 9 日ノルウェー国内スタヴァンゲルに 1 隻入港)
- 3) LongshipPJ（ノルウェー政府の支援を受けた）2 施設（セメント工場、廃棄物発電施設）からの受入に加え、海外からの 2 施設（アンモニア・肥料工場、バイオマス発電所）とも商業契約を締結。
- 4) 事業規模拡大（Phase2）を見据えた施設拡張計画を検討中

Nothern Lights は CCS ネットワークの開発の成熟に向け、「CO₂ 輸送・貯留」という新たな産業カテゴリーを実証するものである。このノルウェー政府と産業界の協力によるフルスケールの CCS プロジェクトにおいて、同国が多岐にわたる調査、知見のアドバンテージを得ていることが本調査において分かった。本プロジェクトは CCS 投資促進を後押しする政策支援であり、ノルウェー政府がそのアドバンテージを利用して、投資の中心役割を担う点に注目する。北海沿岸域には廃棄物発電施設やセメント、鉄鋼工場、精油所等の排ガス CO₂ ポテンシャルは十分に存在しており、バリューチェーン構築の成功は大きな意味をもつと考える。CO₂ を複数の排出源から集約する CCS ネットワークは、CO₂ の液化と港湾施設、CO₂ の圧縮とパイプラインに大規模なインフラを共有できるため、CCS サイト毎に一定規模の経済効果を生むものと考ええる。CCS に適し、実績豊富なノルウェー大陸棚はノルウェーの次世代の天然資源となりうる。

四方を海に囲われ沿岸部に産業が発達する地理条件は日本もノルウェーと類似する（その他、水道が飲めること。魚を食べること。王室。治安が良い。等も）。今後、日本においてもカーボンニュートラル実現のため CCS が有効手段となった場合、ノルウェーで進められつつあるバリューチェーンの構築が大いに参考になる。

Nothern Lights は今夏、液化 CO₂ 輸送船の受入れ及び貯留に向けた試運転及び運用開始を控える。特に本プロジェクトは液化 CO₂ 輸送船の活用に特徴があり、荷受け基地の整備状況や船舶を介した輸送船運用がプロジェクトの鍵となる。今後の運転状況に注目したい。

引用文献

DALights JVNorthern. (2025 年 1 月 22 日). Northern Lights. 参照先: <https://norlights.com/>

Northern Lights JV DA. (2019 年 10 月). EL001 Northern Lights - Receiving and permanent storage of CO2. 参照先: <https://norlights.com/wp-content/uploads/2021/03/RE-PM673-00011-02-Impact-Assessment.pdf>

環境省. (2022 年 10 月 17 日). 第 2 回環境と調和した CCS 事業のあり方に関する検討会. 参照先: 参考資料 2: <https://www.env.go.jp/content/000081050.pdf>

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構. (2023 年 12 月 5 日). 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）資料 4. 参照先: https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/pdf/004_04_00.pdf

独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構. (2025 年 1 月 22 日). JOGMEC. 参照先: https://www.jogmec.go.jp/ccs/advancedsupport_002.html

⑤リュブリャナ地域廃棄物管理センター

【訪問先】 RCERO Ljubljana （リュブリャナ）

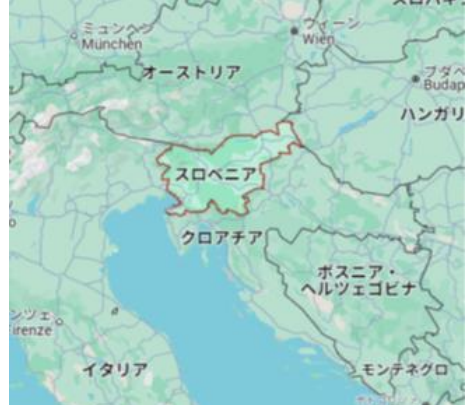
【所在地】 Cesta dveh cesarjev 101, 1000 Ljubljana, スロベニア

【訪問日】 2025 年 1 月 31 日（金） 9:00～12:00

1. はじめに

スロベニアの正式名称はスロベニア共和国で、ヨーロッパにおいては”南欧”に区分され、イタリアとクロアチアに近接しています。さらには、東欧に属すハンガリー、西欧に属するオーストリアに囲まれた、日本の四国に近い国土面積の小さな国です。

かつては社会主義国家 ユーゴスラビアに属し、西欧と接していることと、豊富な水資源を活かし、国内最大の工業地帯として位置づけられていました。スロベニアが民主独立国家となったのは 1991 年、独立後わずか 10 日間で紛争状態を解消し、以降、2004 年には NATO と EU に加盟、2007 年には元共産主義国としては最初にユーロ圏へ加わり、2010 年には OECD(経済協力開発機構)に加盟するなど輸出型工業を軸とした経済発展を遂げています。主要産業は自動車などの輸送機械・電気機器・医薬品・金属加工および観光であり、GDP における輸出のシェアが 79%（2016 年）を占めるなど二次産業を中心とした貿易立国であり、日本との共通点も多いといえる。

	スロベニア共和国	
	面 積 : 2.0 万km ² ※	首都 : リュブリャナ
	人 口 : 207.9 万人 ※	通貨 : €ユーロ
	言 語 : スロベニア語（公用語）、セルボクロアチア語	
	宗 教 : キリスト教（57.8%）	
	隣接国 : （東）ハンガリー （西）イタリア （南）クロアチア （北）オーストリア	

※ Wikipedia (<https://ja.wikipedia.org/wiki/>) より引用

図 1 スロベニア共和国の位置と主要情報

スロベニアの首都はリュブリャナで人口は約 21 万人です。今回視察したリュブリャナ地域廃棄物管理センター（RCERO）は、首都リュブリャナの中心地から直線距離で約 3 km 南西に位置し、周辺都市（収集人口 84.5 万人）からの廃棄物を処理する広域施設です。



図2 リュブリャナ地域廃棄物管理センター（RCERO）の所在地

2. スロベニアのごみ処理事情

スロベニアでは 1991 年の独立以降も大部分の廃棄物が埋め立て処分されてきました。しかし、首都リュブリャナが 2014 年に欧州ではじめて「zero-waste（廃棄ゼロ）」を目標に設定すると大きな変貌を遂げていきます。欧州では 2010 年から、持続可能な取り組みで成果をあげている都市を表彰する「Green Capital 賞」が実施されていますが、リュブリャナはその環境政策での成果や市民の環境意識が向上したことが評価され、2016 年に同賞を受賞しています。

スロベニア国内の年間ごみ発生量は 2021 年で約 107.7 万 t となっており、2011 年と比較して 26.4% 増加しています。今回の海外事情調査で視察したノルウェーも 2011 年比 79.8% 増加、OECD（欧州）が同 8.8% 増加、OECD（全体）が同 10.7% 増加しているのに対し、日本は同 9.9% 減少していました（表 1）。

また、スロベニアの一人当たりのごみ発生量は、同じく 2021 年で 511.2kg/人・年であり、日本の 326.3kg/人・年に対し約 1.57 倍、ノルウェーが対日本比 2.45 倍、OECD（欧州）が同 1.60 倍、OECD（全体）が同 1.66 倍となっています（表 2）。この結果を見ると、日本のごみの減量化政策が各国よりも進んでいる現状を再認識しました。

表1 スロベニアと各国（各エリア）の年間ごみ発生量 [単位：千t]

Reference area	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Japan	45,430	45,234	44,874	44,317	43,981	43,170	42,894	42,727	42,737	41,669	40,953
Slovenia	852	744	853	892	926	943	974	1,009	1,052	1,024	1,077
Norway	2,403	2,392	2,518	2,175	2,187	3,946	3,949	3,927	4,151	3,905	4,320
OECD Europe	278,379	273,396	270,974	272,008	274,200	284,717	286,769	287,797	290,266	297,033	302,997
OECD	673,221	669,319	669,895	674,718	682,495	698,971	701,888	727,658	730,549	738,483	745,114

※ OECD Data Explorer(<https://data-explorer.oecd.org/>)より引用

表2 スロベニアと各国（各エリア）の一人当たりの年間ごみ発生量 [単位：kg/人]

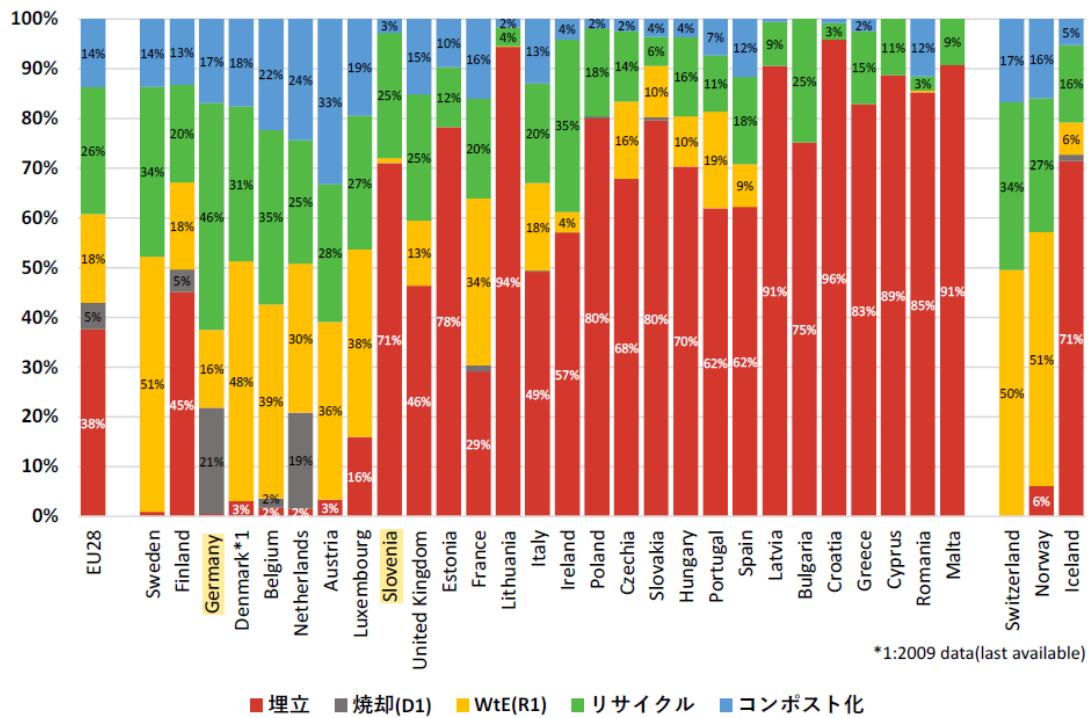
Reference area	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Japan	355.4	354.5	352.2	348.3	346.0	339.8	338.0	337.1	337.7	330.3	326.3
Slovenia	415.2	361.8	414.4	432.5	448.8	456.7	471.5	487.2	503.6	487.6	511.2
Norway	485.2	476.6	495.6	423.4	421.4	753.6	748.4	739.3	776.2	725.9	798.8
OECD Europe	498.0	487.1	480.9	480.6	482.1	498.1	499.5	499.1	501.1	511.2	521.1
OECD	518.3	512.2	509.7	510.2	512.9	522.0	521.1	537.0	536.0	538.5	542.3

※ OECD Data Explorer(<https://data-explorer.oecd.org/>)より引用

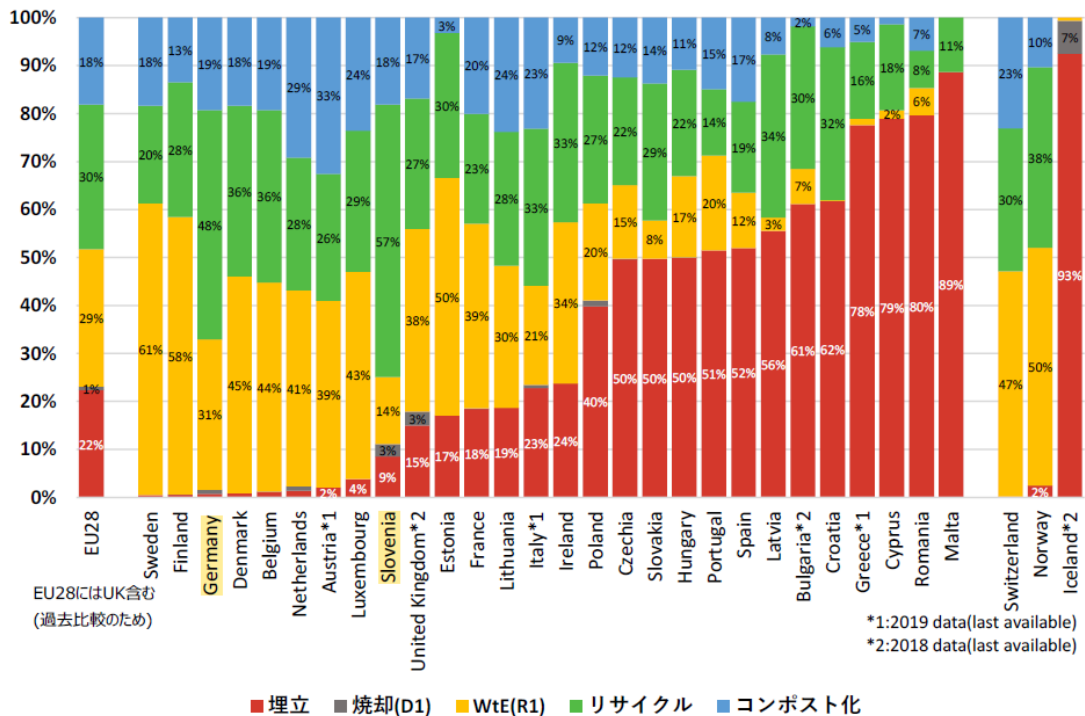
一方、ごみ処理方針の転換が図られた結果、スロベニアはこの10年でリサイクル先進国に変貌を遂げています。2010年の統計で同国のリサイクル率は欧州平均26%に対し25%にとどまていましたが、2020年では欧州平均30%に対し57%まで底上げするなど、同年のドイツ（48%）やノルウェー（38%）を抜いて欧州一位に躍進しています。また、2010年に71%だったスロベニアの埋立処分率も2020年には9.0%にまで減少し、コンポスト化とリサイクル率を合わせた合計は28%から75%まで増加しています（図3）。

このようにリサイクルに対して先進的に取り組んでいるスロベニアの首都リュブリャナの南方にあるリュブリャナ地域廃棄物管理センター（RCERO）のバイオ廃棄物、残留混合都市廃棄物、粗大廃棄物処理施設を視察し、質疑応答や意見交換を通して調査した結果を報告します。

Municipal waste treatment in 2010



Municipal waste treatment in 2020



※ 2021 年 EUtaxonomy 資料 4-1 より抜粋

図3 EU各国の都市ごみ処理の変遷(2010年→2020年)

3. 視察先の概要

3-1 リュブリャナ地域廃棄物管理センター（RCERO）について

RCERO リュブリャナは、スロベニアの全人口の約 40%（84.5 万人）の廃棄物を処理する能力を持ち、高いリサイクル率を誇る最大かつ最先端の施設。同施設は、埋立地、浸出水処理施設、廃棄物処理施設から構成され、2015 年末に完成した。

SNAGA が運営する同施設の施設規模は、16.8 万ト/年（混合系 13.5 万ト、有機系 3.3 万ト）であり、2023 年の年間収集量の合計は、約 14.9 万トとなっている。また分別収集は、

コンテナの色別に

- ・黄色（缶、PET、容器包装プラなど）
- ・青色（新聞、雑誌、段ボールなど）
- ・緑色（びん容器など）
- ・茶色（生ごみ、剪定枝など）
- ・黒色（分別残りごみ）
- ・粗大ごみ（木製家具など）

となっており、分別したごみのうち、黄色（パッケージごみ）、青色（紙ごみ）、緑色（びん）のごみ 3.76 万トは、RCERO ではなく、SNAGA が契約した再資源化事業者

者に直接運搬される。
なお、家庭から出る電化製品（電気・電子廃棄物：E-waste）は、SNAGA が収集する一般廃棄物とは別に、ZEOS（電化製品リサイクル業者）が直接引き取り、再資源化する流れになっている。



RCERO リュブリャナ（MBT 施設）

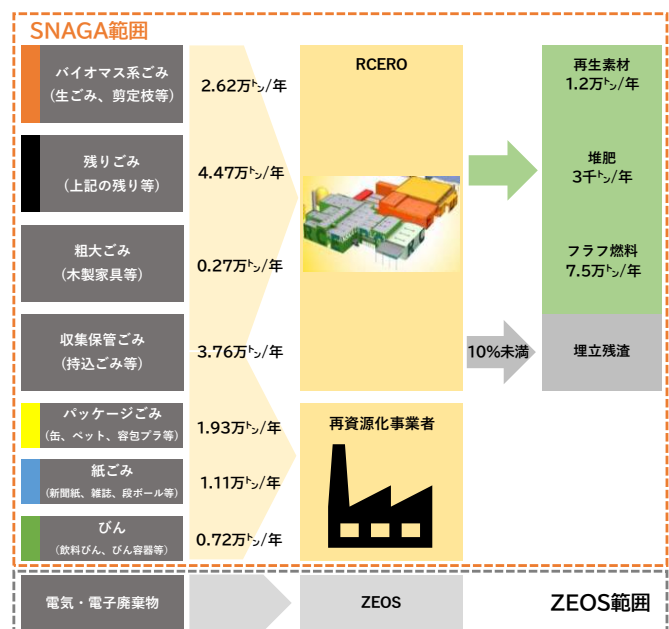


図4 家庭ごみの分別収集と処理の流れ



家庭ごみの分け方



市街地の地下式分別コンテナ

3-2 RCERO の施設概要

RCERO の 2023 年の実績では、2.62 万トンのバイオマス系ごみ（生ごみ、食品廃棄物、剪定枝など）と 4.47 万トンの分別残りごみ、0.27 万トンの粗大ごみを処理している。処理方式は、欧州で広く普及している MBT（Mechanical Biological Treatment：機械的・生物学的処理）である。

<RCERO 施設概要>

- | | |
|--------|--|
| ①運営主体 | 公益企業 JP VOKA SNAGA（従業員数不明） |
| ②事業内容 | 上水供給、下水道管理、廃棄物収集、廃棄物処理 |
| ③対象人口 | 84.5 万人 |
| ④施設規模 | 16.8 万トン／年（混合廃棄物 13.5 万トン、有機性廃棄物 3.3 万トン） |
| ⑤処理方式 | MBT 方式（機械的生物学的処理方式：破砕選別＋メタン発酵＋堆肥化＋燃料化） |
| ⑥建設投資額 | 1 億 5500 万ユーロ（約 265 億円）＜うち、EU 基金：7,750 万ユーロ＞ |
| ⑦処理費 | 1 戸当たり 13～14 ユーロ（2,050～2,250 円）／月
※ごみ処理トンは、約 216 ユーロ（≒34,500 円）／トンになる |
| ⑧資源回収量 | 鉄・アルミ等二次原料 12,000 トン／年
堆肥 3,000 トン／年
フラフ燃料 75,000 トン／年（高品位：5,000 トン／年、低品位 70,000 トン／年） |
| ⑨熱電利用量 | 発電量 14,000MWh、熱利用 16,000MWh（発酵槽の加温、発酵残渣の乾燥など） |

同施設の MBT 方式は、機械選別によるリサイクル素材の回収に加え、固形物燃料化およびメタン発酵と堆肥化を行う処理プロセスとなっており、残渣の埋立量は投入量の 10%未満で、非常に高いリサイクル率を誇る。今回、工場内の設備見学が一部に限られたことから、聞き取り情報をもとにした処理システムを以下に示す（実際とは異なる可能性あり）。

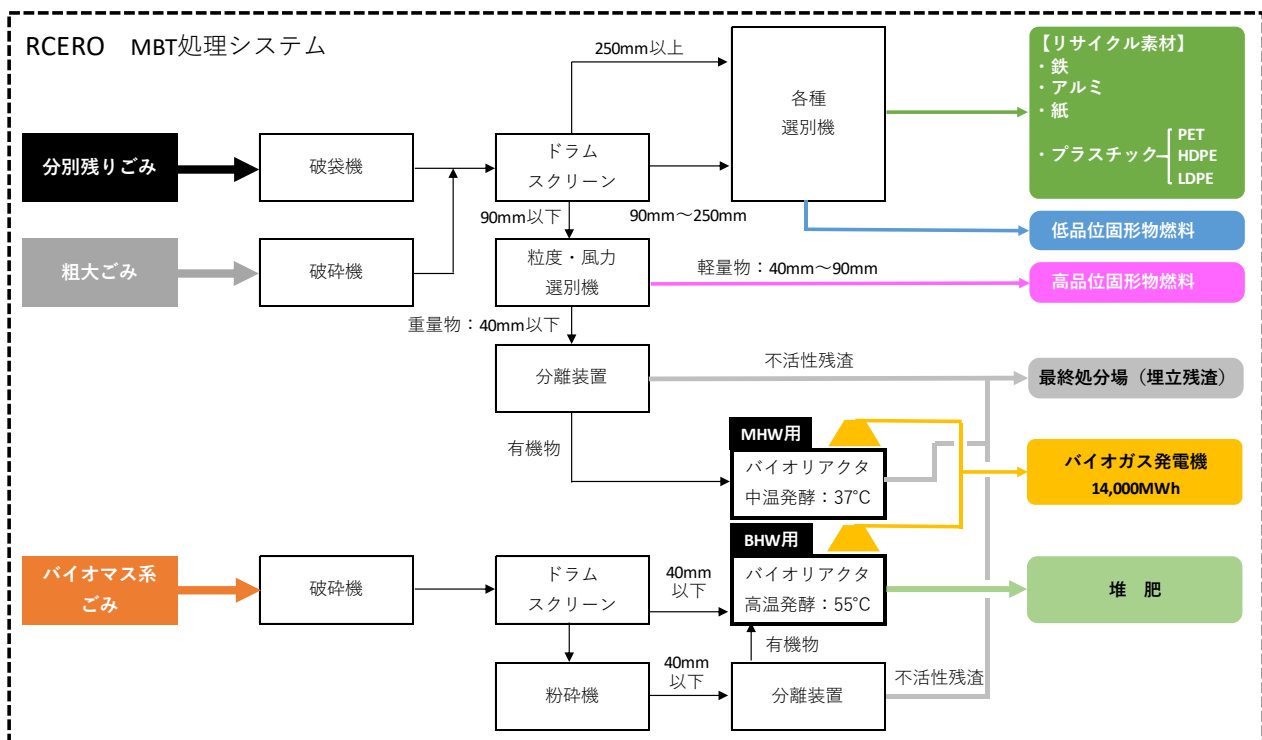


図5 処理フロー（設備構成イメージ）

処理フローは、分別残りごみ（MHW：Municipal household waste 自治体家庭ごみ）・粗大ごみ・バイオマス系ごみ（BHW：Biological household waste 生物由来の家庭ごみ）を別々に処理する構成になっている。

まずMHWの処理プロセスは、破袋、破碎した後、ドラムスクリーンで90mm以下を回収し、さらに粒度選別と風力選別などで有機物と高品位固形物燃料に分離する。有機物はBHWの処理プロセスに合流させ、高品位固形物燃料は、セメント工場の熱源として売却する。また、90mm以上は、磁力選別、バリスティックセパレータによる2D(平面),3D(立方体)選別、近赤外線選別などにより、鉄、アルミ、紙、PET、HDPE、LDPEなどリサイクル素材に選別し、残りを低品位固形物燃料として他国に輸出し、ごみ焼却施設で熱利用している。



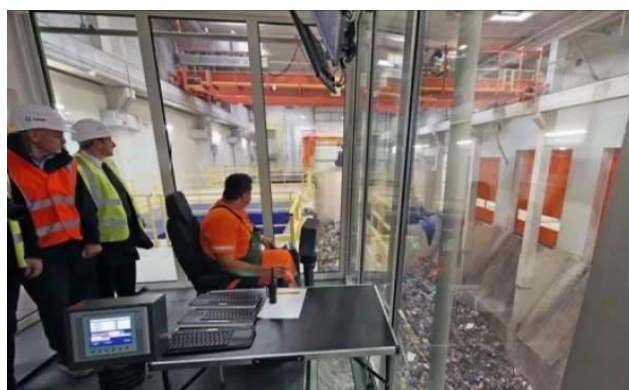
分別残りごみの搬入口



選別室



選別室



クレーン操作室



中央制御室



固形物燃料（手前：高品位、奥：低品位）

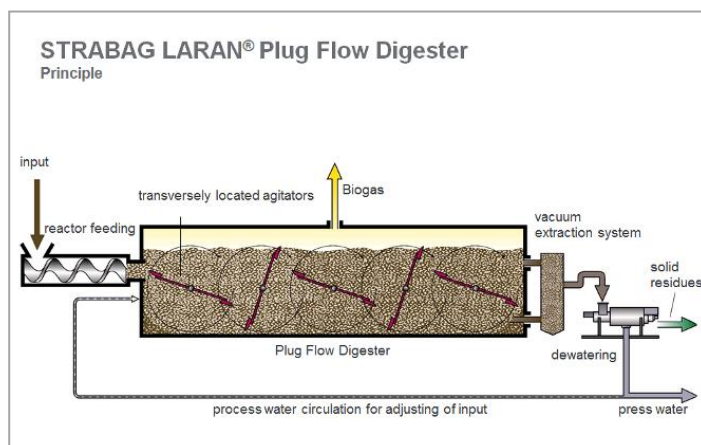
次に BHW は、破碎・分別後、貯蔵庫で保管する。その後、MHW 用(2 系列)と BHW 用(1 系列)それぞれのバイオリアクタで乾式の嫌気性発酵を行う。バイオリアクタは、STRABAGLARAN プラグフロー技術を採用し、MHW 用を中温発酵（37℃）、BHW 用を高温発酵（55℃）とし、原料に応じた発酵温度を採用している。嫌気性発酵はバイオリアクタ内で約 3 週間行い、主な生成物は、バイオガスと消化物となる。

回収したバイオガス（メタン 60%：二酸化炭素 40%）は、脱硫及びシロキサン除去後、ガスタンク（約 3000m³）に貯蔵し、ガスエンジンによる発電に利用される。発電した電気の 85%は施設内で利用され、残りの 15%は売電される。発電時に発生した熱はバイオリアクタの加熱や、消化物の乾燥に利用される。

消化物は、MHW、BHW の各処理系列ごとに脱水される。MHW 処理系列の脱水汚泥は、前段の機械的処理によって分別された不活性残渣と混合され、最終処分場で埋立処分される。BHW 処理系列の脱水汚泥は、剪定枝等と混合され、換気・加温しながら約 3 週間熟成される。その後、不純物を除去し、ラストコと呼ばれる堆肥（50L/袋）として販売される。



バイオリアクタ外観



STRABAGLARAN プラグフロー概要図



脱硫装置(左)、ガスタンク(右)外観



堆肥

4. 所感

スロベニアの RCERO（地域廃棄物管理センター）を視察し、廃棄物リサイクルへの積極的な取り組みを実感した。本施設は、日本で言う「燃えるごみ」「粗大ごみ」「不燃ごみ（電気・電子機器を除く）」を一つの施設で受け入れ、焼却せずに金属やプラスチックなどの機械選別を行い、さらに固形物燃料の回収、メタン発酵によるエネルギー創出や堆肥化を実施している。この取り組みにより、高いリサイクル率を実現しており、資源循環の観点から先駆的であると考えられる。

ただし、高品質な固形物燃料は限られた量しか得られず、残りは逆有償で輸出し、焼却処理されている。そのため、経済的な処理およびエネルギー利用の観点から、敷地内に新たな焼却施設を計画しているとの説明があり、将来に向けて最適な処理方法を模索していることが伺えた。

今回のスロベニアの廃棄物処理施設の視察は、ごみ処理コストの負担に対する考え方や、廃棄物から製造された堆肥の利活用に対するアレルギーの有無、環境教育への取り組み方など日本との違いを学ぶ貴重な機会となり、今後の資源循環を重視したごみ処理方法を考えるうえで、非常に参考になった。