

内容

| | | |
|-----|---|----|
| 第7章 | CCUSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査 | 2 |
| 7.1 | 15 箇国（および EU）の基本情報 | 4 |
| 7.2 | 政策に関する主な更新情報 | 21 |
| 7.3 | 世界の商用プロジェクト | 22 |
| 7.4 | 技術情報 | 24 |
| 7.5 | CCSのためのCO ₂ 船舶輸送に関する最新情報 | 30 |
| 7.6 | CCSのコスト | 34 |
| 7.7 | まとめ | 40 |

第7章 CCUSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査

(1) 調査の目的

当社は本事業の国際活動における情報収集の一環として、Global CCS Instituteによる調査文献等から「CCUSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査」を行い、海外のCCS事業や開発状況、政策面等に関する最新動向の把握に努めている。

2022年1月からは日本政府の主導により「CCS長期ロードマップ検討会」が開催され、CCS事業実施のための国内法整備に向けた検討、CCSコストの低減に向けた取組、CCS事業への政府支援の在り方の検討、CCS事業に対する国民理解の増進、海外CCS事業の推進に関する議論が行われている。このうち特にCCS事業のコスト・実施スキーム、国内法、支援スキームに関しては、海外事例等を参考に集中的な検討が求められている。こうした状況から、2022年度の本調査では、海外におけるCCSの先進的な措置の事例について理解を深めるため、オーストラリア、カナダ、EU、ノルウェー、英国を中心とする各種法規制やインセンティブ、カーボンプライシング、CO₂貯留に伴う長期責任に関する動向、CO₂輸送に係る法規、CCSのコスト等について調査を実施した。

(2) 本年度の調査スコープ

本年度の調査スコープの概要を、以下1)~5)に示す。

1) 政策および規制関係の情報

- i) 15 箇国および 1 地域（オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、EU、ドイツ、イタリア、インドネシア、メキシコ、オランダ、ノルウェー、サウジアラビア、アラブ首長国連邦、英国、米国）の基本情報（GHG 政策、石炭火力発電に対する政策、CCS 政策とインセンティブ）
- ii) 法規制、インセンティブおよびカーボンプライシングに関する特に詳細な情報（米国各州、カナダ各州、オーストラリア各州の CCS 関連の法規制制度）
- iii) 国際協力
- iv) 二国間協定の概要
- v) CO₂貯留に関する長期法的責任の概要と現状
- vi) CO₂の船舶輸送に関する法規制上の検討事項
- vii) 2006年版 IPCC 国別温室効果ガス目録に関するガイドライン、ケーススタディ
- viii) パリ協定および同協定 6 条

2) プロジェクト情報

i) CCS 施設

ii) 稼働中および開発中の商業規模施設における CCS 事業のビジネスモデル

iii) CCS の研究施設

iv) 東南アジアおよびインドにおける CCS プロジェクトの開発状況

v) 東南アジアの政策、法律、規制の動向

3) 技術的情報

i) CO₂ 利用

ii) CCS 付設型水素製造

iii) CCS 付設型アンモニア製造

iv) BECCS と DACCS

4) CCS のための CO₂ 船舶輸送に関する最新情報

i) 既存の商業用途

ii) CO₂ 船舶設計

iii) CO₂ の積み下ろしプロセス

iv) コスト推計

v) CO₂ の船舶輸送とパイプライン輸送

vi) CO₂ 船舶輸送における柔軟性の利点

vii) CO₂ 船舶輸送の安全面

viii) 既存の CO₂ 船舶輸送の概念調査

ix) 液化 CO₂ 輸送船設計

x) CO₂ 船舶輸送についての法規制上の検討事項

5) CCS のコスト

i) CO₂ 回収コスト

ii) DACCS のコスト

iii) BECCS のコスト

iv) CO₂ 輸送コスト

v) 圧入および貯留コスト

vi) 実際の CCS プロジェクトのコスト

上記スコープに基づき、本章では主な更新された情報についてその概要を報告する。

7.1 15 箇国（および EU）の基本情報

世界の気候変動への対応が野心から行動へと進む中、これまで見受けられてきた重要な傾向は、この1年で多くの国や地域で CCS をめぐる政策および法規制環境における進展によって主に後押しされた、CCS 技術に対する投資の大幅な増加である。

早期に行動を起こした多くの国々がこれらの問題への対処に改めて重点を置くようになってきている一方、2022年現在、同技術普及の支援および促進に対する政策対応・策定の初期段階にある国も複数存在する。

(1) 15 箇国の政策に関する基本情報の更新について

- 1) 調査対象国の多くで、2050年までのネットゼロエミッションと2030年のより厳格な目標が普及している。
- 2) 気候変動対策に向けた政策のコミットメントと誓約の面で勢いがある。
- 3) 重要な政策展開があった国は、米国、英国、カナダ、およびフランス、ドイツ、イタリアを含む EU 諸国である。

(2) 法規制、インセンティブ、カーボンプライシングの詳細な検討

CCS プロジェクトのライフサイクル（プロジェクトの許可申請、孔隙へのアクセスから圧入・モニタリング・検証・閉鎖・閉鎖後段階まで）を通じた活動において、政府による規制の対象ともなる核心的課題は、以下の1)~8)に示す内容が主としてあげられる。

- 1) 地下部分の所有権および地下部分へのアクセスの確保
- 2) 事業の段階的許可（許可申請プロセスおよびプロジェクトのライフサイクル全体の活動を実行するための許可の付与）
- 3) 評価、サイト特性評価、坑井掘削、是正措置の要件
- 4) 圧入および操業
- 5) 試験ならびにモニタリングおよび検証義務
- 6) 坑井の閉鎖および廃止義務
- 7) 閉鎖（移転前）の義務（貯留サイトの閉鎖要件、ならびに圧入後のサイトケアおよびサイト閉鎖計画を含む）
- 8) 閉鎖後の義務（長期的モニタリング、封じ込めの検証および閉鎖後の法的責任移転を含む）

これらの対処に向けて各国政府は確実かつ規制当局の目的に対応する包括的な規制モデ

ルの検討・構築等を進めているが、その成熟度を考察するうえで参考となる評価基準は、Global CCS Instituteによる次の五つの事項が適切と考えられる。

- 1) CCS事業の規制承認の申請および取得のための法的枠組における行政プロセスの明確性と効率性
- 2) サイト選定・設計・回収・輸送・貯留・閉鎖・モニタリングを含む CCS事業の全側面を規定する法的枠組の包括性
- 3) 適切なサイト選定および適切な環境影響評価プロセスの規定の程度
- 4) 利害関係者および一般市民と有意義で効果的な協議を行うための規定
- 5) 閉鎖、モニタリングおよび貯留されたCO₂の偶発的放出に関する法的責任の管理

次の①～⑯では、上記基準を参照しつつ、15箇国および1地域（オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、EU、ドイツ、イタリア、インドネシア、メキシコ、オランダ、ノルウェー、サウジアラビア、アラブ首長国連邦、英国、米国）におけるCCSに係る枠組みの検討状況や最新の動向について確認したほか、本調査のスコップ外ではあるが、⑰、⑱において欧州地域でCCSの機運が高まるデンマーク、スウェーデンの動向についても確認した。

① オーストラリア

オーストラリア規制当局（連邦および州レベル）は、国内および海外の双方において同技術への投資および普及を支援するにあたり、法規制の重要性を一貫して認識してきており、世界的にもCCS特有の制度のほとんども包括的な例となっている。

オーストラリアの行政制度は、連邦政府および州政府の双方にCO₂回収貯留（CCS）活動を規制する管轄権を提供している。連邦政府は、海岸沖3海里地点からオーストラリア大陸棚の端までの沖合水域における活動に対する規制責任を保持する。陸上活動および海岸から3海里までの沿岸水域で実施される活動で、州ないし準州に隣接するものは、引き続きそれぞれの州ないし準州が責任を持つ。連邦政府の「2006年沖合石油・温室効果ガス貯留法（Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006: OPGGS Act）」における規定は、CCS固有法の世界初の例に数えられる。同法は、付随する規制と共に、既存の連邦石油制度を改正し、沖合領域内のパイプライン輸送・圧入・貯留活動を規制するCCS特有のモデルを導入している。同法は近年、政策展開に対応すると共に、法制上の特定課題に対処するため、数回にわたって改正されている。

州レベルでは、ビクトリア州、クイーンズランド州、南オーストラリア州、西オーストラリア州のすべてが、温室効果ガスの地中貯留ないしCCSプロセスのその他の個別側面

を規制する法律を制定している。ビクトリア州、クイーンズランド州、南オーストラリア州は、規制枠組を実質的に完成させており、2022年時点の焦点は、二次法の整備と既存法へのさらなる改正へとシフトしている。ビクトリア州、クイーンズランド州、南オーストラリア州で構築された規制制度は、既存の資源関連法、特に原油や石油・ガス事業を管理する許可制度を基礎にしている。また、CCS事業の詳細なライセンス要件の導入に加えて、この法律には、温室効果ガス貯留層の所有権、温室効果ガス貯留活動とより幅広い資源に関する利害の潜在的な相互作用、および貯留事業終了後の責任の管理に関する規定も含まれている。

西オーストラリア州は、オーストラリアの他の州が実施しているような性質の、独立したCCSの法的枠組を有してはいないが、「2003年バロー島法(Barrow Island Act 2003)」を制定している。同法は、CO₂貯留活動の規制においてプロジェクト固有アプローチを取った、おそらく唯一の例であり、このケースは、Gorgon Gas Projectに関連したCO₂圧入事業の規制に関するものである。

② ブラジル

ブラジルは、CCS活動を管理する専用の法規制制度を有していない。CCSに特化した法律がない中では、石油、鉱業、鉱物および環境関連法等、既存の法律が適用される可能性が高い。ブラジルの枠組において注目すべき点は、公開審査を受け入れる比較的強固な環境影響評価(EIA)制度である。さらに、EIA枠組は、生態学的にバランスの取れた環境に対する各国民の憲法上の権利、およびそれを将来世代のために守り、保護するという政府の積極的な義務に支えられている。しかし、長期的な法的責任や貯留等、CCS特有の問題は、既存法の中で明示的には扱われていない。

③ カナダ

カナダには連邦レベルのCCS固有の法規制枠組がなく、資源開発活動および地下水資源の範囲に含まれる活動として、カナダ憲法はそれを州レベルで規制することを定めている。陸上CCS活動は主に州レベルで規制されているが、連邦所有地、州ないし国の境界線をまたぐ土地および沖合区域は、カナダ連邦政府の管轄区域であるため、これらの区域に位置するプロジェクトは、連邦規制承認の取得と、関連する連邦規制枠組の遵守を求められることとなる。CCSプロジェクトに影響を及ぼす可能性のある連邦法の例には、次のものが含まれる。

- 1) 「1985年準州土地法(Territorial Lands Act R.S.C., 1985)」
- 2) 「公有地石油・ガス規制(2006年)(Public Lands Oil and Gas Regulations

C.R.C. (c. 1326))」

- 3) 「1996年海洋法 (Oceans Act S.C. 1996 (c. 31))」
- 4) 「1985年カナダ航行水域法 (Canadian Navigable Waters Act R.S.C., 1985 (c. N-22))」
- 5) 「1999年カナダ環境保護法 (Canadian Environmental Protection Act, S.C. 1999 (c. 33))」
- 6) 「石炭火力発電による二酸化炭素排出量の削減に関する規制) Reduction of Carbon Dioxide Emissions from Coal fired generation of Electricity Regulations (SOR/2012-167)」

一方、カナダ政府は2020年に包括的な「CO₂回収・利用・貯留 (CCUS) 政策 (Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) Policy)」を提案しており、「健全な環境と健全な経済 (A Healthy Environment and a Healthy Economy)」と題された同政策では、大量排出者に2050年のネットゼロが奨励されており、脱炭素化事業に5年間で30億加ドルを割り当てる。CCSも「カナダ水素戦略 (Hydrogen Strategy for Canada)」の一環として言及されている。

州レベルのCCSに関する枠組みは以下のとおりである。

- 1) アルバータ州 (CCS 規制): 「技術革新・排出削減規制 (Technology Innovation and Emissions Reduction (TIER))」は、同州の排出量の約60%を対象とした、温室効果ガス排出量価格設定および取引に係る制度である。「TIER」によって規制されている施設は、排出量を基準値以下に保持しなければならず、他の取引制度の機能のように、排出量が基準値を下回った場合、パフォーマンス・クレジットを生む。排出量が基準値を超えた場合、施設は、「アルバータ州排出量オフセット (Alberta Emissions Offsets)」を生み出すか、排出量パフォーマンス・クレジットを提出するか、2021年は40加ドル/t、2022年は50加ドル/tに価格設定された「TIER 基金クレジット」を購入することで遵守する。アルバータ州は、「TIER プログラム」をとおして、排出削減に7億5,000万加ドルを出資する計画であり、そのうち8,000万加ドルは、CCS事業向けとなる可能性がある。CCSにインセンティブを与えるための助成金として、「TIER 基金」の一部となる「産業エネルギー効率化およびCO₂回収・利用・貯留 (IEE CCUS) 助成金プログラム (Industrial Energy Efficiency and Carbon Capture Utilization and Storage (IEE CCUS) Grant Program)」があり、2021年11

月時点で、7件のプロジェクトが資金提供を受けている。

- 2) ブリティッシュコロンビア州 (CCS 枠組) : ブリティッシュコロンビア州原油・ガス委員会 (Oil and Gas Commission) は 2021 年時点で、CCS 事業を規制する枠組を有している。同州は、価格設定およびオフセットに関するプロトコルを作成すると共に、ブリティッシュコロンビア州の「原油・ガス活動法 (Oil and Gas Activities Act)」が、石油・ガス事業に関わる CO₂だけでなく、全部門から回収された CO₂の地中貯留に適用されることを保証している。
- 3) サスカチュワン州 (CCS の優先事項) : サスカチュワン州政府は、CCS 開発の優先事項について概説しており、それには規制の修正および明確化、ロイヤリティ制度の評価、並びに CCS 機会のための連邦資金提供を求めることが含まれている。

④ 中国

CCS 固有の法律は欠如しているものの、石油・ガス関連活動を管理する既存の規制制度が CCS 事業に適用される可能性は高い。これらの規定を用いて CCS 事業を実施しようとする事業提案者は、複数の政府機関に一連の許可および承認を申請する必要がある。建設、輸送および産業活動の運営を管理する、より広範な既存国家基準、ならびに環境保護計画および安全性に関連する基準の遵守も必要となると推察される。

⑤ フランス

EU 加盟国として、フランスは、同国の CCS 事業を規制するための主な枠組である CCS 法令 (CCS Decree) の制定をとおして、EU CCS 指令を国内の法的枠組に取り込んでいる。CCS 法令における CCS 事業の要件は、CCS 指令のすべての要件を統合するだけでなく、指令の対象事項に係る更なる義務も課している。その一例は、CCS 法令の下で貯留のために二つの許可が要求されている点である。さらに、CCS 法令は鉱業活動の法的枠組と連動しているため、そのような法律も、CCS 事業のサイクルの幾つかの側面に適用される可能性がある。加えて、フランスの環境法も、CCS 事業に適用されるようになっている。

⑥ 欧州連合 (EU)

CCS に対する欧州連合 (EU) の地域政策対応の中核を成す要素は、より広範な EU 環境・エネルギー法体系の中で、包括的な法規制枠組を構築し、同技術の普及に対する個別の法的な障壁を除去することであった。EU およびその加盟国は、早期の CCS 法的枠組の

設計において重要な役割を果たしており、その主要例がEU CCS指令である。EU CCS指令は、世界初の本格的なCCS特有法規制枠組の一つであり、許可、モニタリング、検査、是正措置、資金保証に関する要件が含まれる。同指令は、EUの地層内におけるCO₂貯留や、貯留サイトのライフサイクル全体を対象としている。同指令の下、EU域内の各国は、自国領内で貯留を認めない権利を保持し、貯留を認める国は、潜在的貯留可能量に関する評価を実施しなければならない。

「欧州気候法 (European Climate Law)」に明記された温室効果ガス排出削減目標は、「欧州グリーン・ディール (European Green Deal)」の下で想定されているように、2050年の気候中立達成という最終的な目標に向けて、2030年までに温室効果ガス排出量の55%削減を実現するために加盟国に対策を求めている。近年では、「欧州グリーン・ディール」、「Fit for 55 政策パッケージ (Fit for 55)」、「2030年気候目標計画 (2030 Climate Target Plan)」、「新サステナブル・ファイナンス戦略 (Renewed Sustainable Finance Strategy)」等の主要な政策メカニズムや文書の導入により、EU気候政策も強化されている状況である。このうち2021年に発表された「Fit for 55」では「欧州排出量取引制度 (EU-ETS)」に対する修正を盛り込み、EU-ETSは、EUの排出量の40%を取引するものであり、モニタリングを強化しながら、その会計と遵守規則を簡素化している。

⑦ ドイツ

CCS規制枠組は、2012年に制定されたドイツのCCS法である「二酸化炭素貯留法 (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz : KSpG)」内に含まれている。ドイツのCCS法はEU CCS指令のドイツ国内レベルの実施法であることから、CCS活動を促進するため、環境、エネルギー並びに石油・ガスを含む他の法律や条例の変更と共に、CCSの規制に対して統合的なアプローチを導入している。しかしながら同法の範囲は技術の調査・試験・実証に限定されており、2022年時点で同法は、(2) 二酸化炭素貯留施設のみが認可され、遅くとも2016年12月31日までに管轄当局に完全な申請書が提出していること、年間1.3百万トン以下の二酸化炭素を貯留する施設であること、かつこの法律の区域内において、年間4百万トンの二酸化炭素の貯留総量を超えないこと、陸上当局は、管轄陸上当局が申請書類一式を受理した順に、認可申請を決定すること、等を定めている。

同法はまた州に対し、自州内におけるCO₂貯留を禁止する法律の制定を認めており、2022年時点で5州がそのような禁止法を導入している。CCS法の適用は限定的である。

なおドイツ政府は、2019年に「気候行動プログラム 2030 (Climate Action

Programme 2030) 」および「気候変動法 (Climate Change Act) 」を以て、2030年までに温室効果ガスを55%削減するという法的拘束力を持つ声明を発表しているが、この「気候行動プログラム2030」には、2021年に25ユーロで開始し、2025年に55ユーロまで上昇する炭素価格が含まれており、CCS事業の大規模実証を支援するため、ドイツ連邦政府(経済・気候保護省)は2021年に、「一次産業におけるCO₂回収利用」と呼ばれるプログラムを通して資金提供することに合意した。

⑧ イタリア

EU加盟国として、EU CCS指令を国内の法的枠組に取り込んでいる。そのため包括的な要件は事業のライフサイクルをとおしてCCS活動に適用される。CCS指令の国内法化に加え、イタリアはCCSを促進するために自国の環境法も改正した。また回収・貯留のための強固な環境影響評価枠組や、事業の承認プロセスや閉鎖を扱う、良く作られた法律も有している。未対応のままの要素もあるがイタリアの法律は、CCS事業のライフサイクルで生じる問題の大部分を扱っている。

⑨ インドネシア

CCS固有の規制や、CCSのための統合された法規制枠組がないため、CCS事業は、環境、持続可能性、鉱業活動、気候変動および温室効果ガス排出削減に関する既存法によってカバーされる可能性がある。インドネシア政府はCCSについて、2060年までに同国が排出量ネットゼロを達成するのを支援する排出削減戦略であると表明し、2022年には、CCSおよびCCUS事業を促進するための規制を起草するプロセスを開始した。同規制には、請負業者の作業領域においてCCSないしCCUSを実施する権利、承認プロセスおよび事業の運営、資金的インセンティブ、MMV (Measurement, Monitoring and Verification : (地中貯留されたCO₂の)測定・監視・検証)の要件、健康面・安全面・社会面、ならびに閉鎖および事業完了時における責任の移転等の側面が含まれることが予想されてる。

⑩ メキシコ

現時点において、フルスケールCCS事業のほとんどの側面を規定する規制枠組はないが、既存の石油・ガス、土地管理、水、廃棄物管理、安全性、汚染管理ならびに環境保護に関する法律がCCS事業に関連する可能性があるか、または将来のCCS事業に適用されるように変更される可能性がある。しかし既存法の中であっても事業の閉鎖等、事業・サイクルの全段階が規制されているわけではない。

⑪ オランダ

オランダの規制枠組は、CCS事業・ライフサイクルのほぼすべての側面を扱っている。同政府はEU貯留指令の要件を完全に国内法化していると共に、同国の既存の鉱業法および付随する規制の下で作られたライセンス制度を基にしたCCS固有の法規制枠組を実施している。したがってCCS事業は、探査および貯留活動を行うための関連承認を取得するために、改正された同法の許可規定にしたがうことが要求されることになる。同国の鉱業制度において新しく整備されたライセンス付与規定に加えて、CCS事業が事業のライフサイクルをとおして包括的に規制されることを保証するため、国内のより広範な環境および計画関連法もCCS事業に適用されることになる。例えば、環境影響評価および環境保護を扱う法律は、潜在的な事業者に対し、これらの制度の下で許可を求めることを要求することになる。

⑫ ノルウェー

ノルウェー政府は、Longshipプロジェクト(CO₂回収・輸送・貯留を含むフルスケールCCS事業)等の費用を約67%支援することで、CCS事業を助成している。ノルウェーは、欧州連合の加盟国ではないが、欧州経済領域(EEA)の加盟国である。「EEA関連」と定義されるEUの法律は、正式な実施プロセスをとおして、欧州自由貿易連合(EFTA)加盟国の法制度に組み込まれ得る。EU CCS指令は、「EEA関連」と定義されているため、すべてのEEA加盟国に適用される。ノルウェーはさらに自国の既存法の改正を通して、CCS指令の要件を導入している。したがって、次の三つの法律が、ノルウェーにおける許可制度の中核的な枠組となっており、許可は、探査とCO₂貯留活動の双方に必要とされる。

- 1) 海底の石油以外の天然資源の研究・探査・開発に関する1963年の法律「1963年大陸棚法(1963 Act on Research, Exploration and Exploitation of other Natural Resources than Petroleum on the Ocean Floor: “Continental Shelf Act”)」
- 2) 汚染防止および廃棄物に関する1981年の法律「汚染および廃棄物法(1981 Act Concerning Protection Against Pollution and Concerning Waste: Pollution and Waste Act)」
- 3) 石油活動に関する1996年の法律「石油法(1996 Act Relating to Petroleum Activities: Petroleum Act)」

資金的インセンティブとして、1991年の「炭素税(Carbon Tax)」の導入は、ノル

ウエーの Sleipner および Snøhvit CCS プロジェクトへの出資の主な推進力であったと認識されている。炭素税は、これまで徐々に引き上げられ、2021年1月に発表されたノルウェー政府の「気候計画 (Climate Plan)」では、さらなる引き上げが発表されている。最新の計画によると、ノルウェー政府は、炭素税を2021年の590ノルウェー・クローネから2,000ノルウェー・クローネまで引き上げる意向である。ノルウェーはまた、EU-ETSの下で、ロングシッププロジェクト等により排出量取引クレジットを生み出すことが出来る。

⑬ サウジアラビア

CCS固有の法規制を制定していないが、CCS固有の法規制枠組が確立される前に、同国でCCS活動が行われる場合は、既存の環境、石油・ガス、ならびに汚染に関連する法律が適用される可能性が高い。既存の法的枠組は、事業の閉鎖やCO₂の漏出等、CCS特有のコンセプトの多くを扱っていない。

⑭ アラブ首長国連邦 (UAE)

連邦レベルおよびより広範な首長国内の双方において、CCS活動のための独立した法的枠組を有してはいないが、UAEは、CCS事業・ライフサイクルのさまざまな側面に適用される可能性がある環境保護規制を定めている。これには、UAE内における環境規制の法的枠組を提供する、環境の保護および開発に関する1999年の連邦法第24号が含まれる。さらに、アブダビ首長国は、人間の健康・安全・環境の保護、ならびに天然資源の節減を目的とした、環境・健康・安全に関連する法律の適用を促進するため、首長国レベルで統一されたメカニズムを確立している。ドバイ首長国もまた、公的機関や企業が事業を行う際に、既存の環境保護法、およびこれに関連してドバイ市環境局 (Environmental Department) が出した指令に定められた環境保護および汚染管理に関する基準・規則・指針を遵守することを求める法律を制定している。

⑮ 英国

国際および地域合意にCCS技術を含めることを早くから提案した英国はまた、CCS固有の法規制枠組を作成した最初の国に数えられる。英国のCCS固有制度は、特に包括的であり、下記のような、CCSプロジェクトのライフサイクルを通して生じる可能性が高い以下の問題の大半に対応する能力を培ってきた。

- 1) CCSプロジェクトの規制上の承認の取得
- 2) サイト選定、設計、回収、輸送、貯留、閉鎖、モニタリング等、CCSプロジェクト

トの全側面を規定した法的枠組

- 3) プロジェクトの適切なサイト選定および適正な環境影響評価プロセス
- 4) 利害関係者および一般市民との協議
- 5) 閉鎖、モニタリングおよび貯留されたCO₂の偶発的な放出の管理に関する長期的法的責任

英国におけるCCS固有の規制枠組として、2008年に成立したエネルギー法は、「2010年二酸化炭素貯留(ライセンス等)の規制(Storage of Carbon Dioxide (Licensing etc.) Regulations 2010)」と共に、EU CCS指令の規定のほとんどを英国の国内法に取り入れており、沖合CO₂貯留活動の詳細なライセンス付与枠組を確立している。同法は、ライセンス許可および貯留許可という二つの異なる許可の要件を導入するため、英国の既存の沖合石油・ガス制度を改正している。同制度は、貯留サイトの閉鎖に係るCCS特有の規定を導入していると共に、EU CCS指令の要件に従って、貯留サイトの責任の最終的な移転も可能にしている。並行して、英国の環境、計画および責任に関する法律も変更され、結果的に、パイプライン、インフラ、汚染防止および管理、排出量取引、環境影響評価ならびに環境責任に関する法律の改正が行われた。2015年の英国における石油・ガスのライセンス付与モデルの管理に対する実質的な変更は、大臣の規制権限を新しい「石油・ガス上流事業規制機関(Oil and Gas Authority : OGA)」に正式に移管することにつながった。新しい規制機関は、英国の沖合CO₂貯留活動のすべてにライセンスを付与する規制主体となった。ただし、スコットランドの大臣による認可可能なスコットランドに隣接する領海は除く。2022年3月、OGAは、北海移行局(North Sea Transition Authority : NSTA)に置き換えられた。NSTAは、従来OGAの機能であった沖合CO₂貯留プロジェクトのライセンス付与および許可を引き継ぐ。これまでに、OGAおよびそれに続くNSTAは、以下のプロジェクトに対し、英国大陸棚における評価および貯留ライセンス6件を承認している。

- 1) Pale Blue Dot Energy (PBD) 社主導のAcorn CCSプロジェクト
- 2) Eni 社主導のLiverpool 湾地
- 3) Harbour Energy 社主導のV Net Zero プロジェクト
- 4) National Grid 社・BP 社・Equinor 社主導のNorthern Endurance Partnership
- 5) BP 社・Equinor 社主導のNorthern Endurance Partnership East Coast Cluster (ライセンス2件)

⑯ 米国

2021年に可決された超党派による「インフラ投資・雇用法 (Infrastructure Investment and Jobs Act)」では、「CCS史上、唯一最大のCCS予算」が計上されているほか、実証事業(25億ドル)、大規模CCSパイロット・事業(10億ドル)、Regional Direct Air Capture (DAC) hubs(35億ドル)に合計70億ドルを割り当てている。さらに同法には、CO₂輸送・貯留インフラおよびサイトの開発および資金調達を支援するために50億ドル近くを割り当てているSCALE法も含まれている。2020年米国エネルギー法 (US Energy Act of 2020)は、米国エネルギー省 (US Department of Energy) および米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency) を通して、研究・開発・実証に60億ドル以上を割り当てた。実証事業の建設締め切り日は、2026年1月1日に延期されている。2021年1月、米国連邦内国歳入法は、税額控除の効率的な管理を定める最終規則および規制を発表した。45Q税額控除は「Bipartisan Budget Act of 2018」および「Taxpayer Certainty and Disaster Tax Relief Act of 2020」の成立により、以下の項目を含めて拡張された。

- 1) 税控除の増額(2026年までに地中隔離されたCO₂1メトリックトン当たり最高50ドル)。
- 2) 設備の稼働開始から12年間、税額控除の請求が認められる(以前は、CO₂を75百万t回収・貯留した時点で請求が打ち切られていた)。
- 3) CO₂の利用にも税額控除を拡大(税控除額は異なる)。
- 4) 回収量が年間0.5万t未満の施設にも税額控除の適用を認める。
- 5) 回収設備の所有者は、CO₂が処分、利用ないし圧入に使用されていることを保証する限りにおいて、税額控除を請求できる。
- 6) 建設開始期日は2026年1月1日。

⑰ デンマーク

2021年12月、デンマーク政府は、複数の政党との間でCO₂回収・利用・貯留(CCUS)事業の開発に22億ユーロ提供するという合意に至ったこと、デンマーク領北海における2件のCCS事業(Project GreensandとBifrost Project)に4,100万ドルの資金提供を行うことを発表した。

⑱ スウェーデン

パリ協定およびロンドン議定書の要件に後押しされ、スウェーデン政府は2022年に、ノルウェーとCCS技術について協力する合意を結んだことを発表した。同発表では、化

石燃料から排出量を削減するうえで、またバイオエネルギーCCS (BECCS) の補完的措置として、CCSの重要性に言及している。

(3) CCSにインセンティブを与えるにあたっての規制の役割

CCSプロジェクトのライフサイクルの主要側面に対処する包括的な規制制度は、世界中でCCSの普及にインセンティブを与えるための重要な側面であることが証明されている。CCSプロジェクトを許可し規制する国・地域は少ないが、規制している国・地域には、その特性において幾つかの類似点がある。CCSプロジェクトを対象とする規制上の要件は、通常、貯留井の事前サイト評価、圧入作業、試験およびモニタリングならびにサイト閉鎖について規定している。孔隙の権利も規制されているが、これは別の規制制度の一部である。

CCSの展開を促進する法令の役割と規制の中核的な問題を中心に、15箇国の法的枠組みを調査し、オーストラリア、米国、カナダ、英国、欧州、ノルウェーの法的枠組みの比較を行った。結果は表7.1-1のとおりである。

表 7.1-1 オーストラリア、カナダ、EU、ノルウェー、英国、米国における政策および法規制の
大まかな比較

| | 豪州 ^{d)} | カナダ(連邦) ^{d)} | 欧州連合 ^{d)} | ノルウェー ^{d)} | 英国 ^{d)} | 米国 ^{d)} |
|--------------------------------------|---|--|---|---|---|--|
| 国際気候変動コミットメント ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 43%削減 ^{d)} (2005年比) ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 40~45%削減 ^{d)} (2005年比) ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 55%削減 ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 55%削減 ^{d)} (1990年比) ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 68%削減 ^{d)} (1990年比) ^{d)} | 2050年までに ^{d)} ネットゼロ達成 ^{d)} + ^{d)} 2030年までに ^{d)} 50~52%削減 ^{d)} |
| CCSの可能性を含む国内エネルギー・気候政策 ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} |
| CCSに対するコミットメント ^{d)} | (2022年の政権交代がコミットメントに影響する可能性あり) ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} |
| CCSプロジェクトに対する助成金 ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | - ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} |
| CO ₂ 税 ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✗ ^{d)} |
| 税額控除 ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✓ ^{d)} |
| 排出量取引制度 ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✗ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✗ ^{d)} |
| 国内におけるCCS固有の規制枠組 ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✗ ^{d)} (アルバータ州、ブリティッシュコロンビア州、サスカチュワン州で採用) ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} | ✓ ^{d)} |

出典：d) (✓ 法律が基準に対応している。✓ 政権交代が現行政策に影響する可能性がある。✗ 当該問題に対応する関連の法律に規定が無いが、当該問題が法律では完全には対処されない。)

(4) CCSにインセンティブを与えるための炭素取引メカニズムを有する国・地域

世界では、複数のキャップ・アンド・トレード制度が機能しているが、参考とすること

ができる地域はEU、米国カリフォルニア州、カナダ・ケベック州、米国ワシントン州および東京都での制度である。東京都およびケベック州のキャップ・アンド・トレード制度にはCCSに関する特定の規定はない。なお、欧州連合およびカリフォルニア州も、それぞれのキャップ・アンド・トレード制度が開始された当初はCCSに関する規定がなかった。

(5) 米国、カナダ、オーストラリアにおけるCCSを管理する州レベルの法的小さいび規制の枠組みに関する最新情報

特筆すべき最新情報として、米国カリフォルニア州、インディアナ州、ルイジアナ州、ネブラスカ州、テキサス州でCCS固有法が発効したことが含まれる。オーストラリアでは、南オーストラリア州および西オーストラリア州も、CCSに適用可能な法律を発効させるプロセスにある。

- 1) 米国：インディアナ州、カリフォルニア州、ネブラスカ州で新たな法律が導入された。
- 2) カナダ：連邦レベルでのクリーン燃料規制の発効、アルバータ州政府による炭素貯留リースが導入された。
- 3) オーストラリア：西オーストラリア州政府および南オーストラリア州政府は、プロジェクトを促進するためにCCS専用の法律を策定中である。

(6) 国際的および二国間協力イニシアチブの検討

① 国境を越えたCO₂を輸出および輸送の合意に向けたロンドン議定書第6条の改正

近年CCSに適用可能な国際政策に関する推進構想（国際政策イニシアチブ）は少ないものの、パリ協定で定められた6条メカニズム規則に関する合意は重要な展開であり、CCSにも関連性があるものである。

署名国（締約国）による海洋環境への投棄目的の廃棄物輸出を規制しているロンドン議定書6条は、地中貯留のためのCO₂の越境輸送の事実上禁止という意図せざる結果を招き、海洋環境をまたぐCO₂の国際的出荷および輸送への大きな障壁の一つとなっていた。締約国は2009年にこの問題を解決するための改正案を通過させたが、批准には締約国の3分の2の賛成が必要となり、2019年、長期間にわたる膠着状態の末、締約国は2006年改正の暫定適用にもとづき、互いの国境を越えてCO₂を輸出および輸送を認めることに合意した。2022年10月時点で、ベルギー、デンマーク、韓国、スウェーデン、ノルウェー、英国、オランダの各政府のみがこの改正を批准している。

② 二国間合意

低排出技術、脱炭素戦略、クリーン成長、気候変動、グリーン経済確立の模索に関してインド、オーストラリア、シンガポール、日本、カナダ、中国等、複数の国が新たな合意を結んでいる。

例) クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ等

(7) CO₂貯留に関する長期法的責任の概要と現状

- 1) CCS プロジェクトのライフサイクルに関連したライアビリティの定義
- 2) CCS 事業に対するライアビリティの種類
- 3) CCS 固有の法的および規制体制における責任管理へのアプローチ
- 4) オーストラリア、カナダ、米国におけるライアビリティへのアプローチの概要

法的責任は、CCS の広範な普及に対する潜在的障壁として作用する可能性のある重要な問題として、政策立案者や規制当局、プロジェクト推進者によってしばしば指摘される。この問題には世界が注目し続けており、2022年現在、複数の国や地域がプロジェクトのライフサイクルを通じた法的責任に対処するための規定等を含む詳細な CCS 固有の枠組を採用している。その幾つかのモデルには、地中貯留作業に対する法的責任が割り当てられており、場合によってはそれを制限する詳細な規定が含まれている。しかし、世界的に見ると、他の多くの政府や国の規制当局は、この問題に対するアプローチをまだ完全には明確にしていない。

(8) 法的責任が意味するものの定義

CCS プロジェクトに関わる新たなリスクと独特な側面は、プロジェクト事業者が操業中および操業終了後に負う可能性のある多くのさまざまな形の法的責任を生じさせる。この点に関して、Global CCS Institute の評価では、CCS 事業に適用されるようになる法的責任には三つの異なる形態があることが明らかになった。

- 1) CCS 事業により生じた損害の賠償を第三者が求める場合の民事責任
- 2) CCS プロジェクト事業者が、規制当局から具体的な要件を課される可能性のある行政責任
- 3) 漏出が後日生じた場合、事業者は温室効果ガス貯留についてそれまでに取得したクレジットがあれば、それについて説明することを求められる、温室効果ガス／気候変動責任

表 7.1-2 は、これらの法的責任形態に関する大まかな概要を示したものである。

表 7.1-2 CCS 事業における法的責任の形態

| 形態 | 法的責任 |
|---------------|---|
| 民間責任 | <p>CCS 活動が、契約約定が存在しない第三者の利害を傷つける場合、事業者が負担する可能性がある。</p> <p>Common law（以下、「コモン・ロー（普通法）」と称する。）を使用する一部の国や地域では、tortious liability（不法行為責任）と呼ばれる。</p> <p>国や地域によって、これらの法的責任は、法律、あるいは裁判所決定により作成される原則を通じて判断される。</p> <p>原告は、受けた損失に対する補償的損害賠償および／または損害を与える行動が継続する場合は禁止命令を求める可能性がある。</p> |
| 行政責任 | <p>CCS 固有法と、より広義の国のエネルギー関連および環境保護法双方にもとづき、事業者が負担する。</p> <p>所轄当局の法的権限から生じる法的責任であり、事業者に特定の行動を取るよう強制する可能性がある。</p> <p>具体的な汚染問題に対応し、実際的な結果を確保するよう作られている。これらの権限は潜在的に範囲が広い。</p> <p>当局が事業者のかわりに行動することを強制される場合、コスト回収の義務および可能性が幅広い。</p> |
| 温室効果ガス／気候変動責任 | <p>CO₂ 貯留に関し何らかの形のクレジットが確保されている場合、その後の漏出については事業者が法的責任を負う。</p> <p>行政責任の形を取っているが、CCS に固有のものであり、ある種異なった課題を呈する。</p> |

また、CCS プロジェクトの操業段階においても、特定の管轄区域で CCS プロジェクトを監督する関係政府当局が定めた許可条件や規制要件に従って、貯留活動が実施される場合に法的責任が生じる。この種の法的責任は、プロジェクト提案者の CO₂ 貯留実施許可に伴うものであり、行政責任に該当する。さらに、CCS プロジェクト事業者は、その国の広範な環境法の下で多くの義務や要求事項を遵守することも求められる。CCS プロジェクトがコモン・ロー（普通法）を使用する国や地域で行われる場合、事業者は、その操業に起因するいかなる損害に対しても、コモン・ロー（普通法）の下で責任を負うことになる。

(9) CCS 固有の規制制度

本項では法的責任に関するトピックと、これらの問題に対処すべく 2022 年までに採用されてきたモデルの概要について示す。

複数の国や地域の政策立案者と規制当局が、法的責任に関連する重要な問題を特定し、検討してきた。過去 10 年間に、複数の CCS 固有の規制枠組が構築され、その多くはさまざまな形態の法的責任に対処することを目的とした詳細な規定を含んでいる。これらの法

規制枠組や採用された政策的立場を詳細に検討すると、法的責任問題を管理するために選択されたアプローチに多くの類似点があることも明らかになっている。

CCSプロジェクトの運用期間の間、これらの規制モデルは、事業者と規制当局の間で幅広い潜在的な法的責任を明確に配分することを追求している。このことは新しいCCSに特化したメカニズムの設計と実施を通じて達成された場合もあるが、多くの場合、より広範な法律と判例法の暗黙の適用を通じて、事業者がはるかに広い義務を負う可能性が高い。

多くのCCS固有の枠組には、サイトの選定、モニタリング、検証に関する詳細な要件が含まれている。これらの要件は、最初のプロジェクト許可プロセスの重要な側面を成しているが、貯留事業の運用期間を通じての義務でもある。資金確保のための要件と合わせ、これらの義務は実質的にCCS技術に関するリスクを「前倒し」して、プロジェクト・ライフサイクルの後期においてこれらのリスクが確実に最小化されるようにするものである。

モニタリングと検証の要件は、これらの国や地域で開発されてきた法的責任制度の重要な要素であると見なされるかもしれない。プロジェクトのライフサイクルを通じた効果的なモニタリングと検証は、CO₂プルームの挙動が予測されたモデルと一致し、圧入されたCO₂が恒久的に封じ込められることを保証するために重要となるだろう。圧入活動の停止後に権限を放棄したり移転したりする機会を提供する制度においては、モニタリングと検証の結果は、規制基準の遵守を実証する上で重要な側面になりそうである。

表 7.1-3 は、オーストラリア、カナダ、米国のCCSに特化した法規制枠組で採用された法的責任に対する様々なアプローチの概要を示したものである。

表 7.1-3 オーストラリア、カナダ、米国のCCSに特化した法規制枠組で採用された法的責任に対する様々なアプローチの概要

| | オーストラリア ビクトリア州、 クィーンズランド州、西オーストラリア州 | | カナダ アルバータ州、 ブリティッシュコロンビア州、 サスカチュワン州 | | 米国 ワイオミング州 モンタナ州、ノースダコタ州、 テキサス州、ルイジアナ州、 カンザス州、イリノイ州 | |
|-------------------|---|----------------------------------|--|---|---|--|
| | 連邦 | 州 | 連邦 | 州 | 連邦 | 州 |
| CCS固有法における孔隙所有権条項 | ✓ 領海、排他的経済水域および大陸棚の主権は連邦政府が保持 | ✓ 陸上における地中貯留層、貯留層および資源は州政府が所有 | — | ✓ アルバータ州のみ | × | ✓ ワイオミング州、モンタナ州、ノースダコタ州、イリノイ州 |
| 運用中に事業者が負う法的責任 | ✓ | ✓ | — | ✓ | ✓ | ✓ |
| MMV要件 | ✓ | ✓ | — | ✓ | ✓ | ✓ |
| 責任の移転 | ✓ | ✓ | — | ✓ アルバータ州のみ | × | ✓ ワイオミング州、モンタナ州、ノースダコタ州、テキサス州 |
| 責任の移転の条件 | ✓ | ✓ | — | ✓ アルバータ州のみ | × | ✓ ワイオミング州、モンタナ州、ノースダコタ州、テキサス州 |
| 閉鎖後の移転の期限 | ✓ 20年 | ✓ | — | ✓ アルバータ州によれば期限の長さに関する法的要件はまだ明示されていない | × | ✓ 10~15年：ワイオミング州、ルイジアナ州、ノースダコタ州 0年：テキサス州 |
| 移転の範囲 | ✓ | ✓/× | — | ✓ アルバータ州では気候変動関連の法的責任は州に移転されていない | × | ✓ ワイオミング州、モンタナ州、カンザス州、テキサス州 |

出典：Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

(✓ 法律が基準に対応している。× 当該問題に対応する関連の法律に規定が無い、当該問題が法律では完全には対処されない。— 法律は制定されていない。)

7.2 政策に関する主な更新情報

(1) 国レベルの政策とカーボンプライシングの更新状況

政策等が更新された国と主な内容について、アジア太平洋地域、欧州、北米地域に分類して示す。

- 1) アジア太平洋地域：オーストラリア（技術投資ロードマップ）、インドネシア（MEMR 草案）
- 2) 欧州：EU（ETS の修正）、ドイツおよびデンマーク（CCUS の資金提供）、ノルウェーとスウェーデン（2022年1月 CCS 協力のための法的・規制的枠組みに関する合意 (Legal and regulatory framework for Swedish/Norwegian CCS cooperation)）、英国（技術実証に関する BEUS の広範なガイダンス）
- 3) 北米：米国（IR 法 45Q の更新）、カナダ（クリーン燃料基準）

(2) サブナショナル・レベルの更新

州政府レベルで政策等が更新された地域は以下のとおりである。

- 1) 米国（ワシントン州）：2021年5月に可決された気候コミットメント法（Climate Commitment Act）は、同州エコロジー省（Department of Ecology）に対し、炭素ベースの排出量に上限を設ける規則を制定することを求めている。CCS については 2022 年度末も諮問委員会で検討中である。
- 2) カナダ（アルバータ州）：州の炭素税を 2019 年に廃止したため、施行していない代わりに、技術革新・排出削減規制（TIER：アルバータ州の排出量の約 60%を対象とした、温室効果ガス排出量価格設定および取引に係る制度）をとおして産業排出者を規制している。
- 3) オーストラリア（西オーストラリア州）：西オーストラリア州政府および南オーストラリア州政府は、プロジェクトを促進するために CCS 専用の法律を策定中である。

(3) 英国における政策に関する更新情報

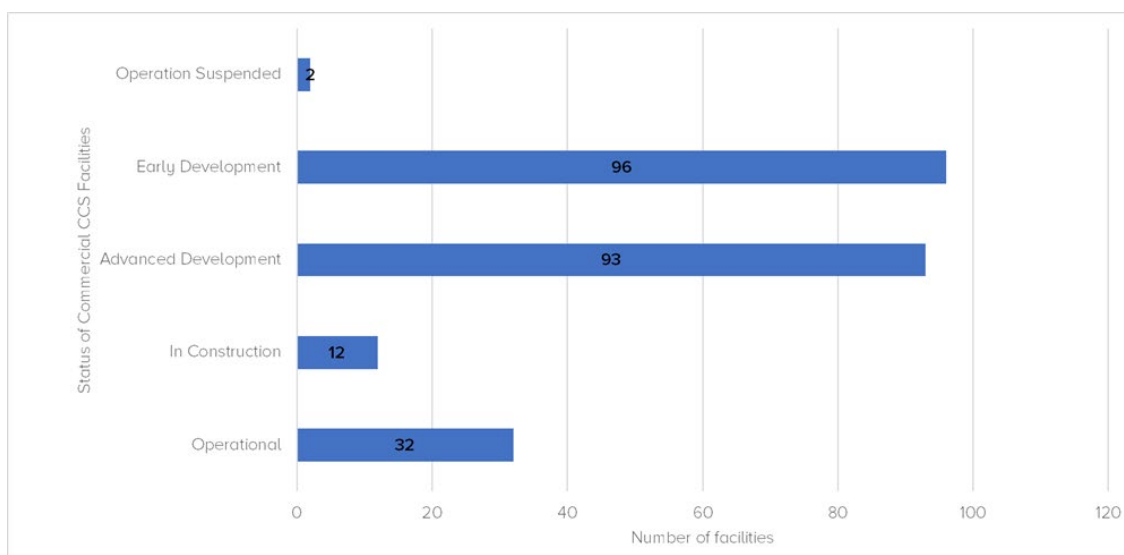
各国が CCS を推進する中で、2022 年現在、世界の新規商用プロジェクトの立ち上げを特にリードしている英国における CCS 政策の検討状況は以下のとおりである。

- 1) 英国の BEIS は、いくつかの政策とメカニズム（ICC ビジネスモデル、ネットゼロ戦略、英国 CCUS 導入パスウェイ、英国 CCS インフラファンド）を開発した。
- 2) CCUS のビジネスモデル導入を含むエネルギー安全保障法案が英国議会に提出され、審議中である。

7.3 世界の商用プロジェクト

(1) 世界の CCS 施設

図 7.3-1 に、世界の CCS 施設の 2022 年時点のステータスを示す。2023 年現在で停止中 2 件、開発初期段階 96 件、開発後期段階 93 件、建設中 12 件、操業中 32 件である。



出典：Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

図 7.3-1 世界の CCS 施設のステータス

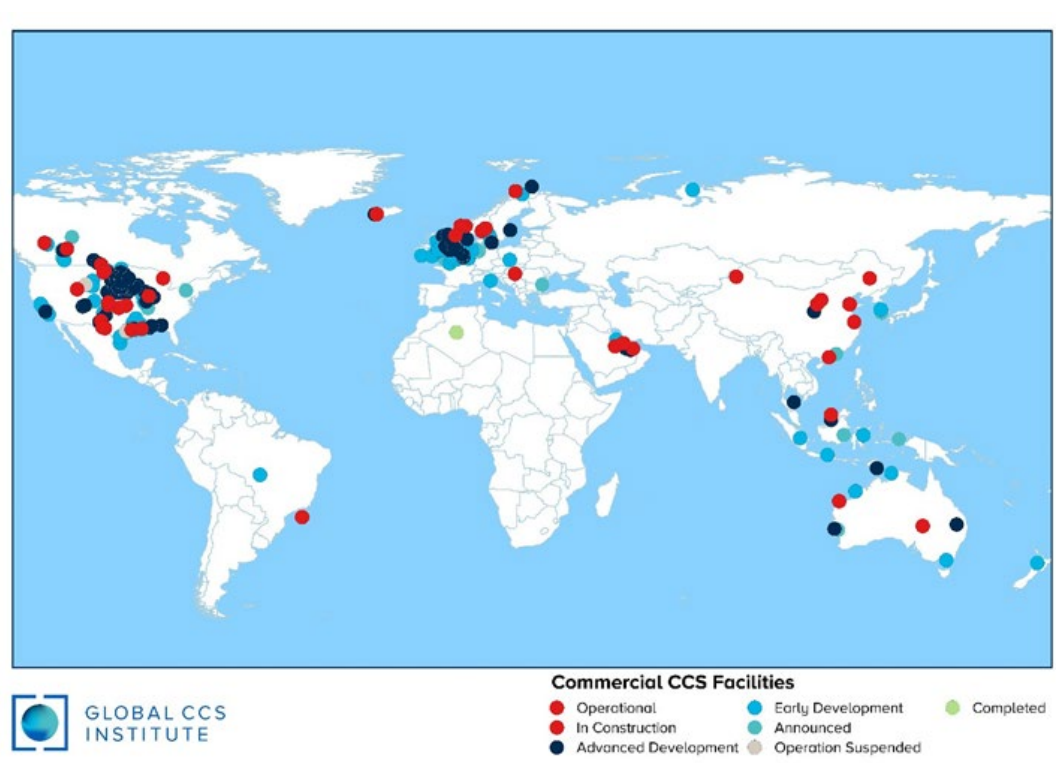
(2) 新規商用施設

2023 年時点で、世界には 87 件の新規商用施設が存在する。内訳として国別施設数を以下に示す。

- 1) 英国：26 件
- 2) 米国：24 件（ほとんどが垂直統合型）
- 3) カナダ：7 件
- 4) アイスランド：6 件（主に CODA CCS ネットワークに参加）
- 5) オーストラリア：4 件
- 6) オランダ：3 件
- 7) フランス：3 件
- 8) ノルウェー：2 件
- 9) 中国：2 件
- 10) マレーシア、インドネシア、カタール、サウジアラビア、タイ、ブラジル、アラブ首長国連邦、デンマーク、ポーランド、多国籍（数箇国をターゲットとす

る) : 計 12 件

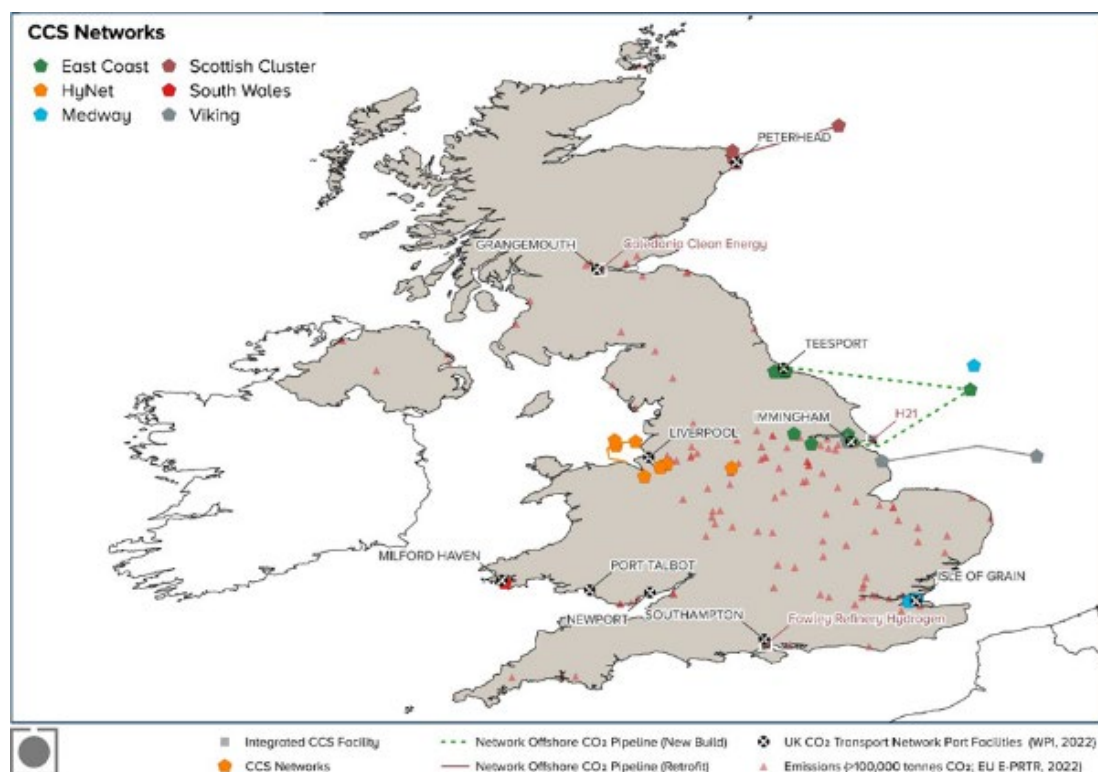
以下の図 7.3-2 に、Global CCS Institute が 2023 年度に報告した世界の商用 CCS 施設の分布図 (既設を含む) を示す。



出典 : Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

図 7.3-2 世界の商用 CCS 施設の分布図 (既設を含む)

また図 7.3-3 の地図は、Global CCS Institute による英国における新規商業施設の分布図である。英国は以下に示す CCS ネットワークの立ち上げによって、世界の新規商業施設の増加数を最もリードする国となった。



出典：Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

世界の146件の新規商業施設数において、英国が史上初めてCCSネットワーク化によってCCSの新規商業施設の増加数をリードした。

図 7.3-3 英国で検討中されているCCSの新規商業施設

- 1) East Coast Cluster (8施設)
- 2) HyNet (6施設)
- 3) Medway (6施設)
- 4) Viking (3施設)
- 5) Scottish Cluster (2施設)
- 6) South Wales Industrial Cluster (サウスウェールズ産業クラスター)

7.4 技術情報

工業部門、電力部門、削減困難部門の脱炭素化を支える開発中の技術として、CCS付設型水素製造、CCS付設型アンモニア製造、ならびにBECCSおよびDACCS等のネガティブエミッション技術の最新動向に関する概要を以下に記す。

(1) CCS付設型水素製造(ブルー水素)

- 1) 全世界の水素需要は、2020年比5%増の94百万tに達し、過去最高である2019年の91百万tを超えた。これは国際エネルギー機関(International Energy

Agency : IEA) によると、主に、化学品セクターと精製業における活動の回復によるもので、この需要は 2030 年までに 180 百万 t まで増加すると予想される。その需要量の約半分は、新たな用途、特に発電、重工業、水素ベース燃料の製造に関わるものである³⁾。これらの数字は大幅に増加し、2050 年までに世界のクリーン水素需要は 660 百万 t/年に達すると予想されている³⁾。世界の潜在的水素市場は 2050 年までに 10 兆ユーロとなり、欧州で 2.2 兆ユーロ、米国で 2.9 兆ユーロ、アジアで 4.4 兆ユーロになると推計されている³⁾。

- 2) EU の水素社会実現に向けた移行に必要なとされる投資予想額は、2050 年までに 1,800 億ユーロから 4,700 億ユーロであり、そのうち 30~180 億ユーロが CCS を利用した化石エネルギー源から製造される低炭素水素（ブルー水素）の製造に費やされる⁵⁾。
- 3) ロシアのウクライナ侵攻による昨今の全世界的エネルギー危機により、EU および英国は天然ガスと石油の需要を減らし、低排出型水素の利用を増やすことを決定するに至った。2022 年の EU の総水素製造量は 7 百万 t/年であり、そのほとんどすべてが天然ガス由来である。そのうち 1,000t 未満が輸送部門で使用されている。2022 年 5 月、欧州委員会はすべてのエンドユースおよび輸送部門について 2030 年までに 20 百万 t/年の再生可能水素、すなわち「グリーン」水素という目標（そのうち半分は輸入による）を設定した⁴⁾。
- 4) この水素への移行のため、EU は天然ガス 270 億 m³ と石油日量 80,000bbl. (80 kb/d) を代替する必要がある。これだけの水素を製造するのに、電解槽駆動用として 440 GW の再生可能電力が求められる。この移行について求められる資本投資の大部分が、必要な電力を供給するための太陽光 (PVs) と風力タービンの購入および設置である。電解槽の購入と設置は、想定資本のわずか 15% を占めるにすぎず、パイプライン、港湾設備、船舶、水素貯蔵等のインフラに必要とされる額よりも少ない (IEA 2022 年)。EU だけが、水素や水素ベースの燃料の輸入を計画しているわけではない。中国、北米、日本および韓国が 2030 年までにそれぞれ 40 百万 t/年、25 百万 t/年、10 百万 t/年の需要を予測している。世界の残りの地域の需要は、50 百万 t/年である。
- 5) 全地球的水素移行計画の実施は、主として太陽光と風力の再生可能資源にのみ依存しては、管理が難しいと推察する。以下に、この移行を妨げる可能性のある主な課題をあげる。

・水素と電力の安定供給を可能にするために、風力と太陽光の間欠性に対処す

るためのインフラを準備すべく、集中的な設備投資が必要である。

- ・2040年までに再生可能エネルギー発電の増加により3倍になると予測される集約的な鉱物需要が見込まれるが、風力と太陽光が主な原因である。これは、環境の観点から懸念されるだけでなく、クリーンエネルギーに対する社会の受け入れに悪影響を及ぼす可能性がある。社会環境的な要因とは別に、将来のエネルギー安全保障に影響を及ぼすかもしれない地政学的な側面を予見するためにも、このことは調査されるべきである²⁾、⁶⁾。
- ・土地と水の利用可能性は、常に再生可能エネルギーシステムへの移行における重要な課題と考えられてきた。

- 6) グリーン水素は低排出であるにもかかわらず、低排出型水素市場において唯一の技術であると見なされた場合、他の環境的・経済的・社会的課題を世界的に引き起こす可能性があることは、前述のとおりである。その対策の一つは、CO₂回収・貯留(CCS)を付設した天然ガス、石炭、バイオマス等の炭化水素系燃料が低排出型水素の供給に貢献できる役割について検討することである。炭化水素系施設を運営してきた多くの経験と歴史は、貯蔵・輸送・取引において信頼性と高い社会的受容性をもたらす。
- 7) 水素の需要予測、必要な投資、市場に関する最新情報が提供された。
- 8) グリーン水素だけで需要を満たすことの難しさと、これらの課題を解決するためにブルー水素を取り入れる必要性について確認した。
- 9) ブルー水素製造設備の従来技術および拡張技術についても把握した。
- 10) スウェーデンのPreem CCS、オーストラリアのHESC-CarbonNetについて最新情報を追記した。

(2) CCS付設型アンモニア製造(ブルーアンモニア)

- 1) さまざまな産業における伝統的なアンモニア利用に加え、アンモニアはゼロカーボン産業における船舶輸送、輸送、発電のためのガスないし液体の形でのエネルギーキャリアおよび燃料候補として注目を集めてきている。2050年における低炭素アンモニアの潜在的市場は2022年現在の全世界アンモニア生産量の数倍になると予想されている⁷⁾。
- 2) アンモニアは炭素と硫黄を含まないため、他の低炭素型水素を利用したメタノール等の液体燃料や、合成灯油等のその他合成液体炭化水素と共に、輸送の脱炭素化に向けた有望な低炭素型燃料と考えられている。

- 3) アンモニアは世界の排出量の約 4%を占める海事部門の脱炭素化のための重要な手段として注目されてきている⁸⁾。IEAによる「World Energy Outlook 2021」では、2050年までに船舶用燃料の約 45%を低炭素アンモニアにすることが目標とされている⁹⁾。さらにアンモニアは電力業界における代替燃料として検討されているが、主として可変的な風力および太陽光の出力のバランスを取るための柔軟性導入と、同部門のCO₂排出量削減のためである。
- 4) 電力システムの柔軟性は、電力供給の信頼性、安全性、安定性のために非常に重要である。2022年現時点で、電力システムの柔軟性は、主に削減対策の施されていない石炭、天然ガス、水素によって提供されているが、水素、バッテリー、CO₂回収付き化石燃料と共にブルーアンモニアが再生可能電力の季節貯蔵のための解決策として台頭してきている⁹⁾。
- 5) CCS付設型石炭火力発電所におけるアンモニア混焼は、脱炭素化のために考えられる一つの方法である。この方法は商用前の開発段階にあり、この技術が2030年までに大規模普及開始するには相当の努力が必要とされる⁹⁾、¹⁰⁾。
- 6) ブルーアンモニアのさまざまな産業分野での応用と、海運や電力等の様々な産業分野における燃料やエネルギーキャリアとしての脱炭素化における重要な役割について確認した。
- 7) 脱炭素化においてブルーアンモニアの潜在能力をフルに活用するための技術的・安全的な障害、それらに対処するための関連研究および信頼できる文献から得られた幾つかの勧告を確認した。
- 8) ブルーアンモニアの商業施設2件と開発中の施設9件について確認した。
- 9) 伊藤忠のカナダと韓国のブルーアンモニア事業、ノルウェーのプロジェクト Barents Blue、アラブ首長国連邦のブルーアンモニア供給チェーン、米国の三井物産と CF Industries のブルーアンモニア供給チェーン、オーストラリアから日本へのアンモニア火力発電用のクリーン燃料アンモニア供給チェーンについて最新動向を確認した。

(3) BECCS と DACCS

① BECCS

- 1) BECCS とプロジェクトの規模を拡大するための技術的、環境的、社会的、政治的な課題と対応策への提案について確認した。
- 2) BECCS を利用したさまざまなフェーズの Drax 発電所 (North Yorkshire 州) の

詳細を確認した。

a. 主な技術課題

原料の持続可能性、バイオエネルギー変換システムの全体的な効率、変換効率がバイオマスの種類に依存するため、各プロジェクトのカーボン・ネガティブ・バランスをチェックする必要がある。バイオマスの物流が悪いために、バイオマスの入手が断続的になると、エネルギー生産が中断される可能性がある。解決策の一つとして、バイオガス・コンバインドサイクル・プラントと圧縮空気貯蔵をCCSユニットに統合することが考えられる¹¹⁾。

b. 社会的、政策的課題

- 1) BECCSがCDRにおいて果たすことのできる重要な役割により、全地球レベルだけではなく、広大な森林セクターを持ちエネルギー部門でバイオマス副産物を利用している国々においても、BECCSに対する政治的な後押しが生み出されてきた。社会的受容性のレベルは、コミュニティによって異なり、土地利用に関する懸念の有無にかかわらず、BECCSの可能性という点でその国の状況に左右される。また林業やエネルギー事業等の産業部門は、BECCSの課題を、顧客の需要不足、バイオマスへのアクセス制限、エネルギー効率とのトレードオフに関連付けることも分かっている^{12)、13)}。社会政治的な推進力を作り出すためには、政府、一般社会、関連産業の間で協力体制を形成する必要がある。政府は、関連産業のためのインフラを整え、事業計画に透明な会計システムを提供し、人々の抵抗を避けるべく一般社会に対して明確な気候目標を導入しなくてはならない¹⁴⁾。
- 2) 全地球的な1.5°C経路において予測されるBECCSの導入と、国レベルでの社会的・政治的側面に関する実施における実際の進捗とのギャップを明らかにするために、スウェーデンで調査が実施されてきた。その意図は、同様の条件を持つ他の国にも転用可能なアプローチを提供し、グローバルモデルの改善に寄与することである¹³⁾。国家レベルでは、パイロットおよび実証プラントの運営を成功させるには経済的インセンティブを導入することも推奨され、また、BECCS実施に対する明確なコミットメントが投資家に対してシグナルとして発信されるべきである。また、林産物の価値の高さを考慮し、運輸・交通・エネルギー部門間の競争を高めるための包括的な政策が必要である。BECCSへの批判の一つは、化石燃料の排出削減努力を先送りする可能性があることである。

したがって、化石燃料の価格設定と炭素除去の価値付けを整合させ、より根本的に BECCS の受容性を醸成する政策が必要である^{12)、14)}。

- 3) BECCS の拡大を阻む最も重大な障壁と考えられている環境問題は、社会と環境の発展や政策実施に関するより幅広い問題につながっている食糧、土地、水、エネルギー、気候との紛れもない相互関係である¹⁴⁾。

② DACCS

- 1) 液体吸収法、固体吸着法、極低温炭素回収法、電気スイング吸着法、膜利用 DAC 等、さまざまな DAC の方法が概説され、それぞれの利点と欠点を確認した。
- 2) また、世界の DAC プロジェクトの状況について全般的な最新情報を確認した。
- 3) 六つの商用 DACCS 施設とその現状を確認した。

a. 長期シナリオにおける DACCS

2022年時点における Net Zero Emission (NZE) と呼ばれる最も野心的な IEA シナリオでは、DAC による CO₂ 回収はそれぞれ 2030 年に 70 百万 t/年、2050 年に 600 百万 t/年となると予想されている。2022年現在、既存および計画中の DAC プラントをすべて合わせても、2030年までには 5 百万 t-CO₂/年強にしか到達せず、NZE シナリオで設定された目標である 10%には届かない⁹⁾。

b. プロジェクトの概況

IEA によると、米国、カナダ、欧州で 18 件の DAC プラントが稼動しており、炭素回収能力は 0.01 百万 t/年未満である。IEA が定義した最も野心的なシナリオであるネットゼロエミッション (NZE) の目標を達成するためには、2030年までに 85 百万 t、2050年までに 980 百万 t の CO₂ を DAC で回収する必要がある。これは非常に大きな規模拡大であり、強力な後押しを必要とする。

2022年現在、11 件の DAC 施設が開発後期段階にあり、その回収能力は 5 百万 t-CO₂ で、IEA の NZE シナリオの定義する目標の 10%未満である⁹⁾。

DACCS の普及は、すべてのネガティブエミッション技術同様、炭素予算のオーバーシュートと、削減困難部門の脱炭素化をモデルがどのように示すか次第である。

45Q 税額控除は、特定のタイプの CO₂ 利用と、石油増進回収ないし恒久的地中貯留のための CO₂ 圧入にインセンティブを与えるために、米国政府によって提供されている。

DAC は、回収能力が 0.1 百万 t/年を上回れば、45Q プランに適格である。

1 百万 t/年 CO₂ 回収能力を持つ米国初の大規模 DAC プラントは 2022 年時点で開発後

期段階にあり、2020年代中頃に稼働することが見込まれている⁹⁾。45Q 税額控除の結果として、この勢いが増していくことが予想されている。

7.5 CCSのためのCO₂船舶輸送に関する最新情報

(1) 技術開発状況

① CO₂船舶輸送を特定しているCCSプロジェクト

2022年時点では、CO₂を船舶輸送しているCCS施設はない。しかし、2022年9月現在、合計9件のCCSプロジェクトが船舶輸送をプロジェクトのCO₂輸送方法として特定している。

- 1) Höegh LNG 社および Altera 社は、Stella Maris と呼ばれる新規の浮体式 CCS ネットワークの概念開発で協力している¹⁴⁾。Stella Maris プロジェクトは、浮体式 CO₂ 圧入ユニットを通じて北海に年間 10 百万 t-CO₂ 貯留することを目指している。CO₂ は最初、CO₂ 集積・貯蔵・積み下ろしサイト（ハブ）で欧州の排出企業から集められ、浮体式圧入ユニットへ船舶輸送される。このコンセプトでは、長さ 238 m、幅 38 m の 50,000 m³ の船舶が使用され、6.5 bar (0.65 MPa)/-47°C の低圧条件下で CO₂ を輸送する。ステラマリスは 2026 年のスタートアップを目指している。
- 2) EverLoNG プロジェクトは、船上 CO₂ 回収（Ship-Based Carbon Capture : SBCC）に対して包括的アプローチを取っており、LNG 燃料船上の SBCC 技術商業化を狙い、これらのシステム船用の地中貯留サイトを含む CCS ネットワークを統合しようとしている¹⁶⁾。このプロジェクトは、ドイツ、オランダ、ノルウェー、英国、米国の 5 箇国 16 のプロジェクト・パートナーから成る 3 箇年の国際研究コンソーシアムである。2022 年 4 月、EverLoNG プロジェクトは SBCC の産業利用加速のために、EU の気候行動基金である ACT3 から 340 万ユーロを獲得した¹⁷⁾。EverLoNG プロジェクトは、2025 年に SBCC をコスト競争力のある脱炭素化オプションへと進展させることを目指している。
- 3) Equinor 社と Fluxys 社は 2022 年 6 月、船舶輸送とパイプライン輸送を合わせたソリューションを利用した欧州を基盤とするオープンアクセスの CCS ネットワークを開発すべく提携することを発表した¹⁸⁾。CO₂ は近隣諸国の排出企業から船でベルギーのゼーブブルッヘ（Zeebrugge）にあるハブ施設に輸送され、そこで積み下ろされて北海にあるノルウェーの地中貯留サイトまでパイプライン輸送される。このプロジェクトは、Northern Lights/Longship プロジェクトの競

合にもなっている。

- 4) 輸送ソリューションとして船舶輸送を利用している商用CCSプロジェクトでもっとも進んでいるのは、後述のケーススタディのセクションで詳述されているノルウェーの Longship プロジェクトである。
- 5) 5番目のプロジェクトは、英国領北海に立地する ACORN Hydrogen Project で¹⁾
 - 9) CO₂ SAPLING と呼ばれる拡張計画で、将来的には Peterhead 港を經由して船舶輸送される予定である。CO₂はその後、Acorn CCS Project の北海の CO₂貯留サイトにパイプライン輸送される。船舶輸送オプションの候補の一つに、英国 Teesside から海外に向けてさらに拡張するというものがある²⁰⁾。
- 6) 6番目のプロジェクトは、CO₂をフランス Dunkirk からノルウェーの Longship における CO₂貯留サイトに船舶輸送することを計画している。Dunkirk 地域は、複数の産業からの排出を集める CO₂排出ハブとなる。2025年には1.5百万t/年でのフルスケール CCS 稼働が計画されている。本プロジェクトは、同概念の実現可能性検討に、欧州連合(EU)の「Horizon 2020」から資金提供を受けている。
- 7) Carbfix 社が発表した第7の船舶輸送プロジェクトは、Coda ターミナル (Coda Terminal : アイスランド南西部の Straumsvík に建設される越境 CO₂輸送ターミナルと貯留ハブ) である。このターミナルは、北欧からの CO₂の船舶輸送を受け入れ、そこで CO₂を積み下ろして陸上で貯留することになっている。商業運転は2025年の開始を予定しており、計画容量は0.3百万t/年(1隻稼働)で、徐々に拡大し、2030年には3百万t/年のフル稼働(6隻稼働)を予定している。Carbfix 社は、デンマークの海運会社である Dan-Unity 社と、12,000~20,000 t の CO₂を積載できる専用船で輸送する契約を締結している。Dan-Unity 社の船は、当初はメタノールを主な輸送燃料源として利用するが、事業が進むにつれ最終的にはゼロカーボンのアンモニアに燃料を切り替える予定である²¹⁾。
- 8) 8番目のプロジェクトは、韓国でブルー水素を製造する際に回収した CO₂をサウジアラビアに船舶輸送し、石油増進回収プロジェクトで貯留するというものである。現代重工業ホールディングス社(HHIH)とSaudi Aramco社の間で、水素プロジェクトの開発に関する覚書が締結された²²⁾。HHIHの造船部門は、このプロジェクトのために、液化石油ガス(LPG)とCO₂の両方を積載できる世界初の船を開発する予定である。この船は、LPGをサウジアラビアから韓国に運んで処理し、回収したCO₂を積んでサウジアラビアに戻ってくる。

9) 輸送方法として船舶を取り上げるとして 9 番目に発表されたプロジェクトは、パースを拠点とする Transborders Energy 社による deepC Store プロジェクトである。このプロジェクトは、オーストラリアやアジア太平洋地域の複数の産業排出源から回収した CO₂ を、オーストラリア北部の沖合に設置された世界初の浮体式貯蔵圧入 (Floating Storage & Injection : FSI) ハブに輸送するものである。deepC Store の CO₂ 圧入能力は 1.5 百万 t/年と報告されているが、CO₂ 船や FSI 施設を追加して圧入能力を高めることができるモジュール式の拡大可能な設計になっている。Transborders Energy 社は、JX 石油開発株式会社および東邦ガス株式会社と共同研究契約を締結し、Transborders 社の既存パートナー (オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)、九州電力(株)、商船三井、大阪ガス、大阪ガスオーストラリア、東京ガスオーストラリア、Technip Energies 社、Add Energy Group) と共に、deepC Store プロジェクトの共同開発を行う^{2,3)}。

② 概況

- 1) 世界共通の輸送規格はない (常圧、低圧、中圧、高圧の各設計が発表されている)
- 2) Knutsen NYK Carbon Carriers が常圧 CO₂ タンクシステムの基本認可を取得した。
- 3) 40~50 barg で運用 (>0°C) する。

(2) 船舶による炭素回収 (SBCC)

- 1) 2022 年度現在で、いくつかの企業が SBCC (Ship-Based Carbon Capture) システムを開発し、テストを行っている。
- 2) SBCC では、CO₂ 排出量の 30~95% を回収することが可能である。

(3) 液化 CO₂ (LCO₂) キャリアのデザイン

CO₂ バルク輸送の市場はまだ初期段階にあり、CCS プロジェクトの規模や用途によって低圧・中圧・高圧のソリューションが必要となるため、メーカーにより複数のさまざまな液化 CO₂ (LCO₂) 運搬船設計が行われている。表 7.5-1 は、発表済みの LCO₂ 運搬船の設計概念をまとめたものである。

- 1) 業界関係者は様々な LCO₂ 運搬船の設計を開発している。
- 2) 多くの設計では、船の燃料として LNG を選択している。
- 3) Carbon Collectors 社 (オランダ) は、陸上ターミナルから北海南部の海上貯蔵サ

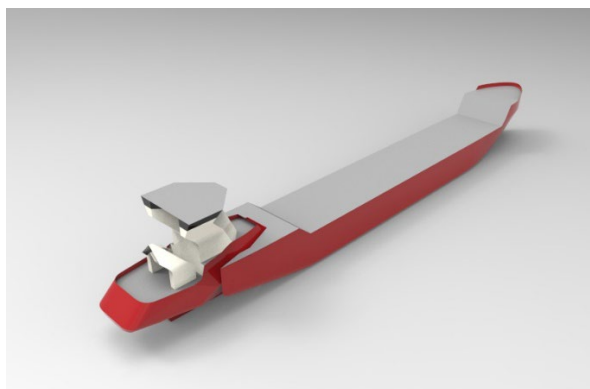
イトへの輸送のためのCO₂プッシャーバージ(台船-押送船)の設計を開発中である。

表 7.5-1 発表済みの液化CO₂運搬船の設計概念

| LCO ₂ 船メーカー またはCCSプロジェクト | 容量 | 体積 | 輸送条件 | 船舶燃料 | 排出源/備考 |
|--|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Ecolog社 | 84,000 m ³ | 275 m x 48 m | 8 barg -55°C | 報告なし | NH ₃ /CO ₂ /LPG 積荷 |
| 現代重工業社と Hyundai Glovis社 | 74,000 m ³ | 284 m x 42 m | 高圧低温 | LNG | ABSよりAiP |
| 大宇造船海洋社 | 70,000 m ³ | 260 m x 44 m | 報告なし | LNG | — |
| Stella Maris社 | 50,000 m ³ | 238 m x 38 m | 6.5 barg、 -47°C | LNG/バイオガ ス/NH ₃ | ダイナミック・ ポジショニン グ、海上積み下 ろしと直接圧入 機能 |
| 商船三井社と三菱 重工社 | 50,000 m ³ | 報告なし | 報告なし | 報告なし | NH ₃ /CO ₂ 運搬船 概念 |
| 現代重工業社 | 40,000 m ³ | 239 m x 30 m | 報告なし(IMOタ イプCカーゴタ ンク) | LNG | — |
| 大宇造船海洋社 | 40,000 m ³ | 報告なし | 報告なし | 報告なし | — |
| Ecolog社 | 20,000 m ³ | 167 m x 28 m | 8 barg -55°C | 報告なし | NH ₃ /CO ₂ /LPG 積荷 |
| Northern Lights | 7,500 m ³ | 長さ 130 m | 15 bar-28°C | LNG | 風力推進装置と 空気潤滑装置を 搭載した船舶 |
| 三菱造船社 | 1,450 m ³ | 72 m x 12.5 m | 報告なし | 報告なし | 実証試験船 |

出典：Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

上記の、より従来型の液化CO₂輸送船の概念とは少し異なる概念が、オランダを本拠とするCarbon Collectors社によって開発されており、CO₂プッシャーバージ(図7.5-1)に重点が置かれている。2021年4月にBureau Veritas社から基本設計承認を受けたCO₂プッシャーバージは、陸上サイトやパイプライン・ターミナルからCO₂を集積し、北海南部の海上貯留サイトに輸送・圧入する。Carbon Collectors社は、1隻5,500 m³のバージを2隻以上提供し、2030年までに0.5百万t/年~6百万t/年の容量拡張が可能になると見込んでいる^{2,4)}。またCarbon Collectors社は、Value Maritime社と協力して、CO₂プッシャーバージのための船上CO₂回収システムを設計し、カーボンニュートラルな運用を目指している。



出典：Ovcina Mandra 2021年²⁴⁾

図 7.5-1 Carbon Collectors 社による CO₂ プッシャーバージの概念

(4) ケーススタディ

Northern Lights プロジェクトは、2022年にその計画容量を拡大した。Eramet Norway 社は、2024年からノルウェー、Saudaにある同社のマンガン精錬所に設置したパイロット回収施設で回収されたCO₂排出量の70%を輸送・貯留するため、Northern Lights とMOUを交わしている。Eramet 社は、2028年にフルスケールの回収施設を設置し、2030年までに本格稼働を達成し、年間26万tのCO₂を回収する計画である。

2022年8月、Northern Lights は、貯留用CO₂の越境輸送に関する世界初の商業契約をYara 社と締結した。この契約のもと、2025年から80万tの純CO₂が、オランダにあるYara 社 Sluiskil アンモニア・肥料工場からノルウェー領北海のNorthern Lights の貯留サイトまで船舶輸送される。

7.6 CCS のコスト

CCS のコストは、原料ガスの特性、流量規模、適切な貯留に関する場所等を含むいくつかの要因に依存し、広範かつ多様なものである。

今回は、BECCS と DACCS を含む CCS バリューチェーンと選択的なマイナス排出技術 (Negative Emissions Technologies : NETs) に関して、公的に入手可能なコストのレビューを実施した。実際のプロジェクトコストは、入手可能な限り記載した。

(1) CO₂ 回収コスト

- 1) 一般に公開されている炭素回収のコスト見積もりは、CO₂ 1t 当たり 0~305 ドルのおおよそのコスト範囲を定義している。
- 2) コストに影響を与える主なパラメータは、原料ガスの特性と回収施設の規模である。

- 3) アンモニア、水素、天然ガス処理等、原料ガスの特性が良好な産業は、最も安価な回収コストを提供し、セメント、鉄鋼、複合製油所等、除去が困難なセクターは、最も高い回収コストを持つ。
- 4) 回収技術は、モジュール化、技術開発、サイト統合、低エネルギー需要、さらに全体的なコスト削減のための運用プロジェクトからの教訓の活用等、幾つかの面で進歩しつつある。

CO₂回収コストの主要因は、排出源のガスの性質である。回収コストに影響を及ぼす主要な性質は、分圧である。ガス混合物における各ガスは、混合物の全圧にそれぞれ独立して寄与する。この寄与が分圧である。理想気体では、混合物における一つのガスの分圧は、混合物中のそのガスの容積分率に全圧を掛けた値と等しくなる。

CO₂の分圧には、ガス混合物からCO₂を回収する際の相対的な容易さが反映される。分圧が高ければ、低圧の場合よりも回収が容易で安価となるが、それはCO₂の分圧を、最終的に回収されるCO₂流の分圧まで上げるのに必要な外部エネルギーが少なく済むからである。CO₂の割合が高いか、全体のガス圧が高い場合、ないしその双方の場合、そのCO₂の分圧も高いことが認められる。表7.6-1は、さまざまな発電および産業排ガス流のCO₂特性をまとめたものである。

表 7.6-1 典型的な産業排ガス流のCO₂特性

| INDUSTRY | POINT SOURCE | CO ₂ PARTIAL PRESSURE (WET) (KPA) | GAS STREAM PRESSURE (KPA) | INHERENT CO ₂ CAPTURE |
|-------------------------------------|--|--|---------------------------|----------------------------------|
| Power | Natural gas combined cycle (NGCC) power plant | 3.8 – 4.6 | Atmospheric*** | No |
| | Coal fired-power plant | 12.2 – 14.2 | Atmospheric*** | No |
| | Biomass/waste-fired power plant | 10.1 – 12.2 | Atmospheric*** | No |
| Power/ Industrial Heat | Natural gas-fired power and/or heat plant (Open Cycle) | 4.1 – 8.1 | Atmospheric*** | No |
| Petroleum Refining / Petrochemicals | fluid catalytic cracking | 10.1 - 14.2 | Atmospheric*** | No |
| | Process heater | 8.1 - 10.1 | Atmospheric*** | No |
| | Ethylene production steam cracking | 7.1 - 12.2 | Atmospheric*** | No |
| | Steam methane reforming hydrogen production | 300 – 480 | 2000 – 3000 | No |
| | Ethylene oxide production | > 92 | Atmospheric*** | Yes |
| Cement | Kiln flue gas | ~ 18 | Atmospheric*** | No |
| | Pre-calciner | 20 - 30 | Atmospheric*** | No |
| Pulp and paper | Lime kiln | ~ 16 | Atmospheric*** | No |
| Iron & Steel | COREX smelting reduction process | 32 - 35 | Atmospheric*** | No |
| | Hot Stove | 24 - 28 | Atmospheric*** | No |
| | Lime calcining | 7.1 – 8.1 | Atmospheric*** | No |
| | Sinter plant | 3.7 – 4.2 | Atmospheric*** | No |
| | Aluminium | Aluminium smelter | 0.8 – 1.1 | Atmospheric*** |
| Fertiliser | Coal gasification syngas | 750 - 2500 | 3000 – 6000 | Yes* |
| | Natural gas reforming syngas | 300 - 1200 | 2000 – 3000 | Yes* |
| Natural gas processing | Natural gas processing | Varies, up to 5000 | 900 – 8200+ | Yes, acid gas removal |
| Bioethanol | Ethanol fermentation | > 85 | Atmospheric*** | ** |

* CO₂ from syngas stream is captured for downstream urea production

** Only dehydration and compression required

*** Standard atmospheric pressure is 101.3 kPa, which is close to the average air pressure at sea level. However, atmospheric pressure does vary by location and altitude.

出典: Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

回収コストに影響を及ぼすもう一つの主要因は、規模の経済である。多くの産業プロセスでは、一般的に生産規模が大きければ単価が安くなる。

(2) DACCS のコスト

一般に公開されている DACCS の推定コストは 88 ドル/t-CO₂ から 877 ドル/t-CO₂ である。コストは考慮する技術（固体または液体 DAC）により異なるが、開発中の幾つかの新技術はコスト削減が期待できる。

(3) BECCS のコスト

BECCS のコスト試算は 20~342 ドル/t-CO₂ である。BECCS のコストは、バイオエタ

ノール、合成燃料、さまざまな形態のバイオ発電等、様々な技術を考慮している。

(4) CO₂ 輸送コスト

① パイプライン

公開されているパイプライン輸送のコスト見積もりでは、パイプラインで輸送される 1t 当たりのコストは、1 ドル/t-CO₂ から 65 ドル/t-CO₂ の間がおおよそのコスト範囲とされている。

- 1) コストに影響を与える主なパラメータは、CO₂ が輸送されるスケールと距離である。
- 2) パイプライン輸送については、ネットワークの利用と規模の経済が、パイプライン輸送のコスト削減の鍵となる。

② 船舶輸送

一般に公開されている海運のコスト見積もりでは、船舶による CO₂ 輸送のコストは 10 ドル/t-CO₂ から 44 ドル/t-CO₂ という大まかな範囲で定義される。

- 1) コストに影響を与える主なパラメータは、輸送距離と輸送量、物流チェーン、船舶のタイプである。
- 2) 海運は通常、低圧 (8 bar (0.8 MPa)) と中圧 (15 bar (1.5 MPa)) を考慮する。
既存の研究では、大量の CO₂ を短距離で輸送する場合、低圧輸送は中圧輸送よりも低コストであり、長距離の場合は船舶の方がパイプラインよりも低コストである。

(5) 圧入および貯留コスト

一般に公開されている貯留のためのコスト見積もりは、1 ドル/t-CO₂ から 22 ドル/t-CO₂ の間の大まかなコストで定義される。

- 1) フィールドの位置とタイプ、利用可能な既存の知識と再利用可能なインフラ、貯留層の容量と品質が、貯留コストに影響を与える主な要因である。

(6) 実際の CCS プロジェクトのコスト

公開されている実際のプロジェクトコストは限られており、入手が困難である。実際のプロジェクトでは、回収、輸送、貯留に係るコストは、66 ドル/t-CO₂ から、297 ドル/t-CO₂ まで幅がある。

プロジェクトのコストに関する情報を公表しているプロジェクトは非常に少ないが、次のプロジェクトのコストは、比較目的のために入手が可能であった。

表 7.6-2 商業稼働中 CCS プロジェクトおよびそれらに関連する推定コスト

(ドル/t-CO₂に換算)

| プロジェクト | 場所 | 特性 | 回収 | 輸送 | 貯留 | MMV ^{注2)} |
|--|---|---------------------------------------|-----|----|----|--------------------|
| Norcem 社 ²⁵⁾ CCS (Aker Carbon Capture 社) | ノルウェー・ブレヴィック (Brevik) | 回収後、パイプラインおよび船舶によって輸送し、沖合の塩水層に貯留 | 109 | 22 | 93 | |
| Fortum 社 CCS (Northern Lights の一部; CC は Shell 社) | ノルウェー・オスロ (Oslo) | 回収後、パイプラインおよび船舶によって輸送し、沖合の塩水層に貯留 | 182 | 22 | 93 | |
| Sleipner CCS (1996 年) (Equinor 社、StatOil 社) ²⁶⁾ | ノルウェー領 北海 | 沖合回収および貯留 | | | 17 | |
| Petra Nova CCS ^{注1)} | 米国テキサス州 ヒューストン (Houston) | 石炭火力発電所から回収しパイプラインで輸送し EOR に利用 | 65 | | | |
| Boundary Dam ^{注1)} | カナダ・サスカチュワン州 エステバン (Estevan) | 石炭火力発電所から回収しパイプラインで輸送し EOR に利用 | 103 | | | |
| Quest CCS (2015 年) ²⁷⁾ | カナダ・アルバータ州 フォート・サスカチュワン (Fort Saskatchewan) | SMR ユニットから回収し、地中パイプラインで塩水層にある陸上貯留地に輸送 | 83 | 6 | 3 | 1 |

出典: Global CCS Institute, Japan Country Report 2023¹⁾

注1: Global CCS Institute が入手可能な資本コストおよび運用コストに基づき CO₂ 1t 当たりのコストが導き出された。

注2: MMV: Measurement, Monitoring and Verification ((地中貯留された CO₂ の)測定・監視・検証)

25) Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS). 2020. DNV GL, Norway.

26) <https://sequestration.mit.edu/tools/projects/sleipner.html>

27) 次のリンク先から得られたデータに基づく推定値。 <https://ieaghg.org/publications/technical-reports/reports-list/9-technical-reports/949-2019-04-the-shell-quest-carbon-capture-and-storage-project>

プロジェクトが同様の地域で実施され、同様の特性を持つ場合、これらのコストは、特定の用途における CCS のコストを評価するうえで出発点となる基準値を提供し得る。しかし、プロジェクトコストは常にプロジェクトに固有なものである。資本コスト、労働コ

スト、エネルギー・コスト、その他の消耗品のコストは場所によって大きな差がある。

(7) CCSのコストに関する要旨

CCSのコストは、排出源ガスの特性、ガス流の規模、適した貯留地の場所等、幾つかの要因によって幅広く異なる。本セクションのコストおよび分析を基に、次の結論が考えられる。

- 1) 公表されているCO₂回収のコスト推計は、0~305 ドル/t-CO₂という大まかなコスト範囲を示している。コストに影響を及ぼす主なパラメータは、排出源ガスの特性および回収施設の規模である。アンモニア、水素および天然ガス処理等、好ましい排出源ガスの特性を持つ産業は、最も安い回収コストを示し、セメント、鉄鋼、複雑な精製等、削減困難部門の回収コストは最も高い。
- 2) 回収技術は、モジュール化、技術開発、サイト統合、エネルギー需要低下等、幾つかの分野で進歩していると共に、全般的なコストを削減するために、操業中のプロジェクトから学んだ教訓を活かしている。
- 3) DACCSについて公表されているコスト推計の範囲は、88~877 ドル/t-CO₂である。コストは検討されている技術(固体ないし液体DAC)によって異なるが、開発中の新規技術にはコスト低減が期待できるものが幾つかある。
- 4) BECCSについて公表されているコスト推計の範囲は、20~342 ドル/t-CO₂である。BECCSのコストとしては、バイオエタノール、合成燃料、さまざまなバイオ発電からいくつかの技術が検討されている。
- 5) パイプライン輸送について公表されているコスト推計は、輸送されるCO₂の規模および距離によって、1~65 ドル/t-CO₂という大まかなコスト範囲を示している。
- 6) パイプライン輸送の場合、ネットワークの利用および規模の経済が、パイプライン輸送コストを低減するにあたって重要である。
- 7) 船舶輸送について公表されているコスト推計は、10~44 ドル/t-CO₂という大まかなコスト範囲を示している。コストに影響を及ぼす主なパラメータは、輸送距離、輸送量、物流チェーン、船舶のタイプである。
- 8) 船舶輸送は、通常、低圧(8 bar (0.8 MPa))および中圧(15 bar (1.5 MPa))を検討する。既存の調査は、低圧船舶輸送の方が、すべての規模および距離において、より高圧な船舶輸送よりも低コストであることを浮き彫りにしている。
- 9) 一般的に、大量のCO₂を短距離輸送する場合は、パイプラインの方が船舶よりも低コストであるが、長距離の場合は、船舶の方が低コストである。

- 10) 貯留について公表されているコスト推計は、1~22ドル/t-CO₂という大まかなコスト範囲を示している。貯留コストに影響を及ぼす主要因は、貯留層の場所および種類、入手可能な既存の情報および再利用可能なインフラ、ならびに貯留層の容量および特性である。
- 11) 公表されている実際のプロジェクトのコスト情報は少なく、入手が困難である。実際のプロジェクトにおける回収・輸送・貯留のコスト範囲は、65~297ドル/t-CO₂である。

7.7 まとめ

- 1) 世界的な気候変動への対応が野心から行動へと進む中で、CCS技術に対する投資の大幅な増加と事業の世界的拡大は、この1年の多くの国や地域におけるCCSをめぐる政策および法規制環境における進展によって主に後押しされたと考えられる。
- 2) 早期に行動を起こした多くの国々が政策および法規整備の措置に重点を置くようになってきている一方、CCS技術の普及の支援および促進に対する政策対応策定の初期段階にある国も複数存在する。
- 3) 15箇国と一つの地域(欧州、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、イタリア、インドネシア、メキシコ、オランダ、ノルウェー、サウジアラビア、アラブ首長国連邦、英国、米国)における温室効果ガス(GHG)排出目標、これらの目標に向けた主な政策的推進体制、石炭火力発電に対する現行の政策をレビューした中で、重要な政策展開があった国は、米国、英国、カナダ、およびフランス、ドイツ、イタリアを含むEU諸国である。
- 4) 英国、米国、カナダ、EU、日本、インドネシアといった様々な国の政府がいかにこのようなメカニズムを採用したか、またこれらの国や地域におけるCCSプロジェクトの普及にインセンティブを与えるためのそれらの役割についてレビューをした結果、CCSプロジェクトのイノベーションと資本分散の促進の多くは、税控除、助成金、融資、輸出信用機関、債券、排出量取引制度への参加等、政府が採用する政策メカニズムにより促進されたことが確認された。
- 5) オーストラリア、カナダ、EU、ノルウェー、英国、米国については、各国における気候変動政策とCCSの政策および法規制環境について分析し、CCSに関する法律および政策環境についてこれら6箇国の主な特色や類似点を比較した。
- 6) 米国、カナダ、オーストラリアにおける国および州レベルのCCS固有の法規制

枠組についてレビューを行った結果、これらの法域で特筆する点として、米国カリフォルニア州、インディアナ州、ルイジアナ州、ネブラスカ州、テキサス州で CCS 固有法が発効したことが含まれることである。オーストラリアでは、南オーストラリア州および西オーストラリア州が、CCS に適用可能な法律を発効させるプロセスにある。

- 7) 近年、CCS に適用可能な国際政策イニシアチブは少ないものの、パリ協定で定められた 6 条メカニズム規則に関する合意は重要な展開であり、CCS にも関連性がある。CO₂ の越境輸送等、CCS プロジェクトモデルの実効性について模索する中、そうした事業の合法性は、利害関係者にとって重要な検討事項である。国際水域にまたがる CO₂ 輸出活動を管理する主要な国際合意であるロンドン議定書の規程に関しては引き続き重要事項として調査する。
- 8) 二国間合意については、低排出技術、脱炭素戦略、クリーン成長、気候変動、グリーン経済確立の模索に関してインド、オーストラリア、シンガポール、日本、カナダ、中国等複数の国が新たな合意を結んでいる。日本政府が CCS の社会実装を進めるうえでも、国際協力の基盤づくりは重要な検討課題であり、引き続き最新動向を確認する。
- 9) CO₂ 貯留に関する概要と長期責任の取り決めの状況については、責任の概念と、CCS に適用可能な法規制枠組の中で対処される責任のタイプについて主にオーストラリア、カナダ、米国における 2022 年までの CCS 固有の法規制枠組で採用されてきた責任に対するさまざまなアプローチについて確認した。
- 10) 2022 年現時点で、CO₂ を船舶輸送している CCS 施設はない。しかし、2022 年 9 月現在、世界で合計 9 件の CCS プロジェクトが船舶輸送をプロジェクトの CO₂ 輸送方法として特定している。主な地域は英国、欧州、サウジアラビア、オーストラリア等である。
- 11) CO₂ バルク輸送の市場はまだ初期段階にあり、CCS プロジェクトの規模や用途によって低圧・中圧・高圧のソリューションが必要となるため、メーカーにより複数のさまざまな液化 CO₂ (LCO₂) 運搬船設計が行われており、今後も最新動向の調査を継続する。
- 12) CCS のコストは、排出源ガスの特性、ガス流の規模、適した貯留地の場所等、いくつかの要因によって幅広く異なる。

以上

【参考文献】

- 1) Global CCS Institute, Japan Country Report 2023 (2022年度 NEDO 苫小牧 CCS 実証試験事業による非公開文献)
- 2) International Energy Agency (2022a) Direct Air Capture: A key technology for net zero.
<https://www.iea.org/events/direct-air-capture-a-key-technology-for-net-zero>
- 3) Hydrogen Council - McKinsey & Company (2021) Hydrogen for Net-Zero - A critical cost-competitive energy vector.
<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/11/Hydrogen-for-Net-Zero.pdf>
- 4) Nordic Energy Research (2022) 'Hydrogen, electrofuels, CCU and CCS in a Nordic context'
<https://pub.norden.org/nordicenergyresearch2022-02/nordicenergyresearch2022-02.pdf>
- 5) "blue" hydrogen (Fossil Free Sweden)
<https://fossilfrittssverige.se/en/start-english/strategies/hydrogen/>
- 6) Cloete, S., Arnaiz del Pozo, C. and Jiménez Álvaro, Á. (2022) 'System-friendly process design: Optimizing blue hydrogen production for future energy systems', Energy, 259.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222018539>
- 7) Sandalow, D. et al. (2022) Low-Carbon Ammonia Roadmap
https://icef.go.jp/wp-content/uploads/2024/02/icef2022_roadmap_Low-Carbon_Ammonia.pdf
- 8) International Energy Agency (IEA) (2020) 'Energy Technology Perspectives 2020 - Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage', Energy Technology Perspectives
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- 9) International Energy Agency (2022) World Energy Outlook 2022.
[https://www.bing.com/search?pplt=169&q=International+Energy+Agency+\(2022\)+World+Energy+Outlook+2022.&cvid=41280c10c82947d0b719c73ead6a9e54&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICAIEQ6QcY_FXSAQc2MTFqMGoxqAIAAsAIA&FORM=ANNAB1&PC=U531](https://www.bing.com/search?pplt=169&q=International+Energy+Agency+(2022)+World+Energy+Outlook+2022.&cvid=41280c10c82947d0b719c73ead6a9e54&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICAIEQ6QcY_FXSAQc2MTFqMGoxqAIAAsAIA&FORM=ANNAB1&PC=U531)

- 10) Stocks, M. et al. (2022) 'Global emissions implications from co-combusting ammonia in coal fired power stations: An analysis of the Japan-Australia supply chain', *Journal of Cleaner Production*, 336.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262104258X>
- 11) Poblete, I.B.S., Araujo, O. de Q.F. and de Medeiros, J.L. (2020) 'Dynamic analysis of sustainable biogas-combined-cycle plant: Time-varying demand and bioenergy with carbon capture and storage', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131.
https://www.bing.com/search?pglt=169&q=Poblete%2C+I.B.S.%2C+Araujo%2C+O.+de+Q.F.+and+de+Medeiros%2C+J.L.+%282020%29+Dynamic+analysis+of+sustainable+biogas-combined-cycle+plant%3A+Time-varying+demand+and+bioenergy+with+carbon+capture+and+storage%27%2C+Renewable+and+Sustainable+Energy+Reviews%2C+131.&cvid=ccd7905e353c4ae7b7b5842422e1073b&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICAEQ6QcY_FXSAQc2NTdqMGoxqAIAsAIA&FORM=ANNAB1&PC=U531
- 12) Fuss, S. and Johnsson, F. (2021) 'The BECCS Implementation Gap—A Swedish Case Study', *Frontiers in Energy Research*, 8.
<https://www.mcc-berlin.net/en/research/publications/publications-detail/article/the-beccs-implementation-gap-a-swedish-case-study.html>
- 13) Lefvert, A. et al. (2022) 'What are the potential paths for carbon capture and storage in Sweden? A multi-level assessment of historical and current developments', *Energy Research and Social Science*, 87.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621005399>
- 14) Hajian, C.S.S. and Sedighi, M. (2022) 'A Critical Survey of Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS)', in *Green Energy and Technology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 255–278.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-90720-4_10
- 15) Altera (2022) Stella Maris CCS.
<https://alterainfra.com/what-we-do/ccs>
- 16) EverLoNG (2022) About the Project.
<https://everlongccus.eu/about-the-project>
- 17) Hakirevic Prevljak, N. (2022c) EverLoNG ship-based carbon capture project wins

EU funding.

<https://www.offshore-energy.biz/everlong-ship-based-carbon-capture-project-wins-eu-funding/>

- 18) Equinor (2022) Fluxys and Equinor launch solution for large-scale decarbonisation in North-Western Europe.
- 19) Storegga (2022) Projects.
<https://www.storegga.earth/projects/>
- 20) ACT Acorn (2018) Project: ACT Acorn Feasibility Study: D18 Expansion Options.
<https://docslib.org/doc/2305972/project-act-acorn-feasibility-study>
- 21) Carbfix (2021) Coda Terminal A scalable onshore CO2 mineral storage hub in Iceland.
<https://www.carbfix.com/codaterminal>.
- 22) HHIH (2021) HHI Group launches “Hydrogen Project” with Saudi Aramco.
<http://www.hyundai-holdings.com/?p=115&idx=491>.
- 23) Transborders Energy (2021b) DEEPC STORE AUSTRALIAN OFFSHORE CARBON DIOXIDE (CO2) CAPTURE AND STORAGE HUB PROJECT.
<https://transbordersenergy.com/deepc-store-news-background/2021/6/15/deepc-store-australian-offshore-carbon-dioxide-co2-capture-and-storage-hub-project>.
- 24) Ovcina Mandra, J. (2021) Carbon Collectors gets green light for its CO2 barge-push tug design.
<https://www.offshore-energy.biz/carbon-collectors-gets-green-light-for-its-co2-berge-push-tug-design/>
- 25) Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS). 2020. DNV GL, Norway.
[https://www.bing.com/search?q=Potential+for+reduced+costs+for+carbon+capture+%2C+transport+and+storage+value+chains+\(CCS\).+2020.+DNV+GL%2C+Norway.&cvid=77cac39759f44fe79c662f0ce8b10d13&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEU YOTIGCAEQRRg8MggIAhDpBxj8VdIBCDEzNjVqMG00qAIAA&FORM=ANAB01&PC=U531](https://www.bing.com/search?q=Potential+for+reduced+costs+for+carbon+capture+%2C+transport+and+storage+value+chains+(CCS).+2020.+DNV+GL%2C+Norway.&cvid=77cac39759f44fe79c662f0ce8b10d13&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEU YOTIGCAEQRRg8MggIAhDpBxj8VdIBCDEzNjVqMG00qAIAA&FORM=ANAB01&PC=U531)
- 26) <https://sequestration.mit.edu/tools/projects/sleipner.html>
- 27) 次のリンク先から得られたデータに基づく推定値。
<https://ieaghg.org/publications/technical-reports/reports-list/9-technical->

reports/949-2019-04-the-shell-quest-carbon-capture-and-storage-project

以上