

〈特集〉

NEDO が取り組む CCUS 技術の研究開発

布川 信

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

(〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310 ミューザ川崎セントラルタワー E-mail: nunokawamkt@nedo.go.jp)

概要

カーボンニュートラル実現のキーテクノロジーとして、二酸化炭素を回収・利用・貯留する CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) が注目されている。それらの技術の概要と新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) で進めている研究開発を紹介する。

キーワード: CO₂排出削減, CCUS, 分離回収, カーボンリサイクル, CCS

原稿受付 2025.2.3

EICA: 29(4) 61-64

1. はじめに

気候変動問題が人類共通の喫緊の課題として認識されている中、我が国は、もはや地球温暖化対策は経済成長の制約ではなく、積極的に地球温暖化対策を行うことで、産業構造や経済社会の変革をもたらす大きな成長につなげるという考えの下、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を目指すことを2020年10月に宣言した¹⁾。

温室効果ガスの排出削減に向けた取り組みとして、その大半を占める二酸化炭素 (CO₂) を回収し、炭素資源 (カーボン) と捉えて再利用 (リサイクル) するカーボンリサイクルや、地中に貯留する CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) の技術適用が挙げられる。2023年7月に閣議決定された「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略 (GX 推進戦略)」には、エネルギー安定供給の確保を大前提とした脱炭素の取り組みとしてこれらの技術を追求し、GX の社会実装を

推進する方針が示されている²⁾。また、国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP) においても、温室効果ガス排出削減を指す「緩和」に関する対策として、二酸化炭素の回収・利用・貯留技術 (CCUS) の加速が、再エネ、原子力、低炭素水素などと併せて盛り込まれている。2024年11月開催の COP29 では、建物及び都市の脱炭素化に資する解決策の実施が、各国の異なる事情に照らした自主的な取組により可能となるものと取り纏められている³⁾。

本稿では、我が国における 2050 年カーボンニュートラル社会の実現に向け、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が進めている、CO₂ 分離回収、カーボンリサイクル、CCS の研究開発の取り組み概要を紹介する。

2. CO₂ 分離回収技術

CO₂ 分離回収は、工場や火力発電所などの排ガスや化学プラントなどのプロセスガスに含まれる CO₂ を

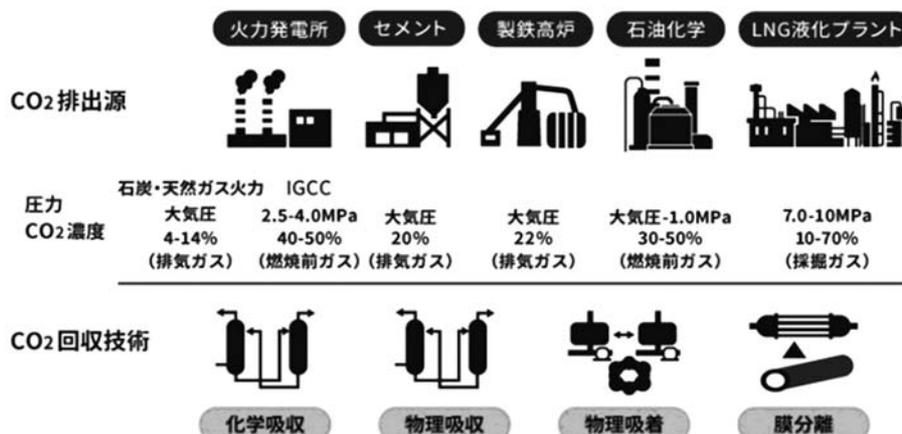


Fig. 1 CO₂ emission sources and CO₂ capture technology

他の成分と分離して選択的に回収する技術である。CO₂排出源から直接的に CO₂を削減することから、特に CO₂排出が避けられない産業（Hard to Abate 産業）分野でのゼロエミッションを達成するためには不可欠な技術である。代表的な分離回収方法としては、「化学吸収法」、「物理吸収法」、「物理吸着法」、「膜分離法」などがあり、それぞれの分離回収特性の違いにより、対象ガスの組成（CO₂濃度、共存成分）、温度、圧力などの物性、分離回収される CO₂の純度や回収率、適用する分離回収設備の規模や運用条件、利用可能なユーティリティ（蒸気など）に応じて、最適な手法が選択される（Fig. 1）。

「化学吸収法」、「物理吸収法」は、どちらも対象ガスを吸収液に接触させることで CO₂を分離する技術で、前者はアミン類との化学反応、後者は有機溶液への溶解反応を利用したものである。これらの手法はさまざまな産業に導入されており、現在は、吸収液の改良、プロセスの最適化などによる低エネルギー、低コスト化に向けた研究開発が進められている。

「物理吸着法」は、固体の吸着材を用いて CO₂を分離する技術で、多孔質で吸着能に優れたゼオライトや、CO₂を化学結合で吸収する固体吸収材が用いられる。吸収した CO₂を脱離する際のエネルギーが吸収液を用いる場合に比べて小さくなることから、分離回収コストの低減が期待される技術である。現在は、アミン類を担持した固体吸収材による燃焼排ガスからの CO₂分離回収として、石炭火力発電所に設置したパイロットスケール設備を用いた実ガス実証試験⁴⁾が行われているほか、CO₂濃度の低い LNG 火力向けの技術開発⁵⁾が進められている。併せて、炭酸塩化により吸脱着機能を有する酸化鉄系材料（ナトリウムフェライト：NaFeO₂）や、CO₂の吸脱着に応じて結晶構造が変化する多孔性配位高分子（PCP: Porous Coordination Polymer, MOF: Metal-Organic Framework）など、新たな吸着材に関する技術開発も行われている⁵⁾。

「膜分離法」は、CO₂を選択的に透過する膜により分離する技術である。膜の供給側と透過側の圧力差（CO₂分圧差）が分離回収の駆動力となり、他の方法に比べて所要エネルギーを小さくすることができると期待される。この技術は、CO₂の選択性と透過速度を両立できる膜材料の開発が鍵となり、高分子膜、炭素膜、中空糸膜などの検討が進められている。膜分離の実用化には用途に応じて大規模化（モジュール化）する必要があり、その耐久性向上も技術要素となるが、小型のシステムでも低コストで分離回収できることから、さまざまな産業分野でのカーボンニュートラルを広く進めるための有望かつ重要な技術と期待される。

この他、低エネルギー、低コスト化に向けた新たな CO₂分離回収方法として、LNG 未利用冷熱の活用や、

電氣的に吸脱着する電解式セルスタックなどの新しい技術開発に取り組むとともに、さまざまな CO₂分離素材の特性を比較検討するため標準評価法の検討も進めている⁵⁾。さらに、CO₂分離回収機能を備えた高効率な発電技術である CO₂回収型クローズド IGCC システムやケミカルルーピング燃焼技術、また大気中の CO₂を直接回収する DAC（Direct Air Capture）技術など、さまざまな産業、幅広い用途に適用可能な CO₂分離回収技術の開発・実証が行われている。

3. カーボンリサイクル技術

分離回収される CO₂を有効利用する道筋を示すため、経済産業省資源エネルギー庁は、内閣府、文部科学省、環境省とともに、2019年9月に「カーボンリサイクル技術ロードマップ」を策定した⁶⁾。2023年6月に改訂された「カーボンリサイクルロードマップ」では、カーボンリサイクルを拡大・普及していく絵姿が示されている。CO₂を資源として活用することで既存製品を置き換えた分だけ CO₂の排出削減につながることから、費用対効果を踏まえつつ、多様な分野での技術の確立、普及を目指していくこととしている。

まずは2030年ごろからの早期の普及実現を目指した短期的なターゲットとして、CO₂分離回収技術の低コスト化を図るとともに、CO₂を利用した化学品、燃料、鉱物・コンクリートの分野を中心に、水素の低コストでの利用を前提とせず、高付加価値で代替が進みやすい製品についての技術開発を重点的に進める。また、2040年ごろを見据えた中長期的なターゲットとしては、水素の低コストでの調達が可能となる状況で、製品の需要が多い汎用品を製造する技術について重点的に取り組むことで、トータルの CO₂利用量を拡大させることを想定している。

カーボンリサイクルロードマップに基づき、CO₂を有効利用し変換するさまざまな技術開発の取り組みが進められている（Fig. 2）。基幹物質として CO₂を合

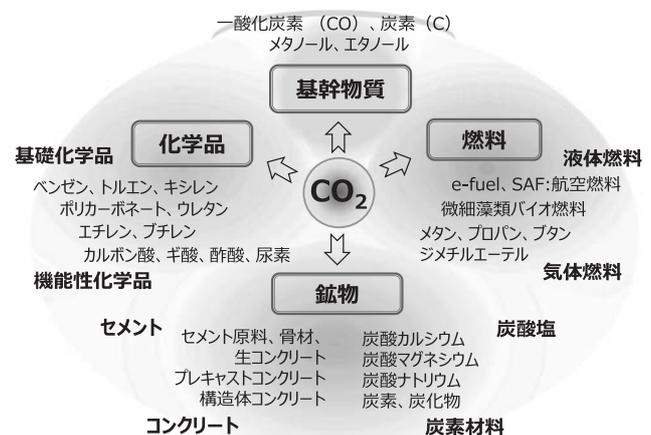


Fig. 2 Technical field of carbon recycling and converted materials

成ガスやメタノール、炭素に変換する技術は、日本が得意とするC1ケミストリーへの適用に繋がると期待される。化学品分野として、オレフィンなどの基礎化学品や、ポリカーボネートなどの機能性化学品に変換することで、既存製品の置き換えによるCO₂排出削減を目指すこととしている。燃料分野としては、触媒反応を利用した合成燃料や、微細藻類によるジェット燃料、電解/触媒反応によるメタンなどの気体燃料を製造することにより、燃料の脱炭素化を図ることを狙いとしている。また、鉱物分野としては、炭酸塩化によりCO₂吸収させ、それをセメント原料やコンクリート製品・構造物への適用することにより、比較的長期にCO₂を固定化させることができる分野となる。これらの技術の一部については、広島県・大崎上島のカーボンリサイクル実証研究拠点にて要素技術開発や実証研究を集中的・横断的に実施することで、カーボンリサイクルのイノベーション・実用化を加速化させている⁷⁾。

4. CCS 技術

分離回収したCO₂を地中に貯留するCCSは、直接的に大量のCO₂を固定化できる技術であり、カーボンニュートラル実現への有力な方策として、世界各国で導入拡大に向けた検討が活性化している。日本でも、CCSに係る技術の確立やコストの低減、ビジネスモデルの構築、適地調査や事業化に向けた環境整備などの取り組みが行われている。

2023年3月に取りまとめられたCCS長期ロードマップに基づき、2030年までのCCS事業開始に向けた「先進的CCS事業」が進められるとともに、前述のGX推進戦略に示されたCCS事業を開始するための事業環境の整備として、2024年5月に「二酸化炭素の貯留事業に関する法律」が成立・公布されている⁸⁾。また、CCSの技術確立やコスト低減については、「CCS大規模実証」、「CO₂輸送に関する輸送実証」、「安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術」に係る研

究開発・実証を行うこととで、国内のCCSの事業化につながる技術面での取り組みが進められている。

「CCS大規模実証」では、実用規模でのCCSを実施することで、早期の技術確立および実用化に向けた技術を実証する。CCSの適地の一つとしてあげられた北海道苫小牧において、CO₂含有ガスからCO₂を分離・回収し、陸域から海底下に掘削した圧入井を用いて、海底下約1,000m以深の地層にCO₂を貯留する実証試験を実施している。2012年度に建設を開始した実証試験設備を用いて、地域社会と連携を取りつつ、2016年度からCO₂を圧入し、2019年11月に目標とした累計圧入量30万tを達成している(Fig. 3)。現在は、さまざまな手法(弾性波探査、微小振動観測、海洋環境調査など)を組み合わせたモニタリングを継続実施して、圧入したCO₂が安全に貯留されていることを検証している。

「CO₂輸送に関する輸送実証」では、CO₂排出源から回収するCO₂を貯留・利用地点に安全かつ低コストで輸送する手段の一つとして、CO₂を液化して船舶で輸送する技術の開発に取り組んでいる。大量輸送に適した液化CO₂の温度・圧力条件での輸送が可能なカーゴタンクシステムを開発し、CO₂の液化、貯蔵、荷役、海上輸送する船舶一貫輸送システムに必要な技術検討を進めている。さまざまな温度・圧力条件の液化CO₂を積載できるタンクシステムを搭載した実証試験船「えくすくうる」(Fig. 4)により、陸上設備(舞鶴および苫小牧)と連携した長距離輸送実証試験を実施して、船舶によるCO₂の大量輸送技術を確立させる計画である⁹⁾。

「安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術」は、CO₂貯留の安全な実施に必要な技術開発を進めるもので、具体的には、大規模CO₂圧入貯留に係る安全管理技術(光ファイバーを利用したマルチセンサーモニタリング)、大規模貯留層への有効圧入・利用技術(地質モデルとシミュレーション手法)、CCS普及条件の整備(貯留安全製管理プロトコル)、CO₂圧入に係る基準の整備などを推進している。また、国内外の

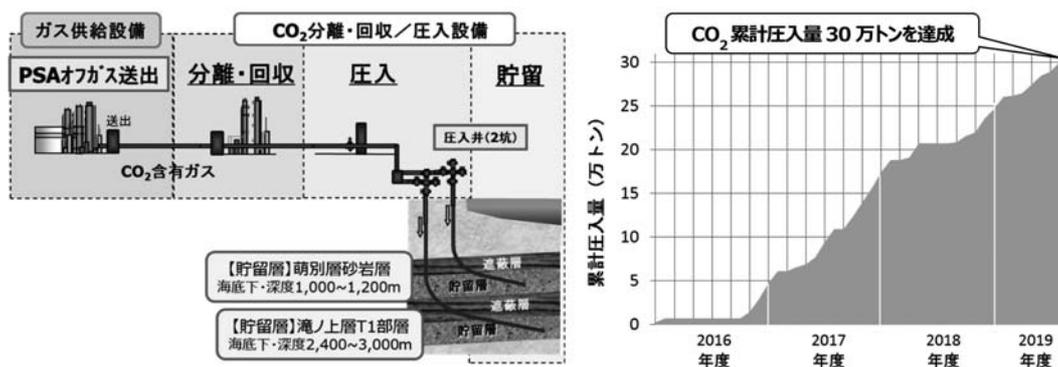


Fig. 3 Tomakomai CCS demonstration project: Equipment overview and CO₂ injection test result



Fig. 4 “EXCOOL”, a demonstration test ship for liquefied CO₂ transport

大規模 CO₂貯留プロジェクトの技術事例や知見を集約し、CCS 実施に係る基本計画から閉鎖後の管理までをカバーする技術事例集を整え、CCS 事業者のための参考マニュアルとして順次公開している¹⁰⁾。

CCS の取り組みが各国で精力的に検討される中で、国際標準化機構 (ISO) に CCS についての専門委員会 (ISO/TC265) が 2011 年に設置されている。CCS の国際標準化によって、CCS プロジェクトが安全面と環境面で国際的に合意される知見に基づいて実施できることから、ISO/TC265 に積極的に参加し、国内関連部門の多くの専門家の協力により国際標準化の審議に関わっている¹¹⁾。

5. おわりに

CCUS の取り組みは、CO₂排出削減を目指す産業分野に直接適用するだけでなく、化成品や燃料への変換による新たな原材料の確保にもつながるものである。国際的に大きく取り上げられている地球温暖化と温室効果ガス排出削減への対応を「課題」と捉えるのではなく、新たな将来の「技術革新」を図るための契機と考え、幅広い技術・社会視野に基づいたイノベーションを創出し、カーボンニュートラル実現に向けた実効的な取り組みを推進していくことが求められる。

参考文献

- 1) 首相官邸；第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 2020. 10. 26
https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026s-hoshinhyomei.html (アクセス日 2025. 1. 15)
- 2) 経済産業省；脱炭素成長型経済構造移行推進戦略 (GX 推進戦略), 2023. 7. 28 閣議決定
<https://www.meti.go.jp/press/2023/07/20230728002/20230728002.html> (アクセス日 2025. 1. 15)
- 3) 外務省；国連気候変動枠組条約第 29 回締約国会議 (結果), 2025. 1. 10
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/pagew_000001_01129.html (アクセス日 2025. 1. 15)
- 4) 川崎重工業株式会社；国内初 石炭火力発電所の燃焼排ガスから固体吸収材を用いて二酸化炭素を分離・回収する省エネルギー型試験設備の運転を開始
https://www.khi.co.jp/pressrelease/news_231003-2.pdf (アクセス日 2025. 1. 15)
- 5) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構；グリーンイノベーション基金事業
<https://green-innovation.nedo.go.jp/> (アクセス日 2025. 1. 15)
- 6) 経済産業省；カーボンリサイクルについて
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon_recycling/ (アクセス日 2025. 1. 15)
- 7) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構；カーボンリサイクル実証研究拠点
<https://osakikamijima-carbon-recycling.nedo.go.jp/> (アクセス日 2025. 1. 15)
- 8) 経済産業省；スペシャルコンテンツ 日本でも事業化へ動き出した「CCS」技術, 2024. 7. 30
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/cs_law_01.html (アクセス日 2025. 1. 15)
- 9) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構；世界初、低温・低圧の液化 CO₂ 大量輸送に向けた実証試験船「えくすくうる」が完成
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101705.html (アクセス日 2025. 1. 15)
- 10) 二酸化炭素地中貯留技術研究組合；事業内容
<https://www.co2choryu-kumiai.or.jp/> (アクセス日 2025. 1. 15)
- 11) 公益財団法人地球環境産業技術研究機構；ISO/TC265 とは
https://www.rite.or.jp/iso_tc265/ (アクセス日 2025. 1. 15)