

地球温暖化対策としての CCS（二酸化炭素の回収・貯留）

三戸 彩絵子*

1. 大規模 CO₂ 削減技術：CCS

近年、猛暑や豪雨、極端な乾燥による山火事など、地球温暖化の影響を身近に体感することが増してきた。地球温暖化の原因の一つとして、大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度の増加が考えられている。大気への CO₂ 排出を削減する世界的な試みは、1997 年の京都議定書の採択により本格化し、2015 年のパリ協定で強化されている。パリ協定により 2020 年以降の CO₂ 排出削減目標が世界各国で宣言され、多くの国で 2050 年に CO₂ の排出量を実質ゼロ（ネットゼロ）にするカーボンニュートラルの目標が掲げられた。我が国でも 2020 年 10 月にカーボンニュートラル宣言がなされ、これまで実施してきた省エネルギーやエネルギー転換等の取組みだけでは、削減量が不十分であることが認識され始めた（図 1）¹⁾。

そこで CO₂ 排出原単位での低減方法の一つとして有力視され始めたのが CO₂ の回収貯留（Carbon dioxide Capture and Storage; CCS）である。火力発電所や工場などから排出される CO₂ を大気へ放出せずに回収し、地下などへ恒久的に埋めることにより、ひとつの CCS 事業につき年間数 100 万トン以上の規模で排出削減する技術である（図 2）。

また、すでに大気中にある CO₂ を回収して貯留する除去技術は DACCS（Direct Air Capture and CO₂ storage）と呼ばれ、マイナス排出量（ネガティブエミッション）としてカウントされ、ネットゼロへの貢献度が高い。

特に hard-to-abate 産業と呼ばれる、石油精製工場やセメント工場、製鉄所などは、原料や製品を生産する際の副生産物として CO₂ を発生して

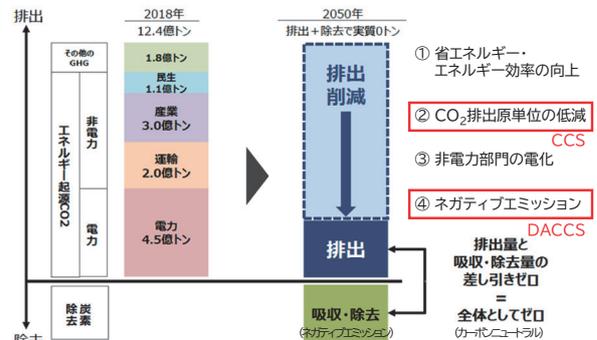


図 1. 我が国のカーボンニュートラルと CCS との関係¹⁾

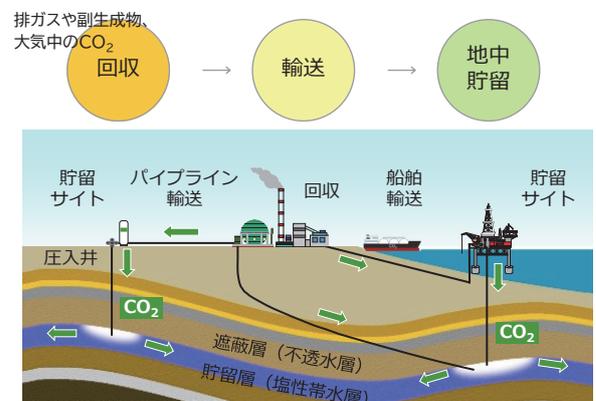


図 2. CCS の概要

しまう。生産量を減らさない限り CO₂ の排出削減が困難なため、CCS によるカーボンニュートラルや、DACCS による追加削減が必要となる。

2. 世界の CO₂ 排出削減と CCS への期待

CO₂ の排出量は 2015 年以降、世界全体ではおよそ 300 億トン強で推移している。国際エネルギー機構 IEA^{2,3)} は、削減対策をしなければ 2030 年に 400 億トンを超すと見込まれる CO₂ 排出を行動変容、電化、効率化、水素利用、バイオマス発電、風力発電のほか、CCUS で減らし、それらの努力を継続することにより、2050 年にはネットゼロとするシナリオを描いている（図 3）。こ

*公益財団法人 地球環境産業技術研究機構（RITE）

社会活動で増えるが、行動変容、電化、効率化、水素利用、バイオマス発電、風力発電ほか、C

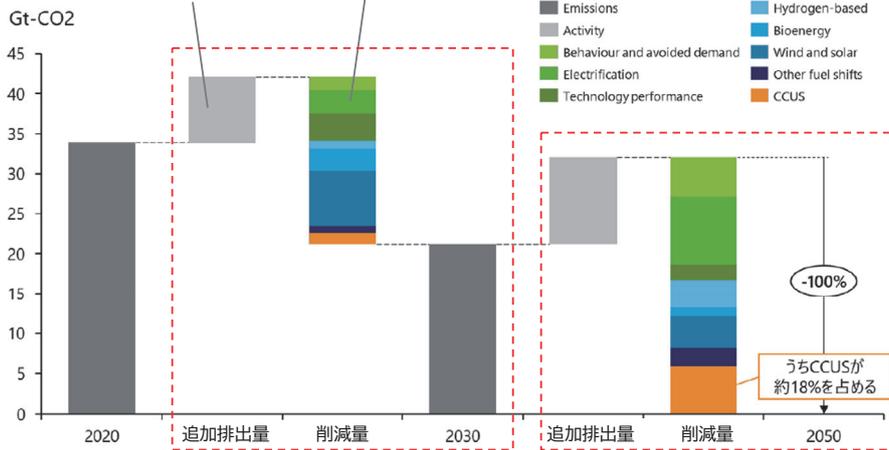


図3. 世界のカーボンニュートラルとCCUSとの関係^{2,3)}

ここで、CCUSとは、CCSにCO₂の有効利用(Utilization)を追加した概念である。その削減量は76億トンと期待されている(図4)。これは我が国の年間CO₂排出量がおよそ10億トンであることを鑑みると野心的な期待と言える。CO₂を回収して有効利用するCCUでは、CO₂はメタンや化学製品の製造に有効活用されるが、それら製品が焼却されれば大気へ戻ってしまうものもある。したがって、実質的に大規模な排出削減を担うのはCCSのみである。

CCSは、1996年、ノルウェーのスレイプナーで天然ガス精製時に発生するCO₂を年間100万トンの規模で北海海底下へ地中貯留する事業を皮切りに始まった。スレイプナーでは現在もCO₂の圧入が継続されており、累計貯留量は2,000万トンを超す。2000年に入り、我が国を含めカナダや米国でCCSの実証が始まったものの、事業数は伸び悩んでいた(図5)⁴⁾。しかし、パリ協定

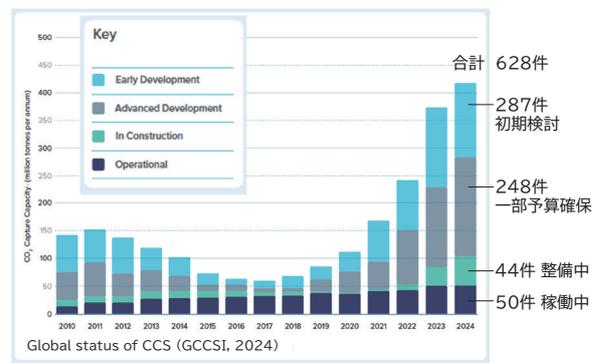


図5. 世界のCCS事業数の推移⁴⁾

が結ばれた2015年以降、事業数は増加した。2024年には50件のCCS事業が稼働しており、あわせて年間5,100万トンのCO₂が回収されている。また、計画中のCCS事業を含めると600件を超し、その回収量は4億トンとなる見込みだ。CO₂排出削減の期限が迫り、世界ではCCSの導入が加速している。

3. 国内のCCSに関する動向

IEAの2050年ネットゼロ計画と同じ割合でCCSによるCO₂排出削減を見込む場合、我が国では2050年に1.2~2.4億トンの削減が目安とされている⁵⁾。二酸化炭素貯留適地調査事業の成果によると1か所で1億トン~50億トンのCO₂を溜められる場所は11か所あり、合計約160億トンの貯留が見込まれる⁶⁾。また、文献調査ベースでは1,460億トン以上の貯留ポテンシャルが国内

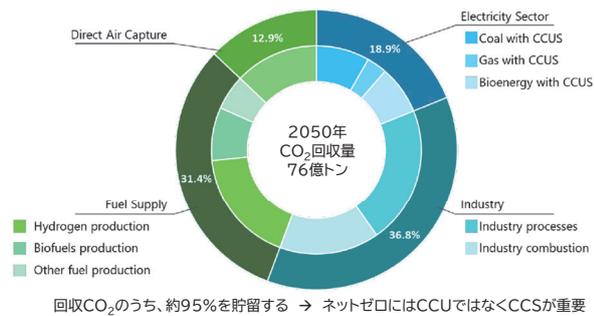


図4. 世界のカーボンニュートラルのためのCO₂回収量と内訳の推定^{2,3)}

回収CO₂のうち、約95%を貯留する → ネットゼロにはCCUではなくCCSが重要

にはある。

国内の地層の特徴は様々であるため、実証試験の実施が重要となる。我が国では2003年から新潟県長岡市で実施された1万トン貯留規模の小規模CO₂圧入実証試験（長岡試験）⁷⁾と2016年から北海道苫小牧市で実施された30万トン貯留規模の大規模CCS実証試験（苫小牧試験）⁸⁾がある。

特に長岡試験は、地下にCO₂を圧入することができるか、地下でどのような挙動をするかの検証に焦点が当てられ研究された。市販のCO₂（液化炭酸）を購入しコールドエバポレータに保存してから、加圧・加温して地下約1,000mの深部塩性帯水層へ圧入した。地下でのCO₂の挙動は圧入井の周りに配置した観測井へ計測器や採水機を降下して調べた。詳細は論文を参照されたいが、研究成果の一例を図6にまとめる。上段右のCO₂圧入レートと圧入井IW-1と観測井OB-4の圧力の関係を見ると、地下の圧力はCO₂を圧入しているときに高まるものの、圧入を停止すれば元の値に戻ることが確認された⁷⁾。中段左には、圧入井IW-1をはさむ観測井OB-2とOB-3の坑井間の断面図を示しており、観測井間で弾性波トモグラフィを実施した結果、貯留層内にCO₂が留まっていることを確認できた⁷⁾。また、中段右図では貯留層内のCO₂が貯留層の砂粒の隙間の水を押しつけてフリーで存在することや一部が溶解していることを観測井の比抵抗値の変化として時系列でとらえている⁹⁾。最終的には下段で示しているように、実際の観測よりも長期のCO₂分布予測を行い、100年後もCO₂は数100m以内に留まっていることや、存在形態がフリーCO₂（業界用語としてガスと記載しているが実際は超臨界）から溶解CO₂、炭酸塩鉱物となり、浮力で動けない形態が増えて安定することなどを数値予測した¹⁰⁾。

このように研究目的であれば観測を潤沢に実施できるが、事業化に向けては観測井からの漏洩リスク削減や観測コスト削減が重要となる。そのためRITEでは、より集約した観測井や計測機器で

のモニタリング手法の開発に取り組んでいる。米国ノースダコタ州でのCCS事業に採用された光ファイバー計測技術はその代表例である¹¹⁾。圧入井に設置した光ファイバーで井戸沿いの温度、圧力、ひずみを計測している。さらに、地表の振源からの振動（音響）も光ファイバーで計測することにより、地下でのCO₂分布を音響の伝わり方の違いで検知する技術の検証も行っている。

CCSは研究技術開発と並行して、国内外での事業化が推進されている。2030年のCCS一貫事業化を目指し2024年に9件の先進的CCS事業が採択された¹²⁾。一事業当たり年間150万トン～500万トン規模で計画されており、国内貯留案件4件で750～840万トン、海外貯留案件5件で1,190～1,290トンのCCS事業の実施を目指している。

先進的CCS事業の進展に先立ち、二酸化炭素

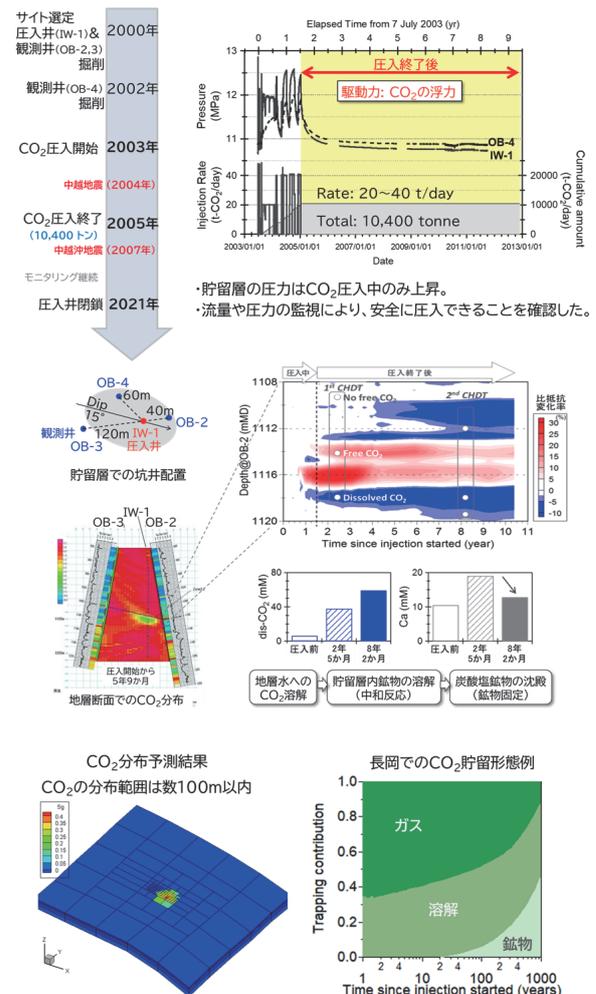


図6. 長岡実証試験成果の一部

の貯留事業に関する法律（令和6年法律第38号、通称「CCS事業法」）が2024年5月17日に国会で可決・成立し、5月24日に公布された。施行は3段階に分かれており、貯留場所を選定するための探査に係る部分が2024年8月5日に、試掘に係る部分が同11月18日に施行された。そして、貯留事業・導管輸送事業に係る部分は2026年5月23日までに施行される。

CCS事業に関する制度が定まり、実証事業環境が整備されつつあるが、いまだにCCSの認知度は高いとは言えず、広く社会に受け入れられるように理解促進活動を展開することが望まれる。

4. CCSの理解促進に向けて

理解促進活動の好機として、2025年4月13日から開催される大阪・関西万国博覧会がある。RITEは万博で実施される未来社会ショーケース事業の「グリーン万博」に協賛し、大気からのCO₂直接回収（Direct Air Capture; DAC）技術を中心に、カーボンニュートラルの実現に必要な不可欠となるネガティブエミッション技術を紹介する運びとなった。将来DAC設備の建設とCO₂貯留が進む様子を木々がCO₂を吸収して森が育つ様子にたとえ、「RITE未来の森」と称している（図7）。100 kgCO₂/日程度の回収能力のあるDAC実証機を設置し、実際の装置見学を行う。



図7. 大阪・関西万博全景とRITE未来の森

また、折り紙を折るように直交集積板（Cross Laminated Timber; CLT）で建造したガイダンス施設では、Googleなしに体感できる立体映像によりDACCSへの理解を深める内容を上映する。「RITE未来の森」ウェブサイト（<https://www.rite.or.jp/expo2025/>）より事前予約し、足をお運びいただければ幸甚である。

参考文献

- 1) 経済産業省(2021)「カーボンニュートラル」って何ですか? https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_neutral_01.html
- 2) IEA (2021) Net Zero by 2050 -A Roadmap for the Global Energy Sector
- 3) デロイト トーマツ ニュースレター (2024) CCUSの概況とエネルギー市場での位置づけ
- 4) GCCSI (2024) Global status of CCS - Collaborating for a Net-Zero Future.
- 5) CCS長期ロードマップ検討会(2023)最終とりまとめ.
- 6) 日本CCS調査株式会社(2023)二酸化炭素貯留適地調査事業の成果について. 第4回CCUSの早期社会実装会議
- 7) 薛自求, 松岡俊文(2008)長岡プロジェクトからみた二酸化炭素地中貯留技術の現状と課題. 地学雑誌 117 (4), 734-752
- 8) 経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本CCS調査株式会社(2020) 苫小牧におけるCCS大規模実証試験30万トン圧入時点報告書(「総括報告書」).
- 9) 三戸彩絵子, 薛自求, 大隅多加志(2008)二酸化炭素地中貯留における地球化学反応特性について—長岡実証試験サイトの地層水分析例—. 地学雑誌 117 (4), 753-767
- 10) Mito, S., Xue, Z. Sato, T. (2013) Effect of formation water composition on predicting CO₂ behavior: A case study at the Nagaoka

post-injection monitoring site. Appl. Geochem. 30, 33-40.

- 11) Nakajima, T., Miyoshi, T., Xue, Z., Correa, J., Freifeld, B., Burns, D., (2024) Predicting Seismic Responses from Surface Orbital Vibrator/Distributed Acoustic Sensing surveys at the Red Trail Energy CO₂ storage project, Richardton, ND, USA.

Proceedings of the 17th Greenhouse Gas Control Technologies Conference (GHGT-17) 20-24 October 2024, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5068445>

- 12) JOGMEC (2024) CCS 事業化に向けた先進的取り組み, https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_10_00191.html