

## CCS（二酸化炭素回収貯留）技術の現状について

村井重夫\*

### 1. はじめに

地球温暖化については IPCC の第 4 次報告書の第 1 作業部会（自然科学的根拠）報告書が 2007 年 2 月に、第 2 作業部会（影響・適応・脆弱性）報告書が 2007 年 4 月に、第 3 作業部会（気候変動の緩和策）報告書が 2007 年 5 月にそれぞれの作業部会において採択され、統合報告書が第 27 回 IPCC 総会において 2007 年 11 月に採択された。第 1 作業部会報告書では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」、「20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い。」とされた。第 2 作業部会報告書では、「全ての大陸とほとんどの海洋において、多くの自然環境が、地域的な気候の変化、特に気温の上昇により、今まさに影響を受けている。」とされた。第 3 作業部会報告書では、「温室効果ガスの排出量は、産業革命以降増加しており、1970 年から 2004 年の間に 70% 増加した。」、「世界の温室効果ガス排出量は今後数十年間増加しつづける。」、「230 年を見通した削減可能量は、世界の排出量の伸び率を相殺し、さらに、現在のレベル以下に出来る可能性がある。」、「エネルギー供給では、再生可能エネルギー、発電所の CO<sub>2</sub> 回収貯留（CCS: CO<sub>2</sub> Capture and Storage）、原子力発電等による削減が期待できる」、「大気中の温室効果ガス濃度を安定化させるためには、どこかの時点で排出量のピークを抑え、その後は

減少する必要がある。」等とされた。CCS 技術は、上記のように第 3 作業部会において温室効果ガス削減技術として認知された。

CCS 技術は第 4 次報告書に先立って 2005 年の IPCC の特別報告書「CO<sub>2</sub> 回収貯留」において、その有効性が紹介されていたが、今回の報告書において、今後の重要な技術として再認識された。本報告では、CCS 技術の概要、とくに CO<sub>2</sub> 地中貯留技術、その実適用へ向けての課題等について紹介する。

### 2. CCS 技術の概要

温室効果ガスの中で温暖化の要因として最も大きく作用しているのは二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）とされている。CO<sub>2</sub> の地球上での挙動を炭素収支で見ると図 1 のようになっている。人類は地中の化石燃料を燃焼させたり、セメントを生産したりして CO<sub>2</sub> を大気へ放出している。

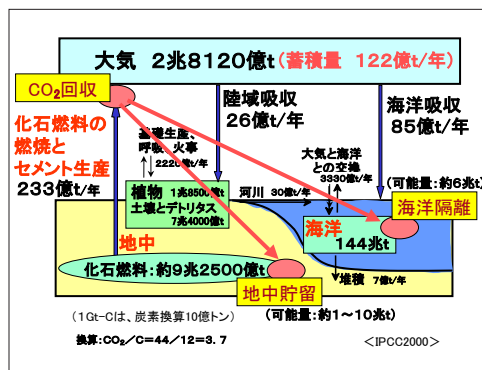


図 1 地球上の炭素収支と CCS 技術

\* 財団法人地球環境産業技術研究機構 CO<sub>2</sub> 貯留研究グループ

第 206 回京都化学者クラブ例会（平成 19 年 8 月 4 日）講演

放出された CO<sub>2</sub> の内、年間26億トンは陸域へ、85億トンは海域へ吸収されるが、残り122億トンが大気に蓄積されて温暖化の原因になっていると理解される。したがって、CO<sub>2</sub> を大気中へ放出する前に排出源から回収して、地中や海洋へ貯留したり隔離したりする技術が提案されている。これが、CO<sub>2</sub> 回収・貯留 (CCS) 技術である。

排ガス中の CO<sub>2</sub> を回収する技術としては、化学吸収法、物理吸収法、吸着分離法、膜分離法、深冷分離法等がある。石炭火力発電所の場合、通常、微粉炭燃焼ボイラの排ガス中 CO<sub>2</sub> を化学吸収法によって回収する方法が取られる。微粉炭燃焼ボイラの空気の代わりに酸素を用いる場合には、排ガスを冷却して水分を除去することによって CO<sub>2</sub> を回収する方法が開発中である。また、石炭ガス化複合発電の場合は、石炭をガス化してその中の CO ガスをシフト反応によって H<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> に転換、H<sub>2</sub> をガスタービンで燃焼する前に物理吸収法または膜分離法によって CO<sub>2</sub> を回収する方法が開発中である。いずれも、技術的には年間100万トン規模の CO<sub>2</sub> 回収が可能であるとされているが、エネルギー効率を落とさず、低コストの技術開発が課題になっている。

一方、CO<sub>2</sub> の貯留・隔離技術としては、地中貯留の方法と海洋隔離の方法がある。地中貯留では、地下深部塩水層（帯水層）へ CO<sub>2</sub> を圧入する方法、油田へ CO<sub>2</sub> を圧入して石油を増進回収 (EOR) する方法、炭層へ CO<sub>2</sub> を圧入してメタンを増進回収する方法、枯渇ガス・油田へ CO<sub>2</sub> を圧入する方法等がある。探索研究としては、蛇紋岩体やジオリアクター（地熱岩体）への CO<sub>2</sub> 貯留法など、化学的反応を利用した方法等も研究されている。帯水層への地中貯留についてはノルウェーのスライプナープロ

ジェクトやアルジェリアのインサラプロジェクトにおいて各々年間100万トンの CO<sub>2</sub> 貯留が、石油増進回収についてはカナダのワイバーンプロジェクトにおいて年間100万トンの CO<sub>2</sub> 貯留が実施中である。これら3カ所において地中貯留された CO<sub>2</sub> 量は既に2,000万トンに達している。ただし、前者は採掘している天然ガス中の CO<sub>2</sub> を、後者は石炭ガス化炉の CO<sub>2</sub> を分離回収しており、温暖化対策として期待されている火力発電所の CO<sub>2</sub> の分離回収は今後の課題になっている。

### 3. CO<sub>2</sub> 地中貯留技術

帯水層への CO<sub>2</sub> 地中貯留技術は、平成12～19年度に CO<sub>2</sub> 地中貯留圧入実証試験が行われ、我が国において実施できることを基礎的に検証した。経済産業省の補助金を受けて(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE) が「二酸化炭素地中貯留技術開発」として実施したものであり、地中貯留の有効性評価、CO<sub>2</sub> 貯留層賦存量調査、想定モデル地点による実適用課題の調査、CO<sub>2</sub> 地中挙動予測手法の高精度化等の基礎的研究、安全性評価や周辺動向の調査等が行われた。

CO<sub>2</sub> 地中貯留圧入実証試験では、圧入井1本と観測井3本が掘られ、CO<sub>2</sub> 約10,400トンを20



写真1 CO<sub>2</sub> 地中貯留圧入実証試験の地上施設

～40トン／日で1.5年間かけて地下約1,100mの帯水層へ圧入した。地上設備を、写真1に示す。今回使用したCO<sub>2</sub>は市販の液体CO<sub>2</sub>であり、これを約34℃、約7MPaにして圧入した。

CO<sub>2</sub>を圧入した地層は、深度約1,100m厚さ約60mの帯水層の内約12mの地層であり、孔隙率約20%、浸透率約7md（ミリダルシー）であった。なお、この地層の上には、厚さ約140mの気体や液体を通さない泥質岩のシール層があるサイトを選択した。

圧入したCO<sub>2</sub>の挙動を把握するため、圧入井から40m、60m、120m離れた観測井において音波検層や比抵抗検層などの測定を行なった。その結果をもとに、本研究開発において開発したCO<sub>2</sub>挙動シミュレータ（GEM-GHG）によって、CO<sub>2</sub>の圧入時の分布や、CO<sub>2</sub>の長期挙動予測等を行なった。その結果、圧入時点ではCO<sub>2</sub>は圧入井の周囲半径約100mの範囲に分布することが分かった。また、1,000年後の分布範囲を試算した結果、これもほぼ同じ範囲であり、圧入井から遠くへ移動しないことが推定できた。これらの結果から、CO<sub>2</sub>はこのサイトでは安定して貯留されることが分かった。

帯水層に貯留されたCO<sub>2</sub>の状態を確認するため、CO<sub>2</sub>が到達している観測井の3カ所の深

さから地層水を採水し、化学分析を行なった。その結果、CO<sub>2</sub>が圧入された地層の直下では重碳酸イオン（HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）とカルシウムイオン（Ca<sup>+2</sup>）の増加が認められた。このことから、CO<sub>2</sub>の地層水への溶解と、帯水層砂岩の成分である炭酸カルシウムの溶解が推定できた。これらのデータを参考にして帯水層におけるCO<sub>2</sub>の状態変化をシミュレータ（ChemTOUGH）によって試算した結果が図2である。ガストラッピング（超臨界状態）、溶解トラッピング（ガス溶解）、イオントラッピング（溶解してイオン解離）、鉱物トラッピング（固体析出）等の割合が変化すると推定できた。この結果では状態変化が地質学的変化と比較して短時間に起こっている点が検討不十分かと思われる。したがって、今後の研究成果を待つ必要はあるが、この図は長期間の変化を推定するイメージを与えてくれる。

#### 4. CCS 実適用へ向けての課題

CCS 技術は天然ガス事業や石油増進回収事業等では商業レベルで利用されているが、前記のように火力発電所や高炉等のCO<sub>2</sub>大規模排出源においてはまだ本格的に活用が始まっていない。CCSのコストを天然ガスではその価格

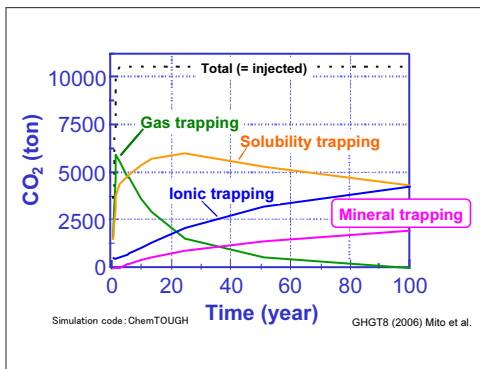


図2 CO<sub>2</sub>貯留状態の変化予測イメージ

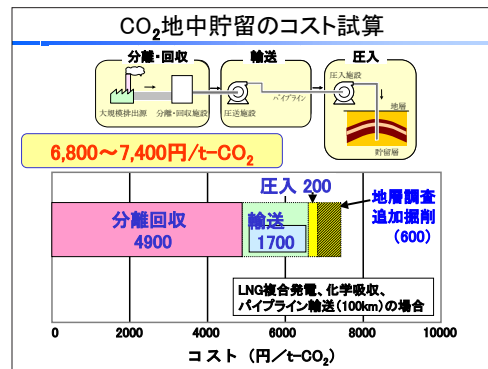


図3 火力発電所のCCSコスト試算例

に吸収できるし、石油増進回収では石油の増産によってコストを回収できる。しかし、火力発電所や高炉等ではコストがCO<sub>2</sub> 1トン当たり約7,000円から1万数千円と高く、電気料金や製品価格への転嫁が難しい。図3に示すようにCO<sub>2</sub>の分離回収コストが大きな割合を占めている。したがって、現在、CO<sub>2</sub>分離回収技術の低コスト化が重要な技術開発課題になっている。

第2の課題としては、CO<sub>2</sub>を地中貯留するサイトの問題がある。全国貯留層賦存量調査が既存のデータをもとに行なわれた結果、ボーリングデータや地震探査データがあって、地層の構造がドーム状になっている帯水層のCO<sub>2</sub>貯留可能量は約52億トンと推定されている。また、ボーリングデータが無く、ドーム状構造にこだわらない帯水層も含めると、約1,461億トンと推定されている。これらの貯留可能量は日本の年間CO<sub>2</sub>排出量約13億トンの一部分を地中貯留する場合には当面十分な量である。しかし、対象になっているサイトはCO<sub>2</sub>の大規模排出源からかなり離れた場所にあり、輸送コストの上昇が課題になる。

第3の課題としては、CCSを実施するに当たって必要な法的環境整備の問題がある。平成19年、海洋汚染防止法が改正になって、海底下CO<sub>2</sub>地中貯留が環境大臣の認可を得て実施できることになった。ロンドン条約でも同様の合意が得られており、CCSは国際的にも法的に承認されたことになる。しかし、実際にCCSを事業を開始する場合には、地中へ貯留したCO<sub>2</sub>に対して事業者が圧入終了後も長期に責任を持たなければならないと負担が大きくなる。そのため、国による担保が必要になるのではないかという議論がある。

その他、CCSに対する信頼性や社会的受容性の確保、CCS事業に対する経済的インセン

ティブの付与、本格的なモデルプロジェクトの実施、全体コストの低減、モニタリング技術の開発等、課題は多い。しかし、国では2015年には本格的にこの技術が使えるようにしたいとして、種々の環境整備を進めようとしている。

## 5. おわりに

本報告では帯水層を利用する地中貯留技術にしばって紹介したが、これまでにRITEでは蛇紋岩体へのCO<sub>2</sub>地中貯留技術の研究では北海道日高町において原位置試験を実施したことがあり、現在はジオリアクターを利用したCO<sub>2</sub>地中貯留技術を秋田県雄勝において原位置試験を行なっている。また、海洋を利用する技術としては、人工湧昇流によるCO<sub>2</sub>固定化技術の有効性評価技術の開発を実施したことがあり、現在はCO<sub>2</sub>海洋隔離技術の開発に必要な環境影響評価技術の開発を行なっている。CCS技術は使わなければそれにこしたことはないが、近年のCO<sub>2</sub>排出量の増加を見ていると、再生可能エネルギーや革新的エネルギーが実用化されるまでの繋ぎの技術として欠かせないのではないかと思われる。

以上

## 参考情報源

- 1) RITEのホームページ：  
<http://www.rite.or.jp>
- 2) IPCC 特別報告書：Carbon dioxide Capture and Storage:  
<http://www.ipcc.ch>
- 3) 「図解CO<sub>2</sub>貯留テクノロジー」2006.12. 発刊（財）地球環境産業技術研究機構編、工業調査会刊