

大規模排出源近傍におけるCO₂地中貯留・圧入の概念図 「CCS2020 経済産業省 2006年5月」を基に作成

CO₂を地中に埋める

——深部帯水層への貯留に向けて——

- どれくらいどこに埋めることができるかを評価する
- CO₂の移動と地下水への影響を評価する
- 地上からCO₂を監視する

● ひとつこと 地球工学研究所 地圏科学領域 主任研究員 田中 姿郎

どれくらいどこに埋めることができるかを評価する

わが国では、世界的に埋蔵量が豊富な石炭を、製鉄、発電等の目的で年約1億9千万トン輸入（07年実績）しており、この内、火力発電用としては約9,000万トンを使用しています。石炭火力発電は、温室効果ガスの一つであるCO₂を多く発生するため、火力発電所の発電効率の改善が図られるとともに、排出されるCO₂を捕捉しこれを地中に埋めるCCS（Carbon dioxide Capture and Storage；二酸化炭素回収貯留）技術の開発が進められています。地中貯留では一般に、油田、ガス田に見られる背斜構造（地層が凸型に褶曲した地質構造）のように、CO₂の浮力による上昇を物理的にトラップ（捕捉）する構造の帯水層を利用すれば、信頼性の高い貯留が可能となります。しかし、わが国のCO₂の大排出源が立地する沿岸部には、このような帯水層の存在は限られています。CO₂の輸送費や貯留容積の潜在量を総合的に検討した結果、明瞭なトラップ構造を示さない帯水層への貯留が現実的な方法として認識され、実現に向けての開発研究が進められています。

■ CO₂ をトラップする考え方

CO₂は31℃以上、7.4MPa以上で超臨界状態となり、液体のような高い密度を持ち、気体のような拡散性を示します。CO₂の地中貯留ではこのような性質を踏まえて、CO₂が超臨界状態となる地下水面下800m以深に広がる帯水層中に貯留する方法が一般的な考え方となっています。

CO₂を地下にトラップするメカニズムには、①背斜構造や断層構造といった地質や地層の構造によるトラップ、②CO₂おおよび地下水相が存在する岩石中の間隙からCO₂が排出される際に、毛管力と濡れ性によりある分量のCO₂が間隙内に捕捉される残留ガストラップ、③地中水への溶解トラップ、④CO₂が炭酸水素イオン化して捕捉されるイオン化トラップ、⑤炭酸塩として沈着する鉱物化トラップ等があります（図1）。わが国では背斜構造・断層構造等、明確なトラップ構造を示す帯水層が殆ど存在しないことが想定されているので、層位トラップ、残留ガストラップ、イオン化トラップへの期待が大きい。

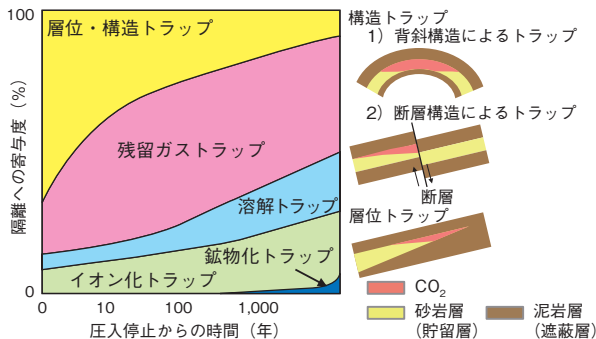


図1 CO₂のトラップメカニズムの模式図

■ 貯留可能量を評価する

地中貯留では、圧入された超臨界状態のCO₂は、岩石中の微小な間隙に貯留されます。そのため貯留可能量は、貯留層中の間隙の体積を基に計算されます。図2には、当所が提案した概略の貯留可能量評価フローを示します。

貯留可能量の評価では、貯留可能範囲（貯留層の分布・形状）の推定、貯留層・遮蔽層の性能（物性）の推定、関連データの修正・整理を行い、貯留可能量算定因子を設定しなければなりません。これらの情報は文献調査、地表地質調査、ボーリング調査、反射法地震探査、重力探査などの結果に基づいて設定され、総合的な地質構造・水理地質構造が評価されます。

排出源近傍での貯留事業を想定する時には、上記の評価に基づく貯留適地であること、経済的にCO₂の輸送が出来ること等を考慮して、候補地を決定する必要があります。

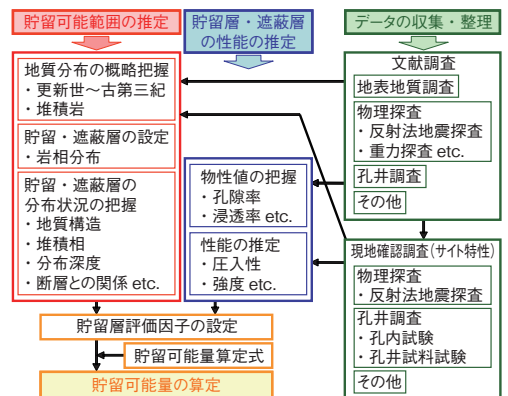


図2 貯留可能量評価法のフロー図

CO₂の移動と地下水への影響を評価する

■ CO₂の地中の移動を評価する

安全、確実にCO₂を地中に貯留するには、貯留層の容量・性状の事前評価、長期にわたる貯留に伴う岩盤・地下水への影響の予測を行うことが必要です。このため、岩盤内にCO₂を注入した時に想定される物理現象を把握し、これを数式に表して数値解析手法を開発しました。

考慮した物理現象は、①多孔質である地盤中の地下水による移動現象と分散現象、②岩盤内において、超臨界CO₂、液体CO₂、気体CO₂は水と混じった状態で存在すること、③温度、圧力に依存してCO₂が水へ溶解すること等です。

開発した解析手法により、長崎県長崎市の池島炭坑を利用した原位置の岩盤におけるCO₂注入実験の結果を評価しました。この結果、CO₂注入時のボーリング孔間の圧力の変化、CO₂の移行時間(図3)を概ね再現することができ、解析手法の妥当性を検証できました。

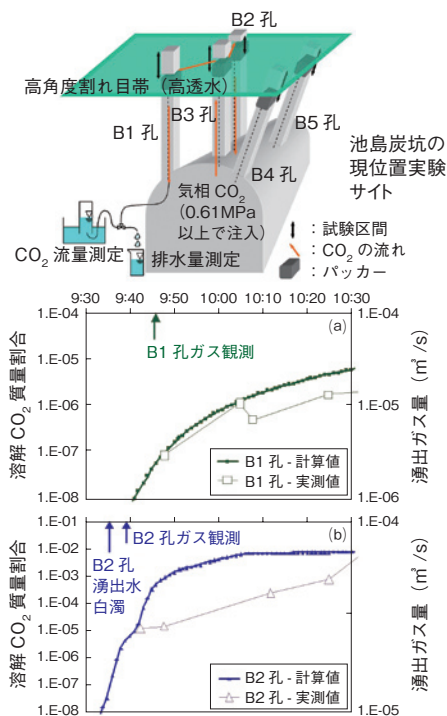


図3 実験と解析の比較 - CO₂移行時間

■ CO₂の化学的影響を評価する

安全性の確保や社会的受容性の観点から、貯留したCO₂が万一漏洩した場合の影響を評価しておくことは重要です。CO₂漏洩の際に環境に影響を与える要因には、①地下水への影響、②排ガスから回収されるCO₂と一緒に貯留層に送られる可能性のあるNO_x、SO_x等の影響の2つがあります。この内、CO₂中のNO_x、SO_x等は、一般的な排ガス処理システムを用いることにより、排ガス中に殆ど残留しないことが試験により既に確認されています。

①について、CO₂が溶解した地下水が岩石と接触する場合に、重金属等の有害物質を溶出・移行させる影響を室内試験により評価しました。この結果、pHを緩衝する能力の大きいけつ岩や石灰岩では、CO₂の溶解による地下水のpH低下が抑えられ、重金属を中心とする微量元素の溶出は抑制されました。一方、pHを緩衝する能力の小さい砂岩では、酸性領域で溶解しやすい金属が多く溶出することが分かりました。

このように、CO₂溶存下において、岩石から重金属などの微量元素の溶出を実験的に評価する手法(図4)を提案しました。

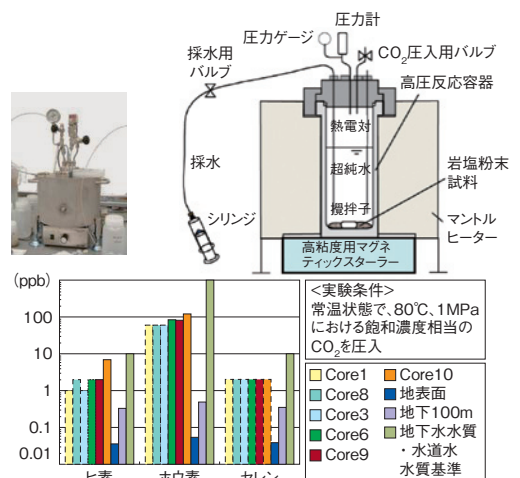


図4 CO₂-水-岩石加速実験装置と事例実験結果

地上から CO₂ を監視する

■モニタリング技術の適用性

地下に CO₂ を圧入している間、想定した帯水層内に CO₂ が貯留されていることを確認すること、貯留した CO₂ の地中における挙動を把握することは、地中貯留システムを維持する上で重要な事項です。このための地上からのモニタリング技術として、測定の手軽さと検知感度の高さを考慮して電気探査法と自然電位探査法を選択し、採取した円柱試験体を用いた室内実験と実際に地下約 1,000 m に CO₂ を溶存する水 5 m³ を注入する現場実験により、適用性を検討しました。

室内実験では、岩石の円柱試験体への CO₂ の注入に伴い比抵抗が増大すること、自然電位は比抵抗の増大とほぼ同時に増加することを確認しました(図5)。また、現場実験からは、30トン/日程度の CO₂ の注入を行えば、有意な自然電位の変化を検知できることを、数値シミュレーションとの組み合わせにより明らかにしました。

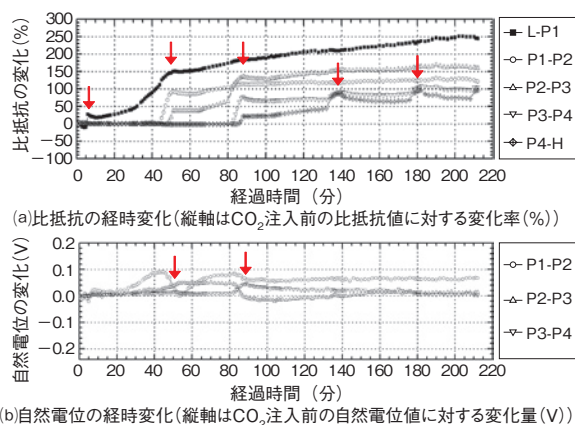


図5 CO₂ 注入に伴う比抵抗・自然電位の経時変化

関連 報告書

- 「大規模排出源近傍における CO₂ 地中貯留可能性評価法—深部帯水層貯留に向けた研究開発—」 電力中央研究所総合報告：N07
- 「CO₂ 地中挙動モニタリングのための物理探査手法の適用性評価」 電力中央研究所研究報告：N06010

■地中貯留の事業化に向けて

構造トラップを示す帯水層への貯留であれば、海外では技術的に実用のレベルに到達しています。しかしわが国のように、排出源近傍に広く分布している構造トラップを示さない帯水層への貯留を想定した場合には、CO₂ が貯留層内を長期的に移行して地表付近へ到達することや、断層、割れ目を經由して貯留層から漏洩することを想定した CO₂ の環境への影響評価、稼働時のモニタリングが、特に重要となります。このため、残留ガストラップ機能の定量評価、様々な岩種、CO₂ 注入量でのモニタリング技術の適用性評価、および地下水や地盤への化学的影響の予測技術の開発などを進めて行かなくてはなりません。

●ひとこと



地球工学研究所
地圏科学領域
主任研究員
田中 姿郎

CO₂ 地中貯留は、CO₂ の大気への排出量削減法の一つとして国内外で注目されており、既に外国では地下への CO₂ の圧入が大規模に行われています。しかし、構造トラップに乏しいわが国の地質条件を考慮すると、事業化に向けてはまだ多くの課題が残されています。そこで私たちは、地中貯留可能性を評価するために、地中貯留の安全性や技術的・社会的信頼性、そして経済性を確保するために必要な技術開発に取り組んでいます。