

CO<sub>2</sub>貯留研究グループのサイトは以下に移動しました。

<http://www.rite.or.jp/co2storage/>

## プログラム研究

[ジオリアクター](#)

[蛇紋岩](#)

[人工湧昇流](#)

[シール層](#)

[深地下](#)

[地中メタン](#)

[炭層固定](#)

[高温岩体](#)

## <プログラム研究開発 平成18～20年度>

### ジオリアクター

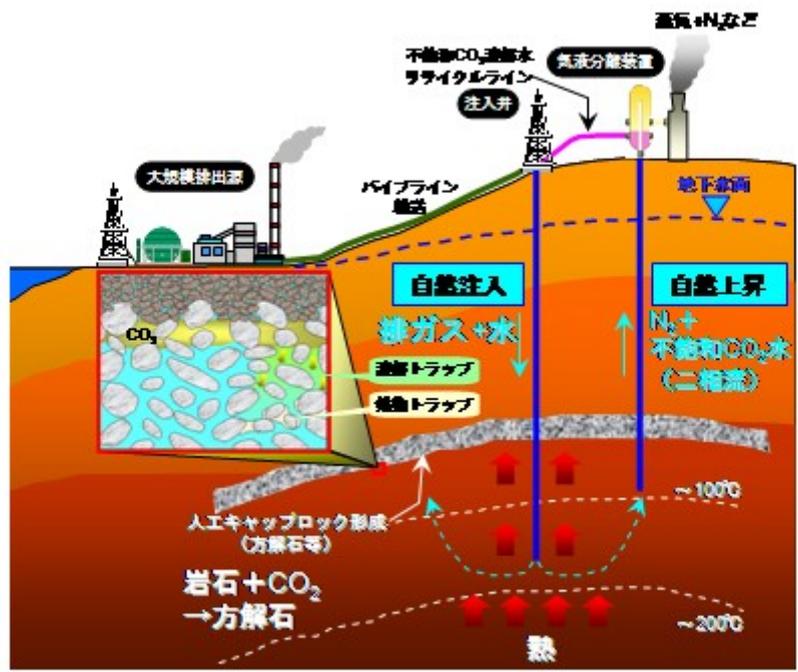
#### ◆ジオリアクターとは◆

CO<sub>2</sub>の隔離方策の一つとして、地下深部の帯水層へ貯留することが世界的に検討されており、我が国でも帝国石油岩野原基地(新潟県長岡市)において研究開発が行われている状況です。この手法は、キャップロックと呼ばれる不透水層の下に存在する帯水層中にCO<sub>2</sub>を注入し、CO<sub>2</sub>をガスまたは地層水中に溶解して長期間隔離するものです。帯水層の温度は40°C前後と低いため、注入されたCO<sub>2</sub>は、周囲の岩石とはほとんど反応せずにそのままの形態で長期に渡り存在し続けるものと予想されます。よって、帯水層への貯留においては、CO<sub>2</sub>の漏洩に対する長期的な安全性評価が重要な課題となるとともに、大規模かつ断層等のない連続的なキャップロックが存在する地域に限られる可能性があります。

一方、我が国は火山国であり、地温勾配が高い地域が多く存在しますが、流体を伴わない地中高温地域では、そのエネルギーは未利用のままです。また、CO<sub>2</sub>と岩石の反応速度は高温ほど速く、炭酸塩鉱物は沈殿しやすくなることが知られています。よって、地中高温地域に工場や火力発電所等の排ガスを注入した場合、岩石中のCa等との反応により炭酸塩が生成し、CO<sub>2</sub>の固定化が促進されるとともに、岩石亀裂中で炭酸塩が沈殿する場合には、セルフシーリング効果により、その下部にCO<sub>2</sub>を安定的に貯留するシステムを形成することが期待できます(下図参照)。

また、排ガスを地中に直接注入し、炭酸塩鉱物として固定化されないCO<sub>2</sub>濃度が低下したガスを回収して放出することにより、帯水層貯留のコストの大部分を占めるCO<sub>2</sub>の分離回収コストを大幅に低減化することが可能となります。また、固定化されない不飽和CO<sub>2</sub>溶解水は自然上昇し、再び地下に戻りリサイクルします。

本研究は、CO<sub>2</sub>の地中貯留技術の一つとして、工場や火力発電所等の排ガスを地下の地熱岩体へ注入し、岩石と反応させることにより炭酸塩等として固定化すると共に、CO<sub>2</sub>を除去したガスは回収して大気に放出するシステムの基盤技術を開発することを目的とします。



ジオリアクターシステム概念図

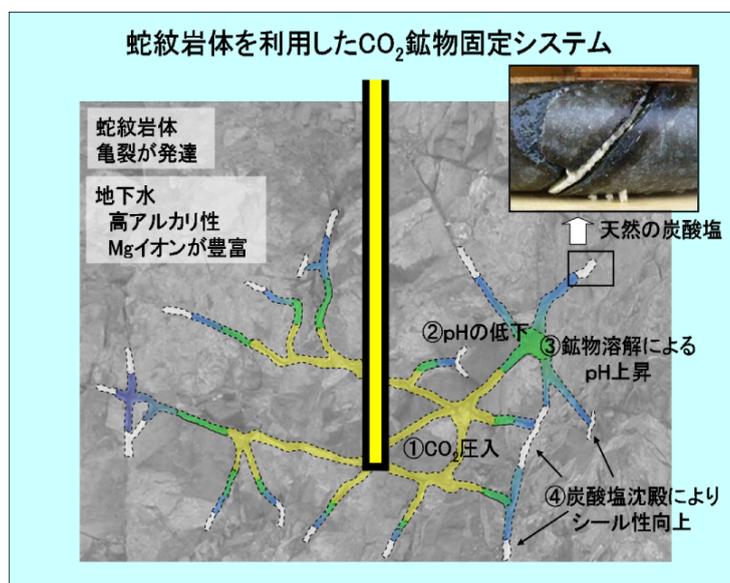
蛇紋岩体の地化学環境を利用した原位置試験による  
CO<sub>2</sub>地中鉱物固定のための基盤技術の開発

目的・概要

蛇紋岩体の地化学環境を利用したCO<sub>2</sub>鉱物固定の実用化を目指し、原位置でのCO<sub>2</sub>の中和・鉱物固定実験を実施した。

実用化のイメージを以下に述べる。蛇紋岩体にCO<sub>2</sub>を圧入することによって局所的に地下水が酸性化されるが、ブルーサイト等の鉱物溶解および高アルカリ地下水の中和反応によって、圧入地点から遠方への移行に伴い地下水はアルカリ性へと回復する。これによって溶解したCO<sub>2</sub>が炭酸塩鉱物として固定される。炭酸塩鉱物が生成するとシール性能が向上し、さらに超臨界状態でのCO<sub>2</sub>が貯留可能となる。

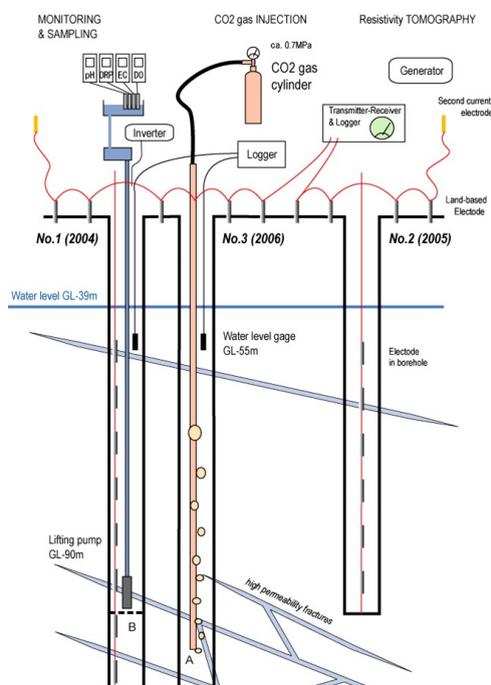
本研究では、このような固定化システムのうちシール層形成に着目し、CO<sub>2</sub>溶解水を蛇紋岩体に圧入する原位置試験を実施した。亀裂構造に影響される開放系での物質移行と濃度変化を原位置試験によって見積もり、CO<sub>2</sub>固定量と反応岩体サイズを評価・予測する技術を開発した。また、CO<sub>2</sub>濃度や流量などの工学的要素のうち、コスト構造に大きな影響を与えるものを抽出した。これらのことから、コスト的に高効率なボーリング坑の本数・深度などを決定する基盤技術の開発を行った。



# 1. 原位置試験によるCO<sub>2</sub>固定量評価技術の開発

蛇紋岩体の物理・化学環境を把握し、固定量と反応岩体サイズを評価するため、原位置試験（下図）にて以下の項目を実施した。

- ・ サイト選定条件の抽出
- ・ 反応素過程と反応場構造の解明
- ・ 反応岩体サイズの推定
- ・ 固定条件と固定量の評価
- ・ 地下における岩石片の反応試験

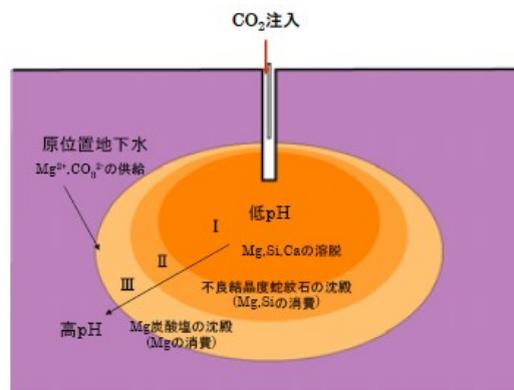


原位置試験の概要

これまでのナチュラルアナログ研究等を考慮して以下のサイト選定条件を抽出し、これに基づいて北海道日高町岩内岳を試験サイトとして選定した。

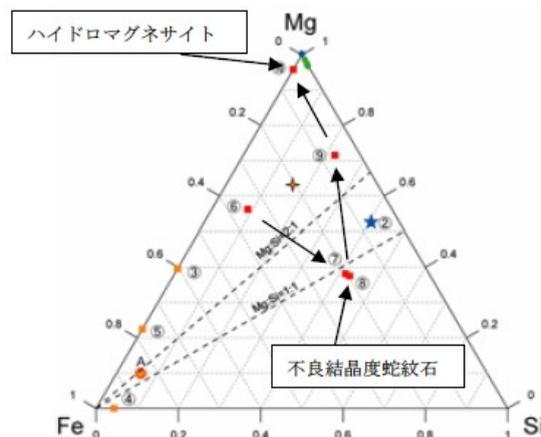
- 1) 蛇紋岩体に見られる地すべりや岩盤の膨潤に対して掘削孔の保持が可能
- 2) CO<sub>2</sub>との反応性を考慮し蛇紋岩化がある程度進行
- 3) Mg炭酸塩が存在
- 4) 高い地下水水位
- 5) 敷地の確保と地元の了解

1号孔にCO<sub>2</sub>（炭酸水、ガス）を注入し、時間をおいて1号孔から揚水して水質分析を行った。孔内水の電気伝導度およびMg濃度の変化を測定した結果、1日程度で蛇紋岩構成鉱物の溶解が進行することが明らかになった。揚水した孔内水試料中の沈殿物は、非晶質水酸化鉄、不良結晶度蛇紋石、ハイδροマグネサイト（Mg<sub>5</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>・4H<sub>2</sub>O）の順に生成し、CO<sub>2</sub>を圧入した場合の反応領域の構造が明らかになった（下図）。



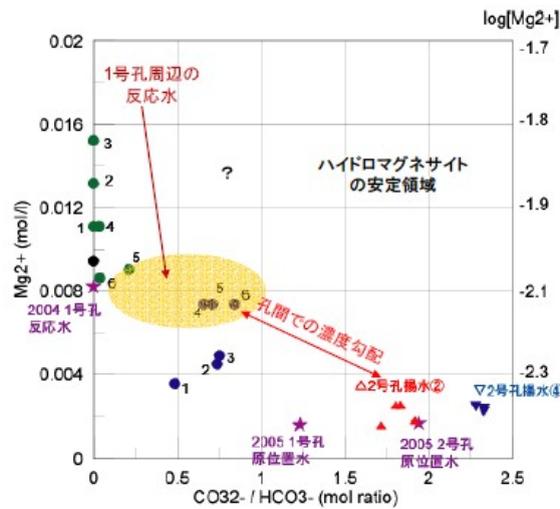
推定された反応領域の構造

母岩中の蛇紋石ではMg/Siが1.5であるのに対して、不良結晶度蛇紋石は約1であった。このことから、蛇紋石が溶解した後不良結晶度蛇紋石が沈殿しても地下水にMgが供給され、CO<sub>2</sub>固定が促進される可能性があることが明らかになった（下図）。



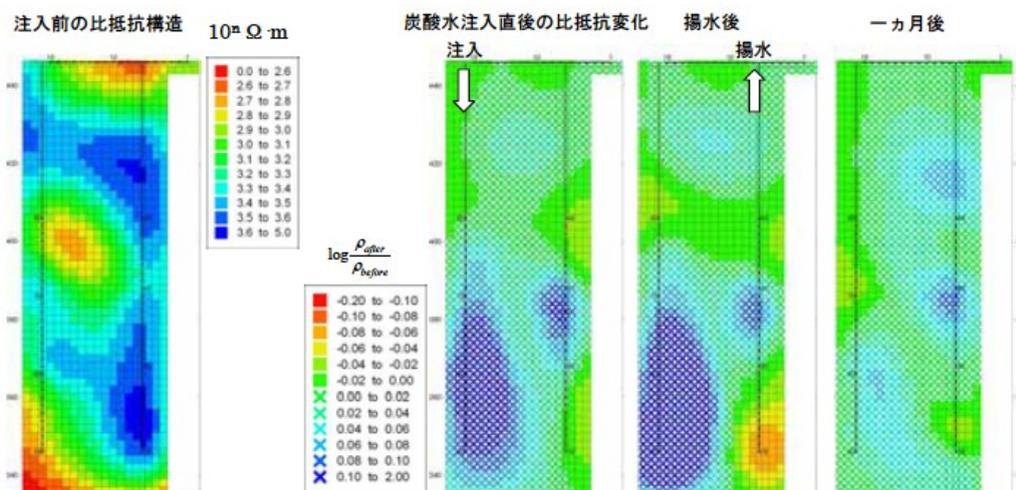
CO<sub>2</sub>ガス圧入後の沈殿物の組成変化

CO<sub>2</sub>（炭酸水）を1号孔から注入し、2号孔から揚水して水質分析を行った。これによって、反応した地下水が2号孔まで到達していることが確認された。2号孔で得られた水質は原位置地下水による希釈効果が大きいが、25mの孔間でハイδροマグネサイトの沈殿領域が存在することが明らかになった（下図）。



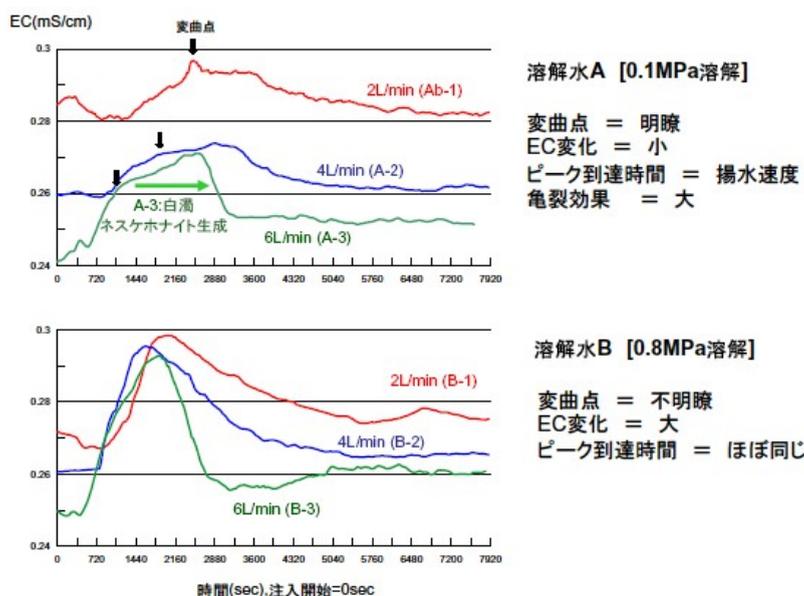
地下水水質変化

ケイ素はほとんど検出されず、25m程度の孔間距離で反応の多くが終了することが示された。比抵抗トモグラフィ結果によれば、CO<sub>2</sub>注入後に1号孔周辺は高比抵抗化した。地下水自体は低比抵抗化していることから固体表面の影響が考えられるが、2号孔まで比抵抗変化が現れており、数時間のオーダーで25m程度の範囲にCO<sub>2</sub>が影響を及ぼし、一ヶ月程度で反応がほぼ終了することが明らかになった（下図）。



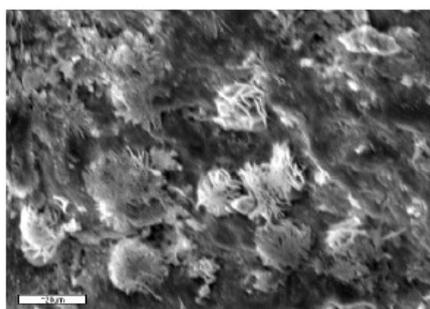
CO<sub>2</sub>注入前後の比抵抗変化

3号孔から炭酸水を注入し、1号孔で揚水して水質分析を行った。圧入する溶解水のCO<sub>2</sub>濃度と揚水する速度を変化させて水質変化を計測した。その結果、CO<sub>2</sub>分圧が高いとMgや全炭酸イオン濃度の鋭敏なピークが観測され、電気伝導度（EC）の変化と対応していることが観察された（下図）。一方、CO<sub>2</sub>分圧が低く揚水速度が速い条件でMg炭酸塩（ネスケホナイト）の沈殿が確認された。このことから、CO<sub>2</sub>分圧が高いとpHが低い状態のまま揚水されることと、揚水速度を上げることで周辺の亀裂からの溶存Mgイオンが供給されることが明らかになった。揚水中の全炭素濃度の変化から、今回の原位置試験における2孔間5mでの希釈率は約16%で、固定率は約5%と見積もられた。



揚水時間と電気伝導度の変化

ボーリングコアを砕いたものを地下のCO<sub>2</sub>注入口および揚水ポンプに設置した。試験終了後に回収すると、注入側では表面に蛇紋石のみが生成していたが、揚水側では炭酸塩（ギオルギオサイト等）が生成しており、地下におけるCO<sub>2</sub>固定の直接の証拠が得られた（下図）。



揚水ポンプに設置した岩石片の表面電子顕微鏡写真

## 2. 岩石-水-CO<sub>2</sub>反応に関する室内実験

岩石とCO<sub>2</sub>の反応過程を解明し、反応速度を測定するため、岩石-水-CO<sub>2</sub>反応に関する室内実験にて以下の項目を実施した。

- ・ 原位置試験で採取したボーリングコアを粉砕した試料を用い、孔内水とCO<sub>2</sub>による反応バッチ実験を実施した。CO<sub>2</sub>溶解地下水よる蛇紋岩の溶出試験と、その溶出液を蛇紋岩に反応させる沈澱試験によって、反応速度を測定した。
- ・ 亀裂を持つ岩石試料に炭酸水を流通させる実験を実施し、天然における反応の不均一性を評価した。

蛇紋岩の溶解反応として、ブルーサイトと不良結晶度蛇紋石が急激に溶解した後、初生蛇紋石及びかんらん石が徐々に溶解するとともに、Mgを1/4程度固溶するシデライト (FeCO<sub>3</sub>)、ヒドロマグネサイト、パイロオーライト (Mg<sub>10</sub>Fe<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>24</sub>・2H<sub>2</sub>O) などの炭酸塩や不良結晶度蛇紋石 (Mg/Si=1/1) 等が沈澱することが推定された。反応物を分析することにより、炭酸塩の沈澱によるCO<sub>2</sub>固定量および固定化速度を見積もった (表1)。この値は原位置試験の温度圧力条件 (25°C、0.7MPa) のものであるが、実貯留環境 (50°C、10MPa) では1~2桁大きな値が得られた。また、蛇紋岩から溶出するMgの溶出速度はほぼ同じであった (表2)。Mg溶出速度が同じであるにも係らず、実験条件によってCO<sub>2</sub>固定化速度が異なるということは、CO<sub>2</sub>固定化速度を律速するのは反応生成物の沈殿速度であると評価された。

表1 流通実験、原位置試験およびバッチ実験でのCO<sub>2</sub>固定化速度

	CO <sub>2</sub> 固定化速度 (mol/cm <sup>2</sup> /sec.)	
	ダナイト質蛇紋岩	ハルツバージャイト質蛇紋岩
流通実験	4.6E-10	5.6E-11
	—	2.4E-10
原位置試験	2.5E-10	—
バッチ実験 (粗粒)	4.9E-12	2.5E-10
バッチ実験 (細粒)	6.3E-12	—

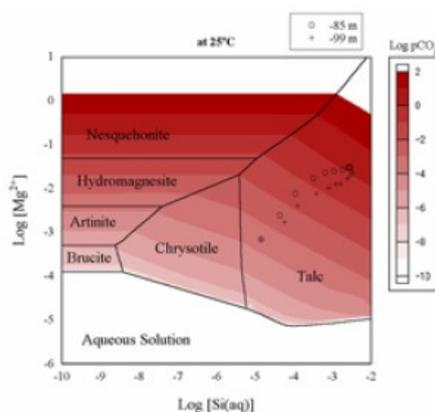
表2 流通実験、原位置試験およびバッチ実験でのMg溶出速度

	Mg溶出速度 (mol/cm <sup>2</sup> /sec.)	
	ダナイト質蛇紋岩	ハルツバージャイト質蛇紋岩
流通実験	4.9E-10	1.6E-10
原位置試験	4.4E-10	—
バッチ実験 (粗粒)	3.4E-10	1.1E-10
バッチ実験 (細粒)	1.5E-10	—

### 3. 反応と物質移行に関するCO<sub>2</sub>地中鉱物固定モデルの開発

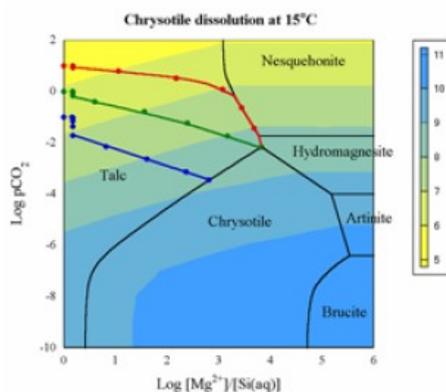
- ・ 熱力学平衡計算を行い、安定な鉱物種を調査した。
- ・ 圧入されたCO<sub>2</sub>の岩体内部での広がりモデル化するため、亀裂モデルに原位置試験や室内実験で得られたデータや知見を導入し、物質移行モデルを構築した。

鉱物反応の熱力学計算によりMg-Si-CO<sub>2</sub>系の相安定図を作成し、溶解・沈殿し得る鉱物種を予測することが可能となった（下図）。



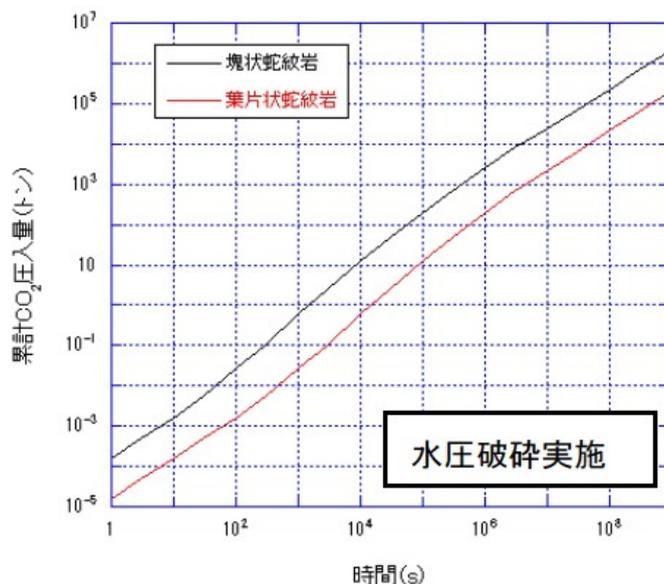
Mg-Si-CO<sub>2</sub>系の相安定図

また、地下水の流動に伴う組成およびpHの変化を予測することが可能となった（下図）。



蛇紋石溶解に伴う地下水組成変化と沈殿鉱物

蛇紋岩体の透水性等から亀裂パラメータを推定し、物質移行モデルに用いた。得られた亀裂特性、昨年度検討した反応モデル、室内試験で得られた沈殿速度の値などを考慮し、ボーリング孔一本あたりのCO<sub>2</sub>固定量を見積もるためのモデルの基礎を確立した。試算の結果、一坑井における一深度あたり、7,000～138,000トン/年のCO<sub>2</sub>の圧入が可能と見積もられた（下図）。葉片状蛇紋岩よりは塊状蛇紋岩に多く圧入可能であり、また水圧破碎による効果も期待できるという結果が得られた。



蛇紋岩体への累計CO<sub>2</sub>圧入量

#### 4. 高効率な固定化システム設計技術の開発

- ・ 国内の蛇紋岩体の分布を調査し、ポテンシャルを試算した。
- ・ 開発したCO<sub>2</sub>地中鉱物固定モデルを用い、国内の蛇紋岩体の圧入可能CO<sub>2</sub>量と圧入コストを計算した。これによってコスト構造を把握した。

全国には超苦鉄質岩（蛇紋岩、かんらん岩）が約150岩体存在する。そのうち、地表面に分布している面積についてある程度の大きさを持つ43岩体を選出した（下図）。これらを用いると、国内で11億1千万～14億7千万トンのCO<sub>2</sub>圧入量が得られた。



## <プログラム研究開発 平成15～17年度>

# 人工湧昇流海域におけるCO<sub>2</sub>吸収量の評価技術の開発

## 背景

海洋深層の海水が表層に湧き上がる湧昇域では、豊富な栄養塩を基にした大型植物プランクトンによる活発な一次生産が起きている。ここでは大気中から海洋表層に溶け込んだCO<sub>2</sub>が、植物プランクトンの光合成により吸収されている。一方、湧昇域以外では有光層中の栄養塩の不足によって、植物プランクトンの生物量が制限されていることが指摘されている。この海域では、何らかの方法で下層の栄養塩を有光層に供給することができれば、活発な一次生産が生じ、CO<sub>2</sub>の吸収が促進されることが期待される。また、適切な方法が確立できれば、CO<sub>2</sub>の長期的な海洋隔離も期待できる。

## 目的

「人工湧昇流海域におけるCO<sub>2</sub>吸収量の評価技術の開発」では、人工湧昇流海域の植物プランクトン増殖効果に着目し、海洋における吸収源拡大策のひとつとしての可能性を検討するために、実海域における観測や室内実験、そして数値モデルを利用したシミュレーション等による人工湧昇流海域のCO<sub>2</sub>吸収量の評価技術開発を実施した。

## 成果

本研究開発の成果として、人工湧昇流海域のCO<sub>2</sub>吸収量評価技術を提案した。

- ①人工湧昇海域のパラメータの測定手法
- ②CO<sub>2</sub>吸収量の算定手法
- ③CO<sub>2</sub>発生量のLCA 評価
- ④人工湧昇海域マッピング技術

これらの技術を用いて生月島沖の人工湧昇海域のCO<sub>2</sub>吸収量を評価したところ、この海域におけるCO<sub>2</sub>吸収の効果が示唆された。

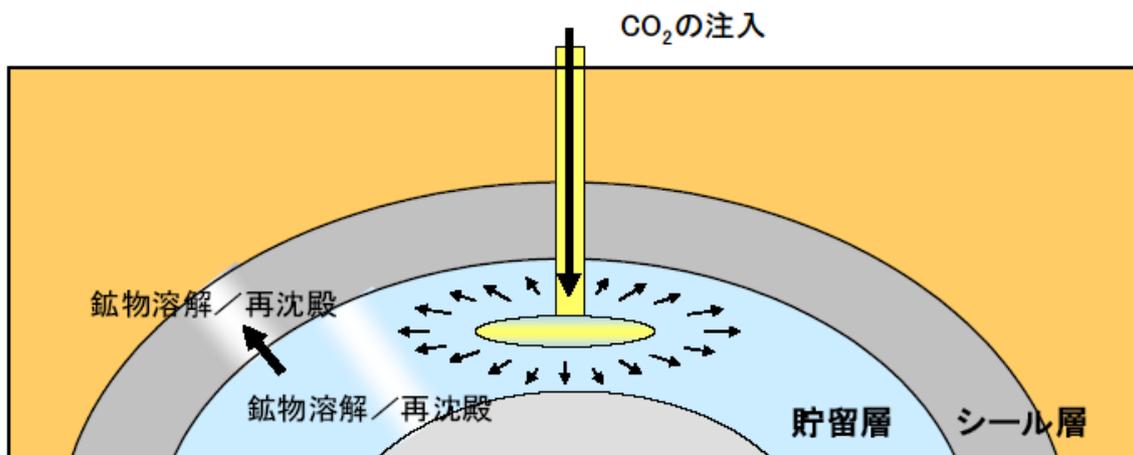
## 課題

人工湧昇技術の実用化のためには、まだ多くの課題が残されている。今後も個々の技術の精度向上を行い総合的に評価技術の向上に努める必要がある。CO<sub>2</sub>吸収機能の促進のためには、最適な構造物の規模や環境を考慮した設置場所を選択できる技術の開発が必要である。またCO<sub>2</sub>吸収機能の促進技術に加えて従来の食糧増産技術との併用を可能にする高いレベルの技術に引き上げる必要がある。

## CO<sub>2</sub>地中貯留におけるシール層の安定性評価技術の開発

### 目的及び背景

CO<sub>2</sub>の帯水層貯留において、CO<sub>2</sub>の隔離性能は、貯留層やその上部を覆うシール層の岩石の物性に大きく依存する。CO<sub>2</sub>の隔離性能をより長期的に評価していくためには、CO<sub>2</sub>と地層（岩石）との化学反応に伴う地層への物理的影響を把握することが必要である。本研究は、シール層及び比較として貯留層の岩石を用い、CO<sub>2</sub>の反応性及び岩石の物性（浸透率、弾性波伝播速度）への影響を調べるとともに、その影響評価技術を開発することを目的とするものである。



CO<sub>2</sub>帯水層貯留とCO<sub>2</sub>-岩石反応による影響

#### (1) CO<sub>2</sub>と岩石の反応性と浸透率への影響調査

岩石のCO<sub>2</sub>の反応を調査するために、岩石試料にCO<sub>2</sub>溶解水を長期間通液させる試験を実施した。反応の影響を明確にするため、岩石試料は貯留層に相当する砂質岩を用いた。その中でも比較的反応性が高い灰長石を含み、かつ浸透性が高い凝灰質砂岩を選定した。岩石試料にCO<sub>2</sub>溶解水（約4.7wt%）を温度80°Cで約2ヶ月間通液しながら透水係数の変化を測定し、通液後の試料の化学的及び物理的变化について観察を行った。その結果、鉱物組成や間隙率等の物性については、有意な差は見られなかった。透水係数は、1ケタ程度低下した。岩石からの主な溶出成分はK、Na、Ca、Mg、Siであり、特にCO<sub>2</sub>溶解水によってNa、Ca、Mgの溶出が促進されることがわかった。

凝灰質砂岩中の灰長石の溶解が確認され、Caの溶出速度から溶解速度は $7.1E-16 \text{ mol/cm}^2/\text{sec}$ 以下と評価された。

#### (2) 弾性波によるシール性能の変化の評価技術の開発

シール層として期待される泥質岩についてシール性能や浸透率への影響を評価するため、高圧でCO<sub>2</sub>を注入しながら弾性波伝播速度を測定する実験システムを製作した。本システムは、弾性波によって流体の移行状況が観察できるとともに、シール性能の指標であるthreshold pressureの測定も可能なものである。

長岡実証試験サイトでの石灰質シルトを用いて、性能試験を行った。その結果、地層水の注入については弾性波によってモニターするとともにthreshold pressureを測定できた。

※本研究は平成17年度より地中貯留プロジェクトへと統合されました。

## <プログラム研究開発 平成14～16年度>

# 深地下・海底環境利用による CO<sub>2</sub>地殻化学固定・ハイドレート固定のための 基盤技術の開発

## 目的

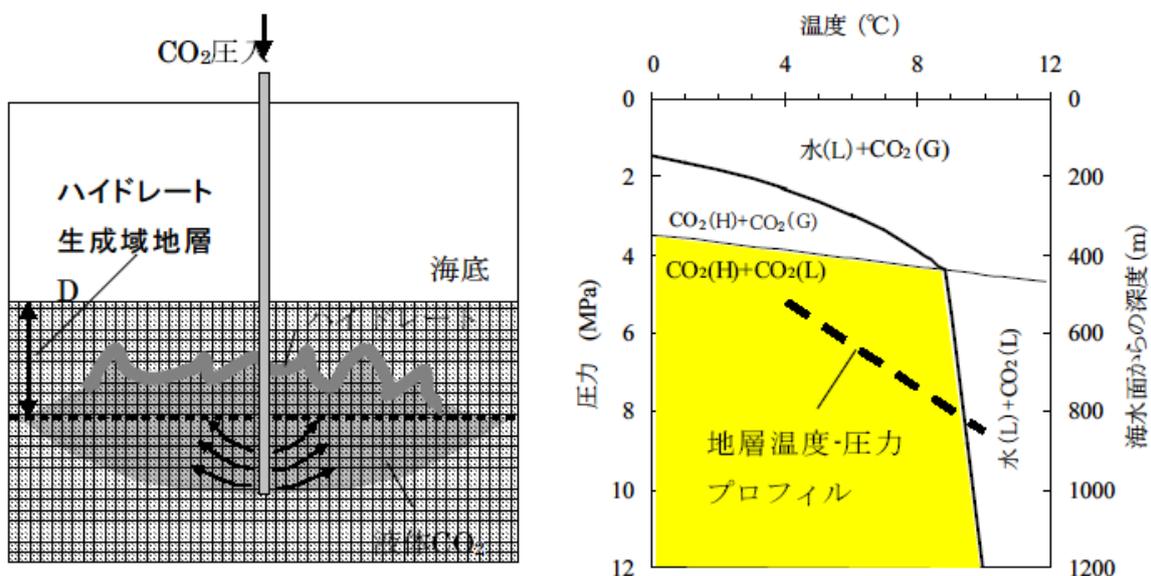
本研究では、天然の環境条件を利用して大量のCO<sub>2</sub>を安定的に隔離するための基盤技術を開発するために、以下の2件の研究を実施した。

### 1. CO<sub>2</sub>ハイドレートによる天盤被覆層形成技術の研究

海底下にCO<sub>2</sub>を貯留する方法は、地表の生態系への影響が小さい方法として有望である。海底環境は高圧かつ低温であり、CO<sub>2</sub>が周辺水と化合してハイドレート状態となって安定に存在し得る環境である。よって、海底面もしくは海底面近傍の軟弱な堆積層にCO<sub>2</sub>を注入しハイドレートを生成させることにより天盤被覆層を形成させ、その下にCO<sub>2</sub>を安定的に貯留するための基盤技術について検討を行う。

### 2. 超苦鉄質岩・苦鉄質岩体を用いたCO<sub>2</sub>固定技術の研究

地下に存在する超苦鉄質岩及び苦鉄質岩体(かんらん岩、蛇紋岩、玄武岩等)は、CO<sub>2</sub>が溶解した地下水と反応して多量の陽イオン(Mg、Fe等)が溶出することが予想される。CO<sub>2</sub>がこれらの陽イオンと反応することにより、炭酸塩鉱物として固定化される可能性がある。本研究では、これらの岩体を用いてCO<sub>2</sub>を固定化するとともに、地層の間隙中に炭酸塩鉱物を沈殿させてシーリング領域を形成する技術的可能性について検証する。



ハイドレートによる天盤被覆層形成技術の概念  
(海底温度=4°C、水深=500m、地熱勾配=0.03°C/mと仮定した場合  
ハイドレート生成域地層の厚さD=171m)

## 成果

### (1-1) CO<sub>2</sub>ハイドレートによる天盤被覆層形成技術の研究

模擬堆積層（間隙形状：幅200 $\mu$ m×深さ20 $\mu$ m）を用いて、CO<sub>2</sub>ハイドレートの誘導時間（CO<sub>2</sub>と水が接触してからハイドレートが生成するまでの時間）と継続流動時間（ハイドレート生成してから注入できなくなるまでの時間）について測定を行った。その結果、誘導時間と継続流動時間の合計（流動停止時間）は、温度5℃以下では約3時間であった。その際の破過圧は0.4MPa以上であり、これは高さ300mの液体CO<sub>2</sub>の浮力に相当する圧力であった。また、貯留層に注入された液体CO<sub>2</sub>が海底面に到達するまでの時間を解析した結果、水深500 mの堆積層（浸透率1darcy）において、深さ171～271mの範囲から1万トン/dayの注入速度でCO<sub>2</sub>の注入を行った場合でも、海底面への到達時間は300時間以上であった。これはCO<sub>2</sub>ハイドレートによる流動停止時間（3時間）と比較すると十分に長い時間であった。以上のことから、海底堆積層中に注入されたCO<sub>2</sub>は海底面に到達するまでの間にハイドレート化し、天盤被覆層が形成できる可能性が充分にあることがわかった。また、形成される天盤のシール層には高いシール性能が期待できるものと判断された。また、国内の海底堆積層でのCO<sub>2</sub>の貯留可能量の総量は約2兆トンと評価された。なお、今後は経済性や安全性についても検討し、より現実的な貯留可能量を評価していくことが必要である。

### (1-2) CO<sub>2</sub>ハイドレート天盤被覆層のガス封入性能と安定性の評価研究

ハイドレート天盤層の温度・圧力を変化させて浸透率を測定することによりCO<sub>2</sub>ハイドレート天盤層の安定性を調査した。これらの実験の結果、液体CO<sub>2</sub>のハイドレート天盤層浸透率は水分量によって大きく影響を受けること、温度・圧力については比較的影響を受けないことが明らかとなった。また、隔離技術開発の底辺をサポートするため、地下帯水層から深海底表層付近までの広い温度・圧力条件においてCO<sub>2</sub>溶解水の熱物性値を調査した。また、純水を溶媒として用いた場合のCO<sub>2</sub>溶解水の密度の測定を行った。

### (2) 超苦鉄質岩・苦鉄質岩体を用いたCO<sub>2</sub>固定技術の研究

蛇紋岩体を中心にナチュラルアナログ研究を行い、CO<sub>2</sub>の固定化プロセスや地化学的環境条件について検討を行った。その結果、蛇紋岩の割れ目、崖錐、段丘、地すべり崩積土の間隙中にCa炭酸塩、含水Mg炭酸塩等が沈殿していることがわかった。炭酸塩鉱物の生成温度は、酸素の同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）より、常温（20℃以下）と推定された。また、生成年代は<sup>14</sup>Cの濃度により推定した結果、現世のものも存在することから、炭酸塩鉱物は常温で比較的早く生成する可能性があることがわかった。Ca炭酸塩と含水Mg炭酸塩が共存する例は乏しかった。この原因として、Mgは低結晶度蛇紋石によって補足されやすいことが考えられる。なお、孔隙率を2%、孔隙への貯留率を1.5%、CO<sub>2</sub>の密度を500kg/m<sup>3</sup>（超臨界状態）と仮定した場合、国内の蛇紋岩体によるCO<sub>2</sub>の貯留可能量は約7億トンと推定された。（本項目は、平成15年度をもって、プログラム研究「蛇紋岩体の地化学環境を利用した原位置試験によるCO<sub>2</sub>地中鉱物固定のための基盤技術の開発」として独立したテーマとなりました。）

## <プログラム研究開発 平成14～15年度>

### 地中メタン生成菌によるCO<sub>2</sub>からのメタン再生のための 基盤技術の開発

#### 目的及び背景

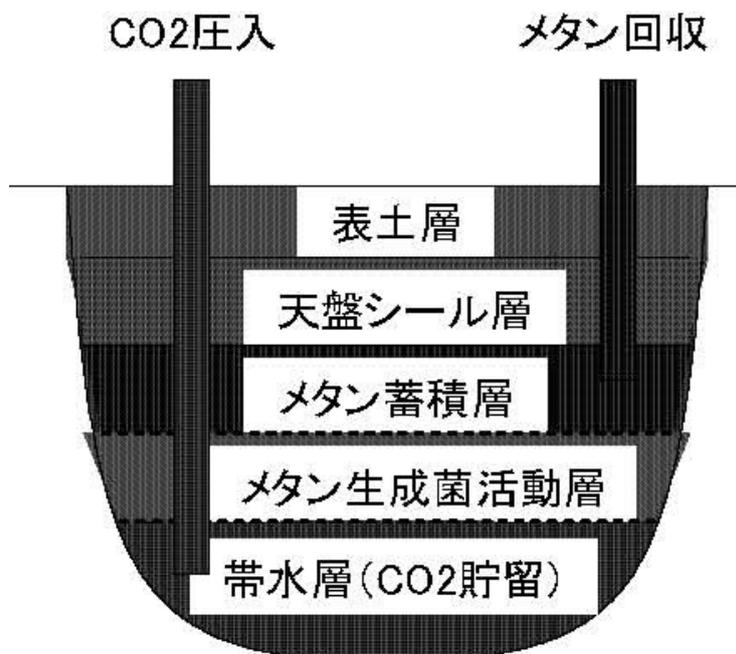
国内に存在する一部の堆積盆(盆地状の地層)において、メタン生成菌等の微生物活動によって生成されたメタン資源が堆積されていることが知られている。メタン生成菌は始原菌の一種であり、太陽光なしでCO<sub>2</sub>と水素源からメタンを合成することによりエネルギーを得ている嫌気性微生物である。近年、1,000m級の地下深部や海底下の玄武岩層でメタン生成菌の活動が確認されている他、相良油田(静岡県)や琵琶湖周辺地域においても微生物起源と考えられるメタンガス等が堆積されていることがわかっている。

本研究は、CO<sub>2</sub>の排出量を削減することを目的として、メタン生成菌等が活動する堆積盆にCO<sub>2</sub>を注入し、メタン資源に変換して回収するために必要な基盤技術について検討するものである。

#### 目標とするシステム概念

CO<sub>2</sub>注入－メタン回収システムの概念を図に示す。

メタンを生成する堆積盆の帯水層中にCO<sub>2</sub>を注入し、メタン生成菌の活動によりメタン等の天然ガスに変換する。天然ガスは、天盤シール層により帯水層上部に集積させて回収する。天然の地質環境条件を利用してCO<sub>2</sub>をメタンガスに変換して回収する技術であることから、立地上の社会的問題は比較的小さく、速やかな実用化が期待できる。



CO<sub>2</sub>注入－メタン回収システム概念図

## 成果

### (1)メタン生成堆積盆の地質学的探索

メタン生成堆積盆の地質構造やメタンの生成起源を調べるため、琵琶湖湖岸地域（滋賀県高島郡新旭町）において掘削調査を実施した。184m までの掘削調査の結果、5層のメタン胚胎層を確認した。地質構造は142m 以浅は比良山系、142m以深は鈴鹿山系の堆積物と推定され、184m付近で断層粘土に到達した。地層の年代は、磁化測定によりいずれも78万年以下であった。また、メタンガスの炭素 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) 及び水素同位体 ( $\delta\text{D}$ ) を分析した結果、メタンは微生物活動によって $\text{CO}_2$ が還元されて生成した可能性があることがわかった。

### (2)地中メタン生成機構の微生物学的解析

地中メタン生成機構の微生物学的解析として、琵琶湖のメタン胚胎層からサンプリングした土壌を対象に、DNA の抽出とDGGE 法を用いた種々の深度における菌相のバンドパターンに基づく比較、さらにバンドの塩基配列解析による培養に依存しない菌相解析を行った。この結果、メタン胚胎層にメタン生成アーキアや、メタンハイドレートを含む深海底泥などの深度地下から見つかっているアーキアが存在することが示された。この結果はメタン胚胎層においてメタン生成菌がメタンを生産していることを支持した。

### (3)地下ガス封入・ $\text{CO}_2$ 圧入—メタン採取システムの検討

$\text{CO}_2$ 圧入-メタン採取システムに必要な要件について検討を行った。その結果、シール層の特性として破過圧が高いこと、及び破過後に水分飽和度が低下しても比透気係数がすぐに大きくならない空隙径分布を有することが重要であることが明らかになった。また、移流の極めて小さい貯留層を選定するとともに、メタン生成菌の微生物学的特性を調査し、移流や拡散によるフラックス以上のメタンの変換速度を確保していくことが必要と考えられた。

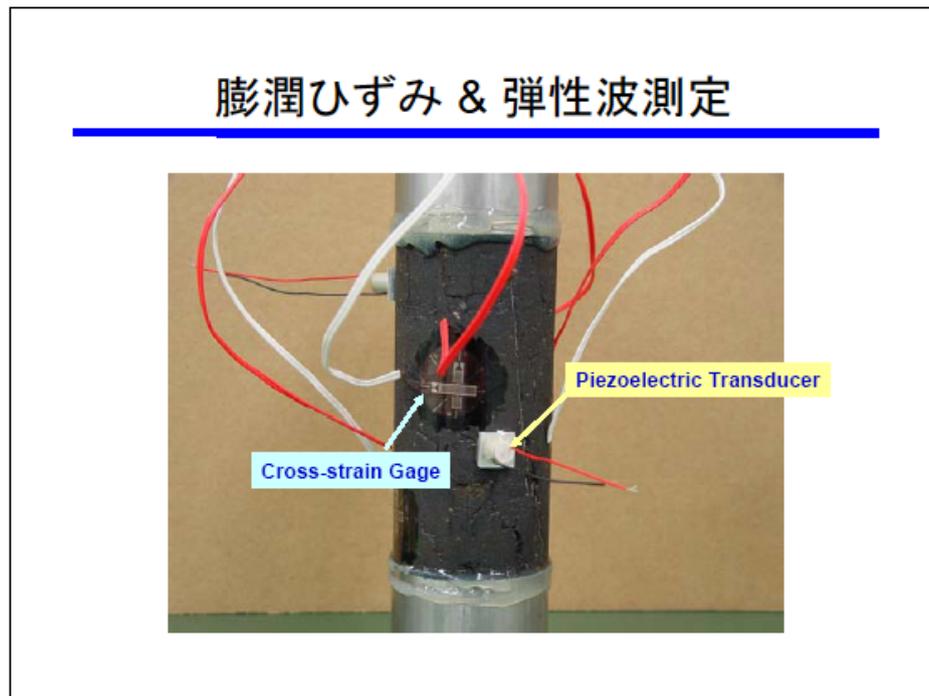
## <株式会社 環境総合テクノス 平成14年度～19年度>

### 炭層固定

#### ◆炭層固定とは◆

CO<sub>2</sub>を地下深部の石炭層に圧入し、石炭に含まれている微小孔隙（micro pore）に吸着させます。元から吸着されているメタンを置換し、メタンを回収して新たにエネルギー利用できることが期待されています。

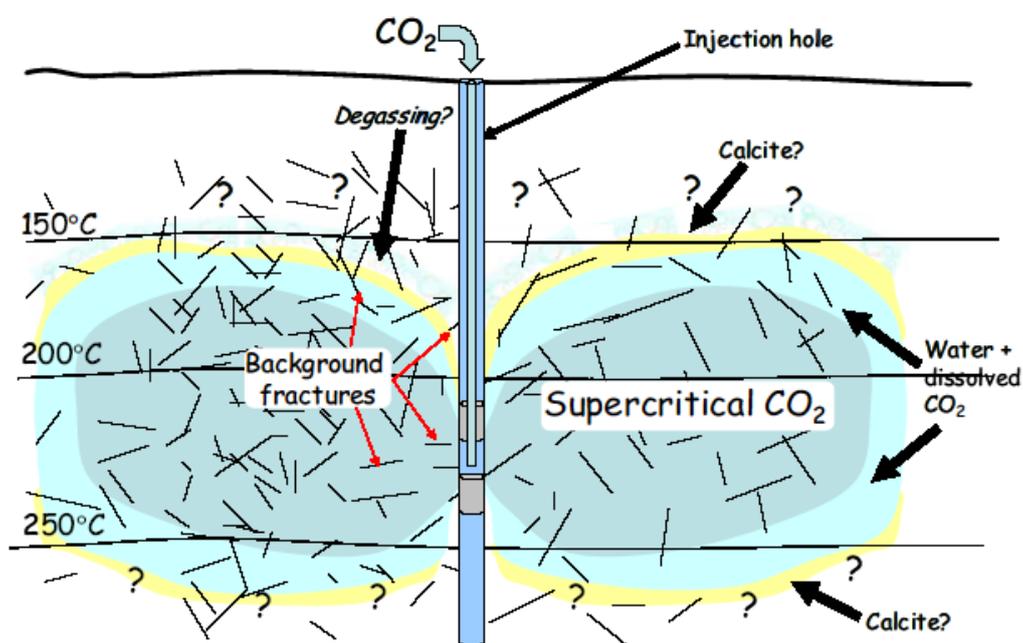
RITEでは、株式会社環境総合テクノスからの依頼を受け、CO<sub>2</sub>注入時の炭層コアの弾性波測定試験を実施しました。



## 地中高温環境利用CO<sub>2</sub>固定化技術に関する先導研究

### 目的

CO<sub>2</sub>と岩石の反応速度は高温ほど速く、炭酸塩鉱物は沈殿しやすくなることが知られている。よって、地中高温地域にCO<sub>2</sub>を地中に圧入した場合、岩石中のCaやMgとの反応により炭酸塩が生成し、CO<sub>2</sub>の固定化が促進される。それとともに、岩石亀裂中で炭酸塩が沈殿する場合には、セルフシーリング効果により、その下部にCO<sub>2</sub>を安定的に貯留するシステムを形成することが期待できる。本研究の目的は、このような地中高温地域にCO<sub>2</sub>を貯留して固定する技術を開発するための室内実験、現場評価実験を行うと共に、可能貯留量評価を行い、技術の可能性及び実用化についての見通しを得ることである。



CO<sub>2</sub>固定概念図

### 研究結果

#### (1) CO<sub>2</sub>固定システムの実用性評価

地中高温環境を利用したCO<sub>2</sub>の貯留技術の実用性を評価するため、貯留可能量評価を行った。

CO<sub>2</sub>の貯留可能量は、90°C以上の熱流体が存在する地中高温から活火山地域、国立公園/国定公園地域を除外するとともに、大規模排出施設から20km以内の地域に限定して評価を行った。その結果、実用性の高い地域は北陸や九州地域に存在し、貯留可能量の総量は約11.8億トンと推定された。

#### (2) CO<sub>2</sub>-岩石反応の室内実験

長石（ラブラドライト）を用いてCO<sub>2</sub>との反応実験を行った。その結果、長石からのCaとSiの溶出を確認したが、浸出液からCO<sub>2</sub>の脱ガス後に生じた沈殿はCa:Siが3:1のカルシウムケイ酸塩であり、炭酸塩は確認されなかった。また、電力中央研究所雄勝高温岩体発電実験場（以下、雄勝実験場）の岩石（花崗閃緑岩）を用いて、流通式実験を行った。地下1000mを模擬するため、圧力は95atm及び112atm、温度は200°Cとした。その結果、硬石膏とともに雲母や緑泥石の溶解が推定された。反応後の岩石表面からは、炭酸塩鉱物は確認できなかった。

### (3) 雄勝現場実験

雄勝実験場の坑井にCO<sub>2</sub>溶解水（4.3wt%）を注入して岩石（花崗岩閃緑岩）と金属試料（炭素鋼とステンレス鋼）を浸漬させ、CO<sub>2</sub>との反応実験を行った。

温度は208°C、浸漬時間は約16.5時間であった。その結果、岩石については硬石膏の溶解が観察され、長石の溶解速度はそれより遅いことが確認された。また、金属については、炭素鋼では腐食が確認されたが、ステンレス鋼については有意な変化は観察されなかった。

### (4) 地熱条件下でのCO<sub>2</sub>-岩石反応のシミュレーション予測

室内での流通式実験について、速度論によるシミュレーション解析を行った。その結果、CO<sub>2</sub>との反応により、長石（灰長石）が溶解し、下流側で方解石やカオリナイトが生成するという可能性が得られた。また、CO<sub>2</sub>の注入地点付近では鉱物の溶解により間隙率は一時的に上昇するが、長期的には炭酸塩や粘土鉱物等の生成によって間隙率は低下し、シール性能が増進する可能性が示唆された。