

再生可能エネルギーとしてのメタンガス：CO₂リサイクルCCSによる持続可能な炭化水素エネルギー資源開発

Methane gas as a renewable energy: Sustainable hydrocarbon energy resources development by carbon recycling CCS

小出 仁^{1*}

KOIDE, Hitoshi^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

メタンガスが再生可能エネルギーであると言うと、不審に思われるであろう。通常、メタンガスは化石燃料の一種であり、有限な資源と考えられている。すなわち地下に存在するメタンガスの多くは石油・石炭や有機物の熱分解によって生成されたと考えられている。地下に埋もれた有機物は生物の残渣であるから、石油・石炭と同じくメタンガスの多くは化石起源であるといえることができる。しかし、地下にメタン生成菌と呼ばれるアーケア（古細菌あるいは始原菌とも呼ばれ、通常の細菌とはまったく異なる原核微生物のグループ）の一種が多量に生息していることが最近明らかになってきている。メタン生成菌の多くの種類は、酢酸などの有機酸等からメタンを生成するため、その生成するメタンも化石起源である。しかし、CO₂と水素からメタンを生成するCO₂還元メタン生成菌と呼ばれる種類は、化石起源ではない深部起源のCO₂からメタンを生成することができる。マントルからメタン等の炭化水素が直接湧出するというトーマス・ゴールドの地下深層ガス説（石油無機起源説の一種）は確認されていないが、マントル起源のCO₂からCO₂還元メタン生成菌により生成されたメタンが、日本のような火山地帯の地下には少なくともごく一部は存在する。有機物に乏しい地下深部の火成岩中や深海底下の玄武岩海洋地殻中では、有機物起源ではないCO₂と水素からCO₂還元メタン生成菌により生成されたメタンが多くを占めるであろう。マントルから湧出してきたCO₂や熱水と岩石の反応によって生成された水素から作られるメタンは、化石エネルギー資源ではなく、再生可能エネルギー資源である。深海底下の玄武岩質海洋地殻中のメタンハイドレートは再生可能エネルギー資源である可能性が高い。

CO₂回収・貯留（CCS）により、CO₂を地下に貯留するとCO₂還元メタン生成菌によりメタンに変換される可能性がある。このCO₂リサイクルCCSが実用化されれば、CO₂の大気への放出を抑制しつつメタンガスを再生可能エネルギーとして利用できるようになり、持続可能な炭化水素エネルギー資源開発が実現できる。

キーワード: CCS, CO₂リサイクル, 再生可能エネルギー, メタン生成菌, 化石エネルギー, メタンハイドレート

Keywords: CCS, carbon recycling, renewable energy, methanogen, fossil energy, methane hydrate

炭素の循環系の分類と地球温暖化ガスの地球的な循環処理

Classification and global circulation treatment of carbon circulation system for greenhouse gas

三浦 保範^{1*}

MIURA, Yasunori^{1*}

¹ 非常勤 (大学)

¹ Visiting (Univs.)

これまでの国内外研究者らによる地球温暖化問題における地球環境の炭素問題の考え方は産業革命以後の地球の化石燃料による炭酸ガス放出に対して、停止目的とした使用削減や炭素固定目標に経済教育そして科学技術を展開していることである。3.11 原発事故の教訓は、人間社会維持のためにすべての英知を人工エネルギーの原発開発に費やしても、使用後は停止や廃棄的な考えで処理をしていて私たちの長い歴史舞台の地球惑星の視野の対策が欠けていたことである。

筆者はそのグローバルな物質循環的な炭素循環を提案し研究している。宇宙起源の太陽光・太陽系天体も含めて自然エネルギーの有効利用だけでなく、活動的な地球の化石燃料起源炭素の循環的回収(再利用を含む)など私たちが完全な使用制御を可能にし、全体での動的で安定的な利用(停止や廃棄的な考えを含まない)ブレークスルーの変革がこれから必要である。

地球での炭素循環には主に次の3種類が考えられる。

- 1) 長周期グローバル地球炭素循環: 長い地質時代の数億年前の石炭などの炭素である(石油も含む)。
- 2) 短期局所生物炭素循環: 短い年単位生物を構成する炭素である。
- 3) 工業化起源炭酸ガス: 地球温暖化の主原因となる工業的な炭酸ガス起源の炭素である。

産業革命約150年前には、主に1)と2)の炭素循環系で、長短周期の炭素系が地球を支配していた。

しかし、産業革命約150前以降は、1)と2)の炭素循環系以外に、3)の短い時間で状態変化をして、複雑に1)2)3)が混在する炭素系となり、地球の温暖化を進行している。

1)の自然系炭素は、石炭起源炭素の形成が、地球での炭酸ガスや酸素をかなり変化させた地質年代で形成されているので、その石炭炭素を人間社会の活動で放出する場合(3炭素系に相当)は、ただ燃焼放出してごみ焼却の様な停止をするのではなく、完全な炭素回収制御による動的な安定状態の実現が不可欠である。

そのための今後は、人工的3)起源炭素の迅速放出してからの状態変化を停止的処理だけでなく、人間社会でかなり制御できる科学技術的工夫などが必要である。

キーワード: 炭素循環系, 動的安定系, 短周期炭素循環, 長周期炭素循環, 産業革命, 地球内外炭素循環

Keywords: carbon circulation system, dynamic stable system, short carbon cycle, long carbon cycle, industrial revolution, T-ET carbon cycles

実験的手法に基づく鉱物トラッピング進行速度の定量的評価 Evaluation of CO₂ Mineral Trapping Rates in Aquifers based on experimental studies

高谷 雄太郎^{1*}, 中村 謙太郎², 加藤 泰浩¹

TAKAYA, Yutaro^{1*}, NAKAMURA, Kentaro², KATO, Yasuhiro¹

¹ 東大・工・システム創成, ² 海洋研究開発機構

¹Sys. Innovation, Univ. of Tokyo, ²PEL, JAMSTEC

In this study, experiments on CO₂-water-rock interaction have been conducted to elucidate the rock dissolution rate and to investigate long-term dissolution and precipitation phenomena in CO₂ reservoirs. The dissolution experiments are conducted by using semi-open experimental system constructed for this study. As the rock samples, in addition to the basalt which is considered as a suitable candidate rock formation for geochemical trapping of CO₂, tuffaceous sandstone (Hayama group: Kanagawa Prefecture) and three green tuff rocks (Tsugawa formation: Niigata Prefecture, Ushikiri formation: Shimane Prefecture, Daijima formation: Akita prefecture) from the Quaternary igneous rocks widely distributed in Japan were used.

From the eight-month-period of experiments, the facts found were that the composition of formation water will converge at the point where the rock dissolution and precipitation of secondary mineral are balanced and CO₂-water-rock interaction proceeds under a certain formation water composition. For this reason, the determination of rock dissolution rate (element release rate) under a certain formation water composition inherent in each rock sample is indispensable in order to predict the long-term progress of the reaction within CO₂ reservoirs.

Si release rate under a certain formation water composition that indicates the dissolution of silicate minerals from each rock sample is 29.8×10^{-2} mmol/kg-rock/day for basalt, 7.77×10^{-2} mmol/kg-rock/day for Tsugawa green tuff, 5.44×10^{-2} mmol/kg-rock/day for Ushikiri green tuff and 33.1×10^{-2} mmol/kg-rock/day for Daijima green tuff at the temperature of 50°C.

The simulations on long-term CO₂ fixation efficiency (mineral trapping) in the CO₂ reservoir by using Ca, Mg and Fe release rates calculated from experiments were conducted. On the assumption that 1: CO₂ injection rate to be 2,000 ton/day 2: injection time period to be 50 years (total amount of injected CO₂ is 36,500,000 t) 3: target aquifer porosity 20% 4: CO₂ density 500 kg/m³ 5: injected CO₂ to groundwater volume ratio 1:2, the time required for mineral fixation of 36,500,000 tons of CO₂ is simulated to be about 180 years for basalt, about 5,100,000 tons of CO₂ fixed as a carbonate mineral in 200 years for Tsugawa green tuff, about 22,000,000 tons of CO₂ fixed in 200 years for Ushikiri green tuff and 3,900,000 tons of CO₂ fixed in 200 years for Daijima green tuff. at the temperature of 50°C.

These results indicate that the mineral trapping rate in CO₂ reservoir is much faster than the results of previous studies and that geochemical trapping (mineral trapping) is an important mechanism not only for long-term (10³ - 10⁴ years) security but also for shorter-term (- 10² years) security of CO₂ aquifer storage and is a significant indicator for the selection of potential storage candidate site.

キーワード: CCS, 二酸化炭素地中貯留, 水 岩石反応, グリーンタフ, 玄武岩

Keywords: CCS, CO₂ geological storage, water-rock interaction, Green-Tuff, Basalt

淡路島地下への空気の注入試験における地震波アクロスを用いたタイムラプス実証試験 (その1) Time-lapse field experiment using seismic ACROSS at the air injection into the shallow ground in Awaji Island-I

笠原 順三^{1*}, 伊藤慎司², 藤原友宏², 鶴我 佳代子³, 羽佐田 葉子⁴, 生田 領野¹, 藤井 直之¹, 山岡 耕春⁵, 西上 欽也⁶, 伊藤 潔⁶

KASAHARA, Junzo^{1*}, Shinji Ito², Tomohiro Fujiwara², TSURUGA, Kayoko³, HASADA, Yoko⁴, IKUTA, Ryoya¹, FUJII, Naoyuki¹, YAMAOKA, Koshun⁵, NISHIGAMI, Kin'ya⁶, ITO, Kiyoshi⁶

¹ 静岡大学理学部, ² NTT データ CCS (株), ³ 東京海洋大学, ⁴ 大和探査 (株), ⁵ 名古屋大学環境科学, ⁶ 京都大学防災研究所

¹ Faculty of Science, Shizuoka University, ² NTTdataCCS Co. Ltd., ³ Tokyo University of Marine Science and Technology, ⁴ Daiwa Exploration and Consulting, Co. Ltd., ⁵ Environmental Sciences, Nagoya University, ⁶ EPRI, Kyoto University

1. はじめに

地中温暖化対策のために地中貯留したCO₂の状態の把握、石油・天然ガス貯留層の挙動、地震発生域での流体の移動、火山溶融体の状態の把握などは地下の4D観測やタイムラプスと呼ばれ、大変重要であるが観測技術はまだ確立していない。

本講演では、長期にわたり極めて安定で連続的な振動を生成できる弾性波アクロス震源を用いた地下のタイムラプス監視技術の開発について報告する。

1 震源と地震計アレーによって地下の変動域をイメージできることをシミュレーションによって示してきたが (Kasahara et al., 2011a, 羽佐田他, 2011)、観測でそれを実証するため、2011年2月20日~3月10日まで淡路島野島断層付近で実証実験を行った。過去のACROSSを用いた時間変化の観測では、異常変化が起きた原因や場所の特定が不十分で、地表の変化と真の地下の変化の区別が明瞭でなかった。そこで、1) 地下100mへ空気を注入し人工的な原因によって生じた時間変化を検証すること、2) 時間変化した場所を特定すること、を目的として検証実験を行った。

2. フィールド実験とデータ処理

2011年2月20/3月10日に淡路島野島断層付近において2台のアクロス震源と、32台の3成分地震計および800mポアホール成分地震計を用いて実験を行った。この期間中の5日間、地下100mに空気を注入した。震源として、鉛直回転軸をもつ名古屋大学保有の従来型のアクロス震源 (ACROSS-V) と、新たに製作した水平回転軸のアクロス震源 (ACROSS-H) の2機を同時に稼働した。ACROSS-Hでは10-50Hzの振動が可能であるが、本実験はその最初の稼働試験も兼ねていたため、10-35Hzを用いた。ACROSS-Hは1時間の間に10-35Hzのスweepを100秒単位で32回繰り返して、400秒間は休止期間とし、1時間毎に交互に正回転、逆回転を繰り返した。

地震計としてLennarz-1Hz、近畿計測 KVS300-2Hz、Sercel-L28-4.5Hz、CDJ-2SC-1Hzを観測に用いた。地震計の記録は24ビットA/Dのデータロガー HK9550を用い200Hzサンプリングおよび、また24ビット相当の近畿計測のデータロガー EDR-3000を用い250Hzサンプリングで収録した。データロガーのサンプリングはGPS時刻基準に合わせた。今回4種類の地震計を用いたが、加震周波数は10Hz以上であるのでタイムラプスの観測には問題が無いだろう。

ACROSS-Hは淡路島の野島断層周辺の約1000m四方の北東にあり、ACROSS-Vは南東に置いた。3成分地震計32地点と京都大学が保有する800mポアホール地震計を観測に用いた。地下100mの大阪層群中に5日間で合計80tonの空気を21気圧で注入した。本報告はACROSS-Hを用いた結果について報告する。

解析では400秒間のデータを32個スタッキングし1時間のデータとした。正回転と逆回転に対する各観測記録の1時間のスタッキング結果を複素周波数領域で合成し上下加震と水平加震に対する応答を求めた (Kasahara et al., 2011b)。上下加震ではP波が、水平加震ではS波が卓越する。観測記録スペクトルに対し理論加震スペクトルを用いてデコンボリューション処理をすることにより震源と観測点での上下、南北、東西成分に対する伝達関数を得た。

3. 結果

32台の地震計のうち1台は動作が不良であったが、それ以外の地震計すべてに注入後大きな波形変化が現れた。

最も大きな変化は#6,7の観測点であり、注入後約1日後にP波、S波の初動走時、後続波走時及びそれらの振幅に大きな変化が現れた。特に、注入前との波形の差分においてすべての観測点でその変化が明瞭であった。

800mポアホール地震計は、注入地点から300m以上も離れ、震源と注入点を結ぶ経路にもないにもかかわらずのデータも差分において変動をしめした。

これらの観測された変動はP, S初動よりもそれぞれの後続波に顕著である。注入地点から200m以上離れた地点でも注入開始直後に変化を示した。変化を示した波群は大阪層群より深い地層と考えられる。

HRE27-04

会場:104

時間:5月20日 14:30-14:45

逆伝搬法より地下の変動のイメージングを行った。その結果、注入開始後8時間は変動の中心は注入地点直下にあるが、時間とともに東側に拡散する様子が見られた。

4. 結論

注入実験からこの方法がタイムラプスの観測に極めて有用であることを実証できた。予算の制約から注入深度は浅かったが、数キロの深さの石油/天然ガス、CO₂貯留層ばかりでなく、地震発生域、火山溶融体の状態の常時監視にも極めて有力であると考えられる。

謝辞

本研究はJCCP事業費によって行えたことに感謝する。

キーワード: CCS, 地球温暖化, タイムラプス, 逆伝搬, CO₂-EOR, 4D

Keywords: CCS, Global Climate Change, Time Lapse, Back propagation, CO₂-EOR, 4D

CO₂ 地中貯留サイトにおける微小振動観測 - 米国 Cranfield 油田の初期観測結果について -

Microseismic monitoring at CO₂ geological storage site - Initial data results observed at Cranfield in the U.S.-

高岸 万紀子^{1*}, 橋本 励¹, 堀川 滋雄², 楠瀬 勤一郎³, 瀧澤 孝一¹, 薛 自求¹
TAKAGISHI, Makiko^{1*}, HASHIMOTO, Tsutomu¹, HORIKAWA, Shigeo², KUSUNOSE, Kinichiro³, Koichi Takizawa¹, XUE, Ziqiu¹

¹ 公益財団法人地球環境産業技術研究機構, ² サンコーコンサルタント株式会社, ³ 独立行政法人産業技術総合研究所
¹RITE, ²Suncoh Consultants Co., Ltd., ³AIST

CO₂ 地中貯留における微小地震の発生可能性が議論されている。CO₂ 圧入によって生じる微小振動は、海外の CO₂ 圧入サイトによる事例を踏まえるとたとえ発生しても極く微小なものと想定されるが、CGS における安全性評価、社会的受容の観点からサイトでのモニタリングが必須である。

RITE では、ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL) およびテキサス地質研究所 (BEG) と連携・協力して、CO₂ 圧入時の微小振動に関する調査研究を進めている。米国の大規模 CO₂ 圧入サイトで微小振動を長期観測し、CO₂ 圧入と微小振動との関連性 (微小振動の有無, 規模, 分布状況) について調査研究を行うとともに、本サイトで得られた知見をもとに、将来、わが国における CCS 実証試験や CCS 実用化時に必要な微小振動観測手法について検討・構築することを目的としている。

微小振動観測サイトはミシシッピ州の Cranfield 油田である。本油田は CO₂-EOR による原油回収が行われており、これまでにおよそ 300 万 t の CO₂ が圧入されている。本サイトに 6 台の 3 成分微小振動計からなる半径約 3km の観測網を構築し、2011 年 12 月から微小振動の観測を行っている。本発表では、Cranfield における微小振動観測の概要を紹介するとともに、取得された初期データの結果について報告する。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 微小地震観測

Keywords: CO₂ geological storage, Microseismic monitoring

CO₂ 地中貯留のシール品質に対する砂岩脈特性の影響検討シミュレーション Numerical Simulation of the Effects of Sandstone channels Properties on the Seal Integrity in Geological Storage of CO₂

加野 友紀^{1*}, 石戸 経士¹

KANO, Yuki^{1*}, ISHIDO, Tsuneo¹

¹産総研 地圏資源環境研究部門

¹Geological Survey of Japan/AIST

CO₂ 地中貯留は地球温暖化を抑制するための早期対策技術として考えられている。CO₂ の貯留層には枯渇油ガス田や不採掘炭層、塩水帯水層等が挙げられ、国内及び国際的に試験・実証プロジェクトが行われている。我が国では背斜構造を持たない帯水層（一般帯水層と称する）において、水溶性天然ガスが長期に渡って貯留されていることが知られており、貯留ポテンシャルの観点からも一般帯水層における CO₂ の地中貯留が検討されてきた。

背斜構造が存在しない場合においても、上部層の高遮蔽性が CO₂ プルームの広がりに対し十分連続性を有する場合、圧入層内に全ての CO₂ を貯留することが可能であると考えられる。しかしマクロに平均化した浸透率が十分低い場合においても、難透水の泥岩に砂岩脈が貫入しているような場合には均質な多孔質層と比べて CO₂ に対する遮蔽性が大きく劣る可能性がある。加野・石戸（2011）はダブルポロシティモデルをシール層に適用したシミュレーションにより、難透水性泥岩中の砂岩脈の存在が流動挙動を大きく変化させることを示した。

本研究では泥岩中砂岩脈の体積分率や脈間距離および浸透率または泥岩との浸透率比等が CO₂ の遮蔽性にどのように影響するかをシミュレーションにより検討する。

シミュレーションで使用した放射流モデルは、水平方向に 20 km、鉛直方向に 2 km の領域を対象とし、上端には温度 15℃、圧力 0.1 MPa の地表条件を設定した。最上部の 300 m には未固結堆積物が分布し、その下に砂泥互層が分布する。泥岩層のマクロ浸透率は多孔質媒質であれば CO₂ を十分遮蔽できる値とし、砂岩脈の存在や物性の感度解析を行った。水の相対浸透率は van Genuchten 型、CO₂ の相対浸透率は Corey 型で表されるものとした。また、毛管圧は van Genuchten 型を選択した。CO₂ は深度 950 m から 1000 m に年間 100 万トンのレートで 50 年間圧入されるものとした。

このモデルを使用して、圧入期間の 50 年間及びその後 2950 年間における CO₂ プルームの広がりや地層水への溶解量等に関するシミュレーションを行った。計算には、汎用貯留層シミュレータ STAR と状態方程式 SQSCO₂ を用いている。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 塩水帯水層, ダブルポロシティモデル, 数値シミュレーション

Keywords: Geological storage of CO₂, saline aquifer, double porosity model, numerical simulation

数種の泥岩における超臨界 CO₂ のスレッシュリョルド圧力測定法に関する検討 Study of measuring method for supercritical CO₂ threshold pressure on several mudstone

木山 保^{1*}, 薛 自求¹
KIYAMA, Tamotsu^{1*}, Ziqui Xue¹

¹ 公益財団法人地球環境産業技術研究機構

¹ Research Institute of Innovative Technology for the Earth

地球温暖化防止策の一つの CO₂ 地中貯留において、超臨界 CO₂ は地層水より密度が低いので、CO₂ が安定的に貯留されるには、貯留層の上部にシール性能を有する遮蔽層が必要である。低浸透率の泥岩層などで構成される遮蔽層は固有のスレッシュリョルド圧力を示し、CO₂ 圧入圧がこれを超えない限り遮蔽層に CO₂ が浸入することはないので、スレッシュリョルド圧力の適正な評価が CO₂ 地中貯留の安全性や経済性に重要である。スレッシュリョルド圧力測定法のうち、段階昇圧法は信頼性が高いが試験時間が長期化しやすい。残差圧力法は局所的なスレッシュリョルド圧力を反映し過小評価の可能性がある。動的流動法は流量変化から間接的にスレッシュリョルド圧力を推定している。本報告では泥岩を対象に試験を実施し、試験時間が短く、差圧変化からスレッシュリョルド圧力を評価する定流量排水法を提案する。

試験に用いた泥岩は国内数か所の露頭で採取し、円柱状に整形した。すべての試験において間隙流体圧は 10MPa、温度は 40℃ とし、CO₂ は超臨界相となる。各試験の準備段階において、定水位法による浸透率測定を実施した。供試体は上下をエンドピースで挟み、側面をシリコン樹脂などで被覆して封圧媒体の浸入を防止した。供試体とエンドピースの間に SUS316 網を挟んだ。一部の試験では供試体の側面にひずみゲージを貼付した。供試体を圧力容器に収納し、容器に巻き付けたヒータで温度を設定し、シリンジポンプで封圧を設定した。CO₂ の注入、水の注入および供試体から排出された流体の制御にそれぞれ個別のシリンジポンプを配置した。これらを 40℃ の恒温室に収め、制御および計測は LabVIEW により室外から行った。

泥岩 A 試験 I は、封圧 20MPa で段階昇圧法で実施した。水の注入から CO₂ の注入に変更して数時間後に排出流量がゼロとなったが、これはデッドボリュームの水がすべて供試体に浸入し CO₂ が供試体端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現したことを示唆する。その後、6 時間ごとに注入側圧力を 0.1MPa ずつ増加し、CO₂ 注入開始から 70 時間近く経過し、差圧が 1.24MPa に達したところで排出が開始した。ここでスレッシュリョルド圧力は 1.24MPa と評価される。

泥岩 A 試験 II は、封圧 12MPa で定流量排水法で実施した。浸透率測定において、0.12MPa の差圧で 0.004ml/min の流量が確認されたので、排出流量を 0.004ml/min に制御して定流量排水法を開始した。開始直後は 0.12MPa の差圧が観測され、デッドボリュームの水が供試体に浸入していることを示唆する。4 時間後に排出側圧力が急激に減少し、10 時間後に差圧は 0.71MPa を示した。CO₂ が供試体の端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現し、差圧がスレッシュリョルド圧力を超えて CO₂ が浸入するまで排出側の圧力が低下したと考えられる。差圧 0.12MPa から 0.71MPa までの 0.59MPa の差圧変化がスレッシュリョルド圧力に相当すると考えられる。

泥岩 A 試験 III は、封圧 20MPa で定流量排水法で実施し、注入側と排出側の 2 測点でひずみ変化を観測した。試験と同様に排出側の圧力が急激に減少し、スレッシュリョルド圧力は 0.85MPa と評価された。排出側圧力が減少すると同時に、位置の異なる 2 箇所で同様に圧縮ひずみを示した。これは CO₂ が端面に到達してスレッシュリョルド圧力が発現し、間隙圧が一様に減少したことを示唆する。また排出流量減少から 3 時間後に注入側の測点で膨張ひずみが、11 時間後に排出側の測点で膨張ひずみが観測された。供試体に浸入した CO₂ が測点の位置に到達し、間隙圧が上昇して膨張ひずみが観測されたと考えられる。

試験 I、試験 II および試験 III の浸透率は、それぞれ 3.1、9.3 および 6.5 μダルシーであった。そこで Thomas らのようにスレッシュリョルド圧力を浸透率の逆数で整理したところ、両対数上で明瞭な正の相関が認められた。超臨界 CO₂ のスレッシュリョルド圧力は Thomas による N₂ のスレッシュリョルド圧力より高い値を示し、西本らの報告に調和的である。

試験 I の段階昇圧法で CO₂ 注入から 70 時間後にスレッシュリョルド圧力が評価できたのに対し、試験 II の定流量排水法では 10 時間で評価され、試験時間短縮の可能性が確認された。ひずみの観測は CO₂ の挙動の解釈に有効であり、原位置の CO₂ 地中貯留においても光ファイバーなどを用いた計測技術の展開が期待される。

謝辞：本研究は、経済産業省委託事業「二酸化炭素回収貯蔵安全性評価技術開発事業」の一環として行われた。

1) L. K. Thomas, et al.: Soc. Petrol. Eng. J., Vol.8 (1968), 174-184.

2) 西本壮志他：物理探査, Vol.62 No.4(2009), 421-436.

キーワード: スレッシュリョルド圧力, 超臨界 CO₂, キャップロック, 泥岩

Keywords: Threshold Pressure, supercritical CO₂, cap rock, mudstone

定常法による相対浸透率測定 : X線 CT スキャンと物質収支法により測定された水飽和度の比較

Water saturation estimated by X-ray CT scan and mass balance methods during relative permeability measurements

小暮 哲也^{1*}, 西澤 修¹, 千代延 俊¹, 矢崎 至洋¹, 柴谷聖司¹, 薛 自求¹

KOGURE, Tetsuya^{1*}, NISHIZAWA, Osamu¹, CHIYONOBU, Shun¹, YAZAKI, Yukihiko¹, Seiji Shibatani¹, XUE, Ziqiu¹

¹ (公財)地球環境産業技術研究機構

¹RITE

二酸化炭素回収貯留 (CCS) 事業において、深部帯水層に圧入された CO₂ の挙動を予測することは事業の安全性を評価するうえできわめて重要である。CO₂ の挙動を予測するためには、帯水層内の水と CO₂ の相対的な流動特性を知る必要がある。通常、数値計算により多孔質媒体内の挙動予測を行うために、多相流の相対浸透率曲線が用いられる。CCS 事業では、CO₂ の圧入により地層内の水と CO₂ の割合が大きく変化する。貯留層内で CO₂ は超臨界状態となるため、CO₂ の挙動シミュレーションでは水 - 超臨界 CO₂ 系の相対浸透率曲線が必要となる。

室内試験により貯留層の温度・圧力条件を再現して水 - 超臨界 CO₂ 系の相対浸透率が測定されれば、貯留層内の CO₂ 挙動をより正確に予測できる。しかし、石油天然ガス開発分野における水 - 油系の相対浸透率に比べ、水 - 超臨界 CO₂ 系の相対浸透率を正確に測定した研究例はきわめて少ない。多くの研究の場合、岩石コアから流出する水と CO₂ の体積を気液分離装置の中で測定する物質収支法が用いられる。このとき、気液分離装置は CO₂ が超臨界状態を保てるように耐圧化されている必要がある。耐圧化されていない気液分離装置を用いた測定では、減圧により CO₂ が超臨界状態から気体に相変化し、体積を正確に測定できない。さらに、圧力低下は脱ガス作用を引き起こし、水に溶解していた CO₂ が気液分離装置中に解放されて CO₂ の体積が増加する。多くの研究では耐圧化されていない気液分離装置が用いられているため、我々は温度・圧力をコントロールできる気液分離装置を開発し、ガラス窓を通して水と CO₂ の界面変化量を記録した。これにより岩石コア内の物質収支を正確に計算することができ、水飽和度の算出が可能となった。

物質収支法以外に水飽和度を算出するための手法として、X線 CT スキャナーも使用される。X線 CT スキャナーの解像度が向上していることから、X線 CT スキャナーを用いた相対浸透率測定が近年増えている。

このように水飽和度の算出方法として物質収支法と X線 CT スキャナーが多く利用されるが、二つの手法によって得られた水飽和度の大きさや正確性は議論されておらず、どちらがより適した手法であるか不明である。そこで我々は一つの岩石コアの相対浸透率を測定し、物質収支法と X線 CT スキャンにより水飽和度を算出した。その結果、物質収支法と X線 CT スキャンにより得られた水飽和度は、多少の違いはあるもののほぼ同じ値であった。したがって、物質収支法と X線 CT スキャンは両者とも岩石コア内の水飽和度を正確に算出できると考えられる。理想的には、得られた値のクロスチェックを行うため、同一測定において両者を同時に用いることが望ましいと考えられる。

キーワード: 相対浸透率測定, 水 - 超臨界 CO₂ 系, 水飽和度, 物質収支法, X線 CT スキャン

Keywords: relative permeability measurements, water-supercritical CO₂ system, water saturation, mass balance methods, X-ray CT scanning

超音波およびCBL検層による長岡CO₂圧入サイトでの坑井健全性評価の試み An attempt of evaluation of well integrity at Nagaoka site using ultrasonic logging and CBL data

中島 崇裕^{1*}, 薛自求¹, 渡辺二郎², 伊藤喜則², 坂下晋¹

NAKAJIMA, Takahiro^{1*}, Ziqiu Xue¹, Jiro Watanabe², Yoshinori Ito², Susumu Sakashita¹

¹(公財)地球環境産業技術研究機構, ²株式会社 物理計測コンサルタント

¹RITE, ²Geophysical Surveying Co., Ltd.

For the safety of CO₂ sequestration, injected CO₂ must be trapped in the underground and not be allowed to leak to the surface. Well integrity is one of the essential problems because potential leakage could occur along the well (Celia et al., 2004). Cement between the casing and the formation will be the first material exposed to CO₂ among the well components, so the state of cement in a CO₂ rich environment has been studied (e.g., Kutchko et al., 2007). It is important to measure and monitor the integrity of wells that are exposed to CO₂. This paper reports well integrity examined by the ultrasonic and sonic logging at Nagaoka CO₂ injection site.

Ultrasonic tool is used to measure the internal condition of the casing, the thickness of the casing, and the acoustic impedance of the material outside the casing. Observed reflected wave was different at the part of iron and FRP casing. The amplitude of the first reflection at the part of FRP casing was smaller since the impedance contrast between casing and water is smaller. We evaluated the impedance of the cement from the analysis of the amplitudes of the multiple reflections.

CBL is used to measure the bond between the casing and the cement, and the bond between the cement and the formation. The bond between the cement and the casing can be evaluated from the amplitude of the first reflection. The time-lapse observation of the CBL showed that the amplitude became smaller after the cementing. This means that the bond became better. The waveform showed the reflection from the interface between the cement and the formation. By combining the results of ultrasonic tool and some numerical calculations we would extract more information about the formation.

We note other logging program at Nagaoka. About 40 times sonic logging at Nagaoka from the injection period to the post injection period showed temporal change with the correlation of CO₂ saturation. The sonic velocity decreased when CO₂ arrived at the observation well. Another logging program is the sampling of the formation water using cased-hole dynamics tester (CHDT). This logging provides the information on chemical reaction and permeability. These results would be used for the interpretation of the state of the materials near the well.

We investigated the well integrity of the observation well at Nagaoka by the combination of the above logging method. The analysis showed that there is no clear evidence of the CO₂ leakage at Nagaoka.

キーワード: CO₂ 地中貯留, 坑井健全性, 長岡, 音波検層

Keywords: CO₂ geological storage, well integrity, Nagaoka, sonic logging

長岡サイトのCO₂挙動に対する岩相と不均質性の影響

Impact of lithofacies and reservoir heterogeneity on distribution of CO₂ at Nagaoka Pilot Site

千代延 俊^{1*}, 中島崇裕¹, Zhang, Yi¹, 辻 健², 薛自求¹

CHIYONOBU, Shun^{1*}, Takahiro NAKAJIMA¹, Yi ZHANG¹, Takeshi TSUJI², Zique XUE¹

¹ 地球環境産業技術研究機構, ² 京都大学

¹RITE, ²Kyoto University

The Nagaoka pilot site is located in the onshore area of Nagaoka oil field in the Niigata plain of central Honshu on the Japan sea side of central Japan. The onshore deep saline aquifer utilized for the CO₂ storage project is located near the city of Nagaoka. The pilot site and the target formations were selected based on the geological information. The selected formation was the early Pleistocene Haizume Formation, around 60m thick and 1100m below the ground surface. Cores of the Haizume Formation at Nagaoka from well IW-1 show realistic reservoir characterization with litho-stratigraphic architecture.

To geological modeling and assess CO₂ distribution, 3D seismic schemes were applied in the Nagaoka site, which included 4D seismic monitoring. Seismic attributes analysis is a popular and important method to predict the distributions of reservoir rock properties such as lithofacies, porosity, density, and thickness. Although 3D seismic survey has been executed, the distribution of lithofacies and the heterogeneity in reservoir layers remain unclear across the Nagaoka site because there are only few wells drilled. Therefore, we described the geomodeling framework and simulation studies that were applied to micro and macro scale reservoir modeling with realistic litho-stratigraphic architecture at the Nagaoka site.

Lithofacies relations and much of the heterogeneity in Nagaoka aquifer reservoirs are related to the stacking of depositional sequences. To investigate the challenges of the spreading CO₂, a detailed reservoir heterogeneity model was set up based on analysis of 45 cores. The Haizume Formation consists of predominantly sandstone, alternating beds of siltstone and sandstone, siltstone, sandstone-argillaceous, and conglomerate. The marine deposits and consists of numerous thin shales (siltstone to mudstone) form the majority of heterogeneities in Haizume Formation. Heterogeneity is mainly controlled by the distribution of sandstones embedded in numerous alternated facies. The CO₂ reservoir formation in this site (ca. 20m thick) is divided into some independent zone layers with millimetric to decimetric laminations of sandstone, siltstone and mudstone, silts and sands alternate, conglomerate within sequences from metric to a few metrics. In such a heterogeneous formation, the connectivity of permeable rocks is clearly of major concern for predicting of CO₂ storage potential. The realistic modeling of these connectivities is thus required to plan future developments, to understand and predict CO₂ behaviors.

This paper presents the realistic modeling strategy that was applied to Nagaoka site. The modeling strategy is multi steps, with first a geologically constrained generation of facies distributions, and second, simulations of spreading CO₂ variations with the measured permeability within the facies distributions. These descriptions were incorporated into the model at a resolution, which ensured capture of the most significant heterogeneities. The detailed reservoir model matched well log and core performance in this site. The detailed reservoir model and results of simulation matched the monitoring data from well and field more closely than the previous large scale models. The modeling technique also allows accounting for larger scale constraints, such as field wide variations of facies frequencies and main directions of spatial continuity.

地下エネルギー資源の消費がともなう排熱の地球温暖化におよぼす影響 Influence on the global warming of the exhaust heat the consumption of mining energy resources accompanies

今清水 雄二^{1*}

IMASHIMIZU, Yuji^{1*}

¹ 秋田大学鉱業博物館

¹ Mining Museum of Akita University

出版された学術書¹⁾によれば、排熱の放出を伴う地下エネルギー資源の消費の増加が気候変動をもたらす可能性について検討すべきである。にもかかわらず、IPCC第4次評価報告では排熱の放出の地球温暖化におよぼす影響はあまりよく議論されていないように思われる。この理由はおそらく半地球または地球スケールの観測によるならば、部分的に排熱に起因する都市ヒートアイランドは地球温暖化にほとんど影響しないという推定によるのだろう。しかしながら、現代世界において行われる工業生産、輸送、コミュニケーションおよび家の生活など人類の活動は、様々の熱機関を運転するさいに化石燃料の燃焼によって生ずる膨大な量の熱エネルギーを消費する。全世界のそれら熱機関による膨大な量の熱エネルギーを消費するプロセスにおいて発生する排熱は、都市地域の近くの空気にだけでなく、地球環境のより大きな領域の空気、川と海にも放出されると考えられる。

本研究では、全世界のエネルギーの消費を通して発生する排熱の総量が世界エネルギー統計から推定され、大気中のCO₂濃度の増加によって誘導される放射強制力と比較される。結論として、CO₂放射強制力と比較して小さいかもしれないが、排熱の地球温暖化におよぼす影響は無視されないと推測される。また、単位質量のCO₂ガスの発生を伴う燃焼熱が化石燃料に含まれる化合物の種類に従い異なることが示される。これらのことは地球温暖化の制限の基準としてCO₂の量だけでなく排熱の量も検討されなければならないことを示唆する。

統計²⁾によれば、世界のエネルギー消費量 Q_{WF} は年々単調に増加し、2000年の総計は $Q_{WF}(2000) = 8075$ [Mtoe yr⁻¹] = $1.072/10^{-13}$ [W]である。環境に放出される排熱量 Q_{WE} は $Q_{WE} = Q_{WF}(1 - h)$ 、ただし $h(0.4)$ は平均熱効率、によってほぼ表されるとし、また、 A_{glob} を地球の表面積とすると、地球温暖化におよぼす排熱の影響は $F_{EH} = Q_{WE}/$

CO₂ 秘中貯留にともなう貯留システムの力学的応答評価手法の研究：産総研における取組の紹介

Assessing the geomechanical responses of storage system in geological CO₂ storage: An introduction of research program i

奥山 康子^{1*}, 船津 貴弘¹, 雷 興林¹, 上原 真一², 中島 善人¹, 藤井孝志¹, 中尾 信典¹

OKUYAMA, Yasuko^{1*}, FUNATSU, Takahiro¹, LEI, Xinglin¹, UEHARA, Shin-ichi², NAKASHIMA, Yoshito¹, Takashi Fujii¹, NAKAO, Shinsuke¹

¹ 産総研地圏資源環境研究部門, ² 東邦大学理学部

¹Institute for Geo-Resources and Environment, AIST, ²Faculty of Science, Toho University

CO₂ 地中貯留では、地下に CO₂ を圧入するため、貯留システム（貯留層 + シール層）を構成する岩盤およびその周囲で地層間隙圧の上昇が避けられない。日本列島は地質学的変動帯であり、地下でのこのような変化は力学的な不安定を招くおそれを排除できない。したがって CO₂ 地中貯留に伴う地下地層間隙圧の上昇や、貯留システムの力学的応答を事前評価することは、技術的にクリアすべき重要な課題である。CO₂ 圧入に伴う力学的な不安定は、基本的には地層間隙圧が上昇することで有効封圧が減少することによるが、不安定化の程度はサイト特性に依存する。CO₂ 地中貯留の貯留サイトは大規模断層を避けて新生代の地層から成る堆積盆に設置することとなるが、日本列島全体が変動帯であることで、若い地質時代の堆積岩についても、反射法探査で事前に把握できない小規模な亀裂系が存在する可能性をあらかじめ排除することは難しい。くわえて、新生代の地層を構成する堆積岩類はいわゆる「軟岩」から構成され、間隙圧上昇にともなう変形様式、その波及による流体浸透率の変化は、単純ではない。以上の背景を考慮し、産総研では経済産業省からの委託研究として、CO₂ 地中貯留にともなう亀裂性岩盤の力学的応答を評価する手法を確立する研究開発を行っている。技術開発の中心は、地下での流体流動とそれが引き起こす岩盤の力学的変化（すなわち、空隙率・浸透率の変化）をシミュレートする「流体流動 力学応答連成解析」手法を、わが国の地質に対して適応可能とするものである。流体流動 力学応答連成解析手法開発にあたっては、天然で CO₂ 質深部流体が活動した結果地表に達する亀裂が生じ流体の流出を見た、1965-1967 年の「松代事例」を、CO₂ 地中貯留にて懸念される漏洩および岩盤変形事例のナチュラルアナログとして、研究対象とする。わが国の地質条件にて上記手法を適用可能とするために、軟岩の力学的パラメータ（変形特性と浸透率変化）を取得する実験的研究および、間隙圧上昇に伴う軟岩の変形を岩石組織学的に解析する研究も、重要な要素である。以上の研究開発の全体像とこれまでに得られた成果について、ポスターで紹介する。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 地層間隙圧, 力学的応答, 連成解析, 軟岩, ナチュラル・アナログ

Keywords: geological CO₂ storage, pore pressure, geomechanical response, coupled simulation, soft rock, natural analogue

淡路島野地下への空気の注入試験における地震波アクロスを用いたタイムラプス実証試験(その2) Time-lapse field experiment using seismic ACROSS at the air injection into the shallow ground in Awaji Island-II

鶴我 佳代子^{1*}, 笠原 順三², 伊藤 慎司³, 山岡 耕春⁴, 生田 領野², 藤井 直之², 伊藤 潔⁵, 西上 欽也⁵, 山崎 文人⁴, 本城 泰樹¹

TSURUGA, Kayoko^{1*}, KASAHARA, Junzo², Shinji Ito³, YAMAOKA, Koshun⁴, IKUTA, Ryoya², FUJII, Naoyuki², ITO, Kiyoshi⁵, NISHIGAMI, Kin'ya⁵, YAMAZAKI, Fumihito⁴, Taiki Honjo¹

¹ 東京海洋大学, ² 静岡大学, ³ NTT データ CCS, ⁴ 名古屋大学, ⁵ 京都大学

¹ Tokyo Univ. Marine Sci. Tech., ² Shizuoka Univ., ³ NTT-DATA CCS, ⁴ Nagoya Univ., ⁵ Kyoto Univ.

1. はじめに

アクロス (ACROSS) は、地下の地層物性の時間変化を検知・監視するために開発されたタイムラプス (4 D) 技術の1つである (Kumazawa et al., 2000; Kasahara et al., 2010)。タイムラプス技術は、地下の石油・ガスや二酸化炭素の貯留域の監視や火山下のマグマ溜の活動監視などに有効である。本発表では、地震波アクロスを用い、地下空間への空気注入に伴う地層物性の時間変化の監視におけるアクロスの有効性を明らかにするための実証試験について報告する。

2. 空気注入とアクロス観測の概要

観測は、2011年2月11日~3月10日(28日間) 兵庫県淡路市の野島断層周辺で実施した。2月26日~3月3日(5日間) 野島断層東側に位置する空気注入井より、大阪層群地下の深さ100mに、合計80トン(注入圧21気圧)の空気を注入した(笠原他、本学会、2012)。地震波の送信は、南東部に設置された縦置型アクロス震源A(名古屋大学所有)と北東部の横置型アクロス震源Bを用い、期間中異なる周波数成分の地震波をスイープ送信した。震源Aでは、周波数10~30Hz帯域で水平面内での加震を行い、縦置型震源Bでは、周波数10~35Hz帯域で鉛直面および水平面内の回転加震を行った。受振は、地表32地点に設置した3成分ジオフォンと、800-mポアホール観測点(京都大防災研)によって行った。

3. 結果

地震波アクロスでは、回転型震源の正回転時と逆回転時の地震波記録の位相を調整し合成することで、任意方向に直線的に力を与えた場合の震源-観測点間の伝達関数 \mathbf{H} を得ることができる (Kunitomo and Kumazawa, 2004)。3方向成分をもつ力 \mathbf{F} に対して、3方向成分の観測変位 \mathbf{U} が得られた場合、得られる伝達関数 \mathbf{H} は9つの要素をもつ2階テンソル H_{ij} で表現される (i および j は方向成分で、震源から空気注入井に向かう方向を radial (r) 方向、直交する方向を transverse (t) 方向、鉛直方向を vertical (z) と記述)。

本発表では、縦置型震源Aに対する解析について主に報告する。鉛直面内の振動を表す伝達関数 H_{zr} の時間波形記録には、比較的小振幅のP波および大振幅のS波が観察され、水平面内の振動を表す H_{tt} の記録ではP波は不明瞭で、主としてS波が観察された。P波初動の見かけ伝播速度は $V_p \sim 2.3$ km/s、S波は $V_s \sim 0.7$ km/s であった。これらは、北東部の横置型震源Bに対する見かけ速度 $V_p = 1.6, 2.5, 4.5$ km/s、 $V_s \sim 0.5$ km/s (笠原他, 2011) と調和的で、本地域の地下構造に起因すると予想される。

地下への空気注入に伴う地震波記録の変化は、震源AおよびBのいずれに対しても、主に注入井東側の地域で顕著に見られた。注入井と震源Aのほぼ中間に位置する観測点#7付近では、走時0.2秒付近に小振幅のP波初動、0.4秒付近以降にS波と後続の波群が続く。波形の時間変化を明瞭にするため、空気注入前の2月24日0時の波形を基準として、以降の波形から差し引いた差分波形を調査した。その結果、空気注入開始に伴う波形変化が、主としてS波相に明瞭に確認でき、 H_{zr} 成分においては、空気注入開始より1日程度遅れて、S波および後続波群の波形に顕著な変化が確認できた。その影響は後続波群で長期に持続し、注入終了後に小さくなった。 H_{zt} 成分でも注入開始後に変化が認められた。注入井直近の観測点#14では空気注入直後より変化が出現し、#5観測点、800mポアホール地震計においても、絶対量は大きくはないが、明瞭な変化が観測された。一方、野島断層西側の観測点では波形の変化が不明瞭になる傾向が見られ、断層の影響も示唆された。

4. 結論

縦置型アクロス震源を用いて、地下への空気の注入に伴う伝達関数の変化を調べる実験を行った。その結果、地下への空気注入に際し、アクロスによる精密制御観測を適用することで、地下の変化に伴う極めて明瞭な変化を検出できた。縦置型および横置型震源のいずれの解析結果でも、空気注入の開始に伴い、波形残差の変化が多数の地表地震計で観測された。観測点#7では空気注入から1日ほど遅れて変化が開始し、原波形上でも明瞭にその変化を見る事もできた。更

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



HRE27-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月20日 15:30-17:00

なる詳細解析は必要であるが、これらの成果は、今後地下へのCO₂の注入等による地下状態の変化を刻々モニタリングするタイムラプス観測において、アクロスが非常に有用な手段となり得ることを示している。

謝辞 本研究はJCCPプロジェクトの一環として行われた。本プロジェクトに対するJCCPの方々のご理解と御支援に深く感謝を表す。

キーワード: CCS, タイムラプス, アクロス

Keywords: CCS, time lapse, ACROSS

地中貯留リスクアセスメントツールの開発 GERAS CO2-GS Development of risk assessment tool, GERAS CO2-GS

田中 敦子¹, 坂本 靖英¹, 駒井 武^{1*}

TANAKA, Atsuko¹, Yasuhide Sakamoto¹, KOMAI, Takeshi^{1*}

¹ (独) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

¹National Institute of Industrial Science and Technology (AIST)

CO₂ 地中貯留のリスクアセスメント用ツールとして開発した『GERAS-CO₂GS』について紹介する。

GERAS-CO₂GS は、CO₂ 地中貯留のリスクマネジメントを支援することを目的に開発したプログラムである。その主な機能は、地中の貯留層に注入された CO₂ の地層内の移動予測に基づき、上方に向かった場合のリスクの大きさを評価することにある。

新たな産業施設のリスク・アセスメントを考える場合、一般的には必要な施設・設備の全てについてリスク評価を行う必要がある。すなわちリスク・アセスメントの考慮の対象として、貯留層、キャップロック、上層、CO₂ 注入井、注入プラント、CO₂ 輸送用設備の全てがカバーされる。これらの施設・設備のリスク・アセスメント作業の中で、注入 CO₂ の漏洩の可能性とリスクの見積もりが最も重要である。その理由は、第 1 に、CO₂ の地中保持率の算定が、CO₂ 地中貯留の目的である温暖化ガス排出抑制の効率の把握に不可欠であるためである。第 2 として、CO₂ の地中保持率は、注入サイト周辺のリスクを理解する鍵となるからである。

我々がプロトタイプとして開発したリスクアセスメントツール GERAS-CO₂GS は、CO₂ 注入対象の地層を幾つかのセグメントに分割してそれぞれに CO₂ 保持率を与え、地層中の断層やクラックのような潜在的な経路を介した漏洩量を算定するものである。

GERAS-CO₂GS の主な機能は次の 4 項目である。

- (a) CO₂ の保持と漏洩の計算 (保持率、漏洩率、保持量、漏洩量)
- (b) CO₂ の地表拡散についてのデータ処理
- (c) リスクデータの定義と編集
- (d) リスク評価

GERAS-CO₂GS が扱う CO₂ 注入サイトモデルは、次のセグメントで構成されている：注入井、注入地層 (リザーバー、キャップロック、上層、地表、断層、海底、海中、海面)。

CO₂ 注入サイトモデルの各セグメントの CO₂ 保持率としては、別途実施中の断層を介した注入 CO₂ の移動に関する実験およびシミュレーションを用いた検討結果を利用する。GERAS-CO₂GS は与えられた CO₂ 注入量に対して、各セグメントの CO₂ の保持量と漏洩量を算出して表示する。また GERAS-CO₂GS は地表面上に CO₂ が漏出した場合の地表面上のリスクを判定する機能を持つ。地表の CO₂ の拡散と濃度分布は、既存の大気拡散曝露リスクアセスメントプログラム (ADMER) を利用して計算する。GERAS-CO₂GS は、ADMER の計算結果を読み込んで多様なリスク判定を行う。ADMER は、気象庁の過去の観測データを組み込んで物質の拡散計算が出来る。

GERAS-CO₂GS は開発中のプログラムであり、現状はプロトタイプである。今後は GERAS-CO₂GS をさらに拡張して、さまざまなリスクシナリオの分析が可能にしたいと考えている。GERAS-CO₂GS 扱えるリスクを充実して、より広範なリスクを評価できることを目指している。現状では、海底面・海中・海面のルートについて、特に充足が必要な状態である。

これらの研究を通じて CO₂ 地中貯留に対する基準や法制化の研究に寄与できるものと考えている。

キーワード: CO₂ 地中貯留, リスクアセスメント, CO₂ 漏出, 地表, インパクト評価

Keywords: CO₂ geological storage, risk assessment, CO₂ migration, the surface of the earth, impact analysis

分散型 CCS における二酸化炭素圧入シミュレーション A numerical simulation Study for the Distributed CCS

當舎 利行^{1*}

TOSHA, Toshiyuki^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ AIST

水素エネルギーは、低炭素社会の実現の為に導入が期待されており、分散型電源である定置型燃料電池発電システムなどへの利用が検討されている。この水素エネルギーの普及の為に、安価で安定的にかついかに環境負荷を低減して水素を製造するかが課題となる。現状、大規模に水素を製造しているのは石油精製産業であり、製油所内のプロセス等にて使用されている。製油所では水蒸気と製油所オフガス等から高純度水素を製造しており、大きな水素供給ポテンシャルを有する。また、水素精製工程の中で高純度のCO₂が副生されている。水素社会実現に向けて、製油所における水素製造に CCS としてのCO₂地中貯留を組み合わせる方法が提唱・検討されている。水素製造設備において吸収法にて水素精製された後、副次的に生み出されるCO₂純度が98%以上と高いことに着目し、水素製造に伴うCO₂の地中貯留に関して検討を行った。水素製造装置当たりのCO₂排出量が年間10万トン程度であることから、分散型CCSとしての適用規模に一致することにも合理性があると考えた。

本研究において、いくつかの課題を設けて検討を行った。地中貯留設備は、大きく地表設備と地下構造に分かれるが、それらを束ねて、一つのモデルを作成することを目的とした。今回検討した課題としては、水素製造方法の調査、少量のCO₂を地中に圧入する方法の検討(方法と設備)、水素製造近傍の地質的な条件の抽出・評価、モデル地点での地質概念モデルの創設、およびCO₂圧入のシミュレーションである。シミュレーションは、設定したモデルフィールドにて年間10万トン規模のCO₂を注入するモデルにて、解析コードとしてTOUGH2によって実施をした。また、CO₂は浅部帯水層に圧入することとしている。臨界状態でのCO₂圧入は、深部(800m以深)の貯留層に圧入を行うが、深部になれば坑井の掘削などにおいてより高価格となる。小規模貯留では、大規模圧入によるスケールメリットが望めないため、シミュレーションの目的は、浅い層(200~600m)の中で少量のCO₂が安全に貯留されることを確認することである。

CO₂の微小バブルは、浅い貯蔵所にCO₂を注入する最も適切な方法であると考えられる。しかし、CO₂の微小バブルの特性を含むシミュレーション・コードは、まだ開発されていないことから、TOUGH2コードを使用することし、CO₂は気体として取り扱った。このため、CO₂には浮力がかかりCO₂は上方に移動する。しかし、この条件でも安定した貯留が認められるのであれば、微小バブルについても貯留可能性はより大きい結論できる。シミュレーション結果から、ガス状態のCO₂がモデル分野での浅い貯蔵所に格納され、漏出が20年の圧入期間中には検知されないと推論された。

CO₂地中貯留では、超臨界CO₂による年間1Mtを超える大規模貯留が多くの国で商業規模として検討されている。しかし、大規模になるとコストもかかるのみならず、適応できる場所も限られ地域住民の合意形成も難しくなる。アジア諸国では、大規模な貯留層を見つけれられない地域も多く、コストの負担が少ない方法をとって浅部に分散をして貯留する方法も開発すべきと考える。

本研究は経済産業省の補助金により一般財団法人石油エネルギー技術センターが実施している技術開発事業の一環として行われた。

キーワード: 分散型 CCS, 地中貯留, シミュレーション, 石油精製, 水素エネルギー

Keywords: Distributed CCS, Geological Storage, Simulation, Petroleum refining industry, Hydrogen energy

玄武岩を用いた水 - 岩石 - CO₂ 反応の解析と応用 Analysis and Application of Water-Rock-CO₂ Reaction Using Basalt

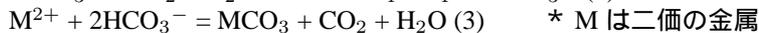
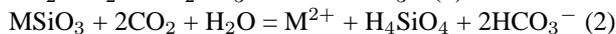
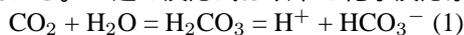
片山 智弘^{1*}, 鹿園 直建¹, 高谷 雄太郎², 加藤 泰浩²

KATAYAMA, Tomohiro^{1*}, SHIKAZONO, Naotatsu¹, TAKAYA, Yutaro², KATO, Yasuhiro²

¹慶應義塾大学大学院, ²東京大学大学院

¹Graduate School, Keio University, ²Graduate School, University of Tokyo

反応系内に水と岩石と二酸化炭素が存在している反応(以下、水-岩石-CO₂反応と呼ぶ。)の重要性が非常に増している。一連の反応式は以下の化学反応系列で表せる。



(1)は水への二酸化炭素の溶解反応、(2)は水、岩石、二酸化炭素が反応し、炭酸水素イオンと金属イオンが生成する反応である。そして、系内でそれらが過飽和になり(3)が起こり、炭酸塩が生成する。これらの反応は溶解メカニズム、反応速度、活性化エネルギーなど不明な点が多い。

一方で近年の地球化学的な諸課題はこの水-岩石-CO₂反応の解析が非常に重要である。二酸化炭素地中貯留の固定までの貯留時間や、始生代において暗い太陽のパラドックスの原因が、高二酸化炭素分圧がどうか検討できる。さらに、素早く安定的にミネラルを供給してミネラルウォーターを生成させようと試みる先行研究(五味, 2009)の統計学的な見地からの再現性検討、水圏、岩石圏、大気圏の物質循環におけるフラックスの実験に基づいた正確な推定など様々な分野に役立てることが出来ると考えられる。

そこで、本研究では溶解実験を炭酸塩の生成に重要な二価の金属イオン(Fe, Mg, Ca)を豊富に含んでいることや中央海嶺の大部分を構成している玄武岩を用いて、水-岩石-CO₂反応の溶解反応速度と溶解メカニズムを解析し、必要に応じて実際に想定した反応シミュレーションを行った。

二酸化炭素地中貯留時間推定の為に地下水を用いて溶解実験も行った。結果、溶解反応メカニズムが温度や溶媒の差異、岩石の空隙率によらないことがわかった。

また、溶解反応速度定数の算出方法によって値に差が出ることや、多成分系の算出方法や近似を用いない計算方法を用いることで従来の計算値よりも速い溶解反応速度定数が算出された。

速度論に基づくシミュレーションにより、二酸化炭素地中貯留においては貯留開始が約8~50年で99%程度貯留できることが推定できることがわかり、従来よりも速い結果になった。実際の地下水を用いても過去の先行研究と同様のスケールで推定できることが分かった。今後拡散や物理的な挙動を合わせることでさらに正確な貯留時間推定が出来ると考えられる。

キーワード: 玄武岩, 水, 岩石反応, 二酸化炭素地中貯留

Keywords: Basalt, Water-Rock Reaction, CO₂ Sequestration

ユタ州のクリスタル (CO₂) 間欠泉での重力連続測定 Continuous gravity measurements at Crystal (CO₂) Geysers, Utah

杉原 光彦^{1*}, 相馬宣和¹

SUGIHARA, Mituhiko^{1*}, Nobukazu Soma¹

¹ 産業技術総合研究所

¹ AIST

米国ユタ州のクリスタルガイザーで CG5 重力計による連続測定を 2011 年 12 月に行った。クリスタルガイザーは過飽和の炭酸ガスが泡立って吹き上がる沸騰を伴わない間欠泉である。調査の目的は 2 つある。(1) 既存坑井による CO₂ 漏洩の天然類似現象を調査すること, (2) クリスタルガイザーで地表近くの地層と同じ地層が深部にある場所で CO₂ 地中貯留を行う計画があり, そこで重力連続観測によるモニタリングを計画している。同じ地層内での CO₂ 移動に関わる現象に関わる重力変化を地表近くなれば CG5 重力計でも連続測定で検出できることを期待した。

観測期間の間欠泉活動は Gouveia 他が 2005 年に 76 日間にわたって行った観察記録とは全く異なっていた。当時は短期間の活動と長期間の活動の二種類が明確だったのだが, 今回は当時の短期間活動 (継続時間が 7-32 分) よりもはるかに短い (60-90 秒) 活動が約 10 分間隔で発生していた。

自動重力計 CG5 は指定した時間間隔で計測を繰り返すので連続的な重力観測を容易に行える。また, 6 Hz の 4 成分 (重力, 傾斜 2 成分, 内部温度) 内部信号も記録することができる。この機能を使った連続観測により, 間欠泉活動と関連付けられる特有の信号が重力に加えて傾斜 2 成分にも見出された。間欠泉活動は水・CO₂・熱の移動に関わる不安定現象であるが, 流体の貯留層や経路の深度・体積等に関して連続重力記録から情報が得られることは, これまでにも広河原 CO₂ 間欠泉やニュージーランドの間欠泉で行ってきた。可搬型重力計 CG5 は数時間程度の時間変化の現象ならば動力的現象の解明に適用できる。

尚, 本研究は, 経済産業省からの委託研究「平成 23 年度二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業 (弾性波探査を補完する CO₂ 挙動評価技術の開発)」の一部として実施した。

キーワード: 間欠泉, 炭酸ガス, 重力

Keywords: Crystal Geysers, CO₂, gravity