

CCS ジオエンジニアリング：現時点で唯一妥当な温暖化防止ジオエンジニアリング
技術
CCS-geoengineering: the only one reasonable climate geoengineering technology at present

小出仁^{1*}
KOIDE, Hitoshi^{1*}

¹ 温暖化防止地球システム
¹ Climate Change Geosystem

迫りつつある気候災害を軽減するためには、温暖化防止ジオエンジニアリングの実施は必須になっているといえる。一方で複雑な地球の気候システムを十分に理解できていない現状では、温暖化ジオエンジニアリングの大規模な実施には慎重でなければならない。しかし、化石燃料の大量燃焼により、人間は大気中のCO₂濃度を上昇させて、意図せずに大規模な気候ジオエンジニアリングを既に実施してしまっている。

広義の CCS ジオエンジニアリングは、CO₂回収・貯留、CO₂回収・CO₂-EOR/EGR、大気CO₂吸収・貯留、大気CO₂吸収・CO₂-EOR/EGR および地下微生物CO₂リサイクリングを含む。CCS ジオエンジニアリングは人為的なCO₂排出を低減するか、大気中の余剰CO₂を吸収する。CCS ジオエンジニアリングは、自然なCO₂濃度に向けて大気を保全しようとするだけで、余分な副作用を避けられるので、唯一の天然安全なジオエンジニアリング技術である。

キーワード: ジオエンジニアリング, CCS, 大気, EOR, リサイクリング, 温暖化
Keywords: geoengineering, CCS, atmosphere, EOR, recycling, global warming

スレシヨルド圧評価に対する計測方法の影響について The influence of measurement methods on evaluation of threshold pressures

亀谷 裕志¹; 小野 正樹^{1*}
KAMEYA, Hiroshi¹; ONO, Masaki^{1*}

¹ 応用地質株式会社

¹Oyo Corporation

温暖化ガス等の地中貯留のサイト選定段階において、遮蔽層のシール性能としてスレシヨルド圧力の評価が必要である。スレシヨルド圧力は、ガスを圧入した際に、遮蔽層に連続的なガスの流れが生じるための最低の圧力値を意味している。スレシヨルド圧力を評価するためには、圧入するガスの種類や原位置の応力、間隙水圧、温度条件などを厳密に再現した実験を行う場合と、これと対極的に間隙径分布などから表面張力等を介して毛管圧曲線を推定することにより簡易的に評価する場合もある。前者の方がより厳密なスレシヨルド圧力の評価が可能であるが、特殊な試験装置を使用することが制約となってくる。そのため、各種の手法を併用してそれらの精度を確認する試みが行われている。CO₂地中貯留では、①. 超臨界 CO₂を使用したスレシヨルド圧力試験、②. N₂ ガスを使用したスレシヨルド圧力試験、③. 水銀圧入試験から推定したスレシヨルド圧力、が対比される場合が多い。海外の事例でみると、使用した流体系の表面張力を考慮すれば一致しているとする場合もあれば、試料の不均質性や準備方法の違いにより、一致しなかったという報告もある。また、国内の研究事例はあるものの、その数はまだあまり多くはない。筆者らは国内外の泥岩、砂岩に対してこの3種類の試験を実施し、結果の差について検討を行った。

超臨界 CO₂ および N₂ ガスを使用した試験を比較すると、両者のスレシヨルド圧力の差は流体系の表面張力の違いで説明出来る場合が多い。ただし、やや年代の若い泥岩の場合は、試料の固結状態が弱く同じ試料で繰返し試験を行うことが難しいため、状態の違いにより結果の差が生じる場合がある。一方、水銀圧入試験から推定されるスレシヨルド圧力は N₂ ガスから求められる値とほぼ同等か、それ以下になる場合が多い。これらは試料の異方性や不均質性の影響、および試料準備段階で生じる乾燥収縮による影響が考えられる。

日本国内で、遮蔽層の候補となる堆積層はかならずしも厚い、均質な泥岩層ではなく、細かな互層状となる場合も多い。このような場合、限られた数量の厳密な試験だけでなく、精度は低くても多数の試験結果を併用して評価を行うことが必要になることが想定される。従って、本研究で実施した検討は今後実際の貯留地点を選定する際にも重要と考えられる。

キーワード: スレシヨルド圧力, 遮蔽層, シール能力
Keywords: threshold pressure, seal layer, sealing efficiency

微視的内部構造からみた砂岩試料における剪断面近傍の透水性評価 Evaluation of permeability fault related damage zone in sandstone from a viewpoint of microstructure

佐藤 稔^{1*}; 竹村 貴人²; 高橋 学³; 安間 了¹

SATO, Minoru^{1*}; TAKEMURA, Takato²; TAKAHASHI, Manabu³; ANMA, Ryo¹

¹ 筑波大学, ² 日本大学, ³ 産業技術総合研究所

¹Tsukuba University, ²Nihon University, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

断層周辺に形成されるダメージゾーンでは、断層面に近づくにつれて破碎作用が強くなることが知られている。断層面および断層近傍のダメージゾーンは、地下環境中での流体の移動に大きな影響を及ぼすため、石油開発やCO₂貯留、メタンハイドレート開発などの地下環境利用プロジェクトにおいては重要な地質構造要素である。断層の透水性に関しては原位置および室内で透水試験が行われており、砂岩層中の膠結された断層や、ガウジやカタクレーサイトを挟在する断層の透水性は母岩よりも低下し(Zhang and Tullis, 1998)、周辺のダメージゾーンでは母岩亀裂を含まない試料(インタクト試料)よりも透水性が高くなること示されている(Fowles and Burley, 1994)。本研究では室内透水試験でダメージゾーンと初期状態の岩石の透水性を比較するとともに、水銀ポロシメーターを利用して空隙率や空隙径分布の変化から透水性について考察した。

試料は宮崎県日南市で採取した砂岩を使用した。採取した砂岩を直径90mm、高さ180mmの円柱形に整形して一面剪断試験を行い、断層試料を作成した。さらにダメージゾーンの試料として断層面直交方向に直径50mm、高さ25mmの円柱試料を整形し、有効拘束圧5MPa、10MPaの条件でトランジェントパルス法(Brace et al. 1968)で透水試験を行った。透水試験では岩石内および試験機内の貯留性を考慮した厳密解(Hsieh et al. 1981)を求めた。また、剪断面直交方向に断層から遠ざかるように0-10mm、10-20mm、20-30mm、30-40mmとそれぞれ10mmのキューブを作成し、水銀ポロシメーターを用いて空隙率および空隙径分布を測定した。破壊させていない初期状態の試料も同様の形状に整形して試験を行った。

透水試験の結果、初期状態の試料では有効拘束圧5MPaのとき透水係数は 9.49×10^{-9} m/s、10MPaのとき 2.52×10^{-9} m/sであった。一方ダメージゾーンの試料では有効拘束圧5MPaのときの透水係数は 1.41×10^{-8} m/s、10MPaのときは 2.70×10^{-9} m/sと、初期状態の試料よりも透水係数が大きいという結果が得られた。水銀ポロシメーターでは、初期状態の試料では空隙率が7.9%であり、空隙径分布では $0.1 \mu\text{m}$ 付近の空隙径が卓越していた。ダメージゾーンの試料の空隙率は5%前後で、剪断面からの距離と空隙率の間に明瞭な相関は見られなかったが、空隙径分布では剪断面に近づくほど、 $0.1 \mu\text{m}$ 付近の空隙径が減少し、0.5から $10 \mu\text{m}$ の比較的大きい空隙径が増加する傾向が見られた。初期状態のよりもダメージゾーンの空隙率は減少しているが、測定した試料の不均一性によるものの可能性もあるため、測定数を増やして考察する必要がある。一方で空隙率が比較的小さいのに関わらず、ダメージゾーンの試料のほうが透水係数は大きいという結果から、剪断により岩石内部に微小割れ目の形成されたことや、粒子が再配列して空隙構造が偏在化したと考えられる。

キーワード: 透水係数, 透水試験, 水銀ポロシメーター, 空隙系分布, せん断試験

Keywords: permeability, permeability test, mercury porosimetry, pore-size distribution, shear test

注水誘発地震について：堆積岩を用いる室内 AE 実験による洞察
Injection-induced seismicity: insights gained from laboratory AE study using sedimentary rocks

雷 興林^{1*}; 李 霞穎²; 李 琦²

LEI, Xinglin^{1*}; LI, Xiaying²; LI, Qi²

¹ 産業技術総合研究所, ² 中国科学院武汉岩土力学研究所

¹Geological Survey of Japan, AIST, Japan, ²Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Science

Injection-induced seismicity associated with applications, in which fluids are intensively pressed into deep formations such as Enhanced Geothermal System (EGS), fracking shale gas, geological sequence of CO₂, have attracted growing attentions. Motivated by the desire to better understand the mechanism of damaging events so that they can be avoided or mitigated, we have started an integrated study on rock fracturing and fault reactivation in multiscales. In the present paper, we present some preliminary results of an ongoing experimental study utilizing acoustic emission technique in laboratory. Samples of typical sedimentary rocks collected from Sichuan basin, China, where a number of injection-induced seismic swarms with sizable earthquakes ranging up to M4~5 have been observed in some gas/oil reservoirs. Since most injection-induced earthquakes are located in sedimentary formations of a wide range of lithology and depth, the fracturing behaviors of such rocks are thus important. In order to investigate the role of over pressured fluid in triggering fault instability, the authors carried out two rock fracture tests under tri-axial compression in laboratory. Detailed space-time distribution of acoustic emission due to microcracking was used to examine pre-failure damages and failure behaviors. Our experimental results demonstrate that dolomitic limestone, shale, and porous sandstone from the Sichuan basin show both brittle and ductile fracturing behaviors depending on a number of factors, including drainage condition and confining pressure.

キーワード: AE, 微小破壊, 岩石破壊, 注水誘発地震, 堆積岩

Keywords: Acoustic emission (AE), Microfracture, Rock fracture, Injection-induced earthquake, Sedimentary rocks

松代群発地震に関係した深部地下水の水質再構成：CO₂ 動的漏洩のナチュラル・アナログ研究でのシミュレーション条件整備
Geochemical reproduction of deep water related to Matsushiro earthquake swarm for TOUGH-FLAC simulation

奥山 康子^{1*}; 船津 貴弘¹; 藤井 孝志¹
OKUYAMA, Yasuko^{1*}; FUNATSU, Takahiro¹; FUJII, Takashi¹

¹ 産総研地圏資源環境研究部門

¹Institute for Geo-Resources and Environment, AIST

CO₂ 地中貯留では、貯留にともない地下の間隙流体圧が上昇することで、岩盤の動的応答（貯留層・キャップロックの変形による地表面隆起、微細な破断による微小地震の発生、既存の潜在断層の再活動など）が発生したり、これらが高じて貯留 CO₂ が漏洩することが懸念されている。このような動的現象を起こさない、貯留継続可能な地下流体圧の変化を予測する手法として注目されるのが、「岩石力学-流体流動連成シミュレーション」である。産総研ではアメリカ、ローレンス・バークレイ国立研究所が開発した TOUGH-FLAC (Rutqvist et al., 2002) を、軟岩岩盤を対象とするわが国の CO₂ 地中貯留に適用可能とする研究を行っている (Funatsu et al., 2012)。このシミュレーション研究では、CO₂ の地下流動と岩盤変位などのデータを必要とする。本研究ではこれらのデータとして、長野県松代地域で 1965-1967 年にかけて起きた「松代群発地震」とそれに伴う地盤隆起および CO₂ 質塩水湧出の観測データを用いている。研究手法としては、CO₂ 地中貯留の漏洩事象に対するナチュラル・アナログ研究と言える。

地中貯留に伴う地下での CO₂ の流動に対しては、貯留にかかる堆積岩層を満たす地層水の塩分が、CO₂ の溶解を通して影響するとされる。このため CO₂ 地中貯留のシミュレーションでは、初期条件として地質モデル内の水質流体の塩分濃度を与える必要がある。地層水の初期組成は、研究対象とする地域での深井戸の水質に基づき推定し、初期条件として与えることが出来る。加えて松代群発地震をナチュラル・アナログとする TOUGH-FLAC シミュレーションでは、岩盤（地質モデル）に動的変化を起こすために塩水と CO₂ をモデル内に圧入する。そこで、これらについて妥当な値を設定する必要がある。松代群発地震を対象とした先行研究 (Cappa et al., 2009) では、圧入塩水の塩分濃度を 5mg/l と設定している。しかし対象地域の坑井水の地球化学的研究からは、群発地震に関係した初源的深部水の塩分濃度ははるかに高かったと推定されている (鬼澤・塚原, 2001; 吉田ほか, 2002)。

われわれは、2010-2011 年にかけて行った松代地域の調査で、深層水の影響が認められる湧水・坑井水の試料を得た。それらの水質および酸素・水素同位体比には、先行研究と共通した特徴が認められた。坑井水の酸素・水素同位体比は、同位体比の小さな側で天水線と交差し、天水線よりも緩傾斜の別の線上に落ちる。このことは坑井水の酸素・水素同位体比が、天水と、それより重い安定同位体に富む水との混合により決まることを意味する。地球化学的特性から、松代地域の深部水はマグマ起源と考えられている。坑井水の安定同位体比が乗る線の延長には、Giggenbach(1992) が提唱した "andesitic water" の領域が存在する。そこで、初源的な水の酸素・水素同位体比が andesitic water の最小値にあると仮定し、現在得られる最も深い坑井水の同位体比から希釈率を見積もった。そのうえで、求めた希釈率とこの水の水質に基づき、初源的深部水の水質を求めた。得られた塩分濃度は、海水並みであった。同様に HCO₃ について推定した初期濃度から、松代シミュレーションで想定する温度・圧力条件では CO₂ 関連溶存種は過飽和であったと考えられる。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 松代群発地震, ナチュラル・アナログ, 動的漏洩, TOUGH-FLAC, 塩分濃度

Keywords: CO₂ geological storage, Matsushiro earthquake swarm, natural analogue, dynamic leakage, TOUGH-FLAC, salinity

大規模CO₂地中貯留サイトにおける微小振動観測（その3） —なぜCranfieldサイトで微小振動が観測されていないのか？— Seismic monitoring at the commercial-scale CO₂ geological storage site, Cranfield, U.S (Part 3)

高岸 万紀子^{1*}; 橋本 励¹; 堀川 滋雄²; 楠瀬 勤一郎³; 薛 自求¹
TAKAGISHI, Makiko^{1*}; HASHIMOTO, Tsutomu¹; HORIKAWA, Shigeo²; KUSUNOSE, Kinichiro³; XUE, Ziqu¹

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 地中貯留に起因する微小振動発生の可能性が議論されている。圧入によって生じる微小振動は、海外のCO₂ 圧入サイトによるモニタリング事例を踏まえてもマグニチュードが小さな無感のイベントであると報告されている。しかしながら、CCSの実施においては、特に世界有数の地震発生国である日本でCCS実施を考えた場合、安全性評価や社会的受容性の観点から圧入サイトにおける微小振動モニタリングが必須である。

RITEでは、米国のローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)、テキサス大学地質研究所(BEG)連携して米国大規模CO₂ 圧入サイトで長期間に及ぶ微小振動観測を行い、CO₂ 圧入と微小振動発生との関係性について調査研究を行っている。この観測で得られる知見を用いて将来の国内のCCS実証試験や、CCSの実用化の段階で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。

観測サイトは米国ミシシッピ州のCranfield油田である。この油田ではCO₂-EORにより原油の増進回収を実施している。2008年から年間100万tの大規模CO₂ 圧入を実施しており、現在までに400万トン以上のCO₂ が深度約3.1kmに位置する白亜紀の砂岩層(孔隙率20~30%、浸透率10~200mD)に貯留されている。RITEではCranfield油田において微小振動観測網を構築し、2011年12月より連続観測を実施している。観測網は、半径約3kmの円周上6地点で深度100mに設置した3成分微小振動計から構成される。データ収録は24bitの分解能を有する速度計によってサンプリング周波数200Hzで実施されている。

観測開始から現在までに2年以上が経過しているが、Cranfieldサイトで微小振動は観測されていない。観測波形は観測開始以来コンピュータ処理と目視によって処理されているものの、トリガーされた波形は全て工事や車両の通行などによる人工ノイズ、落雷や突風などの気象の変化に伴うノイズ、自然地震に分類されている。

本報告では、この観測結果を踏まえて、なぜCranfieldサイトで微小振動が観測されなかったのかについて数値計算とサイトの圧力変動などの情報を元に考察を行う。まずは、我々が構築した観測網の検知能力を調べるために、本観測網で観測できる最小マグニチュードを推定した。具体的には、特定のマグニチュードを与えた場合の波形を合成し、その波形を観測網のノイズレベルと比較した。この結果、震源距離3.2km(水平距離1km、貯留層深度3.1km)において、鉛直方向でMw0.7以上、水平方向でMw0.4以上のマグニチュードを持つイベントが観測可能であることが明らかとなった。また、観測能力以上の微小振動がサイトで発生していない理由について、Cranfieldにおける過去の石油生産活動や既往の研究等を元に考察を行う。

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。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 微小振動観測, 流体圧入

Keywords: CO₂geological storage, Seismic monitoring, fluid injection

Bio-CCSに関する総合的なリスク評価の取り組み(2) Risk Assessment Study of Bio-CCS (2)

田中 敦子^{1*}; 坂本 靖英¹; 東野 晴行¹; 鈴木 昌弘¹; 加野 友紀¹; 眞弓 大介¹; 西 祐司¹; 中尾 信典¹
TANAKA, Atsuko^{1*}; SAKAMOTO, Yasuhide¹; HIGASHINO, Haruyuki¹; SUZUMURA, Masahiro¹; KANO, Yuki¹;
MAYUMI, Daisuke¹; YUJI, Nishi¹; NAKAO, Shinsuke¹

¹ (独) 産業技術総合研究所

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

CO₂ 地中貯留 (CCS) の重要な候補サイトの一つとなっている枯渇油ガス田には未回収の原油が半分以上残されており、原位置微生物の機能を活用して原油をメタンに変換できれば、新たなエネルギー資源の創出が可能となる。近年、眞弓らは、油ガス貯留層内の微生物によるメタン生成能力が CO₂ 分圧の上昇によって活性化されることを見出した。これは CCS サイトにおける天然ガス資源の創成の可能性を示す発見と言える。

将来的に地下環境における微生物活動を考慮した新たな CCS 技術を確立するためには、メタン生産量や CO₂ 固定量の定量的な評価手法の確立が課題となる。本研究は、CCS と微生物機能を融合したエネルギー生産技術のアウトプットの定量的な評価を行い、新技術の適用性と効果を評価する微生物?地質統合モデルを開発するもので、次の2つのサブテーマによって実施している。

- 1) CCS と微生物機能の働きの微生物学的な解明
- 2) CCS と微生物機能の融合効果の便益の評価

本発表では、サブテーマ 2) の、CCS プロセスにおける地層モデルの挙動とメタン産出についてのリスク評価を含む便益の分析についての見当の途中経過を発表する。

キーワード: CO₂ 地中貯留, CCS, メタン細菌, フィージビリティスタディ, リスクアセスメント, メタンガス
Keywords: CO₂ Geological Storage, CCS, Methanogenesis, Feasibility study, Risk assessment, Methane gas

Horizontal wells placement optimization for CO₂ geological storage in confined aquifers subjected to brine recycling

Horizontal wells placement optimization for CO₂ geological storage in confined aquifers subjected to brine recycling

Vilcaez Javier^{1*} ; Li Hualong¹ ; Sato Kozo¹
VILCAEZ, Javier^{1*} ; LI, Hualong¹ ; SATO, Kozo¹

¹Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

¹Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

Geological storage of CO₂ has potential of mitigating CO₂ emissions into the atmosphere. CO₂ in geological formations can be trapped through solubility, residual, mineral, and structural trapping mechanisms. Of these trapping mechanisms structural trapping is likely to be the least secure because CO₂ accumulated at the cap-rock can potentially leak through pressure-induced fractures in the cap-rock.

In order to maximize the trapping of CO₂ and at the same time prevent the leakage of CO₂, placement of injection and production wells were optimized in a saline aquifer subjected to brine recycling under the constraint of a fixed maximum bottomhole pressure which corresponds to the breakthrough pressure of the cap-rock. Contrary to previous well placement optimization studies, in this study the target geological formation is a confined saline aquifer, permeability is heterogenous (10 - 100 md), and wells for CO₂ and brine injection are horizontal. TOUGH2-ECO2N and an iterative Latin hypercube sampling optimization method were employed for the multiphase flow and optimization calculations, respectively. Optimization variables included the locations of two CO₂ injection wells and one brine production well, as well as the injection rate of CO₂. The total volume of the geological model is 20 km × 20 km × 0.1 km which has 4 layers initially containing only brine at a temperature of 40 °C and pressure of 10 MPa at the top layer. Simulations were performed for 30 years of CO₂ injection at rates of 5 - 20 kg/s, and 10 years of brine production and/or recycling. The two injection wells for brine recycling were located above the two CO₂ injection wells.

Optimizations of wells placement were performed for two scenarios: 1) injection of CO₂ without brine recycling, and 2) injection of CO₂ with brine recycling. Our optimization results indicate that placing brine injection wells above CO₂ injection wells in conjunction with equal fractions of brine recycling and CO₂ injection to each well leads to highest amounts of dissolution and residual trapping of CO₂. The trapping of CO₂ was improved by 5.4% with brine recycling in comparison to the trapping of CO₂ obtained without recycling (13.26 Mt). Although CO₂ was confirmed to be produced along with brine from production wells located near the injection wells, placement of the production well has shown to have little to no affect on the trapping of CO₂ under the given conditions. With regard to the optimal placement of injection wells, 3 and 6 potential areas were clearly identified for scenario 1 and 2, respectively. It is theorized that heterogeneous permeability formations may have multiple local optima; however this is yet to be confirmed.

Keywords: CO₂ geological storage, Well placement, Brine recycling, Optimization

CO₂ マイクロバブル地中貯留岩盤とその溶解特性 Reservoir Rocks of CO₂ Micro-Bubble Storage (CMS) and its Dissolution Characteristics

鈴木 健一郎^{1*}; 三好 悟¹; 人見 尚¹; 奥澤 康一¹; 三井田 英明²; 結城 則行²

SUZUKI, Kenichirou^{1*}; MIYOSHI, Satoshi¹; HITOMI, Takashi¹; OKUZAWA, Koichi¹; MIIDA, Hideaki²; YUKI, Noriyuki²

¹ (株) 大林組, ² エンジニアリング協会

¹Obayashi Corporation, ²Engineering Advancement Association of Japan (ENAA)

CCS 技術による温室効果ガス削減のポートフォリオの1つに CO₂ マイクロバブル地中貯留 (CMS) システムが提案されている。CMS の基本は、CO₂ 溶解水を地下水と置換することである。マイクロバブル化した CO₂ は溶解すると安定で、残留バブルも浮力が極めて小さいため漏洩リスクも少ない。CO₂ 溶解水は弱酸性となるため、周辺の岩石鉱物と反応し、いわゆる中和化される。しかし岩盤の中和能力については完全に評価されていないのが現状である。

この研究では、石灰岩、砂岩、凝灰岩を用いてマイクロバブルによる CO₂ 溶解水を用いた溶解実験を実施し、溶解特性を調べた結果について報告する。大気圧下でのバッチ式溶解試験と通液式溶解試験を実施し、溶解速度、溶出イオンを調べ、国内の岩盤分布から中和化可能な貯留岩盤について議論した。

CO₂ 貯留層を模した条件下におけるドーソナイトの合成・溶解実験 Dawsonite synthesis/dissolution experiment under the relevant condition of CO₂ under- ground storage

高谷 雄太郎¹; 中村 謙太郎^{2*}; 加藤 泰浩¹
TAKAYA, Yutaro¹; NAKAMURA, Kentaro^{2*}; KATO, Yasuhiro¹

¹ 東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンター, ² 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

¹Frontier Research center for Energy and Resources (FR CER), Graduate School of Engineering, University of Tokyo, ²Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, University of Tokyo

Geochemical trapping is a mechanism for defining the longer-term security of CO₂ underground storage. Especially, mineral trapping improves the storage security by the transformation reaction of injected CO₂ (liquid or supercritical phase) to carbonate minerals.

Recently, several studies based on the computer simulation predicted the formations of dawsonite (NaAlCO₃(OH)₂) as an initial phase of mineral trapping and that dawsonite may play important role for the storage security in the early stage of CO₂ storage. However, it has not been reported the formation of dawsonite in the experiments under the relevant condition of the CO₂ underground storage to date and the problem "whether dawsonite will be formed in the CO₂ reservoir and will contribute the improvement of the CO₂ storage security" is still remaining.

In this study, therefore, we conduct the synthesis/dissolution experiments of dawsonite under the CO₂ reservoir condition and discuss the formation/preservation condition of dawsonite. We further discuss the possibility of dawsonite formation in the CO₂ reservoir based on our experimental results.

キーワード: CO₂ 地中貯留, 鉱物トラッピング, ドーソナイト

Keywords: CO₂ underground storage, mineral trapping, dawsonite

人工水和物シール層下への二酸化炭素貯蔵 Liquid carbon dioxide storage beneath man-made hydrate-seal layers

大隅 多加志^{1*}; 志田原 巧²
OHSUMI, Takashi^{1*}; SHIDAHARA, Takumi²

¹ 東海大学理学部, ² 株式会社ニュージェック
¹ School of Science, Tokai University, ² NEWJEC Inc.

1989年、水深1335m水温3.8℃の沖縄トラフ海底面で Sakai *et al.* (1990) が天然の二酸化炭素水和物 (CO₂ 水和物) を発見したことは、人為起源二酸化炭素の大気からの隔離法を模索しはじめていた当時の研究者たちに大きな刺激を与えた。日本列島の海岸から遠くない沖合は、とりわけ日本海側では約300m以深に「日本海固有水」があり、4.4 MPa以上10℃以下というCO₂水和物が分解しない安定条件にある。この条件に適する海底に対して海岸からの大偏距坑井で直接にアクセス可能な地点数も全国で十指にあまる(大隅, 2013)。Sakaiらの観察例の場合、CO₂水和物は海底面表層堆積物間隙中にも存在していると想定され、CO₂・nH₂Oの密度 ($n = 7 \sim 8$ で $\rho = 1.07 \sim 1.04 \text{ g cm}^{-3}$) が底層水密度より大きい場合、その厚さが薄くても、直下に存在するはずの液体二酸化炭素を主成分とする流体 ($\rho = 0.92 \text{ g cm}^{-3}$ と推算される) の漏出に対しての有効なバリアとして機能する。

Koide *et al.* (1997) は、海底下の堆積物や岩石の間隙中で生成する可能性のあるCO₂水和物は、下位の層準に存在する流体が間隙水や地層水よりも密度が低い場合、その上昇を妨げると指摘している。貯留CO₂が上方へ移行して水和物capを生成するとした。これをうけて、CO₂水和物で充填されたシール層を人為的に生成させることができるかの工学的検討例も多い。この際、高圧低温の安定条件でもCO₂水和物が海底面に露出していれば溶解を免れない。しかし、大隅(2012)は、CO₂水和物層上面から海底までに堆積層が厚さ1m程度もあれば、堆積物間隙水中のCO₂(aq)溶質移行は濃度拡散過程が律速となり、CO₂漏出流速が0.1 kg-CO₂ m⁻² y⁻¹以下に抑えられるとしている。

伊豆大島東岸は、沖合海底斜面が相模トラフに急激に落ち込んでいて、最短距離1.1kmの沖合に440mの等深線が迫っている。その水温は年間を通じて10℃を超えないため、CO₂水和物の安定領域が海底面に広く分布する。海底下の地質は数十万年前の「古い火山体」であり、現在の伊豆大島火山の火山活動と同様の特徴を持つとすれば、玄武岩溶岩/火山砕屑物の互層であろう。水平方向に透水性の高い層を選んで層内間隙にCO₂水和物を生成させてシール機能をもたせることができれば、より下位の地層内に液体CO₂を貯蔵することが可能となる。池川ら(2012)は、CO₂エマルジョン流体を地層内に圧入する方法を提案し、流路の閉塞を回避して坑井から地層内に遠方までCO₂を送り込めることを示している。この方法でシール層を作成できれば、この地点での二酸化炭素貯蔵の可能性は魅力的である(付図参照)。

海岸線に沿う方向5km×沖合方向1kmの矩形の範囲において、海底下の有効層厚200mについて有効孔隙率10%分の液体CO₂貯蔵量を考えればCO₂貯留ポテンシャル量は約1億トンとなる。

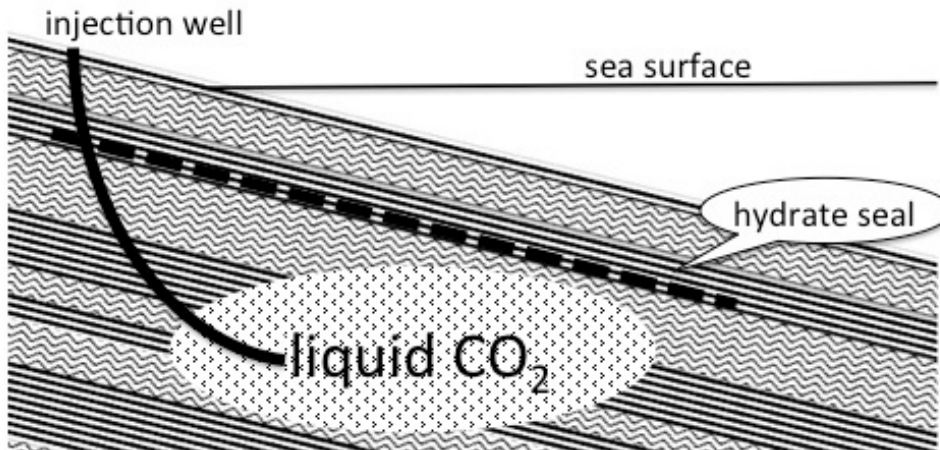
参考文献: 池川洋二郎ほか(2012) 電力中央研究所研究報告 N11024; Koide *et al.* (1997) *Energy* **22**(2/3) 279-283; 大隅多加志(2012) 二酸化炭素クラスレートの海底下埋設, 第23回海洋工学シンポジウム; 大隅多加志(2013) 日本火山学会講演予稿集(2013年度秋季大会) 152-154; Sakai *et al.* (1990) *Science* **248**, 1093-1096.

キーワード: 人工シール層, 二酸化炭素回収貯留, 水和物シール, 伊豆大島, 大偏距掘削, 二酸化炭素/水エマルジョン
Keywords: man-made seal layer, CCS, hydrate seal, Izu-Oshima Island, Extended Reach Drilling, CO₂-in-water emulsion

HRE31-11

会場:419

時間:5月2日 12:15-12:30



X線CT画像のビームハードニング偽像を抑制できるタングステン系造影剤の提案 Use of sodium polytungstate as an X-ray contrast agent to reduce beam hardening in hydrogeological experiments

中島 善人^{1*}
NAKASHIMA, Yoshito^{1*}

¹産総研
¹AIST

X線 computed tomography (CT) は、試料を非破壊でイメージングできるので (中島・中野, 2013)、室内実験のモニタリングツールとして地球科学で汎用されている。たとえば CO₂ 地中貯留や石油 EOR に関する室内実験では、コア試料の相対浸透率曲線の横軸 (流体置換率) や残留油 (あるいは残留ガス) 飽和度の高精度計測を目的として、多孔質なコア試料内部の複雑なダルシー流れを X線 CT を用いて可視化している。その際、高濃度のヨウ素造影剤を流体にドープするのが一般的であるが、ヨウ素を使うとビームハードニング偽像 (多色性 X線が原因で、均一試料にもかかわらず試料表面から内部に行くほど画像が暗くなる現象) が強くなり、定量的な CT 画像解析が困難になる危険がある。さまざまな造影剤を想定した CT 画像計算機シミュレーション研究 (Nakashima and Nakano, 2012; Nakashima and Nakano, 2014) は、ヨウ素より K 吸収端のエネルギーが大きい造影剤が優秀 (ビームハードニングを抑制するという意味で) であることを示唆している。そこで、今研究では、タングステンを含む造影剤 (ポリタングステン酸ナトリウム、Na₆H₂W₁₂O₄₀) を実験的に試してみた (Nakashima, 2013)。内径 56mm のプラスチック円筒容器に粒径約 200 ミクロンの豊浦標準砂を空隙率 39vol.% で充填し、その空隙をヨウ素系 (KI 9.16 wt%) とタングステン系 (Na₆H₂W₁₂O₄₀ 8.80 wt.%) の 2 種類の造影剤を含む水溶液で満たし、医療用 CT で二次元スライスを撮影した (加速電圧 130kV, 5mm slice thickness, ビームハードニング補正処理なし)。結果は、図 1 のとおり、タングステン系造影剤の方がビームハードニングを抑制していることが確認できた。ポリタングステン酸ナトリウムは、ヨウ素同様に重元素が陰イオンである (粘土鉱物表面に吸着されない) うえに、重元素化合物には珍しく比較的化学的に安定で人体に無害であり、重液としてすでに商品化されているので、ヨウ素よりビームハードニング偽像を抑制できる造影剤として今後期待できる。

謝辞:

医療用 CT 実験は、高知大学海洋コア総合研究センター共同利用研究 (13B034) のもとで海洋研究開発機構の協力により実施された。

参考文献:

- Nakashima, Y. and Nakano, T. (2012) *Analytical Sciences*, 28, 1133-1138. <http://dx.doi.org/10.2116/analsci.28.1133>
Nakashima, Y. (2013) *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61, 347-351. <http://dx.doi.org/10.2478/johh-2013-0043>
中島善人・中野 司 (2013) *GSJ 地質ニュース*, vol.2, No.3, 86-90. https://www.gsj.jp/data/gcn/gsj_cn_vol2.no3.86-90.pdf
Nakashima, Y. and Nakano, T. (2014) *Journal of X-Ray Science and Technology*, 22, 91-103. <http://dx.doi.org/10.3233/XST-130411>

キーワード: ビームハードニング, X線CT, 造影剤, ダルシー流, 相対浸透率, 多相流

Keywords: beam hardening, contrast agent, Darcy flow, porous media, multi-phase flow, relative permeability

HRE31-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

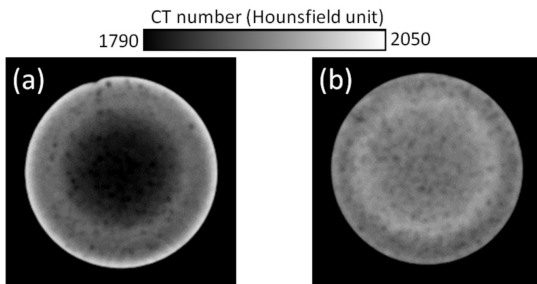


Fig. 1. Two-dimensional CT slices of homogeneous sand pack samples (diameter, 56 mm) saturated with a heavy-element-bearing fluid. Each image dimension is 210^2 voxels = 66^2 mm². The image for KI 9.16 wt.% (a) shows marked beam hardening compared with Na₆H₂W₁₂O₄₀ 8.80 wt.% (b). Numerous dark spots are small bubbles.

テキサス州ファンズワース CO₂-EOR サイトでの重力モニタリング Gravity monitoring at the Farnsworth CO₂-EOR site, TX

杉原 光彦^{1*}; 名和 一成¹; 相馬 宣和¹; 石戸 経士¹; 宮川 歩夢¹; 田中 明子¹; 西 祐司¹
SUGIHARA, Mituhiko^{1*}; NAWA, Kazunari¹; SOMA, Nobukazu¹; ISHIDO, Tsuneo¹; MIYAKAWA, Ayumu¹; TANAKA, Akiko¹; NISHI, Yuji¹

¹ 産総研

¹ AIST

基準点で絶対重力測定を行いつつ可搬型相対重力計で観測網を巡回測定することを繰り返すハイブリッド重力モニタリングはよく適用される。私たちは、ハイブリッド重力モニタリングに超伝導重力計による高感度重力連続測定を加えたスーパーハイブリッド重力モニタリングをテキサス州ファンズワース CO₂-EOR サイトで実施している。2014 年春に予定される CO₂ 圧入開始の前にベースライン測定を行ってきた。超伝導重力計 iGrav による連続測定は 2013 年 1 月から始め、一時中断後、2013 年 12 月から再開した。蓄積された連続観測記録は潮汐成分解析の際に平均的な気圧応答も評価した。さらに並行して実施している気象観測記録（気圧、降雨量、積雪量、土壌水分など）との比較によって、平均的な気圧応答の他に、局所的な気圧変化や地下水分布変化の影響を解析した。調査地域の地上部は灌漑システムに支えられた大規模農場があり、地下水の影響と灌漑による地下水のくみ上げと土壌水分の変化も質量変化に効くと予想される。そこで灌漑システムの稼働状況のモニターも実施して影響を見積もった。本研究は、経済産業省からの委託研究「平成 25 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: ファンズワース, CO₂ 地中貯留, EOR, 重力モニタリング, 超伝導重力計

Keywords: Fansworth, CO₂-EOR, gravity monitoring, superconducting gravimeter