

岩石・鉱物の粉碎反応による二酸化炭素の迅速吸収 Quick mechanochemical reaction of CO₂ and silicate rocks

田中 剛^{1*}, 三村 耕一²

Tsuyoshi Tanaka^{1*}, MIMURA Koichi²

¹ 名古屋大学 年代測定総合研究センター, ² 名古屋大学 大学院環境学研究所

¹Center for Chronological Res., Nagoya Univ., ²Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

断層からは、二酸化炭素や窒素ガスと共に、水素ガスが放出されている。その放出量は、活断層により多く、地震活動によってさらに増加する事が多い。断層からは、ウランやトリウムなど岩石中の放射性元素の壊変によるラドンやヘリウムなどの気体も放出されている。地震などにより割れ目が形成されると考えれば、ラドンやヘリウムの放出量が増加する事は、理解し易いが、なぜ水素なのか？地層中にパイプを打ち込んだだけでも、パイプ中に水素が検出される事から、活断層で測定される 10000ppm を超える水素は、鉱物の破砕に伴う反応の結果生じたと考えられた (Sugisaki et al., 1980; Wakita et al., 1980; 杉崎, 1985)。岩石鉱物の粉碎に伴う化学反応については、Schrader ら (1968) による石英の粉碎実験に始まり、Kita et al.(1982) や Sugisaki et al., (1983) などにより様々な条件下で実験がなされている。Kita et al.(1982) によれば、岩石の破壊面に生ずるラジカル (Si-O-Si Si· + ·O-Si) が水と反応するのであるが、低温領域と高温領域では、両ラジカルの安定性の差異のため、二つの異なる反応が起こる (メカノケミカル反応) と考えられている。すなわち、

- 1) 低温領域では $\text{Si-O-Si Si} \cdot + \cdot\text{O-Si} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiOH} + \cdot\text{O-Si} + 1/2\text{H}_2$ の式で水素ガスが発生する。
- 2) 高温では、Si·ラジカルと·O-Siラジカルがともに不安定化するため、 $\text{Si-O-Si Si} \cdot + \cdot\text{O-Si} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{SiOH}$ の式の一般的な反応が起こる。

上記の著者らは、石英などの岩片を実験素材として用いたので、発生するラジカルは、Si·ラジカルと·O-Siラジカルであるが、もし長石や輝石など Si 以外の元素を含む鉱物や岩石を実験素材に用いれば、鉱物の原子間結合が切れる位置に依って、Mg·ラジカルやCa·ラジカルも生じるのではないか。そこにCO₂や水があれば、CO₂は、これらの元素を含む物質として迅速に固定されるのではないだろうか。この演繹が本研究の発端である。

2000ccのボールミル中に、様々な鉱物や岩石 100g と N₂ 90% + CO₂ 10%の混合ガス、および水を封入し、ゆるやかな粉碎反応実験を行った。反応時間ごとに、反応ガスを取り出し、ガスクロマトグラフでガス組成の分析を行った。その結果、(当然予想された事だが) 石英は二酸化炭素と全く反応が見られなかった。逆に反応が大きかったのは、カンラン石やカンラン岩であった。約8時間の反応実験でCO₂は、初期状態の約20%に減少した。輝石と玄武岩では、その中間の減少量を示し、長石類や花崗岩との反応量は僅かであった。CO₂の減少量は、岩石鉱物中の元素存在度と明瞭な関係は見られなかった。

<文献> 田中 剛・三村耕一 (2013) ケイ酸塩岩も 14C 年代測定の対象となるか? 岩石の粉碎反応による CO₂ の迅速吸収? 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 XXIV 印刷中 (2013年3月出版予定)

キーワード: 二酸化炭素, メカノケミカル反応, ケイ酸塩岩石

Keywords: carbon dioxide, CO₂ sequestration, mechanochemical reaction, silicate rocks

大阪南部，和泉層群でのCO₂質流体の移行と炭酸塩沈殿 CO₂地中貯留における流体移動のナチュラル・アナログ事例

Migration and carbonate mineralization by past CO₂-rich fluid in the Izumi Group, southern Osaka: A natural analogue on

奥山 康子^{1*}

Yasuko Okuyama^{1*}

¹産総研地圏資源環境研究部門

¹Institute for Geo-resources and Environment

地球温暖化の即効策としてCO₂地中貯留が注目される中、貯留の安定性が改めて重視されている。貯留の短期的安定性にとってはシール層性能が重要であり、浸透率が低く亀裂が存在しない厚みのあるシール層（以下、無傷で良好なシール層と記述）が、貯留層とともに存在することが望ましい。しかしわが国でCO₂地中貯留の場として想定される後期新生代の地層はしばしば砂岩泥岩の細互層からなり、また日本列島が地質学的変動帯であるため地層群に微細な亀裂が既に存在することが容易に想像される。CO₂地中貯留に好適な無傷で良好なシール層を期待することが難しい中では、地下のCO₂が上方に移行することを想定しながらも、移動する際に地層水と混合して溶解が進む（すなわち溶解トラッピングが機能する）ことや、また、さらに進んで岩石との反応を経て炭酸塩鉱物を沈着させる鉱物固定が起きることを、改善の移行遅延プロセスとして期待したい。亀裂系についても、そこが鉱物沈殿の場となり、よって亀裂系自体が埋められる「自己閉止」現象が起きることを、同様に期待したい。岩野原実証試験ではCO₂圧入後数年にて地層水化学組成が炭酸塩鉱物に対して過飽和となり、鉱物沈殿を起こしうる性質に変化したことが知られている。これは、上方に移動する貯留層流体が途中で鉱物沈殿を行う可能性を支持する材料と言える。ただし貯留流体の上方移行や鉱物沈殿を起こす可能性を、実際のCO₂地中貯留サイトであらかじめ把握することは、貯留層等を掘削のうえ岩石と地層水を調査する必要があるため、非現実的である。

大阪府南部，和泉山地山麓部は、ドーソン石などCO₂地中貯留の地化学環境下で安定な炭酸塩鉱物が産出し、過去のCO₂地中貯留地質体の超長時間を観察することのできるナチュラルアナログ・フィールドである。和泉山地山麓部では、白亜紀後期泉南流紋岩類が亀裂卓越型の変質流体貯留層となり、炭酸塩鉱物を含む著しい変質作用を受けている。ドーソン石などを産する白亜紀和泉層群は、泉南流紋岩類の上位に不整合で重なり、最下部の地層群に泥岩が卓越する部分を持つ特徴がある。泥岩卓越部は、和泉山地に山麓丘陵が広がる地域西部では緻密な黒色泥岩から成るが、東側では砂泥互層に岩相が変化する。炭酸塩変質脈の発達状況は、西側と東側で全く異なる。西側の黒色泥岩から成る部分では、CO₂質流体が泥岩層にforcibleに侵入し亀裂系を形成する傍らで、ドーソン石・あられ石・方解石を順次沈殿させて自己閉止する様子が観察される。炭酸塩脈はさらに上位の粗粒砂岩を主体とする和泉層群主帯には延伸せず、下位の泥岩層卓越部内にて止められている。一方基底部が砂泥互層である山麓東部では、変質脈が和泉層群主帯まで伸びる状況が観察される。このような炭酸塩脈の発達状況の違いは、良好なシール層が物理的だけでなく化学的にもCO₂質流体の上方移行を妨げうることを、明確に示す。また、CO₂質流体の活動は岩盤に亀裂系を形成するが、それらが鉱物沈殿により閉止する場合があることも併せて示している。

キーワード: 炭酸塩鉱物脈, ドーソン石, 自己閉止, シール層, 貯留流体, CO₂地中貯留

Keywords: carbonate vein, dawsonite, self-sealing, seal layer, reservoir fluid, CO₂ geological storage

分布式光ファイバーによるセメント試料の温度・ひずみ測定 Distributed fiber optic temperature and strain sensing in a cement specimen

小暮 哲也^{1*}, 薛 自求¹
Tetsuya Kogure^{1*}, Ziqiu Xue¹

¹ 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構
¹RITE

CO₂の圧入に伴い貯留層内の間隙水圧が上昇すると、圧入井周辺の地表面が隆起することが知られている。地層の変形量が大きくなると地層に亀裂が生じる可能性があり、CO₂の安全な貯留に影響を与える。したがって、CO₂圧入時には地層の安定性をモニタリングする必要がある。

地層の安定性を評価するためには、貯留層から地表面までさまざまな地層の変形を一括してモニタリングできることが望ましい。変位計を埋設することにより地層の変形を捉えることはできるが、変位計の埋設数には限りがあり深度方向に連続的なデータを取得できない。そこで我々は、石油天然ガス開発分野などで発展してきた、光ファイバーを使用したモニタリング手法をCCSに適用するための研究を行ってきた。光ファイバーは石油開発分野において水蒸気圧入を制御するために、温度分布を数千mの坑井内で連続して把握する技術として使用され始め、現在ではケーシングの変形をモニタリングするためにも使用されている。ケーシングの変形モニタリングではひずみが測定されており、この技術を応用して地層のひずみ変化を測定できれば、地層の安定性モニタリング技術として利用可能となる。

光ファイバーによりひずみ・温度などを計測する技術(以下、光ファイバーセンシング技術とする)は、点センサー方式と分布式センサー方式に分けられる。点センサー方式は光ファイバーセンシング技術の中で最も普及しており、あらかじめ光ファイバーに加工された特定のポイントにおいて高感度・高精度なデータ取得が可能である。代表的なものにFBG(Fiber Bragg Grating)があり、FBGを用いて地盤の変形を観測する研究が行われている。しかし、点センサー方式では光ファイバー上に測定ポイントを加工するたびに光が損失するため、分布式センサー方式に比べ測定ポイントの数が少なくなる。一方、分布式センサー方式は、光ファイバーそのものに加工をすることなく光ファイバー全体でデータを取得するため、測定ポイント数に限りがない。近年計測機器の発達により、温度およびひずみ測定の分解能はそれぞれ0.0096℃、0.078μmと、FBGと遜色ないレベルに到達してきた。したがって、点センサー方式の短所である、センサーの加工に伴う値段の高さや測定範囲の狭さを補う手法として、分布式センサー方式によるモニタリング手法が目ざされている。

これまでの岩石試料を用いた実験により、分布式センサー方式によって岩石の圧縮・膨張変形をひずみゲージと同等の精度で計測できることが分かっている。実用化する場合、光ファイバーは坑井に沿ってセメンチング中に埋設されることが予想される。したがって、埋設される光ファイバーはセメンチング中でも切れない強度を持ち、かつ周囲の地層の変形を測定できる感度を有する必要がある。市販されている埋設型光ファイバーは温度を測定するために開発されており、光ファイバーはらせん状に編み込まれた3重のステンレスワイヤーにより周囲を頑丈に保護されている。こうした被覆構造のため、既存の埋設型光ファイバーはケーシング周囲のひずみを測定できない可能性がある。

本研究では、既存の埋設型光ファイバーによるひずみ測定の有効性を検討するため、坑井への光ファイバーの設置を模擬した室内実験を行った。そして封圧変化時にひずみを測定したので、詳細な結果を報告する。

キーワード: 光ファイバー, 分布式センサー, 温度・ひずみ測定

Keywords: optical fiber, distributed sensor, temperature and strain measurement

CO₂ 地中貯留サイトにおける微小振動観測 米国 Cranfield 油田の観測結果 (その2)

Microseismic monitoring at the commercial-scale CO₂ geological storage site, Cranfield, U.S. (Part 2)

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

Makiko Takagishi^{1*}, Tsutomu Hashimoto¹, Shigeo Horikawa², Kinichiro Kusunose³, Ziqiu Xue¹

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負の無感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 により原油回収を実施している。2007 年から年間 100 万トンの大規模 CO₂ 圧入を実施しており、現在までに 4 00 万トンの圧入が完了している。RITE では Cranfield 油田において微小振動観測網を構築し、2011 年 12 月より連続観測を開始した。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。観測開始から 1 カ月間の初期観測記録を解析した結果、CO₂ 圧入に起因した微小振動の発生は確認されていない [高岸・他, (2012, JpGU)]。

本発表では、1 年間に及ぶ微小振動観測記録を解析した結果を報告する。現在までに、観測システムは正常に作動しているものの CO₂ 圧入に伴う微小振動の発生は確認されていない。観測記録はバックグラウンドノイズ、人工ノイズ、遠地震、落雷によるノイズに分類され、この結果は目視確認した結果と整合した。また、観測された波形記録を用いて微小振動観測網のイベント検知能力を検討したので併せて報告する。

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。

キーワード: CO₂ 地中貯留, 微小振動観測

Keywords: CO₂ geological storage, microseismic monitoring

長岡サイトの貯留層における V_p/V_s と岩相の関係 A relationship between V_p/V_s and lithology in the reservoir at the Nagaoka site

中島 崇裕^{1*}, 西澤修¹, 薛自求¹
Takahiro Nakajima^{1*}, Osamu Nishizawa¹, Ziqiu Xue¹

¹ (公財) 地球環境産業技術研究機構

¹Research Institute of Innovative Technology for the Earth

Seismic methods have been widely used for explorations of CCS sites and monitoring of CO₂ behavior. In this method P-wave data are primarily used. S-wave velocity has independent properties from P-wave velocity, such as S-wave is insensitive to the existence of fluid in the pore of rock. The ratio of these velocities has been utilized to evaluate lithology of formations and gas saturation in the rocks (e.g. Brie et al. 1995). This paper reports a relationship between V_p/V_s data and rock properties at the reservoir of Nagaoka site in Japan.

Nagaoka is the first Japanese pilot-scale CO₂ injection site. A thin permeable zone at the depth of 1100m was selected for the reservoir. For the sonic logging, a low frequency dipole sonic tool has been used at Nagaoka to observe P- and S-wave velocities. Data for the uncased hole logging were used to analyze V_p/V_s , since the V_s data of the cased hole logging had difficulty to separate true S-wave from flexural waves through the casing. Therefore V_p/V_s data in this paper showed results before the CO₂ injection.

Cross plot between porosity and V_p/V_s in the reservoir showed that the scattered data can be categorized into two parts; V_p/V_s were almost constant but porosity changed, and V_p/V_s were dispersive but porosity remained constant. This tendency cannot be seen in the cross plot between porosity and V_p , therefore V_p/V_s might have better response for the lithological evaluations. These differences in the V_p/V_s distributions are consistent with the Fullbore Formation MicroImager logging results, and the distribution in V_p/V_s had dependency on shale volume. The relationship between V_p/V_s and rock properties will be interpreted. Note that the difference in V_p/V_s distribution can be seen in the reservoir with the thickness of 10m. These V_p/V_s distribution might be a feature in Japanese formations, where rock properties change within complex alternate layers.

キーワード: CO₂ 地中貯留, 長岡, V_p/V_s , 検層

Keywords: CO₂ geological storage, Nagaoka, V_p/V_s , Well logging

長岡 CCS サイトの 3D 貯留層モデルと CO₂ 挙動シミュレーション

A three-dimensional static reservoir model of the Nagaoka CCS Site and to simulate a carbon dioxide plume migration

千代延 俊^{1*}, 中島 崇裕¹, 薛自求¹

Shun Chiyonobu^{1*}, NAKAJIMA, Takahiro¹, XUE, Zique¹

¹ (公財) 地球環境産業技術研究所

¹RITE

Authors constructed a three-dimensional static reservoir model of the Nagaoka CCS Pilot Site and to simulate a carbon dioxide (CO₂) plume migration for 10,000 t injected. The scope of work included incorporating all available geological and geophysical data (well logs, seismic, core, and cuttings data, as well as previously observed depositional and structural trends) to create a geological model of formations from the Haitsume sandstone near the Minami Nagaoka Natural Gas Field, Niigata, Japan. The injection well is to be located in the immediate vicinity of Nagaoka city, Niigata. The boundaries of the static reservoir model span a geographical area of approximately two square km around the Iwanohara base of INPEX.

Several phases static and dynamic modeling were conducted, each with successively greater geoscience data support. Static model was constructed a reservoir from the Zone2 to Zone5 bottoms included 3D seismic data for Stratigraphic control as well as well log petrophysical data. Petrophysical properties in the Zone2 and Zone5 were supported by data from 4 wells and attributed data from 3D seismic. Simulation modeling explored the impact of stochastic uncertainty in static model properties on injection performance using the Nagaoka data (Sato et al., 2011). Petrophysical properties (porosity and permeability) were computed from well logs of Injection Well-1 (IW-1), Observation Well (OB-2), OB-3, and OB-4, 3D seismic data, and core analyses. The amount of well log based petrophysical property control diminishes with depth. Petrophysical property were interpolated throughout the static model using seismic attribution, stochastic method, and upscaled into the simulation grids.

ドイツ Ketzin CCS 実証試験サイトにおける地震波アクロスと地震計アレーによる タイムラプスのシミュレーション Time-lapse simulation for the Ketzin (Germany) CCS site assuming a single seismic ACROSS and multi-seismic receivers

笠原 順三^{1*}, 高梨 将², 加藤 文人², 羽佐田 葉子³, ステファン ルース⁴, クリストファー ジュリン⁵
Junzo Kasahara^{1*}, Mamoru Takanashi², Ayato Kato², Yoko Hasada³, Stefan Lueth⁴, Christopher Juhlin⁵

¹ 東京海洋大学, ² 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, ³ 大和探査(株), ⁴ GFZ, ドイツ, ⁵ ウプサラ大学

¹Tokyo University of Marine Science and Technology, ²JOGMEC, ³Daiwa Exploration and Consulting Co. Ltd., ⁴GFZ, Germany, ⁵Uppsala University

Time-lapse-studies of the physical state of the injection zones or fractured zones is a key component in the CCS, CO₂-EOR and shale-gas development. Monitoring systems using the seismic-ACROSS can be one of the most suitable methods for these purposes. We have made simulations assuming a single ACROSS source and a multi-seismometer- array installed at the Ketzin pilot site for CO₂ storage in Germany. At Ketzin, CO₂ has been injected since July, 2008. About 62 ktons of super-critical CO₂ have been injected to date at about 630-650 m depth, and injection will continue into 2013. To monitor how the injected CO₂ behaves after injection is extremely important for studying the long term behavior of a storage site. The objectives of this study are to find the most suitable locations for an ACROSS-source and receivers at the Ketzin site given infrastructure constraints. Preliminary results using the velocity-density structure site model shows that a rectangular injection zone 200 m wide and 10 m thick at 665 m depth is well imaged. This result encourages us to plan for using an ACROSS-source for time-lapse-studies to monitor the migration of injected CO₂ at Ketzin, even after injection has finished.

キーワード: タイムラプス, CCS, アクロス, モニタリング, 地震波, タイムリバーサル法

Keywords: Time lapse, CCS, ACROSS, monitoring, seismic waves, timerevesal method

X線CT可視化技術による Berea 砂岩中のマイクロバブルCO₂流動特性の検討 X-ray CT visualization of CO₂ microbubbles migration in Berea sandstone

辻 真也^{1*}, 薛 自求², 西尾晋³, 亀山寛達³, 松岡俊文¹

Shinya Tsuji^{1*}, Ziqiu Xue², NISIO, Susumu³, KAMEYAMA, Hirotsu³, Matsuoka Toshifumi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² 公益財団法人地球環境産業技術研究機構, ³ 東京ガス

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²Research Institute of Innovative Technology for the Earth, ³Tokyo Gas

Laboratory core flooding experiment was run to investigate supercritical CO₂ migration in brine saturated sandstone. The sample was cylindrical Berea sandstone measuring 35mm in diameter and 70mm in length. A grooved disc and a special porous filter were set to the sample ends.

Supercritical CO₂ was injected into the sample under same pressure and temperature conditions. X-CT system was used to visualize migrations of CO₂ injected from different filters. When injecting CO₂ from the special porous filter the CO₂ was microbubble and through the grooved disc the CO₂ was normal bubble. CO₂ saturation estimated from CT values and the CO₂ distribution clearly showed advantages of microbubble CO₂ injection and the experimental results suggest the usefulness of microbubble CO₂ injection in both saline aquifer storage and enhanced oil recovery.

キーワード: マイクロバブル CO₂, ベレア砂岩, X線CT, 可視化技術, 石油増進回収, 帯水層貯留

Keywords: microbubble CO₂, Berea sandstone, X-ray CT, Visualization, enhanced oil recovery, saline aquifer storage

CO₂ ナノスケール化による安定地中隔離技術開発 Development of stable geological storage technique by CO₂ nano-sizing

植村 豪^{1*}, 近藤 史也¹, 松井 陽平¹, 津島 将司¹, 平井 秀一郎¹
Suguru Uemura^{1*}, Fumiya Kondo¹, Yohei Matsui¹, Shohji Tsushima¹, Shuichiro Hirai¹

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

1. 緒言

大気中への多量の CO₂ 排出を防ぐ二酸化炭素回収隔離 (Carbon Capture and Sequestration, CCS) において, CO₂ 地中隔離が実用化に最も近い CO₂ 削減技術として期待されているが, CO₂ は浮力によって地下帯水層中を上昇するため, 地表への CO₂ 漏洩リスクを低減させる, 社会的受容性の高い地中隔離手法の確立が求められている. そこで本研究ではナノスケールまで微粒化した CO₂ を帯水層に圧入し, 浮力を分散させた安定性の高い地中隔離手法を提案する. 実際に高圧水中でナノスケール CO₂ 液滴を生成し, 粒径分布の時間発展現象の観察および経時変化に対する安定性を調べた. さらに帯水層を模擬した多孔質内にナノスケール CO₂ 液滴を圧入し, X 線 CT 法を用いて多孔質内部における挙動を観察した.

2. 実験方法

実験ではスタティックミキサーを有する循環回路を用い, CO₂ の微粒化を行った. 実験では界面活性剤 (トリシロキサン) の濃度, 水と CO₂ 液滴の体積比をパラメータとした. CO₂ 液滴の粒径は動的光散乱測定装置を用いて計測した. また, 微粒化した CO₂ 液滴は多孔質中に圧入し, マイクロフォーカス X 線 CT を用いて, CO₂ 挙動を三次元で可視化した. 水と CO₂ を明確に判別するため, 造影剤 (ヨウ化ナトリウム) を水に溶解させた上で前述の方法で CO₂ を微粒化した後, 多孔質内部に圧入した. 圧入後, 数日間にわたって定温定圧条件を維持し, 多孔質内部における CO₂ 液滴の挙動を観察した.

3. 実験結果および考察

水, CO₂, 界面活性剤を微粒化し, ポンプ停止直後から動的光散乱測定装置を用いて個数換算粒径分布の時間変化を計測した. ポンプ停止直後の液滴の粒径は大半が数十 nm であり, CO₂ がナノスケールまで微粒化されていることが分かった. 時間と共に CO₂ 液滴は少しずつ成長し, ポンプ停止から 50 分が経過したところで, 粒径分布のピークはより大きなピークとより小さなピークの 2 つに分岐した. 粒径分布が変化するメカニズムには, 複数の液滴が単一の液滴になる合- , あるいは液滴径に依存した局所的な溶解・析出による液滴径の増減 (オストワルドライプニング) が挙げられる. ポンプ停止直後では液滴の個数が多く, 液滴間距離が小さいために液滴同士の接触頻度が高く合- が起こりやすい. 合- が進行するにつれて図 4 のように液滴の個数は減少し, 液滴間距離が大きくなると共に液滴径の分布も広くなる. その結果, 接触頻度が低下して合- が起こりにくくなると共に, 相対的にオストワルドライプニングが顕在化すると考えられる.

次に多孔質内部に微粒化した CO₂ 液滴を圧入し, X 線 CT 画像からその経時変化を捉えた. 圧入直後は大半の CO₂ 液滴が空間分解能 (20 micrometer) 以下であるため, CT 画像中ではナノスケールの CO₂ は観察できないが, 3 日後には CO₂ 液滴が空隙サイズまで成長し, 多孔質内部で均一に分散していることが分かった. この時の分布は 6 日後においてもほぼ同様であり, 安定してトラップされていることが分かった. この結果から, ナノスケール CO₂ 液滴は多孔質内部に均一に浸透した後, 空隙程度のスケールまで粒径が増加するものの, 依然として液滴に働く浮力は小さいために, 毛管力によって空隙中に安定してトラップされることを明らかにした. これは CCS を行うにあたり, ナノスケール CO₂ 液滴であれば帯水層内において安定して隔離できる可能性を示唆している.

4. 結言

CO₂/水系に界面活性剤を少量添加し, スタティックミキサーを用いて CO₂ を初期平均粒径で数十 nm のナノスケール液滴に微粒化することに成功した. また, 多孔体内部に圧入されたナノスケール CO₂ 液滴は空隙スケールの液滴まで粒径が増加するものの, 浮力が小さいために毛管力によって安定してトラップされることを示した.

キーワード: 二酸化炭素地中隔離, 微粒化, ナノスケール, X 線 CT

Keywords: CO₂ geological sequestration, Micronization, Nano-sizing, X-ray CT

CCS実証試験のための北九州地点における調査の概要 Geological Surveys for CCS Demonstration in Kitakyusyu, Western Japan.

阿島 秀司^{1*}, 大川史郎¹, 原 彰男², 東中基倫², 白濱章悟³, 下山みを⁴, 田中智之¹, 瀧尾順一¹, 阿部正憲¹
Shuji Ajima^{1*}, Shiro Ohkawa¹, Akio Hara², Motonori Higashinaka², Shogo Shirahama³, Mio Shimoyama⁴, Tomoyuki Tanaka¹, Junichi Takio¹, Masanori Abe¹

¹ 日本CCS調査, ² 地球科学総合研究所, ³ J Pハイテック, ⁴ 応用地質

¹Japan CCS Co., Ltd., ²JGI, Inc., ³JPHYTEC Co., Ltd., ⁴OYO Corporation

北九州地点(響灘海域および沿岸域)は、平成20年度に実施された経済産業省補助事業において、全国115地点の候補地から日本におけるCCS大規模実証試験候補地(3地点)の一つとして選定された。北九州地点は、日本における古第三紀層を対象とした唯一のCCS実証試験候補地であるとともに、西日本で唯一の候補地である。調査ならびに実証試験により古第三紀層の貯留層・遮蔽層の有効性が確認されれば、これまでCO₂貯留の対象とされなかった古第三紀層の可能性が広がり、日本におけるCO₂貯留可能量は増大すると考えられる。また、北九州地点におけるCO₂貯留可能性の検証は、古第三紀層が分布する他の地域での貯留可能性の評価、将来のCCS事業の展開に大きく寄与するものと期待される。

北九州地点は既存の深部地質情報が少ない。このため、将来的な実証試験の実施に向けた貯留層評価のための調査として、2009年に既往データを用いた重力解析、2010年にボーリング調査(北九州CCS-1)とVSPならびにその近傍での二次元弾性波探査、2011年に重力探査(補完調査)および北九州CCS-1コアを用いた堆積相解析等の深部地質構造調査・解析を実施した。

重力探査の結果、本地域の堆積盆の形態がより明瞭になった。北九州CCS-1(掘削深度1,180m)は、当該地域で1,000m以深の基盤岩まで初めて到達したボーリングであり、基盤岩までの層序・層厚を確認した。弾性波探査およびVSPにより、ボーリング調査地点から海域方向への地質構造データ(走向と傾斜等)を取得した。さらに、ボーリング調査地点周辺の堆積環境の推定および堆積層の連続性に関する検討を行い、重力探査、ボーリング調査、弾性波探査、VSP等の調査結果も考慮して、本地点の初期地質概念モデルを構築した。

北九州地点における調査は、将来の実証試験に向けた評価のための基礎データを収集した段階にある。現在得られている調査データは主に北九州市の陸域に限られたものであり、堆積盆をカバーする海域での広域データ取得により、貯留層評価の精度向上が期待される。2012年には、下関市西方のデータ取得および将来的に海域での広域データ取得をする際の予備的調査として、下関市の海域および沿岸域で小規模な二次元弾性波探査を実施した。

本論は、経済産業省委託事業「二酸化炭素削減技術実証試験事業(北九州地点における調査、検討)」の成果の一部をとりまとめたものである。

キーワード: 二酸化炭素地中貯留, CCS基礎実証試験, 古第三系

Keywords: CO₂ geological storage, CCS pilot-scale demonstration, Paleogene

北九州沿岸地域を対象とした地質データの総合解析に基づく地質概念モデルの構築 Geological Conceptual Model Based on Integrated Analysis Using Some Geological data obtained in the Kitakyusyu Site.

原 彰男^{1*}, 野中美雪¹, 阿島秀司², 大川史郎², 田中智之², 東中基倫¹, 瀧尾順一²

Akio Hara^{1*}, Miyuki Nonaka¹, Shuji Ajima², Shiro Ohkawa², Tomoyuki Tanaka², Motonori Higashinaka¹, Junichi Takio²

¹ 株式会社地球科学総合研究所, ² 日本CCS調査株式会社

¹JGI, Inc., ²Japan CCS Co., Ltd.

北九州地点(響灘海域および沿岸域)は、日本における古第三紀の貯留層を対象とした唯一のCCS実証試験候補地であり、日本CCS調査により、将来的なCCS実証試験の実施を目指した貯留層評価のための地質データ収集を目的として、各種調査が行われている。本解析は、日本CCS調査(株)が掘削したボーリング孔「北九州CCS-1」のコア試料観察および物理検層データを用いた堆積学的解析、重力解析、およびそれを補足する地表地質調査等に基づき、対象地域に分布する古第三系の岩相および岩相組み合わせから推定される堆積環境、地層の空間的分布特性に関する地質情報を抽出し、地質概念モデルの構築を行ったものである。

北九州CCS-1のコア試料のうち、基盤岩(白亜紀の花崗岩類)直上に堆積した出山層天籟寺部層および上津部層について、堆積学的な視点から観察・検討を行った結果、これらの地層が河川および河川間堆積物から成る陸成層である可能性が高いことが推定された。また、北九州CCS-1の物理検層解析結果からは、天籟寺部層および上津部層の砂岩は、その物性値の違いから、チャンネル充填堆積物に由来すると考えられる砂岩(しばしば礫岩を伴う)と、洪水起源のオーバーフロー堆積物に由来すると考えられる砂岩(泥岩中に挟在される)の二種類の砂岩層があると推定された。

北九州CCS-1近傍で実施された弾性波探査データについて地質判読を行ったところ、天籟寺部層に対比される地層において見られる強い反射面については、北東-南西方向に伸長した形状をしている可能性が示唆された。この強反射面は、礫岩層に対比できるものと考えられ、反射面の伸長方向は、チャンネルの伸びの方向を示している可能性がある。

重力データ解析結果においては、堆積盆地は南北方向に伸長し、東側が急斜面で西側は比較的緩やかな斜面を呈した半地溝状の形状をしていることが示された。これに関し、堆積盆地の西側の斜面に相当すると考えられる北九州市から下関市の島嶼部において地表地質調査を実施した結果、当該地域の地質構造は北東方向にプランジした開いた向斜状の地質構造を呈しており、重力データ解析結果から推定される堆積盆地の形状と整合的であった。

一連の検討結果から、天籟寺部層および上津部層は、南北方向に伸張した半地溝状の堆積盆地の形成初期に堆積した、河川および河川間堆積物から成る陸成層である可能性が高いものと判断し、今後の貯留層評価に資するため地質概念モデルを作成した。

本論は、経済産業省の委託事業成果の一部である。また、千葉大学大学院の伊藤慎教授には堆積相解析に関する助言を戴いた。これらの方々に謝意を表す。

キーワード: 二酸化炭素回収・地中貯留, 堆積相解析, 地質概念モデル

Keywords: carbon dioxide capture and storage (CCS), Sedimentary facies analysis, Geological conceptual model

現場温度圧力条件下における海底下夾炭層への二酸化炭素注入実験 A CO₂ injection-experiment with subseafloor coal measures under in-situ pressure and temperature condition

大友 陽子^{1*}, 井尻 暁¹, 堤 正純¹, 池川 洋二郎¹, 稲垣 史生¹
Yoko Ohtomo^{1*}, Akira Ijiri¹, Masazumi Tsutsumi¹, Yijiro Ikegawa¹, Fumio Inagaki¹

¹ 海洋研究開発機構海底資源 LP 地球生命工学研究グループ

¹ Geobio-Engineering and Technology Group, JAMSTEC

The release of one-carbon compounds (i.e., CO₂ and CH₄) into the atmosphere due to human activities has been recognized as a major factor causing dramatic climatic change on the Earth. In recent years, the increasing concentrations of greenhouse gases are expected to cause warmer surface temperatures at an accelerating rate and subsequent alternation of ecosystems and biogeochemical cycles. Consequently, a variety of CO₂ disposal options are discussed, including CO₂ Capture and Storage (CCS) followed by injection of CO₂ into deep subseafloor hydrocarbon reservoirs such as coal formations. However, geophysical and geochemical behaviors of high concentration of CO₂ within subseafloor environments, as well as ecological consequence and biogeochemical carbon cycle, remain largely unknown. In this study, we performed a CO₂ injection-experiment using subseafloor bituminous coal samples (Kushiro Coal Mine, Co. Ltd.) under high pressure and temperature condition.

The reaction experiment was performed using a newly developed flow-through geobio-reactor system at the Kochi Institute for Core Sample research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). The reaction column was prepared from the coal chips (from 1 to 3 cm in diameter) and powdered sandstone, which were packed in a heat-shrinkable tube under anaerobic condition. Anaerobic artificial seawater (ASW) and CO₂ were continuously supplemented into the column for 56 days under the following condition: flow rate of ASW; 0.002 ml/min, flow rate of CO₂; 0.00001 ml/min, pore pressure; 40 MPa, confined pressure; 41 MPa, temperature: 40 degrees C. After the reaction, XRD analysis showed no or very little changes on mineral assemblages of the sandstone, whereas minor carbonate generation was observed by SEM-EDS analysis. The sandstone contained ~10⁴ microbial cells/cm³ after experiments, which was similar to the biomass prior to the experiment. Molecular analysis of the extracted 16S rRNA genes revealed the predominance of spore-forming bacteria (e.g., *Lysinibacillus* and *Bacillus*) in the coal samples, which members were also found in the reaction column after the CO₂-injection experiment. During the reactor operation, we observed increase of dissolved CH₄ concentration up to 186 micro M, whereas total dissolved inorganic carbon in the medium passed through the column decreases compared to the injected amount (e.g., total dissolved inorganic carbon in the medium: 125.6 mM, the injected total dissolved inorganic carbon: 138.38 mM at 56 days). Based on the carbon isotopic composition of DIC, it is most likely that no or very little microbial methanogenesis occurred and the absorbed CH₄ was released from the coal samples during the CO₂-injection experiment.

Keywords: Bio-CCS, Coal, CO₂

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

田中 敦子^{1*}, 坂本 靖英¹, 駒井 武¹

Atsuko Tanaka^{1*}, Yasuhide Sakamoto¹, Takeshi Komai¹

¹ (独) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

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

本ポスターでは、我々が新たに着手した微生物と CCS の融合技術のリスク評価についての取り組みを紹介する。油ガス層内の炭酸ガスの分圧を上昇によってメタンガスを多く産出する微生物と CO₂ 地中貯留とを組合せる (Bio-CCS) ことにより、温暖化ガスの固定とともに天然ガス資源の創成を目指す研究プロジェクトに我々は着手した。このプロジェクトでは、微生物と CCS との組合せに関して微生物培養の最適化とあわせて、効果的で安全な新技術の確立のためのリスク評価を進めている。我々のリスク研究は次の領域をカバーするものである。1) 地層と注入井、2) 大気、3) 地上施設、4) 海底。これらの範囲のリスクシナリオとリスク評価結果は、我々が開発中の CO₂ 地中貯留リスク評価プログラム GERAS-CO₂GS に組み込む予定である。最終的には、Bio-CCS 技術のリスク評価のみならず、CO₂ 地中貯留全般に役立つリスク評価ツールとなることが期待される。

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, Bio-CCS

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