

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステムに関する研究」領域)

インドネシア中部ジャワ州グンディガス田における二酸化炭素の地中貯留及びモニタリングに関する先導的研究

(インドネシア)

平成 24 年度実施報告書

代表者：松岡 俊文

京都大学 大学院工学研究科・教授

<平成 23 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

インドネシアでは、今後のエネルギー需要の急拡大にともない、新規あるいは老朽化の進んだ油ガス田の開発や増産が緊急の課題となっている。一方、インドネシアのガス田の多くはCO₂含有量が高く、天然ガスの生産に伴うCO₂の処分が、地球温暖化の問題と絡んで大きな社会的問題となっている。そこで、本研究では、石油やガスの増産にともなうCO₂の大気中への放散を抑制し、地球温暖化を防ぐための具体策として期待されているCCS(Carbon Dioxide Capture and Sequestration)の促進を図ることを目的に、インドネシア国のバンドン工科大学(ITB)を中心とした研究機関と共同で、CO₂の安全な地中貯留技術の確立のための研究開発を行う。具体的には、天然ガスの開発が始まるインドネシア中部ジャワ州のグンディガス田において実施するCCSにおいて、CO₂貯留層の評価技術およびモニタリング技術の研究開発を行い、その結果をもとにCO₂の地中貯留技術に関わる技術指針を作成し、普及を図る計画である。

平成23年度は、本格的な研究開始のための準備として、インドネシアのジャカルタおよび東京において、関係研究機関の研究者ならびに一般参加者を集めたCCSに関するシンポジウムを開催し、世界各国ならびにインドネシア、日本両国におけるCCSに関わる政府や研究機関の動向や技術開発の状況、また本研究で実施する予定の研究計画などについての紹介を行った。平成24年度は、5年計画のプロジェクトの初年度として、CO₂貯留層の評価技術の開発を目的に、グンディガス田周辺で取得された既往データを再解析し、貯留層候補地層の地質学的、地球物理学的特性を明らかにするとともに、予備的な貯留層シミュレーションを行い貯留性能の検討も行った。その結果、サイト北部により適した貯留層候補地層が存在する可能性が明らかとなったため、新たに必要なデータを入手・再解析を行うことを決めた。モニタリング技術の開発については、電磁法探査装置、地震探査装置、微小地震観測装置の導入準備を行った。CCS事業の普及拡大を目的としたシンポジウムを東京とインドネシアバリ島で開催した。東京では70名を超える参加者、バリ島ではプロジェクト遂行上重要な関係機関からの参加者を得て成功裏に終えることができた。

平成25年度は、引き続き貯留層の評価技術の開発を目的に、新たに入手するサイト北部データの再解析を行い、地質モデル及び貯留層モデルを構築し、貯留層シミュレーションを行って本サイトに最適な貯留層候補地層を決定する。選定した貯留層の貯留性能をベースにCCSの概略設計を行い、Pertamina等関係機関との協議を行う。モニタリング技術の開発については、新たに重力探査装置を導入するとともに、探査装置の予備テスト、数値シミュレーションによる探査性能の評価等を行い、ベースラインサーベイの探査計画を立案する。

2. 研究グループ別の実施内容

(1) 京都大学グループ／貯留層評価及びモニタリング技術の最適化に関する研究

①研究のねらい

CO₂を注入する貯留層の特性を評価する手法及びCO₂の貯留層内での挙動をモニタリングする手法の最適化に関する研究を行い、手法と手順に関する規準案を作成する。

②研究実施方法

CO₂の貯留層内での流動に関して、ナノスケールからマクロスケールまでの検討を行うために、鉱物表面におけるCO₂の濡れ性の評価を分子動力学を用いて行い、これを基にLBMを使って孔隙内でのCO₂の流動を検討する。さらに、グンディガス田の既往データの解析によりサイトの地質モデル及びCO₂貯留層モデルを構築し、CO₂圧入シミュレーションによって貯留性能の評価を行う。一方、モニタリング技術については各手法の探査試験結果をもとに適用性を評価する。両評価結果をベースにCO₂地中貯留に関する規準案を作成する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

シリカ表面におけるCO₂の濡れ性に関して分子動力学を用いて評価し、実験結果との良い一致を得た。また、Pertamina から提供された既往データの再解析を行い候補となる貯留層を抽出、貯留層モデルを試作し、予備的なシミュレーションによって貯留性能の検討を行った。その結果、サイト北部の地層の貯留性能の評価も合わせて行う必要があることが明らかとなった。

④カウンターパートへの技術移転の状況

地質モデルの構築、貯留層評価をITBの研究者と一緒に行うことにより、モデル構築法、貯留層の選定に関する基本的考え方等のCO₂貯留層評価に必要な基本的な技術の確認、技術交換ができた。

(2) 秋田大学グループ/貯留層シミュレーション及び動態モニタリング技術の研究

①研究のねらい

CO₂を貯留層に最も効率的、経済的に且つ安全に注入するための諸条件ならびに最適なモニタリング手法を検討するために、実際の貯留層をモデル化して注入シミュレーションを行う。

②研究実施方法

貯留層シミュレータGEMを利用したシミュレーションにより最適な注入のための諸条件を検討する。シミュレータへの入力物性を得るために、および岩石中のCO₂の挙動を把握するために、現地で採取した岩石サンプルを用いて室内試験を行う。モニタリング技術の研究としては、自然地震を利用したトモグラフィ法や地震波干渉法の適用性を検討し、モニタリングのための観測仕様を決定する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

当初計画通り、予備的な貯留層シミュレーションを実施するとともに、サイト周辺でのCO₂の貯留層候補地層の露頭から岩石サンプルを取得した。同時に、岩石の室内試験に必要な設備の準備を行った。

④カウンターパートへの技術移転の状況

ITBの研究者と一緒に地質踏査を行い、室内試験に必要な岩石コアの選定や採取方法についてのスキルやノウハウの確認、技術交換ができた。

(3) 早稲田大学グループ/電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究

①研究のねらい

注入したCO₂の貯留層内での動態をモニタリングする手法の1つとして電気・電磁法の適用性を研究、評価する。

②研究実施方法

時間領域電磁法探査(TDEM)の最新の測定機を導入し、その現地適用を通じて、従来の周波数領域電磁法では必ずしも明確になっていない電磁法探査のCO₂挙動モニタリングへの適用性を明らかにする。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

MIセンサー付時間領域電磁法探査装置の室内における要素試験を行い装置仕様を決めた上で、装置導入に必要な準備、発注作業を行った。装置は今年10月納入される予定である。

④カウンターパートへの技術移転の状況

探査装置の導入が遅れているため、導入装置を使用して現地で実施を予定していた測定・解析法に関する技術交換の実施には至っていない。

(4) 深田地質研究所グループ/探査データの総合解釈・評価技術の研究

①研究のねらい

各種探査で得られた物性値からCO₂の飽和度等の変化を推定するための解析手法及びCO₂貯留層およ

び帽岩の評価技術について研究を行う。

②研究実施方法

既往の適用事例を調査し、複数の物理探査データから貯留層、帽岩及び貯留層内の CO₂ の評価手法について整理し、課題を抽出する。物理探査データから帽岩の力学的、水理学的特性を評価する手法について研究する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

非破壊的に帽岩の力学的特性を推定する手法として、ロックフィジックスを利用して弾性波速度から静的ヤング率や圧縮強度を推定する手法を開発した。その成果は SEG(米国物理探査学会)にて発表を行った。

④カウンターパートへの技術移転の状況

ロックフィジックスを利用した貯留層の透水性の評価法については ITB でも研究が行われており、シンポジウム、研究会議等を通じて技術交換を進めている。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 10 件): “accepted”、“to be published”、“in press”がある場合は、分けて記載して下さい。

② 本プロジェクト期間累積件数(国内 4 件、海外 14 件)

- 1) Tsuji, T., Dvorkin, J., Mavko, G., Nakata, N., Matsuoka, T., Nakanishi, A., Kodaira, S., and Nishizawa, O. (2011), Vp/Vs ratio and shear-wave splitting in the Nankai Trough seismogenic zone: Insights into effective stress, pore pressure and sediment consolidation, *Geophysics*, 76, No.3, WA71-WA82
- 2) Nakata, N., Snieder, R., Tsuji, T., Larner, K., and Matsuoka, T. (2011), Shear-wave imaging from traffic noise using seismic interferometry by cross-coherence, *Geophysics*, 76, No. 6, SA97-SA106
- 3) Yamada, Y., McNeill, L., Moore, J.C., Nakamura, Y., (2011), Structural styles across the Nankai accretionary prism revealed from LWD borehole images and their correlation with seismic profile and core data: Results from NanTroSEIZE Stage 1 expeditions, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q0AD15, doi:10.1029/2010GC003365.
- 4) Kamei, R., Pratt, R.G., and Tsuji, T. (2012), Waveform Tomography Imaging of a Megasplay Fault System in the Seismogenic Nankai Subduction Zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 317-318, 343-353.
- 5) Matsuoka, T., and Xue, Z. (2012), Geophysical Monitoring for Carbon Dioxide Capture and Storage - Case of Nagaoka CO₂ Injection Site in Japan, *The Contribution of Geosciences to Human Security*, Logos Verlag Berlin, pp87-102, ISBN 978-3-8325-3113-3.
- 6) Ledyastuti, M., Liang, Y., Miranda, C. R., and Matsuoka, T. (2012), Comparison of thermodynamic stabilities and mechanical properties of CO₂, SiO₂, and GeO₂ polymorphs by first-principles calculations, *Journal of Chemical Physics*, 137, 034703.
- 7) Ledyastuti, M., Liang, Y., Kunieda, M., and Matsuoka, T. (2012), Asymmetric orientation of toluene molecules at oil-silica interface, *Journal of Chemical Physics*, 137, 064703.
- 8) Ikeda, T., Matsuoka, T., Tsuji, T., and Hayashi, K. (2012), Multimode inversion with amplitude response of surface waves in the spatial autocorrelation method, *Geophys. J. Int.*, 190 (1), 541-552.
- 9) Khakim, M. Y. N., Tsuji, T., and Matsuoka, T. (2012), Geomechanical modeling for InSAR-derived surface

deformation at steam-injection oil sand fields, J. Petrol. Sci. Eng., 96-97, 152-161.

- 10) Minato, S., Tsuji, T., Matsuoka, T., and Obana, K. (2012), Crosscorrelation of earthquake data using stationary phase evaluation: Insight into reflection structures of oceanic crust surface in the Nankai Trough, International Journal of Geophysics, 8 pages, Article ID 101545.
- 11) Mikami, Y., Liang, Y., Matsuoka, T., and Boek, E. S. (2013), Molecular Dynamics Simulations of Asphaltenes at the Oil-Water Interface: From Nanoaggregation to Thin-Film Formation, Energy & Fuels, in press.
- 12) Yoo, S.Y., Kuroda, Y., Mito, Y., Matsuoka, T., Nakagawa, M., Ozawa, A., Sugiyama, K., and Ueda, A. (2012), A geochemical clogging model with carbonate precipitation rates under hydrothermal conditions, Appl. Geochem, in press.
- 13) Makimura, D., Kunieda, M., Liang, Y., Takahashi, S., Okabe, H., and Matsuoka, T. (2012), Application of molecular simulations to CO₂-EOR: Phase equilibria and interfacial phenomena, SPE Journal 163099-PA, in press.
- 14) Yoo, S.Y., Ueda, A., and Matsuoka, T. (2013), Experimental studies of injectivity reduction due to carbonate mineralization, Greenhouse Gas Sci. Technol., in press.
- 15) 池田達紀, 松岡俊文, 辻 健, 林宏一 (2011), SPAC 法における異なる相関距離を考慮したマルチモード解析, 物理探査, 64, No.2, 127-138.
- 16) 柳 丞烈, 上田 晃, 水戸 義忠, 松岡俊文 (2012), 高温下 CO₂ 地中貯留を模擬したカラム試験における炭酸塩鉱物の付着速度評価, 材料, 61, No.3, 253-258.
- 17) 山邊浩立, 松岡俊文 (2012), 格子ボルツマン法による地震波の水油 2 相流体に及ぼす影響の兼用, 地学雑誌, 121, No.1, 53-67
- 18) 國枝真, 上田晃, 松岡俊文, 岡津弘明, 福中康博 (2012), 油-鉱物-水システムにおける濡れ性に関する研究—ミクロスケールでの接触角測定—, 地学雑誌, 31-38

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

- (1) 京都大学グループ (貯留層評価及びモニタリング技術の最適化に関する研究)
 - ① 研究者グループリーダー名: 松岡俊文 (京都大学大学院工学研究科・教授)
 - ② 研究項目: CO₂ を注入する貯留層の特性を評価する手法及び CO₂ の貯留層内での挙動をモニタリングする手法の最適化に関する研究を行い、手法と手順に関する規準化案を作成する。
- (2) 秋田大学グループ (貯留層シミュレーション及び動態モニタリング技術の研究)
 - ① 研究者グループリーダー名: 尾西恭亮 (秋田大学大学院工学資源学研究科・助教)
 - ② 研究項目: CO₂ を貯留層に最も効率的、経済的に且つ安全に注入するための諸条件ならびに最適なモニタリング手法を検討するために、実際の貯留層をモデル化して注入シミュレーションを行う。
- (3) 早稲田大学グループ (電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究)
 - ① 研究者グループリーダー名: 斎藤章 (早稲田大学理工学術院・特任教授)
 - ② 研究項目: 注入した CO₂ の貯留層内での動態をモニタリングする手法の1つとして電気・電磁法の適用性

を研究、評価する。

(4)深田地質研究所グループ(探査データの総合解釈・評価技術の研究)

①研究者グループリーダー名：高橋亨（公益財団法人深田地質研究所・理事）

②研究項目：各種探査で得られた物性値から CO₂ の飽和度等の変化を推定するための手法及び CO₂ 貯留層の評価技術について研究を行う。

以上