

機関番号：84307
 研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2008 ~ 2010
 課題番号：20360407
 研究課題名 (和文) 帯水層に圧入された二酸化炭素の貯留特性と貯留量評価技術の研究
 研究課題名 (英文) Research of storage quality and quantitative evaluation technology for injected CO₂ in saline aquifer storage
 研究代表者
 薛 自求 (ZIQIU XUE)
 (財)地球環境産業技術研究機構・CO₂貯留研究グループ・副主席研究員
 研究者番号：90467449

研究成果の概要 (和文)：地下深部地層の温度・圧力条件下で、孔隙率や浸透率が異なる 2 種類の砂岩試料に超臨界 CO₂ を注入しながら、弾性波速度と比抵抗の変化を測定した。これらの実験データをもとに推定した各々の砂岩試料中の超臨界 CO₂ 飽和度について、二相流 (超臨界 CO₂、間隙水) 解析コード TOUGH2 による数値シミュレーションで得た砂岩試料中の超臨界 CO₂ 飽和度とよく一致し、帯水層に圧入した CO₂ 貯留量評価法の有効性が明らかになった。

研究成果の概要 (英文)：Laboratory measurements of P-wave velocity and resistivity were carried out under in-situ temperature and pressure conditions, when injecting supercritical CO₂ into two porous sandstones with different porosity and permeability. CO₂ saturations estimated based on P-wave velocity and resistivity data are in good agreement with those predicted by the two-phase flow simulation code TOUGH2. Such results indicate the usefulness of this method to quantify CO₂ storage in saline aquifers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：地球システム、二酸化炭素地中貯留、地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

(1) 京都議定書では 2012 年までに先進国は温室効果ガス排出量を 1990 年比で少なくとも 5%、中でも日本は 6% の削減することを定めている。環境省がまとめた報告によると、2003 年度日本の温室効果ガスの総排出量 (二酸化炭素換算) は約 13 億 3900 万トンであり、京都議定書基準年 (1990 年) の総排出量 (約 12 億 3700 万トン) を 8.3% も上回っている。このため実質的な削減率は 1990 年比で

14.3% に達しており、京都議定書が定めた削減目標の達成が危ぶまれている。

(2) このような厳しい状況を受けて、日本初の地中貯留プロジェクトは経済産業省の補助事業として、新潟県長岡市にある帝国石油の岩野原基地において、2003 年 7 月から約 1 年半 (~2005 年 1 月) かけて地下約 1100 m の帯水層に計 10,400 トンの CO₂ を圧入した。長岡プロジェクトでは圧入された CO₂ の挙

動を把握するために、坑井間弾性波トモグラフィや物理検層を定期的実施し、CO₂が安全に貯留層に留まっていることが確認された。長岡サイトでのCO₂挙動モニタリングでは弾性波速度の減少や比抵抗の増加が観測されたが、CO₂飽和度が20%を超えると、弾性波速度(Vp)の変化は小さくなるため、比抵抗データを取り入れた総合検討が必要となる。

2. 研究の目的

(1) EU を中心に CO₂ 排出権取引が本格化されるなか、貯留層に圧入された CO₂ の貯留量とその分布に対する定量的評価手法の確立が強く望まれている。CO₂ 貯留量を評価する場合、観測された地球物理学データ（弾性波速度、比抵抗など）から貯留層パラメータ（飽和度、浸透率など）へ換算する必要がある。それには解析対象の妥当な物理モデルが欠かせない。

(2) 本研究では、室内実験より CO₂ 圧入に伴う貯留層の基本的な物性（弾性波速度と比抵抗）変化を測定し、CO₂ と地層水との置換メカニズムの物理モデルを構築する。それを基に貯留層における CO₂ の分布形態を明らかにする手法を開発し、CO₂ 貯留量の定量的評価手法を確立する。その結果を新潟県長岡市で実施された CO₂ 圧入実証試験プロジェクトデータに適用する。

3. 研究の方法

(1) 孔隙率や浸透率が異なる多孔質砂岩を対象に、超臨界 CO₂ 注入時の弾性波速度と比抵抗の変化を測定する。帯水層に圧入された CO₂ の貯留特性を明らかにすると共に、CO₂ 貯留量の定量的評価手法を確立することを目指す。

- ① 地下深部帯水層の圧力・温度条件下において、弾性波速度 (V_p, V_s) と比抵抗の同時測定が可能な実験システムの構築
- ② 多孔質砂岩に超臨界 CO₂ を注入しながら、弾性波速度と比抵抗の経時変化を測定し、砂岩試料中の CO₂ 飽和度と物性値との関連付け
- ③ 弾性波 (Gassmann の式) と比抵抗 (Archie の式) の実験データより CO₂ 飽和度の評価を行い置換メカニズムの物理モデルを構築し、CO₂ 注入実験の実測データと Gassmann と Archie の計算値との比較検討
- ④ 弾性波と比抵抗データに基づく CO₂ 貯留量評価手法の確立および長岡プロジェクトの物理検層データ解析への適用

4. 研究成果

(1) 地下深部の温度・圧力を模した条件下で、砂岩試料に超臨界 CO₂ を注入すると、図 1 に示すように P 波速度と比抵抗の変化が観測できる。砂岩中の間隙水が超臨界 CO₂ によって置換されることによって、P 波速度が減少し、比抵抗が増加することが明らかになった。

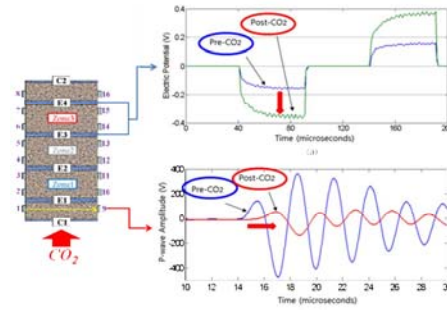


図 1 P 波速度と比抵抗の変化の一例

(2) 超臨界 CO₂ 注入によって生じた P 波速度や比抵抗の変化をもとに、多孔質砂岩試料中を浸透する超臨界 CO₂ の挙動をモニタリングすることができる。図 2 では P 波速度の減少や比抵抗の増加のタイミングが超臨界 CO₂ フロントの挙動を示している。

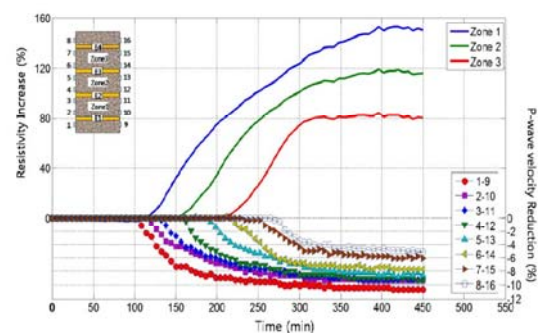


図 2 CO₂ 挙動モニタリングの一例

(3) 砂岩試料の側面には P 波測定用の圧電素子が計 16 個貼り付けたため、医療用 X-CT と同じ原理で P 波速度変化をもとに、砂岩試料中の CO₂ 分布を可視化し、その経時変化を図 3 に示した。

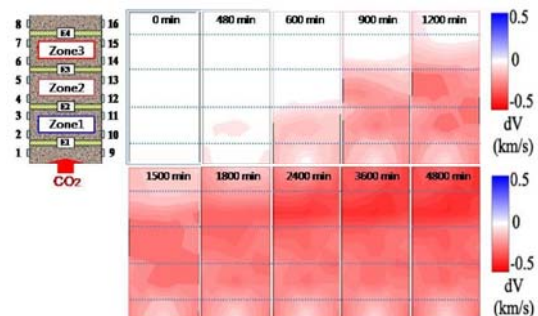


図 3 砂岩試料中の CO₂ 分布の可視化

(4) P 波速度や比抵抗データをもとに、Gassmann や Archie の式より CO₂ 飽和度を求めることができる。図 4 はその結果の一例であり、CO₂ 飽和度が高くなるにつれて P 波速度の減少が小さくなるが、比抵抗は依然増加傾向を示している。弾性波速度と比抵抗を同時に測定すれば、CO₂ 飽和度（貯留量）を定量的に評価できることが明らかになった。

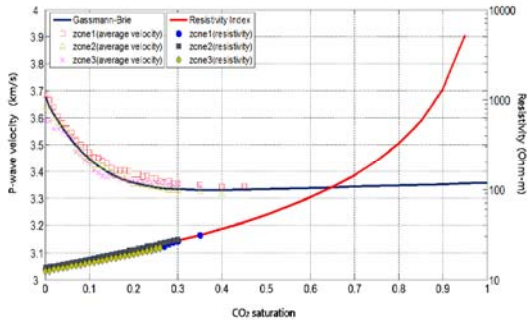


図 4 P 波速度、比抵抗と CO₂ 飽和度の関係

(5) 砂岩試料内部の孔隙構造の二次元モデルを作成し、汎用の二相流解析コード TOUGH2 を用いて、砂岩試料に注入された超臨界 CO₂ の分布をシミュレーションした。図 5 は二相流解析結果の一例であり、弾性波速度や比抵抗から推定された CO₂ 飽和度との比較・検討を行った。

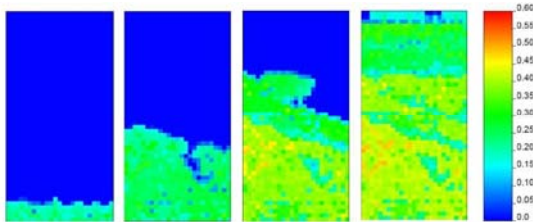


図 5 数値解析で得た砂岩試料中の CO₂ 飽和度

(6) 室内実験で得た知見をもとに、比抵抗測定に及ぼす地層中の粘土の影響を補正する計算式を考案し、長岡実証試験サイトの比抵抗検層データから、図のように貯留層内の CO₂ 飽和度を正しく推定することができた。

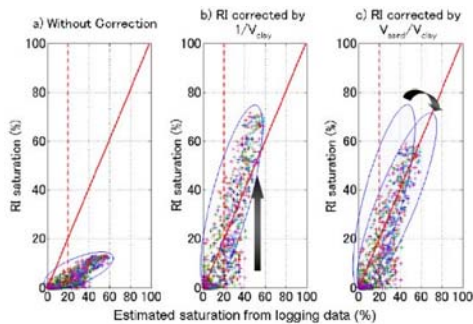


図 5 比抵抗検層データより得た CO₂ 飽和度

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Yoshihiro Nakatsuka, Ziqiu Xue, Henry Garcia, Toshifumi Matsuoka: Experimental study on CO₂ monitoring and quantification of stored CO₂ in saline formations using resistivity measurements, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 査読有, Vol.4, 2010, 209–216
- ② Jongwook Kim, Toshifumi Matsuoka, Ziqiu Xue, Monitoring and detecting CO₂ injected into water-saturated sandstone with joint seismic and resistivity measurements, 査読有, *Butsuri – Tansa (Exploration Geophysics)*, Vol.64, 2011, 1–10

[学会発表] (計 5 件)

- ① Jongwook Kim, Yoshihiro Nakatsuka, Ziqiu Xue, and Toshifumi Matsuoka, Monitoring CO₂ injected into water-saturated sandstone with P-wave velocity and resistivity, Proceedings of the 9th SEGJ International Symposium –Imaging and Interpretation–, Sapporo, Japan 12-14 October 2009
- ② Yoshihiro Nakatsuka, Jongwook Kim, Ziqiu Xue, Toshifumi Matsuoka and Kenji Kubota, Quantitative estimation of CO₂ saturation in saline aquifer storage based on resistivity data, Proceedings of the 9th SEGJ International Symposium –Imaging and Interpretation–, Sapporo, Japan 12-14 October 2009
- ③ Xinglin Lei and, Ziqiu Xue, Ultrasonic velocity and attenuation in porous rocks saturated with CO₂ and water, Proceedings of the 9th SEGJ International Symposium –Imaging and Interpretation–, Sapporo, Japan 12-14 October 2009
- ④ Keigo Kitamura and Zique Xue, Experimental study on seismic monitoring of residual supercritical CO₂ in water-saturated porous sandstones, Proceedings of the 9th SEGJ International Symposium

-Imaging and Interpretation- ,
Sapporo, Japan 12-14 October 2009

- ⑤ Z. Xue, J. Kim, Kyoto University; S. Mito and K. Kitamura, T. Matsuoka, Detecting and monitoring CO₂ with P-wave velocity and resistivity from both laboratory- and field scales, SPE 126885, SPE International Conference on CO₂ Capture, Storage, and Utilization held in San Diego, California, USA, 2-4 November 2009

[図書] (計0件)
[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

薛 自求 (ZIQIU XUE)
(財) 地球環境産業技術研究機構・CO₂貯留研究グループ・副主席研究員
研究者番号：90467449

(2) 研究分担者

松岡 俊文 (TOSHIFUMI MATSUOKA)
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号：10303851

(3) 研究分担者

山田 泰広 (YASUHIRO YAMADA)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号：20362444

(4) 研究分担者

辻 健 (TAKESHI TSUJI)
京都大学・工学研究科・助教
研究者番号：60455491

(4) 研究分担者

上田 晃 (AKIRA UEDA)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号：90456799