B203 核磁気共鳴イメージングを用いた CO₂ 地下貯留における 岩石内二相流動現象に関する研究

水本 飛鳥[○](東工大院), 末包 哲也(東工大院),
津島 将司(東工大院), 平井 秀一郎(東工大院)

Study on two-phase flows in porous rocks in CO₂ geological storage

Asuka MIZUMOTO, Tetsuya SUEKANE, Shoji TSUSHIMA and Shuichiro HIRAI

ABSTRACT

Though CO₂ leakage from a geological storage site through wells and rifts represents a major concern, it is difficult to monitor the CO₂ leakage. In this paper we have experimentally investigated the proton relaxation time (T_1) of carbonate-water filled in a porous media at high pressure with an NMR system to see the dependence of T_1 on the concentration of CO₂. From the results, it has been observed that the higher the CO₂ concentration is, the shorter the T_1 of the carbonate-water in the porous media becomes. Therefore this information is very useful to apply NMR logging to monitor the CO₂ leakage.

Keywords: CO₂, Storage, NMR, Relaxation, Porous Media

1. はじめに

大量の CO₂ を長期間大気から隔離できる方法として CO₂ 地中隔離が注目されており, 地球温暖化現象抑制のため各国で運用に向けた動きが盛んになっている⁽¹⁾. しかし, 圧入井の周囲や採掘時に生じた亀裂を通しての CO₂ の漏洩が危惧されており⁽²⁾, その検出方法が必要となっている. 地中に広範囲に渡って存在する CO₂ は, 地震探査などにより可視化することが可能であるが, 亀裂などを上昇する CO₂ は, その検出が非常に困難である. 上昇する CO₂ は周囲の地下水に溶解し炭酸水を生成すると考えられ⁽³⁾, 通常の地下水と炭酸水を坑井から非接触で判別することで CO₂ の漏洩を検知できると考えられる.

本研究では, 地中探査技術の一つである NMR ロギングを発展させ, 多孔質内の水の緩和時間 T_1 を調べることで, 多孔質内に存在する炭酸水を非接触でモニタリングできることを示す.

2. 実験装置

実験装置の概略を Fig.1 に示す. 実験条件は 30.5°C 80MPa である. Soda-Tank 内にて CO₂ と水の界面を長時間維持し飽和炭酸水を作り, CO₂ ポンプを作動させることで, セル内部と pH 計が炭酸水で満たされる. 実験系全体の圧力は, Pressure-controller にて制御した. セルには粒径 50 μ m のガラスビーズを高さ 50mm, 直径 25mm の円筒形で充填し, その上下を厚さ約 10mm のスポンジを用いてガラスビーズをセル内に固定した. 炭酸水の濃度は pH 計から求めた. 実験では純水-0.51[mol $\cdot$ kg⁻¹ H₂O]-0.33[mol $\cdot$ kg⁻¹ H₂O]の順でセルを満たしていき, 各 T_1 マ

ップを取得した. なお, すべての T_1 マップ取得時には, 炭酸水はセル内部で流動しておらず, また, すべての実験は 30.5°C, 80MPa で行われた.

Fig.1 Experimental apparatus.

Fig.2 Dependence of $T_{1,b}$ on the concentration of CO₂.

3. 実験結果と考察

多孔質内の T_l を表すモデルとして(3-1)式がある(4).

$$\frac{1}{T_{l,p}(c)} = \frac{1}{T_{l,b}} + \frac{S}{V} \sigma(c) \quad (3-1)$$

$T_{l,p}$ は多孔質内溶液の緩和時間, $T_{l,b}$ はバルク体の溶液の緩和時間, c は炭酸水の濃度, S は空隙の表面積, V は空隙の体積, σ は表面緩和係数である. 式(3-1)より, $T_{l,p}$ は濃度と多孔質の両方の影響を受けて変化することがわかる. Fig.2 に炭酸濃度と $T_{l,b}$ の実験結果を示す. バルク体の炭酸濃度が高いほど, $T_{l,b}$ が短くなることがわかる.

次に, ガラスビーズ充填時の各位置での分布を示した $T_{l,p}$ マップを Fig.3 に, 更に, Fig.3 で得られた $T_{l,p}$ マップのヒストグラムを Fig.4 に示す. Fig.3 で黄色から青く変化している部分がガラスビーズ層, その上下に赤く存在するのがスポンジである. Fig.2 と Fig.3(a)より, 純水の緩和時間が3秒から, 多孔質内では1.2秒に変化しており, 純水の $T_{l,p}$ から多孔質の空隙情報が得られることを示している. Fig.2 を Fig.3 及び Fig.4 と比較すると, 多孔質によって各濃度の $T_{l,p}$ が $T_{l,b}$ よりも短くなることが示された. Fig.3 及び Fig.4 からは, 純水と炭酸水とでは $T_{l,p}$ が1.2秒から0.5秒へ著しく変化することが示された. しか

Fig.3 $T_{l,p}$ map of various CO_2 concentrations,

(a) pure-water, (b) $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$,
(c) $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$.

Fig.4 $T_{l,p}$ histogram.

Fig.5 Histogram of differences.

し, 炭酸水濃度に依存した $T_{l,p}$ の明らかな違いを Fig.3(b), (c) 及び Fig.4 から見ることは出来ない. そこで, Fig.3 の $T_{l,p}$ マップを用いて, 異なる濃度間での同座標の $T_{l,p}$ の差をそれぞれヒストグラムにし, Fig.5 に示す.

Fig.5 より, 純水と炭酸水とを比べた2つのグラフを比較すると, 共に0.6付近でピークを持つが, 純水と $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水とを比べたものでは0.4付近でもピークを持つ. これは, 不均一なガラスビーズ充填によって限定された炭酸水の流路が構築されたため, セルの一部分だけが $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水で置換され, その他の部分では $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水が残留したためであると考えられる. 即ち, 純水と $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水とを比べたグラフで0.4付近に存在するピークは, 純水と $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水との $T_{l,p}$ の差を表し, 0.6付近に存在するピークは純水と残留している $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水との $T_{l,p}$ の差を表していると考えられる. また, $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水と $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水とを比べたグラフでは, 0.4以降分布を持たないのは, 残留する $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水の影響が打ち消されたためと考えられる. よって, $0.33[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水は $0.51[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}]$ 炭酸水よりも長い $T_{l,p}$ を持つと言える.

4. 結論

本研究では, 多孔質内の炭酸水を検出するために NMR T_l 計測を行い, 以下の結論を得た.

- (1) 坑井から非接触で炭酸水を検出する可能性が示された.
- (2) CO_2 地下貯留で重要な, 多孔質内水中での CO_2 の拡散係数を調べるための手段にもなりえる.

参 考 文 献

- (1) IEA: Prospects for CO_2 Capture and Storage, (IEA Publications, 2004), 37-99.
- (2) G. W. Scherer et al., Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formation, vol2 (2005) 827-848.
- (3) Boughty et al., Proceedings of First National Conference On Carbon Sequestration, CD-ROM USDOE/NETL (2001)
- (4) K. R. Brownstein et al., Phys. Rev. A 19(1979) 2446-2453.