

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860035

研究課題名（和文） 安定地中貯留を目指した液体CO₂超微粒化メカニズムの解明と粒径制御に関する研究研究課題名（英文） A study on analysis and control of the mechanism of liquid CO₂ micronization for stable geological sequestration

研究代表者

植村 豪 (UEMURA SUGURU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：70515163

研究成果の概要（和文）：

屈折率マッチング法とレーザー誘起蛍光法をカップリングさせた非混和性二流体の可視化手法を開発し、微粒化装置内部の流れ場の可視化から、模擬流体での微粒化過程の観察に成功した。また微粒化液体CO₂の粒径を制御し、実際の帯水層と同じ高压環境下においてベレア砂岩中に圧入し、X線CTを用いた三次元可視化解析を行った。その結果、液体CO₂をそのまま圧入した場合は砂岩の層理構造の影響を受けて浸透するのに対し、微粒化液体CO₂は砂岩の構造によらずほぼ均一なCO₂飽和度で分布していることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

Visualization technique for immiscible two-liquid flows was developed by utilizing the refractive index matching method and laser induced fluorescence. Micronization process in a complex channel of static mixer was visualized. Normal CO₂ and micronized CO₂ were injected into the Berea sandstone which was kept in high-pressure condition. The CO₂ distribution and its saturation were visualized and analyzed through an X-ray CT. Obvious difference of CO₂ distribution in the sandstone was observed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学（5004）

キーワード：地中貯留，微粒化

1. 研究開始当初の背景

(1) 化石燃料の利用によって温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）が大量に大気中へ排出され、地球温暖化の主要因として国際的

な問題となっている。近年では様々な対策が検討、実施されており、その中でも大気中への多量のCO₂排出を防ぐ手法として二酸化炭素回収隔離（Carbon Capture and Sequestration,

CCS)におけるCO₂地中隔離は量的寄与が大きく、実用化に近いCO₂削減技術として期待されている

(2) これまでの研究および実証試験では、発電所や製鉄所などの大規模な定置型排出源からCO₂を回収し、地下700 - 3000 mに分布する帯水層への圧入、貯留、モニタリングが実施されている。地中の圧力、温度条件ではCO₂の密度は水よりも小さくなり、CO₂に浮力が作用して帯水層の多孔質内を緩やかに上昇する。従って帯水層の上に不透水層(キャップロック)が存在する地質構造を利用するなど、地表へのCO₂漏洩を防ぎ、貯留安定性を向上させるなどの社会的受容性の確保が求められる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、漏洩リスクが低く安定した貯留法として、液体CO₂を微粒化して帯水層に圧入し、界面張力によってトラップする方法を提案する。液体CO₂を帯水層の空孔径と同スケールに超微粒化(エマルジョン化)すれば、界面張力によって岩石多孔質中に液体CO₂がトラップされると考えられる。すなわち浮力によるCO₂の上昇をキャップロックで防ぐのではなく、微粒化されたそれぞれのCO₂液滴の界面張力でトラップするため、地質構造に依存しない地中貯留が実現できる。本手法は、キャップロック構造が少ない日本周辺においてもCO₂地中貯留を実現できる可能性を有するだけでなく、キャップロックが存在する地層へ圧入した場合でも、CO₂漏洩リスクの大幅な低減が可能であると考えられる。

(2) 本研究では液体CO₂の超微粒化過程を観察し、微粒化された液体CO₂の粒径分布、および時間経過に伴う微粒化液体CO₂の安定性について調べる。さらに実際に帯水層を形成しているペレア砂岩を高圧環境下に保持し、液体CO₂をそのまま圧入した場合と微粒化した場合での浸透過程の違いについて、X線CTによる可視化解析を行う。

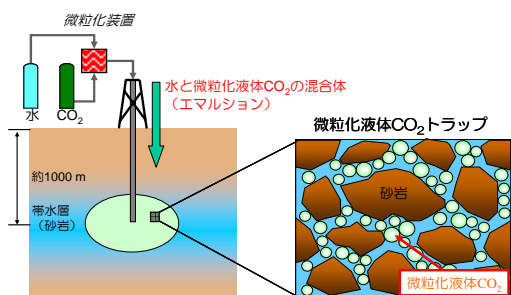


図1 微粒化CO₂によるCO₂地中貯留

3. 研究の方法

(1) 微粒化過程の観察を行うため、屈折率マッチング法とレーザー誘起蛍光法をカップリングさせた非混和性二流体の可視化手法を開発し、微粒化装置を模擬したシリコンゴム製流路モデル内の二相流を観察した。

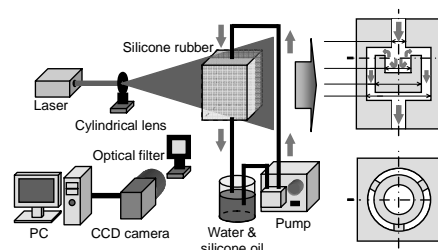


図2 屈折率マッチング法とレーザー誘起蛍光を用いた二相流可視化実験装置

(2) 砂岩内での微粒化CO₂の浸透過程を観察するため、圧力制御部、サンプルホルダー、X線CTによる砂岩内計測部分から構成される実験装置を構築し、実験を行った。

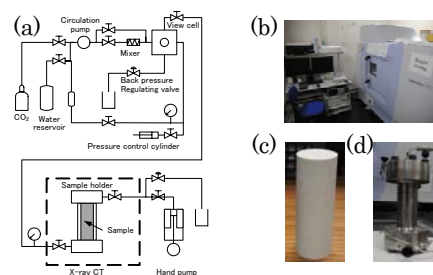


図3 実験装置図。(a)配管図、(b)X線CT、(c)ペレア砂岩、(d)高圧容器

4. 研究成果

(1) ローダミン B を蛍光染料とし添加したヨウ化ナトリウム水溶液とシリコンオイルを用い、微粒化装置を模擬した流路モデル内の二流体の流れを可視化した。図4のシリコンオイル液滴の挙動に着目すると、(a),(b)では入口から流入した大きな液滴が衝突体に衝突し、(c)-(f)にかけては微粒化されている様子が見られる。微粒化後はそのまま流路を流されていく液滴と、衝突体の凹部の渦にトラップされている液滴が存在した。渦内で循環している大きな液滴については、引き伸ばされて微粒化し、渦から離脱する様子も観察された。

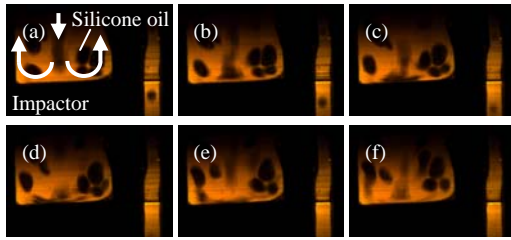


図4 微粒化過程の可視化結果

(2) 界面活性剤を 0.2 % 添加してミキサーを循環し、可視化窓から観察した結果、ミーン散乱によって白濁した状態が見られ、液体 CO₂ が微粒化されていることが分かった。

(3) 界面活性剤濃度 3.5 % における粒径分布の時間変化を図 5 に示す。循環停止直後の粒径ピーク値は 0.5 μm 程度で、時間の経過と共に微粒化した液体 CO₂ は合一が進み、120 分後には粒径ピーク値は 2 μm 程度まで増加している。しかし帯水層を形成する代表的な砂岩の空孔率分布と比較すると、ベレア砂岩では 10 μm をピークとして 0.1 - 10 μm の範囲で分散しており、微粒化液体 CO₂ の粒径分布とよく一致していることが分かる。従って、砂岩の空孔中に微粒化液体 CO₂ を圧入し、界面張力によるトラップが可能であると考えられる。

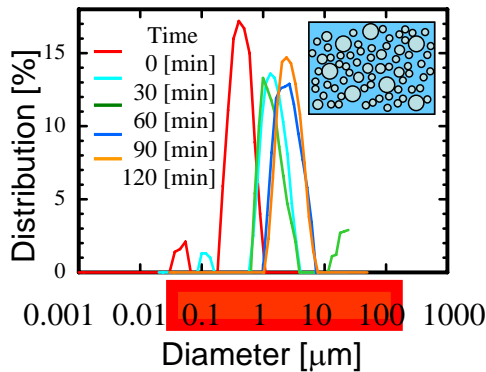


図5 微粒化液体 CO₂ 粒径分布

(4) 図 6 より、CO₂ の浸透過程が精細に可視化され、CO₂ は縞状に飽和度が高い領域を形成するように浸透している。これはベレア砂岩の側面に観察される層理構造とよく一致しており、砂岩の空孔率の断面平均分布でも、層理構造の影響を受けた空孔率のばらつきが存在し、CO₂ 飽和度の断面平均値とも高い相関性を有している。従って飽和度分布に水平方向のパターンが見られる原因として、層理構造によって CO₂ は砂岩軸方向に浸透しにくく、周方向に CO₂ が浸透していると考えられる。

(5) 液体 CO₂ が砂岩内の一部の経路を浸透するのにに対し、微粒化液体 CO₂ を圧入した場合、経路によらずほぼ均質に分布している様子が捉えられた (図 7)。砂岩内には層理構造が存在しているものの、ノズル上部に CO₂ 置換率の低い領域が水平方向に見られる程度で、砂岩内の多孔質構造にはほとんど依存しない CO₂ 分布を呈している。これは今回の実験では微粒化した CO₂ 液滴の代表直径がベレア砂岩の代表空隙径もやや小さい約 2 μm であったため、砂岩内のほとんどの空隙を通過したと考えられる。しかし層理構造や砂岩内の一部には CO₂ 置換率が 10 % 以下の領域も存在しており、CO₂ 液滴直径よりも小さい空隙部分で CO₂ の浸透が阻まれたことを示唆している。

Liquid CO₂ (@ 7.5 MPa, 17 °C)

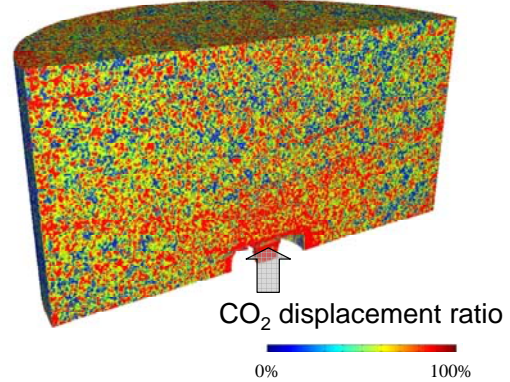


図6 ベレア砂岩内の液体 CO₂ 飽和度 (砂岩直径 50 mm)

Micronized liquid CO₂ (@ 7.5 MPa, 17 °C)

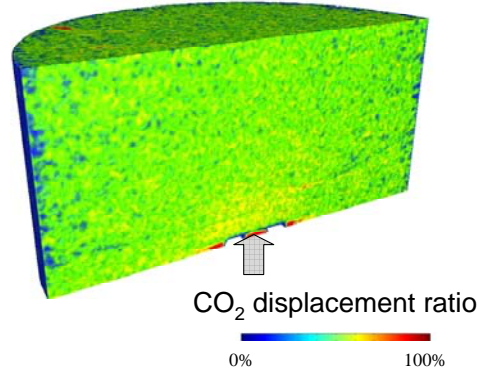


図7 ベレア砂岩内の微粒化液体 CO₂ 飽和度 (砂岩直径 50 mm)

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1件)

①Suguru Uemura, Shohji Tsushima and Shuichiro Hirai, Super-atomization of liquid CO₂ for stable geological storage, Energy Procedia, Vol.1 pp.3087-3090, 2009, 査読無し

[学会発表] (計6件)

①植村豪, 鹿野太志, 片岡亮人, 深堀大地, 津島将司, 平井秀一郎, 地中貯留における多孔質内水-CO₂ 二相流の X 線 CT 解析と LBM シミュレーション, 社団法人 資源・素材学会 平成 22 年度春季大会, 2010 年 3 月 30 日, 東京大学 (東京都)

②植村豪, 中盛知, 津島将司, 平井秀一郎, 屈折率マッチング法を用いた複雑流路内における非混和性二液体の可視化手法開発, 第 46 回日本伝熱シンポジウム, 2009 年 6 月 4 日, 京都国際会議場 (京都府)

③片岡亮人, 植村豪, 津島将司, 平井秀一郎, マイクロフォーカス X 線 CT による水飽和砂岩に注入された非混和流体の可視化解析, 第 46 回日本伝熱シンポジウム, 2009 年 6 月 3 日, 京都国際会議場 (京都府) .

④植村豪, 津島将司, 平井秀一郎, 超微粒化液体 CO₂ を用いた安定地中隔離手法の開発, 資源・素材学会春季大会, 2009 年 3 月 26 日, 千葉工業大学 (千葉県)

⑤植村豪, 津島将司, 平井秀一郎, 液体 CO₂ の超微粒化による安定地中隔離手法の開発, 日本機械学会東海支部第 58 期総会講演会, 2009 年 3 月 17 日, 岐阜大学 (岐阜県)

⑥Suguru Uemura, Shohji Tsushima, Shuichiro Hirai, Super-atomization of liquid CO₂ for stable geological storage, 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 2008 年 11 月 16 日, ワシントン DC (アメリカ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植村 豪 (UEMURA SUGURU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：70515163