

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