

地域密着型カーボンキャプチャーの構想に向けた 石炭灰の含水比調整による二酸化炭素固定化量の評価

早稲田大学 学生会員 ○多賀 春生

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄

日本国土開発株式会社 非会員 井上 陽介

日本国土開発株式会社 非会員 井樋 幸輝

1. はじめに

近年、二酸化炭素(CO₂)やメタンガス(CH₄)等の温室効果ガスによる地球温暖化問題が深刻化している。とりわけ供給安定性、経済性に優れた石炭火力発電は CO₂ の排出量が各種発電の中で最も多く、低炭素化に向けた CO₂ 排出削減への取り組みが必要な状況にある¹⁾。本研究では、石炭火力発電所から排出される石炭灰に着目し、廃棄物の有効利用問題および地球温暖化対策の観点から、石炭灰を用いた一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を実施した。その上で図 1 に示したような地域密着型カーボンキャプチャー施設の構想に向け、石炭灰の CO₂ 固定化材としての可能性を調査した。

2. 使用した試料の基本的性質

表 1 に、本研究で使用した石炭灰(フライアッシュ)の基本物理量を示す。蛍光 X 線分析(XRF)の測定結果から試料に含まれる Ca 含有量が 1.90 %であり、炭酸塩を生成するための Ca 分が微量に含まれている。また Ca 溶出量は、環境庁告示第 46 号溶出試験に準拠し、測定された値である。

3. 一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の概要

本研究では、図 1 に示した地域密着型カーボンキャプチャー施設を想定し、石炭灰に一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を実施し、初期含水比の差異による石炭灰の CO₂ 固定化への影響を調査した。本試験では、供試体に通気する CO₂ 濃度を、大気濃度(約 400~1000 μL/L)および CO₂ 濃度を 4500 μL/L に調整した N₂ と CO₂ の混合ガスを用いた 2 ケースに分けて実施した。その装置模式図を図 2 に、試験手順を図 3 に示す。本試験では円筒カラムに供試体を作製し、試験中の供試体通過前(上流側)CO₂ 濃度 C_{in} (μL/L)と供試体通過後(下流側)CO₂ 濃度 C_{out} (μL/L)を CO₂ センサーで測定した。使用した CO₂ センサーの測定可能範囲は 0~5000 μL/L であり、測定精度は 30 μL/L ± 読み値の 5 %である。なお試験条件として供試体の高さを 10 mm、内径を 75 mm、気体の送流量を 2.0 L/min とした。試験時間は大気濃度の場合に 6000 min、N₂・CO₂ 混合ガスを用いた場合に 60 min とした。

4. 大気濃度(約 400~1000 μL/L)の場合の石炭灰の CO₂ 固定化量の評価

初期含水比の差異による石炭灰の CO₂ 固定化への影響を調べるため、自然含水比(0.10 %), 5.19 %, 10.2 %, 15.5 %, 20.4 %, 24.0 %および 29.3 %の

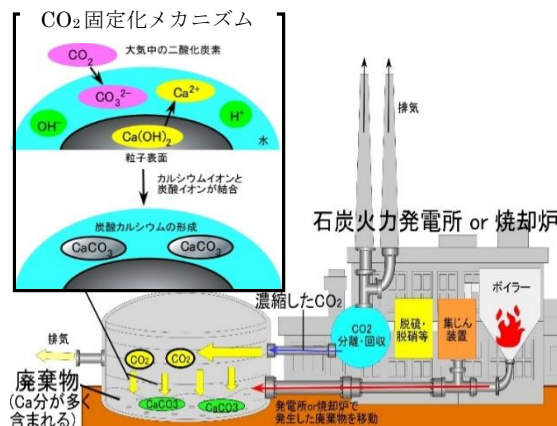


図 1 地域密着型カーボンキャプチャー構造図

表 1 使用した石炭灰の基本的性質

土粒子の密度 (g/cm ³)	2.27
自然含水比 (%)	0.10
最大粒径 (mm)	0.425
Ca 含有量 (mass %)	1.90
Ca 溶出量 (mg/L)	163
pH	10.5

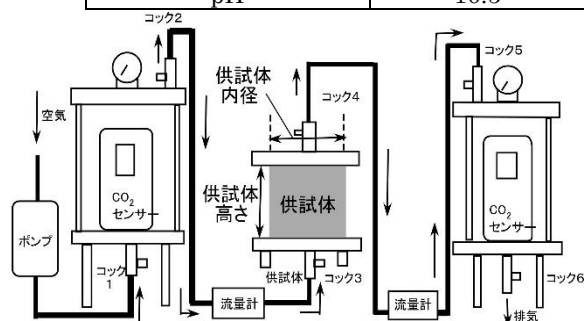


図 2 一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の装置模式図

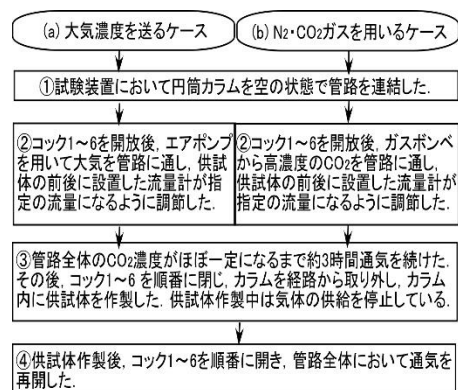


図 3 本試験の手順

キーワード 地域密着型カーボンキャプチャー, 石炭灰, CO₂ 固定化

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 TEL 03-5286-2940

7種類の初期含水比に設定した条件で一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を実施した。各条件での経過時間 100 min までの CO₂ 濃度比 Cout/Cin の推移を図 4 および図 5 に示した。供試体作製後 Cout/Cin が低い値を示す、すなわち上流側 CO₂ 濃度に対して下流側 CO₂ 濃度が低くなれば CO₂ を固定化していると考えられる。図 4, 5 から自然含水比および 24.0 %, 29.3 %の場合は試験開始後の Cout/Cin の減少は認められず、CO₂ の固定はほとんど生じなかったと言える。一方、初期含水比が 5.19 %, 10.2 %, 15.5 %, 20.4 %の4条件では、試験開始後の Cout/Cin の低下が確認されたため、これら CO₂ 固定が認められた4条件の CO₂ 固定化量 M (g)を、以下の式(1)を用いて算出した。ここで V_{in}を通気流量 (L/min), 理想気体の絶対温度および圧力をそれぞれ、T₀(K), p₀(Pa)とし、ある時間における絶対温度を T(K), 圧力を p (Pa)としている。M_{CO2}は CO₂ の分子量, Vは気体 1 mol あたりの体積である。

$$M = \sum_{t=0}^{t_{\text{end}}} \left(V_{\text{in}} \times \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{10^6} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{V} \right) \quad (1)$$

式(1)より算出された CO₂ 固定化量を図 6 に示す。この結果から初期含水比の増加に伴い CO₂ 固定化量も増加傾向にあり、20.4 %の場合に 0.045 g と最も多くの CO₂ を固定化していることが分かった。したがって、石炭灰の CO₂ 固定化における最適な含水比が 20 %付近に存在しており、含水比調整により石炭灰を CO₂ 固定化材として使用できる可能性が考えられた。

5. N₂・CO₂ 混合ガスを用いた場合の CO₂ 固定化量の評価

前章の試験結果より、石炭灰の CO₂ 固定化に最適な含水比が 20 %付近に存在しているため、初期含水比 9.62 %, 14.9 %, 20.7 %および 24.3 %の4条件において N₂・CO₂ 混合ガスによる一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を行った。図 7 に示した Cout/Cin の時間変化の推移から、いずれの条件においても Cout/Cin の低下が確認され、CO₂ を固定化していることが確認された。各条件の CO₂ 固定化量を図 8 に示す。大気濃度を用いた場合と同様、初期含水比が 20 %付近の CO₂ 固定化量が最も多く、この付近での最適な含水比の存在があらためて確認された。また大気濃度の場合、初期含水比 25 %で CO₂ 固定化の挙動が確認されなかったことに対し、N₂・CO₂ 混合ガスを用いた場合では同条件において、最も多くの CO₂ を固定化するという結果が得られた。これは初期 CO₂ 濃度の増加により、CO₂ の試料表面に存在する水分への溶解量の平衡状態が移動したからであると推察される。そのため、初期 CO₂ 濃度が大きくなるにつれ、石炭灰の CO₂ 固定化に最適な含水比も大きくなる可能性が挙げられる。

6. 結論

本研究から、大気濃度及び N₂・CO₂ 混合ガスを用いて石炭灰に一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を実施した結果、最も多くの CO₂ を固定化する含水比が 20 %付近に存在していることが確認され、CO₂ 固定化材としての可能性を見出すことが出来た。また初期 CO₂ 濃度の違いから固定化に最適な含水比も変動することが考えられる。

謝辞 本研究の一部は、2017 年度「早大理工総研-JXTG エネルギーFS 研究」のご支援をいただきましたので、ここに感謝の意を表します。

参考文献 1)中部電力 HP：環境への取り組み, https://www.chuden.co.jp/kankyo/teitanso/ond_co2.html, (2018 年 3 月 20 日現在)。2) 海野円・小峯秀雄・村上哲・瀬戸井健一：低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察, 地盤工学ジャーナル Vol.9, No.4, 469-478(2014 年 12 月)。

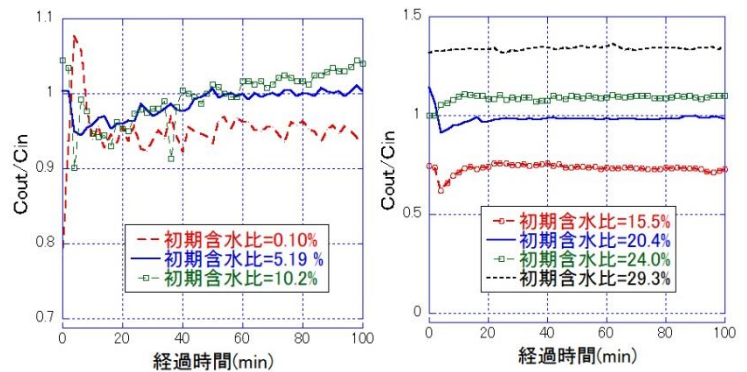


図 4 大気濃度での初期含水比 3 条件における CO₂ 濃度比の時間変化

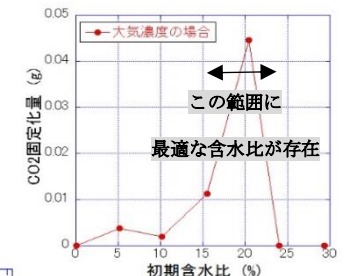


図 6 大気濃度を用いた場合の初期含水比と固定化量の関係

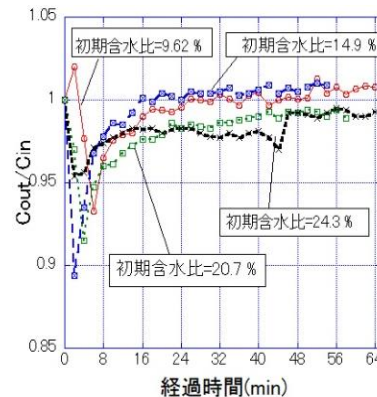


図 7 CO₂ ガスを用いた場合の CO₂ 濃度比の時間変化

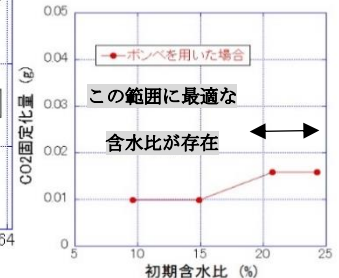


図 8 CO₂ ガスを用いた場合の初期含水比と固定化量の関係