

遊離 Ca を保有する煤塵を活用した CO₂ 固定化反応における
試料混合による反応性向上に関する検討

早稲田大学 学生会員 ○鈴木陽也 横井亨朱
早稲田大学 正会員 小峯秀雄 王海龍 山田味佳 伊藤大知
株式会社ミダック 非会員 鈴木清彦 國弘彩

1. はじめに

廃棄物分野は、焼却過程で日本の総 CO₂ 排出量の約 1%の CO₂ を排出している¹⁾。この焼却過程において煤塵が発生し、中でも Ca 化合物を含み、高 pH を示す煤塵については、CO₂ との接触により炭酸化反応が生じ粒子表面に CO₂ が固定される。本研究は、この炭酸化反応による CO₂ 固定化を廃棄物分野における脱炭素への取り組みとして活用することを目指している。煤塵は産業廃棄物に該当し、最終処分場内で埋立処分される。既往の研究²⁾において、煤塵を最終処分場に埋め立てた場合の潜在的な CO₂ 固定化性能の試算がされている。しかし、この試算において、処分場に埋め立てる煤塵を 1 種類と仮定しており、多種類の廃棄物が埋め立てられる現行の処分場運営では現実的ではない。そのため、複数の廃棄物混合による反応挙動評価を行う必要がある。そこで本論文では、基礎研究として、2 種類の煤塵を質量比 1 : 1 で混合させた試料を、後述する一定流量通気型 CO₂ 固定化試験を用いて CO₂ 固定化量を定量評価した。また、比較検討としてカラム内で試料を混合しない場合の CO₂ 固定化量推移を測定し、混合の有無による反応速度の違いについて検討した。

2. 使用した試料的基本的性質

本試験では、焼却炉由来の煤塵である煤塵 BB、煤塵 LBB および煤塵 FC を使用した。表 1 は、各煤塵の基本的性質である。Ca²⁺溶出量は環境庁告示第 46 号溶出試験に準拠し検液を作製し、イオンクロマトグラフィー(イオン分析計 IA-300 東亜ディーケーケー株式会社)によって測定した。乾燥質量当たりの CO₂ 固定化量は、後述の一定流量通気型 CO₂ 固定化試験で定量評価した値である。

表 1 各煤塵の基本的性質

試料名	粒子密度 (g/cm ³)	保存時 含水比 (%)	pH	Ca ²⁺ 溶出量 (mg/L)	Ca 含有率 (%)	乾燥質量 当たりの CO ₂ 固定化量 (g-CO ₂ /g- <i>m_s</i>)
煤塵 BB	2.82	7.68	10.7	320	15.9	0.0104
煤塵 LBB	2.50	2.40	12.0	269	12.6	0.0431
煤塵 FC	2.41	0.52	12.4	2190	30.1	0.175

3. 一定流量通気型 CO₂ 固定化試験

図 1 は、一定流量通気型 CO₂ 固定化試験(以降、CO₂ 固定化試験)の概略図である。表 2 は、CO₂ 固定化試験条件である。本試験は、水蒸気飽和させた実験室内の空気を一定流量で円筒カラム内の供試体中に送風し、カラム通気前の上流側の CO₂ 濃度C_{in}(μL/L)とカラム通気後の試料と反応した下流側の CO₂ 濃度C_{out}(μL/L)の濃度差により、CO₂ 固定化量を定量評価する試験である。累積 CO₂ 固定化量の算出には、以下の式を用いた。

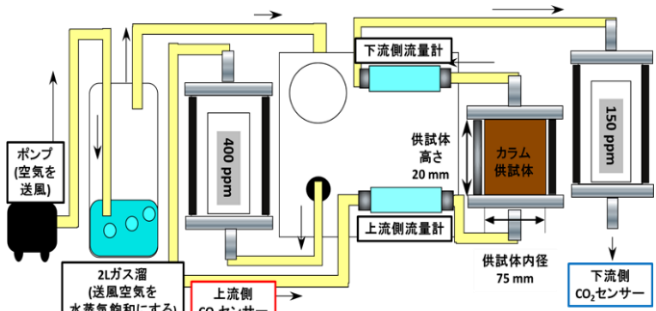


図 1 一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の概略図

表 2 CO₂ 固定化試験条件

目標 含水比 (%)	送風 空気	空気 流量 (L/min)	供試体 高さ (mm)	供試体 直径 (mm)
30	水蒸気飽和 室内空気	0.5	20	75

$$M = \sum_{t=0}^{t_{end}} \left(Q_{in} \cdot \frac{C_{in} - C_{out}}{10^6} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{M_{CO_2}}{V} \right) \quad (1)$$

キーワード 煤塵 炭酸化反応 CO₂ 固定 脱炭素社会

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL03-5286-2940

ここに、 M ：累積 CO_2 固定化量(g)， Q_{in} ：空気流量(L/min)， T_0 ：理想気体の温度(K)， P_0 ：理想気体の圧力(Pa)， T ：ある時間における温度(K)， P ：ある時間における圧力(Pa)， M_{CO_2} ： CO_2 の分子量(=44g/mol)， V ：気体 1mol 当たりの体積(=22.4L/mol)である。試験開始後から初めて C_{out}/C_{in} の値が 1.0 になった時点までを反応収束時間としている。

本試験では、各煤塵を乾燥質量で 10.0 g ずつ用い、煤塵 BB に、煤塵 LBB および煤塵 FC を混合させた試料で CO_2 固定化試験を行った。混合させた試料(図 2 参照)をそれぞれ BB・LBB 混合灰，BB・FC 混合灰と記述する。また、比較検討としてカラム内で煤塵を混合しない状態(図 3 参照)で CO_2 固定化試験を行った。

4. 混合灰の累積 CO_2 固定化量

表 3 は、混合灰の CO_2 固定化試験結果である。合算 CO_2 固定化量は、表 1 に記載した煤塵ごとの乾燥質量当たりの CO_2 固定化量を合算した値である。本試験では、混合灰において、累積 CO_2 固定化量と合算 CO_2 固定化量に大きな差異は認められなかった。複数の試料を混合させた場合でも、一定流量通気型 CO_2 固定化試験によって定量評価した、試料ごとの乾燥質量当たりの CO_2 固定化量の合算値相当の CO_2 を固定することが明らかになった。

5. 試料混合の有無による累積 CO_2 固定化量推移比較

図 4、図 5 は試料混合の有無による累積 CO_2 固定化量推移の比較である。混合灰の方が経過時間ごとの反応量が増加していることから、試料混合時に反応速度が上昇することが明らかになった。特に反応初期において反応性向上が顕著であり、試験開始から 50 時間経過時点で、累積 CO_2 固定化量が煤塵 BB 単体での合算 CO_2 固定化量である 0.104 (g- CO_2)以上増加していることから、煤塵 LBB および煤塵 FC の反応速度が大きく上昇していることが示唆された。この要因として、反応初期の pH が高い状態において、試料混合によって Ca^{2+} イオンが間隙水中で共有され、反応性が向上したと推察される。今後の検討事項として、遊離 Ca を保有するが CO_2 固定化性能を持たない試料を混合させることで、反応促進剤として活用が可能か検討する。

6. 結論

本論文では、一定流量通気型 CO_2 固定化試験を用いて、混合灰の CO_2 固定化量を測定した。以下に得られた知見を示す。

- 複数の試料混合時でも、試料ごとの乾燥質量当たりの CO_2 固定化量の合算値相当の CO_2 を固定することが明らかになった。
- 試料混合時、 Ca^{2+} イオンが間隙水中で共有されることによって反応性が向上することが示唆された。今後、遊離 Ca を保有するが CO_2 固定化性能を持たない試料を、反応促進剤としての活用可能性を検討する。

参考文献

1) 地球環境研究センター，国立研究開発法人国立環境研究所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2021 年，p2-20.
2) 小峯秀雄，横井亨享，多賀春生，斉藤泰久，鈴木清彦： CO_2 固定化素材を活用したカーボンキャプチャー都市環境創世に関する基礎研究，土木学会論文集，Vol.79，No.1，22-00051，2023.



図 2 試料混合時のカラム内の様子 (BB・FC 混合灰)



図 3 混合しない状態のカラム内の様子 (BB+FC)

表 3 混合灰の CO_2 固定化試験結果

試料名	CO_2 固定化時間 (hour)	累積 CO_2 固定化量 (g- CO_2)	合算 CO_2 固定化量 (g- CO_2)
BB・LBB 混合灰	304.0	0.553	0.535
BB・FC 混合灰	528.2	1.874	1.854

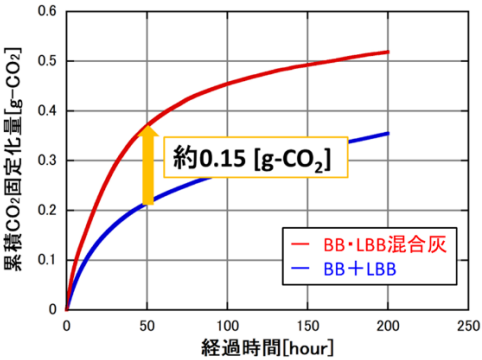


図 4 累積 CO_2 固定化量推移 (煤塵 BB と煤塵 LBB)

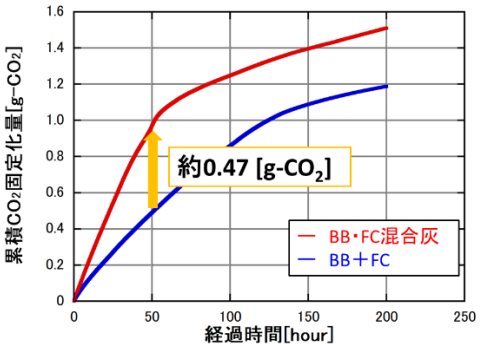


図 5 累積 CO_2 固定化量推移 (煤塵 BB と煤塵 FC)