

土質系各種副産物の CO₂ 固定化性能の実験的評価

大成建設 (株) 正会員 ○多賀 春生
早稲田大学 理工学術院 正会員 小峯 秀雄
(株) ミダック 非会員 鈴木 清彦

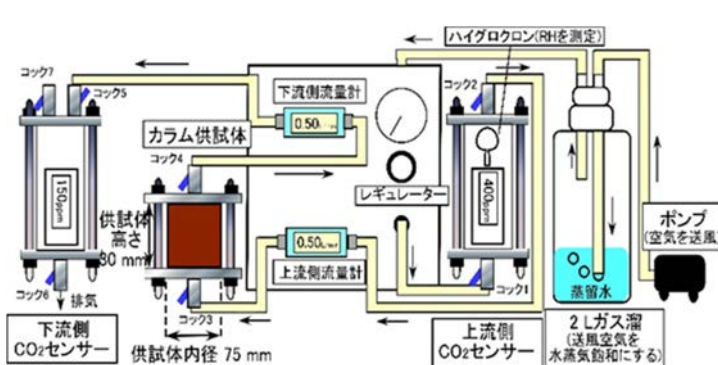
1. はじめに

近年、温室効果ガスによる地球温暖化が地球規模での問題となっており、再生可能エネルギーの利用や地中貯留技術等、「脱炭素」に向けた様々な取り組みがなされている。著者らは、焼却処理施設から発生する副産物に含まれている、遊離カルシウムに着目し、それら副産物を活用した CO₂ 固定化技術を提案している¹⁾²⁾。具体的には、同施設から排気される CO₂ を、炭酸化反応を通じて副産物に固定させ、産業廃棄物処分場に封じ込めるといったものである。本稿では、各種副産物の CO₂ 固定化量を実験的に評価し、CO₂ 固定化材として活用できる副産物を見出した。

2. 試験方法および試験条件

本研究では、各種副産物の CO₂ 固定化性能を評価するために、図1に示すカラム式一定流量通気型 CO₂ 固定化試験装置を使用した。同試験は、円筒カラムに供試体を作製し、実験室内の空気 (約 400~1000 μL/L を推移) を一定流量で供試体に送風するというものである。試験中は、供試体通過前(上流側)の CO₂ 濃度 C_{in} (μL/L) および供試体通過後(下流側)の CO₂ 濃度 C_{out} (μL/L) を、経過時間ごとに無線型 CO₂ 測定器で測定し、CO₂ 濃度比 C_{out}/C_{in} の推移を確認することとした。CO₂ 固定化量 M (g) の算定には、上流側と下流側の CO₂ 濃度の差の時間積分から式(1)を用いた。なお使用した CO₂ 測定器の測定可能範囲は 0~5000 μL/L であり、測定精度は 30 μL/L ± 読み値の 5% である。

本試験で使用する供試体は、目標含水比を 20% に調整し、高さを 30 mm、内径を 75 mm となるように作製した。また供試体に送風する空気は、送流量を 0.5 L/min とし、蒸留水を封入した容量 2 L のガス溜を介して水蒸気飽和とした。これは、送風空気を水蒸気飽和とすることで、炭酸化の発熱反応による含水比の低下を抑制することを目的としているためである²⁾。表1に、使用した各種副産物の基本的性質を示す。



$$M = \sum_{t=0}^{t_{end}} \left(V_{in} \times \frac{C_{in} - C_{out}}{10^6} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{M_{CO_2}}{V} \right) \quad (1)$$

ここに

M: CO₂ 固定化量(g), V_{in}: 通気流量 (L/min)

C_{in}: 供試体通過前(上流側)の CO₂ 濃度(μL/L)

C_{out}: 供試体通過後(下流側)の CO₂ 濃度(μL/L)

T₀: 理想気体の絶対温度 (K)

p₀: 理想気体の圧力(Pa)

T: ある時間における絶対温度(K)

p: ある時間における圧力(Pa)

M_{CO₂}: CO₂ の分子量, V: 気体 1 mol あたりの体積

図1 カラム式一定流量通気型 CO₂ 固定化試験の構成模式図と CO₂ 固定化量の算出式

表1 各種副産物の基本的性質

試料名	特徴	粒子密度 (g/cm ³)	初期含水比 (%)	Ca 含有量 (mass %)	Ca ²⁺ 溶出量 ^{※1} (mg/L)	pH
煤塵 LBB	バイオマスボイラーより発生	2.66	5.56	10.1	214	11.3
煤塵 BB	バイオマスボイラーより発生	2.83	8.40	9.4	346	10.1
煤塵 PSB	ペーパースラッジボイラーより発生	2.68	0.06	29.9	366	12.4
流動砂 PSB	ペーパースラッジボイラーに利用	2.67	0.08	9.7	128	10.4
流動砂 SS	下水道汚泥を燃やす際に利用	2.65	2.22	2.6	0.5	7.2
煤塵 BBF	バイオマスボイラーより発生	2.48	0.59	17.5	1436	12.5

※1 Ca²⁺溶出量は、環境省告示第46号溶出試験に準拠し測定されたものである。

キーワード 地球温暖化, 脱炭素, CO₂ 固定, 副産物

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 TEL 03-5381-5419

3. 各種副産物の CO₂ 固定化性能の評価

各試料の CO₂ 濃度比 C_{out}/C_{in} の推移を図 2 に、供試体条件および CO₂ 固定化量の算定結果を表 2 に示す。同図より、流動砂 SS を除く全試料において、 C_{out}/C_{in} の低下が確認されることから CO₂ 固定化性能を有していることがわかる。例えば煤塵 LBB の場合、試験開始直後 C_{out}/C_{in} が 0.0 付近まで低下し、その後、555 時間(約 23 日)で 1.0 まで増加しており、この時点で当該条件下における CO₂ 固定化量が限界量に到達したことが認められる。ここで、 C_{out}/C_{in} が 1.0 に増加するまでの時間を CO₂ 固定化時間と定義し、この間の CO₂ 固定化量を式(1)より算出した。その結果、煤塵 LBB で質量比約 6%、煤塵 PSB で約 14%の CO₂ を固定しており、他の試料に比べて CO₂ 固定化能力が高いことがわかった。これら 2 試料に共通する要因として、pH が 11~12 と強アルカリ性であること、CO₂ 固定に寄与する Ca²⁺の溶出量が高いことが挙げられる。試料の pH は、間隙水に溶解した CO₂ の存在形態に影響し、pH がアルカリ性を示す程、炭酸イオン(CO₃²⁻)の存在割合が高くなることから、炭酸化が進行しやすくなるものと考えられる。

一方、pH が中性付近である流動砂 SS においては、 C_{out}/C_{in} は低下することなく 1.0 付近を推移していることから、CO₂ 固定化能力は認められなかった。また煤塵 BBF は他の試料に比べて強アルカリ性で、Ca²⁺溶出量が高いにも関わらず、煤塵 LBB や煤塵 PSB よりも CO₂ 固定化量が低いことが確認できる。これは、煤塵 BBF に含有している Ca の存在形態が、高温下で炭酸化が進行しやすいケイ酸二石灰(Ca₂SiO₄)であり、室温下では炭酸化が十分に進行しなかったためと推察される。

表 2 諸条件と CO₂ 固定化量

試料名	初期含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	単位乾燥質量 1 g あたりの CO ₂ 固定化量 (g-CO ₂ /g-sample)
煤塵 LBB	17.6	0.45	0.055
煤塵 BB	20.0	0.51	0.011
煤塵 PSB	10.1	0.41	0.136
流動砂 PSB	20.6	0.94	0.010
流動砂 SS	16.9	0.88	0.000
煤塵 BBF	19.8	0.39	0.031

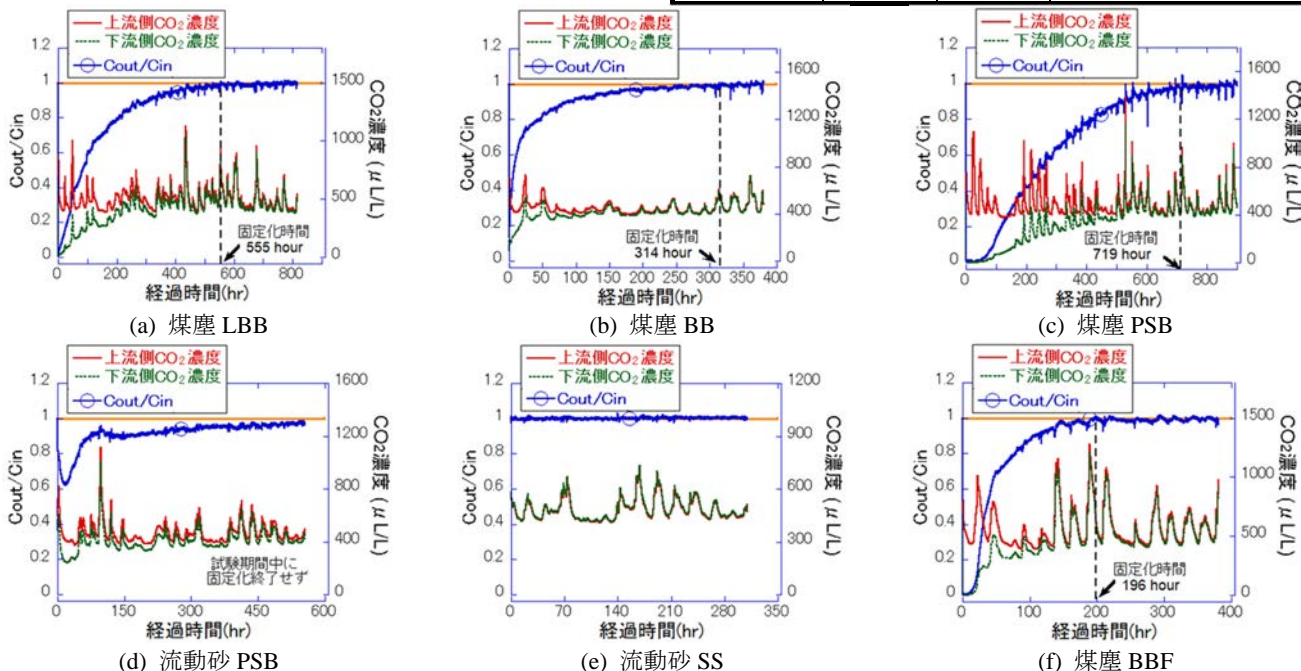


図 2 各種副産物の CO₂ 濃度および CO₂ 濃度比 C_{out}/C_{in} の推移

4. 結論

各種副産物の CO₂ 固定化性能を評価した結果、pH、Ca²⁺溶出量および Ca の存在形態が CO₂ 固定能力に大きく影響を及ぼす要因であることがわかった。これらの特徴を有する煤塵 LBB および煤塵 PSB は、CO₂ 固定化材として活用できる可能性が高い。また煤塵 BBF においても、CO₂ 通気条件を高温下とすることで、高い CO₂ 固定能力が期待できる。

参考文献

- 小峯秀雄：土質系材料の CO₂ 固定化性能を活用した地域密着型カーボンキャプチャー構想と気候変動緩和策，地盤工学会誌，67(4)，16-19,2019.
- 多賀春生，小峯秀雄，後藤茂，王海龍，鈴木清彦，杉本和聡，國弘彩：カラム型試験システムを用いた土質系廃棄物の CO₂ 固定化特性の実験的評価，第 54 回地盤工学研究発表会（さいたま市），pp. 2145-2146.