

副産物・素材の CO₂ 固定化性能に基づく地域密着型カーボンキャプチャー構想の定量評価

早稲田大学理工学術院 正会員 ○小峯 秀雄

早稲田大学大学院 創造理工学研究科 学生会員 多賀 春生

(株)ミダック 非会員 鈴木 清彦

1. 背景と目的

気候変動の緩和策として、省エネルギーの推進や再生可能エネルギー等の低炭素エネルギー、CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）の実現と普及、植物による CO₂ の吸収源対策等が挙げられている。経済産業省等では大規模な施設による二酸化炭素回収・貯留技術を進めているが、著者らは、それと併行して、まだ注目されていない各地域においても実施できる身近な地域密着型の CCUS 技術も必要と考えている。

著者らは、いくつかの副産物・素材が遊離 Ca を多量に保有することに着目し、CO₂ 固定に優れた新素材としての可能性を見出した^{1)~4)}。そして、この性能を活用して地域に密着した産業廃棄物処分場をカーボンキャプチャー施設と見なせることを提案している^{1),2)}。本論文では、現在まで取得してきた各副産物・素材の CO₂ 固定性能データに基づき、具体的な産業廃棄物処分場を例に挙げて、地域密着型のカーボンキャプチャー施設としての性能の試算を行う。

2. 既往研究事例における各副産物の CO₂ 固定化性能の概要

著者らの研究グループでは、各副産物・素材の CO₂ 固定化性能データを、図 1 に示すカラム型 CO₂ 固定化試験により測定し、表 1 に一例を示すように提示してきた。

表 1 各副産物・素材の CO₂ 固定化性能データの一例

試料	エージング製鋼スラグ	未エージング製鋼スラグ	ペーパースラッジボイラー煤塵（水蒸気飽和あり）	ペーパースラッジボイラー煤塵（水蒸気飽和なし）	ペーパースラッジボイラー煤塵（初期含水比調整あり・水蒸気飽和あり）
単位質量当たりの CO ₂ 固定化量 (g-CO ₂ /g-sample)	0.030	0.041	0.078	0.019	0.076~0.086
初期含水比 (%)	8.47	10.8	11.5	11.5	50.0, 54.4, 60.1, 64.2, 68.3, 72.0 の 5 種類
試験後含水比 (%)	0.98	1.12	9.87	4.93	34.8, 40.5, 42.2, 48.6, 36.7, 28.1 (上記初期含水比に対応)
乾燥密度 (Mg/m ³)	0.97	0.95	0.38	0.38	0.26~0.30
備考欄	カラム試験（水蒸気飽和なし）	カラム試験（水蒸気飽和なし）	カラム試験（水蒸気飽和あり）	カラム試験（水蒸気飽和なし）	カラム試験（初期含水比調整あり、水蒸気飽和なし）
参考文献	海野円ら ⁴⁾	海野円ら ⁴⁾	多賀春生ら ⁵⁾	多賀春生ら ⁵⁾	多賀春生ら ⁵⁾

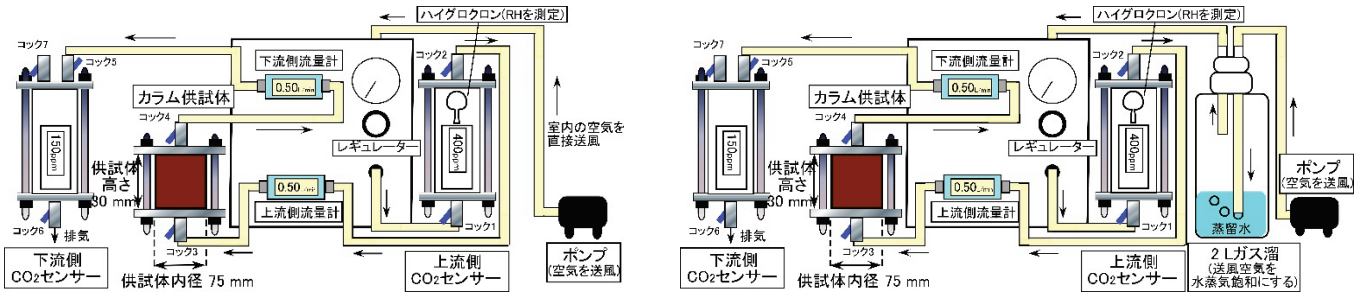


図 1 カラム型 CO₂ 固定化試験（左：水蒸気飽和システムなし、右：水蒸気飽和システムあり）

著者らの研究^{1)~4)}から、各副産物・素材の CO₂ 固定は、その含水比状態に大きく影響されることが分かっている。図 1 に示すカラム型試験装置では、送入する CO₂ の相対湿度を制御できるものとそうでないものの両

キーワード 地球温暖化，緩和策，CO₂ 固定，副産物，都市環境

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1，58 号館 2 階 03 室 TEL 03-5286-2940

方で実験を行い、データベースを作成している。例えば表 1 に示すように、ペーパースラッジボイラー煤塵（PS 灰）では、水蒸気飽和システム“あり”と“なし”の場合では、CO₂固定化性能が大きく異なり、“あり”の場合の CO₂固定化性能は、“なし”と比べて3倍以上の能力を有していることが分かる。また、素材の初期含水比の調整も、CO₂固定に有効であることも分かっている⁵⁾。表 1 に示す PS 灰の場合、初期含水比を 60～80%に調整し、水蒸気飽和した CO₂を送風することにより、素材質量の 8%程度の CO₂固定が可能である。

3. 想定産業廃棄物処分場の仕様から算出される施設の CO₂ 固定化潜在的能力の試算

前章で概説した各副産物・素材の CO₂ 固定化性能データを基に、具体的に産業廃棄物処分場の仕様を設定して CO₂ 固定化の潜在能力の試算を行う。施設の潜在的 CO₂ 固定化量は、以下の式(1)により算出できる。

$$M_{CO_2-Facility} = (V_{cover} \times \rho_{d-cover} \times m_{CO_2-unit cover}) + \sum_{i=1}^N \{ (V_{mat})_i \times (\rho_{d-mat})_i \times (m_{CO_2-unit mat})_i \} \tag{1}$$

ここに、 $M_{CO_2-Facility}$ ：施設全体の潜在的 CO₂ 固定化量 (Mg)、 V_{cover} ：覆土の容量 (m³)、 $\rho_{d-cover}$ ：覆土の平均乾燥密度 (Mg/m³)、 $m_{CO_2-unit cover}$ ：覆土の単位質量当たりの CO₂ 固定化量 (g-CO₂/g-sample)、 N ：副産物・素材の種類数 (種目)、 $(V_{mat})_i$ ： i 種目の副産物・素材の容量 (m³)、 $(\rho_{d-mat})_i$ ：施設内における i 種目の副産物・素材の平均乾燥密度 (Mg/m³)、 $(m_{CO_2-unit mat})_i$ ： i 種目の副産物・素材の単位質量当たりの CO₂ 固定化量 (g-CO₂/g-sample)

今回の試算においては、覆土について、次に想定する副産物・素材と同じ CO₂ 固定化性能を保有すると仮定した。副産物・素材単位質量当たりの CO₂ 固定化量 $m_{CO_2-unit mat}$ としては、表 1 に例示したデータに基づき、表 2 に示すように、2 種類の値、すなわち 0.01 (比較的 CO₂ 固定の性能が低い場合を想定) と 0.08 (表 1 の PS 灰のように比較的 CO₂ 固定の性能が高い場合を想定) を設定した。さらに、上記仮定の下、副産物・素材の種類数はそれぞれ 1 種類と仮定した。想定した施設は、(株) ミダックが 2022 年 4 月以降に稼働を予定

表 2 想定した施設全体の潜在的 CO₂ 固定化量の試算結果

$m_{CO_2-unit mat}, m_{CO_2-unit cover}$ (g-CO ₂ /g-sample)	0.01	0.08
副産物・素材の種類数 N (種目)	1	
$V_{cover} + \sum_{i=1}^N (V_{mat})_i$ (m ³)	3125591	
$\rho_{d-cover}, (\rho_{d-mat})_i$ (Mg/m ³)	0.4	
施設内の副産物・素材全質量 (Mg)	1250236.4	
$M_{CO_2-Facility}$ (Mg)	12502.364	100018.912

している奥山の杜クリーンセンターの管理型最終処分場⁶⁾を参考に設定した。同施設は、埋立面積 104,458 m²、埋立容積 3,125,591 m³とされている。施設内での素材の乾燥密度を 0.4 Mg/m³ と比較的緩い状態での締固めを想定した。表 2 に試算結果を示す。およそ、12,500～100,000 ton (表 2 では Mg 表示) と試算される。

表 3 想定した施設表面を森林にした場合に試算される CO₂ 固定化量の試算

森林 1ha 当たりの炭素 C 固定量(Mg/ha.year)	3.8 ⁸⁾
森林 1ha 当たりの CO ₂ 固定量(Mg/ha.year)	13.92
施設面積 (ha)	10.446
施設面積相当森林の CO ₂ 固定量 (Mg/year)	145.457

一方、参考文献 7), 8)で提示されている森林 1ha の 1 年間当たりの平均的炭素 C 固定量 (Mg/ha.year) に基づき、同施設の埋立面積に森林を育成させることを想定した場合に、その森林が 1 年間当たり固定化する CO₂ 量を試算した結果を表 3 に示す。その結果、同施設相当の森林面積の CO₂ 固定は年間 145 ton (表 3 では Mg 表示) となる。表 2 および表 3 の結果から、同最終処分場には、同施設面積相当の森林 86 年～689 年の CO₂ 固定が潜在的に可能であると試算される。

参考文献

1) 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.
2) 小峯秀雄：無機系の各種廃棄物の二酸化炭素固定特性と地域密着型カーボンキャプチャー構想，無機マテリアル学会会誌, 25, 385-392, 2018.
3) Umino, M., Komine, H., Murakami, S., Yasuhara, K., Setoi, K., Watanabe, Y. Iron and steel slag properties and mechanisms for carbon dioxide fixation in a low-carbon society, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 48(1), 82-89, ISSN 0046-5828, 2017.
4) 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, 9(4), 469-478, 2014 年
5) 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.
6) (株) ミダック：みだコロジー2019～みんなの環で地球をキレイに～【2019 年 2 月 1 日発行】，【I. 最終処分場の設置許可取得について】，入手先<<http://www.midac.jp/mail/backnumber/201902.txt>>, 2019 (参照 2020.01.20) .
7) (独) 森林総合研究所 温暖化対応推進拠点：1 年当たりの森林の材木 (幹・枝葉・根) による炭素吸収の平均的な値，入手先<<http://www.fpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-4-per-year.pdf>> (参照 2020.01.20) .
8) 林野庁関東森林管理局：森林の二酸化炭素吸収力，入手先<<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/iwaki/knowledge/breathing.html>> (参照 2020.01.20) .