

炭酸化处理を施した一般廃棄物焼却主灰の長期環境安全性評価

福岡大学大学院	学生会員	永山 陽裕			
福岡大学工学部	正会員	佐藤 研一	藤川 拓朗	古賀 千佳嗣	
(株)フジタ	正会員	久保田 洋	繁泉 恒河	高地 春菜	
(国研)国立環境研究所	正会員	肴倉 宏史			

1. はじめに 我が国では、最終処分場の残余容量不足が懸念されており、最終処分量の約 8 割を占める焼却残渣の有効利用が必要不可欠である。そのような中、一般廃棄物焼却主灰(以降、焼却主灰)の改質技術の開発が行われ、CO₂ ガスにより炭酸化处理を施すことで鉛の溶出抑制が可能であることが報告¹⁾されており、焼却主灰の長期安定化が期待されている。そこで本研究では、炭酸化处理として佐賀市清掃工場の排ガスから CO₂ を分離回収する設備(CCU プラント²⁾)に着目し、佐賀市清掃工場の排ガスおよび排ガスから回収された CO₂ を用いて炭酸化处理を施した焼却主灰の長期安全性評価について検討を行った。

2. 実験概要

2-1 実験試料 佐賀市清掃工場では焼却炉より排出される排ガスを前処理設備において湿式処理した後、CO₂ 分離回収設備で CO₂ 回収を行っている。

本検討で行う安定化促進処理方法は、図-1 に示すコンテナ(灰充填部：1200×750×400mm)に有姿の焼却主灰(含水率 15%)を充填し、コンテナ下部の

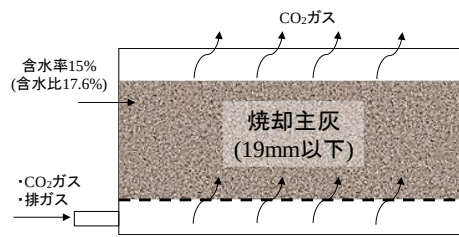


図-1 炭酸化に用いた試験槽の概略図

表-1 処理条件

ガス種	CO ₂ 濃度 (%)	通気速度 (L/min)	通気時間 (h)	焼却灰量 (kgDW)	充填密度 (g/cm ³)	CO ₂ 量 (g/kgDW)
排ガス	7	85	19	138	0.7	90
CO ₂	99.5	38	6.5	293	0.86	93

ガス導入部から工場の排ガス及び回収した CO₂ を通気することで炭酸化を施し Pb の不溶化を促進させる方法を用いた。表-1 の処理条件に示すように通気ガスの種類によって CO₂ 濃度が異なるため、通気速度および通気時間を調整し供給 CO₂ 量を調整している。写真-1 に通気前後の試料、表-2 に物理特性を示しており、通気に伴い細粒分が僅かに増加していることが分かる。

2-2 実験方法

1) 排ガスおよび CO₂ による不溶化効果 本検討では、排ガスおよび CO₂ を用いた炭酸化处理による重金属等の不溶化効果を検討するため、平成 3 年環境庁告示第 46 号試験(環告 46 号試験)を行った。試験では、pH、カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、六価クロム(Cr(VI))、ホウ素(B)の測定を行った。

(a) 未処理 (b) CO₂ 処理 (c) 排ガス処理

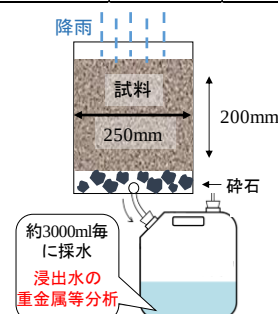
写真-1 実験試料の外観

表-2 物理特性

処理方法	灰粒子密度 ρ _s (g/cm ³)	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}	細粒分含有率 F _c (%)
未処理	2.385	31.3	3.8	11.7
CO ₂	2.360	134.5	14.4	14.9
排ガス	2.368	58.3	4.8	14.7

2) 長期環境安全性評価 焼却主灰を土木資材として利用を考慮する場合には、重金属等の長期的な溶出特性を把握する必要があることから屋外にて土研式雨水曝露試験³⁾を行った。9.5mm 未満の

試料を密度 1.0g/cm³ に調整して直径 250mm のワグネルポットへ深さ 200mm 程度を充填し、屋外に設置して試験を行った。図-2 に雨水曝露試験の概略図を示す。供試体は未処理、CO₂、排ガスそれぞれ 1 個ずつ作製し、雨水により生じた浸出水を約 3000ml 毎に採水して 0.45μm のメンブレンフィルターでろ過を行い、得られた検液の pH、酸化還元電位(Eh)、電気伝導率(EC)、カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、六価クロム(Cr(VI))、ホウ素(B)の測定を行った。定量下限値は、それぞれ Cd:0.001mg/L、Pb:0.01mg/L、Cr(VI):0.02mg/L、B:0.01mg/L である。

図-2 雨水曝露試験³⁾の概略図

3. 実験結果及び考察

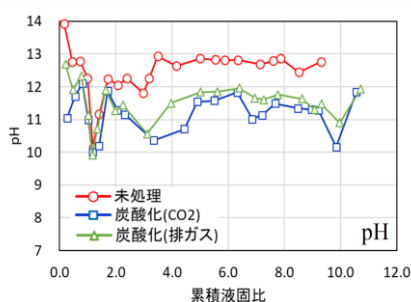
3-1 排ガスおよび CO₂ による不溶化効果 表-3 に環告 46 号試験結果を示す。ガスの通気により pH の低下が確認された。排ガス及び CO₂ ガスを通気することで Pb 溶出濃度が減少している。Pb は両性金属であることから、炭酸化处理により pH が中性側に移行することで溶出濃度が減少したと考えられる。Cr(VI)については、ガスの通気により溶出濃度が増加し、土壤環境基準を上回る結果となった。高地ら⁴⁾や成岡ら⁵⁾も炭酸化により焼却主灰からの Cr(VI) 溶出濃度が増加することを報告しており、対策の必要性があると考えられる。一方、Cd、F、B については、いずれも土壤環境基準を満たす結果が得られた。

3-2 長期安全性評価 図-3 に雨水曝露試験結果を示す。2019 年 11 月に試験を開始し、これまで約 10 ヶ月のデータを取得している。(a)pH については、炭酸化处理によって pH が低下しているが、焼却主灰の緩衝能によりいずれもアルカリ性を示している。(b) Eh については、いずれもプラスの値を示しており酸化雰囲気にあることが分かる。(c) EC については、洗い出しの効果により液固比 1.0 にかけて急激に低下している。

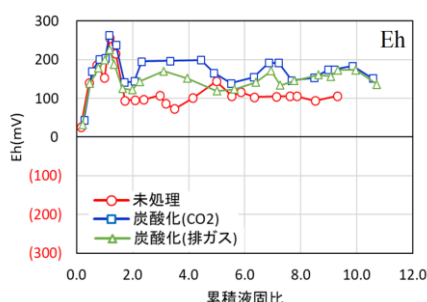
(d)Pb については、炭酸化によって Pb 溶出濃度が低下しており、排ガスおよび CO₂ ガスによる Pb 溶出低減効果が確認された。これは、浸出水中の pH 低下や炭酸化により焼却主灰中の Pb が溶出されにくい PbCO₃ に形態変化することが Pb 溶出低減にも寄与していると推察される⁹⁾。(e)Cr(VI)については、いずれの処理区においても初期溶出濃度よりは減少しているが、炭酸化により未処理よりも溶出濃度が高くなっている。また、全ての処理区において液固比 1.0 にかけて初期溶出濃度から大きく減少しているのは雨水浸透による洗い出しの効果と考えられる。(f)B については、炭酸化によって初期溶出濃度が低くなっているが、液固比 1.0 以降は炭酸化の有無に関わらず一定値に収束する傾向にある。Cd においてはいずれも定量下限値以下であった。また、ガスの違いにより初期溶出濃度に差が見られる重金属等もあるが、液固比の増加に伴い、その差は小さくなる傾向が確認された。本検討より、清掃工場の排ガス及び CO₂ ガスによる炭酸化处理は、焼却主灰の Pb 溶出低減に対して効果的であるが、一方で Cr(VI)については、未処理よりも高濃度で溶出が持続する傾向にあることから、対策の必要性が示唆された。

表-3 環告 46 号試験結果

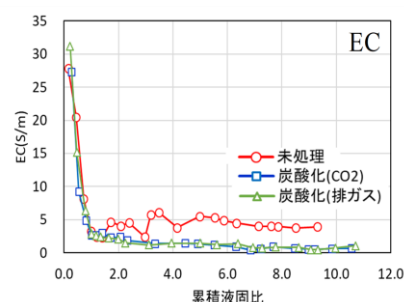
試料	pH	Cd	Pb	Cr(VI)	F	B
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
未処理	12.8	nd	4.7	0.04	0.35	nd
CO ₂	10.9	nd	nd	0.15	0.29	0.93
排ガス	11.9	nd	0.02	0.19	0.18	0.19
土壤環境基準	—	0.003	0.01	0.05	0.8	1



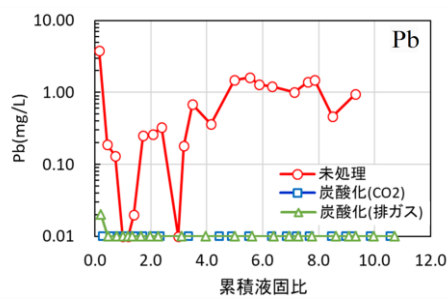
(a) 累積液固比-pH



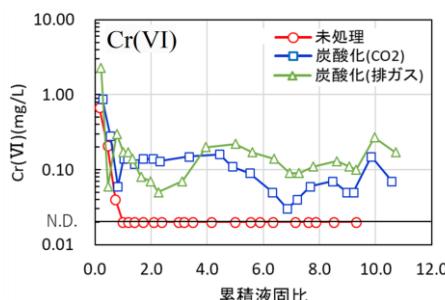
(b) 累積液固比-Eh



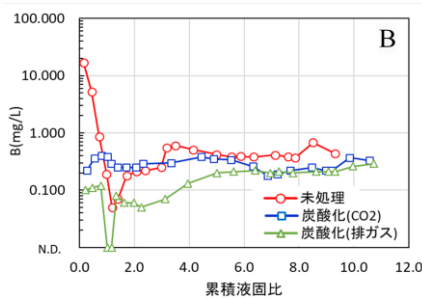
(c) 累積液固比-EC



(d) 累積液固比-Pb



(e) 累積液固比-Cr(VI)



(f) 累積液固比-B

図-3 雨水曝露試験結果

4. まとめ

排ガスおよび CO₂ による炭酸化处理は、焼却主灰中の Pb 溶出低減に対しては効果的であり長期的に溶出抑制可能であることが明らかとなった。一方、Cr(VI)については炭酸化处理により未処理よりも高濃度で溶出が持続する傾向にあることから、対策の必要性が示唆された。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20183004)により実施されました。また、試験に際し佐賀市には多大なご協力を得ました。関係者各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】1) 久保田ら：一般廃棄物焼却灰の散水・炭酸化处理による力学・溶出特性への影響と土木資材としての混合材料化検討，第 13 回環境地盤工学シンポジウム，pp.177-182, 2019. 2) 佐賀市ホームページ：二酸化炭素分離回収設備リーフレット，https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/2018/201802/plc69mlajplppi32p19ils6rub94.pdf 3) 土木研究所：建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル，土木研究所共同研究報告書第 358 号，p.91, 2007. 4) 高地ら：焼却主灰の炭酸化处理における六価クロムの溶出傾向と酸化還元電位の関係，第 30 回廃棄物資源循環学会研究発表会，pp.449-450, 2019. 5) 成岡ら：エージングによる一般廃棄物焼却灰の無害化，第 24 回廃棄物資源循環学会講演論文集，pp.611-612, 2013. 6) 高岡ら：エージングによる都市ごみ焼却主灰中鉛の安定化機構の解明，第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.819-821, 2006.