

磁性材料を使用した焼却飛灰洗浄による可溶性セシウム回収技術の基礎的検討

大成建設 正会員 ○根岸 昌範 高畑 陽 今村 聡
 DOWA エレクトロニクス 前川 弘樹 吉田 貴行 上山 俊彦
 慈恵医大 並木 禎尚

1. はじめに

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故に由来する放射性セシウム（以下 Cs と記載）は広範囲に拡散し、特に都市ごみ焼却施設や下水汚泥焼却施設などから発生する焼却飛灰については、放射性 Cs が濃縮することで福島県以外の処理施設においても 8,000Bq/kg の指定廃棄物基準を超過する事態を招いている。

一方で、焼却過程を経ることで飛灰中の放射性 Cs は可溶性の比率が高くなることが報告されており¹⁾、中間貯蔵施設等の処分容量が十分確保できない懸念も考慮すると、更なる減容化への取組みとして焼却飛灰を洗浄して可溶性 Cs を取り除くことで減容化する技術も検討の余地があるものと考えられる。

本報告では、放射能汚染重点調査地域内の都市ごみ焼却施設の飛灰実試料を使用し、水洗浄と磁性除染材の組合せによる可溶性 Cs 回収技術について、室内試験により得られた知見をとりまとめた。

2. 試験方法

(1) 試料および材料

試験に供した焼却飛灰試料の性状を表 1 に示す。都市ごみ焼却施設から排出された焼却飛灰であり、環告 18 号準拠の水溶出試験で評価した可溶性 Cs の比率は 86.8% の試料であった。

磁性除染剤は、一次粒子がナノスケールの磁性粒子の表面に、放射性セシウムに対する選択性の高いプルシアンブルーを担持させた材料であり、可溶性セシウムをイオン交換反応で吸着した後、磁力により除染剤を分離回収できる特徴を有する。

(2) 可溶性セシウム溶出速度の検討

焼却飛灰に対し水道水（地下水）を 5 倍重量添加（固液比 1 : 5）し、200rpm の速度で一定時間攪拌解砕し、ただちに孔径 1 μ m で吸引ろ過することで固液分離した。ろ液に含まれる放射性 Cs 濃度を Ge 半導体検出器により定量し、ろ液については蒸発残留物量も測定した。

(3) 磁性除染剤を用いた室内試験

(2) と同様の方法で攪拌解砕した焼却灰スラリー溶液について、飛灰重量 400g に対して 1.0% 重量の磁性除染材を添加した。磁性除染剤添加から 90 秒攪拌混合を継続し、アクリルカバーを装着したマグネットバーを挿入した。更に、そのまま攪拌を 90 秒間継続し、攪拌停止後にマグネットバーを引き上げて、磁性除染材を回収し、放射性 Cs 濃度を定量した。攪拌槽からマグネットバーを引き上げて磁性吸着剤を回収している状況を写真 1 に示す。

また、除染後の飛灰スラリーについても放射性 Cs 濃度を定量した。なお、マグネットバーはネオジム磁石を内蔵したステンレス円筒状の器具であり、表面磁束密度として 1.4T (テスラ) のものを使用した。

なお、いずれの試験においても固相試料は U-8 容器（容量 100mL）に充填し、液相試料は 500mL 容器に充填したうえで、Ge 半導体検出器（ORTEC 社製 GEM20P4-70）により放射性 Cs 濃度を定量した。

表 1 焼却飛灰試料の性状

放射能測定 (Bq/kg)	Cs-134	3,800
	Cs-137	6,800
	Total	10,600
水溶性Cs比率 (%)		86.8
スラリーpH (-)		12.3
含水比 (%)		20.5



写真 1 スラリーからの吸着剤回収状況

キーワード 放射性セシウム, 焼却飛灰, 磁性除染剤, 減容化

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL03-3355-3442

3. 試験結果

(1) 攪拌時間と可溶性 Cs 濃度の関係

焼却飛灰スラリーの攪拌時間と液相（ろ液）中の放射性 Cs 濃度の関係を図 1 に示す。可溶性 Cs が 100%溶解した際の放射線量は 1,838Bq/kg であり、90 秒の攪拌時間で 1,540Bq/kg と 84%程度が溶出している。このことから、数分のオーダーで可溶性 Cs を液相に移行できることがわかった。なお、放射性 Cs 濃度測定後の試料を蒸発乾固した残留物は 49.8g であり、添加した焼却飛灰重量 120g、含水比 20.5%から考慮すると、飛灰重量の 50%程度が可溶性成分で占められることになる。

写真 2 に焼却飛灰の走査型電子顕微鏡画像を示すが、立方型の結晶は塩化カリウムか塩化ナトリウムであり、細かい結晶は塩化カルシウムであった。水溶性の放射性 Cs は、これら結晶に取込まれる状態で存在するものと考えられた。

(2) 磁性除染剤を用いた室内試験

室内攪拌槽を使用した飛灰スラリーからの可溶性 Cs 回収試験結果を表 2 に示す。マグネットバーで磁性除染剤を回収した後の飛灰スラリーは、孔径 $1\mu\text{m}$ で固液分離し、ろ液と固相の双方で放射線量を測定した。ろ液中の放射性 Cs 濃度は合計で 118Bq/kg であり、放流基準を満足する結果が得られた。固形分中の放射性 Cs 濃度も 470Bq/kg であり、含水比を考慮した乾燥土壌あたりの放射線量でも 1,000Bq/kg 程度と指定廃棄物の基準値を大幅に下回っている。磁性除染剤に回収した放射線量は、除染剤重量あたりに換算したが、実際には微細な飛灰等を含んだスラリー状で回収されており、湿潤状態での放射線量は数万 Bq/kg オーダーであった。

試験系に投入した放射線量 (Bq 値) は 4,240Bq であり、飛灰スラリーに残留した放射線量と除染剤に回収した放射線量の合計は 4,232Bq と概ねマスバランスも確保できる結果であった。

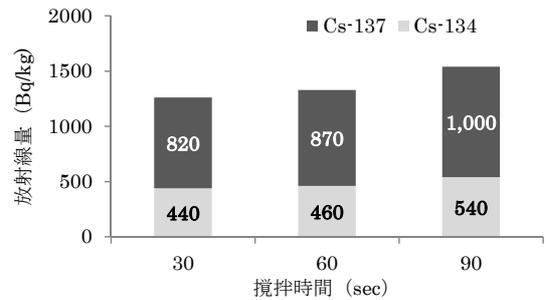


図 1 攪拌時間と液相中濃度の関係

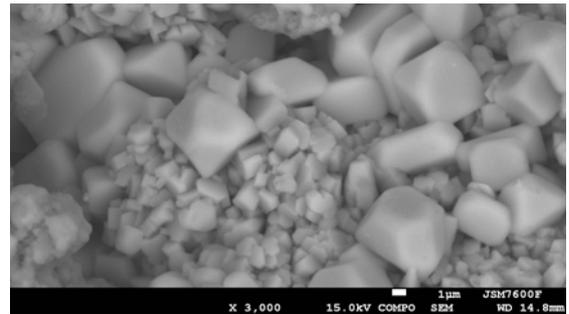


写真 2 焼却飛灰の SEM 画像

表 2 磁性除染剤による可溶性 Cs 回収試験結果

測定対象	放射能測定結果 (Bq/kg)			Bq値での評価 (Bq)	備考
	Cs-134	Cs-137	合計		
飛灰の初期放射線量	3,800	6,800	10,600	4,240	含水比20.5%、400g投入
飛灰スラリー（ろ液）	38	80	118	236	放流基準 (Cs-134/60 + Cs-137/90 ≤ 1) に合致
飛灰スラリー（固形分）	160	310	470	156	含水比117%
除染剤回収濃度	330,000	630,000	960,000	3,840	除染剤乾燥重量あたり放射線量に換算

4. まとめ

焼却飛灰試料を水洗し可溶性 Cs をナノ磁性除染剤で吸着および回収することで、洗浄飛灰中の放射線濃度を低減し、指定廃棄物基準をクリアする技術の基礎的な検討を実施した。除染率は焼却飛灰試料中の可溶性 Cs 比率に依存するものの、高線量の放射性セシウムを含んだ廃棄物等の最終処分容量がどの程度確保できるか不確実ななかで、こうした減容化技術に対するニーズも生じていくものと考えられる。今後は、社会的ニーズ等も勘案しつつ、スケールアップに対する検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料第二版），2012.3