

焼却灰中放射性セシウムの高効率洗い出し技術

久保田洋、山田裕己、野口俊太郎

株式会社フジタ 建設本部環境エンジニアリングセンター土壌環境部

(連絡先：03-3796-3204, E-mail hkubota@fujita.co.jp)

1. 技術概要

飛灰などの放射性セシウムの含有量及び溶出性が高い焼却灰の濃度低減と溶出抑制を目的として、機械攪拌等を用いることなく、間欠散水・通気を利用して廃水量を従来の約 1/10 程度に抑えながら、同等の放射性セシウム洗浄効果を有する高効率洗い出し技術。

本技術は環境省平成 25 年度除染技術実証事業に選定され実証を行った技術である。

【本技術の特長】

- ・ 8,000Bq/kg 超の焼却灰を 8,000Bq/kg 以下に濃度低減させ、利活用もしくは従来処分を可能にすることにより、指定廃棄物の減容化に寄与
- ・ 洗浄により放射性セシウムの易溶出性画分を除去することにより、利活用もしくは最終処分時の溶出リスクを低減
- ・ 液固比 0.5 程度の廃水量で同等の洗浄効果を得ることができるため、廃水発生量を従来比の約 1/10 と大幅に低減
- ・ 廃水量を削減でき、フィルタープレス等の施設も不用となるため、廃水処理施設の小型化、簡略化、省エネルギー化が可能
- ・ 洗浄システムとして 3 割以上のコスト削減効果

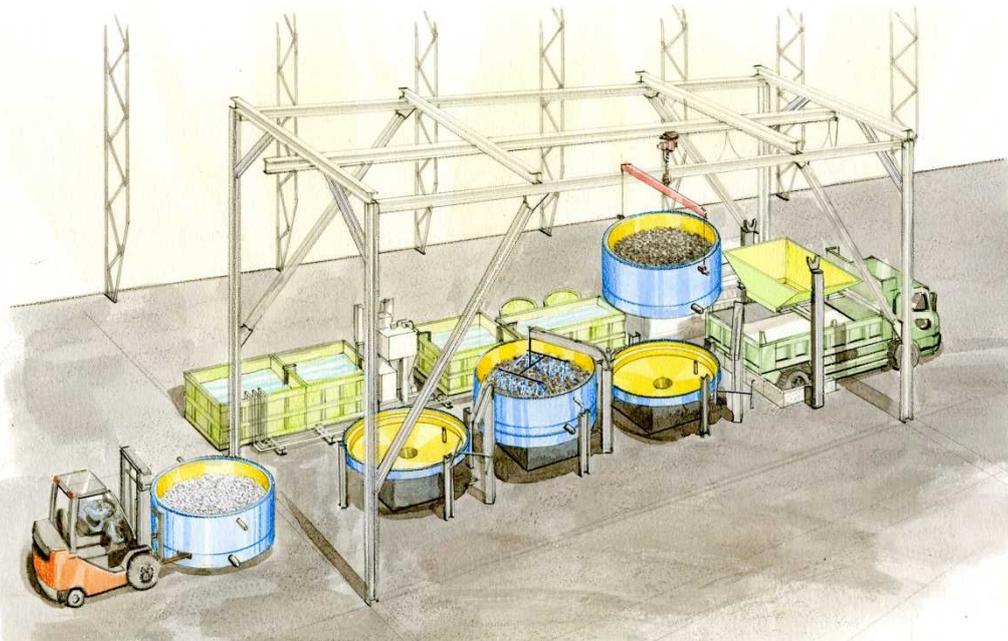


図1 焼却灰高効率洗浄施設イメージ

キーワード：焼却灰、放射性セシウム、洗浄、極小水量、減容化

連絡先：(株)フジタ 建設本部環境エンジニアリングセンター土壌環境部 Tel03-3796-3204

2. 背景

平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故に由来する放射性物質により福島県を中心として広範囲の地域が汚染された結果、当該地域において一般廃棄物や産業廃棄物の焼却施設から排出される焼却灰（主灰と飛灰）から放射性物質が検出される状態が続いている。特に放射性物質（主に放射性セシウム）は主灰に比べ飛灰に高濃度に濃縮されており、飛灰の最終処分場への受入が進まないという問題も生じ、早急な対策が求められている。

一方で飛灰は対象物や燃焼方式にもよるが、一般廃棄物由来の飛灰の場合、含有する 6～9 割程度の放射性セシウムが「易溶出性」を有することが確認されている¹⁾。これらを洗い出すことができれば、放射能濃度が大幅に低減され、埋立後の溶出リスクも抑制されることから、洗浄飛灰の処分が進み、指定廃棄物（8,000Bq/kg 超）の放射性物質汚染対処特措法における管理型処分場での処分量を削減することができる。また国の基準値以下にも係わらず放射能濃度が問題とされ、処分やリサイクルが進まない焼却灰等資材についても、洗い出しにより放射能濃度低減が可能となればその処理を促進することができる。

このように放射性セシウムの洗い出しにより指定廃棄物等の減容化に大きく寄与することが期待される焼却灰洗浄技術であるが、従来の機械攪拌式洗浄は焼却灰に対して 5～10 倍量の水を用いて洗浄を行うため、廃水処理設備が大型かつ複雑化し、システムとして高コスト化する課題があった。

著者らは、焼却灰洗浄におけるこれら課題を解決するために、自社において培った焼却灰安定化技術²⁾を基にして、静置した焼却灰に対して間欠散水と通気を行い、従来の約 1/10 の廃水量という高効率で焼却灰中の放射性セシウムを洗い出す技術（以降、本技術）を開発した。

2. 洗浄方法と洗い出し効果

2.1 洗浄方法

本技術は透水性フレコンバック（水切フレコン）等の排水性を有する容器に焼却灰を充填し、上部より間欠的に散水を行うと同時に下部より灰内を上方に通過するよう通気を行う（図 2）。散水を間欠的に行うことによって散水強度を低く抑えつつ、焼却灰との接触時間を確保することにより効率的な洗い出しを行うことができる。洗浄に要する時間としては 12～24hr 程度である。また下部より通気を行うことで焼却灰内での水みち形成を抑制する効果が期待できる。焼却灰は燃焼方式や薬剤処理方法等によりその性状は大きく異なることから、洗浄の対象となる焼却灰については、事前にカラム試験を行い最適な粒径、散水強度及び通気条件について設定を行う必要がある。焼却灰の粒径に応じて必要があれば前処理として破碎処理を行う。

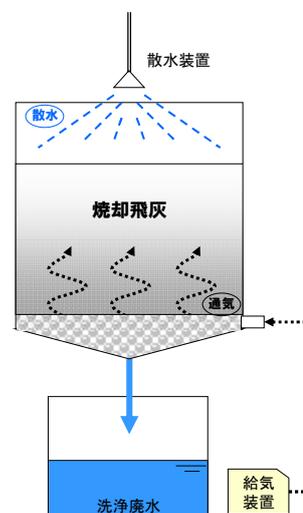


図2 間欠散水・通気方式概略

2.2 洗い出し効果

2.2.1 実証試験結果³⁾

本技術の実証試験結果（飛灰 0.7t、液固比 0.55、24hr 間欠散水・通気）と機械攪拌式洗浄を想定した環告 13 号法（液固比 10、6hr 振とう）との比較を行った。廃水発生量としては環告 13 号法では 6.6m³（試算値）、本技術では 0.39m³（実測値）であった。図 3 に本技術で洗浄した飛灰（水切フレコン充填）の中心コアの深度別放射能濃度及び溶出水（JISK0058-1）濃度の結果を示す。実規模において、洗浄済み飛灰及びその溶出水の放射能濃度は環告 13 号法とほぼ同等の値を示し、液固比が 0.55 でも同様の洗い出し効果が得られることが確認された。



写真1 実証試験
(水切フレコン内の飛灰に散水を実施)

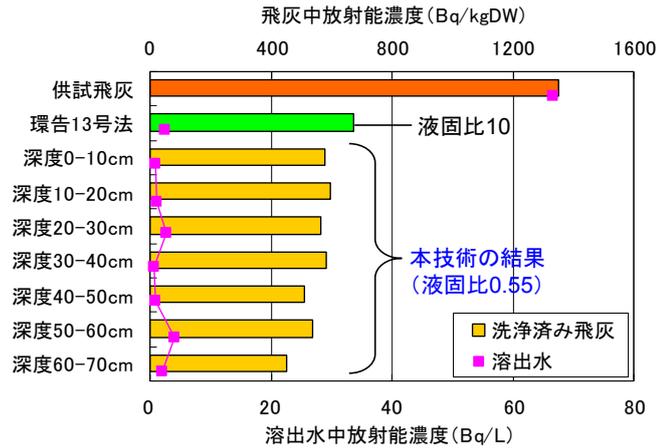


図3 飛灰の深度別放射能濃度及び溶出水濃度

2.2.2 高放射能濃度飛灰

指定廃棄物である一般廃棄物由来の飛灰を用いた本技術のカラム試験では低減率約90%となり、22,000Bq/kg以上の飛灰を3,000Bq/kg以下まで低減できることが確認されている(図4)⁴⁾。易溶出性の放射性セシウムを含有する焼却灰については、本技術を用いることで8,000Bq/kg以下に低減することは可能であると考えられる。

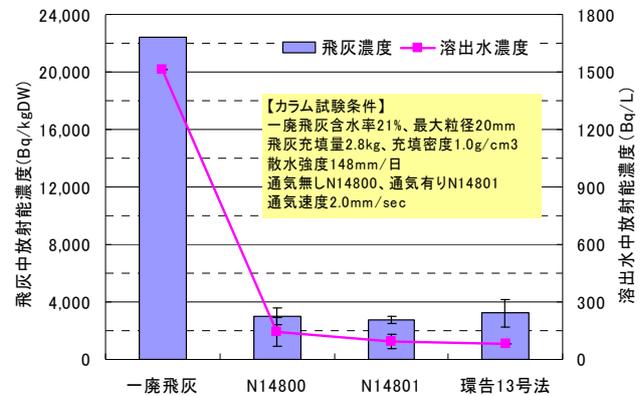


図4 高放射能濃度飛灰での線量低減効果

2.2.3 従来技術との比較

実証試験³⁾において得られた結果を基にして、従来技術との比較を表1に示す。本技術は従来技術に比べ、洗浄時間は要するが、液固比が小さく洗浄システム全体としては35%程度コストを削減できることが試算されている。

表1 従来技術と本技術との比較

	従来技術	本技術
方式	機械攪拌	間欠散水・通気
洗浄時間	~6hr	12~24hr
液固比 ^{※1} (廃水ベース)	約5~10	0.5程度
試験方法	環告13号法 (液固比10、6時間振とう)	カラム試験 現地実証試験
処理コスト ^{※2}	90,300円/t	59,100円/t

※1 液固比(廃水ベース) = 廃水量 / 初期飛灰重量

※2 コスト試算条件: 焼却灰処理量5t/日、洗浄+廃水処理+労務(廃水処理は無放流、建屋・遮蔽容器等含まず)の合計

3. 適用イメージ

本技術を組み込んだ焼却灰洗浄システムのフローを図5に示す。前処理としての破碎は対象とする焼却灰の性状により要否を判断する。破碎はバックホウによる粗破碎、ダブルロールクラッシャー等の破碎

機による細破碎を必要に応じて行う。飛灰を充填した容器を洗浄装置に設置し、含水用給水を行った後、散水・通気洗浄処理を 24hr 行う。洗浄終了後、容器から焼却灰を取り出し、洗浄済み焼却灰として搬出する。

放射性セシウムを含む洗浄廃水は高塩濃度下においても高いセシウム選択性を有するプルシアンブルー等の吸着剤により除去する。吸着剤は必要に応じて脱水し、コンクリートボックス等遮蔽壁を有するエリアにて保管する。セシウム除去後の処理水については、高濃度塩類及び重金属も含まれることが予想されること、本洗浄技術の廃水の特徴（少量・高塩濃度）を考えると蒸発乾固を行う無放流タイプにおいてその優位性が大きくなると考えられる。発生する乾燥物は密封性のある内袋にいれ、フレコンで保管する。破碎処理～濃縮乾燥までは防じん建屋内にて行う。建屋施設、設備、作業員の被ばく管理については改正電離則等に基づき適切に行う。

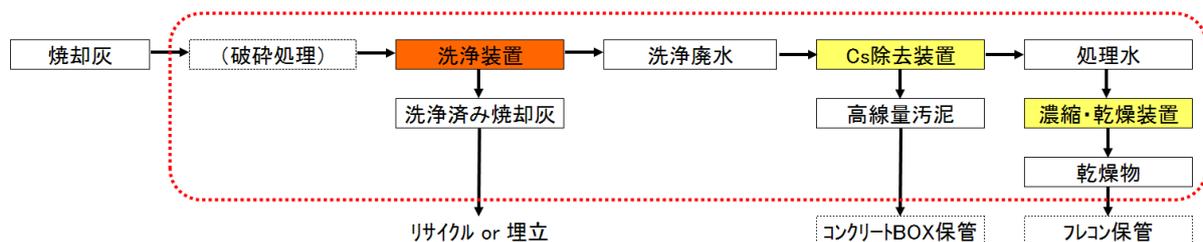


図5 焼却灰洗浄システムフロー

本技術は易溶出性セシウムを含有する焼却灰を適用対象とする。本技術を組み込んだ焼却灰洗浄システムの適用イメージとしては以下のような場合が想定される。

・ 8,000Bq/kg～100,000Bq/kg の一般廃棄物由来の飛灰

一般廃棄物由来の飛灰については溶出性が高いことが予想されるため、指定廃棄物の基準である 8,000Bq/kg 以下にまで低減することは十分可能である。

・ 約 20,000Bq/kg 以下の災害・除染廃棄物由来の飛灰

災害・除染廃棄物由来の飛灰は土砂等の混入率が高く、飛灰の溶出性が一般廃棄物よりも低くなる傾向が確認されており、低減率 60%と設定したときの 8,000Bq/kg 以下にできる初期濃度は 20,000Bq/kg となる。

・ 処分場受入基準～8,000Bq/kg の一般廃棄物焼却施設等から発生する焼却灰

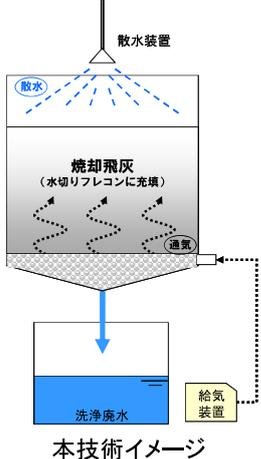
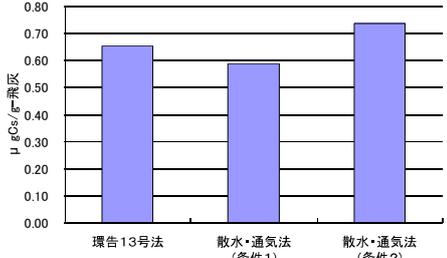
地域によっては国の定めた 8,000Bq/kg よりも低い独自受入基準を設けている処分場もあり、これら基準をクリアのために本技術を用いることも可能である。

・ 放射能濃度は基準をクリアしている焼却主灰や産業廃棄物焼却施設由来の飛灰

溶出リスクを低減することで資材としての安全性を高め、リサイクルを促進する。

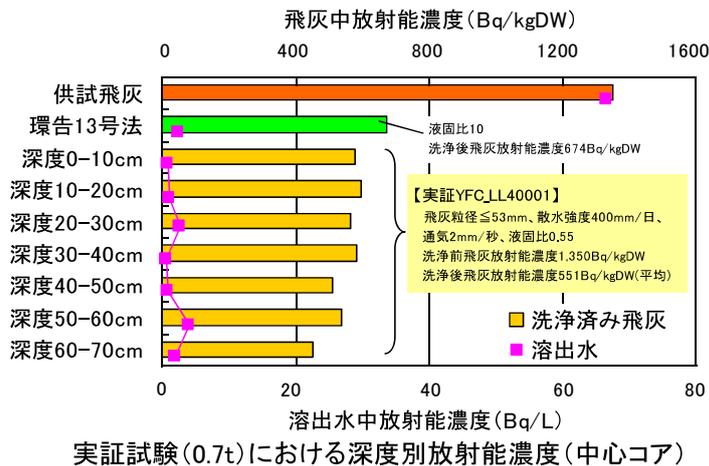
【引用・参考文献】

- 1) (独) 国立環境研究所、放射性物質の挙動から見た適正な廃棄物処分（技術資料第二版）、2012
- 2) 久保田ら、焼却灰の埋立管理における前処理の効果（4）、第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp. 483-484、2009
- 3) (独) 日本原子力研究開発機構、平成 25 年度除染技術実証事業業務報告書、http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/entry07_25.html
- 4) 久保田ら、散水・通気法による焼却飛灰中放射性セシウムの高効率洗い出し技術の開発、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp. 579-580、2013

実施代表者の所属機関：株式会社フジタ	
実証テーマ名：焼却灰中放射性セシウムの高効率洗い出し技術の実証	
事業の概要： 放射性セシウムの含有量及び溶出性が高い焼却飛灰の濃度低減と溶出抑制を目的として、機械攪拌等を用いることなく、間欠散水・通気を利用して廃水量を既往例の約 1/10 程度に抑えながら、同等の放射性セシウム洗浄効果を有する高効率洗い出し技術を実証する。	
実施内容： 試験は散水、通気、粒径による洗い出し効果を検証するために予備試験（カラム試験）を行い、実証試験の諸条件を確定させたのち、実証試験を実施する。実証試験により実規模での装置仕様の検討やコスト試算、安全性評価を行う。	
技術概要：	
1、試験フロー	
 <p>本技術イメージ</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">カラム試験</div> <div style="font-size: 2em;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">実証試験</div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>① 散水強度試験</p> <p>② 通気試験</p> <p>③ 粒径評価試験</p> </div> <div style="margin-top: 10px;">  <p>カラム試験状況</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>① 洗浄効果評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射能濃度低減率、溶出抑制効果 <p>② 装置仕様検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・散水、通気装置、洗浄槽構造 <p>③ 処理システム検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前処理（破碎、含水調整） ・処理能力、浸出水性状評価 ・モニタリングシステム検討 <p>④ 安全性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空間線量率、粉じん <p>⑤ 最適システム検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前処理方法、減容化処理方法 <p>⑥ 経済性評価</p> </div>
2、試験目標	
<ul style="list-style-type: none"> ・従来の約 1/10 程度の廃水量（液固比 0.5）で同等の洗い出し効果を目指す ・実規模での装置仕様、経済性、安全性の把握 	
3、期待される効果	
<ul style="list-style-type: none"> ・8,000Bq/kg 超の焼却飛灰を 8,000Bq/kg 以下に低減させることで放射性物質汚染対処特措法における管理型処分場での処分量を削減できる。 ・洗浄により易溶出性画分を除去しているため、埋立後の溶出リスクを低減できる。 ・廃水量を大幅に削減する特長を有するため、廃水処理施設の小型化、簡略化、省エネルギー化へ大きく寄与することが期待される。 	
	 <p>焼却飛灰(キレート処理済)</p>
	 <p>飛灰中安定 Cs の洗い出し量の比較(事前検討)</p> <p>※環告13号法は液固比10、散水・通気法は液固比0.5～0.7 (液固比=廃水量/初期飛灰重量)</p>
その他：	

除染効果：

従来技術である機械攪拌を想定した環告13号法（液固比*10、6hr振とう）と比較して、本技術の実証試験結果（飛灰0.7t、液固比0.55、24hr間欠散水・通気）によりほぼ同等の洗い出し効果を有することが実規模にて示された。本結果から本技術により易溶出性の放射性セシウムを含有する飛灰の放射能濃度と洗浄後飛灰の溶出リスクの低減が可能であることが確認された。



【本技術（実証試験全体）】
飛灰中放射能濃度（低減率）：
444～574Bq/kgDW（55～64%）
溶出値：0.7～6.0Bq/L



【従来技術（環告13号法）】
飛灰中放射能濃度（低減率）：
591～701Bq/kgDW（44～50%）
溶出値：2.4～4.7Bq/L

※液固比＝廃水量／初期飛灰重量

除去物発生量評価：

洗浄廃水発生量 0.5～0.6m³/t(飛灰)

吸着剤発生量 10kg/m³×0.5～0.6m³/t(飛灰)＝5～6kg/t(飛灰)（フッ素系吸着剤分散液使用時）

作業員被ばく量評価：

作業場所平均空間線量率 0.04 $\mu\text{Sv/hr}$ 、作業時間 8 時間/日

作業員最大被ばく量 12 μSv （破碎処理・洗浄試験等管理担当、8 時間×13 日間）

作業員平均被ばく量 10 μSv

コスト評価：

59 千円/t(飛灰)

歩掛り（作業人工、作業速度）：

飛灰充填量 0.7t/フレコン袋、24hr 処理の場合、

洗浄作業人工 0.27 人工/t

洗浄作業速度 0.03t/hr

コスト評価条件：

飛灰処理量 5t/日、無放流（蒸発乾固）方式、乾燥物はフレコン保管

施設建屋建設費、吸着剤保管容器費、産廃処理費は除く

除染作業における安全上の注意：防じんマスク（捕集効率 95%以上）・ゴム手袋・ゴム長靴着用、試験を行った防塵テント内には集塵機を設置

試験場所（住所）：

宮城県山元町

除去物保管場所と保管状況（写真）：

飛灰は提供先へ返却、水処理に用いたゼオライト等汚泥は県内産業廃棄物処分場へ埋立処分