

FAST-BOX システムの開発

久保田 洋 繁泉 恒河
山田 裕己^{*1} 野口 俊太郎^{*1}
増田 圭司

概 要

焼却灰の安定化は「安全・安心な」最終処分場の実現や焼却灰リサイクル推進において重要な役割を担っている。筆者らは脱着式コンテナを活用し、間欠散水と CO₂ ガスによる通気を用いて、オンサイトで焼却灰の早期安定化を促進できる技術「FAST-BOX システム」の開発を行い、実証試験を行った。

実証試験は 1 回あたり有姿の一般廃棄物焼却主灰 2.2t 程度を使用し、散水のみ、散水+CO₂ 通気の 2 処理区（液固比 0.6-0.7、24hr）で実施した。実験後に複数地点から採取した焼却灰の溶出液中 Cl 濃度および処理後焼却灰の Cl 含有量の結果（最大 72%低減）から、本装置において塩類の洗い出しが良好に行われていたことが確認された。CO₂ ガス通気による炭酸化では Pb 難溶化効果および発熱反応が確認された。実験後の焼却灰を用いた長期溶出性評価試験では 300 日経過後も処理済焼却灰の Cl 濃度が未処理灰よりも低く推移する結果となった。

The Development of an accelerated, on-site ash stabilization technology “FAST-BOX system”

Abstract

Ash stabilization plays an important role in the safety and security of landfills and in driving ash recycling. An on-site technology that uses a detachable container and stabilizes ash with sprinkling water and aeration with CO₂ gas was developed. Experimental verification of this technology was undertaken (treatment condition: L/S=0.6-0.7, 24h duration). Two treatments methods were investigated using unsieved samples of municipal bottom ash (2.2t): 1) sprinkling water only 2) sprinkling water combined with aeration using CO₂ gas.

The chloride content of treated bottom ash decreased by up to 72%. The bottom ash treated by aeration with CO₂ gas showed low solubility of Pb and exothermic reaction. Long-term elution test after the experiment showed that the chloric concentration of treated ash leachate was lower than that of untreated ash beyond the 300 day mark.

キーワード： 焼却灰、散水、通気、オンサイト、
安定化

*1 建設本部土木エンジニアリングセンター
土壤環境部

§1. はじめに

最終処分場の新規建設が進まない中において、主要埋立物のひとつである焼却灰の安定化は、「安全・安心」な処分場の実現や焼却灰リサイクル推進という観点からも重要な役割を担っている。塩類や重金属を含有する焼却灰の安定化処理技術として、欧州等ではウェザリングと呼ばれる自然の降雨による洗い出しと大気中の二酸化炭素による炭酸化を進める手法が行われている¹⁾。ウェザリングはコストを抑えながら焼却灰の安定化促進ができる有効な技術であるが、天候の影響を受けることもあり、処理に 3 ヶ月～1 年と長い時間を要し、敷地に限りがある国内においてはその実施は最終処分場内などに限定されてしまう。

フジタでは最終処分場の負荷軽減、早期安定化を目的として、2003 年頃よりこのウェザリングの機能に着目し、焼却灰に対して適切にコントロールされた散水・通気処理を 40～50 日程度施すことにより、埋立前の焼却灰の早期安定化を図ることができる「FAST システム」の開発をこれまで行っている²⁾。FAST システムでは少ない散水量(液固比 1.0 以下)で効率的に塩類の洗い出しを行うとともに、通気処理により重金属類の難溶化や有機物負荷の低減を行うことができることが 80t/回の試験で実証されている³⁾。FAST システムは処理に 50 日程度を要するが、機械的な洗浄法に比べ、設備がシンプルかつ使用水量が少ない等、実施にかかるコストを抑えながら、効率的に最終処分場に埋立てる焼却灰の環境負荷を低減でき、安定した維持管理と早期廃止に貢献することができる前処理技術である。

さらに 2015 年には、この FAST システムの安定化促進技術に汎用性を持たせることを目的に、焼却施設の焼却灰搬出に使用される脱着式コンテナを活用して、焼却灰の発生現場(オンサイト)でも安定化促進を行うことができる技術、「FAST-BOX システム」の開発を行った。本報ではその目指すイメージと技術の性能検証として実施した実規模での実証試験について報告する。実証試験の実施にあたり、事前に室内でのカラム試験により、処理時間、散水強度、安定化促進剤として使用する CO₂ガス量などについて複数回の検討を行ったが、本報では割愛する。

試験は一般廃棄物由来の焼却主灰を対象として、脱着式コンテナ(8 m³)をベースとした安定化促進処理装置を用いて実規模での散水・通気処理の効果についての実証を行った。加えて処理後の焼却灰について、締固めた状態での長期的な溶出特性を調べるため、カラム試験を用いて浸出水のモニタリングも行った。

§2. FAST-BOX システムの開発

2.1 目指す技術の特徴

(1) FAST システムとの比較

FAST システムと新たに開発を行ったオンサイト安定化促進処理技術「FAST-BOX システム」の特徴について表 1 に整理した。焼却灰の安定化処理としてはウェザリングと同様に一定の時間をかけて行うことは重要である。特に脱塩や有機物の溶出低減効果としては、焼却灰による差はあるが、処理期間が 50 日程度と長い FAST システムの方がより良好な結果となる可能性が高いと考えられる。これは処理時間が長いことにより、焼却灰と水との接触時間が長くなることや、吸着や分解の効果、また空気による炭酸化と洗い出しを同時に行うことができるためである。

しかし FAST システムは一定期間を要するが故に設置場所が最終処分場の敷地内などに限定されやすい。一方で FAST-BOX システムはコンテナを用い、オンサイトで短時間のうちに処理を行うことにより、FAST システムでは処理が難しいケースにも適用できるなど、多くのメリットが生まれる可能性があると考えた。

表1 FAST-BOX システムと FAST システムの比較

	FAST-BOX システム	FAST システム
設置場所	発生源近く(焼却施設等)	最終処分場内、専用前処理施設
処理期間	1 日	40～50 日
処理方法	コンテナ方式	ストックヤード方式
散水強度	200 mm/日程度	4 mm/日程度
液固比	1.0 以下	1.0 以下
通気ガス	CO ₂ ガス	空気

(2) FAST-BOX システムの適用イメージ

図 1 は焼却施設に併設した場合の処理イメージである。オンサイト処理で享受できるメリットとして、既設の処理施設を活用することで、排水処理コストの削減や排ガス中の CO₂ 利用などが可能となる。また散水・通気処理を用いる利点として、洗浄により発生する浸出水量を抑制できること、漏水のリスクが少ないこと、有姿の状態でも処理が可能な点が挙げられる。有姿状態で処理ができることで、処理灰の用途に応じて夾雑物を除く分級・選別処理を行えばよく、将来的なりサイクル処理方針の変更にも柔軟に対応できる。

次節以降に FAST-BOX システムの性能検証を目的として実施した実証試験について報告する。

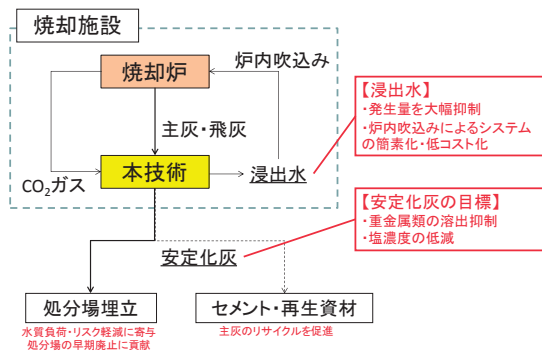


図1 FAST-BOX の適用イメージ

2.2 オンサイト安定化促進処理の性能検証

(1) 供試材料

供試灰として一般廃棄物焼却施設（ストーカ炉）の焼却主灰を用いた。

(2) オンサイト安定化促進処理試験装置

装置は 4 t・8 m³ 水密式コンテナ (3,600×1,910×1,170H mm) を改造し二重床構造として、焼却灰と発生する浸出水を分離できる構造とした（写真1、図2）⁴⁾。二重床は取り外しが可能であり、清掃等が容易にできる構造となっている。コンテナへの焼却灰充填可能量は運搬車両の積載重量の制約から 2.5 t であった。散水は散水用ノズルを 3 連で灰直上から約 1 m の位置に設置し、タイマー制御の間欠運転で行った（写真2）。通気は床下から上向流で焼却灰に給気した。給気には液化 CO₂ ガスを用いた。



写真1 装置外観



写真2 散水状況

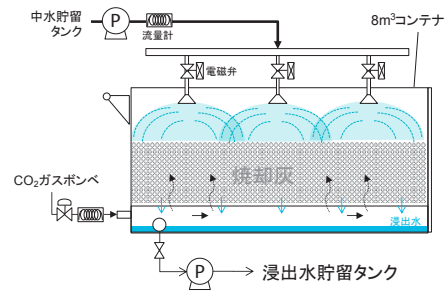


図2 実証試験装置概要

(3) 実証試験

試験は焼却主灰を事前の篩分けは行わず本装置に焼却施設にて直接充填し、有姿で試験に使用した。小型バックホウ等を用いて焼却灰の敷均しを行った後、散水・通気装置を設置した。期間中の風雨や日射の影響を排除するため、試験はテント内にて行った（写真2）。試験により発生する浸出水はコンテナ下部に設置した排水口より回収・貯留し、一定時間毎にサンプルとして採取した。散水量、通気量は流量計（FD-UH15G、FD-A600）で、排水量は貯留タンクに設置した水位計（FL-001）を用いて記録を行った。

試験終了後、処理済み焼却灰については複数箇所から採取した個別サンプルと全体から採取混合した全体サンプルをそれぞれ分析した。本試験の試験条件を表2に示す。本試験では塩類の洗い出しと炭酸化による鉛等の難溶化効果についてそれぞれ実規模にて検証を行った。

表2 実証試験条件

処理区名	日数 日	供試灰量 t	充填高 cm	充填密度 g/cm ³	散水強度 mm/日	通気 L/min	液固比 (計画)	排水量/ 給水量	液固比 (実績)
Ex1_A280	1.0	2.2	24-27	1.2-1.4	280	—	0.74	97%	0.74
Ex2_A280-CO ₂	1.0	2.3	24-29	1.2-1.4	280	70	0.58	96%	0.61

表3 再充填カラム試験条件

処理区名	処理 方法	日数 日	供試灰量 kg	充填高 cm	充填密度 g/cm ³	散水強度 mm/日	液固比※
Ex1_未処理	—	300	4.5	31	1.7	4	0.9
Ex1_処理済	散水	300	4.5	30	1.8	4	1.6
Ex2_未処理	—	300	4.5	32	1.7	4	1.5
Ex2_処理済	散水+CO ₂	300	4.5	31	1.7	4	1.6

※液固比＝累積浸出水量/開始時の焼却灰重量

2.3 処理後焼却灰の溶出特性(再充填カラム試験)

実証試験後の処理後焼却灰の長期的な溶出特性を調べることを目的として、円筒型の透明塩ビ製カラム($\phi 104 \times 400$ mm)に未処理の焼却灰と実証試験終了後の焼却灰をそれぞれ 30 cm 厚に締固め充填した。カラムは 25℃の恒温室内に設置し、4 mm/日の散水を行い 300 日間以上にわたり定期的に浸出水を採取した。再充填カラム試験の試験条件を表3に示す。

2.4 採取および分析方法

(1) 焼却灰

図3に実証試験における安定化促進処理装置の散水ノズル位置と処理後焼却灰のサンプリング位置を示す。サンプリングはコンテナ(3,600×1,910mm)の中心だけでなく、四隅も含めるように水平方向で 5 箇所設けた(P1～P5)。各サンプリングポイントで垂直方向についても 3 つに等分(上・中・下層)して採取することで、合計 15 箇所の個別サンプリングを行った。加えて複数箇所から採取、混合した全体サンプルも作製した。採取したサンプルについては環境庁告示第 13 号試験(以降、JLT13 法)で溶出液を作製、分析した。洗い出し効果の比較として JLT13 法に準拠した液固比 10、6 h 振とうでの洗い出しを 2 回行った試料も作製した。処理前後の含水率、熱しゃく減量、塩素含有量を測定した。含水率、熱しゃく減量は環整第 95 号別紙 2 に準拠し、塩素含有量は JIS R5202 に基づいて測定した。

(2) 浸出水および溶出液

浸出水および JLT13 法による溶出液について、電極法にて pH、電気伝導率(EC)を、イオンクロマトグラフ法(ICS-2000/ICS-1500、Thermo)にて各種イオン濃度(Na、K、Ca、Cl)を、全有機炭素濃度(TOC)と全窒素濃度(TN)を燃焼触媒酸化法および化学発光法(TOC-Vcph、SHIMADZU)にて行った。また ICP 質量分析法により鉛(Pb)の分析を行った。

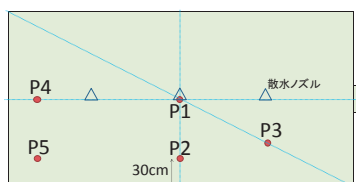


図3 焼却灰サンプリング位置

§3.結果

3.1 供試焼却灰

表4に供試焼却灰の処理前の含水率、熱しゃく減量、塩素含有量および JLT13 法による溶出試験結果を示す。採取日が異なるロット間(4 回採取)では Cl と Pb の溶出量において差が大きくなる傾向がみられた。

3.2 浸出水の挙動

実証試験期間中の浸出水の pH、Cl 濃度の推移を示す(図4、5)。Ex2 区では散水停止後に CO₂ ガス通気を行った。pH は Ex1 区ではほぼ変化はなく、pH13 程度で推移していた。Ex2 区において、CO₂ ガスを給気後、pH7 以下まで低下した。浸出水中の Cl 濃度も EC 同様に散水量と共に濃度の低下が確認された。特に初期 Cl 濃度が高い Ex1 で大きく減少した(26,000→2,900 mg/L)。

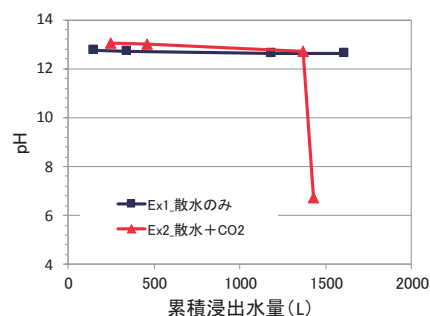


図4 浸出水中の pH 推移

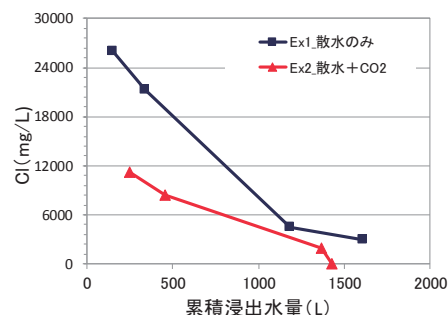


図5 浸出水中の Cl 濃度の推移

3.3 処理後焼却灰の特性

(1) 焼却灰の溶出値

図6、7に Ex1 区の各サンプリング位置で採取した個別・全体サンプルの溶出値(Cl、Ca)を示す。

表4 供試焼却灰諸元

試料	焼却灰			溶出水		JLT13 法による溶出量				
	含水率 %	熱しゃく 減量(%)	塩素含 有量(%)	pH	EC S/m	TOC μg/g	Na μg/g	Ca μg/g	Cl μg/g	Pb μg/g
供試灰 (n=4)	33±2	3.7±0.6	1.3±0.1	12.6±0.1	1.0±0.1	350 ±70	4,000 ±460	6,400 ±680	7,100 ±2,300	3.5 ±3.6

※平均値±SD

溶出値の比較として液固比 10 の JLT13 法での繰返し溶出値も明示した。Cl については全体サンプルの値は JLT13 法の 2 回目とほぼ同等の値を示しており、全体として洗い出しが進んだことが示唆された。個別サンプルでも P5 の下層は高い値を示したが、それ以外のポイントでは全体サンプル同様の低い値を示していた。これは Na でも同様の傾向を示していた。P5 は今回用いた散水ノズルの特徴から散水量が平均ポイントよりも 1/3 程度少なくなることが想定されていたため、散水量の不足により Cl 溶出値が高くなったと考えられた。

Ca は全体サンプル、個別サンプル共に溶出値は JLT13 法の 1 回目(焼却灰の初期値)とほぼ同等の値を示しており、洗い出しがほとんど進んでいないことが示唆された。Ca の洗い出しは液固比が必要であることが報告⁵⁾されており、本試験も同様の結果が示された。

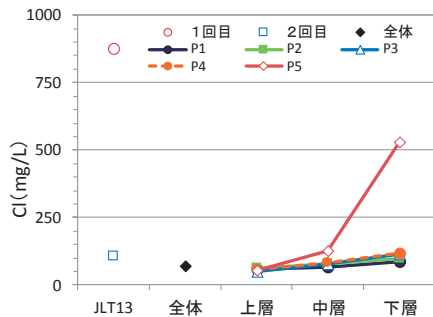


図6 Ex1 処理後焼却灰の溶出液中 Cl 濃度

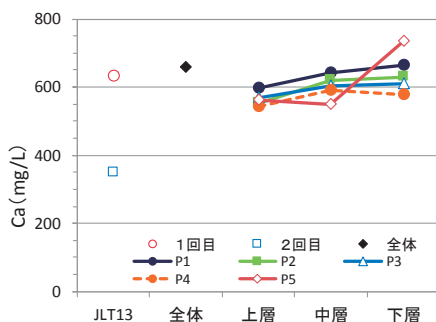


図7 Ex1 処理後焼却灰の溶出液中 Ca 濃度

(2) Cl 量の収支

図8に Ex1 区の試験における Cl 量の収支を示す。処理前後の Cl 量は全体サンプルの Cl 含有量(JIS R5202)に焼却灰乾燥重量を乗じて求めた。

累積洗い出し量は実験後の浸出水総量に浸出水中 Cl 濃度を乗じて算出した。本試験での累積洗い出し Cl 量は約 16,000gであった。一方、焼却灰中の Cl 含有量は 1.4 % から 0.4 % となり、72 % の低減が確認された。これは量としては約 15,000g であり、Cl の収支は概ね合致した。これら

の結果から、本試験で用いた焼却主灰における塩素の洗い出しについては、高い洗い出し効果が得られることが確認された。

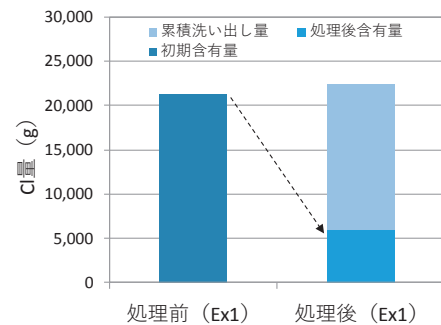


図8 Ex1 区の Cl 収支

3.4 炭酸化

Ex2 区では散水処理を行った後に CO₂ ガスを通気する処理を行った。焼却灰の炭酸化は含有する Ca(OH)₂ が CO₂ と反応する際の発熱反応が知られている。図9に試験期間中のコンテナ内の焼却灰温度の変化を示す。温度は熱電対を焼却灰表面から 10、25 cm の深さに設置し、またコンテナ外気温(テント内)も同時に計測した。試験開始直後の灰温度は焼却施設にて直接充填していることもあり、45℃以上あるが、散水処理により温度は低下し、散水処理停止時には 30℃と外気温近くまで低下した。その後、CO₂ 通気処理を開始する(図9の 8:00 頃)とともにまずは下層から温度が急激に上昇し、上層にいたっては最高 60℃近くまで達した。本試験ではコンテナ上部をシート養生していたため、暖められた空気の溜まった上層でより温度が高くなったと推察された。本試験では CO₂ を給気した下層から順に温度上昇を示していることから、既報⁶⁾と同様に温度計測を行うことにより、炭酸化反応状況のモニタリングが可能になることが示唆された。

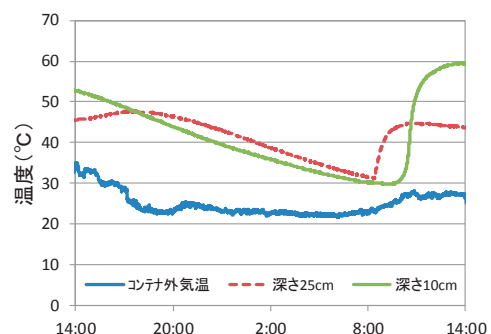


図9 Ex2 区の焼却灰温度の変化

Ex2 区の試験終了後、個別サンプル(P3)の溶出液において Pb では初期値 0.12 mg/L から 0.01 mg/L まで、Ca では 590 mg/L から 250 mg/L まで低減されており、炭酸

化による Pb や Ca の難溶化効果が確認された(図10)。これらの値は JLT13 法による洗浄後の値(Pb:0.08 mg/L、Ca:440 mg/L)よりも低い値を示しており、洗い出しよりも炭酸化による溶出抑制が有効であることが示された。ただし本試験における炭酸化処理は一部で未反応部分も確認されており、実規模における均一な炭酸化反応のため通気方法および装置の改善が課題として挙げられた。

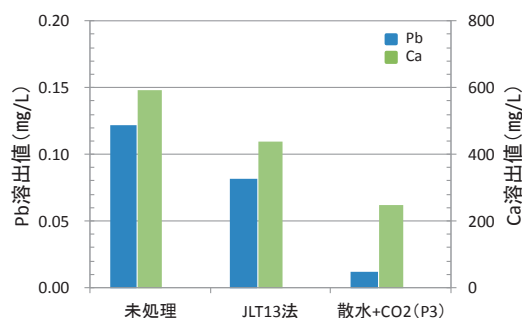


図 10 Pb,Ca の溶出値(Ex2)

3.5 長期溶出性

図 1 1 に再充填カラム試験における浸出水中の pH の推移を示す。pH については初期 pH12-13 の未処理灰と Ex1_処理済(散水のみ)では、200 日経過後には pH10 まで低下し、その後あまり変動していない。Ex2_処理済(散水+CO₂)では初期 pH10 であり、その後 pH8.5 程度まで低下し推移した。図 1 2 に浸出水中の Cl 濃度の推移を示す。未処理区は初期に高濃度の浸出水が発生するのに対して、処理済区は初期より低く推移した。未処理区でも 100 日程度経過すると濃度は下がり、安定してきたが、300 日経過後も処理済区よりも高く推移した。処理済区の Cl では炭酸化処理を行った Ex2 が Ex1 より浸出水濃度が高くなる傾向が示唆された。試験開始後、透水性が悪化しカラム上部に滞水が生じたが、炭酸化を行った Ex2 のみは 300 日経過後も透水性が確保され、安定して浸出水が得られた。

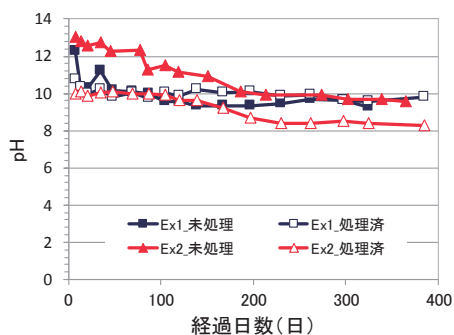


図11 再充填カラムの浸出水中 pH 推移

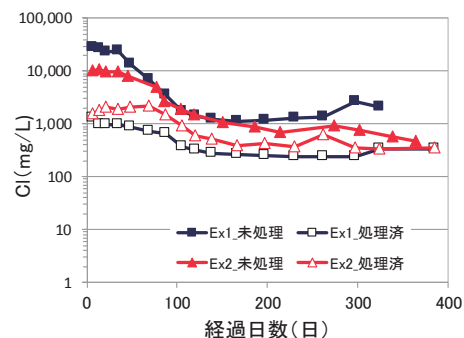


図12 再充填カラムの累積 Cl 濃度推移

§4. まとめ

本報告の結論を以下にまとめる。

- ・脱着式コンテナ (8m³) を活用し、間欠散水と CO₂ ガスによる通気を用いた、オンサイトで焼却灰の安定化を促進させる「FAST-BOX システム」を開発した。焼却主灰を用いて実規模での実証試験 (2.5t/回) を行った。
- ・処理前後の焼却灰中 Cl 含有量から散水处理により 72%の低減が確認された。
- ・CO₂ガスによる通気処理(炭酸化)により、焼却灰の発熱反応(上層で最高 60℃)が見られた。Pb、Ca は洗い出しよりも炭酸化による難溶化が溶出抑制に効果的であることが確認された。
- ・長期溶出性の評価として行った再充填カラム試験では、未処理区に比べ処理済区では 300 日経過後も Cl 濃度は低く推移した。

本研究により FAST-BOX システムの焼却主灰への安定化促進効果が確認された。今後はさらに脱塩や炭酸化の効率を向上させるため、技術の改良を進めていくことが重要である。

参考文献

- 1) ISWA, Management of Bottom ash from WTE plants, 2006
- 2) 矢島ら,焼却灰の埋立管理における前処理の効果,第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集,pp.1102-1104, 2005
- 3) 久保田ら,FAST システム最終処分場の実証研究,フジタ技術研究報告第 45 号,pp.1-6, 2009
- 4) 特許第 6063532 号 処理装置および荷役車両
- 5) 貴田晶子、野間幸生、焼却灰の溶出特性、都市清掃、41 巻 164 号 pp17-22,1989
- 6) 繁泉ら,木質廃棄物由来焼却灰の塩類等の溶出挙動 (2) ,フジタ技術研究報告第 52 号, pp.69-74, 2016



ひとこと

FAST-BOX システムはシンプルなため汎用性が高い技術です。今後は飛灰や灰以外の廃棄物も含め適用先を拡大していきたいと思っています。