

2017.03.10
環境省 環境研究総合推進費 研究事業（補助金）
終了課題研究成果報告会

3K143007

**有用・有害金属挙動に着目した
都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキームの構築**

累積予算額：¥71,374,000

研究体制
(サブ課題番号)

肴倉 宏史 (1,4)・倉持 秀敏 (1) (国立環境研究所)
門木 秀幸 (1,2)・成岡 朋宏 (1,2) (鳥取県衛生環境研究所)
佐藤 研一 (2,3)・藤川 拓朗 (2,3) (福岡大学)
水谷 聡 (3) (大阪市立大学)

本研究の背景

衛生処理・減容化

「焼却処理」は、わが国の廃棄物処理に不可欠。

年間約400万トンの
焼却残渣が発生
(重金属等が濃縮)

埋立物の72.9%

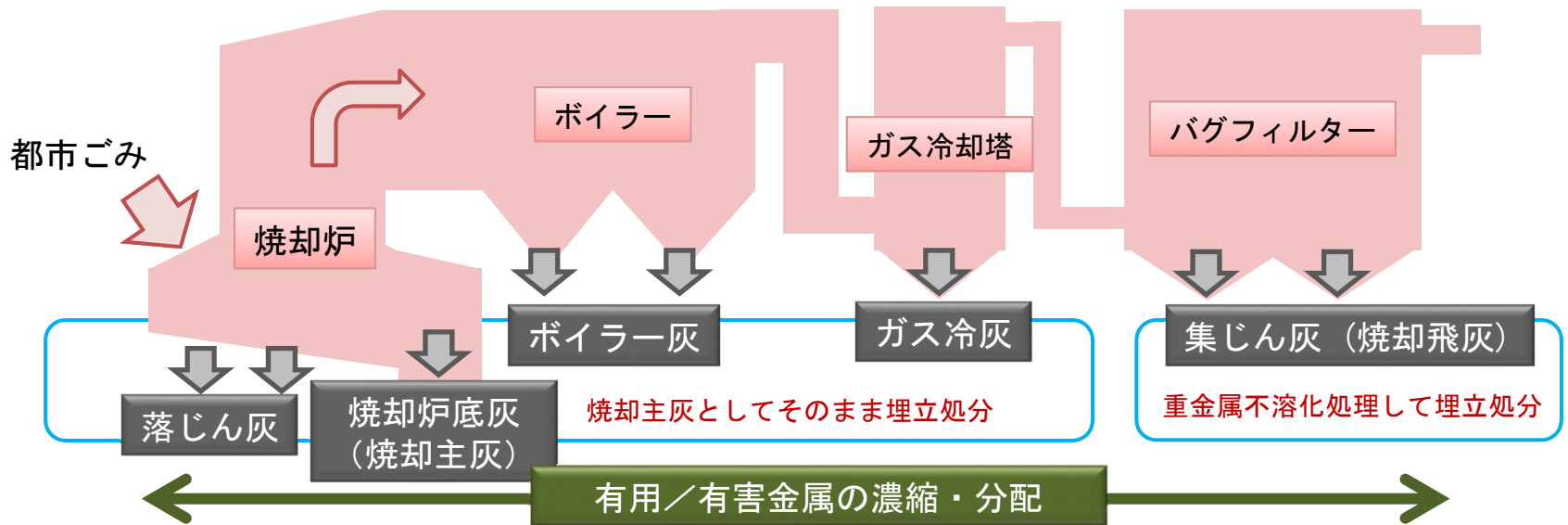
リサイクル

焼却残渣から鉄回収、焼却残渣のセメント原料化、溶融スラグの土木資材化 など…

最終処分

貴重な“空間資源”を消費。
長期的な安全性確保が必要。

最終処分場の確保難⇔廃棄物処理の持続 : 地域によっては極めて切迫した課題。



焼却残渣の処理／リサイクルについて、
循環型社会に相応しい循環資源化戦略が必要。

■ 有用／有害金属コントロール
■ 埋立廃棄物量最小化

B施設

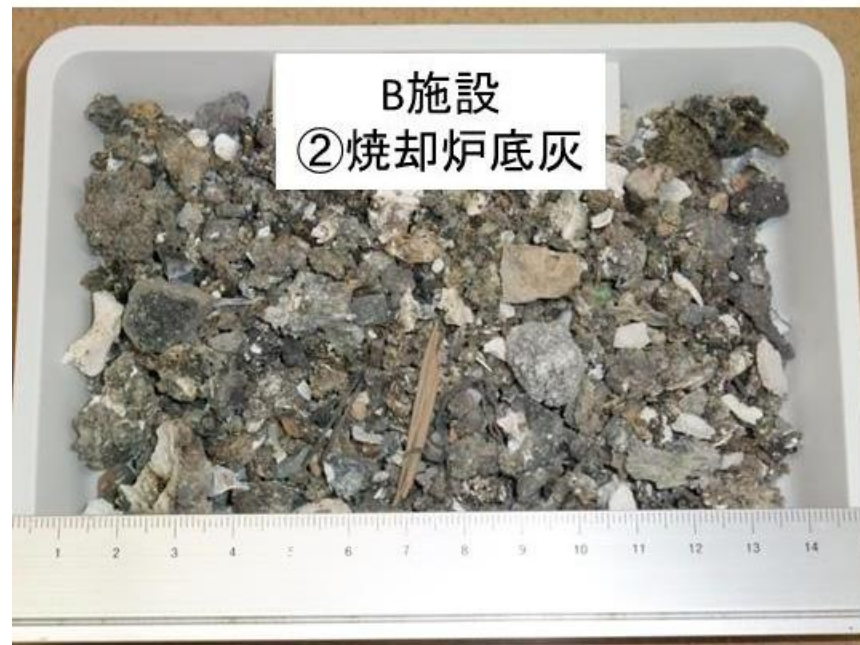
①火格子落じん灰

落じん灰①



B施設

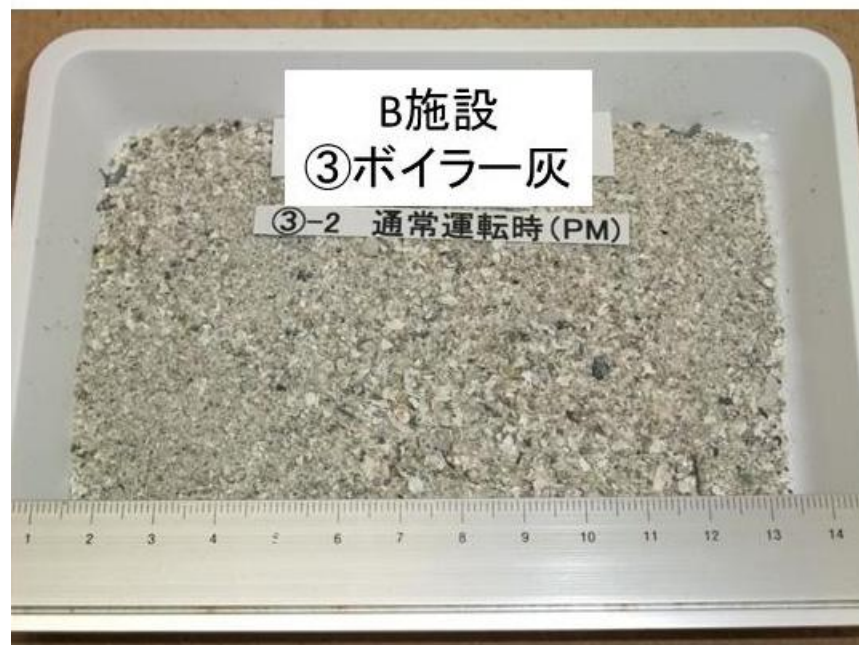
②焼却炉底灰



B施設

③ボイラー灰

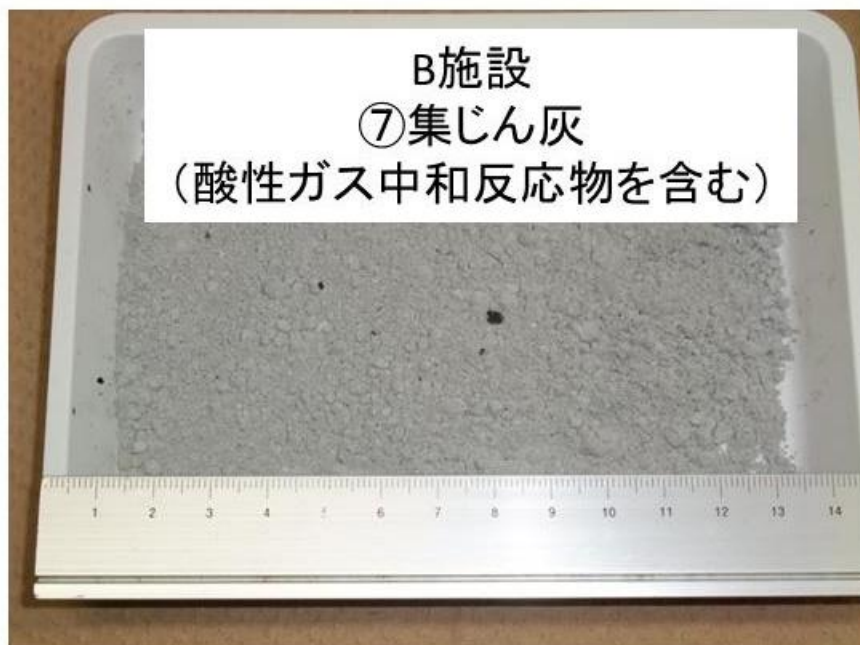
③-2 通常運転時 (PM)



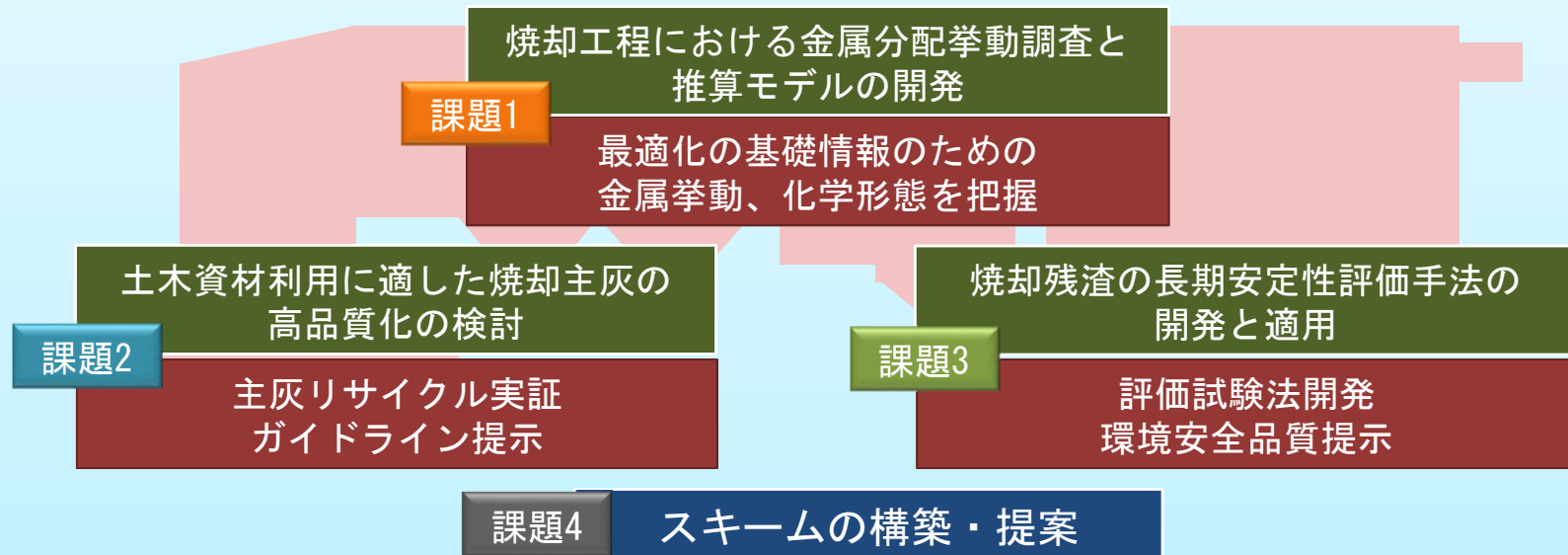
B施設

⑦集じん灰

(酸性ガス中和反応物を含む)



本研究課題の構成



循環型社会に相応しい焼却残渣利用／処分のトータルスキームを提案

資源利用最大化・埋立最小化・長期環境安全性確保

金属資源化

含有量、化学形態

土木資材化

物理特性・長期環境安全性

最終処分

長期環境安全性



課題1:焼却工程における金属分配挙動調査と推算モデルの開発

実施設詳細調査

- ストーカ炉 2施設、流動床炉 1施設の計3施設を調査
- 運転条件変更を含め全36試料採取、56元素を定量
- 微粉碎⇒酸分解⇒アルカリ溶融による2段階抽出 (N=3) など

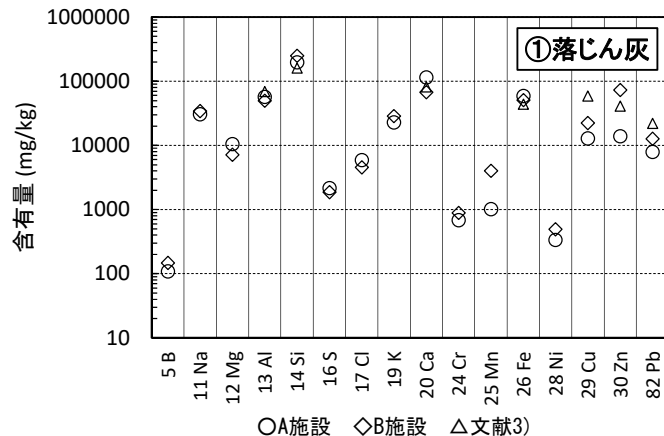
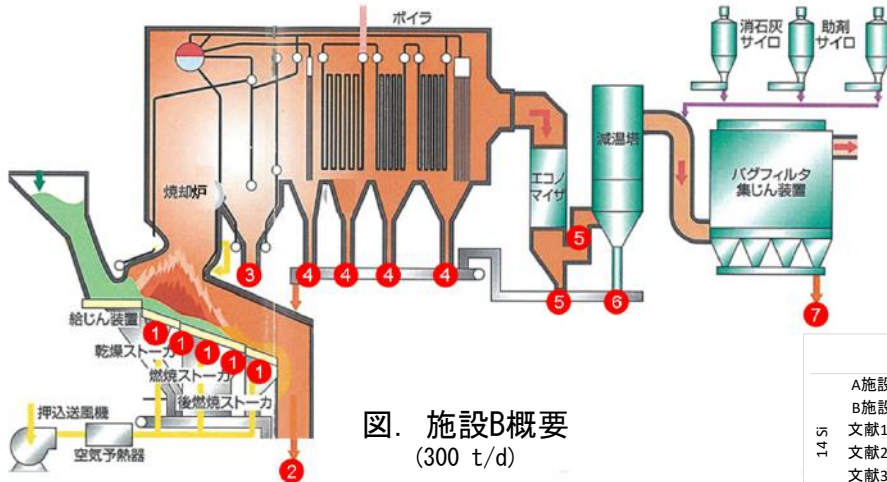


図. 元素含有量 (ストーカ炉)

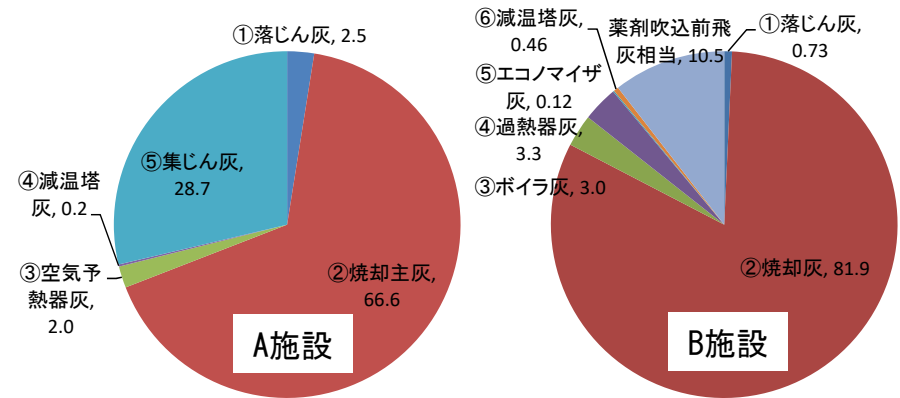


図. 重量収支 (ストーカ炉)

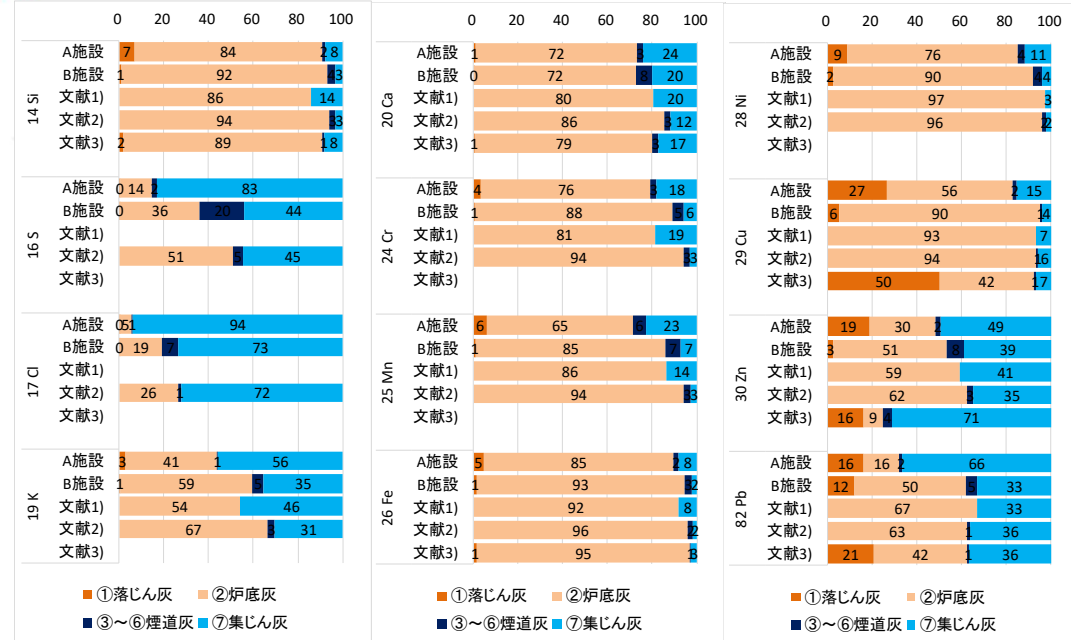
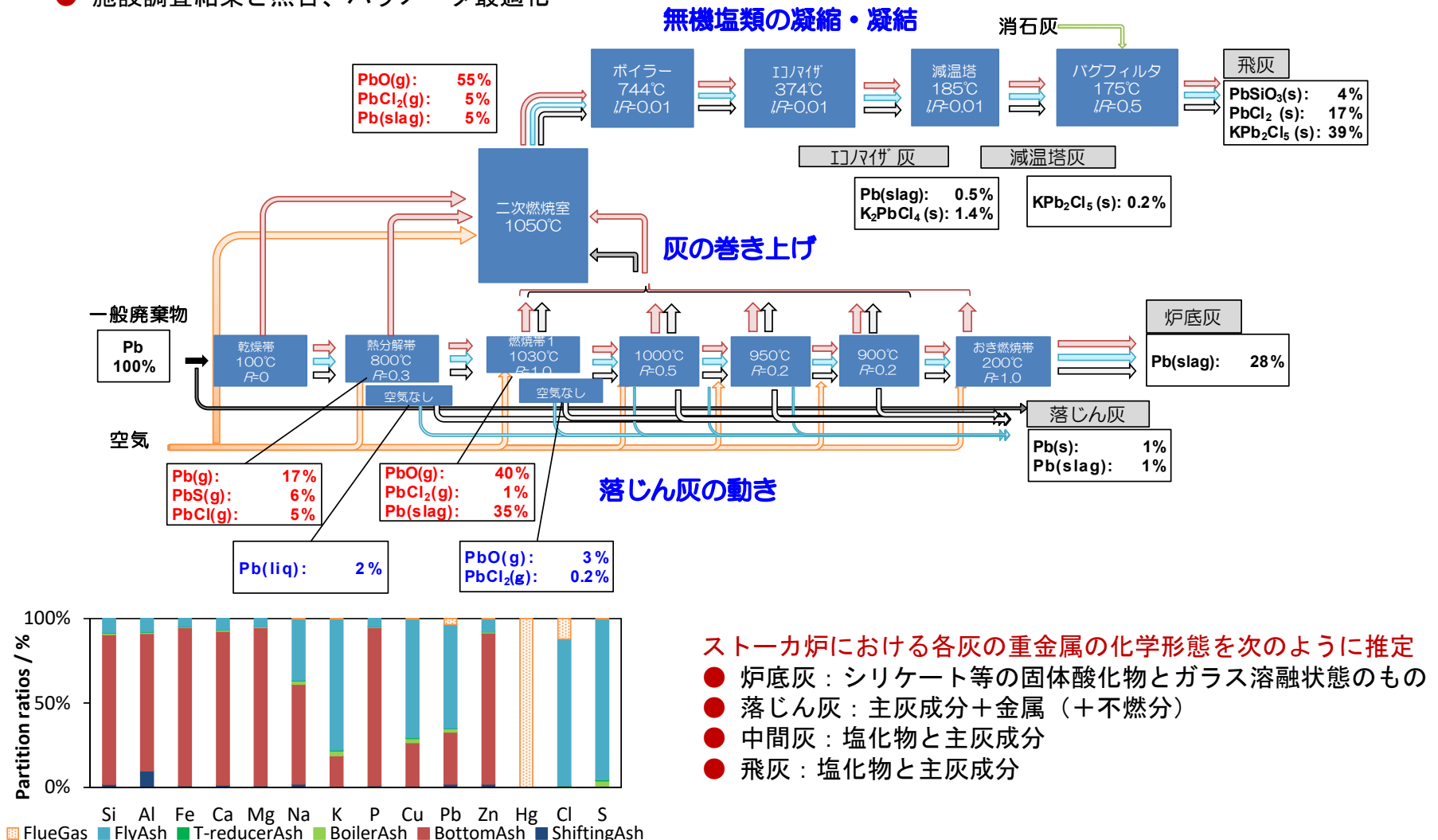


図. 元素分配挙動 (ストーカ炉)

課題1:焼却工程における金属分配挙動調査と推算モデルの開発

マルチゾーン熱力学計算

- 焼却炉内から集じん器に至る過程をゾーンに分割し、熱力学平衡計算による重金属挙動をモデル化
- 構成元素の熱力学データ収集
- 施設調査結果と照合、パラメータ最適化



課題2:土木資材利用に適した焼却主灰の高品質化の検討

“焼却主灰改質資材”

エージングとセメント混合処理による土木資材化:

(落じん灰・ボイラー灰排除、異物除去により可能性向上)

- ☑ 土木資材性
- ☑ 品質変動、品質管理方法
- ☑ 重金属含有量(課題1で低減)
- ☑ 環境安全性(受入基準)(長期は課題3で詳細評価)

焼却主灰エージング実証試験

2カ所の最終処分場にて実施(既存施設で浸出水処理可能)

- ・鳥取中部ふるさと広域連合クリーンランドほうき:K市
- ・F市最終処分場

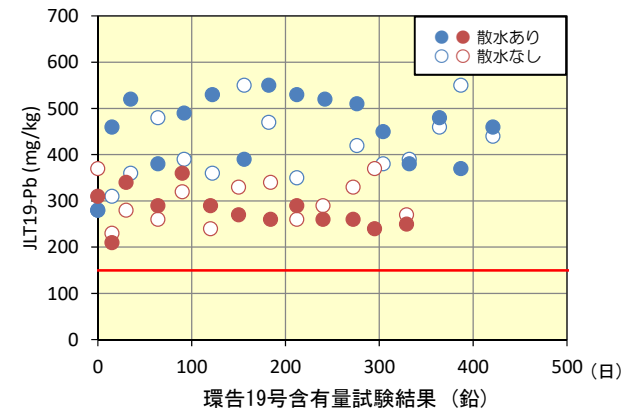
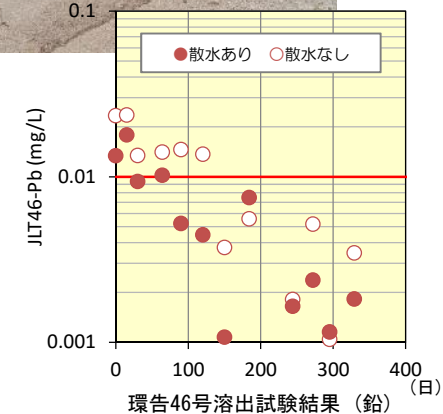
エージング
条件

- エージング期間、マウンド密度(締固め)
- 散水(積極散水/自然降雨)
- 混合頻度(切り返し)
- セメント、酸化マグネシウムの添加

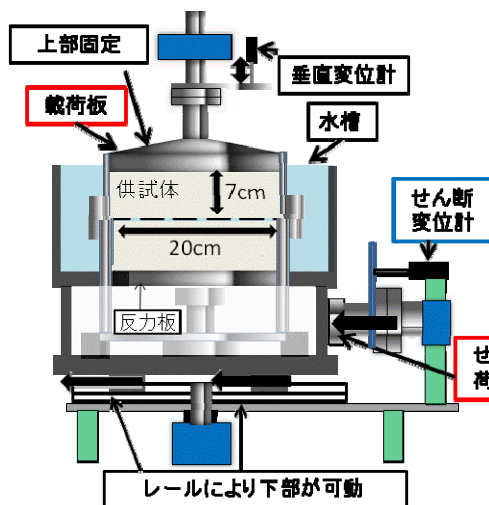
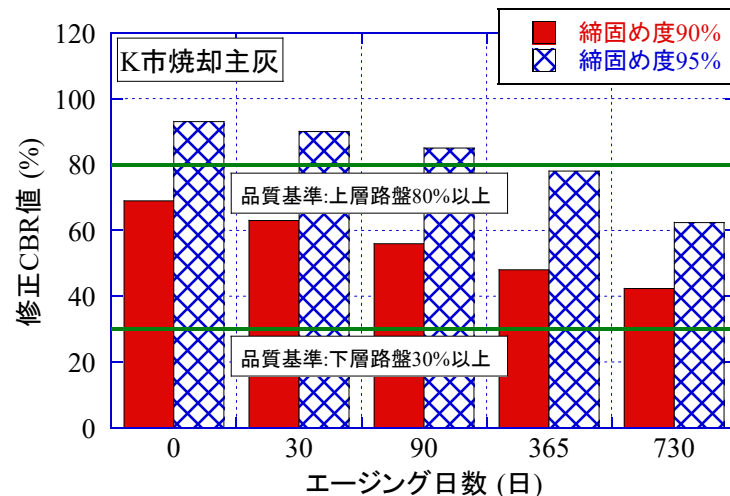
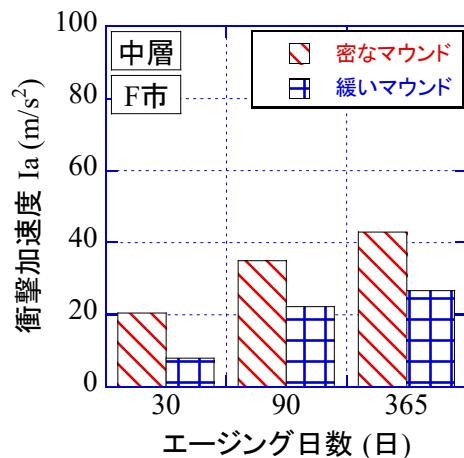
評価項目

- ◆ 環境安全品質
- ◆ 物理特性、土質力学特性
 - 粒子密度、粒度分布、締固め特性
 - 修正CBR、一軸圧縮強さ
 - せん断抵抗角、粘着力

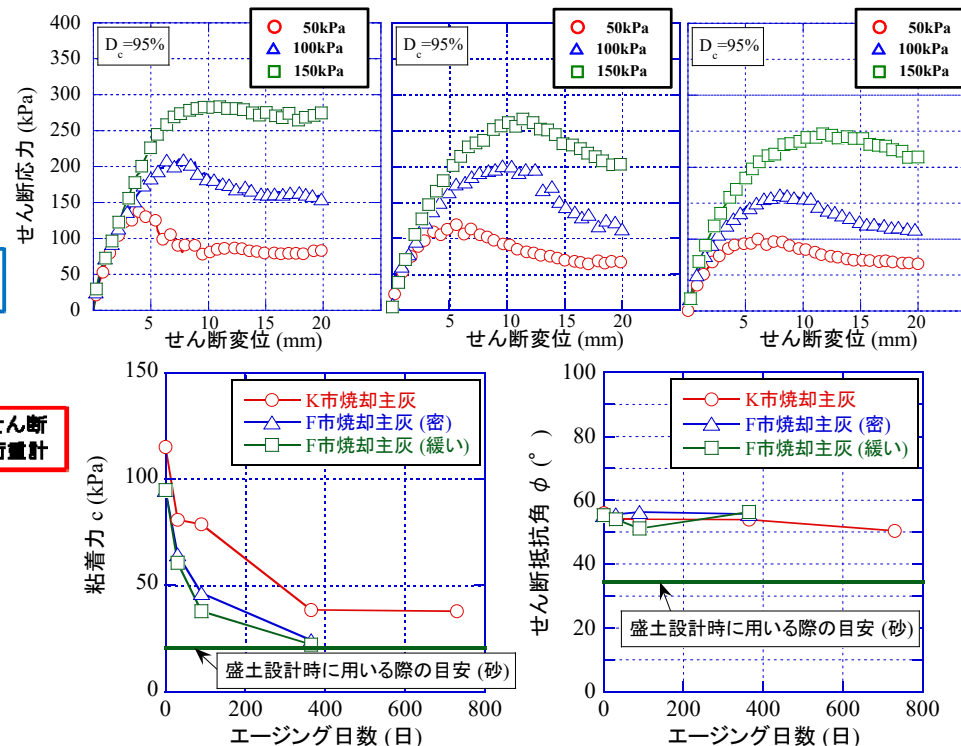
併せて、トレーサビリティシステムを検討し、有効活用ガイドライン案を提示した。



課題2:土木資材利用に適した焼却主灰の高品質化の検討



一面せん断試験



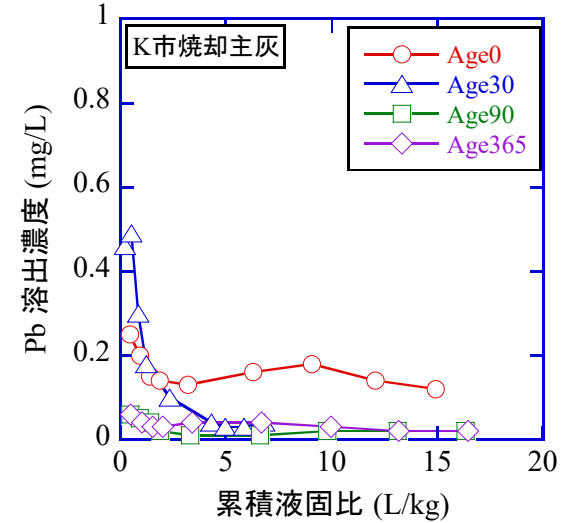
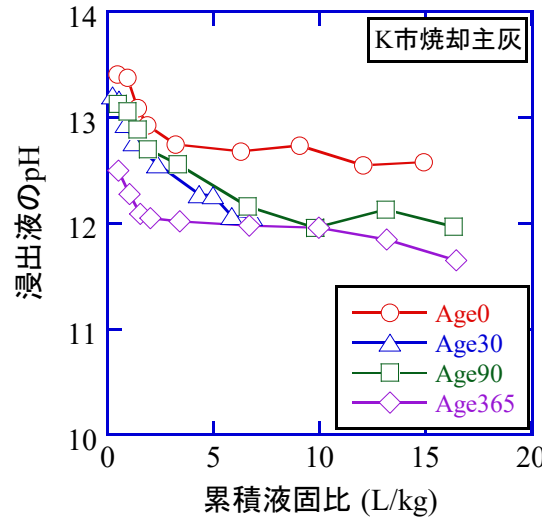
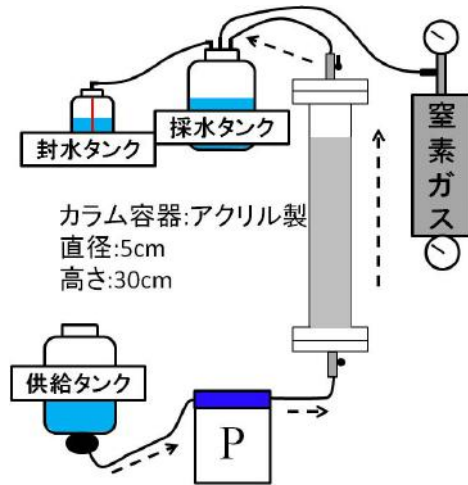
エージング日数やマウンド密度は重金属の不溶化傾向と解砕後・施工後の強度発現に影響。

粘着力、せん断抵抗角共に盛土材料としての目安となる強度定数よりも高い値を示しており、有効利用可能。

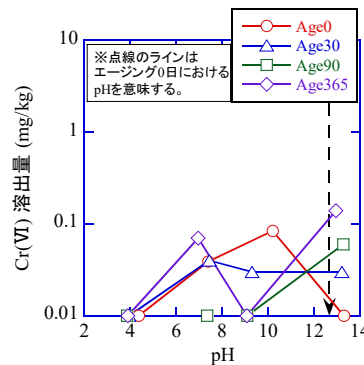
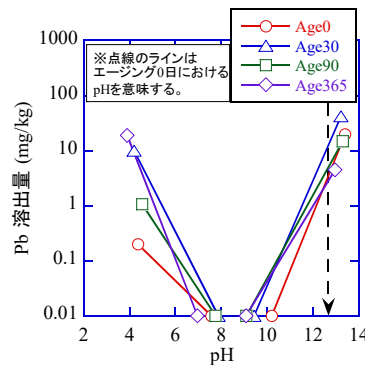
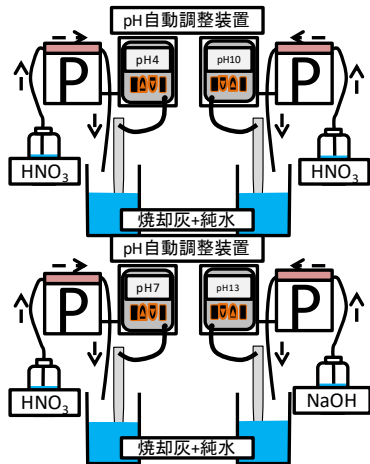
エージング後にセメント添加を行う場合、エージング期間が長いほど重金属の不溶化により強度が増加する傾向を確認。

課題3: 焼却残渣の長期安定性評価手法の開発と適用

エージングした焼却主灰の有効利用シナリオにおける長期環境影響評価



上向流カラム通水試験 (ISO/TS 21268-3)



pH依存性試験 (ISO/TS 21268-4)



屋外暴露試験

課題2:土木資材利用に適した焼却主灰の高品質化の検討

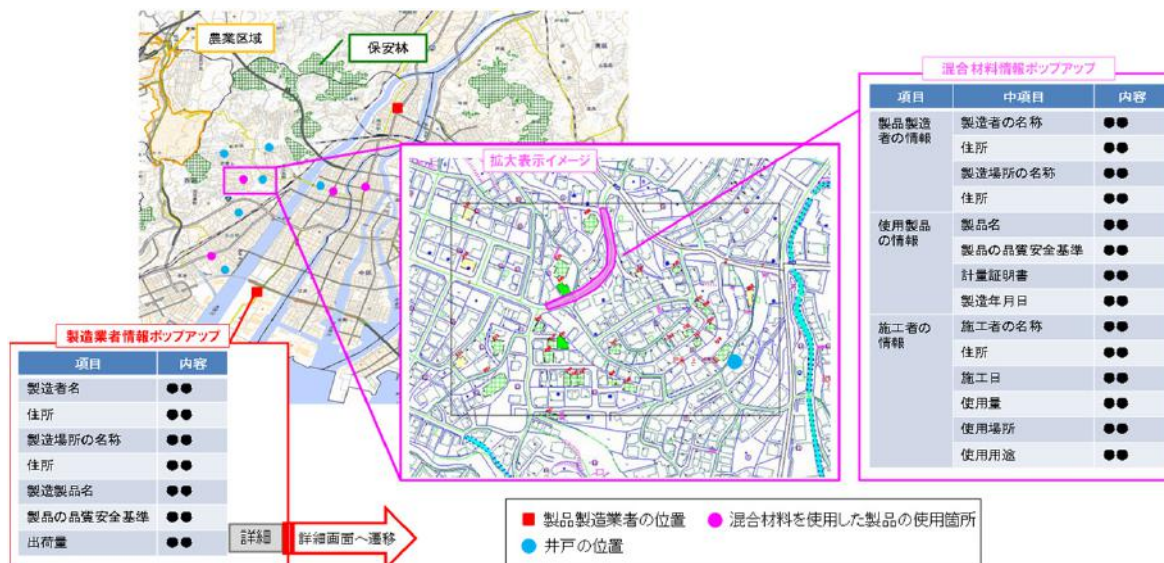
焼却主灰改質資材の地盤材料としての評価

	項目							
	土木資材としての品質						不溶化効果	
試料名	路盤材	盛材料	自硬性	セメントとの反応	環境負荷	経済性	マウンド密度	焼却主灰の種類
焼却主灰改質資材	○	○	△	◎	△	◎	マウンド密度を小さくする必要がある。	発生地域の影響はない。

◎:(土木資材・その他:そのまま使用可能・特に優れている)

○:(土木資材・その他:適切な対策を行えば使用可能・優れている)

△:(土木資材・その他:○に対して対策の時間及びコスト等がかかる)



■ トレーサビリティシステムを検討し、有効性と課題を自治体へヒアリング

焼却主灰改質資材の製造・品質管理ガイドライン(案)

目次

- 第1章 総則
- 第2章 適用用途と要求品質
 - 2.1 路盤材
 - 2.2 盛土材
 - 2.3 裏込材・裏埋材・埋立材・埋戻材
- 第3章 焼却主灰改質資材の製造方法
 - 3.1 概要
 - 3.2 前処理
 - 3.3 改質方法
 - 3.3.1 エージング
 - 3.3.2 薬剤処理
 - 3.3.3 固化・解砕
 - 3.4 代表的な焼却主灰改質資材の特性
- 第4章 環境安全品質
 - 4.1 環境安全品質基準
 - 4.2 検査方法
- 第5章 有効活用の記録

焼却残渣の金属回収・土木資材リサイクルに関する調査(欧州)

欧州での焼却残渣リサイクルの現状調査

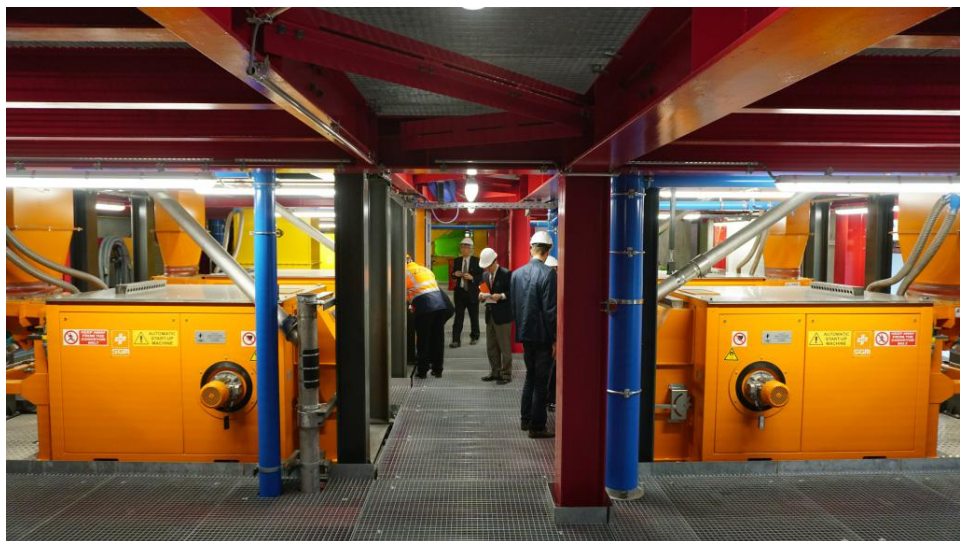
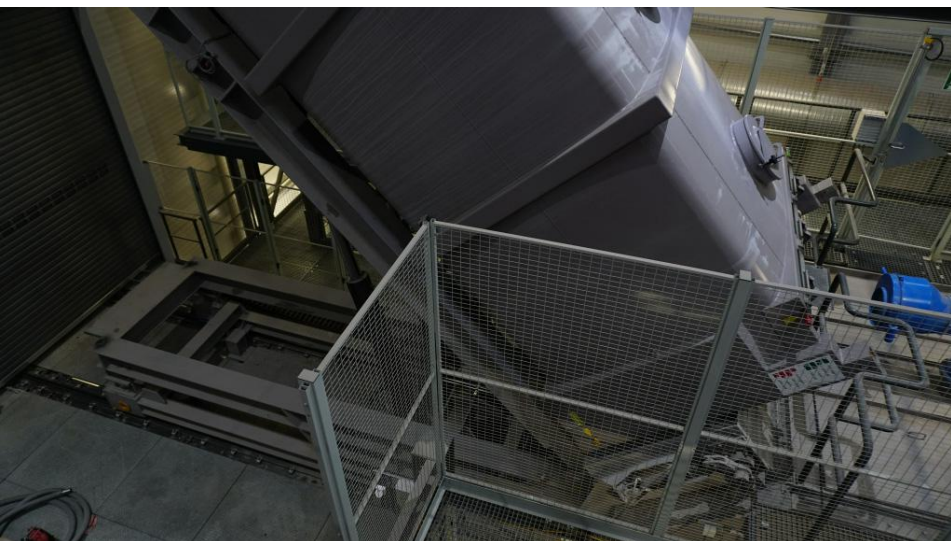
国名	主灰の取扱い
ドイツ	資材リサイクルに関する統一的制度を準備中。現在は地方政府ごとに運用。 天然資材が豊富な内陸部では規制は厳しく、 資材が比較的乏しい北の平野部では利用に積極的する傾向。 焼却主灰の有効利用率は公式には90%（路盤材が30%程度、最終処分場内の敷土材や覆土材に45%程度）。
スイス	焼却主灰の土木資材利用は 法律上許可されておらず、埋立処分 しなければならない。
デンマーク	道路材料として長年利用され、 自動車専用道路の路盤材 として特に利用が進んでいる。99%がリサイクルされている。
オランダ	全ての都市ごみ焼却事業者と政府との間で” Green Deal Bottom Ash” を契約（>6 mm非鉄の75%以上を回収。2020年以降、 粒状物を全て利用 できるようにグリーンにする）。自動車専用道路のジャンクションや防音壁にも利用。

- 道路材料利用を実施: デンマーク、ベルギー、フランス、ドイツ、オランダ、ポルトガル、英国、スペイン
- イタリアでは、一部、コンクリート骨材に利用

国名	調査施設名	操業開始年	主灰処理量
ドイツ	MDSU	2012	1300 t/日
	STORK		60万t/年
	TARTEK	2013	12万t/年
スイス	ZAV	2015	10万t/年
	DHZ		12万t/年
デンマーク	AFATEK		24万t/年
オランダ	AEB	2010	30万t/年







Aluminium > 0.2 mm



NF-heavy > 0.2 mm

焼却残渣の金属回収・土木資材リサイクルに関する調査(国内・台湾)

国内における混合材料化施設の現状調査

“混合材料化” 焼却残渣中の異物除去，粒度調整，添加剤の混合，エージング等を行うことで路盤材や地盤材料などの土木資材とするリサイクル方法。

	道府県認定	NETIS	認定なし	合計
混合材料化	6 (4*)	20 (4*)	14	36
焼成	0	1	1	2
セメント原料化	0	3	24	27
熔融	0	1	6	7

道府県認定・・・道府県等の定めるリサイクル製品認定制度

* 4施設は、道府県認定とNETISの両方を取得。

- ◆混合材料化は石炭灰や製紙焼却灰で広く行われており、**一般廃棄物焼却残渣について**も**2施設で事業化**されていることを確認した。受入を検討中の事業者もあった。
- ◆焼却残渣の**受入基準は埋立判定基準**を、出荷製品の**品質基準は土壤環境基準**を援用している場合がほとんどであり、検査頻度は多様であった。
- ◆**着実な製品販路の確保が最も重要**なため、異物除去等による品質向上や認定制度を含めた信頼度向上に努力が払われている。

台湾での焼却残渣リサイクルの現状調査



肆、資源化產品再利用申報流程

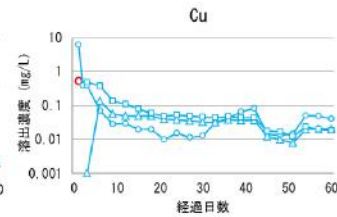
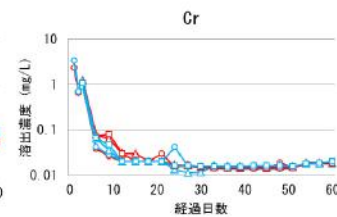
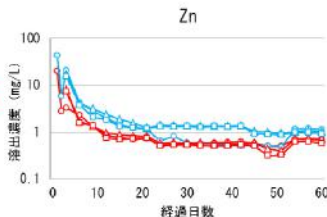
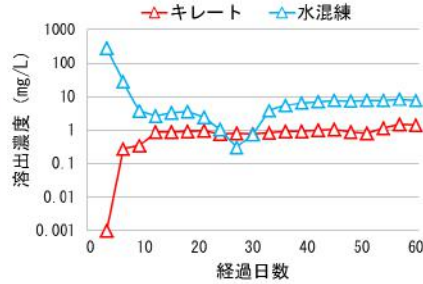
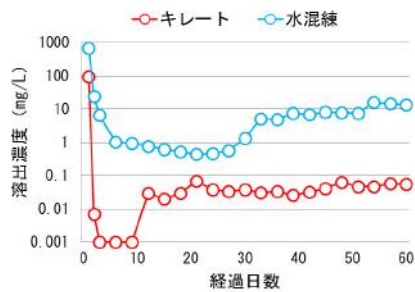
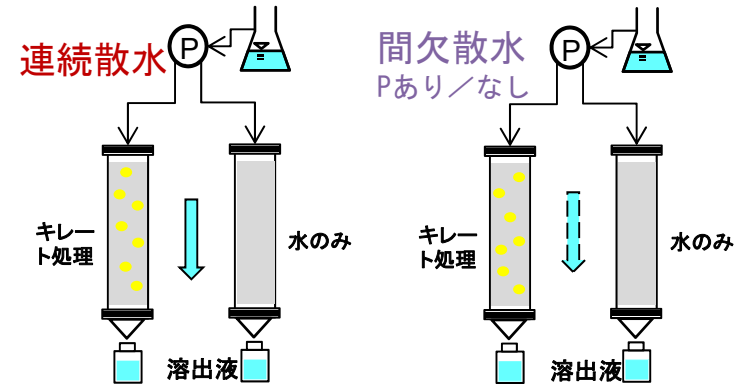


主灰60万トンが**混合材料化**、電子システムで管理

課題3: 焼却残渣の長期安定性評価手法の開発と適用

上向流／散水カラム試験の開発と重金属安定化処理飛灰への適用

(埋立処分量最小化⇒) 飛灰の埋立処分環境における長期的な環境安全性を検討



カラム試験での経時的な溶出挙動 (Zn, Cr, Cu)

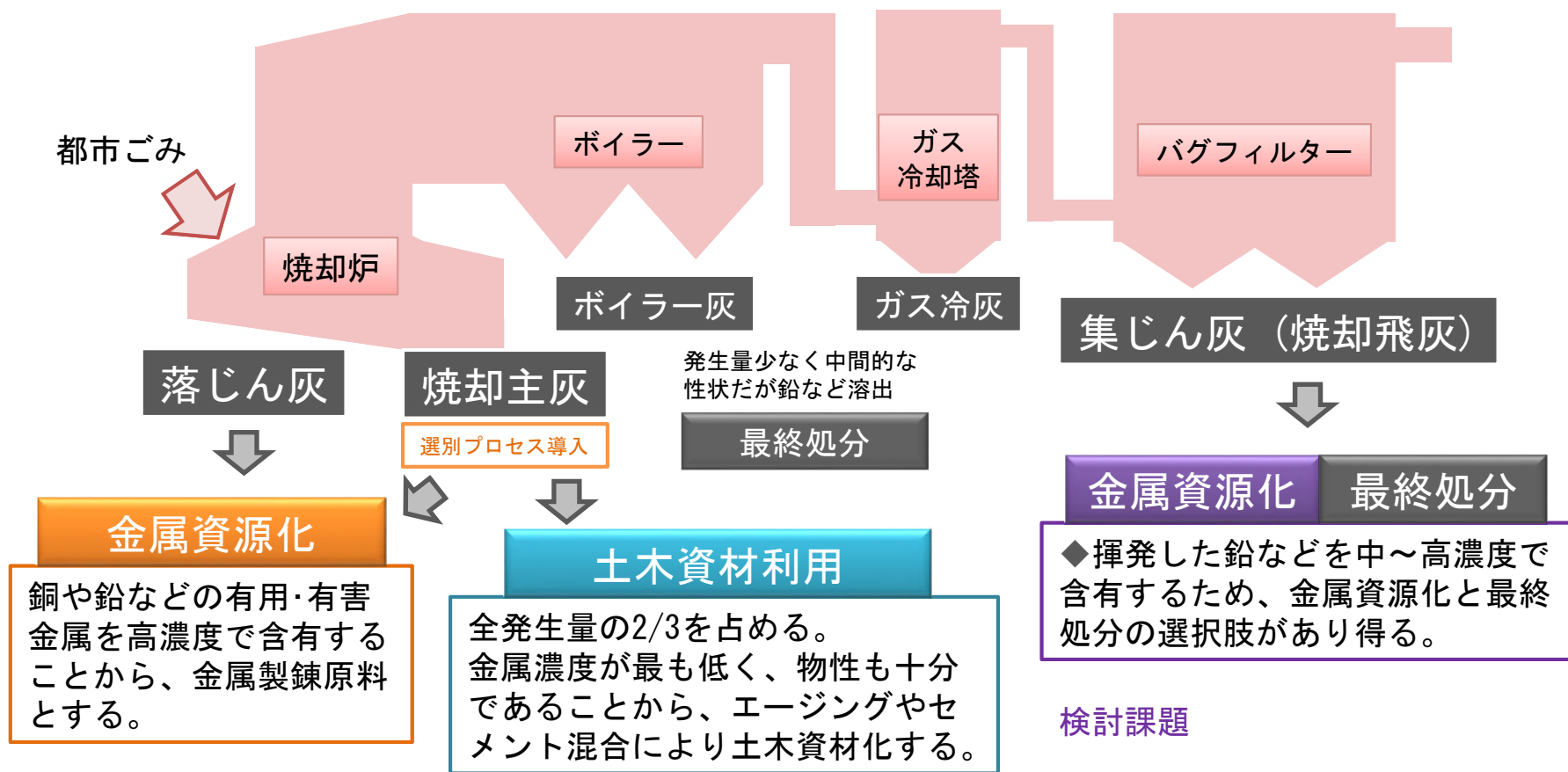
カラム試験の連続散水(左)および間欠散水(右)の比較 (Pb)

◆ 上向流式と散水式の比較、散水条件（連続散水、間欠散水）の影響比較

キレート、リン酸、セメントのそれぞれ処理した飛灰に連続上向流式 (IS0法) と間欠散水式を適用した結果、いずれの処理方式についても、間欠散水式で高濃度溶出。

未処理灰とキレート処理灰に連続散水式と間欠散水式を適用。上向流式、連続散水式よりも間欠散水式の方が鉛は10倍程度高濃度で溶出。酸化や炭酸化が処理飛灰中の鉛安定性に影響したと考えられる。覆土等による速やかな乾燥防止が重要。

焼却残渣の循環資源化トータルスキーム(案)



検討課題

- ◆落じん回収効果の評価
火格子形状の評価
代表試料とばらつき評価

検討課題

- ◆鉛等の濃度低減の徹底：
原因廃棄物の特定と除外検討
“ヘビー”分離効果の調査
- ◆製品の環境安全性と信頼確保方策：
環境安全品質基準提示
トレーサビリティシステムの導入

検討課題

- ◆各選択肢から見た最適な排ガス処理方式(乾式/湿式/二段式)や飛灰処理方式の選定
- ☑金属製錬原料化—受入用件の精査：
中和剤回避による希釈抑制や塩分離
- ☑最終処分—最終処分負荷の低減に向けた要因検討(COD負荷、硝化阻害等)

“トータルスキームガイドライン”

- ◆新規計画段階
- ◆既存施設で対応可能な事項

本研究で得られた主な成果（環境政策への貢献）

■ 課題1 焼却工程における金属分配挙動調査と推算モデルの開発

有用・有害金属を含む焼却残渣は、循環型社会に相応しいリサイクル・処理処分方法に最適化する必要がある。本研究により、**落じん灰やボイラー灰を含む各焼却残渣中の金属含有量や化学形態の詳細な基礎情報を獲得することができた**。成果はわが国の金属資源戦略ならびに焼却残渣の資源化効率最大化と環境負荷最小化に向けた環境政策に貢献可能である。

■ 課題2 土木資材利用に適した焼却残渣の高品質化の検討

最終処分場の残余年数は上昇傾向にあるが地域差が大きく、新規建設は困難であり、既存の処分場は依然として貴重な空間資源である。本研究成果は焼却主灰の土木資材化の可能性を拓くことにより、最終処分場の消費容量節減のための施策に貢献可能である。このために、**焼却主灰の高品質化とトレーサビリティ確保を組み合わせた製造・品質管理ガイドライン案を提示した**。

■ 課題3 焼却残渣の長期安定性評価手法の開発と適用

廃棄物政策において市民からの信頼確保は最重要事項であり、有害物質による環境汚染の懸念は最大の不安材料の一つである。本研究では、**焼却主灰の土木資材化と焼却飛灰の埋立処分の各シナリオにおいて、長期安定性を評価するための試験系を確立し、適用・評価した**。これら成果は科学的根拠に基づく安全安心な最終処分や有効利用を推進するための関連施策へ貢献可能である。

■ 課題4 都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキームの提案

本研究は、課題1～3の成果を踏まえて、さらに焼却残渣の混合材料化に関連する国内・海外の情報を整理し循環型社会に相応しいトータルスキームを構築するための必要な要件を整理した上で、**都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキーム案を提示した**。この成果は持続可能な廃棄物処理のための環境政策の推進に貢献可能である。

ご清聴ありがとうございました。