

## 【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（H26～H28 累計予算額 71,374 千円）

研究代表者 肴倉 宏史（国立研究開発法人国立環境研究所）

### 1. 研究開発目的

本研究は、現在、最終処分される廃棄物量の約 3/4 を占める都市ごみ焼却残渣について、焼却残渣中の有用・有害金属の挙動と回収可能性を実炉調査と熱力学計算によって示し（サブテーマ 1）、有害金属の少ない焼却主灰の土木資材利用性を実証し（サブテーマ 2）、有効利用と最終処分の各シナリオでの長期環境安全性に関する試験を適用し各焼却残渣を評価する（サブテーマ 3）ことにより、循環型社会に相応しい、焼却残渣の有効利用と最終処分のトータルスキームを構築する（サブテーマ 4）ことを研究の目的とした。

サブテーマ 1 では、焼却工程で発生する各焼却残渣を採取して金属等約 50 元素の含有量分析を行い、各焼却残渣への元素分配挙動を明らかにした。また、焼却ごみの種類ごとに元素組成を把握し焼却残渣中金属の由来となるごみ種の解明を試みた。さらに、小型家電収集の影響を焼却残渣中金属量の変化から考察した。焼却工程における各残渣への金属分配挙動と化学形態を推定できるマルチゾーン平衡熱力学モデルを開発し、各金属の挙動と化学形態の変化について考察した。

サブテーマ 2 として、最終処分場内に設置したヤードにて焼却主灰のエージングを行い、環境安全性や資材特性を評価した。また、エージング時の締固め度等の影響についても検討した。焼却主灰改質用の資材として、セメントまたは酸化マグネシウム系固化剤によって処理を行い、固化剤添加量や養生条件が有害金属の溶出量や強度発現に及ぼす影響を検討した。

サブテーマ 3 では、有効利用シナリオに基づき、エージング処理した焼却主灰に上向流カラム通水試験と pH 依存性試験を適用し、重金属溶出特性の変化を評価した。また、最終処分場から採取した焼却残渣に逐次抽出試験を適用し、長期的な重金属形態の変化を考察した。さらに、最終処分シナリオに基づき薬剤処理された焼却飛灰の散水カラム試験等による重金属溶出挙動について検討した。

サブテーマ 4 として、国内、欧州、台湾のそれぞれにおける焼却残渣リサイクルの実態調査を行った。さらに、焼却主灰改質資材リサイクルに向けたトレーサビリティシステムを提案し、焼却主灰改質資材の有効利用ガイドラインの素案を作成した。以上の全ての成果に基づき、循環型社会に相応しい焼却残渣の循環資源化スキームを提示した。

### 2. 本研究により得られた主な成果

#### (1) 科学的意義

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では、ストーカ式焼却施設 2 施設と流動床式焼却施設の 1 施設について、各所から発生する焼却残渣の元素組成を分析し、各元素の分配挙動を約 50 元素にわたって明らかにした。また、焼却される廃棄物についても種類ごとに灰化して元素組成を分析し、焼却炉への投入から排出までの物質収支を示した。このような基礎データの取得例は極めて少なく、学術的に非常に貴重である。また、マルチゾーンの熱力学平衡計算により、廃棄物の炉内における挙動をよく踏まえて計算することで、廃棄物の熱処理時における元素の分配挙動と残渣中の存在化学形態が推定可能であることが示された。本計算結果と灰の各種分析による結果を比較することで、実測・理論の両面から焼却灰における元素の存在形態に関する知見を深めることができる。

土木資材利用に適した焼却残渣の改質資材化の検討では、3 年間の研究期間を有効に活かしたモニタリングを行い、エージングや不溶化剤による重金属溶出量の低減や土木資材としての強度発現の関係を明らかにした。さらに、焼却主灰や焼却飛灰にカラム通水試験や pH 依存性試験等を適用し、長期安定性について評価を試みた。先行して国際標準化が進められている上向流カラム通水試験のみならず、散水式のカラム試験を開発することで、資材評価に不可欠と言われる不飽和帯における長期安全性試験評価法の標準化に資するデータを蓄積することができた。

## (2) 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

都市ごみ焼却技術は燃焼制御の視点では十分に成熟した技術であるが、本研究課題では焼却残渣の資源化と最終処分の視点から、適切な投入廃棄物の選択、適切な焼却残渣の分離、そして各焼却残渣に対する処理・利用・最終処分方法の最適化を試みたものであり、得られた知見の全てが行政で活用可能と言っても過言ではない。

本研究課題では、落じん灰やボイラー灰を含めた各焼却残渣中の金属含有量や化学形態の基礎データを獲得し、さらには化学平衡モデルも用いて検討し、その成果に基づきながら、各残渣に対して、金属資源化、土木資材化、最終処分等の最適な選択肢を“トータルスキーム”として提案した。トータルスキームは既存の枠組を大きく変えずに部分的な採用も容易であり、今後、実践的な検討が進められることが期待される。

ストーカ式焼却施設における落じん灰や焼却主灰や流動床式焼却施設における不燃物に含まれる金属片や金属粒子は選別処理によって資源化が大いに期待され、一部自治体では既にその検討に入っている。

土木資材利用に適した焼却残渣の改質資材化については、焼却主灰の土木資材化の可能性を拓くことにより、廃棄物最終処分場の消費容量を大きく節減できる可能性がある。国内の資源化施設調査では改質資材化を既に行っている自治体もあるが、信頼性を高めるための方策として台湾で既に導入されているトレーサビリティシステムを本研究から提案した。

環境安全性の評価では環告 13 号等のバッチ試験のみに依らず、散水カラム試験等により焼却残渣の長期的な安定性についての知見や評価法に関する課題を得ることができた。最終処分や有効利用などのシナリオに基づく評価法を導入すべきことを本研究では唱えており、その検討が開始されることを期待する。

## 3. 委員の指摘及び提言概要

都市ゴミ焼却残渣の減容化だけでなく焼却物質回収・再資源化へと廃棄物の熱処理の可能性を広げて、循環資源化トータルスキームを提案している。科学的知見に裏付けられた実用的な提案であり環境政策への今後の貢献が大きい。調査対象の拡大、より適正な評価方法の導入、自治体での活用事例および活用時の課題解決事例まで入り込むと期待以上の成果となると思われる。

## 4. 評点

総合評点：A