

【1-1805】汚染土壌浄化・再利用と廃棄物高減容化を目指した亜臨界水処理システムの開発 (2018～2020)

研究代表者 竹下健二（東京工業大学）

1. 研究開発目的

本研究では、従来研究の問題点や弱点を解消し、3つの技術的特長、①土壌からCsを高速脱離できること、②処理後も土壌として再利用できること、③Cs廃棄物の高い減容化率を、同時に達成できる実用性の高い土壌処理・廃棄物減容技術を開発することを目的とする。

本システムは2工程からなり、亜臨界水中の高速イオン交換現象を利用した土壌細粒物からのCs高速脱離工程（第1工程）と固体酸含有多孔質ガラスによるCsの高減容固定化工程（第2工程）から成る。申請者らは平成28年度環境省除染・減容等技術実証事業で本システムの性能を実証している。2つの厳しい目標（(i)汚染した土壌細粒物からの放射性Cs脱離率が95%以上であること、(ii)ガラス固化体の体積が土壌細粒物の5千分の1以下に減容されていること）を設定し、その結果、250℃のMg²⁺含有亜臨界水を使って、実汚染土壌の分級細粒物からCs脱離率98%を達成しており、さらにアルミノシリケート（固体酸）含有多孔質ガラスを用いてCsの選択吸着・ガラス内閉じ込めに成功し、土壌細粒物の体積に対して最終廃棄物（ガラス固化体）の体積が5千分の1以下の高減容化に成功している。

2. 研究の進捗状況

① 亜臨界水イオン交換による福島土壌からのCs脱離

福島の土壌を構成する粘土鉱物であるパーミキュライトを用いて、交換イオン溶液を用いた亜臨界水処理によるCs脱離における、イオン交換平衡状態、交換速度を、加熱温度150℃（4MPa）と250℃（6MPa）の2つの亜臨界水条件において調べた。150℃と250℃の両方の温度において、約6時間後にCs脱離率が飽和に達し、イオン交換現象が平衡に達したと考えられる。12時間後でCs脱離率を比較すると、150℃では37%、250℃では95%であり、250℃の高温では、ほぼ100%のCsが脱離していることが明らかとなった。

12時間後のデータをイオン交換平衡と仮定して、総括物質移動係数 k_{sa} を計算により求めた。その結果、 k_{sa} は250℃で $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、150℃で $8.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ となり、温度を下げると物質移動係数は1/3程度に減少し、高温操作により効率的にCsを回収できることが分かった。

② カラムを用いた亜臨界水イオン交換プロセスによる連続処理

小型カラム試験装置を作製し、交換イオン溶液としてMgCl₂水溶液を使用した場合の、パーミキュライトからのCs脱離試験における、温度、交換イオン濃度、流速の影響を調べた。温度、Mg²⁺濃度が高いほど、流速が遅いほど、少ない通液量でCsが100%脱離した。また、交換イオンの種類の影響を調べた結果、1価の陽イオンよりも2価の陽イオンの脱離率が高く、3価の陽イオンでは、さらに高い脱離率を示した。

カラムの動的挙動を、理論段モデルを用いて解析した結果、理論段1段で平衡到達度を0.8%とした場合に、比較的カラム挙動をよく表した。ただし、理論段モデルでは初期のカラム挙動を適切に評価できなかったため、今後は、計算モデルを微分層型に変更すると共に、パーミキュライトの狭い層間で起きている金属イオンの輸送現象モデルを構築することで、より精度の高いカラム挙動評価を行う予定である。

③ 亜臨界水イオン交換処理装置システムの開発

平成30年度では「要素試験装置の概念構築」「工学的課題の整理」「試験項目の選定」「要素試験装置の設計」を実施した。

a) 要素試験装置の概念構築 及び b) 工学的課題の整理

本システムの要素を調査し、これまでに実用化された実績がなく確認が必要な課題は「亜臨界水処理」工程のみであり、本工程の成立性確認を要素試験の実施範囲とした。

c) 要素試験装置の設計

上記検討を受け、平板カラムへの土壌充填および亜臨界水処理試験を実施可能な要素試験装置を設計した。令和1年度より本要素試験装置の製作を行う。

3. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

本報告書で提案されている土壌処理・廃棄物減容システムは、平成27年8月に中央環境審議会から答申された「環境研究・環境技術開発の推進戦略について」において示された“今後5年間で取り組むべき15項目の重点課題”のうち、「1. 統合領域 - 【重点課題④】 災害・事故に伴う環境問題への対応に貢献する研究・技術開発」の中の「除去土壌等の減容化・再生利用」に貢献する技術である。

また、平成28年3月に中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発検討会から提示された「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略工程表」によれば、令和1年度は、先行して進められていた分級処理の技術開発から分級処理以外の技術開発への移行期となっている。さらに「最終処分の方向性の検討」では、令和1年度より減容技術の絞り込み及び最終処分の方式に係る検討を開始することになっている。提案システムれば、「減容・再生利用技術の開発」における平成30・は、同検討会において分級後の除去土壌の高度処理法として位置付けられている化学処理の1つであるとともに、処理後の浄化土壌は再生が容易であり、回収したCsをガラスに固定化して最終処分までを可能とする一貫システムの実現を目指しているため、上記工程表に沿って迅速に技術開発を進めていく上で、特に高放射能濃度の除去土壌の減容化・再生利用・最終処분을早期に実現する有力な技術の1つとして技術開発戦略に貢献することができる。さらに、この技術開発で得られた成果は、現在検討が進められている南海トラフ巨大地震等を想定した大規模災害廃棄物対策において、原発事故が発生した場合の特別な処理困難物に対する対策の1つとして組み込まれ得ると想定している。

4. 委員の指摘及び提言概要

計画は順調に思われるが、実用化までの道筋がやや明確でない。ラボレベルでの除去が出来ることは示されたが、実際の土壌を多量に処理するための手法としては少し心もとない。コストと処理能力がまだ不明のため、本当に実用化できるか疑問が残る。実用化、実装に向けた努力の加速が必要である。最終的には、費用評価とシステム全体評価が実用化のためには重要で、その提案を期待したい。実用化に向けた一貫した装置設計図の完成は、この研究期間内で必須としてほしい。また、他の方法とのベンチマークについても検証してほしい。

5. 評点

総合評点：B