課題番号：　ＳⅡ－9－1

テーマ名：　県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究

テーマリーダー名：　遠藤和人（国立環境研究所）

体系的番号：JPMEERF22S20910

研究実施期間：2022～2024年度

【研究体制】

サブテーマ1

遠藤和人（国立環境研究所）

山田一夫（国立環境研究所）

三成映理子（国立環境研究所）

田中悠平（国立環境研究所）

熊谷　純（名古屋大学）

三浦拓也（福島高専）

サブテーマ2

東條安匡（北海道大学）

岡田早紀（北海道大学）

戸田賀奈子（東京大学）

斉藤拓巳（東京大学）

サブテーマ3

半井健一郎（広島大学）

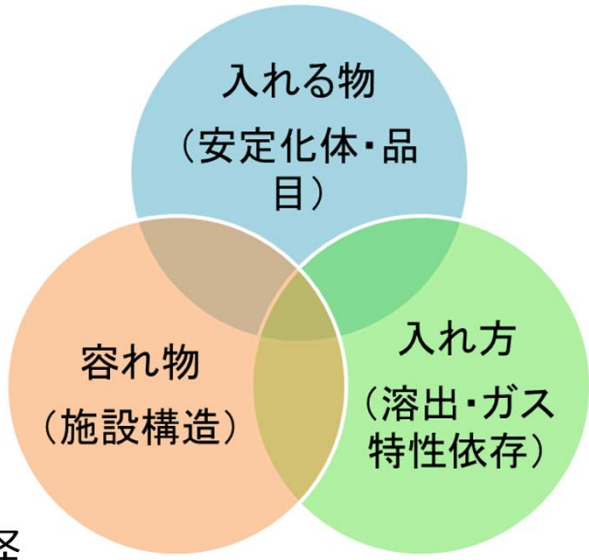
乾　徹（大阪大学）

庭瀬一仁（八戸高専）

1．研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究背景】

県外最終処分に向け、2024年度までに減容化等に係る個別技術開発を終了させることが国の戦略目標となっている。減容化技術の選択によって安定化体（最終廃棄物）の特性が変化し、処分場施設構造への要求性能も異なってくる。そのため、これら個別技術を一体のシステムと捉え、減容化に導入される技術の組合せを比較検証することが求められている。



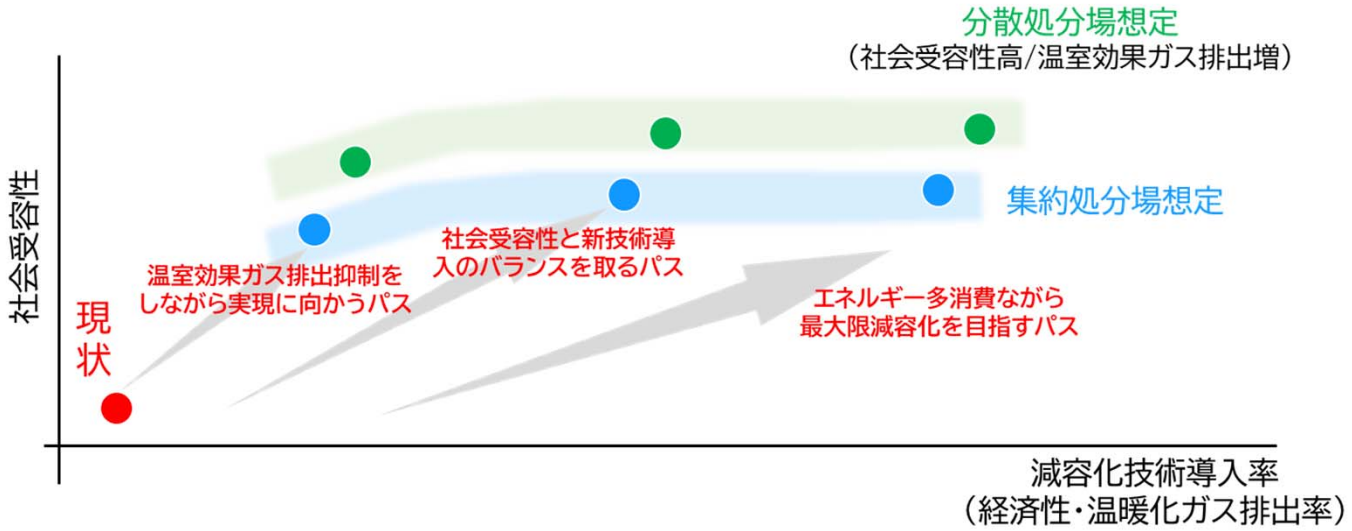
【研究開発目的】

県外最終処分に向けた技術導入シナリオを、マテリアルバランスや経済性、社会受容性などの視点で構築し、比較検証を実施する。また、減容化技術の一つである放射性セシウムの濃縮技術と評価方法、そして安定化体の長期安定性と試験方法に係る研究開発を実施する。さらに、施設成立性（安全性評価）という観点で、シナリオ毎に求められる最終処分施設の要求性能を明らかにする。

1．研究背景、研究開発目的及び研究目標

【全体目標】

中間貯蔵施設内やその周辺地域の環境回復に向け、除去土壌や副産物の有効利用や汚染廃棄物等の県外最終処分を着実に実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオ最適化の考え方を提案する。同時に、国の戦略目標の2024年度以降に必要と考えられる安定化体の長期安定性（溶出性等）評価手法、ならびに県外最終処分施設に求められる封じ込め性能について技術的知見を提示する。



国立環境研究所
北海道大学　広島大学

2. 研究目標の進捗状況
（1）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ1）

サブテーマ1：県外最終処分に向けた導入技術システムのシナリオ最適化
【サブテーマ1目標】 県外最終処分に向けた減容再生利用技術戦略の戦略目標である2024年以降の研究や技術開発の方向性、県外最終処分の具体的な検討に資する研究成果を提供することが目標である。
【令和4年度研究計画】 県外最終処分に向けた処理・処分シナリオを網羅的に構築し、マテリアルバランスと経済性評価を行う。飛灰の洗浄・濃縮で用いられる吸着材を選定し、イオン交換理論を適用して性能を数値化する。県外最終処分対象の安定化体を設定し、γ線分解による水素ガス発生を測定する体制を整える。 【令和5年度研究計画】 処理・処分シナリオから想定される県外最終処分における安全性評価（施設成立性評価）を内部被ばくの観点で実施する。サブ2と3の結果を反映させて処理・処分シナリオを精緻化する。社会実装を想定し、カラムを用いたイオンクロマトグラフ濃縮を実施する。各種の安定化体からの水素ガス発生を評価する。 【令和6年度研究計画】 処理・処分シナリオの得失をまとめつつ、サブ2からの溶出特性、サブ3の施設要件を具体的に盛り込んだシナリオを構築する。高濃縮シナリオを想定した水素ガス発生試験とリスク対策を提案する。
【自己評価】　概ね目標達成の見込みであり、一部で未達、一部で計画以上の進展がある。

2. 研究目標の進捗状況
（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

【具体的な理由・根拠】

- 処理・処分シナリオは、網羅的に構築し、経済性評価とマテリアルバランスの評価を実施してサブ3と情報共有できた。安全性評価を行う準備を整え、簡易的な評価に至った。多量処理が必要となる低濃度土壌の再生利用費の精査は、県外再生利用の社会的課題等によって未達となっている。
- 吸着材へのイオン交換理論適用については、使用可能性の高い吸着材の選定を実施できた。また、Cs吸着においてはRbよりもKイオンの影響度が大きいこと、吸着材の製造方法によって吸着性能が異なることを明らかにした。
- 安定化体からの水素ガス発生については、セメント硬化体構成結晶と無機水和物の評価を終了できた。特定の水和物においては予期せぬ温度依存性があることが判明した。

【目標達成の見通し】

令和5年度までは一部を除き目標達成の見込みである。これまでの検討より令和6年度についても計画通りの進展が見込まれている。環境省、JESCOとの協力体制も良好であり、政策対応に向けた準備も整っている。

2. 研究目標の進捗状況
（1）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ2）

サブテーマ2：各種安定化体の長期溶出特性の評価
【サブテーマ2目標】 県外最終処分対象の安定化体を想定し、従来型の溶出試験結果、過酷環境試験を通してCs溶出を支配する要因を明らかにしつつ、安定化体毎に特化した長期溶出特性評価法を提案する。
【令和4年度研究計画】 想定される安定化体（例えば、飛灰直接セメント固型化、Cs吸着体の熱処理安定化体など）を整理し、各安定化体を作製して強度試験を実施する。 【令和5年度研究計画】 前年度に作成した各種安定化体について従来型の溶出試験（環告13合やANSI試験等）を実施する。対象はCsのみではなく、重金属類も対象とする。更に、各種安定化体に対して過酷環境下（乾湿、ガス雰囲気等）での溶出試験を開始する。 【令和6年度研究計画】 過酷環境下での溶出試験を継続する。従来型溶出試験、過酷環境下溶出試験を通して安定化体毎にCs溶出支配要因を明らかにし、施設成立性に資する長期溶出挙動を評価する手法を提案する。
【自己評価】概ね目標達成の見込みであり、一部未達であるが、溶出試験は計画以上に進展している。

2. 研究目標の進捗状況
（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ2）

【具体的な理由・根拠】

- 各種安定化体を作製するにあたって、溶融飛灰の入手、直接セメント固型化、直接ジオポリマー固型化体、ゼオライトCs吸着体およびその焼結体、ゼオライトCs吸着体のセメント固型化ならびにジオポリマー固型化体を作製できた。
- 作製した安定化体について、一軸圧縮試験を実施して0.98 MPaを満足することを確認した。従来の溶出試験について予定よりも先行して着手し、結果を得ることができた。
- フェロシアン化銅を介した安定化体については、Cs吸着体から熱分解処理を行い、その残渣を固型化する予定であったが、一度に少量毎の処理しかできなかったため、固型化体の作製には至っていない。現在、固定化体作製等の処理を早急に進めている。

【目標達成の見通し】

令和4年度に各種安定化体の作製、令和5年度に各種溶出試験の予定であり、フェロシアン化銅からの安定化体作製以外は当初の予定よりも早く進んでいる。また、フェロシアン化銅からの安定化体作製についても目途がたっているため、目標を達成できると考えている。

2. 研究目標の進捗状況
（1）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ3）

サブテーマ3：県外最終処分施設に求められる封じ込め性能に関する研究
【サブテーマ3目標】 県外最終処分に求められる封じ込め性能について、炉規法の既存処分施設の考え方を整理しつつ、放射性Csのみに着目したコンクリート、ベントナイト系材料の封じ込め性能の考え方を明らかにする。
【令和4年度研究計画】 廃掃法ならびに炉規法における封じ込め機能の考え方をヒアリングや文献調査等によって整理する。セメント系、ベントナイト系遮水材の分配係数や拡散係数等の基本物性を実施する。 【令和5年度研究計画】 既存のコンクリート製容器の封じ込め機能の考え方について情報整理を実施する。セメント系やベントナイト系遮水材の基本物性試験を継続して実施し、モルタルの浸透試験を開始する。 【令和6年度研究計画】 これまで集められた封じ込め性能に関する情報と、各種基本物性試験を通して得られた不足データの拡充により、放射性Csを対象として県外最終処分の施設構造に求められる性能要件を、サブ1で提案されるシナリオ、サブ2で提案される溶出特性を加味して提案する。
【自己評価】概ね目標達成の見込みであり、サブテーマ間の連携も取れている。

2. 研究目標の進捗状況
（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ3）

【具体的な理由・根拠】

- 既存施設に関する情報整理については、サブテーマ１とも連携し、特に浅地中ピット処分についての情報を整理し、今回の対象である除去土壌等の汚染廃棄物の処分との相違点を分析し、計画通りの成果を得た。
- 材料物性を取得するための試験に関しては、試験条件を確定した検討が十分には実施できなかった。ただし、基本的な試験については計画通りに進展している。次年度以降に試験条件を確定させることで、必要な物性データの取得が可能である。

【目標達成の見通し】

- 既存処分施設に関する調査については、最大濃縮型シナリオで活用する可能性のあるコンクリート容器についての情報を追加することで、各種シナリオに応じて参照すべき知見が整理できる。
- 放射性物質の漏出を防止するための人工バリアとして期待されるセメント系材料やベントナイト系遮水材に関しては、基本物性に関するデータの収集を進め、施設の基本構造とともにサブテーマ１に提供することで安全性評価が可能となり、その結果を踏まえた、必要な処分構造の提案を行うことができる見込みである。

3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

サブテーマ１：環境省との意見交換会（2023年7月3日）、JESCOとの意見交換会（2023年7月21日）を実施し、SII-9ST1-1で実施しているシナリオ分析について説明し、研究成果を政策に反映させる足がかりとした。

サブテーマ２：国による実証事業が進行中であり、本研究で扱っている安定化体はそれらと同様のものである。すなわち、各種安定化体の溶出特性を本研究から網羅的に提供することで、行政が実証事業の結果を客観的に判断できるようになることが見込める。

サブテーマ３：2024年度までの国の戦略目標に向け、最終処分施設の具体的な設計に活用することが見込まれる。

【行政等が既に活用した成果】

環境省に一連の処理・処分シナリオ研究成果を報告し、国の戦略目標に向けた課題検討に貢献した。

4. 研究成果の発表状況

【誌上発表（査読あり＋準じるもの）：1＋3件】

1. 庭瀬一仁・赤坂翼・今泉有人：ゼオライトを混合したセメント系材料の高吸着人工バリアへの適用性に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 45 (2023)
2. Yamada K, Endo K, Minari E, Osako M (2023) Review of Activities to Develop a Strategy for the Final Disposal of Contaminated Waste Off-Site Outside Fukushima Prefecture , WM Symposia, 23055
3. Minari E, Yamada K, Endo K, Osako M, Preliminary Study on Treatment/Disposal Scenario Building and Comprehensive Evaluation Toward the Final Disposal of the Radioactively Contaminated Waste Outside Fukushima Prefecture, 第15回環境地盤工学シンポジウム、令和5年11月15-16日(2023)（投稿済み）
4. TANAKA Yuhei, YAMADA Kazuo, ENDO Kazuto, Evaluation of Cs adsorption performance of certain natural mordenite type zeolite with ion exchange theory,第15回環境地盤工学シンポジウム、令和5年11月15-16日(2023)（投稿済み）

【知的財産権：0件】

特に記載すべき事項はない。

【口頭発表（学会等）：15件】

1. 田中悠平、山田一夫、遠藤和人、フェロシアン化銅のCs吸着能に対する製造方法の影響、第12回環境放射能除染研究発表会、令和5年8月30-31日 (2023)（投稿済み）
2. 岡田早紀，東條安匡, 松尾孝之, 黄仁姫、ゼオライトを用いた各種安定化体からのセシウム溶出挙動の把握、令和4年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究発表会、2022.11.18.
3. 三橋知矢・乾徹・緒方奨：カチオンを高濃度で含有する浸出水に対するベントナイトのCs吸着特性の評価, 第28回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, No.S1-15 (2023)　等

【国民との科学・技術対話：4件】

1. NEW環境展出展（2023年5月24日（水）～5月26日（金）、参加者約9万人）
2. 三成映理子、山田一夫、遠藤和人、県外最終処分に向けた導入技術システムのシナリオ分析、令和５年度環境創造センター成果報告会（令和5年10月3日、福島県内市町村職員ならびに住民が参加者）（投稿済み）等

5. 研究の効率性

- 環境省やJESCOとの打合せを定期的に実施しており、政策貢献に向けた準備を着実に進めた。
- メーリングリストを作成して、テーマ間で行われている議論を分担研究者全員で共有できる体制を整えた。
- 対面会議ではなくweb会議にすることで、打合せ等の頻度と出席率向上を図った。
- 全体会合の日程調整や会議議事録等については研究者側の負担を軽減するため、福島県内の広告代理店への外注によって進めることができた。
- 分野横断会議と称してテーマ1～3の全員ならびに浜通り地域の町役場や住民を交えた会合を開催し、各テーマ間で実施されている検討状況や、現場の生の声を分担研究者の皆様で共有できるイベントを企画した。