

環境放射能除染学会

「県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会」の活動紹介

山田一夫*1

福島第一原子力発電所事故に由来する環境の放射性物質による汚染への対処として除染が進み除去土壌等は中間貯蔵に搬送され、かつ可燃性廃棄物の焼却により発生する熱処理残渣の減容化が中間貯蔵施設内で実施されている。また、2045年までの県外最終処分のために、各種の技術開発も行われてきている。県外最終処分を考えるには、各種の減容化、安定化、処分、再生利用に係る技術を個別に考えるのではなく、それらを組み合わせた全体を考える必要があり、そのうえで技術開発戦略を設定することが重要と考えた。そこで、中立性を有する環境放射能除染学会に関連の研究会を設定し、活動を行ってきた。本稿では、その成果として、処理・処分の工程を設定し、マスバランス計算を行い、各工程の単価を文献情報から収集し、経済性として提示した。また、意図を持った想定シナリオを示し、合意形成に向けた活動に役立てる重要性も指摘した。

Keywords: 除去土壌等, 減容化, 再生利用, 処理・処分シナリオ, 環境放射能除染学会

1 はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い、環境中に放射性物質が漏洩し、東日本の広い範囲が汚染した。環境省は技術開発戦略を策定しておりすでに5年が経過し、2024年度までに県外最終処分の戦略を提示する。これにむけてどのような技術で県外最終処分を達成するのか、国が示すことになる。この研究会では、学会として今後の技術的方向性のあり方を提言すべく設置した。

2 除去土壌等の中間貯蔵施設運営と処理技術開発の状況

環境に放出された放射性物質の種類は多様であるが、主にはCs-134とCs-137であり[1,2]、長期的には半減期が30年のCs-137のみが問題となる。

環境省は2011年に除染モデル実証事業を開始し、2018年3月にすべての面的除染を終了した。その後、フォローアップ除染を実施しつつ、特定復興再生拠点区域に手除染作業は継続されている。除染のために発生した除去土壌等1,400万m³は各地の仮置き場等1,374か所に保管されていたが2021年度に概ね全量が中間貯蔵施設に搬入される。

除去土壌等のうち、除去土壌は94%を占め、4%弱の可燃物を含む。放射能レベルは8,000 Bq/kg以下が76%である。

これらの除去土壌等への対処は、2011年に閣議決定された放射性物質汚染対処特措法により実施されるが、2014年改正JESCO法により、中間貯蔵後30年以内(2045年)に福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講じることが定められた。そして、同時に技術開発戦略の工程表が示され、2018年に中間目標が定められ、2024年には基盤技術開発を一通り完了し、県外最終処分の戦略目標が提示される。県外最終処分に向けては以下の4点が示された。

- ・減容・再生利用技術の開発

- ・再生利用の推進
- ・最終処分の方向性の検討
- ・全国的な理解の醸成等

3 県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会の設置

処理・処分にに関して種々の技術が検討されているが、Fig.1に示すように、それらは相互に関係するため、全工程を考慮した最終処分シナリオが必要となる。環境省は差し迫った現実への対応を行いながら、順調に中間貯蔵事業を進めてきた。さらに、後世から見て、技術的にも社会的にも説明責任を果たすため、技術面のみならず、経済性、社会適合性、および合意形成の多面的な評価を考慮し、中長期的な技術課題を明らかにすることを目的に、専門性を有し、かつ中立的な立場にある環境放射能除染学会において、「県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会」が設置され、2018年10月から活動を行ってきた[3]。

研究会メンバーを以下に示す。大迫政浩(委員長, NIES), 山田一夫(幹事, NIES), 有馬謙一(NIES), 飯本武志(東

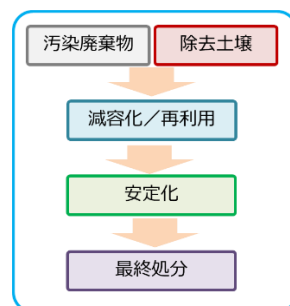


Fig.1 最終処分までの工程

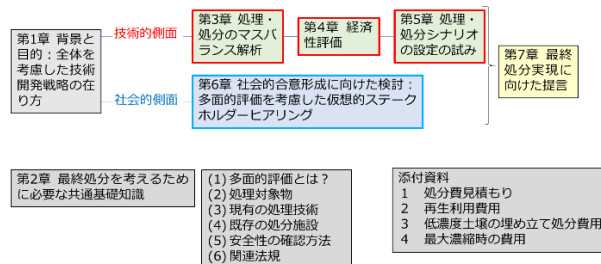


Fig.2 研究会報告書の構成

Introduction of the activity of a research committee on the technology development strategy for the final disposal outside of Fukushima organized by SRRCE by Kazuo YAMADA (yamada.kazuo@nies.go.jp)

*1 国立環境研究所福島地域協働研究拠点

National Institute for Environmental Studies

〒963-7700 福島県田村郡三春町深作 10-2

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第37回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

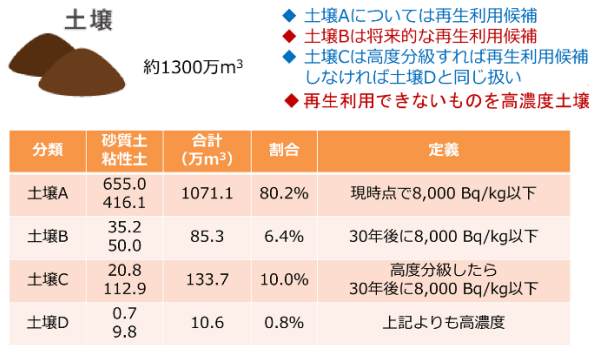


Fig.3 土壌の分類と量

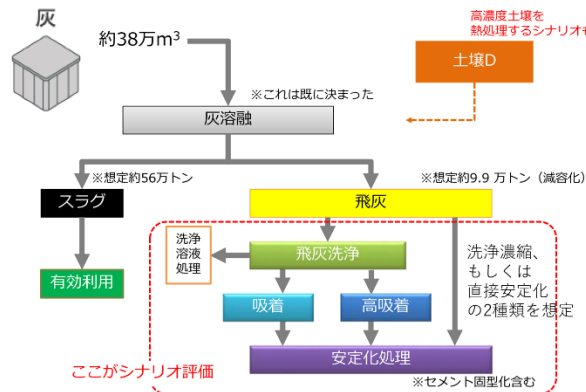


Fig.4 減容化と安定化の処理工程

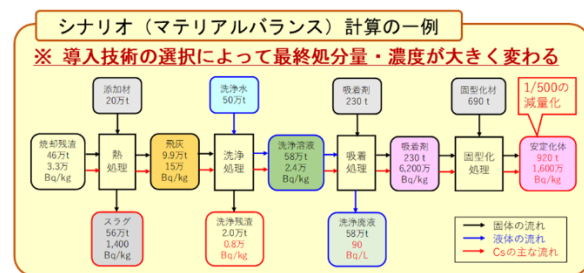


Fig.5 処理工程のマスバランス計算例

大), 遠藤和人 (NIES), 大越実 (日本アイソトープ協会), 川瀬啓一 (JAEA), 杉山大輔 (電中研), 半井健一郎 (広大), 万福裕造 (農研機構), 宮本泰明 (JAEA), 保高徹生 (AIST), 山田正人 (NIES)

同研究会は, 2021 年 9 月には活動報告を公開した[4]。その構成内容を Fig.2 に示す。このうち, 本稿では, 技術的側面に関して検討してきた成果について, 報告書の情報から作図したり転用したりしながら, 概要をまとめる。

4 県外最終処分技術開発戦略研究会の成果

4.1 土壌の分類

県外最終処分に当たっては, 可能な限り減容化を行い, 再生利用も促進することが方針となっている。この対象となる主なものが, 土壌と可燃物を焼却した残渣(焼却残渣)である。Fig.3 に示すように, 土壌は総量は 1,300 万 m³ であるが, 放射能濃度により土壌 A~D に分類されている。ここでは, 2045 年時点で再利用可能な 8,000 Bq/kg 以下のものを低濃度土壌(土壌 A, B, および土壌 C を分級した

ものの低濃度側), これを超えるものを高濃度土壌と大きく分類した。

4.2 減容化工程

減容化と安定化の処理工程を Fig.4 に示す。焼却残渣(灰)は 38 万 m³ であるが, これを保管する容量が中間貯蔵施設にないこともあり, この灰を熱処理し, 減容化する事業が中間貯蔵施設内で, 2020 年度から稼働している。熱処理は灰溶融により行われており, Cs が除去されたスラグと Cs が濃縮された飛灰が発生する。スラグは再生利用される予定である。飛灰中に Cs が水溶性塩として含有されるため, 飛灰洗浄することで, 液相に Cs を移行させることができ, これを吸着し, さらに安定化することで, 一層の減容化が達成できる。ただし, 減容化した分, 放射能濃度も増加することになる。十分な容量の処分場が準備できるのであれば, 飛灰を直接安定化(例えばセメント固型化)することも考えられる。なお, 土壌 D など高濃度土壌も溶融処理により減容化できることも分かっている。

処理対象物の量と工程を設定したので, 各工程のマスバランスを文献情報をもとに算定した。その一例を Fig.5 に示す。38 万 m³, 46 万 t, 3.5 万 Bq/kg の焼却残渣は熱処理により, 9.9 万 t, 15 万 Bq/kg の飛灰となる。これを洗浄し, 吸着処理し, 安定化すると, 920t, 1,600 万 Bq/kg の安定化体(処分対象物)となる。減容化率は 1/500 となる。これらの工程は推定値に基づくものであるため, 現実の工程の能力の推定には誤差を持つため, 報告書では感度解析を実施した結果も掲載してある。

4.3 マスバランス計算と経済性評価

マスバランス計算は, 大きくは 3 ケースについて実施した。ケース 1 は熱処理飛灰を洗浄濃縮し, セメント固型化により安定化するものである。ケース 2 は熱処理飛灰を洗浄処理することなく直接セメント固型化するものである。これらのケースでは高濃度土壌はそのまま処分する。ケース 3 では高濃度土壌も熱処理し, 洗浄濃縮後, セメント固型化するものである。さらにケース 1 では, 処理水を基準値以下に制御し, 放流するケース 1-1, 処理水を蒸発乾固するケース 1-2, 吸着性能が高い吸着材を用い, 減容化率を高めるケース 1-3 と細分化した。これらのケースそれぞれで発生する生成物の放射能濃度と体積を Table 1 にまとめる。

Table 1 異なる処理工程からの生成物の量と放射能濃度

	放射能濃度 (Bq/kg)	体積(万m ³)				
		1 熱処理飛灰の洗浄濃縮+セメント固型化	2 熱処理飛灰の直接セメント固型化	3 高濃度土壌も熱処理+洗浄濃縮+セメント固型化		
処理対象	焼却残渣	3.3万	38	38	38	38
	高濃度土壌	6.9万	75	75	75	75
	低濃度土壌	3300	1200	1200	1200	1200
生成物	熱処理飛灰(焼却残渣由来+高濃度土壌由来)	15万	8.3+0	8.3+0	8.3+0	8.3+11
	熱処理スラグ(同上)	1400-2500	33+0	33+0	33+0	33+42
	固化塩類	590	6.6			
	安定化体(同上)	1500万 7.3万	0.084+0	0.084+0	0.011+0 (1.2倍Bq/kg)	0 18

各工程の生成物量が判明したので, 各工程の費用を文献情報から収集し, 処理・処分の事業全体の費用を算定した。

その結果を Fig.6 に示す。ケース 1 とケース 2 では 1 兆 3,400～3,700 億円程度で近い値となった。高濃度土壌も熱処理するケース 3 はその費用が加算されるため、1 兆 6,100 億円と他のケースよりも大きくなった。また、低濃度土壌の事業費が過半を占める理由は、再生利用に要する費用が大きくなったためである。ただし、これは中間貯蔵施設内から土壌を運搬し何らかの用途に使うとしたものであり、別の通常の素材を使用した場合との差額を提示しているわけではないことには注意を要する。

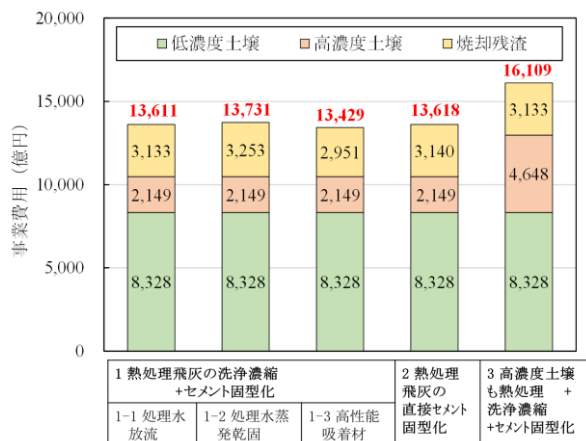


Fig.6 処分・再生利用対象物ごとの費用

4.4 特徴ある処理・処分シナリオの提示

前節で述べた処理・処分の各工程は、現在、JESCO の実証事業や研究開発動向から想定しやすい手法を組み合わせたものである。ただし、その組み合わせが種々の観点から最適なものであるかどうかは分からない。そこで、各工程の選択肢を技術的観点から網羅的に整理し、意図を持った想定シナリオにおいて、その選択肢の中から適するものを選んで、3 種類の想定シナリオ A～C を別途設定した (Table 2)。これは、これらの想定シナリオを推奨するというものではなく、特徴あるシナリオの例を示すことで、多様な可能性を考える材料を提供しようとしたものである。

想定シナリオ A は、4.3 節のケーススタディのケース 3 に相当する。想定シナリオ B は処理費用を最小化できる可能性を考えたものである。想定シナリオ C は汚染廃棄物を最大限濃縮することを考えたものである。

想定シナリオ A では、1,200 万 m³ の低濃度土壌は県内外で再生利用し、75 万 m³ の高濃度土壌の減容化により、2,800 万 Bq/kg, 1,070 m³、および 38 万 m³ の熱処理飛灰から、洗浄・濃縮とセメント固型化による安定化体 1,500 万 Bq/kg, 840 m³ が処分対象となり、これらを県外の遮断型相当の処分場で処分する。

想定シナリオ B では、費用を最小化するために、まず費用が最大となる低濃度土壌を中間貯蔵施設内において有効に利用する。高濃度土壌は長期保管する。これは土壌から実質的に Cs は移動しないため、遮蔽を適切に行えば、安全性の確保は容易であると推定できるためである。また熱処理飛灰は洗浄・濃縮することなく、直接セメント固型化し、7.7 万 Bq/kg, 18 万 m³ を県外管理型処分場に処分する。この想定シナリオ B では、すでに確立した技術を用いること

で、費用算定の不確実性を減じることができ、かつ、追加費用を削除できる。

想定シナリオ C は汚染廃棄物を最大濃縮しようというものである。低濃度土壌は想定シナリオ B と同じく中間貯蔵施設内で再生利用する。高濃度土壌は熱処理し、熱処理飛灰と合わせて洗浄・濃縮し安定化する。ただし、濃縮に用いる吸着材は実験室内評価で得られた高性能なフェロシアン化物に関する数値を用い、かつ安定化もフェロシアン化物を熱分解しリン酸金属ガラスとすることで安定化処理時の結合材による体積増加を最小限にしたものである。放射能濃度と処分量は、それぞれ、高濃度土壌からは 42 億 Bq/kg, 7m³、熱処理飛灰からは 20 億 Bq/kg, 6.3 m³ となる。想定したとおり、処分量はワンボックスカー 1, 2 台程度まで減少できるのが特徴である。この程度の量となると、処分施設というよりは、処分容器を保管廃棄するというイメージとなる。

Table 2 3 種類の想定シナリオとそれぞれで発生する処理対象物の放射能濃度と量

対象物	低濃度土壌 (8千Bq/kg以下)	高濃度土壌 (8千Bq/kg超)	熱処理飛灰 (焼却残渣)
想定シナリオA 現在の処理技術 開発動向に準拠	再生利用 (県内外)	熱処理 + 右記の処理 [2796万Bq/kg, 1070m ³]	灰洗浄・濃縮後、安定化 [1500万Bq/kg, 840m ³] 県外の遮断型相当処分場
想定シナリオB 処理費用を 最小化の可能性	再生利用 (中間貯蔵施設内)	長期保管 (10万Bq/kg以下を 管理型相当)	飛灰をセメント固型化・安定化 [7.7万Bq/kg, 18万m ³] 県外の管理型相当処分場
想定シナリオC 汚染廃棄物を 最大濃縮	再生利用 (中間貯蔵施設内)	熱処理 + 右記の処理 [42億Bq/kg, 7m ³]	灰洗浄後、最大濃縮 (文献情報) [20億Bq/kg, 6.3m ³] 廃棄物貯蔵後、放射性廃棄物

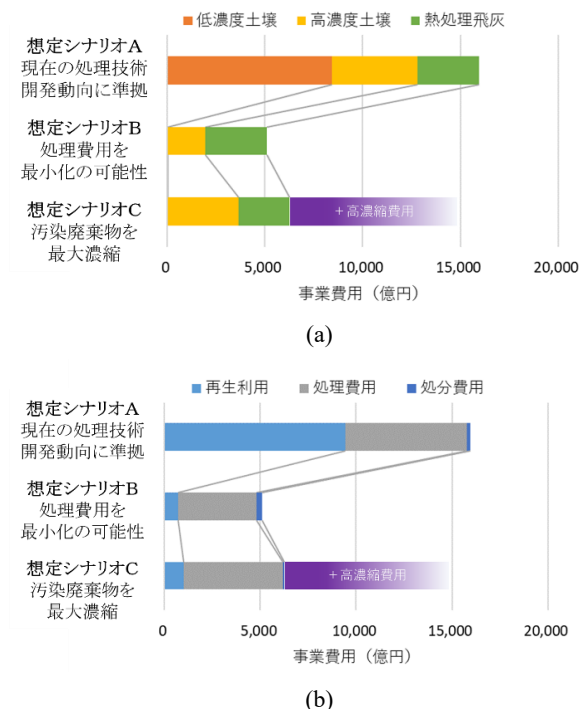


Fig.7 想定シナリオごとの事業費用

この数量から、想定シナリオごとに再生利用費用、処理費用、処分費用を算定し、その結果を対象物ごと、もしくは工程ごとに整理した結果をそれぞれ Fig.7(a), Fig.7(b) として示す。想定シナリオ A に比較し、想定シナリ

オ B では再生利用費の費用削減効果が顕著に現れ、全事業費は 1/3 となる。想定シナリオ C は最大濃縮するための費用が不透明であるため、費用面では比較は困難である。

4.5 特徴ある処理・処分シナリオの提示

ここまで、技術的観点から種々の工程を組み合わせ、マスパランスと経済性評価の例を示してきた。これらの情報は、客観的技術情報に基づく技術システムである。これらは現在の技術や制度的制約等から、最終処分を考えたフォアキャスト的な方法と言える。一方で、目指すべき最終処分のゴールを明確にし、そこからバックキャストとして必要な技術や制度改定を提案するということもあり得る。この関係を Fig.8 に示す。本稿では主に技術的観点から述べてきたが、一方で、社会合意形成における評価基準を考えることも重要であり、それは社会システムを作り出すということでもある。このように、県外最終処分の実現という目標に達するためには多様な観点から検討を重ねることが今後も重要である。

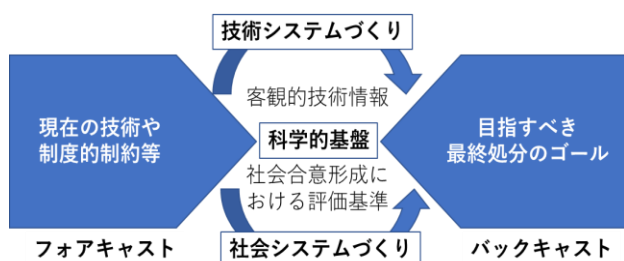


Fig.8 県外最終処分実現のための2つの方法

5 まとめに代えて

本項では、バックエンド部会夏期セミナーにおいて発表した内容を取りまとめた。当日の意見交換では、いわゆるオフサイトでの処分は廃掃法を基礎とした放射性物質対処特措法に基づき、放射性 Cs のみを考慮すればよいのであるが、原子炉等規制法による放射性廃棄物処分との違いについても指摘があった。特に、特措法では重金属を考える必要があること、管理期間の設定に大きな違いがあり、当面の間、管理を継続し続ける必要があること、よって、埋設後の人為的被ばくシナリオの位置づけが変わりえることなど、重要な点が指摘された。今後も、オンサイトとオフサイトの技術の融合が必要であり、当面は 2024 年度の県外最終処分の戦略目標の設定に貢献すべく活動を継続したい。

参考文献

- [1] 文部科学省: 文部科学省による、①ガンマ線放出核種の分析結果、及び②ストロンチウム 89, 90 の分析結果(第2次分布 状況調査)について、報道発表 (2012). https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6213/24/6213_20120912_rev20130701.pdf (accessed 2021-7-17).
- [2] 駒義和: 福島第一原子力発電所構内の土壌等の汚染

- 発電所の内と外でストロンチウムやプルトニウムの汚染はどのように違うのか -, 研究成果報告会, 福島県の環境回復に係るこれまでの取り組み (2015).

<https://fukushima.jaea.go.jp/fukushima/result/pdf/pdf1511/3-17.pdf> (accessed 2021-7-17).

- [3] 環境放射能除染学会: 県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会 (2021).

<http://khjosen.org/activity.html> (accessed 2021-10-24).

- [4] 環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会: 県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会 活動報告書 Ver. 2 (2021).

http://khjosen.org/images/SRRCE_Report_ver2_20210914.pdf (accessed 2021-10-24).