



技術実証の実施状況及び評価方法について

2022年9月12日

環境省環境再生・資源循環局

目的

中間貯蔵開始後30年以内の福島県外での最終処分に向けて、早期に技術開発を完了し、最終処分の方向性を明確化するとともに、減容処理の実施に移行することが重要である。このため、土壌等の減容・再生利用に必要となる技術開発の目標や優先順位を明確にし、処理を実施するための基盤技術の開発を10年程度(2024年度)で一通り完了するために、JESCO等が技術実証事業を実施し、減容・再生利用技術の開発・蓄積を図ってきた。

実施内容

- ・ 国直轄型システム技術実証事業：
減容・再生利用の実施に不可欠であり、早急にその確立を図る必要性が高い技術を特定し、ベンチスケール、パイロットスケールによる全体システムの実証・評価を実施。
- ・ 公募型技術実証事業：
実験室レベルで有効性・原理が確認された技術を広く公募で選定し、将来の活用可能性を検証するため、小規模な実証・評価を実施。

- (a) 中間貯蔵施設内における除去土壌の分級処理システム実証事業
安全性を確保しつつ、安定的かつ低コストで大量の除去土壌の減容処理を行うことのできる分級処理システム技術を確立することを目的とした実証
- (b) 土壌及び焼却灰の熱処理技術実証
焼却灰・除去土壌を対象とした熱処理システムを構築し、処理対象物から放射性セシウムを分離させ、再生利用可能なレベルまで濃度を低減させることを確認する実証
- (c) 飛灰洗浄処理技術実証事業
双葉町の仮設灰処理施設で発生する溶融飛灰(以下「飛灰」という。)を用いて、飛灰に含まれる放射性セシウムを濃縮・減容安定化する事を確認する実証(現在、実施中)

公募型技術実証事業の概要

○平成27年度までは除染技術実証事業、平成28年度以降は除去土壌等の減容等実証事業として、公募型技術実証事業を実施。

＜受付件数と採択件数※＞

	H23 内閣府	H23 環境省	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	R2	R3	R4
受付 件数	305	295	173	136	64	37	23	19	15	18	19	17	13
採択 件数	8	4	3	4	1	3	9	9	5	7	10	9	8
税別 金額 (億円)	—	—	—	—	—	—	1.8	1.8	1.0	1.4	2.7	3.0	2.8

※採択件数に除染関連を含まず

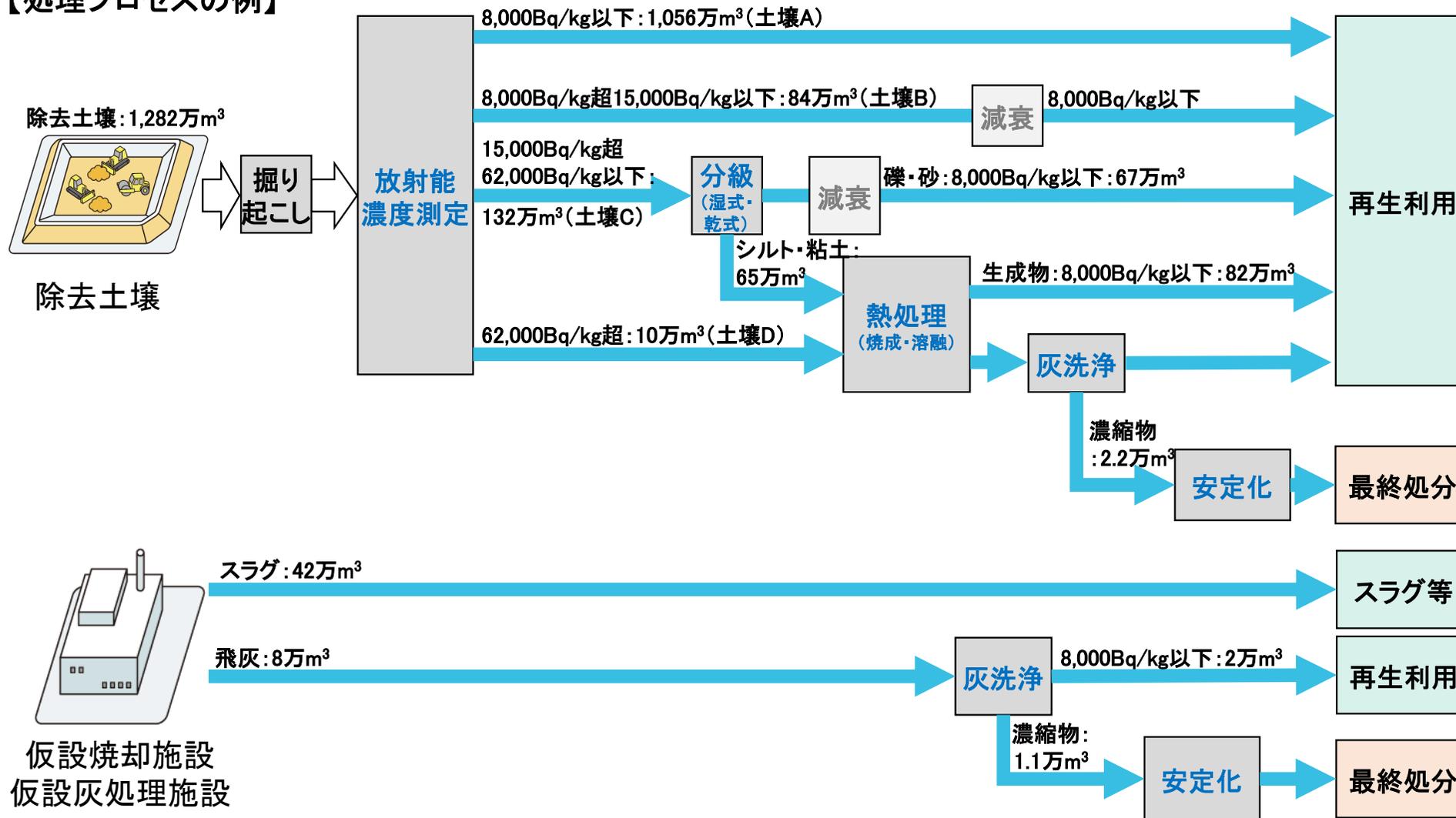
＜技術分類毎の採択件数＞

分類	採択件数
除去土壌の分級処理	21
除去土壌の化学処理	7
除去土壌・灰の熱処理	5
除去土壌・灰の安定化処理	16
灰の洗浄処理	3

処理プロセスのイメージ

実証事業の成果を、除去土壌の掘り起こしから再生資材化あるいは最終処分、ならびに灰の最終処分までのプロセスの要件に基づいて評価する。

【処理プロセスの例】



青文字 実証事業において検討中の技術

出典 1)環境省, 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回) 資料4(2018)(量、放射能濃度は、2018年時点)

2)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活動報告書Ver2(2021)

上図の飛灰の量は出典2)、飛灰以外は出典1)より

評価対象	要素技術	評価項目
各要素技術共通の評価	—	<ul style="list-style-type: none"> ・パイロットスケール※の試験成果あるいは実設備の実績 ・実機レベルでの実施可能性 ・作業者、環境への安全性等の確保 ・運搬等の扱いやすさ ・二次廃棄物、副生成物の量、処理方法 ・各技術のコスト、システム化した場合のコスト
各技術ごとの評価	分級、化学処理、熱処理、灰洗浄	<ul style="list-style-type: none"> ・減容化率 ・生成物の再生資材としての活用の可能性 ・処理能力や処理条件 ・立地条件(プラント用水や電力の確保等)
	安定化	<ul style="list-style-type: none"> ・最終処分要件(溶出、長期安定性等)

※:ラボスケール:ビーカー等を用いた基礎試験レベル

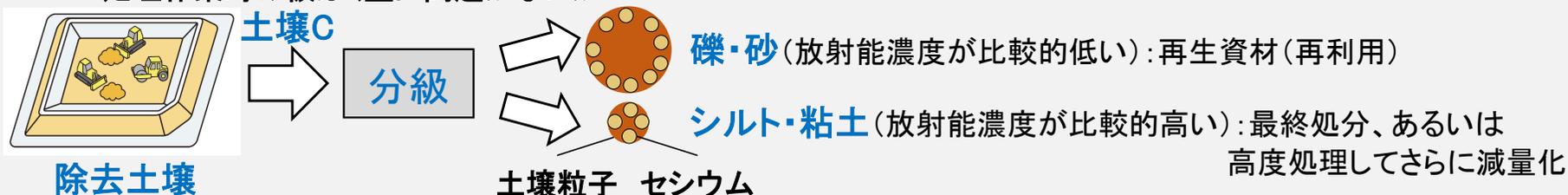
ベンチスケール:パイロットスケール機を設計、製造するためのデータを取得できるレベル

パイロットスケール:実機と同様の規模を備えたレベル

代表的な減容化技術：除去土壌の分級処理（1／2）

目的

- 放射性セシウムが、粗粒分（礫・砂）よりも細粒分（シルト・粘土）に付着しやすいという特性があることから、除去土壌を粒径別に分離することにより最終処分量を減少させることを目的とする。
- 以下を実証試験において確認した。
 - ✓ 粗粒分の放射能濃度をどの程度低下できるか
 - ✓ 除染土壌の最終処分量をどの程度減量化できるか
 - ✓ 処理作業時の被ばく量に問題がないか

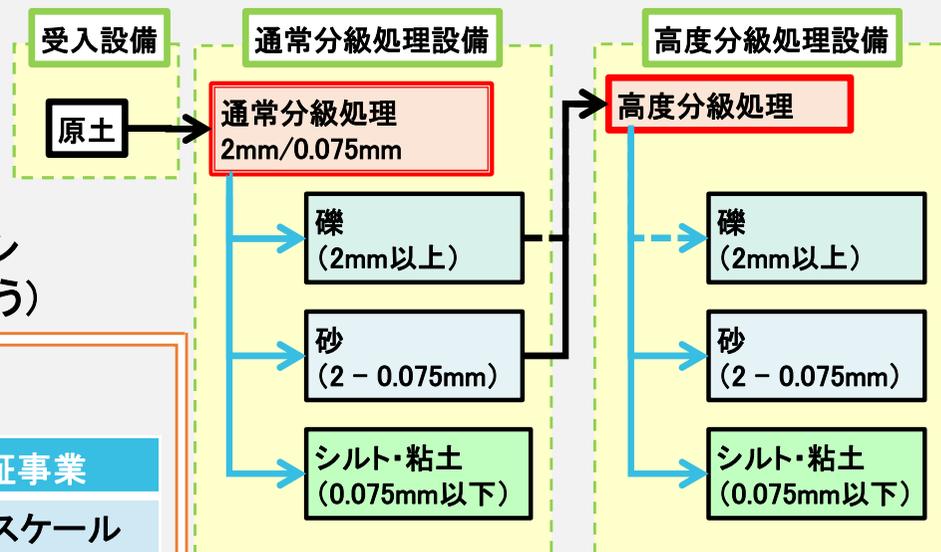


処理方法

- 分級の方法: 乾式分級 (乾燥した状態で分級する)
湿式分級 (水を加えて分級する)
- 分級のレベル: 通常分級 (粒度で分級する)
高度分級 (礫や砂の表面に付着したセシウムを剥離させる研磨等を行う)

実証方法

	直轄事業	公募実証事業
湿式分級	パイロットスケール (処理量: 10t/h以上) の装置を用いた試験 (通常分級・高度分級) を実施済み (H30~H31年度)。	ラボ・ベンチスケールの試験 (通常分級・高度分級) が実施された。
乾式分級	—	ラボ・ベンチスケールで数例実施された。



通常分級と高度分級のイメージ
(上図は乾式分級、湿式分級共通部分。上記フローの他に、乾式分級では原土の乾燥工程、湿式分級では排水処理工程が必要。)

代表的な減容化技術：除去土壌の分級処理(2/2)

実証結果

項目	結果
粗粒分の除染率※1	通常分級:71.5% 高度分級:77.9% ⇒分級処理対象と想定されている土壌C(2018年10月時点で15,000Bq/kg～62,000Bq/kg)について、再生利用可能な粗粒分を得られることを確認した。
最終処分量の削減	平均減量率※2:約50% 平均減容化率※3:約30% ⇒ただし、処理対象土壌の土質(粗粒分の含有率)によって異なる。
実機化の検証	異物除去後の土壌Cの想定量132万m ³ を分級するために必要な設備能力68m ³ /h※4に対し、実証機(10t/h)は数分の1程度の規模であるが、複数系列化することで対応可能である。また、必要能力を備えた商業レベルの分級機(40t/h程度)が存在する。

※1:除染率(%)=(分級前土壌放射能濃度-分級後粗粒分放射能濃度)÷分級前土壌放射能濃度×100

※2:減量化率(%)=(分級前土壌重量-分級後細粒分重量)÷分級前土壌重量×100

※3:減容化率(%)=(分級前土壌容積-分級後細粒分容積)÷分級前土壌容積×100

※4:132万m³÷事業期間10年(仮定)÷年間240日稼働(仮定)÷1日8時間稼働(仮定)=68m³/h

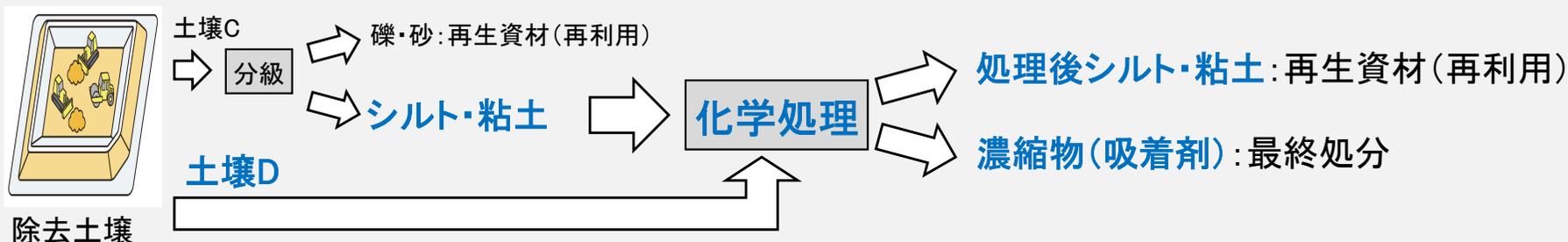
評価方法

分類	内容
技術の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 分級処理後の放射能濃度の高い細粒分(シルト・粘土)の扱い:細粒分の高度処理 分級処理後の粗粒分(礫・砂)の再生資材としての再生利用:再生利用方法
処理コスト	(処理規模を仮定したコストを試算済み)

代表的な減容化技術：除去土壤の化学処理（1／2）

目的

- 分級後の細粒分(シルト・粘土)、または分級処理できない高い放射能濃度の土壤を対象として、化学処理によって放射性セシウムを分離することで最終処分量を減少させることを目的とする。
- 以下を実証試験において確認した。
 - ✓ 土壤の放射能濃度を再生利用可能な濃度に低下させることができるか
 - ✓ 最終処分の減量化をどの程度図ることができるか
 - ✓ 処理後土壤への薬剤の残留や処理水の環境影響等問題ないこと等



処理方法

- 酸・アルカリ処理: シュウ酸、フッ化物、水酸化物を用いる処理
- 水熱処理: 高温高圧の水蒸気を用いる処理

実証方法

	直轄事業	公募実証事業
酸処理・アルカリ処理	—	ラボ・ベンチスケール(～250kg/バッチ)の試験が実施された。
高温高圧の水蒸気処理	—	ラボスケールの試験(～4L/バッチ)が実施された。

実証結果

項目	結果
除染率	70%以上 ➡分級処理対象と想定されている土壤C(2018年10月時点で15,000Bq/kg～62,000Bq/kg)の細粒分等を、再生利用可能な放射能濃度まで低下できることを確認した。
実機化の検証	土壤Cの分級後細粒分64.5万m ³ 、ならびに異物除去後土壤D10.4万m ³ を化学処理するために必要な設備能力39m ³ /h ^{※1} に対し、試験機は100分の1程度のスケールのバッチ方式での試験しか実施されていない。

※1:(64.5+10.4)万m³ ÷ 事業期間10年(仮定) ÷ 年間240日稼働(仮定) ÷ 1日8時間稼働(仮定)= 39m³/h

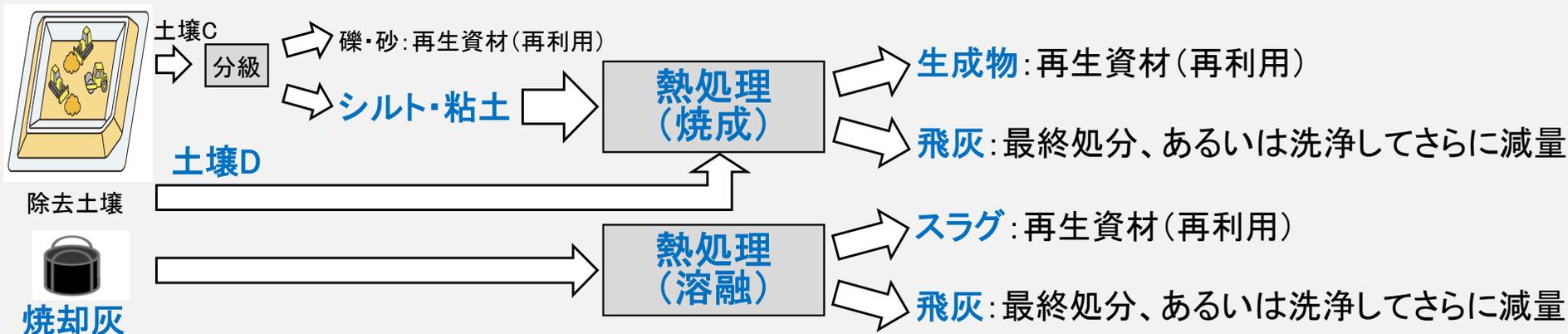
評価方法

分類	内容
技術の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 少量の処理などピンポイントでの対応 処理後細粒分に残存する化学薬品等の処理(再生利用用途との関連) 化学処理後の濃縮物の扱い(後処理の必要性・最終処分との関連)
処理コスト	スケールアップ、設備を明確化したコスト試算

代表的な減容化技術：除去土壌、灰の熱処理（焼成・溶融）（1／2）

目的

- 分級後の細粒分（シルト・粘土）、または分級処理できない高い放射能濃度の土壌を対象として、熱処理によって放射性セシウムを気化させることで最終処分量を減少させることを目的とする。
- 以下を実証試験において確認した。
 - ✓ 土壌の放射能濃度を再生利用可能な濃度に低下させることができるか
 - ✓ 最終処分の減量化をどの程度図ることができるか
 - ✓ 排気に問題無いこと等

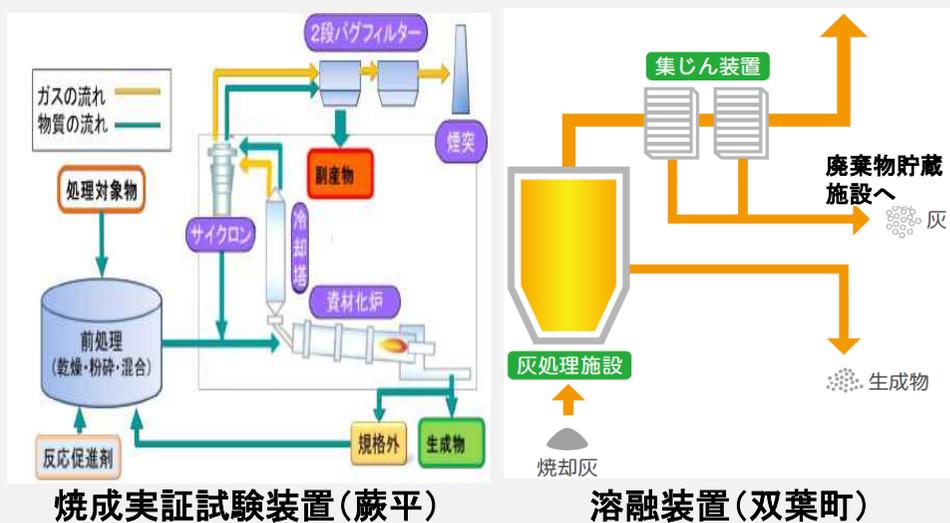


処理方法

熱処理の方法としては、「焼成、溶融」が実証試験で試験されている。

実証方法

	直轄事業	公募実証事業
焼成	パイロットスケール(処理量10t/日)装置を用いた試験を実施済み(H25~H31年度:蕨平)。	ラボ・ベンチスケールの試験(処理量2kg/h)が実施済み
溶融	—	パイロットスケール(処理量3t/日)で実施済み



○灰の溶融に対しては、双葉町仮設灰処理施設(150t/日×2施設)が既に稼働中である。

実証結果

	項目	結果
除去土壌 処理	除染率	99%以上 ⇒分級処理対象と想定されている土壌Cの細粒分等を、再生利用可能な放射能濃度まで低下できることを確認した。
	実機化の検証	土壌Cの分級後細粒分64.5万m ³ 、ならびに異物除去後土壌D10.4万m ³ を焼成するために必要な設備能力9.5m ³ /h ^{*1} に対し、実証試験機の処理能力は10t/日であり、約1/27であった。また、必要能力を備えた商業レベルの焼成設備（300t/日）が存在する。
灰処理	除染率	双葉町仮設灰処理施設においては、放射能濃度が8,000Bq/kg以下のスラグが得られている。
	実機化の検証	焼却灰34.4万m ³ 、ならびに除去土壌を掘り起こす際に発生すると推定されている異物の焼却灰3.6万m ³ を熱処理するために必要な設備能力4.8m ³ /h ^{*2} に対し、双葉町仮設灰処理施設の設備能力は合計で300t/日（灰の嵩比重が1.2の場合、約10m ³ /h）であり、既に必要な設備能力を備えている。

※1: (64.5+10.4)万m³ ÷ 事業期間10年(仮定) ÷ 年間328日稼働(仮定) ÷ 1日24時間稼働(仮定) = 9.5m³/h

※2: (34.4+3.6)万m³ ÷ 事業期間10年(仮定) ÷ 年間328日稼働(仮定) ÷ 1日24時間稼働(仮定) = 4.8m³/h

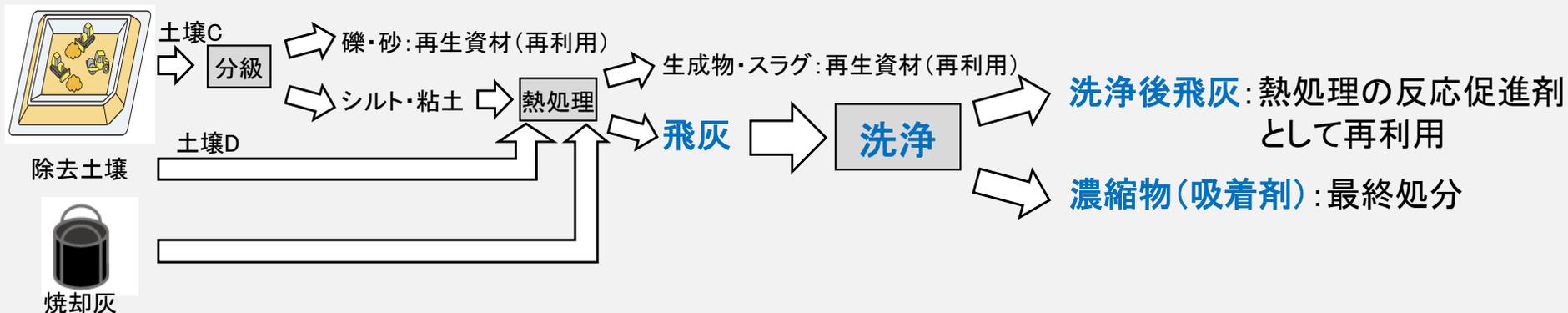
評価方法

分類	内容
技術の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 分級や化学処理後の熱処理の実施 生成物の有効利用（生成物の性状に合った再生利用用途）、灰洗浄の実施
処理コスト	（仮設灰処理設備の事業費を参考にして熱処理費用を試算済み）

代表的な減容化技術：灰の洗浄・吸着

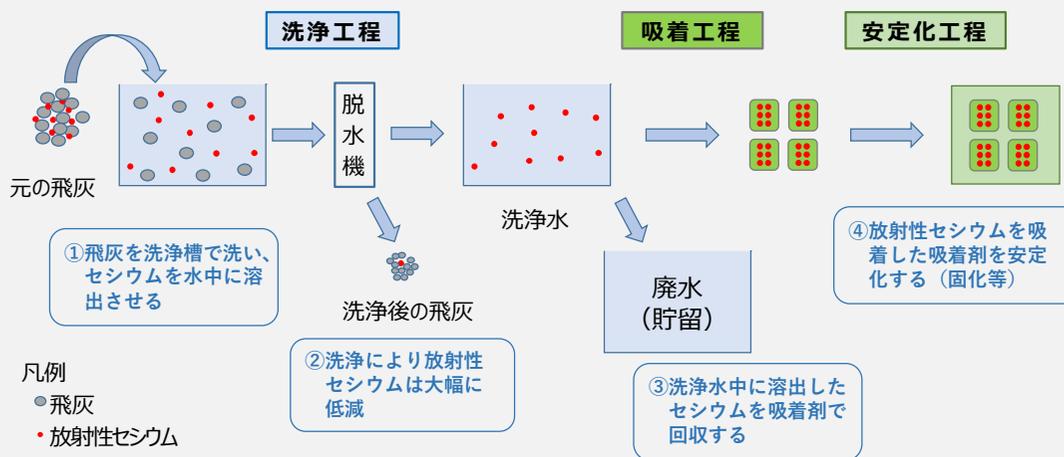
目的

- 熱処理により発生した飛灰に付着した放射性セシウムは水に溶けやすいことから、飛灰を水で洗浄することでセシウムを水に溶出し、飛灰の放射能濃度を低下させることで最終処分量を減少させることを目的とする。
- 以下を実証試験により確認する。
 - ✓ 飛灰を洗浄・吸着処理することで、飛灰の放射能濃度が再生利用可能な濃度まで低下するか
 - ✓ 溶出した放射性セシウムを吸着剤で回収することで、吸着後の処理水の放射能濃度や重金属などは問題ないか
 - ✓ 飛灰の最終処分の減量化をどれ位図る事ができるか等



実証方法

直轄事業	公募実証事業
パイロットスケール (550kg/日)装置を用いた試験を実施中(R3~R6年度)。	ラボ・ベンチスケール装置を用いた試験が実施された。

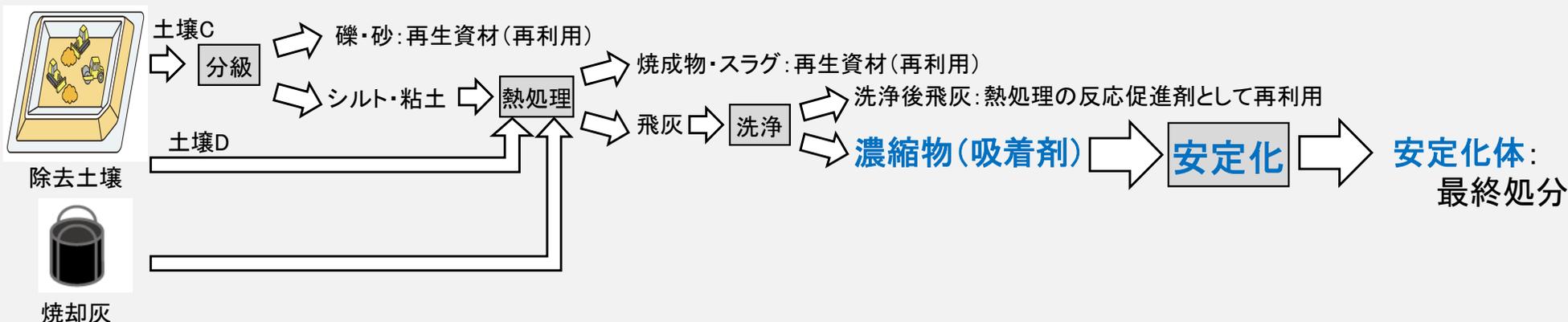


飛灰洗浄処理技術実証

代表的な減容化技術：除去土壤、灰の安定化(1/2)

目的

- 最終処分体となる土壤、灰、吸着剤などを、長期間にわたって安全に保管するため、充填物(セメントやガラスなど)を用いて安定化することを目的とする。
- 実証試験により、飛灰から分離された放射性セシウムが濃縮された吸着剤、あるいは除去土壤、飛灰を、最終処分に適した性状(分解、溶出などの有無や程度)にできるか確認した。



実証方法

- 安定化技術に関する公募実証事業において、右表に記載のラボ・ベンチスケールの装置を用いた実証試験を実施済み。
- 直轄実証事業である飛灰洗浄実証試験において、安定化処理についても、ラボ・ベンチスケール(R4年度)、パイロットスケール(R5年度)の試験が実施予定。

実証試験機の規模(直轄、公募)

安定化対象 安定化技術	吸着剤	飛灰	除去土壤
セメント固化	20L/バッチ	64L/バッチ	193kg/バッチ
ジオポリマー固化	20L/バッチ	20L/バッチ	2L/バッチ
プラスチック固化	38g/バッチ	60g/バッチ	—
ガラス固化	0.57L/バッチ	7.9L/バッチ	—
焼成処理	3.5L/バッチ	—	—
過熱水蒸気固化	0.2L /バッチ	—	—

代表的な減容化技術：除去土壌、灰の安定化（2／2）

実証結果

項目	結果
安定化	セシウム溶出抑制効果、減容効果を確認した
実機化の検証	<ul style="list-style-type: none"> 吸着剤の安定化 飛灰を洗浄処理する際に用いる吸着剤229tを安定化対象とした場合に必要な設備能力95kg/日^{※1}に対し、実証試験装置の規模は小さいが、複数系列化することで対応可能と考えられる。 除去土壌、飛灰の安定化 除去土壌、飛灰を安定化対象とする場合に必要な設備能力13.8m³/日^{※2}に対し、実証試験装置の規模は非常に小さい。ただし、セメント固化、ガラス固化（ジオメルト）、プラスチック固化、規模は小さいもののジオポリマー固化は商業レベルの実績あり。

※1: 229t ÷ 事業期間10年(仮定) ÷ 年間240日稼働(仮定) = 95kg/日

※2: (1.1万m³+2.2万m³) ÷ 事業期間10年(仮定) ÷ 年間240日稼働(仮定) = 13.8m³/日

評価方法

分類	内容
技術の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 分級、化学処理後物や灰洗浄残渣の安定化 放射性セシウム以外の物質の溶出抑制効果(最終処分方法との関連) 分級、高度処理(熱処理、化学処理)等との組合せを想定した場合の安定化体の放射能濃度(最終処分方法との関連)
処理コスト	スケールアップ、設備を明確化したコスト試算