

令和3年度
除去土壌等の減容等技術実証事業

報告書

令和4年3月

中間貯蔵・環境安全事業株式会社

令和3年度
除去土壌等の減容等技術実証事業

報告書

令和4年3月

中間貯蔵・環境安全事業株式会社

リサイクル適正の表示：印刷用の紙にリサイクルできます。
この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク] のみを用いて作製しています。

目 次

1. 実証事業の目的と概要	1
(1) 目的	1
(2) 実証試験の要件	1
(3) 対象事業分野	2
2. 業務の概要	3
(1) 技術提案書の公募・受付	3
(2) 技術提案書の審査・選定・採択結果の公表	3
(3) 技術実証事業者への技術的助言等	3
(4) 技術実証結果の評価	3
(5) 技術報告書等の作成	4
3. 採択技術	5
4. まとめと実装に向けた課題	6
(1) 技術実証事業者に対する技術的助言実績	6
(2) 個別事業の評価	7
(3) 実装に向けた課題	10

付録1 令和3年度除去土壌等の減容等技術実証事業 Web用概要書

付録2 個別試験結果と評価詳細 Web用報告書

付録3 各技術のまとめ

1. 実証事業の目的と概要

(1) 目的

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故に由来する放射性物質による環境の汚染に対応するため、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」が施行された。本法に基づき、国及び地方自治体等は、除染及び汚染された廃棄物の処理等を講じるとともに、国は、除染や汚染廃棄物の処理、除染により生じた除去土壌等の減容化等に関する技術開発を推進することとされた。

また、福島県内において生じた除去土壌等については、中間貯蔵施設に輸送し、その最終処分については、「福島復興再生基本方針」（平成24年7月13日閣議決定）等において、「中間貯蔵開始後30年以内に、福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずる」旨が明らかにされている。

これを更に明確化すべく、平成26年11月に成立した「日本環境安全事業株式会社法の一部を改正する法律」には、その内容が明記され、日本環境安全事業株式会社の社名が「中間貯蔵・環境安全事業株式会社」に変更されるとともに、その業務に、国等の委託を受けて中間貯蔵やこれに関する調査研究・技術開発を行う事業が追加されている。

本事業は、中間貯蔵開始後30年以内の最終処分を見据えた除去土壌等の減容・再生利用等に活用し得る実用的、実務的な技術について、中間貯蔵施設区域内に整備した技術実証フィールドも活用しつつ実証試験を行い、その効果、経済性、効率性等について評価・広報することにより、除去土壌等の減容・再生利用等の促進に資することを目的とする。

(2) 実証試験の要件

本事業は、その目的に照らし、以下の要件を満たしている実証試験であって、外部有識者による審査を経たものを対象とする。

- ①除去土壌の減容・再生利用等、除去土壌等の中間貯蔵等に当たり、安全性、確実性、効率性を一層向上させる技術で、具体的な課題が想定され、それに応える実用性のある技術提案であること。なお、除染や汚染廃棄物の処理に関して安全性、確実性、効率性の向上が速やかに実現できる技術提案についても対象に含む。
- ②自ら又は第三者により、同じ原理や手法による本事業での実証試験が行われていないこと。
- ③減容・再生利用等技術としての活用については、基盤技術の開発を今後数年以内程度で完了するものを想定しており、そのために必要な実証試験の規模であること。
- ④国等が行う他事業（科学研究費助成事業（いわゆる「科研費」を含む。）において実施中又は終了したものではないこと。
- ⑤既に原理が解明されていること。
- ⑥同分野の一般的な方法との比較検討が行われ、新規性があるものであること。
- ⑦実証事業の主たる実施場所を確保していること。中間貯蔵施設区域内の技術実証フ

フィールドで事業を実施することが合理的な場合は、技術実証フィールドを利用することもできるため、事前に相談すること。詳細については、「令和3年度除去土壌等の減容等技術実証事業公募要領 7. 試験の実施場所及び試料の準備」を参照のこと。

- ⑧実証試験の実施又はその成果の活用が新たな環境負荷の増大につながらないこと。
- ⑨単に既製の設備備品の購入や試験設備製作を目的とするものではないこと。
- ⑩他の経費で措置されるのがふさわしい設備備品等の調達に必要な経費を、本事業により賄うことを想定しているものではないこと。
- ⑪「電離放射線障害防止規則」（電離則）、「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」（除染電離則）又は「除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」（除染電離則ガイドライン）に準じた放射線被ばく管理が行われること。

(3) 対象事業分野

①除去土壌等の減容・再生利用等技術

除去土壌についてはこれまでに、分級処理、化学処理、熱処理等の減容化に資する技術の実証を行い、一定の適用性評価を行った（「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11回）」資料3-1を参照）。

今後の課題は、搬入開始から30年以内の県外最終処分を見据え、更に効果的・効率的な減容・再生利用等に資する技術の開発である。

(ア) 減容技術

これまで実証を行ってきた分級処理、化学処理、熱処理等の技術を含め、更なる処理コストの低減や効率化に資する技術等を対象とする。

(イ) 再生利用等技術

除去土壌、不燃物や焼却灰の減容処理で得られた放射能濃度の低い生成物（溶融スラグ等）を、再生資材や二次製品原料等（以下「再生利用品」という。）として利用することが必要である。このため、二次製品化技術や再生利用品の利用目的や安全確保の観点から品質管理等に資する技術を対象とする。

また、これまでに実証された技術等を用いて、自治体や住民等の再生利用に係る関係者・関係機関等と連携し、再生利用の用途開拓、施工技術、品質管理や要求品質の検証等までを含めた一連のプロセスの実証も対象とする。

(ウ) 減容処理後の放射能濃度の高い残渣等の管理等に資する技術

中間貯蔵施設に一時保管された除去土壌等の減容処理により生じた放射能濃度の高い残渣等を管理することとなることを踏まえ、放射能濃度の高い残渣等の管理技術及び安定化（固化、不溶出化等）技術等を対象とする。

②除去土壌等の中間貯蔵等の関連技術

中間貯蔵施設の維持管理の安全性、確実性、効率性等を向上させるための技術を含め中間貯蔵・除染・廃棄物処理の関連技術を対象とする。

2. 業務の概要

今後の中間貯蔵施設事業や除去土壌等の減容等に活用しうる技術の効果、経済性、安全性等を評価し、成果を実際の事業に実装することを目的として、以下の業務を行った。

(1) 技術提案書の公募・受付

「令和3年度除去土壌等の減容等技術実証事業」の対象となる技術を令和3年1月22日から令和3年3月11日まで公募を行った。公募した技術分野は下記のとおりである。

①除去土壌等の減容・再生利用等技術

(ア) 減容技術

(イ) 再生利用等技術

(ウ) 減容処理後の放射能濃度の高い残渣等の管理等に資する技術

②除去土壌等の中間貯蔵等の関連技術

(2) 技術提案書の審査・選定・採択結果の公表

応募された17件の技術提案書について、中立的・公平かつ専門的知見を有した立場から審査・選定を行い、採択結果の公表を行った。

特に審査・選定の基準として、有効性が科学的知見からも証明出来るか、現地条件（対象規模、ライフライン状況、作業状況）への適合性・汎用性があるか、費用対効果に優れているか等を考慮した。これらの審査・選定の実施に当たっては、外部有識者からなる委員会（除去土壌等の減容等技術選定・評価委員会）を開催（令和3年4月26日）し、9件の実証対象技術を選定していただいたうえで対象事業を決定した。

(3) 技術実証事業者への技術的助言等

採択した提案書について、その申請者（以下「技術実証事業者」という。）に実施計画を策定提出させ、内容確認を行うとともに、進捗について管理した。

なお、技術実証事業者が実施計画書を作成するに当たっては、現地条件（対象規模、ライフライン状況、作業状況）への適合性・汎用性や、次項（4）に示す評価項目について適切に記載するように助言した。

事業の実施に当たっては高い専門的知見を有した立場から検証・助言を行うとともに、現地調査及び事業実施確認のために環境省調査職員と同行し、採択した事業の実利用に向けた課題抽出及びその対策の検討を行った。

(4) 技術実証結果の評価

技術実証事業者に事業終了後に成果報告書を提出させるとともに、取りまとめた結果をもとに、下記の項目について既存技術などと比較検証し、評価を取りまとめた。

- ・効果（減容率 等）
- ・コスト（単位面積当たりのコスト、単位量当たりのコスト 等）
- ・作業人工、作業速度 等

- ・安全性評価（作業に伴う被ばく量評価 等）
- ・その他必要と認められる項目

評価に当たっては、技術実証事業者が事業結果について報告する除去土壌等の減容等技術選定・評価委員会を開催し（令和4年3月10日）、委員からの助言を得ながら行った。

（５）技術報告書等の作成

技術実証事業について、上記（４）で評価を行った結果を取りまとめるとともに、過去の技術実証事業の成果等を踏まえ、これまでに福島県等の現場で活用されている技術等については適時フォローアップを行い、技術報告書の作成を行った。なお、（４）に掲げる項目のほか、実証事業の実用化にあたっての課題の抽出及びその他の課題の抽出についても検討の上、報告書に記載した。

なお、本報告書は、以下の構成としている。

- ①本文：JESCO が実施した業務全体の遂行に関して取りまとめた事項で、上記（１）～（４）項までの業務内容をまとめたもの。
- ②付録１：除去土壌等の減容等技術実証事業を受託した各事業の概要（実施内容、結果）を各技術実証事業者が関係者の助言を得てまとめたもので、これで事業の全体概要が把握できる。
（別途、「Web 用概要書」として JESCO ホームページで公表）
- ③付録２：各技術実証事業者が関係者の助言を得て実施した事業内容の骨子をまとめたもので、これで事業内容の要旨が把握できる。
（別途、「Web 用報告書」として JESCO ホームページで公表）
- ④付録３：JESCO が各事業の評価結果を一覧表にまとめたもの。

3. 採択技術

表1に採択した9件の事業の一覧を示す。

表1 令和3年度除去土壌等の減容等技術実証事業の採択技術

No.	事業分野	実証テーマ名	所属機関名
1	除去土壌等の 中間貯蔵等の 関連技術	中間貯蔵施設の維持管理におけるUAV (ドローン)を用いた点検・監視の効率化 手法実証	アジア航測株式会社
2	除去土壌等の 減容・再生 利用等技術	溶融スラッグの再生利用等技術の実証	株式会社大林組
3		除去土壌の20 μ m程度での物理的分級による減容化の実証	セイスイ工業株式会社
4		熱減容風選別技術および磁力選別技術による除去土壌の乾式分級技術の実証	西松建設株式会社
5		分級処理で発生する濃縮物等に対する減容処理技術	株式会社不動テトラ
6		ガラス固化技術 (GeoMelt®ICV™ 溶融技術)による溶融飛灰等の高減容・安定化処理技術の実証	株式会社キュリオンジャパン
7		プルシアンブルー系 Cs 吸着材の過熱水蒸気分解に関する試験	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
8		実飛灰洗浄水を用いたインドラム式ガラス固化技術による放射性 Cs 固化の実証研究	国立大学法人 東京工業大学
9		除去土壌と溶融飛灰等をジオポリマーの固化材料として利用する技術	大成建設株式会社

4. まとめと実装に向けた課題

(1) 技術実証事業者に対する技術的助言実績

採択された9事業者に対して、環境省の支援を受け、各事業者に対して業務計画書作成時、試験遂行時、現地立会い時、成果報告書作成時等に助言等を実施した。技術的助言を行った実績を表2に示す。

これらの成果を報告書としてまとめるとともに、その技術概要は JESCO のホームページで公開する「Web 用概要書 (付録1)」及び「Web 用報告書 (付録2)」として作成した。

表2 令和3年度除去土壌等の減容等技術実証事業の技術的助言実績

No.	事業分野	実証テーマ名	所属機関名	打合せ日(※)	現地調査
1	除去土壌等の中間貯蔵等の関連技術	中間貯蔵施設の維持管理におけるUAV(ドローン)を用いた点検・監視の効率化手法実証	アジア航測株式会社	8/18、9/27、 10/27、11/24、 12/21、1/20、2/27	10/25～10/29 11/22～11/24
2	除去土壌等の減容・再生利用等技術	溶融スラグの再生利用等技術の実証	株式会社大林組	7/13、8/10、9/13、 10/8、11/8、 11/19、12/9、 1/13、2/15	11/15、12/24
3		除去土壌の 20 μ m 程度での物理的分級による減容化の実証	セイスイ工業株式会社	9/16、10/18、 10/25、11/26、 1/24、2/4	10/25
4		熱減容風選別技術および磁力選別技術による除去土壌の乾式分級技術の実証	西松建設株式会社	6/17、6/28、7/5、 7/13、8/17、9/9、 9/15、10/21、 1/14、1/25、2/4、 2/14、2/25、3/1、 3/18	10/29、12/10
5		分級処理で発生する濃縮物等に対する減容処理技術	株式会社不動テトラ	6/22、7/1、7/6、 7/8、7/13、7/21、 9/27、10/21、 11/2、11/24、 12/21、1/18、 2/22、3/3	11/8、11/24、 11/30
6		ガラス固化技術(GeoMelt [®] ICV [™] 溶融技術)による溶融飛灰等の高減容・安定化処理技術の実証	株式会社キュリオンジャパン	8/19、9/30、 10/29、11/22、 12/3、12/24、 1/18、2/9、2/24	11/22
7		プルシアンブルー系 Cs 吸着材の過熱水蒸気分解に関する試験	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	8/19、10/8	12/22
8		実飛灰洗浄水を用いたインドラム式ガラス固化技術による放射性Cs固化の実証研究	国立大学法人 東京工業大学	8/10、10/18、1/11	11/30
9		除去土壌と溶融飛灰等をジオポリマーの固型化材料として利用する技術	大成建設株式会社	6/21、7/15、8/6、 9/3、9/27、11/1、 12/6、1/20、2/9	11/25、1/6

(※) 打合せ内容: 実施計画の策定、実証試験の進捗状況確認、現地確認の事前打合せ、報告書の作成、等(メール、電話による助言除く)

(2) 個別事業の評価

採択された9事業について外部有識者から構成する委員会による評価を示す。

①中間貯蔵施設の維持管理におけるUAV（ドローン）を用いた点検・監視の効率化手法実証

(アジア航測株式会社)

委員	評価
B	・ 今後有用な技術である。線源の位置同定に関する努力は敬意を表する。
E	・ 既存の技術、報告を活用すべきである。例えば、 ✓ JAEAでの線量率のコンター図のソフトウェア ✓ もっと軽いドローン、検出器での前例 など ・ 土壌の放射能濃度から空間線量率は計算できるはずである。そこまでの検討が必要であろう。
A	・ 草の有無ではなく、草の程度を定義して評価すべきである。つまり、レーザーの地表まで届く割合による草の評価が必要である。
C	・ 10MBqを検知したところまでで検討が止まっている。土壌がある範囲にこぼれたような実際のケースにまで検討が及ぶとよい。
D	・ 本技術の適用には、向き不向きがあると思う。そこを整理して報告書をまとめること。

②溶融スラグの再生利用等技術の実証

(株式会社大林組)

委員	評価
A	・ 今後、溶融スラグの利活用に向けて、しっかりしたデータを積み上げていただきたい。
B	・ これまでの技術が基本で新しい技術が見られないが、従来技術で安全性が確保できると理解した。今後、溶融スラグの再生利用を行う場合、住民に対して放射線に関する安全性をアピールできる説明を工夫していくべきだろう。
C	・ これまで着実にデータを積み上げてきているので、令和4年度も丁寧なデータ収集と取りまとめをお願いしたい。
D	・ 実証フィールドを活用し、基本物性に関して体系的なデータ取得が行われている。対象も盛土、舗装、コンクリートと網羅的になされている。データで示されている以上に、盛土適用におけるスラグ・土壌混合の効果は高いのではないかと考える。
E	・ 計画通りに事業が進められている。技術的な課題はあまりないが、再生利用推進のために必要な利用者の安心につながるデータが得られるので、その成果の見せ方に工夫をこらしてほしい。

③除去土壌の 20 μm 程度での物理的分級による減容化の実証

(セイスイ工業株式会社)

委員	評価
C	・ おおむね良好な結果が得られたと理解した。今回は非放射性ということであるが、実際の 10 年経った土壌でどのような効果が得られるかについてある程度相場観が得られたと考える。
B	・ 粘土質土壌に Cs が浸透する距離はおおよそ 10μm である。その意味で粒径 20μm はセシウムが一様に入る大きさであり、そこでの分級は正しい選択である。
A	・ 実績がある 75μm における分級とは異なり、20μm での分級はアドホック、微妙な職人技で、エンジニアリングとしては熟れていないとの印象である。土壌種類に左右されにくい定量的な条件が示せるとよい。
D	・ A 委員の指摘のとおり、職人技であり、エンジニアリングが足りない面がある。今回の成果を分かり易くまとめてほしい。

④熱減容風選別技術および磁力選別技術による除去土壌の乾式分級技術の実証

(西松建設株式会社)

委員	評価
A	・ 乾式（熱減容風選別＋磁力選別）で分級する方法は初めての試みであった。
C	・ 原理上、分級精度の限界はある程度想像されたが、今回の結果としては湿式分級を凌駕する性能は得られていない。また、操業難易度、土壌のハンドリング性、ランニングコスト等を勘案すると、本方式を実機へ適用するには更なる装置の工夫、改善等が必要と考える。
B	・ 磁力選別より熱減容風選別の方が大量処理に向いているだろう。熱減容風選別で得られた粗粒分を再度風選別（ここでは熱は不要）することで分級精度を向上できると考える。すなわち、繰返し処理が効果的ではないか。

⑤分級処理で発生する濃縮物等に対する減容処理技術

(株式会社不動テトラ)

委員	評価
A	・ 有機物の分解と解泥効果の向上の関係のメカニズムの説明が欠如している。
C	・ 高分子の有機物を分解できるのであれば、そこをターゲットとして直接試験してもよかつたのではないか。 ・ 固液分離及び有機物分解の処理の能力について、最終的にどこが律速になるのかが不明確である。後段では余裕をもって流せるが、前段ではつかえてしまうなど、処理条件を含めた相場観はどうだったのか不明である。 ・ 装置の設計の考え方によりフレキシブルに対応可能なことが理解できた。
E	・ 分散剤により処理水の濃度が 4 倍くらいに高まる原因の説明が不十分である。
D	・ 固液分離機の 1 台使用では無理があったと理解した。今後、2 台用いる場合

	についての考え方は何か。1 台目と同じものでよいか。
B	・ 土壌によっては有機物分解処理が不要なものも多いが、今回の試験は有機物の多い土壌を仮定した際の処理方法が明らかになったということで理解した。

⑥ガラス固化技術（GeoMelt®ICV™ 溶融技術）による溶融飛灰等の高減容・安定化処理技術の実証

（株式会社キュリオンジャパン）

委員	評価
E	・ 非常にコストがかかる方法で、減容化の効果も薄いですが、安定化処理としてはあり得るだろう。
C	・ 塩類が多く、処理が難しい溶融飛灰の溶融ガラス化による安定化のデータが得られたことに意義がある。溶出は抑制出来るが、ここまでコストをかけて実施するかどうか、別の判断が必要だろう。他技術との比較対象の材料は得られた。
A	・ 従来技術との比較データが得られたことで技術実証の目的は達成出来たと考える。

⑦プルシアンブルー系 Cs 吸着材の過熱水蒸気分解に関する試験

（国立研究開発法人 産業技術総合研究所）

委員	評価
C	・ 現象面は整理できており、今後に向けてのベース情報となる。
B	・ 処理の結果、高レベルの固型化体ができるので、遮蔽が必要である。遮蔽の容器についても検討する必要がある。
E	・ 装置的にプロセスがシンプルである。 ・ 体積当たりのコスト評価について、具体的に記載してほしい。
A	・ 当初2年の計画であったが、JESCO の別事業に成果を引き継ぐ形となり今年度で終了となる。大きなプロジェクトで採択となったということで、評価されている。

⑧実飛灰洗浄水を用いたインドラム式ガラス固化技術による放射性 Cs 固化の実証研究

（国立大学法人 東京工業大学）

委員	評価
C	・ 相場感欲しかったが、最終的にはコスト含めて評価する必要がある。 ・ 緻密にやっている。
A	・ 仮定はあるかもしれないが、相場感欲しい。
B	・ 高レベルのものまで応用できるところまで行くとよい。

E	<ul style="list-style-type: none"> ・ カリウム濃度が高い際に適用できる技術である。そうでないときは産総研の技術の方が適当か。 ・ 試験規模が小さいので、規模を大きくした試験が必要である。
---	---

⑨除去土壌と熔融飛灰等をジオポリマーの固型化材料として利用する技術
(大成建設株式会社)

委員	評価
A	<ul style="list-style-type: none"> ・ コストパフォーマンスを向上させる必要がある。
B	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験計画や結果評価にはもう少し緻密性が必要だろう。特に放射線による安全評価については、被ばく経路や放射線計算の説明を充実させて欲しい。
C	<ul style="list-style-type: none"> ・ ジオポリマー固型化は難しい技術であり、その調合のレシピはデリケートである。よって、原料の変動に対応できる品質管理が課題となる。
D	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適応性・限界性が現状では不明確である。今後、配合設計の確立を期待する。
E	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験ではオプションを揃えることができるかどうかを評価し、実際使用する場合の留意点や効果を示せるとよい。 ・ 実施の安全評価について情報の出し方・見せ方に工夫が必要である。

(3) 実装に向けた課題

実証テーマは、平成27年度までは除染を主な対象技術として公募していたが、平成28年度から中間貯蔵施設事業に関する内容を主なテーマとして公募を行った。また、平成30年度は、対象事業分野に「中間貯蔵施設事業等に対する理解醸成」を追加し、中間貯蔵施設事業等に対する理解醸成を図るための手法等についての実証的検証もテーマとするとともに、複数年度（原則として3年以内）の提案も対象とした。さらに、平成31年度より、試験実施場所に中間貯蔵施設区域内に整備した「技術実証フィールド」を追加し、事前相談のうえ土壌等の試料を利用することを可能にするとともに、令和2年度は、実証ヤードを利用する場合の年間金額の上限を、2,000万円（税抜）から5,000万円（税抜）に変更した。本年度は、事業の進展に伴い、一部対象事業分野の見直しを行った。

令和3年度に採択された9件の事業は、除去土壌等の中間貯蔵等の関連技術が1件、除去土壌等の減容・再生利用等技術が8件、である。このうち、中間貯蔵等の関連技術の1件と減容・再生利用等技術の3件が複数年度の提案である。

これまでの実証事業の成果及び外部有識者で構成される委員会等での意見等を踏まえ、今後の実証事業の実施においては、中間貯蔵施設事業や除去土壌の減容・再生利用に、より即応性のある技術を深めていくことが望まれる。

今年度実施された実証事業を通して得られた成果については、用途や対象物に応じて単独としての利用のみならず、総合的かつ有効的なシステムとして組み合わせて利用していく等の継続的検討が必要であると考えられる。

また、過去の実証事業で実施されたテーマについて、現状の活用状況等について引き続き確認していくことも必要である。