

平成27年度除染・減容等技術選定・評価等業務

報告書

—環境省 平成27年度除染・減容等技術実証事業—

平成 28 年 1 月

公益財団法人原子力安全技術センター

リサイクル適性の表示：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. 目的.....	1
2. 業務の概要.....	4
3. 試験結果及び評価結果.....	7
3.1 除去土壌等の減容・再生利用等技術.....	7
3.2 除去土壌等の運搬や中間貯蔵等関連技術.....	12
3.3 除染等関連技術.....	15
3.4 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術.....	16
4. まとめ.....	19
参考文献.....	22

付録 1 平成 27 年度除染・減容等技術実証事業概要書

付録 2 個別試験結果と評価詳細

付録 3 各技術のまとめ

表リスト

表 1-1 環境省 平成 27 年度除染・減容等技術実証事業の採択技術

表 2-1 技術助言実績

1. 目的

福島県内において生じた除去土壌等については、今後、順次中間貯蔵に輸送され、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)、「日本環境安全事業株式会社法の一部を改正する法律」(平成 26 年 11 月)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。

本業務は、平成 27 年度除染・減容等技術実証事業（以下「実証事業」という。）に対する各者からの提案について、中立的・公平かつ除染・減容等技術に関して高い知見を有した立場から審査・選定の補助を行うとともに、実施に係る適切な助言を与えつつ、実証事業の結果等の取りまとめを行い、今後の除染・減容等の事業に役立てることを目的とする。

具体的には、平成 23 年 11 月 11 日に定められた特別措置法⁽¹⁾及びその基本方針に基づき、今後の除染や汚染廃棄物の処理及び中間貯蔵開始後の 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うる技術の効果、経済性、安全性及び確実性等を評価・公表し、除染現場等で新技術が活用されやすい環境を整備することを目的に、以下の業務を遂行する。

- (1) 除染・減容等の事業における新技術の発掘として、平成 27 年 3 月から開始された中間貯蔵施設への除去土壌等の搬入、除染・減容等や汚染廃棄物の処理の加速化が課題であり、そのためにも新技術の発掘と導入が必要である。そのため、実証事業の遂行については、平成 23 年度に実施された内閣府の除染技術実証事業及びその後平成 26 年度まで環境省で実施された実証事業等、計 5 回の実証事業の成果を踏まえ、実際の除染現場等の課題やニーズに対応する技術又はさらに効果的な新技術の選定と実証の指導を行う。

この課題解決に必要な実証試験事業は主に以下の要件を満たしているものとする。

- i) 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運搬・保管、中間貯蔵、減容・再生利用等を行う作業現場において、具体的な課題が存在し、又は今後想定され、それに応える技術提案であること。
- ii) 施設内等で行い得るような規模の実証試験を想定するが、実用の除染や汚染廃棄物の処理又は除去土壌等の運搬・保管、中間貯蔵、減容・再生利用技術としての活用が期待できること。
- iii) 国等が行う他事業において実施中または終了したものではないこと。
- iv) 既に原理が解明されていること。
- v) 実証事業の主たる実施場所を確保していること。
- vi) 除染電離則又は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ていること。

- (2) 対象技術分野は以下の 4 項目とする。

- ・ 除去土壌等の減容・再生利用等技術
- ・ 除去土壌等の運搬や中間貯蔵等関連技術

- ・ 除染等関連技術
- ・ 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術

これらを踏まえて環境省では、「平成 27 年度除染・減容等技術実証事業」を平成 27 年 2 月に公募し⁽²⁾、応募された 37 件の提案について、有識者により構成される評価委員会等において厳正な審査を行い、実証事業の対象案件として表 1-1 に示した 9 件の技術を採択した⁽³⁾。

本報告書は採択された 9 件の事業に対して、試験計画時・試験遂行時・成果の取りまとめ時の助言内容等の業務内容をまとめたものである。

表 1-1 環境省 平成 27 年度除染・減容等技術実証事業の採択技術

番号	事業分野	対象	実証テーマ名	所属機関名
1	除去土壌等の減容・再生利用等技術	焼却灰	水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証	国立大学法人長岡技術科学大学
2		土壌	環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用	国立大学法人大阪大学
3		土壌	高含水・高粘性の農地除去土壌に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証	鹿島建設株式会社
4		土壌	準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化	株式会社CDMコンサルティング
5	技術や除去中間土貯蔵等の関連運搬	測定	バックホウ型放射線計測装置を用いての土のう袋計測の安全性(被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証	株式会社日立パワーソリューションズ
6		測定・貯蔵	除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術	株式会社大林組
7	連続除染技術等関連	測定	ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証	株式会社菊池製作所
8	放射性廃棄物の汚染	金属	クロスフローシュレツダによる放射性物質除去の処理技術補助事業	鹿島環境エンジニアリング株式会社
9		金属	放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の熔融除染による除染・減容・資材化技術	三菱マテリアル株式会社

2. 業務の概要

環境省が公募した実証事業に対する37件の提案について、公益財団法人原子力安全技術センターは以下の業務を遂行した。

なお、これらの業務は環境省の指導のもと、除染・減容等の実証事業の分野で経験が豊富な国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の協力・支援を得て実施した。

(1) 事業者の提案評価・選定の補助

37件の提案について、中立的・公平かつ高い知見を有した立場から審査・選定の補助を行った。また、審査・選定にあたり、環境省が指定した有識者(以下、評価等委員という。)により構成される評価等委員会を開催し、その助言を得ながら、9件の提案を採択した。

(2) 事業実施に係る技術的助言等

i) 試験要領書の作成支援

実証試験実施前の試験要領書は、試験の目的に沿った試験を確実に実施し、その結果得られるデータの特性を予測して妥当な試験を行うために必要である。

選定された9件の事業について、その実施計画・試験要領の策定及び実施にあたり、これまでの専門的知見を有効に活用しながら助言を行った。

また、放射能のデータ取得方法や測定方法、作業員の被ばく管理方法についても事前に十分説明して、試験要領書に反映した。これらの観点から各事業者と試験要領について十分な調整を行った。なお、実施計画・試験要領の策定にあたり、現地条件(試験対象物の入手、試験装置のユーティリティ確保、除去物(二次廃棄物)の保管等)への適合性・汎用性の有無、次項(3)に示す評価項目を適切に検証できるものであるかを考慮した。

ii) 現地調査

試験の実施時には工場試験あるいは福島県内の現地試験時に立会い、試験の手順が試験要領書に則り行われているか、また試料の採取方法が妥当であるか等の技術的な助言を行った。

iii) 技術助言の実績

上記 i) 及び ii) で各事業者に対して実施した技術助言の実績を表 2-1「技術助言実績」に示す。助言は、実施計画策定、現地調査、中間報告会等の事業の節目で実施した。主要な助言の観点は、試験計画の妥当性、プロセスの測定方法、データの評価方法、放射性物質を扱う場合の留意点等である。

(3) 除染技術実証結果の評価

各事業者が整理した試験結果に対して、以下の項目について助言した。

- ・ 効果(除染効果、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(除去物発生量、今後の課題等)

評価に当たっては、評価等委員への個別ヒアリングを実施した上で、評価等委員会を開催し、評価を行った。

(4) 技術報告書等の作成

本報告書は、以下のとおりの構成としている。

- ・ 本文:原子力安全技術センター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)から(3)項までの業務内容をまとめたもの。
- ・ 付録 1:除染・減容等技術の実証事業を受託した各事業の概要(実施内容、結果)を各事業者が関係者の助言を受けてまとめたもので、これで事業の全体概要が把握できる。(別途、Web 用概要版として公開予定)
- ・ 付録 2:各事業者が関係者の助言を受け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 用報告書として公開予定)
- ・ 付録 3:原子力安全技術センターが各事業の評価結果を一覧表にまとめたもの。

表 2-1 技術助言実績

(メール、電話による助言を除く)

No.	事業分野	対象	実証テーマ名	所属機関名	実施計画策定 打合せ	現地調査	中間報告会
1	除去土壌等の減容・再生利用等技術	焼却灰	水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証	国立大学法人長岡技術科学大学	7月10日 7月31日	10月6日	11月26日
2		土壌	環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用	国立大学法人大阪大学	7月9日 8月7日	10月29日	11月25日
3		土壌	高含水・高粘性の農地除去土壌に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証	鹿島建設株式会社	7月8日 8月6日	10月15日	11月27日
4		土壌	準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化	株式会社CDMコンサルティング	7月9日 8月10日	10月30日	11月26日
5	中間貯蔵等関連技術	測定	バックホウ型放射線計測装置を用いての土のう袋計測の安全性(被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証	株式会社日立パワーソリューションズ	7月8日 8月7日	9月17日	11月26日
6		測定・貯蔵	除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術	株式会社大林組	7月8日 7月30日	10月14日 10月21日	11月30日
7	連除染等技術	測定	ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証	株式会社菊池製作所	7月9日 8月10日 8月26日 11月6日	11月12日	11月30日
8	た放射廃棄物の処理技術	金属	クロスフローシュレッドによる放射性物質除去の処理技術補助事業	鹿島環境エンジニアリング株式会社	7月10日 8月3日 9月1日	10月5日	11月27日
9		金属	放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の熔融除染による除染・減容・資材化技術	三菱マテリアル株式会社	7月10日 7月29日	10月20日	11月27日

3. 試験結果及び評価結果

実証事業として採択された9件の事業の試験結果を以下に示す。各試験は基本的には福島県内において実施されたが、放射性物質を含まない試験については事業者の工場等で実施された。

3.1 除去土壌等の減容・再生利用等技術

3.1.1 水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証

(国立大学法人長岡技術科学大学)(付録 1-1 及び付録 2-1)

(1) 背景

可燃性除染廃棄物は焼却処分するが、発生する焼却灰は155万 m^3 と推定される。この焼却灰に含まれる放射性セシウム濃度は高濃度となるため、中間貯蔵施設内で高濃度放射性セシウム焼却灰の保管量は膨大となることが予想される。また、これまで放射性飛灰の除染処理が行われてきたが、水洗浄処理では放射性セシウムの除去性能が十分でない。

そのため、焼却灰の保管には作業員の被ばく、放射性セシウム溶出の懸念もあり、放射性セシウムの濃度低減・非溶出化と共に保管量の減容化が課題である。

(2) 技術の概要

水熱抽出装置は焼却灰に含まれる放射性セシウムを90%除去し、8,000Bq/kg以下の安全な焼却灰とすることで焼却灰の保管量を大幅に削減できる。更に処理した焼却灰は放射性セシウムの再溶出が無く、放射性セシウムの漏出対策を行わず埋立て処分が可能であり、埋立て処分の簡素化が図れる。また塩分も除去できることで、コンクリート再生混和材としても利用が可能となる技術である。

除去した放射性セシウムは吸着材を用いて水熱処理後の排水から回収することで、管理が必要な放射性廃棄物の量を1/50に減少できるため、コンパクトな封じ込めが可能となり、30年以内に福島県外の最終処分場へ運搬・貯蔵する計画の放射性飛灰廃棄物を大幅に減容化することが可能となる。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 水熱抽出の最適処理条件の検討

熱水貯槽を組み込んだ水熱抽出装置により、焼却灰の放射性セシウムの抽出試験の結果、最適温度 200℃、処理時間 120 分、固液比 1:10 において、木質焼却灰で 95%、都市ゴミ焼却飛灰で 85%の抽出率が得られた。

ii) 水熱抽出した放射性セシウム抽出水からの放射性セシウム吸着回収

繊維状放射性セシウム吸着材を用いた放射性セシウムの吸着回収を実施した結果、90分で放射性セシウムの排出基準値を下回ることができた。この吸着材による放射性セシウムの回収率は吸着循環時間が300分の場合で91%(放射性セシウム濃度は444Bq/kgから

40Bq/kg に減少)であった。

iii) 放射性セシウム吸着材の熱加工による減容化及び放射性セシウムの安定性検討

繊維状吸着材を熱加工することにより繊維状からペレット状に成型することができ、繊維状に比べ1/6 に減容化できた。焼却灰との体積比較では 1/100 以上の減容化となる。また、熱加工後の吸着材からの放射性セシウムの溶出は認められなかった。

iv) 水熱抽出処理コスト検討

本技術を用いた焼却灰の水熱抽出処理コストは 59.2 千円/t(水熱抽出コスト 24.6 千円/t、放射性セシウム吸着コスト 24 千円/t、初期費用 10.6 千円/t)と試算された。

v) 今後の課題

今回の試験装置の処理能力は約 100kg/日(6 時間)であり、数 t/日規模の実機化に向けたスケールアップ試験による処理能力や運転制御等の実証が必要である。

3.1.2 環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用

(国立大学法人大阪大学)(付録 1-2 及び付録 2-2)

(1) 背景

福島県内の放射性セシウム汚染土壌の総量は 1,500~2,000 万 m^3 と推計されている。放射性セシウムは、土壌の中でも粒径 $75\mu m$ 以下のシルトや粘土からなる細粒分にその大部分が吸着されていることから、汚染土壌から細粒分を適切に分級することで、汚染土壌の量を数分の 1 に減容化することが理論上可能である。

しかし、そのような分級処理を行った場合でも、後に残る汚染土壌細粒分の量はなおも膨大であり、中間貯蔵施設での保管スペースの有効活用やその後の最終処分を考えると、これらの汚染土壌細粒分からの安全かつ効率的な放射性セシウム除去と減容化技術の開発、さらには除染後の浄化土壌の再利用技術開発や用途開拓が必要である。

(2) 技術の概要

本技術は、放射性セシウムで汚染された土壌のうち、分級等により発生した放射線量の比較的高い土壌細粒分を、硫酸やマグネシウムイオン等からなる環境適合性洗浄剤を用いて常温、常圧というきわめて温和な条件で洗浄することで、3,000 Bq/kg 以下までその線量を低減することが可能となる。得られた浄化土壌はバイオマス資源作物等の植物栽培用土壌として再利用できる可能性がある。

さらに、洗浄剤中に溶出した放射性セシウムを少量の吸着剤(プルシアンブルーあるいはイオン交換樹脂)に吸着させることにより、保管が必要な汚染物量を初期量の 10 分の 1 以下に減容化することが可能となる技術である。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 汚染土壌細粒分の洗浄試験(除染効果)

フレキシブルコンテナ内の除去土壌を湿式摩砕分級して得られた、粒径 75 μm 以下の土壌細粒分(放射性セシウム濃度:28,600Bq/kg)に、硫酸(10 wt%)、塩化カリウム、塩化マグネシウム、ヒドロキシエチルセルロースからなる洗浄剤(環境適合性洗浄剤)を用いての洗浄による除染効果を評価した結果、22%の土壌除染率が得られた。

ii) 洗浄剤中からの放射性セシウム除去試験(減容効果)

本洗浄技術により汚染土壌の放射性セシウム濃度が再利用可能な濃度以下になった場合には、土壌は再利用されることになる。この場合、保管が必要な汚染物はプルシアンブルー粒子のみとなり、その保管量を初期量の 10 分の 1 以下に減容化することが期待できる。

iii) コスト評価

汚染土壌細粒分 1t(湿潤状態)当たりを洗浄処理するのに必要な薬剤コストは 176,225 円である。それを乾燥土壌の 1/10 量用いた場合は 1,700,000 円となり、全行程の薬剤コストは 1,876,225 円/t と試算された。

iv) 今後の課題

今回の試験では放射能濃度数万 Bq/kg の土壌細粒分を数千 Bq/kg まで低減する除染性能を得ることができなかった。また、土壌細粒分から洗浄剤中への放射性セシウム抽出に加えて土壌成分(アルミナ等)の洗浄液中への溶解が起こった。今後はより高い除染性能が得られる洗浄剤を見出すとともに、洗浄剤中への土壌成分の溶出が低い方法(土壌洗浄後の水洗時に無機塩の水溶液を用いて塩析効果により土壌の溶出を防ぐ方法等)の工夫が必要である。

3.1.3 高含水・高粘性の農地除去土壌に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証

(鹿島建設株式会社)(付録 1-3 及び付録 2-3)

(1) 背景

中間貯蔵施設に関する技術では、除去土壌から草木類や石類を選別除去し減容化する技術がこれまで実証されてきたが、対象は比較的分別しやすい土が中心であった。除去土壌の約半分を占める高含水や高粘性の農地除去土壌では、草木類・石類と土壌の分離が容易でなく、草木類に土壌が付着したまま焼却した場合は焼却灰が増える。

一方、埋設対象となる土壌に草木類が大量に残留していると減容化が不十分でガス発生の問題が残る。これらを考慮すると、バラ土の放射能濃度選別の測定時における異物除去と土壌の粘性削減は必須である。さらに、中間貯蔵時の安定性確保(pH、BOD、Cs の溶出ポテンシャル)

ルの低減)という観点からも、農地除去土壌の的確な改質と草木類選別の技術の確立は重要課題である。

(2) 技術の概要

高含水や高粘性の除去土壌から草木類や石類を選別・除去するために、中性の土質改良材(泥DRY)を開発した。これは自然由来の無機材料を主体(今回使用したものは、カルシウム系)として、吸水性樹脂等の高分子、分散材、緩衝材から成る中性の材料であり、 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 未満の配合で高含水や高粘性の除去土壌に添加後、二軸攪拌機等で数分程度攪拌することにより、速やかにパサパサした状態に変質でき、草木類や石類に付着した土を剥離する。改質の原理は、急速な自由水の補足による土壌の吸着力低下と、粒子同士の小粒径化の促進を可能とする技術である。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 土質改良/ふるい分け(草木選別)

2つの農地土壌(畑、水田)を用いた、土質改良試験、ふるい分け試験を実施した結果、泥DRYの土壌への添加率は $20\text{kg}/\text{m}^3$ であり、生石灰の約1/5程度の添加率で同等の改質効果が得られた。

ii) 泥DRYの適用限界把握

室内試験の結果、泥DRYの適用範囲を把握できた。細粒分含有率20%~90%の土壌では液性指数0.4~1.1前後で改質効果が得られることが分かった。

iii) 20mmふるい下土砂

20mmふるい下土砂の連続型土壌放射性セシウム濃度測定装置の測定部での測定効率に関わる整形性確認のため、型枠整形試験を行い、整形できることを確認した。

iv) コスト評価

泥DRYを利用した草木類分別では、処理能力100t/hの場合 $4,771\text{円}/\text{m}^3$ と試算された。

v) 今後の課題

本技術が今後の乾式の土壌分類に必要な技術であり、多様な除去土壌の性状や状態を踏まえた的確な改質要否の事前判断方法及び最適な改質材の添加率と攪拌混合時間の検討が必要である。また、実プラントの処理量を想定した最適な土壌改質設備の検討並びに20mmふるい上土塊への対応と最終ふるい機の検討も必要である。

3.1.4 準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化

(株式会社CDMコンサルティング)(付録1-4及び付録2-4)

(1) 背景

中間貯蔵施設で 30 年間にわたって保管する除去土壌等のうち、とりわけ嚴重な遮断型処分場方式で保管される 10 万 Bq/kg 超の土壌は約 1 万 m³ に達すると見込まれている。これらは 10 万 Bq/kg 以下の土壌を分級して減容化された、セシウムが強固に吸着した粘土等の細粒土であるとされる。

これらの保管コストは産総研試算(2013 年 6 月 4 日ホームページ掲載)によれば 10 万円/m³ 以上と高額であり、30 年後も数万 Bq/kg 超の高い濃度のままで引き続き高額な保管処分費が発生することになる。長期的な視点に立ってさらなる減容化、保管処分費圧縮を早い段階に対策しておくことが肝要である。

(2) 技術の概要

汚染土壌の除染減容効果が報告されている亜臨界水熱爆砕において、原料の連続供給と短サイクル爆砕機構を新たに導入した準連続式の装置を使用し、分級後の高濃度セシウム細粒土を水熱爆砕処理する。1 回のセシウム除去性能を満足した条件で、従来のバッチ処理方式に対して、処理速度、エネルギー効率を大幅に向上することが可能な技術である。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 準連続式処理の実証

準連続式に改造した亜臨界水熱爆砕装置において準連続式処理(250°C、4MPa、爆砕周期 1.5 分、1 時間以上の運転を 20 日間)が可能であることを確認できた。

ii) 準連続式の処理性能

本試験機を用いて土壌粒径 0.2mm 以下、スラリー濃度 20%の条件において、従来のバッチ処理方式と比較した結果、処理速度で 10 倍以上、消費電力で 60%削減できるデータが得られた。

iii) 除染減容効果

土壌粒径(0.2mm 以下、0.075mm 以下)、及びスラリー濃度(20%、10%)が異なる条件において、バッチ処理方式と同程度の除染減容効果が得られた。

iv) コスト評価

汚染土壌の処理量 40 t/日、稼働年数 8 年、稼働率 85%、設備費 8,300 円/t、ランニング 31,900 円/t、消耗品費 2,600 円/t の場合、42,800 円/t と試算された。

v) 今後の課題

水熱爆砕処理により放射性セシウムが土壌から溶出するメカニズムが解明されるのが望ましい。また、土壌以外の原料の供給方法の明確化や細粒土に限らず有機物(バイオマス)を対

象とする処理への適用可能性の検討が望ましい。

3.2 除去土壌等の運搬や中間貯蔵等関連技術

3.2.1 バックホウ型放射線計測装置を用いての土のう袋計測の安全性(被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証

(株式会社日立パワーソリューションズ)(付録 1-5 及び付録 2-5)

(1) 背景

除染に伴う放射性汚染廃棄物は大型土のう袋へ詰め込み、仮置き場より輸送車両にて受入施設まで運ぶ必要があるが、「平成27年度中間貯蔵に係る大熊町土壌等保管場所設置工事 特記仕様書」(東北地方環境事務所福島環境再生事務所)では 全数の表面線量率、重量を測定するよう求められており、これらの作業には相当数の人が関与する必要がある。

現状作業での以下の課題の改善を図り、作業従事者の被ばく低減と安全性の確保とともに作業の省力化が必要である。

- ・ 作業従事者の数に比例し、総被ばく線量が大きくなる。
- ・ 機械と作業員が混在して作業を実施するため労働災害のポテンシャルが高い。
- ・ 一連作業の人的関与割合が高い。

(2) 技術の概要

仮置き場や除染現場では、バックホウは表土の剥ぎ取り、除去土壌の土のう袋への詰め込み、バケット部に取り付けたフックによる土のう袋の吊上げ、移動など広い用途で使用されている。このバックホウに放射線計測器や重量計などの各種機器を搭載することで、人の手によって土のう袋の計測作業をする機会が少なくなり、省力化、安全性の向上、被ばく量の低減することが可能となる技術である。

(3) 試験結果及び評価結果

i) バックホウ型放射線計測装置の計測検証

バックホウ型放射線計測装置による計測は土のう袋の表面線量の分布に対して同程度の比で追従しており、側面4点の同時計測の手法は計測ポイントごとの表面線量の差異を評価することが可能であることがわかった。

ii) 土のう袋計測の安全性、省力化の検証

バックホウ型放射線計測装置の運用では現状作業員の人員配置 6 名に対し 3 名で運用可能である。各作業員の作業量は増加するものの、人員削減や被ばく低減効果による総被ばく線量の削減に寄与するとともに、人的作業と機械作業の分離性も確立でき、仮置き場における災害防止に有効である。

iii) コスト評価

現状作業に対するバックホウ型放射線計測装置の作業は、機械費用の 1,140 千円/月の増額を人員削減額 1,717.5 千円/月が上回り、結果として 577.5 千円/月を削減することができると試算された。

iv) 今後の課題

バックホウ型放射線計測装置は、装置本体が特殊仕様のバックホウ(本体・専用グラップル・放射線測定部等一式)のため、コスト評価において機械費用の増額分が多い。これの削減検討を行うことが必要である。

現状のバックホウのオペレータ作業は、バックホウ動作の他、パネル操作があり、この操作系のシステム改良の検討が必要である。

3.2.2 除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術

(株式会社大林組) (付録 1-6 及び付録 2-6)

(1) 背景

放射性物質を有する除去土壌等が充てんされたフレキシブルコンテナの放射能濃度(Bq/kg)の測定方法として、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では、表面の線量率(μ Sv/h)から換算する簡易法が示されている。

この簡易法による放射能濃度の算出は、以下の課題がある。

- ・ 簡易法により算出した放射能濃度は、実濃度よりかなり過大評価となる傾向
 - ・ 各フレキシブルコンテナに対して、複数箇所の表面線量率を測定することによる作業時間の増加
 - ・ 測定時、作業員がフレキシブルコンテナに近接することによる被ばく線量の増大
- これらの課題解決には、安全かつ高精度な放射能濃度測定技術が必要である。

また、中間貯蔵施設に除去土壌等を埋め立てる際、放射性セシウムを含む粉塵の発生や濁水の流出を抑制するため、搬入中は覆土等が実施されると考えられているが、覆土による場合、以下のような課題がある。

- ・ 覆土の埋設量が貯蔵施設の貯蔵容量を圧迫する。
 - ・ 30 年後に中間貯蔵施設から最終処分場への搬出対象となる土壌量の増加につながる。
 - ・ 降雨により覆土に発生した泥水が下流の沈砂池に流れ込み、土砂の堆積量が増加する。
- これらの課題を解決するためには、覆土を必要としない飛散・流出防止対策が必要である。

(2) 技術の概要

可搬型放射能濃度測定器(可搬型 TRUCKSCAN)があり、ダンプトラック荷台に複数のフレキシブルコンテナを積載した状態で、内容物の種類(可燃物、土壌等)に関わらず高精度でフレキシブルコンテナ一袋ごとの放射能濃度を測定する方法として、この測定器の概要は次のとおりである。

- ・ TRUCKSCAN は、複数のフレキシブルコンテナを同時に、約 30 秒で核種別の放射能濃度を測定できる。
- ・ 放射線を検出する NaI(ヨウ化ナトリウム) 検出器はユニット化されているため、容易に測定場所への移動、設置ができる。
- ・ NaI 検出器は上下動が可能であり、荷台高さの異なる 10t、4t ダンプトラック等であっても、柔軟に対応できる。

また、中間貯蔵施設における毎日の埋立終了後に、除去土壌等の表面にポリイオンコンプレックス(以下、PIC という)を散水車等で散布し、表面の土壌を固化することにより粉塵発生を抑制する。

PIC は高分子カチオンと高分子アニオンを混合した共重合物で、粘土微粒子などに対し高い捕捉能力を有するため、散布面の土壌を強く粘着・固化し、これにより粉塵の発生を抑制する。

PIC の散布により表面を固定化するため、強い降雨が生じた場合も土砂懸濁物の生成を抑制する。施工方法は液体を散布するだけであり、貯蔵施設の貯蔵容量を圧迫しない。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 可搬型放射能濃度測定技術

① 可搬型 TRUCKSCAN による測定

放射能濃度測定結果は、屋外用 Ge 検出器による単体測定に対して、1.02 倍の高精度測定が可能であり 1 袋あたりの測定時間は、簡易法の 1/12 に短縮できることを確認した。

② 可搬型 TRUCKSCAN の測定装置の移設

本装置を移設する際の所要時間は、移設作業の開始から移設後の試運転完了まで約 4 時間であり、迅速な移設が期待される。

③ 測定精度向上による 8,000Bq/kg 超フレキシブルコンテナの減容化

可搬型 TRUCKSCAN の適用により、簡易法に対して 28%低減が可能と推定された。

④ コスト評価

測定数量 1,000 袋/h、実稼働時間 6 時間/日、4.5 年間(1,350 日)稼働の条件で、従来工法 2,073 円/袋のところ、本技術では 142 円/袋と約 93%低減可能と試算された。

⑤ 今後の課題

遮蔽フレキシブルコンテナ(遮蔽壁)の適切な配置、ダンプトラックの停止位置の正確性の向上、ダンプトラック荷台に積載されたフレキシブルコンテナ位置の適切な反映及びフレキシブルコンテナ位置の誤入力に対する対応が必要である。

ii) 粉塵等発生抑制技術

① 固化剤の選定結果

(流出土砂量)

室内試験では、ハイブリッド系 PIC の 1%溶液 20/m²、合成系 PIC の 3%溶液 20/m²の場合、水のみと比較してそれぞれ土砂流出量が砂質土では約 1/4、約 1/20、粘性土では約 1/3、約 1/2 に低減した。屋外試験では合成系 PIC の方が低減効果が高かった。(飛散土砂量)

室内試験では、どちらの PIC も砂質土で 95%以上低減した。粘性土では飛散土砂量が少なく、効果は測定できなかった。屋外試験でも、PIC 散布による流出土砂量、飛散土砂量の低減が確認された。

これらの総合評価結果から、コストが安価なハイブリッド系 PIC の 1%溶液 20/m²を選定した。

② 堆積土壌量減容、作業短縮、作業員被ばく量低減

堆積土壌量は 1/3 に減容され、作業時間及び被ばく線量を覆土作業の 1/3、シート掛け作業より 20%低減できる。

③ コスト評価

ハイブリッド系 PIC 1%溶液 20/m²、散布 8 時間/日、ディストリビュータタンク容量 3,000ℓ、作業員 2 名、3,000m²/日として、37 円/m²と試算された。

④ 今後の課題

コストが安価なハイブリッド系 PIC の 1%溶液 20/m²が選定されたが、強雨時の土砂流出に対して弱い面もあると考えられ、より効果を高められるようにハイブリッド系 PIC の濃度、散布量の最適化が必要である。また、PIC の実際の運用方法や管理方法を明確にするのが望ましい。

3.3 除染等関連技術

3.3.1 ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証

(株式会社菊池製作所) (付録 1-7 及び付録 2-7)

(1) 背景

放射線量の簡易測定は一般的には可搬型のサーベイメーターが用いられる。これに対してホットスポット等の発見・計測にはガンマ線可視化装置(ガンマ・カメラ)が有力である。しかし除染現場では、地上でのガンマ・カメラは1回での測定範囲の限定や、測定箇所の変動など課題が多い。放射線量の高い場所のフォローアップ除染等では迅速かつ、広範囲についてホットスポット等の発見や放射能濃度の測定が求められる。

これに対して、ガンマ・カメラをミニ・サーベイヤに搭載して 10m の高さから放射能を可視化する方法は計測時間の短縮と効率化が期待される。

(2) 技術の概要

本提案で使用するガンマカメラは、高度 10m からの空間位置分解能が 1m 以内を実現したものである。これをミニサーベイヤに搭載することにより、上空から効率的にホットスポット等の特定

ならびに空間線量の計測が可能で、併せて除染の迅速化に資する技術である。

この高性能ガンマカメラは光学系にマルチコリメータを採用し、高効率で線量計測をする方式である。このカメラを搭載したミニサーベイヤを上空 10mで、その位置でホバーリングを維持しながら、上空より放射性セシウム濃度を計測し、約3分の計測で 100m²の範囲の放射能濃度を可視化させる。

(3) 試験結果及び評価結果

i) ガンマカメラ装着による有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性と性能試験(準備計測)

- ・ GPS の設定目標(目標到達点)と GPS 計測平均値の差は 44cm であった。
- ・ ウェイポイント飛行制御による GPS 位置制御の誤差は目標±50cm のところ、最大で±58cm であった。
- ・ CCDカメラによるモニター画面の目視観察では最大の揺れ幅は 0.8m であり、測定中の 90% の時間は1m の範囲内を飛行していた。
- ・ 上空からガンマカメラが捉えた点線源位置の誤差は 0.6m であった。
- ・ 微風条件(風速1~3m/秒)での飛行時の揺れ幅は 1.5m 以内に収まっていた。なお、風速 3m/s 以上の弱風条件での影響は把握できなかった。

なお、当該ミニサーベイヤの現地試験場となるはずであった一般家屋の解体やミニサーベイヤの墜落等の不具合による事業の遅れにより、業務の遂行が困難となったため、以下に示す試験手順②以降の試験は中止となった。

- ① ガンマカメラ装着による有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性と性能試験(準備計測)
- ② ガンマカメラによる上空からの放射線計測
- ③ 放射線撮影画像と放射線測定器による計測結果とのマッピング
- ④ 定速度飛行による連続画像撮影
- ⑤ 上空からのガンマカメラによる計測の評価・課題抽出

3.4 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術

3.4.1 クロスフローシュレツダによる放射性物質除去の処理技術補助事業

(鹿島環境エンジニアリング株式会社)(付録 1-8 及び付録 2-8)

(1) 背景

放射性物質に汚染された自動車や自動販売機、エアコンの室外機といった廃棄物のリサイクルに対し、処理場において放射線量値の受入基準が設けられている為、この値を上回る場合、処理できずに仮置場にて保管されている。

特に津波に被災した災害廃棄物については、津波土砂及び発生した錆等に放射性物質が固着していると考えられ、これらを高圧洗浄や溶剤を使用して除染すると、水資源の大量使用と中和設備に多くの費用が掛かることとなる。

またこれらを除染せずに放射性廃棄物として中間貯蔵施設等に搬入した場合、埋立処分場への負担が大きくなる。その為、これらを除染し、可能な限りマテリアルリサイクルを行うことが必

要である。

(2) 技術の概要

高圧洗浄等では複雑な形状のため除染しにくいラジエータなどに対し、クロスフローシュレッダ(以下「CFS」という)を用いて、準密閉空間内で汚染廃棄物を破砕し、破砕に伴う金属間の摩擦による摩擦洗浄により、放射性物質の飛散を防ぎ、放射性物質を取り除くことが可能となる技術である。なお、摩擦洗浄では除染しきれない被破砕物に対しては、金属種別に応じた溶解除染を行う。

(3) 試験結果及び評価結果

i) CFS による除染効果の確認

摩擦洗浄により、BG 値 $0.06 \mu\text{Sv/h}$ を差し引いた線量率 $0.26 \sim 1.72 \mu\text{Sv/h}$ の汚染ラジエータが $0.04 \sim 0.15 \mu\text{Sv/h}$ (除染率は 93~95%) に低下した。

ii) 溶解除染による除染効果の確認

溶解除染により、BG 値 $0.06 \mu\text{Sv/h}$ を含んだ線量率 $0.22 \mu\text{Sv/h}$ のアルミが $0.11 \mu\text{Sv/h}$ に低下した。アルミのアルカリ溶解による除染率は 67%であった。銅及び鉄の酸溶解による除染率も 67%であった。

iii) コスト評価

CFS、金属選別機、投入ベルトコンベア、作業人工 3 人/日 (CFS 投入、搬出、検査)として、ラジエータ 1 台 (3kg)あたり 230 円と試算された。

iv) 今後の課題

ラジエータ等は、アルミ、銅、鉄などで構成されている。実用化に際しては、金属チップの自動選別の検討、また、サイクロン、集塵機で回収される破砕塵は放射能濃度が高くなるため、放射線管理上の対策が必要である。

3.4.2 放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の溶融除染による除染・減容・資材化技術

(三菱マテリアル株式会社) (付録 1-9 及び付録 2-9)

(1) 背景

福島第一原子力発電所 (1F) の事故により、1F 敷地内や警戒区域等の除染作業に伴い、放射性セシウムで汚染されたガレキ等の廃棄物が大量に発生している。特に警戒区域や帰宅困難区域での本格除染作業により、放射能が高い廃棄物が発生する。また、現在進められている仮設焼却炉等処理施設の利用終了後は解体廃棄物が相当量発生する。これらの減容は重要な課題である。

このうち金属廃棄物の汚染形態は主に表面汚染と予想されるが、拭き取り等表面処理だけ

で除染できない廃棄物が発生し得る。また、拭き取りできたとしても形状や材質が多様であるため、除染前後のセシウム濃度の測定は容易ではない。さらに、仮設焼却炉解体廃棄物ではダイオキシン類による汚染も考えられ、除染作業や測定作業が容易ではない。

(2) 技術の概要

放射性セシウムで汚染された金属廃棄物を高周波誘導炉によって 1,500～1,600℃で熔融処理し、セシウムを除染してクリアランスレベルの金属材料を得る「熔融除染技術」である。熔融処理により金属が均質化するため、少量の代表サンプルで容易に放射能を測定することができる。ダイオキシン類を含有する場合も、高温処理により分解、無害化できる。

これらの結果、除染された金属材料は一般産業界での再利用が可能な低いレベルにすることができる。また、この結果、放射性セシウムを含む残滓は処理前の物量に比べて大幅に減量、減容可能となる技術である。

(3) 試験結果及び評価結果

i) 模擬試料を用いた基礎試験

安定試薬のセシウムを添加した金属試料(1,000g、含有濃度約 1,000ppm)を用い、熔融処理により 0.1ppm を下回る濃度までセシウムを除染できることを確認した。これから算出される除染率は1万分の1以下である。

ii) 放射性セシウム付着金属廃棄物を用いた確認試験

事故由来の放射性セシウムが 5.6Bq/kg 付着した金属試料(1,000g)を用い、熔融処理により検出下限未満(<0.2Bq/kg)まで除染できることを確認した。

iii) 模擬試料を用いた実証規模試験

安定試薬のセシウムを1,000ppmの含有濃度となるように添加した金属試料(1t)を用いて、基礎試験と同様に、検出下限未満(<0.02ppm)までセシウムを除染できることを確認した。

iv) コスト評価

熔融処理システムの処理単価は90～160万円/tと試算された。

v) 今後の課題

中間貯蔵施設の対象となる汚染金属の放射能濃度は高濃度のものは少ないと考えられ、より低コストの処理を目指すのが望ましい。

また、処理後の金属の再利用の促進、経済性に見合った処理対象物量の確保、鉄系以外の金属(アルミニウム、銅等)への熔融除染適用性の確認、再利用まで考慮した分別の効率化などの検討が必要である。

4. まとめ

環境省の「平成27年度除染・減容等技術実証事業」に対して応募された37件の提案について、有識者により構成される評価委員会等において厳正な審査を行い、実証事業の対象案件として9件の技術が採択された。

この採択された9件の事業に対して、環境省及び国立研究開発法人原子力研究開発機構の指導と支援を受け、各事業者に対して試験計画書作成時の助言、試験遂行時の助言と立会、成果報告書等作成時の助言等を実施した。

この実証事業では以下の4種類の事業分野に分類された技術を実証した。

- ・ 除去土壌等の減容・再生利用等技術
- ・ 除去土壌等の運搬や中間貯蔵等関連技術
- ・ 除染等関連技術
- ・ 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術

各技術の実証内容を以下に示す。

(1) 除去土壌等の減容・再生利用等技術

i) 水熱抽出方法による焼却灰に含まれる放射性セシウムの除去と放射性物質の減容化、及び安定化実証

焼却灰の放射性セシウムの抽出試験の結果(最適抽出条件:最適温度 200℃、処理時間 120 分、固液比 1:10)において、木質焼却灰で 95%、都市ゴミ焼却飛灰 85%の抽出率が得られた。焼却灰との体積比較では 1/100 以上の減容化が可能で熱加工後吸着材からの放射性セシウム溶出は認められなかった。

ii) 水環境適合性洗浄剤を用いての汚染土壌細粒分の除染・減容化技術の開発と浄化土壌の再利用

分級後の土壌細粒分(放射性セシウム濃度:28,600Bq/kg)を、環境適合性洗浄剤(硫酸 10wt%、塩化カリウム、塩化マグネシウム、ヒドロキシエチルセルロース)で洗浄することで放射能濃度を 22%低減できることが確認できた。

iii) 水高含水・高粘性の農地除去土壌に含まれる草木類の選別除去を可能にする土質改良とふるい分けによる減容化と農地再生利用促進システムの実証・検証

土質改質材(泥DRY)により、土壌中に含まれる草木類の選別除去が生石灰の約 1/5 の添加率で同等の効果(草木除去率:46~63%、ふるい上土砂率:5.2~8.9%)が得られた。農地土壌の再生利用(pH 測定結果)、埋立適正(コーン指数測定結果)のための前処理等における適用が期待される。

iv) 準連続式亜臨界水熱爆砕処理による細粒土の除染減容化

細粒土の除染減容処理として、準連続式の処理(亜臨界水熱爆砕装置:1.5分周期、1時間以上の運転を20日間)が可能であり、バッチ処理方式に対して処理性能を向上(処理速度10倍以上、消費電力60%削減)できること、同程度の除染減容効果(0.075mm以下:10%スラリー除染率:65~60%、減容率:97%)が得られた。

(2) 除去土壌等の運搬や中間貯蔵等関連技術

i) バックホウ型放射線計測装置を用いた土のう袋計測の安全性(被ばく低減・作業安全)、省力化の比較検証

バックホウ型放射線計測装置は周辺4点同時測定、かつ検出器が大型で遮へい性能も高いため計測精度が良く、周辺環境に影響されずに測定確認ができた。

バックホウ装置の作業時間は従来作業に比べて増加するが、作業安全性・省力化の効果(作業人員を6名から3名に削減、土のう袋との接触時間を1/3に低減、重機と作業員の接触による危険性の低減)を検証し、現場に適用するにあたっての課題を明らかにした。

ii) 除去土壌等の輸送時における可搬型放射能濃度測定技術及び埋立時における粉塵等発生抑制技術

可搬型TRUCKSCANと簡易法との比較により、荷台高さが異なる車両への適用性と測定精度の向上による減容化(8,000Bq/kg超のフレキシブルコンテナを28%低減)、この装置の移設作業の所要時間と測定時間の低減(1/12に短縮)を確認した。

粉塵等発生抑制技術では、下流の雨水調整池の堆積土壌量の約1/3の減容、作業時間短縮・作業員の被ばく線量低減(覆土に比べ1/3)、コスト低減(覆土に比べ1/20)を確認した。

(3) 除染等関連技術

i) ミニサーベイヤを活用した上空からのガンマ線可視化装置による空間線量の迅速測定技術の実証

有線給電方式ミニサーベイヤの電力系統、電圧変換機に不具合が生じ墜落事象が発生したことから、準備計測の「ガンマカメラ装着による有線給電型ミニサーベイヤの飛行安定性と性能試験」以外の試験は中止となった。

ウェイポイント飛行制御によるGPS位置制御の誤差は目標±50cmのところ、最大で±58cmであった。上空からガンマカメラが捉えた点線源位置の誤差は60cmであった。

(4) 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術

i) クロスフローシュレッダによる放射性物質除去の処理技術補助事業

クロスフローシュレッダによる摩擦洗浄により、線量率及び放射エネルギーが大幅に低減(BG 値を差し引いた線量率 0.26～1.72 μ Sv/h の汚染ラジエータが 0.04～0.15 μ Sv/h(除染率は約 95%))と高い除染効果が確認でき、溶解除染を補助的に使用する事により、金属チップはリサイクルが可能なレベルとなった。

ii) 放射性セシウムで汚染した金属廃棄物の熔融除染による除染・減容・資材化技術

熔融除染技術により、鉄系の処理対象金属廃棄物中の放射性セシウムの除染(事故由来の放射性セシウムが付着した金属試料(1kg、5.6Bq/kg))により、検出下限未満(<0.2Bq/kg)にすることができ、基本的に処理した金属廃棄物を全て再利用が可能なレベルとなった。

なお、今回の実証事業を通して得られた成果を、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検討が重要であると考えられる。

これらの成果を報告書としてまとめると共に、その技術概要は環境省のホームページで公開可能なように Web 概要書及び報告書として作成した。

以上

参考文献

- 1) 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
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H23/H23HO110.html>

- 2) 「平成27年度除染・減容等技術実証事業」の対象技術の募集及び「平成26年度除染技術実証事業」の評価結果について(お知らせ)
<http://www.env.go.jp/press/100425.html>

- 3) 「平成27年度除染・減容等技術実証事業」の対象技術の選定結果について
<http://www.env.go.jp/press/101166.html>