

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

No.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

実施代表者：アジア航測株式会社

全体概要

本実証事業では、中間貯蔵施設の安全で効率的な点検・監視や迅速な異常検知の実現に向け、①UAVを用いた施設の変状把握技術、②UAVを用いた施設の放射線計測技術、③取得した監視情報の管理・提供技術に関する実証試験を実施し、中間貯蔵施設の維持管理におけるUAV活用の有効性や実用化に向けての課題を明らかにした。

実施内容

1. UAVを用いた施設の変状把握技術実証

- ① 植生被覆条件下での変状抽出のためのUAV計測とデータ解析
- ② 地盤沈下を把握するためのデータ解析
- ③ UAVによる変状抽出の手順を記した資料の作成
- ④ 評価・検証

2. UAVを用いた施設の放射線計測技術実証

- ① 測定区域の選定
- ② 2つの検出器での放射線測定データ取得方法の検討
- ③ UAVによる測定の実施と放射線量データの取得
- ④ 評価・検証

3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証

- ① 土壌貯蔵施設の点検・監視に関するデータの追加
- ② 3次元情報の利活用に関するとりまとめ
- ③ 評価・検証

事業の主な実施場所

大熊3工区中間貯蔵施設（福島県双葉郡大熊町）

技術概要

試験フロー

1. UAVを用いた施設の変状把握技術実証

- a. 植生被覆条件下での変状抽出のためのUAV計測とデータ解析
- b. 地盤沈下を把握するためのデータ解析
- c. UAVによる変状抽出の手順を記した資料の作成

2. UAVを用いた施設の放射線計測技術実証

- a. 測定区域の選定
- b. 予備試験（放射線測定データ取得方法の検討）
- c. 土壌貯蔵施設の運用を想定した本試験
- d. UAVによる放射線測定の手順等を記した資料の作成

3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証

- a. 土壌貯蔵施設の点検・監視に関するデータの追加
- b. 3次元情報の利活用に関するとりまとめ

評価・検証

試験の目標

1. UAVを用いた施設の変状把握技術実証

土壌貯蔵施設が実際には芝生等の植物で覆われることを想定して、植生被覆条件下においてどの程度の規模や形態の変状の抽出が可能かについて検討する。また、地盤沈下を想定して、それを把握するための自動変状抽出を複数の方法で行い、精度比較を行うことで最適な適用条件について検討する。

2. 施設の放射線計測技術実証

土壌貯蔵施設内でUAVを用いた放射線測定を2つの異なる検出器で行い、歩行サーベイから得られる線量率を再現する。汚染源（例えば、施設外からの飛来物等）を模擬した標準線源位置を2つの異なる検出器のUAVの放射線測定データから把握できることを実証する。

3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証

施設の変状箇所や放射線測定結果等、施設の状態を関係者で共有するための分かりやすい表現方法や、時系列的な情報の蓄積・管理の方法等、点検・監視情報を扱う上での3次元情報の利活用に向けた検討を行う。昨年度試作したWebサイトに点検・監視データを追加し、データ要件、ハードウェア要件等の検討を行う。

付録1-1-1

結果

1. 施設の変状把握技術実証

- 土壌貯蔵施設が芝生等の植物で覆われることを想定して、植生被覆条件下においてどの程度の規模や形態の変状の抽出が可能かについて検討し、変状の抽出精度、効率性、コスト、安全性等の観点から評価を行った。
- 草刈前は2m程度の灌木類や高茎草本が生育している状態であり、通常の植生管理状態の法面とは異なる条件であり、再現率は28.8%となった。
- 一方、通常の植生管理状態に近い草刈後（草丈約5cm程度）の状態では、レーザ点群密度は461.5点/m²と高密度に取得されており、地形変化量閾値を5cm、マス目大きさを5cmでの条件で高い抽出率（再現率）が確認できた。

番号	レーザ点群データ		変状抽出条件		再現率
	計測領域	植生状態	地形変化量閾値	マス目大きさ	
1	当初部	草刈後	5cm	5cm	71.4%
2	当初部	草刈後	8cm	5cm	48.9%
3	当初部	草刈後	8cm	10cm	66.3%
4	追加部	草刈後	5cm	5cm	65.5%
5	追加部	草刈後	8cm	5cm	36.5%
6	追加部	草刈後	8cm	10cm	59.2%
7	当初部	草刈前	5cm	5cm	28.8%
8	当初部	草刈前	8cm	5cm	21.6%
9	当初部	草刈前	8cm	10cm	24.9%

植生被覆条件下の変状箇所の自動抽出の精度（再現率）

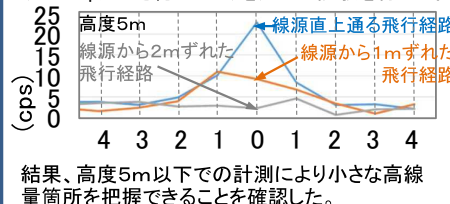
- 地盤沈下の変状抽出に関しては、「地形変化量閾値が地盤沈下量の約1/3、マス目大きさが25cm」の抽出条件で最も高い抽出精度（再現率）であった。
- UAVによる変状抽出は、現状コスト面では作業員による目視点検に劣るが、変状確認位置の正確性・再現性、異常時点検における安全性などについてはUAVが優れている。

2. 施設の放射線計測技術実証

- 「UAVを用いて放射線測定を行い、歩行サーベイから得られる線量率を再現する試験」を異なる2つの検出器に対して行った。
- 飛行高度3.5mのUAV測定と歩行サーベイ両者の結果を比較し、検出器別・高度別検量線を作成した。
- シングル・マルチディテクターの検出感度や汚染源位置特定の観点で比較評価するため、高度3m、線源強度20MBq、測定時間60秒の同条件で試験を実施し、これらの検出特性を把握した。

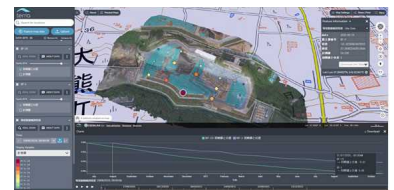
検出器タイプ	シングルディテクター		マルチディテクター	
	検出可能高度	測定時間	検出可能高度	測定時間
検出感度	△ (3m、5mとも可)	△ (20秒)	△ (3m)	△ (60秒)
	△ (10MBq以上)	△ (20MBq以上)	△ (20MBq以上)	△ (20MBq以上)
汚染源位置特定	△ (視野中のどこか)	△ (強いと計測位置が定まらない)	○ (視野の中で位置特定が可能)	△ (強いと計測位置が定まらない)
	風の影響	—	—	—

- 上記の比較評価から、線量の低い施設の定点測定にとって感度の点で有利なシングルディテクターを選択し、施設内で高線量箇所を把握することが可能な計測条件について標準線源（20MBq、大きさ約2cm²）を用いて試験を行った。



3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証

- 取得した土壌貯蔵施設の各種監視情報を管理・提供するため、3次元情報を表示可能な試作サイトをクラウド環境に構築した。



土壌貯蔵施設の3次元情報提供試作サイト

- 試作サイトに以下のデータを搭載し、パフォーマンステストを行った結果、ハードウェア要件として、クライアントPCでは4GB、配信サーバは8GBのメモリが必要であることが判明した。

搭載データ	データ形式	解像度	データ容量
オルソ画像	GeoTiff	10cm	74.4MB
標準データ	GeoTiff	10cm	119.2MB
線量マップ	GeoTiff	—	13.1MB
変状位置	GeoJson/kml	—	20KB
地盤沈下量測定値	CSV/kml	—	同上
現地写真	png.jpg	—	1MB
3Dモデル	3D Tiles	—	0.5MB

- 試作サイトの評価について、利用者へのアンケート調査を行った結果、5段階評価で操作性3.7、利用性3.0、機能性3.5、有効性3.0の結果を得た。
- 操作性については概ね良好な結果となり、現場との情報共有ツールとして有効であるとの意見を頂いた。利用性については、項目名の日本語表示や各種機能の使用例の具備・拡充などが今後の課題としてあげられた。

まとめ

1. 施設の変状把握技術実証：通常時の植生管理状態に近い草刈後（草丈約5cm程度）の状態では、地形変化量閾値を5cm、マス目大きさを5cmの条件で、高い抽出率（再現率）が確認できた。地盤沈下に関しても、二時期差分点群を用いた変状抽出手法の有効性を確認した。
2. 施設の放射線計測技術実証：感度の点で有利なシングルディテクターを用いて高度5m以下での計測により小さな高線量箇所を把握できることを確認した。
3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証：ハードウェア要件を整理し、クライアントPCでは4GB、配信サーバは8GBのメモリが必要であることが確認できた。

付録1-1-2

全体概要

双葉町仮設焼却第一施設および双葉町仮設灰処理第一施設では、除染廃棄物等やその焼却灰等をシャフト炉および表面溶融炉を用いて溶融処理し、安定した高品質の溶融スラグが生成されている。

本実証は、当該施設で生成される溶融スラグの再生利用を円滑に進めるため、利用用途（盛土材、路盤材、アスファルト舗装骨材、コンクリート骨材）に応じた安全性、安定性を評価することを目的としている。今年度は、室内試験、試験施工等を実施した。

実施内容

- ① 盛土・舗装道路・コンクリートに関する室内試験（基準試験、配合試験等）
- ② 盛土・舗装道路の試験施工
 - ・施工方法、品質管理方法の実証
 - ・盛土・舗装道路構築時、供用時におけるモニタリング
- ③ コンクリート供試体の屋外暴露試験

事業の主な実施場所

福島県双葉郡大熊町(技術実証フィールド)、双葉町、郡山市。千葉県佐倉市

技術概要

1. 実証のフロー(図1参照)

室内試験を実施して溶融スラグおよびそれを用いた再生利用品の品質を確認した。

試験結果にもとづいて試験ケースを設定し、試験施工等、各種モニタリングを実施している。

2. 試験目的(表1参照)

- ・溶融スラグを用いた再生利用品の施工方法、品質管理方法等を実証する。
- ・試験施工や屋外暴露試験を行い、施工中・供用中の安全性、安定性を評価する。

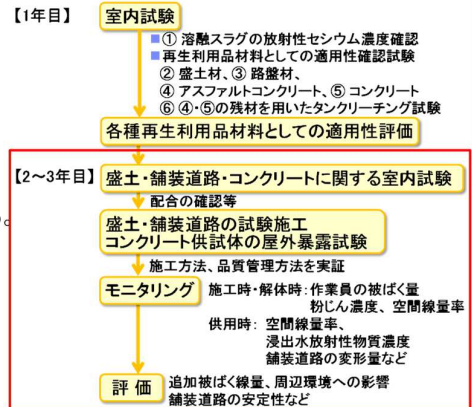


図1 実証事業のフロー

表1 試験施工等の目的一覧表

利用用途	目的	
	個別	共通
盛土	・長期的な盛土の安全性、安定性の評価 ・浸出水の放射性物質濃度等の評価	【構造物構築・解体時】 作業員被ばく量、 粉じん濃度、 空間線量率の評価
アスファルト舗装道路 (・アスファルト舗装 ・路盤)	・道路の耐久性の評価 (舗装道路構造設計手法の適用性評価) ・表流水・浸透水の放射性物質濃度、 重金属濃度等の評価	
コンクリート	・屋外暴露試験による供試体の耐久性の評価	【供用時】 空間線量率の評価

3. 期待される効果

- ・除染廃棄物等から生成される溶融スラグを用いた再生利用品の安全性、安定性を実証することで、溶融スラグを有効活用できる。

付録1-2-1

結果

1. 試験施工で採用する試験ケースの設定

室内試験結果にもとづき、試験施工（盛土、舗装道路）およびコンクリート供試体の屋外暴露試験に用いる供試体の試験ケースを設定した（表2～表4参照）。

2. 試験施工等(技術実証フィールド内)

溶融スラグを用いた盛土および舗装道路を構築し、施工時・供用時に表1(前掲)に示した試験等を実施した。また、コンクリート供試体を同ヤード内に保管し、屋外暴露試験を実施している(図2～図5参照)。

盛土等施工時の作業員被ばく量は、最大でも $263 \mu \text{Sv}/99 \text{日} = 2.7 \mu \text{Sv}/\text{日}$ であり、当地で設定した許容値 $80 \mu \text{Sv}/\text{日}$ を大きく下回っていた。

注)一労働日の被ばく線量上限値として設定されている「5年で100mSv」(国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告)を参考にした値

表2 盛土の試験ケース

名称	配合(乾土質量比)
試験盛土①	シャフト炉スラグ(A)(50%) 除去土壌(50%)
試験盛土②	表面溶融炉(B)(50%) 除去土壌(50%)

表3 舗装道路の試験ケース

工区	1	2	3	4	5
As舗装	表層 A(10%) 基層 A(10%)	0%	0%	A(15%)	A(15%)
路盤	A 100% B 75%	0%	0%	A 100% B 75%	A 100% B 75%

注)・A:シャフト炉スラグ、B:表面溶融炉スラグ
 ・表層:密粒度アスファルトコンクリート(13)
 ・基層:粗粒度アスファルトコンクリート(20)
 ()内はスラグ配合率(%)=(スラグ質量)/(全骨材質量)
 路盤割合百分率
 :スラグ置換率(%)=(スラグ重量)/(スクリーニングス+スラグ重量)

表4 コンクリート供試体試験ケース

名称	スラグ置換率
無配合	0%
シャフト炉スラグ(A)	50%
表面溶融炉スラグ(B)	50%

注)・スラグ置換率:細骨材中の溶融スラグの割合

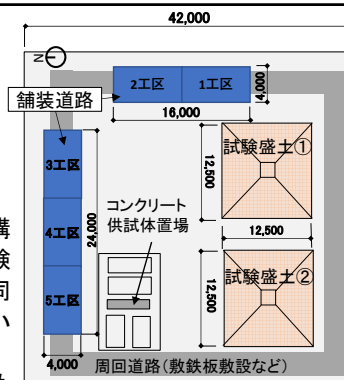


図2 構造物等配置平面図

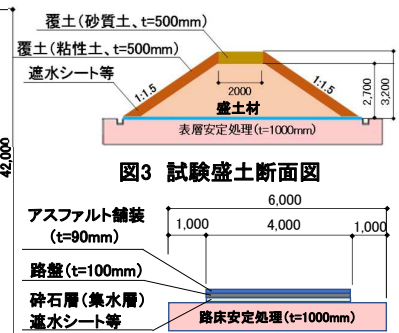


図3 試験盛土断面図

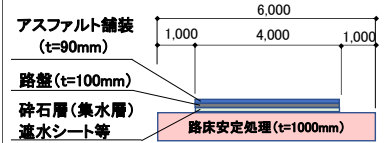


図4 舗装道路断面図



(試験盛土施工状況)



(試験盛土施工完了状況)



(アスファルト舗装道路)



(コンクリート暴露試験)

図5 試験施工等実施状況(技術実証フィールドヤードNo.4)

3. まとめ

- ・室内試験結果にもとづいて試験施工のケースを設定し、各種モニタリングを行いながら盛土、アスファルト舗装道路の試験施工を行った。
- ・試験盛土、舗装道路、コンクリート供試体のモニタリングを継続し、再生利用品の安全性、安定性を評価する。

実施代表者：セイスイ工業株式会社

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)において、土壌C(高度分級技術により得られた生成物が中間貯蔵施設への搬入開始30年後(2045年)に8,000Bq/kg以下)の数量が133.7万 m^3 、土壌D(土壌Cより高濃度)が10.6万 m^3 と推計されている。放射性セシウムは微細な粘土粒子に多く吸着されているため、デカンタ式遠心分離機を用いて、通常の分級点75 μm よりも細かい粒径20 μm 程度で細粒分と粗粒分を分離し、粗粒分を再生資材として利用することで、最終処分する土壌量の減容化が期待される。

農地表層部から採取した土壌を水と混合させて泥水にし、サイクロン付き振動篩機を使い $75\mu\text{m}$ で分級した濃度10%の泥水に非放射性セシウムを添加、攪拌して試験用泥水を準備する。この泥水に対し、デカンタ式遠心分離機に分級点を通常の分級点 $75\mu\text{m}$ よりも細かい粒径 $20\mu\text{m}$ 程度に設定し、複数回繰り返し洗浄と分級を行う。それにより、 $20\mu\text{m}$ 未満の細粒分にセシウムが濃縮することで、新たに $20\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$ の分画の再生利用が増えることが期待できる。これらの基礎データを取得するため、本試験では、分級処理後土壌の非放射性セシウム濃度、粒径 $20\mu\text{m}$ 以上の粗粒分の回収率、細粒分混入率、減容率等の検証を行った。

千葉県千葉市若葉区上泉町424-18
セイスイ工業株式会社本社地内

1. 成果目標

(1) 予備試験

本試験に向けた最適な条件を抽出する。

(2) 本試験

分級処理後土壌の粒径 $20\mu\text{m}$ 以上の粗粒分回収率90%以上、粒径 $20\mu\text{m}$ 未満の細粒分混入率30%以下、非放射性セシウム濃度低減率、減容率等の基礎データを取得することを目的とする。

2. 期待される効果

最終処分量の低減

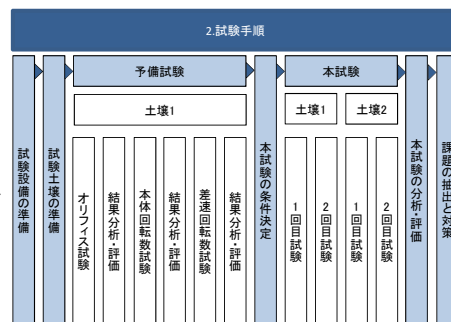


図1 試験フロー

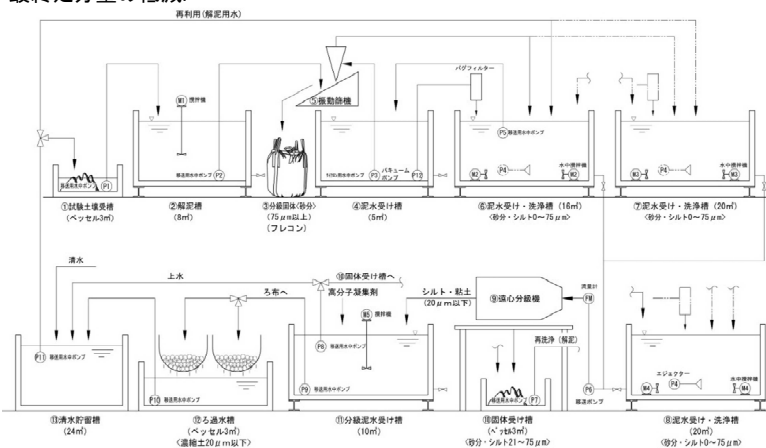


図2 処理フロー図

付録1-3-1

1. 試驗結果

(1) 予備試験

農地由来の試験土壌で試験を実施した。

本体回転数、差速回転数、オリフィスの調整により粗粒分回収率、細粒分混入率、細粒分混入率が最も低い条件を本試験の条件として採用した。

(2) 本試験

異なる2種類の試験土壌を用いて分級試験を実施した。

(a) 細粒分混入率

農地由来の試験土壌では、2回の分級処理で $20\mu\text{m}$ 未満の細粒分混入率20%以下を達成した。

山間部の赤土では1回の分級で20%以下を達成した。

分級2回目以降の分級土は、 $5\mu\text{m}$ 未満の細粒分混入率が0%であった。

(b) 粗粒分回收率

農地由来の試験土壌では、1回目の分級で60%程度となり2回目以降の分級では95%程度となった。

山間部の赤土の試験土壌では、1回目の分級で44%程度となり2回目の分級では83%程度、3回目の分級では90%程度となった。粗粒分回収率が予備試験より低下した要因は、予備試験では泥水を繰り返し使用したために粗粒分と細粒分の固着が減少していたこと、予備試験より泥水濃度を高くしたために粒径 $20\mu\text{m}$ 以上の粗粒分の排出が間に合わず分離水側に流出したこと、粗粒分が粒子間摩擦により減少したことで回収率が低下した。回収率は、差速モーターの回転数を高くし掻き出し速度を速くすることで向上した。

(c) 非放射性セシウム濃度低減率

細粒分混入率が低いほど非放射性セシウム濃度は低減したが、粗粒分濃度比(粗粒分の非放射性セシウム濃度/細粒分の非放射性セシウム濃度)が46.4%、細粒分混入率が18.3%のときに洗浄後泥水から分級土の濃度低減率は40.2%であった。

2. 試験結果の評価

(1) デカンタ式遠心分離機の分級評価

粗粒分回収率は、粗粒分と細粒分の固着が多いとデカンタ式遠心分離機内部で粗粒分が減少するため、予め固着をなくした状態で分級を行うと回収率は向上する。細粒分混入率は、3回の分級を行うことで20%以下にできたが、非放射性セシウム濃度は、粗粒分の非放射性セシウム濃度が高かったために40%程度の低減率となった。

今回の実証試験より再生利用することは可能と判断した。

(2) 物質収支の評価

物質収支は、福島県内の土壌を分級した場合を想定し、農業環境技術研究所報告 第34号(2015)表3「二本松市旧小名浜町における粒徑組成」を参考にし、試験結果を元に土壌1万t当たりで評価をする。分級回数は、3回で評価する。

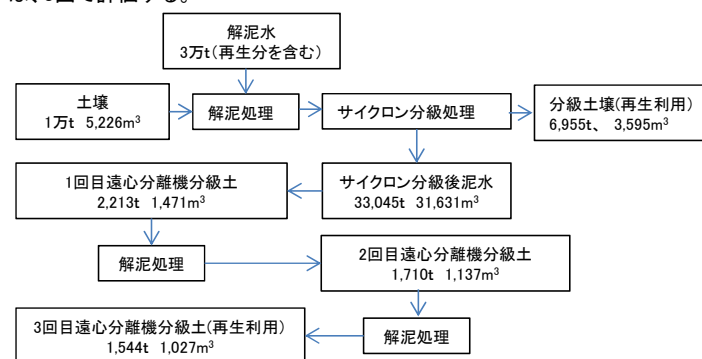


图3 物质收支

(3)コスト評価

汚染土壌をサイクロンで分級した後の泥水をデカンタ式遠心分離機で分級処理する場合、仮設設備コストの概算見積りを行った。条件として120t/h(20t/台)・7h/日・25日/月・5ヶ月間とした。

結果、除去土壌1t当たり22,400円の処理費用となった。

まとめ

デカンタ式遠心分離機により20 μ m未満の細粒分混入率を20%以下にできたことで20 μ m程度での分級による効果は実証できた。土壌の種類により粗粒分回収率の差はあるが今回実証した技術が減容化に有効であることを確認した。課題として、粗粒分に固着した細粒分を分級前に分散させる技術が必要である。また、セシウム濃度低減率は、粗粒分のセシウム濃度による影響が大きいため分級処理を行う前に粗粒分のセシウム濃度の検討が必要。

実施代表者：西松建設株式会社

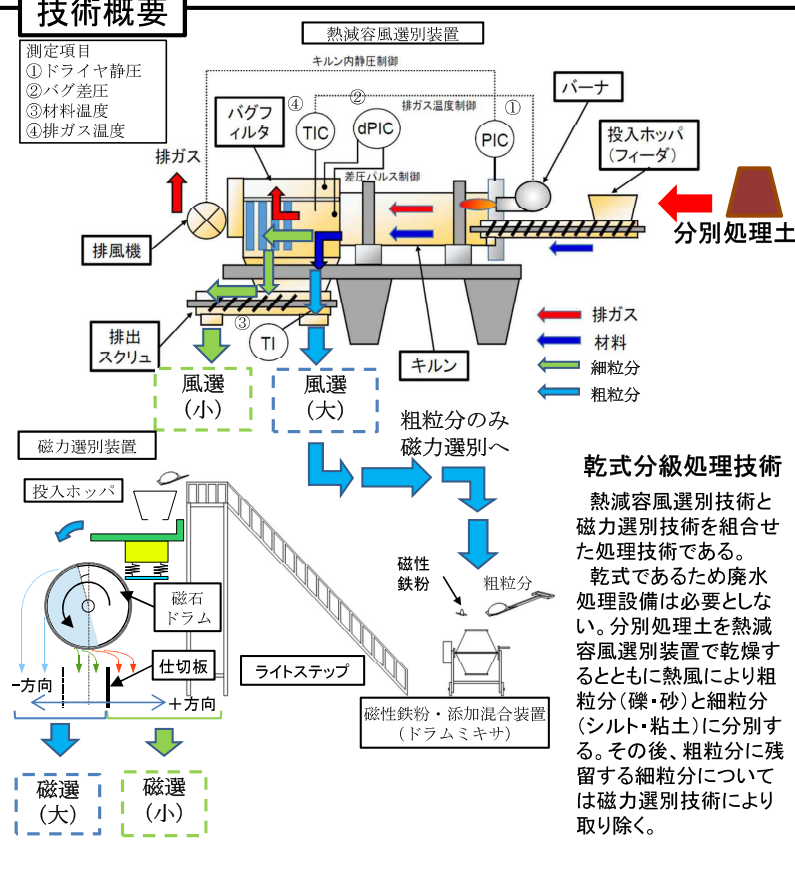
技術概要

本実証事業では、熱減容風選別技術と磁力選別技術を組合せた乾式分級処理技術の実証を行う。

- ① 分別処理土の物性等の確認試験
 - ・基本的土質特性、放射性Cs濃度等の確認
- ② 事前試験
 - ・分別処理土の物性に基づく模擬土の作製
 - ・熱減容風選別装置による運転条件等の設定
 - ・磁力選別装置の運転条件等の設定
- ③ 実証試験
 - ・熱減容風選別装置と磁力選別装置を組合せた乾式分級処理技術の実証と評価

1. 実証試験
・技術実証フィールド(福島県大熊町)

2. 事前試験
・三和テッキ株式会社甲府事務所(山梨県中央市)
・日工株式会社本社(兵庫県明石市)

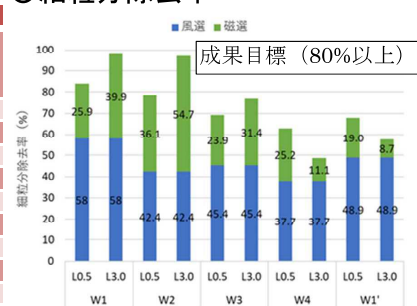


付録1-4-1

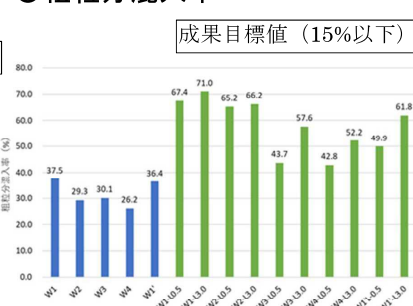
◎試験条件

熱減容風選別(風選)					磁力選別(磁選)	
試験 番号	処理 速度 [kg/h]	キルン 静圧 [Pa]	排ガス 温度 [°C]	キルン 回転数 [rpm]	試験 番号	磁性鉄粉添加量 [%]
W1	932	-69	103	13.4	L3.0	3.0
					L0.5	0.5
W2	1,009	-83	130	6.7	L3.0	3.0
					L0.5	0.5
W3	856	-92	150	6.7	L3.0	3.0
					L0.5	0.5
W4	896	-30	139	6.7	L3.0	3.0
					L0.5	0.5
W1'	1,055	-85	131	13.4	L3.0	3.0
					L0.5	0.5

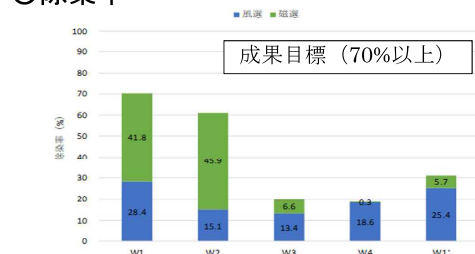
○細粒分除去率



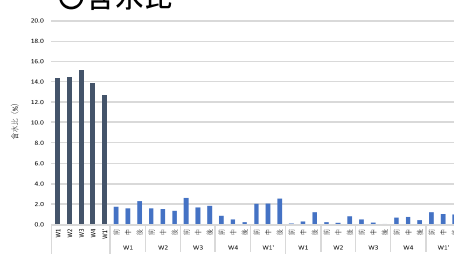
○粗粒分混入率



○除染率



○含水比



○強熱減量

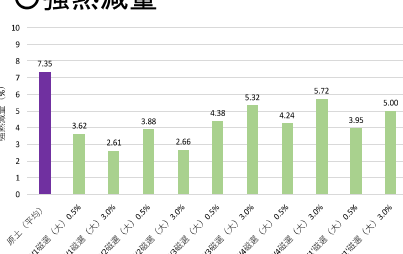


図 左:原土(分別処理土)、中:風選(大)、右:風選(小)



図 左:磁選(大)、右:磁選(小)

- ・熱減容風選別技術および磁力選別技術を組合せた乾式分級処理技術によって、粗粒分側から細粒分(粘土・シルト)を除去でき、除染率70%を達成した。
- ・分別処理土からの細粒分除去率は目標値(80%以上)を満足する結果を得られたが、細粒分側への粗粒分混入率は目標値(15%以下)を満足できなかった。
- ・処理後の含水比はいずれも目標の5%を満足し、磁力選別の前処理としても、十分に乾燥処理できた。
- ・有機物(強熱減量)は、熱減容風選別、磁力選別ともに細粒分側(風選(大)、磁選(大))へ移動し、粗粒分側から除去される傾向であった。

全体概要

中間貯蔵受入分別施設に保管された除去土壌のうち除去土壌C(2.57万Bq/kg)は131.8万m³存在するが、その多くを占めるのは農地由来の土壌であり、有機物を多く含む。

除去土壌Cは75μm以下の粒径の土壌を多く含むため、75μmを分級点とする分級だけでなく、75μm以下の土壌の新たな減容化技術が開発できれば最終処分量を低減できる。放射性Csが20μm以下の粘土鉱物に強く吸着するという知見と、細粒分が多く有機物に富む土壌では有機物が原因となって団粒化していることが多く、20～75μmの土粒子にも放射性Csが吸着した20μm以下の粘土鉱物が付着していると考えられる。よって、有機物による団粒化を崩すことで分級点20μmの分級により、20～75μmの土粒子の放射性Csの分離が進む可能性が示唆されている。

そこで有機物の分解処理後に固液分離機による分級処理を実施することで、減容率と除染率の向上を目標とした実証試験を実施した。

実施内容

1. 通常土壌を用いた有機物分解試験

オゾン添加量とオゾンに対する過酸化水素添加量を変化させた有機物分解試験を実施して分解率を検証した。(A反応槽：50L)

2. 通常土壌を用いた固液分離機による分級点確認試験

20μm・75μm分級点の遠心力Gを検証した。

3. 低濃度放射性セシウム含有土壌を用いた有機物分解試験

①オゾン添加量(60g/h)に対する過酸化水素添加量を変化させた有機物分解試験を実施して分解率をCOD・TOCで検証した。(B反応槽：250L)

②溶存有機炭素分離測定装置(LC-OCD)により分子量ごとの有機炭素を測定し、溶存有機炭素を成分ごとに定性・定量分析することで有機物分解特性を評価した。

4. 低濃度放射性セシウム含有土壌を用いた分級処理試験

①遠心力Gを変化させた分級処理により分級物の減容率と除染率の検証をした。

②分級物の電子顕微鏡観察(SEM-EDX)により、砂粒子への有機物や粘土の付着状況を直接確認することで有機物分解の評価をした。

事業の主な実施場所

1. (株)不動テトラ総合技術研究所(茨城県土浦市)
2. 福島県双葉郡浪江町内の畑地

技術概要

1. 有機物分解

有機物の分解には、オゾンと過酸化水素を併用して発生させた強力な酸化作用を持つヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)により有機物を酸化分解させる促進酸化法を用いた。

有機物分解処理には、密閉式反応槽を用いて、以下の手順で実施した。

- ①畑地表層土壌を含水率5%の泥水とする。
- ②この泥水をB反応槽内に投入する。
- ③泥水を反応槽内の水中ポンプにて吸い込み、エジェクターを介して泥水中に高圧噴射する。
- ④エジェクター内でオゾンと過酸化水素を添加・接触反応させることで泥水中に有機物を酸化分解する。
- ⑤③、④を繰返して泥水を循環させて6h反応させる。

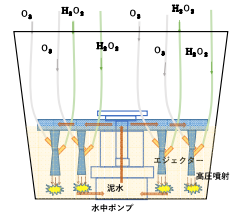


図-1 密閉式反応槽

放射性Csは主にシルト・粘土・有機物に吸着している。また、有機物を介して細砂にも吸着している。

有機物を分解することで高圧水による物理的解泥が容易となり、細砂とシルト・粘土の分級処理精度を向上することができ、これにより除染率の向上も見込むことができ、再生利用可能な洗浄土の対象を広げることができる。

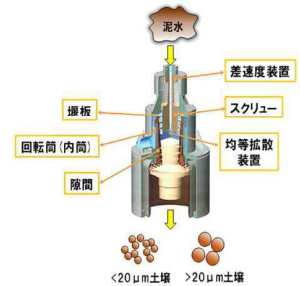


図-2 固液分離機



写真1 実証試験状況

2. 分級処理

分級処理には固液分離機を用いた。この固液分離機は、従来の横型サイクロン方式の遠心力でなく、出力二軸の差速装置により回転筒と内筒のスクリーンが高速回転(遠心力最大3,000G)する。この回転筒とスクリーンは僅かな回転差をつけて同じ方向に高速回転し、遠心力数百Gと比重差によりシルト・粘土の分級・分離が可能である。今回は、20μmで分級することで、さらに減容化を図ることを目標とした。また、濃縮した粘土は、同じ固液分離機で遠心力を2,000Gで脱水処理され、フィルタープレスの必要もなくなる。

付録1-5-1

結果

1. 通常土壌を用いた有機物分級試験

- ①オゾン添加量が多いほど、有機物の分解は促進する。
- ②オゾンに対する過酸化水素の添加量は50mol%で分解率が極大となる傾向が確認できた。

2. 通常土壌を用いた分級点確認試験

①泥水投入量20L/minでは、遠心力100G～400Gでの分級処理は不能であり、遠心力800G～1,600Gの範囲において、分級物に細粒分が多いものの1,000Gが20～75μmの分級点と推定された。

3. 低濃度放射性セシウム含有土壌を用いた有機物分解試験(含水率5%、250L)(表-1)

①有機物の分解率は、酸化分解により30～50%となった。オゾンだけの結果に対して、過酸化水素の添加量による明確な分解率の増加は見られなかった。この原因として、図-1に示したように、反応槽内のトータルのオゾンとオゾンに対する過酸化水素の添加量を設定したものの、結局、エジェクター内でのオゾン濃度と注入量、過酸化水素の濃度と注入量によって反応が左右されたためと考えられた。(図-3)

②溶存有機炭素分離測定(LC-OCD)：酸化分解により、フミン酸類がフミン酸崩壊物質に、高分子有機化合物が低分子有機物および低分子有機酸に分解していた。(図-4)

4. 低濃度放射性セシウム含有土壌を用いた分級処理試験(投入量：50L/min)

- ①減容率と除染率：投入量を20L/minから50L/minと多くすることで遠心力が100G～400Gで分級処理が可能で、分級物の細粒分も減少させることができた。
- ②減容率と除染率(図-5)：減容率は、50～80%の範囲でケースによる明確な差は見られなかった。また、除染率は酸化分解により若干の増加が見られるが、10～40%の範囲でケース間で明確な差は見られなかった。この結果、いずれのケースも目標減容率68.5%と目標除染率88%を同時に達成できなかった。原因は、分級処理も脱水処理も同じ固液分離機1台で実施したためである。その都度、洗浄と掻き落とし等の清掃をしながら実施したが、回転筒内側に付着した細粒分が次工程の分級処理時に混在したためと考えられる。ただし、分級処理専用と脱水処理専用の2台の用意、スクリーンの各所に噴射ノズルを取付け内部洗浄する、パイプレータによる振動を与える等の対策により、これらは解消できる可能性が非常に高く減容率と除染率も向上することが期待できる。

③SEM-EDX試験：有機物の指標である炭素濃度(質量濃度)の比較から、酸化分解により炭素が減少したことを確認した。また、酸化分解の中でもオゾンと過酸化水素50mol%-O₃のケースでの減少が大きかった。

以上より、酸化分解により砂粒子への有機物の付着は減少していることが確認できた。

【その他】固液分離機による2,000Gでの脱水処理による脱水粘土は、含水量も低くフィルタープレスが必要ないことが確認できた。また、酸化分解後の処理水の放射能濃度は、N.Dから3.0Bq/Lと問題ない濃度であった。

表-1 実証試験ケース(低濃度放射性セシウム含有土壌)

試験ケース	O ₃ 注入量 g/h	H ₂ O ₂ 添加量 mol %/O ₃	分散剤 kg/m ³	備考
ケース1	0	0	0.0	ブランク(高圧水処理)
ケース2	0	0	0.5	高圧水処理+分散剤
ケース3	60	0	0.0	高圧水処理+オゾン
ケース4	60	15	0.0	
ケース5	60	30	0.0	高圧水処理
ケース6	60	50	0.0	+オゾン+過酸化水素

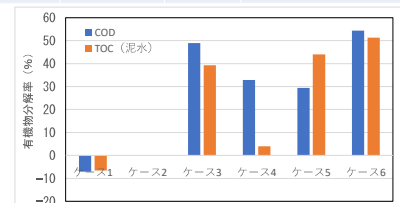


図-3 有機物分解率

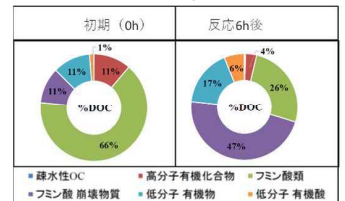


図-4 LC-OCD測定結果例(ケース6)

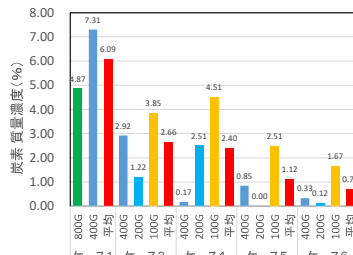


図-6 SEM-EDXによる分析(炭素濃度)

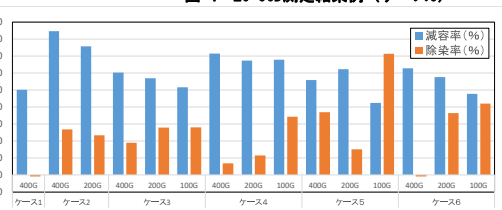


図-5 減容率と除染率(浪江町畑地土壌のCs濃度：2,600Bq/kg)

まとめ

低濃度放射性Cs含有土壌(畑地)に対して、減容率と除染率の向上を目的として、促進酸化法を用いた有機物分解処理と固液分離機を用いた分級処理による実証試験を実施した。COD、TOC、SEM-EDXを用いて、有機物の分解を確認できた。LC-OCD結果からは、高分子有機化合物が低分子有機化合物に分解することも確認できた。また、除染土壌に含まれる高分子系の改質剤も分解の可能性も示唆された。固液分離機による分級処理では、遠心力Gが100Gで減容率が下がり、除染率は上昇する傾向は確認できた。ただし、固液分離機1台で分級処理と脱水処理を実施したことで、分級物に固液分離機の回転筒内側に付着していた細粒分が混在した可能性が高いことも確認できた。実用化にあたっては、分級処理専用と脱水処理専用の2台の固液分離機が必要となる。また、脱水処理粘土の含水量からフィルタープレスも必要ないことが分かった。これにより、有機物分解処理→分級処理→脱水処理と1年間24時間連続処理運転が可能となり、遠隔操作することによる放射能に対する作業環境の安全性確保(被ばくリスクの低減等)が図れる。

No.6 ガラス固化技術(GeoMelt®ICV™溶融技術)による溶融飛灰の高減容・安定化処理技術の実証

実施代表者:株式会社キュリオンジャパン

全体概要

焼却残渣の熱処理後のCsを含む飛灰(溶融飛灰)の減容化及び長期安定化策の一つとして、国内外の難処理性廃棄物の処理で多くの実績のあるGeoMelt®ICV™技術を使用し、非放射性模擬飛灰の溶融ガラス固化処理の適用性を実証試験で評価した。

提示された飛灰組成を基に作製した2種類の模擬処理対象物をGeoMelt®ICV™の標準的な運転手順によって処理し、安定した処理性能、コールドキャップ(C.C)の適切な管理によるガラスのCs保持率、模擬処理対象物に対する減容率、ガラスの均質性、排ガス処理系の浄化性能等から実用化に向けた本技術の適用性を評価した。

実施内容

1.試験装置の改造

既存設備をベースに、処理対象物等の追加投入構造、耐火物容器、C.C監視用の炉内温度計の設置、排ガス処理用2段2系列フィルタの追加等 試験用に改造した。

2.模擬処理対象物の試験組成

提示された飛灰組成を基に、ゼオライト系ガラス形成材やCs添加量等を含む2種類の模擬処理対象物の試験組成を設定した。

3.試験運転

1バッチの試験処理により、運転手順、調整パラメータ、装置の挙動等を確認した。

4.溶融試験

2種類の模擬処理対象物を計3バッチ処理し、処理性能、ガラスのCs保持率、減容率、ガラスの均質性、排ガス処理系の浄化性能等を確認し評価した。

事業の主な実施場所

三重県伊賀市予野字鉢屋4713番地
三重リサイクルセンター トランクラボ棟

技術概要

1.GeoMelt®システムの原理と特徴

図1に示すように、溶融容器の中で処理対象物をジュール熱で加熱溶融し、そのまま固化体とするもので、幅広い性状の対象物に適用可能で、シンプルでかつコンパクトなガラス固化プロセスである。

運転は、溶融容器の底部から上方への溶融の拡大、溶融ガラス上部へ追加供給とC.Cの維持、低融点ガラスフリット(TOF)の供給、自然冷却後のガラス固化体の取出し操作で構成される。

2.試験手順

図2のとおり、低塩素飛灰2バッチ、高塩素飛灰1バッチの計3バッチを順次処理し、各試験のデータ採取と、各知見を次試験の調整パラメータに反映した。

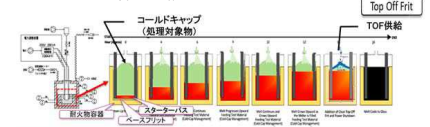


図1 試験溶融炉の構造とC.C.の模式図

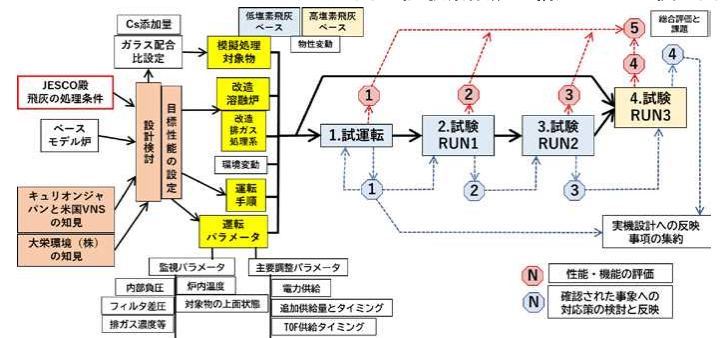


図2 試験手順

3.試験目標

(1)ガラスのCs保持率

供給したCsが溶融処理によりCsのガラス中に90%以上保持されること

(2)模擬処理対象物の減容率

処理前後の体積減少率である減容率が70%以上であること

(3)ガラスの均質性

ガラス特有のX線回折データを得ること

4.期待される効果

GeoMelt®ICV™技術により、ガラスの高いCs保持率、処理対象物の減容化及びガラスの均質性を達成でき、Csを含む実溶融飛灰の減容・安定化処理技術の実用化が図られる。

付録1-6-1

結果

1.試験装置の改造

写真1に示すように既存設備をベースに、処理対象物等の追加投入構造、C.C監視用の炉内温度計の追加、排ガス処理用2段2系列フィルタの追加等 試験用に改造した。

2.ガラスの配合解析

提示された飛灰組成に飛灰溶融に関する文献を参考とし、SiO₂、Al₂O₃を追加反映した組成に基づいてガラス組成の配合解析を実施し、ゼオライト系ガラス形成材を使用した2種類の模擬処理対象物の組成(表1)を設定した。

3.試験運転

試験運転により溶融開始から終了までの電力上昇ステップ、模擬処理対象物の安定供給、TOFの供給タイミング等の溶融試験に反映すべき点を確認した。

4.溶融試験

(1)ガラスのCs保持率

炉内から排ガス処理系へ移行したCsの質量より、ガラスへの保持率は全ての試験で90%以上、最大99.5%であることを確認した。(表2)

(2)模擬処理対象物の減容率

供給した模擬処理対象物の体積と得られたガラスの体積を比較することで、全試験で減容率が70%以上であることを確認した。(表3)

(3)ガラスの均質性

ガラスの断面観察より塩化物層やその他の結晶は見られなかった。(写真2)
固化体(ガラス)よりサンプルを採取してXRDで分析した結果、ガラス特有の連続したX線回折パターンを確認した。(図3)
なお主な結晶ピークとして、炉内温度分布計測用熱電対等の溶融による合金が由来と推測される化合物を確認した。(表4)



写真1 改造後の試験装置(左)及び監視装置(右)

表1 模擬処理対象物の組成

低塩素溶融飛灰混合組成			高塩素溶融飛灰混合組成		
低塩素溶融飛灰模倣物	組成 (wt%)	質量 (kg)	高塩素溶融飛灰模倣物	組成 (wt%)	質量 (kg)
SiO ₂	3.74	0.37	SiO ₂	0.096	0.010
Al ₂ O ₃	0.33	0.03	Al ₂ O ₃	0.048	0.005
Fe ₂ O ₃	0.48	0.05	CuO	0.048	0.005
NaCl	0.08	0.01	ZnO	0.096	0.010
Na ₂ CO ₃	0.20	0.02	PbO	0.048	0.005
CaCl ₂	21.19	2.12	Fe ₂ O ₃	0.096	0.010
KCl	0.49	0.05	NaCl	1.392	0.139
Mg(OH) ₂	0.00	0.04	Na ₂ CO ₃	0.096	0.010
			CaCO ₃	0.864	0.086
			KCl	1.968	0.197
Sub Total	26.87	2.69	Sub Total	4.752	0.475
ガラス形成剤及びガラス添加物			ガラス形成剤及びガラス添加物		
SiO ₂	35.94	3.59	SiO ₂	43.29	4.33
Na ₂ CO ₃	6.21	0.62	CaCO ₃	1.35	0.14
B ₂ O ₃	10.99	1.10	Na ₂ CO ₃	15.68	1.57
KUR-EH	20.00	2.00	B ₂ O ₃	14.72	1.47
Sub Total	73.13	7.31	KUR-EH	20.00	2.00
Total	100.00	10.00	Sub Total	95.24	9.524
Water	10wt% of dry feed	1.00	Total	100.00	10.00
Tracer CsCl	0.0065	0.00065	Water	10wt% of dry feed	1.00
Grand Total		11.00	Tracer CsCl	0.0065	0.00065

表2 排ガス系へのCs移行質量及びガラスのCs保持率

サンプル名称	項目	RUN1	RUN2	RUN3
排ガス系	Cs質量(mg)	2.1	0.47	3.7
	Cs質量(mg)	0.86	0.20	2.7
	フィルター裏面積 (cm ²)	11,664	11,664	11,664
プレフィルタ	サンプルCs付着量 (µg/cm ²)	29.3	1.1	16.5
	Cs質量(mg)	341.8	12.8	192.5
	フィルター裏面積 (cm ²)	34,668	34,668	34,668
HEPAフィルタ	サンプルCs付着量 (µg/cm ²)	1.57	0.25	0.58
	Cs質量(mg)	54.4	8.7	20.1
	Cs質量(mg)	0.26	0.040	0.010
スクラバー	Cs質量(mg)	399.4	22.2	219.0
オフガス系へのCs移行質量(mg)		92.7	99.5	94.0
ガラスのCs保持率(%)				

表3 模擬処理対象物の減容率

模擬処理対象物	試験前	RUN1	RUN2	RUN3
重量 (kg)	9.82	9.95	9.98	9.95
体積 (mL)	12,753	12,922	13,307	12,438
体積 (mL)	3,731	3,723	3,654	3,724
減容率 (%)		70.74	71.18	72.54

表4 X線回折分析による化合物の同定結果

サンプル	大きなピーク成分	その他の小さなピーク成分
RUN1	1. Fe ₂ O ₃	SiO ₂ (Quartz), SiO ₂ (Cristobalite)
RUN2	2. (Al ₂ Cr ₂)Fe	Cu ₂ Si ₂ Si ₂ (Quartz), C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₄ P ₂ ・2H ₂ O
RUN3	1. Al ₂ Cr ₂	FeTi
	2. Al ₂ Cr ₂	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₄ P ₂ ・2H ₂ O
	3. Fe ₂ Co	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₄ P ₂ ・2H ₂ O



写真2 ガラス固化体の断面

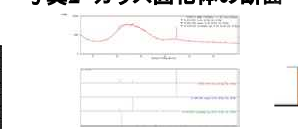


図3 X線回折分析結果(RUN1)

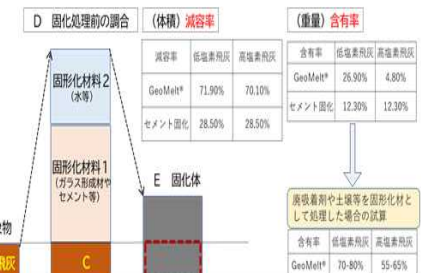


図4 試験結果に基づく減容率と含有率の比較図

<まとめ> 各試験の結果からすべての試験でガラスのCs保持率90%以上、模擬処理対象物の減容率70%以上を達成した。またガラス特有の連続したX線回折パターンにより良好な均質性であることを確認した。これらの結果より溶融飛灰の安定化処理技術として、GeoMelt®ICV™技術の実用化への適用性を確認した。さらにゼオライト系ガラス形成剤として廃吸着剤等を適用することにより、ガラス固化体中の処理対象物の含有率をさらに向上させることができると評価した。

付録1-6-2

No.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研究

実施代表者：国立研究開発法人産業技術総合研究所

全体概要

本事業では、飛灰洗浄液から放射性Csを吸着濃縮したプルシアンブルー（PB）系吸着材（ヘキサシアノ鉄酸銅塩、CuHCF）の安定化の一手法として、過熱水蒸気による加熱分解条件の検討、Cs飛散の検討、分解時に発生するガスの分析をおこない、過熱水蒸気分解法の有効性及実用化に向けた課題を明らかにした。

実施内容

本事業では、以下の試験を非放射性の模擬飛灰洗浄液を用いて実施する。

- ① 吸着材造粒体の製造：吸着容量試験
- ② Cs吸着済み試料調整：Cs吸着量評価、他のイオンの吸着確認
- ③ 加熱分解試験（予備試験）：加熱酸化温度依存、加熱時間依存、加熱雰囲気の検討
- ④ 加熱分解試験（本試験）：カラムサイズ拡大の影響評価、加熱水蒸気量の影響評価
- ⑤ 本安定化技術のプロセス評価

事業の主な実施場所

本事業では、非放射性Csを用いた模擬飛灰洗浄液を用いたため、全ての試験は産業技術総合研究所つくば中央第五事業所にて実施した。

技術概要

1. 試験手順：提案技術における過熱水蒸気による吸着材の安定化は、Csを吸着飽和させたCuHCF吸着材（本試験ではバッチ振とう条件で調製）をステンレスカラムに充填し、このステンレスカラムに過熱水蒸気（300℃～500℃）を通気させることで吸着済み吸着材を加熱分解する。（図1）この際の加熱分解物および分解ガス（排ガス）について分析をおこなう。

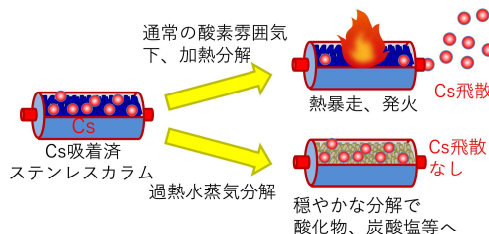


図1. CuHCF吸着材の加熱分解

2. 試験目標：Cs吸着済みCuHCF吸着材について、CuHCFを確実に温度制御して安全にシアノ基を除去し、同時にCsをカラム外に飛散させることのない過熱水蒸気分解の条件を明らかにする。

3. 期待される効果：本試験において吸着材料として用いるCuHCFは、高いCs選択性と吸着容量で知られる一方で、配位性の高分子であること、成分にシアノを含むことが長期保管の懸念材料とも捉えられている。例えばこの吸着材を、Csを飛散させることなく安全に分解する安定化工程を確立することで、これを既に確立された固型化等の処理へとつなぐプロセスが想定可能となり、最終処分に向けて幅広い対応が可能となる。

付録1-7-1

結果

過熱水蒸気によるCs吸着済みCuHCFの分解条件を明らかにするため、小型（10～200 mL）のカラムを用いた温度依存、時間依存、加熱雰囲気、カラムサイズ、加熱水蒸気量の影響評価をおこなった。加熱分解残渣（灰）の分析、吸着材通過後の過熱水蒸気を冷却した冷却捕集液中の飛散Csの定量、加熱分解で発生したガス（排ガス）の分析をおこなった。

図2に示したのは、過熱水蒸気による分解試料の赤外分光スペクトル（FT-IR）の温度依存性である。10mL程度の小さなカラムに5mL/min（水換算）の水蒸気を水蒸気温度と加熱炉温度を変えながら、10分間導入した結果、500℃から410℃においては2200cm⁻¹付近のCN伸縮が完全に消失したのに対し、400℃以下ではわずかに残っているのが見られた。同様の傾向は粉末X線回折（XRD）でも確認された。また、400℃分解条件でも10分間から30分間に時間を伸ばすことにより、分解が進むことが確認された。一方で、過熱水蒸気だけではCuHCFの銅成分は酸化されず金属Cuとなって残るため、これを酸化させるべく、過熱水蒸気後の空気導入や、過熱水蒸気と同時の空気導入を検討した。

例えば、過熱水蒸気温度400℃、加熱時間30 min、過熱水蒸気で分解の後、空気を導入して金属Cuを酸化する、という手法で、加熱分解をおこなった時のCsの物質収支フローを図3に示す。Cs量は元のCs吸着済み吸着材 1gに含まれていた量である。Csの飛散は吸着材含有量の0.02%程度、加熱分解物からは水洗浄でCsの90%以上が溶出する。また、HCN、NH₃、NO_xは排ガスよりも冷却捕集水で多く含まれていることがわかった。

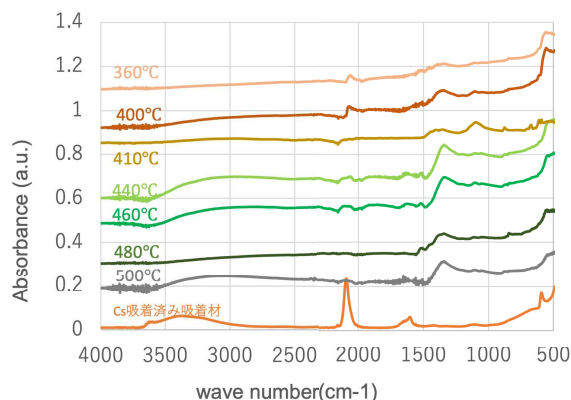


図2. 過熱水蒸気分解試料のFT-IR温度依存性

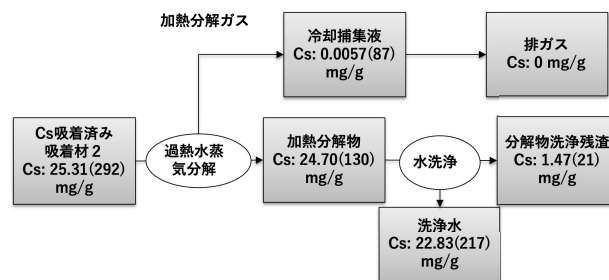


図3. Csの物質収支のフロー図

まとめ：過熱水蒸気によるCs吸着済みCuHCFの加熱分解について、400℃程度でも分解が可能であることが明らかとなった。Csの飛散はほぼ見られず安全な分解が可能であるが、生成する金属Cuの酸化が必要となる。今後は加熱分解の終了点を明らかにすべく、例えば、発生するガスの経時変化等をモニタすることを検討する。

付録1-7-2

No.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

実施代表者：国立大学法人 東京工業大学

全体概要

除去土壌等の熱処理で発生する飛灰から水洗浄で回収されたCsの安定固定化及び廃棄物の高減容化を達成するために「インドラム式ガラス固化技術」の導入を提案する。

安定固定化のために、ガラス固化体へのK充填量をCs充填量の1/10程度まで低減する吸着段階での前処理工程を確立し、飛灰洗浄水から、吸着剤を用いてCsを回収し、ガラス固化体の作製を行う。さらに、実飛灰洗浄水を用いて、一連のガラス固化プロセス全行程を実施し、放射性Csのトレースおよび安定固化体の作製が可能であることを実証する。

実施内容

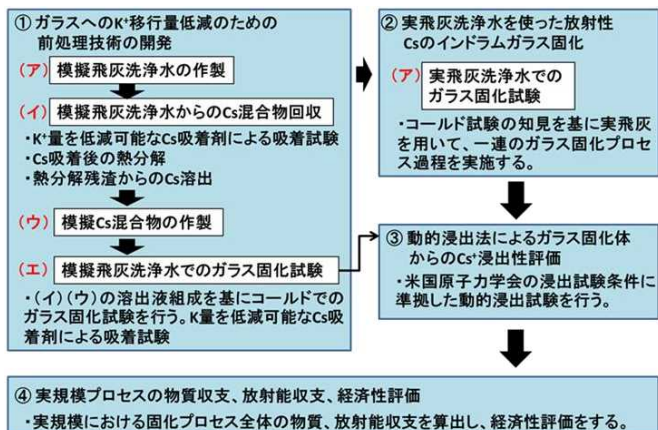
- ①ガラスへのK移行量低減のための前処理技術の開発
- ②実飛灰洗浄水を使った放射性Csのインドラムガラス固化
- ③インドラムガラス固化体Cs浸出速度評価
- ④実規模プロセスの物質収支、放射能収支、経済性評価

事業の主な実施場所

- 東京工業大学（東京都目黒区）
- JESCO技術実証フィールド（福島県大熊町）

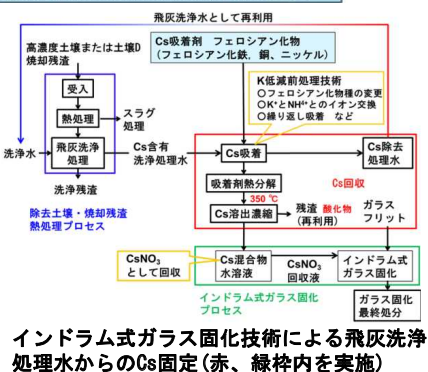
技術概要

1. 試験フロー



2. 成果目標

耐水性の高い均質なポルサイト含有ガラス固化体を作製する。Csの選択吸着により、K量の低減処理として、K/Cs比で1/10程度を目指す。そのガラス固化体の耐水性として、他の低温固化技術であるセメント固化やジオポリマー固化などの浸出性能比較において、1桁以上小さい規格化浸出率を目指す。



付録1-8-1

結果

①ガラスへのK移行量低減のための前処理技術の開発

模擬飛灰洗浄水を塩化物塩を用いて作製した。この飛灰洗浄水組成中のCs濃度は3.5 ppmとした。4種の吸着剤 (PB-MC、CuHCF、Csレジン、NiHCF) を用いて、作製した模擬飛灰洗浄水からCsを吸着回収し熱分解および溶出試験を実施した。溶出液組成を分析し、[Cs]/[K]分配係数 $K_{Cs/K}$ を評価した。その結果、各吸着剤の $K_{Cs/K}$ は、PB-MC : 529、CuHCF : 2203、Csレジン : 8927、NiHCF : 9625となった。K量低減を目指した処理として、NH₄⁺によるKとのイオン交換を実施した。PB-MCおよびCuHCFについて、NH₄⁺で後処理しKを吸着剤から脱離させたものが最も[Cs]/[K]比が良くなった。PB-MCで[Cs]/[K] = 9.33、CuHCFで[Cs]/[K] = 34.5となり、初期目標である[Cs]/[K] ~10を達成した。ガラス重量に対して、Cs充填量を10 wt%まで減少させると、K充填量をCs充填量と同等まで高充填化させても、固化体の均質性が保たれることが分かった。K充填量を増加させると、ポルサイト結晶を含有したコンポジット型の固化体から、ガラス単一化が進む事が示唆された。本試験で、K量をCs量と同等まで高充填化しても均質なガラス固化体が作製できることが示された。

②実飛灰洗浄水を使った放射性Csのインドラム ガラス固化

実飛灰洗浄水を用いて、吸着剤によるCsの選択吸着、燃焼、溶出操作を行い、V-50ドラム内に均質なポルサイト含有ガラス固化体を1回作製した。コールド試験と比較して、Cs吸着率が低い(36%)要因として、吸着試験時間が短い事および吸着剤量が少ない事が挙げられる。これらの試験条件を適切にすれば、全量近いCsが回収可能である。作製した固化体について、上部からの目視確認で、コールド試験で作製したポルサイト結晶を含有したガラスからなるコンポジット型固化体と同様の固化体が作製されていることを確認した。表面線量率を、固化体下部、中央部、上部の3点で測定したところ、それぞれ、0.37、0.26、0.20 μSv/hであった。本試験での放射能収支を右図に示す。CuHCFへ吸着した放射線量15966 Bqと、Cs溶出後吸着剤の放射線量1132 BqおよびCs溶出液の放射線量15392 Bqを足し合わせたものとの差分は、557 Bqであり、その差は3 %となった。十分な精度で放射性Csをトレースできたと考えられる。本実証試験で、インドラム式ガラス固化一連の、1.吸着剤による放射性Csの選択的吸着、2.Csを吸着した吸着剤の燃焼、3.燃焼残渣からのCs溶出試験において、十分な精度で放射性Csをトレースでき、均質なガラス固化体を作製された。したがって、インドラム式ガラス固化プロセスは、放射性Csを系外に排出することなく、安全かつクローズドなプロセスであることが示された。

③インドラムガラス固化体からの水へのCs浸出速度の評価

G311の規格化浸出率は、 3.9×10^{-6} g/cm²/dayであった。これら値は、セメントやセラミックス固化体と比較すると、3~4桁小さい値である。したがって、作製した固化体のCs溶出量は少なく、浸出性に問題は無い結果となった。

④実規模プロセスの物質収支、放射能収支、経済性評価

インドラム方式ガラス固化プロセスの物質収支、放射能収支を検討した結果、灰、土壌処理の最終処分形態としてのインドラム数量は100本以下に収めることが可能であることが分かった。低レベル放射性廃棄物としての保管スペースは10 m × 10 m程度に縮小でき、インドラム方式ガラス固化プロセス導入により廃棄物の安全かつクローズドな高減容化が可能である。

●実飛灰洗浄水を用いて、Cs選択吸着、燃焼、水溶出を経て得られたCs混合物を使ってインドラム方式で固化体を作製し、Csを固定化することに成功した。●K量低減のための前処理技術として、PB-MCおよびCuHCFについて、NH₄⁺で後処理しKを吸着剤から脱離させることで、PB-MCで[Cs]/[K] = 9.33、CuHCFで[Cs]/[K] = 34.5となり、初期目標である[Cs]/[K] ~10を達成した。●作製した固化体の規格化浸出率は、低い値であり、高い耐水性を示した。●インドラム方式ガラス固化プロセスの物質収支、放射能収支を検討した結果、熱処理前の廃棄物量からの高減容化が可能であり、インドラム方式ガラス固化プロセス導入により廃棄物の安全かつクローズドな高減容化が可能である。

付録1-8-2

No.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

実施代表者：大成建設株式会社

全体概要

本技術実証は、放射性セシウム(Cs)が高濃度に濃縮された溶融飛灰について、長期的な安定保管、浸出抑制の観点から、ジオポリマー固型化処理の試験を通じて、Cs保持性の高い再生利用資材化技術の検討を行うことを目的とし、将来的に安定な保管と最終処分量の減量化および安全な処分を実現することを目標とする。

実施内容としては、最終処分が行われる溶融飛灰や通常ジオポリマーの材料として用いられるメタカオリンをフィラーとし、水ガラス、水酸化カリウム、水で構成されるジオポリマー固型化用溶液等からジオポリマー固型化体を作製し、一軸圧縮強度試験機や浸出試験を実施した。また、浸出試験の結果を用いてトレンチ処分した場合の周辺の人に対する被ばく評価(安全評価)を行い、本技術が最終処分技術として適用できる可能性を示す。

実施内容

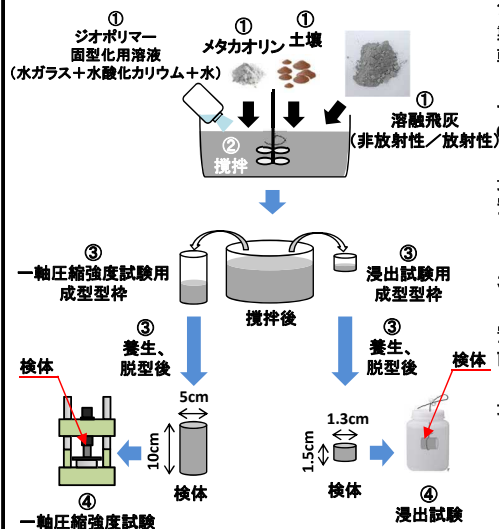
1. 試料の準備
 - ・溶融飛灰(非放射性・放射性)試料の選定・入手
2. コールド試験(非放射性)／3. ホット試験(放射性)
 - ・物性測定試験
 - ・ジオポリマー固型化試験(配合検討／作製等)
 - ・ジオポリマー性能試験(一軸圧縮強度／浸出試験)
 - ・最終処分を見据えた実用化検討
4. ジオポリマー固型化プロセスのマスバランス計算と最終処分の安全評価

事業の主な実施場所

コールド試験：北海道大学、富士電機(神奈川県)
ホット試験：技術実証フィールド

技術概要

1. 試験全体の流れ(コールド／ホット試験共通)



- ① ジオポリマー固型化用溶液、メタカオリン、土壌、溶融飛灰(非放射性／放射性)を準備する。
- ② 準備した材料を攪拌する。
- ③ 各種試験用の型枠に流し込み、その後養生、脱型する。
- ④ 脱型した固型化体(検体)に対し、性能試験(一軸圧縮強度試験、浸出試験)を実施する。

2. 成果目標

- (1) ジオポリマー固型化体を作製可能な配合の明示(一軸圧縮強度1,470kPa以上)
- (2) セメント固型化体よりも高いCs浸出抑制効果の確認
- (3) 最終処分したときの実用性、安全性等を評価

3. 期待される効果

- (1) 安定・安全に最終処分可能
- (2) 最終処分量の減量化

付録1-9-1

結果

1. 試料の準備

- ・溶融飛灰(非放射性／放射性)と土壌を準備した。

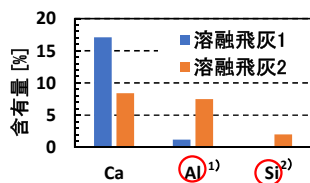
試料名称	放射性区分	備考
溶融飛灰1	非放射性	福島県内にて入手
溶融飛灰2	放射性	福島県双葉町仮設灰処理第二施設にて入手
土壌	非放射性	福島県内にて入手(花崗岩質)

溶融飛灰2

2. コールド試験／3. ホット試験

【物性測定試験】

- ・溶融飛灰2の方が1と比べ、ジオポリマーの固型化に必要なAlやSiが含まれている(溶融飛灰1はCaの含有量が相対的に高い)。



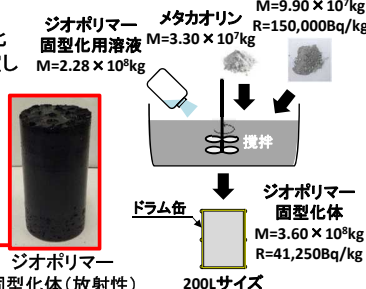
- 1) Alのソースは同定できていないが、非晶質相に含まれているならば、ジオポリマーの材料と成り得る。
- 2) 含有するSiの一部は石英として存在していることが確認できているので、ジオポリマーの材料として期待できないかもしれない。

【ジオポリマー固型化試験】

- ・コールド試験にてジオポリマー固型化体の配合を検討し、固型化状況が良い配合を選定した。ホット試験はコールド試験にて選定した配合を使用し、固型化体の作製を実施した。

ジオポリマー固型化用溶液配合 (SiO_2 : K_2O : H_2O , mol比)	フィラー配合 (MK ¹⁾ :溶飛 ²⁾ :土壌, 重量比)
1:1:11	2.5:7.5:0
1:1:13	2.5:7.5:0

1) MK=メタカオリン, 2) 溶飛=溶融飛灰



【ジオポリマー性能試験】

- ・一軸圧縮強度試験と浸出試験を実施した。

ジオポリマー固型化用溶液配合 (SiO_2 : K_2O : H_2O , mol比)	フィラー配合 (メタ:溶飛:土壌, 重量比)	一軸圧縮強度 ¹⁾ [kPa]	浸出率 ²⁾ [%]
1:1:11	2.5:7.5:0	非放 ³⁾ :5,060 放 ⁴⁾ :5,620	非放:48 放:24
1:1:13	2.5:7.5:0	非放:4,850 放:5,120	非放:37 放:23

- 1) 目標一軸圧縮強度:1,470kPa
- 2) セメントのCs浸出率:79.9%
- 3) 非放=非放射性
- 4) 放=放射性

【最終処分を見据えた実用化検討】

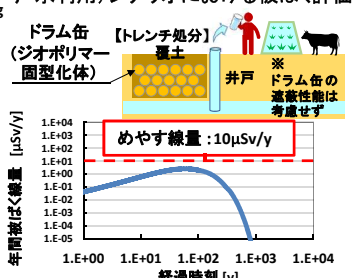
- ・最終処分方法として検討している製作したジオポリマー固型化体をドラム缶(200L)に充填させることを見据えて、ドラム缶の1/10のサイズである20Lの大きさでジオポリマー固型化体を作製した。



4. ジオポリマー固型化プロセスのマスバランス計算と最終処分の安全評価

【マスバランス計算】 【安全評価】

溶融飛灰・トレンチ処分した場合の地下水移行(井戸水利用)シナリオにおける被ばく評価



【まとめ】

- ・溶融飛灰を用いて、目標一軸圧縮強度1,470kPa以上でセメント固型化体より低いCs浸出率のジオポリマー固型化体を作製することができた。
- ・本事業で測定した浸出率から、ジオポリマー固型化体のトレンチ処分の安全評価を実施し、年間被ばく線量が10μSv/y以下になることを確認した。

付録1-9-2