

令和 2 年度
除去土壌等の減容等技術実証事業
Web 用概要書

No.1 次世代を担う人材への除去土壌等の管理・減容化・再生利用等の理解醸成

実施代表者：公益財団法人原子力安全研究協会

全体概要

除去土壌等の中間貯蔵施設への運搬、再生利用や最終処分および除染や汚染廃棄物の処理等に対し、全国的な議論の進展が必要とされている。しかし、除去土壌等の再生利用や処理等に対して、これまでの議論は技術的な側面が中心であり、次世代を担う若手(学生)や地域住民の方に説明する自治体担当者などの人材育成および理解醸成を含めたコミュニケーションとその方法論は不足している状況にあった。

本プロジェクトは、3年計画で次世代を担う学生、若手技術者等の人材育成のため、(1)コミュニケーションツール作成、(2)人材育成プログラムを実施し、これらの人材が『技術的内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的とした。本報告は最終年度である令和2年度の報告である。

実施内容

1 コミュニケーションツールの作成(技術的内容への理解促進)

実務者向けPhase3、自治体職員向けPhase2(Phase3と統合)、一般向けPhase1の改訂・公開資料の作成

2 大学生および若手研究者を対象とした人材育成プログラム

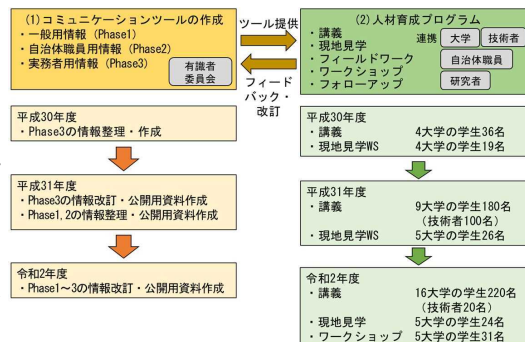
(1)大学での講義、(2)現地見学、(3)ワークショップ、(4)知識定着や気づきに向けたフォローアップ

事業の主な実施場所

福島県：飯館村、大熊町、双葉町、富岡町等
大学：長崎大学、京都大学、北海道大学、神戸大学等(オンラインによる実施)

技術概要

次世代を担う学生、若手技術者等の人材育成のため、(1)コミュニケーションツールの作成、(2)人材育成プログラムを3年間で構築・実行した(右図)。令和2年度は、コミュニケーションツールの改訂および16大学の学生220名を含む約240人へのオンライン講義、現地見学、フォローアップワークショップを実施した。



■実施内容1:コミュニケーションツールの改訂・公開資料作成

一般向けのPhase1資料は、改訂のための意見照会として、最終処分および除去土壌等の管理・減容化・再生利用等について馴染みが薄い市民に意見を求め、修正を実施した。

コミュニケーションツールは(2)人材育成プログラムでも使用し、令和2年度実施授業の事後アンケートにより得られた資料の改善意見を参照して改訂し、公開用資料を作成した。

■実施内容2:大学生および若手技術者を対象とした人材育成プログラム

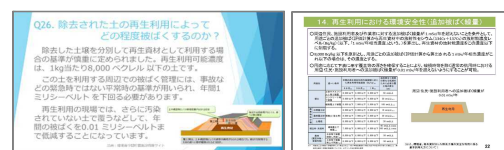
『技術内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的として、(1)大学での講義、(2)現地見学、(3)ワークショップ、(4)知識定着や気づきに向けたフォローアップを実施した。16大学の学生220名を含む約240人に対してコミュニケーションツールを用いた講義を、コロナウィルス感染防止のために、同期型オンライン授業として実施した。現地見学は大学別を基本とした小人数グループによる見学とし、ワークショップはオンラインを使用した、(ア)全体ワークショップ、(イ)フォローアップワークショップとして、知識の定着と気づきの共有を目的とするフォローアップと統合した。ワークショップでは、学生が講義と現地見学を通して得た理解をより深める場を複数設定することができた。

付録1-1-1

結果

■実施内容1:コミュニケーションツール作成

一般向けのPhase1資料は、改訂のための意見照会として、最終処分および除去土壌等の管理・減容化・再生利用等について馴染みが薄い市民に意見を求め、修正を実施した。Phase2(Phase3)の改訂は、講義の事後アンケートにより得られた資料の改善意見を参照した。



土壌の再生利用の安全性に関するページ
Phase1(左)Phase2,3(右)

■実施内容2:人材育成プログラム

①大学等での講義：16大学の学生220名を含む約240人に対してコミュニケーションツールを用いた講義を、コロナウィルス感染防止のために、同期型オンライン授業として実施した。東京大学、早稲田大学、横浜国立大学、神戸大学、長崎大学、九州大学では「単位認定授業」として講義を実施した。

②現地見学：コロナウィルス感染防止のために、大学別を基本とした小人数グループによる見学を実施した。大学での講義を受講し、講義の事前事後アンケートに回答した5大学の学生24名が参加した。

③ワークショップおよび④フォローアップ：オンラインを使用し、過年度参加者の参加も得て(ア)全体ワークショップ、(イ)フォローアップワークショップとして、理解をより深める場を複数設定した。フォローアップワークショップは、3回に分けて実施し、講義や現地見学に基づくディスカッションを通して、知識の定着や気づきの確認を図った。令和2年度の講義および現地見学の参加者27名および過年度参加者4名が参加した。



■技術等の評価

①技術的内容の理解度の確認：コミュニケーションツールを用いた講義に参加した学生に対して、理解度を確認することを目的としたアンケートを実施し9大学110名の回答を得た。全体の理解度は79%であり、目標とした理解度80%をほぼ達成した。

②理解・認知レベルの変化：大学での講義参加者に対して、講義の事前および事後アンケートを実施した。アンケートの結果はポジティブな回答が多く、オンライン講義においても対面と同等の満足度が得られていることが示唆されるとともに、今後の改善点が明確になった。事前事後両アンケートで同一回答者と確認できた75名の回答を用いて変化を検討した。技術的な側面と人的な課題の双方を理解したことがうかがえる結果となり、講義によって人材育成プログラムの目標『技術的内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』への達成が見られたと評価できた。

【まとめ】本プロジェクトでは、コミュニケーションツールと同ツールを用いた人材育成プログラムにより、除去土壌等の中間貯蔵施設への運搬、除去土壌等の再生利用や最終処分及び除染や汚染廃棄物の処理等に対し、これまで議論の中心であった技術的な側面とともに、合意形成や価値観の多様性等の社会的な課題について、3年間で次世代を担う若手に対して延べ500名以上の学生・技術者に授業やワークショップ等を行い理解を醸成し、さらに、今後の理解醸成に資する具体的な提案を示した。また、今後への示唆として、人材育成プログラムの一環であるワークショップにおいては、理解醸成の在り方について議論を展開した学生から多様な提案が示された。特に興味ある話題を入口として基礎知識の獲得に向かう理解醸成の方法、SNSや動画配信サイトといった新たなメディアとの関係構築といった今後の最終処分に向けた理解醸成において重要な視点を得た。

付録1-1-2

No.2 除去土壌の再生利用等に関わる理解醸成のための課題解決型アプローチの実践Ⅲ

実施代表者：福島工業高等専門学校

全体概要

本校の準学士課程(4～5学年)から専攻科(2年)にわたる4年間(大学学部相当期間)の学生を対象として、学修プログラム、フィールド・ワークなどを踏まえ、除去土壌の中間貯蔵、減容・再生利用、最終処分に貢献できる人材の育成を図る。その上で、地域的な問題、課題を意識した除去土壌の再生利用等に関する理解醸成のための実践を試行し、その効果を検証する。

実施内容

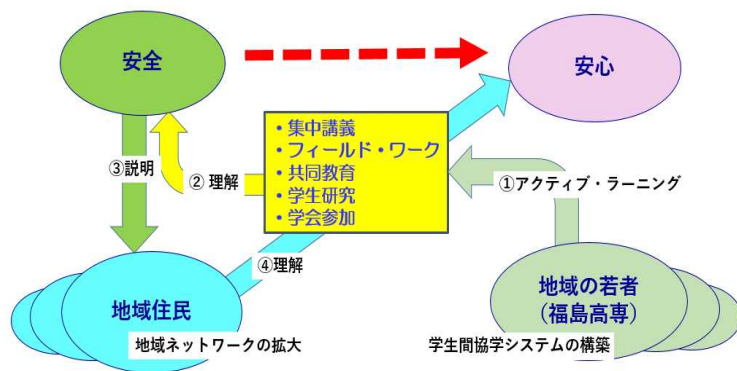
- ①学修プログラム(集中講義)
- ②フィールドワーク
- ③課題解決型アプローチの実践
(共同教育、学生研究、学会参加、地域住民等との共同作業や対話等)

事業の主な実施場所

福島工業高等専門学校

実施概要

再生利用等の地域住民等の理解向上に向けて、高専生による①アクティブ・ラーニング、②安全に対する理解、③安全に関する住民等への説明、④対話を通じた地域住民等の感覚に基づく安全から安心へ橋渡しの可能性を追求する(下記)。



- ①学修プログラム(集中講義)
除去土壌の発生、再生利用技術や安全評価など6講義
- ②フィールドワーク
環境再生事業施設、中間貯蔵施設など5施設を視察し、各施設の目的、事業内容、現状などを把握
- ③課題解決型アプローチの実践
共同教育は4ヶ所、学生研究は5テーマ、学会は7学会(オンラインが主)、全国展開の模索は2高専、福島大学との交流、地域住民等との対話は大熊町で共同作業や勉強会を実施

付録1-2-1

結果

○本アプローチ実践を通じた住民や高専学生の意見等

➤住民からの主な意見

- ・大熊町・花舞台作業～勉強会は極めて有効であり、継続すべきである。
- ・住民との交流の成果は国や首長に伝えてほしい。
- ・再生された除去土壌を用いて、大熊町の災害公営住宅、大野駅、坂下ダムなどの周辺に花舞台を設置し、散歩道も設けてほしい。
- ・学生との活動はとても素晴らしい時間だった、火を消さずに続けてほしい。
- ・花舞台では野菜も栽培し、収穫祭り等を通じて安全性のPRを！

➤学生からの主な意見

- ・除去土壌が再生利用されないと30年後、次の世代に負の遺産として引き継がれてしまう。
- ・本活動をマスコミを通じて日本全国に発信してほしい。
- ・学校で学んだことが、活動を通じ社会に直接役立っていると感じた。

○本アプローチの実践を通じた成果

- ・学生の理解に関しては、勉強会におけるグループ討論などにおける地域住民の前向きな意見や感想、再利用先の提案などを聞いて学生は除去土壌の再生利用についておおいに理解を深めることができた。
- ・住民の理解に関しては、グループ討論などを通じて住民は再生利用について理解するだけでなく、多くの具体的な提案を出すことができた。
- ・住民の関心の広がりに関しては、勉強会に先駆けて大熊町住民と大熊町・花舞台の活動を通じ学生とのつながりを深めることができた。このような地道な共同作業や対話は徐々にではあるが住民の理解、関心のみならず前向きな姿勢を生んでおりその効果を実感した。



大熊町・花舞台の様子



勉強会の様子(大熊町役場)

○まとめ(3年間のまとめ)

除去土壌の再生利用等に関して、地域の次世代の若者(高専学生)による「知る」、「見る」、「伝える」の活動に加え、地域住民との「共同作業」による理解醸成のアプローチは、再生利用等について住民が正しく理解することに貢献するとともに、学生も住民との対話によりさらに理解を深めることができた。これにより、除去土壌の再生利用等に関する理解醸成に向けた本アプローチは有効であることが実証され、一つの方法が確立したといえる。

付録1-2-2

No.3 膨潤抑制剤添加処理により除去土壌の再利用を効率化する技術

実施代表者：株式会社奥村組

全体概要

福島第一原発事故の除染作業により発生した約1,300万m³の除去土壌の中間貯蔵施設への輸送事業が進みつつある中で、減容・再生利用技術開発戦略検討会等において、1万5千〜6万2千Bq/kgの除去土壌132万m³の減容化方法として湿式分級処理技術が検討されている。

一方、中間貯蔵施設における除去土壌の受入分別時には、異物除去を行うために、高吸水性樹脂(Super Absorbent Polymer、以下SAP)が数%配合されている改質材が混合される場合がある。このSAPは数百倍に及ぶ吸水膨潤性があるため、土壌に含まれる量が微量であっても、湿式分級処理によって再生資材化された土壌の利用時の品質に影響を及ぼす懸念がある。

そこで、湿式分級された土壌のSAPの影響確認と影響が生じた場合の品質改善に寄与することの確認を目的とし、多価陽イオンを加えるとSAPの膨潤が抑制される原理を利用した本技術を用いた湿式分級処理により回収した粗粒土壌の特性評価試験と、その土壌を用いた実証盛土試験等を実施した。

実施内容

1. サイト外室内試験と現地トリートビリティ試験(平成31年度)

改質材の特性と膨潤抑制剤(以下、抑制剤)の効果を検証した。

2. 湿式分級処理試験(平成31年度)

湿式分級処理された回収粗粒土壌を用いて改質材や抑制剤添加時の物性を評価した。

3. 実証盛土試験(本年度)

3山の実証盛土A,B,Cをそれぞれ2分割し、計6種類の条件にて抑制剤の有無による土質特性等の向上効果を確認した。

盛土名	A		B		C	
ケース番号	1	2	3	4	5	6
湿式分級処理	あり				なし	
改質材の追添加	なし		あり		なし	
抑制剤の添加	なし	あり	なし	あり	なし	あり

事業の主な実施場所

1. 技術実証フィールド(福島県大熊町)
2. (株)奥村組技術研究所(茨城県つくば市)

技術概要

1. 技術の原理

図-1のようにSAPは水との接触で膨潤するが、ここに抑制剤を加えると、端部に多価陽イオンが結合し、反発・膨張が抑制されて、取り込んだ水分を放出する。この現象は、土壌が介在しても発現し、75μm篩上の土壌やその含水率等で確認(膨潤性確認試験)することが出来る。

2. 湿式分級処理

湿式分級実証プラント(写真-1)で粗粒土壌を回収し、実証盛土構築用の資材とした。

3. 抑制剤

抑制剤として、硫酸第一鉄を選定した。

4. 実証盛土試験

図-2のように分別後土壌を湿式分級処理した粗粒土壌で構築した盛土A(ケース1,2)、分別後土壌に3wt%改質材を追添加し湿式分級処理した粗粒土壌で構築した盛土B(ケース3,4)、分別後土壌に3wt%改質材を追添加した盛土C(ケース5,6)を構築した。ケース2,4,6には0.5wt%の抑制剤を添加した(写真-2、3)。

本年度は、平成31年度に着手したモニタリングを継続し、抑制剤添加の有無により盛土の沈下量や盛土材料に関するコーン指数などの土質特性の違いの有無を確認した。



図-1 SAPの吸水膨潤挙動と抑制剤の添加効果(膨潤性確認試験)

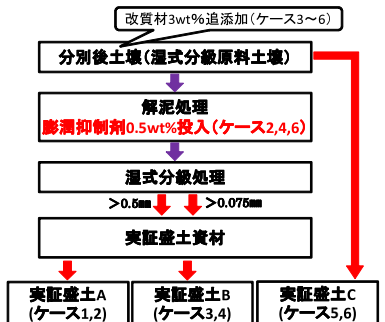


図-2 実証試験実施フロー



写真-1 湿式分級処理設備(平成31年度)



写真-2 実証盛土(今年度)



写真-3 実証盛土(今年度)

付録1-3-1

結果

1. サイト外室内試験(平成31年度)

①非汚染土壌で改質材の特性と抑制剤の効果を確認、②改質材と抑制剤の選定

2. 現地トリートビリティ試験(平成31年度)

①提供分別後土壌の膨潤性確認、②改質材を追添加した場合の膨潤性と抑制剤効果の確認

3. 湿式分級処理試験(平成31年度)

①湿式分級処理の実施、②改質材の湿式分級処理への影響と抑制剤添加効果の確認

4. 実証盛土試験(平成31年度～本年度)

①実証盛土資材を用いて実証盛土を構築、②実証盛土モニタリングの開始

【本年度】

- ①実証盛土モニタリングの継続
- ②土質試験、沈下量、浸出水の性状等を測定
- ③改質材による盛土材料としての特性変化や抑制剤による土質物性向上効果等の確認

【結果】

(1) 盛土沈下量

抑制剤を添加したケース(ケース2,4,6)の方が、沈下量が抑制される結果となった。
⇒盛土等の沈下を抑制できる。(図-3)

(2) 浸出水分析

①環境項目：セシウムを含む項目で排水基準超過は確認されなかった。

(構築直後のみ抑制剤添加ケースで溶解性鉄が排水基準超過)
⇒周辺環境への悪影響は低い。(表-1)

②浸出水量：抑制剤添加ケース(ケース2,4)の方が、浸出水量が多い結果となった。
⇒SAPの保水力が低減され浸透性が向上し、浸出水量の増大に繋がった。(図-4)。

(3) 土質特性

①原位置コーン貫入試験：抑制剤添加ケース(ケース2,4,6)で増大傾向(14〜36%)を示した。

⇒抑制剤の添加がコーン貫入値の増大に繋がった。(図-5)

②一面せん断試験：改質材を追添加したケース(ケース3,4)で約11%増大した。

⇒抑制剤による土壌品質の向上効果が期待できる。

③含水率：全てのケースで盛土構築から1年後に10ポイント程度の脱水が生じた。

⇒1年間の乾湿の繰り返しで土中のSAPの保水特性が変化した可能性がある

5. 実証試験における空間線量率と作業員被ばく量調査(平成31年度～本年度)

①本実証試験実施による周辺の空間線量率の増加は確認されなかった。

②本年度事業での被ばく量最大値は1.62μSv/日で、除去土壌搬入、湿式分級処理、盛土解体の間の最大被ばく量は1.88μSv/日と全体を通して被ばくリスクは小さい結果となった。

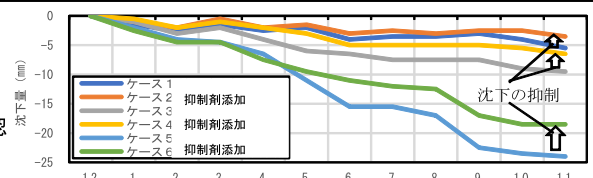


図-3 実証盛土の沈下量測定



写真-4 実証盛土

表-1 浸出水分析結果

項目	単位	分析結果	排水基準
放射性物質	Bq/L	全検体で不検出	Cs134: 80 Cs137: 90
溶解性鉄	mg/L	盛土直後の2検体のみ基準超過	10
硫酸イオン	〃	最大1,300mg/L	排水基準値 濁水: 2,600
マンガン	〃	全検体で基準以下	10

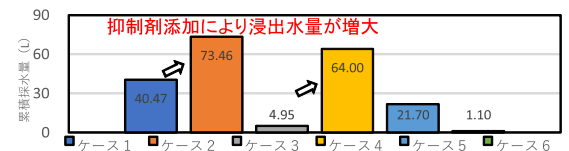


図-4 浸出水の累積浸透量

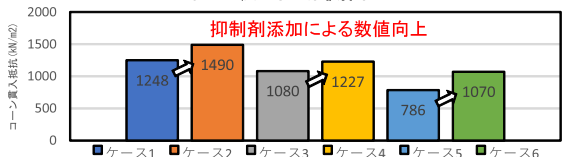


図-5 原位置コーン貫入試験



写真-5 浸出水採取



写真-6 原位置コーン貫入試験



写真-7 室内コーン貫入試験

まとめ

湿式分級した除去土壌中のSAPが再生資材の品質に及ぼす影響と品質の向上方法を検討する目的で実証試験を実施した。その結果、抑制剤を適用した資材について、沈下の抑制、浸透性等の土質特性について著しい効果ではないものの向上性を示すこと、周辺環境への悪影響はないこと、およびSAPの存在量と膨潤性の度合いなどでその効果の発現性に違いが生じる知見等、抑制剤の適用効果を明らかに出来た。また、膨潤性が顕著でない分別後土壌(SAP含有量が少ない等)への適用は土質特性の向上効果が期待できず、事前の室内試験(膨潤性確認試験等)による確認が重要である知見も得た。

付録1-3-2

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、安定性を確認することを目的としている。今年度は、室内試験を実施した。

実施内容

- ① 溶融スラグの性状確認
 - ・放射性物質濃度
 - ・重金属溶出量および含有量試験
 - ・物理性状確認
- ② 再生利用品の安全性・安定性確認
 - ・再生利用材料としての適用性確認（盛土材、路盤材、アスファルト舗装、コンクリート骨材）
 - ・安全性および安定性の確認（表面線量率測定、タンクリーチング試験）

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)
東京都清瀬市、千葉県佐倉市

技術概要

1. 試験手順

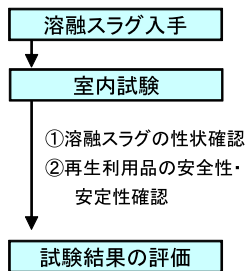


図1 試験フロー

- 1) 項目：カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素
- 2) JIS A 5031：一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材
- 3) JIS A 5032：一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ
- 4) 国土交通省 品質管理基準及び規格値(案) (令和2年3月)
- 5) 国土交通省 土木工事共通仕様書(令和2年3月)

2. 試験目標

- ・溶融スラグの放射性物質濃度、重金属溶出量・含有量、物理特性を把握する。
- ・各種再生利用品（盛土、路盤、アスファルト舗装、コンクリート）の環境安全性を含む品質、安定性を確認し、各種再生利用品の材料としての適用性を評価する。

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。

表1 試験実施項目

実施内容	区分	試験項目、方法等
① 溶融スラグの性状確認	放射性物質濃度	放射能濃度等測定方法ガイドライン(第2版)
	重金属 ¹⁾ 溶出量および含有量試験	JIS A 5031 ²⁾ 、JIS A 5032 ³⁾ 平成15年環境省告示第18号、19号
	物理性状確認	各種JIS規格
② 再生利用品の安全性・安定性確認	再生利用材料としての適用性確認 ・盛土材 ・路盤材 ・アスファルト舗装 ・コンクリート骨材	JIS A 5031、JIS A 5032、 各種JIS規格、 共通仕様書 ⁴⁾ 、品質管理基準 ⁵⁾ 舗装調査・試験法便覧
	安全性および安定性の確認	表面線量率測定 タンクリーチング試験



図2 シャフト炉スラグ



図3 表面溶融炉スラグ

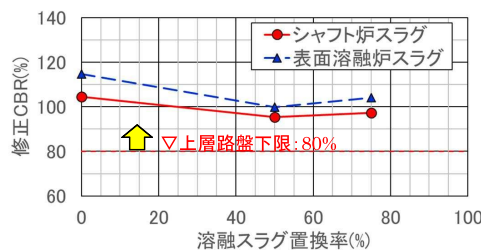
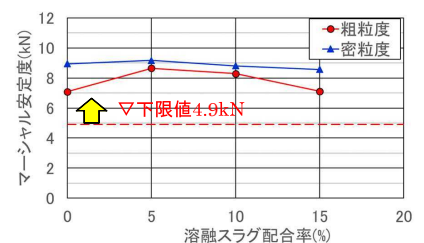
付録1-4-1

結果

1. 試験から得られた成果

① 溶融スラグの性状確認

重金属等溶出量・含有量は環境安全品質基準(JIS)を満たしていた。シャフト炉スラグは100Bq/kg程度、表面溶融炉スラグは3,000Bq/kg程度だった。

図4 溶融スラグ置換率と修正CBRとの関係(路盤材試験)
(注) 溶融スラグ置換率(%)=(置換したスラグ質量)/(全路盤材質量)×100 (%)図5 溶融スラグ配合率と安定度との関係(アスファルト舗装試験)
(注) 溶融スラグ配合率(%)=(細骨材と置換したスラグの質量)/(全骨材質量)×100 (%)

② 再生利用品の安全性・安定性確認

- ・**盛土材**：粘性土等を用いて作製した中間土に溶融スラグを配合した盛土供試体は、粒度分布が改善され、建設発生土の基準（今回は第二種）を満足していた。pHはほぼ中性であり、盛土材として適用可能な品質を有していた。
- ・**路盤材**：スクリーニングスの50%、75%（重量比）を溶融スラグで置換した路盤材は、粒度調整砕石(M-40)として適用可能な品質を有していた（結果を図4に例示）。
- ・**アスファルト舗装**：溶融スラグを0～15%配合した粗粒度アスファルト混合物(20^注)および密粒度アスファルト混合物(13^注)は、所定の耐久性、耐水性を有していた（結果を図5に例示）。
注) 骨材の最大粒径(20mmあるいは13mm)を示す
- ・**コンクリート骨材**：細骨材の50%を溶融スラグで置換したコンクリートは、圧縮強度(30N/m²以上)など、所定の品質を有していた(結果を図6に例示)。
- ・**表面線量率**：溶融スラグに起因する被ばく量は日上限値を大きく下回っていた。
- ・**タンクリーチング試験**：アスファルト舗装およびコンクリートの供試体を用い、4、8、12週経過後の浸漬水を採取して分析した結果、重金属等の濃度はすべて基準適合であった。

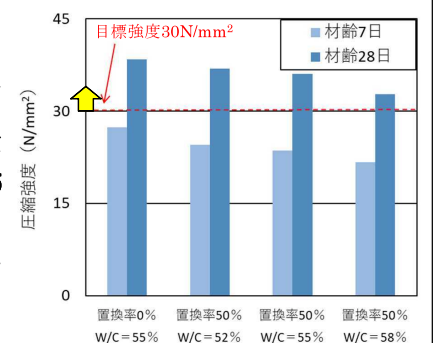


図6 圧縮強度試験結果(コンクリート試験)

2. 再生利用方法の検討

- ・使用用途ごとに、施工方法、品質管理方法の検討、再生利用に関するコスト試算を行った。
- ・大量のスラグの放射性物質濃度測定方法に関する検討として、5種類の測定方法について情報を整理した。

3. まとめ

- ・室内試験により、溶融スラグが、盛土材、路盤材、アスファルト舗装およびコンクリート骨材の材料として適用可能であることを確認できた。今後、得られた知見をもとに試験施工を行い、施工方法、品質管理方法を実証する。

付録1-4-2

No.5 溶融スラグ及び洗浄飛灰を用いた高圧脱水ブロック製作による再生利用

実施代表者：九州大学

全体概要

仮設灰処理施設から発生する溶融スラグと溶融飛灰を用いて、有害物質の溶出等がなく、かつ、必要な強度を有するブロック製品の製造実証試験を行う。

本実証試験では、水洗浄により放射性Cs濃度及び溶出量の低減化をはかった溶融飛灰に、溶融スラグとセメントと水を混合しスラリー状にした後、排水機能を有した鋼製枠内に打込み、高圧脱水しながらブロックを製作する。

このブロックの放射性Cs濃度が8,000Bq/kg以下になること、放射性Csの溶出量が一定以下※1であること、一軸圧縮強度が18.0MN/m²(σ28)以上※2であることを確認する。

※1「放射能濃度等測定方法ガイドライン」平成25年3月／環境省 第8章溶出量8.3分析条件及び検出下限値に準拠(検出下限値はセシウム134と137の合計が10～20Bq/L)

※2 一軸圧縮強度の18.0MN/m²(σ28)は、一般的な無筋コンクリートの設計基準強度(一軸圧縮強度)の18N/mm²=18.0MN/m²より設定

実施内容

1. 事前試験

溶融飛灰

- ・基本性状の確認、事前破碎可否の確認

- ・溶媒の液固比と攪拌時間の確認、リンス効果の確認

溶融スラグ

- ・基本性状の確認

2. ラボスケール試験

- ・一軸圧縮強度試験(JIS A 1216)

- ・放射性Cs濃度試験(ガイドライン)

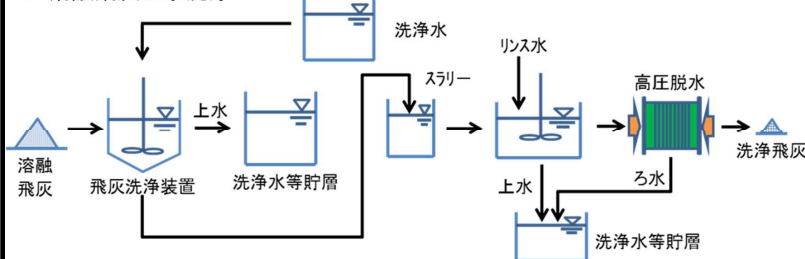
- ・放射性Cs溶出量試験(JIS K 0058-1)

事業の主な実施場所

技術実証フィールド(福島県双葉郡大熊町)

技術概要

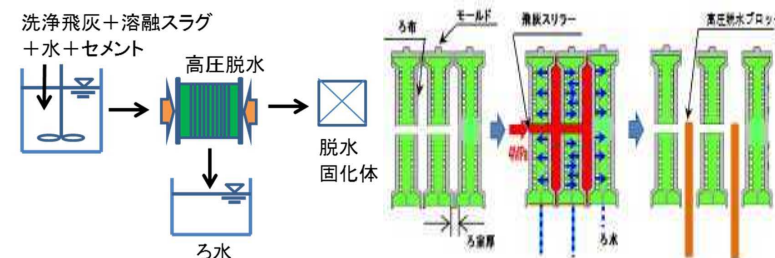
1. 溶融飛灰の水洗浄



溶融飛灰を洗浄した後、脱水を行う。洗浄後の飛灰に更にリンスを行うことにより飛灰粒子間の洗浄水を置換する。

2. 高圧脱水によるコンクリートブロックの製造

ろ過圧力4MPaの高圧ポンプで強制的にスラリー(洗浄溶融飛灰、溶融スラグ、水、セメントの混合物)を脱水機モールド内部に打ち込むと、モールド内部に張られたろ布を通じて水のみが排水・脱水され、コンクリートブロックが製造できる。



付録1-5-1

結果

1. 溶融飛灰の水洗浄

- ・溶融飛灰は洗浄後、17.8%に重量が減る。
- ・初期放射性Cs濃度240,000Bq/kgの溶融飛灰を洗浄とリンスを組合わせる洗浄を行うことにより、液固比12で残渣の放射性Cs濃度を4,264Bq/kgに低減できた。水量を抑制しつつ洗浄効果を得るには、洗浄とリンスを組合わせることが有効である。



溶融飛灰



飛灰の洗浄状況



溶融スラグ



高圧脱水ブロック

2. 高圧脱水によるコンクリートブロックの製造

- ・施工性・経済性・再生利用の観点から品質目標を満たす最も適した配合は、質量比率で、洗浄飛灰3%：溶融スラグ19%：セメント58%：水20%と考えられる。
- ・洗浄飛灰の添加率は3%程度にとどまった。その理由は洗浄飛灰に含まれる亜鉛や鉛などのセメント固化を阻害する物質の存在と考えられる。
- ・溶融スラグの添加率は19%であったが、洗浄飛灰を添加しない場合、溶融スラグは天然砂と同様に使用でき、さらに添加率を向上できるものと考えられる。

表2.1 本試験における品質目標と成果

目的	項目	目標値	試験結果
放射性Cs濃度が基準値以下であること	高圧脱水ブロックの放射性Cs濃度を確認する	・高圧脱水ブロックの放射性Cs濃度が8,000Bq/kg以下であること	130Bq/kg O.K
放射性Csの溶出量が一定以下であること	高圧脱水ブロックの放射性Cs溶出量を確認する	・高圧脱水ブロックから放射性Csが溶出しにくいこと(10～20Bq/L以下)	2.4Bq/L O.K
必要な強度が得られること	高圧脱水ブロックから採取した供試体の一軸圧縮強度を確認する	・高圧脱水ブロックの材令28日の一軸圧縮強度が18.0MN/m ² 以上であること	19.4MN/m ² O.K

表2.2 本試験における高圧脱水ブロック1.0m³の内訳

項目	洗浄飛灰	溶融スラグ	セメント	水	合計
容量(m ³)	0.018	0.149	0.403	0.430	1.000
質量(t)	0.049(3%)	0.409(19%)	1.227(58%)	0.430(20%)	2.115(100%)

3. 洗浄水等の処理

今回のシステム：アルカリ凝集→フィルタープレスによる脱水・ろ過→凝集沈殿(濁質除去)→プルシアンブルー吸着(放射性Cs吸着)→キレート吸着(重金属吸着)により処理水は一律排水基準と放射性Csの排水基準(¹³⁴Cs/60+¹³⁷Cs/90<1)を満たすことができた。

4. 作業員一人当たりの被ばく量

- ・被ばくは最も被ばく量が高いと思われる飛灰採取において、最大11.3μSv/日であった。
- ・この評価から200日間作業した場合、2,260μSv/年=2.2mSv/年<20mSv/年となり、基準値を大幅に下回る。

5. 物質収支

- ・固形分収支は90.6%～99.7%、水分収支は90.6%～98.4%、放射能収支は90.5%～97.9%であり、回収率の良いシステムである。

6. トータルコスト

- ・溶融飛灰の処理量は30t/日とし、プラントの稼働は333日/年、10年間で10万t処理する。
- ・10万tの溶融飛灰は洗浄により、17,800tの洗浄飛灰となる。
- ・17,800tの洗浄飛灰、112,733tの溶融スラグ、344,133tのセメント、118,667tの水を使用し、高圧脱水ブロックを593,333t製作する(配合は表2.2参照)。
- ・ブロック1t当りの製作コスト：114,600円/t

内訳(高圧脱水ブロック1t当り)
溶融飛灰の洗浄工程：12,400円/t
高圧脱水ブロックの製作工程：35,400円/t
水処理工程：96,800円/t

■まとめ

- ・初期放射性Cs濃度240,000Bq/kgである溶融飛灰を洗浄により4,264Bq/kgに低減できた。洗浄にはリンスを組合せることが有効である。
- ・溶融スラグの添加率は質量比で19%であったが、洗浄飛灰を入れない場合、溶融スラグは天然砂と同様に使用でき、さらに添加できると考える。
- ・今回のシステムにより処理水は一律排水基準値と放射性Csの排水基準(¹³⁴Cs/60+¹³⁷Cs/90<1.0)を満たすことができた。

付録1-5-2

No.6 酸化グラフェンを利用した溶融飛灰洗浄水の減容化に関する研究

実施代表者：株式会社三菱総合研究所

全体概要

仮設灰処理施設から発生する溶融飛灰に含まれる高濃度の放射性セシウムはその多くが溶解性であり、そのままでは溶出しやす不安定である。洗浄操作によって放射性セシウムを洗浄水中に移行させ、その放射性セシウムを吸着材によって洗浄水から除去・濃縮すれば放射性セシウムを含む廃棄物を減容化することが可能となる。

セシウム吸着材として従来はブルシアンブルー、ゼオライト等が用いられていたが、酸化グラフェンを用いれば比較的容易な方法で同等の効果が得られる可能性がある。

本研究では、酸化グラフェンによる放射性セシウムの吸着能力を評価し、その実用化の可能性について検討する。

実施内容

本研究では、以下のことを実施した。

1. 実証試験によるセシウム吸着性能の評価

(1)コールド試験

安定セシウムが溶存した模擬溶液での酸化グラフェンの以下の特性を評価するための吸着試験を実施した。

- 安定セシウム吸着能力の評価
- 共存イオン存在下での安定セシウム吸着特性の評価
- 安定セシウム再溶出特性の評価

(2)ホット試験

放射性セシウム (Cs-137) が溶存した模擬溶液での酸化グラフェンの以下の特性を評価するための吸着試験を実施した。

- 放射性セシウム吸着能力の評価
- 放射性セシウム再溶出特性の評価

2. 溶融飛灰洗浄水処理方法の検討

酸化グラフェンを吸着材とした溶融飛灰洗浄水処理について、光学的実現性及び放射線安全性に関して検討した。

事業の主な実施場所

熊本大学 黒神地区アイソトープ施設

技術概要

1. 新規性

酸化グラフェン (以下、「GO」という) は、図1に示すような構造で、厚みが1nmで、サイズは1 μ m程度のナノシートであり、表面が多数の酸素官能基で覆われているため、負の電荷を有している。そのためGOは静電的相互作用によりセシウムイオンなどの陽イオンを吸着することができる。また、GOは、図2に示すように水溶液に沈殿することなく分散しているため、セシウムイオン等と吸着し易く、また、これらのイオン等を吸着すると凝集し、比較的容易に分離することが可能である。

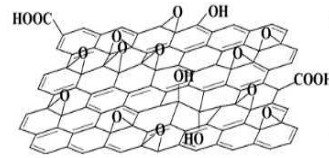


図1 GOの構造

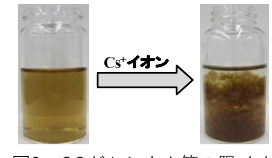


図2 GOがセシウム等の陽イオンを吸着して凝集する様子

2. 試験要領

GOの安定セシウムおよび放射性セシウムの吸着性能を評価するため、図3に示すような手順で吸着試験を実施した。なお、吸着材としての性能を比較するため、吸着材として既に知られているブルシアンブルー、ゼオライトによる吸着試験も行った。

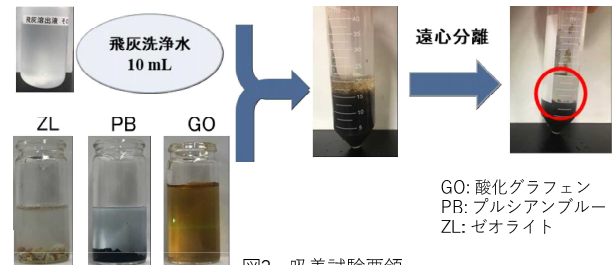


図3 吸着試験要領

付録1-6-1

結果

1. 実証試験によるセシウム吸着性能の評価結果

(1)コールド試験

- 安定セシウム (以下、セシウムを「Cs」という) 単体溶液中のGOの安定Csの回収率 (吸着率) は図4に示すように最大で45%となった。
- 1ppmの安定Cs濃度の溶液10mLにGOを100mg添加し、GO吸着残渣を吸着処理液から分離し、再度、溶液 (純水または模擬海水) を加えてGO吸着残渣に保持している安定Csの割合を評価した結果を図5に示す。溶液が模擬海水の場合ではイオン交換反応により、ほぼ全ての安定Csが溶液中に再溶出した。純水の場合でも最大で85%近くは溶液中に再溶出した。

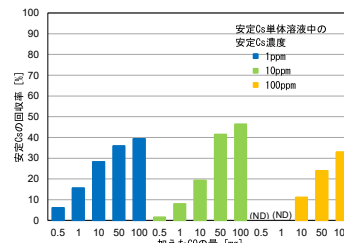


図4 安定Cs単体溶液のGOによる安定Csの回収率

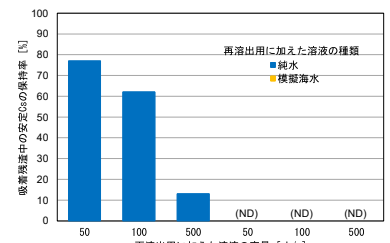


図5 GOの吸着残渣の安定Cs保持率

(2)ホット試験結果

- GO分散液 (原液) 中に残存している陽イオンを除去し、Csイオンの回収率を改善するために、純水でGOを洗浄した。
- 図6に、GOの洗浄あり/なしでの放射性Csの回収率の違いを評価した結果を示す。GOの洗浄により、Cs単体の溶液では回収率が改善したが、Cs以外の共存イオンが溶解している模擬溶液 (組成は表1参照) ではGO洗浄の効果はあまり見られなかった。
- GOによる吸着操作を繰り返した場合の吸着残渣と吸着処理液中の放射性Csの放射能の変化を図7に示す。繰り返し吸着することで回収率は20%から10%へと現象していくことがわかった。

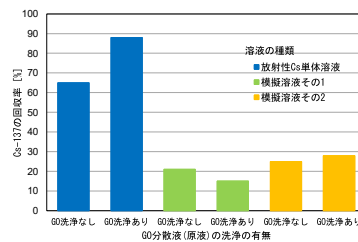


図6 GOの洗浄なし/ありの放射性Cs回収率の比較

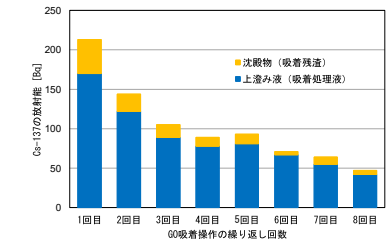


図7 GO吸着操作による放射性Csの吸着の変化

2. 溶融飛灰洗浄水処理方法の検討

- GOを吸着材として用いた場合の溶融飛灰洗浄水処理フローによるマスバランスを評価した結果を図8に示す。なお、ここではGOの吸着率が65%に向上するとして吸着処理回数を6回として評価した。
- その結果、この処理による減容率 (容積による) は吸着残渣の含水率が50%の場合で41%、無水とした場合で21%と試算された。

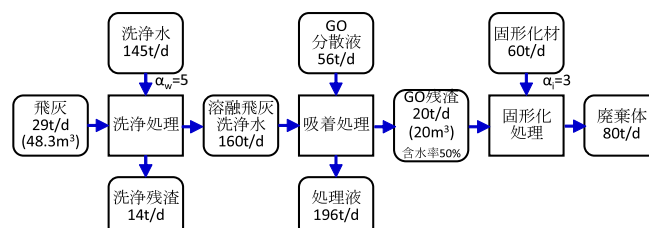


図8 溶融飛灰洗浄水処理のマスバランス試算結果

表1 模擬溶液の組成

模擬溶液その1		模擬溶液その2	
元素	濃度 (mg/L)	元素	濃度 (mg/L)
Na	22,000	Na	450
K	36,000	K	1,000
Ca	1,500	Ca	2,000
Cl	66,563	Cl	4,231
SO ₄	3,595	SO ₄	1,228
Sr	0.8	Sr	7.2
Cs	1.7	Cs	0.9

まとめ

GOを吸着材としても用いて、溶融飛灰洗浄水中に溶解した放射性セシウムを吸着することを確認したが、吸着性能を改善するためにはGO分散液中の共存イオンを除去するための洗浄が有効であることがわかった。しかし、Cs以外の共存イオンが多く存在する場合は、その効果は少なく、GOによる放射性Csの回収率は20%程度であった。放射性Csの回収率が65%としてGOを吸着材とした溶融飛灰洗浄水処理方法の検討を行い、必要な機器、コスト、実機規模での被ばく線量等について試算した。

溶融飛灰洗浄水に溶存している放射性Csを吸着する性能を最大化して実用化するためには、GOの品質 (分散液中の陽イオン濃度、酸素官能基の種類やその量、ナノシート形状等) を最適化する必要がある。

付録1-6-2

No.8 微粉碎土壌をジオポリマーの固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除去土壌の細粒分について、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指す。

本技術は、細粒分を構成する風化黒雲母あるいはパーミキュライトの層構造を微粉碎処理により破壊し、層間に取り込まれたCsを遊離させるとともに、その粉碎試料をジオポリマー資材として利用することを特徴とする。

注)本試験でのジオポリマー固化体は土壌細粒分を活性フィラーとし、水ガラスと水酸化カリウムの混合溶液からなるアルカリ刺激剤との縮重合反応により形成される固化体をいう。

実施内容

1. 事前準備

- 一般土壌(非放射性)、除去土壌(放射性)試料の選定および入手

2. 一般土壌による試験／3. 除去土壌による試験

- ジオポリマー固化に関する物理・化学性の測定試験
- ビーズミルによる微粉碎試験
- 配合条件を設定しジオポリマー固化および性能試験

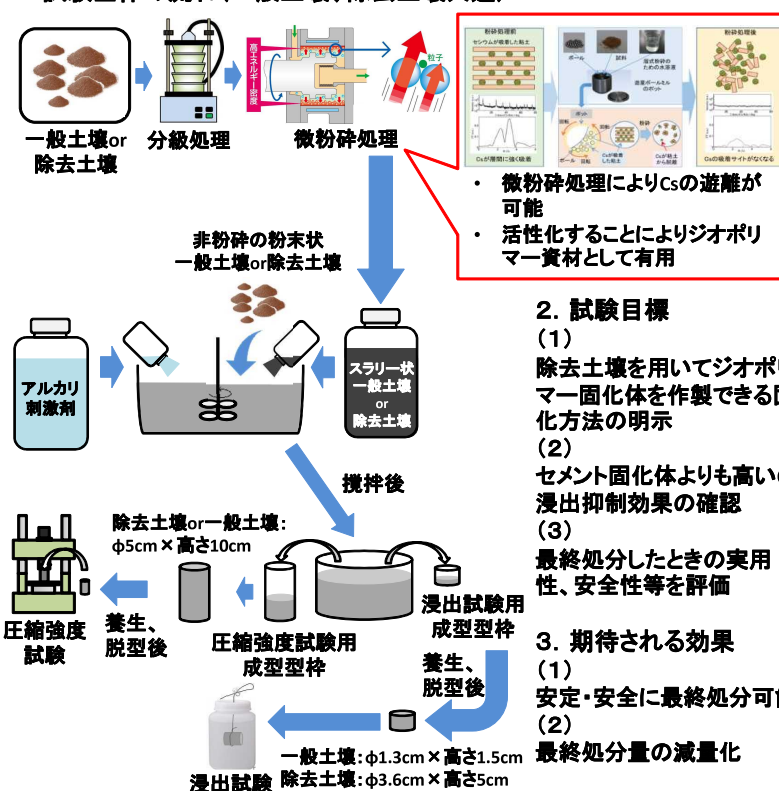
4. 最終処分を見据えた実用化検討および安全性評価

事業の主な実施場所

一般土壌による試験：北海道大学、ダイセキ環境ソリューション(愛知県)、アシザワ・ファインテック(千葉県) 他
除去土壌による試験：技術実証フィールド

技術概要

1. 試験全体の流れ(一般土壌、除去土壌共通)



2. 試験目標

- (1) 除去土壌を用いてジオポリマー固化体を作製できる固化方法の明示
- (2) セメント固化体よりも高い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1-8-1

結果

1. 事前準備

- 一般土壌2種類、除去土壌2種類の土壌計4試料を準備した。

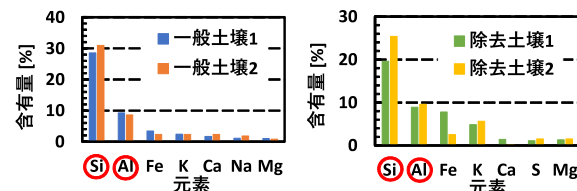
試料名称	放射性区分	条件
一般土壌1	非放射性	玄武岩質
一般土壌2	非放射性	花崗岩質
除去土壌1	放射性	細粒分(56.9%)
除去土壌2	放射性	細粒分(34.9%)



2. 一般土壌／除去土壌による試験

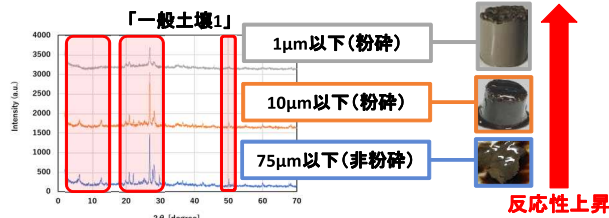
【物理・化学性測定試験】

- 一般／除去ともにジオポリマー固化に必要なSi・Al含有量が多い。



【微粉碎試験】

- 一般／除去ともに粉碎によりXRDピークの強度が減少または消失し、非晶質化が進行した。それに伴い、ジオポリマー固化への反応性が上昇した。



【固化および性能試験】

- 一般／除去ともにメジアン径1μm以下のスラリー状土壌と非粉碎土壌を用いて固化および性能試験を実施した。

試料	配合 ¹⁾	浸出率 ²⁾	圧縮強度 ³⁾
一般1	1:20#60.0	35.46%	1,811kPa
一般2	[s+p]	39.13%	1,781kPa
除去1	1:20#60.0	7.15% ⁴⁾	2,265kPa
除去2	[s+p]	0.00% ⁴⁾	1,594kPa

1) 1:20=アルカリ刺激剤:水、#60.0[s+p]:土壌含有量60%

2) セメントのCs浸出率:79.9%

3) 目標圧縮強度:1,470kPa

4) 検出結果がNDの場合は0とした



4. 最終処分を見据えた実用化検討および安全性評価

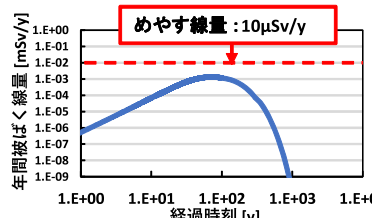
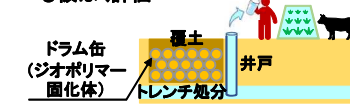
【実用化検討】

- 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1/100のサイズである2Lの大きさでジオポリマー固化体を作製した。



【安全性評価】

- トレンチ処分した場合に埋立後の地下水移行(井戸水利用)に対する被ばく評価



【まとめ】

- 微粉碎土壌を用いて、目標圧縮強度1,470kPa以上でセメントより低いCs浸出率のジオポリマー固化体を作製することができた。
- 本事業で測定した浸出率を用いて、ジオポリマー固化体のトレンチ浅地層処分時の安全性評価を実施し、年間被ばく線量が10μSv/y未満になることを確認した。

付録1-8-2

No.9 ドローンによる広域多点撮影とAI技術による中間貯蔵施設維持管理業務の高度化・効率化

実施代表者：株式会社東日本計算センター

全体概要

中間貯蔵施設への除去土壌等の搬入は令和2年度にピークを迎え、今後約20数年間は、中間貯蔵施設は「貯蔵」フェーズへ移行する。そのため、土壌貯蔵施設等における貯蔵フェーズでの主要業務は、維持管理業務へ移行する。しかしながら、広大な土壌貯蔵施設等の点検業務を目視で確実かつ高頻度に実施することは労力と費用の点から難しい。

本事業は、このような維持管理の課題に対して、維持管理の高度化・効率化を図るためのドローンとAI技術を活用したシステムを開発した。あわせてドローンを活用した地域貢献策、中間貯蔵事業に対するリスクコミュニケーション方策についても検討した。

本事業は、AI技術等による土壌貯蔵施設等の異常検出を可能とする異常検出プロトタイプシステムを開発し、複数のドローンを利用した隊列飛行による多点連続静止画撮影プロトタイプシステムを開発した。加えて、ドローンを活用した地域貢献策およびリスクコミュニケーションの検討を実施した。

実施内容

- ① ドローンによる中間貯蔵施設の点検項目等の精査
- ② AI用学習データの作成
- ③ 異常検出プロトタイプシステム開発
- ④ 隊列飛行による多点連続静止画撮影プロトタイプシステム開発
- ⑤ 中間貯蔵施設全体を対象とした災害発生後のドローンによるパトロール設計
- ⑥ ドローンを活用した地域貢献策およびリスクコミュニケーションの検討

事業の主な実施場所

ながとイノベーションセンター 福島県いわき市
楢葉町総合グラウンド陸上競技場 福島県双葉郡楢葉町

技術概要

1. 実施内容

本事業では、まず、土壌貯蔵施設の模擬施設を製作した。これは、AIシステムを開発するにあたり、まだ最終型となっていない土壌貯蔵施設の異常箇所候補を出力するためのAI学習データを収集するためである。また、開発した異常検出プロトタイプシステムを評価するための評価用画像を人為的に作成するためである。模擬施設より作成した画像データに加え、画像加工システムを開発し、人工近似データを生成することにより多量の学習データを用意し、異常検出プロトタイプシステムの検出精度を向上させた。

異常検出プロトタイプシステムにinputする画像はドローンにより撮影する。例えば、広大な土壌貯蔵施設の微細な異常を検知するための画像をドローンで撮影するためには、複数機のドローンによる連続静止画撮影が不可欠であり、その飛行を制御するために多点連続静止画撮影プロトタイプシステムを開発し、得られる画像の精度を検証した。また、多点連続静止画撮影プロトタイプシステムは、災害発生後のドローンによるパトロールや、ドローンを活用した地域貢献策およびリスクコミュニケーション策の実現でも活用可能となるよう最小限の設定でドローン飛行ルートを自動生成する機能も開発した。

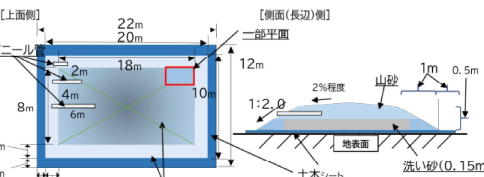


図1 模擬施設完成図

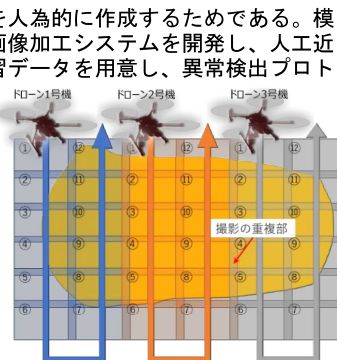


図2 複数機による多点連続撮影のイメージ

2. 試験目標

- ① 最小長3cmの異常候補を80%以上の精度で自動出力する異常検出プロトタイプシステムの開発
- ② ①の異常候補検出のための静止画を撮影するドローン隊列飛行による多点連続静止画撮影プロトタイプシステムの開発
- ③ ドローンを活用した地域貢献策およびリスクコミュニケーション策の導出

付録1-9-1

結果

①異常検出プロトタイプシステム

3つのプログラムからなる異常検出プロトタイプシステムを開発した。

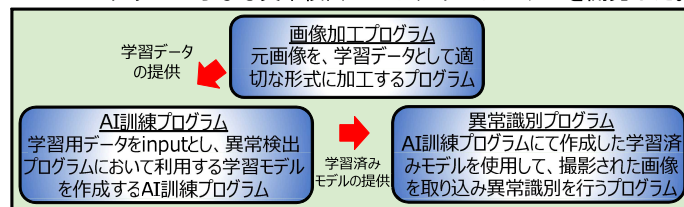


図3 異常検出プロトタイプシステムの構成

訓練用データ10,310画像、検証用データ8,000画像を入手・生成し、学習モデルを150回訓練することにより、正解率95.3%を得たため、これを異常検出プログラムへ投入した。学習モデルでは6つのクラス（異常の種類：クラス0～クラス5）を定義した。



図4 クラス0 (異常なし) クラス1 (直線亀裂) クラス2 (分岐亀裂) クラス3 (垂直分岐亀裂) クラス4 (穴・陥没) クラス5 (穴・陥没)

最終確認データ計82画像を作成し、異常検出プログラム単体での識別精度は、再現率100%、適合率77.2%となった。

②ドローン隊列飛行による多点連続静止画撮影プロトタイプシステム

広大な中間貯蔵施設での撮影を自動化し、撮影時間の短縮、および最小長3cmの異常をAI技術にて自動検出する異常検出プロトタイプシステムに画像を提供する多点連続静止画撮影プロトタイプシステムを開発し、その画像精度を検証した。飛行試験では、平均水平誤差0.25m、平均垂直誤差0.04mの結果が得られ、異常



図4 隊列飛行での連続撮影設定画面

検出プロトタイプシステムへの画像投入に問題ない精度であることを確認した。

また、撮影範囲（多角形を指定）、飛行高度、撮影重複率、飛行速度、飛行時間、カメラ画角を設定するとドローンの飛行計画を自動生成するCoverage Flight Planning Systemを開発した。本システムは災害時パトロールにも有用となる。

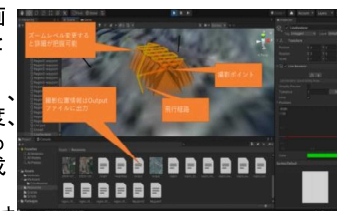


図5 自動生成されたドローン飛行計画

③ドローンを活用した地域貢献策・リスクコミュニケーション策の導出

公開資料の分析、関連自治体、有識者、住民等へのヒアリングにより、ドローン活用における「外部環境」「ニーズ」「シーズ」を整理し、ドローンを活用した地域貢献策・リスクコミュニケーション策を導出した。また、各方案案の効果的な導入時期も検討した。

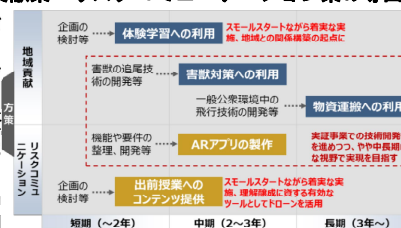


図6 各方案案の時間的展開イメージ

④総合評価

模擬施設に模擬異常を配置し、ドローンによる多点連続静止画撮影プロトタイプシステムにより実際に撮影した静止画を、異常検出プロトタイプシステムに投入して総合評価を実施した。

評価項目	内容	総合評価結果
再現率	模擬異常が異常として検出された割合	96.4%
適合率	検出した模擬異常が正しいクラスに識別された割合	30.5%

表1 総合評価結果

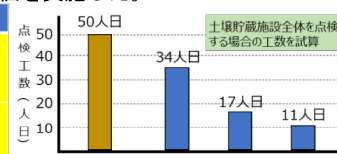


図7 ドローン台数による点検工数比較

【まとめ】ドローンによる広域多点撮影を可能とする「多点連続静止画撮影プロトタイプシステム」、最低限の設定でドローン飛行計画を自動生成する「Coverage Flight Planning System」を開発した。これらシステムによって飛行するドローンからの画像より、最小長3cmの異常をAI技術にて自動検出する「異常検出プロトタイプシステム」を開発し、総合評価として再現率96.4%、適合率30.5%の結果を得た。また、中間貯蔵施設を取り巻く「外部環境」「ニーズ」「シーズ」を整理し、計5件の地域貢献策・リスクコミュニケーション案を提案した。今後の課題は、実運用を見据えたプロトタイプシステム化（検出精度最大化のためのパラメータチューニング等による精度向上、実運用プロトタイプシステムの開発、タブレットアプリのプロトタイプ開発）および開発システムの高付加価値化（リスクコミュニケーションへの適用等）である。

付録1-9-2

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 想定される施設の変状パターンと監視レベルの整理
- ② 変状把握手法の選定
- ③ 模擬的な変状箇所の造作とUAV撮影・計測の実施
- ④ 変状箇所の抽出解析
- ⑤ 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 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

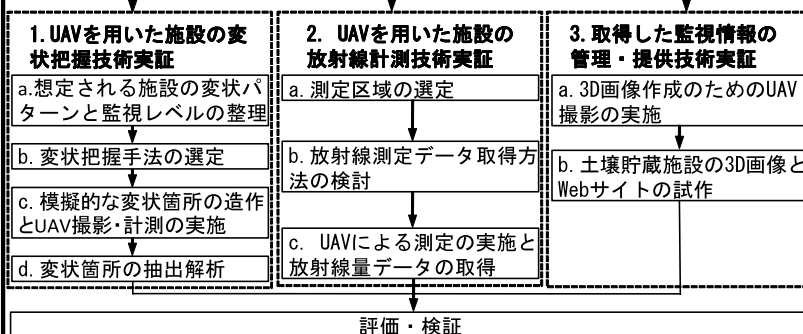
- ① 3D画像作成のためのUAV撮影の実施
- ② 土壌貯蔵施設の3D画像とWebサイトの試作
- ③ 評価・検証

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



試験の目標

1. UAVを用いた施設の変状把握技術実証

土壌貯蔵施設の浸食や崩壊、野生動物による損傷等に着目し、UAVにより取得した二時期の画像およびレーザ計測データから得られる変化量から施設の変状箇所を自動抽出する手法を確立する。そのための各手法の変状抽出精度検証を行う。

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。
汚染源を模擬した標準線源を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計測結果等、施設の状況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、監視情報のプラットフォーム構築に向けた検討を行い、3次元情報を提供するWebサイトを試作し、見やすさ、使いやすさ、情報量・精度（解像度）等の観点から有効性について評価する。

付録1-10-1

結果

1. 施設の変状把握技術実証

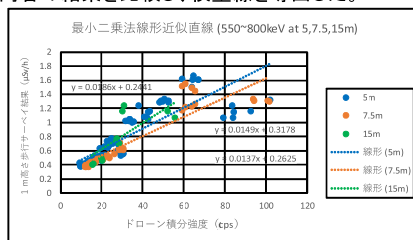
- 土壌貯蔵施設の維持管理におけるUAVの有効性について検討するために、UAVによる計測データを用いた複数の変状解析手法について比較し、変状の抽出精度、効率性、コスト、安全性等の観点から評価を行った。
- 本実証では変状抽出解析のために、想定される施設の変状を模した変状（亀裂、浸食、膨張）を造作し、変状造作前後でUAVによる画像計測およびレーザ計測を行い、二時期データの差分を抽出することで面積500cm²（10cm×50cm）以上の変状の自動抽出を試みた。
- UAV画像による模擬変状の抽出精度（F値）は76.2%で良好であった。一方、UAVレーザ計測による模擬変状の抽出精度（F値）は68.9%であった。抽出時の最適パラメータの更なる検討や、植生が繁茂している状態でのレーザ計測の精度検証などが今後の課題である。
- 効率性やコスト面では、作業員による目視巡回のほうが優れているという結果となった。一方、再現性や安全性、データの利活用面ではUAVが優れている。今後UAVの自律飛行や処理の高速化、自動化を進めることで、安全かつ効率的な変状抽出が可能となる。



模擬変状（赤）と自動抽出した変状（緑）

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』を行った。飛行高度5、7.5、15mのUAV測定と歩行サーベイ両者の結果を比較し、検量線を導出した。



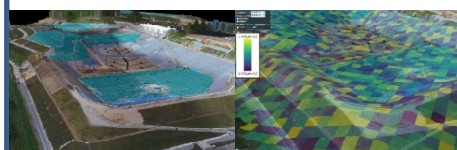
10MBqの標準線源を用いた試験結果から、土壌貯蔵施設の先端部から法肩までの範囲を、異常値の検知ができる区域と評価した。

既知結果※1	代表点	高度
◎	先端部	およそ5m
○	先端部	およそ7.5m
×	先端部	およそ15m
○	法肩付近	およそ5m
△	法肩付近	およそ7.5m
×	法肩付近	およそ15m
×	法尻付近	およそ5m
×	法尻付近	およそ7.5m
×	法尻付近	およそ15m

- ※1 ◎：異常値の把握が非常に良好に行える。高度を上げても、もしくは、異常値が小さくても把握が可能と考えられる
○：異常値の把握が非常に良好に行える。高度を上げると、もしくは、異常値が小さくなると、把握が難しくなる場合も考えられる
△：異常値の把握が行える。ただし、測定結果のばらつきに埋もれてしまう可能性もあるので、繰り返し測定し異常値として抽出する運用が必要と考えられる
×：異常値の把握が行えない

3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証

- 土壌貯蔵施設の変状発生状況等を関係者で共有するためにUAV撮影を実施し、施設の3D画像を作成し、施設の3次元表示、変状・線量の重畳表示が可能な試作Webサイトを作成した。3Dマップ上に仮の線量情報をサンプル表示した図を下記に示す。
- 試作サイトの3DエンジンとしてCesiumを選定し、ビューア上での見え方から搭載データ形式を「DSM+オルソモザイク画像」とした。
- ブラウザ上で表示した際の解像度の違いによる見え方・表示速度の検証結果及び変状・線量情報の重畳表示した場合の結果から、3D画像作成に必要なとされる解像度について検討し、DSM・オルソモザイク画像の解像度は10cmが適当であると判断した。
- 10cm解像度の航空写真が撮影できると仮定した場合、撮影枚数を本試験の約1/11倍に抑制することが可能となり、3D画像作成時間の短縮が見込まれる。
- 今後は試作サイトの機能拡張に向けて、過去の収集データとのDB連携を想定した複数時系列データの管理・見せ方について検討する。



左：土壌貯蔵施設の3D画像表示、
右：線量メッシュデータ重畳サンプル表示例

まとめ

1. 施設の変状把握技術実証：UAV撮影画像やUAVレーザを用いれば、概ね面積500cm²以上の変状が自動抽出できることが確認できた。
2. 施設の放射線計測技術実証：土壌貯蔵施設先端部において10MBq以上の汚染源があれば、充分検出できることが確認できた。
3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証：10cm解像度があれば、変状・線量を表示する3Dベースマップとして機能することが確認できた。

付録1-10-2