

付録 3

各技術のまとめ

各技術のまとめ(1/4)

事業分野	No.	実施代表者	実証テーマ名	全体概要	結果・まとめ	理解醸成の進捗・評価	参加人数等
除去土壌の再生利用・最終処分に向けた理解醸成	1	公益財団法人原子力安全研究協会	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	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及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る。そこで、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を実施した。	・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4名に意見を求め、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。 ・人材育成プログラム ①大学等での講義: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、同期オンライン授業として実施した。3大学は単位認定授業として実施した。 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グループによる見学を実施した。 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。	・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。 ・理解・認知レベルの変化:大学での講義参加者に対して、講義の事前及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、人間的課題難の双方を理解したことが窺える結果となり、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。	・大学等での講義:16大学の学生約220名を含む約240名(うち、3大学では単位認定授業として実施) ・現地見学:5大学の学生24名 ・ワークショップ、フォローアップ: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
	2	独立行政法人国立高等専門学校機構福島工業高等専門学校	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	福島高専の準学士課程(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。	・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。	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。	・学修プログラム(集中講義):延べ38名(2日間) ・ミニ研究:8名 ・フィールドワーク:46名 ・関係機関との共同教育:23名 ・学生研究:14名 ・共同作業:延べ209名(学生51名、教員30名、大熊町住民等128名) ・地域住民との対話(勉強会):学生14名、大熊町住民15名、教員7名など

各技術のまとめ(2/4)

事業分野	No.	実施代表者	実証テーマ名	全体概要	結果・まとめ	結果の評価	作業員被ばく量評価	コスト評価	コスト評価条件	歩掛り (作業人工、 作業速度等)	作業における 安全上の注意
除去土壌等の減容・再生利用等技術	3	株式会社奥村組	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	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適用し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。	(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、沈下量が小さい結果となった。⇒盛土等の沈下を抑制できる。 (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。⇒周辺環境への悪影響は低い。 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。 (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。 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。	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の存在量や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。	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。	湿式分級処理費用に、抑制剤添加費用として分級前土壌1t当たり887円追加される。	湿式分級処理プラント処理能力は30m3/時間、稼働時間は6時間/日、抑制剤添加量は分別土壌1m3に対し5kg(粉体)を2倍の水で希釈して添加、抑制剤添加設備は700L/時間の調整・送液可能な設備(自動で稼働)2年間で償却とした。	自動添加設備の維持手間は微小	抑制剤の添加は自動化が可能である。また、薬剤補充も離れた場所や遮蔽版で隔離した場所に調整槽を設置することが可能であるため、被ばくリスクに対する安全は十分に確保することができる。
	4	株式会社大林組	熔融スラグの再生利用等技術の実証	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、シャフト炉および表面熔融炉により除染廃棄物やその焼却灰等が熔融処理され、安定した高品質の熔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熔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)に応じた再生利用品の安全性、安定性を確認することを目的としている。R2年度は、室内試験を実施した。	①熔融スラグの性状:重金属等溶出・含有量は、環境安全品質基準(JIS A 5031(コンクリート材料)、JIS A 5032(道路材料))および土壌汚染対策法に基づく溶出量基準、含有量基準に適合していた。放射性物質濃度はシャフト炉は100Bq/kg、表面熔融炉は3,300Bq/kg程度であった。 ②再生利用品の安全性・安定性 ・盛土材:中間土に熔融スラグを配合した盛土材は、粒度分布が改善され、第二種建設発生土の基準を満足した。 ・路盤材:スクリーニングスの50%、75%(重量比)を熔融スラグで置換した路盤材は、粒度調整碎石(M-40)として適用可能な品質を有していた。 ・アスファルト舗装骨材:熔融スラグを0～15%配合した粗粒度および密粒度アスファルト混合物は、所定の耐久性、耐水性を有していた。 ・コンクリート骨材:細骨材の50%を熔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。 ・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た試験を実施した。	以下の利用用途毎に、熔融スラグが利用可能であることを確認した。 ・中間土に熔融スラグを配合したものを盛土材として ・C-40、スクリーニングスとの混合物を、路盤材(粒度調整碎石(M-40))として ・アスファルト舗装の細骨材の一部として ・コンクリートの細骨材の一部として	100Bq/kgおよび3,300Bq/kg程度の放射性物質濃度の熔融スラグを用いた室内試験を担当した作業員の一日当たりの平均被ばく線量は、2μSv/dを超過することではなく、被ばく線量限度(5年間で100mSv)以下から設定した一労働日の被ばく線量上限値80μSv/dを大きく下回っていた。	以下のように試算された。 ①盛土材製造単価609円/t・混合土 ②置換率0%の材料単価を100とすると ・路盤材:置換率50～75%で74.8～62.3 ・アスファルト混合物:密粒度アスファルト混合物で置換率5～15%のものは、96.9～90.7。粗粒度スファルト混合物で置換率5～15%のものは、96.8～90.3。 ・コンクリート骨材:置換率50%で97.6	①盛土材製造:稼働日数240日/年。万能土質改良システムを使用。システムの運搬、組立、解体、キャリブレーションの費用を計上。 ②材料単価:熔融スラグは無償提供とし、混合・保管などに伴う設備費や材料運搬費は計上していない。	盛土材製造:運転員4人、製造量880t/日(除去土壌440t+熔融スラグ440t)	今年度実施した室内試験結果によると、作業員被ばく線量評価の欄で記載したとおり、被ばく量に関しては問題ないものと考えられるが、作業員被ばく量を極力低減させるため、粉じん防護マスク、手袋などの保護具を着用する。
	5	国立大学法人九州大学	熔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	仮設灰処理施設から発生する熔融スラグと熔融飛灰を用いて、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熔融飛灰に、熔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型枠内に打込み、高圧脱水しながらブロックを製作する。このブロックが放射性Cs濃度:8,000Bq/kg以下 放射性Cs溶出量:10～20Bq/L以下 一軸圧縮強度:18.0MN/m2(σ28)以上となる配合を見いだす。	(1)熔融飛灰の洗浄 初期放射性Cs濃度が24万Bq/kgである熔融飛灰を洗浄とリンスを組み合わせることで、トータル液固比12で残渣の放射性Cs濃度を4,264Bq/kgまで効率良く低減させることができた。これは液固比20のケースよりの残渣の放射性Cs濃度が低い。 (2)高圧脱水ブロックの製造 熔融飛灰に含まれる亜鉛などのセメント固化を阻害する物質の存在により、ブロック1.0m3に含まれる飛灰の混合率は3%程度と低くなったが、その限られた配合の中で目標(強度・放射性Cs濃度・放射性Cs溶出量)を満足できる配合を定めることができた。 (3)排水処理 洗浄排水に含まれる重金属類はアルカリ凝集沈殿及びキレート吸着処理により一律排水基準値未満に、放射性CsはPB(ブルシアンブルー)吸着処理により特措法排水基準134Cs/60+137Cs/90<1.0lに浄化することができた。	(1)熔融飛灰の洗浄 放射性Cs濃度が24万Bq/kgである熔融飛灰を4,264Bq/kgまで洗浄により低減させることができた。これは洗浄時の液固比をむやみに高くすることより洗浄とリンスを組み合わせることが効果的であることを示している。 (2)高圧脱水ブロック 熔融飛灰に含まれる亜鉛などのセメント固化を阻害する物質の存在により、ブロックの飛灰率は3%程度と低い。今後、キレート剤の添加等の対策により、その比率を向上させる必要がある。 (3)洗浄排水処理 今回選定した水処理プロセスにて、法令基準値を満足するまでの浄化が可能であった。	作業員被ばく線量評価:11.3μSv/日×200日/年=2,260μSv/年=2.2mSv/年<20mSv/年であり、基準に対して十分に低い。 前提条件:最も被ばくする飛灰採取時の実測値11.3μSv/日を全作業に適用	飛灰1t当りの洗浄コスト:73,627円/t 高圧脱水ブロック製作コスト:57,802円/m3 飛灰1t当りの吸着コスト:574,484円/t	・飛灰処理量:30t/日～熔融飛灰10万トン を10年で処理(年稼働日数333日) ・飛灰洗浄総合液固比:12 ・熔融飛灰の放射性Cs濃度は24万Bq/kg ・高圧脱水ブロック製作機は42m ³ /日・機×4機(1.0m ³ のブロックを7個/バッチ×6バッチ/日) ・洗浄飛灰17,800t(約4,000Bq/kg)を使用し、高圧脱水ブロック(1.0m×1.0m×1.0m)を363,265個製作 ・洗浄排水はキレート重金属処理とPBによる放射性Cs吸着処理を行い河川に放流 ・建設費:土地費用は含まない	飛灰洗浄:8人工/日、高圧脱水ブロック製作工程:10人/日、吸着工程:8人/日	(1)飛灰の取扱 飛灰は24万Bq/kgの放射性物質濃度で、飛散しやすい粉体状であるため、その取扱は放射性管理区域を設定し、負圧の閉鎖空間で適切な防護をするなど関連法令に則った作業とする必要がある。 (2)放射性Cs吸着材の取扱い等 洗浄排水処理で使用したPB吸着材の放射性物質濃度は約280万Bq/kgであり、吸着カラム表面線量では70μSv/h程度となった。放射線防護の観点から吸着カラムの取り扱いやその処理処分について今後考慮する必要がある。

各技術のまとめ(3/4)

事業分野	No.	実施代表者	実証テーマ名	全体概要	結果・まとめ	結果の評価	作業員被ばく量評価	コスト評価	コスト評価条件	歩掛り (作業人工、 作業速度等)	作業における 安全上の注意
除去土壌等の減容・再生利用等技術	6	株式会社三菱総合研究所	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	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多くのが溶解性であり、そのままでは溶出しやすく不安定である。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(GO)を用いれば比較적으로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、GO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。	1. コールド試験 ・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 ・放射性セシウム吸着能力の評価 ・放射性セシウム再溶出特性の評価 3. 溶融飛灰洗浄水処理方法の検討 ・工学的実現性に関する検討 ・放射線安全性に関する検討 GOを吸着材として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、吸着性能を改善する方法を検討した。また、GOを吸着材とした溶融飛灰洗浄水処理システムの検討を行い、成立性を明らかにした。	溶融飛灰の洗浄処理における固液比(重量比)を1:5として、溶融飛灰のかさ密度を0.6g/cm3と想定した場合、GO吸着処理による減容化率は110%となった。GO残渣が無水とすると、重量は26.5t/dとなり、その場合の減容化率は55%となる。(GO残渣の比重は約1g/cm3として) GO分散液の品質(不純物濃度、シート大きさ等)をセシウム吸着特性を最大化するための最適化が必要である。	固形化物貯蔵室内の空間線量率は最大で160μSv/hとなるため、固形化物貯蔵室内の年間の作業時間を100h以内に制限する。	建設・設備費：1,098百万円 運転・維持管理費：32,779百万円/年	洗浄水の処理能力は160t/日とし、施設の稼働は、年間250日、24時間連続運転とした。処理水は、重金属イオン等の処理を行い、環境基準を満たした上で放流するものとする。なお、放射性セシウムの安定化・保管の費用は含まない。GOの費用は現時点での購入価格を基に今後GOの市場規模が大きくなり価格が下がることを想定したものとした。	運転時作業体制 管理者1名、スタッフ1名、運転員8名、放管要員9名	固形化物貯蔵室外の線量を低減させるために20cm厚コンクリート壁の設置等が必要である。また、処理機器の周辺に接近しないように防護柵などを設置するなどの対策が必要である。
	7	国立大学法人東京工業大学	飛灰洗浄水中の放射性Cs安定固化のためのインドラム式ガラス固化技術の開発	汚染土壌や焼却残渣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。飛灰洗浄水から、関東化学社製ブルシアンブルーナノ粒子造粒体(PB-MC)を用いてCsを回収し、ホウケイ酸ガラスフリットを混合、溶解させることでガラス固化体の作製を行う。インドラム式ガラス固化プロセスでは、放射性物質を全てドラム内処理し、ドラムをそのまま最終処分する。そのために、本実証事業では、安定固化体の作製を目的として条件を検討し、「インドラム式ガラス固化技術」の実用性を実証する。	模擬飛灰洗浄水に対して、PB-MCによる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、インドラム方式でガラス固化体を製造し、固化体中にCsを安定的に固定化することに成功した。900℃でガラス固化体を作製した結果、スケールを大きくしてもCsはボルサイトとしてガラス中に分散保持された。固化温度を950℃にすることで、固化体はガラス化した。飛灰洗浄水中に、多量に含まれるKは、ガラス固化において均質性を阻害し、固化体の相分離傾向を強めることが分かった。したがって、Cs吸着量を増やしてPB-MC内に含有するK量を減らす必要であることが明らかになった。さらに、減容化とCs揮発量とのバランスを考慮した場合、固化体へのCs充填量は、Cs2O換算で、15 wt%程度が最適値であると言える。また、ガラス固化におけるCs揮発は、900℃作製で、1.47%、950℃作製で3.93%程度であり、気相ガストラップ内水を、濃縮した後プロセスに戻すことで全量回収が可能である。規格化浸出率は、どちらの固化体でも低い値であり、高い耐水性を示した。さらに、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、インドラム数量は114本で有り、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。	灰、土壌処理の最終処分形態としてのインドラム数量は114本で有り、低レベル放射性廃棄物(ピット処分制限100GBq/kg以下)としての保管スペースは10m×10m程度に縮小でき、保管形態、保管場所の選定に安全の上でも有意義な方向を示すものとなった。	対象汚染物が10万Bq/kg超の場合は、装置周辺の空間線量が極めて高くなるので、遠隔操作が前提となる。	(インドラム式ガラス固化体プロセス): T-Cs処理量当りコスト: 12.4百万円/kg、ドラム当りコスト: 251百万円/ドラム、ドラム内容物当りコスト: 1.46百万円/kg(設備費: 43.4%、ユーティリティ費: 12.3%、消耗品費: 27.5%、人件費: 16.8%)	(インドラム式ガラス固化体プロセス): インドラム寸法: φ400×H1500mm、インドラム内蔵ガラス量: 150kg/本、インドラムガラス固定化Cs量: 20.5kg/本(ガラスの約13.6w%)、インドラム数量: 灰処理+土壌処理: 114本(灰処理のみ: 30本)、インドラム装置運転: 7日/本、15年稼働、ガラス固化体装置: 2基(交互1基運転)、ガラス固化体放射能濃度: 0.91GBq/内容物kg、155.8GBq/インドラム	作業人工: 20人日/Cs-kg	実規模プロセスでは、高線量のCs含有物を扱うため、無人自動化物流システム、被曝防止のための放射線遮蔽構造物や工程の区画分け、作業員の線量管理対応交替要員体制等のコストが必要となる。
	8	大成建設株式会社	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	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標とする。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の特徴とする。	・福島県内の除去土壌を用いたジオポリマーの固化方法(配合の選定)を示すことができた。 ・選定した配合で製作したジオポリマー固化体はどれも原子力規制庁殿の「廃棄物確認に関する運用要領」に記載された、セメント固化体の圧縮強度である1,470kPa以上なことを確認できた。 ・選定した配合で製作したジオポリマー固化体はどれもセメントのCs浸出率の1/2以下なことを確認できた。 ・選定した配合で目標サイズである200Lの1/100サイズ(2L)を製作することができ、選定した配合がサイズのスケールアップに対応可能であることを確認できた。 ・本試験で測定した浸出率を用いて、ジオポリマー固化体をトレンチ処分した場合での埋立後の地下水移行(井戸水利用)に対する被ばく評価を実施し、めやす線量である10μSv/y未満になることを確認できた。 ・以上を踏まえて、本試験で検討したジオポリマー固化体が最終処分の方法の1つとしての可能性を示すことができた。	本事業で対象とする技術は、除去土壌を微粉碎あるいはそのままアルカリ刺激剤と攪拌し、必要であればCs吸着材等の他の廃棄物も混合してCs溶出を抑え、安全で安定的な処分が可能な固化体を製作するものである。 この技術実証により、高濃度除去土壌を固化体のマトリックス材として再生利用できる可能性が確認できた。	本試験での各作業において、線量を測定したところ約0.5μSv/hであった。実機においては、様々な変動要因があるが、この値の10倍である5μSv/hで、1日の作業時間を8時間、1年の作業日数を280日と想定すると、作業員の1年あたりの外部被ばく線量は11.2mSv/yとなる。	実証試験の結果および想定した実機製造プラントによる作業を基に、ジオポリマー固化体を充填したドラム缶の製作コストを試算。 試算結果: 約2.0万円/1缶 16.9万円/土壌1m ³	処理対象: 土壌D10.4万m ³ かさ密度: 1.4t/m ³ 固化体充填容器: 200Lドラム缶、充填率90% 固化体中の土壌重量比: 60% 処理期間: 10年間、年間280日、24h/日稼働	ジオポリマー固化処理の歩掛り 作業人工: 60人工(20人×3班) 日処理量: 52t/日、321缶/日 作業速度: 13.4缶/h	ジオポリマー固化処理では、劇物(水酸化カリウム等)を用いるため、取扱いの教育、表示・保管時の施錠管理、使用量の記録を徹底する。また、緊急事態の発生に備えマニュアルを作成し管理者・作業員に周知する。

各技術のまとめ(4/4)

事業分野	No.	実施代表者	実証テーマ名	全体概要	結果・まとめ	結果の評価	作業員被ばく量評価	コスト評価	コスト評価条件	歩掛り (作業人工、 作業速度等)	作業における 安全上の注意
除去土壌等 の中間貯蔵等 の関連技術	9	株式会社東日本計算センター	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	広大な中間貯蔵施設の点検業務を目視で確実かつ高頻度を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、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。	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。18,310画像の学習データで、学習モデルを150回訓練し、正解率95.3%を得た。 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た。また、撮影範囲、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。 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案・リスクコミュニケーション案を導出した。	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、再現率の目標80%以上に対し96.43%、適合率30.49%の検出精度を確認した。	評価なし	土壌貯蔵施設全体を点検する場合の工数を試算 ドローン1台:34人日、2台:17人日、3台:11人日	植葉総合グランドを対象として、模擬異常を19個配置し、3cmの異常を識別するためドローン飛行高度5m、最大飛行速度15m/sで、撮影重複率 30%で撮影を行い、撮影所要時間を実測した。また実際に3名での歩行による点検を実施し、点検所要時間を計測した。この時間を中間貯蔵施設の全工区面積に換算して、1人日 7.5時間として作業工数を算出した。	人による点検工数:50人日	ドローンの運行に係わる安全管理が必要となる。
	10	アジア航測株式会社	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	近年、インフラ施設等の維持管理における無人航空機(UAV:Unmanned Aerial Vehicle、ドローン)の活用に対する期待が大きい。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。	1. 施設の変状把握技術実証: ・二時期点群の差分量から、模擬変状箇所が明瞭に確認できた。模擬変状の自動抽出手法として、「画像を用い・地形変化量5cm・マス目大きさ5cm」のときにF値が76.2%と最も高い値であったことが分かった。 2. 施設の放射線計測技術実証: ・UAV測定の測定時間が飛行高度によらず20秒で概ね妥当であることを確認した。 ・土壌貯蔵施設の貯蔵が完了している箇所および堰堤において、飛行高度によらずUAV測定結果が歩行サーベイの結果とほぼ一致することを確認した。 ・放射線量異常値をUAV測定で明瞭に検出可能な条件は、「未除染箇所からの放射線影響が小さい天端部から法肩部で、飛行高度5m、線源強度10MBq」であった。 3. 取得した監視上法の管理・提供技術実証: ・3Dビューア「Cesium」を用いたWebサイトを試作し、表示に適したデータ形式として、「標高タイル形式(DSM)+オルソモザイク画像」を選定した。また、変状箇所(ポリゴン表示)、線量マップ(メッシュ表示)を重ね合わせ表示可能とした。	1. 施設の変状把握技術実証: ・変状箇所の自動抽出に関しては、パラメータ最適化に検討の余地がある。 ・コスト面では人による目視巡回の方が優れるが、再現性や安全性、データの利活用等の面ではUAVが優位であった。 ・今後、植生繁茂下でのレーザ計測の詳細検討が必要である。 2. 施設の放射線計測技術実証: ・標準線源(10MBq)を用いた試験結果から、土壌貯蔵施設の天端部において異常値を検知する運用が充分可能であった。 3. 取得した監視上法の管理・提供技術実証: ・3D画像作成時間・データ容量・Webサイトで表示した際の見え方、表示速度、変状・線量情報の見え方から3D表示に適した解像度を検証し、10cmが適当であった。	現地作業時間の軽減により、変状把握および線量測定ともに作業員の被ばく線量は低減された(線量測定では約1/10に低減)。	(大熊3工区全体の年間コストとして) ・変状把握:100～150万程度 ・線量測量:32万程度	・変状把握:UAV運行は2名体制で基準点測量は含まない。 ・線量測量:UAV運行は自動運転で遠隔地での監視員1名体制を想定。	(大熊3工区全体の作業時間として): ・変状把握:7～10日程度 ・線量測量:10分程度	UAVの運行に係わる安全管理が必要となる。