

付録 3

各技術のまとめ

各技術のまとめ(1/3)

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	1	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。「UAVを用いた施設の変状把握技術」では、昨年度と同様に計測データの二時期の差分量から変状抽出を行った。植生被覆条件下での変状抽出において、二時期比較用の変状前データは、堰堤法面点群から推定した仮想平面を代用とした。地盤沈下の変状抽において、二時期比較用の変状後データは、数学的に作成した半楕円面の地盤沈下モデルを元の点群の標高値と足し合わせることで地盤沈下の模擬データを作成した。「②UAVを用いた施設の放射線計測技術」では、昨年度用いた測定器に加え、マルチデテクターも導入し、信頼できる結果が得られる最適な測定条件を平常時と異常検出時に対して試験により把握した。UAV放射線計測により、汚染源(例えば、施設外からの飛来物等の高線量物)位置の特定が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」では、サーバをクラウド環境に構築し、施設管理での効果的な運用に向けて、搭載すべき情報の表現方法、データ形式、必要と考えられるハードウェア要件を検討した。	1. 施設の変状把握技術実証: ・植生被覆条件下の変状抽出に関しては、通常の法面植生管理状態に近い草刈後(草丈約5cm)の点群を用いた変状抽出の有効性が確認できた。「地形変化量5cm・マス目大きさ5cm」の抽出条件で抽出精度(再現率)が71.4%と最も高かった。 ・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25cm」の抽出条件で抽出精度(再現率)が最も高かった。 2. 施設の放射線計測技術実証: ・シングルデテクターは検出感度が高い、マルチデテクターは汚染源位置の特定がピンポイントで可能という特徴を確認した。また、両測定器の検量線を飛行高度毎に導出した。 ・異常検出時を想定した試験を平面・斜面で行い、最適な計測高度、測定時間、線源強度として、3m(平面)／5m(斜面)、20秒(シングル)／60秒(マルチ)、10MBq以上の条件で実施かつ検出可能であることを確認した。 3. 取得した監視情報の管理・提供技術実証: ・監視情報の管理・提供技術実証のためにTerriaJSを用いて提供環境を構築した。 ・提供環境を構築するにあたり、必要と考えられるハードウェア要件を検討し、管理者間での共有ではRAM8GB程度のハードウェア環境が必要ことが分かった。	1. 施設の変状把握技術実証: 植生の管理状況によって変状抽出精度は異なるが、通常の法面植生管理状態に近い草刈後(草丈約5cm)の点群を用いた変状抽出の精度は良好であった。／地盤沈下に関しては、二時期差分点群を用いた変状抽出手法の有効性が確認できた。／現状ではコスト面の課題があるが、変状点検結果の正確性や再現性、安全面でUAVの利用は有効。 2. 施設の放射線計測技術実証: シングルおよびマルチデテクター検量線(機器換算係数)導出結果に基づき、測定結果を線量率で表すことが可能となった。／定点測定が目的の場合、検出感度の高いシングルデテクターは効率が良い。／汚染源位置の迅速な特定が目的の場合、ピンポイントかつリアルタイムで確認できるマルチデテクターが有効である。 3. 取得した監視手法の管理・提供技術実証: 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得た。／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。	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): ・変状把握: 100～150万円程度 ・線量測定: 32万円程度	(変状把握)UAV運行は2名体制で基準点測量は含まない。 (線量測定)UAV運行は自動運転で離陸地点での監視員1名体制を想定。	(大熊3工区全体の作業時間): ・変状把握: 7～10日程度 ・線量測定: 10分程度	UAVの運行に係わる安全管理が必要となる。
除去土壌等の減容・再生利用等技術	2	株式会社大林組	溶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溶融炉により除染廃棄物等やその焼却灰等が溶融処理され、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。R3年度は、室内試験および試験施工を実施した。	①室内試験 ・溶融スラグの放射性物質濃度及び重金属等の溶出量、含有量を測定した。重金属等の溶出量、含有量は環境安全品質(JISA5031、JISA5032)、土壤汚染対策法に基づく土壤溶出量基準、土壤含有量基準に適合していた。 ・利用用途として、盛土材、路盤材、アスファルト舗装骨材及びコンクリート骨材を選定し、配合試験、基準試験を行った。その結果、各用途とも使用量などの配合等を調整することで、各種基準に適合する再生利用品を製造できることを確認した。得られた成果をもとに、試験施工やコンクリート曝露試験に用いる配合を設定した。 ②試験施工等 ・技術実証フィールドで盛土、舗装道路の試験施工を実施 ・盛土・舗装道路は国土交通省共通仕様書や関連仕様書に則って計画、施工することで所定の品質を確保できた。 ・空間線量率、作業員被ばく量、粉じん濃度などのモニタリングを行い、盛土や舗装道路の施工や供用における影響を確認した。 ・コンクリート供試体の屋外ばく露試験を開始し、材齢28日の圧縮強度等を確認した。	以下の利用用途毎に、溶融スラグが利用可能であることを確認した。 ・除去土壌(中間土)に溶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	放射性物質濃度が3000Bq/kg程度の除去土壌、1000Bq/kg程度の溶融スラグを用いて実施した試験施工等を担当した作業員の一日当たり平均被ばく線量の最大値は、上限値として設定した80μSv/日を大きく下回る2.7μSv/日であり、被ばく線量は低い。	盛土材製造単価 609円/t・混合土	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:溶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+溶融スラグ440t)	溶融スラグには放射性物質が含まれるため保護具を着用
除去土壌等の減容・再生利用等技術	3	セイスイ工業株式会社	除去土壌の20μm程度での物理的分級による減容化の実証	本試験では、非放射性セシウムを吸着させた土壌に対し、デカンタ式遠心分離機に分級点を、通常に分級点75μmよりも細かい粒径20μmに設定し、複数回繰り返し洗浄と分級を行う。それにより、20μm未満の細粒分にセシウムが濃縮することで、新たに20μm～75μm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20μm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。	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回に分級処理で20μm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回に分級で20%以下を達成した。 分級2回目以降の分級土は、5μm未満の細粒分混入率が0%であった。 (b)粗粒分回収率 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20μm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。	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回に分級を行うことで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。	評価なし	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ヵ月間とした。 結果、除去土壌1t当たり22,400円の処理費用となった。	二本松市旧小名浜町における粒径組成を元に除去土壌1万tをサイクロン付き振動篩機による高度分級処理後の泥水をデカンタ式遠心分離機により20μmで3回分級を行った場合と前処理としてデカンタ式遠心分離機を使用した場合の1日7時間、月22日、5ヵ月間運転の条件から土壌1t当たりの処理コストを評価する。処理コストの算出には、上記条件にて設置費、材料費、機械損料、人件費、撤去費、管理費を求めて評価する。条件には高度分級処理とデカンタ式遠心分離機による分級後の濁水処理、脱水処理、希釈水は含まない。	作業員6人、分級処理量120m3/h(20m3/台)	実際の処理では、分級された分離水に高濃度の放射性セシウムが濃縮されるため粉塵飛散防止策の強化、防護具着用の徹底等が必要となる。

各技術のまとめ(2/3)

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	4	西松建設株式会社	熱減容風選別技術および磁力選別技術による除去土壌の乾式分級技術の実証	中間貯蔵施設へ貯蔵されている分別処理土の最終的な処分量を低減するため、分級処理技術等の減容化技術が検討されている。 本実証事業は、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分別処理土に対する乾燥処理、分級処理、放射性Cs濃度の低濃度化等の効果、経済性および周辺影響等について確認することを目的として、以下を実施した。 ①分別処理土(原土)の物性を土質試験により把握し模擬土を作製。 ②模擬土を用いた事前試験を実施し、実証試験の試験計画(運転条件等)を作成。 ③分別処理土を用いた実証試験を実施し、得られた分級処理土の土質試験および環境試験結果より乾式分級処理技術の効果を評価。	1. 熱減容風選別 ○物質収支⇒風選(大)58～70%、風選(小)15～26%、蒸発量10～12%と分配。 ○含水比⇒原土14.1%に対し、平均で風選(大)1.6%、風選(小)0.6% ○粒度分布⇒細粒分含有率(平均)は、原土34.9%に対し風選(大)23.5%、風選(小)68.1% ○強熱減量(平均)⇒原土7.4%に対し風選(大)5.7%、風選(小)10.3%で風選(小)に有機物は分配。 ○放射性Cs 濃度(平均)⇒原土4,143 Bq/kg に対し風選(大)3,301 Bq/kg、風選(小)6,627Bq/kg、除染率20.3 %であった。 2. 磁力選別 ○物質収支⇒磁選(大)17～87%、磁選(小)12～81%の範囲と分配。 ○粒度分布⇒細粒分含有率(平均)は、風選(大)23.5%に対し、磁選(大)18.7%、磁選(小)40.0%となり分級された。 ○強熱減量(平均)⇒風選(大)5.7%に対し磁選(大)に4.2%、磁選(小)7.1%で磁選(小)に有機物は分配。 ○放射性Cs 濃度(平均)⇒は風選(大)3,301 Bq/kg に対し、磁選(大)2,522 Bq/kg、磁選(小)4,254 Bq/kg、除染率23.6 %であった。	トータルの乾式分級技術(熱減容風選別＋磁力選別)の評価 (運転条件) 処理速度1,000 kg/h キルン設定静圧－100 Pa 排ガス設定温度130℃ キルン回転数13.4 rpm 磁性鉄粉3.0%添加 (評価) ○除染率⇒除染率70.3%であり目標値(70%以上)を達成 ○細粒分除去率⇒97.9%で目標値(80%以上)を達成 ○粗粒分混入率⇒目標値(15%以下)は未達成	分別処理土(3,938 Bq/kg)を用いた実証試験より試算される1年間の作業員被ばく量は0.75 mSvであり、除染電離則で定められている被ばく限度(50 mSv/年)を下回った。 ※作業場所の空間線量率(バックグラウンド)は0.23 μSv/h ※作業員被ばく量は1日8 時間、年間300 日で試算	分級処理単価22,612 円/t	土壌C(15,000～62,000 Bq/kg)のうち約147,000 m ³ を対象とし、10 年間(年間実稼働数300 日)で含水比(30%→2%)、磁性鉄粉添加量3%、設備費(10 年償却)等を評価条件とし、燃料費、材料費は実証試験結果より試算。	作業人工、作業速度等):17 人工/d、処理量62 t/d、燃料消費量52 L/t	・熱減容風選別装置の排気口および集塵機の排気口の放射能濃度 ・排気中の粉じん濃度、NOX、SOX等(大気汚染防止法) ・作業環境の粉じん濃度
	5	株式会社不動テトラ	分級処理で発生する濃縮物等に対する減容処理技術	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、約131.8万m3存在するが、その多くを占めるのは農地由来の表層土壌であり、75μm以下の粒径の土壌と有機物を多く含む。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い。この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る。また、放射性セシウムは主にシルト・粘土・有機物に分布している。これらより除染率の向上も見込むことができ、再生利用可能な分級土壌の対象を広げることができる。 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。この際、75μmを分級点とする分級に対して、国際土壌学会法の細砂20μmで分級することで減容率のさらなる向上を目指した。	1. 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酸化解による有機物の分解率は、30～50%の範囲であった。オゾンだけの結果に対して、過酸化水素の添加量による分解率は明確な増加は見られなかった。過酸化水素を添加するケースでは、過酸化水素の添加量が多いほど分解率が高かった。 ②溶存有機態炭素分離測定(LC-OCD):酸化解により、高分子帯の有機物の分解から進行し、低分子帯の有機物の分解に移行していた。 2. 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減容率と除染率: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、オゾンだけの酸化解よりオゾンに過酸化水素を添加した場合の方が除染率は高い傾向にあった。ケース5の遠心力100Gが最大の71.5%であった。 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、酸化解により炭素濃度は減少し、砂粒子への有機物の付着が減少していることが確認できた。	促進酸化法による有機物の分解率は、30～50%であった。過酸化水素の添加量(濃度、注入流量)の比を適切に設定することで更に向上する。固液分離機による分級処理は減容率50～80%、除染率10～70%程度で目標の達成には至らなかった。分級処理時の対策により減容率と除染率を向上できる可能性が非常に高いと考えられる。脱水処理の含水率からフィルタープレスを必要としないことが確認でき、連続運転が可能である。	実証試験場所は居住制限区域内(実証途中で解除)であった。ポケット線量計で日常管理の結果、全作業員・全日で線量等量はゼロmSvであった。また実用レベルでも安全性評価の通り被ばくリスクは小さい。	実用化時の概算処理費は、1t当たり概算で38,000円となる。	含泥率8%、有機物分解処理・固液分離機投入量20m3/h、固液分離機による泥水処理量384m3/日。対象土壌65万m3×1.9=124万t。処理日数6セット(1セット当たり反応槽100m3(60m3処理)×2基、固液分離機M750×2台)で10年。	/d、処理量62 t/d、燃料消費量52 L/d	有機物分解、固液分離機による分級処理、脱水処理まで24h連続運転が可能で、遠隔操作で放射能に対する作業環境の安全性も確保することができる。
	6	株式会社キュリオンジャパン	ガラス固化技術(GeoMelt [®] ICV TM 溶融技術)による溶融飛灰等の高減容・安定化処理技術の実証	仮設灰処理施設における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 [®] ICVTM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 [®] ICVTM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。	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ガラスが均質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 [®] ICVTM技術の実用化への適用性を確認した。さらにガラス形成材としてゼオライト系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。	①溶融中のコールドキャップ管理を適切に維持することにより、処理対象物中に含まれるCsの保持性が向上する。 ②溶融処理前に処理対象物に含まれるガラス形成材成分(SiO2、Al2O3等)やガラス形成に影響を与える成分(CaOやCl等)を事前に把握し、最適なガラス配合比率を設定することにより、ガラス固化体の含有率をより大きく確保できる。	放射性物質を含む飛灰貯蔵エリア(最大6.42μSv/h以下)、及びガラス固化体50本収納の角型貯蔵容器取扱いいエリア(最大1.46μSv/作業時間)での年間作業時間を管理する。	目標処理単価:約80～800万円/t飛灰	年間稼働日数240日、定期保守日数30日/年、3直連続運転とする。必要処理容量(kg/バッチ)や飛灰中の塩素濃度等によって装置サイズや処理対象物含有率、ガラス形成材量が変化し、処理単価はこれらに大きく依存する。今後これらの設定精度を高め処理単価を集約していく。	歩掛り(作業人工、作業速度等): 一日最大3/バッチの処理運転(直体制)各直当たり:管理者1名、スタッフ1名、運転員5名、放管要員2名	放射性物質を含む処理対象物の取扱いいエリアは、他のエリアと完全に配置分離し、換気空調設備により負圧維持と排ガス処理を行う。またプロセス機器内部はプロセス外部よりも負圧に保ち、放射性物質の漏洩や飛散を防止する。溶融炉本体と排ガスパレフィルターには放射線局所遮蔽を設置する。

各技術のまとめ(3/3)

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	7	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	ブルシアンブルー系Cs吸着材の過熱水蒸気分解に関する試験	本試験では、飛灰洗浄液から放射性Csを吸着濃縮したブルシアンブルー(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や実用化に向けた課題を明らかにした。	実証試験の結果： 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、加熱雰囲気の検討、カラムサイズ、加熱水蒸気量の影響評価をおこなった。また加熱分解残渣(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。 過熱水蒸気による加熱分解残渣について、赤外分光スペクトル(FT-IR)の温度依存性を調べた。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2100cm ⁻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、1) 400℃での過熱水蒸気分解後に350℃での空気導入や、2) 400℃での過熱水蒸気と同時の空気導入を検討した。空気導入に関しては、2) の場合、過熱水蒸気と同時の空気導入時は目標温度の維持が困難となり、カラム内の温度は400℃から上下に変動した。また金属Cuの酸化も十分ではなかった。一方1) の場合は温度維持が容易で金属Cuの酸化も容易であった。 本試験で確認したいいくつかの条件に対して、例えば、安定にCuHCFを加熱分解でき、Csの飛散はほぼなく金属Cuも酸化されている場合について、Csの物質収支を検討した。上記の場合の平均を取ると、加熱分解によるカラム外への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、NOxは排ガスよりも冷却捕集水で多く含まれている場合があることがわかった。	Cs飛散を抑えたブルシアンブルー系吸着材の安定化は可能である。	モンテカルロ法によるシミュレーションの結果、いずれの吸着材、固化体においても、パイロットスケール、ベンチスケールとも吸着カラム表面において、2mSv/hを超えないことを確認した。	22.5万tの熔融飛灰を10年間で処理する場合を想定して安定化コストを評価した結果、設備費及び運転費の総計(直接経費)は約14億円。	JESCOの公募する飛灰洗浄事業のパイロットプラント事業、さらにその先の実事業に適用した場合を想定して経済合理性評価をおこなった。	対象外	作業員の被ばく線量を抑制するためには、線量率を100 μ Sv/h以下にすることが望ましく、鉛遮蔽と離隔で対応することが現実的であると考えられる。
	8	国立大学法人 東京工業大学	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	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の安定固定化および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。 放射性Csの安定固化のために、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する。その前処理技術を利用してCsを回収し、ホウケイ酸ガラスフリットと混合後、溶解させることで、耐水性の高い均質なポルサイト結晶含有ガラス固化体を作製する。また、作製したガラス固化体におけるCsの浸出性能の評価するために、動的浸出試験を実施する。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。これら一連の実証試験を通し、「インドラム式ガラス固化技術」の実用性を実証する。	K量低減のための前処理技術として、PB-MCもしくはフェロシアン化銅造粒体(CuHCF)による吸着後、NH4+で後処理することにより、最終的なガラス固化に供するCs混合物水溶液中のK濃度を、[Cs]/[K]比で、9.33(PB-MC)、34.5(CuHCF)まで低減することに成功した。また、ガラス固化体へのCs充填量を、ガラス重量に対して、10 wt%とすれば、K充填量を10 wt%まで充填しても、900 ° Cで均質なガラス固化体を作製できることが実証された。さらに、ポルサイト結晶含有コンポジット型ガラス固化体のCs浸出率は非常に低く、セメント固化等比べて4桁程度小さい規格化浸出率を達成した。 実飛灰洗浄水を用いたホット試験では、吸着・燃焼・溶出・ガラス固化で構成される一連のプロセスが問題なく遂行できることを確認した。放射性Csについても十分な精度でトレースでき、安全かつクローズドなプロセス構築が可能であることが示された。また、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100本以下に収まり、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事がわかった。	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本以下で有り、低レベル放射性廃棄物(ピット処分制限100 GBq/kg以下)としての保管スペースは10 m × 10 m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: ϕ 400 × 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: 22.5kg/本(ガラスの約15 wt%)、インドラム数量: 灰処理+土壌処理: 86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: 8.94GBq/内容物 kg、1542.9Bq /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。
	9	大成建設株式会社	除去土壌と熔融飛灰等をジオポリマーの固化材料として利用する技術	本技術実証は、放射性セシウム(Cs)が高濃度に濃縮された熔融飛灰について、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もので、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。 本試験で2段階に分けて試験を実施し、第1段階では福島県内の非放射性の熔融飛灰(放射性)を用いて試験や評価を行い(コールド試験)、第2段階では福島県内の熔融飛灰(放射性)を用いて第1段階の結果を基に試験や評価を行った(ホット試験)。さらにジオポリマー固化化した際のマスバランス計算と最終処分に供する場合の安全評価を行った。	最終処分の対象物である熔融飛灰を用いたジオポリマーの固化化方法(配合の選定)を示し、作製したジオポリマー固化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、セメント固化体の一軸圧縮強度である1,470kPa以上であることが確認できた。 ・選定した配合で作製したジオポリマー固化化体はどれもセメントのCs浸出率(79.9%)以下であることを確認でき、目標サイズである200Lの1/10サイズ(20L)を作製することを通して、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。 安全評価では、本試験で測定した浸出率から、ジオポリマー固化化体をトレンチ浅地層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10 μ Sv/y未満になることを確認できた。	最終処分の対象物である熔融飛灰を用いたジオポリマーの固化化方法(配合の選定)を示すことができた。本試験で検討したジオポリマー固化化体が最終処分方法の1つとしての可能性を示すことができた。	放射性の熔融飛灰を扱う試験より得られた情報を基に試算した結果、作業員の年間の外部被ばくは0.672mSv/y程度であった。よって、線量限度(20mSv/y)を超えないため被ばくの観点での安全性は確保できる。	コスト試算を行った結果、イニシャルコスト、ランニングコスト等を求め、それらを基にドラム缶1本あたりのコストを試算した。その結果、ドラム缶1本あたり2.9万円となった。	実機プラントでの処理を想定した条件: ・処理対象熔融飛灰: 総量99,000t ・最終処分容器: ドラム缶、サイズ200L/本 ・年間稼働日数: 280日 ・操業期間: 10年 ・作業人数: 42人(14人 × 3班)	実機プラントでの処理・ジオポリマー固化化体(ドラム缶)製造量: 100本/d ・1日作業時間 : 24時間(3交代) ・作業速度: 4.2本/h	実機を想定し、作業員の1年あたりの外部被ばく線量は線量限度である20mSv/yの値より低く抑える必要がある。 ホット試験にて測定した線量約0.3 μ Sv/hを基に、1日の作業時間を8時間、1年の作業日数を280日とした場合、0.672mSv/yとなることを確認。