

平成 29 年度
除染土壌等の減容等技術実証事業
Web 用概要書

No.1 放射性物質を含む焼却残渣の再生利用を想定したセシウム分離促進剤添加焼却技術の実証

実施代表者：日立造船株式会社

全体概要

中間貯蔵施設に搬入される除染廃棄物等の焼却処理により発生する焼却主灰中の放射性セシウム（以下Csという）濃度を低減し、土木資材等に再生利用することが検討されている。そこでCs分離促進剤を適用し、焼却処理の段階で焼却主灰中の放射性Cs濃度を低減することで、放射性廃棄物を効率的に減容化するシステムを構築する。

実施内容

- 実施項目
 - 焼却試験：焼却対象物へのCs分離促進剤添加・焼却技術の実証
 - 焼却主灰洗浄試験：焼却主灰の洗浄処理技術の実証
 - 腐食試験：機器の腐食の影響確認
- 試験結果の評価
 - 技術の評価：物質収支、トータルシステム、再生利用検討
 - コストの評価：ごみトン当たりの処理コスト算出
 - 安全性の評価：被ばく線量評価

事業の主な実施場所

大阪市大正区、京都府舞鶴市

技術概要

1. 試験手順

図1に試験フローを示す。

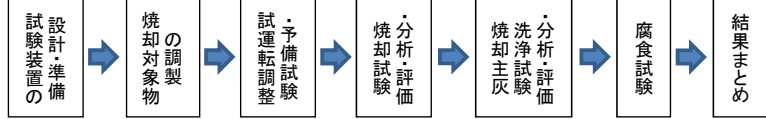


図1 試験フロー

2. 試験目標

(1) Cs分離促進剤添加による焼却主灰中Cs濃度の低減（焼却試験、焼却主灰洗浄試験）
 焼却対象物とCs分離促進剤を混合してベンチスケールのストーカ式焼却炉で焼却後、生成する焼却主灰を水洗することで、焼却主灰中のCs濃度が目標値以下に低減可能であることを確認する。図2に放射性Cs分離システムを示す。

<成果目標>

焼却対象物の焼却および焼却主灰の洗浄によるCs除去率=88%以上

$$= (1 - \text{焼却・洗浄後の焼却主灰中のCs量} / \text{焼却対象物中のCs量}) \times 100$$

(2) 機器腐食の影響確認（腐食試験）

Cs分離促進剤の添加による火格子の腐食による減肉量をテストピースを用いて確認する。
 (3) 本技術の優位性を踏まえたトータルシステムの構築

本実証試験結果を基に、熱処理技術、飛灰洗浄・Cs濃縮・固定化処理技術を含めたトータルシステムにおける物質収支を試算し、本技術の優位性を確認する。

3. 期待される効果

- 放射性Cs濃度を低減した再生利用量の増加
- 最終処分量の低減

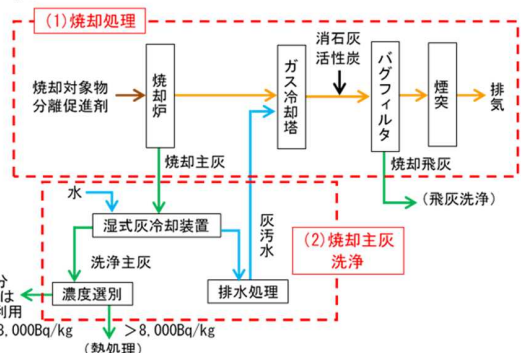


図2 放射性Cs分離システム

付録1-1-1

結果

1. 試験結果

(1) 焼却試験

図3に焼却試験装置外観を示す。Cs分離促進剤の添加により、Csの揮発および焼却主灰中Csの水溶性化が促進された。Cs除去率は最大81.6%であり、ラボ試験からの推算値と概ね一致した（図4）。実処理では実証試験装置と異なり、炉内温度を適正に管理することが可能なため、さらなるCs除去率の向上が可能となる。



図3 焼却試験装置外観

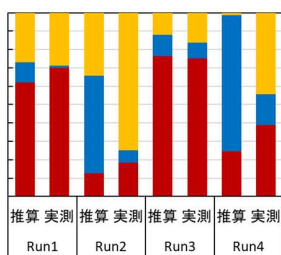


図4 Cs分配率の推算値と実測値の比較

(2) 焼却主灰洗浄試験

洗浄処理により

焼却主灰中の水溶性Csを除去可能であり、Cs分離促進剤を添加した焼却主灰ではCs除去率は30%程度と

なることを確認した（図5）。

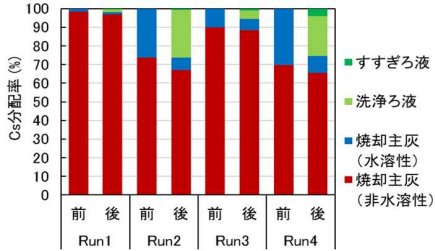


図5 洗浄前後のCsの挙動

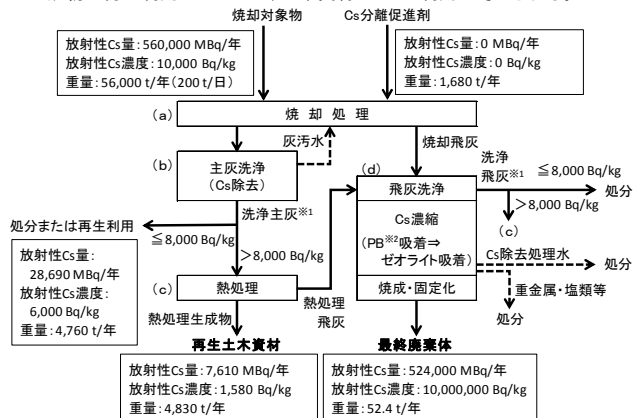
(3) 腐食試験

火格子材料を用いた腐食ラボ試験の結果、Cs分離促進剤を添加した焼却処理においても、一般的な火格子温度である450℃以下で運転される場合は問題はないことを確認した。

2. 試験結果の評価

(1) 技術の評価

放射性廃棄物減容化のトータルシステム（焼却処理・焼却主灰洗浄処理、熱処理、飛灰洗浄・Cs濃縮・固定化処理）において、焼却対象物の処理量を200 t/日（280日/年）、灰分を16%、放射性Cs濃度を平均10,000 Bq/kgと設定した場合、最終廃棄体は、焼却対象物に対し重量比で0.09%、放射性Csの93.5%を濃縮可能という結果となった（図6）。また、8,000 Bq/kg以下となった焼却主灰、熱処理生成物の再生利用については、土木資材としての利用が考えられる。



※1：洗浄主灰および洗浄飛灰は、8,000 Bq/kg超の場合は熱処理とする。

※2：PB=プルシアンブルー

図6 放射性廃棄物減容化のトータルシステムのフロー

(2) コストの評価

上記(1)に関わる施設・建設費および運転・維持管理費（10年稼働）を試算した結果、ごみトン当たりの処理コストは合計で10.8万円となった。

(3) 安全性の評価

上記処理施設の空間線量率をシミュレーションした結果、コンクリート壁などによる遮へいにより、作業員の被ばく線量は、0.1~2 mSv/年程度となった。

【まとめ】

- Cs分離促進剤を添加した焼却処理および焼却主灰洗浄処理が、焼却主灰中のCs低減に有効であることを確認した。
- Cs分離促進剤添加による火格子の腐食への影響はないことを確認した。
- トータルシステムの検討により、物質収支、処理コスト、作業員の被ばく線量を評価し、本技術による減容化の有効性、安全性を確認した。
- 実機での放射性Cs除去性能の確認、火格子の腐食の確認、再生利用方法の検討、放射線管理における遠隔監視および自動化の検討が必要である。

付録1-1-2

No.2 泡浮遊選鉱による汚染土壌の浄化

実施代表者：株式会社AREVA ATOX D&D SOLUTIONS

全体概要

除染によって生じた土壌を対象として、フランスで開発された微粒子泡浮遊選鉱技術を用いて、サイズ選択性と電荷選択性の相互作用によって、放射性Cs(以下Cs)が吸着した粘土粒子を抽出する。

この技術は熱処理、強酸等を用いた化学処理等が必要とすることなく、減容・再生利用等の促進に資する技術であると考えられる。そこで実際の除去土壌を用いた実証試験を行い、抽出した粘土粒子の粒径やCs抽出率等の結果より本技術の適用性について評価を行う。

実施内容

1. 土壌準備

異なる場所から発生した10種類の土壌から3種類の土壌を試験用として選定し、4mm以下にふるい分けを行う。

2. 選別試験

フランスで開発された微粒子浮遊選鉱技術による土壌選別試験を実施する。土壌選別には試験装置「iD20」を用いる。土壌1種類につき4回ずつ試験を実施し、試験前後における土壌の重量やCs放射能濃度等について測定・記録する。

3. 評価

試験結果から、除染効果および減容効果等について評価するとともに、実用化にあたっての課題、改善点等について検討する。

事業の主な実施場所

福島県双葉郡大熊町

技術概要

1. 試験手順

試験装置「iD20」による試験手順(図1)と試験装置本体(図2)を示す。

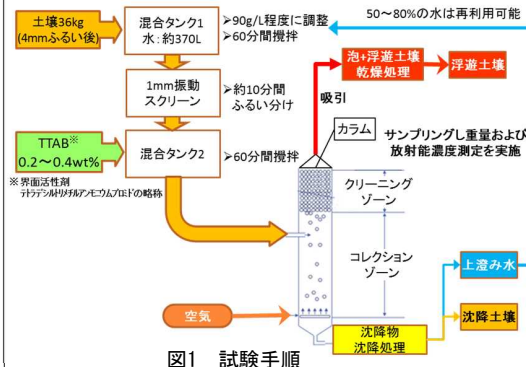


図1 試験手順

泡浮遊選鉱によって、75μm未満の粘土粒子が泡に付着しカラム上部に浮上し吸引回収される。付着しなかった土壌は沈殿物として水と共に沈降タンクに回収される。沈降処理後、上澄み水は次の処理用水として再生利用される。

2. 試験目標

Csによって汚染された土壌について、減容率は1/7、土壌全体に対するCs抽出率は90%を目指す。ここでは減容率は浮遊土壌の乾燥重量を混合タンク1中の土壌の乾燥重量で除した値として定義し、Cs抽出率は浮遊土壌中のCs放射能をカラムへ投入した土壌中のCs放射能で除した値として定義する。

3. 期待される効果

熱処理、強酸等を用いた化学処理等の必要がないため、土壌中の有機質を破壊することなく汚染された粘土粒子を濃縮して取り出すことが可能であることから、除去土壌の減容に加え、土木資材や農業などへの再生利用も可能になると考えられる。

4mm以下にふるい分けを行った土壌を混合タンク1に投入し、水と混合させ60分間攪拌後、装置内系統への影響を考慮し1mm以下にふるい分けを行う。その後、界面活性剤を加え60分間攪拌させた後、カラムに投入する。カラム底部から空気を投入し、泡浮遊選鉱を行う。



図2 試験装置「iD20」

付録1-2-1

結果

1. 土壌準備

10種類の土壌について、外観やCs放射能濃度、予備試験（空気投入時の泡立ち量、発生する泡の色、発生した泡へのCs放射能移行量）の結果から3種類の土壌を選定した。選定した3種類の土壌を自然乾燥させたのち4mm以下にふるい分けを行い、選別試験用土壌とした。

2. 選別試験

3種類（農地1種類、宅地2種類）の土壌に対して、「界面活性剤投入量」と「浮遊選鉱時の泡高さ」をパラメータとして試験を実施した。泡浮遊選鉱前後における粒度分布測定結果を図3に、測定結果を表1に示す。泡浮遊選鉱により粒径ピーク7~8μmの分布を持つ細かな粒子が泡によって回収でき、Cs抽出率は約40%であった。

減容率とCs抽出率の計算例を示す。この試験ではカラムに投入した土壌懸濁液は18L、土壌懸濁液の土壌の乾燥重量密度は30.1g/L(1mmスクリーニング後)、1mmスクリーニングでの除去率20wt%、浮遊土壌として回収した土壌の乾燥重量は177.9gであった。よって、減容率は177.9/(30.1×18×1.2)~1/3.6である。また、カラムに投入した懸濁液中のCs放射能濃度が1,777Bq/L、回収した泡中のCs放射能は13,506Bqであったことから、Cs抽出率=13,506/(1,777×18)=0.422=42.2%となった。

3. 試験結果の評価

- ・粒子選択性：カラムに投入した土壌中に存在するCsの約40%を泡浮遊選鉱により抽出できた。選択性向上のためには、一般産業界での実績から、カラムの複数直列配置による処理が有効である。
- ・再生利用可能性：上澄み水はフィルタを通すことで処理用水として再生利用が可能である。土壌はCs除去率を高めることで土木資材、農業などへの再生利用が可能である。
- ・除染・減容効果：除染効果向上のため、大きい粒子に付着している粘土粒子を分散させるためのカラム投入前の適切な攪拌が必要である。
- ・コスト：1時間当たりの浮遊選鉱量を100m³（土壌約10t）と想定した場合、泡浮遊選鉱前の土壌分別、泡浮遊選鉱後の脱水処理を含めた一連プロセスのコストは運転に係る人件費を含めて約9,520円/tとなる。
- ・安全性：安全上のリスクとして微粒子土壌と界面活性剤の取扱いがあるが、適切な保護具を着用しリスク低減を図る。また、ふるい作業時の被ばく線量が高くなったことから、作業の自動化等を図る必要がある。

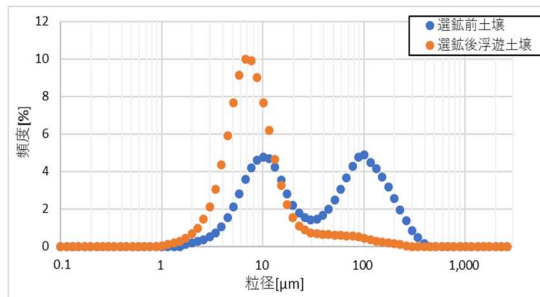


図3 泡浮遊選鉱前後における粒度分布測定結果の一例

表1 選別試験結果

TTAB：界面活性剤「トリタールメチルブドウ糖」の略称

土壌種類 (試験日)	TTAB 投入量 [%]	減容率	Cs 抽出率 [%]	原土Cs 放射能濃度 [Bq/kg]	浮遊土壌Cs 放射能濃度 [Bq/kg]	沈降土壌Cs 放射能濃度 [Bq/kg]
宅地1 (11/6)	0.21	1/7.4	41.2	136,000	302,000	76,000
宅地1 (11/9-10)	0.80	1/3.6	42.2	108,000	76,000	31,000
宅地2 (11/4)	0.30	1/7.2	42.2	178,000	256,000	64,000
宅地2 (11/18)	0.57	1/5.7	44.8	210,000	402,000	143,000

まとめ

- ・カラムに投入した土壌に対するCs抽出率は約40%となった。泡浮遊選鉱で浮遊させることができない比較的大きな粒子に粘土粒子が付着している可能性が高いことから、前処理としてのふるい方法や攪拌方法について改善が必要である。
- ・浮遊選鉱処理後の上澄み水は遠心分離や0.4μmフィルタによる過処理により浮遊選鉱での再生利用が可能となり排水量が低減できる。
- ・1時間当たりの浮遊選鉱量を100m³（土壌約10t）と想定した場合、浮遊選鉱前の土壌分別、浮遊選鉱後の脱水処理を含めた一連プロセスのコストは運転に係る人件費を含めて約9,520円/tとなった。

付録1-2-2

No.3 磁気分離・マイクロバブル浮選を用いた放射性Cs含有細粒分の分離による減容技術の検証

実施代表者：鹿島建設株式会社

全体概要

減容化の対象となる2～8万Bq/kgの除去土壌Cは、その8割超が農地の土壌であり、微粒分の多い粘性土である。これらの粘性土に含まれる粘土のうち、磁場内で磁化される性質を持つ2:1型粘土に放射性Csが吸着していることが知られているが、粘土は通常の凝集沈殿では分離しにくい。そこで、近年開発された磁気分離装置を用いて2:1型粘土のみを選択して捕捉し、さらにマイクロバブルによる浮選を行うことでこの粘土を効率よく回収し、減容化するシステムの構築を目指した。

ただし、農地の土壌は約1割の有機分を含んでいるため、いわゆる団粒化を起こし、土粒子の分離が難しい。このため、本試験では磁気による2:1型粘土の選択的な捕捉、およびマイクロバブルを用いた浮選による「固液の分離と粘土の回収」が技術的に可能であることを確認し、大型の実用化システムに向けた具体的な課題を抽出する。

実施内容

1. 対象とする土壌の基本性状の把握
2. 磁気分離による2:1型粘土の選択的捕捉の確認
3. マイクロバブルを用いた浮選による泥水からの固体分の分離の確認
4. 実用化の可能性検討とそのための具体的な課題の抽出

事業の主な実施場所

福島県富岡町、大阪大学、京都大学

技術概要

1. 試験フロー

①対象とする土壌の基本性状の把握

福島県内の農地から土壌(7種類)を採取し、粒径分布、放射性Cs濃度、有機物量、2:1型粘土割合等を確認する。

②磁気分離(MS: Magnetic Separation)試験

(原理: 図1 試験装置: 図2)

強度5T(テスラ)の磁場で泥水中の2:1型粘土を磁気フィルター(外径94mm)により捕捉する。

・市販の2:1型粘土で作成した泥水を用いて、流速と磁気フィルターの違いによる最大捕捉可能量と捕捉率の変化を確認する。

・採取した5種類の土壌を用いて、捕捉した土粒子(2:1型粘土)と通過した土粒子(1:1型粘土)の放射性Cs濃度を測定し、選択的な分離の効果を確認する。

③マイクロバブル浮選(MBF: Micro Bubble Floatation)試験

(原理: 図3 試験装置: 図4)

微細な粒子を気泡と結合させる薬剤を泥水に添加し、泥水から固体分を分離して回収する。分離が難しい20μm未満に対し試験する。

・薬剤の種類と量(濃度)を決定する。

・小型水槽(φ200、H2,000)を用い、処理水の濁度が80以下になる処理条件(液固比、前処理の有無、処理速度等)を確認する。

・大型水槽(φ600、H2,000)を用い、大型化における課題を検討する。

④減容化システムの想定

土壌の基本性状を勘案し、MSとMBFを組合せ、除去土壌Cのうち75μm未満を処理した場合の物質収支、コストを算定し、実用化での課題を抽出する。

2. 試験目標

- ・MSによる2:1型粘土の捕捉とその効果の定量的把握
- ・MBFによる処理水(アンダーフロー)の目標値である濁度80以下となる運転条件(処理速度、前処理の有無)の把握
- ・想定したシステムにおける減容率の試算

3. 期待される効果

- ・本技術の適用による除去土壌の減容化

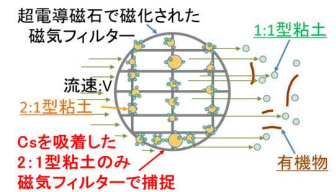


図1 MSの原理

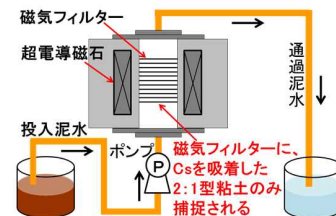


図2 MS試験装置のフロー

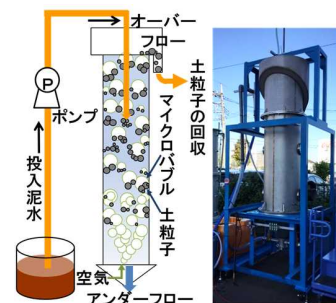


図3 MBFの原理

図4 MBF試験装置

付録1-3-1

結果

1. 土質調査

- ・粒径分布は20μm未満が25～42%、75μm未満が36～63%であり、いずれの数値も農地土壌としてはやや小さかった。
- ・強熱減量が平均約10%と高く、有機物が多い農地の特徴を有していた。
- ・2:1型粘土含有率(平均)は約40%であり、MSで捕捉すべき土粒子として想定する50%よりはやや少なかった。

2. 磁気分離試験

- ・物質収支(平均)を20μm未満と20～75μmに分けて図5に示す。2:1型粘土の捕捉率は、20μm未満では62%(=21/34)、20～75μmでは76%(=31/41)であった。
- ・試験前後の放射能濃度の変化の事例を図6に示す。通過した土の放射能濃度の低減を示す除去率((投入土壌濃度-通過土壌濃度)÷投入土壌濃度)は最大67%(土壌Cの20～75μm)が得られた。

【課題1】捕捉された2:1型粘土に1:1型粘土が約4割、通過した1:1型粘土に2:1型粘土が約2割付着しており、解砕による分離で除去率を改善する。

3. マイクロバブル浮選試験

- ・有機物の含有を考慮してカチオン系界面活性剤を薬剤として使用し、その凝集沈殿効果を利用して上澄み液をMBFに導き目標濁度80を達成、同時に小型水槽(60L)で1L/minの処理能力が確認できた(表1)。
- ・大型水槽(540L)でも目標濁度を満足した。

【課題2】薬剤による排水中BODの増加抑制と処理能力のさらなる向上

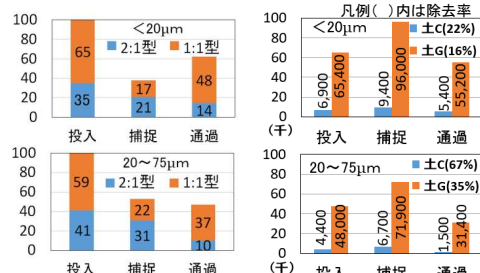


図5 MS物質収支[%]

図6 MS放射能濃度変化[Bq/kg]

表1 MBF試験結果

土壌	原水	前処理	処理水
	液固比	凝沈	濁度
A	150	実施	5
	200	なし	71
B	170	実施	25
	200	なし	399
C	80	実施	16
	140	実施	57
F	110	実施	55
	80	実施	77
G	200	なし	139
	100	実施	32

注1) 土壌D,EはMS試験に利用
注2) 目標濁度80で試験実施

4. 実用化の可能性とそのための具体的な課題

課題1,2の達成を前提に、除去土壌Cに対して、今回実証したMSとMBFを組み合わせたフロー(図7)を想定し、減容効果とコストを試算した。このフローでは75μm未満の土壌をサイクロンを用いて20μmで分級後、各々でMSを、20μm未満のMS後の通過泥水にMBFを想定している。

・減容効果: 75μm未満の土壌C153万m³のうち、8,000Bq/kg以下となる土壌は52万m³、減容率34%と試算された。

・コスト: 処理単価は8.1万円/m³と試算された。

【課題3】MSの今後の課題として、大型超電導磁石を用いた性能確認と、磁気フィルターに捕捉された土粒子の回収技術の検証が残る。

5. 総括と課題

MSによる2:1型粘土の捕捉、並びにMBFによる微細粒子の分離が確認できたことで、両技術が減容化の要素技術として可能性があると解った。今後、有機物に起因すると推定される団粒を解砕することで除去率を改善すると同時に、システムの信頼性と経済性を向上できると考える。

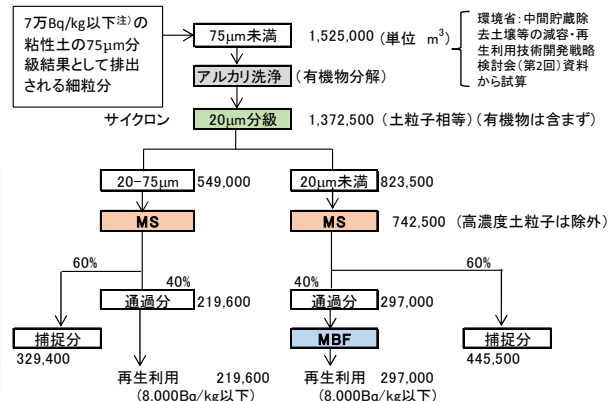


図7 想定全体システムフロー

【磁気分離】2:1型粘土は5T(テスラ)の超電導磁石を利用した磁気分離装置により捕捉することが技術的に可能である。事前に有機物による2:1型粘土と1:1型粘土の団粒化を十分に解砕することで、2:1型粘土の捕捉率の向上が期待される【マイクロバブル浮選】微粒子を固液分離する技術として有効であることが実証された。処理速度の更なる向上と利用する薬剤の選定が重要である。【減容効果】本技術により75μm未満の153万m³の土壌から、新たに52万m³が8,000Bq/kg以下の再生利用可能な土壌になると試算された。【処理コスト】本技術の処理単価は対象処理量153万m³に対して8.7万円/m³と試算された。【実用化の課題】大型超電導磁石を用いた性能確認および捕捉された土粒子の回収法の確立は今後の課題である。

付録1-3-2

No.4 除染土を布型枠内に固形化し再利用製品の製作技術の実証

実施代表者：西松建設株式会社

全体概要

除染土壌を公共工事等へ再生利用する際、運搬・施工時だけでなく将来の長期にわたり、土壌に含まれる放射性Csの溶出・飛散リスクが懸念される。そこで、除染土壌に固化材、調整水を加えスラリー状にし、遮水性が高い高強度の布型枠に注入・固形化することで環境中への放射性Cs拡散リスクを低減する。本試験では布型枠製品の製作技術に関する技術、コスト、安全性について評価を実施した。

実施内容

1. 予備試験：製作実証試験のための管理基準値の設定、配合試験の基礎データ取得
2. 室内土質試験：土壌の物性把握、固化材選定後、スラリーの配合試験を実施
3. 布型枠製品の製作実証試験（図1, 2）
（放射性Cs土壌試験、通常土壌試験）
 - ①製品化（図3）の出来形、漏水量等の測定・評価
 - ②性状の異なる土壌を使用した製品の強度に関する測定・評価
 - ③放射性Csによる製品の表面線量率・放射性Cs濃度に基づく物質収支、水中養生による放射性Csの水中溶出、覆土による遮蔽効果等の環境影響の測定・評価

事業の主な実施場所

福島県双葉郡葛尾村、大阪府門真市

技術概要

1. 試験手順

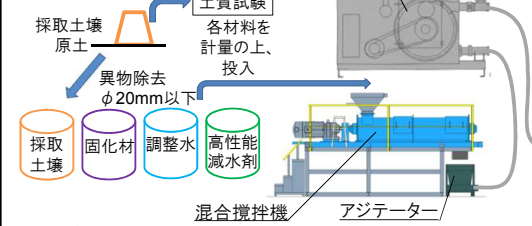


図1 布型枠製品の製作フロー（実証プラントの主要装置構成）



図2 新たに製作した布型枠

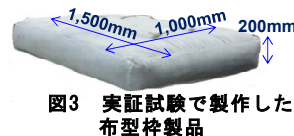


図3 実証試験で製作した布型枠製品

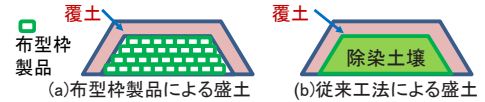


図4 盛土構造物への再生利用イメージ

2. 試験目標

- ・除染土壌を布型枠へ注入・固形化し一貫製作する際の出来形、漏水量、製作時間、スラリー特性の妥当性を確認。
- ・盛土構造物への再生利用（図4）を想定した布型枠製品の目標強度発現に関する確認および放射性Csによる環境影響の確認。
- 3. 期待される効果
 - ・遮水性布型枠に注入・固形化することで、放射性Csが漏れ出すリスクを低減できる。また、製作時に放射性Csを含んだ排水を系外へ排出しない。
 - ・運搬、施工、また、供用時の周囲への環境影響だけでなく、作業員の被ばくリスクも低減できる。
 - ・盛土構造物に再生利用する際、タグを取り付けることで長期間の管理が容易かつ適格に行える。万が一、盛土が崩壊した場合でも除染土壌の拡散がなく、布型枠製品（除染土壌）の回収ができる。
 - ・大きさ、強度、施工面積を任意に設計・製作できるため、再生利用の用途先、各種条件等に対し幅広く柔軟に対応可能なため広域再生利用に寄与できる。

付録1-4-1

結果

1. 予備試験

通常土壌試験に使用する購入した砂質土、粘性土で、布型枠製品の製作実証試験における管理基準値を設定（表1）するとともに、目標強度、スランプ管理値を得るための固化材添加量に対する調整水量（水セメント比）との関係を把握した（表2）。

表1 管理項目と設定した管理基準値

出来形・上限(mm)	短辺	1,060~1,260	長辺	1,560~1,760	厚み	200~280
スランプ値(cm)	24±4		漏水量(cc)		100	

表2 スランプ管理基準値を得るための配合試験の基礎データ

項目	砂質土			粘性土		
土壌量(kg/m³)	2,150			1,680		
自然含水比(%)	12.7			0.6		
目標強度qu28(kN/m²)	500	1,000	1,500	500	1,000	1,500
固化材添加量(kg/m³)	50	100	150	100	150	200
スランプ値(cm)	25	24	24	24	24	24.5
調整水量(kg/m³)	457	479	479	504	518	546
水セメント比(%)	917	480	320	504	345	273

2. 室内土質試験

土壌の物性を確認後、スラリーの流動性と設定強度を満足する固化材の選定を含め、投入する土壌を100kgとした場合に目標強度qu28が1,500kN/m²以上になるよう計画配合を設定した（表3）。

表3 目標強度を得るための使用土壌毎に設定した計画配合

試験名	放射性Cs土壌試験		通常土壌試験	
	福島県採取土	砂質土	粘性土	
材料				
土壌	100.0 (64.6)	100.0 (74.4)	100.0 (70.6)	
固化材	22.6 (14.6)	9.3 (6.9)	11.3 (8.0)	
調整水	31.6 (20.4)	24.9 (18.5)	30.1 (21.2)	
高性能減水剤	0.6 (0.4)	0.2 (0.2)	0.3 (0.2)	
布型枠内容物	154.8 (100.0)	134.0 (100.0)	141.7 (100.0)	

3. 布型枠製品の製作実証試験

(1) 製品化の測定・評価

- ・図5の装置でスラリーを製作・注入した。また、出来形は管理基準値を満足した。課題は残るものの一貫製作の妥当性は確認できた。
- ・放射性Cs土壌試験では、目標強度を得るために固化材添加量が多くなりスランプ値が管理基準値内の下限近傍にあり、スラリーの注入・充填性が低下した。



図5 放射性Cs土壌試験の状況

(2) 強度の測定・評価

- ・福島県採取土（牧草地）はpHが低く有機分を含むため高有機質土用固化材を選定した。実証試験に供した土壌の不均質性等の原因により初期のスラリー流動性が著しく変化・低下した。その対処のため、計画配合より調整水量が増え、結果的に目標強度1,500kN/m²に至らなかった。
- ・通常土壌試験では一般的な特殊土用固化材を選定し、計画通りの配合で500、1,000、1,500kN/m²各々の目標強度を達成することができた。

(3) 放射性Csによる環境影響の測定・評価

- ・約3,000Bq/kgの放射性Cs土壌を使用した布型枠製品の放射性Cs濃度はスラリー中の土壌配合率約2/3に比例し、約2,000Bq/kgであった。
- ・覆土厚さによる遮蔽効果を表面線量率で確認した結果、20cmであった。
- ・28日間水中養生した結果、放射性Csの水中への溶出量は検出下限値以下であった。

4. 試験結果の評価（技術の評価については上述参照）

- (1) コストの評価：本製品を盛土構造物に再生利用する際のコストは54,000円/m³と従来工法の約4倍を要する。一方、費用対効果として、放射性Csの飛散・溶出がない固形物となり、施工時の作業員内部被ばくが低減でき、運搬、施工、供用時の沿道住民の安全・安心が得られると考える。
- (2) 安全性の評価：製作注入時の作業員被ばく量を試算した結果、土壌の放射性Cs濃度が50,000Bq/kgでは3.94mSv/年（基準値の約1/5）であった。

- ・除染土壌は著しく不均質な場合があるので、布型枠製品にて目標強度を得るためには、施工に必要な土壌を予め均質化した上で土質試験、固化材の選定等を実施し、計画配合に沿って製品化することが重要である。
- ・物質収支について評価した結果、投入土壌の放射性Cs濃度とスラリー中の土壌配合率で製品の放射性Cs濃度は概ね決まることが確認できた。
- ・水中養生に伴う製品からの放射性Cs溶出は見られず、製品の封鎖性が確認できた。
- ・従来の盛土と比べ約4倍のコストとなるが、放射性Csの飛散・溶出がない固形物となり、運搬、施工、供用時の沿道住民の安全・安心が得られる。

付録1-4-2

No.5 ジオポリマー法による汚染材のコンクリート系遮蔽材等への有効活用法の実証

実施代表者：大成建設株式会社

全体概要

本事業では、福島県内の可燃性除染廃棄物を焼却した飛灰・主灰をジオポリマーの材料として有効活用する技術の適用性について実証した。すなわち、性状の異なる放射性飛灰・主灰をジオポリマーとして固化させる配合、固化体の性能等を確認するとともに、得られた知見から本技術の実用性、経済性、安全性を検討した。

注)ジオポリマーとは、石炭灰、飛灰、主灰、メタカオリン等のアルミノケイ酸塩を活性フィラーとし、水ガラス(ケイ酸ナトリウム)と水酸化ナトリウムの混合溶液からなるアルカリ活性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. 試験の準備
2. 各種試験
 - (1) 試料・材料の性状確認試験
 - (2) ジオポリマーの配合試験
 - (3) ジオポリマーの性能確認試験
 - (4) ジオポリマーの安定性試験
 - (5) 貯蔵容器製作試験

事業の主な実施場所

大成建設株式会社
 国立大学法人 名古屋工業大学大学院
 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
 一般財団法人 東海技術センター
 株式会社 矢内総建(久ノ浜工場)

技術概要

1. 試験手順

- 試験の準備**
- ・非放射性・放射性的飛灰・主灰の入手
 - ・添加材(石炭灰、高炉スラグ)、薬剤、試験用器具の調達

- 試験① 試料・材料の性状確認試験**
- ・蛍光X線分析装置等による化学組成、化合物、結合状態等の分析
 - ・放射性飛灰・主灰(図1)の放射能濃度の測定

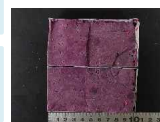
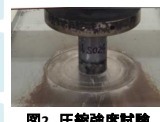
- 試験② ジオポリマーの配合試験**
- ・ジオポリマーの配合試験、固化体強度の測定(図2)

- 試験③ ジオポリマーの性能確認試験**
- ・固化体・粉砕物の溶出試験による重金属・Csの溶出抑制効果の測定

- 試験④ ジオポリマーの安定性試験**
- ・中性化(図3)、乾燥、酸への抵抗性(図4)の確認
 - ・塩化物イオン、硫酸イオンの影響の確認

- 試験⑤ 貯蔵容器製作試験**
- ・1m³貯蔵容器の製作
 - ・製造性・安全性の確認、遮蔽性能の測定

- 片付け、撤収**
- ・発生廃棄物等の処理
 - ・試験固化体の保管等
- 評価および報告書作成**
- ・物資収支・放射能収支の評価
 - ・実用性、経済性、安全性の評価



2. 試験目標

- (1) 飛灰・主灰を用いて目標とするジオポリマー固化体を製作できる配合の探索
(目標強度はJASS5の供用期間30年の耐久設計基準強度18N/mm²以上)
- (2) セメント固化体よりも高いCs溶出抑制効果の確認
- (3) 線量率を90%低減できる遮蔽性能の高い飛灰・主灰用貯蔵容器(厚さ15cm)の製作
3. 期待される効果
 - (1) 飛灰・主灰の再生利用による貯蔵量の縮減
 - (2) 放射能濃度の高い廃棄物向けの貯蔵容器への活用

結果

1. 試験の準備

非放射性および放射性的飛灰・主灰をそれぞれ6試料を準備した(表1、表2)。

表1 非放射性試料

番号	採取場所	灰種	焼却物	炉形式
1	A市	飛灰	都市ゴミ	ストーカ
2		主灰		
3	B市	飛灰		流動床
4	C社	飛灰	産業	ストーカ
5		主灰A	廃棄物	
6		主灰B		

表2 放射性試料

番号	採取場所	灰種	焼却物	炉形式	放射能濃度 [Bq/kg]
7	D村	飛灰	除染	流動床	34,000
8		主灰	廃棄物	ストーカ	55,000
9		主灰			22,000
10	E市	飛灰			18,000
11		主灰A			10,000
12		主灰B			10,000

2. 各種試験結果

(1) 試料・材料の性状確認試験

- 各種分析より以下のことがわかった。
- ・飛灰・主灰は、非放射性に比べて放射性に、ジオポリマーに必要なSi、Al含有量が多い(図5)。
 - ・石炭灰のAl含有量は、放射性飛灰・主灰よりも多い。

(2) ジオポリマーの配合試験

40ケースの配合試験を実施し、以下のことが判明した。

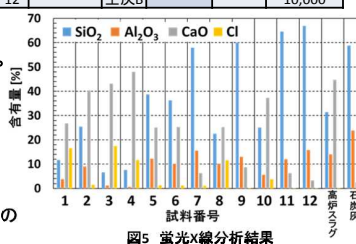
- ・固化には石炭灰の添加が必要で、飛灰・主灰約30%および石炭灰約30%(その他に水ガラス、水酸化ナトリウムで以下同様)、40℃加温の1週間養生で目標強度を達成する。
- ・常温での1週間養生で目標強度以上を達成するためには、石炭灰が約56%必要であり、この場合、放射性飛灰・主灰の配合量は約6%に留まる。
- ・常温養生で目標強度を担保しつつ飛灰・主灰の配合率を上げるためには、高炉スラグの配合が有効である。

(3) ジオポリマーの性能確認試験

貯蔵容器製作に用いた配合に対して、以下のことがわかった。

- ・ジオポリマー固化体からのCsの溶出率(※1)は約0.3%となり、Csの溶出抑制効果はセメント固化体に比べて非常に高い。また、ジオポリマー固化体からの溶出量は、参考までに比較した結果、Csの公共水域の濃度限度を下回った。

※1 溶出率とは、固化体の含有放射能に対する溶出した放射能の割合のことを示す。



(4) ジオポリマーの安定性試験

- 非放射性は飛灰・主灰が約30%の配合で40℃加温養生した試験体を、放射性は飛灰・主灰が約6%の配合で常温養生した試験体(貯蔵容器の配合)を用いた。
- ・一般環境において30年間で容器の鉄筋に中性化が到達することに相当する促進環境での中性化速度係数12.7mm/週と比較して十分遅い(※2)。
 - ・5%硫酸への浸漬試験の結果、モルタル(W/C=50%、OPC:標準砂=1:3)の4週の質量減少率が約30%に対し、約10%と非常に耐酸性が強い(※2)。
 - ・乾燥収縮は、加温養生の非放射性試験体の場合に約360μとなり、建築物の標準設計値800μ(JASS5)と比較して十分に小さい。常温養生の放射性試験体の場合、非放射性に比べてジオポリマーの収縮ひずみが大きくなった。
 - ・放射性の場合、非放射性に比べ塩化物イオンの溶出量が少なく、腐食発生限界塩化物イオン濃度(1.2kg/m³)以下となり鉄筋の腐食に影響しない。

※2 放射性、非放射性共通

(5) 貯蔵容器製作試験

- ・材料1週間で目標強度値以上
 - ・常温固化(1週間で脱型可)
 - ・高流動性(フロー値24.5cm以上)
 - ・高炉スラグ無し
- を条件として、E市の飛灰・主灰約6%、石炭灰約56%の配合を選択し、ジオポリマー貯蔵容器(内寸1m立方、厚さ0.15m)を以下の要領で製作した(図6)。
- ・打設:モルタルポンプ・鉄筋:異形棒鋼 D13、150mmピッチ
 - ・型枠:防水合板 (壁中央に配筋)
- 製作した貯蔵容器の遮蔽性能は、線源の表面線量率を約90%低減できた(図6)。

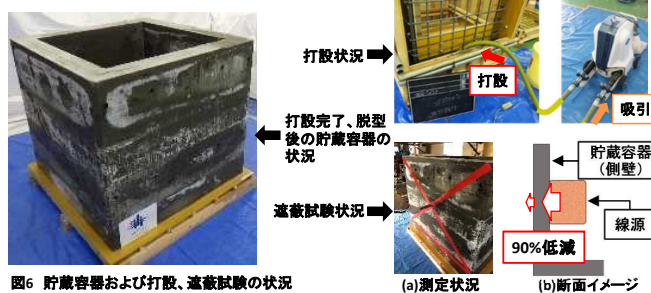


図6 貯蔵容器および打設、遮蔽試験の状況

(a)測定状況

(b)断面イメージ

- ・常温養生とする場合、飛灰・主灰の配合割合が約6%と少ないものの、目標強度18N/mm²とCs溶出抑制効果を満足したジオポリマー製容器を製作でき、十分に実用性があることを実証できた。なお、加温養生が可能な場合、飛灰・主灰の配合割合約30%に増やすことが可能である。
- ・貯蔵容器の線量低減率は約90%となったが、密度を高める材料を混入することにより、遮蔽効果をさらに高めることが可能と考える。
- ・飛灰・主灰を用いたジオポリマー製容器の製作費は約38.5万円/容器となり、コンクリート製容器に比べ約1.6倍の製造コストとなったが、材料の大量購入、飛灰・主灰貯蔵費の低減等を考慮した場合、製造コスト差は小さくなると考えられる。
- ・貯蔵容器製作時に扱う放射性飛灰・主灰の濃度が10万Bq/kgの場合でも空間線量率は約4.2μSv/hと算定でき、電離則の年間被ばく線量限度を超えない。

No.6 除染土壌の建設資材化のための品質調整システム技術実証

実施代表者：株式会社大林組

全体概要

盛土等の土工事に用いる土壌はその性状が変化する場合、締固め試験等の各種試験が必要となるため、土壌を一定の品質にして出荷することが現場の負担軽減と安定した施工品質にとって重要である。

そこで、細粒分含有率および強度と相関の高い含水比に着目し、従来の土質試験に代わり、自動測定可能な含水比測定装置を用い、除染土壌の含水比測定から適切な配合までを自動的に行って利用目的に応じた安定した品質の混合材(砂質土+粘性土)を製造する技術の実証(図1)を行った。

実施内容

砂質土と粘性土を組み合わせた混合材24ケースの含水比およびコーン指数を測定して相関関係を把握し、必要なコーン指数(グループB: 800kN/m²あるいは400kN/m²)を満足する目標合成含水比を求め、配合割合計算手法を確立する。試験装置(図2)を用いて、目標合成含水比の混合材を製造できるか、また、製造した混合材が必要なコーン指数を満足するかを確認する。

事業の主な実施場所

埼玉県川越市

技術概要

1. 試験手順(図3)

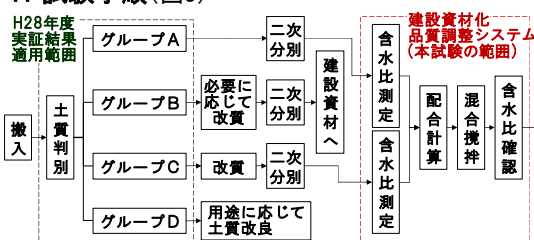


図1 建設資材化フローと本試験の範囲

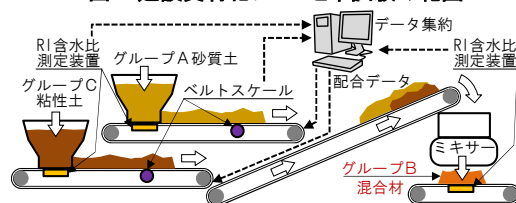
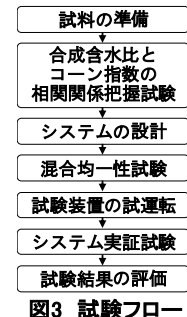


図2 試験装置のイメージ

土壌の区分
グループA
第1種建設発生土相当
グループB
第2種建設発生土相当
グループC
第3種建設発生土相当
グループD
第4種建設発生土相当
粘土



2. 試験目標

- ・グループBのコーン指数を満たす目標合成含水比を求める。
- ・含水比測定により土を適切に配合し、所定の含水比の混合材を製造する技術を実証する。

3. 期待される効果

- ・強度の低い除染土壌も利用した建設資材化
- ・除染土壌で粒度調整ができ、土質改良のための固化材の購入を抑制
- ・品質調整を連続かつ自動的にでき、資材化の処理速度を向上
- ・一定品質の資材提供ができ、受入側の品質確認の負担を軽減
- ・自動化により作業員数を最小限化

付録1-6-1

結果

1. 試験から得られた成果

- ・砂質土と粘性土のいずれの組合せにおいても、合成含水比が小さくなる(砂質土系が多くなる)とコーン指数が大きくなることがわかった。
- ・本試験のケースのうち、A1: 砂質土(川越)とC3: 粘性土(見附)の組み合わせが最もコーン指数が低かった。これらの結果から、安全側の値として、本試験で製造する混合材の目標合成含水比を24.5%と設定した。
- ・投入重量と計測重量の差違は最大でも2.1%であり、精度良く計量できていることを確認した。
- ・砂質土より粘性土の方がRI計測含水比にバラツキが大きく出る傾向があった(図4左)。混合材のRI計測含水比にもややバラツキが見られた(図4右)。RI含水比測定装置の測定結果は、設置位置の影響を受けるので、設置位置に注意を要する。
- ・製造した混合材も、目標としたグループB相当のコーン指数800kN/m²以上の値が得られた。土の含水比を基にした配合割合計算によって所定の品質を満足する混合材の製造が可能であることを確認した(図5)。

2. 評価

- ・技術的実現性: 含水比を指標として効率的に混合材を製造し、所定の強度を有することを確認した。連続化には課題があるが大型化は可能であり、本試験装置を大型化(1.98t/バッチ(3分))することで施工量277t/日が実現できる。
- ・混合材製造コスト: 994円/t(施工量415,500t(83,100t/年)、稼働日数300日/年×5年)
- ・コスト低減: グループAを土質改良の材料として活用できるため、土質改良のための固化材の購入量を削減できる。
- ・減容効果: グループCをグループAと混合することで再生利用に適したグループBにでき、グループCと固化材を削減できる。
- ・作業安全: 再生利用の対象は8,000Bq/kg以下の土であり、作業員が土壌に直接触れることはなく、被ばく量は低い。

3. まとめ

- ・土の合成含水比とコーン指数に相関関係があることを明らかにした。
- ・混合材の目標合成含水比を任意に変更することが可能であり、様々な強度の混合材を製造できることを確認した。

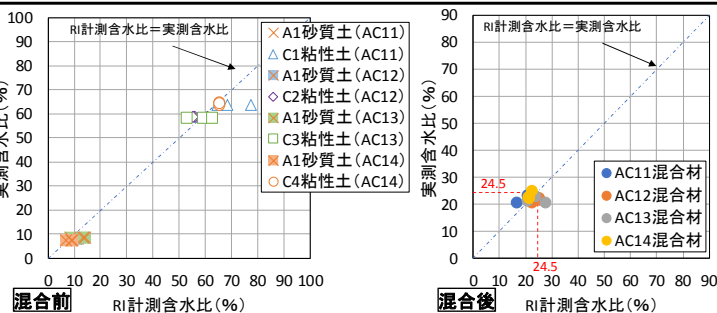


図4 実測含水比とRI計測含水比の関係

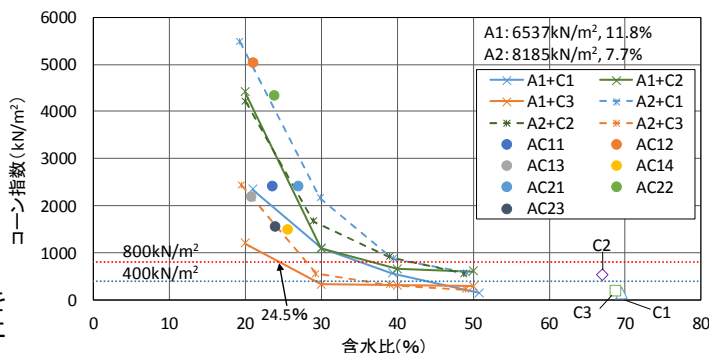


図5 含水比とコーン指数の関係

付録1-6-2

No.7 焼却灰の放射性セシウム溶出抑制としての粘性土（除染土壌）の活用

実施代表者：りんかい日産建設株式会社

全体概要

放射性Csを含む廃棄物等の焼却処理で発生する飛灰と土壌の分級洗浄で発生する高含水比粘性土にセメントを添加し、高圧フィルタープレス機で脱水固化処理をおこない、脱水固化碎石（図1）を製作する。飛灰には水溶性の放射性Csが多く含まれており、軟泥には放射性Cs吸着性がある。本試験では、軟泥を飛灰の放射性Cs溶出抑制材として活用し、放射性Csが溶出しにくい減容化された脱水固化碎石の製作を実証する。さらに、この脱水固化碎石が建設用資材としての品質と安全性を満たしていることも実証する。図1 脱水固化碎石



実施内容

1. 軟泥の放射性Cs吸着性の確認試験
2. 脱水固化碎石の放射性Cs溶出試験
3. ろ水の放射性Cs濃度試験
4. 脱水固化処理における物質収支の確認
5. 脱水固化碎石の再生利用方策の費用対効果の検討

事業の主な実施場所

福島県南相馬市

技術概要

1. 試験手順（図2）



図2 試験フロー

2. 試験目標

- ①脱水固化碎石からの放射性Csの溶出が1Bq/L未満であること
- ②脱水固化処理で発生するろ水が排水基準（ ^{134}Cs 濃度（Bq/L）/60+ ^{137}Cs 濃度（Bq/L）/90 ≤ 1 ）を満たすこと
- ③脱水固化碎石が、国土交通省などの建設用資材に関するリサイクル基準を満たすこと

3. 期待される効果

- ①製作された脱水固化碎石は、最終処分予定の飛灰を有効利用でき、放射性Csが溶出しにくい減容化された改良体になり、最終処分施設の除染廃棄物の貯蔵コストを削減でき、施設容量に余裕ができる
- ②脱水固化碎石を建設用資材として再生利用することで、さらなるコスト削減ができる

付録1-7-1

結果

1. 放射性Csの固定化

- 本試験では、ろ水の排水基準を満たすため、飛灰と軟泥の混合率50:50の供試泥にゼオライトを8%/ds混合した試料に高有機質土用セメント系固化材を添加し、高圧フィルタープレス機で脱水固化処理した。この条件下において、
- ・脱水固化碎石に捕捉された水溶性の放射性Csは $\alpha 28$ （材令28日）以降であれば、検出されないことを確認した
 - ・材令91日まで、1日4回の乾湿繰り返し条件下でも、飛灰の放射性Csの溶出を検出下限値0.8Bq/L（目標（環発46号）：1.0Bq/L未満）まで抑え、利用方法を考慮した有姿攪拌では溶出は検出されなかった
 - ・環発46号溶出試験の溶媒水のpHを4~12に変化させた場合、放射性Cs溶出率を3.2%以下まで抑えることができ、有姿攪拌では、溶出は検出されなかった（表1）
 - ・飛灰の水溶性の放射性Csは、その殆どが脱水固化碎石に捕捉され、ろ水は排水基準を満たした

表1 放射性Cs溶出量（有姿攪拌）（単位：Bq/L）

添加率（%/ds）		pH=4			pH=12		
		放射性Cs溶出量	検出下限値		放射性Cs溶出量	検出下限値	
セメント	ゼオライト	Cs合計	^{134}Cs	^{137}Cs	Cs合計	^{134}Cs	^{137}Cs
20	8	ND	1.0	0.9	ND	0.9	0.9
40		ND	0.8	0.9	ND	1.0	0.7
60		ND	0.7	1.0	ND	0.7	1.0

2. 土質試験

土質試験の結果、脱水固化碎石はリサイクル基準を満たしており、道路用盛土材などに再生利用できることを確認した（表2）

表2 土質試験の目標値と結果

試験名	目標値	試験値			透水材	盛土材	路床材
		20%/ds	40%/ds	60%/ds			
透水試験	$1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 以上	4.8×10^{-1}	5.4×10^{-1}	5.5×10^{-1}	60%/dsのみ適合	適合	-
粒度試験	2.0mm未満5%以下	5.2	1.5	0.6			
一面せん断試験	30~35°以上	30.0	31.7	28.7 ^{※1}			
すり減り減量試験	50%以下	71.0	37.5	34.1			
スレーキング率試験	1.0%以下	2.3	1.3	1.0	-	-	適合
修正CBR試験	10%以上	40.6	31.1	33.4			

※部は目標達成箇所

※1は粘着力を考慮した場合、0~400kN/m²までの荷重条件下で満足する

3. 放射能収支の検討

- ・放射能収支の平均は、脱水固化処理にゼオライトを8%添加したケースでは、83%（80~85%）となった
- ・放射性Csの移行割合は、脱水固化処理前の軟泥と飛灰の放射性Csを100とした場合、脱水固化碎石：ろ布：ろ水=95.9:0.1:4.0になった。ゼオライトを添加しない場合、移行割合は脱水固化碎石：ろ布：ろ水=64.5:0.1:35.4になり、ろ水が排水基準を超える可能性がある

4. 費用対効果の検討

- ・脱水固化処理費用：1.4万円/m³
- ・製作条件：高圧フィルタープレス機（6.4m³型）5基、稼働年数は4年間、稼働日数は200日/年、飛灰+軟泥の処理量：80万m³
- ・飛灰と脱水処理された軟泥をそれぞれ貯蔵する場合と、軟泥を飛灰の放射性Cs溶出抑制材として利用し、脱水固化体を製作して貯蔵する場合を比較すると、高圧フィルタープレス機による減容効果により、貯蔵コストを24%削減でき、さらに、設備容量に11%の余裕ができるものと試算される

5. 課題

- ・飛灰の主成分は、焼却対象物と排ガス中和剤に依存し、軟泥の放射性Cs吸着性は粘土鉱物に依存する可能性があるため、飛灰や軟泥の違いによる脱水固化碎石の品質のばらつきを把握するため、数種類の飛灰と軟泥を組み合わせた脱水固化試験が必要である
- ・今回の土壌（飛灰：2,683Bq/kg、軟泥：104Bq/kgの混合物）の放射性Cs濃度域では問題なかったが、より高濃度の放射性Csを含む脱水固化碎石からの放射性Csの溶出、ろ水の放射性Csの吸着対策などの検討が必要である

■まとめ

- ・環境負荷条件（乾湿繰り返し、pH変化試験）においても利用方法を考慮した有姿攪拌では、脱水固化碎石から放射性Csは検出されなかった
- ・ろ水は排水基準（ ^{134}Cs 濃度（Bq/L）/60+ ^{137}Cs 濃度（Bq/L）/90 ≤ 1 ）を満たすことを確認した
- ・放射性Csの固定化に関する試験と土質試験の結果から、道路用盛土材としてのリサイクル基準を満たしていることを確認した

付録1-7-2

No.8 空气中を浮遊する放射性セシウムの早期検知技術の確立

実施代表者：東芝電力放射線テクノサービス株式会社

全体概要

中間貯蔵事業や廃炉作業が行われる区域と隣接する帰還困難区域においては、放射性物質が飛散する潜在リスクを認識しておくことが必要である。すなわち、施設の安全確保は元より、屋内退避が困難なことから、万一の場合に備え、緊急避難対策が重要である。

現在、空气中の放射能濃度の異常検知には放射性ダストモニタが利用されており、高精度の定量測定ができるが、測定に2時間以上を要するため、早期に異常の兆候をとらえることができない。

当社では空气中の放射性セシウムの存在を直接観測することにより、早期に異常の兆候をとらえ、迅速に避難等の判断を行うことを可能とする手法を開発し、装置技術として確立している。

本試験では、この装置技術を用いて、帰還困難区域での連続測定によるデータ取得・評価を行い、環境中の天然放射性核種の変動に伴う性能影響がない事を確認する。

実施内容

- 1)天然放射性核種の影響評価（昼夜・気象変動）
- 2)周囲線量率（バックグラウンド）条件の影響評価
- 3)局所的舞上りの影響評価
- 4)帰還困難区域での検知性能評価
- 5)導入に向けてのコスト・被ばく線量評価

事業の主な実施場所

神奈川県横浜市、福島県双葉郡大熊町

技術概要

1. 試験手順

工場において、測定装置の健全性と計算評価の妥当性確認をした上で、事前に必要なデータ収集と解析・評価を実施した。その後、測定装置一式をトラックに搭載し、大熊町スポーツセンターにて連続測定を実施した。試験全体の流れを図1に、測定装置イメージを図2に示す。

	測定試験	解析・評価
工場試験	測定装置の健全性確認	計算評価の妥当性確認
	バックグラウンド条件の影響評価	
	局所的舞上りの影響評価	
現地試験（大熊町）	連続測定	
	線源検知判定	
総合評価	天然放射性核種の影響評価	
	帰還困難区域での検知性能評価	

図1 試験全体の流れ

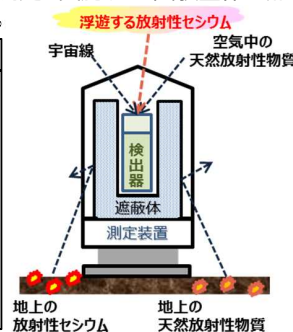


図2 測定装置イメージ

2. 試験目標

警戒判断をする水準として、周囲の空气中放射能濃度が法令で定められた濃度限度の1/10のレベルを想定し、これに対する目標検知時間を設定した。

表1 目標検知時間

警戒水準	空气中の放射能濃度 (Bq/m ³) *1	目標検知時間 (min)
レベル1	30	15
レベル2	300	1

*1: 10⁶m³の空間に一律充満と仮定

3. 期待される効果

空气中に放射性セシウムが存在するという異常な状態を早期に検知することで、迅速な避難等の判断を可能とし、人の安全確保に寄与する。

付録1-8-1

結果

1. 試験の結果（図3の装置で測定実施）

- 1)天然放射性核種の影響評価（昼夜・気象変動）
 - ・昼夜変動の影響は受けない。
 - ・降雨に伴うビスマス214の一時的計数増加が見られたが、ピーク識別により誤検知は無い。

- 2) 周囲線量率（バックグラウンド）条件の影響評価
 - ・区域内評価地点の最大空間線量率8μSv/hを超える約12μSv/h条件であっても適用可能であった。

- 3) 局所的舞上りの影響評価
 - ・局所的な30Bq/m³程度での舞上り誤検知は無い。
 - ・300Bq/m³の場合は局所的でも検知可能であった。

- 4) 帰還困難区域での検知性能評価
 - ・15分測定での全期間を通した検出限界は15Bq/m³未満であった（図4）。
 - ・警戒水準レベル1（30Bq/m³）の検知時間は、降雨なし条件で3分以内、降雨あり条件で4分以内であり、目標検知時間（15分）に対して、3～4倍の余裕時間を確保することが可能であった（図5）。

- 2.導入に向けての評価（既存技術：放射性ダストモニタとの比較）

- 1)コスト評価
 - ・機器導入から5年間のランニングコストを含めた比較をすると、本実証技術は既存技術に比べてトータル約50%の大幅なコストダウンを実現できる。
 - ・ポンプ等の動的機器を撤廃した事により、機器の故障、ポンプ流量低下等のトラブルの発生がなく、長期運用における信頼性向上も期待できる。

- 2)被ばく線量評価
 - ・点検等の装置運用時における年間の被ばく線量を比較すると、本実証技術は現地作業が減少することから、既存技術に比べて約60%に低減できる。
 - ・装置構成上、帰還困難区域に立入らず、遠隔操作による一時保守にも対応できる。

- まとめ
 - ・空气中に存在する放射性セシウムの有無を早期に検知する技術と装置を確立した。
 - ・帰還困難区域での適用・導入を目指し、当該地区での実証試験を行い、環境影響等の評価の結果、実力性能を把握した。
 - ・帰還困難区域に降下した放射性セシウムや、環境条件に応じて変動する天然放射性核種の影響を受けず、設定した目標検知時間に対し、3～4倍の余裕を持つことを確認した。

- 以上の結果、本実証技術は空气中の放射性セシウムの存在を早期に検知することで、人の安全確保に寄与できる事を実証した。

- 導入・運用における課題
 - ・粉じん等の長期間蓄積によるバックグラウンド変動影響の確認と処置、降雪時の影響について留意しておく必要がある。



図3 測定装置（トラック搭載）

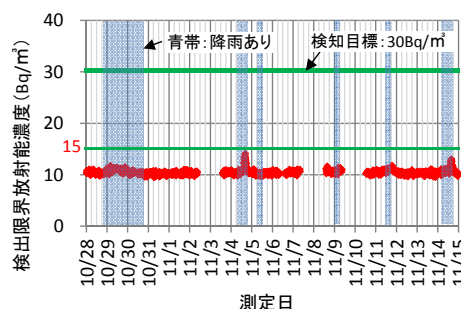


図4 連続測定による検出限界の変動（15分測定）

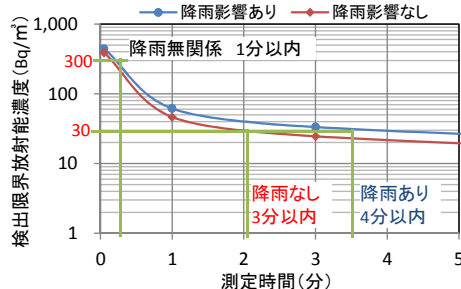


図5 測定時間と検出限界

付録1-8-2

No.9 汚染土の飛翔粉塵拡散分布の可視化モニタリングシステムの提案

実施代表者：国立大学法人 千葉大学

全体概要

飛散した汚染粉塵の空間分布をリアルタイムで計測可能な小型偏光ライダーとダストサンプラを併用する汚染土の飛翔粉塵拡散分布の可視化モニタリングシステムを除去土壌を取扱う作業現場に適用し、その実用性を実証する。

実施内容

小型偏光ライダーとダストサンプラ両者の観測地点が重なる時空間における粉塵量とその放射能濃度との相関関係を見出し、その相関関係を適用することにより、ダストサンプラが設置されていない空間を含め、小型偏光ライダーが計測する領域全体の粉塵の放射能濃度を可視化して表示する（図1）。

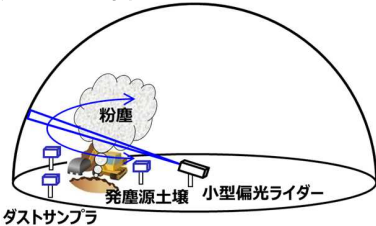


図1 小型偏光ライダーとダストサンプラによる発塵源土壌の計測

事業の主な実施場所

福島県大熊町 土壌貯蔵施設 作業現場

技術概要

1. 試験手順

パルス化されたレーザー光を大気中の散乱体（粉塵等）に照射し、その散乱光を捉え、散乱体の空間分布を観測できるライダー技術（図2）を使用し、粉塵量をライダーカウントとして数値化する。またダストサンプラとの同期計測（図3）による粉塵濃度とライダーカウントの相関を確認する。さらに粉塵濃度と粉塵の放射能濃度との関係を考慮することにより、小型偏光ライダーの計測範囲における空气中放射能濃度の分布を可視化させる。なお試験は人体に無害なレーザー光を使い、近距離計測および粉塵計測に適した小型偏光ライダーを使用。

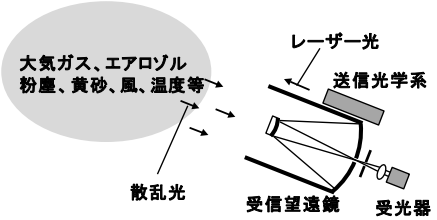


図2 ライダー技術の概要

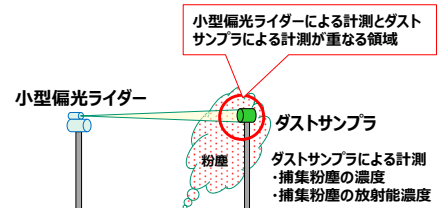


図3 小型偏光ライダーとダストサンプラの同期計測

2. 試験目標

小型偏光ライダーとダストサンプラの計測結果から得られる発塵源由来の浮遊粉塵の空間分布と放射能濃度分布推定の可視化情報を作成できるモニタリングシステムを構築する。

3. 期待される効果

除去土壌を取扱う作業現場とその周辺における粉塵濃度および空气中放射能濃度の情報（定量評価、画像、動画等）を提供することで、作業者に対しては安全、周辺住民に対しては安心のコミュニケーションツールとしての活用が期待される。

付録1-9-1

結果

1. 試験結果

小型偏光ライダー（ライダー観測小屋内部に配置）と、ダストサンプラ3台を配置し（図4）、小型偏光ライダーのスキャン範囲を定めた。

小型偏光ライダーとダストサンプラの同期計測日のうち、風向（北西-西の風）が揃っていた12月の6日間を対象として統計的な相関を考察し、ダストサンプラが捕集した粉塵濃度とライダーカウントとの換算のための検量線（ $0.001 \text{ mg/m}^3/\text{count}$ ）を得た（図5）。

このうち土壌の放射能濃度が同様であった3日間（12月12,13,15日）を抽出し、ダストサンプラで捕集した粉塵濃度と空气中放射能濃度の関係（粉塵濃度 0.001 mg/m^3 あたり、 $0.474 \times 10^{-10} \text{ Bq/cm}^3$ ）を得た（図6）。これらのことから、ライダーカウント換算による空气中放射能濃度分布図を得た（図7）。埋設作業由来の浮遊粉塵の安全評価の比較として、放射性同位元素等の関係法令に定める空气中濃度限度に比べ十分に低いこと、また作業場所から離れた場所（図7の右側部分）に粉塵は、ほとんど達していないことが確認できた。

2. 評価（技術・コスト）

小型偏光ライダーとダストサンプラを併用する技術は、モニタリング対象エリア全体を網羅でき、粉塵の空間分布および空气中放射能濃度分布の逐次変化を把握できることが明らかになった。なお、これら分布図については、コミュニケーションツールとして活用し易いように今後改良する。

小型偏光ライダーとダストサンプラを併用するシステムは、ダストサンプラだけのシステムと比較して、ランニングコストの面で優れている。

- ・小型偏光ライダーとダストサンプラの同期計測結果から、捕集粉塵とライダーカウントとの相関が得られた。
- ・ライダーカウント換算による空气中放射能濃度分布図が得られた。
- ・ダストサンプラが設置されていない空間を含め、小型偏光ライダーが計測する領域全体の粉塵の放射能濃度の分布を可視化（表示）できた。

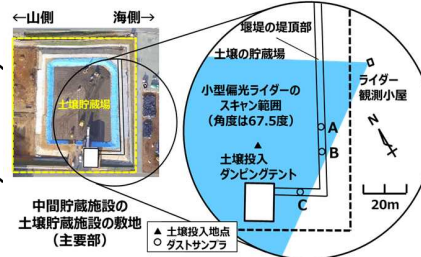


図4 実証試験の配置図

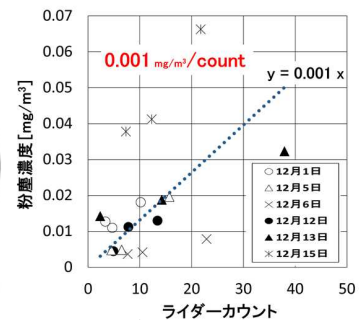


図5 ライダーカウントと粉塵濃度の相関関係

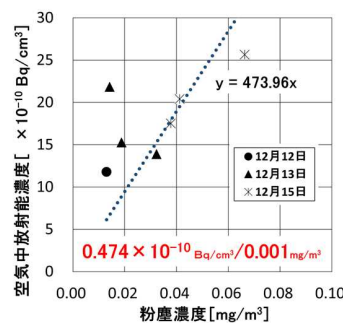


図6 粉塵濃度と空气中放射能濃度の相関関係

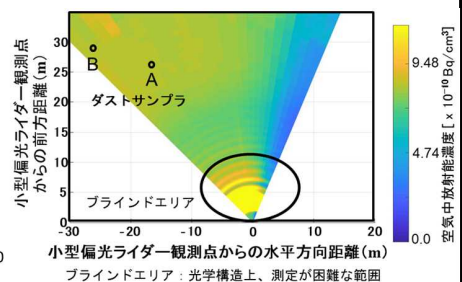


図7 ライダーカウント換算による空气中放射能濃度分布（12月12日 8:30 - 11:11）

付録1-9-2