

平成 31 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2年目である令和元年度の報告である。

## 実施内容

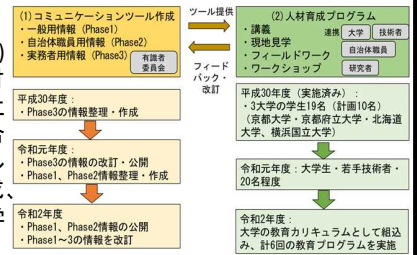
- ### 1 コミュニケーションツールの作成(技術的内容への理解促進)
- ・実務者向けPhase3の改訂と公開
  - ・自治体職員向けPhase2の作成
  - ・一般向けPhase1の作成
- ### 2 大学生および若手研究者を対象とした人材育成プログラム
- (1)大学での講義、(2)現地見学、(3)ワークショップ、(4)知識定着や気付きに向けたフォローアップ

## 事業の主な実施場所

福島県：飯館村、大熊町、楢葉町等  
大学：長崎大学、京都大学、北海道大学、神戸大学等

## 技術概要

本プロジェクトは、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から構成される。右図に本プログラムの3年計画を記載する。令和元年度は、コミュニケーションツールPhase3の改訂・公開、Phase2、1の作成、および人材育成プログラムとして大学生に加えて若手技術者も対象とした。



■実施内容1: コミュニケーションツールPhase3改訂・公開、Phase2、Phase1作成  
令和元年度は、昨年度に作成した実務者向けPhase3を、有識者の意見、および学生アンケートの結果に基づき改訂した。

- 1章 震災からこれまで
- 2章 土の中の放射性セシウムの挙動
- 3章 除染および除去土壌等の管理・保管
- 4章 除去土壌等の減容化技術・再生利用
- 5章 リスクコミュニケーション
- 6章 安全と安心

また、自治体職員向け資料(Phase2)は、Phase3資料のうち、必要な事項をについて自治体職員へのアンケートにより内容を精選して作成した。また、一般向け資料(Phase1)は、全体の流れがわかるような形で、必要な情報をわかりやすく記載した。Phase2および1は、令和2年度に専門家や、利用者の意見に基づき改訂を行う。

■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

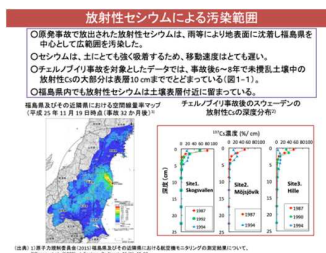
『技術内容への理解促進』と『本件に関わるステークホルダーの多面性、価値観の多様性を理解し、総合的に見られるようになる。』ことを目的として、(1)大学での講義、(2)現地見学、(3)ワークショップ、(4)知識定着や気付きに向けたフォローアップを実施した。大学生を対象にコミュニケーションツール全章を用いた事前講義と現地見学・ワークショップ(希望者)を実施した。また、若手技術者の参加する学会シンポジウム等多様な機会に講義・ミニワークショップ等を実施した。結果、約280人の参加を得た。昨年度の参加者によるワークショップへのファシリテーターとしての参加等、関心意欲に応じたフォローアップを実施した。

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

実務者向けのPhase3資料のコミュニケーションツールを改訂した。また、アンケートによりPhase3資料の情報を取捨選択して自治体職員向けのPhase2資料を作成した。また、一般向けのPhase1資料も作成した。



情報を簡潔にまとめたPhase1の例

■実施内容2: 人材育成プログラム

- ① 大学等での講義: 7大学(京都大学、京都府立大学、北海道大学、横浜国立大学、大阪大学、神戸大学、長崎大学)の学生を対象とした講義を実施した。また、若手技術者が参加する学会シンポジウムや福島県内の研究所で、コミュニケーションツールの一部を用いた講義等を実施し約280人の参加を得た。
- ② 現地見学・ワークショップ: 2泊3日の日程で実施した。学生24名が参加し、特定復興拠点整備事業、仮設焼却事業、中間貯蔵施設等を見学し、2回のワークショップを実施した。ワークショップでは、学生、若手技術者、自治体職員を含めた参加者がグループで、除去土壌の処理に関する課題に取り組んだ。また、学生主体の教育プログラムとするために、企画運営側にも、大学院生が参画し、また、昨年度提案された現地住民との対話も実施した。
- ③ フォローアップ: 知識を定着させるためのフォローアップとして、大学での学生による参加報告会を実施した。報告会では、学生から振り返りや気付きについて発表を頂くとともに、今後に向けた発展的な議論を行った。さらに、過年度参加学生へのフォローアップとして、昨年度参加した2名の学生がファシリテーターとしてワークショップに参加した。

■技術等の評価:

① 技術的内容の理解度の確認: 講義参加学生に対して、全てのテーマに対する理解度を確認するためのアンケートを実施した。正解率は77%であった。個別テーマで見ると、「6. 安全と安心」以外は理解度80%を達成しており、「6. 安全と安心」について、講義における伝え方も含めて、次年度に向けて改善したい。

② 理解・認知レベルの変化: 大学での講義に参加した学生の知識・認知レベルの変化を確認するため、神戸大学の授業参加者に対して、事前及び事後アンケートを実施した結果、知識レベルの向上が見られた。また、現地見学およびワークショップ参加後アンケートでは「とても役立った」「役立った」という回答が多く、満足度が高かった。

■今後: 本プログラムは3年プログラムとして設計している。最終年となる来年度は(1)コミュニケーションツールPhase1~3の公開用資料改訂、(2)8大学以上の学生を対象として講義等を継続し、より多様な参加者によるワークショップを実施する予定である。

【まとめ】

本プロジェクトでは、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の開発を実施し、対象とする人材の『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。本年度は、「コミュニケーションツールPhase3改訂、Phase2、Phase1情報整理・作成」と「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」を実施し、当初の目的を達成した。

本プログラムは3年プログラムであり、来年度は最終年度として(1)コミュニケーションツールPhase1~3の公開用資料の改訂、(2)8大学以上の学生を対象として講義等を継続し、より多様な参加者によるワークショップを実施する予定である。

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Ⅱ

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、その効果を検証してゆく。なお、低学年生も対象としたセミナー等も行い、再生利用等の関心を維持する。

#### 実施内容

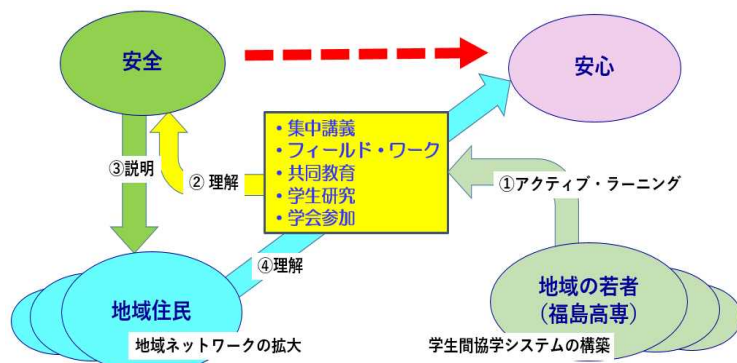
- ①学修プログラム(集中講義)
- ②フィールドワーク
- ③課題解決型アプローチの実践  
(共同教育、学生研究、学会参加、国際交流、地域住民等との対話等)

#### 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、①若者(福島高専)のアクティブ・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若者との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)  
除染による除去土壌の発生、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4施設
- ③課題解決型アプローチの実践  
共同教育は5ヶ所、学生研究は4テーマ、学会は5学会、国際交流は米国2大学、地域住民等との対話は勉強会形式で大熊町で実施

付録1-2-1

#### 結果

##### ○本アプローチ実践を通じた高専学生の意見等

- 再生利用により地域住民の求めている施設を建設し、緑地化等も行い、観光地化する。
- 飯館村の実証試験など知られていない。メディアにもっと取り上げてもらうべきである。
- 住民との対話で必要なのは、信頼関係であって、細かな知識ではない。頻繁に住民と交流すべき。
- 住民一人一人の気持ちを変えることは難しいが、まずは知ってもらうことが出発点である。
- 国や東電に任せっきりというイメージがあったが、大熊町の人もしっかりと考えていることが印象に残った。
- 低学年セミナー等を通じ、低学年生の関心や議論を惹起した点は意味がある。



集中講義の様子



環境再生事業施設の様子



勉強会の会場(大熊町役場)

##### ○まとめ

12月7日大熊町民と勉強会を通じたまとめは以下の通りである。

- 安全性を伝えたとしてもメリットがないと地域住民は受け入れない。
  - 雇用が生まれるなど、若者たちが住みたいと思う街作りが必要である。
  - 季節の花などを植え、大熊町の景観を変えたらどうか。
  - 除去土壌という言葉がマイナスイメージである。再生土壌などにすべきである。
- 最後に「勉強会に参加した住民は、再生利用に関して理解があった。安全から安心に向けて課題はあるが、学園都市、花畑、スポーツ施設など孫に残せるものを作って行きたい。」とのまとめがなされた。

一方、本アプローチの実践、即ち、「知る」、「見る」、「伝える」の活動を通して、学生は除去土壌の再生利用に関して、多くを学び、地域の若者として課題を認識し、どうすべきかまで提案しており、人材育成も含め、その効果は十分あったものと思料する。

付録1-2-2



## 全体概要

除去土壌等の減容・再生利用を推進するためには減容化に伴って生じるばいじん等のさらなる減容化や最終処分のための安定化が必要である。本実証はばいじんから放射性Csを分離除去し水へ移行したCsを回収分離して最終処分を容易なものとする安定化とばいじんの洗浄残渣を減容・再生利用化熱処理の反応促進剤に再利用する場合の影響を検討する。

## 実施内容

## 1. 実施項目

- (1) ばいじんの水洗浄によるCs分離除去試験(コールド試験)
- (2) ばいじん洗浄水からのCs回収分離試験(ホット試験)
- (3) ばいじん洗浄水から回収分離したCsの安定化試験(ホット試験)

## 2. 試験結果の評価

- (1) 技術の評価：物質収支、トータルシステム、再生利用検討
- (2) コストの評価：ばいじん1トン当たりの処理コスト算出
- (3) 安全性の評価：被ばく線量評価

## 事業の主な実施場所

千葉県柏市、佐倉市  
福島県双葉郡大熊町

## 技術概要

## 1. 試験手順

図1に試験フロー、図2に処理フローを示す。

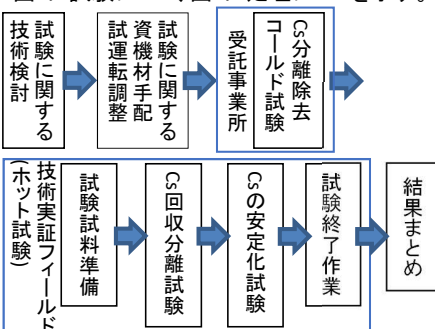


図1 試験フロー

## 2. 成果目標

## (1) コールド試験

① 洗浄ばいじんの性状を確認し、反応促進剤として再利用する場合の除去土壌等とCaO、MgO、およびSiO<sub>2</sub>の各成分が所定の配合割合を満たせる範囲にあることを評価する。

## (2) ホット試験

② Cs回収分離後のばいじん洗浄水放射性Cs濃度  
Cs134 (Bq/L) / 60 (Bq/L) +  
Cs137 (Bq/L) / 90 (Bq/L) < 1

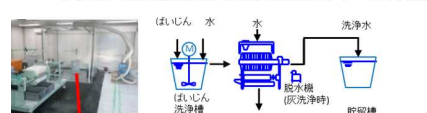
## ③ 安定化体放射性Cs濃度

: 200 Bq/kg以上  
(ばいじん洗浄水5,000 Bq/L以上の場合)

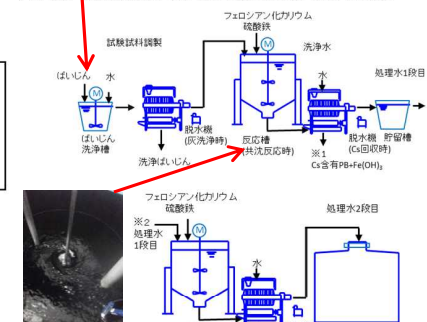
## ④ 安定化体からの放射性Cs溶出濃度

: 150 Bq/L 以下

(ア) ばいじんの水洗浄によるCs分離除去試験(コールド試験)



(イ) ばいじん洗浄水からのCs回収分離試験(ホット試験)



(ウ) ばいじん洗浄水から回収分離したCsの安定化試験(ホット試験)

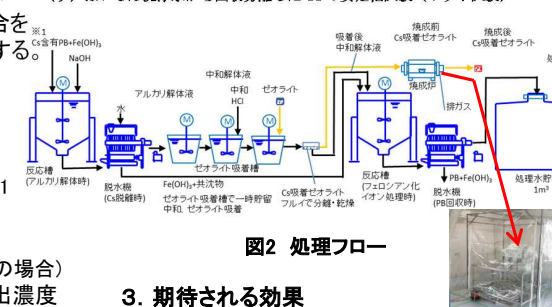


図2 処理フロー

3. 期待される効果  
最終処分量の低減

## 付録1-3-1

## 結果

## 1. 試験結果

## (1) ばいじんの水洗浄によるCs分離除去試験(コールド試験)

熱処理ばいじんに性状が類似する模擬ばいじんを用いて洗浄試験を実施。その結果、ばいじんに含まれるCl、Cs等の可溶性分は、液固比6L/kg-dryとして、洗浄することが適していると判断した。

フィルタープレスによる脱水試験により、問題なく固液分離可能であった。

## (2) ばいじん洗浄水からのCs回収分離試験(ホット試験)

ばいじん洗浄水からのCs回収分離率: 99.5%

処理水のCs濃度: 成果目標②の数値 達成

## (3) ばいじん洗浄水から回収分離したCsの安定化試験(ホット試験)

Cs回収したPB+Fe(OH)<sub>3</sub>はアルカリ解体時、Cs移行率: 90.1~100.9%

ゼオライトによるCs回収率: 99.4%

Cs回収後のゼオライトの平均放射性Cs濃度: 14万Bq/kg

ばいじん洗浄水270Bq/Lの約519倍

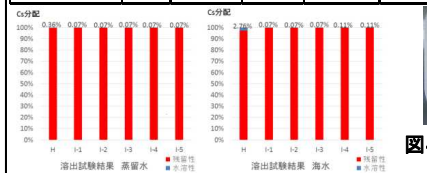
Cs回収したゼオライトの一部を焼成試験で使用した。焼成時にCsがほぼ揮発しないことを確認した。(排ガス検出下限以下)

放射性Cs溶出: 0.07~0.11% (含有放射性Cs量に対して) (図5)

安定化体からの放射性Cs溶出濃度は成果目標④の数値 達成

表1 Csバランス

|         | 番号   | C1          | D1         | PB                         | E2         | H                          | 全量            | I                     | 想定 |
|---------|------|-------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|---------------|-----------------------|----|
|         |      | ばいじん<br>洗浄水 | 処理水<br>1段目 | PB<br>+Fe(OH) <sub>3</sub> | 中和後<br>解体液 | 中和後<br>解体液<br>Cs吸着後<br>上澄み | Cs吸着<br>ゼオライト | 安定化体<br>Cs吸着<br>ゼオライト |    |
| 放射性Cs濃度 | Bq/L | 270         | 1.4        | 440,000                    | 3,600      | 21                         | 140,000       | 160,000               |    |
| 容量      | L    | 312         | 322        |                            | 23         | 22.2                       |               |                       |    |
| 重量      | kg   | 315         | 326        | 0.19                       | 23         | 22.2                       | 0.56          | 0.50                  |    |
| 放射性Cs量  | Bq   | 84,208      | 451        | 83,757                     | 82,800     | 466                        | 82,334        | 82,334                |    |
| Cs回収分離率 |      |             |            | 99.5%                      |            |                            | 99.4%         |                       |    |

図4 上 焼成前後ゼオライト  
←図5 溶出試験結果

## 2. 試験結果の評価

## (1) ばいじんの水洗浄による洗浄評価

① 洗浄ばいじん中のCl、Cs分は洗浄により大幅に低減し、Ca、Si分は、可溶性成分の溶解により含有濃度が上昇した。想定される洗浄ばいじん発生量は、「乾式セシウム除去技術」の処理設備の処理量の約1%程度と試算され、また、洗浄ばいじん全量を反応促進剤として再利用しても除去土壌等とCaO、MgO、およびSiO<sub>2</sub>の各成分が所定の配合割合を満たせる範囲にあるため、反応促進剤として再利用することは可能と判断した。

## (2) 物質収支、Cs収支の評価

図3に物質収支、Cs収支を示す。ばいじん洗浄、Cs回収分離、Csの安定化技術によって、減容化率が1/405、減量化率が1/68、放射性Cs濃縮率が67倍となった。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。

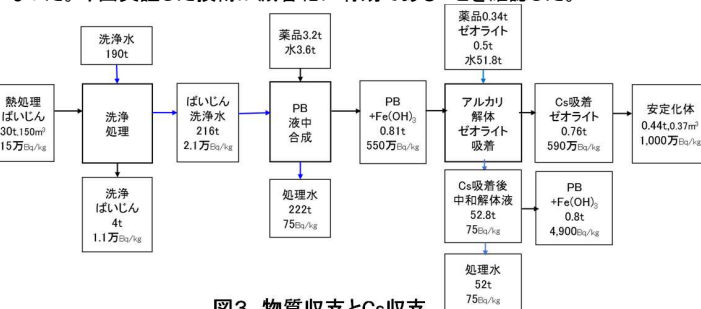


図3 物質収支とCs収支

## (3) コストの評価

熱処理ばいじんを30t/d処理する場合のばいじん洗浄～安定化を行なう施設について、種々条件を設定し設備コストの概算見積もりを行った。条件として施設の稼働はばいじん1.25t/hで8h/d、250d/yと設定した。運転期間は10年とした。Cs回収処理水は環境放流とした。

結果、ばいじんtあたり施設・建設費380千円/t、運転・維持管理費299千円/tとなった。

## (4) 安全性の評価

上記処理施設の空間線量当量率、作業員被ばく線量評価をシミュレーションした結果、施設外部の空間線量当量率は2.5μSv/h以下に抑制可能であり、被ばく線量限度(5年間で100mSvかつ1年間で50mSv)以下と試算された。

【まとめ】・熱処理ばいじんに性状が類似する模擬ばいじんによる洗浄試験において、洗浄ばいじんは反応促進剤として再利用可能と判断した。

・物質収支の評価の結果、ばいじん洗浄水からのCs回収分離、Csの安定化技術によって、ばいじん洗浄水から安定化体へすることで、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、焼成や溶融等、熱処理の方式により、熱処理ばいじんに含まれる放射性Csの溶出率や含有成分の量等が異なることが想定される。それぞれの熱処理ばいじんについて、その性状に適した洗浄条件や再生利用について確認が必要である。ゼオライトによる中和解体液からのCs回収時、ゼオライト微粉が発生した場合の回収法の検討や安定化体のCs濃度が高濃度になった場合の溶出量の確認、処理水の再利用が必要である。

# No.4 汚染土壌分級物から回収されたCsの高減容・安定固定化

実施代表者：国立大学法人 東京工業大学

## 全体概要

亜臨界水高速イオン交換法で、福島土壌からCsを取り出し、Al、Srを骨格とした安価なセラミックス（アパタイト）構造体に多量のCsを化学的結合させ、長期貯蔵に耐えられる高減容固化体を合成する。また、Csとホウケイ酸ガラスフリットを混合、熔融させることにより、ガラス固化体の合成を行う。さらに固化プロセスとして、放射性物質を全てドラム内で処理でき、ドラムをそのまま最終処分できるインドラム式Cs固化法を、セラミックス固化体及びガラス固化体において実証する。

## 実施内容

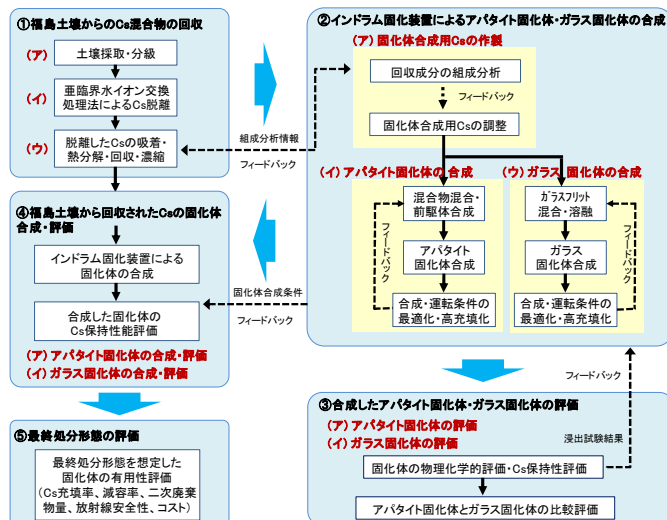
1. 福島土壌からのCs混合物の回収
2. インドラム固化装置によるアパタイト固化体・ガラス固化体の作製
3. 合成したアパタイト固化体・ガラス固化体の評価
4. 福島土壌から回収されたCsの固化体合成・評価
5. 最終処分形態の評価

## 事業の主な実施場所

東京工業大学（東京都目黒区）

## 技術概要

### 1. 試験フロー



### 2. 成果目標

アパタイト固化体と、従来のガラス固化体とCs保持能等を比較して最終処分形態としての優位性を評価し、Csを10wt%充填させたガラス固化体の場合の、土壌細粒物に対する体積減容率2万分の1に匹敵する高減容化を目指す。また、インドラム方式による固化体合成プロセスの実用化のための基礎を確立する。

【固化体容器（ドラム）】ステンレス製



付録1-4-1

## 結果

### (1) 福島土壌からのCs混合物の回収

- ・福島県内において放射線量の低い土壌を採取し、篩分により、74  $\mu$ m以下の細粒物を得た。
- ・Cs吸着後の土壌（10.4 mg/g）と0.5M MgCl水溶液（液固比：100）を水熱処理装置内へ入れ、亜臨界水洗浄を行った（250℃、4MPa、30min）。Cs脱離率は69.1%となった。
- ・水熱処理後Cs脱離水（103ppm）30 mLにプルシアンブルーナノ粒子（PB-MC、関東化学）110 mgを加え、Csを選択的に吸着させた（室温、1時間）。PB-MC 1 g当たりのCs吸着量は20 mg/gとなった。
- ・Cs吸着後PB-MC 105.2 mgをロータリーキルン炉において360℃で燃焼させ、燃焼後試料を粉碎後、蒸留水で洗浄し、Csを溶出させた。吸着させたCsのほぼ全量を回収した。

### (2) インドラム固化装置によるアパタイト固化体・ガラス固化体の作製

- ・PB-MC燃焼後溶出液の分析結果から模擬福島土壌由来Cs混合物（Cs：K：Na=1：0.046：0.015、硝酸塩）を作製した。また、H28年度実証事業で使用した、模擬Cs混合物（Cs：Na=1：0.25）も作製した。
- ・模擬Cs混合物を原料とし、原料溶液を85℃で乾燥させ得られた乾燥前駆体を500℃、1～12hで焼成させることにより、アパタイト固化体（ $\text{Al}_2\text{Sr}_6\text{Cs}_2(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ） $\text{AlSr}_6\text{Cs}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ の合成に成功した。
- ・模擬福島土壌由来Cs混合物を原料とし、ドラムV-100を用いてインドラム固化装置によるアパタイト固化体合成 A11 となった（500℃、6h）。合成物は硝酸SrとCs含有アパタイトの混合状態であった。
- ・Cs含有割合10wt%となるように模擬Cs混合物を高Na含有ガラスフリットと混合し、ドラムV-50（ガラス量：150g）を用いてガラス固化体合成を行った。PF798-N10ガラスフリット、900℃、1時間の場合、均質な黄色透明なガラス（ボルサイトとガラスのコンポジット構造）が得られた（G06）。PF798-N7ガラスフリット、900℃、5時間の場合、下部に無色透明ガラス、上部にボルサイトが生成し、相分が起きた（G08）。スケールアップ効果の確認のため、V-100（ガラス：600g）を用いて、PF798-N10ガラスフリット、900℃、5時間の合成を行った。G06と同様、均質な黄色透明なガラスが得られた（G10）。
- ・模擬福島土壌由来Cs混合物をPF798-N10ガラスフリット（1500 g）と混合し、ドラムV-150を用いてガラス固化体合成を行った。G08と同様、下部に黄色透明ガラス、上部にボルサイトが生成した（G11）。

### (3) 合成したアパタイト固化体・ガラス固化体の評価

- ・固化体の粉末状試料（45～100  $\mu$ m）20 mgを超純水10 mLに浸漬させ、50℃、24hの条件で浸出試験を行った。均質な黄色透明ガラスのG06とG10のCs浸出率は約0.6%であり、耐水性が非常に高かった。一方、アパタイト固化体の耐水性は低く（A11：浸出率14%）、合成条件のさらなる検討が必要である。

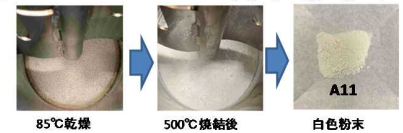
### (4) 福島土壌から回収されたCsの固化体合成・評価

- ・Cs吸着後土壌の水熱処理を繰り返し、PB-MCによるCs吸着、燃焼、溶出で得られた福島土壌由来Cs混合物を用いて固化体合成を行った。ガラス固化体では黄色透明ガラスが少量得られ、Csの固定化を確認。アパタイト固化体（V-50使用）では茶色アパタイトが得られ、浸出試験によるCs浸出率は37%であった。

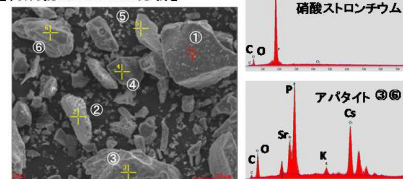
### (5) 最終処分形態の評価

・インドラム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、汚染土壌C・DIに対して、廃棄物減容率は約1/31000となった。ガラス固化体のドラム寸法：ID400×H1500mm、ガラス量：150 kg/本、Cs：10wt%とすると、数量：633本となり、概算での土壌処理量当りコスト（Cs脱離コストは含まない）=21千円/t、ドラム当りコスト=43百万円/本、Cs処理量当りコスト=285万円/kgとなった。

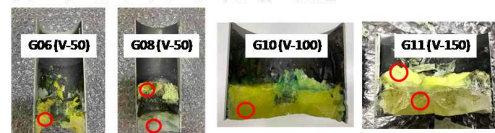
【インドラム方式（V-100）による $\text{Al}_2\text{Sr}_6\text{Cs}_2(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ の合成】



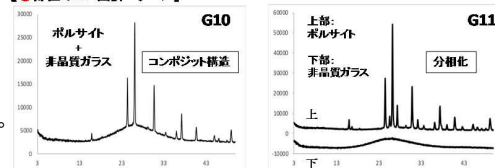
【合成物のSEM-EDS分析】



【インドラム方式によるガラス固化体の合成】



【○部位のXRD回折パターン】



■福島土壌に対する亜臨界水洗浄、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アパタイト及びガラス固化体を作製し、Csを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、Csはボルサイトとしてガラス中に分散保持された。50℃、24時間の水浸出試験において高い耐水性を示した。■500℃でアパタイト固化体を合成し、Csを固定化させた。アパタイト固化体の耐水性は低く、今後、合成条件の再検討が必要。■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、カテゴリーCの分級細粒物及びカテゴリーDの土壌の全体積と比較して発生するガラス固化体の体積は3万分の1以下であった。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1-4-2



# No.5 除去土壤中の放射性Cs含有粘土の分離性向上を目指した物理的 解泥技術の実証

実施代表者：鹿島建設株式会社

## 全体概要

減容化の対象とされ、約134万m<sup>3</sup>存在すると言われている土壌C(15,000Bq/kg～62,000Bq/kg)の約8割は農地由来の土壌であるが、土壌中の放射性セシウムの多くは2:1型粘土に吸着しており、これが土壌中の腐植により団粒化していることが分級洗浄による除染・減容再生利用の効率を今一つ改善できない原因である。これを改善するための手法として、適切な解泥を行った上で分級点を20μm程度まで下げた分級処理を行うことが効果的であると考えられる。本実証では、4つの解泥手法(超音波分散機、ボールミル、高圧エジェクター、シェアミキサー)を比較検討した結果、超音波分散機とボールミルの解泥効果が高く、それに伴い除染率や再生利用率も向上できる結果を得た。

## 実施内容

6種類の除去土壌及び3種類の非汚染農地土壌を対象に以下を実施する。

- ①試験対象土壌の基本性状の確認
- ②各解泥装置における最適な運転条件の確認
- ③各解泥装置の減容効果の確認
- ④最適解泥装置の選定
- ⑤当該新技術と実用化システムの評価

## 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

提案システムは、礫、砂、シルト・粘土を分級する通常の湿式分級(75μm)の後に解泥を行い、その後サイクロンにより20μmで分級による分離を行うシステムとしている。4種類の解泥装置の技術概要は以下の通りである。

### 1. 超音波分散機

強力なキャビテーションによる表面粉碎。超音波効率が96%あるため、発熱が少なく、大出力化(16,000W)が可能で、24時間運転も可能。

### 2. ボールミル

ドラム式の回転体中に解泥媒体を投入し、これと処理対象の泥水との衝突により解泥を行うもの。ボールは、通常鉄球を用いるが、本実証では柔らかい有機団粒の解泥であることから礫を用いる。

### 3. 高圧エジェクター

一次エジェクター部では、気・液を同時に装置に送り込み、キャビテーションによる破壊、二次エジェクター部では、衝突板での破壊を行う。

### 4. シェアミキサー

1/4球状のくぼみを多数有しており、ローターを高速で回転させることで泥水は狭い間隔をせん断を受けながら通過する。さらにその隙間の両側に形成されたくぼみの内部で高速な渦を発生させ、強力なせん断による破碎作用が与えられる。



図-1 超音波分散機 ボールミル 高圧エジェクター シェアミキサー

付録1-5-1

## 結果

### 1. 土質調査

・最初に採取した6種類の除去土壌の細粒分は、75μm未満が35%程度と農地土壌としてはかなり少なかったため、追加で2種類の農地土壌を採取し(粒径分布は75μm未満が45～74%程度であり、強熱減量が平均約8%と、有機物が多い農地の特徴を有していた)、8種類で試験を行った。

### 2. 解泥手法毎の運転状況の最適化

・各解泥装置の運転条件を変化させながら、20μm以下の土粒子の増加の状況を測定し、最適な運転条件を把握した。また、4種類の解泥方法のうちボールミルと超音波が効果が高いことが示された。

- ・超音波分散機の最適運転条件：15pass = 22.5秒
- ・ボールミルの最適運転条件：5pass = 18分55秒

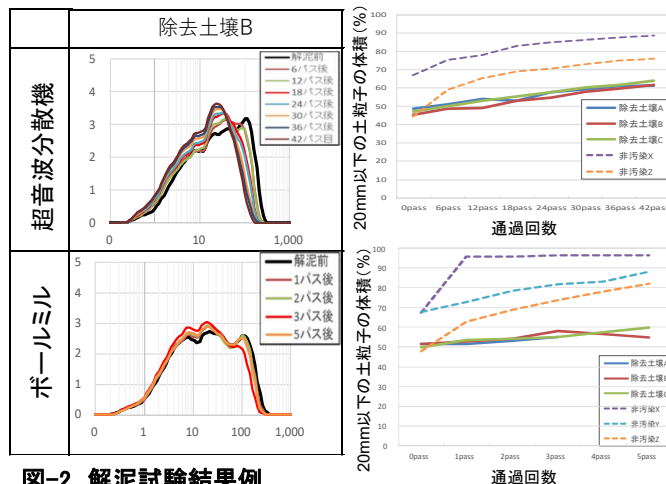


図-2 解泥試験結果例

### 3. 解泥による放射線濃度の低減効果

・20-75μmの再生利用を目的としているため、原土に対してどれだけ放射能濃度が低減したかに着目した。

・原土の放射能濃度：20-75μmの放射能濃度の比

- 未解泥の場合 → 1 : 1.17(再生利用不可)
- 超音波分散機による解泥の場合 → 1 : 0.80(再生利用可)
- ボールミルによる解泥の場合 → 1 : 0.75(再生利用可)

### 4. 再生利用率の向上効果の推計(20-75μm)

・20-75μmと<20μmの存在比率を73:27とした場合

- 未解泥の場合の再生利用可能な土量 → 0m<sup>3</sup>
- 超音波分散機(24,800Bq/kg未満)によって、再生利用が可能となる土量 → 14.3万m<sup>3</sup>
- ボールミル(26,600Bq/kg未満)によって、再生利用が可能となる土量 → 11.4万m<sup>3</sup>

・通常分級に比べ再生利用効果の高い分級処理が可能であることが判明した。これは、75μm-2mmにも適用できると考えられる。

(図-3)

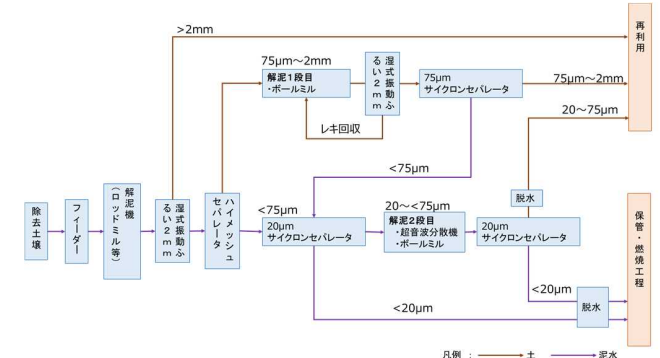


図-3 減容効果が高い処理フローの一例

### 【今後の課題】

- ・解泥は対象土壌の性状、特に粒度分布と有機物量の影響を受けるため、多様な土壌を対象にした解泥試験を継続する必要がある。
- ・今回の実証では75μm以下の土粒子に対して解泥を行ったが、原土または2mm以下の土粒子にまで解泥の対象を広げた処理フローの検討と実証が必要である。

付録1-5-2

# No.6 最終処分に向けた高圧脱水ブロックによる焼却灰の減容化と放射性セシウムの安定化

実施代表者：国立大学法人九州大学

## 全体概要

最終処分場へ貯蔵する飛灰の減容化が求められている。従来技術は、飛灰に打設時の流動性に必要な水、固化後の強度に必要なセメントを混合した後、型枠に打込みブロック（型枠ブロック）を製作する技術である。提案技術は、水とセメントを混合した飛灰を排水機能を有する鋼製型枠に4.0MPaの高圧で打込み、余剰水を脱水しながらブロック（高圧脱水ブロック）を製作する技術である。

本試験では、高圧脱水ブロックにおいて、  
①同重量の飛灰が減容化して処理できること、  
②放射性Cs溶出量が基準値以下であること、  
③固化体強度を保つことを検証する。

## 実施内容

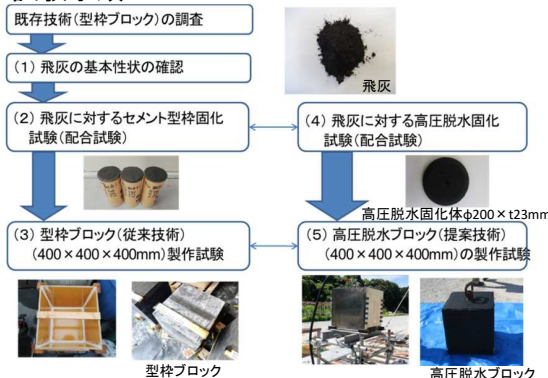
- 採取した飛灰の基本性状の確認
- 従来技術と提案技術のラポレベルでの室内配合試験
- 従来技術と提案技術で製造したブロックの一軸圧縮強度、放射性Cs溶出量、物質収支の確認

## 事業の主な実施場所

福岡県南相馬市

## 技術概要

### 1. 試験手順



### 2. 試験目標

| No | 目的           | 項目                                  | 目標値                                                                  |
|----|--------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ①  | 省スペース化の実現    | 同重量の飛灰を用いた高圧脱水ブロックの体積が型枠ブロックより小さいこと | ・体積比（提案技術/従来技術）が1.0を下回ること                                            |
| ②  | 放射性Cs溶出基準の遵守 | 放射性Cs溶出量が特措法施行規則の基準を満たすこと           | ・ $^{137}\text{Cs} < 150\text{Bq/L}$ 以下であること                         |
| ③  | 固化体強度の確保     | 高圧脱水ブロックの強度が既存の型枠ブロック製作施設の要求を満たすこと  | ・材令7日（以下 $\sigma_7$ とする）の高圧脱水ブロックの一軸圧縮強度が $5.0\text{MN/m}^2$ 以上であること |

### 3. 期待される効果

- ①飛灰を使用した固化体の減容化および処理コストの縮減
- ②放射性セシウムに対する作業員の安全性の向上

付録1-6-1

## 結果

### 1. 省スペース化の実現

・今回の試験において、打設時の流動性と固化体強度を満たす1.0m<sup>3</sup>当たりの配合は表1のとおり

表1. 固化体1.0m<sup>3</sup>当たりの配合

| 項目       | C:セメント        | FA:飛灰  | W:水    |
|----------|---------------|--------|--------|
| 型枠ブロック   | 質量(t) 0.492   | 0.442  | 0.638  |
|          | 質量率(%) (31.3) | (28.1) | (40.6) |
| 高圧脱水ブロック | 質量(t) 0.280   | 0.635  | 0.671  |
|          | 質量率(%) (17.7) | (40.0) | (42.3) |

・高圧脱水ブロックは、同容量の型枠ブロックと比較して、1.4倍の飛灰を処理することができ、飛灰を1t処理するために必要な容量を約30%減容できる（体積比：0.70）

### 2. 放射性Cs溶出基準の遵守

・高圧脱水ブロックからの放射性Cs溶出量は11Bq/Lであった。飛灰リンスをおこなうことにより、溶出量を3.4Bq/Lに低減できる

・15万Bq/kg程度の放射性Csを含む飛灰でも、リンスをおこなうことで、特措法施行規則の溶出基準を満足する高圧脱水ブロックを製造できると試算された。このため、原灰の放射性Cs濃度が10万Bq/kgを超えても対応可能と考える

### 3. 固化体強度の確保

・型枠ブロックでは、固化体強度5.0MN/m<sup>2</sup>を満足するのに必要なセメント添加率（飛灰に対する単位乾燥重量）は111.3%となる

・同条件を満たす高圧脱水ブロックに必要なセメント添加率は44.1%となり、型枠ブロックと比較して約1/2のセメント量に抑えられる

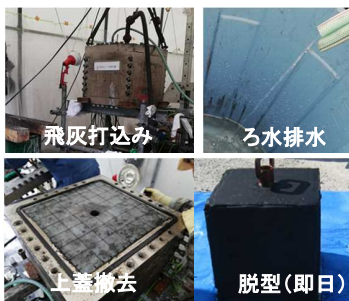


図2. 高圧脱水ブロックの製作工程

表2. 試験の目的と結果

| 目的            | 試験結果                                                        | 判定 |
|---------------|-------------------------------------------------------------|----|
| 省スペース化の実現     | ・0.70                                                       | ○  |
| 放射性Csの溶出基準の遵守 | ・飛灰リンス無<br>11Bq/L ≤ 150Bq/L<br>・飛灰リンス有<br>3.4Bq/L ≤ 150Bq/L | ○  |
| 固化体強度の確保      | ・5.596MN/m <sup>2</sup> ≥ 5.0                               | ○  |

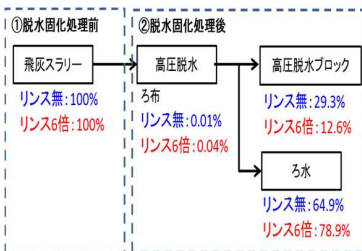


図3. 飛灰リンスにおける物質収支

### 4. 作業員の安全性

・提案技術の実用化に向けた7.0m<sup>3</sup>型高圧脱水ブロック製作機による高圧脱水ブロックの製作に関わる被ばく線量は、2.1mSv/年と想定され問題はない

### 5. 物質収支

・固形分収支は90.0%～93.2%、水分収支は97.5%～99.7%、放射能収支は90.0%～93.2%であった  
・高圧脱水ブロックの放射能収支は、飛灰スラリー：高圧脱水ブロック：ろ布：ろ水＝100.0：29.3：0.01：64.9になり、放射性セシウムの64.9%がろ水に移行する

・飛灰リンスをおこなうことにより、高圧脱水ブロックの放射能収支は、飛灰スラリー：高圧脱水ブロック：ろ布：ろ水＝100.0：12.6：0.04：78.9になり、放射性Csの78.9%がろ水に移行する。リンスを繰り返すことにより高濃度の飛灰にも対応可能と考える

### 6. トータルコストの比較

・飛灰1t当たりの処理コスト  
・高圧脱水ブロック（提案技術）：118,670円/t  
・型枠ブロック（従来技術）：134,530円/t  
・提案技術は1.0m<sup>3</sup>当たりに処理可能な飛灰の重量が従来技術の1.4倍となるため、従来技術と比較してトータルコストを11.8%縮減できる

### 7. 課題

・今回の試験では、飛灰の放射性Cs濃度は3,410Bq/kg-dryであった。実際の飛灰は10万Bq/kgを超えると予想されているため、高濃度の飛灰を使用した飛灰リンス試験が必要である  
・高圧脱水ブロック製作システムは、ろ水処理にコストがかかるため、コスト低減対策を考慮する必要がある

■まとめ（今回の飛灰を使用した試験結果からは、）

- ・高圧脱水ブロックは、型枠ブロックと比較して飛灰1t処理するために必要な容量を30%減容できるものと試算された
- ・高圧脱水ブロックは、リンスすることにより、放射性Cs濃度が15万Bq/kg程度の飛灰であれば特措法施行規則のCs溶出基準を満たすものと考えられる
- ・高圧脱水ブロック製作システムは、型枠ブロック製作システムのトータルコストを11.8%縮減できると試算された

付録1-6-2



# No.7 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m<sup>3</sup>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m<sup>3</sup>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タビリティ試験

非汚染土壌を用いたサイト外室内試験と改質材を2%程度含む分別後土壌(除去土壌を分別処理したもので)を用いた現地トリタビリティ試験により、複数の改質材と膨潤抑制剤から湿式分級処理に用いるそれらの種類・添加量等を選定した。

### 2. 湿式分級処理試験

湿式分級実証プラント、分別後土壌、改質材等を用いて盛土用に再生資材化した分級処理土壌(以下、回収土壌)を作製し、改質材の追添加や膨潤抑制剤添加時の物性を評価した。

### 3. 実証盛土試験

回収土壌を用いて、実証盛土を構築し、その沈下量等の挙動を観察しモニタリングを継続中。

## 事業の主な実施場所

1. 中間貯蔵施設技術実証フィールド(福島県大熊町)
2. ㈱奥村組技術研究所(茨城県つくば市)

## 技術概要

### 1. 湿式分級処理

図-1のように湿式分級実証プラント(能力:1m<sup>3</sup>/h)で粗粒土壌を回収した。試験ケースは改質材の追添加、膨潤抑制剤の添加有無等の4つを実施した。

### 2. 膨潤抑制剤

室内試験で選定した硫酸第一鉄を分級処理に用いた。

### 3. 技術の原理

図-2のようにSAPは水との接触でNaイオンを放出し、端部同士が電気的に反発・膨張して内部に水を取り込む。ここに膨潤抑制剤を加えると、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。

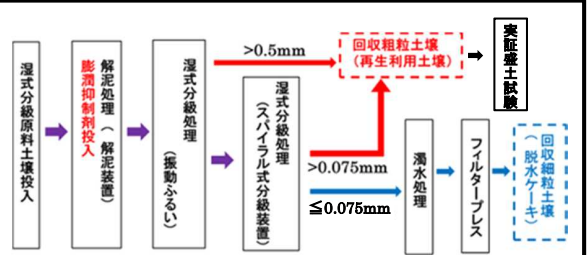


図-1 分別後土壌(湿式分級原料土)の湿式分級処理フロー

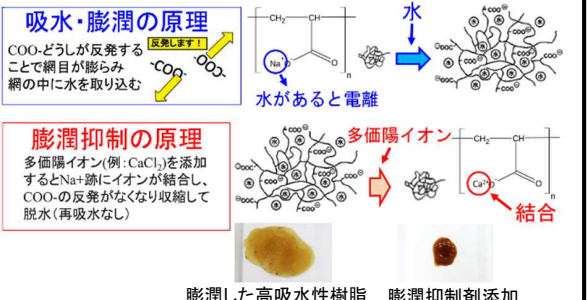


図-2 膨潤抑制剤によるSAPの吸水能力低減原理



写真-1 実証実験状況(プラント用テント)

写真-2 湿式分級処理設備(原料土投入側)

写真-3 湿式分級処理設備(回収粗粒土回収側)

付録1-7-1

## 結果

### 1. サイト外室内試験

放射性物質を含まない非汚染土壌と3種類の改質材を用いた以下のふり分け試験結果と汎用性等から、湿式分級処理に適用する改質材Cを選定した。

- ①3種類の改質材を添加したすべての土壌試料で、SAPが膨潤し、75μmふるい上残留分の含水率が增大する結果が得られた(写真-4)。
- ②3種類の改質材に対し3種類の膨潤抑制剤の抑制効果を確認した結果(図-3)、発現効果に若干の差異はあるが、何れに対しても全ての膨潤抑制剤効果を確認した。
- ③小型サイクロン試験装置(写真-5)を用いた試験の結果からは、改質材中のSAPは水と同様の分配挙動を示す知見が得られた。



写真-4 湿式分級を模擬したふるい分け試験



写真-5 サイクロン試験

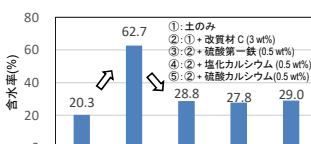


図-3 75μmふるい残留物の含水率

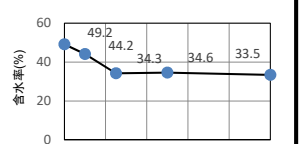


図-4 膨潤抑制剤添加量とふるい残留物の含水比



写真-6 ふり分け残留物の抑制剤効果

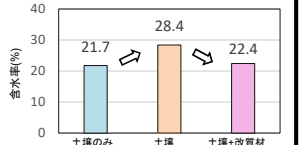


図-5 回収粗粒分の含水率



写真-7 湿式分級試験処理状況

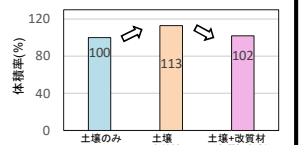


図-6 回収粗粒分の体積変化



写真-8 実証盛土

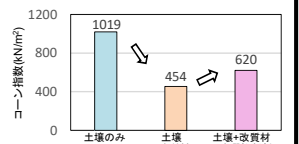


図-7 実証盛土のコーン指数

## 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評価とその改善方法を検討する目的で実証試験を実施した。結果、中間貯蔵施設から提供を受けた改質材2%程度を含む分別後土壌に対し、SAPによる膨潤は観察されない等の知見を得た。一方、SAPを含む改質材が過剰添加されている場合には、体積膨張が発生し、それに膨潤抑制剤を添加することで膨張した体積を縮減できる結果が得られ、膨潤抑制剤の効果に関する知見と改質材の適正量添加の重要性が示唆された。また、追添加した分別後土壌等を用いて構築した実証盛土の挙動は観察中であり、来年度も継続する計画である。

付録1-7-2