

**令和 5 年度
除去土壌等の減容等技術実証事業
Web 用概要書**

No.1 除去土壌を分級処理した砂をコンクリート用細骨材に 利用するための技術実証

実施代表者：VOREWS

全体概要

国は中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で最終処分を完了するため、除去土壌等の減容化・再生利用技術の開発を2024年(令和6年)迄に完了するとしている。除去土壌等減容化・再生利用技術研究組合(略称：VOREWS)では、除去土壌の減容化技術の一つとして、湿式分級処理技術が有効であることを平成30～31年度に実証したが、再生利用技術について十分な検討を行っていない。このため、分別後土壌等を湿式分級処理して得た分級砂の「コンクリート用細骨材」への適用性を、2ヶ年事業(令和4～5年度)にて検証した。

実施内容

将来的に、帰還困難区域内で除去土壌を分級処理し、コンクリート製造を行うことを想定し、以下の試験を行った。

- ①練混ぜ水適合性確認試験(令和4年度)
受入・分別施設に併設されている井戸の水が、コンクリート製造に使用できることを確認した。
- ②細骨材品質確認試験(令和4年度)
受入・分別施設から新規に採取した分別後土壌を分級処理した分級砂、および、既往実証試験の分級砂の細骨材品質試験を行った。
- ③配合・強度試験および耐久性試験(令和5年度)
分級砂を用いた配合・強度試験、耐久性試験により、分級砂のコンクリート細骨材への詳細な適用性を確認した。
- ④被ばく影響確認試験(令和5年度)
分級砂を用いたコンクリート製品からの追加被ばく線量測定により安全性を評価した。

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)

技術概要

令和4年度に実施した練混ぜ水適合性試験、骨材品質試験結果より、帰還困難区域内の地下水がコンクリート用練混ぜ水に適用可能なこと、山砂混合による粒度調整が必要であるが、分級砂がコンクリート用細骨材として適用できることを確認した。令和5年度は、既往実証試験由来の分級砂を用いて、配合・強度試験、耐久性試験、被ばく影響確認試験を行い、分級砂を配合したコンクリート製品の基本性状を確認するとともに、追加被ばく線量測定による安全性の評価により、分級砂の再生利用用途拡大に資する技術情報を得た。



付録1-1-1

結果

1. 配合・強度試験結果

フレッシュ性状を満足する配合を表1に示す。この配合で製造したコンクリートの圧縮強度は、図1に示すよう、分級砂含まない山砂のみを配合した比較対照のコンクリート(以下、「対照」という)と同等以上の強度発現を示した。

また、28日材齢の供試体の放射性Cs濃度を分析した結果を表2に示す。これより、放射性Cs濃度の低減率は、細骨材(分級砂に山砂を混合して粒度調整したもの)の配合比率と同様の約40%であった。なお、JK1～JT6は、山砂混合による粒度調整済みの細骨材を示す。

2. 耐久性試験結果

耐久性試験結果(図2～4)は、全ての項目で基準値を満足するとともに、比較対照と同等以上の結果となった。

3. 追加被ばく線量とシミュレーションの比較

分級砂を配合したコンクリート土間(□4.0 m×0.15 m)の中心から0.3m高さの地点での追加被ばく線量は、0.26 μSv/h(バックグラウンド0.16 μSv/h)であった。コンクリート土間の放射性Cs濃度が低い(549 Bq/kg)に関わらず、空間線量が高めとなる傾向を示した。このため、自然界にも存在する放射性K₄₀濃度を測定したところ、細骨材で326 Bq/kg、粗骨材で843 Bq/kgが検出された。さらに、U(ウラン)系、Th(トリウム)系の一般的な放射能濃度も考慮し、コンクリート土間からの追加被ばく線量をシミュレーションした結果、コンクリート土間からの追加被ばく線量は、実測値とシミュレーション値で概ね一致する結果となった(図5参照)。

表1 配合表

	3T 1X (kg/m ³)	3T 1X (kg/m ³)	3T 1X (kg/m ³)	3T 1X (kg/m ³)	3T 1X (kg/m ³)	SP 5j10	AE 5j10	DF 5j10
0t	165	300	826	2.58	983	0.70	0.0010	0.0000
JK1	165	300	838	2.53	983	0.65	0.0010	0.0010
JK2	165	300	826	2.62	983	0.65	0.0010	0.0010
JK3	165	300	810	2.58	983	1.40	0.0010	0.0015
JK5	165	300	835	2.61	983	0.55	0.0015	0.0010
JT6	165	300	810	2.53	983	0.75	0.0010	0.0025
Zyô (y)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	W/C(%)	S/a(%)	
NC	3.16	2.62	1.0	55	46			
~nî (0.3A0)	~n± X0i0	âê[	%X					
û øûshûy	p øy5hûy	yy k % (U âê[	30L					

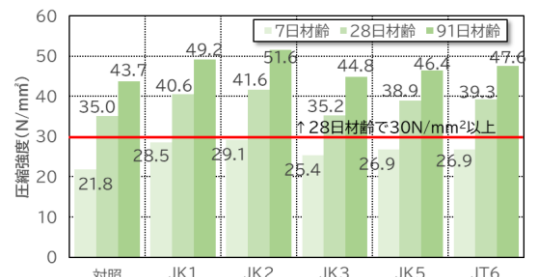


図1 圧縮強度試験結果

表2 放射能濃度測定結果一覧

	sœ ^{A0} fX4 (μSv/h)	ý X (Bq/L)	½ G μ (Bq/kg)	½ G μ (Bq/kg)	Å 24 (%)
β1	û ~]€ô	Ö			
JK1	0.01	ND ^{A0}	459	1,135	40
JK2	0.01	ND	574	1,558	37
JK3	0.02	ND	1,133	2,703	42
JK5	0.01	ND	458	1,040	44
JT6	0.01	ND	669	1,768	38

Ä ü è [ô]•É R Ä ü K R Ä y è Ä 24 ô ü + 5k 05j ü ü ü

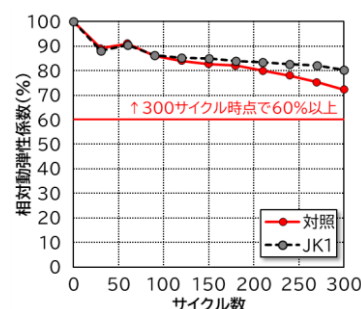


図2 凍結融解試験結果

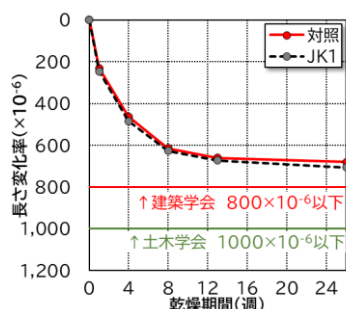


図3 長さ変化試験結果

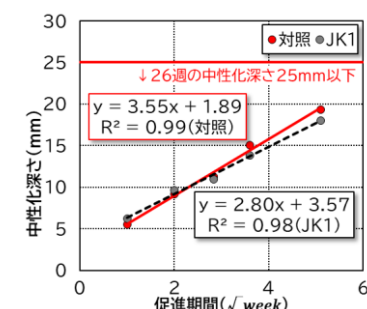


図4 中性化促進試験結果

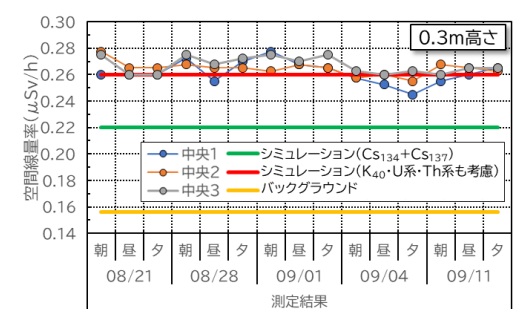


図5 追加被ばく線量測定結果

- 分級砂は、山砂混合による粒度調整が必要なこと、有機不純物が基準不適合となる場合があり、その場合、圧縮強度比率試験による確認と購入者の承認が必要になるなど、骨材の品質上の課題を内包する。しかしながら、分級砂を配合したコンクリートは、比較対照(分級砂を配合していないコンクリート)と同等以上の強度発現(図1)、耐久性(図2～4)を示す結果が得られた。よって、コンクリート用細骨材として利用可能であることが示された。
- 分別後土壌を分級処理・粒度調整によりコンクリート用細骨材に加工し、コンクリートに配合することで、放射性Cs濃度の低減率は1/25程度が見込まれることが分かった(各工程における放射性Cs濃度低減率の平均値：通常・高度分級処理0.2倍、粒度調整0.5倍、コンクリート配合0.4倍)。
- 分別後土壌由来分級砂を配合したコンクリート製品からの追加被ばく線量のシミュレーションが可能なることから、コンクリート製品の利用先に応じた追加被ばく線量の管理が行えると考えられる(図5)。

付録1-1-2

No.2 除去土壤中の放射性セシウムの溶融塩・酸処理法による脱離とゼオライトを用いた回収・安定化による減容・再生利用技術の開発
実施代表者：法政大学

全体概要

除去土壤の多くは中間貯蔵施設に持ち込まれ、今後はこの土壤の再生利用を推進すると共に放射性セシウムを除去・濃縮し、最終処分量を減らすことが求められる。本事業では高効率かつ低コストな除去土壤の減容・再生利用を推進することを目的に、10,000Bq/kg以上の除去土壤を想定し、福島県内の土壤中の放射性セシウムのロータリーキルン炉による連続溶融塩処理と酸処理による脱離、ゼオライトによる回収・安定化に関する実証試験を実施する。

実施内容

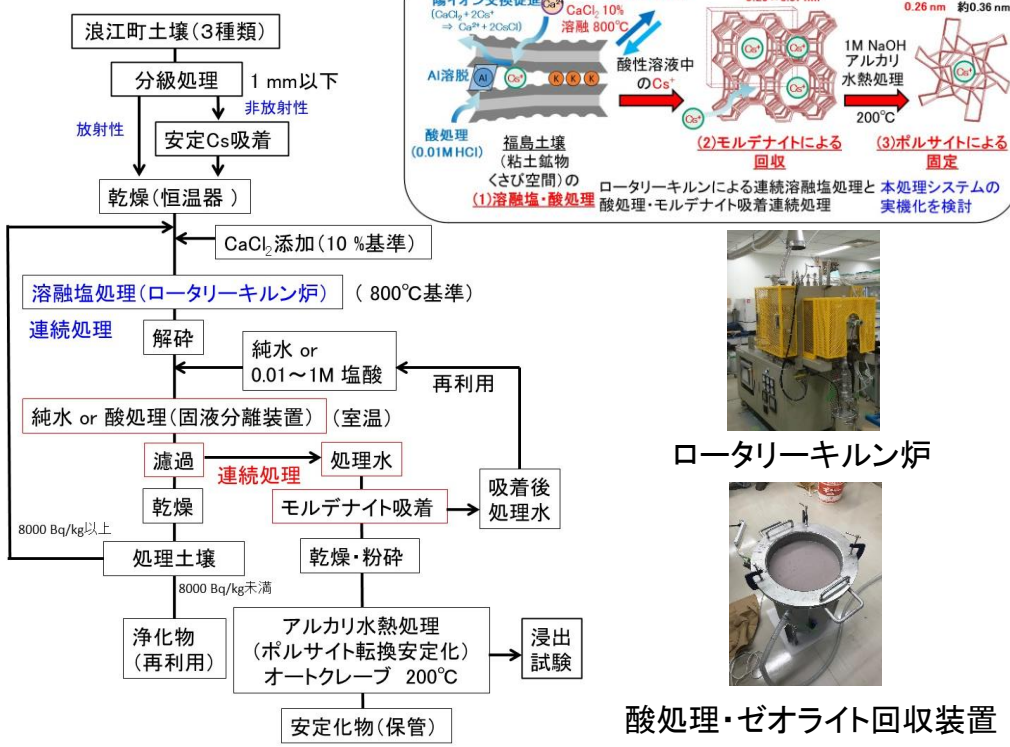
福島県浪江町の2地点の放射性土壤と非放射性土壤3種を採取し、連続処理を想定した小型ロータリーキルン炉を用いた溶融塩処理・酸処理の条件出しを行う。その結果を踏まえてベンチスケールのロータリーキルン炉を用いた溶融塩処理を行い、本処理の有効性を検証する。また、酸溶液中の放射性セシウムのモルデナイトによる回収、アルカリ水熱処理によるポルサイト化を行うと共に得られたポルサイトの溶液安定性を評価する。
上記検討結果や同関係の技術情報等に基づき、実機処理プロセスについて検討する。

事業の主な実施場所

- 1. 法政大学 小金井キャンパス（東京都小金井市）
- 2. 物質・材料研究機構並木地区（茨城県つくば市）

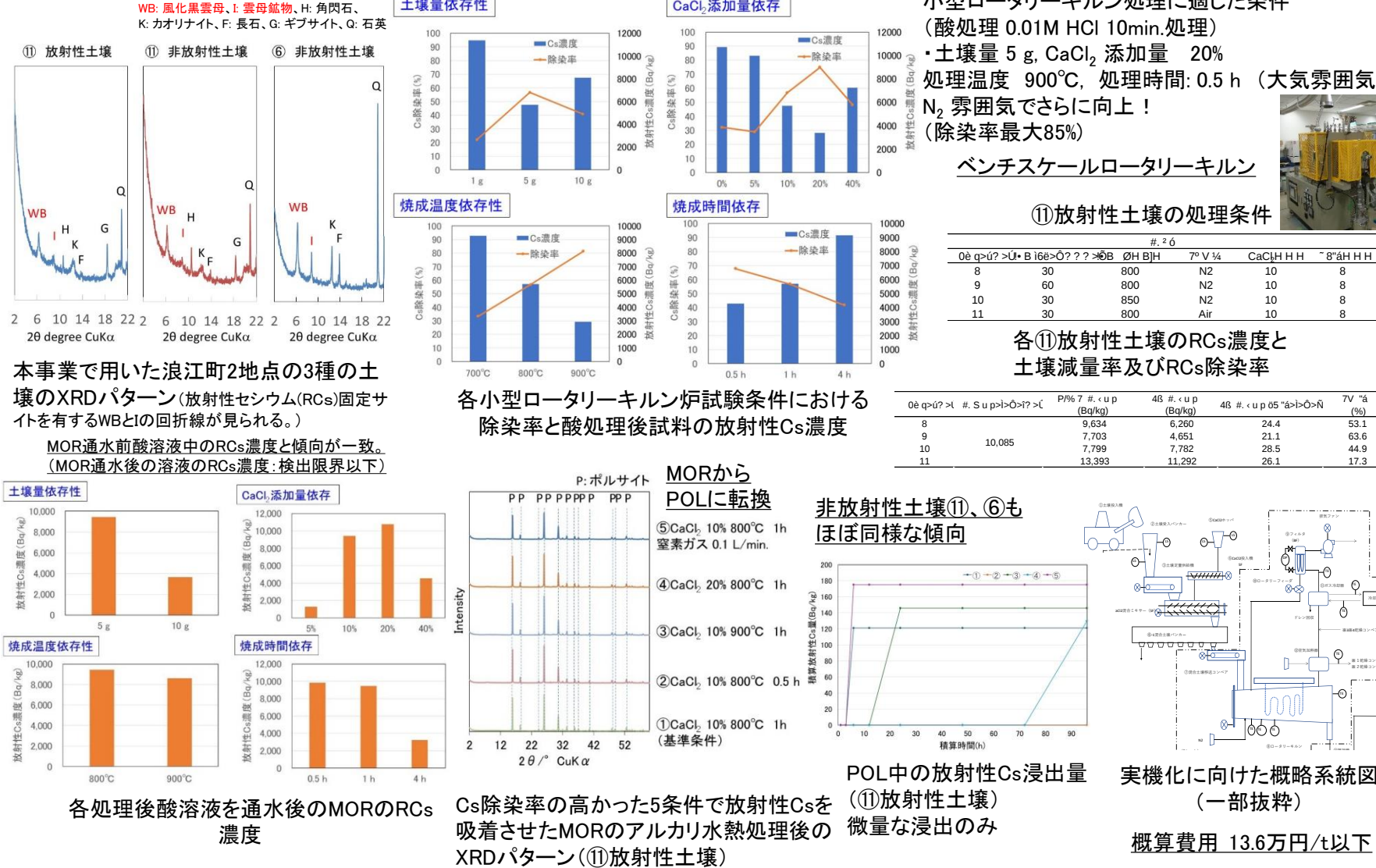
技術概要

- (1)ロータリーキルン炉を用いた溶融塩処理(CaCl_2)と酸処理(HCl (1 M以下))による土壤中のCs脱離
溶融塩中の Ca^{2+} の層間導入と低濃度の酸処理によるAl溶脱の効果
 - (2)ゼオライト(モルデナイト(MOR))による回収
耐酸性があり、Csに対して高選択性を有するMORによるCs濃縮の効果
 - (3)ポルサイト(POL)による固定
MORをアルカリ水熱処理することでCsを固定可能なPOLへ転換。
- 下記に処理フローを示す。



付録1-2-1

結果



まとめ 浪江町の3種の土壤を小型ロータリーキルン炉を用いて溶融塩・酸処理することにより、一定のセシウム除去効果が得られ、放射性土壤については放射性Cs濃度を5,000 Bq/kg以下に減少でき、放射性Cs除染率は最大85%となった。ベンチスケールキルン炉では放射性Cs除染率が63.6%に低下した。しかし、それ以外の処理工程においては高いCs分配比を示した。また、実機化を想定した本処理の概略系統図を作成でき、処理費用は13.6万円/t以下となることがわかった。

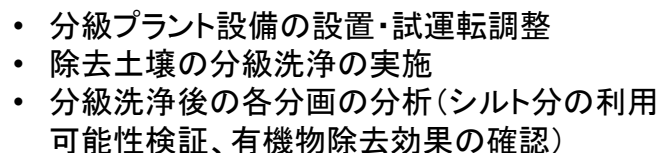
付録1-2-2

実施代表者
鹿島建設株式会社

本実証事業では土壌Cの分級処理によって発生する細粒分(高濃度土壌)の処理について、熱処理ではなく直接最終処分するシナリオの技術検証を行う。

分級処理によって発生する細粒分(高濃度土壌)を最終処分する上で、できるだけ再生利用量を増やして処分量を減量化することは事業全体のコスト削減に有効であると考えられるため、シルト分の再生資材化について検討した。

また土壌中の有機物量を削減することは処分後の土壌の安定化のために必要であり、遠心分離機による細粒分中の有機物分離について検討した。



設置した分級プラントの処理フローおよび検証する内容



結果

■ 分級洗浄結果(代表1ケース)

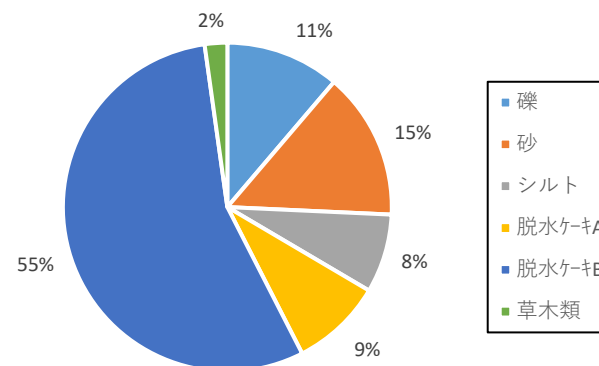
※礫+ボールミルの分画は、その重量のほとんどをボールミルが占めており、礫は数%である

分画	回収比率※ [重量 %]	Cs-137 [Bq/kg-d]	強熱減量 [%]
土壌初期値	—	13,900	11.0
礫+ボールミル	447.4	99	0.3
砂	49.5	5,764	3.5
シルト	11.4	17,000	8.1
脱水ケーキA	6.3	18,744	17.0
脱水ケーキB	32.5	26,929	20.3
草木類	1.7	4,060	15.6

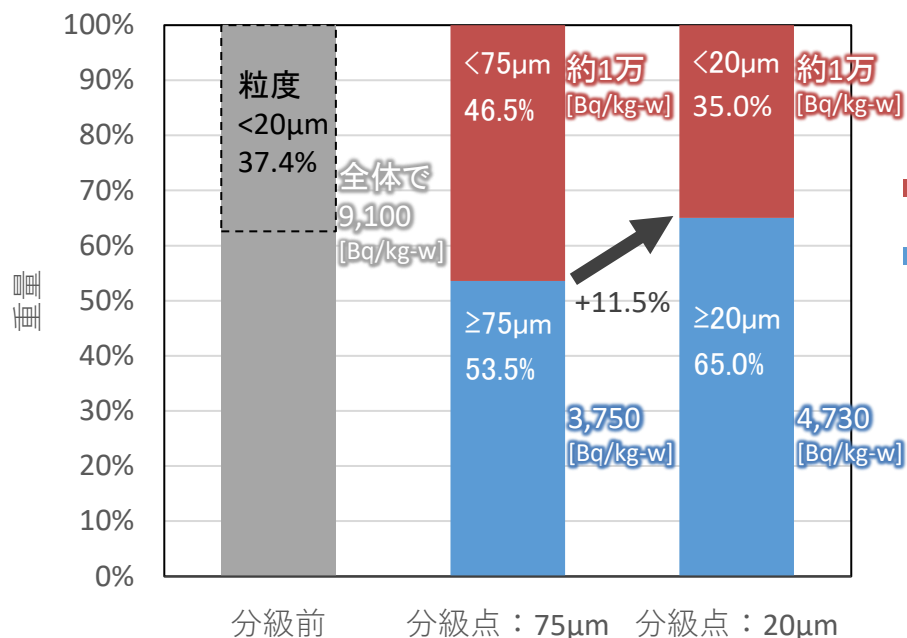
■ 遠心分離による有機物の分離

- 強熱減量の結果で有機物量を評価した。
- 左の表より、脱水ケーキAより脱水ケーキBの強熱減量が高くなっており、脱水ケーキB側に有機物が分配された。
- 分級後の各分画の強熱減量と重量の積の比率(下の円グラフ)から、脱水ケーキBに半分以上の有機物が集積したことが分かる。

分級後の各分画の強熱減量と重量の積の比率



■ シルト(20-75μm)の再生資材化



- 分級洗浄の結果から75μm分級と20μm分級の再生利用/処分量をそれぞれ計算した。
- 20μm分級の場合は再生資材の分画が4,730Bq/kg-wで除染率48.5%となった。
- 65%が再生資材化可能という結果が得られ、75μm分級の場合と比較して再生資材化できる量が11.5%増となった。

- シルト(20-75μm)の分画を再生資材化した場合、除染率は48.5%となり、75μm以上を再生資材化する場合と比べて再生資材化できる量が11.5%増加した。結果として処理コストが高い熱処理の対象となる量が46.5%から35.0%となり、熱処理量を約25%削減できることとなる。
- 分級洗浄後の細粒分を遠心分離で処理することで脱水ケーキAの有機物量が減少し、脱水ケーキBへ多く分配されることが確認された。