

ばいじん等からのCs分離回収と その安定化技術の実証

平成31年度除去土壌の減容等技術実証事業(その3)

実施代表 日立造船株式会社 ○西崎(発表者)
共同実施 太平洋セメント株式会社

本発表内容は、中間貯蔵・環境安全事業(株)が環境省より受託した
平成31年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果の一部です。

1. はじめに

除去土壌等の減容・再生利用に関する課題

- ・除去土壌等の減容・再生利用化で生じるばいじんのさらなる減容化が必要
- ・Csは、最終処分のための安定化が必要（長期保管安定性）

課題を解決するための技術

TCC

1. ばいじんの減容化

乾式セシウム除去技術：除去土壌等に反応促進剤を添加し熱処理（焼成）してセシウムをばいじん側へ分離除去する

環境省の資源化実証事業に採用、有効性が実証

1) ばいじん中のCsを水洗浄しCsを分離除去

- ・洗浄ばいじんを熱処理の反応促進剤に再利用



廃棄物の低減

2. 回収分離したCsの安定化

2) 洗浄水からのCs回収分離



プルシアンブルー(PB)用いた化学共沈法でCsを回収分離する技術

Hitz

3) 回収分離したCsの安定化

回収分離物をアルカリ加水分解処理後、遊離したCsを、無機鉱物のゼオライトに吸着回収し、焼成しCsを固定する技術

これら技術を組み合わせることにより課題解決に有効なトータルシステムの構築が目的

2. 試験内容 試験場所、試験試料

平成31年度除去土壌等の減容等技術実証事業(その3) 実施内容

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)

試験場所 : 日立造船 柏工場 千葉県柏市 非放射性Csを含む
太平洋セメント 中央研究所 千葉県佐倉市

試験試料 : 熱処理ばいじんに性状が類似する模擬ばいじん

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)

試験場所 : 中間貯蔵施設 技術実証フィールド 放射性Csを含む
福島県双葉郡大熊町大字夫沢字長者原731-1

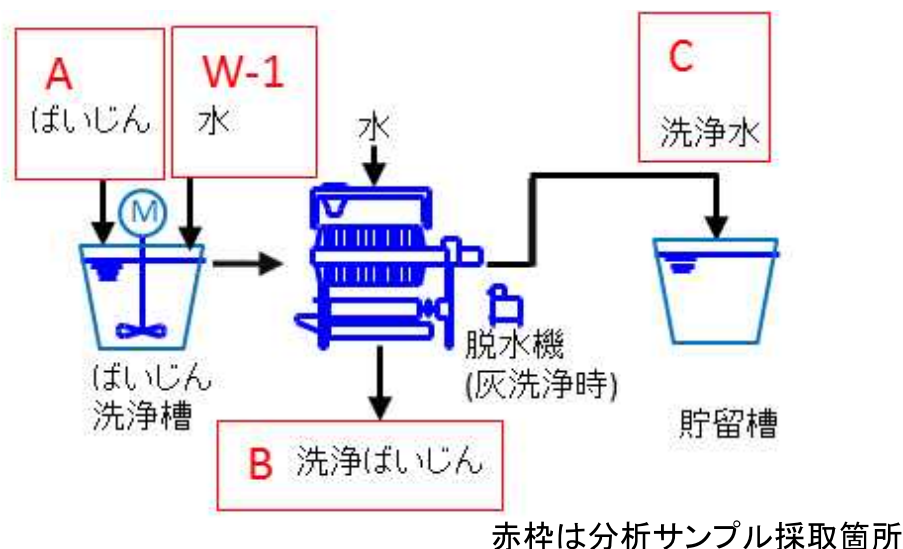
試験試料 : 福島県内仮設焼却施設のばいじん

3. 試験結果 ①ばいじん洗浄(コールド試験)

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)

〔ねらい〕 ばいじんのCs溶出性や洗浄ばいじんの性状、**反応促進剤として再利用の可能性**を把握

〔目標〕 反応促進剤として再利用する場合の除去土壌等とCaO、MgO、及びSiO₂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



〔各成分〕 液固比1:6のときの結果

項目	単位	Cl	Cs※	Ca	量比
ばいじん	mg/kg	410,000	16	11,000	100
洗浄ばいじん	mg/kg	4,900	1	62,000	12(9)
洗浄水	mg/L	69,000	2.7	820	688

※Cs：自然界に存在する
非放射性セシウムを測定

()内:ドライベース

可溶成分の溶解 Ca、Si分の含有濃度上昇

〔試験試料調整〕

- ・ばいじんを所定液固比で混合、攪拌
- ・フィルタプレスで固液分離

〔試験条件〕

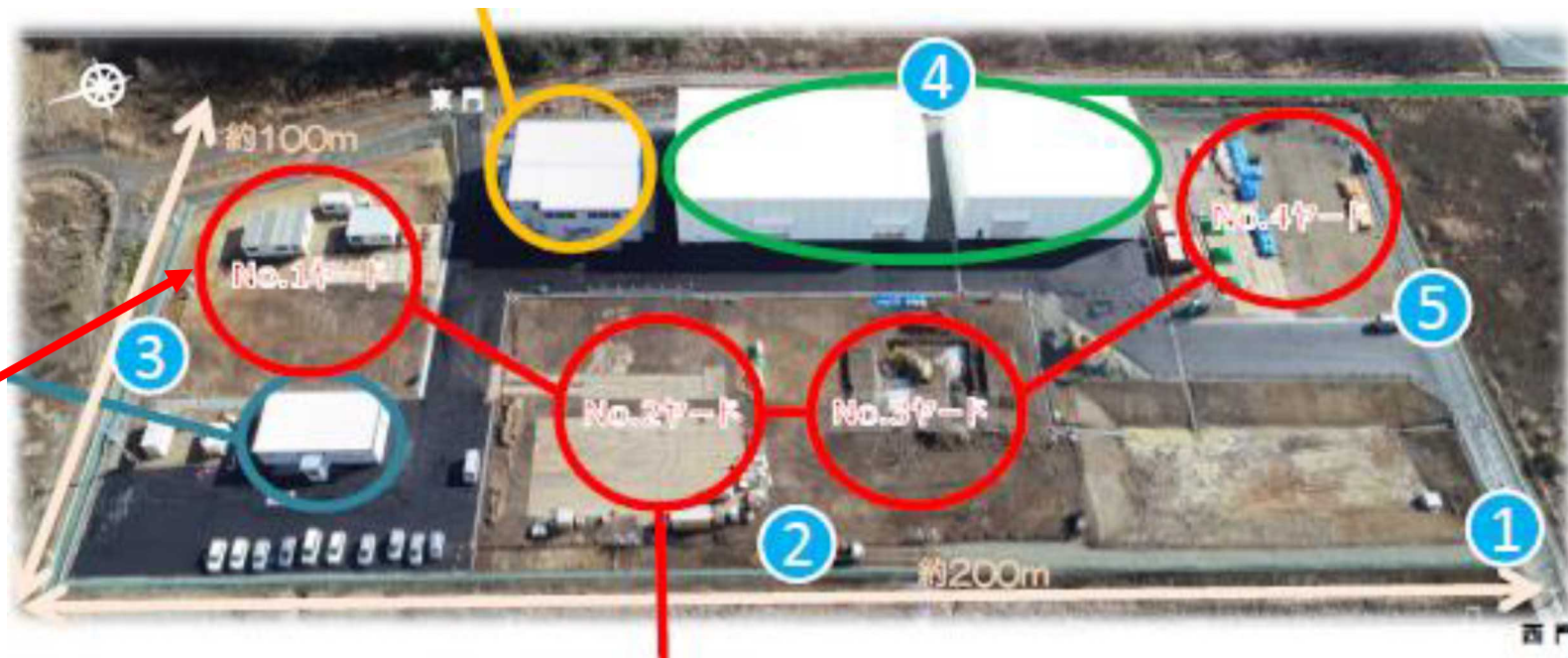
ばいじん種類	熱処理ばいじんに組成が近い模擬ばいじん
液固比	1～8 L/kg-dry
洗浄時間	15～60 min
リンス水量比	0.3～2 L/kg-dry

〔結果〕

水洗浄により、ばいじんから可溶性Csを99%以上分離
洗浄ばいじん量は、ばいじん量に対し1/10程度

CaOなどの各成分を所定の配合割合に調整可能、
洗浄ばいじんは、反応促進剤として再利用可能

技術実証フィールド -ホット試験-



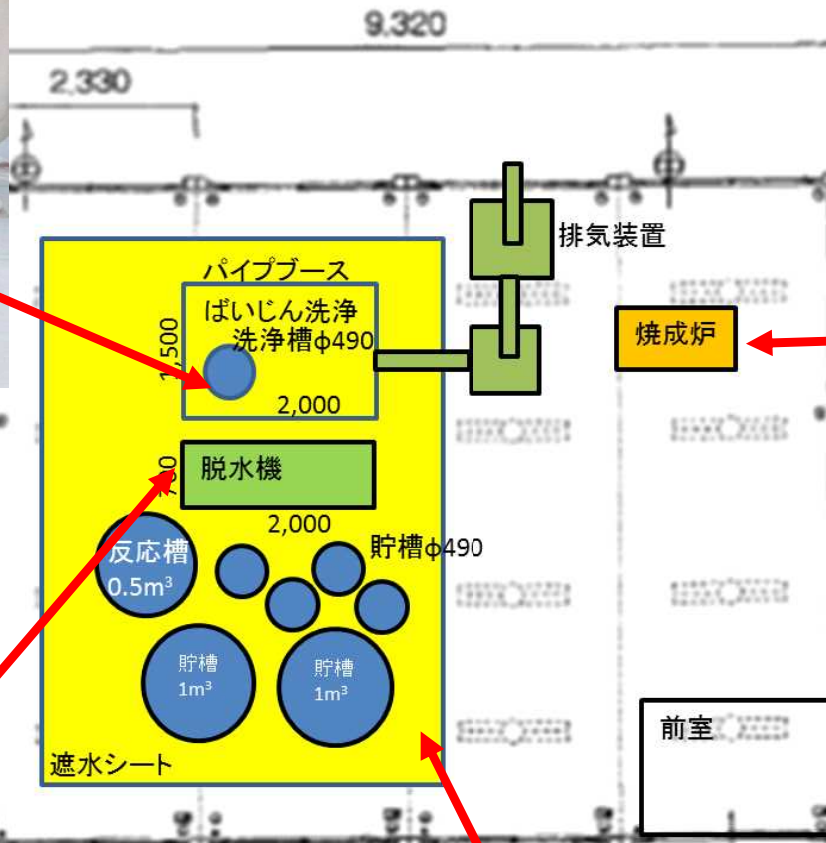
実証試験者	実証テーマ	ヤードNo.	期間
鹿島建設	除去土壌中の放射性Cs含有粘土の分離・性向上を目指した物理的解泥技術の実証	4 (南側)	2019/9～2019/11
奥村組	膨潤抑制剤添加処理により除去土壌の再利用を効率化する技術	4 (北側)	2019/9～ (2020年度も継続予定)
日立造船	ばいじん等からのCs分離回収とその安定化技術の実証	1 (東側)	2019/11～2020/2
JESCO・国立環境研究所	除去土壌の再生利用時の安全性や安定性に関する実証実験	3	2020/1～ (2021年度まで継続予定)

出典 中間貯蔵施設 技術実証フィールド パンフレット

知のネットワーク会合～技術実証事業成果発表会(第1回)～資料

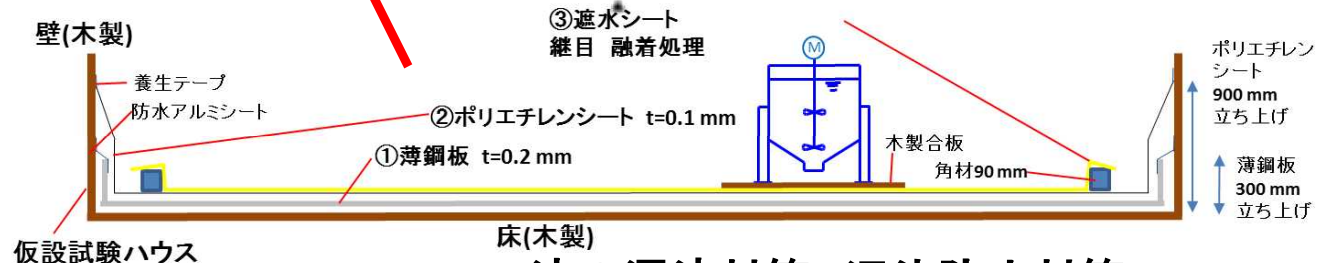
技術実証フィールド ーホット試験ー 試験室内

ばいじん洗浄



ゼオライト焼成時

脱水機フィルタプレス(FP)



液の漏洩対策、汚染防止対策

3. 試験結果

②ばいじん洗浄水からのCs回収分離

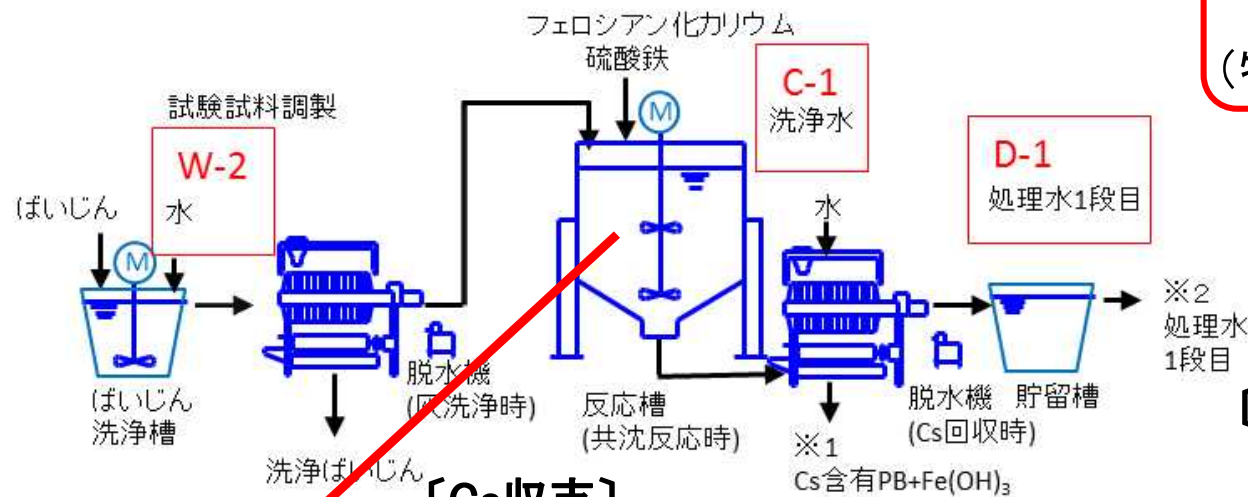
②ばいじん洗浄水からのCs回収分離試験(ホット試験)

〔ねらい〕PBによるばいじん洗浄水からのCs回収分離率、Cs収支を把握

〔目標〕処理水のCs濃度

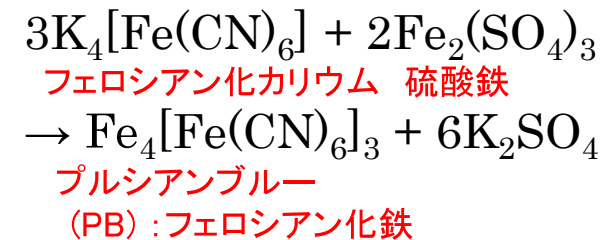
$$\frac{\text{Cs} - 134 \text{ Bq/L}}{60 \text{ Bq/L}} + \frac{\text{Cs} - 137 \text{ Bq/L}}{90 \text{ Bq/L}} < 1$$

(特措法施行規則第25条第1項第6)



〔Cs収支〕

	番号 単位	C1 ばいじん 洗浄水	D1 処理水 1段目	PB +Fe(OH) ₃
放射性Cs濃度	Bq/L	270	※1.4	440,000
容量	L	312	322	
重量	kg	315	326	0
放射性Cs量	Bq	84,208	451	83,757
Cs回収分離率				99.5%



〔試験条件〕

PB合成量	2段処理 (0.05g/L)
反応時間	30 min

〔結果〕

ばいじん洗浄水からのCs回収分離率は99.5%でありラボ試験と概ね一致
処理水のCs濃度は目標値
(特措法施行規則第25条第1項第6)を達成



PB合成中

※検出下限以下のため、下限の数値の合計1.4を記載した。

3. 試験結果

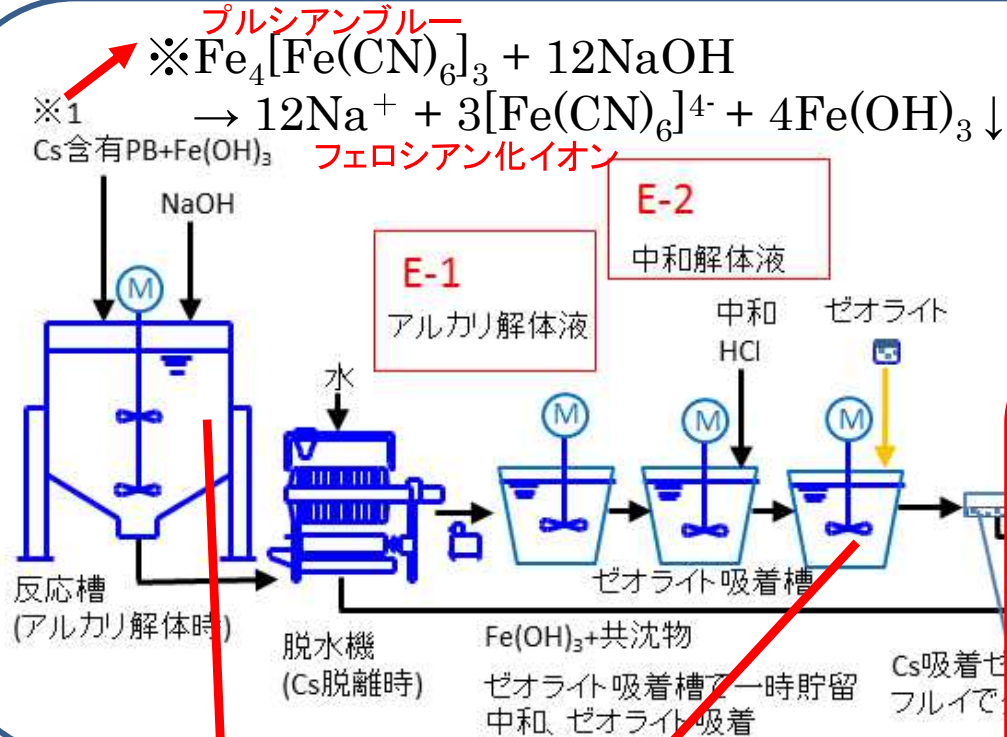
③回収分離したCsの安定化

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)

- 〔ねらい〕・**アルカリ解体** Cs吸着したPB+Fe(OH)₃から、アルカリ液へのCsの移行率を把握
 ・**ゼオライト吸着** 中和解体液からゼオライトへのCs回収分離率、ゼオライトCs濃度等を把握
 〔目標〕安定化体放射性Cs濃度 : ばいじん洗浄水放射性Cs濃度の400倍

〔試験条件〕

アルカリ解体NaOH濃度	Naとして1,000mg/L
処理時間	6h、24h
ゼオライト吸着処理時間	8h × 3



〔Cs収支〕

	番号		E2		H 全量
		PB + Fe(OH) ₃	中和後解体液	中和後解体液Cs吸着後上澄み	Cs吸着ゼオライト
放射性Cs濃度	単位 Bq/L	440,000	3,600	21	140,000
容量	L		23	22.2	
重量	kg	0.19	23	22.2	0.56
放射性Cs量	Bq	83,757	82,800	466	82,334
Cs回収分離率					99.4%

〔結果〕

Cs回収分離したPB+Fe(OH)₃はアルカリ解体時、Cs移行率として99%、ラボ試験と概ね一致
 ゼオライトによるCs回収分離率: 99.4% (ラボ試験よりも良好)
 Cs回収分離後、ゼオライト平均放射性Cs濃度: 14万Bq/kg

ばいじん洗浄水270 Bq/Lの約519倍



3. 試験結果

③回収分離したCsの安定化

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)

〔ねらい〕・ゼオライト焼成

・焼成後Cs吸着ゼオライトの溶出試験

焼成前後のCs含有量、溶出性、Csの揮発量を把握

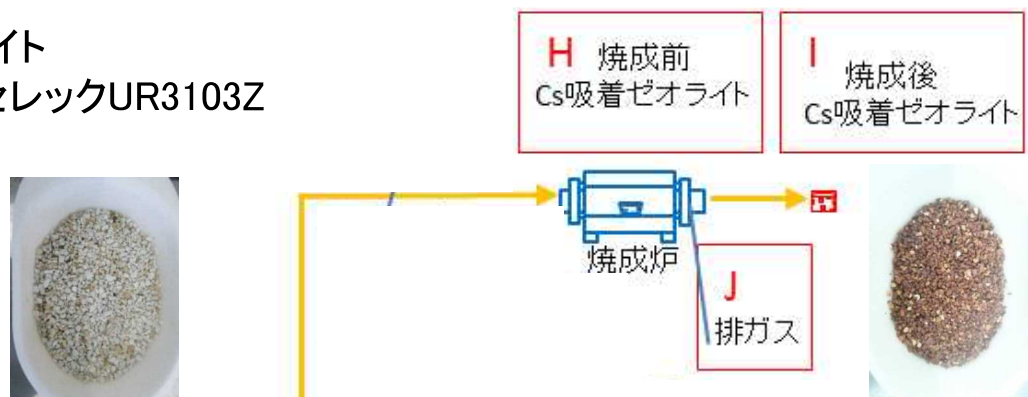
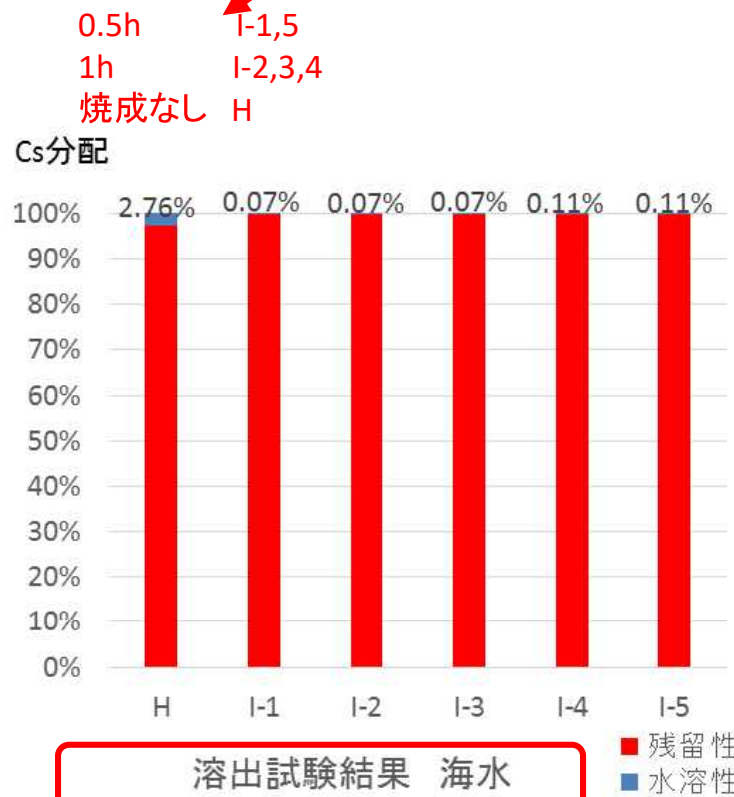
Cs安定化を評価

〔目標〕 安定化体からの放射性Cs溶出濃度 150Bq/L以下 (特措法施行規則 第26条第2項第2号ホ)

〔試験条件〕

焼成温度	1050℃
焼成時間	0.5h、1h

ゼオライト
: ユニセックUR3103Z



溶出試験

JIS K-0058に準拠

20 gの固体を200 gの溶出液に添加し、
スターラーで6 h攪拌し、溶出液を作成

蒸留水、
もしくは海水相当 NaCl溶液(Na14,000 mg/L)

Cs吸着ゼオライト
フルイで分離・乾燥

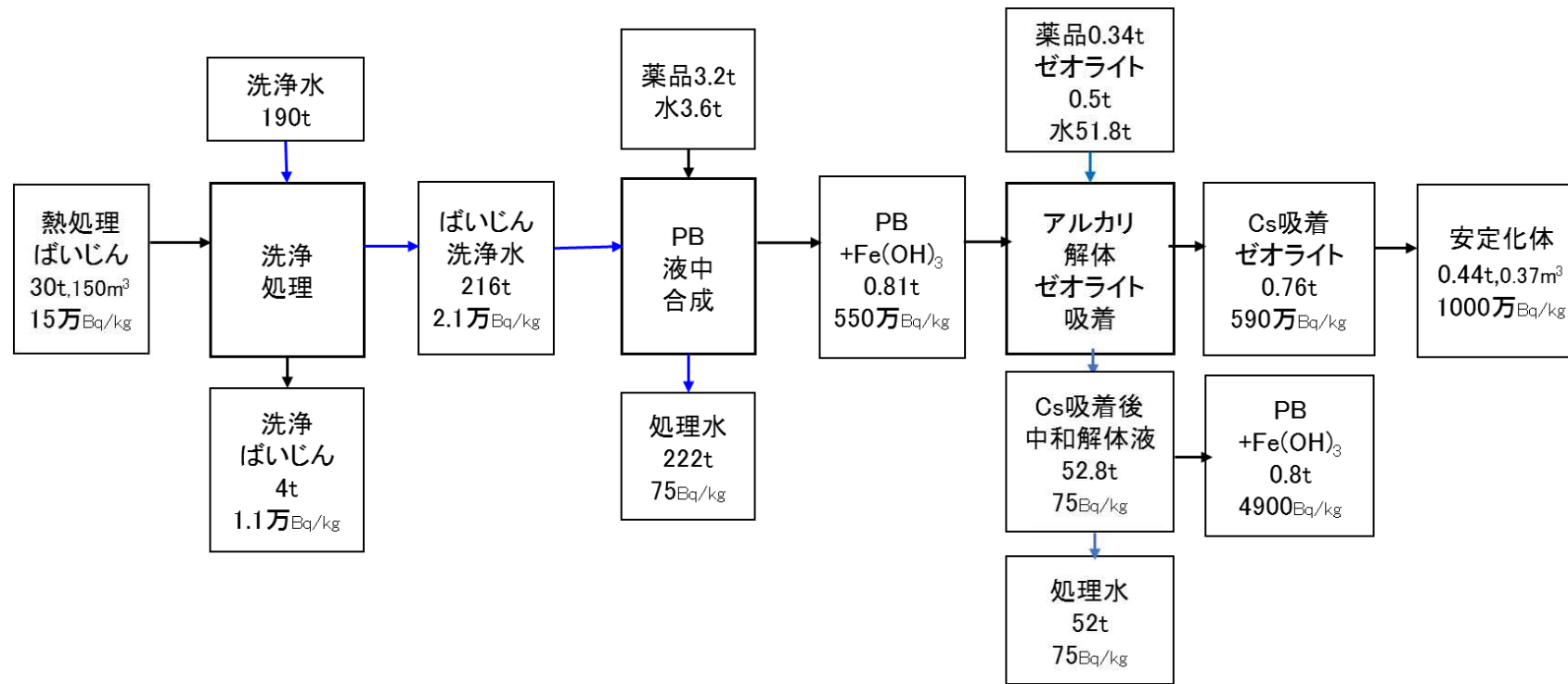
〔結果〕

Cs回収分離したゼオライトの一部を焼成試験で使用

焼成時の排ガス中Cs : 検出限界以下

Cs含有量に対する溶出は0.07~0.11%(2~3Bq/L) (ラボ
試験と概ね一致 安定化体からの放射性Cs溶出濃度は目標
(特措法施行規則 第26条第2項第2号ホ)を達成

4. 評価 - 物質収支 -



物質収支の一例

熱処理で発生するばいじん1日あたり30t、15万Bq/kgとした。

(国環研有馬ら、減容化プロセスの定量的評価方法2019年、環境放射能除染学会誌P214)

〔減容化率と減重率と放射性Cs濃縮率〕

比較対象		減容化率	減量化率	放射性Cs濃縮率
熱処理ばいじん	安定化体	1/405	1/68	67

〔結果〕

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

今回実証した技術が減容化に有効であることを確認

5. まとめと今後の課題

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にする事で、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

- ・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セシウム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、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、処理水の再利用等が必要である。

環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会第17回講演会
併催「減容化・再生利用と復興を考える知のネットワーク会合」
～技術実証事業成果発表会(第1回)～

平成29年度
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

鹿島建設株式会社
環境本部 環境ソリューショングループ
辻本 宏

本発表内容は、中間貯蔵・環境安全事業(株)が環境省より受託した
平成29年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果の一部です。

再生利用に向けた本技術の適応イメージ

除染工事



中間貯蔵施設



放射能レベル低減により再生利用を推進

再生利用に向けた本技術の適応イメージ

中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回)

ケースⅣの物質収支の詳細

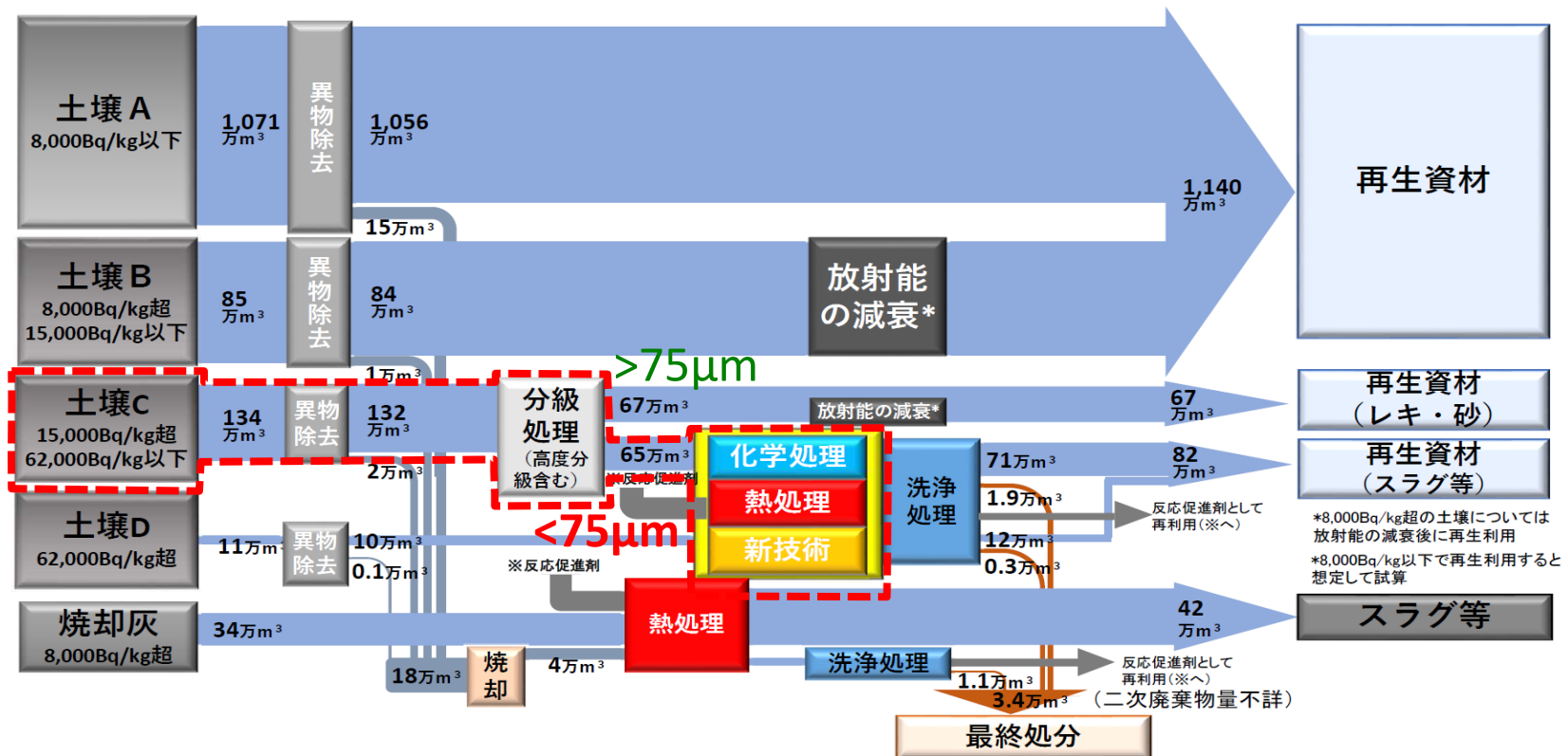


図-処理シナリオ

※図中の放射能濃度は2018年10月末時点での評価。
また、図中の物量は、四捨五入し、整数値で表記。
但し、計算にあたっては小数点以下も考慮しているため、
図中に記載した整数値のみの計算とは必ずしも一致しない。

再生利用に向けた本技術の適応イメージ

中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回)

ケースⅣの物質収支の詳細

分級処理(加水し、粒径によるふるい分け)
粒径75 μ m以下を高度処理にする計画
→高度処理は高コスト、環境への負荷も大
ただし、
土壤Cは細粒分の多い粘性土であり、
ふるい分けが難しい

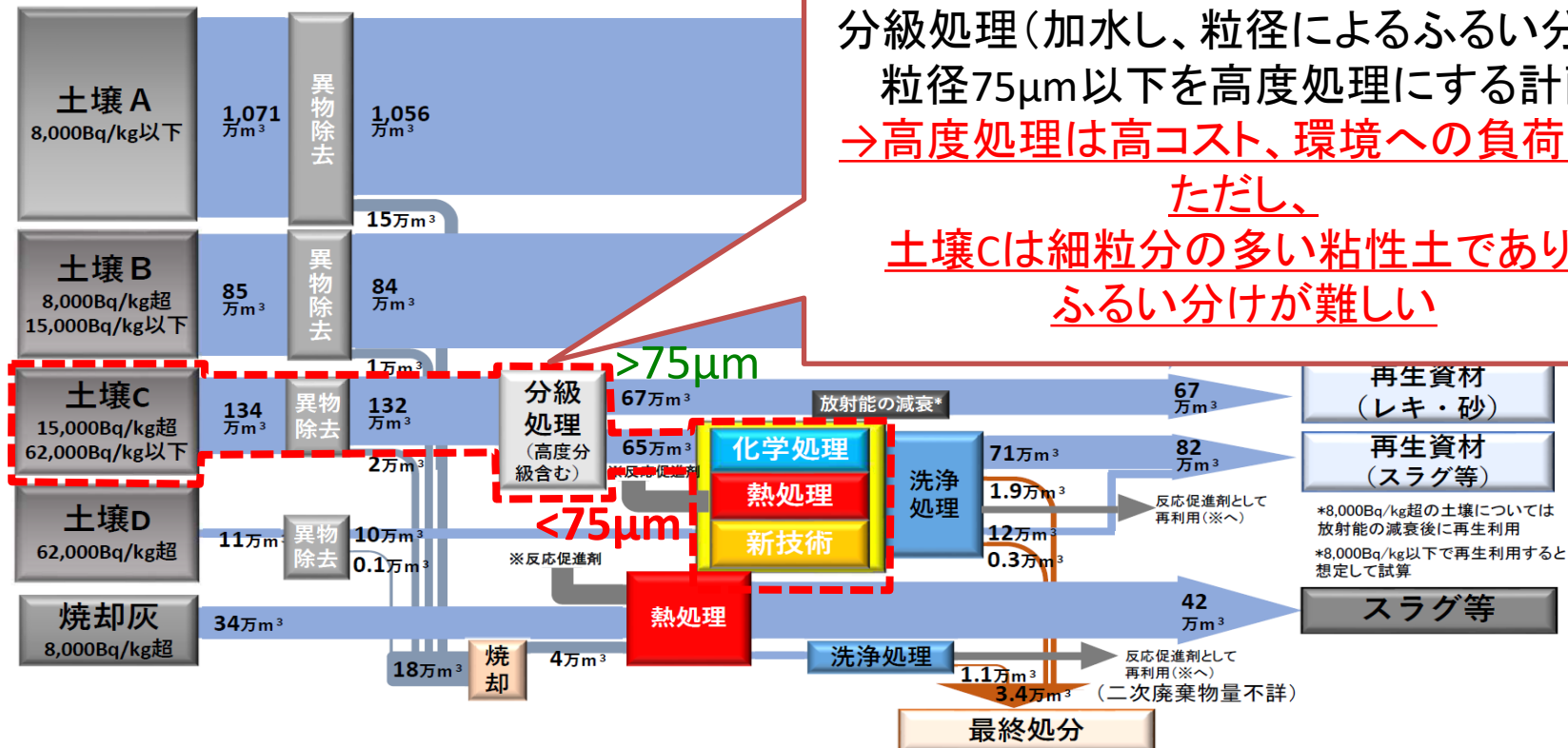


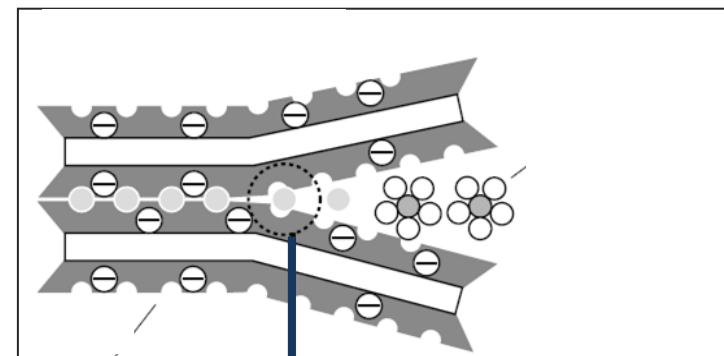
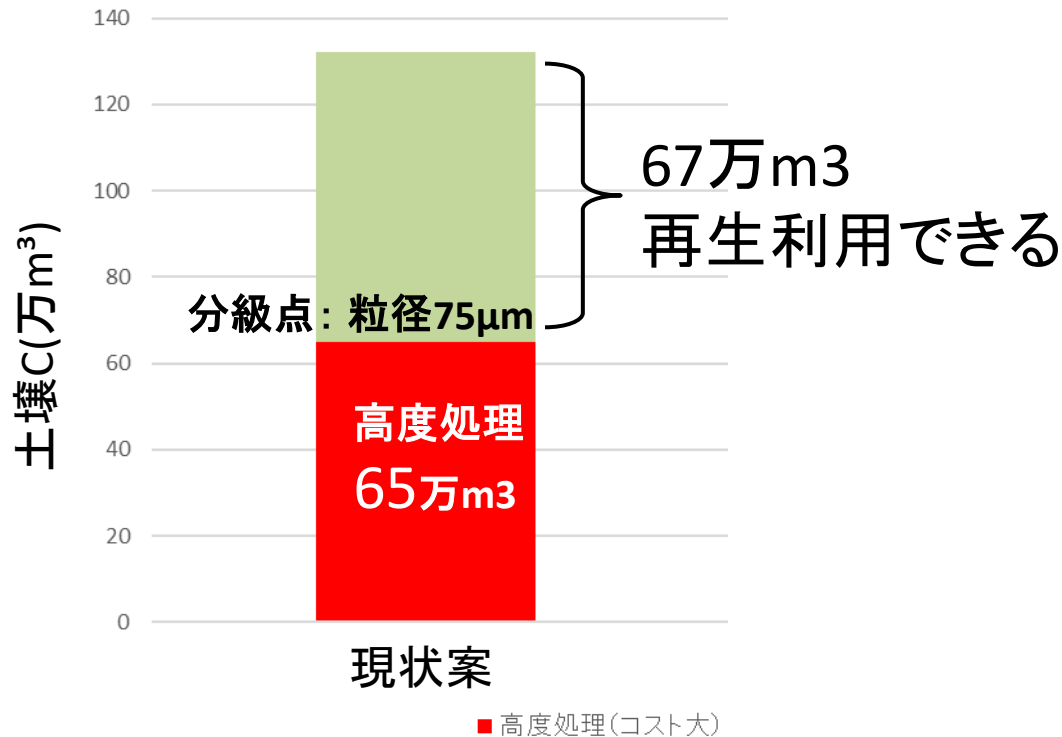
図-処理シナリオ

※図中の放射能濃度は2018年10月末時点での評価。
また、図中の物量は、四捨五入し、整数値で表記。
但し、計算にあたっては小数点以下も考慮しているため、
図中に記載した整数値のみの計算とは必ずしも一致しない。

着目点

■高度処理される土を減らし、再生利用量を増やせないか！？

粒径が小さい土粒子中の2:1型粘土粒子にCsが多く吸着されている。
現状では、分級点を 粒径 $75\mu\text{m}$ とし、 $<75\mu\text{m}$ の分画にCsを集約
させ、約50%の65万 m^3 の土を高度処理する検討がなされている。



2:1型粘土のフレッドエッジサイト
Cs選択制が高くCsを固定

図-分級点を $75\mu\text{m}$ とした場合の再生利用量と高度処理量

着目点

■高度処理される土を減らし、再生利用量を増やせないか！？

Csが強く固定されている2:1型粘土は、常磁性体であるので、超電導磁石で75 μ m以下の土粒子中から取り除き、再生利用を可能にするという発想

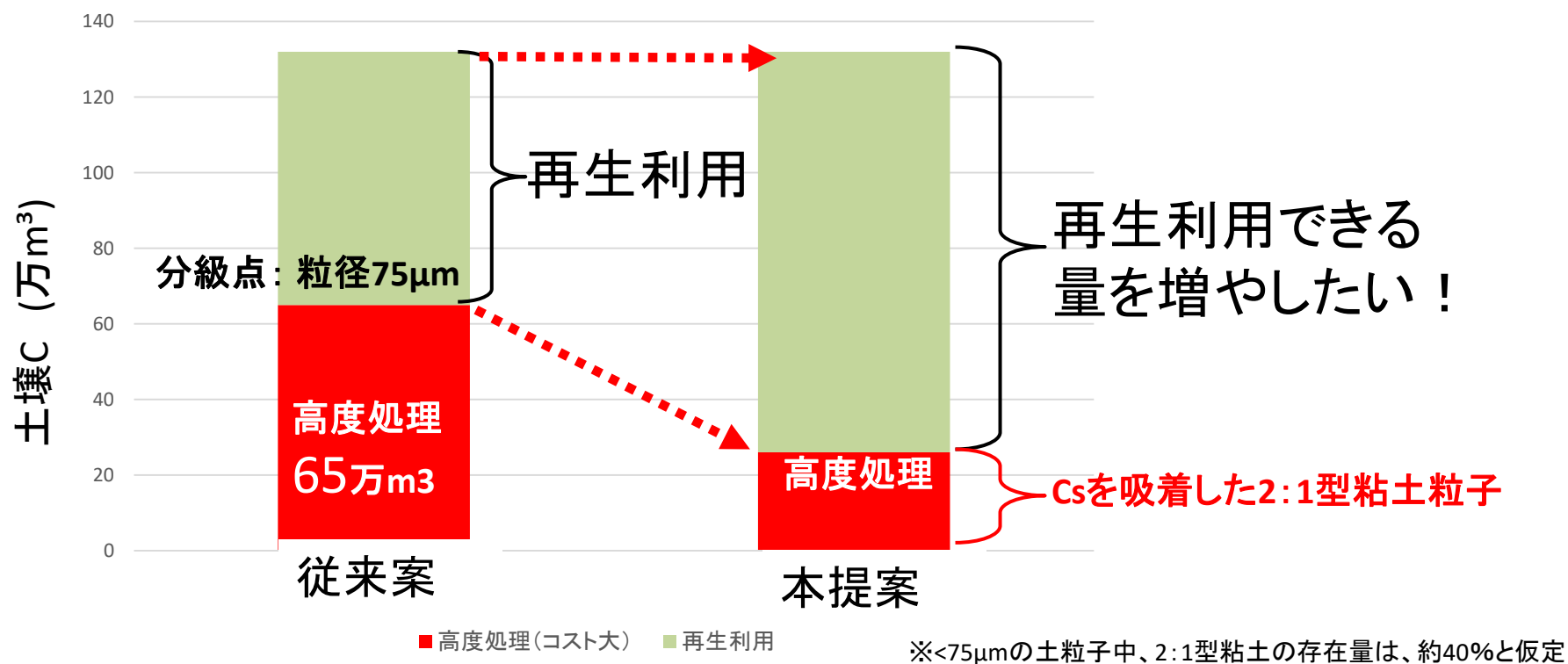
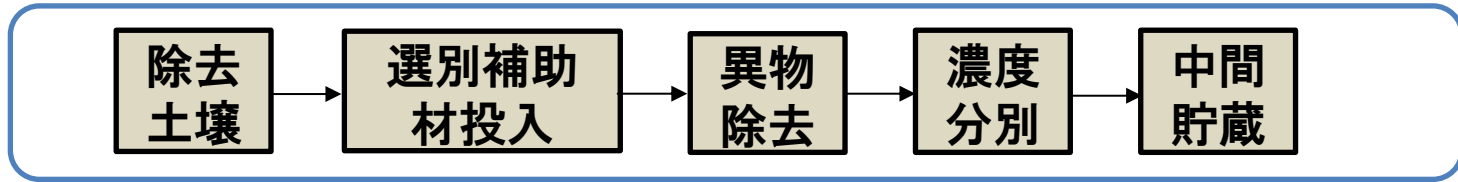


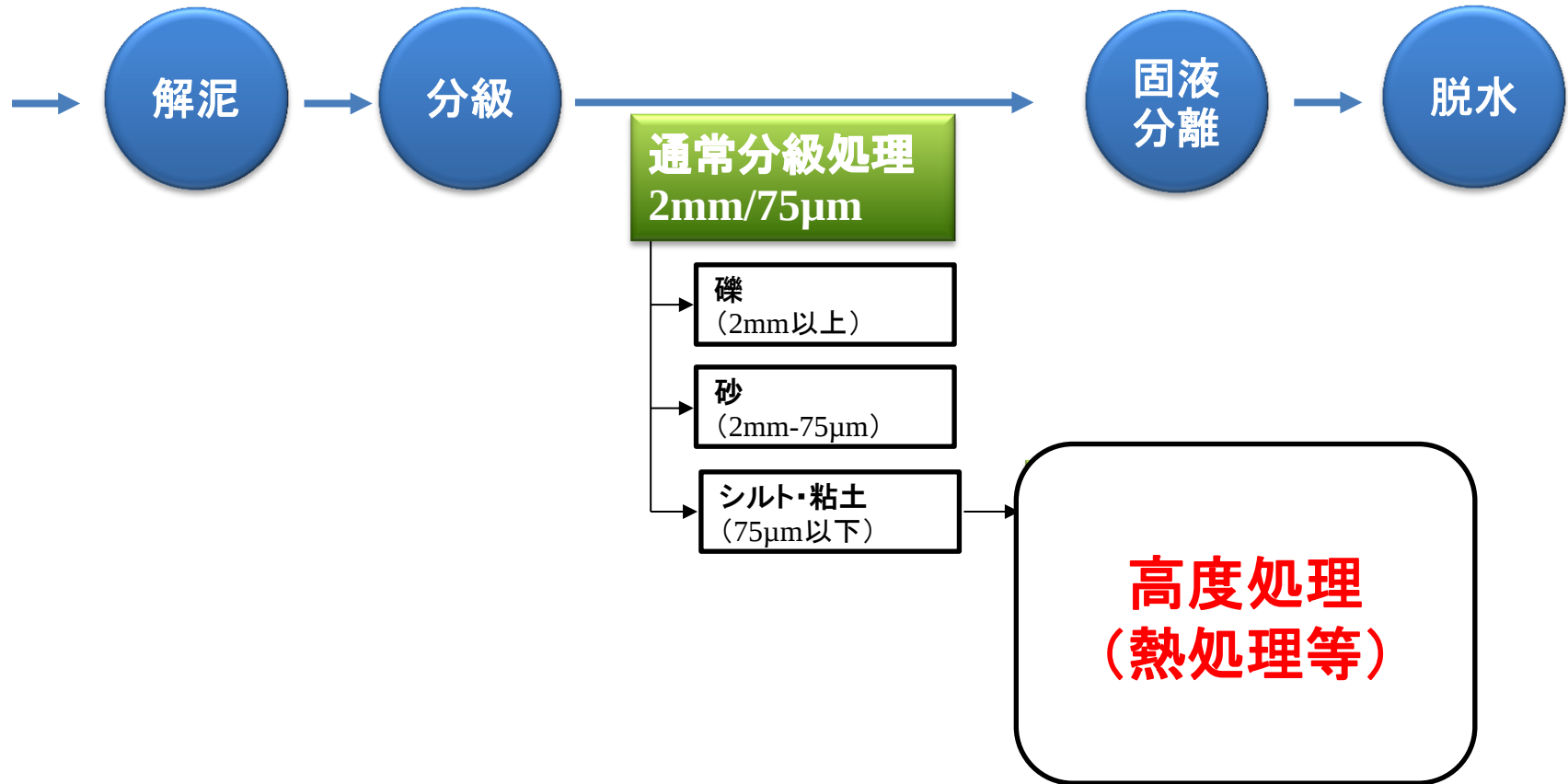
図- Csを吸着した粘土粒子を回収する場合の再生利用量の

本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ

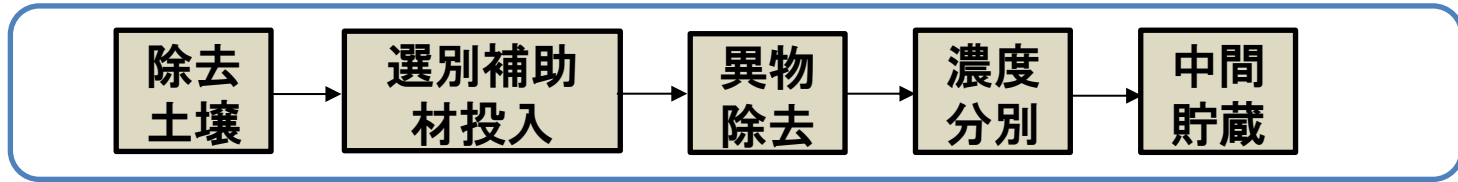


● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗淨の流れ

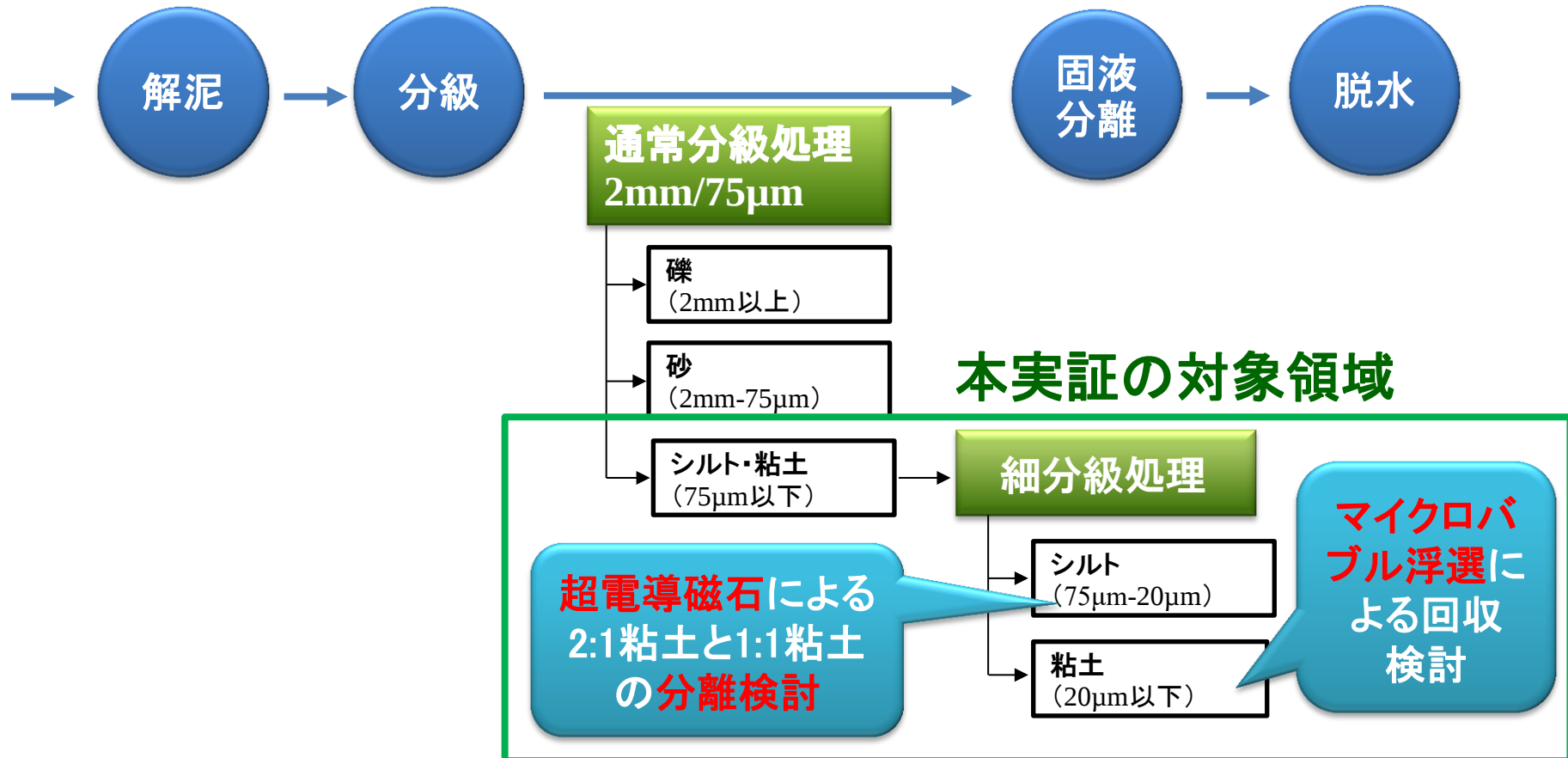


本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ

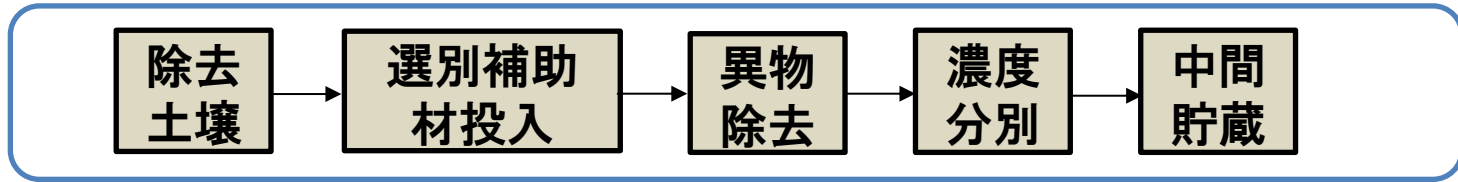


● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ



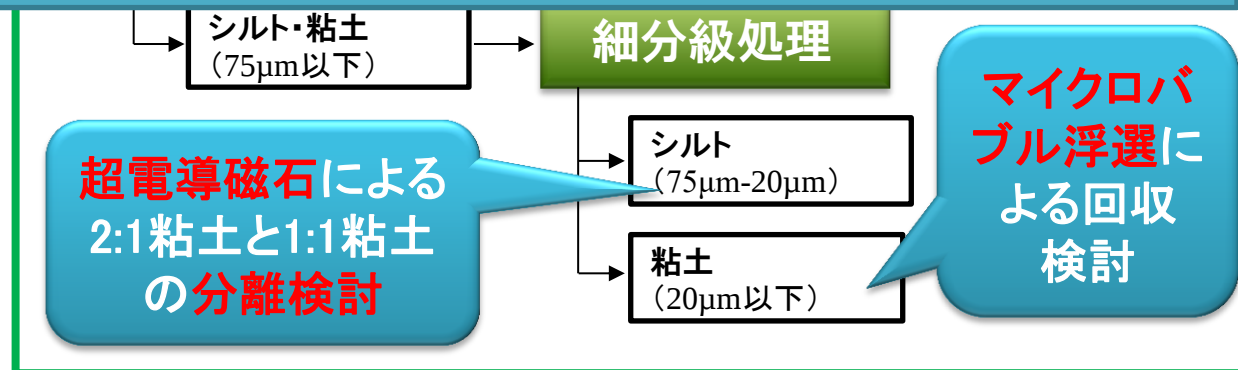
本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ



● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ

熱処理等の高度処理に比べて、
環境負荷が小さく、低コストな方法で、
20～75 μ mの再生利用量を増加させることが目標



・背景

- ・常磁性の性質を持つ2:1型粘土に放射性Csが吸着している
- ・20 μ m以下の微細粒子は通常の凝集沈殿では分離しにくい



・着眼点

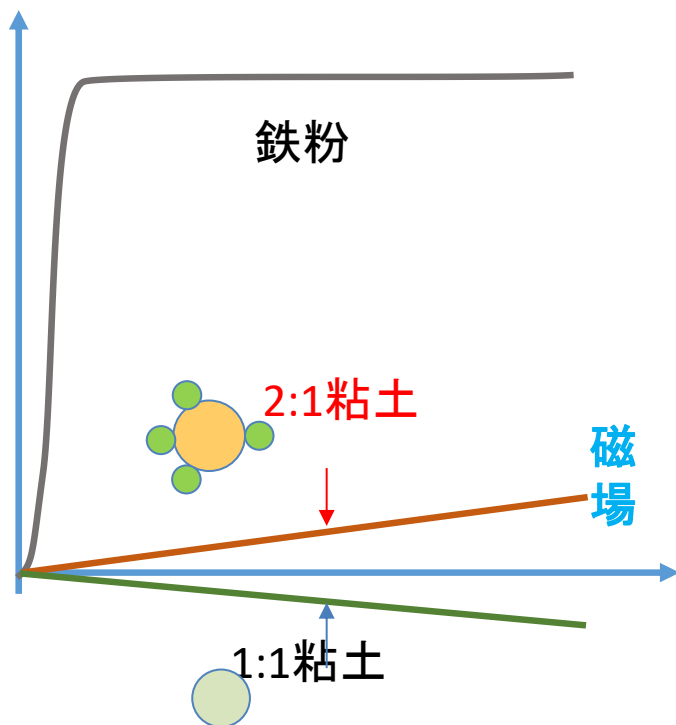
- ・超電導磁石を用いた磁気分離により2:1型粘土を選択的に捕捉分離
- ・マイクロバブル浮選によりこの粘土を効率よく固液分離

→減容化システムの構築を検討

2:1型粘土粒子の磁気分離の原理

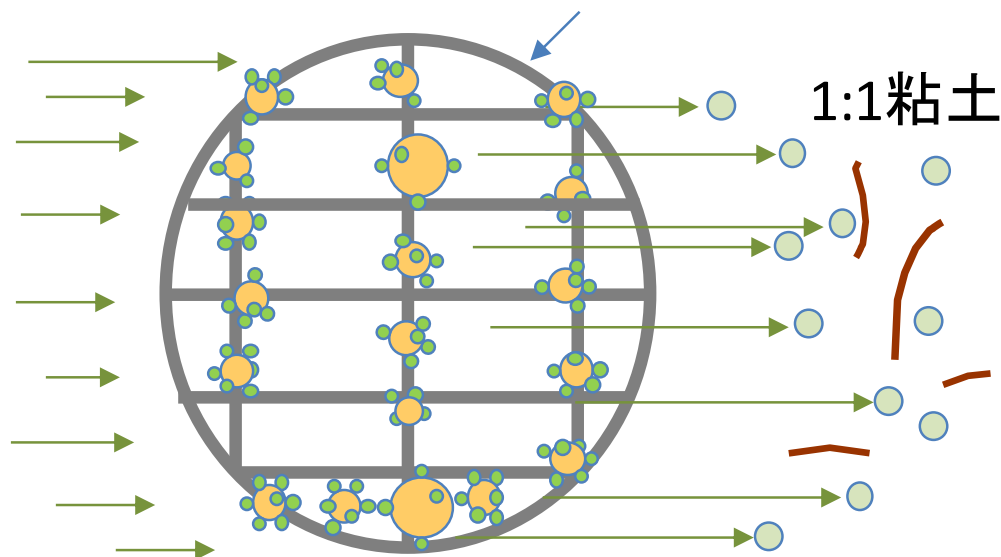
■原理

磁化の強さ
(磁場の中で磁石となる度合)



**2:1粘土は
わずかに磁化する**

超伝導磁石で磁化された
ステンレスメッシュフィルター



Csを吸着した2:1粘土のみ捕捉

2:1型粘土粒子の磁気分離の原理

■原理

磁化の強さ
(磁場の中で磁石となる度合)

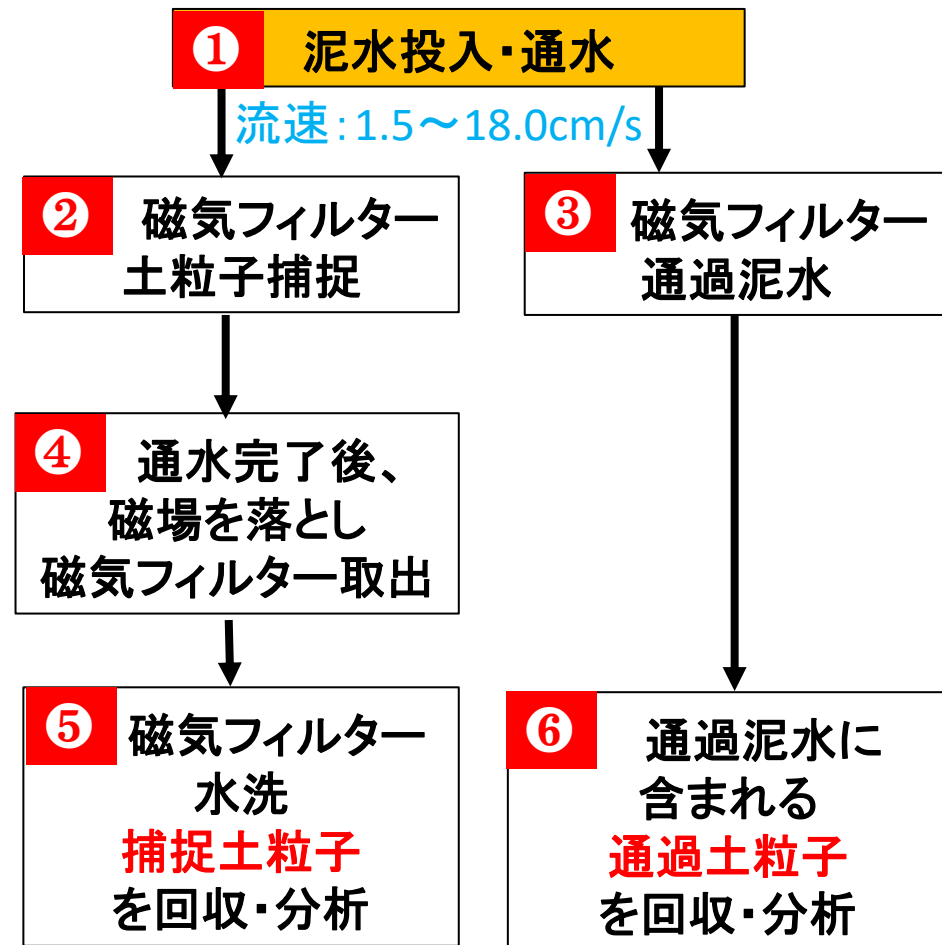
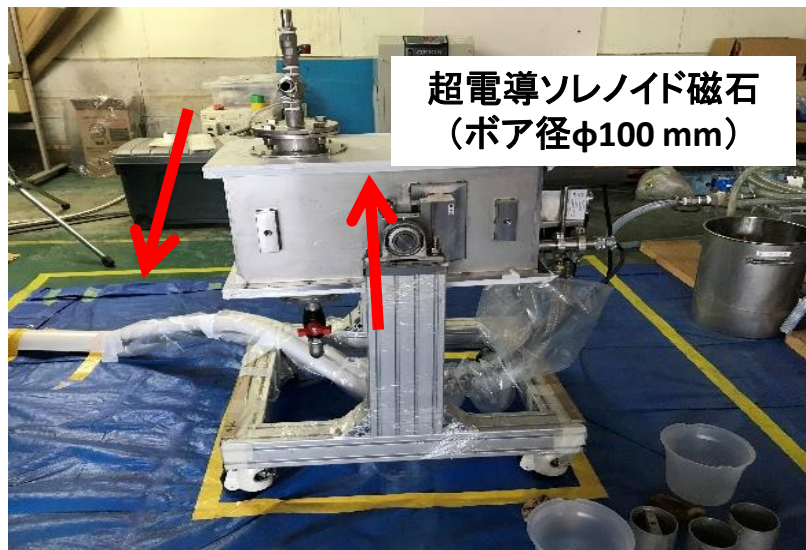
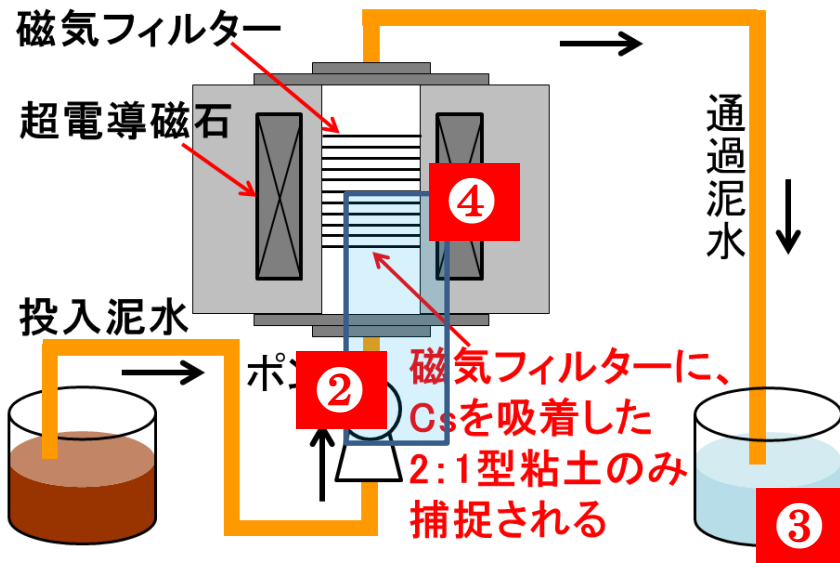
超伝導磁石で磁化された
ステンレスメッシュフィルター



2:1粘土は
わずかに磁化する

Csを吸着した2:1粘土のみ捕捉

磁気分離 (MS: Magnetic Separation) 試験要領



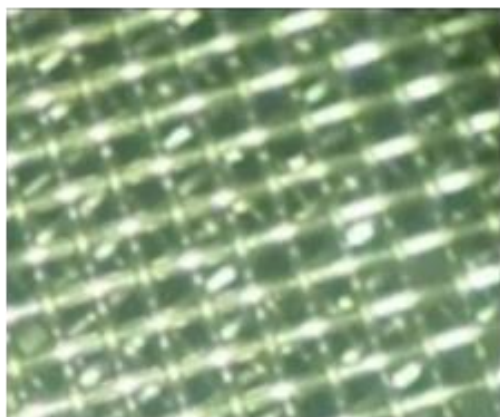
分析項目: 重量、放射性Cs濃度

試験結果(磁気フィルターと土粒子捕捉状況)

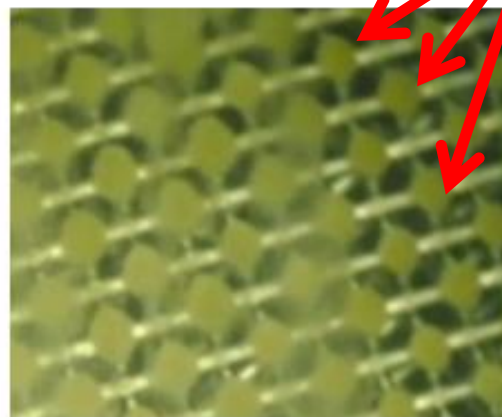
磁気フィルター

粒径	基本仕様
20 μ m未満	90メッシュ、線径:100 μ m
20～75 μ m	20メッシュ、線径:500 μ m

メッシュ:1inch(25.4mm)におけるフィルター線の本数



捕捉前



2:1型粘土

捕捉後

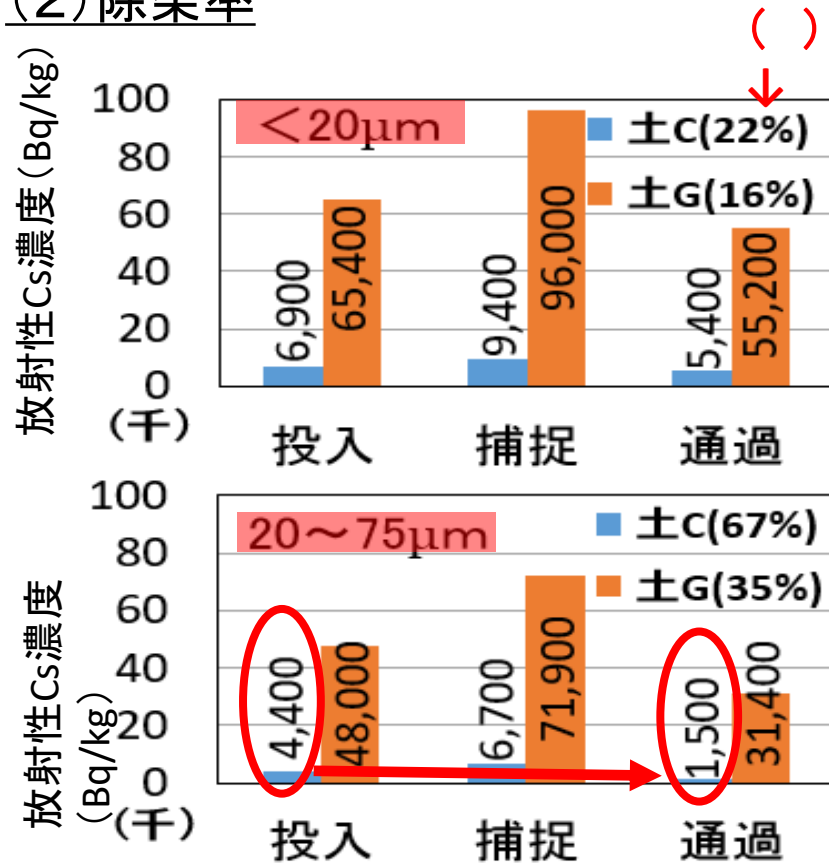
土粒子の捕捉状況(マイクロスコープ写真)

磁気分離 試験結果 (MS2、MS3) (1/2)

(1) 磁気フィルターの最大捕捉量

20 μ m未満: 0.011g/cm² 20～75 μ m: 0.036 g/cm² ← **約3倍の捕捉量**

(2) 除染率

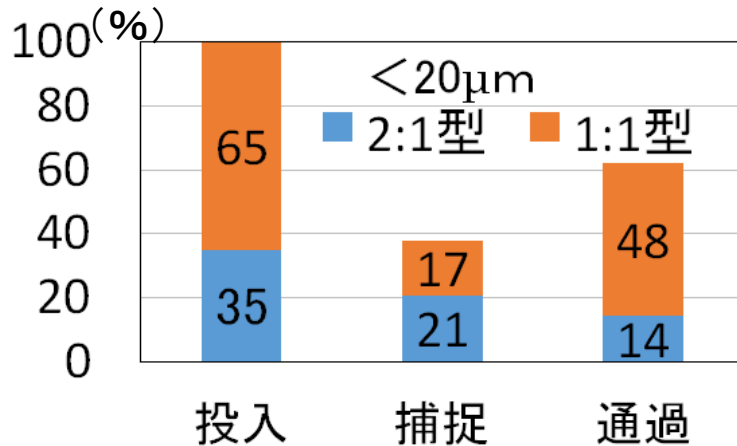


- ・除染率の最大値は67%
(4400Bq/kg → 1500Bq/kg)
- ・20～75 μ mの平均は50%
- ・磁気分離によって吸着することは確認できたが、その除染率の向上が課題となった

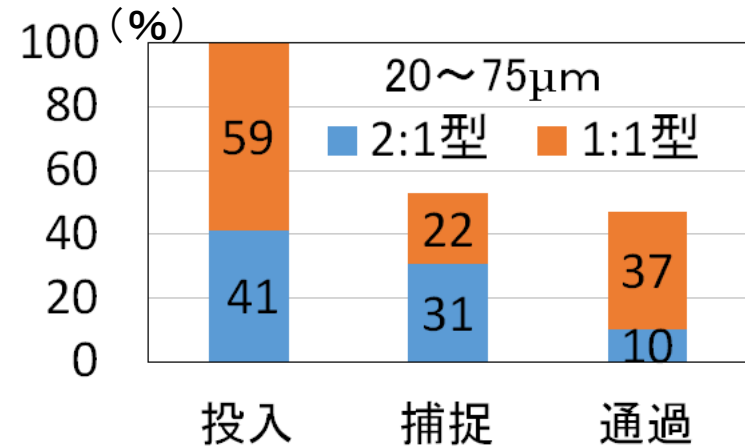
磁気分離 試験結果 (MS2、MS3) (2/2)

(3) 投入・捕捉・通過土の1:1型粘土と2:1型粘土の存在比率の分析

20 μ m未満: 60% (=21/35) ➡ 通過40%



20～75 μ m: 76% (=31/41) ➡ 通過24%



課題: Csを吸着した2:1型粘土粒子が捕捉されずに通過。
原因: 2:1型と1:1型の粘土粒子が有機物により凝集・団粒化。

令和3年現在、流速やフィルター線径、粘土粒子の団粒構造対策によって2:1型粘土を選択的に吸着する成果が得られている

磁気分離結果と課題まとめ

結果:

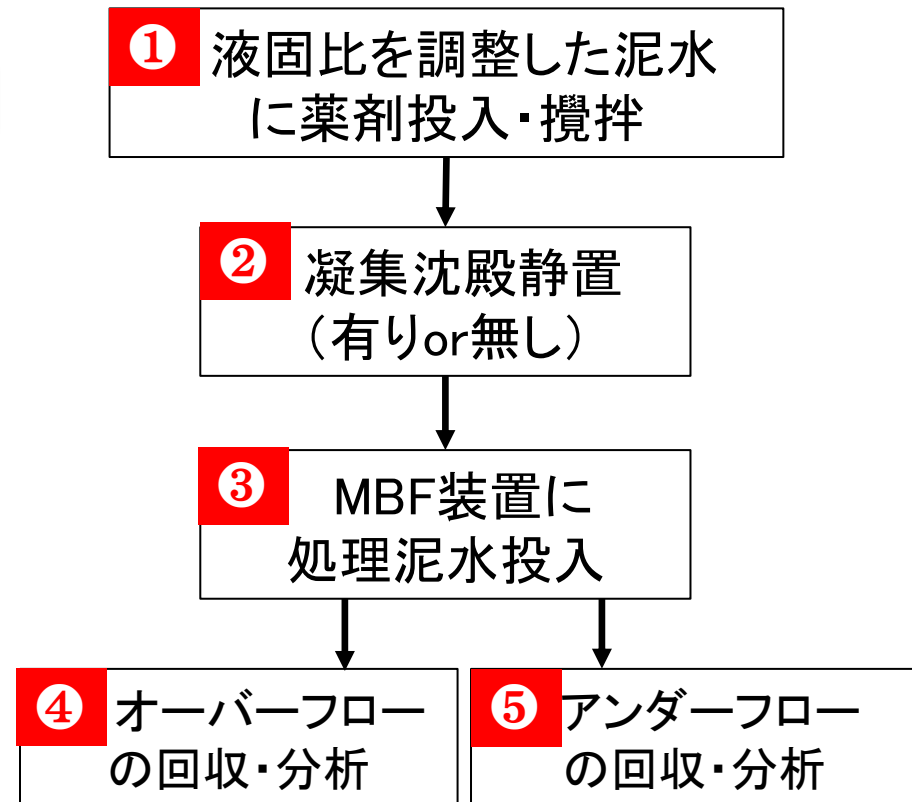
- ① 磁気分離装置により捕捉することが技術的に可能であることが実証された。

課題:

- ① 20 μ m以下の細粒分の捕捉率を上げるには、処理速度を抑える必要がある。
- ② 2:1型粘土をフィルターで捕捉できるものの、分離精度が低いため、**2:1型粘土と1:1型粘土の凝集団粒化への対応が必要。**

その後の研究:

- ① 20－75 μ mの分離に範囲を絞って、フィルターの最適化を実施。団粒化を解砕すれば、分離精度が向上することを確認した。



分析項目: 重量、放射性Cs濃度、
化学分析 (pH、有機物含有量など)

マイクロバブル浮選結果と課題

結果:

- ①大型水槽試験でも、事前の小型室内試験と同じ水槽容積比の泥水流量で性能発揮することが確認できた。
(ともに水槽容積分の泥水を1時間で処理)

課題:

- ①処理水(アンダーフロー)の循環利用による薬剤や、
土壌に含まれる塩類等の濃縮の影響確認と対策検討
- ②実用化に必要な自動化や前後処理に必要な装置設計

ご清聴ありがとうございました

100年をつくる会社



環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会第17回講演会
併催「減容化・再生利用と復興を考える知のネットワーク会合」
～技術実証事業成果発表会(第1回)～

平成31年度
除去土壌中の放射性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

鹿島建設株式会社
環境本部 環境ソリューショングループ
辻本 宏

本発表内容は、中間貯蔵・環境安全事業(株)が環境省より受託した
平成31年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果の一部です。

再生利用に向けた本技術の適応イメージ

中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回)

ケースⅣの物質収支の詳細

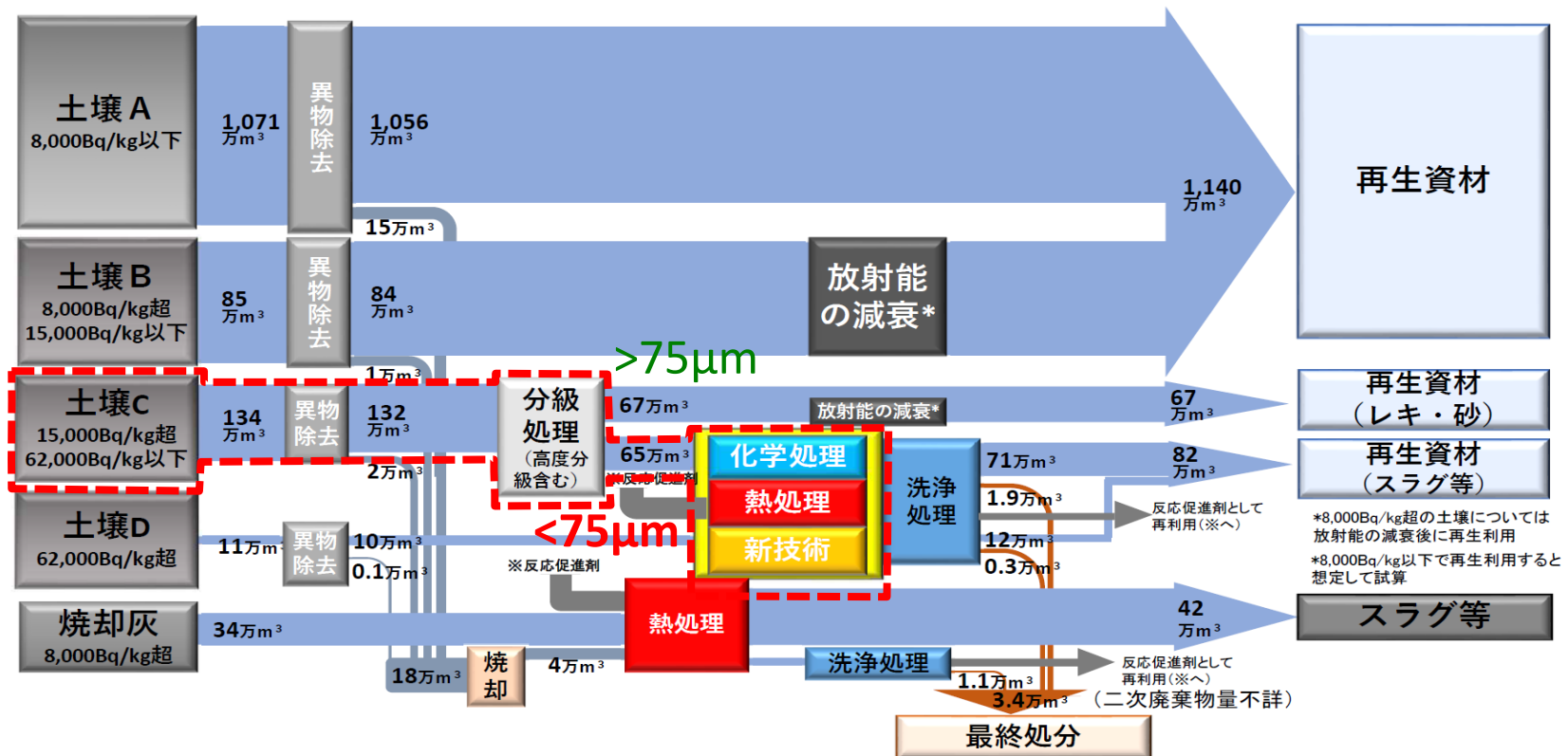


図1-1 処理シナリオ

※図中の放射能濃度は2018年10月末時点での評価。
また、図中の物量は、四捨五入し、整数値で表記。
但し、計算にあたっては小数点以下も考慮しているため、
図中に記載した整数値のみの計算とは必ずしも一致しない。

再生利用に向けた本技術の適応イメージ

中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回)

ケースⅣの物質収支の詳細

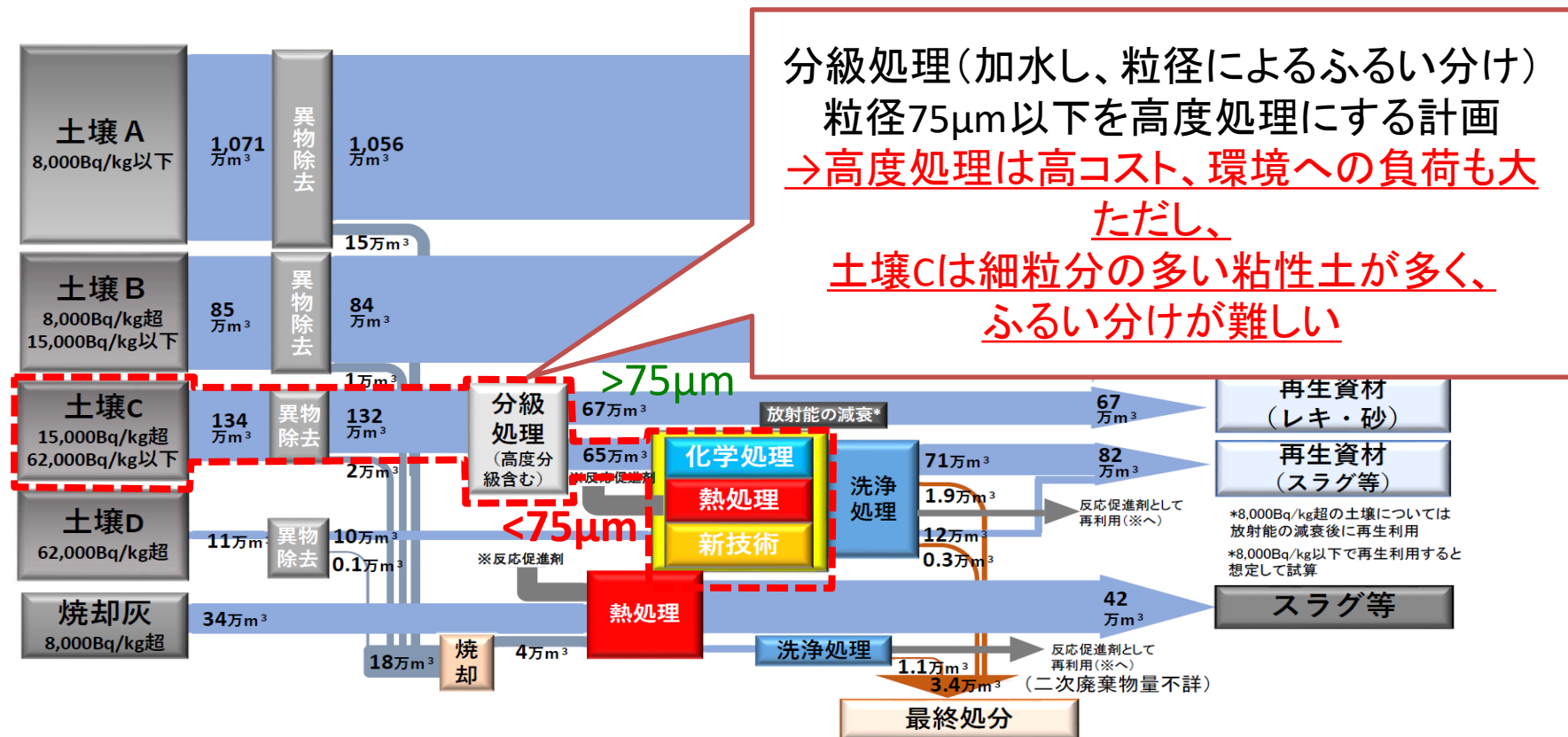
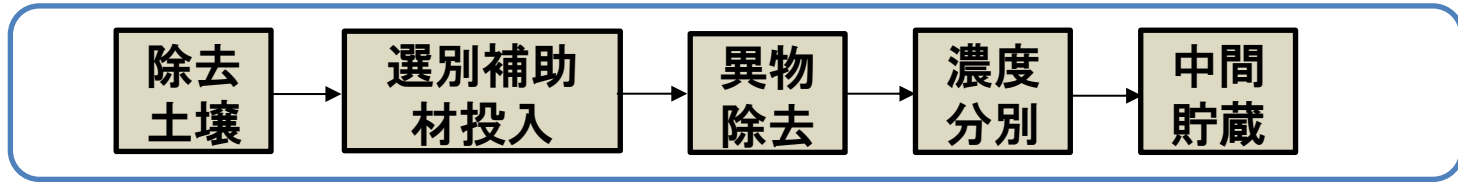


図1-1 処理シナリオ

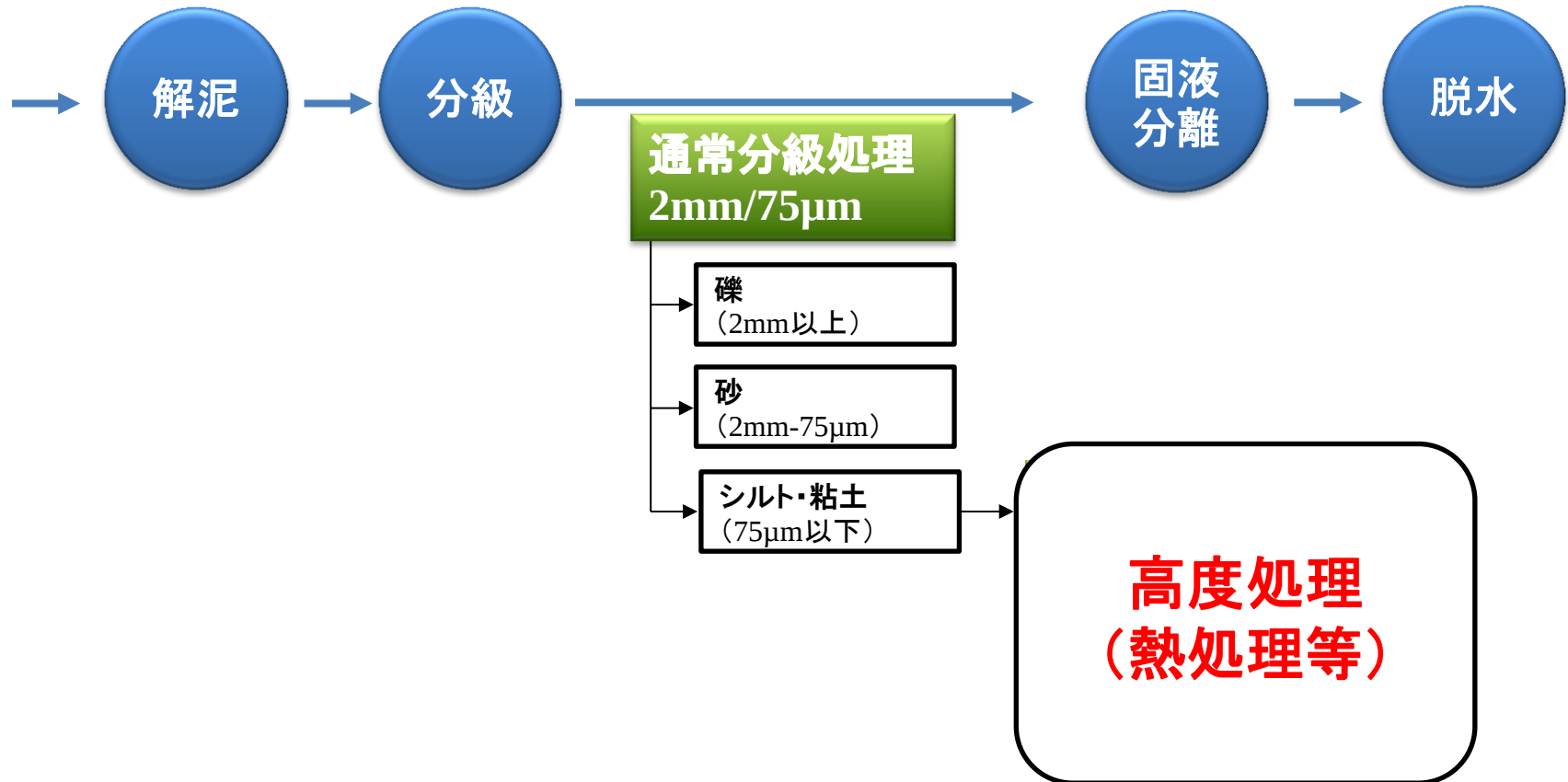
※図中の放射能濃度は2018年10月末時点での評価。
また、図中の物量は、四捨五入し、整数値で表記。
但し、計算にあたっては小数点以下も考慮しているため、
図中に記載した整数値のみの計算とは必ずしも一致しない。

本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ

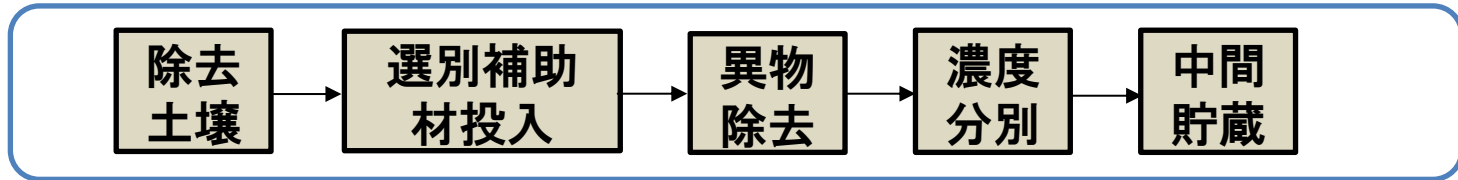


● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ

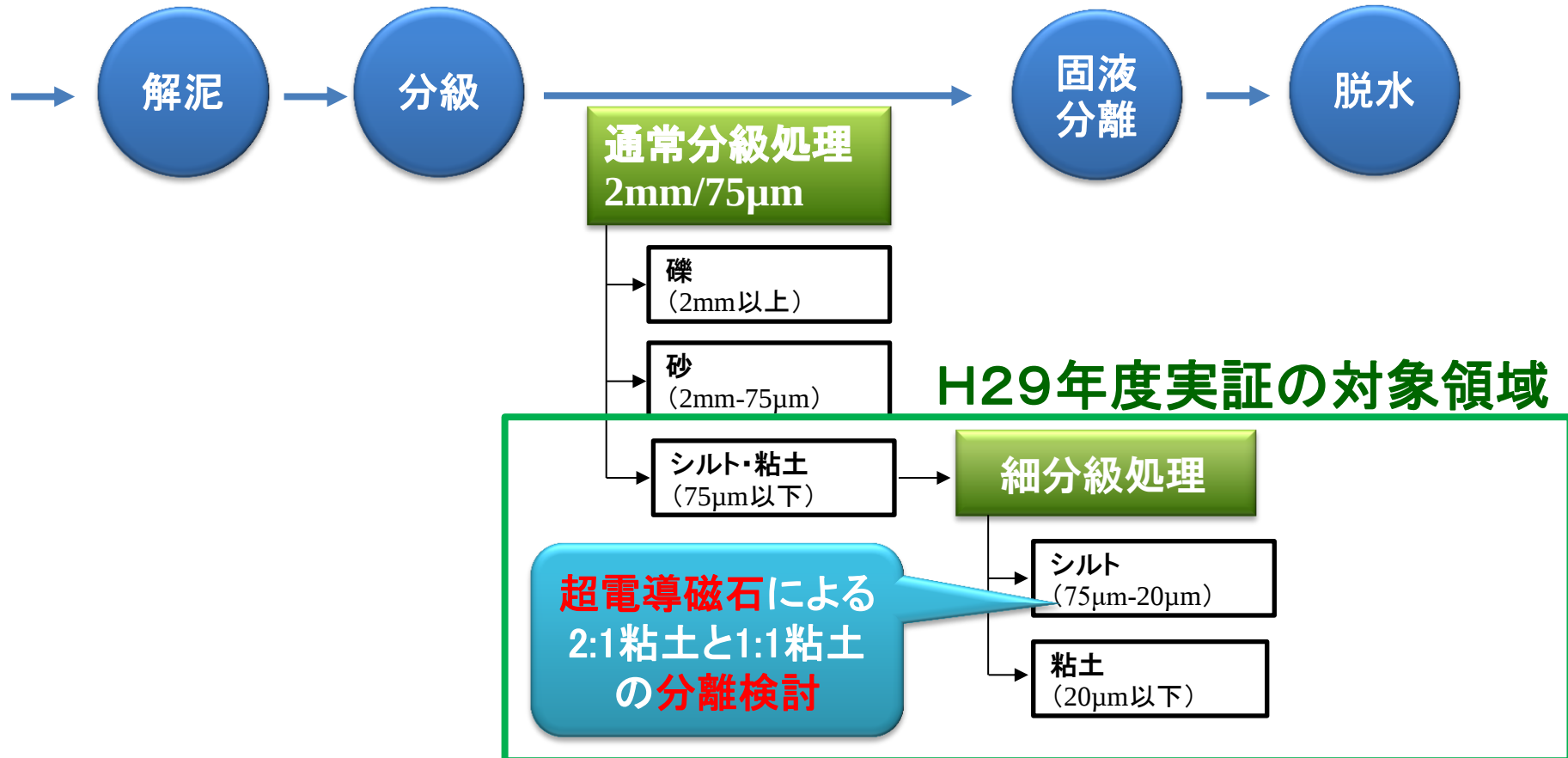


H29年度の技術開発の位置づけ

●中間貯蔵施設における受入時の流れ

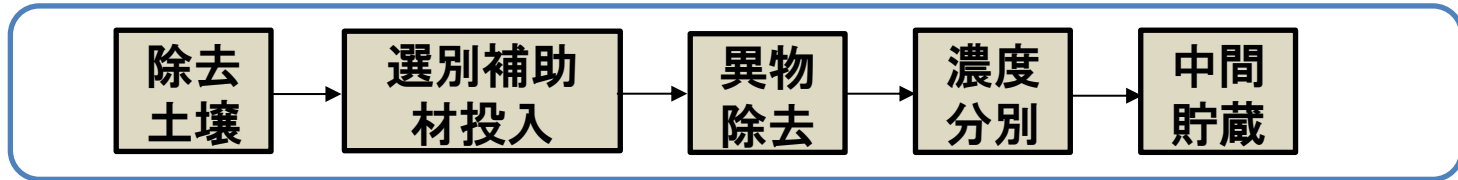


●土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ

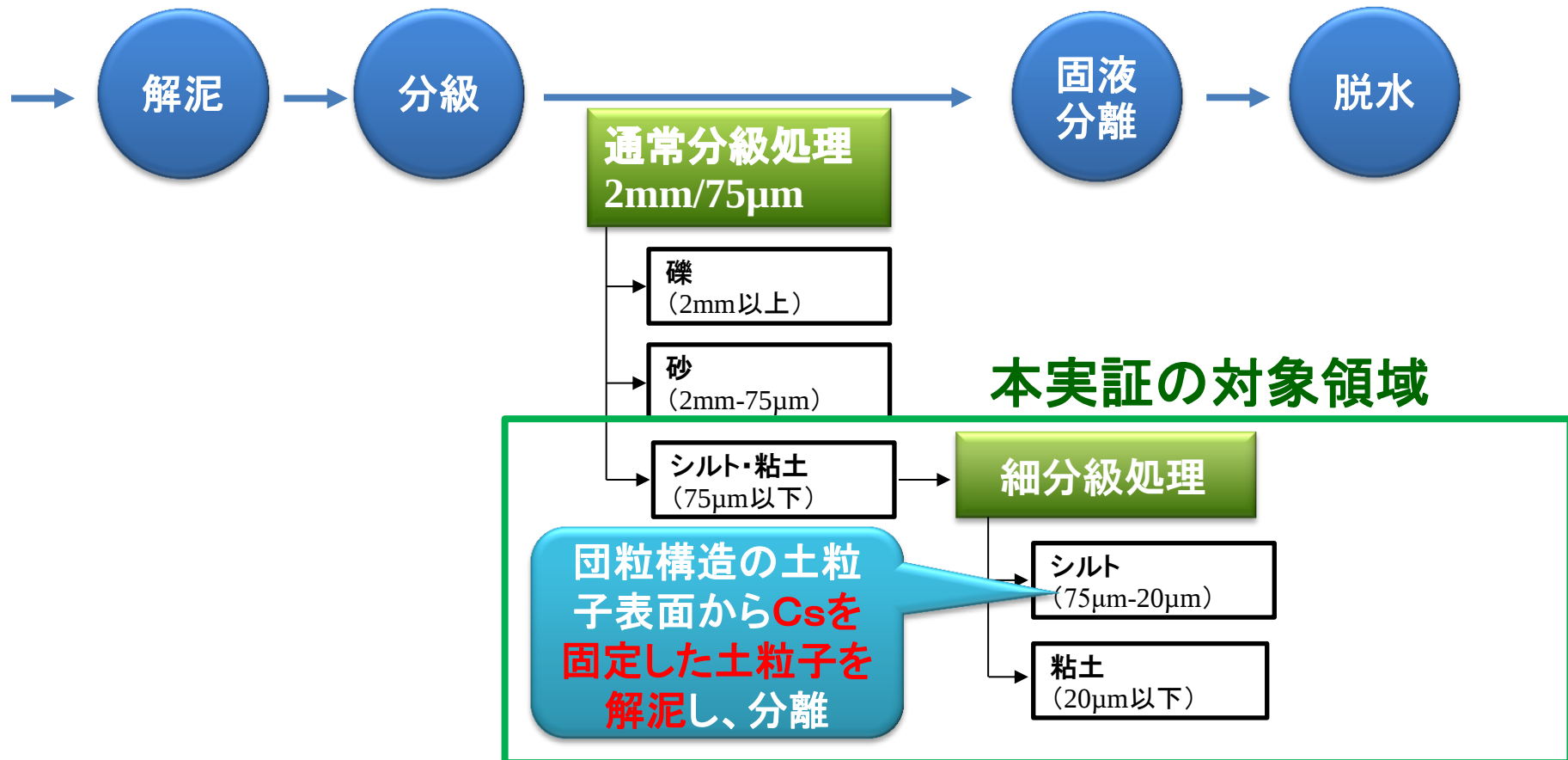


本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ

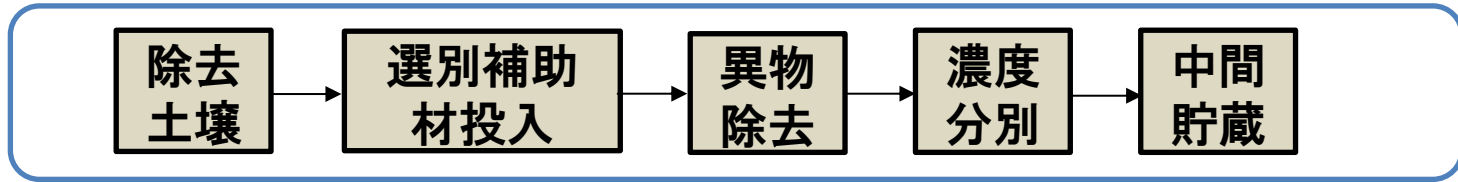


● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ



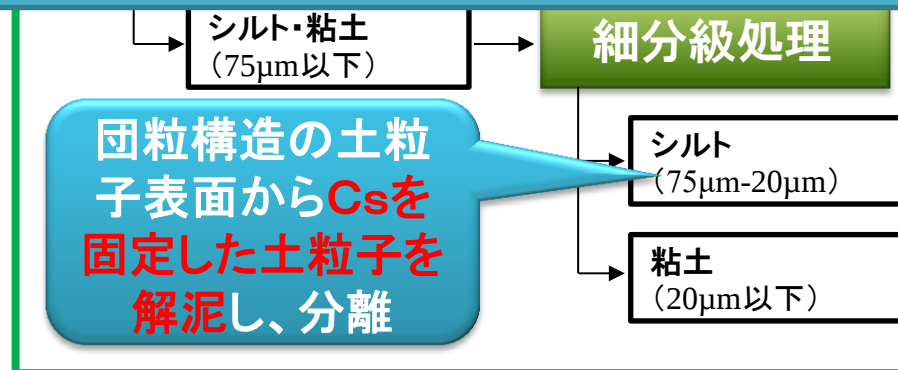
本技術開発の位置づけ

●中間貯蔵施設における受入時の流れ



●土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ

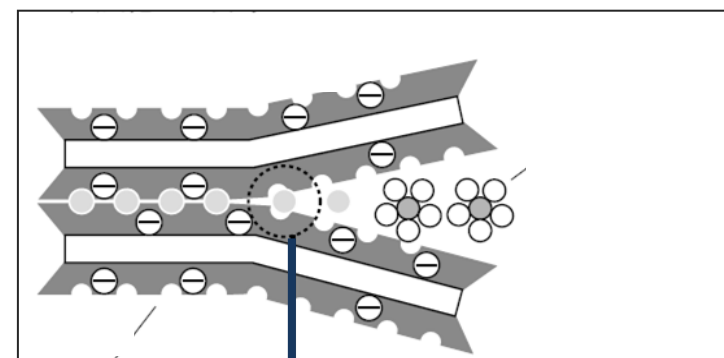
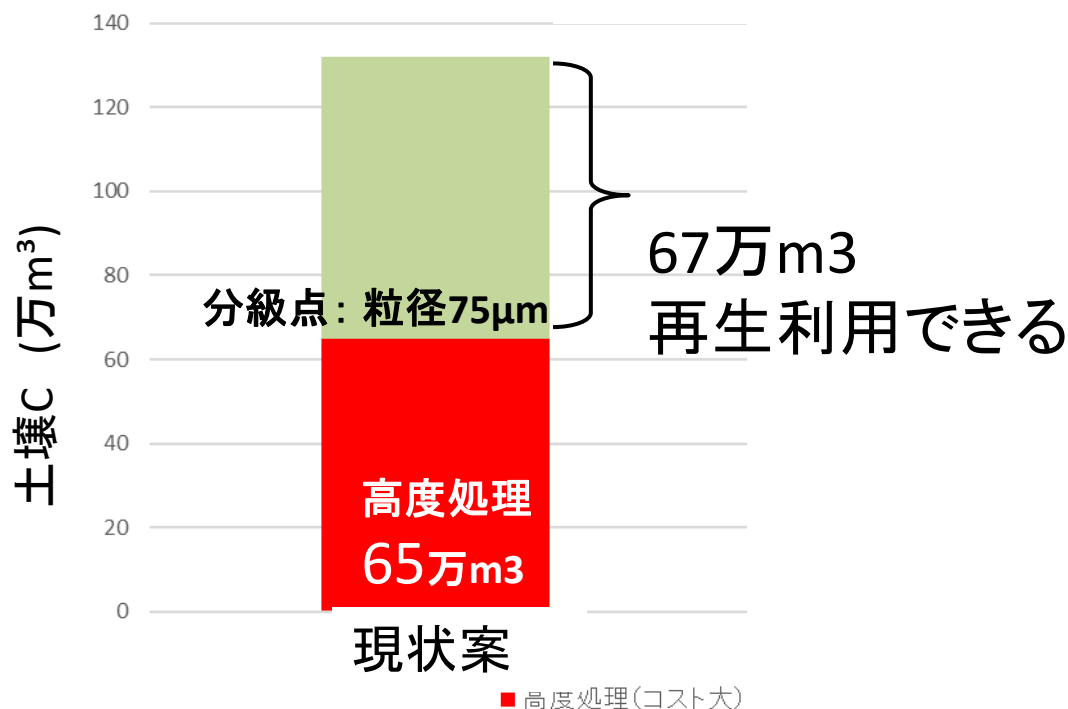
熱処理等の高度処理に比べて、
環境負荷が小さく、低コストな方法で、
20～75 μ mの再生利用量を増加させることが目標



着目点

■高度処理される土を減らし、再生利用量を増やせないか！？

現状は、粒径が小さい2:1型粘土粒子にCsは多く存在しているため、分級点を 粒径 $75\mu\text{m}$ とし、 $<75\mu\text{m}$ の分画にCsを集約させて、約50%の65万 m^3 の土を高度処理する検討がなされている。



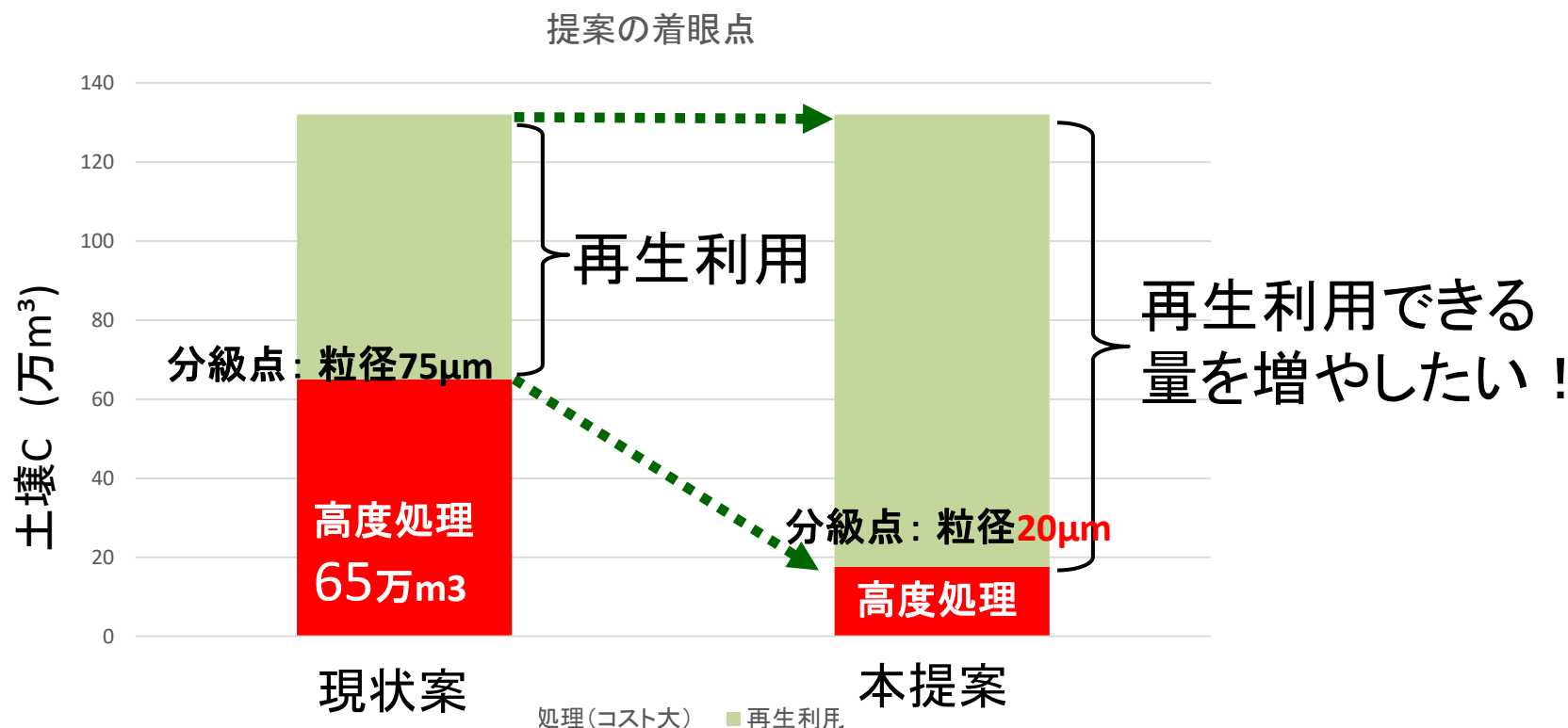
2:1型粘土のフレッドエッジサイト
Cs選択制が高くCsを固定

分級点を $75\mu\text{m}$ とした場合の再生利用量と高度処理量

着目点

■高度処理される土を減らし、再生利用量を増やせないか！？

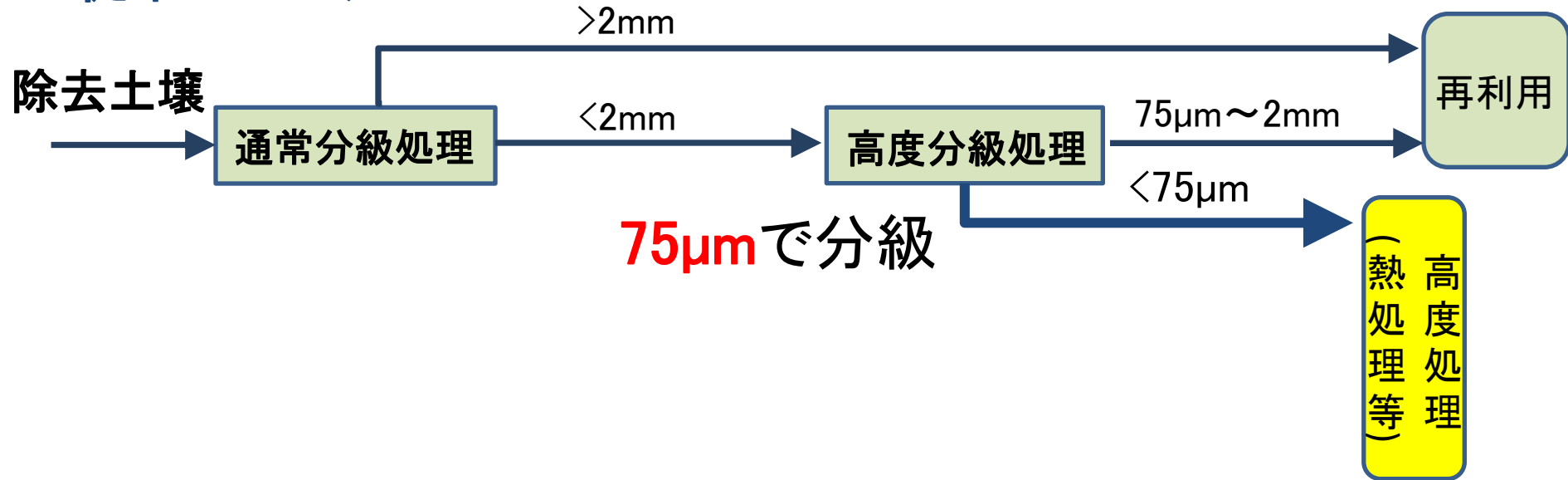
Csを固定した2:1型粘土粒子は数 μm 程度の大きさなので
分級点を 粒径 $75\mu\text{m}$ → $20\mu\text{m}$ にするという発想



分級点を小さくした場合の再生利用量と高度処理量

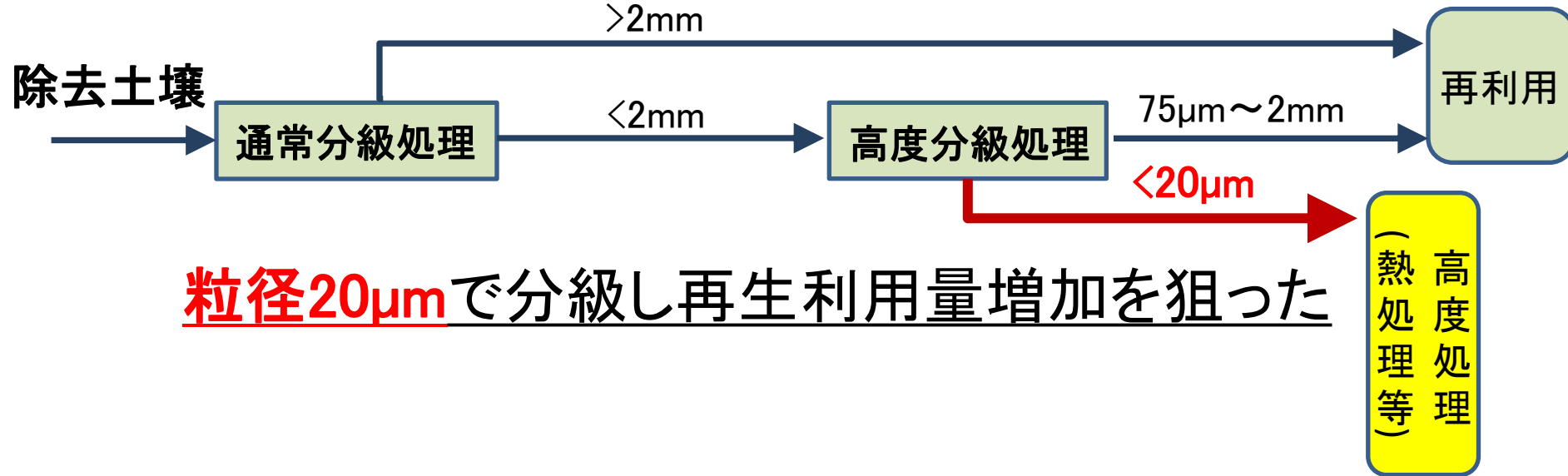
20～75 μ mの再生利用システムの概要①

■従来のシステム



20～75 μ mの再生利用システムの概要②

■平成31年度JESCO実証では



20～75 μ mの再生利用システムの概要③

■平成31年度JESCO実証では

>2mm

除去土壤

通常分級処理

<2mm

高度分級処理

75 μ m～2mm

再利用

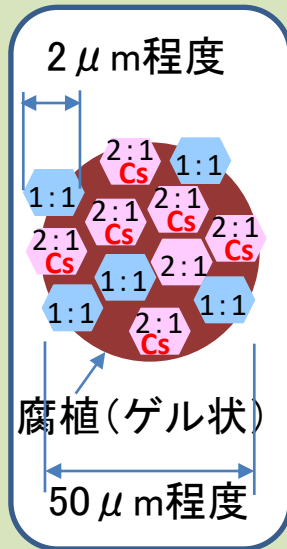
提案した技術

<75 μ m

A 団粒している土

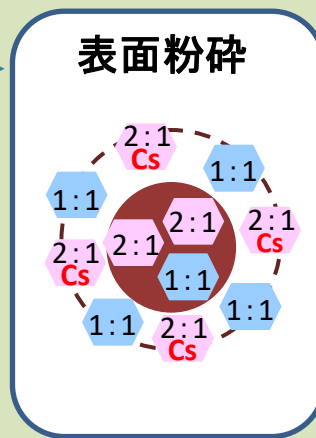
B 解泥による処理

D 処理後物の目標



解泥装置

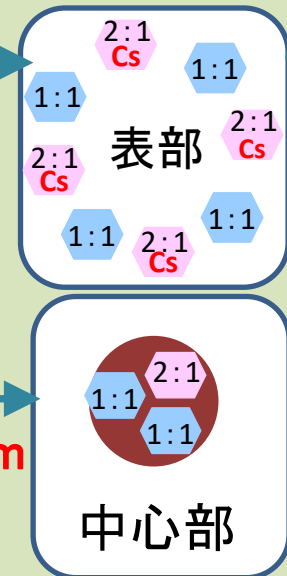
Cs: 放射性セシウム



<20 μ m

分級処理

20～75 μ m



(熱処理等)
高度処理

<20 μ m

20～75 μ m

目標: 20～75 μ mの団粒を解泥し、表面のCsを含んだ2:1型粘土を分離するシステムの性能検証

凡例

1:1
2:1
Cs

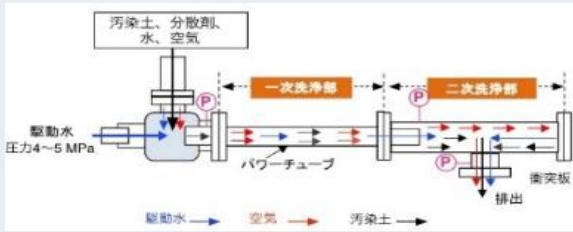
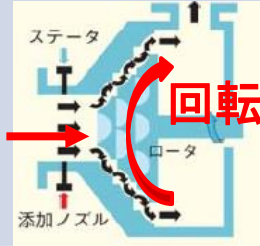
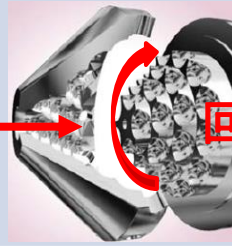
1:1型粘土
2:1 2:1型粘土

腐植

解泥装置の比較試験

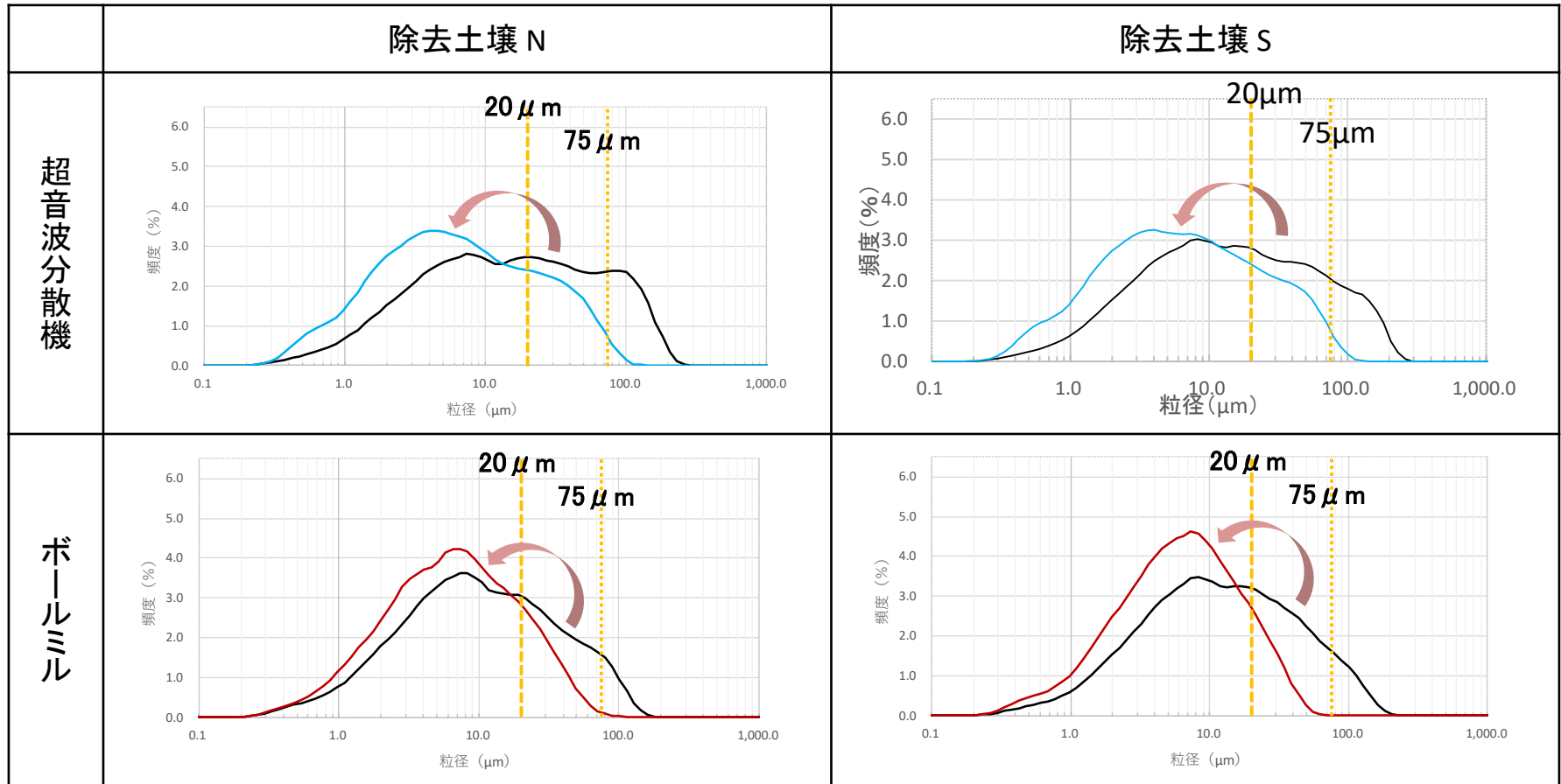
■ 解泥装置

表- 試験対象の解泥装置

	名称	メカニズム・外観等	
①	ボールミル (ベブルミル)		 ペブル(数mmの礫) ミルを回転させペブル(2mmの礫)と土のせん断によって土表面を解泥
②	高圧 エジェクター		土壤泥水と空気を混合させ高圧で衝突板にぶつけて表面を解泥
③	シェアミキサー	 	食品の乳化混合等に使われているせん断攪拌によって表面を解泥
④	超音波分散機	 	土壤泥水を高速で振動する超音波分散機に接触させ、土壌表面を解泥

試験結果①(解泥効果の確認)

- ・農地土壌の解泥前後の粒度分布の比較。<20 μ mの細粒分が増加。
- ・分級点は20 μ mが合理的であることが確認できた。



—— 解泥前 — ボールミル解泥後 — 超音波分散器解泥後

図-解泥装置毎・土壌毎に、最適運転条件で解泥した場合の粒径別体積割合の変化

試験結果②(除染率と再生利用率の関係)

- ・装置選定には、除染率及び、再生利用可能土残存率(dry:%)を評価する。
- ・除染率の向上と再生利用率の向上はトレードオフの関係にあり、ボールミルと超音波分散機の性能は、除染率では同等であるが、再生利用可能土残存率は、超音波分散機が良いことが分かった。

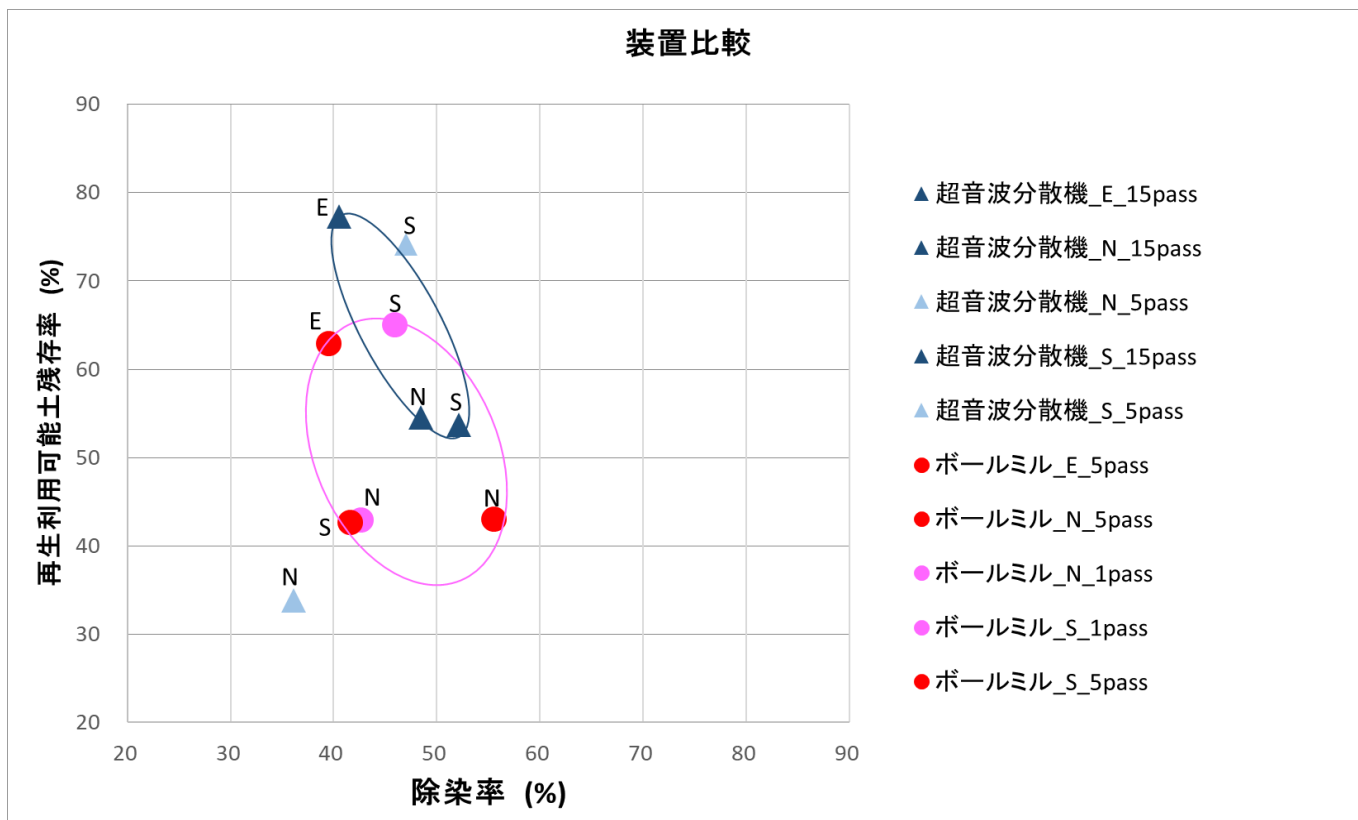


図-評価例(縦軸:再生利用可能土残存率、横軸:除染率)

実用化検討①（再生利用可能な土量の試算）

- ・2018年時点の放射能濃度は、超音波分散機で解泥する場合は24,800Bq/kg、ボールミルで解泥する場合は26,600Bq/kg未満であれば、2045年時点で20-75 μ mを8,000Bq/kg以下に低減可能。これに合致する除去土壌の量、再生利用可能土残存量(m³)を算定。

表-再生利用可能土残存量(m³)の試算

	A	B	C	D	E
	解泥対象となる 放射線濃度未満の 除去土壌中の 粘性土量 (m ³)	A:のうち、 <75 μ mの土量 (m ³)	B:のうち、 20-75 μ m土量 (45%と仮定) (m ³)	再生利用 可能土残存率 (%)	再生利用 可能土残存量 (有機分10%を除く) (m ³)
超音波分散機	668,400	370,800	167,000	59	88,000
ボールミル	730,600	405,300	182,000	43	70,000

※<75 μ mのうち、20 μ m～75 μ mと<20 μ mの存在量比を 45:55と仮定

①75 μ mではなく20 μ mで分級する効果

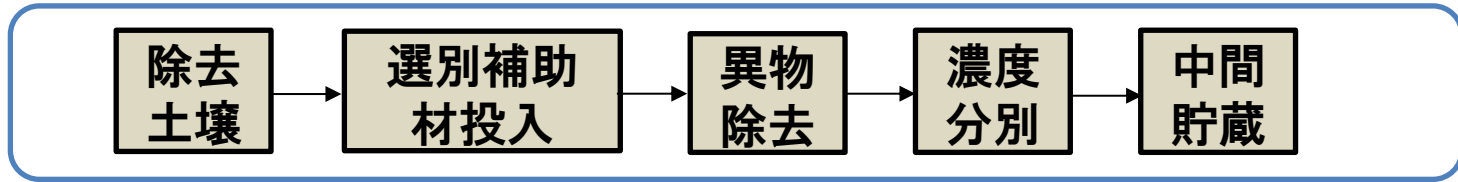
- ・解泥により粒径20 μ m～75 μ m土壌の再生利用の可能性を確認した。
- ・解泥装置はボールミルと超音波分散機が良好な結果であった。

②今後の検討課題

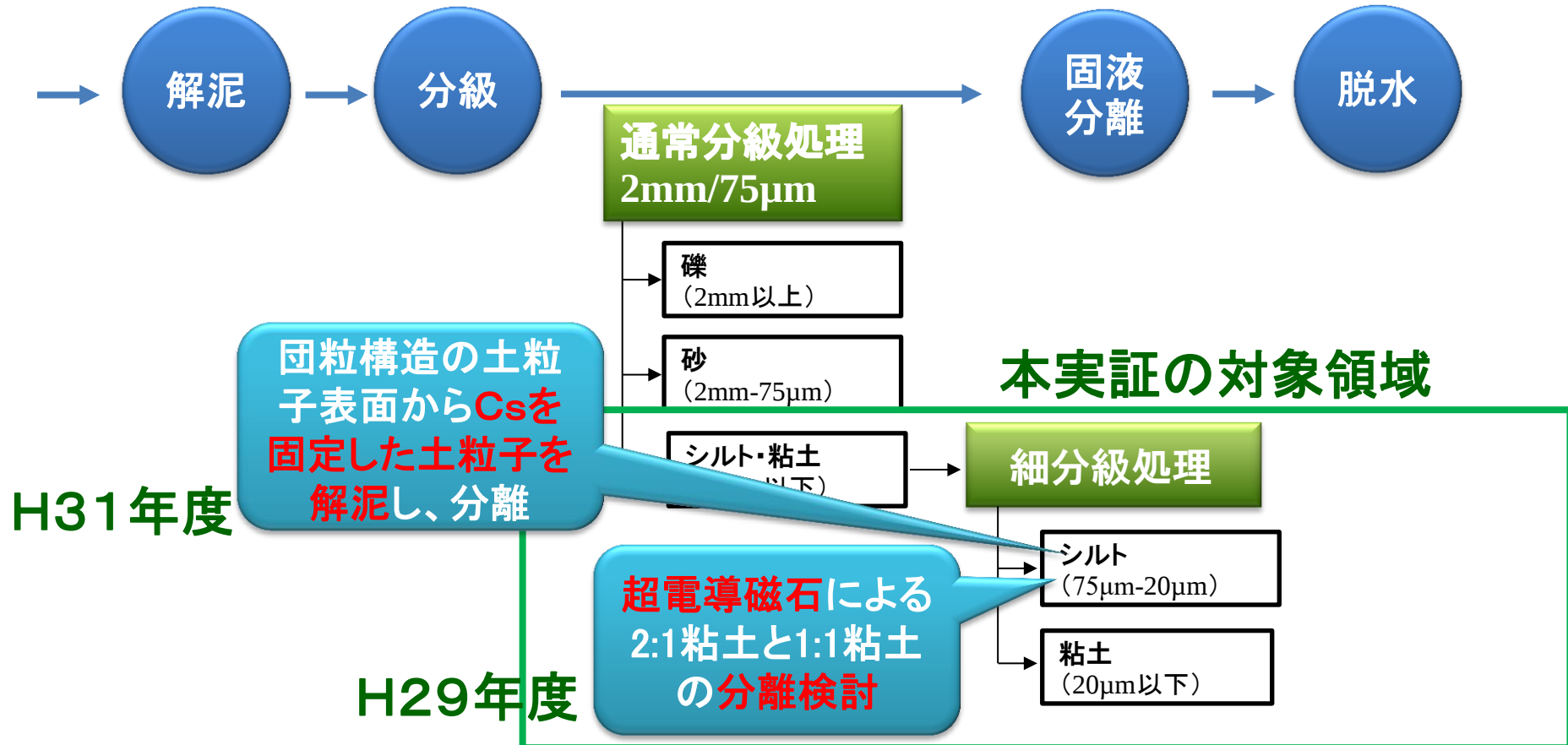
- ・実システムの検討のため、実際の除去土壌Cに近い放射能濃度の土壌で、実証試験を行う必要がある。
- ・本実証事業では75 μ m以下の土に対する解泥手法の検討に主眼を置いたが、その後の継続的な研究の結果、ペブルミルによる解泥を2段階にするなどの工夫により砂礫分の除染率の向上が可能であることが確認できている。実証試験が必要であると考えている。

本技術開発の位置づけ

● 中間貯蔵施設における受入時の流れ



● 土壌Cを再生利用する場合に必要な分級洗浄の流れ



ご清聴ありがとうございました

100年をつくる会社



減容化・再生利用と復興を考える知のネットワーク 会合

平成28年度除染土壤等の減容等技術実証事業(その4)

熔融技術による分級後細粒土壌の 高度減容化処理に関するプラント実証評価

令和3年1月29日

クボタ環境サービス株式会社

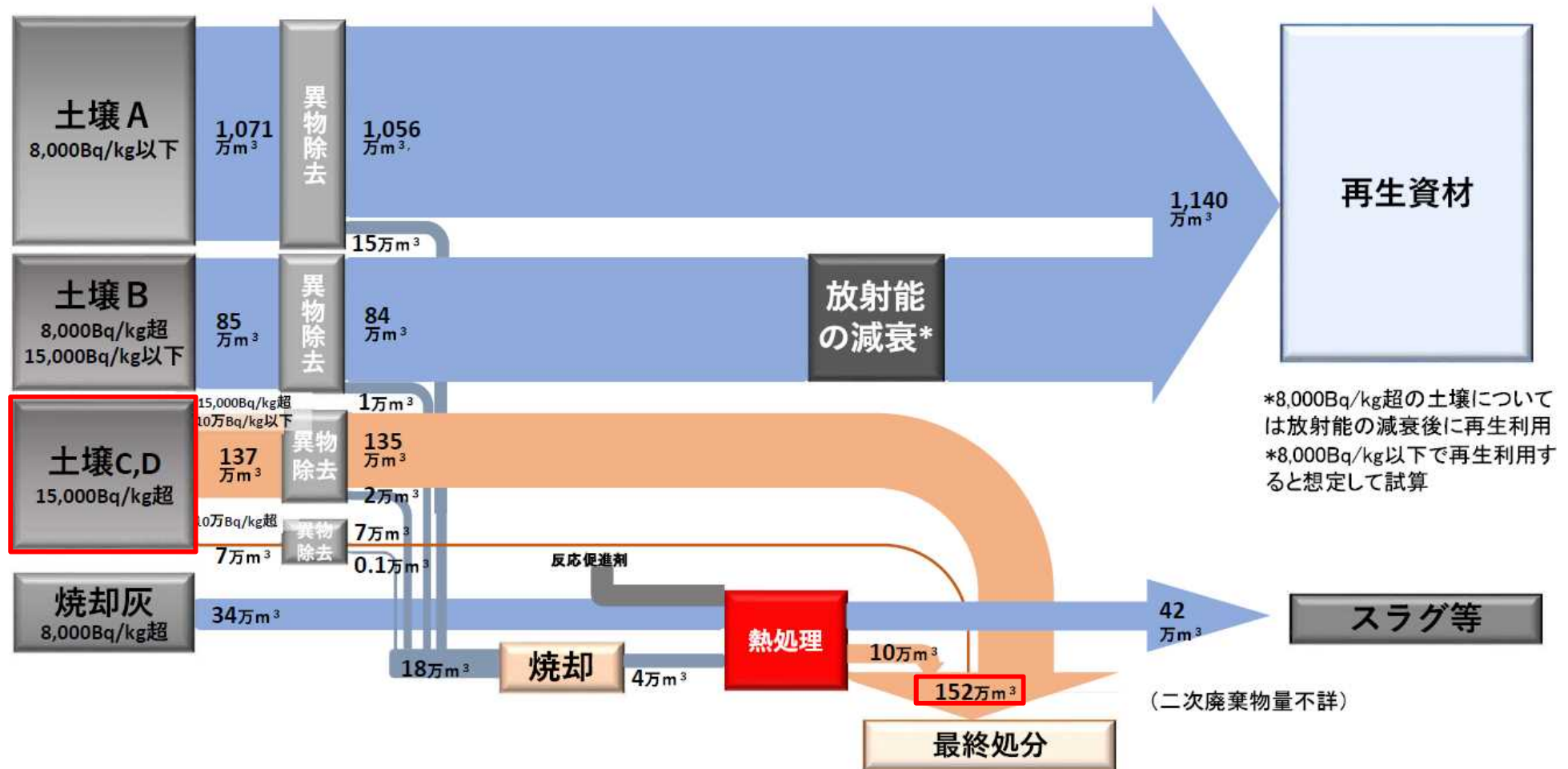
本発表内容は、中間貯蔵・環境安全事業(株)が環境省より受託した
平成28年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果の一部です。

除去土壌等の最終処分量に関する試算

環境省による物質収支試算

[出典]環境省:中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回) 資料4

＜ケースⅠ 土壌C、Dの減容化を実施しない場合＞



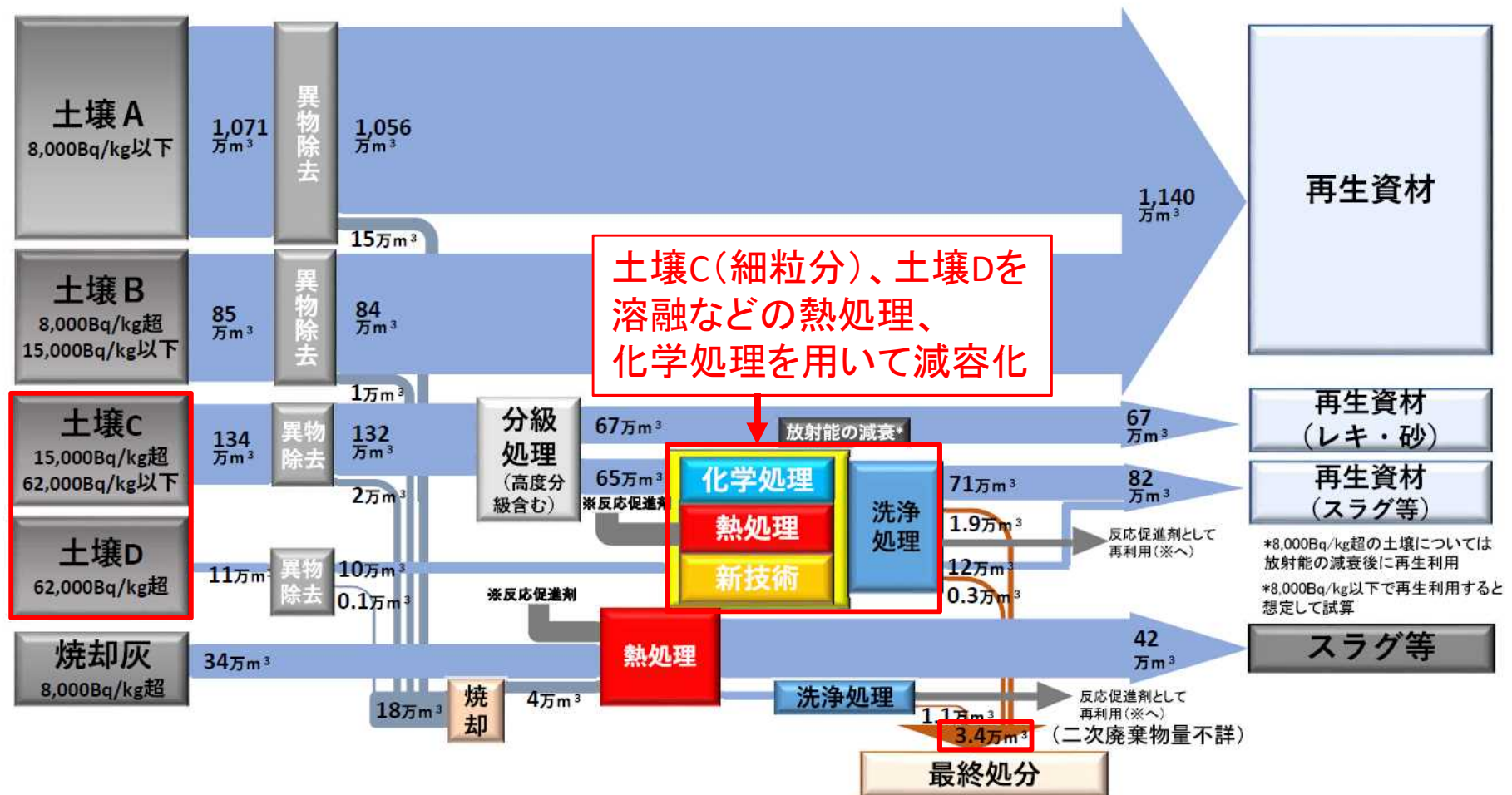
減容化を実施しなかった場合の最終処分量は152万m³

除去土壌等の最終処分量に関する試算

環境省による物質収支試算

[出典]環境省:中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第9回) 資料4

＜ケースⅣ 土壌C(細粒分)、土壌Dに減容化処理を施した場合＞



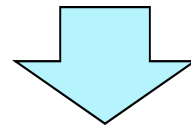
溶融などの熱処理により最終処分量を152→3.4万m³に低減可能(約1/45) ₃

熔融技術とは？

固形物を融点以上の温度(1,300℃～)でマグマ状態に溶かし、冷却してガラス状固体のスラグに変換する熱処理技術

<機能>

- ① 環境安全性の高い処理物(スラグ)への変換
- ② 有機物(ダイオキシンなど)の分解
- ③ 低沸点無機元素(アルカリ金属、重金属)の揮散分離



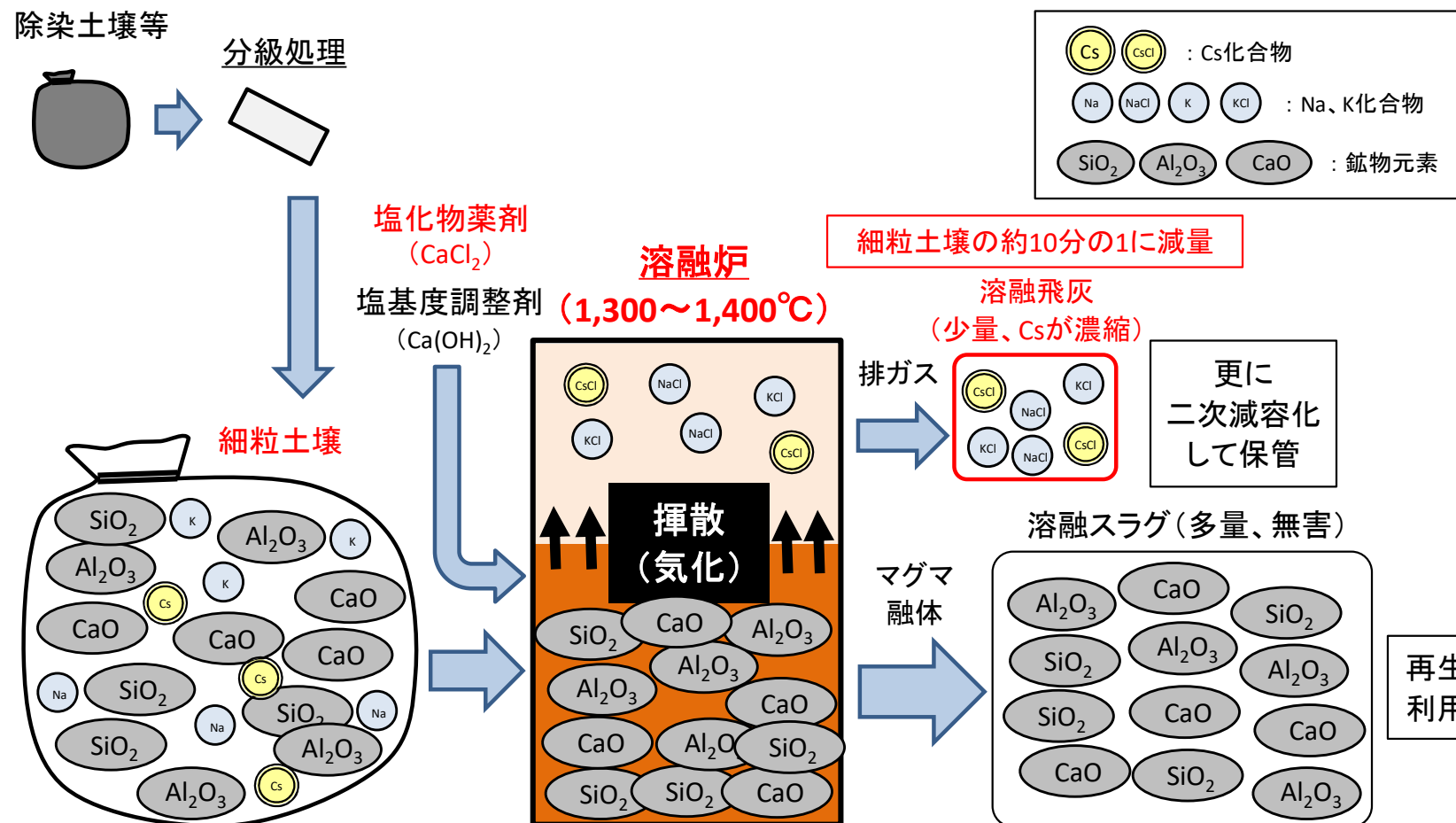
ごみ、下水汚泥向けに1970年代から導入
⇒ [2018年時点で稼働中の熔融施設数]
ごみ:216施設、下水汚泥:16施設

熔融技術による細粒土壌の高度減容化

細粒土壌に塩化物薬剤を添加して $1,300\sim 1,400^{\circ}\text{C}$ で熔融

⇒ 放射性Csが沸点の低いCsClに変化し、炉内で揮散（気化）

⇒ 排ガスの冷却に伴いダスト化し、熔融飛灰として少量濃縮

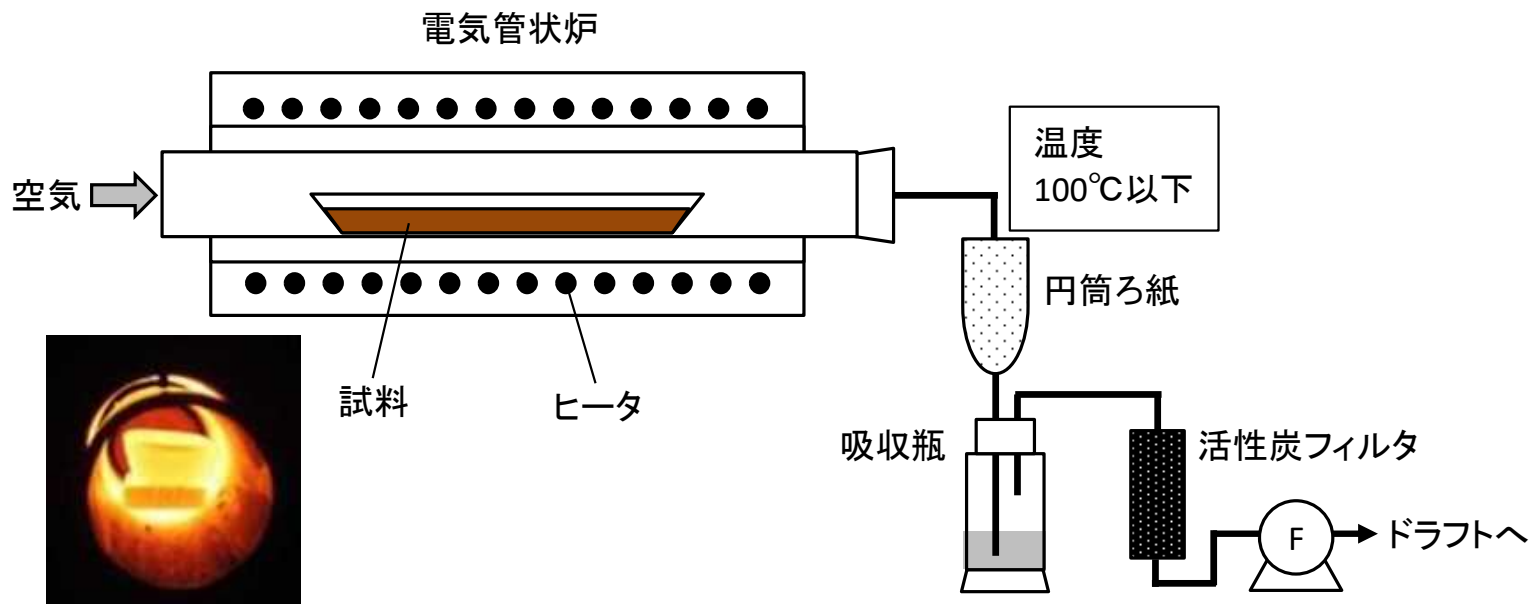


細粒土壌でのラボ試験 ―試験方法―

- 土壌試料：福島県内の水田土壌の細粒分(<0.075mm)
- 試験装置：電气管状炉(内径φ50mm、空気 2L/min)
- 試験方法：磁製ボートに試料を充填、挿入し、1,350℃で30分加熱
⇒ 放射性Cs揮散率を比較評価

$$\text{放射性Cs揮散率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{加熱後の[重量} \times \text{放射能濃度]}}{\text{加熱前の[重量} \times \text{放射能濃度]}} \right) \times 100$$

試験装置フロー

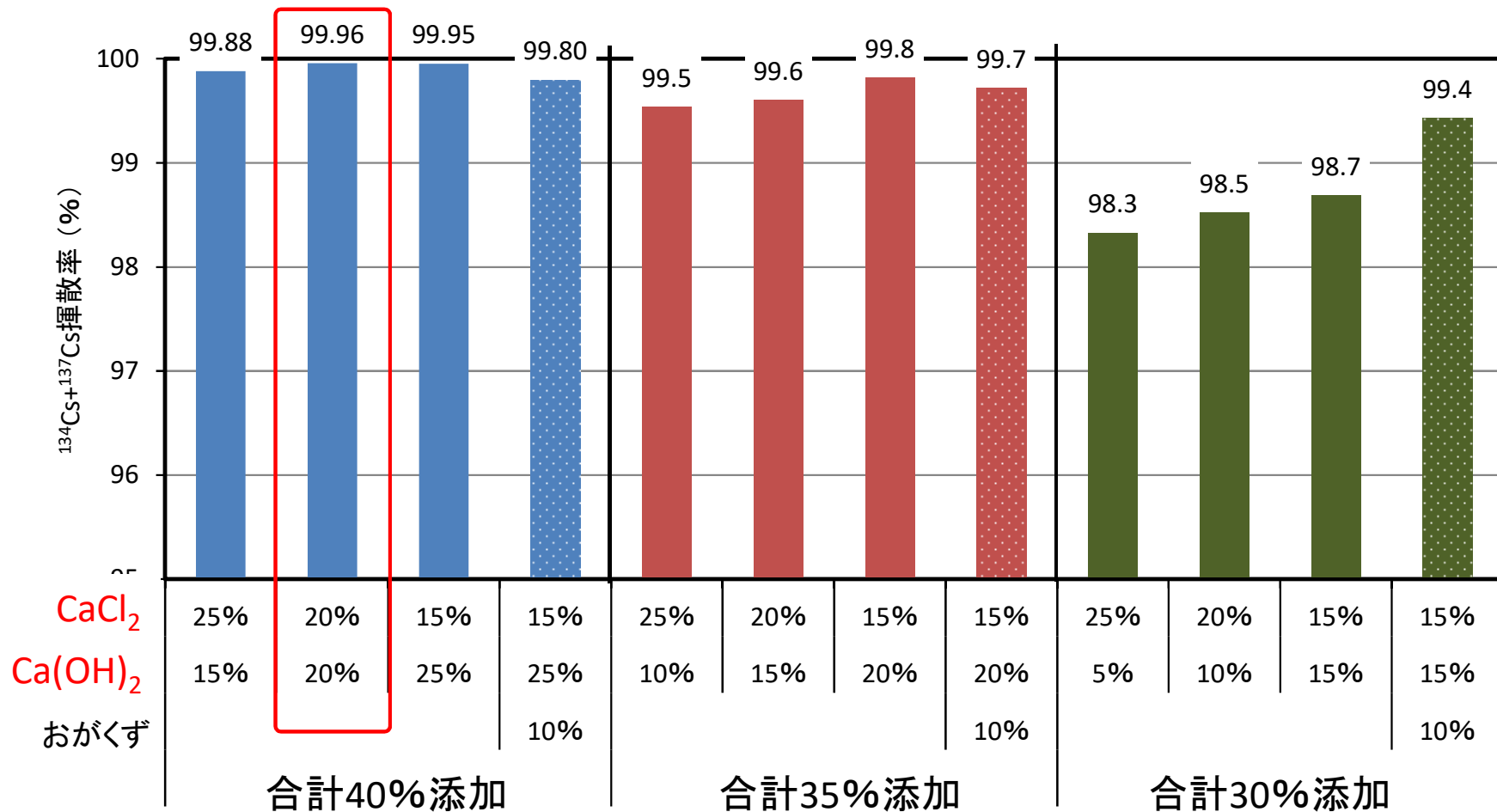


電气管状炉



細粒土壌でのラボ試験 — 試験結果 —

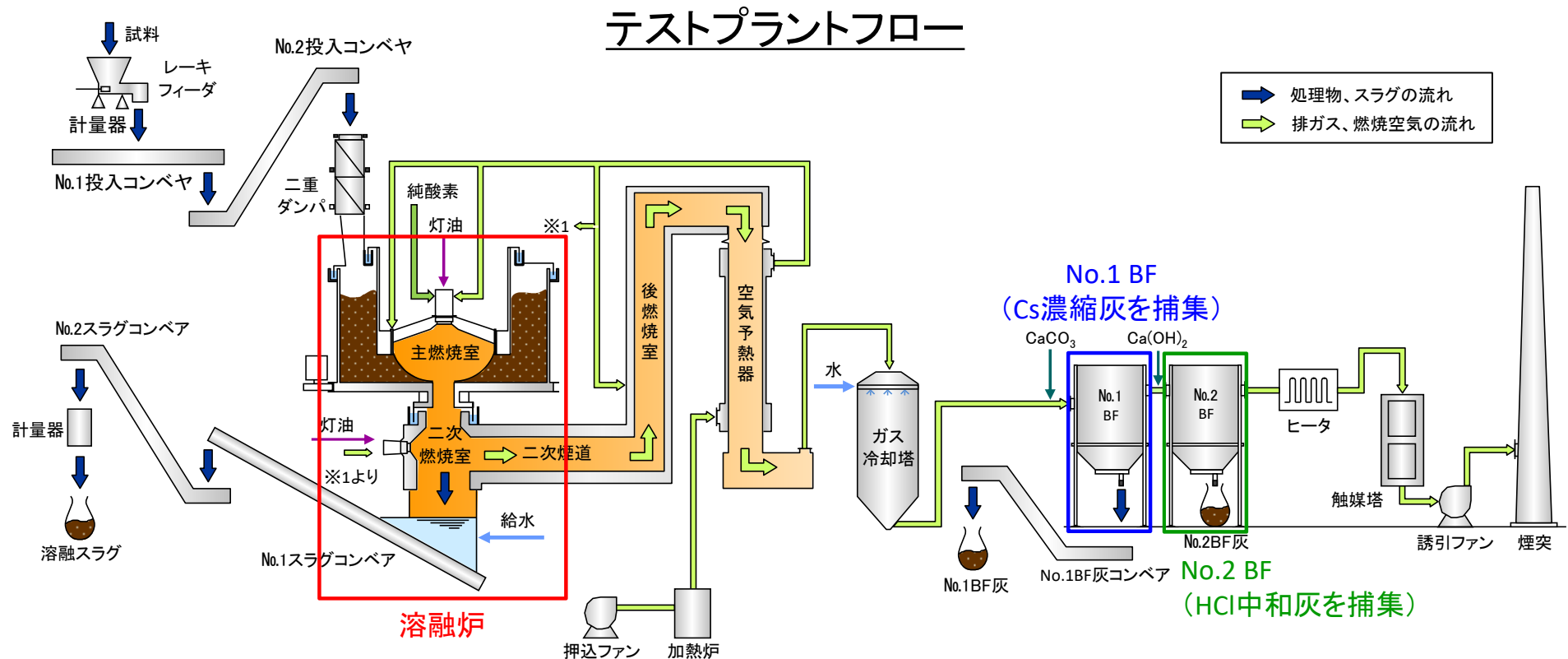
各種薬剤添加条件での放射性Cs揮散率



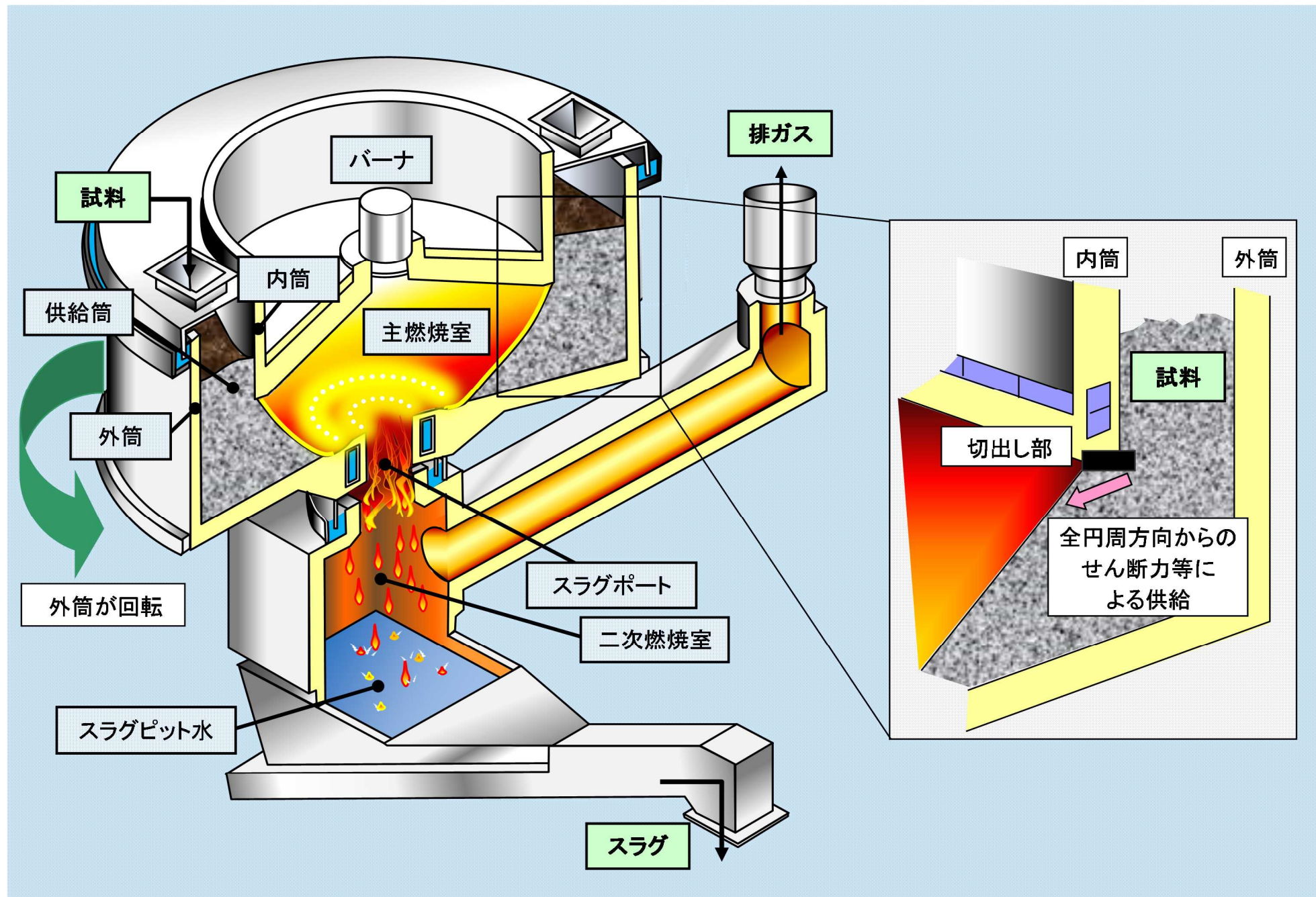
- 全条件で、97%以上の高い放射性Cs揮散率
- 『 CaCl_2 20% + Ca(OH)_2 20%』条件でのCs揮散率が最高値(99.96%)
⇒ プラント実証試験での添加条件に決定

細粒土壌のプラント溶融実証試験

- 土壌試料：土壌（細粒分）をスプレードライヤで乾燥したもの
- 実施場所：クボタ 新淀川環境プラントセンター（大阪市内）
- 試験装置：回転式表面溶融炉（3t/日、内径φ1,800mm）
- 試験方法：土壌、非放射性 Cs_2CO_3 （0.2%）、 CaCl_2 （20%）、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （20%）を混合して、溶融炉に投入、処理



回転式表面溶融炉の構造



テストプラントの写真

(A) プラント全景



(B) 溶融炉本体 [Csを分離]

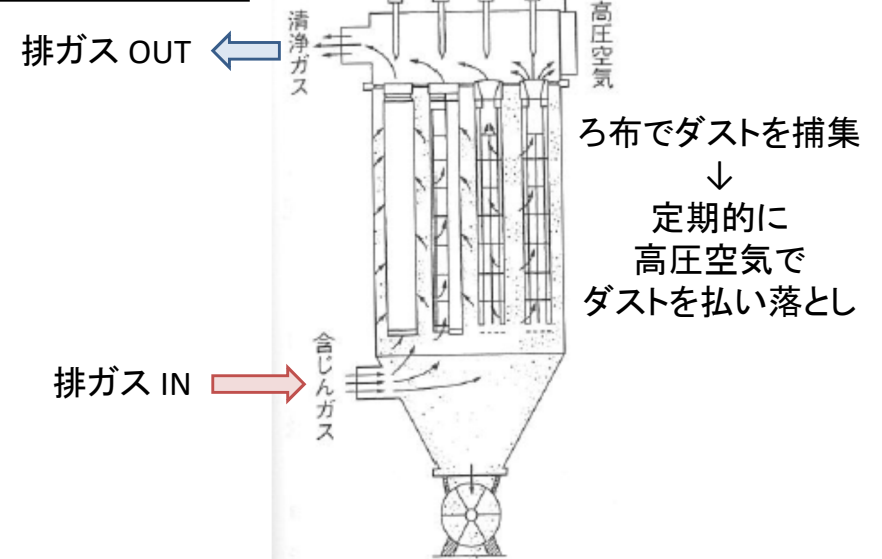


(C) No.1 バグフィルタ (BF)

[溶融飛灰を捕集]



BFの構造(例)



[出典] 志垣政信編: 絵とき廃棄物の焼却技術

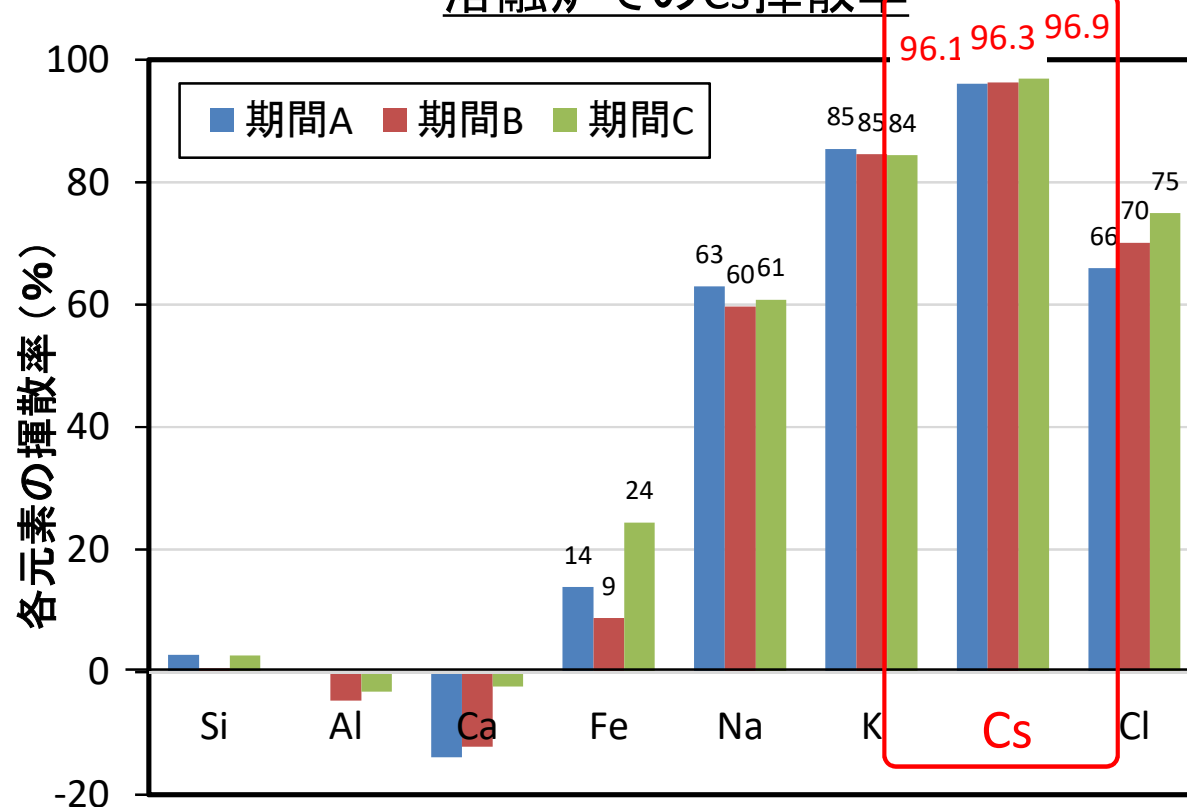
熔融炉でのCs揮散率

運転概要データ

項目	単位	[期間A]	[期間B]	[期間C]
		4:00-10:00	10:00-16:00	17:00-20:00
		酸素富化 なし	酸素富化 なし	酸素富化 あり
熔融炉 温度	℃	1,329	1,321	1,399
投入量	kg/h	185	162	306
スラグ量	kg/h	141	127	226
投入物 Cs濃度	%(dry)	0.18	0.19	0.16
スラグ Cs濃度	%(dry)	0.0086	0.0081	0.0070

- ・ 3期間に分けて評価
- ・ 全期間で運転は安定

熔融炉でのCs揮散率



熔融炉でのCs揮散率は96～97%
⇒プラント試験において、
塩素系薬剤の添加による
Csの高効率揮散分離を実証

熔融スラグ（浄化物）の評価

外観



②コンクリート細骨材としての評価

項目	単位	測定値	熔融スラグ細骨材 規格値 [JIS A 5031:2016]
0.075mm通過量	%	0.2	≤ 7.0
絶乾密度	g/cm ³	2.69	≥ 2.5
吸水率	%	1.31	≤ 3.0
安定性	%	7.0	≤ 10
粒形判定実積率	%	62.5	≥ 53
アルカリシリカ反応（化学法）	-	無害	無害
膨張率	%	0	膨張無

①有害元素の溶出濃度（環告46号法）

項目	単位	測定値	土壤環境 基準値
Cd	mg/L	<0.005	≤ 0.01
Pb	mg/L	<0.005	≤ 0.01
Cr ⁶⁺	mg/L	<0.02	≤ 0.05
As	mg/L	<0.001	≤ 0.01
T-Hg	mg/L	<0.0005	≤ 0.0005
Se	mg/L	<0.001	≤ 0.01
F	mg/L	<0.1	≤ 0.8
B	mg/L	0.08	≤ 1

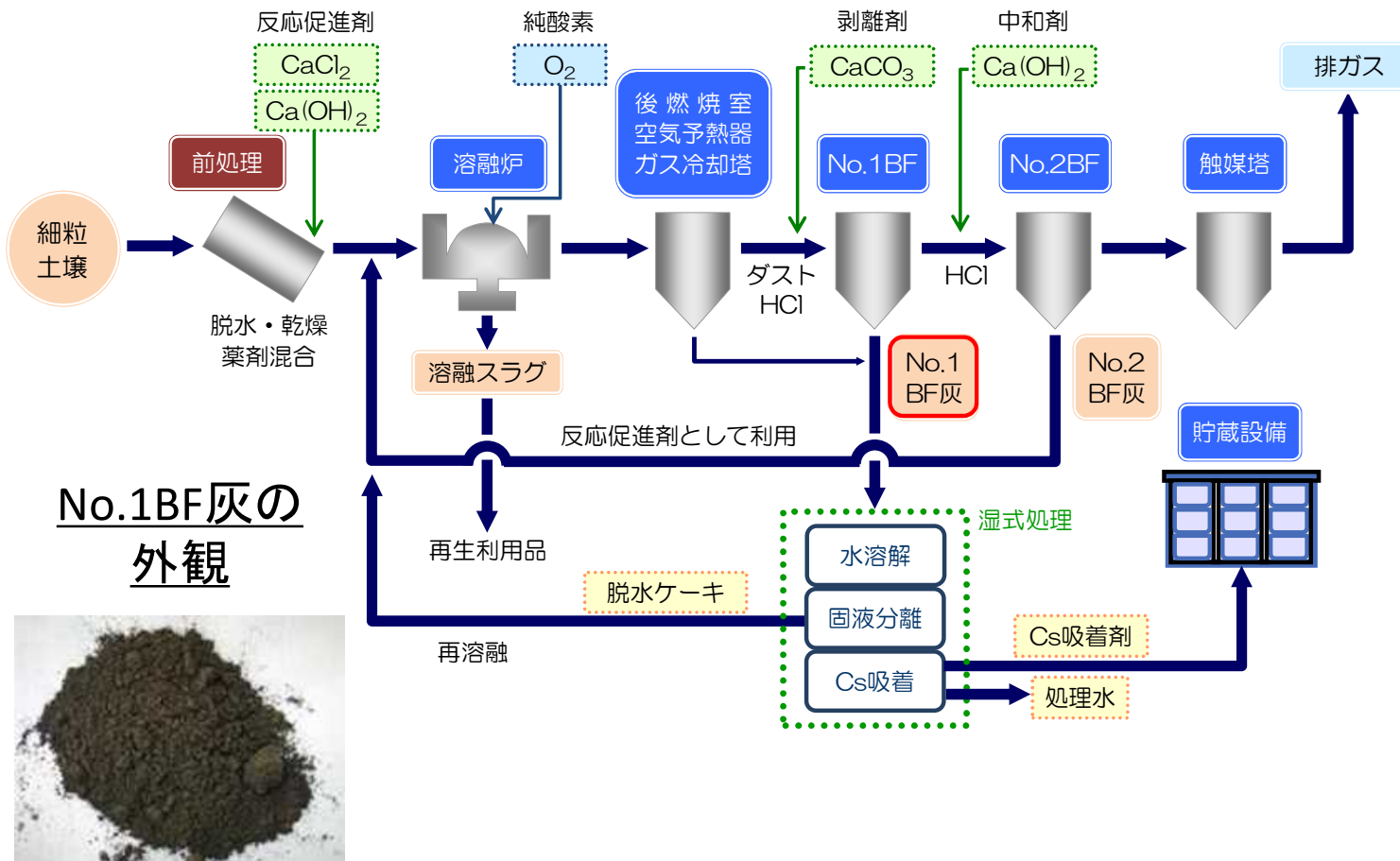
③Csの溶出率（環告46号法）

項目	溶出試験 での 溶出率	スラグの放射能濃度を 1000Bq/kgと仮定した場合の 溶出濃度	飲料水 基準値
	%	Bq/L	Bq/L
Cs	0.68	0.68	≤ 10

- ① 有害元素の溶出濃度は低く、土壤環境基準値を満足
- ② コンクリート細骨材としての資材品質を満足（再生利用可能）
- ③ Csの溶出濃度は0.68Bq/Lで飲料水基準を十分満足するレベル

No.1 BF灰(Cs濃縮物)の評価

①溶融システムにおける各排出物の流れ



②No.1BF灰の組成

項目	単位	[期間A]	[期間B]	[期間C]
Na	% (dry)	16.8	17.1	19.6
K	% (dry)	10.5	10.4	11.1
Cs	% (dry)	2.8	2.8	3.1
Cl	% (dry)	39.2	39.1	41.9
S	% (dry)	0.6	0.6	0.6
Ca	% (dry)	7.5	7.0	3.6

③No.1BF灰に含まれるアルカリ金属の水溶解率 (環告46号法)

項目	単位	溶解率
Na	%	99.3
K	%	99.2
Cs	%	99.4

- ① No.1BF灰は湿式処理による二次減容化の上、貯蔵保管を想定
- ② 主要組成はNa、K、Cs、Cl(アルカリ金属塩化物)
- ③ 含まれるCsは塩化物で水溶性が高いため、湿式処理が容易

溶融システムでの減容化率（推算）

50,000 Bq/kg(dry)の細粒土壌を
100 t(dry)/日プラントで溶融処理した場合の物質収支

項目	単位	INPUT		OUTPUT		
		投入物		スラグ (浄化物)	No.1BF灰 (濃縮物)	No.2BF灰
		細粒土壌	薬剤			
重量	t(dry)/日	100.0	67.5	134.7	10.3	26.1
容積	m ³ /日	139.0	87.7	98.9	18.7	62.2
放射能濃度	Bq/kg(dry)	50,000	0	1,430	466,000	0

溶融システムでの減容化率

項目	単位	INPUT		OUTPUT		
		投入物		スラグ	保管物	
		細粒土壌 A	薬剤		Cs吸着塔 B	廃棄耐火物 C
重量	万t(dry)/20年	60.0	40.5	80.8	0.017	0.055
容積	万m ³ /20年	83.4	52.6	59.3	0.017	0.037
減容化率 [(1-(B+C)/A) × 100]	%	99.94				

保管物の容積は細粒土壌の約1/1,500、減容化率は99.94%と推算

まとめ

細粒土壌（非放射性Cs添加）を模擬処理対象物として
溶融プラント実証試験を行い、以下の知見を得た

- ① 塩素系薬剤添加により、Cs揮散率96～97%を実証
- ② スラグ（浄化物）は土木資材として安全性、品質を満足
- ③ No.1BF灰（濃縮物）はCs水溶性が高く、湿式処理が容易
- ④ 溶融システム全体での減容化率は99.94%と推算

ご清聴ありがとうございました

