



# 分級処理技術の評価等について

2023年2月28日

環境省環境再生・資源循環局

1. 分級処理技術実証の概要
2. 用語の定義
3. 分級処理技術の概要整理
4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理
5. 実証技術の評価
6. 組合せに対する留意点
7. マッピング
8. 論点

# 1. 分級処理技術実証の概要

## ■ 実証試験が実施された分級技術を年度別に示す

凡例: 技術のタイプ  
実証規模

直轄型

公募型

分類	技術	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	R2	R3	R4	
湿式	通常分級			メッシュ、比重差を利用した分級					通常分級 20t/h					
	高度分級	サンドホンプ —				エジェクター —				エジェクター 30kg/分			エジェクター/デカンタ 250kg/バッチ	
		混気ホンプ —												
		高圧ジェット・マイクロバブル —			土壌と水を攪拌することによる付着粒子の分離									
		キャピテーション 75L/バッチ												
		スクラビング —								アトリションスクラバー他 10t/h				
		磨砕												
		ドラムスクラバー —			土壌の表面を機械的に磨くことによる付着粒子の分離									
		ボールミル —									ボールミル他 —			
	サイクロン —			比重差を利用した分級点の小粒径化					浮遊選鉱 36kg/バッチ			デカンタ 2t/h		
			磁力を利用した分級点の小粒径化					磁気分離 1t/日						
乾式分級	通常分級													
	高度分級	研磨 —			土壌の表面を機械的に磨くことによる付着粒子の分離									
				風選別 450kg/バッチ	風力を利用した分級点の小粒径化							風選別 1.0t/h		

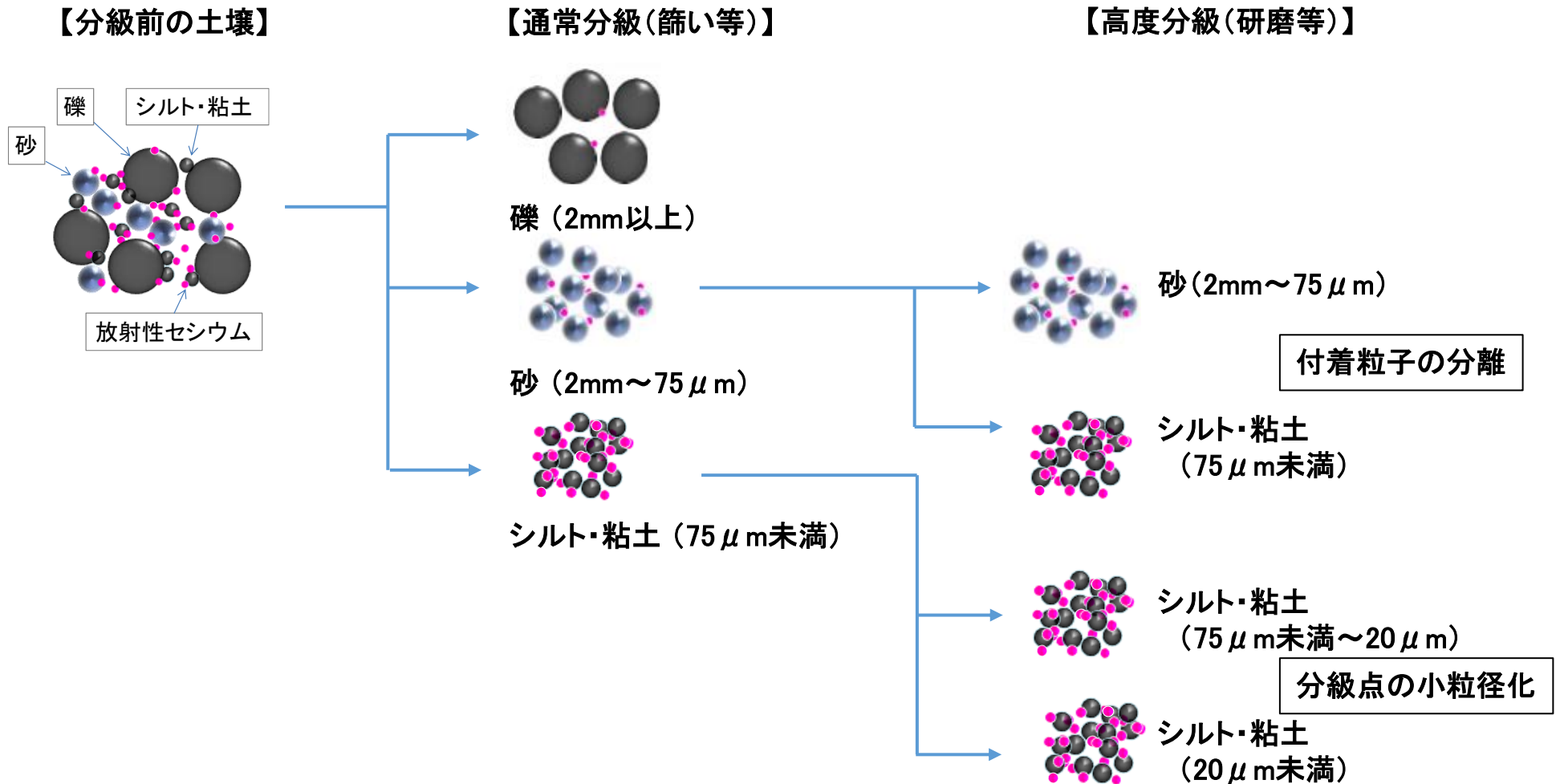
## 2. 用語の定義

### ■ 本資料における用語の定義を示す

用語	定義
粗粒分	粒径が75 $\mu$ m以上の土壌(分級点を20 $\mu$ m等に変更した場合は粒径が20 $\mu$ m以上の土壌)
細粒分	粒径が75 $\mu$ m未満の土壌(分級点を20 $\mu$ m等に変更した場合は粒径が20 $\mu$ m未満の土壌)
二次廃棄物	処理によって主に処理対象物以外のもの由来で発生するもの(廃薬品、汚泥、排ガス、排水、設備の消耗品・交換品(ろ布、バグフィルタ等))
パイロットスケール	実機と同様の規模を備えたレベル
ベンチスケール	パイロットスケール機を設計、製造するためのデータを取得できるレベル
ラボスケール	ビーカー等を用いた基礎試験レベル
除染率(%)	土壌を分級する(細粒分を分離)ことで、放射能濃度が下がった割合 $= (\text{分級前土壌放射能濃度} - \text{分級後粗粒分放射能濃度}) \div \text{分級前土壌放射能濃度} \times 100$
減容化率(%)	土壌を分級する(粗粒分を分離)ことで、放射能濃度が高い土壌の容積が減った割合 $= (\text{分級前土壌容積} - \text{分級後細粒分容積}) \div \text{分級前土壌容積} \times 100$
減量化率(%)	土壌を分級する(粗粒分を分離)ことで、放射能濃度が高い土壌の重量が減った割合 $= (\text{分級前土壌重量} - \text{分級後細粒分重量}) \div \text{分級前土壌重量} \times 100$
分級効果(倍)	分級前の土壌の放射能濃度と分級後の放射能濃度の倍率 $= \text{分級後細粒分放射能濃度} \div \text{分級前土壌放射能濃度}$
放射エネルギー収支	処理対象物中の放射エネルギーを100とした時の、当該物質(礫、砂等)の放射エネルギー
重量収支	処理対象物の処理重量を100とした時の、当該物質(礫、砂等)の重量

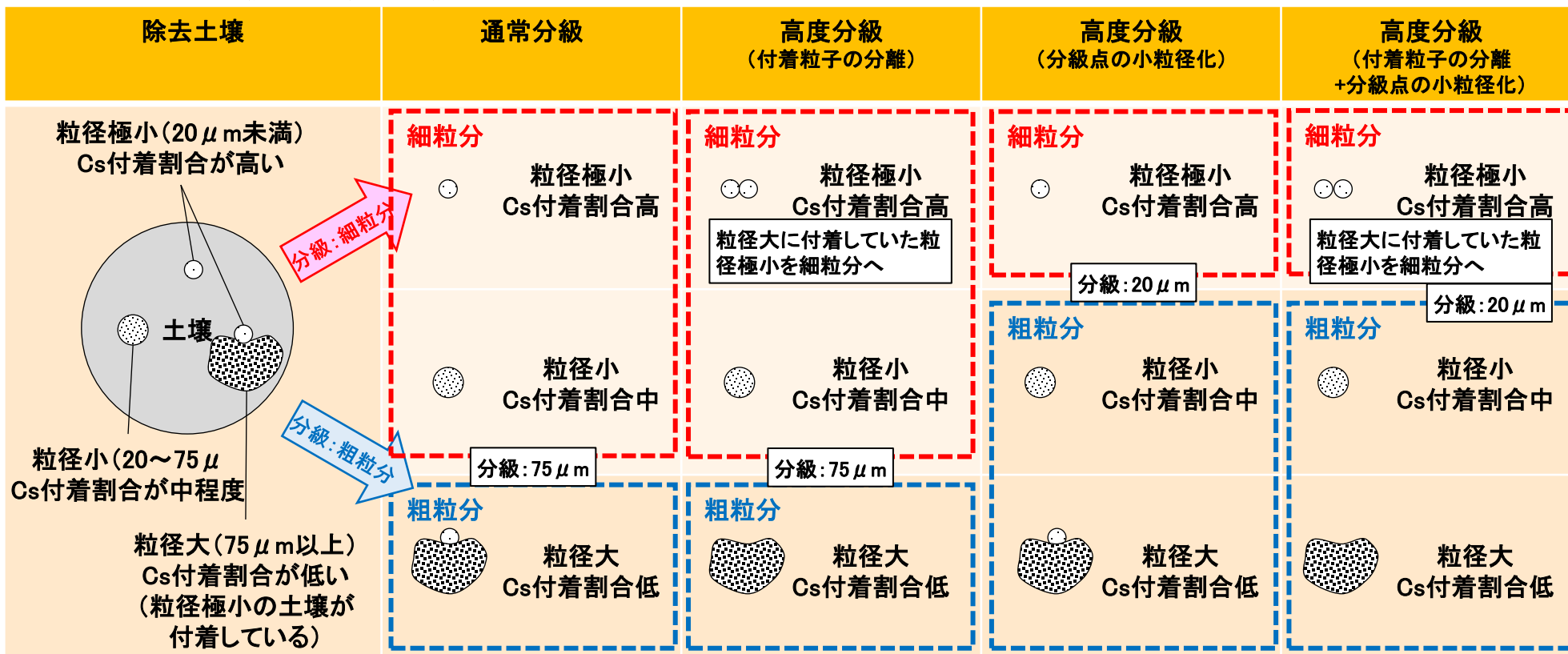
# 3. 分級処理技術の概要整理

## ■ 通常分級と高度分級のイメージ



### 3. 分級処理技術の概要整理

#### ■ 通常分級と高度分級のイメージを示す



目的	有効な分級技術
減容化	細粒分の容積を小さくしたいため、高度分級(分級点の小粒径化)が有効と考えられる
再生利用	粗粒分の放射能濃度を低くしたいため、高度分級(付着粒子の分離)が有効と考えられる

# 3. 分級処理技術の概要整理

## ■ 実証試験対象の分級処理技術の概要を示す

分類	湿式分級				乾式分級		
	通常分級	高度分級			付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
		付着粒子の分離	分級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化			
技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイメッシュパレーター</li> <li>・ふるい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アトリクションスクラバー</li> <li>・2相流式砂洗浄</li> <li>・研磨/磨砕</li> <li>・エジェクター</li> <li>・ドラムウォッシャー</li> <li>・ボールミル</li> <li>・高圧噴射</li> <li>・混気ポンプ</li> <li>・スクラビング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気分離</li> <li>・マイクロバブル</li> <li>・浮遊選鉱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボールミル + サイクロン</li> <li>・ドラムスクラバー + サイクロン</li> <li>・スクラビング + フローテーション</li> <li>・エジェクター + デカンタ</li> <li>・エジェクター + サイクロン</li> <li>・エジェクター + 研磨 + メッシュ</li> <li>・サントポンプ + サイクロン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面研磨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風選別</li> <li>・磁気分離</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面研磨+微細分級</li> </ul>
原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・沈降速度の差、目開きを利用して分級する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流体の衝突、機械的衝撃等を用いて付着粒子を分離する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁気、微細気泡等を用いて微小粒子の分級を改善する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>付着粒子の分離処理と分級点の小粒径化を併用したもの</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面を研磨することにより付着粒子を分離する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風、磁気を利用して分級する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾式の付着粒子の分離処理と分級点の小粒径化を併用したもの</li> </ul>
除去土壌処理に対する留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解泥が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解泥が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・界面活性剤の混合が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解泥が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌の乾燥・解泥が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌の乾燥・解泥が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌の乾燥・解泥が必要</li> </ul>
前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水の確保、排水処理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水の確保、排水処理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水の確保、排水処理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水の確保、排水処理が必要</li> <li>・サイクロンは出口側の詰まり防止が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> </ul>
実証実績	直轄 (H30、H31)	直轄 (H30、H31) 公募 (H23)	公募 (H29)	公募 (H23、H26、H30、H31、R3)	公募 (H23)	公募 (H25、R3)	公募 (H23)

# 3. 分級処理技術の概要整理

## ■ 実証技術の実績を示す

分類		湿式分級			乾式分級		
		通常分級	高度分級				
実証技術	目的	分級	付着粒子の分離		分級点の小粒径化	付着粒子の分離	分級改善
	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイメッシュセパレーター</li> <li>・ふるい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アトリション</li> <li>・磨砕</li> <li>・ドラムウォッシュャー</li> <li>・ボールミル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エジェクター</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デカンタ</li> <li>・サイクロン</li> <li>・磁気分離</li> <li>・浮遊選鉱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面研磨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気分離</li> </ul>
実機の実績	適用実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚染土壌の洗浄</li> <li>・骨材の分級</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚染土壌の洗浄</li> <li>・骨材の磨砕</li> <li>・金属鉱物の粉碎</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土砂の浚渫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚染土壌の洗浄</li> <li>・脱水</li> <li>・選鉱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉱物の粉碎</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁性物と非磁性物の分離</li> </ul>
	汚染土壌処理業の許可施設の実績 <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイメッシュセパレーター: 30m<sup>3</sup>/h</li> <li>・ふるい: 12m<sup>3</sup>/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磨砕: 30t/h</li> <li>60m<sup>3</sup>/h</li> <li>120t/h</li> <li>150t/h</li> <li>・ドラムウォッシュャー: 12m<sup>3</sup>/h</li> <li>30m<sup>3</sup>/h</li> <li>50m<sup>3</sup>/h</li> </ul>	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイクロン: 40t/h</li> <li>45t/h</li> <li>60t/h</li> <li>150t/h</li> </ul>	なし	なし



# 4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

## ■ 実証試験のインプットとアウトプットを示す

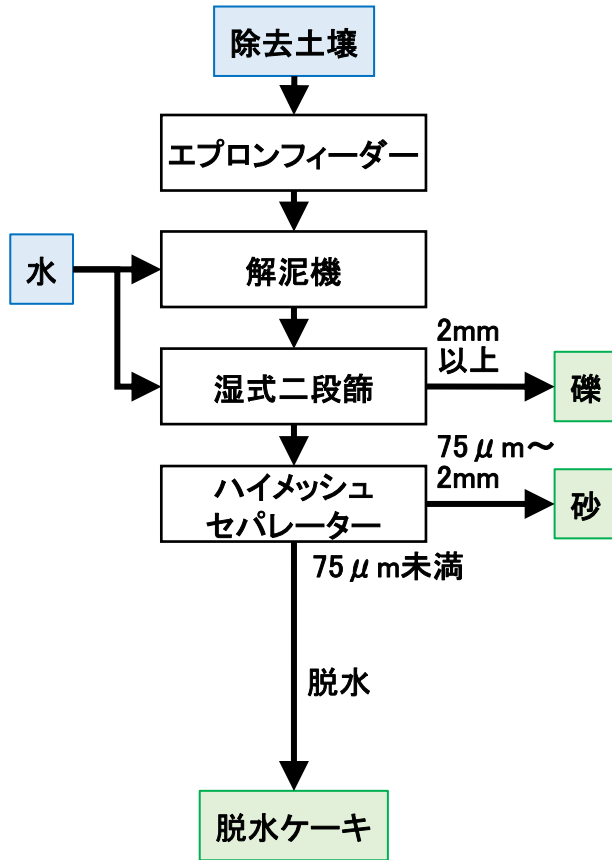
分類	湿式分級				乾式分級			
	通常分級	高度分級			付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善	
		付着粒子の分離	分級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化				
技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイメッシュパレーター</li> <li>・ふるい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アトリションスクラバー</li> <li>・2相流式砂洗浄</li> <li>・研磨/磨砕</li> <li>・エジェクター</li> <li>・ドラムウォッシャー</li> <li>・ボールミル</li> <li>・高圧噴射</li> <li>・混気ポンプ</li> <li>・スクラビング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気分離</li> <li>・マイクロバブル</li> <li>・浮遊選鉱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボールミル + サイクロン</li> <li>・ドラムスクラバー + サイクロン</li> <li>・スクラビング + フローテーション</li> <li>・エジェクター + テカンタ</li> <li>・エジェクター + サイクロン</li> <li>・エジェクター + 研磨 + メッシュ</li> <li>・サントポンプ + サイクロン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面研磨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風選別</li> <li>・磁気分離</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面研磨+微細分級(方式不明)</li> </ul>	
実施年度	H30、H31(直轄)*	H30、H31(直轄) H23(公募)	H29(公募)	H23、H26、H30、 H31、R3(公募)	H23(公募)	H25、R3(公募)	H23(公募)	
実証試験規模	20t/h	75L/バッチ~10t/h	36kg/バッチ~ 40kg/h	250L/バッチ~ 20m <sup>3</sup> /h	—	450kg/バッチ~ 1t/h	—	
インプット	土壌種別	除去土壌	除去土壌	除去土壌	除去土壌 農地土壌	除去土壌	除去土壌	除去土壌
	添加剤	無し	無し	界面活性剤	界面活性剤	無し	磁性鉄粉	無し
	放射能濃度(Bq/kg)	5,060~102,000	5,060~102,000	48,000~76,000	2,200~41,700	2,200~38,000	3,720	2,200~38,000
アウトプット	粗粒分放射能濃度(Bq/kg)	2,240~21,300	531~15,800	20,600~55,200	330~15,400	300~14,000	1,220~3,420	600~18,000
	細粒分放射能濃度(Bq/kg)	21,200~133,000	21,200~363,000	71,900~96,000	40,000~83,700	—	3,090~6,340	—

※放射能濃度は有効数字3桁で丸めた数字とした

# 4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

## ■ 湿式通常分級(直轄:H30~H31)のインプットとアウトプットの詳細を示す

### 【ホット試験】



項目	20mmアンダー						未分別・改質材なし							
	放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)		放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)	
						75μm以上	75μm未満						75μm以上	75μm未満
除去土壌	13,449 ~ 29,629	—	—	100	100	53	47	8,870 ~ 15,832	—	—	100	100	67	33
礫	2,080 ~ 11,884	60~87	—	3	12	99	1	426~1,993	83~97	—	2	21	99	1
砂	5,642 ~ 13,741	54~67	—	14	36	93	7	2,244 ~ 5,505	65~78	—	12	42	95	5
脱水ケーキ	23,627 ~ 48,014	—	1.3~1.9	83	52	—	—	21,175 ~ 34,146	—	1.6~2.4	86	37	—	—

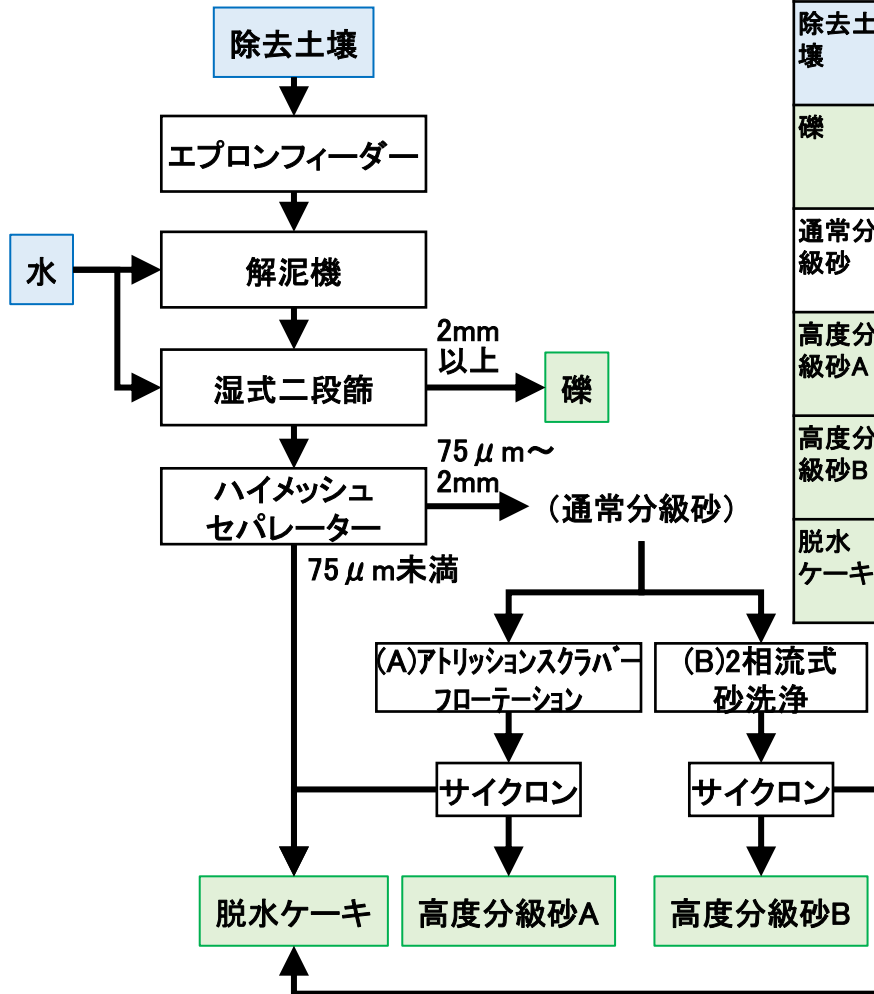
水	3~5m <sup>3</sup> /t
---	----------------------

インプット  
 アウトプット

# 4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

## ■ 湿式高度分級(直轄:H30~H31)のインプットとアウトプットの詳細を示す

- ✓ 通常分級の粗粒分を高度分級した事例【ホット試験】



項目	20mmアンダー							未分別・改質材なし						
	放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)		放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)	
						75 μm 以上	75 μm 未満						75 μm 以上	75 μm 未満
除去土壌	13,449 ~ 29,629	—	—	100	100	53	47	8,870 ~ 15,832	—	—	100	100	67	33
礫	2,080 ~ 11,884	60~87	—	3	12	99	1	426~1,993	83~97	—	2	21	99	1
通常分級砂	5,642 ~ 13,741	54~67	—	14	36	93	7	2,244 ~ 5,505	65~78	—	12	42	95	5
高度分級砂A	3,894 ~ 10,981	63~78	—	5	20	95	5	1,595 ~ 4,720	70~82	—	4	18	97	3
高度分級砂B	4,547 ~ 12,414	58~73	—	5	16	95	5	1,819 ~ 4,593	70~86	—	4	19	98	2
脱水ケーキ	(23,627 ~ 48,014)	—	(1.3 ~ 1.9)	87	53	—	—	(21,175 ~ 34,146)	—	(1.6 ~ 2.4)	90	43	—	—

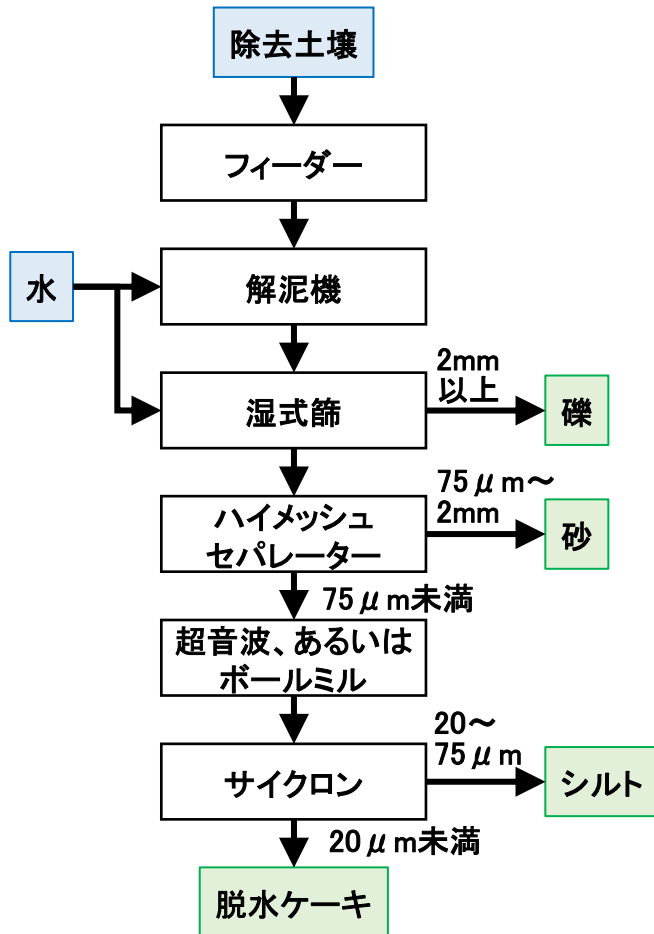
インプット  
 アウトプット

# 4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

## ■ 湿式高度分級(公募:H31)のインプットとアウトプットの詳細を示す

✓ 通常分級の細粒分を高度分級した事例

【ホット試験】



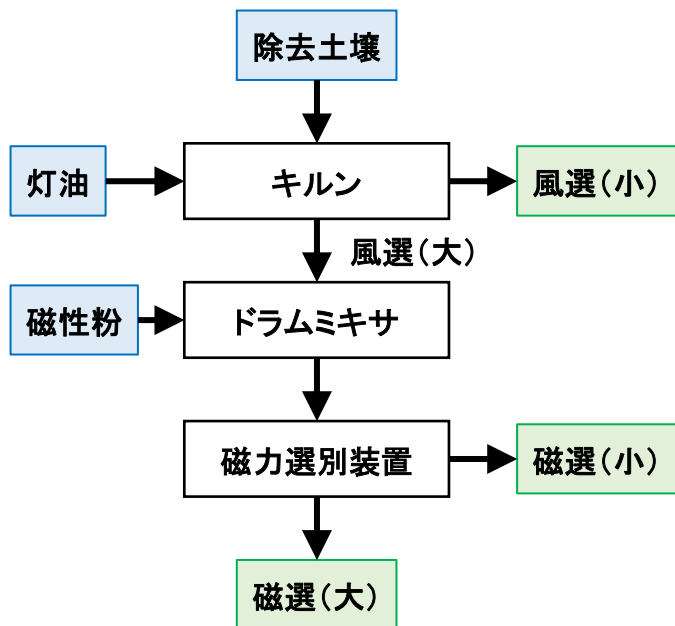
項目	超音波						ボールミル							
	放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)		放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)	
						75µm以上	75µm未満						75µm以上	75µm未満
除去土壌	2,590~3,470	—	—	100	100			2,590~3,470	—	—	100	100	—	—
礫	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
砂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75µm未満	6,900~10,200	—	2.2~3.6	—	—	64	36	7,000~9,400	—	2.3~3.1	—	—	64	36
シルト	2,500~5,600	-61~19	0.8~1.6	—	—	—	—	2,300~4,600	-47~25	0.7~1.5	—	—	—	—
脱水ケーキ	7,000~10,500	—	2.3~3.8	—	—	—	—	6,000~9,600	—	1.9~3.1	—	—	—	—

インプット  
 アウトプット

# 4. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

## ■ 乾式分級(公募:R3)のインプットとアウトプットの詳細を示す

【ホット試験】



項目	放射能濃度 (Bq/kg)	除染率 (%)	分級効果 (倍)	放射能 収支 (%)	重量収支 (%)	粒度分布(%)	
						75 μm 以上	75 μm 未満
除去土壌	3,938~ 4,450	—	—	100	100	65	35
風選(小)	6,019~ 7,211	—	1.5~1.7	51	32	38	63
(風選(大))	(2,943~ 3,431)	(13~28)	—	(49)	(68)	79	21
磁選(小)	3,087~ 6,344	—	0.8~1.5	46	56	71	29
磁選(大)	1,222~ 3,418	19~70	—	3	12	93	7

磁性鉄粉	30 kg/t-風選(大) (20kg/t-除去土壌)
灯油	52.1 L/t-除去土壌

インプット  
 アウトプット

## 5. 実証技術の評価(評価項目について)

- 評価項目を示す。赤文字の評価項目は、次頁以降に評価結果(案)を示す。

評価対象	要素技術	評価項目
各要素技術共通の評価	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・①パイロットスケールの試験成果あるいは実設備の実績</li> <li>・②実機レベルでの実施可能性</li> <li>・③作業、環境への安全性等の確保</li> <li>・④運搬等の扱いやすさ(追加の遮へい体の必要性など)</li> <li>・⑤二次廃棄物、副生成物の量、処理方法(施設解体も含む)</li> <li>・各技術のコスト、システム化したコスト、最終処分を含むコスト、追加の施設・設備解体を含むコスト</li> <li>・放射能の収支(減衰を含む)</li> </ul>
各技術ごとの評価	分級、化学処理、熱処理、灰洗浄	<ul style="list-style-type: none"> <li>・⑥減容化率、減量化率</li> <li>・⑦生成物の再生資材としての活用の可能性</li> <li>・⑧処理能力や処理条件</li> <li>・⑨立地条件(プラント用水や電力の確保等)</li> </ul>
	安定化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終処分要件(Cs溶出、重金属溶出、長期安定性等)</li> </ul>
	最終処分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終処分の量・方式(ピット処分、トレンチ処分)、場所(理解醸成、用地取得)</li> <li>・最終処分における管理方法</li> <li>・最終処分費用(用地取得、建設、運搬、維持管理)</li> </ul>
	再生利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・再生利用の用途(要求品質(材質、安全))、量、時期</li> <li>・再生利用可能な放射能濃度8,000Bq/kg以下の定義(どの量の平均か)</li> </ul>

# 5. 実証技術の評価(分級処理技術)(案)

## ■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	湿式:通常分級	湿式:高度分級			乾式:通常分級	乾式:高度分級		
			付着粒子の分離	級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化		付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
①パイロットスケールの試験成果あるいは実設備の実績	◎:パイロットスケールレベル・実設備の実績あり	◎	◎	○	◎	—	—	○	—
	○:ベンチスケールレベルの実績まで △:ラボスケールレベルの実績まで	20t/hのパイロットスケールで実施済み。	75Lバッチ ~ 10t/h。一部、パイロットスケールで実施済み。	36kg/バッチ ~ 40kg/h	250L/バッチ ~ 20m³/h。一部、パイロットスケールで実施済み。		試験規模不明	450kg/バッチ ~ 1t/h	試験規模不明
②実機レベルでの実施可能性	◎:想定される規模の実機が存在する	◎	○	○	○	—	—	◎	—
	○:複数系列化により対応可能 △:商業設備のスケールアップが必要	想定される必要能力を備えた商業レベルの分級機(40t/h程度)が存在する。	想定される規模の実機が存在する。タイプによっては複数系列化することで対応可能。	デカンタ、浮遊選鉱、磁気分離は想定される規模の実機が存在する。サイクロンは複数系列化により対応可能。	(付着粒子の分離と分級点の小粒径化の統合)		ボールミルなど乾式の研磨機が存在する。	様々な様式の実機が存在する。	試験機の詳細を確認する必要がある

# 5. 実証技術の評価(分級処理技術)(案)

## ■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	湿式:通常分級	湿式:高度分級			乾式:通常分級	乾式:高度分級		
			付着粒子の分離	級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化		付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
③作業 者、環 境への 安全性 等の確 保	◎:汎用的な対応で容易に確保可能、	◎	◎	◎	◎	—	◎	◎	◎
	○:汎用設備で対応可能であるが、設備が複雑あるいは比較的規模が大きい △:特別な対応が必要								
④運搬 等の扱 いやす さ	◎:汎用的な対応で容易に対応可能、	◎	◎	—	◎	—	—	◎	—
	○:汎用的な対応で良いが、施策等が複雑 △:特別な対応が必要	通常の土壌、脱水ケーキと同等	通常の土壌、脱水ケーキと同等	フロスの処理について確認が必要。	通常の土壌、脱水ケーキと同等		処理後の性状確認が必要		処理後の性状確認が必要



# 5. 実証技術の評価(分級処理技術)(案)

## ■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	湿式:通常分級	湿式:高度分級			乾式:通常分級	乾式:高度分級		
			付着粒子の分離	級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化		付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
⑤二次廃棄物、副生成物の量、処理方法	◎:量が比較的少なく、処理方法の目処が立つ ○:処理方法の目処は立つが量が多い △:処理方法の検討が必要	—	—	—	—	—	—	—	—
		水の循環利用に関する確認が必要	水の循環利用に関する確認が必要	水の循環利用に関する確認が必要	(通常分級と大差ないと推定)		ろ布、ばいじんの確認が必要	ろ布、ばいじんの確認が必要	ろ布、ばいじんの確認が必要
⑥減容化率	◎:50%以上 ○:50%未満 △:25%未満	○	○	○	◎	—	—	—	—
		8~57%	31~59%	38~53%	60~84%		データ無し	データ無し	データ無し
⑥'減量化率	◎:50%以上 ○:25%以上50%未満 △:25%未満	◎	◎	○	◎	—	○	○	○
		32~82%	49~92%	26~76%	54~90%		27~34%	44%	36~57%

⑥については中央値で評価した

# 5. 実証技術の評価(分級処理技術)(案)

## ■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	湿式:通常分級	湿式:高度分級			乾式:通常分級	乾式:高度分級		
			付着粒子の分離	級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化		付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
⑦生成物の再生資材としての活用の可能性	◎:用途案に対する品質(安全性、安定性等)を確認済み ○:品質を確認中 △:品質確認が必要	◎	◎	△	△	—	◎	△	△
		発生土利用基準等に基づき活用可能性を確認済み	発生土利用基準等に基づき活用可能性を確認済み	界面活性剤の影響の確認が必要	界面活性剤の影響の確認が必要			磁性鉄粉の影響の確認が必要	磁性鉄粉の影響の確認が必要
⑦' 除染率	◎:87%以上(土壌C上限濃度を8,000Bq/kg以下にできる) ○:47%以上(土壌C下限濃度を8,000Bq/kg以下にできる) △:47%未満	○	○	△	○	—	○	△	○
		平均:71.5% (55.5~82.5%)	平均:84.2% (74.7~94.6%)	平均:42.6 (16~73%)	平均:62.3 (23.4~97.8%)			平均:74.5 (63~86%)	平均:40.3 (18.9~70.3%)

# 5. 実証技術の評価(分級処理技術)(案)

## ■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	湿式:通常分級	湿式:高度分級			乾式:通常分級	乾式:高度分級		
			付着粒子の分離	級点の小粒径化	付着粒子の分離+分級点の小粒径化		付着粒子の分離	分級改善	付着粒子の分離+分級改善
⑧処理能力や処理条件	設備の稼働、運転において、 ◎:資源がかなり有効活用されていると思われる ○:資源がそこそこ有効活用されている △:資源があまり有効に活用されていない	○	(○)	(○)	(○)	—	—	—	—
		水の循環利用に関する確認が必要	(通常分級と同等と推定)	(通常分級と同等と推定)	(通常分級と同等と推定)		資源利用量に関して確認が必要	資源利用量に関して確認が必要	資源利用量に関して確認が必要
⑨立地条件(プラント用水や電力の確保等)	◎:水を使用しない ○:水の循環利用可能 △:大量の用水を必要とする	○	(○)	(○)	(○)	(◎)	◎	◎	◎

( ): 実証試験では確認していないが、実機の実績がある、あるいは当該評価と推定電力については今後確認する(特高の必要性、再生工年の適用可否等)

## 6. 組合せに対する留意点(湿式分級)

### ■ 他技術との組合せにおいて、湿式分級処理技術の設備、運転に関わる留意点



前工程	項目	留意点
掘起し	設備	適切な湿式分級方式を検討するため、粒度分布の確認が必要。
		排水材(スラグ、砂)の分離設備の必要性を検討するため、土壌以外の混合物の確認が必要 一時保管の方法の確認が必要。 一時保管場所から分級設備までの運搬方法の確認が必要。
	運転	分級に適した固液比があるため、含水率の確認が必要。

後工程	分類	留意点
再生利用	設備	適用可能な湿式分級方式を検討するため、再生利用に対する界面活性剤の影響の確認が必要。

後工程	分類	留意点
熱処理	設備	乾燥が必要
化学処理	設備	水分調整設備の必要性を検討するため、固液比の確認が必要
		適用可能な湿式分級方式を検討するため、界面活性剤などの添加物が後工程に及ぼす影響の確認が必要。
最終処分		無し

## 6. 組合せに対する留意点(乾式分級)

### ■ 他技術との組合せにおいて、乾式分級処理技術の設備、運転に関わる留意点



前工程	項目	留意点
掘起し	設備	適切な乾式分級方式を検討するため、粒度分布の確認が必要。
		排水材(スラグ、砂)の分離設備の必要性を検討するため、土壌以外の混合物の確認が必要
		一時保管の方法の確認が必要。 一時保管場所から分級設備までの運搬方法の確認が必要。

後工程	分類	留意点
再生利用	設備	適用可能な乾式分級方式を検討するため、再生利用に対する磁性鉄粉の影響の確認が必要。

後工程	分類	留意点
熱処理		無し
化学処理	設備	適応可能な乾式分級方式を検討するため、化学処理に対する磁性鉄粉の影響の確認が必要。
最終処分		無し

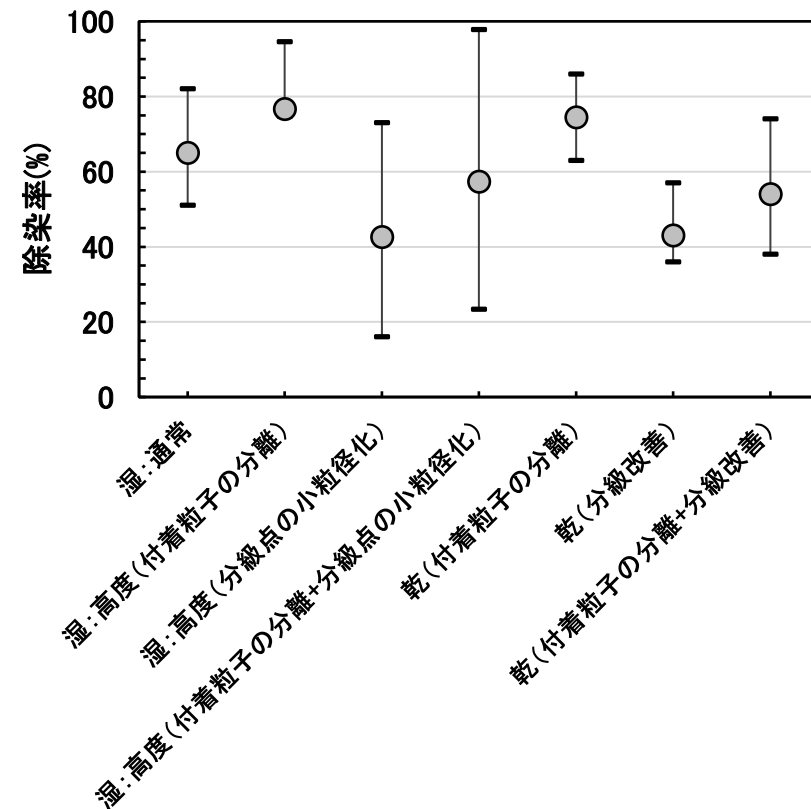
# 7. マッピング

## ■ マッピングの目的

- ✓ 除去土壌(土壌C、D相当:16,200Bq/kg~)の減容化に関する技術を俯瞰的に確認できるようにする。
- ✓ 複数の技術を同じ軸で比較することで、その特徴を分かりやすく示し、技術の抽出に活用する。
- ✓ 各技術の改善点を可視化し、今後の実証事業で確認・開発する事項の検討に活用する。

## ■ 除染率の比較

- ✓ 湿式の通常分級と比較して湿式の高度分級は、付着粒子の分離を行った場合に除染率の向上が認められた。
- ✓ 湿式分級の付着粒子の分離と分級点の小粒径化の併用においては除染率に幅があった。
- ✓ 分級点の小粒径化が除染率に及ぼす効果は認められない。
- ✓ 湿式の通常分級と比較し、乾式分級の優位性は認められない。
- ✓ 除染率は、粒度分布、粒度ごとの放射能濃度に影響を受けると推測する。



※平均値の算出方法:各実証事業の試験結果を算術平均した

図 除染率の比較

# 7. マッピング

## ■ 減容化、減量化の比較

- ✓ 原理的には分級点の小粒径化を行った場合に減容化率、減量化率が向上する。湿式の通常分級と比較し、高度分級である付着粒子の分離および分級点の小粒径化を併用した場合に、減容化率の向上が認められたが、減量化率の向上は認められなかった。
- ✓ 湿式の通常分級と比較し、乾式分離の優位性は認められなかった。

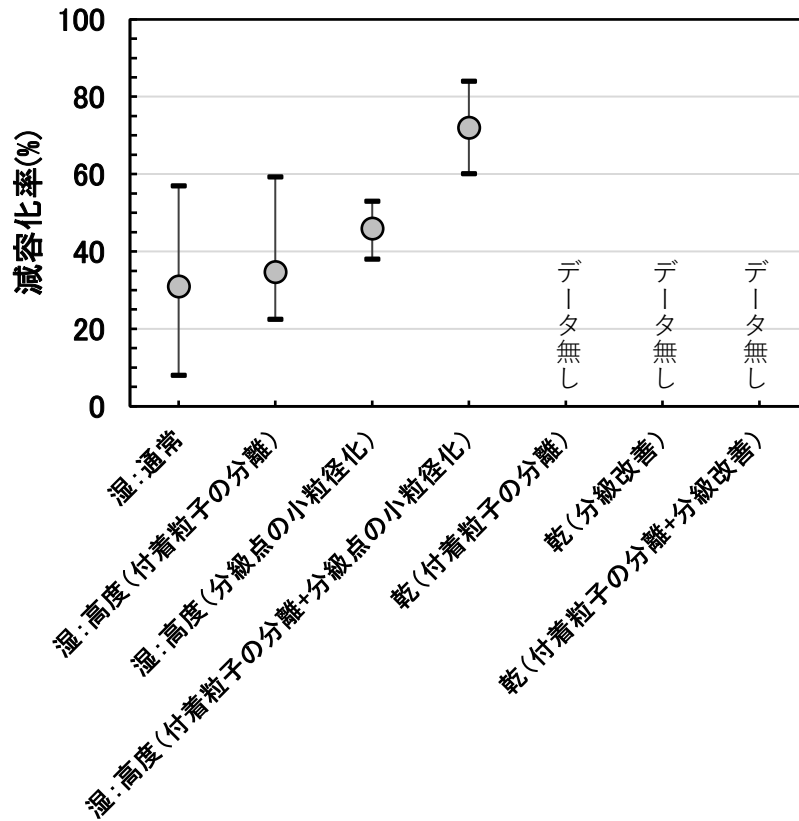


図 減容化率の比較

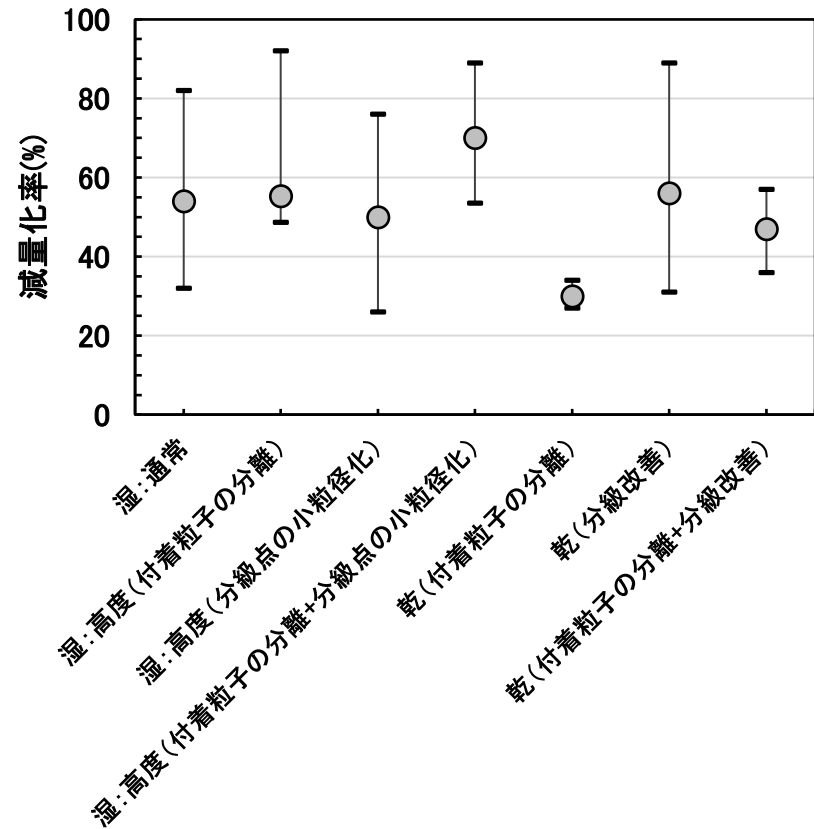


図 減量化率の比較

# 7. マッピング

## ■ 分級効果の比較

- ✓ 湿式の通常分級と比較し、高度分級である付着粒子の分離を行った場合に、分級効果が高い場合もあったが、平均値は大差なかった。

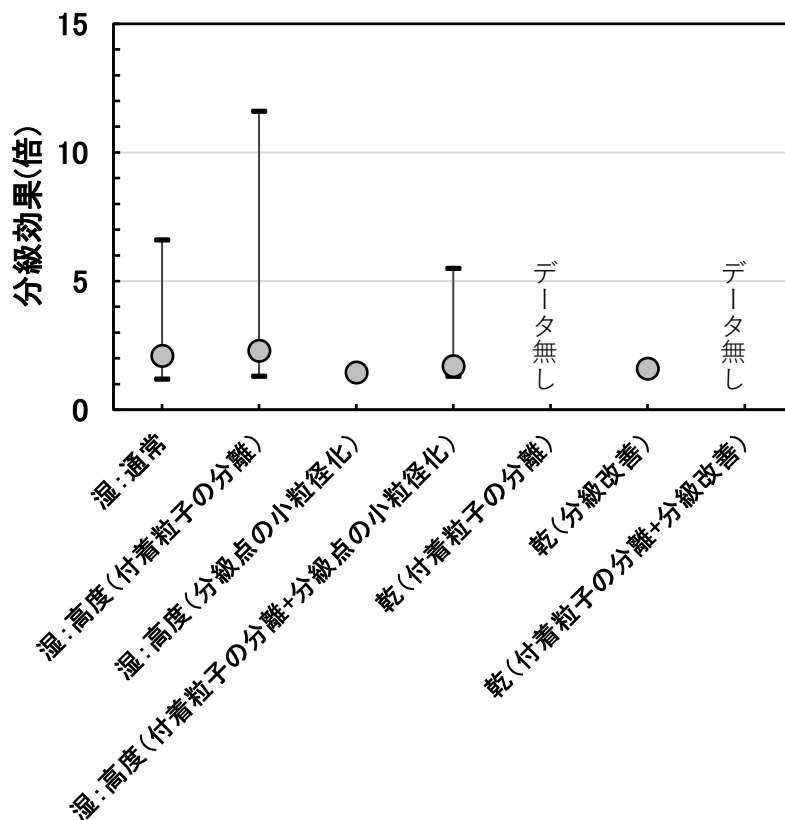


図 分級効果の比較



# 7. マッピング

## ■ 減量化率、減容化率と分級効果の関係

✓ 減量化率が高い場合に分級効果も高くなる傾向であった。

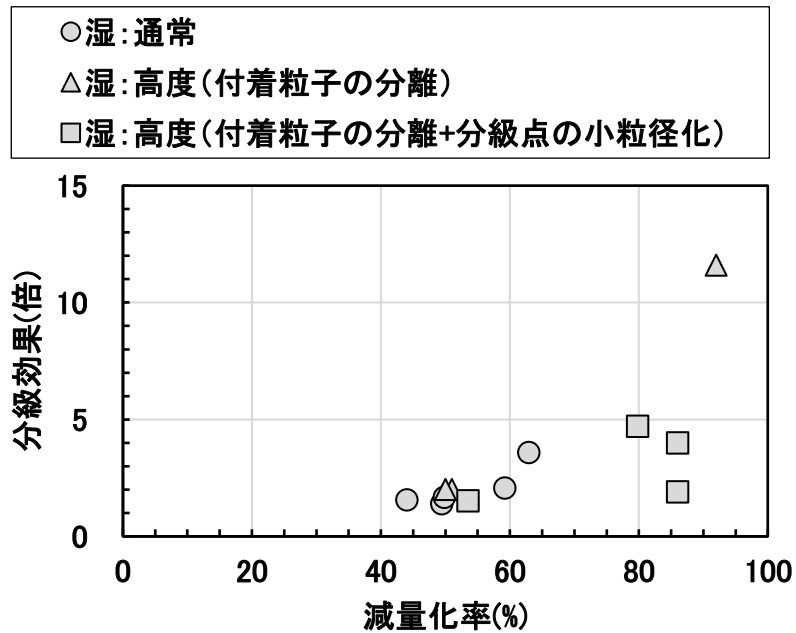


図 減量化率と分級効果の関係

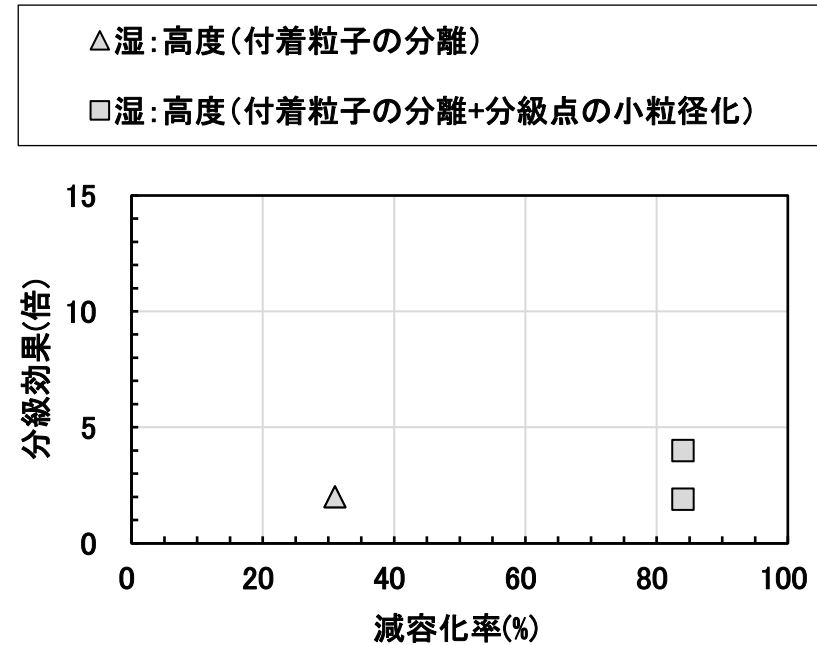


図 減容化率と分級効果の関係

# 7. マッピング

## ■ イニシャルコスト、ランニングコストの比較

- ✓ コストには実証当時の単価を反映
- ✓ コストに含まれている内訳の精査が必要
- ✓ 湿式分級と乾式分級は、イニシャルコスト、ランニングコストともに大差は認められなかった。

- 湿: 通常
- △湿: 高度(付着粒子の分離)
- ◇湿: 高度(分級点の小粒径化)
- 湿: 高度(付着粒子の分離+分級点の小粒径化)
- 乾(付着粒子の分離)
- △乾(分級改善)
- ◇乾(付着粒子の分離+分級改善)

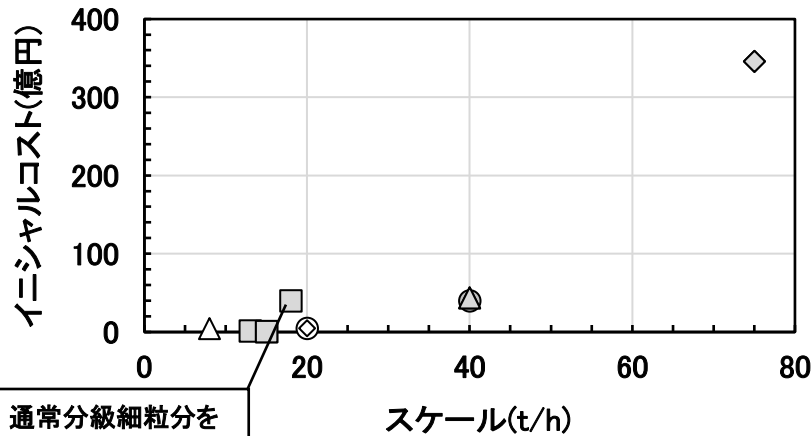


図 イニシャルコスト

通常分級細粒分を高度分級の対象としているが、試算されているのは高度分級設備のみ

- 湿: 通常
- △湿: 高度(付着粒子の分離)
- ◇湿: 高度(分級点の小粒径化)
- 湿: 高度(付着粒子の分離+分級点の小粒径化)
- 乾(付着粒子の分離)
- △乾(分級改善)
- ◇乾(付着粒子の分離+分級改善)

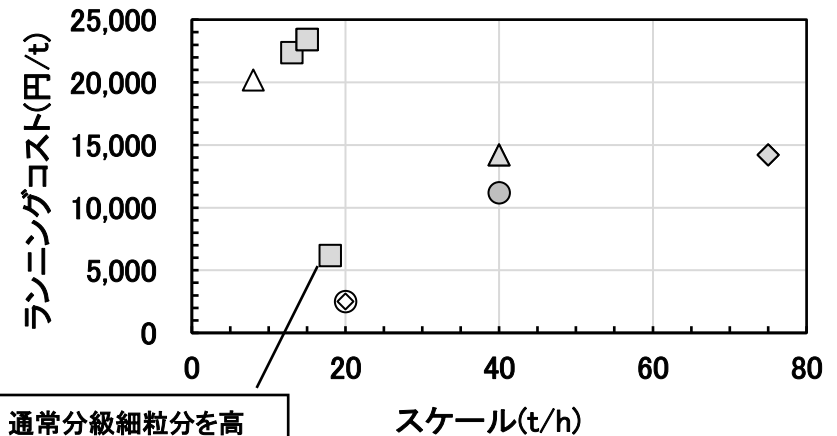


図 ランニングコスト

通常分級細粒分を高度分級の対象としているが、試算されているのは高度分級設備のみ

# 7. マッピング

## ■ 湿式分級の総費用の比較

- ✓ 実証当時の単価を反映。コストに含まれている内訳の精査が必要
- ✓ 湿式の通常分級と比較し、高度分級の費用(イニシャル+ランニング)は若干高い
- ✓ 高度分級においては、付着粒子の分離のみ、分級改善のみ、両方併用の費用に大差は認めらなかった。

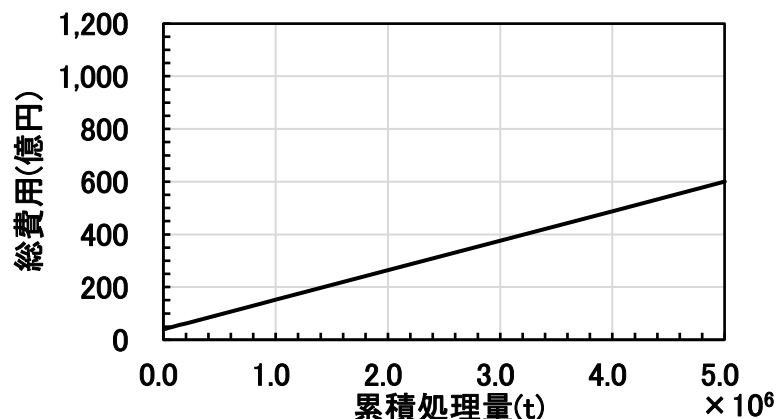


図 分級費用(湿式通常分級)

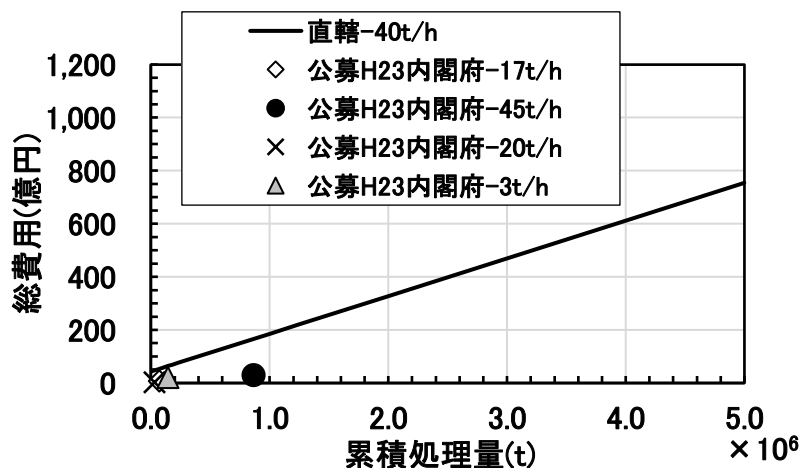


図 分級費用(湿式高度分級:付着粒子の分離)

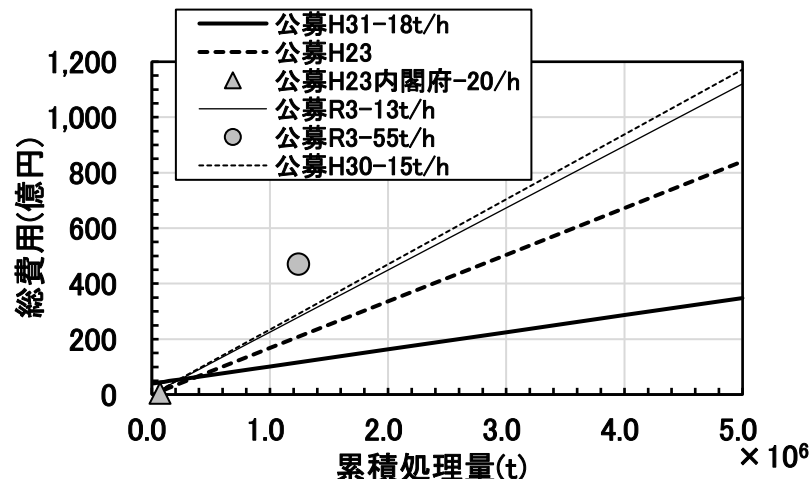


図 分級費用(湿式高度分級:粒子分離+分級改善)

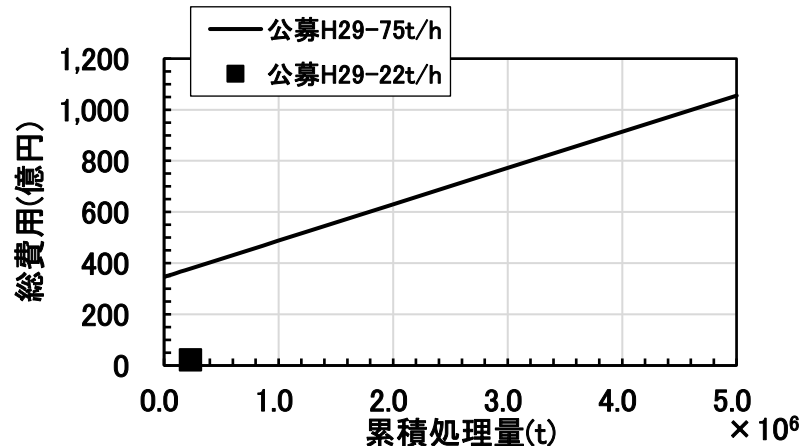


図 分級費用(湿式高度分級:分級改善)

# 7. マッピング

## ■ 湿式分級と乾式分級の総費用の比較

- ✓ コストには実証当時の単価を反映
- ✓ コストに含まれている内訳の精査が必要
- ✓ 乾式分級の総費用は幅があった。低コストで分級できる可能性があるが、データの精査、充実化が必要。

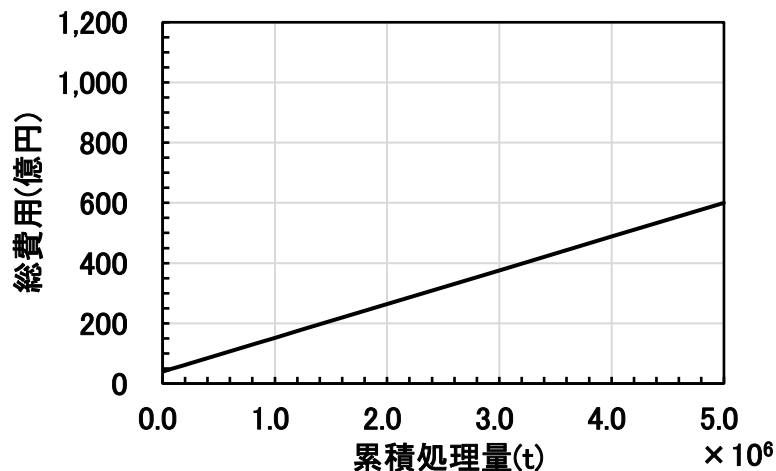


図 分級費用(湿式通常分級)

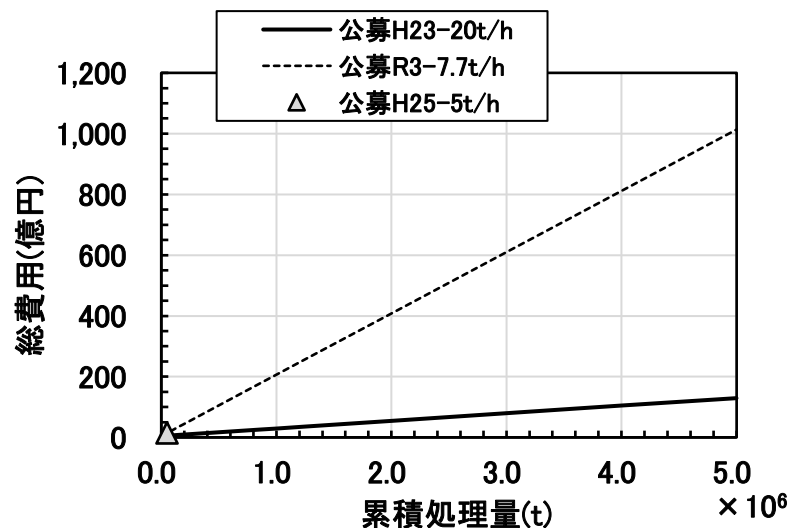


図 分級費用(乾式分級)

## 8. 論点

### ■ まとめ

- A) 湿式分級、乾式分級ともに減容、減量できること、及び除染できることを確認した。
- B) 除去土壌は、農地由来等で細粒分率が30～50%程度である。除去土壌を対象とした湿式高度分級(付着粒子の分離+分級点の小粒径化)の減容効果を確認した。

項目	優位な技術	優位と考えた根拠
① 減容化 減量化	湿式高度分級 (付着粒子の分離+分級点の小粒径化)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 除染土壌の粒度分布にも影響を受けるため、実証試験においては通常分級との差は明確でなかった。原理的には、高度分級(分級点の小粒径化)を実施した場合に、通常分級と比較して減容化率が向上すると考える。</li> <li>(乾式分級技術に関して、設計緒元となるデータ(粒度分布、装置内風速分布等)は十分か精査が必要。)</li> </ul>
② 除染率	湿式高度分級 (付着粒子の分離)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原理的には、付着粒子の分離を実施した場合に、通常分級と比較して除染率が向上すると考える。減量化率とのトレードオフ。</li> </ul>
③ 生成物の再生 利用	湿式通常分級 湿式高度分級 (付着粒子の分離)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 分級改善のみを実施した湿式高度分級は、20～75<math>\mu</math>mの高濃度粒子が粗粒分側に分級されることにより除染率が低下していると推測される。</li> </ul>
④ 濃縮物の性状	—	—
⑤ 高度処理の前 処理	乾式分級	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高度処理として熱処理する場合には、熱処理対象の含水比が低くなる乾式分級が優位と思われるが、一方で、分級後細粒分のみを乾燥・熱処理する方が燃料使用量を抑制できるとも考えられる。プロセス全体の物質収支、コスト精査が必要。</li> </ul>
⑥ 低コスト化	—	(コスト内訳の精査、単価の見直し等が必要。)
⑦ 実設備の計画	—	(負荷変動への対応、建設期間、非常時の想定被害及び対応、性能保証項目・性能保証条件(機器、プロセス)など実設備の計画に当たって確認が必要)