



化学処理の評価等について

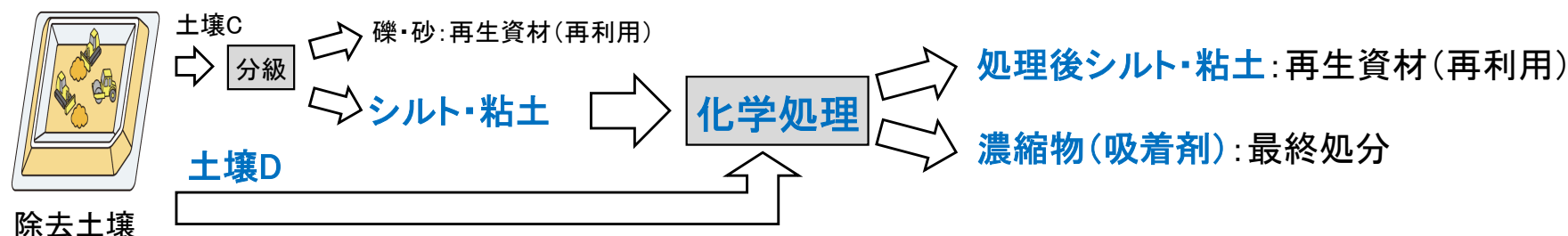
2023年9月27日

環境省環境再生・資源循環局

- (1) 化学処理技術実証の概要
- (2) 用語の定義
- (3) 化学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(案)
- (6) 組合せに対する留意点
- (7) マッピング
- (8) 論点

(1) 化学処理技術実証の概要

■ 化学処理技術の処理対象



■ 実証試験が実施された化学処理技術を年度別に示す

分類		H23 (内閣府)	H24	H25	H26	H27	H28	H29 ~ H30	H31	R2 ~ R3	R4
土壌処理	酸処理	シュウ酸処理 ピーカーレベル		フッ化物処理 0.5kg/バッチ							溶融塩・酸処理 0.02kg/バッチ
	アルカリ処理						水酸化カリ処理 10kg/バッチ				
	環境適合性洗剤処理					ヒドロキシエチルセルロース 0.25kg/バッチ					
	水熱処理					水熱爆砕処理 4.8kg/h	亜臨界イオン交換処理 0.002kg/バッチ		亜臨界イオン交換処理 0.003kg/バッチ		
灰処理					水熱抽出処理 0.5kg/バッチ						

(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
主灰	熱処理によって発生し、炉下部から排出される灰
ばいじん(飛灰)	熱処理によって発生し、炉上部から排出される排ガスに含まれる微粒子をバグフィルタ等で捕集したもの
処理後物	処理によって主に処理対象物由来で生成されるものの内、除染、減容が期待されているもの(洗浄後ばいじん)
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(汚泥等)
パイロットスケール	実機と同様の機能を備え、実機の性能を模擬するに足るレベル
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	除去土壤、ばいじん等を化学処理することで、放射能濃度が下がった割合 $= (\text{処理前土壤、ばいじん放射能濃度} - \text{処理後土壤、ばいじん放射能濃度}) \div \text{処理前土壤、ばいじん放射能濃度} \times 100$
減量化率(%)	除去土壤、ばいじん等を化学処理することで、放射能濃度が高い土壤、ばいじんの重量が減った割合 $= (\text{化学処理前土壤} \cdot \text{ばいじん重量} - \text{化学処理後Cs濃縮物重量}) \div \text{化学処理前土壤} \cdot \text{ばいじん重量} \times 100$
放射エネルギー収支	処理対象物(除去土壤、ばいじん等)中の放射エネルギーを100とした時の、処理後物、二次廃棄物等の放射エネルギー
重量収支	処理対象物(除去土壤、ばいじん等)の処理重量を100とした時の、添加物、処理後物、二次廃棄物等の重量

(3) 化学処理技術の概要整理

■ 化学処理技術の原理・特性を示す。

項目	酸処理			アルカリ処理	環境適合性洗剤処理	水熱処理			
	シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理	
原理	有機酸により土壌を溶解させ、Csを除去する。	フッ化物イオンにより、粘土鉱物端面が腐食することで、Csを溶出させる。	溶融塩中のCaが粘土鉱物の層間に入り込んだ状態で酸処理することによりAl脱離させCsを溶出する。	アルカリ処理により、Csが含まれている粘土鉱物、腐植質を土壌鉱物から分離する。	酸性溶液により粘土鉱物からCsを分離する。	水熱状態にある土壌を急速に大気圧まで低下させることにより、粘土構造を破壊するとともに、粘土層間のCsを脱離させる。	水熱反応により、粘土層間のCsを脱離させる。	亜臨界水中において粘土鉱物に付着しているCsと金属イオンを置換することでCsを分離する。	
特性	温度	80～95℃	常温	・溶融塩処理：800℃ ・酸処理：98℃	常温	30～70℃	250℃(4MPa)	120～200℃	250℃(4MPa)
	添加物	・シュウ酸 ・水	・フッ化物 ・硫酸 ・アンモニア ・水	・塩化カルシウム ・塩酸	・水酸化カリウム ・過酸化水素	・塩化マグネシウム ・塩化カリウム ・硫酸 ・ヒドロキシエチルセルロース	・水	・水	・水 ・マグネシウム化合物
	特徴	二次廃棄物(廃酸・廃アルカリ等)が発生する。設備化は比較的容易。処理後土壌の中和、洗浄等が必要。				二次廃棄物の発生が限定的。高温高圧設備であるため、設備化に課題あり。			
実証実績	内閣府(H23)	公募(H25)	公募(R4)	J公募(H28)	公募(H27)	公募(H27)	公募(H27)	公募(H28、H31)	

(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	酸処理			アルカリ処理	環境適合性洗浄剤処理	水熱処理			
技術	シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理	水酸化カリウム処理	ヒドロキシエチルセルロース処理	水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理	
実施年度	H23(内閣府)	H25(公募)	R4(公募)	H28(公募)	H27(公募)	H27(公募)	H27(公募)	H28(公募) (H31(公募))	
装置規模	不明(ピーカーレベル)	0.5kg/バッチ	0.02kg/バッチ	10kg/バッチ	0.25kg/バッチ	準連続式:4.8kg/h	0.5kg/バッチ	0.002kg/バッチ	
イン プ ット	主な対象物	福島県内除去土壌	楢葉町除去土壌 大熊町表層土壌	浪江町表層土壌	飯館村スポーツ公園の土壌 水田畔の土壌 仮置場内水田土壌	福島県内除去土壌の分級細粒分	飯館村田地表層土の分級細粒分	木質焼却灰 都市ごみ焼却飛灰 仮設焼却炉飛灰	表層土の分級細粒分 (0.075mm以下)
	主対象の放射能濃度	4,850	楢葉分級粗粒分:5,100 楢葉分級細粒分:11,700 大熊分級細粒分:293,000	3,230~308,000	飯館村スポーツ公園の土壌:21,300 水田畔の土壌:22,600 仮置場内水田土壌:5,580	28,600	0.2mm以下:27,400 0.075mm以下:29,000	木質焼却灰:4,400 都市ごみ焼却飛灰:7,600 仮設焼却炉飛灰:29,600	19,900
	その他	【酸処理薬剤】 シュウ酸(1mol/L) 【吸着剤】 フェロシアン化ニッケル、ゼオライト	【酸処理薬剤】 硫酸 硫酸アンモニウム フッ化水素アンモニウム 【吸着剤】 フェロシアン化ナトリウム 【安定化剤】 Mg系重金属不溶化剤	【溶融塩処理薬剤】 塩化カルシウム 【酸処理薬剤】 塩酸 硫酸 【吸着剤】 ゼオライト	【アルカリ処理薬剤】 水酸化カリウム溶液 過酸化水素溶液 【凝集剤】 ポリ塩化アルミ溶液 高分子凝集剤溶液	【洗浄剤】 塩化マグネシウム 塩化カリウム 硫酸 ヒドロキシエチルセルロース 【吸着剤】 フェロシアン化鉄	【吸着剤】 フェロシアン化鉄 【凝集剤】 NaOH溶液(pH調整) ポリ塩化アルミ溶液 ポリアクリルアミド溶液	【吸着剤】 多孔質吸着剤(セオライト入り繊維ホリマ)	【亜臨界水処理】 マグネシウム化合物 【吸着処理】 フェロシアン化鉄 【安定化処理】 ホウ珪酸ガラス
ア ウ ト プ ット	主な処理後物	処理土壌 340~1,120	処理土壌 楢葉分級砂:1,580~2,420 楢葉分級シルト:6,800~7,000 大熊分級シルト:68,000~84,000	処理土壌 700~243,300	処理土壌 飯館村スポーツ公園の土壌:6,970~7,900 水田畔の土壌:8,460 仮置場内水田土壌:3,630	処理土壌 19,000~36,600	処理土壌 0.2mm以下:4,530~11,000 0.075mm以下:7,310~13,000	処理灰 木質焼却灰:360 都市ごみ焼却飛灰:1,630 仮設焼却炉飛灰:17,400	処理土壌 2,160~10,260
	その他	使用済吸着剤 処理水(再使用)	使用済吸着剤 中和スラッジ 処理水(再使用)	ポルサイト化ゼオライト 処理水	浮遊物 気泡連行回収物 脱水ケーキ 処理水	使用済吸着剤 中和スラッジ 処理水	使用済吸着剤(凝集沈泥汚泥) 処理水	使用済吸着剤 処理水	安定化体 処理水 洗浄水

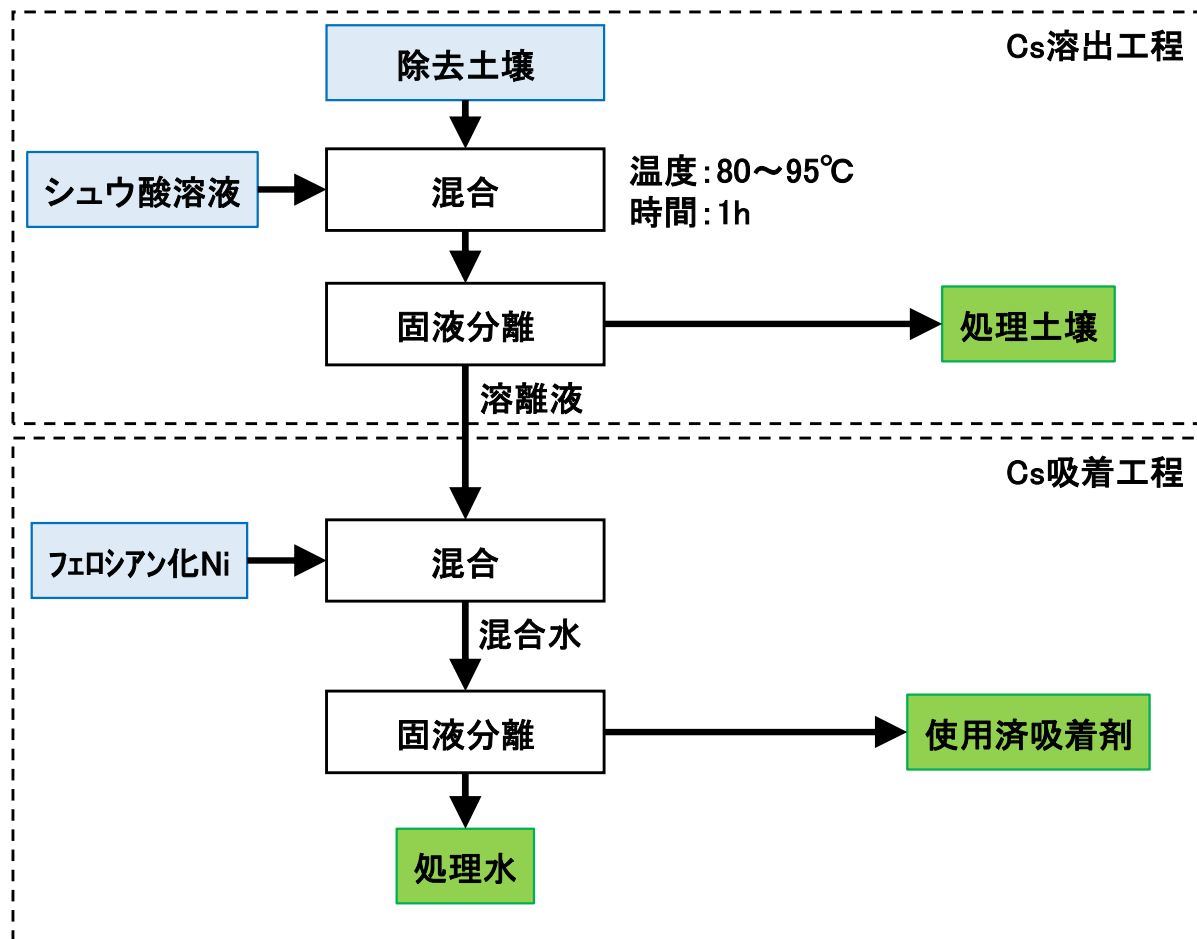
(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

- 実証試験(内閣府:H23)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 除去土壌をシュウ酸溶液で洗浄し、溶出したCsを含むシュウ酸溶液を吸着処理する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カルウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg-dry)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
除去土壌	4,853	100	100
シュウ酸(1mol/L)	0	0	5,000
フェロシアン化Ni	0	0	不明
処理土壌	340~1,116	不明	不明
使用済吸着剤	不明	不明	不明
処理水	不明	不明	不明



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

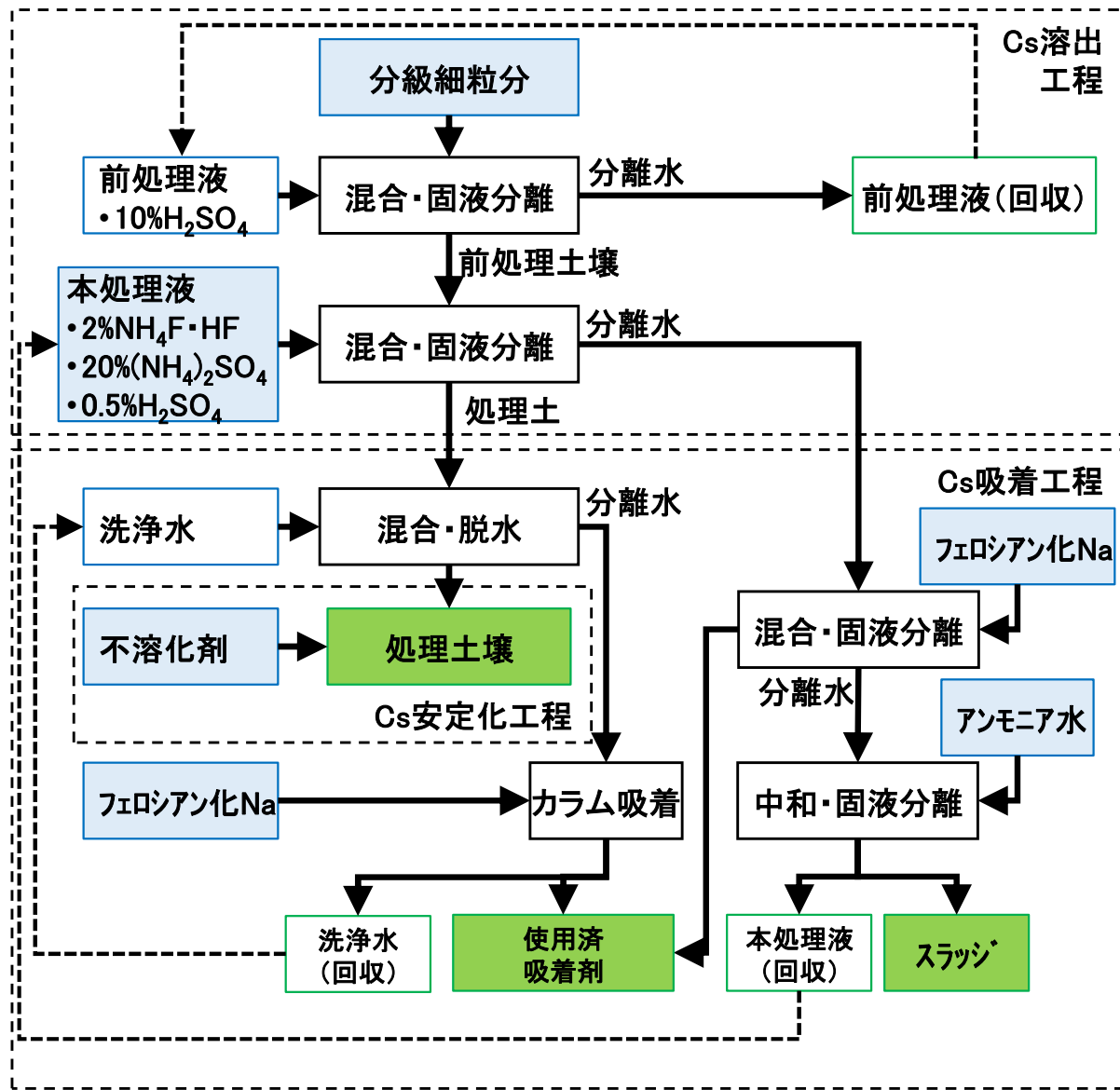
- 実証試験(公募:H25)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 分級細粒分をフッ化物溶液で洗浄し、溶出したCsを含むフッ化物溶液を吸着処理する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カルウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%-wet)
分級細粒分	293,000	100	100
薬品(補充分)	0	0	不明
フェロシアン化Na	0	0	不明
アンモニア水	0	0	不明
不溶化剤	0	0	1
補給水	0	0	不明
前処理液(循環使用)	4,172	21	1,502
本処理液(循環使用)	440	2	1,073
洗浄水(循環使用)	不明	不明	不明
前処理液(回収)	6,084	57	2,747
本処理液(回収)	2,180	19	2,532
洗浄水(回収)	190	1	2,146
処理土壌	81,471	19	68
使用済吸着剤	7,100,000	27	1
スラッジ	2,600	0.3	32

※循環水中に放射能が蓄積している。
 ※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

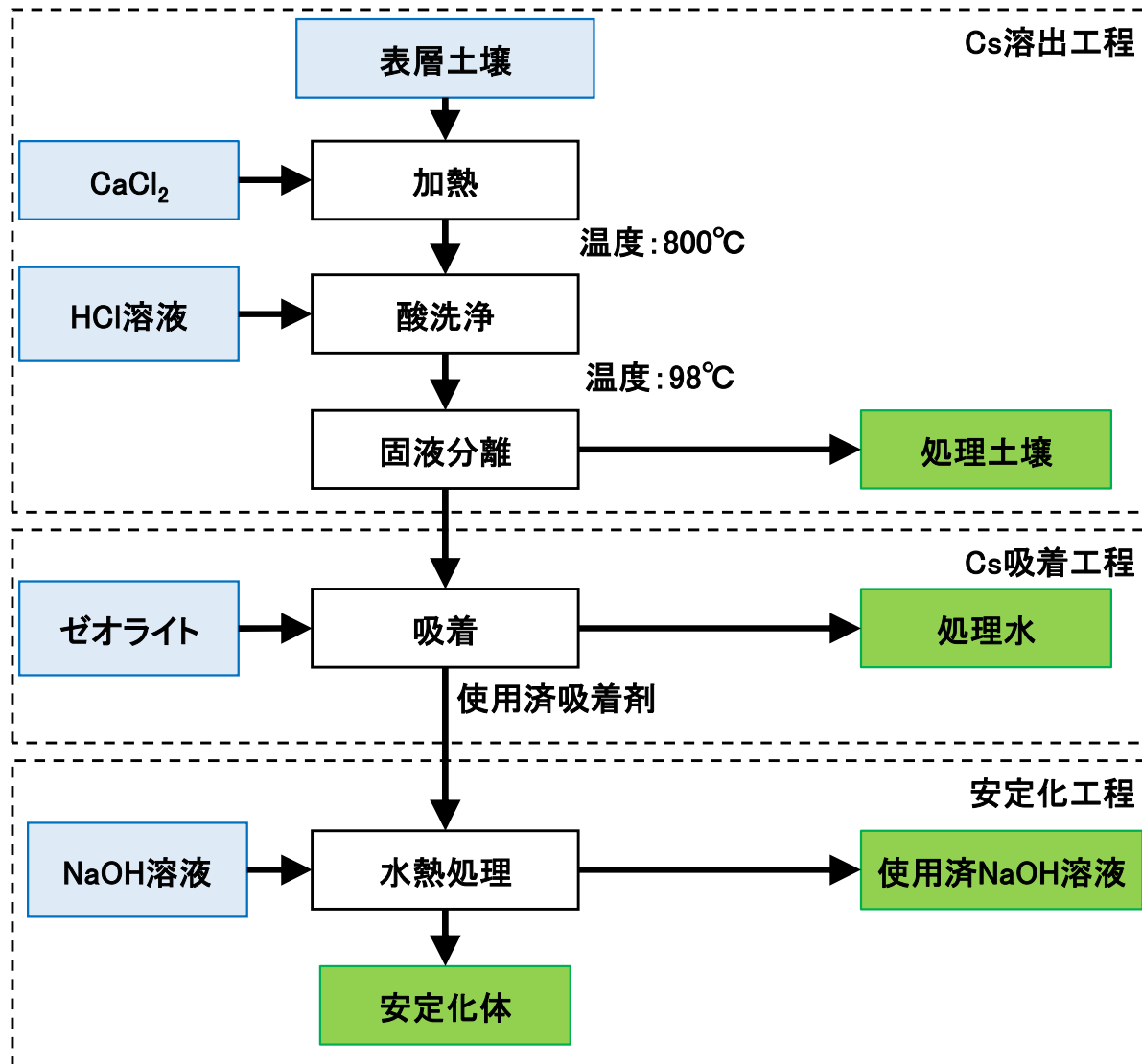
- 実証試験(公募:R4)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 表層土壌を溶融塩処理、次いで酸処理し、Csを含む酸溶液を吸着処理する。使用後の吸着剤を水熱処理し、安定化する。

酸処理	アルカリ処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理
シュウ酸処理 フッ化物処理	水酸化カルウム処理		水熱爆砕処理 水熱抽出処理
溶融塩・酸処理			亜臨界イオン交換処理

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
表層土壌	29,375	100	100
CaCl ₂	0	0	40
HCl溶液	0	0	1,000
ゼオライト	0	0	40
NaOH溶液	0	0	300
処理土壌	544	1	66
処理水	0	0	1,000
安定化体	57,057	49	25
使用済NaOH溶液	283	3	310

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

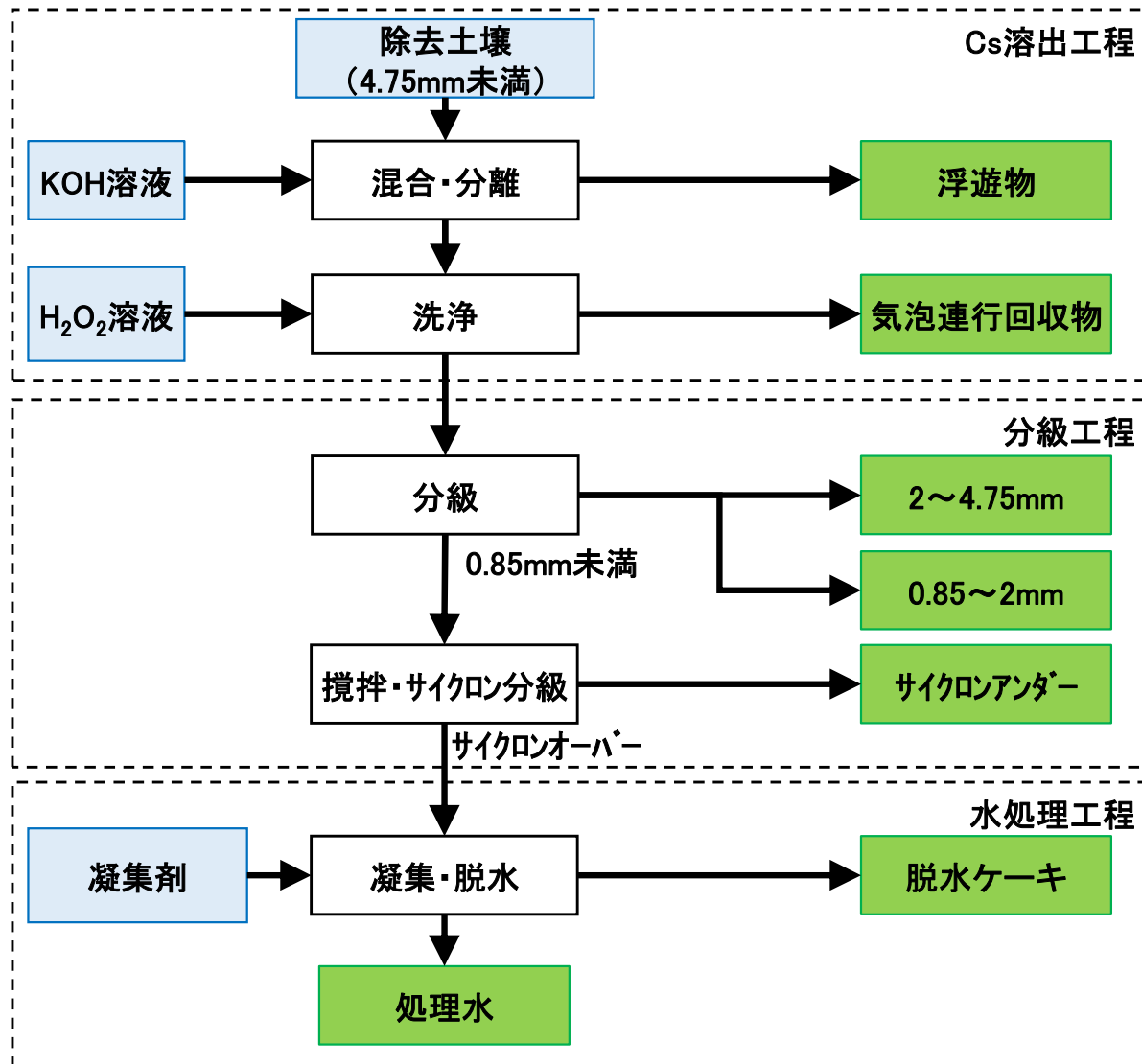
- 実証試験(公募:H28)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 除去土壌をアルカリ溶液で洗浄し、洗浄後土壌を分級する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カリウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg-dry)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)
除去土壌	21,347	100	100
KOH溶液	0	0	700
H ₂ O ₂ 溶液	0	0	不明
凝集剤	0	0	不明
浮遊物	26,691	1	2
気泡連行回収物	44,154	2	8
2~4.75mm	10,564	2	10
0.85~2mm	4,988	6	38
サイクロンアンダー	10,092	14	42
脱水ケーキ	48,496	48	42
処理水	80	1	302

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

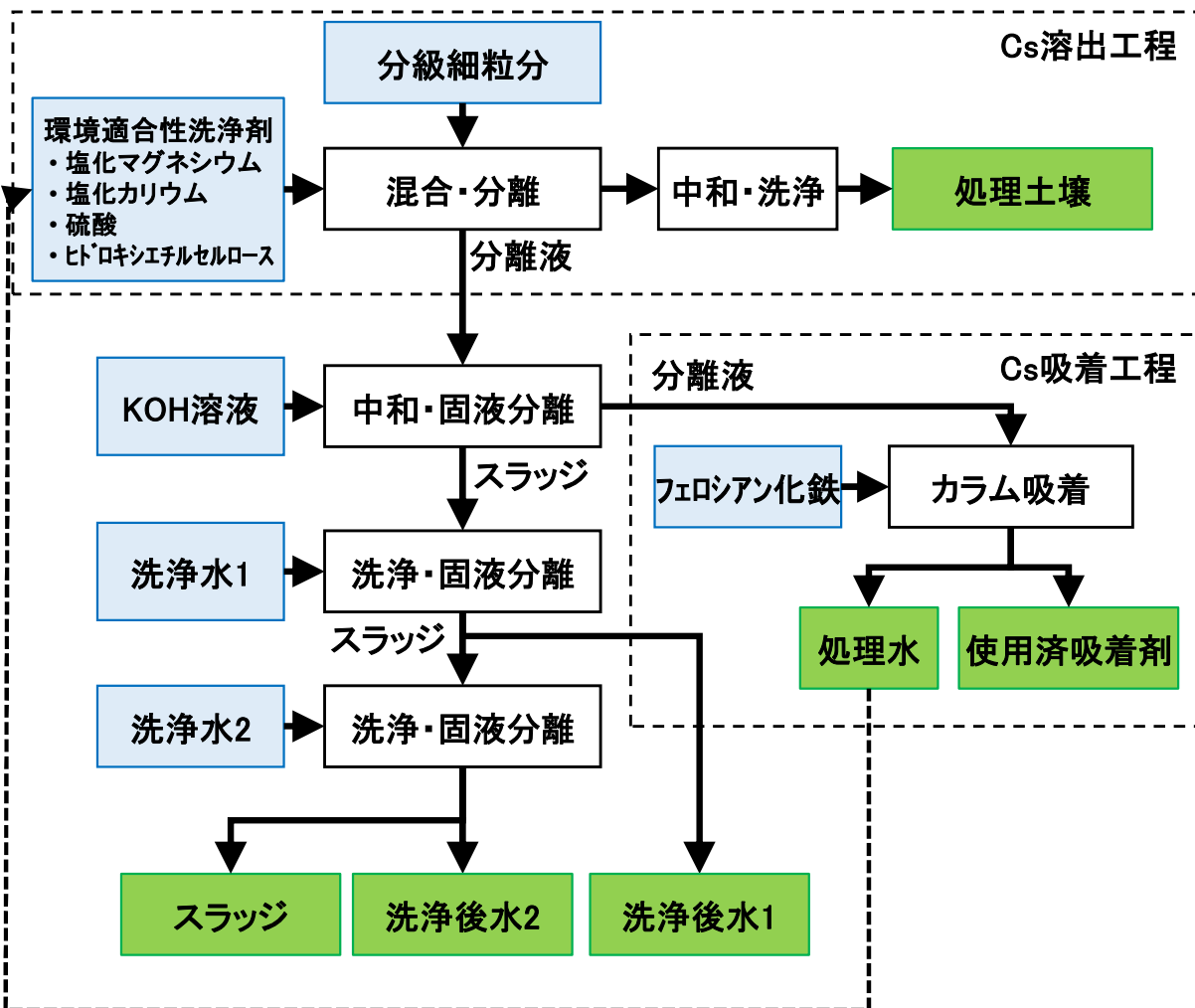
- 実証試験(公募:H27)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 分級細粒分を環境適合性洗浄剤で洗浄し、溶出したCsを含む洗浄剤溶液を吸着処理する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カリウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%-wet)
分級細粒分	28,574	100	100
環境適合性洗剤	0	0	1,033
KOH溶液	0	0	107
洗浄水1	0	0	1,049
洗浄水2	0	0	1,049
フェロシアン化鉄	0	0	8
処理土壌	22,351	73	93
使用済吸着剤	8,050	2	7
処理水	ND	0	715
洗浄後水1	55	2	1,111
洗浄後水2	26	1	1,105
スラッジ	0	0	169

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

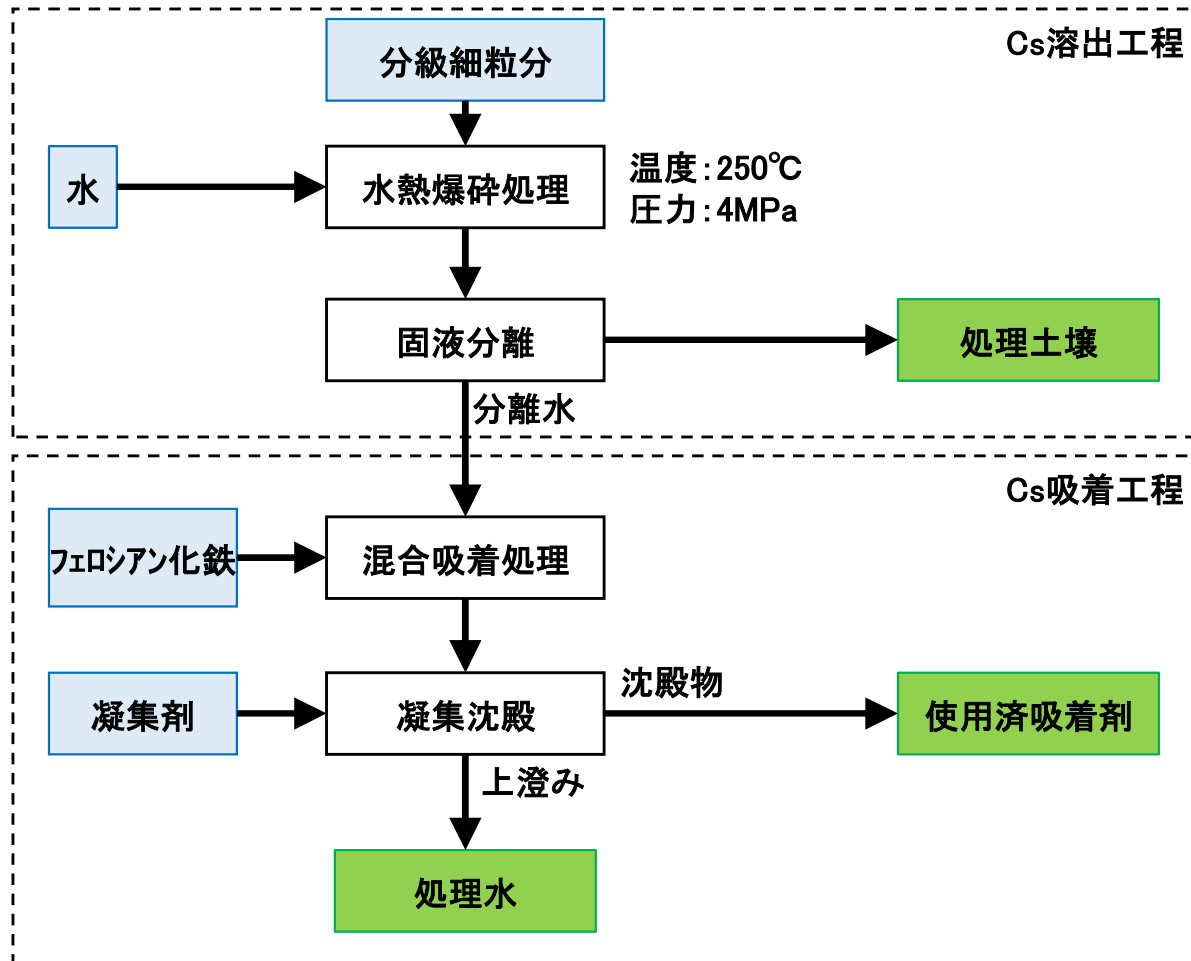
- 実証試験(公募:H27)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 分級細粒土を水熱爆砕処理し、溶出したCsを含む分離水を吸着処理する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カルウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%-wet)
分級細粒分	27,436	100	100
水	0	0	2,371
フェロシアン化鉄	0	0	2
凝集剤	0	0	20
分離水	418	35	2,285
処理土壌	7,043	19	74
使用済吸着剤	159,200	17	3
処理水	19	2	2,254

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

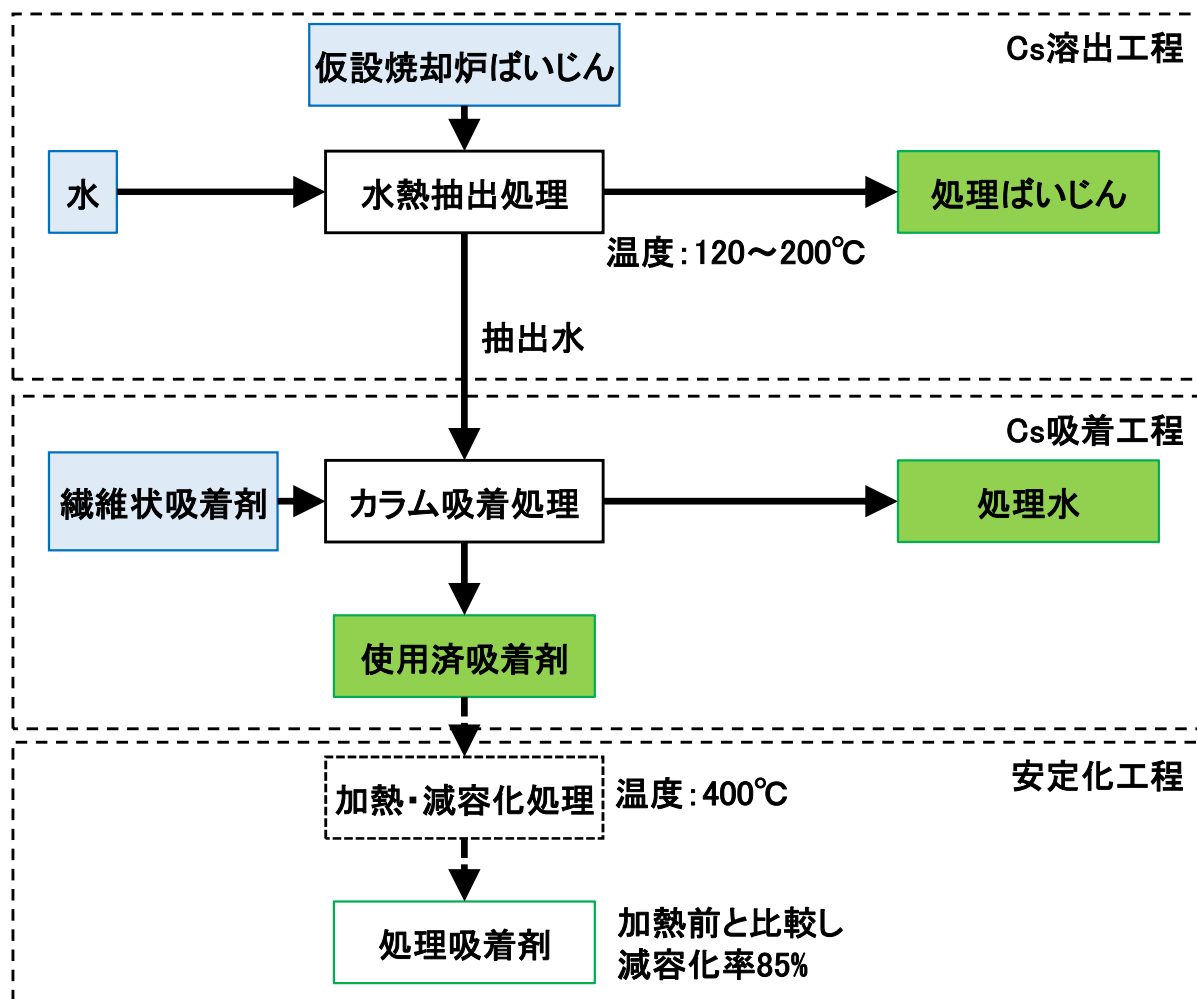
- 実証試験(公募:H27)のインプットとアウトプットを示す。
- ✓ 焼却灰、ばいじんを水熱処理し、Csを含む抽出水を吸着処理する。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 溶融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カリウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
仮設焼却炉ばいじん	29,643	100	100
水	0	0	不明
繊維状吸着剤	0	0	205
抽出水	444	54	3,588
処理ばいじん	17,412	48	82
使用済吸着剤	6,300	44	(205)
処理水	40	5	3,588

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(4) 実証試験のインプットとアウトプットの整理

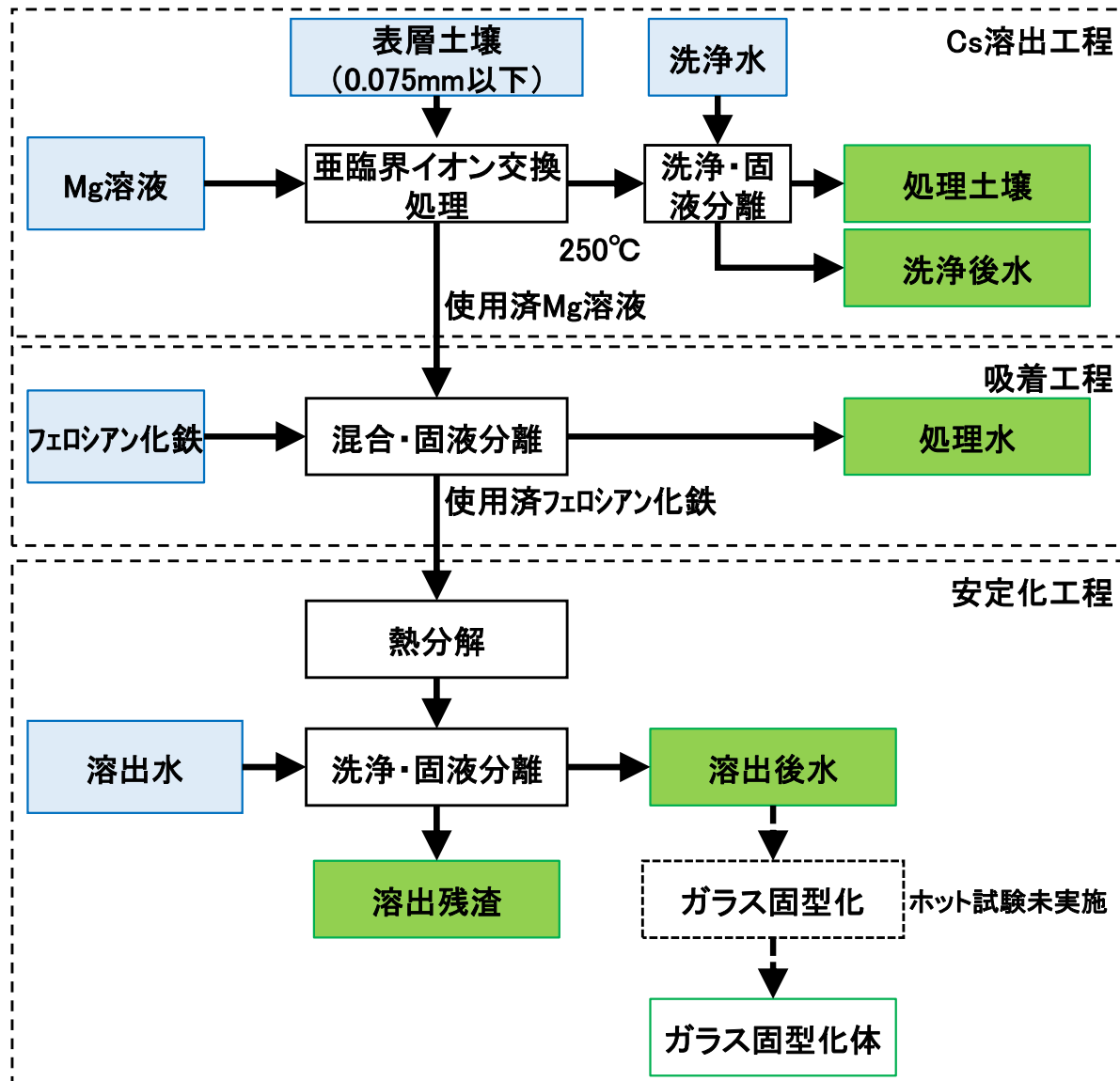
■ 実証試験(公募:H28)のインプットとアウトプットを示す。

酸処理 シュウ酸処理 フッ化物処理 熔融塩・酸処理	アルカリ処理 水酸化カルウム処理	環境適合性洗剤 処理	水熱処理 水熱爆砕処理 水熱抽出処理 亜臨界イオン交換処理
------------------------------------	---------------------	---------------	--

インプットとアウトプット

項目	放射能濃度 (Bq/kg-dry)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
表層土壌	19,900	100	100
Mg溶液	0	0	2,400
洗浄水	0	0	1,000
フェロシアン化鉄	0	0	20
溶出水	0	0	1,123
使用後Mg溶液	429	50	2,315
処理土壌	9,620	47	97
洗浄後水	45	2	990
処理水	29	3	2,263
溶出後水	697	39	1,123
溶出残渣	5,031	2	10

※試験誤差等のため、アウトプット収支は必ずしも100とはならない場合がある。



(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"> ・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 ・②実機レベルでの実施可能性 ・③作業員、環境への安全性等の確保 ・④運搬等の扱いやすさ(追加の遮へい体の必要性など) ・⑤二次廃棄物、副生成物の量、処理方法(施設解体も含む) ・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 ・放射能の収支(減衰を含む)
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"> ・⑥減容化率、減量化率 ・⑦生成物の再生資材としての活用の可能性 ・⑧処理能力や処理条件 ・⑨立地条件(プラント用水や電力の確保等)
	安定化	<ul style="list-style-type: none"> ・最終処分要件(Cs溶出、重金属溶出、長期安定性等)
	最終処分	<ul style="list-style-type: none"> ・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) ・最終処分における管理方法 ・最終処分費用(用地取得、建設、運搬、維持管理)
	再生利用	<ul style="list-style-type: none"> ・再生利用の用途(要求品質(材質、安全))、量、時期 ・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)

(5) 実証技術の評価(化学処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	酸処理			アルカリ処理	環境適合性 洗浄剤処理	水熱処理		
		シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理
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	—	—	—	○	△	—	△	△
		ラボスケール(装置規模不明)レベル。ただし、放射エネルギー収支が不明のため、結果の評価不可	0.5kg/バッチのラボスケールレベル。ただし、放射エネルギー収支が取れていないため、結果の評価不可	0.02kg/バッチのラボスケールレベル。ただし、放射エネルギー収支が取れていないため、結果の評価不可	10kg/バッチのベンチスケールレベル	0.25kg/バッチのラボスケールレベル	準連続式4.8kg/hのベンチスケールレベル。ただし、放射エネルギー収支が取れていないため、結果の評価不可	0.5kg/バッチのラボスケールレベル	0.002kg/バッチのラボスケールレベル
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	△	△	△	△	△	△	△	△
		トレーラー積載型(～百kg/バッチ) ¹⁾ のスケールアップが必要	強酸性条件に対する既存固液分離機及び周辺機器の適用性検討等が必要	キルン内への溶融塩の固着防止等の検討が必要	強アルカリ性条件に対する既存分級機の適用性検討等が必要	強酸性条件に対する既存固液分離機の適用性検討等が必要	長時間連続運転による設備の安定運転の確認が必要	反応槽への処理対象物の出し入れが手動であり、自動化が必要	反応槽への処理対象物の出し入れが手動であり、自動化が必要

(5) 実証技術の評価(化学処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	酸処理			アルカリ処理	環境適合性 洗浄剤処理	水熱処理		
		シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理
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	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△
		劇物である シュウ酸を扱 う。漏出、飛 散対策が必 要。	劇物である フッ化アンモ ニウムを扱う。 漏出、飛散対 策が必要。	塩酸を扱い、 酸処理工程 においては塩 化水素ガス発 生の可能性 があるため、 対策が必要。	劇物である水 酸化カリウム、 腐食性がある 過酸化水素 水を扱う。漏 出、飛散対策 が必要。	可燃性である ヒドロキシエ チルセルロー スを扱う。	圧力容器の 取扱い	作業者の安 全確保のため、水熱槽へ の処理対象 物の自動出し 入れ機構の 開発が必要	作業者の安 全確保のため、水熱槽へ の処理対象 物の自動出し 入れ機構の 開発が必要
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 応が良いが、 施策等が複 雑 △: 特別な対応 が必要	—	—	—	—	—	—	—	—

(5) 実証技術の評価(化学処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	酸処理			アルカリ処理	環境適合性 洗浄剤処理	水熱処理		
		シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理
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	— 使用済シュウ酸溶液の処理が必要。ただし、二次廃棄物の発生量、性状の精査が必要。	— スラッジ処理が必要。ただし、二次廃棄物の発生量、性状の精査が必要。	— 使用済NaOH溶液の処理が必要。ただし、二次廃棄物の発生量、性状の精査が必要。	○ 浮遊物、気泡連行回収物の処理が必要	○ 洗浄後水、スラッジの処理が必要	— 処理水の処理あるいは循環使用の検討が必要。ただし、二次廃棄物の発生量、性状の精査が必要。	◎ 処理水の処理あるいは循環使用の検討が必要	◎ 洗浄水、処理水、溶出残渣の処理、あるいは循環使用の検討が必要
⑥減量化率	◎:75%以上(第9回戦略検討会資料4記載のケース3の化学処理の減量化率を減量化率に置き換え) ○:50%以上75%未満 △:50%未満	— (減容化率77~93%:放射エネルギー収支が不明のため、参考値。)	— (98~99%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	— (60~75%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	○ 65~73%(アルカリ無添加の場合68%)	△ 除染効果が低く減量化できていない	— (96~99%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	△ 吸着剤に濃縮されておらず、増量している	◎ (吸着剤の熱分解までで90%)

(5) 実証技術の評価(化学処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	酸処理			アルカリ処理	環境適合性 洗浄剤処理	水熱処理		
		シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理
⑦生成物の再生資材としての活用可能性	◎: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	△ 処理土壌に含まれるシュウ酸の中和・処理、および用途を想定した確認が必要	△ 処理土壌に含まれるフッ素の含有量、溶出量を確認済み。用途を想定した確認が必要	◎ 処理後土壌を用いた植物栽培試験済み	△ 処理後の分級粗粒分に含まれるアルカリの処理、および用途を想定した確認が必要	△ 処理後の組成等を分析済み。用途を想定した品質確認が必要。	△ 用途を想定した品質確認が必要。	△ Csの溶出程度を確認済みである。用途を想定した品質確認が必要。	△ 用途を想定した品質確認が必要。
⑦' 除染率	◎:92%以上 (第5回戦略検討会資料3-2記載のばいじん濃度を8,000Bq/kgまで除染) ○:73%以上 (第5回戦略検討会資料3-2記載の脱水ケーキ濃度を8,000Bq/kgまで除染) △:73%未満	— (77~93%:放射エネルギー収支が不明のため、参考値。)	— (40~69%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	— (96~99%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	△ 8~65% (アルカリ無添加の場合50%)	△ 0~22%	— (61~74%:放射エネルギー収支が取れていないため、参考値。)	◎ 12~96%	○ 12~80%

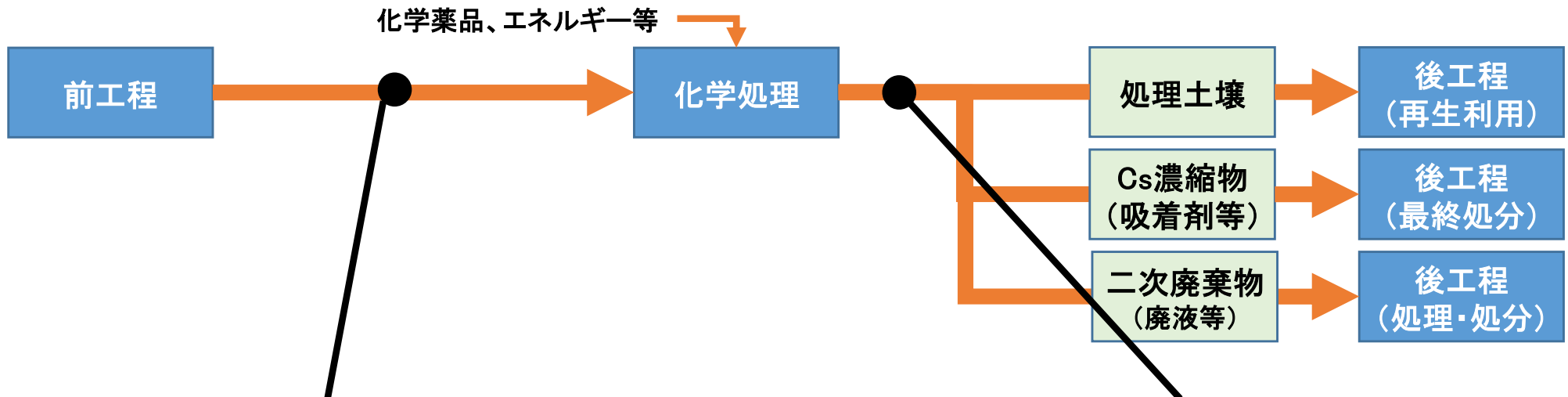
(5) 実証技術の評価(化学処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	酸処理			アルカリ処理	環境適合性 洗浄剤処理	水熱処理		
		シュウ酸処理	フッ化物処理	溶融塩・酸処理			水熱爆砕処理	水熱抽出処理	亜臨界イオン交換処理
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	○	○	○	△	○	○	△	○
		シュウ酸溶液の繰り返し使用を確認済み。	前処理液、本処理液の繰り返し使用を確認済み。再使用時には薬品の濃度不足分を追加する。	HCl溶液の繰り返し使用を確認済み。	KOH溶液の再利用の検討が必要。	洗浄剤の繰り返し使用を確認済み。再利用時には硫酸を追加する。		吸着剤使用量が比較的多い。	Mg溶液の繰り返し使用を想定(試験では未確認)。再使用時には薬品の濃度不足分を追加する。
⑨立地条件(プラント用水や電力の確保等)	◎:水、電力を使用しない ○:循環利用等により節約可能 △:大量の水、電力を必要とする	○	○	○	○	○	○	○	○
		シュウ酸溶液の繰り返し使用を確認済み。	前処理液、本処理液の繰り返し使用を確認済み。	HCl溶液の繰り返し使用を確認済み。	KOH溶液の処理水の50%を再使用。	洗浄剤の繰り返し使用を確認済み。	処理水の繰り返し使用を想定するも、試験においては未確認。	抽出水の繰り返し使用を確認済み。	溶出水の繰り返し使用を想定するも、試験においては未確認。

(6) 組合せに対する留意点

■ 他技術との組合せにおいて、化学処理技術の設備、運転に関わる留意点



前工程	項目	留意点
湿式分級	設備	脱水ケーキの解砕が必要
	運転	脱水ケーキの含水率によって、化学処理時に添加する水量の調整が必要
乾式分級		無し
熱処理		無し

後工程	分類	留意点
再生利用	設備	酸処理、アルカリ処理、環境適合性洗浄剤処理の場合、中和あるいは洗浄が必要
		再生利用の用途を想定した性状等の確認が必要
最終処分	設備	安定化処理方法の検討が必要
処理・処分	設備	処理方法の検討が必要

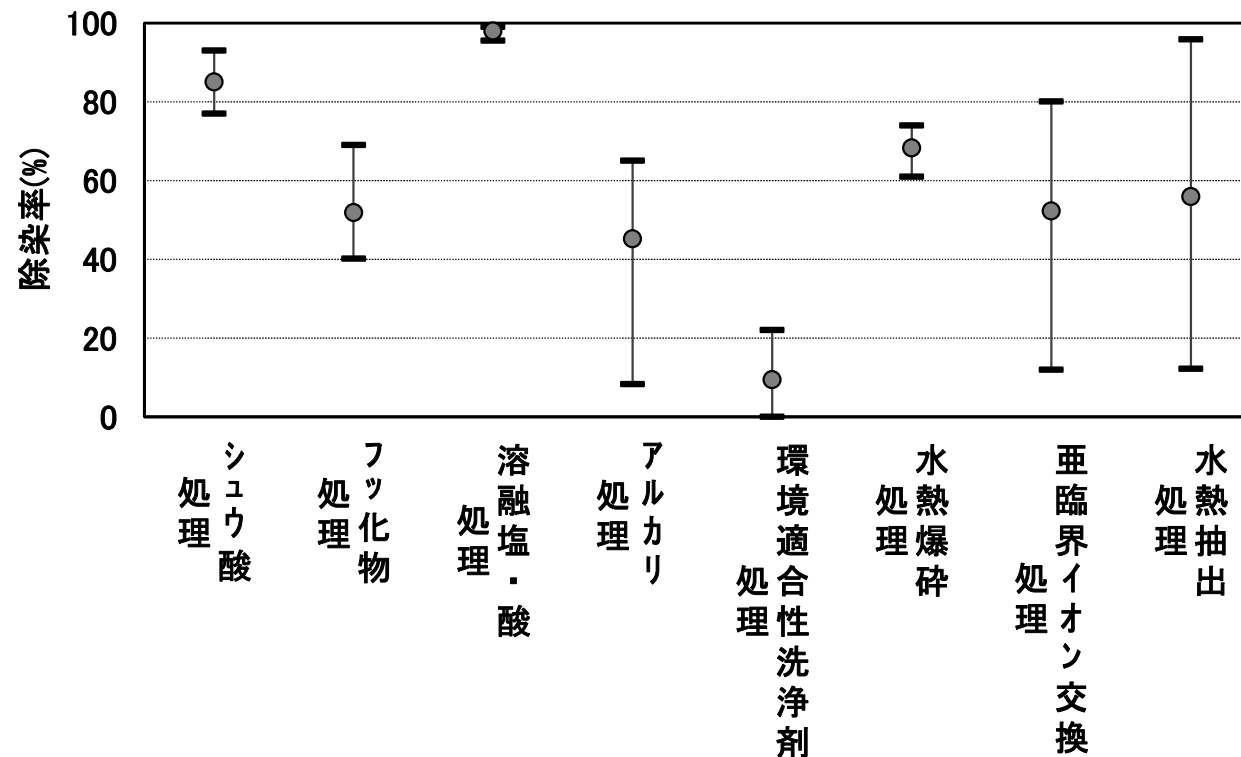
(7) マッピング

■ マッピングの目的

- ✓ ばいじんの洗浄処理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

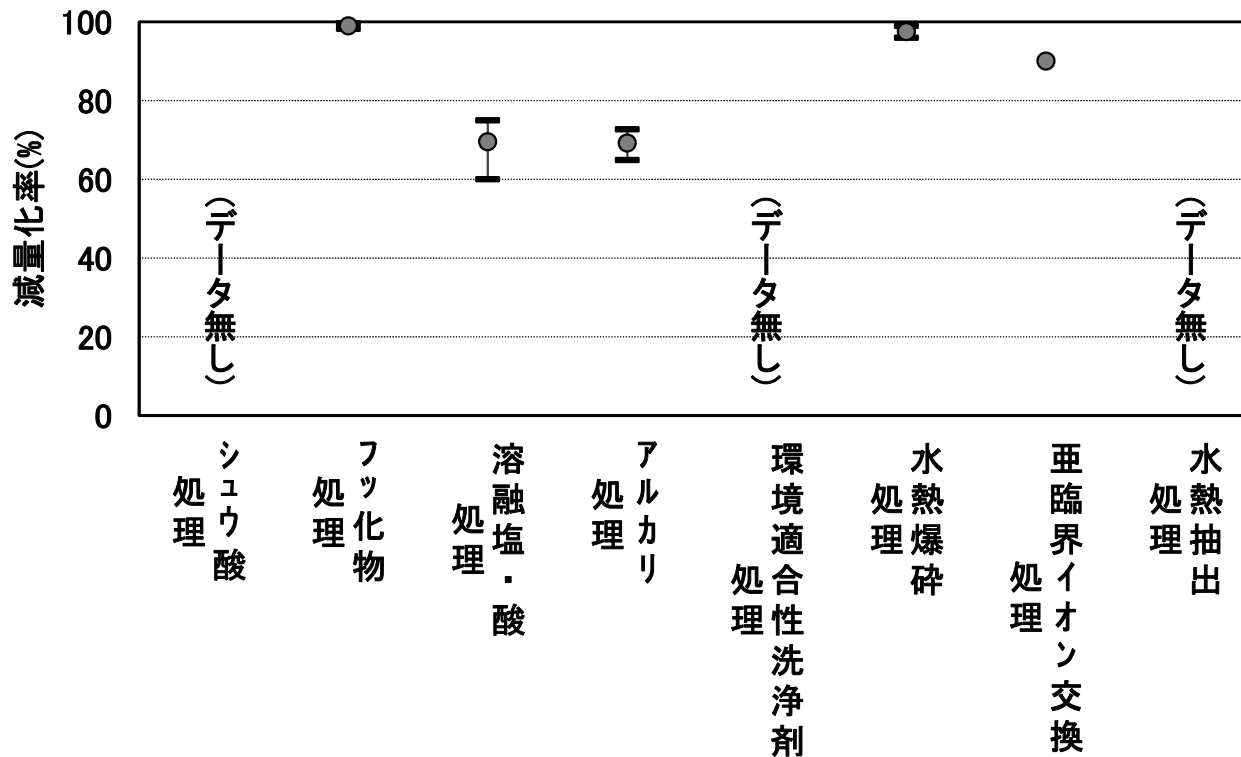
- ✓ 92%以上の除染率が得られたのは、シュウ酸処理、溶融塩・酸処理、水熱抽出処理であった。
- ✓ 除染率には幅があり、対象物、処理条件の影響を受けると考えられる。



(7) マッピング

■ 減量化率の比較

- ✓ 75%以上の減量化率が得られたのはフッ化物処理、水熱爆砕処理、亜臨界イオン交換処理であった。
- ✓ 減量化率は、最終濃縮物の種類、濃縮方法(混合攪拌式吸着、あるいはカラム式吸着)にも影響を受けると考えられる。



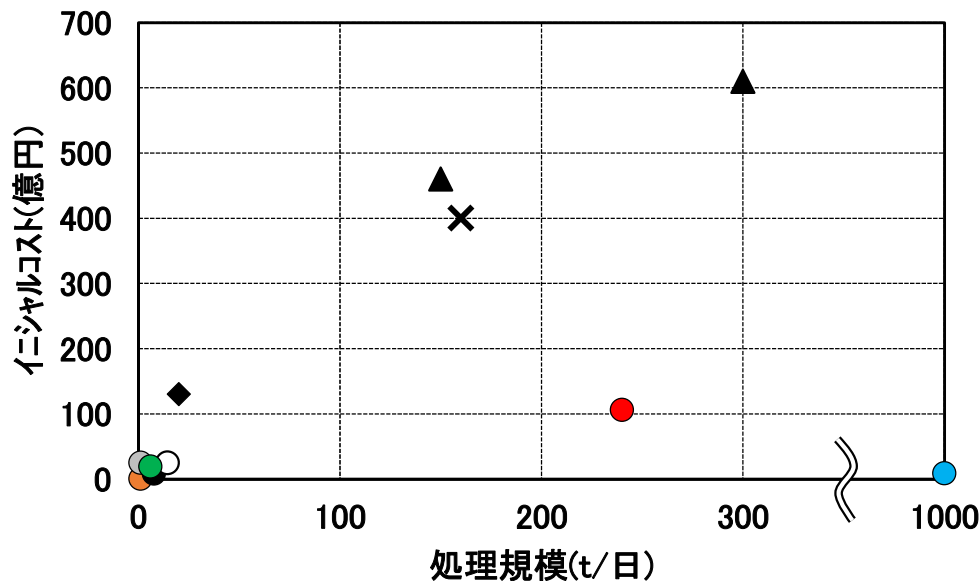
技術	最終濃縮物
シュウ酸処理	(データ無し)
フッ化物処理	吸着剤(フェロシアン化ナトリウム:混合攪拌式)
溶融塩・酸処理	吸着剤(ゼオライト:カラム式)
アルカリ処理	分級細粒分
環境適合性洗浄剤処理	(データ無し)
水熱爆砕処理	吸着剤(フェロシアン化鉄)の凝集汚泥
亜臨界イオン交換処理	吸着剤(フェロシアン化鉄:混合攪拌式)(熱分解工程まで)
水熱抽出処理	(データ無し)

(7) マッピング

■ コスト比較

- ✓ コストには実証当時の単価を反映
- ✓ コスト試算に含まれている要素工程が一様ではないため、直接の比較は困難である
- ✓ 全体のコスト試算・精査が必要

- フッ化物処理
- 溶融塩・酸処理
- アルカリ処理
- 水熱爆砕
- 亜臨界イオン交換処理(8,000Bq/kg未満まで)
- 亜臨界イオン交換処理(10万Bq/kg未満まで)
- 水熱抽出(灰処理)
- × 溶融
- ▲ 焼成
- ◆ 焼却

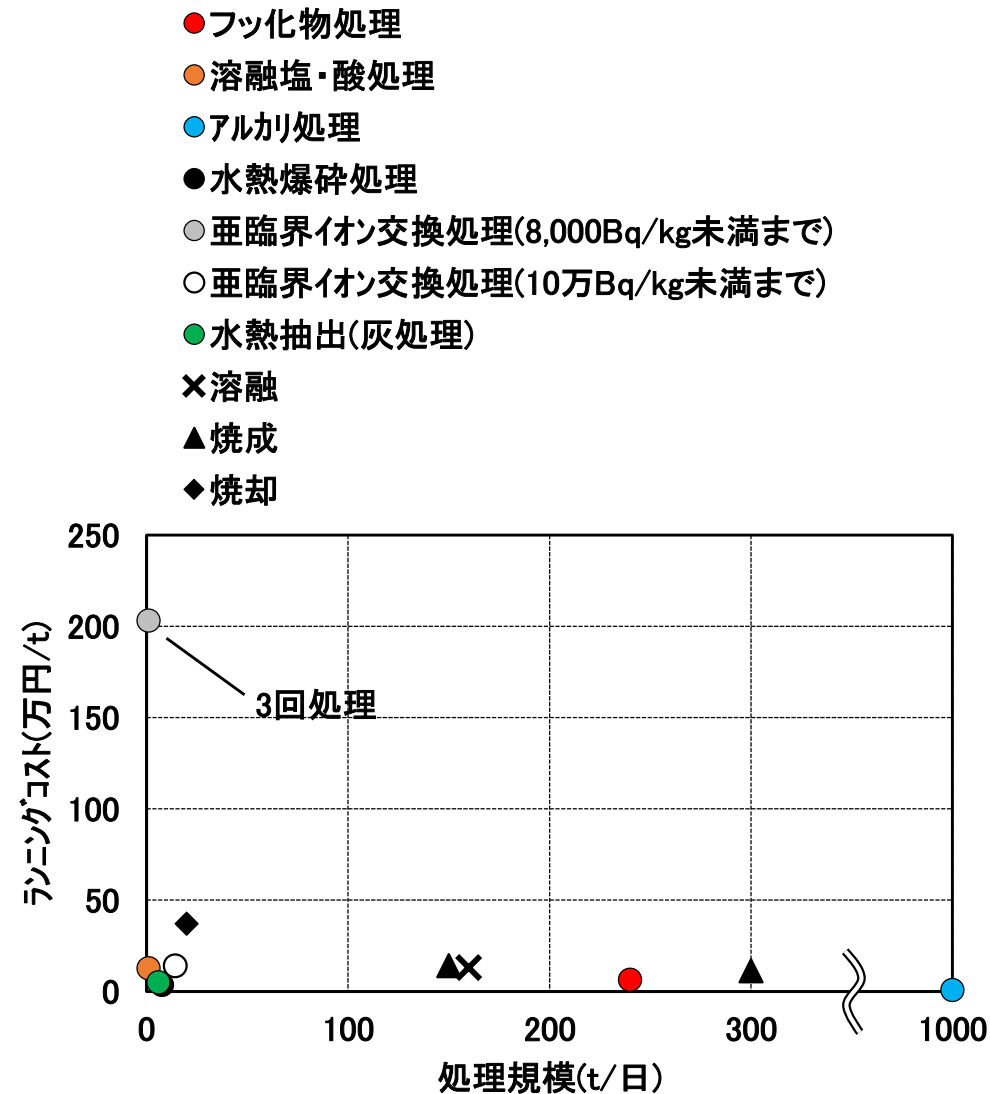


技術	イニシャルコストに含まれる設備	含まれない費用
シュウ酸処理	(データ無し)	(データ無し)
フッ化物処理	酸処理、Cs吸着、土壌洗浄	
溶融塩・酸処理	溶融塩・酸処理、安定化	
アルカリ処理	アルカリ処理、分級	粗粒分洗浄設備
環境適合性洗浄剤処理	(データ無し)	(データ無し)
水熱爆砕処理	水熱爆砕、水処理	
亜臨界イオン交換処理	水熱処理	吸着設備、安定化設備
水熱抽出処理	水熱処理、Cs吸着	

(7) マッピング

■ コスト比較

- ✓ コストには実証当時の単価を反映
- ✓ コスト試算に含まれている要素工程が一樣ではないため、直接の比較は困難である
- ✓ 全体のコスト試算・精査が必要



(8) 論点

■ まとめ

- A) いずれの実証試験もラボスケールレベル、ベンチスケールレベルである。
- B) ラボスケール等比較的小規模の試験において、減量化、除染率が安定していない、物質収支が取れていないケースが多い。
- C) 二次廃棄物発生量、スケールアップ化の課題等を考慮し、大量処理には不向きと考えられる。

項目	技術	実証事業の状況
減量化	—	(物質収支、放射エネルギー収支が取れてない技術が多く、減量化が明確でなかった)
除染率	—	(数%から90%程度までと幅広い結果となり、安定した除染率を得られなかった。)
生成物の再生利用	—	(いずれの技術も生成物の再生利用を想定した確認が限定的であり、網羅的な検証が必要)
二次廃棄物	(水熱処理)	(廃酸・廃アルカリが発生せず、処理水を循環使用することで、二次廃棄物量を減らすことが可能と推測される)
低コスト化	—	
実設備の計画	—	(いずれもラボスケールレベル、ベンチスケールレベルであり、実用化に向けた確認が必要)

	酸処理	アルカリ処理	環境適合性洗浄剤処理	水熱処理
実装置化の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃酸、スラッジの発生量が多い。 ・ 廃酸、スラッジの性状の精査が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮遊物、気泡連行回収物の処理方法の検討が必要。 ・ 廃アルカリ、スラッジの発生量が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃水、スラッジの発生量が多い。 ・ 廃水、スラッジの性状の精査が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大量処理のための連続処理化に関し課題が多い(スラッジ用高圧ポンプ、反応槽出口の摩耗対策等)。