



安定化処理技術の評価等について

2023年2月28日

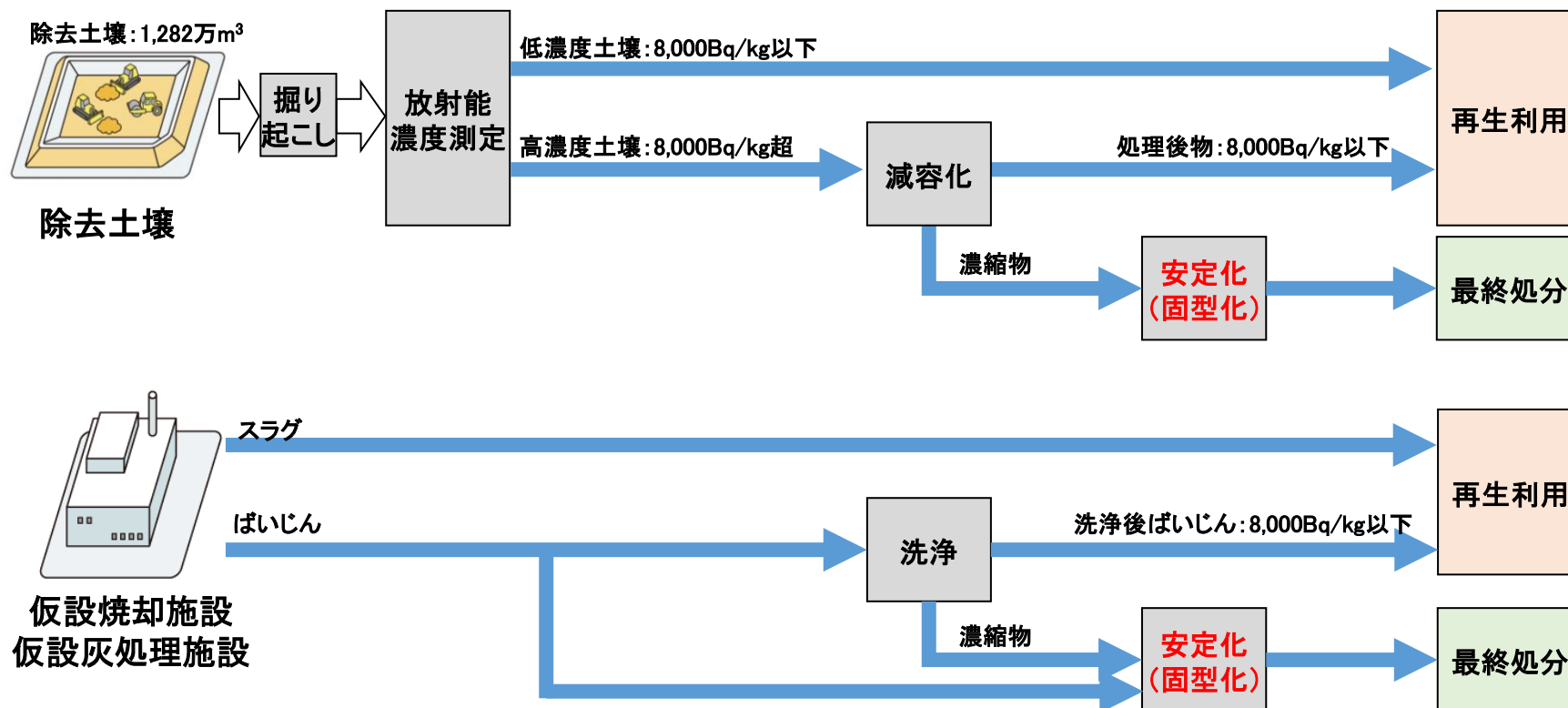
環境省環境再生・資源循環局

1. 安定化の目的
2. 用語の定義
3. 安定化処理技術と最終処分との関連
4. 安定化処理技術実証の概要
5. 安定化処理技術の概要整理
6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理
7. 実証技術の評価
8. 組合せに対する留意点
9. マッピング
10. 論点

1. 安定化の目的

- ✓ 除去土壌等の減容化に伴って生じたばいじん、及びばいじんの洗浄によって生じた濃縮物を、最終処分場に受入可能な性状に処理することを目的とする。
- ✓ 最終処分場及び運搬の効率を高めるため、できるだけコンパクトな形状とする。

【処理プロセスの例】



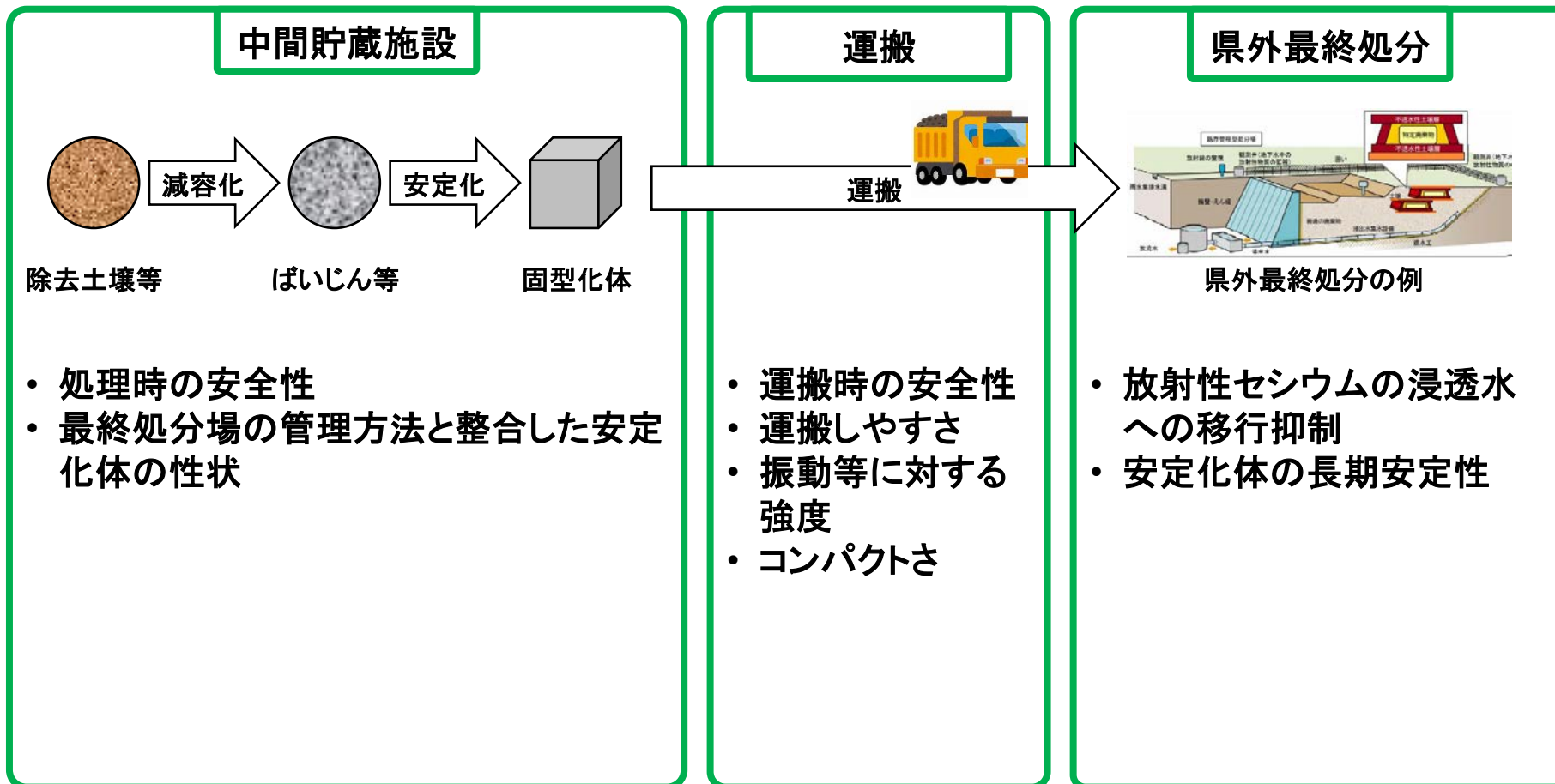
2. 用語の定義

■ 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する灰
ばいじん	熱処理によって発生する微粉末
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、あるいは減容が期待されているもの(溶融:スラグ、焼成:生成物、焼却:主灰)
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
濃縮率(倍)	処理対象物の放射能濃度とばいじんの放射能濃度の倍率 = ばいじん放射能濃度 ÷ 処理対象物放射能濃度
放射エネルギー収支	処理対象物(土壌、灰等)中の放射エネルギーを100とした時の、生成物、ばいじん等の放射エネルギー
重量収支	処理対象物(土壌、灰等)の処理重量を100とした時の、添加物、生成物等の重量
充填率(kg/L)	安定化体の単位容積に含まれる安定化処理対象物の重量 = 安定化体に含まれる安定化処理対象物の重量 ÷ 安定化体容積
放射エネルギー移行率(%)	安定化対象物に含まれる放射エネルギーが安定化体に移動した割合 = 安定化体放射エネルギー ÷ 安定化対象物放射エネルギー × 100

3. 安定化処理技術と最終処分との関連

■ 安定化処理に係る検討項目案



3. 安定化処理技術と最終処分との関連

■ 特措法による特定廃棄物の埋立基準【規則第26条】(抜粋)¹⁾／埋立物に関して

- ✓ 特定廃棄物の処分を規定している「平成二十三年三月三十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則」を参考として記載する。

項目	【第1項】 100,000Bq/kgを超えるもの	【第2項】8,000～100,000Bq/kgのもの			【第3項】基準適合特定廃棄物	【第4項】基準適合特定廃棄物であって、公共の水域及び地下水の汚染を生じさせる恐れのないもの
		【第3号】公共の水域及び地下水と遮断されている場所	【第2号】公共の水域及び地下水と遮断されている場所以外の場所	【第2号ホ】(溶出量が少ないもの※ ¹⁾)		
構造等	環境大臣が定める要件を備えた外周仕切設備が設けられ、かつ、公共の水域及び地下水と遮断されていること※ ³⁾	(遮断型相当)	(管理型相当)	(管理型相当)	(管理型相当)	(安定型相当)
埋立物の前処理	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却、固型化※ ²⁾)	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却、固型化)	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却等)セメントその他の結合法により固型化	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却、固型化等)	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却、固型化等)	特定廃棄物の種類に応じて前処理(破碎、焼却、固型化等)
埋立物の収納	—	—	損傷しにくい容器に収納	—	—	—

※¹⁾：溶出試験(JIS K 0058-1)の溶出液放射能濃度が、¹³⁷Csについて150Bq/L以下(特措法施行規則第26条第2項第2号ホ、平成24年1月13日環境省告示第3号(雨水その他の水が浸入した場合に溶出する事故由来放射性物質の量が少ない特定廃棄物の要件))

※²⁾：混練式固型化

①セメントの配合量は、固型化物1m³当たり150kg以上であること。

②一軸圧縮強度が0.98メガパスカル以上であること。(特措法施行規則第26条第2項第2号二、平成24年2月24日環境省告示第14号)

封じ込め式固型化

①焼却灰が梱包されるフレキシブルコンテナを遮水性の高い外部バッグ内に挿入し、隙間にセメント固型化剤を注するして固型化する。

②強度に問題がないかあらかじめ確認する。

※³⁾：平成25年2月28日環境省告示第15号

3. 安定化処理技術と最終処分との関連

■ 特措法による特定廃棄物の埋立基準【規則第26条】(抜粋)¹⁾／処分場に関して

項目	【第1項】 100,000Bq/kgを超えるもの	【第2項】8,000～100,000Bq/kgのもの			【第3項】基準適合特定廃棄物	【第4項】基準適合特定廃棄物であって、公共の水域及び地下水の汚染を生じさせる恐れのないもの
		【第3号】公共の水域及び地下水と遮断されている場所	【第2号】公共の水域及び地下水と遮断されている場所以外の場所	【第2号ホ】(溶出量が少ないもの)		
構造等	環境大臣が定める要件を備えた外周仕切設備が設けられ、かつ、公共の水域及び地下水と遮断されていること	(遮断型相当)	(管理型相当)	(管理型相当)	(管理型相当)	(安定型相当)
下部土壌層	—	—	廃棄物の下に、概ね厚さ50cm以上の土壌層を敷設 加えて、不透水性土壌層を敷設	廃棄物の下に、概ね厚さ50cm以上の土壌層を敷設	—	—
埋立終了時の措置	放射線障害防止の効果を持った覆いにより開口部を閉鎖すること その他の環境大臣が定める措置	環境大臣が定める要件を備えた覆いにより閉鎖すること その他の環境大臣が定める措置	概ね厚さ50cm以上の土壌による覆い等で開口部を閉鎖すること その他の環境大臣が定める措置 雨水を有効に排水できる勾配を付する等	概ね厚さ50cm以上の土壌による覆い等で開口部を閉鎖すること その他の環境大臣が定める措置 雨水を有効に排水できる勾配を付する等	概ね厚さ50cm以上の土壌による覆い等で開口部を閉鎖	—
地下水	水質検査の実施					水質検査の実施(地下水検査項目、事故由来放射性物質のみ)
浸出液・放流水・浸透水	—	—	浸出液による汚染防止措置 放流水の維持、水質検査		浸透水の水質検査	—
空間線量	敷地境界で測定					

4. 安定化処理技術実証の概要

■ 実証試験が実施された安定化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

対象	H23	H24	H25	H26、 H27	H28	H29	H31	R2	R3	R4
土壌			セメント固型化 0.2m ³ /バッチ			セメント固型化 30L/バッチ		ジオポリマー固型化 2L/バッチ		
ばいじん	セメント固型化 0.3m ³ /バッチ	セメント固型化 30kg/バッチ				セメント固型化 30L/バッチ	セメント固型化 64L/バッチ		ジオメルト固型化 10L/バッチ	ジオポリマー固型化 20L/バッチ
灰洗浄後濃縮物		プラスチック固型化 55mL/バッチ			ガラス固型化 0.14mL/バッチ		ガラス固型化 0.57L/バッチ		セメント固型化	ガラス固型化
		プラスチック固型化 55mL/バッチ								

5. 安定化処理技術の概要整理

■ 安定化処理技術の原理・特性を示す

項目		セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
原理		セメントを混合することで安定化対象物の粒子を凝集、固型化する。	容器内で安定化対象物とガラスの混合物に電気を流し、安定化対象物を溶融した後、容器ごとガラス固型化体とする。	シリカとアルミナが縮重合反応により結合した構造中に陽イオンが補足され、全体として非晶質のアルミノシリケート化合物となる。	長さや太さが異なる繊維が架橋構造となり、安定化対象物の粒子をマトリックス内に取り込み硬化する。
特性	温度	常温	900～1,400℃	常温	常温
	添加剤	セメント (ゼオライト)	ガラス形成剤(ゼオライト) ガラス添加剤(二酸化ケイ素、酸化ホウ素、炭酸ナトリウム等)	水ガラス 水酸化カリウム メタカオリン 水	複合合成樹脂 硬化剤
	放射性セシウムの挙動	脱水を伴う方式においては、脱水ろ液に放射性セシウムが混入する可能性がある。	高温で固型化するため、放射性セシウムが排ガスに混入する可能性がある。	安定化対象物に含まれている放射性セシウムの全量が固型化体に含まれる。	
実証実績		直轄(R4) 公募(H23～25、H29、H31)	直轄(R4) 公募(H28、H31～R3)	公募(R2～3)	公募(H24)

6. 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

□ 土壌処理
 □ 灰処理
 □ 灰洗浄後濃縮物処理

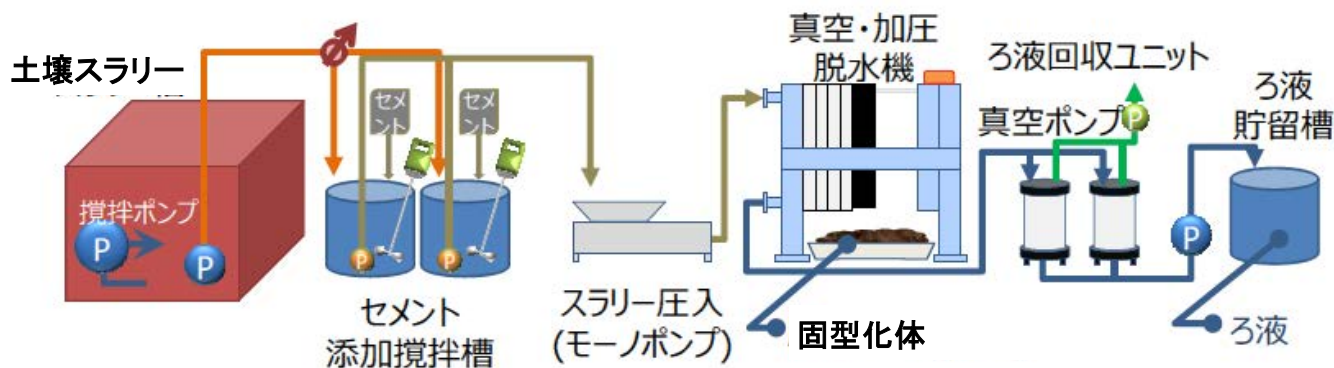
分類	セメント固型化					ガラス固型化		ジオポリマー固型化		プラスチック固型化		
技術	高圧脱水固型化	造粒固型化	外部振動特殊固型化	高圧脱水固型化	真空加圧脱水固型化	GeoMelt	インドラム式ガラス固型化	ジオポリマー固型化		複合合成樹脂固型化		
実施年度	H31 (公募)	H24 (公募)	H23 (公募)	H29 (公募)	H25 (公募)	R3 (公募)	H28、H31 ~R3 (公募)	R3~R4 (公募)	R2 (公募)	H24 (公募)		
装置規模	64L/バッチ	30kg/バッチ	0.3m ³ /バッチ	30L/バッチ	0.2m ³ /バッチ	10kg/バッチ	0.57L/バッチ	20L/バッチ	2L/バッチ	55mL/バッチ		
インプット	福島県内一般廃棄物焼却ばいじん	焼却ばいじん	除染可燃物焼却ばいじん・主灰	ばいじん 土壌の湿式分級細粒分	土壌の湿式分級細粒分	模擬溶融ばいじん	吸着剤(熱処理した吸着剤の洗浄水)	双葉町仮設灰処理第2施設ばいじん	土壌	一般廃棄物焼却主灰	一般廃棄物焼却ばいじん	吸着剤
	セメント 水	セメント キレート 水	セメント 水	セメント セオライト	セメント	ガラス形成剤(セオライト) ガラス添加剤	ガラスフリット 水	水ガラス(K ₂ SiO ₃ 溶液) KOH メタオリン 水	水ガラス(K ₂ SiO ₃ 溶液) KOH メタオリン 水	レジン 硬化剤	レジン 硬化剤	レジン 硬化剤
アウトプット	固型化ブロック (400×400×400)	造粒固型化体(粒径1~10mm程度)	固型化ブロック (700×700×600)	脱水固型化碎石 (□70×t35)	固型化体(脱水ケーキ)	ガラス固型化体(寸法不明)	ガラス固型化体(寸法不明)	固型化体(寸法不明)	固型化体(φ200×70)	固型化体(φ45×58)	固型化体(φ45×58)	固型化体(φ45×58)
	脱水ろ液	洗浄排水	—	脱水ろ液	脱水ろ液	排ガス スクラパー排水	吸着剤残渣 排ガス	—	—	—	—	—

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ セメント固型化(公募:H25)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理	○			
灰処理				
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【ホット試験】



項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)
土壌スラリー	19,950	100	100
セメント	—	—	10
固型化体	112,200	99.8	29.6
ろ液	68.2 Bq/L	0.2	80.4

重油	不明
電力	不明
上水	不明

インプット
 アウトプット

固型化体の性状



項目	内容
溶出液放射能濃度	ND
溶出率	—
充填率	0.33kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	0.12 MN/m ²

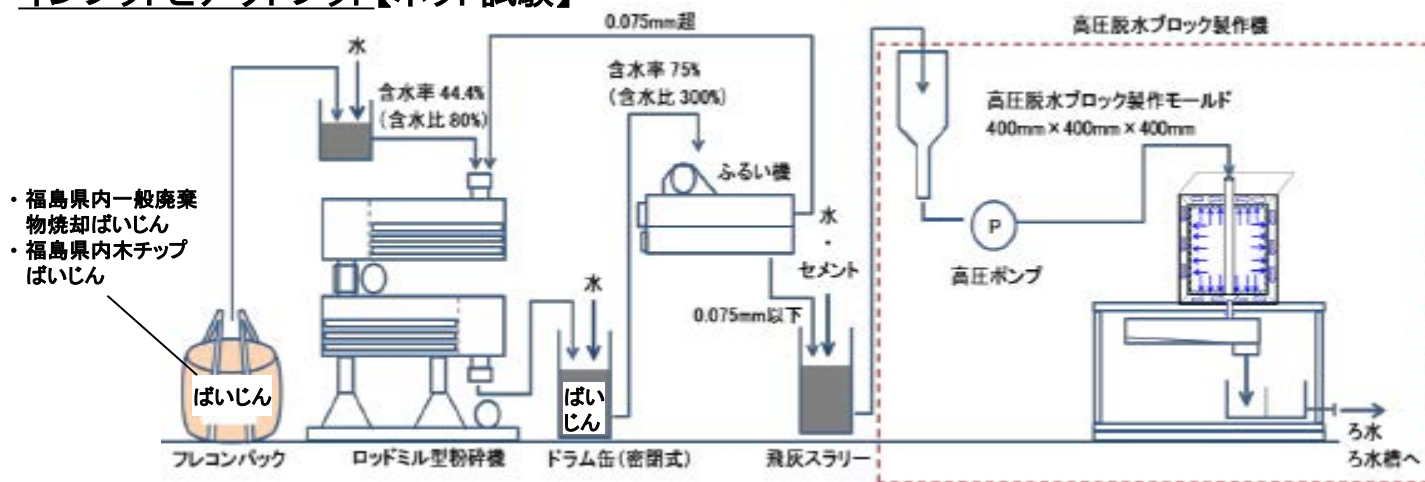
溶出試験片形状:
 10cm × 10cm × 3cm

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ セメント固型化(公募:H31)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理				
灰処理	○			
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【ホット試験】



項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
ばいじん	3,410	100	100
セメント	—	—	42
水	—	—	356
固型化体	535	31	193
ろ液	749 Bq/L	69	305

重油・電力・上水・ 不明

■ インプット
■ アウトプット

固型化体の性状



項目	内容
溶出液放射能濃度	11Bq/L
溶出率	21%
充填率	0.4kg/L
重金属類溶出	廃掃法溶出基準を満足
一軸圧縮強度	5.6 MN/m ²

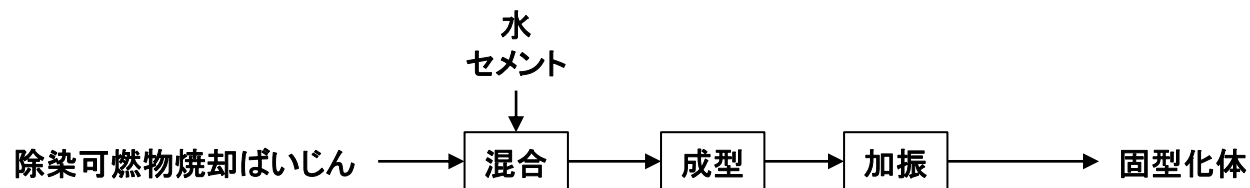
溶出試験片形状:
形状・寸法不明

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ セメント固型化(公募:H23)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理				
灰処理	○			
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【ホット試験】

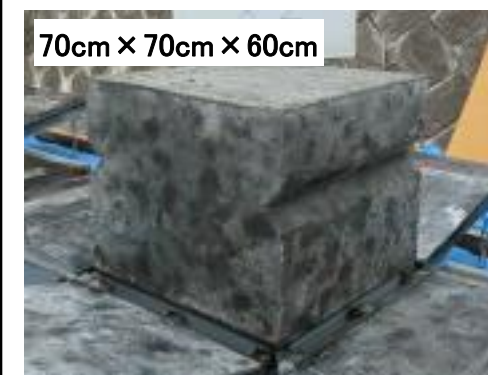


項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)
ばいじん	14,720	100	100
セメント	—	—	25
水	—	—	39
固型化体	8,010	100	164

重油	不明
電力	不明
上水	不明
中和剤等	不明

インプット
 アウトプット

固型化体の性状



項目	内容
溶出液放射能濃度	137Bq/L
溶出率	17%
充填率	1.1kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	4.7MN/m ²

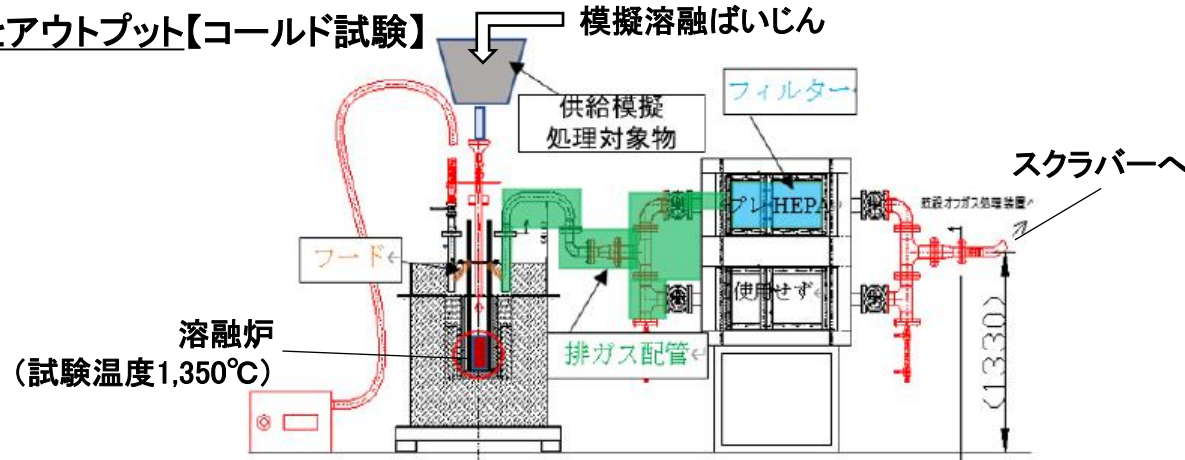
溶出試験片形状:
 直径10cm × 高さ9cm

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ ガラス固型化(公募:R3)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理				
灰処理		○		
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【コールド試験】



固型化体の性状



項目	Cs濃度	Cs収支 (%)	重量収支 (%)
ばいじん	0	0	100
塩化セシウム	2,026mg/kg-ばいじん	100	—
ゼオライト	0	0	74
ガラス添加剤	0	0	197
スクラバー水	0	0	1,961
固型化体	599 mg/kg-安定化体	92.6	313
排ガス	—	7.3 (フィルター捕集)	—
スクラバー排水	0.005 mg/L	0.005	1,961

電力	11.8 kWh/kg-ばいじん
上水	19.6 L/kg-ばいじん

インプット
 アウトプット

項目	内容
溶出液放射能濃度	データ無し
溶出率	データ無し
充填率	0.7kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	データ無し

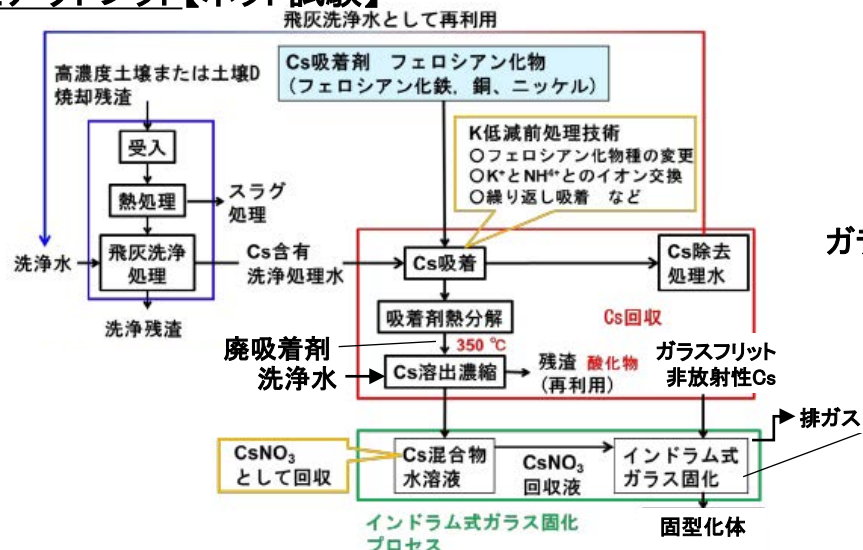
溶出試験片形状: 溶出試験未実施

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ ガラス固化化(公募:R3)のインプットとアウトプットを示す

	セメント 固化化	ガラス 固化化	ジオポリマー 固化化	プラスチック 固化化
土壌処理				
灰処理				
吸着剤処理		○		

インプットとアウトプット【ホット試験】

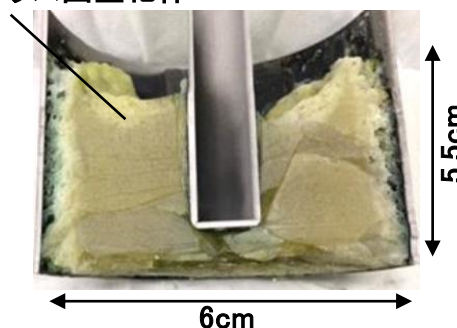


固型化カラム
ガラス固化条件: 900°C × 3h



固型化体の性状

ガラス固型化体



項目	放射能濃度	放射能量収支(%)	重量収支(%)
廃吸着剤(CuHCF)	317万 Bq/kg	100	100
洗浄水*	0 Bq/L	0	3,181
ガラスフリット	0 Bq/kg	0	5,368
非放射性セシウム	0 Bq/kg	0	596
固型化体	32,067 Bq/kg	58	(5,981)
廃吸着剤残渣	31万 Bq/kg	7	73
排ガス	ND	0	(2,067)
分析サンプル	96,200 Bq/L	35	1,197

電力	不明
上水	20m ³ /t-吸着剤 (上図の「Cs溶出濃縮」工程)

■ インプット
■ アウトプット

*分析サンプル用分取分を含む

項目	内容
溶出液放射能濃度	データ無し (Cs規格化浸出率 : 3.9 × 10 ⁻⁶ g/cm ² /日)
溶出率	0.12%
充填率	0.032kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	データ無し

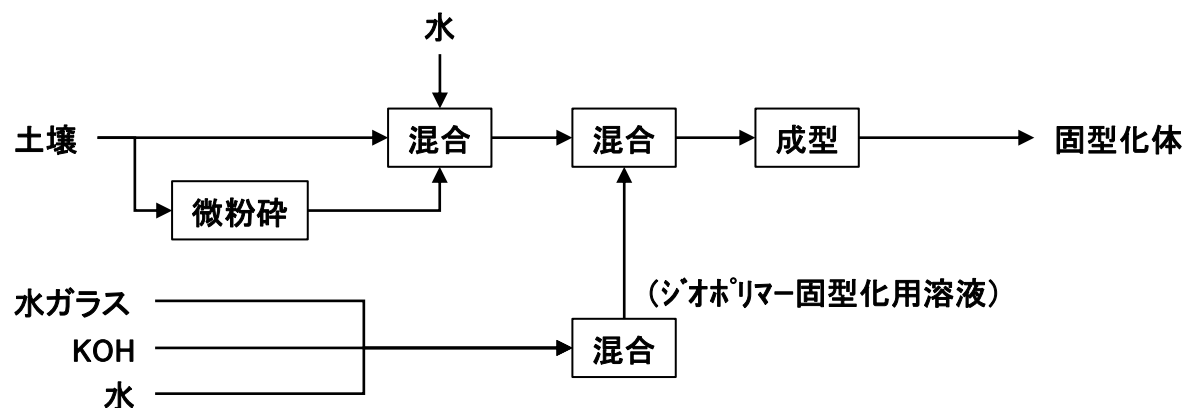
溶出試験片形状:
1cm × 1cm × 1cm

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ ジオポリマー固型化(公募:R2)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理			○	
灰処理				
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【ホット試験】



項目	放射能濃度	放射エネルギー収支(%)	重量収支(%)
土壌	6,980	100	100
土壌(微粉碎)	6,980	9	9
水	0	0	34
ジオポリマー固型化用溶液	水ガラス (K ₂ SiO ₃ 溶液)	0	38
	KOH	0	
	水	0	
固型化体		109	181*

電力	不明
上水	0.34m ³ /t-土壌

インプット
 アウトプット

固型化体の性状



2Lサイズの固型化体

項目	内容
溶出液放射能濃度	データ無し
溶出率	7.2%
充填率	—
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	2.265MN/m ²

溶出試験片形状:
直径1.3cm × 高さ1.5cm

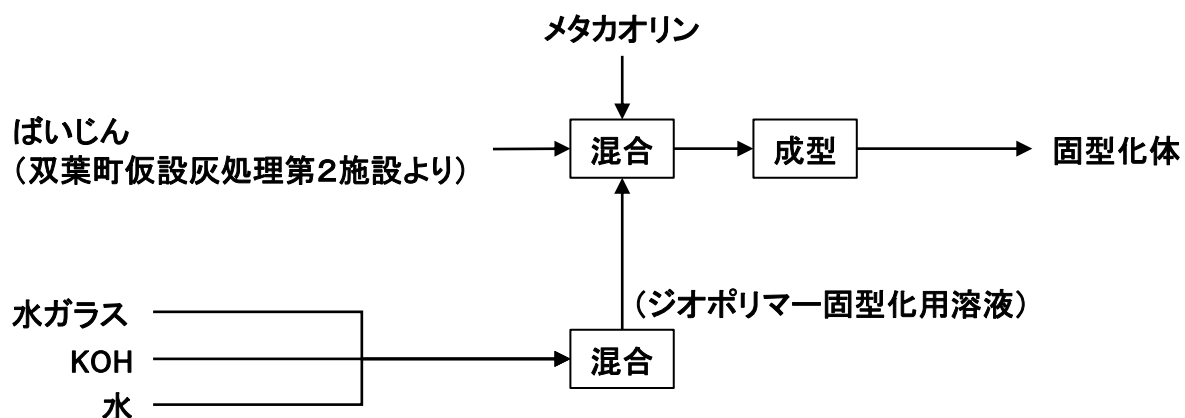
※: 投入物、固型化体重量の収支データが無いいため、投入物が全て固型体になると想定した

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ ジオポリマー固型化(公募:R3)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理				
灰処理			○	
吸着剤処理				

インプットとアウトプット【ホット試験】



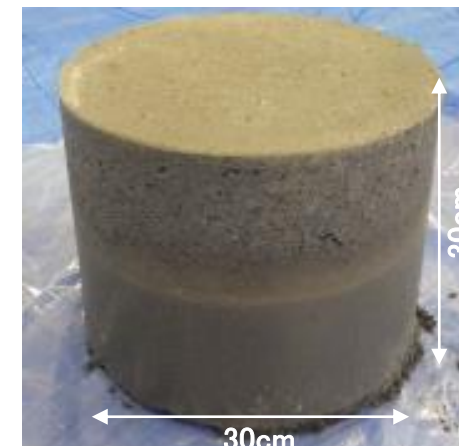
項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー収支 (%)	重量収支 (%)
ばいじん	150,000	100	100
メタカオリン	0	0	33
ジオポリマー固型化用溶液	水ガラス (K ₂ SiO ₃ 溶液)	0	124
	KOH	0	41
	水	0	68
固型化体	40,961	100	366*

電力	不明
上水	0.68m ³ /t-土壌

インプット
 アウトプット

※: 投入物、固型化体重量の収支データが無いいため、投入物が全て固化体になると想定した

固型化体の性状



20Lサイズの固型化体

項目	内容
溶出液放射能濃度	データ無し
溶出率	23%
充填率	0.5kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	5.12MN/m ²

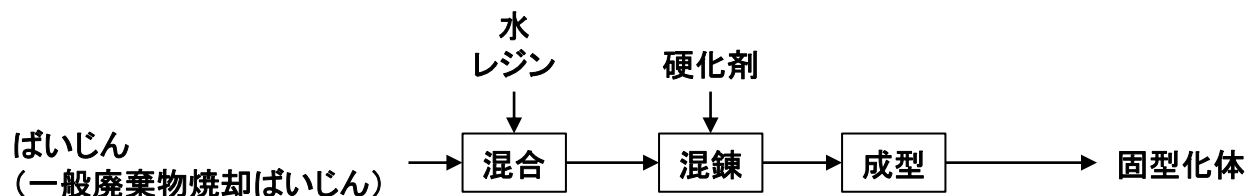
溶出試験片形状:
直径1.3cm × 高さ1.5cm

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ プラスチック固型化(公募:H24)のインプットとアウトプットを示す

	セメント 固型化	ガラス 固型化	ジオポリマー 固型化	プラスチック 固型化
土壌処理				
灰処理				○
吸着剤処理				

インプットとアウトプット



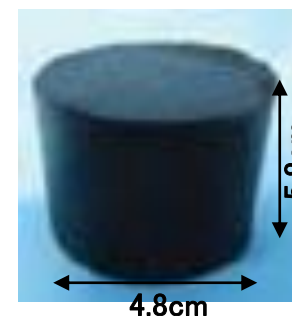
項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射エネルギー 収支 (%)	重量収支 (%)
ばいじん	8,560	100	100
レジン(ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ガラス繊維、ポリエステル繊維)	0	0	25
硬化剤(変性脂肪族ポリアミン)	0	0	8
水	0	0	10
固型化体	5,355	100	143*

電力	不明
上水	0.1m ³ /t-土壌

インプット
 アウトプット

※: 投入物、固型化体重量の収支データが無いいため、投入物が全て固化体になると想定した

固型化体の性状



項目	内容
溶出液放射能濃度	データ無し
溶出率	6.6%
充填率	0.9kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	データ無し

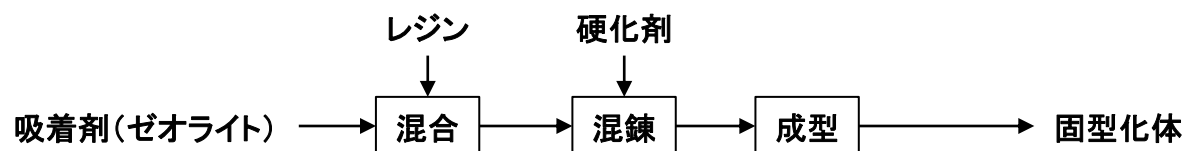
溶出試験片形状:
直径4.8cm × 高さ0.5cm

6. 実証試験のインプットとアウトプットの整理

■ プラスチック固型化(公募:H24)のインプットとアウトプットを示す

	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
土壌処理				
灰処理				
吸着剤処理				○

インプットとアウトプット【ホット試験】



項目	放射能濃度 (Bq/kg)	放射能量収支 (%)	重量収支 (%)
吸着剤(セオライト)	7,343	100	100
レジ(ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ガラス繊維、ポリエステル繊維)	0	0	30
硬化剤(変性脂肪族ポリアミン)	0	0	9
固型化体	6,152	100	139*

電力	不明
上水	—

インプット
 アウトプット

固型化体の性状



項目	内容
溶出液放射能濃度	<18.8Bq/L
溶出率	—
充填率	1.1kg/L
重金属類溶出	データ無し
一軸圧縮強度	データ無し (圧縮強度:2.3~12MN/m ² 程度)

※: 投入物、固型体重量の収支データが無いいため、投入物が全て固型体になると想定した

7. 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、ばいじんの量、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"> ・減容化率 ・分級粗粒分、熱処理処理後物の再生資材としての活用の可能性 ・処理能力や処理条件 ・立地条件(プラント用水や電力の確保等)
	安定化 最終処分	<ul style="list-style-type: none"> ・⑥最終処分要件(Cs溶出、重金属溶出、長期安定性等) ・最終処分の量・方式、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)

7. 実証技術の評価(安定化処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

評価項目	評価基準	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
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のみ	◎ 檜葉町セメント固型化処理施設稼働済み。原子力施設における実績あり。	◎ 原子力施設で稼働実績あり	◎ 原子力施設で稼働実績あり	◎ 原子力施設で使用実績あり
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	◎ 檜葉町セメント固型化処理施設稼働済み	◎ 米国、英国等で施設稼働実績あり ²⁾	◎ スロバキア、チェコ等で施設稼働実績あり ³⁾	◎ 原子力施設で使用実績あり。一方、プラスチック固型化からセメント固型化に変更申請された事例あり ¹⁾
③作業、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	◎ 檜葉町セメント固型化処理施設における実績あり	◎ 米国、英国等において放射性物質処理の実績あり	◎ スロバキア、チェコ等において放射性廃棄物処理の実績あり	◎ 原子力施設における実績あり
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	◎ 檜葉町セメント固型化処理施設における実績あり	◎ 米国、英国等における実績あり	◎ スロバキア、チェコ等における実績あり	△ 固型化体が可燃性という理由により、セメント固型化に変更申請された事例あり ¹⁾

出典 1) 原子力規制委員会、平成30年度原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合第693回 資料1-2-1

2) ヴェオリア社ホームページ、<https://www.nuclearsolutions.veolia.com/ja/our-expertise/technologies/geomelt-karasuguhajishu>

3) Jacobs社ホームページ、<https://www.jacobs.com/technology/sial>

7. 実証技術の評価(安定化処理技術)(案)

■ 実証技術の評価(案)を示す

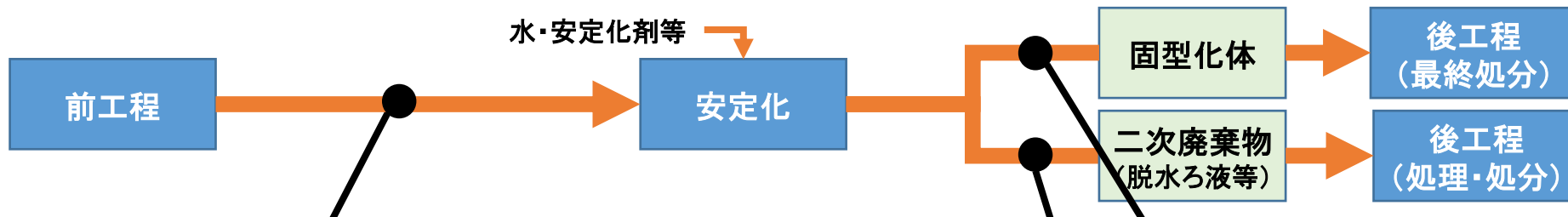
評価項目	評価基準	セメント固型化	ガラス固型化	ジオポリマー固型化	プラスチック固型化
⑤二次廃棄物、ばいじんの量、処理方法	◎: 量が比較的少なく、処理方法の目処が立つ ○: 処理方法の目処は立つが量が多い △: 処理方法の検討が必要	△ 脱水ろ液が発生する場合には処理方法の検討が必要	△ ばいじんにCsが移行するため、別途処分が必要。	◎ 安定化対象物と添加剤の混合のみで、排ガス等の二次廃棄物の発生なし	◎ 安定化対象物と添加剤の混合のみで、排ガス等の二次廃棄物の発生なし
	⑥最終処分要件(Cs溶出、重金属溶出、長期安定性等)	◎: セシウムの溶出、重金属類の溶出、安定化体の強度に関する基準※を満足 ○: 各基準に関し確認が必要 △: 基準を満足していない	○ 吸着剤の固型化に関する確認が必要	○ Cs溶出、重金属の溶出に関する確認が必要	○ Cs溶出、重金属の溶出に関する確認が必要

※

- 溶出試験(JIS K 0058-1)の溶出液放射能濃度が、¹³⁷Csについて150Bq/L以下(特措法施行規則第26条第2項第2号ホ、平成24年1月13日環境省告示第3号(雨水その他の水が浸入した場合に溶出する事故由来放射性物質の量が少ない特定廃棄物の要件))
- 重金属類の溶出: 規程された濃度(金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令)
- 安定化体の強度: 一軸圧縮強度0.98メガパスカル以上(特措法施行規則第26条第2項第2号ニ、平成24年2月24日環境省告示第14号)

8. 組合せに対する留意点

■ 他技術との組合せにおいて、安定化処理技術の設備、運転に関わる留意点



前工程	項目	留意点
熱処理	設備	水洗浄後のばいじんを安定化対象とする場合、脱水ケーキとなっている可能性がある。その場合、解砕が必要。
		ばいじんが潮解する場合には対応設備が必要
		脱水を伴う安定化方式において、脱水ろ液にセシウムが含まれる場合、対策が必要。
化学処理	設備	化学処理による安定化処理への影響がある場合、中和等の前処理が必要になる可能性がある。
		化学処理工程における添加物が安定化処理に及ぼす影響の確認が必要。
		pH等、化学処理後の性状が安定化処理に及ぼす影響の確認が必要。

後工程	分類	留意点
最終処分	設備	全体の減容プロセスを想定した安定化体の放射能濃度、ならびに最終処分量の試算が必要。
		長期安定性の確認
		封入容器への影響

後工程	分類	留意点
処理	設備	二次廃棄物(脱水ろ液、スクラパー排水、バグフィルタ等)の処理方法の検討、ならびに全体プロセスへの組み込みが必要。

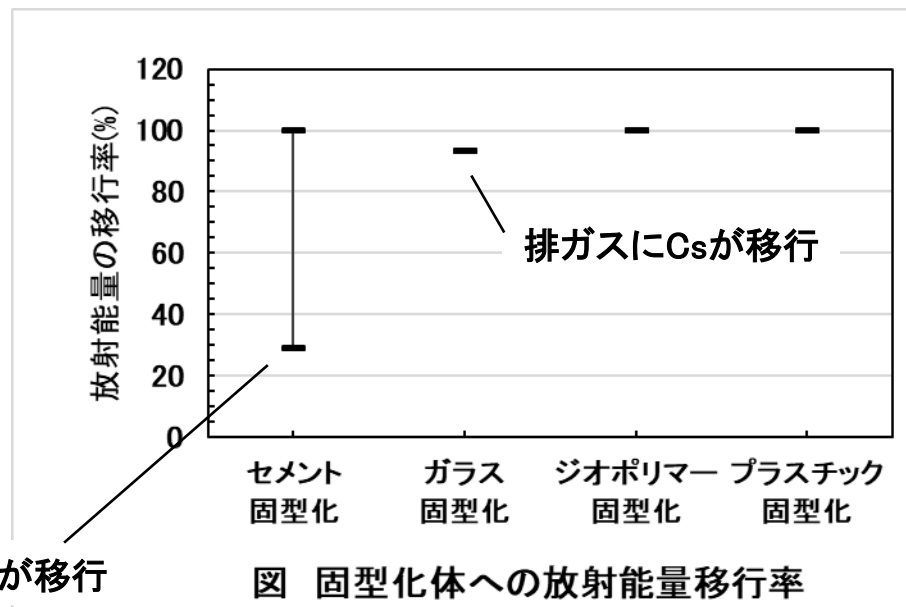
9. マッピング

■ マッピングの目的

- ✓ ばいじん等の安定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、その特徴をわかりやすく示し、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。

■ 固型化体への放射エネルギーの移行率の比較

- ✓ ジオポリマー固型化、プラスチック固型化は、安定化対象物中の放射エネルギーがほぼ全て固型化体に移行した。
- ✓ セメント固型化、ガラス固型化はそれぞれ脱水ろ液、排ガス中にセシウムが混入した事例があった。



脱水を伴う場合は、脱水ろ液にCsが移行

図 固型化体への放射エネルギー移行率

9. マッピング

■ セシウム溶出の比較

- ✓ セメント固型化、プラスチック固型化のいずれも特措法施行規則第26条第2項第2号ホ、平成24年1月13日環境省告示第3号で規定されている150Bq/Lを満足した。
- ✓ 溶出率は、ガラス固型化が優位であった。
- ✓ ばいじんを対象としたセメント固型化においては、固型化体の放射能濃度が高い場合に溶出液放射能濃度が高くなる傾向があった。

※各固型化の溶出率については溶出試験方法が異なる点に留意が必要

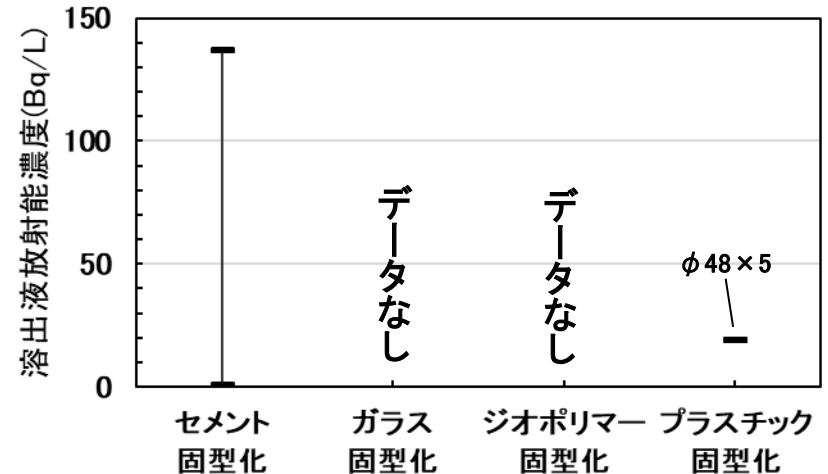


図 溶出液放射能濃度

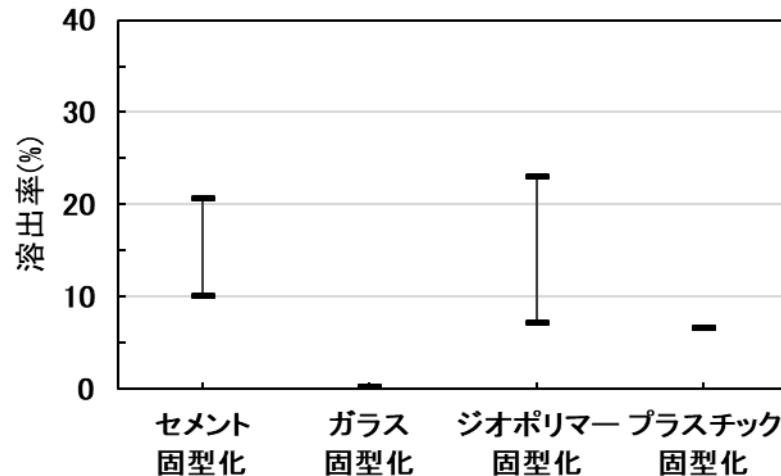


図 溶出率

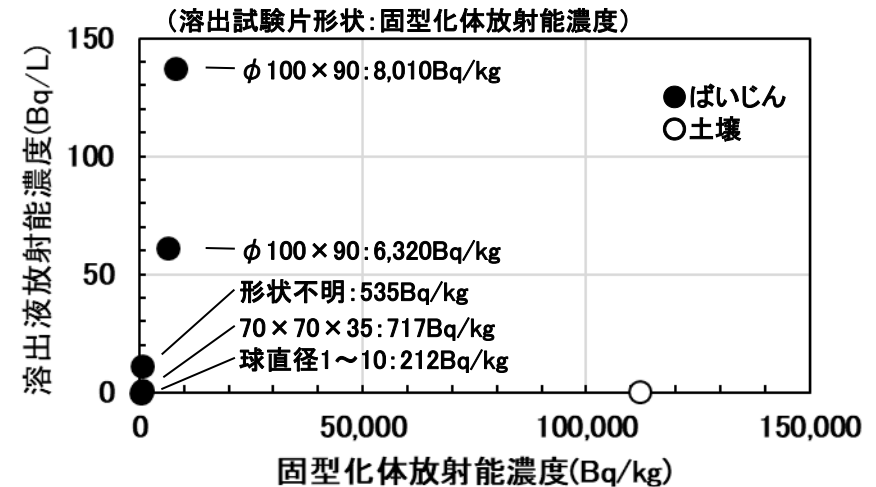
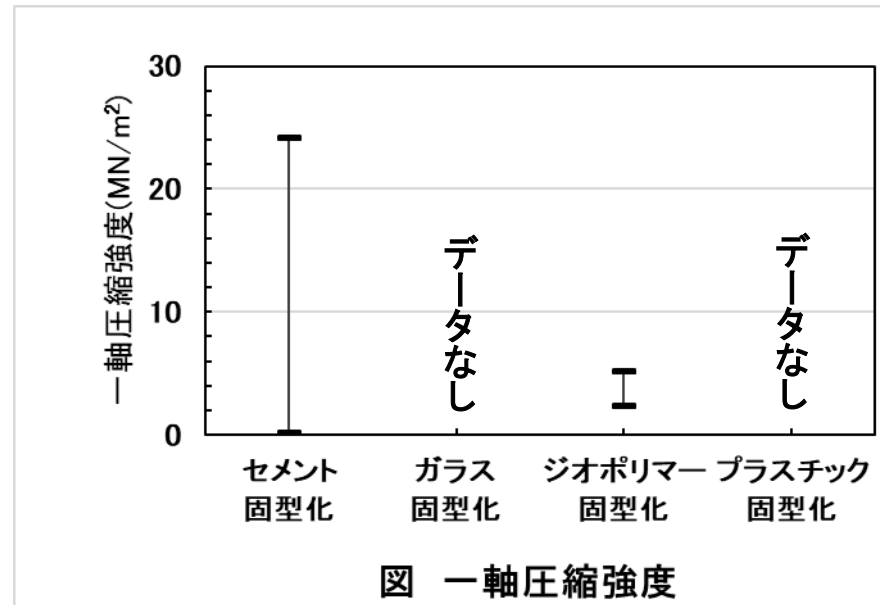


図 セメント固化の溶出液放射能濃度

9. マッピング

■ 一軸圧縮強度の比較

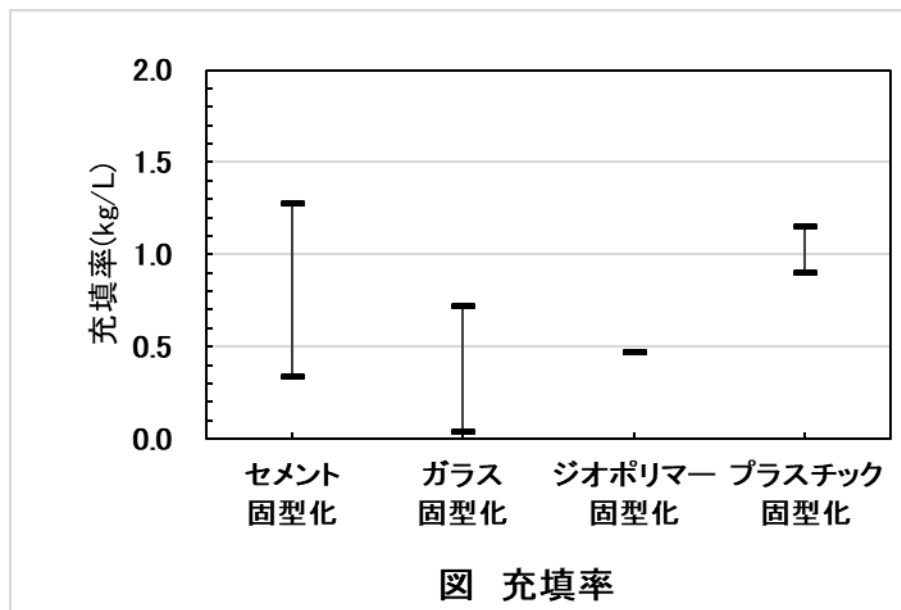
- ✓ ジオポリマー固型化は、特措法施行規則第26条第2項第2号ニ、平成24年2月24日環境省告示第14号に規定されている一軸圧縮強度 $0.98\text{MN}/\text{m}^2$ を満足した。
- ✓ セメント固型化は、ばいじんを固型化した場合は $0.98\text{MN}/\text{m}^2$ を満足したが、土壌を固型化した場合は $0.98\text{MN}/\text{m}^2$ を満足していないものもあった。
- ✓ ガラス固型化、プラスチック固型化は一軸圧縮強度のデータがないため、試験による確認が必要である。



9. マッピング

■ 充填率

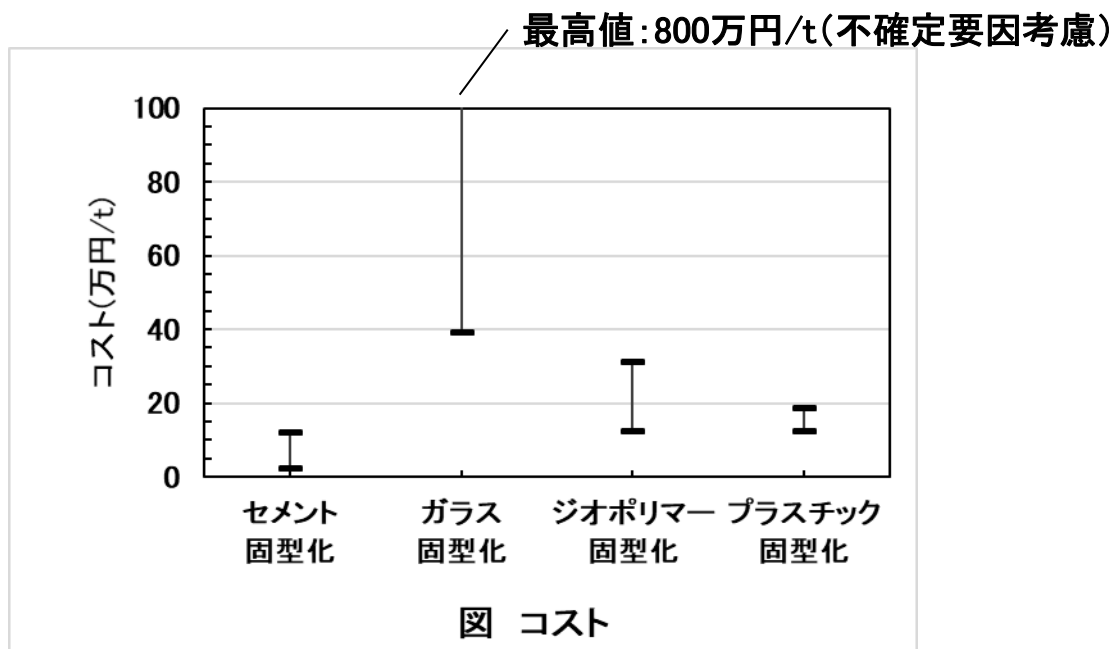
- ✓ 充填率に関しては、プラスチック固型化が優位。



9. マッピング

■ 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
- ✓ コストは、セメント固型化が優位である。
- ✓ セメント固型化の脱水ろ液、ガラス固型化のばいじん処理も含めたシステム構築とコスト評価が必要である。



※コスト評価については、重量当たりのコストだけではなく、安定化体の総重量も大きく影響する点に留意が必要

10. 論点

■ まとめ

- A) 現状、各安定化処理技術の性能・特性確認は進んでいる。
- B) Csの溶出抑制、充填率等からセメント固型化が優位。

項目	優位な技術	優位と考えた根拠
① 安定化対象物	—	<p>(減容プロセス全体のシナリオ、あるいは対象物の性状によっては、ばいじん、吸着剤などの複数の対象物を安定化する可能性があるか。可能性がある場合、一つの安定化技術を選定するか、対象物に応じて安定化技術を選定するか。)</p> <p>(ガラス固型化は、対象物の性状が変動する場合の添加物の配合、安定化性能の確認が必要。)</p>
② 固型化体の性状	セメント固型化	<ul style="list-style-type: none"> • セメント固型化は、セシウムの溶出程度、一軸圧縮強度が問題無いことを確認済み。 • 充填率もプラスチック固型化と同等で、ガラス固型化、ジオポリマー固型化より高い。 • ばいじんを対象とする場合、予めばいじんを洗浄することで、固型化体からのセシウム溶出を抑制できると考えられる。
③ 二次廃棄物の性状	ジオポリマー固型化 プラスチック固型化	<ul style="list-style-type: none"> • 安定化対象物と添加剤を混合するのみであり、排ガス等の二次廃棄物が発生しない。
④ 低コスト化	セメント固型化	<ul style="list-style-type: none"> • 他の方式と比べて低コストであるが、コスト内訳の精査、単価の見直し等が必要。
⑤ 実設備の計画	—	<p>(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)</p>