

ALPSスラリー固化処理技術選定にあたって の考慮事項について（改訂版）

2023年12月4日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

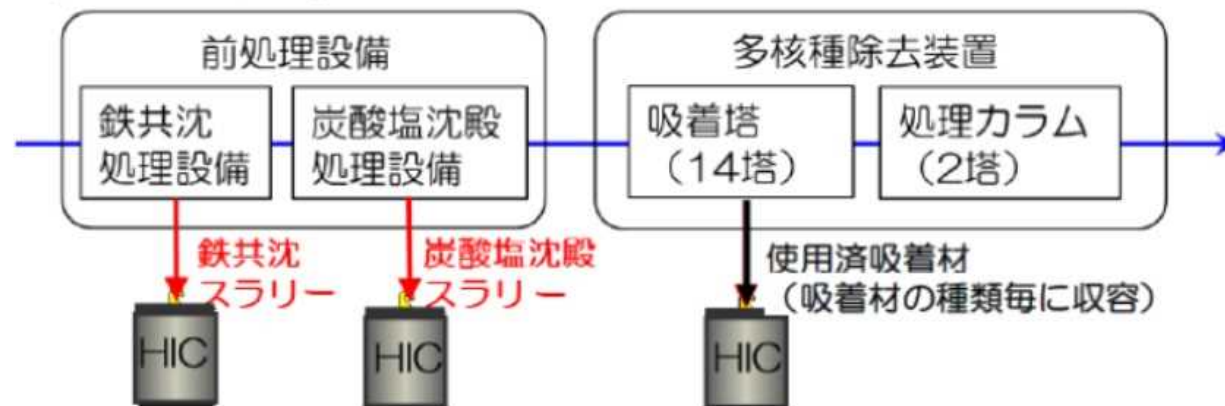
目次

1. ALPS(多核種除去設備)スラリーの概要
 - 1.1 ALPSスラリーの特徴と性状
 - 1.2 ALPSスラリーの性状把握
 - 1.3 ALPSスラリー模擬物と脱水模擬物
2. ALPSスラリー固化処理技術選定にあたっての考慮事項
 - 2.1 固化処理により作製される固化体の固化状態
 - 2.2 廃棄物の処理時及び固化体取扱い時の安全性
 - 2.3 固化処理に伴い発生する廃棄物量
 - 2.4 固化処理の経済性（固化処理に要する処理単価）
 - 2.5 作製される固化体の処分適合性
 - 2.6 処理技術のメリット・デメリット
3. ALPSスラリーの脱水処理と固化処理の考え方
4. ALPSスラリー固化処理技術選定のための今後の課題と研究開発計画

1. ALPS(多核種除去設備)スラリーの概要

ALPS(多核種除去設備)スラリーは、ALPSの前処理段階(鉄共沈処理, 炭酸塩沈殿処理)において、薬剤を注入した際に生じる細かい沈殿物が水に混ざったものとして発生する(図1参照)。

多核種除去設備系統図



増設多核種除去設備系統図

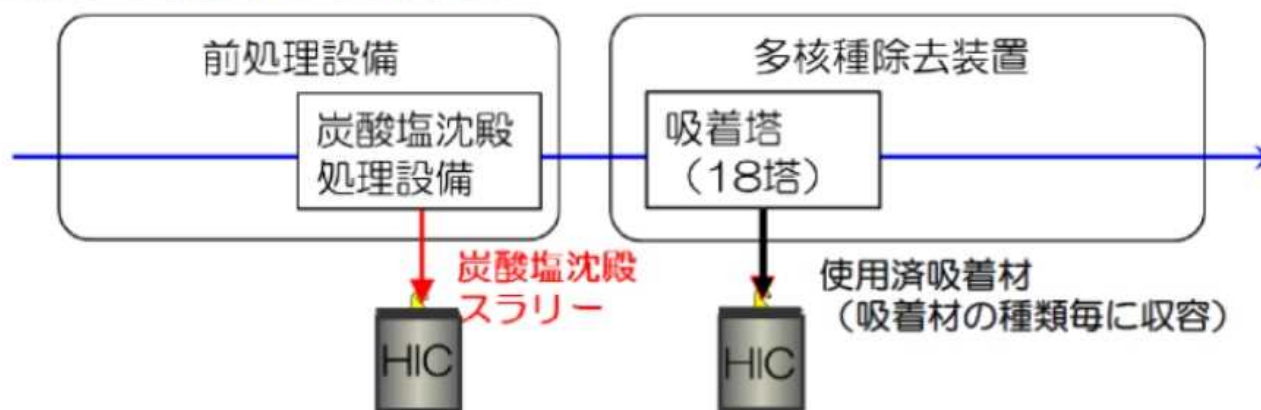


図1 多核種除去設備及び増設多核種除去設備の概要

出典

1. 東京電力福島第一原子力発電所において採取された汚染水および瓦礫等の分析データ集, JAEA-Data/Code 2017-001, 図-12 多核種除去設備及び増設多核種除去設備の概要, p35, 2017

2. 除染装置スラッジおよび多核種除去設備スラリーの安定化・固化処理の検討状況, 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第4回), 資料3, p10, 東京電力ホールディングス株式会社, 2016年10月21日

1.1 ALPSスラリーの特徴と性状

1. ALPSスラリーの特徴

- ^{90}Sr が支配的 ($1 \times 10^{+13} \sim 1 \times 10^{+14} \text{Bq/t}$)
- $1 \times 10^{+9} \text{Bq/t}$ 程度の ^{137}Cs を含む。
その他の核種は一部を除きL3の基準線量相当濃度未満
- ALPS処理で大量に発生
- HIC(高性能容器)健全性・保管容量に課題
(2023年4月7日時点の保管数 約4,143基/保管容量4,192基)

出典: 中期的リスクの低減目標マップにおける固形状の放射性物質の目標に対する進め方, 特定原子力施設監視・評価検討会(第107回), 資料3-1, p4 原子力規制庁, 2023.4.14

2. ALPSスラリーの性状

- 鉄共沈スラリー
 - 主要成分 : $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (72.0wt%)
 - 代表核種濃度 : ^{90}Sr $1.2 \times 10^6 \text{Bq/cm}^3$
- 炭酸塩スラリー
 - 主要成分 : CaCO_3 (45.3wt%^{*1}), $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (46.3wt%^{*1})
 - 代表核種濃度 : ^{90}Sr $9 \times 10^7 \text{Bq/cm}^3$ ^{*1}

(): 代表的な物質構成比(推定値) (wt%)

*1: 最大濃度の試料の例 (AAL-S1-2)

出典: スラリー安定化処理に向けた設計について, 特定原子力施設監視・評価検討会(第88回), 資料1-2-1, 東京電力ホールディングス株式会社, 2021.2.22

出典: 除染装置スラッジおよび多核種除去設備スラリーの安定化・固化処理の検討状況, 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第4回), 資料3, 東京電力ホールディングス株式会社, 2016.10.21

出典: 廃棄物試料の分析1号機原子炉建屋5階瓦礫・1号機タービン建屋地下1階スラッジ・多核種除去設備HICスラリー, 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第34回), IRID/JAEA, H28.09.29

1.2 ALPSスラリーの性状把握 (1/2)

廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)に係る補助事業(以下、固体廃棄物に係る補助事業)では、HICからALPSスラリーを採取し、その性状把握(主に物理的な特性、放射線的な特性等)の解明を進めている。

● ALPSスラリーの採取と分析した試料数

ALPSスラリーは、HICに充填され交換する際に、製作した専用治具を用いて採取した(図1)。以下のように29基のHICから33個の試料が採取され、20個の分析を行った。試料採取を行ったHIC数は、HIC保管数(約4,143基, 2023年4月7日時点)の約0.7%と僅かで、まだ採取した全ての試料の分析も終了していない。

	試料採取を行ったHIC数	採取した試料数	分析した試料数
炭酸塩	12	16	15
鉄共沈	17	17	5
合計	29	33	20
備考		1つのHICから深さの異なる試料を採取している	FRAnDLiに登録されている試料の数を示す

出典: FRAnDLi, 2023,05,13現在
:令和3年度開始 廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発), 2021年度最終報告, R4.9, IRID

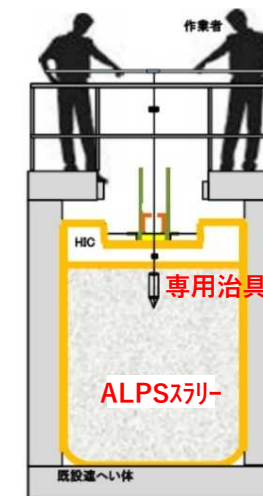


図1 HICからの試料採取の概念図

出典: 汚染水処理二次廃棄物の放射能評価のための多核種除去設備スラリー試料の分析, 平成28年1月28日, IRID

● 炭酸塩スラリーの固液比

- 試料を攪拌後、蒸発乾固前後の質量から固液比を求めた。
- 固形分(HIC番号: AAL-S8-1)は6.8~8.7%の質量比で、深さとともに固体の割合が増える傾向であった。

No.	試料番号	質量比 (%)		【参考】体積比 (%)*	
		固体	液体	固体	液体
1	AAL-S8-1(深さ60cm)	6.8	93.2	2.8	97.2
2	AAL-S8-6(深さ100cm)	7.3	92.7	3.0	97.0
3	AAL-S8-8(深さ150cm)	8.7	91.3	3.6	96.4
参考	AAL-S1-1	12.1	87.9	4.8	95.2

* 固体分の密度を2.54(炭酸カルシウムと水酸化マグネシウムの平均)と仮定し算出

● 炭酸塩スラリーのpH

- 試料の沈降を待ち、上澄み層とスラリー層のpHを測定した。pHは固形分の共存、採取された深さにかかわらず12.1~12.4と一定であった。

No.	試料番号	上澄み層	スラリー層
1	AAL-S8-1(深さ60cm)	12.4	12.3
2	AAL-S8-6(深さ100cm)	12.3	12.3
3	AAL-S8-8(深さ150cm)	12.1	-

出典: 廃棄物試料の分析結果(水処理設備処理二次廃棄物・滞留水), H30.3.29, IRID, JAEA

無断複製・転載禁止 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

©Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

1.2 ALPSスラリーの性状把握 (2/2)

● 炭酸塩スラリーのγ線核種の分析結果

- ▶ 全ての試料から⁶⁰Co, ¹³⁷Csが検出された。
- ▶ 全ての試料から⁹⁴Nb, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Euは検出されなかった。

試料番号	放射能濃度 [Bq/cm ³]*				
	⁵⁴ Mn (約312日)	⁶⁰ Co (約5.3年)	⁹⁴ Nb (約2.0×10 ⁴ 年)	¹²⁵ Sb (約2.8年)	¹³⁷ Cs (約30年)
1 AAL-S8-1	< 5 × 10 ¹	(2.7±0.1) × 10 ¹	< 4 × 10 ⁻¹	—	(3.3±0.1) × 10 ¹
2 AAL-S8-6	< 7 × 10 ¹	(3.1±0.1) × 10 ¹	< 4 × 10 ⁻¹	—	(3.8±0.1) × 10 ¹
3 AAL-S8-8	(7.3±2.3) × 10 ¹	(3.8±0.1) × 10 ¹	< 4 × 10 ⁻¹	—	(5.2±0.1) × 10 ¹
再掲 AAL-S1-1	(1.9±0.2) × 10 ³	(3.9±0.1) × 10 ²	< 2 × 10 ¹	(1.4±0.1) × 10 ³	(9.4±0.1) × 10 ²

試料番号	放射能濃度 [Bq/cm ³]	
	¹⁵² Eu (約14年)	¹⁵⁴ Eu (約8.6年)
1 AAL-S8-1	< 3 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
2 AAL-S8-6	< 3 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
3 AAL-S8-8	< 3 × 10 ⁰	< 2 × 10 ⁰
再掲 AAL-S1-1	< 4 × 10 ¹	< 3 × 10 ¹

※ 1~3は溶解時にTiとCaを含む溶解残渣が発生した。核種の下括弧内は半減期。放射能濃度は、減衰をH23.3.11に補正。分析値の±の後の数値は、計数値誤差である。

● 炭酸塩スラリーのβ線/α線核種の分析結果

- ▶ 試料の主な核種は⁹⁰Srであり、その濃度は¹³⁷Csに比べて2桁以上高い。また、濃度は線量率と相関するものと考えられる。
- ▶ ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cmの濃度は試料の採取時期による違いが観られなかった。

試料番号	放射能濃度 [Bq/cm ³]*				
	⁹⁰ Sr (約29年)	²³⁸ Pu (約88年)	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am (約4.3×10 ² 年)	²⁴⁴ Cm (約18年)
1 AAL-S8-1	(2.0±0.1) × 10 ⁴	(4.0±0.4) × 10 ⁻²	(1.2±0.2) × 10 ⁻²	(1.7±0.4) × 10 ⁻²	(5.8±1.9) × 10 ⁻³
2 AAL-S8-6	(2.3±0.1) × 10 ⁴	(4.3±0.5) × 10 ⁻²	(1.5±0.3) × 10 ⁻²	< 1 × 10 ⁻²	< 6 × 10 ⁻³
3 AAL-S8-8	(2.9±0.1) × 10 ⁴	(5.4±0.5) × 10 ⁻²	(1.6±0.3) × 10 ⁻²	< 1 × 10 ⁻²	< 6 × 10 ⁻³
再掲 AAL-S1-1	(7.2±0.2) × 10 ⁶	(2.1±0.1) × 10 ⁻¹	(7.8±0.6) × 10 ⁻²	(2.0±0.4) × 10 ⁻²	< 7 × 10 ⁻³

※ 1~3は溶解時にTiとCaを含む溶解残渣が発生した。核種の下括弧内は半減期。放射能濃度は、減衰をH23.3.11に補正。分析値の±の後の数値は、計数値誤差である。

● 炭酸塩スラリーの元素の分析結果

- ▶ 主要元素はMg, Caであり、採取位置(深さ60~150cm)による違いはない。

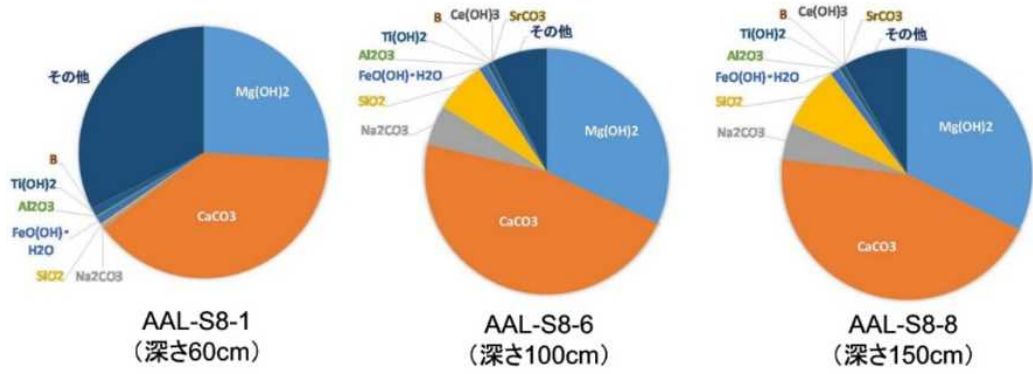
試料番号	元素組成比 [wt%]										採取深さ
	B	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Sr	Ce	
1 AAL-S8-1	0.06	0.21	10.8	0.10	0.10	15.5	0.62	0.50	<0.06	ND	60cm 100cm 150cm
2 AAL-S8-6	0.06	2.29	13.3	0.08	3.20	18.7	0.38	0.55	0.02	0.04	
3 AAL-S8-8	0.05	2.06	13.5	0.09	3.75	17.8	0.40	0.59	0.02	0.05	
再掲 AAL-S1-1	0.04	4.0	22.2	ND	0.43	14.5	ND	0.08	0.07	ND	

試料番号	物質構成比 [wt%] (代表的な物質を想定)										
	B	Na ₂ CO ₃	Mg(OH) ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaCO ₃	Ti(OH) ₂	FeO(OH)·H ₂ O	SrCO ₃	Ce(OH) ₃	その他
1 AAL-S8-1	0.06	0.47	25.9	0.20	0.21	38.8	1.1	0.96	-	-	32.3
2 AAL-S8-6	0.06	5.29	31.9	0.16	6.85	46.6	0.6	1.06	0.03	0.04	7.3
3 AAL-S8-8	0.05	4.74	32.3	0.17	8.03	44.6	0.7	1.13	0.03	0.05	8.3
再掲 AAL-S1-1	0.04	9.3	53.3	-	0.93	36.2	-	0.16	0.12	-	0.1

※ 「その他」には溶解残渣を含む。AAL-S8-1の溶解処理で溶解残渣が発生したため、溶解処理方法の改善を行い、AAL-S8-6及びAAL-S8-8の処理を行い、残渣の量が低減した。

● 炭酸塩スラリーの構成物質の推定

- ▶ いずれの試料もMg及びCa化合物(それぞれCaCO₃とMg(OH)₂を仮定して割合を算出)が大部分を占めている。次いで、ケイ素が寄与している。



※ 代表的な化合物を想定して算出。



1.3 ALPSスラリー模擬物と脱水模擬物

固体廃棄物に係る補助事業では、ALPSスラリー模擬物、ALPSスラリー脱水模擬物を試験に使用しており、実際の性状を完全には再現できていない。なお、模擬ALPSスラリーを脱水することにより、容積が炭酸塩は約22%、鉄共沈は約17%に減容され、スラリー中の塩分の大部分がろ液側に排出される。

● ALPSスラリー模擬物

作製方法：実機と同様の手順
性状

- ・炭酸塩
 - 含水率 : 89.3%
 - 主成分 : $\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2$
 - 平均粒径 : 13~17 μm
- ・鉄共沈
 - 含水率 : 90.0%
 - 主成分 : $\text{FeO}(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$
 - 平均粒径 : 15~16 μm



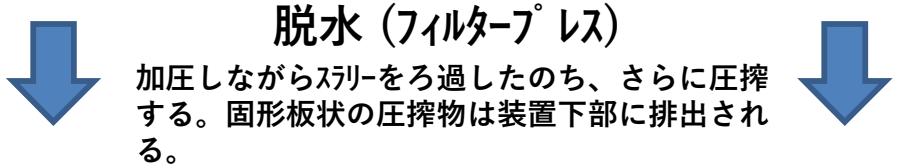
炭酸塩スラリー

含水率：76.4~91.9wt%



鉄共沈スラリー

含水率: 90wt%



● ALPSスラリー脱水模擬物

作製方法：加圧圧搾ろ過(フィルタープレス)
性状

- ・固形(板)状
- ・含水率50%程度であっても、液等の浸出は無い
- ・スラリー中の塩分は大部分がろ液側に排出
- ・減容率(推定): 炭酸塩 約22%、鉄共沈 約17%
(炭酸塩: 6.2缶/HIC、鉄共沈: 4.7缶/HIC)



フィルタープレス機残渣：炭酸塩



フィルタープレス機残渣：鉄共沈

炭酸塩(脱水模擬物)

鉄共沈(脱水模擬物)

含水率: 50%未満

出典: 除染装置スラッジおよび多核種除去設備スラリーの安定化・固化処理の検討状況, 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第4回), 資料3, 東京電力ホールディングス株式会社, 2016.10.21

出典: スラリー、スラッジの安定化処理にむけた検討状況, 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第6回), 資料2, p3, 12, 東京電力ホールディングス株式会社, 2017.7.25

2. ALPSスラリー固化処理技術選定にあたっての考慮事項

固体廃棄物に係る補助事業での成果をもとに、ALPSスラリーを長期的に安定に保管するための固化処理技術選定にあたっての考慮事項を整理した。

- **固化処理により作製される固化体の固化状態**
固化処理により作製される固化体が適切に固化できていること。
- **廃棄物の固化処理時及び固化体取扱い時の安全性**
廃棄物の固化処理時、作製された固化体の保管時の安全性（放射線安全、安定保管）を確保できること。
- **固化処理に伴い発生する廃棄物量**
固化処理により発生する固化体の発生量を低減すること。また、固化処理時、メンテナンス時に発生する二次廃棄物を低減すること。
- **固化処理時の経済性（固化処理に要する処理費用）**
処理対象量に対する固化処理設備の費用、廃棄物の固化処理に要する費用、等の固化処理に要する処理費用が少ないこと。
- **作製される固化体の処分適合性**
固化処理により作製される固化体の処分適合を確認するために必要なデータ、想定される処分施設での廃棄物受け入れ基準の検討に資するデータが取得できていること。

2.1 固化処理により作製される固化体の固化状態

ALPSスラリーを固化処理して作製される固化体が長期的に安定に保管できる固化状態であることを、模擬廃棄物を用いた試験結果(外観検査、強度、発熱等)から以下のように整理した。

確認項目	確認内容	廃棄物	低温処理 (均質固化)		高温処理
			OPC	AAM(+BFS 8wt%)	CCIM*(実規模)
1. 固化体の外観検査	模擬廃棄物で作製される固化体の健全性を目視, SEM等で確認 (ひび割れ, 白華, フリーディング, 結晶等)。	炭酸塩	△急結発生, 200L, WL: 30wt%	○良好, 200L, WL: 30wt%	◎とても良好, 180L, WL: 34wt%, T: 1100°C
		鉄共沈	○良好, 20L, WL: 20wt%	○良好, 20L, WL: 20wt%	◎とても良好, 180L, WL: 35wt%, T: 1100°C
2. 固化体の強度	模擬廃棄物で作製される固化体の一軸圧縮強度を確認。	炭酸塩	○4.6-5.2MPa, 200L, WL: 30wt%	○26.2-31.1MPa, 200L, WL: 30wt%	◎44-133MPa, 180L, WL: 34wt%, T: 1100°C
		鉄共沈	○23.0-26.6MPa, 20L, WL: 20wt%	○21.1-28.3MPa, 20L, WL: 20wt%	◎133MPa, 180L, WL: 35wt%, T: 1100°C
3. 固化体の発熱	作製される固化体が過度に発熱(60°C)しないことを確認。	炭酸塩	○56.2°C, 20L 充填可能量(ドラム缶集積): ¹³⁷ Cs 6.80 E+9Bq/cm ³	△63.5°C, 200L	◎なし, 180L, 1100~1600°Cで溶融後, 自然冷却される。
		鉄共沈	△70.7°C, 20L	○54.4°C, 20L	◎なし, 180L, 1100~1600°Cで溶融後, 自然冷却される。
廃棄物の処理条件	模擬廃棄物を用いて固化体の特性を満足し安定, 安全に固化処理可能な運転条件を確認。	--	ALPSスラリーの含水率が高いため、含水率を調整した後に処理が必要となる。 配合(母材, 廃棄物, H ₂ O, アルカリ), 流動性(廃棄物供給), 凝結性, 等	ALPSスラリーの含水率は高いが、含水率の調整をせずに処理が可能である。 配合(廃棄物, ガラス化剤), 廃棄物等の供給, 溶融温度, 溶融時間, 供給電力, 等	

◎: とても良好、○: 良好、△: 課題あり、OPC: 普通ポルトランドセメント、BFS: 高炉スラグ、WL: 廃棄物充填率、T: 溶融温度、SEM: 走査電子顕微鏡、60°C: OPCが変質しない制限値
*: 高温処理技術のうちCCIMは、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーをそれぞれ単独で処理試験を実施している。

注: 高温処理のWLは供給物中の廃棄物充填率である。

低温処理: 28d圧縮強度、一軸圧縮強度: 1.47MPa以上(1号廃棄体に係る廃棄物受け入れ基準, 廃棄物埋設施設保管規定変更認可申請の補正について, 日本原燃, 2020年3月23)

2.2 廃棄物の処理時及び固化体取扱い時の安全性

廃棄物の固化処理時（準備を含む）、固化処理により作製された固化体の保管時の安全性（放射線安全、安定保管）を確保できること。

確認項目	対象工程	確認内容	低温処理（均質固化）		高温処理
			OPC	AAM(+BFS 8wt%)	CCIM(実規模)、等
1. 固化処理するまでの内部被ばく	ALPSスリ-を固化処理するまでに想定される内部被ばく	①保管容器から供給系へ廃棄物を投入時の外部への飛散	△廃棄物の性状(スリ-又は脱水物)に依存する。廃棄物の性状により飛散防止対策が必要である。	△廃棄物の性状(スリ-又は脱水物)に依存する。廃棄物の性状により飛散防止対策が必要である。	△廃棄物の性状(スリ-又は脱水物)に依存する。廃棄物の性状により飛散防止対策が必要である。
		②固化処理時に処理容器からの処理物等の飛散	○最高温度70.7℃（鉄共沈, 200L）のため放射性核種の飛散は想定されない。	○最高温度63.5℃（鉄共沈, 200L）のため放射性核種の飛散は想定されない。	△溶融温度1100~1600℃のため放射性核種等が揮発する可能性がある。処理技術(か焼層, コールドトラップ, 溶融炉内部の負圧運転)により放射性核種のウガ-系への移行を抑えることが可能である。炭酸塩スリ-の処理時に発泡の可能性ある。 また , 固化処理時の揮発物はウガ-系で回収され、回収物は溶融炉へリサイクルすることを想定している。
2. 固化処理するまでの外部被ばく	ALPSスリ-を固化処理するまでに想定される外部被ばく	①保管容器から供給系へ投入時の廃棄物からの被ばく	△供給方法(遠隔等)により被ばく低減が可能である。	△供給方法(遠隔等)により被ばく低減が可能である。	△供給方法(遠隔等)により被ばく低減が可能である。
		②固化体からの外部放射線による被ばく	○固化剤を入れるため、固化体のイベントリは小さくなる。	○固化剤を入れるため、固化体のイベントリは小さくなる。	△溶融により高充填化されるため、固化体のイベントリは大きくなる。
		③システムの洗浄, 消耗機材の交換時の被ばく(内部被ばく含む)	△バッチ毎に供給系を洗浄するため、洗浄方法により被ばくの可能性がある。	△バッチ毎に供給系を洗浄するため、洗浄方法により被ばくの可能性がある。	○固化処理中にウガ-系への放出は少ないが、長期運転によりフィルタの性能が低下するため、温度が下がったメンテナンス時に行うフィルタ交換等で被ばくの可能性がある。
3. 固化体からの水素発生	ALPSスリ-を固化処理して作製された固化体中の水の放射線分解	固化体からの水素発生	△含水率が高いため水素発生の可能性ある。	△含水率が高いため水素発生の可能性ある。	◎高温で固化処理するため水分は存在せず水素発生の可能性はない。

◎：リスクなし、○：リスクは少ない、△：リスクあり

主要元素の沸点：Cs 678℃、Sr 1380℃。

参考1 廃棄物を固化処理するまでの外部被ばくの想定位置

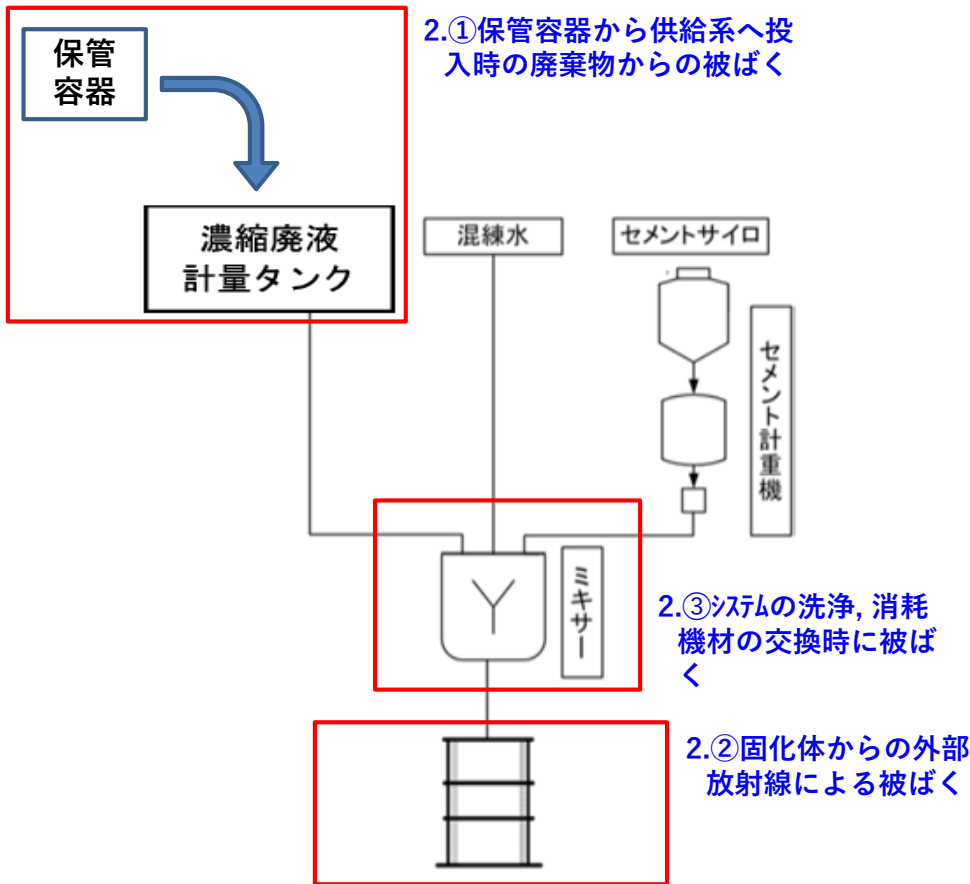


図1 低温処理技術を用いた処理システム (アウトドラム・ミキシング法) の例

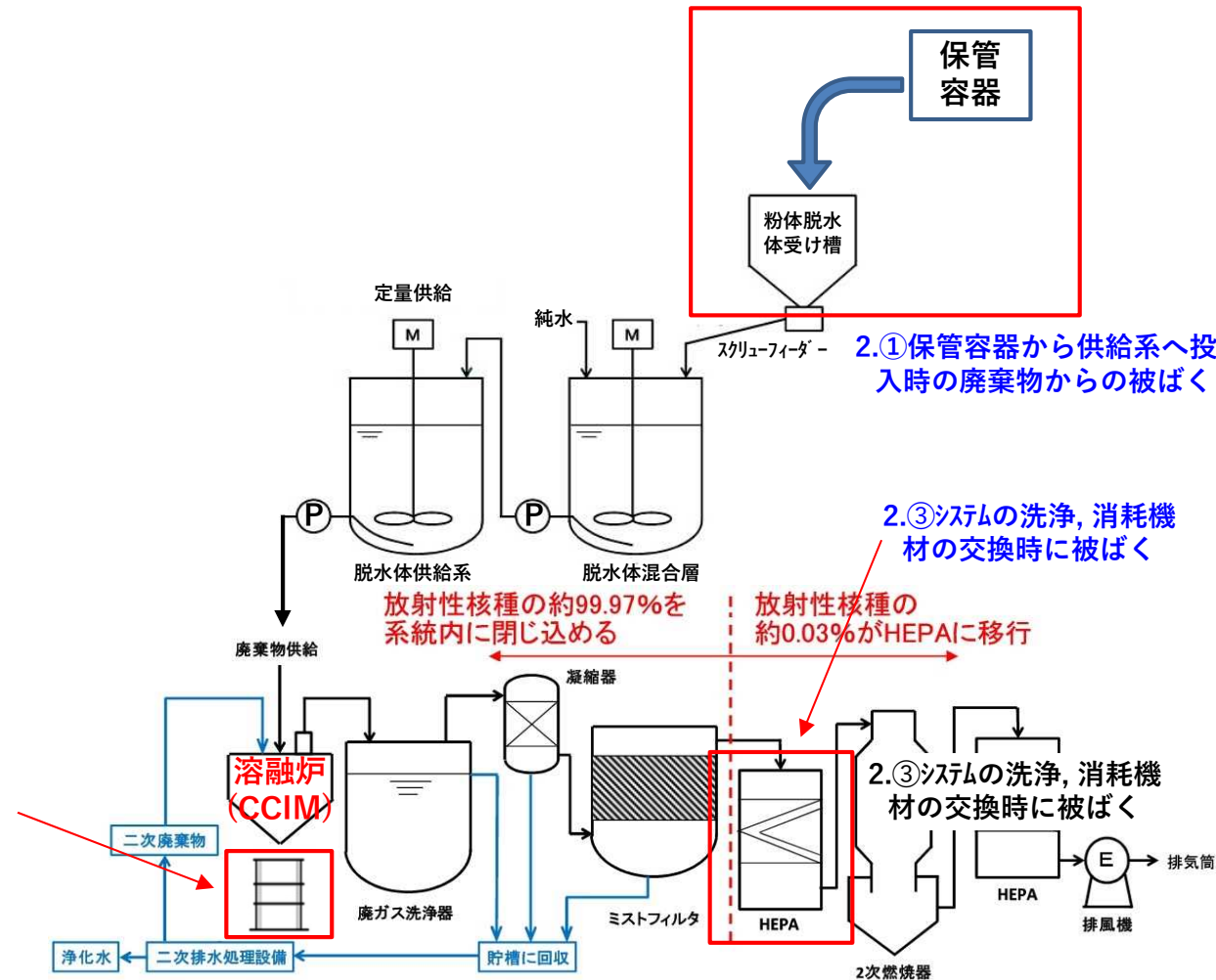


図2 高温処理技術(CCIM)を用いた処理システムの例

出典: 廃炉・汚染水対策事業補助金(固体廃棄物の処理・処分に
関する研究開発), 2019年度及び2020年度事業成果概要, IHI,
2021年12月, p48

☐ : 主に外部被ばくが想定される位置

2.3 固化処理に伴い発生する廃棄物量

固化処理に伴い発生する廃棄物量を低減しないと、1Fでの保管可能な保管容量に影響がある。固化処理時の廃棄物の充填量を向上させ、固化処理により発生する固化体の発生量を低減すること。また、固化処理時、メンテナンス時に発生する廃棄物をリサイクル等により発生する二次廃棄物量を低減すること。

確認項目	確認内容	廃棄物/発生時期	低温処理(均質固化)	高温処理
1. 固化体の発生量*1	固化体中の廃棄物の充填量を確認	炭酸塩	△ OPC : 519kg/200L (含水率80wt%), AAM : 507kg/200L (含水率80wt%), WL: 30wt% (200L)	○944kg/180L (含水率80wt%) WL: 30wt% (180L, 1100°C)
		鉄共沈	△ OPC : 369kg/200L (含水率80wt%), AAM : 348kg/200L (含水率80wt%), WL: 20wt% (20L)	○879kg/180L (含水率80wt%) WL: 35wt% (180L, 1100°C)
2. 二次廃棄物の発生量	固化処理時、メンテナンス時に発生する二次廃棄物の発生量と低減対策の確認	固化処理時	△発生量は未評価, バッチ毎に供給系を洗浄するため、廃棄物が含まれた洗浄水が発生する。 低減対策は未検討である。	○発生量は未評価, 固化処理設備によっては運転廃液が発生する。 おガス廃液は溶融炉でのリサイクルが想定される。
		メンテナンス時	○発生量は未評価, 固化処理時ほどの二次廃棄物の発生は想定されていない。 発生が想定されていないため低減対策は未検討である。	○発生量は未評価, 頻度は少ないが交換したおガス系のフィルタ等の発生が想定される。 発生量が少ないため低減対策は未検討である。

○：リスクなし、△：リスクあり

1: 固化体の発生量は、WL, 含水率, 容器への固化体の充填量を仮定した値である。なお、実際の容器上部には空隙が発生するため固化体の充填量は仮定した値よりも小さくなる。

注：高温処理のWLは供給物中の廃棄物充填率であり、低温処理と同じ定義だと容器内の廃棄物の充填率は上がる。



2.4 固化処理の経済性(固化処理に要する処理費用)

処理対象量に対する固化処理設備の費用、廃棄物の固化処理に要する費用、等の固化処理に要する費用が少ないこと。

確認項目	確認内容	費用項目	低温処理	高温処理
1. 固化処理設備の費用	固化処理に要する設備、固化処理時の安全対策(遮蔽, 耐熱等)に要する設備, 建屋に関する費用	主要設備	○特に特殊な設備はない。原子力施設で実績のある設備である。 アウトドラム・ミキシング法(例) 廃棄物回収機、計量槽、混練機、封印機、充填設備、防塵・排気設備	△溶融炉と電源設備、特殊な排気設備が必要となる。固化処理設備によって、設備の遮蔽、耐熱対策、耐震の考慮が必要かもしれない。 CCIM(例) スリ-関連処理設備、溶融炉、廃ガス洗浄器、ミストフィルタ、HEPA、二次燃焼器、排風機
		一時保管スペース	△固化終結まで固化処理施設内部での一時保管が必要となる。 低温処理 29h以上で固化終結	△固化体が十分に冷却するまで固化処理施設内部での一時保管が必要となる。 CCIM(例) 48h放冷後に40°C(想定)
2. 固化処理に要する費用	固化処理材料, 容器等, 電力, 等の廃棄物の固化処理に要する費用	処理材料	○安価ではあるが多くの固形化剤等を使用する。	△廃棄物に応じた特殊なガラス化剤を使用する。
		容器等	○安価な既存の200Lドラムを使用する。	△CCIMでは既存の200Lドラムの使用が考えられているが、他の高温処理法では高価な容器(インコル等)の使用が考えられている。他の高温処理法では耐火材、電極等の消耗品がバッチ処理毎に必要なとなる。
		電力	○混練機等の運転に電力を使用するが多くはない。	△溶融炉の高温加熱等に多くの電力を使用する。

○：費用小、△：費用大

参考2 固化処理設備の配置及びイメージ

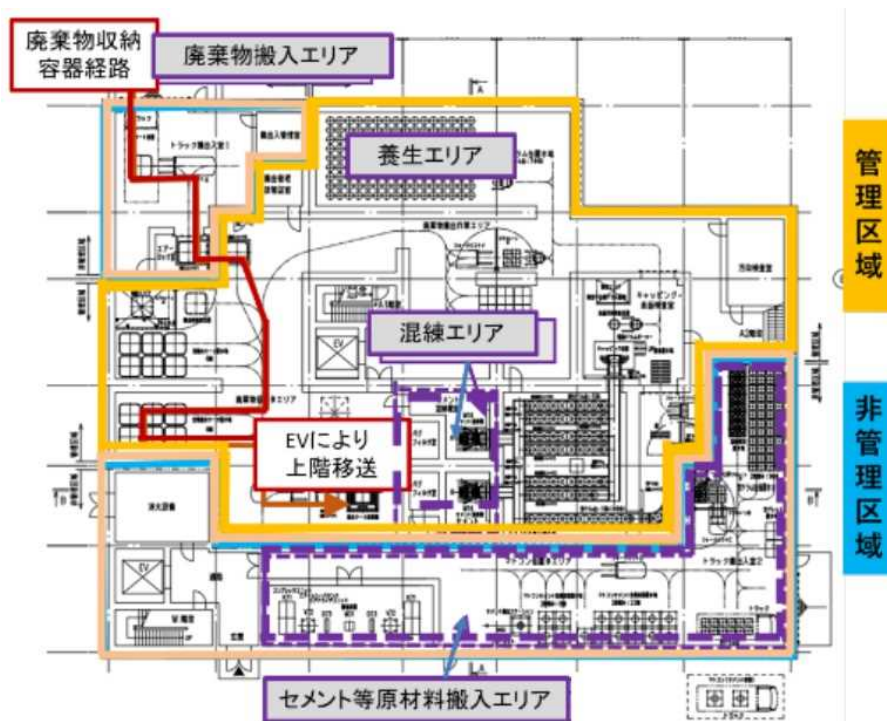


図1 低温固化処理設備(セメント固化インドラム式)の設備配置の概念

出典: 平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」, 2020年度最終報告, IRID R3.10

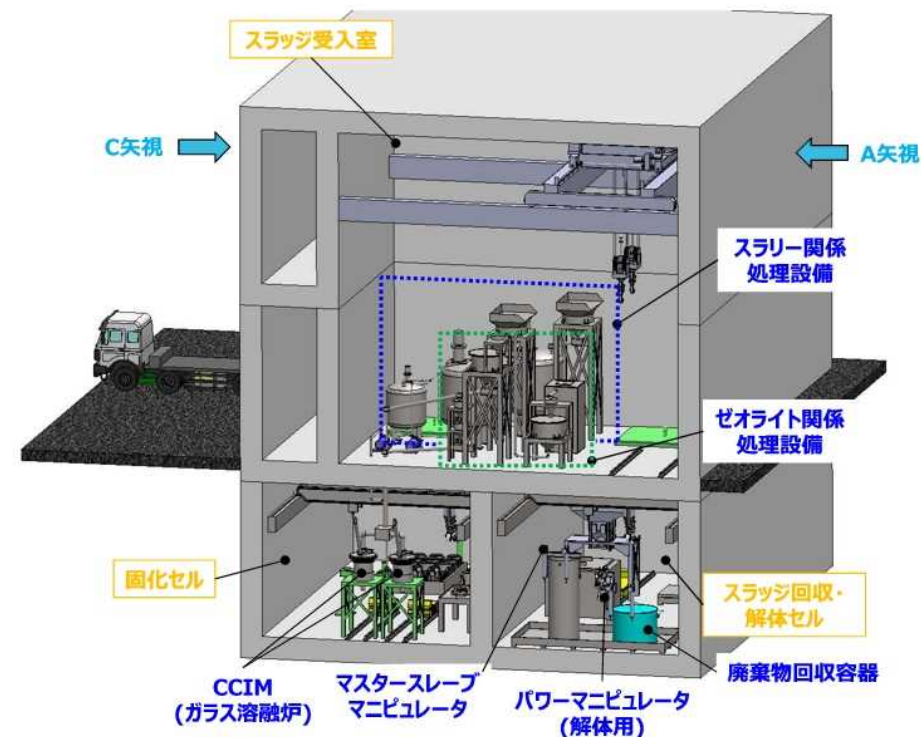


図2 高温固化処理設備(CCIMの一部)による設備イメージ

出典: 廃炉・汚染水対策事業補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発), 2019年度及び2020年度事業成果概要, IHI, 2021年12月

2.5 作製される固化体の処分適合性

ALPSスラリーの固化処理により作製される固化体の処分適合を確認するために必要なデータ、想定される処分施設での廃棄物受け入れ基準の検討に資するデータの取得を進めている。

確認項目	確認内容	廃棄物の種類	低温処理 (均質固化)		高温処理
			OPC	AAM	ガラス、等
1. 固化体からの核種の溶出	模擬廃棄物で作製した固化体を用いて浸出試験等を実施し、処分安全評価の検討に必要な主要な元素の浸出濃度等を確認。	炭酸塩	△ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2。 Cs : 0.54mg/L Sr : 3.4mg/L	○ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2, 3。 Cs : 0.008mg/L Sr : 0.006mg/L	◎ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2。 Cs : 0.01mg/L Sr : <0.01mg/L
		鉄共沈	△ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2。 Cs : 0.76mg/L Sr : 8.5mg/L	▲ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2, 3。 Cs : 2.16mg/L Sr : <0.005mg/L	◎ 固化体*1の粉砕試料からの浸出濃度*2。 Cs : <0.01mg/L Sr : <0.01mg/L
2. 容器中の固化物の充填	模擬廃棄物を充填後に発生する容器の上部空間を確認。	上部空間	○ 容器上部の空間は小さい。	○ 容器上部の空間は小さい。	○ 容器上部の空間は小さい。 (他の高温処理法では容器の上部に空間が発生するものがある。)
3. 固化体のKd	固化体中での放射性核種の収着の程度を示すKd(分配係数)の確認。	--	△ 未測定	△ 未測定	△ 未測定

◎ : 課題なし、○ : 課題は少ない、△ : 課題あり

- 1: 廃棄物の充填率 40wt%, 添加元素 0.1wt%
- 2: 浸出濃度は「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法(昭和48年環境庁告示第13号)」に準拠した結果。
粉砕した固化試料を水中で6時間水平浸透して浸出液を採取し、浸出液中の元素濃度を測定する。
- 3: AAMの浸出濃度はSIALのデータである。

参考: 平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」, 研究報告書(最終報告), IRID H29.3



2.6 処理技術のメリット・デメリット

	種類	低温処理 (均質固化)		高温処理
		OPC	AAM(+BFS-8wt%)	CCIM(実規模)、等
廃棄物に関するもの	メリット	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物充填量が低いため、固化体のインベントリは大きくない。 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物充填量が低いため、固化体のインベントリは大きくない。 Srの浸出濃度が低い。 	<ul style="list-style-type: none"> ALPSスリー-の含水率は高いが、含水率の調整をせずに処理が可能である。 高温処理のため減容効果が高く、廃棄物充填量が高い。 高温処理のため水素発生の可能性はない。 Cs, Srの浸出濃度が低い。
	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ALPSスリー-の含水率が高いため、固化処理のためには含水率の調整が必要となる。 廃棄物充填量が低い。 Srの浸出濃度が少し高い。 固化体から水素発生の可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ALPSスリー-の含水率が高いため、固化処理のためには含水率の調整が必要となる。 廃棄物充填量が低い。 Csの浸出濃度が少し高い。 固化体から水素発生の可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 熔融により高充填化されるため、固化体のインベントリは大きくなる。
処理設備に関するもの	メリット	<ul style="list-style-type: none"> 原子力施設で多くの実績のある設備である。 低温処理のため容器の取扱いが容易である。 容器、固化材料は安価である。 容器上部の空間は少ない(高充填可能)。 低温処理のため作業の安全性、放射線の安全性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力施設で多くの実績のある設備である。 低温処理のため容器の取扱いが容易である。 容器は安価である。 容器上部の空間が少ない(高充填可能)。 低温処理のため、作業員の安全、放射線の安全性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 減容されるため低温処理に比べて多くの容器は発生しない。 ワガス廃液は熔融炉でのリサイクルが可能である。
	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 多くの容器が発生する。 バッチ処理毎に供給系を洗浄するため、廃棄物が含まれた洗浄水が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの容器が発生する。 セメントに比べて固化材料等が高価である。 バッチ処理毎に供給系を洗浄するため、廃棄物が含まれた洗浄水が発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 容器上部に空間ができるものがある。 特殊な電源設備、排気設備が必要である。 高価である(電気、容器、ガラス化材、電極等。処理技術により異なる)。 頻度は少ないが交換したワガス系のフィルタ等の発生が想定される。 処理時に放射性物質が放出され、設備内部に付着する恐れがあるため、メンテナンス等で放射線安全の考慮が必要である。 高温環境での作業となるため、作業時の安全性に注意が必要である。

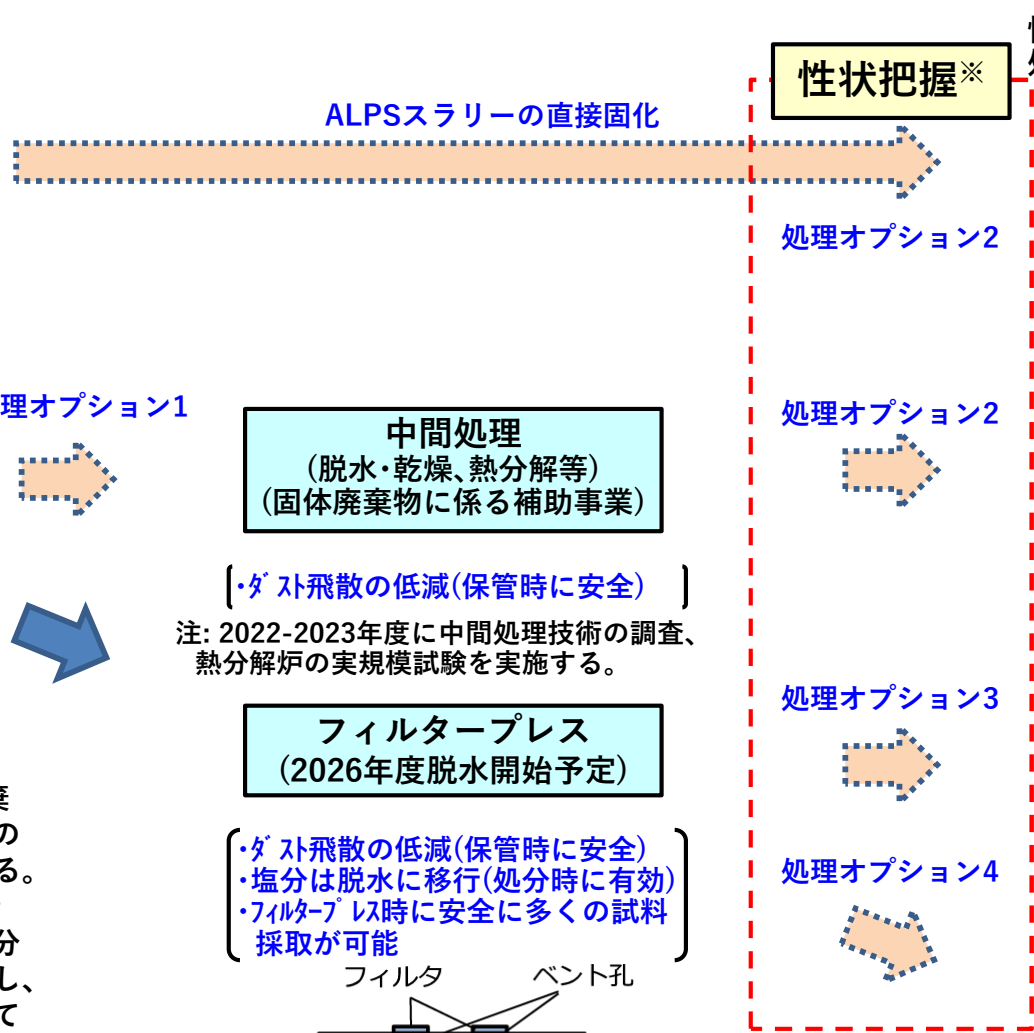


3. ALPSスラリーの脱水処理と固化処理の考え方



炭酸塩スラリー

※ 固化処理を実施する前に、廃棄物の性状を把握し、固化処理時の適切な配合を設定する必要がある。特に、ALPSスラリーは発生時期により性状が異なるため、十分な性状把握が必要である。しかし、まだ、十分な性状把握が行われていない。試料採取をさらに進め、分析核種の拡大や化学物質の分析を実施する必要がある。



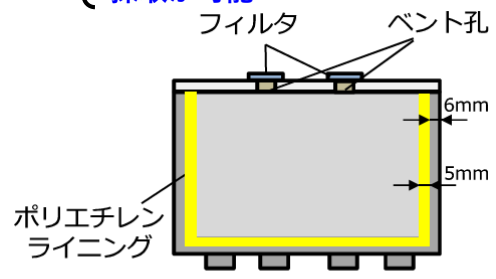
中間処理
(脱水・乾燥、熱分解等)
(固体廃棄物に係る補助事業)

・ダスト飛散の低減(保管時に安全)

注: 2022-2023年度に中間処理技術の調査、熱分解炉の実規模試験を実施する。

フィルタープレス
(2026年度脱水開始予定)

・ダスト飛散の低減(保管時に安全)
・塩分は脱水に移行(処分時に有効)
・フィルタープレス時に安全に多くの試料採取が可能



保管容器断面概略図

脱水物の取出し



注: 保管容器からの脱水物の安全な取出し方法の検討が必要である。

性状把握の結果から固化処理時の配合を設定する。

赤字: 高温処理
緑字: 低温・高温処理
紫字: 低温処理

固化処理
(低温処理又は高温処理)

注1: 固化処理時の配合の検討が必要である。
注2: ALPSスラリーの含水率が高いため、低温処理の際には含水率の調整が必要となる。
注3: ALPSスラリーに塩分が含まれている(処理処分への影響が懸念される)。
注4: 高温処理時に発生する塩素による水ガス系の腐食を考慮する必要がある。

固化処理
(低温処理又は高温処理)

注1: 固化処理時の配合の検討が必要である。
注2: 中間処理物に塩分が含まれている可能性がある(処理処分への影響が懸念される)。
注3: 高温処理時に発生する塩素(想定)による水ガス系の腐食を考慮する必要がある。

脱水物を入れた保管容器の一括処理(可能性の検討)
(固体廃棄物に係る補助事業)

注: 2023年度に高温処理による固化可能性の検討を予定している。その後、検証試験が必要と思われる。

容器から脱水物を取り出した後に固化処理
(低温処理又は高温処理)

注1: 脱水物の処理装置への安定な供給方法について検証が必要である。
注2: 固化処理時の配合の検討が必要である。
注3: 実規模での検証が必要である(2023-2024年度に模擬炭酸塩スラリーでの実規模試験を計画している)。

4. ALPSスラリー固化処理技術選定のための課題とその進め方

- 2021年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを踏まえ、固体廃棄物の特徴に応じた廃棄物ストリーム(廃棄物の種類ごとに、その発生・保管から処理・処分までの一連の取扱いを示したもの)※の構築に向けて、固体廃棄物全体の管理として適切な対処方策の検討を進める。

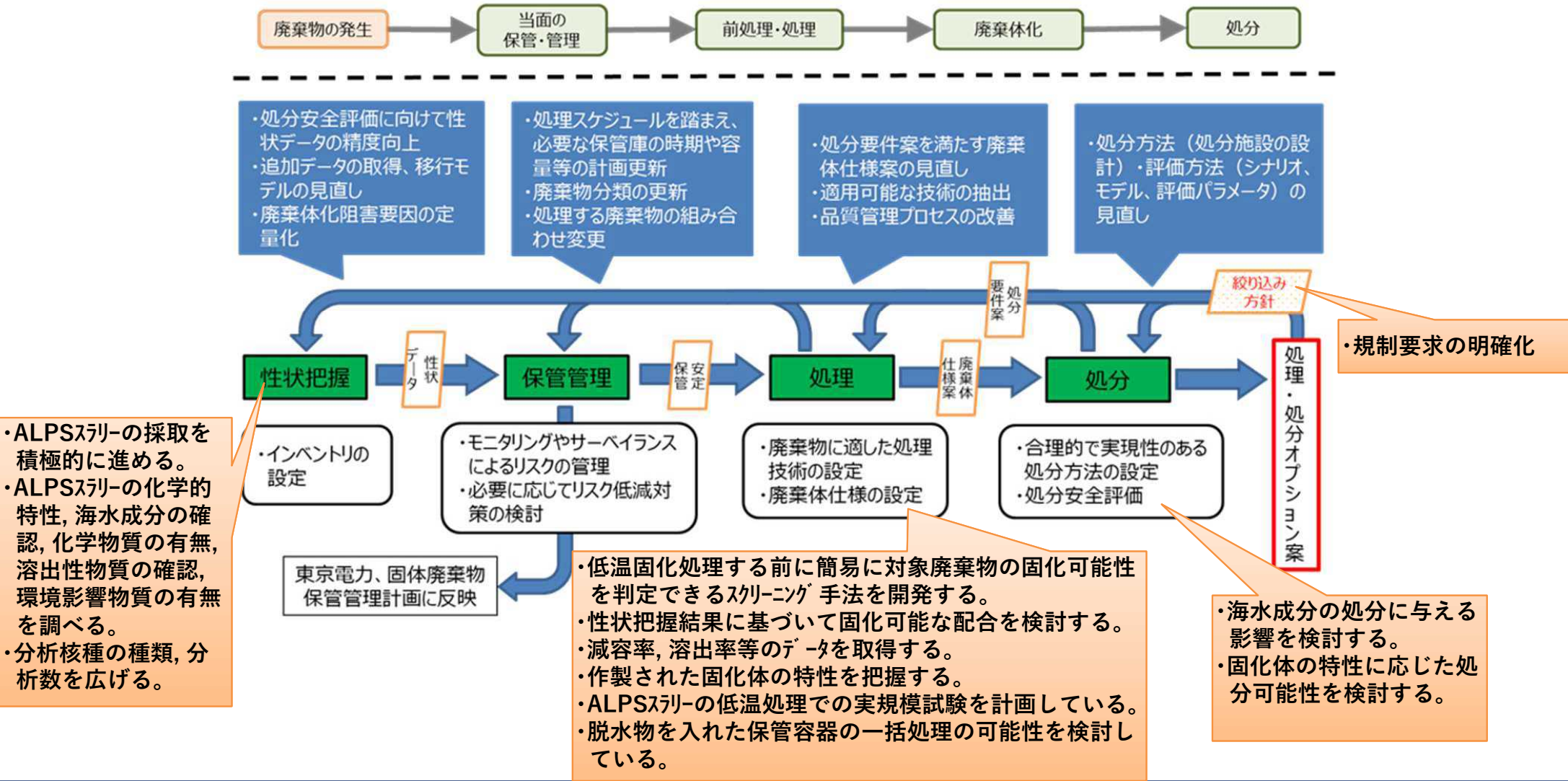


図1 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法