

資料3-3

# 廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金に係る 補助事業及び英知を結集した原子力科学技術・ 人材育成事業における処理技術開発について

2023年3月27日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

# 1F固体廃棄物の処理技術選定の基本的考え方

物量が膨大なため、簡単、確実、早い、安いが基本

- ✓ 1F廃棄物の処理はセメント固化処理技術を基本とし、浸出率や拡散係数等の核種移行遅延機能を期待できるような高性能化及び水素対策を進め、適用可能範囲を最大化する
- ✓ セメント固化できない範囲は比較的安価なAAM固化処理技術でカバーすることを目指す
- ✓ AAM固化処理技術でカバーできない範囲は高温処理技術（CCIM, In-Can, GeoMelt ICV）を適用するが、処理速度と対象廃棄物の柔軟性に優れたものを目指す
- ✓ 化学物質については、高温処理技術を用いた無害化を基本とするが、浸出特性で規制値をクリアする道を閉ざさない



水処理二次廃棄物を対象に以下の処理技術の研究・開発を実施

## ◆ 低温処理技術

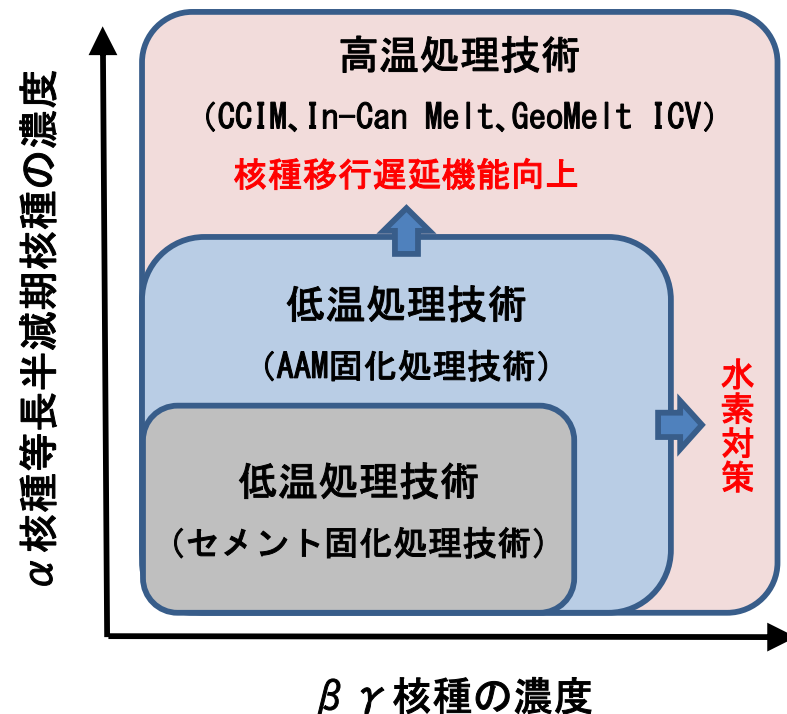
- セメント固化処理技術の高性能化
- AAM固化処理技術の適用性を確認

## ◆ 高温処理技術

- CCIM, In-Can Melt, Geomelt ICVの処理速度や適用性を確認

CCIM : コールドクルーシブル誘導溶解法

AAM : アルカリ活性材料



# 処理技術開発

1. セメント固化処理技術 (低温固化処理)
2. AAM固化処理技術 (低温固化処理)
3. In-Can固化処理技術 (高温固化処理)
4. CCIM固化処理技術 (高温固化処理)
5. GeoMelt固化処理技術 (高温固化処理)
6. 熱分解処理技術 (中間処理技術)
7. アパタイト固化処理技術 (中間処理技術)
8. 処理技術開発の実施スケジュール

# セメント固化処理技術（低温固化処理）

「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

低温固化処理技術のうち、セメント固化処理技術を対象に検討を進めた。セメント固化処理技術では、セメントの水和反応により硬化する性質を利用し、廃棄物を固形化する。

**均質固化**について、様々な水処理二次廃棄物が固化可能である配合（セメント、廃棄物、水の割合）を検討した。その後、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーについて、20L規模で固化可能であることを確認した(図1)。このうち炭酸塩スラリーについて、実規模試験(200L)を実施したが、急結が発生した(図2)。

**充填固化**について、充填材（セメント、水）の配合を検討し、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーについて、0.2L規模で固化可能であることを確認した(図3)。

2023-2024年度には、炭酸塩スラリーを対象に、急結メカニズムの解明、均質固化について実規模試験を計画している。

表1 セメント固化処理技術の開発状況

	固化方式	試験規模
炭酸塩スラリー	均質固化	200L規模(急結発生), 図2
	充填固化	小規模 (0.2L), 図3
鉄共沈スラリー	均質固化	20L規模
	充填固化	小規模 (0.2L)



図1 20L規模のセメント均質固化体（炭酸塩スラリー）



(1) 混練作業の状況



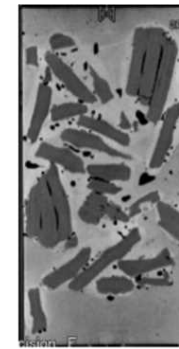
(2) 容器の内部状況

図2 200L規模のセメント均質固化（炭酸塩スラリー）

混練から70分で充填完了（指が刺さらないほど硬化）



(1) 側面



(2) CT断面

図3 0.2L規模のセメント充填固化体（炭酸塩スラリー(脱水物)、振動あり）

出典：令和2年度開始 2021～2022年度経済産業省補助事業廃炉・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（スラリーの低温固化処理に関する研究開発）」, 廃炉・汚染水・処理水対策事務局ホームページ, 2023/01/31

# AAM固化処理技術（低温固化処理）

「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

低温固化処理技術のうち、AAM(Alkali Activated Material) 固化処理技術を対象に検討を進めた。AAM固化処理技術では、アルカリシリカ溶液とフライアッシュ等のアルミナシリカ粉末の縮重合反応で固化体を生成する。

**均質固化**について、様々な水処理二次廃棄物が固化可能である配合(メタカオリン、廃棄物、スラグ、アルカリ水溶液の割合)を検討した。その後、その後、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーについて、20L規模で固化可能であることを確認した(図1)。このうち炭酸塩スラリーについて、実規模(200L)で固化可能であることを確認した(図2)。

**充填固化**について、充填材(メタカオリン、スラグ、アルカリ水溶液の割合)の配合を検討し、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーについて、0.2L規模で固化可能であることを確認した。このうち鉄共沈スラリーについて、20L規模で固化可能であることを確認した(図3)。

2023-2024年度には、炭酸塩スラリーを対象に、均質固化と充填固化について実規模試験を計画している。

表1 AAM固化処理技術の開発状況

	処理方式	試験規模
炭酸塩スラリー	均質固化	200L規模 (図2)
	充填固化	小規模(0.2L)
鉄共沈スラリー	均質固化	20L規模
	充填固化	20L規模 (図3)



図1 20L規模のAAM均質固化体  
(メカオリン, 炭酸塩スラリー)



図2 200L規模のAAM均質固化体(充填後)  
(メカオリン, 炭酸塩スラリー, スラグ)



(1) 固化体の側面



(2) 固化体の断面(破碎後)

図3 20L規模のAAM充填固化体 (振動なし、脱水物は未乾燥)  
(メカオリン+鉄共沈スラリー+スラグ)

出典：令和2年度開始 2021～2022年度経済産業省補助事業廃炉・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（スラリーの低温固化処理に関する研究開発）」, 廃炉・汚染水・処理水対策事務局ホームページ, 2023/01/31

# In-Can固化処理技術（高温固化処理）

「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

In-Can固化技術は、廃棄物とガラス原料を容器内に供給し、外部ヒータで容器を加熱する。溶融後、溶融容器内で冷却して固形化する。熱対流を発生させて溶融物を攪拌できるように縦方向に分割した複数の加熱領域で溶融する。

In-Can固化処理技術の開発では、実験室規模(1kg相当)、工学規模(100kg相当)と段階的に規模を拡大した試験で水処理二次廃棄物への固化処理の適用性を確認し、実規模(300kg)であるDem&Melt (図1) を用いて、炭酸塩スラリーと鉄共沈スラリーの混合物が固化処理可能であることを確認した。

## 工学規模 (100kg相当)

- 1: ゼオライト、珪チタン酸塩、砂、炭酸塩、鉄共沈の混合物
- 2: ゼオライト、珪チタン酸塩、砂の混合物
- 3: 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーの混合物 (図2)

## 実規模 (300kg相当)

- 1: 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリーの混合物 (図3)



図1 実規模試験装置  
(Dem&Melt In-Canガラス固化プロセス)

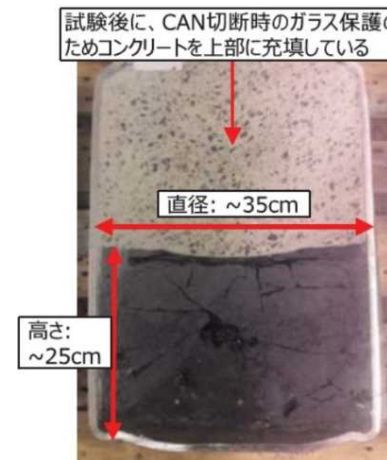


図2 工学規模試験で作製された固化体  
(炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー)



図3 実規模試験で作製された固化体  
(炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー)

# CCIM固化処理技術（高温固化処理）

「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

CCIM(Cold Crucible Induction Melting)固化技術は、溶融炉に入れた着火金属でガラスフリットを溶融し、廃棄物とガラス原料を高周波誘導加熱する。溶融物は溶融炉下部から流下させ、容器内で冷却して固形化させる。溶融中はバブリングで溶融物の混合を促進している。有機系廃棄物を処理する際には炉上部から酸素を供給し熱分解できる。

溶融炉の炉壁を水冷して溶融物と炉壁間に形成されるスカル層で炉壁の腐食を抑制できる。

CCIM固化処理技術の開発では、韓国KHNPでの工学規模試験装置（廃棄物：約200kg）で以下の廃棄物の適用性試験を実施した。

単体処理：炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、樹脂系吸着剤

混合処理：ゼオライトとフェロシアン化物スラッジ

CCIM固化技術の実規模は300kgを想定している。なお、CCIM固化技術の国産化を目指して小型炉（約50kg）を作製した。

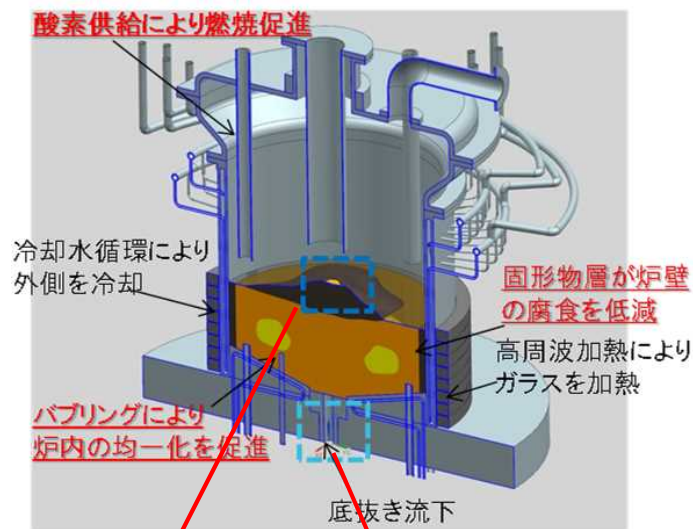


図1 CCIMの概要



図2 炉内の溶融表面

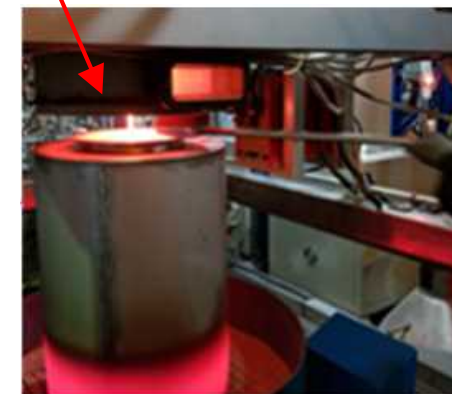


図3 容器への流下状況

出典：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第98回）、資料4、R4/1/27

：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)2019年度及び2020年度事業成果概要、廃炉・汚染水・処理水対策事務局HP、2021.12.17

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

# GeoMelt固化処理技術（高温固化処理）

「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

GeoMelt固化技術は、廃棄物とガラス原料を容器内に供給し、黒鉛電極間に電流を流すとジュール加熱により電極付近から徐々に周辺が溶融する。溶融物は熱対流により攪拌される。溶融後、容器内で冷却して固形化する。

GeoMelt固化処理技術の開発では、複数の廃棄物を組合せた以下の3つのケースで工学規模(廃棄物: 約200kg)での適用性試験を実施した。

スラリー系廃棄物 : ゼオライト, 炭酸塩, 鉄共沈

チタン系廃棄物 : ゼオライト, 珪チタン酸塩

スラッジ系廃棄物 : ゼオライト, 除染装置スラッジ

工学規模試験では、2電極容器(1266cm<sup>2</sup>x63.5cm)、4電極容器(1866cm<sup>2</sup>x43.2cm)を用いて工学規模試験を実施した。

なお、実規模は固化体10tonを想定している。

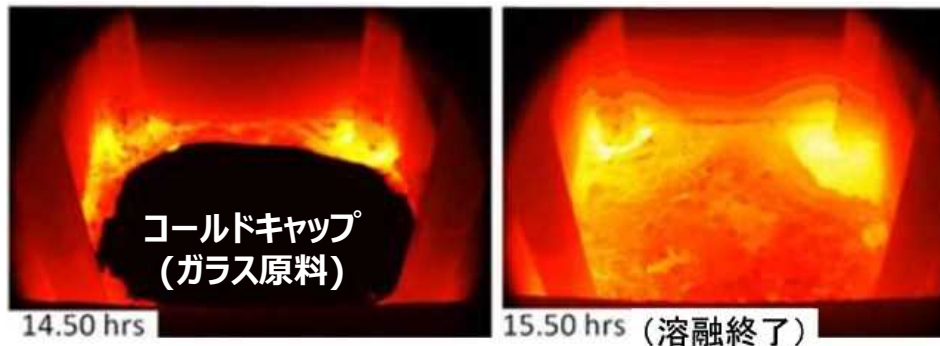


図2 工学規模試験(スラリー系廃棄物)



図1 工学規模試験装置



図3 固化体の断面(スラリー系廃棄物)

出典 : 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議 (第98回)、資料4、R4/1/27  
: 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議 (第86回)、資料4、R3/1/28  
: 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1F水処理二次廃棄物へのGeoMelt ICVの適用性に関する総合評価、2022/12/5



# 熱分解処理技術（中間処理技術）

「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

震災影響を受けた運転廃棄物及び水処理二次廃棄物を対象として、保管時の潜在的リスクを低減するとともに、保管容量を低減するため、これら廃棄物への中間処理技術の適用について検討する。

廃樹脂等の樹脂系の廃棄物に、雰囲気制御条件下で熱分解温度等の基礎データを取得し、実規模での熱分解処理性能を確認する。

## ● 熱分析データの取得

不活性環境、水蒸気環境下で、示差熱分析等による熱分解反応時の基礎データ（反応温度、重量減少）を取得する。

対象廃棄物：廃樹脂（運転廃棄物）、樹脂系廃棄物、キレート樹脂、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、除染装置スラッジ、フェロシアン化合物、活性炭



(1) 模擬廃樹脂



(2) 処理残渣

図1 模擬廃樹脂の熱分解処理

## ● 熱分解試験データの取得（図1）

バッチ式試験装置（数g規模）で試験を行い、異なる雰囲気での処理性能（減重率等）、処理残渣の性状を確認する。

## ● 実規模試験（図2）

ボール型熱分解試験装置（約1dry-kg/h規模）により模擬廃樹脂を熱分解処理し、減重率、核種移行率等を取得し、適用性を評価する。

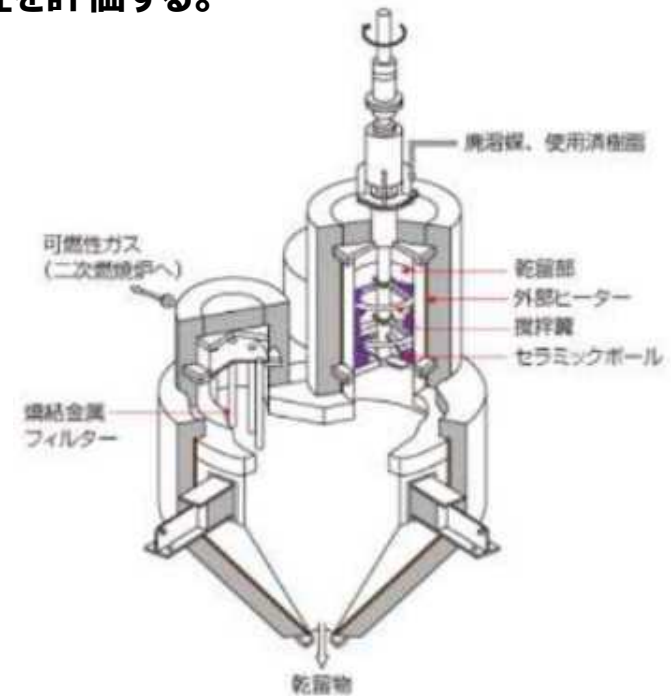


図2 ボール型熱分解処理装置（実規模）

（出典：日本ガイシホームページ）

# アパタイト固化処理技術（中間処理技術）

英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 課題解決型廃炉研究プログラム

アパタイト固化処理技術は、水処理二次廃棄物のうち長期的な安定化措置が求められているALPS沈殿系廃棄物(炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー)中の放射性物質をアパタイト系(リン酸塩)セラミックスに安定固定化する。

アパタイトセラミックスは、ALPS沈殿系廃棄物の主成分(Ca、Mg、Fe)と放射性元素の大部分(Sr、Cs)を500℃程度で骨格構造に取り込み、固定化された金属は水に溶出されにくい。

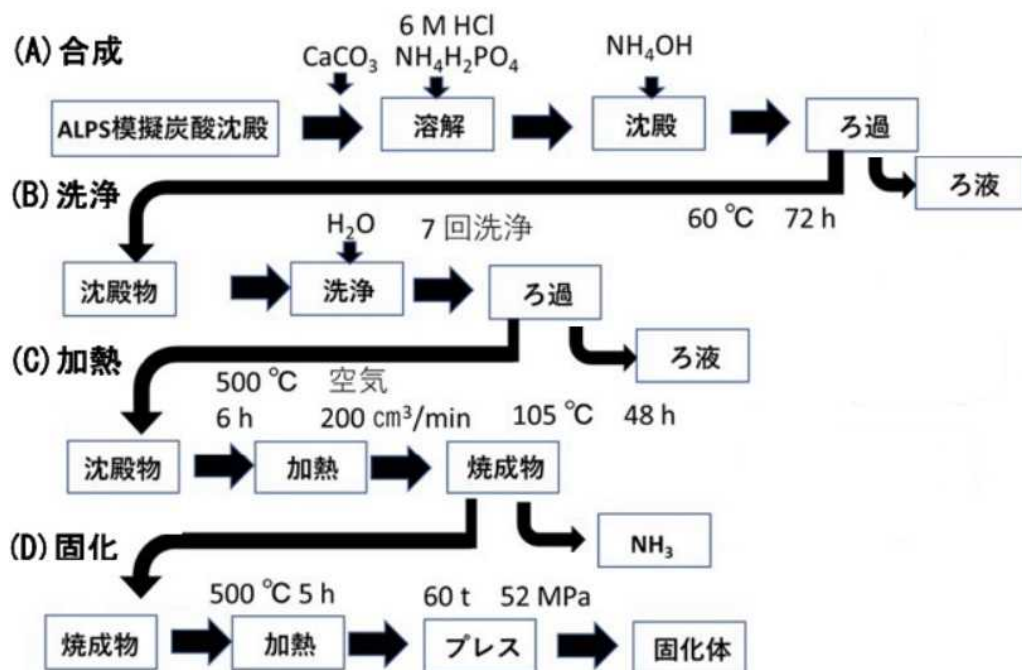


図1 炭酸塩沈殿物の固化体製造プロセス

アパタイト固化処理技術の開発では、アパタイト合成手法やその構造解析を通してアパタイト製造の基盤技術を確立し、模擬炭酸塩沈殿物、模擬鉄共沈沈殿物を用いて小規模プロセスフロー試験、工学規模試験を実施した(図1, 2)。



(1) 洗浄後乾燥試料



(2) 加熱後試料



(3) プレス後に切断した鉄製型枠 (4) 固化体(677g)の一部(切断面, Φ123mm)



図2 炭酸塩沈殿物の工学規模試験

出典 : アパタイトセラミックスによるALPS沈殿系廃棄物の安定固化技術の開発(委託研究), JAEA-Review2021-077

: アパタイトセラミックスによる ALPS 沈殿廃棄物の安定固化技術の開発, (9) 模擬炭酸沈殿物のアパタイト固化の工学規模試験, 土方他, 2A04, 2021年秋の大会

# 処理技術開発の実施スケジュール

年度

処理技術	事業/ 事業者等	平成27 (2015)	平成28 (2016)	平成29 (2017)	平成30 (2018)	令和1 (2019)	令和2 (2020)	令和3 (2021)	令和4 (2022)	令和5 (2023)	令和6 (2024)	令和7 (2025)
混練, 加熱, 成型技術	廃炉・汚染水, 等/ JAEA, IRID	平成24年度(2012)~										
セメント 固化	廃炉・汚染水/ IRID, JAEA, 電中研			[実線]						[点線]	公募中	
AAM 固化	廃炉・汚染水/ IRID, JAEA, 電中研			[実線]						[点線]	公募中	
In-Can 固化	廃炉・汚染水/ ANADEC				[実線]							
CCIM 固化	廃炉・汚染水/ IHI				[実線]							
GeoMelt 固化	廃炉・汚染水/ IRID, KURION			[実線]								
熱分解	廃炉・汚染水/ IHI								[実線]			
700℃外固 化	英知/東工大					[実線]						