

日本原子力学会ウィークリーウェビナー
「放射性廃棄物の管理」2021
11. 1F事故オンサイト廃棄物の処理

日本原子力研究開発機構 大杉武史

本日の内容

1. 従来の廃棄物との違い
2. 処理技術に関する研究開発の位置づけ
(東京電力の行程、原子力損害賠償・廃炉等支援機構
(NDF) の技術戦略プラン、研究開発の場 (研究資金))
3. 処理技術を選定するための比較整理
4. 低温固化技術の研究開発の内容と知見
5. 今後必要と考えられる研究課題

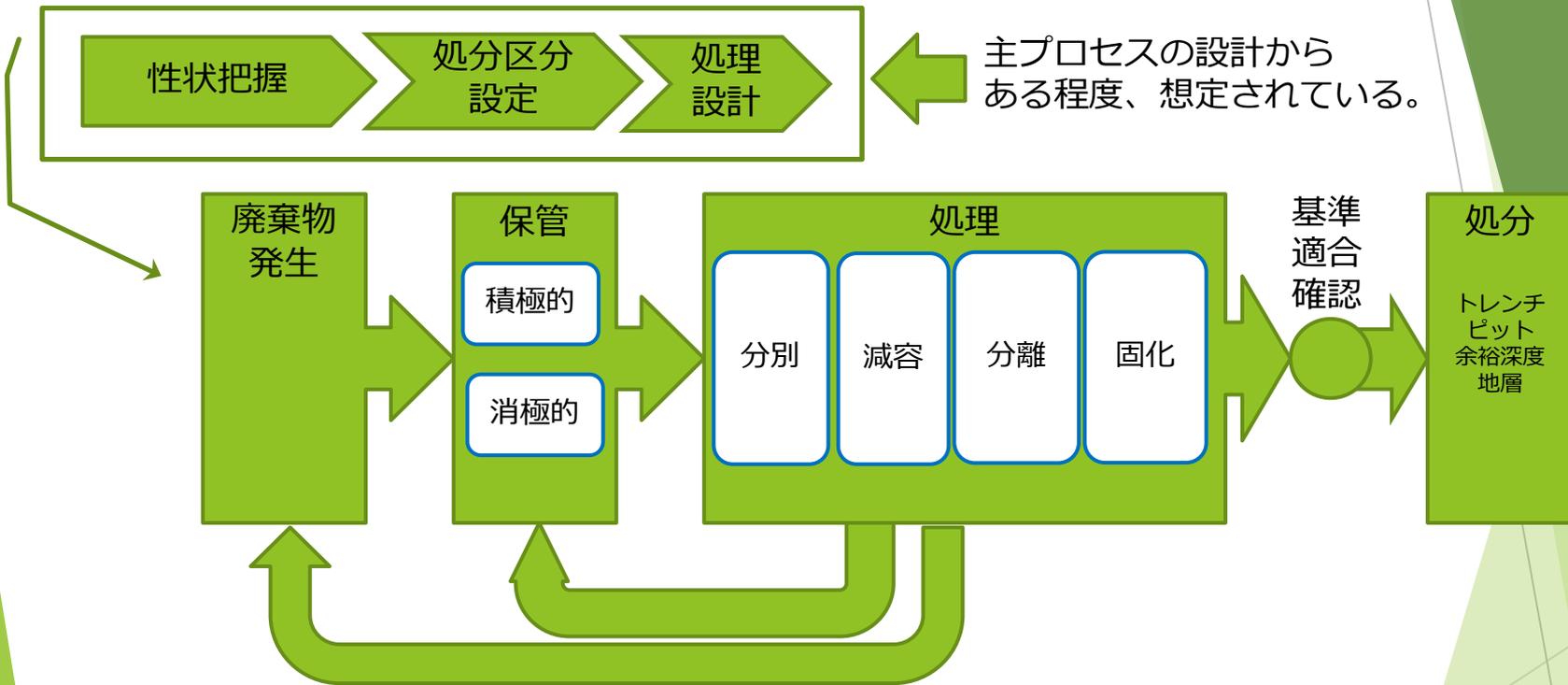
廃炉を進めるために、多くの研究者・技術者の方に、継続的に廃棄物分野の研究、技術開発に携わっていただきたい。

研究開発を検討するのに必要となるであろう情報を中心に。

1. 従来の廃棄物との違い①

1F事故オンサイト廃棄物に関する取り組みは、従来の廃棄物に対する取り組みと大きく異なり難しい。

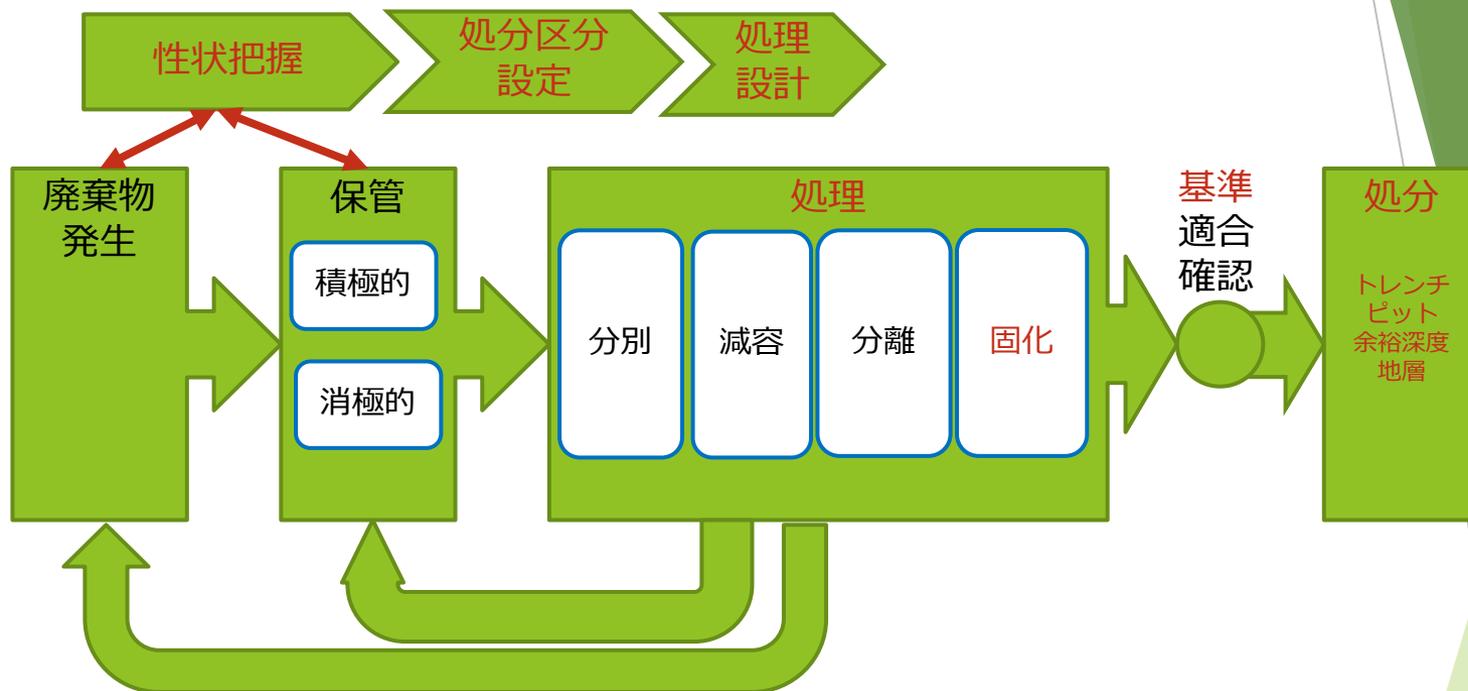
○従来の廃棄物



- 原子力エネルギーを用いる各種プラント（原子炉、燃料加工、再処理）を設計し、その運転の排出物として廃棄物が発生。
- プラントの目的を達成する必要があるため、インプット（燃料、原料）が概ね一定であり、発生する廃棄物も、設計値を中心とした変動で性状が把握できる。
- プラントの設計段階で、廃棄物の性状、発生量を想定することができ、管理計画が立案できる。
- 処理、管理の計画から、処理が困難になる可能性がある資材、プロセスを制限することで、処理の難しい廃棄物の発生を阻止することができる。
- 機器類、配管、装置類を放射性物質の接触する部分と接触しない部分に明確に分離でき、放射性廃棄物の発生量を必要最低限とできる。

1.従来の廃棄物との違い②

○ 1 F廃棄物



- ・ サイト内のほぼ全てのものが何らかの汚染を受け、事故時の詳細も調査が必要であることから、廃棄物の資材と汚染核種の組合せが既存の廃棄物とは異なり、詳細が不明。
- ・ 事故の拡大防止、収束作業が優先であり、その時点での最良の手を打つため、発生廃棄物の変動が時期により異なる。
- ・ 廃棄物を保管管理するための施設の容量に対して、過大で、急速な発生であり、廃棄物の安全な保管と廃炉作業を安全に進めるための空間の確保が必要。
- ・ 発生する廃棄物性状が、これまでの廃棄物と異なるため、廃棄物を処分する際の技術要件などを設定する情報自体を収集する必要があり、処理方法を決定する基準がない。

廃棄物の情報も処分の要件もない中でも、保管をするための処理を計画しなくてはならない。

従来の廃棄物処理の考え方では進められない。

2.処理技術に関する研究開発の位置づけ

-東京電力の行程①-

1F廃棄物対策の進み方

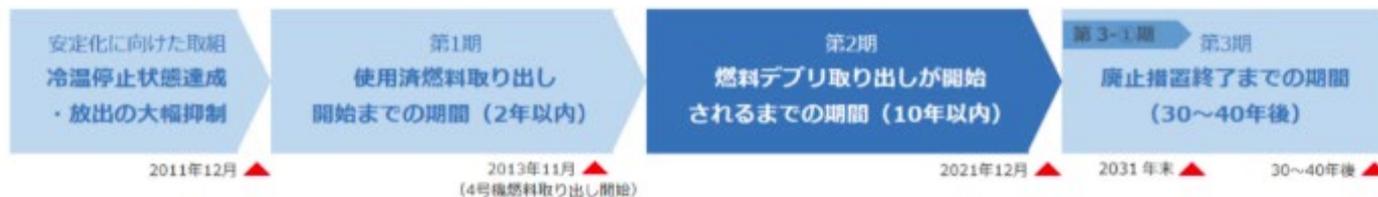
- ・ 廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議で決定される「中長期ロードマップ」に基づいて東京電力が廃炉作業を行う。
→現状と計画は東京電力HPで公開されている。



東京電力廃炉プロジェクトHP

<https://www.tepco.co.jp/decommission/>

中長期ロードマップの目標行程（マイルストーン） [プロジェクト概要タブ]



- ・ リスクの低減が第一であるため、燃料デブリの取り出しが主要な課題。
- ・ 廃棄物処理は、まだ行程のメインではない。しかしながら、冷却水の処理や燃料取出し、デブリ取出しの作業を行うためのスペース確保、作業員の被曝低減といった行程を進めるために欠かせない作業。

2.処理技術に関する研究開発の位置づけ

-原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）の技術戦略プラン-

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）

原子力損害賠償の業務の他に、
廃炉等の適正かつ着実な実施の確保を図ることを目的に加え、新たに廃炉等
を実施するために必要な技術に関する研究及び開発、助言、指導及び勧告の
業務も行っている機関

ndf 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

原子力損害賠償・廃炉等支援機構 TOPページ

廃炉支援部門 <https://www.dd.ndf.go.jp/strategic-plan/>

検索

機構について 廃炉等技術委員会 専門委員会 技術戦略プラン 国際関係 活動報告 廃炉研究開発連携会議

TOP > 技術戦略プラン

技術戦略プラン

原子力損害賠償・廃炉等支援機構は、政府が策定する「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」にしっかりと技術的根拠を与え、その円滑・着実な実行や改定の検討に資することを目的として、技術戦略プランを作成し、公表しています。

技術戦略プランの内容につきましては、徐々に明らかになる福島第一原子力発電所の情報や検討状況を反映して、今後とも見直してまいります。

- 2021年10月29日
[「東京電力ホールディングス\(株\)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021」について](#)
- 2020年10月6日
[「東京電力ホールディングス\(株\)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2020」について](#)

技術戦略プラン
技術戦略プラン2021
技術戦略プラン2020
技術戦略プラン2019
技術戦略プラン2018
技術戦略プラン2017
技術戦略プラン2016
技術戦略プラン2015

「技術戦略プラン」
政府が策定する「中長期
ロードマップ」に技術的
根拠を与え、その円滑着
実な実行や改訂の検討に
資するために作成されて
るもの。

→技術的な課題等が公表
される。

2.処理技術に関する研究開発の位置づけ -研究開発の場（研究資金）-

事業	特徴他	事務局
東京電力による公募	廃炉作業に対する 適用技術の公募 。	以前は自社で技術公募を行っていたようだが、技術マッチングの会社に委託している例（トリチウム除去技術）もあり。
英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業	共通基盤型原子力研究プログラム、課題解決型廃炉研究プログラム、国際協力型廃炉研究プログラム、研究人材育成プログラムなどの種別に対して 研究者が比較的自由に研究開発内容を検討し、提案する 。	原子力機構 廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）
廃炉・汚染水対策事業	NDFの技術戦略プラン等の 課題から、特定の技術や研究内容に関する公募がかかり、提案する 。技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）など比較的大規模の研究開発が多い	廃炉・汚染水対策事業事務局



https://clads.jaea.go.jp/jp/eichijigyo/about_eichi.html



<https://decc-program.jp/>

3.処理技術を選定するための比較整理

処理の最終目的は、処分可能な技術的条件に適合する廃棄体を作成すること。
 しかし、処分の区分は廃棄物に含まれる核種や処理による核種の固定性により変化する。

(a) ② ii 各処理技術の設備構成等に関するデータ取得
 ～固化材料の比較～
 <固化材料の特性の比較(抜粋)>

> 高温処理技術、低温処理技術にて製作される固化体の幾つかに対して、固型化材料の観点で代表的特性の整理・比較を行った。

固型化材料種類	高温処理技術(文献値)		低温処理技術(模擬試験体スラリーに対する試験結果)			
	ガラス固化体	熔融固化体	セメント固化体	AAM固化体		
固型化材料種類	ホウケイ酸ガラス	CaO、MgO、SiO ₂ の溶融スラグ(炭酸塩スラリー+触媒降下剤SiO ₂)	OPC	M	MB20	MB40
廃棄物含有率目安	20~30mass%	50~65mass%	30mass%	30mass%	30mass%	30mass%
圧縮強度 [MPa、N/mm ²]	3000オーダー 時間に伴う低下は無視できると予測	1000オーダー 時間に伴う低下は無視できると予測	7 (28日)	5 (28日)	6 (28日)	8 (28日)
耐浸出性	非常に優れている(10 ⁻⁴ kg/m ² /dオーダー未満)	非常に優れている	溶出率: Cs:96%、Sr:5%、Sn:ND、Ce:ND (ANS/ANSI-16.1)	溶出率: Cs:24%、Sr:0.5%、Sn:5%、Ce:0.5% (ANS/ANSI-16.1)	溶出率: Cs:18%、Sr:0.5%、Sn:2%、Ce:0.3% (ANS/ANSI-16.1)	溶出率: Cs:27%、Sr:0.5%、Sn:4%、Ce:0.4% (ANS/ANSI-16.1)
耐放射線性 G値[100eV]	0	0	0.16~0.17	0.13~0.28	0.05~0.11	0.08~0.15
耐放射線性(圧縮強度変化) [MPa、N/mm ²]	問題ないとの見解が多い		未照射:7 →30kGy:8	未照射:5 →30kGy:3	未照射:6 →30kGy:5	未照射:8 →30kGy:7
耐熱性 (強度)	問題ないとの見解が多い(ガラス転移温度(500℃)まで上昇しなければ、結晶析出などは懸念されない)		80℃乾燥下でも強度低下せず	80℃乾燥下でも乾燥強度が低いRH:80%下でも、強度が4~5割減		

- 高温処理技術で製作されるガラス固化体、熔融固化体は、一般的に、固化体特性に優れているとの見解が多い。
- セメント、AAM固化に関しては、物性の実測値を取得し、次のような傾向が把握できた。
 - ✓ 圧縮強度は固化材料による差はなく、いずれも5MPa以上(28日)
 - ✓ 水素G値に関しては、AAM(MB20)が比較的低い傾向がある。
 - ✓ 耐熱性に関しては、セメント固化体では強度低下がないが、AAM固化体では最大5割の低下が確認された。
 - ✓ 低温固化体の長期安定性に関しては、現状では評価はできていない。

廃炉・汚染水対策事業の固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発では、処理の最終形態となる廃棄体の性能について、実績のある固化技術で製作される廃棄体の性能を調査し、比較整理している。

これは当たり前のように考えられるが、これまでは、ガラス固化体とセメント固化体で対象とする廃棄物が異なっていたため、直接比較がされている例が少ない。また、ガラスとセメントの材料の性質も違うため、共通の方法で評価しようという取り組みが少なかった。

新しい処理技術についても、同じ項目でデータを取得し、比較をする必要がある。

【IRID】平成29・30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業」に関する補助事業（第一次公募、固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発）の成果の概要（令和2年度分）

※高温処理技術：数百度以上に加熱する処理で、ガラス固化、熔融固化。

※低温処理技術：室温付近で行う処理で、セメント固化、AAM固化。

※AAM（アルカリ活性材料）：アルカリ溶液と無機粉体を混合し反応させて得る非晶質固体。

4. 低温固化技術の研究開発の内容と知見①

セメント系材料による固化処理は、工程が容易であることがメリットだが、

(a) 先行的処理方法の選定手法の構築

■ 実施内容及び目標達成を判断するための指標(2019-2020)

		実施内容	目標達成を判断する指標	
①低温処理	i. データ取得	(i) 検査手法	低温処理固化可能性検査手法の検討 各種低温固化体の適用可能範囲の抽出	固化可能かどうかをスクリーニングする手法案を提示 手法の検証を行い、適用可能範囲を抽出
		(ii) 固化体の特性データ	炭酸塩スラリー混合データ取得 鉄共沈スラリー混合データ取得	模擬炭酸塩スラリー混合時の固化体性能等データを整備 模擬鉄共沈スラリー混合時の固化体性能等データを整備 固化特性に係る適用範囲の提示
		(iii) 特殊セメント系	利用可能性のある特殊セメントの調査 各種低温固化体の適用可能範囲の検討	適用範囲が広がる可能性のある候補の抽出と母材特性の把握 各種低温固化体の適用可能範囲を抽出
	ii. 固化体変質	(i) 加熱等による固化体変質	加熱/乾燥による性状変化調査と母材特性の変化傾向の検討	母材の性能変化傾向の提示
			特性変化変曲点近傍のデータ取得	性能変化変曲点近傍のデータに基づく適用範囲の提示
		(ii) 固化体温度	解析体系の構築とセメント固化体に対する解析	セメント固化体のインベントリと熱の関係性提示
			AAMを含めた熱解析の実施	固化体のインベントリと熱の関係性、推定到達温度の提示
		(iii) 長期的な変質	熱力学データ収集と熱力学的平衡計算の試行	(セメント) 鉱物相変化の推定結果の提示 (AAM) 熱力学データの充足性、平衡計算適用可否の提示
			熱力学的平衡計算の適用性評価	相変化への熱力学的平衡計算の適用性とその結果の提示
②アプローチ	i. 固化体性能への影響	ガラス化データの収集とガラス特性モデルによる評価	ガラス特性データの収集と国内ガラスデータベースに基づく水処理二次廃棄物の充填温度の評価結果提示	
		米国ガラスデータベースに基づく評価と低温処理に係る混合可能範囲評価	主な水処理二次廃棄物のガラスへの混合範囲の提示 低温処理は①i, iiのデータに基づく範囲の提示	
	ii. 設備構成等	各処理技術の設備構成等に関するデータ取得	設備構成、処理パラメータ等のデータ提示	
		各処理技術の調査結果の整理	各技術情報の取りまとめ結果の提示	
	iii. Cs揮発量及び抑制	Cs揮発抑制に関する知見の整理	Cs揮発抑制に関する知見の整理結果の提示	
		高温処理におけるCs揮発の抑制効果の測定	試験に基づくCs揮発抑制手法の効果の提示	

セメント自体は土木建築で多く使われているが、廃棄物を多く含有させるのは製品の想定外の使い方。

セメントの硬化過程は、複数の鉱物相を含む材料のCaの溶解-析出が濃度によって変化する複雑な過程であり、廃棄物の成分の影響については未だ個別に試験をする必要がある。

大きく分けると
 ①廃棄物成分の入れた場合の特性変化の把握と性能が見込める最大充填量の把握。
 ②加熱・乾燥等の周囲条件による性能劣化及び長期変質に関する試験。
 を実施。

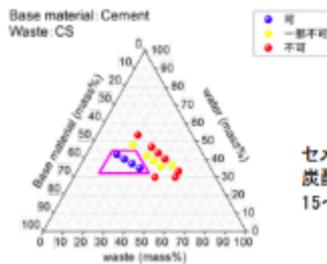
この条件なら
 できるではなく、
 できるとできないの境目が
 把握したい。

4.低温固化技術の研究開発の内容と知見②

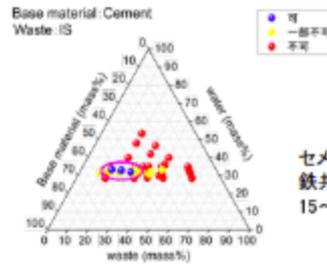
セメント系材料による固化処理が適用できる範囲が知りたい。
セメントなのでなんとなく固まるような気がするが、実際には

(a) ② i.廃棄物組成等の固化体性能への影響に関する調査検討
～組成範囲のマッピング～
<水処理二次廃棄物の廃棄物最大充填率:低温処理>

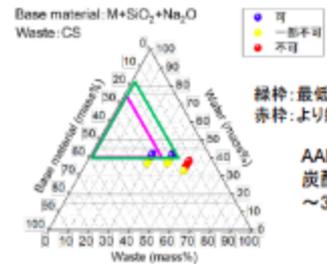
- ▶ 低温固化処理について、実験的に得られた水処理二次廃棄物を含有できる組成範囲を下図に示した。
- 高温処理では、主として元素組成により処理の特性が左右されるため、組成の異なる廃棄物を組み合わせることで、より多くの廃棄物を処理することが可能であると想定される。
- 低温処理でも、廃棄物の中にセメント(OPC)やAAMと同様の役割を果たすものがあれば、廃棄物を組合せて処理した場合に、適用範囲の拡張が期待される。しかしながら、これまでの検討においては、そのような知見が得られていないことから、複数の廃棄物を各々充填する方が適用範囲が広いと推定した。



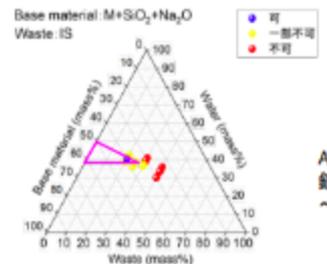
セメント
炭酸塩スラリー：
15～40mass%



セメント
鉄共沈スラリー：
15～25mass%

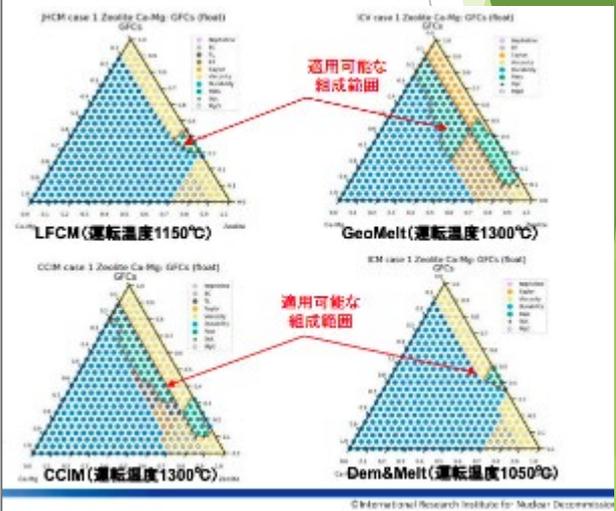


緑枠:最低限の範囲
赤枠:より好ましい範囲
AAM
炭酸塩スラリー：
～35mass%



AAM
鉄共沈スラリー：
～20mass%

ガラスなどの高温処理は、
物性が概ね組成の関数で整理できる。
セメント系材料は、
物性に影響する因子が様々であり、
処理に影響する物性の範囲を合成する
と非常に小さい領域になってしまった。



5. 今後必要と考えられる研究課題

基本的には、説明したように、東京電力やNDFなどにより課題が示されるが、

- [処理計画]：廃棄物処理の計画の合理性を評価する手法：処理と処分を合わせて考えてどのような処理-処分が最も効率的なのか？
- [性状把握]：大量の廃棄物の汚染濃度を把握する手法：数点の分析値と理論を組み合わせて廃棄物に含まれる核種を精度良く推定するなど。
：個々の核種分析を高速分析する手法：新しい分析法、機械化など。特に核燃料物質の分析。
- [保管管理]：容器の腐食や劣化の検知技術。
- [処理]：セメント系材料の長期安定性の評価に関する手法：何年後にどのような性能になるのか？
：コンクリート、金属等の再利用に必要な技術：除染、検認手法。
- [処分]：合理的な処分概念の構築とその安全評価手法の確立。

などは必要になると考えている。

最後に

福島第一原子力発電所の事故によって、放射性廃棄物の処理の分野においても、系統的な知見の不足が明確になったのではないかと個人的には考えている。

- 今後、事故による廃棄物だけでなく、レガシーと呼ばれる古くから処理できずに残っている廃棄物、研究所等廃棄物など設計外の廃棄物の発生が多く見込まれる。
- 廃棄物として対象となる素材・材料の種類が多く、処理の単位操作の種類も多いことから、これといった方針が確立していない。
- これを機に知見を収集し体系化しておくことが必要。

多くの研究者、技術者の方（特に若い方）に、廃棄物処理の研究開発、技術開発に興味をもって、携わっていただけるとありがたいです。