

## 1. はじめに

- 原子力発電所や再処理施設で発生する低レベル廃棄物は、焼却、圧縮、セメント固化が一般的であり、ガラス固化は導入されていない
- しかし、海外では、放射能レベルの高い低レベル廃棄物等に対して、ガラス固化技術を導入した実績あり
- 今後、我が国においても、比較的放射能レベルの高い低レベル廃棄物に対する処理技術が必要と考えられ、低レベル廃棄物に対するガラス固化技術の基盤を確立することは重要である
- 以上から、本開発では、これまで開発がなされていない**低レベル廃棄物を対象として、減容性が高く、より安定した廃棄体とするためのガラス固化技術の基盤整備**を行うことを目的とする

## 2. 低レベル廃棄物へのガラス固化適用の考え方

- 低レベル廃棄物の特徴は以下の通り
  - ◇放射能レベル、組成・材質などが多種多様であり、発生量が多い
  - ◇ガラス形成成分(Si、Al、P、Fe等)を含有する廃棄物が多数ある
- このため、低レベル廃棄物へのガラス固化技術の適用に際しては、廃棄物自体に含まれる成分をガラス形成成分とすることで、添加物を最小限に抑えて、ガラス化する方法**(溶融ガラス化技術)**を採用
- 溶融ガラス化技術は、廃棄物性状や処分要求に応じて、『減容性』、『運転性』および『廃棄体安定性』を調整できることが特徴であり、廃棄物を組み合わせることで、安定な廃棄体とすることも可能
- 溶融ガラス化技術の適用効果が期待される廃棄物を以下の目的から選定

### 溶融ガラス化の目的

- 目的Ⅰ：現在検討されている処理技術で**処理が困難な廃棄物を安定化**
- 目的Ⅱ：現在検討されている処理技術より**廃棄物発生量を低減化**

表-1 溶融ガラス化の考え方

	ガラス固化技術		溶融ガラス化
	ガラス固化(従来)	溶融ガラス化	
概要	廃棄物にホウ珪酸ガラスなどの所定のガラス原料を添加し、ガラス固化する方法 	廃棄物自体に含まれる成分(例えば、SiO <sub>2</sub> )などをガラス形成成分とすることで、添加物を最小限に抑えて、ガラス固化する方法 	廃棄物を溶融し、スラグとして固化する方法 
減容性	△ ※ガラス原料添加により、廃棄物 充填率を一定に保つため、減容性は低い	○ ※安定性を確保できる範囲で、添加物量を最小限に抑制するため、減容性は比較的高い ※但し、廃棄物組成によって減容性は変動する	◎ ※添加材がないため、減容性が高い
運転性	◎ ※溶融ガラスの高温物性を一定範囲に管理できるため、加熱・流下(出湯)条件は毎回一定 ※但し、高レベル廃液の場合は、白金族管理が運転に影響	○ ※溶融ガラスの高温物性を決められた範囲内に管理できるため、加熱・流下(出湯)条件は大きく変動しないため範囲で運転できる	× ※廃棄物組成によって高温物性が異なるため、加熱・流下(出湯)条件を毎回設定する必要がある
廃棄体安定性	◎ (ガラス固化後の組成が常に一定範囲に管理されるため、安定性に優れる)	○ ※安定性を確保できる範囲で、添加物量を最小限に抑制することで安定性は比較的高い。但し、廃棄物組成によって安定性は変動する	△ ※廃棄物組成によってスラグ組成が決まるため、安定性は一定でない

## 3. 対象廃棄物

- 原子力発電所や再処理施設で発生する低レベル廃棄物の内、溶融ガラス化の効果が高い廃棄物として、**イオン交換樹脂、低レベル濃縮廃液、焼却灰**を選定(表-2参照)

表-2 対象廃棄物の選定

対象廃棄物	特徴	溶融ガラス化の有用性	目的	
			I	II
イオン交換樹脂	高線量、無機化が必要	・高線量で固化可能	○	
低レベル濃縮廃液(再処理)	硝酸Na濃度が高い	・高温処理のため脱硝が可能 ・ガラス固化による減容化が期待できる	○	○
焼却灰(飛灰含む)	組成変動が大きい 高線量	・高線量・高塩濃度でも固化可能		○

## 4. 模擬廃棄物組成の検討

- イオン交換樹脂、焼却灰、低レベル濃縮廃液に関して、模擬廃棄物組成を設定(イオン交換樹脂:表-3参照、焼却灰:表-4参照、低レベル濃縮廃液:硝酸ナトリウム等)
- 今後、微量元素や模擬核種の影響も考慮が必要

表-3 イオン交換樹脂の組成

成分*1	濃度 [wt%]	
	無機化前	無機化後
陽イオン交換樹脂	63.3	—
陰イオン交換樹脂	31.7	—
Fe	4.4	88.0
Cr, Cr, Ni, Co, Cu, Zn	各0.1	各2.0
Cs*2, Sr*2	各0.05	各1.0
Total	100	100.0

\*1:「軽水炉燃料のふるまい」(原子力安全研究協会、1998年)を参考とし、組成を設定した。  
 \*2:挙動を評価するため、組成に含めた

表-4 焼却灰の組成

成分*3	濃度 [wt%]		
	主灰	飛灰	混合灰*4
SiO <sub>2</sub>	42.73	25.15	34.86
CaO	20.23	38.11	28.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.74	12.92	16.13
MgO	2.72	3.46	3.05
Na <sub>2</sub> O	4.85	10.06	7.18
K <sub>2</sub> O	1.61	7.60	4.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.12	2.70	6.25
Total	100.00	100.00	100.00

\*3:「次世代都市ごみ処理技術の開発」(CMC出版、1998年)を参考に、主灰および飛灰の組成を設定  
 \*4:混合灰は、主灰と飛灰を1:1で混合した組成

## 5. ガラス組成の検討

- ガラス組成を検討する上で、溶融性、廃棄物含有率、化学的安定性、放射性核種の閉じ込め性、揮発性など考慮すべき項目があるが、本開発では、**溶融性、廃棄物含有率に焦点を当て、1100℃以下でガラス化可能な組成を検討**
- 廃棄物組成に応じたガラス組成の設定は、状態図等の文献調査とともに、国際ガラスデータベースINTERGLADを用いて検討(表-5参照)

表-5 対象廃棄物に添加するガラス形成成分の検討結果

イオン交換樹脂 (主成分:Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	焼却灰 (主成分:SiO <sub>2</sub> -CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	低レベル濃縮廃液 (主成分:Na <sub>2</sub> O)
①SiO <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> O添加 ②SiO <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> O-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加 ③SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加 ④P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 添加	⑤B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Li <sub>2</sub> O添加 ⑥Na <sub>2</sub> O添加 ⑦SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加など	⑧SiO <sub>2</sub> 添加 ⑨SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加 ⑩B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加 ⑪SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加

## 6. 試験結果

### (1)試験方法

- ガラス組成(表-5参照)、廃棄物含有率、溶融温度をパラメータとして、ガラス化の可否を評価し、候補組成の絞り込みを実施(代表例:図-1)  
**【試験条件】** 溶融温度:800~1200℃(標準1100℃)、溶融時間:2時間
- 上記でガラス化した組成について、試験後のガラス分析から揮発率を算出すると共に、高温粘度、浸出率(PCT試験)の特性を評価

### (2)試験結果

- 概ね良好な結果が得られたが、低レベル濃縮廃液の溶融ガラス化において、浸出率の改善が必要である(表-6参照)**

表-6 試験結果のまとめ

	添加試薬	ガラス化		揮発率	高温粘度(図-2)	浸出率(PCT)(図-3)
		廃棄物含有率	溶融温度			
イオン交換樹脂	①SiO <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> O	40wt%	1100℃	Cs等 :20%未満	○	△
	④P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40wt%	1100℃	—	—	○
焼却灰	⑤B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Li <sub>2</sub> O	75wt%以上	1100℃	廃棄物成分 :10%未満 (主灰)	○	○
低レベル濃縮廃液	⑧SiO <sub>2</sub>	40wt%	1100℃	Na <sub>2</sub> O :20%未満	—	×
	⑨SiO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40wt%	1000℃	—	△	×

○:要求値を満足 △:要求値を若干オーバー ×:要求値を満足しない 要求値:米国WTPの要求値

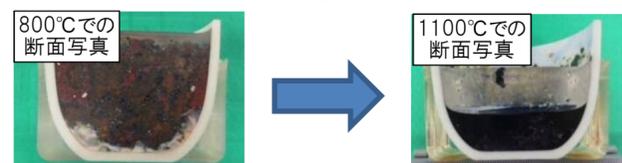


図-1 試験結果の代表例(イオン交換樹脂:①SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O)

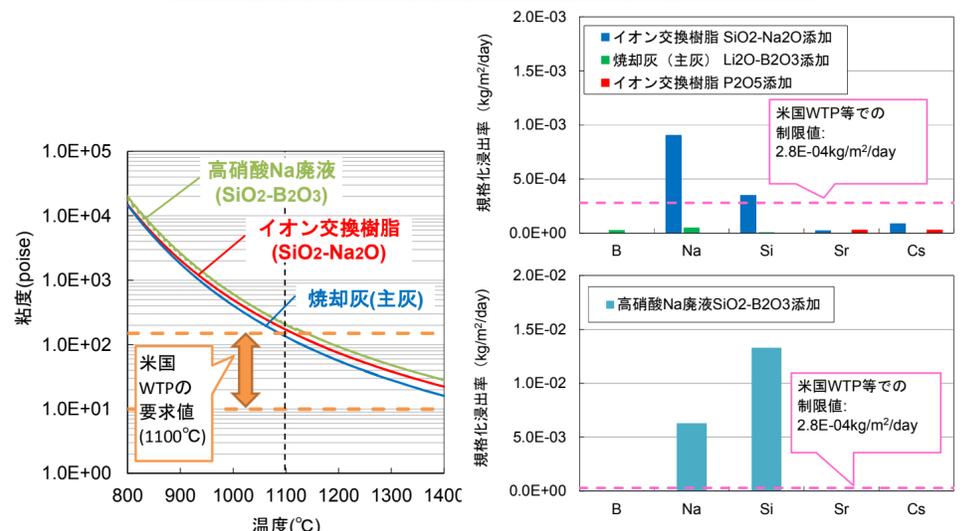


図-2 高温粘度測定結果

図-3 PCTによる浸出率の測定結果

## 7. まとめ

- 低レベル廃棄物への溶融ガラス化の適用性を確認した結果、焼却灰は廃棄物含有率75wt%以上で、浸出率も良好であることが確認された
- イオン交換樹脂および低レベル濃縮廃液は、廃棄物含有率は40wt%程度であり、浸出率の改善が必要な組成もあるが、適用性は確認された
- 今後、上記結果を踏まえ、更なる組成検討を実施すると共に対象廃棄物を拡大する計画である