

高レベル廃液ガラス固化設備のアクティブ試験の状況

The situation of the active test of Rokkasyo Vitrification Facility

日本原燃株式会社
再処理事業部 再処理工場
ガラス固化施設部 ガラス固化課
株式会社 IHI
原燃システム設計部 技術開発グループ

山崎 淳司 Atsushi Yamazaki 非会員

福井 寿樹 Toshiki Fukui 非会員

Abstract

高レベル廃液ガラス固化設備のアクティブ試験については、モックアップ試験装置を用いたコールド試験を2年間実施し、その成果を実機に反映することで、ガラス溶融炉の設備・運転方法の改善を図った。さらに、使用前検査の検査前条件としてガラス固化試験を実施し、ガラス溶融炉の安定運転と性能が確認できたことから、操業後の長期安定運転の見通しを得た。

Keywords

ガラス固化、高レベル廃棄物処理、六ヶ所再処理工場、アクティブ試験、核燃料サイクル、バックエンド、ガラス固化体

1. はじめに

六ヶ所再処理工場は、試験運転の最終段階となるアクティブ試験（使用済燃料を用いた試験）を2006年3月から開始し、主要工程であるせん断、溶解、抽出等の性能確認は終了し、ガラス固化設備に関する試験を残すのみとなっている。

ガラス固化設備は、通水作動試験、化学試験の試運転を経て、アクティブ試験の最終段階にある。

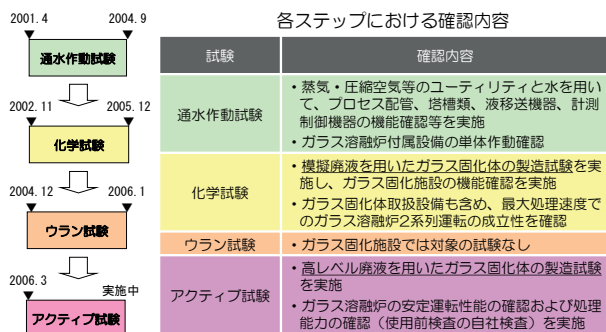


Fig.1 ガラス固化設備の試運転

ガラス固化設備のアクティブ試験は、第4ステップから試験を開始したが、天井レンガ損傷などの設備トラブルや白金族堆積による流下不調など、多くのトラブルや運転課題に遭遇したが、その都度、原因究明と対策を図ることにより、再発を防止してきた (Fig.2 参照)。

特に、モックアップ試験装置を用いたコールド試験を2年間実施し、その成果を実機に反映することで、ガラス溶融炉の設備・運転方法の改善を図った。

これら改善の効果を確認すると共に、モックアップ試験装置と実機の相違を確認するため、事前確認試験を行い、改善効果と安定運転の見通しを得た。

さらに、使用前検査の検査前条件としてガラス固化試験を実施し、ガラス溶融炉の安定運転と性能（廃液供給速度 70L/h）が確認できたことから、操業後の長期安定運転の見通しを得た。

本報告では、ガラス固化設備におけるアクティブ試験状況について報告する。

■ 当初の試験状況
2007年11～12月 ガラス溶融炉底部に白金族元素が堆積し、流下性低下により試験を中断
2008年10～12月 試験再開後、安定運転を継続していたが、不溶解残渣（金属粒子等）を含む廃液を投入後、流下性低下により試験を中断（その後、天井レンガの脱落や震災の影響により長期中断）

↓
流下性低下事象を受け、安定運転に必要な運転管理方法の確立のためモックアップ試験を実施

■ 実規模モックアップ試験施設（KMOC）による原因究明・対策の構築（オールジャパン体制による取り組み）
2009年11月～2010年3月 原因究明
2010年7～10月 KMOCと実機の比較評価
11月 安定運転条件の検討結果を国に報告、了承
2011年2月 アクティブ試験条件の確認
⇒ 運転方法の改善、設備改善（温度計の追加設置等）を実施

■ 改善後の試験状況
2012年6～8月 事前確認試験 計画通り終了
2012年12月～2013年5月 ガラス固化試験（安定運転確認、性能確認）計画通り終了

Fig.2 ガラス固化設備におけるアクティブ試験の経緯

2. 設備概要

2.1 高レベル廃液ガラス固化施設の概要

高レベル廃液ガラス固化施設は、高レベル廃液（高レベル濃縮廃液、アルカリ濃縮廃液、不溶解残渣廃液）と原料ビーズを溶融し、ガラス固化体を製造・検査する施設である。特に、ガラス溶融炉、廃ガス処理設備、溶接機等は、ステンレス鋼でライニングされた固化セル内（Fig.3 参照）に設置されており、クレーンやパワーミニピュレータによる遠隔操作で保守・点検を実施する。

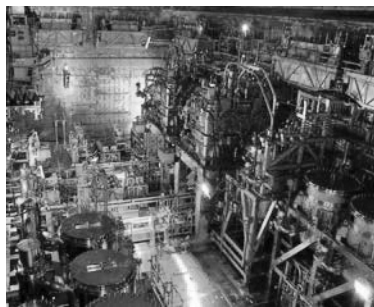


Fig.3 固化セル（主要機器が設置された大型セル）

2.2 ガラス溶融炉の概要

ガラス溶融炉は、高レベル廃液をガラス原料とともにガラス溶融炉に連続供給し、直接通電加熱（ジュール加熱）によって1200℃程度で溶融した後、間欠的に固化体容器に抜き出すことによりガラス固化体を製造する装置である。ガラス溶融炉の構造は、耐火物を金属製のケーシングで囲った構造であり、溶融槽には、対向する壁面に主電極及び補助電極が設置されている（Fig.4 参照）。

炉底部には、溶融したガラスをガラス固化体容器に注入するために、溶融ガラス抜き出し用の流下ノズルが設置されており、流下ノズルを高周波加熱・空気冷却することでガラスの抜き出し、停止を行うことができる。

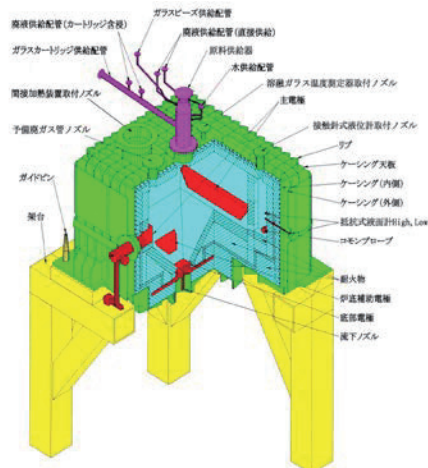
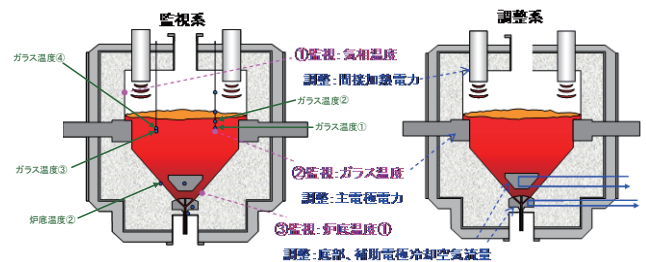


Fig.4 ガラス溶融炉の概念図

2.3 ガラス溶融炉の運転ポイント

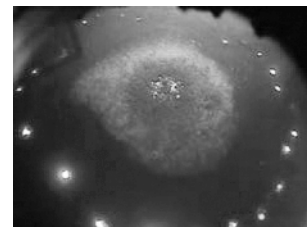
(1) 炉内温度管理

ガラス溶融炉運転は、ガラス温度と気相温度を目標範囲内に制御する必要があり、①主電極間電力（ジュール加熱）と②間接加熱電力によって調整する（Fig.5 参照）。これまでの経験から、これら温度制御には仮焼層（Fig.6 参照）のコントロールが重要であることが分かっている。仮焼層形成の状態は、高レベル廃液の性状（廃液濃度、廃液組成）や電力バランス（主電極間電力と間接加熱電力）等によって変化するため、高レベル廃液の性状等に応じた電力バランスの設定が必要となる。



	炉上部	炉底部
目的	安定運転	白金族元素の沈降防止
監視箇所	①：気相温度	②：ガラス温度
調整方法	間接加熱電力	③：炉底温度① 主電極電力 底部&補助電極冷却 airflow

Fig.5 ガラス溶融炉の運転



仮焼層：ガラス溶融炉上部から投入されるガラス原料と廃液の混合物が加熱されることにより、溶融ガラス表面において、廃液の水分の蒸発、脱硝等の反応が起こるとともに、ガラス原料が溶融し廃棄物成分と混ざり合う過程の層であり、溶融ガラスからの放熱を抑制する働きも有する。

Fig.6 モックアップ試験における仮焼層

(2) 白金族元素管理

高レベル廃液には、白金族元素（Ru、Rh、Pd）が存在する。白金族元素は、①ガラスへの溶解性が悪い（Fig.7 参照）、②密度が大きく沈降しやすい、③濃度増加により溶融ガラスの粘度が増加する、④濃度増加により溶融ガラスの電気抵抗が低下する、などの特徴を有する。

このため、白金族元素は、ガラス溶融炉内で沈降・堆積することで、溶融ガラスの粘性上昇や電気抵抗を低下させ、流下性低下や炉底加熱性低下に繋がることを確認されている。

そこで、炉底部温度を低くし、熔融ガラスの粘性を上昇させることで、白金族元素の沈降・堆積を抑制し、ガラスを抜き出す（流下）時のみ炉底温度を上昇させる運転（炉底低温運転）を実施している。また、白金族元素を含まない模擬廃液で定期的に洗浄運転を行い、流下性低下時に金属製の棒を挿入する等の対策も採用している。

白金族元素管理に係る運転指標は、KMOC 試験の知見に基づき、白金族元素の沈降・堆積が促進した場合に大きく影響する炉底加熱性と流下性を監視している（Fig.8 参照）。

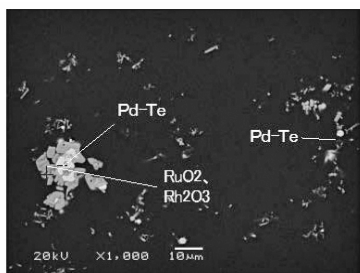


Fig.7 模擬ガラス中の白金族元素

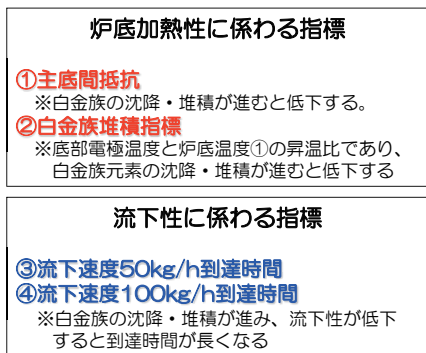
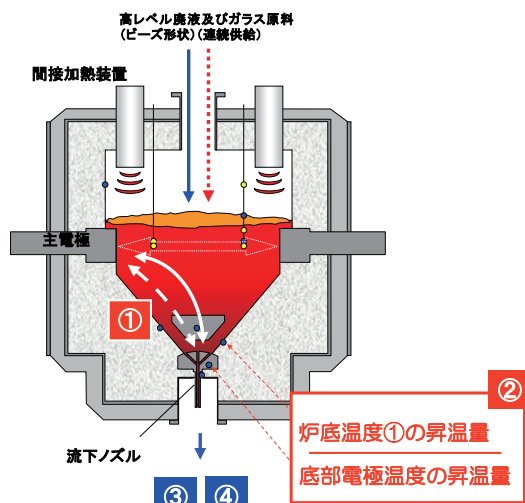


Fig.8 白金族元素管理に係る運転指標

3. アクティブ試験状況

3.1 当初の試験状況

アクティブ試験開始当初である2007年(A系第4ステップ)と2008年(A系第5ステップ)における炉内温度と白金族元素管理指標の推移をFig.9、10に示す。これら試験では、廃液組成に応じた温度管理ができなかった等の理由により、白金族元素管理に係る運転指標が試験経過と共に低下する傾向にあった。

3.2 運転方法および設備の改善

上記の原因究明と対策（改善）のため、2年間のモックアップ試験を実施し、実機の運転方法および設備改善を行った。

(1) 炉内温度管理

以下に炉内温度管理に関わる改善内容を示す。

- ① 実廃液組成での安定運転範囲が把握できていなかったことから、実廃液と模擬廃液の相違を踏まえ、モックアップ試験により、安定運転範囲（廃液条件、廃液供給条件）を確認した。
- ② ガラス温度監視に必要な温度計が少なかったことから、モックアップ試験により追加位置を確認し、実機に温度計を追加した。
- ③ 電力制御が経験に頼るところが多く、未知の廃液に対して対応できなかったことから、モックアップ試験を通じ、運転習熟を行うと共に、電力調整の計算コードを導入した。

(2) 白金族元素管理

以下に白金族元素管理に関わる改善内容を示す。

- ① 白金族元素管理の観点から、ガラス温度、炉底温度の運転管理目標が明確でなかったため、モックアップ試験の結果を踏まえ、温度管理目標を設定した。
- ② 運転に伴い、流下ノズルの加熱性が低下していたため、流下ノズルの加熱性向上のための設備改善を実施した。
- ③ 遠隔操作を想定した回復運転操作等になっておらず、回復操作までに時間を要すると共に、回復が十分でなかったため、定期的に回復運転を実施すると共に、回復運転、保持運転等のマニュアルを詳細に整備した。

3.3 改善後の運転結果

(1) 炉内温度管理

設備改善やモックアップ試験による運転習熟などの効果として、改善後の運転（B系事前確認試験およびガラス固化試験）の炉内温度は非常に安定した。(Fig.11 参照)

(2) 白金族元素管理

上記炉内温度管理、設備改善、定期的な洗浄運転等の改善効果として、改善後の運転（B系事前確認試験およびガラス固化試験）では白金族元素管理に係る運転指標類が非常に安定しており、定期的な洗浄運転によって炉内運転状態を低下させることなく、運転継続できることを確認した (Fig.12 参照)。

4. まとめ

数々のトラブルを経験したものの、モックアップ試験による運転方法の確立、設備改造等により、技術課題を克服した。今後、操業運転で現行炉の運転実績を積みつつ、次世代炉等の技術開発を通して、より安全で、安定したガラス熔融炉の運転を目指す予定である。

参考文献

- [1] (一財) エネルギー総合工学研究所、”核燃料サイクル技術の安定性に関する検討 第一ステップ再処理工場におけるガラス固化設備の安定運転 実現に向けた見通しの技術的評価 報告書”、IAE-1323715-1 (2013年5月)
- [2] 日本原子力学会、”テキスト「核燃料サイクル」7-1. 「高レベル廃棄物処理」”
- [3] 濱田 隆、”六ヶ所再処理工場の現状「ガラス固化試験の状況」”、日本原子力学会、第9回 再処理・リサイクル部会セミナー (平成25年6月)

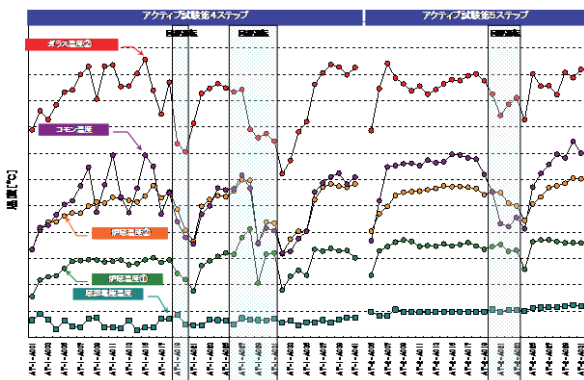


Fig.9 当初の炉内温度推移

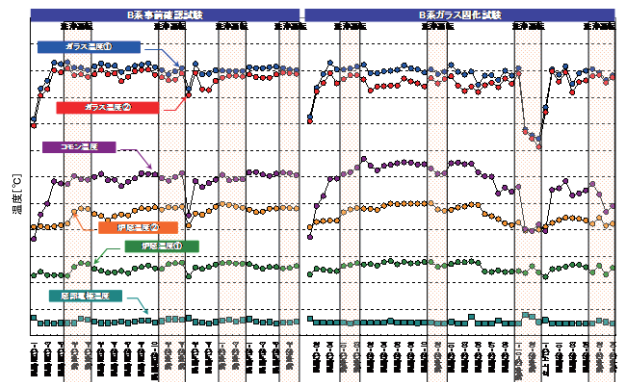


Fig.11 改善後の炉内温度推移

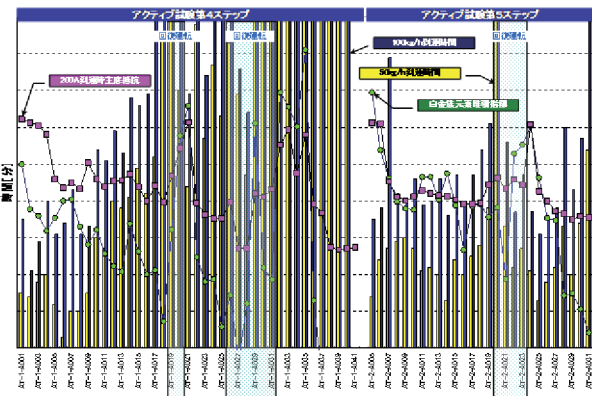


Fig.10 当初の白金族元素管理指標の推移

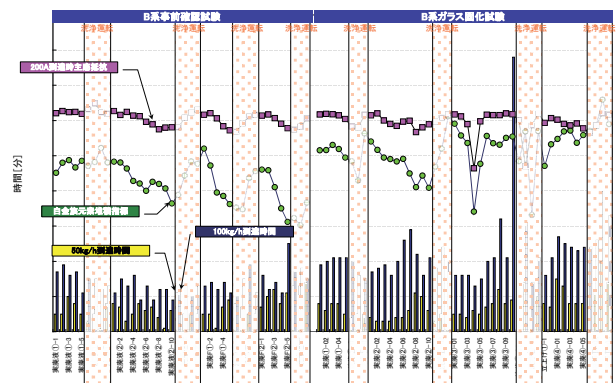


Fig.12 改善後の白金族元素管理指標の推移