

六ヶ所再処理工場の新型炉開発

日本原燃(株)

兼 平 憲 男

Development for advanced melter in Rokkasho Reprocessing Plant

Norio Kanehira

Japan Nuclear Fuel Limited

1. 緒言

六ヶ所再処理工場におけるガラス固化施設は2007年から実際の使用済燃料を再処理して発生した高放射性廃液を用いたアクティブ試験を実施したが、白金族元素の沈降・堆積による流下不良等の技術的課題により一時中断した。その後のフルスケール・モックアップ試験成果により設備や運転管理方法の改善を行い、2012年5月からアクティブ試験を再開した結果、安定した運転を可能にした。一方、将来的な溶融炉の更新を見越して炉底部の構造を大幅に変更した新型ガラス溶融炉の開発を実施しており、試作機のモックアップ試験を完了、良好な結果を得ている。本報告では、再処理工場における新型ガラス溶融炉の開発状況について報告する。

2. 六ヶ所再処理工場で採用しているガラス溶融炉について

再処理工場で発生する高レベル放射性廃液は白金族元素等の様々な核分裂生成物を含む硝酸系の廃液であり、放射性物質由来の崩壊熱等が発生させるため、放射性物質の閉じ込めや安全管理を考慮すると長期間の貯蔵が困難である。このため、ガラス溶融炉で高レベル放射性廃液とガラス成分を加熱混合し、ガラス固化することで放射性物質を安定化させるとともに取り扱いを容易にしている。

ガラス固化製造プロセスは各国において様々な固化方式が研究・開発されてきたが、国内においては当時の動力炉・核燃料開発事業団（現JAEA；日本原子力研究開発機構）が開発してきたLFCM法（Liquid Fed Ceramic Melter；液体供給式直接通電型セラミック法）を採用することとして1980年代から設計を開始している。

六ヶ所再処理工場におけるガラス固化製造プ

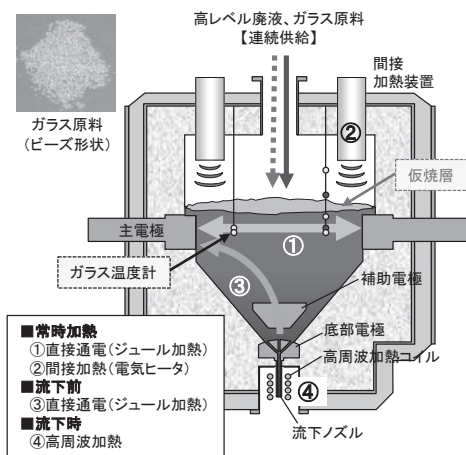
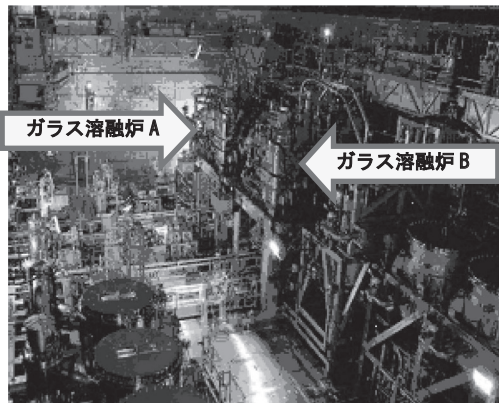


図1 六ヶ所再処理工場の固化セル (上), ガラス溶融炉のプロセス概要図 (下)

ロセスは、高レベル放射性廃液の成分を調整した上でガラス原料（ビーズ形状）とともにガラス溶融炉の上部から連続供給するプロセスとなっている。ガラス溶融炉内では直接通電加熱（ジュール加熱）および間接加熱（電気ヒータ加熱）の併用によって高レベル放射性廃液の水分等を揮発させ、さらに1,200℃程度まで加熱してガラスを溶融し放射性物質をガラス固化してガラス固化体容器に注入する。

ガラス溶融炉は、高放射線環境であり作業員が近づくことができないため、ステンレス鋼でライニングされた固化セル内（図1参照）に設置されており、遠隔による炉の運転やクレーンやパワーマニピュレーターによる保守が必要となるため、コンパクトな設計が要求される。

よって、仮焼工程（水分蒸発、脱硝、酸化物化）、ガラス化工程、均一化工程、不純物管理、キャニスターと呼ばれるステンレス鋼の専用容器に充填する機能を1つの溶融槽に集約していることが特徴であり、図1にガラス溶融炉のプロセス概要図を示す。

3. 新型ガラス溶融炉の開発状況

3.1 開発の背景

六ヶ所再処理工場に設置している現行型ガラス溶融炉のアクティブ試験において、幾つかの技術的課題が発生した。設備の不具合を除き以下の事象に代表される。

- ・炉底傾斜部に白金族元素が沈降、堆積すると、白金族元素堆積部に電流が選択的に流れ、炉底ガラスの加熱性が低下し、増粘することで流下性能が悪化する

この事象は、炉内温度管理を厳密に行い、定期的に模擬廃液を溶融炉に供給し白金族元素の炉内濃度を低下させる、実廃液に調整液と呼ばれる添加剤を加えYPを形成する成分濃度を低下させて発生を抑制する等の運転管理により事象発生を防止している。このように現行型ガラス溶融炉はフルスケール・モックアップ試験やアクティブ試験を通じて一部の設備改造や運転管理技術の改良により安定的に運転できることを確認している。一方、本ガラス溶融炉は設計寿命が5年程度であり、更新時期に合わせ、ガラス素材自身やハード設計により事象の発生を抑制できる、性能の高い新型ガラス溶融炉を導入することを目標に開発を行った。

3.2 開発内容について

新型ガラス溶融炉について、白金族元素の抜き出し性の向上に重点を置いた開発を進めた。

- ・白金族元素の抜き出し性の向上

①現行型ガラス溶融炉の設計を変更し、白金族元素の沈降、堆積抑制を図れるガラス溶融炉の構造や炉底部加熱方法等の開発

- ②ガラスを溶融する性能や炉内モニタリング性能等を向上させる要素技術の開発
- ③上記を踏まえた実規模の新型ガラス溶融炉の設計、製作
- ④開発を補完するガラス溶融炉解析コード、物性等の基礎データ取得の拡充

3.3 開発マネジメント

(1) 開発方法

新型ガラス溶融炉の開発においては、ガラス溶融炉の構成技術である炉底部技術および炉内要素技術の開発を進めるとともに、それらを反映した新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験炉の設計・製作を行った。

(2) 開発体制

日本原燃は本開発の実施にあたり、産業ガラスや製鉄溶鋳炉および原子力の専門家等の外部有識者から構成されるガラス固化技術研究評価委員会を開催し、都度開発の方向性、試験の計画策定、成果等において評価・助言を受けながら推進した。

3.4 新型ガラス溶融炉の開発

新型ガラス溶融炉は、白金族元素の流下性を向上させるため、電極構造を円型、それに伴い炉底部の形状をこれまでの四角すい・45°傾斜から円すい・60°傾斜に変更し、さらに底部電極高周波加熱装置等の炉底部の加熱手段を追加している。これらの新型ガラス溶融炉に導入す

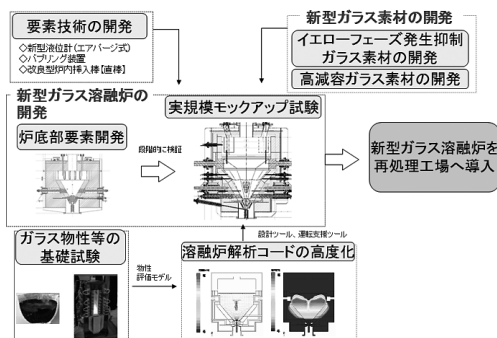


図2 開発フロー

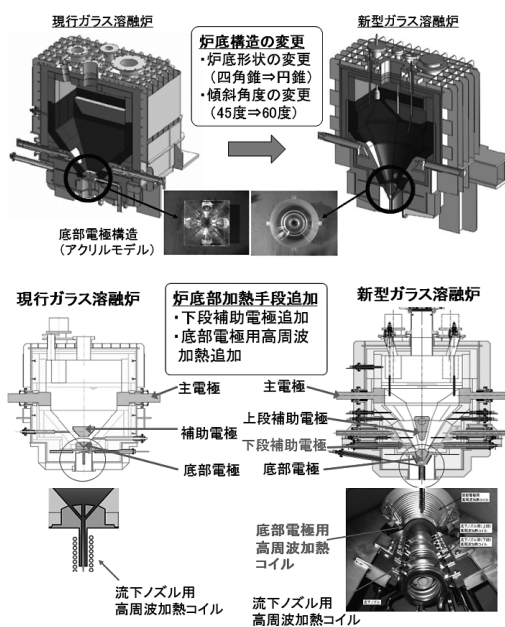


図3 現行ガラス溶融炉と新型ガラス溶融炉（K2MOC）の構造の比較（上）、底部電極高周波加熱装置（下）

るガラス固化技術は、炉底部分を模擬したモックアップ試験装置等による試験で効果の検証を事前に行っている。

3.5 新型ガラス溶融炉のモックアップ試験

(1) 試験計画について

ガラス溶融炉構成技術は、総合的な効果の検証のために、高レベル放射性廃液の成分・組成を非放射性の成分で模擬した、模擬ガラス、低模擬廃液、高模擬廃液（白金族元素を含む模擬廃液）をK2MOCに供給し溶融試験を行い、炉の熱特性把握、白金族元素の抜き出し性、ガラスの流下性等を確認した。

モックアップ試験は試験目的に応じて試験フェーズを設定し、段階的にデータを取得した。

①第一段階試験（K2MOC 試験フェーズⅠ）

新型ガラス溶融炉における基本特性の把握や改良項目の効果の確認を実施。炉内温度分布や運転方法は性能の比較を行うため、現行型ガラス溶融炉と可能な限り同じにした。

②第二段階試験（K2MOC 試験フェーズⅡ）

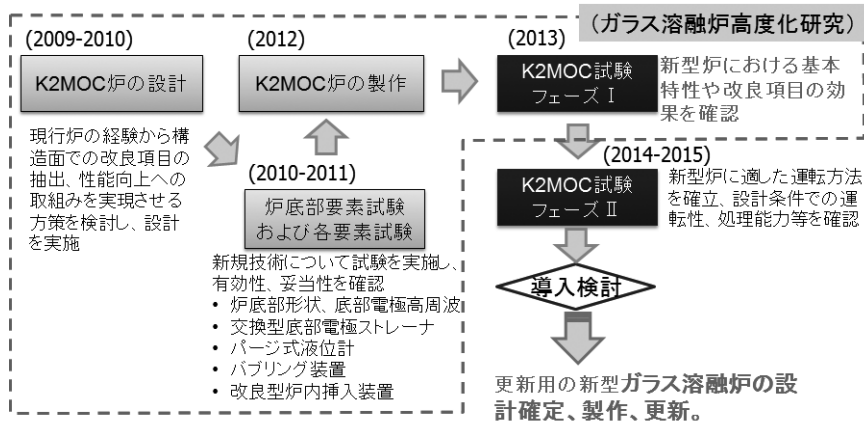


図4 新型ガラス溶融炉のモックアップ試験計画

第一段階試験の結果を踏まえ、前半試験では新型ガラス溶融炉に適した運転方法を確立、連続的な安定運転性を確認した。また、現在実施中である後半試験では設計条件での運転性や最大処理能力等を確認した。図4に新型ガラス溶融炉のモックアップ試験計画を示す。

(2) 試験結果について

①温度管理

高模擬廃液試験の温度推移は、フェーズⅠ、Ⅱ試験ともに各ガラス温度計指示値をもとに主電極電力、間接加熱電力を調整し、ガラス温度および気相温度を目標温度に制御することができた。また、炉底部の温度管理についても高周波加熱装置等を用いた炉底加熱、放冷を繰り返して安定して運転することができた。

②ガラスの流下性

バッチ毎に、ガラス流下時の流下速度が50 kg/hに到達した時間の推移を図5に示す。本到達時間は、現行ガラス溶融炉において、白金族元素の堆積によりガラス流下速度が顕著に悪化する前に回復運転（洗浄運転）に移行するための流下性低下の判断指標として用いている。試験の結果、アクティブ試験と比較して、フェーズⅠ、Ⅱ試験ともに流下開始後数分程度で流下速度50 kg/hに到達して、流下回数を重ねても流下性は良好であり、白金族元素が炉底部

図5 流下速度が50 kg/hに到達する時間
 アクティブ試験（上）、K2MOC試験フェーズⅡ（下）

に堆積した傾向は確認されなかった。現行型ガラス溶融炉では定期的な洗浄運転を実施することで白金族元素の堆積を抑制し、安定した継続運転が実現できていることに対して、新型ガラス溶融炉では洗浄運転を行わず40バッチの連続運転を実現した。

4. まとめ

2009年度から開始した新型ガラス溶融炉の開発は、各技術の開発を段階的に進め、フルスケール規模の試験用ガラス溶融炉の製作を行った後に模擬廃液を用いた実規模モックアップ試験を2013年度から実施している。構造変更に伴う溶融炉の熱的特性の把握、底部電極高周波

加熱装置を用いた炉底部加熱性、白金族元素の抜き出し性等の現行型ガラス溶融炉から改良設計した項目が現行型ガラス溶融炉よりも優位な性能を示すことを確認した。K2MOC試験フェーズⅡの終了後に技術導入検討を実施し、現在は更新用ガラス溶融炉の設計を実施中である。