資料番号：28－5

技術報告

ガラス固化技術開発施設（TVF）における溶融炉技術開発

小坂　哲生　　冨永　節夫
東海事業所　再処理センター　環境保全部

Developments of the Vitrification Technology at TVF

Tetsuo KOZAKA　　Setsuo TOMINAGA

Waste Management Division, Tokai Reprocessing Center, Tokai Works

ガラス固化技術開発施設（TVF）は，東海再処理施設内の高放射性廃液貯蔵場に貯蔵されている高放射性廃液を，安定で取扱いが容易な形態であるガラス固化体にする技術を開発する施設である。TVFにおいて，2002年から実施していた炉底構造等を改良した改良型溶融炉の更新工事を2004年９月に完了し，10月から改良型溶融炉による開発運転を開始して2005年５月までに60本のガラス固化体を製造した。この運転を通して，改良型溶融炉の安定した溶融能力を確認するとともに，セル搬入前の作動試験結果をもとに設定した運転条件で，目標通りの運転が実施できることを確認した。

The mission of TVF is to immobilize the high level radioactive liquid waste (HLLW) stored in High Active Liquid Waste Storage into stable glass form. The exchange project for the improved melter in TVF began in 2002 and ended in September 2004. Operation of the TVF improved melter began in October 2004, and produced 60 vitrified wastes by May 2005. During this operation, the good operation conditions and the stability of vitrification performance for the melter with the improvement of bottom structure were confirmed.

キーワード
ガラス固化技術開発施設，高放射性廃液，ガラス固化体，改良型溶融炉，炉底構造，開発運転，更新工事，ガラス固化

Tokai Vitrification Facility, High Level Radioactive Liquid Waste, Vitrified Waste, Improved Melter, Bottom Structure, Operation, Exchange Project, Vitrfication

１．はじめに

東海事業所のガラス固化技術開発施設（Tokai Vitrification Facility：以下，TVF）は，再処理工場において使用済燃料を再処理した際に発生する高放射性廃液（HLLW）のガラス固化に関する技術をプラント規模で実証する施設である。TVFは，1992年４月に完成し，コールド試運転，ホット試運転を経て，1995年12月から開発運転を開始した。

小坂　哲生
処理第三課
処理第三課長
ガラス固化技術開発施設の運転管理等に従事
核燃料取扱主任者

冨永　節夫
処理第三課
処理第三課長代理
ガラス固化技術開発施設の運転管理等に従事

この開発運転を通じて，プロセス設備の安全かつ安定運転に向けた技術の改良及び遠隔保守技術の改良を図ってきている。

開発運転中の2002年３月，TVF溶融炉（１号溶融炉）の主電極温度の上昇及び主電極内冷却空気出口温度の低下が確認された。本事象は，主電極内部の冷却空気流路にガラス等の溶融物が侵入したものと推定されたことから，溶融炉の運転を停止した。発生事象の解析・評価結果を踏まえて，以前から計画していた“改良型溶融炉”への更新計画に移行した。溶融炉更新工事を2004年９月に終了し，改良型溶融炉による最初の運転（04－１キャンペーン）を10月から開始し，12月までに20本のガラス固化体を製造するとともに，2005年２月より開発運転（05－１キャンペーン）を開始し，

５月までに40本のガラス固化体を製造した。なお，１号溶融炉から改良型溶融炉への更新は，サイクル機構と電気事業者10社との協定に基づき実施したものである。

本報では，TVFにおける改良型溶融炉への更新実績及び改良型溶融炉の運転実績について報告する。

２．改良型溶融炉の構造

溶融炉は，再処理工場で発生する高放射性廃液を約1100～1200℃の高温でガラス原料と共に溶融混合し，ステンレス容器に注入し，ガラス固化体を製造するものである。溶融炉の構造は，ガラス容器への溶融ガラスの抜出し性を良くするために炉底部に勾配を付け，その下端中心に流下ノズルを設けた構造となっている。TVF溶融炉の概略構造を図１に示す。

改良型溶融炉は，処理能力等の基本的性能は更新前の溶融炉（１号溶融炉）と同じ性能を有し，更に，ガラス固化の処理能力低下の防止や溶融炉の長寿命化を図るために，高放射性廃液中に含まれる白金族元素の抜き出し性を向上させる以下の改良を図った。１号溶融炉と改良型溶融炉の炉底部構造を図２に示す。

○主電極形状の変更

白金族元素は，溶融炉内の傾斜が緩やかな耐火レンガ稜線部に堆積し易いと考えられるため，改良型溶融炉では，耐火レンガ稜線部に沿った堆積物と主電極の接触による主電極電流密度の不均一化を防止するため，主電極下部の角をカットした形状（台形）に変更。

○補助電極形状の変更

補助電極が炉内への突き出し構造である場合，ガラス流下の際に障害になると考えられる。改良型溶融炉では，白金族元素をより炉底部から流下させやすい構造とするため，補助電極の炉内への突出部をなくし，傾斜部に沿った形状に変更。

○底部電極構造の変更

１号溶融炉で採用したレンガ屑等のノズル穴への流入を防止する目的のステップアップ構造では，白金族元素の堆積を助長すると考えられたため，改良型溶融炉では，炉底部の白金族元素の抜出し性を向上させかつ，レンガ屑等の流入を防止する機構を備えた炉底の傾斜に沿ったストレーナ構造に変更。

○炉底冷却方法の変更

１号溶融炉では，白金族元素の沈降を抑制する方法として溶融ガラスの流下終了後に，自然冷却方式による炉底低温運転を採用したが，炉底低温運転に速やかに移行できるよう，炉底電極を強制冷却（流下ノズルを空冷）する方式に変更。

３．改良型溶融炉への更新実績

改良型溶融炉への更新工事は，TVFにおいてホットイン以降初めての大規模な遠隔操作による更新作業となった。改良型溶融炉の更新実績及び運転実績を表１に示す。

(1) 改良型溶融炉の製作

改良型溶融炉本体（ケーシング，電極，耐火レンガ等）は，メーカー工場にて2002年５月から2003

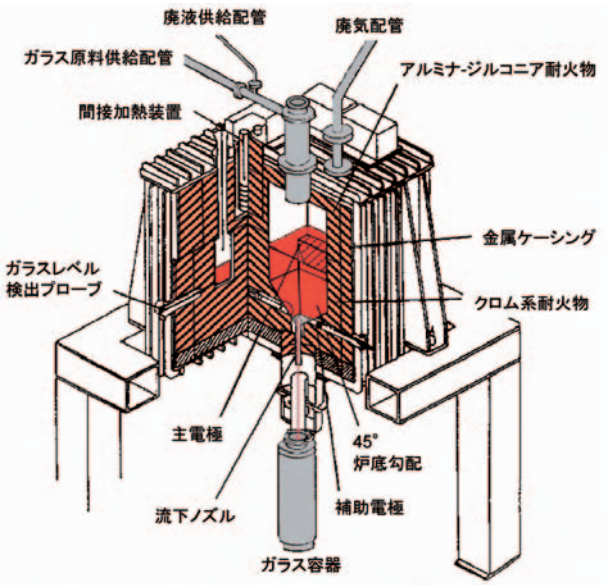


図１　溶融炉概略図

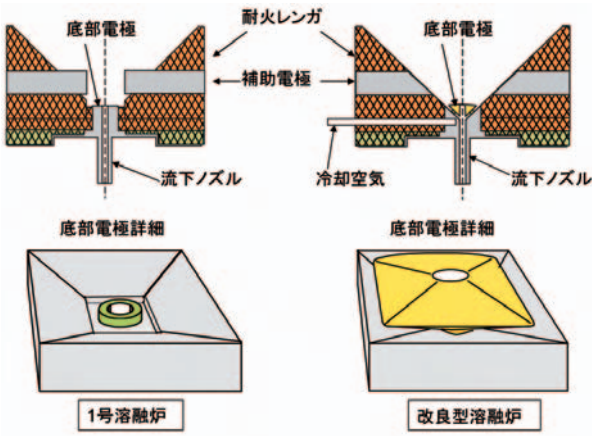
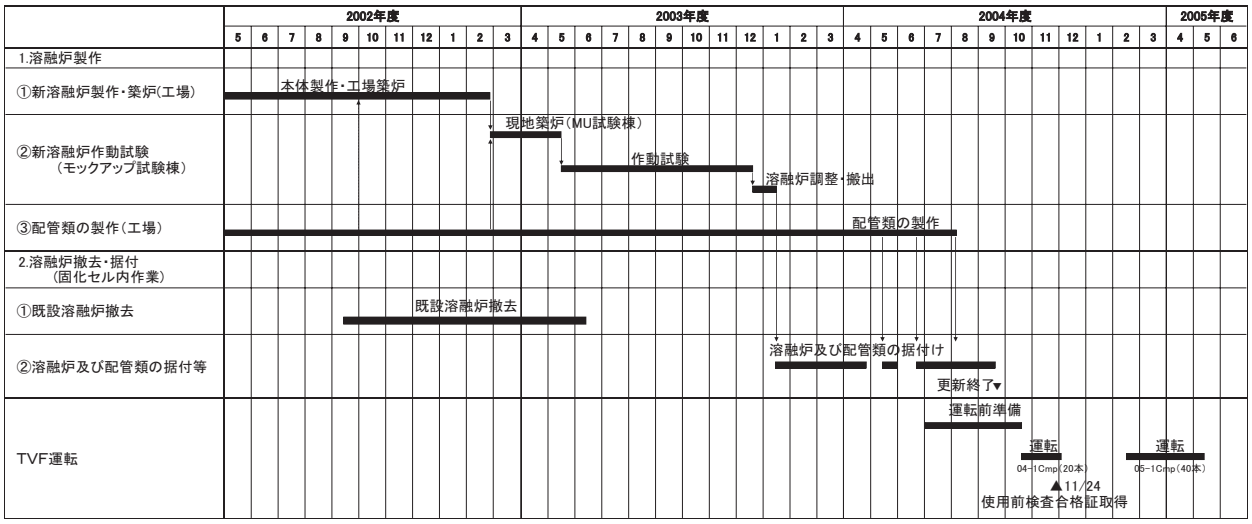


図２　炉底部構造の改良の概要

表１　改良型溶融炉の更新実績及び運転実績



年２月にかけて製作した。

(2)　１号溶融炉の撤去

遠隔操作により,2002年９月から2003年６月にかけて１号溶融炉の付属品を撤去し,2003年５月に１号溶融炉をTVF固化セル内の解体場に移動した。

(3) 改良型溶融炉の作動試験

改良型溶融炉は，固化セル搬入に先立ち，溶融炉構造の改良後の運転特性（加熱特性，ガラス流下特性等）を確認することを目的として，モックアップ試験棟（東海事業所）において，模擬廃液を用いた作動試験を実施した。

試験の結果，ガラスの溶融性，流下性等について良好な運転特性を確認するとともに，溶融炉内への白金族元素堆積の兆候は見られず，白金族元素の良好な抜き出し性を確認した。

(4) 改良型溶融炉の固化セル内への据付

改良型溶融炉は，2004年１月にモックアップ試験棟からTVFに搬入し,付属機器の最終的な調整・確認を行い，３月に固化セルに搬入した。その後，改良型溶融炉本体の据付及び溶融炉と固化セル内既設配管とを連結する配管の取付作業等を行い，2004年９月に更新工事作業を終了した。

４．改良型溶融炉のホット運転実績

改良型溶融炉の運転は，2004年10月から開発運転を開始し（04－１キャンペーン），12月までに20本のガラス固化体を製造した。次に，2005年２月から開発運転を再開し（05－１キャンペーン），５月までに40本のガラス固化体を製造した。この開発運転では，改良型溶融炉が実廃液を安定に溶融する能力を有すること及びセル搬入前の作動試験で設定した運転条件の妥当性を確認することを主目的として実施した。

その結果,予定数量のガラス固化体を製造でき，目標とする製造速度や廃棄物含有率に対して溶融炉の安定した溶融能力や，溶融ガラスの良好な流下性が得られ，設定した運転条件の妥当性を確認した。なお，当該運転中に，溶融炉更新に係る最終的な使用前検査として,「放射性気体廃棄物の放出量」及び「線量率及び空気中の放射性物質濃度の測定」を受検し，2004年11月24日に使用前検査合格証を取得した。

(1) ガラス溶融

溶融運転は，主電極電力を39KW一定で，ガラス製造速度6.5kg/hを目標に実施し，安定したガラス温度及び炉内雰囲気温度で運転を行うことができた。04－１，05－１キャンペーンでのガラス温度，炉内雰囲気温度の推移を図３に示す。

１号溶融炉の運転においては，主電極や補助電極間の抵抗値の変動等により，炉内への白金族元素の堆積状況を判断していたが，改良型溶融炉の運転においては,更に,１号溶融炉の運転実績や解析結果をもとに，溶融炉内の白金族元素の異常な堆積を検知する指標を主電極間抵抗値に設定した。その結果，主電極間抵抗値は，管理目標値以上で推移した。

(2) 炉底低温運転

改良型溶融炉では，１号溶融炉で確立した炉底

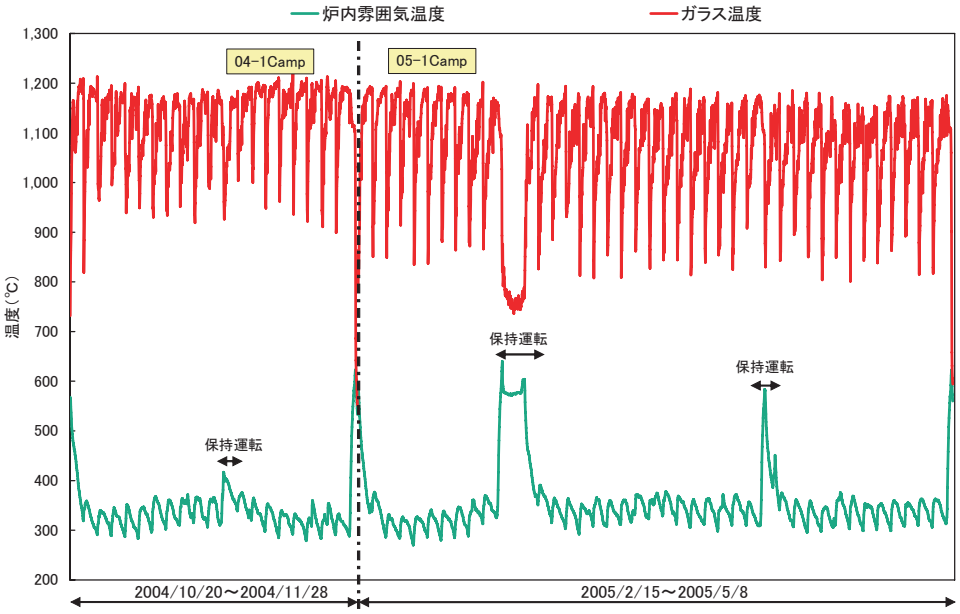


図 3　04－1，05－1 キャンペーンにおけるガラス温度，炉内雰囲気温度の推移

部のガラス温度を低くし，ガラスの粘性を高くすることによって白金族元素の沈降堆積を抑制する炉底低温運転を採用し更に，ガラス流下後に炉底低温運転への移行を早めるように，流下ノズルに圧縮空気を流して冷却する炉底強制冷却構造に変更している。

炉底低温運転の条件は，セル搬入前に実施した作動試験の結果をもとに，補助電極間中央ガラス温度が850℃になるように，補助電極温度を820℃にコントロールする運転とし，冷却温度は，流下ノズル上部温度470℃を目標として行った。その結果，実廃液を用いた運転においても 1 号溶融炉に比べ短時間で炉底低温運転の目標温度に移行でき炉底低温保持時間が長くできることを確認できた。改良型溶融炉運転中の各部温度状況模式図を図 4 に示す。

(3) ガラス流下

ガラス流下は，セル搬入前の作動試験で設定した条件を基に，流下開始 7 時間前に加熱開始，流下時の流下ノズル上部温度745℃以上で行った。その結果，ガラス流下目標重量300kg/本以下に対して，60バッチすべてにおいて目標重量を満足した。

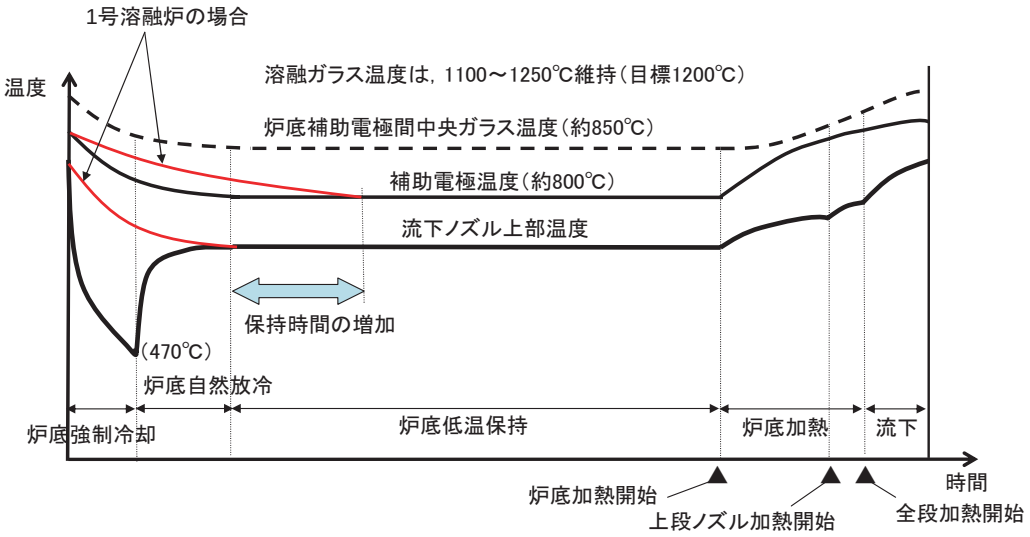


図 4　運転中の各部温度状況模式図

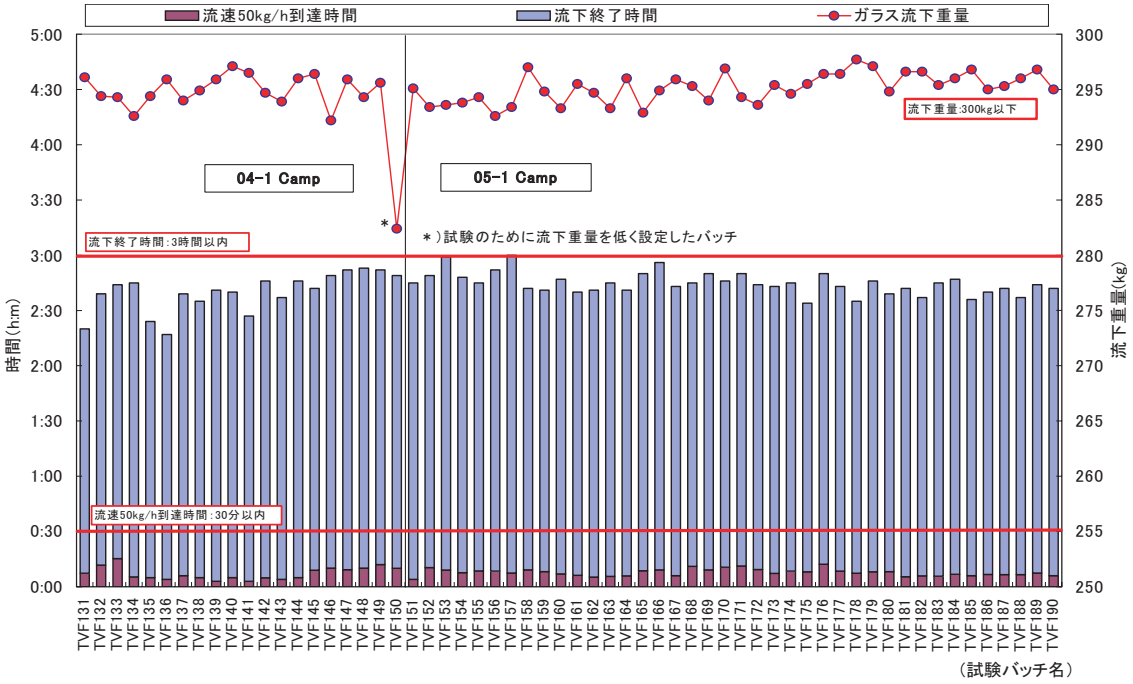


図５　04―1，05―１キャンペーンにおける流下時間，流下重量の推移

また，ガラスの流下性は，流下性の良否の指標としている流下流速50kg/h到達時間30分以内，流下終了時間３時間以内に対して，全バッチで満足する結果が得られた。更に，炉底部の加熱性の悪化や流速の低下等の事象は見られず，実廃液を用いた運転でも良好なガラス流下ができることを確認した。04―1，05―１キャンペーンでの流下時間，流下重量の推移を図５に示す。

(4) 改良型溶融炉の運転結果

04―1，05―１キャンペーンの運転の結果，溶融炉内の白金族元素堆積状況を判断する指標である主電極間抵抗は，管理目標値以内で推移していることから，運転に影響を及ぼす白金族元素の堆積は無かったと推定される。

改良型溶融炉の改良の効果については，今後，処理本数を重ねたうえで評価を行うとともに，ガラス固化体の累積製造本数が約100本になった時点で溶融ガラスの抜き出し操作を行い，炉内の観察や炉内残留ガラスの分析等を行い，総合的な評価を行っていく計画である。

５．今後の溶融炉技術開発

TVFは，ホット運転開始以来，2005年５月までに190本（改良型溶融炉運転では60本）のガラス固化体を製造した。2005年10月からは，次の開発運転である05―２キャンペーンを開始し，12月までに更に約30本のガラス固化体を製造する予定である。この様な開発運転を通じてガラス固化技術をプラント規模で実証し，運転技術・保守技術の蓄積を図っていく。

TVFの開発運転と合わせて，溶融炉の更なる長期間の安定運転を図るため，実際の溶融炉の運転を模擬できるシュミレーションコード開発や，基礎試験等による白金族元素対応技術の高度化を進めていく。また，溶融炉更新に伴い発生する溶融炉解体廃棄物量の低減化を目指し，１号溶融炉を供試体として溶融炉解体技術の開発・実証や，ガラス固化体の貯蔵・処分コストの削減を目指した廃棄物高含有率固化体製造技術の開発・実証を進めていく計画である。

６．おわりに

改良型溶融炉は，日本原燃(株)のガラス固化施設（K施設）の溶融炉と同様の炉底構造を有している。TVFでの今回の実廃液を用いたホット運転を通して得られたデータは，K施設溶融炉に対して有効な運転データであると考えている。今後，K施設溶融炉の運転管理方法等に反映できるよう，改良型溶融炉の運転に係る実績データの情報提供等を通して，ガラス固化技術の日本原燃(株)への技術移転を図っていく。