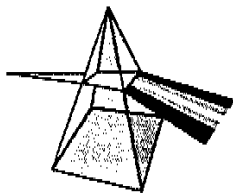


【技術報告】

ガラス溶融炉内検査試験装置の開発



小林 洋昭 宮本 陽一

東海事業所 環境技術開発部

資料番号：103-4

Development of the In-Melter Inspection Test Apparatus

Hiroaki KOBAYASHI Yoichi MIYAMOTO

Waste Technology Development Division, Tokai Works

高レベル放射性廃液のガラス固化を行う溶融炉内部の耐火物等の健全性を確認するため、「外観観察」および「侵食量測定」の機能を有する炉内検査試験装置を開発した。装置の設計・製作に際しては、それぞれの機能を満足できる方式の調査を行い、「外観観察」についてはファイバースコープ方式を、また「侵食量測定」については、レーザ光による三角測量方式を選定した。本試験装置に対し、模擬廃液を用いたガラス固化試験に使用した工学規模溶融炉等での性能評価試験を実施し、所定の炉内検査性能を有することを確認した。

It is necessary to confirm the integrity of the melter for vitrification of high-level radioactive liquid waste. In order to inspect the inside of the melter, a test apparatus with two functions of surface observation and measurement of the amount of erosion was developed. The technique which was suitable for each function with conventional techniques in the design and production stage of the equipment was examined. A fiberscope was selected for the surface observation and of erosion a laser beam triangulation system was selected for measurement of the amount.

The test and performance evaluation of the developed melter inspection test apparatus adopted for the mock-up melter was carried out, and the design objectives were satisfied and confirmed.

キーワード

ガラス溶融炉、ガラス固化、炉内検査技術、外観観察、ファイバースコープ、健全性評価、溶融炉寿命、侵食量測定、レーザ三角測量法

Melter, Vitrification, Inside of Melter Inspection, Surface Observation, Fiberscope, Erosion Measurement, Laser Beam Triangulation

1. はじめに

高レベル放射性廃液のガラス固化を行う溶融炉は、1,100℃程度の溶融ガラスを保持するため溶融ガラスに接する部分（接液部）に耐食性が高い電鍍レンガを用いている。その外側は断熱のため、各種の耐火物で組上げ、さらに全体が箱型のステンレス鋼製ケーシングで覆われた構造になっている。ガラス溶融炉の概略構造を図1に示す。

溶融炉は、所定量の廃液とガラス原料を連続的に供給しながらバッチ方式で抜き出す運転操作が繰り返えられる。各原料は、溶融炉上部に設置されたノズルから供給され、内部の電極間の通電加熱によりガラスを溶融する。溶融ガラスが一定量

に達した後、底部の流下ノズルを高周波で加熱してガラスを抜き出す。これらの運転に伴い、接液部の耐火物および電極はわずかずつではあるが侵食される¹⁾。そのため、溶融炉は一定期間毎に交換することとし、接液材料は交換までの期間に対し十分な腐食代を有する設計がなされている。

一方、溶融炉の交換により、高放射性廃棄物が発生することになる。この二次廃棄物の発生量を低減する観点から、供用期間中に溶融炉内部の状況を検査し、設計寿命以降の健全性について評価できれば使用期間が延ばせ、交換頻度を低減できることになる。なお、検査対象となる炉の内部にアクセスするための最大開口部は、図1に示した直径

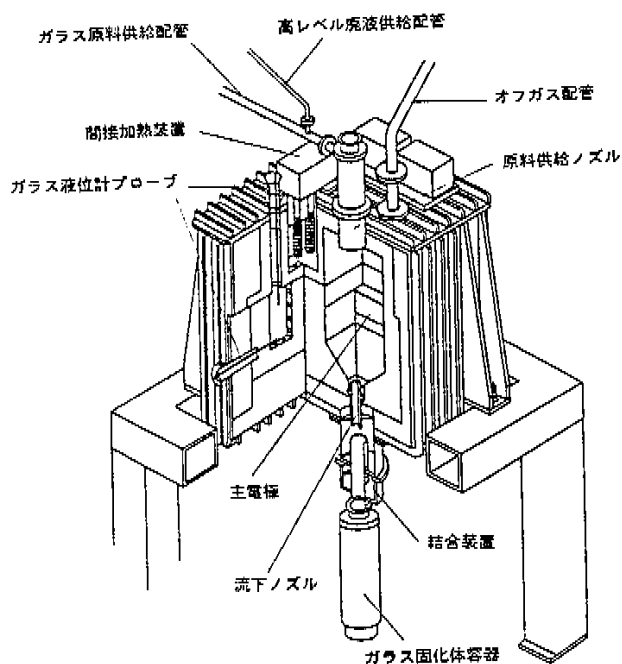


図1 ガラス溶融炉概略構造

300mmの原料供給ノズルフランジに限られる。また、溶融炉は運転を停止した後でも残留した固化ガラスにより、内部の放射線量が高い環境にある。これらから、溶融炉の検査技術には、検査部が小型で高放射線の環境下でも炉内部の状況を精度良く把握できる信頼性の高いシステムが要求される。

本報告では、炉内検査技術開発の分野において実施した適用技術の検討、試験装置の設計・製作および性能評価試験の結果について紹介する。

2. 技術検討

2.1 検査技術の検討

溶融炉の健全性を確認するための検査には炉内の異常侵食、耐火物の欠落等を目視確認するための「外観観察」および耐火物、電極の侵食量を測定するための「侵食量測定」が要求される。

既存の方式の中からこれらの機能を満足するものの検討を行い、「外観観察」については、適用できる可能性がある以下の4方式を比較・評価した。図2に各方式の概略を示す。

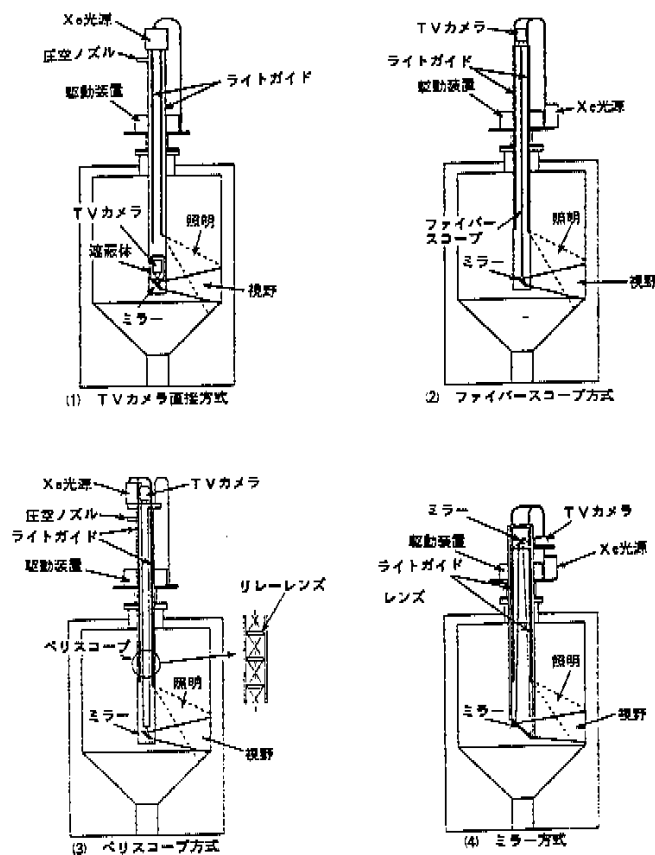


図2 外観観察方式

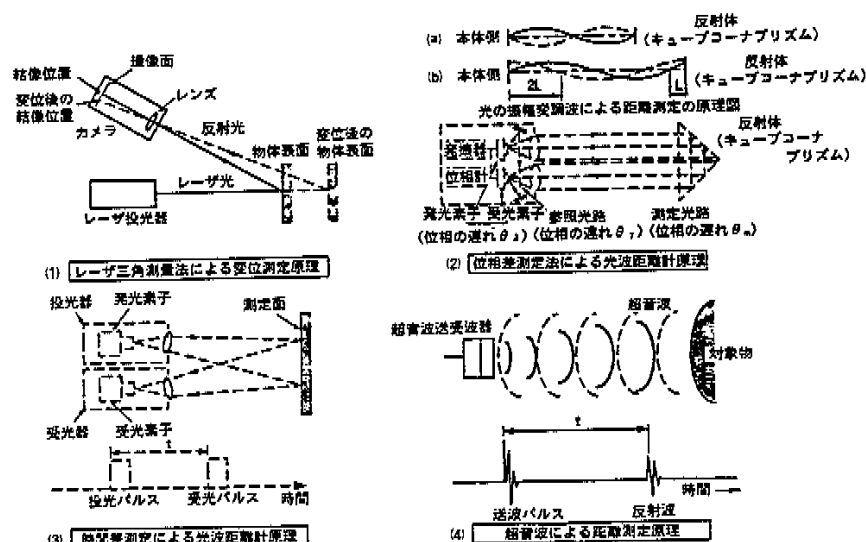


図3 距離測定原理の概略

- (1) TVカメラを直接炉内に挿入する方式
- (2) ファイバースコープを炉内に挿入し、TVカメラは炉外上部に設置する方式
- (3) ペリスコープを炉内に挿入し、TVカメラは炉外上部に設置する方式
- (4) ミラーを炉内に挿入し、TVカメラは炉外上部に設置する方式

この中で、(1)の方式はTVカメラの耐放射線性および挿入部の小型化の課題が、また、(4)の方式はミラーからの反射画像範囲の制約と駆動時の画像のブレ等の課題があり適用が難しいと判断された。(3)については、精密な光学レンズを有するために炉内温度の影響を受けやすく、さらに保守性の点でも困難な問題があることが分かった。そのため、「外観観察」には(2)のファイバースコープ方式を選定した。各方式の適用比較の結果を表1

表1 外観観察方式の比較表

項目	TVカメラ直接方式	ファイバースコープ方式	ペリスコープ方式	ミラー方式
検出部等の小型化	△ 炉内へのカメラ挿入に課題	○	○	△ 炉内へのミラーの挿入に課題
耐放射線性	△ カメラの耐放射線性に課題	○	○	○
耐熱性	△ カメラの耐熱性に課題	○	△ 光学レンズの耐熱性に課題	○
保守性	○	○	△ 光学レンズの保守性に課題	○

○：適用の可能性あり

△：適用の可能性はあるが、他と比べて劣る要素あり

に示す。

「侵食量測定」については、炉内構造物の侵食量を評価するため炉の内壁間の距離測定について検討を進め下記の4方式を比較・評価した。図3に各方式の原理等を示す。

- (1) レーザ光による三角測量方式
- (2) 光波の反射位相差による測定方式
- (3) 光波の反射時間差による測定方式
- (4) 超音波測定方式

これらの中から、炉内のコーナー部の測定が可能で、固化ガラスの乱反射の影響が少なく、高精度の測定が可能と考えられる(1)のレーザ光による三角測量方式を「侵食量測定」に用いることとした。これらの適用比較の結果を表2に示す。

表2 距離測定方式の比較表

項目	レーザ光による三角測量法	光波の反射位相差法	光波の反射時間差法	超音波測定法
検出部等の小型化	○	○	○	○
耐放射線性	○	○	○	○
耐熱性	○	○	○	△ 送受信器の耐熱性に課題
付着ガラスの乱反射影響	○	△ 対象物の反射率、色調の影響が大きい	△ 対象物の反射率、色調の影響が大きい	○
炉内コーナー部の測定	○	○	○	× コーナー部の測定は不可

○：適用の可能性あり

△：適用の可能性はあるが、他と比べて劣る要素あり

×：適用不可

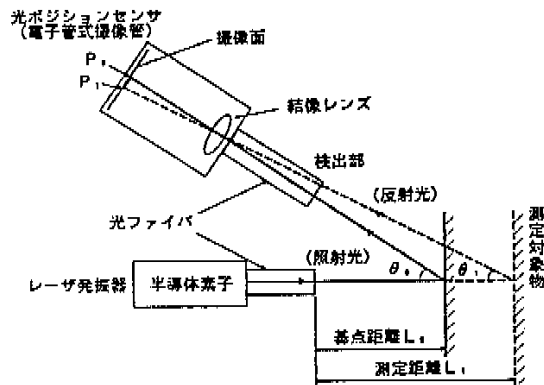


図4 レーザ三角測量法の原理

なお、「外観観察」および「侵食量測定」機能を有する全体システムは、装置の小型化を図るため、ファイバースコープ、撮像部等を共用する方式を採用した。

2.2 レーザ光による三角測量法

三角測量法の測定原理を図4に示す。測定面に対するレーザ投光系と受光系の設置角度を一定とした場合に、侵食等によって変位した距離を反射したレーザ光の撮像部（TVカメラ）における結像位置の変化から算出するものである。

なお、撮像部での反射レーザ光の位置を精度良く検知するため、図5に示したようにレーザスポットの座標決定法として、2値化しきい値処理²⁾を適用した。これは、撮像面での反射レーザ光の強度を一定の電流値幅（しきい値）の画像に絞り

込み、その重心を座標位置とするものであり、測定面の固化ガラスによる乱反射等が発生すると考えられる反射レーザ光の光束の広がりにおいても輝度の高い部分を検知し、安定した測定を可能とする。

3. 炉内検査試験装置の設計・製作

3.1 設計方針

炉内検査装置の適用対象となる実機は、ガラス固化技術開発施設（TVF）の溶融炉であるためこの溶融炉を対象に炉内検査試験装置の設計方針を以下のように設定した。

(1) 装置の搬出入および溶融炉取り付け場所の制約から、小型・軽量化を図る。

① セル搬出入ポート 850mm角

② 原料供給ノズルフランジ $\phi 300\text{mm}$

(2) 装置の搬出入、設置および検査・測定を遠隔で行う。

(3) 検査に際し作業員の被ばくおよび二次廃棄物の発生量を極力抑えたシステムとする。

(4) 距離測定精度 $\pm 5\text{mm}$ 以内

従来の工学規模溶融炉の評価では、人間が炉内に入って炉材料の面間距離を測定しており、その手動測定における精度を目標として設定する。

(5) 距離測定間隔 最小1mm

(6) 溶融炉内温度 200°C 以下（ガラス液面がLowレベルにおける雰囲気温度一解析値）

(7) 溶融炉内検査範囲

① 距離（侵食量）測定範囲—天井面を除く炉内表面全域

② 観察範囲—炉内表面全域（暗黒条件において炉材料の表面観察を可能とする。）

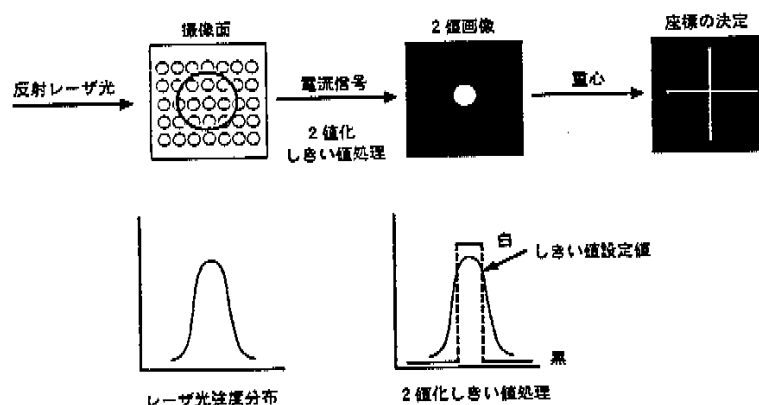


図5 レーザ光の座標決定方法

表3 炉内検査装置の基本仕様

項 目	仕 様
本体全長	約 4500mm
最大直径	約 800mm
本体重量	約 550kg
保護カバー重量	約 250kg
駆動方式	ACサーボモータ
駆動軸	昇降、旋回
床係	円筒床係
レーザ方式	半導体レーザ
	出力 180mW (発振部)
TVカメラ	電子管式撮像管
観察照明	キセノンランプ
	容量 500W
観察視野径	約 170mm
距離測定間隔	最小 1mm

3.2 設計・製作

炉内検査試験装置は、平成4年から設計・製作を開始し、平成5年7月に完成した。試験装置の基本仕様を表3に、また、写真1に概略を示す。

ここでは、試験装置の主要部分について概要を述べる。

(1) 駆動ユニット

駆動ユニットは、外観観察および距離測定を行う測定ユニットの昇降、旋回駆動に用いるACサーボモータ、減速機、昇降軸、旋回台等で構成される。昇降軸の上部には測定ユニットの機器が設置され、内部には外観観察、距離測定に共用す

るファイバースコープ、距離測定に用いるレーザ投光用のファイバー、検出部空冷管（模擬）等が収納されている。昇降方式にはラック・ピニオンが用いられている。

旋回台は昇降軸と一体化され、ギア・ピニオン方式で駆動する。台上には各駆動モータ、減速機が取付けられており、ベアリングを介して装置の保護カバー内に設置されている。

(2) 測定ユニット

測定ユニットは、駆動ユニットの上部に設置されるレーザ装置、撮像管、照明光源、炉内に挿入される検出部およびそれらを連結するファイバースコープ等から構成される。写真2に検出部を示す。

(3) 制御・解析ユニット

制御・解析ユニットは、駆動ユニットの動作制御および測定ユニットからの映像観察、距離測定データの解析を行うもので、駆動モータ制御盤、パソコン、センサプロセッサ、モニタ等から構成される。試験装置の全体系統を図6に示す。

(4) 耐震解析

炉内検査試験装置の設計段階において、想定される装置仕様およびTVFガラス溶融炉のモデルをもとに耐震解析を実施した。その結果、支持架構部、据付けボルト等に関して健全性が維持され

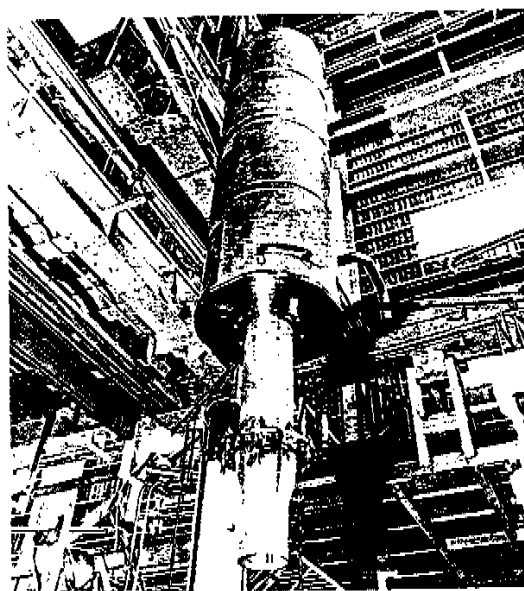


写真1 装置全体

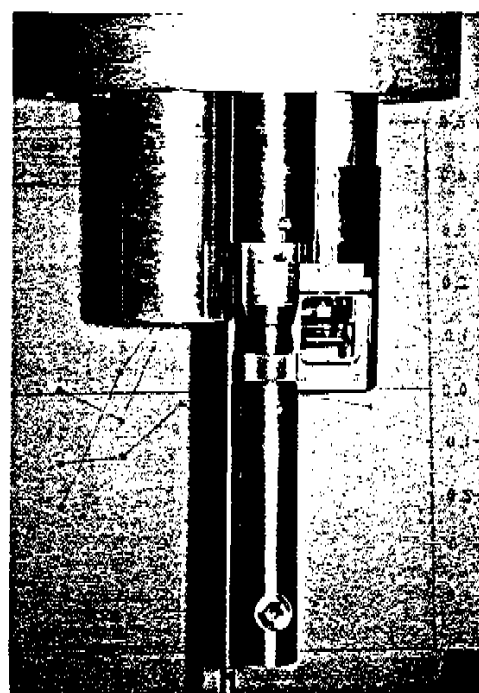


写真2 検出部

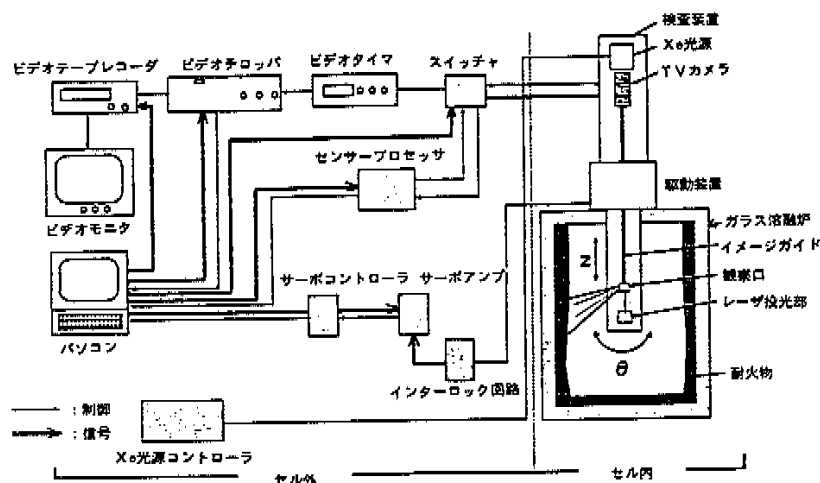


図6 全体系統図

ることを確認した。

4. 試験装置の性能確認

模擬廃液を用いたガラス固化試験に使用した工学規模溶融炉および模擬耐火物等を対象に、試験装置の評価試験を実施し、所定の炉内検査性能を有することを確認した。

(1) 距離測定精度

溶融炉の接ガラス部に用いられているクロム-

アルミナ系電鍍レンガの模擬耐火物に固化ガラスを付着させた試料を対象に、炉内の寸法に相当する測定対象物までの距離が350~600mmの範囲で精度評価試験を行い、固化ガラス表面までの距離

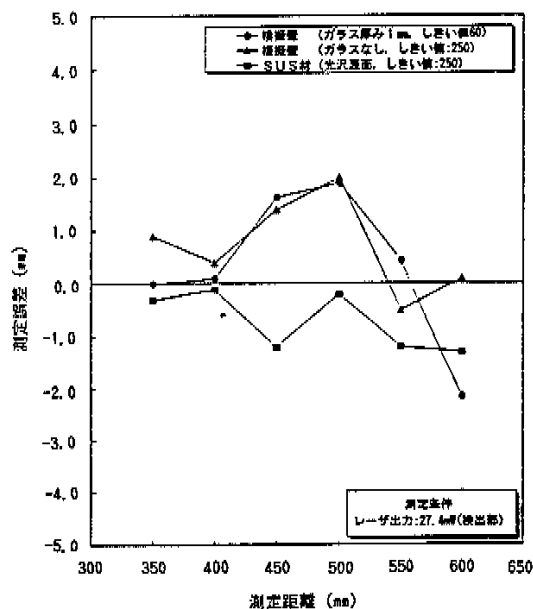
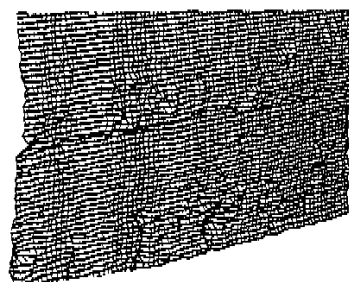


図7 精度評価試験結果 (一列)



炉内写真



測定条件
レーザー出力 : 29.8mW (検出部)
しきい値 : 55
距離測定間隔 : 10mm (縦, 横)
測定距離 : 378~398mm

図8 炉内測定結果 (ガラスに接する耐火物表面)

測定精度として ± 5 mm以内の性能を確認した。
図7に精度評価試験結果の一例を示す。

なお、炉内の付着ガラスの厚みは、これまでの工学規模溶融炉の試験データから、ほぼ均一に薄く分布することが明らかになっている。したがって、運転終了後の炉材料表面までの距離（付着ガラスの厚みも含む）の変動から侵食量を評価することが可能である。

図8に工学規模溶融炉内の接液耐火物部を縦、横10mm間隔で測定したデータから作成した立体図を示す。

(2) 外観観察性能

固化ガラスが付着した炉内表面の観察では、ガラスの反射による照明光のハレーションを抑制できる照明照射角度を選定し、反射レーザ光の撮像用TVカメラにより、炉内の外観観察画像が得られることを確認した。

5. おわりに

高レベル放射性廃液のガラス固化を行う溶融炉内部の外観観察および侵食量測定に用いる炉内検査試験装置を開発し、性能評価試験を実施した。

ガラス溶融炉開発のコールド試験に用いた工学規模溶融炉等を対象にした評価試験から、所定の炉内検査性能を有することを確認した。

今後は、これらの試験データをもとに高レベル廃液を処理しているガラス溶融炉へ適用する炉内検査装置の仕様を取りまとめる予定である。

参考文献

- 1) 正木敬夫、五十嵐寛、他：“ガラス溶融炉材料の耐食性評価” 原子力学会「1991春の年会」要旨集 K44、(1991)。
- 2) 電気学会：“光と画像の基礎工学” p.247-253、(1987)。