



ガラス固化技術開発施設(TVF) コールド試運転結果

吉岡 正弘 稲田 栄一

東海事業所環境施設部

資料番号: 91-10

Evaluation of Cold Testing for Tokai Vitrification Facility

Masahiro Yoshioka Eiichi Inada

(Waste Plants Operation Division, Tokai Works)

ガラス固化技術開発施設(TVF)は、平成4年5月からコールド試運転を開始し、計画どおり平成5年度末に終了した。

プロセス各設備の性能の確認を行うとともに、ガラス固化体製造における品質管理手法の妥当性の評価を行った。その結果、各設備は設計上の性能、安全性を満足し、固化体の品質は十分な精度をもって管理できることを確認した。

また、固化セル内遠隔保守対象全設備について、その取り外し・取り付け手順、および遠隔操作性を確認するとともに、機器ごとの保守情報をホット時の保守に向けて取得した。

1. はじめに

高放射性廃液(廃液)のガラス固化技術のプラント規模での実証を図るというTVFの目的を的確に達成するため、施設の建設¹⁾終了とともにホット運転に先立ち、平成4年5月から約2年間の予定でコールド試運転を開始した。コールド試運転では、実廃液中の廃棄物成分であるCs、Sr等を非放射性の同一元素で置き換え、所定量含有させて化学的挙動を模擬した廃液(模擬廃液)を使用して、施設・設備の安全性および運転性を確認する「固化プロセス運転試験」と固化セル内の遠隔保守対象機器全部品の遠隔脱着性、および溶融炉を含めた全ラックの交換性を確認する「遠隔操作・保守試験」の2つに大別して、試験ごとにフィードバックを図りながら交互に実施した。コールド試運転の計画を図1に示す。

「固化プロセス運転試験」においては、供給する模擬廃液の組成(白金族元素の有無、廃棄物成分濃度)をパラメータとし、主に固化体製造時の品質管理手法、プロセス運転における安全性、溶融炉の運転モード、およびその他設備性能の確認を目的として実施した。また、「遠隔操作・保守試験」においては、固化セル内全遠隔保守対象機器の取り外し、取り付けにおける手順の妥当性、および操作性の確

認を目的に実施した。

2. 試験の概要

2.1 固化プロセス運転試験

(1) ガラス固化プロセスの概要

TVFはガラス固化プロセスに液体供給式直接通電型セラミックメルタ(LFCM)方式を採用した特長をもつ施設である²⁾。図2にTVFプロセスフローを示す。TVFに受け入れた廃液は、前処理工程の濃縮器でナトリウム濃度の調整、続いて濃縮を行った後、ガラス溶融炉にガラス原料とともに連続的に供給する。本工程は、固化体の品質管理を行う上で重要な工程で、廃液移送前後の廃液濃度の管理、溶融炉への廃液およびガラス原料の供給管理を実施することにより、溶融以前で固化体品質(組成)を管理することとしている。

ガラス溶融工程は、溶融炉直前で廃液を染み込ませたガラスカートリッジ原料を約1200℃で連続溶融し、定期的にキャニスタに溶融ガラスを注入するTVFの主要工程である。溶融炉の構造図を図3に示す。

溶融ガラスを注入したキャニスタは、蓋を溶接、密封する。その後、キャニスタ表面を除染し、スミ

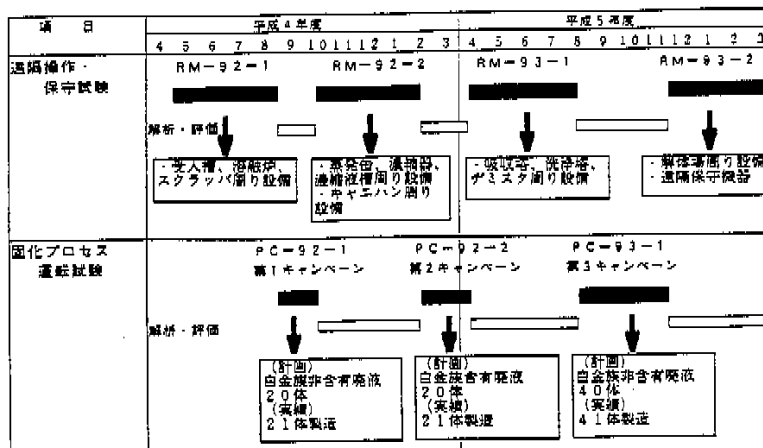


図1 TVFコールド試験運転計画

や検査等を実施した後、保管セル内のビッドに収納し、強制空気により冷却保管する。なお、溶融以降の工程においても、溶融温度、溶接条件等を管理することにより固化体の品質を確保する。

一方、溶融炉および濃縮器、貯槽等からの廃気中に含まれる放射性物質を除去するためオフガス処理工程が設置されており、特に溶融炉からの廃気処理する工程は、洗浄水による洗浄・吸収を行う湿式処理機器、ルテニウム等の揮発性元素を除去する吸着塔、それに続くフィルタ等の乾式処理機器より構成されている。

さらに、オフガス処理工程で使用した洗浄水の多段蒸発処理を行う二次廃液処理工程が設置されており、最終濃縮液は受入槽に戻され、受け入れた高放射性廃液とともに固化処理される。

(2) 試験項目

本試験は、模擬廃液を用いて固化プロセス全機器の運転により実施した。試験は3回のキャンペーンに分けて行うこととし、最初2回のキャンペーンにより供給する模擬廃液の組成（白金族元素の有無、全廃液酸化濃度）、およびガラス原料中のNa濃度を変えて運転を行い、基本的な各試験データおよび各設備の運転データを取得し、以下の試験項目について評価した。最後のキャンペーンにおいては、同様の試験項目について長期運転下における各機器の信頼性・安定性について確認した。

- 1) 固化体製造時の品質管理手法の確認
- 2) 溶融炉の運転モードの確認
- 3) プロセス運転における安全性の確認
- 4) その他設備性能の確認

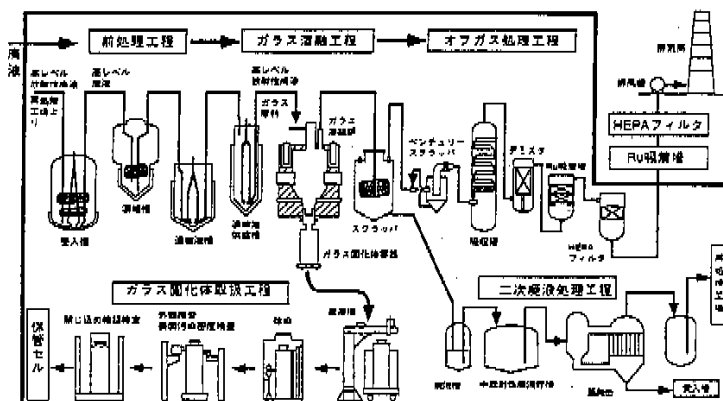


図2 ガラス固化技術開発施設の主要工程

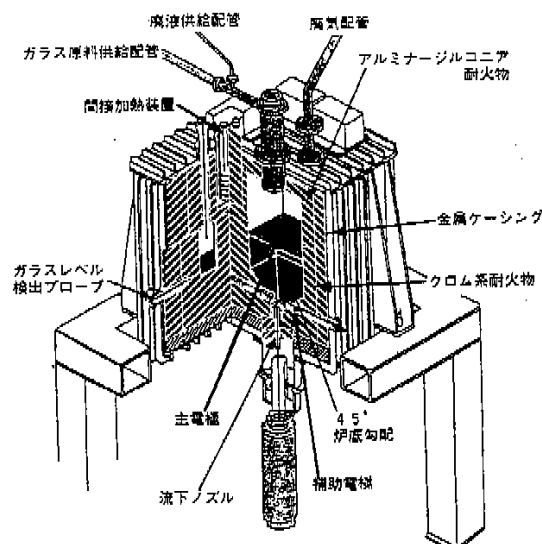


図3 ガラス溶融炉の構造

なお、試験運転により製造するガラス固化体は、第1および第2キャンペーン各20体、第3キャンペーン40体の計80体の計画で実施した。

2.2 遠隔操作・保守試験

(1) 遠隔保守の概要

TVFは高放射性廃液を取り扱う機器を、すべて1つのセルに収納する大型セルを採用している。この大型セルの採用に伴い、セル内機器の保守はすべて固化セル上部に設置されたそれぞれ2基の両腕型マニプレータ、インセルクレーン等の遠隔操作機器を制御室にて操作することにより行われる。この遠隔保守を容易にするために、主要機器はラックに組み込み、遠隔継手を用いて配管を接続し、必要に応じてラックごとの交換が可能な方式としている。

(2) 試験項目

固化セル内設備はプロセス設備と遠隔操作機器に分けられる。本試験は対象設備により4回の試験に分けて順次、実施し、最初の3回については3試験区域に分けた各プロセス設備について脱着試験を実施した。なお、各試験における設備区分は、両腕型マニプレータ2機の並行使用を考慮して選定した。最後の試験においては、両腕型マニプレータ、インセルクレーン等遠隔操作機器の自己保守試験を実施した。固化セル内の機器配置を図4に示す。

本試験はTVFのホット運転に向けて、固化セル内の遠隔保守対象機器全部品の遠隔脱着性、および溶融炉を含めた全ラックの交換性を確認するとともに、保守手順等のデータベース化を図ることを目的

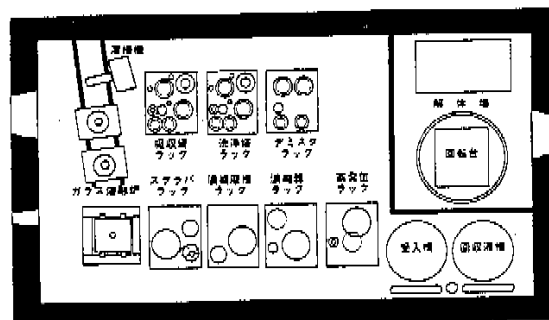


図4 固化セル内機器配置

にしたもので、ラック、部品について遠隔による取り外し、取り付けを行い、以下の確認を行った。

- 1) 遠隔操作・保守情報（保守手順、アクセスの方向・角度・干渉物の情報等）の確認
- 2) 遠隔保守に与えるプロセス運転の影響、および保守後の設備の健全性確認

3. 試験の方法および結果

3.1 固化プロセス運転試験

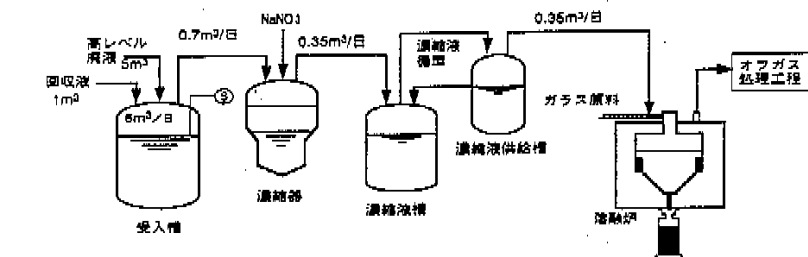
(1) 固化体製造における品質管理手法の確認試験

ガラス固化体製造時には、固化体品質を確保するため固化ガラス組成管理、溶融ガラス温度管理、蓋溶接管理等を適切に実施する必要がある。特に、固化ガラス組成管理、すなわち、固化ガラス中に含有する全廃棄物成分を酸化物換算で30wt%以下（目標25wt%）、ナトリウム酸化物を8～12wt%（目標10wt%）に管理することは、固化ガラスの化学的耐久性を保证する重要な要因であり、かつ溶融以前の工程で確実に実施する必要がある。図5に示す固化ガラス組成管理手法の妥当性について評価した。

1) 廃液濃度推定精度の確認

ガラス溶融炉へ供給する廃棄物量は、移送時にスチームジェットの蒸気が混入するため、その濃度は受入槽での分析結果に基づき、以降の工程においては推定計算することにより管理する。したがって、いかに正確に溶融炉に供給する廃液濃度を推定するかが品質管理上の課題となる。

廃液濃度推定精度は、濃縮器および濃縮液槽における廃液移送ごとの液サンプリング分析結果と全廃棄物酸化物濃度およびナトリウム酸化物濃度の推定値とを比較することにより評価した。推定には蒸気混入量を考慮しないで、貯槽の液レベルの変化だけから推定する方法を用いた。第1から第3キャンペーンにおける移送、および濃縮後の廃液濃度について評価した結果、推定値は分析結果と比較して差が十



	受入槽	濃縮器	濃縮液槽—濃縮液供給槽	溶融炉（供給）
廃液	HAWおよび回収液の受入毎に分析	移送毎に濃度推定およびNa量の調整	移送毎に濃度推定（二槽は同一濃度）	廃液供給速度の設定 （製造速度、廃液推定濃度、目標廃棄物含有率から算出）
ガラス原料				ガラス原料供給速度の設定 （製造速度、ガラス原料の重量、目標廃棄物含有率から算出）

図5 固化ガラス組成管理手法

分に小さく、精度良く推定できることを確認した。また、最終的な溶融炉への供給廃液濃度についても図6（第2キャンペーン実績）に示すように分析値と推定値の差は小さく、十分な推定精度を有することを確認した。

2) 定量供給精度の確認

廃液およびガラス原料をガラス製造速度、廃液濃度およびガラス原料重量から設定したそれぞれの供給速度で供給することにより、固化ガラスは目標とする廃棄物含有率に調整される。したがって、廃液およびガラス原料の定量供給精度を、廃液処理バッチごとに目標供給量と供給実績を比較することにより評価した。

廃液処理バッチごとの供給誤差を第2キャンペーン

ンについて図7に示す。廃液およびガラス原料の最大供給誤差は、それぞれ5.6%、3.0%であり、精度良く供給できることを確認した。廃棄物含有率には、廃液およびガラス原料の供給が相互に関連して影響を与えるが、図8に示すとおり両者を含めた定量供給性は、固化ガラス組成の変動を目標に対し十分小さく管理できる精度を有することを確認した。

3) 廃棄物含有率の管理精度の確認

受入槽での廃液分析結果をもとに、移送ごとに推定した廃液濃度により目標廃棄物含有率に管理する手法による固化ガラス組成管理精度を評価した。

ガラス溶融炉へ供給する直前（濃縮液供給槽）で廃液サンプリングを実施し、その分析値および供給量から求めた廃棄物含有率、および廃液濃度推定値

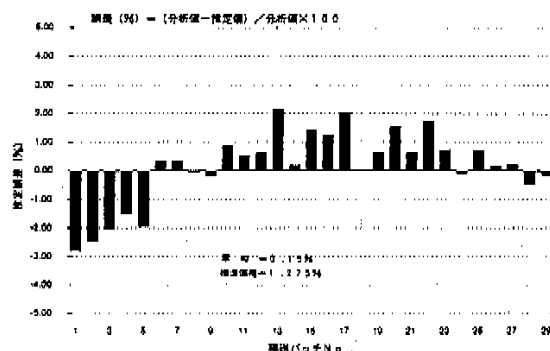


図6 廃液濃度の推定精度

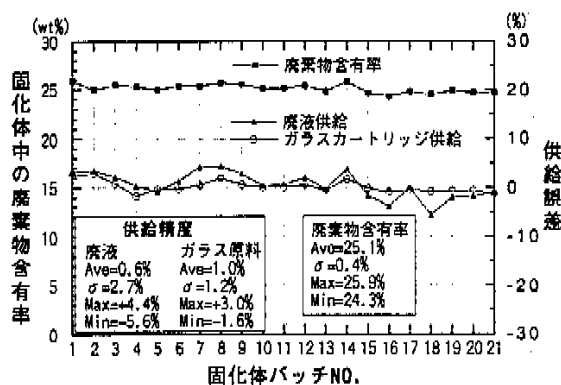


図7 廃液およびガラス原料の定量供給精度

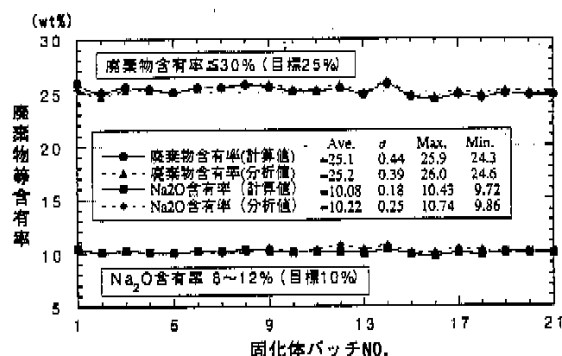


図8 固化ガラス組成に与える重量供給性の影響

から求めた廃棄物含有率、ならびに固化ガラス分析値を比較評価した。表1に固化ガラス組成の管理精度結果を示す。その結果、廃液濃度推定値から求めた廃棄物含有率と、分析値から求めた廃棄物含有率との誤差は十分に小さいことから、供給ガラス量および廃液の推定濃度、供給液量から求めた供給廃棄物量より算出する廃棄物含有率に基づいて運転する組成管理手法の妥当性を確認した。

なお、この分析値から求めた廃棄物含有率をもとに、95%の信頼度で廃棄物含有率の管理可能範囲を推定すると、全廃棄物酸化物含有率で $25 \pm 1.2\%$ 、ナトリウム酸化物で $10 \pm 0.8\%$ に管理できることを確認した。

また、製造したガラス固化体を切断し、その上、中、下部ガラスについて特性評価を実施した結果の一列を標準ガラスの特性値とともに表2に示す。同固化体処分時の性能に影響を与える熱伝導率、浸出率についても標準ガラスと同等と評価され、健全なガラス固化体が製造されることを確認した。

(2) ガラス溶融炉の運転モード確認試験

ガラス溶融炉の運転においては、供給されるガラス原料と廃液の溶融を連続的に行う溶融運転モードを確立するとともに、円滑なガラス抜き出し（流

表2 TVF製造ガラス固化体の特性評価結果

(第2キャンペーン第6バッチ)

特 性	上 部	中 部	下 部	標 準 P0798
密 度 ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)	2.75	2.77	2.77	2.74
熱膨張係数 ($\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$) (30~300 $^\circ\text{C}$)	84	87	86	88
転移温度 ($^\circ\text{C}$)	499	505	503	501
軟化点 ($^\circ\text{C}$)	613	612	615	604
熱伝導率 (W/mk at R.T.)	0.95	1.00	1.05	0.94
浸出率 ($\times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \text{ d}$) JIS標準法 MCC-1法	2.9 2.2	2.6 2.3	2.9 2.1	2.3 2.5

下)のための溶融炉加熱補助系の運転モードを確認する必要がある。特に、溶融炉運転における廃液中の白金族元素(Ru, Rh, Pd等)の炉底部への堆積は大きな問題となる。そこで白金族元素を確実に溶融炉から抜き出すために開発された炉底低温運転手法³⁾の効果を確認するとともに、本運転手法の採用により難くなる、ガラス流下を円滑に開始するための炉底部補助加熱モード等一連の溶融炉運転モードを確立することを目的として実施した。

1) 溶融運転試験

第1キャンペーンで白金族元素を含有しない模擬廃液を用いて、炉底低温運転の基本的な特性を確認した後、第2キャンペーンにおいて白金族元素を含有する廃液を溶融炉に供給し、溶融炉の溶融運転特性を評価した。なお、運転に使用した模擬廃液の組成を第2キャンペーンについて表3に示すが、これは設計標準廃液の元素割合に基づいて白金族元素を含めて調整したものである。白金族元素を含有しない他のキャンペーンについては、白金族元素はFe, Co, Niで置き換えている。

炉底低温運転は図9に示すように、流下後、炉底補助電極のパワーをオフにして炉底部の温度を低下させ、補助電極内温度が800 $^\circ\text{C}$ に達した時点から補助電極パワーの調整を行い、その温度に保持し、流下5時間前にガラス流下に備えて炉底部の温度を上げさせる運転である。第1キャンペーン運転の結果、炉内雰囲気温度を約400 $^\circ\text{C}$ 以上に保持すると、温度が低い場合に較べ大きな加熱電力を必要とするため、加熱電流が炉底部まで回り込み、炉底部が加熱されることからガラス温度の降下速度が小さくなり、補助電極温度が目標とする800 $^\circ\text{C}$ まで降下せず、炉底低温運転ができないことが確認された。このため、第2キャンペーンにおいては炉内雰囲気温

表1 固化ガラス組成の管理精度比較

管理項目 管理手法妥当性 の評価方法	全廃棄物酸化物含有率 (wt%)(目標:25wt%)			Na ₂ O含有率(wt%)(目標:10wt%)		
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
供給廃液濃度の分析値による評価	25.0	24.6	25.2	10.7	9.9	10.2
供給廃液濃度の推定値(運転値)による評価	25.9	24.3	25.1	10.4	9.7	10.1
固化ガラスの分析による評価	26.3	24.2	25.2	11.0	10.0	10.5

表3 第2キャンペーン使用模擬尿液の組成

元素	元素濃度(mol/l)	酸化物濃度(g/l)
H+	2.5×10^0	—
Na	8.91×10^{-1}	29.70
P	1.25×10^{-2}	0.88
Fe	7.37×10^{-2}	5.69
Cr	2.06×10^{-2}	1.57
Ni	1.84×10^{-2}	1.38
Rb	3.63×10^{-3}	0.34
Cs	1.61×10^{-2}	2.29
Sr	8.54×10^{-3}	0.91
Ba	1.03×10^{-2}	1.58
Zr	3.46×10^{-3}	4.33
Mo	2.97×10^{-3}	4.31
Mn	1.29×10^{-2}	1.12
Ru	1.66×10^{-3}	2.22
Rh	3.78×10^{-3}	0.48
Pd	8.64×10^{-3}	1.05
Ag	3.76×10^{-4}	0.044
Cd	4.26×10^{-4}	0.055
Sn	2.87×10^{-4}	0.037
Se	5.99×10^{-4}	0.068
Te	2.81×10^{-3}	0.45
R.E	—	17.90
全酸化物濃度(g/l)		76.50

度を300～350℃に制御する運転を行った結果、安定した炉底低温運転が可能になるとともに、溶融状態も非常に安定した運転が継続できることを確認した。

本運転の第2～第6バッチについて実施した流下時のガラスサンプリングにより溶融炉に供給した白金族元素の抜き出し性を評価した結果、炉内の白金族元素が基準濃度に達した第4バッチ以降、平均的に100%以上の抜き出し率を確認した。また、第7バッチ以降についても白金族元素が炉底部に堆積することにより引き起こされる主電極間抵抗の異常な低下が見られなかったことから、勾配部を含む炉底部への白金族元素の堆積はないものと評価され、炉底低温運転により全バッチについて安定した運転が可能であったことを確認した。図10に溶融炉運転時の主電極間抵抗変化を溶融ガラス温度、補助電極温度とともに示す。

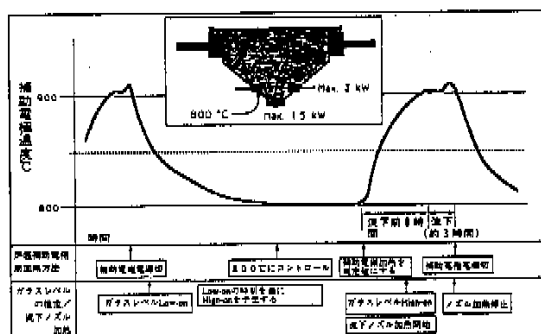


図9 炉底低温運転手法

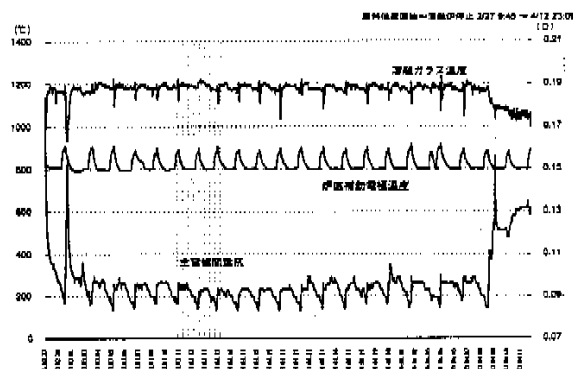


図10 溶融炉運転実績(第2キャンペーン)

また、長期運転下における機器の安定性を確認する第3キャンペーンにおいても、非常に安定した運転が継続できることを確認した。

2) ガラス流下運転試験

炉底低温運転の採用により発生し易くなる流下開始時の糸引きを防止する流下運転モードの有効性を確認する試験を実施した。流下運転はまず、流下時刻の予測に基づいて、流下開始予定5時間前に炉底補助加熱(炉底補助電極間通電、ノズル主電極間通電、ともに数kW)により炉底部の昇温を開始する。さらに、溶融炉レベル計Hiオンとともに流下ノズル上段部の加熱を開始し、一定時間保持後、ノズル全段の加熱を開始する。このモードにしたがって運転を行った結果、ノズル全段加熱数分後に、スムーズに流下を開始することを全バッチについて確認した。観察窓からカメラを通して見た流下状況を写真1に示す。

流下初期に白金族元素を効率的に抜き出すためのガラス流速制御、それ以降の流速制御は、白金族元

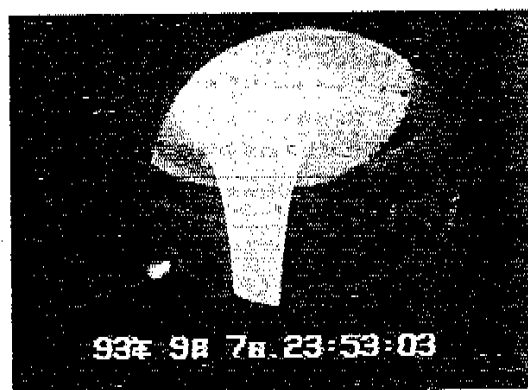


写真1 溶融炉からのガラス流下

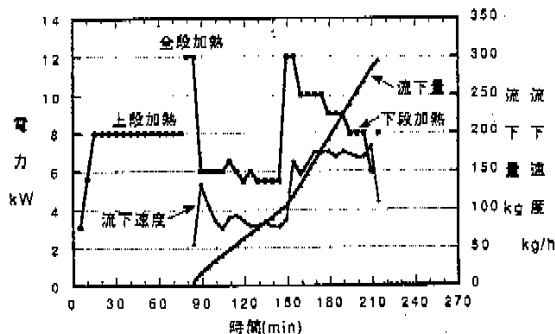


図11 ガラス流下運転実績

素が含有されると難しくなるが、炉底補助加熱、ノズル加熱電力を制御することにより問題なく実施できることを確認した。流下時の加熱電力、流下速度等の実績を図11に示す。

キャニスタへのガラス注入重量は290～300kgを目標に実施したが、第1キャンペーンではすべてのバッチについて、290kg以下であった。原因は、ガラス注入時のキャニスタの伸び（約10mm）が重量計に反力として働くためである。この反力を測定重量から差し引く補正を実施するため、ロードセル重量値とキャニスタの伸びの関係を求め、さらに結合装置ベローズのばね定数を用いて伸びを重量に変換することにより反力を求めた。この補正を第2キャンペーンで試験的に実施した結果、ロードセル重量値と正味重量値との差が約2kgと非常に良好な結果を得た。第3キャンペーンについては補正システムを組み込んだ結果、図12に示すようにほぼ目標とする290kg以上の注入重量が得られ、対策の効果を確認した。

(3) 安全性確認試験

施設の安全性確認として廃気処理系の性能確認試験

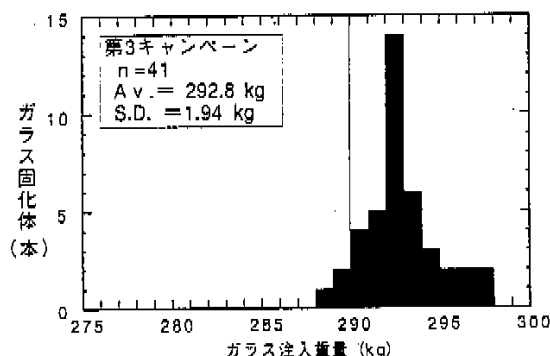


図12 重量補正によるガラス注入重量実績

を実施した。試験は、主な発生源である溶融炉からの廃気処理する溶融炉系湿式処理機器、および濃縮器について除染係数等を確認することを目的として実施した。

評価対象元素は、挙動の異なる元素として揮発性元素(Ru)、準揮発性元素(Cs)、非揮発性元素(Sr、Na)を選定した。試験は、運転における処理単位ごとに採取した液試料から化学分析により元素量を求め、除染係数等を評価した。

1) 濃縮器の元素移行率評価

濃縮器では廃液の蒸発・濃縮の過程で濃縮蒸気とともに放射性物質が廃気に移行する。本試験では、濃縮蒸気中の放射性物質量を求め、廃気への移行率を評価した。濃縮器から濃縮蒸気として廃気中に移行した元素の移行率は、すべての元素について設計値を下回るとともに、蒸発速度を変動させた条件下でも設計値を満足することを確認した。

2) 溶融炉系湿式処理機器の除染係数評価

溶融炉系の湿式処理機器は、廃液の蒸発・溶融の過程で発生する廃気中の放射性物質を洗浄水で洗浄、吸収させて除去する機器であり、スクラップ、ベンチリースクラップ、吸収塔により構成されている。試験では、これら湿式処理機器のトータルの除染係数を評価した。試験の結果、溶融炉系湿式処理機器の除染係数は、すべての対象元素に対して設計値を上回ることを確認した。図13に評価対象元素ごとの設計値と評価した除染係数を示すが、分析が化学分析のためほとんど検出限界以下となり、評価上設計値に近い値となっている。より詳細な評価は、ホット試験での放射能分析により行う必要がある。

(4) その他機器の性能確認試験

その他機器として、濃縮器、二次廃液処理蒸発缶、槽類換気系設備、および同化体取扱設備等について運転条件の変動を含め、その性能を確認する試験を実施した。濃縮器、二次廃液処理蒸発缶につい

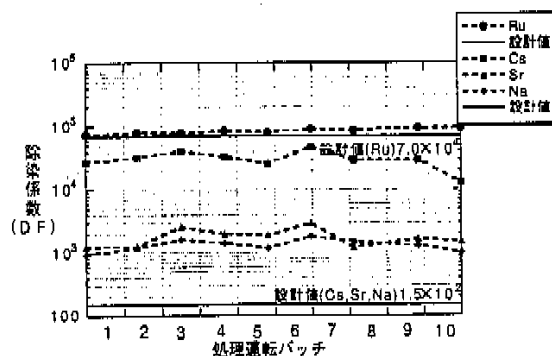


図13 溶融炉湿式処理系の除染係数

ては、蒸発速度と加熱蒸気流量との関係を把握するとともに、加熱蒸気流量による蒸発速度の制御性に問題のないことを確認した。槽類換気設備については、廃気の処理に加えて放射性物質の閉じ込め機能が要求されるが、固化プロセス運転下における圧力および風量バランスを確認し、その閉じ込め機能を確認した。

第1キャンペーンで溶融炉廃気出口部に設けられた廃気冷却管に粉塵が付着する閉塞事象のため差圧高が短時間（8バッチ処理）で発生した。付着物が偏在するという観察結果から、廃気冷却管出口部に合流する結合装置排気配管からのパージエアにより凝結が起こり、付着が助長されたことが原因と推定した。この対策として、結合装置排気配管を廃気冷却管に合流させない構造にして、第2および第3キャンペーンの運転を行った結果、41バッチの処理においても差圧の異常な上昇はなく、対策の効果を確認した。

3.2 遠隔操作・保守試験

(1) 試験対象設備

遠隔操作・保守試験では、両腕型マニプレータ、インサクレーン等の遠隔操作機器を用いて固化セル内に設置されたプロセス設備および遠隔操作機器自体の遠隔操作・保守性を全機器について確認した。取り外し、取り付け確認を行った対象設備は、ガラス溶融炉、ラック7基、ジャンパ管414本、付帯ボルト4085本等、遠隔操作機器を含めて総数6668点に達した。試験における取り扱い対象設備および各設備ごとの部品点数を図14に示す。また、試験状況をラック（吸収塔ラック）について写真2に示す。

これら遠隔取り扱い対象設備の取り扱い操作では、遠隔ボルトを取り扱うインパクトレンチ、その緩みを確認する緩み確認治具、ラックを吊り上げる吊り治具等の遠隔保守治工具（以下「治工具」という、総数315基）を使用し、その取扱総数は延べ3032

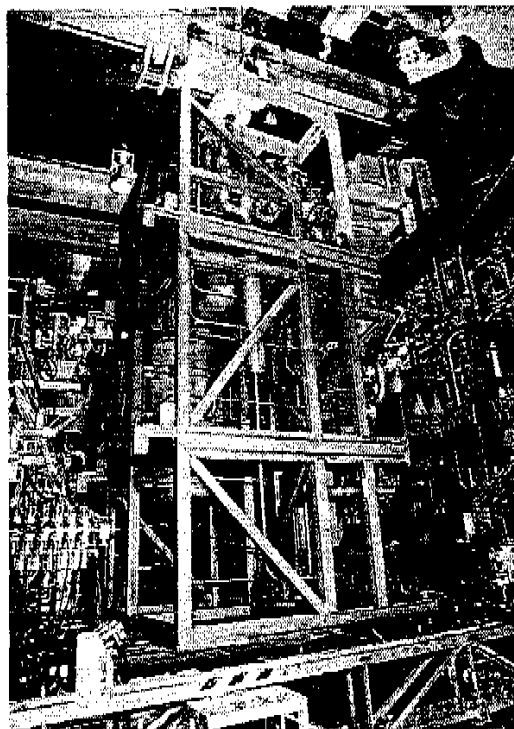


写真2 ラック（吸収塔ラック）保守試験

回に達した。

(2) 試験の評価

1) 保守後の健全性評価

遠隔保守を行った後の設備は、コールド試運転で交互に実施する固化プロセス運転において、遠隔継手からの漏れや機器の作動等に問題ないことを確認し、遠隔保守の健全性を確認した。特に、配管接続部等の気密性確保では、574基の取り扱い試験を通して設備の形状ごとに定めた遠隔ボルトの4段階締め管理が、遠隔保守操作において有効であることを確認した。さらに、設備運転により熱履歴をもった配管等の遠隔保守による取り外し・取り付けに問題ないことを確認した。

2) 遠隔保守作業時間の評価

① ジャンパ管

配管と配管を接続する遠隔式の短管であるジャンパ管の取り外し・取り付けに要する時間の算出に当たっては、固化セル内における準備作業が終了していること、本体を取り外した後の移動・保管、インパクトレンチ、治工具の取り外し等、後始末的な対応作業を含まないものとした。

ジャンパ管の取り外しに係わる操作時間は、インパクトレンチを両腕型マニプレータにセットし、ボ

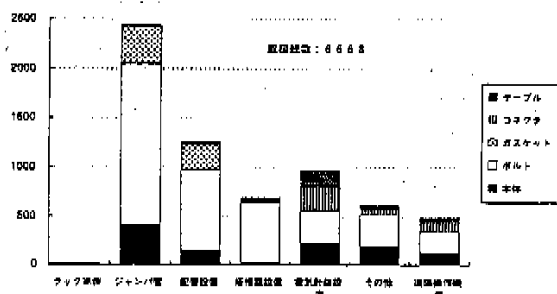


図14 遠隔操作・保守試験の取扱対象設備

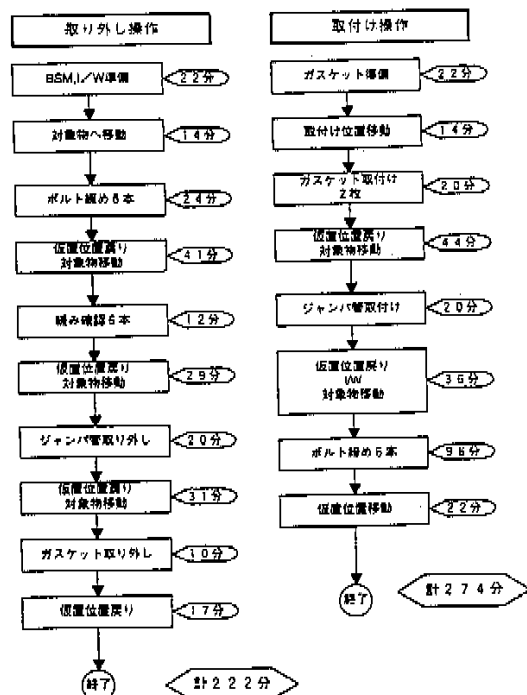


図15 ジャンパ管保守作業時間の評価

ルトの緩め、緩み確認、本体の取り外し、ガスケットの取り外しという本操作(5手順)で約1.5時間、それに伴う設置位置と置き台間の移動操作(5手順)が約2.2時間となり、全取り外し作業の所要時間は約3.7時間であった。

ジャンパ管の取り付け操作に要する時間は、本操作(4手順)が取り外しより手順が少なくて約2.6時間、移動操作が約2時間となり、全操作における所要時間は約4.6時間であった。以上の保守作業時

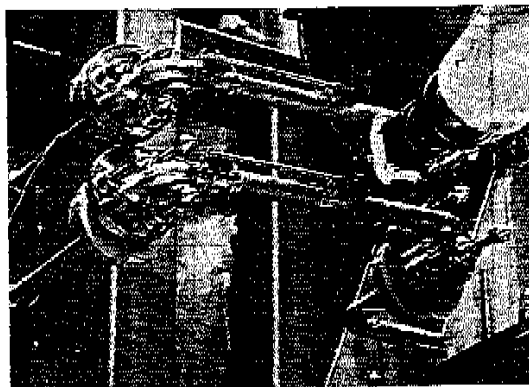


写真3 ジャンパ管保守試験



写真4 ガラス溶融炉保守試験

間を保守手順とともに図15に示す。また、ジャンパ管の取り外し状況を写真3に示す。

② ガラス溶融炉

ガラス溶融炉本体の取り外しには、付帯する保守対象設備86点の事前取り外し操作と、それに伴う設置位置と置き台間の移動操作が必要となる。これらの事前準備関連操作に要する時間は、移動操作等を含め約210時間(本作業約153時間+付属作業約57時間)であり、ガラス溶融炉本体の取り外しに約4時間を要することが確認された。ガラス溶融炉の取り外し状況を写真4に示す。

また、ガラス溶融炉本体の取り付け作業は、事前作業(約1時間)を含め約8時間であるのに対し、設備全体としての復旧には、この他に付帯設備の取り扱いに係わる作業で約254時間、事前準備および移動等に要する作業で約59時間、トータルで約313時間を要することが確認された。したがって、ガラス溶融炉の交換に要する時間は、535時間と評価される。溶融炉の取り付けに要する作業時間を手順とともに図16に示す。

ただし、この評価は保守室とのやり取りを含めた除染セル・固化セル間の搬出入作業、使用済みの治工具、取り外した設備の固化セル内保管作業等を除いた時間であることから、実際の交換ではさらに多くの時間を費やすものと予測される。

(3) 抽出された課題と対策

これらの取り扱い試験の中で抽出された課題は、対象設備の取り扱い性に係るもの、取り扱い上不可欠な映像情報の取得に係わるもの、対象設備を遠隔操作機器および治工具を介して取り扱う際の動線上の干渉に係わるもの等であった。課題の原因別の分類を対象設備ごとに図17に示す。

抽出された課題で大半を占める対象設備への寄り

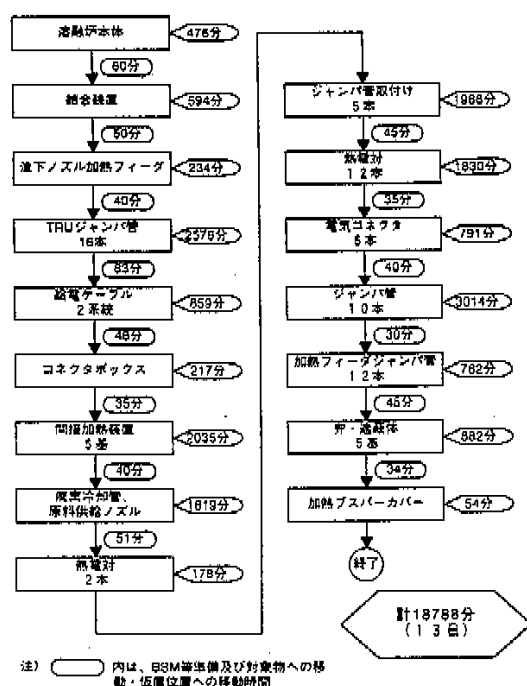


図16 溶融炉保守作業（取り付け）時間の評価

付き（アクセス）等における課題は、対象設備を取り扱う保守操作手順の一部変更、周囲設備の事前取り外し等の手順の追加、さらに取り扱い上の留意点を付加する等、ソフト的な処置によって大半を解決することができた。また、対象設備および治工具の一部改造等、ハード的な処置も施した。

試験において確認された課題でハード的な処置による改善策の代表例を以下に示す。

① ガスケットの取扱改善

遠隔操作部の気密確保に用いるガスケットは、両腕型マニプレータでその専用把手を把持して扱うが、取り外し・取り付けのアクセスにおいて干渉等が

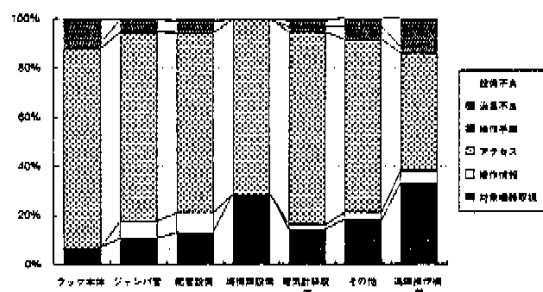


図17 遠隔操作・保守試験で抽出された課題

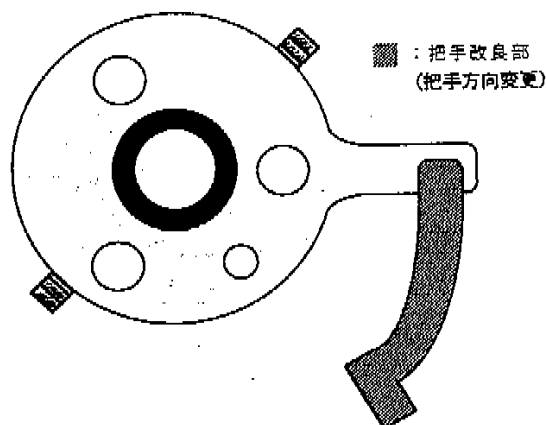


図18 ガスケットの取扱改善

発生した。この処置においては、周りの設備あるいは操作腕を変更することなく、図18に示すようにガスケット把手の長さ、方向等の変更により処置した。

② ケーブルコネクタの取扱改善

ケーブルコネクタの接続操作は、セル壁電気貫通プラグおよびセル内コネクタボックスのコネクタレセプタクルに、ケーブル側のコネクタプラグを両腕型マニプレータで把持して差し込むことによって行うが、レセプタクルの変形、ガイドピンの変形、ロック機構の損傷、およびプラグの引き抜き不可等の課題が確認された。

これらの事象は、プラグに接続するケーブルの自重および反力が影響し、プラグがレセプタクルに対し芯ずれを起こし、その状態でプラグを装着することによって生じるものと推測した。このため図19に示すように回転方向ガイドを従来のガイドピン上に

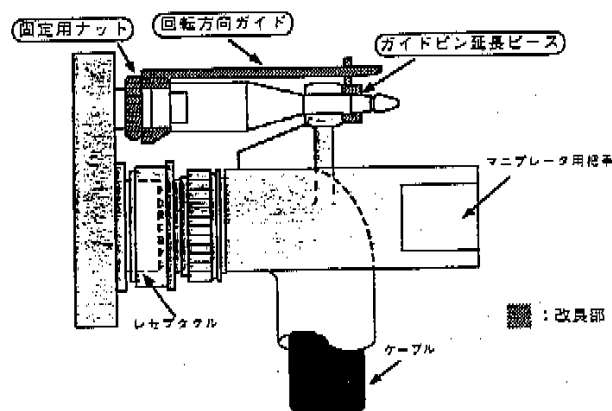


図19 ケーブルコネクタの取扱改善

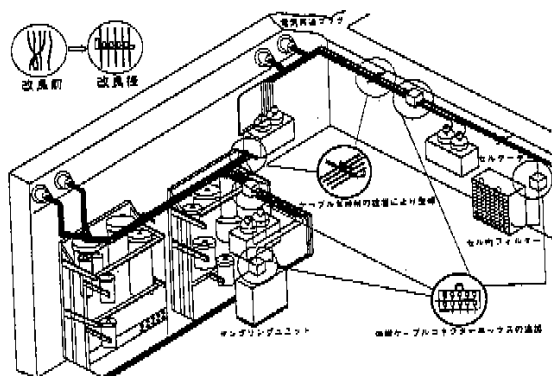


図20 セル内ケーブルの取扱改善

設け、ポスト付延長ビースを従来のガイドピン挿入孔に付加し、挿入孔が受ける面積が従来より大きくなるようにガイドピンをも改良することで、回転方向の位置ずれ防止およびガイドピン挿入時の滑り易さを図った。

これらの対策を施した取り扱い試験では、両腕型マニプレータによるスムーズな挿抜操作が可能となり、課題と同様の事象は確認されなかった。

③ ケーブルの取り扱い改善

セル内設置の熱電対、電動機、加熱器等の設備は、定期的保守時、あるいは一端故障等が発生すると10mを超える付帯ケーブルとともに取り扱うことになるため、遠隔保守操作にかなりの時間を費やすこと、および設置箇所までの布設ルートが長く、ルートが限定されることに加え設備設備の隣接等によって交差が生じ、結果としてケーブルの取り扱い性が極端に悪いことが確認された。

この対策として、図20に示すようにコネクタボックスを設備近傍に設け、接続取り合い部を極力直近とすることで、保守時の付帯ケーブルの短縮化を

図った。また、追加したコネクタボックス以降で貫通プラグまでのケーブルは、布設ルートに仕切板を設け、整線化処理を施した。

この処置によって、設備の交換等の保守が容易になるとともに保守時間が短縮され、安全性が向上した。また、この処置によりコネクタボックス以降のケーブルは、取り扱う必要がなくなることから耐放射線性ケーブルの寿命まで交換が延びるため廃棄物の発生を低減化することが可能となった。

④ ボルト噛み込みの改善

ボルトの緩め・締め操作時にインパクトレンチソケット部の噛み込み、およびボルトとナットの噛み込みが確認された。これらの形状は日本工業規格に定める対応寸法、ねじ山寸法等を満足していることから、ボルトの六角部とねじ山先端に応力が集中することが主原因と推測した。

これらの対策として、ボルトとソケットの噛み込みが、ソケットの六角部をボルトの六角部を包み込むタイプとし、ボルト六角部に生じる応力に対する逃げを図った。(図21参照) ボルトとナットの噛み込みについては、従来のボルトおよびナットに窒化処理を施し、ねじ山の表面硬度を従来の約2倍に高めるとともに、ねじ山寸法を約4%カットし台形状とした。(図22参照)

これらの対策を施すことによって、ボルトとソケットおよびナットの噛み込みは、平成5年度に実施した2回の遠隔保守試験では確認されなかった。

⑤ 保守治工具操作性の改善

両腕型マニプレータ肩部に設置されるITVカメラは、肩カメラアームと呼ばれる架台に乗せられ、その環境に応じ前後2点の移動が可能となっている。この架台を前後どちらかに移動する場合は、カウンタウエイト付バランス治具で、固定ピンを抜き、架台を移動し、固定ピンを差し込むという作業

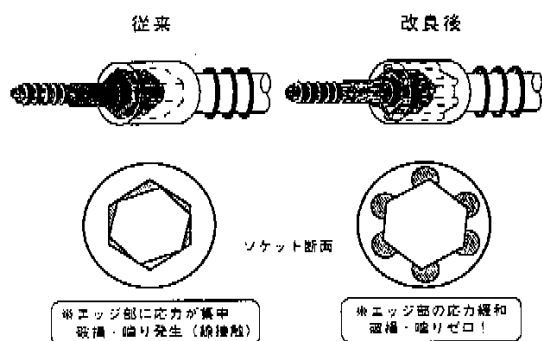


図21 インパクトレンチ噛み込みの改善

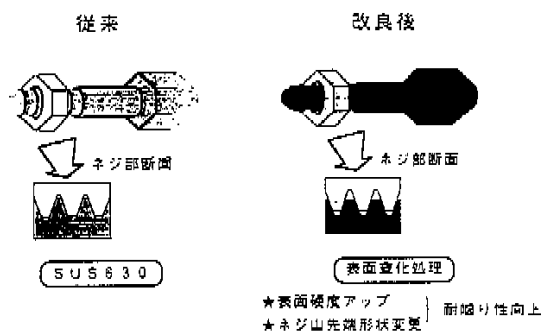


図22 ボルト噛み込みの改善

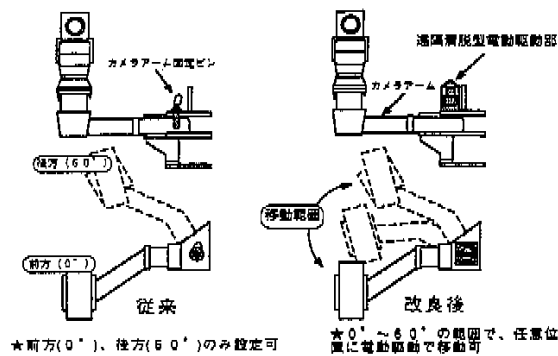


図23 両腕型マニプレータ操作性の改善

が必要になる。対象設備の配置環境によっては、情報取得および周囲設備との干渉を避けるため、この操作を1手順ごとに繰り返すことが要求され、結果的にかなりの時間を費やすことが確認された。

この対策として、図23に示すように移動が必要になる架台の電動化を図り、移動範囲(60度)を従来と変えることなく任意の位置に停止できるものとした。これにより、対象設備の取り扱い操作ごとに架台の操作を何度も繰り返す必要がなくなり、作業時間の短縮、操作性および安全性の向上が図れることとなった。

4. おわりに

固化体製造における品質管理手法の確認試験を始めとして、固化プロセス各設備・機材の性能を確認する試験を実施し、設備の基本的な性能、および廃気処理系における除染係数等の安全性に問題ないことを確認した。さらに、固化セル内に設置された遠隔保守対象全設備の取り扱い性を確認する試験を実施し、これらの試験で抽出された課題に対しては操作性、保守性を向上させる確実な改善を施した。

以上のコールド試運転を通して、実高放射性廃液を固化処理するホット試運転に確実に入れることを確認した。

最後に、本コールド試運転は、環境施設部処理第三課の管理、運転、遠隔、設備、分析グループにより実施したものである。なお、廃液の分析、および固化の評価等に多大な協力を頂いた再処理技術開発部、環境技術開発部の関係各課室に感謝するとともに、今後ともホット試運転にあたってご支援をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 本間、高道、他、「ガラス固化技術開発施設の様態」、動燃技報 NO.84, pp.35-40, (1992年12月)。
- 2) 富川、上野、他、「ガラス固化技術開発施設(TVF)の新技術の概要」、日本原子力学会 1992秋の大会 要旨集, H34, pp474, (1992)。
- 3) M. Yoshioka, T. Takahashi, "Evaluation of glass melter operation using highly simulated waste for TVF," Proc. of International Topical Meeting on the Nuclear and Hazardous Waste Management (SPECTRUM '90), Knoxville, TN, Sep.30-Oct.4, (1990)。
- 4) 市野沢、高道、他、「ガラス固化技術開発施設(TVF)の遠隔保守」、日本原子力学会 1992秋の大会 要旨集, H35, pp475, (1992)。