

再処理施設アクティブ試験におけるガラス  
固化試験結果等に係る報告について

【公開版】

2013年7月26日

日本原燃株式会社

本書の記載内容のうち、内の記載事項は  
公開制限情報に属するものであり公開できま  
せんので削除しております。

日本原燃株式会社

## 目次

はじめに	1
I. ガラス固化設備のアクティブ試験の経緯	3
1. 第4ステップにおけるガラス溶融炉の試験	3
1. 1 試験計画	3
1. 2 試験実績	5
1. 3 試験結果	5
1. 4 ガラス溶融炉の試験結果を受けた安定運転条件の検討	8
(1) 事象分析と対策	8
(2) 「安定運転条件報告」に対する保安院の確認	12
2. 第5ステップにおける「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉試験	12
2. 1 「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉の試験結果	13
(1) ガラス温度、気相温度等の安定性	13
(2) 流下性低下の判断指標	14
(3) 白金族元素堆積の判断指標	14
2. 2 ガラス溶融炉の試験結果を受けた運転方法改善の検討	14
(1) ガラス溶融炉の運転方法改善の検討	14
(2) 「改善検討結果報告」に対する保安院の確認	18
2. 3 ガラス溶融炉の運転に関連するトラブル事象	19
(1) 流下停止 (2008年7月2日)	19
(2) 天井レンガの一部損傷 (2008年12月22日)	20
2. 4 試験で得られた経験とガラス固化設備の試験として確認すべき事項	21
II. 「改善検討結果報告」に基づくガラス固化試験等の試験計画	24
1. ガラス固化試験等の試験計画	24
1. 1 作動確認の計画及び確認内容	24
1. 2 「事前確認試験」の計画及び確認内容	24
(1) 模擬廃液 (低模擬) による確認の計画及び確認内容	24
(2) 実廃液による確認の計画及び確認内容	25
1. 3 「ガラス固化試験」の計画及び確認内容	26
(1) 「ガラス固化試験」の計画及び確認内容	26
(2) 「ガラス固化試験」における廃液条件	26
2. 事前確認試験を受けた試験計画の変更	28
3. B系列の試験結果を受けたA系列の試験計画の検討	30
III. 「改善検討結果報告」に基づくガラス固化試験等の結果	31
1. 事前確認試験等	31
1. 1 B系列	31
(1) 流下確認及び作動確認	31
(2) 事前確認試験 (模擬廃液 (低模擬) による確認)	31

(3) 事前確認試験（実廃液による確認）	32
(4) 炉内観察結果	33
1. 2 A系列	33
(1) 流下確認及び作動確認	34
(2) 事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）	34
(3) 炉内観察結果	34
1. 3 事前確認試験結果に係る評価	35
(1) 模擬廃液と実廃液の違い	35
(2) 設備改善の効果	35
1. 4 事前確認試験等に関連するトラブル事象（流下性低下事象）	37
2. ガラス固化試験	39
2. 1 B系列	39
(1) 安定運転確認の確認結果	39
(2) 性能確認の確認結果	46
(3) 炉内観察結果	47
2. 2 A系列	48
(1) 安定運転確認の確認結果	48
(2) 性能確認の確認結果	49
(3) 炉内観察結果	52
3. 「改善検討結果報告」に示した改善の効果に対する評価	52
IV. まとめ	55

#### 参考資料

- (1) ガラス溶融炉アクティブ試験に係る実績工程
- (2) ガラス溶融炉アクティブ試験に係る経緯
- (3) 流下停止事象の原因究明及び対策の検討
- (4) 天井レンガの一部損傷事象の原因究明及び対策の検討
- (5) 流下性低下事象の原因究明及び対策の検討
- (6) ガラス溶融炉の構造、機器名称
- (7) ガラス溶融炉の運転方法
- (8) 白金族元素管理のための指標類
- (9) 用語集

## はじめに

「再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉運転方法の改善検討結果について」について（2010年12月10日付 旧原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。））において、「今後の当院の対応」として、以下のよう  
に記されている。

『高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査（処理能力に関する性能検査）を実施する前に、ガラス溶融炉運転性能確認試験等の結果について報告を受け、その内容を確認していく。』

本報告書は、上記に係る対応として、2012年6月から2013年5月までの間に実施した高レベル廃液ガラス固化設備の事前確認試験及びガラス固化試験の結果等を取りまとめたものである。

また、ガラス固化設備のアクティブ試験は、アクティブ試験第4ステップ期間中の2007年11月4日に開始して以降、追加的な検討などを含め長期に亘り試験を行ってきた経緯があり、本報告書では、これらの経緯についても併せて取りまとめた。

### 【ガラス固化設備のアクティブ試験に係る主な経緯】

- ▶ 六ヶ所再処理工場のガラス固化設備のアクティブ試験は2006年3月から開始し、第1から第5の5つのステップで段階的に試験を行ってきており、ガラス固化設備のアクティブ試験は、試験に必要な高レベル廃液の貯留後、第4ステップから開始した。

#### （アクティブ試験第4ステップ（以下、「第4ステップ」という。））

- ▶ 2007年11月4日にガラス溶融炉の試験を開始し、当初計画した「ガラス溶融炉運転性能確認試験」と「処理能力確認試験」を実施したが、安定した運転状態を定常的に形成することが難しく、追加的なデータ取得も行ったものの、白金族元素が炉底部に沈降・堆積し、運転継続が困難な状態になり、2008年1月18日に試験を中断した。
- ▶ これらの試験結果を取りまとめ保安院に報告したところ、「白金族元素の影響を考慮し、管理された運転状態が維持されていること」について、具体性がなく十分ではないとの指摘を受け、さらに必要な運転方法について具体化を図り報告するよう求められた。
- ▶ 保安院の指示を踏まえ、ガラス溶融炉の安定運転条件に係る検討を行い、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化設備の安定運転条件検討結果報告」（以下、「安定運転条件報告」という。）として取りまとめ保安院に2008年6月11日報告し、核燃料サイクル安全小委員会等での審議を経て、妥当であるとの評価を受けた。

**(アクティブ試験第5ステップ (以下、「第5ステップ」という。))**

- 「安定運転条件報告」に基づき、安定運転の確認を行うことを目的として、ガラス固化設備のアクティブ試験を2008年7月1日に再開した直後に、流下ガラスが流下ノズル下端で固まり、流路を塞ぐ「流下停止事象」が発生した(2008年7月2日)ため、再度ガラス固化設備のアクティブ試験を中断した。
- 流下停止事象に対する原因究明及び再発防止対策の検討を行い、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉におけるガラスの流下停止について(最終報告)」として保安院に2008年10月8日報告し、核燃料サイクル安全小委員会等での審議を経て、妥当であるとの評価を受けた。
- 流下停止事象に係る対応が終了したことを受け、2008年10月10日からガラス溶融固化設備のアクティブ試験を再開した。
- 再開後のアクティブ試験では、2008年10月26日までに27バッチのガラス固化体を製造し、22バッチ目までは不溶解残渣廃液を含まない廃液をガラス溶融炉に供給して運転を行い、それ以降は不溶解残渣廃液を含む廃液をガラス溶融炉に供給して運転を行った。
- 不溶解残渣廃液を含まない廃液を用いた運転では、一定の安定運転の確認を行うことが出来たが、不溶解残渣廃液を含む廃液による運転を開始した以降に白金族元素が炉底部に沈降、堆積し、流下性が低下したことから、洗浄運転等により運転状態の回復を図ったものの、廃液供給を再開するための条件を満足することができず、試験を中断した。
- 上記結果を踏まえ、再度ガラス溶融炉の運転条件について、実規模大モックアップ設備(KMOC)での試験等を行うことにより検討し、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉運転方法の改善検討結果について」(以下、「改善検討結果報告」という。)として取りまとめ保安院に2010年7月15日(同年8月23日及び11月1日改正)報告し、核燃料サイクル安全小委員会等での審議を経て、妥当であるとの評価を受けた。
- 「改善検討結果報告」に基づきガラス固化設備のアクティブ試験を2012年6月18日に再開し、事前確認試験及びガラス固化試験を実施した(2013年5月26日終了)。

I. ガラス固化設備のアクティブ試験の経緯  
 1. 第4ステップにおけるガラス溶融炉の試験  
 1. 1 試験計画

(1) 試験内容

ガラス固化設備のアクティブ試験については、「**アクティブ試験計画書(2005年12月21日)**」において、以下の2つの試験を計画した。

- ・「**ガラス溶融炉運転性能確認試験**」
- ・「**処理能力確認試験**」

「**ガラス溶融炉運転性能確認試験**」については、高レベル廃液等を用いて連続して運転ができること、「**処理能力確認試験**」については、事業指定申請書等に記載したガラス溶融炉の最大処理能力(70L/h)以上の処理量で運転できることを確認することとした。

試験項目	確認事項	判定基準
ガラス溶融炉運転性能確認試験	高レベル廃液を用いたガラス固化運転が連続して実施できること	5日間連続でガラス溶融炉の運転ができること (ただし、付属機器や他工程のトラブル、分析結果の遅延等に起因する停止期間は運転時間から控除する)
処理能力確認試験	ガラス溶融炉が所定の処理能力以上で処理できること	再処理事業指定申請書記載値であるガラス溶融炉の最大処理能力70L/hを上回る処理能力があること

「**ガラス溶融炉運転性能確認試験**」において、連続した運転を行うために、これまでの先行施設の実績、モックアップ試験及び化学試験(以下、「化学試験等」という。)での実績を踏まえて、

- ・ 主電極電力、間接加熱装置電力の調整によりガラス温度を1100℃以上とする
- ・ 白金族元素のガラス溶融炉内での沈降・堆積を抑制するため、ガラス溶融炉底部をガラス溶融炉上部よりも低温に維持することを考慮した運転条件を設定した。

また、白金族元素の堆積が発生していることを判断するための指標を定め、指標に達した場合には洗浄運転等を行うこととした。

これにより、白金族元素の影響を考慮し、管理された運転状態が維持できると考えた。

「**処理能力確認試験**」の判定基準である70L/h以上の処理量の確認については、「**ガラス溶融炉運転性能確認試験**」での連続した運転が実施できれば達成可能なものであると考えた。

## (2) 処理能力 70L/h の位置付け

「**処理能力確認試験**」で確認するガラス溶融炉の最大処理能力 70L/h は、事業指定申請書に廃棄施設の処理能力として記載されている。

事業指定申請書には、ガラス溶融炉の処理能力以外に、廃棄施設の処理能力として、気体廃棄物の放出放射エネルギーなど環境に放出される放射性物質の一般公衆への影響に係る記載があるが、ガラス溶融炉の処理能力については、再処理施設の主要な工程に設備の生産能力として通常処理量の 1.2 倍の能力として設定している最大処理能力のひとつであり、放出放射エネルギーと異なり、施設の安全性に関連する事項ではなく、設備の生産能力として記載されている項目である。

なお、ガラス溶融炉の処理能力に係る確認が安全性に関係しないものであることは、2008 年 3 月 7 日に行われた原子力安全委員会 再処理施設安全調査プロジェクトチーム（第 20 回会合）における保安院サイクル規制課長の以下の発言からも確認できる。

「そもそもこの性能検査そのものは、必ずしも規制上は安全にかかわるものだけではなくて、例えば廃棄能力の確認ということ。これは、施設を動かす上で所定の廃棄能力を持っていなければならないということで、そのガラス固化という形で廃棄能力をきちんと持って施設を動かすということで行なわれる試験という部分もございますので、安全以外の部分も含まれております。」

## (3) 処理能力の確認方法

「**処理能力確認試験**」における処理能力の確認方法については、

- ・ガラス固化施設は、上流工程からの溶液を連続的に処理する前処理、分離、精製施設とは異なり、複数の上流設備から受けた溶液を中和、混合などの処理を行った後にガラス溶融炉で処理することから、容量の大きな貯槽をもっている。そのため、ガラス固化施設は、その貯槽で上流工程との運転調整を行う設計であり、ガラス溶融炉としては、最大処理量で運転を継続しながら運転調整を行うことよりも、安定的に通常処理量で運転を継続して行うことの方が再処理施設の運転管理としては重要となる
- ・原子炉等規制法は、事業規制を含む電気事業法と異なり安全規制であり、再処理工場の再処理能力を規制するものではない（年間 800 トンの処理能力を有していることは安全審査等で確認されていない）

ことを踏まえた上で、最大処理能力である 70L/h で連続的に処理を行えることを要求するものではなく、最大処理能力での運転 1 時間で処理量確認を行うことにより設計で設定した最大処理能力を有していることを確認できればよいと評価できる。

なお、他の廃棄物処理施設（低レベル廃液処理、低レベル廃棄物処理）についても同様な考え方であり、過去に実施した処理能力の確認試験においても、最大処理能力による連続的な運転を確認するのではなく、最大処理能力での運転1時間で処理量確認を行い、設計で設定した最大処理能力で運転ができることを確認している。

## 1. 2 試験実績

2007年11月4日から高レベル廃液等の供給を開始し、2008年1月18日までの期間において試験等を実施した。

第4ステップでせん断した燃焼度の高いPWR燃料約100トン进行处理することにより発生した高レベル廃液等を用いてガラス固化体の製造を行い、60体のガラス固化体を製造した。(図-I. 1. 2. 1 第4ステップにおけるガラス溶融炉試験実績工程)

高レベル廃液ガラス固化設備のガラス溶融炉A系列（以下、「A系列」という。）の「ガラス溶融炉運転性能確認試験」から開始し、その後、「処理能力確認試験」を行い、順次データ取得を行ったが、ガラス温度が安定しないなどの状況が確認され、長期的に安定した運転が実施できる状態ではなかったことから、追加データ取得を行った。追加データ取得では、数バッチの運転を行ったが、白金族元素が炉底部に堆積する状況が確認され、流下速度が上がらず流下不調が発生したことから試験を中断した。

## 1. 3 試験結果

A系列において、高レベル廃液等を用いて下記の試験及び追加データ取得を行った。その結果を以下に示す。

### ①ガラス溶融炉運転性能確認試験

### ②処理能力確認試験

#### ①ガラス溶融炉運転性能確認試験

6.5日間の連続運転を行い、合計10バッチの運転で10体のガラス固化体を製造した。

運転初期は、ガラス温度が十分に上がらない状態が見られた。これは、仮焼層の形成が不十分な状態であったためと考えられる。

また、この際、通常の流下ガラスよりも粘性の低い低粘性流体が発生したことから、低粘性流体の発生を抑えることを目的として、ガラス温度等の調整を行うために主電極電力、間接装置電力調整を頻繁に行った。これも、ガラス温度等が安定しない状態となった要因であった。(図-I. 1.

#### 3. 1 第4ステップにおけるガラス温度等の推移)

## ②処理能力確認試験

8 バッチの運転を行い、ガラス溶融炉への高レベル廃液の供給速度として最大 73.7L/h で運転ができ、判定基準である 70L/h を上回る処理能力があることを確認した。

6 バッチ目において流下ガラスの偏流が発生したことから、流下を停止するとともに、原料供給を停止した。この影響で、ガラス温度が下がるなど運転状態が悪化した。

## ③追加的なデータ取得

「ガラス溶融炉運転性能確認試験」、「処理能力確認試験」では、化学試験等の実績をもとに、ガラス温度、気相温度等が安定した状態を維持するように、主電極電力と間接加熱装置電力によって調整を行ってきたが、当初期待したガラス温度等が安定した状態に至らなかったため、追加データ取得を行うこととした。

追加データ取得においては、12 本のガラス固化体を製造し、以下の結果が得られた。(図-I. 1. 3. 2 第 4 ステップにおける追加データ取得でのガラス温度等の推移)

- 追加データ取得を開始した当初、ガラス温度、コモン温度は安定した状態に制御できたが、その後、溶接機の故障によりシャットダウン運転（高レベル廃液の供給を停止し、ガラス溶融炉に溶融ガラスを保持した状態にする運転）に移行した。なお、シャットダウンへの移行に際して、炉内の白金族元素保有量を低減させるため数本分のガラスの抜き出しを行った。
- 溶接機復旧後、炉内状態を改善するために炉底攪拌を実施し、廃液供給を再開して、3 バッチの立上げ調整運転に引き続き、連続的に 4 バッチの運転を行い、ガラス溶融炉でのガラス温度、コモン温度及び気相温度を目標範囲に制御することができた。
- 追加データ取得の 12 バッチ目では炉底部に白金族元素が堆積した影響により流下速度が上昇しない状況が確認された。ガラス溶融炉内の白金族元素を低減させるためのガラスの抜き出しを行い、その後、模擬ガラスをガラス溶融炉へ供給する洗浄運転を実施したが、回復傾向が見られなかった。このため、ガラス溶融炉内の溶融ガラス抜き出し操作を行った。

上記の結果をまとめると、以下のとおりである。

- 第 4 ステップで使用した高レベル廃液は、仮焼層が形成しにくく、運転状態の変化により仮焼層が溶融しやすい状況であったが、これは化学試験等における模擬廃液（低模擬）に類似する挙動であり、化学試験等の模擬廃液（高模擬）を元に設計した主電極電力と間接加熱装置

電力の調整による運転方法が、廃液に合った運転方法ではなかった。

- ・白金族元素の沈降を抑制するための炉底低温運転については、当初計画したとおり実施できたものの、偏流の発生による炉内状態の変動等により、炉底部の状況が改善を要する状態になっていたことから、白金族元素の影響を考慮し、管理された運転状態を維持できるまでには至らなかった。

上記の試験結果を受け、ガラス溶融炉の運転における「白金族元素の影響を考慮し、管理された状態で維持する」ための以下の管理方法まとめるとともに、これを具体化しガラス溶融炉の安定運転条件に係る検討を行う旨を取りまとめ「**高レベル廃液ガラス固化設備第4ステップ試験状況報告**」として2008年2月4日に保安院へ報告した。

- ①安定した仮焼層を形成し、ガラス温度及び気相温度を指すべき領域に維持した運転（白金族元素の急激な沈降・堆積を抑制する）を実施する
- ②炉底部の低温管理を実施する
- ③白金族元素の沈降状況を管理するため、以下のデータを監視する
  - ・主電極-底部電極間抵抗
  - ・補助電極間抵抗
  - ・補助電極-底部電極間抵抗
  - ・底部電極温度の昇温量に対する炉底温度①温度計（底部電極と補助電極の間に設置した温度計）の昇温量の比
  - ・所定の流下速度への到達時間
- ④上記の運転データの推移から炉内状況が悪化する前に早期に炉底攪拌や洗浄運転などの措置を実施する
- ⑤炉底攪拌実施前には、溶融ガラスの抜き出しを行うことにより炉内の白金族元素保有量を低減する

「**高レベル廃液ガラス固化設備第4ステップ試験状況報告**」に対し、2008年2月14日に保安院から「**再処理施設アクティブ試験（使用済燃料による総合試験）第4ステップにおける高レベル廃液ガラス固化設備の試験状況報告**」について」として、以下の通り指示を受けた。

- (1) ガラス溶融炉の点検及び内部残留物に関する分析等が実施された上で、ガラス溶融炉運転性能確認試験等を再開するための運転方法について具体化を図ること。
- (2) 高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査（処理能力に関する性能検査）を実施する前に、再開後のガラス溶融炉運転性能確認試験等の結果について報告すること。

## 1. 4 ガラス溶融炉の試験結果を受けた安定運転条件の検討

ガラス溶融炉の安定運転条件の検討としては、第4ステップで得られた運転データの評価を行うとともに、ガラス温度が安定しなかったことなどに対する原因究明を行い、安定した運転状態を維持するために必要な対応策をまとめた。

### (1) 事象分析と対策

#### 1) アクティブ試験で観察された事象の原因分析

第4ステップのガラス溶融炉の試験において、ガラス温度が安定しなかったこと、白金族元素が炉底部に沈降・堆積したことに対する原因究明を行うに際し、検討すべき対象を明確にするため観察された事象の分析を行った。アクティブ試験の全運転期間を対象として、運転において重要なパラメータであるガラス温度等の溶融炉の状態変化に係る事象（以下、「**運転条件事象**」という。）と流下ガラスの偏流などの発生事象（以下、「**運転発生事象**」という。）の二つに分けて分析を行った。（図-I. 1. 4. 1 アクティブ試験で観察された事象の原因分析）

「**運転条件事象**」については、ガラス温度、気相温度、流下時間、炉底部加熱時間、主電極 - 底部電極間抵抗値等について過去のデータ、運転目標と比較し、観察事象を抽出し、抽出された観察事象に対する推定原因の抽出・絞込みを実施し、原因事象を特定し、その結果、要求事項を達成できなかった原因として、以下の2事象が抽出された。

- (I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった。
- (II) 白金族元素が沈降・堆積した。

「**運転発生事象**」については、「**運転条件事象**」との因果関係も踏まえ、必要に応じて要因分析及び対策の検討を行った結果、「**運転発生事象**」のうち「偏流、糸状ガラス、盛り上がりの発生」については、「**運転条件事象**」のうち「流下性の低下」などとの間に因果関係があると考えられ、「低粘性流体の発生」については、「**運転条件事象**」のうち「ガラス温度低」や「流下性の低下」などとの直接的な因果関係は認められないものの、運転員の負荷低減や安定した廃液供給の継続という観点から、低粘性流体の発生事象に対し改善することとした。

#### 2) 原因事象に対する要因の分析

原因事象に対し、アクティブ試験での運転データと過去のデータの比較等により要因分析を実施し、アクティブ試験で安定運転が行えなかった要因を分析した。さらに、これを補足するため、解析評価やコールド試験の結果を参考として要因の絞込みを行った。

要因分析の結果、原因事象に対する要因を以下のとおり評価した。

- 「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことの要因
  - ・ 仮焼層における崩壊熱の影響
  - ・ 廃液中に含まれる硫黄などの微量成分の影響
  - ・ 廃液中の廃棄物濃度の影響
  - ・ 主電極間通電と間接加熱装置による電力投入バランスの影響
- 「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した」ことの要因
  - ・ 白金族元素の炉内保持状態での炉底高温運転
  - ・ 白金族元素の炉内保持状態での長時間保持
  - ・ 炉底部の改善措置が不十分な状態での廃液供給の再開
  - ・ 仮焼層の溶け込み
  - ・ 溶融ガラス温度の変動

### 3) 要因に対する対策の検討

要因に対する対策について、「**安定した運転状態を維持するための対策**」と「**長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策**」の項目に分類し検討した。

「**安定した運転状態を維持するための対策**」としては、安定した仮焼層を形成することであり、これにより白金族元素の急激な沈降を抑制する効果も得られることから、「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」及び「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した要因」への対策を検討することによって安定した運転状態を維持することが可能と考えた。

「**長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策**」は、白金族元素の沈降・堆積を抑制するための管理を適切に行うことであり、「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した要因」への対策を検討することによって長期的に運転状態を維持することが可能と考える。

「**安定した運転状態を維持するための対策**」としては、「廃液調整」「廃液供給速度の上昇」「投入電力条件の調整」を行うこととした。

「**長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策**」としては、「回復運転方法の改善」（白金族元素による影響が顕著となる前に回復運転に移行、効果的な回復運転方法を実施）、「保持運転方法の検討」（設備の異常等で流下が出来ない状況に至った場合などに白金族元素の沈降、堆積を可能な限り抑える管理を実施）を行うこととした。

また、低粘性流体の発生についても要因分析を行い、その要因が「(I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことの要因ともなっていることが確認されたことから、仮焼層の安定した形成を行うことで低粘性流体の発生を抑制できると考えた。

上記検討結果の今後の試験に対する具体化として、「安定した運転状態を維持するための対策」については、具体的な廃液調整方法などを決定し、「長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策」については、回復運転への移行判断フローの改訂などを実施することとした。

項目	具体的な運転方法
廃液調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 模擬廃液（低模擬）をベースとした調整液を添加することにより、コールド試験で実績のある濃度と同等に調整する。</li> <li>・ 仮焼層形成を促進するため廃液供給速度をアクティブ試験当初に設定した値よりも高く設定する。</li> </ul>
廃液供給速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 仮焼層形成を促進するため廃液供給速度をアクティブ試験当初に設定した値よりも高く設定する。</li> </ul>
投入電力調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アクティブ試験結果及び「熱バランス計算」により投入電力を設定する。</li> </ul>
回復運転への移行判断フロー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回復運転への移行のための指標などを追加した回復運転への移行判断フローを用いた運転を行う。</li> </ul> <p>※回復運転への移行判断フローでは、白金族元素がガラス熔融炉底部に沈降・堆積した兆候を把握するための各指標（流下性、白金族元素堆積指標）に対して、洗浄運転に移行する基準を設定するとともに、洗浄運転への移行判断を行う条件を示した。</p>
回復運転フロー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 状況に応じた回復運転方法を定めた回復運転フローを用いた運転を行う。</li> </ul> <p>※回復運転フローでは、回復運転の方法である洗浄運転、直棒等による白金族元素の抜き出し操作等の実施順序等を示した。</p>
廃液供給停止が必要な事象発生時の対応（保持運転）フロー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設定時間を超えた場合の措置などを定めた廃液供給停止が必要な事象発生時の対応（保持運転）フローを用いた運転を行う。</li> </ul> <p>※保持運転フローでは、水供給保持運転、低温保持運転などの廃液供給ができなくなった場合にガラス熔融炉内の状態を悪化させないための手順を示した。</p>

上記検討結果を「**安定運転条件報告**」として取りまとめ、2008年6月11日に保安院に報告した。

また、「**安定運転条件報告**」の中で安定運転を実施するための運転条件に基づき、ガラス溶融炉の安定運転を確認するため、ガラス溶融炉の試験として、①ガラス溶融炉（A系列）で「安定した運転状態の維持」及び「白金族元素の影響を緩和するための管理された運転状態の維持」に関する確認を実施し、次に②ガラス溶融炉（B系列）での「**ガラス溶融炉運転性能確認試験**」及び「**処理能力確認試験**」を実施する計画を示した。

①のうち、「安定した運転状態の維持」の確認についてはコールド試験の実績、熱バランス計算や溶融炉解析の結果及び前回のアクティブ試験の実績を踏まえ 10 バッチ程度で確認することとする。

上述の運転において、回復運転への移行判断フローや回復運転フローに従って回復運転を行った場合は、改善効果を確認することで、「白金族元素の影響を考慮し、管理された運転状態の維持」の確認を行う。

回復運転後の確認は、コールド試験の実績及び熱バランス計算や溶融炉解析の結果に基づき回復後に 6 バッチ程度の運転により行う。

連続バッチ処理ができた場合は、回復運転への移行判断フローで設定した判断指標を確認しながら洗浄運転へ移行し改善傾向を確認した後、6 バッチ程度の運転を行う。また、連続バッチ処理する間に回復運転に移行する場合は、回復運転フローに従い回復運転を実施し改善効果の確認を行った後、6 バッチ程度の運転を行う。

上記試験計画で、バッチ数を程度と示しているのは、安定運転に対して重要な以下の要素を確実に実施するためである。

- ・ガラス溶融炉の安定運転とは、ガラス溶融炉のガラス温度等が安定した状態を維持すること、白金族元素を管理された状態で運転することであるが、最も重要なのは、目標とする範囲を把握するための指標を定めるとともに指標を外れた場合にそれを回復する手段を講じて目標の範囲に戻すことができることである。
- ・バッチ数を重ねることも長期的な運転としては必要であるが、バッチ数に捉われず、上記の指標を押さえ、運転状態の回復が必要な場合に適切に回復を行うことが重要である。

⇒10 バッチ程度とは、10 バッチを確実に実施することが目的ではなく、10 バッチの中で洗浄運転等の回復措置が必要と判断したら、洗浄運転に移行することが重要ということ。

## (2) 「安定運転条件報告」に対する保安院の確認

2008年6月11日の当社「安定運転条件報告」に対する保安院の評価は、2008年6月30日に以下の主旨で提示された。

- ・ ガラス溶融炉の安定運転の運転指標として、ガラス温度及び気相温度に係る運転目標範囲の設定がなされ、当該運転目標の実現を図るための運転方法として、熱バランス計算を用いて実際の廃液条件における投入電力条件を設定する手順、廃液の調整方法、廃液供給速度の上昇などについて、具体化が図られた。
- ・ また、白金族元素の沈降が進展し、炉内状況が悪化した場合などに行う回復運転の方法を定めるとともに、当該回復運転実施の判断や炉内状況の把握に資するため、流下性に係る指標、白金族元素の堆積に係る指標の設定又は改訂が行われ、それらの具体化も図られた。さらに、関連設備の停止などによりガラス溶融炉への廃液供給を停止させる必要が生じた場合（保持運転）における運転方法についても具体化が図られた。
- ・ 今後、以下の対応を図ることとする。
  - ①高レベル廃液ガラス固化設備の試験運転（A系統）を実施し、「**安定運転条件報告**」に示す運転方法により、「安定した運転状態の維持」について、同報告に示された対策の妥当性を含めて技術的見地から十分な確認が得られた段階で、その結果について事業者より報告を受ける。また、「長期に運転状態を維持」については、同報告に示された回復運転への移行判断フロー（流下性低下の判断指標、白金族元素堆積の判断指標）及び回復運転フロー（改善効果の判断指標）を踏まえて試験運転を実施し、技術的見地から十分な確認が得られた段階で、その結果について事業者より報告を受ける。
  - ②上記①の報告を受け、当該報告の内容についてサイクル小委等有識者からの意見も聴取しつつ確認を行う。
  - ③上記の確認が得られた後、A系統について使用前検査を開始するとともに、B系統について上記①と同様の報告を受ける。
  - ④B系統について上記③の報告内容がA系統において確認されたものと同様と認められる場合には、B系統について使用前検査を開始する。

## 2. 第5ステップにおける「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉試験

「安定運転条件報告」に基づき、2008年7月2日にガラス溶融炉の試験を再開したが、「流下停止事象」が発生し、試験を再度中断した。

その後、流下停止事象に対する原因究明及び対策の検討を行い、2008年10月10日から試験を再開し、10月26日までに27バッチ（洗浄運転で製造した4バッチを含む）のガラス固化体を製造した。（図-I. 2. 1 第5ステップにおける安定運転条件報告に基づくガラス溶融炉試験の実績工程）

## 2. 1 「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉の試験結果

「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉の試験として、22 バッチ目までは不溶解残渣廃液を混合しない廃液を用いて、23 バッチ目以降は不溶解残渣廃液を混合した廃液を用いて運転データの取得を行った。

アクティブ試験で不溶解残渣廃液を混合した廃液をガラス溶融炉に供給したのは、本試験が最初であった。

「安定した運転状態の維持」の確認として、ガラス温度及び気相温度並びに流下性低下の判断指標及び白金族元素堆積の判断指標の推移を評価した。

ガラス温度、気相温度等が安定した状態を維持でき、また流下性低下の判断指標や白金族元素堆積の判断指標が安定した値で推移する状態を15バッチ程度維持できた。

14 バッチ目に発生した偏流対応の影響により回復運転に移行する判断基準に達したことから、模擬ガラスビーズによる洗浄運転を行い、運転状態を回復した後、廃液供給を再開した。

不溶解残渣廃液を混合した廃液を供給した23バッチ目以降の運転において、ガラス温度等が上昇傾向を示し、流下性（流下速度50kg/h到達時間及び流下速度100kg/h到達時間）や白金族元素堆積指標といった白金族元素が炉底部に沈降、堆積したことを示す指標が回復運転に移行する判断基準に達したことから、回復運転に移行した。

しかしながら、回復運転により、運転状態が回復することができず、さらには、かくはん棒が曲がった可能性が確認されたため、試験を中断した。その後、炉内観察を行った結果、かくはん棒の曲がり及び天井レンガの一部損傷が確認された。天井レンガの損傷については、「2. 3 ガラス溶融炉の運転に関連するトラブル事象」に示す。

「安定運転条件報告」に基づくガラス溶融炉の試験の結果の詳細を以下に示す。

### (1) ガラス温度、気相温度等の安定性

- ・ ガラス溶融炉運転の安定性を示すガラス温度、気相温度及びコモン温度は、立上げ時を除き3バッチ目から14バッチ目まで非常に安定した値を示した。（図-I. 2. 1. 1 安定運転条件報告に基づくガラス溶融炉試験におけるガラス温度等の推移）
- ・ 第4ステップ及びKMOC試験でのガラス温度等の推移と比較すると、第4ステップよりも安定しており、KMOC試験と同程度で安定して推移した。
- ・ 14バッチ目で偏流が発生したため緊急流下停止を実施し、廃液供給及び間接加熱装置を一時停止した。偏流発生の原因は、ガラス固化体重量測定値が急上昇し、流下自動制御機能で高周波加熱電力が低下したためである。

- ・14 バッチ目で発生した偏流事象の影響により、15 バッチ目のガラス温度、気相温度及びコモン温度の変動が見られた。
- ・23 バッチ目以降の運転において気相温度は安定して推移していたが、ガラス温度、コモン温度が上昇傾向を示した。

## (2) 流下性低下の判断指標

- ・運転を開始してから 14 バッチ目までは、流下速度 50kg/h 到達時間及び流下速度 100kg/h 到達時間ともに、「洗浄運転」の基準値に至ることなく運転が継続できた。(図-I. 2. 1. 2 安定運転条件報告に基づくガラス溶融炉試験における流下性指標の推移)
- ・14 バッチ目に偏流対応として緊急流下停止等を実施したことにより、15 バッチ目において、仮焼層中の白金族元素が溶け込み、ガラス溶融炉内の白金族元素の沈降が促進された。その影響で、流下速度 50kg/h 到達時間及び流下速度 100kg/h 到達時間が「洗浄運転」の基準値に達した(「洗浄運転」に該当する項目が2つとなり、回復運転へ移行)。
- ・27 バッチ目で、仮焼層の形成が促進され、ガラス温度及びコモン温度が上昇した影響により、流下速度 50kg/h 到達時間及び流下速度 100kg/h 到達時間が「洗浄運転」の基準値に達し、回復運転へ移行する判断基準に達したことから、回復運転に移行した。

## (3) 白金族元素堆積の判断指標

- ・23 バッチ目までの運転では、いずれの判断指標も、全ての運転バッチを通して「洗浄運転」の基準値には達しなかった。(図-I. 2. 1. 3 安定運転条件報告に基づくガラス溶融炉試験における白金族元素堆積指標等の推移)
- ・24 バッチ目から 26 バッチ目にかけて、白金族元素堆積指標が低下し、27 バッチ目で、白金族元素堆積指標が「洗浄運転」の基準値を下回ったことから回復運転に移行した。

## 2. 2 ガラス溶融炉の試験結果を受けた運転方法改善の検討

### (1) ガラス溶融炉の運転方法改善の検討

第 5 ステップにおける安定運転条件報告に基づくガラス溶融炉試験結果を踏まえ、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降の流下性悪化状況の評価、原因究明、対策の検討及びこれらを踏まえた試験計画について検討を行い、その結果を「改善検討結果報告」として取りまとめ、2010 年 7 月 15 日(同年 8 月 23 日及び 11 月 1 日改正)に保安院に報告した。

以下に「改善検討結果報告」の内容を示す。

## 1) 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降の流下性悪化状況

第5ステップにおいて確認された運転データから不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降に流下性が悪くなった要因として、「流下ノズルの加熱性低下」、「ガラス温度計指示値の変動」、「炉底部の温度」、「不溶解残渣廃液の影響」等を抽出し、KMOC試験結果に基づく評価を行った。

その結果、第5ステップにおいて不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降における炉内状況の変化等を以下のとおり推定した。(図-I. 2. 2.

### 1 不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降における炉内状況の変化等の推定)

- ①流下停止事象を受け流下ノズル加熱性確保のため、底部電極の設定温度を上げることとした。
- ②底部電極温度を設定温度に上げるために主電極－底部電極間加熱時間を延ばす措置を講じ、その影響で炉底温度が上昇した。
- ③主電極－底部電極間加熱時間を緩和するために主電極－底部電極間電流値を上げる措置を行ったが、徐々に底部電極温度を設定温度に上げるために必要な加熱時間が長くなった。
- ④その結果、炉底温度が高い状態が継続した。
- ⑤炉底温度が高いこと及び初期流下性が悪いことで白金族元素が炉底部に徐々に沈降・堆積した。
- ⑥16 バッチ目から模擬ガラスビーズによる洗浄運転を行い、判断指標は回復した。
- ⑦不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降、不溶解残渣廃液及びDBP（リン酸二ブチル）の影響（特にDBPの影響）により仮焼層の状態が変化し、ガラス温度及びコモン温度が上昇した（ガラス温度計は有意な温度上昇を示していなかった）。
- ⑧この時点で、炉内温度変化に応じた電力調整が適切に行われなかったため、炉底部に白金族元素が沈降・堆積した。
- ⑨その結果、流下性低下及び白金族元素堆積の判断指標が悪化した。

①から⑨までのガラス溶融炉の運転状況の変化を考えると、⑥において行った洗浄運転では、炉底部の白金族元素が十分に抜き出しきれなかった可能性も考えられる。

## 2) 推定される原因

不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降に流下性が低下した原因は、「炉内の温度状態に変化が生じた際に、その変化に適した電力調整が適切に行われなかった」ことであると推定した。

電力調整が適切に行われなかったと評価した理由としては、

- ・ KMOC試験で不溶解残渣模擬廃液及びDBPを含む模擬廃液（高模擬）

を供給した際に、第5ステップと同様な温度上昇傾向が確認されたこと

- ・ 温度上昇傾向が確認された際にKMOC試験では電力調整により温度をもとの状態に復帰させることができたこと
- ・ KMOC試験での電力調整量と第5ステップにおいて流下性が低下した際の電力調整量を比較すると、第5ステップの方が小さいこと

である。

また、電力調整が適切に行われなかったのは、  
「炉内の温度状態を把握するための指標と考えていたガラス温度計の位置が適切な測定位置ではなく、仮焼層の状態に影響を受け指示値の変動が大きかった」  
ことが影響したものと考えており、以下の理由からガラス温度計の位置が適切な位置ではなかったと評価した。

- ・ KMOC試験において、実機のガラス温度計よりも下の位置にある温度計の指示値や推定ガラス温度との値の違いが確認された
- ・ 第5ステップのガラス温度計指示値の推移と推定ガラス温度の推移とを比較すると、ガラス温度計指示値はほとんど上昇傾向を示していないのに推定ガラス温度は上昇傾向を示しており、コモン温度も上昇傾向を示している

なお、KMOC試験でも、不溶解残渣廃液及びDBPの影響により、第5ステップの不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降に見られたものと同様の炉内温度の状況変化が見られた。

### 3) 原因に対する対策及び改善が必要と考える事項への対応

#### ①原因に対する対策

- ・ **ガラス温度計の測定点を増やす** (既存のガラス温度計よりも深い位置に温度測定点を追加、既存の温度計とは異なる位置にガラス温度計を新たに追加)。これにより主電極間の抵抗から推定されるガラス温度を含め炉内温度分布の把握精度の向上を図る。(図-I. 2. 2. 2 ガラス温度計の測定点追加)

#### ②改善が必要と考える事項への対応

- ・ 改良した熱バランス計算を実施し、立上げ運転時の計算精度を向上させる。
- ・ 立上げ時の主電極間電力及び間接加熱装置電力の投入量を改善する(電力投入量を調整し仮焼層の形成促進を抑制する)。
- ・ 立上げ時に模擬廃液(低模擬)を供給し、仮焼層を形成してから廃液供給を開始する。
- ・ **模擬廃液(低模擬)による洗浄運転を行う。**

- ・回復運転の判断指標の推移に関わらず**定期的に洗浄運転を行う**ことで白金族元素の沈降・堆積状況が悪化する前に白金族元素を抜き出し、炉内の白金族元素を管理する。

#### 4) 試験計画

##### ①試験全体のステップ

流下性低下の原因と改善事項を踏まえ、今後の試験計画に係るステップは、以下のとおりとすることとした。(図-I. 2. 2. 3 試験計画に係るステップ)

(フェーズ1)

- (1) 温度計追加設置工事
- (2) セル内機器点検
- (3) A系列残留物除去((4)のKMOCと実機の比較評価(A系列)の前までに実施する)
- (4) KMOCと実機の比較評価(B系列、A系列) ⇒ **「事前確認試験」**

(フェーズ2)

- (1) 安定運転の確認(使用前検査の検査前条件確認)(B系列、A系列) ⇒ **「ガラス固化試験」**

##### ②フェーズ1：KMOCと実機の比較評価(「事前確認試験」)の計画

KMOCと実機の炉の構造の違いを考慮した運転条件の確認、流下に係る条件の確認をKMOCと同じ模擬廃液(低模擬)により行うとともに、実廃液による炉底低温運転等の運転条件の確認を行う。

実廃液による運転条件の確認では、運転特性を段階的に確認することとし、まず不溶解残渣を含まない高レベル廃液を用いて運転特性を確認し、続いて不溶解残渣廃液を含む高レベル廃液を用いて運転特性確認する(不溶解残渣廃液の混合量については、第5ステップと同程度またはそれよりも少ない量とする(いずれも設計ベースの混合量よりも少ない量))。

##### ③フェーズ2：安定運転の確認(「ガラス固化試験」)の計画

KMOC試験結果を受け、流下性低下及び白金族元素堆積の判断指標の推移にかかわらず、定期的に模擬廃液(低模擬)及び原料ガラスビーズ供給による洗浄運転を行い、廃液供給+洗浄運転+廃液供給のサイクルで運転を行う。

廃液供給運転については10バッチ、洗浄運転については3バッチを基本的な運転バッチとして設定し、廃液供給(10バッチ)+洗浄運転(3

バッチ) + 廃液供給 (10 バッチ) の運転を行うことを安定運転の目安とする。

さらに、廃液供給運転(10 バッチ)の中で 70L/h での運転を確認する。

また、「**安定運転の確認**」において処理する廃液は、第 4 ステップでの燃焼度の高い使用済燃料を処理した高レベル廃液であり、さらに、混合する不溶解残渣廃液の量については、設計ベースの混合量とするとともに、アルカリ濃縮廃液中に含まれる DBP については、フェーズ 1 の「(4) KMOC と実機の比較評価」において行うような事前の廃液混合 (DBP の影響を排除) は実施せず、その影響を考慮した状態とする。

## (2) 「改善検討結果報告」に対する保安院の確認

「(1) ガラス溶融炉の運転方法改善の検討」に示した「改善検討結果報告」を受け、保安院から以下の評価を受けた。

### 1) 原因及び対策に関する検討に対する評価

これまでのアクティブ試験におけるガラス溶融炉の運転で得られたデータの評価及び KMOC での試験の結果が示されており、それらのデータ等をもとに原因を推定するとともに、推定原因に対し、各々対策を検討しており、評価結果と各データとの間に矛盾はなく、今回示された対策については一定の合理性及び具体性があると考ええる。

### 2) ガラス溶融炉の運転方法の改善に対する評価

「改善検討結果報告」においては、これまでのガラス溶融炉の運転データの評価及び KMOC の試験結果を踏まえ、以下のとおり、運転方法の改善をすすめている。

これらの運転方法の改善については、ガラス溶融炉や KMOC の運転により得られたデータの評価結果から判断すると、一定の合理性及び具体性があり、運転方法の改善に資すると考える。

### 3) 試験計画に対する評価

試験計画については、ガラス溶融炉と KMOC の比較評価等において、確認に必要な項目及びバッチ数が示されており、一定の合理性及び具体性があるものと判断する。

本試験の目的は、ガラス溶融炉の安定運転を確認することであり、最終的に両方の系列の安定運転確認が実施されればよい。したがって、今回のガラス溶融炉 B 系列を先に試験運転を実施する計画については、その理由に鑑み、一定の合理性及び具体性があるものと考ええる。

#### 4) 今後の対応

今後、運転方法改善検討報告書に示した検討結果に基づき、安定運転の確立を図る必要がある。特に、報告で示した各種のパラメータ確認、対策の妥当性の確認を含め、具体化した運転方法のとおり運転できることを今後、実施される試験運転において確認すべきであると考え。

そのような考え方及び過去の検討結果も踏まえ、以下の対応を図ることとする。

- (1) 高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査（処理能力に関する性能検査）を実施する前に、ガラス溶融炉運転性能確認試験等の結果について報告を受け、その内容を確認していく。
- (2) この際、別紙3の確認（補足：事前確認試験で確認すべき事項）が確実になされている限りにおいては、フェーズ1に引き続きフェーズ2を実施することを可能とし、**フェーズ2終了後速やかに使用前検査を実施することとする。**

## 2. 3 ガラス溶融炉の運転に関連するトラブル事象

### (1) 流下停止（2008年7月2日）

#### 1) 事象の概要（図-I. 2. 3. 1 流下停止事象の事象概要）

- ・「安定運転条件報告」に基づくA系列におけるガラス溶融炉の試験として、ガラス溶融炉に廃液供給を開始し、溶融ガラス流下のための流下ノズルの高周波による全段加熱を開始した後、流下状況をITVカメラにより監視していたところ、数回の断続的な溶融ガラスの流下が確認されたものの、流下の流れが弱く曲がった流れであることが確認され、その後、流下の継続が確認できなかった。このため緊急流下停止操作を行った。（ガラス溶融炉内に11バッチ分の模擬ガラスを張った状態で1バッチ分の高レベル廃液と原料ガラスビーズを供給した状態であった。）
- ・ガラス流下が継続しなかった原因として、「流下ノズルの昇温が不十分である」と推測されたことから、再度の流下操作として、流下ノズルの高周波加熱電力値の増加及び主電極－底部電極間電流値の増加を行ったものの、流下ノズルの温度上昇に伴う発光や流下ノズルからのガラス流下は確認できなかったことから、ガラス流下ができない状況と判断した。
- ・その後、流下ノズル下端の状況を確認したところ、高周波加熱コイルと流下ノズルとの間にガラスが流下ノズル出口を塞ぐように付着・堆積していた。

## 2) 原因 (図-I. 2. 3. 2 流下停止事象の原因)

「高周波加熱コイルと流下ノズルとの間にガラスが流下ノズル出口を塞ぐように付着・堆積していた」ことに対する要因分析を実施し、流下停止に至った経緯等から、今回の流下停止に至った原因は以下のとおりと評価した。

- ①高周波加熱コイルによる十分な上段加熱等を行わなかったことにより、「流下ノズルの温度が低かった」こと、
- ②さらに、流下の際に「流下ノズル温度計温度を管理の条件としていなかった」ために、流下ノズル温度が低い状態で流下を行ったことから、流下ガラスの偏流が発生し、
- ③「高周波加熱コイル下端に付着物があった」ことから、偏流した流下ガラスが付着物に接触した。

## 3) 再発防止対策

流下停止事象に対する原因究明の結果を踏まえ、以下の対策を実施することとした。

- ①高周波加熱による入熱の確保：
  - ・高周波加熱コイル加熱電力を増加させることなどにより高周波加熱による入熱を確保する。
- ②流下ノズル温度計温度の管理：
  - ・流下ノズル温度計温度が流下に必要な温度に到達していることを高周波加熱コイル全段加熱の移行条件として設定し、運転管理マニュアルに反映する。
- ③高周波加熱コイル下端への付着物の抑制：

「安定運転条件報告」に示した以下の対策の実施により、低粘性流体の発生を抑制する。

  - ・調整液の添加により、崩壊熱及び微量成分を低減させる。
  - ・廃液供給速度の上昇により、仮焼層形成成分を増加させる。

## (2) 天井レンガの一部損傷 (2008年12月22日)

### 1) 事象の概要 (図-I. 2. 3. 3 天井レンガの一部損傷の事象概要)

A系列において、かくはん棒の曲がり確認されたことを受け、かくはん操作等を行っている際にガラス溶融炉内部に損傷を与えた可能性が考えられたことから、ガラス溶融炉内の観察を実施したところ、天井レンガの一部が損傷していることが確認された。

### 2) 原因調査

- ・天井レンガの一部が損傷したことに対して、①設計の観点(材料・構造)、②製造の観点、③使用環境、④外力負荷発生観点で原因調査を実施
- ・損傷したアンカレンガにおいては、化学試験時の間接加熱装置温度が急に

変化したケース（降温）の場合に最も大きな応力が発生していることが解析により確認された。また、最大応力発生部位は、ダボ部であることを確認

- ・ 損傷したレンガと同一の材料で試験片を作成して曲げ強度試験を行ったところ、当該レンガは金属のようにある一定の許容応力をもっているものではなく、その強度に非常に大きな広がりをもっているものであることが確認された。本試験結果を統計的に考えた場合、熱応力解析結果で確認された3.4 MPa という応力でレンガに損傷が発生する可能性があるかと推定。また、間接加熱装置の降温の繰り返しに伴いレンガの損傷（亀裂）が繰り返し発生し、最終的に脱落に至ったと推定
- ・ このことから、天井レンガ損傷の主要因は、過去に実施した間接加熱装置の温度降下時に発生した熱応力の可能性が高く、当社のガラス溶融炉特有の構造及び運転や、インターロックによる停止の影響が大きかったと推定

### 3) 再発防止対策

- ・ 今後の原因究明等に必要なガラス溶融炉の熱上げ等においては、可能な限り間接加熱装置による温度の降下速度を小さくすることによりレンガに発生する応力が小さくなる運転を実施する。
- ・ 温度降下速度は、発生応力が十分に小さくなる値として10℃/10分程度とする。これにより、天井レンガに発生する応力が小さくなり、新たにレンガの損傷が発生する可能性を低く抑えることができる。

#### ①天井レンガの損傷防止に対する対策

- ▶ 間接加熱装置を停止する際の間接加熱装置の温度降下速度を緩やかにすることを対策とする。

#### ②運転中にレンガの損傷が疑われる場合の対応（図-I. 2. 3. 4 運転中にレンガの損傷が疑われる場合の対応）

- ▶ 計画外の間接加熱装置の加熱停止は起こる可能性があり、その際に天井レンガが損傷する可能性は否定できないため、溶融ガラスの流下性の低下が確認された際には、かくはん棒による回復運転操作等を実施し、その状況からレンガ損傷の可能性を確認することなどにより対応することとする。また、レンガ損傷の疑いがある場合には、レンガ回収作業を行い、回収後はドレンアウト及び炉内観察を行う。
- ▶ また、今後の運転管理として、ドレンアウト（当面の間、最低でも隔年の頻度で行う）を行った際に、ドレンアウトの状況や炉内の健全性を確認する。

## 2. 4 試験で得られた経験とガラス固化設備の試験として確認すべき事項

第4ステップ及び第5ステップの「安定運転条件報告」に基づくガラス固化設備の試験を行い、さらに「安定運転条件報告」に基づく試験において不溶解残渣廃液を混合した廃液供給以降に見られたガラス温度上昇等の運転

状態の変化に対する原因究明等及び運転方法改善検討を行った結果は、以下のとおりである。

- (1) 第 4 ステップのガラス溶融炉の試験結果を受けて、使用前検査のためにガラス溶融炉の安定運転を行うことが必要であること、ガラス溶融炉の安定運転のための運転条件の具体化を図ることが必要であることが明確となった。
- (2) 安定運転条件として、第 4 ステップで得られた運転データ等を評価し、ガラス溶融炉の安定運転条件としてガラス温度等の目標範囲を示すとともに、白金族元素が炉底部に沈降、堆積した兆候を把握するための指標を定め、指標に達した場合の運転状態の回復方法をまとめた。
- (3) 安定運転条件をもとに第 5 ステップのガラス溶融炉の試験において、不溶解残渣廃液を混合しない廃液での運転では安定した運転状態を維持できる見通しを得たが、不溶解残渣廃液を混合した廃液を供給した以降にガラス温度等の上昇や白金族元素の炉底部への沈降、堆積兆候が見られ、回復運転による運転状態の回復ができなかった。
- (4) 安定運転条件をもとに行った第 5 ステップのガラス溶融炉の試験で得られた運転データ等を評価し、ガラス溶融炉の運転方法の改善検討を行い、その結果、以下の改善を行うことをまとめた。

(ハード面)

- ・ガラス温度測定点の追加及びガラス温度計の追加設置
- ・模擬廃液（低模擬）による洗浄運転を実施するための設備改造
- ・高周波加熱コイルの交換
- ・インリーク抑止材の設置

(ソフト面)

- ・安定運転の目標となるガラス温度等の範囲の設定
  - ・ガラス溶融炉内の白金族元素保有量抑制管理のための定期的な洗浄運転の実施
  - ・模擬廃液（低模擬）による洗浄運転への洗浄運転方法の変更（洗浄運転時の仮焼層の溶け込みによる白金族元素の炉底部への急激な沈降を防ぐ）
- (5) 運転方法改善検討結果の効果を確認するための方法として、安定運転を確認するための運転バッチ数の目安を試験計画としてまとめた。

これらの経緯を踏まえ、使用前検査を受検する前にガラス溶融炉の試験として確認することが必要な事項を以下のとおりまとめ、「改善検討結果報告」に示す「事前確認試験」、「ガラス固化試験」の中で確認することとした。

- ① ガラス温度等が目標とする範囲内で安定した状態で運転ができること
- ② ガラス温度等が目標とする範囲から外れた場合に主電極電力等の調整や洗浄運転の実施などにより目標とする範囲内に戻すことができること
- ③ 白金族元素の炉底部への沈降、堆積の兆候を示す指標が洗浄運転を行う基準に達した場合には、洗浄運転等の回復操作を行い、運転状態の回復が図れること
- ④ また、上記を実現するために、安定運転の廃液供給バッチ数や定期的な洗浄運転のバッチ数などの目安に関わらず、ガラス温度等の運転データをもとに洗浄運転を行う等の安定運転を継続するために必要な運転管理ができること

上記については、高レベル廃液の性状等に応じた主電極間電力と間接加熱装置電力の調整によって、ガラス温度や気相温度を管理目標範囲内に制御することが炉内温度管理として必要となり、また炉底低温運転によって白金族元素の沈降・堆積を抑制するとともに、炉底加熱性や流下性を監視し、状況の変化に応じて回復運転を行うことが白金族元素管理として必要となる。これらは、アクティブ試験の実績を踏まえ、管理方法を定めるとともに、運転手順等を整備した。

また、先行施設、化学試験、アクティブ試験及びKMOC試験での発生事象や想定事象に対する対応マニュアルを整備した。

## Ⅱ. 「改善検討結果報告」に基づくガラス固化試験等の試験計画

### 1. ガラス固化試験等の試験計画

#### 1. 1 作動確認の計画及び確認内容

「改善検討結果報告」では、ガラス溶融炉に係るアクティブ試験再開後、ガラス溶融炉B系列（以下、「B系列」という。）の「事前確認試験」を行う計画であったが、2011年3月11日に発生した東日本大震災等の影響により試験の開始時期が長期間（10ヶ月程度）遅れた。このため、試験をより確実に進めるという観点で、長期間停止していた設備の作動を確認するとともに、KMOC試験結果を踏まえて追加した温度計等の設備の作動に問題がないことを確認することを目的として、「作動確認」を「事前確認試験」の前に追加実施することとした。

この作動確認では、模擬ガラスビーズを用いて5バッチ程度の流下を行い、追加した温度計等の各設備の作動状況の確認、流下条件の設定（流下ノズルの高周波加熱電力設定、全段加熱開始時の底部電極温度設定等）を行う計画とした。

#### 1. 2 「事前確認試験」の計画及び確認内容

##### (1) 模擬廃液（低模擬）による確認の計画及び確認内容

模擬廃液（低模擬）による「事前確認試験」は、実機において実廃液を用いて試験を行う前にKMOC試験で用いた模擬廃液（低模擬）を用いて10バッチ程度の運転を行い、実機とKMOCの相違点を把握するなど、KMOC試験結果の実機への反映を行うための確認ステップとして計画した。

実機とKMOCの相違点		確認項目
<b>溶融炉構造の相違</b>		
模擬廃液 (低模擬) による確認	①溶融炉の熱特性 (放熱、熱容量)	<b>【ガラス温度・気相温度管理】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規に設置した温度計の適用性を確認する。</li> <li>・溶融炉構造が異なるため、実機用熱バランス計算プログラムの適用性を確認する。</li> </ul> <b>【炉底温度管理】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶融炉解析により、溶融炉熱特性の相違を評価したところ、KMOCと同条件で運転すると実機の炉底温度は、KMOCより10~20℃程度高くなる傾向がある。</li> <li>・このため、KMOCと同じ条件で運転した場合の、炉底温度を確認する。</li> </ul>
	②流下ノズルの加熱特性	<b>【流下管理】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・流下ノズルの加熱性が異なるため、流下条件（流下ノズル高周波電力、流下開始底部電極温度）を設定する。</li> </ul>

## (2) 実廃液による確認の計画及び確認内容

実廃液による確認では、第5ステップにおける不溶解残渣廃液を混合した廃液を供給した以降に流下性低下及び白金族元素堆積の判断指標が急激に低下した状況を踏まえ、まず不溶解残渣を含まない高レベル廃液を用いて15バッチ程度、続いて不溶解残渣廃液を含む高レベル廃液を用いて10バッチ程度運転を行い、段階的に運転特性を確認する計画とした。また、KMOC試験で上述の不溶解残渣とともに仮焼層の状態に影響を与える可能性が確認されたDBPについては、その影響を排除できる濃度まで低減すべく、放射線分解によるDBP濃度の低減効果を期待する目的で高レベル廃液を長期間混合槽において混合し、「事前確認試験」に使用する計画とした。

実機とKMOCの相違点		確認項目
<b>実廃液とKMOCで用いた模擬廃液（低模擬）の相違</b>		
実廃液による確認 ・不溶解残渣廃液を含まない高レベル廃液 ・不溶解残渣廃液を含む高レベル廃液	崩壊熱	<b>【ガラス温度・気相温度管理】</b> ・実廃液の仮焼層形成状態が異なる可能性があるため、実機用熱バランス計算プログラムを用いて、実廃液の溶融速度定数を取得する。
		<b>【炉底温度管理】</b> ・溶融炉解析により、崩壊熱の炉内温度分布への影響を評価したところ、1kW/本相当の崩壊熱があると炉底温度は、崩壊熱がない場合に比べて20℃程度高くなる傾向があるため、炉底温度を確認する。

ステップ	実施バッチ数	最大バッチ数
模擬廃液（低模擬）	10バッチ	20バッチ程度
実廃液（不溶解残渣を含まない高レベル廃液）	i. 立上げ時の運転状態の確認等：廃液供給5バッチ ii. 洗浄運転：5バッチ iii. 洗浄運転から廃液供給への切替時の運転状態確認、溶融速度定数取得等：廃液供給10バッチ iv. 洗浄運転：5バッチ （廃液供給バッチ合計：15バッチ）	廃液供給 40バッチ程度
実廃液（不溶解残渣を含む高レベル廃液）	i. 立上げ時の運転状態の確認等：廃液供給5バッチ ii. 洗浄運転：5バッチ iii. 洗浄運転から廃液供給への切替時の運転状態確認、溶融速度定数取得等：廃液供給5バッチ iv. 洗浄運転：5バッチ （廃液供給バッチ合計：10バッチ）	

## 1. 3 「ガラス固化試験」の計画及び確認内容

### (1) 「ガラス固化試験」の計画及び確認内容

「ガラス固化試験」は、「安定運転の確認」と「性能確認」を行う。

「安定運転確認」は、ガラス固化設備のアクティブ試験開始当初（第4ステップ）の試験運転において、ガラス温度が安定しない状況が確認されたことを受け、ガラス溶融炉の処理能力に係る使用前検査（性能検査）を行う前提条件として、ガラス溶融炉で安定した運転状態が維持できることを確認するものである。

「安定運転の確認」では、ガラス温度等が安定した状態で運転が実施できることを確認することとなる。

「性能確認」は、ガラス溶融炉の処理能力に係る使用前検査（性能検査）において確認することとなる事業指定申請書に固体廃棄物の廃棄施設の処理能力として記載されているガラス溶融炉に高レベル廃液を供給する最大処理能力70L/hでガラス溶融炉が運転できることを試験運転として確認するものである。

「安定運転の確認」については、廃液供給から確認を開始し、当時のKMO C試験結果・知見を受け、流下性低下及び白金族元素堆積の判断指標の推移にかかわらず、定期的に模擬廃液（低模擬）及び原料ガラスビーズ供給による洗浄運転を行い、廃液供給＋洗浄運転＋廃液供給のサイクルで運転を行うこととし、具体的には、廃液供給運転については10バッチ、洗浄運転については3バッチを基本的な運転バッチとして設定し、廃液供給（10バッチ）＋洗浄運転（3バッチ）＋廃液供給（10バッチ）の運転を行うことを安定運転の目安とする計画とした。

また、「性能確認」については、「安定運転の確認」に引き続き、廃液供給運転（10バッチ）の中で70L/hでの運転を確認する計画とした。

B系列における上記の確認を行った後、A系列における「安定運転の確認」に移行する計画とした。

「安定運転の確認」の判断基準としては、ガラス温度、気相温度が管理範囲内で安定していること等を指標として安定運転状態が維持できること等を確認することとした。

### (2) 「ガラス固化試験」における廃液条件

ガラス固化施設は、上流設備から高レベル濃縮廃液(HALW)、アルカリ濃縮廃液(ALW)及び不溶解残渣廃液(FINE)の3つの廃液を受け入れる。

上流設備から受け入れた廃液は、廃棄物濃度、ナトリウム濃度などのガラス固化体の仕様や安定運転のための廃液条件を満足するように混合槽で調整を行った後、ガラス溶融炉に供給する。

受入れる 3 つの廃液については、調整液による調整を行うことにより、発生量に応じて 3 種類の廃液を混合する処理方法だけではなく、高レベル濃縮廃液やアルカリ濃縮廃液のみで処理する場合や高レベル濃縮廃液とアルカリ濃縮廃液の 2 種類で処理する場合など、複数の組み合わせによる処理方法が考えられる。

これらの廃液の組み合わせに対して、仮焼層の安定形成、炉底部管理、回復運転などの観点で考慮すべき運転条件を考えた場合、仮焼層の安定性、炉底管理に最も影響を与えるケースが、3 種類の廃液（高レベル濃縮廃液、アルカリ濃縮廃液、不溶解残渣廃液）を混合する場合であることから、ガラス固化試験に用いる廃液については、ガラス溶融炉に供給する 3 種類の廃液をすべて混合したものとした。

処理パターン		溶融炉への影響因子				溶融炉への影響評価
		白金族成分	YP 成分	FINE	DBP	
1	HALW+FINE+ALW	○	○	○	○	溶融炉運転として、最も厳しい廃液条件
2	HALW+ALW	○	○		○	1. に次いで厳しい条件
3	HALW+FINE	○	○	○		
4	HALW 単独	○	○			
5	ALW 単独				○	

Y P : イエローフェーズ（第 4 ステップのガラス溶融炉の試験で確認された低粘性流体）

F I N E : 不溶解残渣廃液

また、不溶解残渣廃液の混合量は、設計ベースの量（事前確認試験よりも多い）とし、さらにガラス溶融炉の操業以降の運転計画を踏まえ、ガラス固化試験開始前に 3 種類の廃液は混合槽で混合した状態とし、DBP の濃度がある一定の状態になった後にガラス溶融炉に供給する計画とした。

		事前確認試験		ガラス固化試験	
				安定運転確認	性能確認
廃液条件	廃液混合	HALW+ALW	HALW+FINE+ALW	HALW+FINE+ALW	
	白金族元素濃度	設計相当		設計相当	
	FINE 添加量	—	設計 1/2 相当	設計相当	
	DBP 濃度	廃液を混合した状態で長期貯留することで DBP を放射線分解により低減させ、仮焼層への影響を排除した濃度		DBP の仮焼層への影響を排除しない範囲で、管理可能な最低限の濃度	

## 2. 事前確認試験を受けた試験計画の変更

ガラス固化試験の計画について、「改善検討結果報告」に示した計画をもとに実施した「事前確認試験」及び「改善検討結果報告」以降に実施したKMO C試験の結果・知見を反映することを目的に検討を行った。検討の結果、「1. 3 ガラス固化試験の計画及び確認内容 (1) ガラス固化試験の計画及び確認内容」で示した試験計画に対して以下の点を改善することとした。その他は「改善検討結果報告」に示した計画どおりである。

- ①立上げ運転の実施
- ②性能確認の最大処理能力への処理量の増加方法

検討した内容を以下に示す。

### ①立上げ運転の実施

「安定運転の確認」において、廃液供給 10 バッチ+洗浄 3 バッチ+廃液供給 10 バッチの安定運転を行う前に、ガラス溶融炉に供給する廃液に対して、仮焼層への影響を把握するために「立上げ運転」として 5 バッチの運転を実施し、ガラス溶融炉に供給する廃液の溶融速度定数などを確認することとした。

「改善検討結果報告」において試験計画を立案した際には、ガラス溶融炉に供給する廃液に対する仮焼層への影響を把握することの必要性も含めて「事前確認試験」のステップで確認・評価を行い、その結果を踏まえて必要がある場合に「安定運転の確認」に反映することとし、事前の計画としては立上げ運転に相当する運転を入れていなかった。

「事前確認試験」で、初期の 5 バッチの運転でガラス溶融炉に供給する廃液の溶融速度定数を確認することで仮焼層への影響などを把握し、その後連続的な廃液供給運転を行い、その結果から、廃液の性状が変わる場合に仮焼層への影響など確認することは、安定運転を行う上で重要であるという評価を得た。

「安定運転の確認」については、安定運転のために必要なガラス温度、気相温度を目標の範囲で安定して維持するために、熱バランス計算を用いてガラス溶融炉に供給する廃液の仮焼層への影響などを把握しながら運転管理を行うことから、上記の「事前確認試験」の評価結果を受け、まずガラス溶融炉に供給する廃液に対して、仮焼層への影響の把握として溶融炉を加熱する供給電力量とガラス温度の変化の関係などを確認する立上げ運転を実施することとした。

## ②性能確認の最大処理能力への処理量の増加方法

「**性能確認**」では、実際の運転も考え、段階的に処理量を上げて最終的に 70L/h での運転を行うこととし、また、段階的に処理量を上げる運転方法を考慮し、実廃液 5 バッチの運転の中で最大処理能力での運転の確認を行うこととした。

具体的には、まず「**安定運転の確認**」と同じ処理量で 2 バッチ運転し、ガラス温度等が安定した状態に移行させた上で、3 バッチ目で事前確認試験の廃液供給速度と 70L/h の中間の廃液供給速度に上げ、4 バッチ目、5 バッチ目で廃液供給速度を 70L/h に設定する。

「**改善検討結果報告**」において、10 バッチの中で 70L/h で運転できることを確認するとしていたのは、10 バッチを 70L/h で運転を行うということではなく、処理量を上げる過程も含めて運転確認を行うことを意図したもので、70L/h での運転は 1、2 バッチ程度と計画していた。

「**改善検討結果報告**」の後に行った KMO C 試験で処理量を段階的に上げる運転確認を行い、より少ないバッチ数でも白金族元素の急激な沈降、堆積やガラス温度等の不安定な状態に至ることなく、処理量を最大能力である 70L/h まで上げることができ確認できた。

その結果を踏まえ、「**性能確認**」における段階的に処理量を上げる際の方法について、10 バッチかけて 70L/h に上げるよりも厳しい方法として、5 バッチの中で 70L/h に上げる方法で行うこととした。

また、最大処理能力である 70L/h に廃液供給速度を上げるためには、洗浄運転から実廃液の供給に切り替わった状態で、ガラス溶融炉のガラス温度等が安定していることが必要である。この観点で、「**事前確認試験**」（模擬廃液（低模擬）による確認）の熱バランス計算の適用性確認結果を見ると、立上げ後 2 バッチ程度でガラス溶融炉のガラス温度等が安定した状態に移行しており、「**事前確認試験**」（実廃液による確認）の洗浄運転と廃液供給の切り替え時の運転データを見ると、洗浄運転から実廃液に切り替え後 2 バッチ程度でガラス溶融炉のガラス温度等が安定した状態に移行している。

そのため、ガラス温度の観点からも、上述した「**性能確認**」における最大処理能力である 70L/h に廃液供給速度を上げる方法は、より厳しい方法で実施する計画であると言える。（図-Ⅱ. 2. 1 性能確認の処理量上昇の方法）

### 3. B系列の試験結果を受けたA系列の試験計画の検討

B系列の「ガラス固化試験」等の評価結果をもとに、当初計画した試験の判定基準を満足していること、確認された事象に対して今後の運転に反映すべき新たな対策はないこと、A系列とB系列の運転特性に違いがないことを「事前確認試験」で確認していることから、A系列における「ガラス固化試験」計画は以下のとおりとした。

なお、B系列の「ガラス固化試験」で実施した立上げ運転については、以下の理由からA系列の「ガラス固化試験」では実施しないこととした。

- ①B系列の「ガラス固化試験」では、「事前確認試験」との廃液性状の違い（不溶解残渣の混合量、DBP濃度の観点）から仮焼層への影響などを把握するために立上げ運転を行った。
- ②A系列の「ガラス固化試験」で使用する廃液は、B系列の「ガラス固化試験」と仮焼層への影響が同程度の廃液である。

確認項目	B系列のガラス固化試験	A系列のガラス固化試験
立上げ運転 (加熱する供給電力量とガラス温度の変化などを確認)	5 バッチ ※事前確認試験と比較し、不溶解残渣の混合量、DBP濃度が異なるため実施	— ※3種混合廃液、DBPの影響を排除しないという点でB系列のガラス固化試験と仮焼層への影響が同程度の廃液であることから、必要ないと判断
安定運転確認	廃液供給 10 バッチ＋洗浄 3 バッチ＋廃液供給 10 バッチで確認	同様に実施
性能確認	5 バッチで 70L/h を確認	同様に実施 (B系列との比較を行うこと、再現性の確認の観点を考慮)

### Ⅲ. 「改善検討結果報告」に基づくガラス固化試験等の結果

#### 1. 事前確認試験等

##### 1. 1 B系列

#### (1) 流下確認及び作動確認

##### ①流下確認

2012年1月25日に開始した作動確認1バッチ目の流下において発生した流下性低下事象（詳細は1.4参照）に示した対策として、「**事前確認試験**」に入る前に流下における異物の発生状況などを確認する目的で、流下確認として2バッチの流下を行い、ガラス溶融炉底部における脱落レンガの有無及びガラス流下時の異物量等について確認した。

流下確認1バッチ目において、通常よりやや大き目の流下速度の変動が確認されたことから、念のための確認も含めて直棒挿入1回及びスリット部流下性確認（溶融ガラスが流れる経路は、底部電極中央にある穴の部分と、底部電極脇にあるスリット部があり、中央の穴部分を直棒で塞ぐことでスリット部のみから流下する状態として、流下性を確認）を3回実施した。2回目のスリット部流下性確認後は、良好な流下性であった。

##### ②作動確認

模擬ガラスビーズによる作動確認として5バッチの流下を行い、新たに追加した温度計に異常がないことを確認した。また、模擬ガラスビーズ供給から溶融ガラスの流下に関連する各設備の作動が正常であることを確認した。

#### (2) 事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）

模擬廃液（低模擬）による確認として、16バッチの流下を行った。「**改善検討結果報告**」では、10バッチから最大20バッチまでの間で確認を行うとしていたことから、計画の範囲で必要な確認を終了している。

模擬廃液（低模擬）による確認において以下のことを確認し、ガラス溶融炉の安定運転という観点でKMOC試験と実機の相関を把握することができ、次のステップである実廃液による確認に移行できると判断した。

##### a. ガラス温度・気相温度管理

- ・新規に設置した温度計を含めたガラス温度、気相温度データを用いて主電極、間接加熱電力の調整を行うことにより、ガラス温度、気相温度が概ね運転目標の範囲内で管理され、安定した運転が実施できることを確認した。（図-Ⅲ. 1. 1. 1 B系列事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 1. 1. 2 B系列事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）で

#### のガラス温度等の推移（バッチ平均）

- ・ ガラス溶融炉の運転支援ツールである熱バランス計算プログラムを用いて模擬廃液（低模擬）の溶融速度定数を取得するとともに、電力調整計画の立案を行い、ガラス温度、気相温度が安定した状態を維持する運転を行う上で熱バランス計算プログラムが適用できることを確認した。（図-Ⅲ. 1. 1. 3 熱バランス計算プログラムの適用性確認結果）

#### b. 炉底温度管理

- ・ KMOCと実機の炉底温度の違いを確認するとともに、補助電極間電流及び主電極-底部電極間電流により実廃液の崩壊熱を模擬した上で、補助電極冷却空気流量などの炉底温度管理にかかる運転条件を調整し、白金族元素の沈降・堆積を防止するための炉底温度管理として設定した炉底温度①の温度を目標温度以下に管理できることを確認した。（図-Ⅲ. 1. 1. 4 B系列事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）での炉底温度①の推移）

### （3）事前確認試験（実廃液による確認）

実廃液による確認は、不溶解残渣廃液を含まない廃液による確認と不溶解残渣廃液を含む廃液に分けて行った。

不溶解残渣を含まない廃液による確認では、廃液供給運転を15バッチ行い、不溶解残渣を含む廃液による確認では、廃液供給運転を10バッチ行なった。いずれも「改善検討結果報告」に示した計画どおりであった。

実廃液による確認において以下のことを確認し、ガラス溶融炉の安定運転という観点で模擬廃液（低模擬）と実廃液の相関を把握することができ、次のステップである「ガラス固化試験」に移行できると判断した。

#### a. ガラス温度、気相温度管理

- ・ 新規に設置した温度計を含めたガラス温度、気相温度データを用いて主電極、間接加熱装置電力の調整を行うことにより、ガラス温度、気相温度が概ね運転目標の範囲内で管理され、安定した運転が実施できることを確認した。（図-Ⅲ. 1. 1. 5 B系列事前確認試験（実廃液による確認）でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 1. 1. 6 B系列事前確認試験（実廃液による確認）でのガラス温度等の推移（バッチ平均））
- ・ 実廃液供給から洗浄運転への切り替え及び洗浄運転から実廃液供給への切り替えにおいてもガラス溶融炉の状態に大きな変動はなく、ガラス温度、気相温度ともに安定した状態を維持することができた。
- ・ 模擬廃液（低模擬）試験で適用性を確認した熱バランス計算プログラムを用いて、実廃液の溶融速度定数を取得できた。

#### b. 炉底温度管理

- ・崩壊熱を有する実廃液においても、補助電極冷却空気流量などの炉底温度管理にかかる運転条件を調整し、白金族元素の沈降・堆積を防止するための炉底温度管理として設定した炉底温度①の温度が目標温度以下に管理できることを確認した。

#### c. 白金族元素に対する評価

- ・流下性（流下速度 50kg/h、100kg/h 到達時間）及び白金族元素堆積にかかる指標（200A 到達時主-底間抵抗及び白金族元素堆積指標）が良好な状態を維持できており、白金族元素を炉底部に堆積させることなく流下により抜き出すことができたと考えられる。（図-Ⅲ. 1. 1. 7 B系列事前確認試験（実廃液による確認）での流下性指標等の推移）

### （4）炉内観察結果

炉内観察を行い、レンガの割れ、欠けの状況について確認した。

- ・過去にA系列で確認された天井レンガ損傷（アンカレンガ落下）のような状況が発生していないことを確認した。
- ・接液レンガに大きな欠け、剥離は確認されなかったが、前回ドレンアウト後の観察時（2012年4月）に比べて、若干の割れや欠けの進展が確認された。
- ・アクティブ試験前（立上げ・停止×4回）の割れ長さが2980cmであったのに対して、アクティブ試験後（立上げ・停止×4回）の新たな割れ発生及び割れ進展は236cmであり、さらに今回（立上げ・停止×1回）新たに発生した割れ進展は122cmであった。
- ・「事前確認試験」前の炉内観察時の評価と同様に、新たな割れは発生しにくくなっていると考えられる。

### 1. 2 A系列

A系列の「事前確認試験」では、流下ノズルの加熱性を確保するために結合装置（高周波加熱コイル）の交換を行ったことから、「改善検討結果報告」に基づき、交換後の結合装置（高周波加熱コイル）を用いた流下条件の確認、炉底低温運転条件の確認を行うことを目的として、模擬廃液（低模擬）のみで確認を行った。

## (1) 流下確認及び作動確認

### ①流下確認

- ・ガラス溶融炉底部における脱落レンガの有無及びガラス流下時の異物量等について確認し、B系列の流下確認と同様に異物による流下への影響がないことを確認した。

### ②作動確認

- ・新規に追加設置した温度計は、B系列と同様に適切な温度を示しており、異常が無いことを確認した。
- ・模擬ガラスビーズ供給から溶融ガラスの流下に関連する各設備の作動が正常であることを確認した。
- ・結合装置の交換及び炉底部からの空気の流入を防ぐ断熱材（インリーク抑止材）の設置により、流下ノズルの加熱性に対して設備改善の効果が確認された。

## (2) 事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）

- ・B系列で確認した運転条件をもとに、ガラス温度、推定ガラス温度、気相温度データを用いて主電極、間接加熱装置による電力量の調整を行うことにより、ガラス温度、気相温度が運転目標の範囲内で管理された運転ができることを確認した。（図-Ⅲ. 1. 2. 1 A系列事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 1. 2. 2 A系列事前確認試験（模擬廃液（低模擬）による確認）でのガラス温度等の推移（バッチ平均））
- ・ガラス溶融炉の運転支援ツールである熱バランス計算プログラム（改良版）を使うことで電力調整計画の立案を行い、ガラス温度、気相温度の安定した運転を行う上で適用できることを確認した。
- ・B系列で確認した運転条件及び作動確認で確認した流下条件をもとに、補助電極冷却空気流量等の炉底温度管理にかかる運転条件を調整し、炉底温度①の温度を目標温度以下に管理できることを確認した。
- ・A系列とB系列で炉内温度等を比較し、運転特性として差がないことを確認した。

## (3) 炉内観察結果

- 炉内観察を行い、レンガの割れ、欠けの状況について確認した。
- ・過去にA系列で確認された天井レンガ損傷（アンカレンガ落下）のような状況が新たに発生していないことを確認した。
  - ・接液レンガに大きな欠け、剥離は確認されなかった。
  - ・アクティブ試験前（立上げ・停止×3回）の割れ長さが2769cmであったのに対して、「事前確認試験」終了後まで（立上げ・停止×4回）の

新たな割れ発生及び割れ進展は895cmであった。B系列の評価同様、新たな割れは発生しにくくなっていると考えられる。

### 1. 3 事前確認試験結果に係る評価

#### (1) 模擬廃液と実廃液の違い

##### ① 仮焼層形成への影響

仮焼層形成の目安と考えている溶融速度定数（熱バランス計算を用いて運転時のガラス温度などをトレースすることにより算出）は、実廃液の値は不溶解残渣の有無によらず、KMOC試験におけるDBPを含まない模擬廃液（高模擬）の運転より若干高い値であったが、仮焼層形成はほぼ同程度と評価する。

また、ガラス温度計、仮焼層温度計等の挙動を実廃液とKMOC試験の模擬廃液（高模擬）の運転とで比較したところ、同程度の温度推移であった。このことから、KMOC試験で得られた運転条件等を実機でも適応できるものと評価する。

##### ② 不溶解残渣の運転への影響

KMOCでは不溶解残渣を模擬した合金粒子を模擬廃液（高模擬）に添加し試験したが、添加しなかった場合と比較しガラス温度等への影響はほとんど見られなかった。そのため、実機における不溶解残渣の影響を調べるため、B系列の実廃液による運転データの不溶解残渣を含む廃液の場合と含まない廃液の場合を比較した結果、不溶解残渣を含む廃液による運転の仮焼層温度は不溶解残渣を含まない廃液による運転に比べて若干低いが、ガラス温度及び気相温度は同程度であった。

また、上述の通り、溶融速度定数も不溶解残渣を含む廃液の場合と含まない廃液の場合で同じ値を示していることから、設計で想定している不溶解残渣廃液の半分程度の量ではあるものの、「事前確認試験」で得られた運転データからは不溶解残渣の有無による相違は見られなかった。

#### (2) 設備改善の効果

##### ① 模擬廃液供給設備の設置

模擬廃液（低模擬）による洗浄効果について、洗浄運転時の流下性に係る判断指標の比較を行った。以前のアクティブ試験では、模擬ガラスビーズを用いた洗浄運転の最初のバッチで流下性が大きく低下する状況が確認されていたが、今回模擬廃液（低模擬）を用いた洗浄運転に変えた結果、流下性が洗浄運転最初のバッチで大きく低下する状況は見られなかった。

模擬ガラスビーズによる洗浄運転を行った場合には、廃液の供給を停止して模擬ガラスビーズのみを供給するために仮焼層を溶融させてしまい、仮焼層中に含まれる白金族元素が溶融ガラスに溶け込み、溶融ガラス中の白金族元素濃度が上昇、その結果、溶融炉底部への沈降量が増える要因になっていたが、今回実施することとした模擬廃液（低模擬）による洗浄運転の場合には、模擬廃液（低模擬）とガラス原料を供給するため仮焼層を維持した状態で白金族元素の抜き出しができる効果がある。

洗浄運転最初のバッチで流下性が大きく低下する状況が見られなかったことは、模擬廃液（低模擬）による洗浄運転により、仮焼層部の白金族元素の沈降を遅らせ、一度に多量の白金族元素が炉底部に沈降するのを抑制できたことを示していると考えられる。（図-Ⅲ. 1. 3. 1 模擬廃液（低模擬）による洗浄と模擬ガラスビーズによる洗浄の流下性への影響比較）

## ②温度測定点の追加

垂直方向に追加したガラス温度計①は既存のガラス温度計②に比べ温度変動が安定していることが確認でき、それにより適切な電力調整を実施することができた。また、追加した仮焼層温度と既設の仮焼層温度を合わせてみることで、運転中の仮焼層の厚みや位置の変化等を推測することができた。

ガラス温度計②とガラス温度④とでは、ほぼ同じ温度推移を示すものの、ガラス温度計④の温度が低い傾向にある。これは、仮焼層の廃液プールがガラス温度計④側に偏っておりその影響を受けたものと考えられる。ガラス温度②と併せて温度推移を見ることで炉内温度状態を適切に把握することができた。

また、B系列の既存の気相温度計は、結合装置を結合した際に構造上指示値が変動（低下）するが、追加した気相温度については、従来から設置していた気相温度計とは異なり、B系列における結合装置結合時の温度低下が確認されなかった。そのため、結合時の気相温度の低下に惑わされずに運転を行うことができた。（図-Ⅲ. 1. 3. 2 温度測定点の追加の効果に係る比較）

以上から、追加した温度測定点については、当初の目的を満足するものであり、ガラス溶融炉の運転時の炉内状態把握に有効であることが確認された。

## ③インリーク抑止材の設置

インリーク抑止材は、結合装置から炉底部へのインリーク空気によって流下ノズルの温度が下がることを防ぐために設置したものであり、イ

ンリーク抑止材を設置することによる効果は、流下ノズル温度の値によって確認することができる。このため「事前確認試験」の作動確認における上段加熱開始時及び全段加熱開始時の流下ノズルの温度を過去のアクティブ試験における同段階での温度と比較を行った。

その結果、インリーク抑止材設置後の作動確認では上段加熱開始時で約70℃、全段加熱開始時で約30℃流下ノズル温度が高かった。

これはインリーク抑止材の効果により流下ノズル根元部が保温されたためと考える。また、流下性についても改善されていた。

#### ④結合装置交換（A系列のみ）

A系列は、流下ノズル加熱性を回復させるために結合装置の交換を行った。インリーク抑止材設置の効果もあり、作動確認（模擬ガラスビーズ試験）において全段加熱開始時の流下ノズル温度はA系列第5ステップ運転時よりも100℃以上高かった。（図-Ⅲ. 1. 3. 3 A系列結合装置交換による流下ノズル温度上昇の効果）

これは結合装置交換の効果により流下ノズル昇温性が向上したためと考える。

### 1. 4 事前確認試験等に関連するトラブル事象（流下性低下事象）

2012年1月25日に作動確認を開始したところ、1バッチ目の流下において、流下速度が急激に低下する事象（流下性低下事象）が発生した。

このため、予め定めた手順に基づく操作として、想定事象マニュアルに従い、直棒による閉塞解除操作を実施したが、閉塞解除できなかった。

その後、ガラス溶融炉の運転を停止し、異物除去治具（コアドリル）によって流下ノズル内の閉塞物を除去するとともに、異物除去作業時に回収した試料を分析し、流下ノズルに閉塞している物質が接液レンガであることを確認した。

接液レンガが流下経路に閉塞した原因究明として、B系列の運転履歴、ガラス溶融炉の過去の運転時の流下ガラス中の異物量、異物除去治具で回収した試料分析結果の評価、ガラス溶融炉の停止・立上げ時の接液レンガへの影響評価（解析）等の項目について調査・検討を行った。

その結果、

- ・化学試験のドレンアウト時に接液レンガに割れが発生し、アクティブ試験のスタートアップ時に欠けが発生し、レンガ小片が発生した
- ・B系列では、シャットダウン及びスタートアップ2回、長期保持3.5ヶ月の間で1回しか流下を行わなかったため、傾斜部にレンガ小片を溜め込んだ

ことが流下性低下事象の原因であると推定した。

推定原因に対する対策として、以下を実施することとした。

①レンガ小片の発生抑制

- ・接液レンガの割れ、欠けを抑制するため、立上げ（熱上げ、スタートアップ）及び停止（ドレンアウト、シャットダウン）において、温度上昇及び下降速度に運転目標を設定し、炉底部接液レンガの温度変化を緩やかにする。
- ・流下性低下に繋がる欠け発生の原因の可能性が高いスタートアップは、実施しない。

②レンガ小片の堆積抑制

- ・長期保持等、レンガ片をガラス溶融炉底部に溜め込んだ可能性がある場合は、レンガ等の異物を抜き出すための洗浄運転を行い、レンガ等の異物が抜き出されたことを確認した後に廃液供給運転に移行する。
- ・流下ができないようなトラブル事象等でシャットダウンをやむを得ず実施した場合、トラブル事象復旧後のガラス溶融炉の立上げは、スタートアップとなるため、接液レンガの欠けが発生する可能性があることから、直棒（改良型）によるレンガ等の異物抜き出しを実施する。

③流下性低下時の対応

- ・流下性が低下した場合には、直棒（改良型）を用いて閉塞解除を行う。

④炉内レンガ評価

- ・インターキャンペーン等のため、ドレンアウトを実施した際には炉内観察を行い、接液レンガの割れ・欠けの進展状況を確認する。
- ・また、熱上げやスタートアップ等の立上げ後の流下1、2バッチの異物量を評価することで、接液レンガの欠け発生状況を把握する。

また、流下性低下事象を受け、「**事前確認試験**」に向けた確認事項として、流下における異物の発生状況などを確認する目的で「流下確認」を作動確認の前に実施することとした。

## 2. ガラス固化試験

「**ガラス固化試験**」は、B系列での確認を2012年12月に、A系列での確認を2013年5月に実施し、「**安定運転の確認**」及び「**性能確認**」を行い、判定基準を満足する結果を得た。

### 2. 1 B系列

#### (1) 安定運転確認の確認結果

##### 1) 立上げ運転

安定運転のための運転の前に立上げ運転として5バッチの廃液供給運転を行った。

立上げ運転では、熱バランス計算の熔融速度定数の確認を行うとともに、ガラス温度等の安定性などの確認を行った。

熔融速度定数に係る確認結果として、立上げ運転で供給した廃液に対する熔融速度定数は、「**事前確認試験**」の実廃液の熔融速度定数の半分の値であった。熱バランス計算で得られる熔融速度定数は、仮焼層の形成状態が影響因子であると考えており、熔融速度定数の値が小さいほど仮焼層が溶けにくく、仮焼層が形成しやすいことを示している。(図-Ⅲ. 2. 1. 1 熔融速度定数の比較 (事前確認試験とガラス固化試験))

ガラス温度等の安定性については、「**事前確認試験**」の結果も踏まえ、主電極電力及び間接加熱装置の投入電力の調整を行い、ガラス温度、気相温度等が目標とする範囲で安定した状態で運転を維持することができた。立上げ運転最終バッチで確認されたガラス温度計の指示値の変化に対しても追加した温度計の指示値を確認しながら主電極等の投入電力の調整を行うことで、安定した運転状態を維持することができており、KMOC試験での運転操作の習熟と設備改善の効果があると評価できる。

以下に、立上げ運転で得られた運転データに対する詳細評価を示す。(図-Ⅲ. 2. 1. 2 B系列立上げ運転でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 2.

##### 1. 3 B系列立上げ運転での流下性指標等の推移)

###### ① 立上げの運転初期段階

最初の1、2バッチでは、主電極及び間接加熱装置の投入電力調整により、ガラス温度が高くなりすぎることなく、ゆっくりと立上げができ、3バッチ目以降、ガラス温度が目標とする範囲で安定的に推移した。

3バッチ目後半でガラス温度が上昇しているのは、炉内の温度分布が立上げ初期の水供給によって温度が低い状態から通常運転として管理する温度範囲の安定した状態に移行したことを示すものであり、運転上の問題ではないと考える。

コモン温度が3バッチ目後半から安定した指示値を示していること

からも上記の評価を裏づけることができる。

## ② ガラス温度②指示値の低下

5 バッチ目でガラス温度②の指示値が下降し、ガラス温度②とガラス温度①の指示値に差が生じているのは、仮焼層の状態が変化（厚みが増加）したことによるものと考えられる。

廃液供給中にガラス温度の指示値の差が大きくなっているが、洗浄運転に切り替わるとその差が小さくなることから、この仮焼層の状態の変化は、供給している廃液の影響により発生していることがわかる。

ガラス溶融炉に供給している廃液については、「**ガラス固化試験**」と「**事前確認試験**」で、不溶解残渣廃液の混合量とDBPの濃度が異なる。このため、上述の仮焼層の状態の変化が廃液の影響で発生していることから、不溶解残渣及びDBPが仮焼層の状態の変化に対する影響因子である可能性が考えられる。

過去のアクティブ試験で不溶解残渣を含む廃液を供給した以降に見られた温度上昇の原因調査においても、不溶解残渣及びDBPの影響で仮焼層の状態が変化したものと評価しており、その結果及び「**事前確認試験**」との廃液成分の違いから、温度指示値の差が生じたのは不溶解残渣及びDBPの影響で仮焼層の状態が変化したことが原因であると推定しており、上記の評価と一致する。

また、立上げ運転の運転データから熱バランス計算を用いて算出した溶融速度定数の値が、「**事前確認試験**」の値よりも小さくなっていることから不溶解残渣及びDBPの影響で仮焼層の状態が変化していると評価できる。

5 バッチ目でのガラス温度②の指示値の変化及び気相温度が低下していることを受けて、間接加熱装置の電力を上げることにより2つのガラス温度計の差が減少している。

ガラス溶融炉の運転管理という観点では、不溶解残渣及びDBPの影響で仮焼層の状態が変化し、温度指示値に影響が出た場合でも、追加した温度計の指示値を確認しながら主電極等の投入電力の調整を行うことで、安定した運転状態を維持することができており、KMOC試験での運転操作の習熟と設備改善の効果があると評価できる。

## 2) 安定運転確認

立上げ運転後、洗浄運転を 3 バッチ行い、「安定運転の確認」のための廃液供給に移行した。

「安定運転の確認」全体として、白金族元素堆積指標の一時的な低下や原料ガラス供給停止などがあったものの、ガラス温度、気相温度及び炉底温度①が、「安定運転の確認」における判定基準として「改善検討結果報告」に示した管理目標範囲内であるとともに、洗浄運転に移行することなく、白金族元素が管理された運転が維持できており、試験は問題なく終了できたと評価した。

また、2 回の連続 10 バッチの運転の間に洗浄運転を行うことで、白金族元素のガラス溶融炉内の保有量の低減を図り、白金族元素の沈降、堆積を抑制する運転が実施できた。

以下に、「安定運転の確認」で得られた運転データに対する詳細評価を示す。(図-Ⅲ. 2. 1. 4 B系列安定運転確認でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 2. 1. 5 B系列安定運転確認でのガラス温度等の推移(バッチ平均)、図-Ⅲ. 2. 1. 6 B系列安定運転確認での流下性指標等の推移)

### ①洗浄運転からの切り替え後の初期段階

1 バッチ目でガラス温度が高くなっているが、これは立上げ運転の結果において記載した仮焼層が溶けにくいという今回の運転でガラス溶融炉に供給した廃液の特性の影響と考える。

ガラス温度が上昇したことを受け、運転管理マニュアルに従い、主電極電力などの調整を行い、ガラス温度は安定した状態に移行できており、運転管理として問題なく、ガラス溶融炉の運転制御ができていると評価できる。

### ②白金族元素堆積指標の一時的な低下

連続 10 バッチ運転の後半部分の 4 バッチ目において、白金族元素堆積指標が低下した。当該指標は、次バッチで回復し、この際、流下性には変化はなかった。(図-Ⅲ. 2. 1. 7 B系列安定運転確認における白金族元素堆積指標等の低下)

これに対して、運転データ等(炉底温度①の昇温速度と底部電極の昇温速度の推移、炉底部の抵抗変化(補助間抵抗)、「安定運転の確認」における流下中の異物個数評価)の整理を行い、評価を行った。

#### a. 炉底温度①の昇温速度と底部電極の昇温速度の推移

白金族元素堆積指標は、炉底温度①の昇温速度と底部電極の昇温速度の比により算出していることから、「安定運転の確認」時の「炉底部温度①の昇温速度」と「底部電極の昇温速度」の推移について確認した。

その結果、当該バッチでは、「炉底温度①の昇温速度」が急激に小

さくっており、白金族元素の炉底部への沈降量の増加など白金族元素の挙動による影響の可能性が高いことが確認された。(図-Ⅲ. 2. 1. 8 炉底温度①の昇温速度と底部電極の昇温速度の推移)

b. 炉底部の抵抗変化(補助間抵抗)

炉底部における白金族元素の沈降状況などを確認するために、当該バッチ前後の補助間抵抗の変化を確認した。(図-Ⅲ. 2. 1. 9 白金族元素堆積指標等が低下したバッチ前後における補助間抵抗の変化)

補助間抵抗は、常時計測しており、炉底部の冷却(流下終了から炉底低温運転への移行時)に伴い上昇し、主電極-底部電極間通電による炉底部の加熱(流下のための準備操作時)及び流下に伴い低下する傾向を示すが、補助電極間通電経路中に白金族元素濃度の高いガラス(高濃度ガラス)等が存在すると値が低下するため、炉底部の白金族元素の挙動把握に有効である。

当該バッチの前のバッチの流下時の補助電極間抵抗の変化が他のバッチと比較すると抵抗の低下が停滞している部分が見られる。

抵抗に変化を与える主な因子は白金族元素であることから、このバッチにおいて白金族元素の沈降など挙動に変化(白金族元素濃度の高いガラスの移動等)があったものとする。

また、当該バッチにおいては、主電極-底部電極加熱開始に伴い急激に補助電極間抵抗が増加している。これは、補助電極-底部電極間通電を実施した場合にも同様の状況が見られており、主電極-底部電極間通電の電流が補助電極間に影響しているものと考えられる。

このような影響が見られる要因としては、上述の変化と同様に、補助電極付近での白金族元素の沈降など挙動に変化(白金族元素濃度の高いガラスの移動等)があったものとする。

さらに、当該バッチの後のバッチでは、補助間抵抗値が当該バッチの前のバッチに比べ増加していること、主電極-底部電極間通電に伴う補助間抵抗値の増加が見られないことから、白金族元素濃度の高いガラスは流下ガラスとして炉から排出されたものと考えられる。

c. 安定運転確認における流下中の異物個数評価

KMOC試験において、流下ガラスの異物の評価として、9~11mmの異物が多く確認された場合に流下ガラス中の白金族元素濃度が高いというデータが得られていることから、流下映像により流下ガラス中の異物個数について確認した。(図-Ⅲ. 2. 1. 10 流下ガラス中に確認される異物と白金族元素濃度の関係)

その結果、当該バッチ前後において、ノズル閉塞に影響するような15 mm以上の異物は1～2個程度と少ないが、当該バッチにおいて9～11mmの異物が多く確認された。(図-Ⅲ. 2. 1. 11 B系列安定運転確認における流下中の異物個数)

このことから、当該バッチにおける白金族元素堆積指標の急激な低下は、白金族元素濃度の高いガラスが沈降したことが原因であると考えられる。

上記の運転データ等の整理の結果、当該バッチにおいて白金族元素堆積指標等が急激に低下したのは、白金族元素の炉底部への沈降量が増加したことが原因であると評価する。

また、当該バッチの後のバッチで白金族元素堆積指標等が回復したのは、炉底部に沈降した白金族元素が当該バッチで流下ガラスとして炉から排出されたためであると考えられる。

ガラス溶融炉の運転では、1バッチの多くの時間において炉底低温運転を行い、炉底部の温度を炉上部の温度よりも低く維持することで白金族元素が炉底部に沈降しにくい状態とし、流下を行う段階になると、ガラスの流下を行うために主電極と底部電極の間に電流を流して炉底部のガラス温度を上昇させる。流下が終了すると、再度炉底低温運転とするため、炉底部を冷却する。流下の際に炉底部のガラス温度を上昇させると白金族元素は炉底部に沈降し、それを流下操作によって流下ノズルから抜き出すが、その際炉底部に沈降した白金族元素の一部が炉底部周辺に滞留する状態が生じる。上述の運転を繰り返すことによりある程度炉底部周辺に滞留している白金族元素の量が増加すると流下によって抜き出され、炉底部周辺の滞留量が減少するというサイクルを繰り返している。

上述のように当該バッチの白金族元素堆積指標等の変化は、白金族元素の挙動の影響であるが、今回の様な白金族元素堆積指標等の低下・回復は、判断指標に対して十分余裕のある範囲であり、またその挙動はガラス溶融炉の運転としては通常運転において見られる挙動であり、運転上問題となるものではないと評価できる。

### ③ガラスビーズ供給設備の不具合による供給停止

連続10バッチ運転の後半部分の4バッチ目から5バッチ目において、ガラスビーズ供給設備の不具合により原料ガラスビーズの供給が数回停止したため、ガラス溶融炉液位が数十ミリ低下した。

液位の変動は、すべてのガラス温度の指示値が同時に低下したことから確認でき、仮焼層のレベルが低下したことによりガラス温度の指

示値が低下したものと判断できる。

ガラスビーズ供給設備の不具合については、所定の手順に従い、ガラス溶融炉を保持運転とし、その間に弁の部品を交換することにより復旧し、問題なく作動することを確認した。

ガラス溶融炉の運転状態については、主電極、間接加熱装置の投入電力を調整するとともに、低下したガラス溶融炉内の液位を通常範囲に戻すために 6 バッチ目のガラスの流下重量を通常よりも少なくすることで対応した。

投入電力量の変更及び流下ガラス重量の調整により、ガラス温度は通常の運転範囲に戻すことができた。

周辺設備の不具合が発生した場合でもガラス溶融炉の運転状態を把握し、白金族元素の急激な沈降、堆積などを発生させず対応できていると評価できる。

#### ④流下性に係る判断指標の変化

「**安定運転の確認**」の最終バッチの流下において、50kg/h 到達時間は前のバッチと同程度であったものの、100kg/h 到達に時間を要した。

(図-Ⅲ. 2. 1. 12 B系列安定運転確認における流下性指標の低下)

最終バッチで確認された流下性の変化については、流下速度 50kg/h 到達までの時間は他のバッチと同程度であること、白金族元素堆積指標に変化がないこと等から白金族元素による溶融ガラスの粘性の増加による影響ではなく、異物により流路が狭窄した可能性が高いと評価し、計画どおり洗浄運転に移行して、状況を確認することとした。

洗浄運転において、流下操作の準備として主電極-底部電極間通電による炉底部温度上昇、高周波加熱コイルによる流下ノズル加熱操作を行い、流下を開始したが、ガラスの流下量が非常に少なく、流下速度が上昇しない状況であったため、手動で流下を停止した。

洗浄運転では流下状況の回復が期待できないことから、予め制定している「想定事象マニュアル」における『流下不良（異物等による流下ノズルの閉塞が疑われる場合）』に該当すると判断し、直棒（改良型）を設置した状態での洗浄運転により流下性回復操作を行うこととした。その結果、流下性は回復した。

これに対して、運転データ等（「**安定運転の確認**」最終バッチの流下状況、安定運転後の洗浄運転における流下状況、B系の「**事前確認試験**」及び「**ガラス固化試験**」における異物量評価）の整理を行い、評価を行った。

なお、B系列の「**ガラス固化試験**」の前に実施した流下確認において、直棒先端が炉底部までスムーズに降下できないなどのレンガブロックの落下が疑われるような状況がないこと、及び流下性は良好であり、15mm以上の異物（流路の閉塞を発生に係る傾向把握として15mm以上の異物の発生状況を計測している）は、B系列事前確認試験前に実施した流下確認に比べて少ないことを確認している。

a. 安定運転確認最終バッチの流下状況

「**安定運転の確認**」の最終バッチでは50kg/hまでの流下速度上昇は他のバッチと同程度で正常であったが、その後、流下速度が低下・停滞した。（図-Ⅲ. 2. 1. 13 B系列安定運転確認最終バッチと前バッチの流下速度の変化の比較）その結果、100kg/h到達までに78分を要した。

白金族元素の炉底部への堆積により流下性が低下する場合は、過去のKMOC試験等の経験から、

- ・バッチを重ねるにつれて段階的に流下性が低下する
- ・主電極 - 底部電極間抵抗の低下や炉底加熱性の低下（炉底部の温度を所定の温度まで上昇させるために必要な時間が長くなる）も同様に確認される

ことが分かっている。

これに対し、「**安定運転の確認**」の最終バッチに確認された流下性の低下は、50kg/hまでは順調で、100kg/hに到達する過程で突然生じており、また主電極 - 底部電極間抵抗の低下や炉底加熱性の低下は見られていないことから、白金族元素の炉底部への堆積が原因で発生したものではないと考えられる。

b. 安定運転後の洗浄運転における流下状況

直棒（改良型）を設置した状態で実施した洗浄運転では、まず流下開始前に直棒（改良型）による炉底部確認を実施した。その際、直棒（改良型）先端は炉底部までスムーズに降下できており、レンガブロックの落下が疑われるような状況は確認されなかった。

次に高周波加熱コイルによる流下ノズル全段加熱を行ったところ、流下開始直後にレンガ片と推定される異物が排出された。（図-Ⅲ. 2. 1. 14 B系列安定運転確認後の洗浄運転において確認された異物左）

その後、流下は継続しているものの流下速度があまり上昇しなかったことから、直棒（改良型）挿入を行った。その際、底部電極合流部付近で直棒（改良型）降下が一時停滞したため、一旦直棒（改良型）

を引き上げて、再度挿入したところ、直棒（改良型）の自重で流下ノズルを貫通した。

直棒（改良型）が流下ノズルを貫通する直前に流下ノズルから異物らしきものが排出された。（図-Ⅲ. 2. 1. 14 B系列安定運転確認後の洗浄運転において確認された異物 右）

上記の状況から、「安定運転の確認」の最終バッチにおいて100kg/h到達時間が基準値を超え、洗浄運転において流下速度が上昇しなかった原因はレンガ片と推定される異物により流路が狭窄したものと推定した。

なお、今回の運転では、2012年1月に発生した「流下ノズル閉塞事象」の対策としてレンガ片を溜め込まない運転を行うとともに、直棒（改良型）を用いた流下性回復操作を行うことで狭窄状態から回復することができ、対策の有効性が確認出来たと考えられる。

#### c. B系列の事前確認試験及びガラス固化試験における異物量評価

流下画像から異物量を計測するシステムを用いて、「事前確認試験」及び「ガラス固化試験」の異物量を評価したところ、ガラス固化試験では、異物量が減少していることを確認したが、完全になくなる状態には至っていない。（図-Ⅲ. 2. 1. 15 B系列事前確認試験とB系列ガラス固化試験における15mm以上の異物発生量）

上記の運転データ等の整理の結果、白金族元素堆積ではなく、レンガ片と推定される異物により流路が狭窄したことが原因であると推定した。

「事前確認試験」後に実施した炉内観察でも、ガラス熔融炉使用開始時と比較して減少はしているものの接液レンガの割れ・欠けの進展が見られていることから、今後も、通常は流下とともに流下ノズルから排出されるこれらの異物が稀に流路の一部を狭窄させる可能性が考えられる。

耐火レンガを用いた熔融炉の性質上、同様の事象が発生する可能性を無くすことは難しいと考えるが、異物発生量や接液レンガの割れ・欠けの進展が減少する方向にあることから、これまでの実績である1回/1キャンペーン程度よりも発生頻度も低下していくと想定される。

## （2）性能確認の確認結果

性能確認では、立上げ運転と同じ廃液供給速度での運転を2バッチ行い、3バッチ目で最初の2バッチと70L/hの間の廃液供給速度で運転を行い、

4 バッチ目、5 バッチ目で判定基準である 70L/h 以上を満足するよう廃液供給速度を設定し運転を行った。(図-Ⅲ. 2. 1. 16 B系列性能確認でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 2. 1. 17 B系列性能確認でのガラス温度等の推移 (バッチ平均)、図-Ⅲ. 2. 1. 18 B系列性能確認での流下性指標等の推移)

過去に実施している放射性廃棄物の廃棄施設の処理能力のうち、溶液の処理を行う設備については、液の供給量を槽の液量変化を用いて計測しているが、ガラス溶融炉への高レベル廃液供給速度は供給液槽の液量変化をもとに算出されており、供給液槽は、供給槽からオーバーフローで液が還流していること、槽内に攪拌機が設置されていて常時動作している影響により供給液槽の液面は変動していること等により、ガラス溶融炉への高レベル廃液供給速度の値の計測誤差が大きくなる。

そのため、液量変化を平均演算処理して算出された供給量を積算している廃液供給積算量を用いて計測することとした。

その結果、計測を実施した 1 時間において、性能確認の判定基準である約 70L/h 以上を満足する約 73L/h の処理量で運転することができた。

その間、判断基準ではないものの、ガラス温度、気相温度及び炉底温度①は安定運転の管理目標範囲を維持した状態であるとともに、白金族元素堆積指標、流下性の指標が回復運転への移行判断基準に達することなく運転ができた。

また、性能確認を行う上で必要な条件として設定したガラス溶融炉内の液位が通常運転範囲であること、ガラス溶融炉内の負圧変動が通常範囲内であることについても確認した。

### (3) 炉内観察結果

炉内観察を行い、レンガの割れ、欠けの状況について確認した。

- ・ 過去にA系列で確認された天井レンガ損傷 (アンカレンガ落下) のような状況が発生していないことを確認した。
- ・ 接液レンガに大きな欠け、剥離は確認されなかったが、これまでと同様、若干の割れ・欠けの進展が確認された。
- ・ アクティブ試験前 (立上げ・停止×4回) の接液レンガの割れ長さが 2980cmであったのに対して、接液レンガによる閉塞事象のあとのドレンアウト後 (立上げ・停止×4回) における新たな割れ発生及び割れ進展は 236cm、「事前確認試験」後 (立上げ・停止×1回) の新たな割れ発生及び割れ進展は 122cm、今回の「ガラス固化試験」後の新たな割れ発生及び割れ進展は 138cmであった。
- ・ 「事前確認試験」後と同様に、接液レンガの割れ・欠けの大きな進展は確認されておらず、新たな割れ・欠けは発生しにくくなっていると

考えられる。

## 2. 2 A系列

### (1) 安定運転確認の確認結果

「安定運転の確認」全体として、ガラス温度、気相温度及び炉底温度①が、「安定運転の確認」における判定基準として「改善検討結果報告」に示した管理目標範囲内であるとともに、洗浄運転に移行することなく、白金族元素が管理された運転が維持できており、試験は問題なく終了できたと評価した。

また、連続 10 バッチの運転の間に洗浄運転を行うことで、白金族元素のガラス熔融炉内の保有量の低減を図り、白金族元素の沈降、堆積を抑制する運転が実施できた。

以下に、「安定運転の確認」で得られた運転データに対する詳細評価を示す。(図-Ⅲ. 2. 2. 1 A系列安定運転確認でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 2. 2. 2 A系列安定運転確認でのガラス温度等の推移(バッチ平均)、図-Ⅲ. 2. 2. 3 A系列安定運転確認での流下性指標等の推移)

#### ① 模擬廃液(低模擬)による仮焼層形成段階から実廃液供給への切り替え段階での温度推移

模擬廃液(低模擬)による仮焼層形成段階では、ガラス温度が上昇、気相温度が低下し、仮焼層が形成されている状況が確認されるが、模擬廃液(低模擬)による運転の最終バッチの後半部分で気相温度の上昇が見られ、一時的な変動により仮焼層が不安定な状態になったものと推定される。(図-Ⅲ. 2. 2. 4 模擬廃液(低模擬)による仮焼層形成段階から実廃液供給への切り替え段階での温度推移)

この影響により実廃液供給に切り替えた後の1、2バッチ目のガラス温度が低めに推移した。

これを受け、主電極電力等を調整し、ガラス温度は上昇したものの、逆にガラス温度が高い傾向となった。

その後、主電極電力等の調整を行い、5バッチ目以降は、ガラス温度は安定して推移した。

仮焼層の状態が不安定になったことを確認し、主電極電力等の調整は行ったが、その調整が遅れたことが、実廃液供給への切り替え初期において、安定運転の温度目標範囲内ではあるもののガラス温度が不安定な状態となった要因と考える。

#### ② 安定運転確認後半における『高周波加熱切り替え異常』発生の影響

「安定運転の確認」後半10バッチの4バッチ目の流下終了後に『高周波加熱切り替え異常』が発生した。流下終了後であったため、ガラスの流下には影響はなかった。

通常、流下操作が終了すると、底部電極の冷却が自動的に開始されるが、当該バッチでは『高周波加熱切り替え異常』が発生したため、底部電極の冷却が開始されなかった。

運転員が、通常と状態が違うことに気が付き、底部電極の冷却を手動操作で行ったが、結果的に底部電極の冷却開始が1時間程度遅れた。

その影響として、5バッチ目以降の主電極-底部電極間通電による炉底加熱時間が長くなる傾向が見られるとともに、流下性の指標である流下速度 50kg/h 到達時間が長くなる傾向が見られた。(図-Ⅲ. 2. 2.

#### 5 A系列ガラス固化試験における炉底加熱時間の推移、図-Ⅲ. 2. 2. 6 流下速度 50kg/h 到達時間の推移と洗浄運転の関係)

「安定運転の確認」後の洗浄運転の1バッチ目も上記傾向が継続していたことから、白金族元素を管理された状態での運転の観点で、洗浄運転を1バッチ追加することとし、洗浄運転を4バッチ実施した。

その結果、洗浄運転を行うことにより、炉底加熱時間及び流下速度 50kg/h 到達時間を他のバッチと同程度に回復することができた。

## (2) 性能確認の確認結果

性能確認では、B系列と同様に段階的に廃液供給速度を上げ、4バッチ目、5バッチ目で判定基準である 70L/h 以上を満足するよう廃液供給速度を設定し運転を行った。(図-Ⅲ. 2. 2. 7 A系列性能確認でのガラス温度等の推移、図-Ⅲ. 2. 2. 8 A系列性能確認でのガラス温度等の推移 (バッチ平均)、図-Ⅲ. 2. 2. 9 A系列性能確認での流下性指標等の推移)

その結果、計測を実施した1時間において、性能確認の判定基準である 70L/h 以上を満足する約 76L/h の処理量で運転することができた。

その間、判断基準ではないものの、ガラス温度、気相温度及び炉底温度①は安定運転の管理目標範囲を維持した状態であるとともに、白金族元素堆積指標、流下性の指標が回復運転への移行判断基準に達することなく運転ができた。

また、性能確認を行う上で必要な条件として設定したガラス熔融炉内の液位が通常運転範囲であること、ガラス熔融炉内の負圧変動が通常範囲内であることについても満足していることを確認した。

以下に、性能確認で得られた運転データに対する詳細評価を示す。

### ①性能確認における白金族元素堆積指標、ガラス温度の推移

性能確認の4、5バッチ目では上述したように判定基準である 70L/h 以上を満足するよう廃液供給速度を設定し運転を行ったことから、「**安定運転の確認**」よりも廃液供給速度が多くなった。

この影響で、仮焼層形成状態が変化し、その結果白金族元素堆積指標及びガラス温度が低下傾向を示した。

上記の状況から、今後操業運転において、前処理、分離設備のように最大処理量を運転調整のために用いることが安定運転の観点では良い手段ではなく、貯槽で上流工程との運転調整を行い、安定的に通常の処理量で運転を継続して行うことがガラス溶融炉の運転管理としては重要であると考える。

## ②性能確認における電力盤異常発生

性能確認時の4バッチ目、5バッチ目に、ガラス溶融炉の電力盤不具合が発生し、ガラス溶融炉の通電及びガラス原料・廃液供給が停止した。

事象確認後、警報対応手順に従い、異常リセット操作を行い、復旧（ガラス溶融炉の通電及びガラス原料・廃液供給を再開）を確認するとともに、ガラス溶融炉の運転状態に問題がないことを確認した。

ガラス溶融炉の電力盤不具合は、補助電極－底部電極間通電開始時に、操作画面から底部電極通電の電源「入」操作を実施したタイミングで発報した。

補助電極－底部電極間通電は、ガラス溶融炉底部への白金族元素沈降状態を確認するための参考データ（補助電極－底部電極間抵抗値）取得を目的として行っている。

### 4 バッチ目

- ・電源「入」操作時に電力盤異常の警報が発報したことから、電磁ノイズ等による一時的な警報発報の可能性が高いと判断し、警報対応手順書に従い現場の電力盤を異常リセット操作した
- ・異常リセット操作の結果、異常が復旧した。
- ・異常が復旧できたことを受け、電磁ノイズ等が要因であった可能性が高いと判断し、停止した各電極間通電、間接加熱装置及びガラス原料・廃液供給を起動・再開した。

なお、ガラス溶融炉における他の通電電源「入」操作時に、当該電力盤異常が発報する事象は、稀に過去の試験運転時にも発生している。

### 5 バッチ目

- ・補助電極－底部電極間通電では、補助電極A－底部電極、補助電極B－底部電極の2度の通電を行うことから、電源「入」操作を2回実施する必要があるが、1回目の電源「入」操作時は発報がなく、2回目の電源「入」操作時に4バッチ目と同様の電力盤異常の警報が発報した（4バッチ目は1回目の電源「入」操作時に発報）。
- ・4バッチ目に続いて2回目の発報ではあったものの、同様に電源「入」

操作時の発報であったことから、4 バッチ目と同様に電磁ノイズ等による警報発報の可能性があると考え、警報対応手順書に従い、電力盤の異常リセット操作を行った。その結果、異常が復旧し、停止した各電極間通電、間接加熱装置及びガラス原料・廃液供給を再開した。

なお、短期間における 2 回の警報発報があったが、以下のとおり安全上の問題はないこと、また、ガラス溶融炉への影響を考慮して運転継続を判断した。

- ・電力盤異常警報の発報は、補助電極－底部電極間通電における電源「入」操作時に発生しており、データ取得目的のための当該通電は実施しないことで、再発を低減できる。
- ・ドレンアウト時には補助電極－底部電極間通電を行う必要があることから同様の事象が発生する可能性があるが、再発したとしてもガラス溶融炉が通電停止することは安全側の措置であり、通電停止により異常の拡大は生じない。
- ・ガラス溶融炉の安全機能（放射性物質の閉じ込め機能）には影響がない。

ドレンアウト終了後、電力盤の点検を行った結果、電力盤内の中継端子台にて端子の緩みを確認した。

調査結果及び当該制御盤の特徴等として、以下の点を踏まえると、補助電極－底部電極間通電を「入」にした際に電磁接触器の動作の衝撃により、端子台のねじ接続部に振動が加わり、接触不良が生じて電源瞬断が発生したものと推定した。

- ・中継端子台で端子の緩みを確認した
- ・事象が補助電極－底部電極間通電時に発生している
- ・補助電極－底部電極間通電のための電力盤は電流容量が大きく、電磁石の動作によって電路を開閉する電磁接触器の ON/OFF 時に衝撃が発生する
- ・補助電極－底部電極間通電のための電力盤は、化学試験開始以降 200 回程度 ON/OFF を行っている

今後のガラス溶融炉の運転に対する再発防止策として、当該電力盤を含む電流容量の大きい電力盤の中継端子台の端子について、定期的に増し締めを行うこととする。

### (3) 炉内観察結果

- 炉内観察を行い、レンガの割れ、欠けの状況について確認した。
- ・ 過去にA系列で確認された天井レンガ損傷（アンカレンガ落下）のような状況が新たに発生していないことを確認した。
  - ・ 接液レンガに大きな欠け、剥離は確認されなかったが、これまでと同様、若干の割れ・欠けの進展が確認された。
  - ・ アクティブ試験前（立上げ・停止×3回）の割れ長さ2769cmであったのに対して、「事前確認試験」後（立上げ・停止×4回）の新たな割れ発生及び割れ進展は895cm、今回の「ガラス固化試験」後の新たな割れ発生及び割れ進展は765cmであった。
  - ・ 割れの進展は減少傾向を示しており、新たな割れは発生しにくくなっていると考えられる。

### 3. 「改善検討結果報告」に示した改善の効果に対する評価

「改善検討結果報告」では、「ガラス温度等の安定状態を維持した運転」、「白金族元素の管理された状態での運転」を実現するために以下の改善を行うことを計画し、それを踏まえて実施した「ガラス固化試験」では、目標とする「安定運転の確認」を達成することができた。

（ガラス温度等の安定状態を維持した運転）

- ・ ガラス温度測定点の追加及びガラス温度計の追加設置
- （白金族元素の管理された状態での運転）
- ・ 模擬廃液（低模擬）による洗浄運転への洗浄運転方法の変更
  - ・ 定期的な洗浄運転の実施

上記改善の効果に対する評価を以下に示す。（図-Ⅲ. 3. 1 「改善検討結果報告」に示した改善の効果）

#### ①ガラス温度測定点の追加及びガラス温度計の追加設置

##### 1) ガラス温度測定点の追加

当初ガラス溶融炉に設置していたガラス温度計により深い位置に温度測定点を追加設置したことで、ガラス温度指示値が仮焼層の影響を受けにくくなった。

例えば、性能確認において廃液供給速度を増加させた際に、仮焼層が成長すると当初設置していたガラス温度②は仮焼層の影響を受け、指示値が低くなる傾向が見られた。これは溶融ガラスよりも温度の低い仮焼層の影響を受けると推定される。一方、追加設置したガラス温度①は仮焼層の影響を受けにくく、ガラス温度が低くなる傾向は見られなかった。

これにより第5ステップで不溶解残渣廃液を含む高レベル廃液を用いて運転を行った以降に見られたのと同様な仮焼層の状態変化が生じた場合でもガラス温度を適切に把握することができると考える。

## 2) ガラス温度計の追加設置

当初ガラス溶融炉に設置していたガラス温度計とは別の位置に新たに温度計を設置したことで、仮焼層の局所的な現象（ホットスポット等）による一時的なガラス温度等の変動か、実際に仮焼層の状態が変化しガラス温度等が変動しているかの違いを把握することができるようになった。

例えば、当初ガラス溶融炉に設置していたガラス温度の指示値が一時的に低下した場合に、これまでであれば仮焼層が溶けていると判断し、主電極や間接加熱装置を調整することになるが、仮焼層の局所的な現象（ホットスポット等）の場合でもガラス温度の指示値は同様の変化を示すため、実際は仮焼層が良好な状態であっても主電極等の調整を行うことでガラス溶融炉内の状態を悪化させることに繋がる可能性がある。一方、ガラス温度計を追加設置したことで、仮焼層の局所的な現象（ホットスポット等）によってガラス温度の指示値が一時的に低下した場合には、変化の見られた温度計と別の温度計の指示値に変化がないことで仮焼層の局所的な現象（ホットスポット等）であることが判断できる。

これにより、仮焼層の局所的な現象（ホットスポット等）による一時的なガラス温度等の変動に対して主電極電力、間接加熱電力の調整を行うことでガラス温度等のバランスを壊す状態に至る可能性を低くすることが可能となったと考える。

## ②白金族元素の管理された状態での運転

### 1) 模擬廃液（低模擬）による洗浄運転への洗浄運転方法の変更

洗浄運転の方法を、模擬ガラスビーズを用いる方法から模擬廃液（低模擬）と原料ガラスビーズを用いる方法に変更したことで、洗浄運転初期のバッチで流下性が低下することが無くなった。

模擬ガラスビーズを用いる洗浄運転の場合は、洗浄運転時に仮焼層が無くなるため、仮焼層に含まれている白金族元素が炉底部に沈降、堆積し、流下性が低下することがあった。一方、模擬廃液（低模擬）と原料ガラスビーズを用いる洗浄運転の場合には、洗浄運転時にも仮焼層が維持されるため、仮焼層に含まれている白金族元素が炉底部に沈降、堆積することがなく、炉内の白金族元素を徐々に流下により溶融ガラスとして抜き出すことが可能である。

ガラス溶融炉は、炉内の白金族元素のバランスを管理することが重要であり、流下によりガラス溶融炉から抜き出すことができる白金族元素の量は大きく増えるものではなく、仮焼層が溶けるなど炉底部に沈降、堆積する白金族元素の量が急激に増える状態が生じれば、炉内の白金族元素のバランスが壊れ、抜き出せずに炉底部に堆積する白金族元素が生じ、流下性の悪化などに繋がることになる。

模擬廃液（低模擬）と原料ガラスビーズを用いる洗浄運転の方法に変えるこ

とにより、炉内の白金族元素のバランスを維持した状態で炉内の白金族元素を抜き出すことが可能となると考える。

## 2) 定期的な洗浄運転の実施

これまでのアクティブ試験では炉底部に白金族元素が沈降、堆積した兆候が確認された場合に回復運転として洗浄運転を行っていたが、この場合徐々に炉内の白金族元素保有量が増加した状態で白金族元素が炉底部に急激に沈降、堆積すると洗浄運転による回復が困難な状況になることがあった。洗浄運転を定期的の実施することで炉内白金族元素の保有量を増やすことがないように制御ができるため、白金族元素が炉底部に急激に沈降、堆積し、洗浄運転により回復が困難な状況に至ることを防ぐことができると考える。

これは、白金族元素を管理した状態で運転を行う安定運転の一助となる。

#### IV. まとめ

第4ステップの試験結果に対して保安院から指示された安定運転確認については、その後取りまとめた「安定運転条件報告」、ガラス溶融炉運転方法の「改善検討結果報告」などに示した運転方法に基づき実施した「ガラス固化試験」において確認することができた。

「ガラス固化試験」が終了したことにより、ガラス溶融炉の処理能力に係る使用前検査の前に実施する必要がある試験項目がすべて終了したこととなる。

	試験計画	試験結果
事前確認試験 (B系列)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 模擬廃液（低模擬）による確認、実廃液による確認</li> <li>● 新規に設置した温度計の適用性を確認、炉底温度を目標温度以下に管理できることを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 模擬廃液（低模擬）：16 バッチ、不溶解残渣を含まない廃液：15 バッチ、不溶解残渣を含む廃液：10 バッチ</li> <li>● ガラス温度、気相温度データを用いて主電極、間接加熱装置電力の調整を行うことにより、ガラス温度、気相温度が概ね運転目標の範囲内で管理され、安定した運転が実施できることを確認</li> </ul>
事前確認試験 (A系列)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 模擬廃液（低模擬）による確認：交換後の結合装置（高周波加熱コイル）を用いた流下条件の確認、炉底低温運転条件の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 模擬廃液（低模擬）：10 バッチ</li> <li>● 高周波加熱電力、底部電極冷却空気流量等の炉底温度管理にかかる運転条件を調整し、炉底温度を目標温度以下に管理できることを確認</li> </ul>
ガラス固化試験 (B系列)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安定運転確認：廃液供給 10 バッチ＋洗浄 3 バッチ＋廃液供給 10 バッチで安定した運転状態が維持できること</li> <li>● 性能確認：5 バッチの中で 70L/h 以上で運転できること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 計画通りのバッチ数を実施</li> <li>● 安定運転確認：白金族元素堆積指標の一時的な低下やガラス原料供給の一時的な不調などがあったものの、ガラス温度、気相温度及び炉底温度が、安定運転確認における判定基準として示した管理目標範囲内であるとともに、洗浄運転に移行することなく、白金族元素が管理された運転が維持できた</li> <li>● 性能確認：計測を実施した 1 時間において、性能確認の判定基準である 70L/h 以上を満足する約 73L/h の処理量で運転することができた</li> </ul>

<p>ガラス固化試験 (A系列)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●安定運転確認：廃液供給 10 バッチ+洗浄 3 バッチ +廃液供給 10 バッチで安定した運転状態が維持できること</li> <li>●性能確認：5 バッチの中で 70L/h 以上で運転できること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●計画通りのバッチ数を実施</li> <li>●安定運転確認：ガラス温度、気相温度及び炉底温度が、安定運転確認における判定基準として示した管理目標範囲内であるとともに、洗浄運転に移行することなく、白金族元素が管理された運転が維持できた</li> <li>●性能確認：計測を実施した 1 時間において、性能確認の判定基準である 70L/h 以上を満足する約 76L/h の処理量で運転することができた</li> </ul>
--------------------------	---	---

また、第4ステップから実施したガラス溶融炉の試験等を通じて安定運転の管理範囲内での運転を行うための手順や管理方法を整理するとともに、ガラス溶融炉等で発生することが想定される事象とそれに対する対応方法を想定事象対応手順等として整理することで、安定運転を確実に実施するための体制を構築してきた。

さらに、KMOC試験等を通じて運転員の技術力を向上させ、安定運転の管理範囲内での運転が実施できる体制作りを行ってきた。これらは、「**ガラス固化試験**」で安定運転が確認できたことに加え、アクティブ試験の成果と考える。

＜安定運転の管理範囲内での運転を行うための管理方法を整理＞

No.	管理項目	目的	関連する報告書類
①	調整液添加による廃液調整（混合槽） 崩壊熱 廃棄物濃度 低粘性流体形成成分濃度 核分裂生成物含有率	安定運転	「安定運転条件検討結果報告」
②	ガラス温度等 ガラス温度バッチ平均温度 気相平均温度 炉底温度①バッチ平均温度	安定運転	「改善検討結果報告」
③	回復運転に移行するための判断基準	安定運転	「改善検討結果報告」
④	直棒の曲がり防止のための管理 遠隔による荷重負荷 減肉管理の実施	不具合防止	「天井レンガの一部損傷報告」
⑤	天井レンガ損傷抑制のための管理 間接加熱装置温度降下速度	不具合防止	「天井レンガの一部損傷報告」

No.	管理項目	目的	関連する報告書類
⑥	接液レンガ欠け抑制のための管理		
	原則ドレンアウトによる停止	不具合防止	「流下性低下事象の原因と対策」
⑦	DBP 濃度管理		
	混合槽における DBP 濃度	安定運転	—
⑧	FINE 混合量管理		
	混合槽における FINE 混合量	安定運転	—

<想定される事象とそれに対する対応方法を想定事象対応手順等として整理>

想定事案件名		六ヶ所ガラス固化設備での発生事例
ガラス溶融炉の設備に関する事象	熱上げプログラム異常	なし
	各通電系電極の絶縁抵抗の低下	あり
	間接加熱装置抵抗値上昇	なし
	間接加熱装置ヒータエレメント断線	あり
	計器類の故障(熱電対断線等)	あり
	レンガの割れ, 欠けの発生	あり
	原料供給器の腐食	あり
	負圧維持オリフィスの操作不可	あり
	液位計の指示値変動	あり
ガラス溶融炉の運転に関する事象	熱上げ期間の延長	なし
	熱上げ中における耐火レンガの昇温速度目標超過	あり
	水供給期間の延長	なし
	炉底部加熱不良	あり
	処理能力の低下	なし
	炉内ガラスの残留	あり
	製造ガラス組成の目標値からの逸脱	なし
ガラスの流下に関する事象	流下ノズル加熱性の低下	あり
	流下ガラスの偏流	あり
	流下ガラスの柱状化	あり
	流下不良(異物等による流下ノズルの閉塞)	あり
	流下不良(炉底部温度が低い場合)	なし
	低粘性流体(イエローフェーズ)の発生	あり
	結合装置及びガラスカッタ内への流下ガラス滞留事象	あり

	想定事象件名	六ヶ所ガラス固化設備での発生事例
関連設備に関する事象	中央制御室からの流下監視不可 (ITV 故障等)	あり
	電極冷却ユニット起動不可または起動中の停止	なし
	電極冷却ユニット配管内結露水の発生	あり
	高周波加熱装置ジャンパ管からの冷却水漏れ	なし
	高周波加熱装置冷却水漏洩、流量低下	なし
	ガラスカッタ, サンプリング装置の作動不良	あり
	結合装置結合作動不良	あり
	結合装置内圧力調整弁開度の変動	あり
	流下重量、流下速度指示値の異常変動	あり
	流下時以外におけるガラス固化体重量の異常高	あり

以 上