

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  
【公開版】

平成 20 年 6 月 11 日  
日本原燃株式会社

本書は記載内容のうち、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

1. 概 要.....	1
2. 安定運転条件の検討の流れ.....	2
3. アクティブ試験で観察された事象の原因分析.....	3
3.1 アクティブ試験で観察された事象の分析.....	3
3.2 運転条件事象を踏まえた原因事象の絞込み.....	4
3.3 運転発生事象に対する原因事象の絞込み.....	5
4. 原因事象に対する要因の分析.....	6
4.1 「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことに対する要因分析..	6
4.2 「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した」ことに対する要因分析.....	8
5. 要因に対する対策の検討.....	10
5.1 「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」に対する対策.....	10
5.2 「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した要因」に対する対策.....	12
6. 低粘性流体の発生に対する要因分析及び対策の検討.....	14
6.1 要因分析.....	14
6.2 対策の検討.....	15
7. 運転方法の具体化.....	15
7.1 「安定した運転状態を維持するための対策」の具体化.....	15
7.2 「長期的に運転状態を維持するための対策」の具体化.....	16
8. ガラス固化設備の試験再開に向けて.....	18

<表一覧>

表-1 :	アクティブ試験で観察された事象の整理	21
表-2 :	観察事象の分類と原因事象の分析	24
表-3 :	対策案の有効性・実行性の評価	27
表-4 :	廃液調整の実施方法の検討及び有効性・実行性の評価	28
表-5 :	長期的に運転状態を維持するための対策の検討及び有効性・実行性の評価	29
表-6 :	回復運転への移行判断指標の検討	30
表-7 :	回復運転方法の検討	31
表-8 :	保持運転方法の検討	32
表-9 :	対策に対する運転方法の具体化	33

<図一覧>

図-1 :	アクティブ試験で観察された事象の洗出しフロー	34
図-2 :	熔融炉内の状態変化として観察されたものに対する原因の絞込みフロー	35
図-3 :	観察事象の影響因子	36
図-4 :	炉内残留物試料採取箇所	38
図-5 :	運転発生事象に対する原因の絞込みフロー	39
図-6 :	原因事象に対する要因の分析フロー	40
図-7 :	仮焼層形成に影響を及ぼす要因の詳細因子	41
図-8 :	ガラスビーズ及び廃液の供給開始からの気相温度の変化 (微量元素の影響) (実験炉試験)	42
図-9 :	白金族元素の沈降・堆積に影響を及ぼす要因の詳細因子	43
図-10 :	炉底高温保持運転における白金族元素沈降評価 (熔融炉解析)	44
図-11 :	流下開始時の炉底傾斜部の白金族元素堆積状態 (熔融炉解析)	45
図-12 :	長時間保持運転における白金族元素沈降評価 (熔融炉解析)	46
図-13 :	ガラス温度と炉内白金族元素分布の関係 (熔融炉解析)	46
図-14 :	要因に対する対策の検討フロー	47
図-15 :	ガラス温度及び気相温度に対する運転範囲の設定	48
図-16 :	安定領域を広げるための対策検討例 : 廃液濃度及び供給速度の影響 (熱バランス計算)	49
図-17 :	運転監視項目	50
図-18 :	低粘性流体が発生したことに対する要因の分析フロー	51
図-19 :	低粘性流体の発生に影響を及ぼす要因の詳細因子	52
図-20 :	低粘性流体生成状況 (るつぼ試験)	53
図-21 :	昇温速度と低粘性流体生成の関係 (るつぼ試験)	54

図-22 :	加熱保持温度と低粘性流体生成の関係（るつぼ試験）	54
図-23 :	低粘性流体発生要因に対する対策の検討フロー	55
図-24 :	安定した運転を維持するための具体的対策（投入電力調整）	56
図-25 :	回復運転への移行判断フロー	57
図-26 :	回復運転フロー	58
図-27 :	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	59
図-28 :	炉内残留物除去後の炉内観察結果	60
図-29 :	炉内残留物除去前後における補助電極A/B－底部電極間抵抗	60

<添付資料等>

添付資料-1 : ガラス固化設備の開発、試験等の経緯

添付資料-2 : ガラス固化設備安定運転条件等の検討体制

添付資料-3 : 解析評価及びコールド試験について

参考資料-1 : 用語集

## 1. 概要

アクティブ試験 第4ステップでは、初めて高レベル廃液等を用いて、高レベル廃液ガラス固化設備のガラス溶融炉（A系列）において運転性能や処理能力等の確認試験を行った。これにより、再処理施設の安全性に影響なく、所定の能力で運転できることを確認した。

しかし、アクティブ試験の確認事項は満足したものの、ガラス温度が低めに推移し、流下性が低下する等の事象が発生し、使用前検査の検査前条件である

①安定した運転状態を維持すること

②白金族元素の影響を考慮し、管理された運転状態を維持すること

については、それぞれ以下の通り確認することはできなかった。

①限定した期間での確認はできたが、長期間の維持は確認できなかった。

②流下性の低下などが発生し、炉内溶融ガラスの全量拔出し操作が必要となり、管理された運転状態を維持することが確認できなかった。

これらを「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」として平成20年2月4日に原子力安全・保安院へ報告した。

この報告に対し、2月14日に原子力安全・保安院から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。

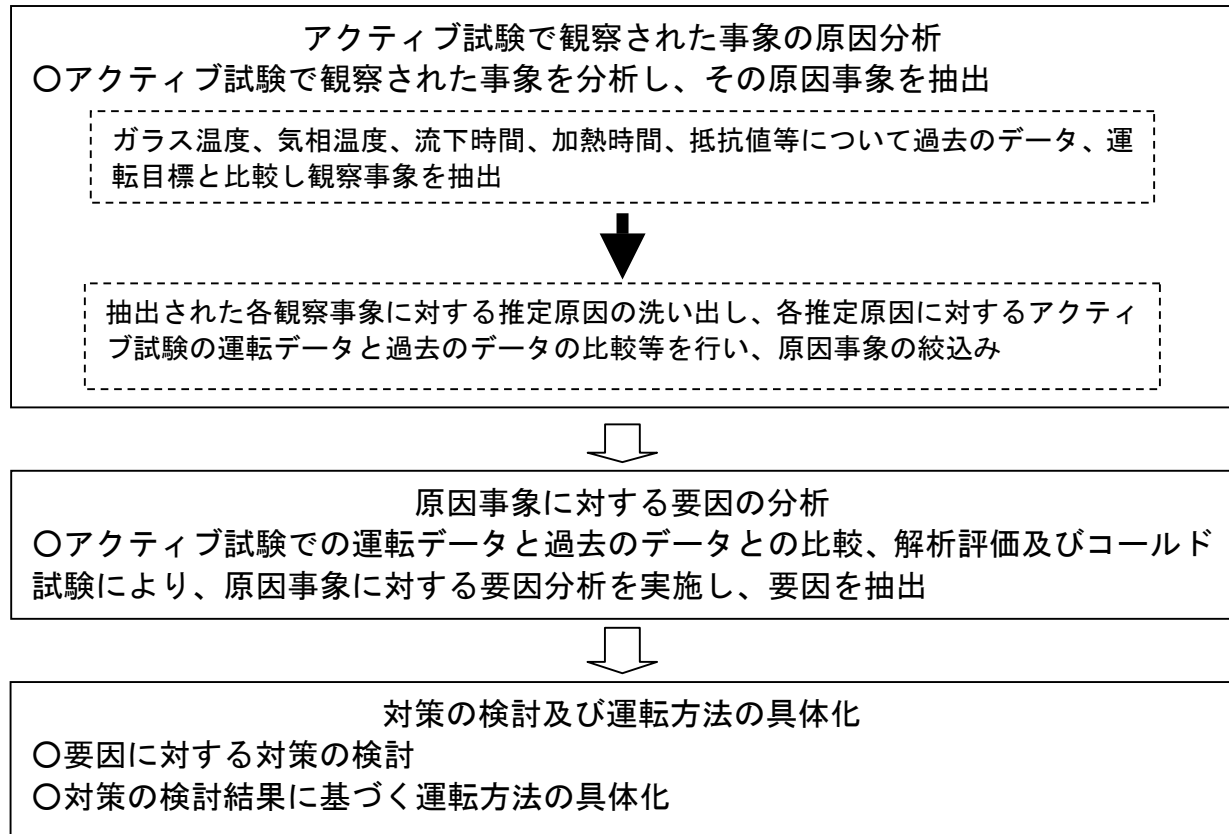
(2) 高レベル廃液ガラス固化設備に係る使用前検査（処理能力に関する性能検査）を実施する前に、再開後のガラス溶融炉運転性能確認試験等の結果について報告すること。

本報告は、上記指示事項（1）に関する検討結果を報告するものである。

なお、本検討は、本設備の開発、試験等の経緯（添付資料－1 参照）を踏まえ、先行設備を開発してきた独立行政法人 日本原子力研究開発機構を含む社内外の関係者で組織する「ガラス固化試験運営委員会」及び6つの下部WGから成る体制で実施した（添付資料－2 参照）。

## 2. 安定運転条件の検討の流れ

本検討は、前述の検査前条件（以下、「要求事項」という。）の確認ができない事態をもたらした事象の分析、その原因とそれを構成する要因の分析、これを防止するための対策の検討などを以下のステップで実施した。



### (1) アクティブ試験で観察された事象の原因分析

はじめに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。

「運転条件事象」については、過去のデータとの比較等を行い事象の抽出・絞り込みにより原因事象を特定した。

「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。

### (2) 原因事象に対する要因の分析

次に対策すべき対象を明確にするため、原因事象をもたらした要因の分析を行った。基本的には、アクティブ試験での運転データとコールド試験のデータの比較により原因事象に対する要因分析を実施した。さらにこれを補足するため、以

下に示す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。  
(添付資料－3 参照)

- ①ガラス溶融炉への電力投入量と温度の関係を把握するための「熱バランス計算」
- ②白金族元素の沈降・堆積状態を把握するための「溶融炉解析」
- ③－1 微量成分等の影響を把握するための「るつぼ試験」
- ③－2 微量成分等の影響を把握するための「実験炉試験」(条件比較試験)
- ③－3 微量成分等の影響を把握するための「小型溶融炉試験」(長時間試験)

### (3) 要因に対する対策の検討

(2) で絞り込んだ要因を抑えるための対策の検討を実施した。また、対策の検討及び検証にあたっては、上記と同様の「熱バランス計算」、「溶融炉解析」、「るつぼ試験」、「実験炉試験」、及び「小型溶融炉試験」の手法を用いた。

(添付資料－3 参照)

### (4) 運転方法の具体化

対策の検討結果に基づき、今後の試験における具体的運転方法を検討した。

次章以降に各ステップで実施した内容の詳細を述べる。

## 3. アクティブ試験で観察された事象の原因分析

### 3.1 アクティブ試験で観察された事象の分析 (図－1 参照)

はじめにガラス溶融炉の運転で重要なパラメータであるガラス温度、気相温度、流下時間、主電極－底部電極間抵抗値(以下、「主底間抵抗値」という。)、炉底加熱時間等について、運転目標、コールド試験の過去のデータと比較することにより、「運転条件事象」と「運転発生事象」を分析した。

アクティブ試験で得られたデータと運転目標との比較については、以下の方法で行った。

- ①白金族元素の沈降・堆積を評価するための主底間抵抗値及び白金族元素堆積指標が、アクティブ試験開始前に判断基準として定めた値を満足しているか否かを整理した。
- ②ガラス溶融炉の安定した運転状態を評価するためのガラス温度及び気相温度が、アクティブ試験開始前に設定した運転目標の範囲を満足しているか否かを整理した。
- ③白金族元素の堆積状況を評価するための流下速度、流下時間及び炉底加熱時間が、アクティブ試験開始前に定めた運転目標の範囲を満足しているか否かを整理した。



観察事象の分析に関する結果を表－1に示す。なお、安全関連確認事項である熔融炉内の負圧維持機能や流下ガラス重量による流下停止機能には問題はなかった。

#### 【抽出された観察事象】

##### ○運転条件事象

- (A) ガラス温度低
- (B) ガラス温度の変動
- (C) 気相温度低
- (D) 主底間抵抗値の低下
- (E) 炉底加熱時間の長期化
- (F) 流下速度上昇の鈍化
- (G) 流下時間の長期化

##### ○運転発生事象

- (H) 偏流、糸状ガラス、盛り上がりの発生
- (I) 低粘性流体の発生

### 3.2 運転条件事象を踏まえた原因事象の絞込み（図－2 参照）

上記運転条件事象(A)～(G)を同類事象ごとに以下の4つに分類した。

- ①ガラス温度が不安定（ガラス温度低、ガラス温度の変動、気相温度低）
- ②主底間抵抗値の低下
- ③炉底昇温性の低下（炉底加熱時間の長期化）
- ④流下性の低下（流下速度上昇の鈍化、流下時間の長期化）

分類した事象ごとに設備、ガラス原料、廃液成分、及び運転（投入電力、流下性、主底間抵抗値等）の観点から推定原因の洗出しを行った。

推定原因の洗出しにあたっては、ガラス熔融炉の運転方法を考慮し、分類された観察事象ごとに影響因子の抽出を実施した。（図－3 参照）

抽出された影響因子を更に細分化し、それを構成する詳細因子の観点から観察事象との関連性を見ることにより洗い出された各推定原因に対し、以下の方法により分析及びデータ比較を行い原因事象の絞込みを行った。（表－2 参照）

#### （1）炉内残留物の分析結果の確認

炉内残留物を一部採取し成分分析を行った結果、ルテニウム等の白金族元素の濃度が通常のガラス成分中の含有量よりも10倍程度高いことが分かった。炉内残留物の試料採取箇所を図－4に示す。

#### （2）運転データと過去のデータ（コールド試験等）との比較

- ・アクティブ試験での運転データ（ガラス温度、主底間抵抗値等）と過去のデ

ータの比較

- ・アクティブ試験における流下ガラスの分析結果の確認
- ・アクティブ試験で処理した廃液組成を模擬した模擬ガラスの物性の確認
- ・過去の試験で確認された事象との比較
- ・設備点検による設備状態の確認
- ・ガラスビーズの製造記録の確認
- ・運転操作記録の確認

推定原因を絞込んだ結果、要求事項を達成できなかった原因事象として以下の2事象が摘出された。

- (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。

### 3.3 運転発生事象に対する原因事象の絞込み

「運転発生事象」である(H)及び(I)の観察事象に対し、運転条件事象との因果関係の有無について確認した。(図-5 参照)

「①ガラス温度が不安定」～「④流下性の低下」の運転条件事象と因果関係がある場合には、3.2節で分析された原因事象とともに評価を行い、因果関係がない場合には独立した事象として扱い、対策が必要であれば対策の検討を行うこととした。

#### (1) 偏流、糸状ガラス、盛り上がりの発生

偏流については、流下初期の流下速度の上昇が鈍化し始めた16バッチで1回目が発生し、その後炉底攪拌操作を行い、改善効果が十分でないまま廃液供給による運転を行い、溶接機補修のためにシャットダウン運転を行った時点の27バッチで2回目が発生した。

その後、「(F)流下速度上昇の鈍化」及び「(G)流下時間の長期化」が定常的に観察されるようになった39バッチ、40バッチにおいて再度偏流が発生した。

このように「(F)流下速度上昇の鈍化」及び「(G)流下時間の長期化」といった状態変化が観察された時期に偏流は発生しており、双方に因果関係があると考えられることから、「④流下性の低下」として原因分析を行う。

糸状ガラス、盛り上がりについても、「④流下性の低下」が定常的に観察されるようになった41バッチ、46バッチにおいて発生しており、双方に因果関係があると考えられることから、「④流下性の低下」として原因分析を行う。

#### (2) 低粘性流体の発生

低粘性流体はアクティブ試験の1バッチから発生しており、「④流下性の低下」の状態変化が発生する前の段階で発生している。

また、ガラス温度や気相温度が目標範囲に入っているバッチや仮焼層の形成が

適正であるバッチにおいても発生しており、「①ガラス温度が不安定」～「④流下性の低下」の運転条件事象との直接的な因果関係は認められない。

しかしながら、低粘性流体が発生すると結合装置圧力高高警報が発報する場合があります、運転員による確認作業等が必要となることや確認作業を実施している期間においては廃液供給を一旦停止する必要があった。

このため、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、その要因分析及び対策の検討結果は6章で述べる。

#### 4. 原因事象に対する要因の分析

運転条件事象(A)～(G)から抽出された「(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」の原因事象に対し、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。(図-6 参照)

次節以降に原因事象ごとの検討結果を示す。

##### 4.1 「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことに対する要因分析

###### (1) 要因分析の方法

要因分析は、「ガラス溶融炉の運転」に関係する以下の5つの観点から仮焼層形成に影響を与えるものを推定要因として洗出し、それらに対し影響度合いの評価を行うこととした。(図-7 参照)

- ・設備 (ガラス溶融炉内の装置の配置等)
- ・ガラス原料 (ガラス原料として供給したガラスビーズの性状等)
- ・廃液成分 (ガラス溶融炉に供給した廃液の組成等)
- ・運転 (ガラス溶融炉への投入電力等)
- ・その他 (ガラス液位高に伴う原料供給停止等)

また、推定要因の影響がこれまでに得られたデータ等では評価できない場合には、「熱バランス計算」による解析、「実験炉試験」などを実施し、その結果を参考として評価・分析を行った。

###### (2) 要因分析の結果

「(Ⅰ) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」ことに対する要因として以下の項目が考えられる。

###### a. 仮焼層における崩壊熱の影響

仮焼層中の崩壊熱が仮焼層の形成に影響を与えることを「熱バランス計算」

により確認した。

b. 廃液中に含まれる硫黄などの微量成分の影響

「実験炉試験」では、廃液中に硫黄及びリン酸二ブチル（以下、「DBP」という。）が存在する廃液は、硫黄などが含まれていない廃液と比べて仮焼層形成が遅いという結果であった。（図－8 参照）

c. 廃液中の廃棄物濃度の影響

廃液中の廃棄物濃度が低いことにより、仮焼層形成成分の供給速度が小さくなり、仮焼層は形成し難くなる。

模擬廃液を用いた「実験炉試験」の結果、廃液中の廃棄物濃度が低い場合でも、仮焼層が形成された後は廃棄物濃度に関係なく仮焼層の形成はほぼ同程度となることを確認した。

d. 主電極間通電と間接加熱による電力投入バランスの影響

コールド試験結果に基づき主電極電力及び間接加熱装置電力を設定し、アクティブ試験を実施したが、「熱バランス計算」の結果、主電極電力及び間接加熱装置電力の投入バランスが必ずしも適切ではなかったことが判った。

なお、a～d に関する化学試験とアクティブ試験計画時の違いは、以下のとおりである。

要因	化学試験時	アクティブ試験計画時
a. 仮焼層における崩壊熱の影響	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>崩壊熱による熔融ガラスや炉底部の温度上昇について考慮し、主電極投入電力や補助電極冷却流量の条件を決めた。</li> <li>仮焼層部分の崩壊熱による影響は考慮していなかった。</li> </ul>
b. 廃液中に含まれる硫黄などの微量成分の影響	微量成分として模擬廃液に考慮していなかった。	微量成分については、ガラス熔融炉の運転に影響が無いものと判断し、運転に考慮しなかった。
c. 廃液中の廃棄物濃度の影響	廃棄物濃度の高いもの（標準燃焼度）と低いもの（低燃焼度）を模擬廃液として準備した。	模擬廃液で実績のある廃棄物濃度で試験を実施するよう計画した。
d. 主電極間通電と間接加熱による電力投入バランスの影響	模擬廃液の条件に基づき目標とするガラス温度や仮焼層割合を満足する投入電力条件を設定した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理廃液の条件に基づき投入電力条件を化学試験と同様に設定した。</li> <li>仮焼層部分の崩壊熱による影響を考慮していなかった。</li> </ul>

## 4.2 「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した」ことに対する要因分析

### (1) 要因分析の方法

要因分析は、「ガラス溶融炉の運転」に関係する以下の4つの観点から白金族元素の沈降・堆積に影響を与えるものを推定要因として洗出し、それらに対し影響度合いの評価を行うこととした。(図-9 参照)

- ・設備 (廃液供給量等の設定)
- ・ガラス原料 (ガラス原料として供給したガラスビーズの性状等)
- ・廃液成分 (ガラス溶融炉に供給した廃液の組成等)
- ・運転 (ガラス溶融炉への投入電力等)

また、推定要因の影響が、これまでに得られたデータ等では評価できない場合には、「溶融炉解析」により分析・評価を行った。

### (2) 要因分析の結果

「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積したこと」に対する要因として、以下の項目が考えられる。

#### a. 白金族元素を炉内に保持した状態での炉底高温保持運転の影響

16バッチに発生した偏流対応のため主電極-底部電極間通電による炉底高温保持運転を7時間以上実施した後、流下を再開した結果、当該バッチ(16バッチ)及び次バッチ(17バッチ)の流下速度が運転目標に対し遅くなった。長時間の主電極-底部電極間通電によって、流下開始前の補助電極上部における白金族元素濃度が上昇し、次バッチの流下時の白金族元素濃度が高くなるのが「溶融炉解析」によって確認された。(図-10、11 参照)

#### b. 白金族元素を炉内に長時間保持することの影響

19バッチにおいて炉底攪拌装置の設置に当初計画よりも時間を要したため、主電極-底部電極間通電を含め約27時間保持した。その結果、当該バッチの流下速度が運転目標に対し低下した。約27時間の保持によって、流下開始前の炉底部における白金族元素濃度が上昇することが「溶融炉解析」によって確認された。(図-12 参照)

#### c. 炉底部の改善措置が不十分な状態での廃液供給再開による影響

19バッチ及び20バッチに炉底攪拌を行ったものの、炉底部に堆積した白金族元素の除去が不十分な状態で21バッチの廃液供給を再開したため、流下速度が回復しなかった。

d. 仮焼層の溶け込みによる影響

短時間に仮焼層が溶け込んだ場合、炉底部における白金族元素濃度は通常運転時とほぼ同じであるが、補助電極上部において白金族元素濃度が上昇し、次バッチの流下時に白金族元素濃度が高くなることが「熔融炉解析」によって確認された。(図-12 参照)

e. 熔融ガラス温度の変動の影響

仮焼層の形成が不安定であったため熔融ガラス温度が変動し、白金族元素の沈降速度も変動した。熔融ガラスの温度が低くなり、白金族元素の炉内保有量が増えた後、ガラス温度が高くなると沈降量が増加するといったような熔融ガラス温度の違いにより、白金族元素の炉内分布及び炉内保有量が変化することが「熔融炉解析」によって確認された。(図-13 参照)

(Ⅱ)のa～cについては、アクティブ試験計画時では想定していなかった事象であった。また、(Ⅱ)のd、eについては、仮焼層の形成が不十分・不安定であったことから生じた事象に基づく要因であり、(Ⅰ)の対策を行うことで解決される。

## 5. 要因に対する対策の検討

4章に記載した要因に対する対策について、要求事項である「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することとした。（図－14 参照）

「安定した運転状態を維持するための対策」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る。

また、「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。

### 5.1 「(I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」に対する対策（安定した運転状態を維持するための対策）

対策の検討は、以下のステップで実施した。

- ・ 対策案の洗出しと有効性、実行性の評価
- ・ 対策案の具体化として、安定した運転状態を維持するための運転目標の設定検討
- ・ 具体的対策の実施方法の検討

#### (1) 対策案の洗出しと有効性、実行性の評価

「(I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」の各項目に対する対策案を洗出し、有効性・実行性について検討を行った。（表－3 参照）

検討の結果、

- a. 廃液調整
- b. 廃液供給速度の上昇
- c. 投入電力調整

を採用することとした。

#### (2) 対策案の具体化として安定した運転状態を維持するための運転目標の設定

各対策項目の具体策を検討する上で、ガラス温度及び気相温度に対する要求事項より、運転範囲を運転目標として設定した。（図－15 参照）

また、この運転目標に対し、「廃液調整」、「廃液供給速度の上昇」、「投入電力調整」の対策を実施することによる効果の有無について熱バランス計算により評価し、効果が期待できることを確認した。（図－16 参照）

なお、上記評価には、4章「原因事象に対する要因の分析」で用いた「熱バラ

ンス計算」を更に改良して、適用した。

この結果、設定した運転目標の範囲内にガラス溶融炉を維持するための具体的な対策として、以下の項目を実施することとした。

- ①微量成分濃度の低減、仮焼層形成成分の供給量（廃液中の廃棄物濃度）の増加、及び崩壊熱による影響の緩和を目的とした調整液の添加による廃液調整
- ②単位時間当たりに供給される仮焼層形成成分を増加させるための廃液供給速度の上昇
- ③調整後の廃液条件等を基に、目標とする溶融ガラス温度及び気相温度等を満足する投入電力条件の設定

### (3) 具体的対策の実施方法の検討

#### ①廃液調整

廃棄物濃度をコールド試験で実績のある濃度にするなど基本方針として、具体的な実施方法について検討した結果、廃液に調整液を添加するという方法が最も効果が期待できることから、この方法を採用することとし、添加する調整液の性状を以下のとおり設定した。(表-4 参照)

- ・低模擬廃液（白金族元素を含まないもの）をベースとする。
- ・調整液の廃棄物濃度はなるべく高くする。
- ・供給廃液のナトリウム濃度は硝酸ナトリウムにより調整するため、ナトリウムは添加しない。
- ・調整液供給配管の閉塞などを防ぐため、沈殿を形成しやすい成分を除く。
- ・発熱量評価上、阻害となる成分は添加しない。

#### ②廃液供給速度の上昇

廃液供給速度については、上述した調整液を添加した場合の廃液条件を基に設定した。

①及び②の対策の効果を「実験炉試験」及び「小型溶融炉試験」により確認した。

#### ③投入電力条件の設定

廃液調整の結果、決定した廃液条件に基づき「投入電力調整」の具体的な実施方法について検討した結果、定常運転時及び立ち上げ時の投入電力条件などを以下のとおり設定した。

(定常運転時)

熱バランス計算の結果を参考とし、主電極電力、間接加熱装置電力ともに適切



な電力を設定する。

(立ち上げ時)

熱バランス計算の結果を参考とし、主電極電力及び間接加熱装置電力の出力変更のタイミングを以下のとおり設定することとした。

a. 主電極電力

定常運転時よりも数十kW高い値（間接加熱装置電力の調整分）から徐々に定常運転時の出力に低下させる。

b. 間接加熱装置電力

出力無しの状態から徐々に定常運転時の出力に上昇させる。

「安定した運転状態を維持するための対策」に対する変更前後の比較は、下記のとおりである。

対策項目	詳細項目	変更前運転方法	変更後運転方法	
安定した運転状態を維持するための対策	廃液調整	調整液の添加	・添加無し。	・添加有り ・添加する調整液については、低模擬廃液をベースとする。
		廃液中の廃棄物濃度	・コールド試験での実績のある濃度を目標としたが、実際は実績のある濃度よりも低かった。	・調整液の添加により、コールド試験で実績のある濃度と同等に調整する。
	廃液供給速度の上昇	廃液供給速度	・コールド試験での実績及び廃液条件を基に仮焼層が形成するような廃液供給速度を設定したが、廃液の廃棄物濃度が目標よりも低かった。	・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の設定よりも上昇させる。
	投入電力条件の設定		・コールド試験での結果に基づき投入電力を設定した。	・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。

## 5.2 「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した要因」に対する対策（長期的に運転状態を維持するための対策）

対策の検討は、以下のステップで実施した。

- ・対策案の洗出しと有効性、実行性の評価
- ・具体的対策の実施方法の検討

(1) 対策案の洗出しと有効性、実行性の評価

「(Ⅱ) 白金族元素が沈降・堆積した要因」の各項目に対する対策案を洗出し、

有効性・実行性について評価を行った（表－5 参照）。

評価結果を以下に示す。

①回復運転方法を以下に示すとおり改善する。

①－1 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するための判断指標を設定する。

①－2 炉底高温流下など白金族元素がより抜き出しやすい回復運転方法を組み合わせ、回復運転方法の見直しを実施する。

①－3 改善効果の判断指標を新たに設定し、炉底部の改善措置が十分であることを確認した後に廃液供給を再開する。

②関連設備の復旧見込みや保持時間に合わせて保持運転方法を設定する。

## （2）具体的対策の実施方法の検討

### ①回復運転方法の改善

①－1 回復運転に移行するための判断指標

第4ステップでの経験を考慮し、白金族元素の沈降・堆積に対する対策を早めに行うための指標について検討した。

白金族元素の沈降・堆積による影響が監視できる指標を洗出し、アクティブ試験当初設定した「主底間抵抗値」や「白金族堆積指標」に、「流下性に係る指標」や「炉底加熱性に係る指標」などを追加することとした。（図－17 参照）

さらに、各指標に対しアクティブ試験での実績（運転データなど）を基に白金族元素の影響が現れたと判断するための判断指標などを検討した。（表－6 参照）

①－2 回復運転方法の見直し

回復運転方法についてアクティブ試験での実績を基に効果や改善が必要な点について分析を行い、「洗浄運転を実施する際の効果的な実施回数」、「補助電極間通電による炉底加熱実施時期」や「炉底攪拌操作の実施時期」などの各回復運転に対する運転方法について検討した。（表－7 参照）

①－3 改善効果の判断指標

上記①－1で見直した判断指標を改善効果の判断指標としても設定し、これに基づき炉底部の改善措置が十分であることを確認した後に廃液供給を再開する。

### ②保持運転方法の検討

第4ステップでの溶接機故障時等の経験を考慮し、関連設備が停止した際に熔融炉の状態を悪化させないため、保持運転方法を洗出し、アクティブ試験

での実績を基に効果や改善が必要な点について分析を行い、状況に応じた保持運転方法について検討した。(表-8 参照)

「長期的に運転状態を維持するための対策」に対する変更前後の比較は、下記のとおりである。

対策項目		詳細項目	変更前運転方法	変更後運転方法
長期的に 運転状態 を維持す るための 対策	回復運転方 法の改善	回復運転に移行 するための判断 指標	白金族元素堆積指標及び主底 間抵抗値を判断指標として設 定した。	流下性に係る指標や炉底加熱 性に係る指標などを追加する。
		回復運転方法の 見直し	白金族元素堆積の判断指標に 達した際に炉底攪拌操作を行 うこととしていた。洗浄運転に ついては、回数や時期の設定を していなかった。	洗浄運転の回数や炉底攪拌操 作の実施時期などを設定する。
		改善効果の判断 指標	判断指標の設定無し。	新たに判断指標として設定す る。
	保持運転方法の検討		状況に応じた保持運転方法の 設定無し。	状況に応じた保持運転方法を 設定する。

## 6. 低粘性流体の発生に対する要因分析及び対策の検討

3.3節で述べたように運転発生事象のひとつである「(I)低粘性流体が発生した」ことに対する要因分析及び対策の検討を行った。

### 6.1 要因分析

4章での原因事象に対する要因分析と同じ手法を用いて、「(I)低粘性流体が発生した」ことに対する要因分析を行った。(図-18、19 参照)

要因分析の結果、低粘性流体が発生したことに対する要因として、以下のことが考えられる。

#### a. 不純物（リン酸塩等）の影響

アルカリ濃縮廃液中にDBPが含まれており、これらが低粘性流体の生成に影響する可能性がある。

「るつぼ試験」によって、DBPの影響により低粘性流体の生成が促進されることが確認された。(図-20 参照)

#### b. 廃液中の微量成分である硫黄の影響

アクティブ試験で処理した高レベル廃液中に硫黄が含まれており、またアク

タイプ試験中に発生した低粘性流体中にも硫黄が含まれていた。

「るつぼ試験」によって、硫黄の影響により低粘性流体の生成が促進されることが確認された。(図-20 参照)

c. 不安定な仮焼層の影響

コールド試験に比べ気相温度と熔融ガラス温度の変動幅が大きく仮焼層は不安定であった。仮焼層が不安定な場合、ホットスポットが多数形成されることをコールド試験で確認している。ホットスポット周辺では低粘性流体が生成しやすい温度領域までの昇温速度が大きくなり、低粘性流体の生成が促進される可能性がある。

「るつぼ試験」によって、昇温速度の違いにより低粘性流体の生成挙動が異なることが確認されている。(図-21、22 参照)

これら要因のうち、a. と b. は 4.1 (2) b. に示すとおり、「(I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった」の要因ともなっており、c. は 3.2 節に示すとおり熔融炉の状態変化を引き起こす原因事象ともなっている。

## 6.2 対策の検討

「(I) 低粘性流体が発生した」への対策については、以下の理由から「5.1 安定した運転状態を維持するための対策」を実施して安定した仮焼層を形成することにより、低粘性流体の発生を抑制できると考えられる。(図-23 参照)

- ・低粘性流体発生の要因と考えられる硫黄や DBP に対しては、5.1 節の対策で検討した調整液の添加を行うことにより、廃液中の硫黄や DBP の濃度を低減することが可能である。
- ・低粘性流体発生の要因と考えられる「仮焼層が不安定であった」については、「(I) 仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」への対策を実施し、仮焼層を安定して形成することにより対策を図ることが可能である。

## 7. 運転方法の具体化

### 7.1 「安定した運転状態を維持するための対策」の具体化

「安定した運転状態を維持するための対策」についての具体的な運転方法として、「5.1 (3) 具体的対策の実施方法の検討」の結果に基づき、廃液調整、廃液供給速度の上昇及び投入電力調整の具体的方法の検討を行った。

#### (1) 廃液調整

廃液調整としては、「微量成分濃度の低減、仮焼層形成成分の供給量(廃液中の廃棄物濃度)の増加、及び崩壊熱による影響の緩和を目的とした調整液の添加による廃液調整」を、以下の方法で実施する。

- ・調整液を高レベル廃液の組成調整を行う混合槽に添加
- ・添加する調整液は、コールド試験で実績がある低模擬廃液をベースとする
- ・製造するガラス固化体中の核分裂生成物の含有率については、設計値を目標として設定

## (2) 廃液供給速度の上昇

廃液供給速度の上昇としては、「単位時間あたりに供給される仮焼層形成成分を増加させるための廃液供給速度の上昇」を、以下の方法で実施する。

- ・仮焼層を早期に形成させるよう立ち上げ時の廃液供給速度を上昇
- ・定常運転時においても仮焼層を安定して形成させるよう廃液供給速度を上昇

## (3) 投入電力調整

廃液調整の結果、決定した廃液条件に応じた投入電力条件の設定を以下の方法で実施する。(表-9 参照)

- ・定常運転時については、ガラス温度、気相温度の運転目標に対する投入電力を「熱バランス計算」により設定
- ・立ち上げ時については、2バッチ終了時点でガラス温度が目標温度に到達することを目標とし、「熱バランス計算」により投入電力を設定
- ・供給廃液条件や廃液供給速度を変更する場合や温度変動が発生した場合に「熱バランス計算」を実施し、投入電力調整の有無を確認するなど定めた投入電力条件変更のフローを作成(図-24 参照)
- ・気相温度及びガラス温度に大きな変動を与えないよう、電力調整幅を設定

上記(1)～(3)の方法を運転管理マニュアルに反映する。なお、「熱バランス計算」については、運転実績を反映しながら、適宜改良を行っていく。

また、(1) 廃液調整で使用する調整液については、高レベル廃液ガラス固化建屋の調整液供給設備から供給を行うこととし、これに必要な設工認変更の届出を行う。

## 7.2 「長期的に運転状態を維持するための対策」の具体化

「長期的に運転状態を維持するための対策」についての具体的な運転方法として、「5.2(2) 具体的対策の実施方法の検討」の結果に基づき、回復運転への移行判断フローの改訂などを実施する。

### (1) 回復運転方法の改善

#### ①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

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する方法として、以下の改善を図り、その結果を纏め「回復運転への移行判断フロー」を改訂し

た。(図-25 参照)

- ・回復運転への移行のための「流下性に係る判断指標」として、所定の流下速度への到達時間及び所定の流下重量への到達時間の基準を追加
- ・回復運転移行時の「堆積状況推定」を実施項目として追加し、そのための評価項目として主電極-底部電極間抵抗差及び補助電極-底部電極間抵抗差を設定
- ・「白金族元素堆積に係る判断指標」について、早期に白金族元素の堆積を把握することを目的として要注意項目の基準を追加し、また最小抵抗を追加
- ・「運転監視項目」として、主電極-底部電極間抵抗差（白金族元素の堆積が進行した場合の A-B 電極間での抵抗値の差の変動を考慮）、補助電極-底部電極間抵抗差（白金族元素の堆積が進行した場合の A-B 電極間での抵抗値の差の変動を考慮）、及び補助電極間抵抗（白金族元素の堆積物が存在した場合の補助電極間抵抗値の変動を考慮）を追加

## ②効果的な回復運転方法を実施

効果的な回復運転方法として、以下の改善を図り、その結果を纏め回復運転フローを改訂した。(図-26 参照)

- ・洗浄運転：回復運転の最初に行うものとし、洗浄運転では2バッチまでの白金族元素抜き出し量が大いことから、2バッチは確実に洗浄運転を実施
- ・炉底攪拌（曲棒型）：洗浄運転を実施しても白金族堆積に係る指標が設定値まで回復しない場合に実施するものとし、曲棒型による攪拌操作の後は直棒型による白金族元素の抜き出し促進を実施
- ・炉底攪拌（直棒型）：炉底攪拌（曲棒型）による攪拌を実施した後、またはノズル閉塞、流下性低下時に実施
- ・回復効果の確認：回復運転後は洗浄運転によって回復効果の確認を実施
- ・ドレンアウト：洗浄運転及び炉底攪拌によって回復しない場合に実施

## (2) 保持運転方法の改善

関連設備の停止などによりガラス溶融炉の廃液供給を停止させる必要が生じた場合の対応方法として、以下の検討を行い、廃液供給停止が必要な事象発生時の対応（保持運転）フローを作成した。(図-27 参照)

- ・事象発生から廃液供給再開までの時間設定
- ・設定時間を越えた場合の措置として、洗浄運転を実施して炉内の白金族元素保有量を十分に低減させた後、水供給による保持運転へ移行する方法の設定
- ・事象が復旧しない場合にシャットダウンまたはドレンアウトに移行するための時間設定

上記（１）及び（２）の方法を運転管理マニュアルに反映する。

また、「（１）回復運転方法の改善 ②効果的な回復運転方法を実施」での洗浄運転に使用する模擬ガラスビーズの供給を効率的に行うため、設備対応を行うこととし、これに必要な設工認変更の届出を行う。

## 8. ガラス固化設備の試験再開に向けて

「ガラス熔融炉運転性能確認試験等を再開するために必要な運転方法が、これまでの運転で得られた知見を踏まえた予防措置に関する検討状況も含め、具体化が図られること」を受けて前章までにおいて検討した結果に基づき、ガラス固化設備の試験再開に向けて、以下を実施していく。

### （１）具体的な運転方法のマニュアル化

「7. 運転方法の具体化」において具体化した、廃液調整方法や回復運転への移行判断フローなどの運転方法を運転管理マニュアルに反映する。運転管理マニュアルへの反映については、必要な社内手続きを行い改正するとともに、改正内容を関係者に周知する。

項目	具体的な運転方法
廃液調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低模擬廃液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>
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。（「熱バランス計算」については、運転実績を反映しながら、適宜改良を行っていく。）</li> </ul>
回復運転への判断フロー	<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判断フローを用いた運転を行う。</li> </ul>
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>
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>・設定時間を越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>

### （２）熔融炉の安定運転状態の確認方法について

具体的な運転方法を反映した運転管理マニュアルに基づき、ガラス熔融炉の試験を実施するとともに、当該運転方法の妥当性について確認する。

試験の流れとしては、はじめに①ガラス熔融炉（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考慮し、管理された運転状態の維持」につ

いて確認し、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。

①のうち、「安定した運転状態の維持」の確認については以下の考え方に基つき行う。

- a. ガラス温度の観点からは、「熱バランス計算」結果より溶融炉内のガラス温度が安定した運転範囲に達するまでに必要なバッチ数として、運転開始から2～3バッチ。
- b. 白金族元素の管理の観点からは、コールド試験での実績及び「溶融炉解析」より、溶融炉内の白金族元素の保有量が一定となるまでに必要なバッチ数として、運転開始から5～6バッチ。
- c. 白金族元素の管理の観点からは、コールド試験での実績より、溶融炉内の白金族元素の保有量が一定となった状態が継続していることを確認するために必要なバッチ数として、3バッチ程度。

上記及びアクティブ試験の実績（10バッチで流速50kg/h到達時間が参考として定めた値を超過したことにより白金族元素の沈降・堆積兆候が見られた。）を踏まえ、「安定した運転状態の維持」を10バッチ程度で確認することとする。

また、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。

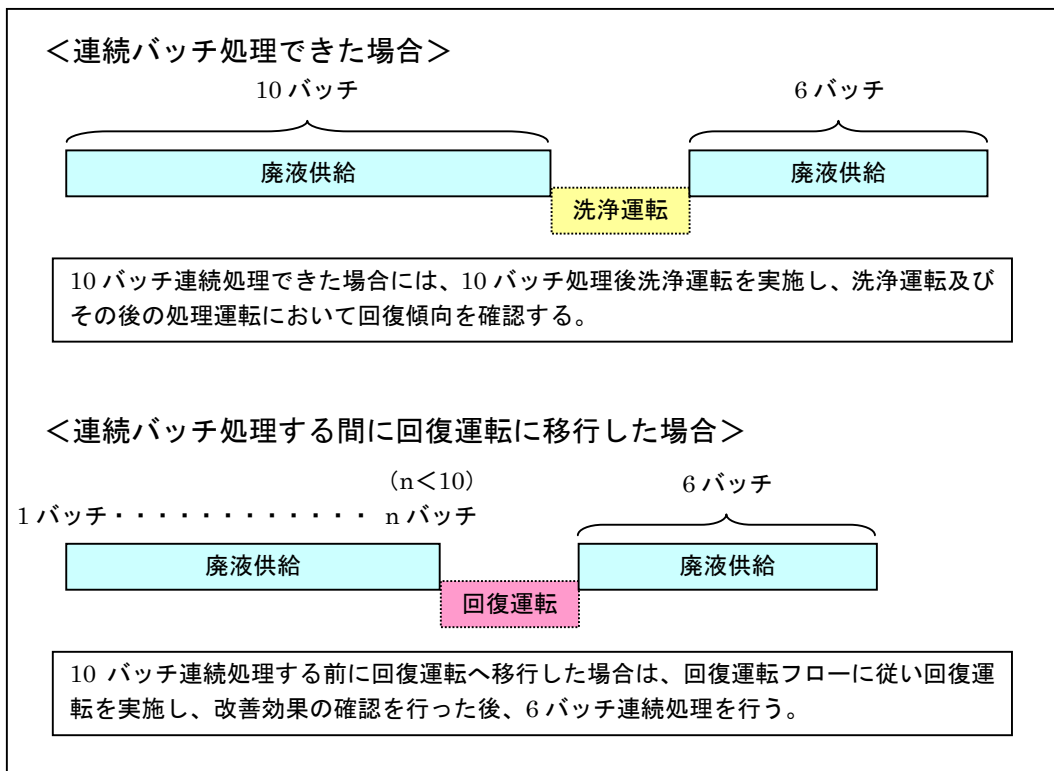
回復運転後の確認は、以下の考え方に基つき回復後に6バッチ程度の運転により行う。

- d. コールド試験での実績より、回復運転後に溶融炉内の白金族元素の保有量が一定となるまでに3バッチ程度。
- e. コールド試験での実績より、溶融炉内の白金族元素の保有量が一定となった状態が継続していることを確認するために必要なバッチ数として3バッチ程度。

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。





### (3) ガラス溶融炉（A系列）の現状

なお、現在のガラス溶融炉（A系列）の状態は以下の通りである。

- ・残留物除去を行い、溶融ガラス抽出し後に残留していた残留物の大部分を除去済（図－28 参照）
- ・残留物除去後に模擬ガラスビーズをガラス溶融炉に投入して溶融し、補助電極間の通電による加熱を行うとともに補助電極－底部電極間の抵抗値を測定し、白金族元素の堆積に起因する抵抗値の低下が回復していることを確認済（図－29 参照）

以 上