

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
(改正版)

【公開版】

平成22年7月15日

平成22年8月23日 (改正)

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

1. はじめに.....	1
2. 第5ステップに係る経緯.....	1
2. 1 安定運転条件報告.....	2
2. 2 第5ステップ開始及び流下停止事象の発生.....	2
2. 3 第5ステップの再開.....	3
3. 試験再開に向けた原因究明等.....	4
3. 1 運転データの評価.....	5
3. 2 第5ステップの運転データの評価等に基づく要因評価.....	9
3. 3 不溶解残渣成分に関する調査.....	11
3. 4 不溶解残渣成分に関する調査結果を受けた要因評価.....	12
4. KMOC試験.....	12
4. 1 試験計画.....	13
4. 2 確認結果.....	14
4. 3 KMOC試験結果に基づく評価.....	17
5. 第5ステップでの運転状況の推定.....	18
5. 1 炉内状況の変化等の推定.....	18
5. 2 推定される原因.....	20
6. 推定される原因に対する対策及び運転方法等の改善.....	21
7. ガラス固化設備に係るアクティブ試験再開後の試験計画等.....	25

図表類

- 図-1 第5ステップにおいて供給した廃液
- 図-2 第5ステップにおけるガラス温度、気相温度の変化
- 図-3 不溶解残渣廃液供給以降のガラス温度、気相温度の変化
- 図-4 第5ステップにおける流下性の推移
- 図-5 第5ステップにおける白金族堆積指標、主-底間抵抗の推移
- 図-6 模擬ガラスビーズ洗浄1バッチ目の流下性への影響
- 図-7 第5ステップにおける流下ノズル温度、主-底加熱時間等の推移
- 図-8 第5ステップにおける主-底加熱時間と主-底加熱電流値の推移
- 図-9 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に発生した流下性低下等の要因分析（第5ステップ運転データに基づく評価）
- 図-10 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に発生した流下性低下等の要因分析（不溶解残渣成分に関する調査結果を踏まえて評価）
- 図-11 主電極間抵抗を用いたガラス温度推定値の有効性確認結果（KMOC試験）
- 図-12 ガラス温度計位置によるガラス温度測定結果への影響（KMOC試験）
- 図-13 底部電極冷却温度設定の違いによる影響確認結果（KMOC試験）
- 図-14 第5ステップにおけるガラス熔融炉の運転状況を模擬した試験（KMOC試験）
- 図-15 炉底部温度の白金族堆積指標及び主-底間抵抗への影響（KMOC試験）
- 図-16 流下ノズルの加熱性低下の流下性への影響確認結果（KMOC試験）
- 図-17 不溶解残渣の影響確認結果（KMOC試験）
- 図-18 不溶解残渣模擬とDBPの仮焼層への影響（KMOC試験）
- 図-19 供給廃液成分が変化した際のガラス温度等の変化（KMOC試験）
- 図-20 立ち上げ時の電力投入量の調整に関する確認結果（KMOC試験）
- 図-21 低模擬廃液による洗浄運転の効果
- 図-22 定期的な洗浄運転の効果（KMOC試験）
- 図-23 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に発生した流下性低下等の要因分析（KMOC試験結果に基づく評価）
- 図-24 第5ステップにおける炉内状況の変化等の状況
- 図-25 供給廃液変更時の電力調整（KMOC試験）
- 図-26 供給廃液変更時の電力調整量の比較
- 図-27 第5ステップにおける不溶解残渣廃液供給以降の温度変化
- 図-28 ガラス温度測定点の増加
- 図-29 複数の温度指示値及び推定ガラス温度を用いた電力調整例（KMOC試験）
- 図-30 低模擬廃液による洗浄運転を行うための設備
- 図-31 ガラス固化設備に係るアクティブ試験再開後の試験計画等

添付資料－1 第5ステップにおける安定運転条件の設定結果

添付資料－2 不溶解残渣に関する基礎試験等の調査結果

参考資料 用語集

1. はじめに

平成20年10月10日からガラス固化設備のアクティブ試験第5ステップ（以下、「第5ステップ」という。この他に本報告において「第4ステップ」と示すものはガラス固化設備のアクティブ試験第4ステップを指す。）として「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（平成20年6月11日報告）」（以下、「安定運転条件報告」という。）に記載した運転方法に従い試験運転を行った。

この試験運転の中で、不溶解残渣廃液を混合した廃液を処理し始めた23バッチ目以降において流下性低下及び白金族堆積の判断指標が急激に低下し、回復運転に移行する判断基準に達した。

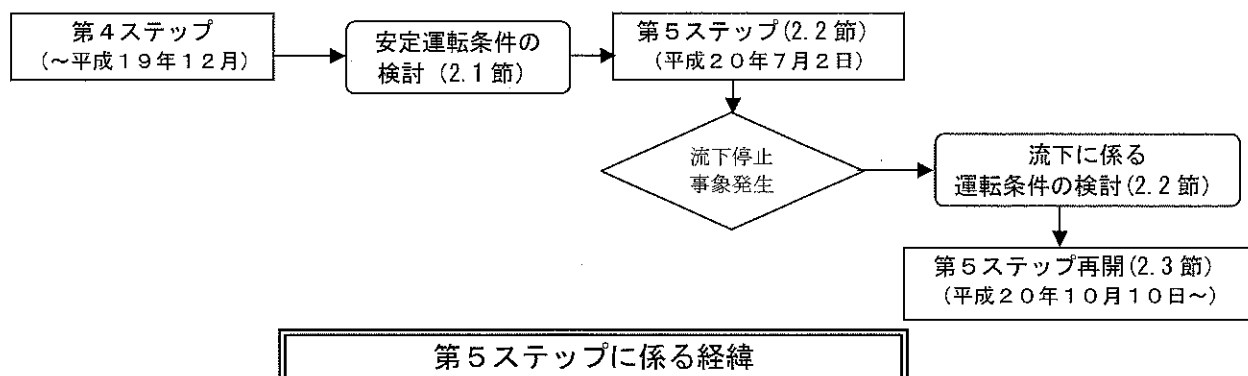
今後、ガラス固化設備の試験運転を実施するにあたり、第5ステップで得られた運転データ等をもとに、使用前検査の検査前条件確認のためのガラス溶融炉の運転方法の改善について検討した。

本報告では、第5ステップにおける運転データの評価、実規模大のガラス溶融炉モックアップ設備である確証改良溶融炉（以下、「KMOC」という。）における模擬廃液を用いた試験結果等をもとに、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に見られた流下性低下等の事象に対する原因究明及び対策の検討を実施し、「安定運転条件報告」に示した運転方法の一部の見直し、及びガラス溶融炉の運転方法の改善について検討した結果を取り纏めた。

なお、本報告「3. 1 運転データの評価」に示す第5ステップ運転実績に対する評価については、平成20年10月27日に報告（同11月4日一部訂正）した「再処理施設高レベル廃液ガラス固化設備のガラス溶融炉A系列における安定運転条件に基づく運転性能確認結果報告」に示した内容に、上記報告以降に行った運転データの評価結果を追加した。

2. 第5ステップに係る経緯

第5ステップの試験運転を平成20年10月に再開するまでの運転条件の検討、及び第5ステップの試験運転を再開した以降に確認された状況等を経緯として纏めた。



2. 1 安定運転条件報告

平成19年11月から第4ステップを開始したが、ガラス温度が安定しないこと、及び白金族元素の沈降の影響で流下性等の低下が見られたことなどにより十分な運転が実施できなかつた。これを受け、仮焼層形成を安定させるための対策等を取り纏め「安定運転条件報告」として報告した（平成20年6月11日報告）。下表に対策の概要を示す。

	対 策	具体的な対策
「安定した運転状態の維持」のための対策	微量成分の低減を図るための廃液の調整	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃液の調整のため、高レベル廃液の組成調整を行う混合槽に調整液を添加する。 ・ 調整液としては、化学試験にてガラス溶融固化の実績を有する低模擬廃液をベースとした模擬廃液を使用する。 ・ 調整液添加により、廃棄物濃度を前回より上昇させる。 ・ 調整液添加により、廃液中の微量成分（硫黄）の濃度を低減させる。
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仮焼層を早期に形成できるよう立ち上げ時の廃液供給速度を第4ステップより上昇させる。 ・ 定常運転時についても廃液供給速度を第4ステップより上昇させる。
	投入電力条件の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱バランス計算により投入電力を設定する。（熱バランス計算での評価に用いる運転データはガラス温度、気相温度）
「長期に運転状態を維持」のための対策	回復運転方法の改善	<ul style="list-style-type: none"> ・ 白金族元素が炉底部に堆積した兆候を見るための流下性に係る指標等を追加した「回復運転への移行判断フロー」を用いた運転を行う。 ・ 回復運転方法（洗浄運転の回数や炉底かくはん操作の実施時期等）を定めた「回復運転フロー」を用いた運転を行う。
	保持運転方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。

2. 2 第5ステップ開始及び流下停止事象の発生

「安定運転条件報告」に示した対策を講じ、平成20年7月2日に第5ステップの試験を開始したが、流下したガラスが流下ノズル出口で固まり流下ノズルを塞ぐという事象（以下、「流下停止事象」という。）が発生し、試験を中断した。

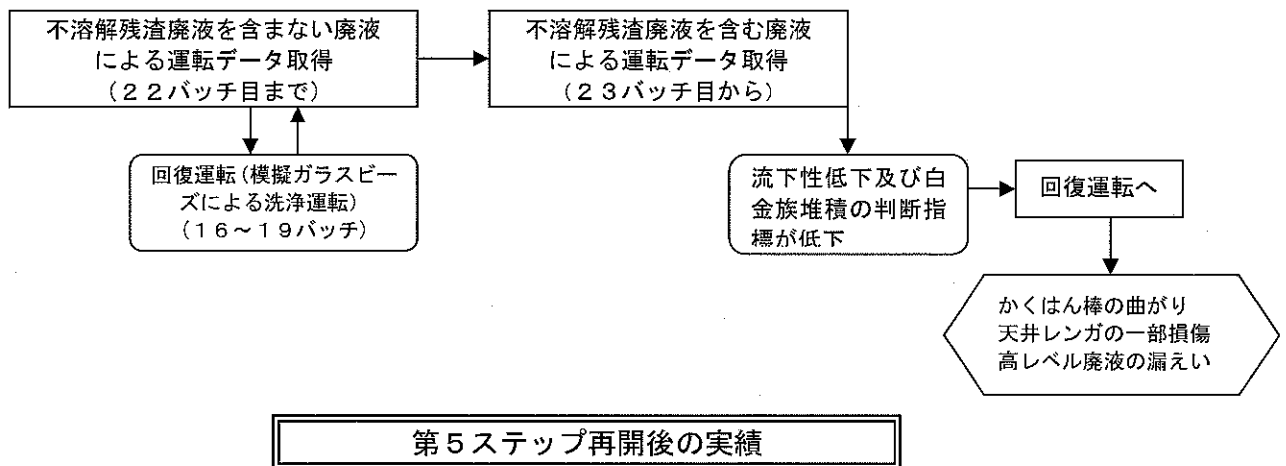
流下停止事象に対して、流下を開始するための流下ノズル温度を管理（第4ステップでは、流下開始時の底部電極温度は管理していたが、流下ノズル温度は管理していなかつた）することを対策として講じること

とし、さらには流下をより確実に行うため流下開始時の底部電極温度の設定値を上げる等の以下の表に示す方策を講じることとした。

対 策	具体的な運転方法	補 足
流下開始時の流下ノズル温度の設定	流下開始時の流下ノズル温度を□°Cに設定した。(これまで設定していなかった項目を追加設定)	流下停止事象に係る報告書(「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流下停止について(最終報告)」(平成20年10月8日))に記載した対策。
流下開始時の底部電極温度の設定値の変更	流下開始時の底部電極温度の設定を変更し、□°Cに上げた。(第4ステップでは□°Cに設定していた)	上記報告書に記載した対策を補完するために実施することとした。
炉底低温運転時の底部電極温度設定値の変更	流下終了後に炉底低温運転に移行するために底部電極を急冷する際の底部電極温度の設定値を変更し、□°Cに上げた。(第4ステップでは□°Cに設定していた)	上記報告書に記載した対策を補完するために実施することとした。

2. 3 第5ステップの再開

「2. 1 安定運転条件報告」に示した対策に加え、「2. 2 第5ステップ開始及び流下停止事象の発生」に示した流下停止事象に対する対策を講じ、平成20年10月10日から第5ステップを再開した。(添付資料-1参照)



再開した第5ステップの試験では22バッチ目(AT-2-A026)まで不溶解残渣廃液を含まない廃液を供給し運転データの取得を行い、23バッチ目(AT-2-A027)から不溶解残渣廃液を含む廃液を供給し運転データの取得を行った。

ガラス溶融炉へは、各種廃液を混合槽で混合した混合廃液が、分析により廃棄物含有率等の確認を行った後、供給液槽、供給槽を經由して供

給される。第5ステップでは、混合槽での混合が3回行われ、混合廃液がガラス溶融炉に供給されており、3回目の混合廃液に不溶解残渣廃液を混合した。(図-1参照)

15バッチ目(AT-2-A019)に流下性が低下し、流下性低下の判断指標が、回復運転へ移行するための判断基準に達したため、回復運転へ移行した。回復運転として4バッチの模擬ビーズによる洗浄運転(回復運転では、まずは模擬ガラスビーズによる洗浄運転を行い、改善効果の判断基準に達しない場合には、次の手段としてかくはん棒による攪拌操作を行う)を行い、改善効果の判断基準に達したことから回復運転を終了し、廃液供給運転を再開した。

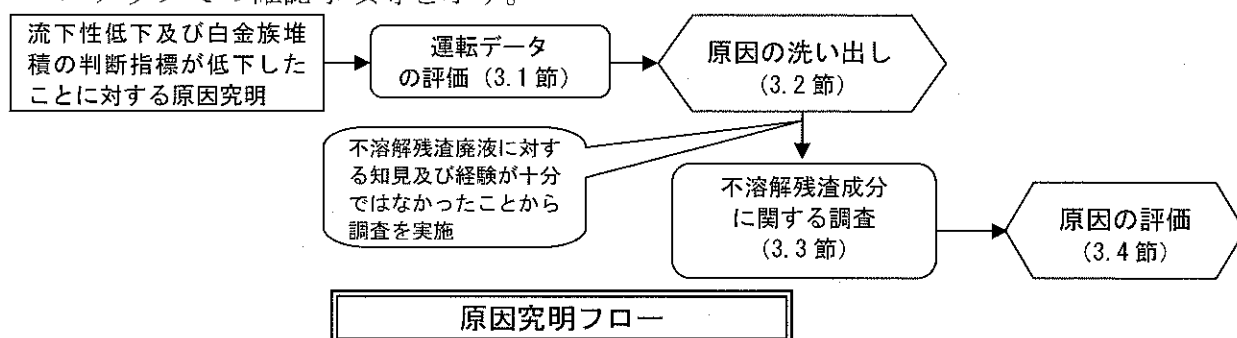
廃液供給再開後、不溶解残渣廃液を含む廃液による運転5バッチ目(第5ステップ再開以降27バッチ目(AT-2-A031))で流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下し、回復運転へ移行するための判断基準に達したため、回復運転へ移行した。

「安定運転条件報告」に従った対応では、回復運転へ移行した後は、洗浄運転、かくはん棒によるかくはん操作を行い、改善効果の判断基準に達した場合には廃液供給を再開、達しない場合にはドレンアウトへ移行することとしているが、回復運転の途中でかくはん棒の曲がり確認されたため、回復運転及び試験を中断した。

その後の炉内観察において天井レンガの損傷が確認され、さらにはそれに関連する保修作業の中で固化セルにおける高レベル廃液の漏えい等が発生し、試験は中断した状況である。(天井レンガの損傷については、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋ガラス溶融炉(A系列)の一部損傷について(最終報告)」として別途報告済み)

3. 試験再開に向けた原因究明等

ガラス固化設備の試験再開に向け、使用前検査の検査前条件である安定運転を確実に実施するため、第5ステップで確認された「不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下したこと」に対して原因究明を行い、対策を講じることとした。次節以降に原因究明の各ステップでの確認事項等を示す。



さらには、安定運転をより確実にするために必要な改善点の洗い出しを行い、必要な改善を図ることとした。

3. 1 運転データの評価

「不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降に流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下したこと」に対する原因究明として、まずは第5ステップ再開以降の試験運転で得られた運転データの評価を行った。

(1) ガラス温度、気相温度等 (図-2、3 参照)

- ① ガラス溶融炉運転が安定していることを判断するための指標であるガラス温度、気相温度は、3 バッチ目 (AT-2-A007) から 14 バッチ目 (AT-2-A018) まで安定した値を示していた。立ち上げ時の温度管理という点では、1 バッチ目 (AT-2-A005) 以降の立ち上げ及び 20 バッチ目 (AT-2-A024) 以降の立ち上げにおいて、ガラス温度が高くなりすぎていた (その後の電力調整により目標温度に管理できている)。
- ② 14 バッチ目 (AT-2-A018) 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を一時停止した。この 14 バッチ目 (AT-2-A018) で発生した事象が、15 バッチ目 (AT-2-A019) のガラス温度、気相温度の変動の要因と考えられる。
- ③ ガラス温度については、ガラス温度計の指示値が大きく変動する状況が見られた。これは、流下時に特にガラス温度の下降が見られたことから、流下時に仮焼層位置が下に移動すること等の影響によるものと考えられる。
- ④ 不溶解残渣廃液を含む廃液による運転データの取得を行った 23 バッチ (AT-2-A027) 以降の運転において、ガラス温度、コモン温度が上昇傾向を示した (ガラス温度については、変動があるため上昇傾向が判りにくい)。
- ⑤ 26 バッチ (AT-2-A030) 以降、ガラス温度の変動が小さくなっている状況が確認された。

(2) 流下性低下の判断指標 (図-4 参照)

- ① 運転を開始してから 14 バッチ目 (AT-2-A018) までは、3 バッチ目 (AT-2-A007) を除き、流下速度 50 kg/h 到達時間、流下速度 100 kg/h 到達時間ともに、洗浄運転に該当しない範囲で運転が継続した (回復運転への移行判断フローでは、流下性低下の判断指標として、流下速度 50 kg/h 到達時間、流下速度 100 kg/h 到達時間等を指標とし、各指標に対して、「要注意」と「洗浄運転」の基準を設定している)。

- ② 3 バッチ目 (AT-2-A007) については、流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗浄運転」に該当する状態になった。その原因は、2 バッチ目 (AT-2-A006) でガラス温度が °C まで上昇し、3 バッチ目 (AT-2-A007) のガラス温度も高かったため、白金族元素の沈降が促進され、炉底部の加熱性が低下し、その結果、炉底部のガラス温度が低下するとともに流下ガラスの粘性が高くなったことが影響したためと考えられる。この事象を受け、熱バランス計算結果をもとに主電極間電力を若干低下させたことにより、4 バッチ目 (AT-2-A008) 以降は安定した運転ができた。
- ③ 15 バッチ目 (AT-2-A019) で、流下性低下の判断指標のうち、流下速度 50 kg/h 到達時間及び流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗浄運転」に該当する状態に達した (回復運転への移行判断フローでは、「流下低下の判断指標」のうち、2 つ以上の指標が「洗浄運転」に該当する状態に達した場合には、回復運転へ移行するとしている)。これは、前述の 14 バッチ目 (AT-2-A018) の緊急流下停止を実施したことにより、仮焼層中の白金族元素が熔融ガラスに溶け込み、ガラス熔融炉内の白金族元素の沈降を促進したことが影響したと考えられる。
- ④ 27 バッチ目 (AT-2-A031) で、流下性低下の判断指標のうち、流下速度 50 kg/h 到達時間及び流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗浄運転」に該当する状態に達したことから、回復運転へ移行した。

(3) 白金族元素堆積の判断指標 (図-5 参照)

- ① 23 バッチ (AT-2-A027) までの運転では、全ての運転バッチを通していずれの指標も「洗浄運転」に該当する状態には至らなかった。
- ② 24 バッチ (AT-2-A028) から 26 バッチ (AT-2-A030) にかけて、白金族堆積の判断指標のうち、堆積指標が低下し、27 バッチ目 (AT-2-A031) で、堆積指標が「洗浄運転」に該当する状態に達したことから回復運転へ移行した (回復運転への移行判断フローでは、白金族元素堆積の判断指標として、堆積指標、主底間抵抗 (主電極-底部電極間通電時の抵抗) 等を指標とし、各指標に対して、「要注意」と「洗浄運転」の基準を設定している。また、いずれかひとつの指標が、「洗浄運転」に該当する状態に達した場合には、回復運転へ移行するとしている)。

(4) 「回復運転への移行判断フロー」及び「回復運転フロー」

- ① 15 バッチ目 (AT-2-A019) で、流下性低下の判断指標のうち、流下速度 50 kg/h 到達時間及び流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗

浄運転」に該当する状態に達したことから、「回復運転への移行判断フロー」に従い回復運転へ移行した。(図-4 参照)

- ②回復運転では、「回復運転フロー」に従い、洗浄運転を2バッチ実施し、改善効果の判断基準を満足しなかったため、さらに洗浄運転を2バッチ行った。その結果、改善効果の判断基準を満足したことから、廃液供給を再開した。
- ③洗浄運転1バッチ目(AT-2-A020)において、流下速度50kg/h到達時間及び流下速度100kg/h到達時間が長くなったのは、廃液及びガラスビーズの供給を停止し、模擬ガラスビーズのみの供給になったことで仮焼層がなくなり、仮焼層中に含まれていた白金族元素が炉底部に沈降したことで、流下性が低下したためと考える。(図-6 参照)
- ④洗浄運転3バッチ目(AT-2-A022)及び4バッチ目(AT-2-A023)において、流下性を運転初期と同程度まで回復させることができた。
- ⑤27バッチ目(AT-2-A031)で、流下性低下の判断指標のうち流下速度50kg/h到達時間及び流下速度100kg/hが、白金族元素堆積の判断指標のうち堆積指標が、「洗浄運転」に該当する状態に達したことから、「回復運転への移行判断フロー」に従い回復運転へ移行した。
- ⑥28バッチ(AT-2-A032)以降に行った回復運転では、回復傾向が見られなかった(その後、かくはん棒の曲がりや天井レンガの一部損傷が確認された)。

(5) 偏流

- ①4バッチ目(AT-2-A008)及び14バッチ目(AT-2-A018)に偏流が発生した。(図-2 参照)
- ②4バッチ目(AT-2-A008)の偏流の発生原因は、3バッチ目(AT-2-A007)の運転においてガラス温度がバッチ平均で \square °Cと高めであったことから、白金族元素の沈降が促進され、炉底部の加熱性が低下し、その結果、炉底部のガラス温度が低下するとともに流下ガラスの粘性が高くなったものと推定している。
- ③また、14バッチ目(AT-2-A018)の偏流の発生原因は、ガラス固化体重量測定値が急上昇したことにより、自動制御機能で流下ノズルの高周波加熱電力が低下したことに伴い、流下ガラスの温度が低下し粘性が高くなったためであると推定している。

(6) 低粘性流体

- ① I T Vカメラでの観察の結果、第5ステップを通して、低粘性流体の発生は確認されなかった。これは、調整液により低粘性流体形成成分を低減したこと、定常運転時において仮焼層を安定して形成できたこと及び立ち上げ時のガラス温度の上昇が安定して行われたことによるものと考ええる。

(7) その他

- ① 「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流下停止について（最終報告）（平成20年10月8日報告）」に記載した流下ノズルの加熱性低下に対する対策として、流下ノズル温度（°C）を確保するために、高周波加熱の上段加熱電力の設定を kW（第4ステップでは kW）に上げた。その結果、すべてのバッチにおいて°Cを確保することができた。（図-7参照）
- ② 流下停止事象に対する対応として、溶融ガラスの流下を停止させた後の炉底低温運転へ移行する際の底部電極温度の設定値を°Cから°Cに上げ、流下開始時の底部電極温度の設定値を°Cに上げた。運転開始後、主電極-底部電極間（以下、「主-底間」という。）通電による加熱（流下を行うため、それまで炉底低温運転として低温管理していたガラス溶融炉底部の温度を上げる目的で行う）時間が目標時間である時間を満足できなかったため、主-底間通電の電流値を上げた（A⇒A）が、それでも時間を満足しないバッチがあった。（図-8参照）
- ③ その結果、mm温度計の温度が平均°Cまで上昇した（通常は、平均°C以下で推移）。

運転データの評価結果として、原因究明を行う中で重要な点を以下に整理した。

運転データ項目	確認された事実等
(1) ガラス温度、気相温度等	③ ガラス温度については、ガラス温度計の指示値が大きく変動する状況が見られた。これは、流下時に特にガラス温度の下降が見られたことから、流下時に仮焼層位置が下に移動すること等の影響によるものと考えられる。 ④ 不溶解残渣廃液を含む廃液による運転データの取得を行った23バッチ目（AT-2-A027）以降の運転において、ガラス温度、コモン温度が上昇傾向を示した（ガラス温度については、変動があるため上昇傾向が判りにくい）。

(2) 流下性低下の判断指標	④ 27 バッチ目 (AT-2-A031) で、流下性低下の判断指標のうち、流下速度 50 kg/h 到達時間及び流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗浄運転」に該当する状態に達したことから、回復運転へ移行した。
(3) 白金族元素堆積の判断指標	② 24 バッチ (AT-2-A028) から 26 バッチ (AT-2-A030) にかけて、白金族堆積の判断指標のうち堆積指標が低下し、27 バッチ目 (AT-2-A031) で、堆積指標が「洗浄運転」に該当する状態に達したことから回復運転へ移行した。
(7) その他	② 流下停止事象に対する対応として、熔融ガラスの流下を停止させた後の炉底低温運転へ移行する際の底部電極温度の設定値を $\square^{\circ}\text{C}$ から $\square^{\circ}\text{C}$ に上げ、流下開始時の底部電極温度の設定値を $\square^{\circ}\text{C}$ に上げた。運転開始後、主電極-底部電極間 (以下、「主-底間」という。) 通電による加熱 (流下を行うため、それまで低温管理していたガラス熔融炉底部の温度を上げる目的で行う) 時間が目標時間である \square 時間を満足できなかったため、主-底間通電の電流値を上げた ($\square\text{A} \Rightarrow \square\text{A}$) が、それでも \square 時間を満足しないバッチがあった。 ③ その結果、 $\square\text{mm}$ 温度計の温度が平均 $\square^{\circ}\text{C}$ まで上昇した (通常は、平均 $\square^{\circ}\text{C}$ 以下で推移)。

3. 2 第5ステップの運転データの評価等に基づく要因評価

「3. 1 運転データの評価」に示した運転データの評価結果等をもとに流下性低下の判断指標等が急激に低下した要因を洗い出した。さらに、安定運転を確実にするために必要な改善点の洗い出しを行った。

(1) 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下したことの要因と考えられるもの

流下性低下及び白金族元素堆積の判断指標については、白金族元素がガラス熔融炉底部 (以下、「炉底部」という。) に沈降・堆積した状況を把握するために設けたものであることから、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降の運転において、これらが低下し、回復運転が必要な判断基準に達したのは、白金族元素が何らかの要因で炉底部に沈降・堆積したことによるものと考えられる。

ガラス熔融炉の運転では、高レベル廃液中に含まれる白金族元素が炉底部に沈降することを抑制するため、炉底低温運転という運転方法を採用しているが、流下時には主-底間通電により炉底部のガラスを加熱することから、炉底部に白金族元素が沈降する。

この際、沈降した量と抜き出される量のバランスが重要となり、抜き出される量以上に白金族元素が沈降した場合には、炉底部に堆積することになる。このようなガラス熔融炉の特性を考えた上で「3. 1 運転データの評価」に示した運転データの評価結果等をもとに「不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降の運転において白金族元素が炉底部に沈降・堆積した」要因を洗い出した。(図-9 参照)

洗い出した要因の中で要因である可能性がある項目等を下表に示す。

要因と考えられるもの	確認された事実等	要因と考える理由
① ガラス温度の上昇	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス温度については、ガラス温度計の指示値が大きく変動する状況が見られた。これは、流下時に特にガラス温度の下降が見られたことから、流下時に仮焼層位置が下に移動すること等の影響によるものと考えられる。(3.1(1)③) ・ 不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した 23 バッチ目 (AT-2-A027) 以降の運転において、ガラス温度、コモン温度が上昇傾向を示した。(3.1(1)④) 	<ul style="list-style-type: none"> a. 流下を行う際の液位低下の影響等により、ガラス温度計指示値が変動するため、熱バランス計算結果のフィッティング対象となるガラス温度がガラス温度の実態にあっていなかったことで投入電力が適切ではなかった。その結果、仮焼層の形成状態に影響を与え、ガラス温度が上昇し、白金族元素の沈降量が増加した。 b. 不溶解残渣廃液の影響により、仮焼層の形成状態が変化したためガラス温度が上昇し、白金族元素の沈降量が増加した。
② 炉底部の温度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流下ノズルの加熱性低下に対する対応として、熔融ガラスの流下を停止させた後に炉底低温運転へ移行する際の底部電極温度の設定値 (炉底低温運転へ移行するため流下停止後、底部電極を冷却空気で冷却する) を <input type="text"/> °C から <input type="text"/> °C に上げた。(3.1(7)②) ・ 流下開始時の底部電極温度の設定値を <input type="text"/> °C に上げた。(3.1(7)②) ・ <input type="text"/> mm 温度計の温度が平均 <input type="text"/> °C まで上昇した (通常は、平均 <input type="text"/> °C 程度で推移)。(3.1(7)③) 	<ul style="list-style-type: none"> a. 熔融ガラスの流下を停止させた後に炉底低温運転へ移行する際の底部電極温度の設定値を上げたことで炉底部の温度分布が変わり、白金族元素の沈降に影響した。 b. 流下開始時の底部電極温度の設定値を高くした影響により炉底部の温度が高くなったことで白金族元素の沈降に影響した。 c. 炉底部温度が高くなったことで白金族元素の沈降に影響した。
③ 不溶解残渣廃液の影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した 23 バッチ目 (AT-2-A027) 以降の運転において、ガラス温度、コモン温度が上昇傾向を示した。(3.1(1)④) ・ 27 バッチ目 (AT-2-A031) 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」の判断基準に達したことから、回復運転 (洗浄運転) へ移行した。(3.1(2)④) ・ 24 バッチ目 (AT-2-A028) から 26 バッチ目 (AT-2-A030) にかけて、白金族堆積指標が低下し、27 バッチ目 (AT-2-A031) で、白金族堆積指標が「洗浄運転」の判断基準に達したことから回復運転 (洗浄運転) へ移行した。(3.1(3)②) 	<ul style="list-style-type: none"> a. 仮焼層において白金族元素が凝集したために、白金族元素等の粒径が大きくなり、沈降が促進した。 b. 白金族元素等の密度が大きくなり、沈降が促進した。 c. 不溶解残渣廃液を供給したことで仮焼層の形成状態が変わり、ガラス温度が上昇し、白金族元素の沈降に影響した。

④流下性の低下	<ul style="list-style-type: none"> ・第4ステップで確認された低粘性流体の影響により流下ノズルの加熱性が低下した。(流下停止事象の対応として高周波加熱コイルの電力を上げる措置を図った) ・天井レンガの損傷 	<ul style="list-style-type: none"> a. 流下ノズルの加熱性低下の影響により流下性が低下した。 b. 損傷した天井レンガが流下経路を塞いだために白金族元素の抜き出し量が低下した。
---------	---	--

(2) 運転をより安定的に行うために改善したほうが良いと思われるもの

第5ステップの運転データの評価を行い、今後再開する運転において使用前検査の検査前条件である安定運転をより確実にを行うため、運転方法等の改善が必要と考えるものを洗い出した。

改善したほうが良いもの	確認された事実等	改善すべきと考える理由
①立ち上げ時の電力調整	<ul style="list-style-type: none"> ・1バッチ目(AT-2-A005)以降の立ち上げ及び20バッチ目(AT-2-A024)以降の立ち上げにおいて、ガラス温度が高くなった。(3.1(1)①) 	<ul style="list-style-type: none"> a. ガラス温度が高くなると白金族元素の沈降を促進するため、白金族元素の管理という面で好ましくなく改善すべきである。
②洗浄運転の方法及び頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・廃液供給を停止し模擬ガラスビーズを供給したことで仮焼層がなくなり、ガラス熔融炉内の白金族元素濃度分布及び温度分布が変わり流下性が低下した。(3.1(4)③) 	<ul style="list-style-type: none"> a. 白金族元素の炉底部への沈降量と抜き出し量のバランスが重要であり、急激な白金族元素の沈降は白金族元素の管理という面で好ましくなく改善すべきである。

3. 3 不溶解残渣成分に関する調査

不溶解残渣の影響については、知見及び経験が十分ではなかったことから、不溶解残渣に関するデータを得るために以下に示す調査及び試験を行うこととした。(添付資料-2参照)

調査項目	調査目的	確認項目
①文献調査	<ul style="list-style-type: none"> ・諸外国における不溶解残渣廃液の性状、特性に関する情報を調査する。 	—
②特性に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・成分分析等により不溶解残渣廃液の性状、特性を把握する。 	<ul style="list-style-type: none"> a. 粒子径、沈降速度 b. 組成
③ガラス熔融炉の運転への影響調査	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎試験、解析により不溶解残渣廃液がガラス熔融炉の運転に及ぼす影響を評価する。 	(基礎試験) <ul style="list-style-type: none"> a. 金属粒子の成長挙動 b. 粒子の沈降速度 c. ガラスの物性 (解析) <ul style="list-style-type: none"> a. 粒子の沈降挙動
④小型熔融炉試験	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎試験、解析で得られた結果を熔融炉の運転状態で確認、実証する。 	—

これらの調査及び試験において、

- ・不溶解残渣廃液中の不溶解成分は、モリブデン酸ジルコニウムとルテニウムを主成分とした難溶性合金であること
- ・不溶解成分を模擬した金属を廃液中に混合して供給すると、仮焼層中で酸化されること
- ・不溶解成分を模擬した金属を廃液中に混合して供給すると、仮焼層がガラスに溶け込みにくくなること
- ・解析により白金族元素の密度よりも粒子径の方が炉底部への沈降に対する影響は大きいこと
- ・仮焼層や溶融ガラス内で粒子径が著しく凝集・成長することはないこと

等が確認された。

3. 4 不溶解残渣成分に関する調査結果を受けた要因評価

「3. 3 不溶解残渣成分に関する調査」の結果を受け、「3. 2 運転データの評価等に基づく要因評価」において洗い出した「不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下したこと」の要因に対する評価を行った。(図-10参照)

不溶解残渣成分に関する調査において、仮焼層がガラスに溶け込みにくくなることが確認されていることから、不溶解残渣成分が仮焼層の形成に影響を及ぼした可能性があり、その結果としてガラス温度が上昇し白金族元素の炉底部への沈降・堆積を引き起こしたことが要因として考えられた。

なお、「3. 2 運転データの評価等に基づく要因評価」で洗い出した要因のうち、③不溶解残渣廃液の影響の中の「仮焼層において白金族元素が凝集したために、白金族元素等の粒径が大きくなり沈降が促進した」、「白金族元素等の密度が大きく、沈降が促進した」については、不溶解残渣成分に関する調査結果(解析により白金族元素の密度よりも粒子径の方が炉底部への沈降に対する影響は大きいこと、及び仮焼層や溶融ガラス内で粒子径が著しく凝集・成長することはないことが確認された)から、要因とは考えられないと判断した。

4. KMOC試験

「3. 3 不溶解残渣成分に関する調査」で実施した小型溶融炉での確認等により不溶解残渣の影響について一応の評価ができたものの、炉底部の影響や複数の要因の相互影響等、小型溶融炉での確認が困難な点もあった(これまでの経験等から定性的には説明できるが定量的なデータによる評価が

できていない)。このため、KMOCを利用し、実規模大での影響確認を行うこととした。

4. 1 試験計画

KMOCでは、以下の目的で試験を行った。

- (1) 第5ステップにおける運転条件の炉内状態への影響確認
 - ① ガラス温度の上昇：ガラス温度を上昇させた要因として考えられる、ガラス温度計指示値の変動と不溶解残渣廃液の仮焼層への影響のうち、ガラス温度計指示値の変動の影響について確認することし、後者の不溶解残渣廃液の仮焼層への影響については(2)で確認
※なお、ガラス温度計指示値の変動の影響については、主電極間の抵抗値から算出するガラス温度推定値(以下、「推定ガラス温度」という。)や実機のガラス温度計位置よりも下の位置にある温度計の指示値との比較等により評価を行うこととした。
 - ② 炉底部の温度：底部電極温度の設定値の影響と□mm温度計の温度が平均□℃まで上昇したことの影響の確認
 - ③ 流下性の低下：流下性低下の要因として考えられるものとして、流下ノズルの加熱性低下の影響の確認
- (2) 不溶解残渣の炉内温度状態への影響確認：不溶解残渣成分を模擬した廃液を用いて不溶解残渣廃液の仮焼層への影響等を確認
- (3) 安定運転をより確実なものにするための運転条件の把握(立ち上げ時の電力調整、洗浄運転の方法及び頻度)

試験の主なステップとしては、

- ・高模擬廃液(白金族元素を含む模擬廃液)による運転
- ・高模擬廃液に微量成分(硫黄、DBP)を加えた廃液による運転
- ・高模擬廃液に、不溶解残渣廃液を模擬した成分(以下、「不溶解残渣模擬」という。)を加えた廃液による運転
- ・高模擬廃液に不溶解残渣模擬及び微量成分を加えた廃液による運転
- ・第5ステップにおける運転条件の炉内状態(流下ノズルの加熱性、炉底部の温度)を模擬した運転

という順に行った。なお、不溶解残渣模擬については、段階的に含有量を増やすことにより、その影響を確認した。

また、微量成分については、第4ステップにおいて仮焼層の安定した形成に対して阻害要因となっていたことから、第5ステップではその濃度を下げ

るため調整液を添加した（「安定運転条件報告」参照）。従って、KMOC試験においては、第5ステップで行った対策等の効果の確認を行うこととした。

4. 2 確認結果

「4. 1 試験計画」に示した試験計画に従いKMOC試験を行った結果、以下のことが確認された。

(1) 第5ステップにおける運転条件の炉内状態への影響確認

① ガラス温度の上昇（ガラス温度計指示値の変動）の影響

- i. KMOCに設置されている複数の温度計（測定点が実機よりも縦方向等に多い）及び推定ガラス温度により炉内ガラス温度の傾向を確認した。（図-11参照）
- ii. 実機と同じ位置のガラス温度計の指示値の推移は、実機よりも下の位置のガラス温度計の指示値の推移及び推定ガラス温度の推移と大きく異なる傾向を示す場合があることが確認された。（図-12参照）

ガラス温度計の指示値の影響については、KMOC試験の結果として、指示値そのものがガラス温度の実態を示していない可能性があることが考えられる。

その場合、熱バランス計算への影響及び電力調整を行う指標となるガラス温度が実態と違うことによる電力調整への影響が考えられ、安定運転に影響を及ぼす可能性がある。

② 炉底部の温度

i. 底部電極温度設定の影響

- a. 第5ステップで行ったガラス流下停止後に炉底低温運転に移行する際の底部電極温度の設定値を上げた（°C⇒°C）ことの影響として、炉底加熱時間はわずかに短縮されたが、°Cへの冷却の場合には、°Cへの冷却の場合より補助電極冷却空気流量を増加させる必要があることを確認した。（図-13参照）

※底部電極の冷却は流下が終了した後に行うもので、間欠的なものである。補助電極の冷却については、常時行っている。炉底低温運転は、補助電極の常時行っている冷却と底部電極の流下終了後の間欠的な冷却の組み合わせによりバッチ平均で目標とする温度を管理しており、炉底部のバッチ平均温度を維持するためには底部電極の冷却設定温度を°C上げた分補助電極冷却空気流量を増加さ

せることで補う必要がある。

- ii. mm温度計の温度が高くなった影響
 - a. 第5ステップにおいて行った「熔融ガラスの流下を停止させた後に炉底低温運転に移行する際の底部電極温度の設定値変更及び流下開始時の底部電極温度の設定値変更」の影響によって生じた炉底部の温度上昇 (mm温度が平均°C) のガラス熔融炉運転への影響を確認した。(図-14参照)
 - b. その結果、白金族元素の沈降の兆候を示す流下性低下及び白金族堆積の判断指標の低下傾向が見られた(炉底部温度が高いことは白金族元素の沈降に影響する)。(図-15参照)

③流下性の低下(流下ノズルの加熱性低下)の影響

- i. 流下ノズルの加熱性低下の流下性への影響を確認するために、高周波加熱電力を低下させて、試験を実施した。その結果、流下性に影響があることが確認された。
(図-16参照)

(2) 不溶解残渣廃液の影響(図-14、17参照)

①不溶解残渣廃液の仮焼層への影響

- i. 高模擬廃液と不溶解残渣模擬を含む模擬廃液では、熱バランス計算に用いられる熔融速度定数(廃液供給条件に応じた初期の目標電力の設定、電力調整時の各温度変化の傾向予測等を行う目的で実施している熱バランス計算に用いるパラメータであり廃液成分等の影響を受ける)の変化は小さかった。不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液の熔融速度定数は、他の模擬廃液に比べて熔融速度定数は半分程度であった。(高模擬廃液での熔融速度定数を1とすると、高模擬廃液+不溶解残渣模擬では0.85、高模擬廃液+不溶解残渣模擬+DBPでは0.46)
- ii. 高模擬廃液の場合と不溶解残渣模擬を含む模擬廃液の場合とでは、仮焼層形成状態に大きな差はなかった。(図-18参照)
- iii. 不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液の場合は、不溶解残渣模擬を含む模擬廃液の場合と比較して仮焼層の状態が異なり、仮焼層上部に細かい泡が発生した。(図-18参照)

②不溶解残渣廃液供給時のガラス温度計指示値への影響

- i. 高模擬廃液、不溶解残渣模擬を含む模擬廃液ともにガラス温度計指示値の変動が確認された。不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃

液の場合にはその変動が小さくなることが確認された。

③不溶解残渣供給時の炉内温度状態への影響

- i. 不溶解残渣模擬を含む模擬廃液による運転や炉底部を高温状態にした運転において、不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液の場合は、実機におけるガラス温度計と同じ位置の温度計の指示値の変化が小さい状況下でも、コモン温度及び□mm温度が有意に上昇することが確認された。(図-19参照)
- ii. 不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液の場合には、ガラス温度の上昇及び気相温度の低下が確認された。(図-14参照)

なお、第5ステップにおいてガラス溶融炉に供給した廃液は2.3に示したように3回混合槽で混合し、不溶解残渣廃液は3回目の混合廃液に混合した。DBPに関しては、全ての混合廃液で濃度にそれほどの差はないが、高レベル濃縮廃液とアルカリ濃縮廃液を混合してからガラス溶融炉に供給するまでの期間が他の2回の混合廃液と比較し、3回目の混合廃液は短期間である(期間の影響で1、2回目の混合廃液は、3回目の混合廃液に比べDBPが分解していた可能性がある)。

(3) 安定運転をより確実なものにするための運転条件の把握

①立ち上げ時の主電極間電力及び間接加熱電力の投入バランス

(図-20参照)

- i. 立ち上げ時の電力投入量について熱バランス計算を改良し、より適切な立ち上げ運転方法について確認した。

②洗浄運転の方法 (図-21参照)

- i. 模擬ビーズによる洗浄運転(第4ステップ及び第5ステップ再開後において実施)では、廃液及びガラス原料の供給を停止し、模擬ガラスビーズのみの供給になることで仮焼層がなくなる。これにより仮焼層中に含まれていた白金族元素が炉底部に沈降し、流下性が低下することが考えられる。第5ステップにおいても洗浄運転1バッチ目(AT-2-A020)で流下性が悪くなったことが確認されている。
- ii. ガラス溶融炉では、沈降する白金族元素の量と抜き出される白金族元素の量のバランスが重要であり、このバランスを維持するためには急激な白金族元素の沈降は可能な限り避けることが望ましい。このため、仮焼層を維持した洗浄運転の方法として低模擬廃液(白金族元素を含まない模擬廃液)を供給する方法に変えることとし、こ

の効果をKMOC試験で確認することとした。

- iii. KMOC試験において、低模擬廃液とガラスビーズによる洗浄運転で白金族元素の抜き出しが良好に行えることを確認した。

③洗浄運転の頻度（図－22参照）

- i. 第5ステップでは、「安定運転条件報告」に示した「回復運転への移行判断フロー」に従い、廃液供給運転を実施している中で白金族堆積の判断指標等が低下し、回復運転に移行する判断基準に達した時点で、回復運転を実施することとしていた。しかし、白金族元素が沈降・堆積した状況で回復運転へ移行する場合、さらに炉内状況が悪化し回復が困難な状況になることが見られた。このことから、定期的に洗浄運転を行った場合（定期的に洗浄運転を行うことでガラス熔融炉内の白金族元素の保有量を少なく維持する）の安定運転に対する効果を確認することとした。
- ii. 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し、安定した運転状態を継続できることを確認した。

4.3 KMOC試験結果に基づく評価

KMOC試験で得られた結果に基づき、「3.2 第5ステップの運転データの評価等に基づく要因評価」で抽出した「不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性低下及び白金族堆積の判断指標が低下したこと」の要因に対する評価を行った。（図－23参照）

下表に評価結果を要約して示す。

要因と考えられるもの	KMOC試験で確認された内容	影響に対する評価
ガラス温度計指示値の変動	<ul style="list-style-type: none"> ・実機と同じ位置のガラス温度計の指示値の推移が、実機より下の位置のガラス温度計の指示値の推移及び推定ガラス温度の推移と大きく異なる場合がある。(4.2(1)④ii.) (図－12参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降にガラス温度計の指示値が変動したため、ガラス温度が実態として上昇傾向にあったにもかかわらず、温度の上昇傾向を十分に把握できず、その結果、電力調整を適切に行えなかった。

<p>炉底部の温度</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融ガラスの流下を停止させた後に炉底低温運転に移行する際の底部電極温度の設定値を□°Cから□°Cに上げると、炉底加熱時間はわずかに短縮可能となるが、□°Cの場合より補助電極冷却空気流量を増加させる必要がある。(4.2(1)② i. a.) (図-13 参照) ・炉底部の温度が高い場合、白金族元素の沈降の兆候を示す流下性低下及び白金族堆積の判断指標の低下傾向が見られた(炉底部温度が高いことは白金族元素の沈降に影響する)。(4.2(1)② ii. b.) (図-15 参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ補助電極冷却空気流量においては□°Cの場合、炉底部温度が高くなるため、白金族元素の沈降を促進した。 ・炉底部の温度が高いことで白金族元素の沈降を促進した。
<p>流下ノズルの加熱性低下</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルの加熱性低下は、流下性に影響することが確認された。(4.2(1)③ ii.) (図-16 参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルの加熱性が低下したことが流下性に影響した。
<p>不溶解残渣廃液の影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液を供給した際にコモン温度が上昇する状況が確認された(第5ステップにおいて流下性低下等が確認される前に見られた温度変化と類似の状態)。(4.2(2)③ i.) (図-19 参照) 	<ul style="list-style-type: none"> ・不溶解残渣及びDBPを含む廃液の供給により仮焼層が厚くなり、仮焼層による断熱効果が向上するため、ガラス温度が上昇し、白金族元素の沈降に影響した。 ※第4ステップではDBPや硫黄の影響で仮焼層の形成が安定しなかった。第5ステップでは、仮焼層の形成を安定させるための対策(廃液調整等)を行った結果、仮焼層が安定して形成され、DBPが仮焼層の状態を変化させたものの、仮焼層を不安定にさせる状況までには至らなかったものと評価した。

5. 第5ステップでの運転状況の推定

5.1 炉内状況の変化等の推定

第5ステップにおいて確認された運転データ及びKMOC試験結果から、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に確認された炉内状況の変化等を以下のとおり推定した。(図-24 参照)

- ①流下停止事象を受け流下ノズル加熱性確保のため高周波加熱電力を増加させるとともに、流下開始時の底部電極温度を□°Cまで上げる等の方策を図ることとした。(第5ステップ運転計画)
- ②底部電極温度を設定温度に上げるために主-底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(□mm 温度が平均□°C)。(第5ステップ中)

- ③その後、主一底間加熱時間を緩和するために主一底間電流値を□
Aに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（図－8参照）。
- ④その結果、炉底温度の高い状態が継続した（□mm温度が平均
□℃）。
- ⑤炉底温度が高いこと及び初期流下性が悪いことにより白金族元素が炉
底部に徐々に沈降・堆積した。
- ⑥16バッチ目（AT-2-A020）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。（図－4参照）
- ⑦不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降、不溶解残渣廃液及び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）。（図－3参照）
- 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急激に沈降・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低下した。（図
－4、5参照）

①から⑨までのガラス溶融炉の運転状況の変化に基づき考えると、⑥にお
いて行った洗浄運転では、炉底部の白金族元素を十分に抜き出しきれなかつ
た可能性も考えられる。

一方、第5ステップにおいて天井レンガの一部損傷が確認されており、こ
れも流下性へ影響を与えた可能性が考えられるが、レンガの落下時期やそれ
によるガラス溶融炉の運転性への影響は十分確認できていない。しかし、K
MOC試験及び第5ステップにおいて、以下のことが確認されていることか
ら、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性低下等が見られたことは、
電力調整が適切でなかったこと（⑧）が主たる原因であり、レンガ落下が影
響した可能性は小さいと考える。

○KMOC試験

- ・流下ノズルの加熱性の低下が白金族元素の抜き出し性に影響する
- ・実機ではガラス温度が十分に把握できていなかった可能性がある
- ・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の温
度変化（仮焼層の変化）に対応した電力調整が十分にできていなか
った可能性がある

○第5ステップ

- ・不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に見られた流下性低下等の対応と

して行った回復運転の中で実施したかくはん棒（直棒）による操作の際に、流下ノズルにかくはん棒が一度は挿入できていること（不溶解残渣廃液供給時には底部電極の熔融ガラスを抜き出すための穴は塞がっていなかったと推定）

- ・ 不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に見られた流下性低下等の状況（回復運転に移行する判断基準に達した）と、ガラス熔融炉内部のガラス液位を下げる運転（かくはん棒の状態を確認することを目的として実施）を行った際に見られた流下性低下の状況（流下速度100 kg/h到達に至る前に緊急流下停止を行った）とは大きく異なること

なお、かくはん棒の状態を確認することを目的として、ガラス熔融炉内部のガラス液位を下げた際に流下性が低下したのは、上述した回復運転の中でかくはん棒（直棒）による操作において2回目以降流下ノズルに挿入できなかったこと等の状況から、落下したレンガが熔融ガラスの流路を塞いだことが原因である可能性が高いと考える。

5. 2 推定される原因

「5. 1 炉内状況の変化等の推定」に示した第5ステップでの炉内状況の変化等から、不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性等が低下した原因は、

「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」
ことと考える。

電力調整が適切に行われなかったと推定した理由は、KMOC試験で不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液を供給した際には、第5ステップと同様な温度上昇傾向が確認されたが、電力調整によりコモン温度等をもとの状態に復帰させることができている（図-25参照）、そのときの電力調整量と第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かったためである。（図-26参照）

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指示値が、ガラス温度計の位置が適切ではなかったため、仮焼層の状態に影響を受け変動が大きかった」
ことが影響したものと考える。

ガラス温度計の位置が適切な位置ではなかったと推定したのは、下記の理由による。

- ・ KMOC試験において、実機のガラス温度計の位置にある温度計の指示値が、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の値と大きな違いが確認されていること
- ・ 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、かつ第5ステップのガラス温度等の推移でコモン温度も上昇傾向を示していること(図-27参照)

なお、KMOC試験では、不溶解残渣廃液ではなく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供給以降に見られたものと同様の炉内温度状況の変化が見られた。

今後の運転においてもDBPによる同様の影響が想定されるが、KMOC試験において、温度変化及びそれに対する電力調整方法を確認できたため、温度変化に適した電力調整を行うことで対応可能と考える。(図-26参照)

さらに、流下ノズルの加熱性低下に対する対応として実施した運転方法により炉底部の温度を高い状態で運転継続したことが白金族元素の沈降・堆積の一因になっているものとする(通常は炉底部を低温に維持することで白金族元素が炉底部に沈降することを抑制している)。

6. 推定される原因に対する対策及び運転方法等の改善

「5.2 推定される原因」に示した不溶解残渣廃液を含む廃液供給以降に流下性等が低下した原因に対しては、

- ① ガラス温度計の指示値
- ② 底部電極温度の設定
 - ②-1 : 炉底低温運転に移行する際の底部電極温度
 - ②-2 : 流下開始時の底部電極温度
- ③ 流下ノズルの加熱性

について対策をとる。

また、今後行うガラス熔融炉の運転において、使用前検査の検査前条件である安定運転をより確実なものにするため、

- ① 立ち上げ時の主電極間電力及び間接加熱電力の投入バランス
- ② 洗浄運転の方法
- ③ 洗浄運転の頻度

について、改善することとし、以下に具体的な対策等を示す。

(1) 流下性低下等を発生させた要因に対する対策

流下性低下等を発生させた要因に対する対策を下表に示す。

項目	必要性	対策
① ガラス温度計の指示値	<ul style="list-style-type: none"> ・現状設置されているガラス温度計の指示値のみでは仮焼層の位置や状態等の影響を受け、ガラス熔融炉内のガラス温度分布を十分に把握できないことが考えられ、ガラス温度等をもとに行う仮焼層を安定させるための電力調整を適切に行うことができない状況にある。このため、ガラス温度計の測定点を増やす、推定ガラス温度を活用する等によりガラス温度を確認する手段を追加することでガラス温度の実態を把握し、適切な電力調整を行うことができるようにする必要がある。 ・「安定運転条件報告」に示した熱バランス計算による電力条件設定を行うために、ガラス温度と気相温度の実績データを使用することから、ガラス温度の実態を把握することが重要である。このため、ガラス温度を確認する手段として温度計を追加することでガラス温度の実態を把握する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス温度計の測定点を増やす（縦方向の温度分布を把握するための温度計、横方向の温度分布を把握するための温度計の設置）。（図-28参照） ・推定されるガラス温度によるガラス温度の傾向を把握する手法を電力調整条件設定に活用する。 ・これにより炉内温度分布の把握精度の向上を図る。（図-29参照）
②-1 炉底低温運転に移行する際の底部電極温度の設定値	<ul style="list-style-type: none"> ・熔融ガラスの流下停止後に炉底低温運転に移行する際の底部電極温度を第4ステップよりも上げて（<input type="text"/>℃⇒<input type="text"/>℃）運転したが、本来の炉底低温運転の目的から考えると低くすることが好ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルの加熱性が確保される（第4ステップ当初と同等）ことを前提に、炉底低温運転に移行する際の底部電極温度の設定値を第4ステップの設定温度<input type="text"/>℃に戻す。
②-2 流下開始時の底部電極温度の設定値	<ul style="list-style-type: none"> ・流下開始時の底部電極温度の設定を上げることで主一底間の通電時間が長くなる等の影響が生じる可能性があり、本来の炉底低温運転の目的から考えると低くすることが好ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルの加熱性が確保される（第4ステップ当初と同等）ことを前提に、流下開始時の底部電極温度の設定を第4ステップの設定温度<input type="text"/>℃程度に戻す。
③ 流下ノズルの加熱性	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルの加熱性が低下していると白金族元素の抜き出し性に影響することがKMOC試験の結果 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス熔融炉A系列については、第4ステップで発生した低粘性流体の影響により、流下ノ

	<p>から確認されており、白金族元素を管理した状態での運転を行うためには、流下ノズルの加熱性を確保することが必要と考える。</p>	<p>ズルの加熱性が低下していることから、結合装置を交換し加熱性を確保する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス溶融炉B系列については、アクティブ試験をまだ実施しておらず、また、2008年1月に実施した流下確認において、流下ノズルの加熱性が確保されていることを確認していることから、結合装置の交換は実施しない。ただし、流下ガラスの揮発成分の影響で若干ながら新規品よりも高周波加熱装置の加熱性が低下していることも考えられるため、必要に応じ高周波加熱電力を上げる等の措置を講じる。
--	---	---

(2) 運転方法の改善

「3. 2 第5ステップの運転データの評価等に基づく要因評価」で示した運転をより安定的に行うために改善したほうが良いと思われるものに対し、KMOC試験の結果を踏まえ必要性を評価した。

下表に改善策等に対する評価結果を示す。

項目	必要性	改善策
<p>① 立ち上げ時の主電極間電力及び間接加熱電力の投入バランス</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・第5ステップにおいて立ち上げ時にガラス温度が目標温度を超えてしまうこと（電力調整により目標範囲に調整は可能であった）等が確認されたことから、目標温度を超えない立ち上げ運転方法が安定運転を維持するためには必要と考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・改良した熱バランス計算を実施し、立ち上げ運転時の計算精度を向上させる。 ・立ち上げ時の主電極間電力及び間接加熱電力の投入量を改善する（電力投入量を低減させ仮焼層の形成促進を抑制する）。 ・立ち上げ時に低模擬廃液を供給し、仮焼層を形成してから廃液供給を開始する。
<p>② 洗浄運転の方法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・洗浄運転は模擬ガラスビーズを供給することにより行っていたが、この方法の場合、仮焼層がなくなり、仮焼層内にある白金族元素が短時間で炉底部に沈降するため、白金族元素が流下により抜けきらない場合等には、さらに白金族元素が炉底部に堆積するリスクがある。このことから、仮焼層 	<ul style="list-style-type: none"> ・仮焼層を維持しつつ洗浄運転を行うために、低模擬廃液とガラスビーズ供給による洗浄運転を行う。 ・なお、低模擬廃液を用いた洗浄運転を行うために必要な許認可手続き、設備改造等については実施済である。（図-30参照）

	を維持し、急激な白金族元素の沈降を抑制することで、より確実な回復運転を目指すことが必要と考える。	
③ 洗浄運転の頻度	<ul style="list-style-type: none"> これまで、廃液供給運転を実施している中で白金族堆積指標等が判断基準に達した時点で回復運転を実施するという方法で運転を行ってきた。しかし、急激に白金族元素が沈降・堆積するような状態になったときは回復が困難な状況になることもあるため、定期的に洗浄運転を行い、白金族元素の炉内保有量を少なく保つことで、より確実な安定運転を目指すことが必要と考える。 	<ul style="list-style-type: none"> 回復運転の判断指標の推移にかかわらず当面の間は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安定運転が継続できるよう管理する。

(3) 「安定運転条件報告」との関係

「安定運転条件報告」に示した運転方法と、今回の対策及び改善策との関係を下表に示す。

項目	安定運転条件報告	改善点
安定運転のための管理	ガラス温度に目標値を設けて管理する。	<p>目標値を設けて管理することには変わりはないが、ガラス温度の測定点を増やす。</p> <ul style="list-style-type: none"> 現状設置している温度計については縦方向に測定点を増やす。 新たに横方向温度分布を把握するための温度計を設置する。 主電極間抵抗値からガラス温度を推定する。
回復運転	回復運転の手段である洗浄運転については、模擬ガラスビーズを供給することで行う。	洗浄運転においては、仮焼層を継続維持するために低模擬廃液とガラスビーズを供給することで行う。
	回復運転への移行判断基準に達した場合に、回復運転に移行する。	回復運転への移行判断は行うものの、それに加えて定期的に洗浄運転を行う。 なお、回復運転への移行判断基準に達した場合は、回復運転フローに基づき回復運転を実施する。
その他	—	<p>炉底低温運転へ移行する際の底部電極温度を4ステップの設定温度□°Cとする。</p> <p>流下開始時の底部電極温度を第4ステップの設定温度□°C程度とする。</p> <p>ガラス温度が目標値よりも上がり過ぎないように、立ち上げ時に低模擬廃液を供給して仮焼層を形成してから、廃液供給を開始する。</p>

		<p>ガラス溶融炉A系列については、流下ノズルの加熱性を確保するため結合装置の交換を実施する。 ガラス溶融炉B系列については、必要に応じて高周波加熱電力等を上げ、流下ノズルの加熱性を確保する。</p>
--	--	--

上記（１）の対策及び（２）の改善策を図ることにより、使用前検査の検査前条件である安定運転の継続（ガラス溶融炉におけるガラス温度等が安定した運転及び白金族元素を管理した状態での運転）を実施できる見通しが得られた。今後、これらの対策及び改善策を講じ、アクティブ試験を実施する。

7. ガラス固化設備に係るアクティブ試験再開後の試験計画等

今後実施するガラス固化設備のアクティブ試験については、「6. 推定される原因に対する対策及び運転方法等の改善」に示した推定される原因に対する対策及び運転方法等の改善を行った上で、以下の考え方で進める。（図-31参照）

①KMOCと実機の比較評価等

1) 目的

- ・実機において実廃液を用いて運転を行う前に低模擬廃液を用いた運転を行うことにより、KMOCと実機の比較評価及びKMOC試験結果の実機への反映に係る最終的な確認を行う。
- ・KMOCと実機の比較評価等を行うために低模擬廃液を使用する目的は、過去にモックアップ試験（模擬廃液によるKMOC試験）、化学試験（模擬廃液による試験）、アクティブ試験というステップでガラス溶融炉の運転確認を行ってきたことと同じステップを踏むということである。これは使用前検査の検査前条件確認として行うアクティブ試験を実施する上で必要なステップであり、今回のKMOC試験で検証した運転方法等の改善策（過去に行った試験における運転方法を変更した部分等）に対する確認を行うものである。

2) 実施方法

- ・KMOCと実機の比較評価等をより確実に行うため、まず実廃液による影響を受けていないB系列で実施する。
- ・低模擬廃液によるKMOCと実機の比較評価等の後に、その結果を十分に反映するとともに、KMOC試験結果の実機への反映に係る最終的な確認を行う目的で、同系列において継続して実廃液による運転確認（試験）を行う。
- ・実廃液による運転確認では、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を確認する（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) 確認内容

- ・低模擬廃液による確認では以下を実施する。
 - ▶ ガラス溶融炉の熱特性の確認
 - ▶ 流下条件の確認
- ・実廃液による確認では以下を実施する。
 - ▶ 熱バランス計算の適用性の確認
 - ▶ 洗浄運転から廃液供給運転への切替時の運転状態の確認
 - ▶ 溶融速度定数の確認

②安定運転の確認（実廃液による使用前検査の検査前条件の確認）

- ・KMOC試験結果を受け、流下性低下及び白金族堆積の判断指標の推移にかかわらず定期的に低模擬廃液及びガラスビーズ供給による洗浄運転を行う。
- ・安定運転の評価範囲の目安としては、廃液供給＋洗浄運転＋廃液供給（同程度のバッチ数の廃液供給運転が繰り返し実施できていることが確認できる範囲）とし、その間において「安定運転条件報告」に示したとおりガラス温度、気相温度が目標範囲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結果として取り纏め報告する。
- ・安定運転については、不溶解残渣廃液を含む廃液により確認することとするが、「①KMOCと実機の比較評価等」の結果により、必要に応じて不溶解残渣廃液を含まない廃液による安定運転の確認を、不溶解残渣廃液を含む廃液による確認の前に行うことを計画する。
- ・不溶解残渣廃液については、第5ステップと同程度の量で安定運転の確認を行った後に、設計ベースの混合量での安定運転の確認を行うこととする。
- ・上記の流れでB系列における安定運転を確認した後、A系列における安定運転の確認を行う。

以 上