

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

【公開版】

平成22年7月15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. はじめに.....	1
2. 第5ステップの運転状況.....	1
2. 1 第5ステップにおいて供給した廃液.....	1
2. 2 各種運転データの推移等.....	2
3. 第5ステップの運転データの評価等に基づく検討.....	5
4. 不溶解残渣成分に関する調査.....	7
5. KMOC試験.....	7
5. 1 試験計画.....	7
5. 2 確認結果.....	8
5. 3 KMOC試験結果に基づく評価.....	11
6. 第5ステップでの運転状況の推定.....	12
6. 1 炉内状況の変化等の流れの推定.....	12
6. 2 推定される原因.....	14
7. 第5ステップ全体の運転データの評価結果等に基づく運転方法の改善..	15
8. 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.....	18

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、気相温度の推移
- 図－ 3 不溶解残渣廃液供給以降のガラス温度、気相温度の推移
- 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 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－ 10 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－ 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 第5ステップにおけるガラス溶融炉の運転状況を模擬した試験（KMOC試験）
- 図－ 14 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－ 15 不溶解残渣の影響確認結果（KMOC試験）
- 図－ 16 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－ 17 不溶解残渣成分模擬とDBPの仮焼層への影響（KMOC試験）
- 図－ 18 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－ 19 模擬廃液による洗浄運転の効果
- 図－ 20 定期的な洗浄運転の効果（KMOC試験）
- 図－ 21 第5ステップにおける炉内状況の変化等の流れ
- 図－ 22 供給廃液変更時の電力調整（KMOC試験）
- 図－ 23 供給廃液変更時の電力調整量の比較
- 図－ 24 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－ 25 ガラス温度測定点の増加
- 図－ 26 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－ 27 低模擬廃液による洗浄運転を行うための設備

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日から第5ステップとして「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。この試験運転では、22バッチ目までは不溶解残渣廃液を混合しない廃液を処理し、23バッチ目以降は不溶解残渣廃液を混合した廃液を処理した。

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はじめた23バッチ目以降において流下性低下や白金族元素堆積の判断指標に変化が見られ、回復運転に移行するための判断基準に達したため、回復運転に移行した。その後、かくはん棒の曲がり、天井レンガの損傷といった事象が確認され、試験が中断している状況である。

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ステップの運転で得られたデータ等をもとに、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実績、不溶解残渣廃液を供給した以降に見られた流下性低下等の状況に対する評価及び実規模試験施設（以下、「KMOC」という。）における模擬廃液を用いた試験結果をもとに、安定運転条件報告に示した運転方法の一部について、ガラス溶融炉の運転方法の改善として検討した結果について取り纏めた。

なお、第5ステップにおける運転実績については、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」に示した結果にその後の運転データについて評価を行った結果を追加した。

2. 第5ステップの運転状況

2.1 第5ステップにおいて供給した廃液

- ・第5ステップでは、1バッチ目（AT-2-A005）から22バッチ目（AT-2-A026）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（AT-2-A027）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。
- ・不溶解残渣廃液を混合しない廃液は、高レベル濃縮廃液と中和処理したアルカリ濃縮廃液及び調整液を混合した廃液であり、不溶解残渣廃液を混合した廃液は、これらの組み合わせに不溶解残渣廃液を加えたものである。
- ・ガラス溶融炉に供給する廃液は、混合槽で各種廃液を混合し分析によ

り廃棄物含有率等の確認を行った後、供給液槽、供給槽を經由してガラス溶融炉に供給する。

- ・第5ステップでは、3回の混合廃液がガラス溶融炉に供給されており、3回目の混合廃液には不溶解残渣廃液を混合した。(図-1参照)
- ・ガラス溶融炉に供給する廃液の流量を一定に維持することを目的として、供給槽の液位を一定に維持することとしている。そのため、供給液槽と供給槽はエアリフトにより含有する廃液が循環され、混合槽で混合された廃液は供給液槽、供給槽の中で前の混合廃液と混ざり合った状態でガラス溶融炉に供給されることになる。

2. 2 各種運転データの推移等

「安定運転条件報告」に示した各対策を実施して(添付資料-1参照)行った第5ステップの運転におけるガラス温度等の各種運転データの推移等を以下に示す。

(1) ガラス温度、気相温度等(図-2、3参照)

- ・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、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)。
- ・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、気相温度及びコモン温度の変動の要因と考えられる。
- ・ガラス温度については、流下時に仮焼層位置が下に移動すること等により、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。
- ・26バッチ目(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。
- ・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づらい)。

(2) 流下性低下の判断指標(図-4参照)

- ・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50kg/h到達時間、流下速

度 100 kg/h 到達時間ともに、「洗浄運転」の判断基準に至らない範囲で運転が継続した。

- 3 バッチ目 (AT-2-A007) で流下速度 100 kg/h 到達時間が「洗浄運転」の判断基準に達した。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ことにより白金族元素が沈降し、炉底部のガラス温度が低くなったことから、ガラス熔融炉底部におけるガラス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。
- 15 バッチ目 (AT-2-A019) で、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」の判断基準に達した（「洗浄運転」に該当する項目が 2 つとなり、回復運転（洗浄運転）へ移行）。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。
- 27 バッチ目 (AT-2-A031) で、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」の判断基準に達したことから、回復運転（洗浄運転）に移行した。

(3) 白金族元素堆積の判断指標（図-5 参照）

- 23 バッチ目 (AT-2-A027) 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」の判断基準には至らなかった。
- 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）に移行した。

(4) 「回復運転への移行判断フロー」及び「回復運転フロー」

- 流下性低下に係る回復運転への移行判断指標については、15 バッチ目 (AT-2-A019) で、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」の判断基準に達し、「洗浄運転」に該当する項目が 2 つとなったため、回復運転（洗浄運転）に移行した。

- ・「回復運転フロー」に基づいて2バッチの回復運転（洗浄運転）を実施したが、改善効果の判断基準を満足しなかったため、「回復運転フロー」に基づき、さらに2バッチの回復運転（洗浄運転）を行った。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。
- ・回復運転（洗浄運転）1バッチ目（AT-2-A020）で流下速度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、廃液及びガラス原料の供給を停止し、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）
- ・回復運転（洗浄運転）3バッチ目（AT-2-A022）及び4バッチ目（AT-2-A023）で、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。
- ・27バッチ目（AT-2-A031）で、流下性低下の判断指標及び白金族元素堆積の判断指標が「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）に移行した。
- ・28バッチ目（AT-2-A032）以降に行った回復運転では、回復傾向を見ることができなかった（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

- ・4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。
- ・4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 °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たことにより、炉底部のガラス温度が低下して、結果流下ガラスの粘性が高くなったものと推定している。
- ・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

- ・ITV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、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及び定常運転時において仮焼層を安定して形成できたことによるものとする。

(7) その他 (図-7 参照)

- ・ 「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、流下ノズル温度計温度 (□°C) を確保するために、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。
- ・ 第4ステップで発生した低粘性流体の影響により低下した流下ノズルの加熱性を補うため、溶融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度の設定を□°Cから□°Cに上げ、流下開始時の底部電極温度の設定を□°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)
- ・ 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)。

3. 第5ステップの運転データの評価等に基づく検討

今後実施するガラス溶融炉の運転において安定運転を確実に実施するため、第5ステップの運転データ、解析等に基づき「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るなどした要因と考えられるもの」及び「今後の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」を抽出した。

(1) 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るなどした要因と考えられるもの

要因と考えられる項目	確認された事実等	想定される影響
①流下ノズルの加熱性低下	第4ステップで発生した低粘性流体の影響により低下した (流下停止事象を発生させた要因の一項目)。	流下ノズルの加熱性が低下したことで初期流下性が悪くなり、白金族元素の抜き出し性に影響した。

②底部電極冷却温度の設定	低下した流下ノズルの加熱性を補うため、熔融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度の設定を□°Cから□°Cに上げた。	熔融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度の設定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。
③ガラス温度計指示値の変動	流下時に仮焼層位置が下に移動すること等によりガラス温度計指示値が大きく変動する状況が見られた。	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、ガラス熔融炉内のガラス温度分布を十分に把握できず、炉内温度状態に対応した電力調整に影響した。
④炉底部の温度	□mm温度計の温度が平均□°Cまで上昇した(通常は、平均□°C程度で推移)。	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。
⑤不溶解残渣廃液の影響	23バッチ目(AT-2-A027)(不溶解残渣廃液を含む高レベル廃液に切り替えた)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。	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。

(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

改善したほうが良い項目	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	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。	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、白金族元素の管理面で改善すべきである。
②洗浄運転の方法及び頻度	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。	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。

4. 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。

項目	目的	確認項目
文献調査	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。	—
特性に関する調査	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"> ・ 粒子径、沈降速度 ・ 組成
ガラス熔融炉の運転への影響調査	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"> ・ 金属粒子の成長挙動 ・ 粒子の沈降速度 ・ ガラスの物性 (解析) ・ 粒子の沈降挙動
小型熔融炉試験	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て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て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
- 等が確認された。(添付資料-2 参照)

5. KMOC試験

5. 1 試験計画

3. に示した第5ステップの運転状況や4. に示した不溶解残渣に係る調査及び試験による確認結果をもとに、実機(K施設)のガラス熔融炉と同規模のモックアップ設備であるKMOCにおいて模擬廃液を用いた試験を実施した。

KMOCでは、以下の目的で試験を行った。

- ・ 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 (流下ノズルの加熱性低下、底部電極冷却温度設定、ガラス温度計指示値の変動、炉底部の温度)
- ・ 不溶解残渣の炉内温度状態への影響確認
- ・ 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)

ガラス温度計指示値の変動に係る確認においては、主電極間の抵抗値から推定したガラス温度（推定ガラス温度）や実機のガラス温度計位置よりも深い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。

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、不溶解残渣廃液を模擬した成分については、その影響を確認するため段階的に含有する量を増やして運転を行った。

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と調整液を添加した（「安定運転条件報告」参照）。そのため、KMOCにおいてその効果や運転方法の確認を行うこととした。

5. 2 確認結果

5. 1に示した試験計画に従い運転を行った結果、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流下ノズルの加熱性低下

- a. KMOCでは今回の試験開始前に高周波加熱装置を交換し、加熱性が確保された状態で試験を実施し、流下性は良好であった。
- b. また、KMOC試験のうち第5ステップにおける炉内温度状態等を模擬した運転において、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-9参照）

②底部電極冷却温度設定

- a. 第5ステップにおいて、流下ノズルの加熱性低下を補うためにガラス流下停止時の底部電極冷却温度の設定値を上げた（°C⇒
°C）。それにより、炉底加熱時間はわずかに短縮されたが、°C

冷却の場合には、°C冷却時より補助電極冷却空気流量を増加させる必要があり（炉底部の温度は、底部電極冷却温度と補助電極冷却温度で管理しているが、底部電極冷却温度の設定値を上げた状態で炉底部の温度を維持するためには補助電極冷却空気流量を増加させる必要がある）、冷却効率が低下することを確認した。（図－10参照）

③ガラス温度計指示値の変動

- a. 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）及び主電極間抵抗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。）により炉内ガラス温度の傾向を確認した。（図－11参照）
- b. 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）

④炉底部の温度

- a. 第5ステップにおける炉内温度状態等を模擬した運転において、第5ステップで流下ノズルの加熱性低下を補うために行った、熔融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度の設定変更の影響及び流下開始時の底部電極温度の設定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）による、ガラス熔融炉運転への影響を確認した。（図－13参照）
- b. その結果、白金族元素の沈降の兆候を示す流下性の低下や白金族堆積指標の低下傾向及び主－底間抵抗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－14参照）

(2) 不溶解残渣廃液の影響（図－13、15参照）

- a. 高模擬廃液と不溶解残渣廃液を模擬した成分（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）は、変化が小さかった。不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液では、これらを含まない模擬廃液と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）
- b. 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。

- c. 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より、以下のことが確認された。
 - 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相違した。
 - 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指示値の温度変化が小さい状況でも、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－16参照）
- d. 高模擬廃液の場合と比べて、不溶解残渣模擬を含む模擬廃液の場合は、仮焼層形成状態に大きな差はなかった。（図－17参照）
- e. 不溶解残渣模擬及びDBPを含む模擬廃液の場合は、仮焼層上部に細かい泡が発生した。（図－17参照）
- f. また、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－13参照）
- g. 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. 1に示したように3回の混合廃液に相当し、不溶解残渣廃液を含む廃液は3回目の混合廃液にあたる。DBPに関しては、全ての混合廃液で濃度にそれほど差はないが、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回目の混合廃液においては、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－18参照）
 - a. 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－19参照）
 - a. これまで実施していた模擬ビーズによる回復運転（洗浄運転）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）の流下性が悪くなったことが確認されている。
 - b. 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。

- c. KMOC試験により、模擬廃液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－20参照）

- a. アクティブ試験第5ステップでは、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に移行する場合、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の安定運転に対する効果を確認することとした。
- b. 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。

5. 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. で抽出した「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るなどした要因と考えられるもの」に対する評価を行った。

要因と考えられる項目	KMOC試験で確認された内容	影響に対する評価
流下ノズルの加熱性低下	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。 (5. 2 (1)①b.) (図－9参照)	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。
底部電極冷却温度設定	熔融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度の設定を□□℃から□□℃に上げると、炉底加熱時間はわずかに短縮となるが、□□℃冷却より補助電極冷却空気流量を増加させる必要があり、冷却効率が低下する。 (5. 2 (1)②a.) (図－10参照)	同じ補助電極冷却空気流量においては□□℃冷却の場合、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。
ガラス温度計指示値の変動	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。(5. 2 (1)③b.) (図－12参照)	不溶解残渣廃液供給以降にガラス温度計の指示値が変動したため、その影響で温度の上昇傾向を十分に把握できず、その結果、電力調整に影響した。

<p>炉底部の温度</p>	<p>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の低下や白金族堆積指標及び主一底間抵抗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）。（5. 2 (1) ④b.）（図-14 参照）</p>	<p>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>
<p>不溶解残渣廃液等の影響</p>	<p>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態が確認された（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）。（5. 2 (2)c.）（図-16 参照）</p>	<p>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。 ※アクティブ試験第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、廃液調整等の仮焼層の形成を安定させるための対策を行った結果、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には至らなかったものと評価した。</p>

6. 第5ステップでの運転状況の推定

6. 1 炉内状況の変化等の流れの推定

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、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-21 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、初期流下性の確保のため流下開始時の底部電極温度を [] °Cまで上げることとした。（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一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、炉底温度が高い状態が継続した（ [] mm 温度が平

均 \square °C)。

- 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(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を供給した以降、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。(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されなかっ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、落下が確認されており、これについても流下性への影響が生じる可能性が考えられる。またレンガの落下時期やそれによるガラス溶融炉の運転への影響を十分確認できていない。しかし、

- ・KMO C試験で以下が確認されたこと
 - a. 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
 - b. 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
 - c. 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
- ・不溶解残渣廃液を含む廃液を供給した以降に見られた流下性低下については、白金族元素の沈降・堆積が発生し、回復運転に移行する判断基準に達したというものであり、かくはん棒の状態を確認することを目的としてガラス溶融炉内部のガラス液位を下げる運転(ガラスの抜き出し)を行った際に見られた極端な流下性低下とは状況が異なること(流下速度100kg/h到達に至る前に緊急流下停止を行った)

等から、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白金族元素が沈降する傾向が見られたことは、電力調整が適切でなかったこと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。

なお、かくはん棒の状態を確認することを目的として、ガラス溶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、落下したレンガが溶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。

6. 2 推定される原因

6. 1 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を供給した以降に確認された流下性低下の原因としては、

「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」

ことであると考える。

電力調整が適切に行われなかったと評価した理由は、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、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-22参照）、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いためである。（図-23参照）

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る。

以下のことから、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-24参照）

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。

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－23参照)

さらに、流下ノズルの加熱性が低下していたことを補うために採用した運転方法により炉底部の温度が高い状態で運転を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考え（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）。

7. 第5ステップ全体の運転データの評価結果等に基づく運転方法の改善

第5ステップの運転実績及びKMOC試験で得られた結果等をもとに今後行うガラス溶融炉の運転において安定運転をより確実なものにするために、以下の運転方法の改善について検討した。

- (1) 流下性低下等を発生させた要因に対する対策
 - ① ガラス温度計の指示値
- (2) 第5ステップの運転データ評価から改善が必要と考える事項
 - ① 底部電極冷却温度の設定
 - ② 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
 - ③ 流下ノズルの加熱性
- (3) より安定した運転を目指すために改善が必要と考える事項
 - ① 洗浄運転の方法
 - ② 洗浄運転の頻度

(1) 流下性低下等を発生させた要因に対する対策

項目	必要性	対策
① ガラス温度計の指示値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仮焼層の位置や状態により、ガラス溶融炉内のガラス温度分布を十分に把握できない状況が考えられることから、ガラス温度を確認する手段を検討することが、より安定な運転を目指すうえで必要と考える。 ・ ガラス温度を確認する手段を得ることが可能であれば、熱バランス計算によるトレースのインプットデータとしての信頼性が向上すると考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス温度計の測定点を増やす（多点式温度計、斜め温度計の設置）。(図－25参照) ・ 主電極間の抵抗から推定されるガラス温度を含めた温度評価を行う。 ・ これにより炉内温度分布の把握精度の向上を図る。(図－26参照)

(2) 第5ステップの運転データ評価から改善が必要と考える事項

項目	必要性	改善
①底部電極冷却温度の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熔融ガラスの流下を停止させる際の底部電極冷却温度を第4ステップよりも上げて (<input type="text"/> °C ⇒ <input type="text"/> °C) 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、底部電極冷却温度の設定温度を第4ステップの設定温度 <input type="text"/> °C に戻す。
②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	<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した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。
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試験の結果からも確認されており、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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流下ノズルの加熱性低下に対しては、高周波加熱電力を上げることで対応を図ることとし、必要に応じて結合装置を交換する等により加熱性を確保する。

(3) より安定した運転を目指すために改善が必要と考える事項

項目	必要性	改善
①洗浄運転の方法	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低模擬廃液による洗浄運転を行う。 なお、低模擬廃液による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-27参照)

②洗淨運転の頻度	<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に回復が困難な状況になることもあるため、定期的に洗淨運転を行い、白金族元素の炉内保有量を小さく保つことで、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関わらず定期的に洗淨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。
----------	--	--

上記の対策及び改善と「安定運転条件報告」に示した運転方法との関係を以下に示す。

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。	目標値を設けて管理することに変わりはないが、ガラス温度の測定点を増やす。 <ul style="list-style-type: none"> 現状の温度計については測定点を増やす。 新たに斜め温度計を設置する。 主電極間抵抗により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淨運転については、模擬ガラスビーズを供給することで行う。 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。	洗淨運転には模擬廃液を供給することで行う。 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淨運転を行う。 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	—	底部電極冷却温度の設定温度を□℃とする。 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。 高周波加熱電力を上げ流下ノズルの加熱性を確保する。また、必要に応じて結合装置を交換する等により加熱性を確保する。

第5ステップの運転データの評価及びKMOC試験において確認された事項に基づき検討した結果、上記(1)～(3)の改善を図ることにより、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、この改善策によりアクティブ試験を実施する。

8. 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、7. に示した運転方法等の改善を行った上で、以下の考え方で進める。

①KMOCと実機の比較評価

- ・実廃液を用いて運転を行う前に実機において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試験結果が実機への反映の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。
- ・KMOCと実機の比較評価等をより確実にを行うため、まず実廃液による試験を実施していないB系列で実施する。
- ・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の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。

②安定運転の確認方法

- ・KMOC試験結果を受け、回復運転の判断指標の推移に関わらず定期的に低模擬廃液による洗浄運転を行う。
- ・安定運転の評価目安としては、廃液供給＋洗浄運転＋廃液供給とし、その結果を安定運転に基づく確認結果として報告する。

③試験の流れ

- ・試験の流れとしては、不溶解残渣廃液を含まない高レベル廃液を用いた確認から行い、安定した運転方法の確認ができた後に、不溶解残渣廃液を含む廃液による運転確認を行う。

以 上