

ガラス固化技術開発施設(TVF)における固化処理状況について

【概要】

- 今回の運転(21-1CP)での主電極間補正抵抗値の早期低下は、運転データの調査結果から前回の運転(19-1CP)の流下停止事象による白金族元素の堆積が主要因と考えている。
また、その後の調査の結果から今回の運転(21-1CP)では、廃液供給速度が大きかったこと、主電極間電力が小さかったことの加速要因が加わった可能性があると考えている。今後、これらの対策を講じていく。
なお、前回の運転(19-1CP)での流下停止事象の対策(結合装置のコイル径拡大や流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確認等)は既に完了しており、これらの対応により同様の事象は生じないと考えている。
- 今回の運転(21-1CP)では、ガラス溶融炉以降の工程であるガラス固化体を除染する除染装置(高圧水ポンプ)やガラス固化体の蓋溶接を行う溶接機においてそれぞれ停止事象が発生したことから、これら不具合事象の対策を進める。不具合事象以外についても、溶融炉の運転が安定に継続できるように固化体取扱工程を中心に、設備機器の点検整備、予備品への交換等を進める。
- 固化セル内の高放射性固体廃棄物(全 15 缶)を搬出場所である搬送セルに移動する作業は、残留ガラス除去作業と作業場所が干渉するため、残留ガラス除去作業開始前の R3 年 10 月 27 日から順次移動し、12 月 1 日に完了した。
搬送セルに移動した高放射性固体廃棄物の第 2 高放射性固体廃棄物貯蔵施設(2 HASWS)への払い出しは、R4 年 2 月 9 日に完了した。
- 残留ガラス除去作業は、R3 年 12 月 18 日から 4 班 3 交替体制で開始し、西側炉底傾斜面上部の堆積ガラスの除去作業を実施中。2 月 22 日現在で約 15.5kg(約 43%)の残留ガラスを回収しており、ほぼ計画どおり除去作業を進めている。

令和 4 年 2 月 28 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

ガラス固化技術開発施設（TVF）における 固化処理状況について

令和4年2月28日

日本原子力研究開発機構（JAEA）



1. 次回運転に向けた取り組み状況

(1) 現在の状況

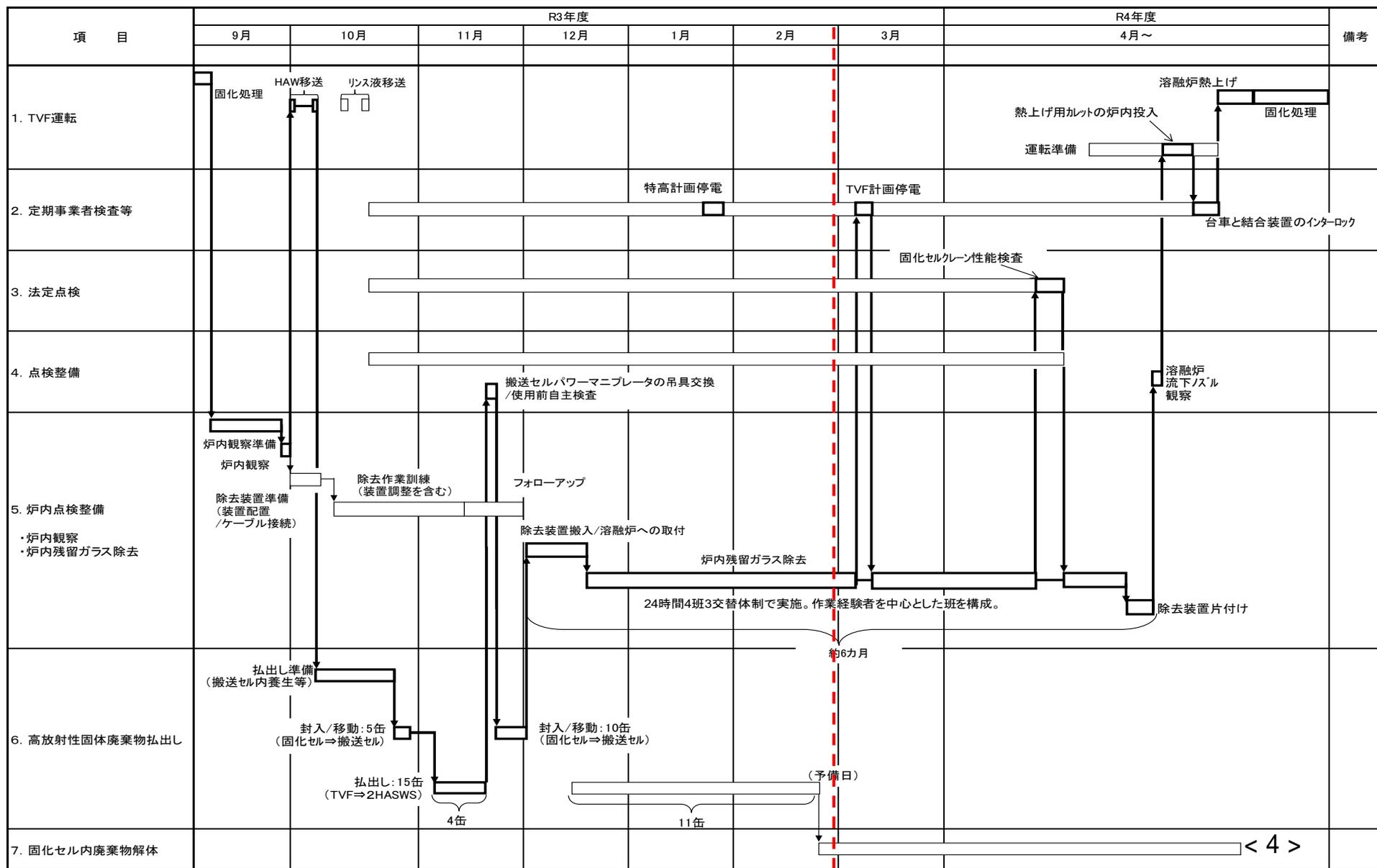
- ✓ 今回の運転(21-1CP)での主電極間補正抵抗値の早期低下は、前回の運転(19-1CP)の流下停止事象による白金族元素の堆積が主要因と考えている。また、その他に考慮すべき加速要因がないか調査を行っており、対策を施していく計画である。前回の運転(19-1CP)での流下停止事象の対策(結合装置のコイル径拡大や流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確認等)は既に完了しており、これらの対応により同様の事象は生じないと考えている。
- ✓ 次回運転に向け、高放射性固体廃棄物の払い出し、炉内点検整備(残留ガラス除去)と併行して考慮すべき加速要因の絞り込みを行い、対策を検討し、運転に反映する。
- ✓ なお、今回の運転(21-1CP)では、ガラス溶融炉以降の工程であるガラス固化体を除染する除染装置(高圧水ポンプ)やガラス固化体の蓋溶接を行う溶接機においてそれぞれ停止事象が発生したことから、不具合事象の対策を進める。不具合事象以外についても、溶融炉の運転が継続できるように固化体取扱工程を中心に、設備機器の点検整備、予備品への交換等の検討を進める。
 - 高放射性固体廃棄物の払い出し
固化セル内の高放射性固体廃棄物(15缶)を搬出場所である搬送セルに移動する作業は、残留ガラス除去作業と作業場所が干渉するため、残留ガラス除去作業開始前のR3年10月27日から順次移動し、12月1日に完了した。
11月8日から搬送セルに移動した高放射性固体廃棄物の第2高放射性固体廃棄物貯蔵施設(2HASWS)への払い出しを開始した。
R4年2月9日に全15缶の払い出しを完了した。
 - 炉内点検整備(残留ガラス除去)
残留ガラス除去作業は、R3年12月18日から4班3交替体制で開始し、西側炉底傾斜面上部の堆積ガラスの除去作業を実施中。
残留ガラス除去完了後、運転準備を行い、R4年6月の運転再開を目指す。



1. 次回運転に向けた取り組み状況

(2) 次回運転までのスケジュール

令和3年12月2日作成



1. 次回運転に向けた取り組み状況

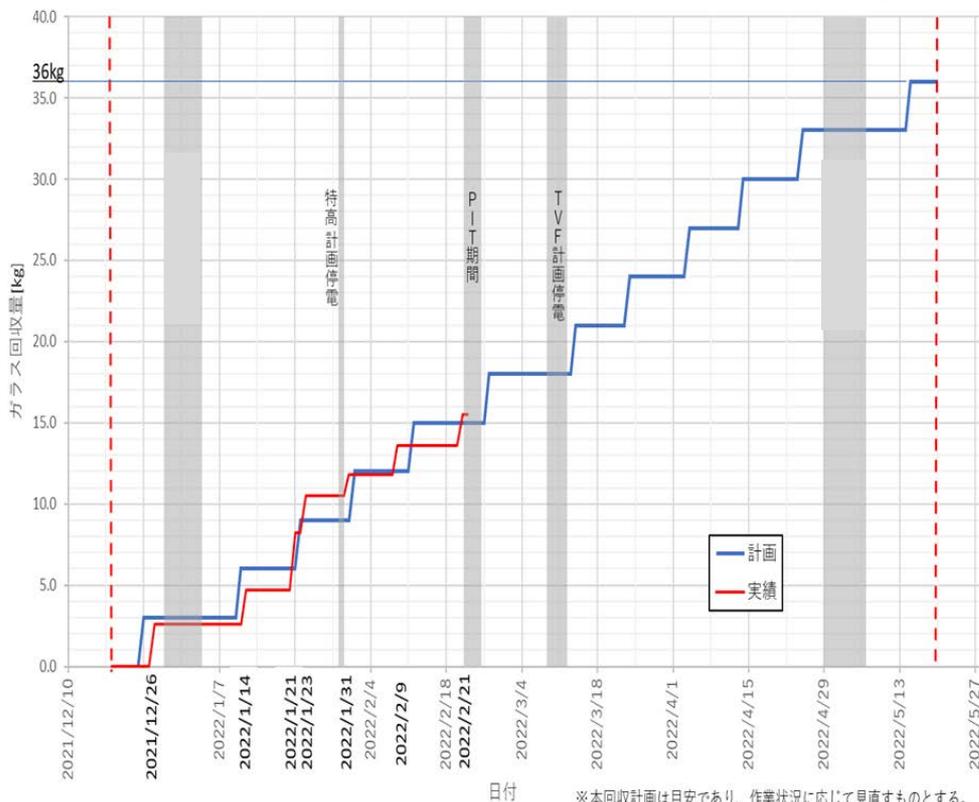
(3) 溶融炉内の残留ガラス除去作業実績(1/2)

残留ガラス除去計画と進捗状況

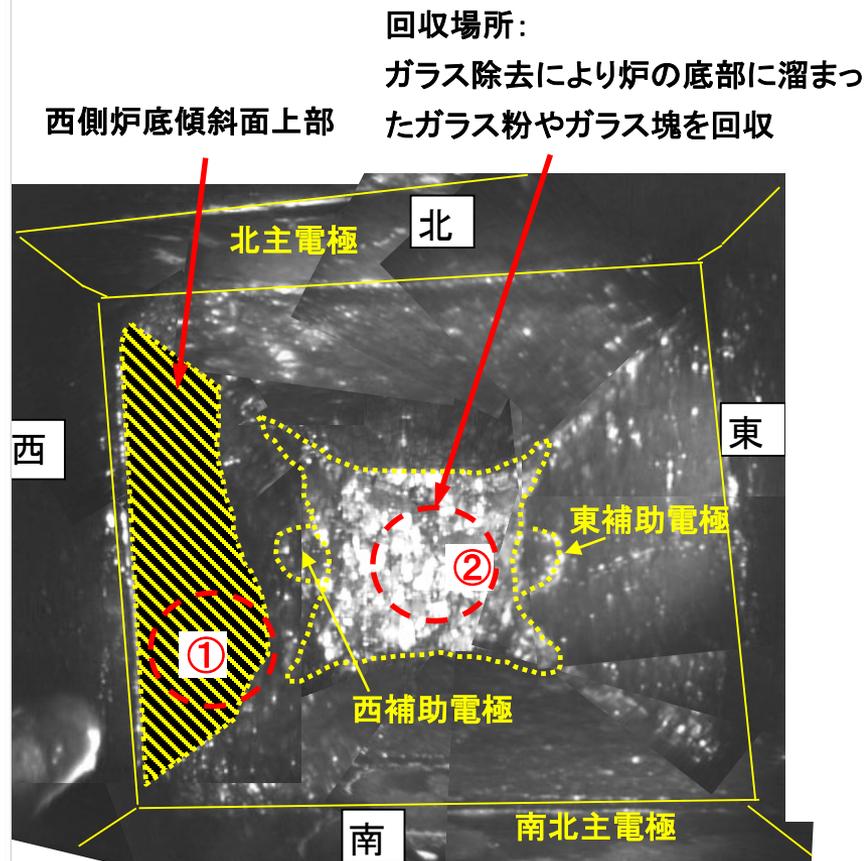
➤ 2月22日現在で約15.5kg(約43%)の残留ガラスを回収しており、ほぼ計画どおりのペースで除去作業を進めている。

残留ガラス除去作業 ガラス回収量推移

2022/02/22 更新9
2021/12/10 新規作成



※本回収計画は目安であり、作業状況に応じて見直すものとする。



1. 次回運転に向けた取り組み状況

(3) 溶融炉内の残留ガラス除去作業実績(2/2)

残留ガラスの除去及び回収の状況



①西側炉底傾斜面上部のはつり作業(R4.1.7)

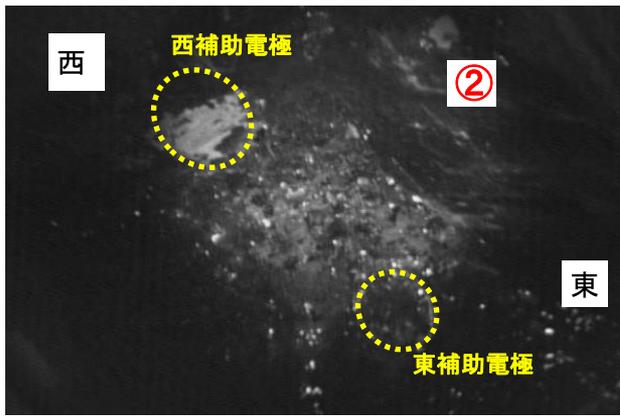


①西側炉底傾斜面上部のはつり作業(R4.1.18)



* 大きな塊のガラスは、空圧ハンドにて回収

②炉底部の回収作業(R4.1.21)



②ハンド回収作業後(R4.1.23)

先端工具の一例

ダイヤモンドカッター ▶
(ガラスの切削)

残留ガラスの表面を
切削する



エアチッパー ▶
(ガラスの破碎)

切削した表面を叩
き破碎する



空圧ハンド ▶
(ガラス片把持)

破碎で生じたガラス
片を回収する



ニードルスケーラ ▶
(レンガ表面の仕上げ)

レンガ表面の残留ガ
ラスを除去する





1. 次回運転に向けた取り組み状況

(4) 主な不具合の対応(1/3)

今回の運転(21-1CP)の実績を踏まえ、次回運転に向けて以下の対応を図る。

○今回の運転(21-1CP)の不具合対応

✓ ガラス固化体除染装置(高圧水ポンプ)の停止

⇒高圧水ポンプ出口の水圧(約35MPa)を計測している圧力計に指示針の脈動を抑えるため圧力ダンパーを設置している。この圧力ダンパーの閉塞により、高圧水ポンプ出口の水圧が検出されず、高圧水ポンプが停止した。

圧力ダンパーの開度調整(閉塞解除)後は、同様の事象は発生していないが、次回運転前までに圧力ダンパーを交換するとともに、圧力計や配管の点検清掃を行い、圧力ダンパー閉塞のリスク低減を図る。なお、ダンパー調整方法については手順書に反映し、速やかに対応が図れるようにする。

✓ ガラス固化体蓋溶接の溶接機の停止

⇒溶接作業(電極交換、位置検出、テストアーク、仮付け溶接、温度測定、本溶接)のうち、Z軸に温度測定子を把持させて温度測定位置に移動中(X,Y方向に移動中)、Z軸の高さ制御が不安定になっていることを確認した。

調査の結果、Z軸ユニット駆動部に機械部品の脱落や破損等はなく、制御にも異常は無いことから、Z軸を一定の高さに自動で補正するプログラムに修正した。その後、同様の停止事象は発生していないが、その他の溶接作業時(本溶接等)にもZ軸を使用することから、同様のZ軸を一定の高さに自動で補正するプログラムに修正した。



1. 次回運転に向けた取り組み状況

(4) 主な不具合の対応(2/3)

✓ 閉じ込め確認検査装置内での汚染

⇒ガラス固化体の閉じ込め確認検査(蓋溶接部の検査)において、**2本(7本目と8本目)続けて判定基準値と超えるCs-137が検出された**(再検査の結果異常はなかった)。

検査装置内が汚染している可能性があるため、**検査装置の配管等の洗浄**を行う。

ガラス固化体表面の汚染が検出された可能性が考えられることから、**ガラス固化体の除染後の搬送中等に汚染が付着しないように作業中の確認ポイント等の改善**を検討する。

また、閉じ込め確認検査には約2日間を要するため、検査工程が渋滞し、溶融ガラスの流下ができず溶融炉を保持運転にしなければならなくなる可能性があることから、**搬送セル内のガラス固化体収納架台に空きスペースを追加**する。

○今回の運転(21-1CP)での気づきの対応

溶融炉の運転が安定して継続できるよう、**今回の運転(21-1CP)での気づき事項の整理**や今回の運転(21-1CP)前に整理した不具合事象の再整理を行い、**設備機器の点検整備、予備品への交換、手順書の改定などを進める**。

【検討の例】

✓ ガラス原料供給設備の光センサーの劣化

⇒ガラス原料供給時に、光センサーの経年劣化により、ガラス原料の粉塵の影響を受けやすく、光センサーの動作不良が生じる可能性があることから、**経年劣化の可能性が高い箇所の光センサーを予備品と交換**する。

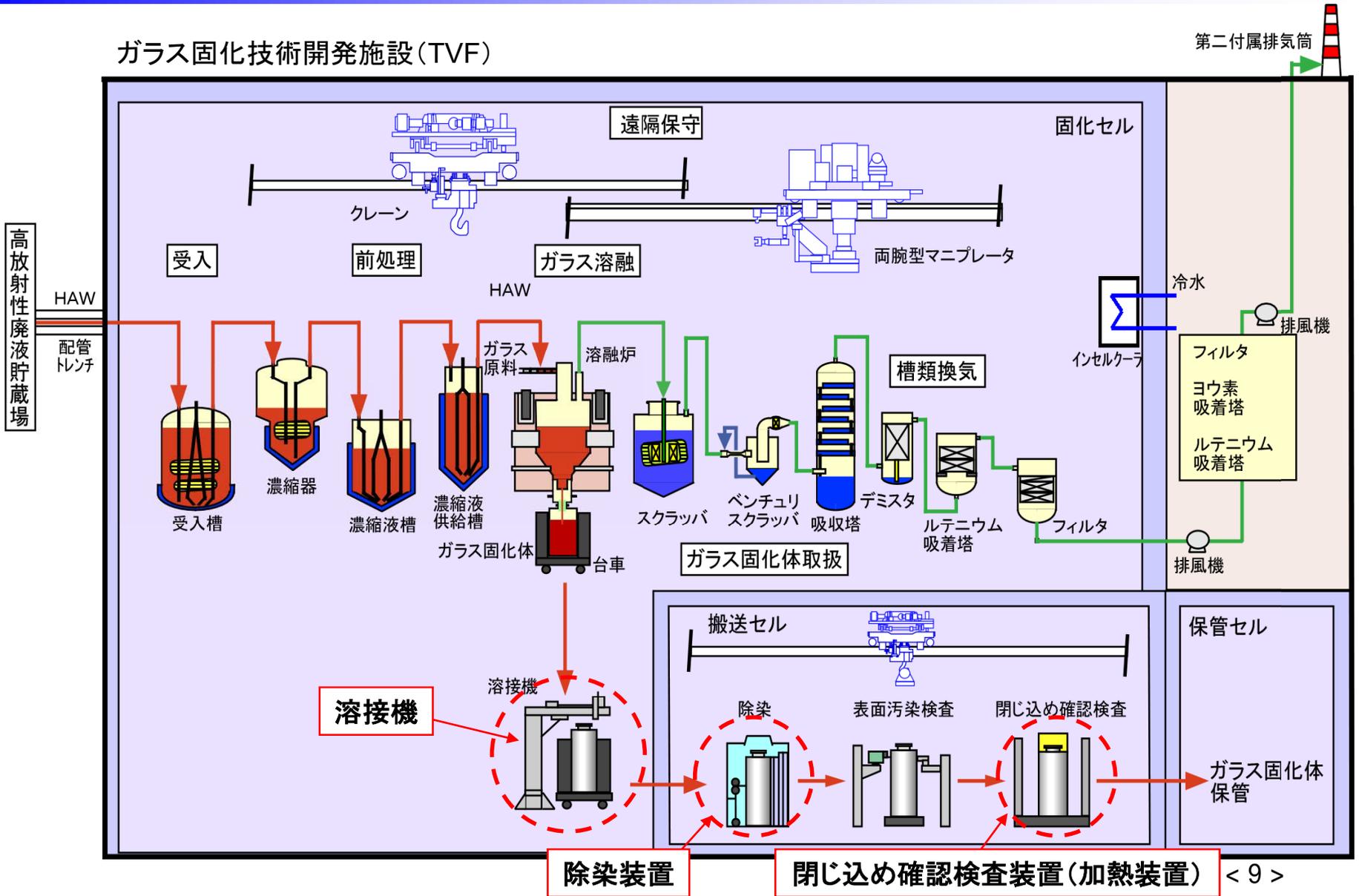
✓ ガラス原料送り込み荷重の上昇

⇒ガラス原料供給配管に粉塵がたまってくることにより、ガラス原料押し込みの抵抗となり荷重が上昇する傾向がある。定期的な配管内の洗浄や清掃・給油など対応を行っているが、**タイミングなどについて手順化し、予防的な処置を図る**。

1. 次回運転に向けた取り組み状況

(4) 主な不具合の対応(3/3)

ガラス固化技術開発施設(TVF)



(1) 原因調査の概要

運転の経緯

年	2017	2018	2019	2020	2021
運 転	46本製造 17-1CP	残留ガラス除去	7本製造 19-1CP		13本製造 21-1CP

前々回運転(17-1CP)

- 44本目で主電極間補正抵抗値が管理指標まで低下したため、44本目の流下後、ドレンアウト(2本流下)を行い、熔融炉を停止した(合計46本製造)。
- 炉内の残留ガラス除去を行った。

前回運転(19-1CP)

- 1~7本目の流下は正常に終了した。
- 8本目の流下において、約120kg流下した時点で漏電により流下停止事象が発生した。
- その後、3回の流下を試みたが漏電により流下できず熔融炉内にガラスを保有した状態で停止した。
- 漏電対策として結合装置の交換を行った。

今回運転(21-1CP)

- 8本目(累計15本目)に溶接機の調整のため2日間の保持運転を行った。
- 9本目(累計16本目)に閉じ込め確認の再検査のため3日間の保持運転を行った。
- 11本目(累計18本目)で主電極間補正抵抗値が管理指標まで低下したため、11本目の流下後、ドレンアウト(2本流下)を行い、熔融炉を停止した(合計13本製造)。
- 炉内残留ガラス除去を実施中。

原因調査の概要

21-1CP開始時とドレンアウト前の炉内状態の推定

- 19-1CPと21-1CPの運転データの比較(19-1CP停止時の影響を検討)
- 21-1CP運転経過に伴う運転データの変化からドレンアウト前の炉内状態を推定
- 炉内観察の結果を(2)で推定した炉内状態と照合

21-1CPドレンアウト前の炉内状態に至った要因の絞込み

- 21-1CPのこれまでの運転との違いや変更点(結合装置の交換、溶接機の調整に伴う保持運転など)を踏まえた要因解析図により、想定よりも少ない本数で主電極間補正抵抗が低下した要因の洗出し
- 流動解析*などにより、洗出した要因の絞込み

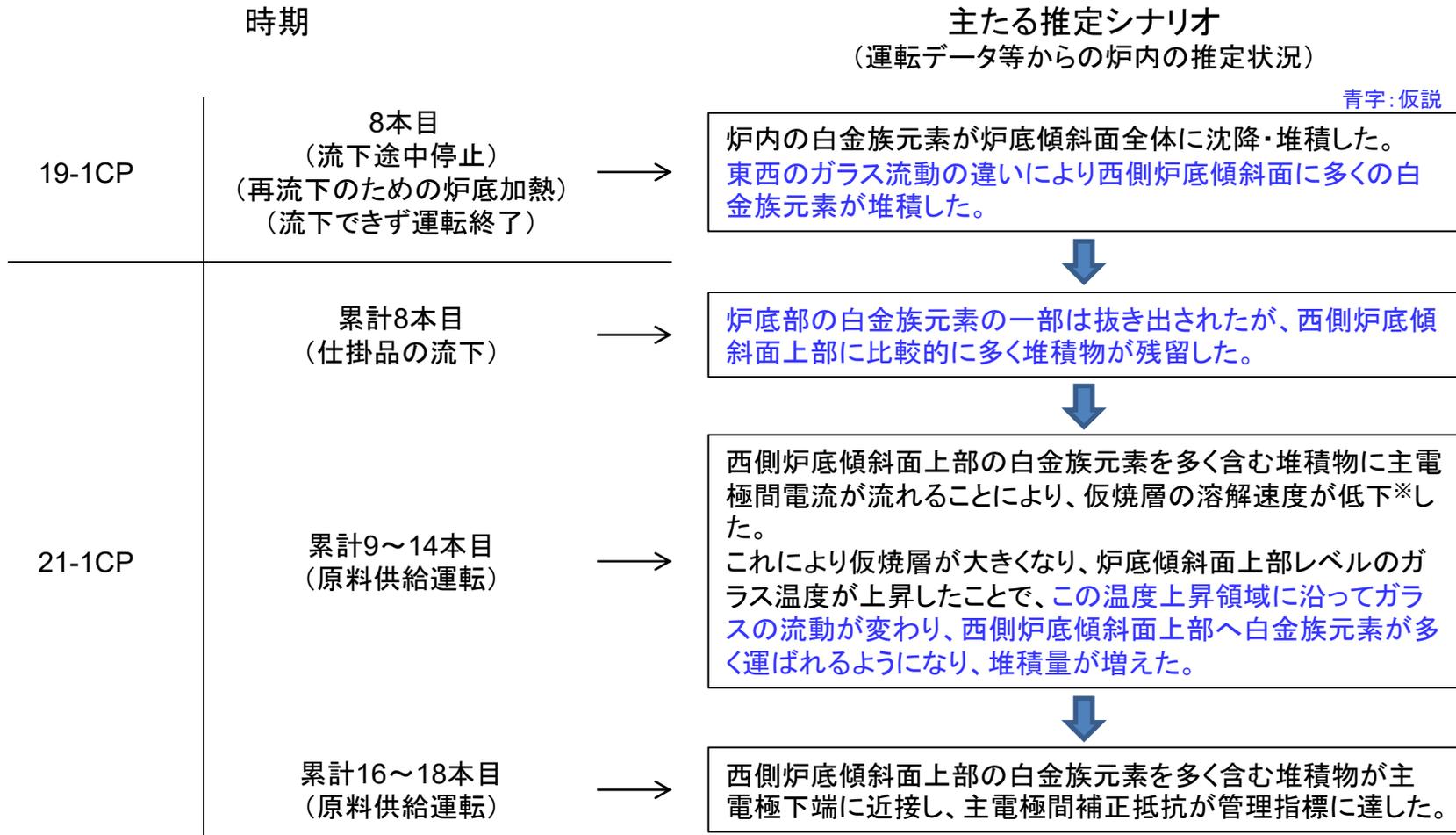
* 流動解析では、熔融炉の非対称性(東側の耐火レンガが厚くなっている)を考慮した解析モデルを使用する。

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(2) 主電極間補正抵抗が低下した推定シナリオ

運転データ、炉内観察結果、要因解析から、想定よりも早く白金族元素の堆積に係る管理指標に達した主たるシナリオを以下のとおり推定している。

仮説や加速要因について、運転データをさらに詳細に調査した。



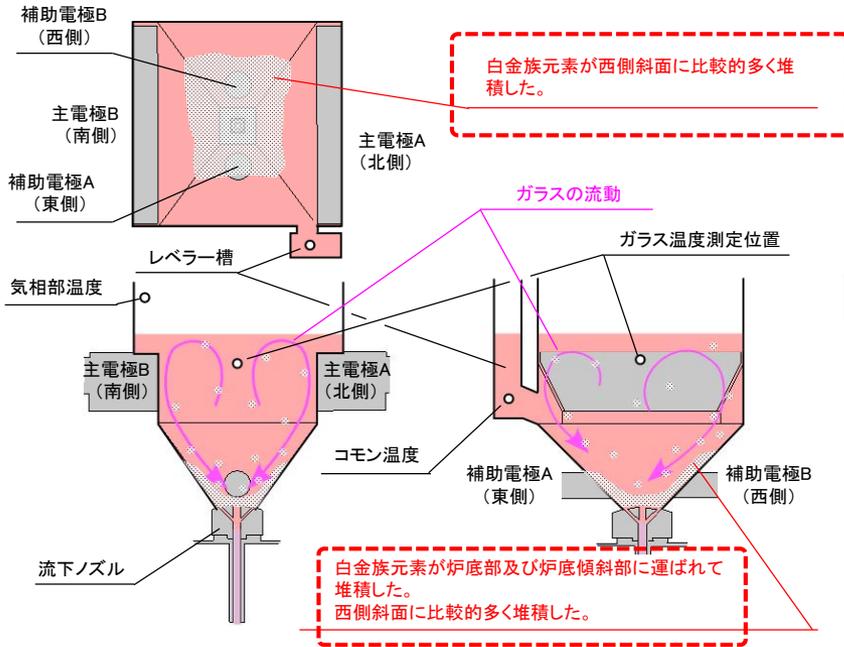
累計は、除去作業後から運転を開始した19-1CPからのガラス固化体製造本数

※: 仮焼層の溶解速度の低下の加速要因として、廃液供給速度等が影響していると推定している(詳細検討中)。

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査 (2) 主電極間補正抵抗が低下した推定シナリオ

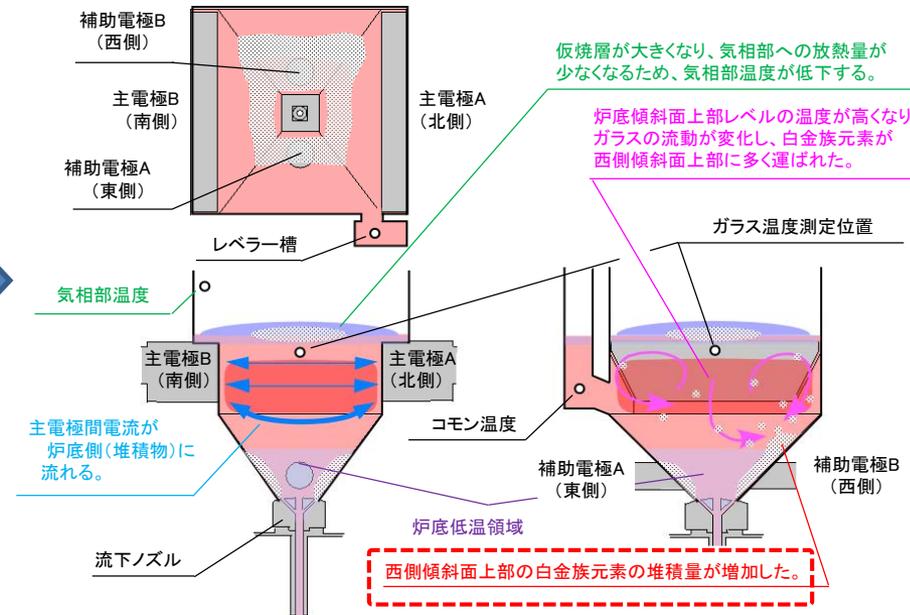
主たる推定シナリオの炉内状態イメージ

前回の運転(19-1CP)の運転停止前
(流下停止事象により炉底加熱を繰り返した状態)



- ✓ 流下停止事象のため、炉底加熱を繰り返すことにより炉底部のガラス温度が高くなり、西側傾斜面に多くの白金族元素が堆積した。
(西側傾斜面に多くの白金族元素が堆積したのは、東西の温度差によるガラスの流動の違いによるものと推定。)

今回の運転(21-1CP)の初期
(白金族元素の堆積量が増加している状態)



- ✓ 西側傾斜面上部の堆積物(白金族元素を多く含むため電気抵抗が小さい)に流れる主電極間電流が多くなり(温度上昇)、その温度上昇領域に沿ってガラスの流動が変わり、徐々に西側傾斜面上部の堆積量が増加していった。

 : 仮説としていた状態 ⇒ 運転データを詳細に調査

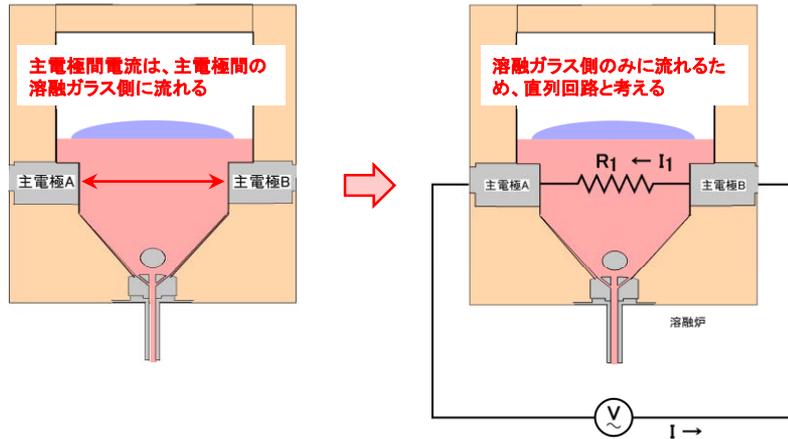
2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(3) 主電極間補正抵抗の低下に係る主要因の調査(1/3)

○ 主電極間電流の炉底部への回り込みに係る調査

炉底傾斜面上部の堆積物が主電極に近接すると、主電極間抵抗が低下し、堆積物に主電極間電流の一部が流れる。

主電極間通電は電力制御(電圧を調整)であり、主電極間電圧(V)及び電流(I)の実測値から堆積物に流れる主電極間電流(I_2)を求めることで、炉内観察結果で確認した炉底傾斜面上部の堆積物の状態を評価した。

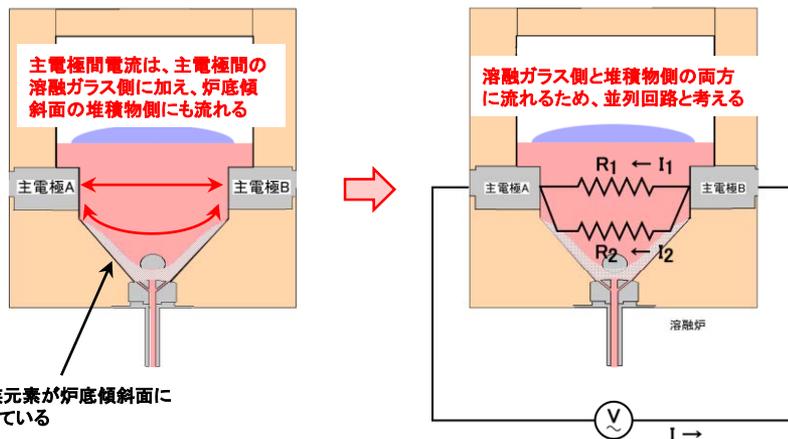


① 炉底傾斜面に堆積物がない状態(運転初期)

- ① 炉底傾斜面に堆積物がない状態では、主電極間電流は溶融ガラス側のみを流れることから主電極間抵抗(V/I)は、溶融ガラス側の抵抗(R_1)となる。
- ② 主電極に近い位置に堆積物がある状態では、主電極間電流が堆積物側にも流れることから、主電極間抵抗(V/I)は溶融ガラス側の抵抗(R_1)と堆積物側の抵抗(R_2)の合成抵抗となる。

溶融ガラス側の抵抗(R_1)を一定と仮定^{※1}すると、下式より堆積物側に流れる主電極間電流(I_2)を求めることができる。

※1 主電極間の溶融ガラスの温度や白金族元素濃度が大きく変わることはないことから、炉内のガラスレベルが同じであれば溶融ガラス側の抵抗(R_1)は変わらない。



白金族元素が炉底傾斜面に堆積している

② 炉底傾斜面に堆積物がある状態

- ① 炉底傾斜面に堆積物がない状態

$$I = I_1 = V / R_1 \text{ [A]}$$
- ② 炉底傾斜面に堆積物がある状態

$$I = I_1 + I_2 \text{ [A]}$$

$$I_1 = V / R_1 \text{ [A]}$$

$$I_2 = I - I_1 = V / R_2 \text{ [A]}$$

V: 主電極間電圧の実測値 (炉内ガラスレベル Hi-ON 時の指示値)

I: 主電極間電流の実測値 (炉内ガラスレベル Hi-ON 時の指示値)

I_1 : 主電極間の溶融ガラスに流れる電流

I_2 : 炉底傾斜部の堆積物側に流れる電流

R_1 : 主電極間の溶融ガラスの抵抗 (一定(0.093Ω)と仮定^{※2})

R_2 : 炉底傾斜部の堆積物側の抵抗

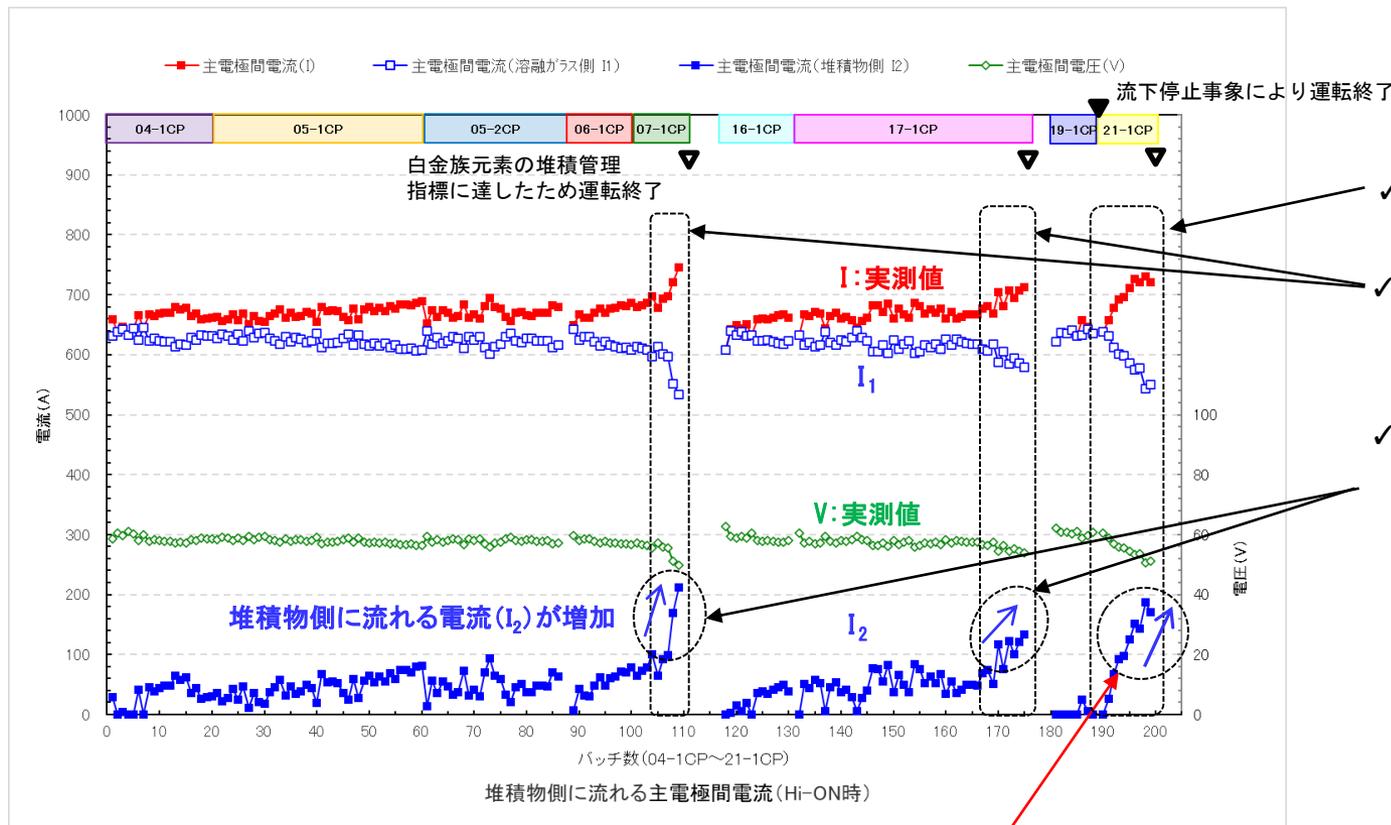
※2 ガラスカレットから熱上げを開始した04-1CP、16-1CP及び19-1CPの3~6バッチの平均抵抗(0.093Ω)より設定。

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(3) 主電極間補正抵抗の低下に係る主要因の調査(2/3)

○ 主電極間電流の炉底部への回り込みに係る調査結果(主要因の推定)

- ✓ 炉内のガラスレベルが同一の条件※において、堆積物側に流れる主電極間電流(I_2)の値を求め、今回の運転(21-1CP)開始時に白金族元素が主電極近くまで堆積していたか評価した。(※仮焼層の影響を受けにくいガラスレベルが高い状態(Hi-ON時))



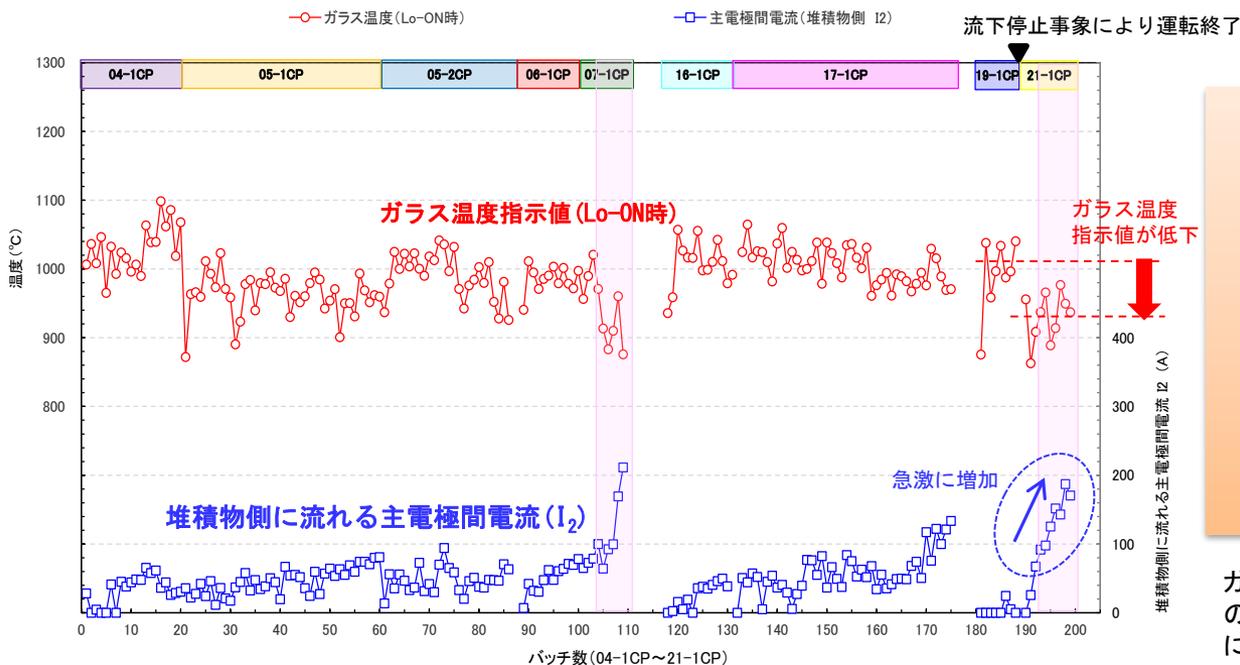
- ✓ 今回の運転(21-1CP)では、運転開始早々に堆積物側に流れる主電極間電流(I_2)が急激に増加していることから、前回の運転(19-1CP)終了時には炉底傾斜面上部の主電極近くに比較的多くの堆積物が存在し、今回の運転(21-1CP)開始から白金族元素が主電極近くまで堆積していったものと考えられる。

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

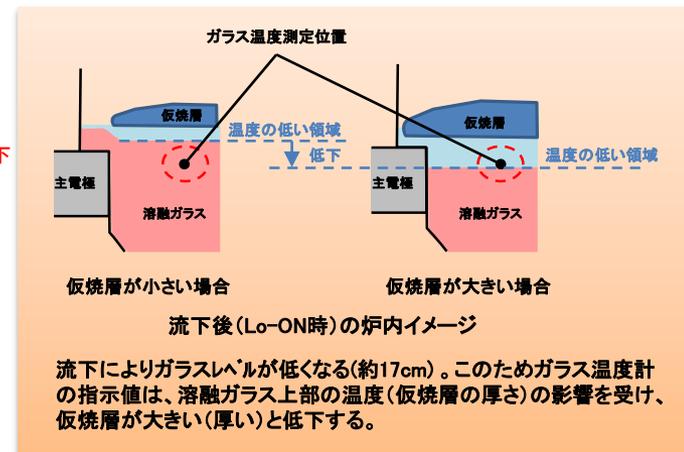
(3) 主電極間補正抵抗の低下に係る主要因の調査(3/3)

○ 主電極間電流の炉底部への回り込みに係る調査結果(仮焼層の溶解速度低下との関係)

- ✓ 堆積物側に主電極間電流(I_2)が流れると、熔融ガラス側に流れる主電極間電流(I_1)が小さくなり、仮焼層の溶解速度が低下し、仮焼層が大き(厚)くなる。
- ✓ 仮焼層が大き(厚)になると、流下によりガラスレベルが下がった際(Lo-ON時)、厚くなっている仮焼層の影響を受けてガラス温度指示値は低下する。
- ✓ 堆積物側に流れる主電極間電流(I_2)とガラス温度の傾向より、今回の運転(21-1CP)での仮焼層の状態(大きく厚い状態であったか)を評価した。



堆積物側に流れる主電極間電流(Hi-ON時)とガラス温度(Lo-ON時)の傾向



ガラス温度指示値は、ガラスレベルが低くなると仮焼層の影響を受けることから、Lo-ON時のガラス温度指示値により評価した。

- ✓ 堆積物側に流れる主電極間電流(I_2)が急激に増加しているタイミングで、ガラス温度指示値が低下していることから、今回の運転(21-1CP)開始時に存在していた堆積物に主電極間電流(I)の一部が流れることにより、熔融ガラス上部の温度が下がり、仮焼層の溶解速度が低下して仮焼層が大きく(厚)くなったものとする。



2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(4) 主電極間補正抵抗の低下に係る加速要因の調査(1/2)

運転データの詳細調査と並行して、要因分析(これまでの運転との違いの調査)を行い、加速要因を洗い出した。

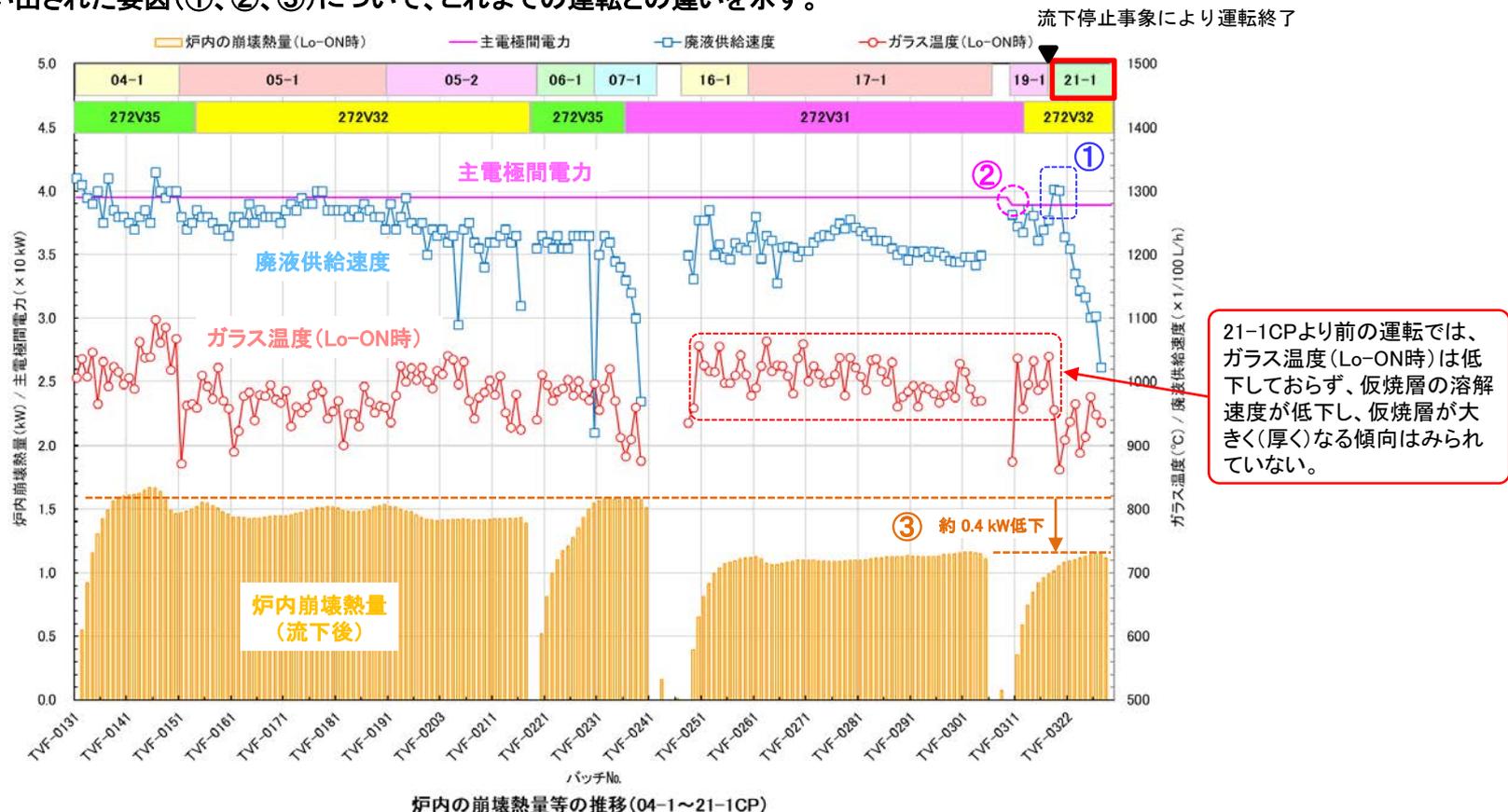
○ 要因分析の結果

番号	項目	内容		評価	結果
		期間	状態		
①	供給初期において廃液供給速度が大きい	21-1CP 2~3 バッチ	<p>廃液濃度が薄かったことから、廃液供給速度が19-1CPに比べて約0.5 L/h大きかった(廃液の蒸発潜熱が約0.4kW増加する)。</p>	<p>04-1CPにおける廃液供給速度が大きい(約13 L/h)条件での運転実績では、ガラスレベルLo-ON時のガラス温度指示値は低下しておらず、仮焼層の溶解速度が低下し、仮焼層が大きく(厚く)なる傾向はみられていないことから今回の事象の主要因ではないと判断した。</p> <p>なお、主電極間電流が堆積物に流れ、仮焼層を溶解する主電極間電流が少なくなった状態で廃液の供給速度が大きくなった(蒸発潜熱が約0.4kW増加)場合、仮焼層の溶解速度を低下させる可能性が考えられることから、加速要因とした。</p>	加速要因
②	新電力盤が旧電力盤より出力が小さい	19-1CP ~ 21-1CP	<p>19-1CPから更新した新電力盤を使用している。電力設定値39 kWの場合、新電力盤の出力は、更新前の旧電力盤に比べ約0.6 kW小さかった。</p>	<p>19-1CPでは、気相部温度が低下することなく(仮焼層が一定の大きさに維持され)安定に運転できていることから今回の事象の主要因ではないと判断した。</p> <p>なお、主電極間電流が堆積物に流れ、仮焼層を溶解する主電極間電流が少なくなった状態で主電極間電力が低下(39kWに対して約0.6kW)した場合、仮焼層の溶解速度を低下させる可能性が考えられることから、加速要因とした。</p>	加速要因
③	TVFに受入れる高放射性廃液の崩壊熱量が小さくなっている	16-1CP ~ 21-1CP	<p>16-1~21-1CPにおける炉内の崩壊熱量(流下後)は、04-1~07-1CPに比べて約0.4 kW低下していた。</p>	<p>16-1CP~19-1CPでは、気相部温度が低下することなく(仮焼層が一定の大きさに維持され)安定に運転できている。</p> <p>また、TVF2号熔融炉のコールド試験と04-1CPの比較から、崩壊熱量(約1.4kW)の有無については、主電極冷却空気量の調整により、ほぼ同様の炉内温度分布、同じ流下間隔で安定に運転ができている。</p> <p>このため、今回の事象の主要因、加速要因ではないと判断した。</p>	-

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(4) 主電極間補正抵抗の低下に係る加速要因の調査(2/2)

要因分析により洗い出された要因(①、②、③)について、これまでの運転との違いを示す。



① 廃液供給速度が大きい: 加速要因

供給初期は廃液濃度が低いため、21-1CP初期の廃液供給速度を約 13.0 L/hとした。これにより、19-1CPの廃液供給速度(平均: 約 12.5 L/h)よりも約 0.5 L/h(廃液の蒸発に必要な熱量に換算すると約 0.4 kW)多い。

② 新電力盤が旧電力盤より出力が小さい: 加速要因

17-1CPまで使用していた旧電力盤と19-1CPより使用を開始した新電力盤の投入電力を比べると、旧電力盤に比べて新電力盤の投入電力の方が約 0.6 kW 小さい。

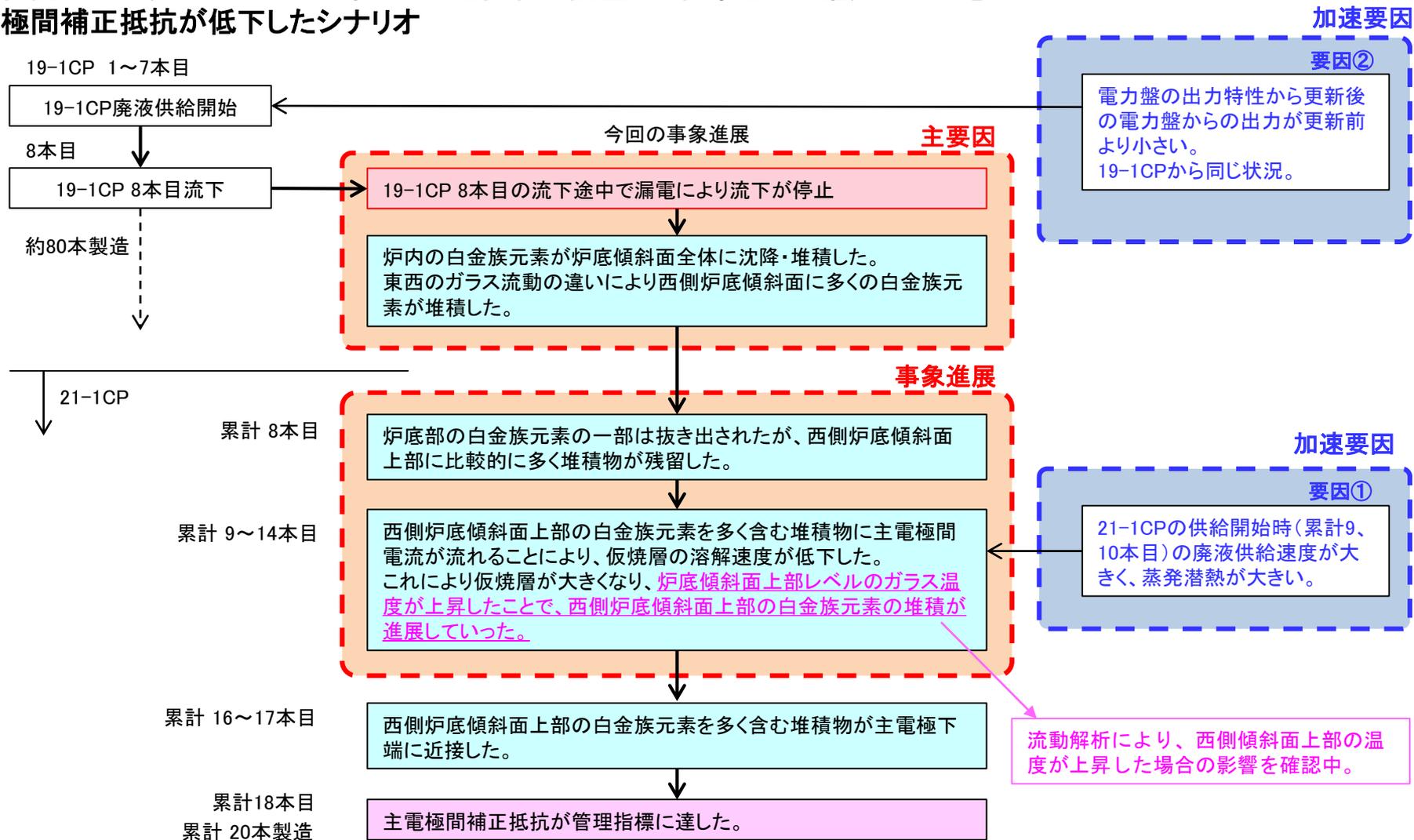
③ TVFIに受入れる高放射性廃液の崩壊熱量が小さい

16-1~21-1CPIにおける熔融炉内の崩壊熱量は、04-1~07-1CPIに比べて約 0.4 kW低下している。

2. 主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査

(5) 主電極間補正抵抗が低下した推定シナリオ

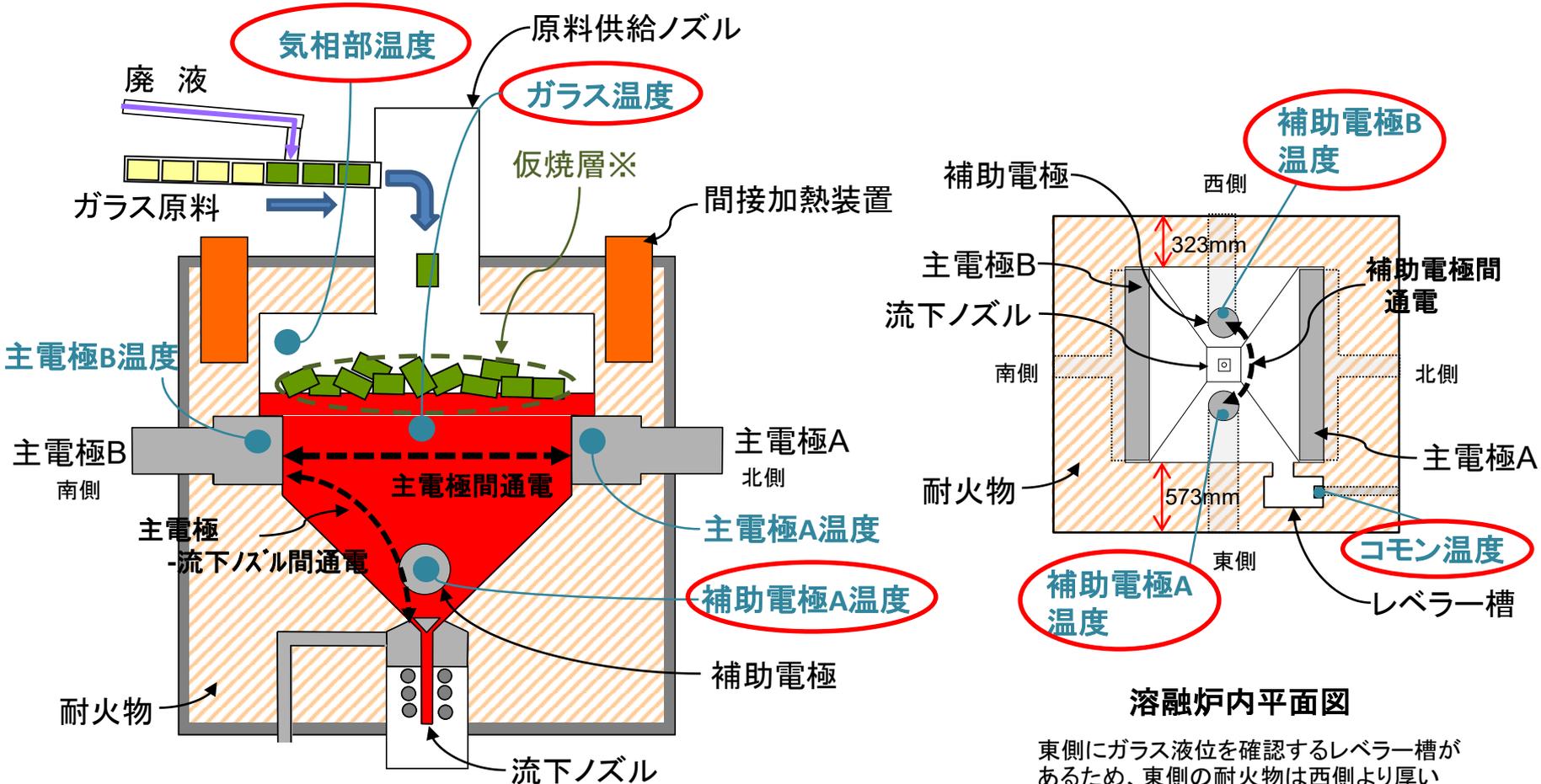
仮説や加速要因について運転データを詳細に調査した結果を基に推定した主電極間補正抵抗が低下したシナリオ



➤ 運転再開に向けた対応

- ① 溶融炉内に残留したガラスを機械的に除去(残留ガラス除去)する。残留ガラス量は、溶融炉へのガラス原料の供給量・抜き出し量の収支から約36kgと想定しており、作業期間は6ヶ月程度を想定している。R3年12月から開始し、2月22日現在約43%の進捗であり計画通りである。その後、流下ノズルと加熱コイルのクリアランス観察や熱上げ用のガラスカレットの炉内投入などの運転準備作業を行った後に運転を再開する。
- ② 今回の運転における主電極間補正抵抗の低下による溶融炉の停止は、予め想定していた事象であったものの想定よりも少ない本数で低下した。原因調査の結果から、前回(19-1CP)運転の流下停止事象による白金族元素の堆積に起因し、今回の運転の中で加速要因も加わり、進展したものと推定している。主要因(起因)については、流下停止事象に係る対策を施した結合装置に交換している。加速要因については、対策を検討し、次回の運転に反映する。
- ③ ガラス固化処理計画については、今回の運転結果、前述の対策を踏まえ、キャンペーン毎の運転本数や3号溶融炉へ速やかに更新できるよう準備を進め、ガラス固化処理を着実に進めていく。
- ④ 3号溶融炉の製作については、工程どおり進捗し、耐火レンガ、電極、ケーシング等の加工を進め、R4年1月より耐火レンガ仮組みを開始した。また、結合装置の予備品については、2号炉用(予備品)及び3号炉用として共用可能な段階まで準備を進めており、メーカーにて、材料手配及び加工を実施中。

参考資料



※仮焼層： 廃液をしみ込ませたガラス原料を加熱することにより、溶融ガラス表面において、廃液の水分の蒸発、脱硝酸、酸化等の反応が起こるとともに、ガラス原料が溶融し廃棄物成分と混ざり合う過程の層を形成する。

溶融炉の運転において溶融ガラス表面を覆う仮焼層の表面積が小さくなると溶融ガラス表面から気相部への放熱量が増えて気相部の温度が上昇し、大きくなると溶融ガラス表面から気相部への放熱量が減り、気相部の温度が低下する。

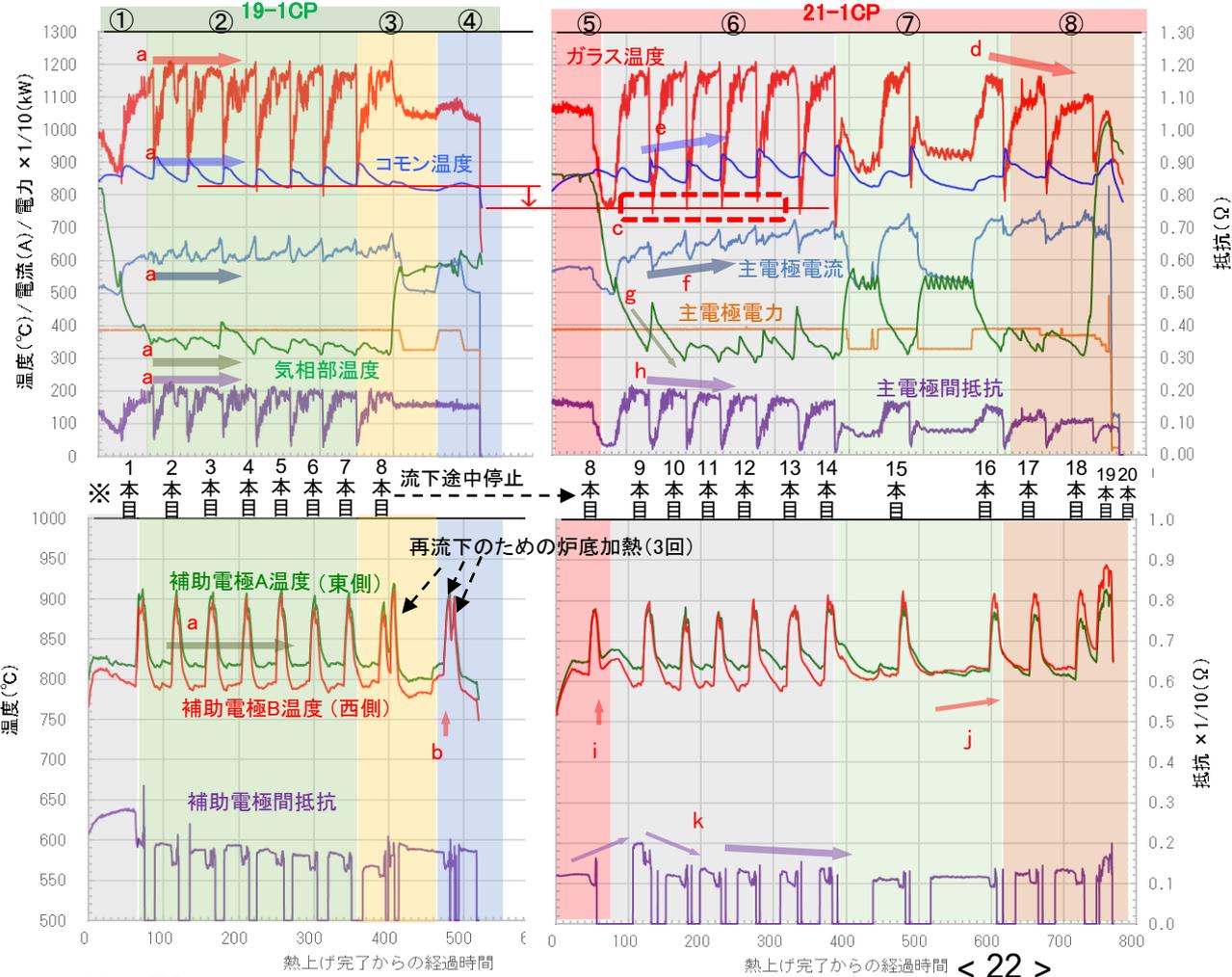
- ✓ 21-1CP開始時とドレンアウト前の炉内状態を推定するため、19-1CP及び21-1CPの運転データから、各運転パラメータの変化の傾向を踏まえ、以下のとおり①～⑧に分類した。
- ✓ このうち、安定していた19-1CPの1本目～7本目と比べ、各運転パラメータの変化が確認された③、④、⑤、⑥、⑧の炉内状況を推定した。

【19-1CP】

- ①1本目
- ②2～7本目
ガラス温度、主電極間電流/抵抗、気相部温度、補助電極温度等一定：**a**
- ③8本目(流下停止事象 保持運転含む)
- ④8本目(再流下の加熱操作→流下できず 運転終了)
補助電極温度差が減少：**b**

【21-1CP】

- ⑤8本目(仕掛品)
補助電極温度の逆転、流下後のガラス温度の低下：**i,c**
- ⑥9～14本目
流下後のガラス温度の低下、主電極電流の増加、主電極間抵抗の低下、コモン温度の上昇、気相温度低下：**c,e,f,g,h**
- ⑦15～16本目(機器不具合等による保持運転を含む)
補助電極温度の上昇：**j**
- ⑧16～18本目
ガラス温度の低下：**d**



※本数(1～20本目)は、除去作業後から運転を開始した19-1CPからの累計

19-1CPの運転状況

21-1CPの運転状況

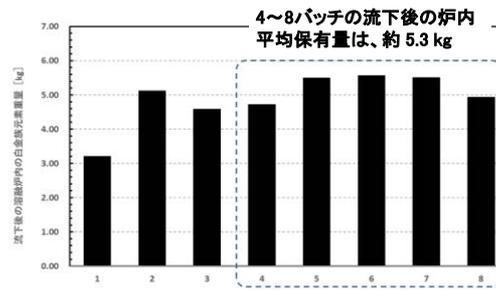
< 22 >

【19-1CP】

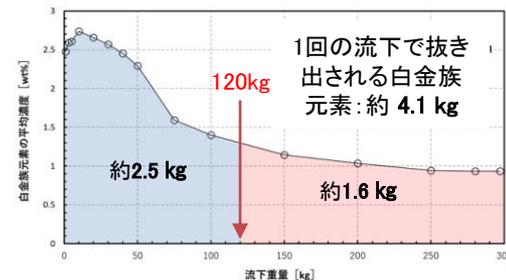
③: 8本目の流下停止事象(保持運転を含む)

推定事象

- 溶融ガラスを約120kg流下したところで流下が途中停止した(通常300kg流下)。
- 残り180kgを流下するために、再度、炉底加熱を行い、流下を試みたが、同様に流下が停止したことから、一旦保持運転(炉底低温運転)に移行した。
- ⇒ 残り180kgの流下で拔出される白金族元素(約1.6 kg)が炉内に残り、約6.9kg(約5.3kg + 約1.6 kg)の白金族元素の一部が炉底部及び炉底傾斜面に沈降・堆積した。

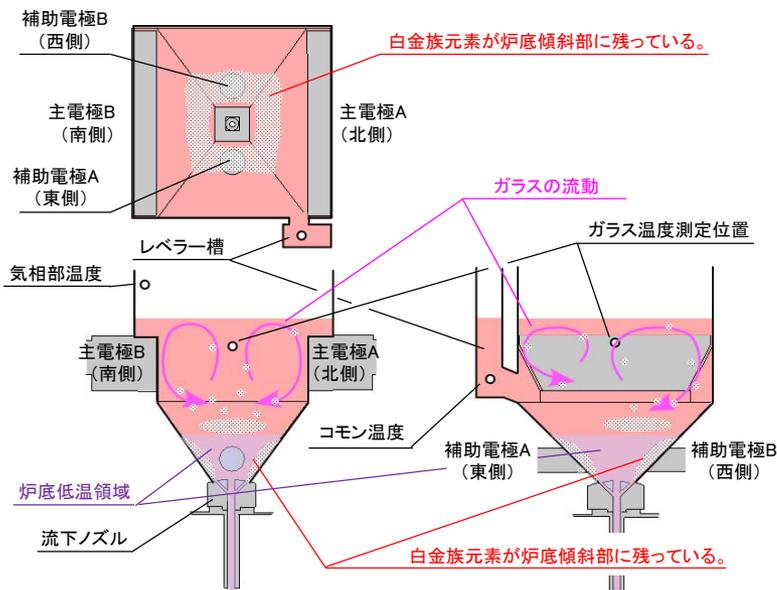


流下後の溶融炉内白金族元素重量
(2号炉コールド作動試験データ)

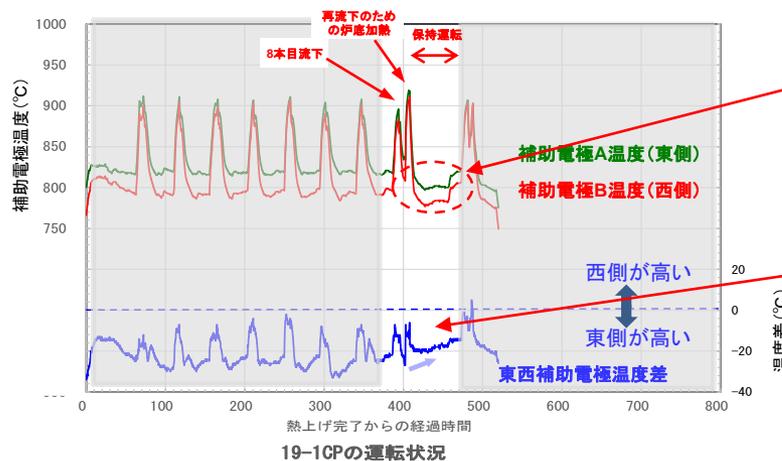


流下重量と白金族元素濃度の関係
(2号炉コールド作動試験データ)

白金族元素重量は、流下重量等で補正した値



流下の途中停止により、残り180kgの流下で拔出される白金族元素(約 1.6 kg)が炉内に残り、19-1CP終了時には、最終的に炉内に約6.9 kg(約5.3 kg + 約1.6 kg)の白金族元素を保有する状態となった。



✓ 再流下のための炉底加熱後の保持運転では、炉底低温運転ができています。

✓ 8本目の流下(途中停止)とその次の炉底加熱後、西側と東側の補助電極温度差が小さくなっていることから、西側に多く堆積したものと推定した。

【流下途中停止後の保持運転(炉底低温)時の炉内推定イメージ】

8本目の流下途中停止後、再度流下を試みたが流下ができなかったことから、炉底冷却を行い、保持運転に移行した。

再流下の炉底加熱後、補助電極温度差が小さくなっていることから、炉底加熱のガラスの流動で炉底部及び炉底傾斜面に運ばれた白金族元素が西側に多く沈降・堆積した。

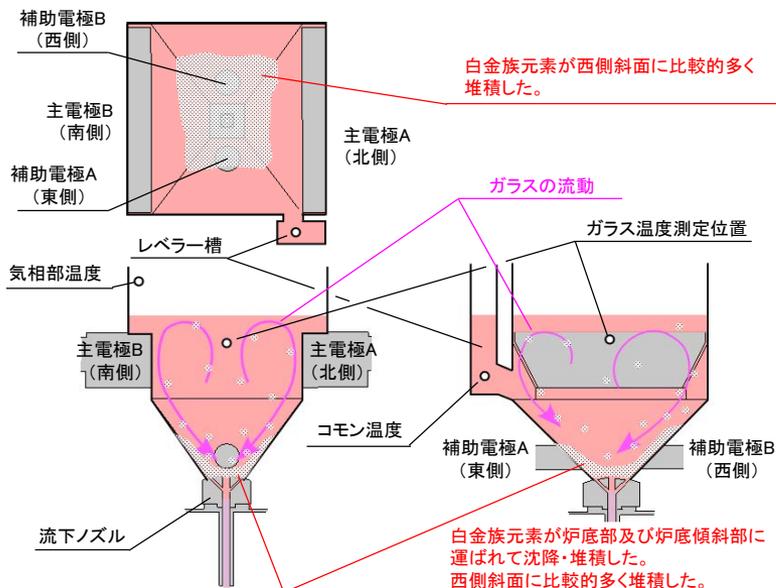
< 23 >

【19-1CP】

④:再流下に向けた加熱操作(流下できずに運転終了)

推定事象:④-1 再流下のための炉底加熱

- ・保持運転後、再流下のための炉底加熱を2回行った。
- ・炉底加熱のガラスの流動により、ガラス中の白金族元素が炉底部及び炉底傾斜部に運ばれて沈降・堆積した。

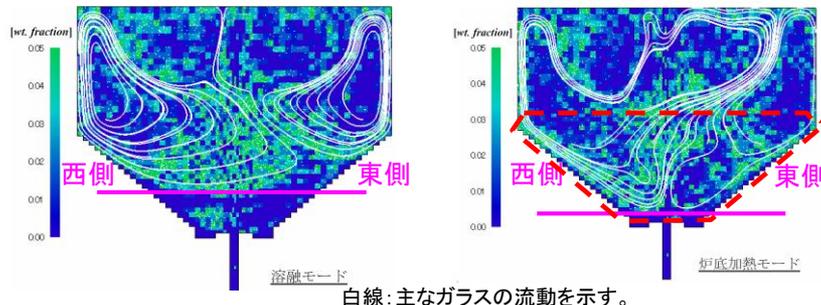


【再流下のための炉底加熱時の炉内推定イメージ】

推定事象:④-2 ガラスを保持した状態での熔融炉停止

- ・再流下では開始直後に流下停止事象が発生し、数kgしか流下ができなかったため、炉底部及び炉底傾斜面に沈降・堆積した白金族元素を抜き出すことができず、炉底部及び炉底傾斜面に残った。
- ・西側の補助電極温度が上昇していることから、西側炉底傾斜面に白金族元素が多く堆積したと推察している。

○炉内粒子流動解析

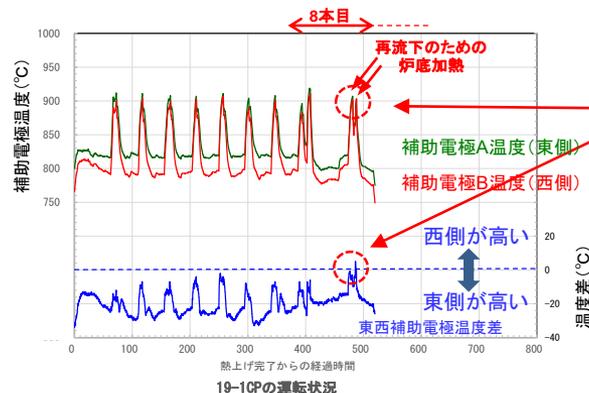


炉底低温運転時の流動
(炉底ガラス温度: 830°C)

炉底部のガラス温度を上げた場合の
流動(炉底ガラス温度: 1000°C)

炉底部を加熱することにより、炉底部までガラスの流動が達し、粒子が炉底部及び炉底傾斜面の全体に運ばれる。

炉底加熱を繰り返したことにより、炉内に保有する白金族元素は炉底部全体に運ばれ、多くの白金族元素が炉底傾斜面に沈降、堆積した。



- ✓ 運転開始から補助電極温度は、東側の方が高かったが、再流下のための炉底加熱時に西側の補助電極温度が上昇して温度差がなくなった。
- 炉底加熱時の主電極-流下ノズル間通電の電流は、電気抵抗が低い西側傾斜面の堆積物に流れ、西側の補助電極温度が上昇する。

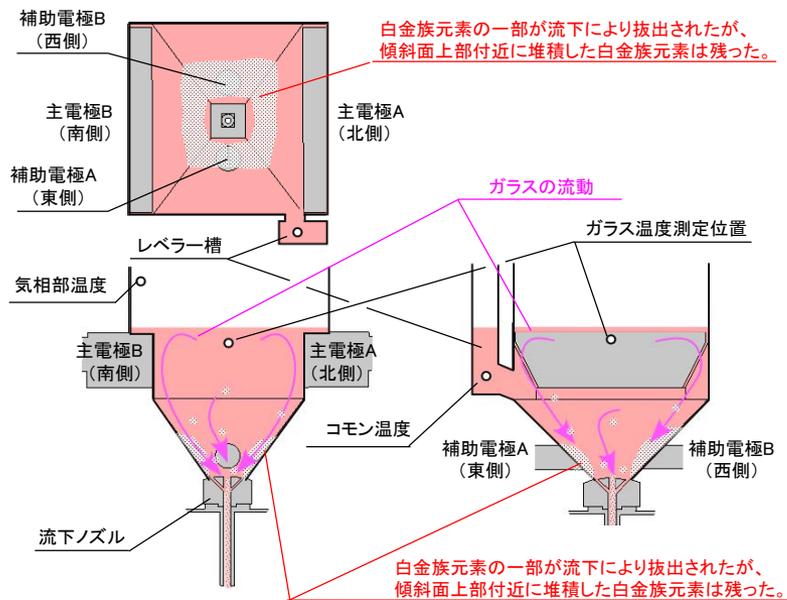
東側より西側炉底傾斜面に多くの白金族元素が堆積していることから、炉底加熱時の主電極-ノズル間電流が西側に流れやすくなり、西側の補助電極温度が昇温した。

【21-1CP】

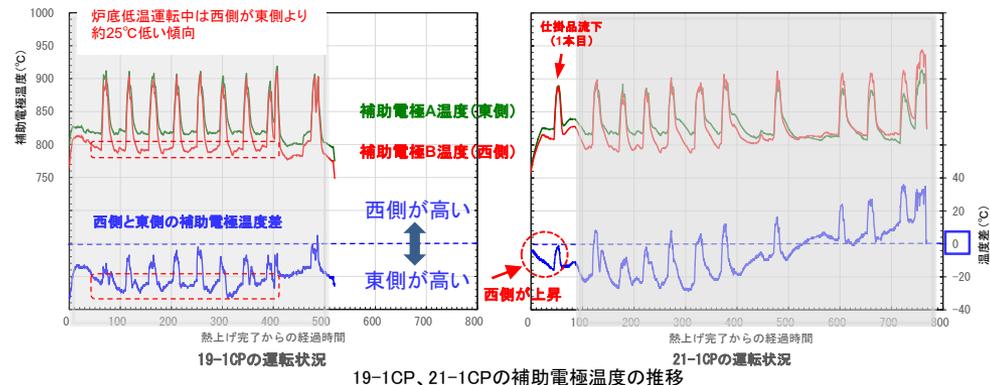
⑤: 仕掛品の流下(累計8本目)

推定事象

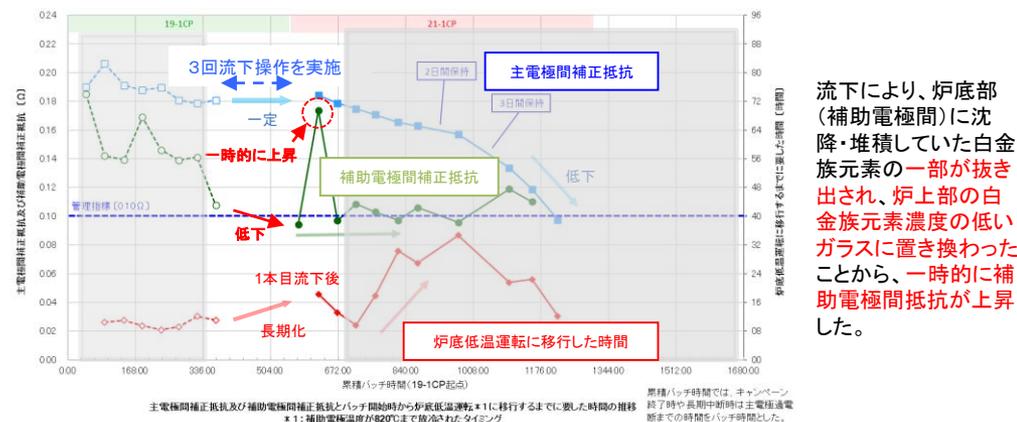
- 21-1CPは流下途中(300kg流下するところ約120kgで流下停止)で運転を終了した状態から熱上げを行い、仕掛品(残り180kg)の流下(1本目)を行った。
- 補助電極間補正抵抗が一時的に上昇していることから、仕掛品の流下により、補助電極近傍に堆積した白金族元素の一部が抜き出されたと推察している。
- また、21-1CP開始時、西側の補助電極温度が上昇していることから、西側炉底傾斜面上部付近に堆積した白金族元素は同様の位置に残ったものと推察している。



【仕掛品の流下時の炉内推定イメージ】



21-1CPの1本目(仕掛品流下前)の炉底低温運転時、西側の補助電極温度が19-1CP時に比べて上昇していることから、西側炉底傾斜面に多くの白金族元素が堆積したものと推定した。



流下により、炉底部(補助電極間)に沈降・堆積していた白金族元素の一部が抜き出され、炉上部の白金族元素濃度の低いガラスに置き換わったことから、一時的に補助電極間抵抗が上昇した。

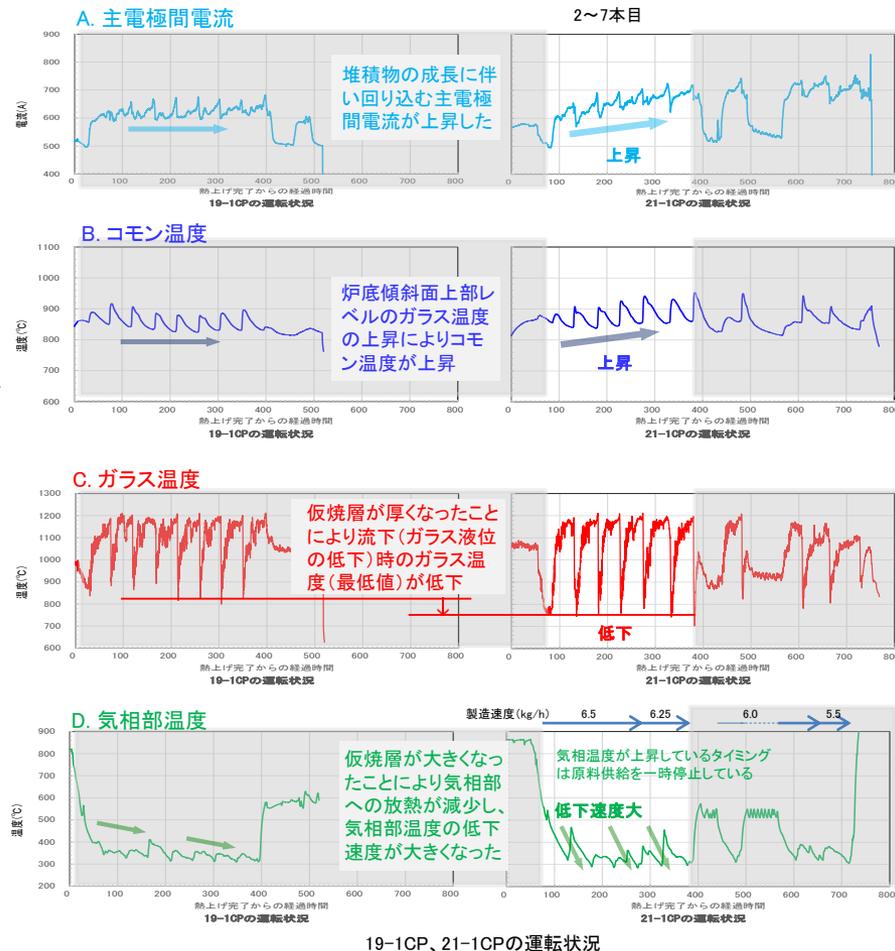
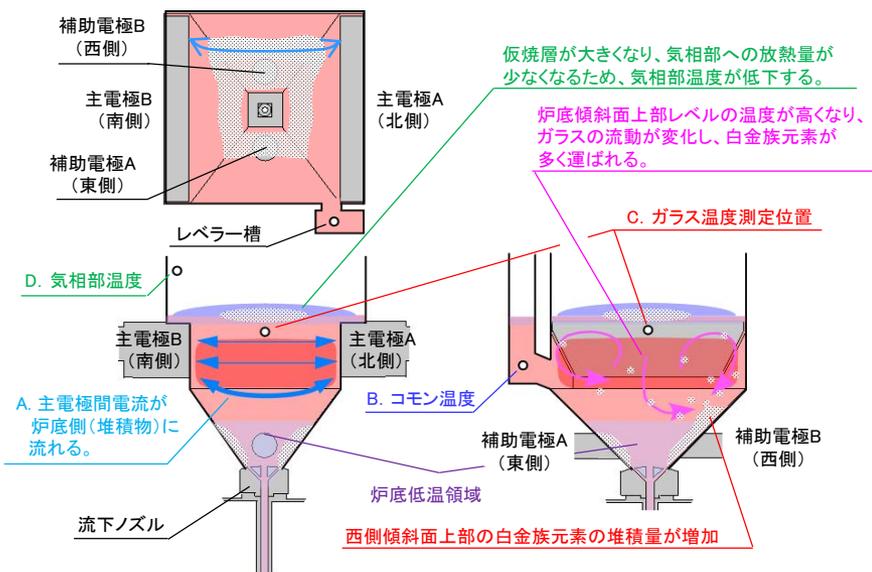
19-1CP終了時、炉底部に白金族元素が沈降・堆積したため、21-1CPの1本目(仕掛品)の補助電極間抵抗が低下した。
また、炉底傾斜面上部に白金族元素が沈降・堆積したため、主電極間電流の一部が炉底部に流れ、1本目の流下後、炉底低温運転に移行する時間が長期化した。

【21-1CP】

⑥ 2～7本目(累計9～14本目)

推定事象

- 西側炉底傾斜面上部の堆積物(白金族元素を多く含ため電気抵抗が小さい)に流れる主電極間電流が多くなり、炉底傾斜面上部レベルのガラス温度(コモン温度)が上昇した。
→ 仮焼層付近のガラスに流れる主電極間電流が減少したため、当該付近の温度が低下し、供給した原料の溶け込み速度が低下した。
- 仮焼層が大きくなって溶融ガラスの表面を覆い、気相部への放熱が少なくなり、気相部温度が低下した。
- 炉底傾斜面上部レベルの温度が高くなることにより、ガラスの流動が変化して、白金族元素が炉底傾斜面上部に多く運ばれ、堆積量が増えていったと推察している。
- 炉底傾斜面上部の白金族元素の堆積量が増えることにより、より多くの主電極間電流が堆積物に流れ、上記の事象が加速していった。



19-1CP、21-1CPの運転状況

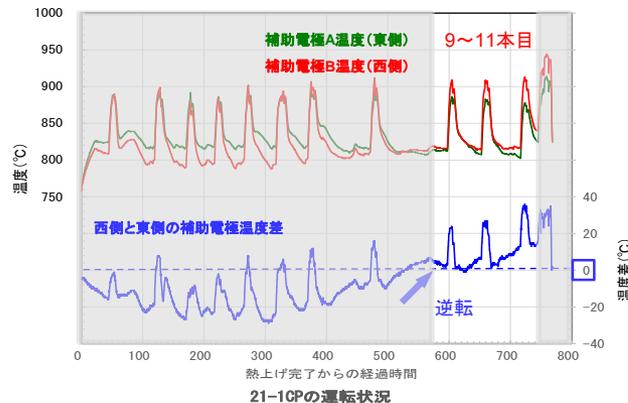
21-1CP開始時から、炉底傾斜面上部の堆積物(白金族元素)に主電極間電流が流れ、炉底傾斜面上部の温度が高くなった。また、主電極間電流が炉底傾斜面上部の堆積物(白金族元素)に流れることにより供給した原料の溶け込み速度が低下したため、仮焼層が厚く、大きくなり、ガラス温度(最低値)が低下し、気相部温度の低下速度が大きくなった。

【21-1CP】

⑧ 9～11本目(累計16～18本目)

推定事象(主電極間抵抗の低下)

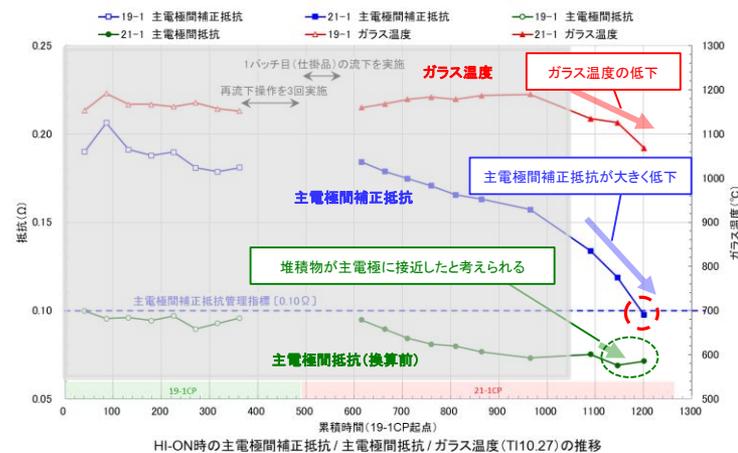
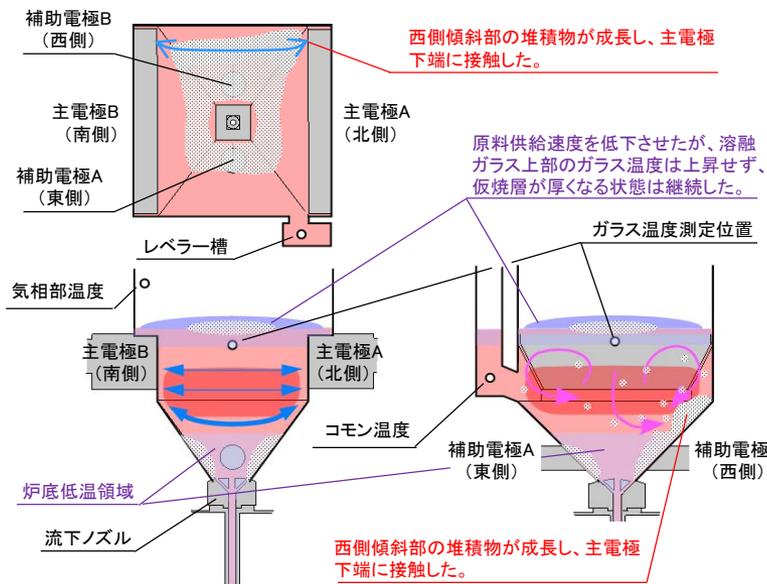
- ・気相部温度の低下速度が大きいことから、仮焼層が大きく、厚い状態が継続しているものと考え、原料供給速度を低下させた。
- ・原料供給速度を低下させたが、気相部温度の低下速度が大きい状況は改善されなかった。
- ・西側の補助電極温度がさらに上昇し、西側と東側の補助電極温度が逆転していることから、西側炉底傾斜面上部への白金族元素の堆積量はさらに増え、主電極間電流が多く流れる状況になった。
また、主電極間補正抵抗が急激に低下していることから、白金族元素を多く含む堆積物が主電極下端に近接したと推定した。



西側の補助電極温度が上昇し、西側と東側の補助電極温度が逆転した。



西側炉底傾斜面及び炉底部への白金族元素の堆積量が増えていった。



※ 補正抵抗: ガラス温度により抵抗値は変わるため、1000°C時の抵抗値に換算している。

11本目では西側炉底傾斜面の堆積物が、主電極下端に近接し、主電極間補正抵抗(1000°C換算値)が大きく低下し、管理指標に達した。 < 27 >

- 試験条件
- ・溶融ガラスの流動 : なし
 - ・溶融ガラスの温度 : 1000°C、1100°C 一定
 - ・溶融ガラスの白金族元素濃度 : 1.1 wt%(TVF標準ガラス組成に合わせた)
 - ・所定の時間後の白金族粒子の懸濁した粒子層と上澄み層の界面から底部までの距離を測定

➤ 試験結果

条件	沈降速度	沈降状況
1000°C 保持	約 0.4 mm/h (~24h)	
1100°C 保持	約 1.7 mm/h (~24h)	<p>SEM 観察 (2値化) 3つの画像は同じスケール</p> <p>白金族元素粒子が分散 白金族元素粒子が凝集 凝集が大きくなる</p> <p>均一に分散 → 凝集沈降 → 界面沈降 → 圧密沈降</p> <p>✓ 凝集性を有する界面沈降を示した。</p>

模擬ガラスによる静置沈降による沈降挙動評価

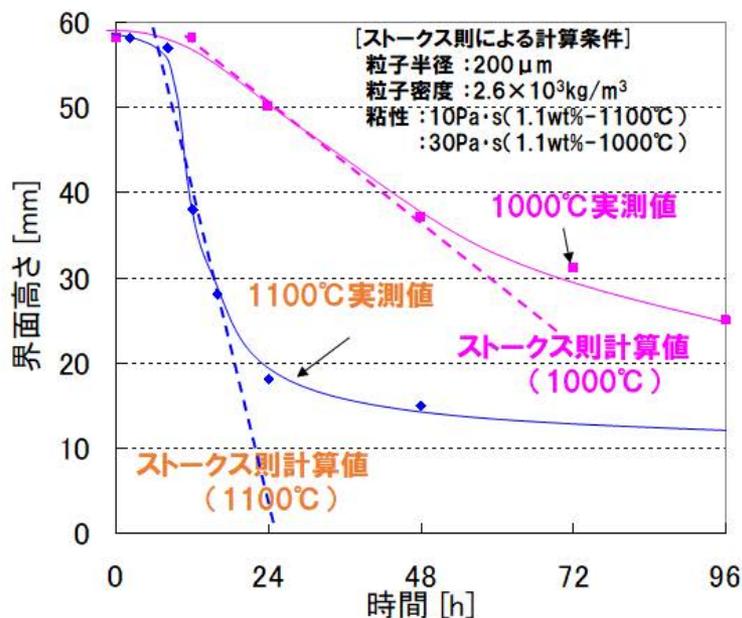
- 結論
 - ✓ 沈降速度は1000℃(約0.4 mm/h)と1100℃(約1.7 mm/h)となり、低温の方が遅くなる(約1/4倍)。
 - ✓ 沈降が進むと圧密の影響により、沈降速度が遅くなる。
 - ✓ 圧密せずに沈降する領域では、ストークスの式に概ね近似できる。

ストークスの方程式(粘性流体中の粒子の沈降速度を表す式)

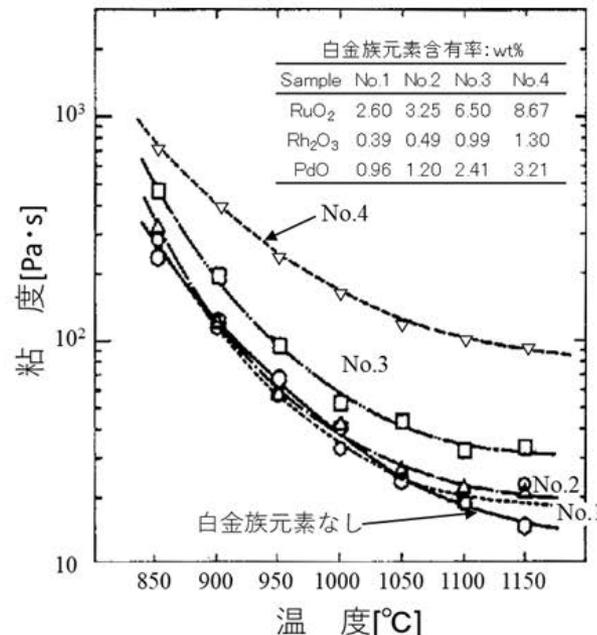
$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_n - \rho_m)}{\eta} \cdot g \cdot r^2$$

v : 終末沈降速度、r : 粒子径、 ρ_n : 粒子密度、 ρ_m : ガラス密度、 η : 粘度

⇒ 熔融ガラス中の静止状態での沈降速度は、約1~2 mm/h程度(1000~1100℃)であると考える。



白金族濃度1.1wt%ガラス沈降曲線



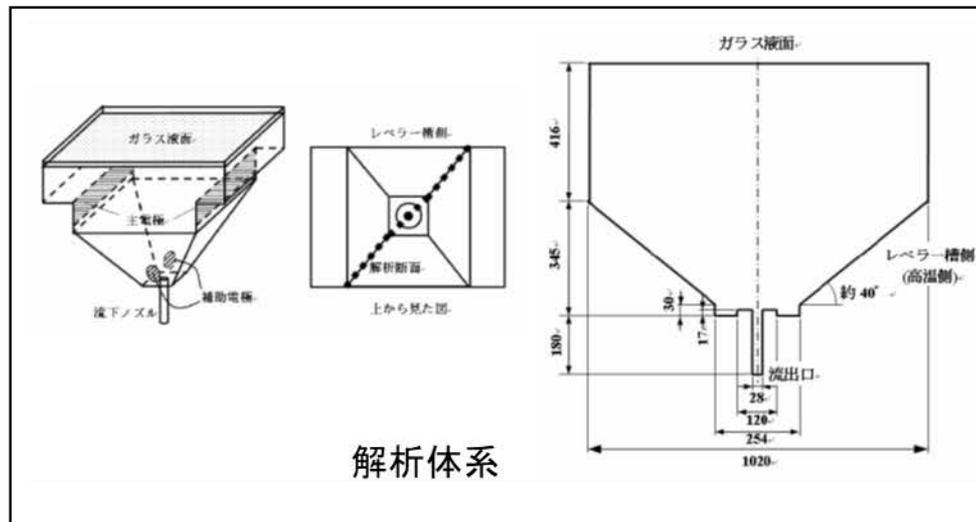
白金族元素含有ガラスの粘度と温度の関係

- 白金族元素粒子は、ガラスの流れに沿って分布している。
- 斜面近傍では、流れが遅くなり、白金族元素濃度が高くなる。

溶融炉運転モード	ガラスの流動等の特徴	ガラスの主要な流れと白金族元素粒子分布	流速及び温度分布
<p>溶融モード(炉底低温運転)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 白金族元素粒子は、主電極近傍に形成された渦の流れに沿って分布している。 • ガラスは、約0.2~1.2m/hの速度で対流している。 • 西側の方が東側よりも渦が大きい。 	<p>白金族元素粒子濃度(重量割合)</p>	
<p>流下前の炉底加熱モード</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 白金族元素粒子は、主電極近傍に形成された渦の流れに沿って分布している。 • 炉底部を加熱することで、渦は炉底部まで広がり、白金族元素粒子が炉底部まで運ばれる。 • ガラスは、約0.3~1.7m/hの速度で対流している。 • 斜面近傍では、流速が遅くなり、白金族元素粒子の濃度が高くなる。 • 西側の方が東側よりも渦が大きい。 	<p>白金族元素粒子濃度(重量割合)</p>	

ガラスの流動と白金族元素濃度に係る解析評価

溶融炉運転モード	ガラスの流動等の特徴	ガラスの主要な流れと白金族元素粒子分布	流速及び温度分布
<p>【参考】 流下モード</p>	<ul style="list-style-type: none"> ガラスが抜き出される流れが支配的になり、炉底加熱時の大きな渦が打ち消される。 ガラスは、最大約14m/hの速度で流下ノズルに向けて流れる。 	<p>白金族元素粒子濃度(重量割合)</p>	

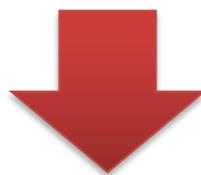


○ 溶融ガラス中の白金族元素の沈降速度

・溶融ガラス中の白金族元素の沈降速度 約 1~2 mm/h

○ 溶融炉内の溶融ガラス中の白金族元素の流動

・溶融ガラス中の白金族元素の流動速度 約 0.2~1.7 m/h



白金族元素の沈降・堆積は、溶融ガラスの流動により運ばれて炉底に沈降し、堆積していくものと考える。



主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査 要因分析(これまでの運転との違いの調査)(1/3)

【参考資料】

令和3年12月2日第58回東海再処理施設安全監視チーム会合資料(改訂)

要因分析(これまでの運転との違いの調査)により加速要因の洗い出しを行った。

要因分析:主電極間補正抵抗の早期低下に係る要因分析(これまでの運転との違い)

A: 主電極間抵抗低下(白金族元素堆積)に影響がある
B: 傾斜面への堆積に影響がある

行No.	事象	要因1	要因2	要因3	要因4	要因5	想定される影響、事象	調査項目	調査結果	A	B
1	炉底部に白金族元素が早期に堆積した事象について、これまでの運転との違いを調査する。	供給系: ガラス原料及び廃液の影響	ガラス原料	ガラス原料の仕様	ガラス原料の組成		・ガラス原料の成分組成がこれまでの運転と違いがあることより、溶解性に影響が出る。構成成分のうち、ホウ素(B)、リチウム(Li)は粘性を下げる働きがある。 ・製造ロットが異なると溶解性に違いがある可能性がある。	・ガラス原料組成等(工場検査記録)確認	〈調査済み〉 ・ガラス原料工場検査記録から各組成の含有率に問題はなかった。 ・21-1CPの初期(3バッチまで)は19-1CPと同様のロット(LotNo.191113)を使用しており違いはない。	×	×
2					ガラス原料の物性		・ガラス原料の物性がこれまでの運転と違いがあることより、炉内での状態が異なり、溶解性に影響が出る。重量、寸法、浸み込み性及び落下強度に違いがないことを確認する。	・ガラス原料組成等(工場検査記録)確認 ・重量、寸法、浸み込み性、落下強度	〈調査済み〉 ・ガラス原料工場検査記録から重量(67.5g±20g)、寸法(70mm±1mm)、浸み込み量(3.2ml/g)等の検査結果に問題はなかった。	×	△
3			ガラス原料の供給状態	ガラス原料の供給誤差	積算カウンタの誤差		・ガラス原料の投入数(カウンタの積算値)に違いがあると原液層の状態や溶解性に違いが生じ、運転状態に影響が出る。	・積算カウンタ校正記録	〈調査済み〉 ・積算カウンタの校正記録から30回連続動作させ誤差は0であり、カウンタの動作に問題はなかった。	×	×
4					ガラス原料の供給量		・ガラス原料の投入数(供給量)に違いがあると原液層の状態や溶解性に違いが生じ、運転状態に影響が出る。 ・炉内に投入する前に発生する粉塵の量が多いと投入数(カウンタ積算)から求める供給重量が異なり、運転状態に影響が出る。	・ガラス積算と実供給量との差 ・粉塵発生量の確認	〈調査済み〉 ・全体でのガラス積算約33,100個と実供給個数約33,000個との差(0.3%)であり問題は無い。 ・粉塵発生量は、19-1CPが0.45%、21-1CPが0.36%であり、設定した0.5%範囲内であり問題ではない。	×	×
5					ガラス原料の供給速度		・ガラス原料の供給速度が計画したガラス固化体製造速度と違いがあると炉内の温度バランスが崩れ、運転状態に影響が出る。	・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録)確認 ・ガラス積算記録(供給速度)の確認	〈調査済み〉 ・製造したガラス固化体の組成記録から組成比に問題はなく、また、ガラス積算記録からガラス原料の投入は所定の間隔で行われており、各バッチで供給速度にずれが生じるなどの問題はなかった。	×	×
6		廃液	廃液の組成	分析誤差			・高放射性廃液の成分組成の分析結果に基づき、廃液の調整や供給量を決定していることから、分析値に違いがあると運転状態に影響が出る。	・分析装置、分析値の校正記録確認	〈調査済み〉 ・分析機器の校正記録及び分析前後で実施する検査線の確認から、測定誤差は管理基準以内であり問題ない。	×	△
7				受入れた廃液成分			・高放射性廃液の成分、組成比の違いにより溶解性に影響が出る。特に、全酸化物(WO)とNa ₂ Oの比(WO:Na ₂ O=15:10)は、安定な溶解性運転とガラス固化体の品質の観点から運転条件の指標としてことから運転状態に影響が出る。	・受入廃液の元素分析記録確認 ・全酸化物(WO)とNa ₂ Oの比、各元素含有率 ・受入槽、濃縮器の液量管理の状況確認	〈調査済み〉 ・過去の運転(16-1~19-1CP)と比較した結果、HAW受入後の分析結果、WOに対するNa ₂ Oの比が高かった。WOの中では、沈殿成分、CP成分及び二次液処理系から受け入れた廃液中のガラス由来成分の減少が見られた。違いは僅かであり、ガラス溶解運転には問題ない。 ・液量管理(受入層5.5m ³ 、濃縮器1.0m ³)のもと廃液を取扱った。	×	×
8				供給した廃液成分	白金族元素濃度、割合		・供給した廃液の白金族元素濃度や割合が高い場合、白金族元素の沈降・堆積する量が多くなり、運転状態に影響が出る。	・受入廃液の元素分析記録確認 ・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録)確認 ・残留ガラスのサンプルの組成確認	〈調査済み〉 ・過去の運転(16-1~19-1CP)と比較した結果、HAW受入後の分析結果に白金族元素の濃度と割合に大きな違いはなかった。 ・製造したガラス固化体の組成比から白金族元素濃度に問題は無い。 ・残留ガラスの分析結果から白金族元素濃度が高いガラスであり、想定通りの組成であった。	×	×
9					全酸化物、Na ₂ O等(白金族元素以外)		・供給した廃液の成分組成、組成比の違いにより溶解性に影響が出る。特に、全酸化物(WO)とNa ₂ Oの比(WO:Na ₂ O=15:10)は、運転条件の指標としてことから運転状態に影響が出る。	・受入廃液の元素分析記録確認 ・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録)確認 ・流下ガラスのサンプルの組成確認	〈調査済み〉 ・Na ₂ OとWOは、10wt%、25wt付近で供給されており著しい違いは無い問題はない。 ・流下ガラスサンプルの分析結果からNa ₂ O濃度が10.7wt%であり、溶解性は問題ない。それ以外元素も過去の分析結果と同様であり問題ない。	×	×

[R] 〇: 影響あり、△: 可能性あり、×: 影響なし



主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査 要因分析(これまでの運転との違いの調査)(2/3)

10			廃液の供給状態	供給量の誤差 (供給流量の校正記録等)	・廃液供給量に違いがあると仮焼層の状態や溶解性に違いが生じ、運転状態に影響が出る。	・廃液供給に係る貯槽の液位計等の校正記録、供給流量のルーブ校正記録確認	〈調査済み〉 ・各貯槽の液位、密度、供給流量のルーブ校正記録から流量0~40L/hにおいて誤差は最大0.04L/h(0.1%)であり、問題ない。	×	×
11			廃液の供給速度		・廃液供給速度に違いがあると仮焼層の状態や溶解性に違いが生じ、運転状態に影響が出る。 ・廃液供給量が実際の量と計算量と異なっていると運転状態に影響が出る。	・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録)確認 ・廃液供給量、供給速度の記録確認	〈調査済み〉 供給した廃液の供給量(廃棄物含有率)に問題はなかった。 ・21-1OPで供給開始した2、3ヶ月目の廃液供給速度が大きい(約13L/h)、19-1OP(平均12.5L/h)より廃棄熱量が約0.4kW多くなる。	△	△
12	運転操作系: 溶融炉運転の影響	供給運転	温度管理	温度指示値	・溶融炉の運転において、温度計指示値に違いがあると運転性に影響が出る。	・温度指示値のルーブ校正記録確認	〈調査済み〉 ・温度指示値のルーブ校正記録から問題は無いことを確認した。校正結果の近似直線から炉底低温やガラス溶融に係る温度範囲(700~1050℃)の誤差は最大3℃程度であり問題ない。	×	×
13			溶融運転	炉内ガラス温度、気相部温度等	・溶融炉はガラス製造速度に対して、主電極電力を39kW一定として、ガラス原料及び廃液の供給量とガラス温度、気相部温度が安定して推移することが重要である。 ・温度バランスが崩れた場合は、炉底低温運転ができなくなるなど運転状態に影響が出る。 ・通電電力が炉底部に回り込むと温度バランスに影響が出る。	・炉内気相部温度、ガラス温度のトレンド記録確認 ・定常解析実施 炉底部(炉底傾斜面上部)に白金族元素が堆積している条件にて、定常解析を実施し、主電極間電流の回り込みの有無、炉底傾斜面上部の温度上昇の有無を確認する。 ・通電が炉底部に回り込む割合を確認	〈調査済み〉 ・21-1OPでは従来どおり原料供給初期から主電極間電力が98kW、製造速度が8.5kg/hで運転した。 ・初期1ヶ月から気相部温度の低下度が大きく、流下後のガラス温度の最低値が低いことから仮焼層が厚く、原料の溶解速度が低下している。 ・1-1OP初期から溶融物側に流れる主電極間電流が急激に増加するとともに、Le-on時のガラス温度指示値が低下しており、仮焼層の溶け込み速度が低下して仮焼層が厚くなった(原因は不明)と考える。	○	○
14			通電系(投入電力等)		・溶融炉に投入する電力に違いがあると運転性に影響が出る。 ・表示した電力値と出力される電力に違いがあると運転性に影響が出る。	・主電極電力指示値のルーブ校正記録確認 ・炉内気相部温度、ガラス温度のトレンド記録確認 ・模擬負荷運転による新旧電力盤の出力確認	〈調査済み〉 主電極電力指示値のルーブ校正記録から指示値には問題は無い。 ・パッチの継続に伴い主電極間電流値が大きくなった。 ・新旧電力盤の出力確認結果より、通電出力39kWに対して新電力盤では旧電力盤より0.8kW小さかった。	△	△
15			崩壊熱		・高放射性廃液中の放射性物質は、時間とともに濃縮し、崩壊熱も低下していく。 ・これまでの運転との炉内の崩壊熱に違いがあると運転性に影響が出る。	・炉内に保有する廃棄物成分による崩壊熱の確認	〈調査済み〉 2号炉(運転04-1OP)当初はLe-H/L液位(約)1.4kWであったが、16-1OP以降は約1.1kWとなり、約0.3kW低下している。	△	△
16			主電極冷却空気流量		・溶融炉の運転は、温度バランスが重要であり、主電極冷却空気流量が異なる運転状態に影響が出る。	・ガラス温度等のトレンド記録確認 ・主電極冷却空気流量の設定状態確認	〈調査済み〉 主電極冷却空気流量(出力)は、21-1OPで64~66%であり、19-1OPの4%程度である。このため、21-1OPではガラス温度指示値の最低値が低くなっているが、この冷却空気流量以外の要因で仮焼層が厚くなっていると思われる。	×	×
17			炉底低温運転		・炉底部への白金族元素の沈降・堆積を抑制するため、炉底低温運転を行っている。この温度状態に違いがあると白金族元素の沈降・堆積や溶解性に影響が出る。	・補助電極温度等のトレンド記録確認 ・炉底低温移行時間の確認	〈調査済み〉 8-9本目に炉底低温移行時間が27時間~34時間に長くなったが、9本目以降、短くなった。 ・これまでは主電極間補正抵抗が低下する前に炉底低温移行時間が長期化するが、21-1OPでは炉底低温運転ができていた。	×	×
18			液位管理		・溶融炉は運転中にLo-H間でガラス液位を確認し、流下操作を実施している。液位に違いがある場合は、炉内の温度や通電状態に影響が出る可能性がある。	・溶融炉制御盤(ガラスレベル検知システム内蔵)の点検整備記録確認 ・運転中のLe-on、H-onの管理	〈調査済み〉 溶融炉制御盤の点検整備記録から問題は無いことを確認した。 ・21-1OPでは、19-1OPと比し、H-on時は202kgに対して平均約4kg(液位+2.3mm)多い程度であり液位管理に問題ない。	×	×
19	保持運転		温度管理	19-1OPでの保持運転 (流下停止事象) (炉底加熱実施)	・運転中の不具合等により復旧までに時間が掛かる場合は、保持運転を行い、復旧後、すぐに再開できるようにしている。 ・19-1OPで実施した保持運転に従来と違いがある場合は運転性に影響が出る可能性がある。	・ガラス温度、補助電極温度のトレンド記録確認 ・保持運転前後での各電極間抵抗の確認	〈調査中〉 ・流下途中停止後(再流下の炉底加熱を含む)の東西の補助電極温度差から西側の温度が上昇し、保持運転後の炉底加熱時に西側の温度が高くなった。 ・21-1OPは流下途中は補助電極抵抗が低下するとともに、21-1OP初期から溶融物側に流れる主電極間電流が急激に増加している。 ・これより、19-1OP終了時に白金族元素が炉底傾斜面上部に堆積し、21-1OP開始時から主電極間電流の一部が溶融物側に流れることで仮焼層の溶け込み速度が低下し、仮焼層が厚くなった(原因は不明)と考える。	○	○
20			温度管理	21-1OPでの保持運転 (炉底低温)	・運転中の不具合等により復旧までに時間が掛かる場合は、保持運転を行い、復旧後、すぐに再開できるようにしている。 ・21-1OPで実施した保持運転に従来と違いがある場合は運転性に影響が出る可能性がある。	・ガラス温度、補助電極温度のトレンド記録確認 ・保持運転前後での各電極間抵抗の確認	〈調査済み〉 8-9本目の保持運転において、9本目の炉底低温運転は実際の補助電極温度差が小さく、途中から西側の差が大きくなった。 ・補助電極温度差は保持運転前のパッチから徐々に小さくなってきており、保持運転を起点とした悪化は見られない。	×	×

①

② 主要因

③

③

③ 主要因

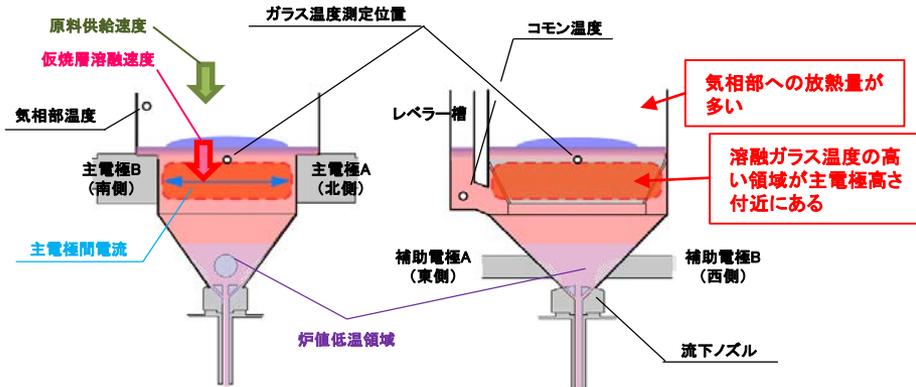
白金族元素の堆積の主要因

赤文字はこれまでの運転との違いを確認したもの < 34 >

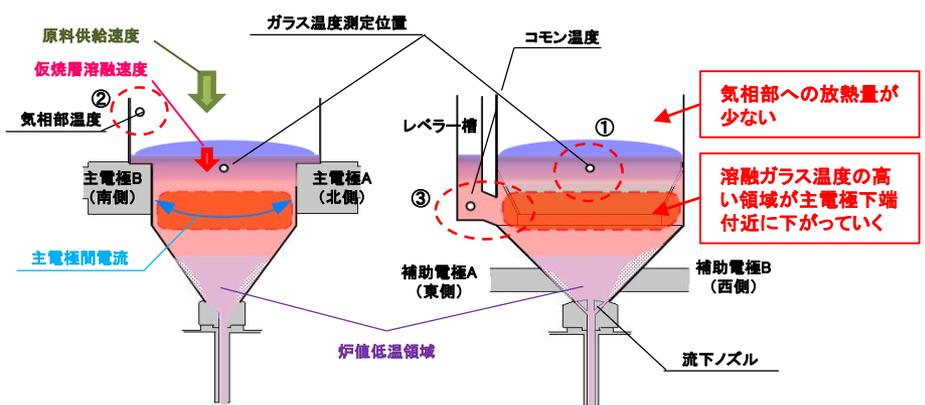


主電極間補正抵抗の早期低下に係る原因調査 要因分析(これまでの運転との違いの調査)(3/3)

21	流下操作系: 流下による影響(抜出し)	炉底加熱操作	温度管理		・流下前に炉底部の加熱を行う。炉底部を加熱することは、白金族元素の沈降・堆積に影響を与える。加熱時の温度はガラスの粘性に影響する。	・流下操作前の炉底加熱時のトレンド記録確認	〈調査済み〉 すべてのバッチで炉底加熱により全段加熱時の底部電極(流下ノズル上段)温度を約745°Cに昇温しており違いはない。	×	×
22			加熱操作		・流下前に炉底部の加熱を行う。炉底部を加熱することは、白金族元素の沈降・堆積に影響を与える。加熱操作は、炉底部の状態(白金族元素の挙動)に影響する。	・補助電極間通電、主ノズル間通電のトレンド記録確認	〈調査済み〉 炉底加熱時の補助電極間通電、主ノズル間通電の通電時間、各電流値に大きな違いはなく、加熱操作に問題はない。	×	×
23		流下操作	流下重量		・1本流下することにより、炉内から1本分の白金族元素の抜出し、白金族元素保有量のバランスを保っている。流下重量に違いがあると白金族元素の抜出しに影響が出る。	・流下速度を算出するための重量計の校正記録確認	〈調査済み〉 重量計の校正記録、ルーパ試験記録から入力292.5kg(パネ定数補正後)に対しDCO表示値292.7kg差0.2kgであり、問題ないことを確認した。	×	×
24			流下速度		・ガラスの流下は所定温度から開始し、流下初期は流速を抑え、約3時間で流下することで約1本分の白金族元素の抜出しを行っている。このバランスに違いがあると白金族元素の抜き差し性に影響が出る可能性がある。	・流下速度のトレンド記録確認	〈調査済み〉 流下のトレンドから流下状況(操作、流下速度)に異常のないことを確認した。	×	×
25	排気系: 溶融炉排気の影響(除熱量)	排风量	排気量		・溶融炉の安定運転には温度バランスが重要である。溶融炉からの排気量に違いがあると運転性に影響が出る。	・溶融炉換気系の排気風量、温度のトレンド記録確認	〈調査済み〉 溶融炉からの排気風量(19-1CPと21-1CPで同様)、溶融炉換気系のインテーク弁開度除熱促進する状況は確認されなかった。	×	×
26			インリーク量		・溶融炉の安定運転には温度バランスが重要である。21-1CP前の結合装置交換後における結合装置からのインリーク量が多いと運転性に影響が出る。	・21-1CP前の結合装置交換後における結合装置内圧インリーク量評価(簡易計算) ・溶融炉へのバージエア量の確認	〈調査済み〉 結合装置交換前と交換後のインリーク量を結合装置内圧インリーク量と結合装置内圧、炉内圧から算出した結果、2.1%の増加(除熱量は0.016kW増加)であり影響しない。	×	×
27		温度	炉内気相部温度		・溶融炉の安定運転には温度バランスが重要である。炉内気相部温度に違いがあると運転性に影響が出る。	・炉内気相部温度、ガラス温度のトレンド記録確認	〈調査済み〉 初期バッチから気相部温度の低下速度が高い、これは流下後のガス温度を示す最低値が低いためと考えられる。後継バッチの溶融速度が低下しているためであり、排気系の問題ではない。	×	×
28	設備	溶融炉	溶融炉本体	溶融炉健全性	・溶融炉はケーシング内に耐火物を積層し、ケーシングは架台に据え付けている。 ・溶融炉本体が健全でないとなりに運転性に影響が出る。	・検査成績書により溶融炉と溶融炉架台の積きの確認 ・炉内観察	〈調査済み〉 溶融炉架台、溶融炉の検査結果により、著しい破損はないことを確認した。 炉内観察から傾斜面上部に残留物が確認されたが、炉内に損傷等は確認されていない。	×	×
29			残留ガラス除去	映像等による評価	・2号溶融炉は白金族元素の堆積を確認した場合は、ドレンアウトし、残留ガラス除去を行うこととしている。 ・残留ガラスが除去されていないと運転性に影響が出る。	・19-1CP前の炉内残留ガラス除去作業結果の検証(過去の炉内残留ガラス除去作業後の炉内観察結果(16-1CP前)との比較)	〈調査済み〉 19-1CP前の除去作業の結果は、16-1CP前の結果と比較し、同程度に除去されていた。	×	×
30				運転状態による評価	・2号溶融炉は白金族元素の堆積を確認した場合は、ドレンアウトし、残留ガラス除去を行うこととしている。 ・残留ガラス除去後、炉内の状態に違い(目視では確認困難)があると運転性に影響が出る。	・16-1CPと19-1CPとの熱上げ状態、初期バッチの状態の比較	〈調査済み〉 16-1CPと19-1CPの熱上げ時の温度状況等はほぼ同様である。 ・運転開始初期の補助電極間抵抗は19-1CPが16-1CPより低い。 ・19-1CPでは炉底低温運転による安定運転ができていないことから影響はない。	×	×
31			結合措置		・21-1CP前に更新した結合装置による影響により運転状態に違いがある場合には、運転性に影響が出る。	・結合装置内圧等のトレンド記録確認	〈調査済み〉 流下操作時は-0.4kPa(MV約70%)で制御されており問題ない。 ・流下操作時以外は、26項目(インリーク量)と同様であり問題ない。	×	×
32	制御系	工程制御装置			・19-1CP前に更新した工程制御装置の出力や表示値に違いがある場合は、運転性に影響が出る可能性がある。	・主電極電力指示値のルーパ校正記録簿(電力盤→工程監視盤、工程制御装置)	〈調査済み〉 電力盤の外部端子から工程制御装置へ模擬入力を行い、制御室側(工程監視盤)・工程制御装置(電力盤)の指示値を確認し、精度±0.2%内であり問題ない。	×	×



19-1CPの炉内状態
(原料供給速度*1(一定)に対して仮焼層の溶融速度が等しい)



21-1CPの炉内状態
(原料供給速度*1(一定)に対して仮焼層の溶融速度が小さい)

① ガラス温度(流下後の最低温度)

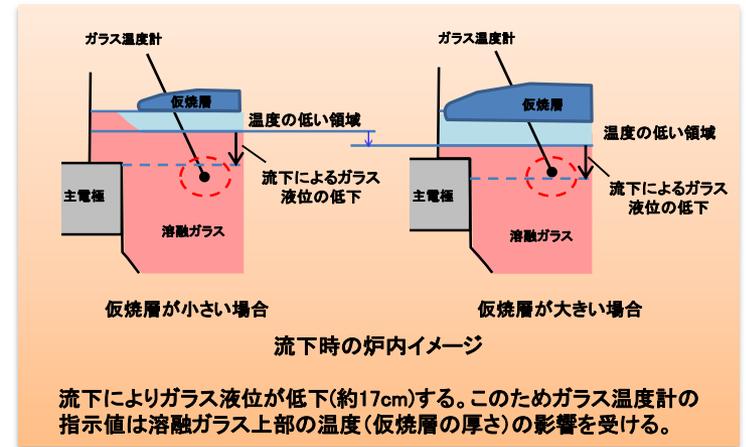
仮焼層が大きい(厚い)(原料供給速度に対して仮焼層の溶融速度が小さい)場合、溶融ガラス温度の高い領域が主電極下端側にあるため、流下により炉内ガラスレベルが下がると厚くなっている仮焼層の影響を受けガラス温度指示値が800℃を下回る(19-1CPに比べて50~100℃程度低い)。

② 気相部温度*2

原料供給速度と仮焼層の溶融速度のバランスが取れている場合、溶融ガラスから気相部への放熱量が安定しているため、気相部温度は一定の範囲内で推移する。原料供給速度に対して仮焼層の溶融速度が小さい場合は、仮焼層が大きくなり、気相部への放熱量が減少し、気相部温度が低下する。

③ コモン温度*3(レベラー槽内のコモンプローブの温度)

仮焼層が大きい(厚い)場合、溶融ガラス上部の温度が低下することから主電極間通電の領域が下がり、溶融ガラス温度の高い領域が主電極下端側に下がるため、コモン温度測定位置付近の温度が上昇する。



*1 原料供給速度：ガラス原料と廃液を合わせた供給速度

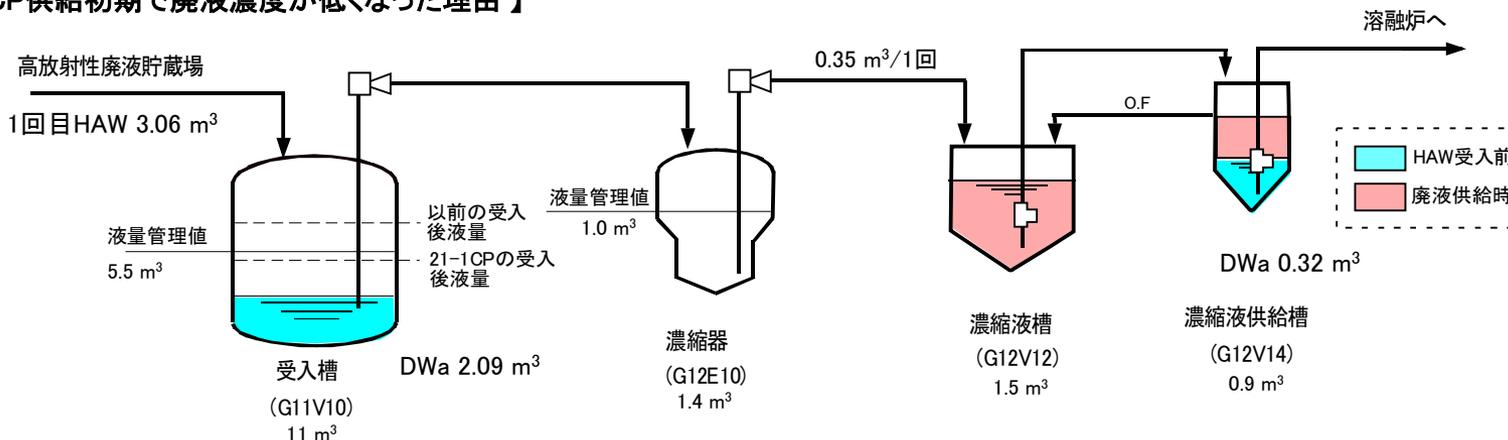
*2 気相部温度：気相部では供給した廃液の揮発成分の蒸発が行われる。気相部の温度は、溶融ガラス表面からの放熱や、流下により炉内ガラスレベルが下がることで、溶融ガラスと接触していた炉壁からの放熱により上昇し、原料供給に伴って徐々に低下していく温度変化を繰り返す。

*3 コモン温度：流下による炉内ガラス液位の低下に伴い、溶融ガラス温度の高い領域が下がり、コモン温度測定位置付近の温度が上昇する。ガラス液位の上昇に伴って徐々に温度は低下していく推移を繰り返す。



21-1CP供給初期で廃液濃度が低くなった理由

【21-1CP供給初期で廃液濃度が低くなった理由】



[受入前の状態]

- 19-1CP後、HAWは全量、HAW施設へ返送し、TVF内貯槽には洗浄液(DWa)が入っていた。
- HAW受入前の状態：
 - ・受入槽(G11V10)と濃縮液供給槽(G12V14)には、溶融炉との水封のため洗浄液(DWa)が入っている。
 - ・濃縮器(G12E10)、濃縮液槽(G2V12)は空の状態とした。

[廃液の濃度調整の考え]

- 濃縮液供給槽(G12V14)には洗浄液があるため、濃縮器(G12E10)にて高めに濃縮し、廃液供給時の濃度を安定させる。

[受入と液量制限]

- ① HAW受入：耐震裕度向上のため、受入槽の液量管理(管理値:5.5 m³)により、1回あたりの受入量が制限される。
 - ・1回目のHAW受入：受入槽に洗浄液(2.09 m³)が入った状態でHAW(3.06 m³)を受入れた。
 - ・受入後のWO濃度は、56.0 g/Lとなった。
- ② 濃縮器への送液：耐震裕度向上のため、濃縮器の液量管理(管理値:1.0 m³)により、1回あたりの移送量が制限される。
 - ・液量管理のもと最大の濃縮度となるように濃縮器へ移送し、濃縮した。(濃縮後の廃液濃度:142~148 g/L)
- ③ 濃縮液槽、濃縮液供給槽への移送(液張り)後の濃度
 - ・濃縮器で濃縮した廃液を順次、濃縮液槽へ移送(5回)した結果、廃液供給時の濃縮液供給槽の廃液濃度は、120.67 g/Lとなった。
 - ※濃縮液供給槽の廃液濃度は、濃縮器からの移送が繰り返されることで、通常 130 ~ 135g/L程度まで徐々に上昇する。

[供給速度]

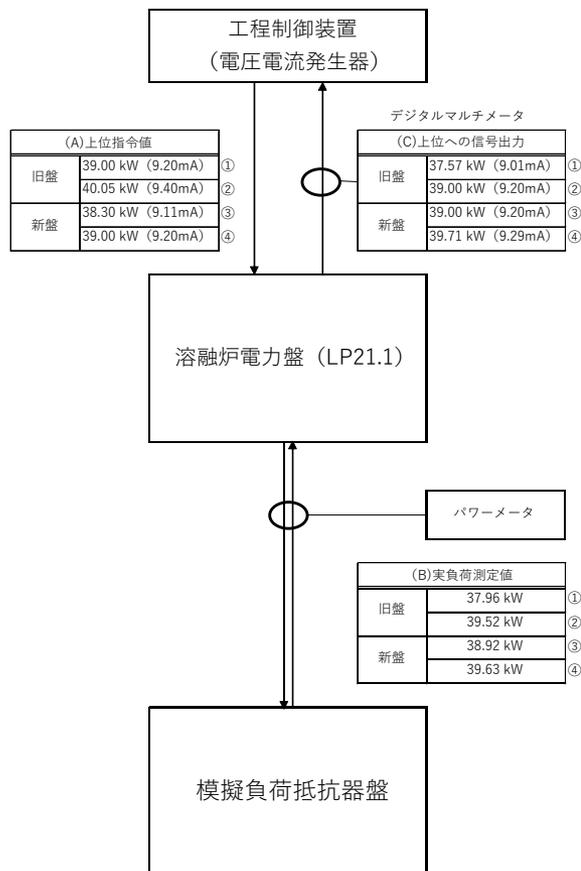
- ガラス固化体の製造速度に合わせた廃液供給量
 - ・ガラス固化体の製造速度が 6.5 kg/h、廃液濃度が 120.67 g/L から廃液供給速度は約 13 L/h となり、19-1CPの平均廃液供給速度(約 12.5 L/h)に比べて約0.5 L/h大きくなった。



新旧電力盤の出力確認結果

[新旧電力盤の出力確認結果]

新旧電力盤に模擬負荷抵抗盤を接続し、39kWの出力の制御指令を与えたときのそれぞれの投入される電力値を測定した。



(A)上位指令値 (入力信号)			(B)実負荷測定値	(C)上位への信号出力	
[mA]	制御出力[%]	換算値[kW]	測定値[kW]	測定値[kW]	
4.0	0.0	0	0.00	0.0	
8.0	25.0	30	28.67	28.12	
12.0	50.0	60	59.43	58.87	
16.0	75.0	90	90.05	89.47	
20.0	100.0	120	120.49	119.62	
9.20	32.50	39	37.96	37.57	
9.40	33.75	40.05	39.52	39	

(A)上位指令値 (入力信号)			(B)実負荷測定値	(C)上位への信号出力	
[mA]	制御出力[%]	換算値[kW]	測定値[kW]	測定値[kW]	
4.0	0.0	0	0.00	0.0	
8.0	25.0	30	30.05	30.20	
12.0	50.0	60	61.45	61.80	
16.0	75.0	90	91.72	92.00	
20.0	100.0	120	121.78	120.60	
9.11	31.94	38.30	38.92	39	
9.20	32.50	39	39.63	39.71	

上記表は出力確認の結果を元に比で算出した。

- ✓ 04-1CPから21-1CPにおいては、溶融炉の主電極間電力を 39 kWに設定しており、制御室の工程制御装置(DC)の指示値(電力盤からDCへのアウトプット)が 39 kWとなるよう制御指令値(制御電流)が制御されている。
- ✓ よって、主電極間の投入電力は、17-1CPまで使用した旧電力盤が 39.5 kW、新電力盤(19-1CPより使用開始)が約 38.9 kWとなり、新電力盤の投入電力の方が約 0.6 kW小さい。