

TVFにおける固化処理状況について

令和5年3月16日

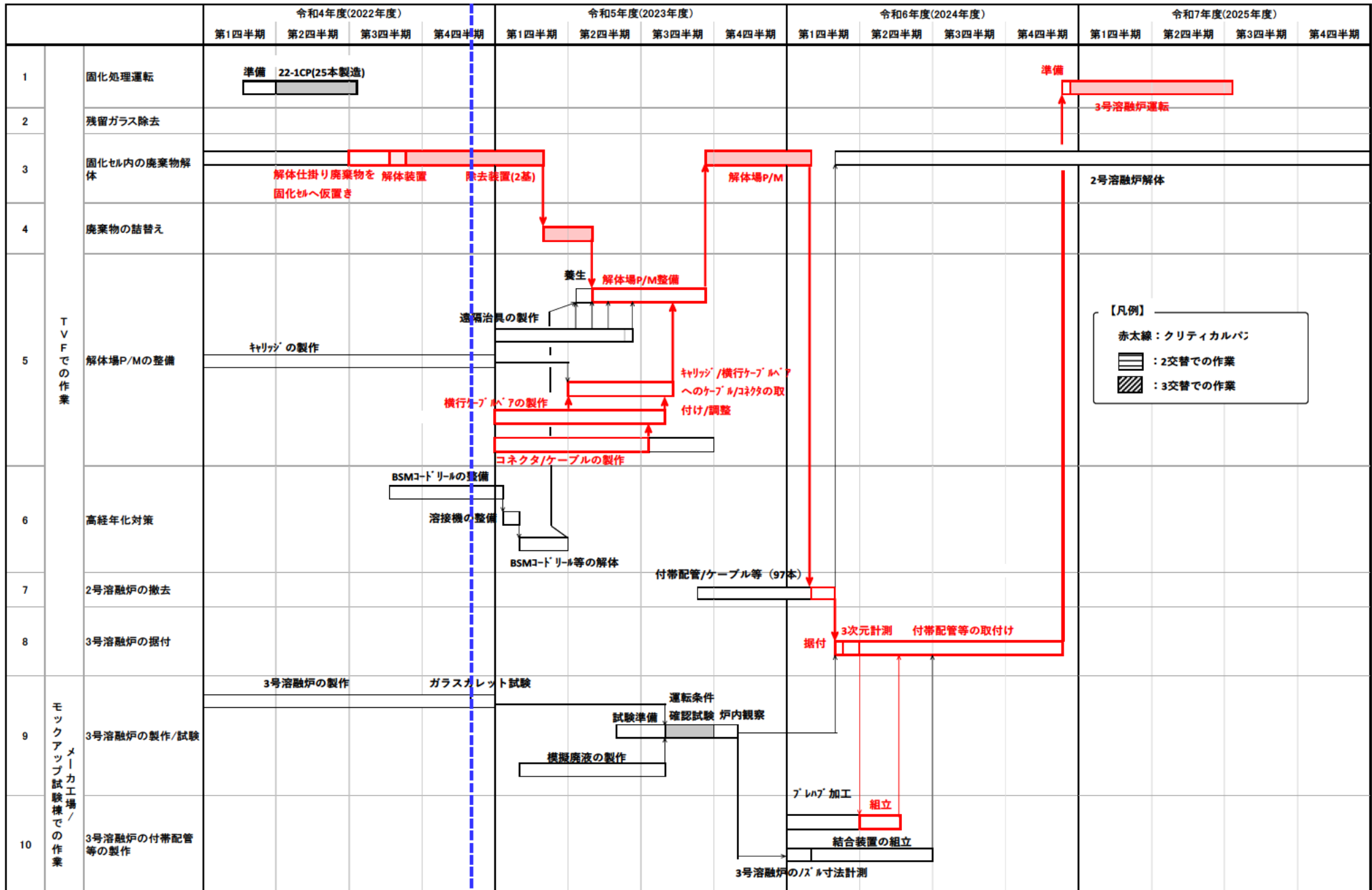
日本原子力研究開発機構 (JAEA)

- (1) ガラス固化を最短で進める観点から、2号溶融炉は使用せず、3号溶融炉への更新を前倒しし、令和6年度末の熱上げ開始を目指す。
- (2) 固化セル内での解体作業を3交代体制にて継続中。残留ガラス除去装置(2基)の切断作業を6月頃まで実施する計画。また、解体作業と併行して実施する高経年化対策のうち、固化セル内の遠隔機器である両腕型マニプレータのコードリール交換作業を継続中。現在、除染セルにて、コードリールの交換作業に着手している。
- (3) 3号溶融炉の更新については、令和5年3月下旬に実施するガラスカレット試験に向け、設備機器(運転制御系、オフガス系、電源系、通気/通水確認等)の作動確認を3月4日までに完了し、3月6日から熱上げを開始している。
- (4) 今回の運転(22-1CP)で予想よりも少ない製造本数で管理指標に達したことの原因としては、運転データの調査に加え、残留ガラス除去作業の影響を確認するためコールドモックアップ溶融炉の調査等を行い、以下を推定している。
 - ・ 一度、レンガ表面に高密度に凝集した白金族元素が堆積してしまうと、現在の残留ガラスの除去作業(ニードルスケアラ)ではレンガの侵食部等に残存した白金族元素を除去しきれず、通電経路が形成されと考えている。
 - ・ この通電経路が主電極間通電に影響を及ぼす(主電極間抵抗の感度領域にある)炉底傾斜面上部に形成され、主電極間電流の一部が流れるようになると、通電経路近傍の温度が上昇してガラスの流動が変わり、炉底傾斜面上部に多くの白金族元素が運ばれて堆積し、主電極間抵抗が早期に低下したものと考えている。
- (5) 対策(案)として、主電極間通電に影響を及ぼすような炉底傾斜面上部に白金族元素を多く堆積させないような管理指標や検知方法の改善(主電極損傷防止に加えて、堆積物量の低減を検討)や、残留ガラス除去作業においても、除去の方法や手順、終了判断、除去装置等の改良などを図ることを検討している。



1. 次回運転までのスケジュールと進捗状況(1/2)

令和5年1月24日第69回東海再処理施設安全監視チーム会合資料実績追記



(1) 固化セル内の廃棄物解体

- ① 解体作業については、増員した解体作業員を交えたOJTによる教育訓練を令和4年11月中旬より開始し、**12月6日から3交替体制による作業を開始した。**
- ② **ベテランの作業員4名を各班に配置し、若手作業員をそれぞれ各班に振り分けることで人材育成と技術継承を進めている。**
- ③ これまでにM/SスレーブアームやITVカメラ治具などの切断を終了し、解体装置の切断/収納を2月9日に終了した。
- ④ その後、残留ガラス除去装置(2基)の切断作業を**令和5年6月頃まで実施する計画**である。

(2) 固化セル内設備の高経年化対策

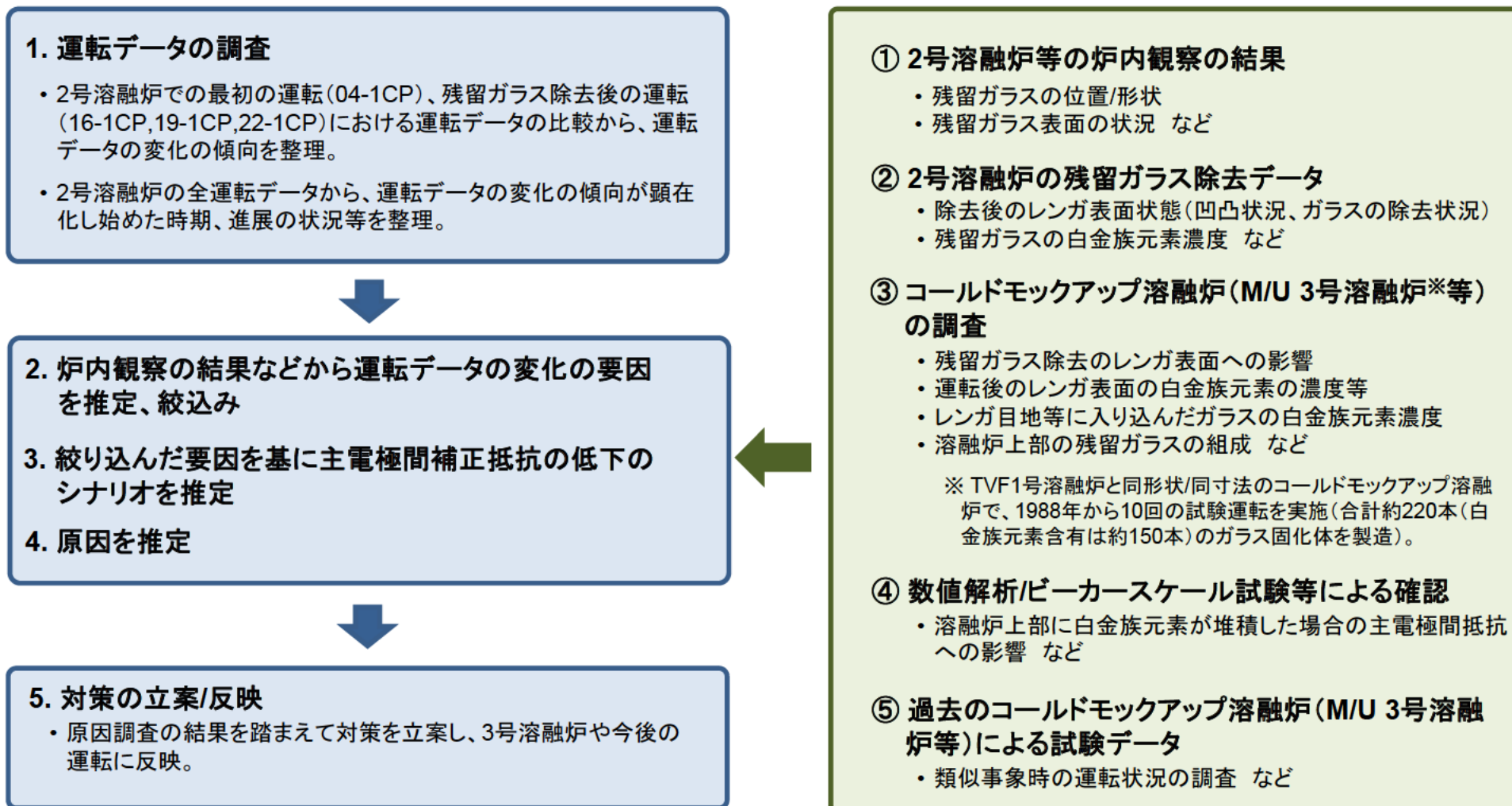
- ① 両腕型マニプレータコードリール交換作業として、コードリール(3基)を設置しているキャリッジを取り外して固化セルから除染セルに搬出した。
- ② コードリール交換は除染セルにて人手で実施することから、足場の設置、除染作業を実施中。

(3) 3号溶融炉の製作/試験

- ① 3号溶融炉は、令和4年9月16日に核サ研のモックアップ試験棟に搬入後、天井部の築炉、天板の溶接を終了し、付帯配管等の取付けを**令和5年1月末までに完了した。**
- ② 現在、設備機器(運転制御系、オフガス系、電源系、通気/通水確認等)の作動確認を進めており、令和5年3月下旬に**ガラスの溶融性、流下性を確認するガラスカレット試験**を行い、製作を完了する予定。
- ③ その後、**白金族元素を含有する模擬廃液により実際の運転を模擬した運転条件確認試験**を令和5年11月～**12月頃**に行い、ガラスカレット試験において設定した運転パラメータを用いて、白金族元素の抜き出し性等を踏まえた堆積管理指標の見直しに係るデータの取得、シミュレーション解析の検証のための温度分布等のデータ取得を行う計画である。なお、運転条件確認試験に向け、模擬廃液の調達等、契約手続きを進めている。

- 今回の運転(22-1CP)は、機器の不具合による溶融炉の保持運転はほとんどなく、検討した運転パラメータにより、順調に運転を進めたものの、予想よりも早く主電極間補正抵抗が白金族元素の堆積管理指標値まで低下したことを踏まえると、残留ガラス除去作業などの影響によるところが大きいと考えている。
- このため、残留ガラス除去作業などの影響も含め、網羅的に要因を推定し、推定した要因から予想よりも早く主電極間補正抵抗が低下した原因を推定する方法で原因調査を進めた。

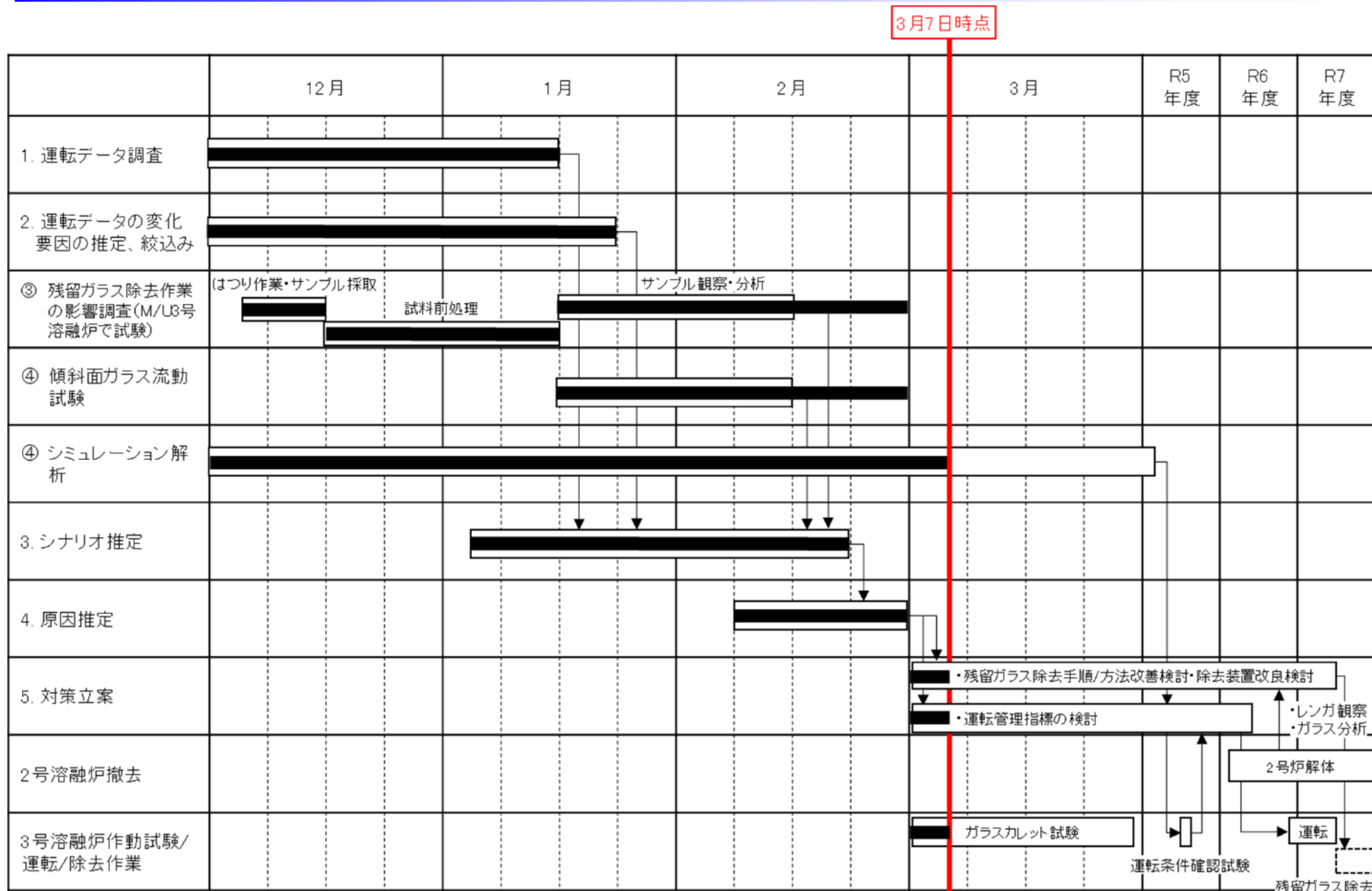
【原因調査と対策の立案フロー】



2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-2. 原因調査のスケジュール

令和5年1月24日第69回東海再処理施設安全監視チーム会合資料実績追記



2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

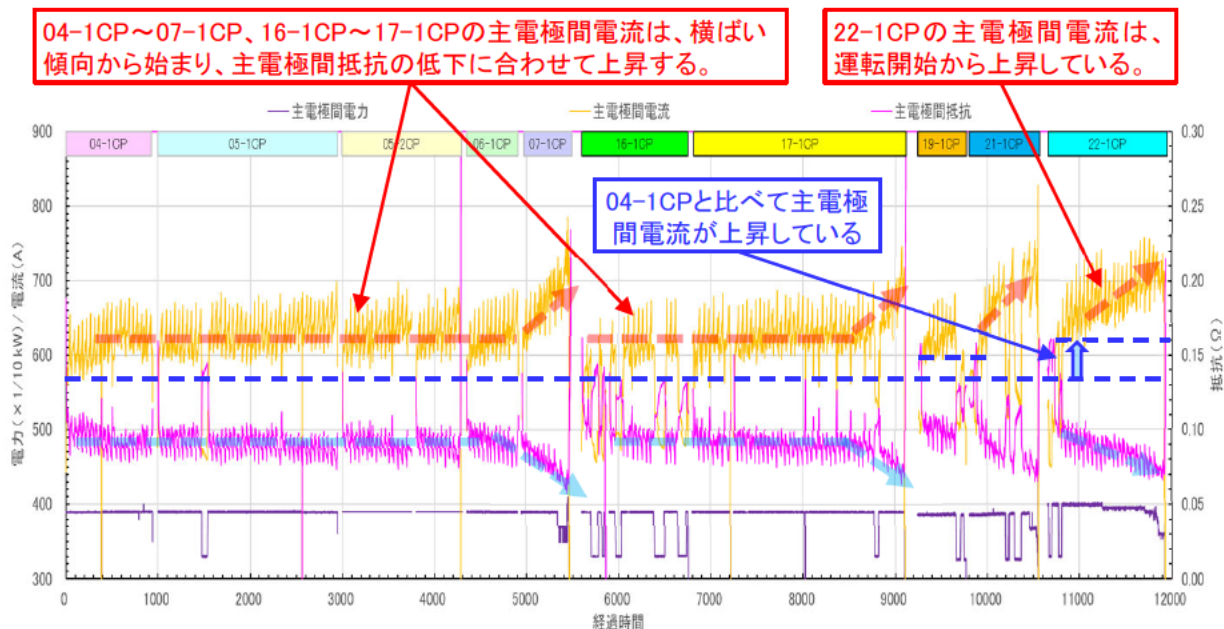
2-3. 運転データの調査

2号溶融炉の運転データについて、溶融炉の最近の運転(21-1CP及び22-1CP)において、これまでの運転で経験の無い西側炉底傾斜面上部への白金族元素の堆積事象が続けて生じた。

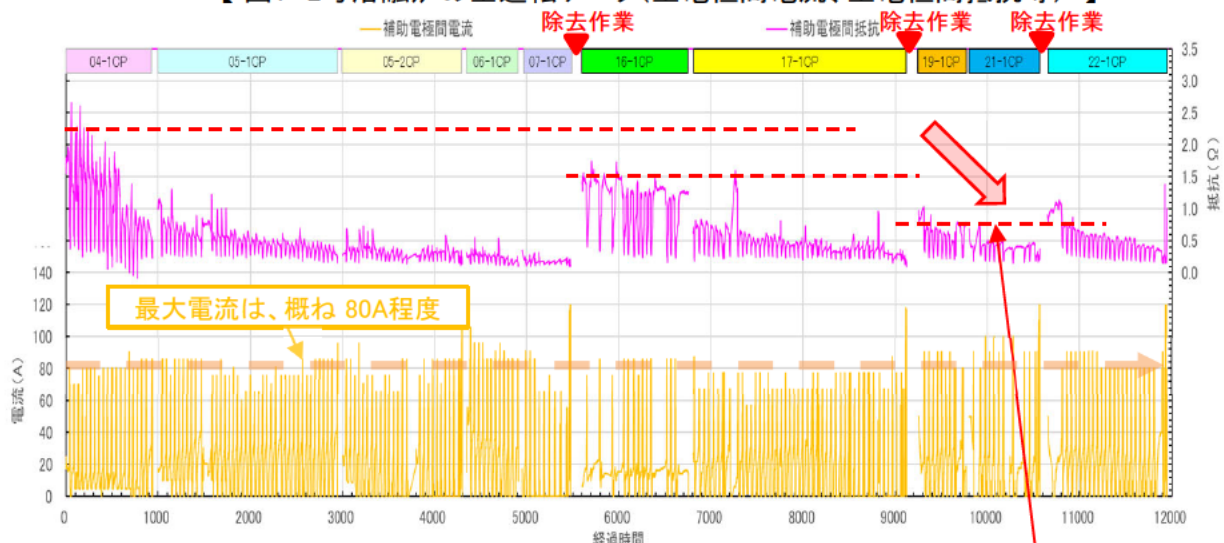
このことから、2号溶融炉の全運転データ(04-1CP～22-1CP)及びガラスカレットから運転を開始した2号溶融炉での最初の運転(04-1CP)初期と残留ガラス除去後の運転(16-1CP、19-1CP、22-1CP)初期における運転データを比較。

溶融炉の運転状況(ガラス温度、主電極電流/抵抗等)の変化が顕在化し始めた時期等を調査した結果、以下の通り変化の兆候を抽出した。

- A) 19-1CP～21-1CP及び22-1CPでは、運転初期から主電極間抵抗が低下傾向を示し、主電極間電流が上昇している(図1)。
- B) 残留ガラス除去後の運転(16-1CP、19-1CP及び22-1CP)初期の補助電極間抵抗を比べると、残留ガラスを除去しているにも関わらず、04-1CPから19-1CPまで補助電極間抵抗が段階的に低下し、19-1CP以降は変化がない(図2)。
- C) 19-1CP～21-1CP及び22-1CPでは、炉底補助加熱時の補助電極A側(東側)温度が低下し、補助電極B側(西側)温度が上昇したことで、補助電極A、B(東西)の温度差が減少している。



【図1 2号溶融炉の全運転データ(主電極間電流、主電極間抵抗等)】



【図2 2号溶融炉の全運転データ(補助電極間電流、補助電極間抵抗)】

残留ガラス除去後の補助電極間抵抗が段階的に低下している。

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(1/10)

A) 運転初期から主電極間抵抗が低下傾向を示し主電極間電流が上昇している要因

推定要因	調査内容 【推定を説明するために何が必要なのか、何を確認するのか】	調査結果 【左記の調査結果からの考察】	運転データを変化させた可能性	
堆積物の影響	堆積物の成長により、主電極間抵抗が低下し、回り込む電流が上昇した。	数値解析により、主電極間抵抗が低下する白金族元素の堆積位置、主電極間抵抗が低下傾向を示す白金族元素の堆積位置を確認する。	感度解析の結果、東西側壁面(垂直部)の帯状堆積物の成長に伴い、通電経路が形成すると、主電極間抵抗が低下することが確認された。また、補助電極上端よりも上に通電経路が存在すると主電極間抵抗が低下することが確認された。	○
	22-1CP後の炉内観察で東西側壁面に付着物を確認したことから、この付着物が流下重量(液位)と主電極間電流の関係に寄与している。	感度解析の結果を踏まえ、運転データ(流下重量(液位)と主電極間電流の関係)から、東西側壁面の堆積物が主電極間抵抗を低下させる影響について要因の絞り込みを行う。	東西側壁面に付着した堆積物が熔融ガラスに浸り、主電極間電流の回り込みが大きくなるようなガラスレベルが高い場合と、気相部に露出し回り込みが少なくなるガラスレベルが低い場合において、04-1CPから22-1CPにおける主電極間電流の差を評価したが有意な差はないことから、主電極間電流が他のCPに比べて上昇した主要因ではないと判断した。	×
	17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も抵抗の低い箇所が存在し、通電パスとなった。	補助電極A、Bの温度差の評価の結果、西側炉底傾斜面上部に通電経路が存在している可能性があることから、過去の運転終了後の炉内観察の映像について、西側炉底傾斜面への堆積物の兆候について確認する。	17-1CP後の炉内観察映像の確認の結果、21-1、22-1CPに比べて小さいものの、西側炉底傾斜面上部中央に残留ガラスが存在していることを確認したことから、17-1CP終了時には西側炉底傾斜面上部に主電極間抵抗を低下させる通電経路が形成されていた可能性がある。	△
		17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も通電経路が存在している可能性があることから、除去作業の未実施箇所がある可能性について確認する。	カメラ映像での確認の他、除去装置の工具座標(x,y,z)を用いて、熔融炉の設計寸法を基に残留ガラス除去作業前後の残留ガラスの高さ(傾斜面に対し垂直方向に5mm以内)を評価することで残留ガラス除去の未実施箇所が生じないよう確認していることから、影響は小さい。	×
		17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も通電経路が存在している可能性があることから、ニードルスケーラを用いた残留ガラス除去作業の検証のため、MU3号熔融炉で作業時間をパラメータにしたはつり試験を行い、炉底部の白金族元素の残留可能性について確認する。また、採取した試料の組成分析を行う。	MU3号熔融炉のレンガに対してニードルスケーラの除去作業を実施したところ、除去作業によりガラス表面が粗くなると白く見えるようになるが、薄くガラス(堆積物)が残存している	○
高濃度の白金族元素が凝集した堆積物はニードルスケーラでは除去できず、除去作業を実施しても白金族元素が残存し、通電経路となる。	ニードルスケーラによる高濃度白金族元素の除去の可否の検証のため、高濃度の白金族元素を付着させたK3レンガのはつり試験を行い、ニードルスケーラでの除去の可否、難易度等について確認する。	高濃度及び低濃度の白金族元素を含むガラスを付着させたレンガについて、はつりに要する時間(難易度)について試験を実施したところ、手でニードルスケーラを当てた箇所は、ガラスは剥がれ落ち、濃度によるはつりの難易度に有意な差はなかった。レンガ表面に白金族元素濃度の高いガラスが残存した場合の導通の有無について実験により確認したところ、レンガ表面に白金族元素濃度の高いガラス(約7 wt%)が薄く残存した箇所でも導通を確認した。現在、ガラスの表面について観察中。	○	
レンガ表面の凹凸の影響	レンガ表面の凹部に堆積した白金族元素が残留ガラス除去後も残存する可能性を確認する。	ガラス固化体製造 117 本時点における炉内の形状計測結果に基づき評価した耐火レンガの侵食量より、炉底傾斜面上部の耐火レンガの侵食量は 1~5 mm 程度と推定している。また、ニードルスケーラによる除去作業では、レンガ表面(設計寸法)より 1~2 mm 程度は残留ガラスが残存する可能性があることから、残存する残留ガラスの厚みは、最大 5~7 mm 程度となる可能性がある。	○	
	レンガ表面の凹部に堆積した白金族元素を見落としている可能性があるか確認する。	残留ガラス除去の終了の判断の一つとして、カメラ映像により残留ガラス(黒色部)が残っていないことを確認するものの、ガラスが残存している場合でもニードルスケーラを当てた後は表面が白く見えるため、薄くガラス(堆積物)が残存している可能性がある。	○	
	レンガ表面の凹部に堆積した高濃度の白金族元素が主電極間抵抗の低下に影響する可能性を確認する。	西側炉底傾斜面上部の残留ガラス(堆積物)中の白金族元素(RuO2)濃度は、残留ガラス表面で約 8 wt%、内部で約 15 wt%であったことから、レンガ表面に近づくにつれ、さらに高濃度になっていると推定している。感度解析や高濃度の白金族元素を付着させた模擬試料の電気抵抗測定の結果、濃度が高ければ、厚みが薄くとも十分主電極間抵抗を低下させる可能性がある。	○	

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(2/10)

推定要因		調査内容 【推定を説明するために何が必要なのか、何を確認するのか】	調査結果 【左記の調査結果からの考察】	運転データを 変化させた 可能性
主電極間電力の調整	主電極間電力の調整により主電極電流が上昇した。	運転データの確認 ・主電極間電力の推移	11バッチ以降の0.5kW下げた調整を踏まえても、旧電力盤と同等の電力が印可されており、影響はない。	×
Na ₂ O含有率の変動	供給する廃液中のNa ₂ O含有率が高くなり、熔融ガラスの比抵抗が低下し、主電極間電流が上昇した。	運転データの確認 ・受入廃液の元素分析記録 ・全酸化物(WO)とNa ₂ Oの比 ・受入槽、濃縮器の液量管理状況	供給した廃液のNa ₂ O含有率は10±5%に管理されており、影響はない。	×
白金族元素濃度の変動	供給する廃液中の白金族元素濃度が徐々に高くなり、比抵抗が低下し、主電極間電流が上昇した。	運転データの確認 ・受入廃液の元素分析記録 ・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録) ・熔融ガラスのサンプリング結果	04-1CPと比較しても、供給した廃液の白金族元素濃度は従来どおりであることから影響はない。	×
ガラス温度の変動	ガラス温度の上昇により比抵抗が低下し、主電極間電流が上昇した。	運転データの確認 ・ガラス温度の推移	運転初期～中期までガラス温度は安定しており、影響はない。	×
運転パラメータの調整	流下中の主電極間電力の変更により、流下重量に応じて主電極間電流が変動した。	運転データの確認 ・流下中主電極間電力の推移	流下中に主電極間電力の操作の実績はないことから、影響はない。 また、運転データを詳細に確認した結果、データにばらつきがあり変化の傾向は認められなかった。	×
	主電極間電力、廃液の組成等の運転パラメータについて調整した。	運転データの確認 ・主電極間電力の調整の有無 ・廃液の組成の変動	22-1CPより、21-1CPの対策として主電極間電力を上昇させているが、旧電力盤を使用した過去のCPと同等になるように調整していることから影響はない。 なお、受入廃液についても、これまでのCPと比較して同様の組成であることから影響はない。	×
指示値のずれ	新旧電力盤において、投入電力指示値にずれが生じていた。	新旧電力盤において、表示した電力値と出力される電力に違いがあるか確認する。	主電極電力指示値のループ校正記録から指示値には問題はない。	×
レンガの目地の影響	レンガの目地等に白金族元素が侵入しており、炉底部の抵抗が低下して電流の回り込みが生じることで主電極間電流が上昇した。	17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も通電経路が存在している可能性があることから、目地部への白金族元素の侵入について、MU3号熔融炉から採取した試料の分析結果を確認する。	過去のMU3号炉の試験データより、レンガの目地等に入り込んだガラス中に白金族元素はほとんど分布していないことから、レンガの目地に主電極間電流が回り込むとは考え難い。	×



2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(3/10)

B) 補助電極間抵抗が段階的に低下する要因

推定要因		調査内容 【推定を説明するために何が必要なのか、何を確認するのか】	調査結果 【左記の調査結果からの考察】	運転データを 変化させた 可能性
Na ₂ O含有率の変動	供給する廃液のNa ₂ Oの含有率が高くなり、熔融ガラスの比抵抗が低下した。	運転データの確認 ・受入廃液の元素分析記録 ・全酸化物(WO)とNa ₂ Oの比 ・受入槽、濃縮器の液量管理状況	供給した廃液のNa ₂ O含有率は10±5%に管理されており、影響はない。	×
白金族元素濃度の変動	供給する廃液中の白金族元素濃度が徐々に高くなり、比抵抗が低下した。	運転データの確認 ・受入廃液の元素分析記録 ・廃液・ガラス原料供給記録(固化体組成記録) ・熔融ガラスのサンプリング結果	他のCPと比較しても、供給した廃液の白金族元素濃度は従来どおりであることから影響はない。	×
ガラス温度の変動	補助電極間に存在する熔融ガラスの温度が上昇し、比抵抗が低下した。	運転データの確認 ・ガラス温度の推移	炉底低温運転中は補助電極温度の高い方が820℃となるように補助電極間電流を調整していることから、運転操作における要因はない。	×
		補助電極間抵抗について、補助電極の平均温度を用いて、炉底部の温度の影響を調査する。	炉底補助加熱時の補助電極温度(東西補助電極温度の平均値)と補助電極間抵抗の関係を調査した結果、2号熔融炉の全運転データと同様に、補助電極温度が同程度であるにもかかわらず04-1CPから19-1CPまで補助電極間抵抗は段階的に低下し、19-1CPと22-1CPは同程度となったことから、炉底部のガラス温度の上昇による影響はない。	×
堆積物の影響	17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も抵抗の低い箇所が存在し、通電パスとなった。	17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も通電経路が存在している可能性があることから、除去作業の未実施箇所がある可能性について確認する。	主電極間電流の上昇(主電極間抵抗の低下)と同様	
	高濃度の白金族元素が凝集した堆積物はニードルスケーラでは除去できず、除去作業を実施しても白金族元素が残存し、通電経路となる。	17-1CP後や21-1CP後の残留ガラス除去作業後も通電経路が存在している可能性があることから、ニードルスケーラを用いた残留ガラス除去作業の検証のため、MU3号熔融炉で作業時間をパラメータにしたはつり試験を行い、炉底部の白金族元素の残留可能性について確認する。また、採取した試料の組成分析を行う。		
レンガ表面の凹凸の影響	レンガの侵食により生じた炉底部のレンガ表面の凹凸に堆積した高濃度の白金族元素が残存していることで主電極間電流が上昇する。	ニードルスケーラによる高濃度白金族元素の除去の可否の検証のため、高濃度の白金族元素を付着させたK3レンガのはつり試験を行い、ニードルスケーラでの除去の可否、難易度等について確認する。		
		レンガ表面の凹部に堆積した白金族元素が残留ガラス除去後も残存する可能性を確認する。		
		レンガ表面の凹部に堆積した白金族元素を見落としている可能性があるか確認する。		

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(4/10)

C) 補助電極A、B(東西)の温度差が減少する要因

推定要因		調査内容 【推定を説明するために何が必要なのか、何を確認するのか】	調査結果 【左記の調査結果からの考察】	運転データを変化させた可能性
指標温度の変更	過去CPと比べて、炉底低温運転中の指標温度(820℃)を変更していた。	運転データの確認 ・炉底低温運転中の指標温度推移	炉底低温運転中は補助電極温度の高い方が820℃となるように補助電極間電流を調整していることから、運転操作における要因はない。	×
堆積物の影響(通電経路の存在)	残留ガラス除去作業後も、炉底傾斜面上部に通電経路が存在したことで炉底加熱中の通電経路となって、補助電極温度が変化した。	補助電極温度差が小さくなっている前後での炉内の状態を推定するために、運転データから炉底加熱時の補助電極温度の推移を調査する。	炉底加熱時の補助電極間温度と補助電極間抵抗の関係より、白金族元素濃度が同じであるにも関わらず、抵抗が低下していることから、残留ガラス除去作業を行っても、炉底傾斜面上部に主電極間抵抗を低下させる通電経路が存在していたと考えられる。	○
	残留ガラス除去作業後も、炉底傾斜面上部に抵抗の低い場所が残っており、通電経路となって主ノズル電流が回り込み、温度分布が変化した。	炉底傾斜面上部に通電経路が存在した場合の主電極間抵抗の変化について、運転データ等により確認する。	19-1CP以降、炉底加熱時の補助電極A(東側)の温度が低下し、A,B(東西)の温度差がなくなっていることから、主ノズル間電流の多くが西側寄りに流れていると推察される。この場合、西側傾斜面上部に主電極間抵抗を低下させる通電経路が存在している可能性がある。	○

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

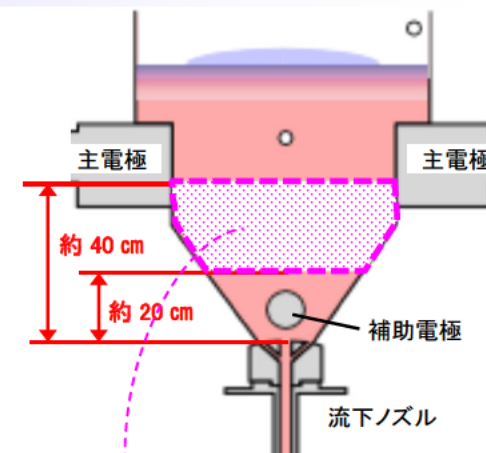
2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み (5/10)

A) 運転初期から主電極間抵抗が低下傾向を示し主電極間電流が上昇している要因

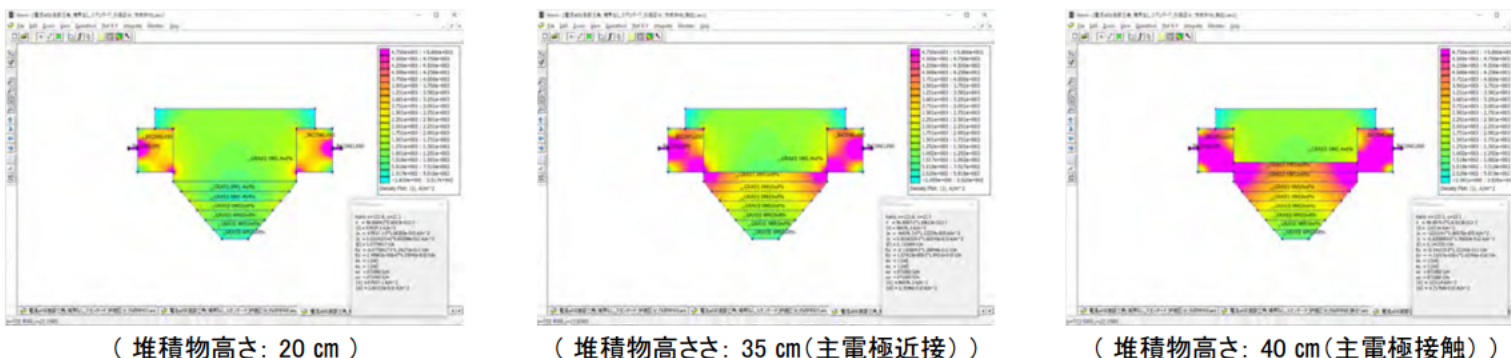
○ 炉底傾斜面に通電経路(堆積物)が存在する場合の解析結果

- ✓ 炉底傾斜面にどの程度まで堆積物が形成される(溜まってくる)と主電極間抵抗に影響してくるのか確認するため、堆積物の炉底からの高さを変えて感度解析を行った。
- ✓ この結果、**補助電極上端よりも上部まで堆積物が形成されると、主電極間抵抗が低下**する(影響が大きくなる)ことが示唆された(図1)。また、炉底傾斜面上部(補助電極上端よりも上部)にのみ堆積物が存在した場合であっても、主電極間抵抗が低下することが確認された(図2)。

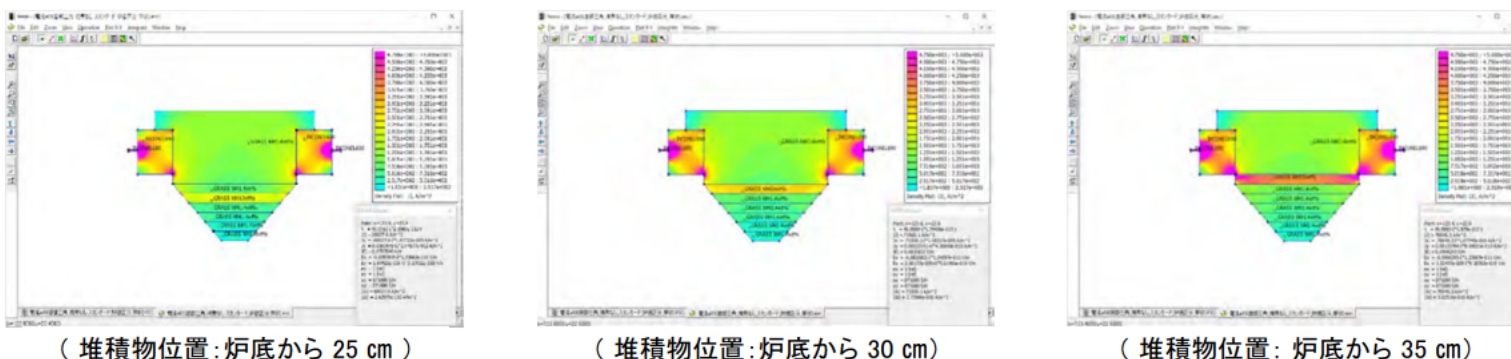
- ↓
- ✓ 主電極上端より上部の東西側壁面(垂直部)に確認された堆積物は運転初期から主電極間電流を大きくさせた主要因ではなく、**炉底傾斜面上部(補助電極上端よりも上部)の範囲に主電極間抵抗を低下させる通電経路が存在**している可能性がある(図3)。



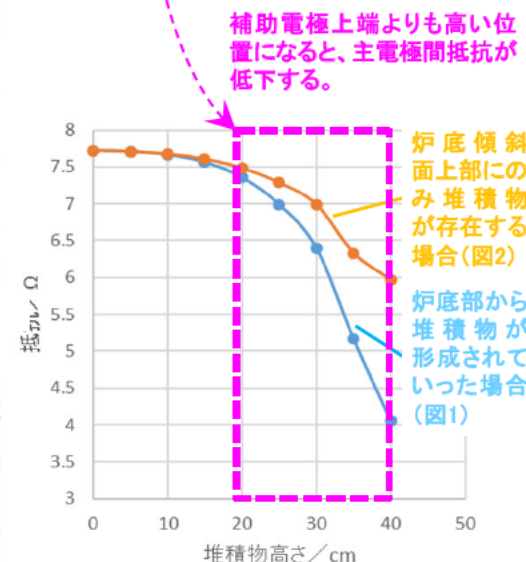
【図3 堆積物が主電極間抵抗に影響する範囲】



【図1 炉底部から堆積物が形成されていった場合の解析結果】



【図2 炉底傾斜面上部(補助電極上端よりも上部)にのみ堆積物が存在する場合の解析結果】



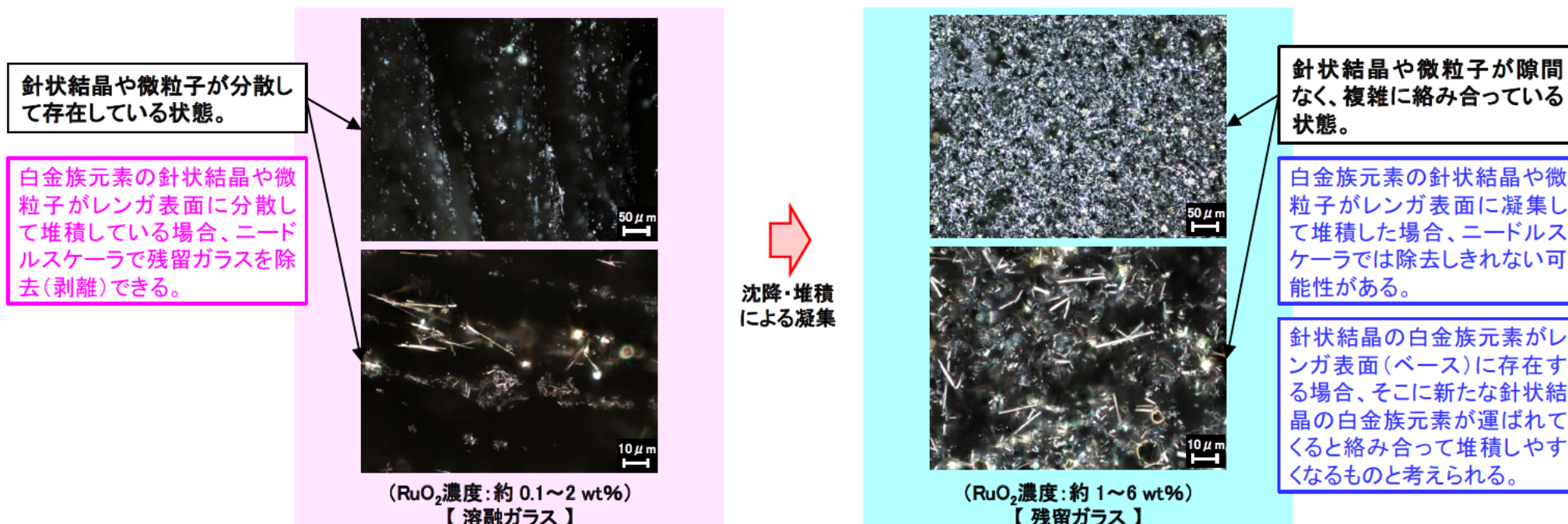
(堆積物高さと主電極間抵抗の関係)

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(6/10)

○ レンガ表面に残存した高濃度の白金族元素の可能性

- ✓ 白金族元素(RuO_2)は、ホウケイ酸ガラスに対して溶けにくく(溶解度: $< 0.1 \text{ wt}\%$)、密度が高い(RuO_2 : 7 g/cm^3 、ガラス: $2.5 \sim \text{g/cm}^3$)
 - ✓ 熔融ガラス中の白金族元素は、数 μm の針状結晶や微粒子が分散した状態で存在し、沈降・堆積等により凝集(針状結晶が絡み合う)することで炉底傾斜面(レンガ表面)に白金族元素を多く含む堆積物を形成していくものと考えられる(図1)。
 - ✓ また、21-1CPドレンアウト後の西側炉底傾斜面上部に確認された**残留ガラス(堆積物)中の白金族元素(RuO_2)濃度は**、サンプリングした残留ガラス(堆積物)表面で約 $8 \text{ wt}\%$ 、残留ガラス(堆積物)内部で約 $15 \text{ wt}\%$ と**表面に比べて内部の方が高くなる**傾向であった。
- ↓
- ✓ 西側炉底傾斜面上部に確認された残留ガラス(堆積物)のレンガ表面の白金族元素濃度は非常に高くなった(白金族元素の針状結晶や微粒子が凝集した)ものと考えられ、**残留ガラス除去作業の仕上げに用いるニードルスケーラでは、白金族元素が高濃度に凝集したガラス層を除去しきれない可能性がある。**



【 図1 光学顕微鏡による観察結果:過去に実施したコールド溶融炉の試験サンプル 】

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(7/10)

○ 残留ガラス除去作業(ニードルスケーラ)で白金族元素が高濃度に凝集したガラス層(堆積物)を除去しきれない可能性について

✓ 残留ガラス除去作業は、以下の手順で実施している。

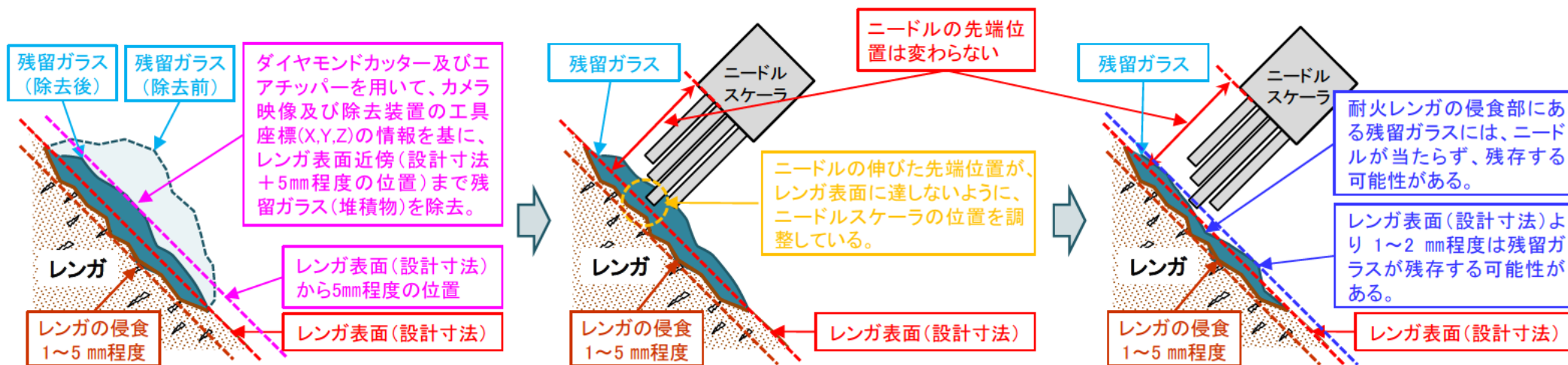
- ① レンガ表面付近(設計寸法+5mm程度の位置)までは、ダイヤモンドカッターを用いて残留ガラス(堆積物)に切り込みを入れた後、その部分をエアチッパーにて破碎することで、残留ガラス(堆積物)を除去する(図1)。
- ② 仕上げ作業として、ニードルスケーラを用いてレンガ表面に残った残留ガラスを除去する。この際、**レンガの損傷を抑えるため、ニードルの伸びた先端位置がレンガ表面(設計寸法)よりレンガ側に行かないようにニードルスケーラの位置を調整**している(図2)。



✓ **ニードルスケーラで位置調整を行いながらレンガ表面には接触しないように進めるため、レンガ表面(設計寸法)より1~2mm程度はガラス(白金族元素が高濃度に凝集したガラス層)が残存する可能性がある(図3)。**

✓ 運転の経過に伴い生じた**レンガの侵食部(凹部)***にもニードルが当たらず、**残存する可能性がある(図3)。**

※ 2号熔融炉では、現在までに224本のガラス固化体を製造している。また、ガラス固化体製造117本時点における炉内の形状計測結果に基づき評価した**耐火レンガの侵食量は、主電極下端側(炉底傾斜面上部付近)において1~5mm程度**であることが確認されている。



【 図1 ダイヤモンドカッター等による除去作業 】

【 図2 ニードルスケーラによる除去作業 】

【 図3 ニードルスケーラによる除去作業後 】

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

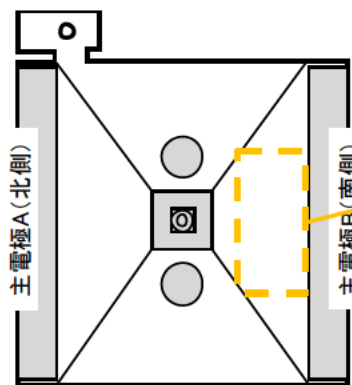
2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(8/10)

- ✓ 残留ガラス除去作業の終了判断は、ITVカメラ映像により残留ガラスが残っていない(黒く光沢が見える部分が無い)ことを確認している(図1)。
- ✓ コールドモックアップ溶融炉を用いたニードルスケラによるガラス表面状態の確認結果から、残留ガラス **除去作業前のガラス表面は、平滑であり、黒く光沢が見える**のに対して、**除去作業によりガラス表面が粗くなると白く見えるようになるが、薄くガラス(堆積物)が残存している**場合がある(図2)。

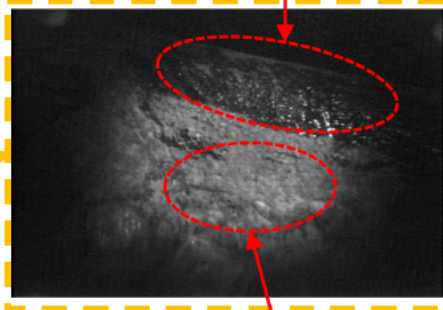
サンプルを取り出して観察等を行うため事前にレンガに切込みをいれている。

表面はガラスで覆われ、平滑であり、黒く光沢がある。

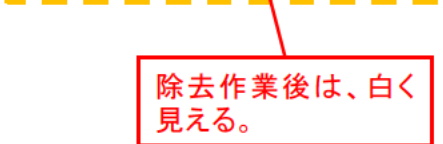
表面が粗く、白く見えるようになるが、レンガ表面にガラスが薄く残っている。



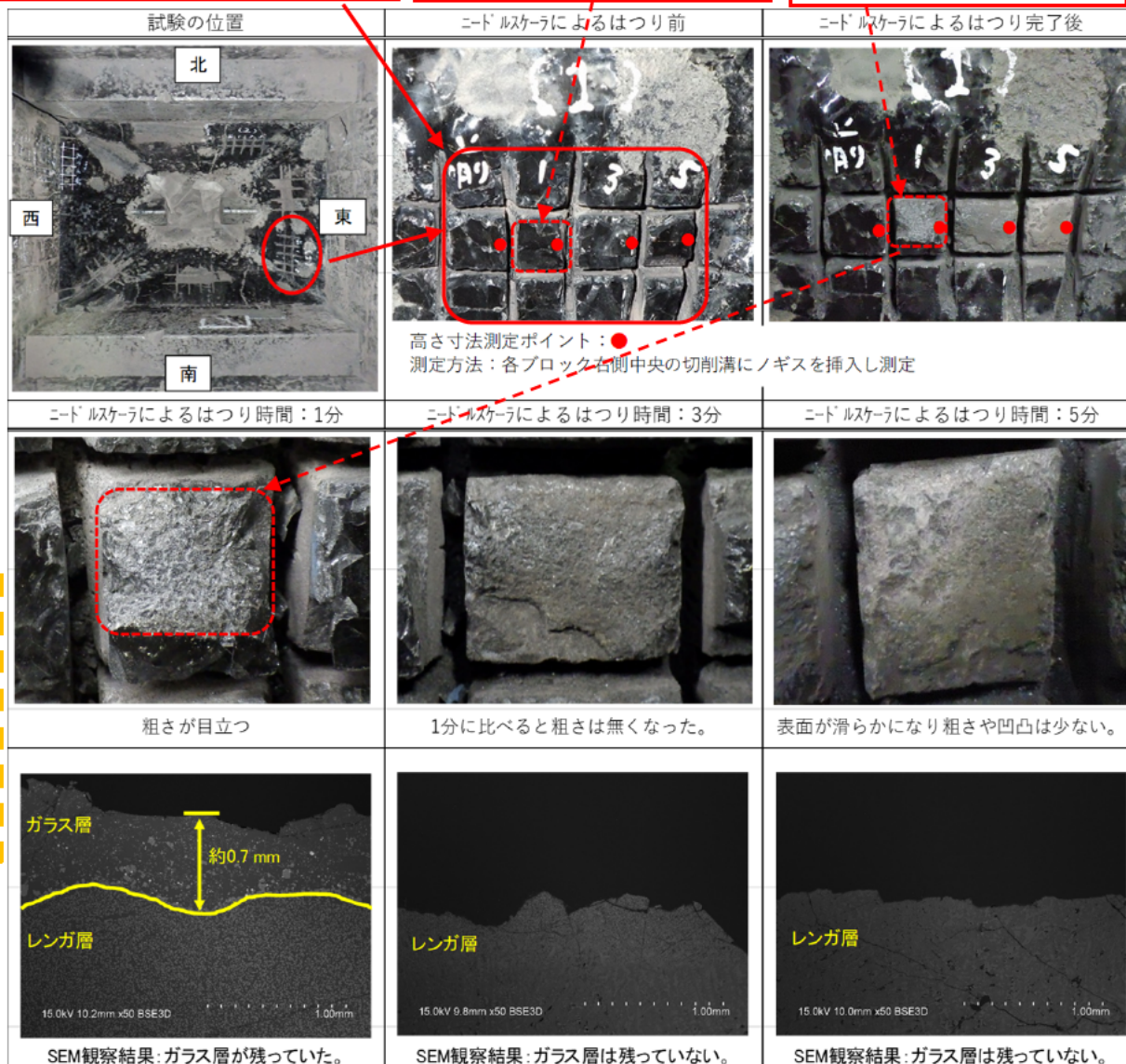
ガラスが残っている部分は、黒く見える。



除去作業後は、白く見える。



【図1 カメラ映像による残留ガラスの有無の評価】
(TVF2号溶融炉の残留ガラス除去作業における実際の映像)



【図2 除去作業によるガラス表面状態の変化】
(コールドモックアップ溶融炉を用いたはつり試験サンプルの観察写真)

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

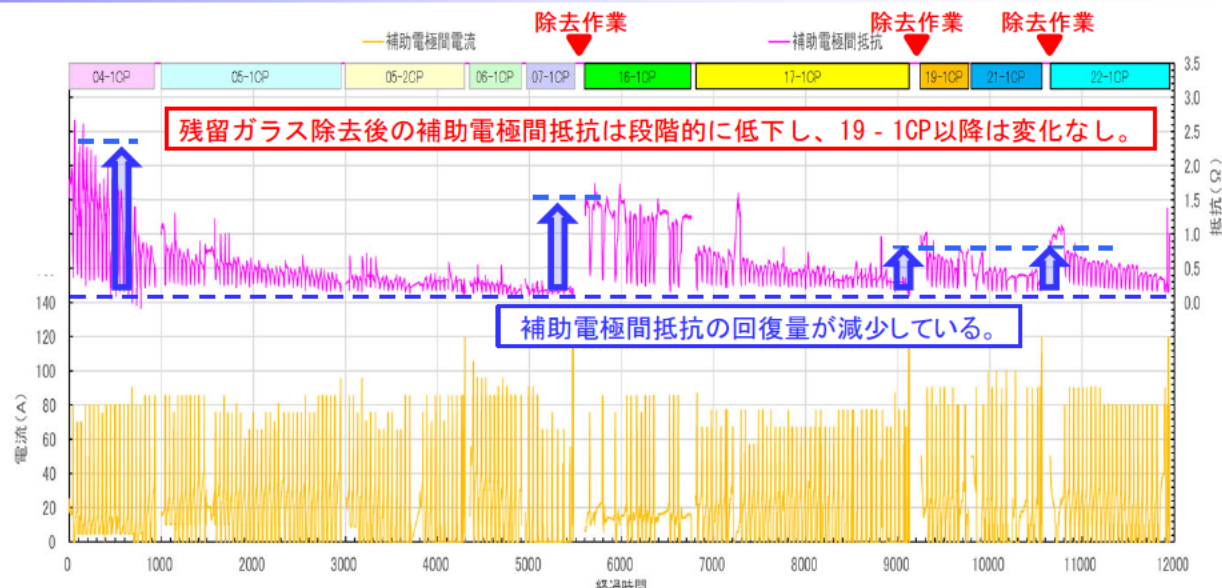
2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(9/10)

B) 補助電極間抵抗が段階的に低下している要因

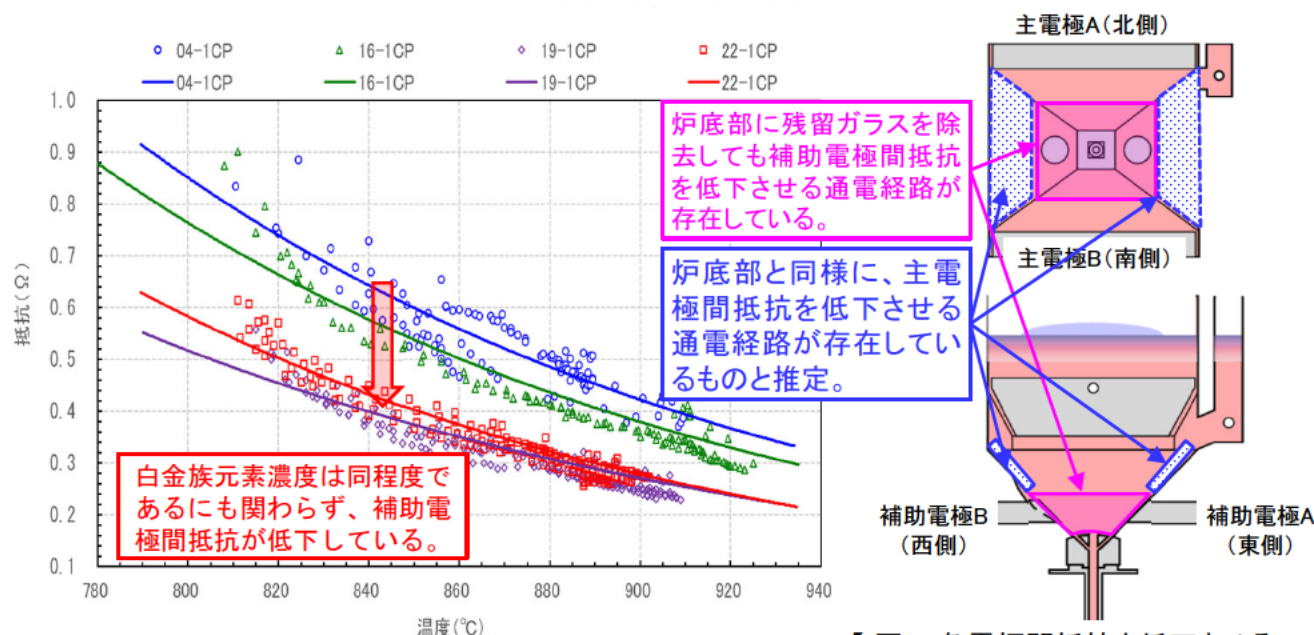
- ① 炉底部への白金族元素の沈降・堆積の影響が少ない2号溶融炉での最初の運転(04-1CP)初期と残留ガラス除去後の運転(16-1CP、19-1CP及び22-1CP)初期の補助電極間抵抗を比べると、**04-1CPから19-1CPまで補助電極間抵抗が段階的に低下し、19-1CP以降は変化がない(図1)。**
- ② 04-1CP、16-1CP、19-1CP及び22-1CPの運転初期における炉底加熱時の補助電極温度(東西補助電極温度の平均値)と補助電極間抵抗の関係では、ガラス中の白金族元素濃度が同程度であるにもかかわらず、段階的に抵抗が低下している(図2)。

✓ 残留ガラス除去作業後の補助電極間抵抗は完全には回復しておらず、**炉底部(補助電極間)に補助電極間抵抗を低下させる通電経路が存在している(図3)。**

✓ 主電極間抵抗に影響する**炉底傾斜面上部(補助電極よりも上部の傾斜面)においても、炉底部(補助電極間)と同様に、残留ガラス除去作業を行っても回復できない主電極間抵抗を低下させる通電経路が存在していた可能性がある(図3)。**



【 図1 2号溶融炉の全運転データ(補助電極間抵抗、補助電極間電流) 】



【 図2 炉底加熱時の補助電極温度と補助電極間抵抗の関係 】

【 図3 各電極間抵抗を低下させる通電経路が存在する範囲 】

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-4. 運転データの変化の要因を推定、絞込み(10/10)

C) 補助電極A、B(東西)の温度差が減少している要因

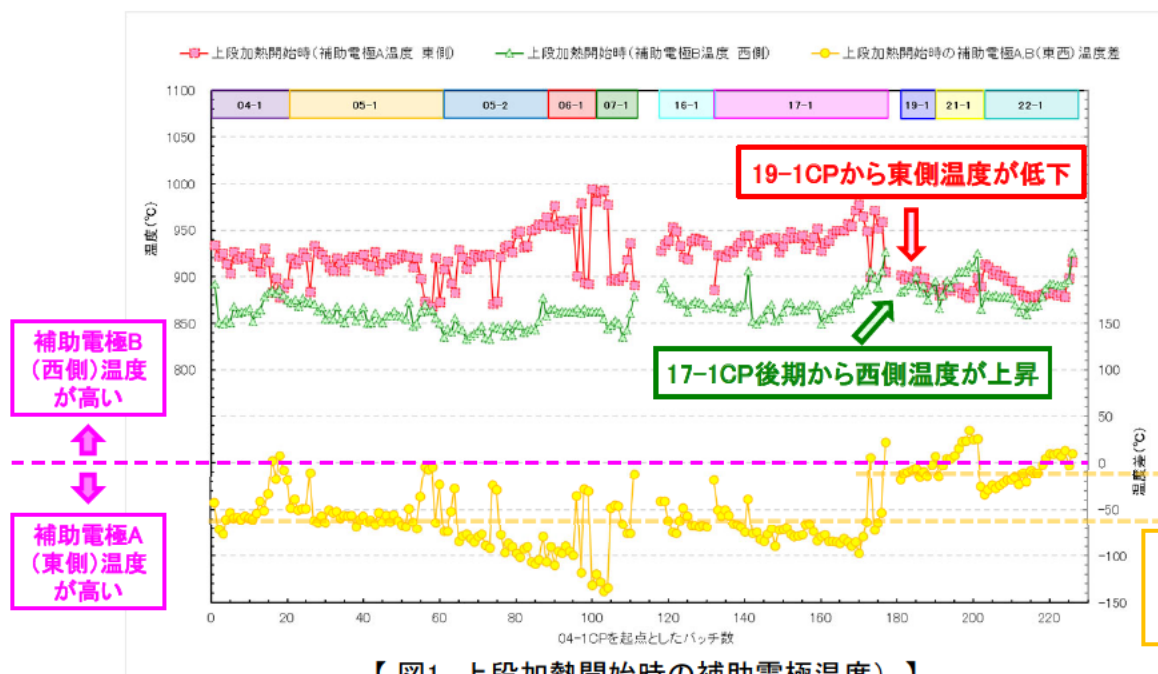
- ✓ 炉底部のガラス(補助電極)は、補助電極間通電及び主-ノズル間通電により温められる。
また、通常はレベラ槽があり耐火物が厚い補助電極A(東側)の方が補助電極B(西側)よりも高温となる傾向にあり、04-1CP~17-1CPまでは、補助電極A(東側)の温度の方が補助電極B(西側)よりも高い状態にあった(図1)。
- ✓ 17-1CP後期から補助電極B(西側)の温度が上昇するとともに、**19-1CP開始から補助電極A(東側)の温度が低下し、19-1CP以降、補助電極A、B(東西)の温度差がほとんどなくなった**(図1)。



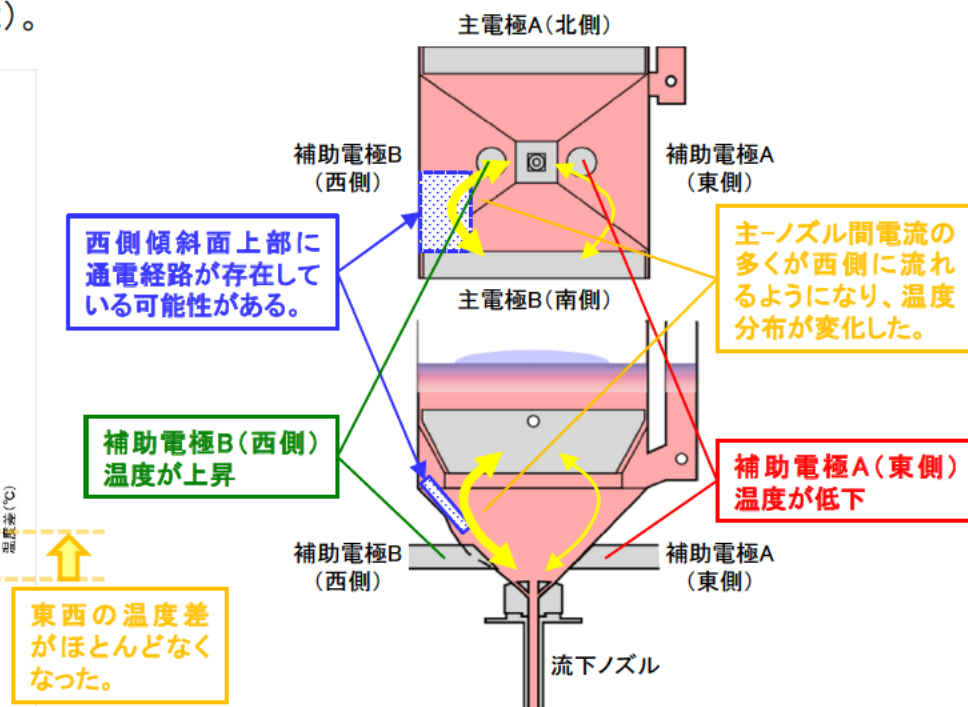
- ✓ 17-1CPまでは、補助電極A(東側)の温度の方が補助電極B(西側)よりも高い状態にあり、**主-ノズル間電流は東側寄りに多く流れていたが、19-1CP以降、主-ノズル間電流の多くが西側寄りに流れるようになり、ガラス温度の分布が変化したものと推察**(図2)。



- ✓ 主-ノズル間電流が西側寄りに多く流れるようになった要因として、残留ガラス除去作業を行っても回復できない**主電極間抵抗を低下させる通電経路が西側傾斜面上部に存在している**可能性がある(図2)。



【図1 上段加熱開始時の補助電極温度】



【図2 主-ノズル間電流の通電経路の推定イメージ】

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-5. シナリオを推定

【21-1CPドレンアウト後の残留ガラス除去】

- ・西側炉底傾斜面上部に南北の主電極を繋ぐ残留ガラス(堆積物)が確認された。
- ・**残留ガラス除去(ニードルスケーラ)では、西側傾斜面上部レンガ表面等に残存した白金族元素を除去しきれなかった。**

【22-1CP開始時】

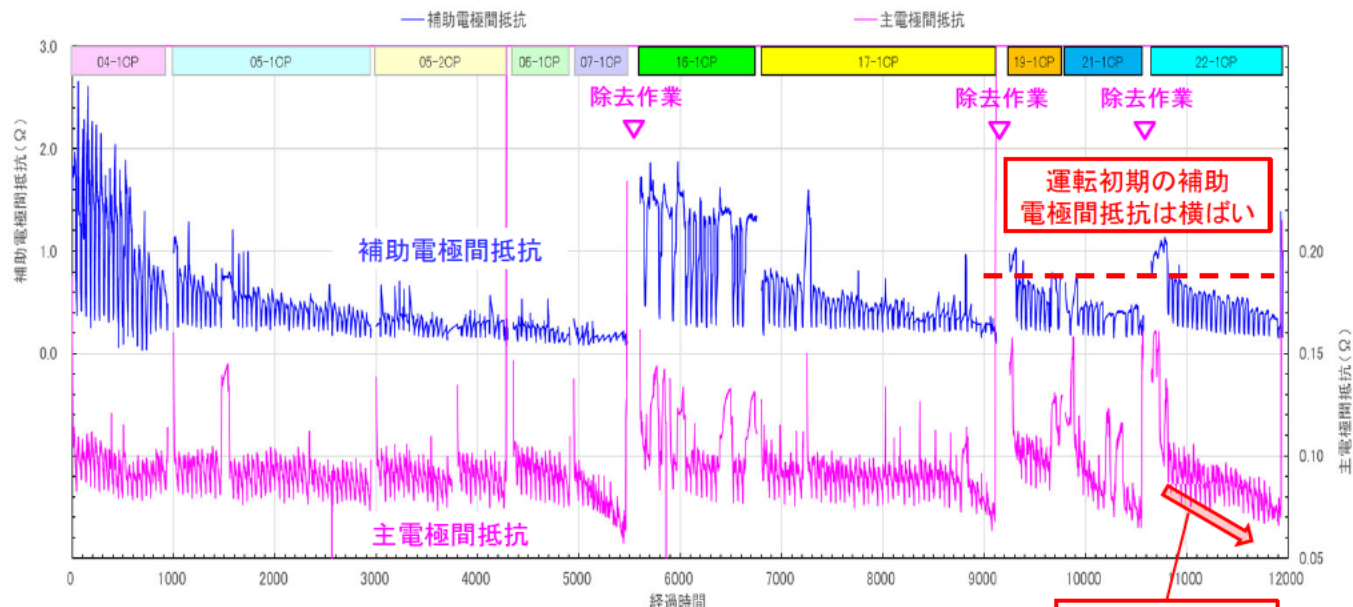
- ・西側炉底傾斜面上部に残存した白金族元素が主電極間の通電経路となり、主電極間抵抗が22-1CP運転初期から低下傾向を示した(図1、図2)。

【22-1CP運転中】

- ・西側炉底傾斜面上部に残存した白金族元素(堆積物)に主電極間電流が流れることにより、堆積物近傍の温度が上昇してガラスの流動が変わり、炉底低温運転中においても西側炉底傾斜面上部に多くの白金族元素が運ばれた(21-1CPと同様のメカニズムと推定)(図2)。
- ・西側傾斜面上部等に白金族元素が堆積していき、22-1CP開始から累積23本目で主電極間補正抵抗が管理指標まで低下したことから、ドレンアウトを実施した。

【22-1CPドレンアウト後】

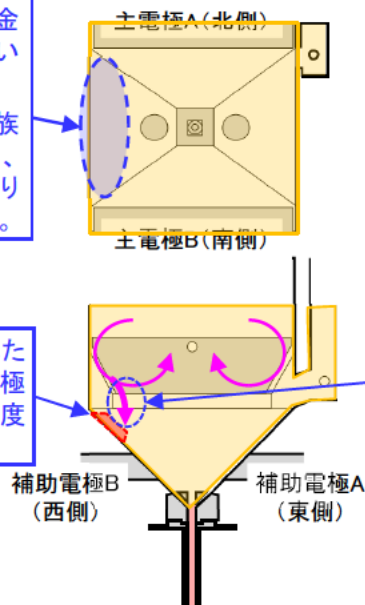
- ・21-1CPドレンアウト後と同様に、西側炉底傾斜面上部に南北の主電極を繋ぐ残留ガラス(堆積物)を確認した(図3)。



【図1 補助電極間抵抗と主電極間抵抗の推移】

レンガ表面等に白金族元素が残存していた。
残存している白金族元素がベースとなり、白金族元素が溜まりやすい状況にあった。

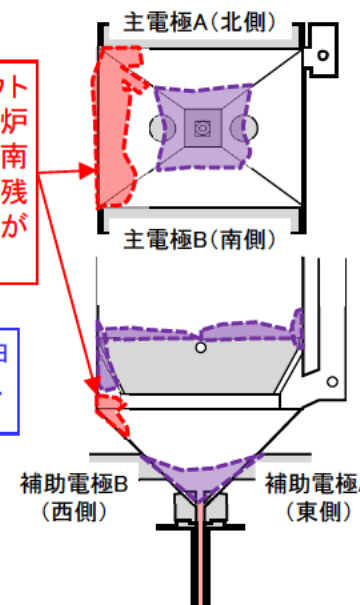
レンガ表面に残存した白金族元素に主電極間電流が流れて温度が上昇する。



【図2 22-1CP運転中】

21-1CPドレンアウト後と同様に、西側炉底傾斜面上部に南北の主電極を繋ぐ残留ガラス(堆積物)が形成された。

下降流が生じて、白金族元素が運ばれ、堆積していく。



【図3 22-1CPドレンアウト後】

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-6. 原因の推定及び対策の立案(1/2)

【原因の推定】

- ✓ 一度、レンガ表面に高密度に凝集した白金族元素が堆積してしまうと、現在の残留ガラスの除去作業(ニードルスケーラ)ではレンガの侵食部等に残存した白金族元素を除去しきれず、通電経路が形成される。
- ✓ この通電経路が主電極間通電に影響を及ぼす(主電極間抵抗の感度領域にある)炉底傾斜面上部に形成され、主電極間電流の一部が流れるようになると、通電経路近傍の温度が上昇してガラスの流動が変わり、炉底傾斜面上部に多くの白金族元素が運ばれて堆積し、主電極間抵抗が早期に低下する。

【対策の立案】

主電極間通電に影響を及ぼす(主電極間抵抗の感度領域にある)炉底傾斜面上部に白金族元素を堆積させない。



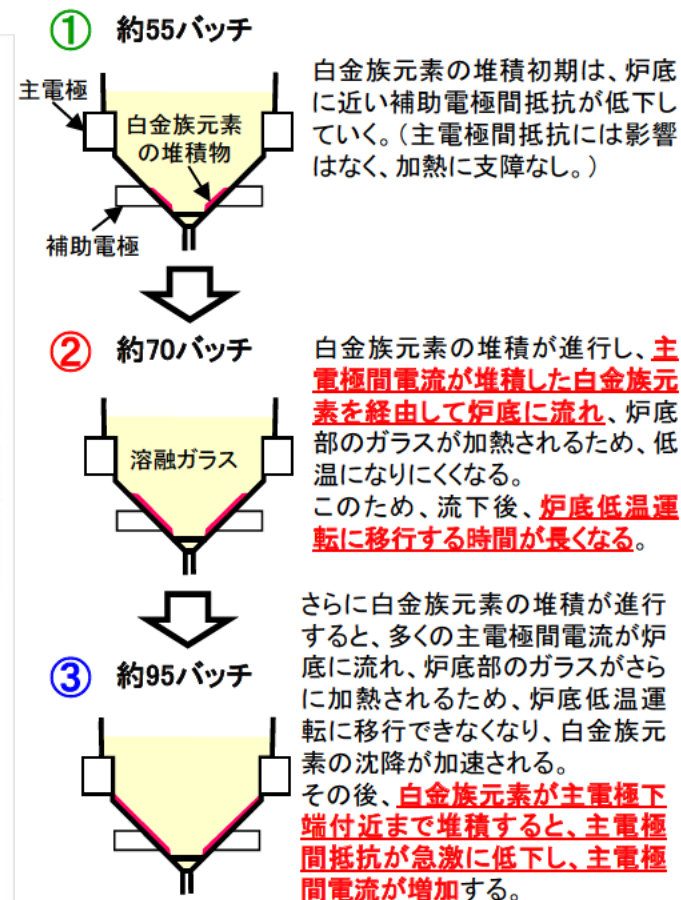
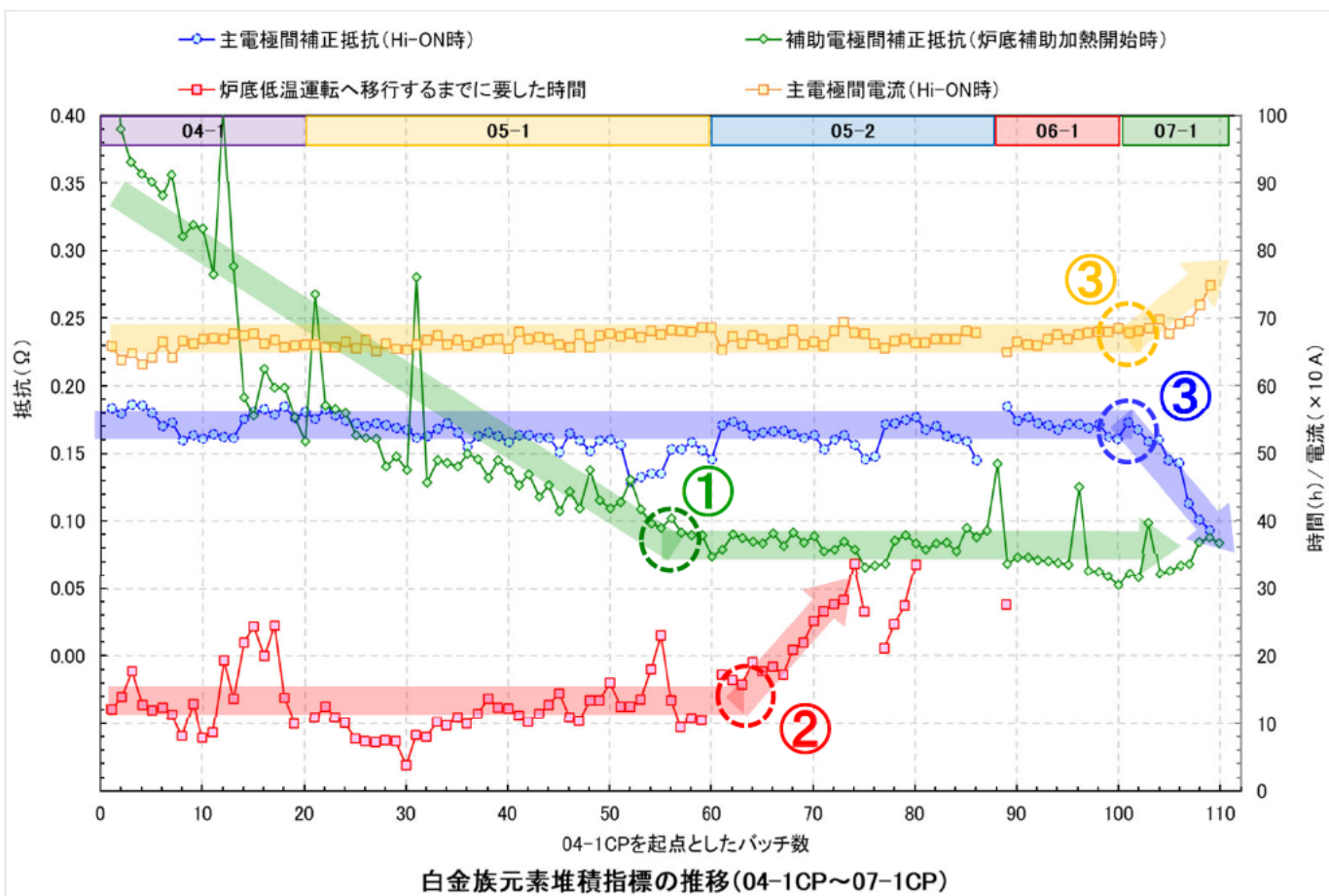
- (1) 19-1CPにて流下が途中停止し、再流下のために実施した炉底加熱により炉底部に沈降していた白金族元素が炉底傾斜面上部に運ばれて堆積したことが、今回の事象の起点になったものと考えられることから、流下が途中停止する事象の再発防止を図る。
- (2) 主電極間通電に影響を及ぼす(主電極間抵抗の感度領域にある)炉底傾斜面上部に、白金族元素を多く堆積させないような管理指標や検知方法の改善を図る(主電極損傷防止に加えて、堆積物量の低減を検討)。
- (3) レンガ表面の凹部等に残存した白金族元素を除去できるよう、残留ガラス除去作業の方法や手順、終了判断、除去装置等の改良などを図る。

2. 主電極間補正抵抗の低下に係る原因調査

2-6. 原因の推定及び対策の立案(2/2)

○対策例: 炉底傾斜面上部に白金族元素を多く堆積させないような管理指標や検知方法

- ✓ これまでの運転では、溶融炉保護(主電極損傷防止)のため、主電極間補正抵抗が管理指標まで低下したタイミング(③以降:主電極下端付近まで堆積)でドレンアウトに移行していた。
 - ✓ 主電極近傍の炉底傾斜面上部に白金族元素を多く堆積させないためには、**主電極間電流が炉底側に流れ始める位置まで白金族元素が堆積したことを検知**し、速やかにドレンアウトに移行する必要がある。
- ↓
- ✓ このため、新たな管理指標(検知方法)としては、主電極間電流が炉底側に流れ始めるタイミングとして、**炉底低温運転に移行する時間が長くなるタイミング(②)**が考えられる。

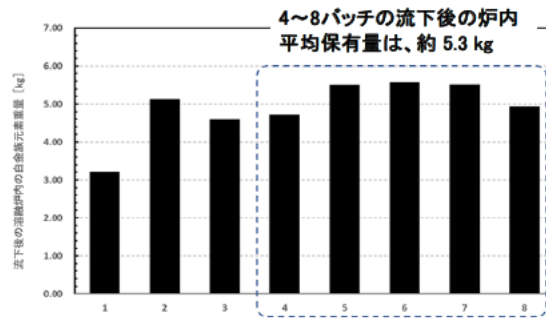


【 炉内白金族元素堆積の進行イメージ 】

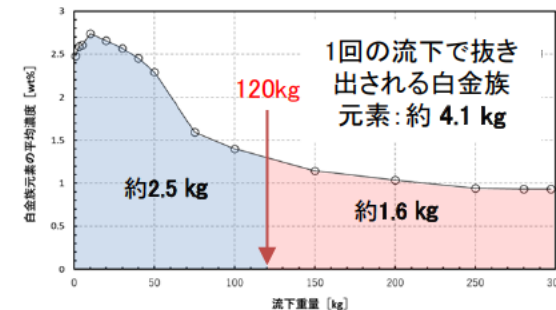
参考資料

【前々回(19-1CP)の8本目の流下停止事象(保持運転を含む)】

- ・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。



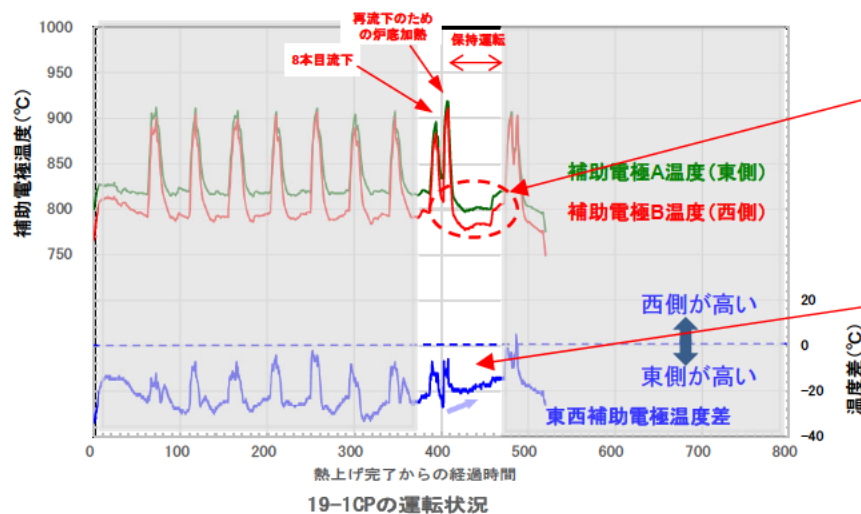
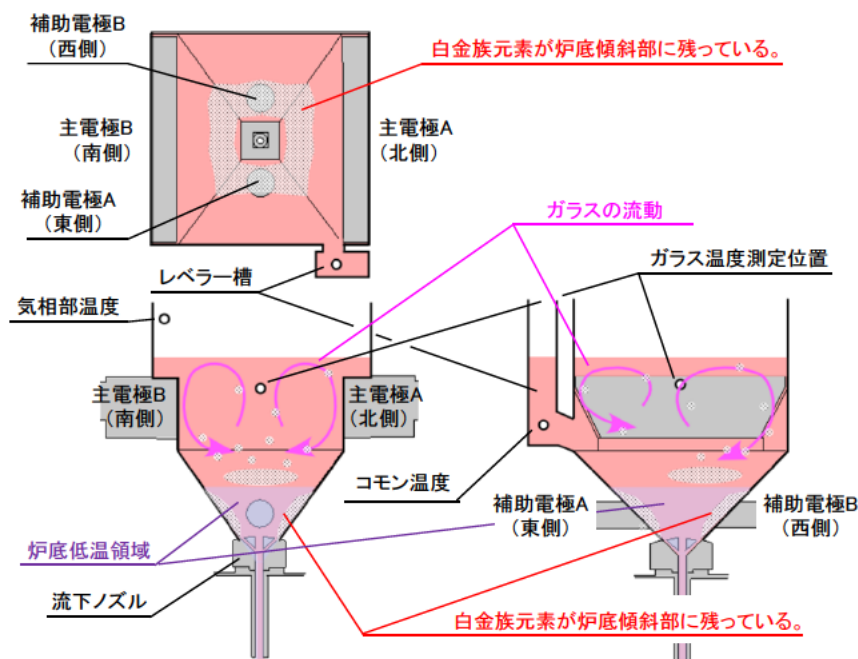
流下後の溶融炉内白金族元素重量
(2号炉コールド作動試験データ)



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。

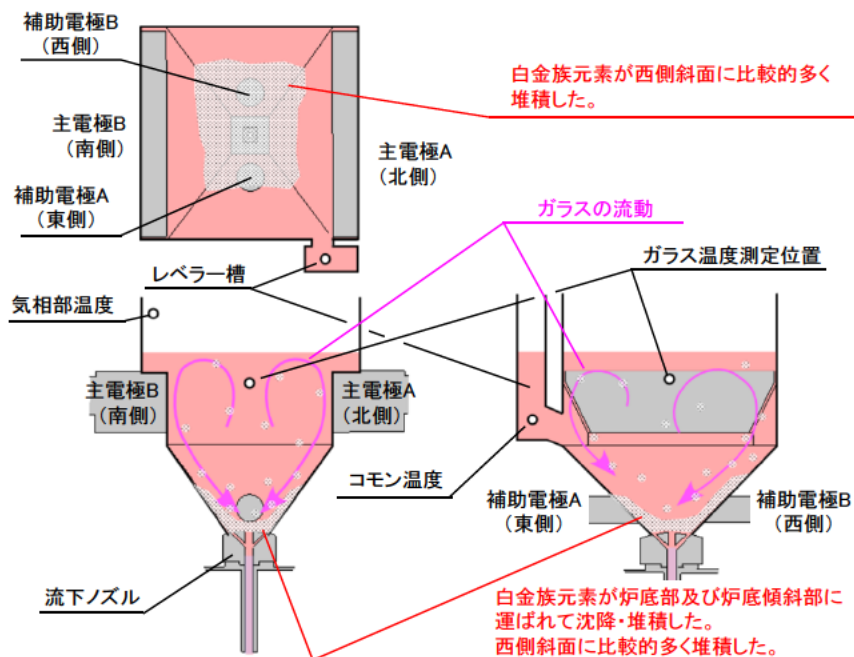
【流下途中停止後の保持運転(炉底低温)時の炉内推定イメージ】

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。

【前々回(19-1CP)の8本目の流下停止事象】 再流下に向けた加熱操作(流下できずに運転終了)

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。

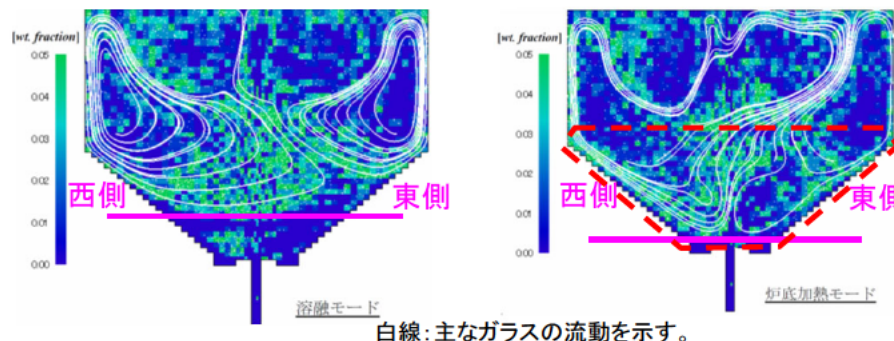


【再流下のための炉底加熱時の炉内推定イメージ】

ガラスを保持した状態での溶融炉停止

- ・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。

○炉内粒子流動解析

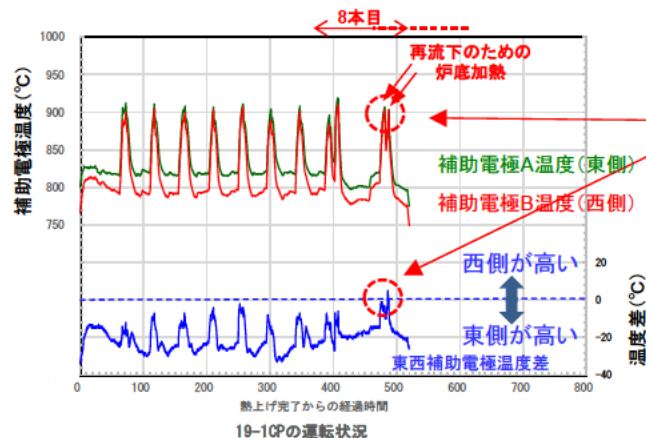


炉底低温運転時の流動
(炉底ガラス温度: 830°C)

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。

【西側傾斜面上部に白金族元素が堆積した場合の影響】

✓ 西側炉底傾斜面上部の堆積物近傍のガラス温度が高くなり(粘度が小さくなり)、西側傾斜面に向かって下降流が生じる。溶融ガラス中に滞留している白金族元素がこの下降流により西側炉底傾斜面上部に運ばれて、堆積を促進させたものと考えられる。

	堆積物無し	堆積物有り	解析結果
炉底傾斜面(表面)の温度分布			堆積物がある場合は、西側傾斜面上部の堆積物近傍のガラス温度が高くなる。
流動分布	<p>A-A断面の流動分布</p> <p>B-B断面の上下方向の流速分布</p>	<p>A-A断面の流動分布</p> <p>B-B断面の上下方向の流速分布</p>	<p>堆積物がある場合は、西側傾斜面に向かって下降流が生じる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・A-A断面の 部 ・B-B断面の 部

- ✓前回の運転(21-1CP)後の観察結果と同様に西側炉底傾斜面上部にガラスが残留していることを確認した。
- ✓南北主電極の上面及び主電極上端よりも上部の東西側壁面(垂直部)にも残留ガラス(堆積物)を確認した。

