

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6月6日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

- ✓ 前々回の運転(19-1CP)は、炉内の残留ガラスの除去作業(2回目:H30年10月～H31年1月)後にR元年7月から60本の製造目標で運転を開始した。
運転開始後、装置の不具合などはなく7本目の流下を終了したが、流下ノズルの傾きにより8本目の流下の際に流下ノズルが加熱コイルに接触し、漏電により流下が自動停止した(7本製造)。
その後、3回の再流下操作を試みたが同様の漏電により流下が自動停止したことから、溶融炉を停止した(R元年7月)。
- ✓ この対策として、加熱コイル径を拡大する等、クリアランスを確保した結合装置を新規に製作し、交換した上で運転を再開することとした(R2年2月:19-1CP終了)。
また、併行して、流下ノズルの傾きを防止する対策を講じた3号溶融炉の製作を進めるとともに、予備の結合装置を製作することとした。
- ✓ R3年7月に新規結合装置への交換を終え、前回の運転(21-1CP)は、R3年8月から60本の製造目標で開始した。
運転開始後、ガラス固化体取扱工程の蓋溶接機や閉じ込め確認検査などで複数の不具合が生じ、対応のため2回の溶融炉の保持運転※を行ったが、予め定めた手順に従い対応し、溶融炉の運転を継続した。
※ 溶融炉へガラス原料及び廃液供給を行わず、溶融炉の通電・加熱を維持した状態を保つ運転。
- ✓ その後、11本目で溶融炉保護のために設けている白金族元素の堆積管理指標(主電極間補正抵抗)まで低下したため、運転要領書に従い溶融炉内のガラスを全量抜き出し、R3年9月に溶融炉を停止した(13本製造)。
- ✓ 溶融炉の停止後、炉内観察を行い、西側炉底傾斜面上部に白金族元素濃度が高いと考えられる残留ガラスを確認した(R3年9月)ため、次回の運転(22-1CP)に向けて残留したガラスの除去作業(3回目)を行うこととした(R3年10月:21-1CP終了)。

✓ 復旧作業(炉内観察、残留ガラス除去作業): 早期運転再開、確実な原因除去を目指した。

- 炉内観察では、溶融炉付帯配管を取り外すことなく観察できる装置を新たに製作して期間を短縮した。
- 今回の残留ガラス除去作業では、過去の除去作業の振り返りから次の改善などを図った。
 - 作業効率に大きく影響するITVカメラについて、実績に基づき予備品を確保するとともに、劣化を低減する方策としてガラス除去時の振動対策を試行した。また、照明を広角に調整して視認性を向上させ作業の効率化を図った。
 - 固化セル内の高放射性固体廃棄物の搬出期間(R3年10月~11月)に計画していた除去装置の作動確認に合わせて、過去の不具合事象の対応を含む操作訓練を2交替体制で実施し作業者のスキルアップを図った。また、コロナ感染症対策や長期的な体制確保の観点から、新規作業員(5名)のスキルアップを図った。
 - 実作業においては、除去装置の座標表示機能を活用して残留ガラスの形状を詳細に把握して、作業の進捗管理や終了判断、白金族元素が早期に堆積した事象の原因究明に活用した。
 - また、各直の作業引継ぎにおいては、予備作業者を含めて丁寧な情報共有を図り、円滑に作業員が交替できるよう考慮した。
- 以上の対応により、作業期間中、大きな装置の不具合は無く、ほぼ計画どおり5月23日に残留ガラス除去作業を終了した。

✓ 前回運転の分析・対策

- 背景要因も含めた原因を特定した。
 - 前々回の運転(19-1CP)の運転データ等も含めた分析により、前々回の運転(19-1CP)での流下停止事象の影響も踏まえて事象の進展シナリオを推定した。
 - 推定した事象の進展シナリオの妥当性を検証するため、堆積した白金族元素を起点に堆積が進行する傾向について熱流動解析を行い、その結果が推定した事象シナリオと整合することを確認した。
 - また、運転操作を詳細に確認して白金族元素の堆積を助長した可能性がある要因(加速要因)を抽出した。

- これらを踏まえ、特定した原因や加速要因に対して、対策を立案し、対策を講じた。
- 原因究明や対策は、ワーキングチーム(機構内及びメーカ有識者から構成)により定期的にレビューしながら進めた。また、日本原燃とも定期的に情報を共有し進めた。
- 今回の原因究明などで得た知見は、次回の運転(22-1CP)での白金族元素の堆積状況の確認において活用していく。
 - 既存の堆積管理指標の改善: 主電極間補正抵抗、補助電極間補正抵抗のバラツキの抑制
 - 新たな堆積状況の監視項目: 主電極間電流の堆積物への回り込み傾向、ガラス温度の低下傾向
- これらの対策により、ガラス固化プロセスの信頼性の向上を図った。

✓ 保全活動、訓練

- ガラス固化処理運転を確実に進めるため、継続的に設備更新(高経年化対策)を進めてきている。
- 加えて、次回の運転(22-1CP)に向けて、前回の運転(21-1CP)以降に生じた不具合の是正処置を行った。
また、前回の運転(21-1CP)では溶融炉以降のガラス固化体取扱工程で多く発生したことを踏まえて、同工程で想定される不具合事象を重点的に再整理した結果や前回の運転(21-1CP)での気がかり事象に対して、ハード、ソフトの両面から対応を図った。
更に、ガラス固化体取扱工程の不具合で工程が渋滞した場合の溶融炉の保持運転期間を低減するため、搬送セル内のガラス固化体収納架台に仕掛りのガラス固化体を一時仮置くスペース(+2本分)を確保した。
- ガラス固化処理運転の確実な実行に向けて、機器の作動確認などの機会を活用して、上記の対応を含めた教育や操作訓練を実施し、運転員のスキルアップを図った。

✓ その他

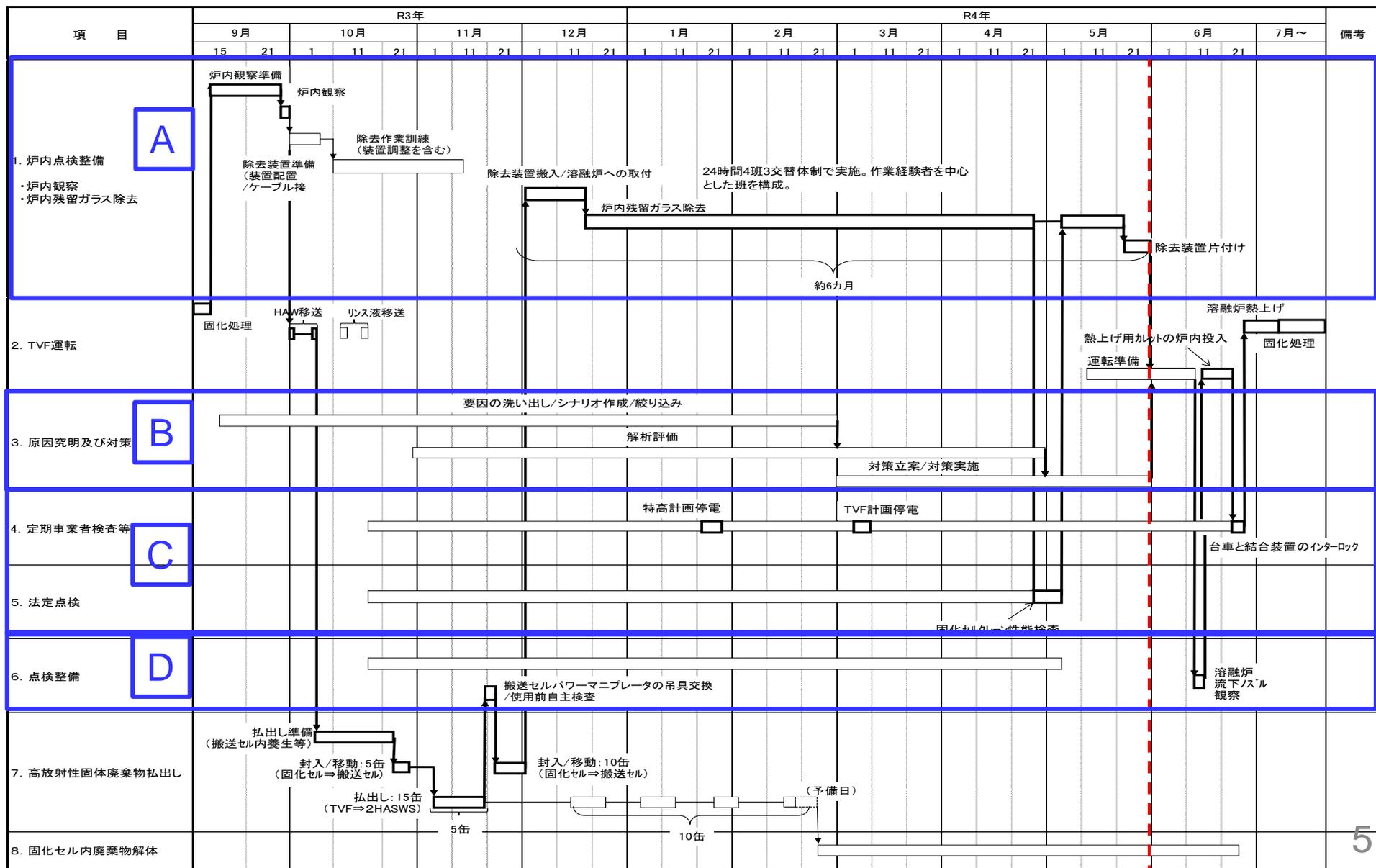
- ガラス固化処理の早期完了に向け、現行の2号溶融炉の運転状況により速やかに更新できるよう**3号溶融炉の準備を進めており、5月27日にメーカ工場において溶融炉天井部を除く部分の築炉を終了した。**
引き続き溶融炉ケーシングへの配管やサポートの組付け、ブスバーの組付けをメーカ工場で行った後、9月頃に核サ研のモックアップ試験棟に搬入する。
モックアップ試験棟では、作動試験に向け、溶融炉天井部の築炉や天板の取付けなどを行う(R5年2月頃完成の予定)。
なお、3号溶融炉への更新時期については2号溶融炉の運転状況を踏まえて調整する。
また、**予備の結合装置の準備を進めてきており、流下ノズルの傾きの計測結果に合わせて組立てを開始できる状態まで製作を完了予定(6月上旬)。**
- TVFの安全対策工事について、**地震・津波対策工事**(外壁補強工事、2次冷却水配管の補強、浸水防止扉の補強等)**を着実に進めており**、竜巻対策等の外部事象についても工事着手に向けて準備を進めている。

以上の取り組みにより、**次回運転(22-1CP)ではガラス固化体60本製造の確実な達成を目指す**とともに、運転データを積み上げて、必要な改善を図っていくなど、**早期のガラス固化処理完遂を目指す。**



1. 次回運転(22-1CP)に向けたスケジュール

令和3年12月2日作成
令和4年 5月24日改訂



A

✓ 溶融炉内点検整備(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及び炉底部の堆積ガラスの除去作業を実施した。
- 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36 kgと想定しており、5月23日までに約35.7 kgを回収した。
- 5月23日に炉内観察を行い、溶融炉内の残留ガラス除去の終了の基準を満たしていることを確認し、終了と判断した。

✓ 熱上げに向けた準備作業

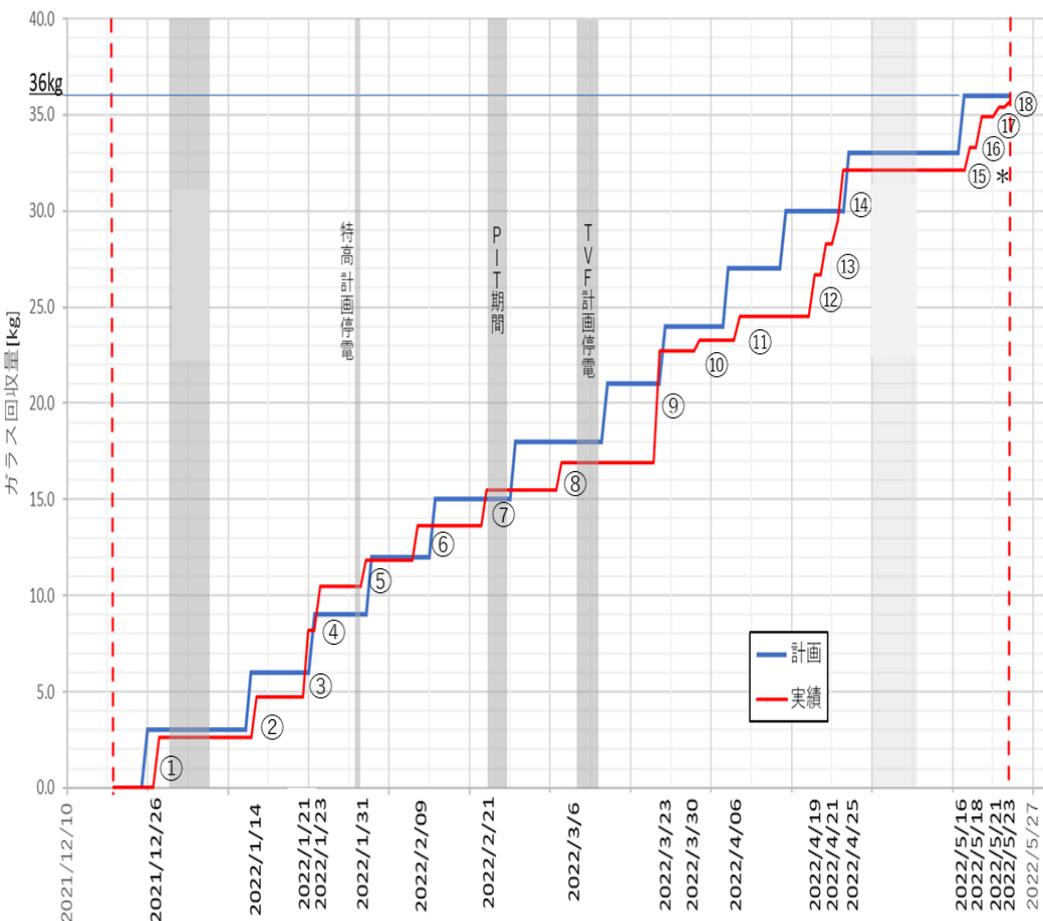
- ① 残留ガラス除去作業に伴い取り外していた溶融炉付帯配管等の復旧
 - ② 熱上げ用のガラスカレット(約600kg: ガラス固化体2本分)の炉内投入
 - ③ 流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確認
 - ④ 残留ガラス除去作業により実施できなかった定期事業者検査(台車と結合装置のインターロックの作動試験)の受検
- これらの作業の他、両腕型マニプレータ(G51M120)キャリッジのITVカメラに補修の必要が生じた(5月18日)。
 - 当該ITVカメラは遠隔操作に必須のカメラであり、先ずこの補修を行い、その後、熱上げに向けた運転準備を進め、R4年7月上旬頃の運転開始を目指す。

- ✓ 溶融炉内部の観察を行い、炉底部(炉底部補助電極間及び西側炉底傾斜面上部)に白金族濃度が高いと考えられる残留ガラスを確認した。
- ✓ 5月23日までに約35.7kg(約99%)の残留ガラスを回収した。

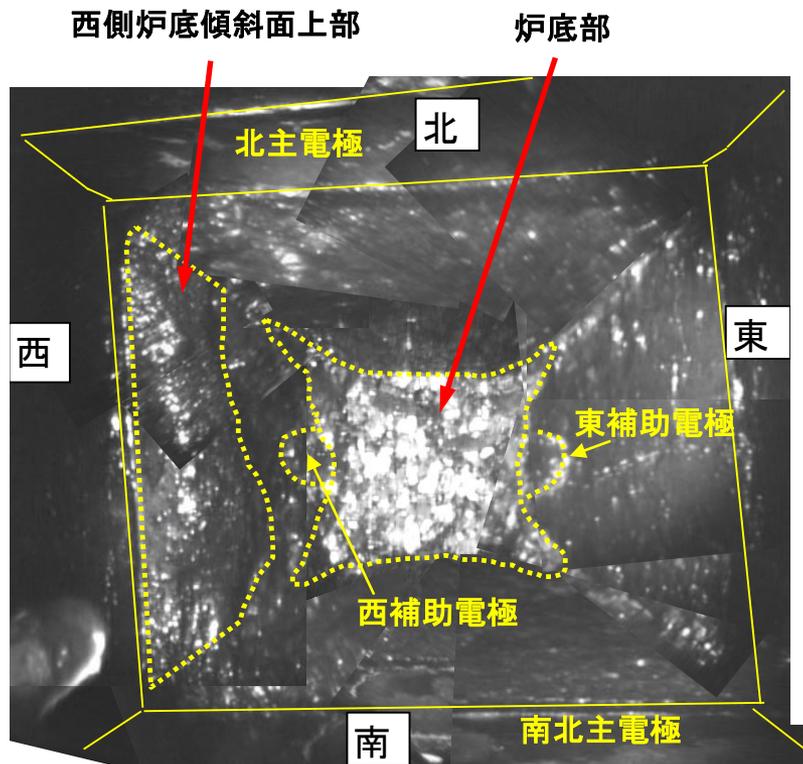
残留ガラス除去作業 ガラス回収量推移

2022/05/23 更新20

2021/12/10 新規作成



日付 ※5/4に回収済み。他作業との工程調整により測定は5/16に実施。



21-1CPドレンアウト後の炉内状況

残留ガラスの除去及び回収の状況



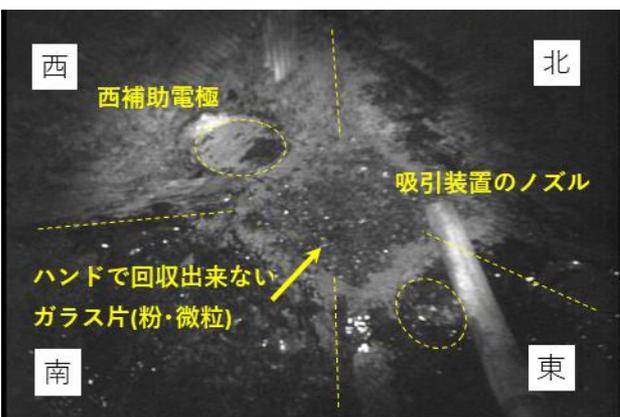
西側炉底傾斜面上部のはつり作業(R4.1.7)



西側炉底傾斜面上部のはつり作業(R4.1.18)



炉底部のはつり作業(R4.4.22)



炉底部の回収作業(R4.4.24)

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



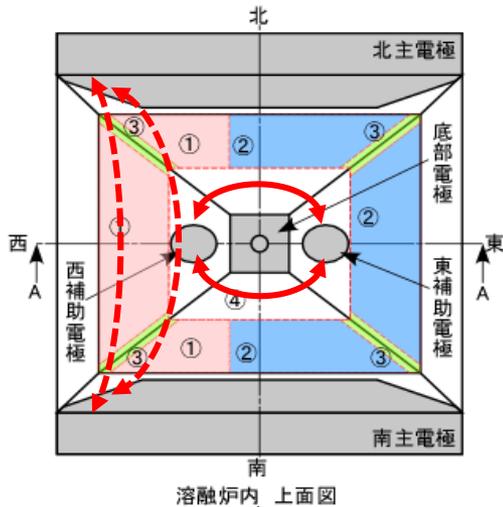
ニードルスケーラ ▶
(レンガ表面の仕上げ)

レンガ表面の残留ガ
ラスを除去する

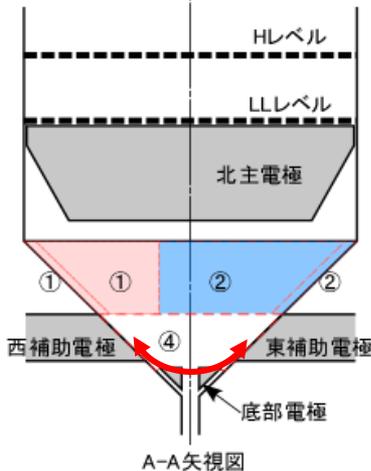


2. 残留ガラス除去作業(4/6)

- ✓ 終了の判断は、これまでと同様の判断基準(ITVカメラ映像によりガラスが残留していないこと、電極表面が確認できること、谷部が確認できること等)とした。
- ✓ 今回の残留ガラス除去作業では、これまでに経験のない西側傾斜面上部に残留ガラスの堆積が確認されたことから、終了判断は、この堆積状況を踏まえ、エリア分けを見直して判断する。



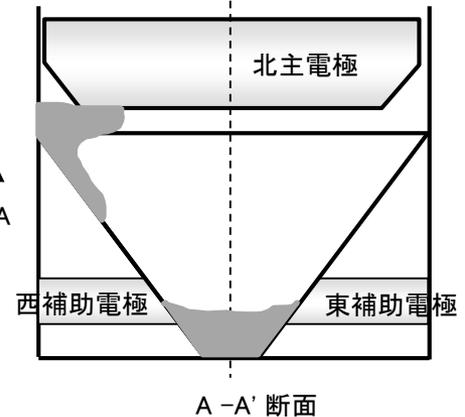
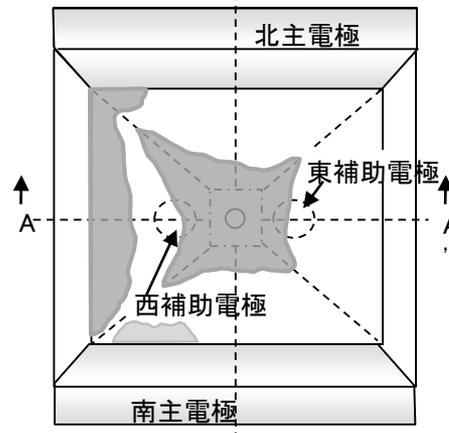
溶融炉内 上面図



A-A矢視図

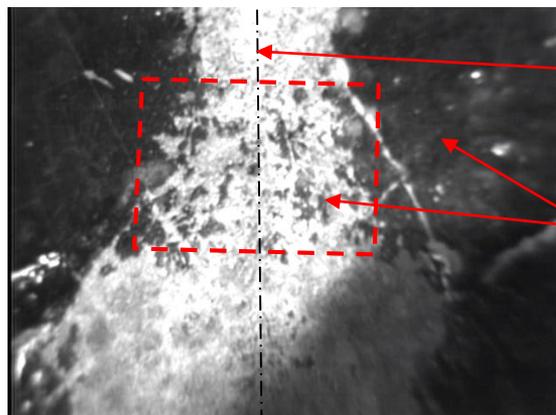
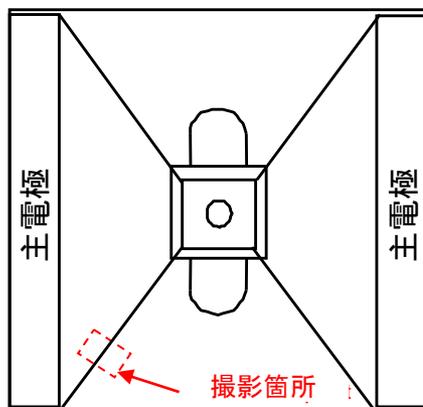
→ : 補助電極間電流回り込み
 - - - : 主電極間電流回り込み

エリア	除去の終了判断の観点	除去の終了判断基準
① 西傾斜面上部 南北傾斜面上部西	残留ガラスの堆積が確認され、前回の運転(22-1CP)時の主電極間抵抗の低下の原因(主要因)と考えている。	<ul style="list-style-type: none"> 炉壁表面(白または灰色に見える)が視認でき、残留ガラス(黒く見える)がないこと。 谷部の角部が視認でき、残留ガラス(黒く見える)が無いこと。
② 東傾斜面上部 南北傾斜面上部東	傾斜面全体に薄くガラス付着しているが、主電極間補正抵抗や補助電極間補正抵抗の低下には影響しない。	<ul style="list-style-type: none"> 炉壁表面(白または灰色に見える)が視認できること。 黒く見える箇所があったとしても、ガラスが薄く付着しているだけであり問題ないものとする。
③ 谷部	谷部に沿って上方に向かって堆積し、炉底部及びその周辺の残留ガラスと合わせて、主電極間抵抗が低下する原因となる。	<ul style="list-style-type: none"> 谷部の角部が視認でき、残留ガラス(黒く見える)がないこと。
④ 炉底部 (底部電極、補助電極周り)	炉底部(底部電極、補助電極周り)に堆積し、谷部や傾斜面に堆積したガラスと合わせて、主電極間抵抗や補助電極間抵抗が低下する原因となる。	<ul style="list-style-type: none"> 炉壁表面(白または灰色に見える)が視認でき、残留ガラス(黒く見える)がないこと。 補助電極、底部電極(金属面:インコネル材)が視認でき、残留ガラス(黒く見える)が無いこと。

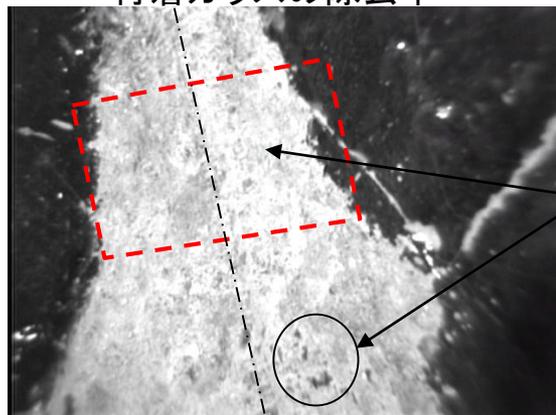


A-A'断面

残留ガラスの状況



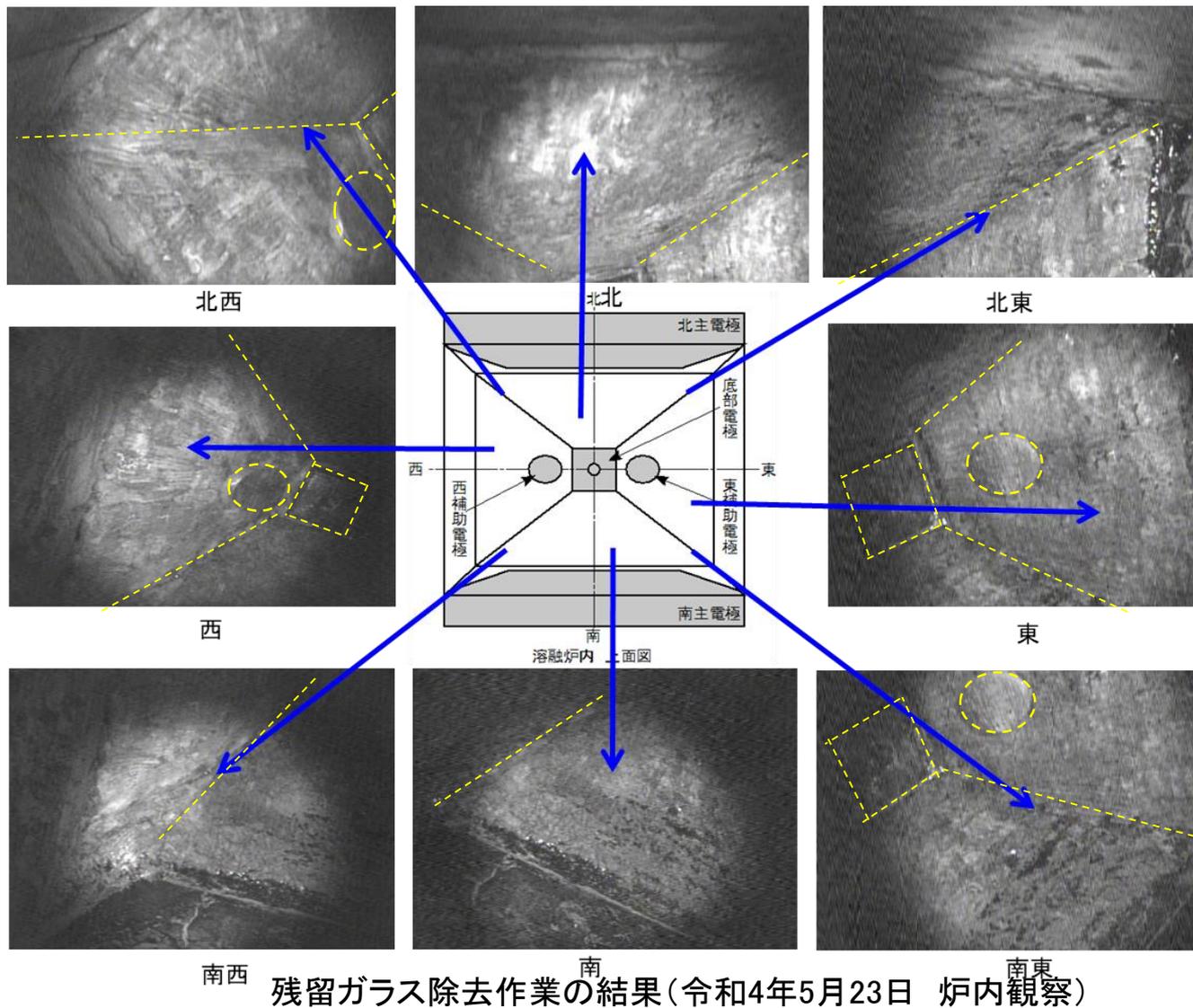
付着ガラスの除去中



付着ガラスの除去後

2. 残留ガラス除去作業(6/6)

✓ 5月23日に溶融炉内をITVカメラで確認し、除去作業の終了の基準を満たしていることを確認し、終了と判断した。



(1) 白金族元素が堆積した原因(1/8)

B

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

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。

19-1CP(前々回運転)

- 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。

21-1CP(前回運転)

- 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

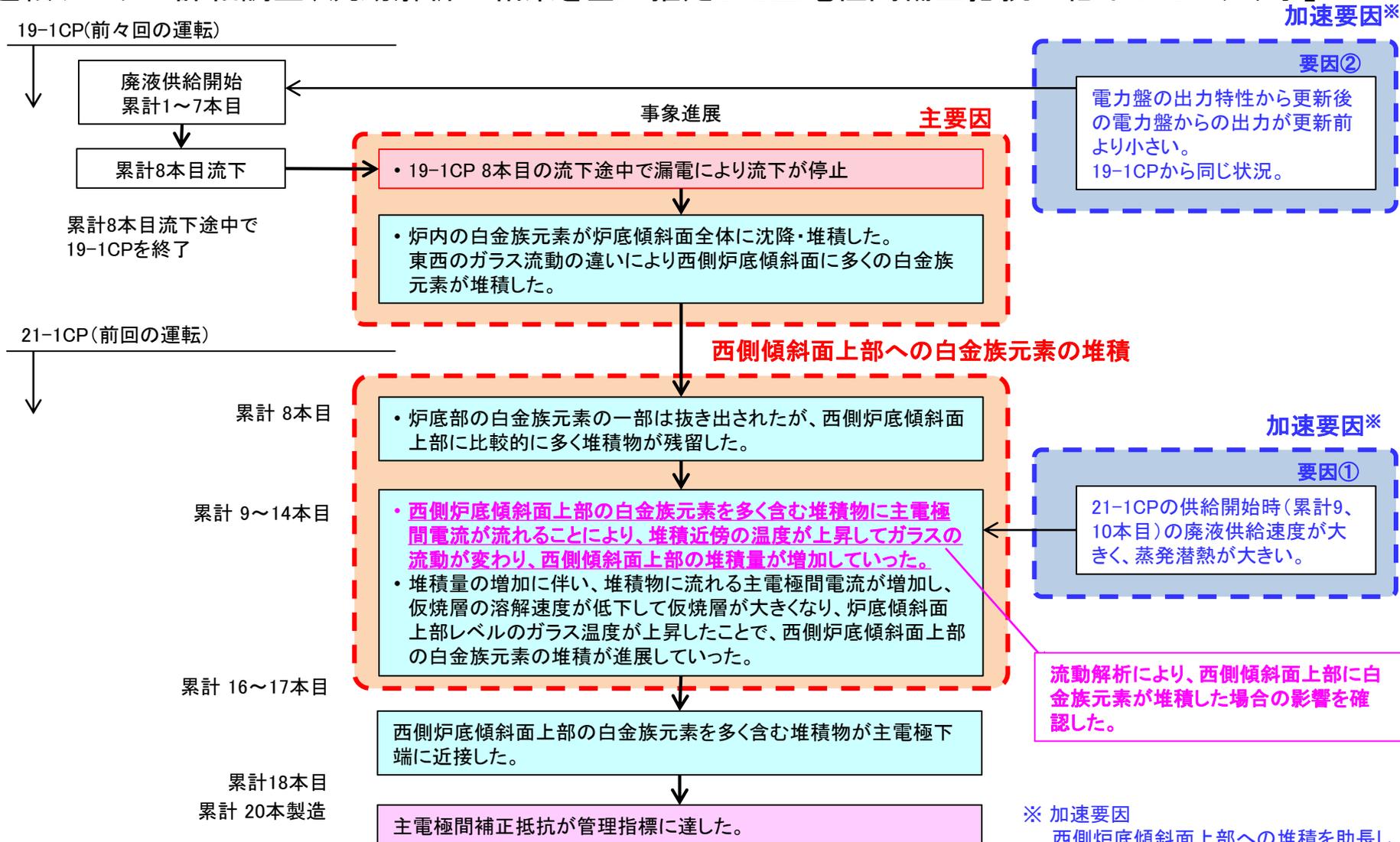
* 流動解析では、熔融炉の非対称性(東側の耐火レンガが厚くなっている)を考慮した解析モデルを使用する。

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応

(1) 白金族元素が堆積した原因(2/8)

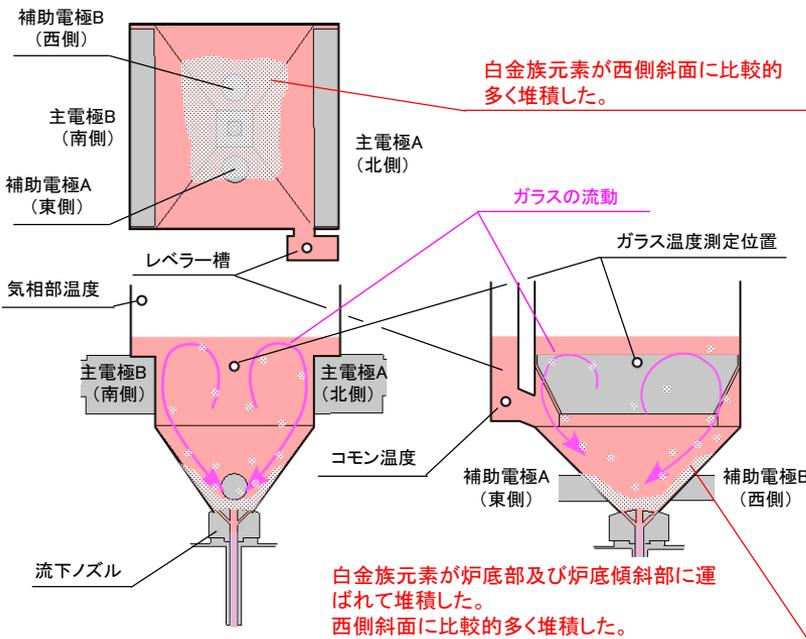
令和4年2月28日 第59回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料
(一部改訂)

【運転データの詳細調査、流動解析の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】

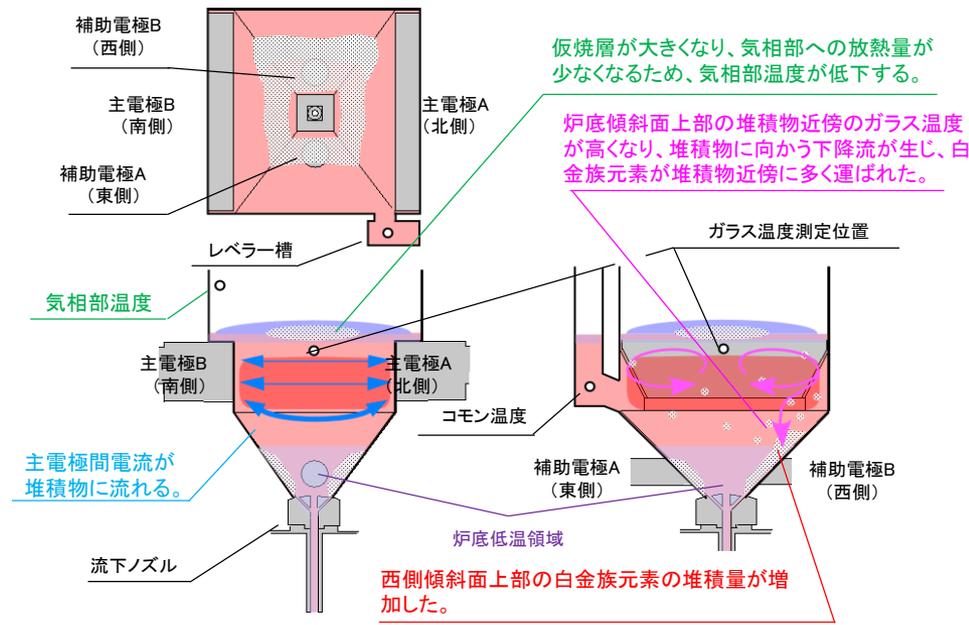


【主たる推定シナリオの炉内状態イメージ】

- ✓ 前々回の運転(19-1CP)の運転停止前、**流下停止事象により炉内に白金族元素を保有した状態で炉底加熱を繰り返したため、西側傾斜面に多くの白金族元素が堆積した。**
- ✓ 前回の運転(21-1CP)の初期、西側傾斜面上部に堆積した白金族元素(**電気抵抗がガラスに比べ小さい**)に流れる**主電極間電流が多くなり、堆積した領域の温度が上昇した。その領域に沿ってガラスの流動が変わり、西側傾斜面上部の堆積量が増加していった。**



前々回の運転(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)



前回の運転(21-1CP)の初期
(白金族元素の堆積量が増加している状態)

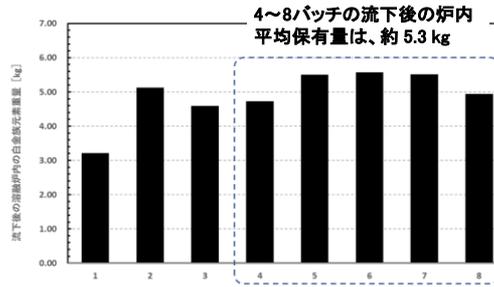
3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応

(1) 白金族元素が堆積した原因(4/8)

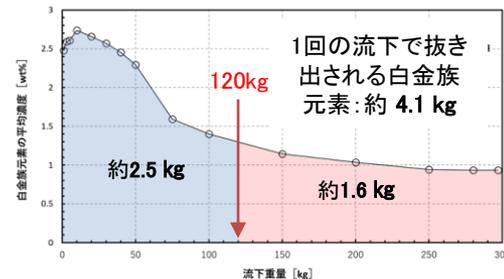
令和3年12月2日第58回東海再処理施設安全監視チーム会合資料
一部改訂

【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。

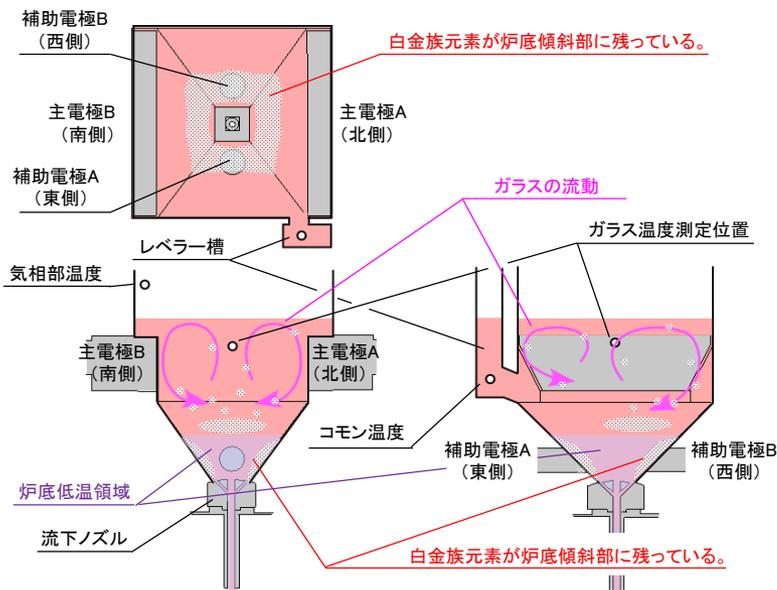


流下後の溶融炉内白金族元素重量
(2号炉コールド作動試験データ)

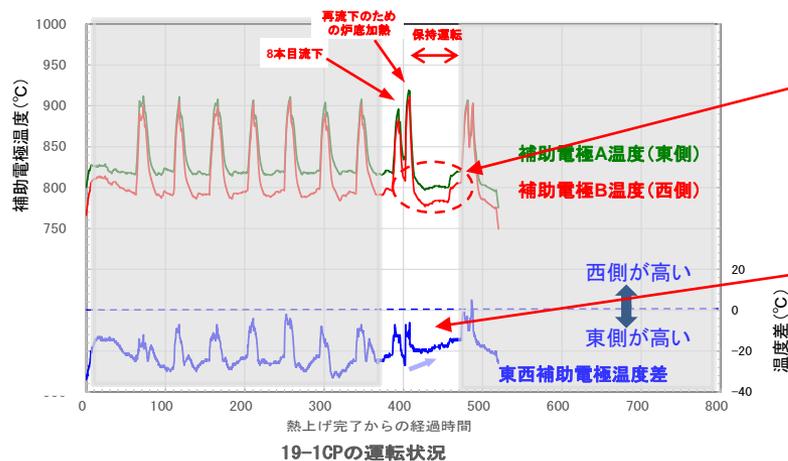


流下重量と白金族元素濃度の関係
(2号炉コールド作動試験データ)

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。

(1) 白金族元素が堆積した原因(5/8)

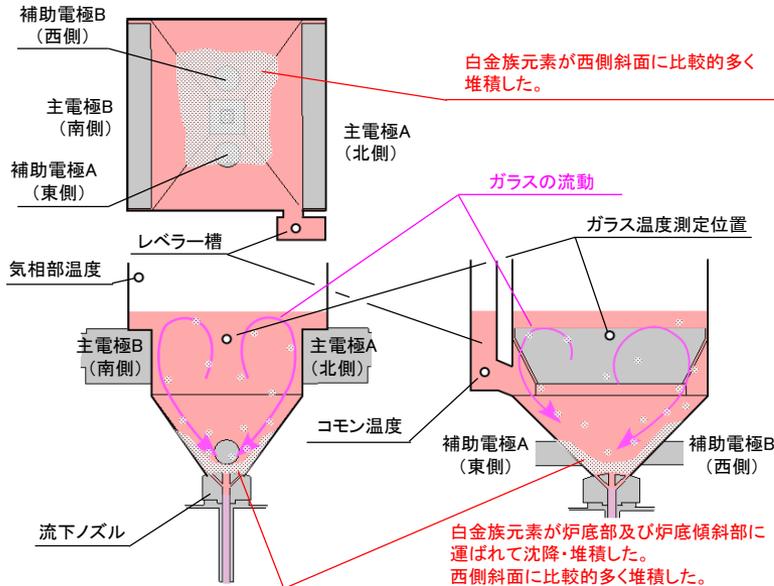
令和3年12月2日第58回東海再処理施設安全監視チーム会合資料
一部改訂

【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。

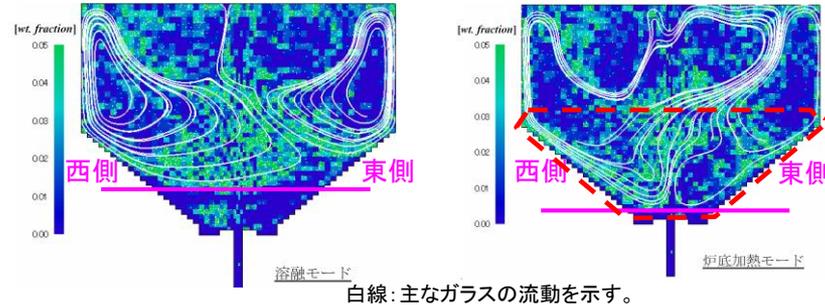


【再流下のための炉底加熱時の炉内推定イメージ】

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。

○炉内粒子流動解析

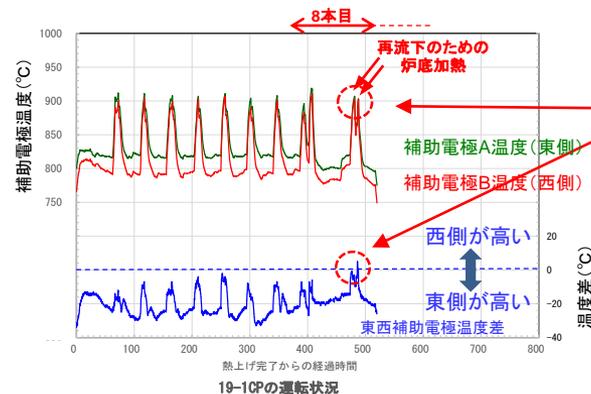


炉底部を加熱することにより、炉底部までガラスの流動が達し、粒子が炉底部及び炉底傾斜面の全体に運ばれる。

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。

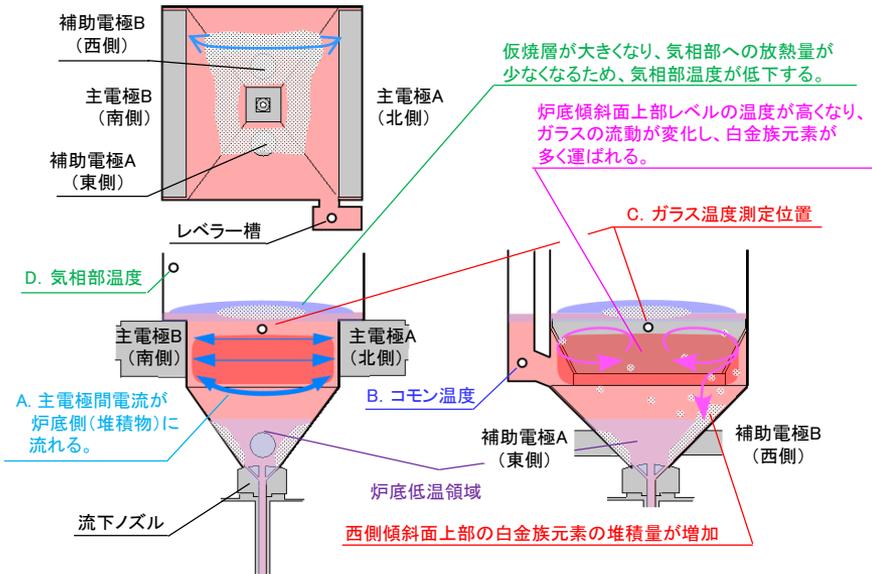
3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応

(1) 白金族元素が堆積した原因(6/8)

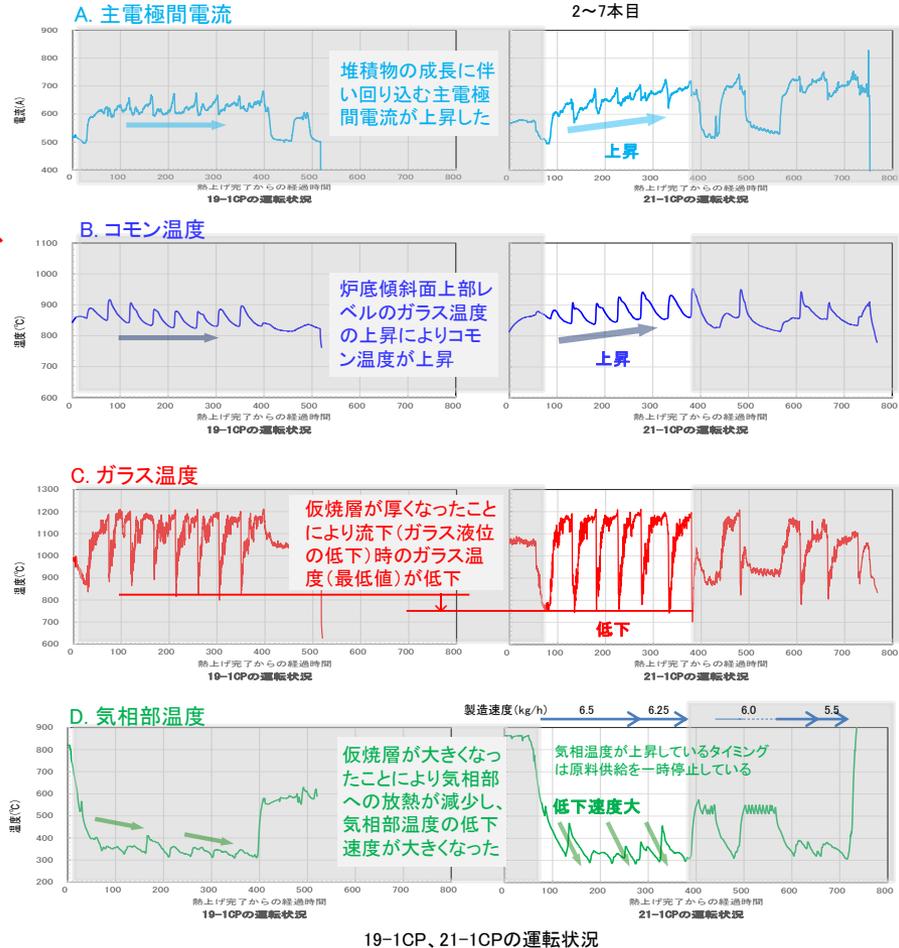
令和3年12月2日第58回東海再処理施設安全監視チーム会合資料一部改訂

【前回(21-1CP)の2~7本目(累計9~14本目)】

- ・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。
- 西側炉底傾斜面上部の白金族元素を多く含む堆積物に主電極間電流が流れることにより、堆積近傍の温度が上昇してガラスの流動が変わり、西側傾斜面上部の堆積量が増加していった。
- 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。



【運転前半(2~7本目)の炉底低温運転中の炉内推定イメージ】



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。

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応

(1) 白金族元素が堆積した原因(7/8)

➤ 溶融炉解析システムを用いた西側炉底傾斜面上部に白金族元素が堆積した場合の影響評価

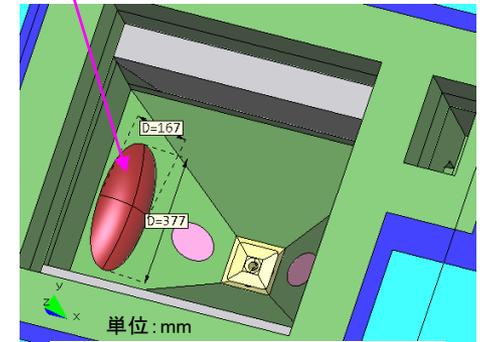
【目的】

- ✓ 進展シナリオにおいて、西側炉底傾斜面上部の白金族元素を多く含む堆積物に主電極間電流が流れることにより、堆積近傍の温度が上昇してガラスの流動が変わり、西側傾斜面上部の堆積量が増加していくと推定した。この推定を溶融炉解析システムにより解析評価した。

【手法】

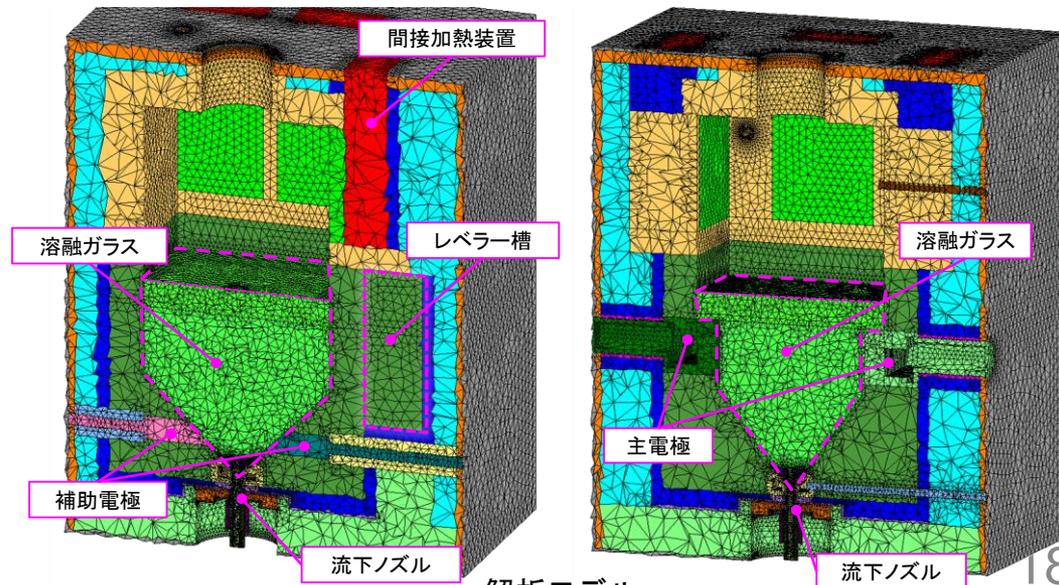
- ✓ 現状、溶融炉解析システムは、熱流動-電場の連成コードであるため、局所的な堆積物の発熱を踏まえたガラス流動を解析し、堆積の進展を評価する。
- ✓ 解析により、西側炉底傾斜面上部に堆積物を模擬しないモデルと模擬したモデルについて、通常運転(炉底低温運転～炉底加熱～ガラス流下)を対象にした運転シミュレーションを行い、両ケースの溶融炉内(溶融ガラス)の流動場の特徴(違い)を比較する。

西側炉底傾斜面上部に、白金族元素濃度20 wt.%相当の比抵抗を設定



堆積物の模擬状態

- ✓ 熱流動解析には、有限体積法を使用
- ✓ レベラー槽が存在することにより、東西の温度差が生じることから、構造は2号溶融炉設計図書より解析モデルを作成した。
- ✓ 液面にガラス原料を模した粒子を多数配置することで、仮焼層に相当する流体抗力を表現。
- ✓ 運転操作パラメータ(加熱電力、電流、冷却空気流量など)に相当する境界条件には、TVFの実運転データ(1分間隔)に基づいたデータを入力する。



解析モデル

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応

(1) 白金族元素が堆積した原因(8/8)

【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

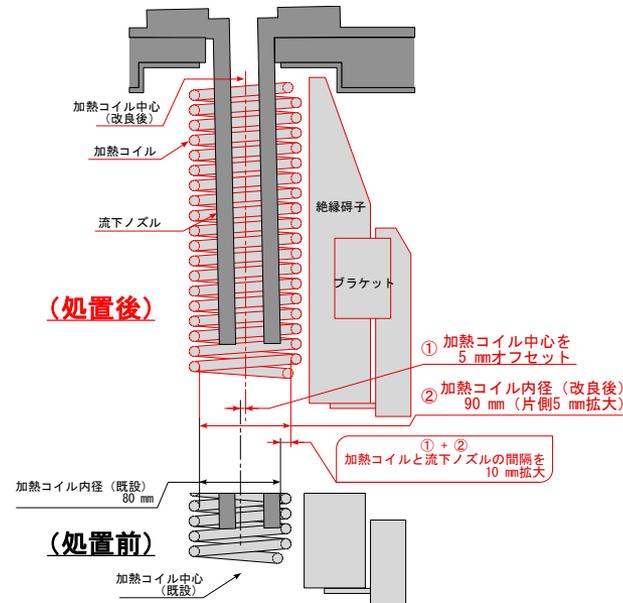
3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応 (2) 次回運転(22-1CP)に向けた対応(1/2)

【次回運転(22-1CP)に向けた対策】

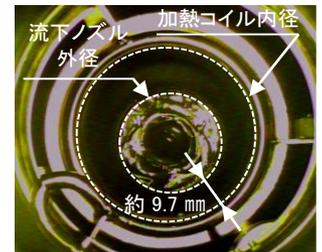
- ✓ 前回(21-1CP)の運転における主電極間補正抵抗の低下による溶融炉の停止は、予め想定していた事象であったものの想定よりも少ない本数で低下した。
原因調査の結果から、主要因は、前々回(19-1CP)の運転で、流下ノズルと加熱コイルが接触して漏電により流下できない状態になり、その後の複数回の炉底加熱により、西側炉底傾斜部へ白金族元素が堆積し、前回の運転(21-1CP)で進展したものと判断した。
- ✓ **主要因については**、流下停止事象に係る対策を施した**結合装置に交換済み**であり、今後同様の事象は生じないと考えている。
- ✓ また、前回(21-1CP)の運転において、**白金族元素の堆積を助長した可能性がある要因(加速要因)**を確認したことから、これらの影響を低減させるための**対策を次回の運転(22-1CP)に反映**する。

○ 主要因の対策

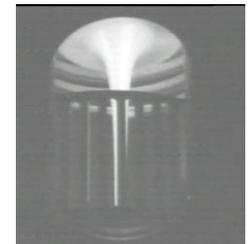
- ① 流下ノズルと加熱コイルのクリアランスを確保(R3年7月実施済み)
 - 加熱コイル径を拡大($\phi 80 \text{ mm} \rightarrow \phi 90 \text{ mm}$)し、加熱コイル取付位置を流下ノズルの傾き方向に5 mmオフセットした結合装置を製作し、交換した。
 - 前回の運転(21-1CP)において、流下操作が停止することなく、正常に流下できることを確認した。
- ② 流下ノズルと加熱コイルのクリアランスの確認
 - 次回の運転(22-1CP)開始前にITVカメラにより流下ノズルと加熱コイルのクリアランスが確保されていることを確認する。



流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確保の概要
(流下ノズル周りの断面図)



✓ 約 9.7 mmのクリアランスを確保
結合装置交換後の流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確認結果



✓ 正常に流下できることを確認した
結合装置交換後の流下状況
結合装置交換後の復旧状態

【加速要因の対策】

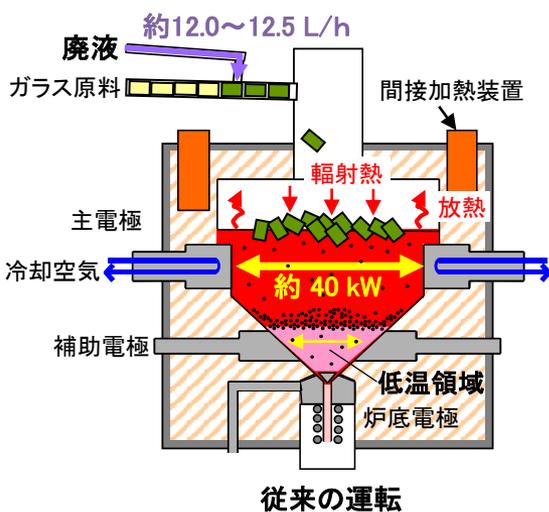
- ✓ 前回の運転(21-1CP)において、これまでの運転に比べて「**廃液供給速度が大きい**」、「**主電極間電力が小さい**」ことを確認している。
- ✓ 白金族元素の堆積を助長した可能性のある加速要因に対して、以下の対策を講じる。

• 廃液供給速度

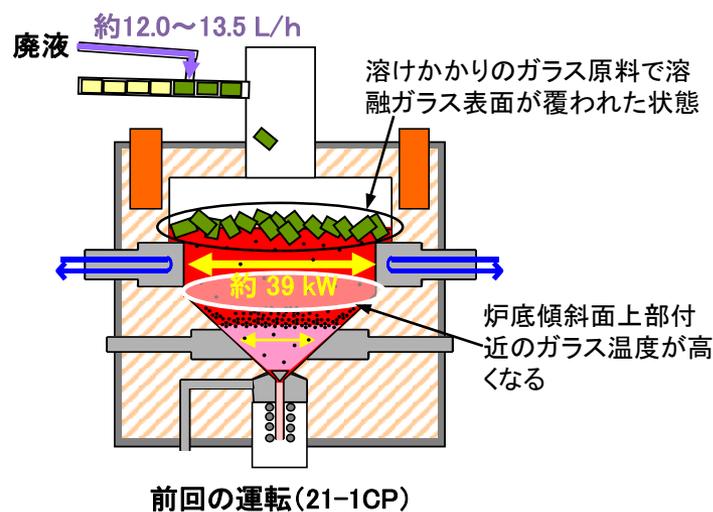
高放射性廃液を保有しない状態から運転を開始したため、濃縮液供給槽(G12V14)等の廃液貯槽には純水を張っており、運転初期は濃度の薄い廃液を供給せざるを得なかったことによるもので、**濃度の薄い廃液を供給する際も通常の廃液供給速度(約12.0~12.5 L/h)で管理することとする。**

• 主電極間電力

高経年化対策として溶融炉電力盤の交換を行っており、新旧電力盤の特性(電力指示値と実出力の差)の相違によるもので、電力盤の点検結果に基づき、**実出力が40 kWになるよう主電極間電力を管理する。**



従来の運転

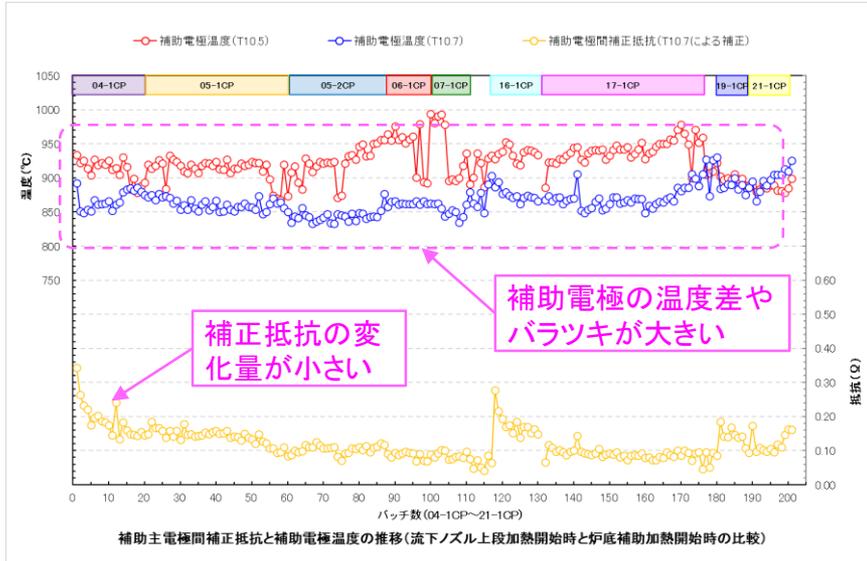


前回の運転(21-1CP)

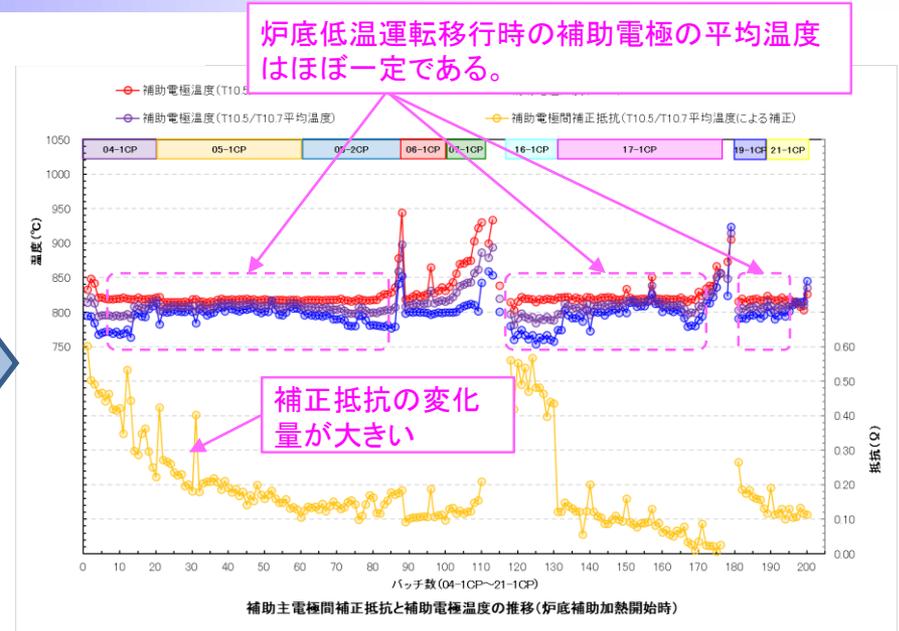
- 廃液供給速度が大きく、主電極間電力が小さい場合、ガラス原料が溶け難くなり、**溶けかかりのガラス原料(仮焼層)で溶融ガラスの表面全体が覆われ、さらにガラス原料が溶け難くなる(仮焼層が厚くなる)。**
- 仮焼層が厚くなると、溶融ガラス表面からの放熱量が小さくなるため、**炉底傾斜面上部付近のガラス温度が高くなり、この部分の炉壁に多くの白金族元素が運ばれる流動が生じ、白金族元素の堆積を助長した可能性が考えられる。**

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応 (3)白金族元素の堆積管理指標の改善等(1/3)

【補助電極間補正抵抗の改善】



【改善前】

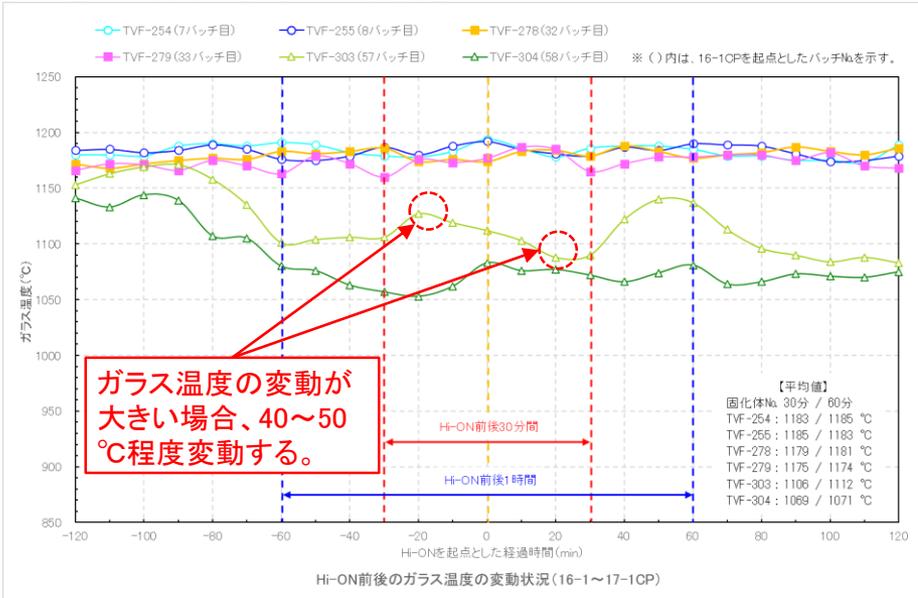


【改善後】

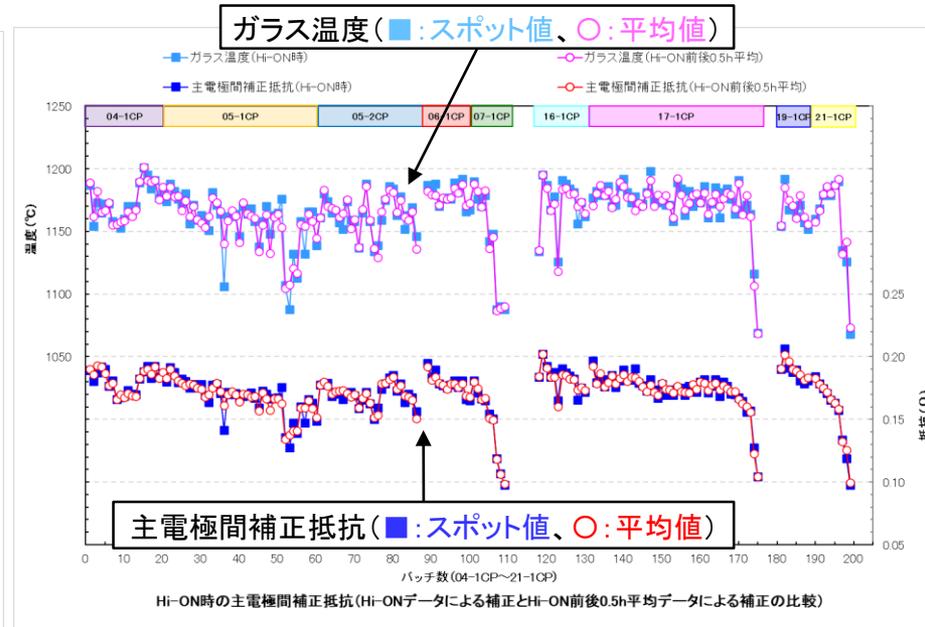
項目	改善前	改善後
確認のタイミング	・流下ノズル上段加熱開始時(流下開始の約 76 分前)	・炉底補助加熱開始時(流下開始の約 7 時間前)
補正方法	・補助電極間抵抗を西側の補助電極温度(T10.7)を用いて 1000 °Cに換算した抵抗値を算出	・補助電極間抵抗を東西の補助電極温度(T10.5/T10.7)の平均値を用いて1000 °Cに換算した抵抗値を算出
問題点/ 改善効果	<ul style="list-style-type: none"> ・西側の補助電極温度(T10.7)を炉底部(補助電極間)のガラス温度としており、温度差やバラツキが大きい。 ・流下ノズル上段加熱開始時の電流値は、炉底部の温度状況に応じて運転員が調整するため、統一することができない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・東西補助電極(T10.5/T10.7)のバラツキの小さい炉底低温運転への移行時で評価する。 ・炉底補助加熱開始時であることから、補助電極間電流の設定値を統一することで、電流値を同条件にできる。 ・補助抵抗の変化量が大きく、傾向管理がし易くなる。

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応 (3)白金族元素の堆積管理指標の改善等(2/3)

【主電極間補正抵抗の改善】



【 Hi-ON前後のガラス温度の変動状況 】



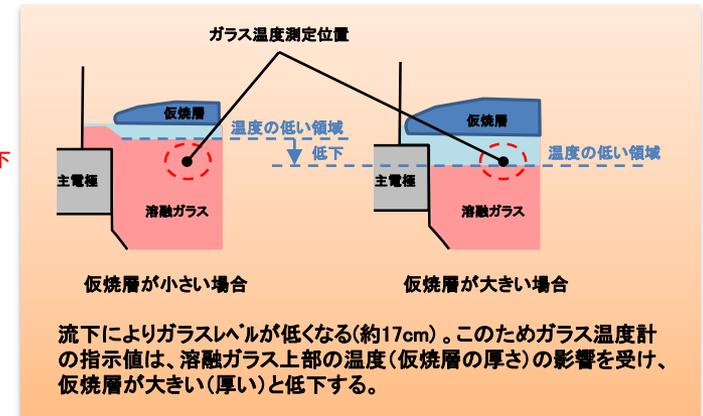
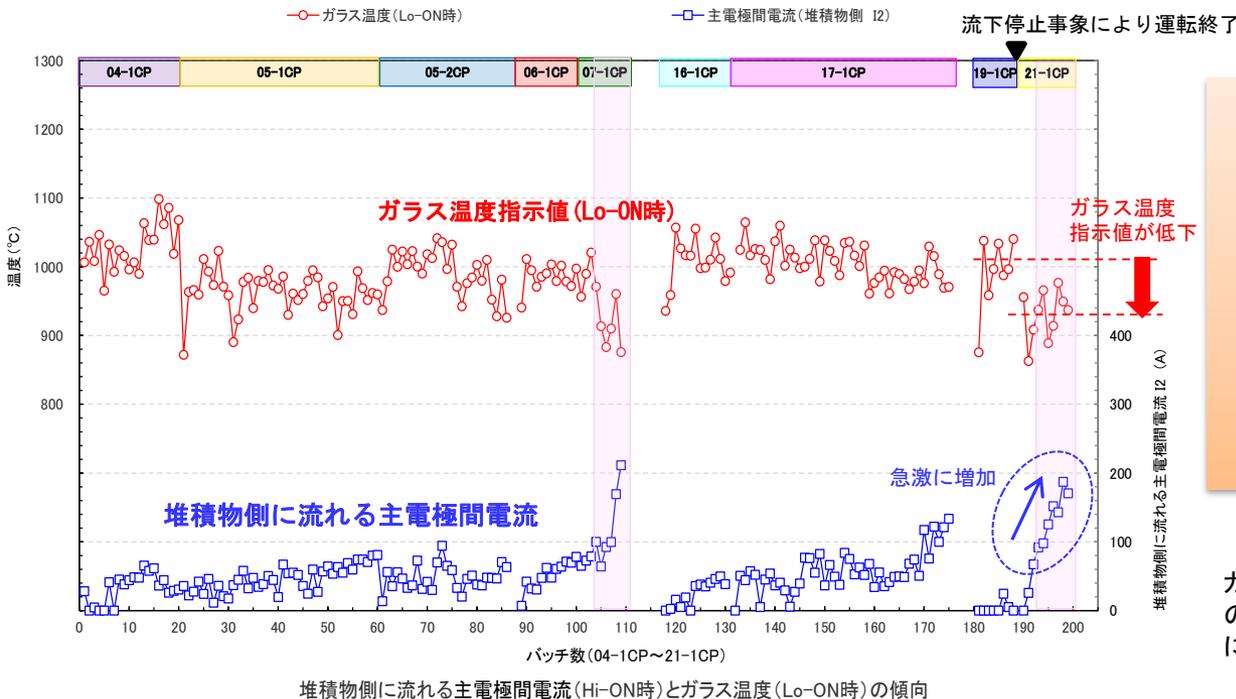
【 Hi-ON前後のガラス温度及び主電極補正抵抗の変動状況 】

項目	改善前	改善後
確認のタイミング	・ガラスレベル Hi-ON 時	・ガラスレベル Hi-ON 時 ※変更なし
補正方法	・主電極間抵抗を Hi-ON 時のガラス温度(スポット値)を用いて1000 °Cに換算した抵抗値を算出	・主電極間抵抗を Hi-ON前後 30 分間の平均ガラス温度を用いて1000 °Cに換算した抵抗値を算出
問題点/改善効果	<ul style="list-style-type: none"> ・温度補正に用いるガラス温度は、炉内のガラスの流動により変動する(概ね 1時間程度)。 ・ガラス温度の変動が大きい場合、<u>Hi-ONのタイミングによっては 40 ~ 50 °C程度の温度差が生じ</u>、主電極間補正抵抗のバラツキが大きくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス温度の変動サイクル(1時間程度)を踏まえて Hi-ON前後30分間の平均ガラス温度とする。 ・これにより、Hi-ON 時の<u>ガラス温度のバラツキが小さくなる</u>ことから、主電極間補正抵抗のバラツキも小さくなる。

3. 前回運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した事象への対応 (3)白金族元素の堆積管理指標の改善等(3/3)

✓ 新たな監視項目

- 前回の運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した原因調査において、白金族元素の堆積に伴い次の運転データの変化の傾向を確認した。
 - 白金族元素の堆積が進行すると堆積物に流れる主電極間電流が急激に増加する。
 - 堆積物に主電極間電流が流れると、熔融ガラスに流れる主電極間電流が小さくなり、仮焼層の溶解速度が低下し、仮焼層が大きく(厚く)なる。
 - 仮焼層が大きく(厚く)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。
- 今回の運転から、これらの運転データを白金族元素の堆積状況の推定に活用していく。



流下後(Lo-ON時)の炉内イメージ

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。



4. 保全活動・訓練

(1) 不具合事象等への対応(1/9)

C

(1) 定期事業者検査・法定点検等

点検・整備等	要領書等	教育・訓練
<ul style="list-style-type: none"> 定期事業者検査/施設定期自主検査(約35件) ISI(供用期間中検査)自主検査(約100件) 各種法令に基づく年次検査・月例検査等(約630件) 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な要領書等の改定 	<ul style="list-style-type: none"> 各工程に係る運転操作教育・訓練 異常時対応訓練 総合訓練(班単位で実施)

D

(2) 点検整備など

取り組みの項目	点検・整備等	要領書等	教育・訓練等
①新たに実施の必要が生じた項目 ①-1 21-1CP以降の不適合処置、是正処置等	<ul style="list-style-type: none"> 不適合処置、是正処置等に係る設備改良、点検・整備 	<ul style="list-style-type: none"> 不適合処置、是正処置等に係る要領書等の改定 	<ul style="list-style-type: none"> 不適合処置、是正処置等に係る要領書等の改訂教育・訓練
①-2 運転中に想定される不具合事象等(設備故障への対応)	<ul style="list-style-type: none"> 運転に使用する設備の点検・整備(部品交換等) 予備品の確認 確保できない予備品の代替策の整理 メーカーサポート体制の整備 	<ul style="list-style-type: none"> 予備品リストの整備 	<ul style="list-style-type: none"> 代替策に係る要領書等の教育・訓練
②高経年化対策 ・設備の計画的更新	<ul style="list-style-type: none"> 設備の更新 更新設備の作動確認(初期トラブルの防止) 	<ul style="list-style-type: none"> 更新設備に係る要領書等の改定(作動確認にて、改定内容の妥当性を確認) 	<ul style="list-style-type: none"> 更新設備に係る要領書等の改定教育・訓練
③運転体制の維持 ・5班3交替体制	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 運転員の階層別教育・訓練(新規の班長の認定等) 事故対処に係る教育・訓練 代直要員の拡充(コロナ対策)

4. 保全活動・訓練

(1) 不具合事象等への対応(2/9)

- ✓ 前回運転(21-1CP)において発生した不具合事象のうち、ガラス固化体除染装置の高圧水ポンプの停止事象(圧力ダンパーの閉塞)は、**更新後運転時間が少ない段階で発生した初期故障**であり、また、ガラス固化体蓋溶接の溶接機の停止事象は、停止事象として想定していたものの、**原因(制御の不安定)までは挙げられていなかった。**

- ✓ 前回運転(21-1CP)を踏まえた対応
 - 次回運転(22-1CP)において同様の事象の発生防止、発生した場合においても速やかに対応できるよう、**初期故障の要因も含め、想定する不具合事象、その要因に不足がないか再整理を行った。**
 - 前回運転(21-1CP)で不具合事象が多く発生した熔融炉以降のガラス固化体取扱工程に重点を置き、想定事象を再整理した。
 - また、**前回運転(21-1CP)における気がかり事象を運転員から聞き取り、整理した。**

- ✓ 想定事象の再整理と気がかり事象の整理の結果
 - 想定事象の再整理
 - 前回運転(21-1CP)を踏まえて、ガラス固化体容器等を運搬するハンドリング系での初期故障を含め、事象の原因を新たに整理した。**(17件)**
 - 例) パワーマニプレータのプログラムエラー、ガラス固化体搬送用の台車ブレーキ異常等
 - 気がかり事象の整理
 - 現場の制御盤等にもみ表示される警報等**(1件)**
 - 例) 保管セル排気サンプリングポンプの停止
 - 制御盤等に警報等が表示されない不具合事象等**(3件)**
 - 例) ガラス固化体底部の汚染防止キャップの動作不良等

(1) 遅延リスク評価

(a) 設計上想定した不具合事象(警報インターロックリストから抽出)約525件に加え、TVFの運転(16-1CP、17-1CP及び19-1CP)の不具合事象[28件]を反映
○上記の不具合発生時の予備品への交換や代替策を整理した。

摘出不具合事象: 約550件

警報・インターロックリスト(ガラス固化処理工程に係る全工程を対象)
: 受入、前処理、ガラス原料供給、ガラス溶融、ガラス固化体取扱、ガラス固化体保管、廃液処理、槽類換気、固化セル換気、ユーティリティ、遠隔保守、残留ガラス除去、固体廃棄物解体など(約260機器)

(2) 21-1CP以降に発生した不具合事象の反映(新たな反映)

不具合事象: 3件

- ・ガラス固化体除染装置(高圧水ポンプ)の停止
- ・ガラス固化体蓋溶接の溶接機の停止
- ・閉じ込め確認検査装置内での汚染

※二次冷却水配管のエア抜き配管からの水漏れ、ガラス固化体吊具の動作不具合、固化セルのインセルクーラファンの停止、ITVカメラ及びM/Sマニプレータの動作不具合事象は既に抽出済み

摘出不具合事象: 3件

摘出不具合事象: 20件

(3) 前回運転(21-1CP)までの机上整理(運転経験に基づく気がかり事象などを含む)不具合事象等: 20件

摘出不具合事象: 21件

(4) 机上整理(前回運転(21-1CP)を踏まえた気がかり事象など)不具合事象: 21件(要因: 139件)

摘出不具合事象: 約600件

(5) 次回運転(22-1CP)の準備及び運転においても不具合が想定され、定められた手順に従い早期の復旧を目指す。以下に特に注意すべき主な不具合事象を示す。

- (a) 運転継続することにより起こる事象: 溶融炉内への白金族元素の堆積、ガラス原料送込み荷重の増大など
- (b) TVF特有の機器の不具合事象: 両腕型マニプレータの作動不良、溶融炉の間接加熱装置熱電対の断線など
- (c) 機器の初期不良による不具合事象: ガラス固化体除染装置(高圧水ポンプ)のダンプナーの閉塞

C ① 新たに実施の必要が生じた項目

①-1 21-1CP以降の不適合処置、是正処置等

✓ 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、運転に備え圧力ダンパーを交換した(3/30完了)。また、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った(3/30完了)。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対応した(5/31完了)。

⇒模擬固化体を用いた除染装置の作動確認実施済み。

✓ 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(8/31完了)。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(12/6完了)。

⇒模擬固化体を用いたテスト溶接による動作確認を実施した(5/31完了)。

✓ 閉じ込め確認検査装置内での汚染

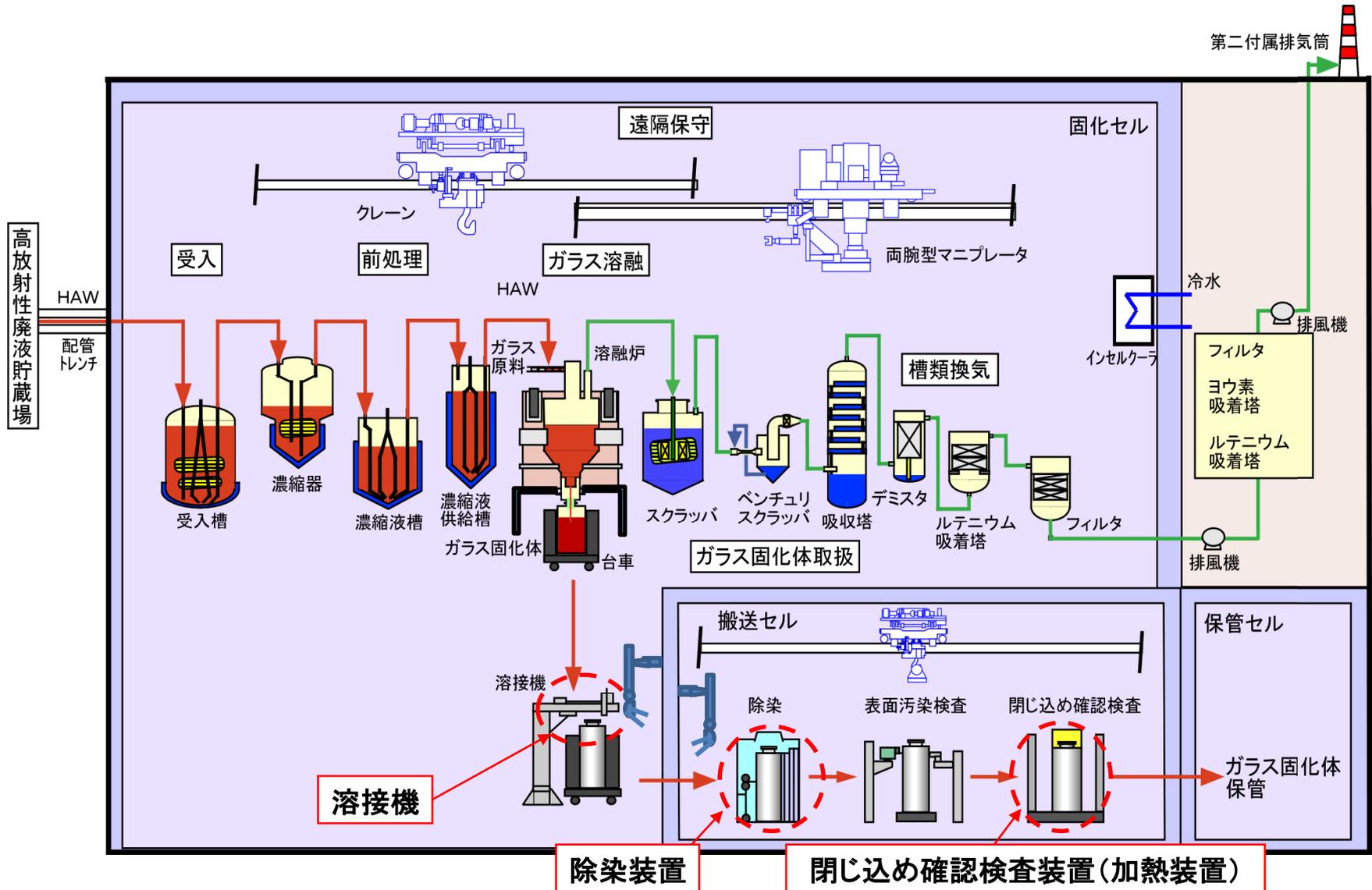
ガラス固化体の閉じ込め確認検査(蓋溶接部の検査)において、2本(7本目と8本目)続けて判定基準値と超えるCs-137が検出された(再検査の結果異常はなかった)。

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った(4/8完了)。

⇒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し、教育・訓練を実施した。

4. 保全活動・訓練

(1) 不具合事象等への対応(6/9)



①-2 運転中に想定される不具合事象等(設備故障への対応)

(1) 前回の運転(21-1CP)での気づきの対応

前回の運転(21-1CP)中の気がかり事象について、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た。

【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した。**
- 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いくことにより、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、予防的な処置を図った。**
- ガラス固化体検査工程での渋滞回避
⇒閉じ込め確認検査には約2日間を要するため、再検査が必要になった場合や不具合等が発生した場合、検査工程が渋滞し、熔融ガラスの流下ができず熔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。このため、**搬送セル内のガラス固化体収納架台に空きスペース(+2本分)を確保した。**
- ヘリウムガスの確保(ガラス固化体蓋溶接時のページガス)
⇒世界的なヘリウムガスの需給の懸念状況を踏まえ、ガラス固化体60本製造分+ α について、核サ研内の関係部署と調整を図り、**事前に必要量確保できる見通しを得た。**

② 高経年化対策

次回運転に向けてインターキャンペーン中に劣化の兆候などが確認されたものを含め、以下を予備品に交換し、作動確認実施済み。関連機器についても、引き続き作業前の動作確認等を行い、必要に応じて予備品への交換等対応を図る。

- ・ガラス固化体吊具
- ・ITVカメラの基板及びケーブル
- ・M/Sマニプレータ
- ・固化セル内のインセルクーラファンの電動機ユニット

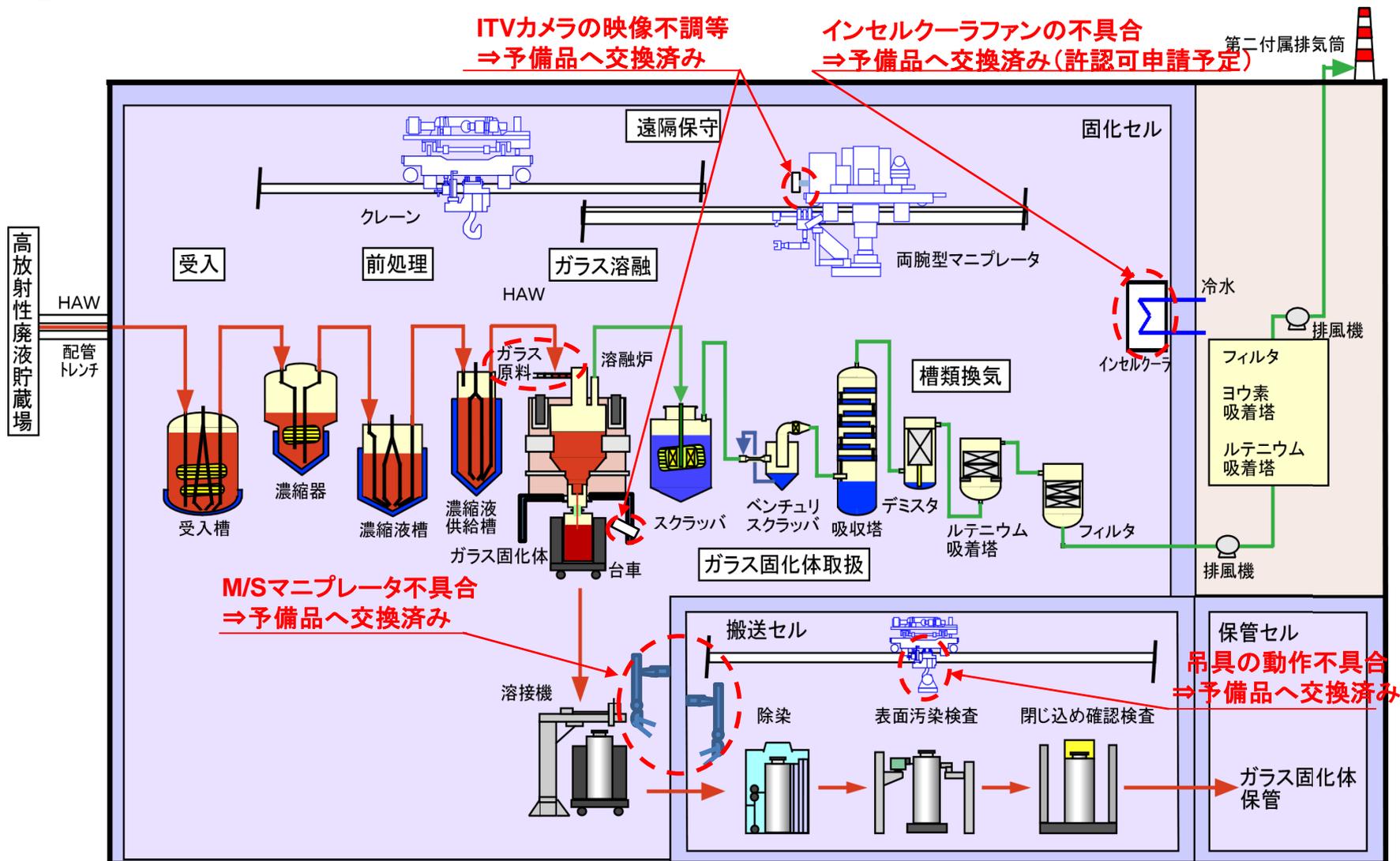
③ 運転体制の維持

- ✓ 次回運転(22-1CP)に向け、**5班3交替体制(1班10名)**については確保済み。
- ✓ 前回の運転(21-1CP)の要員をベースに、**人材育成などを考慮し要員の入れ替えを実施している**。今回新たに4名の班員を入れ替えるが、計画通り運転員の階層別教育訓練(運転操作訓練・異常時対応訓練等)を実施し、必要な力量を付与している。
- ✓ 班体制要員(1班10名)以外にも、運転員のコロナ感染による代替要員を含め、**必要な要員(日勤:約20名)を確保**しており、OJTなど運転を経験させることで、**技術継承を含めて人材育成を図っている**。
- ✓ 安全対策に係る訓練として、新たに整備した資機材を活用し、内部火災に対する初期消火及び予備ケーブルの敷設等の総合訓練を3月24日に実施した。さらに、事故対処の関わる訓練(スキルアップ)として、前回の運転(21-1CP)前と同様に、班毎に熱上げ期間に実施する予定。

4. 保全活動・訓練

(1) 不具合事象等への対応 (9/9)

高経年化対策



5. 次回運転の進め方

(1) 基本方針

- ✓ ガラス固化処理は**最優先事項**として**取り組み**、**早期完了**を目指していることに変わりはない。
- ✓ 16-1CP以降の工程の遅れに対して、当面の工程を着実に進めていくことが重要と考えている。
 - 次回の運転(22-1CP)は、先ず、過去の**1キャンペーン当たりの最大製造本数46本**を目指し、複数のホールドポイントを設け(前回の運転(21-1CP)で白金族元素が堆積した対策の確認、その後の運転状況を確認)、**60本の製造を目指して段階的に進めていく**。
 - 次回の運転(22-1CP)の期間は、準備が整ったことを確認した後、**7月上旬頃(予定)に運転を開始**し、R4年度の定期事業者検査を年度末までに終了させるために必要な期間を考慮して**11月20日に運転を終了**する。
 - なお、運転が順調に進み60本製造した場合、11月20日まで運転を継続し製造本数を増やす。
- ✓ 工程を着実に進めて行く観点から、白金族元素の堆積状況をより正確に把握するため、これまでの**管理指標等(主電極間補正抵抗、補助電極間補正抵抗)**を改善し、加えて、**新たな監視項目**として、堆積した白金族元素へ流れる主電極間電流の増加傾向、ガラス温度の低下傾向を監視していく。
- ✓ また、2号溶融炉では、約200本のガラス固化体を製造し、3回の残留ガラス除去作業を行ってきた。今後の運転データを積み上げ、溶融炉の運転経過に伴う白金族元素の堆積管理指標等の変化の傾向を把握していく。

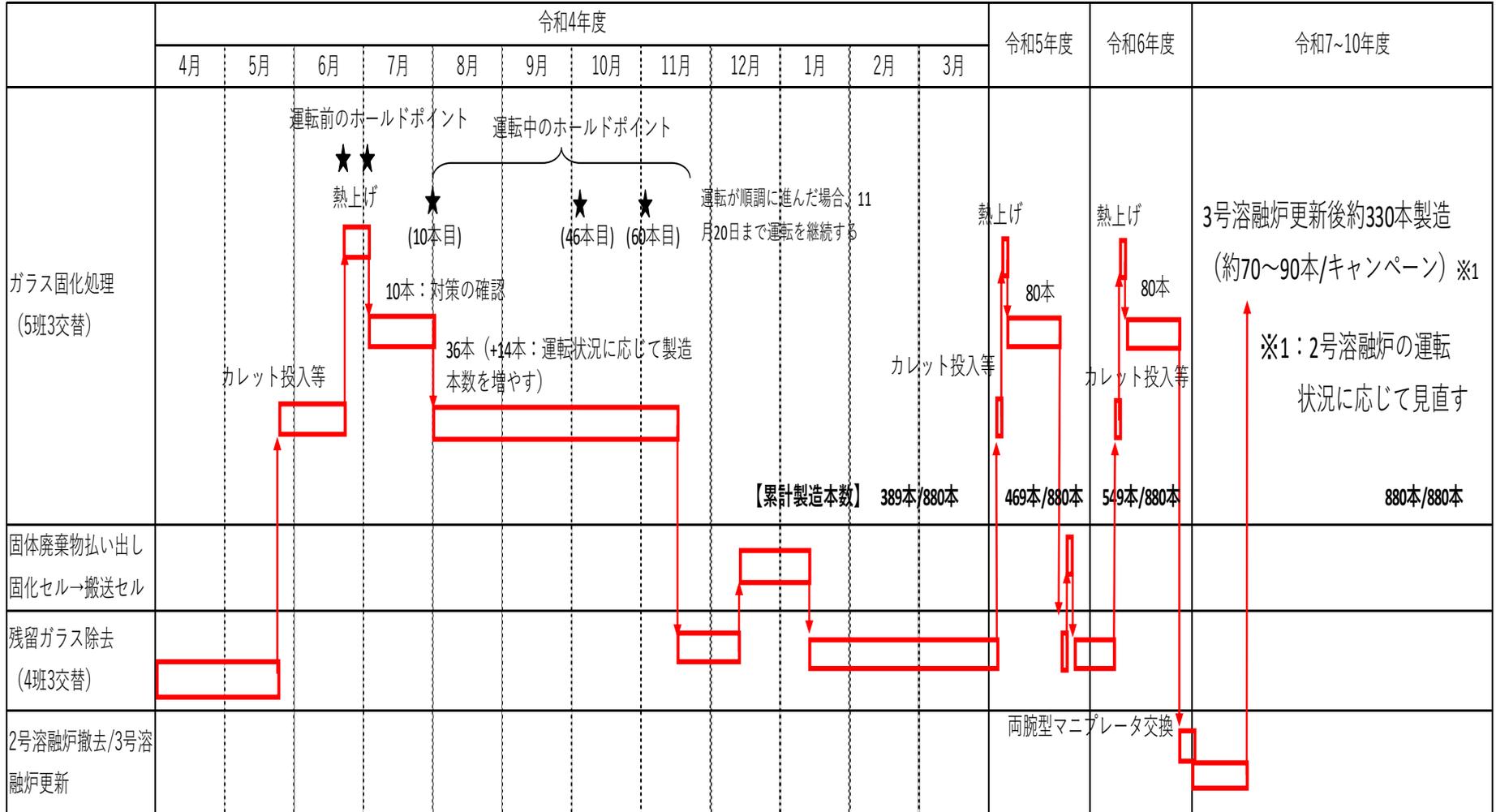


5. 次回運転の進め方

(2) 当面の計画

令和4年2月28日第59回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料
一部改訂

改訂2：令和4年4月19日 ガラス固化部





5. 次回運転の進め方

(3) 次回運転までのホールドポイント

- ✓ 運転開始までの各ホールドポイントにおいて、ガラス固化部長等は**保安規定第182条に基づき施設を点検し、異常のないことを確認する。**
- ✓ ガラス固化部長は、各ホールドポイントでの**確認結果(運転準備状況)を再処理廃止措置技術開発センター運営会議に諮り、センター長の確認を得て、核燃料サイクル工学研究所長、役員へ報告する。**

① ホールドポイント1: 溶融炉の熱上げ開始前確認

- 施設の整備、作動確認、運転要領書の整備、教育・訓練、不適合除去が完了していること(熱上げ中に実施する作動確認を除く)。
- 結合装置の定期事業者検査(台車と結合装置のインターロック試験)が終了していること。

② ホールドポイント2: 溶融炉へHAW供給開始前確認(運転開始)

- 熱上げ中に実施する作動確認(溶融炉オフガス配管の水洗浄、廃液供給配管の漏えい確認)が完了していること。

【ホールドポイントでの確認項目】

✓ ホールドポイント①: 10本を製造した時点

(1) 白金族元素が早期に堆積した対策の確認

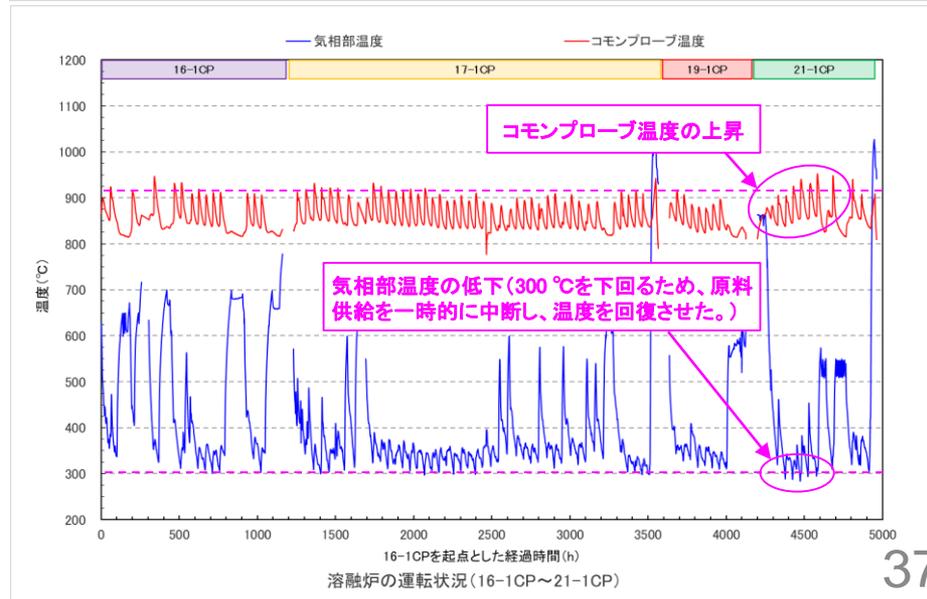
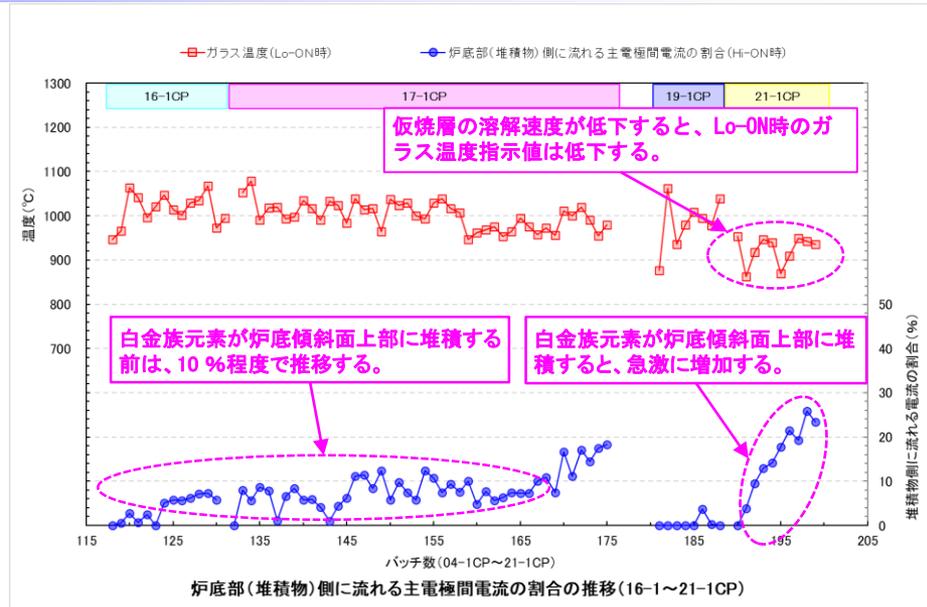
炉底傾斜面上部への白金族元素の堆積傾向を運転データから確認する。

- 堆積した白金族元素へ流れる主電極間電流が急激に上昇していく。
 - 堆積した白金族元素へ流れる主電極間電流の上昇傾向を確認する。
- 堆積した白金族元素へ主電極間電流が流れ、ガラス原料が溶け難くなり(仮焼層が厚くなり)、ガラス温度指示値が低下する
 - 仮焼層の影響を受けやすい流下によりガラスレベルが下がった際(Lo-ON時)のガラス温度指示値の低下傾向を確認する

(2) 加速要因の対策の確認

廃液供給速度や主電極間電力の改善について、その効果を運転データから確認する。

- ガラス原料が溶け難くなり、熔融表面全体がガラス原料で覆われて気相部温度が低下する。
 - 気相部温度の推移を確認する。
- 熔融表面全体がガラス原料で覆われると気相部への放熱量が減り、炉底傾斜面上部のガラス温度が上昇する。
 - 炉底傾斜面上部のガラス温度(コンプローブ温度)の推移を確認する。



5. 次回運転の進め方

(4) 運転中のホールドポイントでの確認(2/2)

✓ ホールドポイント②: 46本を製造した時点

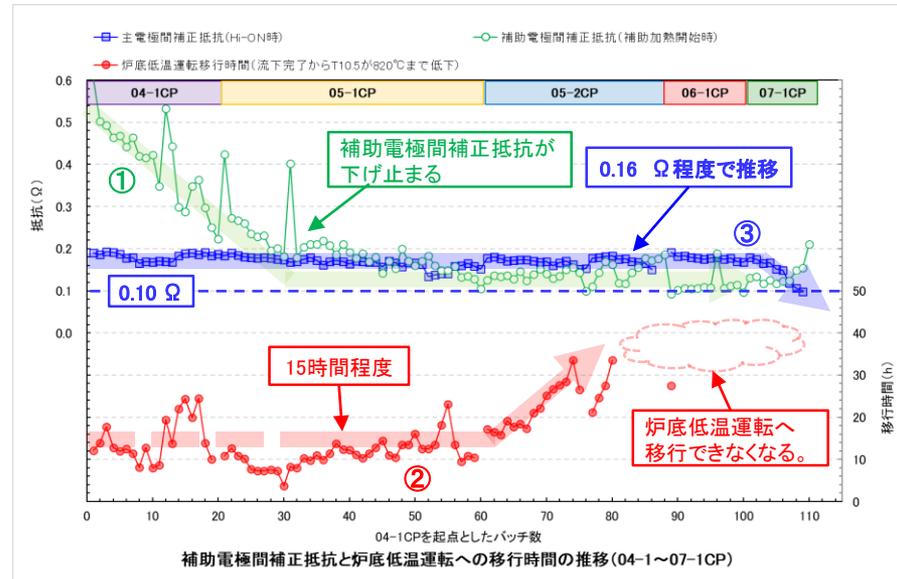
(1) 白金族元素の堆積状況の推定

白金族元素の堆積管理指標から堆積状況を推定する。

• 46本程度製造した時点では、04-1CPから07-1CPまでの実績(110本製造)から①補助電極間補正抵抗が下げ止まり、②炉底低温運転へ移行するまでの時間が15時間程度となることが分かっている。

→ ①補助電極間補正抵抗、②炉底低温運転へ移行するまでの時間の推移を確認する。

→ なお、16-1CPから17-1CPの実績(59本製造)から②炉底低温運転へ移行するまでの時間が20時間を超えていなければ60本程度まで運転可能と考えられる。



✓ ホールドポイント③: 60本を製造した時点

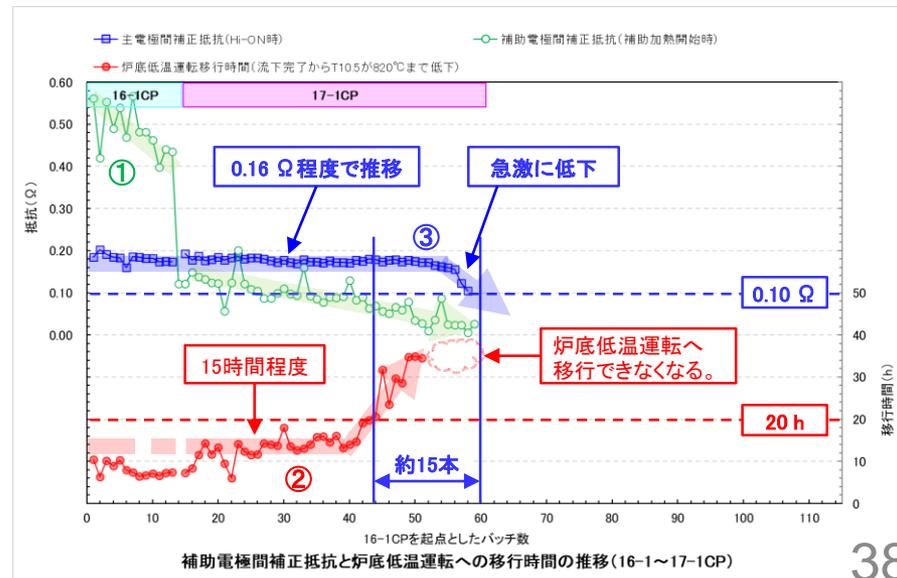
(1) 白金族元素の堆積状況の推定

白金族元素の堆積管理指標から堆積状況を推定する。

• 60本程度製造した時点では、04-1CPから07-1CPまでの実績(110本製造)から①補助電極間補正抵抗が下げ止まり、②炉底低温運転へ移行するまでの時間が長くなる兆候が見え始め、③主電極間補正抵抗は0.16 Ω程度で推移することが分かっている。

→ ①補助電極間補正抵抗、②炉底低温運転へ移行するまでの時間、③主電極間補正抵抗の推移を確認し、主電極間補正抵抗が管理指標(0.10 Ω)に達していなければ運転を継続する。

→ なお、16-1CPから17-1CPの実績(59本製造)では、②炉底低温運転へ移行できなくなり、③主電極間補正抵抗が急激に低下して管理指標(0.10 Ω)に達している。同様な状況が確認された場合は、運転を停止する。

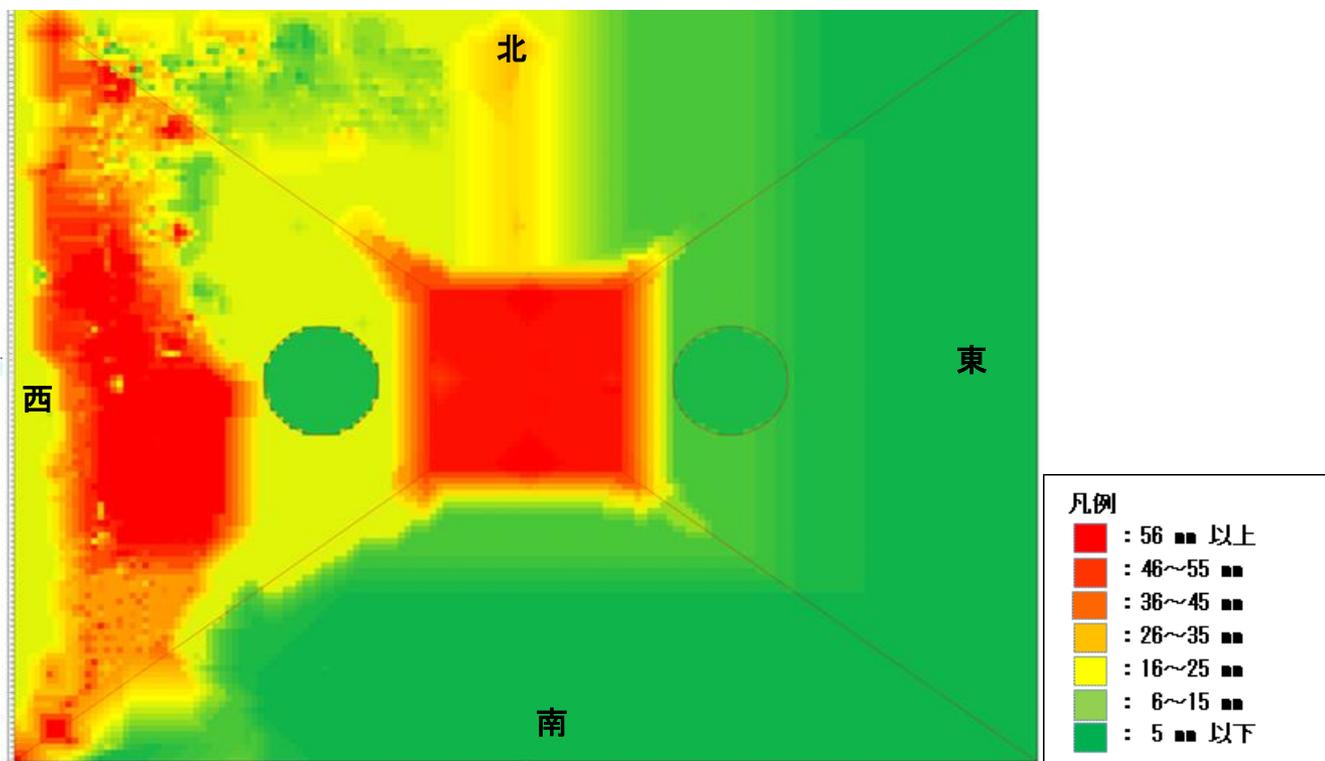


参考資料

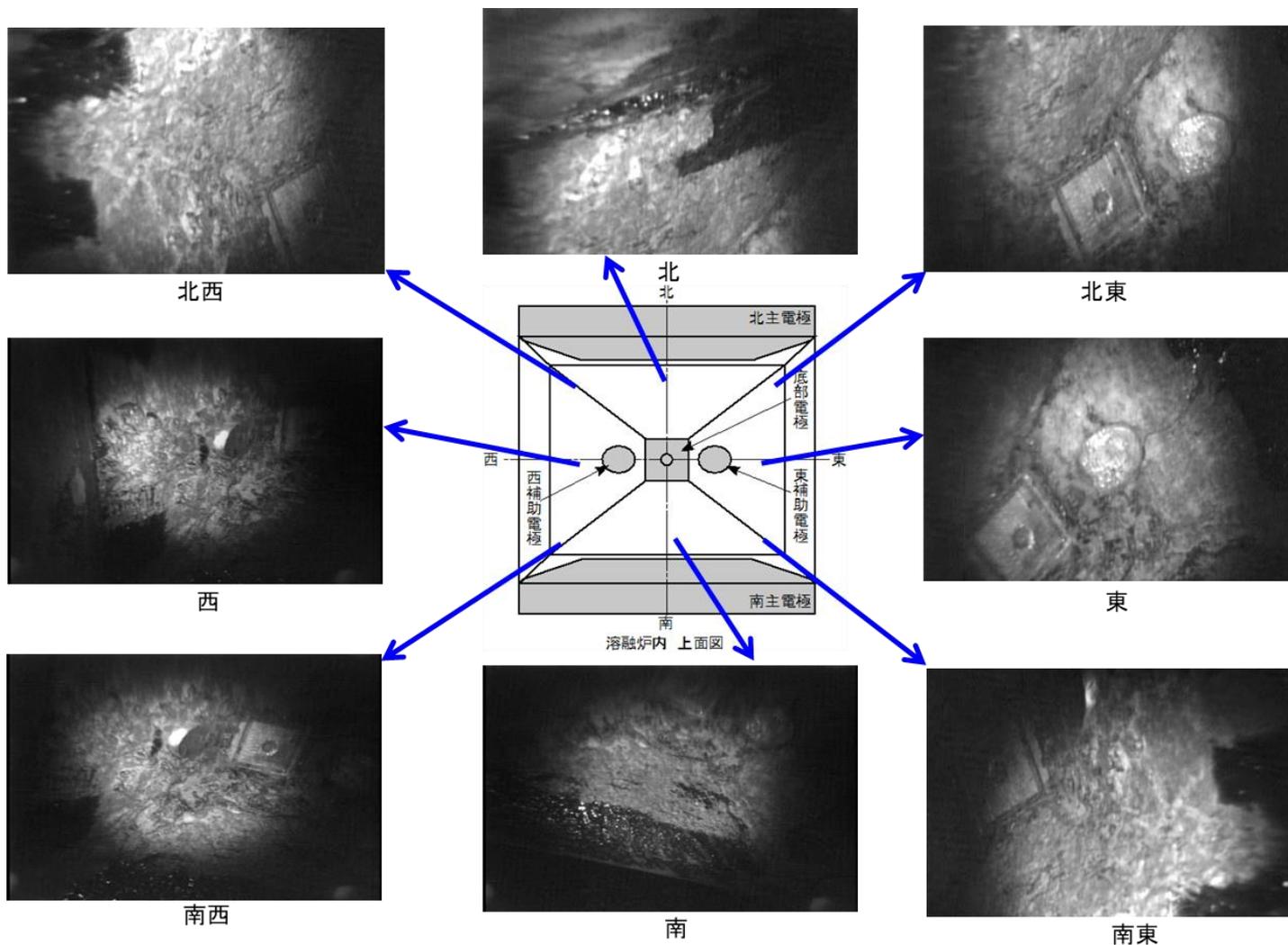
【残留ガラス堆積状況の作成方法】

○堆積物除去装置の工具座標(x,y,z)を用いて、溶融炉の設計寸法を基に残留ガラスの高さ(mm)を算出してプロット。

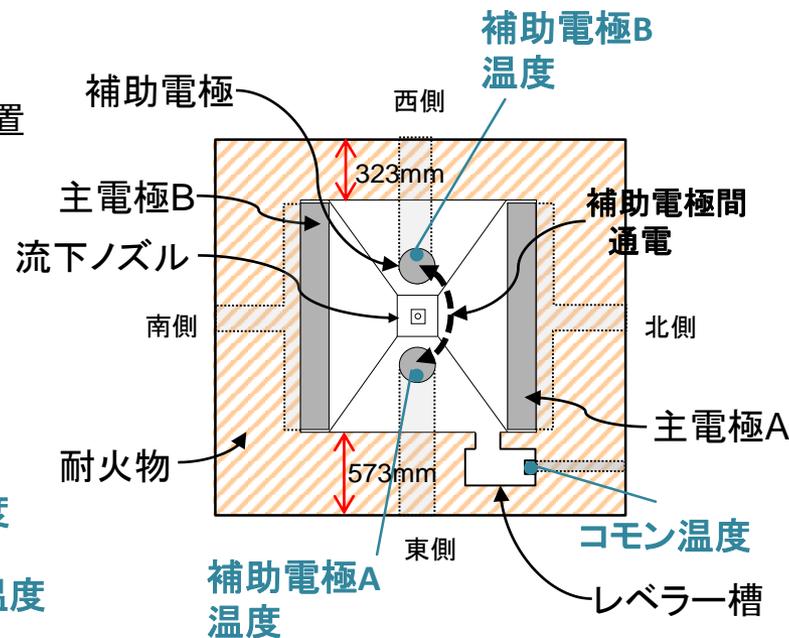
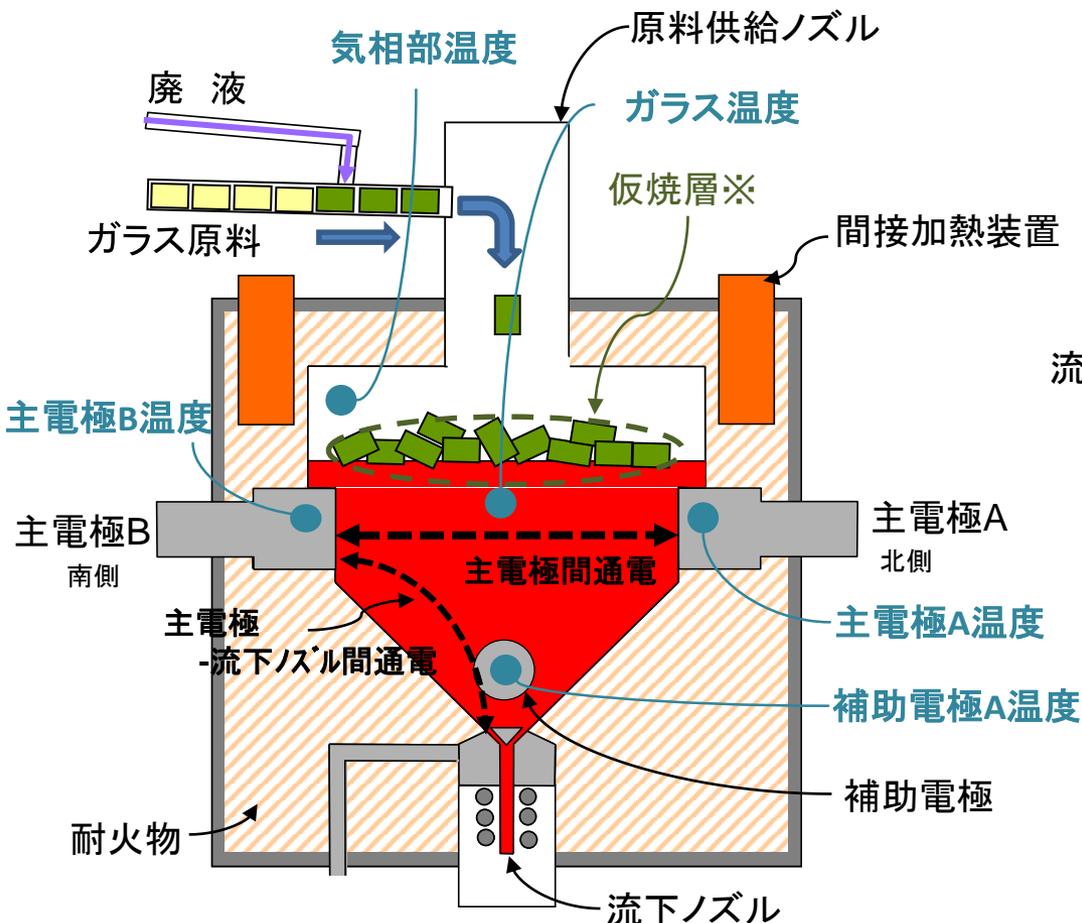
○残留ガラスの高さは、各(x,y)座標から傾斜面に対し垂直方向の寸法を算出。



除去作業前の炉内残留ガラス堆積状況イメージ



前回の実績(平成31年1月31日 炉内観察)



溶融炉内平面図

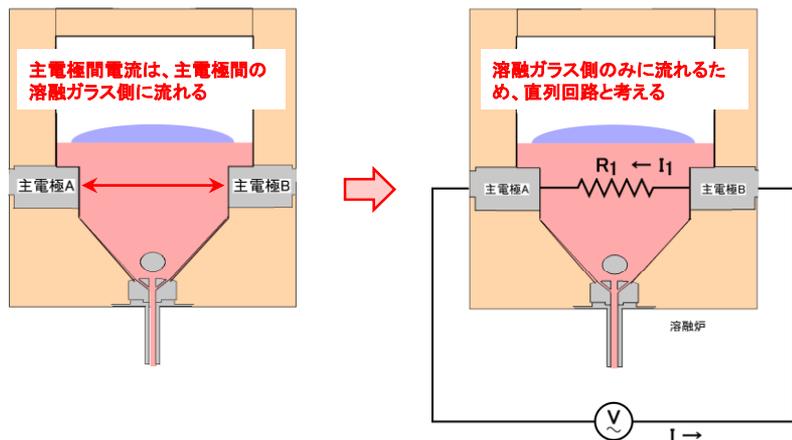
東側にガラス液位を確認するレベラー槽があるため、東側の耐火物は西側より厚い

※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。

○ 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。

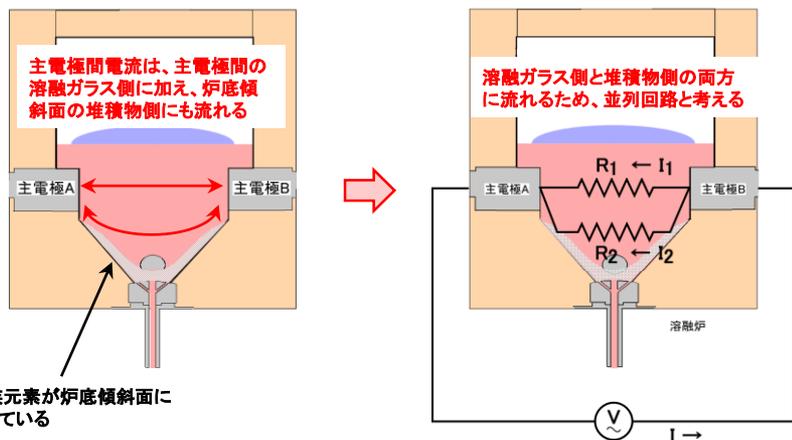


① 炉底傾斜面に堆積物がない状態(運転初期)

- 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
 $I = I_1 = V / R_1$ [A]
- ② 炉底傾斜面に堆積物がある状態
 $I = I_1 + I_2$ [A]
 $I_1 = V / R_1$ [A]
 $I_2 = I - I_1 = V / R_2$ [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。

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>	-

【炉底低温運転について (1/2)】

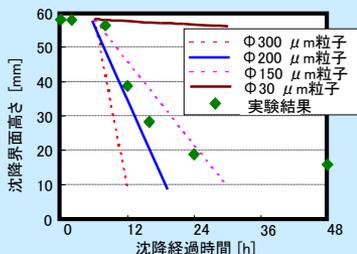
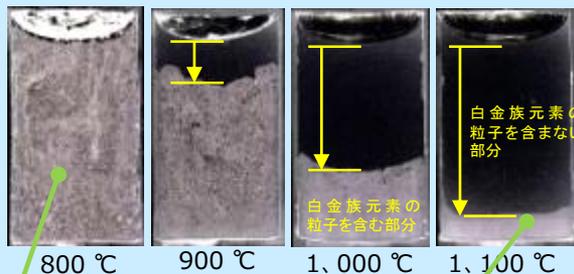
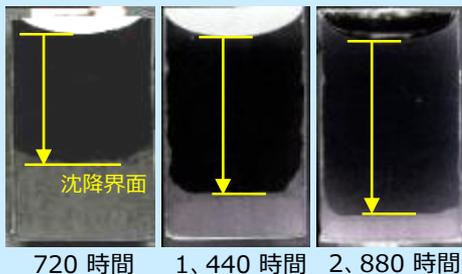
白金族元素の特徴と溶融ガラス物性への影響

- ① ホウケイ酸ガラスに対して溶けにくく、密度が高い (RuO_2 : 7 g/cm^3 、ガラス: $2.5 \sim \text{g/cm}^3$)
⇒析出した白金族元素は酸化物もしくは金属粒子として沈降・堆積する
- ② ガラス中の白金族元素粒子の割合が高まると比抵抗が低くなる。
⇒堆積ガラスは、溶融ガラスより電流が流れやすい
- ③ ガラス中の白金族元素粒子の割合が高まると、粘度が高くなる。
⇒堆積ガラスは、流れにくく抜き出しがし難い

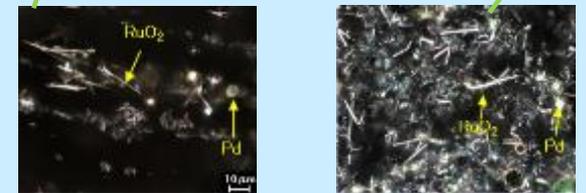
模擬ガラス中の白金族元素の観察

白金族元素の粒子を含むガラスを溶融した状態で保持すると、時間とともに粒子が沈降する。また、温度が高いほど粒子の沈降が速い。

- 保持時間が長いほど白金族元素粒子は沈降する
- 温度が高いほど白金族粒子は沈降しやすい



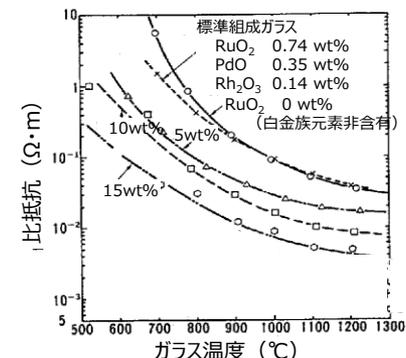
炉底部に沈降する白金族粒子サイズは 150~200 μm と推定



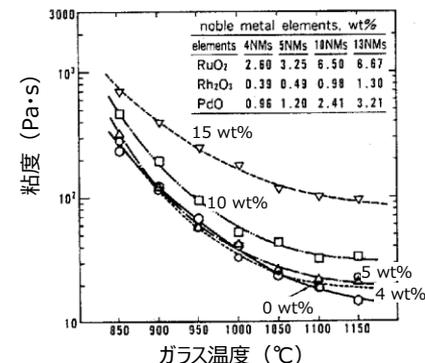
- 「溶融ガラス」は白金族粒子が分散。
- 底部の「堆積ガラス」は、 RuO_2 の針状粒子が絡みあっている。

① 白金族元素のガラス溶解度

酸化物	溶解度(wt%)	ガラス中の濃度(wt%)
RuO_2	<0.1	0.74
PdO	<0.05	0.35
Rh_2O_3	<0.05	0.14

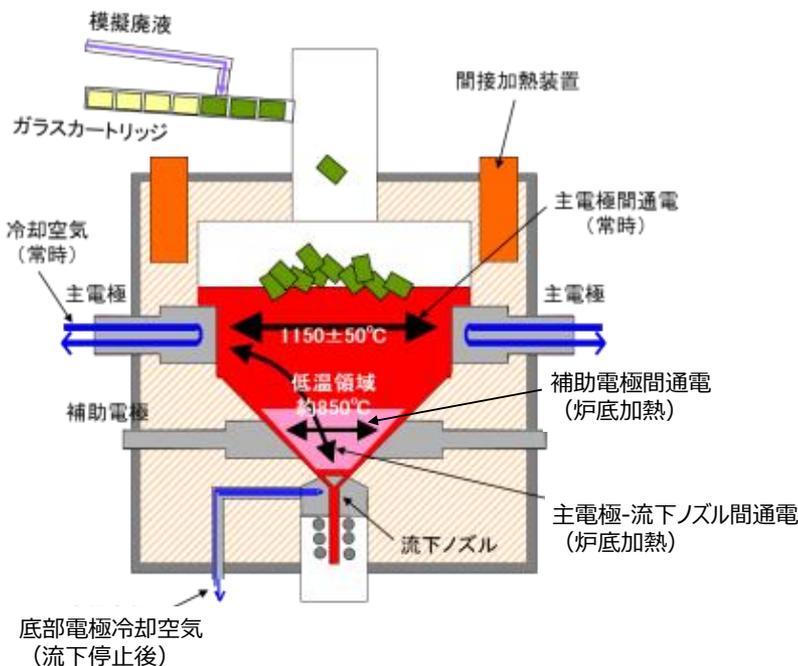


② 白金族元素含有ガラス温度と比抵抗 (RuO_2 の依存性)

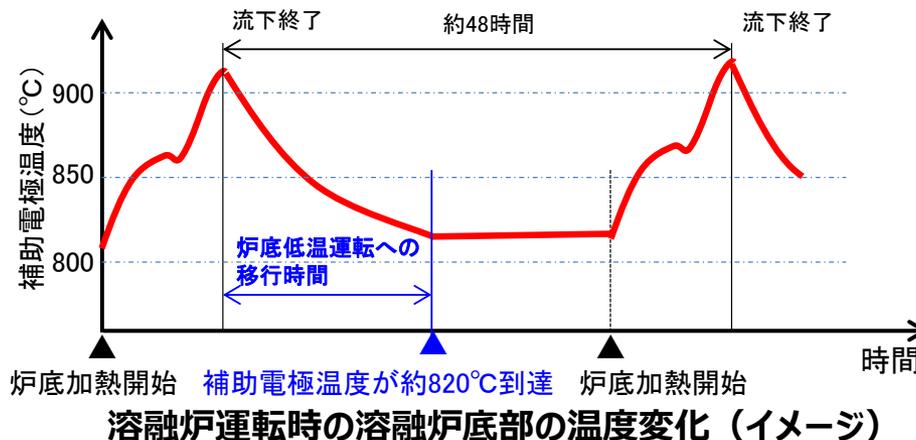


③ 白金族元素含有ガラス温度と粘性

【炉底低温運転について (2/2)】



原理：溶融炉底部のガラス温度を低温に維持することで、ガラスの粘性を増加させ、白金族元素粒子の沈降を抑制する

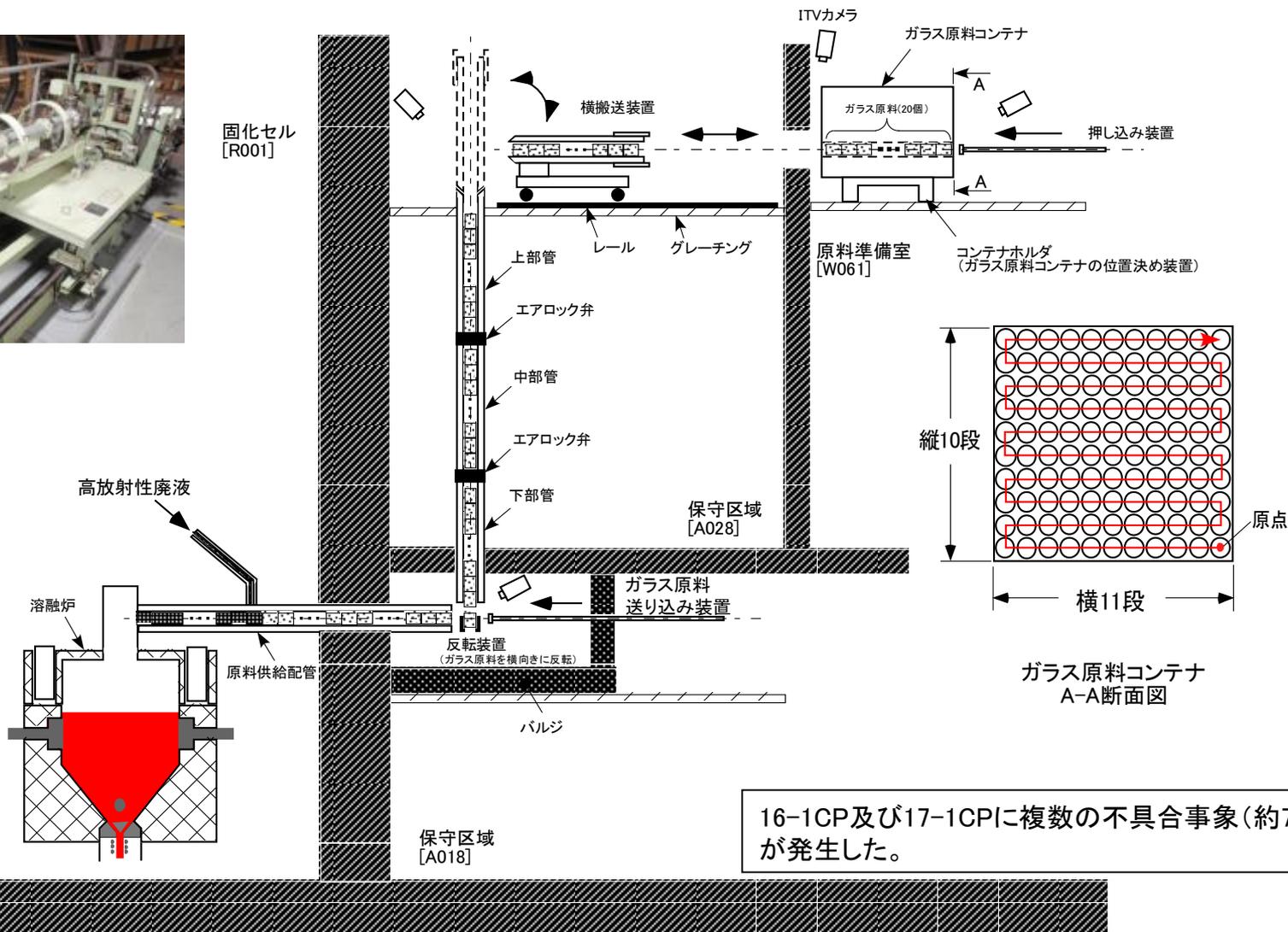


運転管理及び操作

- 主電極通電によりガラス温度 $1150^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ に保ち、同時に補助電極間電流を調節することで、炉底部のガラス温度を約 850°C とするために、補助電極温度を約 820°C に管理する。
- 流下にあたり、炉底加熱により炉底部の温度を上げる必要がある。また、流下中は、高温のガラスが炉底部に流れ込み温度が高くなる。
- 流下終了後、速やかに炉底低温状態に移行させるために、主電極-流下ノズル間の通電を止めるとともに、底部電極に冷却空気を流して、炉底部の温度を下げる運転操作を行う。



横搬送装置写真



想定される不具合事象

- 平成28年以降(16-1CP~19-1CP)の主な不具合事象 -

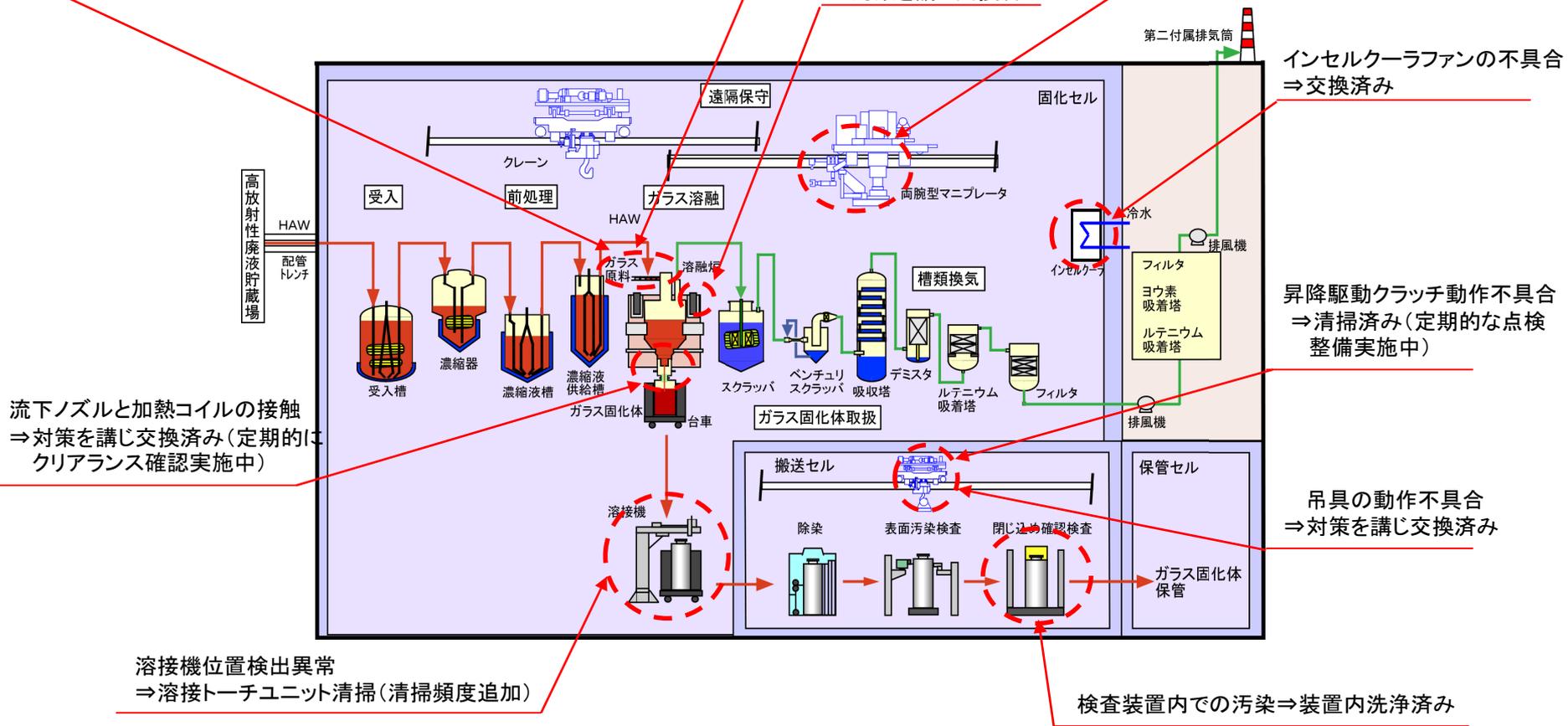
ガラス原料コンテナ交換時の位置ずれ
⇒シーケンサ更新(点検項目明記)

ガラス原料搬送装置の倒立不良
⇒部品交換済み(点検頻度追加)

ガラス原料押し込み不良
⇒制御機器更新済み(メンテナンス
モードによる点検手順追加)

間接加熱装置断線
⇒対策を講じ交換済み

ケーブルリールの不具合
⇒交換済み(使用頻度管理中)



インセルクーラファンの不具合
⇒交換済み

昇降駆動クラッチ動作不具合
⇒清掃済み(定期的な点検
整備実施中)

吊具の動作不具合
⇒対策を講じ交換済み

流下ノズルと加熱コイルの接触
⇒対策を講じ交換済み(定期的な
クリアランス確認実施中)

溶接機位置検出異常
⇒溶接トーチユニット清掃(清掃頻度追加)

検査装置内での汚染⇒装置内洗浄済み

○運転中に想定される特に注意すべき主な不具合事象

設備機器	事象 (区分)	想定される要因	対策	復旧期間
①受入槽等	HAWのサンプリング不調 (a)	サンプリングニードルの閉塞	サンプリングニードルを予備品と交換する。	約1日
	パルセータ均圧弁等の開閉表示不良 (a)	均圧弁等のリミットスイッチの不具合	均圧弁等の開閉信号が正常に出力されないため、自動運転が不可となることから手動で運転を継続する。	約1時間
	水素希釈空気流量低下、液位計等の指示値の変動 (a)	析出物等による配管の閉塞	純水等を用いた閉塞解除操作を実施し、詰まりを除去する。	約2時間
②ガラス原料供給設備	ガラス原料横搬送装置の走行不良、倒立不良 (a)	横搬送装置の走行駆動用Vベルト、走行ローラーの劣化	Vベルト、走行ローラーを予備品と交換する。	約1日
	ガラス原料の送り込み荷重上昇 (a)	溶融炉へガラス原料及び廃液を供給する原料供給ノズルにおいて、ガラス粉塵の堆積等によるガラス原料送り込み抵抗の増加	ガラス原料送り込み荷重をモニタリングし、随時駆動部への注油する。	—
			ガラス原料及び廃液供給を一時停止し、原料供給ノズル内を水洗浄する。	約1時間
	ガラス原料コンテナ交換時のコンテナ蓋の開閉不良等 (a)	コンテナ蓋のガイドレールの歪みによるコンテナ蓋の開閉抵抗の増大等	コンテナ蓋のガイドレールの歪みを修正する。 または、歪みを生じたガラス原料コンテナを使用しない。	約1時間
	ガラス原料反転カップ起伏異常 (a)	欠けや割れたガラス原料が反転カップの駆動部への詰まり	反転カップ内の欠けや割れたガラス原料を取り除く。	約1時間
縦管下部原料検知異常 (a)	ガラス原料の引っかかりにより縦管中部から下部へ原料が落下しない	縦管のハンマリングにより、ガラス原料の引っかかりを解除する。	約1時間	

○運転中に想定される特に注意すべき主な不具合事象

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間
③ガラス溶融炉	溶融炉温度計の指示不良(a)	熱電対の断線	熱電対を予備品と交換する。	約1週間
			ガラス温度計(TI10.27)は、前回運転(17-1CP)後に予防保全の観点で交換した。	—
			その他予備品を保有していない熱電対等については、代替策(他の温度計による代替監視)により対応する。	—
	間接加熱装置の温度計指示不良(a)	熱電対の断線	1基の間接加熱装置に設置されている2本の熱電対のうち、2本とも断線した場合は運転を中断して、予備品と交換する。 なお、断線の原因となった熱電対の施工方法を見直した間接加熱装置の予備品を確保しており熱電対の断線の原因となった施工方法について、他の熱電対で同様の施工方法がないことも確認済み。	1か月
			1基の間接加熱装置に設置されている2本の熱電対のうち1本断線したとしても、他の熱電対で温度評価可能であり、運転を継続する。	—
	主電極冷却ユニットの作動不良(a)	電動機ユニットの故障	予備系の冷却ユニットに切替える。 また、電動機ユニットを予備品と交換する。	約5日
結合装置内圧上昇インターロック作動(流下ノズル加熱電源断)や流下時間の長期化(b)	結合装置の更新に伴う結合装置内圧力制御パラメータの調整が十分でない	結合装置の更新に伴い流下状況を確認しながら流下操作パラメータ(流下ノズル加熱電力、流下停止時の冷却エア流量、結合装置内圧力等)を調整しながら流下する。運転開始後の3本程度の流下までは、特に状況を注視しながら流下する。その後、運転状況に応じて随時調整する。	—	



想定される不具合事象

- 想定される不具合事象等の抽出(3/9) -

【参考資料】

令和3年8月24日第56回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間
③ガラス溶融炉	主電極間補正抵抗の低下(b)	白金族元素が主電極近傍まで堆積	<p>管理値である主電極間補正抵抗に加えて、補助電極間補正抵抗及び炉底低温運転への移行時間（堆積が進むと長期化）に着目し、約110本の固化体を製造した2007年までの運転実績と前回の運転（2019年7月）実績を比較した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 主電極間補正抵抗：2007年までの運転の初期と同程度の値で推移している。 補助電極間補正抵抗：2007年までの運転の約50バッチ目に相当する値まで低下している。 炉底低温運転への移行時間：2007年までの運転の初期と同程度の値で推移している。 <p>以上から、補助電極間補正抵抗は、溶融炉の運転を停止し残留ガラス除去に移行する管理値ではないが、今回の運転本数や運転期間の見通しを得るため、以下の項目について傾向確認する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 補助電極間補正抵抗の低下傾向 （①のポイント）←運転開始後10バッチ程度 炉底低温運転への移行時間 （②のポイント）←①以降10～20バッチ程度 	—
			<p>主電極間補正抵抗が管理値に到達した場合は、溶融炉内のガラスをドレンアウトにより抜き出し、カレット洗浄を実施し、炉内残留ガラス除去作業後に運転を再開する。</p>	約半年
		<p>高放射性廃液の性状変化（酸化物濃度・Na濃度等）による原料供給速度やガラス温度の変動。</p>	<p>受入れた高放射性廃液のサンプリング、分析結果に応じて、濃縮器において濃縮、試薬を添加し、酸化物濃度、ナトリウム濃度を一定に調整する。</p>	—



想定される不具合事象

- 想定される不具合事象等の抽出(4/9) -

【参考資料】

令和3年8月24日第56回東海再処理施設安全監視チーム会合資料

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間
③ガラス溶融炉	漏電によるガラス流下自動停止(b)	流下ノズルと加熱コイルの接触	<p>結合装置据付後に、流下ノズルと加熱コイルのクリアランスを確認すること 通電確認試験により通電可能なことを運転開始前に実施することから、運転開始時には接触の可能性は無いと考えている。</p> <p>なお、運転中の接触による漏電発生については以下の対策を図り、早期の検知に努める。</p> <p>1. 加熱コイル給電系統にリークモニタを設置して漏れ電流発生の有無を継続的にモニタリングする。</p>	—
		想定よりも大きな流下ノズルの偏心により流下ノズルと加熱コイルが接触。	<p>炉内ガラスを全量抜き出すことが必要な場合(ドレンアウト)、流下ノズルと加熱コイルが接触しても漏電が発生しないよう、高周波加熱給電系統に絶縁トランスを設置する。</p> <p>予備品の材料手配に着手しており、流下ノズルと加熱コイルの位置を測定し、ノズル位置に応じた結合装置を製作して交換する。</p>	約半年
		流下ガラスの偏流により流下ガラスと加熱コイルが接触。	<p>加熱コイル周りにガラスが付着していないこと、流下経路に閉塞物がないことを確認し、再流下する。</p> <p>結合装置の更新に伴い流下状況を確認しながら流下操作パラメータを調整しながら流下する。運転開始後の3本程度の流下までは、特に状況を注視しながら流下する。</p>	1年
	廃気冷却管の閉塞(a)	<p>オフガス中のホウ素やナトリウムの析出(ホウ酸や硝酸ナトリウム)により、配管に閉塞事象が生じ、排気流量が低下する。</p>	<p>廃気冷却管を純水により付着物の洗浄を実施する。</p>	10時間程度
④台車	台車の故障(b)	<p>リミットスイッチの経年劣化により、所定の位置で停止しないため、周辺機器との衝突、溶融炉とのインターロック等不成立により運転不可。</p>	<p>ガラス固化体台車を一式更新する。</p> <p>・機器の設計は終了している。既設との取り合い部について3次元計測を行い、その結果を機器を製作に反映する。</p>	数時間
				約1~1.5年

設備機器	事象	想定される要因	対策	復旧期間
⑤溶接機	XYスライダユニットの動作不良(b)	溶接電極を移動させるXYスライダユニットの故障	XYスライダユニットを予備品と交換する。	約1ヶ月
	Z軸スライダユニットの動作不良(b)	溶接電極を移動させるZ軸スライダユニットの下降事象	Z軸スライダユニットの点検整備。	約1ヶ月
	仮付け溶接時の蓋の浮き上がり(a)	溶接電極と蓋の溶着	蓋の抑え等により、蓋の浮き上がりを修正し、再溶接する。	数時間
⑥除染装置等	除染装置内ホイスのガラス固化体吊具の動作不良(a)	ガラス固化体吊具の開閉機構の経年劣化(摩耗等)	ガラス固化体吊具を予備品と交換する。	約3週間
	ガラス固化体閉じ込め検査での汚染検出(a)	ラドントロン等による閉じ込め検査装置のサンプリング配管内汚染(2系統あるため1系統で対応可能)	空運転(加熱)により、サンプリング配管内を除染する。	約1日
		ガラス固化体の汚染	セル内入室し、水洗浄等によりサンプリング配管内を除染する。	約3週間
⑦固化セルクレーン	絶縁抵抗の低下(a)	6月～9月頃、外気(温度、湿度)の影響により、固化セル内の湿度が上昇し、固化セルクレーン(G51M100、M101)の各駆動系(主巻、走行、横行等)の絶縁抵抗が低下する。	照明の点灯による雰囲気温度の上昇、動作による駆動系の温度上昇などにより、絶縁抵抗の回復を図る。	1～2日
	ガラス固化体吊具の爪の開閉不可(b)	ガラス固化体吊具の開閉機構の経年劣化(摩耗等)	予備品と交換する。 なお、動作回数により交換頻度を定めており、本CP内での動作不良の発生は低い。	約2週間

設備機器	事象	想定される要因	対策	復旧期間
⑧両腕型マニプレータ	制御信号系の異常(b)	両腕型マニプレータスレーブアームの制御信号系に異常が生じスレーブアームが動作しない。	制御基板等を予備品と交換する。	約1週間
	テレスコチューブ/スレーブアームの動作不良 (b)	駆動系、ポテンショメータ、コネクタ部の劣化または接触不良	駆動系等を予備品と交換する。	約1週間
⑨搬送セルクレーン	ガラス固化体吊具の爪の開閉不可 (b)	ガラス固化体吊具の開閉機構の経年劣化(摩耗等)	予備品と交換する。 なお、動作回数により交換頻度を定めており、本CP内での動作不良の発生は低い。	約2週間
	停止位置異常 (a)	位置検出用リミットスイッチの作動不良	手動にて停止位置を確認しながら運転継続する。	約1時間
⑩搬送セルP/M	ガラス固化体吊具の爪の開閉不可 (b)	ガラス固化体吊具の開閉機構の経年劣化(摩耗等)	予備品と交換する。 なお、事前に予備品と交換していることから、本CP内での動作不良の発生は低い。	約2週間
⑪インセルクーラ	ファンの不具合(a)	ベアリング等の消耗部品の経年劣化 ※運転中は10台中6台が運転する設計となっており、1台停止により、固化セル内の温調に直接影響することはない	ファンユニット(電動機+送風機)を予備品と交換する。	約2週間
⑫その他	M/Sマニプレータ伸縮動作不良(a)	固化セル内及び搬送セル内でのM/Sマニプレータのマスターアームまたはスレーブアームの動作不良 駆動用ワイヤの噛み込み等	マスターアームや駆動用ワイヤ等を予備品と交換する。	約1週間
	冷却塔散水ポンプの不具合(a)	ベアリング等の消耗部品の経年劣化	ポンプ一式を予備品と交換する。	約1日



想定される不具合事象

- 想定される不具合事象等の抽出(7/9) -

【参考資料】

令和3年8月24日第56回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間	
⑫その他	2次廃液処理系移送ポンプの異常(a)	シャフトスリーブやベアリング等の摺動部品の摩耗による過負荷 (予備機に自動で切り替わるため、蒸発缶の運転には直接影響しない。)	分解して摩耗した部品を交換する。	約1ヶ月 (熔融炉の運転を停止し、分解整備可能な運転状態に移行するまでに約3週間を要する。)	
	水素希釈空気流量低下、液位計等の指示値の変動 (a)	水素希釈空気配管や計装導圧配管の閉塞	純水等を用いた閉塞解除操作により詰まりを除去する。	約2時間	
	固化セル内での水漏れ(b) ※固化セル内のドリフトレイに設置している仮設計器によりドリフトレイの液位変化をモニタリングしており、警報発報前に検知可能	結合装置の遠隔継手からの冷却水の漏えい		給電フィーダダクトにのぞき窓が設置されており、遠隔継手からの漏えいの有無を確認する。 遠隔継手からの漏えいの場合は、遠隔継手を予備品と交換する。	約1週間
		中放射性廃液貯槽のサンプリングポットからの漏えい		定期的にサンプリングポットへ廃液を循環させ、閉塞状況の確認を行っている。閉塞傾向が認められた場合は、純水等を用いた閉塞解除操作により詰まりを除去する。	数時間
	インセルクーラ、溶接機等固化セル内機器の冷却水配管からの漏えい		固化セル内ITVカメラで漏えい箇所を確認し、予備品等へ交換する。 インセルクーラは運転中は10台中6台が運転する設計となっており、1台停止により、固化セル内の温調に直接影響することはないことから当該漏えいした系統の隔離処置(閉)を行う。	約1週間	

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間
⑫その他	パルセータ均圧弁等の開閉表示不良 (a)	均圧弁等のリミットスイッチの不具合	均圧弁等の開閉信号が正常に出力されないため、自動運転が不可となることから手動で運転を継続する。	約5時間
	工程制御装置のプログラムエラー (a)	設備更新後、ドレンアウトの実証確認が取れておらず、ドレンアウトのプログラムに不具合が生じ、ドレンアウトができない。	ドレンアウト中はメーカを常駐することにより、不具合に対して速やかに対応できる体制を構築する。	数時間
	ITVカメラの不具合(a)	制御基板や撮像管等の劣化	制御基板等を予備品と交換する。	約1週間
		ケーブルの劣化	ケーブルを予備品と交換する。	約1週間
	冷水設備ポンプ停止(a)	冷凍機制御系のリレー、電磁接触器等の接触不良	リレー等を予備品と交換する。 なお、過去の不適合の是正処置として定期的（1年・5年・10年周期）に制御系のリレーを交換している。	約1日
	圧空作動弁の動作不良 (a)	リミットスイッチの作動不良	予備品と交換する	約5時間
	ユーティリティ系配管からの水漏れ（蒸気漏れ含む） (a)	腐食等によるピンホールからの水漏れ	補修治具（金属パテ、クランプ等）などにより水漏れ箇所の止水処置を施す。	数時間
	建家及びセル換気系送排風機、冷却水ポンプ等の故障(a)	ベアリング等の摺動部品の摩耗による過負荷 (予備機に自動で切り替わるため、運転には直接影響しない。)	予備品（電動機含む）と交換する。	約1日



想定される不具合事象

- 想定される不具合事象等の抽出(9/9) -

【参考資料】

令和3年8月24日第56回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料一部
改訂

設備機器	事象(区分)	想定される要因	対策	復旧期間
⑫その他	工程監視盤演算器の故障(a)	不足停電時、ヒューズ切れやボタン電池切れによる交換時の静電気の発生	演算器を予備品に交換する	数時間
	ガラス固化体汚染防止キャンプの動作不良(b)	開閉機構の経年劣化(摩耗等)	予備品に交換する	数時間

○その他設備機器の不具合以外の事象

事象	想定される要因	対策	復旧期間
運転員の新型コロナウイルス感染	運転員(5班3交替、1班10名体制)のコロナ感染により、運転体制を維持できず運転中断	機構の新型コロナウイルス感染症に関する対応ガイドラインに従って感染防止に努める。 運転員と日勤との接触を回避するため、休憩室、食事等の場所を分ける。 また、運転員(全員)は腕章を着用し、認識強化と日勤との識別を図る。	—
		10名/班(班長1名含む)を維持するため、出勤見合わせとなった運転員を日勤の代直要員(各担当約2名、全体で約20名)により補い、運転体制(5班3交替)を維持する。	—
		日勤の代直要員により運転体制(5班3交替)を維持できない場合は、出勤見合わせとなった運転員が、班長または各工程の代直員数を上回った場合は、4班3交替により運転が継続できるかどうか検討する。 なお、4班3交替は、労務管理上短期間(約1か月間以内)の対応となる。	—
		日勤の代直により運転体制(4班3交替)を維持できない場合一旦運転を中断する。	約2週間