

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】

1. TVF の状況

- 3号溶融炉への更新の準備作業として、解体場にて残留ガラス除去装置等の解体作業及び廃棄物の詰替え作業を継続中。
- 解体作業と併行して実施している高経年化対策のうち、両腕型マニプレータのコードリールの交換については、5月12日をもって完了した。その後、両腕型マニプレータのコードリールの交換に使用した治具等の搬出と、本年2月に停止したインセルクーラファンの電動機ユニットの交換作業を実施した。
- なお、交換した両腕型マニプレータのコードリールが想定よりも高線量であることから人手ではなく遠隔解体が必要となったこと、交換するインセルクーラファンも解体が必要となったこと、これらの遠隔解体に追加で3～4ヵ月程度要する見込み。工程への影響の評価や、作業工程を精査した上で、合理的な工程の見直しを進めていく。

2. 3号溶融炉の製作状況

- 3月6日から4月11日にかけて、溶融炉の基本性能(ガラスの加熱/溶融性、流下開始/停止性)の確認を目的に、モックアップ試験棟においてガラスカレット^{※1}を用いた試験を実施し、加熱、溶融、流下に係る溶融炉の基本性能を満足していることを確認した。
※1 ガラス固化体中の放射性廃棄物成分を非放射性同位元素に置き換えることで、実際の廃棄物を含むガラスの物性を模擬したガラス(ただし、FP成分である白金族元素は非含有)
- 4月10日～11日にかけて、ドレンアウト後の溶融炉内構造物(レンガ、電極)の健全性を確認するための炉内観察を実施した。炉内ガラスはほぼ全量抜き出され、炉底の底部電極が確認できている。また、電極や耐火レンガ等に有意な損傷は見られず、健全であることを確認している。
- 今後は、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。

令和 5年 6月 29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

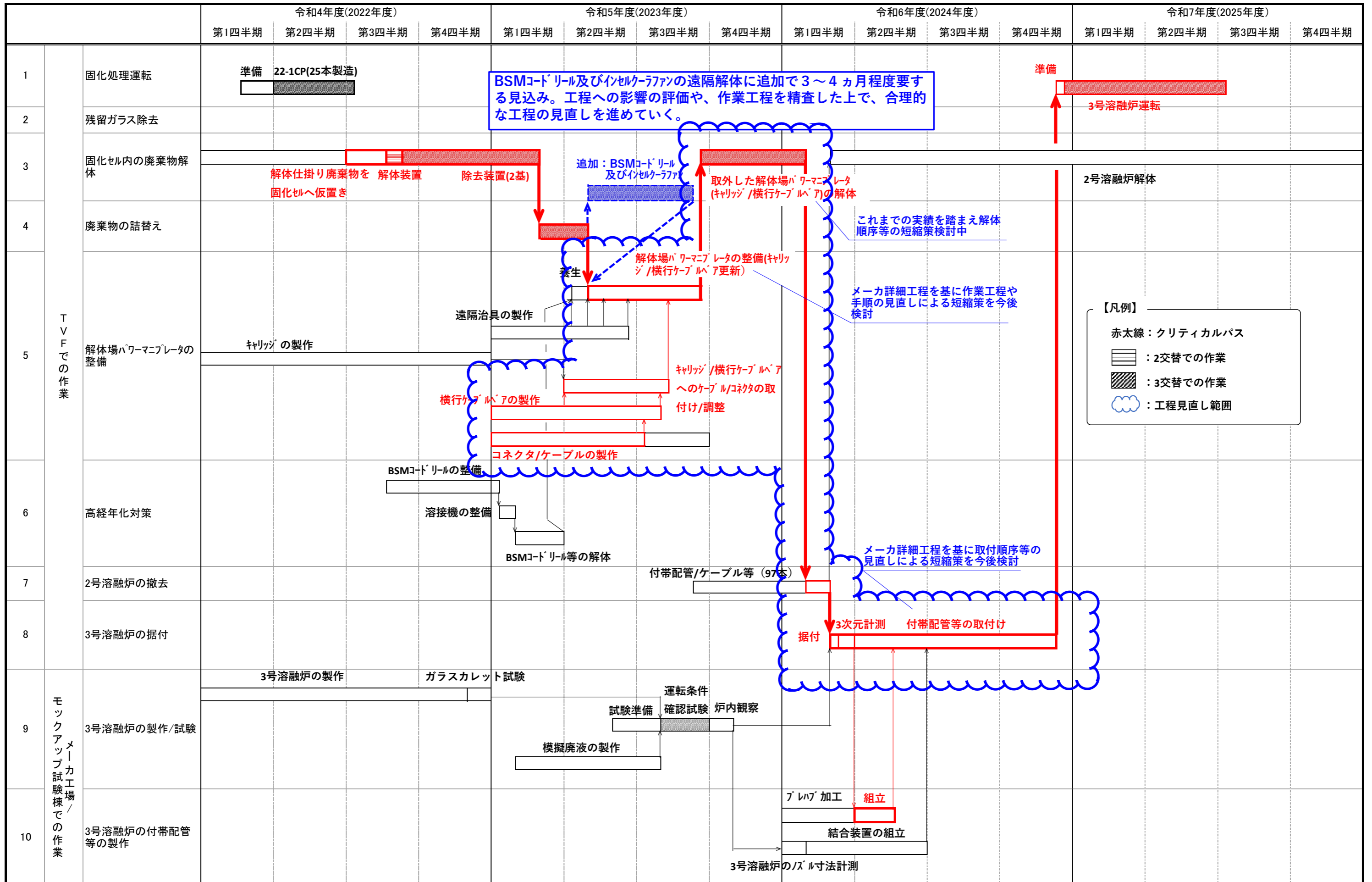
1. TVF の状況

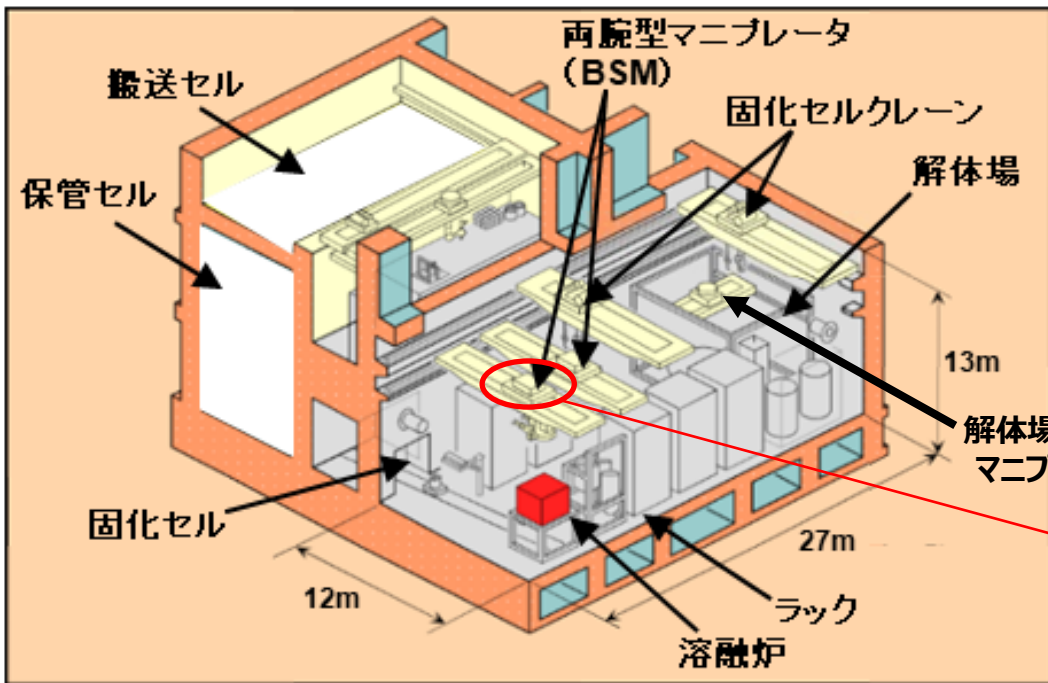
TVF は、令和 6 年度末熱上げ開始を目指し、現在、3 号溶融炉の固化セル内搬入に向け、固化セル内の高放射性固体廃棄物の解体作業、高経年化設備の更新作業を進めている。

- (1) 3 号溶融炉への更新の準備作業として、解体場にて残留ガラス除去装置等の解体作業及び廃棄物の詰替え作業を継続中。
- (2) 解体作業と併行して実施している高経年化対策のうち、固化セル内に設置している両腕型マニプレータ(BSM)の部品交換(コードリール整備)を除染セルにて直接保守(人手)で行っているが、過去に実施した溶融炉内の残留ガラス除去作業等の影響により、交換予定のコードリール周辺が想定以上に汚染しており(過去の実績を上回る高線量)、被ばく低減、汚染拡大防止への追加の対策が必要となり、交換作業に時間を要したが、5 月 12 日をもって完了した。
- (3) その後、本年 2 月に停止したインセルクーラファンの電動機ユニットの交換作業を実施し、昨年停止したインセルクーラファンの電動機ユニットの使用前自主検査も併せて受検し、合格をもって復旧した(6 月 13 日)。
- (4) 交換した BSM のコードリールが想定よりも高線量であることから人手ではなく遠隔解体が必要となったこと、交換したインセルクーラファンも解体・廃棄が必要となったこと、3 号溶融炉への更新に向けて固化セル内に仮置きするスペースもないことを踏まえ、これらの遠隔解体に追加で 3~4 ヶ月程度要する見込み。工程への影響の評価や、作業工程を精査した上で、合理的な工程の見直しを進めていく。
- (5) なお、クリティカルパスではないが、整備した BSM とは別の BSM 旋回台に設置している ITV カメラ映像に不調の兆候が認められ、ケーブル/コネクタ等の点検整備をインセルクーラファンの交換作業と併せて追加で実施する。

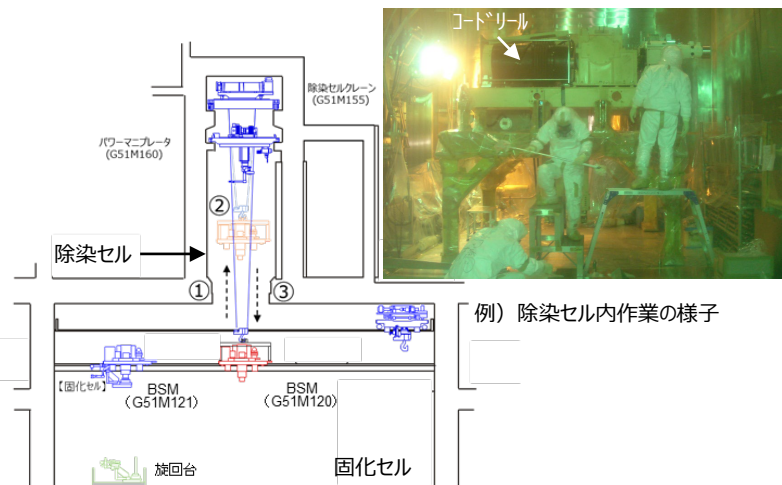
3号熔融炉への更新スケジュール

令和4年10月21日作成
令和5年5月31日加筆修正



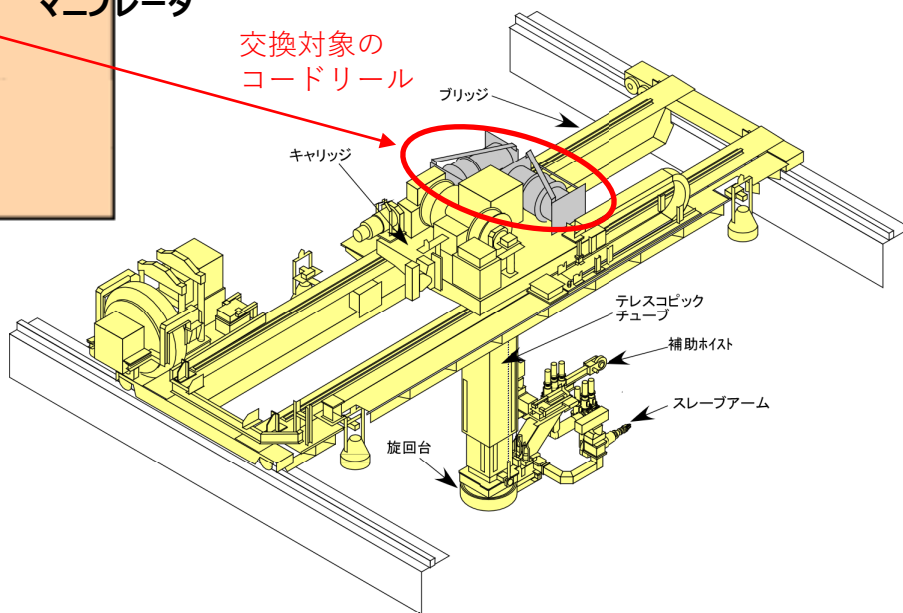


固化セル 鳥瞰図



更新手順 (固化セル→除染セル:直接保守)

交換対象の
コードリール

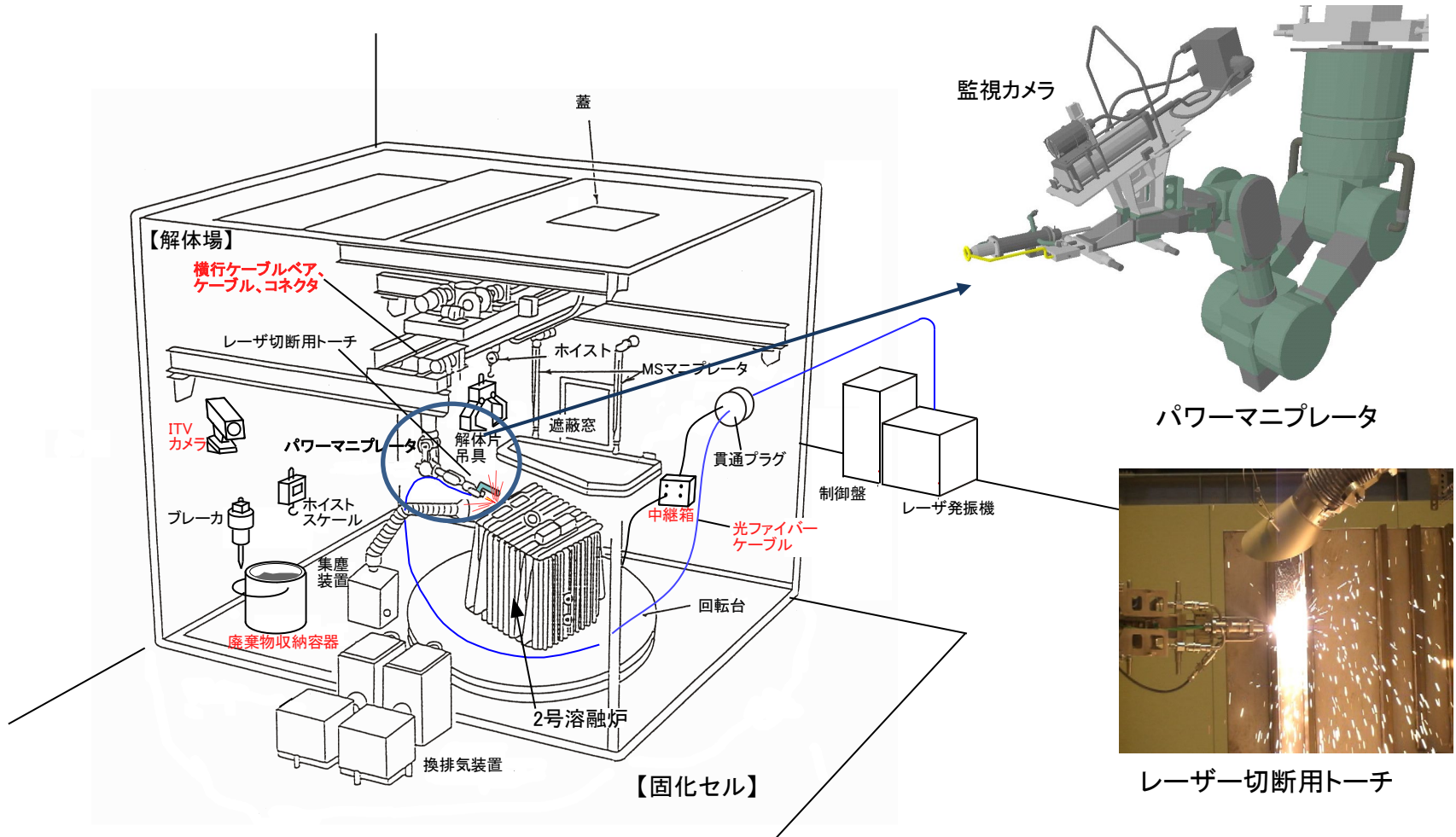


BSM鳥瞰図

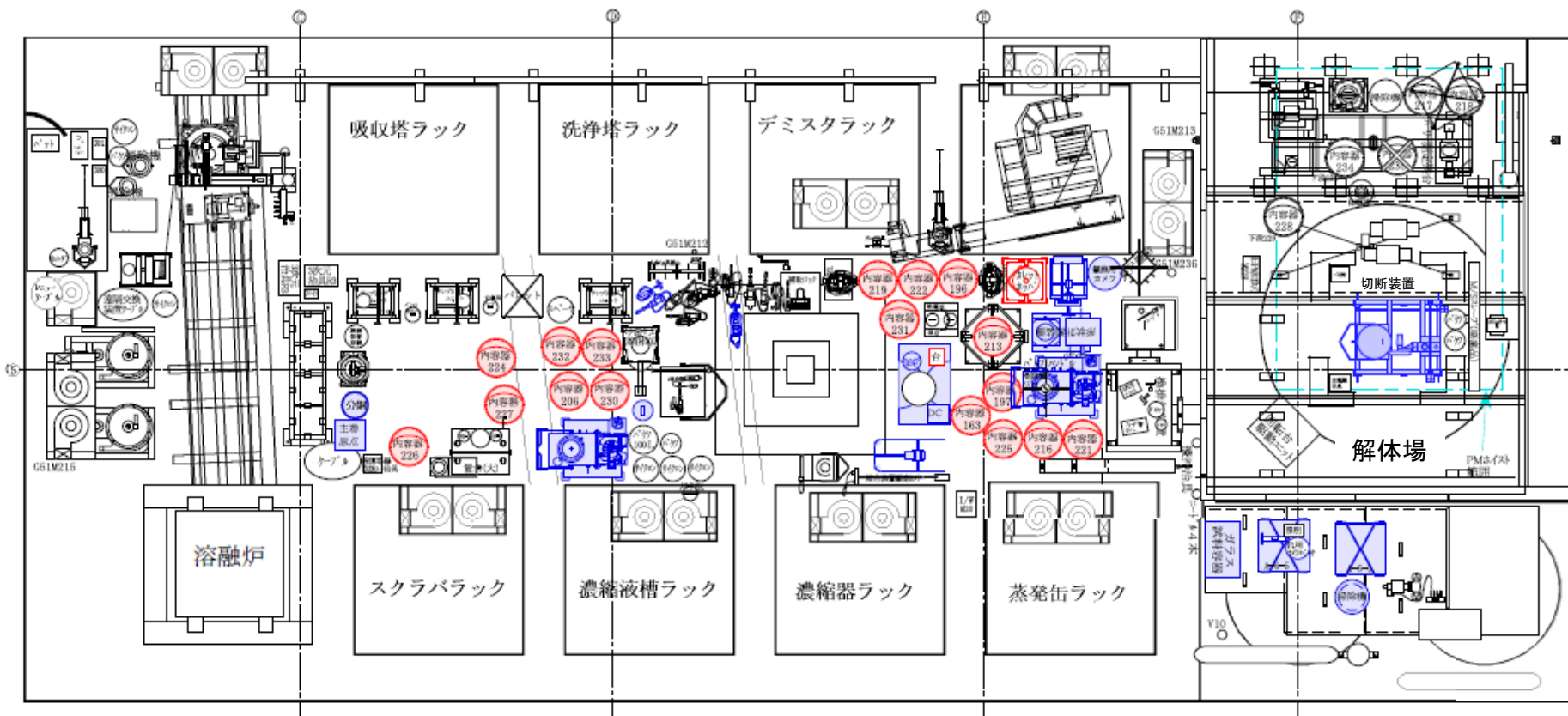
3号溶融炉更新の概要

(2)解体場パワーマニプレータの整備

令和4年12月15日第68回東海再処理施設
安全監視チーム会合資料に加筆修正

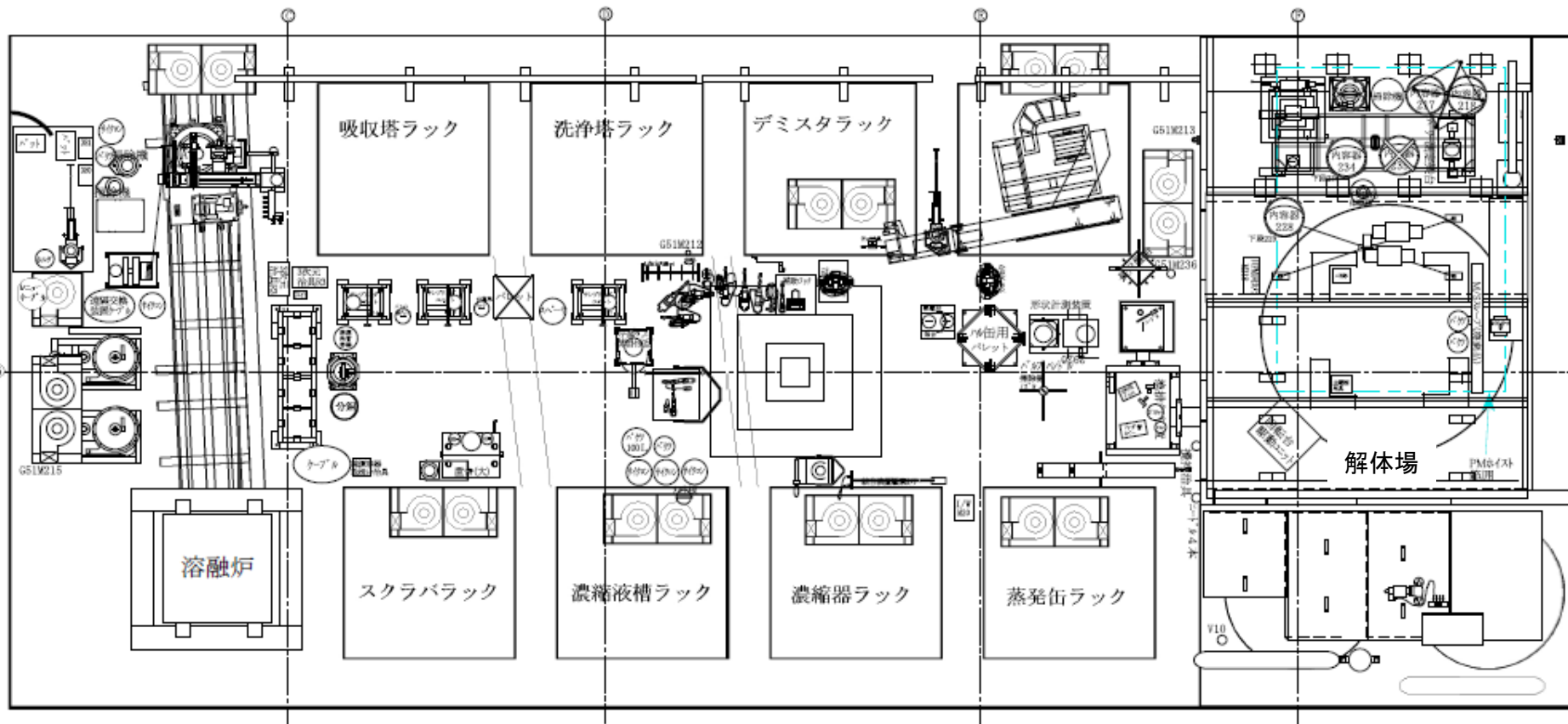


赤字箇所: 3号溶融炉への更新に伴い、整備が必要な
解体場パワーマニプレータの部品類



青: 廃棄する装置等(解体して廃棄物容器に収納して搬出)
赤: 廃棄物を収納済みの廃棄物容器(収納物を詰替えて搬出)

TVF固化セル内の配置(R4. 9. 2現在)



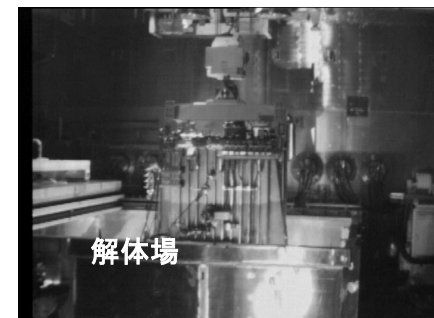
TVF固化セル内の配置(例)

溶融炉更新に必要なスペース確保後の固化セル内の状況

① 2号溶融炉の取外し ⇒ 固化セル内の解体場に移動

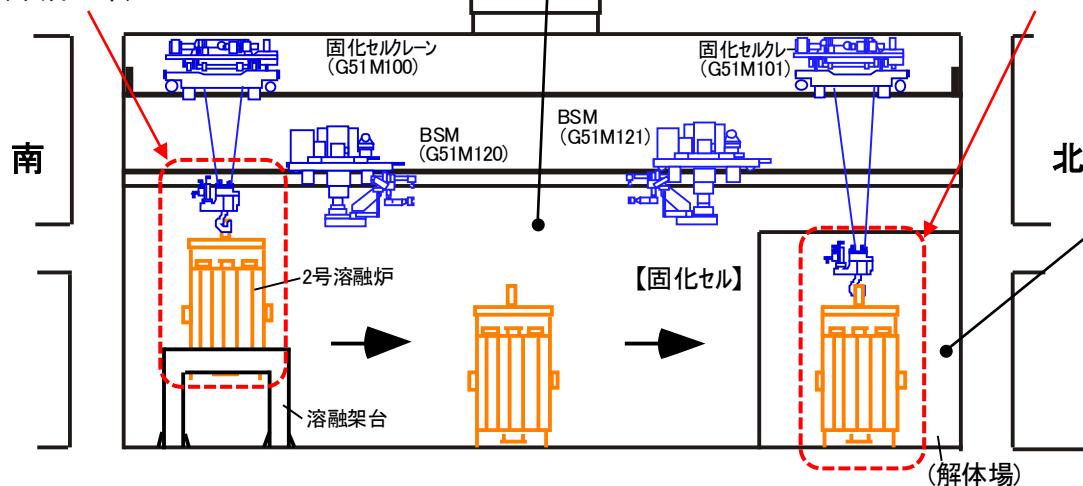


参考写真
1号溶融炉の取外し時の状況
(平成15年)



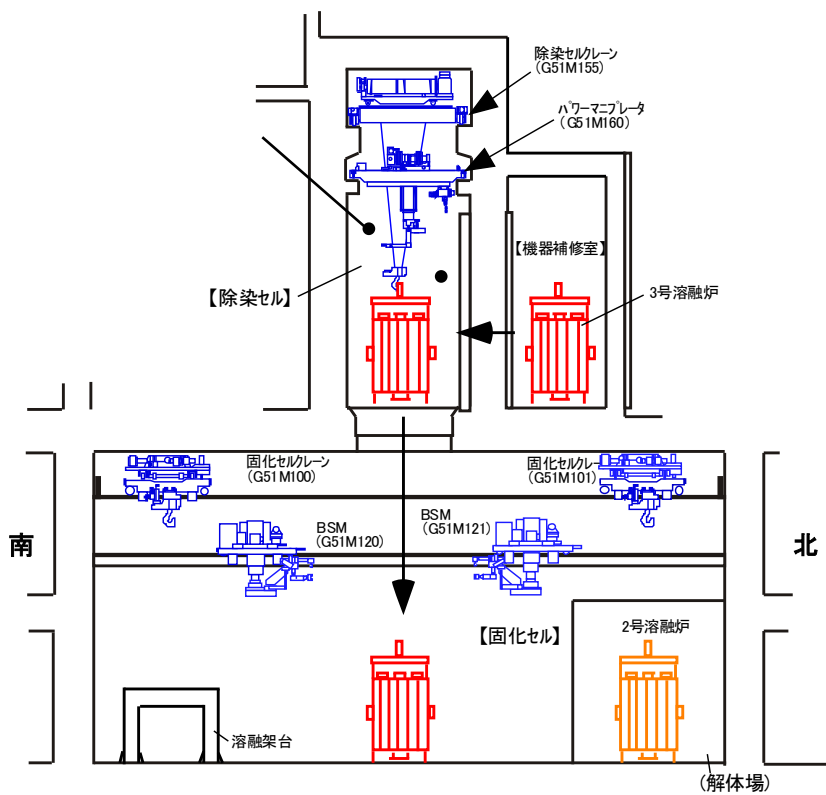
参考写真
1号溶融炉の解体場への移動時の状況
(平成15年)

固化セル内での作業は、全
て遠隔操作で行う。

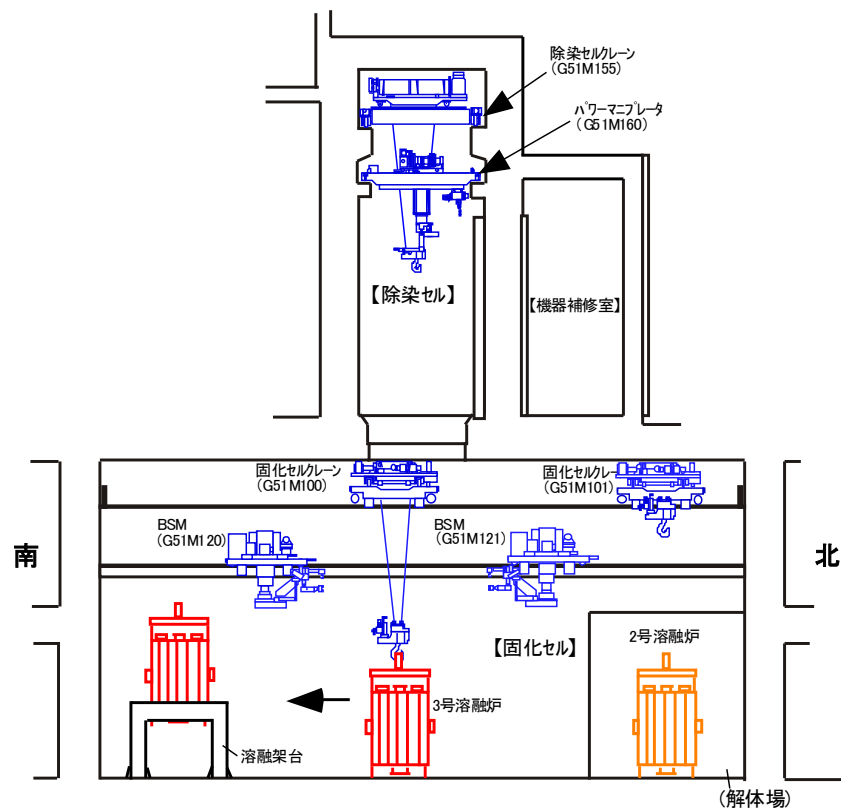


解体場内で2号溶融炉を
解体し、解体に伴い発生
した高放射性固体廃棄物
は、東海再処理施設内の
第二高放射性固体廃棄物
貯蔵施設へ搬出する。

② 3号溶融炉を固化セル内に搬入



③ 3号溶融炉据付け



2. 3号溶融炉の製作状況

ガラス固化技術開発施設(TVF)では、令和6年度末からの熱上げ開始に向け、3号溶融炉の製作を進めてきた。

令和5年3月6日から4月11日にかけて、溶融炉の基本性能(ガラスの加熱/溶融性、流下開始/停止性)の確認を目的に、モックアップ試験棟においてガラスカレット*1を用いた試験を実施した。

*1 ガラス固化体中の放射性廃棄物成分を非放射性同位元素に置き換えることで、実際の廃棄物を含むガラスの物性を模擬したガラス(ただし、FP成分である白金族元素は非含有)

2.1 ガラスカレット試験の概要

(1) 試験期間(表-1 参照)

令和5年3月6日 ~ 令和5年4月11日

※熱上げ開始から炉内観察までを試験期間とする。

(2) 試験場所

核燃料サイクル工学研究所 モックアップ試験棟

(3) 試験内容(表-2 参照)、主な確認項目

① 熱上げ試験

溶融炉内にガラスカレットを供給し、間接加熱装置で熱上げを開始した後、電極間通電に移行しさらに加熱し、加熱時の状態を確認する。

確認項目:熱上げ時の昇温性、電極間通電確認や温度計の作動性

② カレット溶融試験

約50kg*2の部分流下を複数回行い、流下操作時の状態を確認する。

*2 通常の流下1回当たりの流下重量:約300kg(ガラス固化体1本分)

確認項目:炉内温度分布(補助電極温度 $820^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$)、ガラス液位、炉底低温運転からの加熱条件(流下開始条件:底部電極温度 745°C 以上)、溶融機能(ガラス温度 $1100^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ 程度)、流下機能(流下開始から流速50kg/hまでの所要時間:10分以内目安)

③ ドレンアウト(炉内ガラスの全量拔出し)試験

炉内のガラス(固化体3本分)を全量流下し、流下時の状態を確認する。

確認項目:ドレンアウトに伴う液位低下に対応した流下条件

④ 炉内観察

炉を冷却後、炉内の状態を観察する。

確認項目:炉内構造物(レンガ、電極)の健全性

2.2 試験結果

本試験では、以下に示す通り、各確認項目の確認結果を評価し、2号溶融炉と同様の運転パラメータ(溶融条件、炉底低温運転からの加熱条件、流下条件等)により、設定した判定基準を満足した運転が可能であり、3号溶融炉の基本性能を満足していることを確認した。

① 熱上げ試験(図-1 参照)

- ✓ ガラス固化体約2本分*3のガラスカレットを溶融炉内に投入し、3月6日15:01、間接加熱装置の起動を以って、熱上げを開始した。
 - *3 炉内の溶融ガラス液位が、主電極上端となるガラス重量
- ✓ 間接加熱による炉内各部の昇温に伴い、各電極間の通電が行えることを順次確認、3月21日16:14に全ての通電確認完了を以って、熱上げを完了した。
 - ・主電極間通電 :3月18日10:11 通電確認完了
 - ・主電極-コモンプローブ間通電 :3月20日5:38 通電確認完了
 - ・補助電極間通電 :3月21日12:22 通電確認完了
 - ・主電極-流下ノズル間通電 :3月21日16:14 通電確認完了
- ✓ 熱上げ期間中において、各温度計(主電極、補助電極、底部電極、ガラス温度等)が正常に作動し、各部の温度上昇に異常がないことを確認した。
- ✓ 今回、熱上げ開始から主電極間通電確認完了までに要した期間は、約11.8日であり、現行溶融炉(2号溶融炉)の平成15年5月における築炉後の最初の熱上げ時の所要期間(約10.3日)に比較して期間を要しており、次回運転条件確認試験(令和5年第3四半期)の結果を踏まえて、熱上げ期間を設定する。

② カレット溶融試験

- ✓ 3月22日から3月26日にかけて、運転パラメータを調整しながら約50kg/回の部分流下を計5回実施した。
 - ・部分流下1回目:3月22日15:02~15:24(流下重量:56.7kg)
 - ・部分流下2回目:3月23日14:23~14:50(流下重量:51.4kg)
 - ・部分流下3回目:3月24日13:23~13:58(流下重量:47.3kg)
 - ・部分流下4回目:3月25日10:13~10:48(流下重量:46.6kg)
 - ・部分流下5回目:3月26日10:03~10:47(流下重量:56.8kg)
- ✓ 主電極間電力を39kWに一定に維持(2号溶融炉の運転条件)することで、ガラスの溶融状態(ガラス温度:1100°C±50°C程度)を維持できることを確認した。(図-2 参照)

- ✓ また、主電極、底部電極の強制空冷量、補助電極間電流を調整し、白金族元素の炉底への沈降・堆積を抑制するための炉底低温運転(補助電極温度: $820^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (補助電極中央の高さにおけるガラス温度 850°C 相当))が行えることを確認した。(図-2 参照)
- ✓ 流下操作については、炉底低温運転の状態から、流下開始予定の5時間前(2号溶融炉の作動試験の実績)から補助電極間通電及び主電極-流下ノズル間通電により炉底部を加熱し、2号溶融炉に適用している流下ノズルの加熱を開始するための温度条件(底部電極温度 720°C 以上)まで昇温できることを確認した。(図-3 参照)
- ✓ 上記の炉底部加熱後、流下ノズルの高周波加熱により、2号溶融炉に適用している流下を開始するための温度条件(底部電極温度 745°C 以上)まで昇温し、流下を開始することができた。流下においては、流下速度の立ち上がり^{*5}及び流下ノズル先端付近における流下ガラスの状況から安定した流下が行えていることを確認した。(図-3 参照)

*5 流下開始から流下速度 50kg/h までの所要時間
: (10分以内の目安に対し)3~4分

- ✓ 通常の流下停止時操作として、流下ノズルの加熱を停止し、流下ノズルの強制空冷を行うことで、流下が停止することを確認した。また、流下ノズル加熱電力の調整により流下速度を制御し、流下停止操作を開始してから流下が停止するまでに流下するガラス重量を調整できることを確認した。
- ✓ 炉内へのガラスカレットの追加供給によるガラス液位の上昇に伴い、レベラー槽内に設置されたガラス液位計(電気抵抗式)が正常に作動し、流下操作に必要となるガラス液位が検知できることを確認した。

③ ドレンアウト試験(図-4 参照)

- ✓ 3月27日から3月29日にかけて、ドレンアウト(炉内ガラスの全量拔出し: ガラス固化体3本分の流下)を実施した。
 - ・1本目の流下: 3月27日 14:13~16:22 (流下重量: 309.2kg)
 - ・2本目の流下: 3月28日 14:23~16:05 (流下重量: 294.6kg)
 - ・3本目の流下: 3月29日 1:10~ 2:48 (流下重量: 263.8kg)
- ✓ ドレンアウトにおいては、間接加熱装置を併用し、液位低下に伴うガラス温度の低下を抑制するとともに、主電極表面の露出に伴う通電面積の減少に応じて主電極間電力を下げることにより、電極の溶損を防止しつつ、炉内ガラスをほぼ全量、拔出せることを確認した。

④ 炉内観察(図-5 参照)

- ✓ 3月29日のドレンアウト完了後、同日5:34に3号溶融炉の全ての加熱電源を停止し、放冷を行った後、4月10～11日に炉内観察を行った。
- ✓ 観察の結果、以下の通り、炉内構造物(レンガ、電極)の健全性に問題がないことを確認した。
 - ・耐火レンガ(接液部、気相部、発熱体遮蔽レンガ)
有意な割れ、欠け*6、ズレ、目地部の開きがないことを確認。

*6 気相部耐火レンガに一部欠けが確認されたが、耐火レンガ使用初期の熱膨張・熱収縮により生じたものであり、今後の溶融炉の運転に伴い欠損が拡大するものではない。
 - ・電極(主電極、補助電極、底部電極)
溶損等の損傷がないことを確認。
- ✓ 炉内観察と合わせて流下ノズルの位置計測を実施し、ガラスカレット試験前の位置に比べ、築炉後最初の運転に伴う耐火レンガの熱膨張・熱収縮により、主電極A側に1mm水平移動していることを確認した。また、流下ノズルの傾きについては、2号溶融炉における流下ノズルと加熱コイルの接触に伴う流下停止事象の対策として講じたインナーケーシングの対称構造化により、傾きが生じていないことを確認した。3号溶融炉用の加熱コイルの組立は、運転条件確認試験後の計測結果を踏まえて実施する。

2.3 今後の対応

今回のガラスカレット試験において2号溶融炉と同様の運転パラメータにより運転が可能であり、溶融炉の基本性能を満足していることを確認できたことから、今年度の第3四半期に予定している模擬廃液を用いた運転条件確認試験に向けて模擬廃液の手配等の準備を進める。

運転条件確認試験においては、白金族元素を含む模擬廃液を使用し、3号溶融炉の実際の運転に用いる炉底低温運転等の条件の確認を行うとともに、白金族元素の堆積管理指標や検知方法の改善に向けたデータ取得を行う。

また、TVFにおいては、2号溶融炉の撤去作業として、今年度の第3四半期より2号溶融炉の付帯配管等の撤去作業に着手する予定である。

以上

表-2 試験内容

試験項目	(1) 熱上げ試験	(2) カレット熔融試験	(3) ドレンアウト試験
<p>試験イメージ</p>	<p>炉内へガラスカレットを投入 → 間接加熱装置によりガラスを加熱・熔融 → 電極間通電確認</p>	<p>流下前の炉底加熱条件確認 → 流下条件確認 → 炉底低温運転条件確認</p> <p>(部分流下を複数回実施)</p>	<p>ドレンアウト1 (1本目流下開始時) → ドレンアウト2 (2本目流下開始時) → ドレンアウト3 (3本目流下開始時)</p>
<p>主な試験内容</p>	<ul style="list-style-type: none"> ガラスカレット(固化体2本分)を炉内に投入した状態で間接加熱装置を起動し、徐々に炉内を昇温し通電可能な状態までガラスを熔融した後、各電力間通電の確認を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 炉内のガラス保有量が固化体3本分となるようにガラスカレットを追加投入した後、50 kg程度の部分流下を複数回実施し、炉底加熱条件、流下ノズル加熱条件、流下停止条件の確認、調整を行う。 ガラスの加熱に必要な主電極間通電電力量を確認するとともに、炉底低温運転時の補助電極温度及び補助電極間電流を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 炉内ガラスを全量拔出す(ドレンアウト)ため、3バッチの流下を行う。 流下に伴い電極が熔融ガラス面から露出するため、電極の電流密度制限を考慮しつつ各電極間通電電流を減少させ、最終的に通電を停止する。



ガラスカレットの外観
(粒径: 1~5 mm 程度)

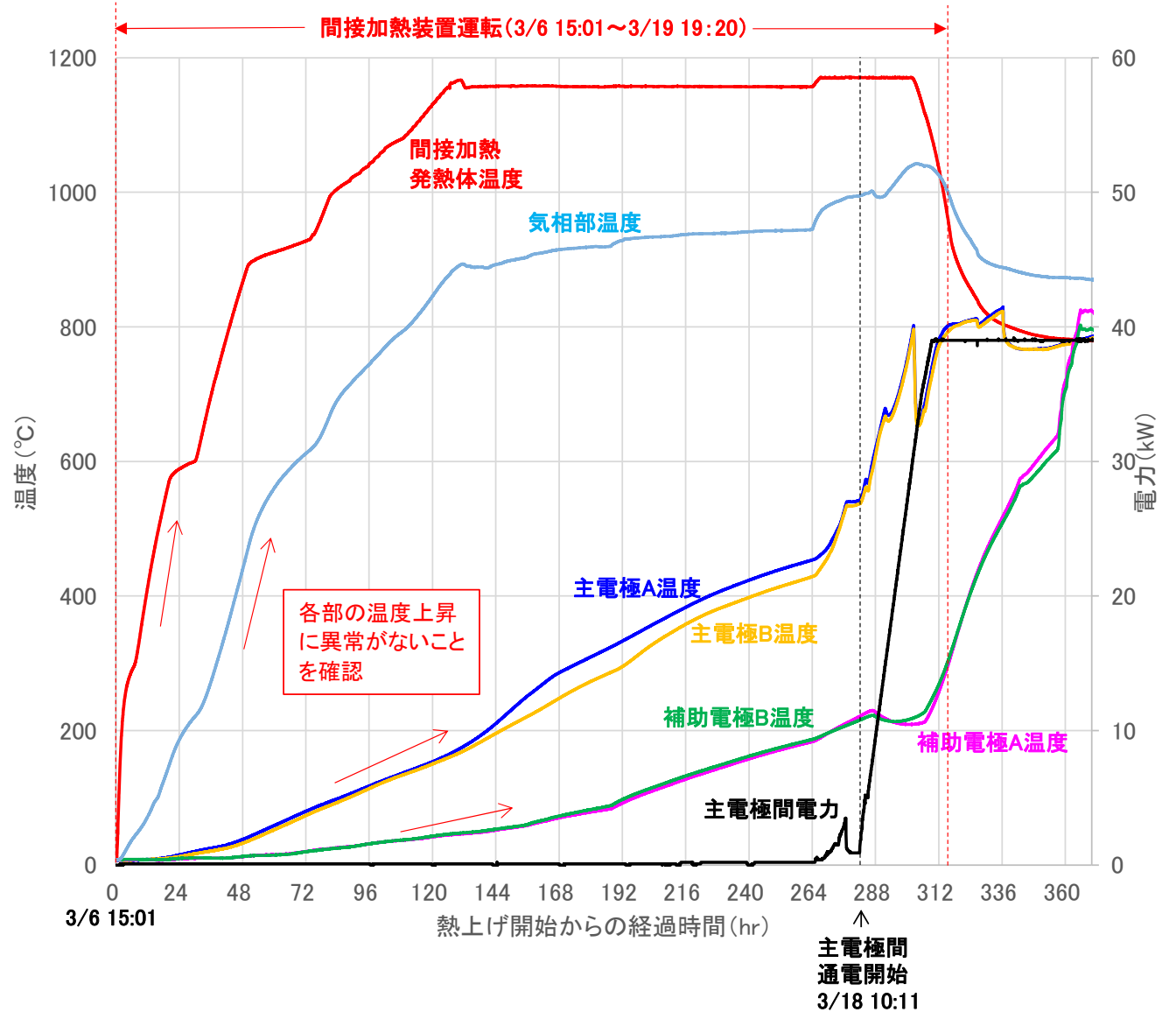
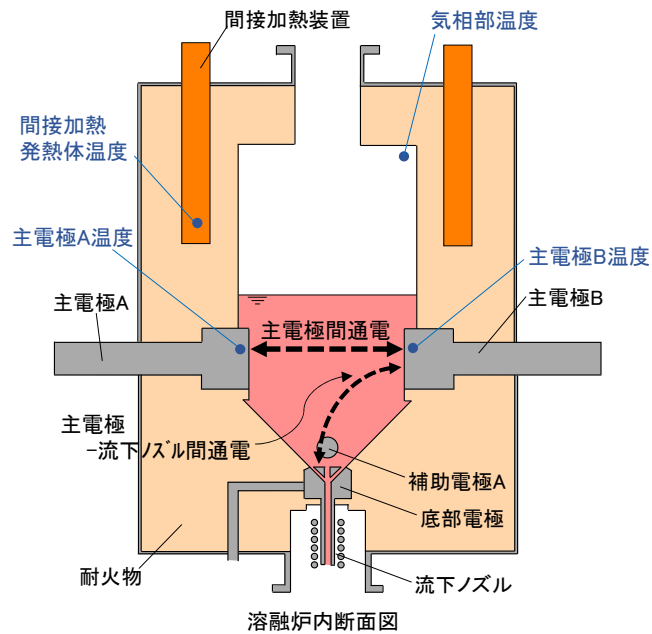
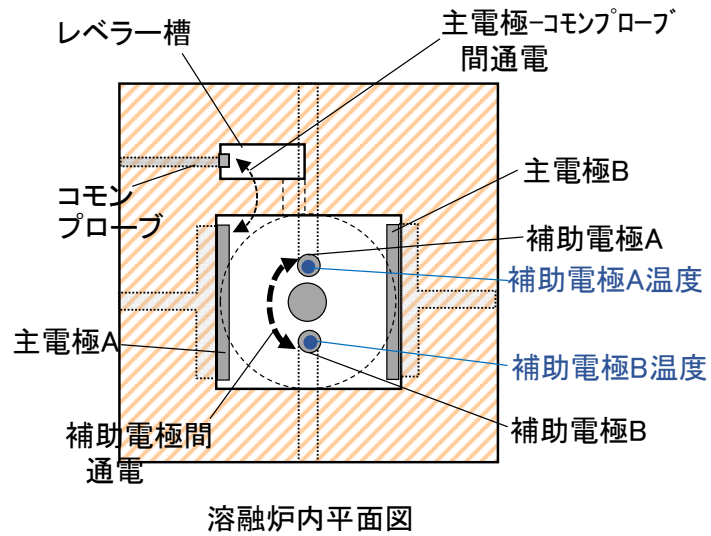


図-1 熱上げ試験における温度等の変化

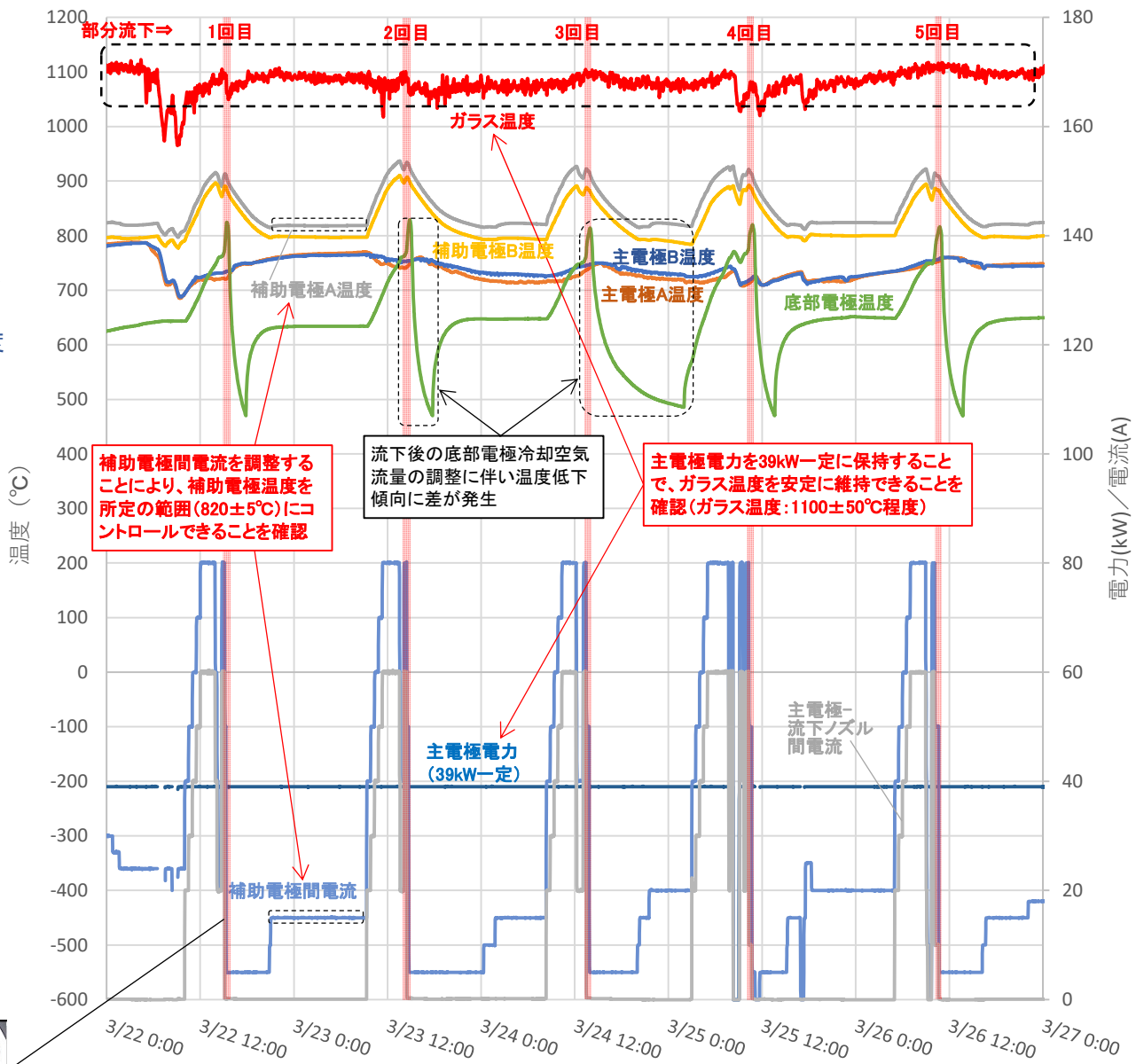
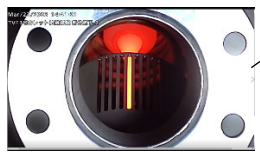
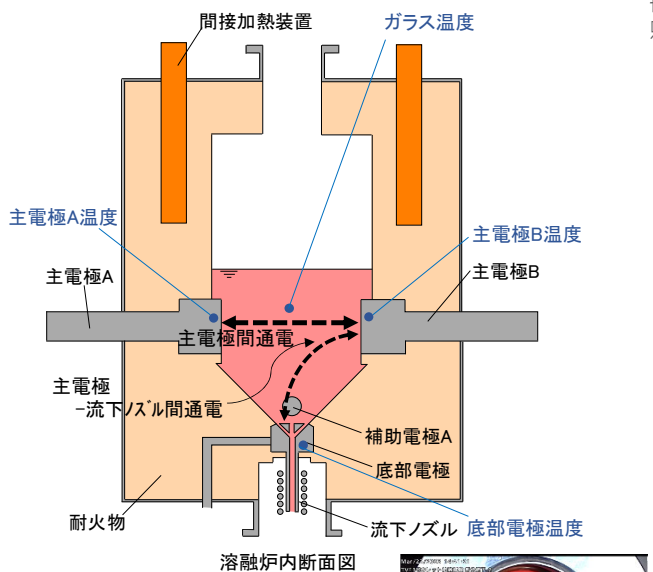
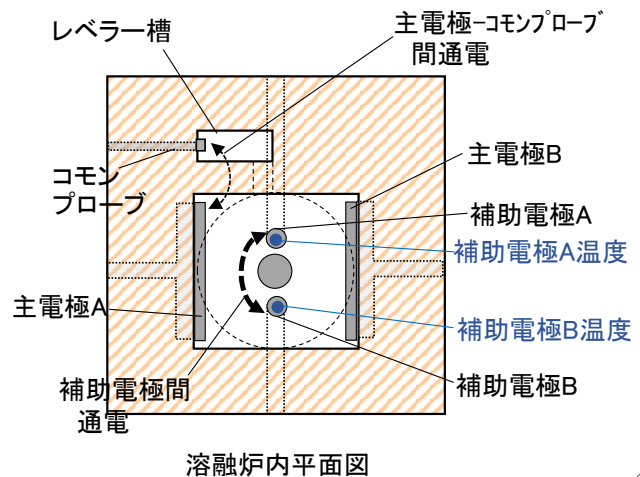


図-2 カレット溶融試験における温度等の変化

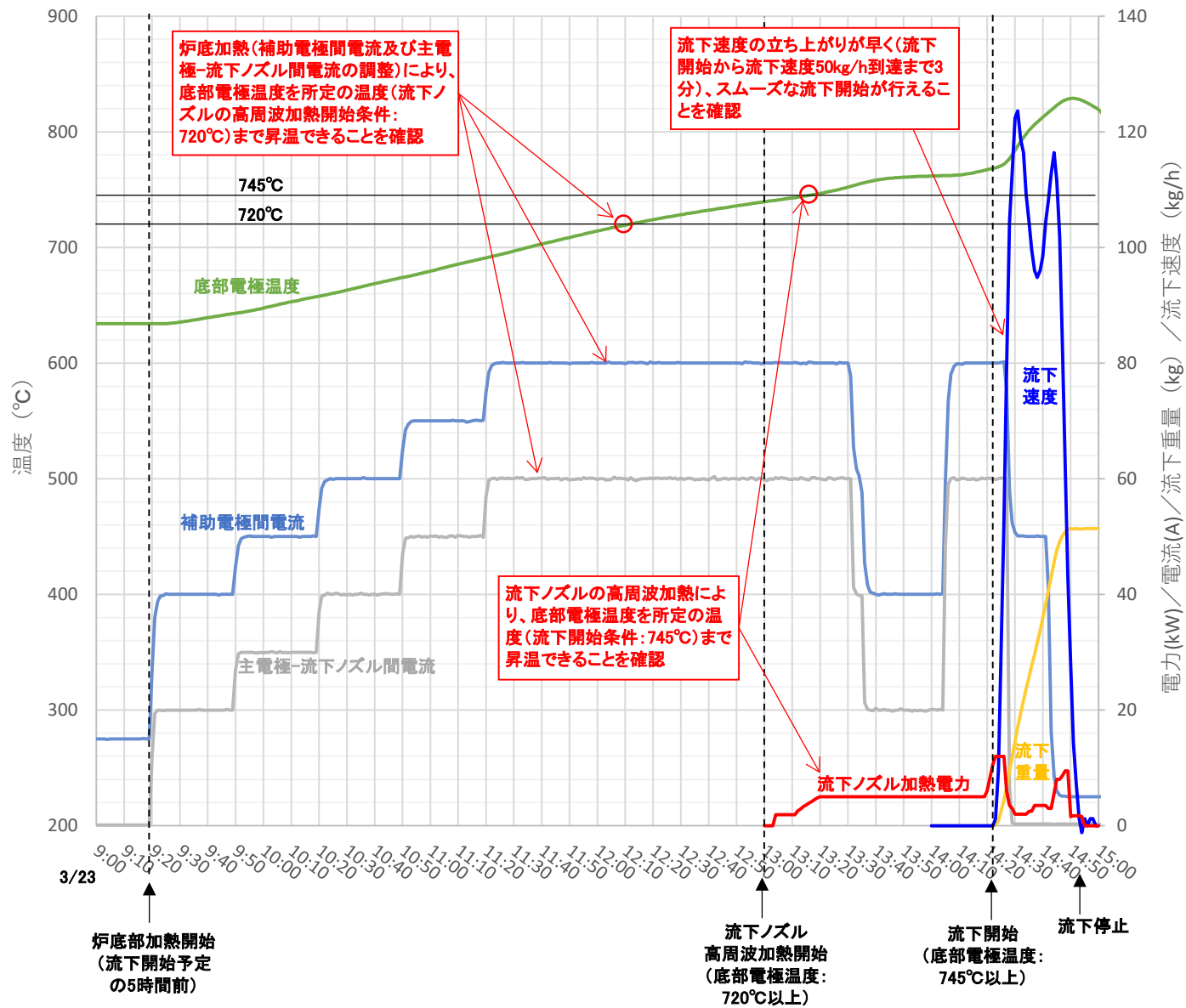
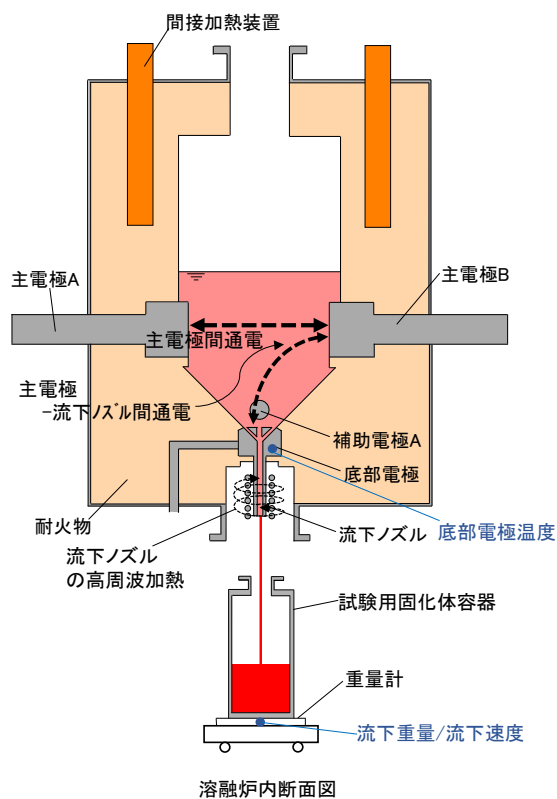
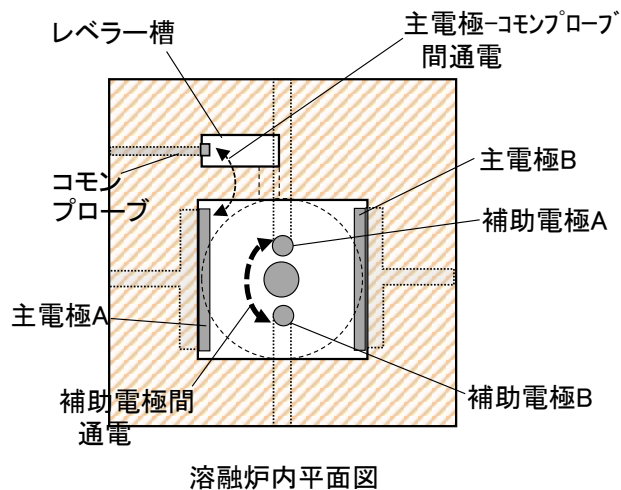
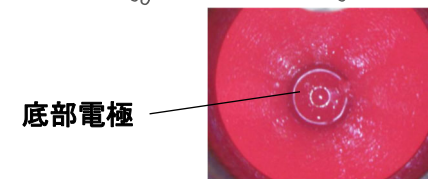
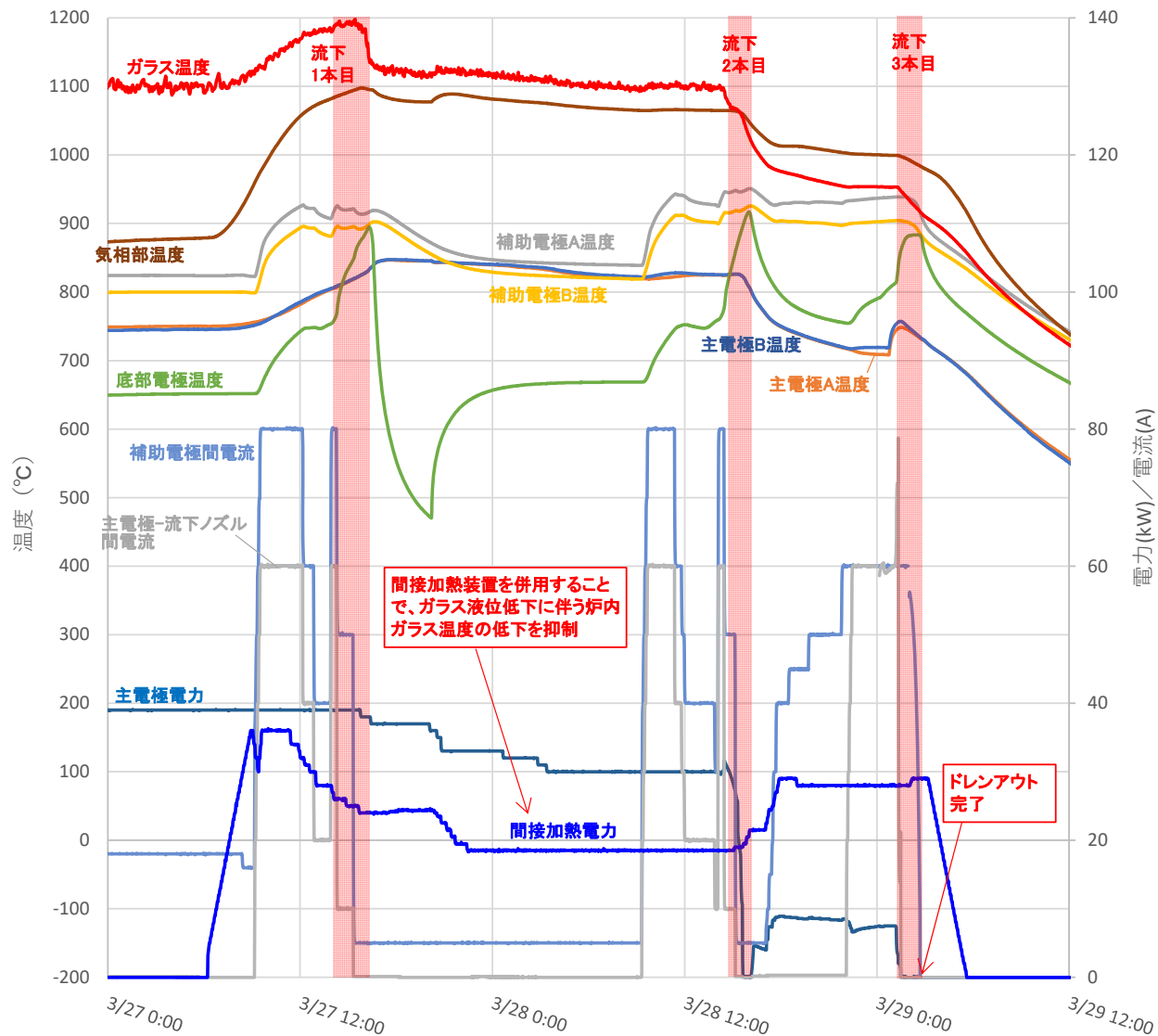
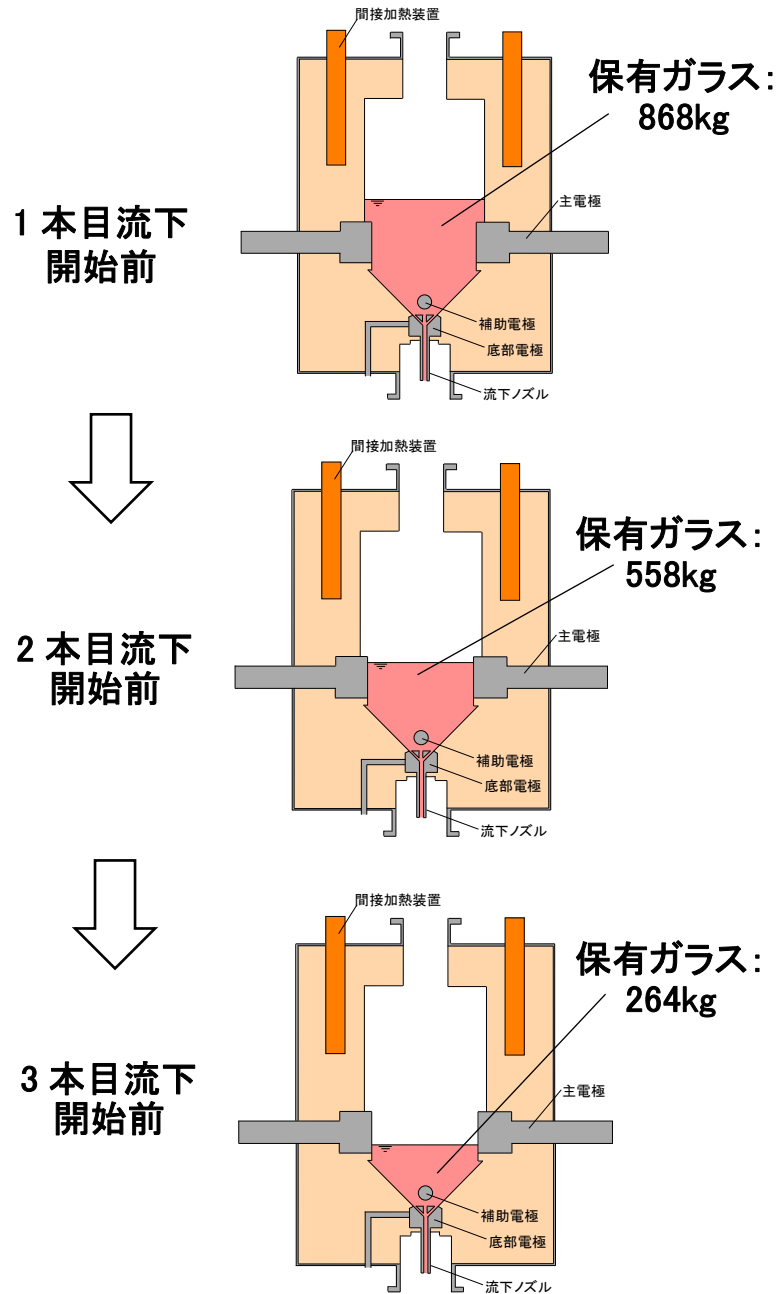


図-3 カレット溶融試験における部分流下(2回目)の実績

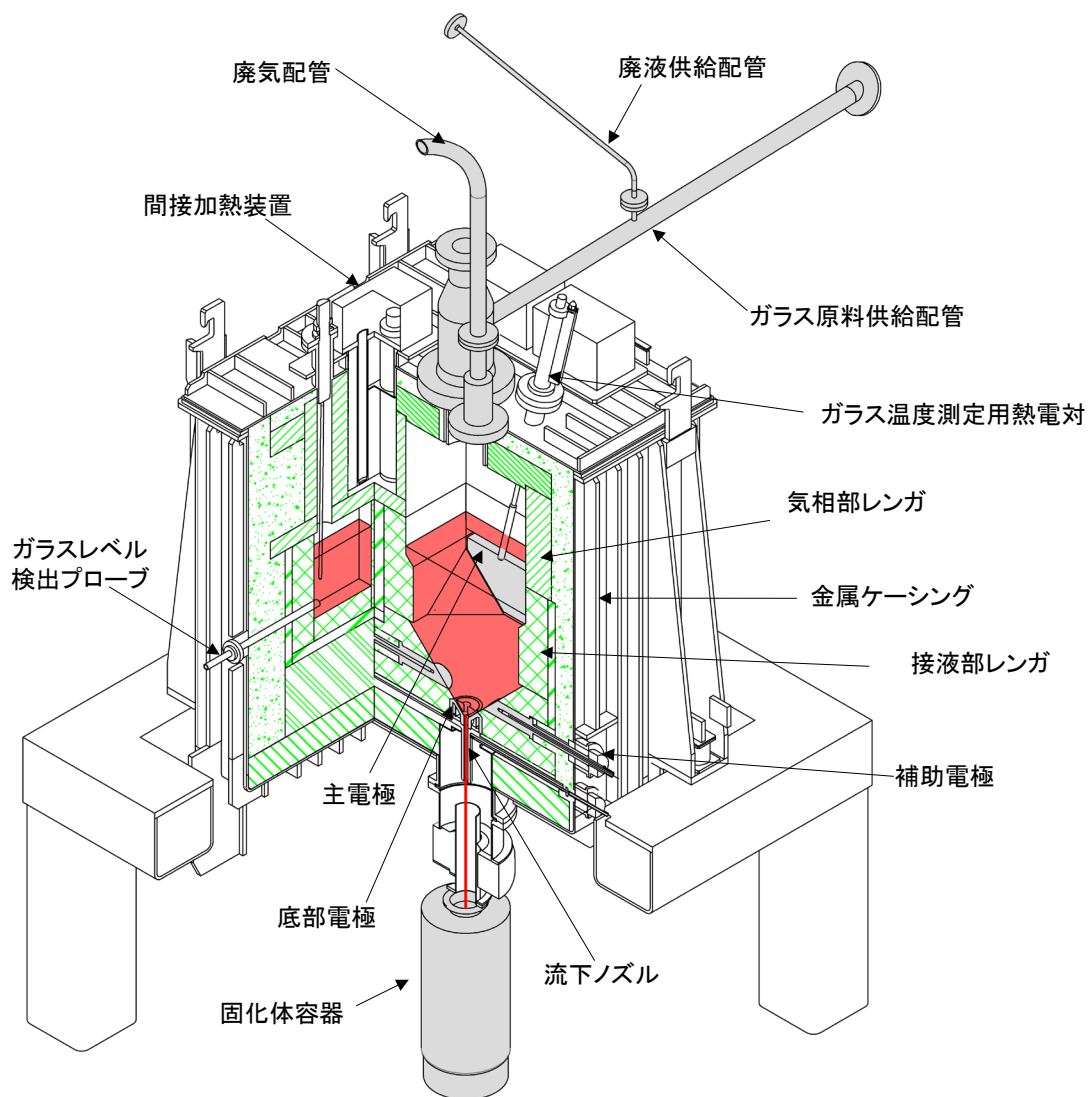


ドレンアウト完了時の炉内状況

図-4 ドレンアウト試験における温度等の変化



図-5 炉内観察結果



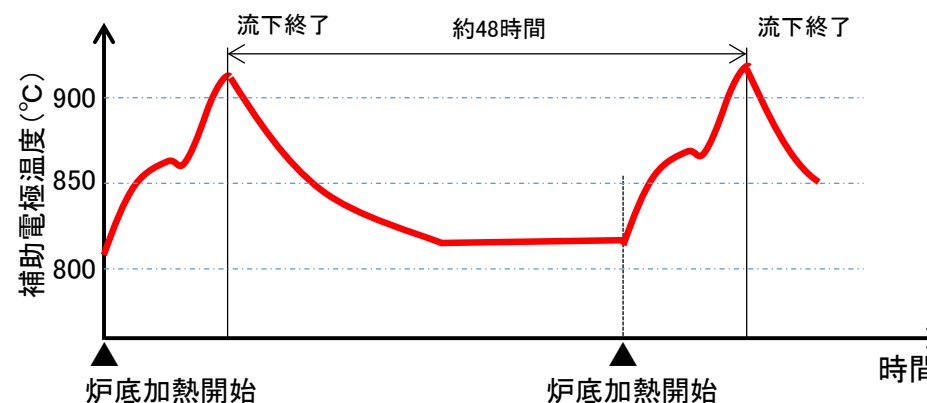
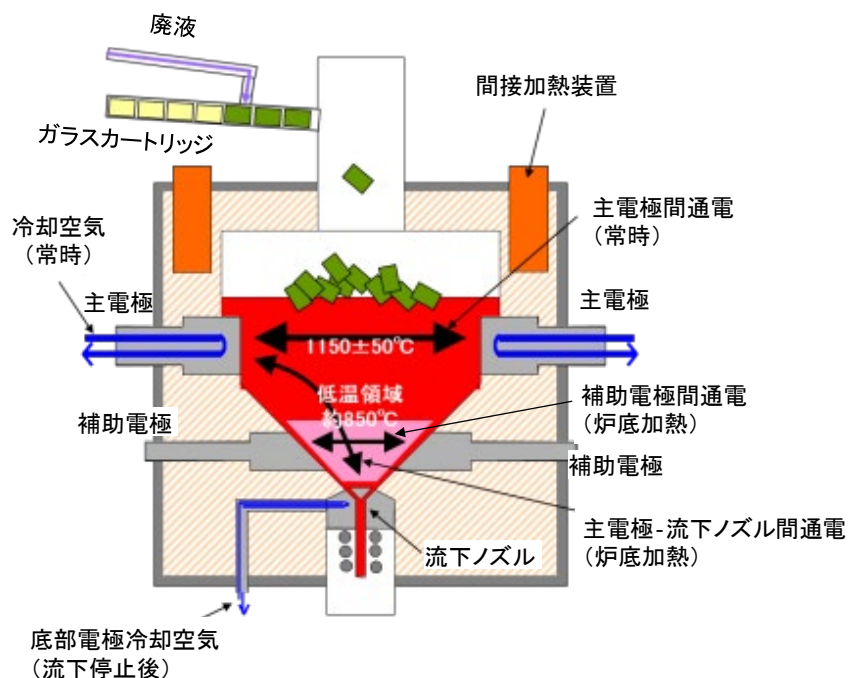
3号溶融炉の鳥瞰図

令和4年2月28日第64回東海再処理施設
安全監視チーム会合資料一部改訂

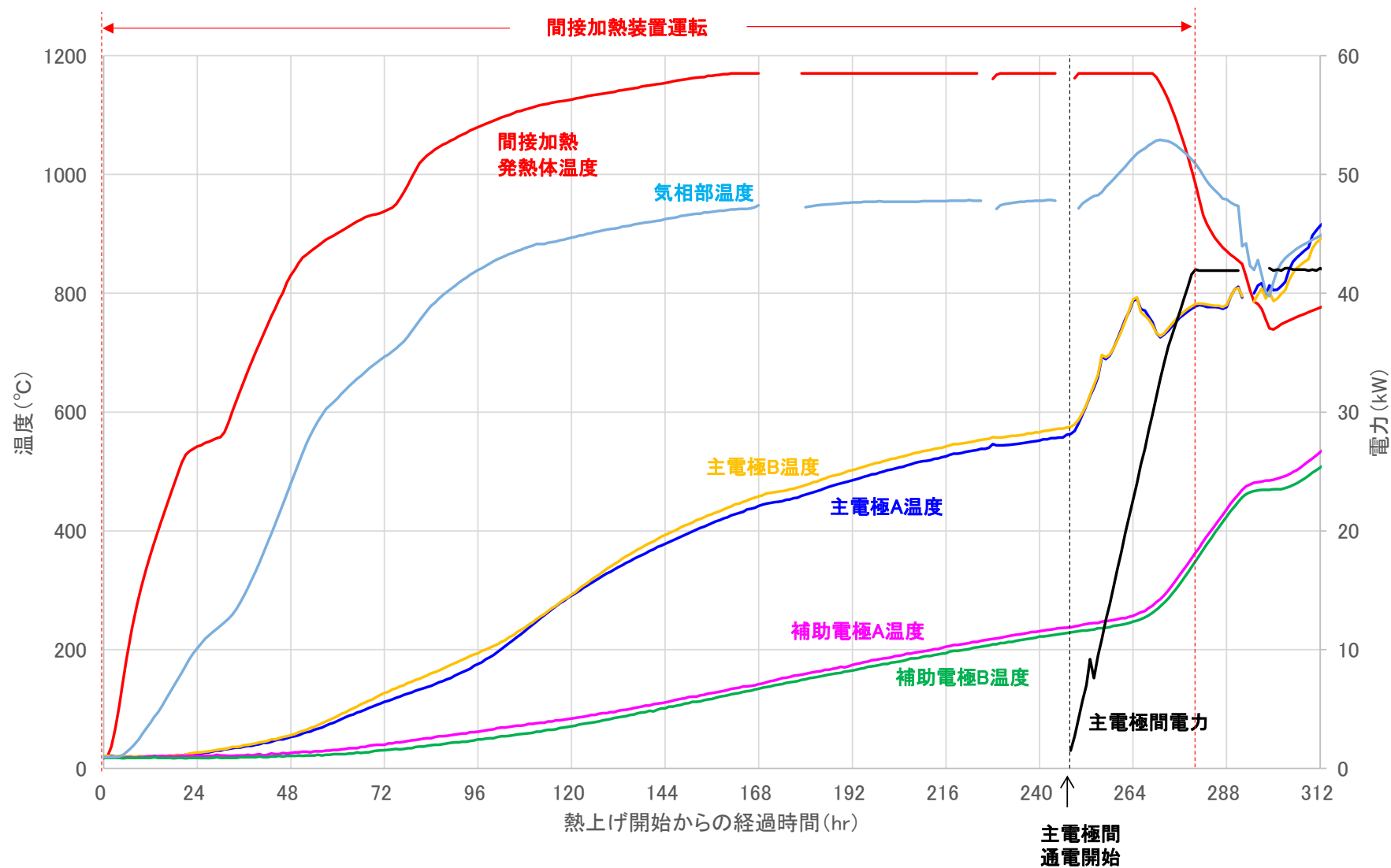
- 溶融炉底部のガラス温度を低温に維持することで、ガラスの粘性を増加させ、白金族元素粒子の沈降を抑制する(炉底低温運転)

運転管理及び操作

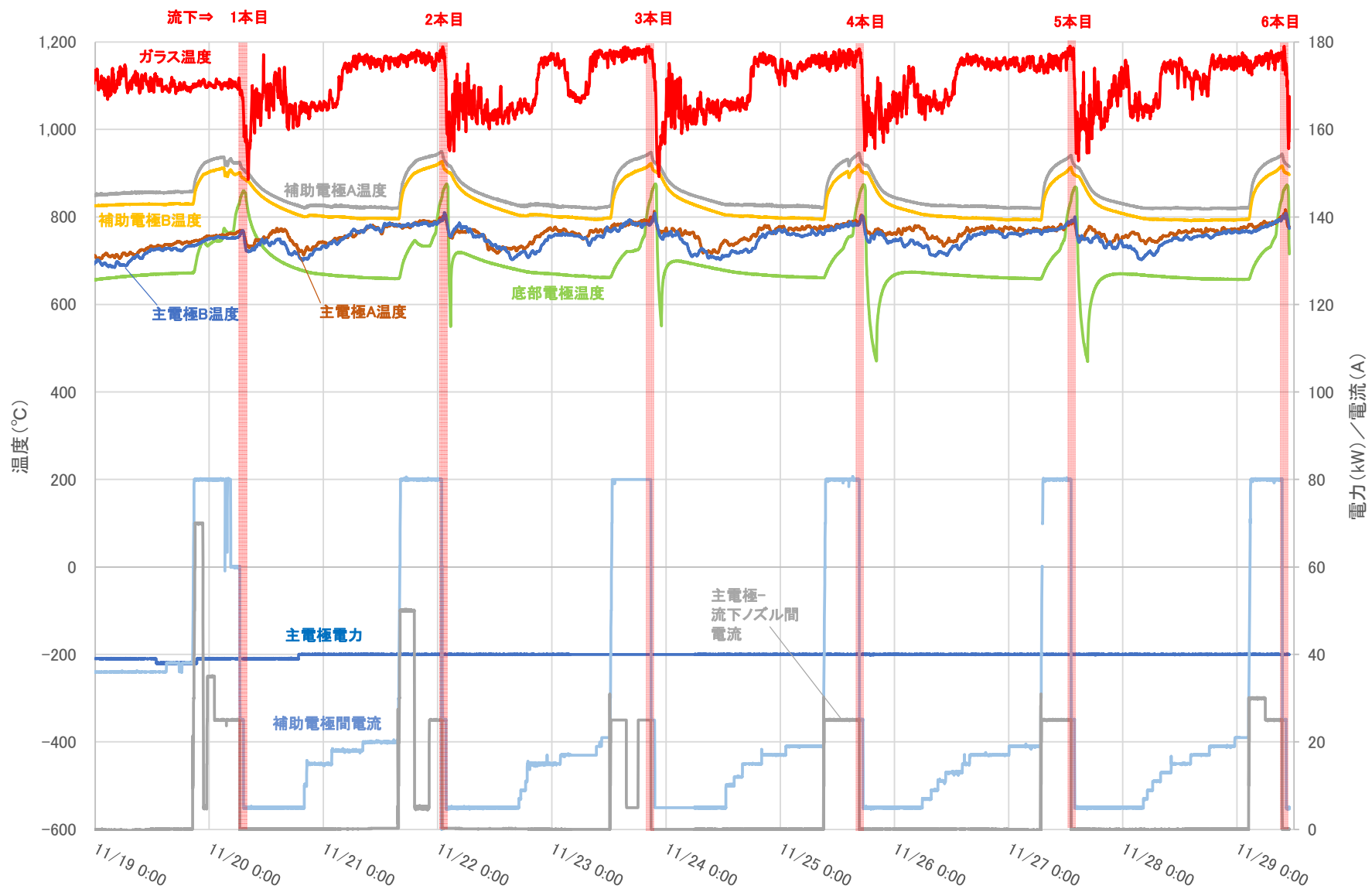
- 主電極通電によりガラス温度 $1150^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ に保ち、同時に補助電極間電流を調節することで、炉底部のガラス温度を約 850°C とするために、補助電極温度を約 820°C に管理する。
- 流下にあたり、炉底加熱により炉底部の温度を上げる必要がある。また、流下中は、高温のガラスが炉底部に流れ込み温度が高くなる。
- 流下終了後、速やかに炉底低温状態に移行させるために、主電極-流下ノズル間の通電を止めるとともに、底部電極に冷却空気を流して、炉底部の温度を下げる運転操作を行う。



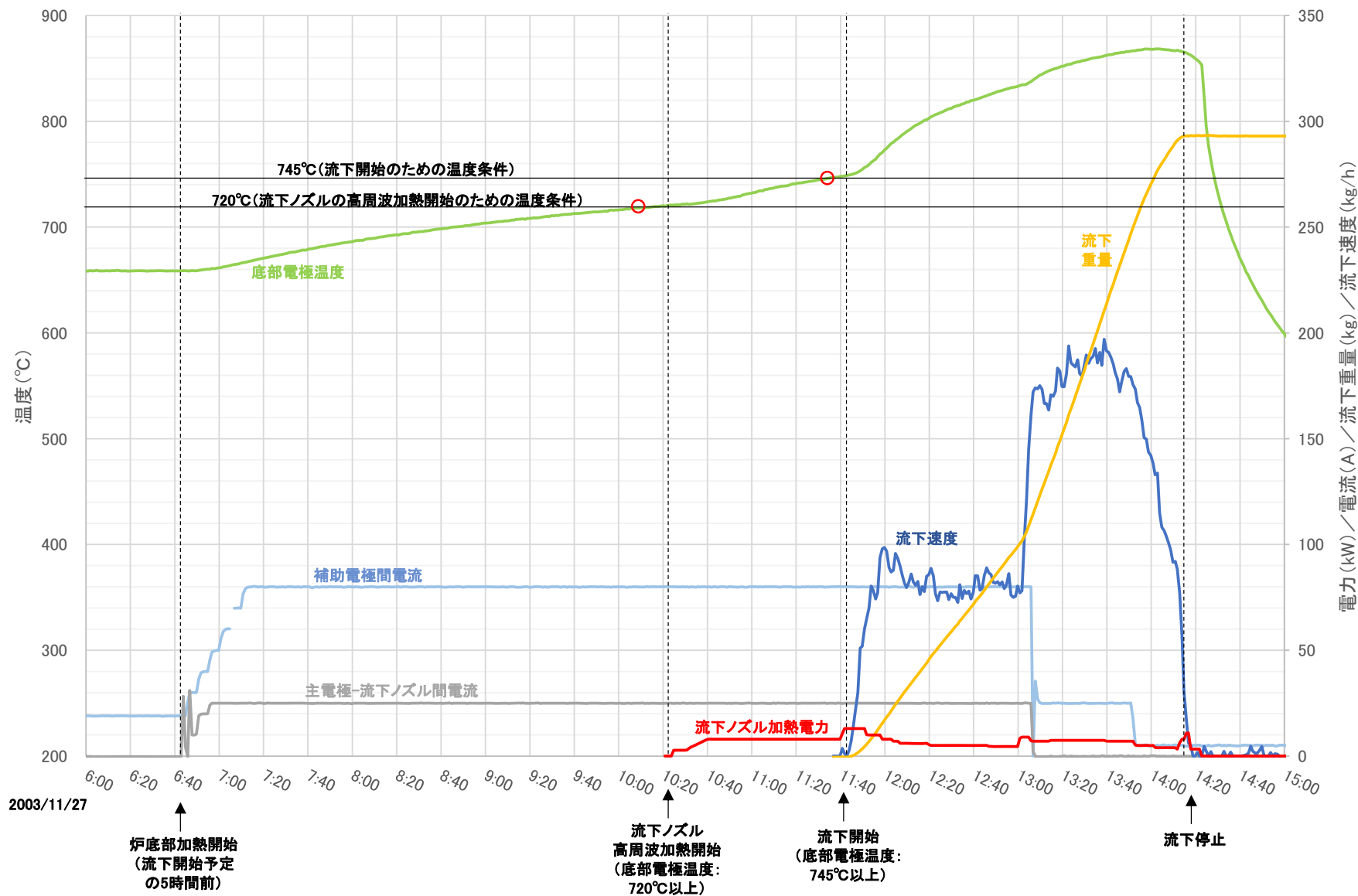
溶融炉運転時の溶融炉底部の温度変化(イメージ)



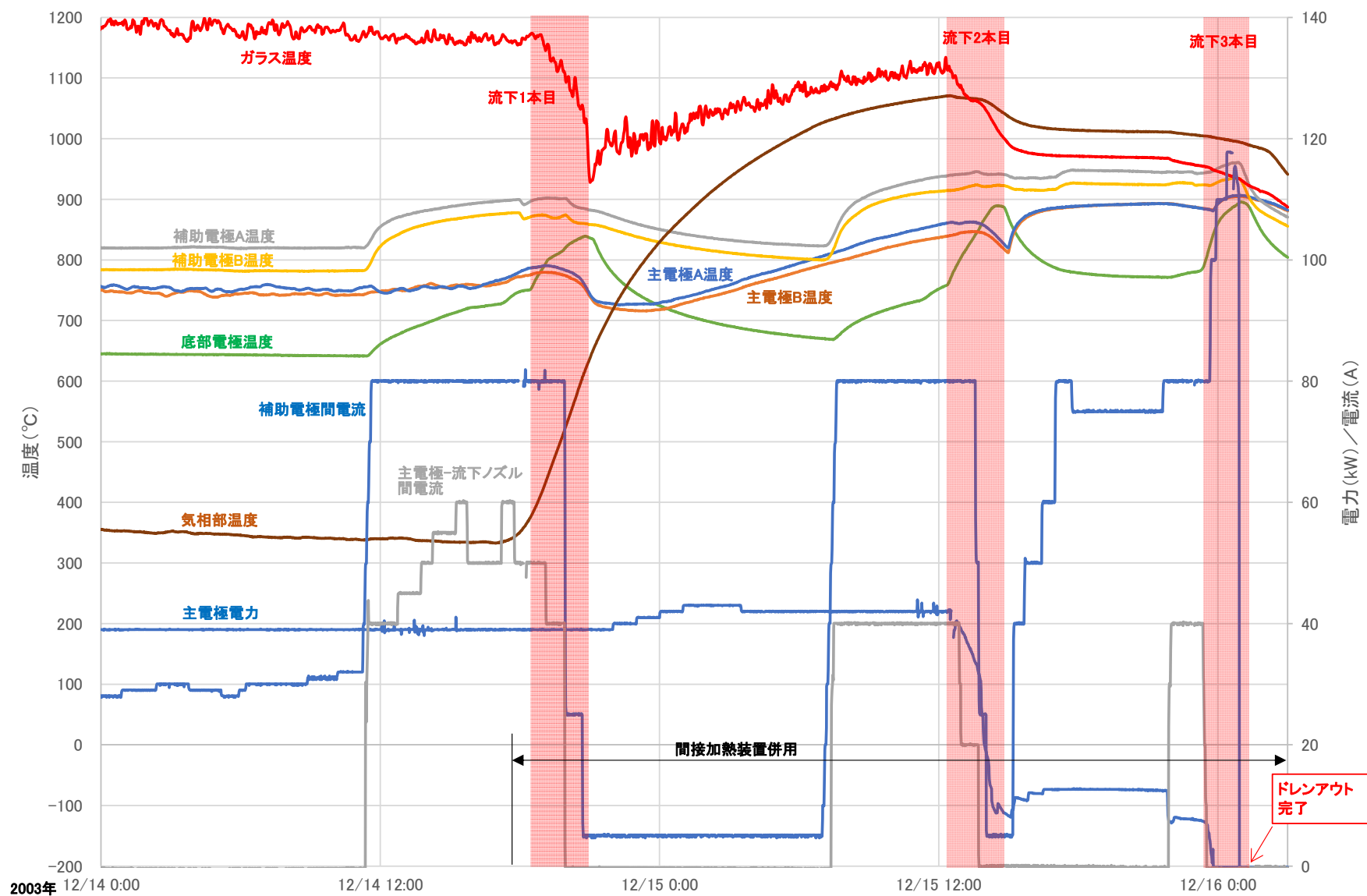
現行溶融炉(2号溶融炉)の築炉後の最初の熱上げ時(平成15年5月)における温度等の変化



模擬廃液を用いた現行溶融炉(2号溶融炉)の作動試験時(平成15年11~12月)における温度等の変化



模擬廃液を用いた現行溶融炉(2号溶融炉)の作動試験時(平成15年11~12月)における流下の実績



模擬廃液を用いた現行溶融炉(2号溶融炉)の作動試験時(平成15年11~12月)におけるドレンアウトの実績

参考資料 4

令和5年3月16日第70回東海再処理施設安全監視チーム
 会合資料に実績追記

6月9日時点



原因調査のスケジュール