

ガラス固化技術開発施設(TVF)における 洗浄運転の実施可否等について

【概要】

1. TVF での洗浄運転について

- 高放射性廃液に含まれる白金族元素は、溶融炉に供給されるとそのほとんどが溶けず、酸化物結晶として溶融ガラスとともに流動し、炉底部に滞留し、流下ノズルより抜き出される。
- K 施設溶融炉においては、白金族元素を含む溶融ガラスが炉底部周辺に滞留し、流下性が低下することが KMOC 試験などで確認されていることから、定期的に白金族元素を含まない模擬廃液を供給し、炉底部周辺に滞留した白金族元素を抜き出すとともに炉内の白金族元素保有量を少ない状態に制御して、流下性等の低下を予防する洗浄運転を行っている。
- 一方、TVF 溶融炉は、これまで 329 本のガラス固化体を製造してきたが、白金族元素堆積の管理指標に達しても所定の流下時間を超えるような顕著な炉底加熱性の低下や流下性の低下は見られていない。
- K 施設溶融炉は、TVF 溶融炉に比べガラス容量が 5 倍強と大きく、白金族元素の保有量も多いが、流下による抜き出すガラス量はほぼ同等(TVF 溶融炉:300kg/本、K 施設溶融炉:400kg/本)であり、流下後においても炉内に白金族元素を保有していると推察できる。
- 洗浄運転は、炉底部周辺に滞留した白金族元素の抜き出しや炉内の白金族保有量の低減には効果が認められるが、TVF 溶融炉において問題となっている炉底傾斜面に堆積した白金族元素を抜き出す効果は期待できない。
- 従って、TVF 溶融炉において問題となっている炉底傾斜面に堆積した(抜き出せずに付着した)白金族元素の除去に対しては、現在の機械的な除去(残留ガラス除去)以外に具体的な方法はなく、より安定に TVF 溶融炉を運転し、ガラス固化処理を早期に完了するために、白金族元素の堆積を早期に検知するためのモニタリングの改善などを図っていく。

2. TVF の運転計画の年単位での数値目標の提示について

- ガラス固化処理は、東海再処理施設の廃止措置において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おり、R4 年度の詳細工程を示し、適宜、進捗を報告することとしたい。

3. 3号溶融炉への更新の判断基準について

- ガラス固化処理の早期完了に向け、2号溶融炉の運転状況により3号溶融炉の早期導入を検討する。
なお、今後ガラス固化処理計画で製造するガラス固化体(約 550 本)に加え、工程洗浄や系統除染で発生する廃液のガラス固化処理を3号溶融炉で完了することも考慮しつつ、ガラス固化処理を停滞させないよう3号溶融炉へ更新する。

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

注記:本資料における日本原燃(株)の K 施設溶融炉に関する記載は、公開されている資料からの推測である。

ガラス固化技術開発施設（TVF）における 洗浄運転の実施可否等について

令和4年2月28日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

令和4年1月5日の規制委員会でTVFに関して以下のご質問があった。これらについて回答を整理した。

1. TVFで洗浄運転ができないことに関する詳細な説明
 - (1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要
 - (2) K施設溶融炉における洗浄運転の目的と方法
 - (3) TVFにおける洗浄運転の効果（推定）
 - (4) TVFにおける洗浄運転の実施可否（現状）
 - (5) TVFにおける安定運転に向けた取組み
2. TVFの運転計画の年単位での数値目標の提示と状況報告
3. 3号溶融炉への更新の判断基準（12/2監視チーム会合での宿題）

1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(1/10)

- ✓ TVF及びK施設で耐火物の溶融槽に高放射性廃液を液体の状態でガラス原料とともに連続的に供給し、溶融炉内の電極を介してガラスに直接交流電流を流すことで発生するジュール熱により加熱溶融する。溶融したガラスは、炉の底にある流下ノズルからガラス固化体容器に定期的に注入する液体供給式直接通電型セラミックメルタ（LFCM：Liquid Fed Joule-heated Ceramic Melter）を採用している。
- ✓ LFCMでは、ガラスをジュール熱により加熱、溶融するためガラスの電気抵抗や溶融したガラスを自然流下によりガラス固化体容器に注入するためガラスの粘度等の物性が重要となる。これらの物性は、ガラス中の廃棄物含有率やナトリウム含有率等により変動することから、一定の含有率になるように調整して、溶融炉へ供給している。また、これらの物性は温度によっても変動することから、ガラス溶融炉内の温度を目標温度範囲内に制御している。

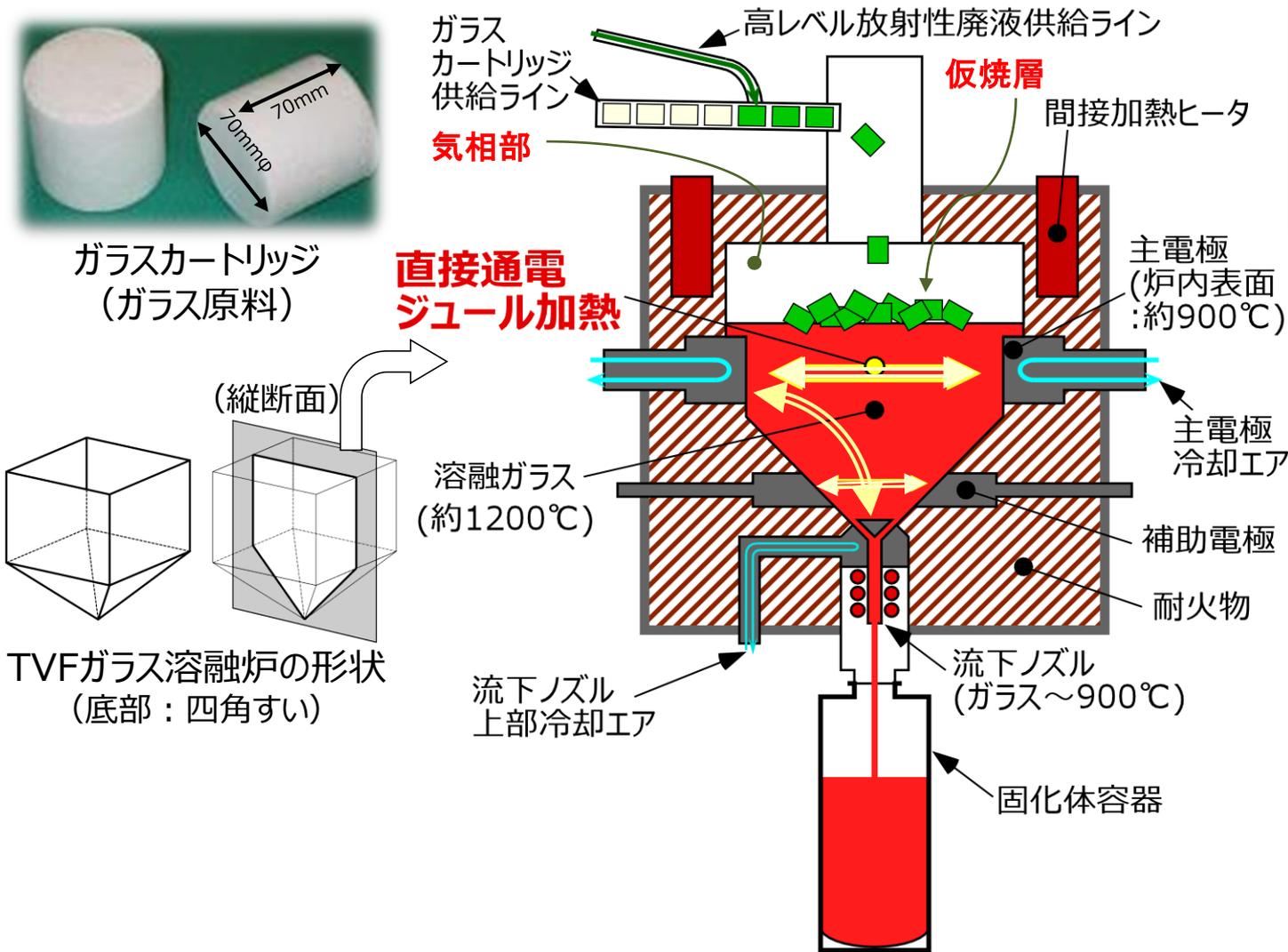
※TVFの例

- ・廃棄物含有率（約25wt%）：高放射性廃液とガラス原料の供給割合で調整
- ・ナトリウム含有率（約10wt%）：高放射性廃液に硝酸ナトリウム溶液を添加して調整
- ✓ このガラス溶融炉内の温度制御においては、高放射性廃液及びガラス原料（以下、ガラス原料等という。）の供給速度とガラスを溶融する主電極間電力等のバランスが重要となる。溶融炉へ連続的に供給されたガラス原料等は、溶融ガラス表面でゆっくりと溶けていき、溶けかかりのガラス原料等（以下、仮焼層という）により溶融ガラス表面が覆われる。この仮焼層の大きさにより溶融ガラス表面から気相部への放熱量が変化し、溶融炉内の温度も変化する。このため、気相部の温度を監視することにより仮焼層の大きさが一定（ガラス原料の溶融速度が一定）になるようガラス原料等の供給速度と主電極間電力をバランスさせている。

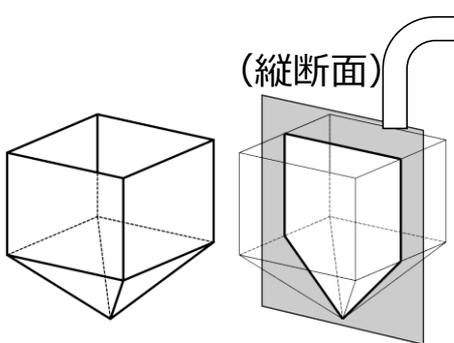
1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(2/10)

【TVF：液体供給式直接通電型セラミック溶融炉】



ガラスカートリッジ (ガラス原料)



TVFガラス溶融炉の形状 (底部：四角すい)



ガラス溶融炉内の状態 (仮焼層)

【廃液の状態変化】

高レベル放射性**廃液**

⇩ 乾燥：100℃～

硝酸塩

⇩ 分解：～800℃

酸化物

⇩ ガラス化：～1200℃

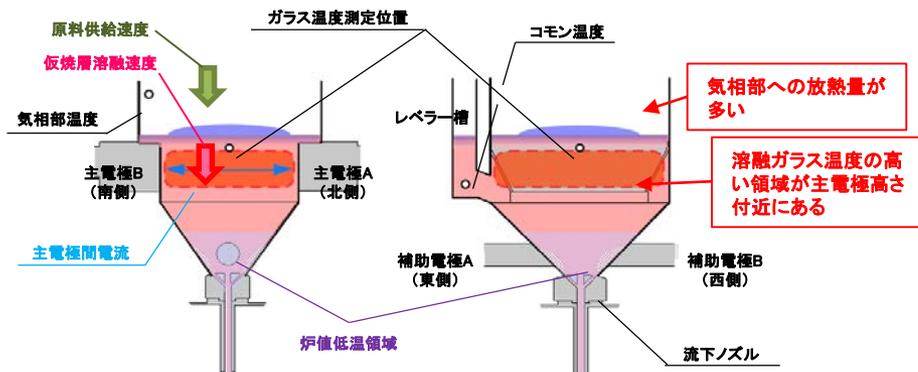
ガラス固化体

1. TVFでの洗浄運転について

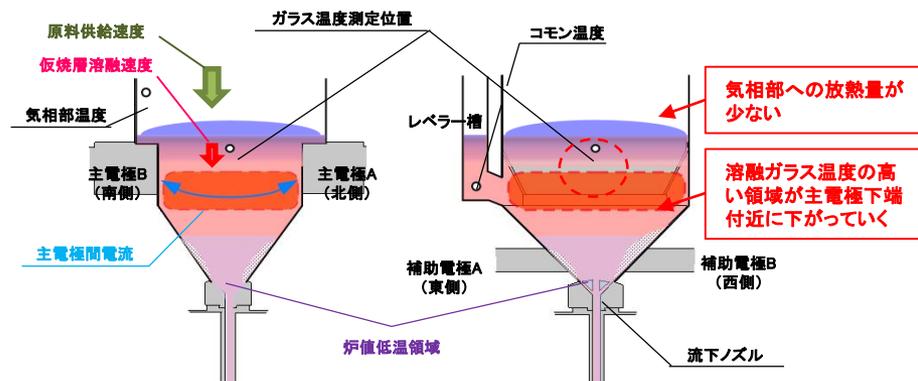
(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(3/10)

【仮焼層とは】

- ✓ 高温の溶融ガラス液面上に放射性廃棄物成分を含む廃液をしみ込ませたガラス原料を投入すると、廃液中の水分が蒸発し、乾燥した廃棄物の粉（ガラスに溶け込む前の状態）と溶けかかったガラス原料が混在して、ガラス液面上に浮かぶ層（仮焼層）を形成する。
- ✓ 仮焼層の下部から溶融ガラスへ溶解していく。
- ✓ 仮焼層は、鍋で煮物を作る際の「**落とし蓋**」のような保温の効果があり、液面全体を覆っているのではなく、所々で液面が露出している。
 - 溶融ガラス表面を覆う**仮焼層が大きくなると**、溶融ガラスから気相部への放熱が減り、**溶融ガラス温度が上がり、気相部温度は下がる**。
 - 逆に、**仮焼層が小さくなると**、溶融ガラスから気相部への放熱が増え、**溶融ガラス温度が下がり、気相部温度は上がる**。
- ✓ 仮焼層が一定の大きさに保たれるようガラス原料等の供給速度と主電極間電力をバランスさせ、溶融ガラスへの廃棄物成分の溶け込みや白金族元素が分散していく速度を一定に保っている。



仮焼層の大きさが一定に維持されている場合



仮焼層が大きくなった場合 < 44 >



1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(4/10)

- ✓ LFCMにおいては、**高放射性廃液中に含まれる白金族元素**の考慮が重要である。
- ✓ 白金族元素(Ru)は廃液中では硝酸塩あるいは一部が金属微粒子として存在するが、ガラス原料とともに溶融炉に供給されると、**仮焼層で化学変化してRu酸化物結晶（針状結晶）**としてからゆっくりと溶融ガラス中に分散し、**そのほとんどがガラスに溶けず溶融ガラスとともに流動**する。また、Ru酸化物結晶は**針状結晶**であるため、時間とともに溶融ガラス内で凝集し、**凝集体として溶融ガラス中に分散し、溶融ガラスとともに流動**する。
- ✓ 溶融炉の運転に伴い、Ru酸化物結晶は溶融ガラスの流動により炉底部周辺に運ばれて、**炉底部周辺の溶融ガラス中のRu酸化物結晶が高濃度になる**（以下、「**滞留**」という。）
（K施設溶融炉の場合は、洗浄運転により、この滞留したRu酸化物結晶を流下・排出するとしている。）
- ✓ この一部のRu酸化物結晶は主に溶融炉底面から流下時の**流れが遅い谷部に付着し、さらに流動により運ばれるRu酸化物結晶が捕捉され成長**（以下、「**堆積**」という。）する。
- ✓ **Ru酸化物結晶が堆積した場合**、Ru酸化物結晶は電気抵抗が溶融ガラスに比べて小さいため、**堆積したRu酸化物結晶を多く含むガラスに電流が多く流れガラスが溶け難くなる**。また、Ru酸化物結晶を多く含む溶融ガラスは**粘度が大きくなり、通常の流下操作では流下・排出できない**。
- ✓ Ru酸化物結晶（以下、白金族元素という。）の**堆積を抑制するため「炉底低温運転」**により運転している。
「炉底低温運転」は、溶融炉上部の温度（約1150℃）に対して炉底部周辺のガラス温度を比較的低い温度（800～850℃）にし、ガラス粘度を大きくすることにより白金族元素を炉底部周辺よりも上の溶融ガラス中に保持し、その後、流下操作の前に短時間で炉底部周辺のガラスを加熱し、溶融ガラスとともに白金族元素を流下・排出させる運転方法である。



1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(5/10)

- ✓ 溶融炉の運転が安定的な状態※1では、白金族元素は溶融ガラスとともにほぼ定量的に流下・排出される。

※1 安定的な状態

溶融炉に供給された高放射性廃液とガラス原料が一定の速度で溶融し（仮焼層が一定の大きさを維持され白金族元素が溶融ガラスに分散）、溶融炉内の温度バランスが保たれている状態。

- ✓ 一方、溶融炉の運転が不安定な状況※2においては、高濃度のRu酸化物結晶を含む溶融ガラスが溶融炉の底部周辺等に滞留し、溶融炉壁面や底面に付着し、さらに流動により運ばれる白金族元素が堆積する場合がある。

※2 不安定な状況の例

- ・TVF溶融炉の例：今回の運転の急速な主電極低下(2021年8月)は、前回の運転の流下停止時(2019年7月)の操作で、再流下のための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、高濃度の白金族元素を含む溶融ガラスが西側炉底壁面上部に堆積したことにより生じたものと推定している。
- ・K施設溶融炉の例：仮焼層が短時間で溶融する等により、白金族元素を含む溶融ガラスが溶融炉の炉底部周辺に沈降・滞留して流下性等が低下する。

- ✓ また、安定的な状態であっても、長時間の運転に伴い、主に溶融炉底面から流下時の流れが遅い谷部に白金族元素が堆積し、主電極-底部電極間の抵抗低下をもたらす（TVFの場合は最大100本程度の製造において主電極間抵抗が低下する）。

- ✓ LFCMの一般的な傾向として、ガラス流下頻度や1回の流下重量、運転方法などによっても異なるが、比較的に小さい溶融炉では、溶融炉内に保有するガラス量が少ないため、炉底部周辺への白金族元素の滞留の影響が小さくなる。また、炉底部のガラス量が少なく、ガラス流下の間隔が長いため、炉底低温運転（炉底部周辺のガラスの冷却、加熱）が容易になる。一方、炉底から主電極の距離が短いため、白金族元素が炉底傾斜面に堆積した場合、主電極間抵抗の低下など、白金族元素堆積の影響を受けやすい。

1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(6/10)

○白金族元素の特性

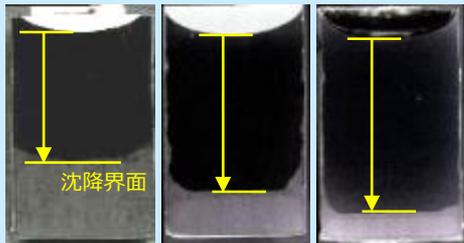
白金族元素の特徴と溶融ガラス物性への影響

- ① ホウケイ酸ガラスに対して溶けにくく、密度が高い ($\text{RuO}_2: 7\text{g/cm}^3$, 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

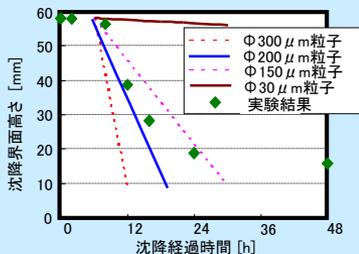
模擬ガラス中の白金族元素の観察

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。

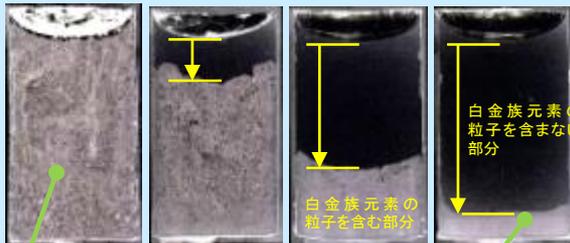
- 保持時間が長いほど白金族元素粒子は沈降する
- 温度が高いほど白金族粒子は沈降しやすい



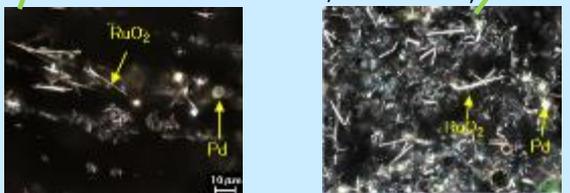
720時間 1,440時間 2,880時間



炉底部に沈降する白金族粒子サイズは 150~200 μm と推定



800℃ 900℃ 1,000℃ 1,100℃

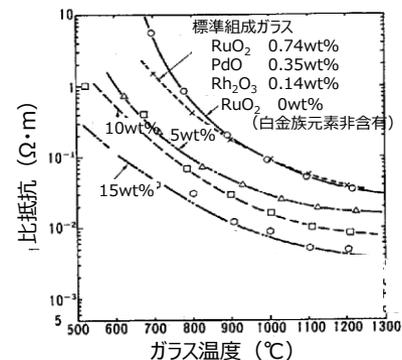


● 「溶融ガラス」は白金族粒子が分散。

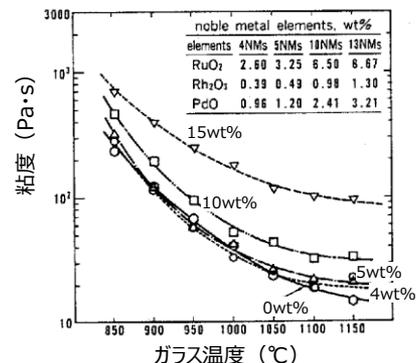
● 底部の「堆積ガラス」は、 RuO_2 の針状粒子が絡みあっている。

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

1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(7/10)

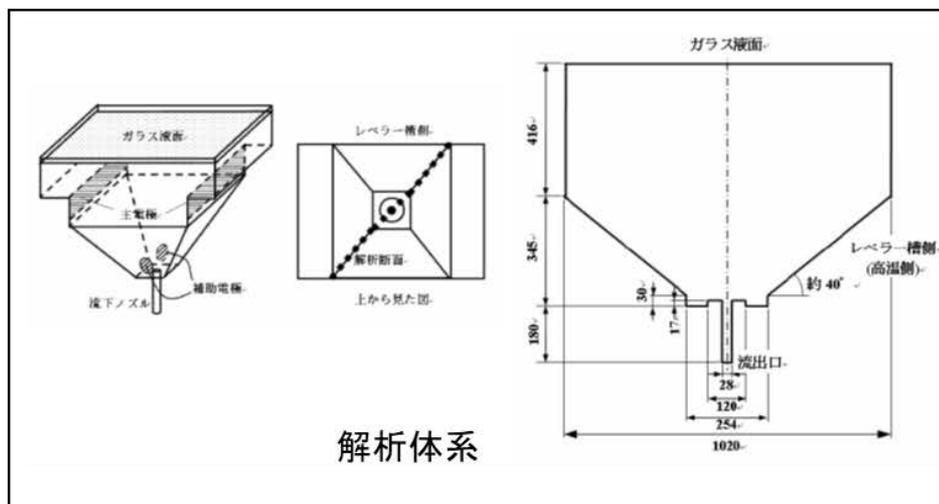
- 白金族元素粒子は、ガラスの流れに沿って分布している。
- 斜面近傍では、流れが遅くなり、白金族元素濃度が高くなる。

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
溶融モード(炉底低温運転)	<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。 		
流下前の炉底加熱モード	<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。 		

1. TVFでの洗浄運転について

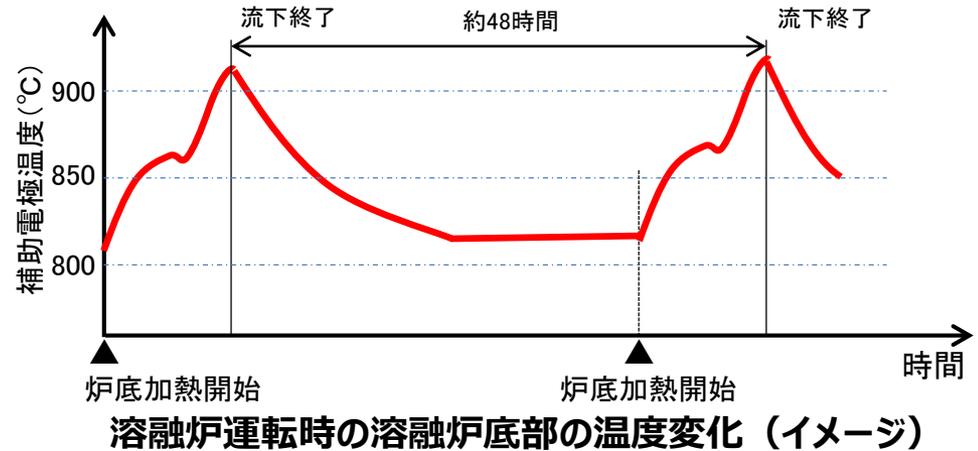
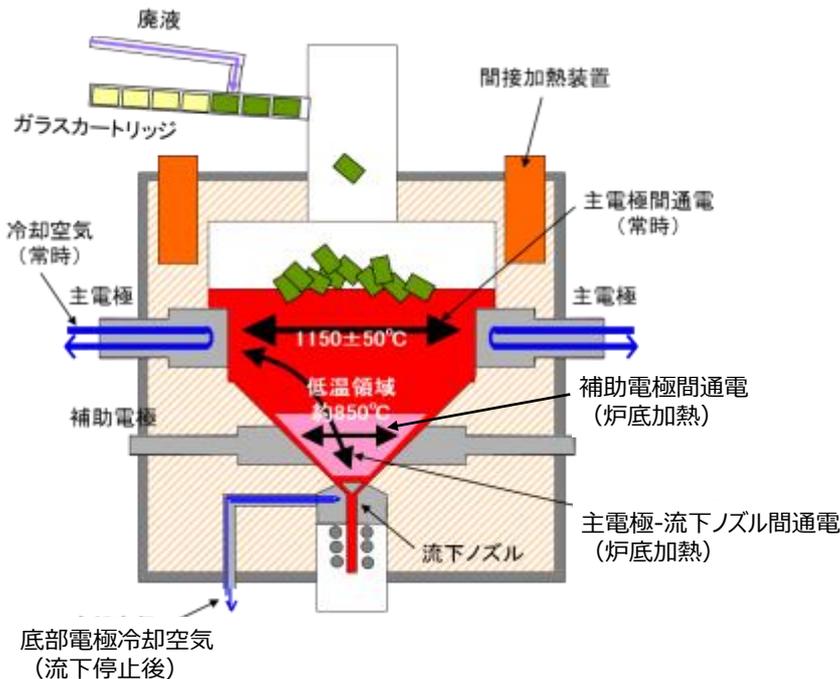
(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(8/10)

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> <p>西 東</p>	<p>西 東</p>



○ 炉底低温運転について (1/2)

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



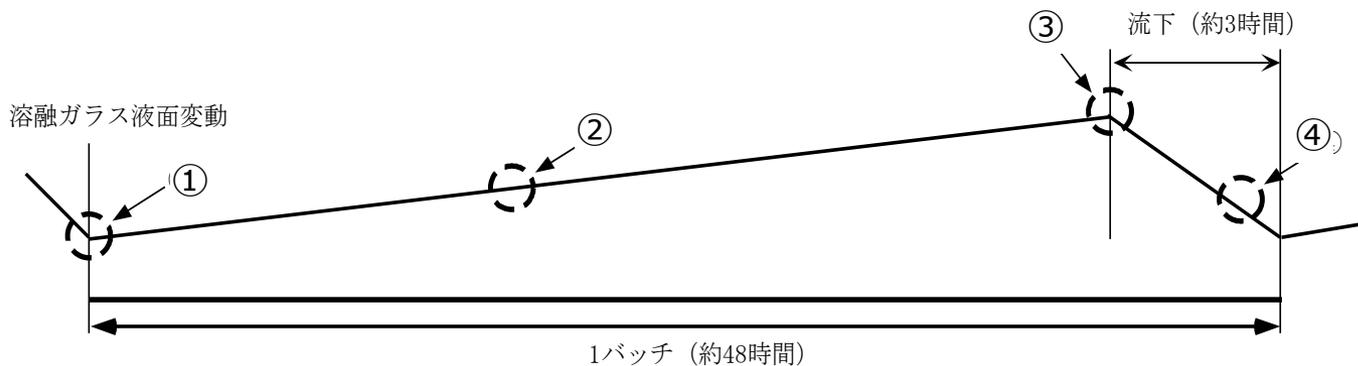
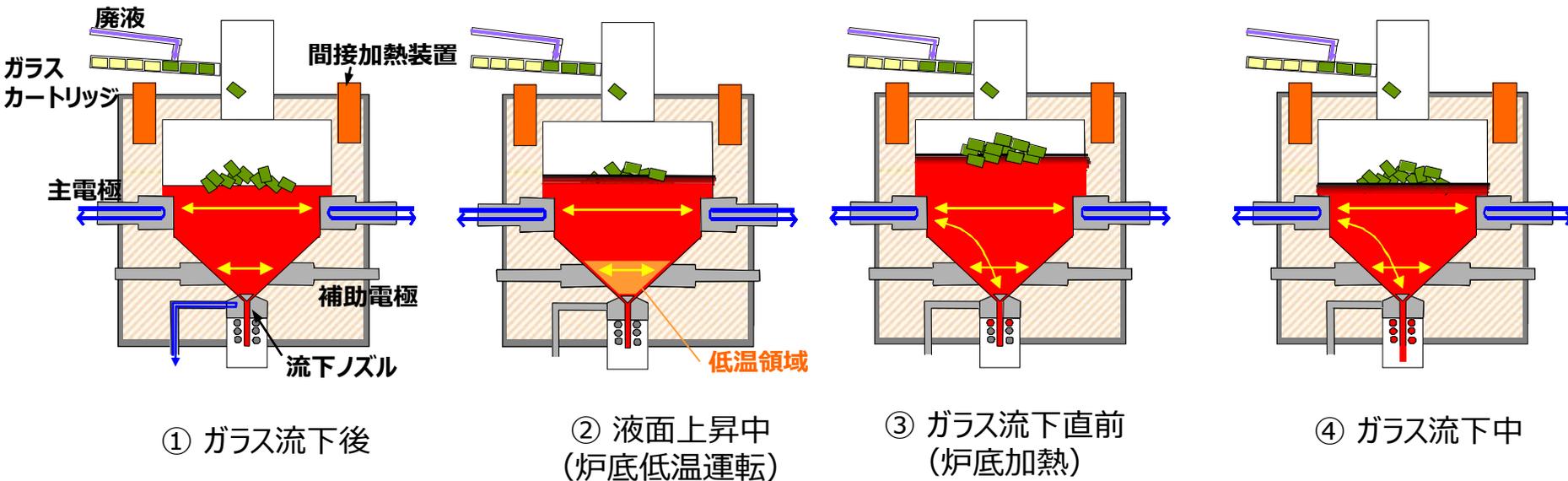
運転管理及び操作

- 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。

1. TVFでの洗浄運転について

(1) 液体供給式直接通電型セラミック溶融炉の概要(10/10)

○ 炉底低温運転について (2/2)





1. TVFでの洗浄運転について

(2) K施設溶融炉における洗浄運転の目的と方法(1/4)

- ✓ K施設溶融炉においては、溶融炉の運転が不安定な状況になった場合、**仮焼層が急激に溶けて溶融ガラス中に白金族元素が沈降し、白金族元素を含む溶融ガラスが溶融炉の炉底部周辺に滞留して、炉底部周辺の溶融ガラスを加熱し難くなり、流下性が低下することが、KMOC試験及びアクティブ試験において確認されている。**
- ✓ この対策として、高放射性廃液の代わりに**非放射性的の試薬により高放射性廃液の組成を模擬した白金族元素を含まない硝酸溶液**（以下、「**模擬廃液**」という。）を**ガラス原料とともに定期的に供給**（以下、**洗浄運転**という。）する※ことにより、**炉底部周辺に滞留した白金族元素を抜き出すとともに、炉内の白金族元素保有量を少ない状態に制御して、流下性等の低下を予防する**としている。
 - ※模擬ガラスビーズのみ洗浄運転を行った場合は、仮焼層を溶融してしまい、仮焼層中に含まれていた白金族元素が炉底部周辺に運ばれ、流下性が悪くなることが確認された。溶融炉では、炉底部周辺に運ばれる白金族元素の量と抜き出される白金族元素の量のバランスが重要であり、このバランスを維持するためには急激な白金族元素の沈降・堆積は可能な限り避けることが望ましい。このため、**仮焼層を維持した洗浄運転の方法として模擬廃液とガラスビーズを供給する方法**を採用した。
- ✓ 具体的には、**ガラス固化体10本分の高放射性廃液の供給・流下を終えたあと、連続してガラス固化体約3本分の模擬廃液**を供給・流下するものである。これを繰り返すことにより、**仮焼層を安定に維持した状態を継続できることがKMOC試験及びアクティブ試験において確認されている。**



1. TVFでの洗浄運転について

(2) K施設溶融炉における洗浄運転の目的と方法(2/4)

- ✓ このように、K施設溶融炉における洗浄運転は、**安定的な運転状態を維持継続することを目的として、滞留した白金族元素を流下・排出できるよう、一旦溶融ガラスに分散する白金族元素をほぼ全量溶融炉から流下・排出しようとするもの**、と理解している。
- ✓ 但し、この洗浄運転は、溶融ガラスに分散し溶融ガラスとともに流動する状態にある白金族元素を流下・排出することを主たる目的とするもので、**一旦炉壁に堆積した白金族元素を排出する効果は期待できない**（TVF溶融炉で行っているカレット洗浄※後に残る高濃度の白金族元素を含む**残留ガラス**のようなものは粘性が高く、排出できない）。

※ カレット洗浄

TVF1号溶融炉において、約110本製造後にドレンアウトし、炉内に堆積した白金族元素を抜き出すため、炉内のガラスを全量抜き出した（ドレンアウト）後、ガラス固化体3本分のガラス組成を模擬（白金族元素を含まない廃棄物成分：15wt%、 Na_2O ：10wt%）したガラスカレットを炉内に投入して流下する操作）したガラスカレットを炉内に投入し、炉内に堆積した高濃度の白金族元素を含むガラスの抜き出しに対して顕著な効果は認められなかった。

- ✓ このため、**炉底部周辺に堆積した高濃度の白金族元素を含む溶融ガラス（高粘度）については、攪拌棒により炉底部周辺を攪拌して流下・排出する方法やドレンアウトして残留したガラスを機械的に除去する方法**で対処することとしている。

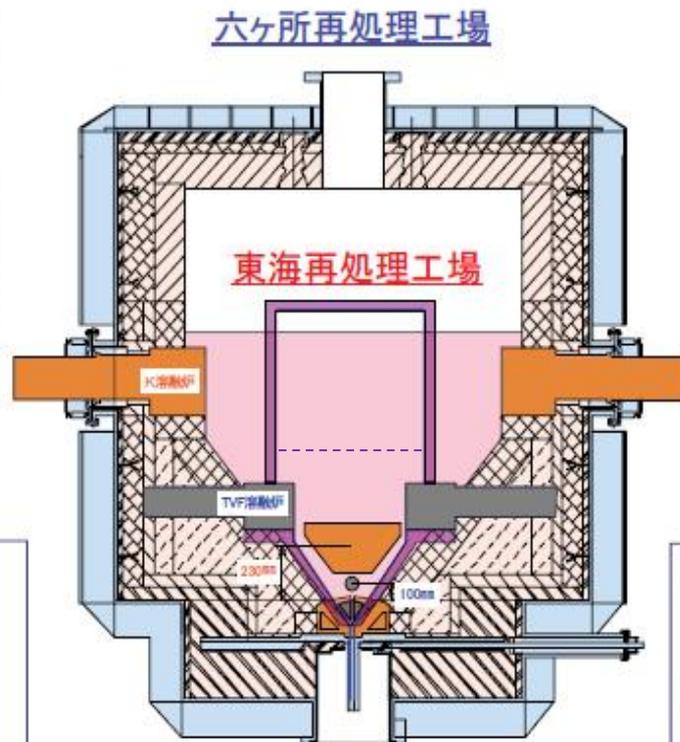
1. TVFでの洗浄運転について

(2) K施設溶融炉における洗浄運転の目的と方法(3/4)



東海再処理工場(TVF)
1995年ホット運転開始

外形寸法:
W1.9m × D1.9m × H2.3m
基数:1系列
固化体サイズ:約110L



K施設とTVFにおける溶融炉の違い



六ヶ所再処理工場(K施設)
2007年アクティブ試験開始

外形寸法:
W2.95m × D3.08m × H2.77m
基数:2系列
固化体サイズ:約150L



1. TVFでの洗浄運転について

(2) K施設溶融炉における洗浄運転の目的と方法(4/4)

		TVF溶融炉	K施設溶融炉
仕様	外形 寸法	約1.9W × 1.9D × 2.3H (m)	約2.9W × 3.1D × 2.8H (m)
	容量	約880kg (ガラス固化体約3本分相当)	約4800kg (ガラス固化体約12本分相当)
	ガラス流 下頻度	約48時間	約10時間
	流下 重量	約300kg/本	約400kg/本
ガラス 原料		ガラスファイバーカートリッジ	ガラスビーズ
ガラス 固化体		ガラス重量: 約300kg 容量: 約110L 外形: 約430mmφ × 約1040mmH	ガラス重量: 約400kg 容量: 約150L 外形: 約430mmφ × 約1340mmH



1. TVFでの洗浄運転について

(3) TVFにおける洗浄運転の効果(推定)(1/3)

- ✓ K施設溶融炉は、溶融炉の運転が不安定な状況になり炉底部周辺に白金族元素が滞留した場合でも、これを洗浄運転により流下・排出することができるように、定期的な洗浄運転を行うことで、溶融炉内の白金族元素の保有量を少ない状態（ガラス固化体換算で3~4本相当以下）に制御している。
- ✓ これは、TVF溶融炉に比べガラス容量が5倍強と大きく、白金族元素の保有量が多いことに対して、流下により抜き出すガラス量はほぼ同等（TVF溶融炉:300kg/本、K施設溶融炉：400kg/本）であり、流下後においても炉内に白金族元素を保有していると推察できる。
- ✓ 一方、TVF溶融炉は、これまで329本のガラス固化体を製造してきたが、白金族元素堆積の管理指標に達しても所定の流下時間を超えるような顕著な炉底加熱性の低下や流下性の低下は見られていない。
- ✓ これは、溶融炉の運転が不安定な状況になり炉底部周辺に白金族元素が滞留した場合でも、溶融炉内の白金族元素の保有量（ガラス固化体換算で1~1.3本相当）に対して流下重量（約300kg/本）が多いため、通常の流下操作によりそのほとんどが流下・排出され、顕著な炉底加熱性や流下性が低下するほど白金族元素の濃度が高くないためと考えている。
- ✓ なお、白金族元素の堆積については、白金族元素の堆積管理指標（主電極間補正抵抗0.10Ω at 1000℃）を定め、指標に達したら炉内のガラスを全量抜き出し（ドレンアウト）、炉内に残留したガラスを機械的に除去（残留ガラス除去）して炉内状態を回復させた後、運転を再開することとしている。
- ✓ TVF溶融炉はK施設溶融炉に比べ主電極と炉底部との距離が近いことから、炉底傾斜面に白金族元素が堆積すると主電極間電流の堆積物への回り込みが生じやすい。



1. TVFでの洗浄運転について

(3) TVFにおける洗浄運転の効果(推定)(2/3)

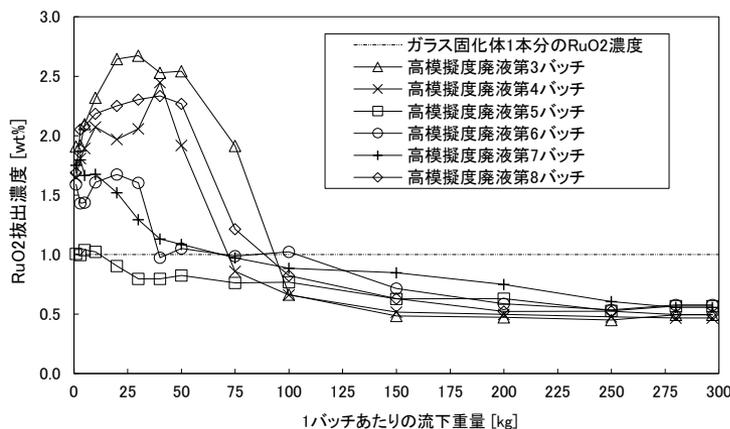
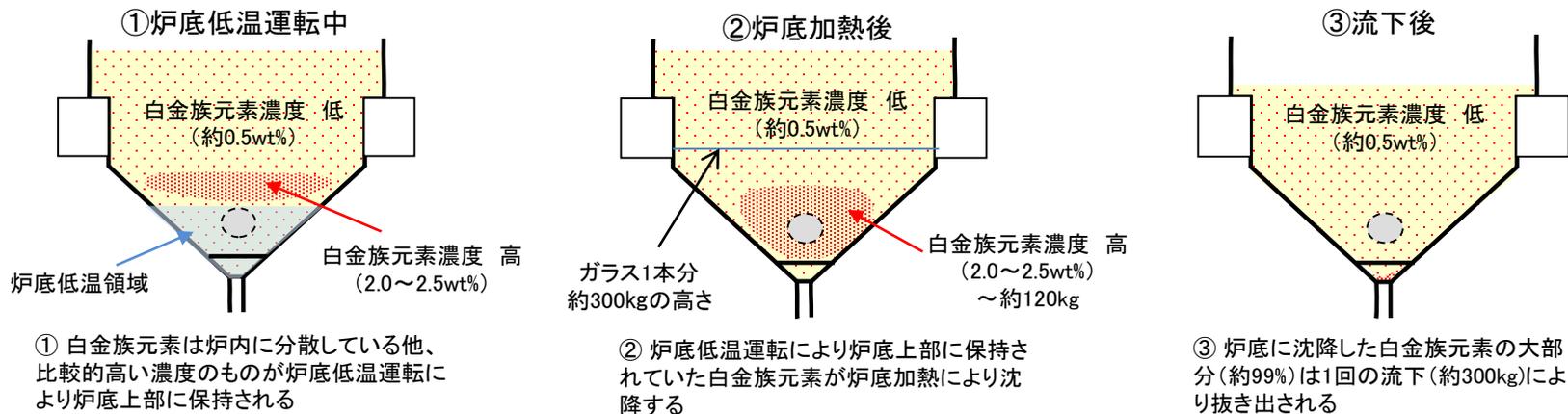
- ✓ TVF2号溶融炉における16-1CP以降の運転においては、**想定よりも少ない製造本数**（実績約100本に対して、59本及び20本）で管理指標に達したことから、ドレンアウトを行い、運転を終了した。
- ✓ これらの白金族元素の早期堆積は、**周辺機器の不具合等**により、**流下できない状況**になったことに起因するものである。
 - ①16-1CPでは、ガラス固化体吊具の不具合により流下が行えず、炉内のガラス保有量が多い状態で保持運転し、その後流下を行わずに停止したこと、17-1CPでは流下中の複数回発生した漏電等による**流下停止事象が加速要因となり、白金族元素が堆積**した。
 - ②19-1CPの運転で発生した流下停止事象により、**再流下のために複数回の炉底加熱**を行ったこと、これに伴い**炉底部のガラス温度が高い状態が生じ、白金族元素が堆積**した。
- ✓ 以上のとおり、洗浄運転は、炉底部周辺に**滞留**した白金族元素を含む溶融ガラスを低減させる効果は認められ、K施設溶融炉においては効果的である。
一方、TVF溶融炉において問題となる一旦炉壁に**堆積**した白金族元素を抜き出す効果は期待できない。

1. TVFでの洗浄運転について

(3) TVFにおける洗浄運転の効果(推定)(3/3)

○ TVF溶融炉における運転状態と白金族元素沈降挙動 (イメージ)

○TVF 溶融炉 (最大ガラス保有量880kg : 約3本分)



流下重量約100kgまでに濃度が高くなるピークがあり、約100kg以降は低い濃度で一定である。



炉底低温運転により炉底部に保持している白金族元素のほとんどは1回の流下(約300kg)で抜き出される。

TVF2号溶融炉作動試験 白金族元素拔出特性



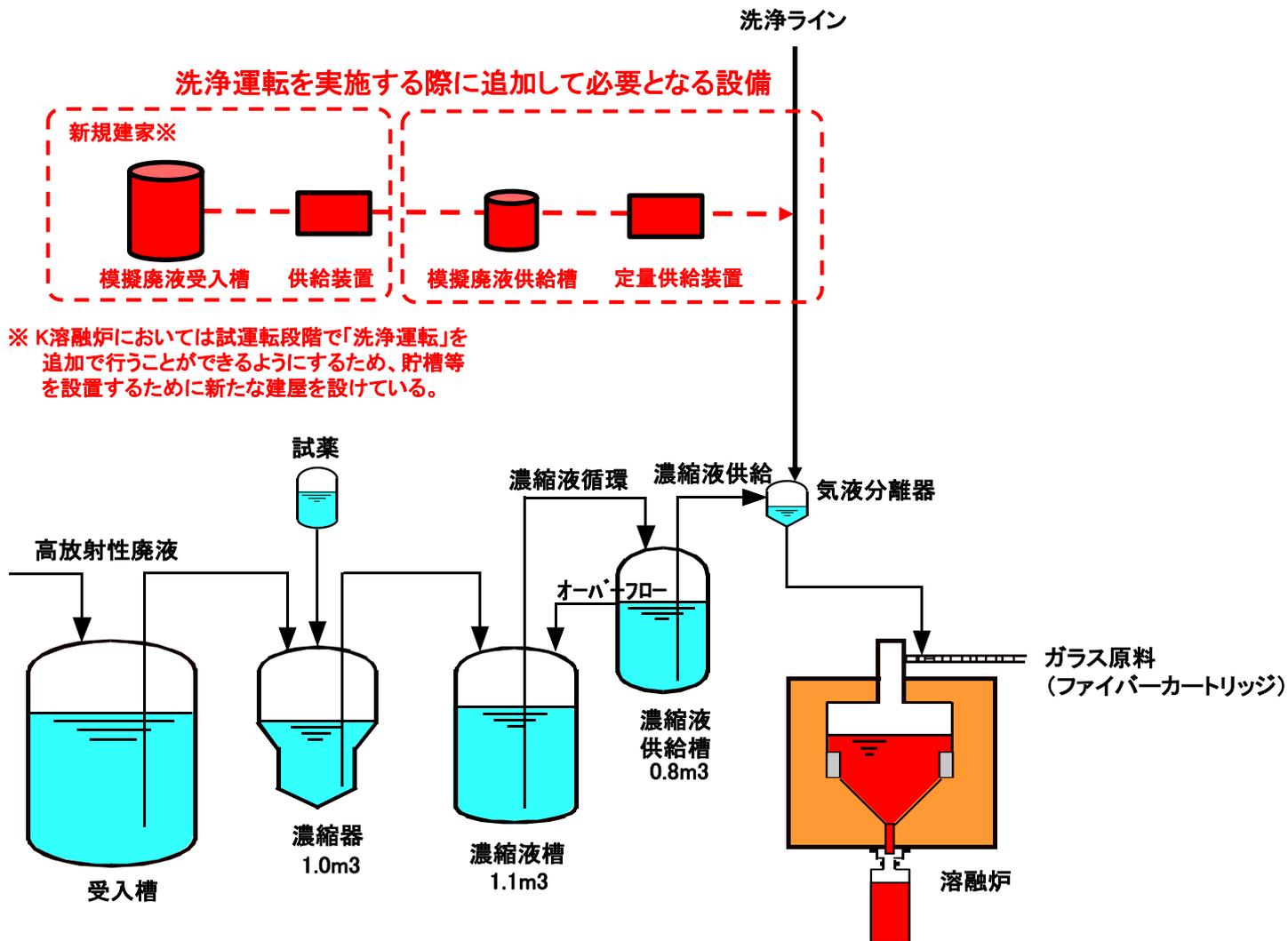
1. TVFでの洗浄運転について

(4) TVFにおける洗浄運転の実施可否(現状)(1/2)

- ✓ TVF溶融炉で問題となっている炉底部周辺への堆積を抑制する方策として、白金族元素の供給量を減らすために、白金族元素を含む高放射性廃液の濃度を薄くすることや供給量を減らすことも考えられるが、以下に示すように、その実施は困難であり、効果も見込めない。
 - LFCMでは、ガラスをジュール熱により加熱、溶融するためのガラスの電気抵抗や溶融したガラスを自然流下によりガラス固化体容器に注入するためのガラスの粘性等の物性が重要となる。これらの物性は、ガラス中の廃棄物やナトリウムの含有率により変動するため、一定の含有率になるように調整して、溶融炉へ供給していることから、廃棄物やナトリウムの含有率等を安易に低減することは困難である。
 - また、ガラス中の廃棄物やナトリウムの含有率が低くなると、ガラスが溶け難くなり、仮焼層の大きさが不安定になることから、溶融炉内の温度バランスが保たれている状態を維持するため、高放射性廃液の濃度を薄くしたり、供給量を減らしたりする場合は、ガラス中の廃棄物やナトリウムが一定の含有率になるように模擬廃液を高放射性廃液に混合する必要がある。しかしながら、TVF溶融炉には、現在、K施設溶融炉で行うとされている洗浄運転に必要な模擬廃液を供給する設備が設置されておらず、同様の「模擬廃液の供給」を行うことはできない。
 - TVF溶融炉で模擬廃液の供給を行うには、新たに模擬廃液の貯槽、供給槽、供給ポンプ、配管及び制御系を既存のシステムに組み込む必要があるが、これらを設置するスペースは用意されておらず、大規模な改修等が必要になると予想される。
また、運転と並行して工事は出来ないことから、工事に長期間を要する。
なお、K施設溶融炉においては、試運転段階で洗浄運転を追加で行うことができるようにするため、貯槽を設置するために新たな建家を設けている。
- ✓ また、高放射性廃液の濃度を薄くしたり、供給量を減らしたりする場合、白金族元素の堆積する速度が抑制される可能性はあるが、高放射性廃液の処理には、より多くのガラス固化体を製造する必要があることから、ガラス固化処理期間の短縮にはつながらないと考えている。

1. TVFでの洗浄運転について

(4) TVFにおける洗浄運転の実施可否(現状)(2/2)



※ K溶融炉においては試運転段階で「洗浄運転」を追加で行うことができるようにするため、貯槽等を設置するために新たな建屋を設けている。



1. TVFでの洗浄運転について

(5) TVFにおける安定運転に向けた取組み

- ✓ TVF溶融炉では、白金族元素堆積の管理指標に達するまでに100本程度のガラス固化体が製造できている。
- ✓ TVF2号溶融炉が16-1CP以降の運転において想定よりも少ない製造本数（実績約100本に対して、59本及び20本）で運転を終了したのは、**周辺機器の不具合等により、流下できない状況になったことに起因して、白金族元素が堆積したものである。**
これらの機器の不具合事象は**既に対策を施しており**、また、今回の運転（21-1CP）における原因調査結果を踏まえ、白金族元素の早期堆積の対策（加速要因を含む）を講じることにより、ガラス固化処理計画は**これまでの運転管理で進めていけると**考えている。
- ✓ **洗浄運転は、炉底部周辺に滞留した白金族元素を含む溶融ガラスを低減させる効果は認められ、K施設溶融炉においては効果的である。一方、TVF溶融炉において問題となる一旦炉壁に堆積した白金族元素を抜き出す効果は期待できない。**
- ✓ TVF溶融炉において問題となっている炉底傾斜面に**堆積した（抜き出せずに付着した）白金族元素の除去**に対しては、**現在の機械的な除去（残留ガラス除去）以外に具体的な方法はなく、より安定にTVF溶融炉を運転し、ガラス固化処理を早期に完了するために以下の改善を検討していく。**
 - **白金族元素の堆積を早期に検知するためのモニタリング・評価の改善**
 - **周辺機器の不具合等により流下できない状況で運転を終了した際などドレンアウトによる炉底に堆積した白金族元素の抜き出し 等**

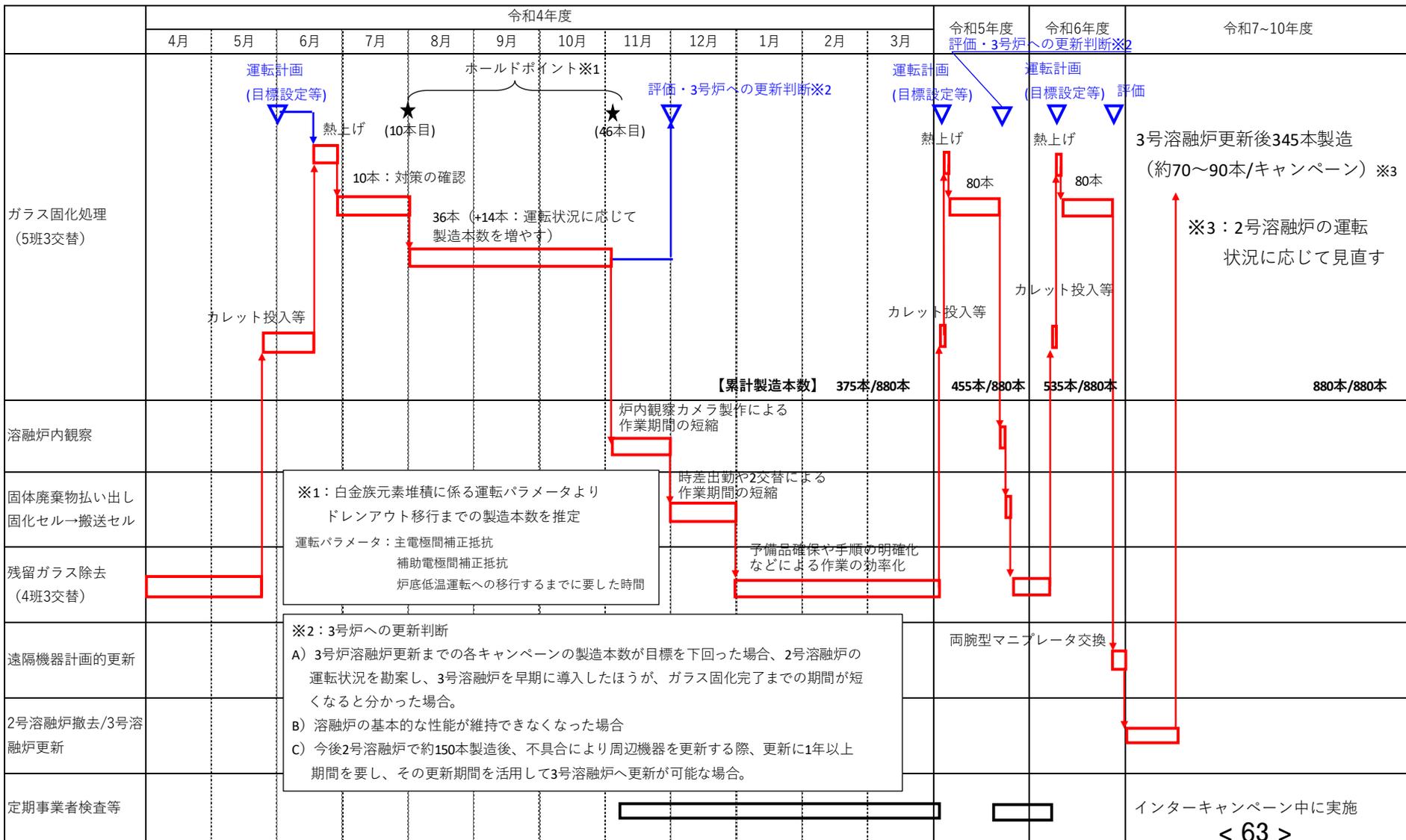
2. TVFの運転計画の年単位での数値目標の提示について(1/2)

- ✓ 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。当面の工程として、**R4年度の詳細工程**を示す。また、各キャンペーン前には具体的目標を示した運転計画等を定め、各キャンペーン後に結果を評価し、監視チーム会合で報告することとしたい。
- ✓ R4年度の次回運転の製造本数については、先ず、過去の**1キャンペーン当たりの最大製造本数46本**とし、R3年度の運転で白金族元素が早期に堆積した対策の確認、その後の運転状況を確認しながら段階的に進め、**最大60本**を考えている。
- ✓ 工程を着実に進めていくため、**作業の効率化や短縮を図る**。ガラス固化作業は1本/2日（5班3交替）で進めることから、それ以外のインターキャンペーン中の作業について以下のとおり取り組んでいる。
 - 溶融炉内観察
溶融炉上部の複数の付帯配管を外さずに、のぞき窓（1箇所）を外すことで設置可能な炉内観察カメラを製作し、2週間程度の作業期間短縮を図った。
 - 固化セル内固体廃棄物の払い出し
残留ガラス除去作業と干渉する固化セルから搬送セルへの搬出作業について、時差出勤や2交替により、1～2週間程度の作業期間の短縮を図った。
 - 残留ガラス除去
予備の除去装置を準備するとともに、放射線劣化しやすいITVカメラの予備品を複数確保し、劣化の兆候が確認された場合は速やかに交換を行う。また、過去の実績で工具交換時の不具合対応に時間を要していたことから、手順の明確化や訓練による作業員の力量を向上させ、作業の効率化を図った。さらに、除去作業要員を拡充（新人を複数名）し、作業員が新型コロナウイルスに感染した場合も予備員で対応を図れるよう体制を整備している。
 - 遠隔機器の計画的更新、2号溶融炉の撤去/3号溶融炉への更新
時差出勤や2交替で実施する等、期間短縮策を検討している。
 - 定期事業者検査等
インターキャンペーン期間に応じて、時差出勤や2交替により、必要な検査や設備機器のメンテナンスの期間短縮を検討している。



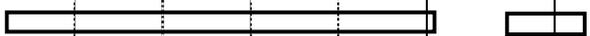
2. TVFの運転計画の年単位での数値目標の提示について(2/2)

当面の計画を着実に進めることで、R10年度末までのガラス固化処理完了を目指す。



※1：白金族元素堆積に係る運転パラメータよりドレンアウト移行までの製造本数を推定
 運転パラメータ：主電極間補正抵抗
 補助電極間補正抵抗
 炉底低温運転への移行するまでに要した時間

※2：3号炉への更新判断
 A) 3号炉溶融炉更新までの各キャンペーンの製造本数が目標を下回った場合、2号溶融炉の運転状況を勘案し、3号溶融炉を早期に導入したほうが、ガラス固化完了までの期間が短くなると分かった場合。
 B) 溶融炉の基本的な性能が維持できなくなった場合
 C) 今後2号溶融炉で約150本製造後、不具合により周辺機器を更新する際、更新に1年以上以上期間を要し、その更新期間を活用して3号溶融炉へ更新が可能な場合。



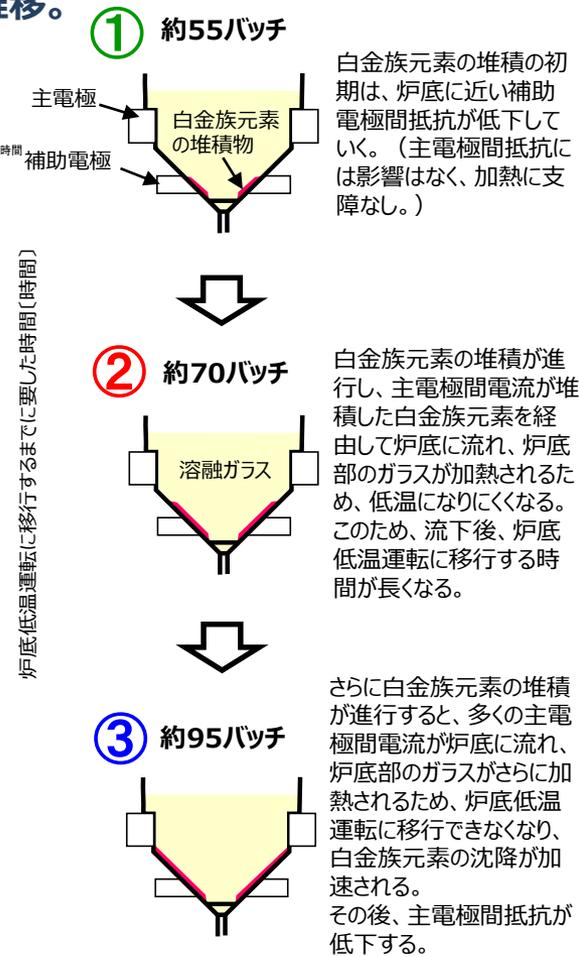
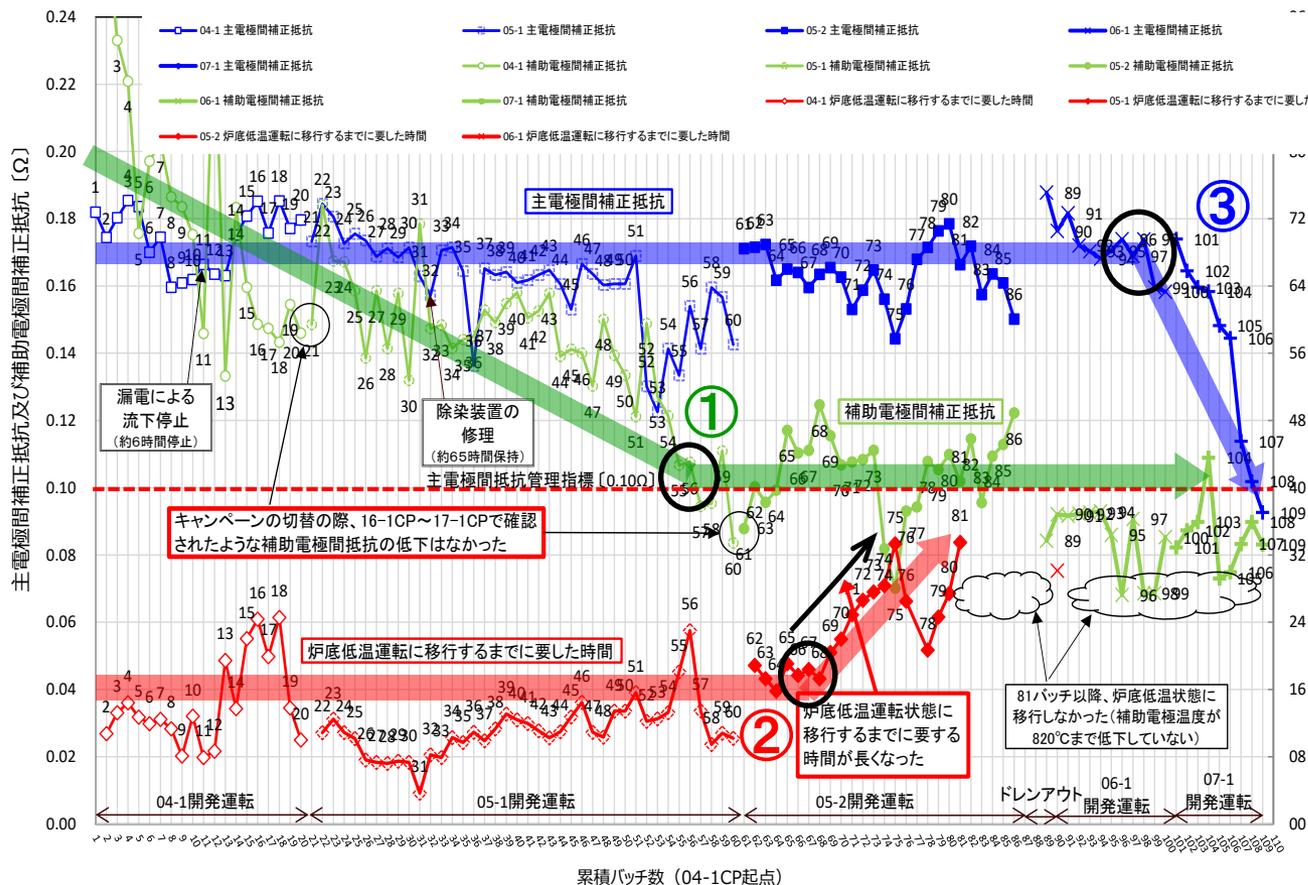
3. 3号溶融炉への更新の判断基準について

- ✓ 現行の2号溶融炉ではこれまでに199本製造しており、**溶融炉の設計寿命（ガラス固化体500本製造に相当）を踏まえ**、今後約300本までを目途にガラス固化体を製造した後、3号溶融炉に更新する計画であるが、ガラス固化処理の早期完了に向け、**2号溶融炉の運転状況により速やかに更新できるように3号溶融炉の準備を進めている**。
- ✓ 今後ガラス固化処理計画で製造するガラス固化体（約550本）に対し、**3号溶融炉の設計寿命（ガラス固化体500本製造に相当）を踏まえると**、3号溶融炉でこれら全ての処理を完了させるためには、工程洗浄や系統除染で発生する廃液のガラス固化処理本数も考慮して、**今後2号溶融炉で最低150本程度のガラス固化体を製造することになる**。
- ✓ なお、3号溶融炉の早期導入により4号溶融炉が必要となった場合は、4号溶融炉の製作・更新には約4年の期間を要することから、ガラス固化処理完了までの期間が長くなる可能性が考えられる。
- ✓ このような状況も踏まえ、ガラス固化処理を停滞させないため、**溶融炉更新の判断は次のとおり**考えている。
 - A) 3号炉溶融炉更新までの各キャンペーンの**製造本数が目標を下回った場合**、**2号溶融炉の運転状況を勘案し、3号溶融炉を早期に導入したほうが、ガラス固化完了までの期間が短くなると分かった場合**。
 - B) 溶融炉の基本的な**性能が維持できなくなった場合**（電極やレンガに想定（設計）を超える侵食等を確認した場合）。
 - C) 今後2号溶融炉で約150本製造後、不具合により周辺機器を更新する際、更新に1年以上期間を要し、その**更新期間を活用して3号溶融炉へ更新が可能な場合**。

参考資料

○ TVF2号溶融炉における2007年までの実績(炉内整備まで：ガラス固化体110本製造)

TVF溶融炉は運転継続に伴い、白金族元素が徐々に炉底部に堆積する。
白金族元素堆積に係る運転パラメータは、ガラス固化体製造に伴い以下のように推移。



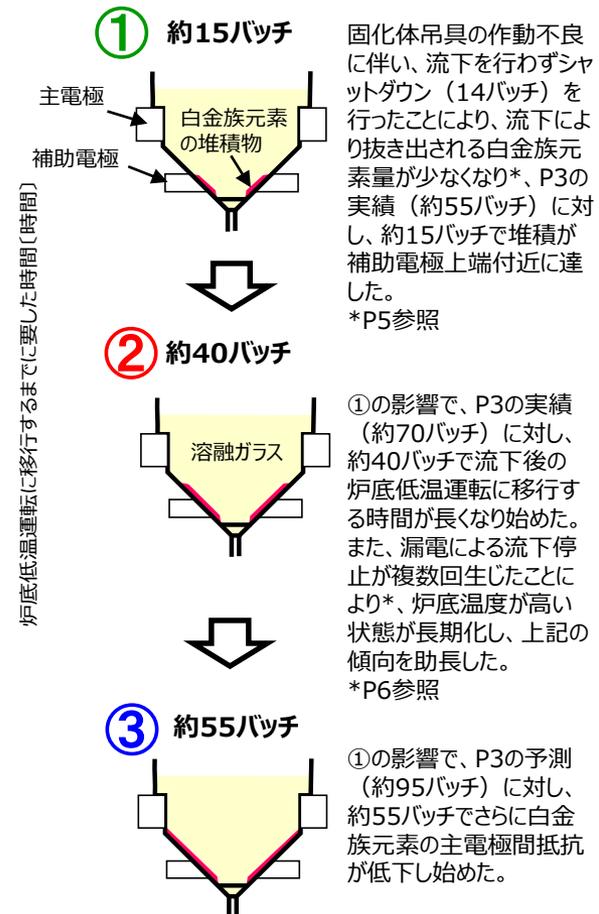
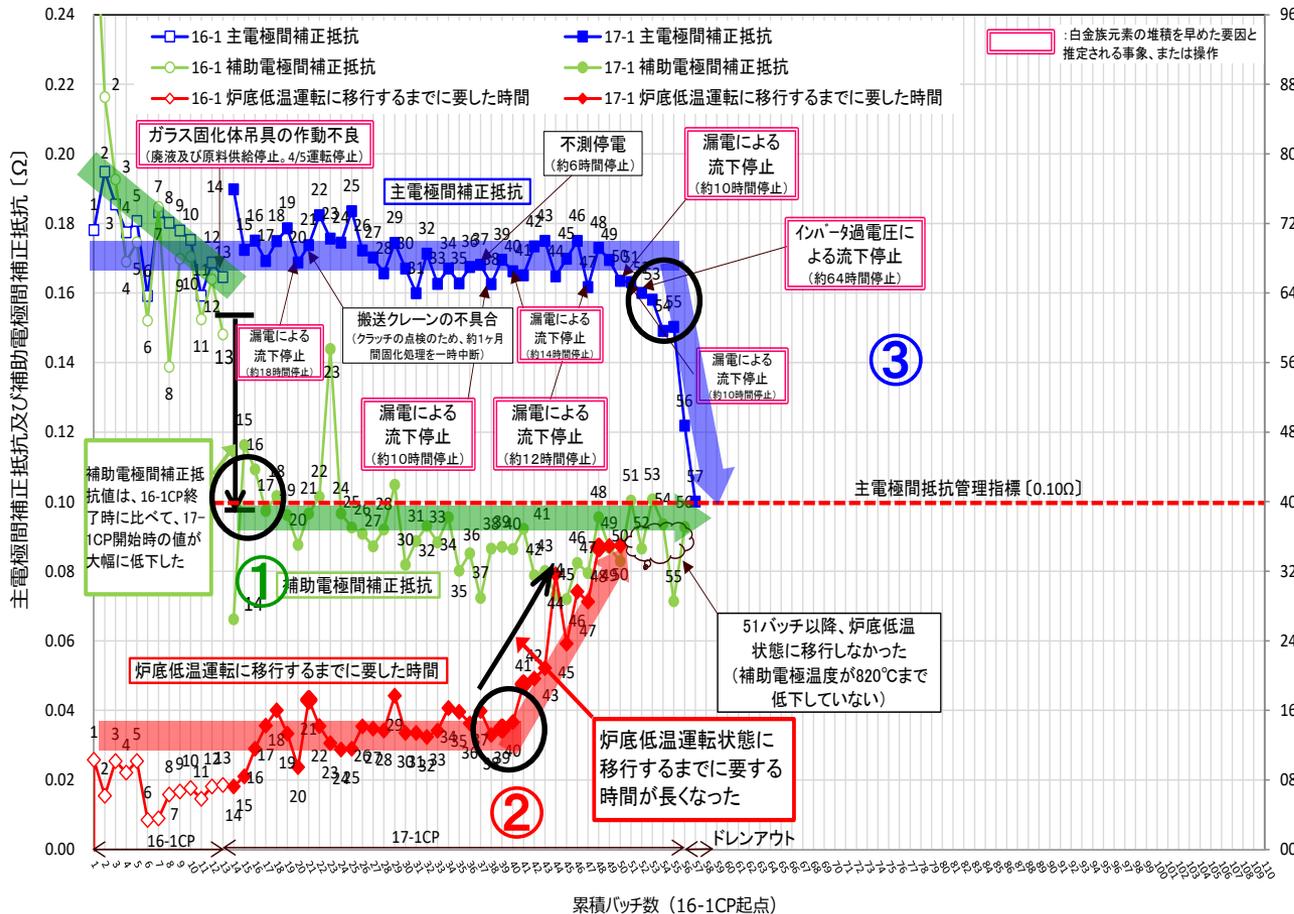
主電極間補正抵抗及び補助電極間補正抵抗とバッチ開始時から炉底低温運転*1に移行するまでに要した時間の推移

* 1: 補助電極温度(T10.5)が820℃まで放冷されたタイミング

平成29年9月11日 第14回及び
平成29年11月10日 第16回
東海再処理施設等安全監視チーム
会合資料より抜粋

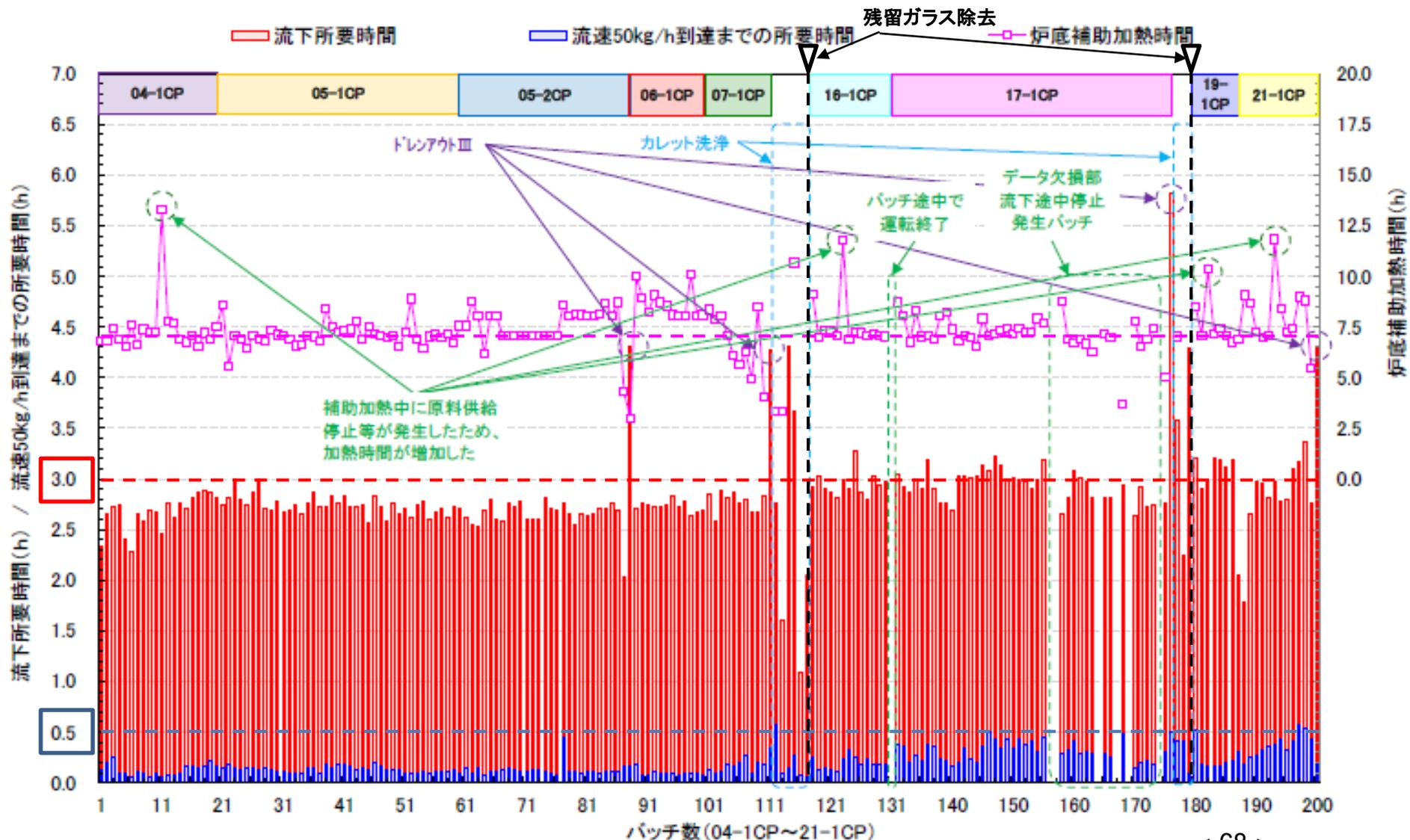
➤ TVF2号溶融炉における2016年～2017年の実績(炉内整備後：ガラス固化体59本製造)

16-1CP及び17-1CPにおいて、機器トラブルによる複数回の運転停止が発生し、白金族元素の堆積が早まった。



主電極間補正抵抗及び補助電極間補正抵抗とバッチ開始時から炉底低温運転*1に移行するまでに要した時間の推移

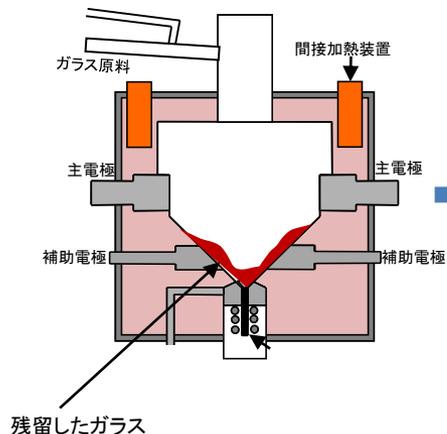
* 1: 補助電極温度(T10.5)が820℃まで放冷されたタイミング



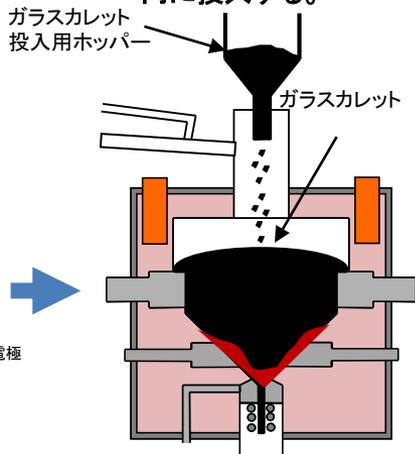
炉底加熱時間、流下所要時間及び流速50kg/h到達までの所要時間

【カレット洗浄を行う場合の手順】

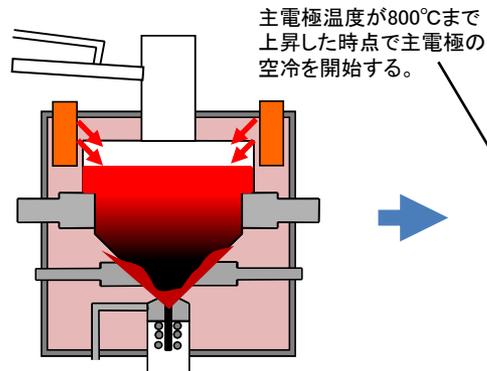
①ドレンアウト後の状態



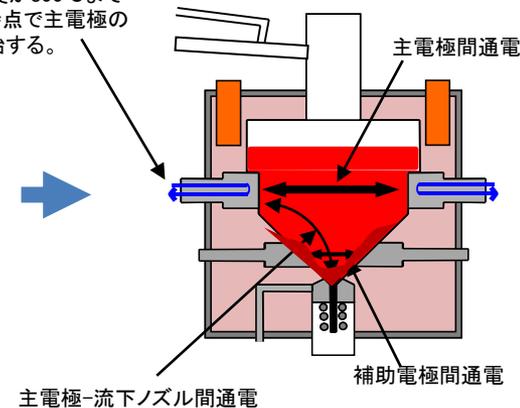
②ガラス固化体約3本分(約800kg)のガラスカレットを炉内に投入する。



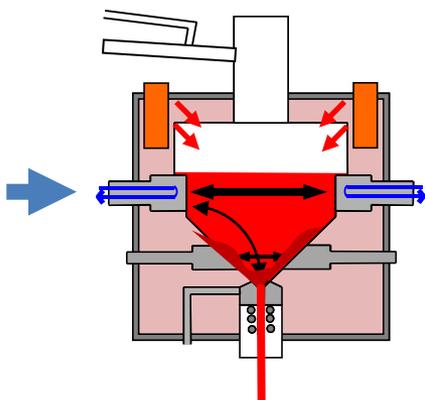
③間接加熱装置により炉内のガラスを加熱する。



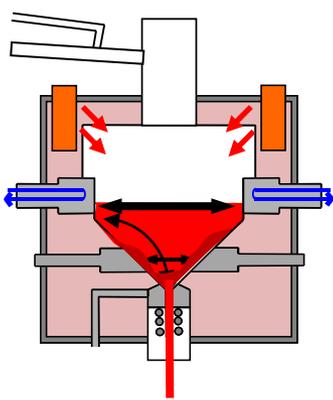
④主電極温度450℃以上で主電極間通電を開始する。その後、他の通電系統の通電を順次開始するとともに間接加熱装置を停止する。



⑤ 1本目流下



⑥ 2本目流下



⑦ 3本目流下

