

再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉Aにおけるガラスの流下停止について



本書は記載内容のうち、内の記載事項は公開制限情報に属するものであり公開できませんので、当社の同意なく本書の全部または一部を第三者に公開、開示されることがないようにお願いします。

日本原燃株式会社

日本原燃株式会社
平成20年10月1日



目次

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績
2. 流下停止(7月2日)時の状況
3. 流下停止(7月2日)に係る点検・調査等の流れ
4. 結合装置内の観察
5. 付着物の除去
6. 結合装置取外し後の詳細観察
7. 結合装置取外し後の詳細観察結果などから推定される各作業ステップ時のガラス付着状況
8. 原因究明
9. 流下ノズル健全性及び流下性確認試験
 9. 1 試験方法
 9. 2 試験結果
 9. 2 試験結果のまとめ
10. 原因及び再発防止対策
 10. 1 原因究明の結果、流下ノズル健全性及び流下性確認試験の結果を受けて推定した流下停止に至った経緯
 10. 2 原因と再発防止対策

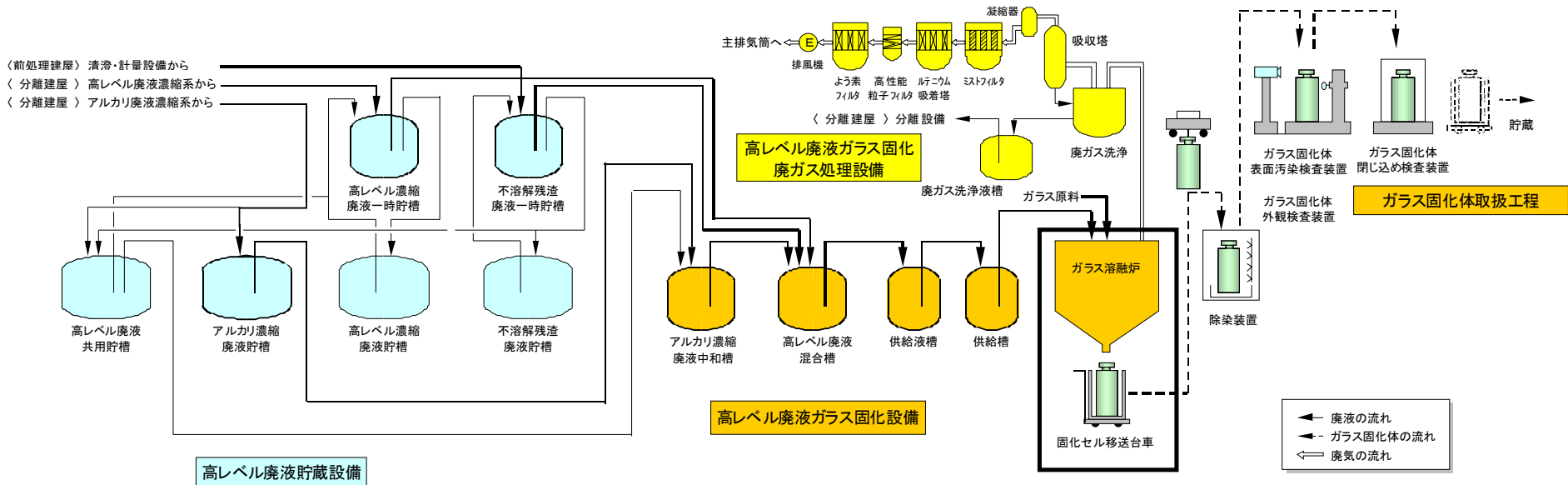


1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績

○今回（7月2日）流下停止が発生した高レベル廃液ガラス固化設備の概要及びガラス固化設備におけるアクティブ試験の実績についての説明を以下の項目に従って実施する。

- ・高レベル廃液ガラス固化設備の概要（全体工程）
- ・六ヶ所再処理工場と東海再処理工場のガラス溶融炉比較
- ・高レベル廃液ガラス固化施設概要（ガラス固化セル全景）
- ・高レベル廃液ガラス固化施設概要（ガラス溶融炉外観）
- ・ガラス溶融炉の測定点
- ・流下ノズル周辺寸法
- ・ガラス溶融炉の運転方式
 - ・ 運転管理上のポイント
- ・ガラスの温度と粘性の関係
- ・ガラスの物性
- ・ガラス原料
- ・アクティブ試験第4ステップでの実績
 - ・ アクティブ試験第4ステップの概要
- ・残留（白金族元素を含む）ガラス除去

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【高レベル廃液ガラス固化設備の概要（全体工程）】



1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【六ヶ所再処理工場と東海再処理工場のガラス溶融炉比較】



東海再処理工場(TVF)
1995年ホット運転開始

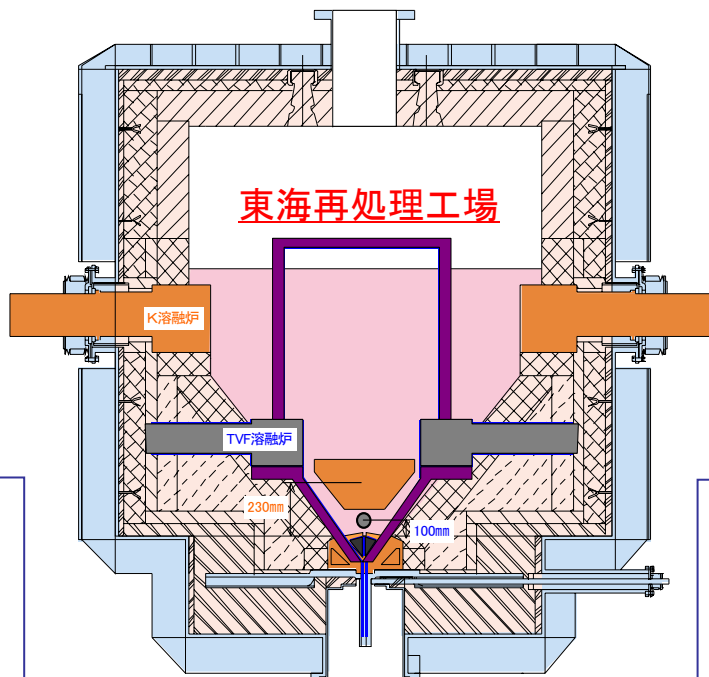
外形寸法:

W1.9m × D1.9m × H2.3m

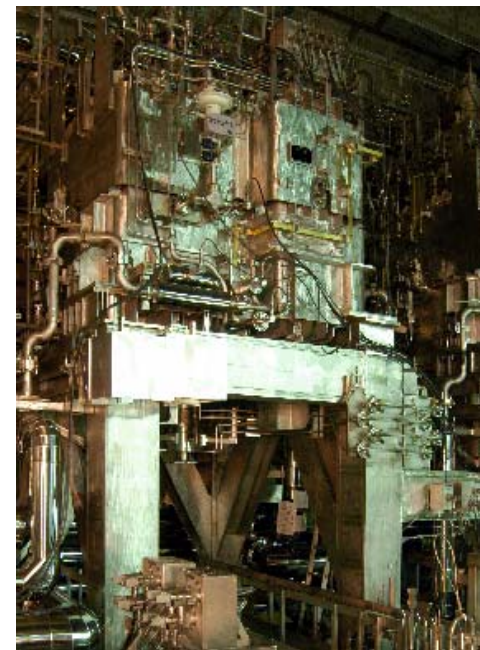
基数:1系列

固化体サイズ:約110L

六ヶ所再処理工場



各溶融炉の比較



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:

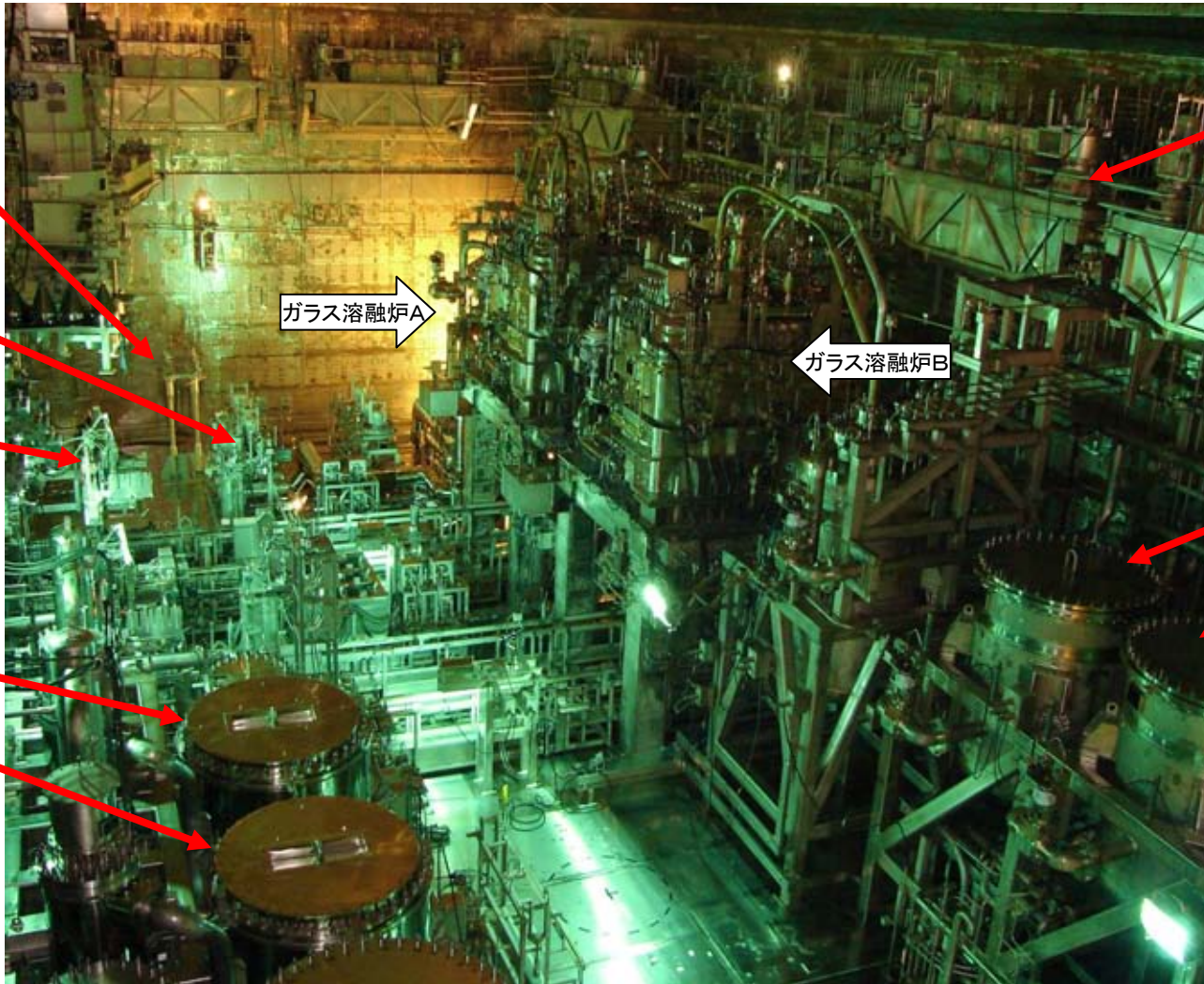
W2.95m × D3.08m × H2.77m

基数:2系列

固化体サイズ:約150L

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【高レベル廃液ガラス固化施設概要(ガラス固化セル全景)】

たて	約47m
よこ	約23m
高さ	約24m



攪拌治具
(収納架台へ収納状態)

蓋着脱装置A

溶接機A

よう素フィルタB

よう素フィルタA

ガラス溶融炉A

ガラス溶融炉B

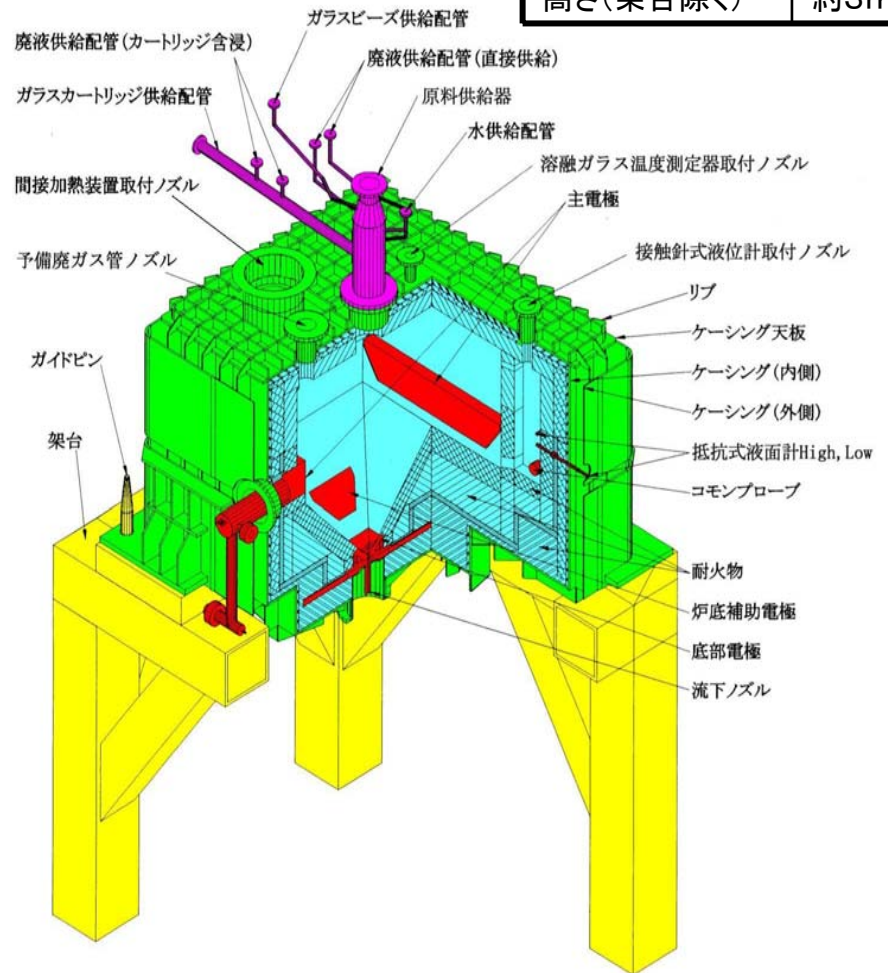
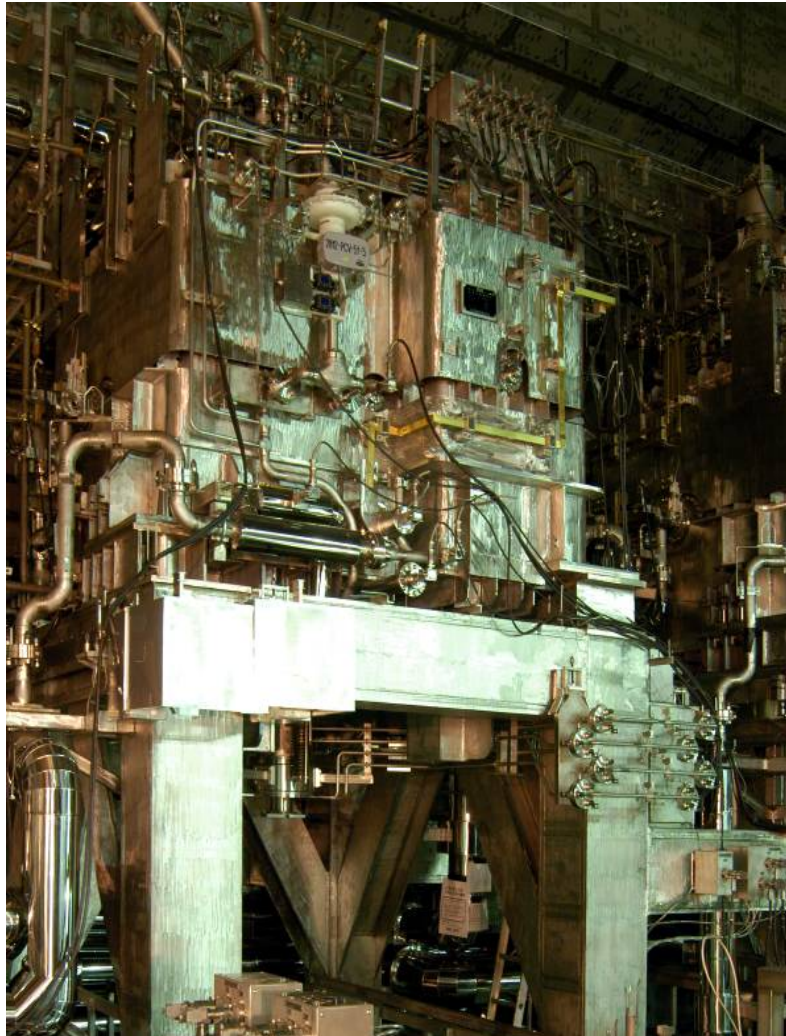
セル内クーラ

ミストフィルタA

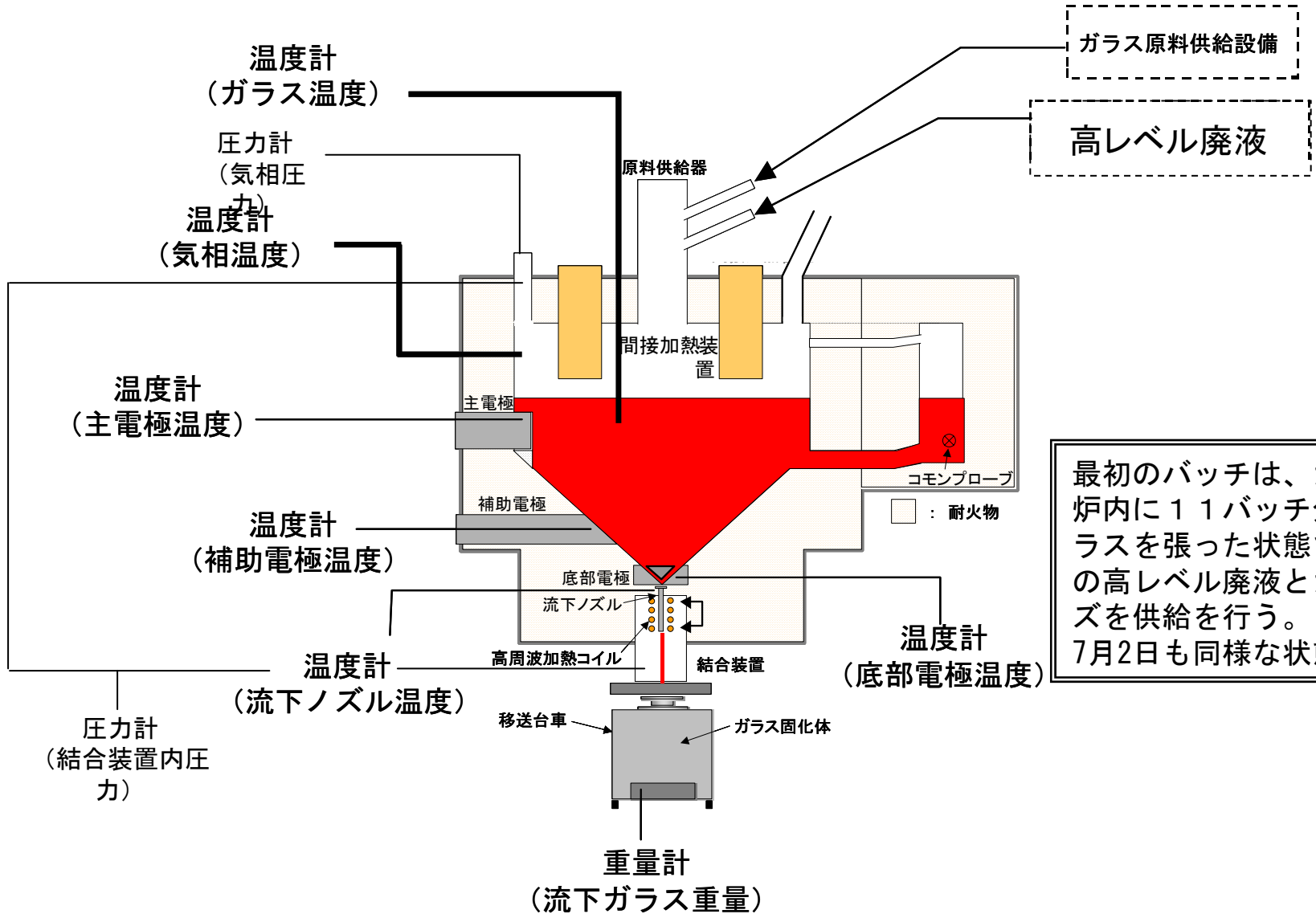
ミストフィルタB

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【高レベル廃液ガラス固化施設概要(ガラス溶融炉外観)】

たて	約3m
よこ	約3m
高さ(架台除く)	約3m

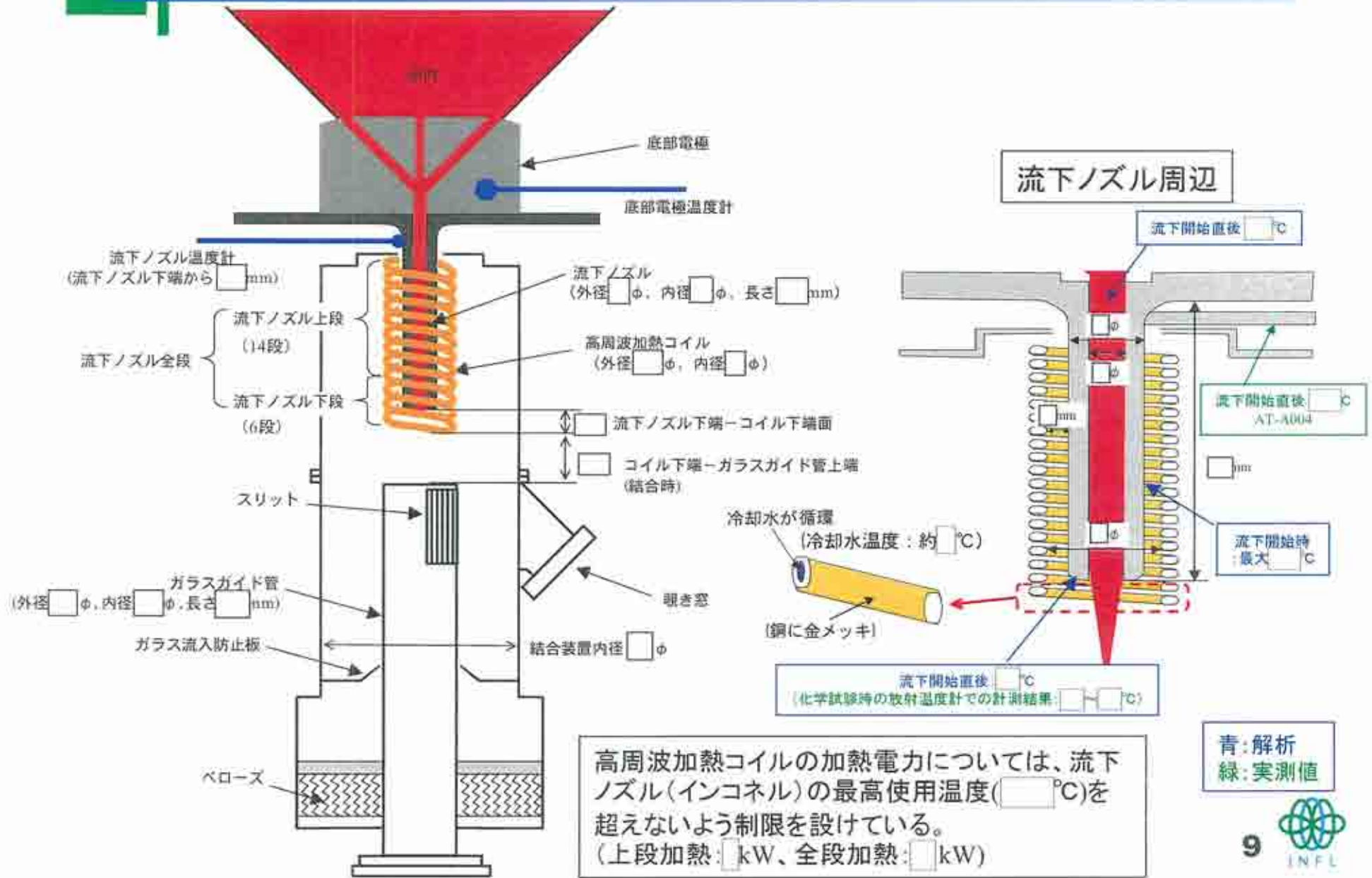


1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【ガラス溶融炉の測定点】

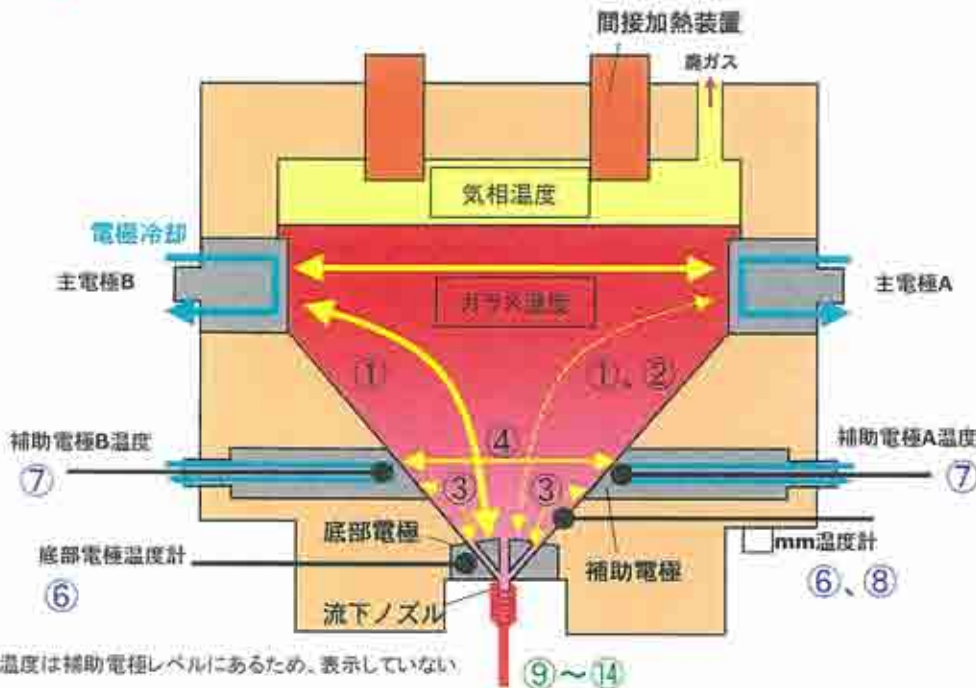


最初のバッチは、ガラス溶融炉内に11バッチ分の模擬ガラスを張った状態で1バッチ分の高レベル廃液とガラスビーズを供給を行う。7月2日も同様な状態であった。

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【流下ノズル周辺寸法】



1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【運転管理上のポイント】



抵抗に係わる指標

- ①主底間抵抗値
- ②主A/B-底部電極間抵抗差
- ③補助A/B-底部電極間抵抗差
- ④主底間通電時の補助電極間抵抗値の変動

炉底加熱性に係わる指標

- ⑤主底間通電の開始から底部電極温度の設定値到達までの時間

炉底加熱時の昇温性に係わる指標

- ⑥底部電極温度と□mm温度の昇温比
(白金族堆積指標)
- ⑦補助電極A/Bの昇温速度差
- ⑧□mm温度と□mm温度の昇温性の推移

流下性に係わる指標

- ⑨流下速度50kg/h到達時間
- ⑩流下速度100kg/h到達時間
- ⑪50~100kg/h到達時の底部電極温度
- ⑫流下所要時間
- ⑬流下速度20kg/h到達時間
- ⑭流下重量10kg到達時間

安定運転時の運転指標

ガラス温度	<input type="text"/> °C
気相温度	<input type="text"/> °C

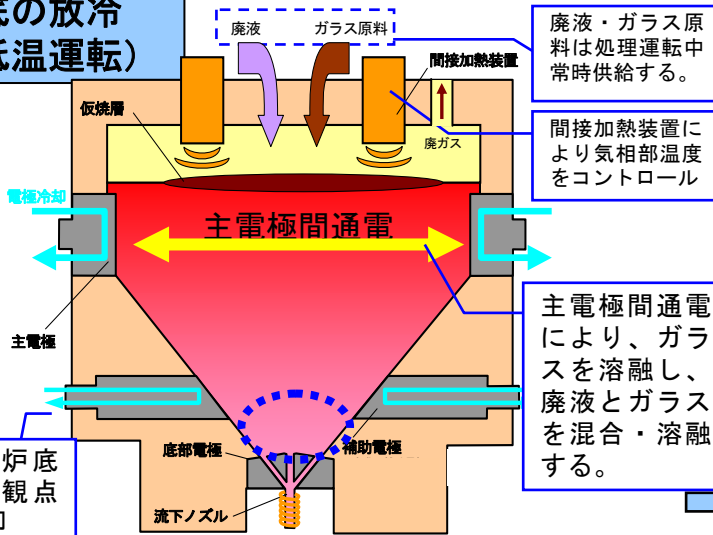
流下時の高周波加熱電力設定値

アクティブ試験	第4	第5開始時
上段加熱電力	<input type="text"/> kW	<input type="text"/> kW
全段加熱電力	<input type="text"/> kW	<input type="text"/> kW

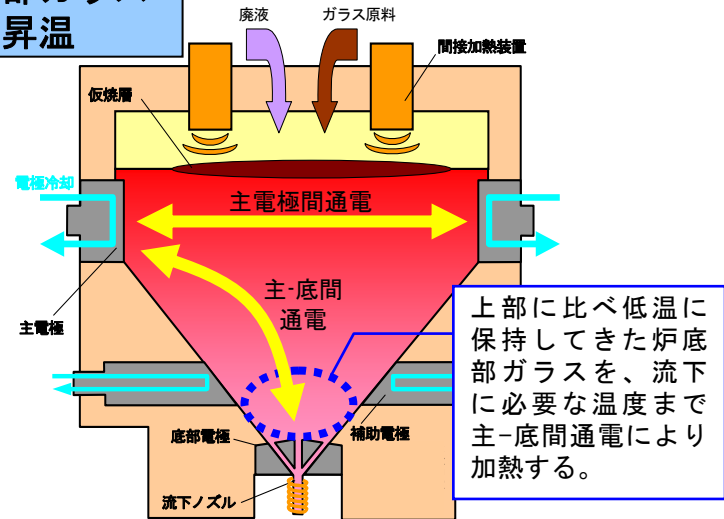
高周波加熱電力については、「流下ノズル健全性および流下性確認試験」の結果をふまえて設定値を見直した。

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【ガラス溶融炉の運転方式】

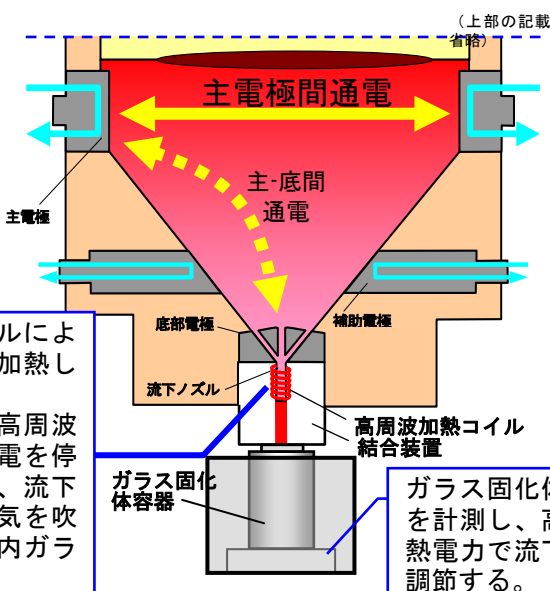
① 炉底の放冷 (炉底低温運転)



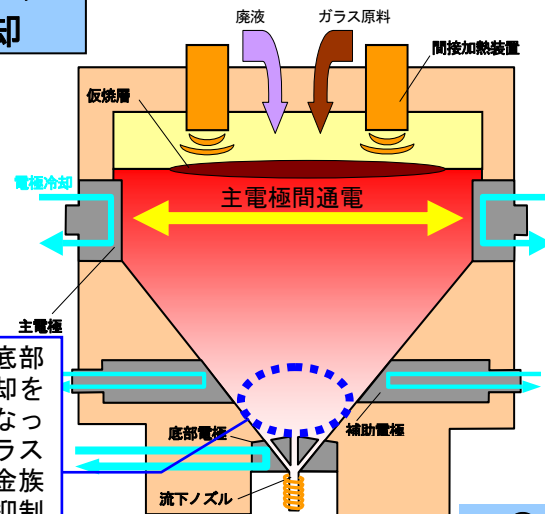
② 炉底部ガラスの昇温



③ ガラス固化体容器への流下

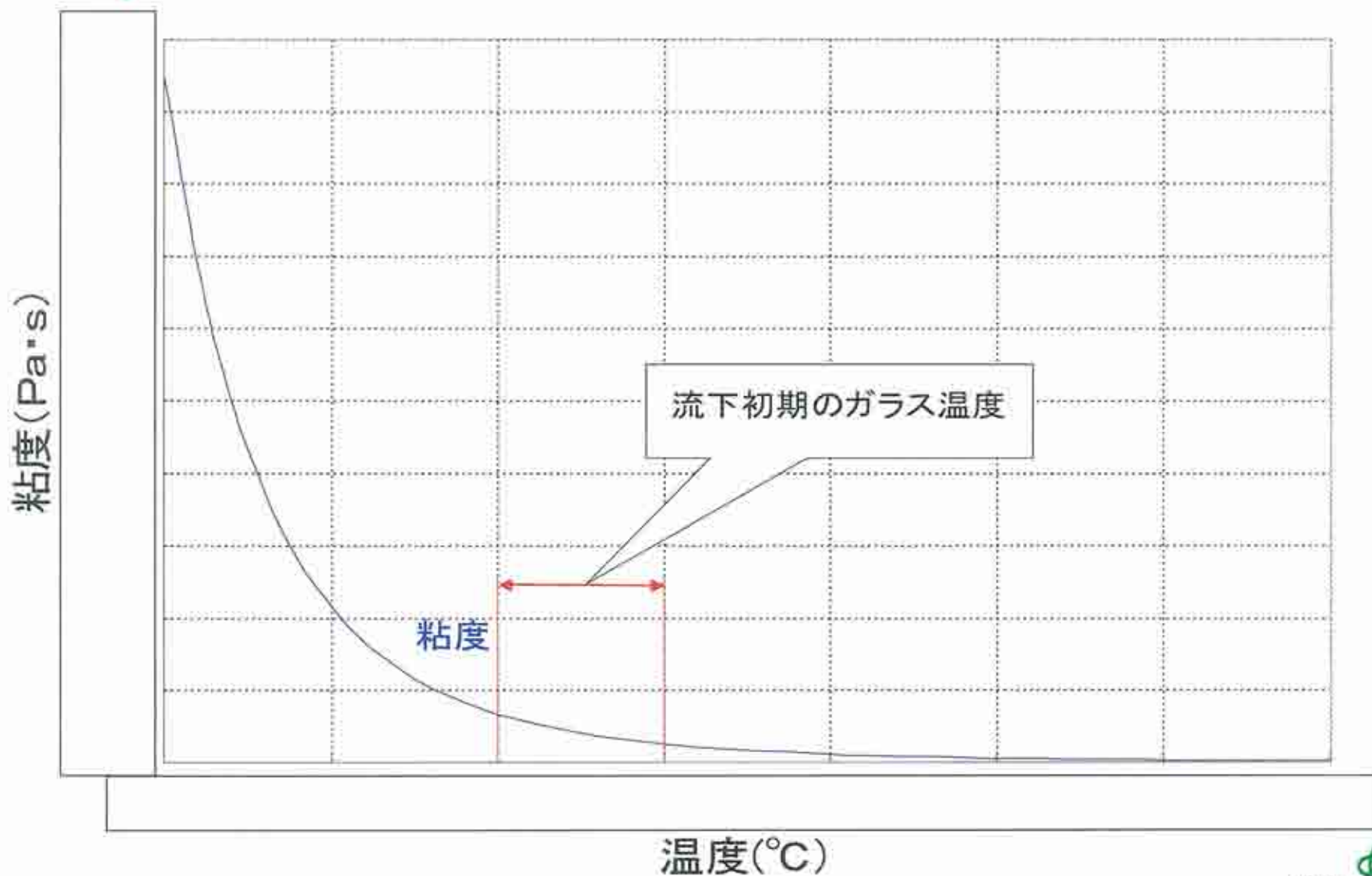


④ 炉底部の強制冷却



(①に戻る)

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【ガラスの温度と粘性の関係】



1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【ガラスの物性】

○ガラス固化体の物性（公称諸元）を以下に示す。

項目		単位	
転移点		°C	<input type="text"/>
軟化点		°C	<input type="text"/>
熱膨張係数		$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	<input type="text"/>
熱伝導率	100°C	W/m°C	<input type="text"/>
	200°C		<input type="text"/>
	300°C		<input type="text"/>
	400°C		<input type="text"/>
比熱	100°C	kJ/kg°C	<input type="text"/>
	200°C		<input type="text"/>
	300°C		<input type="text"/>
	400°C		<input type="text"/>
ヤング率		GPa	<input type="text"/>
密度		g/cm ³	<input type="text"/>
比抵抗	<input type="text"/>	cΩ·m	<input type="text"/>
高温粘度	<input type="text"/> °C	Pa·s	<input type="text"/>

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績
【ガラス原料】

東海再処理工場



ガラスカートリッジ
約Φ70mm×70mm

六ヶ所再処理工場



ガラスビーズ
約Φ2mm

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【アクティブ試験第4ステップでの実績】

平成19年11月



実廃液による試験運転

白金族元素の沈降・堆積
の影響が確認されたこと
から回復操作実施

安定した運転状態の維持が難し
かったことから追加データ取得を
実施

白金族元素の沈降・堆積の影響が
確認されたことから溶融炉内のガ
ラスを全量抜き出す運転に移行

実廃液による試験運転
(追加データ取得)

溶融炉内のガラス全量抜
き出し

試験データの評価等を行
い安定運転に関する条件
検討を行うこととした。

残留(白金族元素を含む)ガラス
除去

7月2日



試験再開

安定運転条件の検討

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績

【アクティブ試験第4ステップの概要】

1～18バッチ

- ガラス温度が十分上がらない、ガラス温度が安定しない←仮焼層が安定して形成しない
- 低粘性流体が発生した
- ガラス温度が安定しなかった影響で白金族元素が沈降・堆積した
→底部電極温度の上昇が鈍くなり炉底部加熱時間が長くなるようになった
- 偏流が発生した（16バッチ）

19、20バッチ

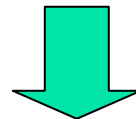
- 白金族元素が沈降・堆積した状況を回復するため攪拌装置による回復運転を実施
- 低粘性流体が発生した

21～34バッチ

- 白金族元素が沈降・堆積の回復状況が十分ではなく、廃棄供給により白金族元素の沈降・堆積の兆候が発生した
- 低粘性流体が発生した
- 模擬ガラスによる洗浄運転を実施し、回復を図った

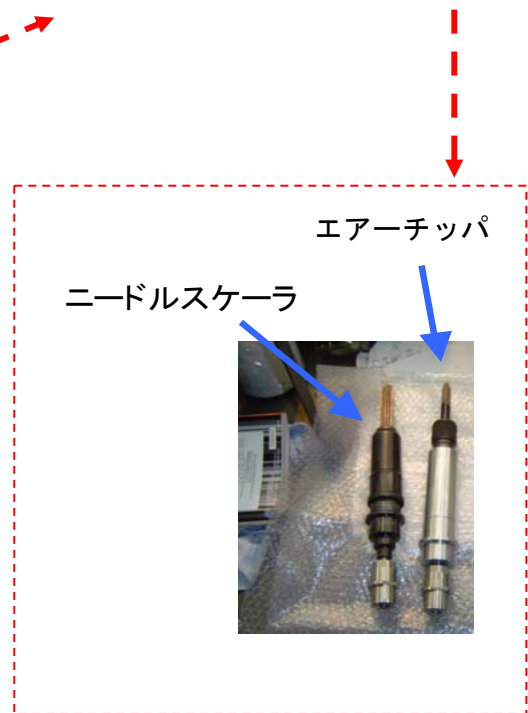
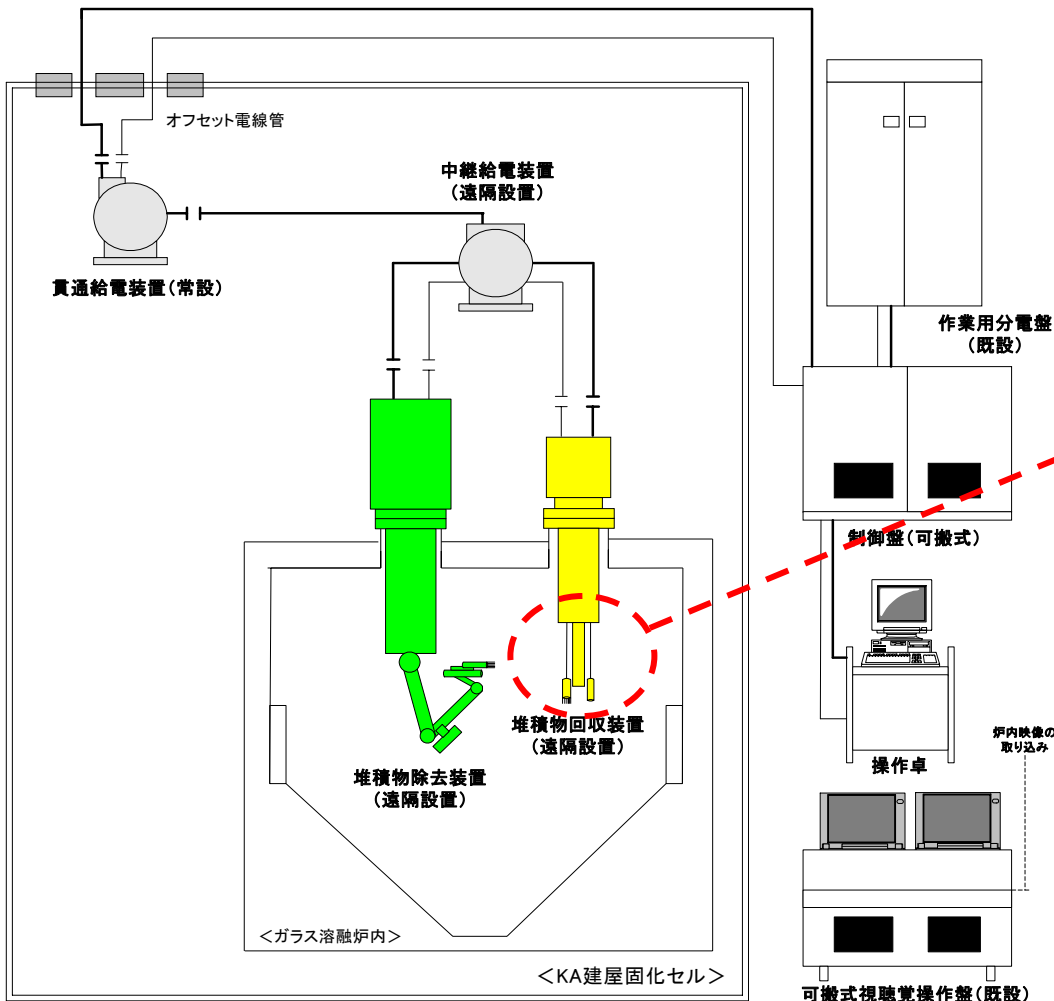
35～60バッチ

- 数バッチガラス温度等が安定した状態を維持できた
- 廃棄供給により白金族元素の沈降・堆積の兆候が発生した
- 低粘性流体が発生した
- 熔融炉内のガラスを全量抜き出す運転に移行



「大部分のバッチ（60バッチ中35バッチ）で低粘性流体が発生」
「仮焼層が安定して形成しないことの影響でガラス温度等が安定しなかった⇒白金族元素の沈降・堆積に繋がった」
「白金族元素の沈降・堆積の影響で偏流が発生」（60バッチ中5バッチ）

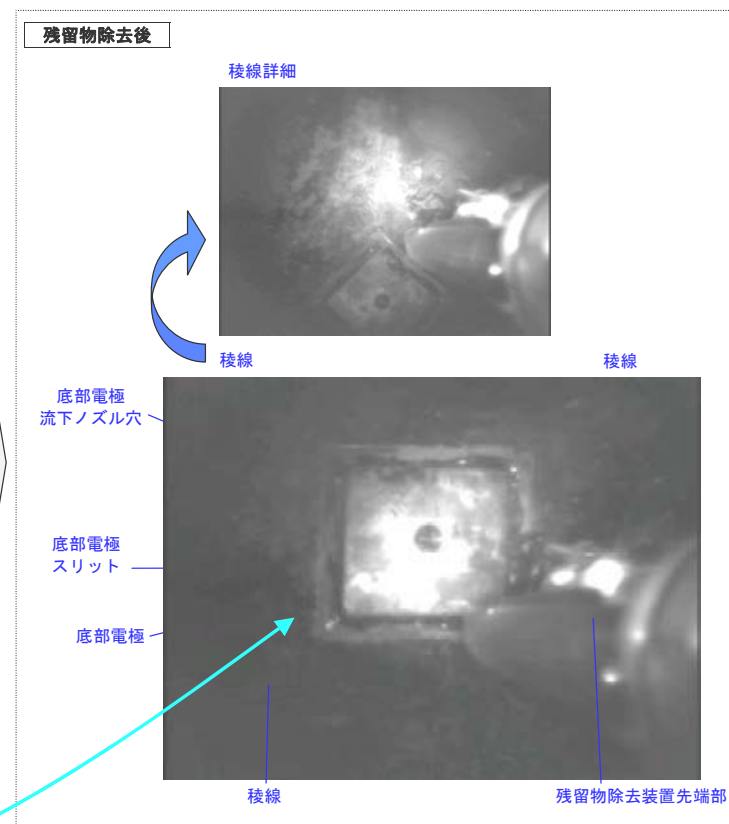
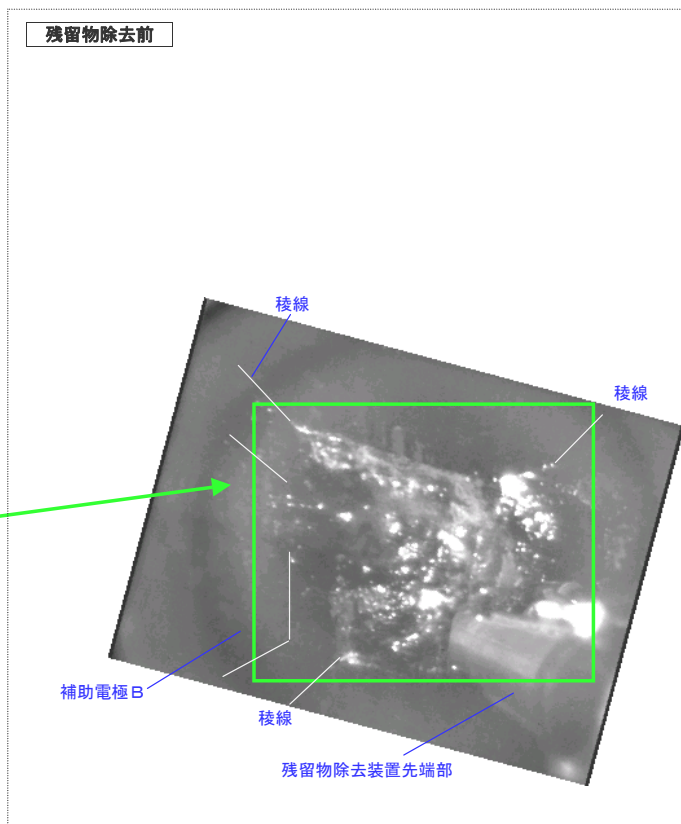
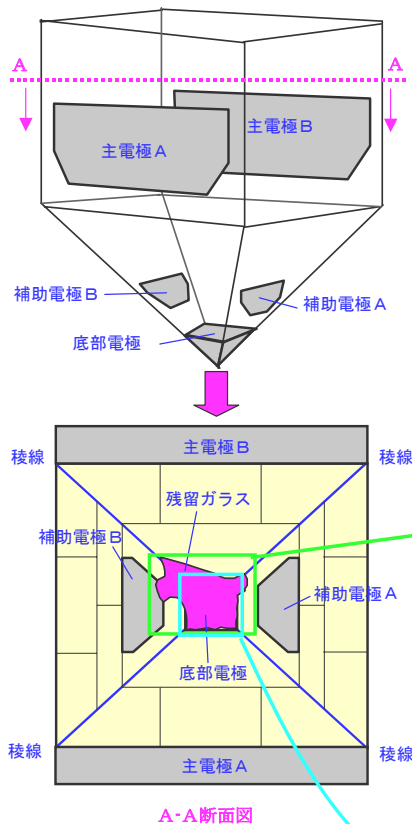
1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【残留（白金族元素を含む）ガラス除去】



* 本図は、炉内堆積物除去作業時における各装置類の配置を示す。
* 炉内観察装置は、炉内計測時に使用する。

—|— 遠隔コネクタ接続 — 動力電源
— 計装・制御

1. ガラス固化設備の概要及びこれまでのアクティブ試験実績 【残留（白金族元素を含む）ガラス除去】



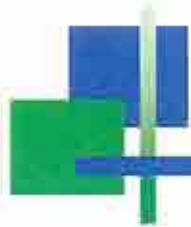


2. 流下停止（7月2日）時の状況

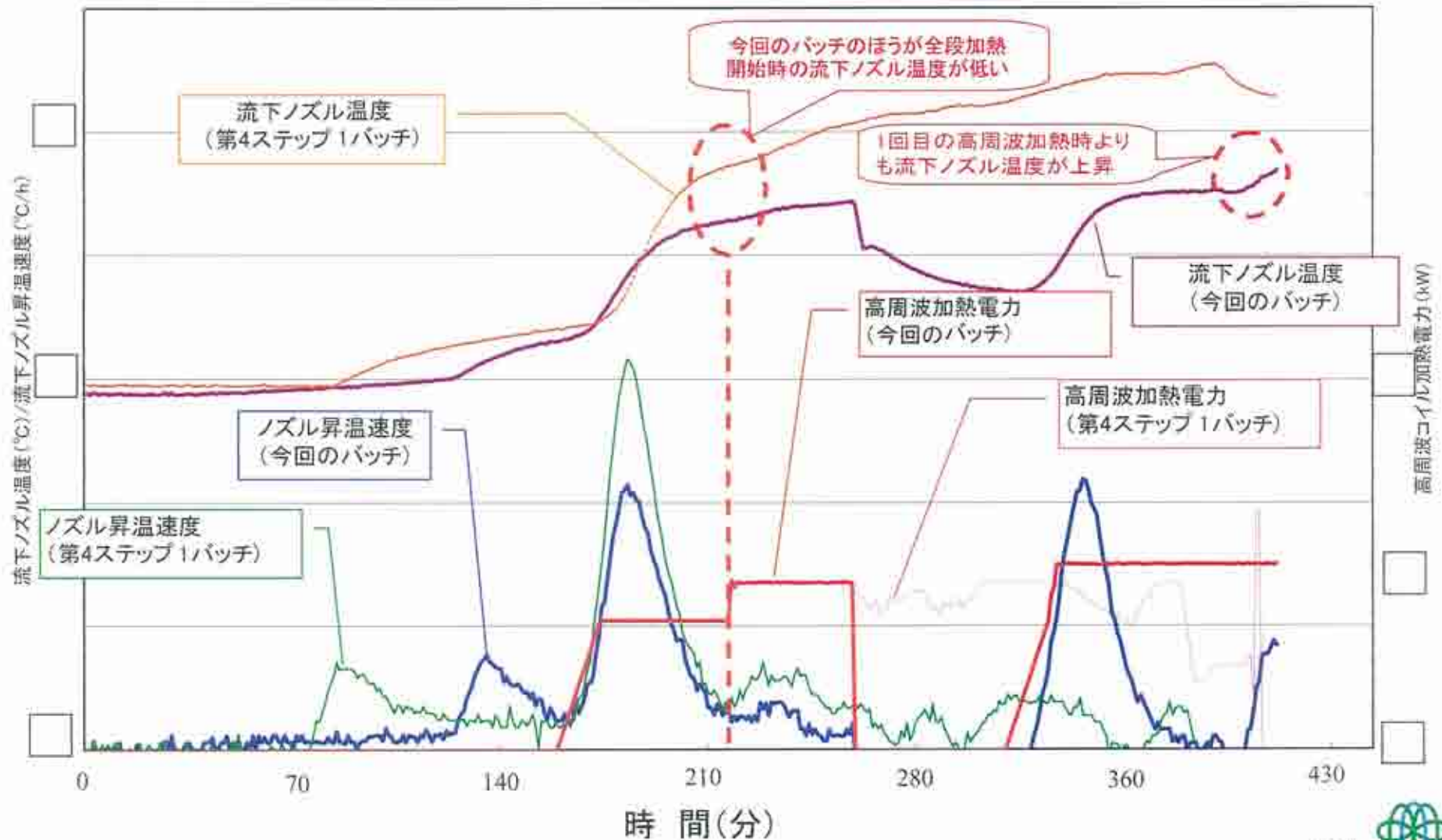


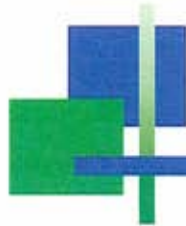
2. 流下停止(7月2日)時の状況

- 7月2日にガラス固化に関する試験を再開したが、流下ノズルからのガラスの流下不調が発生し、7月3日に試験を中断（ガラス溶融炉内に11バッチ分の模擬ガラスを張った状態で1バッチ分の高レベル廃液とガラスビーズを供給した状態）
- 7月2日から再開した試験については6月11日の安定運転条件報告に示した運転条件に基づき運転を行い、廃液とガラス原料を高温で溶融するガラス溶融炉の運転は計画どおり実施できた。今回の流下不調は、溶融炉の運転条件の問題ではなく、溶融したガラスを流下する流下ノズルの部分で発生した問題
- 今回の状況が発生した際には、操作手順に従って設備を安全に停止しており、安全上の問題は発生していない
- 流下ノズル温度が前回の試験時より低いことや流下ノズルを下からカメラで見たところ、流下ノズルと高周波加熱コイルとの間にガラスが付着していることなどを確認



2. 流下停止(7月2日)時の状況(流下ノズル温度の推移)



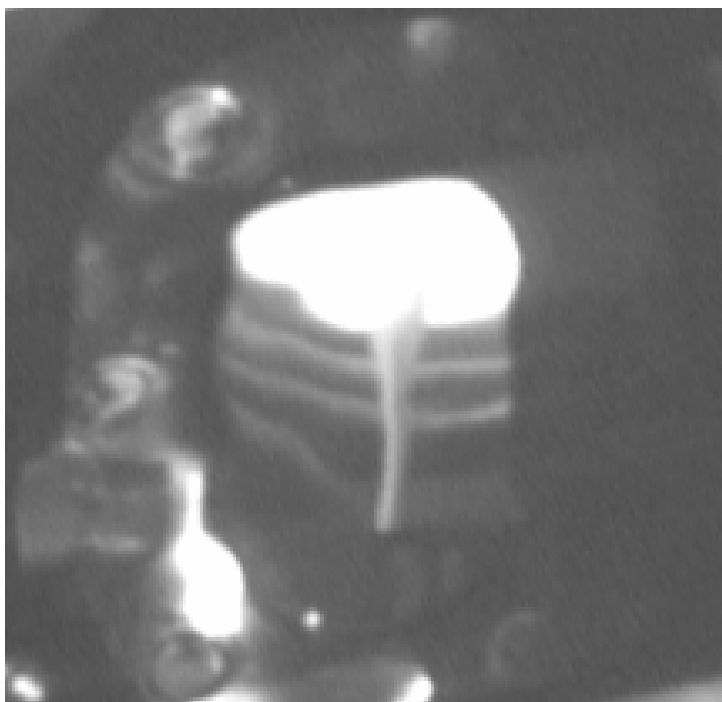


AT-2-A001 における温度トレンド



2. 流下停止(7月2日)時の状況(ガラス流下状況)

アクティブ試験第4ステップにおける
流下時の映像(参考)

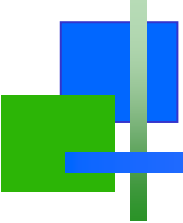


今回の流下時(AT-2-A001)の映像



流下開始時後、断続的に数回の流下状態が
観察窓からの目視により確認できたが、流下
は直下に伸びる状態ではなかった。

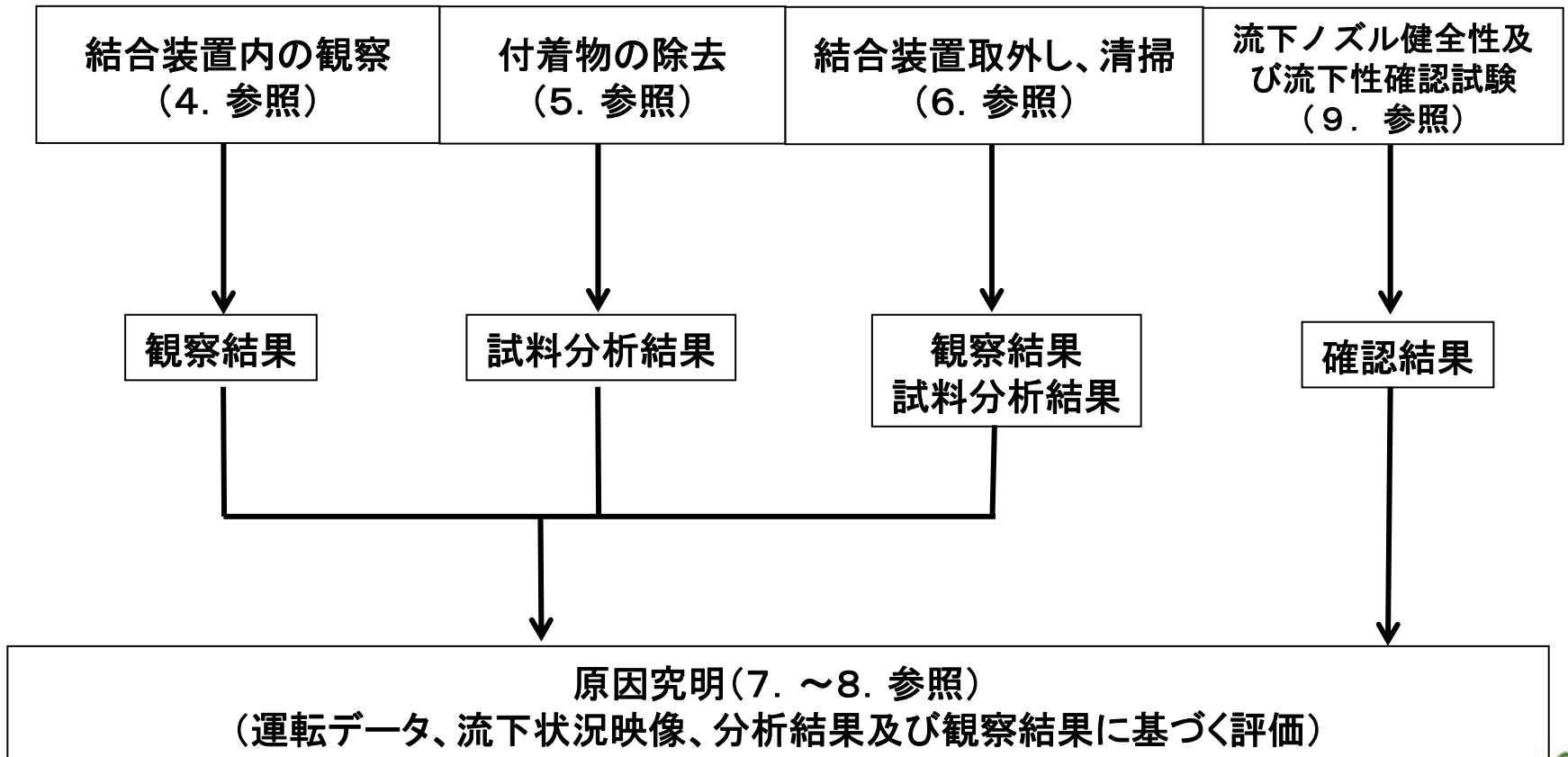
[今回事実(流下映像)]



3. 流下停止（7月2日）に係る 点検・調査等の流れ

3. 流下停止(7月2日)に係る点検・調査等の流れ

結合装置等の設備の点検・調査や運転データなどを用いた原因究明等については、以下の流れで実施してきた。

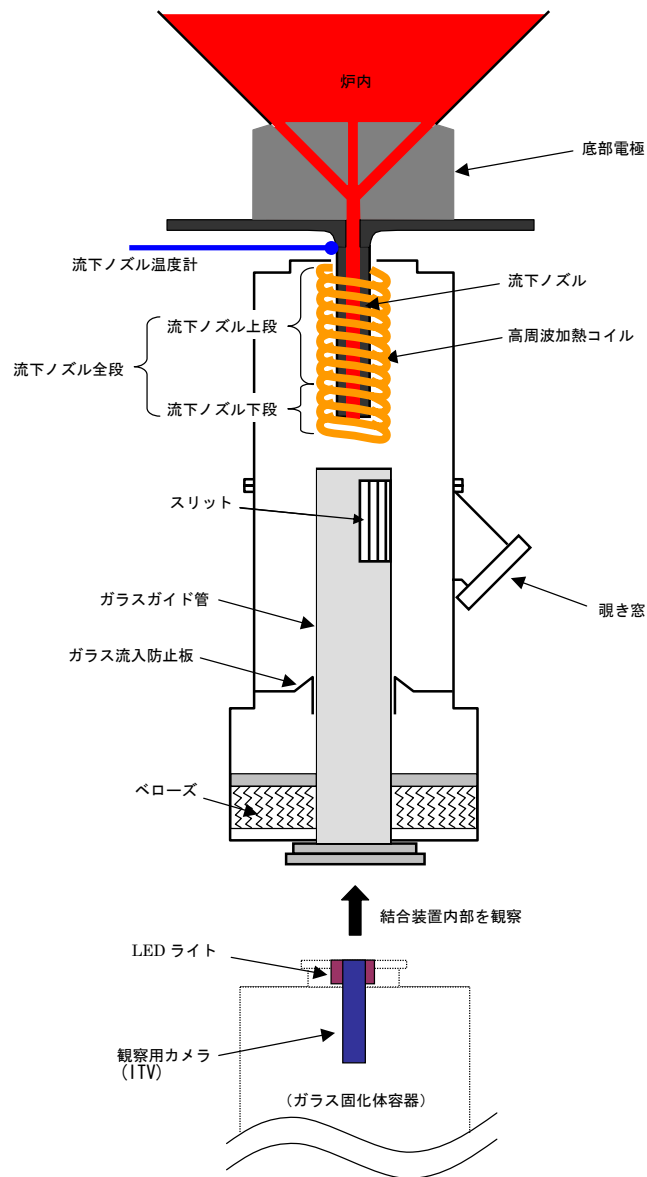




4. 結合装置内の観察

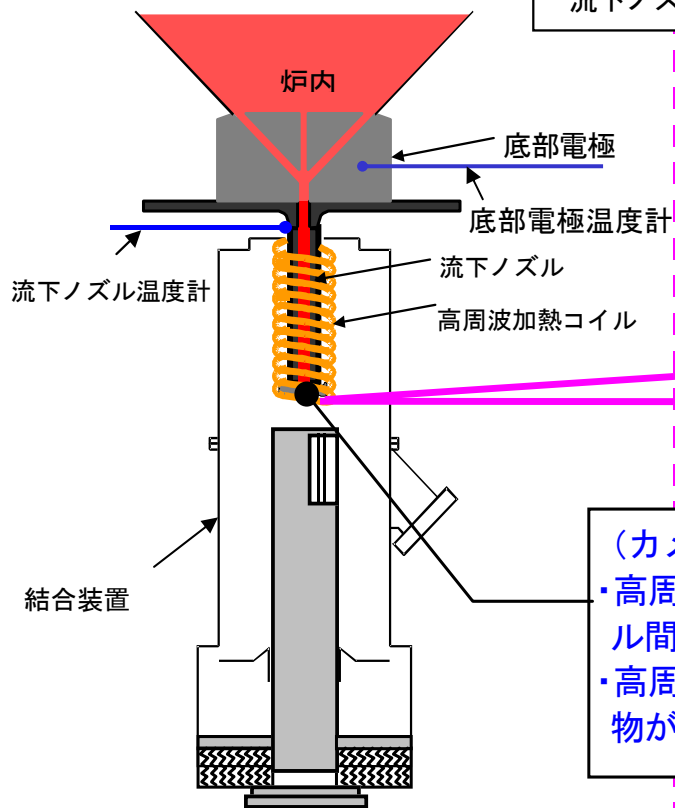
4. 結合装置内の観察

結合装置内の状態を確認するために、ガラス固化体容器内にITVを設置し、結合装置の下から流下ノズル出口を含む結合装置内の目視点検を実施



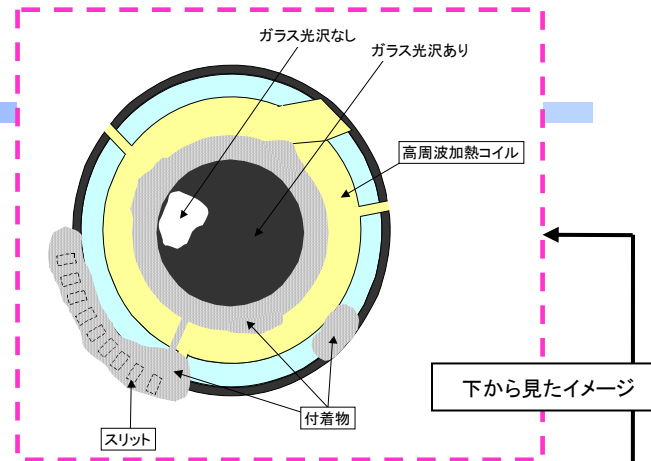
4. 結合装置内の観察

流下ノズル周辺

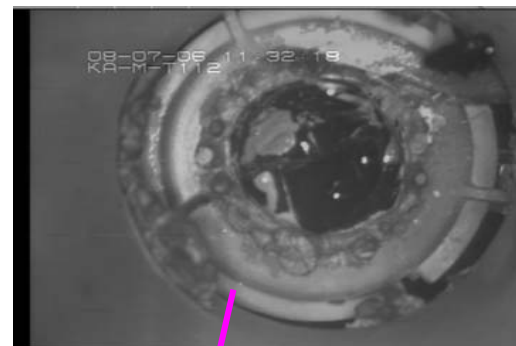


(カメラによる観察)

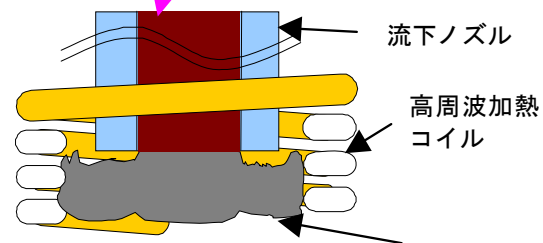
- ・高周波加熱コイルと流下ノズル間にガラスが付着
- ・高周波加熱コイル表面に付着物が付着



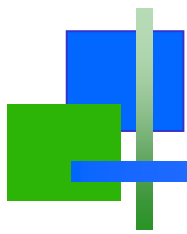
流下ノズルを下から観察した状況



(断面イメージ)



付着ガラス(7月時点での推定)



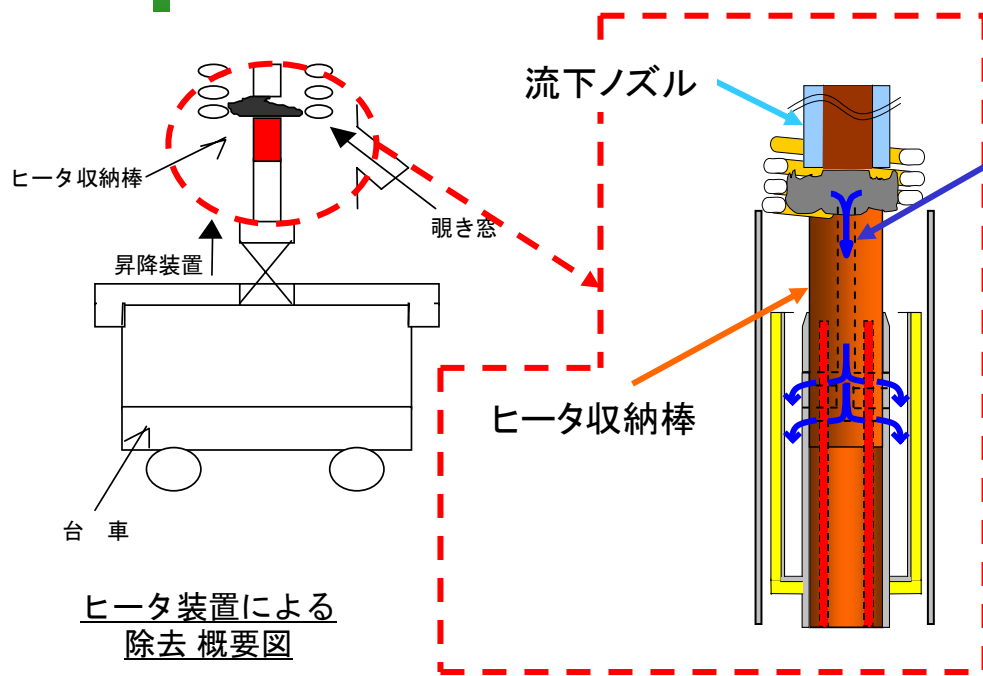
5. 付着物の除去



5. 付着物の除去

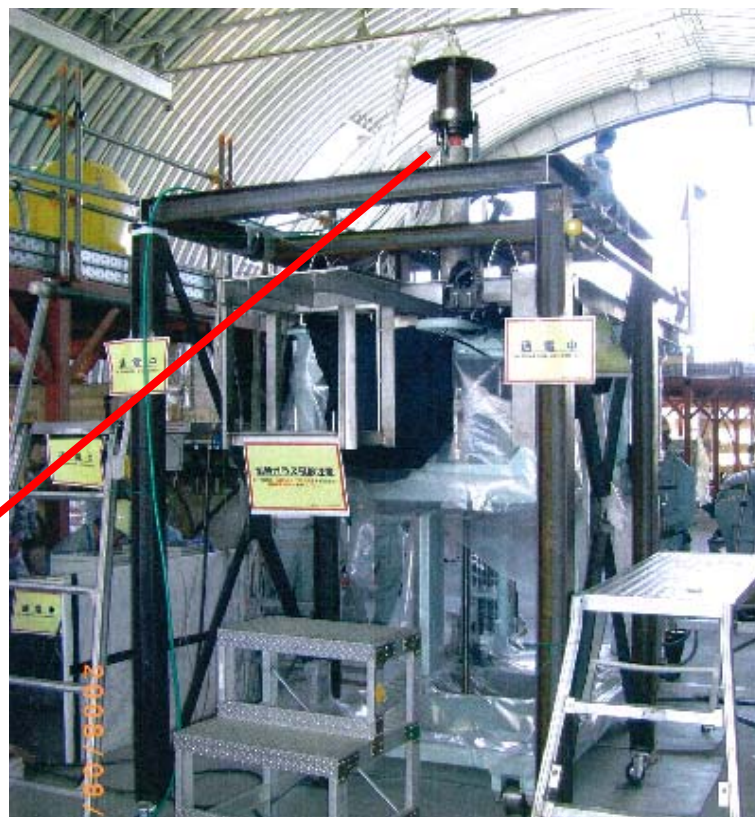
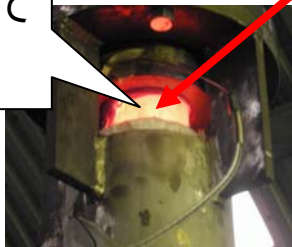
- 結合装置内の観察の結果、流下ノズルの周囲に設置された高周波加熱コイル下段内側全体にガラスが付着し、流下ノズル下端が確認できなかったことから、流下ノズル下端周辺ガラス等の付着物の除去を実施
- ガラス等の付着物の除去作業については、遠隔操作であることを考慮して作業方法の検討及びモックアップ試験等を実施
- モックアップ試験等の結果を踏まえ、流下ノズル付近に確認されたガラス等の付着物の除去方法としては、ヒータ方式を用い、結合装置下側から流下ノズル出口近傍までヒータを挿入し、流下ノズル出口近傍のガラス等の付着物を熔融、除去した後、ノッカー方式を用いて「高周波加熱コイル」、「ガラスガイド管スリット部」のガラス等の付着物の清掃を実施
- 原因究明のためのデータ取得として、除去したガラス等の付着物の分析を実施

5. 付着物の除去(ヒータ方式)



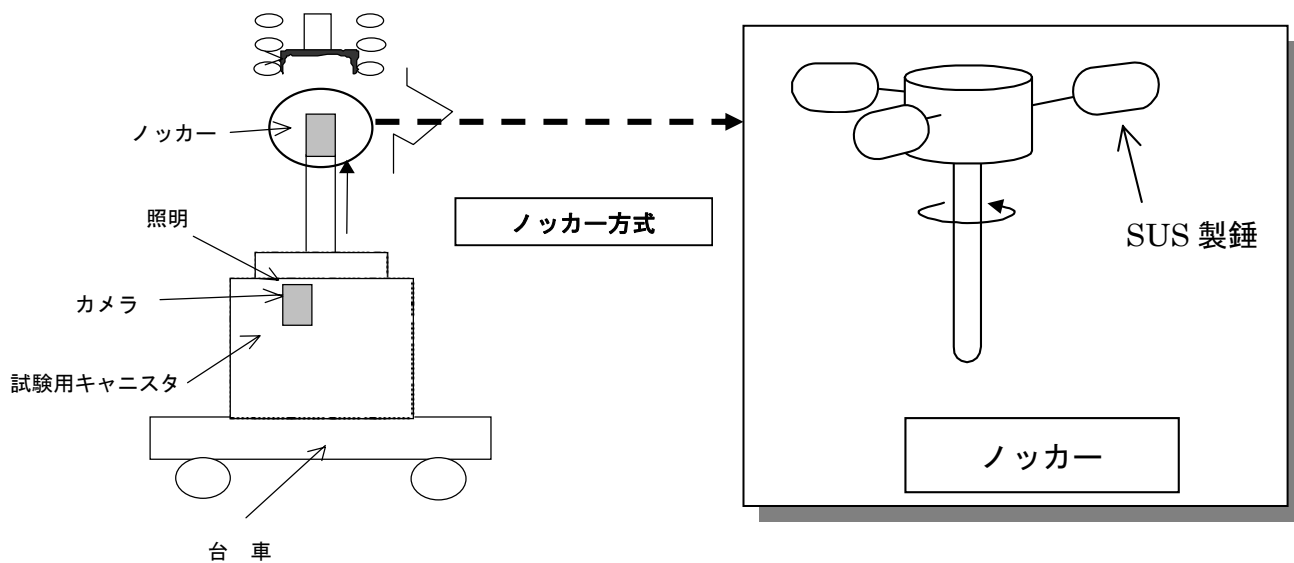
ヒータによるガラス除去のための
実規模モデル(流下ノズル)試験装置

加熱によりヒータ
収納棒が赤熱して
いる様子



ヒータ装置モックアップ試験の様子

5. 付着物の除去(ノッカー方式)



ノッカーによる清掃 概要図

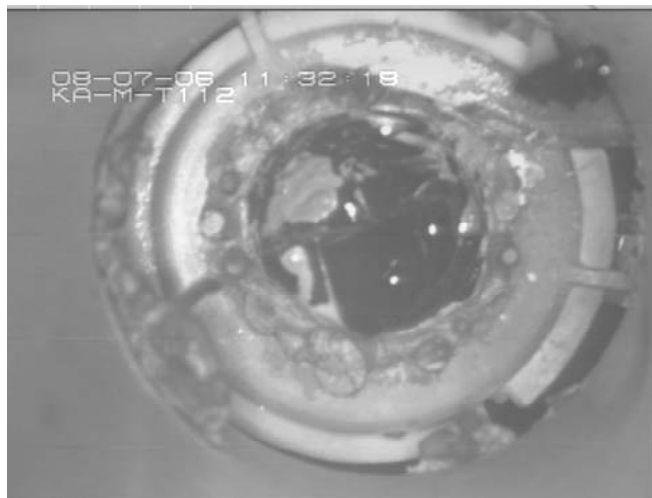


ノッカー装置先端治具

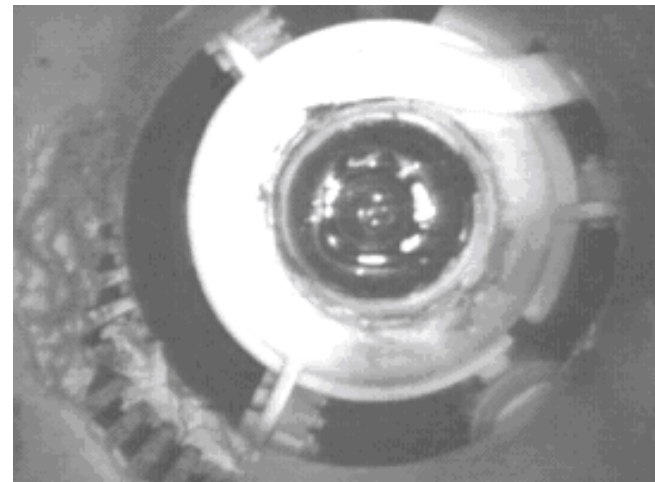
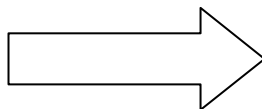


ノッカー装置モックアップ試験の様子

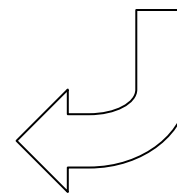
5. 付着物の除去(除去結果)

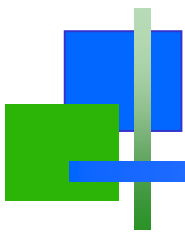


ヒータ装置
による除去



ノッカー方式
による清掃





6. 結合装置取外し後の詳細観察

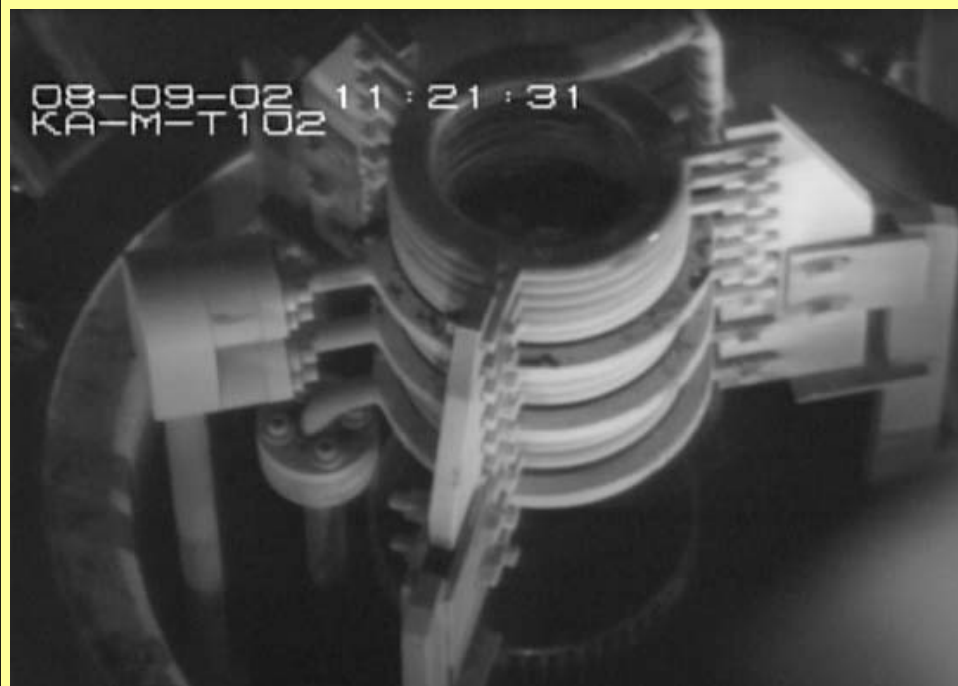
6. 結合装置取外し後の詳細観察

○ガラス流下停止の原因究明の一環として、結合装置を取外し、結合装置内部及び流下ノズルをITVカメラにより観察した。

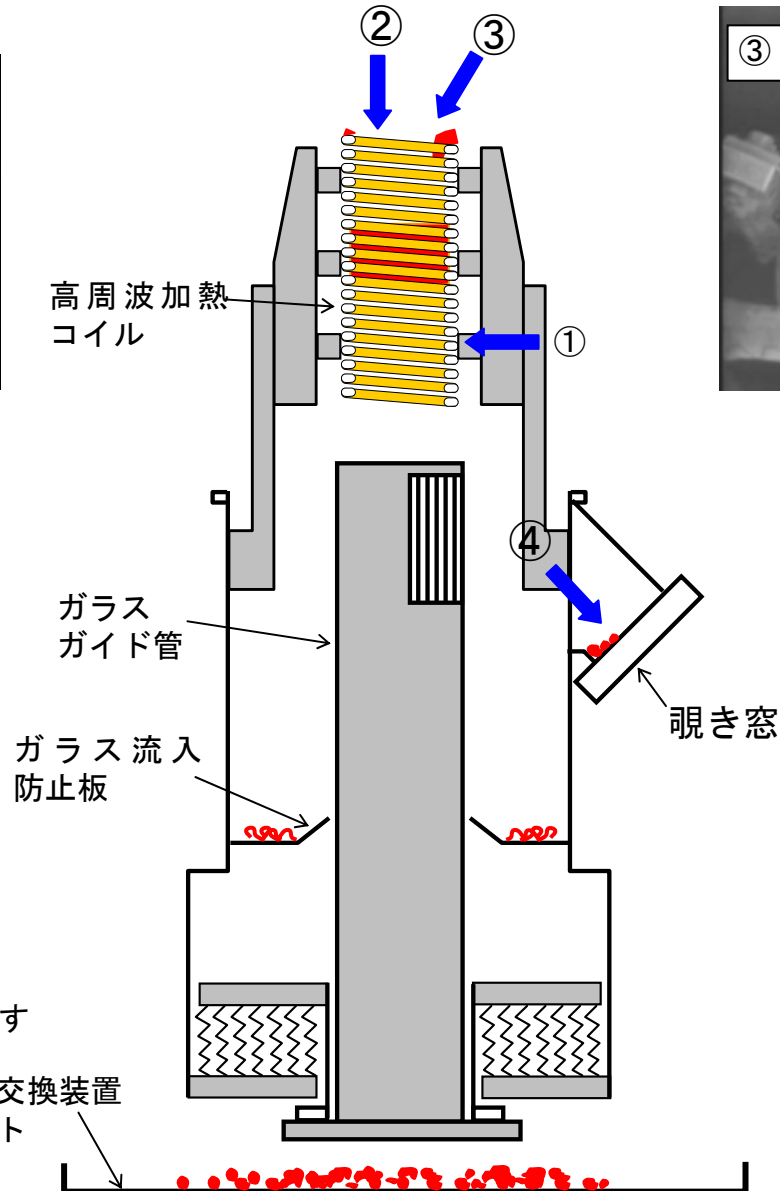
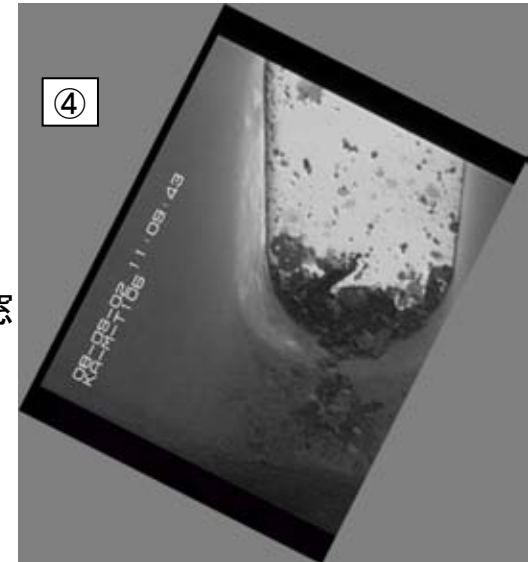
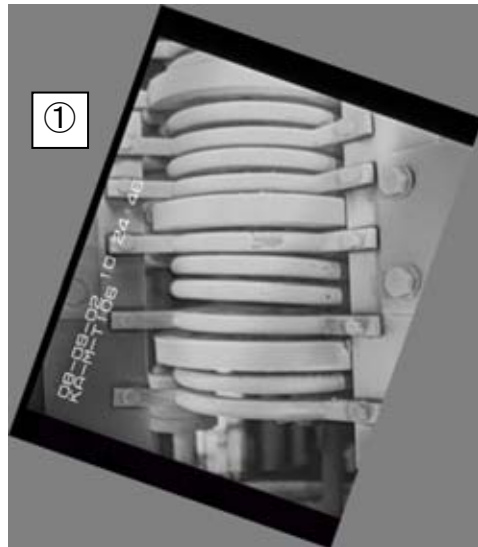
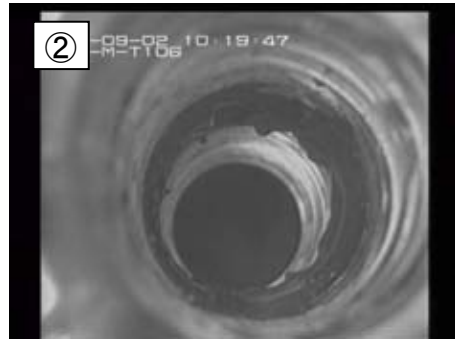
○観察の結果、流下ノズル上端部、高周波加熱コイル上面等にガラス等の付着物が確認されたため、取外した結合装置を清掃しガラス等の付着物を除去するとともに、覗き窓を交換した。

○清掃により除去したガラス等の付着物を採取し、分析を実施

結合装置取外し後のコイル全景（観察結果）



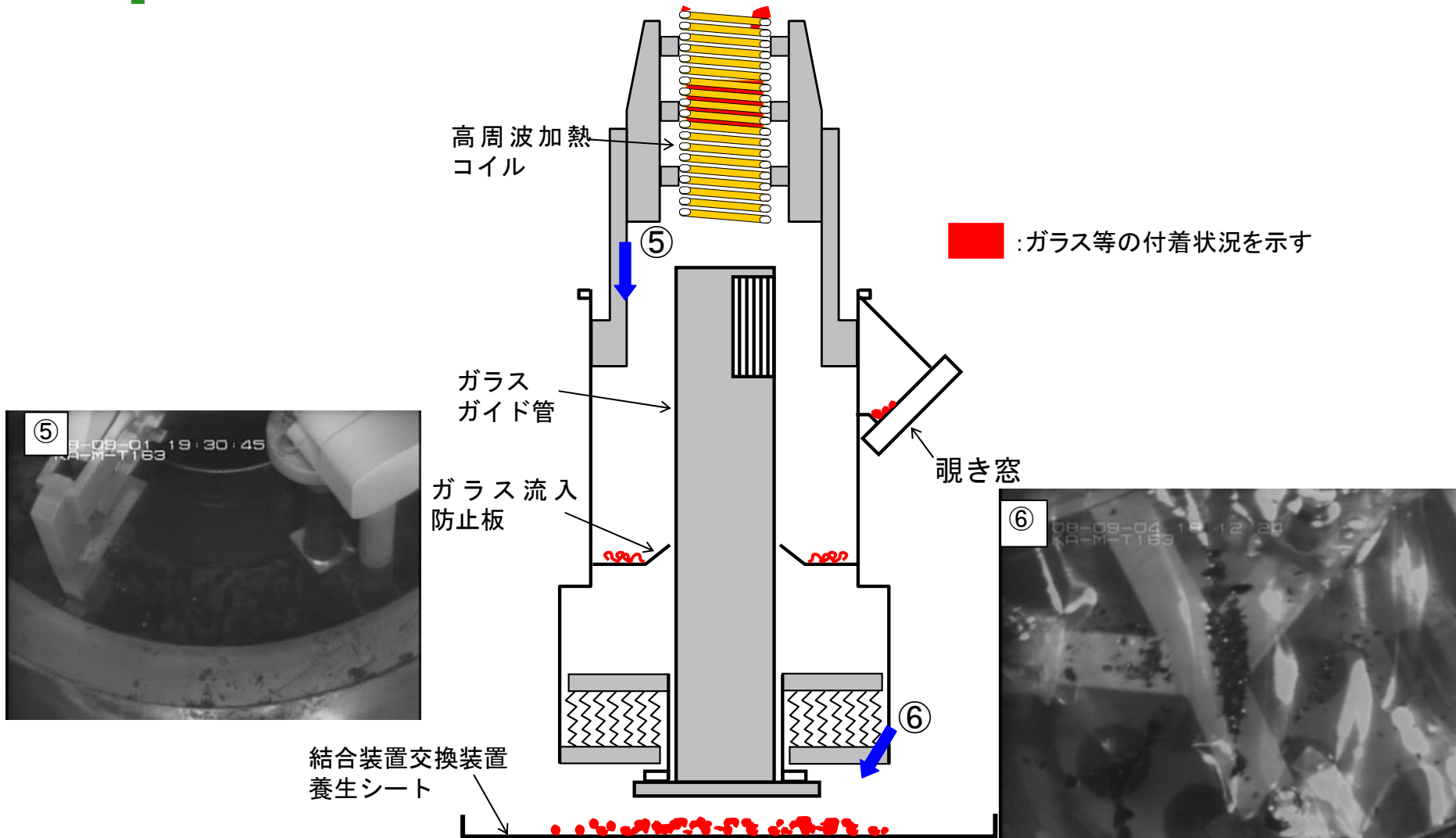
6. 結合装置取外し後の詳細観察 (結合装置内等におけるガラス等の付着状況)



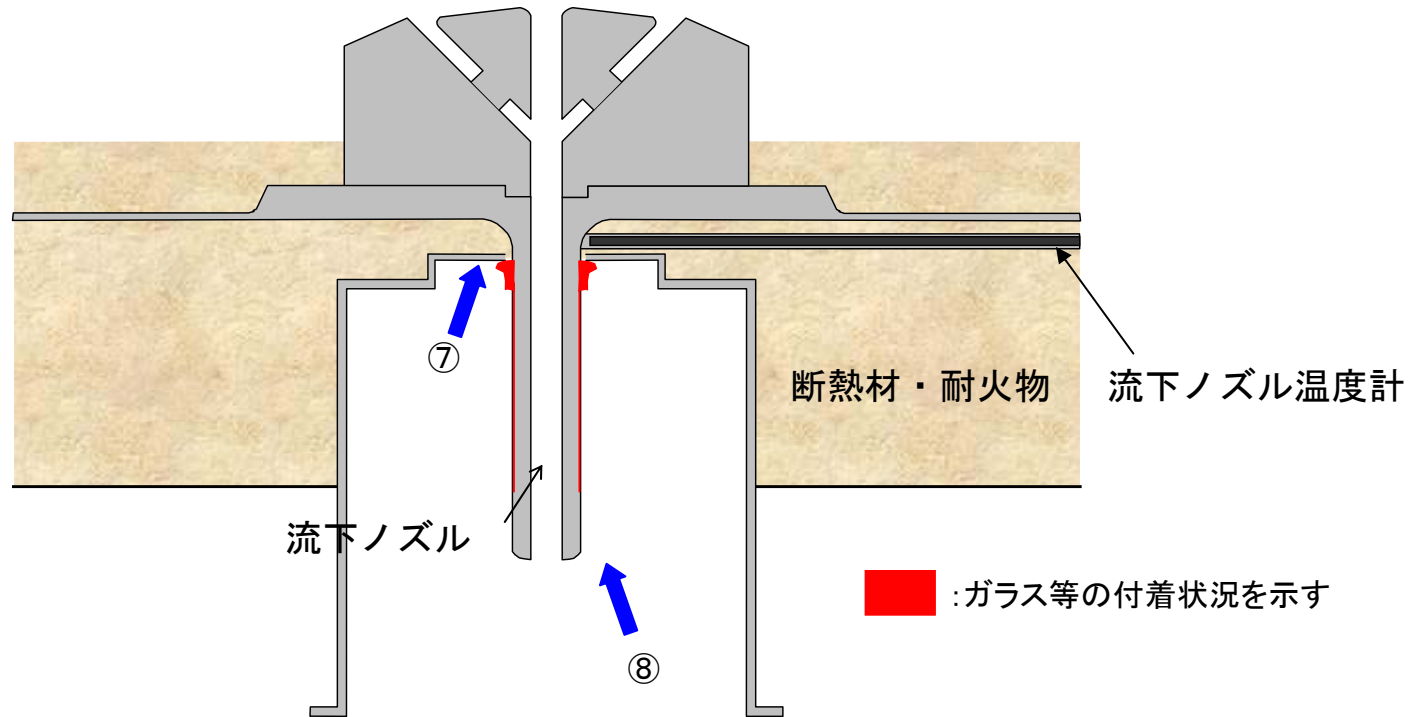
■ : ガラス等の付着状況を示す

結合装置交換装置
養生シート

6. 結合装置取外し後の詳細観察 (結合装置内等におけるガラス等の付着状況)



6. 結合装置取外し後の詳細観察 (結合装置内等におけるガラス等の付着状況)





6. 結合装置取外し後の詳細観察【試料の分析結果】

- 流下停止の際にキャニスタ内に落下したガラス、ヒータ方式により除去した付着物、高周波加熱コイル上部や高周波加熱コイル中段内側の付着物について試料採取を行い分析を実施（前出36頁の①、②及び③（⑥の養生シート上から採取）から試料採取）
- 分析の結果、①を除くいずれの試料もガラス中の白金族元素であるルテニウム及びロジウムについては、検出下限値未満であった。
 - ①の試料については、亜鉛やモリブデン等のガラスの揮発性成分であることを確認した。
- また、ヒータ除去時にガラスガイド管スリット部からヒータに付着した低粘性流体の固形化したものと思われる物質を分析した結果、モリブデンなどの分析値が高いことから低粘性流体であることが確認できた。
 - ガラスガイド管スリット部に付着していた物質は、第4ステップで発生した低粘性流体が起源である。



6. 結合装置取外し後の詳細観察【試料の分析結果】

		分析値						参考										
		キャニスタ内	ヒータ除去	コイル上部	コイル内側	コイル表面 付着物	ヒータ付着物※ (低粘性流体)	計算値 AT-2-001	模擬ガラスビーズ									
測定元素	酸化物	酸化物重量パーセント (wt%)																
Li	Li ₂ O																	
B	B ₂ O ₃																	
Na	Na ₂ O																	
P	P ₂ O ₅																	
S	SO ₂																	
Ca	CaO																	
Cr	Cr ₂ O ₃																	
Fe	Fe ₂ O ₃																	
Ni	NiO																	
Zn	ZnO																	
Zr	ZrO ₂																	
Mo	MoO ₃																	
Tc	Tc ₂ O ₇																	
Ru	RuO ₂																	
Rh	Rh ₂ O ₃																	
Pd	PdO																	
Te	TeO ₃																	
Ba	BaO																	

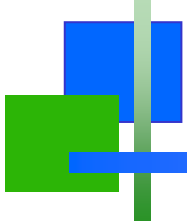
※ヒータ除去時にガラスガイド管スリット部からヒータに付着した低粘性流体の固形化したものと思われる物質

分析値と計算結果の比較

【分析結果の妥当性確認（参考）】

○アクティブ試験第4ステップで実施したガラスの分析結果と、計算により求めた組成の比較を下表に示す。

		分析値		計算値	
		A-046	A-059	A-046	A-059
測定元素	酸化物	酸化物重量 パーセント (wt%)	酸化物重量 パーセント (wt%)	酸化物重量 パーセント (wt%)	酸化物重量 パーセント (wt%)
B	B ₂ O ₃				
Na	Na ₂ O				
P	P ₂ O ₅				
S	SO ₄				
Ca	CaO				
Cr	Cr ₂ O ₃				
Mo	MoO ₃				
Tc	(Tc ₂ O ₇)				
Ru	RuO ₂				
Rh	Rh ₂ O ₃				
Pd	PdO				
Te	TeO ₃				

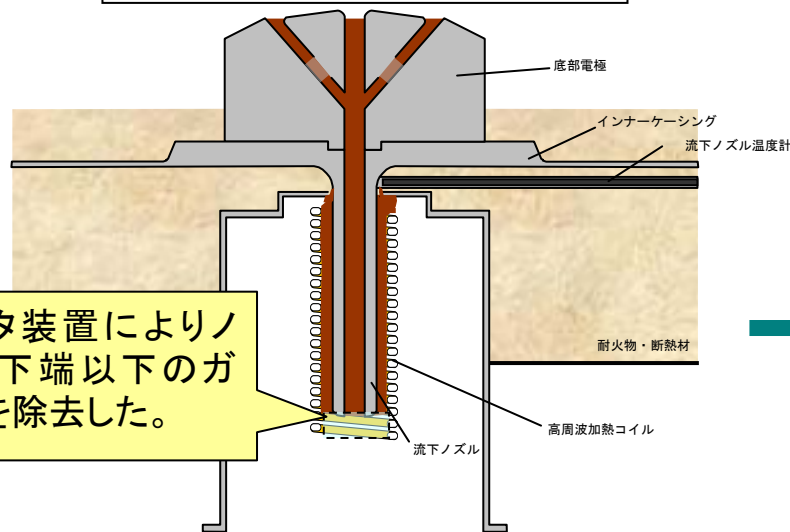


7. 結合装置取外し後の詳細観察結果
などから推定される各作業ステップ
時のガラス付着状況

7. 結合装置取外し後の詳細観察結果などから推定される各作業ステップ時のガラス付着状況

結合装置取外し後の観察結果から、結合装置内部の高周波加熱コイルと流下ノズルの間にガラスが残留していた。ガラスの付着状況について次のとおり推定した。

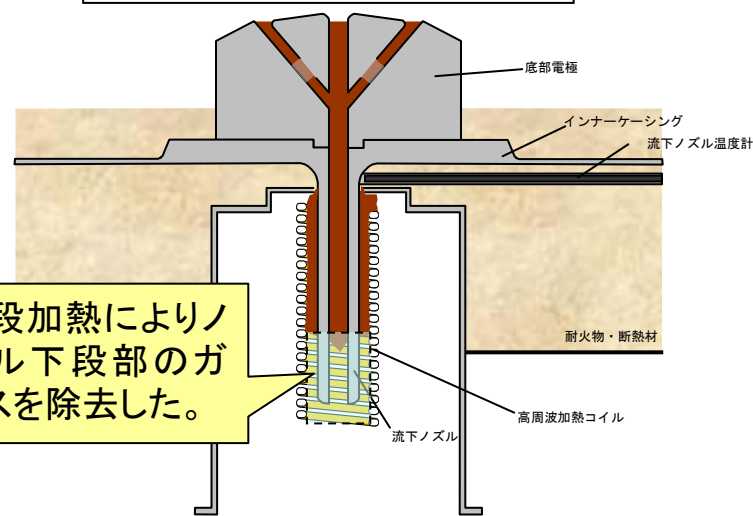
ヒータ装置による除去後



ヒータ装置によりノズル下端以下のガラスを除去した。

ヒータ装置による除去操作では、流下ノズル下端より上のガラスへ熱が伝わらない(高周波加熱コイルが冷却されているため)ため、ノズル下端より上のガラスは除去できていない。よって、ヒータ装置では、図の点線で囲った範囲のガラスを除去した。

下段加熱による除去後

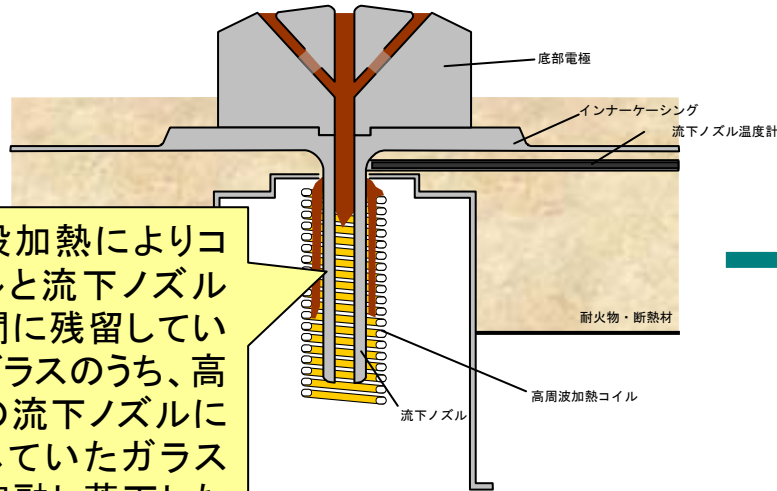


下段加熱によりノズル下段部のガラスを除去した。

ヒータ装置による除去操作によりノズル下端部のガラスを除去した後、高周波下段加熱を実施したことにより、高周波加熱コイルと流下ノズル間のガラスが一部流れ落ちた。上部のガラスは下段加熱による熱が伝わらないため、図のとおり残留した。

7. 結合装置取外し後の詳細観察結果などから推定される各作業ステップ時のガラス付着状況

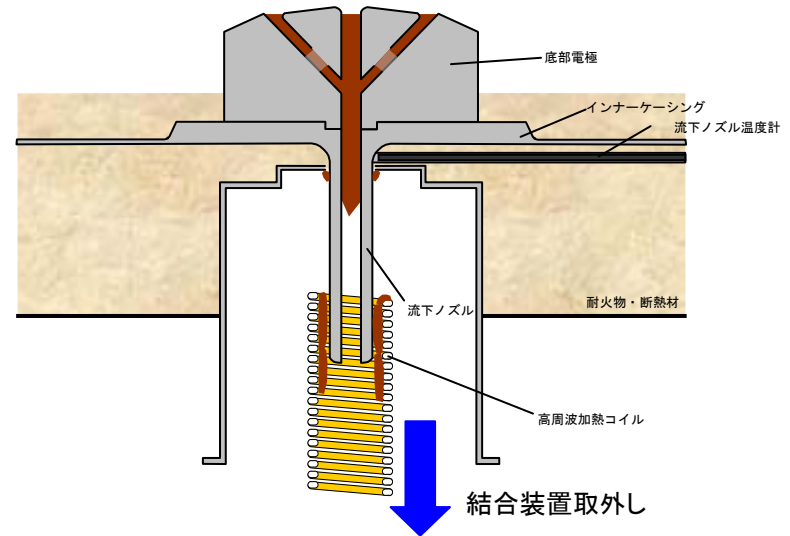
全段加熱による除去後



全段加熱によりコイルと流下ノズルの間に残留していたガラスのうち、高温の流下ノズルに接していたガラスが熔融し落下した。

全段加熱を実施したため、コイルと流下ノズルの間に残留していたガラスのうち、流下ノズルと接触している面が一部熔融し流れ落ちたが、高周波加熱コイルは冷却されているため、大部分のガラスは熔融せずにコイル表面に残留した。
なお、この際、流下ノズル内のガラスも一部流下した。

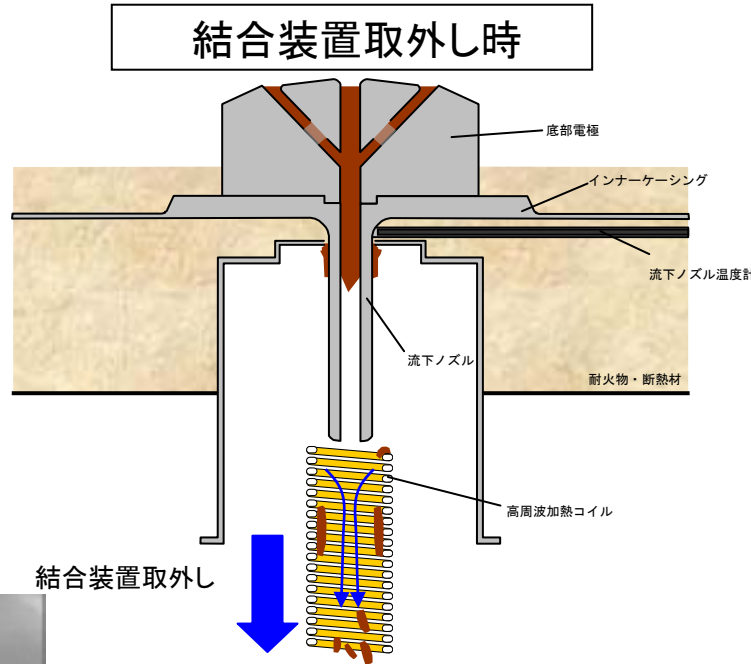
結合装置取り外し時



結合装置取り外し時にガラスが分断されたが、流下ノズルと高周波加熱コイルの隙間に残留したガラスは、隙間に挟まったまま高周波加熱コイルとともに下方へ移動した。この際、流下ノズル上端部に分断したガラスが残留した。

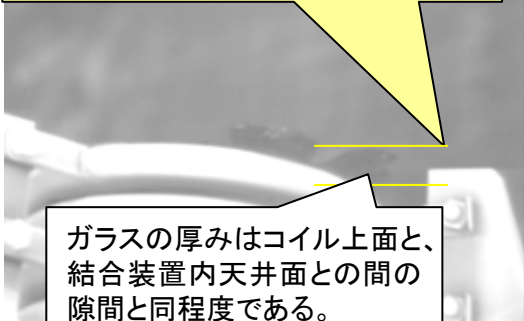
7. 結合装置取外し後の詳細観察結果などから推定される各作業ステップ時のガラス付着状況

結合装置取外し時



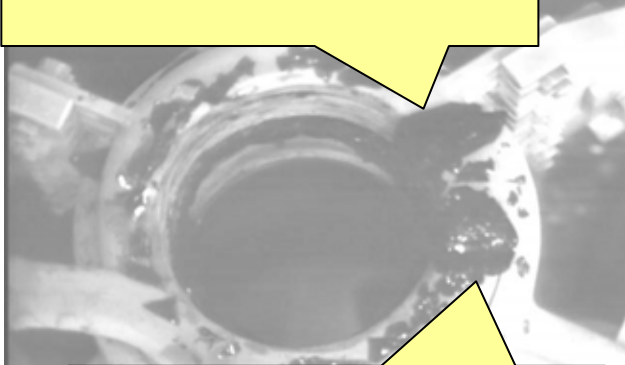
高周波加熱コイル内に流下ノズルがなくなり、落下スペースができたところで、コイル上段部のガラスが下方へ落下した。コイル中段は上下段よりもコイル内径がやや狭いこともあり、落下しなかった。

コイル内側からコイル上面に倒れるような形でガラスが残留している。



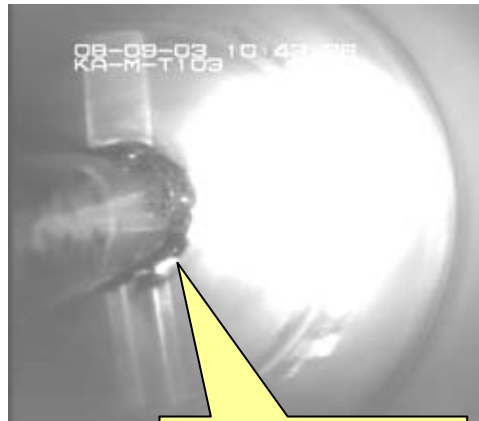
ガラスの厚みはコイル上面と、結合装置内天井面との間の隙間と同程度である。

コイル内側からコイル上面に倒れるような形でガラスが残留している。

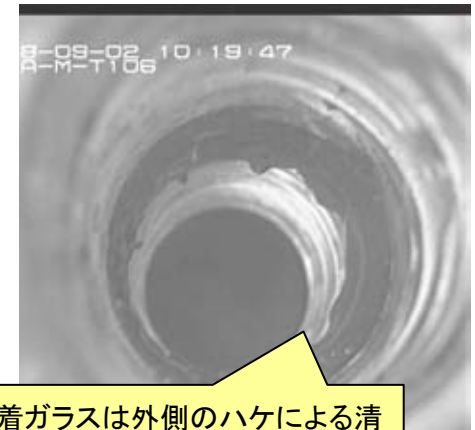


結合装置取外し時に、ガラスの一部がコイル上面に残留した。

結合装置取外し



ガラスがノズル上端部に残留した。



付着ガラスは外側のハケによる清掃の振動で容易に落下したことから、引っかかっていたものと考えられる。