

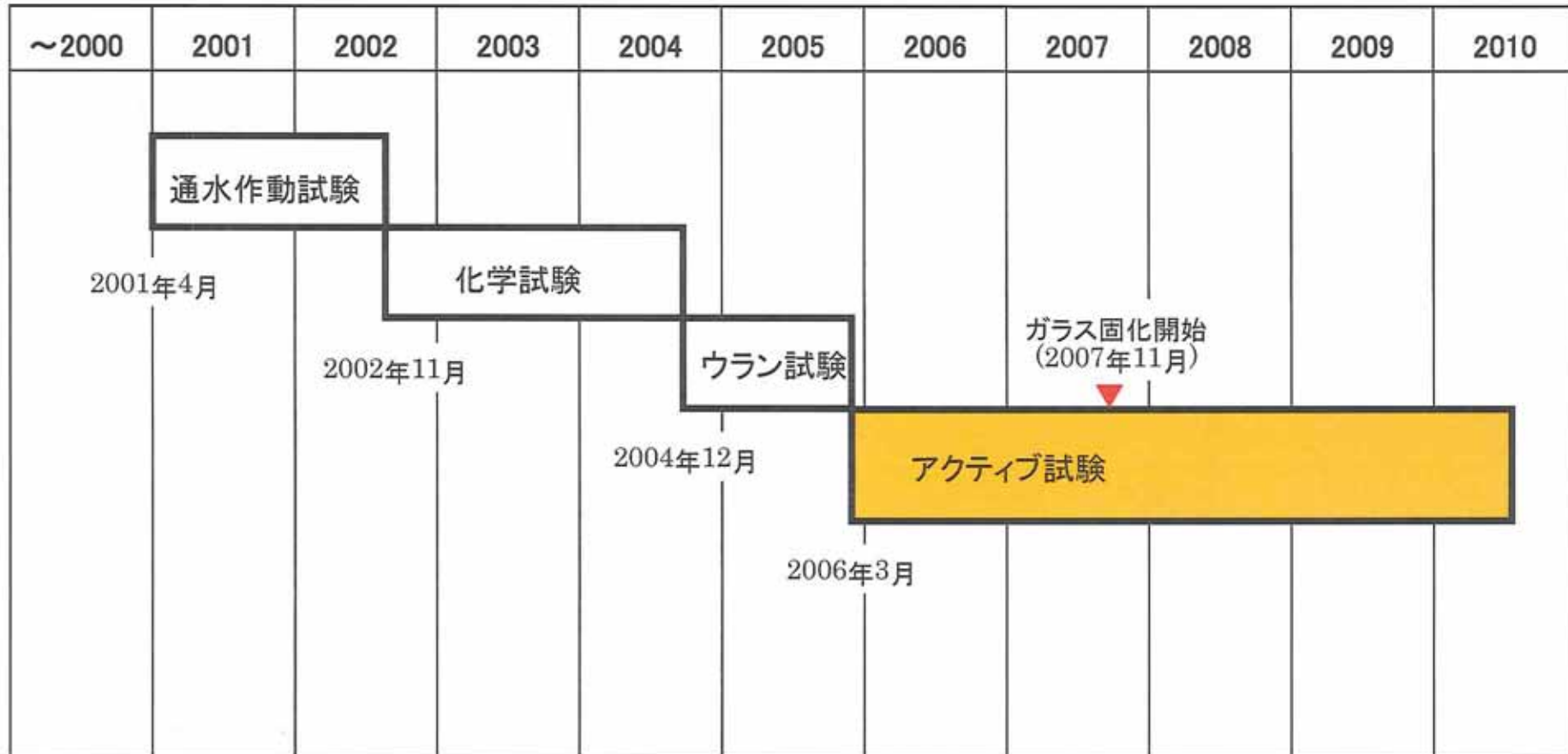


# 再処理工場アクティブ試験 の現状について

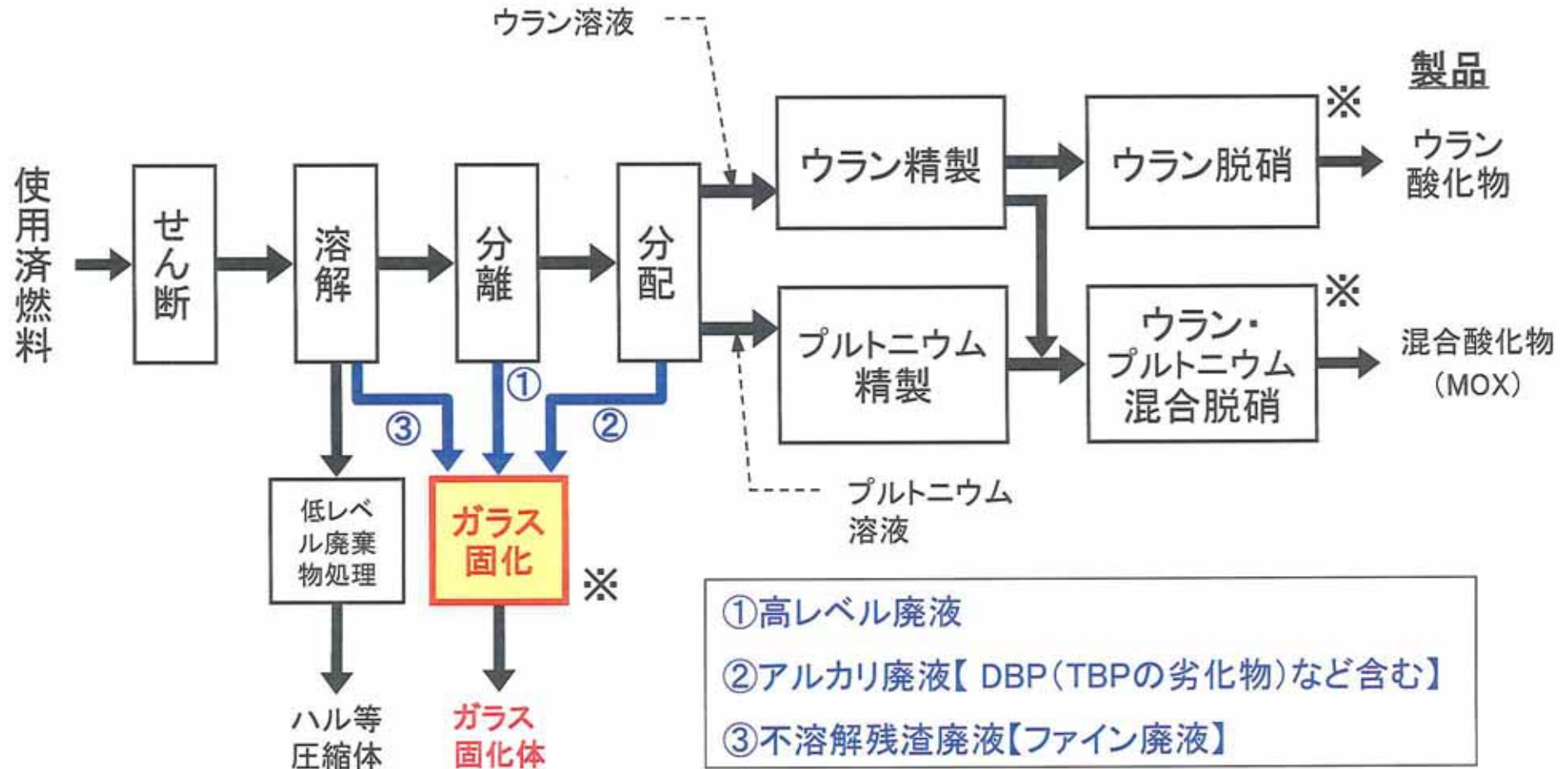
—ガラス溶融炉運転方法の改善結果についての概要—

2010年7月27日  
日本原燃株式会社

# 試験の工程



# 再処理工場の化学処理プロセス



※「ウラン脱硝」、「ウラン・プルトニウム混合脱硝」、「ガラス固化」には国内技術を採用

# アクティブ試験の実績

## ■ アクティブ試験の意義

- ◇ 試運転における最終段階で、**使用済燃料を使用**し、工場全体の機能、性能、安全性を確認
- ◇ **設備・機器の特性を把握**し、必要な**調整**を行うと共に、**不具合部位を発見し修正**することが重要
- ◇ 運転方法の確立と運転員の技術習得、特に、トラブルの経験から適宜改善を実施し、大規模再処理工場の**運転保守のノウハウを蓄積**

## ■ 実績

- ◇ 再処理工場建設工事の総合進捗率； **99%**
- ◇ アクティブ試験の進捗率； **94%**
- ◇ これまでに使用済燃料 **425トン**を処理
- ◇ 回収した製品は(2010年7月27日現在)；
  - ウラン製品 約364トンU
  - MOX製品 約6.7トンHM
  - 核分裂性Pu **約2.3トンPuf**
  - ガラス固化体 **117本**

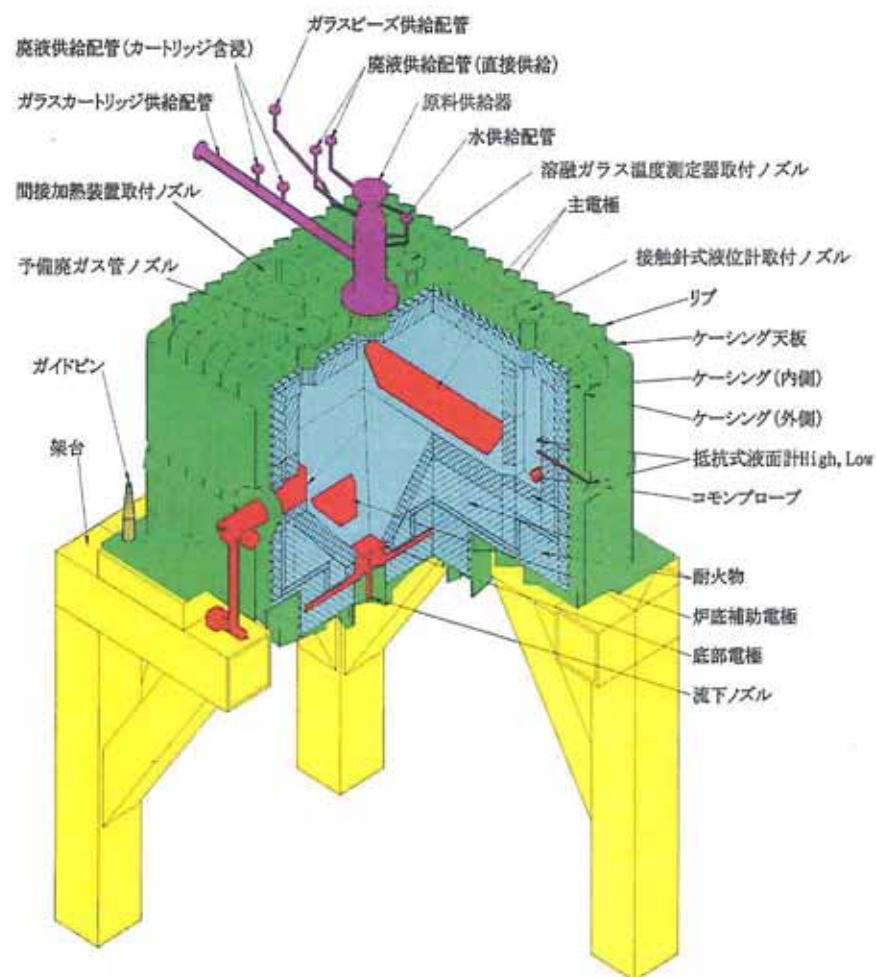
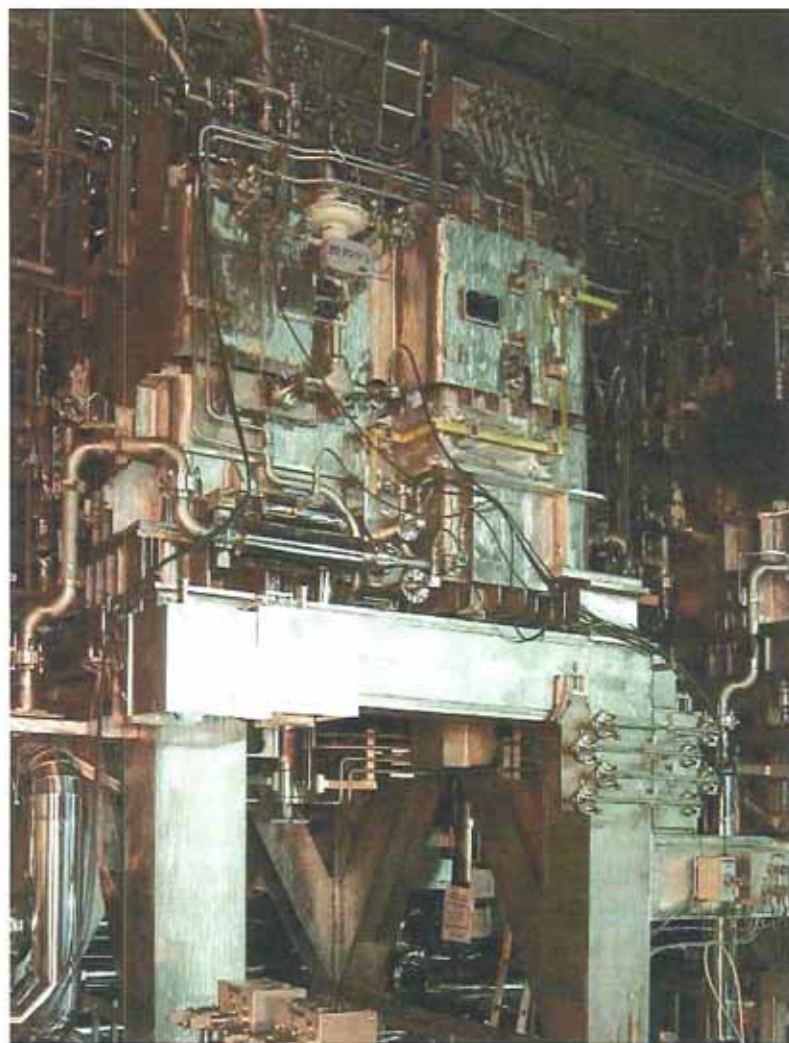


# ガラス溶融炉の外観

日本原燃株式会社



■ 溶融炉だけをとっても、多数の配管、電源母線、計測制御ケーブル用の配管などが複雑に取り付いている

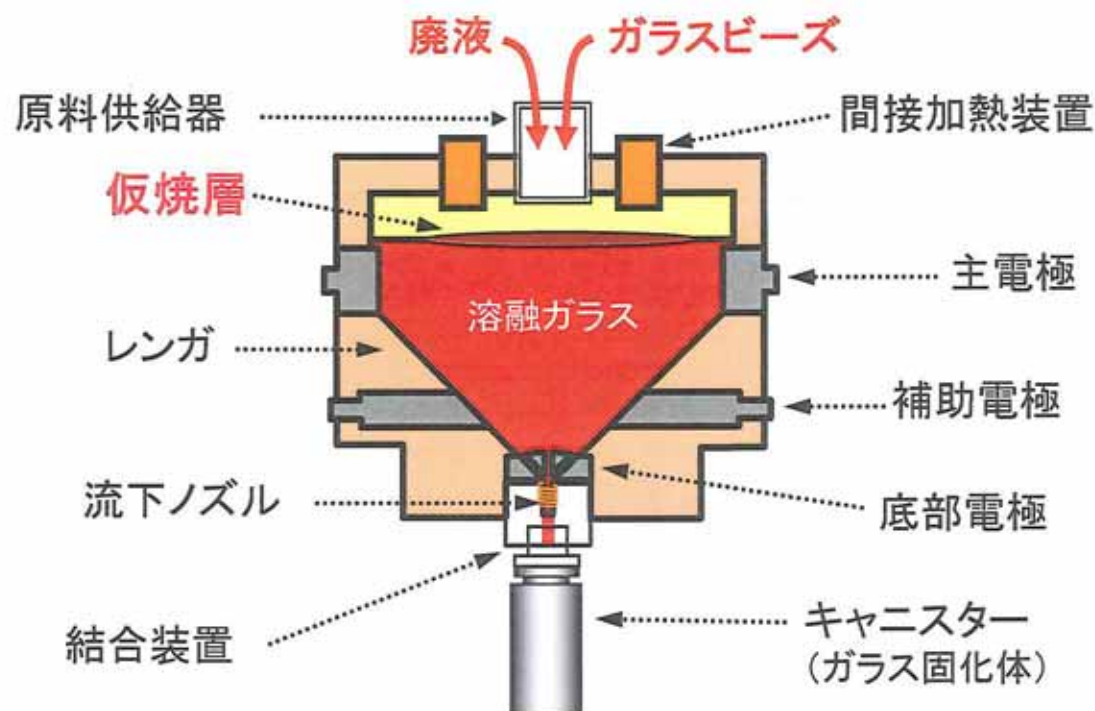


# ガラス溶融炉の構造と原理

日本原燃株式会社

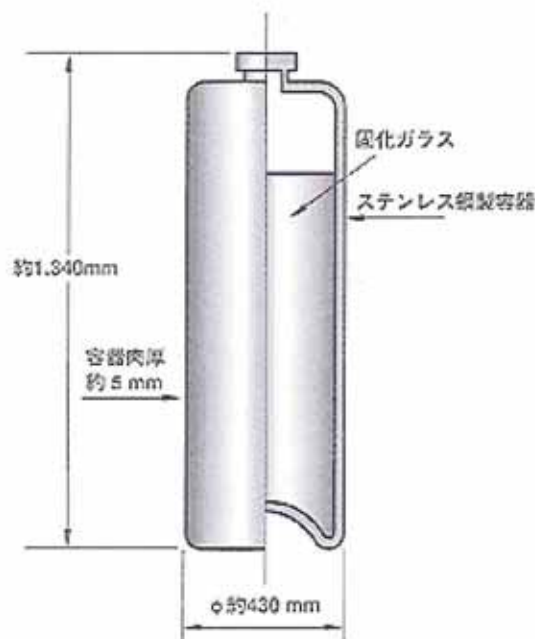


- 液体供給式セラミック溶融炉 (LFCM; Liquid fed ceramic melter)
- レンガで組み上げた炉内で、ガラスに直接通電して加熱し溶融
- あらかじめ高レベル廃液、アルカリ廃液、ファイン廃液の3種を混合した廃液を、炉の上部からガラスビーズとともに投入
- ガラス液面上で水分を蒸発させ、廃棄物成分のみを溶融ガラスの中に溶かし込む
- 廃棄物成分を含む溶融ガラスは、炉の底部からノズルを通して抜き出し、ステンレス製キャニスターの中に流下
- ガラス温度を1,200°C付近に制御



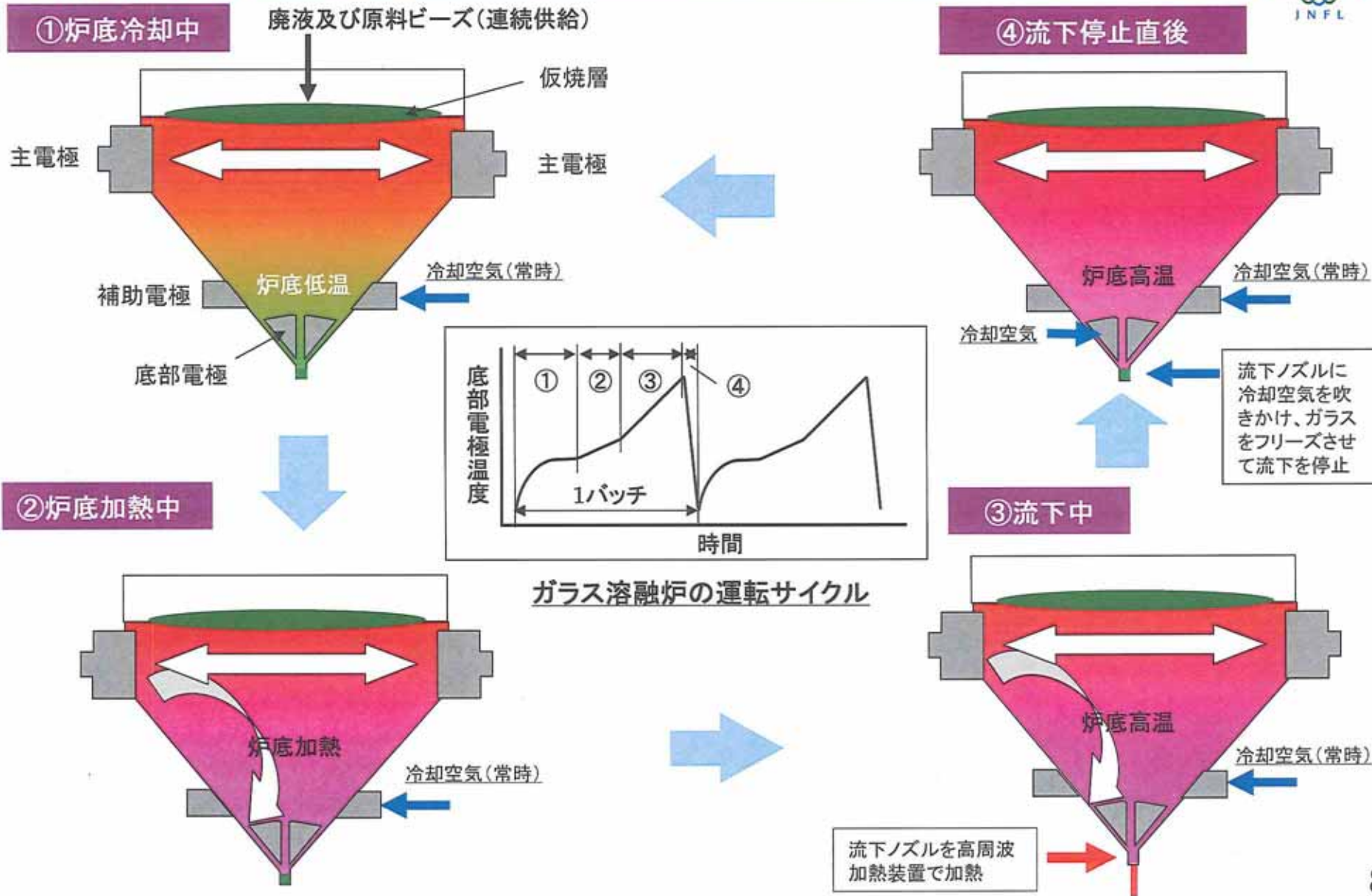
# ガラス固化体

- 使用済燃料を再処理してウランとプルトニウムを分離した後には、放射能レベルが高い核分裂生成物や一部の超ウラン元素(マイナーアクチナイド)が残る
- この**高レベル放射性廃棄物**を、溶融炉の中で、**溶かしたガラスと混ぜ合わせ**キャニスター(ステンレス製容器)に流し込み、冷やして安定な形態に**固化**
- このガラス固化体は、30~50年間冷却するために貯蔵し、その後、地下深い地層中に処分



# 熔融炉の運転方法

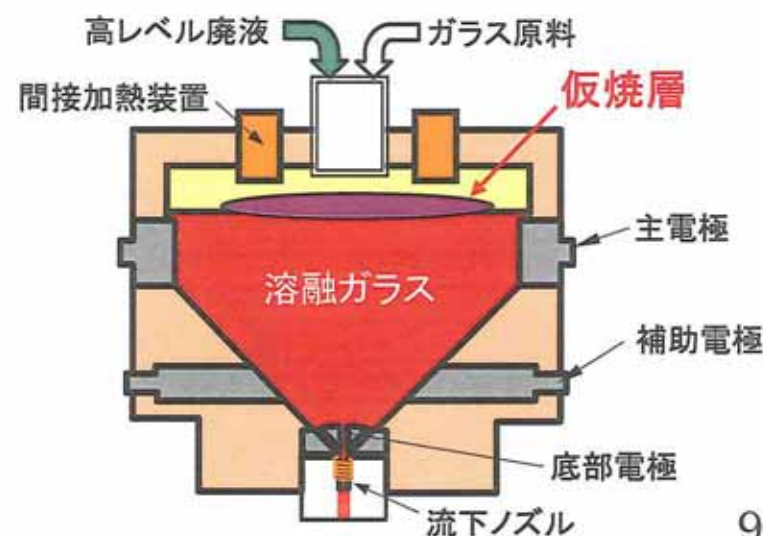
日本原燃株式会社



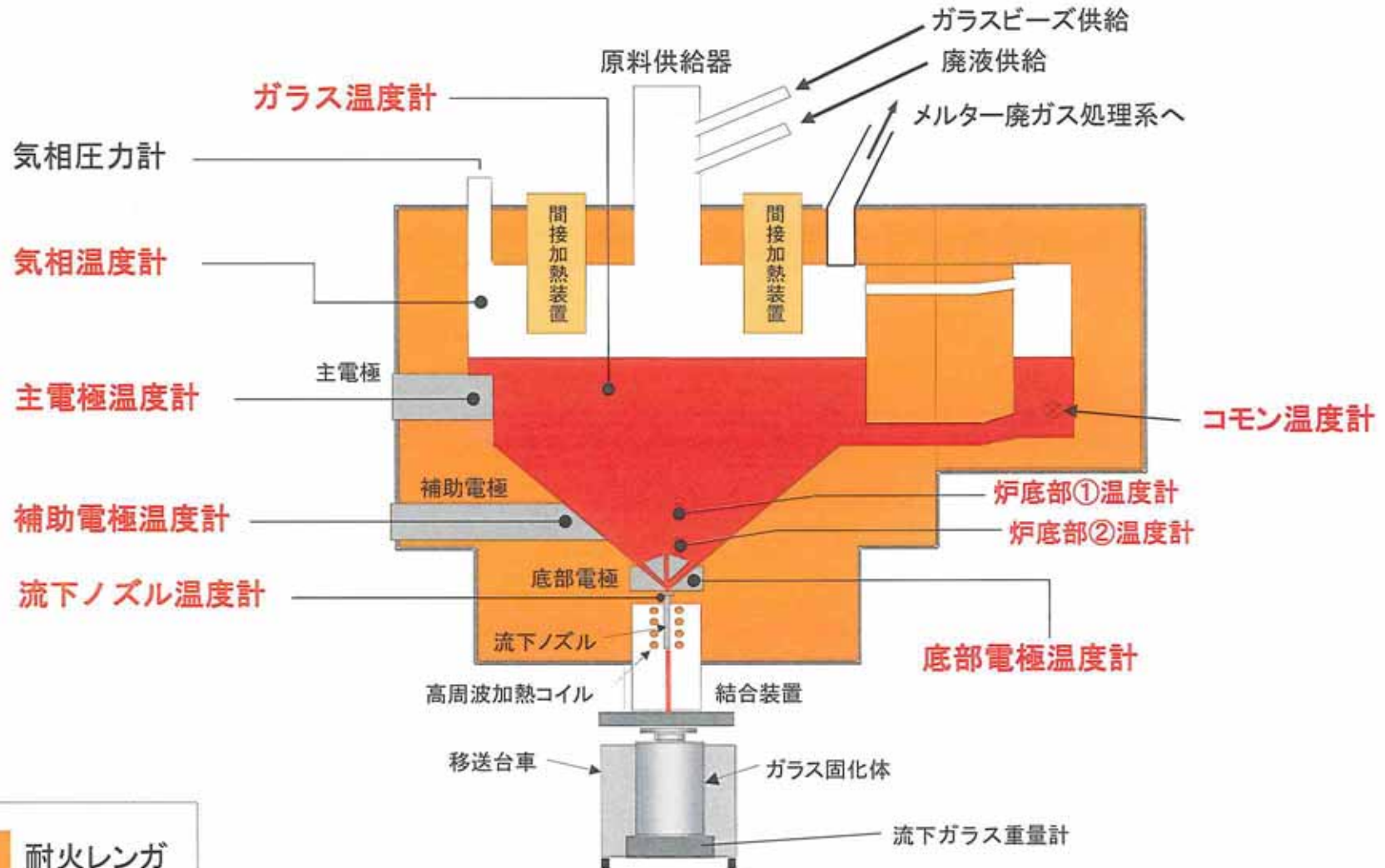


# 仮焼層とは

- 高温の熔融ガラス液面上に、放射性廃棄物成分を含む廃液と粒状のガラスビーズを投入すると、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、溶けかかって小さくなった無数の粒状のガラスが混在して**ガラス液面上に浮かぶ層**を形成（仮焼層）
- 仮焼層の下部から、廃棄物成分が熔融ガラスへ溶解して行く
- 仮焼層は、鍋で煮物を作る際の「落とし蓋」のような効果
  - ◇ **仮焼層が大きくなると**、熔融ガラスから気相部への放熱が減り、**熔融ガラス温度が上がり**、気相部の温度は下がる
  - ◇ 仮焼層が小さくなると、熔融ガラスから気相部への放熱が増え、熔融ガラス温度が下がり、気相部の温度は上がる
- 仮焼層は、常に液面全体を覆っている訳ではなく、所々で消えてガラス液面が露出（ホットスポット）



# 熔融炉の温度計



# ガラス固化試験の経緯

## ■ 化学試験

模擬廃液を用い、ガラス溶融炉A(105本)、B系(97本)ともに**順調に固化**できることを確認(2004年4月～2005年2月)

## ■ アクティブ試験第4ステップ

2007年11月 溶融炉A系で固化試験を開始

2007年12月 **白金族の堆積で安定運転が困難**となり中断(60本製造)

## ■ アクティブ試験第5ステップ

2008年 6月 安定運転条件の検討結果を国に報告

2008年 7月 試験再開するも、翌日**流下ノズル閉塞**により中断  
(その後、流下性確認等のため3本製造)

2008年10月 試験再開(15本+洗浄4本+3本+ファイン入り5本)するも、**ファイン投入後、流下性が低下し、白金族堆積指標も悪化**  
(その後、洗浄運転等のため17本を製造)

2008年11月～ **攪拌棒の曲がり、天井レンガ脱落、高レベル廃液漏洩、パワ  
マニ故障等が発生し、セル内洗浄、機器点検等の対応実施**

2009年12月 東海村の実規模モックアップ試験装置KMOCで試験を開始

2010年 3月 溶融炉A系の熱上げを開始

2010年 6月 **レンガ回収を実施**

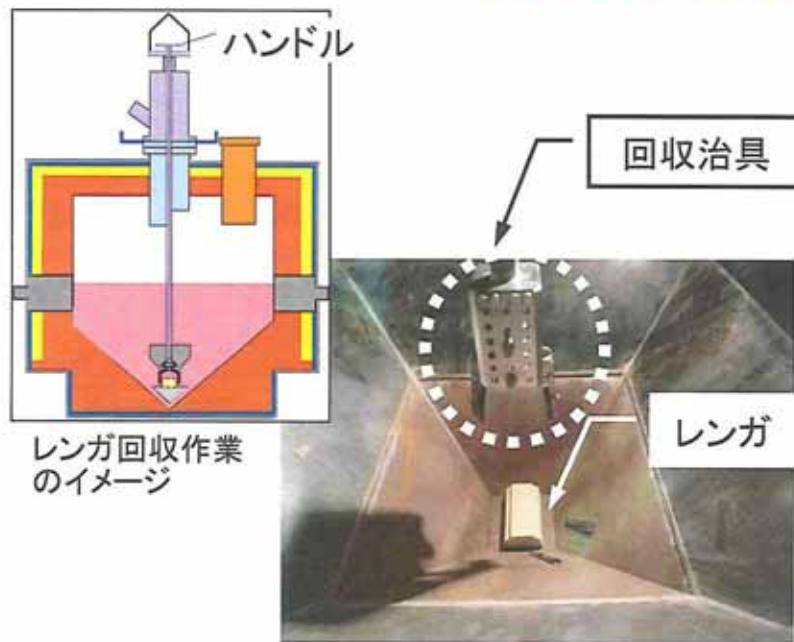
2010年 7月 **ドレンアウトを実施**

# レンガの回収とドレンアウト

日本原燃株式会社

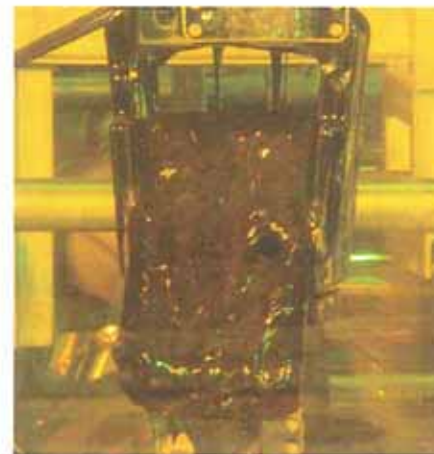


- 溶融炉に通電して熱上げし、高温の溶融ガラス中に治具を入れ、炉底部に沈んでいる**レンガを掴んで回収**
  - ◇ 遠隔操作であることに加え、作業中の炉内監視が不可能
  - ◇ 要素試験、モックアップ試験、実機適用経験により、試行錯誤で回収治具の設計改良を繰り返し、6月17日に回収に成功
- 7月2日炉内の**ドレンアウトが終了**し、残留ガラス量は経験の範囲

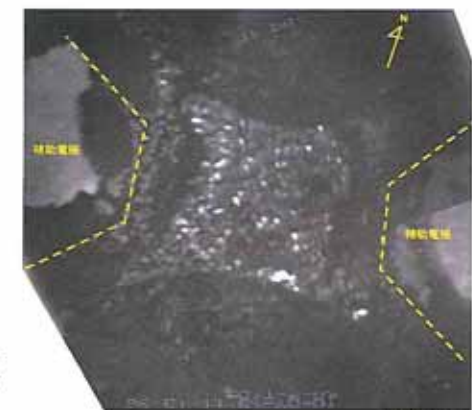


レンガ回収作業のイメージ

モックアップ施設での操作試験



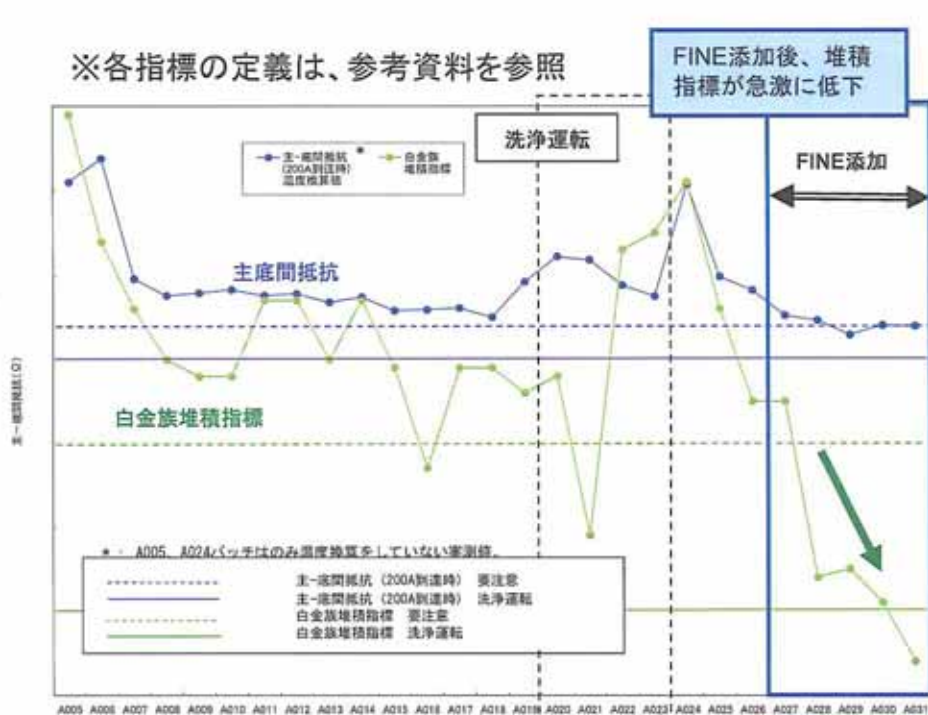
回収されたレンガの実物写真



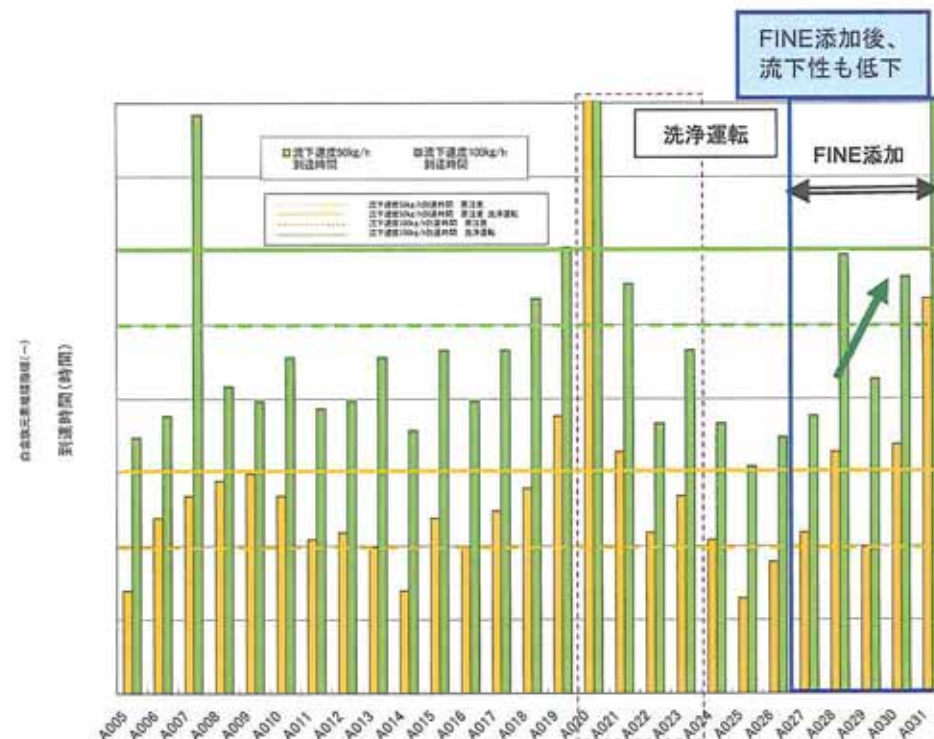
ドレンアウト後炉内観察

# アクティブ試験における発生事象

■ 実機では、ファイン入り廃液の投入開始頃から炉底部への白金族の堆積指標や、溶融ガラスのノズルからの流下性に悪化が見られたため、当初はファインが流下不調の原因と推測



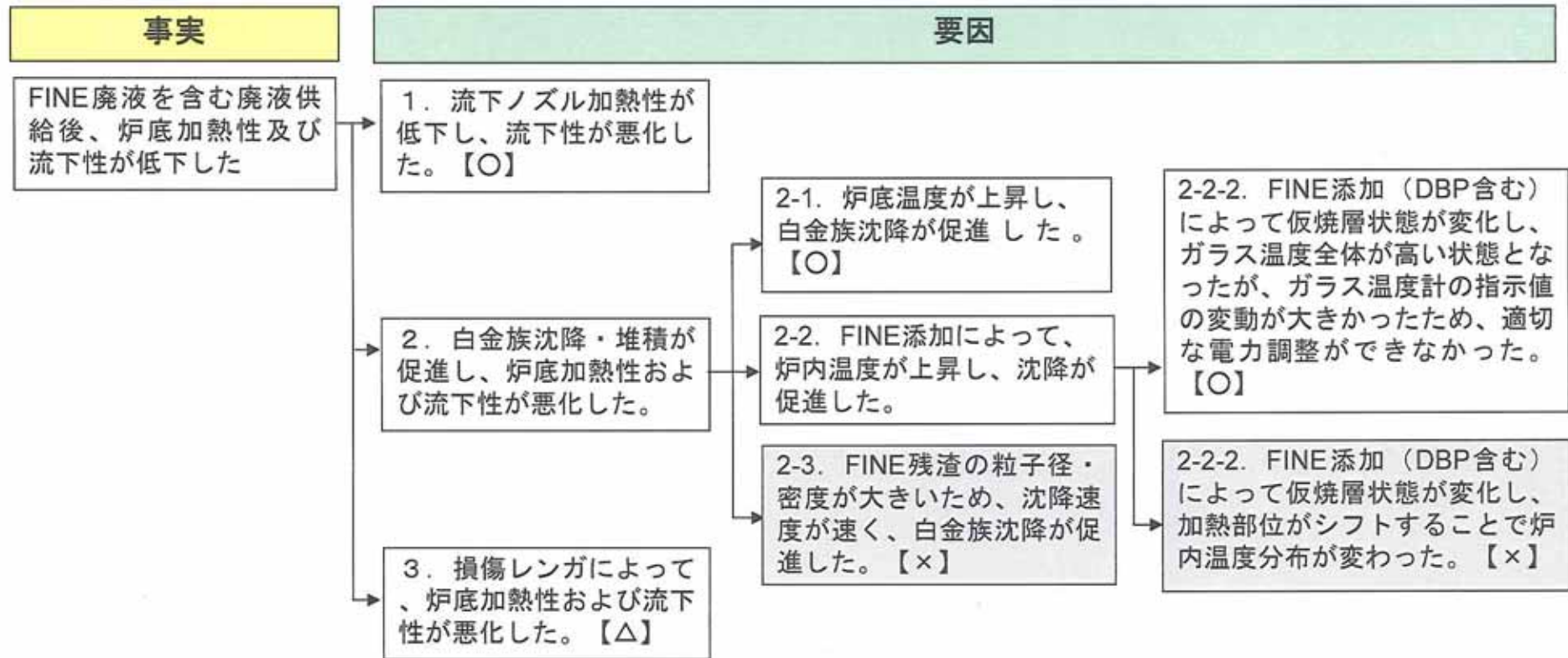
(炉底加熱性)



(流下性)

# 要因分析

## ■原因究明の為、基礎試験、小型炉試験及び解析などの結果に基づき、要因分析を実施

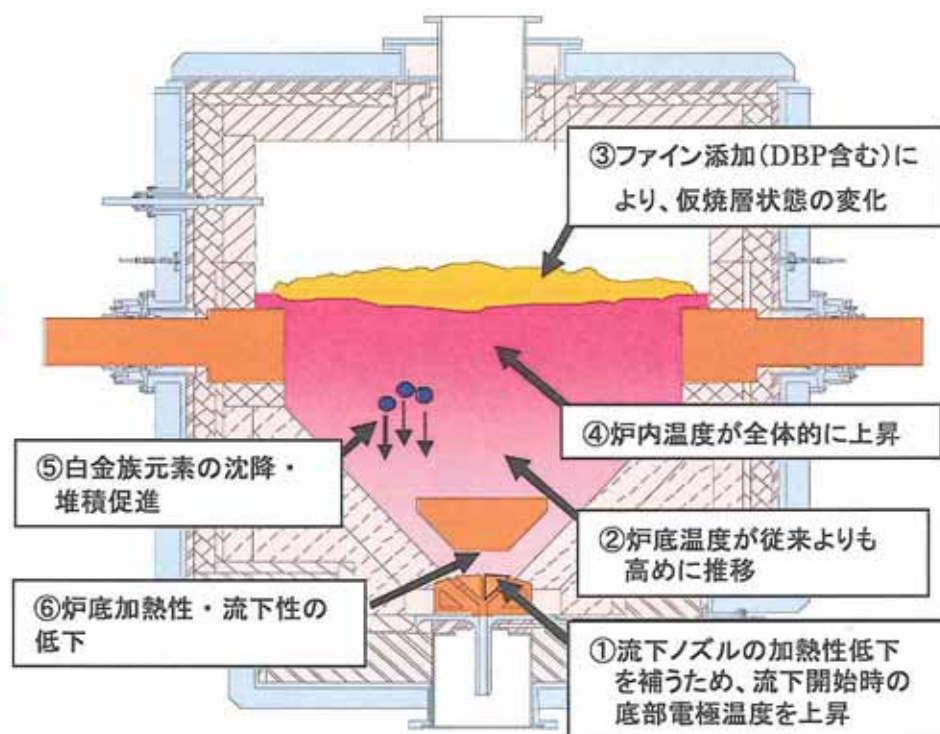


○: 要因の可能性が高い    △: 要因の可能性は否定できない    ×: 要因ではない

# 実機の流下不調メカニズム推定

- ① 流下ノズルの加熱性低下に伴い、流下開始時の底部電極温度を上昇させることにより流下性を確保
- ② 底部電極温度を上昇させたため、炉底温度が従来よりも高い状態
- ③ ファインを混合した廃液 (DBPも含む) を供給したことにより、仮焼層形成の促進、もしくは仮焼層の状態が変化
- ④ 仮焼層の変化により、ガラス温度全体が高い状態となったが、ガラス温度計の指示値の変動が大きかったため、加熱電力の調整が遅延
- ⑤ ガラス温度の上昇により、白金族元素の沈降速度が速くなり、炉底部の白金族濃度が上昇
- ⑥ 炉底部の白金族濃度の上昇により、炉底加熱性、ガラス流下性が悪化

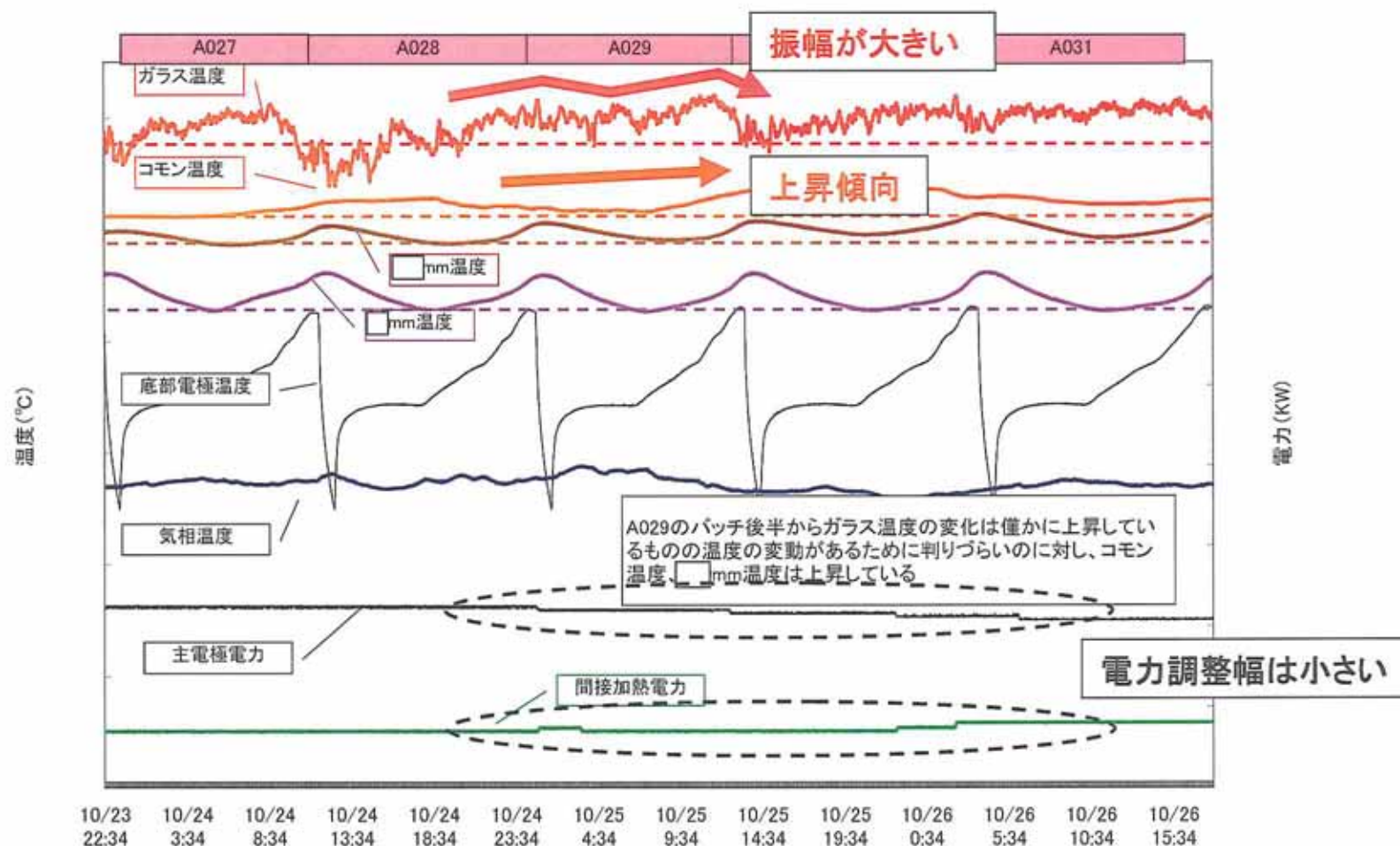
➡ 炉内ガラス温度コントロールの重要性を再認識



(注) 損傷レンガが流下不調に関与していた可能性も、運転データからは否定できない

# ファイン入り廃液投入後の温度変化

- ファイン入り廃液の投入以降、その他温度は上昇傾向にある
- ガラス温度は変動が大きく、上昇傾向にあるかは判断できない





# KMOCを使った模擬試験

## ■ 原因究明と対策確認の為、JAEA東海にある**実規模モックアップ試験装置KMOC**を利用し、step by stepで模擬試験を実施

- (1) 低模擬廃液(白金族なし)
- (2) 高模擬廃液(白金族あり)
- (3) 高模擬廃液に微量成分(硫黄、DBP)を添加  
*※硫黄、DBPが仮焼層に影響することは、第4ステップにおいて確認済み*
- (4) 高模擬廃液に模擬ファインを添加(混合槽投入量を段階的に変えて確認)
- (5) 高模擬廃液に模擬ファイン及び微量成分の両方を添加
- (6) 第5ステップ流下不調時を模擬(流下ノズル加熱性低下、炉底部の温度高)

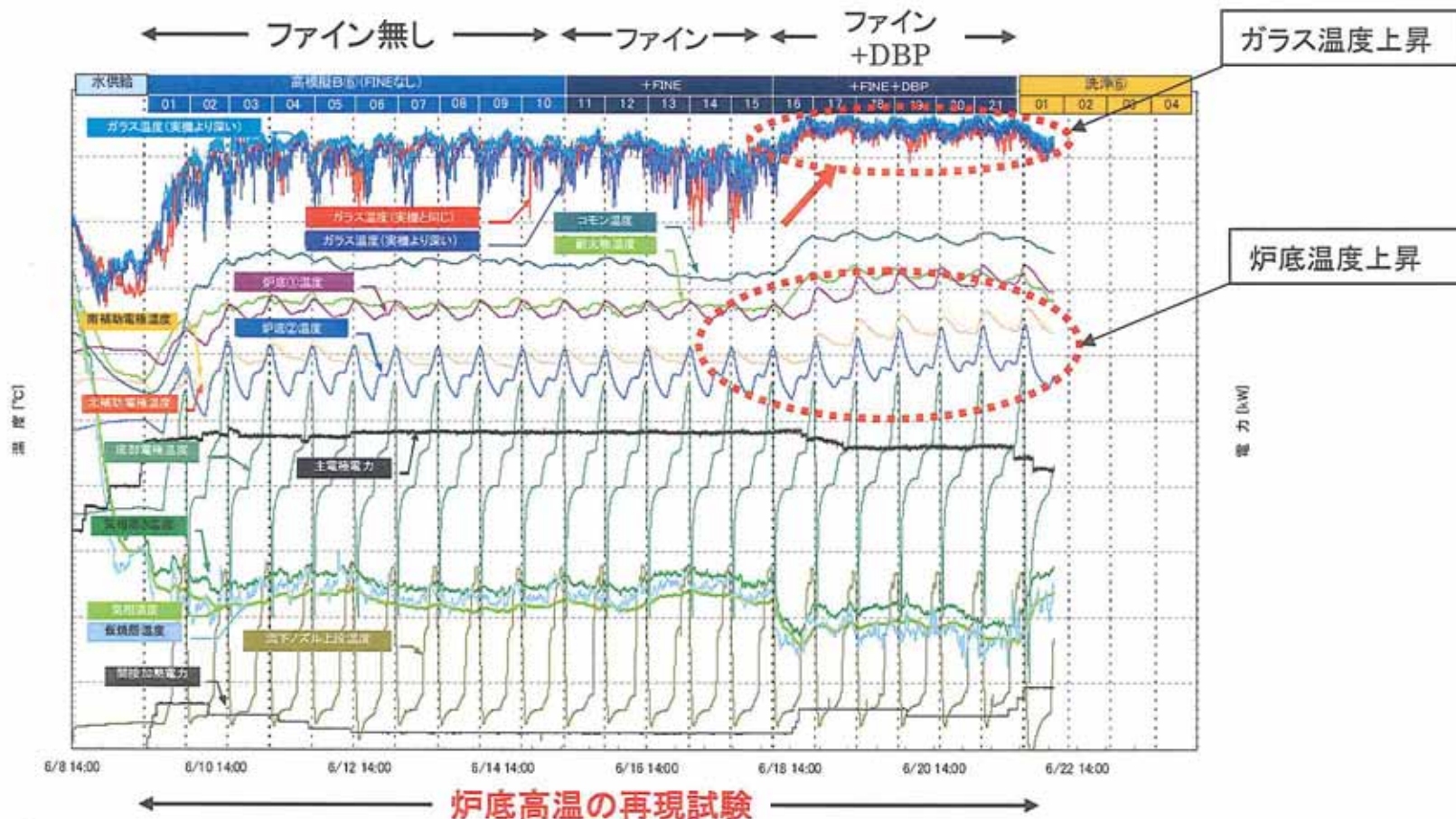
## ■ 試験結果より確認された現象

- ◇ **炉底温度**が高いと、白金族元素の沈降が顕著
- ◇ **ファイン及びDBP**を供給した際に**仮焼層に変化**が見られた  
DBPを入れると発泡し、ガラス液面上を広く覆ってホットスポットが消滅することにより、広く安定な仮焼層が形成されるものと推定
- ◇ 仮焼層状態の変化により**ガラス温度が上昇**すると、白金族元素の沈降が顕著

 溶融炉の入熱管理、ガラスの**温度管理が決定的に重要**

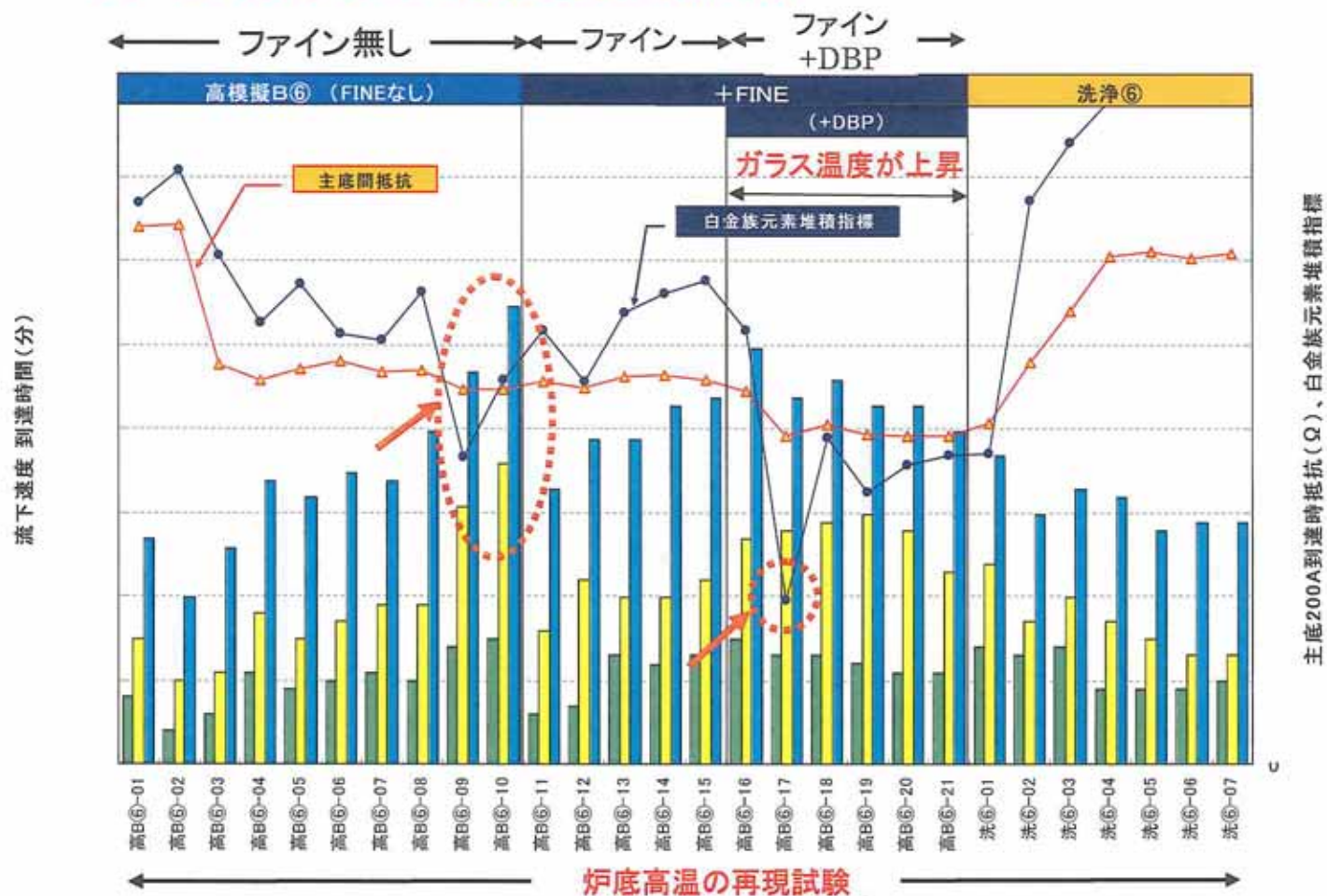
# KMOCでの再現試験(1)

- FINE及びDBPの投入後、**ガラス温度が有意に上昇し**、主電極電力による加熱を下げることでガラス温度が安定
- ガラス温度の揺らぎが縮小しており、**仮焼層が広く安定して形成されたこと**を示唆



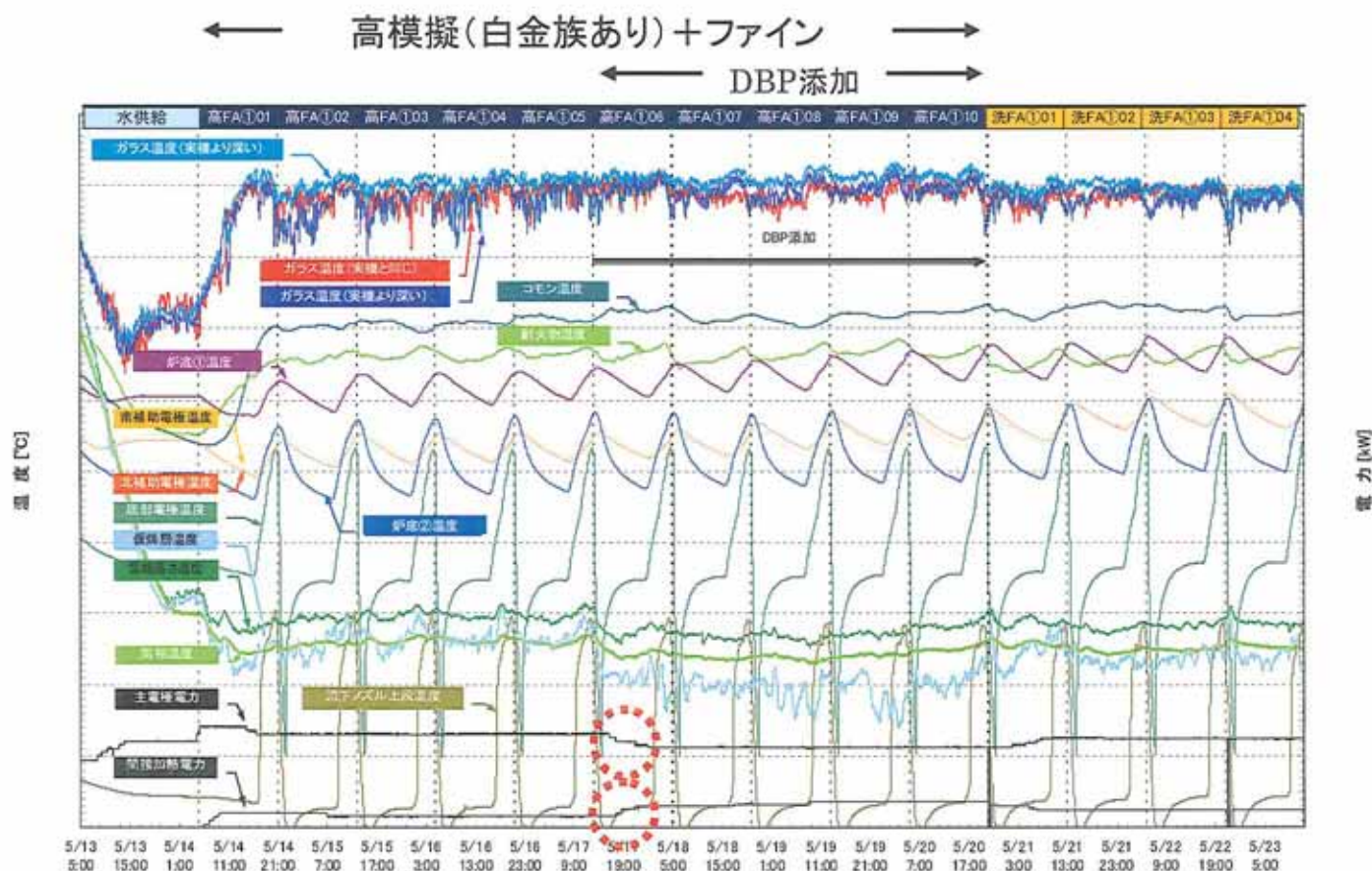
# KMOCでの再現試験(2)

- 炉底温度高により、流下性及び白金族堆積指標が悪化しており、白金族元素の沈降促進は明白
- その後、ファイン及びDBP投入で再び悪化

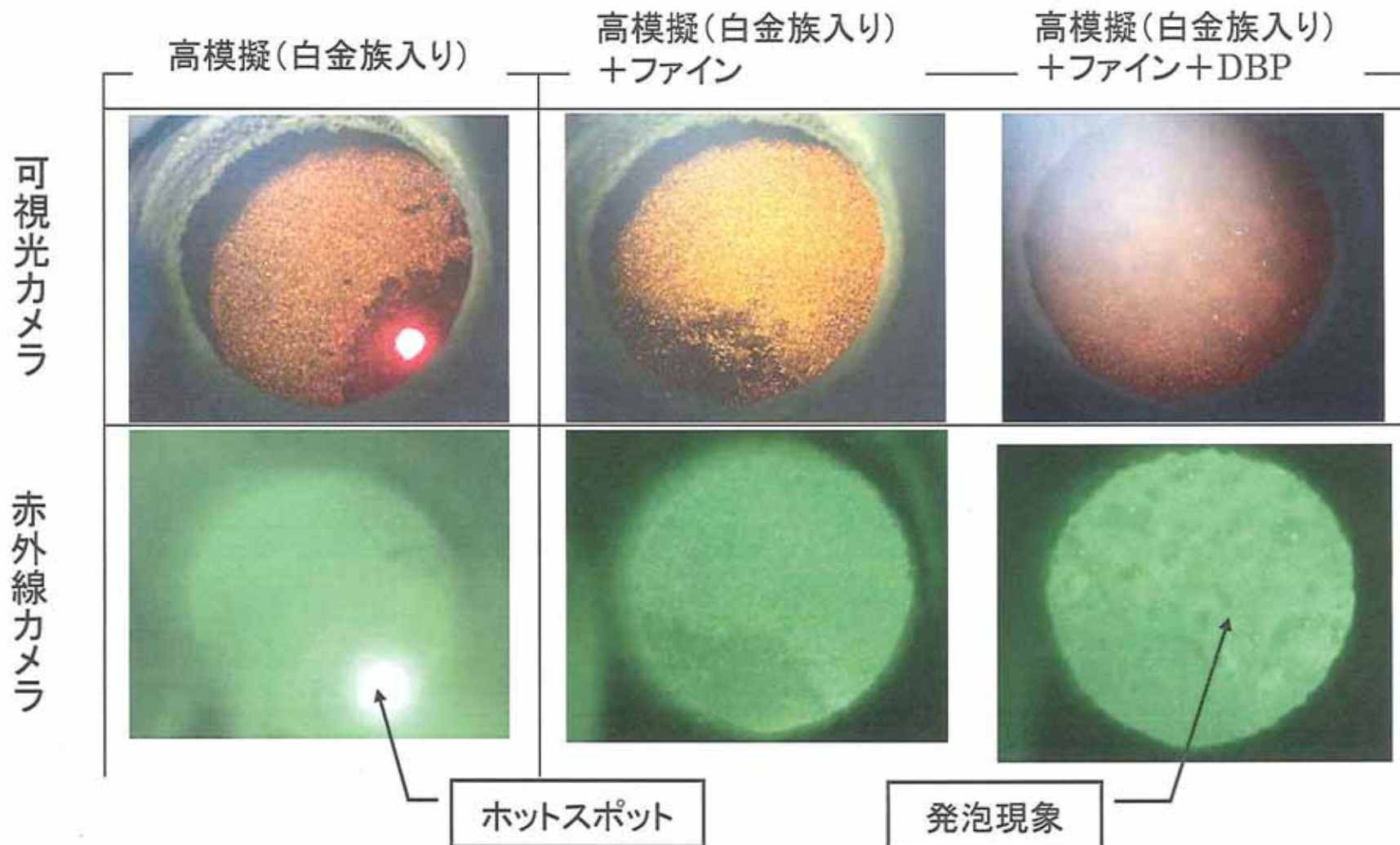


# KMOCでの実績

- ファイン+DBPを投入しても、適切に主電極電力を絞り、間接加熱電力を上げることで、ガラス温度を一定に維持することが可能



# KMOCにおける仮焼層の観察



# 安定運転方策

## ■ 熔融ガラス全体の温度管理

◇ 温度監視の強化

- 温度測定点を追加(2点式 → 5点式)、斜め温度計の追設
- 主電極間抵抗を用いてガラス温度を推定(仮焼層の影響が小さい)

◇ これらの温度に基づく熱収支計算を利用し、適切に加熱電力を調整

## ■ 炉底部の温度管理

◇ 流下ノズル加熱性

- 高周波加熱電力を上げることで対応を図ることとし、必要に応じて結合装置を交換する等により加熱性を確保

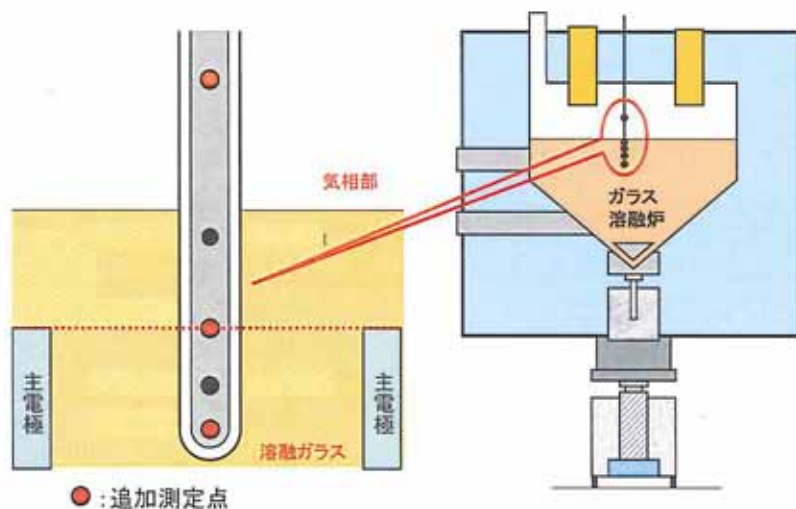
## ■ 洗浄運転(回復運転)の方法を改善

◇ 炉底部の状態が悪化する前に回復できるよう、定期的に洗浄運転を実施

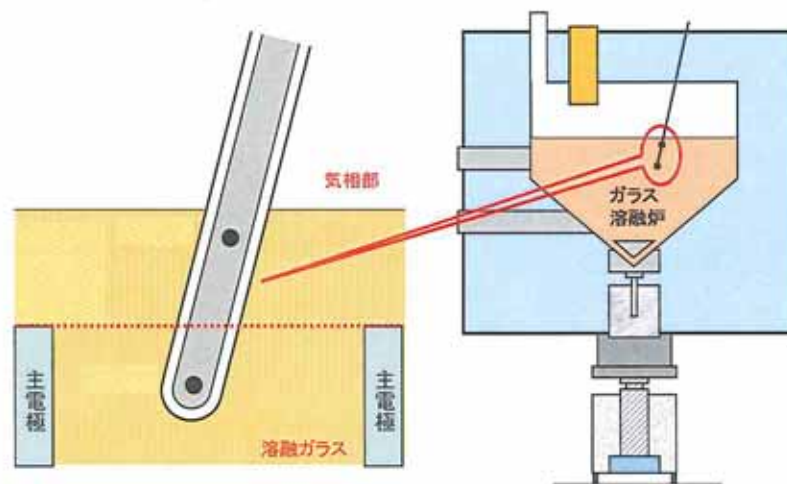
◇ 洗浄運転中に仮焼層を壊さぬよう、模擬ビーズに替えて、低模擬廃液を供給(模擬廃液の専用供給ラインを追設済み)

➡ これらの対策により、ガラス温度等が安定し、白金族元素を管理した状態での運転を実施できる見通しが得られた。

# ガラス温度測定点の追加



高さ方向の測定点の追加



横方向の測定点の追加

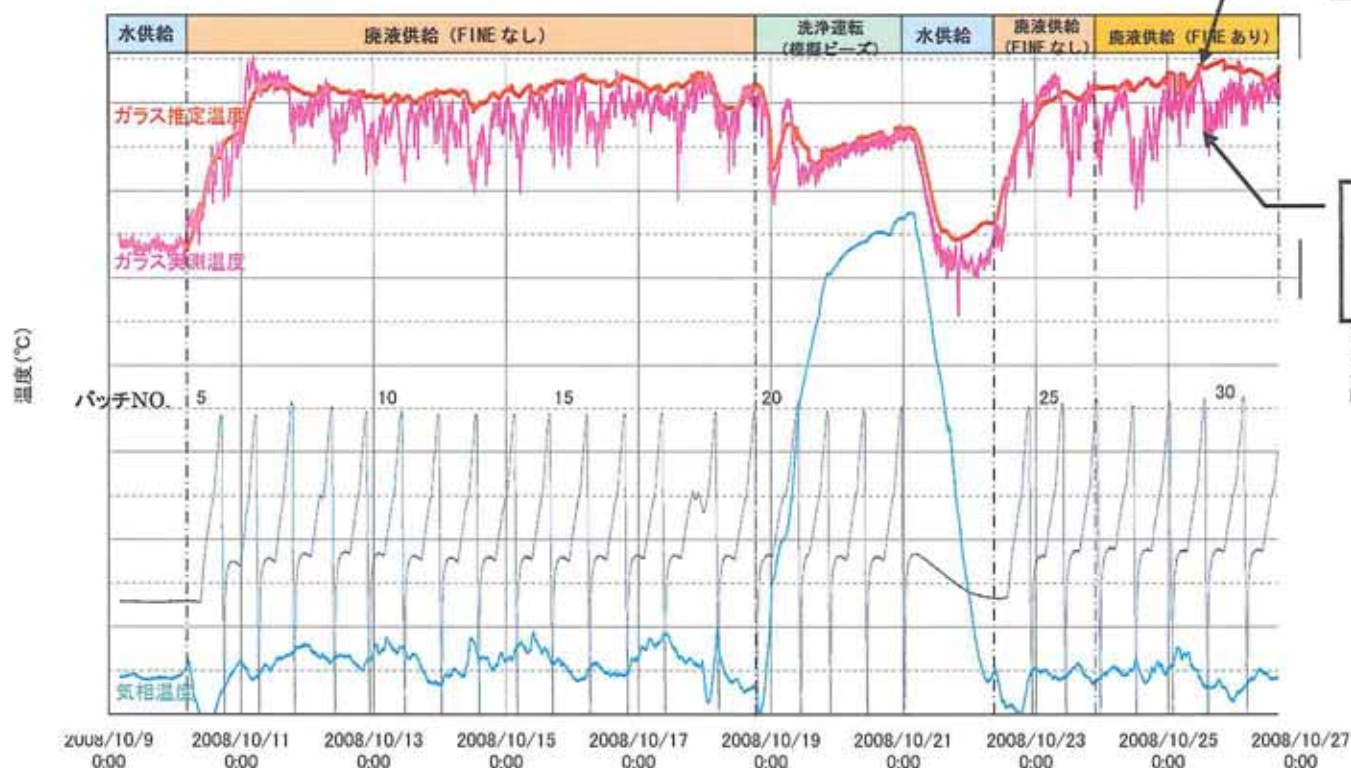
# 主電極間抵抗によるガラス温度の推定

日本原燃株式会社



- 主電極間のガラス電気抵抗は、**ガラス温度への依存性が顕著で、**温度推定に利用可能
- 熱電対式で局所的な温度の測定は、仮焼層の変動などの影響を受けて揺らぎが激しい

アクティブ試験第5ステップへの適用例



ガラス抵抗からの推定温度

熱電対式の温度計の測定値



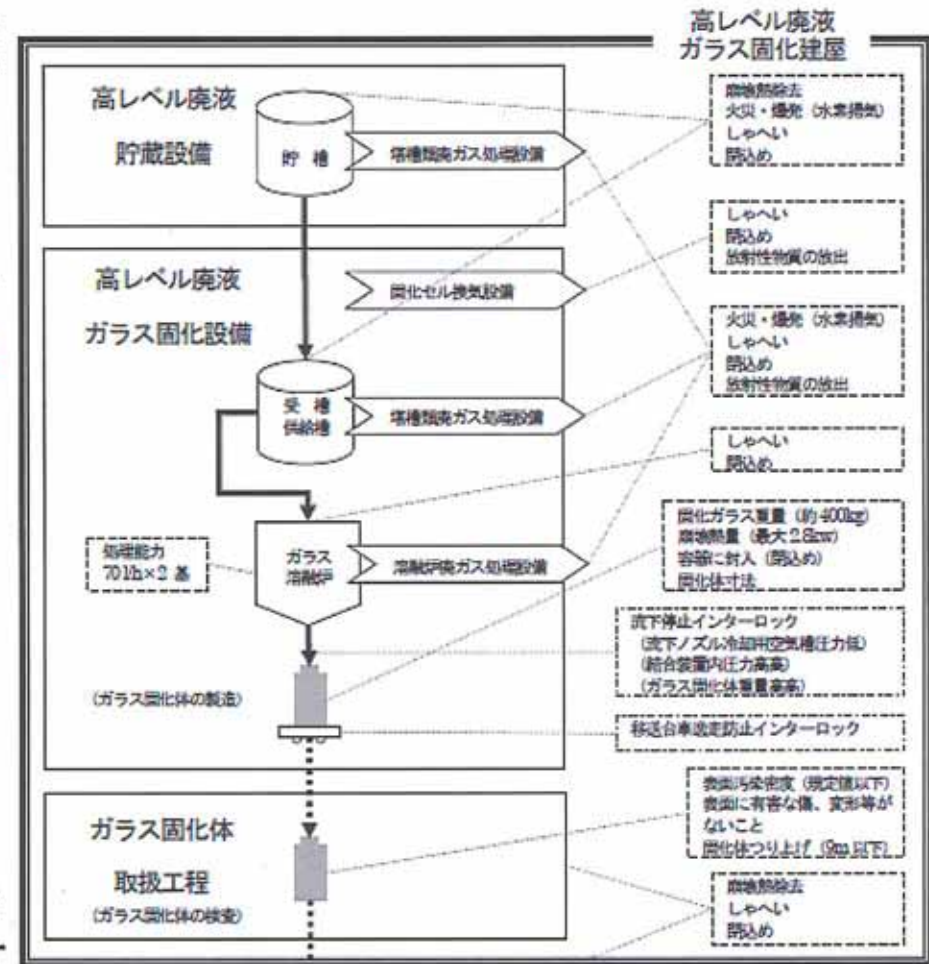
# アクティブ試験の再開に向けて

- KMOC試験で得た知見を反映してアクティブ試験を再開するに当たっては、**先ずB系の溶融炉**を使用
  - ◇ KMOC試験の模擬性能を確認する為には、実廃液を入れていない溶融炉Bを使うのが、両者の差を見出し易い
- 溶融炉Bに実廃液を供給する際は、以下の**慎重なステップを踏む**
  - ◇ 最初に、KMOCで用いたものと同じ低模擬廃液を供給して運転し、両者の間に挙動・特性の差があるかを確認する
- 溶融炉A、B共に使用前検査合格に向け着実に取り組む

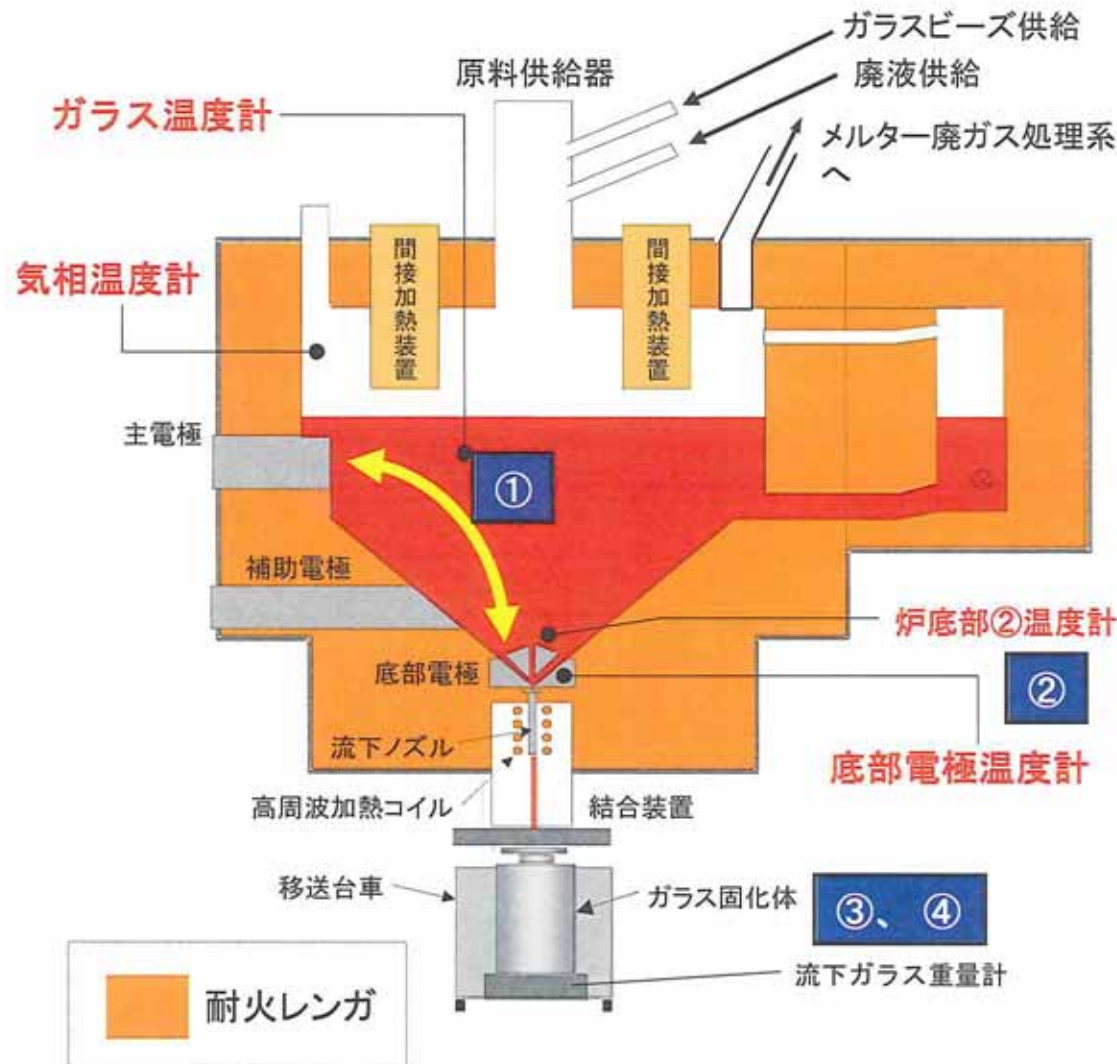
# 参考：安全要件との関係

- 再処理施設の安全上の要件は；  
 臨界防止、崩壊熱除去、閉じ込め、遮蔽、  
 火災爆発防護、電源喪失対策、地震対策  
 、航空機墜落対策、等々
- ガラス溶融炉の運転方法の改善は、処理能力の性能検査に先立ち、必要なデータや条件等が整っていることを確認するためのもので、そもそも**溶融炉に安全上の問題が生じていたわけではない**  
 前回の報告書（平成20年6月11日）の対策及び運転方法は、原子力安全・保安院より、「これまでの高レベル廃液ガラス固化設備に係る安全要件等を損なうものではないことを確認した」とされている（平成20年6月30、核燃料サイクル安全小委員会資料17-2）
- **今回報告した対策及び運転方法が安全上の要件に影響を与えないことについては、今後国の評価を受ける**

参考：ガラス固化設備に要求される安全要件等（概念）



# 参考：炉底加熱及び流下性の判断指標



## 炉底加熱性に係わる指標

### ①主底間抵抗

※白金族の沈降・堆積が進むと低下する。

### ②白金族堆積指標

※底部電極温度と炉底部②温度の昇温比であり、白金族の沈降・堆積が進むと低下する。

## 流下性に係わる指標

### ③流下速度50kg/h到達時間

### ④流下速度100kg/h到達時間

※白金族の沈降・堆積が進み、流下性が低下すると到達時間が長くなる。