



ガラス固化技術の高度化について



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
ので削除しております。

目 次



1. ガラス固化技術の高度化
2. 新型炉の開発
3. 新ガラス素材の開発
4. 要素技術の開発
5. 解析評価ツールの開発
6. 基礎的研究
7. 新型炉モックアップ試験
8. ガラス固化技術開発施設

1. ガラス固化技術の高度化 (1)開発概要

日本原燃株式会社



- 六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉の設計寿命は5年であり、ガラス溶融炉の更新時には、より性能の高いガラス固化技術を導入する計画
- より性能の高いガラス固化技術として、以下の開発に取り組んでいる

- (1) **新型炉の開発**: 白金族元素の沈降・堆積抑制を図れるガラス溶融炉の構造、炉底部加熱方法等を開発する
- (2) **新ガラス素材の開発**: イエローフェーズの発生を抑制可能な新しいガラス素材を開発する。また、より多くの高レベル廃液を充填(高充填)可能なガラス素材も開発する
- (3) **要素技術の開発**: 改良炉の性能向上を図る個別要素技術(バブリング装置、エアパージ式液位計、かくはん装置)を開発し、検証を行なう
- (4) **解析評価ツールの開発**: 信頼性の高い設計支援／運転支援ツールとして溶融炉解析コードを整備する
- (5) **基礎的研究**: 解析コードに必要なとなる物性データ、評価モデルの整備、各種メカニズム解明、ガラス技術の基盤整備を行う

3

1. ガラス固化技術の高度化 (2)開発にあたっての基本方針

日本原燃株式会社



○設計前提・制約条件

- ・**現行のレンガ方式溶融炉(LFCM)を基本**
- ・**現行の高レベル廃液ガラス固化セルのスペース、付帯設備等の制約条件の中で溶融炉(2基)を更新**
- ・**1基あたりの処理能力(溶融表面積)は現行炉と同等**
- ・**溶融炉の設計寿命** : 現行炉・・・5年間
改良炉・・・7年間(目標)

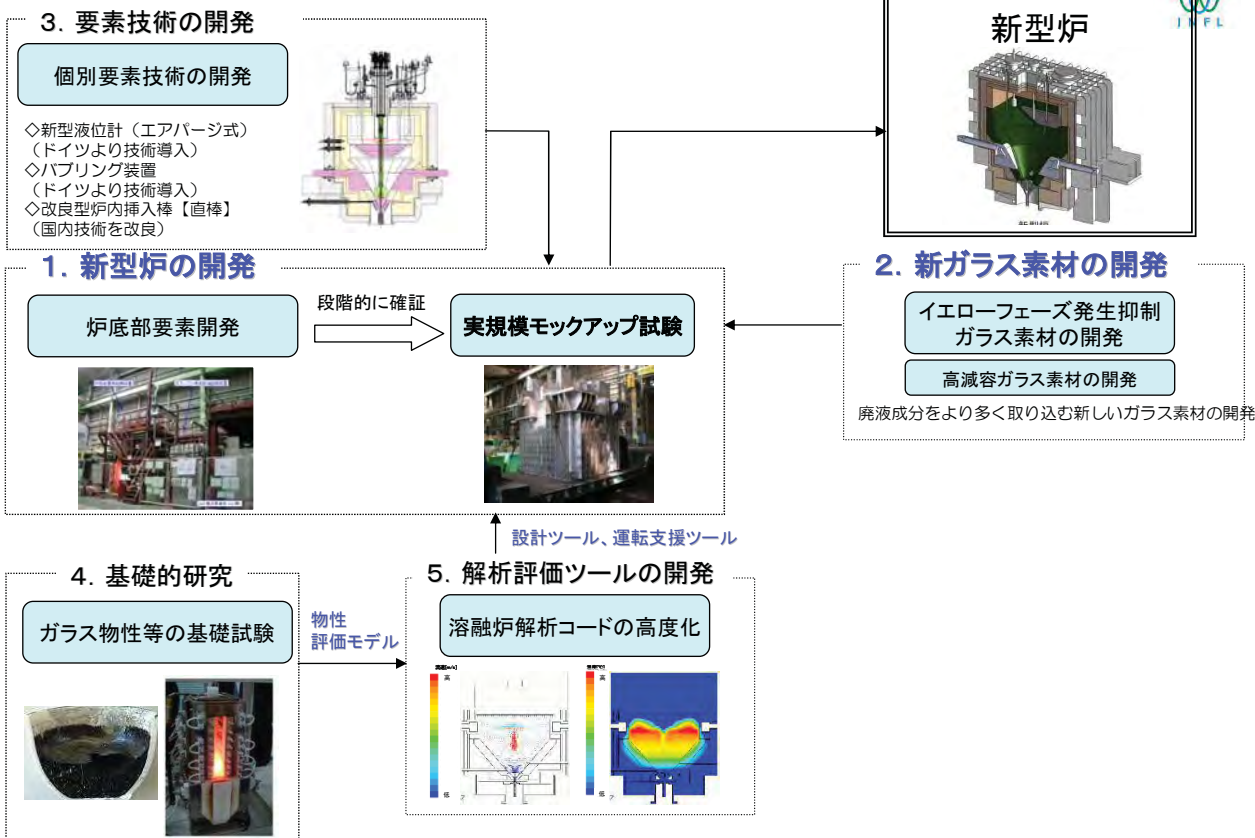
○技術検証・採用技術

- ・過去の反省に基づき、**段階的に検証を実施**
- ・これまでに発生した課題を解決できるよう開発
- ・**“オールジャパン体制”で開発(国の補助金を受けながら実施)**
- ・**検証が必要な項目は、重要度、優先順位等に応じ検証方法を選択**
検証方法: 過去の運転実績、各種解析、各種要素試験、モックアップ試験(小型、実規模大)、基礎研究 等
- ・**開発は溶融炉の更新計画に基づき、検証された技術を順次、採用**

4

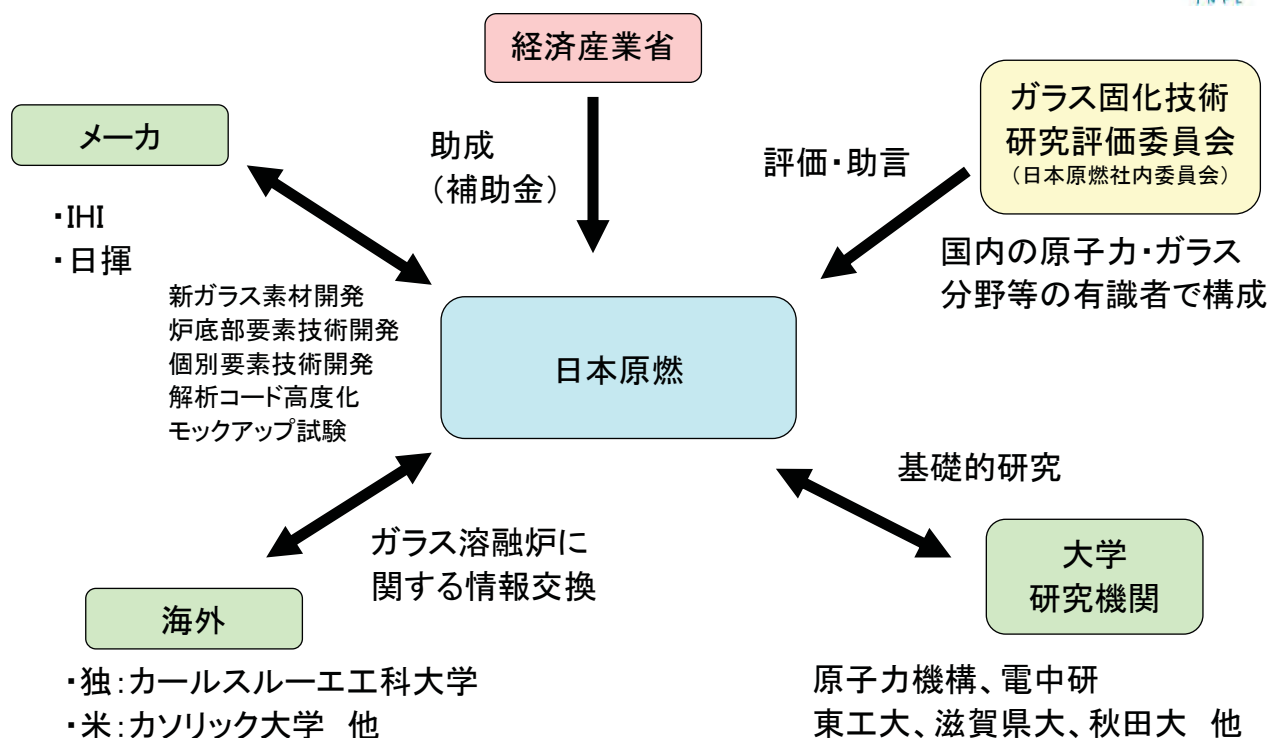
1. ガラス固化技術の高度化 (3)開発全体フロー

日本原燃株式会社



1. ガラス固化技術の高度化 (4)ガラス固化技術の開発体制

日本原燃株式会社



1. ガラス固化技術の高度化 (5)開発スケジュール

日本原燃株式会社



年度	2009	2010	2011	2012	2013
(1)新ガラス素材の開発	るつぽ試験、小型炉試験、中型炉試験				
・イエローフェーズ発生抑制					
ガラス素材の開発	るつぽ試験、小型炉試験				
・高減容ガラス素材の開発					
(2)新型ガラス溶融炉の開発	炉底部要素技術開発／流下ノズル寿命評価試験等				
・炉底部要素技術の開発					
・個別要素技術の開発	かくはん装置／バブリング装置／エアパージ式液位計				
・モックアップ試験	モックアップ試験炉製作／試運転／モックアップ試験				
・解析コードの高度化	解析コード高度化・検証				
・基礎試験	ガラス物性等の基礎試験				

7

1. ガラス固化技術の高度化 (6)現行炉の課題に対する対応方針

日本原燃株式会社



事象	現行炉での改善	新型炉での改善
① ガラス温度が安定した状態を維持できない	・熱バランス計算プログラムの運転への適用 ・調整液添加による廃液調整【運転管理】	—
② ①の影響により白金族元素が炉底部に沈降、堆積した	・洗浄運転への移行判断フロー、保持運転フローの整備【運転管理】	・炉底形状を円錐、傾斜角度を60°に変更し白金族元素の堆積を防止【設備改善】 ・炉底部の加熱手段（下段補助電極、炉底部高周波加熱装置）を追加【設備改善】
③ イエローフェーズ（YP）発生	・調整液添加による廃液調整【運転管理】	・新組成ガラスビーズまたはバブリングの採用によりYPの発生を抑制【設備改善】
④ 流下ガラスによる流下ノズル閉塞	・流下ノズル全段加熱開始時のノズル温度監視【運転管理】	・炉底部の加熱手段（下段補助電極、炉底部高周波加熱装置）を追加【設備改善】
⑤ かくはん棒の曲がり	・かくはん棒使用時に過度の荷重をかけない【運転管理】	・かくはん装置のモーター駆動により荷重を制限【設備改善】
⑥ 天井レンガ損傷	・間接加熱装置の温度降下速度の管理【運転管理】	・天井レンガにせり構造を採用し落下を防止【設備改善】
⑦ 高レベル廃液の漏えい	・運転停止時の貯槽液位管理【運転管理】 ・閉止フランジ部の締め付け管理【運転管理】	—
⑧ 不溶解残渣廃液を混合した廃液供給以降に流下性低下が発生した	・定期的な洗浄運転の実施【運転管理】 ・洗浄運転方法の改良【運転管理】 ・ガラス温度計の追加【設備改善】 ・ガラス温度の管理方法の改善【運転管理】	—
⑨ 接液レンガによるノズル閉塞	・運転停止時にドレンアウト実施を原則とする管理【運転管理】 ・直棒の改良（流下性低下時の対応）【設備改善】	・底部電極ストレーナ構造の変更により閉塞し難い構造であることを確認（アクリルモデル）【設備改善】 ・かくはん装置の改良【設備改善】

8

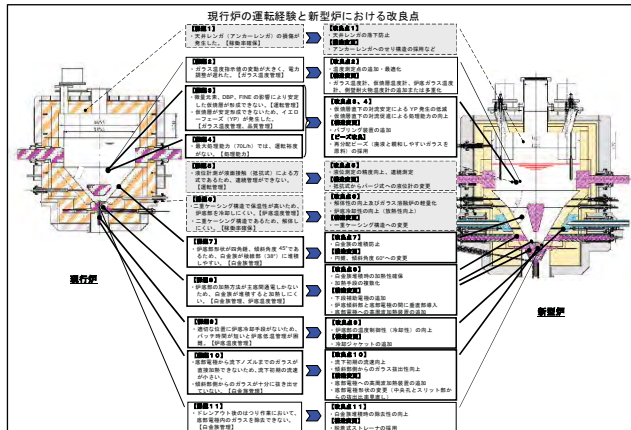
1. ガラス固化技術の高度化 (7) 現行炉の課題に対する対応方針

日本原燃株式会社



- 炉底部要素技術については、基礎試験・解析・アクリルモデル試験⇒炉底部要素試験⇒実規模モックアップ試験の流れで、現行溶融炉の課題に対する改良点の効果を検証しつつ開発を進めている。
- また、新ガラス素材については、基礎試験⇒小型炉試験・中型炉試験⇒実規模モックアップ試験の流れで、ガラス組成の選定、連続運転・スケールアップの影響を確認しつつ開発を進めている。

現行炉の課題と新型炉の改良点



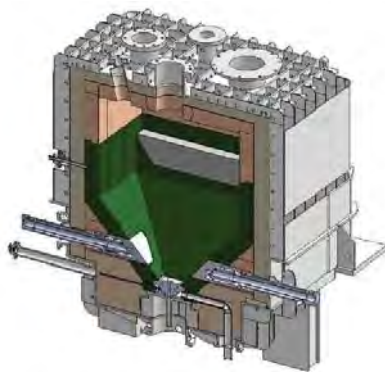
新型炉の改良点と検証方法(例)

改良点	検証方法	実施時期
1. 炉底要素の改良 ・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良
2. 炉底要素の改良 ・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良
3. 炉底要素の改良 ・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良	・炉底要素の改良 ・炉底要素の改良

9

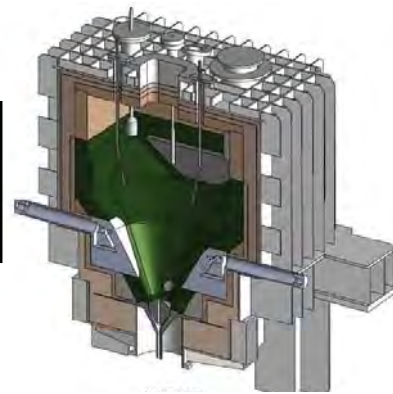
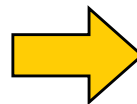
2. 新型炉の開発 (1) 新型炉の構造

日本原燃株式会社

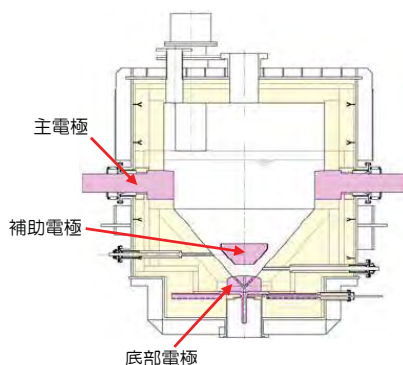


現行ガラス溶融炉

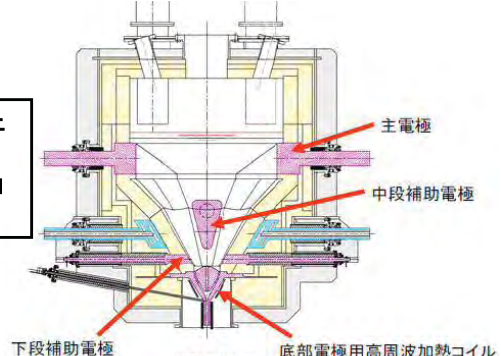
白金族元素の抜き出し性向上
・炉底構造の変更
(四角錐⇒円錐)
・傾斜角度の変更
(45度⇒60度)



新型ガラス溶融炉



白金族元素の抜き出し性向上
(炉底部加熱手段追加)
・底部電極用高周波加熱追加
・下段補助電極追加



10

2. 新型炉の開発 (2) 新型炉の改良ポイント

日本原燃株式会社



運転モニタの改善

【ガラス液位計測法の改善】

現行炉 抵抗式液位計によるピンポイントの計測

改良炉 新型液位計(エアバージ式)による連続的計測

イエローフェーズ発生抑制

【新型ガラス素材導入/バブリング導入】

現行炉 調整液添加による発生抑制

改良炉 熔融性を改善したガラス素材の開発
バブリング装置導入

運転モニタの改善

【温度測定点の追加・最適化】

現行炉 熔融ガラス温度、気層部温度、
各電極温度等

改良炉 現行炉測定点+傾斜部温度等
(合計:46点)

温度コントロール性向上

【炉底ガラス冷却機能の強化】

現行炉 底部電極冷却系

改良炉 レンガ構造スリム化による放熱性向上
冷却ジャケット追加

異常状態からの回復性能向上

【ストレーナ脱着による白金族元素除去】

現行炉 底部電極との一体構造

改良炉 遠隔着脱式ストレーナ

異常状態からの回復性能向上

【炉内挿入棒による白金族元素除去】

現行炉 簡易的仮設挿入棒(直棒/曲棒)

改良炉 改良型炉内挿入棒

白金族元素コントロール性向上

【炉底構造・傾斜角度の変更】

現行炉 四角錐

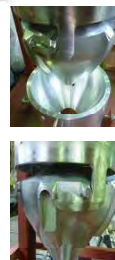
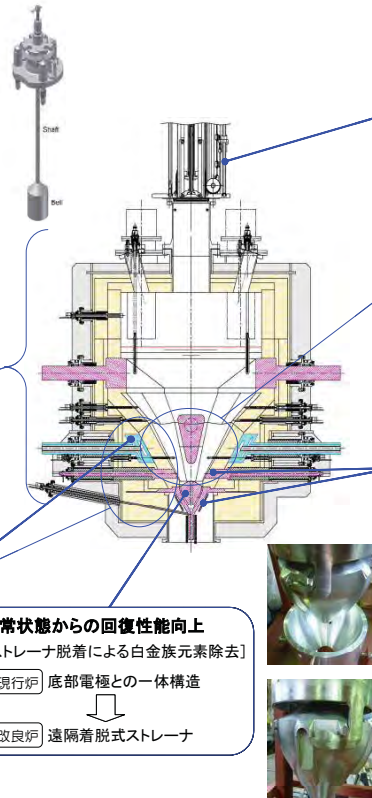
改良炉 円錐、60°

白金族元素コントロール性向上

【白金族元素に影響を受けない加熱手段、複数化】

現行炉 主電極-底部電極間通電

改良炉 底部電極高周波加熱装置追加
下段補助電極追加
主電極-底部電極間通電
他複数のジュール加熱手段



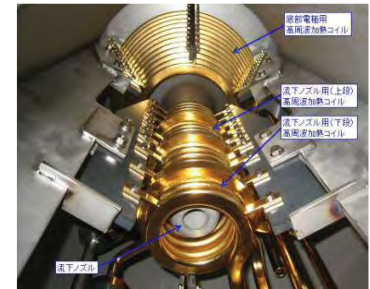
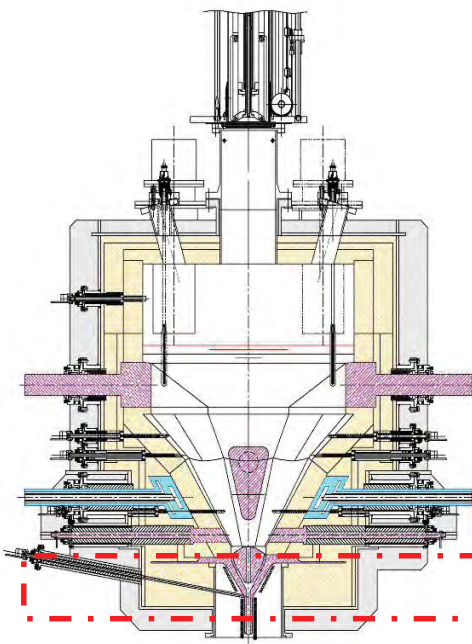
11

2. 新型炉の開発 (3) 炉底部要素試験

日本原燃株式会社



- 試験装置の構造は、改良炉の炉底部構造を実規模大で模擬
- 炉底部要素開発は、解析にて設計した改良炉の炉底に適用される新技術を検証する
目的で実施



【確認項目】

1. 流下性向上の確認
2. 加熱手段追加効果の確認
3. 白金族堆積防止効果の確認
4. 白金族堆積時の除去性
向上の確認(底部電極脱着)

12

3. 新型炉の開発 (4) 炉底部要素試験の結果

日本原燃株式会社



炉底部要素試験により以下を確認

【流下性向上の確認】

➢高濃度の白金族元素含有ガラスの流下でも初期流下性が良好であること

【加熱手段追加効果の確認】

➢底部電極高周波加熱により、底部電極全体を加熱可能なこと

⇒初期流下性が安定(偏流なし)

➢下段補助電極間通電により、底部電極直上のガラスを加熱可能なこと

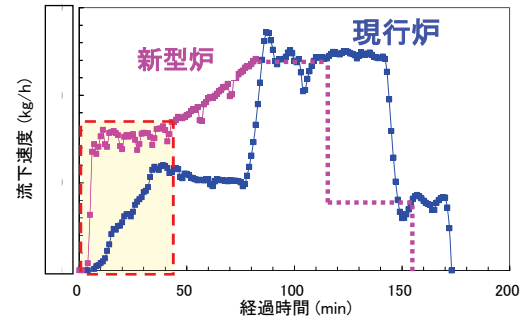
⇒白金族元素が堆積しても良好に流下

【白金族堆積防止効果の確認】

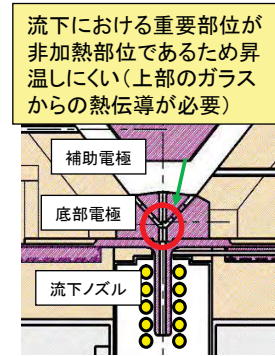
➢高濃度の白金族含有ガラスの流下後でも、炉底円錐部及び底部電極上に残留ガラスがないこと

【白金族堆積時の除去性向上の確認】

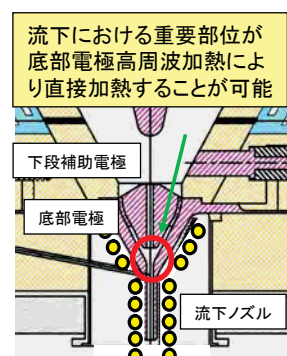
➢ストレーナ着脱治具を用いることで底部電極のストレーナの着脱が可能なること



流下速度の変化



現行炉



新型炉

炉底部構造

13

3. 新ガラス素材の開発(1/2)

日本原燃株式会社



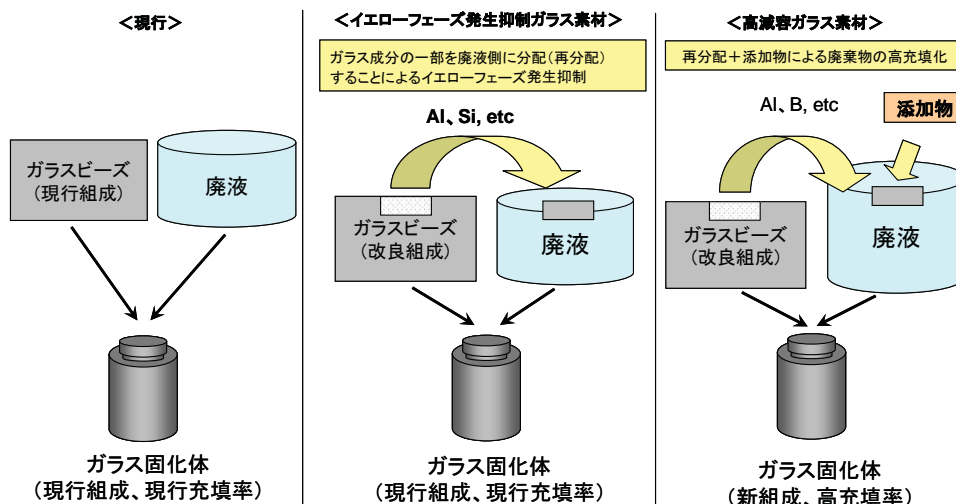
➢ガラス溶融炉の開発と合わせて、以下の新素材ガラス(ガラスマトリックス)を開発中

※米国カソリック大学ガラス研究所との共同開発

①イエローフェーズ発生抑制ガラス素材の開発: イエローフェーズの発生を抑制するガラス素材を開発する

②高減容ガラス素材の開発: より多くの高レベル廃液を取り込むことのできるガラス素材を開発する

➢イエローフェーズ発生抑制ガラス素材の開発は、中型溶融炉試験まで終了し、適用可能な見通しが得られている。今後モックアップ試験で最終的な確認を行う予定



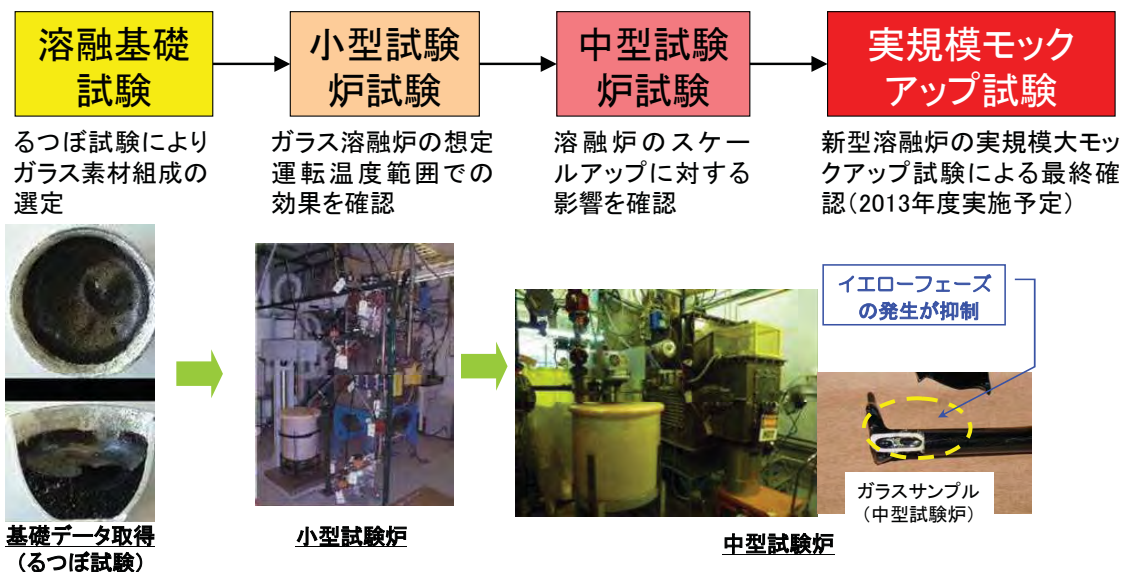
14

3. 新ガラス素材の開発(2/2)

日本原燃株式会社



- イエローフェーズ発生抑制ガラス素材の開発は、中型試験炉試験まで計画通り完了
⇒ **新ガラス素材の見通しが得られたことから、今後モックアップ試験等で効果確認を予定**



15

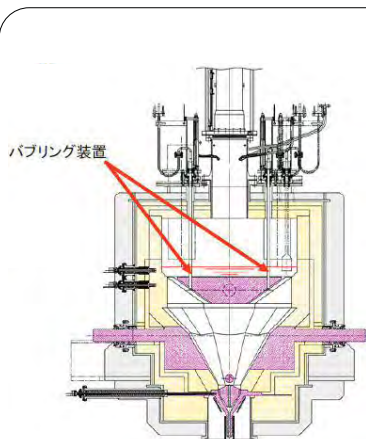
4. 要素技術の開発

日本原燃株式会社



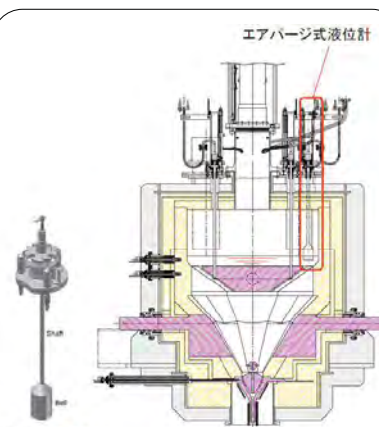
- 運転監視性の向上や炉底悪化状態からの回復措置のため、以下の技術を開発中
- **技術開発が終了した技術から順次導入予定**

バブリング装置 (ドイツより技術導入)



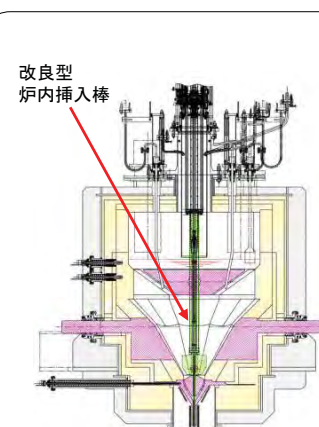
<イエローフェーズ発生抑制>
溶融ガラスの流動性を向上させることにより、イエローフェーズ成分の溶解性向上

新型液位計(エアパージ式) (ドイツより技術導入)



<運転モニタの改善>
連続的で精度が高い液位測定

改良型炉内挿入装置【直棒】 (国内技術を改良)



<異常状態からの回復性能向上>
より効果的な貫通性能、排出性能を有する改良型炉内挿入装置【直棒】による回復性能向上

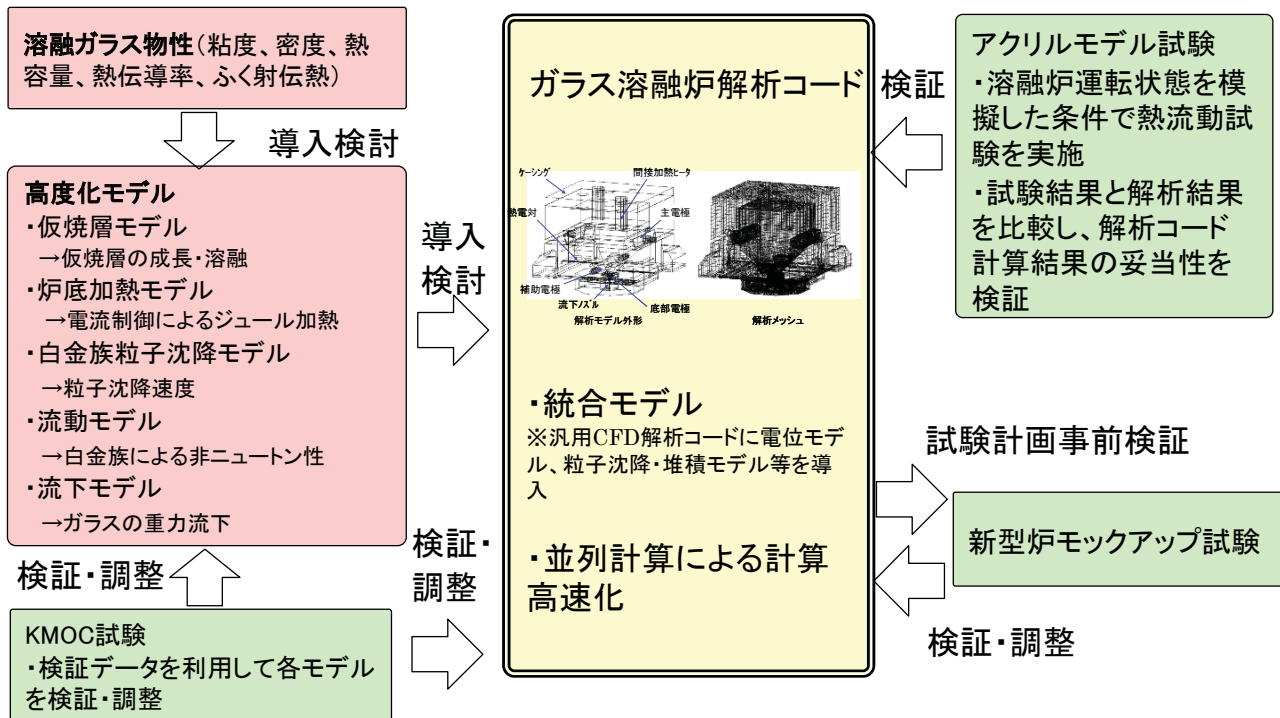
16

5. 解析評価ツールの開発(1/2)

日本原燃株式会社



- 汎用CFDコードを用いた溶融炉解析コードは、運転評価や設計ツールとして用いるため、解析精度の向上や高速化・汎用化を実施



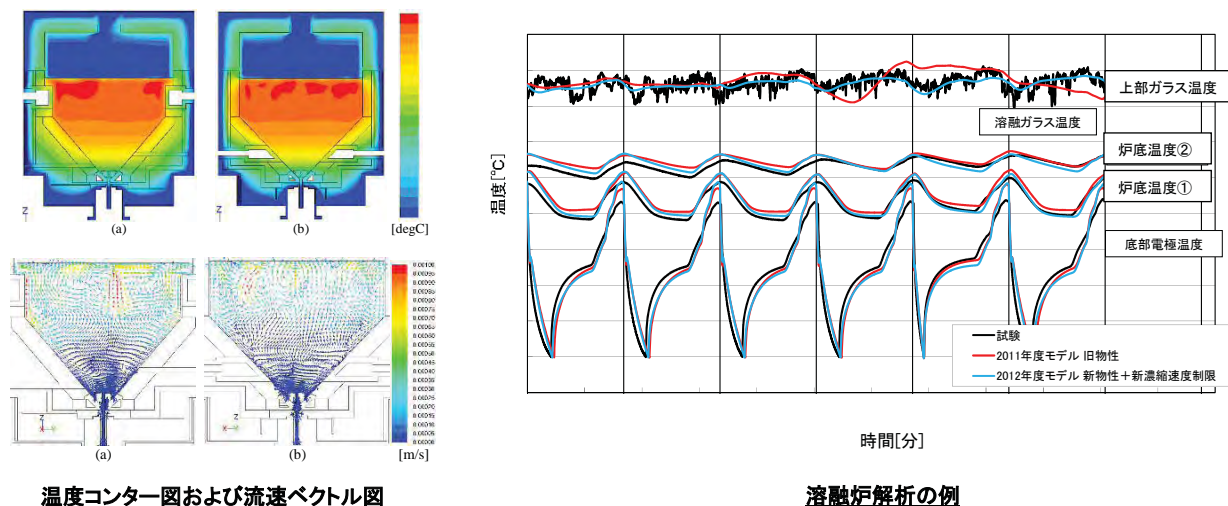
17

5. 解析評価ツールの開発(2/2)

日本原燃株式会社



- 溶融炉解析コードにより、ガラス溶融炉の温度分布や白金族粒子の沈降・堆積影響を評価



18

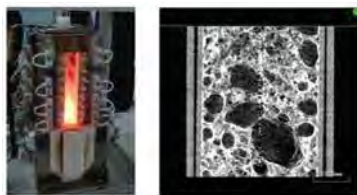
6. 基礎的研究

日本原燃株式会社



- 基礎試験により、熔融炉の解析コードに反映する情報(仮焼層の構造、熔融ガラスの物性等)や、炉の運転状態評価のためのデータ(炉内白金族挙動の評価等)を取得

仮焼層のメカニズム解明

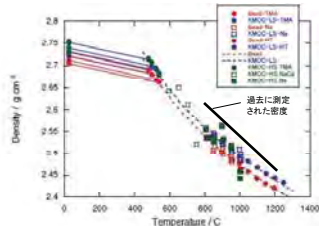


(試験装置)

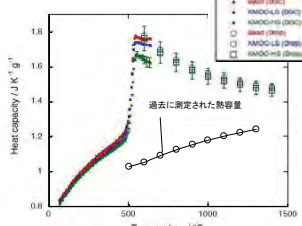
(高温X線CT画像例)

例: ガラス熔融反応観察装置による仮焼層構造の観察結果

熔融ガラスの物性測定



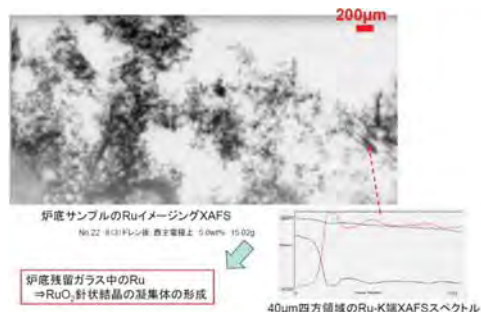
模擬ガラスの密度と温度の関係



模擬ガラスの熱容量と温度の関係

例: 模擬ガラスの高温物性

炉内白金族の挙動



炉底サンプルのRuイメージングXAFS

Na 22 8 (3) フレッシュ 西主電極より 15.00g

炉底残留ガラス中のRu
⇒ RuO₂ 針状結晶の凝集体の形成

40μm四方領域のRu-K XAFSスペクトル

例: イメージングXAFSによるKMOCガラス試料内の白金族状態の評価

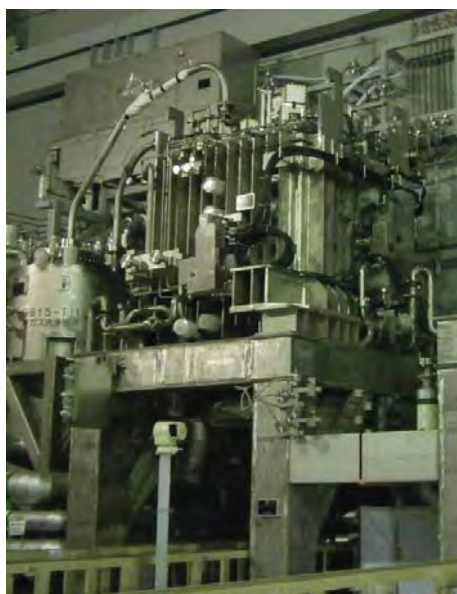
19

7. 新型炉モックアップ試験

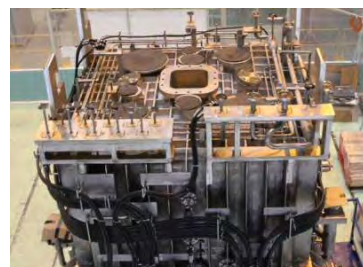
日本原燃株式会社



- ・ 開発した炉底部技術、新型ガラス素材等を実規模サイズで確認・検証するためのモックアップ試験装置を製作
- ・ 現在、モックアップ試験を効率的に実施するため、熔融炉解析コードを用いて、運転シーケンスや試験条件を検討中



新型炉モックアップ試験装置



炉上部



炉底内部

20

8. ガラス固化技術開発施設

日本原燃株式会社



1. 施設の目的

- ガラス熔融炉の開発課題の解決を目的とした研究・開発
- 遠隔操作性の確証試験ならびに運転員等の教育訓練
- 本施設で得られた情報・知見を迅速に実機へフィードバックするため、再処理事業所敷地内に建設

2. ガラス固化技術開発施設の概要

【設計コンセプト】

- ① 高レベル廃液ガラス固化施設の再現
 - ・固化セル模擬エリア
 - ・解体模擬エリア
- ② 構造計画等
 - ・研究施設(原子力施設以外の施設)
 - ・建築基準法に準じた設計
- ③ 将来増築を考慮した設計
 - ・将来炉試験エリアの確保

【敷地概要】

建設場所: 青森県六ヶ所村(六ヶ所再処理事業所敷地内)

□外観

外観 ①



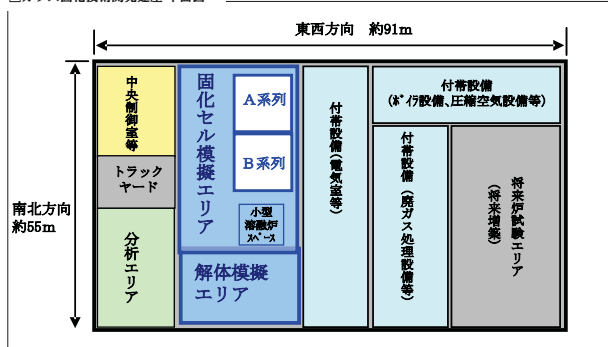
北西方向より望む

外観 ②



東南方向より望む

□ガラス固化技術開発建屋 平面図



□配置図

