

3. ガラス溶融炉流下性低下に関する検討状況

第5ステップ運転実績に基づく原因究明 (これまでの運転データの評価で分かった問題点)

第5ステップでは、不溶解残渣廃液を混合した廃液の処理を開始後、炉底状況の悪化(白金族堆積指標及び流下性の急激な低下)等に至ったことに対する要因分析を実施。

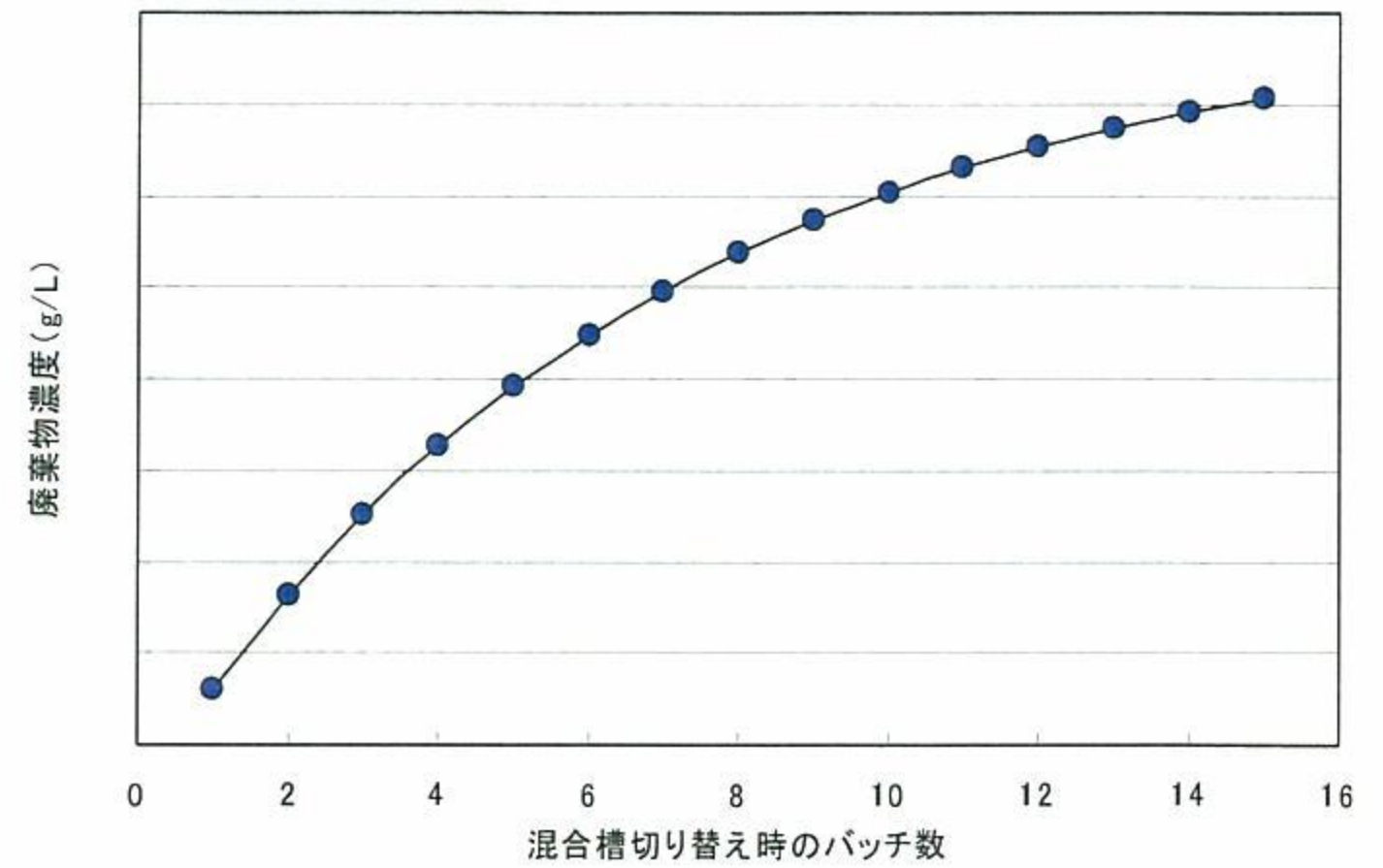
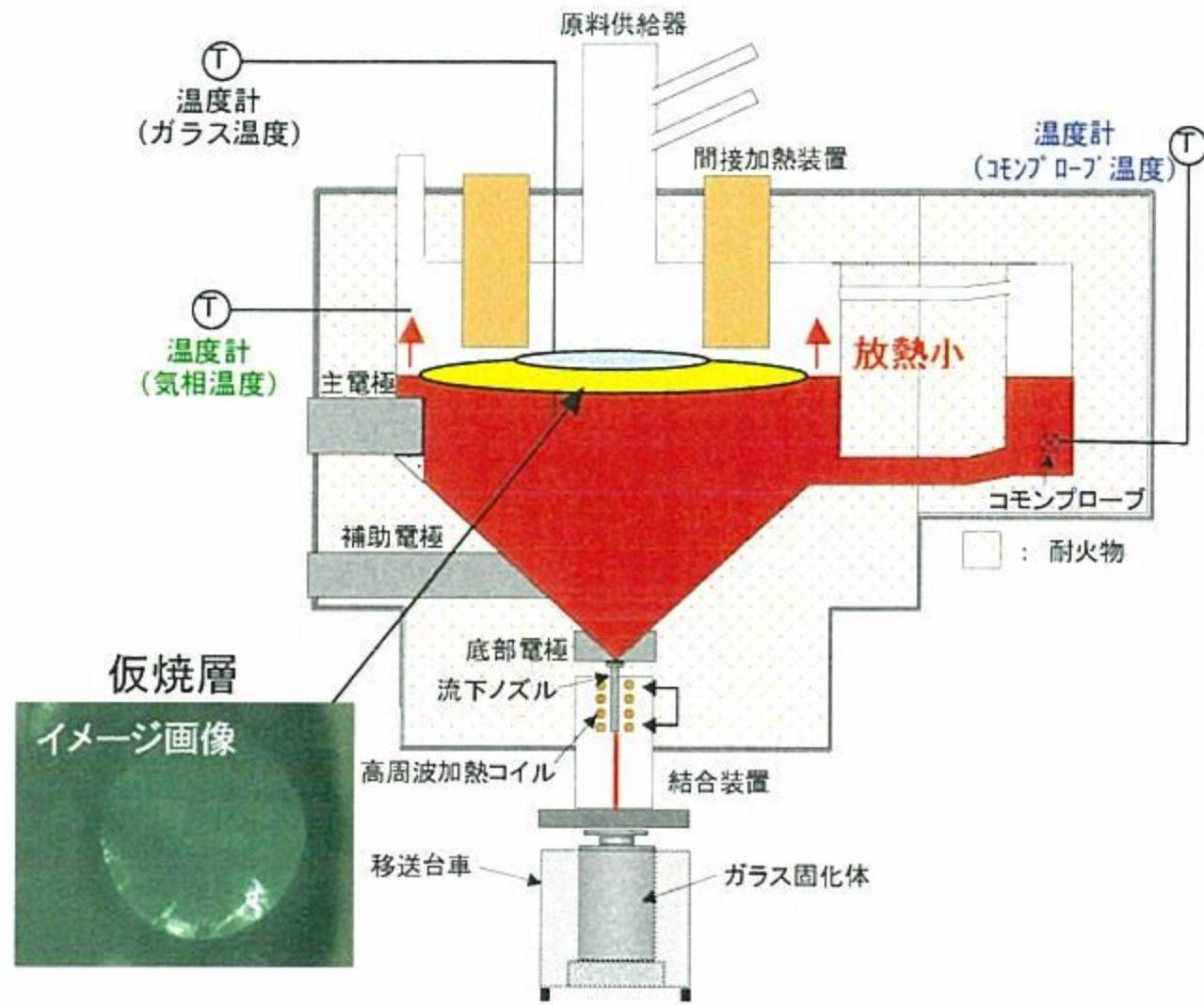
要因分析にあたって、これまでの運転で得られたデータの評価を行っており、以下の問題点があることが判ってきている。

- ①熱バランスにおいては、供給廃液中の廃棄物濃度の変動を考慮し電力調整の予測等を行うこととしていたが、混合槽の切り替えの際に廃棄物濃度の違いに関する情報伝達が不十分であったため、電力条件設定に用いた廃液条件と実際の廃液条件との間に違いが生じた。
その結果、仮焼層の形成が促進し、ガラス温度の上昇を引き起こした。
- ②熱バランス計算により実測温度のトレースを行う際に実測温度の平均値を用いて行ったことにより、実際よりも溶融速度定数が大きく評価され、主電極電力の下げ幅が小さく(あるいは、下げるタイミングが遅く)になった。これが、計画値以上にガラス温度を上昇させる原因の1つとなった。
→白金族元素が炉底部に沈降・堆積した。

不溶解残渣については、要因分析を行う上での情報が不足していることから、不溶解残渣の性状や炉内での挙動等について、分析による性状データの取得や、るつぼなどによる模擬試験でのデータ取得などを実施することとした。

第5ステップ運転実績に基づく原因究明 (問題点に対する対策案)

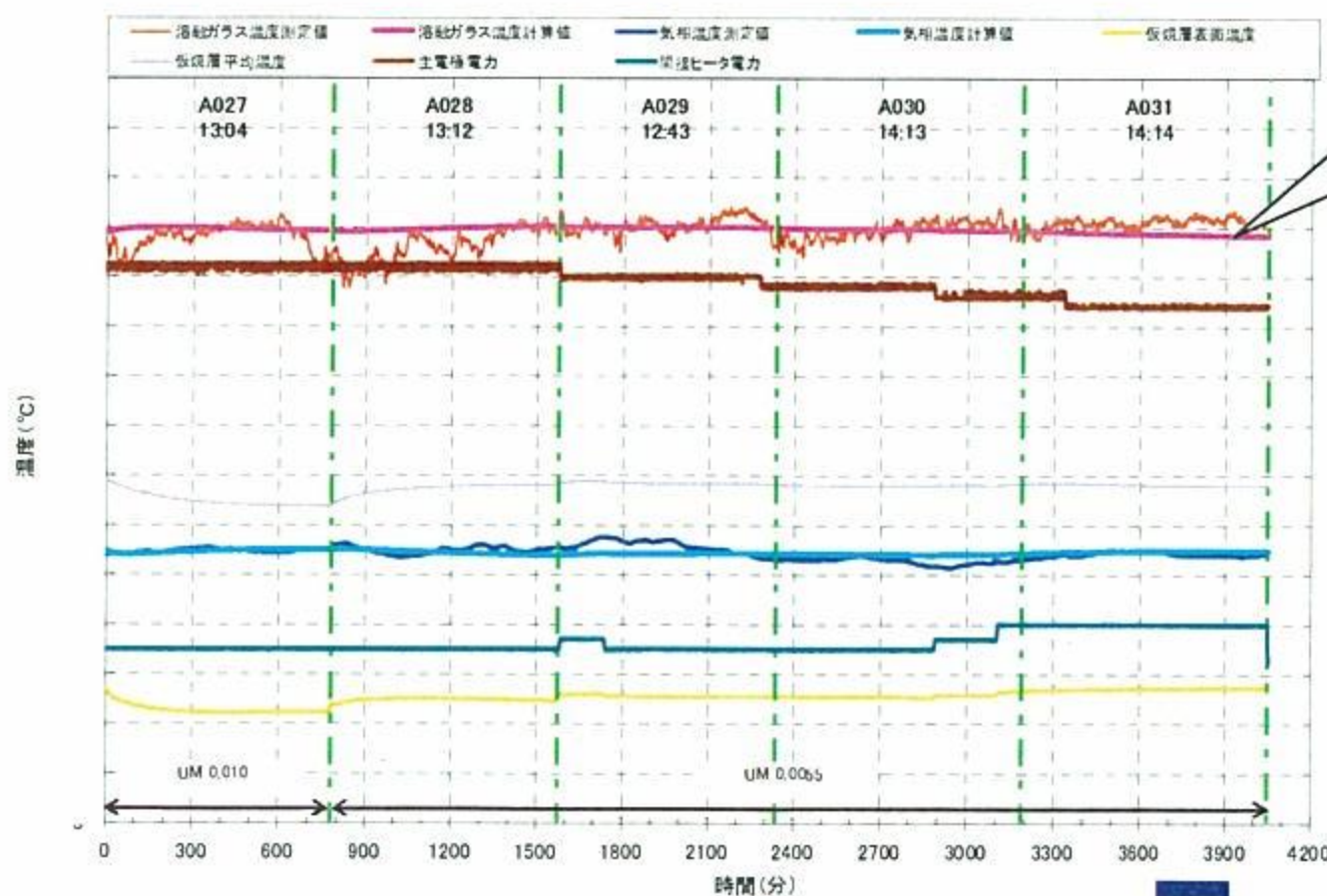
- ・ 供給廃液の廃棄物濃度の計画に基づき、関係者の情報連絡方法を改善し、確実に廃棄物濃度変動を考慮した熱バランス計算を実施することで、計算精度を向上する。



混合槽切り替え時の廃棄物濃度の推移

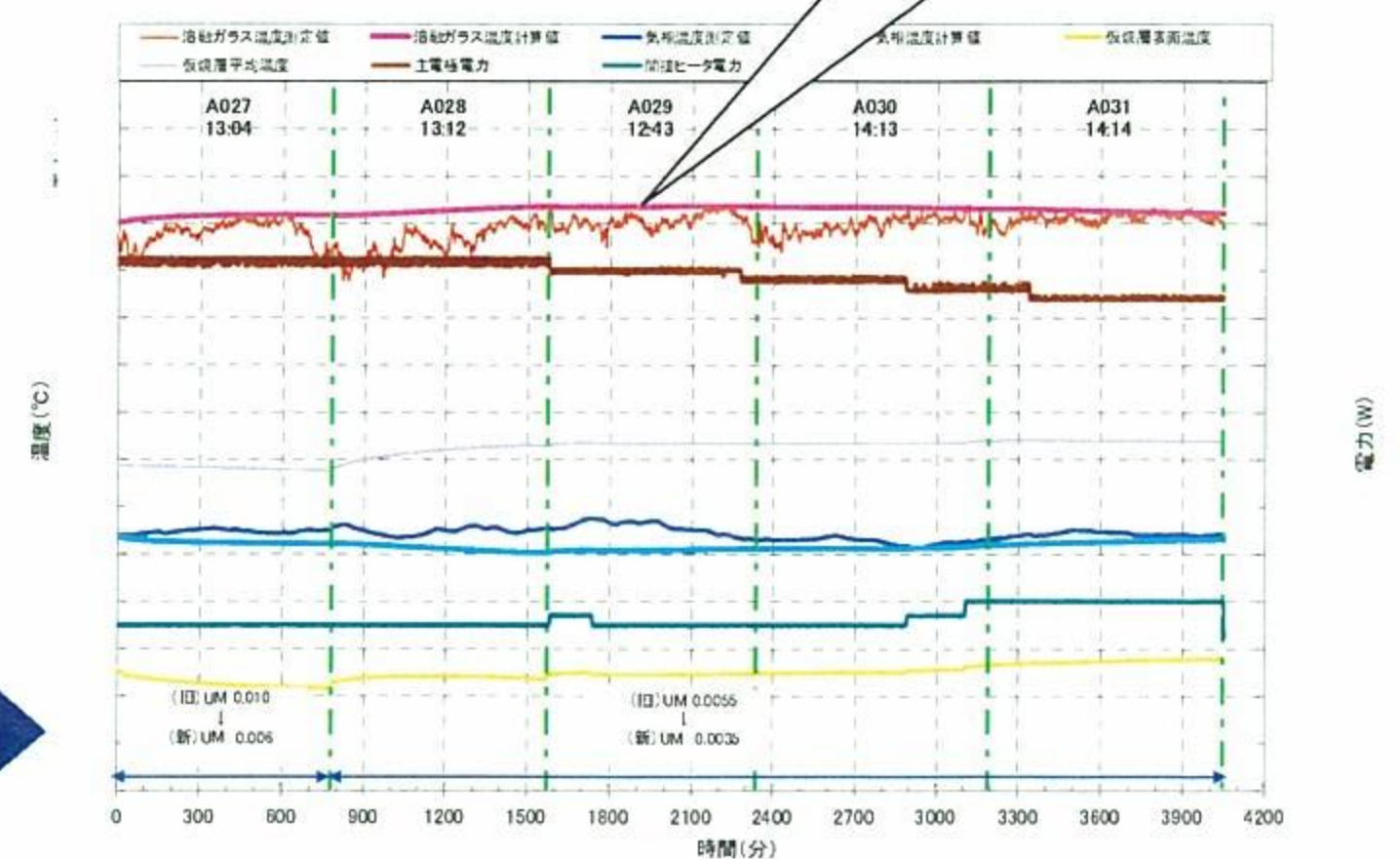
第5ステップ運転実績に基づく原因究明 (問題点に対する対策案)

- ・ 熱バランス計算における運転データのトレースは、変動するガラス温度の最大値に合わせて実施するとともに、運転実績をもとに不溶解残渣を含む廃液に対する熔融定数を設定する。

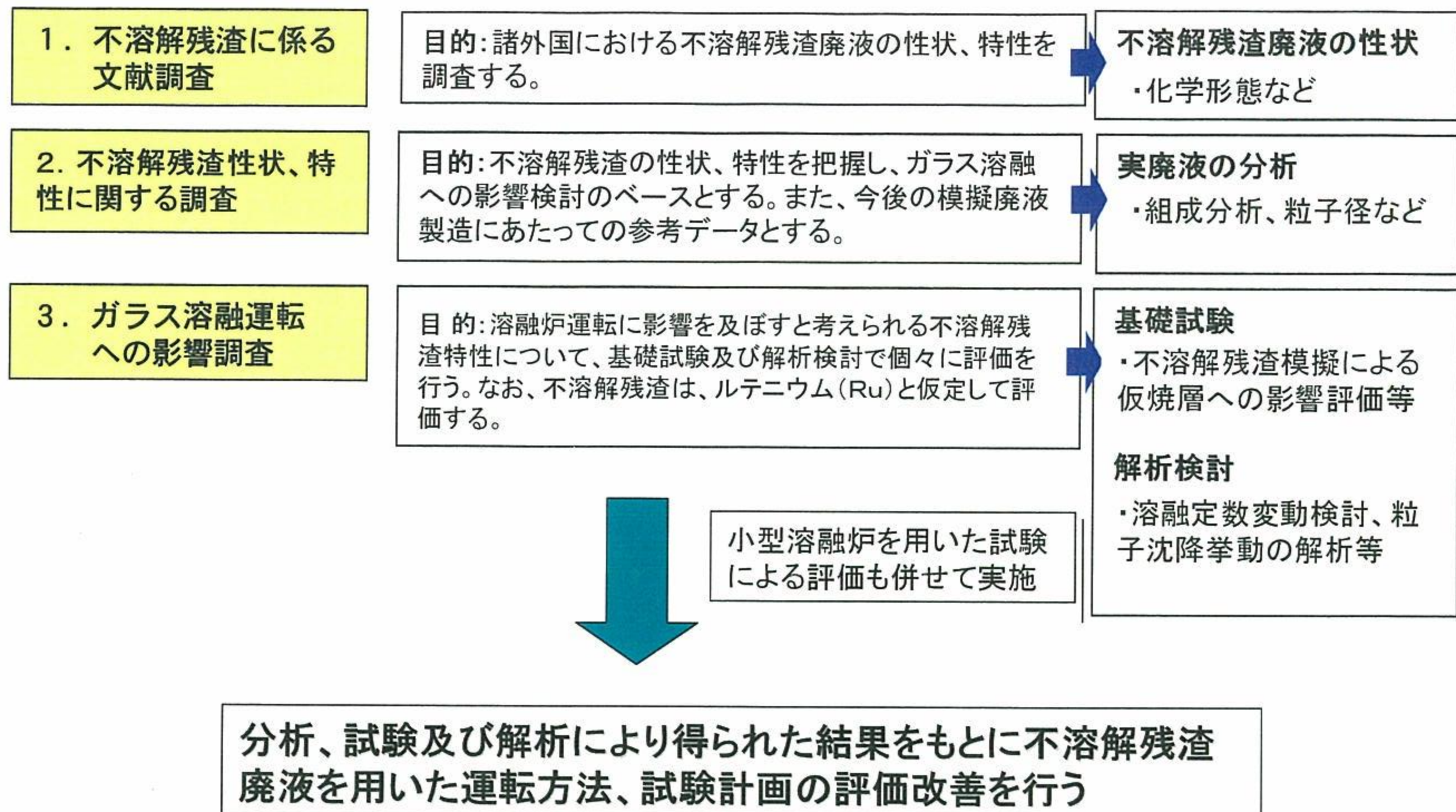


平均値をトレース
線部

最大値をトレース
線部



不溶解残渣廃液に対する調査



4. かくはん棒の曲がり及びガラス溶融炉天井レンガの一部損傷に関する調査状況

A032以降の回復運転において確認されていた事実

バッチ番号	運転内容	当時確認された事実等
A032～A034	模擬ガラスビーズによる洗浄運転	
A035～A036	炉底攪拌（曲棒）	
A037～A040	模擬ガラスビーズによる洗浄運転	負圧維持用オリフィスの開不調発生により洗浄運転に変更
A041	炉底攪拌（曲棒）	負圧維持用オリフィスを交換（約14日間気相部を高温保持）
A042～A044	炉底攪拌（直棒）	直棒（2号機※1）を使用し計画通りの操作ができなかった。（A042） ※1：アクティブ試験第4ステップから使用していた直棒（1号機）から棒の太さを一部太くするなどの改良を行った直棒
		直棒（1号機）を使用し計画通りの操作ができなかった。（A043）
		直棒（2号機）におもり治具を設置して攪拌操作を実施した。（A044）
A045～A048	炉内ガラスレベル低下	流下性が悪い状態であった（流下ノズルから流下ガラスの流れる速度が速くならない）

 確認されていた事実等の整理
 （A042～A044における直棒による攪拌操作について）

【A042 直棒による攪拌操作】

アクティブ試験第4ステップから使用していた直棒（1号機）から棒の太さを一部太くするなどの改良を行った直棒（2号機）を使用し、一度は流下ノズルまで貫通したが、2回目以降は底部電極中央穴に完全には挿入できなかった。

⇒攪拌操作の前に実施した直棒による底部電極上の清掃操作によって直棒（2号機）が変形した可能性があると考えA043では直棒（1号機）を使用することとした。

【A043 直棒による攪拌操作】

直棒（1号機）での操作を行ったが、A042同様に底部電極中央穴に完全に挿入できなかった。

⇒底部電極中央穴に挿入できない理由として直棒が湾曲していることも要因として考えられたため、直棒の鉛直確認を行い、真っ直ぐであることが確認された直棒（2号機）を使用して再度操作を行うこととした。（1号機は多少湾曲していた）

⇒さらに、底部電極中央穴に挿入できない理由として白金族元素等の沈降により炉底部のガラス粘性が高くなっている可能性が考えられたことから、粘性高による抵抗よりも強い力により押すことにより底部電極中央穴への挿入が可能になると考え、おもり治具（約4.5kg）を設置して攪拌（貫通）操作を行うこととした。（荷重評価を行ったうえでおもり治具を設置することとした。）

【A044 直棒による攪拌操作】

直棒（2号機）におもり治具を設置したことにより直棒の先端が底部電極上面より10mm下と推定できる位置まで下降したものの、おもり治具を上下させてもそれ以上深く挿入することが出来なかった。

⇒白金族元素等の沈降により炉底部のガラス粘性が高くなっているのであれば、さらに力を加えれば直棒が挿入できると考え、貫通力を補助するために直棒の上からパワーマニピュレータで押す操作を行った。

確認されていた事実等の整理 (A044における直棒による攪拌操作について)

【おもり設置に対する評価】

直棒におもりを付けて攪拌操作を実施する前におもりの重量評価を実施した。
直棒の全長がガラス温度の温度条件下にさらされているという評価では約50kgで、ガラスに浸っている長さのみがガラス温度の温度条件下にさらされているという評価(気相部はガラス温度よりも低い)では約200kgで座屈(棒が曲がる)するという結果であり、**実際の状態では約50kgと約200kgとの間の荷重で座屈するものと考え、おもりを約45kgとした。**

【パワーマニピュレータによる押し付けに対する評価】

おもりを付けた状態で攪拌操作を実施したが、予定通りの操作が実施できないため、さらに貫通を補助するという
ことでパワーマニピュレータで押した。
この際パワーマニピュレータで掛けられる荷重は30kg程度と評価(パワーマニピュレータの可搬重量と同じと考えた)し、この荷重をおもりの重量に加えて掛けても直棒が座屈する荷重には至らないと考えた。
⇒**パワーマニピュレータには荷重計が設置されていないことから正確に荷重が図れないことや座屈する荷重評価が荷重が垂直に掛かったことを想定しているのに対し遠隔操作によるパワーマニピュレータでは真っ直ぐに荷重を掛けることが難しいことを考慮していなかった。**

事象発生後に評価実施

【評価により確認された事実】

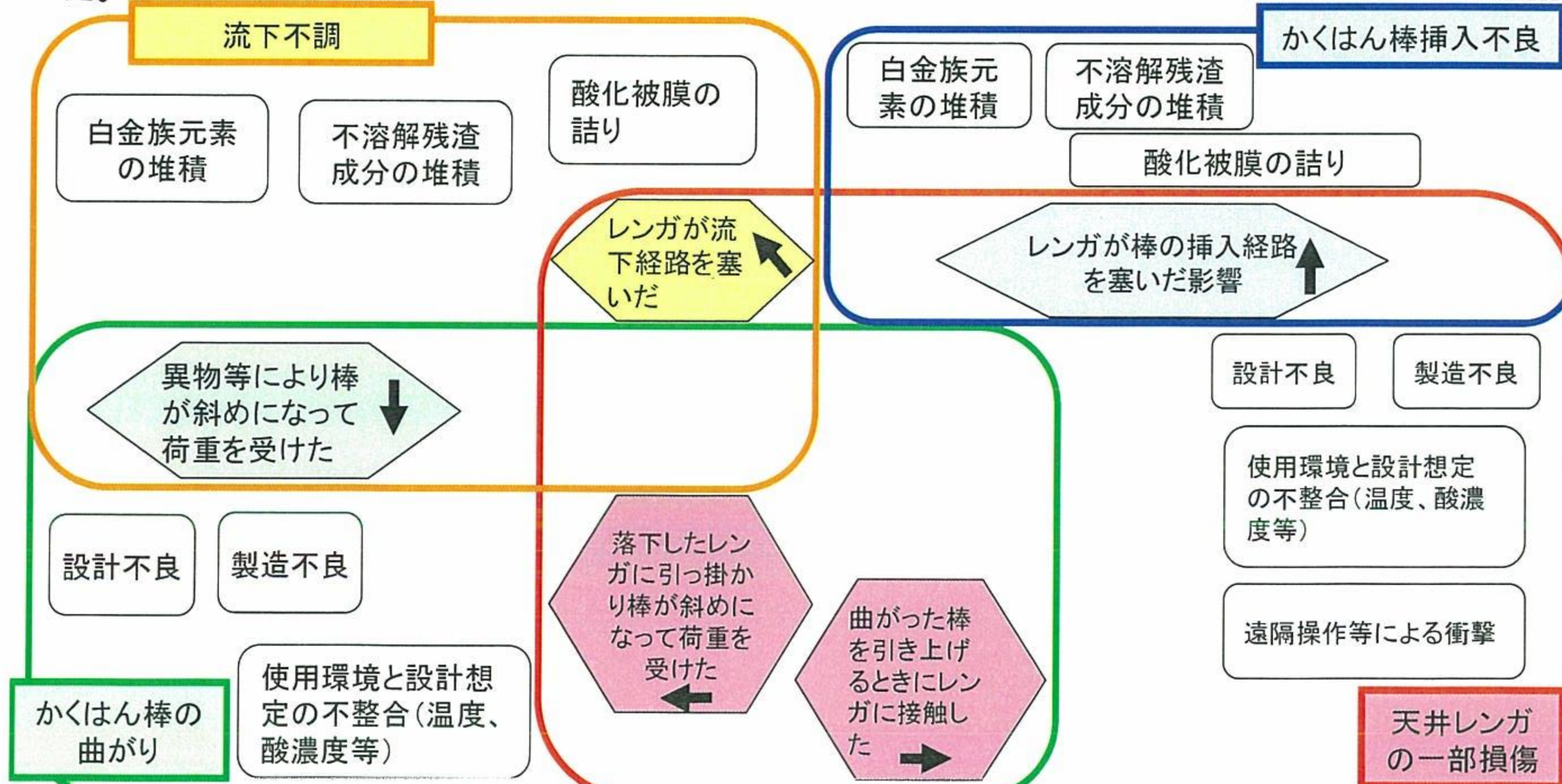
- ・パワーマニピュレータによる荷重測定を行った結果、約40kgであることが確認された。
- ・パワーマニピュレータで斜めに直棒に荷重を掛けた状態でさらにおもりの荷重をかけると直棒は座屈することが確認された。(計算で評価)

原因究明 (天井レンガの一部損傷等に対する原因究明)

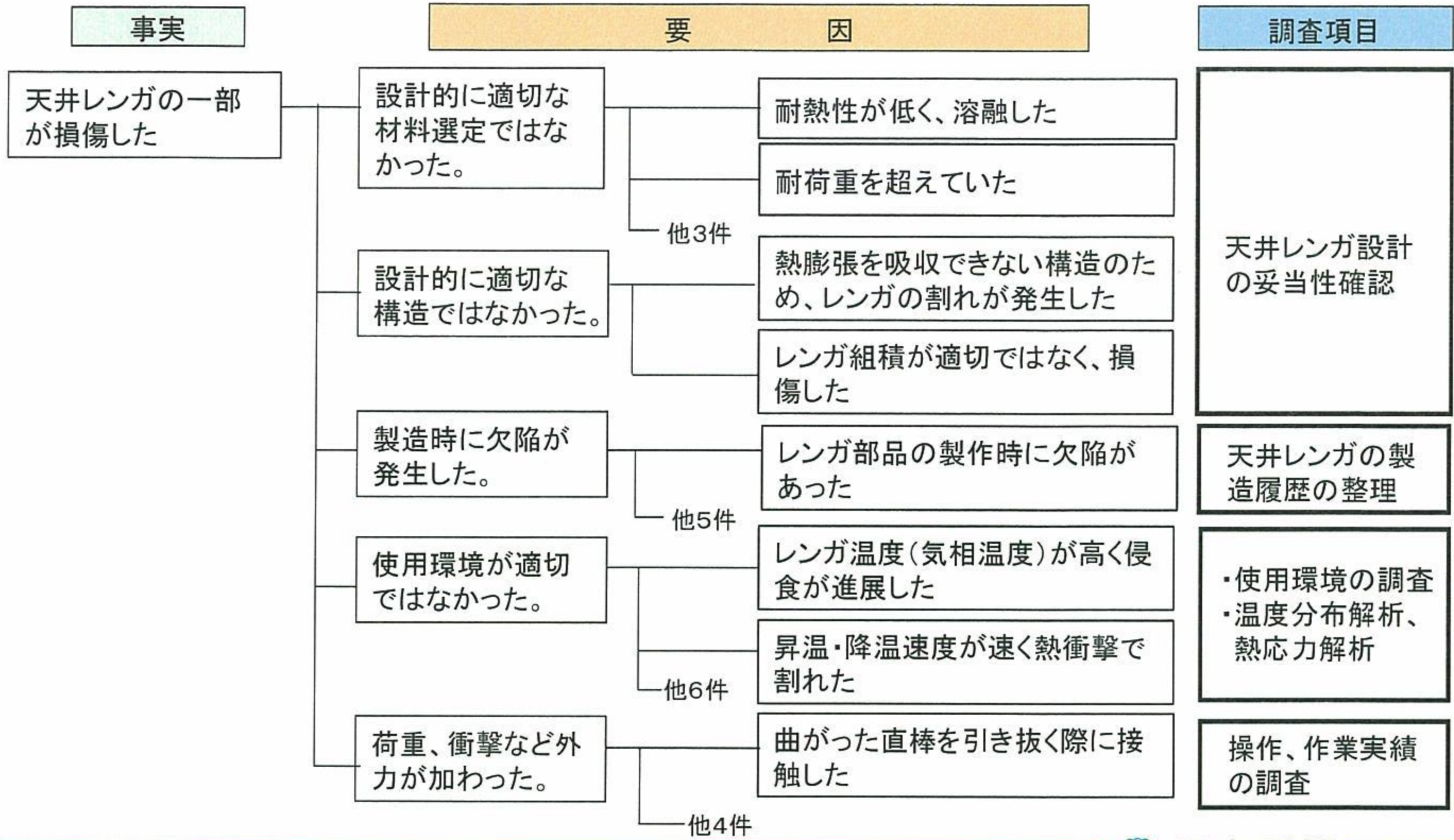
確認された事実が因果関係がある場合と単独事象として発生する場合を想定し、考えられる要因を洗い出し整理した。

単独事象として想定される要因

因果関係のある事象として想定される要因



原因究明 (天井レンガの一部損傷に対する原因究明)

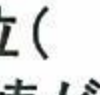


原因究明 (天井レンガの一部損傷に対する原因究明の状況)

項目	実施内容	進捗状況
(1) 天井レンガ設計の妥当性確認	レンガ材料の選定、レンガ組積構造の妥当性について確認する。	材料選定時のデータ等に基づき、ガラス溶融炉としての使用環境における耐食性、耐熱性を考慮して材料選定しており、構造的・熱的・機械的スポーリングに優れた材料であることを確認した。
(2) 天井レンガの製造履歴の整理	レンガの製造、加工、築炉、輸送、保管、補修等の履歴を整理する。	製造記録等から製造時の検査結果等に問題がないことを確認した。
(3) 使用環境の調査	温度、昇温・降温速度、酸濃度等の使用環境を調査する。	現在調査を実施中
(4) 温度分布解析、熱応力解析	間接加熱装置の温度上昇又は下降によるレンガの温度勾配により局部的に応力が発生した可能性が考えられるため、温度分布解析、熱応力解析を実施し確認する。	現在解析を実施中
(5) 操作、作業実績の調査	ガラス溶融炉に対する遠隔操作、炉底攪拌操作等の外的要因による影響を確認する。	現在調査を実施中

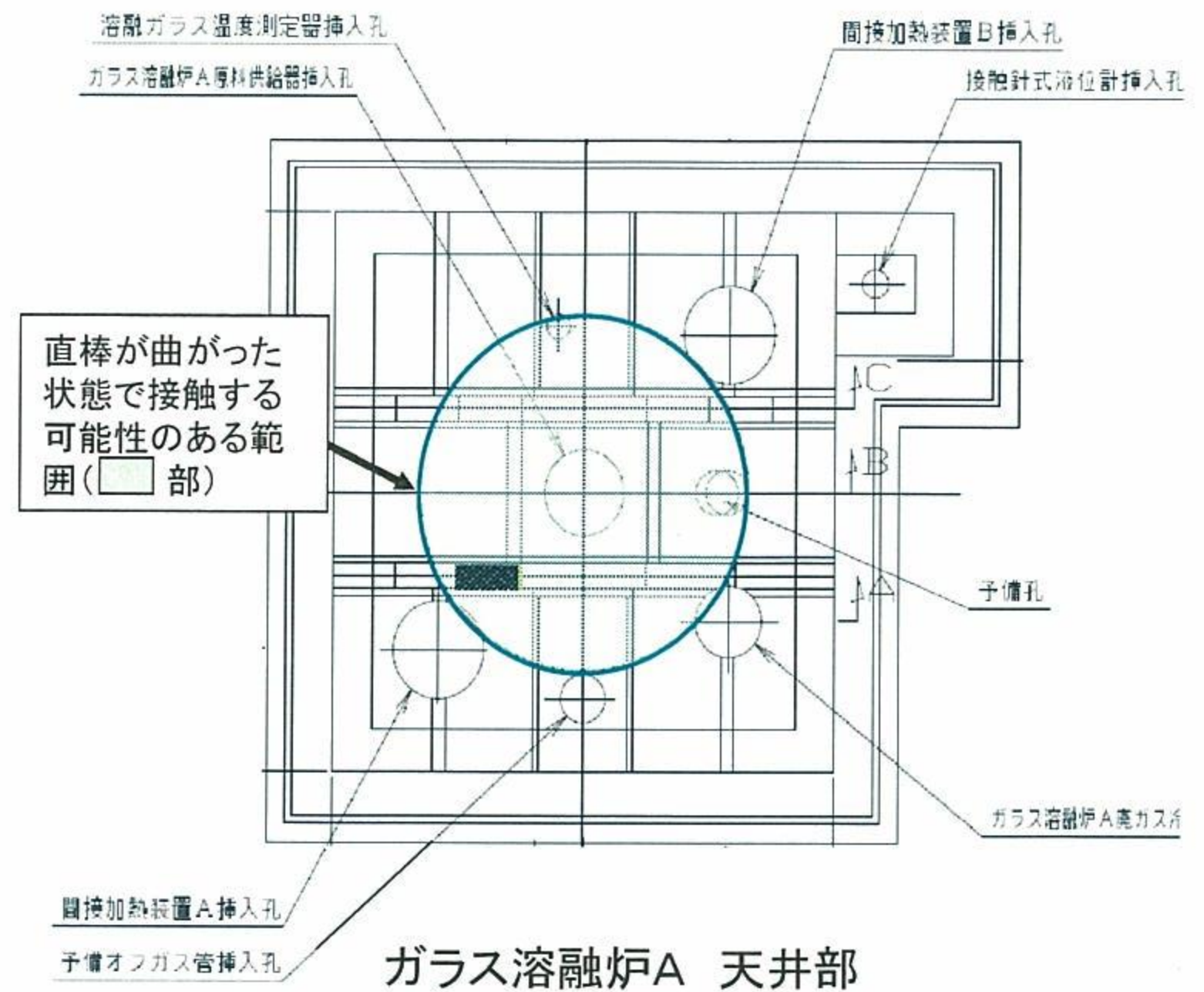
また、当社ガラス溶融炉と同規模の東海に設置されたモックアップ設備(KMOC) の天井レンガの調査として、天井レンガに対する打音検査、超音波探傷検査等を実施し、レンガが落下するような兆候は確認されなかった。

原因究明 (調査状況：操作、作業実績の調査)

曲がったかくはん棒が接触する可能性のある天井レンガは右図における水色部のおりであり、欠損した部位()についても、かくはん棒が接触する可能性のある範囲に含まれることが分かった。



棒を引き抜く際に発生する応力評価も含めて原因となる可能性について分析を行う。



原因究明 (レンガの落下時期の推定に関する調査)

天井レンガの落下した原因究明として、レンガの落下時期を推定するための調査を行うこととした。

【調査項目等】

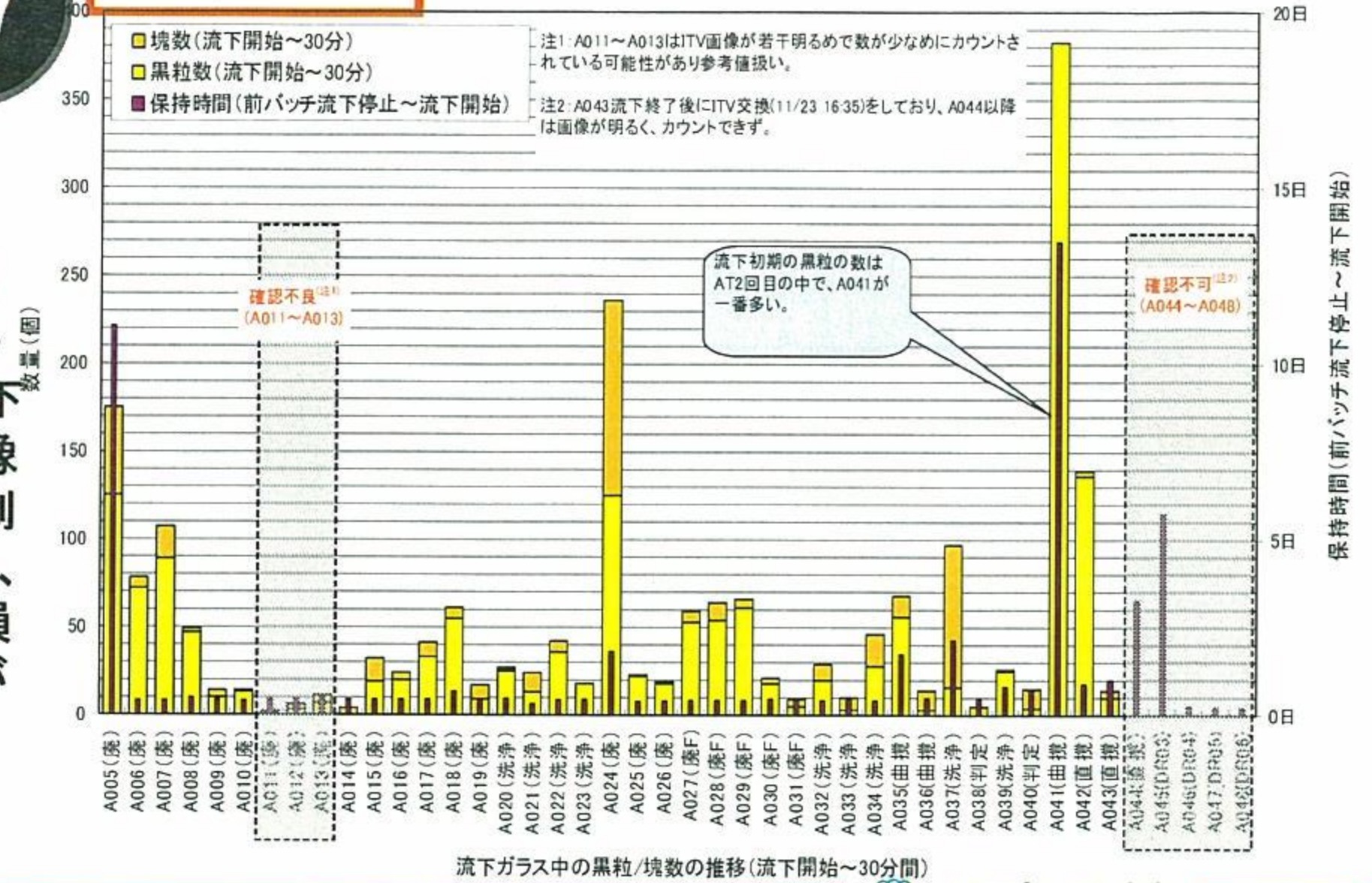
項目	実施内容	進捗状況
(1) 流下画像の調査	流下状態監視映像における流下ガラス中の異物等のデータを整理する。	流下ガラス中の黒粒の量増加等の変化点が確認された。
(2) 運転データの調査	運転パラメータ（温度データ、電極間抵抗データ、流下性データ等）の異常な変化を整理する	抵抗の変化や、炉底の温度上昇等の変化点が確認された。

流下画像の調査の評価を行うため、異物混入による流下状態確認試験（るつぼ試験）を実施し、流下ガラス中にレンガ小片や金属粒子が混入した場合の流下ガラス中の異物の見え方を観察した。試験の結果、流下の映像からレンガ小片と金属粒子の区別が困難であることがわかった。

原因究明 (天井レンガ落下時期の推定に関する調査状況等)



異物混入による流下状態確認試験(るつぼ試験)では、ガラスにレンガ小片と金属粒子を混ぜて流下状態を確認した結果、流下の映像からレンガ小片と金属粒子の区別が困難であることがわかっており、右図のデータだけではレンガの損傷時期との関係を説明することが難しい。



流下ガラス中の黒粒/塊数の推移(流下開始~30分間)

原因究明 (天井レンガ落下時期の推定に関する調査状況等)

運転データの調査として、通常運転において取得しているデータのうち、天井レンガが落下した場合に影響が現れると考えられる炉底部に関連するデータについて第5ステップの運転における変化の有無を確認することとした。(下表は、調査項目の例と観察されている事実を記載)

項目	状態変化が見られる可能性	観察事象	観察バッチ
流下画像中の異物等	白金族元素の炉底部への堆積やレンガの落下などにより、流下ガラス中に異物のようなものが確認される可能性がある。	・流下ガラス中に見られる黒い粒子や塊状の流れが流下初期の30分計測ではA005, A024, A041, A042が多かった。	A005 A024 A041 A042
補助電極-底部電極間抵抗のA/Bバランス	導電率の小さいものが、炉底部に沈降した場合、抵抗値に変化を与える可能性がある。	・A041の保持中に補助電極-底部電極間抵抗のA/Bバランスが逆転した。	A041
炉底部温度の変化	白金族元素の炉底部への堆積やレンガの落下などにより電流パスが変化して加熱部位が変化することで温度が変化する可能性がある。	・A024の冒頭に炉底温度上昇があった。 ・A041では温度低下があった。	A024 A041

運転データや流下画像の調査により確認された結果と要因分析に基づく調査結果等を踏まえて天井レンガが損傷した原因究明を実施していく。

今後の予定

- 固化セル内の洗浄作業終了後、結合装置等の設備を復旧し、ガラス溶融炉の熱上げを行い、落下した天井レンガを回収するとともに、溶融炉内のガラスを抜き出す。
- 回収したレンガの観察及びガラスを抜き出した後の溶融炉内の観察を行う。
- 温度分布解析等の解析結果と回収したレンガの状況観察及びガラスを抜き出した後の溶融炉内の観察結果を踏まえ、天井レンガの一部が損傷した原因、再発防止対策等を取り纏める。

5. 固化セル内における高レベル廃液の 滴下及び再滴下