

2. 要因に対する対策の検討

- 要因に対する対策について、要求事項である「安定した運転状態を維持するための対策」と「長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策」の項目に分類し検討することとした。
- 「安定した運転状態を維持するための対策」としては、安定した仮焼層の形成をすることであり、これを行うことにより白金族元素の急激な沈降を抑制する効果が得られ、あわせて低粘性流体の発生も抑制することができることから、「Ⅰ．仮焼層の形成が不十分・不安定であった要因」及び「Ⅲ．低粘性流体が発生した要因」への対策を検討することがこれに該当する。
- 「長期的に運転状態を維持する（白金族元素の影響を考慮）ための対策」としては、白金族元素の管理に関するものであることから、「Ⅱ．白金族元素が沈降・堆積した要因」への対策を検討することがこれに該当する。

要因に対する対策の検討フロー

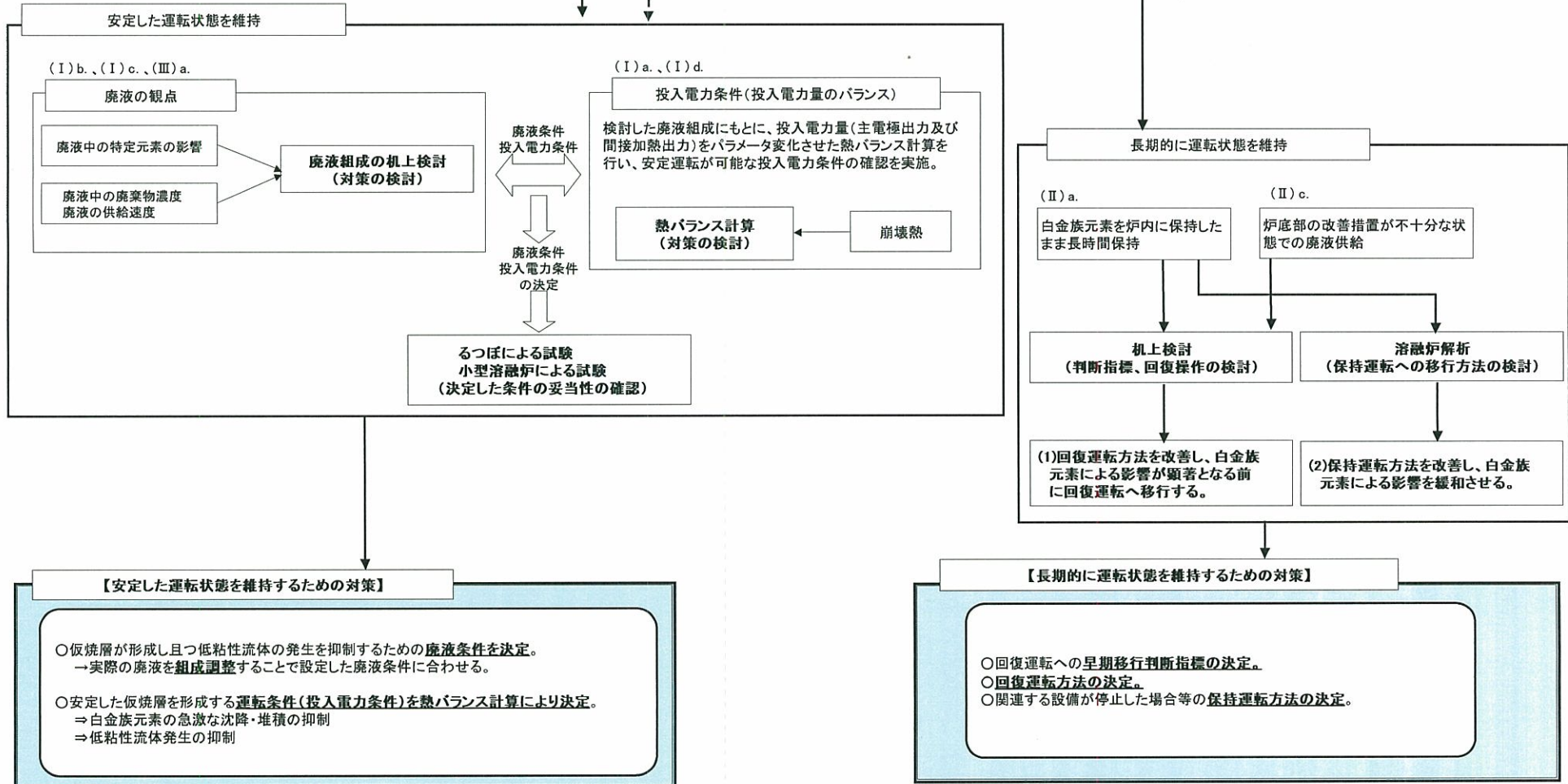
要因に対する対策の検討

【要因分析の結果】

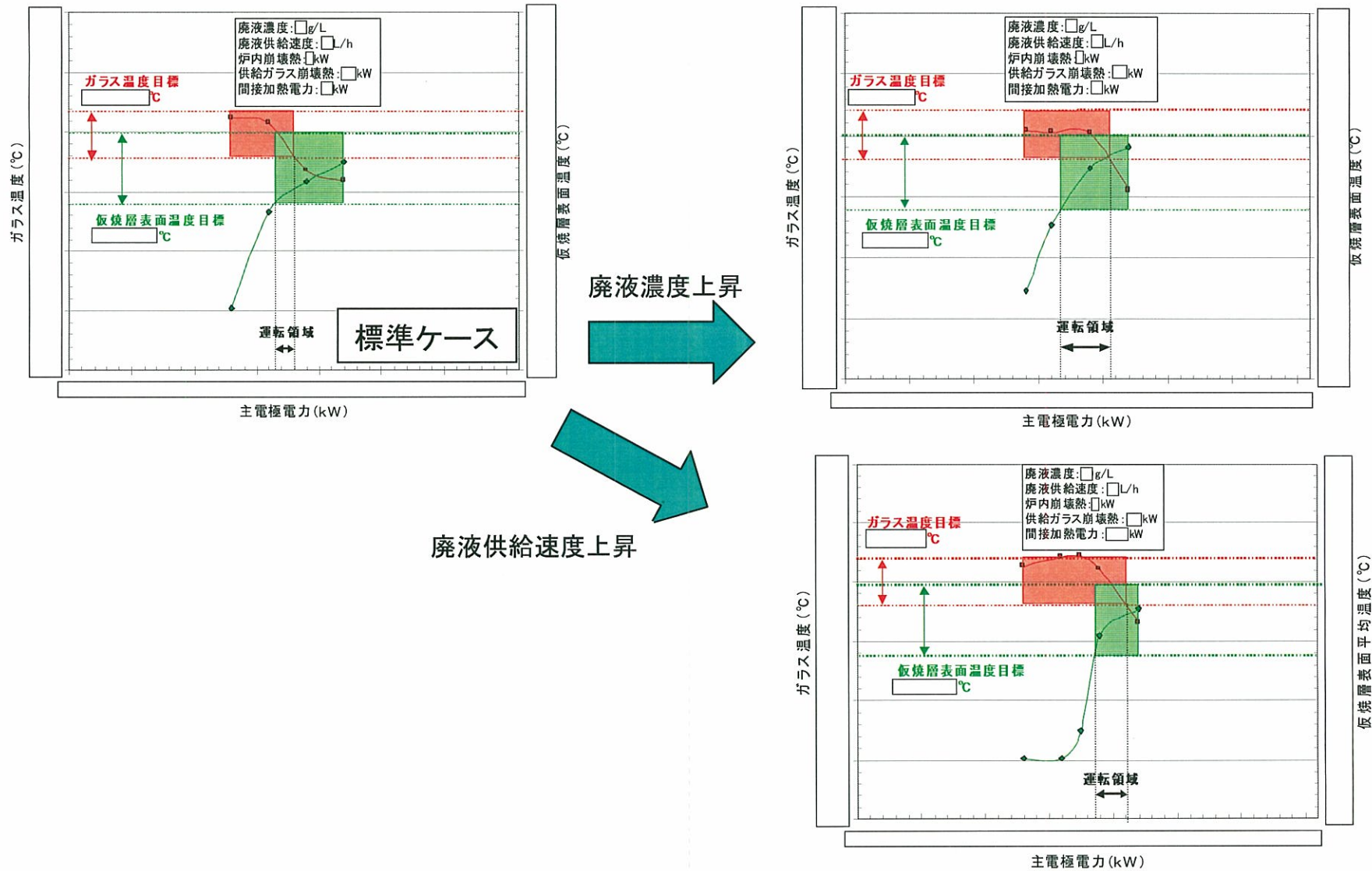
- (I)「仮焼層の形成が不十分・不安定であった」要因
- a. 崩壊熱
 - b. 廃液中の特定元素の影響
 - c. 廃液中の廃棄物濃度
 - d. 投入電力量のバランス

- (II)「白金族元素が沈降・堆積した」要因
- a. 白金族元素を炉内に保持したまま長時間保持
 - b. 仮焼層の溶け込み⇒(I)の要因と同じ
 - c. 炉底部の改善措置が不十分な状態での廃液供給
 - d. 溶融ガラス温度の変動⇒(I)の要因と同じ

- (III)「低粘性流体が発生した」要因
- a. 廃液成分の特定元素(硫黄成分等)の影響
 - b. 仮焼層が不安定であった⇒(I)の要因と同じ

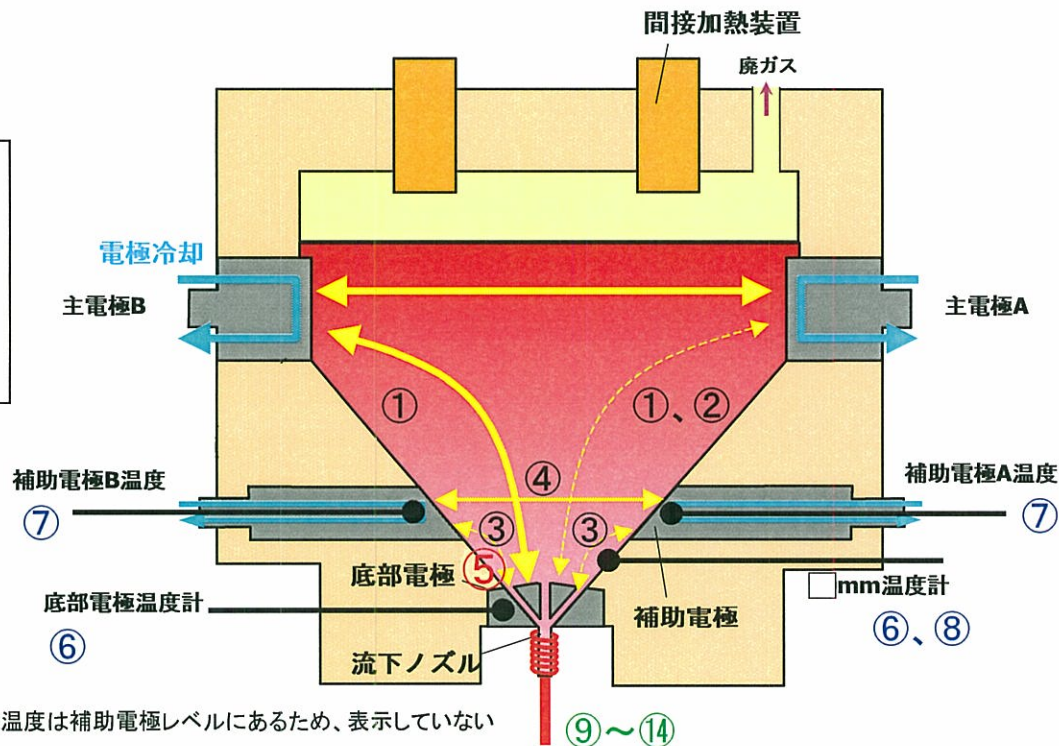


安定領域を広げるための対策検討：廃液濃度及び供給速度の影響（熱バランス計算）



運転監視項目

- 抵抗に係わる指標
- ①主-底間抵抗
 - ②主A/B-底間抵抗差
 - ③補A/B-底間抵抗差
 - ④主底通電時の補助間抵抗の変動



- 炉底加熱性に係わる指標
- ⑤主底間通電開始から底部電極温度の設定値到達までの時間

- 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

- 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A、Bの昇温速度差
 - ⑧□mm温度と□mm温度の昇温性の推移

回復運転への移行判断指標の検討

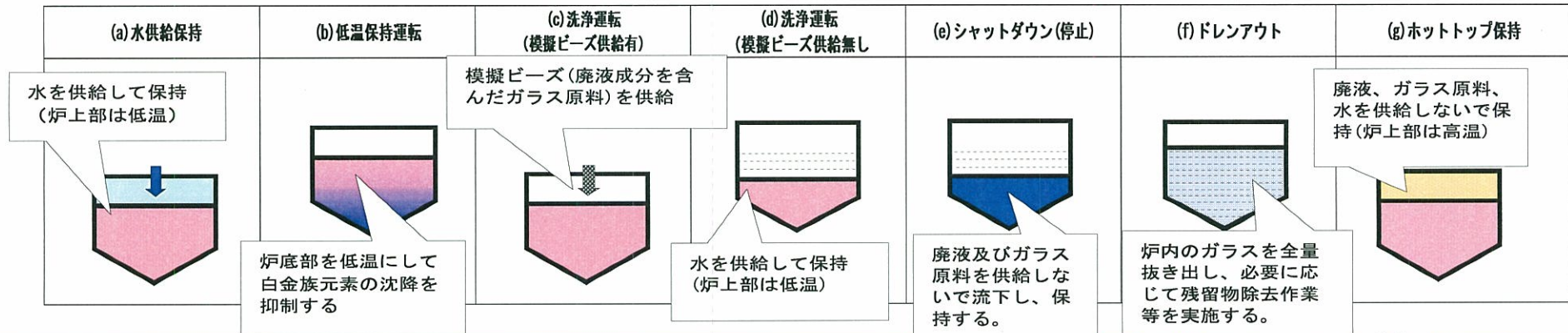
目的	分類	項目	概要	予兆	判断指標	監視	判断指標を外れた場合の措置	参考(前回 AT)
炉底部の状態監視 (白金族元素の堆積防止)	抵抗	①主-底間抵抗	白金族元素が炉底部に堆積してくると主底間抵抗値が低下するため、この低下傾向を確認し、堆積状態を把握する。	200A時: <input type="text"/> Ω 最小抵抗値: <input type="text"/> Ω 低下又は回復傾向を把握する。	200A時: <input type="text"/> Ω	温度の影響を考慮する。	洗浄運転	<input type="text"/> Ω
		②主A/B-底間抵抗差	主 A, 主 B での抵抗値の違いを比較することにより、堆積が進行している部分(方向)を推定できる。	主 A/B の抵抗の差及び温度に対する抵抗値の傾きを把握する。	—	主 A/B の抵抗の差が小さいことを確認する。 温度に対する抵抗値の傾きを確認する。	抵抗の高い方で主底間通電を行う。 補-底間抵抗と併せて措置する。	—
		③補A/B-底間抵抗差	補助 A, 補助 B での抵抗値の違いを比較することにより、堆積が進行している部分(方向)を推定できる	補 A/B の抵抗の差及び温度に対する抵抗値の傾きを把握する。	—	補 A/B の抵抗の差が小さいことを確認する。 <input type="text"/> mm 温度に対する抵抗値の傾きを確認する。	洗浄運転(炉底部高温型) 炉底攪拌	補 A/B の差が小さいこと
		④主底通電時の補助電極間抵抗の変動	補助電極と底部電極の間に導電性の堆積物が存在している場合は、主底間通電を実施することにより補助電極間抵抗値が変動する。	主底間通電時に急激な変動(上昇等)がみられないこと		—	洗浄運転(炉底部高温型) 炉底攪拌	—
	炉底加熱性	⑤主底開始から底部電極温度の設定値到達までの時間	白金族元素が炉底部に堆積した場合は主底間電流が白金族堆積部に迂回し、抵抗値の低下による電力量の低下又は発熱部の乱れにより、底部電極の昇温性が低下する。	<input type="text"/> 時間 <input type="text"/> 分を超えないこと	<input type="text"/> 時間を超えないこと	昇温速度が低下していないこと	底部電極冷却低減 洗浄運転 [炉底攪拌]	<input type="text"/> 時間
	炉底加熱時の昇温性	⑥底部電極温度と <input type="text"/> mm 温度の昇温比 (白金族元素堆積指標)	白金族元素が炉底部に堆積した場合に主底間電流の白金族堆積部への迂回により、発熱部位に偏りが生じ、底部電極に対する <input type="text"/> mm 温度計の昇温性が低下する。	<input type="text"/> 以下	<input type="text"/> 以下	低下傾向でないことを確認する。	洗浄運転	<input type="text"/> 以下
		⑦補助 A, B 温度の上昇差	白金族元素の堆積が補助電極 A 又は B 側に偏っている場合に炉底加熱時の昇温性に違いが生じる。	継続して補助 A/B の昇温量に差がみられないこと		—	洗浄運転(炉底部高温型) 炉底攪拌	—
		⑧ <input type="text"/> mm 温度と <input type="text"/> mm 温度の昇温性の推移	白金族元素が炉底部に堆積した場合、炉底加熱時の発熱部位に偏りが生じ、 <input type="text"/> mm 及び <input type="text"/> mm の昇温性に違いが生じる。	<input type="text"/> mm 温度の上昇が鈍り、 <input type="text"/> mm 温度が上昇傾向に無いこと	—	<input type="text"/> mm 温度昇温量の低下が無いこと	洗浄運転	—
	流下性	⑨50kg/h 到達時間	炉底部の白金族元素濃度が高くなると流下ガラスの粘性が高くなることから流下速度が低下する。底部電極付近におけるガラス粘性の評価指標とする。	<input type="text"/> 分を超えない	<input type="text"/> 分を超えない	閉塞状態ではないことを確認する。	全段加熱時の底部電極温度上昇 洗浄運転	<input type="text"/> 分を超えない
		⑩100kg/h 到達時間	炉底部の白金族元素濃度が高くなると流下ガラスの粘性が高くなることから流下速度が低下する。	<input type="text"/> 分を超えない	<input type="text"/> 時間を超えない	炉底部の温度が適切であること	炉底部の温度を上昇させる	—
		⑪50~100kg/h 到達時の底部電極温度	ガラス粘性が上昇すると所定の流下速度を得るための温度も上昇するため、所定流速に対する底部電極温度からガラスの粘度状態を把握する。	50kg/h: <input type="text"/> °C 100kg/h: <input type="text"/> °C	50kg/h: <input type="text"/> °C 100kg/h: <input type="text"/> °C	流下速度と底部電極温度の関係を確認する。	全段加熱時の底部電極温度上昇 洗浄運転	—
		⑫流下所要時間	白金族元素が堆積し、流下性を阻害している場合は流下全体に影響を与える。	<input type="text"/> 時間を超えない	<input type="text"/> 時間を超えない	炉底部の温度が適切であること	洗浄運転	<input type="text"/> 時間
	偏流防止	⑬20kg/h 到達時間	粘性の高い物質が炉底部に溜まることにより、流下初期の流下性が低下する。	<input type="text"/> 分を超えない	<input type="text"/> 分を超えない	前回までの流下と比較する。	全段加熱時の底部電極温度上昇 洗浄運転(炉底部高温型) [炉底攪拌]	—
		⑭流下重量 10kg 到達時間	炉底部ガラスの粘性が高くなると流下速度が遅く、特に流下初期での流下速度が遅い場合には偏流の発生が懸念される。	<input type="text"/> 分を超えない	<input type="text"/> 分を超えない	偏流の有無を確認する。	—	—

回復運転方法の検討

目的	ガラス溶融炉Aにおける回復運転等に関する実績	回復運転方法案	分析結果	採否	採用した回復運転方法
洗浄運転 ・炉内白金族元素保有量を低下させる。	・アクティブ試験において洗浄運転(模擬ビーズ供給あり)、洗浄運転(模擬ビーズ供給なし)の実績がある。	洗浄運転(模擬ビーズ供給あり) (模擬ビーズを供給し、ガラス流下を実施して、炉内白金族元素保有量を低下させる。)	・洗浄運転(模擬ビーズ供給なし)については炉上部の温度が高く廃ガス処理系への負荷が大きい。 ・KMOC等により洗浄運転により炉内白金族元素保有量を低下させた実績はあるが、希釈による回復効果は低い。	○	洗浄運転によって効果が得られるように、早い段階で実施する。洗浄運転では、2 バッチ目において白金族元素の抜き出し量が大きくなることから、2 バッチは確実に実施する。また、炉底冷却も 2 バッチは実施する。洗浄運転(模擬ビーズ供給なし)については廃ガス処理系への負荷が大きいため、なるべく実施しない。
		洗浄運転(模擬ビーズ供給なし) (廃液供給を停止し、ガラス流下を実施して、炉内白金族元素保有量を低下させる。)	・低模擬廃液を溶融炉に直接供給できる供給設備がない。	×	
上記洗浄運転時のオプション ・炉底加熱時間を短縮する。 ・炉底加熱時間を短縮する。 ・炉底部を加熱する。 ・炉底部を加熱する。 ・白金族元素の抜き出しを促進する。	・アクティブ試験において、流下後に底部電極冷却を停止させた実績がある。 ・アクティブ試験において、主-底電極間電流を□A まで上昇させた実績がある。 ・アクティブ試験において、主-底電極間通電時間を延長した実績がある。 ・炉底高温流下(補助電極間通電の実施)はアクティブ試験、KMOC、化学試験における実績なし。 ・炉底高温流下(補底間通電の実施)はアクティブ試験、KMOC、化学試験における実績なし。 ・A029、A030 で低流速流下を実施したが白金族元素抜き出し効果を確認することはできなかった。 ・KMOC で 2 回分割流下を実施したが、回復効果は確認できなかった。	流下後の底部電極冷却停止 (流下後に炉底部を冷却しないことにより炉底加熱時間を短縮する。)	・炉底部を冷却しないことにより、次回流下時に白金族元素の抜き出し性が向上すると考えられる。 ・溶融炉解析によって、炉底部への白金族元素の堆積量は大きく変わらないことを確認した。	○	回復運転時のオプションとして採用する。適用は炉内白金族元素保有量が低下する洗浄運転 3 バッチ目以降とする。
		主-底電極間電流上昇 (炉底加熱時に主底電極間電流を上昇させ、炉底加熱時間を短縮する、または、炉底部を加熱する。)	・炉底加熱時間短縮効果はアクティブ試験で確認されている。 ・炉底をより加熱することにより、流下性の向上と白金族元素の抜き出し性が向上すると考えられる。	○	回復運転時のオプションとして採用する。適用は炉内白金族元素保有量が低下する洗浄運転 3 バッチ目以降とする。主-底電極間電流の上昇は運転実績に基づき□A を上限とする。廃液供給運転中は、回復運転への判断評価のため、200A に制限する。
		炉底高温流下 (主底加熱時間を延長することにより炉底加熱時間を短縮する、または、炉底部を加熱する。)	・主底間通電によって、炉底部温度を上昇させた場合、炉底部の白金族元素の抜き出し性が向上すると考えられる。 ・但し、炉底加熱時間が長くなると白金族元素沈降が促進されるため、炉内白金族元素保有量が低下した上で適用する必要がある。	○	回復運転時のオプションとして採用する。適用は炉内白金族元素保有量が低下する洗浄運転 3 バッチ目以降とする。
		炉底高温流下 (補助電極間通電を実施することにより、炉底部を加熱する。)	・補助電極通電によって炉底部温度を上昇させた場合、炉底部の白金族元素の抜き出し性が向上すると考えられる。	○	回復運転時のオプションとして採用する。適用は炉内白金族元素保有量が低下する洗浄運転 3 バッチ目以降とする。炉底部温度を過度に上昇させた場合、流下重量の制御が困難となるため、炉底部の温度上昇範囲、流下制御の詳細について検討する。適用は洗浄運転 3 バッチ目以降とする。
		炉底高温流下 (補底間通電を実施することにより、炉底部を加熱する。)	・炉底部に白金族元素が堆積していた場合、白金族元素堆積部に電流が集中して白金族元素の金属化、電極の溶損、白金族元素の堆積促進の可能性がある。	×	
		低流速流下 (スリット内に残留した白金族元素濃度の高いガラスの抜き出し促進を行う。)	・KMOC等での低流速流下を実施した実績はあるが、白金族元素抜き出し効果は確認できなかった。	×	
洗浄運転で回復しない場合の措置 ・白金族元素の抜き出しを促進する。 ・主-底電極間抵抗及び白金族元素堆積指標を回復する。	・A032 における炉底攪拌(曲棒型)では、堆積した部位を攪拌することで回復効果が確認された。	直棒型炉底攪拌 (流下ノズルの閉塞を解除し、流下性を回復させる。中央ノズルを塞ぎ、スリット部の残留物の抜き出しを促進する。)	・遠隔による炉底攪拌を実証できたが、KMOC や化学試験で実施した手動による炉底攪拌より回復効果は低かった。 ・曲棒型によって底部電極に掻き集めた白金族元素を直棒型によって抜き出しを促進する。	○	2 バッチ以上の洗浄運転後に炉底攪拌を実施する。ノズル閉塞、流下性低下及び曲棒型使用時に実施する。炉底攪拌実施後、洗浄運転によって効果を確認する。
		曲棒型炉底攪拌 (後線部及び炉底炉壁部を攪拌し、白金族元素抜き出しを促進し、主-底電極間抵抗及び白金族元素堆積指標を回復させる。)	・炉底攪拌後は、回復効果を洗浄運転によって確認する必要がある。	○	2 バッチ以上の洗浄運転後に炉底攪拌を実施する。攪拌前には抵抗測定等によって、堆積部位の推定及び洗浄運転を実施する。炉底攪拌実施後、洗浄運転によって効果を確認する。
炉底攪拌で回復しない場合の措置 ・炉内白金族元素をほぼ全量抜き出す。	・炉底攪拌装置を設置してドレンアウトを実施したため、炉内へのインリク量が増加し、炉内温度低下により炉底部残留ガラス量が多くなった。	ドレンアウト (炉内白金族元素を抜き出し、必要に応じて、ドレンアウト後の洗浄運転、残留物除去作業を実施し、回復を図る。)	・ドレンアウト時は、炉上部の温度が上昇するため、廃ガス処理系への負荷が大きい。 ・ドレンアウトによって、ガラス固化体が 11 本余分に発生する。	○	ドレンアウト前に直棒及び曲棒を用いた炉底攪拌を行い、炉内白金族元素保有量を低減させ、流下性を回復させた後に炉底攪拌装置を設置せずにドレンアウトを実施する。

保持運転方法の検討

目的	ガラス溶融炉Aにおける長時間保持等に関する実績	分析結果	採否	次回運転方法	移行判断基準
(a) 水供給保持 (ガラス溶融炉に原料を供給しないで水を供給する運転方法)	・ 仮焼層をできるだけ維持できること。 ・ 廃液供給再開準備ができること。	・ 廃液供給停止が必要な事象発生時において水供給保持を実施し、事象が復旧した場合は廃液供給を再開し、事象が回復しない場合はシャットダウン等へ移行した。	○	・ 一時的に廃液供給の停止が必要な事象が発生した場合に実施し、廃液供給再開まで炉内状況を維持する。 ・ 保持運転から廃液供給を再開する場合に実施し、炉内を廃液供給可能な状態に移行させる。	・ 廃液供給停止が必要な事象が発生した場合 ・ 廃液供給開始準備が必要な場合
(b) 低温保持運転 (ガラス溶融炉を低い温度で維持する運転方法)	・ 流下できない場合に保持できること。	・ 溶接機故障発生時にはシャットダウン後ではあるが、低温保持運転を実施し8日間保持した。	○	・ 溶接機故障発生時等のガラス流下を行うことが不可能な状態で保持する必要がある場合には、主電極間電力及び補助電極冷却空気流量を調整して炉内温度を低い状態とし、炉内白金族元素の沈降・堆積を可能な限り抑制する。	・ 流下不可能な事象が発生した場合
(c) 洗浄運転 (模擬ビーズ供給あり) (ガラス溶融炉に模擬ビーズを供給・流下を繰り返す運転方法)	・ 炉内白金族元素保有量を低減させること。	・ 炉底攪拌効果の確認のために洗浄運転を実施した。 ・ 流下性及び炉底部加熱性が大きく低下してから洗浄運転を実施しても流下性及び炉底部加熱性を回復させることはできなかった。 ・ 洗浄運転移行時には補助電極冷却空気流量をすぐに低下させた。	○	・ 洗浄運転は流下性低下等の予兆が確認された場合にはなるべく早期に実施する。 ・ 洗浄運転 (模擬ビーズ供給) を行う場合には、1バッチ目より2バッチ目の方が白金族元素の抽出量が多くなるため、洗浄運転による抜き出しは2バッチまでは必ず実施し、3バッチで回復効果を確認する。 ・ 洗浄運転の1,2バッチは炉内白金族元素保有量が多いため炉底低温運転を継続する。3バッチは1,2バッチの流下状況に応じて対応する。 ・ 洗浄運転においてはすぐにホットトップに移行せず、可能な限り水供給により仮焼層の溶け込みを抑制する。	・ 事象発生等により6時間*1経過しても廃液供給が再開できない場合
(d) 洗浄運転 (模擬ビーズ供給なし) (ガラス溶融炉に廃液及びガラス原料を供給しない状態で流下を行い、一時保持する運転方法)	・ 炉内白金族元素保有量を低減させること。	・ 炉底攪拌前、固化体取扱工程事象発生時に洗浄運転 (模擬ビーズ供給なし) を実施した。 ・ 洗浄運転 (模擬ビーズ供給なし) 実施に伴い、廃ガス処理系のミストフィルタの差圧が上昇した。	○	・ 炉内白金族元素保有量を低減させることはできたが、白金族元素温度が高い状態では、洗浄運転を実施しても改善効果は小さい。 ・ 洗浄運転 (模擬ビーズ供給なし) は炉上部の温度が高く、廃ガス処理系への負担が大きい。	・ ビーズ供給設備で事象が発生し、6時間*1経過しても復旧しない場合
(e) シャットダウン (停止) (ガラス溶融炉に廃液及びガラス原料を供給しない状態で数バッチ流下を行い、停止する運転方法)	・ 炉内にガラスを保持した状態で停止できること。	・ アクティブ試験における実績はなし。(ただし、KMO C及び化学試験における実績はある。)	○	・ シャットダウン-1,2バッチは炉内白金族元素保有量が多いため炉底低温運転を継続する。3バッチは1,2バッチの流下状況に応じて対応する。 ・ シャットダウン-1においてはすぐにホットトップに移行せず、可能な限り水供給により仮焼層の溶け込みを抑制する。	・ 事象の復旧に30日*2以上必要と判断された場合
(f) ドレンアウト (停止) (ガラス溶融炉に原料を供給しないで炉内のガラスを全量抜き出し停止する運転方法)	・ 炉内全量の白金族元素を抜き出せること。	・ 攪拌装置を設置した状態でドレンアウトを実施した結果、最終バッチ終了後に炉内にガラスが残留した。	○	・ 攪拌装置を設置した状態でドレンアウトを実施した場合、ガラス溶融炉内への流入空気量が増加することにより、ガラス溶融炉の温度が低下する。これにより最終バッチ終了後の炉内残留ガラス量が多くなった。	・ 炉底攪拌後に改善不能と判断された場合 ・ 事象の復旧に30日*2以上必要と判断された場合
(g) ホットトップ保持 (ガラス溶融炉に原料や水を供給しないで高温のまま保持する運転方法)	・ 炉底攪拌時など仮焼層を溶かし込めること。	・ 炉底攪拌前にホットトップ保持を実施した結果、流下性が低下した。 ・ ホットトップ保持は、炉上部の温度が高く、廃ガス処理系のミストフィルタの差圧が上昇した。	○	・ 炉内の白金族元素バランスを崩す可能性があり、また、廃ガス処理系への負荷を低減させるため、ホットトップ保持は炉底攪拌前等の必要な場合のみに限定する。	・ 炉底攪拌時など仮焼層を溶かし込むことが必要な場合



要因に対する対策の検討フロー

