

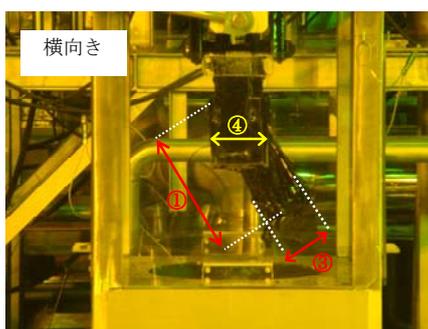
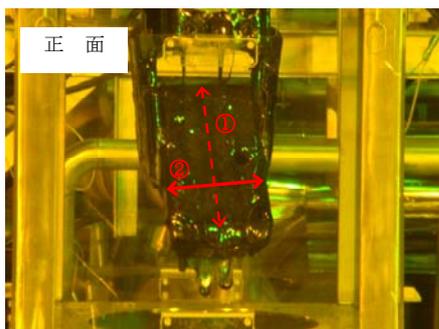
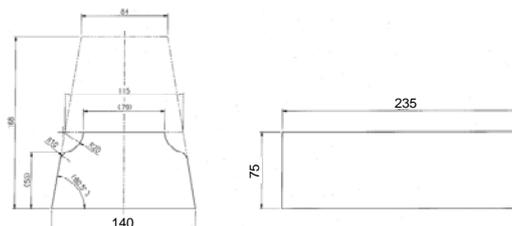
次に、高い熱応力を発生させた原因となっている間接加熱装置の温度降下実績について、運転履歴によりその理由を調査した。その結果、熱応力を発生させる間接加熱装置の温度降下は、化学試験において試験特有の操作を実施したものや、当社のガラス溶融炉特有かつ運転中のインターロックによる停止が原因であったことが分かった。

時期	温度降下の理由	回数
化学試験	ガラス溶融炉運転中の電極間の絶縁抵抗を測定するため、間接加熱装置を手動で停止した	6回
化学試験	高模擬廃液供給運転から模擬ビーズ供給運転へ移行させるため、間接加熱装置を手動で停止した	1回
化学試験	間接加熱装置温度を一定に制御するモードとなるべきところが、手動モードとなっていたため、間接加熱装置温度が降下した	1回
アクティブ試験	ガラス液位高高警報が発報したため、間接加熱装置を手動で停止した	3回

以上から、熱応力を発生させる間接加熱装置の温度降下は、化学試験において試験特有の操作を実施したものや、当社のガラス溶融炉特有かつ運転中のインターロックによる停止が原因であったことが分かった。

5. 3 回収したレンガの観察

回収したレンガを観察した結果、レンガはガラスに覆われているものの、回収治具の把持板の寸法及びモックアップ試験実績との比較から、損傷部位がほぼそのままの形状で損傷しているとした推定どおりの寸法・形状で天井レンガが損傷していたことを確認した。



- 【寸法測定結果】
- ① 長さ：約 24 cm
 - ② 幅：約 14 cm
 - ③ 高さ：約 8 cm

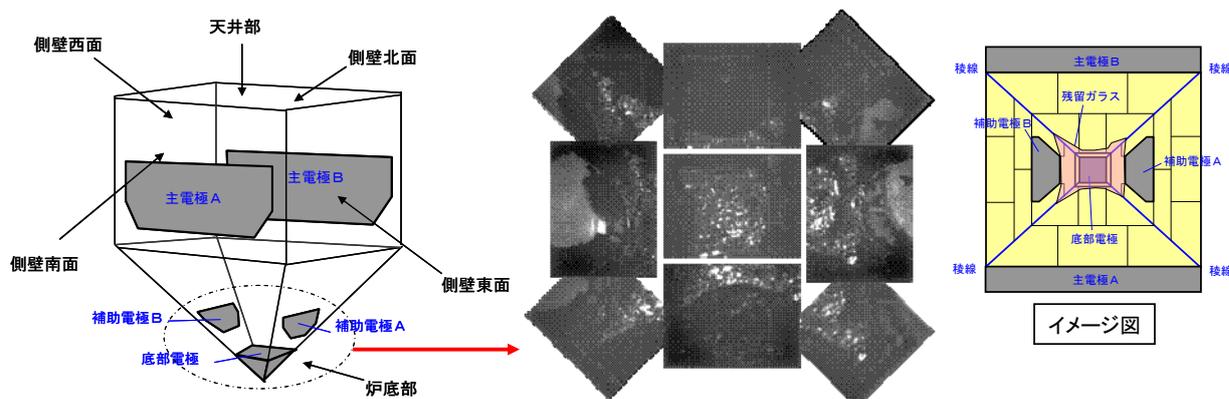
5. 4 ドレンアウト後の溶融炉内の観察

ドレンアウト、放冷を行った後、保守治具入口シャッタ及び間接加熱装置を取り外し、保守治具入口シャッタを取り外した原料供給器管台及び間接加熱装置管台に、ITVカメラを設置し、ガラス溶融炉内の観察を行った。

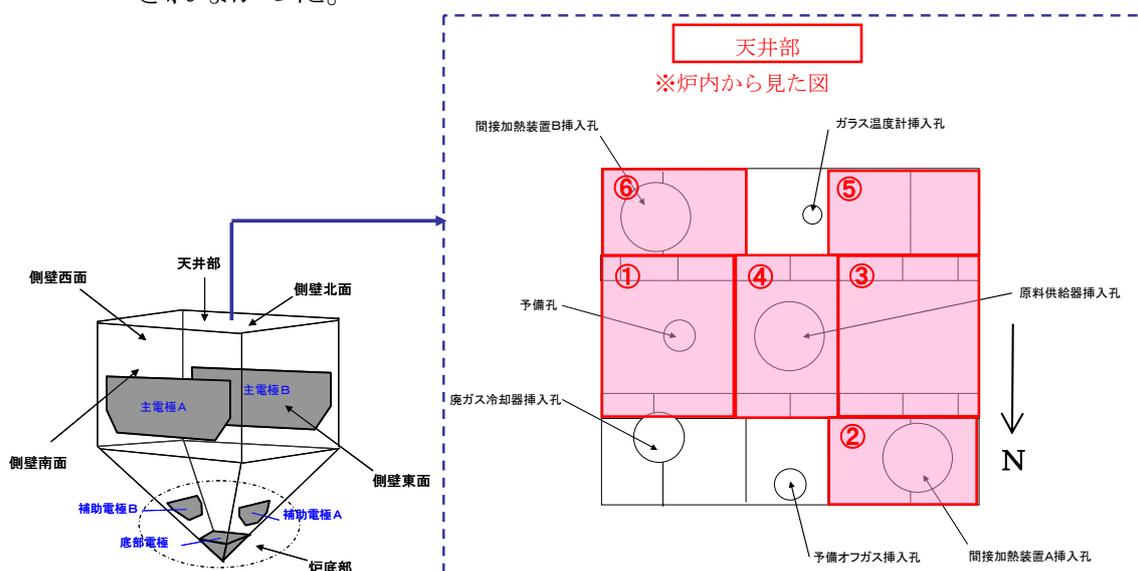
観察の範囲については、天井部、側壁部、炉底部とし、ドレンアウトの状況、損傷したレンガ以外に損傷が無いこと及びかくはん棒による損傷が無いこと等を確認した。

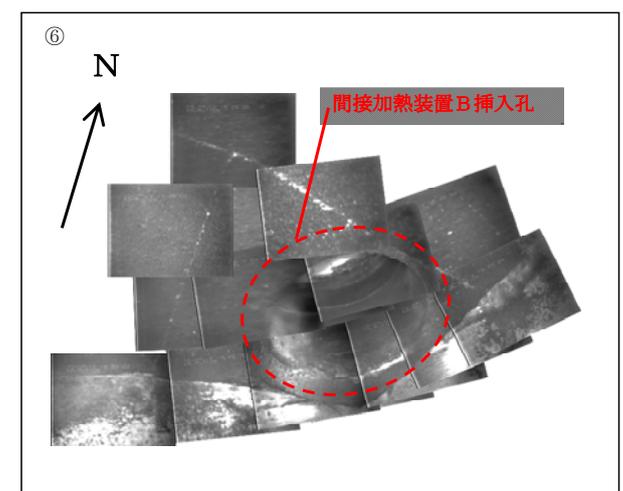
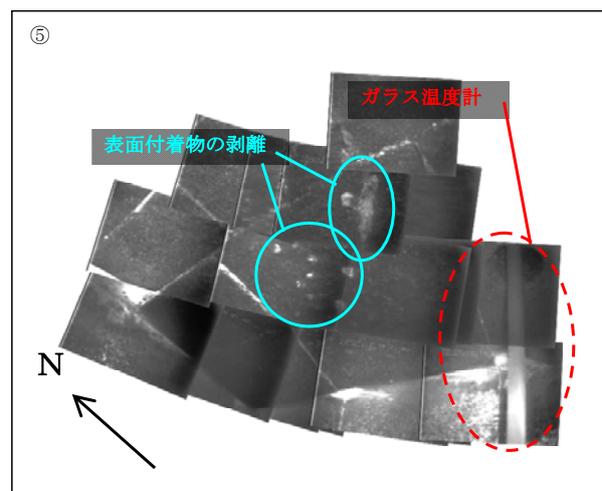
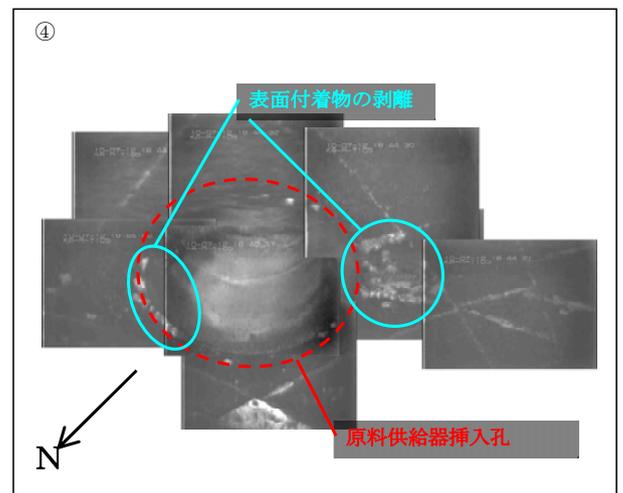
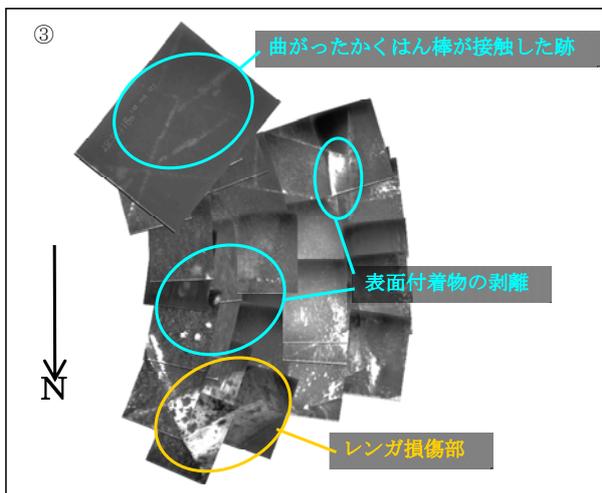
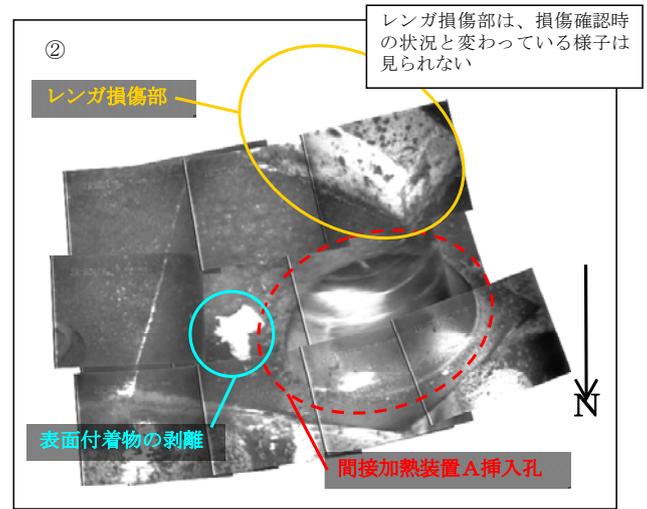
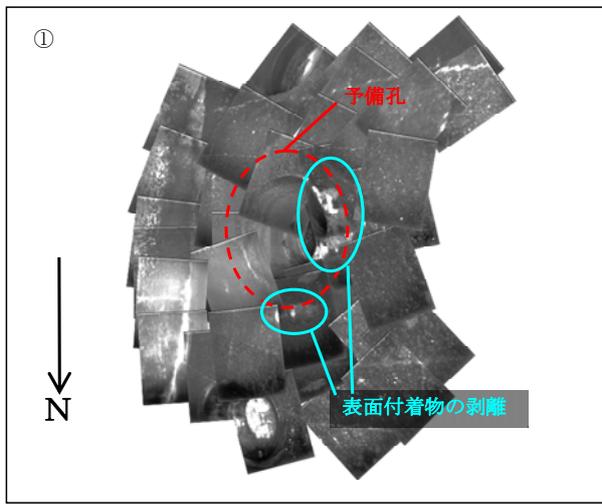
観察の結果は、以下のとおりであった。

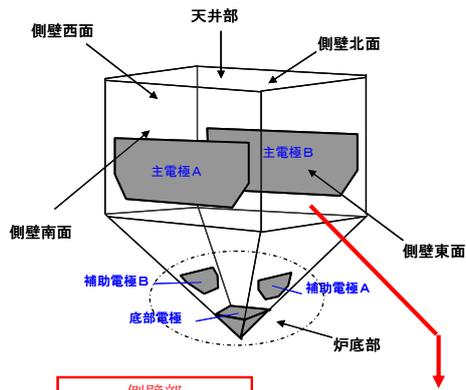
- ・ 底部電極表面及び稜線部にガラスが残留している状態であり、過去のドレンアウト後のガラス残留状況と比較しほぼ同等の状況であることから、ドレンアウトとしては良好な結果であった。



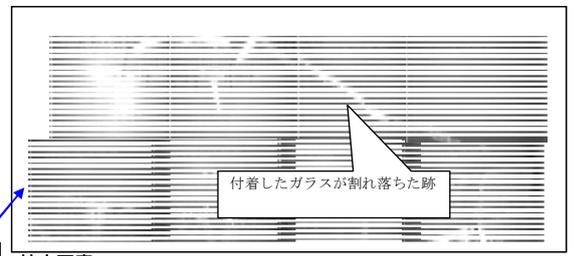
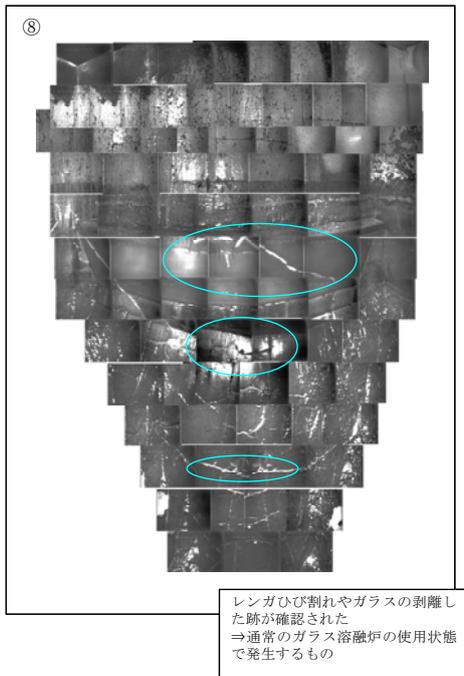
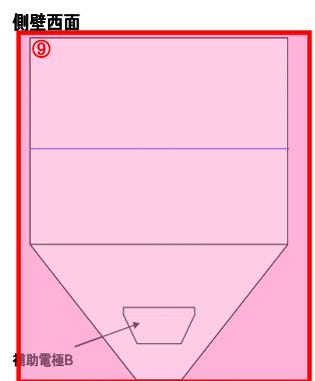
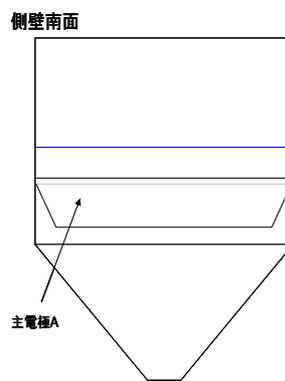
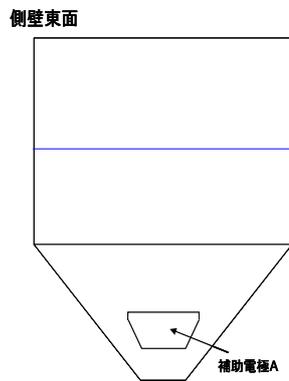
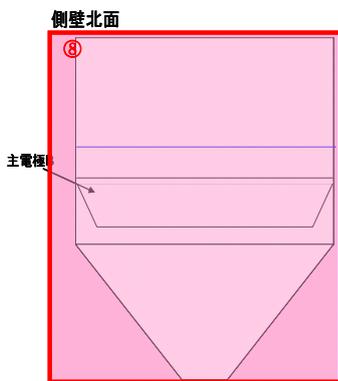
- ・ 天井レンガ、側壁レンガ、炉底部レンガについては、損傷したレンガ以外に損傷は確認されなかった。また、かくはん棒による損傷は確認されなかった。



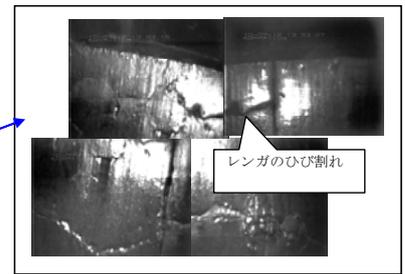




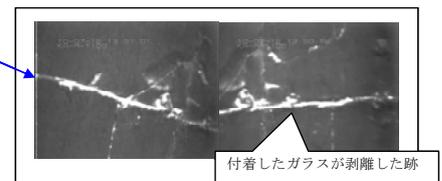
側壁部



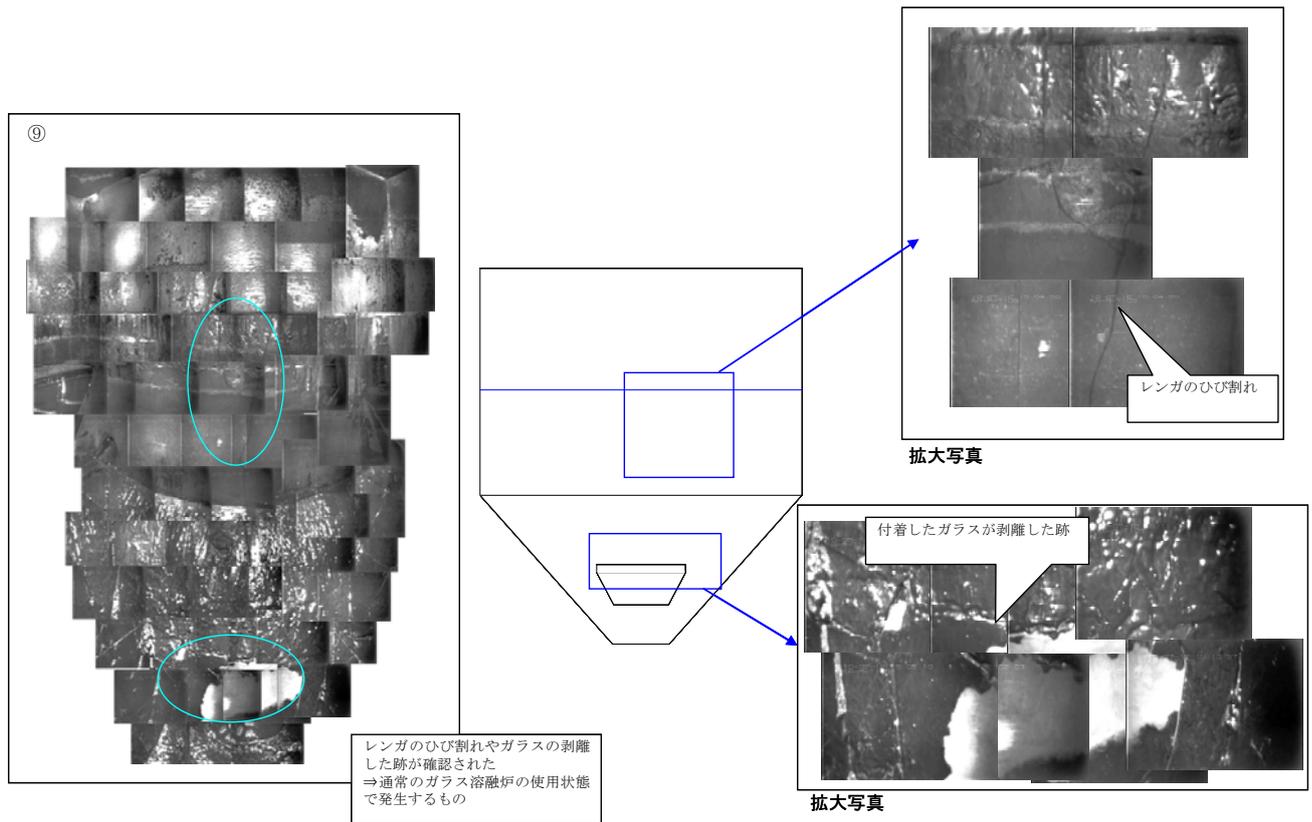
拡大写真



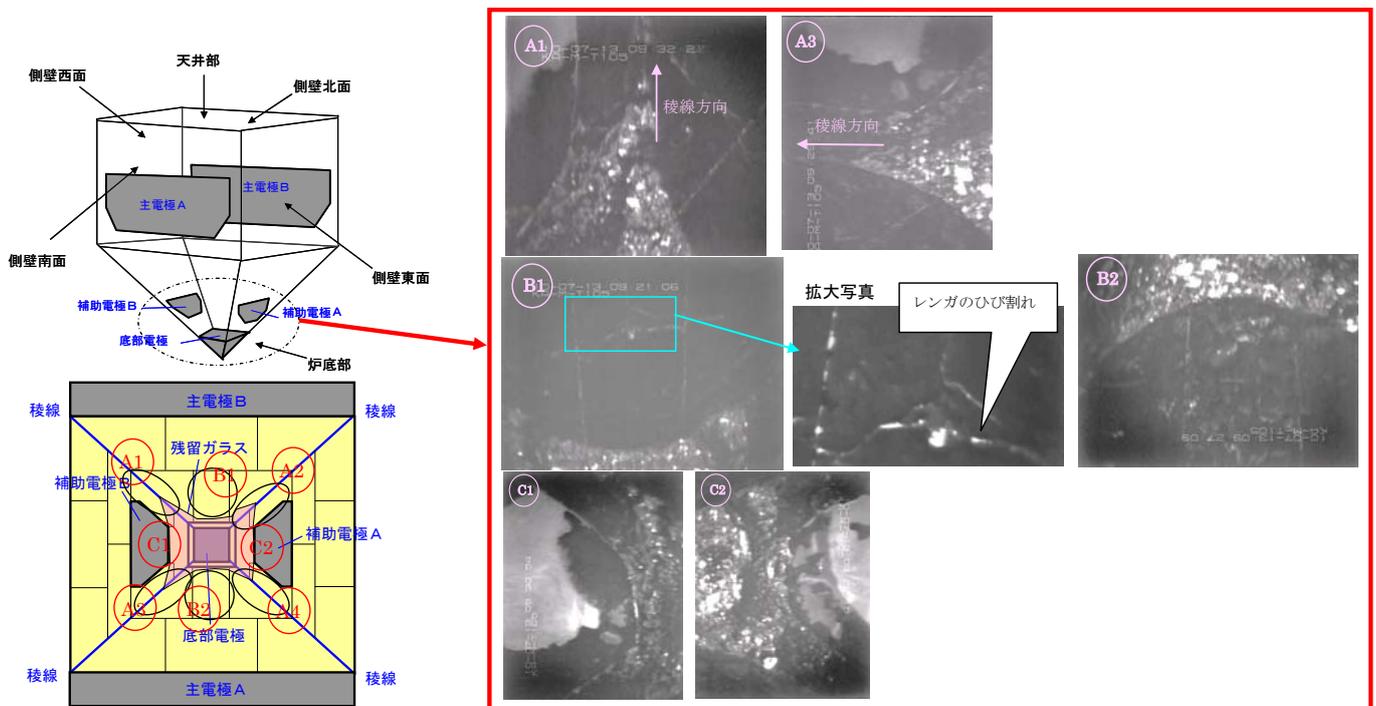
拡大写真



拡大写真



- ・ 炉底部は、ガラスで表面が覆われているものの、レンガ片は確認されなかった。



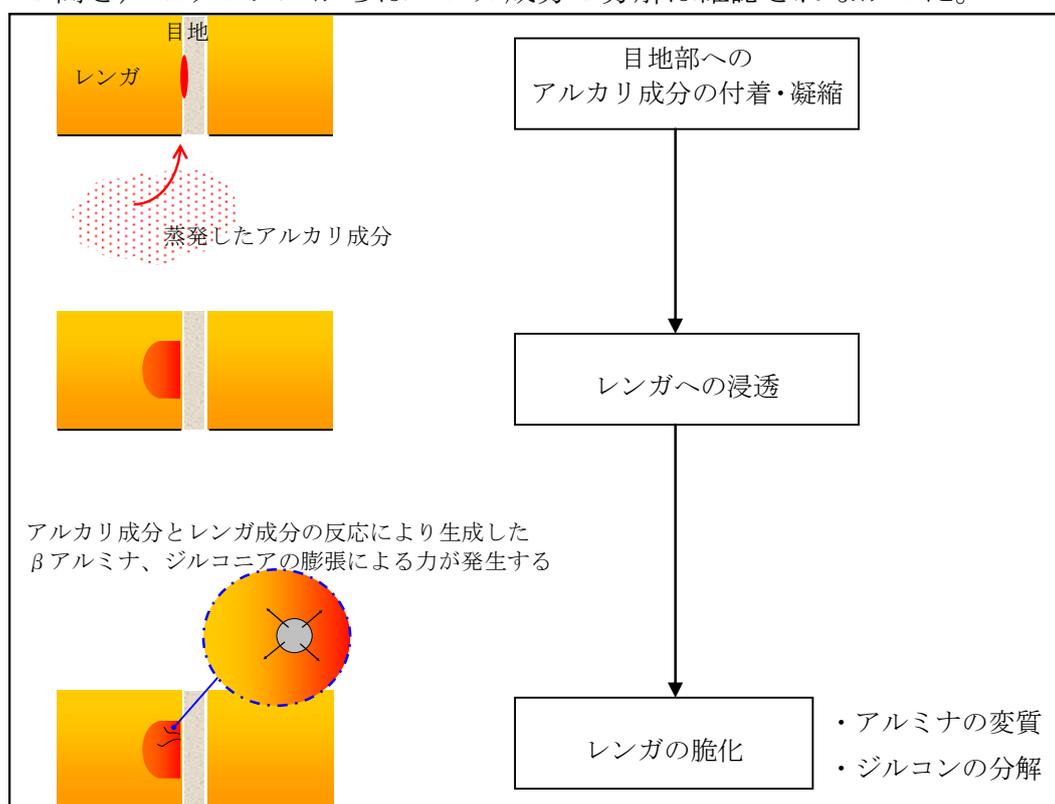
上記の観察結果から、通常のガラス溶融炉の使用状態で発生するようなレンガの割れや欠け以外のものは見られず、既に確認されている天井レンガ損傷以外の新たに原因究明等を行う必要のある損傷事象は確認されなかった。

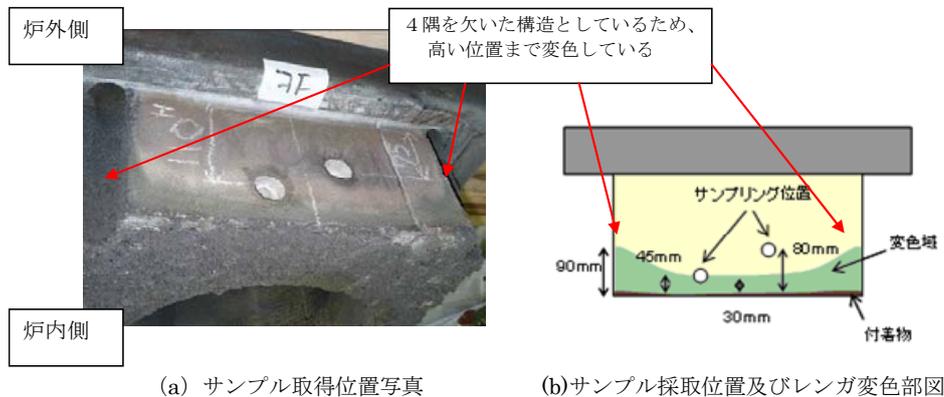
また、底部電極については、ガラスで表面が覆われているものの、ドレンアウト時の実績から機能上問題ないことが確認できたことから、新たに原因究明を行う必要のある損傷事象は発生していないものとする。

5. 5 KMOCにおけるレンガの成分分析

レンガの経年劣化に係る追加評価を行うため、当社ガラス溶融炉と同等の運転方法で運転を継続してきた茨城県東海村に設置されている当社ガラス溶融炉と同規模の確証改良溶融炉（KMOC）の天井レンガ表層及び付着物等について試料を採取し、分析を行った。これは、アルカリ成分によるレンガ損傷の可能性を評価するために実施したものである。分析では、天井レンガへのアルカリ成分の浸透やレンガ成分の分解の有無等について確認した。

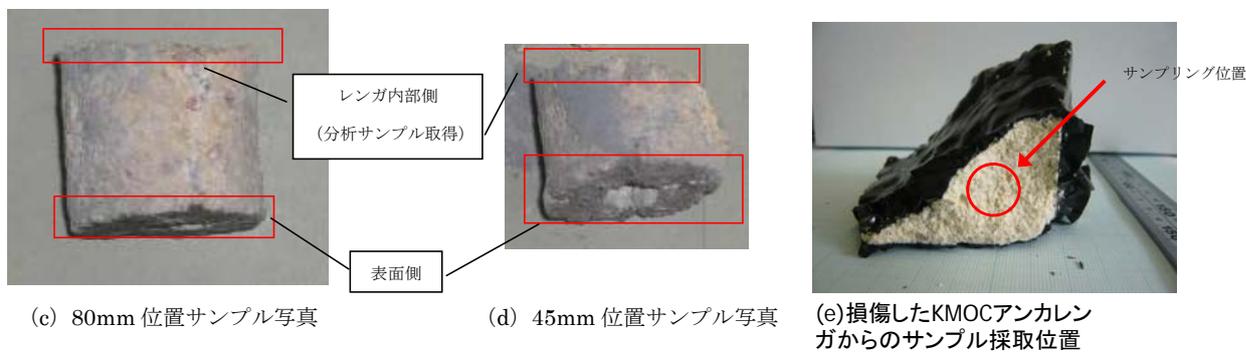
その結果、天井レンガの表層サンプルからはアルカリ成分の浸透及びレンガ成分の分解が確認されたが、それよりもレンガ内部に深い位置（ダボ部の高さ）のサンプルからはレンガ成分の分解は確認されなかった。





(a) サンプル取得位置写真

(b) サンプル採取位置及びレンガ変色部図



(c) 80mm 位置サンプル写真

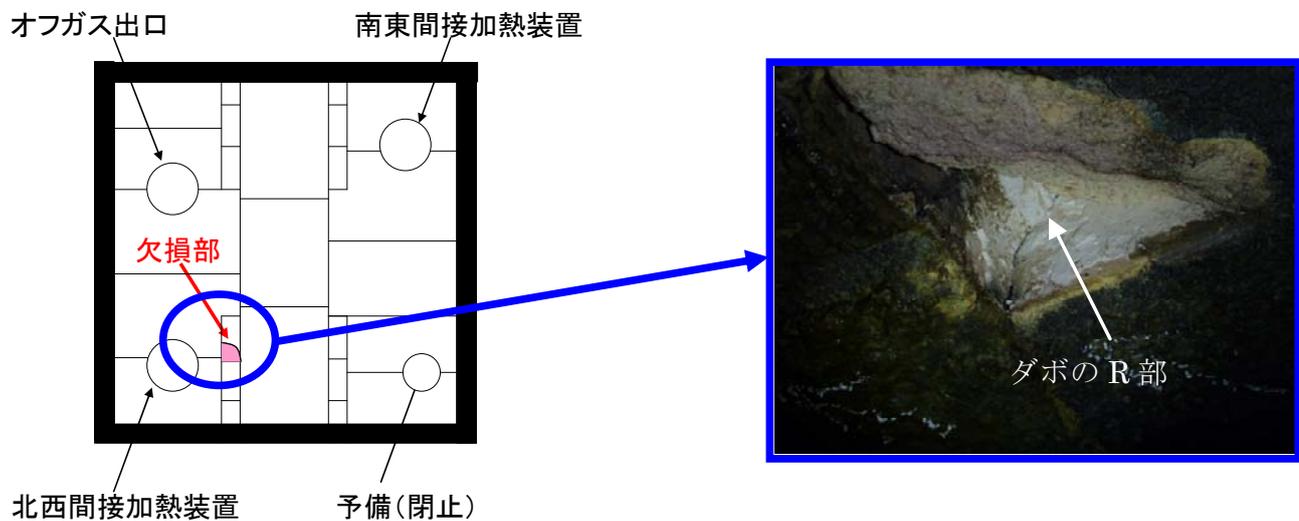
(d) 45mm 位置サンプル写真

(e) 損傷したKMOCアンカレンガからのサンプル採取位置

5. 6 経過報告（その2）以降に得られた類似事例

KMOCにおいて、ガラス溶融炉の運転方法の改善に係る運転データ取得等のために、平成21年11月から模擬廃液を用いた試験運転を行った後、ドレンアウト、放冷を行い、炉内の観察を行ったところ、間接加熱装置に近いアンカレンガのひとつの部分的な損傷が確認された（当社ガラス溶融炉との類似事例の発生）。

損傷部位の観察結果から、アンカレンガのダボ部から亀裂が入り、レンガの角部分が欠けている状態であることがわかった。運転データの評価に基づき、レンガの損傷に至った原因は、KMOCの使用を開始した平成12年から行っている運転の間、間接加熱装置の急激な停止による大きな応力の発生に加え、今回のKMOC試験において仮焼層等の試料採取をする際に短時間に間接加熱装置の電源を停止する操作を複数回行っており、その際にヒータ温度降下速度が非常に大きくなったことでレンガに大きな応力が発生したことによるものと考えられ、ガラス溶融炉（A系列）で見られた天井レンガの一部損傷と同様の原因により発生したものである。



6. 推定原因

「天井レンガの一部損傷に対する原因究明の結果、過去に実施した間接加熱装置のヒータ温度降下が急激であったため、その際に発生した応力が大きく、アンカレンガに亀裂が発生し、最終的に損傷に至った。」

7. 天井レンガの一部損傷に対する対策

(1) 天井レンガの損傷防止に対する対策

天井レンガの損傷防止に対する対策については、レンガの回収等の作業において、間接加熱装置を停止する際のヒータ温度降下速度の管理方法を用いた運転を行い、概ね満足することができたことから、間接加熱装置を停止する際のヒータ温度降下速度が $10^{\circ}\text{C}/10$ 分程度以内となるように運転を実施することを天井レンガの損傷防止に対する対策として実施することとする。

(2) レンガ損傷の検知に係る対策

(1) の対策によりレンガが損傷する可能性を低減することが可能であるが、ガラス熔融炉内の負圧に係るインターロックの作動や電源異常等による計画外の間接加熱装置の加熱停止は起こる可能性があり、その際に天井レンガが損傷する可能性は否定できない。そのため、天井レンガが損傷した場合の検知方法について検討した。

レンガに亀裂が入っているだけの状態ではガラス熔融炉に影響が生じる

可能性が無いことから、検知することはできない。また、今回のレンガ損傷に係る原因究明としてレンガの亀裂が進み完全に損傷した時期の評価の際に運転・監視データから推定することを試みたが、比較データ等が無いこと等により損傷時期を特定することはできなかったこと、また落下音による検知等の新たなレンガ損傷の検知方法に係る検討を行ったが、固化セルという特殊な状況下（高放射線、遠隔操作等）であること等の理由から、レンガ損傷の検知を即時に行うための有効な手段はない。しかしながら、天井レンガの一部が損傷した場合においてもガラス溶融炉の強度、耐震性等の安全性に影響を与えるものではなく、ガラス溶融炉の運転上の観点においても今回レンガが損傷した影響として見られたように、溶融ガラスの流下性の低下を引き起こす可能性は考えられるため、以下のような対応を図る。

- ① 流下性の指標が回復運転への移行判断基準に達した際に回復運転フローに従って、洗浄運転を実施する。（この段階では、流下性への影響が白金族元素堆積の影響かレンガ損傷の影響かは判断できない）
- ② 洗浄運転により改善効果の判断指標を満足しない場合には、曲棒型又は直棒型かくはん棒による回復運転を実施するが、その際「底部電極中央穴に挿入できない」、「底部電極上面高さより高い位置で直棒の降下が止まる」又は「曲棒の操作時に引っ掛かりがある」が確認された場合、レンガ損傷の可能性があると考え、さらに、炉内温度、抵抗及び流下映像等の運転・監視データ等を確認したうえで総合的にレンガ損傷の可能性があるかを判断する。

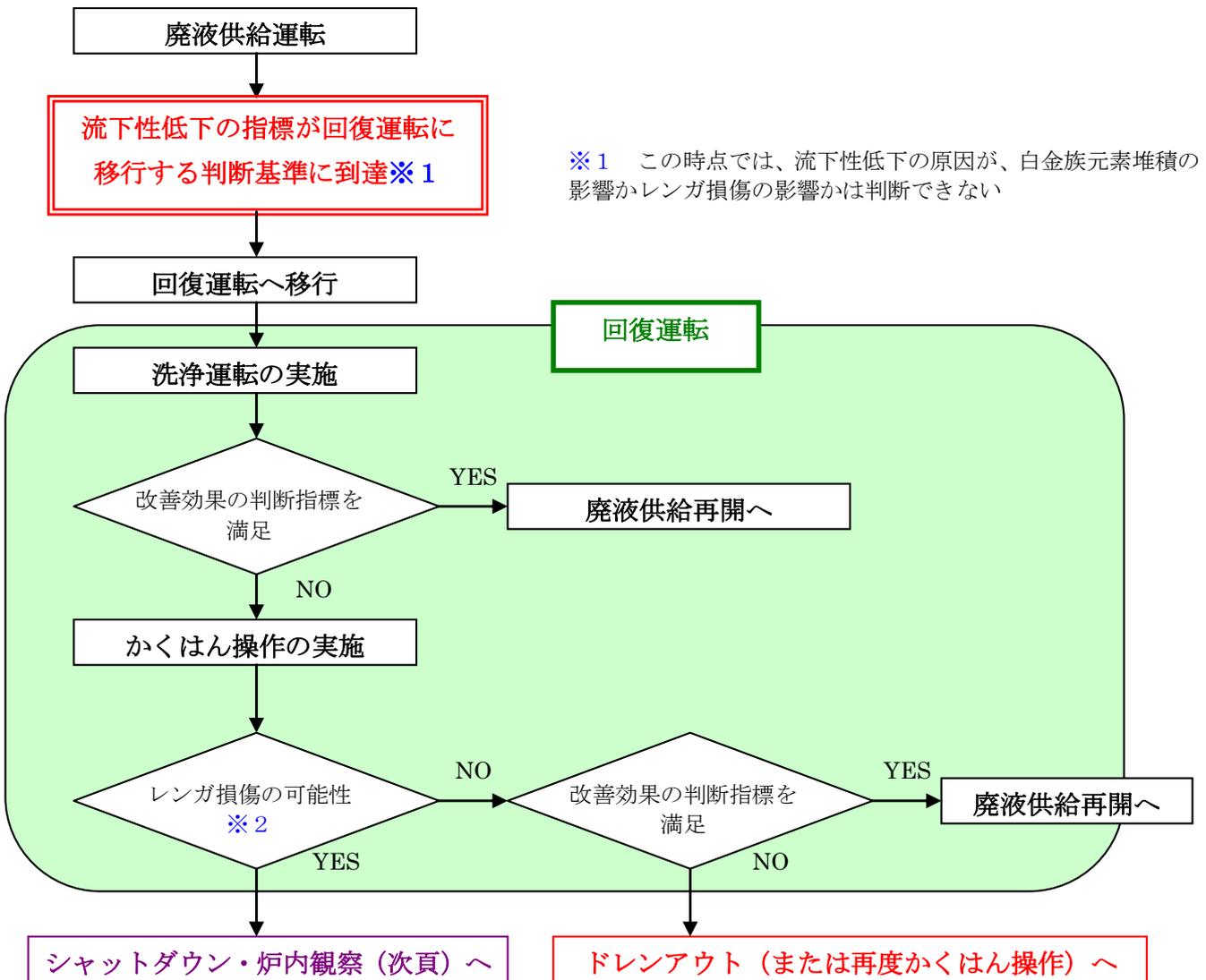
「底部電極中央穴に挿入できない」等の状況が確認されない場合には、白金族元素の堆積により炉底部のガラス粘性が高くなったことが流下性低下の要因である可能性が高いことから、回復運転の手順に従いかくはん操作を継続する。

- ③ レンガ損傷の疑いがある場合には、ガラス溶融炉の運転をシャットダウンし、炉内の観察を行い、観察により天井レンガの損傷が確認された際は、今回のレンガ回収作業で得られた知見を基に、回収を行う。レンガ回収にあたっては、今回のレンガ回収作業実績に基づき、レンガ回収治具に対して高温環境下での使用に対する管理を行う。
- ④ レンガ回収を行った後、ドレンアウトにより炉内のガラスを抜き出し、炉内観察を実施する。

また、今後の運転管理として、ドレンアウト（当面の間、最低でも隔年

の頻度で行う) を行った際に、ドレンアウトの状況や炉内の健全性を確認する。

※回復運転への移行判断基準、回復運転、改善効果の判断指標とは、「再処理施設高レベル廃液ガラス固化設備の安定運転条件検討結果報告(平成20年6月11日報告)」において、ガラス溶融炉において白金族元素が管理された状態での運転を行うための方法として示したものである。



(3) 設備更新のために設計及び製作するガラス溶融炉への知見の反映

既設のガラス溶融炉において、万一天井レンガの一部が損傷した場合においても安全性に影響がないことを確認しているものの、ガラス溶融炉の運転（ガラスの流下）に影響を与えるおそれがあることから、今回のガラス溶融炉天井レンガの一部損傷に係る原因究明で得られた知見を踏まえ、今後、設備更新のために設計及び製作するガラス溶融炉については、熱応力の発生を低減でき、脱落しにくいレンガ組積構造・形状や耐アルカリ性に優れたレンガの採用等の検討を行い、必要に応じて反映していくこととする。

また、ガラス溶融炉（B系列）についてもガラス溶融炉（A系列）と同様に上記の対策を行うこととする。

8. ガラス溶融炉（A系列）に対する安全性評価

(1) 安全性評価

今後のガラス溶融炉（A系列）の運転期間を考慮し、天井レンガの一部が損傷している状態でガラス溶融炉の運転を行うことに対する安全性評価をガラス溶融炉の強度及び耐震性等の観点で実施した。

1) ガラス溶融炉の強度及び耐震性

強度及び耐震性の観点で運転期間を考慮して評価が必要なポイントとしては、ガラス溶融炉内の負圧に係るインターロックの作動や電源異常等による計画外の間接加熱装置の加熱停止等の際にさらに天井レンガが損傷することである。

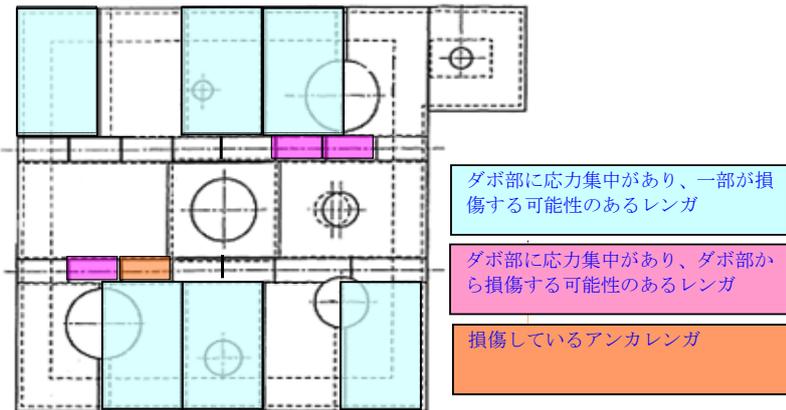
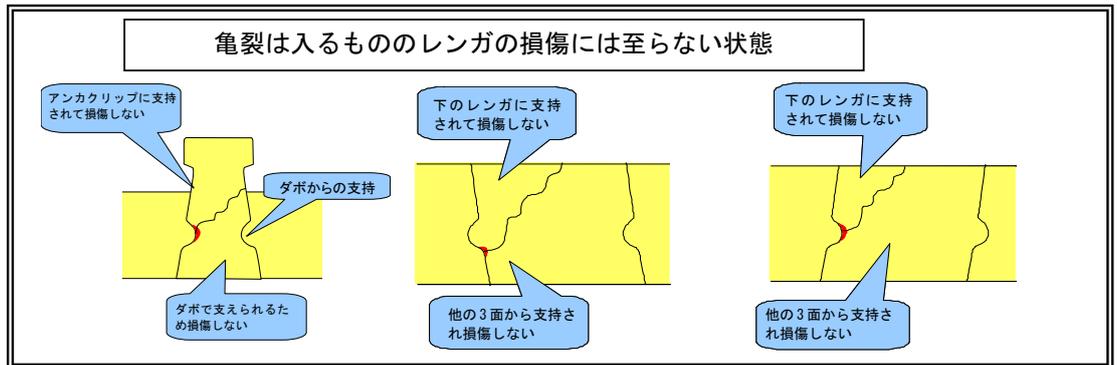
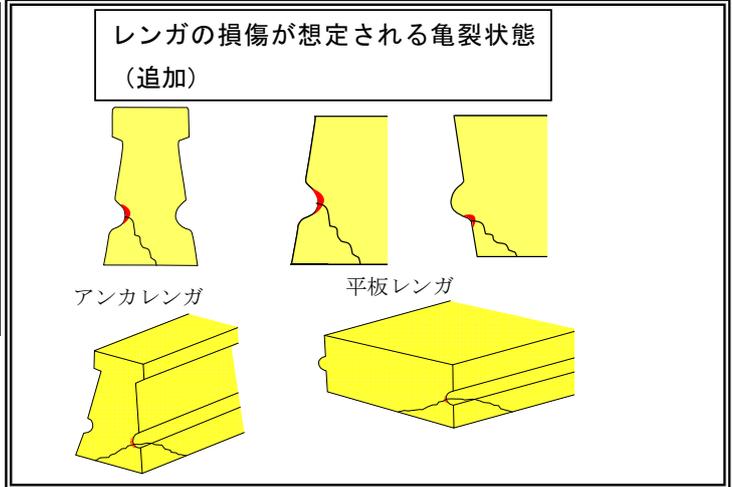
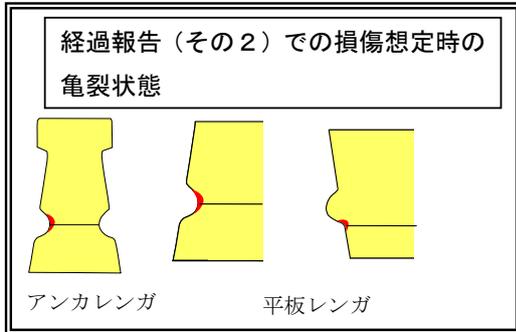
損傷の可能性のある部位として、

- ・ 間接加熱装置に隣接するアンカレンガ（既に損傷したアンカレンガ以外に3つ）のダボ部から下

と評価し、平板レンガについては、隣接するアンカレンガに支持されるため損傷しないと評価したが、これは、ガラス溶融炉（A系列）で確認された損傷と同様にダボ部からほぼ水平に損傷する状態を想定して記載したものであり、類似事例でも確認されたように、大きな応力が発生し、亀裂が生じる可能性があるのはダボ部であるものの、亀裂の進む方向については一概に真横に進むとは言えないことから、これを踏まえて損傷する可能性のある部分について補足、整理した。

下図に示すとおり間接加熱装置に隣接するアンカレンガ(損傷したアンカ

レンガ以外に3つ)に加え、平板レンガについてもダボ部に応力集中がある部分では、その一部が損傷する可能性がある。

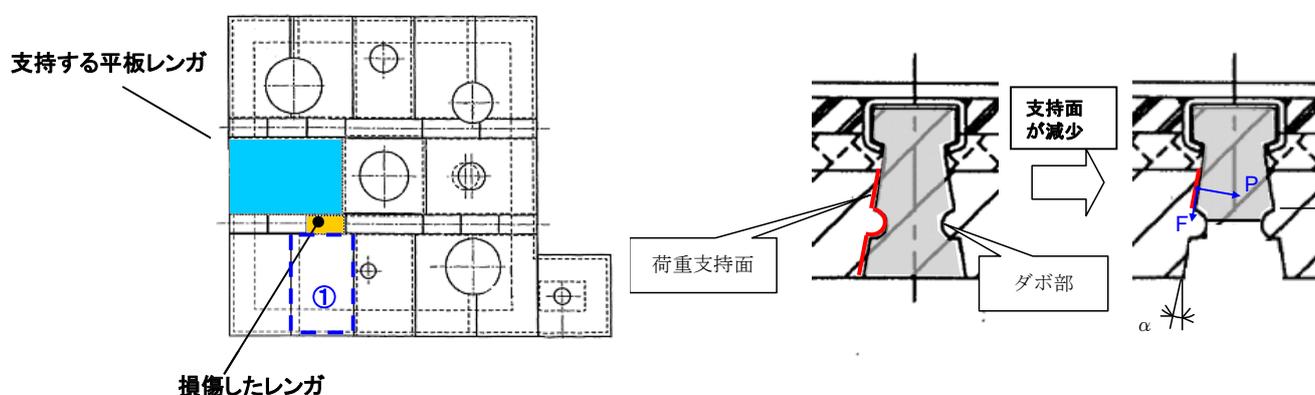


想定されるレンガ損傷に対する評価

①ガラス溶融炉の強度

今回損傷したアンカレンガのダボ部から下が損傷した状態で隣接する平板レンガの荷重を支持できることに関し、平板レンガを支えている3つのアンカレンガのうちひとつのアンカレンガのダボ部から下が損傷した状態で平板レンガの3分の1の荷重が支えられることを評価し、荷重支持面に係る荷重が天井レンガの圧縮強度よりも十分に小さいという結果であった。

万一平板レンガを支えている3つのアンカレンガのダボ部から下が全て損傷した場合を想定しても3つのレンガともがダボ部から上の面で平板レンガを支持する状態になるということであり、支持すべき平板レンガを十分に支持できる。



②ガラス溶融炉の耐震性

平板レンガの一部が損傷した場合の評価として、構造的にあり得ないものの、保守的に平板レンガのダボ部から下が全て欠損した想定で伝熱解析を行った結果、ケーシング最高温度は最高使用温度を下回っており、耐震性評価に用いている評価条件を上回ることはないことを確認した。

2) 放射線しゃへい性能及び閉じ込め機能

放射線しゃへい性能及び閉じ込め機能にレンガを期待していないことから、今後の運転において、さらにレンガの損傷が発生したとしてもしゃへい性能及び閉じ込め機能に影響するものではない。

3) ガラス溶融炉側壁及び炉底部レンガの健全性

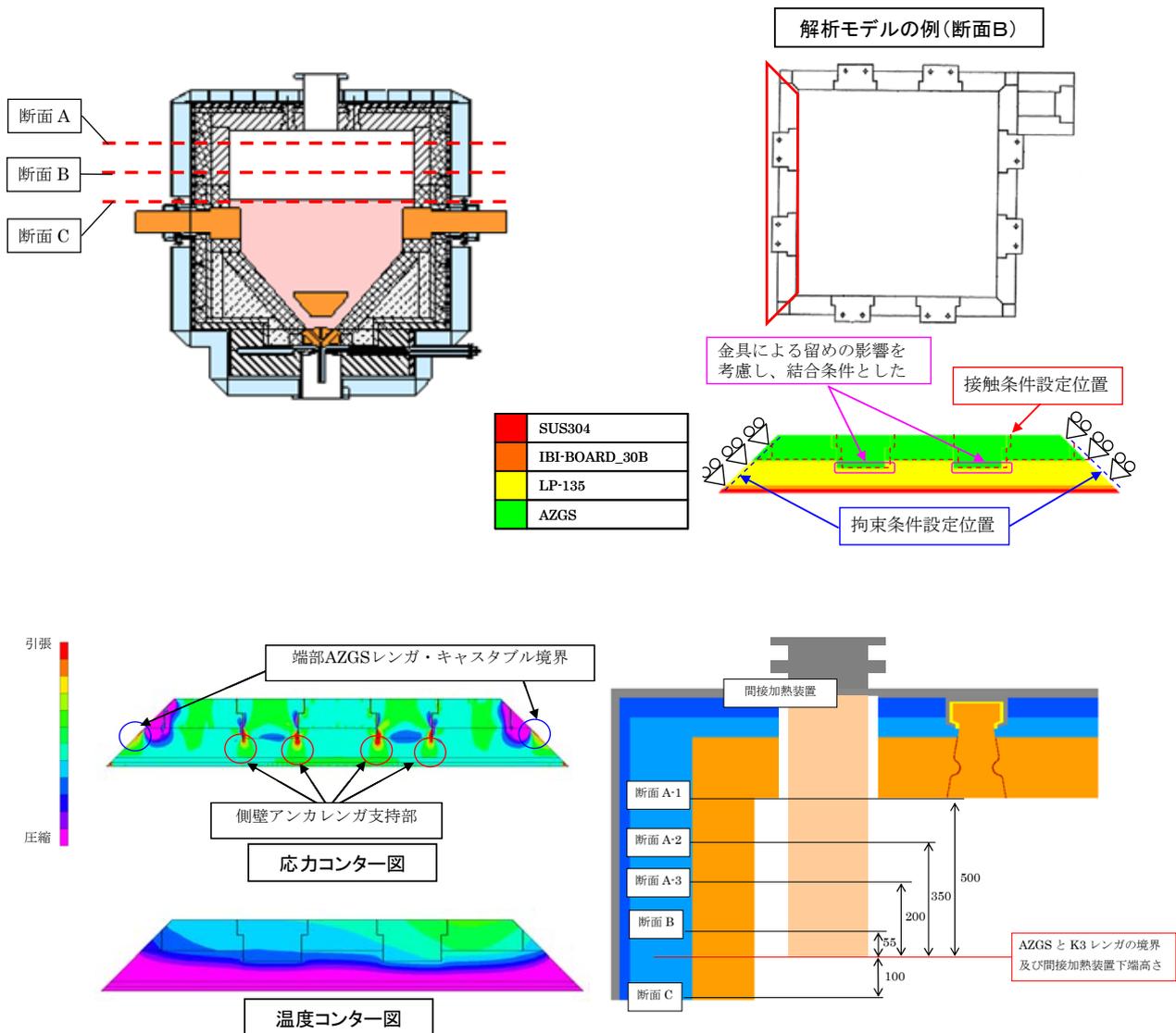
側壁レンガについて追加的に解析を行い、間接加熱装置の急激な温度降下を行った際に発生する応力に関する評価を行った。

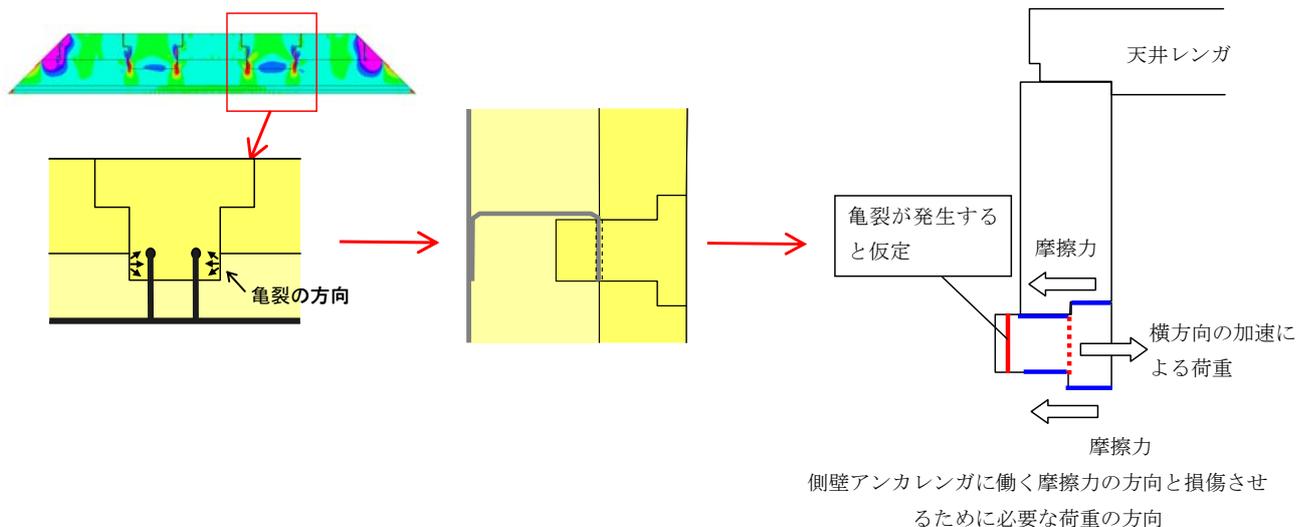
解析により、アンカレンガとキャストブルの境界面に応力集中が確認され、当該部位でレンガの損傷が発生する可能性があるものの、当該部位で

損傷が発生したとしてもレンガは摩擦抵抗により滑り落ちることはない。

また、側壁レンガのアンカレンガの無い断面の一部において、高い応力が発生することが確認されたが、この応力に起因して仮にレンガに亀裂が入ったとしても、レンガ同士のせり持ち構造により、損傷に至ることはない。

炉底部レンガについては、レンガ組積構造及びせりもち構造により損傷に至ることはないことを確認した。





(2) 安全性評価のまとめ

(1) に示した安全性評価の結果としては、以下のとおりであり、今後のガラス溶融炉の運転に係る安全性に問題はない。

- 今後の運転において天井レンガのうち、ダボ部に応力集中があるアンカレンガ及び平板レンガについてはその一部が損傷する可能性は否定できないが、万一損傷したとしてもガラス溶融炉の強度及び耐震性に影響は無い。
- 放射線しゃへい性能及びガラス溶融炉の閉じ込めの機能については、追加的にレンガが損傷したとしても性能に影響は無い。
- 側壁レンガについては、間接加熱装置の急激な温度降下により大きな応力が発生し、亀裂が発生する可能性は否定できないが、損傷に至ることは無い。また、炉底部レンガは構造上、損傷に至ることはない。

また、天井レンガの一部が損傷する可能性については、ガラス溶融炉（B系列）についても同様であり、万一損傷が発生した場合においても今後のガラス溶融炉の安全性に問題はない。

以上