

再処理施設高レベル廃液ガラス固化建屋  
ガラス溶融炉（A系列）の一部損傷について  
（最終報告）  
【公開版】

平成22年7月28日

日本原燃株式会社

本書は記載内容のうち、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。

日本原燃株式会社

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 件 名 .....	1
3. 発生日時.....	1
4. 発生場所.....	1
5. 発生事象の概要 .....	2
6. 天井レンガの一部損傷に係る調査及び対策.....	3
6. 1 原因調査のためのガラス溶融炉の熱上げ等の作業実績.....	3
6. 2 経過報告（その2）以降に確認された事実等.....	4
6. 2. 1 回収したレンガの観察.....	4
6. 2. 2 ドレンアウト後の溶融炉内の観察.....	5
6. 2. 3 KMOCにおけるレンガの成分分析.....	5
6. 2. 4 経過報告（その2）以降に得られた類似事例.....	6
6. 3 天井レンガの一部損傷に対する要因分析.....	6
6. 3. 1 経過報告（その2）以降に実施した追加評価.....	6
6. 3. 2 推定原因.....	8
6. 4 天井レンガの一部損傷に対する対策.....	8
7. かくはん棒の曲がりに係る調査及び対策 .....	11
7. 1 経過報告（その2）以降に確認された事実等.....	11
7. 1. 1 かくはん棒（直棒：2号機）の観察.....	11
7. 1. 2 おもり治具の重量測定.....	11
7. 1. 3 流下補助治具の減肉状況観察.....	11
7. 2 かくはん棒が曲がったことに対する要因分析.....	12
7. 2. 1 経過報告（その2）以降に行った調査結果を踏まえた評価.....	12
7. 2. 2 推定原因.....	13
7. 3 かくはん棒が曲がったことに対する対策.....	13
8. 今後のガラス溶融炉の運転に対する対応 .....	14
8. 1 ガラス溶融炉（A系列）に対する安全性評価.....	14
8. 2 今後の対応.....	19
添付資料－1	レンガ回収にかかるガラス溶融炉A運転時の間接加熱装置 温度降下速度実績
添付資料－2	レンガ回収作業の実績について
添付資料－3	ドレンアウト状況及びドレンアウト後の溶融炉内の観察
添付資料－4	回収したレンガの観察
添付資料－5	アルカリ成分の凝縮によるレンガ損傷の可能性について

- 添付資料－ 6 経過報告（その2）以降に得られた類似事例について
- 添付資料－ 7 天井及び側壁レンガの施工方法について
- 添付資料－ 8 ガラス溶融炉に対する外力の影響評価
- 添付資料－ 9 天井レンガの一部が損傷したことに対する要因分析図
- 添付資料－ 10 熱応力解析における各断面の解析結果
- 添付資料－ 11 今後の運転におけるレンガ一部損傷に対する対応フロー
- 添付資料－ 12 かくはん棒の観察結果を踏まえた解析評価
- 添付資料－ 13 流下補助治具の観察状況について
- 添付資料－ 14 かくはん棒の減肉について
- 添付資料－ 15 かくはん棒炉内挿入時における熱膨張の影響評価
- 添付資料－ 16 かくはん棒が曲がっていたことに対する要因分析図
- 添付資料－ 17 直棒（1号機、2号機）の減肉の状況等を踏まえた  
かくはん棒の管理方法
- 添付資料－ 18 側壁レンガの健全性確認

別添資料 再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）  
の一部損傷について（経過報告 その2）

## 1. はじめに

再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）において平成20年12月にかくはん棒の曲がりの確認されたことを受け、かくはん操作等を行っている際にガラス溶融炉内部に損傷を与えた可能性が考えられたことから、再処理規則第19条の16第2号に該当するものと判断し、平成20年12月11日に国へ報告した。（法令報告）

その後行ったガラス溶融炉内の詳細観察において、天井レンガの一部が損傷していることが確認された。

天井レンガの一部損傷及びかくはん棒の曲がりに係る原因調査状況、原因究明のために行う熱上げ、レンガの回収作業等に対する安全評価等を取り纏め、平成22年2月24日に「再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）の一部損傷について（経過報告 その2）」（以下、「経過報告（その2）」という）として報告した。

本報告では、経過報告（その2）以降に実施した原因調査のためのガラス溶融炉の熱上げ作業、炉内の損傷したレンガの回収作業等の結果及びそれを踏まえた天井レンガの一部損傷に係る推定原因及びかくはん棒の曲がりに係る推定原因並びに対策、今後のガラス溶融炉の運転に対する安全評価結果等について、最終報告として報告する。

## 2. 件 名

再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）の一部損傷について（最終報告）

※「再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）内におけるかくはん棒の曲がりについて」（平成20年12月11日報告）

※「再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 ガラス溶融炉（A系列）の一部損傷について（経過報告 その2）」（平成22年2月24日報告）

## 3. 発生日時

かくはん棒の曲がり：平成20年12月10日（水）18時頃（確認）

ガラス溶融炉（A系列）の一部損傷：

平成20年12月22日（月）4時頃（確認）

## 4. 発生場所

再処理施設 高レベル廃液ガラス固化建屋 高レベル廃液ガラス固化設備（別添資料：添付資料－1参照）

## 5. 発生事象の概要

高レベル廃液ガラス固化建屋のガラス溶融炉（A系列）における運転性能確認試験実施中に、流下ノズルからの流下速度の低下及び白金族元素が炉底部に堆積したことを示す運転データの変化が見られたことから、試験開始前に設定した手順に従い、かくはん棒を用いて炉底部のかくはん操作（炉底部に堆積したと考えられる白金族元素を強制的に流下ノズルから流下させる操作）を実施していた。かくはん棒による操作が終わり、かくはん棒をガラス溶融炉から引き抜く作業に移行したが、かくはん棒の引き抜き動作がしづらい状況が確認されたため、引き抜き作業を取り止めた。

かくはん棒の引き抜き動作がしづらい状況になった原因を確認するため、ガラス溶融炉にI T Vカメラを挿入しかくはん棒の状態を観察することとした。そのため、I T Vカメラの稼動範囲確保やI T Vカメラへの放射線の影響を考慮し、ガラス溶融炉内のガラスレベルを下げることを目的として、ガラスを抜き出す運転であるガラスレベル調整運転を行った。その後、ガラス溶融炉の加熱を停止、放冷した後、ガラス溶融炉内にI T Vカメラを挿入し、かくはん棒の状態を観察した。

その結果、12月10日18時頃、かくはん棒が曲がっていることを確認した。（別添資料：添付資料－2及び3参照）

その後、炉内の損傷の有無を確認するため、ガラス溶融炉内部を詳細観察したところ、12月22日4時頃、ガラス溶融炉天井レンガの一部が損傷していることが確認された。（別添資料：添付資料－4参照）

一連のかくはん棒による操作期間及び天井レンガの一部が損傷したと推定される期間において、高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備により溶融炉及び固化セル内の負圧は維持されていた。また、高レベル廃液ガラス固化建屋管理区域内に設置されている $\gamma$ 線エリアモニタ、 $\beta$ 線ダストモニタの測定値、並びに高レベル廃液ガラス固化建屋排気モニタ（ $\beta$ 線ダスト）、主排気筒ガスモニタ、主排気筒ダストモニタ（ $\alpha$ 線、 $\beta$ 線）の測定値は通常の変動範囲内であり、異常は見られなかった。

溶融炉内部の詳細観察は、溶融炉の運転をシャットダウンし、ガラスが十分に冷却された状態で、溶融炉の原料供給器につながる高レベル廃液供給配管を取り外し、供給配管に閉止フランジを取り付けたうえで（ただし、高レベル廃液の漏えいが発生）作業を実施しており、また、負圧の維持や施設内の放射線状況に異常はなかった。

なお、本事象による施設内外への放射線等の影響がないことを確認している。

## 6. 天井レンガの一部損傷に係る調査及び対策

天井レンガの一部損傷に対して、原因究明の結果及びその対策について以下に示す。

### 6. 1 原因調査のためのガラス溶融炉の熱上げ等の作業実績

原因調査のために実施するとして熱上げ、レンガの回収等の作業について、天井レンガが一部損傷した状態で行うことに対する安全性の評価（経過報告（その2）で報告）を行った上で、作業を実施した。各作業の実績を以下に示す。

#### (1) ガラス溶融炉の熱上げ及びレンガ回収作業等における温度管理

原因究明に係る作業においてさらにレンガが損傷する可能性を低減するため、天井レンガに発生する熱応力を小さくすることを目的として、間接加熱装置（ヒータ）の温度（以下、「ヒータ温度」という）降下速度を抑制することとした。そのための具体的な方策として、間接加熱装置を停止する際のヒータ温度の降下速度について、熱応力発生抑制のため $10^{\circ}\text{C}/10$ 分程度以内となるよう運転を行うという方法を採用した。

今回の熱上げ等の作業実績として、ヒータ温度の降下を行った回数はガラス溶融炉の熱上げ時及びガラスの抜き出し作業時の2回であった。熱上げ時においては、プログラムによる自動制御によりヒータ電力を徐々に降下させることで、ヒータ温度降下速度 $10^{\circ}\text{C}/10$ 分程度以内という管理を概ね満足することができた。一方、ガラスの抜き出し作業時においては、熱上げ時と同様にプログラムによる自動制御によりヒータ電力を徐々に降下させたものの温度降下速度が大きくなってきたことから、プログラムによる自動制御から手動による電力制御に切り替えて温度を降下させた。実績として、ヒータ温度降下速度 $10^{\circ}\text{C}/10$ 分程度以内という管理を概ね満足することができた。（添付資料-1参照）

#### (2) レンガ回収作業（添付資料-2参照）

レンガ回収治具により炉底部にあることが想定される天井レンガを回収する作業を行った。

レンガ回収作業は、損傷した天井レンガの状態を想定したモックアップ試験によりレンガ回収が可能であることを確認したのちに実機における作業を開始した。しかし、レンガが炉底の中央からずれて、傾斜部に一端が乗り上げて斜めになり動き難い状態であり、さらに裏返し（台形型のレンガの面積の小さい面（破断面）が下になった状態）になって

不安定な状態にある等の要因によりレンガの回収がうまくいかなかった。

レンガ回収作業での実績をもとにレンガ回収治具の改良を行い、レンガを回収することができた。

今回のレンガ回収作業の成果として、今後万一レンガが損傷した場合においても、損傷したレンガを底部電極上まで移動させて回収する手法を得ることができた。

なお、回収したレンガ及び使用済みのレンガ回収治具については、固化セル内の仮置き架台に設置した状態で保管する。

### (3) ドレンアウト

レンガ回収作業の後、ガラス熔融炉内に保有するガラスを抜き出すドレンアウト作業を実施した。ドレンアウト作業は、主電極－底部電極間の通電により炉底部のガラス温度を上昇させ、その後流下ノズルを高周波加熱コイルで加熱することにより行った。ドレンアウトの5バッチ目に、流下性を上げるために流下補助治具を使用した。

最終的に10本分の熔融ガラスを抜き出し、補助電極間抵抗の変化率（ガラスレベルが補助電極下端を過ぎると抵抗が大きくなり変化するため、抵抗の変化で補助電極下端にガラスレベルがきたことを確認）及び最終的にガラス固化体容器に注入されたガラスの重量（ガラスレベルが補助電極下端位置でのガラス重量は設計上把握されており、その重量から流下されたガラス重量を差し引くと残留量がわかる）から推定されるドレンアウト後の炉内残留ガラス量を十数kg程度と評価した。

今回のドレンアウトを通して主電極－底部電極間、補助電極－底部電極間の通電において、必要な電力を掛けることができ、それに伴い底部電極温度が昇温していることから、炉底部のガラス温度の上昇が問題なく実施できていることが確認できた。（添付資料－3参照）

## 6. 2 経過報告（その2）以降に確認された事実等

### 6. 2. 1 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、経過報告（その2）で示した原因により損傷した場合には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。（添付資料－4参照）



## 6. 2. 2 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、I T V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。(添付資料-3参照)

- ・ 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。
- ・ 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。

## 6. 2. 3 K M O C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(以下、「K M O C」という)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。（添付資料－５参照）

#### 6. 2. 4 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の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など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。（添付資料－６）

### 6. 3 天井レンガの一部損傷に対する要因分析

#### 6. 3. 1 経過報告（その２）以降に実施した追加評価

##### （１）設計、製造の観点

経過報告（その２）では、レンガ組積構造に係る設計の妥当性確認を行い、ガラス溶融炉で採用されているレンガ組積構造は一般産業で用いられるせり構造、ダボ構造を用いた構造であり、熱膨張等の吸収代も十分であることから設計は妥当であると評価した。また、ガラス溶融炉築炉時の検査記録により、築炉が設計どおり行われていたことを確認した。

設計における熱膨張の吸収代の考慮が十分であり、レンガ施工後の検査（据付・外観検査等）で設計の考え方とおりに施工がなされたことを確認したとしても、ガラス溶融炉レンガの施工段階においてレンガ同士が面で均一に接触せずに一部だけが接触する（片あたりする）施工であった場合、熱膨張を吸収できない状態が発生する可能性がある

ることから、ガラス溶融炉レンガの施工方法・施工管理に対して片あたりの発生等に係る施工上の考慮について、追加で調査を行った。

調査の結果、施工段階で片あたり等が発生しにくい方法を採用しており、また、レンガ間に設ける目地の施工に配慮した適切な施工管理が行われていることを確認したことから、片あたりが原因で熱膨張を吸収できない構造になっているという事は無く、熱膨張の吸収に係る施工上の問題が、天井レンガ損傷の原因となったとは考えられない。(添付資料－7参照)

## (2) 使用環境の観点(経年劣化による影響)

経過報告(その2)では、経年劣化による影響として、レンガの腐食速度等を踏まえた経年劣化について評価を行ったが、ガラス溶融炉に供給される高レベル廃液中に含まれるアルカリ成分が蒸発・揮発し、その成分が目地等で凝縮することによりレンガが損傷する可能性について、「6.2.3 KMOCにおけるレンガの成分分析」に示したとおり、KMOCの天井レンガの分析を行い、追加で評価を行った。

分析結果から、アルカリ成分は天井レンガ表面からレンガ内部に浸透し、表層部分ではレンガ成分の分解はあるものの、表層よりも深い位置(ダボ部の高さ)においてはレンガ成分の分解はないことが確認されたため、アルカリ成分による影響が、天井レンガ損傷の原因となったとは考えられない。(添付資料－5参照)

## (3) 外力負荷発生 の 観点

経過報告(その2)では、ガラス溶融炉に関連する作業に伴う外力負荷発生として、アンカレンガを損傷させるのに必要な加速度を評価した結果、1000G以上の加速度が必要であることを確認した。ガラス溶融炉に関する遠隔作業で1000Gを超える加速度を発生させたとは考えられないため、遠隔作業が原因とはならないという評価を行った。(別添資料：添付資料－21参照)

その後、発生応力と加速度の関係に係る評価方法も含め、ガラス溶融炉に外力を加える可能性のある具体的な遠隔作業を考慮した評価を行った、その結果を以下に示す。

天井レンガを損傷させるために必要な応力については、損傷したレンガと同一の材料で試験片を作成して曲げ強度試験を実施した結果から、6.25MPaである。ガラス溶融炉に外力が加えられた場合、外力は直接レンガに作用するのではなく、ケーシング等の変位に伴い

発生する静的荷重あるいは加えられた外力による振動（加速度）としてレンガに作用する。かくはん棒の遠隔操作によりケーシングに100kgfの荷重がかかる外力を想定した場合、それによる変位は最大で0.003mm程度と評価しており、この程度の変位は天井レンガ上部の断熱材に吸収されるため、レンガに対して曲げに至る力は発生しない。また、経過報告（その2）で報告したとおり、6.25MPaの応力に相当する加速度を評価した結果、当該アンカレンガを損傷させるためには1000G以上の加速度が必要であることを確認している。ガラス溶融炉に関連する作業の代表的な例として、かくはん棒が溶融炉天井部に落下した場合を想定し、保守的に100kgの重量物を10mの高さから落下させた場合にアンカレンガに作用する加速度を概算すると約64Gとなった。これは1000Gに対し十分に小さな値であることから、ガラス溶融炉に関する遠隔作業で1000Gを超える加速度を発生させることは考えられず、遠隔作業による外力が原因とはならない。（添付資料－8参照）

上記の評価結果を反映した要因分析図を添付資料－9に示す。なお、経過報告（その2）で行った熱応力解析について、解析条件をより詳細に整理し、添付資料－10に示した。

### 6.3.2 推定原因

経過報告（その2）以降に確認された事実等を踏まえた評価結果が経過報告（その2）において示した推定原因に対して影響するものではなかったことから、推定原因は以下のとおりであると考えられる。

「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。」

## 6.4 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、

- ・原因調査のために実施するとした熱上げ、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
- ・経過報告（その2）以降に確認された事実及び追加評価が、経過報告（その2）に示した推定原因に対して影響するものではなかったこと

から、経過報告（その2）で示した間接加熱装置を停止する際のヒータ温度降下速度が10℃/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は起こる可能性があり、経過報告（その2）で示したように、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溶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経過報告（その2）で示したように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。

（添付資料－11参照）

- 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。

## 7. かくはん棒の曲がりに係る調査及び対策

本法令報告の発端となったかくはん棒の曲がりに対して、原因究明の結果及びその対策について以下に示す。

### 7. 1 経過報告（その2）以降に確認された事実等

#### 7. 1. 1 かくはん棒（直棒：2号機）の観察

曲がったかくはん棒（直棒：2号機）の減肉状況のITVカメラによる観察を行った。観察方法としては、経過報告（その2）で報告した1号機の観察と同様に定規を用いて棒の幅を測定する方法で実施した。

観察の結果、かくはん棒が曲がった部分に1mm程度の局所的な減肉が確認され、減肉の範囲としては、128mm程度であった。（添付資料－12参照）

#### 7. 1. 2 おもり治具の重量測定

おもり治具については、簡易的な座屈評価に基づき45kgfの重量で設計しており、その重量をもとに、パワーマニピュレータによる押し込み荷重（約40kgf）と併せて塑性座屈荷重（約79kgf）（以下、「座屈荷重」という。本報告において「座屈」とは「塑性座屈」のことを指す）を超えたためにかくはん棒が曲がったという評価を経過報告（その2）において示した。（別添資料：添付資料－32参照）

経過報告（その2）以降、固化セル内で重量計を用いておもり治具の重量を測定したところ、約48kgfであった。

#### 7. 1. 3 流下補助治具の減肉状況観察

6. 1（3）で示したようにドレンアウトの際に流下補助治具を使用したことから、かくはん棒（直棒：2号機）の観察と同様の観察方法を用い、減肉の有無を観察した。

観察の結果、有意な減肉は確認されなかった。減肉がなかった理由は、溶融ガラスに浸漬した時間が約0.5時間と非常に短かったためであると考えられる。これは、流下補助治具は、減肉が確認されたかくはん棒と異なり、腐食を考慮し待機位置にある際には溶融ガラスに浸漬しない構造としたためである。（添付資料－13参照）

## 7. 2 かくはん棒が曲がったことに対する要因分析

### 7. 2. 1 経過報告（その2）以降に行った調査結果を踏まえた評価

#### （1）設計、製造の観点

かくはん棒の簡易的な座屈評価を踏まえて、おもり治具を45kgfとして設計したが、固化セル内の重量計を用いた測定重量は約48kgfであった。ただし、「（3）荷重、荷重方向といった使用条件の観点」に述べるように、約48kgfのおもり治具による荷重では座屈荷重には至らないことを確認している。

#### （2）使用前の棒の強度低下の観点（使用前の棒の状態）

かくはん棒（2号機）について調査を行った結果、「7. 1. 1 かくはん棒（直棒：2号機）の観察」に示したとおり、曲がった部位に1mm程度の減肉が確認された。

減肉している箇所が経過報告（その2）で示したかくはん棒（1号機）とは異なり、かくはん棒の曲がった箇所の外側に見られることから、かくはん棒の引き抜き動作がしづらい状況が確認された状況において、かくはん棒を引き抜く操作を行った際に原料供給器の下部スリーブと接触したことによる圧痕と考える。（添付資料－14参照）

かくはん棒（2号機）の減肉が、曲がった後の引き抜き作業により発生したものであると想定されるため、減肉が曲がりの発生に寄与したことは考えられない。しかし、念のためこの減肉を模擬した条件で解析を行い、座屈荷重への影響を評価したところ、座屈荷重の低下は僅かであり、おもり治具48kgfの荷重に対して十分に大きな値であることから、この減肉が曲がりの原因とは考えられない。（添付資料－12参照）

なお、経過報告（その2）で示したかくはん棒（1号機）の減肉については、その位置がかくはん棒の溶融炉内での待機時において気液界面（ガラス液面）にあたる場所であるから、腐食によるものであると考える。（添付資料－14参照）

#### （3）荷重、荷重方向といった使用条件の観点

おもり治具の測定重量48kgfでも、おもり治具の重量のみで座屈荷重約79kgfを超えないため、経過報告（その2）で示した評価は変わらないことを確認した。（別添資料：添付資料－32参照）

また、パワーマニピュレータによるかくはん棒の押し込み操作を行った際に、かくはん棒がパワーマニピュレータにより拘束された状態で熱



膨張したことにより、熱膨張が荷重として作用し、かくはん棒が座屈に至った可能性について追加で評価を行った。伝熱解析の結果、かくはん棒を溶融炉に挿入してからパワーマニピュレータによる押し込み操作を行うまでの間に熱膨張はほぼ完了していたことが確認されたことから、かくはん棒の熱膨張が曲がりの原因とは考えられない（添付資料－15 参照）

上記の評価を反映した要因分析図を添付資料－16 に示す。

### 7. 2. 2 推定原因

経過報告（その2）以降に確認された事実等を踏まえた評価結果が経過報告（その2）において示した推定原因に対して影響するものではなかったことから、推定原因は以下のとおりであると考えられる。

「かくはん棒（直棒）の曲がりは、かくはん棒が斜めになった状態で上部からおもり治具及びパワーマニピュレータで過度の荷重を掛けたことで座屈荷重を超えた。」

### 7. 3 かくはん棒が曲がったことに対する対策

#### (1) 今回原因となった過度の荷重に対する対策

経過報告（その2）以降に確認された事実等が経過報告（その2）で示した推定原因に対して影響するものではなく、かくはん棒の曲がりは、かくはん棒の挿入状態が斜めになっている状況で、上部からの過度の荷重付加が原因で発生したものであることから、かくはん棒の曲がりに対する対策は、経過報告（その2）に示したとおり、「かくはん棒上部からのパワーマニピュレータによる荷重付加を行わないこと」とする。

なお、流下補助治具についても同様の対策とする。

#### (2) 減肉を考慮した今後のかくはん棒使用に対する対策

経過報告（その2）以降に確認された事実として、かくはん棒に当初設計では考慮していなかった減肉が確認されており、かくはん棒の曲がりの原因究明の中で減肉は今回のかくはん棒の曲がりの原因ではなかったと評価したものの、減肉が進行すると座屈荷重が減少し、おもり治具の荷重でも曲がることが考えられることから、今後のかくはん棒の使用に際し、減肉を考慮した対応を図る。

かくはん棒（直棒）の減肉が座屈荷重に与える影響について解析を行ったところ、おもり治具48kgfの荷重に対して、十分に保守的な評価として長さ約  mm にあたり約6mm減肉した場合に座屈に至

る結果が得られたことから、かくはん棒の減肉に対する管理として、以下の運転管理を適用することとする。(添付資料-17参照)

- ・保守的に減肉5mmを使用の制限値とし、さらに使用中の減肉の進行を考慮し、4mm以上の減肉がないことを確認したうえでかくはん棒を使用する

なお、かくはん棒の使用時間が通常の作業時間を大きく超える可能性がある場合には、減肉進行速度を踏まえ、当該かくはん棒の使用の可否を判断することとする。

流下補助治具についても同様の管理を行う。

## 8. 今後のガラス溶融炉の運転に対する対応

### 8. 1 ガラス溶融炉(A系列)に対する安全性評価

#### (1) 安全性評価

経過報告(その2)では、天井レンガが一部損傷している状態で原因究明のための熱上げ、レンガ回収等の作業を行うことに対し、その安全性を評価した。(別添資料:本文9章参照)

本報告では、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、「6.4 天井レンガの一部損傷に対する対策」で示したように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。

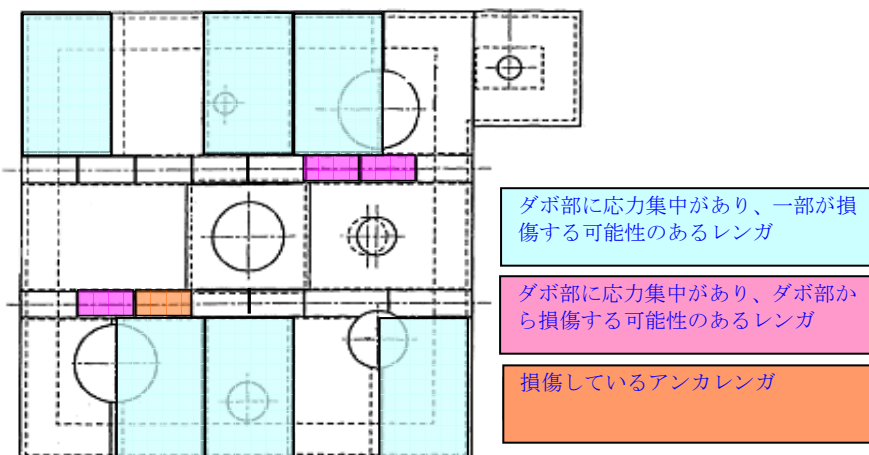
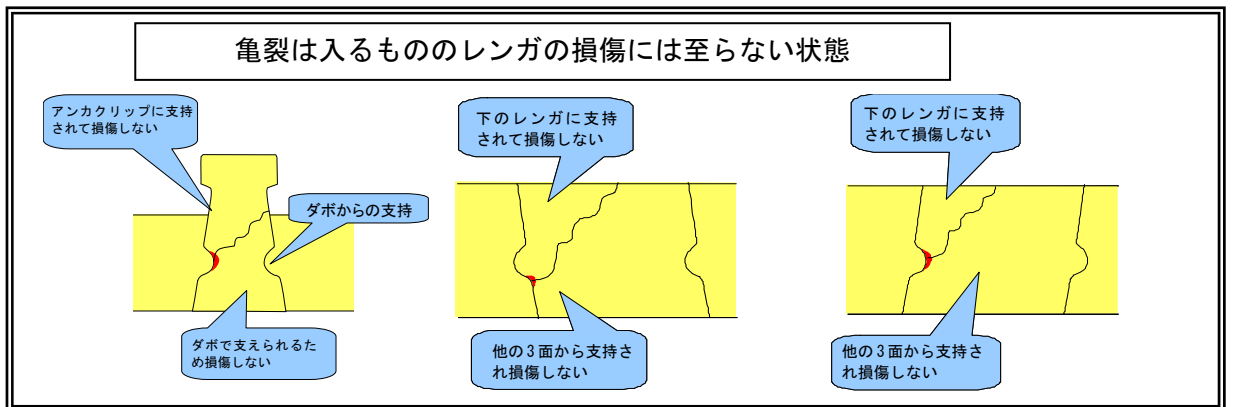
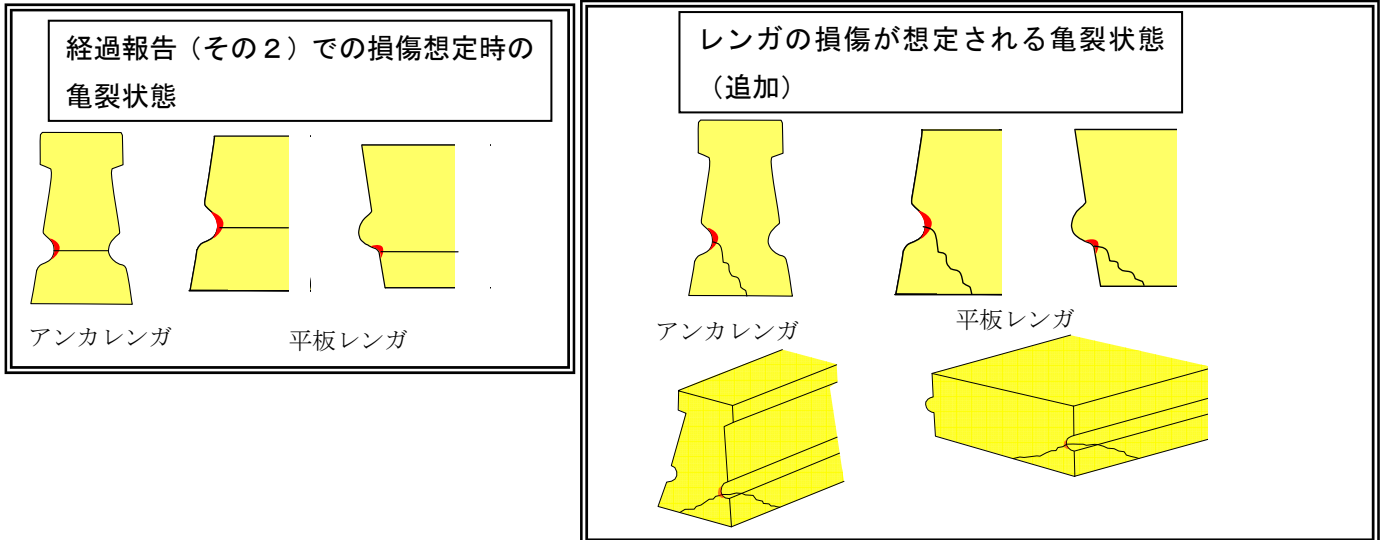
損傷の可能性のある部位として、経過報告(その2)では、

- ・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、「6.2.4 経過報告(その2)以降に得られた類似事例」で示した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

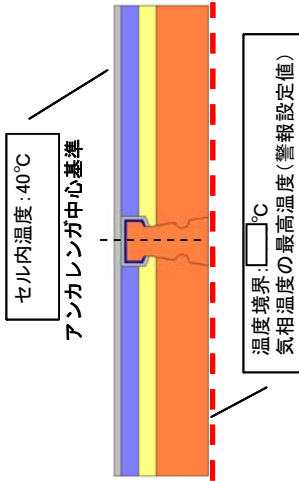
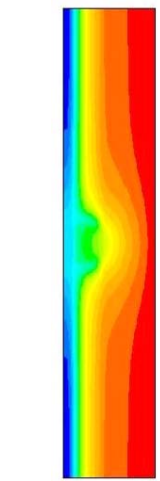
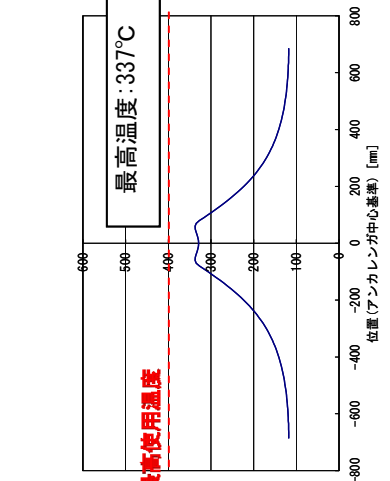
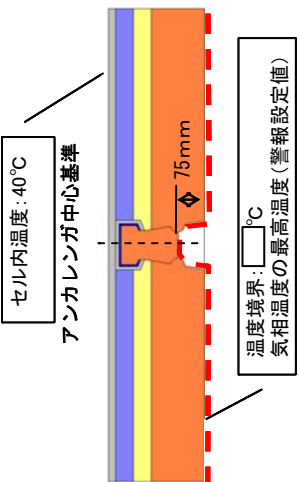
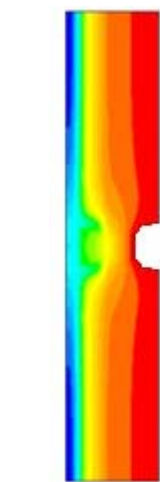
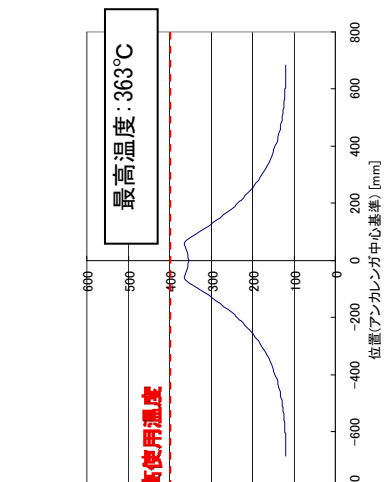
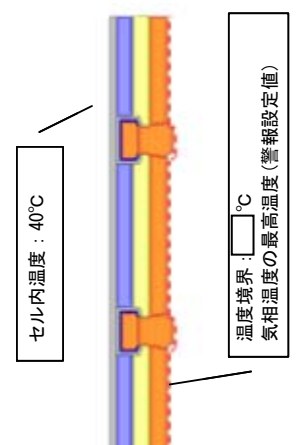
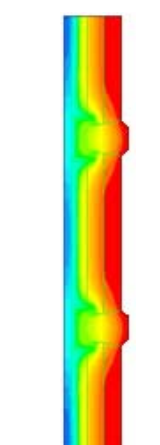
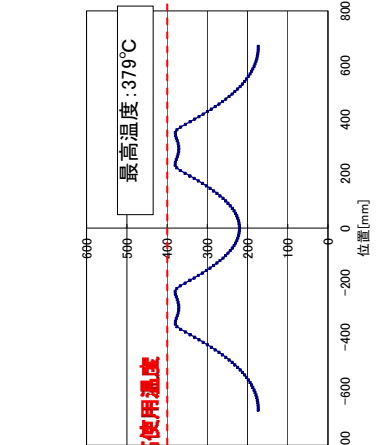

経過報告（その2）では、今回損傷したアンカレンガのダボ部から下が損傷した状態で隣接する平板レンガの荷重を支持できることを評価した。これは平板レンガを支えている3つのアンカレンガのうちひとつのアンカレンガのダボ部から下が損傷した状態で平板レンガの3分の1の荷重が支えられることを評価したものであり、荷重支持面に係る荷重が天井レンガの圧縮強度よりも十分に小さいという結果であった。万一平板レンガを支えている3つのアンカレンガのダボ部から下が全て損傷した場合を想定しても3つのレンガともが経過報告（その2）で評価した状態（ダボ部から上の面で平板レンガを支持する状態）になるということであり、支持すべき平板レンガを十分に支持できるという評価に変わりはない。（別添資料：添付資料－34参照）

#### ②ガラス溶融炉の耐震性

評価に関連するケーシング温度は、伝熱解析により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経過報告（その2）で確認している。（別添資料：本文9章表－2参照）その伝熱解析は2次元で行っており、奥行き方向には境界を設定していないことから、損傷する可能性のあるアンカレンガが全て損傷した場合においても、この伝熱解析の結果に変わりなく、ガラス溶融炉の耐震性に影響を与えるものではない。

さらに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379℃で最高使用温度400℃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。

ケーシング温度への影響確認結果

	<p>通常状態</p>  <p>セル内温度: 40°C</p> <p>アンカレンガ中心基準</p> <p>温度境界: □°C</p> <p>気相温度の最高温度(警報設定値)</p>		 <p>最高温度: 337°C</p> <p>最高使用温度</p> <p>温度 [°C]</p> <p>位置(アンカレンガ中心基準) [mm]</p>
<p>アンカレンガのダボ部から下が無い状態</p>	 <p>セル内温度: 40°C</p> <p>アンカレンガ中心基準</p> <p>75mm</p> <p>温度境界: □°C</p> <p>気相温度の最高温度(警報設定値)</p>		 <p>最高温度: 363°C</p> <p>最高使用温度</p> <p>温度 [°C]</p> <p>位置(アンカレンガ中心基準) [mm]</p>
<p>アンカレンガ、平板レンガのダボ部から下が無い状態</p>	 <p>セル内温度: 40°C</p> <p>温度境界: □°C</p> <p>気相温度の最高温度(警報設定値)</p>		 <p>最高温度: 379°C</p> <p>最高使用温度</p> <p>温度 [°C]</p> <p>位置 [mm]</p>
<p>解析条件</p>			<p>ケーシング表面温度</p>
<p>解析結果</p>			

## 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

経過報告（その2）で行った評価に加え、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。（添付資料－18参照）

炉底部レンガについては、経過報告（その2）で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ており、評価に変わりはない。

## (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ない。
- ・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ない。
- ・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。

## 8. 2 今後の対応

ガラス溶融炉（A系列）と同仕様のガラス溶融炉（B系列）についても、これまでに化学試験等においてガラス溶融炉（A系列）と同様の運転を実施してきた経緯があり、既に天井レンガに損傷が生じている可能性も否定できないことから、次回の試験開始前に天井部の観察を行い、レンガの損傷がないことを確認したうえで試験運転を開始することとする。

以 上