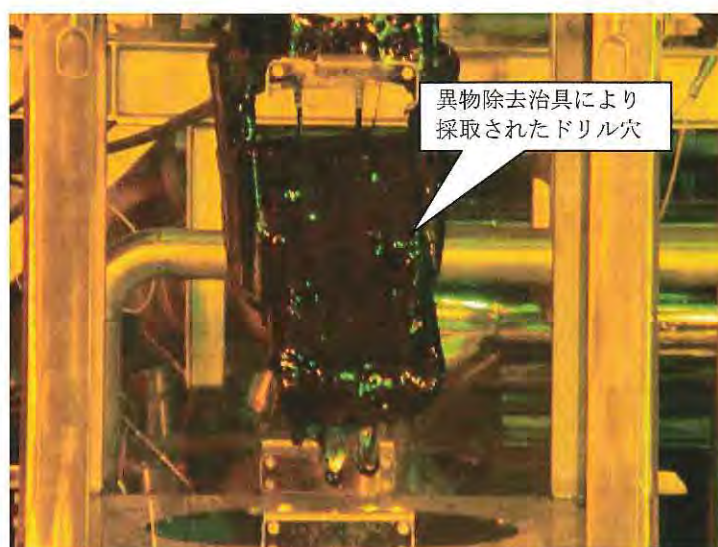
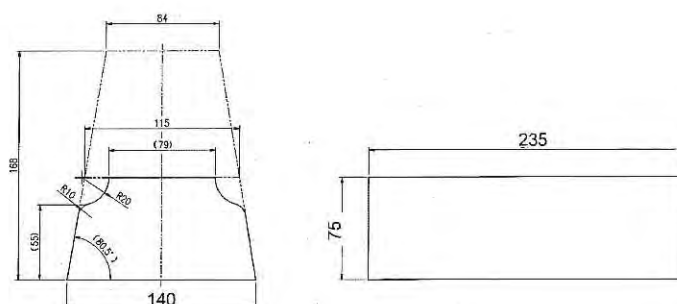


回収したレンガの観察

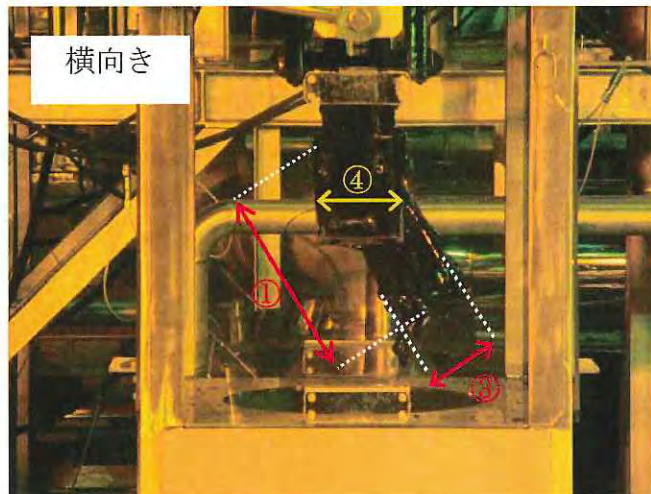
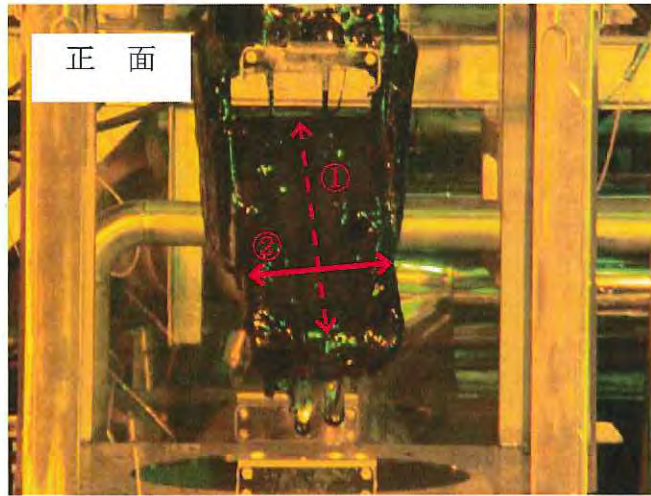
回収したレンガを観察した結果、その形状から、天井アンカレンガは、経過報告（その2）の推定原因により損傷した場合に推定されるとおりの損傷状態（アンカレンガダボ部からほぼ水平に損傷、脱落した）であったこと、及び2つ以上に分割されずに、脱落したままの形状で炉底部に存在していたことが確認された。



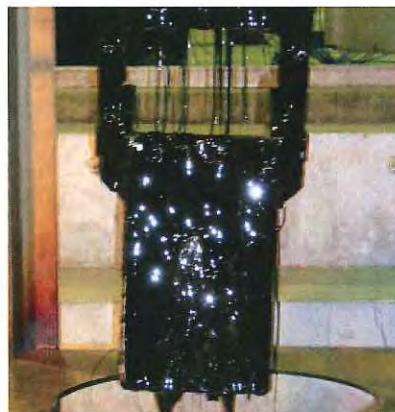
レンガはガラスに覆われており正確な寸法はわからないものの、モックアップ試験の経験から、ガラスが付着した状態でも、おおよその寸法が推測できることがわかっている。観察写真より回収治具の把持板の寸法との比較でレンガの寸法を算出したところ、ほぼ、ダボ部より下のアンカレンガの寸法であることを確認した。



落下したレンガの推定形状・寸法



- ① 長さ：約 24 cm (把持板の幅④との比較より算出)
- ② 幅：約 14 cm (長さ①との比較より算出。なお、寸法の算出に用いた正面写真ではレンガが奥側へ傾いているため、傾きを考慮したうえで算出している)
- ③ 高さ：約 8 cm (把持板の幅④との比較より算出)
- ④ 把持板の幅：10.5 cm (比較のための参考)



(正面)

(横向き)

参考：モックアップにおける回収レンガ

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

ガラス溶融炉の熱上げにより炉内の溶融ガラスに含まれるアルカリ成分が蒸発・揮発し、そのアルカリ成分がガラス溶融炉の運転・停止（温度の上下）に伴いレンガ間の目地部隙間に凝縮することにより、アルカリによるレンガ成分の化学変化を引き起こし、損傷に至らせた可能性について評価を行った。

1. 想定されるアルカリ成分によるレンガ損傷メカニズム

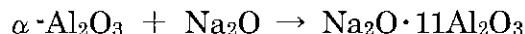
ガラス溶融炉は、放射性物質の閉じ込めの観点から、廃ガス処理設備により炉内気相部を負圧（炉外との相対差圧：約□kPa）に保っている。このため、炉内の蒸発・揮発成分は気相部に滞留することはないと考えられるが、溶融炉の運転・停止（温度の上下）に伴いレンガ間の目地部にできた隙間で蒸発・揮発成分が付着し凝縮する可能性がある。

当該レンガ（今回損傷した天井部アンカレンガ）部において想定されるアルカリ成分によるレンガ損傷メカニズムは図1に示すとおり、目地部へ凝縮したアルカリ成分がレンガ表層へ浸透し、レンガ成分であるアルミナの変質又はジルコンの分解を引き起こしレンガを脆化させてしまう*経路である。

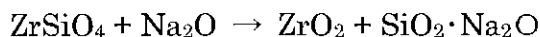
※ アルミナがβアルミナに変質すると体積が膨張する。また、ジルコン（ZrSiO₄）がジルコニア（ZrO₂）とシリカ（SiO₂）に分解された場合、分解されたジルコニア変態温度が900～1000℃にあることで熱膨張、収縮が起きることがある。レンガの目地部にアルカリが付着・凝縮し、さらにクラックが広がるといった現象が起きている可能性がある。

（アルカリ成分による反応の例）

○βアルミナへの変質



○ジルコンの分解



（またはNa₂O, ZrO₂, SiO₂の3元化合物）

上記化学式の係数は結晶層の状態によって変化する

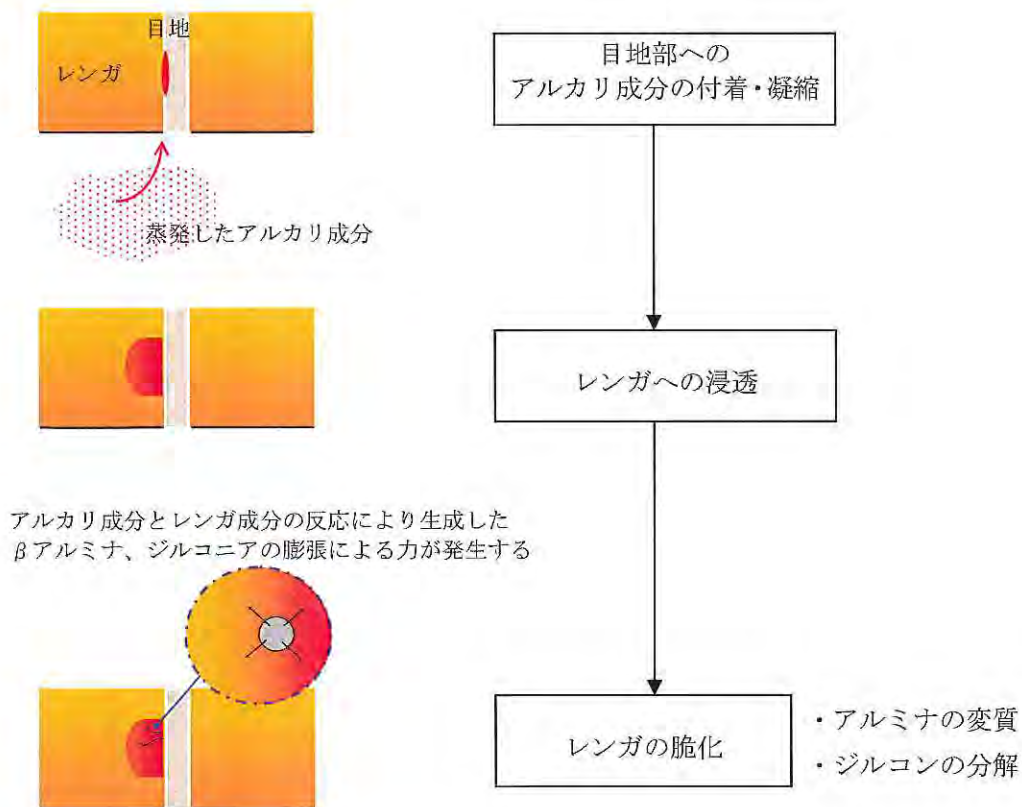


図1 想定されるレンガ損傷フロー

2. アルカリ成分の分析による評価

(1) 分析内容

1. で想定したレンガ損傷の要因の有無を確認するために、天井レンガの成分分析を行い、以下の点について確認することとした。ただし、当社再処理工場のガラス溶融炉（A系列）はアクティブ環境にあることから、直接当該炉のレンガを分析することが難しいため、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、「KMOC」という）のレンガの表面付着物について分析を行った。

- ①天井レンガへのアルカリ成分の付着の有無
- ②天井レンガへのアルカリ成分の浸透の有無
- ③βアルミナへの変化の有無
- ④ジルコンの分解の有無

KMOCでは、当社ガラス溶融炉と同仕様のガラス及び当社ガラス溶融炉

で処理する廃液を模擬した模擬廃液を用いて、運転を実施してきたことから、代替として評価に足るものと判断した。

(2) 分析対象

(2-1) サンプル採取箇所選定のための事前分析

天井レンガサンプル採取箇所を選定するに先立ち、複数の天井レンガの採取可能な位置から表面付着物を採取し、アルカリ成分の付着状況の分布について確認した。具体的には、表1及び図2に示す位置についてサンプルを採取し、さらに開口部の深さ方向に対する相違について確認するために中央マンホールノズル穴の深さ毎のサンプルを採取した。

表1 表面付着物のサンプル取得位置

中央マンホールノズル	間接加熱装置ノズル (北西側)	間接加熱装置ノズル (南東側)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 250mm 深 (断熱ボード) ・ 200mm 深 (キャストブル) ・ 150mm 深 (AZGS レンガ) ・ 100mm 深 (AZGS レンガ) ・ 50mm 深 (AZGS レンガ) ・ 0mm 深 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 0mm 深 ・ 逆壁面 (外) 上側 ・ 逆壁面 (外) 下側 ・ 中央壁面上側 ・ 中央壁面外側 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 0mm 深 ・ 逆壁面 (外) 上側 ・ 逆壁面 (外) 下側 ・ 中央壁面上側 ・ 中央壁面外側

※ 深さはいずれも天井レンガ底部からの距離

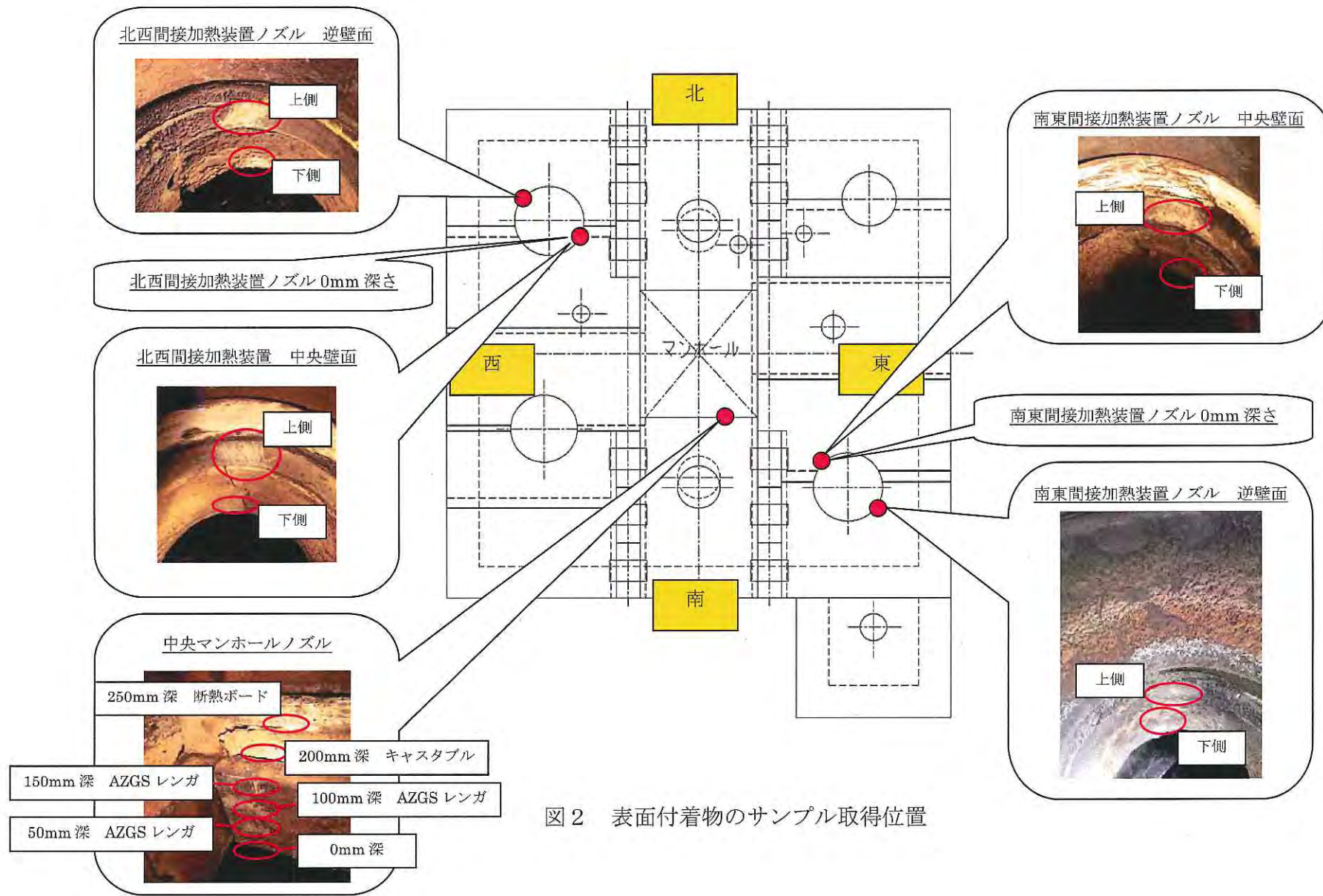


図2 表面付着物のサンプル取得位置

採取したサンプルに対し、X線蛍光分析(XRF)及び湿式分析を行った結果、以下の分析結果が得られた。

- ・アルカリ成分であるナトリウム(Na)が検出された。
- ・採取位置及び中央マンホールノズル穴の深さ方向について有意な差は確認されなかった。

以上より、天井レンガ表面全体にアルカリ成分が付着していることが確認された。

(2-2) サンプル採取箇所の選定

上記の事前分析の結果から、天井レンガへのアルカリ成分の付着箇所の選択性は無く、天井レンガ表面全体にアルカリ成分が付着していることが確認されたこと、及びアンカレンガと平板レンガ間には目地材があるため直接アンカレンガダボ部からのサンプル採取は不可能であることから、分析・評価に必要なサンプルについては、採取可能な位置から採取することとした。

アルカリ成分がアンカレンガ目地部(隙間)で凝縮する事象を評価するために、天井レンガマンホール蓋部からサンプルを採取することとした。天井レンガマンホール蓋部は四方が天井平板レンガに囲まれており、その側面は、アンカレンガと平板レンガが面で接している状況に近い。

さらに、平板レンガとの間に目地材があるアンカレンガに比較して、天井レンガマンホール蓋部と平板レンガの間には目地材がないため(隙間があるため)、アルカリ成分がレンガの間に入りやすいことから、その影響は顕著に現れると考えられる。

具体的には、図3に示すように、天井マンホール蓋の側面のレンガに対し、レンガ表面近傍(炉内側表面から45mmの変色域)及びアンカレンガダボ部深さに相当する位置(炉内側表面から80mm)からサンプルを採取した。サンプルを採取した天井レンガマンホール蓋部は、4隅において80mm高さ付近でも変色が見られるが、これは、天井レンガマンホール蓋部は温度計を設置できるように4隅を欠いた構造としているため、この部分が炉内雰囲気日晒されているためである(図3参照)。このような特殊性による影響を排除するために、80mmサンプルでは隅から離れた場所からサンプルを採取することとした。

なお、比較対象とするために未使用のAZGSレンガ及び損傷したKMOCアンカレンガ(添付資料-6参照)の図3に示す箇所からもサンプルを採取し分析を行った。

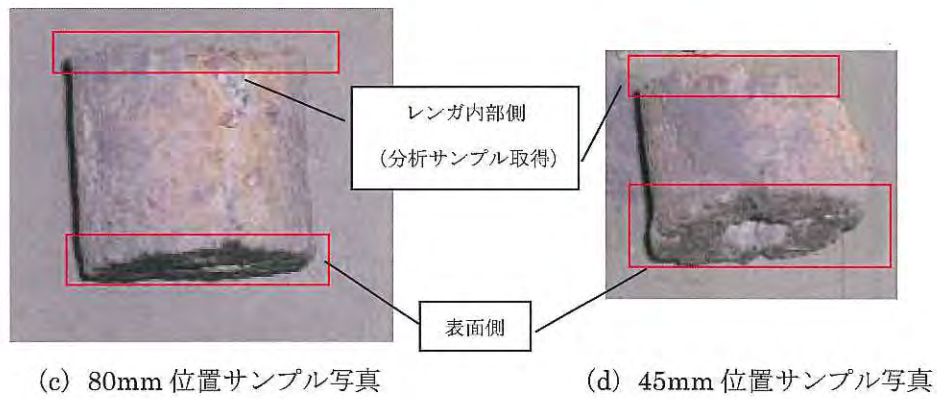
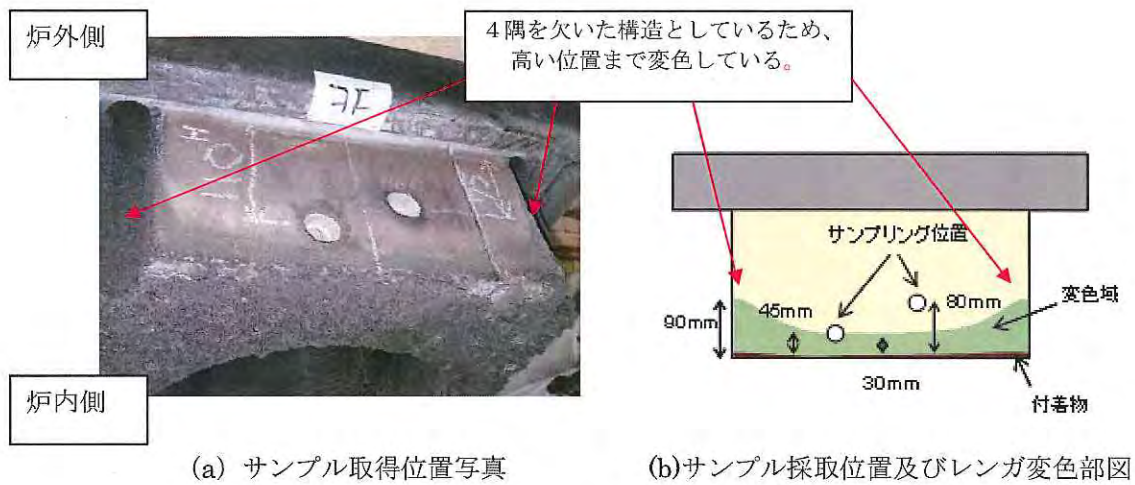


図3 サンプル採取位置及びレンガサンプル

(3) 分析方法

各レンガ表面のサンプルに対し、以下の分析を行い、成分及び変質の状況を確認した。

①天井レンガへのアルカリ成分の浸透の有無

分析内容 : Li、Na、Al、Zr 成分の分析
分析方法 : X線蛍光分析(XRF)、湿式分析

②βアルミナへの変化の有無

分析内容 : βアルミナ結晶の分析
分析方法 : X線結晶構造解析(XRD)

③ジルコンの分解の有無

分析内容 : Zr-Si 結晶の分析
分析方法 : X線結晶構造解析(XRD)

(4) 分析結果

分析結果は以下のとおり。

【XRF、湿式分析結果】

- ①レンガサンプルと未使用のAZGSレンガとで成分に大きな差異は見られませんが、レンガサンプルからは若干量のNa成分が検出された。
- ②損傷した天井レンガからはNa成分は検出されなかった。

【XRD 分析結果】

- ③レンガサンプル及び未使用のAZGSレンガからZr-Si結晶が確認された。
- ④45mmのサンプルで若干のジルコンへの分解が見られる。
- ⑤レンガサンプル及び未使用のAZGSレンガからはβアルミナ結晶は確認されなかった。
- ⑥損傷した天井レンガからはジルコンへの分解、βアルミナ結晶は確認されなかった。

上記分析結果より、以下のとおり評価できる。

- ・分析結果①より、レンガ表面からアルカリ成分であるNaが浸透することが確認できた。
- ・分析結果③、④より、炉内側表面に近い45mm距離においてはジルコンの分解が確認されたが、炉内側表面から遠い80mm距離においてはジルコンの分解が確認されなかった。
- ・分析結果⑤より、アルミナのβアルミナへの変質は確認されなかった。

- ・分析結果②、⑥より、損傷した天井レンガではアルカリ成分の浸透は無く、その影響によるジルコンの分解及びβアルミナへの変質も確認されなかった。

3. まとめ

ガラス中のアルカリ成分の凝縮によるレンガ損傷の可能性を検討することを目的に、KMOC 天井マンホール蓋の側面のレンガについて分析を行った。分析結果より以下のことを確認した。

- ・天井レンガ表面から、蒸発・揮発したガラス中のアルカリ成分が浸透する。
- ・浸透したアルカリ成分により、表面に近い位置ではレンガ脆化の原因となる可能性があるジルコンの分解が発生しているが、表面から遠い位置においてはジルコンの分解は発生していない。
- ・レンガ脆化の原因となる可能性があるアルミナのβアルミナへの変質は発生していない。

以上より、表層部分でのアルカリ成分の浸透によるジルコンの分解はあるものの、ダボ部までのアルカリ成分の浸透やジルコンの分解はなく、ジルコンの分解が原因となり天井レンガが損傷に至ったことはないと考えられる。

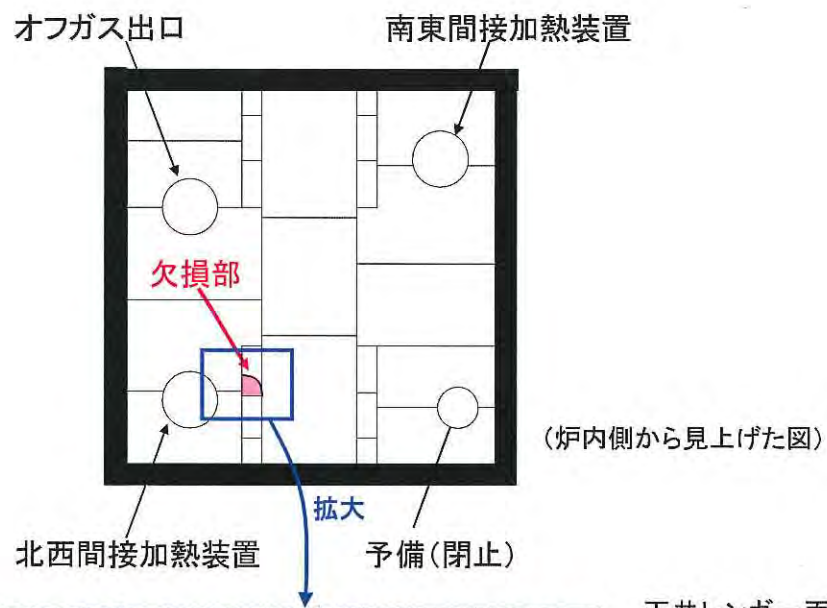
以 上

経過報告（その2）以降に得られた類似事例について

1. レンガ損傷状況

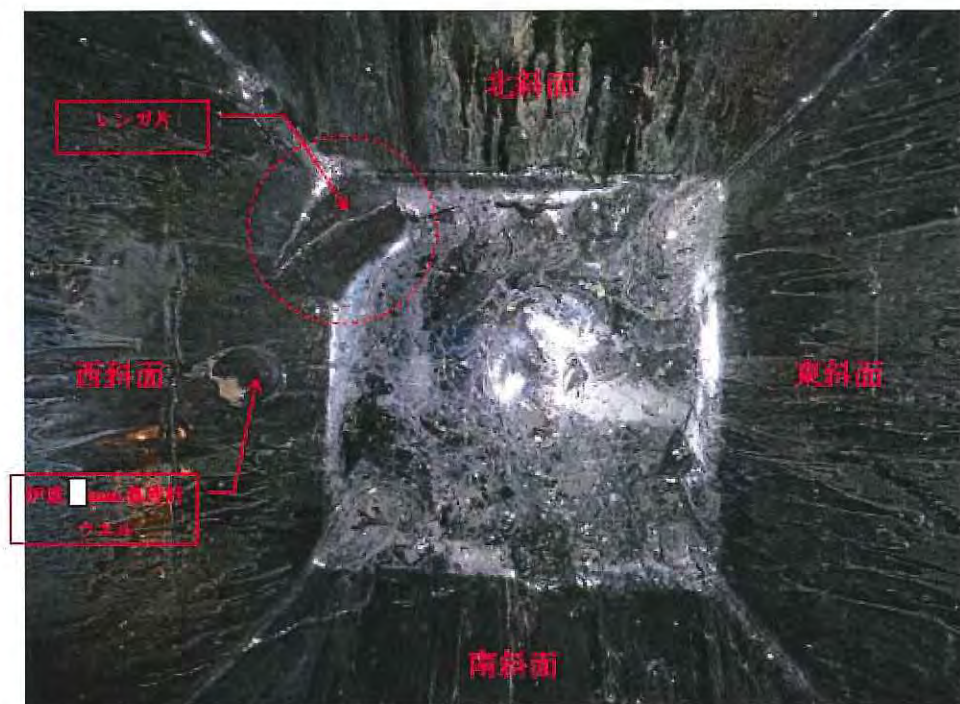
当社ガラス溶融炉と同規模の確証改良溶融炉（以下、「KMOC」という）において、ガラス溶融炉の運転方法の改善に係る運転データ取得等のために、平成21年11月から約8ヶ月間模擬廃液を用いた運転を行った後、ドレンアウト、放冷を行い、炉内の観察を行ったところ、間接加熱装置に近いアンカレンガのひとつが損傷し、炉底部に落下していることが確認された（当社ガラス溶融炉との類似事例の発生）。

損傷状態としては、アンカレンガ角部が損傷していたというものであった。



天井レンガ一面を覆っている黒いものは、廃液成分等の炉内からの付着物





(炉底部の観察)

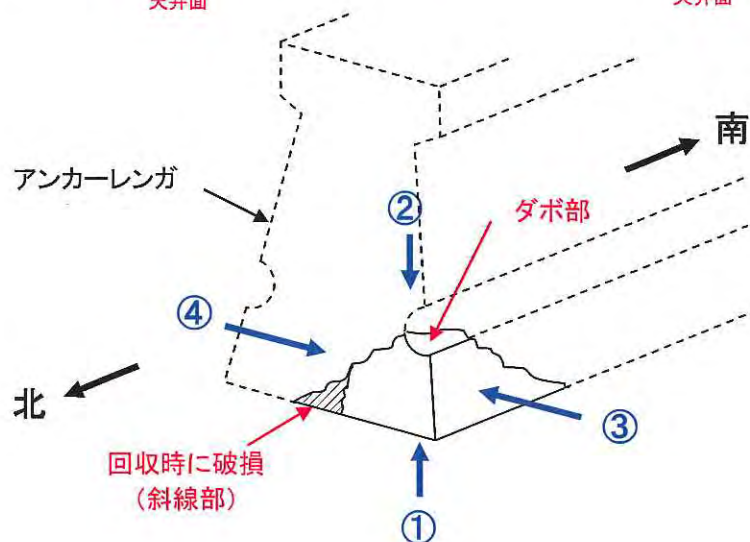
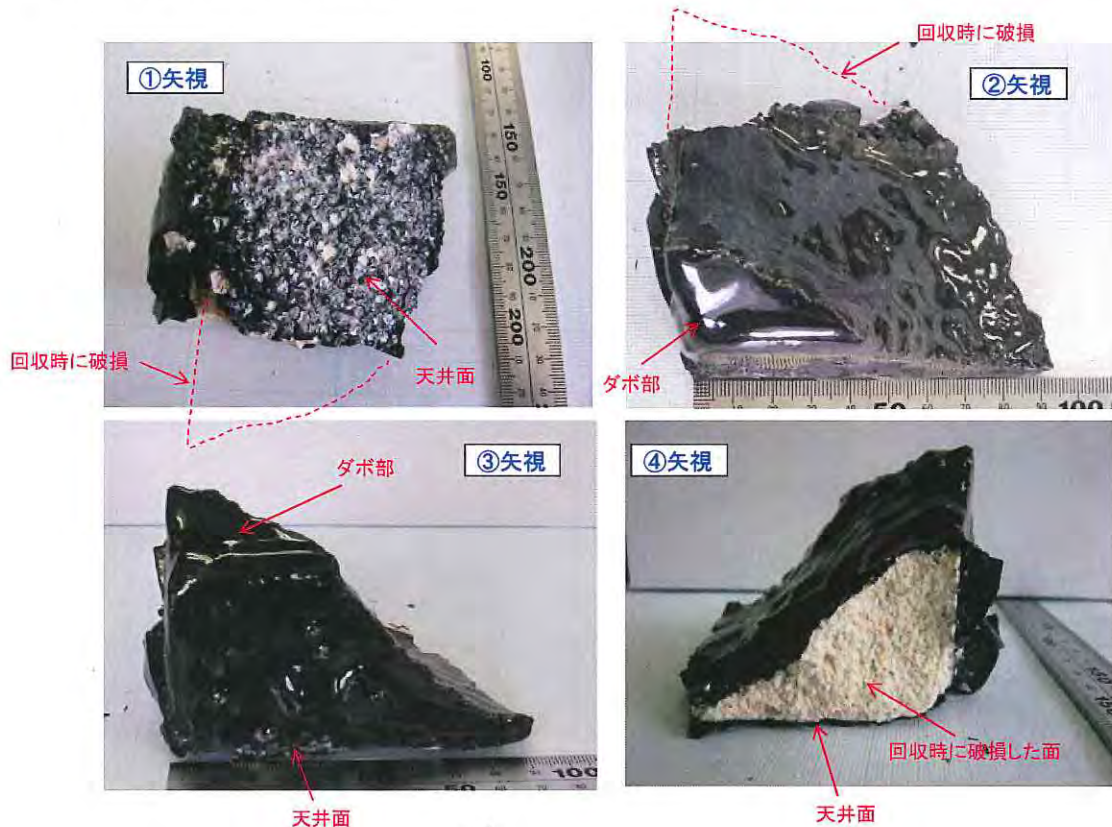
なお、平成 22 年 3 月に行った炉内観察で実施した打音検査では、当該アンカレンガに打音不良は確認されていなかった。



(平成 22 年 3 月実施の炉内観察時の該当部
(打音検査のため付着物を除去した後の様子))

2. 損傷レンガの観察

損傷レンガは、天井面側が西側傾斜面によりかかる状態で落下しており、先端が底部電極北西スリットに食い込んでいるため、回収時にレンガの一部が破損したものの、回収した損傷レンガは欠損部とほぼ一致する形状であった。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、角の部分が欠けたものと推定される。



3. 運転データ

上記1. の期間に実施した KMOC 試験では、仮焼層や炉底部サンプリング等のため、間接加熱装置の入/切を頻繁に行っており、ヒータ温度降温速度が 50℃以上の操作を 24 回実施している。

ヒータ温度降下の理由	回数	ヒータ温度降温速度 [℃/10分]
溶融ガラス試料採取（仮焼層、炉底部サンプリング）のため、間接加熱装置を停止させた	13回	146～272
ホットトップ運転（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）へ移行させるため、間接加熱装置を停止させた	5回	51～163
仮設温度計を挿入/撤去するため、間接加熱装置を停止させた	2回	160～186
品質管理データを取得する等のため、間接加熱装置を停止させた	4回	131～254

4. 推定原因

今回の KMOC 試験では、溶融ガラス試料採取等のため、大きな熱応力が発生する間接加熱装置の入/切を頻繁に行う運転を実施していた。

また、天井レンガの損傷部位は間接加熱装置の近傍のアンカレンガであり、損傷の発生部位はダボ部である。

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 試験における試料採取等に伴い、間接加熱装置の電源を停止する操作を行ったため、そのときのヒータ温度降温速度が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であると考える。

以上