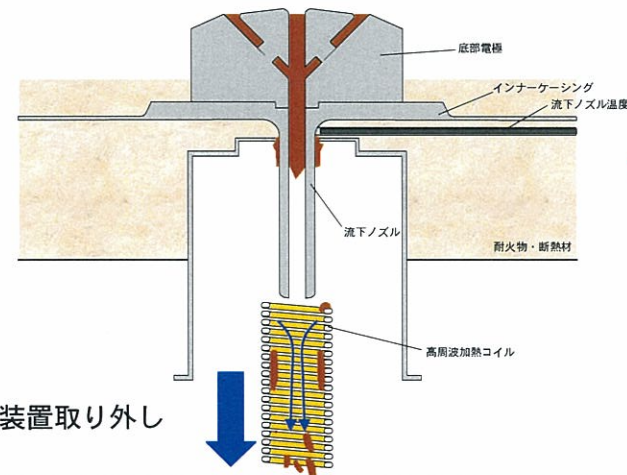


結合装置取り外し時



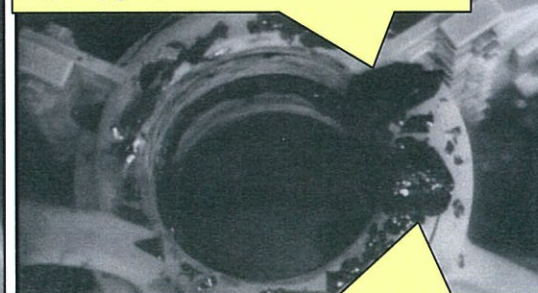
高周波加熱コイル内に流下ノズルがなくなり、落下スペースができたところで、コイル上段部のガラスが下方へ落下した。コイル中段は上下段よりもコイル内径がやや狭いこともあり、落下しなかった。

コイル内側からコイル上面に倒れるような形でガラスが残留している。

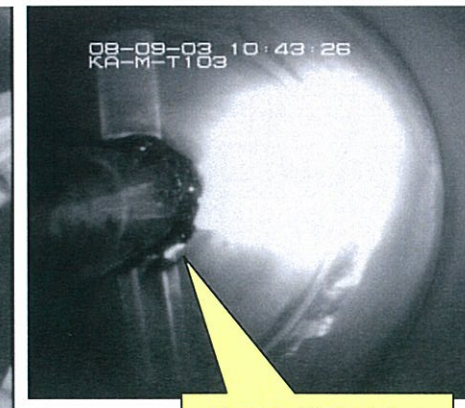


ガラスの厚みはコイル上面と、結合装置内天井面との間の隙間と同程度である。

コイル内側からコイル上面に倒れるような形でガラスが残留している。



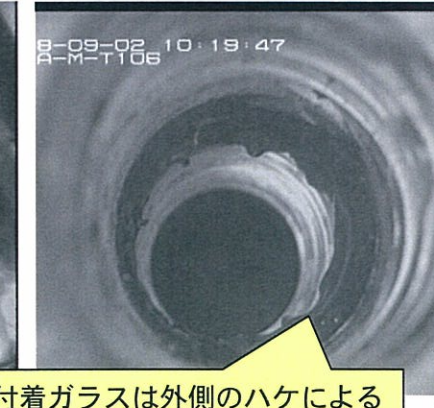
結合装置取り外し時に、ガラスの一部がコイル上面に残留した。



ガラスがノズル上端部に残留した。



結合装置取り外し時に、かなりの量のガラスが下方へ落下していることを確認した。

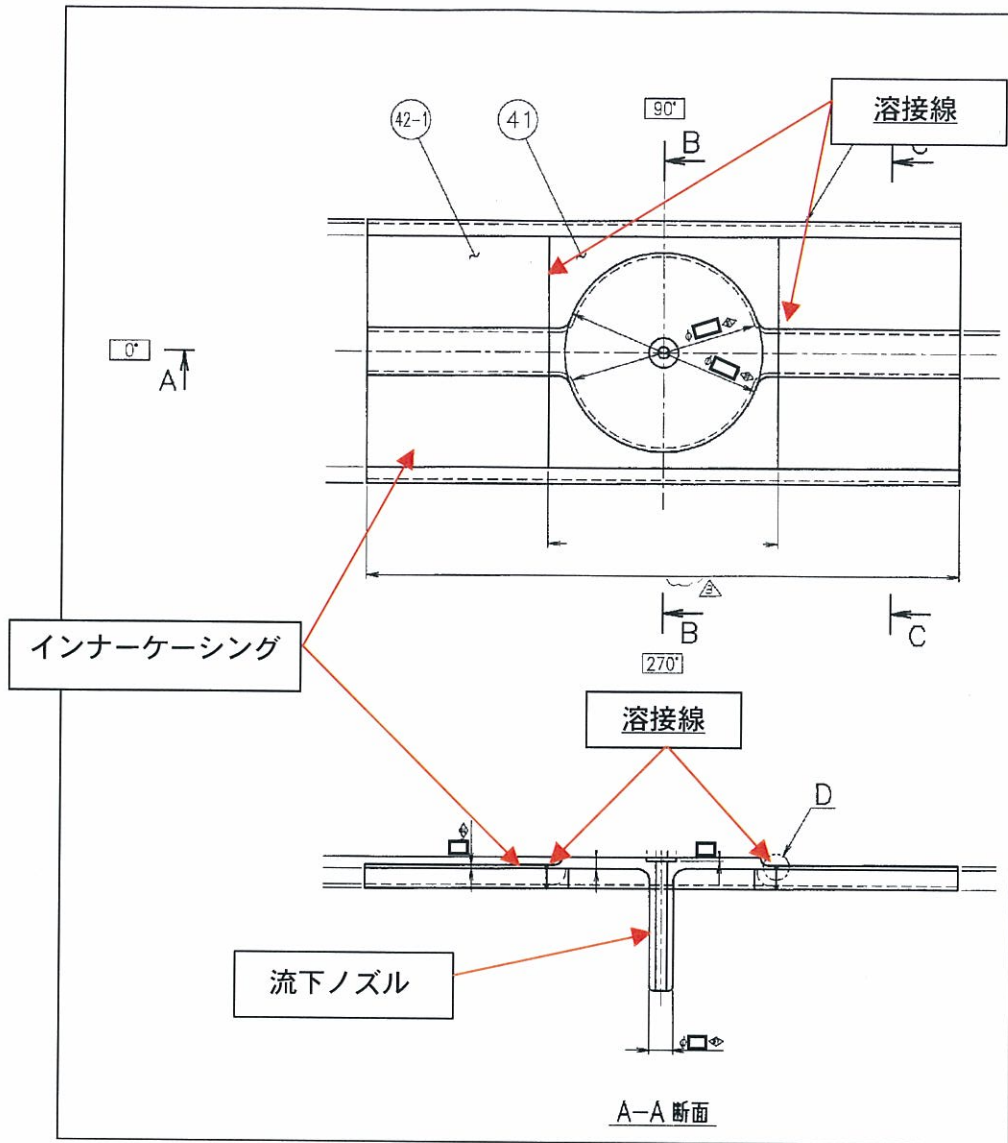


付着ガラスは外側のハケによる清掃の振動で容易に落下したことから、引っかかっていたのみと考えられる。



付着ガラス落下後のコイル内側（コイル中段部は上下段部に比べ、コイル径がやや狭い）

事実	要因1	調査データ						現在までの調査	現在までの評価	
		AT データ	コード 試験データ	観察	分析	解析	試験			
・流下ノズル上端部にガラスが付着していた	流下ノズル出口がガラス等で塞がれた状態で流下ノズルから流れたガラスが上昇した	○		○		○		<ul style="list-style-type: none"> ・流下時のITV観察において流下ガラスが鉛直に流れていないことや、結合装置内観察において、ガラスガイド管や高周波加熱コイルにガラス等の付着物が付着していることを考慮すると、流下ガラスが鉛直に流れず、流路障害となるガラス付着物に接触し、それを基点に閉塞したことは十分考えられる。 ・流下ノズル下の高周波加熱内側にガラスが付着し、固化体容器への流路を塞いだ後、熔融炉内ガラスのヘッド圧により、流下ガラスが高周波加熱コイルと流下ノズル間を上昇したことが考えられる。 	・要因の一つと考えられる	○
	流下ノズル上端部周辺のクラック等からガラスが流出した	○	○	○		○		<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズル上端部の部分的なクラック等から流出したものと仮定すると、流下中に流出したガラスは糸状ガラスまたはクラック幅の形状で流下ノズル上端部に流出・推積すると考えられる。さらに、このような場合のガラスの付着状況は、破損部位を中心に下に向かってガラスが残留するものと考えられる。 ・流下ノズル寿命(高温クリープ疲労)に対する解析結果(資料-1)やインコネルに対する侵食試験の結果(資料-2)などから、クラック等が発生したことは考えにくい。 ・確認改良熔融炉(KMOC)ではガラス固化体を約300本製造(今回運転していたガラス熔融炉では化学試験から200本程度のガラス固化体を製造)しているが、ガラスの流出などは観察されていない。 ・流下ノズルはガラス熔融炉からのガラスの流出を防止しているインナーケーシングと一体構造であり、流下ノズル部には溶接線はないことから、溶接に欠陥が生じて漏えいした可能性は低い(図-1参照)。 ・温度解析の結果、熔融ガラスがインナーケーシングの上面に沿って外周に進んで軟化点以下の温度領域まで達しないことを評価している。また、インナーケーシングまわりの温度は、ガラスの軟化点以下になることを解析により確認しており、熔融ガラスがインナーケーシングを回り込んで流出する可能性は極めて低い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・可能性は極めて低い ※流下ノズル健全性及び流下性確認試験で流出がないことを確認する。 	△
	ガラス中の揮発性物質が揮発し付着した	○	○						<ul style="list-style-type: none"> ・化学試験終了時に流下ノズル上端部に付着物がないことが確認されている。つまり、化学試験中に付着がなかったことから、アクティブ試験中にガラスが付着したとは考えられない(図-2参照)。 	・要因とは考えられない



流下ノズルはガラス溶融炉からのガラスの漏えいを防止しているインナーケーシングと一体構造であり、流下ノズル部には溶接線はない。

図-1 流下ノズルの溶接部

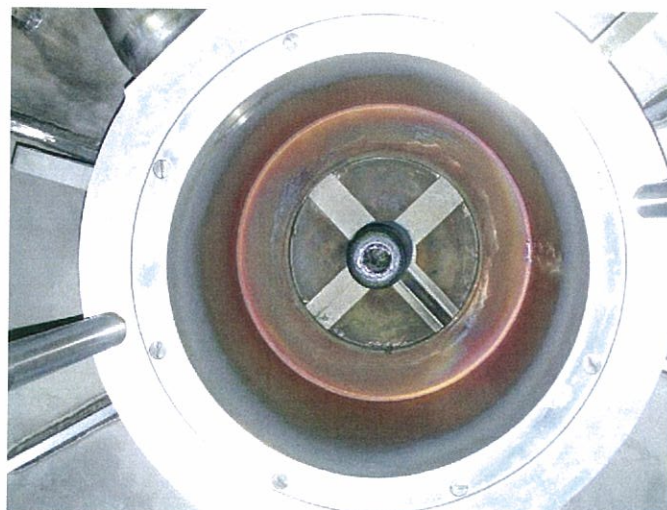


図-2 化学試験終了後のノズル観察

資料－ 1 高温クリープ及び疲労による流下ノズルの寿命評価

1. 流下ノズルの寿命評価概要

流下ノズルの寿命評価の概要は以下のとおりである。

- ①運転中の流下ノズルの温度履歴を入力条件とした熱伝導解析を実施し、流下ノズル熱弾塑性クリープ解析用温度入力データ（温度分布）を作成する。
- ②上記温度分布を用いた熱弾塑性クリープ解析を実施する。
- ③得られた応力・ひずみの時間変化（解析結果）から流下ノズルのクリープ疲労寿命予測を実施する。

なお、熱解析については STAR CD 3.1B、応力解析については ABAQUS 6.6.3 を使用した。

2. 熱弾塑性クリープ解析結果を用いたクリープ疲労寿命評価について

評価方法は、ASME SEC III Div.1 Subsection NH における評価に準じてクリープ疲労評価を行った。評価式は以下のとおりである。

$$\sum_{j=1}^p \left(\frac{n}{N_d} \right)_j + \sum_{k=1}^q \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)_k \leq D \quad (=1) \cdots \cdots \text{評価式}$$

疲労による損傷度 クリープによる損傷度

$(N_d)_j$: サイクル j における相当ひずみ範囲に対する許容繰返し数

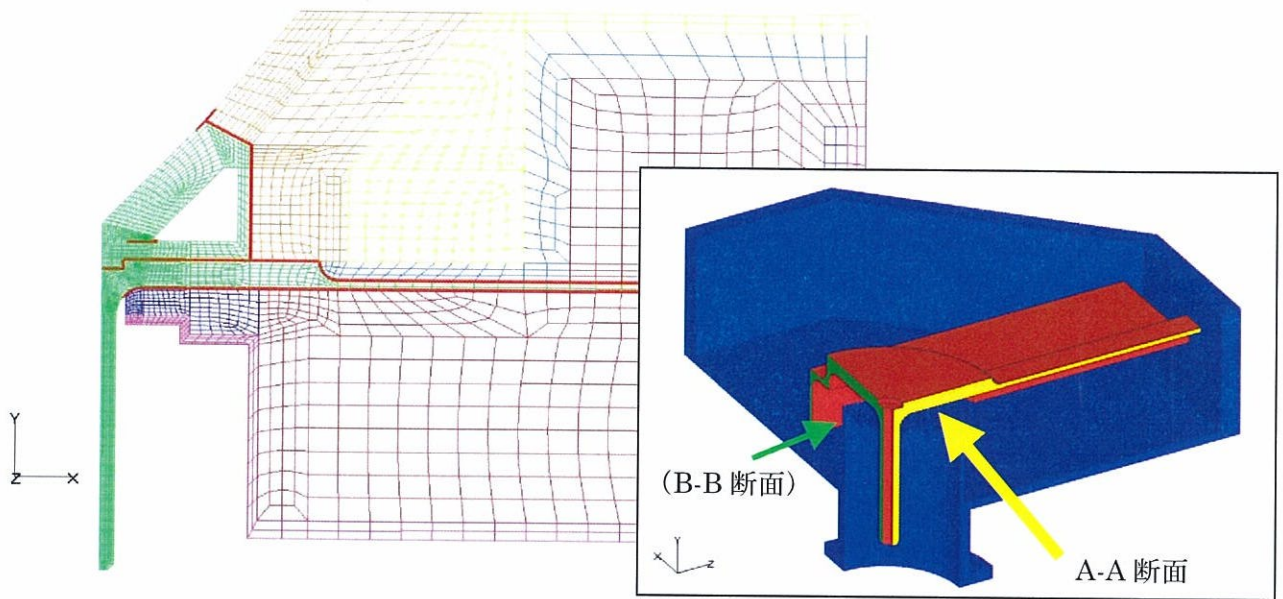
$(T_d)_k$: 時間間隔 k における評価点の最高温度、および、応力に対応する最小クリープ破断強度より求められる許容時間。

$(n)_j$: サイクル j の繰返し数

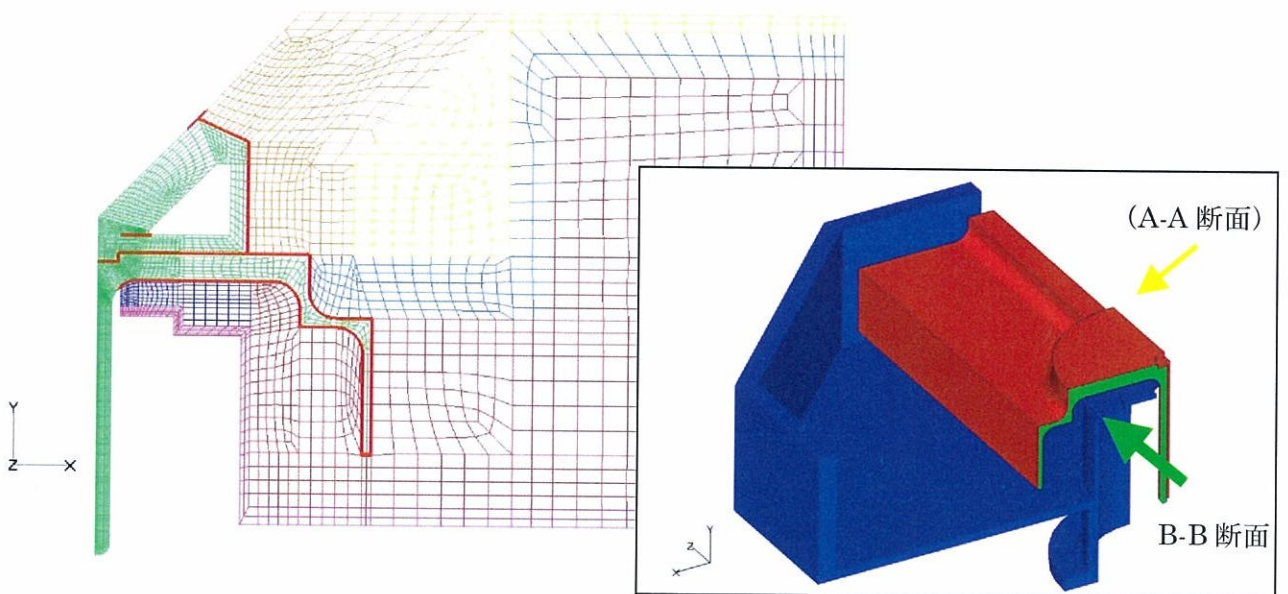
$(\Delta t)_k$: 時間間隔 k の継続時間

3. 解析モデル

解析モデルを以下に示す。



解析モデル(A-A 断面)



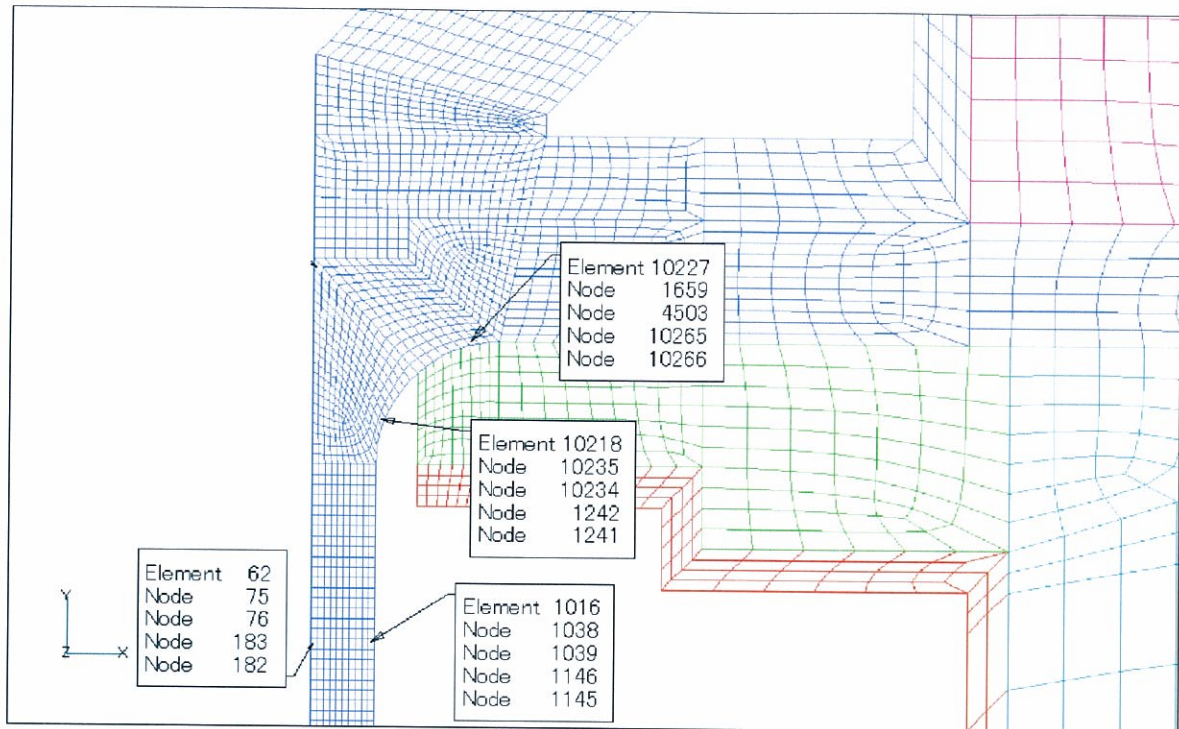
解析モデル(B-B 断面)

4. 寿命評価結果

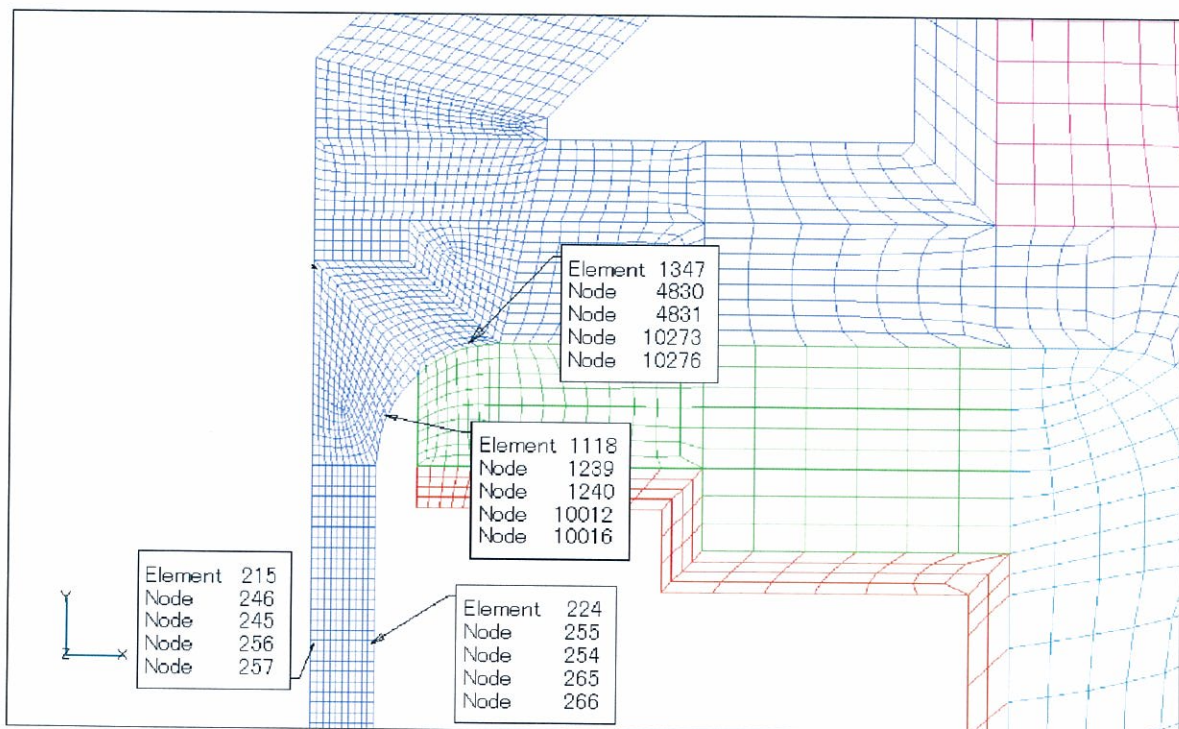
寿命評価は2の評価式に基づき、評価式内の N_d は実験データを使用した。また、引張と圧縮の強度の違いを考慮して実施した。

評価の結果、流下可能回数は2800回（ガラス溶融炉の寿命期間中の流下本数は約2500本）となり、十分に余裕がある。

以上



クリープ疲労損傷度評価点位置(A-A 断面)



クリープ疲労損傷度評価点位置(B-B 断面)

資料－２ 流下ノズルの耐食性について

１．はじめに

「ガラス溶融炉におけるガラスの流下停止」に係る原因究明において、溶融炉底部から流下ガラスが流出し、流出ガラスが流下ノズルと高周波加熱コイル間を下降したというケースを検討する上で、流下ノズルのインナーケーシングにクラック等が発生し、溶融ガラスが流出したというシナリオが考えられる。

クラック等の要因としては、高温クリープ疲労やガラスによる侵食が考えられることから、ここでは、ガラスによる流下ノズル材料の耐食性評価を行った。

２．日本原子力研究開発機構による侵食試験

日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）では、ガラス溶融炉材料の耐食性評価において、流下ノズル材料の動的侵食試験^{*}を実施している^[1]。動的侵食試験は、流下ノズル内を通過するガラスによる流下ノズル材料の侵食速度を評価するものである。以下に試験概要を示す。

(1) 試験方法

溶融ガラス中にφ19mmの試料（インコネル690）を挿入し、温度1150℃、試料回転速度350rpmで24日間にわたり動的耐食性を調べる。

(2) 試験結果

最大0.175mmの侵食深さが測定された。

３．侵食量評価

JAEAにおける動的侵食試験の結果より、侵食速度は最大 3.0×10^{-4} mm/hとなる。

ここで、高レベル廃液ガラス固化建屋のガラス溶融炉Aはこれまでに200本程度製造していることから、流下時間を4時間と仮定すると800時間の流下時間となり、侵食量は約0.24mmとなる。これに対して、流下ノズルは肉厚□mmであることから、侵食によってクラック等が発生し、ガラスが流出したとは考えられない。

以上

¹ 正木敏夫ら；”ガラス溶融炉材料の耐食性評価”、(社)日本原子力学会「1991年春の年会」K44