

かくはん棒の観察結果を踏まえた解析評価

1. はじめに

曲がりのあったかくはん棒（2号機）について、ITVカメラを用いて観察を行った結果、かくはん棒（1号機）とは異なり、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（写真-1）。

減肉の原因は、かくはん棒が曲がった後に行った引き抜き作業の際に発生した圧痕であると考えられるため、減肉が曲がりの発生に寄与したとは考えられないが、念のため、仮にかくはん棒が曲がる前に減肉があった条件で、減肉による座屈荷重への影響について解析評価を行った。

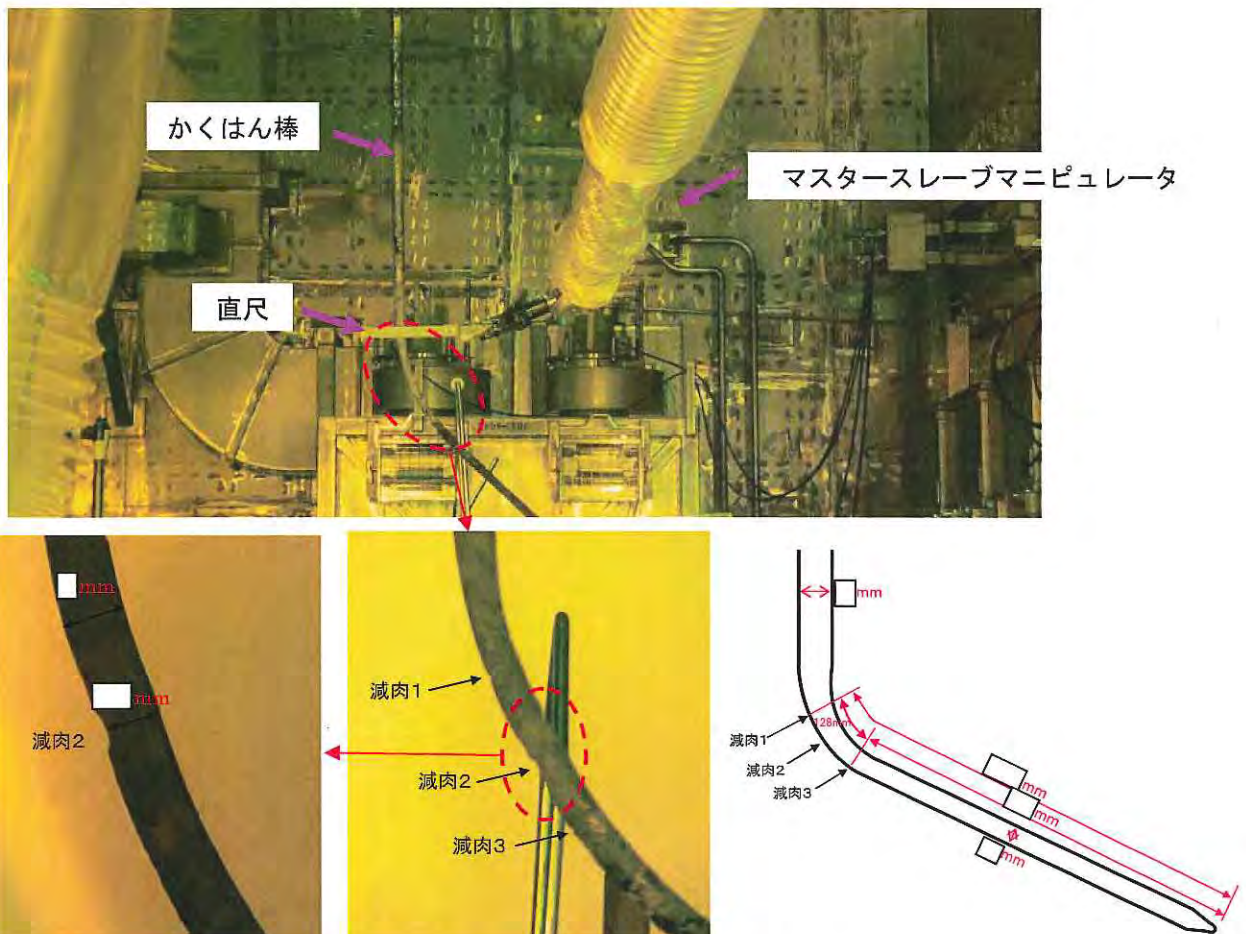


写真-1 かくはん棒（2号機）減肉範囲

2. 弾塑性解析による検討

減肉に対する座屈評価を行うために、数値解析手法として一般的な有限要素法 (FEM) による弾塑性解析を実施し、評価を行った。かくはん棒の非弾性解析・評価フローを図-1に示す。

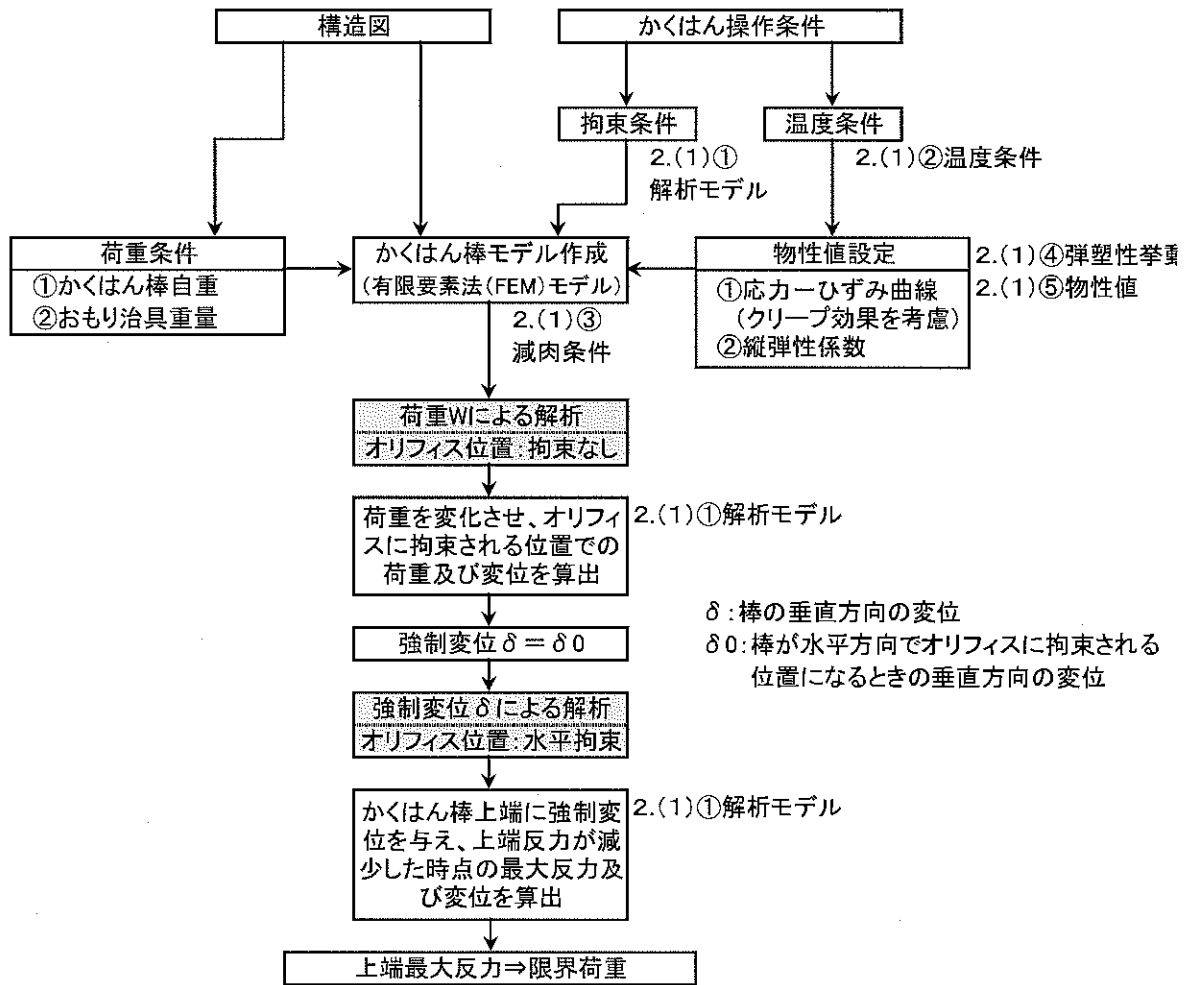


図-1 かくはん棒の非弾性解析・評価フロー

(1) 解析条件

① 解析モデル

図-3に示す解析モデルを用い、かくはん棒（全長4107mm）が斜めに挿入された状態でかくはん棒の自重及びおもり治具の重量が負荷された状態の初期たわみを解析で計算し、かくはん棒がオリフィスに接触するようになった時点以降は、オリフィス位置で水平変位を拘束して、攪拌棒上端に強制変位を与える弾塑性解析を行った。

解析モデルについては、かくはん棒の直径を軸方向の位置により変化させ、かくはん棒2号機の実形状を模擬した。

② 温度条件

実際の運転時（A044バッチ）の温度状態を考慮し、かくはん棒軸方向の温度分布を設定した（図-2参照）。

表-1 炉底攪拌時のガラス温度（AT-2-A044の温度状態）

	AT-2-A044		AT-2-A043（参考）	
	流下開始時	攪拌時（2回目）	流下開始時	攪拌時（2回目）
時刻	11/23 20:58	11/23 23:28	11/20 9:53	11/20 13:41
ガラス温度	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
気相温度	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
<input type="text"/> mm 温度	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
<input type="text"/> mm 温度	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
底部電極温度	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C

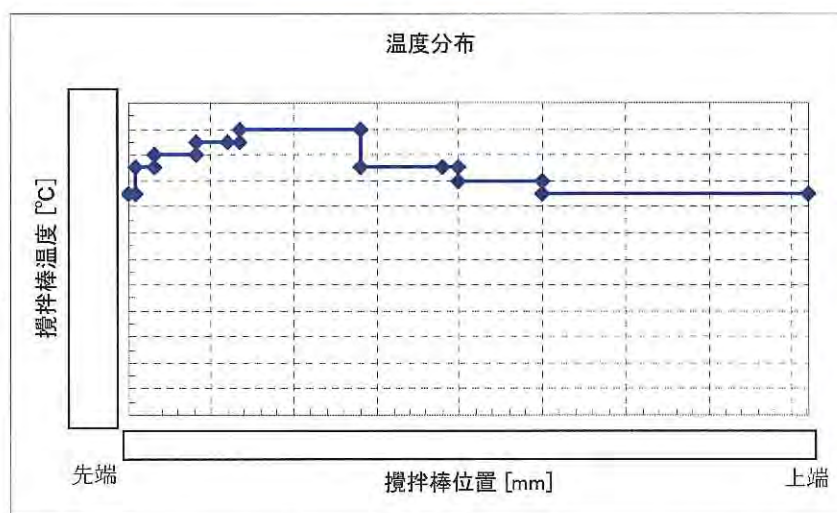


図-2 かくはん棒軸方向の温度分布（解析で考慮した温度分布）

③ 減肉条件

2号棒の観察により確認された減肉の状態を再現するために、かくはん棒の先端から ~ mm の部分の 128mm の長さについて、減肉(2mm)を模擬した (図-3、4 参照)。

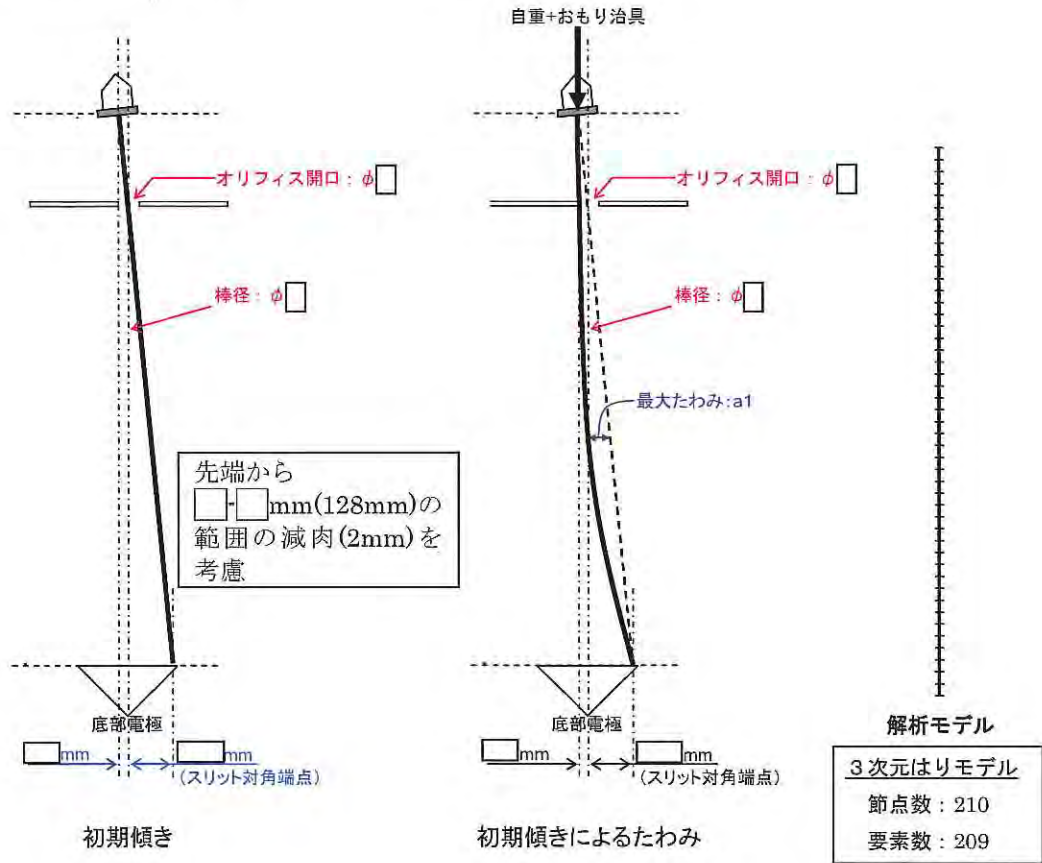


図-3 弾塑性解析における有限要素法 (FEM) モデル

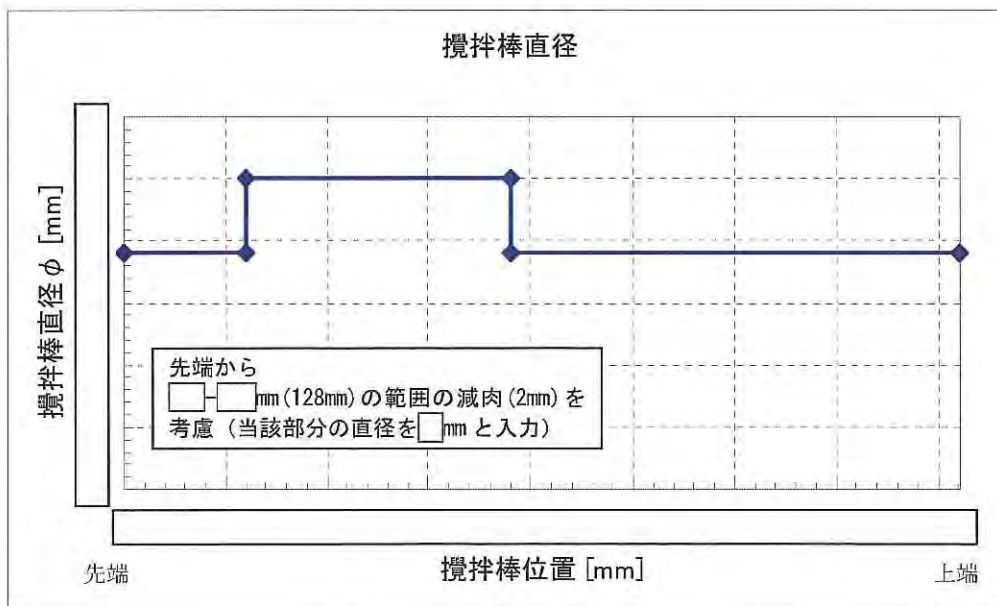


図-4 かくはん軸方向の直径 (解析入力データ)

④ 弾塑性挙動

インコネル 625 の応力-ひずみ曲線（カタログデータ）に対して、かくはん棒操作時のクリープの影響（時間は 3 分）を考慮して、等時応力-ひずみ曲線を策定し、弾塑性曲線として使用した（図-5 参照）。

なお、クリープひずみ算出にあたっては、インコネル 625 のクリープ構成式のデータがないため、同様な耐食耐熱超合金であるインコネル 690 のものを適用した。

図-6 に \square °C におけるクリープを考慮しない場合の弾塑性曲線と今回、策定したクリープを考慮した等時応力-ひずみ曲線の比較を示す。 \square °C においては、インコネル 625 のカタログによればクリープを考慮しない場合の降伏応力は 7kgf/mm^2 であるが、クリープの効果（時間は 3 分間）により、見かけ上、降伏応力は 2kgf/mm^2 程度に低下していることがわかる。

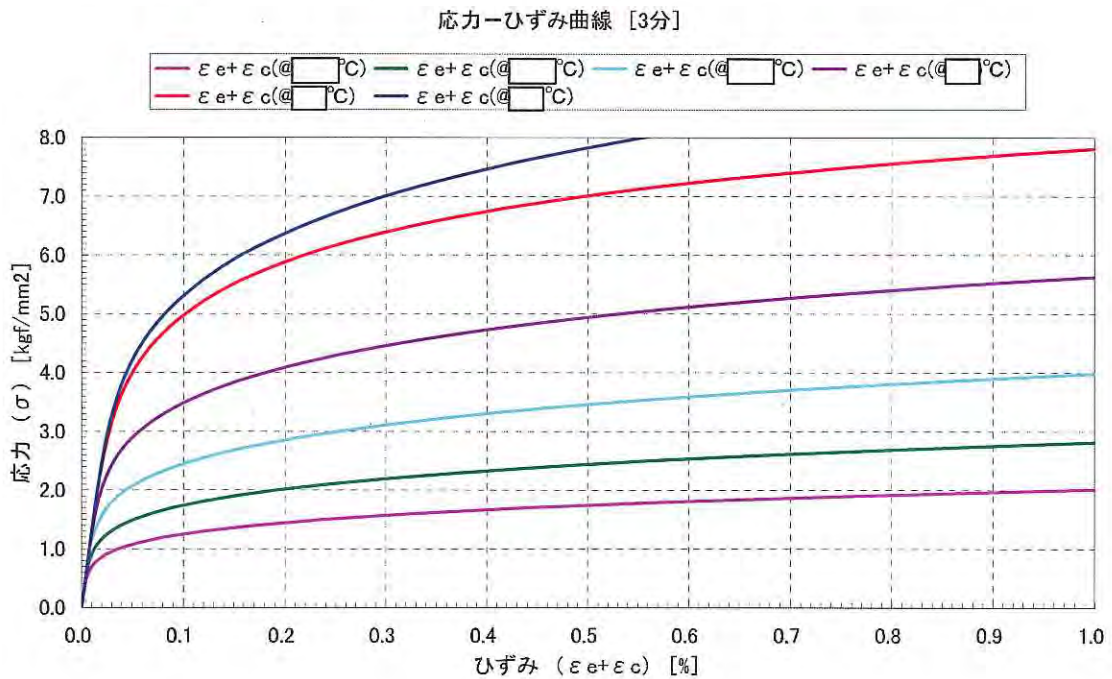


図-5 かくはん棒の応力-ひずみ曲線

応力-ひずみ曲線の比較

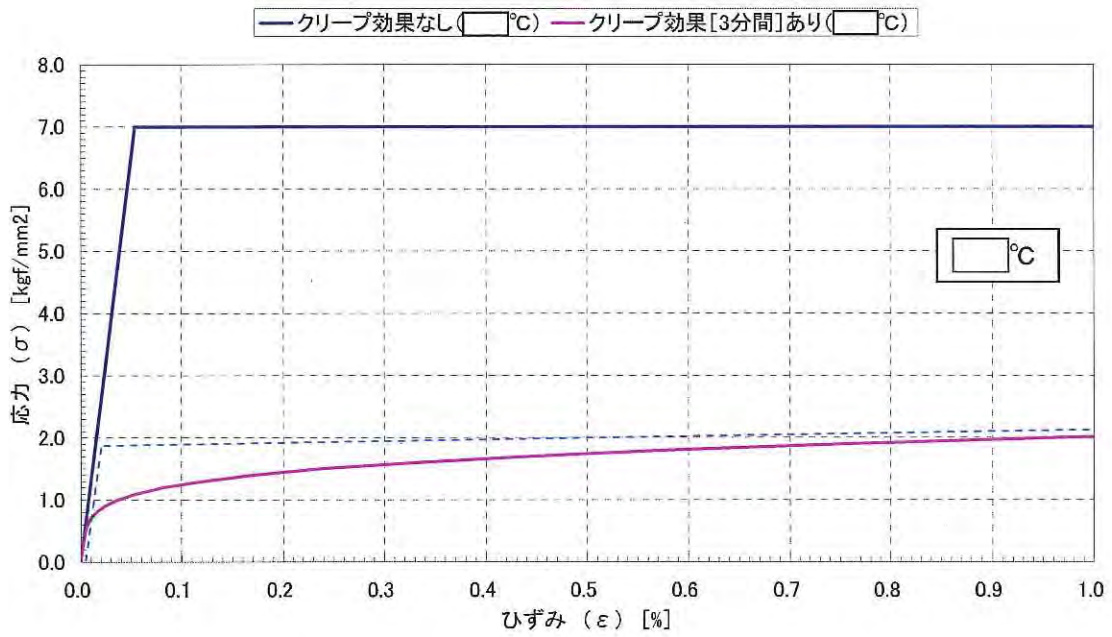


図-6 クリープ効果の有無による応力-ひずみ曲線の比較

⑤ 物性値

2号棒の解析に使用した縦弾性係数はカタログに基づいた(図-7参照)。なお、カタログにない温度領域については、データが与えられていないため、外挿値を用いた。

インコネル625 [NCF625] 縦弾性係数 (カタログによる)

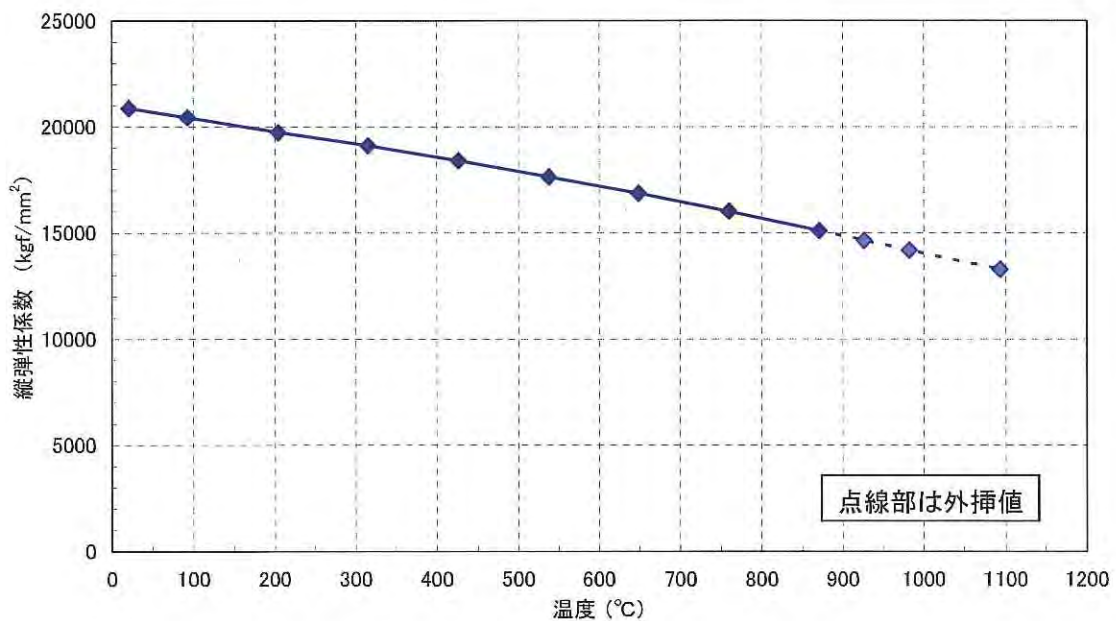


図-7 縦弾性係数

(2) 解析結果

弾塑性解析の結果を表-2に示す。

表-2に示すように、かくはん棒下端から□～□mm部分の128mmの長さについて、実際に確認された減肉量よりも多い2mm減肉するとした場合においても、かくはん棒上端に加えることのできる限界荷重は、 $F_{Dmax}=70.2\text{kgf}$ であり、減肉のない場合の $F_{Dmax}=78.7\text{kgf}$ との差は小さい。

表-2 初期たわみがある場合の有限要素法(FEM)による弾塑性解析結果

棒直径 [mm]	解析条件			かくはん棒上端 最大反力 F_{Dmax} [kgf]
	減肉条件			
	減肉の有無	減肉の範囲	減肉量	
実形状	なし	—	—	78.7
実形状 (一部減肉)	あり	かくはん棒下端から □～□mm部分 長さ128mm	1.0	76.0
			2.0	70.2

2mm減肉した場合の限界荷重 $F_{Dmax}=70.2\text{kgf}$ に対応する変形図を図-8に示す。図-8に示したように、限界荷重 $F_{Dmax}=70.2\text{kgf}$ の状態では、全体として弓なりの変形をしており、上端変位は0.50mmである。

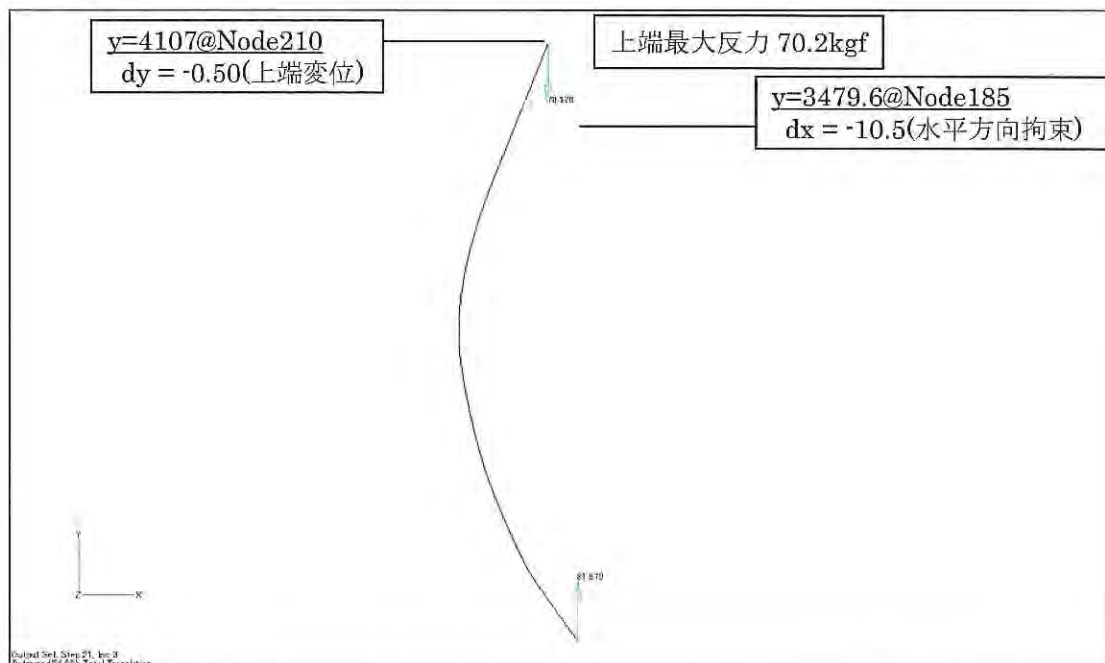


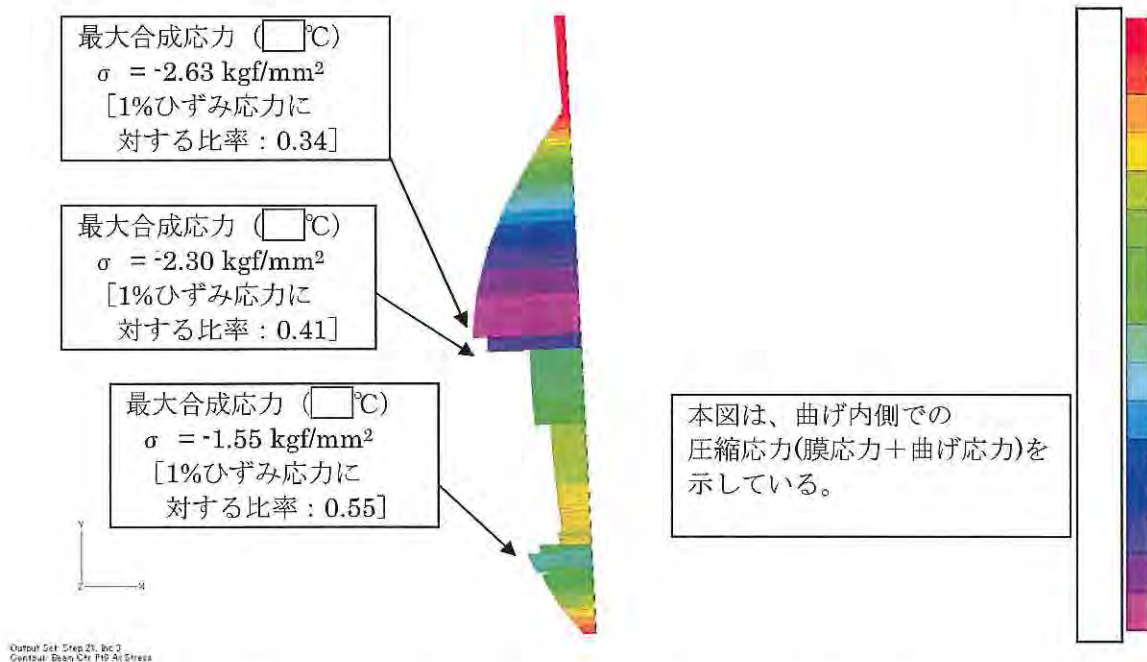
図-8 2mm減肉した場合の限界荷重時(70.2kgf)の変形図

かくはん棒の応力 σ は、次式に示すように軸力分布から求めた膜応力（かくはん棒断面内の一様応力のことで、圧縮応力） σ_m とモーメント分布から求めた曲げ応力（曲げ外側で引張応力、曲げ内側で圧縮応力） σ_b の和（合成）から算出される。

$$\text{合成応力 } \sigma = \text{膜応力 } \sigma_m + \text{曲げ応力 } \sigma_b$$

したがって、変形部位においてかくはん棒に作用する合成応力の絶対値の最大値は曲げ内側（圧縮応力）となり、解析の結果、 1.55kgf/mm^2 であった（図－9）。

図－9には、各温度に対しての最大合成応力及び最大合成応力と1%クリープひずみが生じる際の応力（ASME等の高温構造設計基準における許容値でクリープ効果を考慮していることを踏まえて設定）との比率を示した。比率は変形部位において最大0.55となり、この部位近傍から変形に至った現象と対応することが確認された。



図－9 2mm 減肉した場合の合成応力 [曲げ内側]
 (限界荷重 $F_{Lmax}=70.2\text{kgf}$ のとき)
 [軸圧縮応力+曲げ圧縮応力]

この際の変形部位におけるクリープひずみは、図-10に示すように0.048%である。

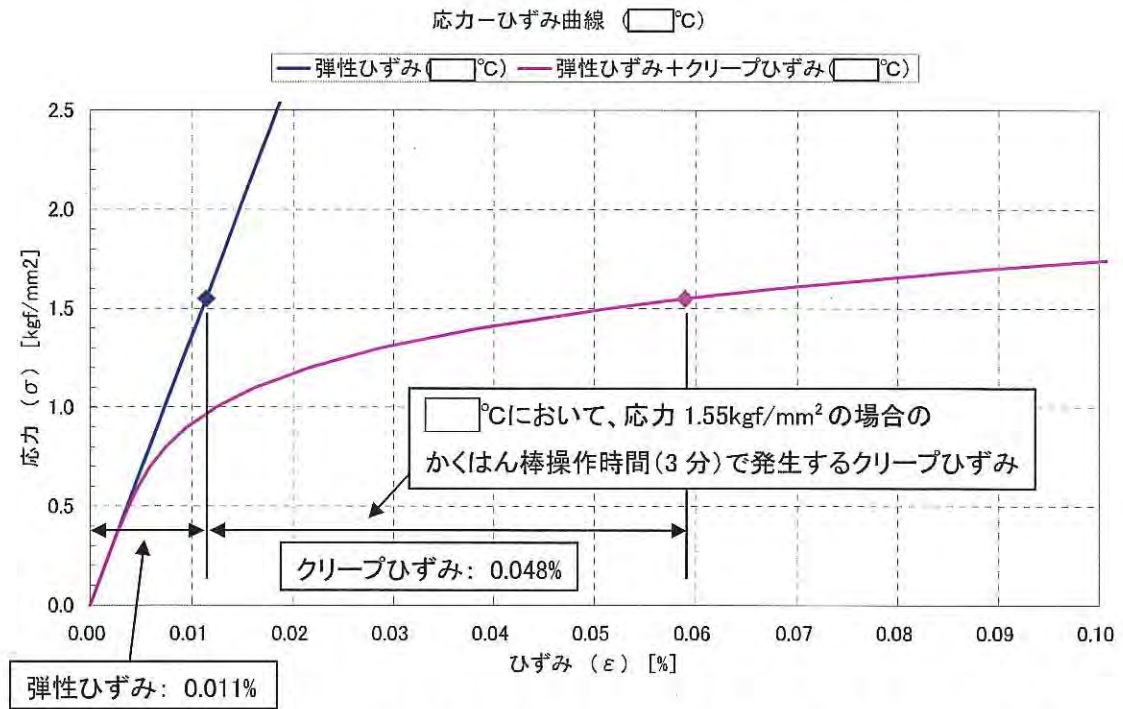


図-10 1%ひずみ応力に対する比率が最大となる変形部位における
クリープひずみ

なお、変形部位における曲げ外側の合成応力は 1.40kgf/mm^2 であり（図-11）、この値は曲げ内側の合成応力より小さいことが確認できる。

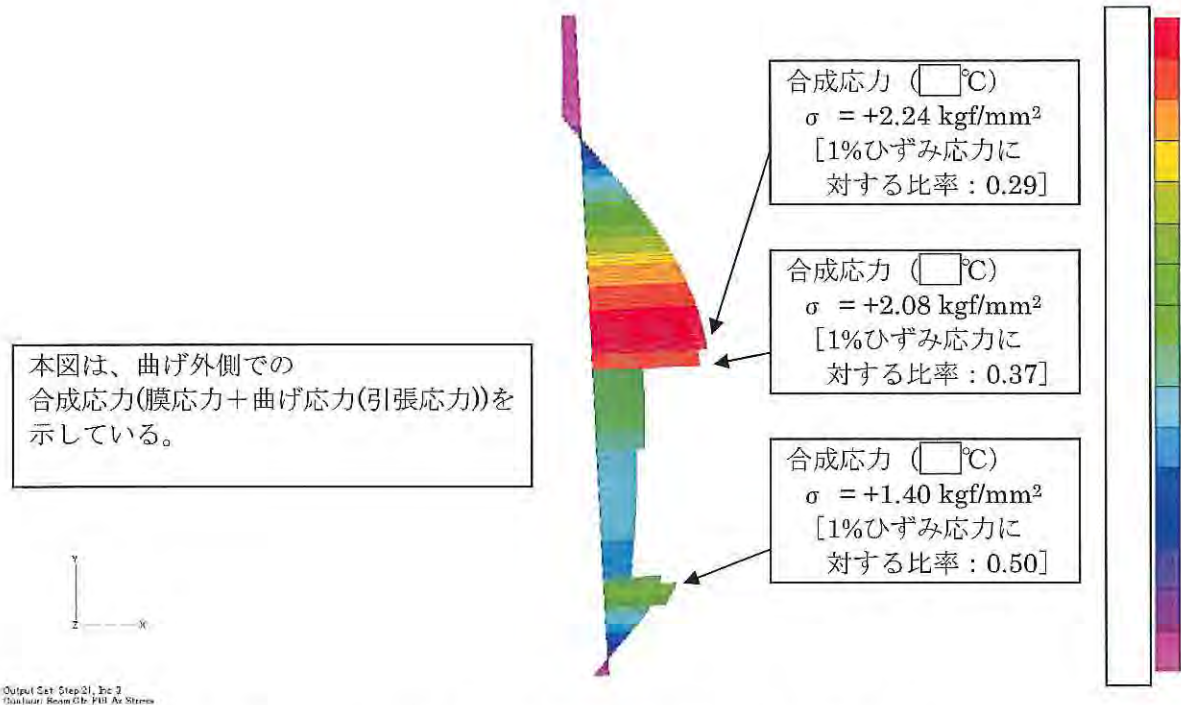


図-11 2mm 減肉した場合の合成応力 [曲げ外側]
 (限界荷重 $F_{0\text{max}}=70.2\text{kgf}$ のとき)
 [軸圧縮応力+曲げ引張応力]

(3) まとめ

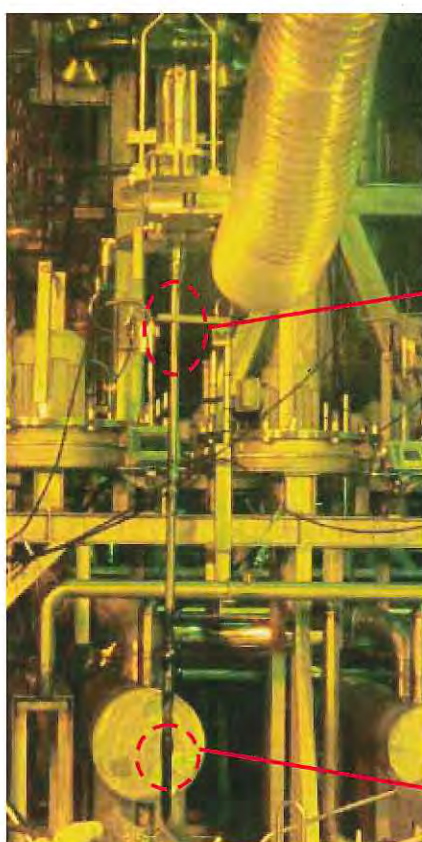
かくはん棒（2号機）で観察された減肉を考慮した弾塑性解析を行った結果、減肉の影響によるかくはん棒上端に加えることのできる限界荷重の低下は十分に小さいことが確認されたことから、仮にかくはん棒の押し込み操作を行った際に減肉が生じていたとしても、これがかくはん棒の曲がりの原因になったとは考えられない。

以上

流下補助治具の観察状況について

かくはん棒において減肉が確認された事象に鑑み、天井レンガ損傷の原因調査のために行ったドレンアウトにおいて使用した流下補助治具について観察を行い、減肉状況を確認した。

観察の結果、流下補助治具に減肉は確認されなかった。図－1に観察結果を示す。



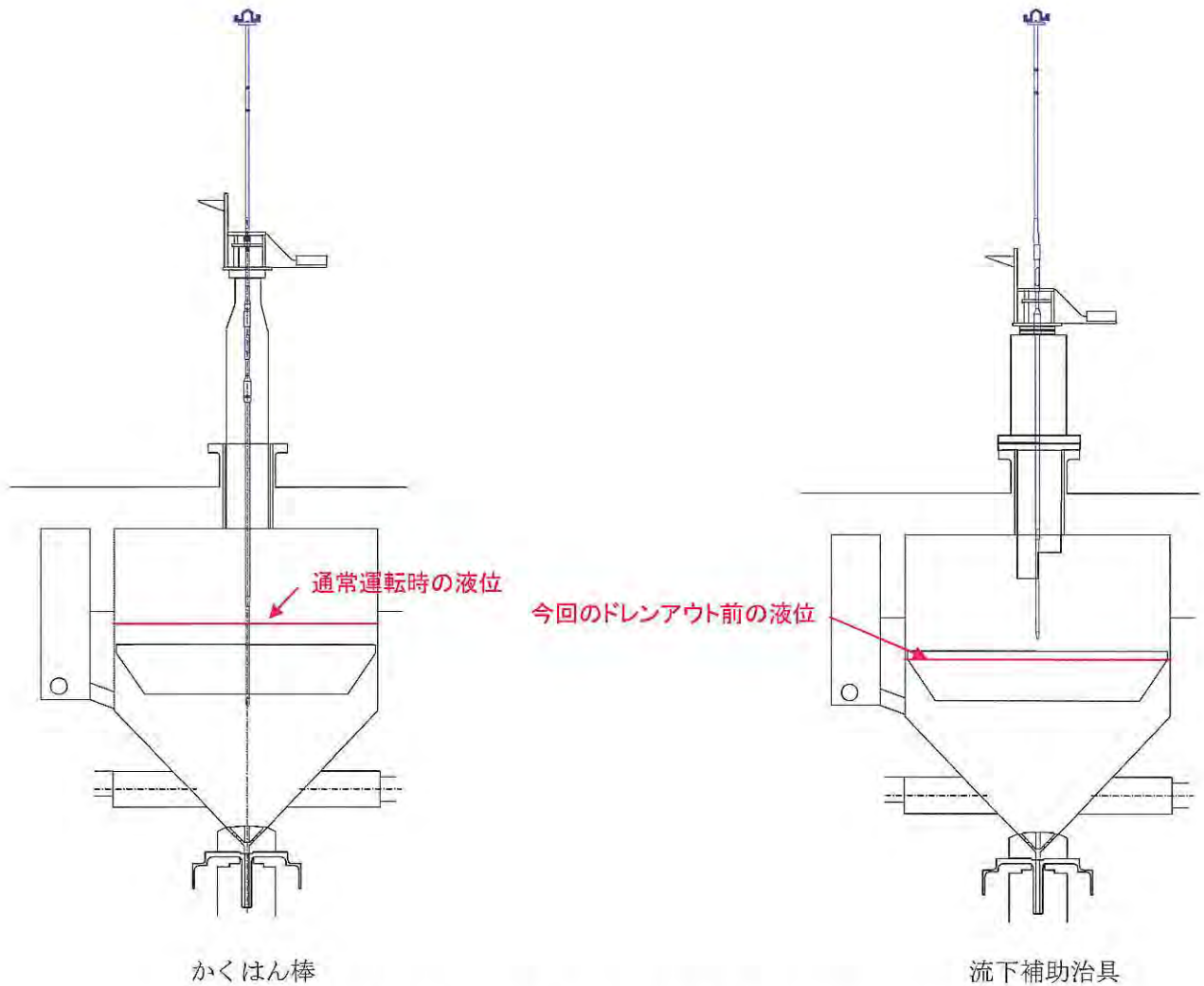
気相部(ガラスに浸漬しない部分)の例



浸漬部(使用時にガラスに浸漬した部分)の例

図－1 流下補助治具の観察

流下補助治具の材質はかくはん棒と同様にインコネル 625 であるが、使用時間（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減肉がなかったものと考えられる。使用時間を短かくできた理由は、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（図－2 参照）。



図－2 かくはん棒及び流下補助治具の待機位置 概要図

※かくはん棒について待機位置を溶融ガラスに浸漬しない高さに変更する改善を行う場合には、併せて、かくはん棒を挿入する穴の径についても変更を行う必要がある。

これに伴うインリーク量の増加が炉内温度を低下させてしまう要因となる可能性がある等のデメリットを考慮し、かくはん棒については待機位置の変更は行わないこととしている。

以上

かくはん棒の減肉について

1. かくはん棒（2号機）の減肉について

かくはん棒（2号機）では曲がりが発生した部分に約128mmの範囲にわたって局所的に3箇所（最大で1mm程度）の減肉が確認された。

このかくはん棒の減肉が、かくはん棒の曲がりの原因になったとは考えにくい（添付資料-12参照）

これらの減肉については、

- ・減肉が確認された箇所は気液界面等の腐食が進行しやすい箇所ではないこと
- ・もし腐食による減肉であるならば、ある範囲にわたってほぼ一様に減肉するはずであるが、3箇所が局所的に減肉していること

から、かくはん棒（2号機）で確認された減肉は腐食によるものとは考えにくい。

この減肉はかくはん棒が曲がった箇所の外側に見られることから、高温により材料の強度が低下したところに、かくはん棒を引き抜こうとした際に原料供給器の下部スリーブに接触し、支圧応力による磨耗により生じたと推定される。（図1参照）

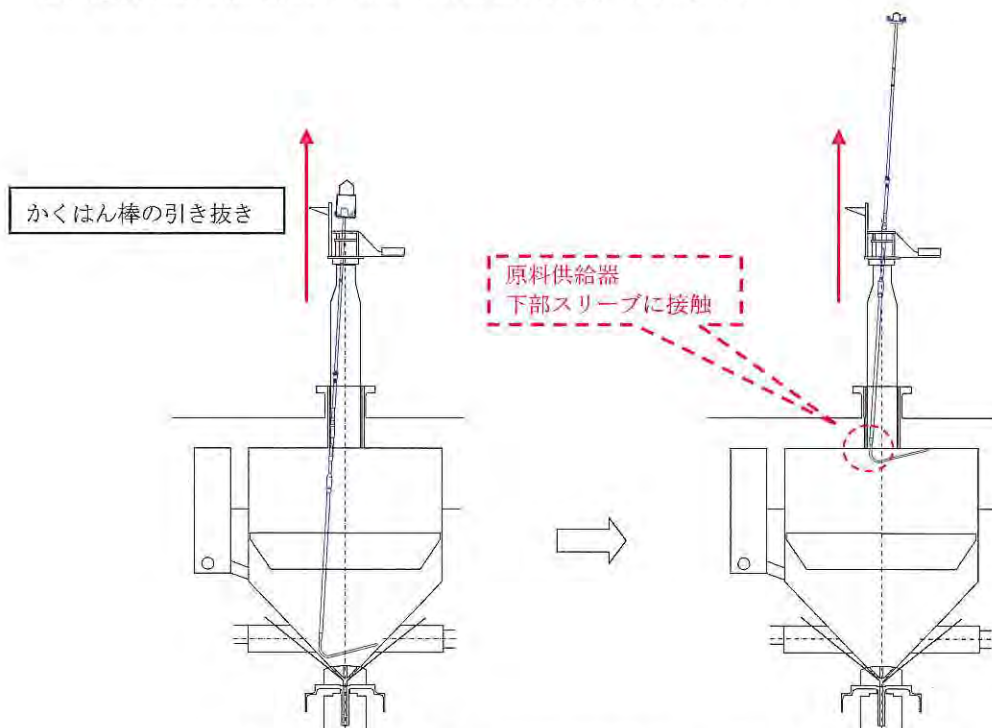


図1 かくはん棒の原料供給器下部スリーブへの接触イメージ

2. かくはん棒（1号機）の減肉について

かくはん棒（1号機）ではかくはん棒が待機位置にある際の気液界面（熔融ガラス界面）高さに、局所的に（2mm程度）の減肉が確認された。（図2参照）

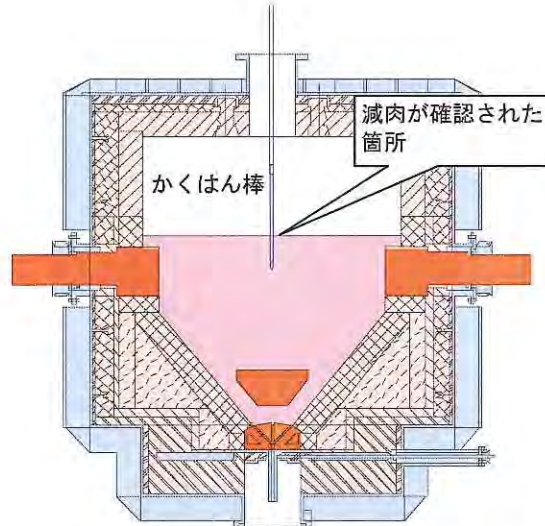


図2 かくはん棒（1号機）の減肉位置

インコネル625は気相部では酸化され、酸化した Cr_2O_3 等は表面における保護層として働くが、熔融ガラス界面に近い部分では、空気中の酸素が熔融ガラスを通じて金属表面に運び込まれ、保護膜として生成した酸化層が破壊/溶解することにより腐食が著しく進行すると推測される。

1号棒で確認された減肉箇所が、熔融ガラス界面であることから、この減肉は腐食によるものであると推定した。

以上

かくはん棒炉内挿入時における熱膨張の影響評価

1. はじめに

今回曲がりが発生したかくはん棒（2号機）は、上部におもり治具を設置し、ガラス溶融炉内に降下させたのち、底部電極中央穴に挿入できなかったことからパワーマニピュレータのハンドで押し込み操作を行った。このとき、炉内に挿入したかくはん棒の熱膨張が完了する前にパワーマニピュレータのハンドで押し込み操作を行っていた場合、熱膨張する力が棒を曲げる荷重として働いた可能性がある。このため、本資料では、熱膨張の影響について評価を行った。

本書ではかくはん棒モデルによる非定常伝熱解析を実施し、かくはん棒の温度の経時変化を評価し、熱膨張量の検討を行なった。

2. 解析モデル

- (1) かくはん棒構造 図1にかくはん棒の構造図を示す。
- (2) 解析コード 汎用構造解析コード ABAQUS (Ver.6.8-2)
- (3) 解析手法 非定常伝熱解析
- (4) 解析モデル かくはん棒の棒直径を忠実に軸対称でモデル化した。(図1参照)
- (5) 温度条件 [AT-2-A044 の攪拌時(2回目)] の温度を考慮し、溶融ガラス接液部および気相部には表1の温度をもとに設定した。また、原料供給器内側部分および炉外部分には、それぞれ100℃、40℃の温度を仮定した。
(図2参照)
- (6) 熱伝達条件 溶融ガラス接液部は熱伝達が十分大きく、熱流動解析結果を参考にして200[W/m²・K]と設定した。気相部は自然対流による熱伝達率にふく射による熱輸送に相当する熱伝達率を加えた値とした。また、原料供給器内側および炉外部分は自然対流による熱伝達率とした。(図2参照)
- (7) 初期条件 かくはん棒全体の温度を40℃とした。
- (8) 物性値 図3に解析に使用した熱伝導率を示し、図4に熱膨張量算出のための平均熱膨張係数を示す。

3. 解析結果

図5にかくはん棒の温度モニタ点における温度の経時変化を示す。

熔融ガラス接液部の温度は、3分程度で40℃から□℃近くまで上昇している。気相部でも同じ時間で40℃から□℃近くまで上昇しており、温度上昇開始から早い段階で急激に温度が上昇する。

また、ガラス接液部の温度は10分程度で定常状態に達しているが、気相部の温度は完全に定常状態に到達するのに30分程度を要している。気相部より上部ではさらに時間を要しているが、かくはん棒における熔融炉の内側部分の温度上昇は、最初の15分程度でほぼ定常に達し、それ以降の温度変化は緩慢である。

図6に温度分布解析結果に基づき計算したかくはん棒全体の熱膨張量の履歴図を示す。熔融炉に入れた直後に急激に熱膨張することがわかる。パワーマニピュレータで押し込み操作を行ったのはかくはん棒を熔融炉に入れてから30分経過後であり、その時の熱膨張量は33.42mmである。パワーマニピュレータによる押しつけは20秒程度であり、かくはん棒を熔融炉に入れてから30分20秒経過後の熱膨張量は33.44mmである。20秒間での熱膨張差は0.02mmであることから、かくはん棒の両端が完全に拘束されていたと仮定すると、熱応力は下式より求められる。

$$\sigma = E \times \Delta L / L = \square \times 0.02 / 4107 = \square \text{ kgf/mm}^2$$

σ : 応力 [kgf/mm²]

E : ヤング率 (=□ kgf/mm², □℃)

ΔL : 熱膨張量 (=0.02mm)

L : かくはん棒長さ (=4107mm)

発生する応力□ kgf/mm²は、クリープ効果を考慮した見かけ上の降伏応力2kgf/mm²（添付資料-12 図-6参照）に対し十分に小さいことから、かくはん棒の熱膨張が座屈の要因となった可能性はないと考えられる。

以上

表 1 かくはん棒使用時の温度状態

	AT-2-A044		AT-2-A043(参考)	
	流下開始時	攪拌時(2回目)	流下開始時	攪拌時(2回目)
時刻	11/23 20:58	11/23 23:28	11/20 9:53	11/20 13:41
ガラス温度	□°C	□°C	□°C	□°C
気相温度	□°C	□°C	□°C	□°C
□mm 温度	□°C	□°C	□°C	□°C
□mm 温度	□°C	□°C	□°C	□°C
底部電極温度	□°C	□°C	□°C	□°C

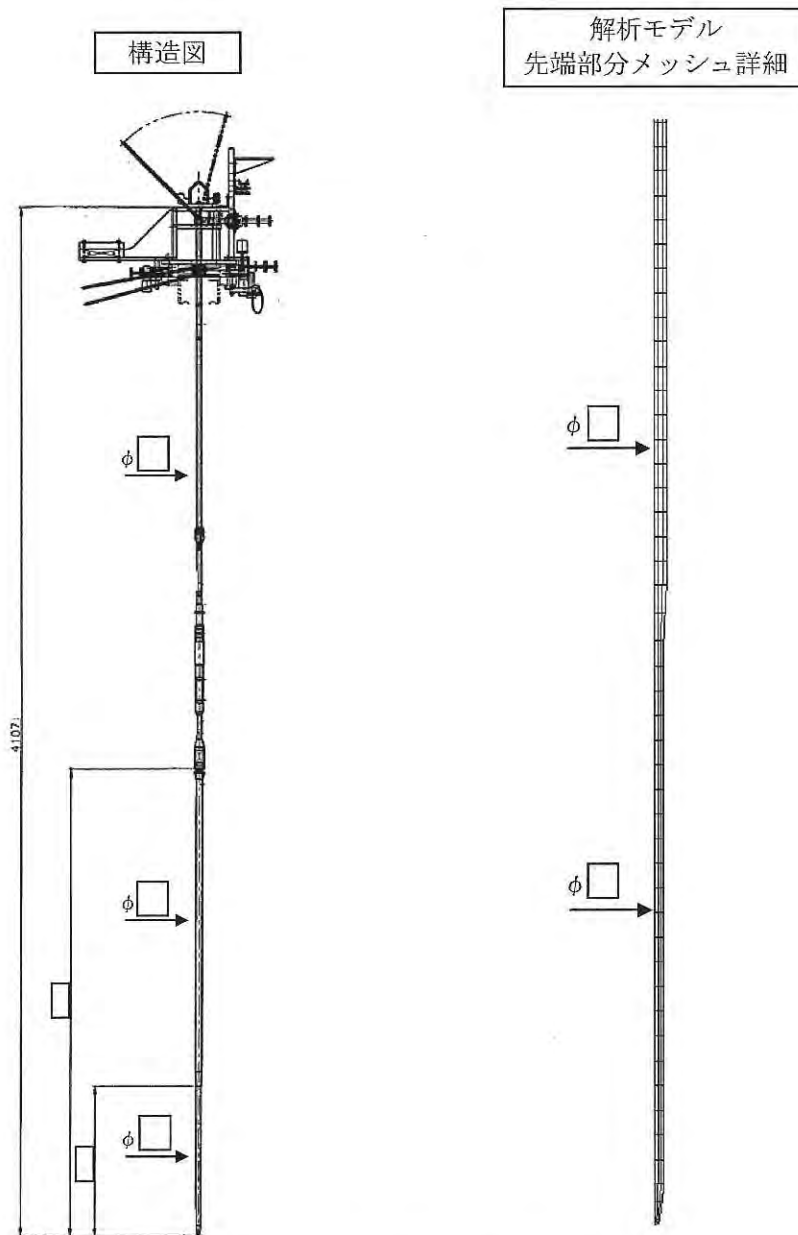


図 1 かくはん棒の構造図及び解析モデル



図2 解析条件

インコネル625 [NCF625] 熱伝導率 (カタログによる)

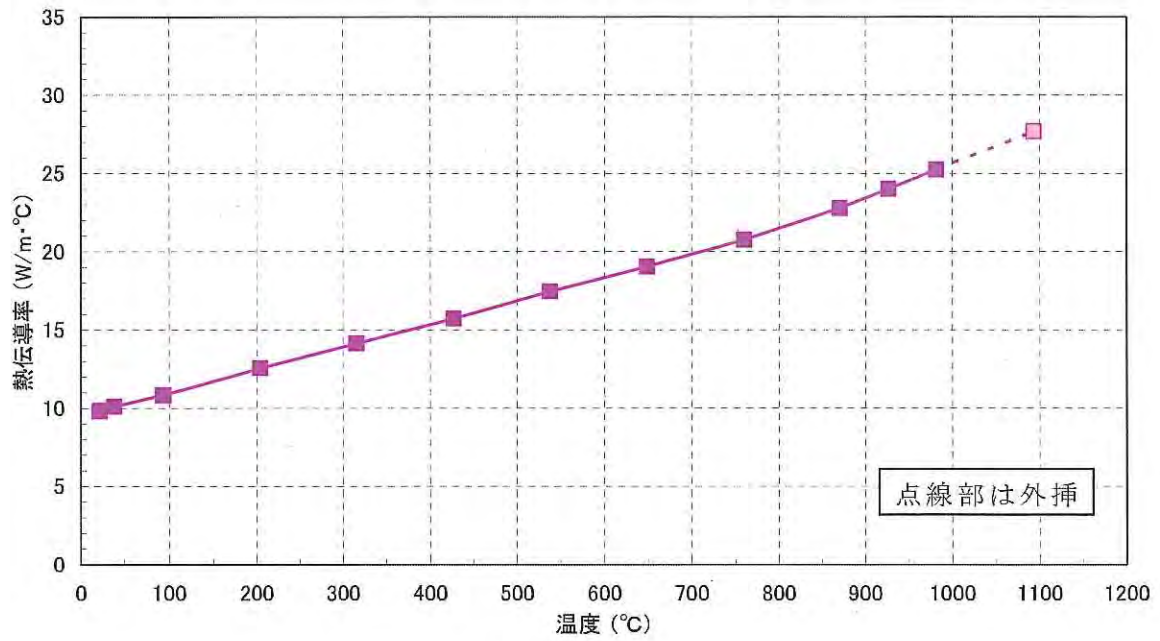


図3 熱伝導率

インコネル625 [NCF625] 平均熱膨張係数 (カタログによる)

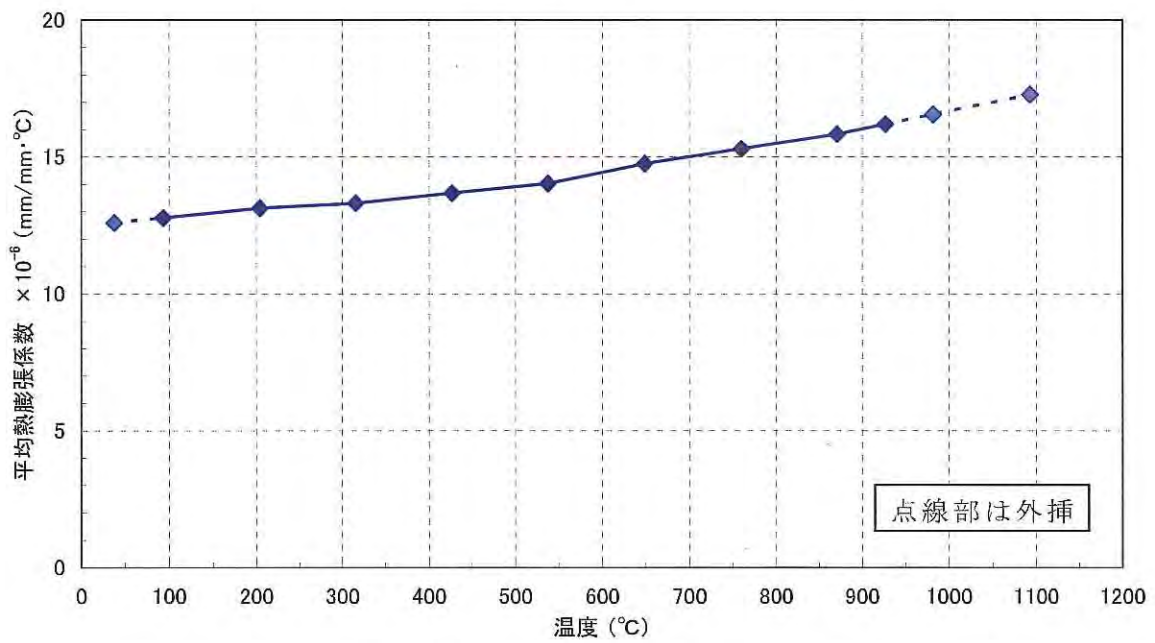


図4 平均熱膨張係数

かくはん棒(2号機) 非定常伝熱解析

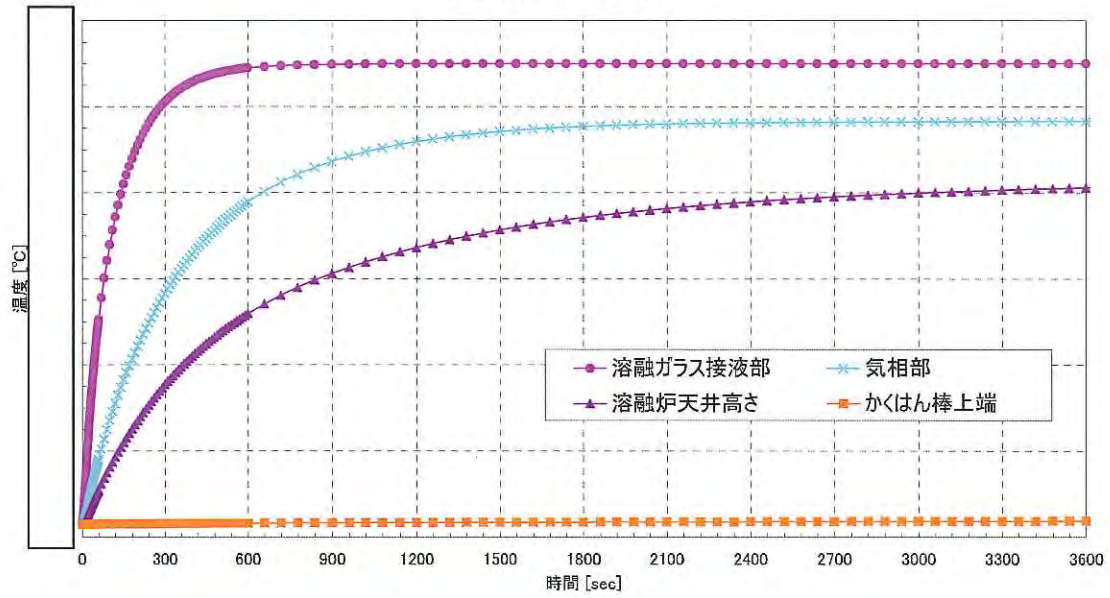


図5 温度モニタ点における温度の経時変化

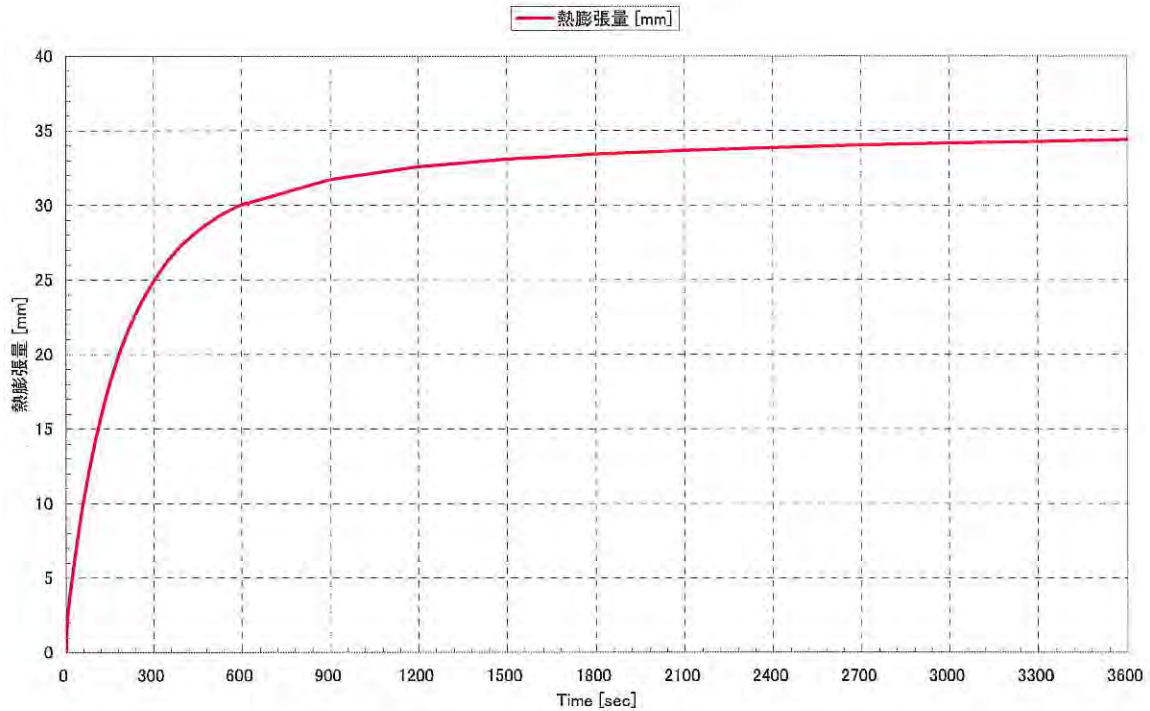


図6 かくはん棒の熱膨張量の経時変化

※ かくはん棒の初期状態 40℃のときの熱膨張量を基準とした場合の時刻 T における熱膨張量を示す。

初期状態 40℃における熱膨張量を 0mm として扱う。

(熱膨張量) = (①時刻 T における温度 θ_T の熱膨張量)

− (②温度 40℃ [初期状態] における熱膨張量)

熱膨張量の計算は以下とする。

① 時刻 T のときは、要素 j の代表温度 (θ_T)_j から、その温度における要素ごとの熱膨張量を求め、

その総和をかくはん棒の熱膨張量 δ_T とする。

$$\delta_T = \sum_j \alpha_{(\theta_T)_j} \times \Delta l_j \times ((\theta_T)_j - 21.1)$$

② かくはん棒が 40℃ [初期状態] のときは、かくはん棒全体の熱膨張量 δ_0 を計算する。

$$\delta_0 = \alpha_{40} \times L \times (40 - 21.1)$$

したがって、時刻 T において 40℃のときの熱膨張量を基準とした場合のかくはん棒の熱膨張量 ΔL_T は

以下により求められる。

$$\Delta L_T = \delta_T - \delta_0$$

記号の意味を以下に示す。

δ_T : 時刻 T における熱膨張量、 δ_0 : 40℃における熱膨張量

ΔL_T : 時刻 T における 40℃を基準としたときの熱膨張量

θ : 温度、 α : 平均熱膨張係数 (70°F (=21.1℃) 基準)、L : かくはん棒全長、 Δl : 要素高さ、

j : 要素番号

かくはん棒が曲がっていたことに対する要因分析図

事実	要因1	要因2	要因3	評価			
炉内で直棒が曲がった	1. 設計・製作時に強度が不足していた	1-1 設計強度計算に誤りがあった(設計)		×	<ul style="list-style-type: none"> ・かくはん棒の座屈に対する簡易計算評価では、45kgのおもり器具を搭載しても座屈することはないと考えていた。(別添資料:添付資料-25) ・かくはん棒の使用条件を満足している。(別添資料:添付資料-28) 		
		1-2 設計通り製作されていなかった	1-2-1 材料が異なっていた	1-2-1 材料が異なっていた	×	・製作時の試験検査(材料検査)にて問題ないことを確認している。	
			1-2-2 径が小さかった	1-2-2 径が小さかった	×	・製作時の試験検査(寸法検査)にて問題ないことを確認している。	
			1-2-3 許容範囲以上に曲がりがあった	1-2-3 許容範囲以上に曲がりがあった	×	・製作時の試験検査(寸法検査)にて問題ないことを確認している。	
			1-2-4 許容範囲以上に傾きがあった	1-2-4 許容範囲以上に傾きがあった	×	・製作時の試験検査(寸法検査)にて問題ないことを確認している。	
		1-3 製作段階で傷(強度に影響する程度)が発生した	1-3 製作段階で傷(強度に影響する程度)が発生した		×	・製作時の試験検査(外観検査)にて問題ないことを確認している。	
		2. 使用前の直棒の機械強度が低下していた	2-1 攪拌棒が変形していた	2-1 攪拌棒が変形していた	×	・直棒(2号機)がITVにより確認した限りでは曲がっていないことを確認し、AT-2-A044に使用した。(別添資料:添付資料-26)	
			2-2 攪拌棒に傷があった	2-2 攪拌棒に傷があった	×	・直棒(2号機)にITVにより確認した限りでは大きな傷がないことを確認し、AT-2-A044に使用した。(別添資料:添付資料-26)	
			2-3 攪拌棒が腐食していた	2-3-1 腐食に弱かった。	2-3-1 腐食に弱かった。	×	<ul style="list-style-type: none"> ・直棒(2号機)にITVにより確認した限りでは極端な腐食がないことを確認し、AT-2-A044に使用した。(別添資料:添付資料-26) ・2号棒の一部に減肉が確認されたが、この減肉はかくはん棒が曲がった後の引き抜き作業で発生したものであると推定しているため、この減肉が曲がりの発生に寄与したとは考えられない(添付資料-14)。なお、念のため減肉を標識した棒析を行った結果、減肉によりかくはん棒(直棒)の座屈荷重が低下する傾向が確認されたが、確認された減肉状況(128mmの範囲で約1mmの減肉)において、おもり器具及びかくはん棒の自重による荷重では座屈に至らないことを確認した。(添付資料-12)
				2-3-2 使用時間が設計条件を超えていた	2-3-2 使用時間が設計条件を超えていた	△	・かくはん棒の使用に関して時間制限を設ける等の措置を行っていない。(別添資料:添付資料-28)
	3. 使用中の使用条件等によって機械強度が低下した	3-1 棒の設計条件の温度に対して溶融炉内の温度が高かった	3-1 棒の設計条件の温度に対して溶融炉内の温度が高かった	×	・ガラス温度は、使用条件である□℃程度以下であり、AT-2-A043と同程度だった。(別添資料:添付資料-28)		
		3-2 ガラス以外の要因で局部的に温度が高い部分が存在した	3-2 ガラス以外の要因で局部的に温度が高い部分が存在した	×	<ul style="list-style-type: none"> ・炉底部温度や底部電極温度等に異常がないことから局所加熱の可能性は低い。 ・局所加熱があったとしても、棒の変形箇所は炉底部から離れた位置であり、該当しない。(別添資料:添付資料-28) 		
		3-3 使用時間が設計条件を超えた	3-3 使用時間が設計条件を超えた	△	・かくはん棒の使用に関して時間制限を設ける等の措置を行っていない。(別添資料:添付資料-28)		
	4. 使用中に荷重が掛かり過ぎた	4-1 想定よりもおもり器具が重かった	4-1 想定よりもおもり器具が重かった	×	<ul style="list-style-type: none"> ・おもり重量を測定したところ、設計45kgに対して実測値は48kgであった。ただし、おもり重量が45kgとした場合においてもパワーマネジューラにより掛かる荷重約40kgが加わりかくはん棒が座屈に至る荷重である約78kgを超えるというものであり、おもり重量の差3kgが座屈に直接寄与するものではない。 		
		4-2 パワーマネジューラにより想定以上の荷重が掛かった	4-2 パワーマネジューラにより想定以上の荷重が掛かった	○	・かくはん棒のパワーマネジューラによるアシスト操作時に、想定していた25kg(可搬荷重)での簡易計算評価では問題ないと考えたが、想定以上の約40kgが掛かったことにより、おもり器具の自重45kgとあわせて合計約85kgが掛かり座屈荷重を超えた可能性がある。(別添資料:添付資料-29)		
		4-3 かくはん棒が熱膨張する力が荷重として作用した	4-3 かくはん棒が熱膨張する力が荷重として作用した	×	・かくはん棒を挿入してから押し込み操作を行うまでの間にほほ熱膨張は完了していたと評価されることから、熱膨張による荷重が作用して座屈に至ったことはないと考えられる。(添付資料-15)		
	5. 荷重をかけた際の方向が軸方向ではなかった	5-1 棒が斜めに挿入された	5-1-1 クレーン等による棒の位置調整を行った際に原料供給ノズル内配管に接触し、棒が斜めになった	5-1-1 クレーン等による棒の位置調整を行った際に原料供給ノズル内配管に接触し、棒が斜めになった	×	・パワーマネジューラによるアシスト操作により、棒の位置を変更した操作など実施しているため、接触の可能性も考えられる。棒の中間位置に横方向荷重が加わった場合、棒のたわみ寸法が増加することとなるが、棒はパワーマネジューラの補助ホイストで吊っているだけであり、横方向の大きな荷重がかかるとは考えにくい。	
			5-1-2 底部電極スリット部で止まり、棒が斜めになった	5-1-2 底部電極スリット部で止まり、棒が斜めになった	○	・底部電極スリット部で止まり斜め方向になり、その上、おもり重量とパワーマネジューラの荷重が掛かったことにより、座屈の可能性はある。(別添資料:添付資料-31, 32)	
			5-1-3 何らかの炉底堆積物に接触し、棒が斜めになった	5-1-3 何らかの炉底堆積物に接触し、棒が斜めになった	△	<ul style="list-style-type: none"> ・炉底部に何らかの堆積物等があり、斜め方向になり、その上、おもり重量とパワーマネジューラの荷重が掛かったことにより、座屈の可能性はある。 ・何らかの堆積物等としては損傷したレンガが底部に存在した可能性もある。(別添資料:添付資料-31, 32) 	
		5-2 おもり器具やパワーマネジューラによる荷重方向が斜めになった(直棒は真直ぐに挿入)	5-2-1 おもり器具が棒の中心に載っていないかった	5-2-1 おもり器具が棒の中心に載っていないかった	×	・ITV画像によりおもり器具が軸の中心に載っていることを確認した。(別添資料:添付資料-30)	
5-2-2 パワーマネジューラによる荷重が偏っていた		5-2-2 パワーマネジューラによる荷重が偏っていた	○	・パワーマネジューラの荷重がおもり器具の端部に掛かり、偏心荷重となった場合、そのたわみと荷重により座屈する可能性がある。(別添資料:添付資料-31, 32)			

【凡例】
 ○: 要因として考えられる
 △: 要因の可能性は低い、否定できない
 ×: 要因としては考えられない

※ 経過報告(その2)からの修正箇所を赤字で示す