

要因調査結果及び評価
(排気管伸縮継手内筒の取付け方向)

【要因】	施工—外力—排気管伸縮継手取付け方向誤り—内筒の取付け方向誤り	
	排気管伸縮継手の取付け方向を誤った場合、排気ガスの整流ができず、排気ガスが直接ベローズに当たることで、過大な圧力が加わり破損する可能性がある。	
【調査方法】	排気管伸縮継手破損時に撮影した写真により、排気管伸縮継手の取付け方向を確認する。	
【調査結果】	排気管伸縮継手破損時に撮影した写真（図 32-1）より排気管伸縮継手の取付け方向を確認した結果、排気管伸縮継手に刻印されている流れ方向を示す矢印とディーゼル機関の排気ガスが流れる方向が一致していることを確認した。また、上流側のフランジ部に内筒ツバの厚み分の隙間が生じており、内筒の取付け方向も正しいことから、当該排気管伸縮継手は正しく取り付けられていることを確認した。	
【評価】	×	排気管伸縮継手は正しく取り付けられていることから要因ではない。

[評価欄記号説明]

- ×：要因ではない
- △：複合要因の一つとして考えられる
- ：主要因と推定される

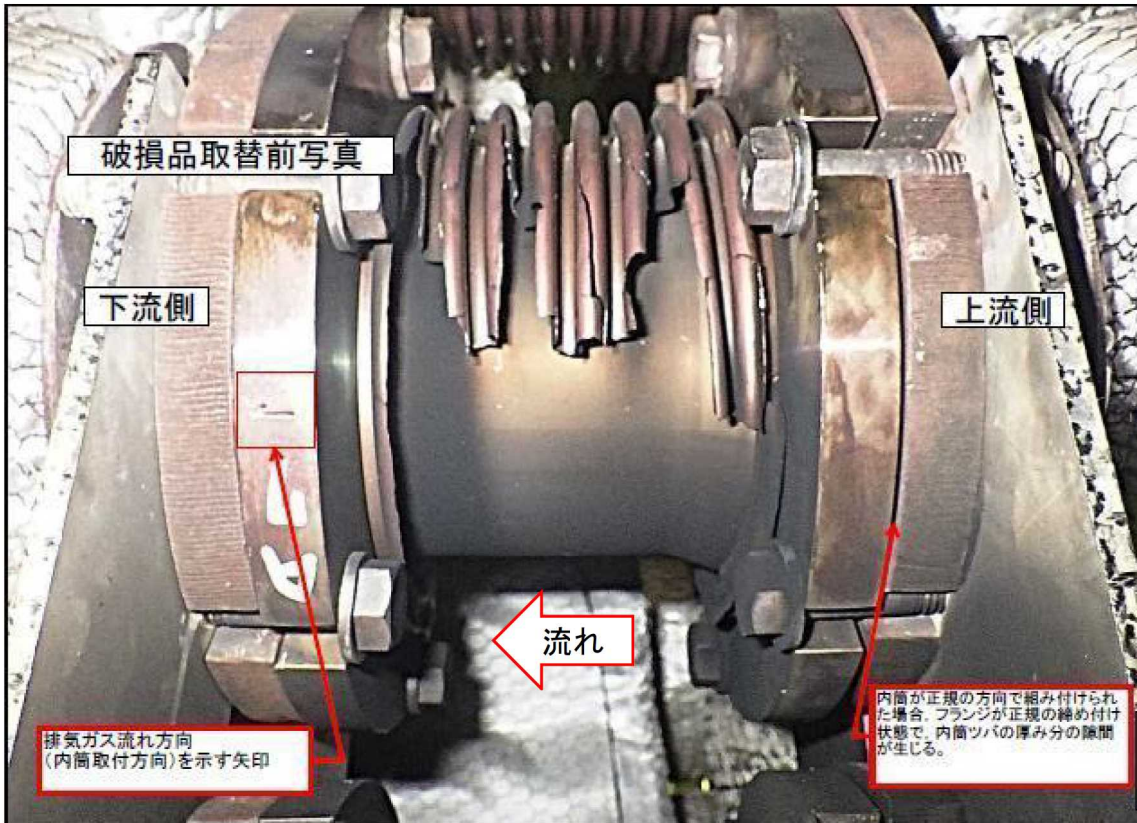


図 32-1 排気管伸縮継手破損時の現場状況

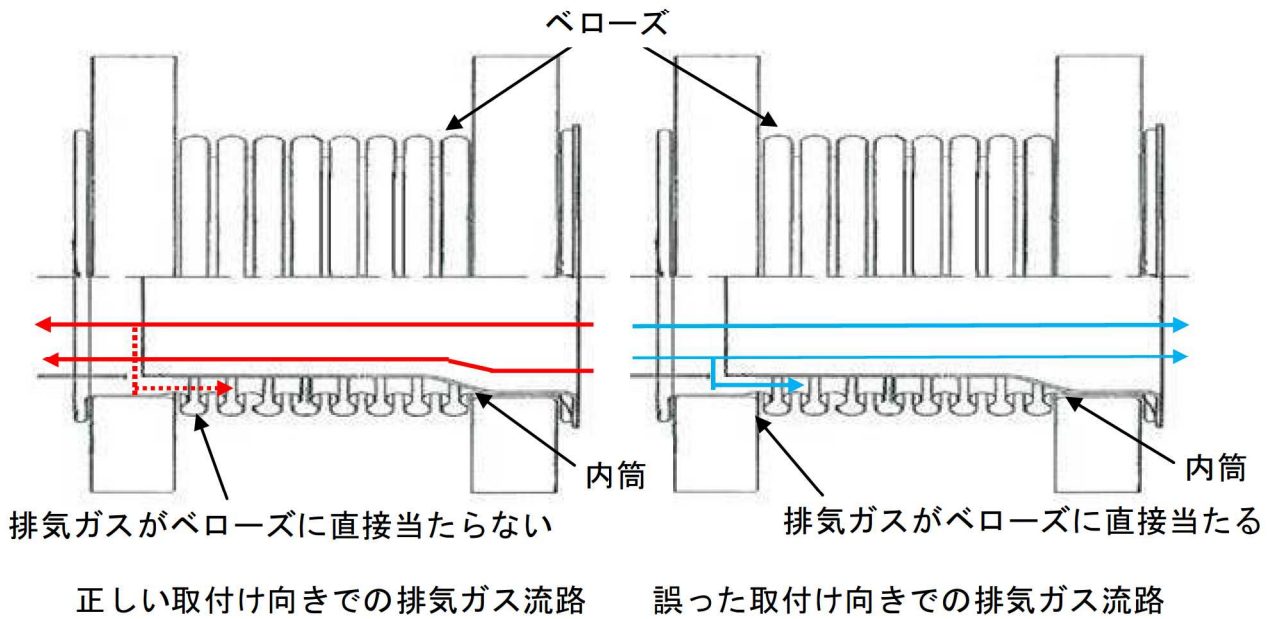


図 32-2 内筒の取付け方向の相違による排気ガス流路

要因調査結果及び評価
(排気管伸縮継手の芯ずれ)

<p>【要因】</p>	<p>施工—外力—芯ずれ—排気管伸縮継手の芯ずれ</p> <p>排気管伸縮継手に芯ずれがあった場合、ベローズに過大な力が加わり破損する可能性がある。</p>	
<p>【調査方法】</p>	<p>当該排気管伸縮継手を施工した際(平成 20 年)の工事報告書に基づき測定した当該排気管伸縮継手の段差寸法を記録により確認する。</p>	
<p>【調査結果】</p>	<p>当該排気管伸縮継手の段差寸法値は、以下に示すとおりであり、判定基準 (<input type="text"/> 以内) を満足していることを確認した。(図 33-1)</p> <p><段差寸法値></p> <p>測定点 a 2.8mm</p> <p>測定点 b 2.9mm</p>	
<p>【評価】</p>	<p>×</p>	<p>当該排気管伸縮継手の段差寸法値は、判定基準を満足している。判定基準は内筒とベローズの間隙から定められており、要因ではない。</p>

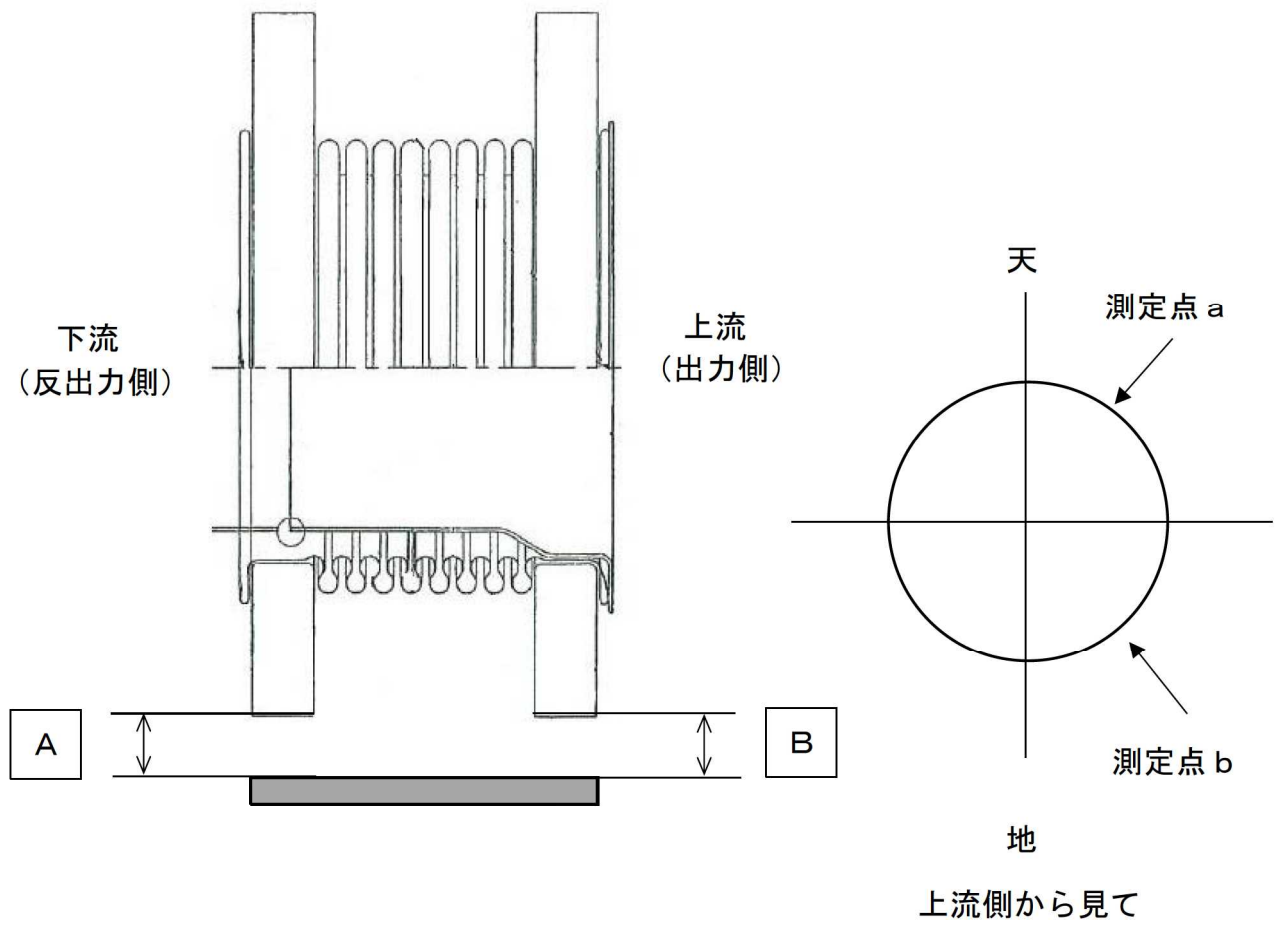
[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



判定基準 : AとBの 以内

図 33-1 排気管伸縮継手の段差寸法の測定位置

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(ベローズのねじれ)

	施工—外力—ねじれ—ベローズのねじれ	
【要因】	ベローズがねじれていた場合、排気管伸縮継手に過大な力が加わり破損する可能性がある。	
【調査方法】	排気管伸縮継手の構造を確認して、取付け時のベローズのねじれの可能性の有無を確認する。	
【調査結果】	排気管伸縮継手の構造は、フランジとベローズは周方向には固定されていない。(図 34-1)	
【評価】	×	排気管伸縮継手のベローズとフランジは周方向には固定されておらず、ベローズ自体が回転できる構造となっている。このことから取付け時において、ベローズにねじれが発生することはないため、要因ではない。

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

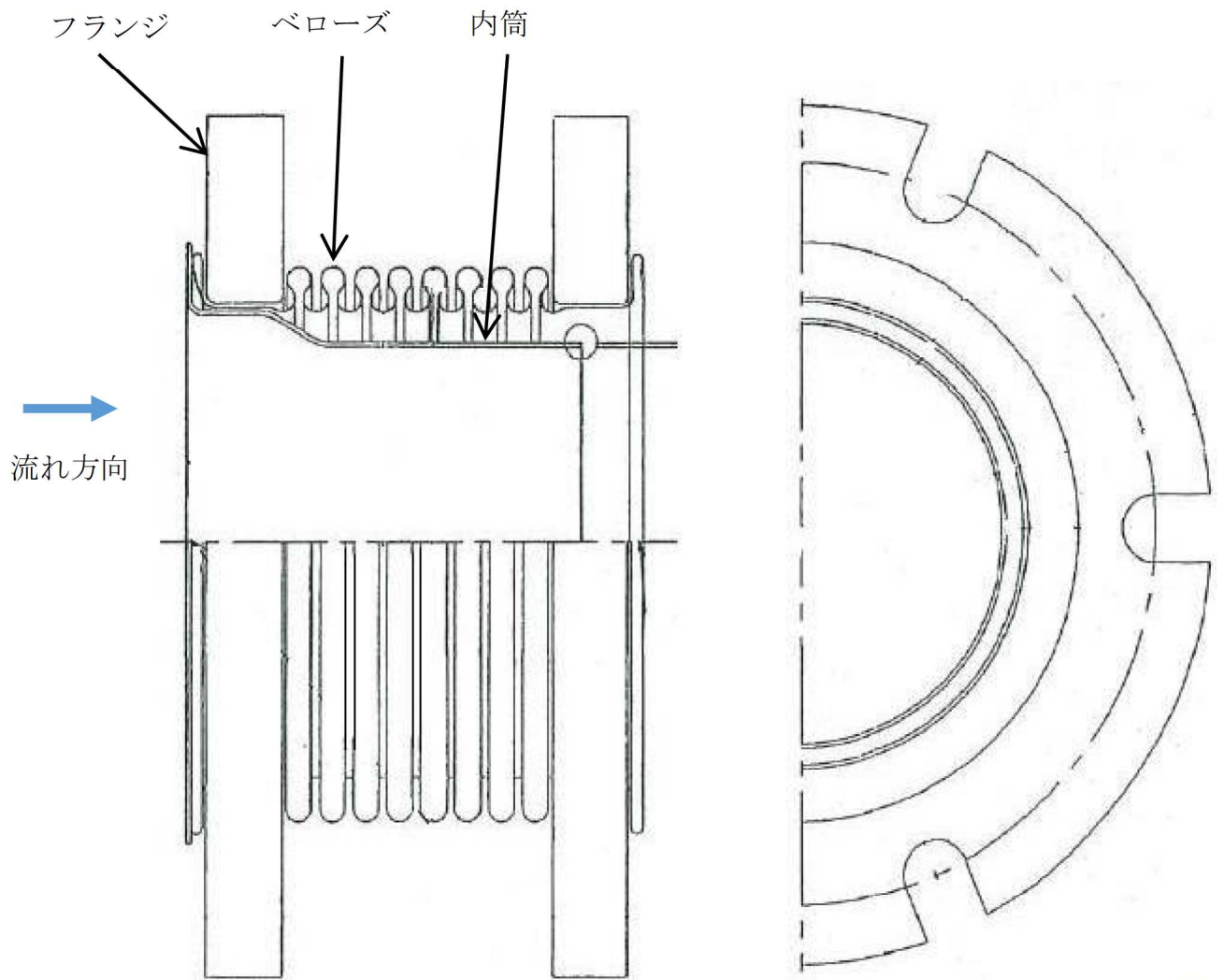


図 34-1 排気管伸縮継手の構造

要因調査結果及び評価
(排気管サポートの締付け)

【要因】	施工—外力—振動—排気管サポート拘束不良	
	排気管サポートの締付け不良により、排気管の拘束がなくなった場合、D/G(B)運転時に排気管が振動し、ベローズに過大な振動が生じ破損する可能性がある。	
【調査方法】	<p>当該排気管伸縮継手を取替えた際(平成 20 年)の工事報告書より、排気管サポートの締付け状況を確認する。</p> <p>排気管伸縮継手取替え後(平成 20 年)以降の排気管サポートに関する作業の有無を確認し、排気管サポートの締付け状況を確認する。</p> <p>また、当該排気管伸縮継手の取外し前(平成 30 年)に排気管サポートの締付け状況及び外観の確認をする。</p>	
【調査結果】	<p>工事報告書を確認した結果、排気管伸縮継手取替え時(平成 20 年)は排気管サポートに関する作業を実施していないことを確認した。</p> <p>排気管伸縮継手取替え時から平成 30 年 6 月 6 日までの間に実施した点検計画に基づく排気管サポートの点検実績については、保全作業報告書より、平成 26 年及び平成 27 年に実施しており、排気管サポートの締付け状況に緩みがないことを確認している。(図 35-1)</p> <p>また、平成 30 年 6 月 6 日に当該排気管伸縮継手の排気管サポートの締付け状況を確認した結果、緩みがなく、外観確認の結果においても、排気管表面に摺動痕がないことを確認した。</p>	
【評価】	×	<p>本事象発生時に排気管サポートに緩みがないこと、及び排気管伸縮継手取替え時(平成 20 年)から本事象発生までの間も排気管サポートに緩みがないことから、D/G(B)運転時に排気管が振動し、ベローズに過大な振動が発生することはないため、要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

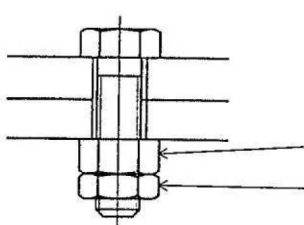
× : 要因ではない

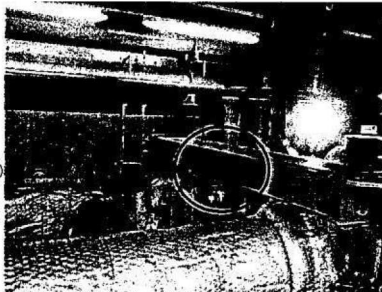
△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

記録番号 : F-91 (1/2)

浜岡原子力発電所 第5号機										中電 確認		
機器名：非常用ディーゼル発電装置 【 A ・ ③ ・ C 】 排気管サポート締付記録										承認	審査	作成
										29.2.11	29.2.11	29.2.11





シリンブ 組	締付箇所	本数	取外日付		締付							締め角度			測定				
			確認者	金 マーク	面間(mm)				トルク等	塗布材	日付	実施者	確認者	ナット角度(1/16, 1/8, 1/4)			日付	確認者	
					1	2	3	4						1	2	3			
1/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
2/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
3/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
4/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
5/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
6/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
7/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
8/16	①	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					
	②	1	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	無					

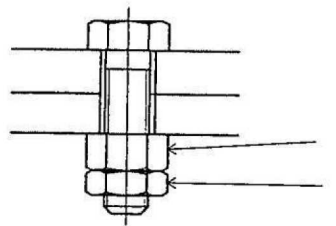
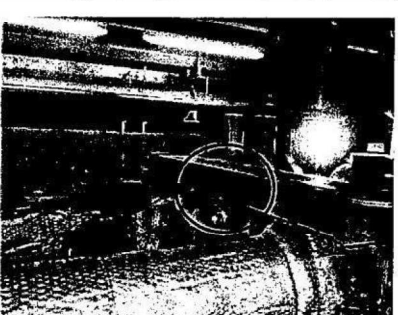
検査 上段：分解前または規定 下段：組立後	判定基準 金マーク：分解前と差異がないこと 面間：分解前と差異がないこと。面間の差が0.5mm以内であること。 トルク等：規定のとおり締められていること。 塗布材：規定のとおり塗布されていること。 漏洩：漏洩またはその痕跡がないこと。	使用計量 1/16： - 1/8： - 1/4： - 検査判定：合格
------------------------------------	---	---

756

図 35-1 排気管サポート締付記録 (1/2)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

記録番号 : F-91 (2/2)

浜岡原子力発電所 第5号機										中電 確認	[承認]						
機器名 : 非常用ディーゼル発電装置 [A · (B) · C] 排気管サポート締付記録										承認	審査	作成					
										27.2.11	27.2.11	27.2.11					
 																	
シリンダ No.	締付箇所	本数	取外日付		締付				締め角度				漏洩				
			確認者	キ マーク	面間 (mm)				トルク等	塗布材	日付	実施者	確認者	ナット角度 (1/16, 1/8, 1/4)		日付	確認者
9/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
10/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
11/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
12/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
13/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
14/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
15/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
16/16	①	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			
	②	1	-	○	-	-	-	-	-	-	2/11			無			

留意

上段 : 分解前または規定
下段 : 組立後

測定基準

キマーク : 分解前と差異がないこと
面間 : 分解前と差異がないこと。面間の差が0.5mm以内であること。
トルク等 : 規定のとおり締められていること。
塗布材 : 規定のとおり塗布されていること。
漏洩 : 漏洩またはその痕跡がないこと。

取用計測

JIS : -
JIS : -
JIS : -

総合判定 : 合格

757

図 35-1 排気管サポート締付記録 (2/2)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(D/G 運転中の排気ガス温度)

<p style="text-align: center;">【要因】</p>	<p>運転管理—過大応力による延性破壊—運転状態の異常—排気ガス温度等の異常</p> <p>運転中において排気ガス温度の判定基準値及び振動値が基準値を超過した場合、ベローズが破損する可能性がある。</p>
<p style="text-align: center;">【調査方法】</p>	<p>当該排気管伸縮継手取替え後(平成 20 年)から破損事象前(平成 30 年)までの運転性能記録(定格運転中)、定期試験記録(定格運転中)により排気ガス温度を確認する。また、当該排気管伸縮継手が破損した以降の試運転時の温度解析、振動測定により、異常燃焼等による排気温度の異常な上昇の有無、排気管の異常な振動の有無を確認する。</p>
<p style="text-align: center;">【調査結果】</p>	<p>当該排気管伸縮継手取替え後(平成 20 年)から破損事象前(平成 30 年)までの運転性能記録及び定期試験記録を確認した結果、過給機排気ガス温度は最大で [] であり、判定基準値 [] 以下であることを確認した。</p> <p>当該排気管伸縮継手が破損した以降の試運転時の当該排気管伸縮継手出入口管の温度解析の結果、当該排気管伸縮継手フランジ部の温度は最大で約 [] であり、判定基準値 [] 以下であることを確認した。また、定格運転中の排気管伸縮継手の振動測定の結果、A-7 排気管伸縮継手の上流側・下流側の振動値は、最大で [] 程度であり、他の排気管伸縮継手と比較しても同程度であった。</p>
<p style="text-align: center;">【評価】</p>	<p style="text-align: center;">×</p> <p>当該排気管伸縮継手取替え(平成 20 年)以降に、過給機排気ガス温度は判定基準値を超えていないこと、及び当該排気管伸縮継手破損事象後の試運転時における排気管伸縮継手の温度及び振動測定結果においても異常は確認されていないことから、要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(排気管の圧力脈動)

【要因】	<p>運転—過大応力による延性破壊—運転状態の異常—排気温度等の異常</p>	
	<p>排気管の構造により、当該排気管伸縮継手近傍に圧力脈動が発生し、ベローズが破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧力脈動の影響による異常な振動の発生の有無を確認するため、D/G 定格運転中に当該排気管伸縮継手に発生する振動値を測定する。 ・ D/G 定格運転中を模擬した流体解析を行い、当該排気管伸縮継手近傍の排気流による圧力脈動の発生の有無を調査する。 ・ 圧力脈動がある場合、構造解析にて、ベローズに生じるひずみを算定し、そのひずみを用いて疲労評価を行う。 	
【調査結果】	<ul style="list-style-type: none"> ・ D/G 定格運転中の当該排気管伸縮継手の振動値は であり、他の排気管伸縮継手と比較しても同程度である。 ・ D/G 定格運転中を模擬した流体解析の結果、 周期の圧力脈動が認められ、圧力脈動によってベローズに最大約 の圧力が発生する。 ・ 構造解析の結果、圧力脈動によりベローズに最大 4.5×10^{-5} のひずみが発生する。 	
【評価】	×	<p>D/G 定格運転中の当該排気管伸縮継手の振動値は、他の排気管伸縮継手と同程度であり問題ない。</p> <p>排気管伸縮継手近傍に発生する圧力脈動を流体解析により確認した。さらに、構造解析の結果、圧力脈動により発生するひずみは繰り返し回数 10^6 回の許容ひずみ (約 2.8×10^{-3}) と比較して十分に小さく高サイクル疲労の要因にはならない。</p> <p>以上より、圧力脈動によりベローズが破損する可能性がないことから、要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

解析結果について

1 目的

D/G 定格運転中の、当該排気管伸縮継手近傍の排気流による圧力脈動の発生の有無を流体解析により調査する。圧力脈動がある場合、構造解析にて、ベローズに生じるひずみを算定し、そのひずみを用いて疲労評価する。

2 流体解析概要

汎用熱流体解析プログラム ANSYS Fluent

<解析条件>

解析範囲を排気管伸縮継手及び排気管とし、シリンダ (A2, A7) からの排気ガス量を入力し、排気ガスの挙動を確認した。

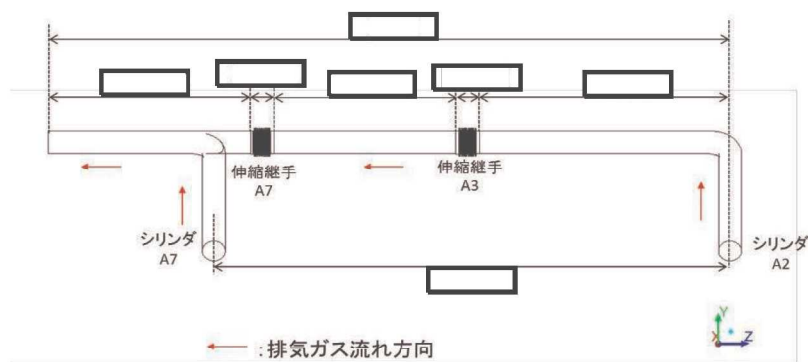


図 37-1 流体解析範囲

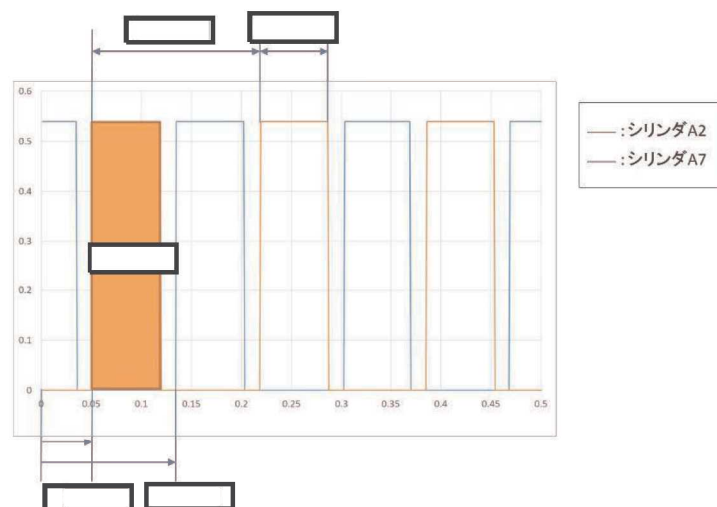


図 37-2 排気ガス流入条件

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

3 流体解析結果

当該排気管伸縮継手近傍の排気流により、 周期の圧力脈動が認められ、ベローズに最大約 の圧力が発生する。

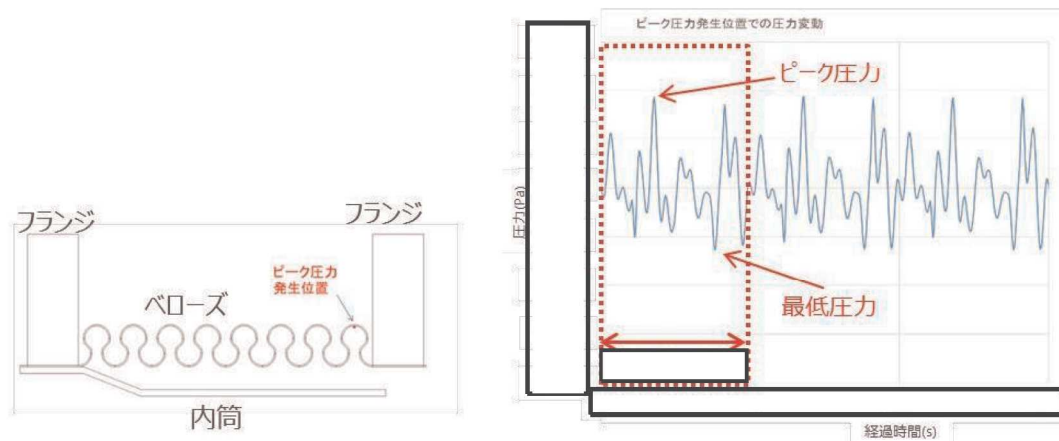


図 37-3 流体解析結果

4 構造解析概要

汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS

<解析条件>

流体解析で求めた排気ガス圧力のピーク圧力および最低圧力から応力振幅を求め、その差分によりベローズに発生する応力を算定する。

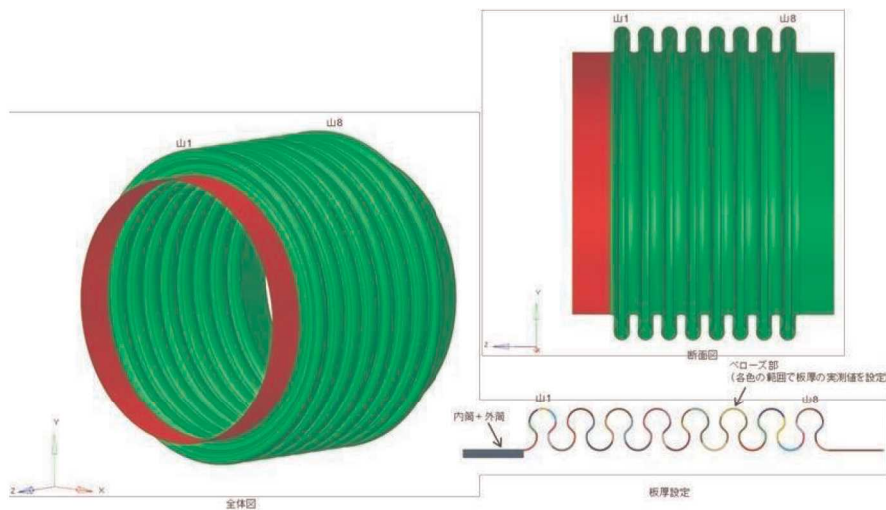


図 37-4 構造解析モデル

5 構造解析結果

圧力脈動により、ベローズに発生する応力は 7.4MPa であった。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

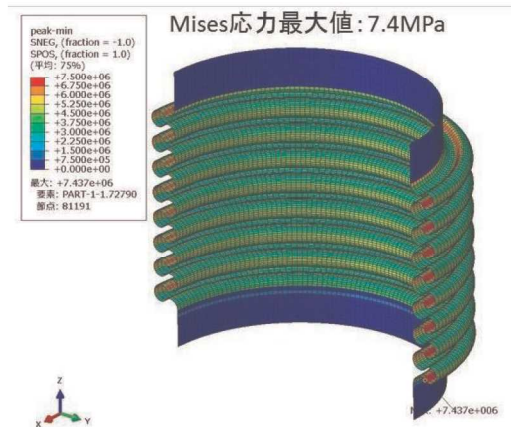


図 37-5 構造解析結果

6 疲労評価方法

疲労評価については、発電用原子力設備 設計・建設規格（2009 年版）＜第Ⅱ編高速炉編＞に基づき、ベローズに生じるひずみを用いて判定した。なお、ベローズに生じるひずみについては、発生応力をヤング率で除して算定した。

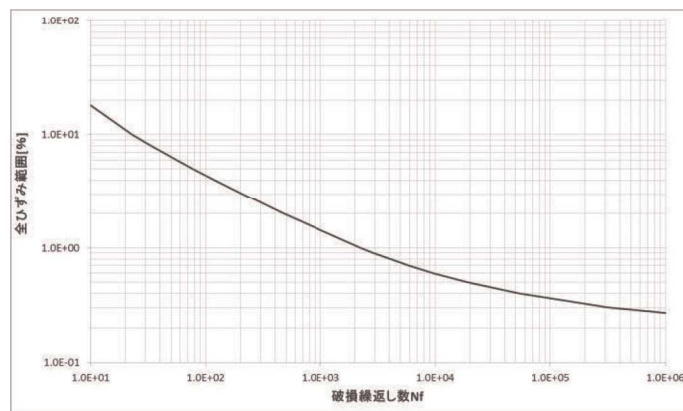


図 37-6 破損繰返し回数と全ひずみ範囲の関係 (の場合)

7 疲労評価結果

ベローズに生じるひずみは、 4.5×10^{-5} であり、繰返し回数 10^6 回の許容ひずみ（約 2.8×10^{-3} ）以下であることを確認した。

8 結論

排気管伸縮継手近傍に発生する圧力脈動を流体解析により確認した。さらに、構造解析の結果、圧力脈動により発生するひずみは疲労限度以下であることからベローズが破損することはない。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(定期試験時における判定基準の逸脱)

【要因】	<p>運転管理—過大応力による延性破壊—運転状態の異常—運転手順の誤り</p>	
	<p>定期試験時に、定期試験手順書を逸脱する操作により、排気温度の異常上昇が発生し、過大な応力がかかることで、ベローズが破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>当該排気管伸縮継手取替え後(平成 20 年)から破損事象前(平成 30 年)における以下の項目について確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CAP 登録件名において、定期試験手順書を逸脱する操作により発生した不適合件名の有無。 ・定期試験記録における、排気温度の判定基準の逸脱の有無。 	
【調査結果】	<p>平成 20 年 9 月 30 日から平成 30 年 6 月 5 日(排気管伸縮継手交換後に D/G 待機状態へ復帰した時点から排気管伸縮継手破損に至るまでの期間)における以下の項目について確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CAP 登録件名において、定期試験手順書を逸脱する操作により発生した不適合件名はなし。 ・定期試験記録における、排気温度の判定基準の逸脱なし。 <p>なお、定期試験手順書を使用しない D/G 起動操作の実績を確認した結果、平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震時の D/G 起動が該当するが、運転員の操作が介在しない自動起動であったこと、また、無負荷の運転のみで停止操作を実施していることから、排気温度の異常上昇に至る操作は無かったと判断する。</p>	
【評価】	×	<p>CAP 登録件名確認結果より、定期試験手順書を逸脱する操作による不適合が発生していないこと、及び定期試験記録結果より、排気温度の異常上昇が発生していないことから、ベローズ破損の要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(運転操作手順書の誤り)

【要因】	運転管理—過大応力による延性破壊—運転状態の異常—運転手順の誤り	
	定期試験手順書, 試運転手順書及びその判定基準の誤りにより, メーカー推奨の運転状態を逸脱することで, 排気温度の異常上昇が発生し, 過大な応力がかかることで, ベローズが破損する可能性がある。	
【調査方法】	定期試験手順書, 試運転手順書及びそれらの判定基準が, メーカー推奨の基準に対し妥当なものであることを確認する。	
【調査結果】	D/G の定期試験手順書, 試運転手順書とメーカーの手順書の比較を行い, 定期試験手順書, 試運転手順書がメーカー推奨の手順から逸脱がないことを確認した。 また, 定期試験の判定基準及び試運転時の判定基準を定めた点検計画の記載が, メーカーの仕様書等で要求される基準であることを確認した。	
【評価】	×	定期試験及び試運転はメーカーの定める要求事項に適合する手順書及び判定基準で実施されていることから, 運転手順に誤りはなく, 要因ではない。

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

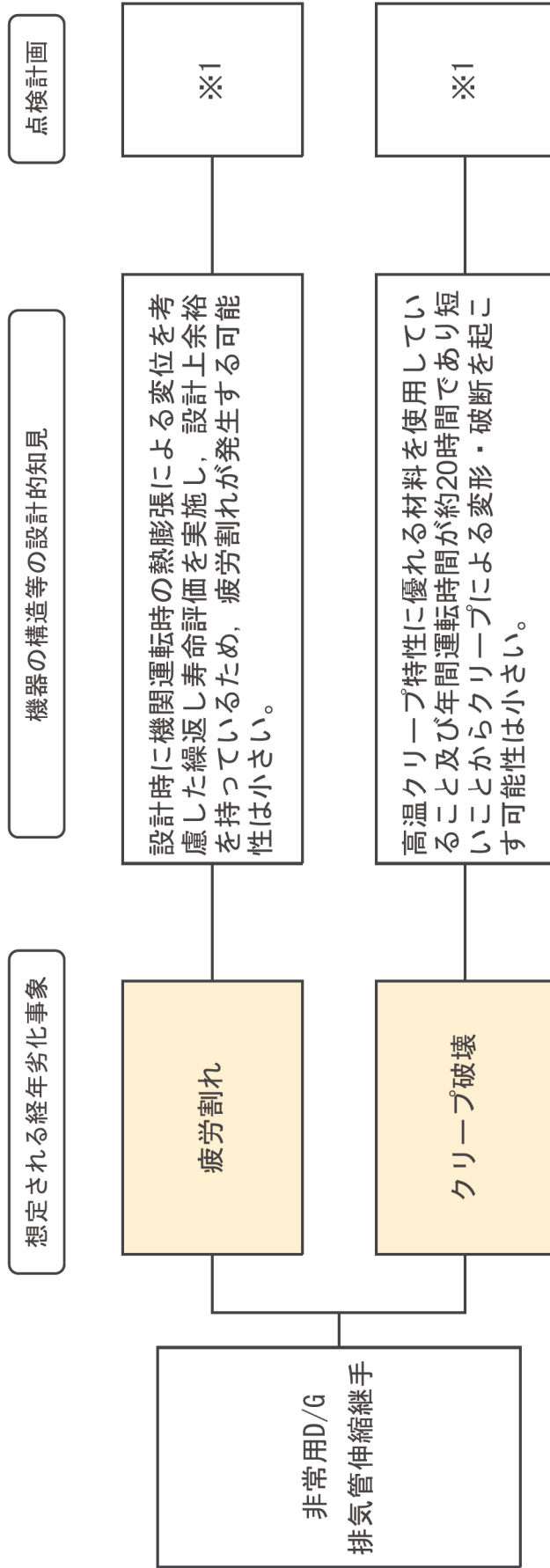
要因調査結果及び評価
(保全内容)

【要因】	保守管理—不適切な保全内容
	保全の内容が不適切な場合、想定外の劣化により排気管伸縮継手が破損する可能性がある。
【調査方法】	保全の内容が適切な考え方に基づき設定されていることを確認する。
【調査結果】	<p>浜岡原子力発電所においては、原子力発電所の保守管理規程（JEAC4209-2007）を保守管理の指針・手引に取り込み、保守管理活動を実施している。</p> <p>設備の保全内容は下記プロセスを経て設定している。</p> <p>（１）保全対象範囲の策定</p> <p>（２）保全重要度の設定</p> <p>（３）保全計画の策定</p> <p>（１）保全対象範囲の策定について</p> <p>非常用ディーゼル発電設備は、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針において「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器（MS-1）」に該当するため、保全の対象範囲である。</p> <p>（２）保全重要度の設定について</p> <p>保全重要度を決定する要素は以下の３要素としている。</p> <p>①安全重要度（MS-1, 2 : A, MS-3 : B, 外 : C）</p> <p>②リスク重要度（影響度高 : A, 無 : -）</p> <p>③供給信頼度（供給停止 : A, 出力変動 : B, 影響なし : C）</p> <p>また、①～③に示した重要度の設定においては、保全の対象範囲について系統ごとの範囲と機能を明確にした系統機能整理表を作成している。</p> <p>この中で、非常用ディーゼル発電設備は「非常用所内電源供給機能（MS-1）」が要求されているため、重要度は以下のとおり設定している。</p> <p>安全重要度 : A, リスク重要度 : A, 供給信頼度 : C</p> <p>このため、非常用ディーゼル発電設備の保全重要度は最も高い A を設定している。</p> <p>（３）保全計画の策定について</p>

	<p>保全計画は、関係法令、関係規格及び基準を遵守するとともに、保全重要度を勘案し、以下の事項を考慮した上で想定される経年劣化事象並びに発生の時期又は部位が予測できない偶発事象の両方の要因を考慮し保全の内容を策定している。</p> <p>①運転実績、事故及び故障事例などの運転経験 ②使用環境及び設置環境 ③劣化・故障モード ④機器の構造等の設計的知見 ⑤科学的知見</p> <p>非常用ディーゼル発電設備については、保全重要度が A であるため、経年劣化が想定される部位については劣化の兆候を適切に捉えるよう定期的に分解点検及び部品の取替えを点検計画に定めている。</p> <p>また、定期的な運転確認等により設備の健全性を確認することで偶発事象を含めた設備の機能喪失を未然に防止するように努めている。</p> <p>このうち、当該部については、経年劣化メカニズムまとめ表（「日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準」）より使用材料及び環境条件から、経年劣化事象として疲労割れ及びクリープ破壊が想定されるものの、これらについては機器設計時に考慮されているため、定期的に保温材を取外した上での外観点検は実施していない。（図 40-1）</p> <p>一方、偶発事象の発生を考慮し、試運転時及び定期的な運転確認において運転状態の異常（漏えい、振動等）の有無を確認することを点検計画に定め、設備が機能喪失に至らないよう保全を実施している。（表 40-1）</p>
<p>【評価】</p>	<p>×</p> <p>非常用ディーゼル発電設備は、適切な考え方に基づき、保全項目が設定されていることから、非常用ディーゼル発電設備の機器の一部である排気管伸縮継手においても保全の内容は妥当であると評価した。</p> <p>しかしながら、今回の破損事象を踏まえ偶発事象を捉えるための更なる改善として排気管伸縮継手の破損に係る検知性を向上させる必要があると評価した。</p>

[評価欄記号説明]

- ×：要因ではない
- △：複合要因の一つとして考えられる
- ：主要因と推定される



※1 機器設計時に考慮されているため、定期的に保温材を取外した上での外観点検は必要としていない。

図 40-1 非常用ディーゼル発電設備排気管伸縮継手に想定される経年劣化事象について

表 40-1 点検計画 抜粋

点検計画	点検部位	点検手入れ ・試験内容	管理基準
原子炉編	D/G 本体	<ul style="list-style-type: none"> ・定格負荷運転状態の確認 ・漏えい確認 ・各シリンダの排気温度のバラツキが [] 以上となった場合は、燃焼バラス調整を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・振動, 温度, 流量, 圧力, 電流等パラメータが従来と大きな差がないこと。 ・振動: 本体ベース部 [] 以下, 発電機ベース部 [] 以下, 過給機 [] 以下 (判定) ・シリンダ内最高圧力: [] 以下, 各シリンダのバラツキ [] 以内 (判定) ・排気温度: シリンダ出口: [] 以下 (判定) 各シリンダのバラツキが [] 以内 (目標), 過給器入口: [] 以下 (判定), 過給器出口: [] 以下 (判定) ・清水温度 (機関出口): [] (判定) ・清水圧力: [] (判定) ・潤滑油温度: 機関入口: [] (判定) ・潤滑油圧力: 機関入口: [] (判定) ・発電機周波数: [] (判定) ・機関付清水ポンプメカニカルシール漏えい量: [] (管理) ・漏えい又はその形跡, 亀裂, 変形等がないこと。 (判定)
発電編	非常用ディーゼル発電機系	<ul style="list-style-type: none"> ・振動 (運転状態) ・異音 (運転状態) ・異臭 (運転状態) ・漏えい (運転状態) 	<ul style="list-style-type: none"> ・不規則な振動がないこと ・不規則な音, 断続的な音等がないこと ・過熱による異臭等がないこと ・燃料弁, 空気冷却器ドレン管以外の各系統配管接続部より漏えいのないこと

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(流れ加速型腐食)

	経年劣化—腐食—流れ加速型腐食	
【要因】	ベローズに流れ加速型腐食が発生した場合、破損する可能性がある。	
【調査方法】	当該排気管伸縮継手のベローズについて、流れ加速型腐食の有無を目視による表面観察により確認する。	
【調査結果】	表面観察を実施した結果、流れ加速型腐食の特徴である鱗状模様が発生していないことを確認した。表面観察結果は、添付資料 17 を参照。	
【評価】	×	当該排気管伸縮継手のベローズに流れ加速型腐食は発生していないため、要因ではない。

[評価欄記号説明]

×：要因ではない

△：複合要因の一つとして考えられる

○：主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(すきま腐食及び孔食)

	経年劣化—腐食—すきま腐食, 孔食	
【要因】	ベローズにすきま腐食, 孔食が発生した場合, 破損する可能性がある。	
【調査方法】	当該排気管伸縮継手のベローズについて, すきま腐食, 孔食の有無を目視による表面観察により確認する。	
【調査結果】	表面観察を実施し, すきま腐食及び孔食の有無を確認した結果, 腐食がないことを確認した。表面観察結果は, 添付資料 17 を参照。	
【評価】	×	当該排気管伸縮継手のベローズにすきま腐食や孔食は発生していないため, 要因ではない。

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(応力腐食割れ)

<p style="text-align: center;">【要因】</p>	<p>経年劣化—腐食—応力腐食割れ</p> <p>ベローズに応力腐食割れが発生した場合、破損する可能性がある。</p>
<p style="text-align: center;">【調査方法】</p>	<p>当該排気管伸縮継手のベローズについて、応力腐食割れの発生の有無を光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察により確認する。また、粒界・粒内型応力腐食割れの発生の有無を以下の方法により確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・組織が鋭敏化したことにより粒界型応力腐食割れが発生する可能性があるため、鋭敏化組織の有無を光学顕微鏡による断面組織観察により確認する。 ・ベローズの外表面に塩分が付着したことにより、粒内型応力腐食割れが発生する可能性があるため、外表面に塩分が付着する可能性について確認する。また、塩分付着による腐食の発生の有無を目視による表面観察により確認する。
<p style="text-align: center;">【調査結果】</p>	<p>破面観察を実施した結果、応力腐食割れが発生していないことを確認した。</p> <p>断面組織観察を実施した結果、鋭敏化が発生しやすい溶接部・溶接部近傍において、鋭敏化組織がないことを確認した。</p> <p>当該排気管伸縮継手は保温材で覆われているため、通常時は直接外表面に塩分が付着する環境になく、当該排気管伸縮継手の取替え(平成 20 年)以降は、保温材を取外していないため、外表面に塩分の付着はなかった。</p> <p>表面観察結果、光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察結果は、添付資料 1 7, 1 8, 4 5 を参照。</p>

【評価】	×	<p>ベローズに鋭敏化組織はないことから粒界型応力腐食割れは発生していないため、要因ではない。</p> <p>また、当該排気管伸縮継手は取替え以降、保温材を取外しておらず、外表面へ塩分が付着する環境になく、外観観察を実施した結果からも塩分付着による腐食は発生していないため、要因ではない。</p>
------	---	--

[評価欄記号説明]

×：要因ではない

△：複合要因の一つとして考えられる

○：主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(硫化腐食)

【要因】	<p style="text-align: center;">経年劣化—腐食—硫化腐食</p> <p>ベローズに硫化腐食が発生した場合、破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>当該排気管伸縮継手のベローズについて、硫化腐食の発生の有無を以下の方法により確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 目視による表面観察 ・ 光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察 	
【調査結果】	<p>表面観察及び破面観察を実施し、硫化腐食の有無を確認した結果、腐食がないことを確認した。表面観察結果、光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察結果は、添付資料 17, 18 を参照。</p> <p>なお、建設時に測定した排ガス中の硫黄酸化物濃度を確認した結果、5号機は基準値 (<input type="text"/>) 以下の 2ppm であった。</p>	
【評価】	×	<p>当該排気管伸縮継手のベローズに腐食はなかったことから、硫化腐食は発生していないため、要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

- × : 要因ではない
- △ : 複合要因の一つとして考えられる
- : 主要因と推定される

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

当該排気管伸縮継手のペローズ破片の組織観察結果

1. 目的

当該排気管伸縮継手のペローズの SCC 感受性を確認するために、組織観察により熱鋭敏化の有無を調査する。また、破損ペローズの脆化 (σ 相脆化) の影響を確認するために、組織観察によって σ 相の析出の有無を調査する。

2. 調査方法・範囲

破損した排気管伸縮継手ペローズの、図 45-1 に示す位置から組織観察用の試料を採取し、金属組織観察を実施した。

2. 1 クロム炭化物の観察

金属組織観察によってクロム炭化物の析出の有無を調査することで熱鋭敏化の有無を確認する。

2. 2 σ 相の観察

金属組織観察によって σ 相の析出の有無を調査することで σ 相脆化の影響を確認する。

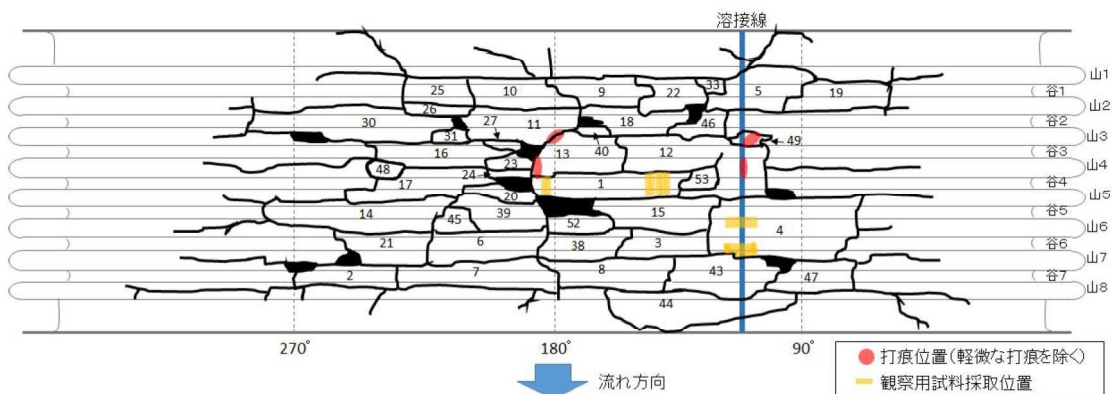


図 45-1 観察用試料採取位置

3. 金属組織観察結果

3. 1 クロム炭化物の観察結果

金属組織観察 (クロム炭化物) の結果を別紙 1 に示す。クロム炭化物の析出は認められなかったことから、熱鋭敏化は発生していないと考えられる。

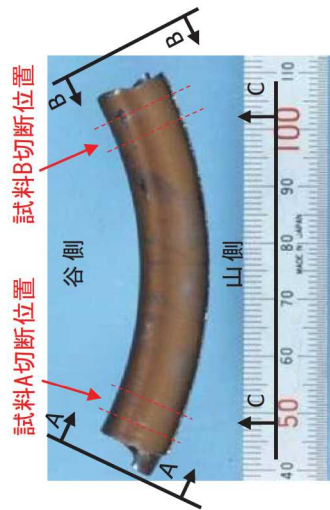
3. 2 σ 相の観察結果

金属組織観察 (σ 相) の結果を別紙 2 に示す。 σ 相の析出は認められなかったことから、 σ 相脆化は発生していないと考えられる。

以上

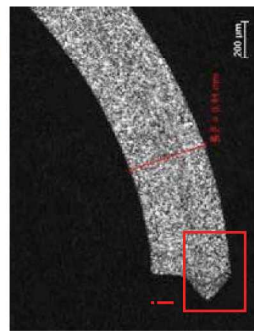
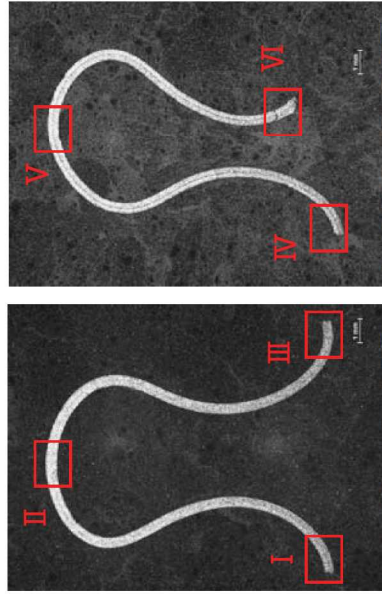
金属組織観察結果(クロム炭化物) < 破片No. 1 / 破片No. 4 >

< 金属組織観察結果(クロム炭化物)まとめ(破片No. 1) >
 ・破片No. 1の組織観察の結果、炭化物の析出は認められない。

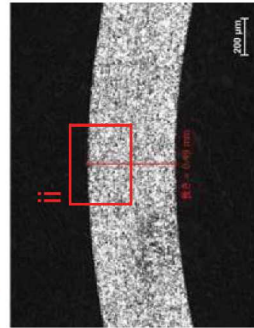


破片No. 1 山5側外観

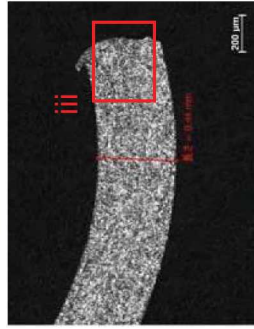
C-C矢視



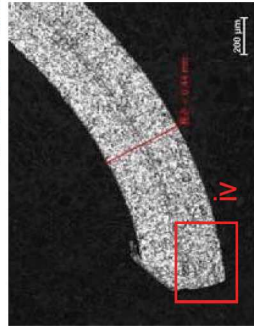
i 部観察位置



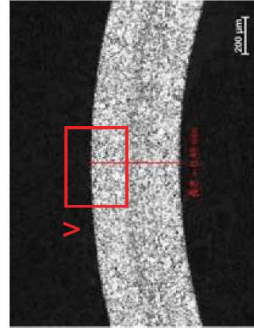
ii 部観察位置



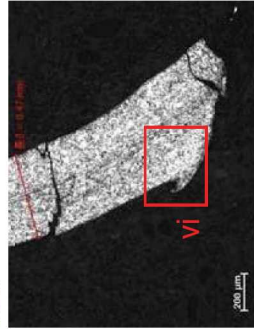
iii 部観察位置



iv 部観察位置



v 部観察位置



vi 部観察位置

添付資料 4 5 (2 / 4)
 別紙 1 (1 / 2)

金属組織観察結果(クロム炭化物) <破片No. 1 / 破片No. 4 >

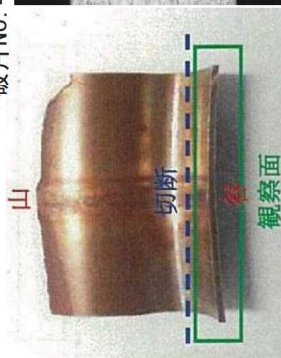
< 金属組織観察結果(クロム炭化物)まとめ (破片No. 4) >
 ・破片No. 4の組織観察の結果、溶接部や溶接部近傍に炭化物の析出は認められない。



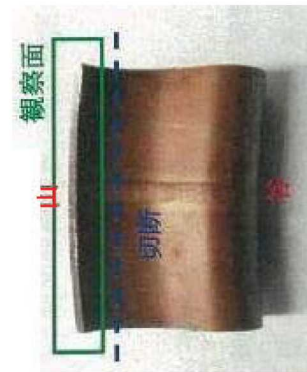
破片No. 4 (山5側)



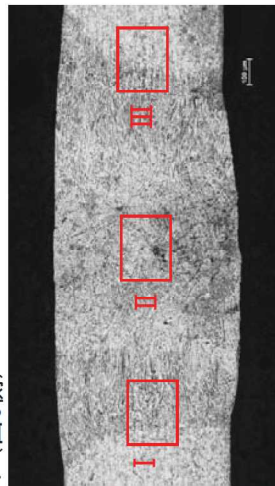
A-A矢視



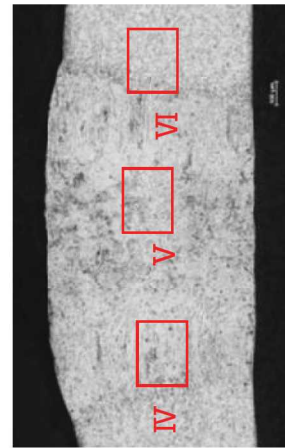
B-B矢視 (試料A)



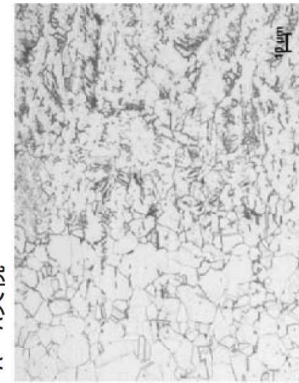
C-C矢視 (試料B)



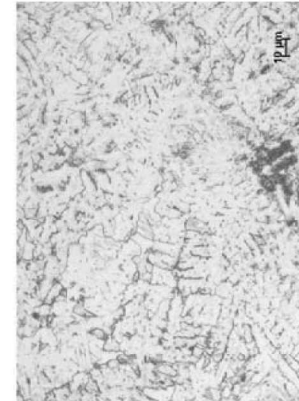
試料A溶接部拡大



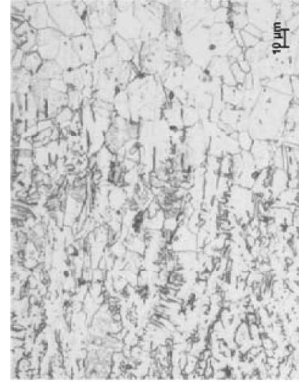
試料B溶接部拡大



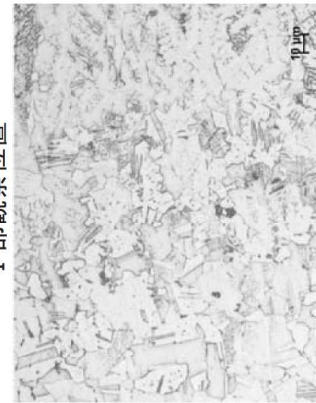
I 部観察位置



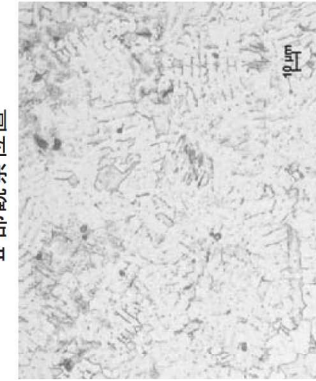
II 部観察位置



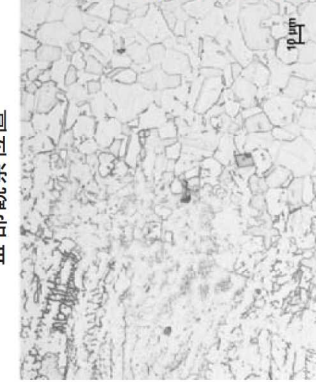
III 部観察位置



IV 部観察位置



V 部観察位置

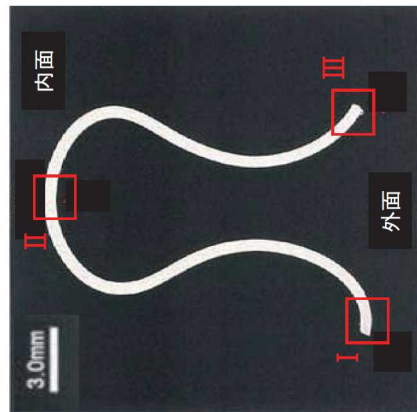
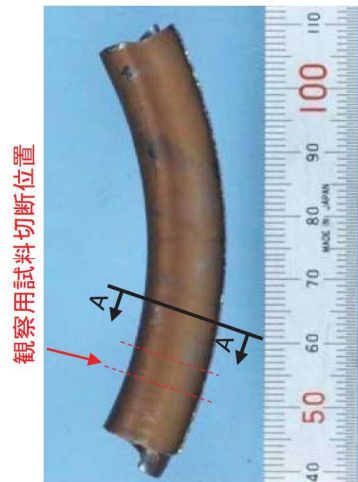


VI 部観察位置

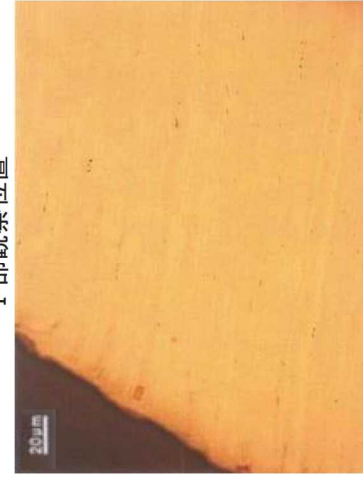
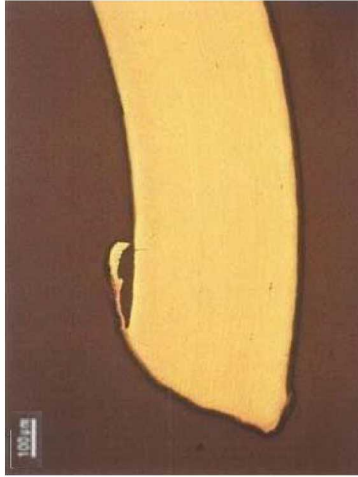
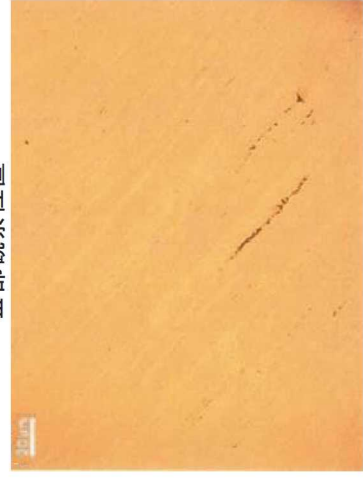
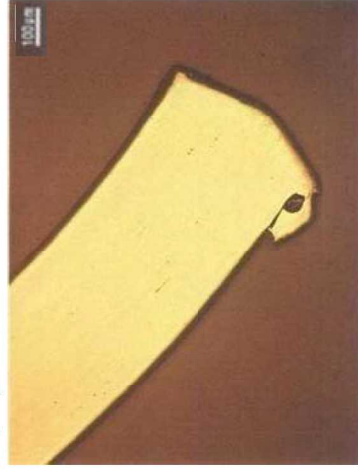
金属組織観察結果 (σ相) <破片No. 1>

<金属組織観察結果 (σ相) まとめ>

- ・破片No. 1において、σ相の析出は認められない。



(参考)σ相析出時の見え方



当該排気管伸縮継手のベローズ破片の硬さ測定結果

1. 目的

当該排気管伸縮継手のベローズと新品の排気管伸縮継手のベローズの硬さの比較をすることで、当該排気管伸縮継手のベローズの材料の性質の変化の把握を目的として、マイクロビッカース硬さ試験による硬さ測定を実施する。

2. 調査方法

当該排気管伸縮継手のベローズの、図 46-1 に示す位置から測定用試料を採取し、マイクロビッカース硬さ試験を実施した。また、新品の排気管伸縮継手のベローズについても硬さ試験を実施した。

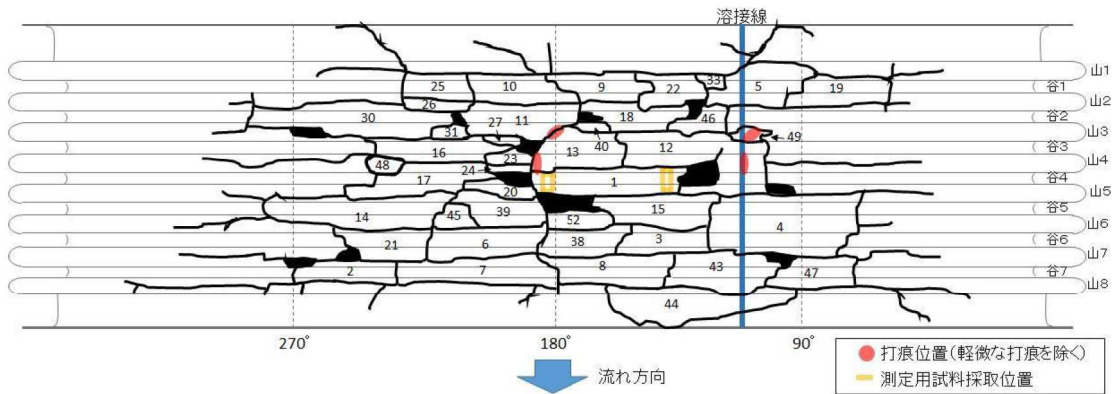


図 46-1 分析用試料採取位置

3. マイクロビッカース硬さ試験結果

マイクロビッカース硬さ試験の結果を別紙1に示す。当該排気管伸縮継手のベローズと新品の排気管伸縮継手のベローズ硬化の程度に大きな違いはないことを確認した。

以上

マイクロビッカース硬さ試験結果＜破片No.1 / No.4／新品＞（1 / 2）

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

＜硬さ測定結果まとめ＞

- ・新品の排気管伸縮継手のペローズ、当該排気管伸縮継手の破片No.1，破片No.4とも山部で加工硬化と考えられる硬化（最大 ）を確認した。
- ・溶接部においては、有意な硬化は認められなかった。

硬さ測定結果

	最大 (測定箇所)	最小 (測定箇所)
新品 (母材部)	<input type="text"/> (山側)	<input type="text"/> (谷側)
破片No.1 (母材部)	<input type="text"/> (山側)	<input type="text"/> (谷側)
破片No.4 (溶接部中心)	<input type="text"/> (山側)	<input type="text"/> (谷側)



始点からの移動距離 (mm)
硬さ測定 (新品)

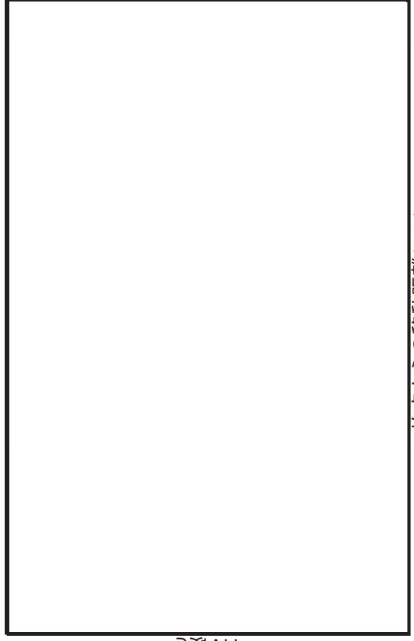
新品の排気管伸縮継手のペローズ断面 (山7～山8断面)



A-A矢視 (試料A)



B-B矢視 (試料B)



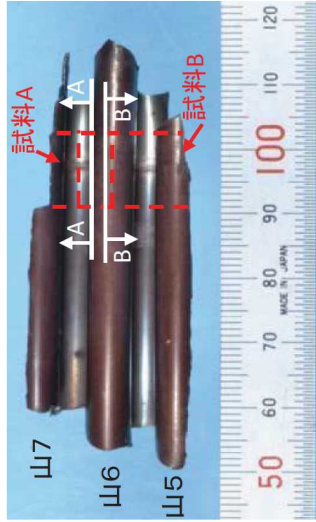
始点からの移動距離 (mm)
硬さ測定 (破片No.1)

マイクロビッカース硬さ試験結果＜破片No.1 / No.4 / 新品＞（2 / 2）

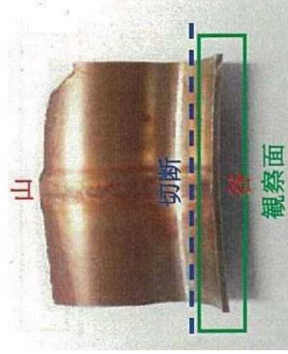
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



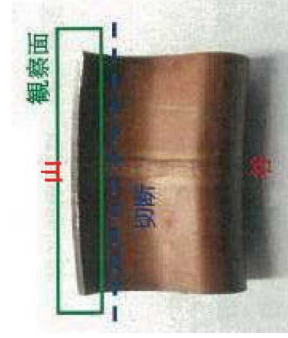
破片No. 4 (山5側)



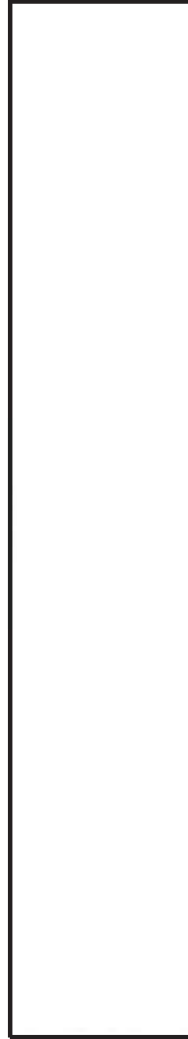
A-A矢視



試料A (谷部観察用)



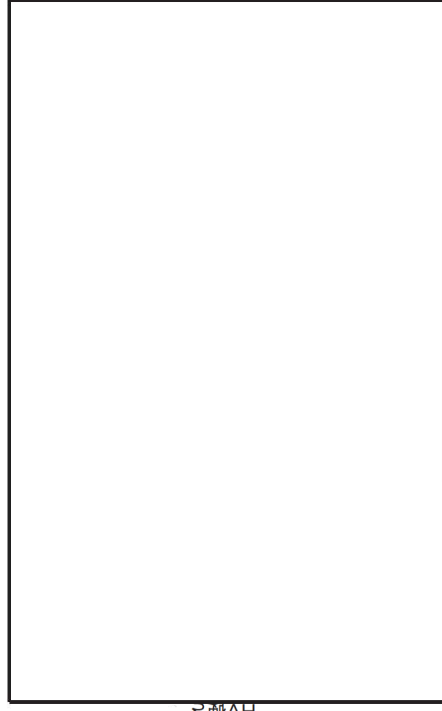
試料B (山部観察用)



試料A (谷部溶接部)



試料B (山部溶接部)



始点からの移動距離 (mm)
硬さ測定 (破片No. 4)

要因調査結果及び評価
(熱時効脆化)

<p>【要因】</p>	<p>経年劣化—材料劣化—脆化（熱時効）—割れ ベローズに熱時効による脆化が発生した場合、破損する可能性がある。</p>													
<p>【調査方法】</p>	<p>当該排気管伸縮継手のベローズにおいて、脆化(σ相脆化)の有無を走査型電子顕微鏡による破面観察及び光学顕微鏡による断面組織観察により確認する。 また、当該排気管伸縮継手のベローズの母材部及び溶接部における硬さ、新品材料の母材部における硬さをマイクロビッカース硬さ試験により確認・比較することで脆化の有無を確認する。 なお、脆化が発生する要因として熱影響が考えられ、機関運転中における排気管伸縮継手の熱分布は一様であることから、代表サンプルでの調査を実施する。</p>													
<p>【調査結果】</p>	<p>・破面観察を実施した結果、脆性破面の特徴であるリバーパターンやへき開破面がないことを確認した。また、断面組織観察を実施した結果、σ相の析出がないことを確認した。光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察結果は、添付資料 18, 45 を参照。 ・当該排気管伸縮継手のベローズの母材部、溶接部及び新品材料の母材部におけるマイクロビッカース硬さ測定結果を表 47-1 に示す。当該排気管伸縮継手のベローズの母材部と溶接部における硬さと新品材料の母材部における硬さは同程度であった。マイクロビッカース硬さ測定結果は添付資料 46 を参照。</p> <p style="text-align: center;">表 47-1 マイクロビッカース硬さ測定結果</p> <table border="1" data-bbox="472 1697 1355 1944"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">最大 (測定箇所)</th> <th style="text-align: center;">最小 (測定箇所)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>破損品 (母材部)</td> <td style="text-align: center;">□ (山側)</td> <td style="text-align: center;">□ (谷側)</td> </tr> <tr> <td>破損品 (溶接部中心)</td> <td style="text-align: center;">□ (山側)</td> <td style="text-align: center;">□ (谷側)</td> </tr> <tr> <td>新品 (母材部)</td> <td style="text-align: center;">□ (山側)</td> <td style="text-align: center;">□ (谷側)</td> </tr> </tbody> </table>			最大 (測定箇所)	最小 (測定箇所)	破損品 (母材部)	□ (山側)	□ (谷側)	破損品 (溶接部中心)	□ (山側)	□ (谷側)	新品 (母材部)	□ (山側)	□ (谷側)
	最大 (測定箇所)	最小 (測定箇所)												
破損品 (母材部)	□ (山側)	□ (谷側)												
破損品 (溶接部中心)	□ (山側)	□ (谷側)												
新品 (母材部)	□ (山側)	□ (谷側)												
<p>【評価】</p>	<p>×</p>	<p>当該排気管伸縮継手のベローズにおける破面観察及</p>												

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

		び組織観察の結果より、脆性破面の特徴は認められておらず、 σ 相の析出もないことから脆化(σ 相脆化)は発生していないと評価する。また、マイクロビッカース硬さ試験の結果より、当該排気管伸縮継手のベローズと新品材料の硬さは同程度であることから脆化が破損の要因ではない。
--	--	--

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(クリープ破損)

	経年劣化—材料劣化—クリープ—クリープ破損	
【要因】	ベローズにクリープが発生した場合、破損する可能性がある。	
【調査方法】	<p>当該排気管伸縮継手のベローズについて、サンプル破片のクリープの有無を以下の方法にて確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察 	
【調査結果】	<p>破面観察を実施した結果、サンプル破片にクリープポイドや微小き裂、粒界割れやディンプルがないことを確認した。</p> <p>また、当該排気管伸縮継手のベローズは高温特性に優れている材料を使用していること及び年間運転時間が約 20 時間であり短いことからクリープが発生する可能性は低い。</p> <p>光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察結果は、添付資料 1 8 を参照。</p>	
【評価】	×	当該排気管伸縮継手のベローズにクリープは発生していないため、要因ではない。

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

要因調査結果及び評価
(機器・配管からの振動による疲労割れ)

【要因】	<p>経年劣化—疲労—振動—機器・配管の振動</p> <p>機器・配管の振動（動的機器からの振動伝播や圧力脈動）により、ベローズに疲労割れが発生した場合、破損する可能性がある。</p>
【調査方法】	<ul style="list-style-type: none"> ・取替え後の試運転時に排気管伸縮継手の振動計測を行い、他の排気管伸縮継手と振動値を比較する。 ・振動による変位で発生するひずみを概算し、そのひずみを用いて疲労評価を行う。 ・ディーゼル機関と当該排気管伸縮継手の共振が無いことを確認するため、排気管に取付いた状態にて当該排気管伸縮継手の打診試験を行い、D/G 機関との固有周波数を比較する。 ・ディーゼル機関据付部、過給機の振動計測及び過去の計測結果を比較することで、経年劣化による振動値の有意な上昇傾向がないことを運転性能記録により確認する。
【調査結果】	<ul style="list-style-type: none"> ・振動計測の結果、当該排気管伸縮継手の振動値は最大 <input type="text"/> <input type="text"/> (軸直角方向) であり、他の排気管伸縮継手と比較しても、同程度の振動値であることを確認した。(図 49-1) ・表 22-1 に示す排気管伸縮継手・強度計算書を基に、振動による変位 <input type="text"/> によって発生するひずみを概算した結果、ベローズに約 3.0×10^{-4} のひずみが発生することを確認した。(添付資料 22 参照) ・当該排気管伸縮継手の打診試験の結果、固有周波数は <input type="text"/> 以上であった。 ・運転性能記録（平成 20 年排気管伸縮継手取替え時、平成 30 年 3 月点検時）の機関据付部及び過給機の振動計測結果は許容値（機関据付部：<input type="text"/> 過給機：<input type="text"/>）以下であり、振動値に有意な上昇傾向がないことを確認した。(図 49-2)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【評価】	×	<p>当該排気管伸縮継手の振動計測の結果、他の排気管伸縮継手と比較して同程度の振動値であり問題ない。</p> <p>振動による変位 [] によって発生するひずみ (約 3.0×10^{-4}) は繰り返し回数 10^6 回の許容ひずみ (約 2.8×10^{-3}) と比較して小さい。また、振動計測は排気管伸縮継手の上流及び下流のフランジ面にて行っており、振動の発生源は両者とも D/G であるため、振動の位相は同じだと考えられる。このため、フランジ面間の位相差 (ベローズに加わる変位) は測定値より小さいと考えられることから、高サイクル疲労の要因にはならない。</p> <p>排気管伸縮継手の固有周波数は [] 以上であり、D/G 機関の卓越周波数 12Hz とずれていることから、D/G 運転による排気管伸縮継手の共振は発生していない。また、D/G 機関据付部及び過給機の振動値は許容値以内であり、排気管伸縮継手取替え時から上昇傾向がないことから経年劣化による振動値の有意な上昇傾向はない。</p> <p>以上により、機器・配管の振動によって当該排気管伸縮継手が破損する可能性は低いことから要因ではない。</p>
------	---	---

[評価欄記号説明]

- × : 要因ではない
- △ : 複合要因の一つとして考えられる
- : 主要因と推定される

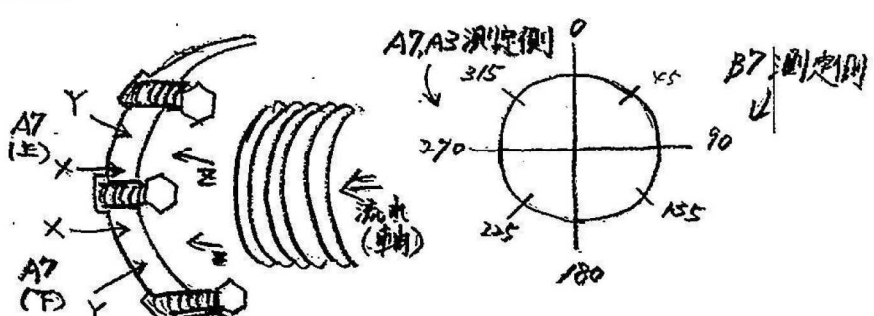
記録番号:							
浜岡原子力発電所 第5号機	中部電力確認者 XXXXXXXXXX						
作業 非常用ディーゼル発電設備排気管点検工事							
振 動 測 定 記 録 (総 括 表)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">承 認</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">審 査</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">作 成 者</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td style="height: 40px;"></td> <td style="height: 40px;"></td> </tr> </table>	承 認	審 査	作 成 者			
承 認	審 査	作 成 者					

定格時に測定を行う。

単位: μm

対象箇所	測定箇所 (流れ方向から見て)	上流フランジ	下流フランジ
A7(上)	水平(270°)		
	垂直(315°)		
	軸(315°)		
A7(下)	水平(270°)		
	垂直(225°)		
	軸(225°)		
A3(上)	水平(270°)		
	垂直(315°)		
	軸(315°)		
A3(下)	水平(270°)		
	垂直(225°)		
	軸(225°)		
B7(上)	水平(90°)		
	垂直(45°)		
	軸(45°)		
B7(下)	水平(90°)		
	垂直(135°)		
	軸(135°)		
A6(上)	水平(270°)		
	垂直(315°)		
	軸(135°)		
A6(下)	水平(270°)		
	垂直(225°)		
	軸(225°)		

測定箇所図



計測器: 振動計C-E-84

測定日: 2018年7月14日
測定者: XXXXXXXXXX

図 49-1 排気管伸縮継手フランジ部振動計測結果

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(熱疲労割れ)

【要因】	経年劣化—疲労—熱疲労—熱疲労割れ D/Gの起動、停止時の排気管の熱伸縮により、ベローズに熱疲労が蓄積して破損する可能性がある。	
【調査方法】	当該 D/G について、運転中における当該排気管伸縮継手の軸方向と軸直各方向の収縮量及び、D/Gの起動、停止回数と設計上の繰返し寿命回数を設計仕様と比較する。 また、当該排気管伸縮継手のベローズについて、疲労破面の有無を光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察にて確認する。	
【調査結果】	<ul style="list-style-type: none"> ・D/G 運転中の当該排気管伸縮継手の軸方向及び軸直角方向の収縮量は、軸方向は最大 7.8mm であり、排気管伸縮継手の設計上の軸方向変位 と比較して小さいことを確認した。(図 50-1) また、軸直角方向についても上流及び下流のフランジ間の差は 1mm であり、設計上の軸直角方向変位 と比較して小さいことを確認した。(図 50-2) ・D/G(B)の起動、停止(常温状態から運転時の高温状態)回数は、前回取替え時(平成 20 年)から起算すると 163 回であり、設計で考慮している繰返し寿命回数 ()には至っていないことを確認した。(図 50-3) ・破片 1, 5, 切出し片 A の破面観察を実施し、各々の破面において疲労破面(ストライエーション状模様)及び切出し片 A にラチェットマークが確認された。光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡観察結果は、添付資料 18 を参照。 	
【評価】	△	排気管伸縮継手の収縮量は設計上の値を下回っており、起動、停止回数も設計で考慮している繰返し寿命回数よりも少ないことを確認した。一方、破面観察より疲労破面が確認されたことから、低サイクル疲労の可能性は否定できない。

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

記録番号:

浜岡原子力発電所 第5号機

作業 非常用ディーゼル発電設備排気管点検工事

熱 変 位 測 定 記 録
(総括表)

承認 審査 作成者

測定日: 7月5日 対象号機: 非常用D/G(B)

単位: mm

対象箇所	測定箇所	停止時	定格時	差
A1	45度			
	90度			
	135度			
A2	45度			
	90度			
	135度			
A3	45度			
	90度			
	135度(フランジ外側)			
A4	45度(フランジ外側)			
	90度(フランジ外側)			
	135度			
A5	45度			
	90度			
	135度			
A6	45度			
	90度			
	135度			
A7	45度	99.90	92.10	7.80
	90度(フランジ外側)	131.70	125.00	6.70
	135度(フランジ外側)	132.60	125.05	7.55
A8	45度(フランジ外側)			
	90度(フランジ外側)			
	135度			
A9	45度			
	90度			
	135度			
A10	45度			
	90度			
	135度			
A11	45度			
	90度			
	135度			
A12	45度			
	90度			
	135度			
B7	45度			
	90度(フランジ外側)			
	135度(フランジ外側)			

注) A9~A12については、作業安全上の観点より、測定不可とする。

計測器: ノギス CS-51 測定者:

図 50-1 熱変位測定結果

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

浜岡原子力発電所 第5号機		記録番号:	
作業 非常用ディーゼル発電設備排気管点検工事		中部電力確認者	
熱 変 位 測 定 記 録 (伸縮継手垂直方向)		承認	審査
		作成者	

伸縮継手	測定フランジ	停止時	定格出力時	差	備考
A7	上流	0	2	2	
	下流	0	1	1	

単位: mm

測定日: 2018年7月19日
 確認者: [REDACTED]

1 点検内容
 伸縮継手の垂直方向への変位について確認をする。

測定工具
 ・鋼尺
 ・レーザー墨だし器

図 50-2 熱変位測定 (垂直方向) 結果

3, 4号については過去の運転日誌が残されていないため、定期的な運転イベントと経過月数とで計算により算出する。(添付-1, 3参照)

3. D/G運転回数および運転時間調査結果

(1) 5号D/G (B) 運転回数および運転時間調査結果

対象	運転回数 (回)	運転時間 (h)	備考
5号D/G (B)	347	413	
	163	212	前回伸縮継手取替～今回破損まで

(2) 5号D/G (A) (C) 運転回数および運転時間調査結果

対象	運転回数 (回)	運転時間 (h)	備考
5号D/G	(A)	580	494
	(C)	337	417

(3) 3, 4号D/G運転回数および運転時間調査結果

対象	運転回数 (回)	運転時間 (h)	備考
3号D/G	(A)	826	898
	(B)	826	898
	(H)	826	898
4号D/G	(A)	889	768
	(B)	889	768
	(H)	889	768

4. 添付資料

- 1 3～5号機D/G運転回数および運転時間調査結果
- 2 5号D/G (B) (A) (C) 運転回数・運転時間 (プラント運開以降～破損まで)
- 3 3, 4号プラント運開～破損までの運転回数および運転時間算出結果

以上

図 50-3 D/G 運転回数および運転時間実績調査結果

要因調査結果及び評価
(ベローズとフランジの接触)

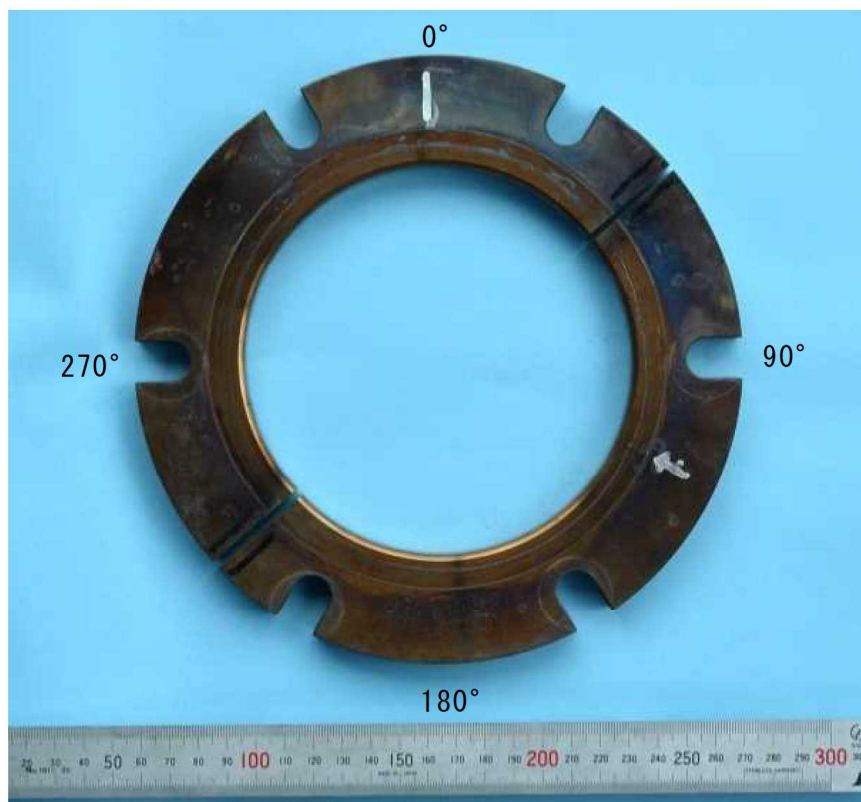
<p>【要因】</p>	<p>経年劣化—外カーフランジとの接触—ベローズの側面部の接触摩耗</p> <p>D/G 運転時に排気管の熱膨張によりベローズ側面部とフランジ端面が接触した場合、ベローズが破損する可能性がある。</p>
<p>【調査方法】</p>	<p>ベローズとフランジの接触の有無を確認するため、以下を調査する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該排気管伸縮継手のフランジについて接触痕の有無 ・当該排気管伸縮継手施工時のフランジ隙間計測記録より、フランジとベローズの隙間が判定基準を満足していること ・当該排気管伸縮継手破損事象後の試運転時（平成 30 年 6 月 7 日）の外観点検記録より、ベローズとフランジとの接触の有無
<p>【調査結果】</p>	<p>当該排気管伸縮継手の外観点検の結果、フランジ内面に変色、外面に接触痕を確認した。(図 51-1, 2)</p> <p>当該排気管伸縮継手取付け時（平成 20 年）のフランジ隙間計測記録より、フランジとベローズの隙間が判定基準（ 以上）を満足していることを確認した。(図 51-3)</p> <p>当該排気管伸縮継手破損事象後の試運転時（平成 30 年 6 月 7 日）の外観点検において、ベローズとフランジとの接触は確認されなかった。(図 51-4) また、当該排気管伸縮継手のベローズ破片復元後の外観観察の結果から、ベローズ最外面の破片にフランジとの接触痕は確認されなかった。</p>
<p>【評価】</p>	<p>×</p> <p>当該排気管伸縮継手のフランジ外面に確認した接触痕については、当該排気管伸縮継手取付け時（平成 20 年）にベローズつば部と接触し、発生したものである。フランジ内面に確認した変色については、運転時の温度むらによるものと推定する。</p> <p>以上より、フランジ外面に接触痕が確認されたものの、フランジ内面に接触痕は確認されなかったため、ベ</p>

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

		ローズ側面部とフランジ端面の接触は当該排気管伸縮継手破損の要因ではない。
--	--	--------------------------------------

[評価欄記号説明]

- × : 要因ではない
- △ : 複合要因の一つとして考えられる
- : 主要因と推定される

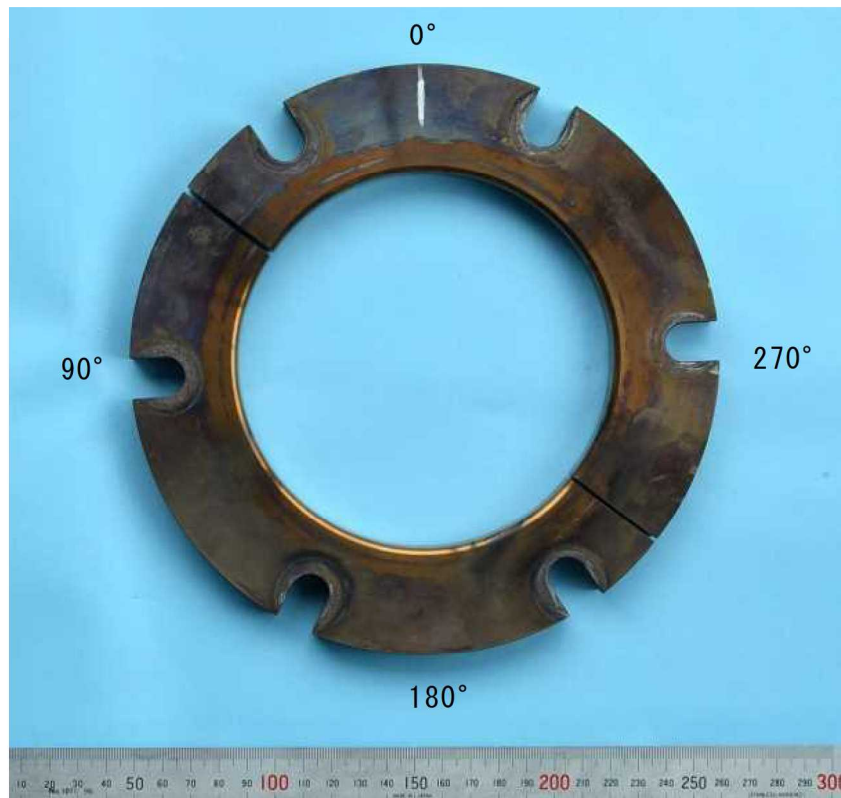


ガス入口側フランジ切断面 入口ー上流側



ガス入口側フランジ切断面 ガス入口ー上流側 0° 付近拡大

図 51-1 ベローズつば部との接触痕(フランジ外面)

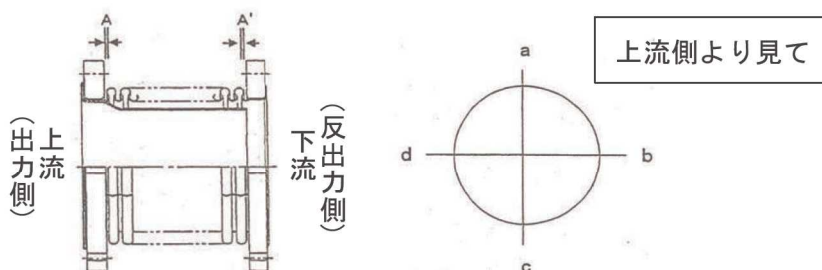


ガス入口側フランジ切断面 入口ー下流側



ガス入口側フランジ切断面 ガス入口ー下流側 0° 付近拡大

図 51-2 ベローズの変色(フランジ内面)



判定基準 : A, A'が 以上であること

(単位 : mm)

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
A 列 側	出力側	a							5.40					
		b							6.30					
		c							6.30					
		d							6.30					
	反出力側	a							5.40					
		b							5.40					
		c							5.40					
		d							5.40					
B 列 側	出力側	a												
		b												
		c												
		d												
	反出力側	a												
		b												
		c												
		d												

判定 : 合格

図 51-3 フランジ隙間計測記録(抜粋)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

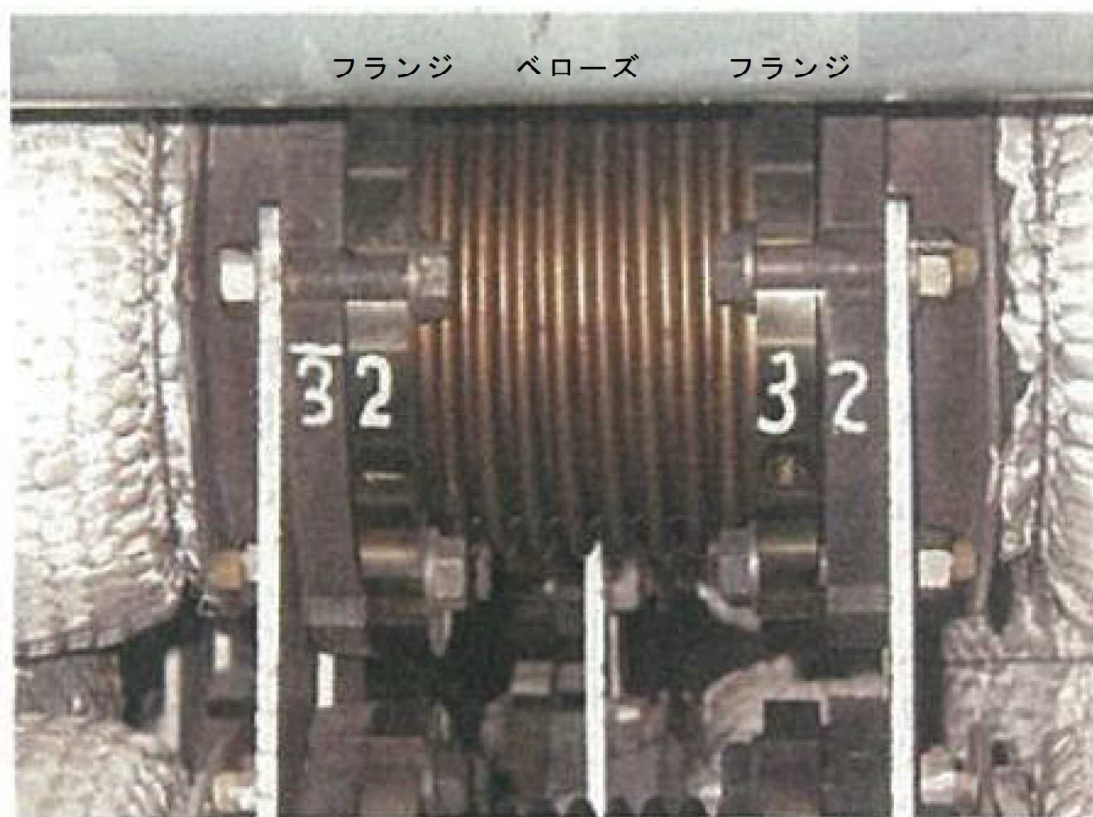


図 51-4 試運転時の当該排気管伸縮継手の外観点検結果

要因調査結果及び評価
(D/G 運転時の排気管の変形)

【要因】	<p>経年劣化—外力—芯ずれ等—排気管の変形</p> <p>D/G 運転時に想定以上の変形が排気管に生じた場合、排気管伸縮継手の変形し、ベローズに過大な応力が加わり破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>当該排気管にはサポートが設置されており、締付けボルトの緩みにより、排気管がずれ、変形する可能性がある。このため、本事象発生後に作成したサポート部外観点検記録(図 52-1)及びサポート部締付確認記録(図 52-2)において、締付けボルトの緩みの有無を確認する。また、排気管に想定以上の変形が発生していないことを D/G 運転中の排気管伸縮継手の軸方向と軸直角方向の熱変位測定記録(添付資料 5 0 図 50-1, 2)により確認する。</p>	
【調査結果】	<p>本事象発生後に作成したサポート部外観点検記録及びサポート部締付記録において、排気管サポートの締付けボルトに緩みがないことを確認した。</p> <p>また、D/G 運転中の排気管伸縮継手の軸方向と軸直角方向の熱変位測定記録を確認した結果、許容値を満足していることを確認した。</p>	
【評価】	×	<p>排気管サポート部の緩みがないことから、排気管が大きくずれていることはなく、D/G 運転中の排気管伸縮継手の軸方向と軸直角方向の熱変位測定記録が許容値を満足していることから、排気管に変形は認められない。このため、ベローズに過大な応力が加わり破損する可能性はなく、要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

× : 要因ではない

△ : 複合要因の一つとして考えられる

○ : 主要因と推定される評価結果

浜岡原子力発電所 第5号機 作業 非常用ディーゼル発電設備排気管点検工事 サポート部外観点検 記録		記録番号: 中部電力確認者 承認 審査 作成者																																																																																																																																																					
1 点検内容 排気管サポート部の外観確認およびボルトの緩み確認を行う。 ただし、配管配置および保温材の取り付け状況より、シリンダヘッド側表面のみの確認とする。																																																																																																																																																							
2 点検結果																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>点検位置</th> <th>外観結果</th> <th>ボルト緩み</th> <th>点検日</th> <th>点検者</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>2-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>2-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>2-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>3-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>3-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>3-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>3-4</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>4-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>4-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>4-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>4-4</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> </tbody> </table>	No	点検位置	外観結果	ボルト緩み	点検日	点検者	1	1-1	良否	有(無)	7月14日		2	2-1	良否	有(無)	7月14日		3	2-2	良否	有(無)	7月14日		4	2-3	良否	有(無)	7月14日		5	3-1	良否	有(無)	7月14日		6	3-2	良否	有(無)	7月14日		7	3-3	良否	有(無)	7月14日		8	3-4	良否	有(無)	7月14日		9	4-1	良否	有(無)	7月14日		10	4-2	良否	有(無)	7月14日		11	4-3	良否	有(無)	7月14日		12	4-4	良否	有(無)	7月14日		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>13</td><td>5-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>6-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>6-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>6-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>7-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>7-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>7-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>7-4</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>8-1</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>8-2</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td>8-3</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>8-4</td><td>良否</td><td>有(無)</td><td>7月14日</td><td></td></tr> </tbody> </table>	13	5-1	良否	有(無)	7月14日		14	6-1	良否	有(無)	7月14日		15	6-2	良否	有(無)	7月14日		16	6-3	良否	有(無)	7月14日		17	7-1	良否	有(無)	7月14日		18	7-2	良否	有(無)	7月14日		19	7-3	良否	有(無)	7月14日		20	7-4	良否	有(無)	7月14日		21	8-1	良否	有(無)	7月14日		22	8-2	良否	有(無)	7月14日		23	8-3	良否	有(無)	7月14日		24	8-4	良否	有(無)	7月14日	
No	点検位置	外観結果	ボルト緩み	点検日	点検者																																																																																																																																																		
1	1-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
2	2-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
3	2-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
4	2-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
5	3-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
6	3-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
7	3-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
8	3-4	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
9	4-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
10	4-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
11	4-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
12	4-4	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
13	5-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
14	6-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
15	6-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
16	6-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
17	7-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
18	7-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
19	7-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
20	7-4	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
21	8-1	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
22	8-2	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
23	8-3	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
24	8-4	良否	有(無)	7月14日																																																																																																																																																			
3 判定基準 ・配管表面に有意な摺動痕がないこと。 ・サポートボルトに緩みがないこと。		使用工具 スパナ																																																																																																																																																					
4 判定 合格																																																																																																																																																							
点検位置図 <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>																																																																																																																																																							

図 52-1 サポート部外観点検結果

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

要因調査結果及び評価
(排気管伸縮継手内筒の破損)

【要因】	<p>経年劣化－外力－内筒の破損</p> <p>内筒が破損した場合，排気ガスが直接ベローズに当たり破損する可能性やベローズが内筒と接触，摩耗して破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>当該排気管伸縮継手の内筒の外観点検を行い，内筒の破損等の有無を確認する。</p>	
【調査結果】	<p>当該排気管伸縮継手の内筒の外観点検をした結果，内筒に破損はないことを確認した。更に内筒が，ベローズの谷部と擦れた痕跡がないことを確認した。</p>	
【評価】	×	<p>当該排気管伸縮継手の内筒の外観点検の結果，異常は認められなかったことから，要因ではない。</p>

[評価欄記号説明]

- ×：要因ではない
- △：複合要因の一つとして考えられる
- ：主要因と推定される

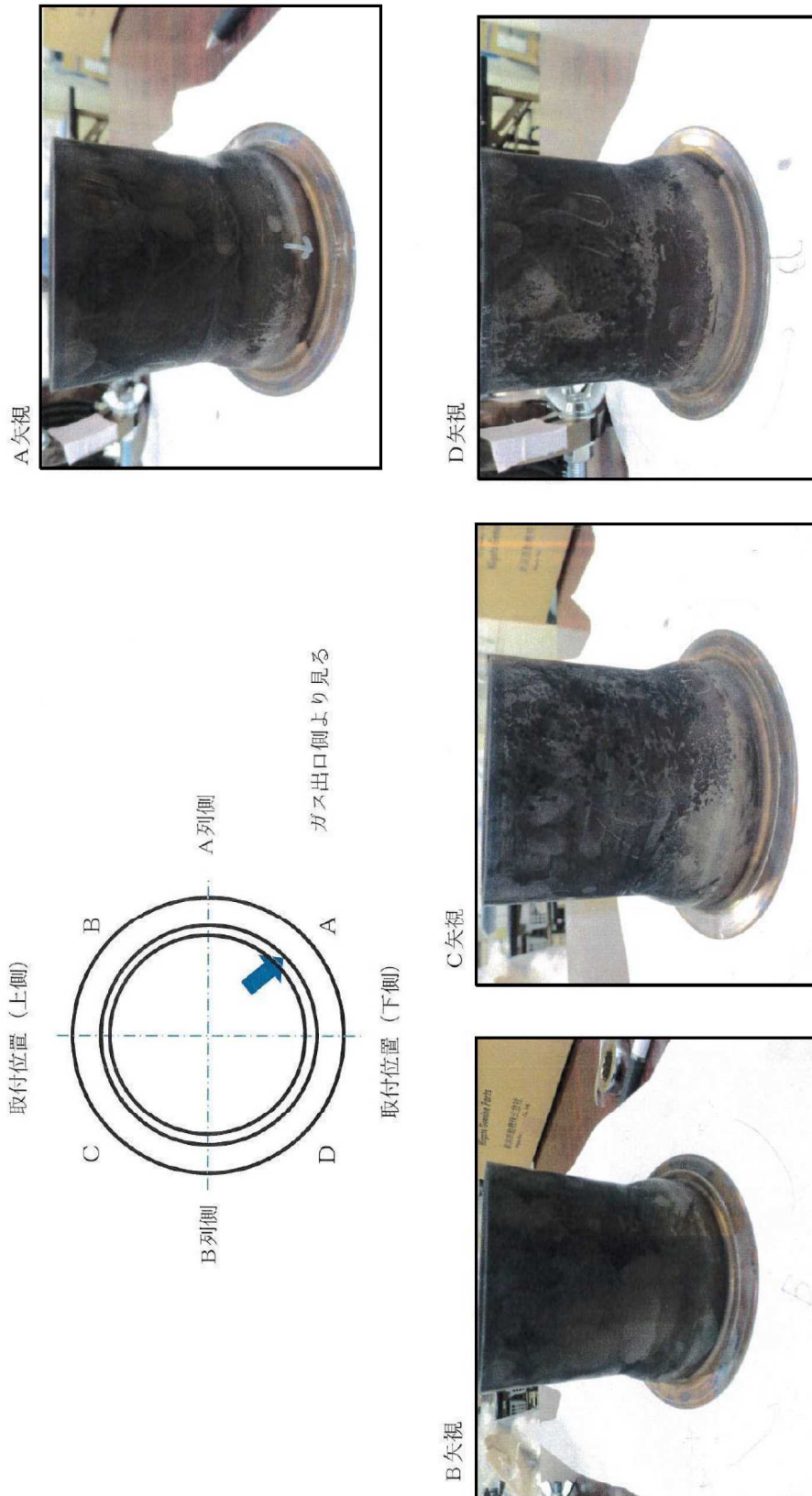


図 53-1 排気管伸縮継手内筒外観点検結果

要因調査結果及び評価
(不適合事象の反映)

<p style="text-align: center;">【要因】</p>	<p>運転経験の反映—運転経験の反映忘れ—不適合事象の是正処置未実施</p> <p>平成17年1月18日(5号機D/G供用開始)から平成30年6月5日(本事象発生)の期間に発生した自プラント及び他プラントにおける排気管伸縮継手に係る不適合事象について、是正処置が適切に実施されていない場合、排気管伸縮継手破損事象が発生する可能性がある。</p>
<p style="text-align: center;">【調査方法】</p>	<p>平成17年1月18日(5号機D/G供用開始)から平成30年6月5日(本事象発生)の期間に発生した自プラント及び他プラントにおける排気管伸縮継手に係る不適合事象を、自プラントについては是正処置報告書、他プラントについてはNUCIAトラブル情報及びスクリーニング報告書にて調査する。また、抽出した件名において是正処置を実施している場合は、是正処置が適切に実施していることについても確認する。</p>
<p style="text-align: center;">【調査結果】</p>	<p>平成17年1月18日(5号機D/G供用開始)から平成30年6月5日(本事象発生)の期間に発生した排気管伸縮継手に係る不適合事象を調査した結果、自プラントについては平成19年6月9日に発生した図54-1に示す排気管伸縮継手のベローズとフランジが接触、摩耗して破損した事象を1件確認した。なお、破損した排気管伸縮継手は本事象と同じ箇所であった。</p> <p>当該事象の是正処置として、事象発生以前は「取付け後\square以上」としていた排気管伸縮継手のベローズとフランジの隙間管理値を「製造時\square以上」及び「取付け時\square以上」とすることとし、平成20年9月27日に当該排気管伸縮継手の取替を実施し、取替後の隙間測定において隙間管理値を満足していることを確認した。また、平成30年6月5日の本事象発生後に実施した当該排気管伸縮継手の取替時における隙間測定においても、隙間管理値を満足していることを確認した。(図54-2)(図54-3)</p> <p>また、当該排気管伸縮継手の外観点検の結果から、フランジに接触痕、摩耗による減肉の様相はみられなかった。(添付資料51参照)</p> <p>他プラントについては、NUCIAトラブル情報及びスクリーニ</p>

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

	ング報告書において排気管伸縮継手の破損事象がないことを確認した。	
【評価】	×	5号機 D/G 供用開始以降に発生した排気管伸縮継手に係る不適合事象について、自プラントについては排気管伸縮継手破損事象が発生しているものの、是正処置が適切に実施されていることから、要因ではない。また、他プラントについては NUCIA トラブル情報及びスクリーニング報告書において排気管伸縮継手破損事象がなかった。

[評価欄記号説明]

×：要因ではない

△：複合要因の一つとして考えられる

○：主要因と推定される

07-01-3 不適合処理報告書
 是正処置 (承認書・報告書) (発電所B用)

保存期間：10年見直し
 保存期限：H31年度末見直し

報告		主管部署		原子炉課	
品質保証・検査部長 (是正処置承認書、是正処置報告書のみ)	主管部 部長	承認 課長		審査	作成
				副長	担当

← 是正処置承認書および是正処置報告書は
 管理グループ主幹へ回覧 →

No.	2007-1501-R-R	発生日：2007年6月9日	クラス： <input checked="" type="checkbox"/> B 1 <input type="checkbox"/> B 2 <input type="checkbox"/> 是正
件名	5号機D/G(B)の排気管伸縮継手破損について		
ヒューマンエラー	<input type="checkbox"/> 該当 <input checked="" type="checkbox"/> 否		
「保安規定119条 表119-1 2.(4)」に基づく記録【注1】	<input checked="" type="checkbox"/> 該当 (担当者：) <input type="checkbox"/> 否		
号機等	浜岡5号 (H5-R43-D-600B 排気管(B))		
不適合等の内容	負荷遮断試験のため、D/G(B)を起動したところ、排気管より黒い排ガスの発生を確認した。 そのため、D/G(B)を直ちに停止し、保温材を取り外したところ、伸縮継手が破損していることを確認した。破損箇所の大きさ：約3cm×1.5cm(蛇腹2山分)		
不適合処理	処理結果 <input type="checkbox"/> 修正 <input type="checkbox"/> 特別採用 <input checked="" type="checkbox"/> 表示・隔離・廃棄・取替 <input type="checkbox"/> なし 当該伸縮継手を取り替えた。		
処理結果【注2】	再検証結果 取り替えた伸縮継手について、D/G(B)運転時に漏えいがないことを確認した。		
完了年月日	2007年6月9日		

【注1】 以下の場合が該当する。また、担当者欄には、主管部署の長の氏名を記載する。
 ・点検・補修等を実施した構築物、系統および機器が所定の機能を発揮しうることを確認・評価できない場合
 ・最終的な機能確認では十分な確認・評価ができない場合にあって、定めたプロセスに基づき、点検・補修等が実施されていることが確認・評価できない場合
 【注2】 特別採用した場合は、原子力安全に与える影響の評価結果を記入する。
 再検証結果には、原子力施設の場合は、性能、機能試験等を実施し、文書については関連する文書との整合性、現場確認等により要求事項を満足することを確認した結果を記入する。

Rev. 39

図 54-1 不適合管理記録 (1/2)

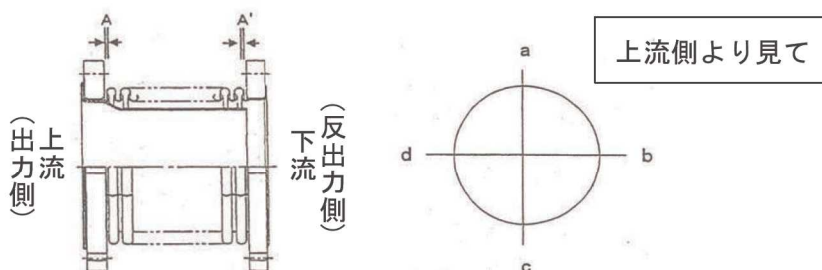
	<p>伸縮管のフランジ側を点検したところ、伸縮管とフランジが接触していたと思われる跡が確認されたことから、同部の隙間が不足していたことにより接触し、摩耗部を起点として破損に至ったと推定される。</p>
不適合等の原因	
処置の必要性評価	<p>同事象発生防止のためは正が必要である。</p> <p><input type="checkbox"/> 一括是正 <input checked="" type="checkbox"/> 個別是正</p> <p>管理グループ 主幹</p> <p>■ 処置要 □ 処置否</p>
処置方法と有効性評価【注3】	<p>同事象発生の未然防止として、同仕様である5号D/G排気伸縮継手について伸縮管とフランジの隙間が少ないもの(取り付け状態で <input type="checkbox"/> 以下のもの)5個について取替を実施する。</p> <p>再発防止については検討後、後日回覧する。</p> <p><平成19年8月30日追記> 5号D/G排気伸縮継手について伸縮管とフランジの隙間が少ないもの(取り付け状態で <input type="checkbox"/> 以下のもの)5個の取替を実施した。(2007/6/20完了)</p> <p>同事象再発防止としては、以下の処置を行う。 ①5号DG排気伸縮継手の伸縮管とフランジの隙間について、管理値を「製造時 <input type="checkbox"/> 以上」、「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」とする。また、5号DGと同型式の排気伸縮継手が使用されている1号DGについても同様の管理値とする。 ②5号DGにおいて、現在の取付状態が「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」を満足しないものについて次回定検において取替を実施する。なお、ベローズ部の摩耗量を評価した結果、取付状態で <input type="checkbox"/> を超えるものについては、少なくとも次回定検まで摩耗減肉による破損が発生しないものと評価されており、緊急性はない。 ③1号DGにおいて、現在の取付状態を順次確認し、「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」を満足しないものについて取替を実施する。</p> <p>完了予定年月： 2008年11月</p>
是正処置	<p>【処置方法に対する評価】 (<input checked="" type="checkbox"/> 適切 □ 不適)</p> <p>【他部署での水平展開検討の要否】 (<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 否) 理由 <input type="checkbox"/> 原子炉課特有の不適合であり、水平展開は不要。</p> <p>品質保証・検査部： <input type="checkbox"/> 品質保証G、 <input type="checkbox"/> 管理G、 <input type="checkbox"/> 検査管理課 総務部： <input type="checkbox"/> 警備課、 <input type="checkbox"/> 人事保健課、 <input type="checkbox"/> 経理課 技術部： <input type="checkbox"/> 技術課、 <input type="checkbox"/> 保安・防災課、 <input type="checkbox"/> 原子燃料課、 <input type="checkbox"/> 環境保安課、 <input type="checkbox"/> 放射線安全課、 <input type="checkbox"/> システム管理G 発電部： <input type="checkbox"/> 発電管理課、 <input type="checkbox"/> 発電運営課、 <input type="checkbox"/> 定検保安課、 <input type="checkbox"/> 廃棄物管理課 保修部： <input type="checkbox"/> 保守管理課、 <input type="checkbox"/> 設備保全課、 <input type="checkbox"/> 原子炉課、 <input type="checkbox"/> タービン課、 <input type="checkbox"/> 電気課、 <input type="checkbox"/> 計測課、 <input type="checkbox"/> 建築課、 <input type="checkbox"/> 土木課 <input type="checkbox"/> 研修センター、 <input type="checkbox"/> 原子力部、 <input type="checkbox"/> 他 ()</p> <p>審査 管理グループ 主幹</p>
処置結果	<p>同事象再発防止としては、以下の処置を行った。 ①5号DG排気伸縮継手の伸縮管とフランジの隙間について、管理値を「製造時 <input type="checkbox"/> 以上」、「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」とした。 ②5号DGにおいて、現在の取付状態が「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」を満足しないものについて3回定検において取替を実施した。 1号DG排気伸縮継手については、「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」を満足しないものの、運用から不具合事象は確認されておらず、平成20年度の維持点検において、当該部の目視点検を行った結果、接触等の異常が認められないことから、今後の摩耗による破損の可能性は極めて低いと考え、新規取替は実施しないこととする。 なお、管理値の「製造時 <input type="checkbox"/> 以上」・「取付時 <input type="checkbox"/> 以上」とは、排気伸縮継手の新規取替時の管理値であり、保守管理上の管理値を示すものではない。</p> <p>完了年月日： 2008年11月26日</p> <p>審査 管理グループ 主幹</p>

【注3】 ヒューマンエラー等の場合で、処置方法が教育・周知の場合は、有効性評価（定着状況の確認方法等）を含める。

Rev. 39

図 54-1 不適合管理記録 (2/2)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



判定基準 : A, A'が 以上であること

(単位 : mm)

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
A 列 側	出力側	a							5.40					
		b							6.30					
		c							6.30					
		d							6.30					
	反出力側	a							5.40					
		b							5.40					
		c							5.40					
		d							5.40					
B 列 側	出力側	a												
		b												
		c												
		d												
	反出力側	a												
		b												
		c												
		d												


判定 : 合格

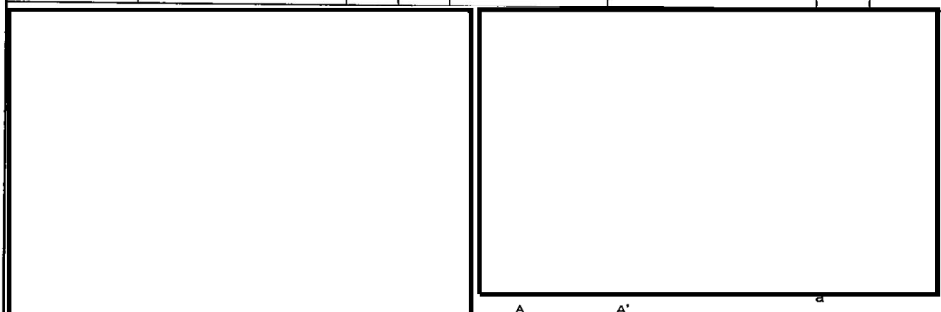
図 54-2 隙間測定結果 (取替後)


本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

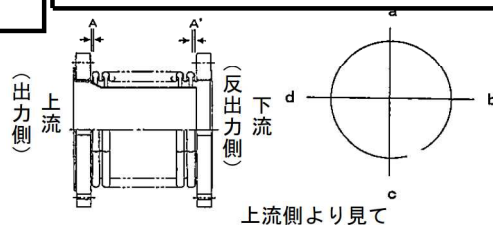
04(分解前) Rev6

寸法計測記録




系統名	非常用ディーゼル発電設備		納 先	中部電力株式会社	
機器名称 (機器番号)	5号機 非常用ディーゼル発電設備(B) 機関付排気伸縮継手 (56894)		電力殿	<input type="checkbox"/> 御立会 <input checked="" type="checkbox"/> 記録確認	
図面番号	-	Rev.	-	適用要領書番号	- Rev. -



- 点検内容
保温取外し後に、伸縮継手の隙間を計測する。
- 判定基準
A・A'がそれぞれ  あること。



3. 点検結果 (単位:mm)

		a	b	c	d	結果	点検日	点検者	確認者	確認者	
A 列	1-1	A'側				良・否					
		A側				良・否					
	2-1	A'側				良・否					
		A側				良・否					
	2-2	A'側				良・否					
		A側				良・否					
	2-3	A'側				良・否					
		A側				良・否					
	3-1	A'側				良・否					
		A側				良・否					
	3-2	A'側	4.00	3.50	- ※	3.90	 良・否	6/6			
		A側	3.90	4.00	- ※	3.80	 良・否	6/6			
	3-3	A'側					良・否				
		A側					良・否				
	3-4	A'側					良・否				
		A側					良・否				

※ 破損により計測不可。

4. 判定
合格

使用計測器: スキミゲージ (S-1)





		
	承認	審査
		
	作成	
	2018.6.6	2018.6.6

図 54-3 隙間測定結果(取替前)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

繰り返し疲労試験結果

1 目的

当該排気管伸縮継手のベローズに打痕を確認しており、この打痕が影響して破損に至った可能性がある。また、構造解析の結果からも、打痕部周辺にひずみが集中し、破損する結果が得られている。(添付資料57参照)

打痕と破損の因果関係を実試験で確認するため、ベローズに打痕を付与した試験体を用いて繰り返し疲労試験を行い、割れの発生状況を確認する。

2 試験体の打痕付与方法

当該排気管伸縮継手の打痕は、排気管伸縮継手取付け作業の際に、取付け箇所下部に位置する吸気管の吊りピース座（直径約30mm）に落下して付いた可能性がある(図55-1)。よって、吸気管の吊りピース座への落下を模擬するため、吊りピース座を模擬した金属製の棒を作成し、その上に排気管伸縮継手を落下させ打痕を付与した(図55-2,3)。打痕付与後にベローズの浸透探傷試験を実施し、線状指示が無いことを確認した。試験体は実機から取外した排気管伸縮継手を用いた。

棒径および落下高さについては、現場状況を踏まえ決定した。

棒径：直径約30mm、落下高さ：約1000mm

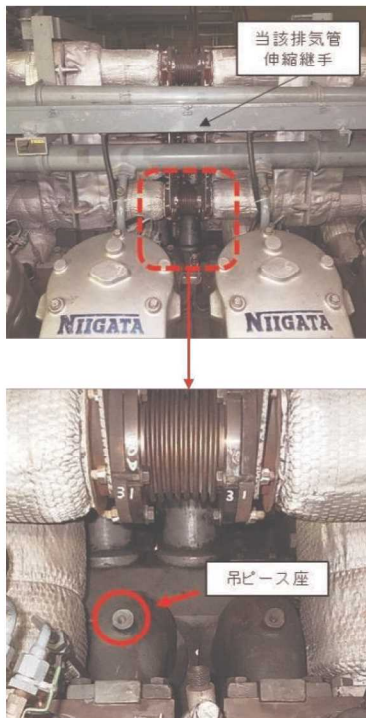


図 55-1 排気管伸縮継手設置状況

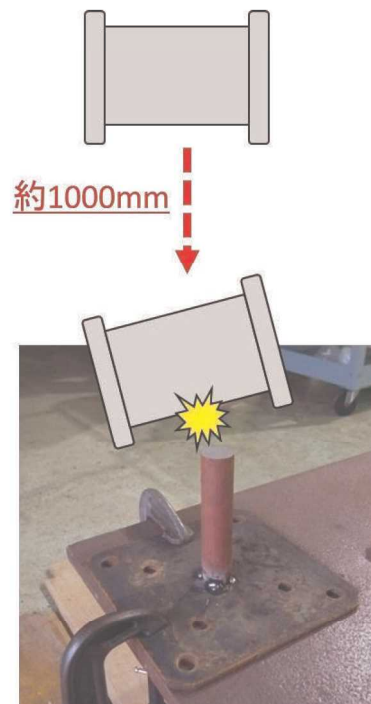


図 55-2 打痕付与概要



図 55-3 打痕付与状況

3 繰り返し疲労試験方法

材料強度試験機を用いて、排気管伸縮継手の軸方向の許容変位量を負荷し、繰り返し疲労試験を行い、割れの発生状況を確認した。

試験装置及び試験実施状況を図 55-4 に示す。

<試験条件>

- ①変位量（载荷ストローク） 軸方向変位：

排気管伸縮継手の軸方向の許容変位量とする。

- ②繰り返し速度：7sec/1 サイクル

排気管伸縮継手の 1 サイクルは、D/G 機関の起動・停止であり、実試験では試験時間が長期になるため、加速試験とした。繰り返し疲労試験による試験体の発熱等の影響の受けないことを考慮し、ひずみ速度（1%/sec）を設定し、構造解析（打痕形状 2R の場合）（添付資料 5 7 参照）で得られた打痕部に発生するひずみを基に本試験の繰り返し速度を設定した。

- ③内圧：大気圧

構造解析にて、内圧が破損に影響を与えないことを確認したことから、大気圧とした。（添付資料 5 7 参照）

- ④温度：室温（約 30℃）

表 55-1 の通り、構造解析（打痕形状 2R の場合）にて、高温（D/G 機関運転中）と室温で発生するひずみに大きな差異が無いことを確認したため、室温とした。

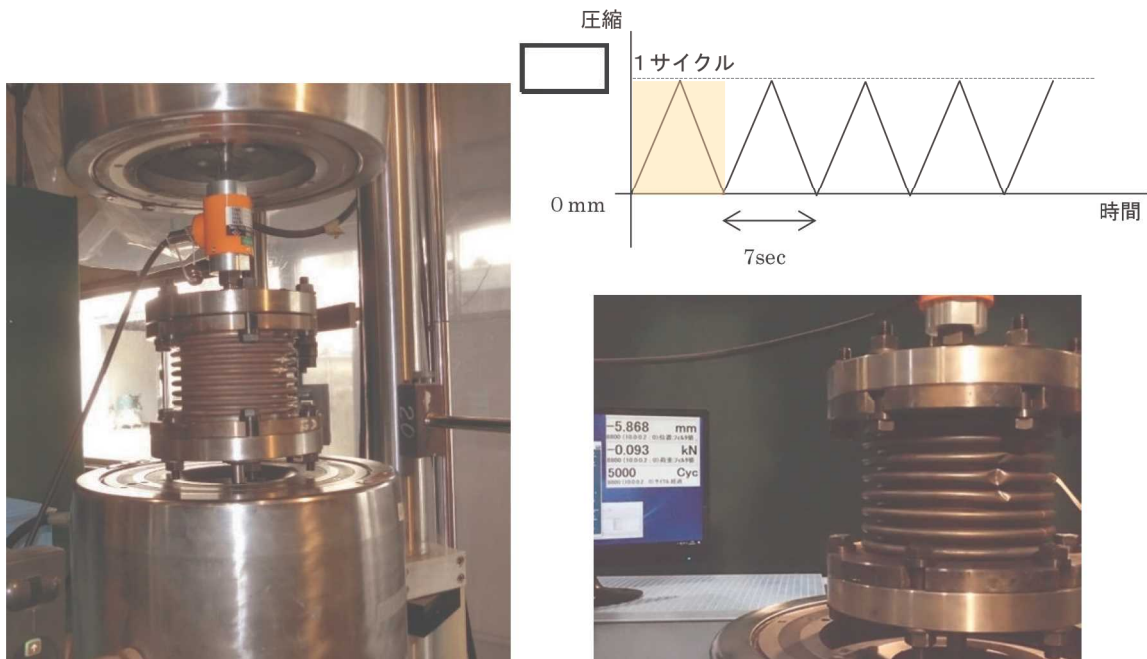


図 55-4 試験装置および試験実施状況

表 55-1 構造解析結果（高温・室温比較）

	高温	室温
温度	<input type="text"/>	30°C
変位量（軸方向）	約 8mm	約 8mm
発生ひずみ（打痕部）	0.0351	0.0306

4 試験結果

繰り返し疲労試験を行った結果、繰り返し回数 3000～4000 回にて、図 55-5 に示す通り、打痕部周辺の外表面に割れを確認した。当該排気管伸縮継手のペローズ部の破片について確認した結果、打痕部周辺から割れが発生している可能性があり、繰り返し疲労試験のき裂開始点と概ね一致することを確認した。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

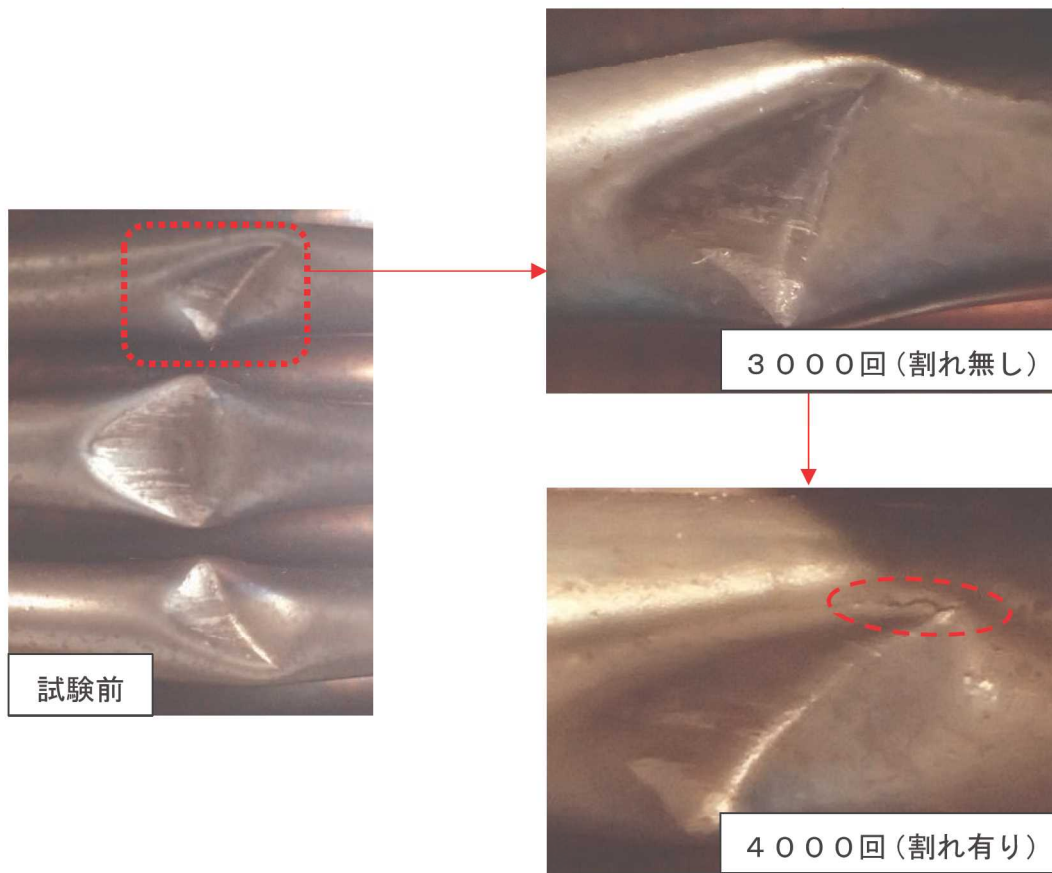


図 55-5 試験結果

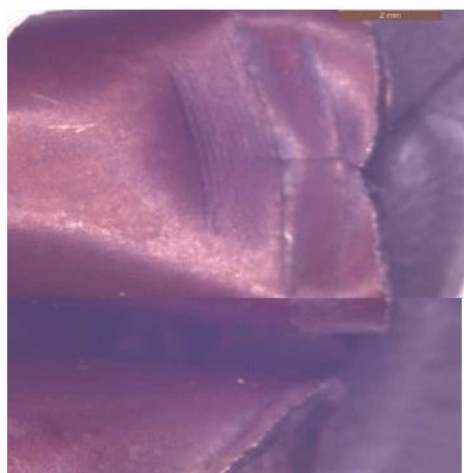


図 55-6 当該排気管伸縮継手打痕部の破損状況

5 実機と本試験における繰返し回数の差異の考察

当該排気管伸縮継手では、約 160 回の繰返し回数でベローズの割れが発生したが、本試験では、3000~4000 回の繰返し回数で割れが発生したため、実機と本試験における繰返し回数の差異について考察した。

(1) 繰返し回数の差異に及ぼす要因

① 温度の違いによる繰返し回数の相違 (約 4 倍)

温度の違いにより、疲労寿命を評価するための疲労線図が相違する。

実機 () を模擬した構造解析では、打痕形状 2R の場合、発生ひずみはベローズ内表面で 3.51%、繰返し回数は約 150 回であった。室温条件を模擬した構造解析で得られた発生ひずみは 3.06%、繰返し回数は約 600 回であった。高温条件と室温条件における解析で得られた発生ひずみは同等であるが、繰返し回数に差が生じているのは、高温に比べ室温の方が同程度のひずみであっても疲労寿命が延びるからである。

② ベローズ内外表面の曲率の違いによる発生ひずみの相違 (約 1/2 倍)

構造解析の結果、ベローズ内表面と比較すると外表面は曲率が大きいことから発生するひずみが約 1/2 になることを確認している。

また、本試験はベローズの外表面の観察により割れを確認しているため、3000~4000 回よりも少ない繰返し回数で、外表面より先に内表面の割れが発生している可能性がある。

③ 変位量 (载荷ストローク) の違いによるひずみの相違 ()

当該排気管伸縮継手の熱による軸方向変位の実測値は 7.8mm であったが、本試験では、加速試験を行っており、変位量を () で実施した。したがって、発生するひずみは () になる。

④ 打痕形状の違いによるひずみの相違 (不確定性大)

構造解析 (添付資料 5 7 参照) にて打痕形状の感度解析を実施した結果、打痕形状 1R と 3R で発生ひずみは約 2 倍、繰返し回数は約 3 倍異なることが確認されている。打痕形状は落ち方や当たり方により不確定性が大きいため、実機で認められた打痕形状を再現することは不可能である。このため、打痕形状により繰返し回数変動する可能性がある。

なお、治工具との接触模擬を考慮した繰返し疲労試験も実施しており、排気管伸縮継手の落下模擬に比べ、打痕が浅く、打痕端部が緩やかな形状であり、繰返し回数 11000 回でも破損に至らなかった (図 55-7)。本試験の結果を踏まえ

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

ると、当該排気管伸縮継手に確認された打痕は、治工具の接触では無く、排気管伸縮継手を落下させて付いたと考えられる。



図 55-7 治工具との接触模擬及び排気管伸縮継手の落下模擬による打痕形状の違い

(2) 繰り返し回数の差異に対する考察

繰り返し回数の差異に及ぼす要因を疲労線図にプロットしたものを図 55-8 に示す。

構造解析の結果、打痕がついたベローズを実機の温度・変位量で熱収縮させると、打痕近傍のベローズ内表面が応力的に最も厳しく、約 150 回でベローズ内表面に疲労割れが発生しうる。

これを本試験に置き換えると、

- ①温度条件を室温に変えると、繰り返し回数は約 4 倍 (600 回) となる。
- ②評価対象をベローズ内表面から外表面に変えると、ひずみは 1/2 となる。
- ③変位量を繰り返し疲労試験条件に変えると、ひずみは となる。

(②, ③の 2 つの要因は相殺され、繰り返し回数への影響はない)

④打痕形状については、不確定性が大きく、繰り返し回数への影響を把握することは難しいが、解析上の繰り返し数 600 回と、本試験 3000~4000 回の相違があることを勘案すると、ひずみ量は約 1/2 であったと推測できる。

従って、実機に比べ試験では形状がゆるやかであった可能性がある。

なお、構造解析の感度解析においても形状の違いにより、ひずみが 2 倍程度変わりうることを確認している。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

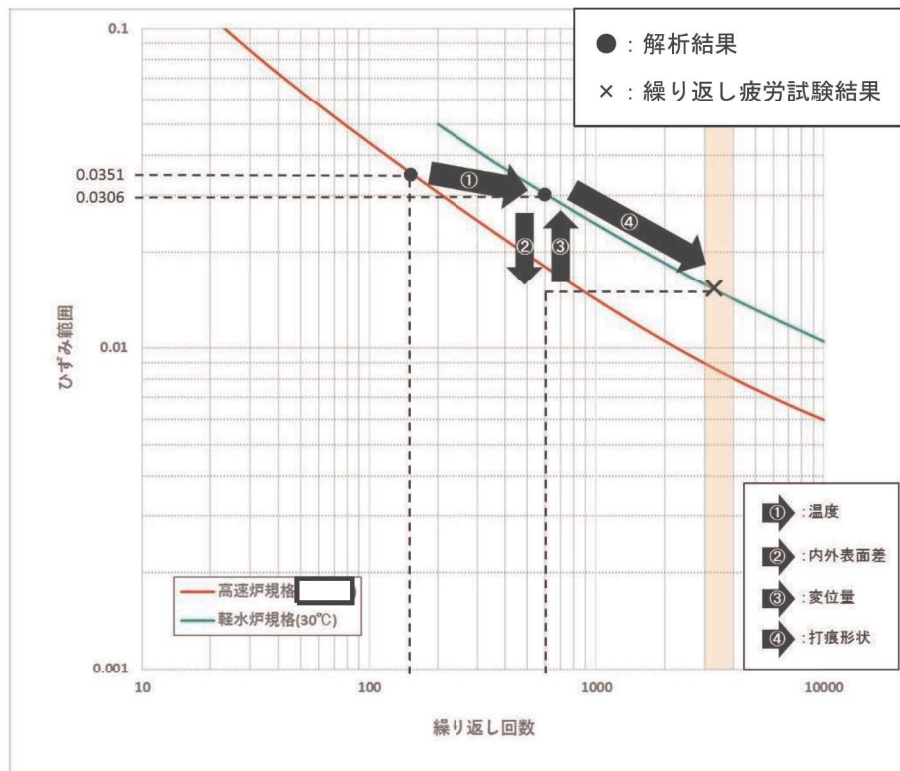


図 55-8 繰り返し疲労試験に用いた疲労線図

<参考>繰り返し回数とひずみの関係について

構造解析は、高温条件を評価するため、発電用原子力設備 設計・建設規格（2009 年版）<第Ⅱ編高速炉編>に規定される最適疲労破損式に基づき疲労評価を実施したが、425℃以下には適用できない。本試験は室温条件（約 30℃）であるため、発電用原子力設備 設計・建設規格（2016 年版）<第Ⅰ編軽水炉規格>に基づき、繰り返し回数とひずみの関係を確認した。

軽水炉規格に規定される設計疲労線図は、繰り返し回数と繰り返しピーク応力強さに安全率が考慮されているため、本試験にて想定されるペローズ破損における繰り返し回数とひずみの関係については、繰り返し回数を 20 倍及び繰り返しピーク応力強さを 2 倍して、算出した。

以上

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

当該排気管伸縮継手に確認した打痕の原因について

1. はじめに

排気管伸縮継手破損の要因分析により、「組立時における打痕・傷」が破損した要因の一つとなる可能性を確認した。本資料では、打痕の原因について調査を行った結果を取りまとめる。

2. 調査対象

当該排気管伸縮継手に確認された打痕と、今回の事象を受けて実施した現場調査の中で他の排気管伸縮継手に確認された打痕を調査対象とする。調査対象を表1に示す。調査対象の打痕が確認された排気管伸縮継手は全て、5号機運転開始以降に現場での取替え実績があるものであった。

表 56-1 排気管伸縮継手に確認された打痕

対象号機	伸縮継手 設置場所	打痕の概略位置	伸縮継手取付時期
D/G(A)	A2	1山目 0° 付近 8山目 120° 付近	平成20年10月
D/G(B)	A7 (破損品)	3-4山目 110° 付近 3-4山目 180° 付近	平成20年9月
D/G(B)	A7	1山目 300° 付近	平成30年6月 (破損品の取替)
D/G(B)	A12	1山目 100° 付近	平成20年9月
D/G(B)	B5	1山目 100° 付近	平成19年6月
D/G(B)	B12	1山目 180° 付近	平成20年9月

3. 打痕の原因調査

当該排気管伸縮継手は、要因分析の通り、製作時及び取替え以降に打痕が付いた可能性はないことを確認した。その他の排気管伸縮継手も同様の調査を行い、製作時及び取替え以降に打痕が付いた可能性はないことを確認した。このため、調査対象の打痕は、いずれも排気管伸縮継手の製作後からディーゼル機関への取替えまでの期間に付いたものと推定した。

このことから、打痕が認められた排気管伸縮継手の運搬及び取替え作業に着目し、打痕が付いた要因の調査を行った。

(1) 運搬時

運搬時においては、排気管伸縮継手は箱に梱包された状態で D/G 室への持ち込みを行っており、排気管伸縮継手は緩衝材による干渉防止処置がなされていることを聞き取りにより確認した。このため、運搬時における打痕の発生はない。

(2) 取替え時

取替え作業中の打痕の要因として、治工具との接触や排気管伸縮継手の落下が考えられる。打痕の位置が当該排気管伸縮継手とその他の排気管伸縮継手で異なることから、分けて調査を行った。

a. 当該排気管伸縮継手について

打痕は、3-4 山部に 2 箇所並行して確認されている。

治工具の接触については、フランジ部の締付けボルトから離れていることから可能性は低い。また、打痕は排気管伸縮継手の裏面にも確認されており、狭あいな空間での締付け作業中に、排気管伸縮継手に確認されたものと同等の大きさの打痕を付けることは難しい。以上より、打痕は治工具との接触によるものではないと推定する。

排気管伸縮継手の落下については、排気管伸縮継手の取替え作業の観察を行った結果、狭あい部での取替え作業であるため、締付けボルト締付け作業中に排気管伸縮継手の支持が不十分になる場合があることを確認した。以上より、打痕は排気管伸縮継手の落下により付いた可能性がある。

また、取替え時の作業手順を調査した結果、使用治工具の指定を含めた作業手順や、打痕に対する判定基準が明確に定められていなかったことを確認した。なお、当時の作業員への聞き取りを試みたが、10 年以上前の作業のため、回答を得ることができなかった。

当社社員は、記録による確認を行っており、打痕に関する記載がなかったことから、打痕があることを認識していなかった。

以上から、取替え時の排気管伸縮継手の落下によって打痕が付き、作業後の目視点検で、打痕は認識したものの、軽微であり機器の健全性に影響を及ぼすものではないと判断した可能性は否定できない。

b. その他の排気管伸縮継手について

打痕は、全てフランジに近接する 1 山または 8 山にて確認されている。

治工具が接触する可能性については、打痕はフランジ部の締付けボルトに近く、締付け作業中に工具先端が接触した可能性がある。

排気管伸縮継手の落下の可能性については、排気管伸縮継手を落下させた場合、作業エリアの突起部と接触し、打痕が付く可能性がある。

また、取替え時（平成 20 年、平成 30 年）の作業手順を調査した結果、使

用治工具の指定を含めた作業手順や、打痕に対する判定基準が明確に定められていなかったことを確認した。

さらに、作業員への聞き取りを実施した結果、平成20年の取替え作業については、10年以上前の作業のため、回答を得ることができなかったが、平成30年のD/G(B)A7排気管伸縮継手の取替え作業については、取替え後に作業員は打痕の存在に気づいたが、打痕に対する判定基準が不明確であったため、打痕は軽微であり機器の健全性に影響を及ぼすものではないと判断し、報告を行わなかったことを確認した。

当社社員は、記録による確認を行っており、打痕に関する記載がなかったことから、打痕があることを認識していなかった。

以上から、取替え時の排気管伸縮継手の落下、又は取替え時の治工具との接触によって打痕が付き、作業後の目視点検で打痕は認識したものの、軽微であり機器の健全性に影響を及ぼすものではないと判断した可能性は否定できない。

4. 取替え時に打痕を付けた要因の調査

以上の調査結果から、打痕はいずれも排気管伸縮継手の現場での取替え作業時に付いた可能性が高いことを確認した。一方で、D/G製作時にディーゼル機関メーカーの工場にて取り付けした排気管伸縮継手には打痕が認められていないことから、取替え方法の違いを確認し、打痕が付いた背後要因を調査した。

その結果、現場作業時には排気管伸縮継手が定期取替を行っていないこともあり、取替え手順が明確に定められていなかったのに対し、工場では「社内資格認定者¹」であるディーゼル機関メーカーの社員が「機関全体組立指示書」に基づき、組立を行っていることを確認した。また、「機関全体組立指示書」には、「ボルト締付は、排気管伸縮継手に変形を与えぬよう注意すること」との記載があることを確認した。

以上より、打痕が付いた要因として以下を抽出した。

(1) 現場作業要領の不備

現場作業における作業要領において、ベローズを取扱う際の注意点の記載がなく、また、取替え作業時の適正工具の使用を含めた作業手順が明確でなかった。

(2) 薄肉部材に対して打痕が与える影響に関する力量不足

現場作業員は、排気管伸縮継手の定期取替を行っておらず、ベローズを取扱う経験が少なかったため、運転中の変位を吸収するために設置された薄肉構造のベローズが、打痕の影響を受けやすい部材であるという意識が低かった。こ

¹ 手順書・指示書を理解しており業務に必要な資格を与えられた作業員

のため、排気管伸縮継手への打痕を防止する対策を取らず、打痕を見つけた際にも健全性に影響を与えるものではないと誤って判断した。

また、当社社員も、取替え後の外観確認に立ち会っておらず、打痕が付いた状態で排気管伸縮継手を使用することを防止することができなかった。

5. まとめ

打痕はいずれも排気管伸縮継手の現場での取替え作業時に付いたものと推定した。打痕が付いた要因としては、現場作業要領の不備及び薄肉部材に対して打痕が与える影響に関する力量不足と評価した。

以 上

ベローズの打痕を模擬した構造解析を用いた疲労評価結果

1 目的

当該排気管伸縮継手ベローズに生じた打痕と破損の関係を確認するため、打痕を模擬した解析モデルを作成し、構造解析を行い、ベローズが疲労破壊に至る繰り返し回数を評価する。

2 解析概要

2.1 解析方法

当該排気管伸縮継手を復元した後の外観確認にて確認した打痕を模擬した排気管伸縮継手の解析モデルを作成し、実機運転状態で測定した熱変位量を荷重条件として、ベローズに発生するひずみ量を算定する。

2.2 解析プログラム

汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS

2.3 解析モデル

解析モデルは、排気管伸縮継手の設計図面を基に、1/4 対称形状の 3 次元モデルを作成した。また、複数連続した打痕数の違いにより発生するひずみを比較するため、打痕を 100° 付近に 1 箇所、190° 付近に 2 箇所連続して模擬した解析モデルを作成した。

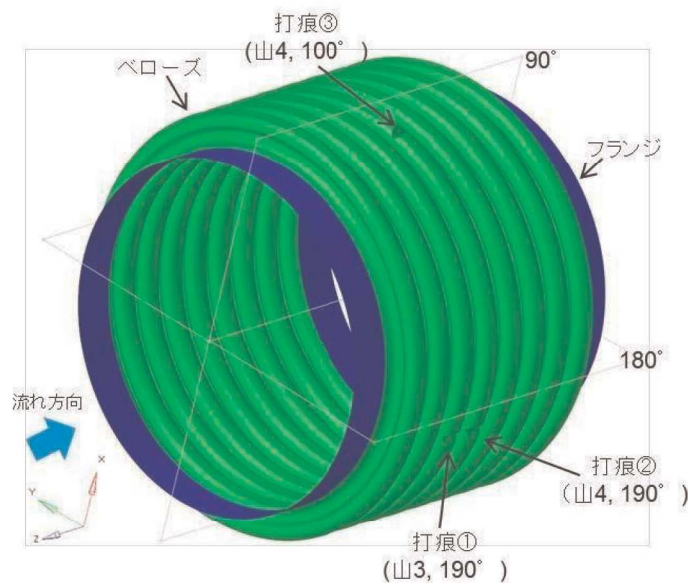


図 57-1 解析モデル

2. 4 打痕形状について

打痕形状により発生するひずみの影響を比較するため、5種類の打痕形状を作成し、解析を実施した。また、参考として打痕がないパターンについても解析を行った。

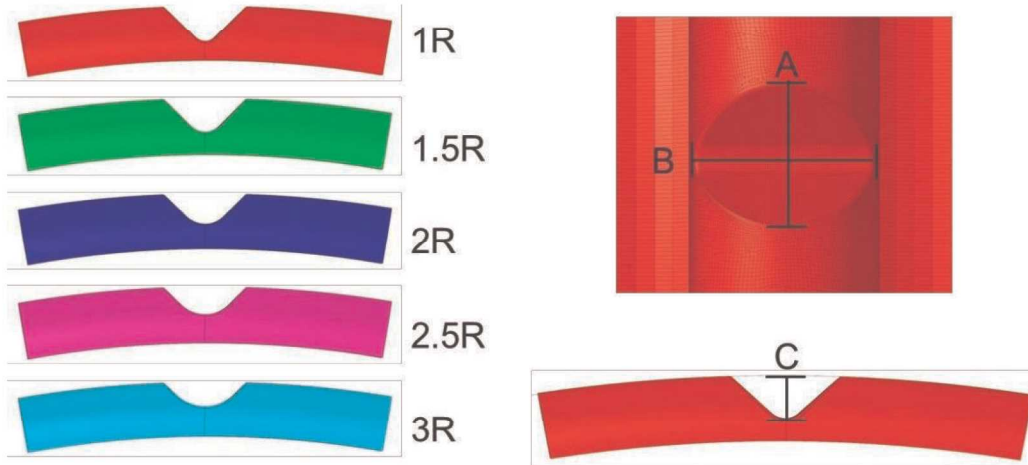


図 57-2 打痕形状の詳細

表 57-1 打痕形状一覧表

打痕形状 \ 寸法	A	B	C
1R	6.1mm	7.7mm	2.6mm
1.5R	6.1mm	7.5mm	2.4mm
2R	6.1mm	7.3mm	2.2mm
2.5R	6.1mm	7.1mm	2.0mm
3R	6.1mm	6.8mm	1.8mm

2. 5 入力条件

①内圧：

ベローズの内面に設計圧力を均一に負荷することで設定。

②温度：

D/G(B) 定格運転時における、排気管伸縮継手の温度測定結果を基に設定。

③変位量：(軸方向) 7.8mm, (軸直角方向) 1mm

D/G(B) 定格運転時における、排気管伸縮継手の実機運転による変位量測定計測結果を基に設定。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

2. 6 応力ひずみ関係

応力ひずみ関係は、動力炉・核燃料開発事業団 報告書「高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等」に記載されている「SUS321 の弾塑性応力-ひずみ関係式」を適用し、算出した。

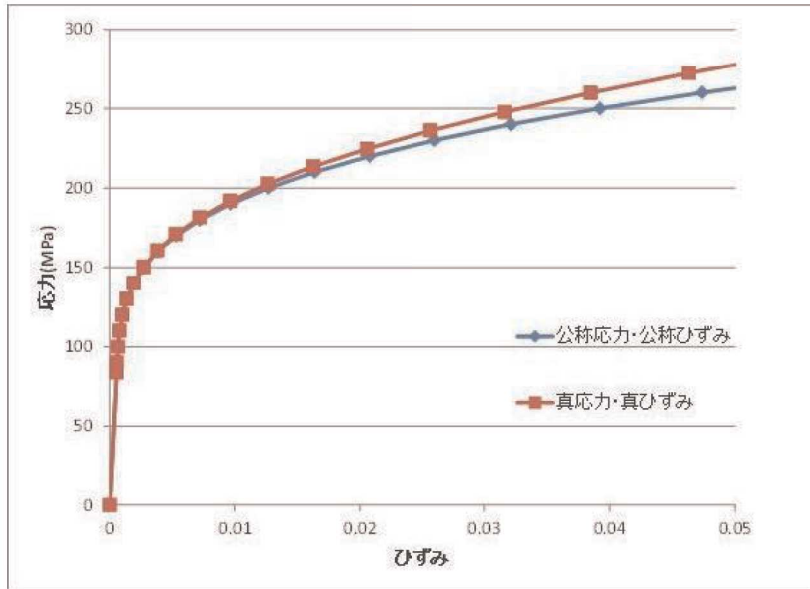


図 57-3 応力ひずみ線図

3 疲労評価方法

解析にて算定したベローズに生じるひずみ量から排気管伸縮継手ベローズの破損繰返し数を確認した。疲労評価に用いるひずみ量と破損繰返し数の関係については、発電用原子力設備 設計・建設規格（2009年版）＜第Ⅱ編高速炉編＞で規定されている SUS321 の最適疲労破損式を用いて算出した（軽水炉規格は、430℃以上の評価ができない）。

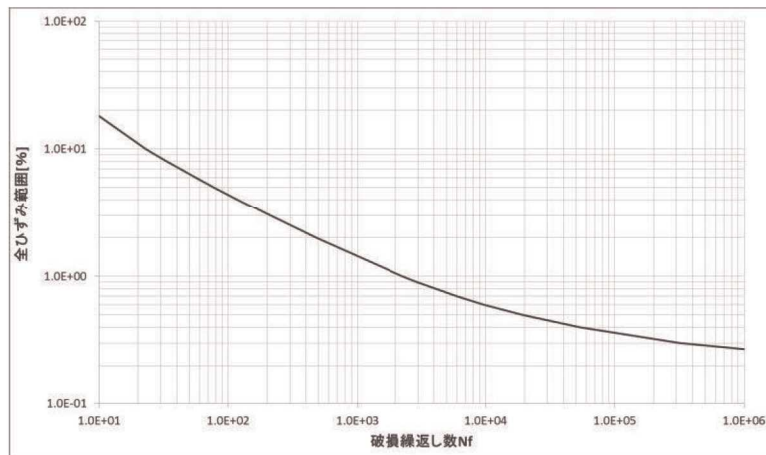


図 57-4 破損繰返し回数と全ひずみ範囲の関係 (の場合)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

4 解析結果および疲労評価結果

構造解析の結果、ベローズ健全部と比較して、打痕近傍（構造不連続部）でひずみ量が増大することを確認した。

また、疲労評価結果より、打痕形状 2R の場合、150 回程度の繰り返し回数で疲労割れが発生することを確認した。なお、当該排気管伸縮継手は取替え後から 160 回程度の起動・停止でベローズの破損が発生したことから、打痕形状 2R の場合と比較すると、繰り返し回数が概ね一致することを確認した。

表 57-2 解析結果および疲労評価結果一覧（打痕有り）

打痕形状	相当ひずみ				許容繰り返し回数			
	打痕部 山3・190°	打痕部 山4・190°	打痕部 山4・100°	0°谷部	打痕部 山3・190°	打痕部 山4・190°	打痕部 山4・100°	0°谷部
1R	0.0488	0.0451	0.0388	0.00314	81	94	126	229920
1.5R	0.0406	0.0377	0.0325	0.00314	116	133	179	228433
2R	0.0351	0.0327	0.0281	0.00314	154	177	239	229560
2.5R	0.0302	0.0282	0.0242	0.00314	207	237	324	230746
3R	0.0261	0.0244	0.0209	0.00314	278	317	437	231940

表 57-3 解析結果および疲労評価結果一覧（打痕無し）

打痕形状	相当ひずみ		許容繰り返し回数	
	最大部 谷1・180°	0°谷部	最大部 谷1・180°	0°谷部
無し	0.00512	0.00312	17680	241415

<発生ひずみ算出結果：打痕形状 2R の場合>

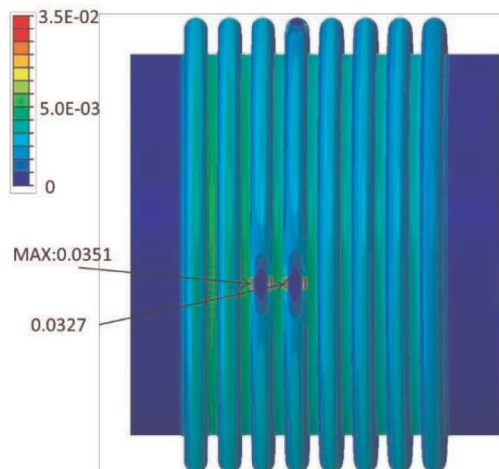


図 57-5 解析結果（打痕形状 2R）

<発生ひずみ算出結果：打痕無し>

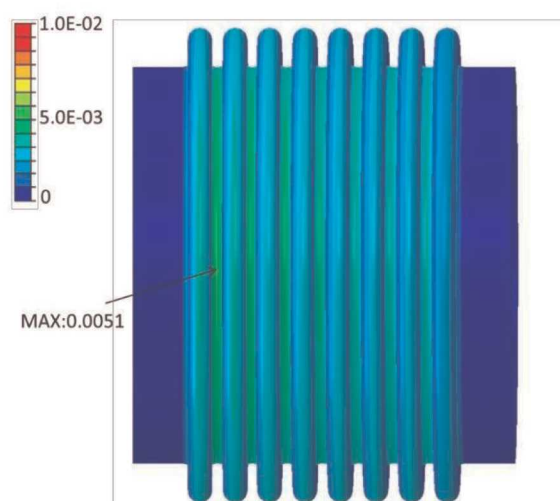
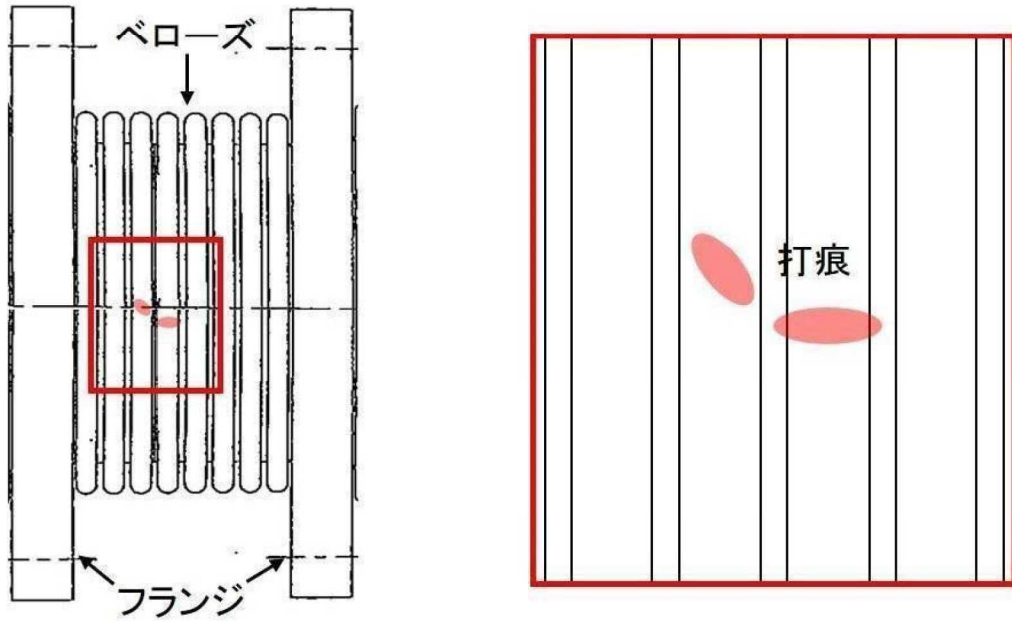


図 57-6 解析結果 (打痕無し)

以上

ベローズ破損の推定メカニズムについて

①排気管伸縮継手取付け時にベローズ山部に打痕



②当該打痕近傍もしくは中心部の鋭角な凹みに沿って、熱収縮により初期き裂が発生した可能性が考えられる

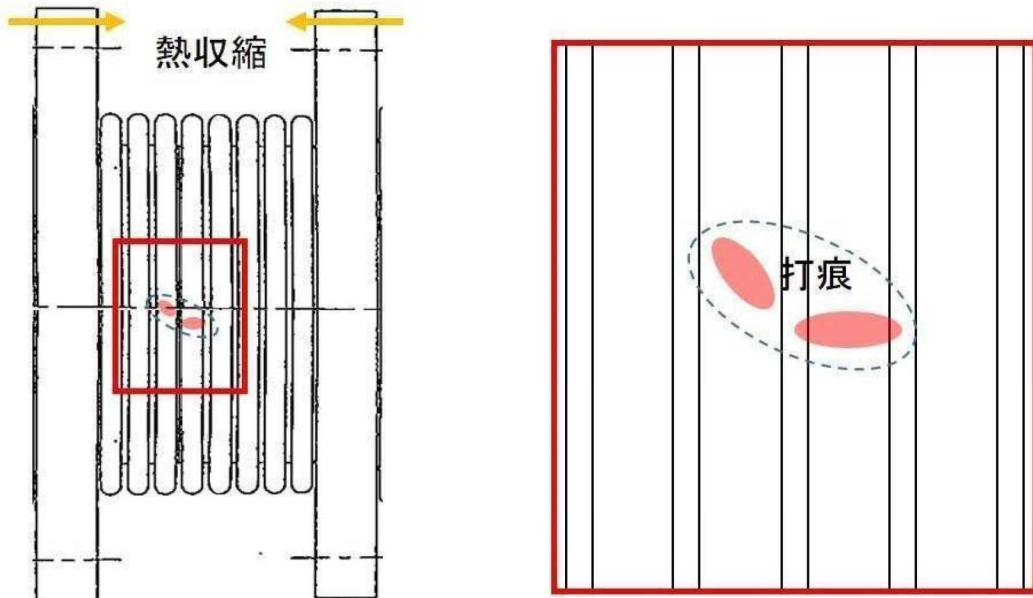
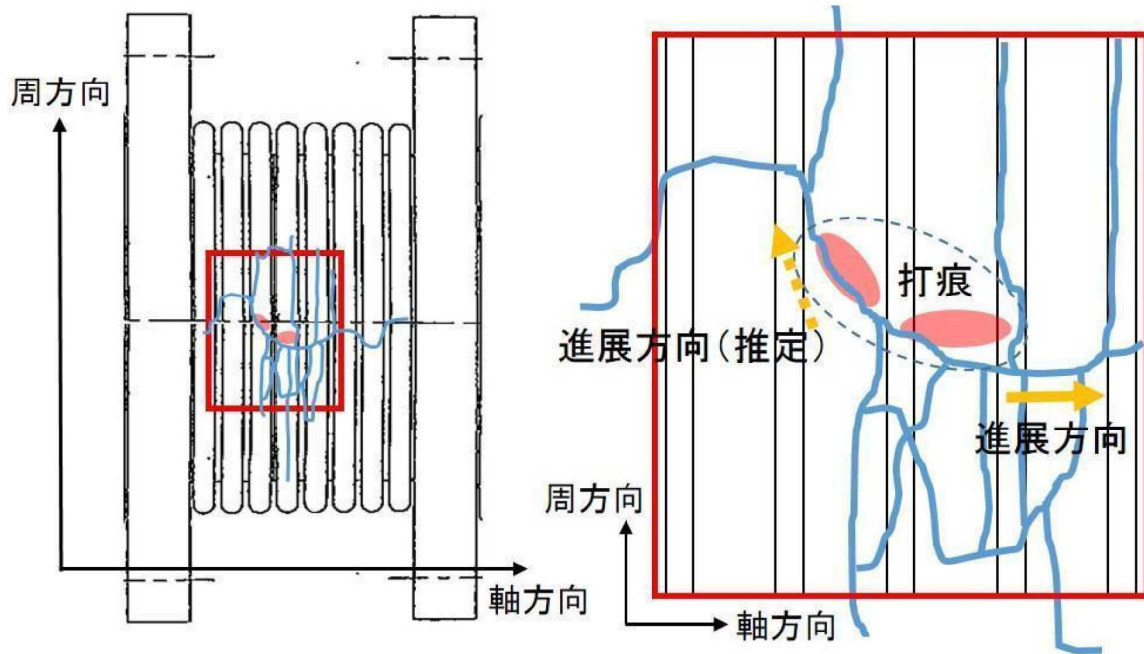


図 58-1 破損メカニズム模式図①

③-1 内圧により発生する周方向応力により，初期き裂近傍で軸方向き裂が進展していった可能性が考えられる



③-2 下図に示すベローズ下半分で認められた周方向のき裂は，内圧の周期的な変動によって発生する振動により進展した可能性が考えられる

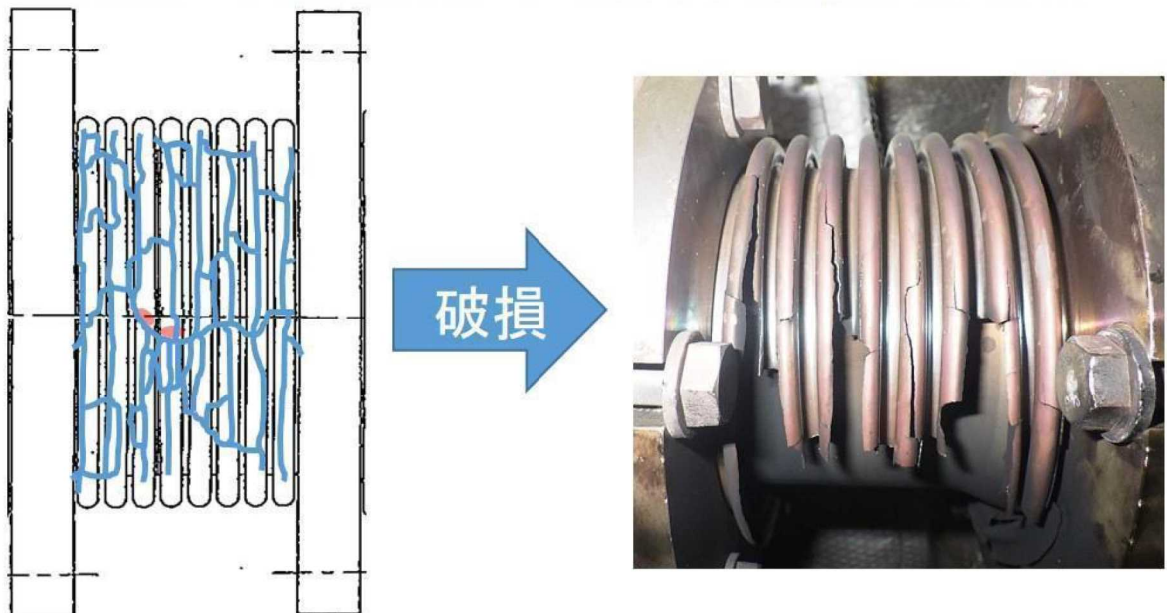


図 58-2 破損メカニズム模式図②