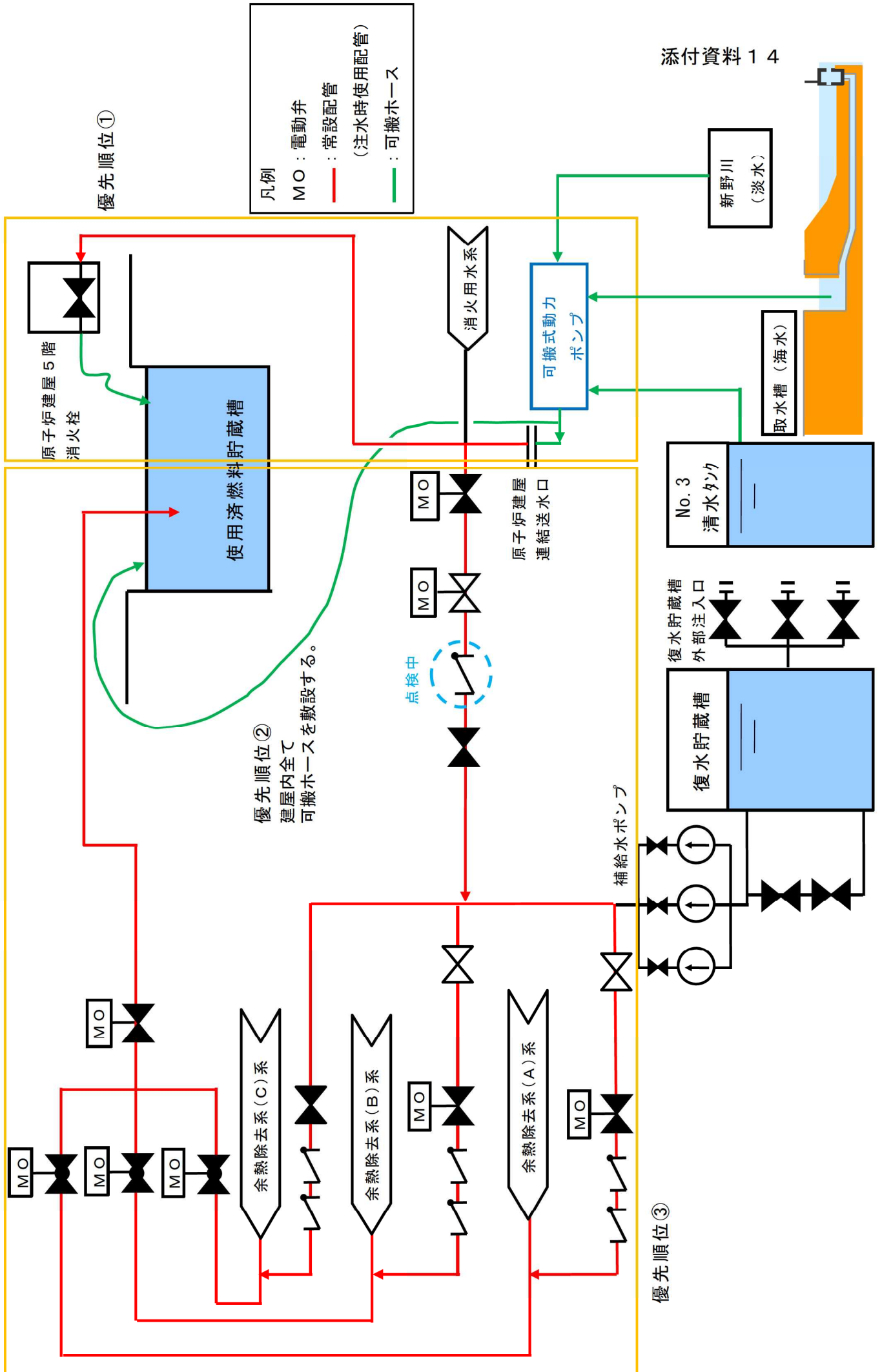
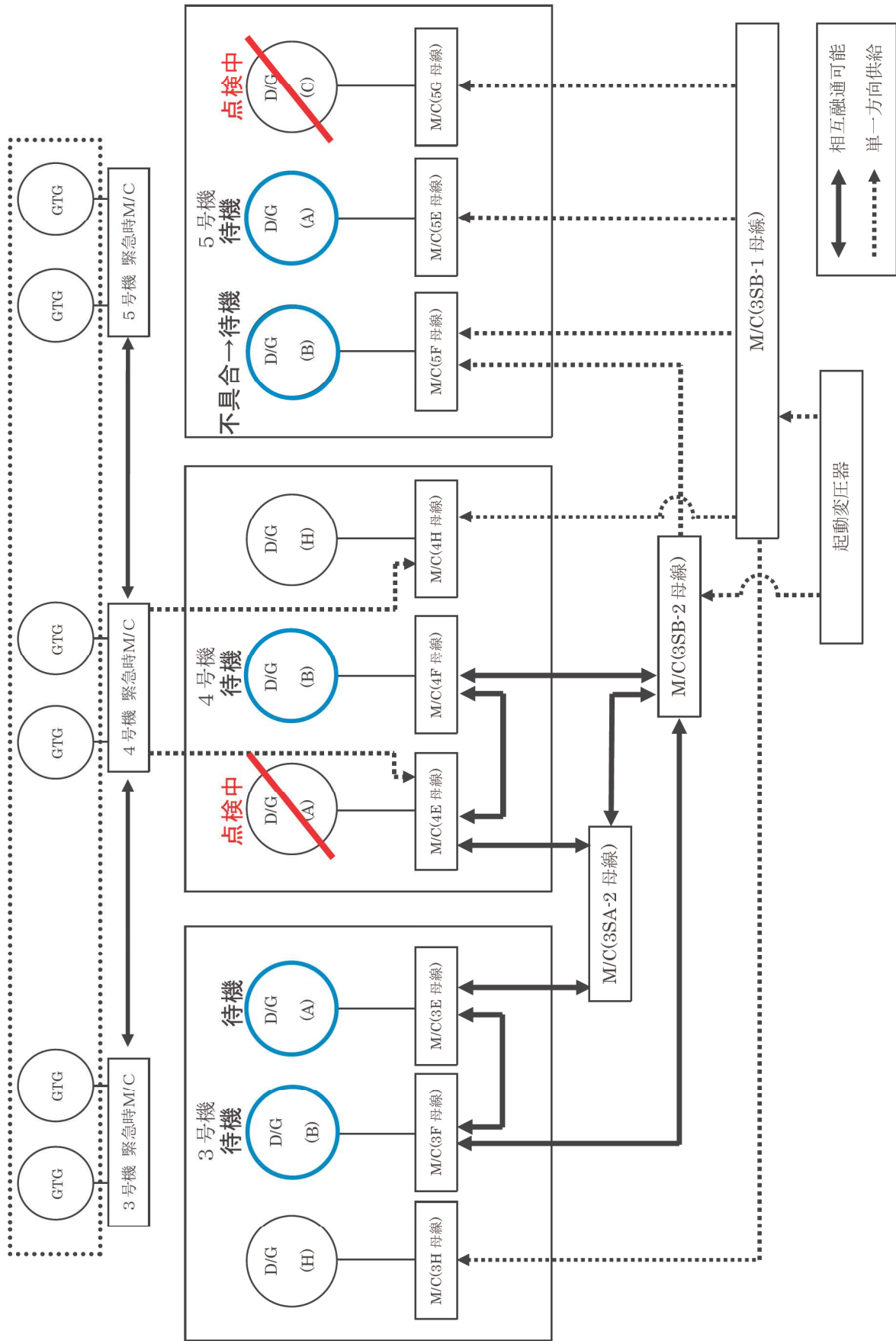


全交流電源喪失時等における代替注水手段について



添付資料 1 4

D/G(B)の運転上の制限逸脱からの復帰について



排気管伸縮継手破損が D/G の機能要求へ与える影響

1. 目的

本事象では、排気管伸縮継手のベローズの下半分が破損した。本評価では、排気管伸縮継手のベローズが全周破損することを想定し、D/G の排気ガスの漏えいが D/G の機能要求へ与える影響について確認する。機能要求については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」をもとに抽出を行った（別紙-1）。

2. 排気管伸縮継手の破損想定

ベローズの内側には整流のための内筒があるため、ベローズが全周破損した場合であっても開口面積は全断面の約 となるものの、排気管伸縮継手 1 個のベローズ及び内筒が破損した場合、保守的に排気管 1 本を流れる排気ガスが全て開口部から漏えいすることを想定し、排気管伸縮継手 1 個の破損あたり排気ガス全量 の 1/8 (12.5%) に相当する の漏えいを仮定した。なお、排気管全 8 本は独立して過給機のタービンに接続されており、他の排気管の排気ガスが漏えい部に逆流することはない。

また、排気管伸縮継手内側の排気圧力は、排気管伸縮継手外側より高くなっており、排気管伸縮継手が破損した場合においても、破損箇所の内側から外側へ排気は流れるため、その破片が排気管内に流入することは考え難いことから、排気管への破片の混入は考慮しない。



図 16-1 排気管の構成

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. 排気管伸縮継手破損が与える影響

(1) D/G の機能へ直接的に与える影響

排気管伸縮継手破損により D/G の排気ガスが漏えいすることによる、D/G の機能への直接的な影響について検討した。

その結果、表 16-1 に示す通り、排気管伸縮継手 1 個のベローズ及び内筒が全周破損した場合であっても、D/G の機能を満足することを確認した。具体的な検討結果を別紙-2 に示す。

表 16-1 排気管伸縮継手破損が D/G の機能へ直接的に与える影響

機能	要求	排気管伸縮継手 1 個が破損した際の機能への影響
出力	5,880kW	○
回転数	720rpm	○
起動時間	発電機電圧確立まで 15 秒以内	○
燃料使用量	1,545ℓ/h	○
燃料貯蔵量	D/G が約 7 日間連続 運転できる容量	○
非常時の許容 周波数降下及 び電圧降下	定格時の 83% 周波数 定格時の 75% 電圧	○

○：機能を満足することを確認

なお、さらに厳しい条件として、上記排気管伸縮継手 1 個の破損に加え、別の排気管の排気管伸縮継手 1 個が破損を仮定すると、D/G の機能を満足しない恐れがある。

(2) D/G の機能へ間接的に与える影響

排気管伸縮継手破損により D/G の排気ガスが漏えいすることによる、D/G 室内温度などの間接的な影響について検討した。その結果、表 16-2 に示す通り、排気管伸縮継手 1 個のベローズ及び内筒が全周破損した場合であっても、D/G の機能を満足することを確認した。詳細を別紙-3 に示す。

表 16-2 排気管伸縮継手破損が D/G の機能へ間接的に与える影響

環境条件	排気管伸縮継手 1 個が 破損した際の機能への影響
D/G 機関温度	○
D/G 室内温度	○
高温の噴流による影響	○
煤煙による影響	○

○：機能を満足することを確認

4. まとめ

排気管伸縮継手破損による D/G の排気ガスの漏えいが D/G の機能要求へ与える影響を確認した結果、排気管伸縮継手の破損が 1 個までであれば、出力等の直接的な機能と、D/G 室内温度等の間接的な機能の両者を満足し、運転継続が可能と評価した。

以 上

D/G の機能要求の抽出結果

D/G に要求される機能を以下の通り抽出した。なお、排気管伸縮継手の破損は D/G の構造強度に影響を与えないため、構造強度に対する要求は除外した。

法令要求	要求事項	排気管伸縮継手 破損の影響
<p>＜実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則＞ (保安電源設備) 第四十五条 発電用原子炉施設には、電線路及び当該発電用原子炉施設において常時使用される発電機からの電力の供給が停止した場合において発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置の機能を維持するため、内燃機関を原動力とする発電設備又はこれと同等以上の機能を有する非常用電源設備を施設しなければならない。</p> <p>7 非常用電源設備及びその附属設備は、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保し、その系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有するものでなければならない。</p>	<p>＜設置許可＞ 容量は、外部電源が完全に喪失した場合でも、非常用ディーゼル発電機 2 台で余熱除去系等原子炉を安全に停止するために必要な負荷、又は工学的安全施設の負荷をとり得る設計とする。</p> <p>＜工認＞ 出力 (kW/個) 5880 回転数 (rpm) 720</p> <p>＜設置許可＞ 非常用ディーゼル発電機は、外部電源が喪失した場合に自動起動し、重要度の特に高い設備等に給電する。 台数 3 起動時間 約 15 秒</p> <p>非常用ディーゼル発電機が約 7 日間連続運転できる燃料貯蔵設備を発電所内に設ける。</p>	<p>あり</p> <p>あり</p>
<p>(準用) 第四十八条 3 発電用火設備に関する技術基準を定める省令第二十五条から第二十九条までの規定は、設計基準対象施設に施設する内燃機関について準用する。</p> <p>＜発電用火設備に関する技術基準を定める省令＞ (調速装置) 第二十六条 誘導発電機と結合する内燃機関以外の内燃機関には、その回転速度及び出力が負荷の変動の際にも持続的に動揺することを防止するため、内燃機関に流入する燃料を自動的に調整する調速装置を設けなければならない。この場合において、調速装置は、定格負荷を遮断した場合に達する回転速度を非常調速装置が作動する回転速度未満にする能力を有するものでなければならない。</p>	<p>＜工認＞ 調速装置 油圧式 ＜機器設計仕様書＞ 非常時の許容周波数低下及び電圧低下 所定の負荷シーケンスに沿って負荷を投入した時の電圧及び周波数は、次の値を下回らないこと。 定格時の 83% 周波数 定格時の 75% 電圧</p>	<p>あり</p>

法令要求	要求事項	排気管伸縮継手 破損の影響
<p>(非常停止装置) 第二十七条 内燃機関には、運転中に生じた過回転その他の異常による危害の発生を防止するため、その異常が発生した場合に内燃機関に流入する燃料を自動的かつ速やかに遮断する非常調速装置その他の非常停止装置を設けなければならない。</p>	<p><工認> 非常調速装置 電気-空気式</p>	<p>なし</p>
<p>(計測装置) 第二十九条 内燃機関には、設備の損傷を防止するため運転状態を計測する装置を設けなければならない。</p>	<p><使用前検査> ディーゼル発電機比率差動継電器動作 ディーゼル発電機過電流継電器動作 等</p>	<p>なし</p>

排気管伸縮継手の破損が D/G の機能に直接的に与える影響について

機能	要求	排気管伸縮継手破損による機能喪失の可能性	排気管伸縮継手 1 個が破損した際の機器への影響 (※ 1)
出力	5, 880kW	排気管伸縮継手破損による過給機への給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、出力及び回転数を維持するため燃料供給量が自動的に増加する。燃料供給量が上限に達した場合は、出力が維持できなくなる可能性がある。	○ ディーゼル機関メーカにおける D/G の性能確認試験の結果、過給機への給気量が 12.5% 減少した場合、燃料供給量が自動的に約 <input type="text"/> 増加 (図 16-2) する。しかし、D/G の実燃費は設計燃費と比較して約 <input type="text"/> (※ 2) 少なく、燃料供給量が増加しても設計上の燃料供給量に到達しないことから、出力が低下する可能性はない。
回転数	720rpm	排気管伸縮継手破損による過給機への給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、出力及び回転数を維持するため燃料供給量が自動的に増加する。燃料供給量が上限に達した場合は、回転数が維持できなくなる可能性がある。	○ ディーゼル機関メーカにおける D/G の性能確認試験の結果、過給機への給気量が 12.5% 減少した場合、燃料供給量が自動的に約 <input type="text"/> 増加 (図 16-2) する。しかし、D/G の実燃費は設計燃費と比較して約 <input type="text"/> (※ 2) 少なく、燃料供給量が増加しても設計上の燃料供給量に到達しないことから、出力が低下する可能性はない。
起動時間 発電機 電圧確立まで 15 秒以内		排気管伸縮継手破損による過給機給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、定格回転数に到達するまでに必要となるトルクが得られず、起動時間が設計値を超過する可能性がある。なお、D/G 起動中の燃料供給量は最大となる。	○ 機関設計時に用いている起動時間推定要領により、トルクが 12.5% 減少した場合の起動時間を算出した。その結果、起動までに最も時間を要する条件 (始動空気槽 (※ 3) の圧力が設計の最低値 <input type="text"/> の場合) では、起動時間は設計条件で <input type="text"/> のところ <input type="text"/> になること (図 16-3) を確認した。トルク減少率と過給機への給気量減少率はおおよそ比例関係にあること、及び計算による起動時間は実起動時間と比較して保守的に算出されることから、設計値を超過することはないと評価する。
燃料使用量	1, 545ℓ/h	排気管伸縮継手破損による過給機への給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、出力を維持するため燃料供給量が自動的に増加する。燃料供給量が増加することにより、燃料使用量が設計値を超過する可能性がある。	○ ディーゼル機関メーカにおける D/G の性能確認試験の結果、過給機への給気量が 12.5% 減少した場合、燃料消費量が約 <input type="text"/> 増加 (図 16-2) することを確認した。D/G の実燃費は設計燃費と比較して約 <input type="text"/> (※ 2) 少なく、燃料消費量が増加しても設計上の燃料供給量に到達しないことから、燃料使用量が設計値を超過することはない。
燃料貯蔵量	D/G が約 7 日間連続運転できる容量	排気管伸縮継手破損による過給機への給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、出力を維持するため燃料供給量が自動的に増加する。燃料供給量が増加することにより、燃料貯蔵量は D/G が 7 日間連続運転できる容量を下回る可能性がある。	○ ディーゼル機関メーカにおける D/G の性能確認試験の結果、過給機への給気量が 12.5% 減少した場合、出力及び回転数を維持するため燃料消費量が約 <input type="text"/> 増加 (図 16-2) することを確認した。D/G の実燃費は設計燃費と比較して約 <input type="text"/> (※ 2) 少ないことから、燃料貯蔵量は D/G が 7 日間連続運転できる容量を下回る可能性はない。

○：機能を満足することを確認

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。

機能	要求	排気管伸縮継手破損による機能喪失の可能性	排気管伸縮継手1個が破損した際の機器への影響 (※1)
非常時の許容周波数降下及び電圧降下	定格時の83%周波数及び75%電圧を下回らないこと	排気管伸縮継手破損による過給機給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少するため、負荷変動時にトルクが得られず、周波数及び電圧が変動し設計値を下回る可能性がある。	機関設計時に用いている負荷投入時の周波数変動率の計算手法により、最大の負荷投入 (B系における第1ブロック (HPCF等)) 時の周波数変動率を、通常時と本現象発生時 (過給機への給気量が減少) の条件において算出した。その結果、周波数変化率は通常時〇〇のとなり、変化量はわずかであることを確認した。また、算出結果は実測値 (通常時〇〇 (※4)) と比較して保守的な結果であることを確認した。以上より、過給機への給気量が12.5%減少した場合であっても、定格時の83%周波数を満足すると評価する。また、上記の周波数変化量を考慮すると、電圧 (通常時〇〇 (※4)) についても規定値を満足すると評価する。

※1：別の排気管の排気管伸縮継手1個がさらに破損すると仮定すると、出力や回転数等が維持できず、D/Gの機能を満足しない恐れがある。

※2：5号機系統試験報告書及び至近の運転実績にて確認

※3：D/G機関を始動させるための圧縮空気を充てんした貯槽

※4：5号機系統試験報告書にて確認

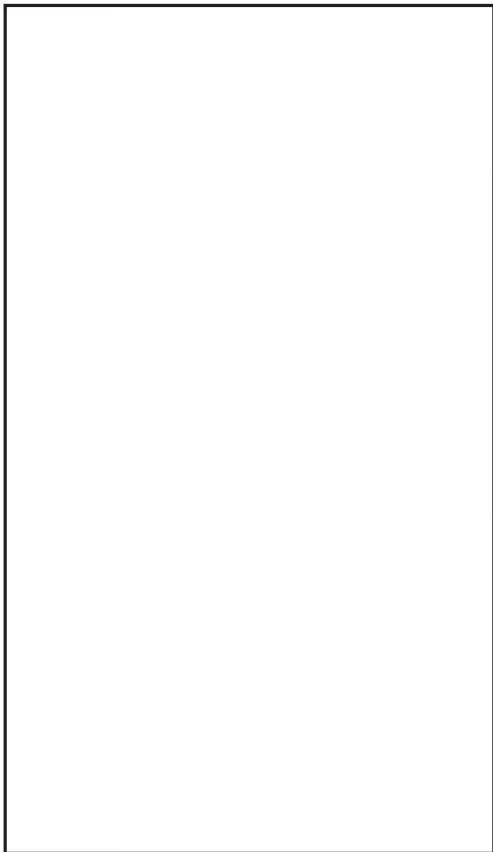


図 16-2 排気ガス量と燃料消費率の関係



図 16-3 起動時間推定結果

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。

排気管伸縮継手の破損がD/Gの機能に間接的に与える影響について

○：機能を満足することを確認

環境条件	排気管伸縮継手破損による機能喪失の可能性	排気管伸縮継手1個が破損した際の機器への影響
D/G 機関温度	排気管伸縮継手破損による過給機への給気量の減少により、D/G 機関への給気量が減少することから、出力を維持するため燃料供給量が自動的に増加する。燃料供給量の増加による排気温度の上昇により、排気温度が規定値 [] を超過した場合は、熱ひずみ設計を超えるため機器が破損する可能性がある。	<p>○</p> <p>ディーゼル機関メーカにおけるD/Gの性能確認試験の結果、過給機への給気量が12.5%減少した場合、排気温度は約 [] 上昇する(図16-4)。当該排気管伸縮継手交換以降(平成20年)の定期試験記録を確認した結果、過給機排気ガス温度は最高で [] であり、温度上昇量は設計値 [] とのマージンの範囲内であることから、設計値を超過することはない。</p>
D/G 室内温度	排気管伸縮継手破損によりD/G室内に高温の排気ガスが漏えいすることから、D/G室内の温度が上昇する可能性がある。D/G室内の温度が運転中の設計室温 [] を超過した場合、絶縁抵抗の低下による発電機の故障や、計器類の故障など、D/G室内の機器が故障する可能性がある。また、温度上昇により、作業環境が悪化する可能性がある。	<p>○</p> <p>本事象発生時と復旧後の試験運転時のD/G室温測定結果を元に、排気管伸縮継手1つが全破損した場合のD/G室内温度を推定したところ、約 [] 上昇することを確認した。D/G室の給気は外気を直接取り入れており、御前崎市の統計上の最高温度は [] であることから、約 [] まで室温が上昇する可能性がある。発電機は [] であり、使用による温度上昇は [] 未満であることを確認したことから、室内温度が今回想定する約 [] まで上昇しても室内の機器に影響を与えないことを確認した。なお、計器類はD/Gの継続運転に影響を与えないことを確認した。</p> <p>また、温度上昇により作業環境が悪化するが、D/G起動時、運転継続時、停止時のいずれにおいてもD/G室外にて監視及び操作が可能であり、D/G室内へ常時滞在する必要はない。一時的に入室する必要がある場合は、中央制御室に配備されている消防服及びセルフエアセットを着用することで、短時間の活動は可能である。(詳細は別紙-4参照)</p>
高温の噴流による影響	排気管伸縮継手破損により高温の排気ガスが漏えいすることから、排気管伸縮継手近傍に可燃物がある場合は発火し、火災が発生する可能性がある。	<p>○</p> <p>排気管伸縮継手近傍(1m(※1))範囲の部品を調査した結果、可燃性の材料は使用されていないことを確認した。ただし、近傍に設置している温度計の難燃性ケープルが熱の影響を受け損傷する可能性はあるが、当該温度計は指示機能のみを有しており、D/Gの安全機能に影響を与えない。また、温度測定は可搬型の温度計によって代替が可能である。</p>
煤煙	排気管伸縮継手破損により煤煙を含む排気ガスが漏えいすることから、作業環境が悪化する可能性がある。	<p>○</p> <p>排気管伸縮継手破損によりD/G室内に最大で [] の場合 [] の排気ガスが漏えいするが、D/G室給気ファン2台(容量 []) によって約 [] の排気量を確保しているため、作業環境が悪化する可能性はないと評価する。</p>

※1：排気管伸縮継手は運転時は保温材に覆われているため、噴流の影響範囲を1mとして検討した。

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 16-4 排気ガス量と排気温度の関係

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。

別紙-4

排気管伸縮継手 1 個のベローズが破損した場合の 実機温度データに基づく D/G 室温度上昇量の推定について

1. はじめに

D/G (B) 排気管伸縮継手破損事象を踏まえ、排気管伸縮継手の破損が D/G の機能に与える影響の確認を行っている。その一環として、排気管からの排気ガス漏えいが D/G 室温に与える影響について確認し、D/G 室内の機器の機能に対する評価を行った。

2. 温度上昇量の推定方針

排気管伸縮継手 1 個のベローズが破損した際の保守的な漏えい率 (12.5%) に相当する [] の排気ガスが漏えいした場合の温度上昇量を、排気管伸縮継手破損事象発生時 (平成 30 年 6 月 5 日)、復旧時 (平成 30 年 6 月 7 日、12 日) の D/G(B) 室の温度変化実績及び想定される熱負荷を用いて推定する。

3. 実機での温度変化実績及び室内負荷

排気管伸縮継手破損事象発生時 (平成 30 年 6 月 5 日)、復旧時 (平成 30 年 6 月 7 日、12 日) の温度変化実績及び室内の負荷を以下に示す。事象発生時においては、[] の排気ガスが排気ガス全体の [] に相当する [] 漏えいしたものと推定しているため、漏えいした排気ガスが持つ熱エネルギーも室内の負荷に加えた。

表 16-3 温度変化実績

	6 月 5 日	6 月 7 日	6 月 12 日
D/G 起動中最大温度 (°C)	35.2	33.8	35.2
外気温 (御前崎市最高気温) (°C)	25.0	24.1	26.7
温度上昇量 (°C)	10.2	9.7	8.5
D/G 室給気ファン起動数 (台)	2	1	1

表 16-4 D/G 室内負荷

	6 月 5 日	6 月 7 日	6 月 12 日
機関からの発熱 (設計値) (kcal/h)	[]	[]	[]
照明からの発熱 (設計値) (kcal/h)	[]	[]	[]
排気ガスによる発熱 (計算値) (kcal/h)	[]	[]	[]
総発熱量 (kcal/h)	[]	[]	[]

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. 排気管伸縮継手破損時の D/G 室内温度の推定

排気管伸縮継手 1 個のベローズが全破損した場合に漏れいする排気ガスを、保守的に [] (排気ガスの 12.5%相当), [] (排気温度の上限値) と想定し, D/G 室内の温度上昇量の推定を行った。想定した負荷条件を以下に示す。

表 16-5 排気管伸縮継手 1 個が全破損した際の D/G 室内負荷

機関からの発熱 (設計値) (kcal/h)	[]
照明からの発熱 (設計値) (kcal/h)	[]
排気ガスによる発熱 (計算値) (kcal/h)	[]
総発熱量 (kcal/h)	[]

図 16-5 に示す通り, D/G 室内負荷 [] の場合, 温度上昇量は約 [] と評価した。御前崎市の統計上の最高気温は 36.7℃であることから, D/G 室内温度は最高で約 [] となる可能性がある。なお, 図 16-5 においては, 復旧時 (平成 30 年 6 月 7 日, 12 日) は D/G 室給気ファンが 1 台起動であったことから, 2 台起動時の環境を推定するため, 温度上昇量を 1/2 にしてプロットした。



図 16-5 D/G 室内熱負荷と温度上昇の関係

5. D/G 室内温度が [] になった場合の影響について

(1) 機器への影響

D/G 室内温度が [] になった場合, D/G 室の機器のうち発電機及び計器類が温度上昇による影響を受ける可能性がある。しかし, 発電機は [] [] であり, D/G 運転による温度上昇は [] 未満であることから, 影響はないことを確認した。また, 計器類は D/G の運転継続に影響を与えないことを確認した。

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。

(2) 作業環境への影響

D/G 室内温度が になった場合、作業環境が悪化するが、D/G 起動時、運転継続時、停止時の監視及び操作は中央制御室の制御盤又は D/G 室外の D/G 制御盤において実施可能であり、D/G 室内へ常時滞在する必要はない。一時的に入室する必要が生じた場合は、中央制御室に配備されている消防服及びセルフエアセットを着用することで、短時間の活動は可能である。

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のベローズの破片復元及び外観観察結果

1. 目的

回収した当該排気管伸縮継手のベローズの破片を組み立てて、当該ベローズの復元・外観観察をすることで、ベローズ全体及び山ごと、破片単位のマクロ的な破壊、変形や腐食等の経年劣化事象の特徴の把握を目的とする。

2. 復元および外観観察方法

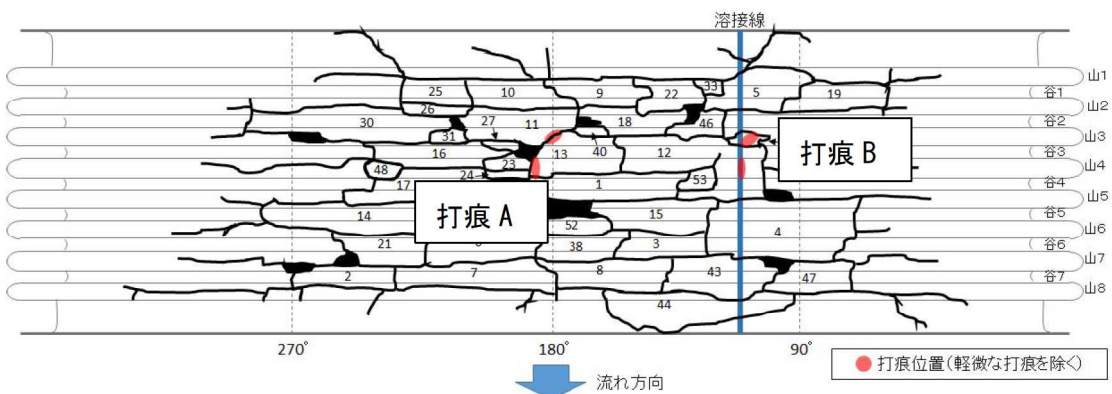
ベローズ復元作業は、各破片の外観を観察しながら、周方向又は軸方向の割れが一致する破片をつなぎ合わせることで実施した。

復元作業に合わせて、破片単位、山(谷)単位、ベローズ全体の外観観察を実施した。

3. 復元および観察結果

3. 1 復元結果

当該排気管伸縮継手のベローズの全体復元図を図 17-1 に示す。180°、110° 付近に大きな打痕が認められた。以降、180° 付近の打痕を打痕 A、110° 付近の打痕を打痕 B と定義する。



※本スケッチにおいて、各破片に認められた変形は反映されていない
 ※微細な破片や変形が大きく破片復元作業が困難であった破片(計12個)は本復元図に含まれていない

図 17-1 当該排気管伸縮継手のベローズの全体復元図

3. 2 復元した当該排気管伸縮継手のベローズの外観観察結果

<ベローズ全体の外観観察結果(打痕部)> (別紙1参照)

- 打痕 A、打痕 B はともに、打痕中心部に円弧状の鋭角な凹みが認められる。

<ベローズ全体の外観観察結果(その他)> (別紙2 参照)

- 打痕 A は、ベローズの破損している領域のほぼ中央に位置している。
- 打痕 A 近傍を含む軸方向のき裂は、比較的直線状に並んでいる。
- 下流側の方が周方向のき裂の進展量が大きい(破損領域が広い)。
- 打痕 A 近傍の破片(破片 No. 23, 24, 27)において、損傷が著しく小さな破片が多い。

<ベローズ山(谷)単位の外観観察結果> (別紙3 参照)

- 上流側(山 1~山 5 間)の変形量が下流側と比較すると大きく、下流側では隣接する山間の幅の減少はほとんどない。
- 打痕が認められる山 3, 4 の周辺にて、打痕近傍に周方向のき裂は認められない。

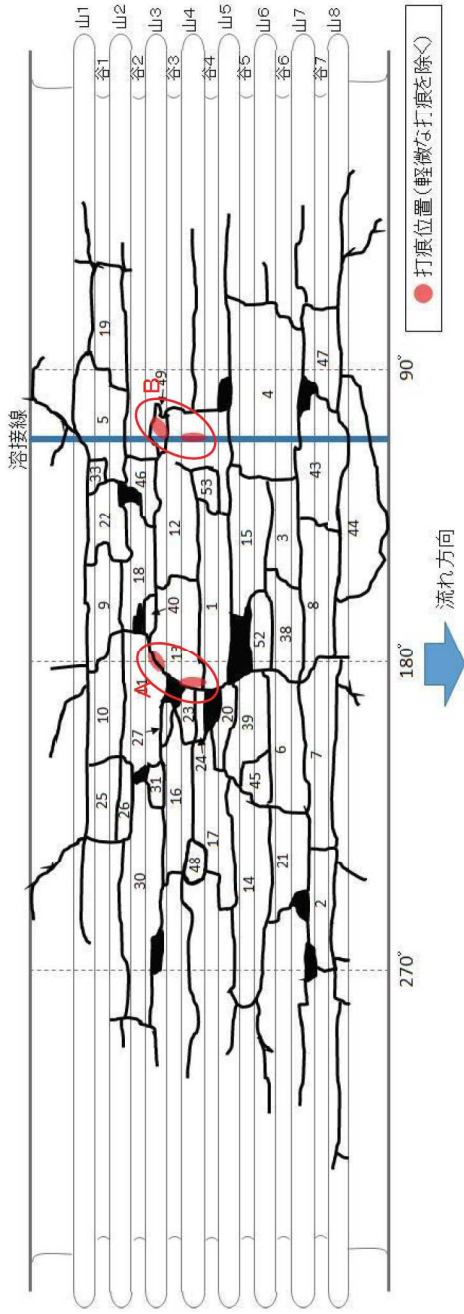
<破片単位の外観観察結果> (別紙4 参照)

- 周方向のき裂の多くは山にて発生しているが、一部、打痕 A 近傍の破片(破片 No. 11, 13, 23, 24, 27, 52)において谷側にも周方向のき裂が認められた。
- 打痕近傍は、多くが打痕端部の構造不連続部に沿ってき裂が発生しているが、打痕中心部に円弧状の鋭角な凹みが認められる打痕 A は、鋭角な凹みに沿ってき裂が発生している。
- 破片 No. 12 は山 4 から 5 にかけて、軸方向に大きくめくれ上がるように変形している。
- 破片端部に軽微な塑性変形を伴っているものがある。
- 打痕 A 近傍の破片のうち谷側破面は、山側破面と比較して破面の損傷が著しい。
- 破片やベローズ残存部分に有意な腐食・接触痕は認められない。

以 上

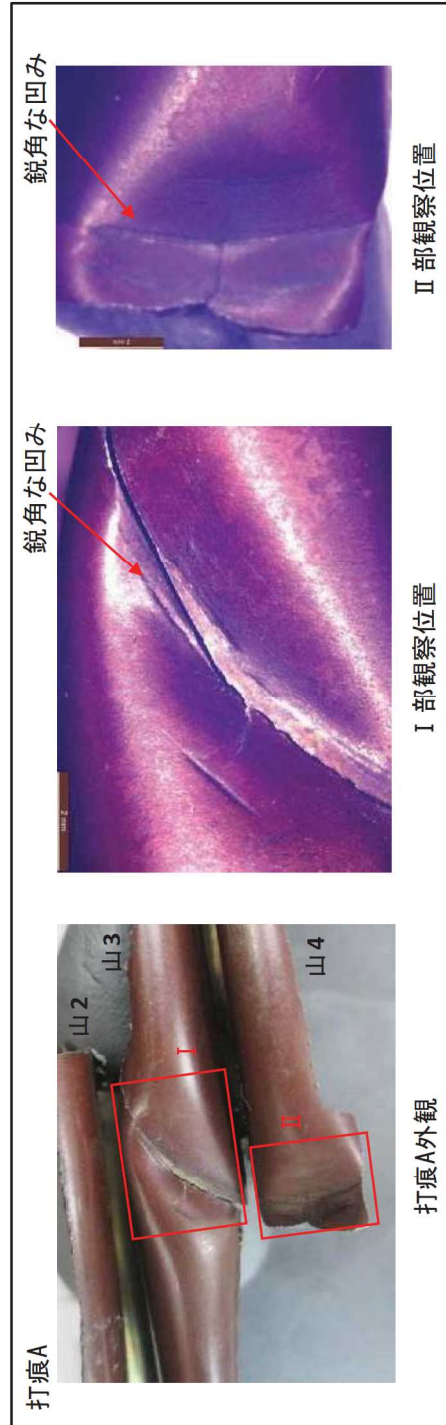
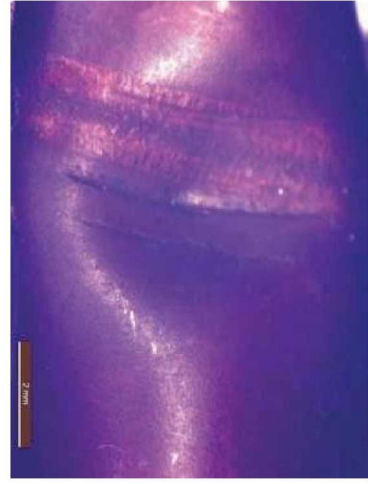
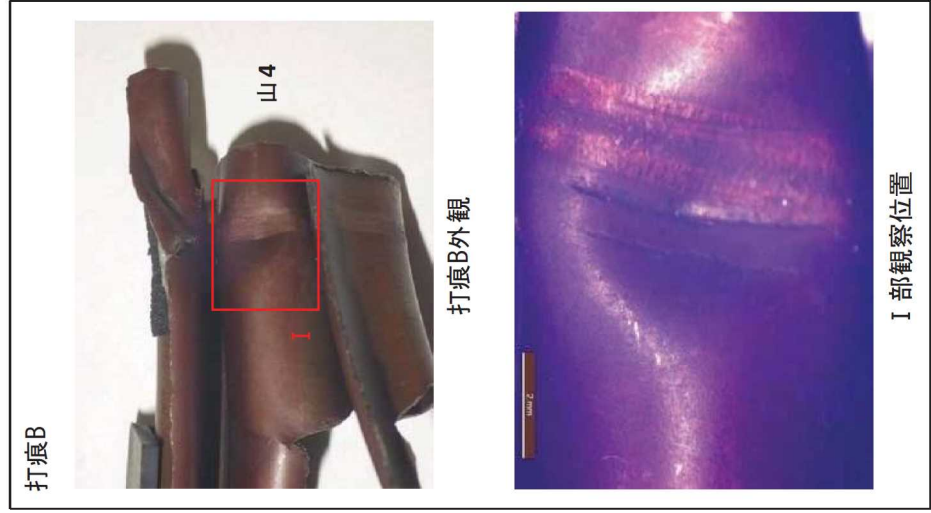
ペローズ全体の外観観察結果(打痕部)

・打痕A, 打痕Bともに、打痕中心部に円弧状の鋭角な凹みが認められる。



※本スケッチにおいて、各破片に認められた凹形は反映されていない

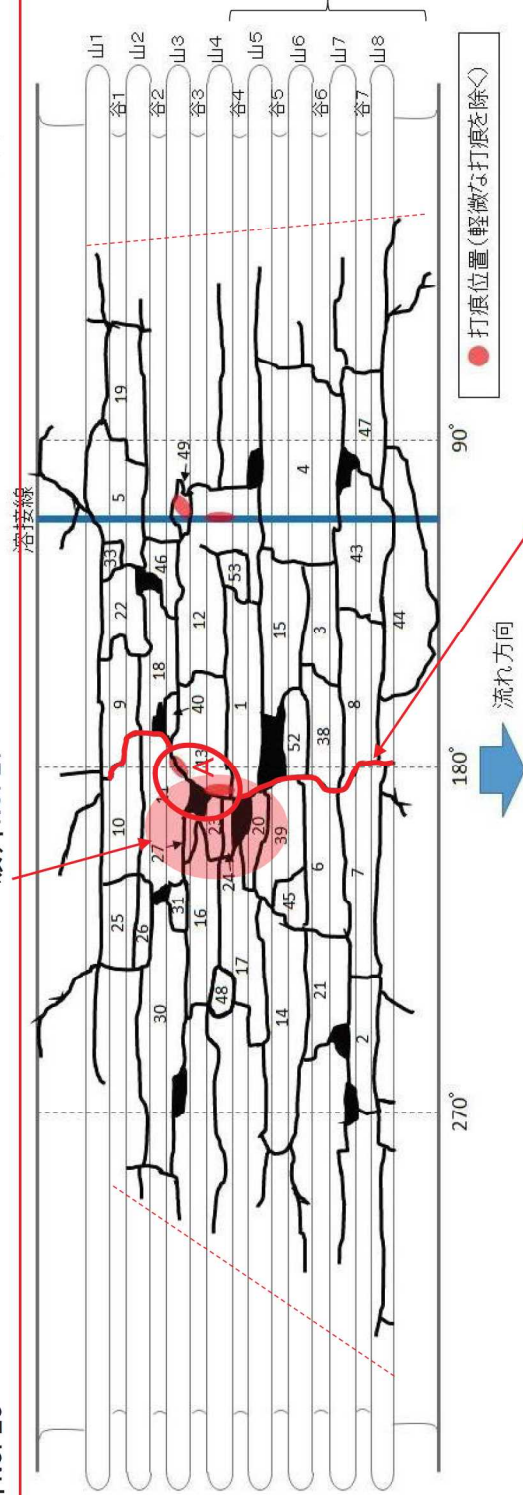
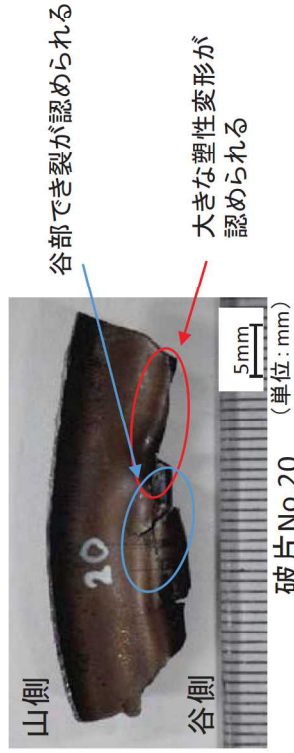
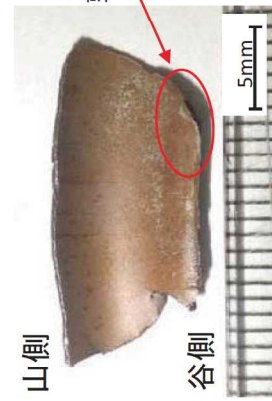
※微細な破片や変形が大きく破片復元作業が困難であった破片(計12個)は本復元図に含まれていない



ベローズ全体の外観観察結果(その他)

- ・打痕Aは、ベローズの破損している領域のほぼ中央に位置している。
- ・打痕A近傍を含む軸方向のき裂は、比較的直線状に並んでいる。
- ・下流側の方が周方向のき裂の進展量が大きい(破損領域が広い)。
- ・打痕A近傍の破片(破片No.23, 24, 27)において、損傷が著しく小さな破片が多い。

打痕A近傍では損傷が著しく、小さな破片が多い

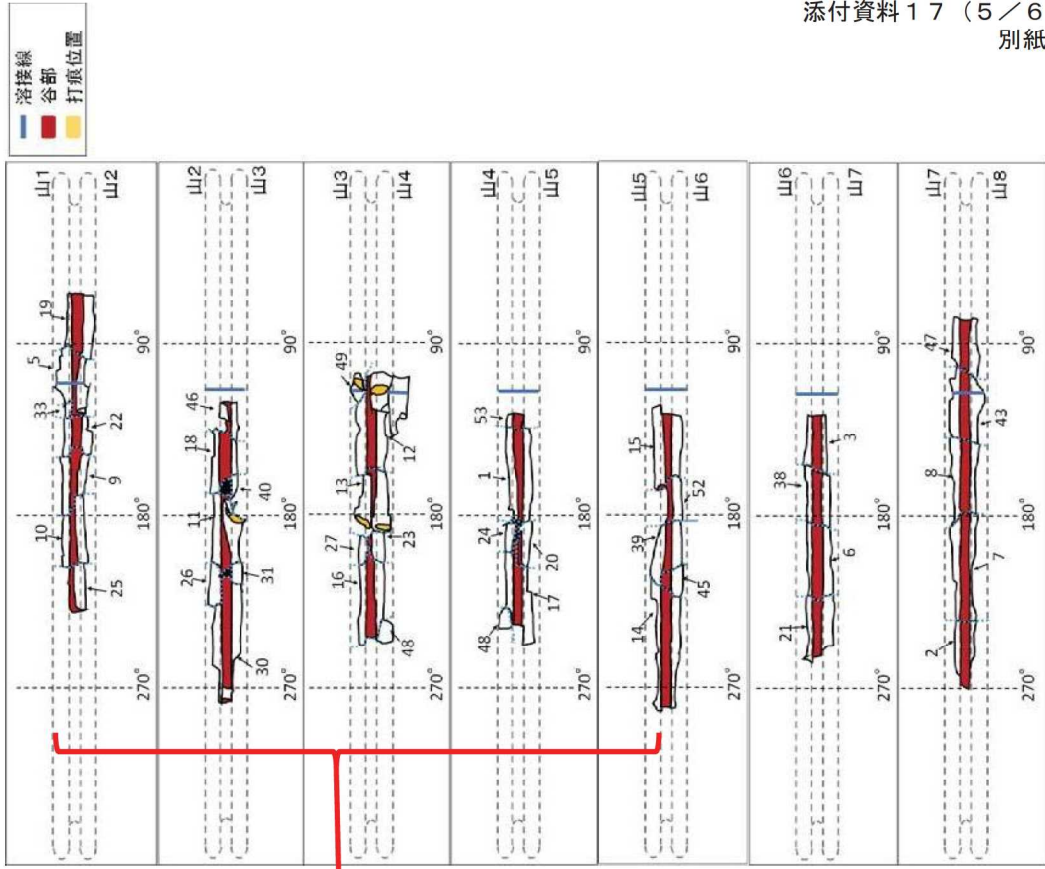
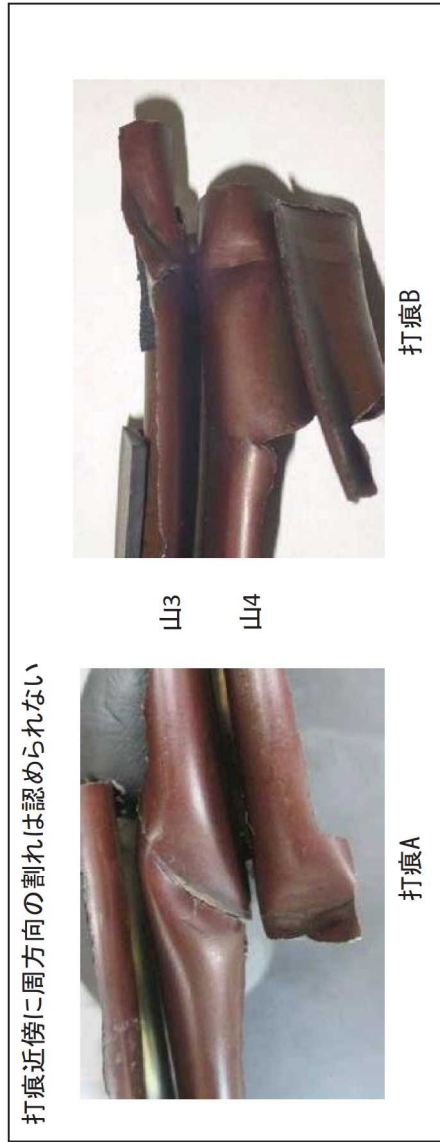
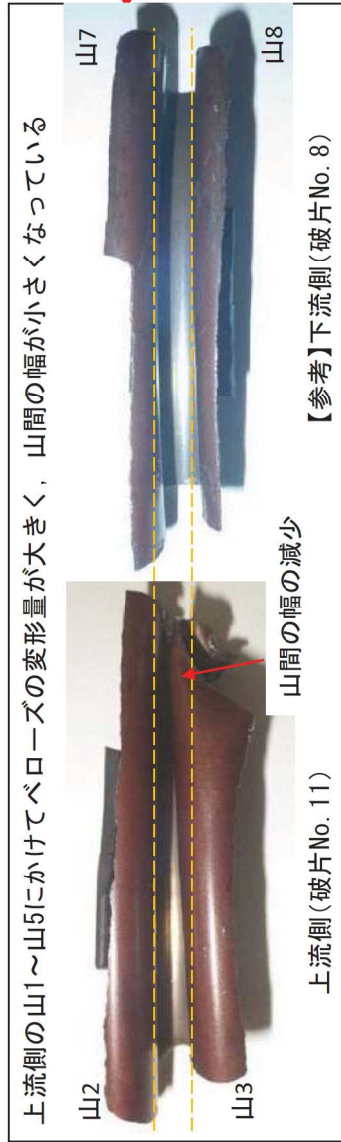


※本スケッチにおいて、各破片に認められた変形は反映されていない
 ※微細な破片や変形が大きく破片復元作業が困難であった破片(計12個)は本復元図に含まれていない

打痕A近傍を含む軸方向のき裂は、比較的直線状に並んでいる

ベロース山(谷)単位の外観観察結果

- ・上流側（山1～山5間）の変形量が下流側と比較すると大きく、下流側では隣接する山間の幅の減少はほとんどない。
- ・打痕が認められる山3, 4の周辺にて、打痕近傍に周方向のき裂は認められない。



破片単位の外観観察結果

- ・周方向のき裂の多くは山にて発生しているが、一部、打痕A近傍の破片（破片No. 11, 13, 23, 24, 27, 52）において谷側にも周方向のき裂が認められた。
- ・打痕近傍は、多くが打痕端部の構造不連続部に沿ってき裂が発生しているが、打痕中心部に円弧状の鋭角な凹みが認められる打痕Aは、鋭角な凹みに沿ってき裂が発生している。
- ・破片No. 12は山4から5にかけて、軸方向に大きめくれ上がるように変形している。
- ・破片端部に軽微な塑性変形を伴っているものがある。
- ・打痕A近傍の破片のうち谷側破面は、山側破面と比較して破面の損傷が著しい。
- ・破片やベローズ残存部分に有意な腐食・接触痕は認められない。

谷側周方向のき裂（破片No. 11）

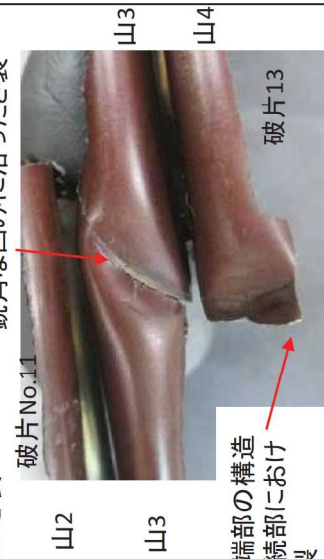


破片No. 12の変形



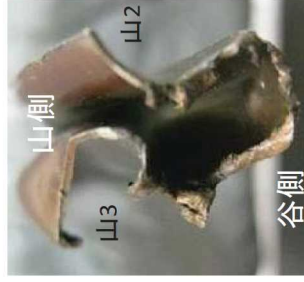
大きめくれ上がるように変形している

打痕Aのき裂

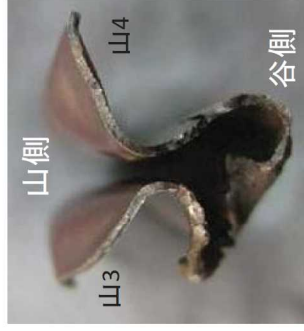


打痕端部の構造不連続部におけるき裂

打痕A近傍破面の損傷



破片No. 11



破片No. 13

破片端部の軽微な塑性変形（例：破片No. 7）



【参考】破片No. 6 (180° 付近)

当該排気管伸縮継手のベローズ破片の破面観察結果

1. 目的

当該排気管伸縮継手のベローズ破片の破面観察によって、当該ベローズの破壊の形態を把握することを目的として、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡による破面観察を実施する。

2. 調査方法・範囲

図 18-1 に示す範囲について、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡によって、破面観察を実施した。

ここで、 180° 付近の打痕を打痕 A、 110° 付近の打痕を打痕 B と定義し、観察範囲は「破壊の著しい打痕 A 近傍」、「溶接部近傍」、「き裂の進展量が大きい下流側（山 8）」を中心に選定した。

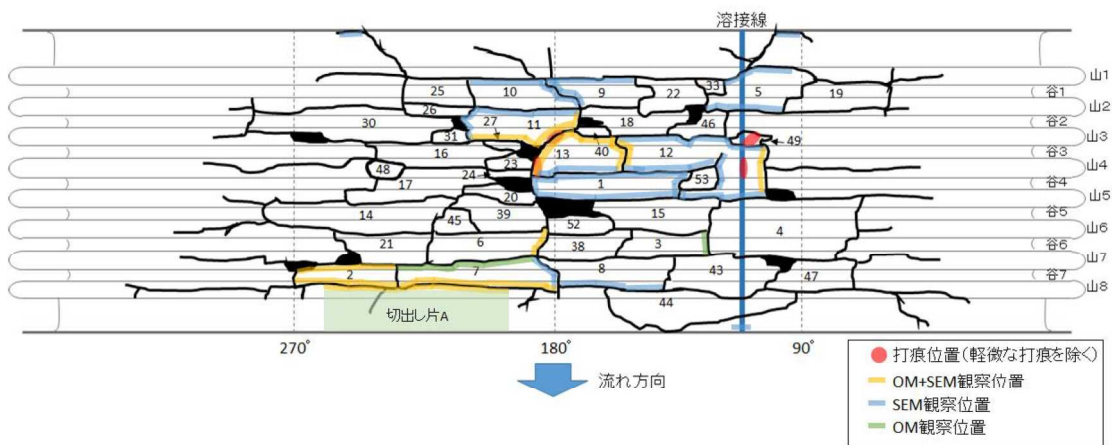


図 18-1 破面観察試料の位置

3 破面観察結果

破面観察の結果、観察した破面の大部分はつぶれており、有益な情報は得られなかったものの、疲労破面を確認した。光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡の観察結果の特徴を以下に示す。

3. 1 光学顕微鏡観察結果

観察範囲について光学顕微鏡観察を実施した結果を以下に示す。

代表として、破片 No. 11, 13 の観察結果を別紙 1 に示す。

- 打痕 A 近傍である破片 No. 11, 13 (軸方向破面) の光学顕微鏡観察の結果、谷側破面の破損が山側破面と比較して著しい。
- 打痕 A 近傍である破片 No. 11, 13 (軸方向破面) の光学顕微鏡観察の結果、打痕がついている箇所の破面 (断面) は、ベローズの山が大きくつぶれ

ていることを確認した。

3. 2 走査型電子顕微鏡観察結果

観察範囲について走査型電子顕微鏡観察を実施した結果を以下に示す。

代表として、破片No. 1, 5, 11, 切出し片Aの観察結果を別紙2に示す。

- 打痕 A 近傍である破片 No. 11 (軸方向破面) の破面のうち、比較的破面の損傷が小さい山側破面の走査型電子顕微鏡観察の結果、全体的に破面がつぶれていた。
- 打痕 A 近傍である破片 No. 1 (軸方向/周方向破面) の走査型電子顕微鏡観察の結果、全体的に破面はつぶれていたが、一部に疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様が確認された。
- 打痕 A 近傍である破片 No. 1 の軸方向破面において、山 4 から山 5 にかけてき裂が進展しているストライエーション状模様が確認された。
- 打痕 A 近傍である破片 No. 1 の周方向破面 (山 5 側) においてストライエーション状模様が確認され、ベローズの内外表面からき裂が進展していた。
- 溶接部を含む破片 No. 5 の走査型電子顕微鏡観察の結果、全体的に破面はつぶれていたが、疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様が確認された。
- 山 8 周方向破面である切出し片 A の走査型電子顕微鏡観察の結果、全体的に破面はつぶれていたが、疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様、及びラチェットマーク¹が確認された。

4 破面観察結果のまとめ

3 項, 4 項をまとめた結果を図 18-2 に示す。

¹ ラチェットマークとは、単一平面にない複数の箇所からき裂が発生し、それらが進展し合体したときの痕跡であり、その近傍がき裂の起点であることを示す。

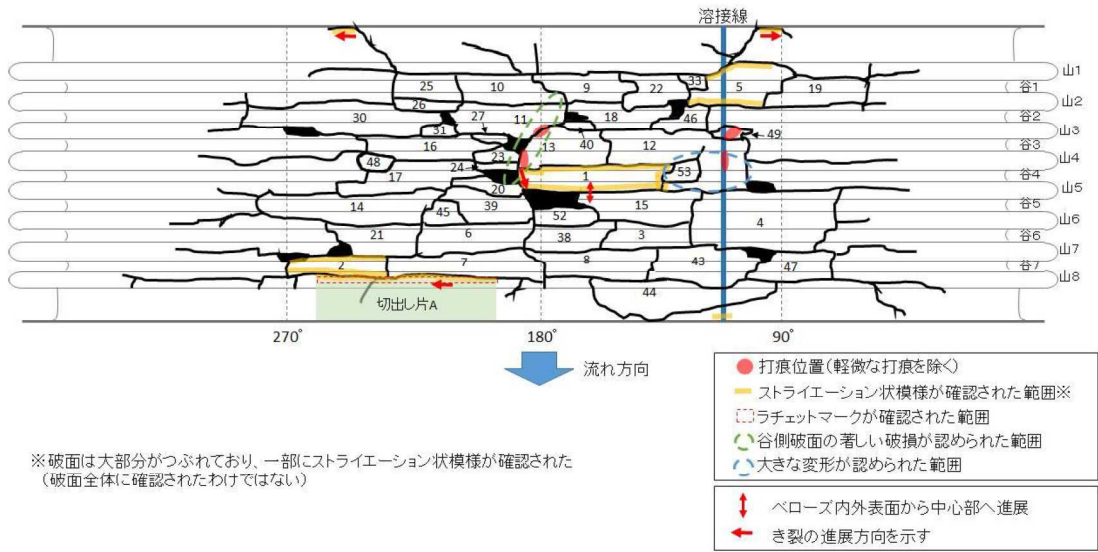


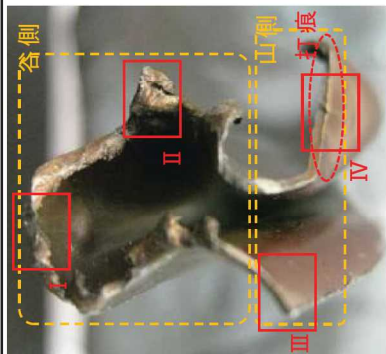
図18-2 き裂の進展方向

以上

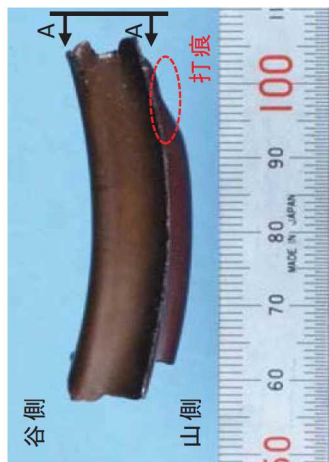
破面観察結果（光学顕微鏡観察）＜破片No. 11／破片No. 13軸方向＞

＜破片No. 11／破片No. 13軸方向観察結果まとめ＞

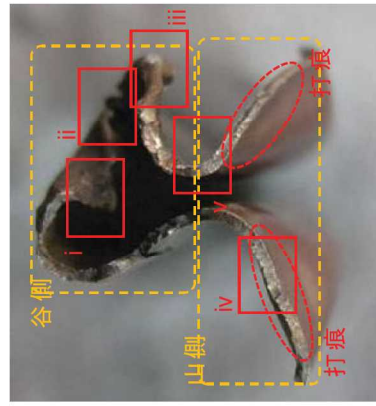
- ・ 谷側破面の損傷が激しく、大きくめくれような変形をしていた。
- ・ 山側破面の損傷の程度は比較的小さく、打痕部は大きく変形していた。



A-A矢視



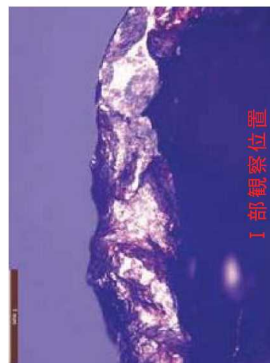
破片No. 11 山2側外観



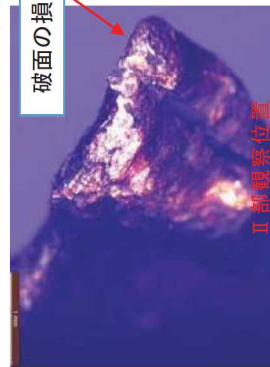
A-A矢視



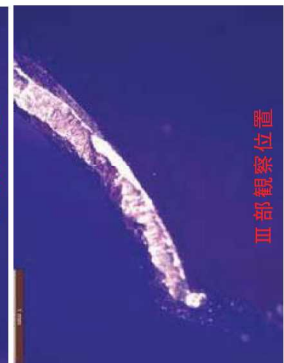
破片No. 13 山4側外観



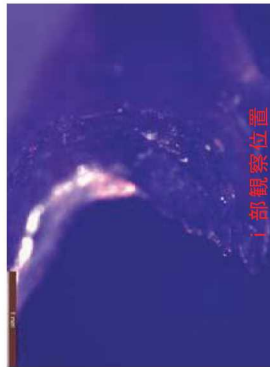
I部観察位置



II部観察位置



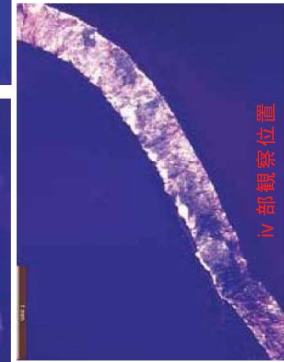
III部観察位置



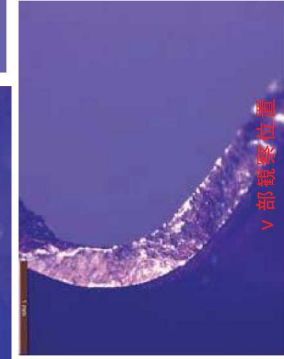
I部観察位置



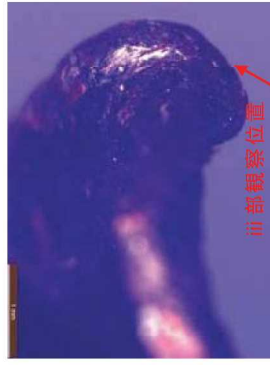
II部観察位置



IV部観察位置



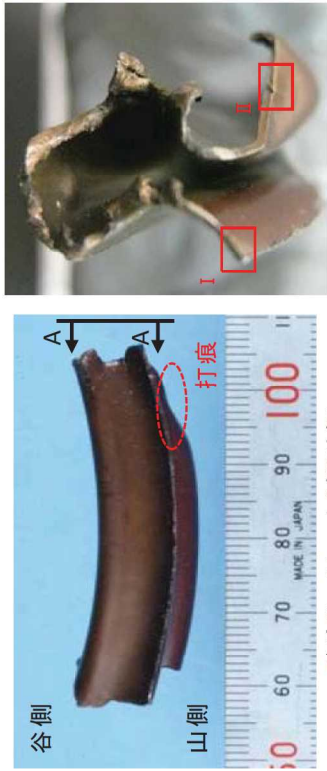
V部観察位置



III部観察位置

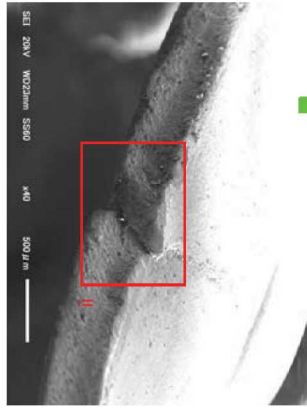
破面観察結果 (走査型電子顕微鏡観察) <破片No. 11軸方向>

<破片No. 11 (軸方向) 観察結果まとめ>
・山側破面の大部分がつぶれている。

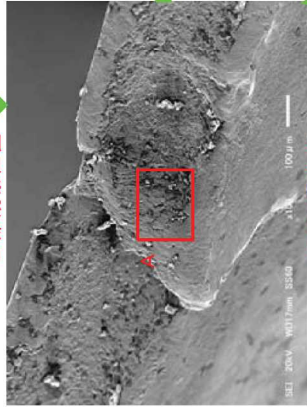


A-A矢視

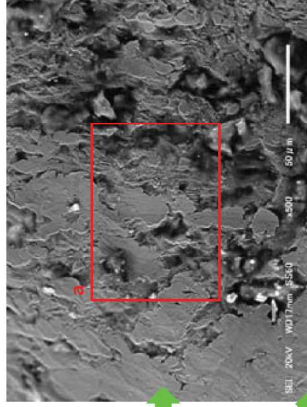
破片No. 11 山2側外観



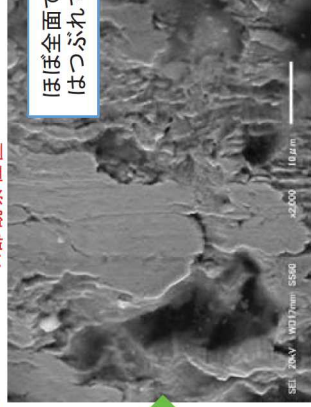
II部観察位置



ii部観察位置

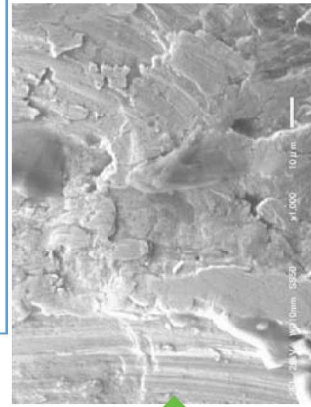


A部観察位置

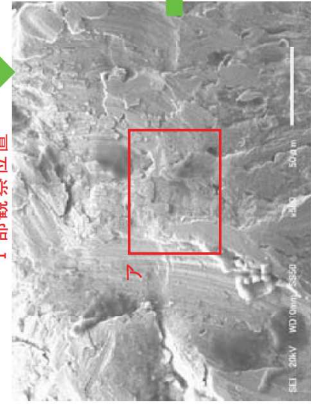


A部観察位置

ほぼ全面で破面はつぶれている



I部観察位置

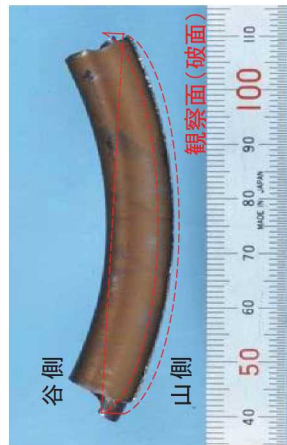


i部観察位置

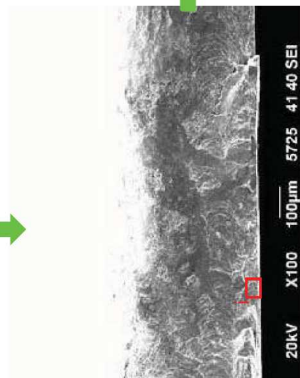
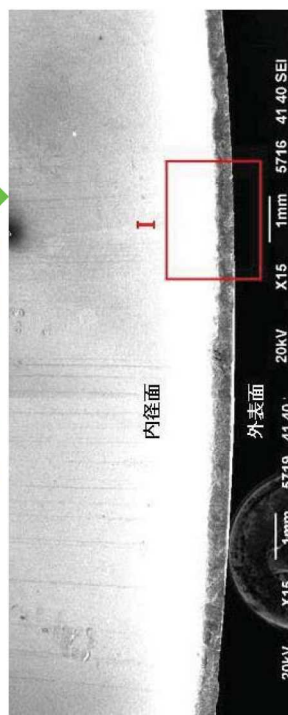
破面観察結果 (走査型電子顕微鏡観察) <破片No. 1 円周方向>

<破片No. 1 (円周方向) 観察結果まとめ>

- ・内外表面から内側に向かう疲労き裂を観察した。
- ・疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様を観察した。

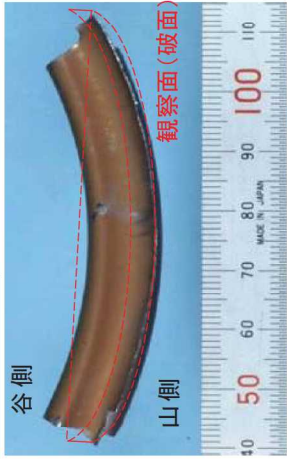


破片No. 1 山5側外観

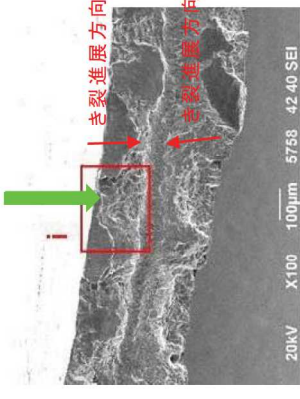


I 部観察位置

I 部観察位置

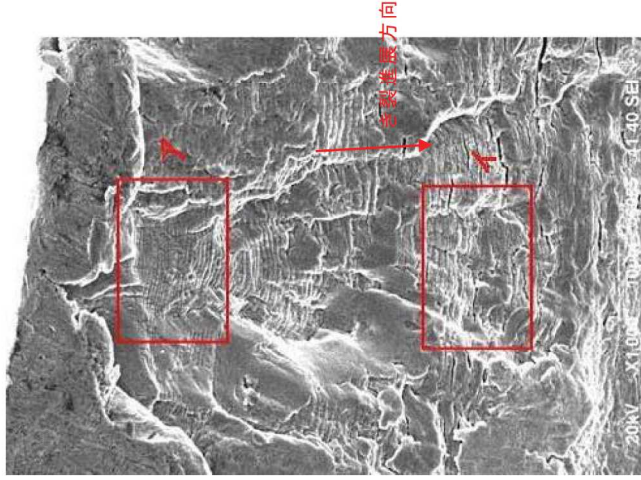


破片No. 1 山4側外観



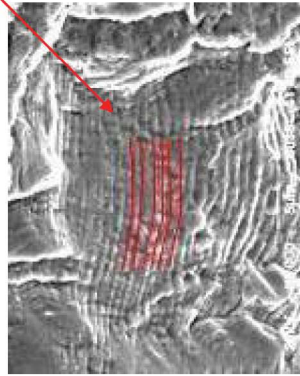
I 部観察位置

I 部観察位置



I 部観察位置

ストライエーション状模様



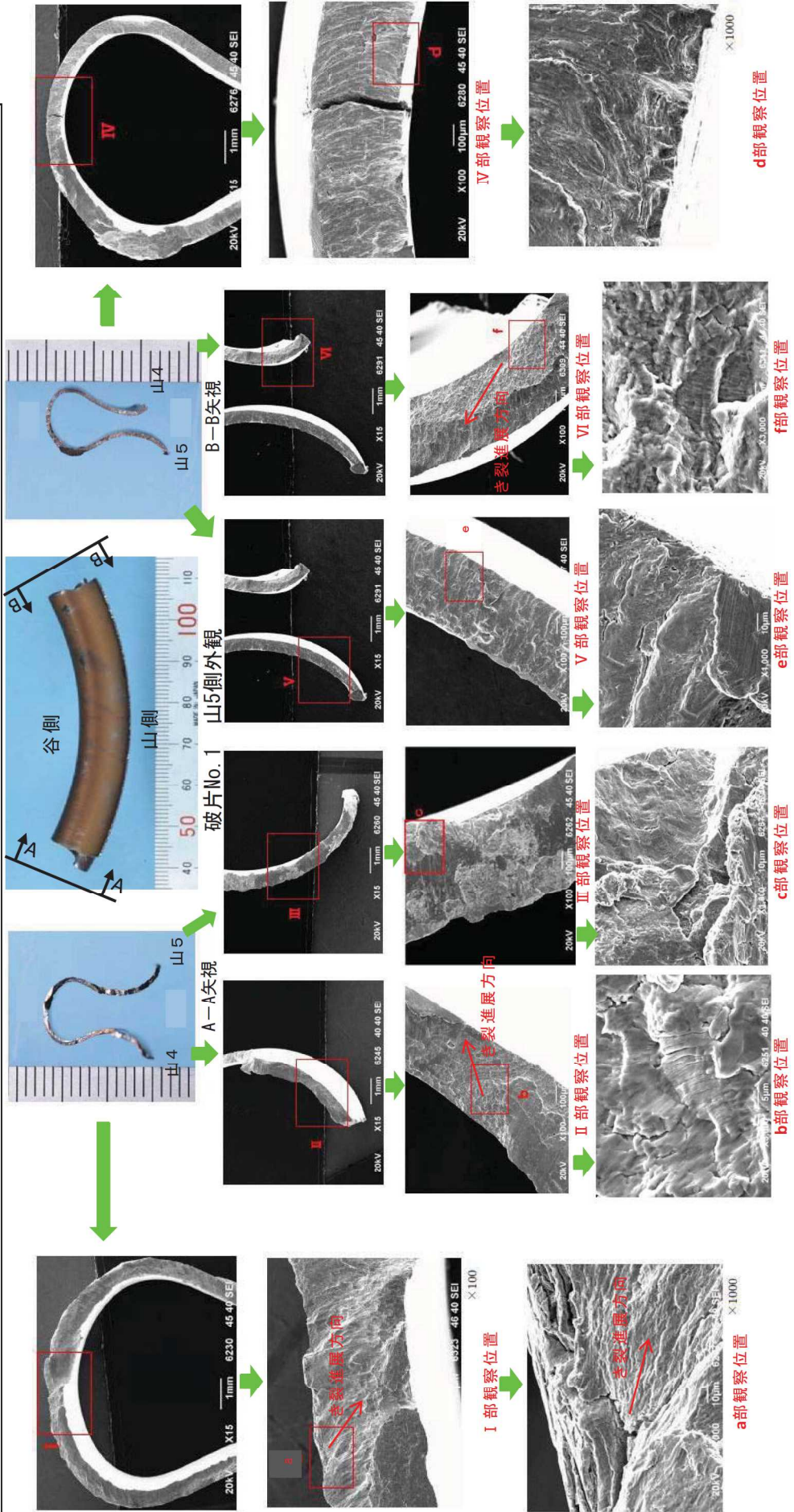
I 部観察位置

I 部観察位置

破面観察結果 (走査型電子顕微鏡観察) <破片No. 1軸方向>

<破片No. 1 (軸方向) 観察結果まとめ>

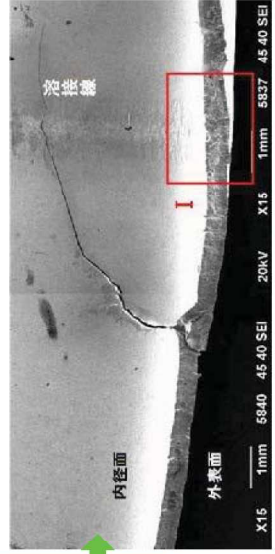
- ・破面の損傷が著しいが、軸方向の破面からは4山目から5山目 (上流から下流) 方向に向かうき裂の進行方向を観察した。
- ・ストライエーション状模様を観察し、軸方向のき裂においても疲労き裂を観察した。



破面観察結果（走査型電子顕微鏡観察）＜破片No. 5円周方向＞

＜破片No. 5円周方向観察結果まとめ＞

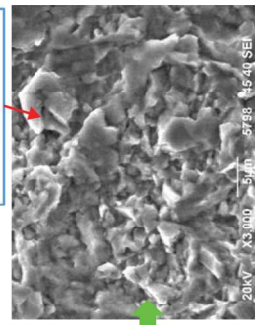
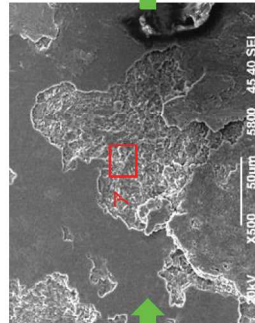
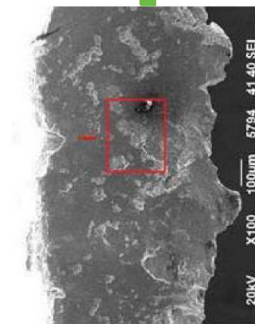
- ・ストライエーション状模様を観察した。
- ・通常の溶接組織で観察できる，溶接時の凝固時の結晶粒と考えられる模様を観察した。



破片No. 5 山7側外観

破面のつぶれ

ストライエーション状模様



I 部観察位置

I 部観察位置

I 部観察位置

I 部観察位置

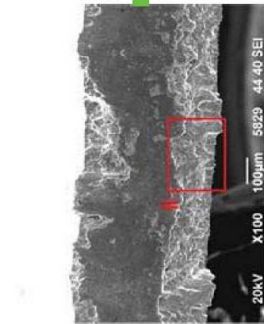
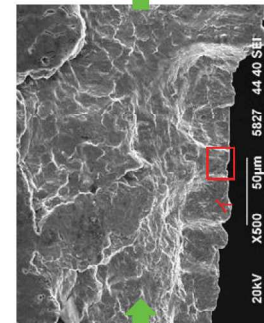
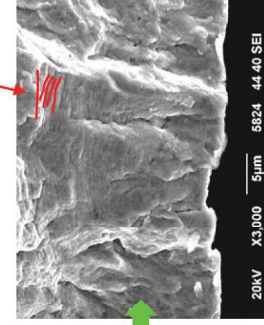
II 部観察位置

II 部観察位置

I 部観察位置

I 部観察位置

I 部観察位置



I 部観察位置

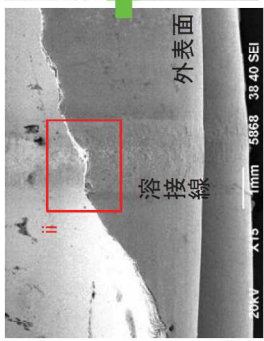
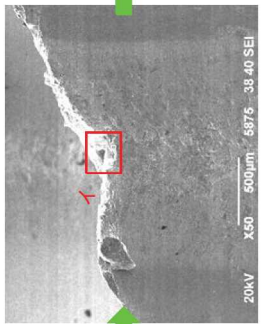
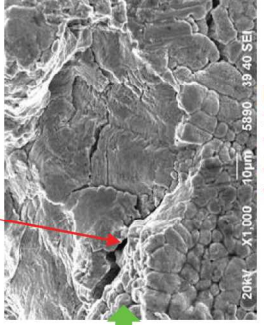
II 部観察位置

II 部観察位置

I 部観察位置

II 部観察位置

I 部溶接線側面より観察



I 部観察位置

II 部観察位置

I 部溶接線側面より観察

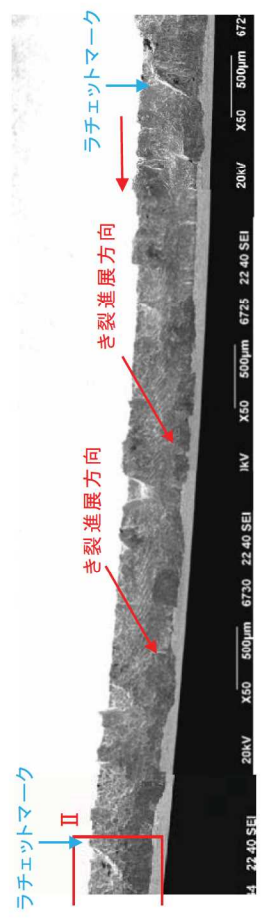
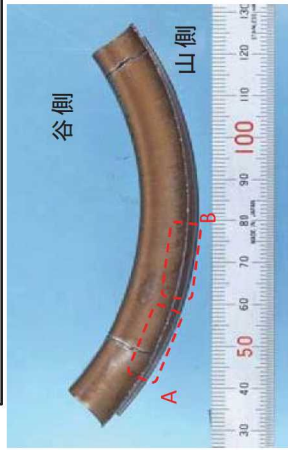
I 部観察位置

II 部観察位置

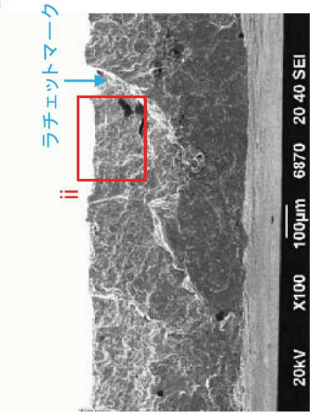
II 部観察位置

破面観察結果（走査型電子顕微鏡観察）＜切出し片A円周方向＞

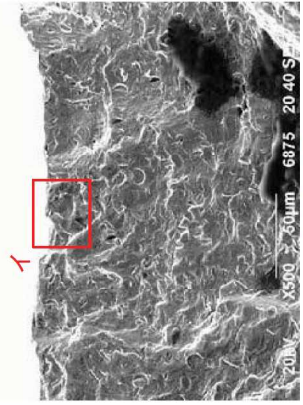
＜切出し片A（円周方向）観察結果まとめ＞
 ・ラチェットマークを確認した。
 ・ストライエイション状模様を観察した。



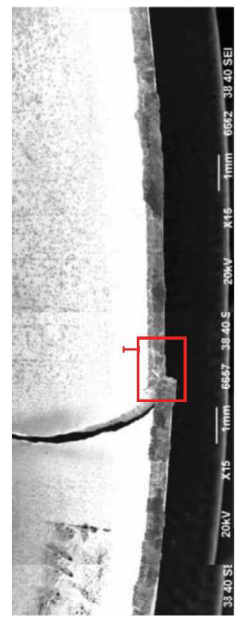
B部観察位置



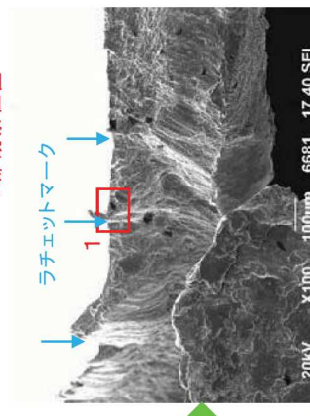
II部観察位置



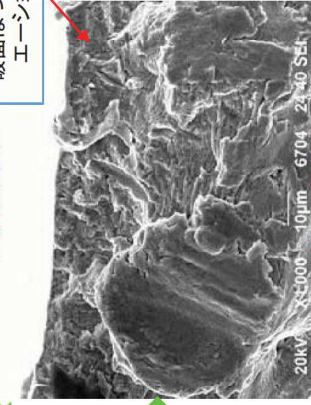
II部観察位置



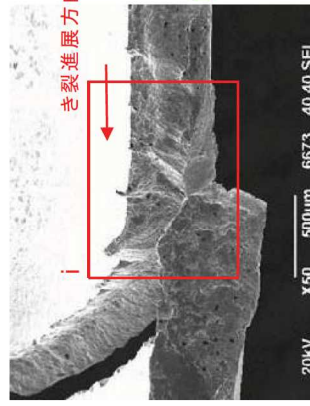
A部観察位置



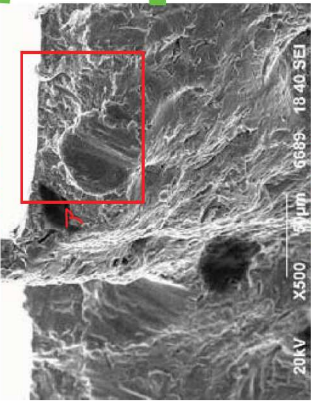
I部観察位置



I部観察位置

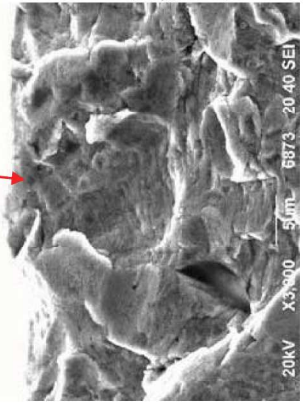


I部観察位置



I部観察位置

破面はつぶれているが、ストライエイション状模様を確認した



I部観察位置

添付資料18 (9/9)
別紙2 (5/5)

D/G 排気管伸縮継手の外観確認結果

1. 目的

当該排気管伸縮継手の原因調査において、ベローズに打痕を確認したため、同型機関である 5 号機 D/G(A), (B), (C)の排気管伸縮継手に打痕がないことを確認する。

2. 確認方法

排気管伸縮継手の保温材を取外した状態において、外観目視点検により打痕の有無を確認する。狭隘部については、手鏡及びライトを用いて確認を行う。

また、打痕を確認した箇所については、直尺を用いて寸法測定を行い、浸透探傷検査により、き裂・割れの有無を確認する。

3. 確認結果

表 19-1 のとおり、5 個の排気管伸縮継手に打痕を確認した。(平成 30 年 7 月 18 日)

また、打痕を確認した箇所の浸透探傷検査の結果、5 個の排気管伸縮継手のうち、4 個に打痕による円形状の指示模様を確認したが、き裂・割れとなる線状の指示は確認されなかった。

表 19-1 打痕確認箇所

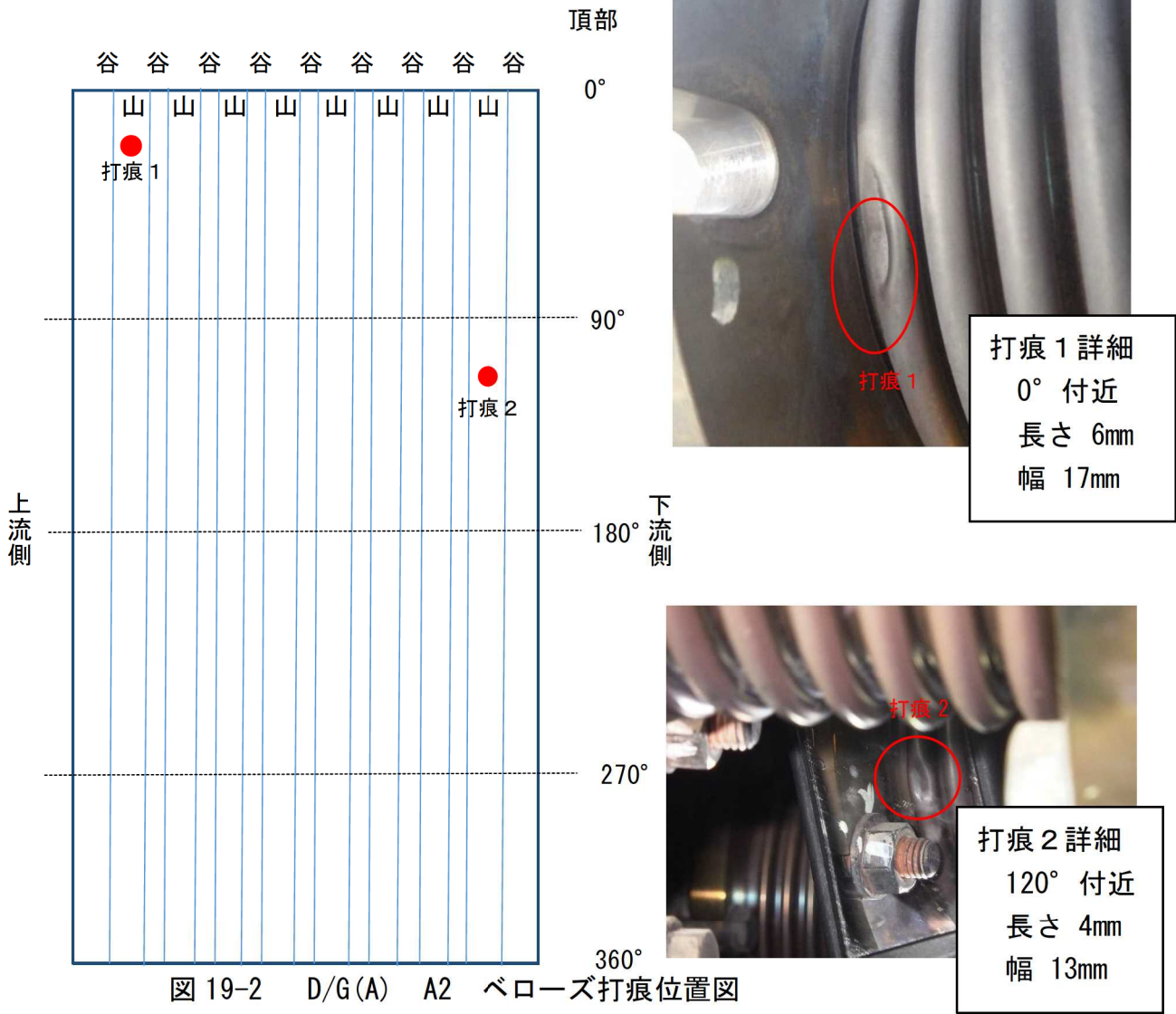
対象号機	打痕を確認した伸縮継手	備考
D/G(A)	A2	図 19-2 参照
	A7	図 19-3 参照
D/G(B)	A12	図 19-4 参照
	B5	図 19-5 参照
	B12	図 19-6 参照
D/G(C)	なし	-

4. 打痕を確認した排気管伸縮継手に対する処置

打痕を確認した箇所にき裂・割れは確認されなかったものの、今後、当該排気管伸縮継手と同様に打痕を起点として破損する可能性があることから、打痕を確認した排気管伸縮継手については、新品への取替えを実施した。



図 19-1 排気管伸縮継手概略図



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。

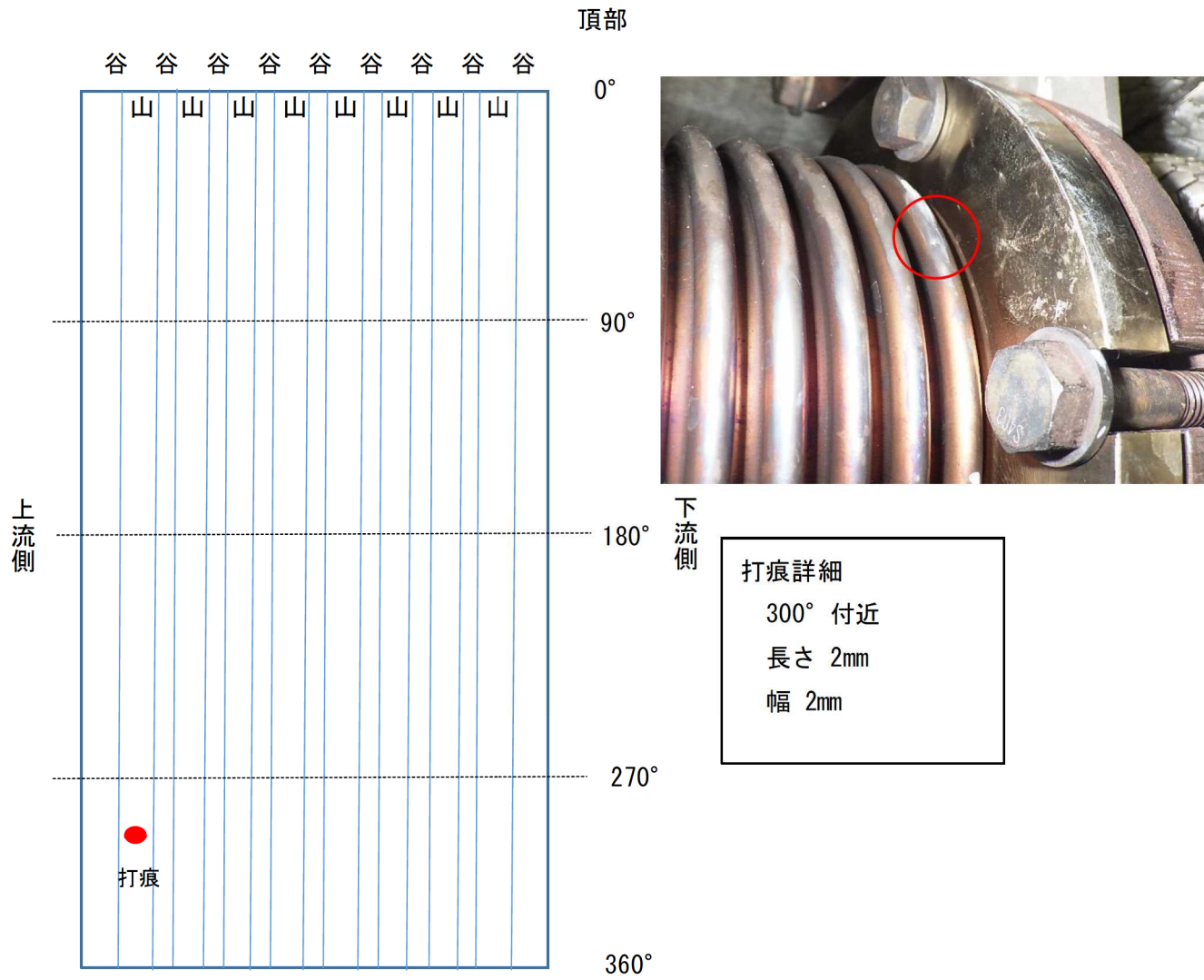


図 19-3 D/G(B) A7 ベローズ打痕位置図

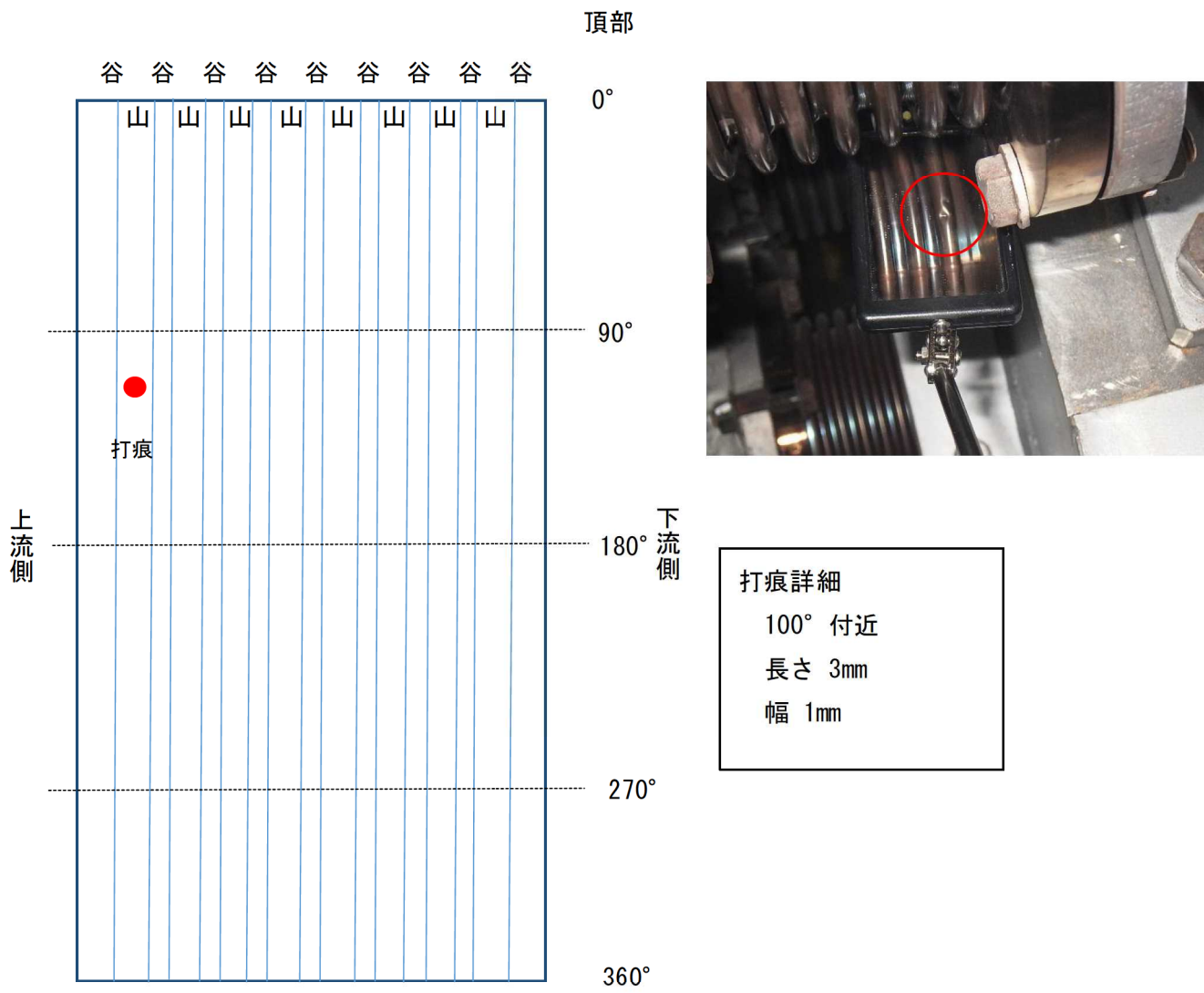


図 19-4 D/G(B) A12 ベローズ打痕位置図

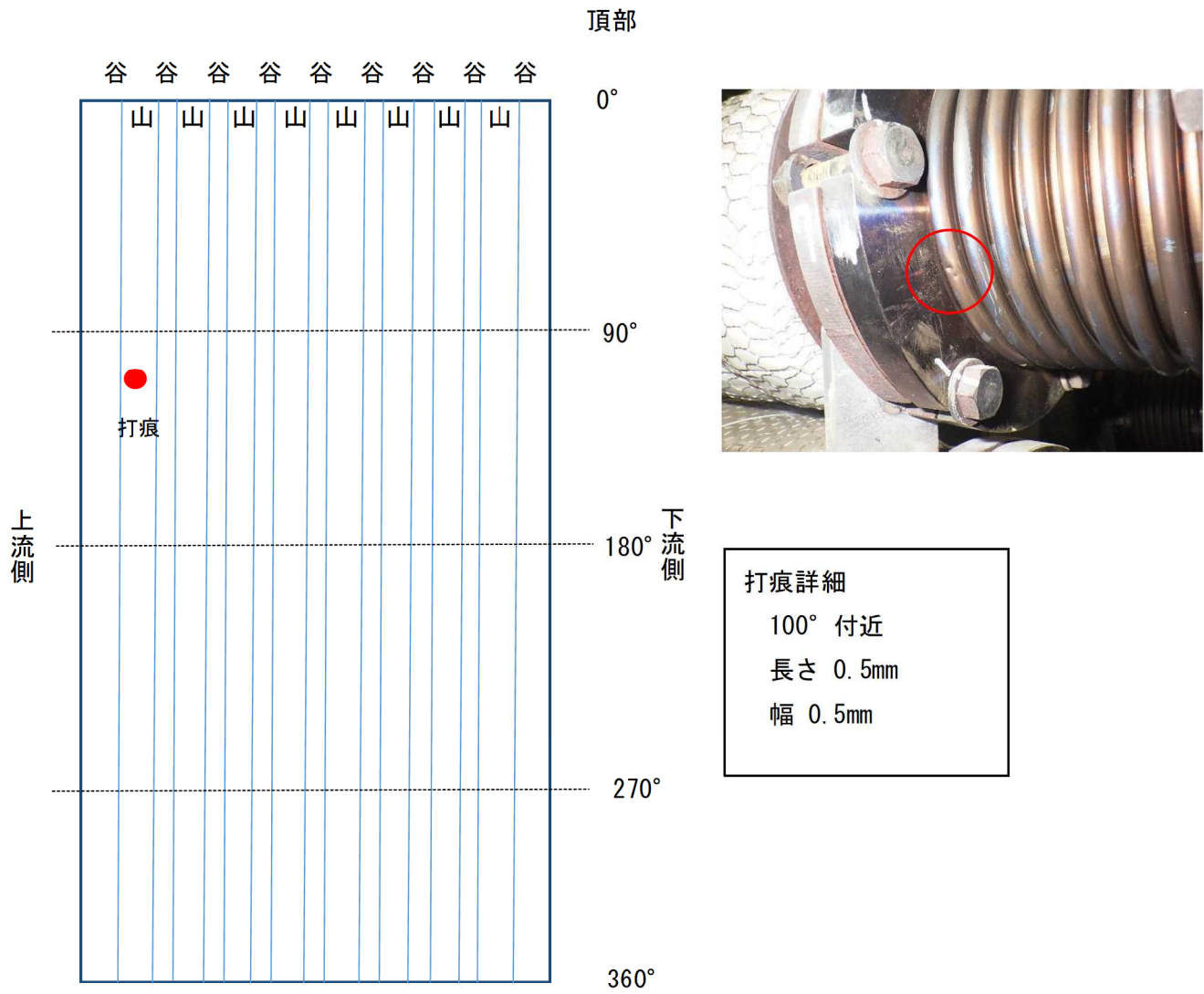


図 19-5 D/G(B) B5 ベローズ打痕位置図

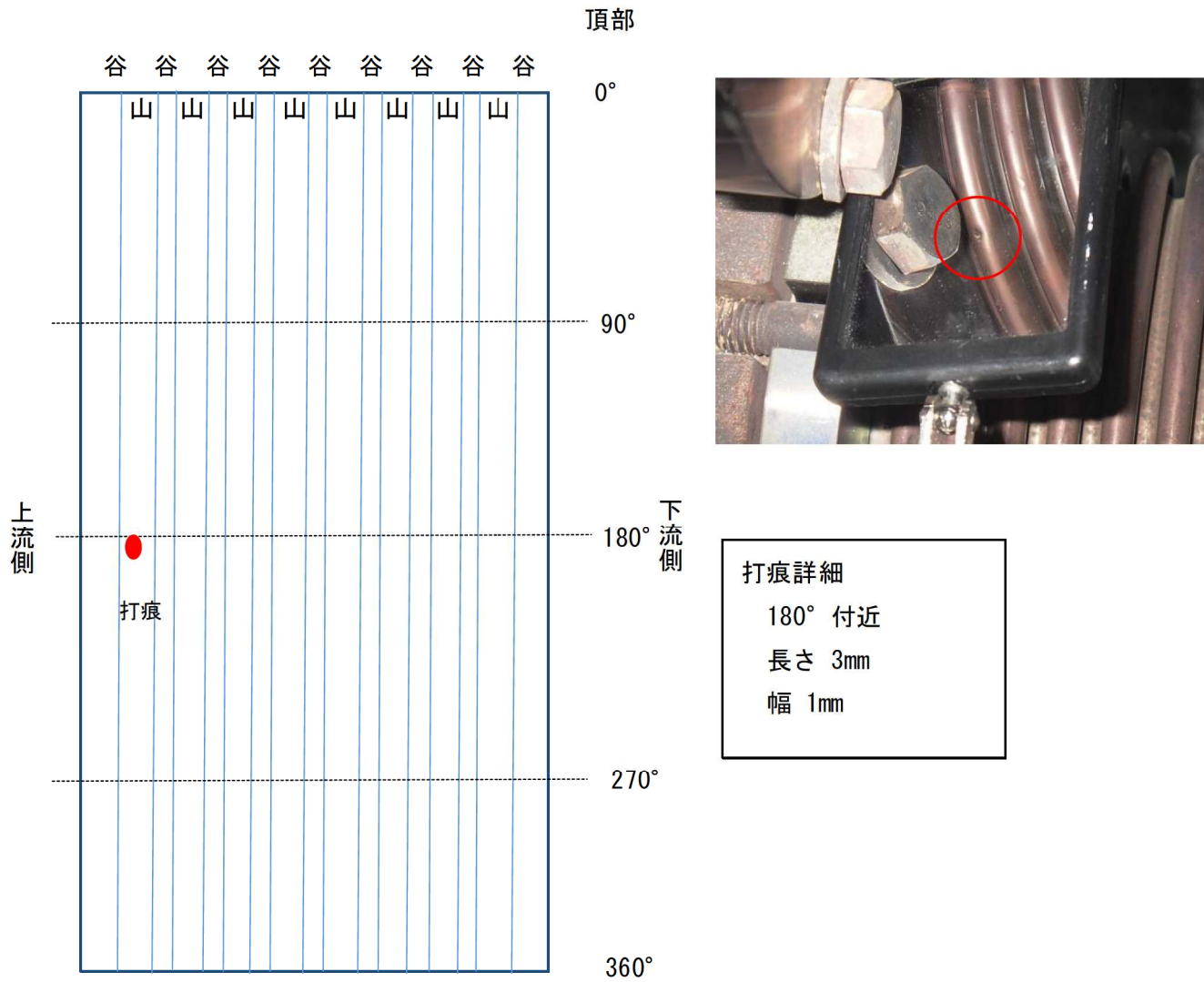


図 19-6 D/G(B) B12 ベローズ打痕位置図

以上

区分	区分	内容	仕様	備考
構造	基礎	基礎	基礎	基礎
	柱	柱	柱	柱
躯体	壁	壁	壁	壁
	床	床	床	床
設備	電気	電気	電気	電気
	水道	水道	水道	水道
その他	その他	その他	その他	その他
	その他	その他	その他	その他

添付資料20

要因分析図

【特記】凡例：○：要約図面を参照してください。△：要約図面を参照してください。×：要約図面を参照してください。○：要約図面を参照してください。△：要約図面を参照してください。×：要約図面を参照してください。

要因調査結果及び評価 (設計検証プロセス)

【要因】	設計－強度不足－設計不良－構造強度の設計不良	
	設計的に強度が不足する場合又は過去のベローズ不具合事例の対策が行われていない場合、ベローズが破損する可能性がある。	
【調査方法】	ディーゼル機関メーカー及び排気管伸縮継手メーカーにおける排気管伸縮継手の不具合事例に対する設計変更及び設計検証履歴を確認する。	
【調査結果】	<p>排気管伸縮継手の設計に係る不具合事例は、ディーゼル機関メーカーから排気管伸縮継手メーカーへ情報提供される。排気管伸縮継手メーカーが対策の検討を行い、設計変更及び設計検証が行われ、ディーゼル機関メーカーへ報告されるプロセスが確立していることをディーゼル機関メーカー、排気管伸縮継手メーカーへの聞き取り及び工場立入により確認した。</p> <p>当社において平成 19 年に発生した排気管伸縮継手の破損事例について、ISO9001 に基づく品質保証プロセスに従い破損対策を検討し、設計変更が行われ、図面（図 21-2）が改訂され、ディーゼル機関メーカーへ設計変更が共有されていることを確認した。</p> <p>また、ディーゼル機関メーカーで把握する同種の排気管伸縮継手の一般産業における不具合 は、設計に係るものではないことを確認した。</p>	
【評価】	×	不具合事例の報告を受けて設計変更が行われるプロセスが確立されており、過去に破損事例を受けた対策として設計変更が適切に実施されていることから、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

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。

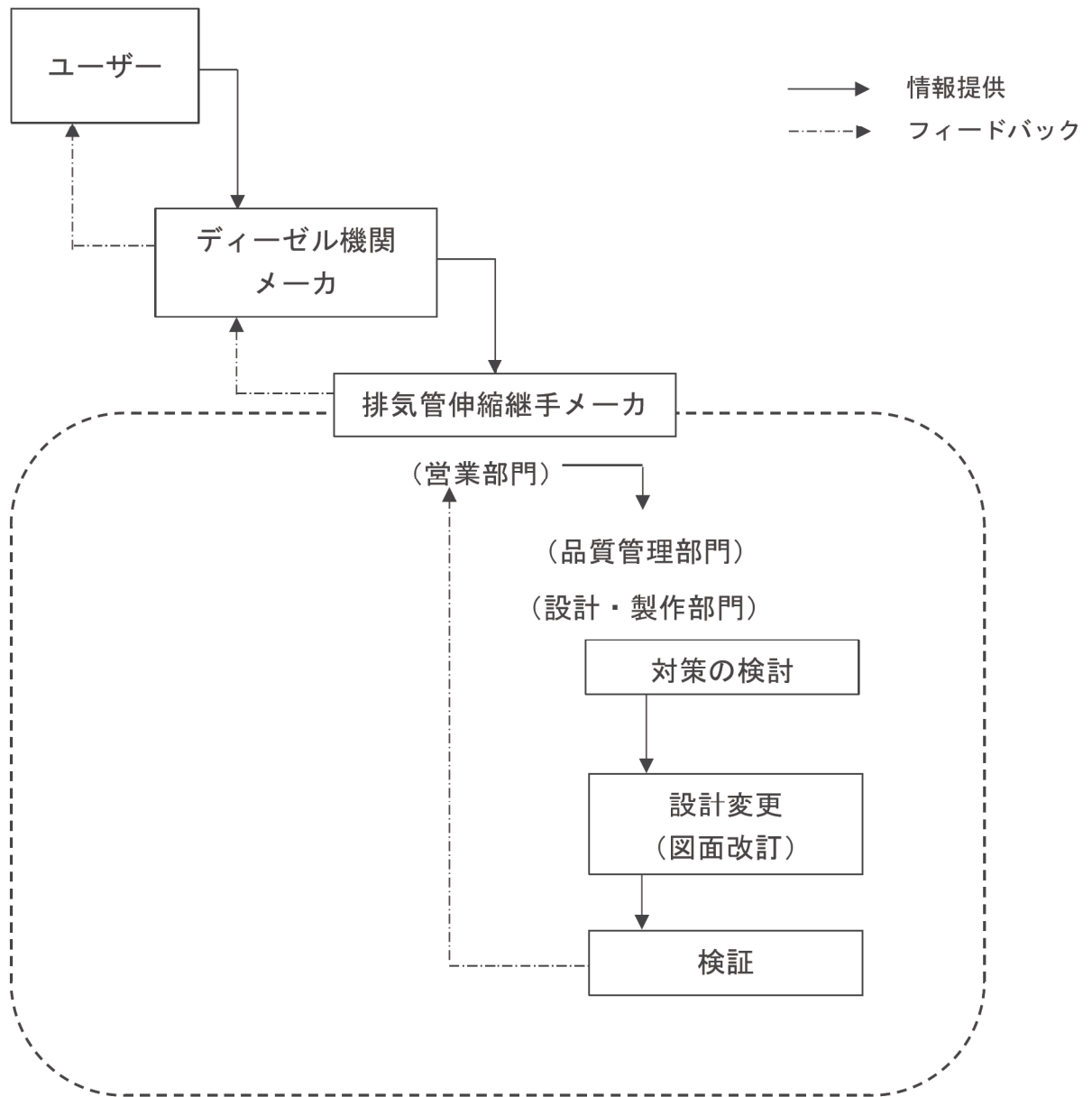


図 21-1 不具合事例反映プロセス図

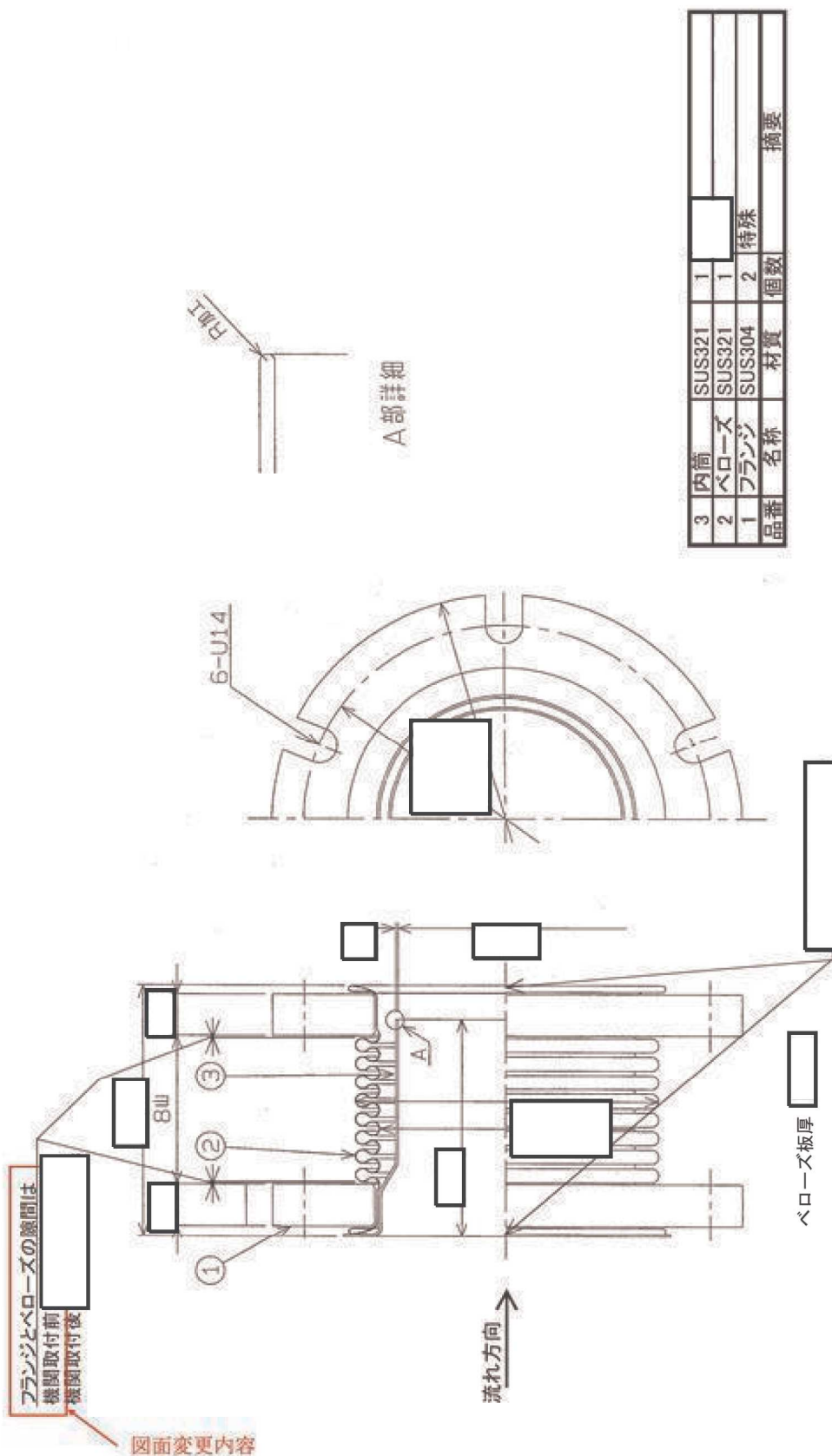


図 21-2 非常用ディーゼル機関 排気伸縮継手構造図

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
(ベローズの設計要件)

【要因】	<p>設計—強度不足—設計不良—構造強度の設計不良</p> <p>設計的に強度が不足する場合又は過去のベローズ不具合事例の対策が行われていない場合、ベローズが破損する可能性がある。</p>														
【調査方法】	<p>設計上の構造強度の妥当性を確認するため、ベローズを含む排気管伸縮継手の設計要件が D/G の設計要件と合致していること及び実環境を想定して規定されていることを確認する。</p>														
【調査結果】	<p>排気管伸縮継手の設計要件を表 22-1 に示す。</p> <p>表 22-1 排気管伸縮継手設計要件</p> <table border="1" data-bbox="525 880 1268 1516"> <thead> <tr> <th>設計要目</th> <th>設計要件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① 材質</td> <td>ベローズ : SUS321 内筒 : SUS321 フランジ : SUS304</td> </tr> <tr> <td>② 寸法</td> <td>製作全長 : <input type="text"/> 取付全長 : <input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>③ 使用流体</td> <td>排気ガス</td> </tr> <tr> <td>④ 圧力</td> <td rowspan="5"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>⑤ 温度</td> </tr> <tr> <td>⑥ 軸方向変位</td> </tr> <tr> <td>⑦ 軸直角方向変位</td> </tr> <tr> <td>⑧ 繰返し寿命回数</td> </tr> </tbody> </table> <p>排気管伸縮継手の設計要件について、以下のとおり D/G の設計要件と合致していること及び実使用環境を考慮して規定されていることを確認した。</p> <p>① 材質 (SUS321)</p> <p>D/G 過給機入口排気温度の上限値は <input type="text"/> であるため、高温クリープ特性に優れる SUS321 を選定している。また、D/G(B) の定格運転時の機関排気ガス温度が約 <input type="text"/> であることを確認した。</p> <p>② 寸法</p>	設計要目	設計要件	① 材質	ベローズ : SUS321 内筒 : SUS321 フランジ : SUS304	② 寸法	製作全長 : <input type="text"/> 取付全長 : <input type="text"/>	③ 使用流体	排気ガス	④ 圧力	<input type="text"/>	⑤ 温度	⑥ 軸方向変位	⑦ 軸直角方向変位	⑧ 繰返し寿命回数
設計要目	設計要件														
① 材質	ベローズ : SUS321 内筒 : SUS321 フランジ : SUS304														
② 寸法	製作全長 : <input type="text"/> 取付全長 : <input type="text"/>														
③ 使用流体	排気ガス														
④ 圧力	<input type="text"/>														
⑤ 温度															
⑥ 軸方向変位															
⑦ 軸直角方向変位															
⑧ 繰返し寿命回数															

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。

D/G の排気管伸縮継手取付け部面間寸法が [] であり排気管に取付け可能なことを確認した。また、D/G(B)において排気管伸縮継手取付け部面間寸法が 135.5～135.6mm であることを確認した。

③ 使用流体

D/G の設計要件で指示している使用流体は排気ガスである。また、D/G(B)において使用流体が排気ガスであることを確認した。

④ 圧力 []

D/G(B) の工場運転時の排気ガス圧力実測値は約 [] であることを確認した。

⑤ 温度 []

D/G 過給機入口排気温度の上限値は [] である。また、D/G(B) の定格運転時の機関排気ガス温度は約 [] であることを確認した。

⑥ 軸方向の変位量 []

D/G(B) にて排気管伸縮継手の変位量測定を実施した結果、変位量は約 7.8mm であることを確認した。

⑦ 軸直角方向の変位量 []

D/G(B) にて排気管伸縮継手の変位量測定を実施した結果、変位量は約 1mm であり、図 22-1 に示す熱変位量の許容値を満足していることを確認した。

⑧ 繰返し寿命回数 ([] 以上)

原子力発電所向けの D/G の発停回数は 20～40 回/年を想定していることから、繰返し寿命回数は [] 以上としている。排気管伸縮継手の厚さ等の仕様をもとに、排気管伸縮継手メーカー基準に基づき繰返し寿命回数を計算した結果、表 22-1 に示すとおり [] 以上を満足していることを確認した。当該計算では、JIS B 2352 ケログの梁理論と同様の応力算出を行い、一般的に採用されている EJMA[※] の式により繰返し寿命回数が算出されている。

また、5号機 D/G における起動回数は最大で D/G(A) の約 580 回であり、繰返し寿命回数に至っていない。

※：伸縮継手製造者協会（米）

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。

	Expansion Joint Manufacturers Association	
【評価】	×	ベローズを含む排気管伸縮継手の設計要件を確認した結果、D/G の設計要件と合致していること及び実使用環境に対して十分余裕を考慮して規定されていることから、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

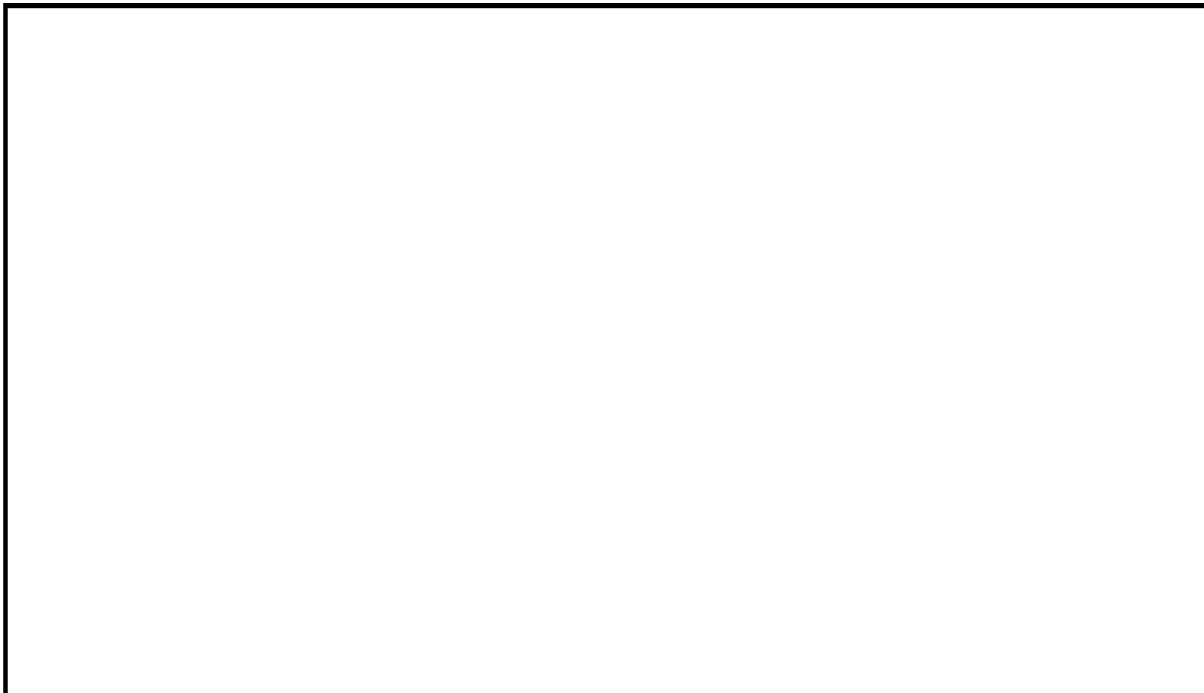


図 22-1 フランジの軸方向-軸直角方向熱変位量の許容値

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。

表 22-1 排気伸縮継手・強度計算書シート (1/2)

仕 様	口径		(A)		ペローズ仕様								
	流体		(P)		(kgf/cm ²)				内径	id	(mm)		
	圧力				(°C)				外径	od	(mm)		
	温度				(+X)				(mm)	平均径	dp	(mm)	
	変 位 量				軸方向				(-X)	(mm)	ピッチ	q	(mm)
					軸直角方向				(+Y)	(mm)	山高	w	(mm)
									(-Y)	(mm)	山数	N	
					角変位				(θ)	(°)	有効長	L	(mm)
	ペローズ材料規格				JISG4305					板厚	t	(mm)	
	材質				SUS321					層数	n		
	ヤング率				(E)				(kgf/mm ²)	円弧部半径	R	(mm)	
										形状係数	C		
	強 度 計 算												

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。

表 22-1 排気伸縮継手・強度計算書シート (2/2)

仕 様	口径		(A)		ベローズ仕様							
	流体				内径				id	(mm)		
	圧力		(P)		(kgf/cm ²)				外径	od	(mm)	
	温度				(°C)				平均径	dp	(mm)	
	変 位 量		軸方向		(+X)				(mm)	ピッチ	q	(mm)
					(-X)				(mm)	山高	w	(mm)
			軸直角方向		(+Y)				(mm)	山数	N	
					(-Y)				(mm)	有効長	L	(mm)
	角変位		(θ)		(°)				板厚	t	(mm)	
	ベローズ材料規格				JISG4305					層数	n	
	材質				SUS321					円弧部半径	R	(mm)
	ヤング率		(E)		(kgf/mm ²)					形状係数	C	
強 度 計 算												

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
(使用材料特性)

【要因】	<p style="text-align: center;">設計—強度不足—設計不良—構造強度の設計不良</p> <p>設計的に強度が不足する場合又は過去のベローズ不具合事例の対策が行われていない場合、ベローズが破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>ベローズの想定使用温度条件に適した材料を選定していることを確認する。</p>	
【調査結果】	<p>ベローズの想定使用温度条件（最高使用温度：<input type="text"/>）において、SUS304等の通常のオーステナイトステンレス鋼を長時間使用すると粒界腐食感受性が高くなる。そのため、Ti（チタン）の添加により、材料の鋭敏化を防ぎ、高温クリープ特性に優れた SUS321（400～900℃の腐食条件で使われる高温用の溶接構造品）を選定している。</p>	
【評価】	×	<p>ベローズの想定使用温度条件に適した材料（SUS321）を選定しているため、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。

要因調査結果及び評価
(材質)

【要因】	製作—強度不足—材料不良—機械的性質及び化学成分不良																																											
	材料不良が生じた場合、ベローズが破損する可能性がある。																																											
【調査方法】	ベローズの材質が、設計で規定した材質の JIS 規格値を満足していることを調達時の試験検査記録により確認する。																																											
【調査結果】	<p>試験検査記録を確認した結果、ベローズの材質は設計どおり SUS321 であることを確認した。また、機械的性質及び化学成分は、下表に示すとおり、それぞれ JIS G4305 2012 の SUS321 の規格値を満足していることを確認した。</p> <p style="text-align: center;">表 24-1 機械的性質</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 15%;">耐力 N/mm² (kg/mm²)</th> <th style="width: 15%;">引張強さ N/mm² (kg/mm²)</th> <th style="width: 15%;">伸び %</th> <th style="width: 15%;">硬さ HV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JIS G 4305 2012 SUS321</td> <td>205 以上</td> <td>520 以上</td> <td>40 以上</td> <td>200 以下</td> </tr> <tr> <td>ミルシート</td> <td>235 (24)</td> <td>588 (60)</td> <td>63</td> <td>156</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表 24-2 化学成分 (%)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 7%;">C</th> <th style="width: 7%;">Si</th> <th style="width: 7%;">Mn</th> <th style="width: 7%;">P</th> <th style="width: 7%;">S</th> <th style="width: 7%;">Ni</th> <th style="width: 7%;">Cr</th> <th style="width: 7%;">Ti</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JIS G 4305 2012 SUS321</td> <td>0.08 以下</td> <td>1.00 以下</td> <td>2.00 以下</td> <td>0.045 以下</td> <td>0.030 以下</td> <td>9.00 ~ 13.00</td> <td>17.00 ~ 19.00</td> <td>5×C 以上</td> </tr> <tr> <td>ミルシート</td> <td>0.039</td> <td>0.41</td> <td>1.49</td> <td>0.026</td> <td>0.007</td> <td>9.10</td> <td>17.40</td> <td>0.34</td> </tr> </tbody> </table>			耐力 N/mm ² (kg/mm ²)	引張強さ N/mm ² (kg/mm ²)	伸び %	硬さ HV	JIS G 4305 2012 SUS321	205 以上	520 以上	40 以上	200 以下	ミルシート	235 (24)	588 (60)	63	156		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	JIS G 4305 2012 SUS321	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00 ~ 13.00	17.00 ~ 19.00	5×C 以上	ミルシート	0.039	0.41	1.49	0.026	0.007	9.10	17.40	0.34
		耐力 N/mm ² (kg/mm ²)	引張強さ N/mm ² (kg/mm ²)	伸び %	硬さ HV																																							
JIS G 4305 2012 SUS321	205 以上	520 以上	40 以上	200 以下																																								
ミルシート	235 (24)	588 (60)	63	156																																								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti																																				
JIS G 4305 2012 SUS321	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	9.00 ~ 13.00	17.00 ~ 19.00	5×C 以上																																				
ミルシート	0.039	0.41	1.49	0.026	0.007	9.10	17.40	0.34																																				
【評価】	×	ベローズの材質は設計で規定した材質 SUS321 の JIS 規格値を満足していることから、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

当該排気管伸縮継手のベローズ破片の材料成分分析結果

1. 目的

排気管伸縮継手のベローズに使用する材料は SUS321 とディーゼル機関メーカーの設計要件に定まっており、排気管伸縮継手メーカーは、素材の受け入れ検査時にミルシート確認によって、排気管伸縮継手に使用する材料が SUS321 であることを記録確認している。

ここでは、当該排気管伸縮継手に使用された材料が SUS321 であることを実物で確認するため、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) によって破片の成分分析を実施する。

2. 調査方法・範囲

当該排気管伸縮継手のベローズの、図 25-1 に示す位置から、ベローズ中央部の破片 No. 1 と溶接部を含む破片 No. 4 について分析用試料を採取し、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) を実施した。

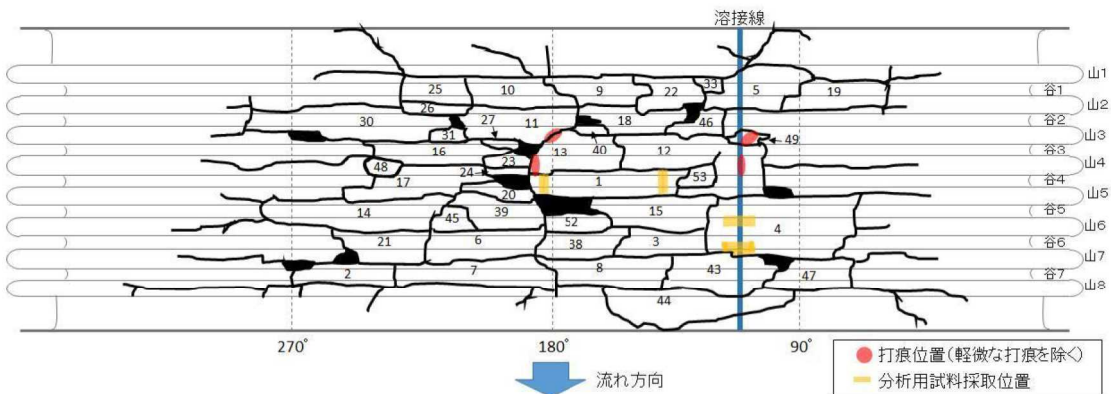


図 25-1 分析用試料採取位置

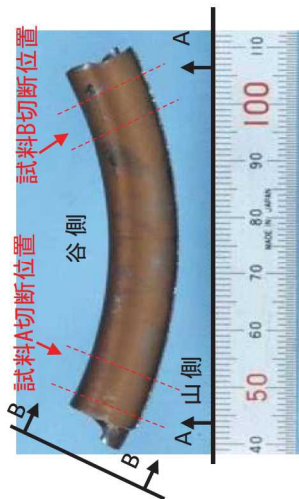
3. 成分分析結果

成分分析の結果を別紙 1 に示す。分析結果は SUS321 の JIS 規定値を満足していることを確認した。

以上

成分分析の結果 (EDX) <破片No. 1 / 破片No. 4 >

<成分分析の結果のまとめ>
成分分析の結果は、SUS321の規定値 (JIS) を満足している。



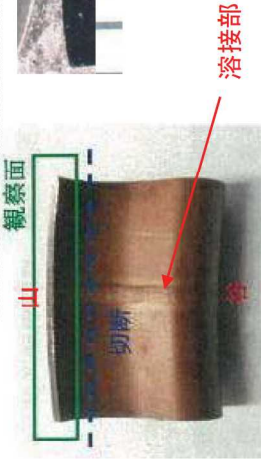
破片No. 1 山5側外観



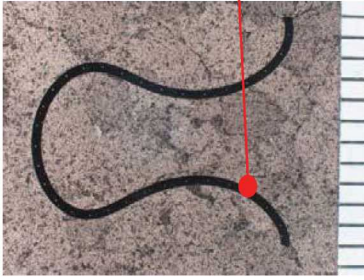
破片No. 4 外表面



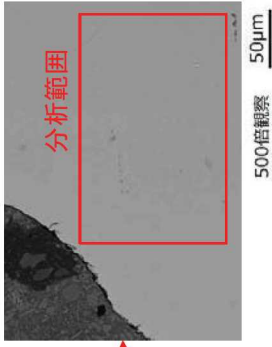
A-A矢視



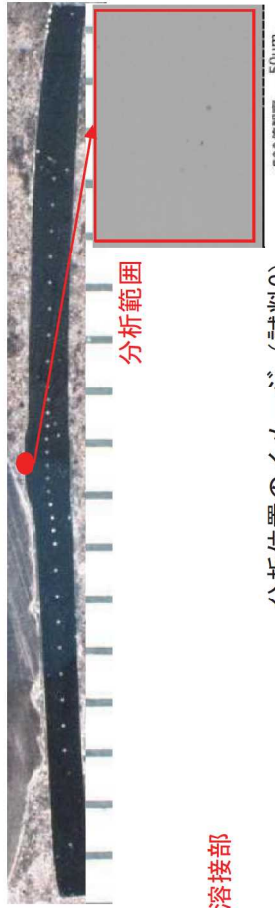
試料C (B-B矢視)



試料A (B-B矢視)



分析位置のイメージ (試料A)



分析位置のイメージ (試料C)

成分分析結果

	Cr	Ni	Ti	C	Si	Mn	P	S
破片No. 1 試料A	17.7	9.2	0.3	-	0.6	1.8	-	-
破片No. 1 試料B	17.9	9.0	0.4	-	0.6	1.8	-	-
破片No. 4 試料C	17.9	9.2	0.3	-	0.6	1.8	-	-
SUS321 (JIS)	17.00~19.00	9.00~13.00	5×C%以上	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.045以下	0.030以下

(単位 wt.%)

※「-」は検出限界以下

要因調査結果及び評価
(排気管伸縮継手製作時の試験検査)

【要因】	<p style="text-align: center;">製作—強度不足—製作不良—許容応力</p> <p>排気管伸縮継手の製作不良が生じた場合、許容応力を超え、ベローズが破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p>排気管伸縮継手メーカーの試験検査記録の確認により、当該排気管伸縮継手の製作不良の有無を確認する。</p>	
【調査結果】	<p>当該排気管伸縮継手の試験検査記録（外観・寸法検査成績書、耐圧・漏えい試験成績表）により、判定基準を満足していることを確認した。（図 26-1～3）</p>	
【評価】	×	<p>製作時の試験検査結果が判定基準を満足していることから、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

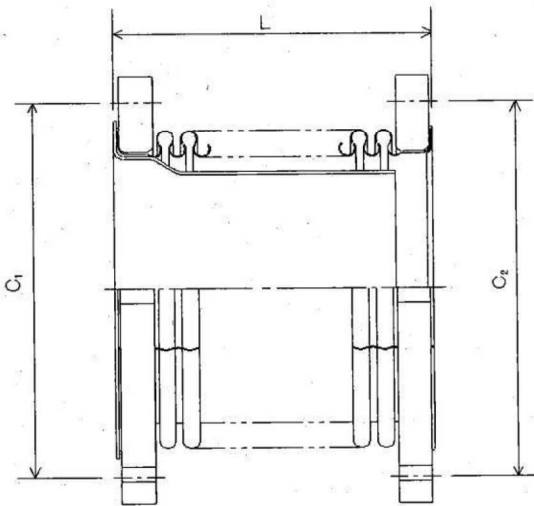
外観・寸法検査成績書			
発電所名	中部電力株式会社 浜岡原子力発電所第5号機 向		
設備名	ディーゼル発電機設備	品名	排気伸縮継手
検査年月日	平成20年8月11日	図面番号	<input style="width: 100%;" type="text"/>
製作手配No.	<input style="width: 100%;" type="text"/>	数量	<input style="width: 100%;" type="text"/>
			
(別紙、測定結果のとおり)			
判定 : 合格			

図 26-1 外観・寸法検査成績書 (1/3)

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。

(測定結果)					単位:mm	
測定箇所	フランジ面取付穴ピッチ		全長	ペローズ山数	外観検査	
	C ₁	C ₂	L	8山	・組立状況	・仕上げ状況
				—		
				—		
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
				8山		良
08-08-13	185.3	185.1	135	8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	
				8山	良	

図 26-1 外観・寸法検査成績書 (2/3)

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。

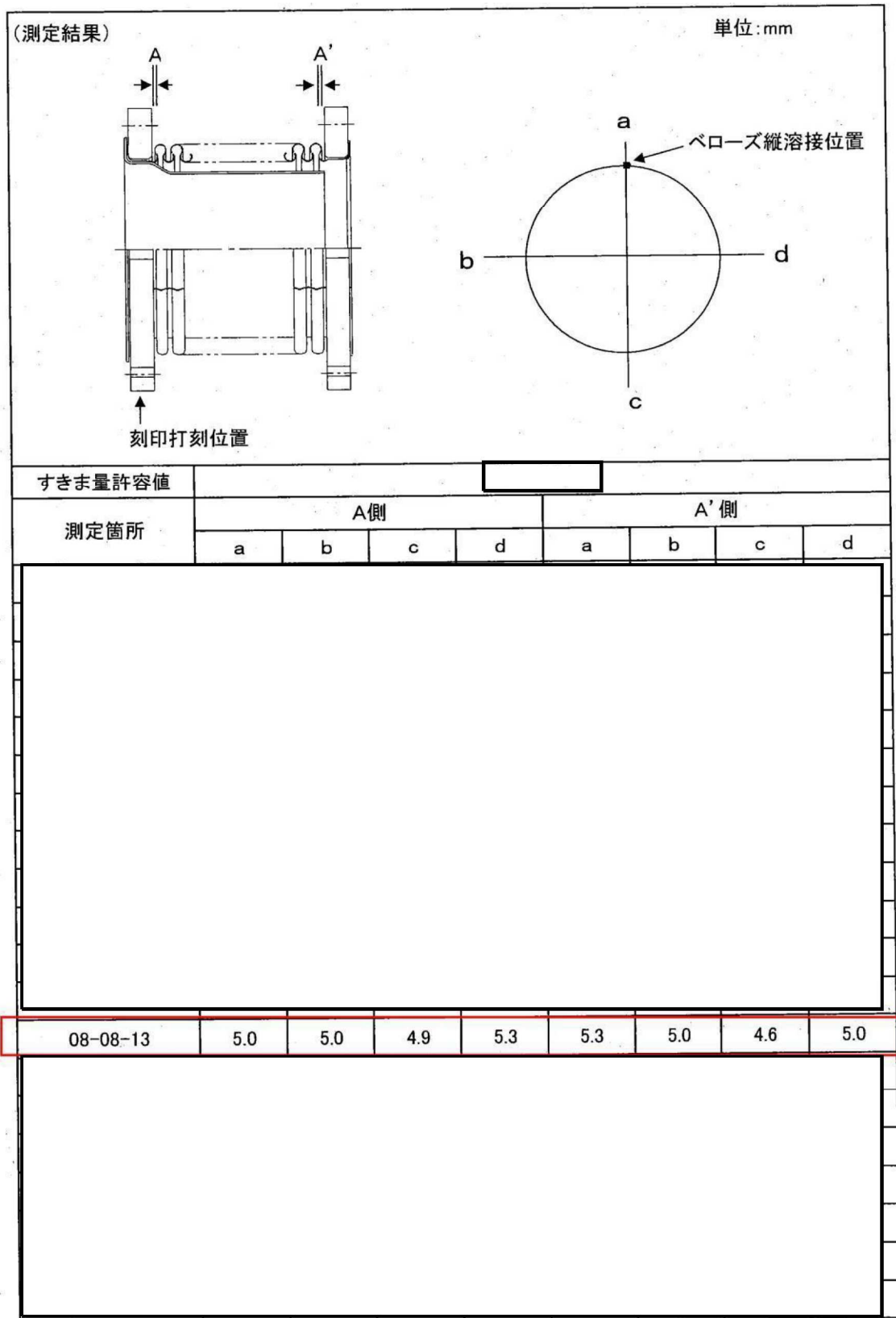


図 26-1 外観・寸法検査成績書 (3/3)

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。

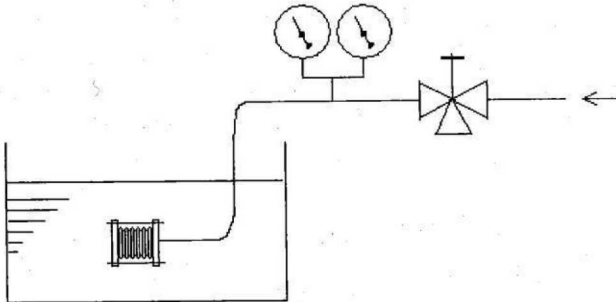
耐圧・漏えい試験成績表			
発電所名	中部電力株式会社 浜岡原子力発電所第5号機 向		
設備名	ディーゼル発電機設備	品名	排気伸縮継手
検査年月日	平成20年8月1日～8日	図面番号	
製作手配No.		数量	
1. 試験条件			
試験の種類	水圧 ・ 気密 ・ 水張り		
圧力計測定レンジ			
試験圧力			
保持時間	30分	液気温	24.5℃
圧力計番号	18-C55976	圧力計校正年月日	平成20年3月28日
	18-C55977		平成20年3月28日
2. 試験要領図			
			
3. 判定基準			
試験圧力に耐え、漏洩のないこと。			
4. 判定			
合格			

図 26-2 耐圧・漏えい試験成績表

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。

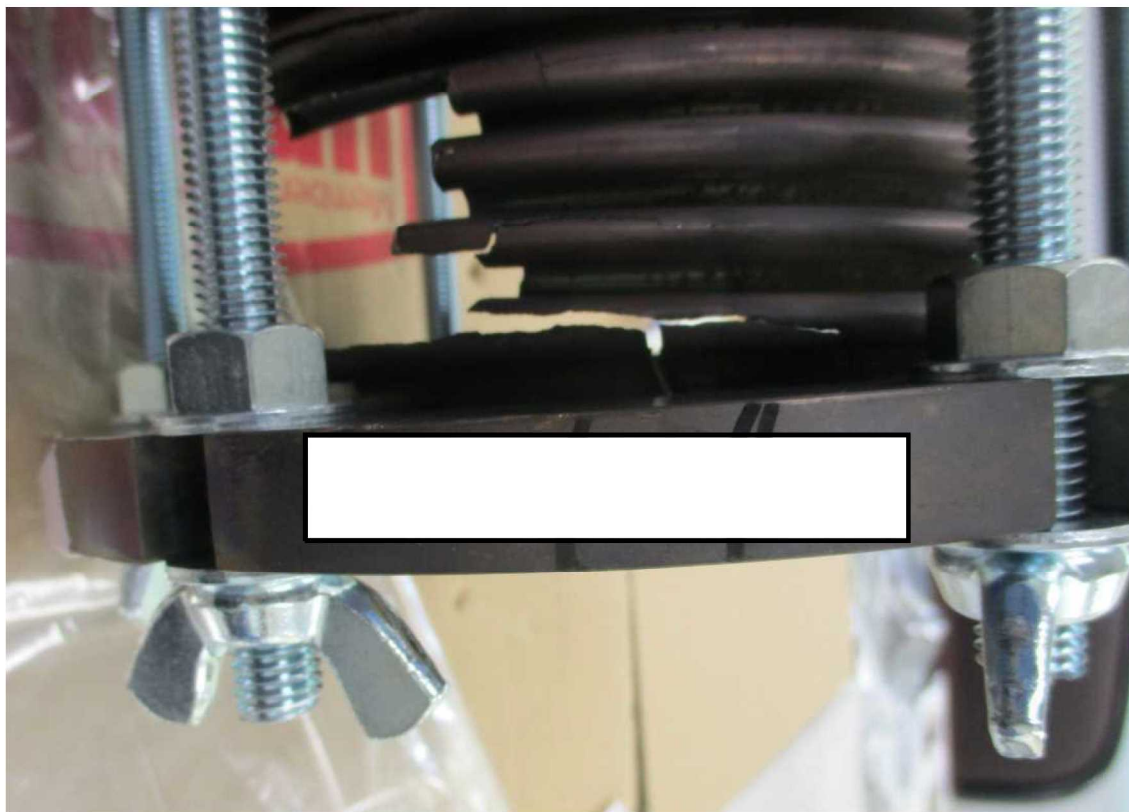


図 26-3 当該排気伸縮継手の刻印

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
(排気管伸縮継手の製作・組立工程)

【要因】	<p style="text-align: center;">製作—強度不足—製作不良—許容応力</p> <p style="text-align: center;">排気管伸縮継手の製作不良が生じた場合、許容応力を超え、ベローズが破損する可能性がある。</p>	
【調査方法】	<p style="text-align: center;">当該排気管伸縮継手に対して排気管伸縮継手メーカーの社内規程に定められた手順で製作・組立工程が行われていることを確認する。</p>	
【調査結果】	<p style="text-align: center;">排気管伸縮継手メーカーへの聞き取り及び工場立入により、排気管伸縮継手の製作・組立工程について以下のことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・社内規程に定められた手順（表 27-1）に従い作業を実施していること。 ・社内規程に定められた手順は、2007年に発生した5号機D/G(B)の排気管伸縮継手の破損に対する是正処置での変更（隙間量の変更）を除いて変更がないこと。 ・製作工程において、設備・作業者の変更がないこと。 	
【評価】	×	<p style="text-align: center;">排気管伸縮継手メーカーへの聞き取り及び工場立入の結果より、排気管伸縮継手メーカーでは社内規程に定められた手順に従い作業を実施しており、当該排気管伸縮継手の製作時から上記以外の手順の変更がないこと、設備・作業者の変更がないことを確認したため、当該排気管伸縮継手に対して社内規程に定められた手順に従い製作・組立されていたことから、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

表 27-1 ファブリケーションシーケンス (1/2)

ペローズ製作工程	検査・作業	識別・記録

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。

表 27-1 ファブリケーションシーケンス (2/2)

製品組立工程	検査・作業等	識別・記録

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
(溶接施工)

【要因】	<p>製作—強度不足—溶接不良—溶接施工不良</p> <p>ベローズの溶接が溶接施工要領に従い実施されていない場合、溶接欠陥が生じ、ベローズが破損する可能性がある。</p>
【調査方法】	<p>溶接要領及び施工・検査記録により、ベローズが溶接施工要領に従い適切な技量を有した溶接士により溶接施工されていることを確認する。</p>
【調査結果】	<p><溶接施工要領> 第三者機関に承認をうけた溶接プロセスに基づき作成した溶接施工要領を用いていることを排気管伸縮継手メーカーへの聞き取り及び工場立入により確認した。</p> <p><溶接施工> 溶接施工要領に従い実施していることを確認した。</p> <p><溶接施工記録> 母材：SUS321+SUS321 溶接方法：自動溶接 姿勢：<input type="text"/> 溶接棒：<input type="text"/> シールドガス：<input type="text"/> 電流：<input type="text"/></p> <p><溶接の検査> 溶接検査チェックシートにより、開先検査、開先合わせ検査、溶接検査、浸透探傷検査が実施されていることを確認した。また、ベローズ成型・組立後に耐圧試験を実施しており、判定基準を満足していることを確認した。</p> <p><技術者の技量> 溶接は日本海事協会のステンレス鋼の溶接士資格 (SUT N1F</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。

	<p>※) を有している者が実施していることを確認した。なお、浸透探傷検査は日本非破壊検査協会の非破壊試験技術者資格（浸透探傷試験・レベル 2）を有している者が実施していることを確認した。</p> <p>※ SUT N1F とは次の溶接が可能な条件である。 ステンレス鋼－ティグ溶接－裏当て金なし－厚さ 5mm まで－下向き</p>
<p>【評価】</p>	<p>×</p> <p>ベローズの溶接は溶接施工要領に従い、適切な技量を有した溶接士が実施しており、溶接後の検査においても判定基準を満足していることから、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

要因調査結果及び評価
(排気管伸縮継手フランジボルトの締付け)

【要因】	施工—外力—組立不良（フランジボルトの締付け不良） —過大応力の発生	
	フランジボルトの締付けが不足した場合、排気管伸縮継手取付け位置がずれることで過大な力が加わり破損する可能性がある。	
【調査方法】	当該排気管伸縮継手を取替えた際（平成 20 年）の工事要領書及び工事報告書、並びにディーゼル機関メーカー聞き取りにより、フランジボルトの締付け状況を確認する。	
【調査結果】	<p>当該排気管伸縮継手の締付け確認として、当該排気管伸縮継手取付け後のフランジの面間測定において規定範囲（最大・最小の差が ）に対して最大箇所で 0.5mm であり、均等に締付けられていること及びディーゼル機関メーカー実施の漏えい確認において異常がないことを確認した。</p> <p>なお、ディーゼル機関メーカーへの聞き取りの結果、工事要領書においてフランジボルトの締付け管理は面間測定及びトルク管理を行うと記載されているが、排気管伸縮継手の取付け部は狭隘部であり、構造上トルクレンチを使用した締付けが困難な箇所であることから、トルク管理は実施されていないことを確認した。</p> <p>また、当該排気管伸縮継手取外し前に締付け状況を確認したところ、当該排気管伸縮継手位置のずれはなく、フランジボルトの緩みがないことを確認した。また、当該排気管伸縮継手を取替えてから取外しを行っていないことを確認した。</p>	
【評価】	×	<p>当該排気管伸縮継手取替え時の締付け確認において異常がないこと、当該排気管伸縮継手取外し前にフランジボルトに緩みはなく適切に締付けられていたことから、要因ではない。</p> <p>なお、工事要領書に規定したとおりに施工されていなかったことについては、不適合管理を実施し是正処置を行う。</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。

[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
(組立時における打痕・傷)

	施工—外力—組立不良—組立時における打痕・傷	
【要因】	ベローズに打痕・傷が生じていた場合、当該部を起点として破損する可能性がある。	
【調査方法】	ベローズについて、目視による外観観察により、打痕・傷の有無を確認する。	
【調査結果】	ベローズの外観観察を実施した結果、打痕を 4 箇所確認した。外観観察結果は、添付資料 17 を参照。	
【評価】	△	ベローズに打痕を 4 箇所確認したことから、当該部を起点として当該排気管伸縮継手が破損した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

要因調査結果及び評価
(作業によるベローズへの接触)

<p style="text-align: center;">【要因】</p>	<p style="text-align: center;">施工—外力—組立不良—組立時における打痕・傷</p> <p style="text-align: center;">ベローズに打痕・傷が生じていた場合、当該部を起点として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取替え後(平成 20 年)以降の当該排気管伸縮継手の近傍における作業履歴を確認し、ベローズに打痕・傷を与える可能性のある作業を抽出する。</p> <p>また、通常時は当該排気管伸縮継手に保温材が取付けられており、ベローズへの接触による打痕・傷は付かないと考えられるため、当該排気管伸縮継手の保温材取外しの有無を確認し、ベローズに打痕・傷を与える可能性がないことを確認する。</p>	
<p style="text-align: center;">【調査結果】</p>	<p>当該排気管伸縮継手の取替え(平成 20 年)以降、ベローズに打痕・傷を与える可能性のある作業を抽出するために、当該排気管伸縮継手の近傍における作業及び当該排気管伸縮継手の点検作業を抽出した。その結果、平成 20 年の当該排気管伸縮継手取替え作業時に、打痕・傷を与える可能性があることを確認した。</p> <p>また、当該排気管伸縮継手取替え作業以降は保温材を取り外していないことを確認した。</p>	
<p style="text-align: center;">【評価】</p>	△	<p>平成 20 年の当該排気管伸縮継手取替え作業時に打痕・傷を与えた可能性があり、当該部を起点として当該排気管伸縮継手が破損した可能性は否定できない。</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