

伊方発電所第 2 号機
余熱除去系統ベント弁下流配管溶接部の
ほう酸析出事象について

平成 2 8 年 1 2 月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第2号機余熱除去系統ベント弁下流配管溶接部のほう酸析出事象について

2. 事象発生の日時

平成28年8月31日 15時00分頃

3. 事象発生の設備

2号機 余熱除去系統ベント弁下流配管

4. 事象発生時の運転状況

2号機 第23回定期検査中

5. 事象発生の状況

第23回定期検査中の伊方発電所第2号機の原子炉補助建家（管理区域内）において、余熱除去冷却器2A出口配管のベント弁の下流配管にほう酸と思われる付着物が認められたため、液体浸透探傷検査（以下、「PT」という。）^{※1}を実施したところ、8月31日15時頃、同配管の溶接部にひび割れがあることを保修員が確認した。

配管の付着物を分析した結果、付着物はほう酸であり、配管内のほう酸水が溶接部のひび割れからにじみ出て、乾燥したものと推定した。

この付着物の放射エネルギーは約7ベクレルで、にじみ出たほう酸水の量は付着物の重量から約10ミリリットルと推定した。

その後、ひび割れのあった当該配管を取り替え、11月22日、系統の水張りを行い、当該配管から漏えいがないことを確認し、通常状態に復帰した。

なお、本事象によるプラントへの影響および環境への放射能の影響はない。

※1：液体浸透探傷検査

材料表面に液体を塗布し、目視では確認できないような微細な傷を検出する検査

（添付資料—1）

6. 時系列

8月30日

16時00分頃

系統管理課員が余熱除去冷却器2A出口配管ベント弁下流側配管にほう酸と思われる付着物を発見
付着物は乾燥しており、継続した漏えいはなかった

8月31日

9時30分頃 保修員が現地確認

13時30分頃 非破壊検査（PT）作業開始

15時00分頃 保修員が当該箇所の溶接部に有意な指示（ひび割れ）を確認

11月14日～16日

当該配管の取替作業実施

11月22日

系統の水張りを行い、当該配管から漏えいがないことを確認し、通常状態に復帰

7. 現地状況調査

（1）外観調査

ほう酸と思われる付着物を除去し、外観確認した結果、ベント弁（2-18716）下流のアダプターと配管を接続している溶接部にひび割れのような筋が認められたため、PTを実施した結果、有意な指示を確認した。

（添付資料-2）

（2）付着物調査

ほう酸と思われる付着物の成分を分析した結果、付着物はほう酸であることを確認した。また、付着物の放射エネルギーについて測定した結果、約7ベクレルであり、にじみ出たほう酸水の量は付着物の重量から約10ミリリットルと推定した。

（3）その他調査

当該配管廻りの配管・弁および支持構造物について外観確認した結果、割れ、変形等は認められなかった。

また、至近では第23回定検中の系統の水張り時（平成24年2月）に当該配管を使用しているが、漏えいは確認されていない。これ以降、当該ベント弁は閉止されており、今回、漏えい確認の結果、弁からのシートリークは認められなかった。

以上のことから、本事象は、当該ベント弁下流配管内に残留していたほう酸水が現在のプラント長期停止期間中に生じた溶接部のひび割れよりにじみ出て、乾燥したものであると推定される。

8. 詳細調査

(1) P T 結果

当該部を切り出して外面からのP Tを実施した結果、有意な指示を確認し、ベント弁下流のアダプターと配管を接続している溶接部の $280^{\circ} \sim 100^{\circ}$ （ベント弁側からみてベント配管先端の曲がり方向を 0° 基準）に長さ約50mmのひび割れを確認した。

また、内面からP Tを実施した結果、内面に有意な指示は認められなかった。
(添付資料-3)

(2) 断面ミクロ観察結果

断面ミクロ観察の結果、ひび割れは、ソケット溶接部のルート部（アダプターと差し込まれた配管の隙間）を起点として、ほぼ枝分かれがなく内側から外側に向かって直線的に進展していることを確認した。

(添付資料-4)

(3) 破面マクロ観察結果

ひび割れの破面を露出し観察した結果、破面の一部に円弧上の疲労破面特有のビーチマーク（筋状痕跡）が認められた。

(添付資料-5)

(4) 破面SEM（走査型電子顕微鏡）観察結果

ひび割れの破面を高倍率で観察した結果、疲労破面特有のストライエーション（縞状模様）が確認された。

(添付資料-6)

(5) 硬度測定結果

硬度測定を実施した結果、配管、アダプターおよびひび割れ発生部近傍を含む溶接部の硬度について、特に異常な硬化はなく問題ないことを確認した。

(添付資料-7)

(6) EPMA（電子線マイクロアナライザー）^{※2}結果

EPMAによる成分分析を行った結果、配管、アダプターおよび溶接部においてステンレス鋼の成分以外で特異な成分は認められなかった。

※2：試料に電子線を照射し発生する各元素固有のX線（特性X線）を検出することで、試料を構成する元素の種類等を分析する装置

(添付資料-8)

(1)～(6)より、ひび割れは、ソケット溶接部のルート部（アダプターと差し込まれた配管の隙間）を起点とし、疲労損傷の特徴である枝分かれない直線的なき裂で溶接部内側から外側へ進展しており、疲労破面特有のストライエーションが認められることから、繰り返し応力による疲労割れであると推定される。

(7) 保守状況調査

当該配管は第18回定検（平成17年9月～平成18年3月）の1次系配管・弁修繕工事において取り替えを実施しており、溶接施工記録を調査した結果、問題ないことを確認した。

(8) 運転状況調査

余熱除去系統は、プラント起動・停止時における炉心の冷却やプラント運転中における余熱除去ポンプの定期試験（以下、「定期試験」という。）時に運転している。

ひび割れがプラント長期停止期間中に生じたと推定されることを踏まえ、プラント長期停止期間中における余熱除去系統の運転実績を確認したところ、定期試験時の通水系統がプラント運転中と異なることを確認した。

プラント運転中の定期試験では、少量通水（約 6m³/h）によりポンプの運転状況確認を行っている。

一方、プラント長期停止期間中においては、余熱除去ポンプによる1次冷却系統の循環および水質サンプリングを兼ねて定期試験を実施しており、余熱除去系統設計流量のほぼ全量通水（約 454m³/h）を行っている。その際、炉心から燃料を取出し中であることから、余熱除去冷却器には通水せず、全量を余熱除去冷却器バイパスライン（以下、「バイパスライン」という。）に長時間通水していることを確認した。なお、通常時には、バイパスラインに長時間全量通水する運転はない。

（添付資料－9）

(9) 振動評価

運転状況調査結果を踏まえ、実機運転により、ひび割れが発生したベント配管部の振動を計測、評価した結果、バイパスラインに全量通水した場合、当該配管に大きな振動が発生していることを確認した。

これは、バイパスラインで比較的高流速の状況下において、同ラインに設置される弁の絞りにより流体の大きな乱れが生じたことが要因と考えられる。

また、余熱除去冷却器ラインに全量通水、余熱除去冷却器ライン・バイパスラインの両方を使用して全量通水した場合、バイパスラインのみの場合に比べて低流速の状況となり、大きな振動は発生しないことを確認した。

（添付資料－9）

(10) ひび割れ発生・進展評価

振動計測結果より、疲労損傷の可能性について評価した結果、バイパスラインに全量通水した時の振動に伴う発生応力は24.6MPaで、推定疲労強度^{*3}（約23MPa）を超えており、繰り返し応力による疲労割れが発生・進展する可能性があることを確認した。

また、余熱除去冷却器ラインに全量通水、余熱除去冷却器ライン・バイパスラインの両方を使用して全量通水した場合、推定疲労強度を超える応力は発生

しないことを確認した。

※3：疲労損傷を起こす可能性のある応力

9. 推定原因

本事象は、

- ・ひび割れの形態は、疲労損傷の特徴である枝分かれない直線的なき裂で疲労破面特有のストライエーションが認められたこと
- ・プラント長期停止期間中特有の運転により、当該配管には大きな振動が長時間作用したこと

から、振動により応力集中の生じやすい当該配管のベント弁下流ソケット溶接部に推定疲労強度を超える応力が作用したことにより、疲労割れが生じ、進展・貫通に至ったと推定される。

10. 対策

- (1) ひび割れの生じた当該溶接部を含むベント弁下流配管を新品に取り替えた。
- (2) 本事象が発生した余熱除去系統において、プラント長期停止期間中特有の運転により同様に振動影響を受けた可能性のある他ベント・ドレン配管については、外観確認により異常のないことを確認しているが、念のため当該ベント配管同様にベント・ドレン弁下流配管を新品に取り替えた（3箇所）。
- (3) 当該配管に大きな振動が発生しない通水系統で運転する運用に変更する。
(添付資料－10)

11. 他号機・他系統の対応

3号機は、2号機同様に余熱除去系統においてプラント長期停止期間中特有の運転を実施しているが、

- ・プラント再稼働時にベント・ドレン配管について異常のないことを確認していること
- ・2号機に比べて3号機は、同運転でのバイパスライン通水時の流速が小さく、弁の絞りによる流体の乱れは小さいと評価されること

から、対応は不要である。

1号機は、2号機同様に余熱除去系統においてプラント長期停止期間中特有の運転を実施しているが、今回ベント・ドレン配管について異常のないことを確認しており、今後、プラントの運転終了に伴う保全計画の見直しにより余熱除去ポンプの定期試験は取り止める方針であることから、対応は不要である。

また、余熱除去系統以外の他系統については、余熱除去系統のようなプラント

長期停止期間中特有の運転を実施していないことを確認した。

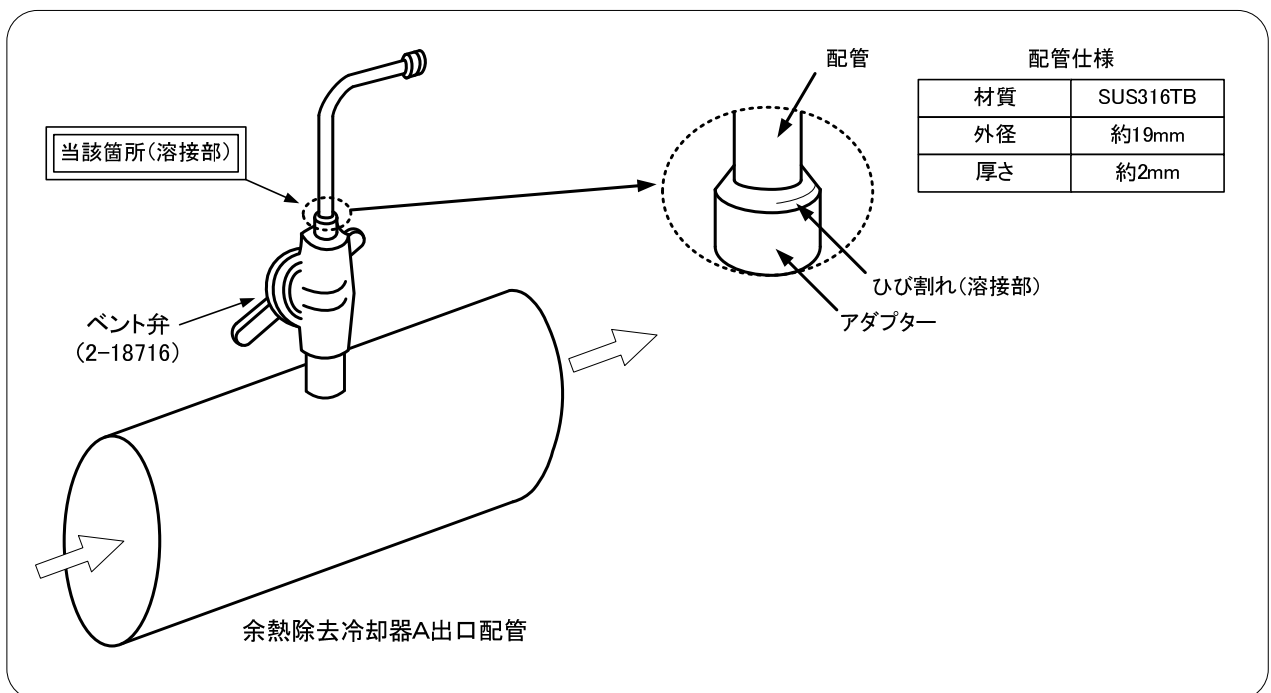
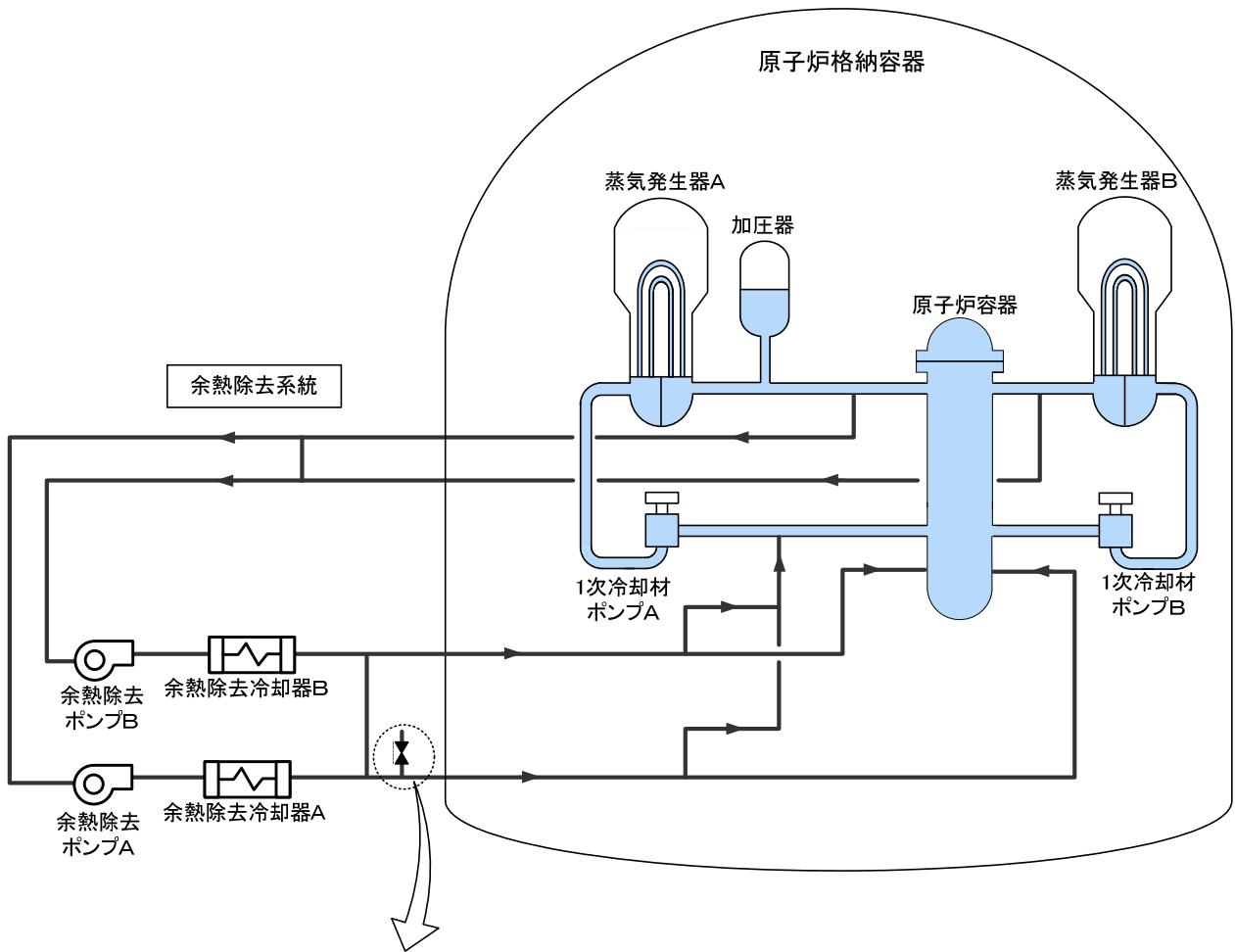
なお、本事象のようにベント弁下流配管溶接部でひび割れが生じても、ベント弁で閉止しているため、プラントへの影響はない。

以上

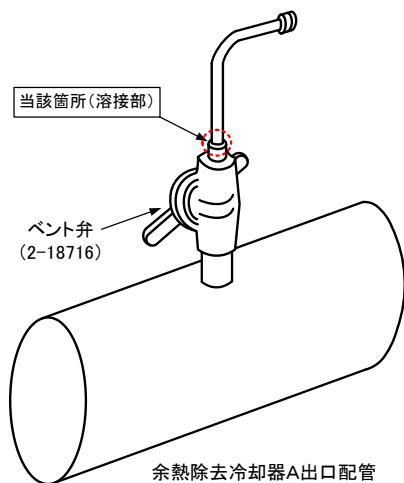
添 付 資 料

- 添付資料－ 1 余熱除去系統概略図
- 添付資料－ 2 外観調査結果
- 添付資料－ 3 液体浸透探傷検査（P T）結果
- 添付資料－ 4 金属調査結果（断面ミクロ観察）
- 添付資料－ 5 金属調査結果（破面マクロ観察）
- 添付資料－ 6 金属調査結果（破面S E M（走査型電子顕微鏡）観察）
- 添付資料－ 7 金属調査結果（硬度測定）
- 添付資料－ 8 金属調査結果（E P M A（電子線マイクロアナライザー））
- 添付資料－ 9 余熱除去系統定期試験時の系統構成
- 添付資料－ 1 0 余熱除去系統定期試験時の系統構成（対策後）

余熱除去系統概略図



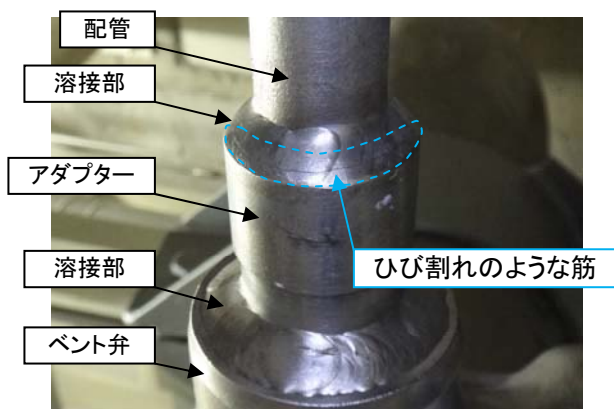
外観調査結果



余熱除去系統ベント弁下流配管構造図



ほう酸拭取り前



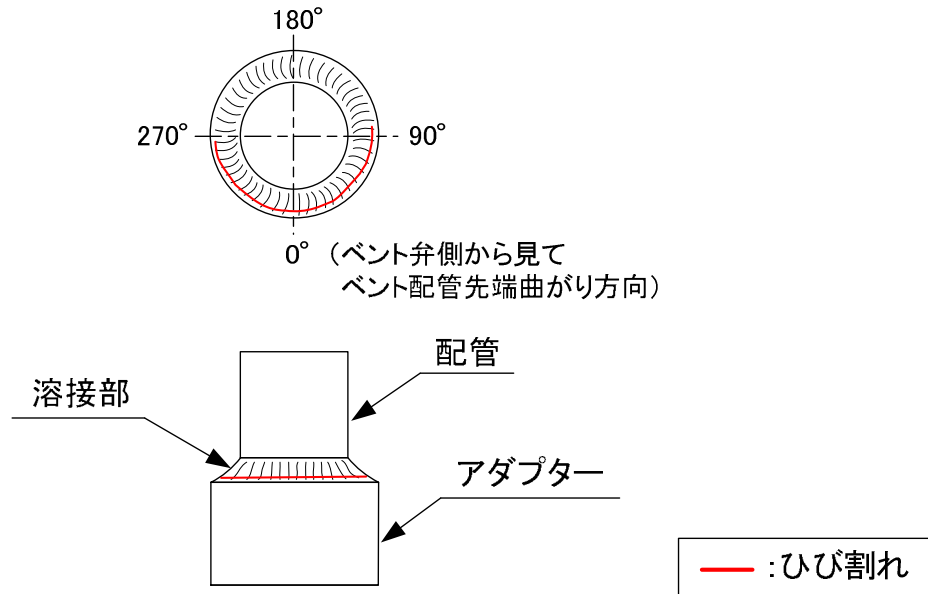
ほう酸拭取り後



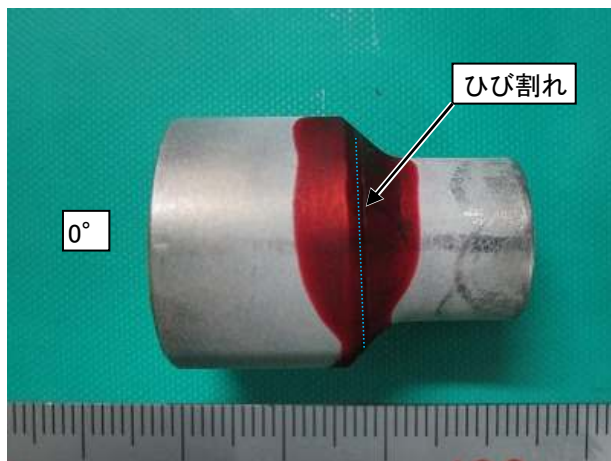
PT実施(現地)

外観点検の結果、アダプターと配管を接続している溶接部に有意な指示が認められた。

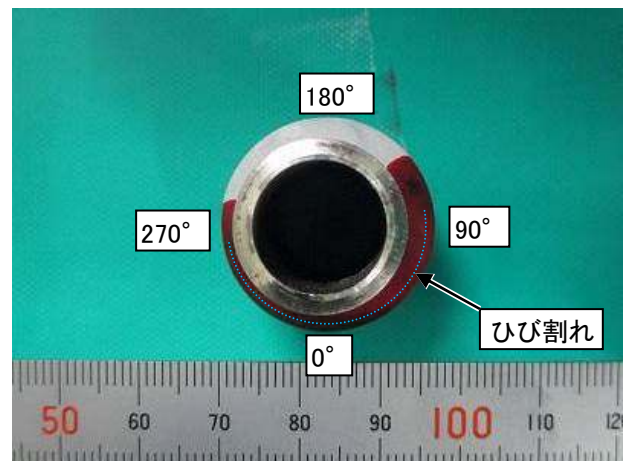
液体浸透探傷検査 (PT) 結果 (外面)



溶接部外観図



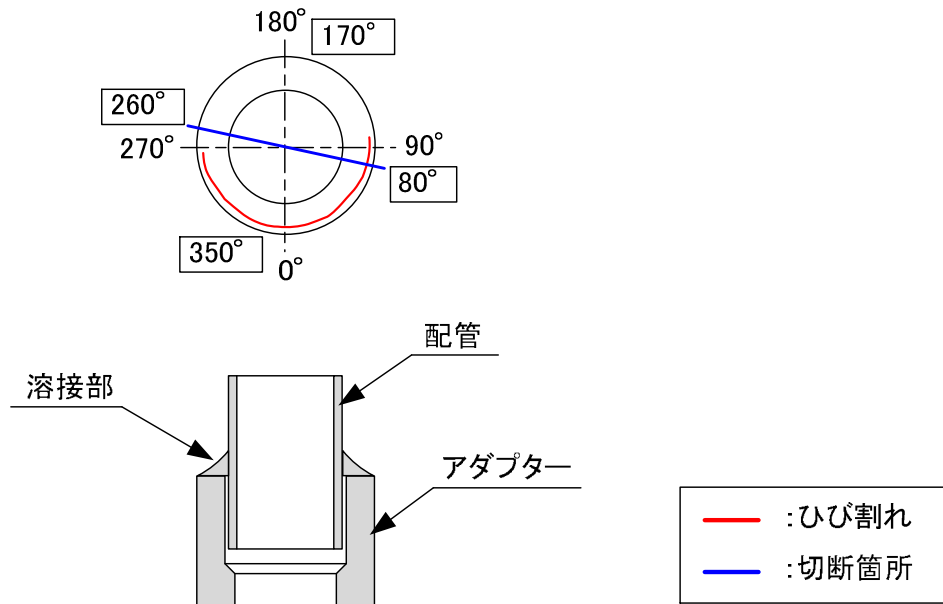
側面から見た写真



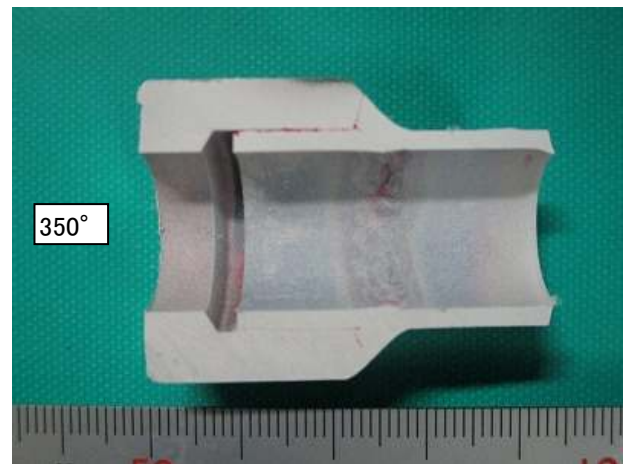
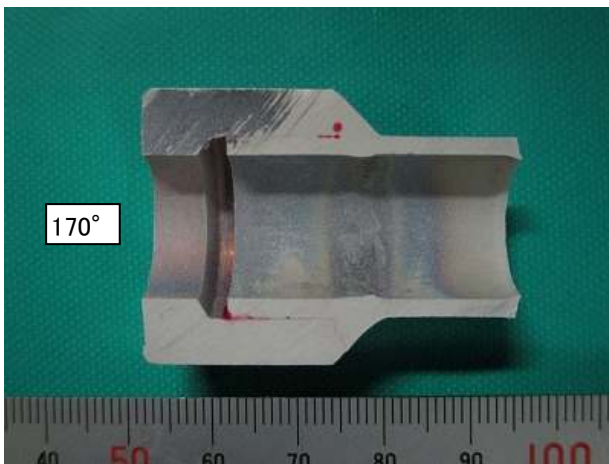
上から見た写真

外面からのPTの結果、アダプターと配管の溶接部に有意な指示が認められた。
(ひび割れ：280°～100°の位置、長さ約50mm)

液体浸透探傷検査 (PT) 結果 (内面)

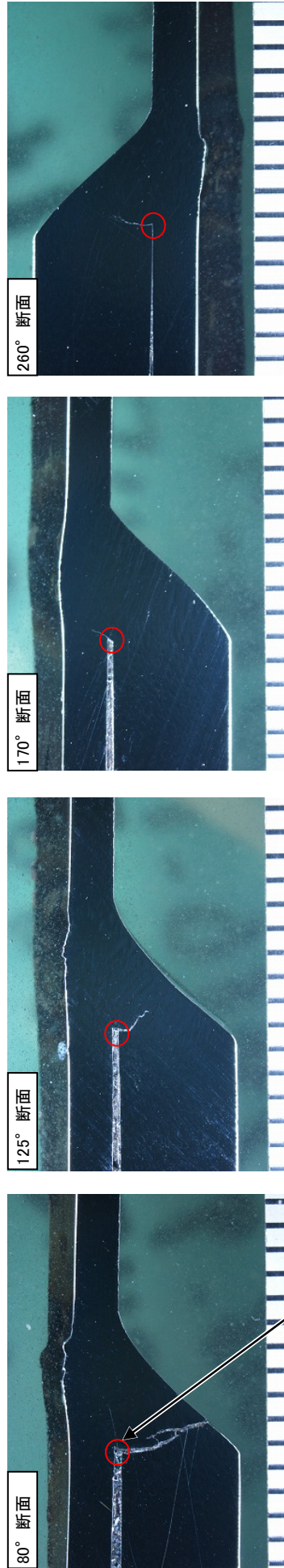
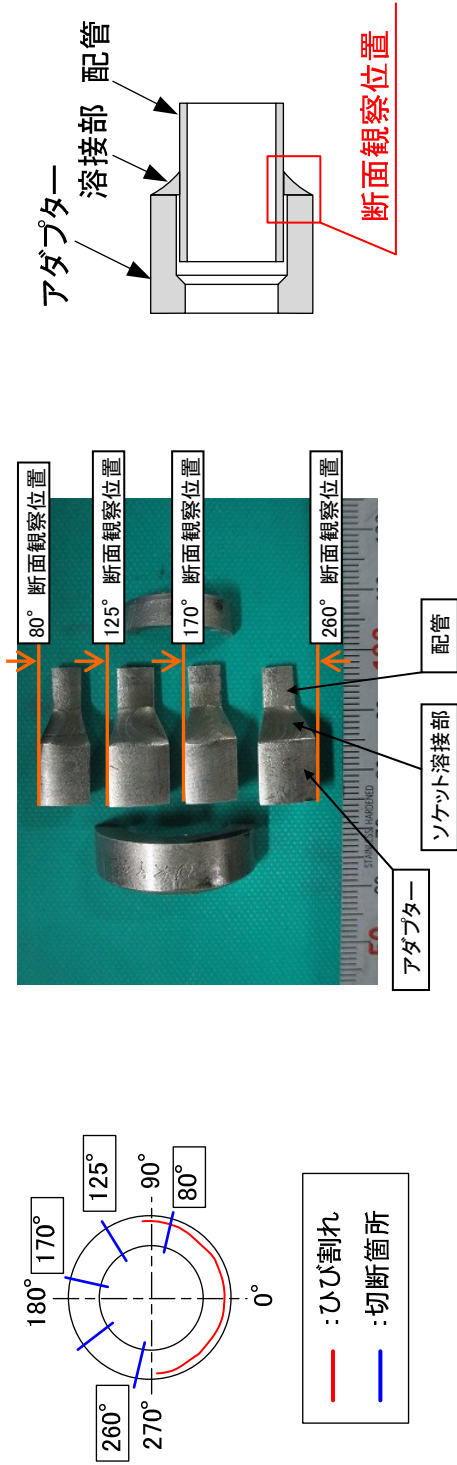


溶接部断面図



内面からのPTの結果、内面に有意な指示は認められなかった。

金属調査結果 (断面ミクロ観察) (1/2)

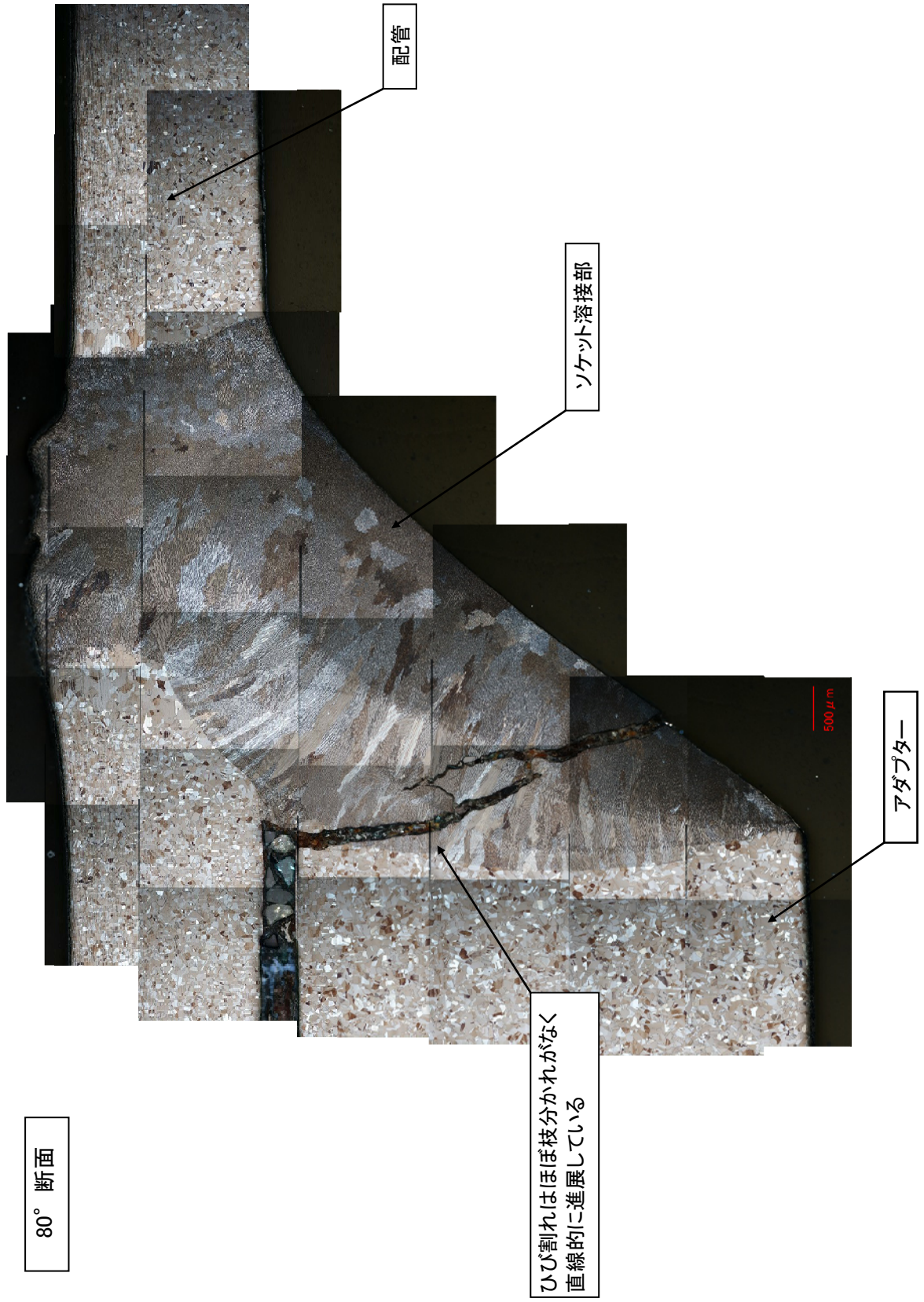


ひび割れの起点：ソケット溶接部のルート部（アダプターと差し込まれた配管の隙間）

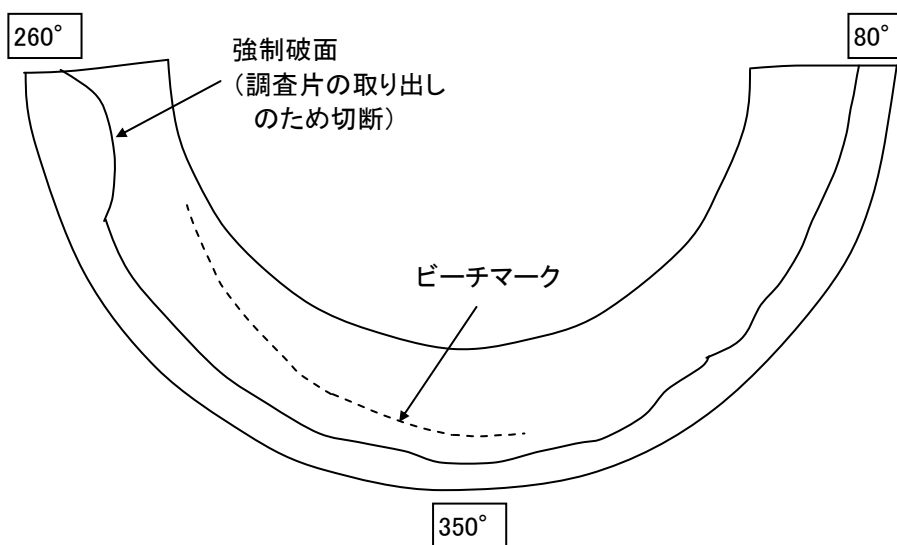
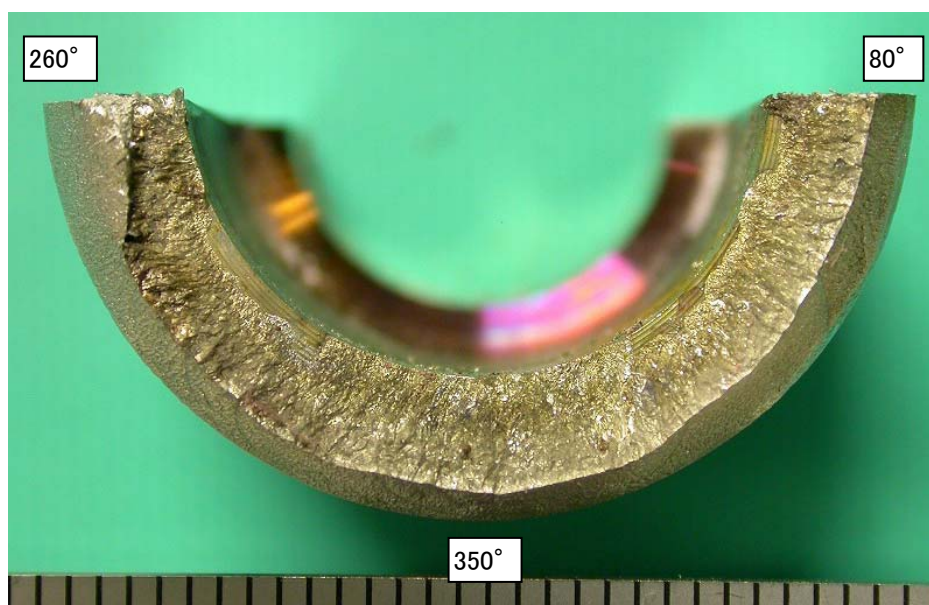
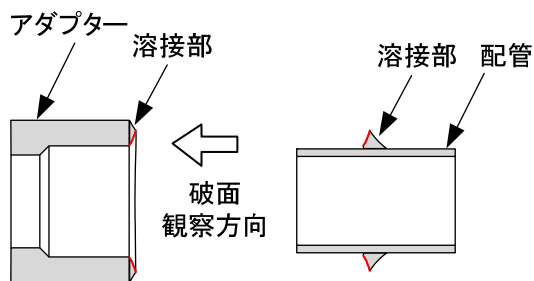
【観察結果】

- ・ ひび割れは、ほぼ枝分かれがなく直線的に進展している。
- ・ ソケット溶接部のルート部（アダプターと差し込まれた配管の隙間）を起点として、ひび割れが進展している。

金属調査結果 (断面ミクロ観察) (2/2)



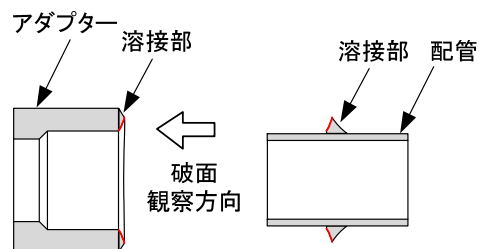
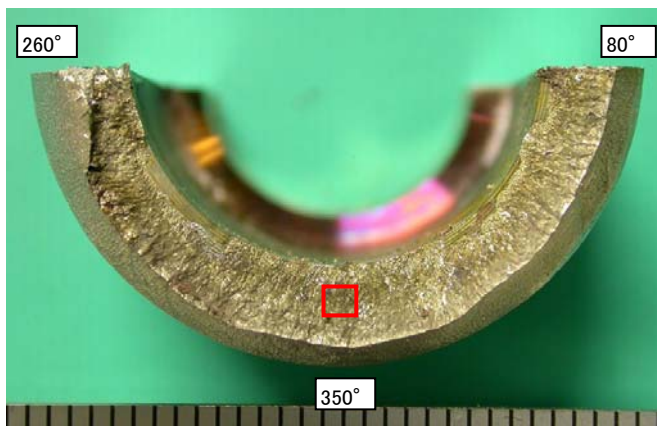
金属調査結果（破面マクロ観察）



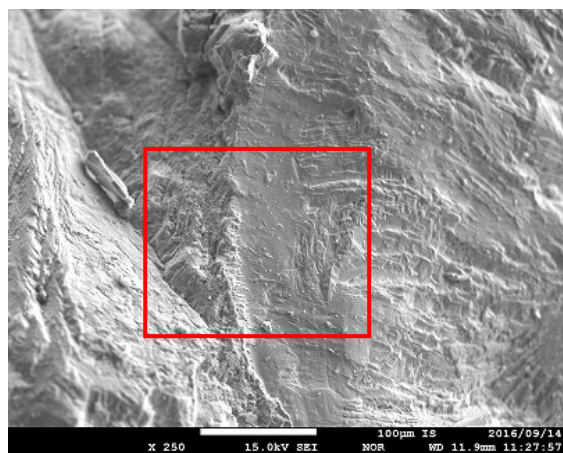
【観察結果】

・破面の一部に円弧上の疲労破面特有のビーチマーク（筋状痕跡）が認められた。

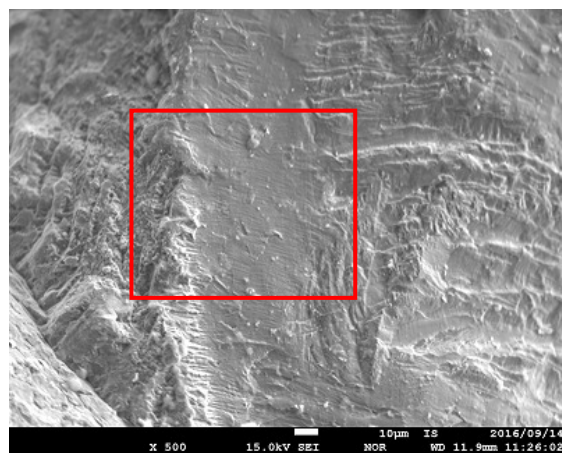
金属調査結果（破面SEM（走査型電子顕微鏡）観察）



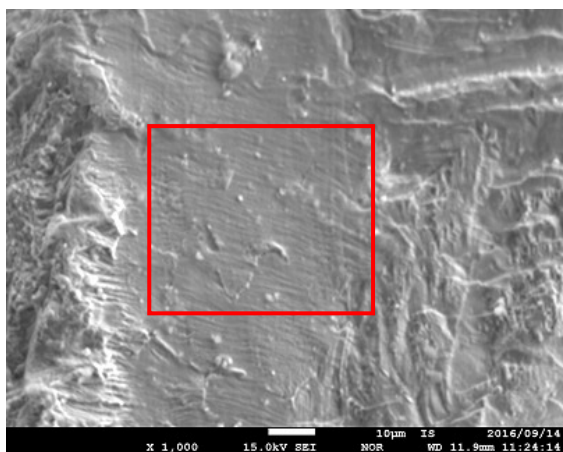
拡大



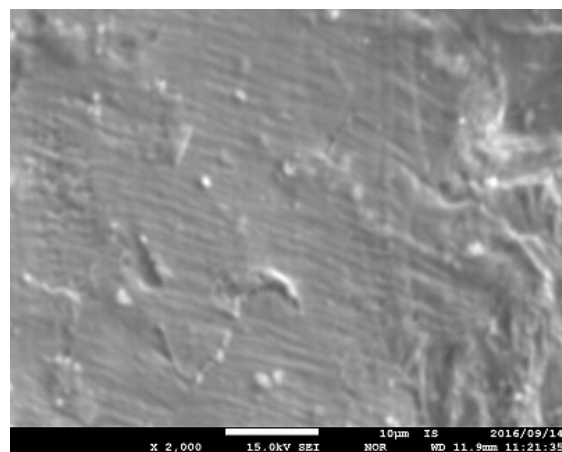
拡大



拡大



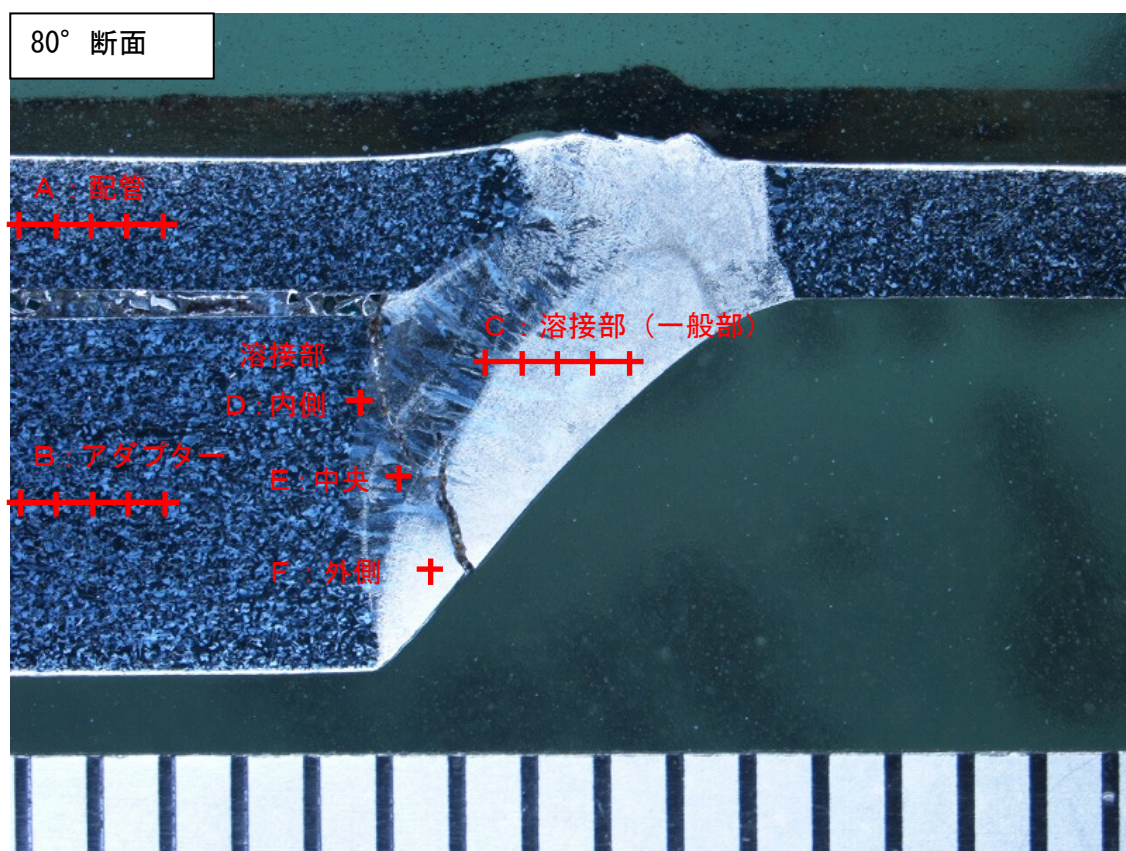
拡大



【観察結果】

- ・ 高倍率観察の結果、一部で疲労破面特有のストライエーション（縞状模様）が確認された。

金属調査結果（硬度測定）



	硬度（ビッカース硬さ：HV）		
	測定値		JIS 記載値
	平均	最高	
A 部（配管）	約 140	146	192 以下※ ¹
B 部（アダプター）	約 143	149	196 以下※ ¹
C 部（溶接部（一般部））	約 144	149	—※ ²
D 部（割れ近傍溶接部内側）	—	153	—※ ²
E 部（割れ近傍溶接部中央）	—	148	—※ ²
F 部（割れ近傍溶接部外側）	—	160	—※ ²

※¹：JIS 記載値を HV 換算した値

※²：溶接部は規格要求なし

【測定結果】

- ・ ひび割れ発生部近傍の硬度を測定した結果、配管、アダプターおよびひび割れ発生部近傍を含む溶接部の硬度について、特に異常な硬化はなく問題ないことを確認した。

金属調査結果（EPMA（電子線マイクロアナライザー））

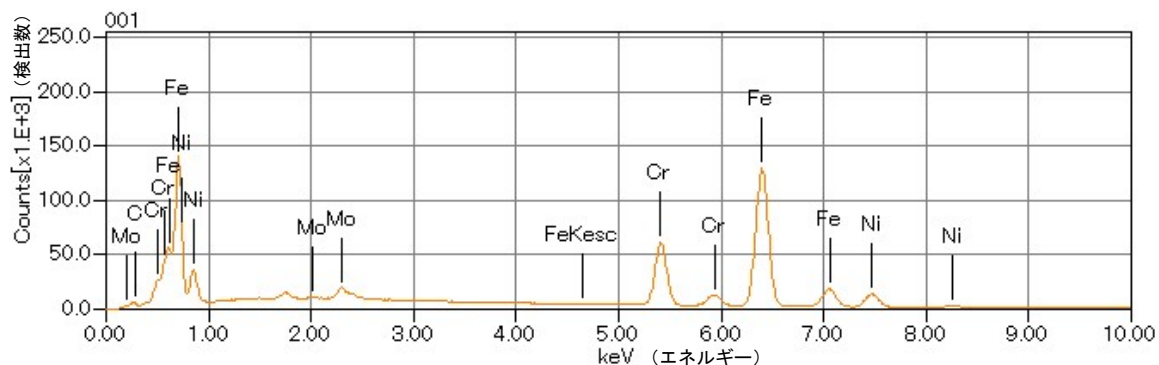


図 1 配管

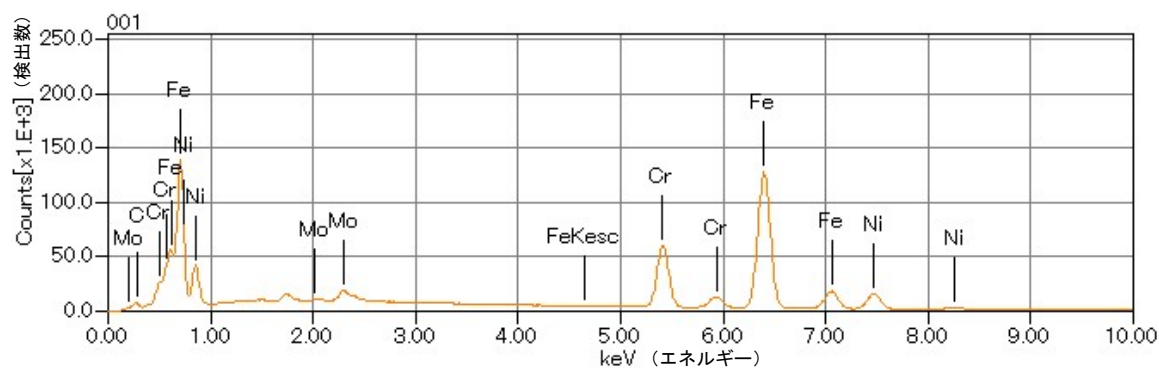


図 2 アダプター

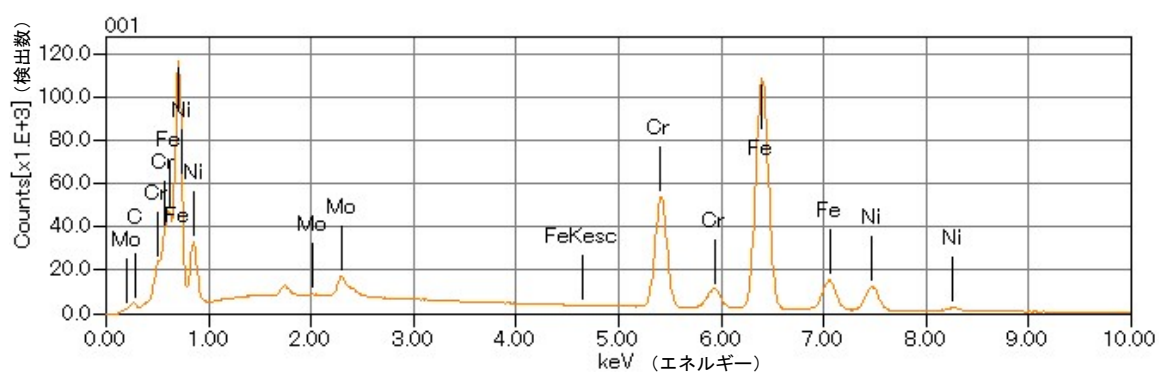


図 3 溶接部

【測定結果】

- ・ EPMAによる成分分析を行った結果、配管、アダプターおよび溶接部でステンレス鋼の成分以外で特異な成分は認められなかった。

余熱除去系統定期試験時の系統構成

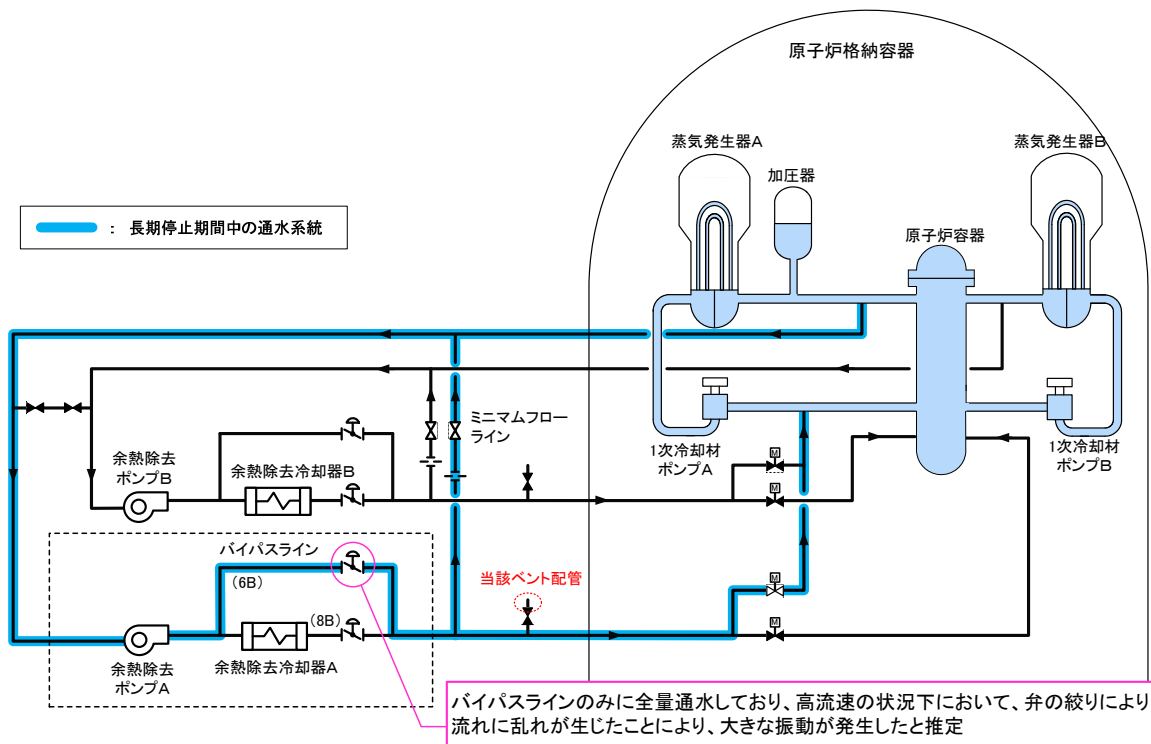


図 1 長期停止期間中の通水系統

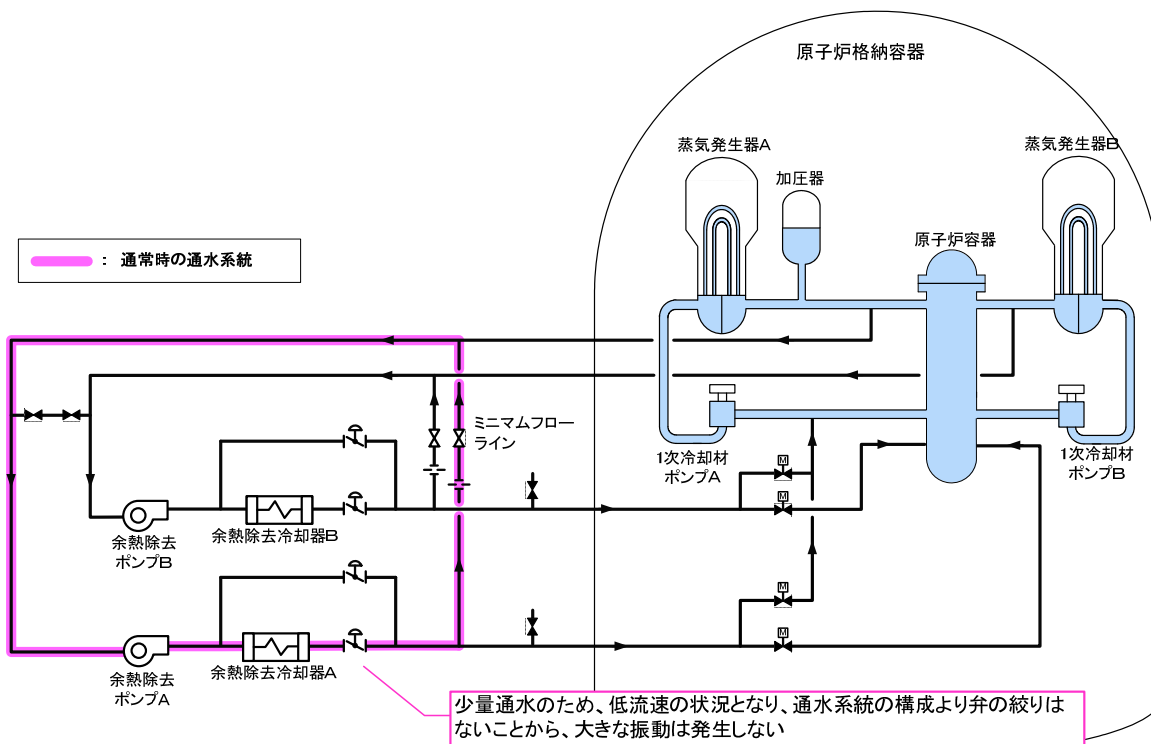
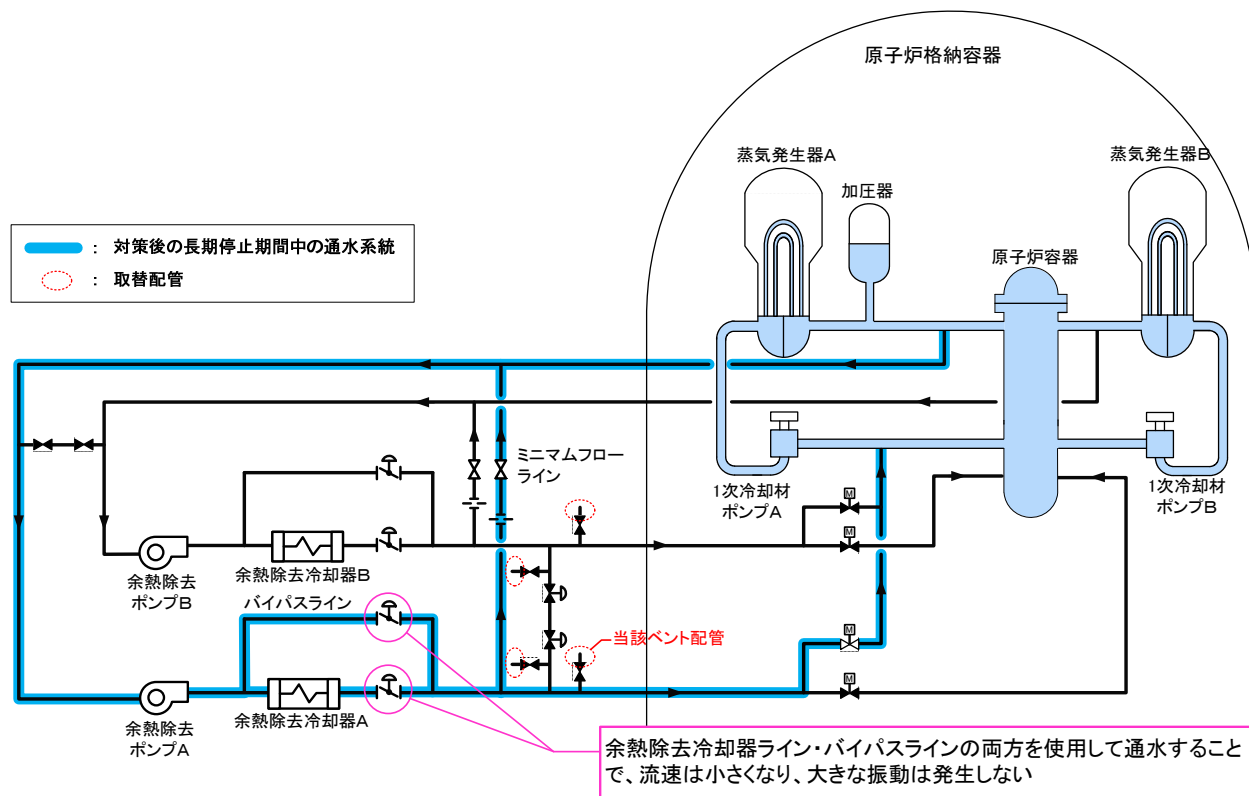


図 2 通常運転時の通水系統

プラント長期停止期間中の余熱除去ポンプ定期試験では、バイパスラインのみに長時間全量通水したことにより、大きな振動が長時間発生したものと推定

余熱除去系統定期試験時の系統構成（対策後）



プラント長期停止期間中の余熱除去ポンプの定期試験においては、余熱除去冷却器ラインおよびバイパスラインの両方を使用して通水することにより、配管への振動を低減する。