

伊方発電所第2号機

充てん・抽出系統空気抜配管からの漏えいについて

平成20年 7月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第2号機 充てん・抽出系統空気抜配管からの漏えいについて

2. 事象発生の日時

平成20年3月16日 5時50分頃（確認）

3. 事象発生の設備

原子炉冷却系統設備 化学体積制御設備 配管
（再生熱交換器出口配管）

4. 事象発生時の運転状況

第20回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第2号機（定格電気出力566MW）は、第20回定期検査中のところ、3月16日5時50分頃、原子炉格納容器内で1次冷却水の充てん・抽出系統^{*1}の空気抜き弁2-18192（以下「当該弁」という。）の下流側配管（以下「当該配管」という。）から微量の蒸気が漏えいしていることをパトロール中の保修員が確認した。

調査の結果、漏えい箇所は再生熱交換器出口ラインに設置している当該弁下流側の配管溶接部近傍であり、当該弁を増し締めし、漏えいがないことを確認した。漏えい量は、最大で約6.6リットルと推定される。

引き続き、漏えいのあった当該配管を新品に取り替え、3月17日、通常状態に復旧した。

なお、本事象によるプラント運転への影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料-1）

*1：充てん・抽出系統

1次冷却系統から抽出した1次冷却水の浄化やほう素濃度の調整を行った後、再び1次冷却系統に戻すための系統。

6. 事象の時系列

3月16日

5時50分頃 当該弁（2-18192）下流側の配管溶接部近傍から微量の蒸気が漏えいしていることを保修員が確認

6時40分 当該弁の増し締め実施

8時11分 漏えいが停止したことを確認

3月17日

4時14分 当該配管の取替作業開始

13時37分 当該配管の取替作業終了
その後、通常状態に復旧

7. 調査結果

当該配管の漏えいの原因について、以下の調査を行い、要因の検討を実施した。

(1) 金属調査

a. 外観調査

漏えい箇所の配管外表面の外観点検および液体浸透探傷検査（以下、「PT」という。）を行った結果、当該弁下流のカップリングと配管を接続している溶接部近傍に線状傷が認められ、長さ約9mmと約4mmの有意なPT指示を確認した。（添付資料－2）

また、カップリングの弁側外面にもごく軽微な割れが認められた。

なお、当該弁廻りの支持構造物（Uボルト）には異常がなく、当該配管外表面の付着塩分量も管理値以下であった。

b. ひび部調査

当該部を切り出し、ひび割れの形態等を調査した。

(a) 内面点検結果

内面点検を行った結果、配管内表面に2箇所の割れ（1箇所は貫通）および錆痕が認められた。また、カップリング内表面には複数のひび割れおよび錆痕が認められた。

（添付資料－3）

(b) 断面ミクロ観察結果

断面ミクロ観察の結果、漏えい箇所のひび割れは配管内面から外面に向かって成長しており、かつ、溶接部周辺にも配管内面から外面に向かって長さ1.45mm、1.03mmの成長した割れが認められるとともに、カップリングに配管を差し込んだ隙間側を起点としてカップリング側および配管側に各1箇所の貫通したひび割れが認められた。また、カップリング内表面の複数のひび割れは、それぞれ0.85mm、0.5mm、1.04mm、1.12mmの成長したひび割れが認められた。

ひび割れの形態は粒内割れであり、枝分かれした微少な分岐が認められ、塩化物応力腐食割れの特徴を示していた。

（添付資料－4）

(c) 破面マクロ観察

貫通き裂の破面を露出し観察した結果、破面は茶色の錆が付着し、疲労破壊の様相を示すビーチマーク状の様相は認められなかった。

また、ひび先端は、内表面側を中心に半楕円状の形状であった。

（添付資料－5）

(d) 破面SEM（電子顕微鏡）観察

破面を高倍率で観察した結果、塩化物応力腐食割れ特有の羽毛状破面が認められたが、疲労破壊の様相を示すストライエーションやディンプルは観察されなかった。

（添付資料－6）

(e) 破面E PMA（電子マイクロアナライザー）分析

E PMAによる元素分析を行った結果、微量の塩素が認められた。

（添付資料－ 7）

以上から、いずれのき裂の形態も粒内割れであり、枝分かれした微少な分岐が認められることから、ひび割れの原因は配管内部から発生した塩化物応力腐食割れと推定される。

（添付資料－ 8）

(2) 保守状況調査

当該部の過去の点検状況を確認した結果、第15回定検（平成13年9月～12月）の充てん配管取替工事*²において、当該弁および当該配管を含むベント・ドレン弁12台を取り替えており、当該弁および当該配管の材料証明書（カップリング、配管）および溶接施工記録には問題なかった。

なお、当該配管は、母管の一部を含み分岐する曲げ管、当該弁、カップリングおよび配管まで一体で工場製作されていた。その後、当該弁の分解点検は実施していない。

* 2：ステンレス配管の経年劣化に対する予防保全対策として、1号機は第19回定検（平成12年9月～12月）より、また2号機は第15回定検より、大規模な配管取替工事を開始。

(3) 運転状況調査

当該配管の母管はプラント運転中、約245℃～255℃の系統水（ほう酸水）が通水されており、母管から離れた場所に位置する当該配管の温度は約130℃～150℃である。また、当該弁については、定検時の充てん・抽出系統の水抜き・水張り時に使用しており、終了後は閉止している。

なお、ベント・ドレン弁は、プラント運転中は閉止しているため、本事象のように弁下流側配管にひび割れが生じてても、弁の閉止機能が健全であれば運転への影響はない。

(4) 塩化物混入経路調査

ひび割れの原因は塩化物応力腐食割れと推定されることから、塩化物の混入経路について調査した。

（添付資料－ 9）

(a) 製作段階

当該配管を構成する当該弁、カップリングおよび配管は工場にて一体製作（ソケット溶接）されており、各々の部品の加工から組み立てまでの作業手順を確認した結果、製作時に使用する切削油、洗浄剤、検査用資材等の副資材は塩素濃度を制限したものを使用することや洗浄後の塩分濃度測定を実施するなどの清浄度管理がなされており、塩化物混入の可能性は認められない。ただし、何らかの要因で偶発的に塩化物が混入した可能性は、現時点においては完全には否定できない。

(b) 据付段階

現地据付段階の作業手順を確認した結果、現地へは工場にて一体製作されたまま搬入され、据付直前までポリシート養生は開梱されておらず、保管時の梱包状態等の清浄度管理が実施されており、塩化物混入の可能性は認められない。

ただし、何らかの要因で偶発的に塩化物が混入した可能性は、現時点においては完全には否定できない。

(c) 運転段階

現地据付以降、当該弁は定検時の水抜き・水張り操作で使用されるが、充てん・抽出系統の水質は十分に管理されているとともに、当該弁は格納容器内に設置されていることから、水抜き時の空気流入による塩化物混入の可能性はない。

(5) 塩化物応力腐食割れ対策の経緯

ステンレス鋼の塩化物応力腐食割れ対策については、平成12年に発生したステンレス鋼の塩化物応力腐食割れによる不具合事象をふまえ、平成13年に塩化物汚染要因に関する調査を行い、海塩粒子の付着防止、副資材の使用制限、作業に伴う塩化物混入防止について管理を強化している。

2号機第15回定検（平成13年9月～12月）の配管取替工事は、管理を強化した初期の段階で実施している。

(6) 類似箇所の調査（1号機）

現在定検中の1号機について、プラント建設以降に取り替えた同型のベント・ドレン弁下流側配管約160箇所のうち、格納容器内およびアニュラス内の一部である49箇所について、配管外面のPTおよびファイバースコープによる配管内面の発錆状況等の点検を実施した結果、異常は認められなかった。

配管取替工事に伴い、塩化物が配管内に混入して隙間部に残留し、塩化物応力腐食割れが発生した事象が顕在化しているとは考えにくい。

8. 推定原因

本事象は、

- ・ひび割れの形態は、塩化物応力腐食割れの特徴である枝分かれした粒内割れであり、破面に塩素が認められた。
- ・プラント運転中の当該配管の温度は約130℃～150℃であり、ステンレス鋼に溶存酸素と塩化物が存在した場合に塩化物応力腐食割れが発生する可能性のある50℃超過の温度領域であった。
- ・当該配管はソケット溶接であり、カップリングと配管には隙間があることから、何らかの要因で偶発的に内部に混入した塩化物が残留したと推定される。

ことから、第15回定検（平成13年9月～12月）の配管取替工事において何らかの要因で偶発的に当該配管内部に混入した塩化物が残留し、その後の運転段階において、塩化物応力腐食割れの発生条件が成立し、塩化物応力腐食割れが進展して貫通することにより、蒸気漏えいが発生したものと推定される。

9. 対 策

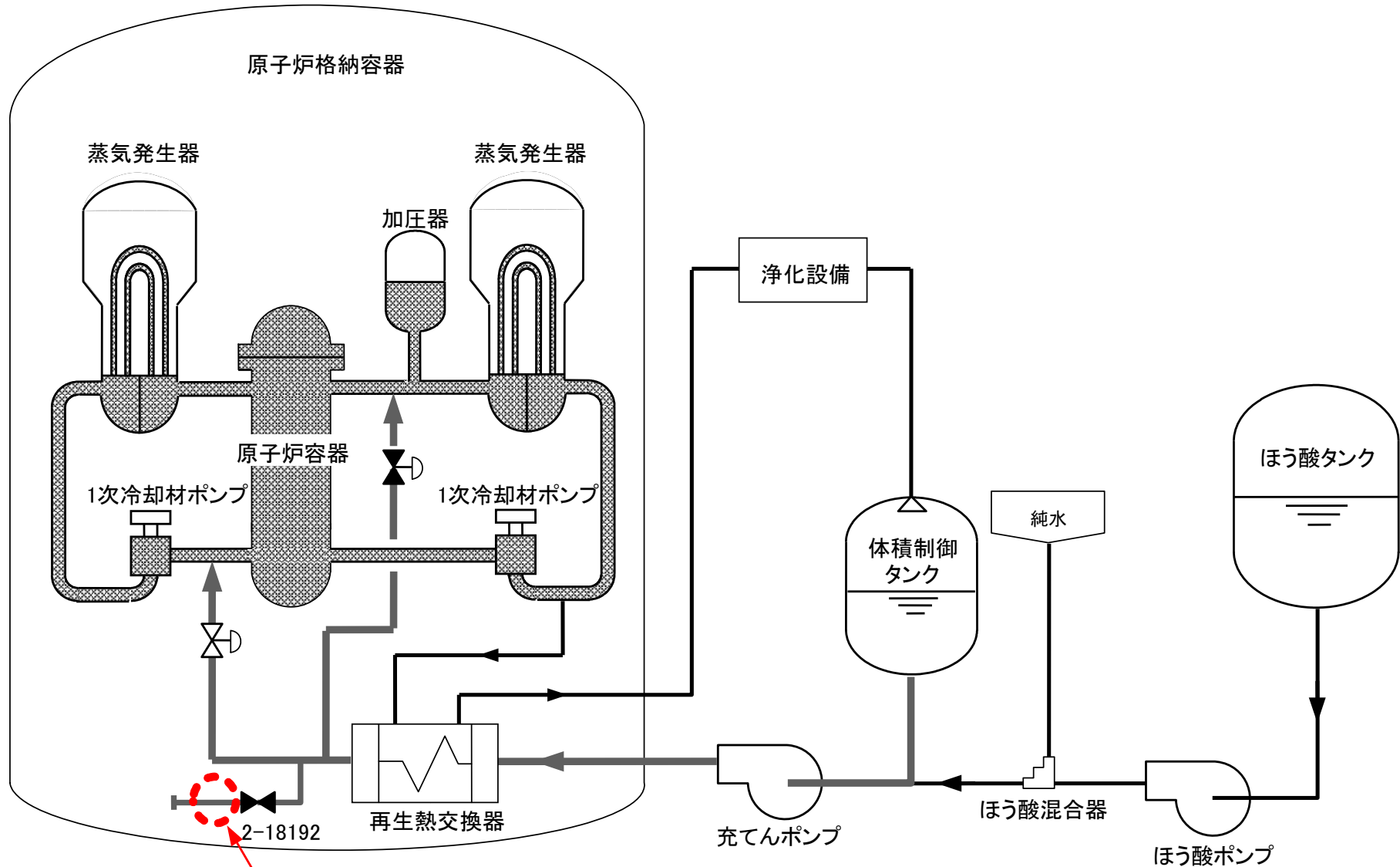
- (1) ひび割れの認められた当該配管を新品に取り替えた。
- (2) 当該配管への塩化物の混入経路を特定できないため、2号機第15回定検で取り替えた同型のベント・ドレン弁下流側配管全数について、第21回定検（次回）で、配管外面のPTおよびファイバースコープ等による配管内面の点検を実施する。
なお、割れなどの異常を確認した場合は、切り出して原因の調査を行うとともに、取り替えを行うなどの必要な処置を講じることとする。
- (3) ベント・ドレン弁下流側配管にひび割れが生じても、弁の閉止機能が健全であればプラント運転への影響はないが、念のため、1～3号機において、2号機第15回定検と近い時期（1号機19回、20回、2号機14回、16回、3号機5回、6回）に取り替えた同型のベント・ドレン弁下流側配管全数（点検済みのものを除く）ならびにプラント建設以降に取り替えた同型のベント・ドレン弁下流側配管（上記および点検済みのものを除く）のうち、安全上重要な系統および放射能を有する系統に属するものについて、1号機第26回定検（次回）、2号機第21回定検（次回）、3号機第11回定検（次回）で、配管外面のPTおよびファイバースコープ等による配管内面の点検を実施する。

以 上

【添付資料】

1. 伊方発電所2号機 一次冷却水充てん・抽出概略系統図
2. 当該弁下流配管P T指示部観察結果
3. 金属調査結果（内面外観点検結果）
4. 金属調査結果（断面ミクロ観察結果）
5. 金属調査結果（破面マクロ観察）
6. 金属調査結果（破面SEM（電子顕微鏡）観察）
7. 金属調査結果（破面EPMA分析）
8. 割れ発生箇所と塩化物付着箇所の推定
9. 塩化物の混入経路について

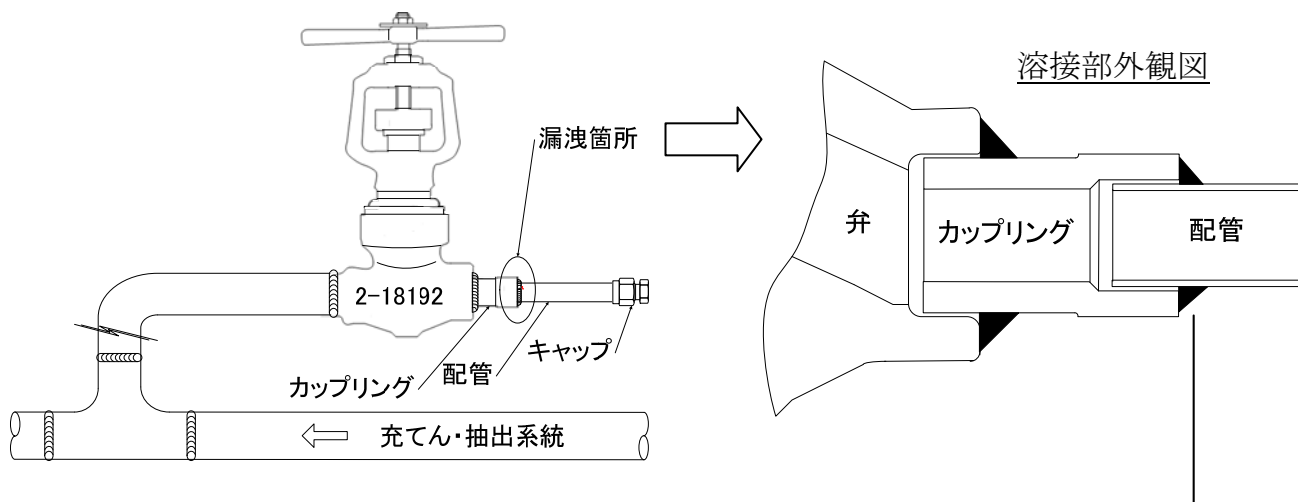
伊方発電所2号機 1次冷却水充てん・抽出概略系統図



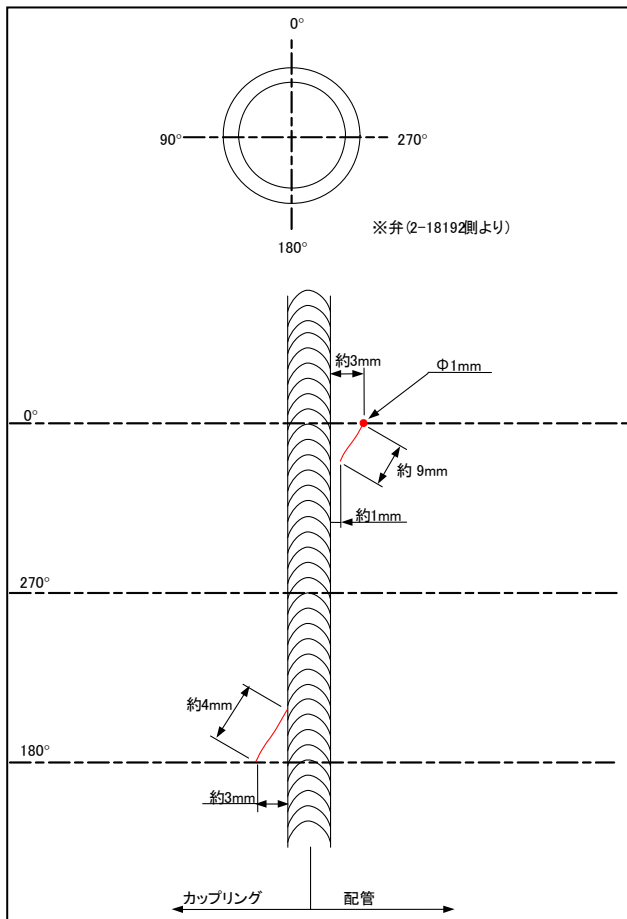
当該箇所

外径:約 19mm
 肉厚:約 1.7mm
 材質:ステンレス(SUS316)

当該弁下流配管PT指示部観察結果



カップリングと配管の溶接部詳細



(0° 付近PT指示部)

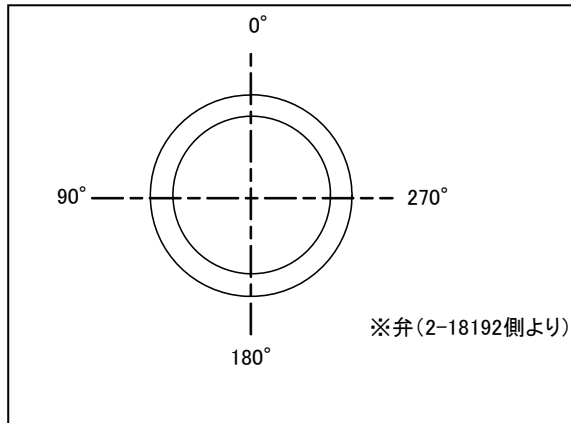


(180° 付近PT指示部)



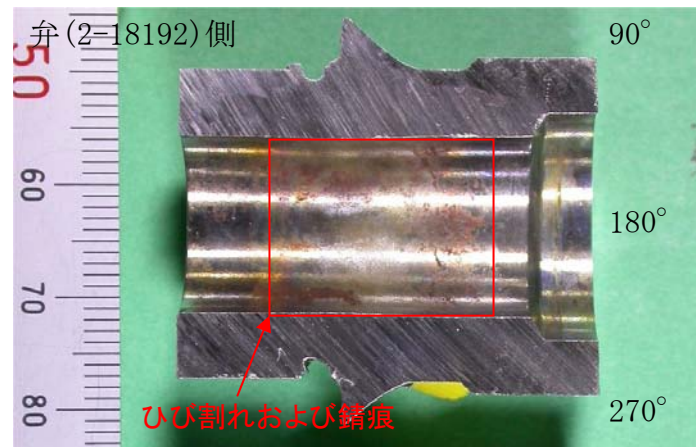
弁下流のカップリングと配管を接続している溶接部近傍に長さ約9mmと約4mmの有意なPT指示を確認。

金属調査結果(内面外観点検結果)

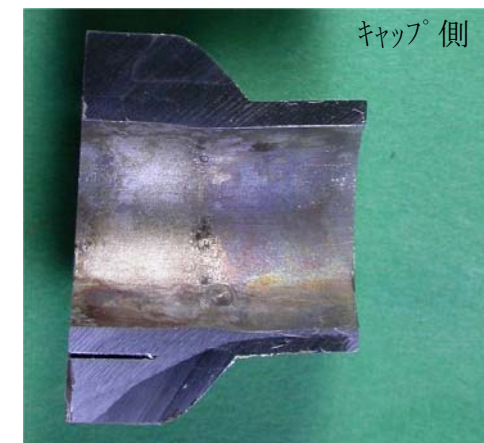
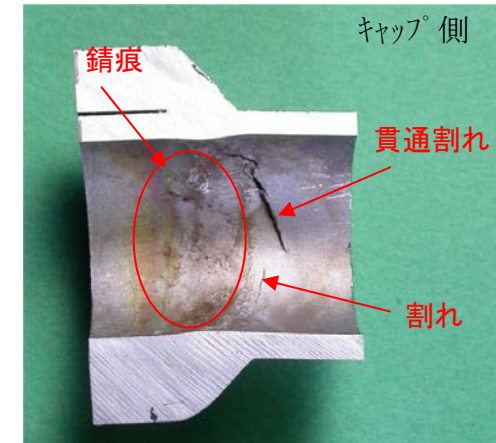


配管内表面の0° 方向に2箇所の割れおよび錆痕が認められた。またカップリング内表面にはひび割れおよび錆痕が認められた。

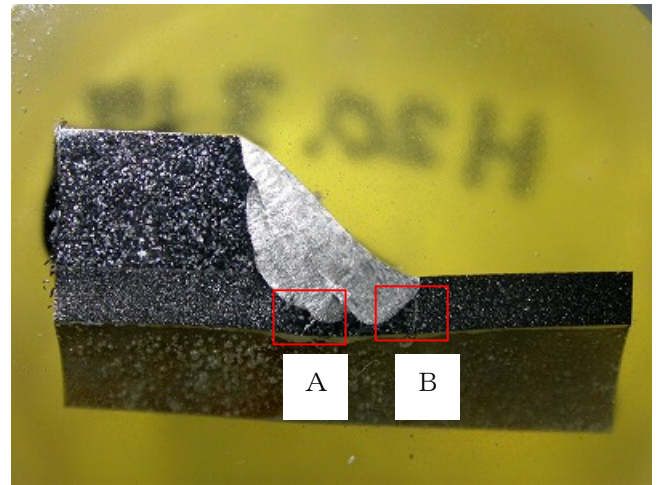
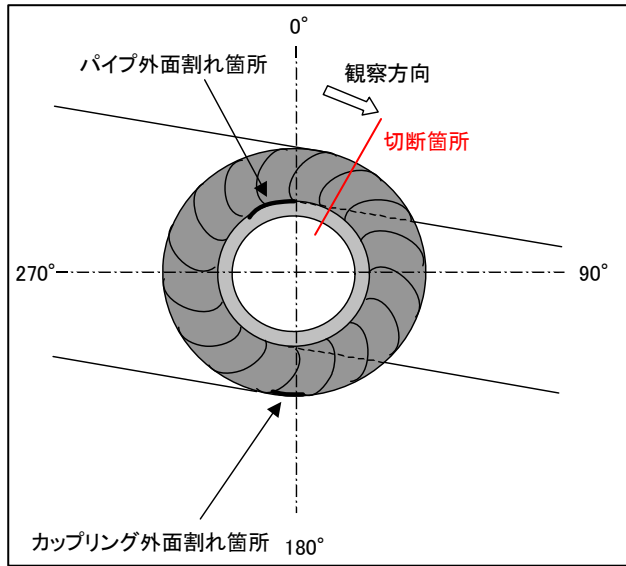
カップリング内表面



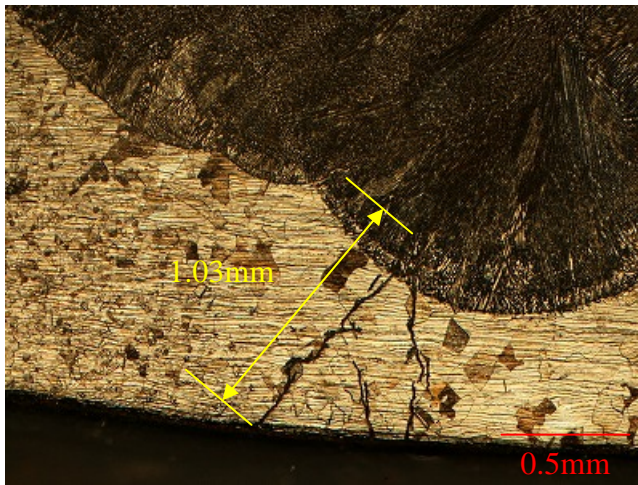
配管内表面



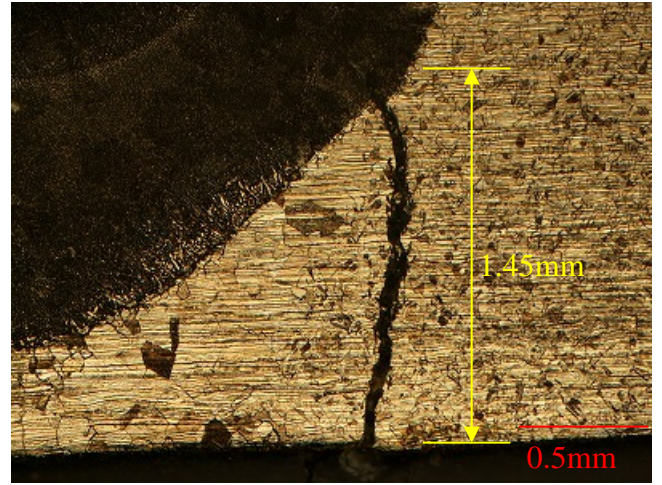
金属調査結果(断面ミクロ観察結果)



A部拡大

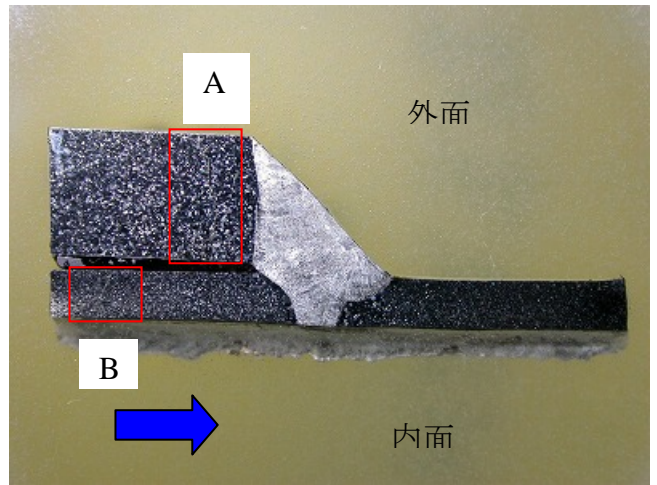
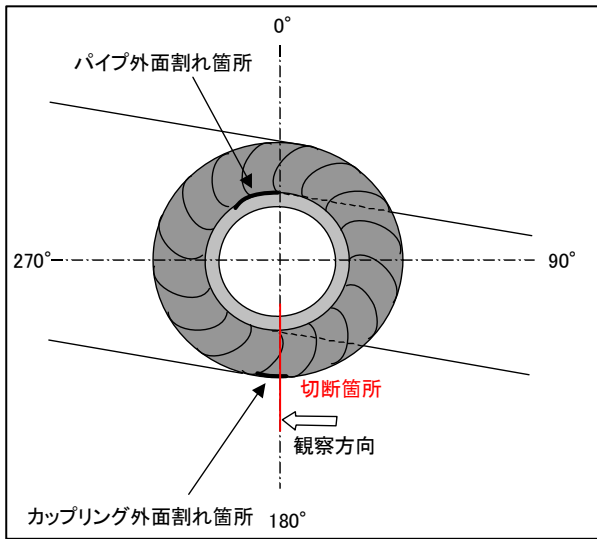


B部拡大

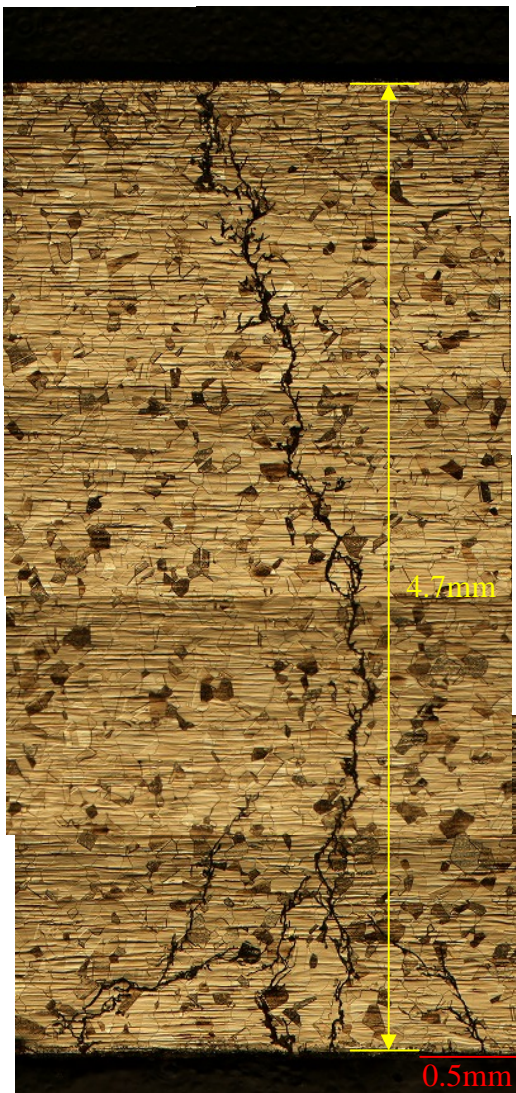


溶接部近傍に配管内面から外面に向かって長さ1.03mm(A部)、1.45mm(B部)の割れが認められた。

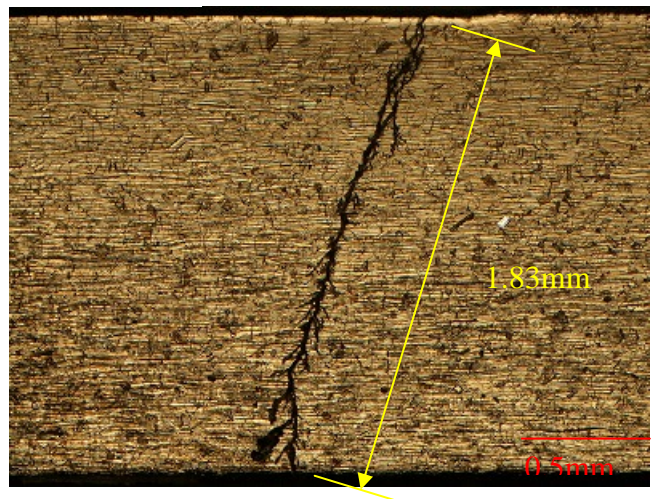
金属調査結果(断面ミクロ観察結果)



A部拡大

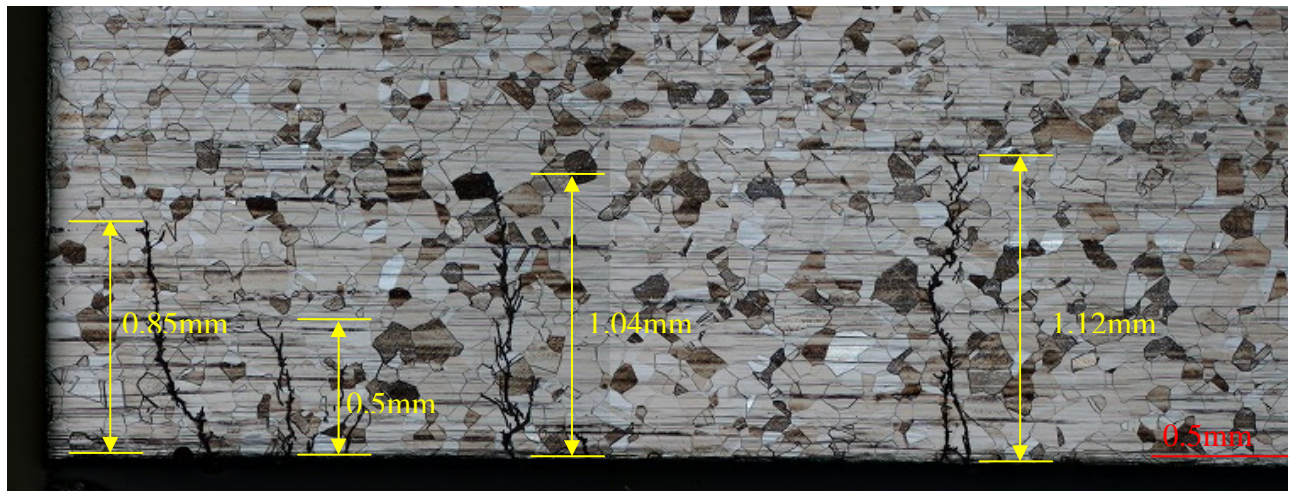
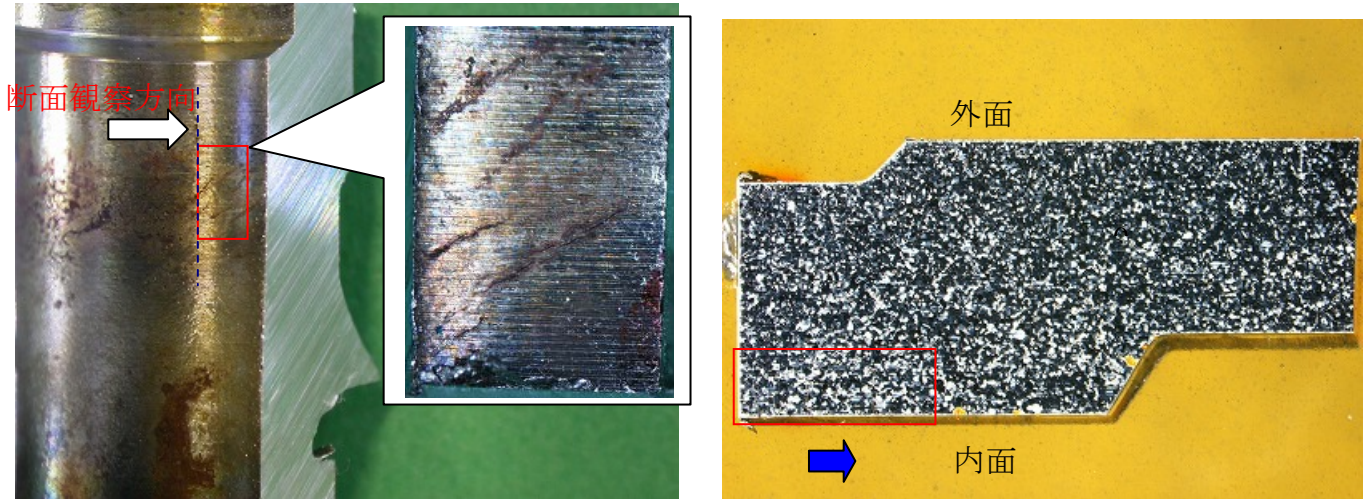


B部拡大



カップリング側に長さ4.7mm(A部)、配管側に1.83mm(B部)の貫通したひび割れが認められた。

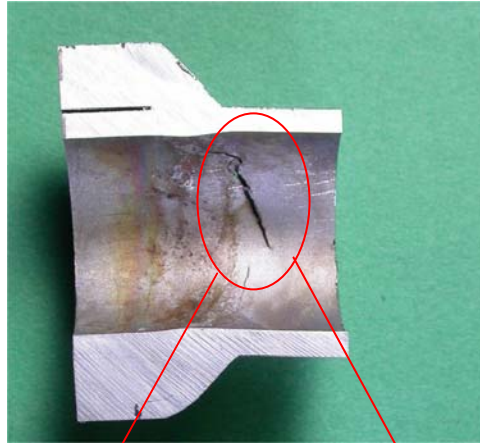
金属調査結果(断面ミクロ観察結果)



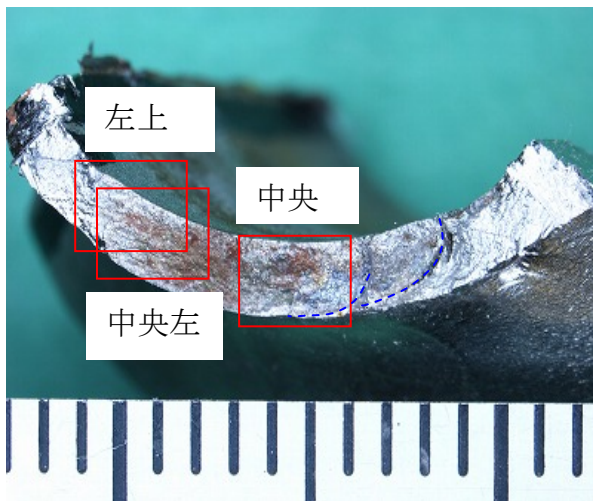
- ・複数のひび割れは、それぞれ0.85mm、0.5mm、1.04mm、1.12mmの長さであった。
- ・ひび割れの形態は粒内割れであり、枝分かれした微少な分岐が認められ、塩化物応力腐食割れの特徴を示している。

金属調査結果(破面マクロ観察)

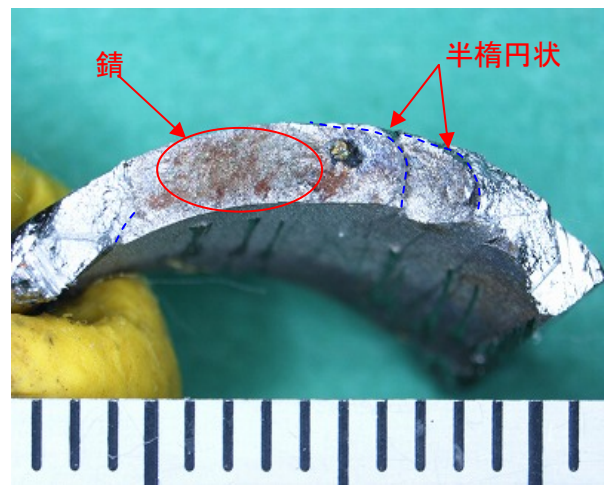
配管内表面



カップリング側貫通部破面



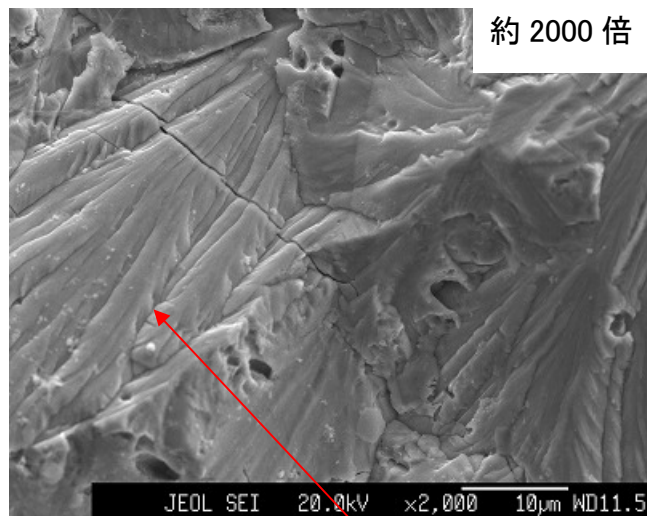
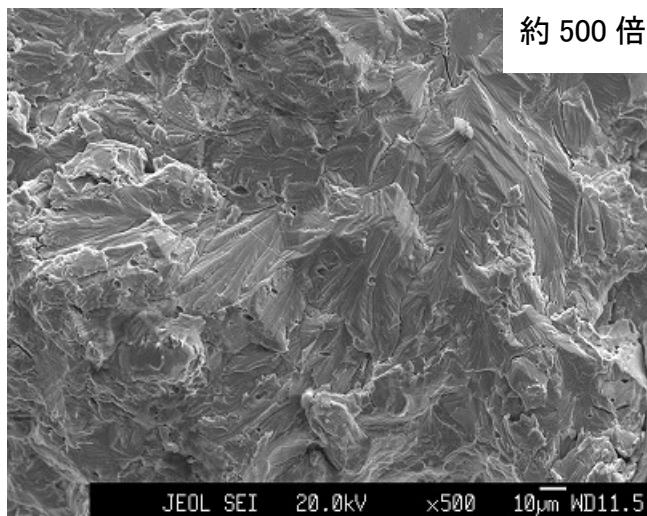
配管側貫通部破面



茶色の錆が付着しており、疲労破壊の様相を示すビーチマーク状の模様は認められなかった。

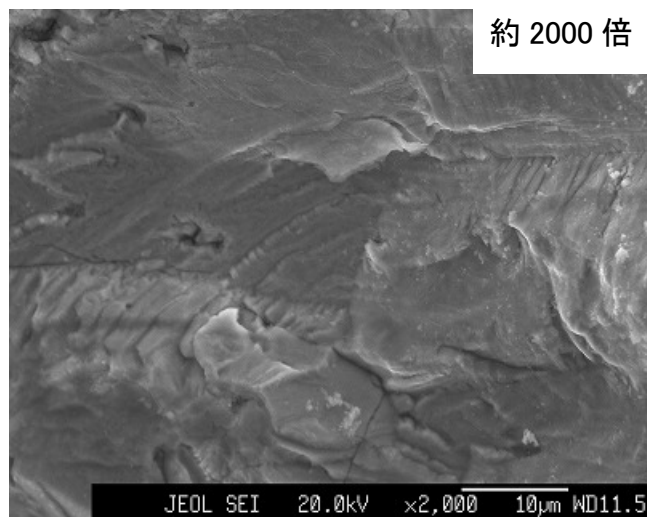
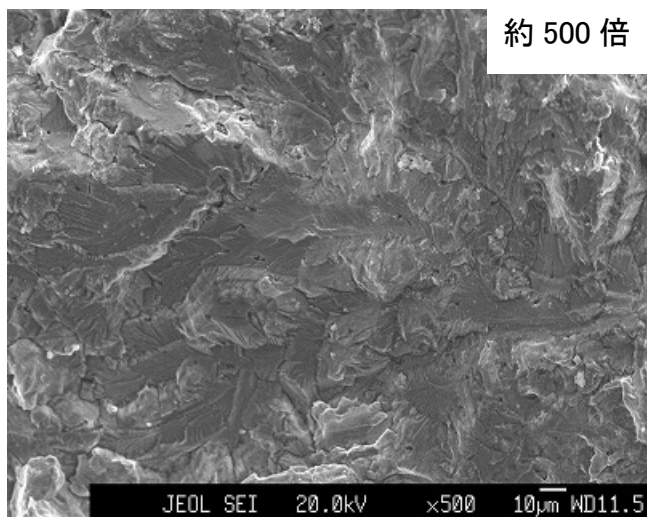
金属調査結果(破面SEM(電子顕微鏡)観察)

左上

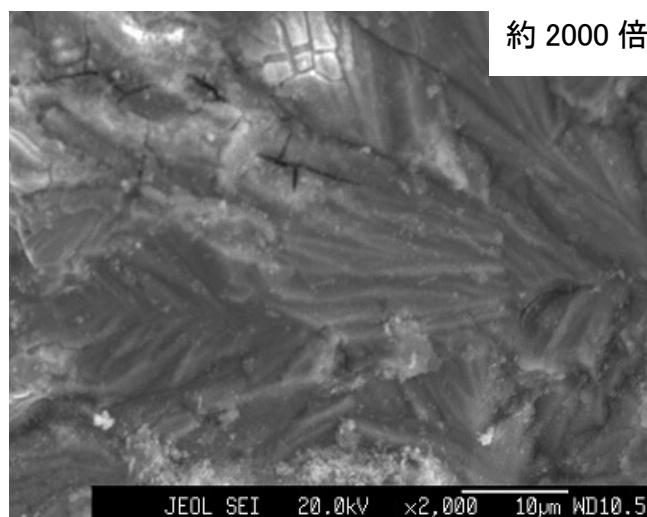
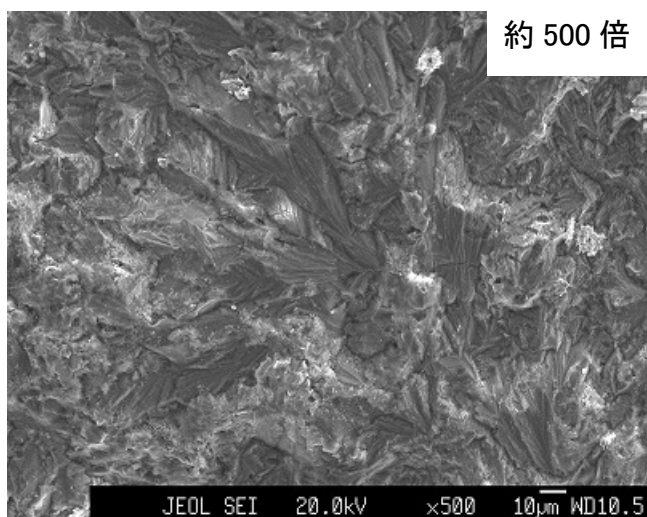


羽毛状破面あり

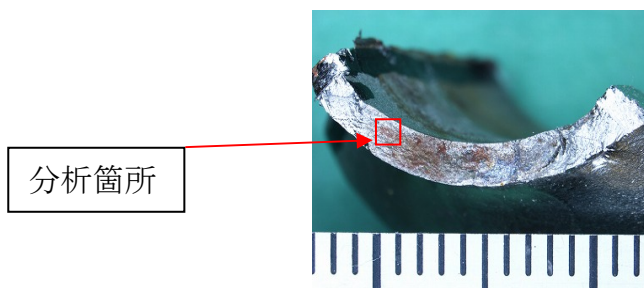
中央左



中央

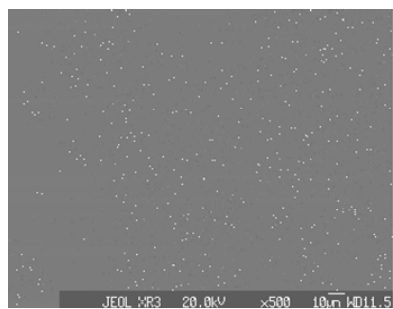
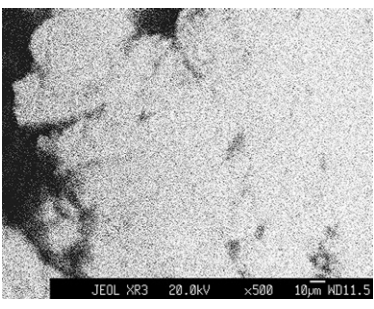
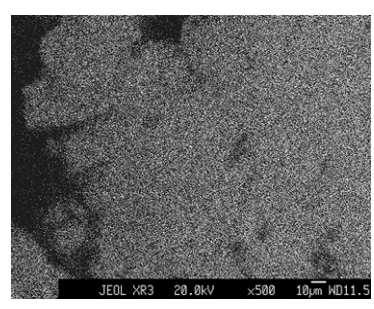
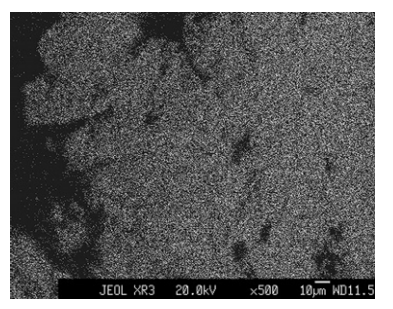
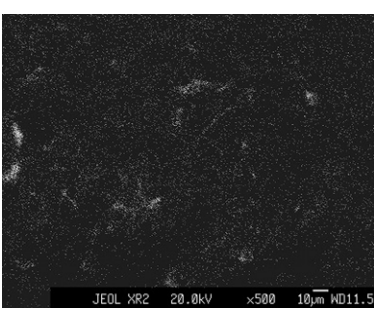
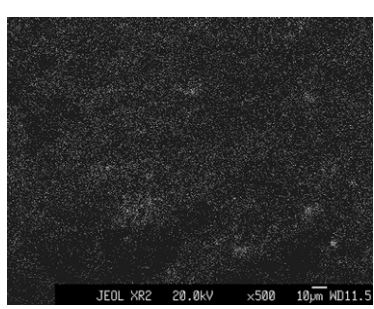
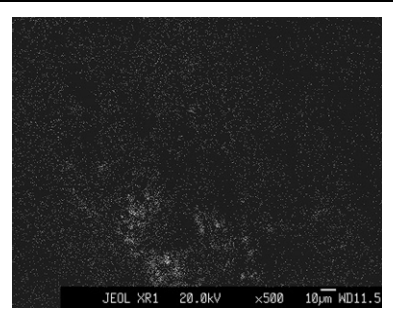
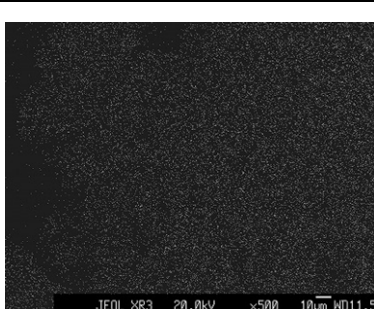
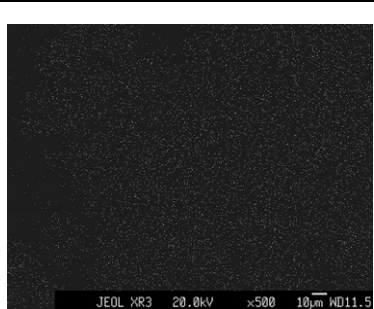
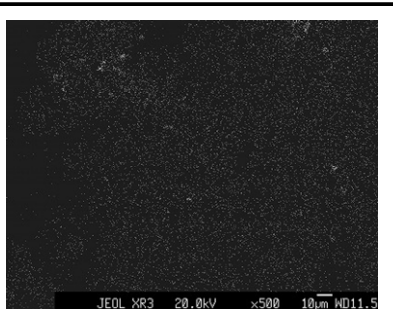
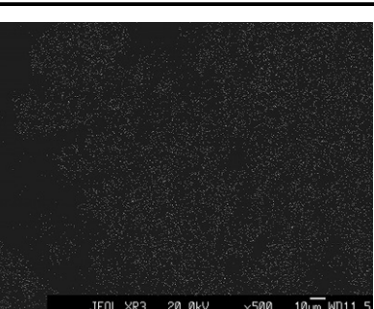


金属調査結果(破面EPMA分析)



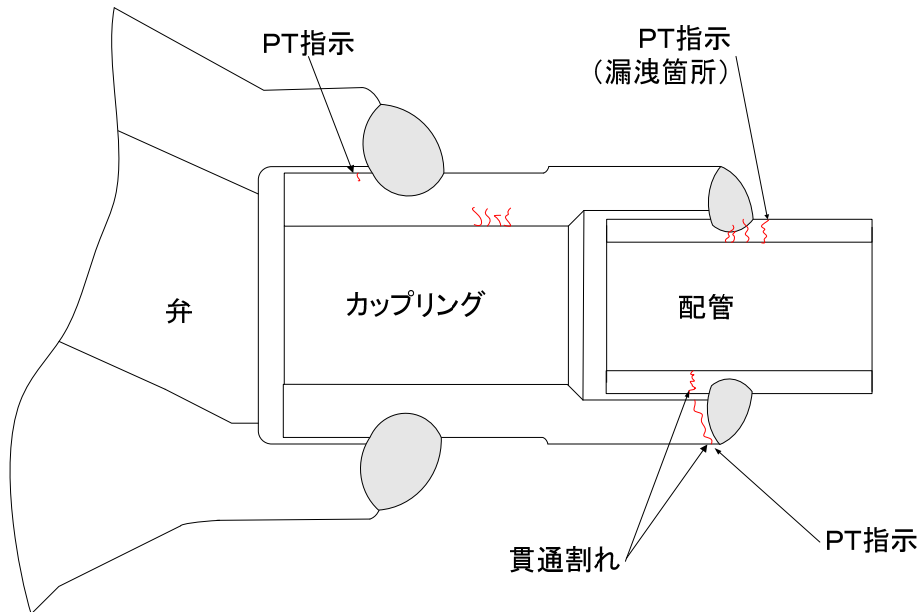
破面

EPMA分析画像

Cl	Fe	Cr
		
Ni	C	O
		
Si	Mn	Co
		
Cu	Mo	<p>破面EPMA分析の結果、微量の塩素(Cl分析画像の白いつぶつぶ)が認められた。</p>
		

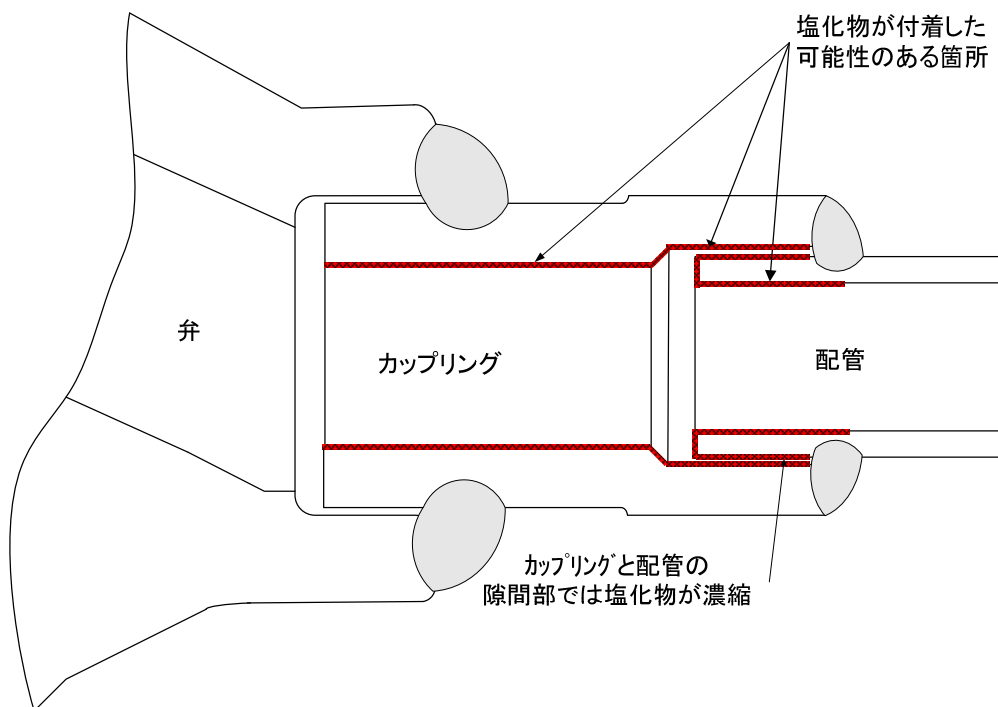
割れ発生箇所と塩化物付着箇所の推定

割れの発生箇所



↓ 割れの発生箇所より
塩化物の付着箇所を推定

塩化物の付着箇所推定



塩化物の混入経路について

工場製作から現時点までに塩化物混入の経路について調査した結果、以下の通りいずれの過程においても十分な管理がなされているが、運転段階を除き、何らかの要因で偶発的に塩化物が混入した可能性は、現時点においては完全には否定できない。

		部品	加工・組立	溶接結合
		弁 	加工・組立 	溶接
		カップリング 丸棒 	切削 	発送
		配管 素管 	切断 	据付
製作 段階	弁	<ul style="list-style-type: none"> ・部品は加工完了後、組立前に蒸気洗浄およびアルコール洗浄を行っている。 ・検査で使用する液体浸透探傷剤および組込むグランドパッキン等は副資材登録されたものを使用している。 ・水圧試験時に使用する水は純水を使用している。 ・水圧試験完了後は弁の内面点検を実施後、速やかに開口部をポリキャップ等で蓋をしている。 ・梱包前には弁の内面点検を実施し、残留異物を確認後ポリエチレン袋に挿入し、全面養生している。 		
	カップ リング	<ul style="list-style-type: none"> ・機械加工時は切削油を使用しているが副資材登録されたものを使用している。 ・機械加工後、エア吹きおよびアセトンで拭取りを実施している。 		
	配管	<ul style="list-style-type: none"> ・マーキングに使用するマジックは副資材登録されたものを使用している。 ・当該配管の切断時は切削油は使用していない。 		
	溶接	<ul style="list-style-type: none"> ・開先合わせ前には開先内外面をアセトンで洗浄している。 ・溶接作業時は管内面にアルゴンパージを行うのみで、内面へのC 1 残留の可能性はない。 ・検査で使用する液体浸透探傷剤は副資材登録されたものを使用している。 		
	発送前 洗浄、 梱包	<ul style="list-style-type: none"> ・管外面はアルコール洗浄を行い、内面には界面活性剤を圧入して脱脂洗浄し、その後純水洗浄を行っている。 ・梱包前には配管開口部より異物確認の上、速やかにポリキャップで蓋をし、外表面をポリシートで全面養生している。 		
据付 段階	据付	<ul style="list-style-type: none"> ・当該ブロックのポリシート養生は現場搬入後、据付直前の異物確認まで開梱していない。 ・異物確認時はポリシートの一部を開梱し、確認後はすぐにポリキャップを取付けている。 ・開先合わせ作業直前にポリシート養生をすべて取り去り、開先合わせを実施し、当日のうちに溶接作業は完了している。 		
	検査	<ul style="list-style-type: none"> ・耐圧時に使用する耐圧水は純水を使用している。 		
運転段階		<ul style="list-style-type: none"> ・当該ベント弁は定検時の水抜き・水張り操作で使用されるが、格納容器内に設置され、内部の水質管理は十分されているため塩素混入の可能性はない。 		