

伊方発電所第3号機
海水淡水化装置
R O 高圧ポンプ軸シール部の海水飛散
防止カバーの損傷について

平成27年 9月
四国電力株式会社

1. 件 名

伊方発電所第3号機 海水淡水化装置
RO高圧ポンプ軸シール部の海水飛散防止カバーの損傷について

2. 事象発生の日時

平成27年 6月19日 16時40分頃

3. 事象発生の設備

3号機 海水淡水化装置 RO高圧ポンプA号機

4. 事象発生時の運転状況

3号機 第13回定期検査中

5. 事象の概要

伊方発電所第3号機は定期検査中のところ、平成27年6月19日16時40分頃、3号機海水淡水化装置のRO高圧ポンプ※¹A号機の軸シール部の海水飛散防止カバー※²が損傷しているのを保修員が確認した。

海水飛散防止カバーの損傷状況を確認したところ、熱による変形および変色が見られた。

また、RO高圧ポンプA号機本体を分解調査したところ、軸シール部の主軸に取り付けられた軸端側のパッキンスリーブ※³が、軸受側から約32mm主軸と平行に割れていることを確認した。

パッキンスリーブは、新品に取り替え、平成27年7月24日19時11分RO高圧ポンプA号機の試運転を行い、正常であることを確認した。

なお、本事象による周辺環境への影響はなく、3号機海水淡水化装置のRO高圧ポンプB号機の運転により必要な淡水を確保できることからプラントへの影響もなかった。

(添付資料－1，2)

※1 RO高圧ポンプ

海水淡水化装置の逆浸透膜（RO膜）に海水を高圧で送水するポンプ

※2 軸シール部の海水飛散防止カバー

ポンプの軸シール部は、冷却と潤滑のため常に微量に流体（海水）が流出しており、主軸の回転により流体が軸シール部の周辺への飛散を防止するカバー

※3 パッキンスリーブ

主軸とグランドパッキン（シール材）の直接接触による主軸の摩耗を防止するために、主軸に取り付けた円筒状のカバー

6. 事象の時系列

平成27年6月19日

13時52分 海水淡水化装置A号機起動

16時03分 運転員がRO高圧ポンプA号機海水飛散防止カバーの外

16時40分	れを確認し、RO高圧ポンプA号を停止 保修員が海水飛散防止カバーの損傷を確認
～6月29日	RO高圧ポンプA号機の分解調査を実施し、主軸に取り付けられたパッキンスリーブに軸受側から約32mmの割れを確認
～7月23日	RO高圧ポンプA号機の分解点検・組立終了
7月24日 19時11分	RO高圧ポンプA号機の試運転にて、正常であることを確認した。

7. 調査結果

RO高圧ポンプA号機の軸シール部の海水飛散防止カバーの損傷およびパッキンスリーブの割れが発生した原因について、以下の調査を行い要因の検討を実施した。

(1) 現場調査（事象発生時）

a. 海水飛散防止カバー

軸端側の軸シール部の海水飛散防止カバーは、熱による変形および変色が認められた。

モータ側の軸シール部の海水飛散防止カバーは、異常は認められなかった。
(添付資料－3)

b. ポンプ

ポンプ停止状態からハンドターニングにてポンプを回転させた結果、接触による異音、固着等の異常はなく、ポンプが回転することを確認した。

(2) ポンプ分解点検調査

a. ポンプ本体（ケーシング、インペラ、主軸、軸受等）

ポンプ本体の分解点検結果、傷・割れ等は無く異常は認められなかった。

b. パッキンスリーブ

軸端側のパッキンスリーブは、全長102.5mmの内、軸端側から主軸と平行方向に向かい、内外面を貫通した幅 約1mm、長さ約32mmの割れを確認した。

モータ側のパッキンスリーブは、異常は認められなかった。

(添付資料－3, 4)

(3) 海水飛散防止カバーの変形および変色の調査

海水飛散防止カバーの形状は、長さ約70mm、幅170mm、厚さ5mmのトンネル型であったが、軸端側から見て中央部で二つに割れ、左側の半分は内側に折り込まれ、右側も一部分が内側に折り込まれており、折り込まれた端

部は、こすれて変色していた。

(添付資料－４)

(４) パッキンスリーブの割れ発生の調査

a. 内外表面観察

割れは、内外面ともに内側より軸端側に向かい進行しており、軸端側で割れが口を開いていた。

外面表面の軸端側の割れの範囲の外周は、金属光沢がなく孔食^{※４}が多くみられた。

(添付資料－５，６)

※４ 孔食：金属材料の表面に生じる局所的な腐食

b. 破面観察

破面を観察すると、軸端側よりも奥側に著しく腐食した領域があり、古い順に、こげ茶、茶色、うす茶色、ねずみ色と時間をかけて成長した様相であった。軸端から約２７mmの位置に、こげ茶色の領域があり、外表面を中心に半円形状に分布しており、この中心が割れの起点と推定される。

(添付資料－７)

c. 断面ミクロ観察

起点と思われる領域を円周方向に断面観察すると、外表面に孔食、粒界腐食が見られ、割れが結晶粒界に沿っている様相が見られた。

(添付資料－８－１)

割れの起点と推定する領域は、ステライト組織から近く、ステンレス母材（ＳＵＳ３１６）は、ステライト肉盛りとの境界で熱影響を受けやすい領域に含まれ、また、残留応力が大きい場所であった。

(添付資料－８－２)

以上より、外表面において孔食が発生した後、これを起点として環境（海水）、材料（ステンレス鋼の熱影響部）、応力（ステライト肉盛りによる残留応力）の３条件がそろって、応力腐食割れを生じたと推定される。

なお、内外面、側面などその他にも孔食は発生しているものの、応力腐食割れにまで発展する条件は、そろっていなかったと推定される。

(５) 保守状況の調査

a. ポンプ点検状況

ＲＯ高圧ポンプの前の分解点検は、Ａ号機：平成２１年１０月～１２月、Ｂ号機：平成２４年２月～３月に実施し異常はなかった。

また、Ａ，Ｂ号機共にパッキンスリーブは、取替用部品として取り替えられている。

b. 点検計画

分解点検計画は、平成２１年以前は１回／３年で実施していたが、日常の巡視点検等で異常兆候が確認された場合に、分解点検が実施できる設備であ

るため、過去の分解点検結果に異常がないことにより分解点検計画を見直し、A号機は平成21年、B号機は平成24年より1回／6年に変更している。

c. 軸シール部の海水飛散防止カバー取替状況

軸シール部からのドレン水は通常時少量であり、ドレン受け内にとどまるが、平成6年に3号機海水淡水化装置RO高圧ポンプが運転開始されたのち、極微量の水しぶきによる床面の汚れを防止するため、RO高圧ポンプの運転には必要ないが、念のため海水飛散防止カバーを当社にて取り付けたもので、本事象まで取替は実施していない。

(6) 運転状況の調査

RO高圧ポンプは、水の貯蔵タンク水位低下により海水淡水化装置を起動し製造する時に運転するポンプであり、A、B号機は交互に運転され1日の運転時間は異なり、至近の平均運転時間は、A号機は約70～90時間／月、B号機は90時間～100時間／月である。

RO高圧ポンプB号機の運転状態は正常であり、海水飛散カバーおよびグランドスリーブは、目視や摺動音の確認等により異常がないと判断している。

(7) 類似ポンプの調査

当該ポンプは海水を高圧で注入する特殊なポンプであり、類似ポンプはRO高圧ポンプB号機のみである。

8. 推定原因

RO高圧ポンプA号機の海水飛散防止カバーが損傷した原因は、パッキンスリーブが割れたことにより、割れ部から出た水の勢いで海水飛散防止カバーがずれて傾き、回転部と接触したことで、こすれて変形および変色が生じたと思われる。

(添付資料－9)

主原因となるパッキンスリーブの割れは、平成21年から分解点検計画を1回／3年から1回／6年に変更し約6年運転したことで、応力腐食割れが小さなうちに発見できなかったため、割れが軸端部まで成長したものと推定される。

9. 対策

(1) RO高圧ポンプA号機は、分解点検を実施してパッキンスリーブを新品に取り替え、ポンプ本体に異常のないことを確認した。

(2) RO高圧ポンプB号機は、前回の分解点検（平成24年）から3年目であり、以前の分解点検周期（1回／3年）において異常は発生していないことから、現時点ではパッキンスリーブの割れに至ることはないと考えている。なお、平成27年内に開始予定の3号機海水淡水化装置定期点検時に分解点検を実施する。

(3) 海水飛散防止カバーは、当社にて水しぶきによる床面の汚れを防止するため取

り付けたが、水しぶきは極微量であり定期的に汚れを拭き取っており、海水飛散防止カバーを取り外してもポンプの運転には影響はなく、本事象の発生を防止する観点からRO高圧ポンプA，B号機ともに取り外すこととした。

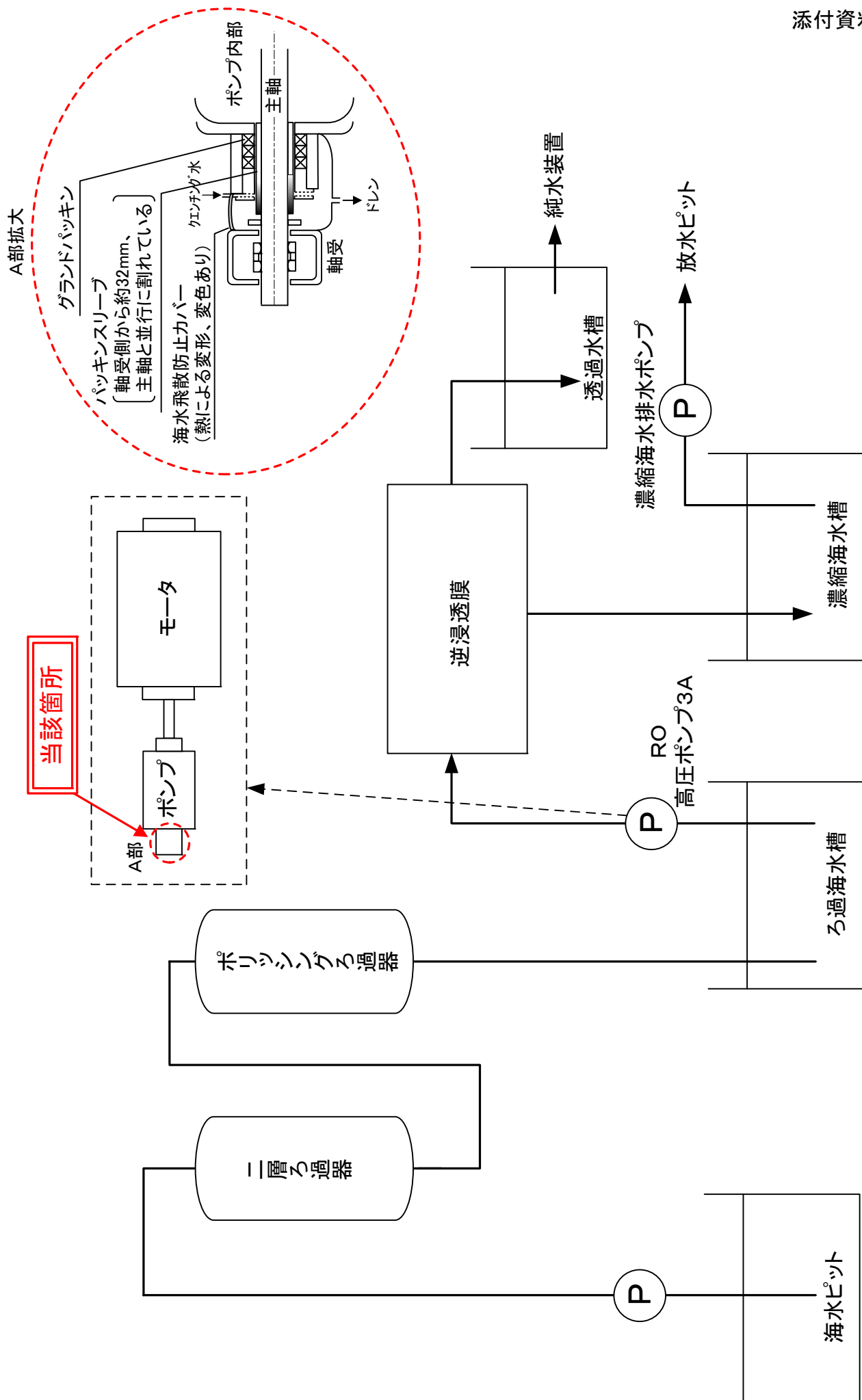
- (4) RO高圧ポンプA，B号機の分解点検は、1回／6年から従来の1回／3年の周期で実施する計画に戻す。

以 上

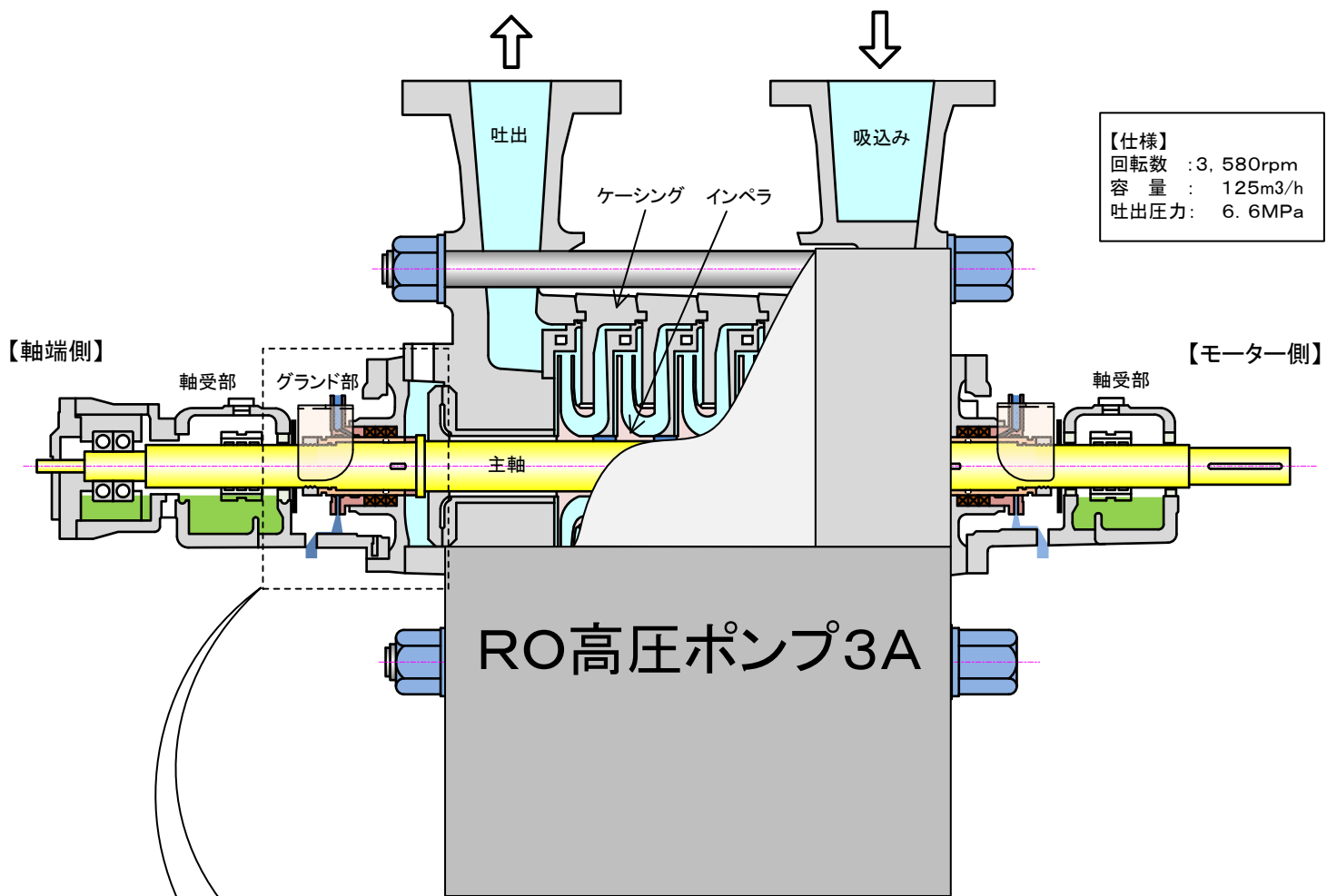
添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方発電所第 3 号機 海水淡水化装置概略系統図
- 添付資料－ 2 3 号機 海水淡水化装置 R O 高圧ポンプ概略図
- 添付資料－ 3 R O 高圧ポンプ A 号機 グランド部 モータ側状況
- 添付資料－ 4 R O 高圧ポンプ A 号機 グランド部 損傷状況図
- 添付資料－ 5 パッキンスリーブ 外表面観察
- 添付資料－ 6 パッキンスリーブ 内表面観察
- 添付資料－ 7 パッキンスリーブ 破面観察
- 添付資料－ 8－ 1 パッキンスリーブ 断面ミクロ観察
- 添付資料－ 8－ 2 パッキンスリーブ 断面ミクロ観察
- 添付資料－ 9 海水飛散防止カバー 損傷の推定メカニズム

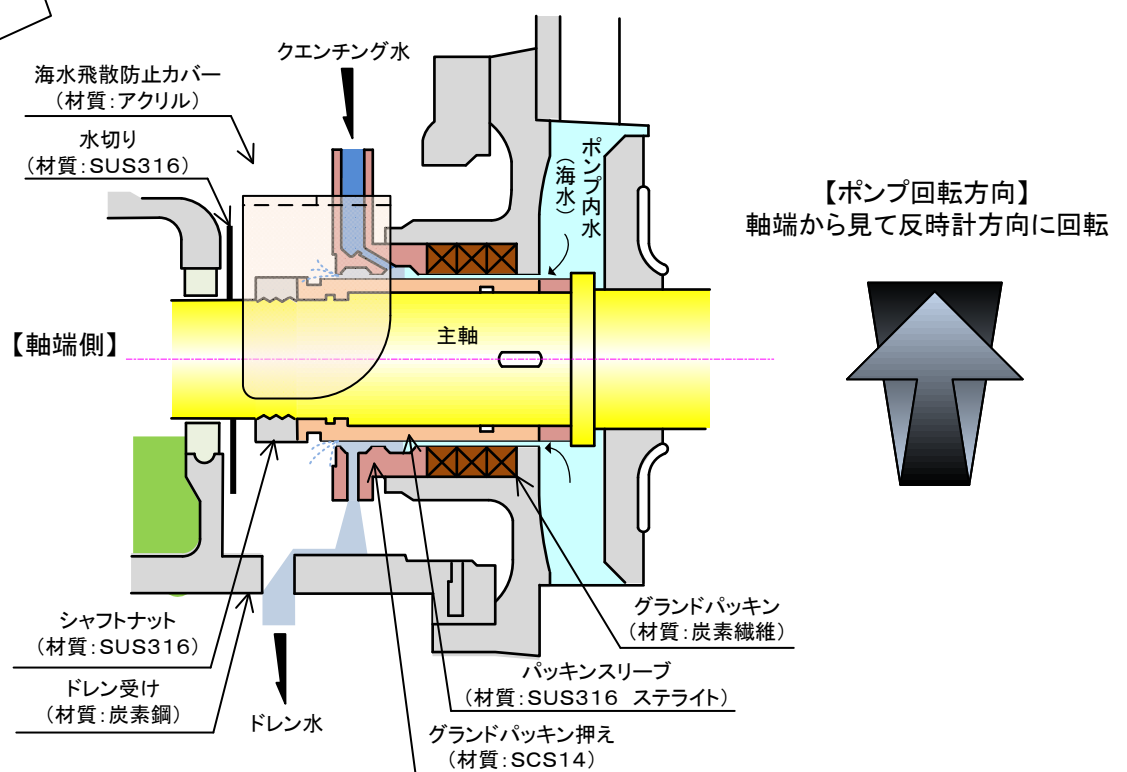
伊方発電所3号機 海水淡水化装置概略系統図



3号機 海水淡水化装置RO高圧ポンプ概略図



RO高圧ポンプグランド部構造図



RO高圧ポンプA号機グランド部モータ側状況

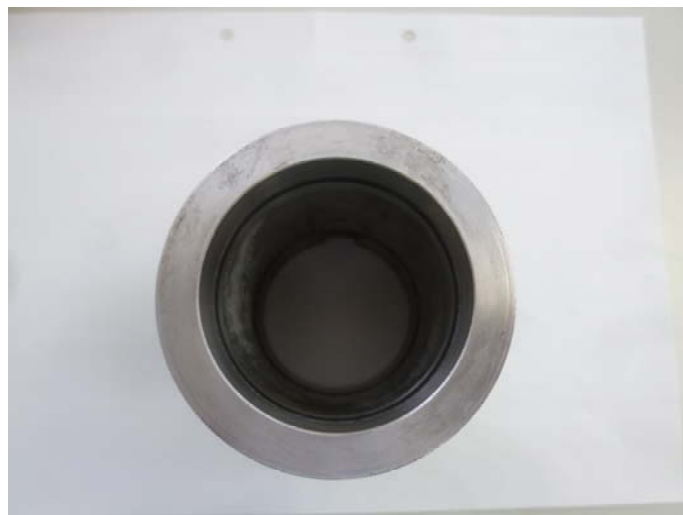
【モータ側の海水飛散防止カバー】



【モータ側のパッキンスリーブ】

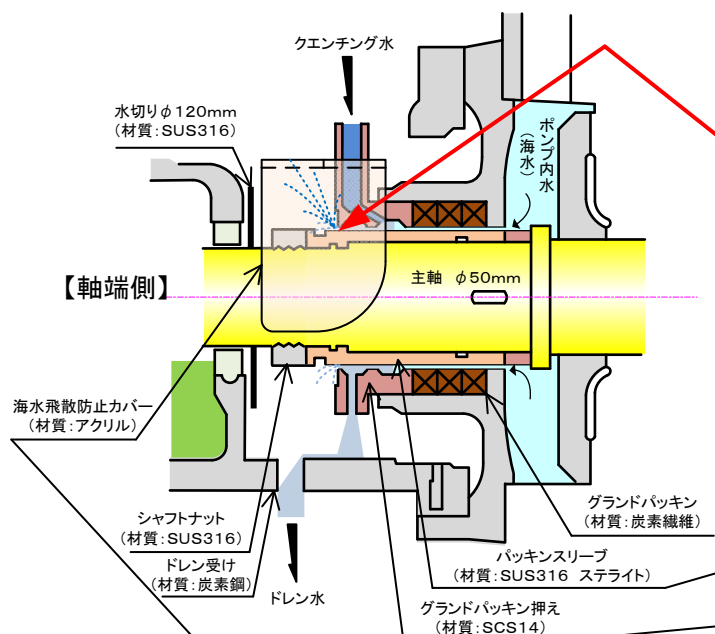


外表面



側面

RO高圧ポンプA号機グランド部損傷状況図



パッキンスリーブ

【軸端側】

割れ箇所



上部から見た状況

海水飛散防止カバー

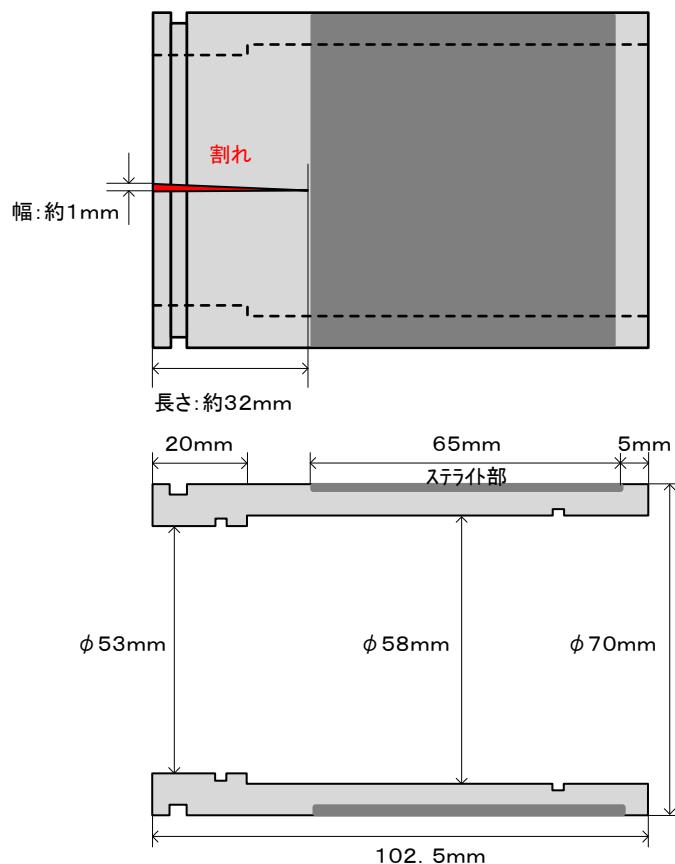
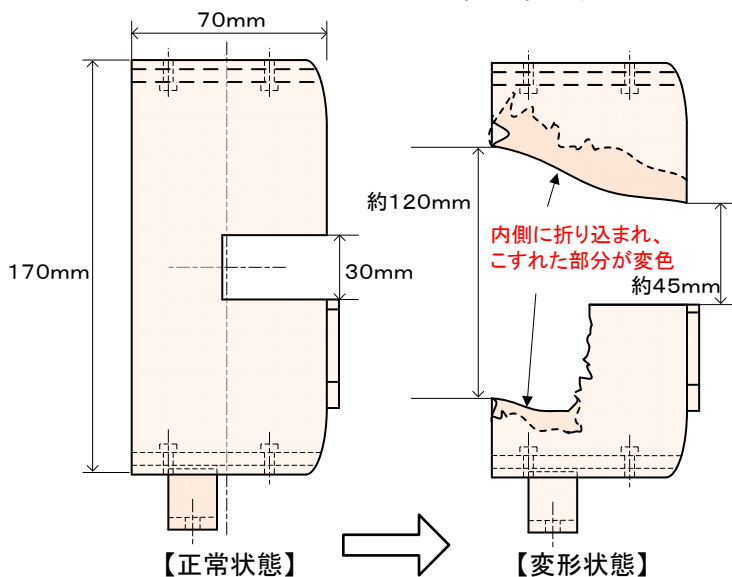
【軸端側】

変形箇所



上部から見た状況

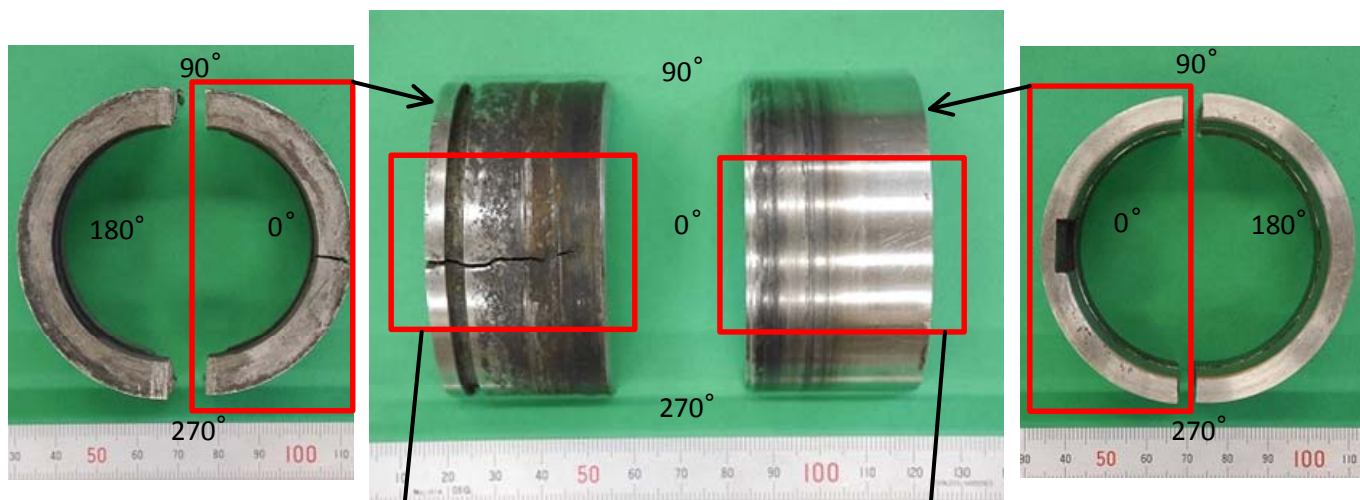
形状:トンネル型
材質:アクリル
厚さ:約5mm



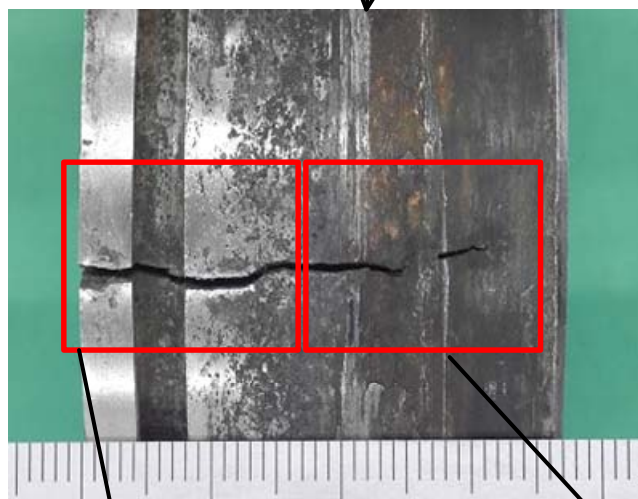
形状:円筒型
材質:SUS316
+外面ステライト
コーティング※

※ステライトコーティング(厚さ約1.5mm)
硬質で耐摩耗性・耐食性・耐高温酸化性に
優れた合金でグランドパッキンとの摺動部を
保護する目的で表面にステライトを肉盛り溶
接して表面は滑らかに仕上げています。

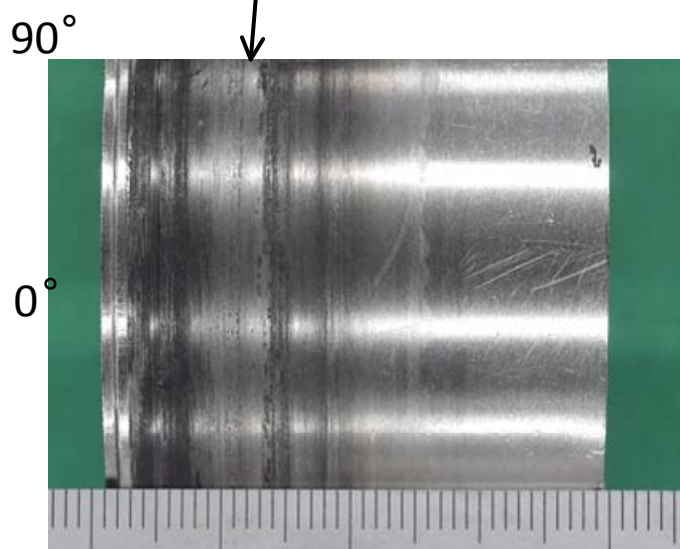
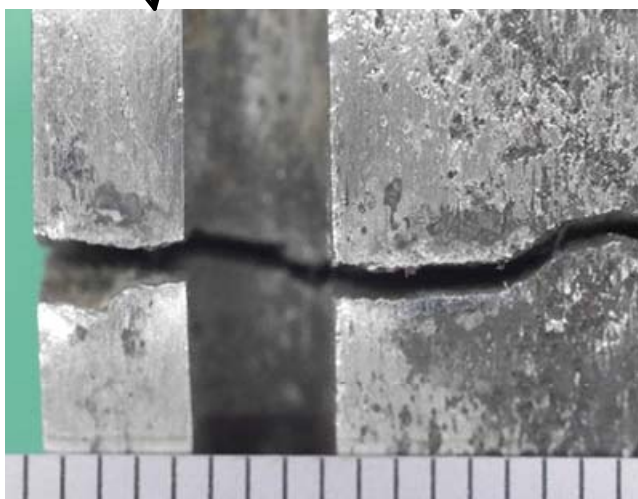
パッキンスリーブ外表面観察



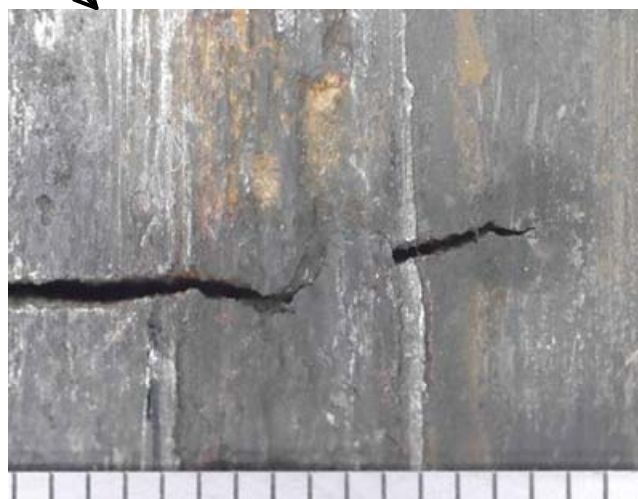
【軸端側】



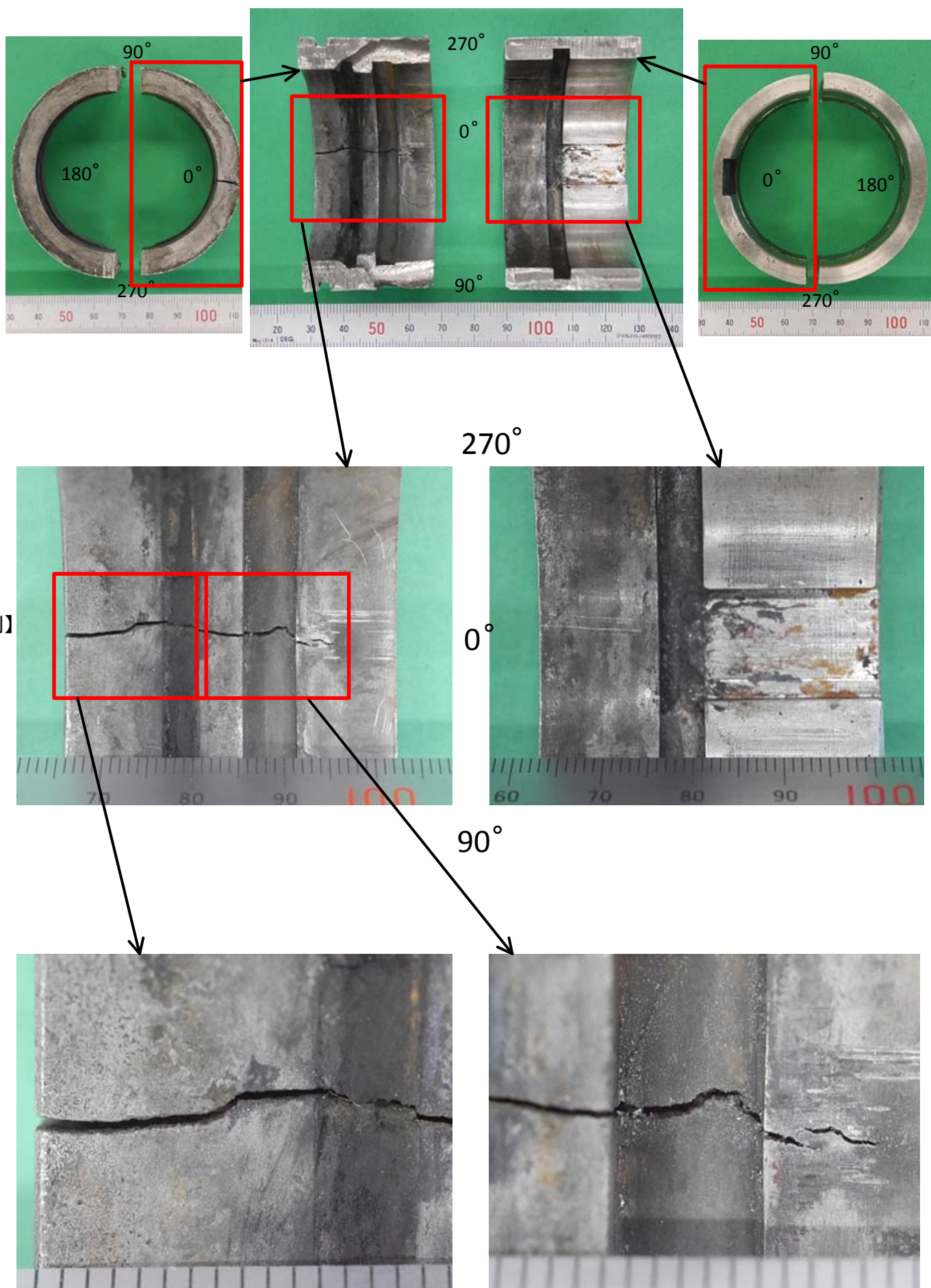
金属光沢もなく孔食が多くみられる



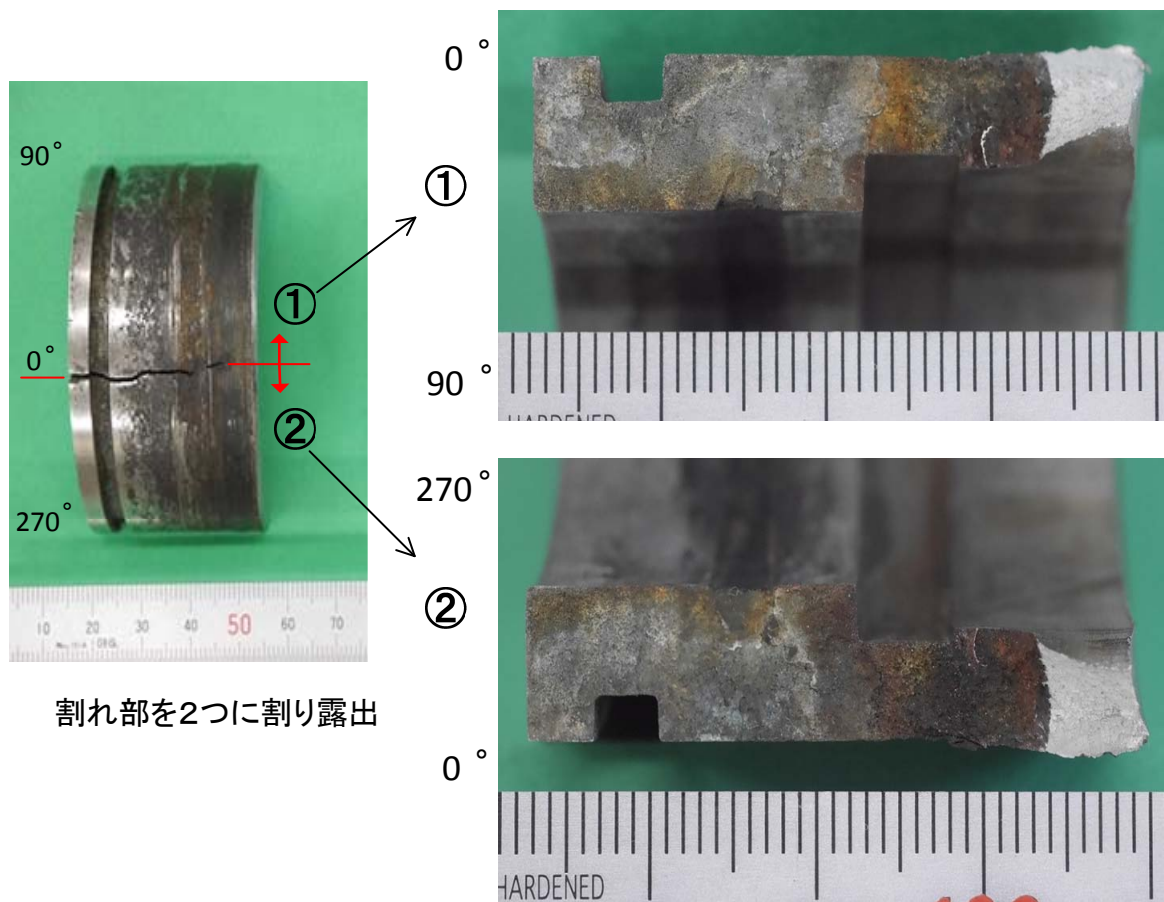
きれいな金属光沢で異常なし



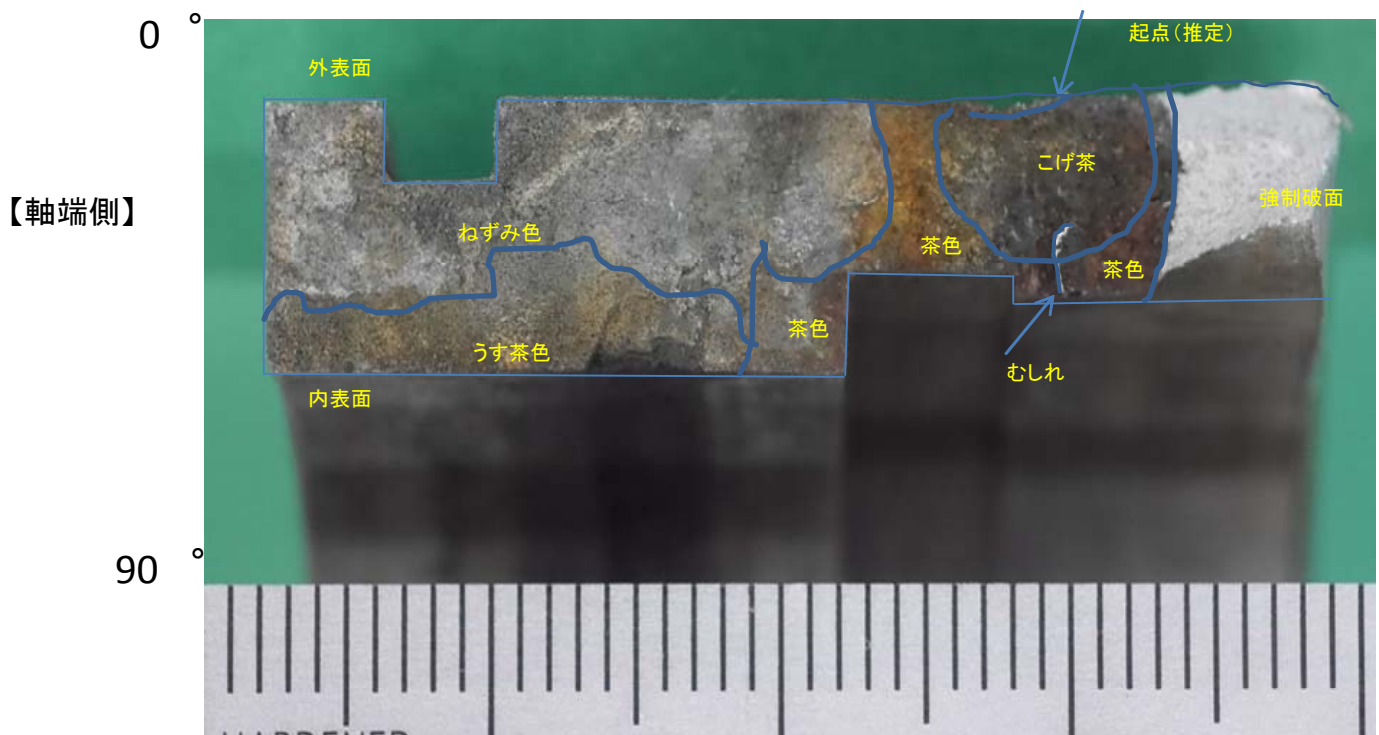
パッキンスリーブ内表面観察



パッキンスリーブ破面観察

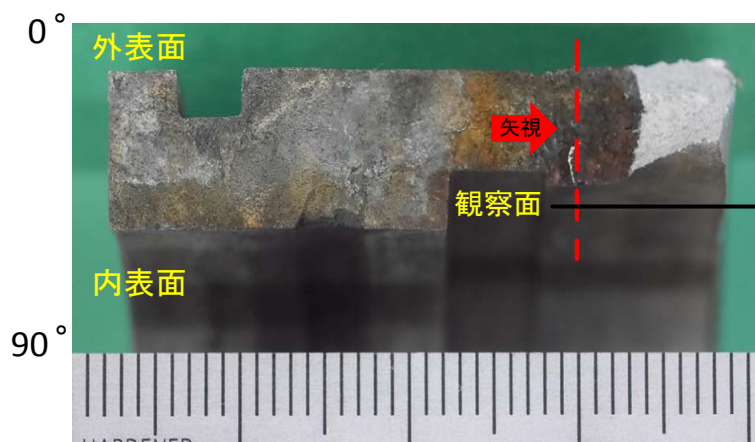


①の観察

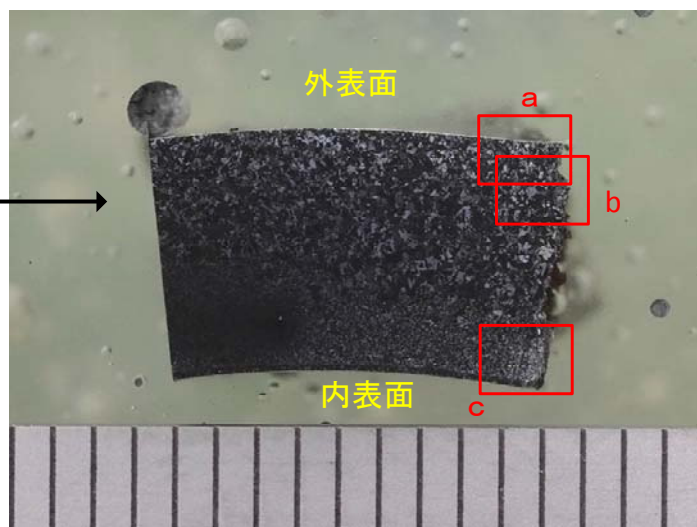


パッキンスリーブ断面マイクロ観察

円周方向に切断

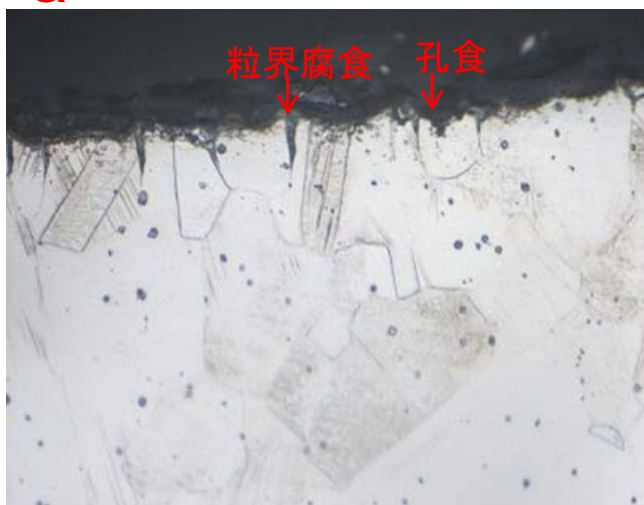


円周方向に切断して断面観察面

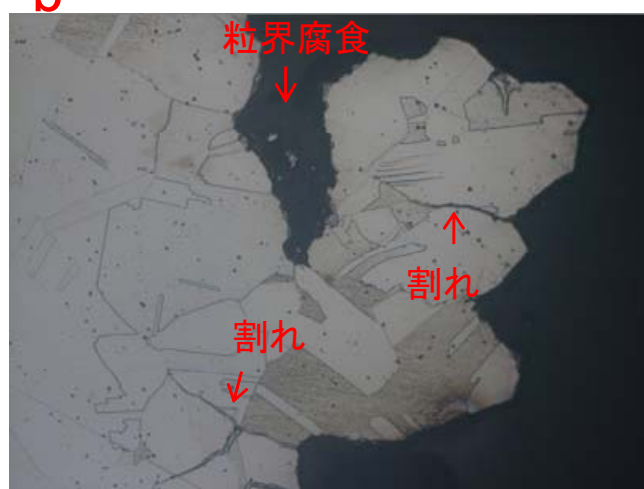


a, b, c 断面マイクロ観察面

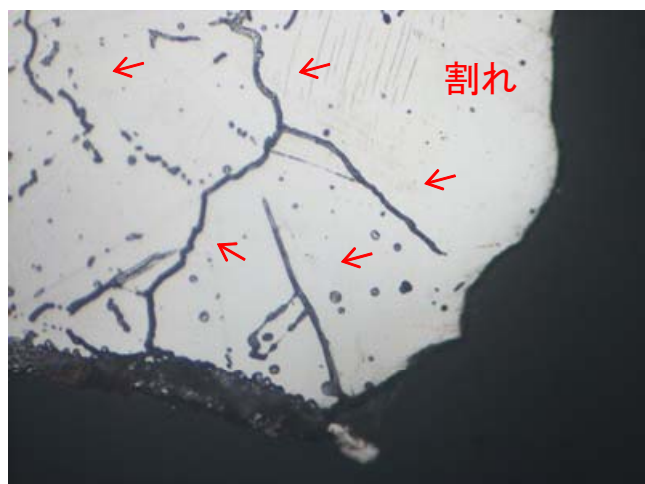
a



b



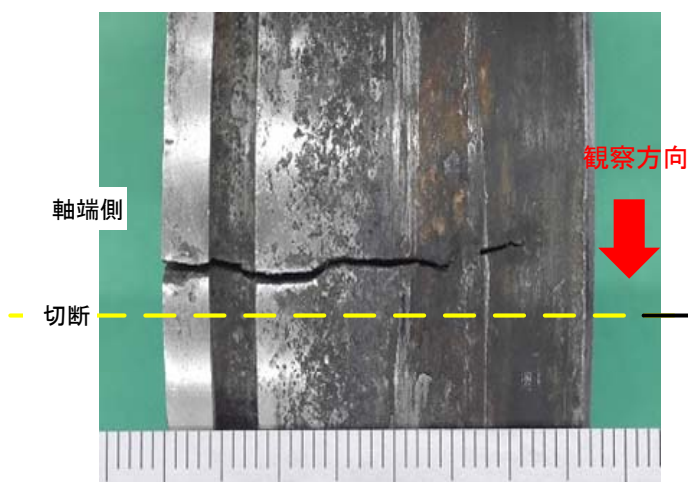
c



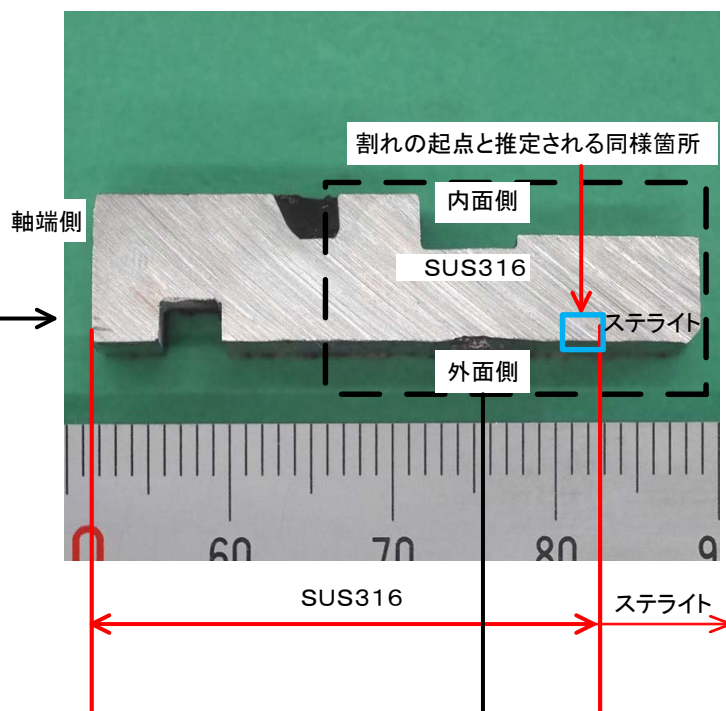
割れは、結晶粒界に沿った様相

パッキンスリーブ断面マイクロ観察

割れ近傍を断面観察



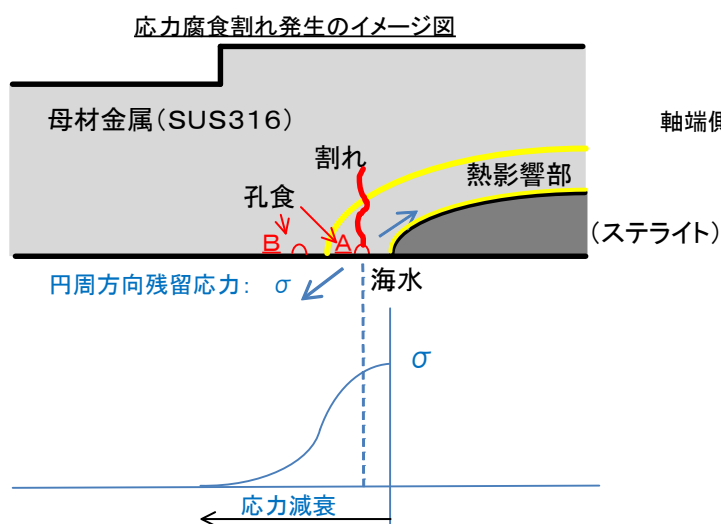
切断面



【応力腐食割れを引き起こす要因】

- 材料の応力腐食割れ感受性(材料特性:ステンレス)
- 継続的な引っ張り応力の存在
- 環境(海水)

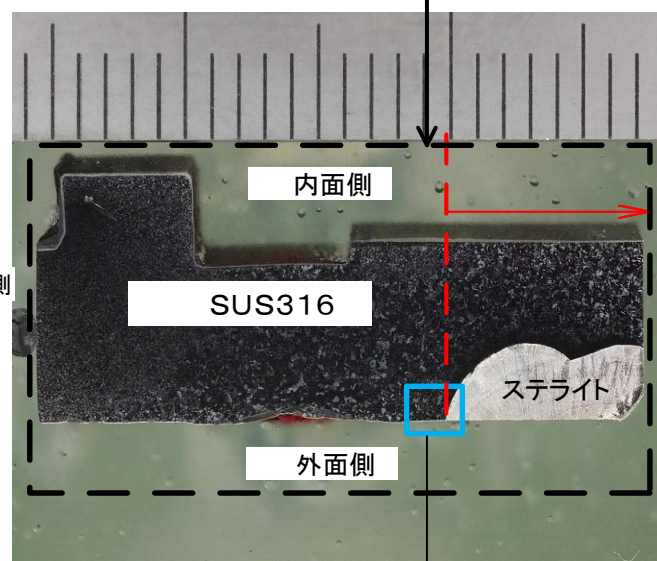
●3条件がそろって発生するが、1つでも条件がそろわなければ発生しない。



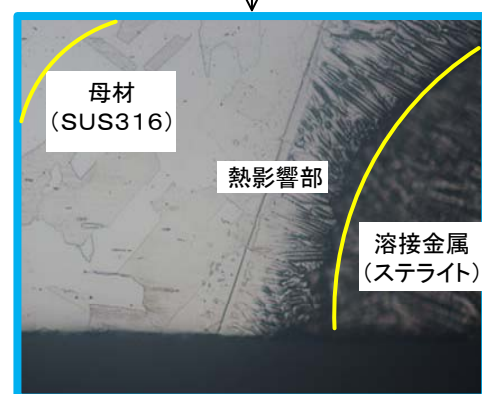
引張りの残留応力が大きいと、孔食から割れに成長する

孔食Aは、起点と推定される箇所に溶接金属(ステライト)と母材金属の溶接溶け込み(熱影響)部内に発生しており、さらに金属同士が引張りの残留応力が大きい場所で環境(海水)の3条件がそろって、応力腐食割れに発展したと推定される。

孔食Bは、溶接金属(ステライト)と母材金属の溶接溶け込み部の外側に発生し、引張りの残留応力が小さい箇所であったため、応力腐食割れには発展しなかった。



断面観察のためエッチング処理した観察写真



起点と推定箇所の断面マイクロ観察写真

海水飛散防止カバー損傷の推定メカニズム

添付資料－9

事象の流れ	横から見た図	上から見た図
健全状態 【回転部】 主軸・シャフトナット・パッキンスリーブ・水切り 【静止部】 グランドパッキン・グランド押さえ・グランドケース		
パッキンスリーブが割れて 割れ部から水が出る		
海水飛散防止カバーは、パッキンスリーブの割れ部から出た水の勢いで、ずれて傾き回転部(水切り)に接触 水切り: 軸受部に水が入るのを防止する円形板		
海水飛散防止カバーは、回転部(水切り)とこすれて中央部から左右に割れ		
左右に割れた海水飛散防止カバーは、回転部と接触しながらこすれて変形および変色		