

美浜発電所2号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第24回定期検査)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

美浜発電所2号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力50.0万kW）は、平成19年7月20日から第24回定期検査を実施しているが、平成20年7月28日に原子炉を起動し、同日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、7月30日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、8月下旬には経済産業省の最終検査を受けて営業運転を再開する予定である。

※ 定期検査開始時には平成19年11月上旬に発電を再開、11月下旬に定期検査を終了する予定であったが、A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷とA-余熱除去ポンプ軸封部の不調に対応するため、定期検査期間を延長した。

1 主要工事等

(1) 1次系小口径配管継手部取替工事 (図-1参照)

1次系小口径配管の信頼性向上の観点から、通水時に母管と共振する可能性のある安全注入系統の分岐配管部のうち、原子炉補助建屋内のベント管やドレン管、圧力計取出し管の9箇所について、溶接部での応力集中が小さい形状（突合せ溶接）に変更した。

(2) 耐震裕度向上工事 (図-2参照)

設備の耐震性を一層向上させるため、格納容器冷却水クーラ2台の支持構造物を強化した。また、安全注入系などの配管や格納容器排気系などのダクトの支持構造物の強化について、追加で実施した。

(3) 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る予防保全工事

(図-3、図-6参照)

国内外PWRプラントでの応力腐食割れ事例を踏まえ、予防保全として溶接部表面の残留応力を低減させるため、600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器の冷却材出入口管台、安全注入管台、炉内計装筒管台の各溶接部について、ウォータージェットピーニング*を施工した。また、A-蒸気発生器の出口管台溶接部、B-蒸気発生器の出入口管台溶接部については、ショットピーニング*を施工した。

なお、A-蒸気発生器の入口管台溶接部については、ショットピーニング*²施工前の渦流探傷試験で応力腐食割れによる傷が認められたことから、セーフエンド部を新品に取り替え、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。(次ページの3(1)参照)

※ 金属表面の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる工法で、金属表面に高圧ジェット水を吹き付ける工法(ウォータージェットピーニング)と、金属表面に金属の玉を高速度でたたきつける工法(ショットピーニング)

(4) 高圧給水加熱器取替工事

(図-4参照)

同機で過去に発生した高圧給水加熱器伝熱管の応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、高圧給水加熱器2基について、伝熱管を銅合金製から耐食性に優れたステンレス鋼製に変更した新しいものに取り替えた。

2 設備の保全対策

(1) 2次系配管の点検等

(図-5参照)

①関西電力(株)の定めた「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、2次系配管1,236箇所*について超音波検査(肉厚測定)等を実施した結果、必要最小厚さを下回る箇所および次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性があるとして評価された箇所はなかった。

(超音波検査1,203箇所*、内面目視点検33箇所)

※ 定期検査開始時の計画では、1,057箇所の超音波検査を実施する予定であったが、下記の点について見直し、合計179箇所が追加となった。

・他プラントの減肉事象を踏まえた追加	221箇所増
・配管の追加取替えによる変更	42箇所減
	合計 179箇所増

②今定期検査開始時には95箇所の配管取替えを計画していたが、配管取替えの作業性や今後の保守作業を考慮して42箇所を追加し、合計137箇所の配管を取り替えた。

3 定期検査中に発生した安全協定に基づく異常事象

(1) A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷 (図-6参照)

今定期検査において、蒸気発生器（全2台）の1次冷却材入口および出口管台の600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れ予防保全工事としてショットピーニング工事を計画しており、事前に当該溶接部内面について渦流探傷試験を実施したところ、A-蒸気発生器の入口管台溶接部で有意な信号指示が13箇所で見られた。有意な信号指示が見られた箇所について、超音波探傷試験を実施し、傷の深さを確認したところ、最大深さが約13mmと評価された。

詳細調査の結果、溶接部では、応力腐食割れに特有の結晶境界に沿った割れが見られ、応力腐食割れが発生する可能性がある引張り残留応力が確認されたことから、応力腐食割れが発生・進展したものと推定された。また、セーフエンド部については、粒界に沿って枝分かれした割れが見られ、高い引張り残留応力が確認されたことから、引張り残留応力による影響の可能性が高いと推定された。

対策として、セーフエンド部を新品に取り替え、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。

[平成19年9月25日、10月18日、平成20年2月4日 公表済]

(2) A-余熱除去ポンプ軸封部の不調について (図-7参照)

原子炉起動準備中の7月21日11時29分、A-余熱除去ポンプ室のサンプル（水溜め）水位の上昇を示す警報が発信した。直ちに現場を確認したところ、停止中のA-余熱除去ポンプ軸封部（メカニカルシール）から配管を介してサンプルに回収されている軸封水の量が、運転時の管理基準値*を超えて漏れ出ていることが確認された。

*管理基準値は1ℓ/時以下であり、今回の漏えいは約43ℓ/時程度であった。

[平成20年7月22日 環境安全管理協議会で公表済]

当該ポンプの軸封部は、軸に固定されている回転リング（タングステン製）に対し、固定リング（カーボン製）をその背面からベローズ（蛇腹状のバネ）で押しあわせることで止水（シール）する構造となっている。

この軸封部を分解点検したところ、回転リングと接触している固定リング表面の摩耗量が円周上で均一ではなく、また、ベローズで押しあわせている固定リング背面の一部で、水平面が確保されていない部分があり、この部分で表面側の摩耗量が小さく、かつ漏えいの痕跡も見られた。

これらのことから、回転リングに対して固定リングの押しあわせる力が全周にわたって均一でなかったことから、ポンプ運転時において固定リング表面の摩耗量に差が生じる状態となり、ポンプ停止後の温度変化等の影響で、押しあわせ力の弱いところで漏えいに至ったものと推定された。

対策として、ベローズの押しつけ力が均一になるよう、固定リング背面の水平面が全周にわたって確保されていることを確認した新しい軸封部に取り替えた。今後は、回転・固定リングタイプの軸封部を取り替える際には、固定リング背面が全周にわたって水平であることを確認する。

4 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

2台ある蒸気発生器のうち、A-蒸気発生器伝熱管全数（3,382本）について、渦流探傷検査を実施した結果、異常は認められなかった。

5 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数 121 体のうち、45体（うち36体は新燃料集合体）を取り替えた。

燃料集合体の外観検査（25体）を実施した結果、異常は認められなかった。

6 次回定期検査の予定

平成21年 春頃

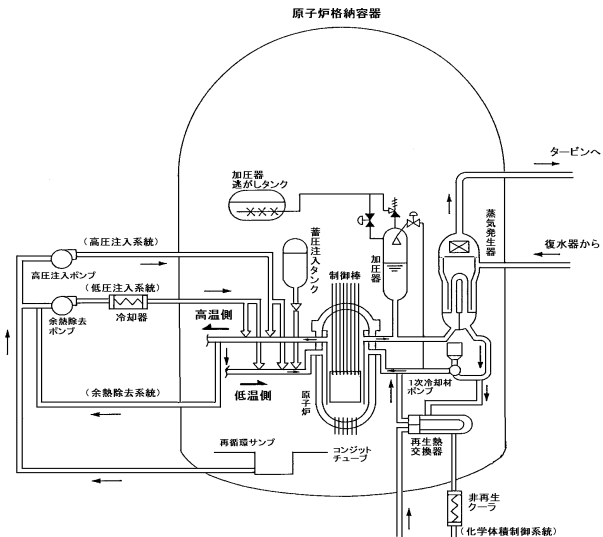
問い合わせ先(担当：藤内)
内線2354・直通0776(20)0314

図-1 1次系小口径配管継手部取替工事

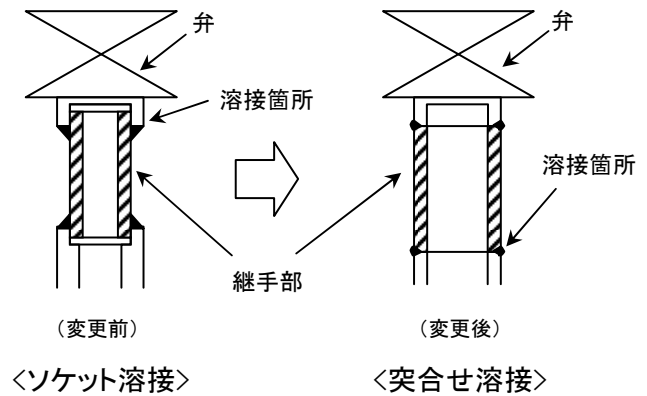
工事概要

1次系小口径配管の信頼性向上の観点から、通水時に母管と共振する可能性のある安全注入系統の分岐配管部のうち、原子炉補助建屋内のベント管やドレン管、圧力計取出し管の9箇所について、溶接部での応力集中が小さい形状(突合せ溶接)に変更した。

系統概要図



溶接形状変更概要図



取替範囲概要図

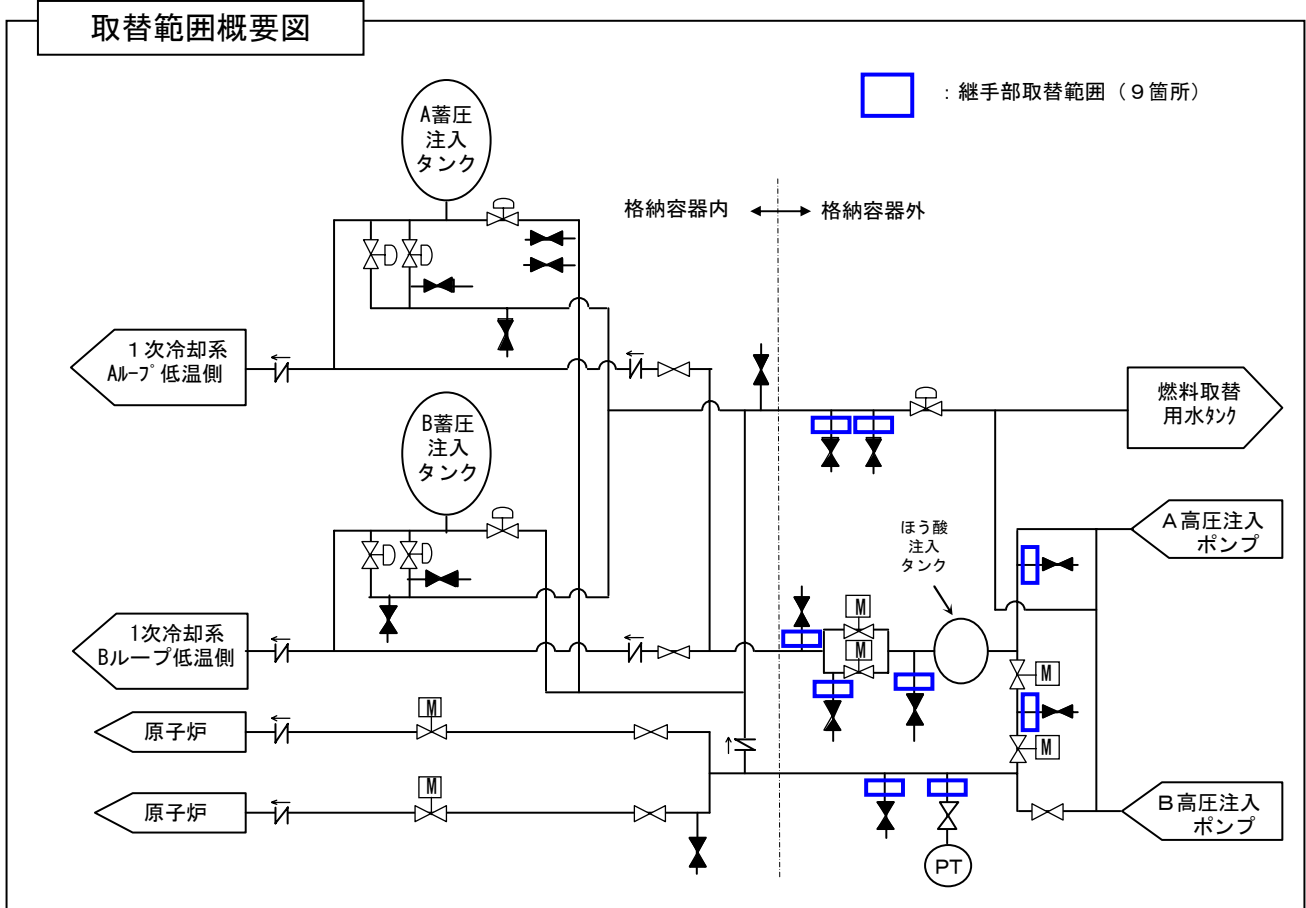
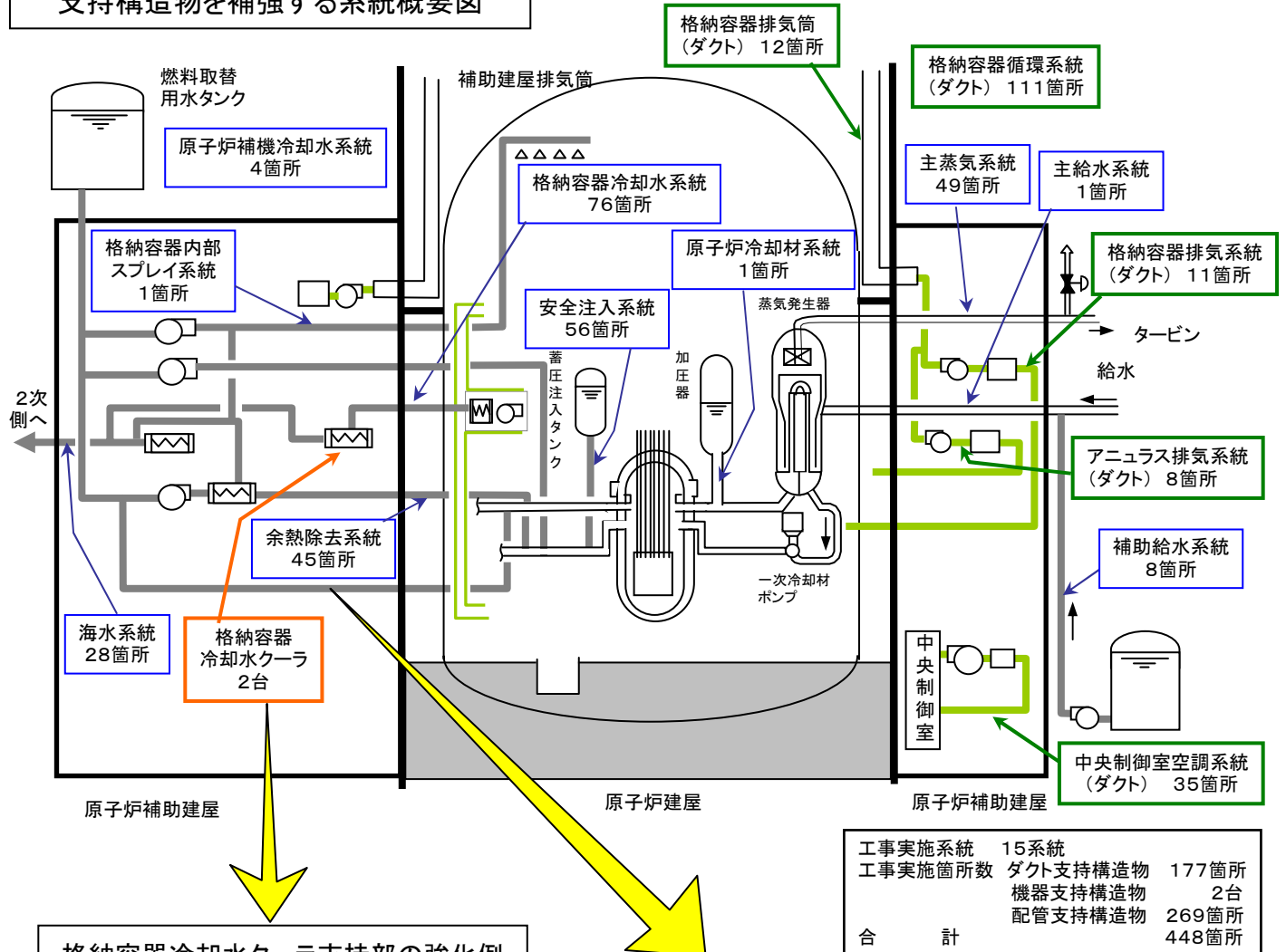


図-2 耐震裕度向上工事

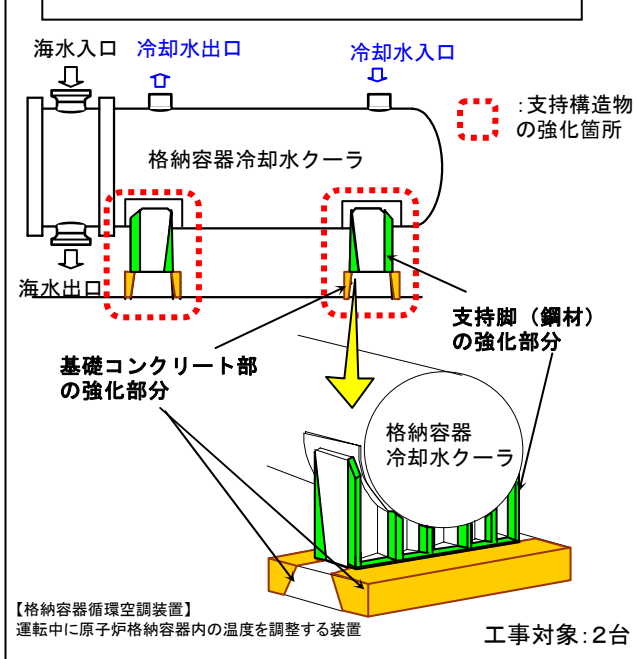
工事概要

設備の耐震性を一層向上させるため、格納容器冷却水クーラ2台の支持構造物を強化した。また、安全注入系などの配管や格納容器排気系などのダクトの支持構造物の強化について、追加で実施した。

支持構造物を補強する系統概要図



格納容器冷却水クーラ支持部の強化例



余熱除去システム 配管の支持部の強化例

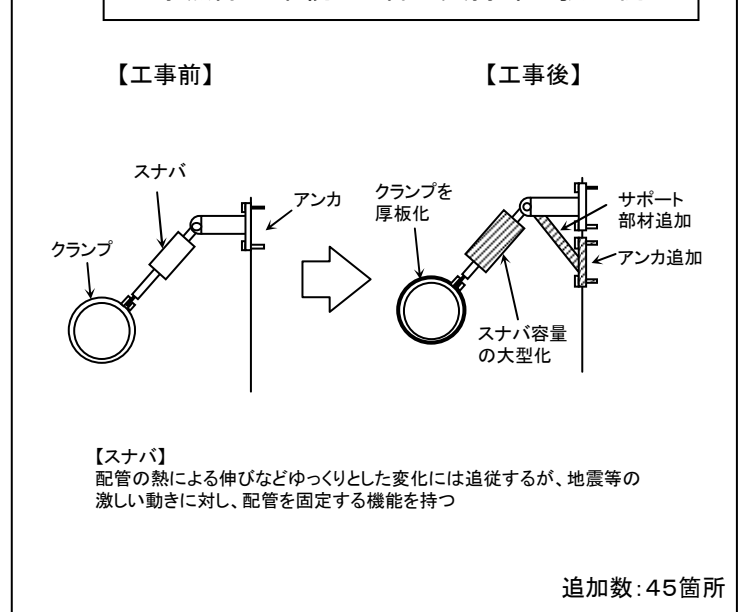


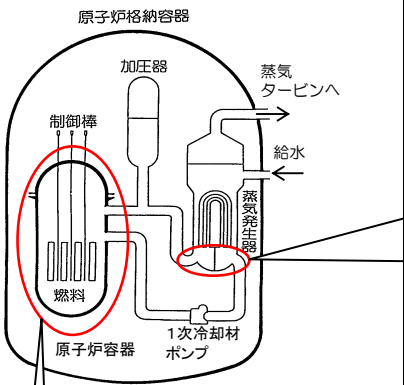
図-3 原子炉容器管台溶接部等の応力腐食割れに係る予防保全工事

工事概要

国内外PWRプラントでの応力腐食割れ事例を踏まえ、予防保全として溶接部表面の残留応力を低減させるため、600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器の冷却材出入口管台、安全注入管台、炉内計装筒管台の各溶接部について、ウォータージェットピーニングを施工した。また、A-蒸気発生器の出口管台溶接部、B-蒸気発生器の出入口管台溶接部については、ショットピーニングを施工した。

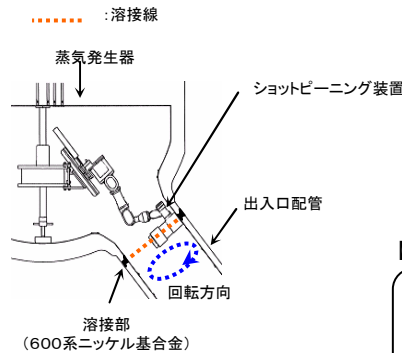
なお、A-蒸気発生器の入口管台溶接部については、ショットピーニング施工前の渦流探傷試験で応力腐食割れによる傷が認められたことから、セーフエンド部を新品に取り替え、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。

系統概要図

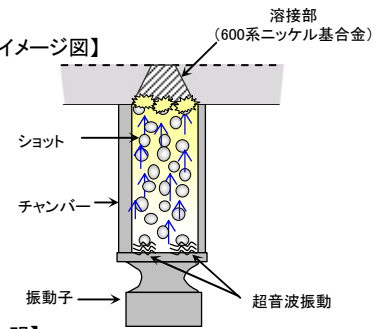


ショットピーニングの概要

蒸気発生器1次冷却材出入口管台の作業イメージ



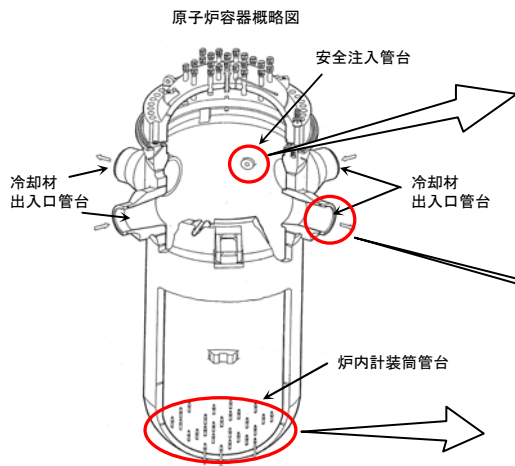
【イメージ図】



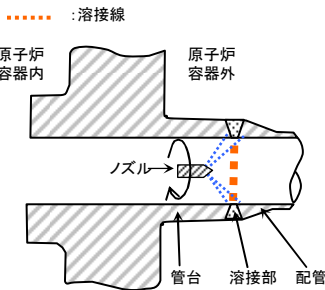
【説明】

振動子の機械的振動によって、ショット(直径約4mmの金属球)を往復運動させて出入口管台溶接部に衝突させ、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

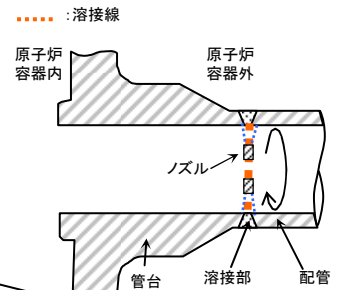
ウォータージェットピーニングの概要



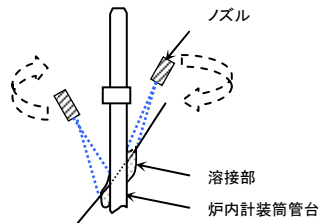
安全注入管台の作業イメージ



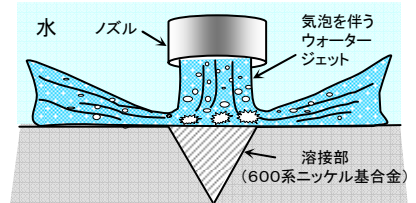
冷却材出入口管台の作業イメージ



炉内計装筒管台の作業イメージ



【イメージ図】



【説明】

水中で高圧ジェット水(約60MPa)をノズルから噴射すると気泡が発生する。この気泡は、高速のウォータージェット流に乗って流れ、金属表面近傍で崩壊する。その時に生じる衝撃力で金属表面をたたき(ピーニング)、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

【施工対象箇所】

箇所名	箇所数
冷却材出入口管台溶接部	4
炉内計装筒管台溶接部	36
安全注入管台溶接部	2
合計	42

【予防保全対象箇所】

施工箇所管台	原子炉容器						蒸気発生器				
	上部	入口		出口		安全注入管台	炉内計装筒管台		入口	出口	
		A	B	A	B		A	B		A	B
ウォータージェットピーニング	※1		◎			◎	◎	●			
ショットピーニング									※2	◎	◎

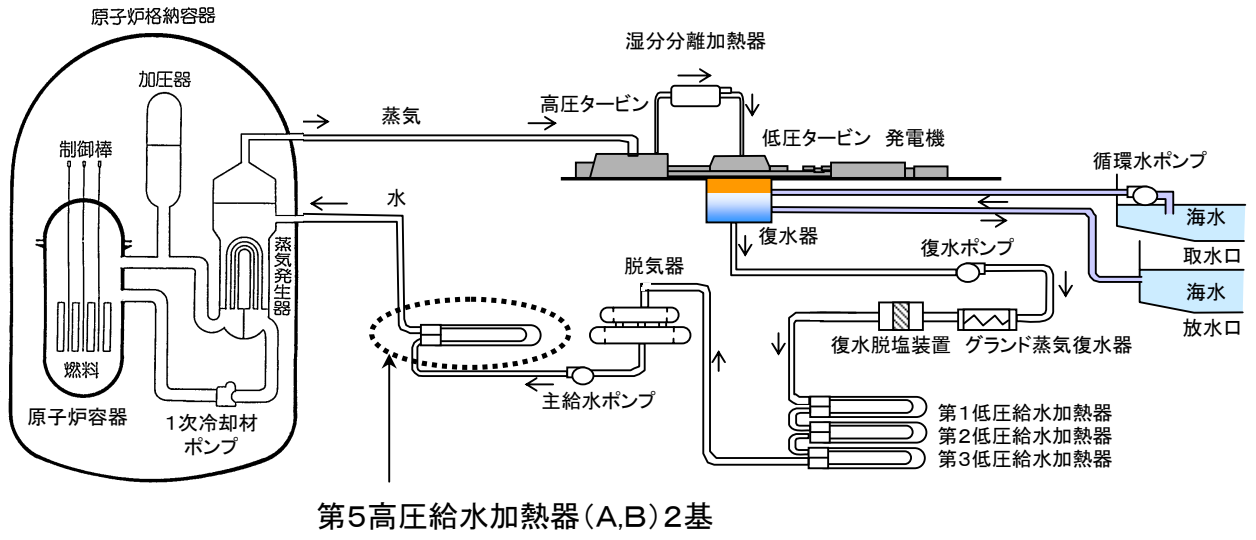
- ◎: 今回の定期検査で実施
- : 実施済み
- ※1: 690系ニッケル基合金であり対象外
- ※2: 溶接部の材質を690系ニッケル基合金に変更

図-4 高圧給水加熱器取替工事

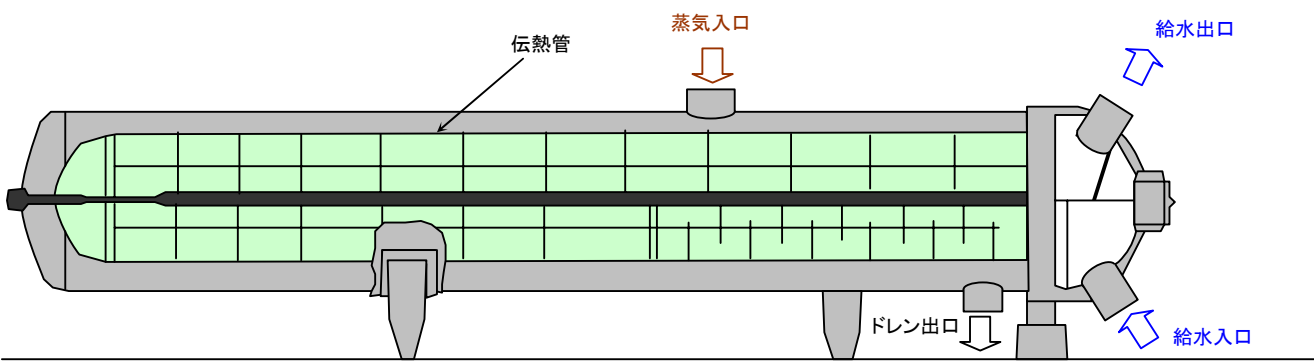
工事概要

美浜発電所2号機で過去に発生した高圧給水加熱器伝熱管の応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、高圧給水加熱器2基について、伝熱管を銅合金製から耐食性に優れたステンレス鋼製に変更した新しいものに取り替えた。

系統概要図



高圧給水加熱器取替概要



【伝熱管仕様比較】

項目	取替前	取替後
伝熱管材質	銅合金	ステンレス
伝熱管肉厚	約1.7mm	約1.0mm
伝熱管本数※	1,600本	1,600本
外観長さ	約10m	約12m
外観直径	約1.5m	約1.5m

※: U字管本数

図-5 二次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、合計1,236箇所について超音波検査(肉厚測定)等を実施した。
 <超音波検査(肉厚測定):1,203箇所、目視検査:33箇所>

○二次系配管の管理指針に基づく超音波検査(肉厚測定)部位

	「二次系配管肉厚の管理指針」の 点検対象部位		※ 今回点検実施部位	今回点検実施後の 点検未実施部位
	総数	未点検部位		
主要点検部位	1,672<0>	133<0>	698<+191>	0<0>
その他部位	1,050<0>	3<0>	505<-12>	0<0>
合計	2,722<0>	136<0>	1,203<+179>	0<0>

※:(今回点検実施部位)定検開始時点からの変更内容 <>は定検開始時点からの増減

	今回点検実施部位	理 由
主要点検部位	+191	・他プラントの減肉事象を踏まえた増 : +221箇所 ・追加配管取替えによる減 : -30箇所
その他部位	-12	・追加配管取替えによる減 : -12箇所
合計	+179	

○二次系配管の管理指針に基づく目視点検

高圧排気管の直管部33箇所について配管内面から目視点検を実施した。

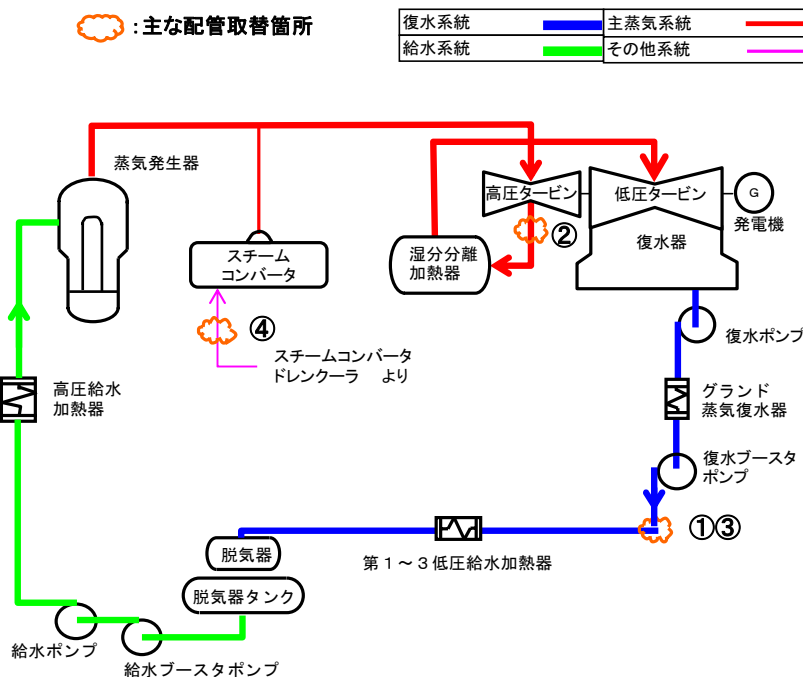
(結果)

○必要最小厚さを下回る箇所、および余寿命評価で次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性がある
 であると評価された箇所はなかった。

取替概要

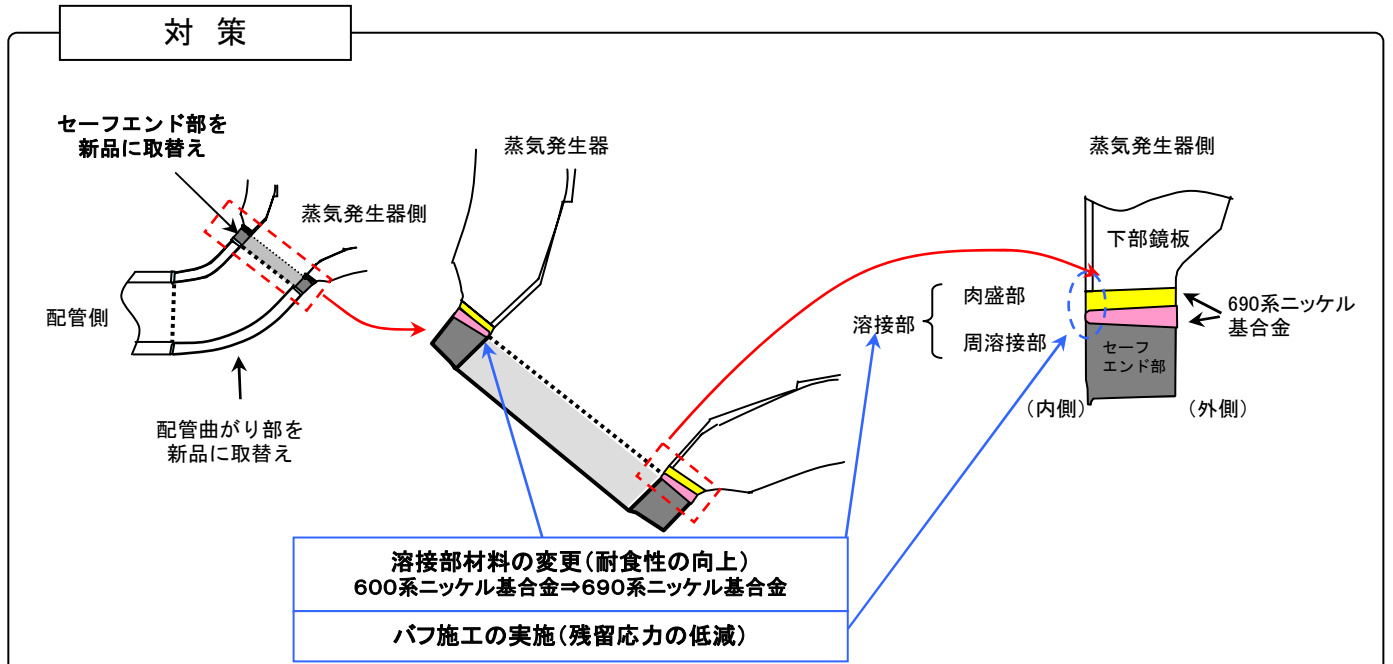
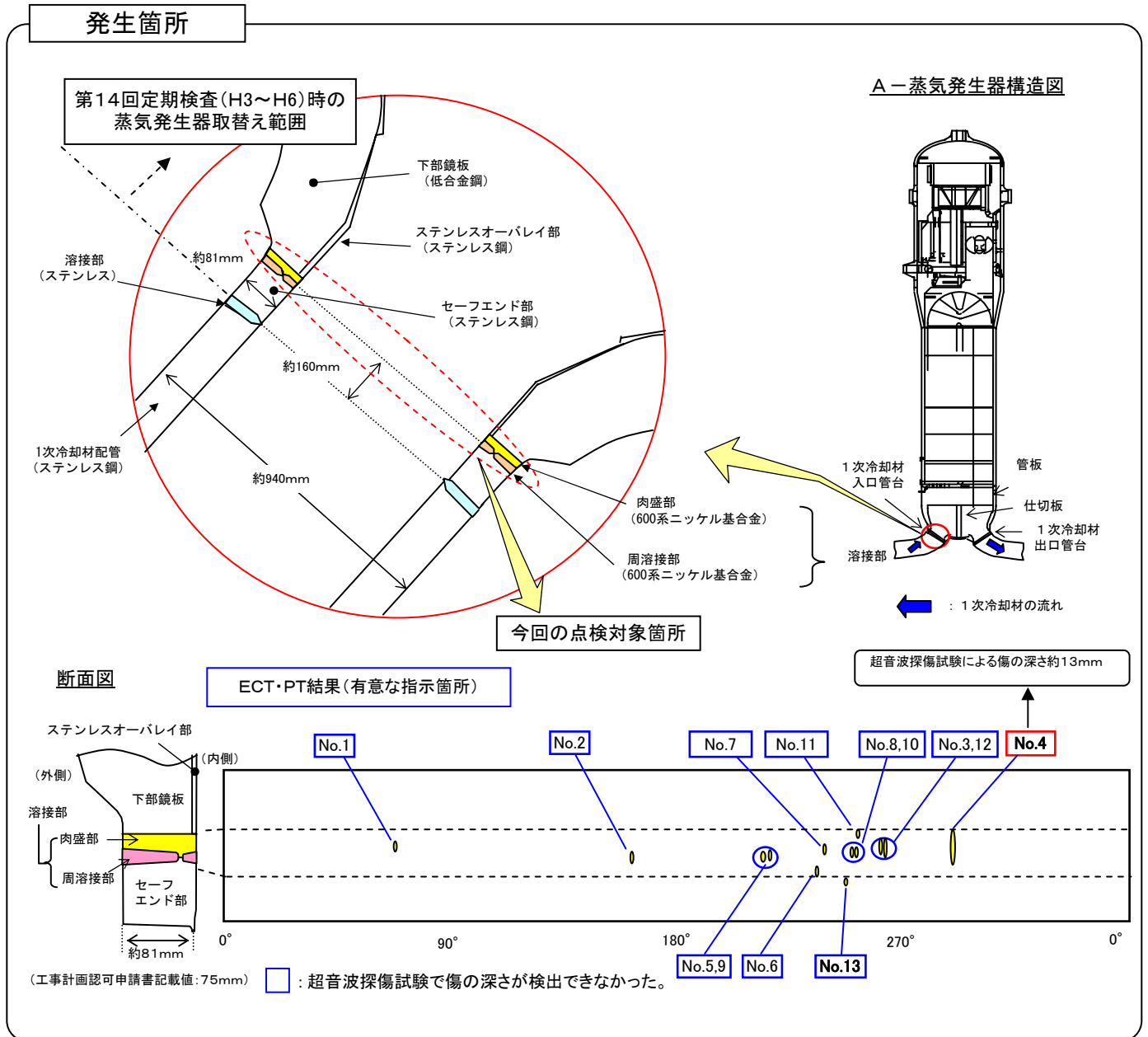
○今定期検査開始時には95箇所の配管取替を計画していたが、配管取替えの作業性や今後の保守
 作業を考慮して42箇所を追加し、合計137箇所の配管を取り替えた。

系統別概要図

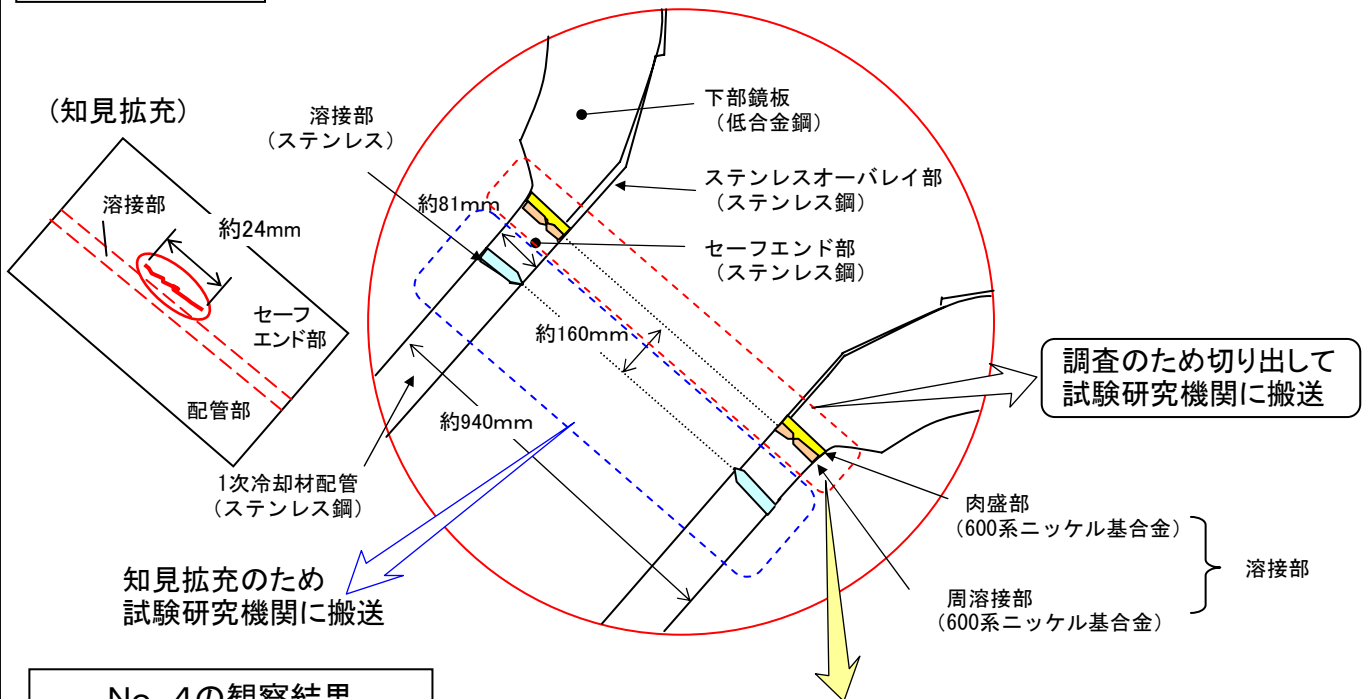


【取替理由】

- ① 余寿命10年未満で減肉が確認されたため取り替えた(11箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 11箇所
 - ② 他プラントの減肉事象を踏まえて取り替えた(42箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 42箇所
 - ③ 配管取替え時の作業性を考慮して取り替えた(21箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 21箇所<1箇所追加>
 - ④ 配管の保守性を考慮して取り替えた(63箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 63箇所<41箇所追加>
- 合計 137箇所<42箇所追加>



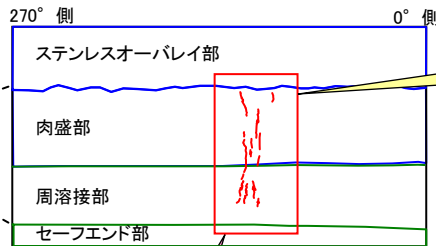
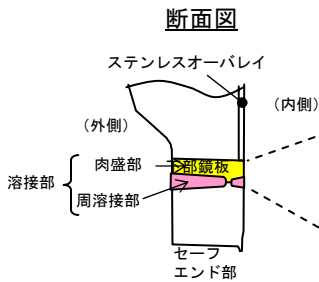
原因調査結果



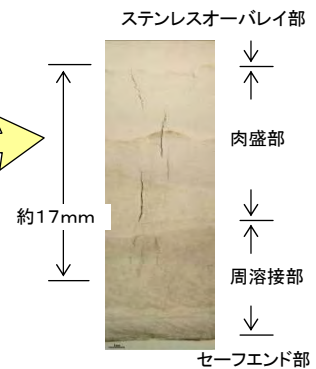
No. 4の観察結果

- 長さ約3~5mmの複数の割れが断続的に存在していた。
- 溶接部内のデンドライト境界※に沿った割れであった。

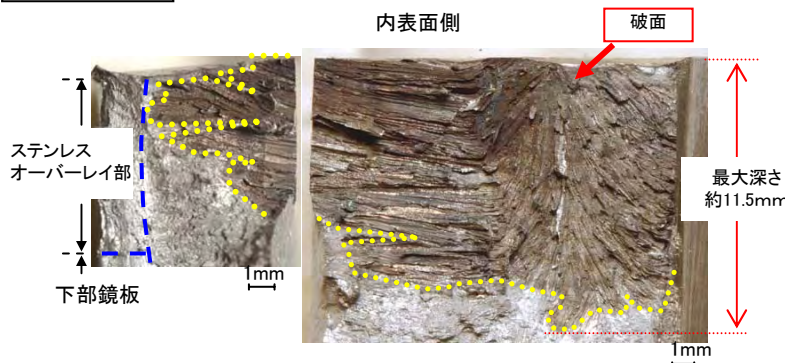
No.4(最も傷が深かった箇所)のエッチング観察結果



スンプ観察結果



破面観察



○最大深さ約11.5mmでデンドライト境界※に沿って進展していた。

※デンドライト境界
溶接部では、溶融した金属が固まる際にできる柱状の結晶(デンドライト結晶)ができる。その結晶組織の境界のこと。

溶接部の型取観察結果



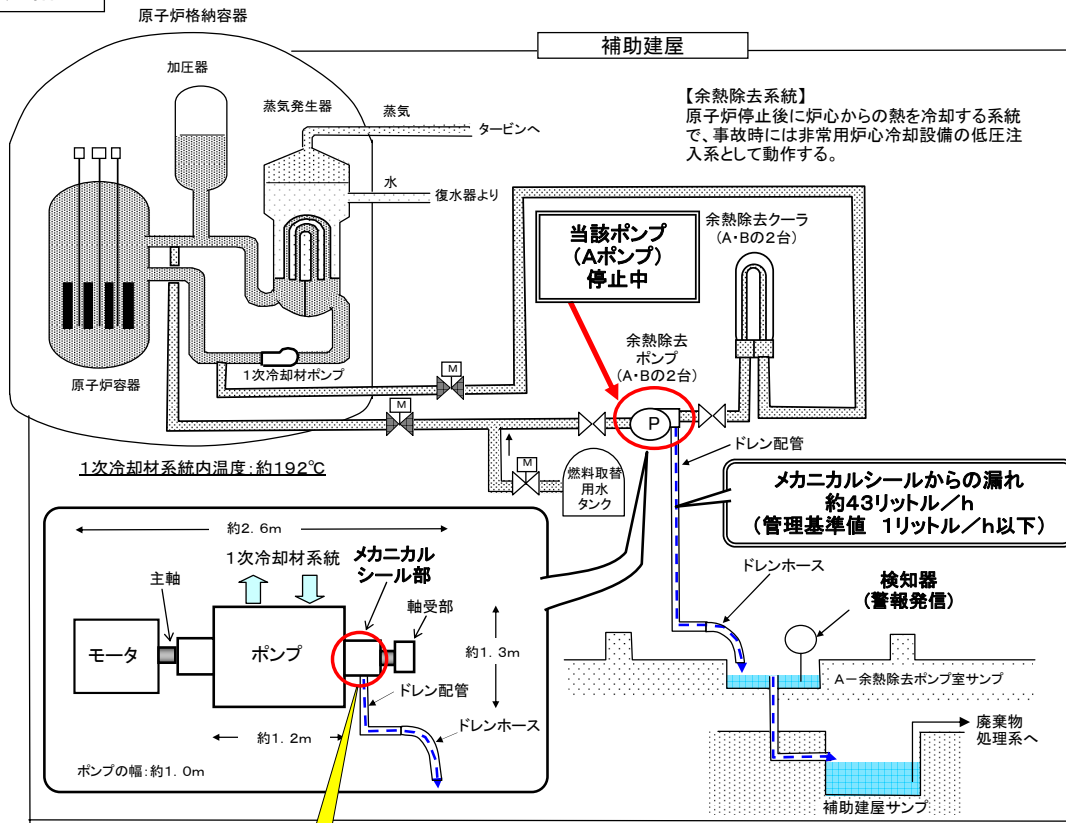
○機械加工の跡が認められた。

知見拡充のための調査結果

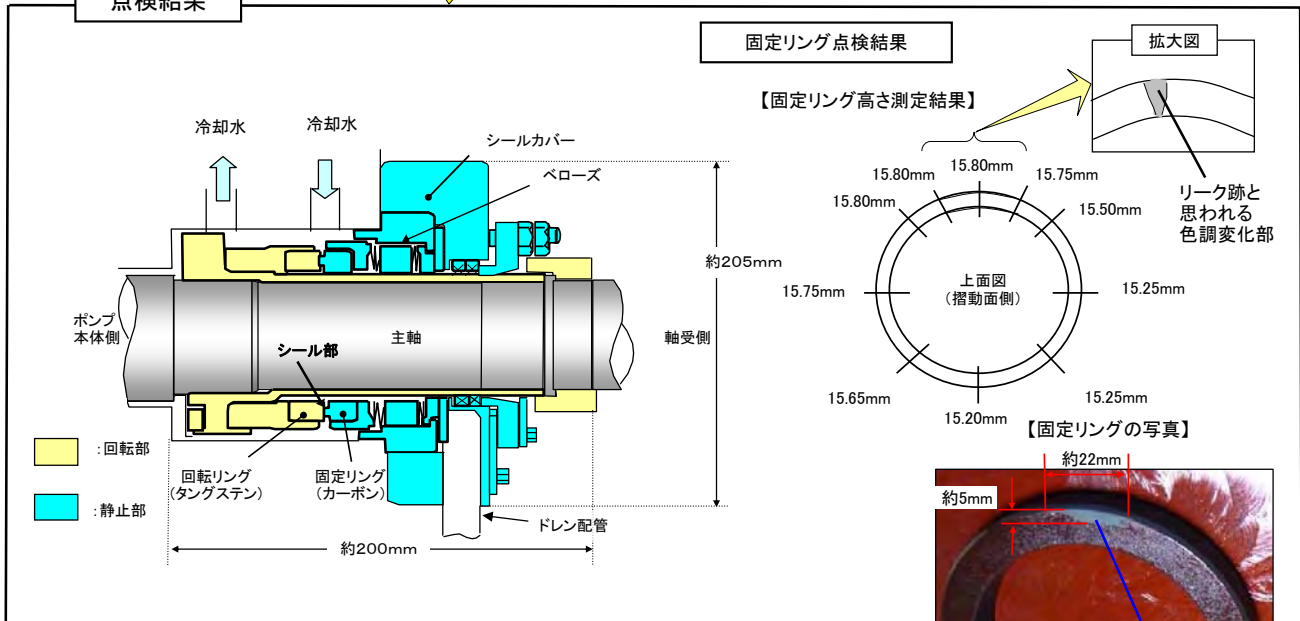
セーフエンドと配管との溶接部近傍を切り出し、試験研究機関に搬送して、調査を行った。その結果、溶接部のセーフエンド部に、複数の傷(最大長さ約24mm)が確認された。
今後、傷の原因について調査するとともに、他プラントについては蒸気発生器のセーフエンドと配管との溶接部近傍の点検を計画的に行う。

図7 A-余熱除去ポンプ軸封部の不調について

系統概略図

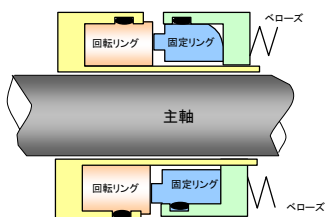


点検結果



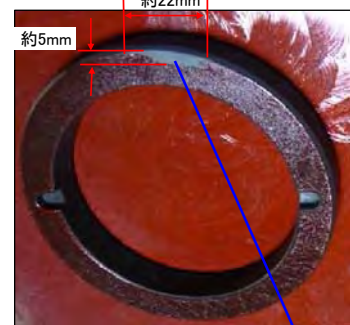
推定原因

磨耗量「小」 → 押さえ力「小」 → 漏えいに至る

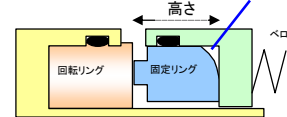


対策

ベローズの押しつけ力が均一になるよう、固定リング背面の水平面が全周にわたって確保されていることを確認した新しい軸封部に取り替えた。今後は、回転・固定リングタイプの軸封部を取り替えた際には、固定リング背面が全周にわたって水平であることを確認する。



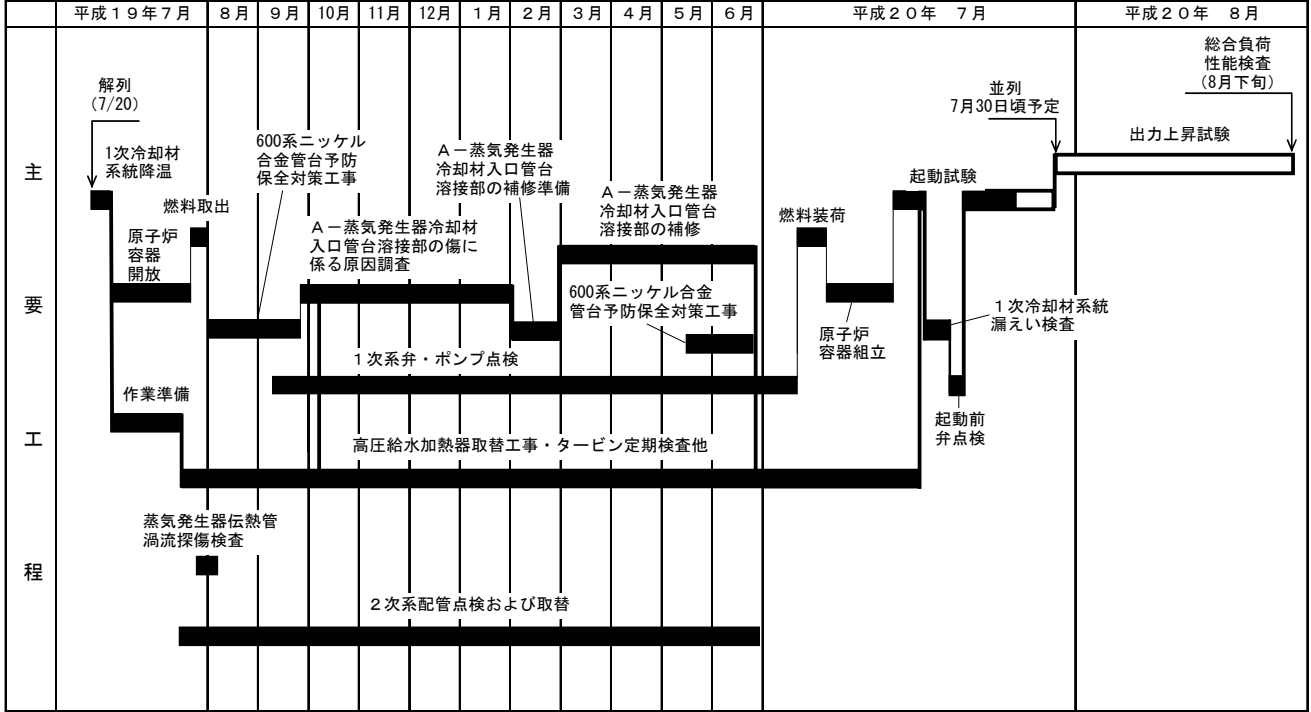
当たりにない箇所



美浜発電所2号機 第24回定期検査の作業工程

平成19年7月20日から以下の作業工程にて実施しています。

(平成20年7月25日現在)



注：黒塗りは実績を示す

(参考) 高経年化対策として実施した主な作業

○電気ペネトレーション*代表部位での絶縁抵抗測定

絶縁低下についての長期健全性評価の妥当性を検証するため、電気ペネトレーションのうち9箇所について、格納容器外側および内側の端子台より測定対象線芯を端子台より解線し、絶縁抵抗を測定し、問題がないことを確認しました。

※電気ペネトレーション

格納容器内外のケーブルを中継し、電力および信号を送受するための電線貫通部をいう

○燃料油貯蔵タンク検査

非常用ディーゼル発電機関に付属している燃料油貯蔵タンクの胴板等について腐食の有無を確認するために、2つ(A、B)あるうちのB燃料油貯蔵タンク内面の目視検査およびタンク内面からの鏡板・胴板部の肉厚測定を実施し板厚を確認し、問題がないことを確認しました。