

高浜発電所4号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第19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

高浜発電所4号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力87.0万kW）は、平成22年2月4日から第19回定期検査を実施しているが、5月8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、5月12日頃*に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、6月上旬には経済産業省の最終試験を受けて本格運転を再開する予定である。

※ タービンバランス作業（調整運転開始前にタービンの回転数を上昇させて振動を測定し、振動が大きい場合には、タービン車軸にバランスウエイトを取り付け、振動が小さくなるように調整する作業）の実施の有無により、調整運転開始日が前後する。

1 主要工事等

(1) 1次冷却材ポンプ供用期間中検査 (図-1参照)

1次冷却材ポンプの供用期間中検査として、C号機の主フランジ締め付け部やケーシング内表面について、外観目視点検や超音波探傷検査を行い、健全性を確認した。

(2) 低圧タービン取替工事 (図-2参照)

国外で発生した低圧タービン円板の翼溝部の応力腐食割れ事象に係る予防保全対策として、低圧タービン（3基）について、熱処理により従来より耐食性を向上させた低合金鋼と発生応力が低減される構造（翼溝と翼根の大型化）を採用したのものに取り替えた。

*1 今回の取替については、平成19年に事前了解している工事である。また、当該工事に伴い、タービン性能が向上することにより、定格熱出力一定運転において電気出力が(約1.5～3%)上昇する。

(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 参照)

国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器出入口管台について超音波探傷検査を、原子炉容器炉内計装筒の内面及び管台溶接部については、渦流探傷試験や外観目視点検を行い、健全性を確認した。

また、予防保全対策として、原子炉容器炉内計装筒の内面及び管台溶接部について、表面の残留応力を低減させるためウォータージェットピーニング工事^{*2}を施工し、加圧器サージ管台、安全弁管台、逃がし弁管台、スプレイライン管台について、600系ニッケル基合金で溶接された管台から耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接された管台に取り替えた。

*2 金属表面に高圧ジェット水を吹きつけることにより、金属表面の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

(4) 格納容器再循環サンプスクリーン取替工事

(図－4 参照)

1次冷却材喪失事故時に格納容器再循環サンプスクリーンが異物混入により機能低下することを防止する観点から、スクリーンをより表面積が大きいものに取り替えた。

*3 国外BWRプラントでの非常用炉心冷却系統ストレーナの閉塞事象を踏まえた原子力安全・保安院の指示を受け、格納容器再循環サンプスクリーンの有効性を評価した結果、設備上の対策が必要であると評価された。なお、設備上の対策を講じるまでは、閉塞事象発生時対応マニュアルの整備などの暫定対策を講じており、安全上の問題が生じることはない。

(5) 1次系小口径曲げ配管取替工事

(図－5 参照)

国外BWRプラントにおいて、芯金を使用して曲げ加工した配管の内面で応力腐食割れが発生した事象を踏まえ、予防保全として、1次冷却材系統につながる曲げ配管のうち、芯金を使用して曲げ加工したものを、芯金を使用せずに曲げ加工した配管に取り替えた。

(6) 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事

(図－6 参照)

国内外PWRプラントにおける高サイクル熱疲労割れ事象（温度揺らぎによる熱疲労）を踏まえ、安全注入系統の補助注入ライン高温側2箇所、低温側1箇所に弁を追加した。また、作業時の作業性を考慮し、対象となる部分周辺の配管の一部を取り替えた。

(7) 原子炉保護装置取替工事

(図－7 参照)

原子炉保護装置^{*4}の電子部品が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮して、一部を最新設計のものに取り替えるとともに、1次冷却材系統の圧力・温度等を測定する検出器について、信頼性向上のため、現在3台のものを4台に変更し、原子炉停止信号や工学的安全施設作動

信号の発信に用いられている信号を増やした。

- * 4 1次冷却材系統の圧力・温度信号などからプラント異常を検出して、原子炉トリップしゃ断器および工学的安全施設を動作させるための信号を送る装置

(8)原子炉照射試験片取出工事

中性子照射による原子炉容器の材料特性変化を定期的に把握するため、原子炉容器内部に設置している照射試験片を取り出した（今回で4回目）。

2 設備の保全対策

(1) 2次系配管の点検等 (図-8参照)

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740箇所*⁵について超音波検査（肉厚測定）を行った結果、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。

* 5：今定期検査開始時には、726箇所の超音波検査を実施する計画であったが、他プラントにおいて減肉傾向が認められた部位の類似部位14箇所を追加し、合計740箇所について超音波検査を実施した。

②今定期検査時に計画していた173箇所の配管について、炭素鋼から耐食性に優れたステンレス鋼もしくは低合金鋼の配管に取り替えた。

3 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果 (図-9参照)

蒸気発生器3台の伝熱管全数（既施栓管を除く計9,757本）について、渦流探傷検査を実施した結果、C-蒸気発生器の伝熱管1本で高温側管板拡管部に、有意な欠陥信号が認められた。

原因は、過去の調査結果から、蒸気発生器製作時に伝熱管を管板部で拡管する際、伝熱管内面で局所的に大きな引張り応力が残留し、これと運転時の内圧とが相まって、伝熱管内面で応力腐食割れが発生したものと推定した。

対策として、当該伝熱管を使用しないこととし、閉止栓（機械式栓）を施工した。 [平成22年3月16日、23日公表済]

4 燃料取替計画

燃料集合体全数 157 体のうち、81体（うち60体は新燃料集合体）を取り替えた。

燃料集合体の外観検査（32体）を実施した結果、異常は認められなかった。

5 次回定期検査の予定

平成23年 夏頃

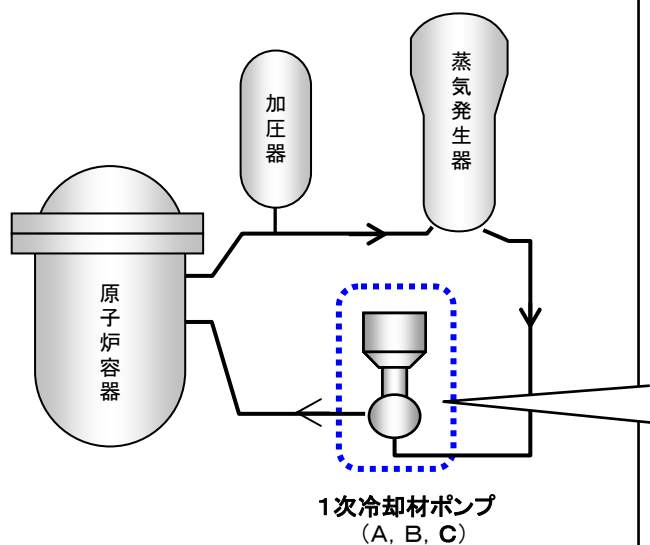
問い合わせ先(担当：神戸)
内線2353・直通0776(20)0314

図-1 1次冷却材ポンプの供用期間中検査

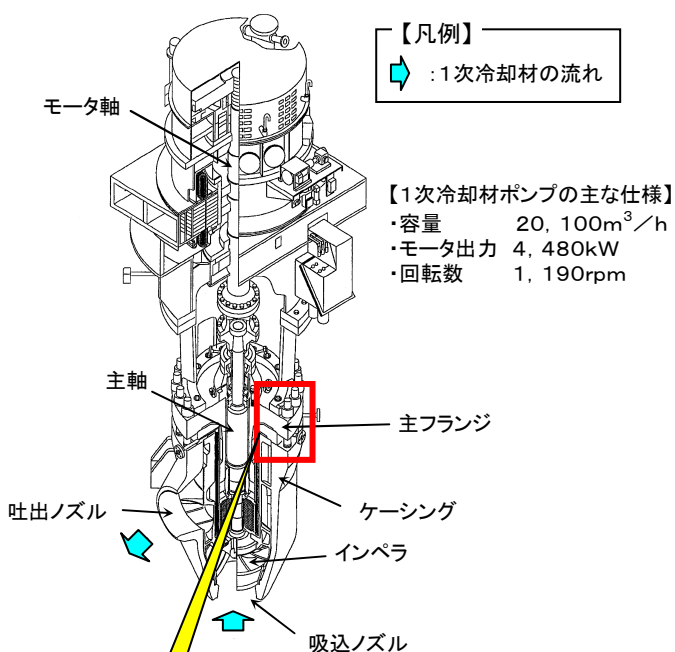
検査概要

1次冷却材ポンプの供用期間中検査として、C号機の主フランジ締め付け部やケーシング内表面について外観目視点検や超音波探傷検査を行ない、健全性を確認した。

系統概要図



1次冷却材ポンプの概要図



C号機 1次冷却材ポンプの点検概要図

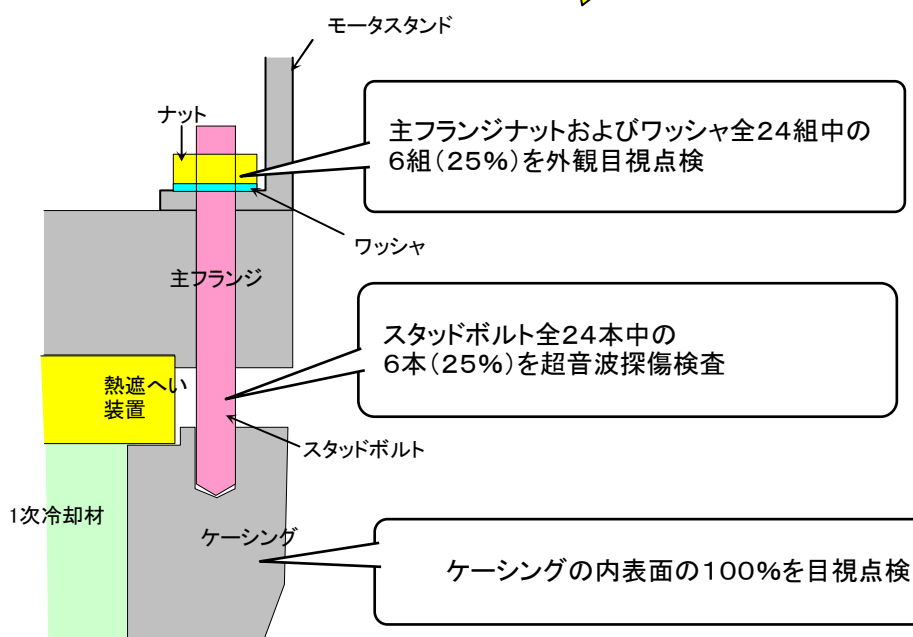
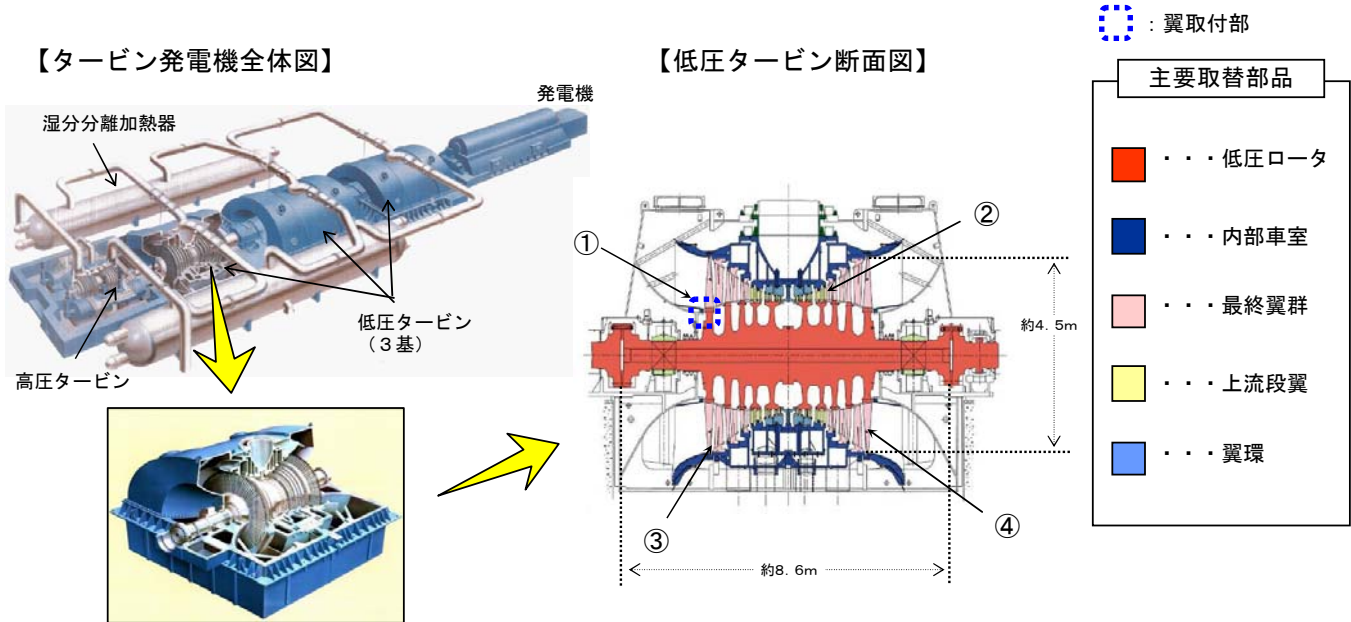


図-2 低圧タービン取替工事

工事概要

低圧タービン円板の翼溝部の応力腐食割れに係る予防保全対策として、低圧タービンを、熱処理によって従来より耐食性を向上させた低合金鋼と、発生応力が低減される構造（翼溝と翼根の大型化）を採用したものに取替えた。

低圧タービン取替概要図



① 全一体ロータの採用 (SCC予防保全対策)

- 熱処理により従来より耐食性を向上させた低合金鋼 (SCC感受性を低くした材料) を使用した全一体ロータを採用。
- また、翼溝と翼根の大型化により発生応力を低減

【工事前】

翼溝

円板を加熱後、軸に挿入したロータ (焼きばめ)

【工事後】

翼溝 (大型化)

軸と円板を一体成型したロータ

② 完全3次元流体設計翼の採用 (効率向上)

- 従来の平行翼から3次元形状とすることにより、翼を通過する蒸気の流れにより発生する損失を低減

【工事前】

【工事後】

翼根 (大型化)

③ ISB翼の採用 (信頼性向上)

- 遠心力による翼の振り振りを利用してかみ合わせた全周綴り構造の採用により、振動応力を低減 (ISB: Integral Shroud Blade)

【工事後】

④ 最終翼の長大化 (信頼性/効率向上)

- 最終段動翼を長大化し、蒸気流速を減速させることで、翼振動応力を低減
- 最終段動翼を長大化し、排気損失を低減

【工事前】

40インチ翼 (約100cm)

【工事後】

46インチ翼 (約115cm)

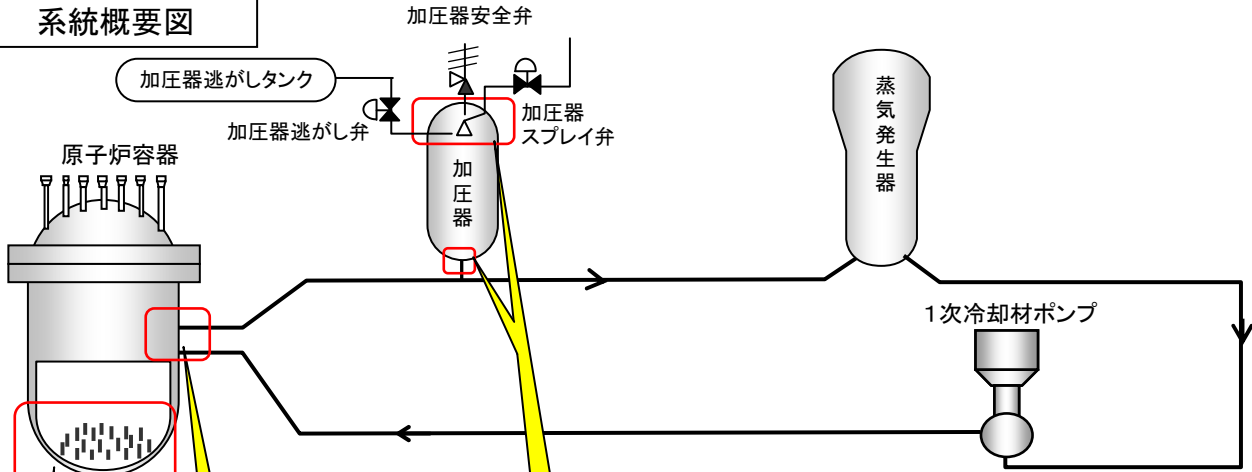
図-3 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る予防保全工事

工事概要

国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器出入口管台について超音波探傷検査を、原子炉容器炉内計装筒の内面及び管台溶接部については、渦流探傷試験や外観目視点検を実施し、健全性を確認した。

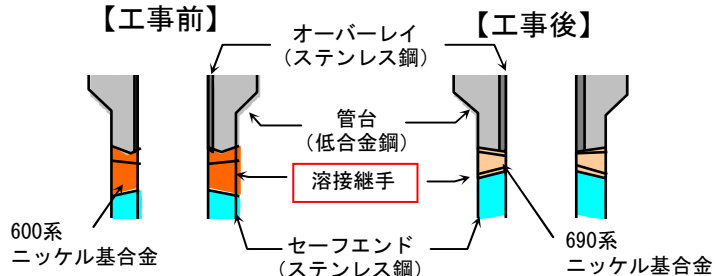
また、予防保全対策として、原子炉容器炉内計装筒の内面及び管台溶接部について、表面の残留応力を低減させるため、ウォータージェットピーニング工事を施工し、加圧器サージ管台、安全弁管台、逃がし弁管台、スプレライン管台について、600系ニッケル基合金で溶接された管台から耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接された管台に取り替えた。

系統概要図



原子炉容器出入口管台
(入口管台3箇所、出口管台3箇所)
点検: 超音波探傷検査

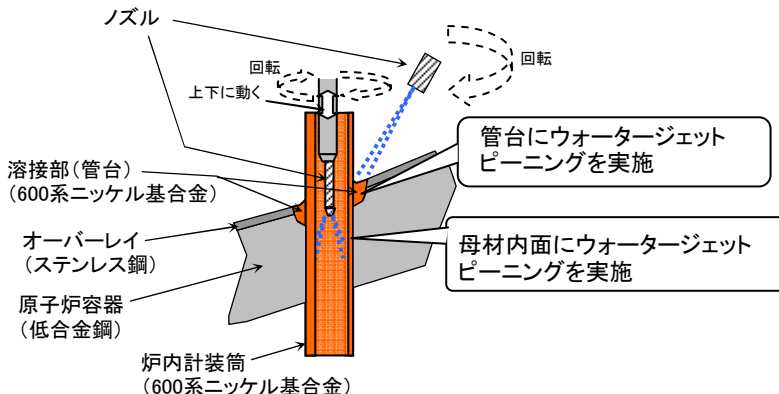
加圧器管台
(サージ管台1箇所、安全弁管台3箇所、逃がし弁管台1箇所、スプレ管台1箇所)
予防保全工事: 管台取替 (600系ニッケル基合金 → 690系ニッケル基合金)



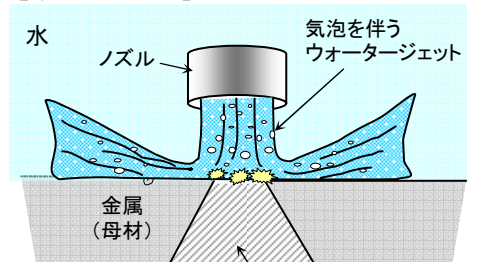
原子炉容器炉内計装筒管台および母材内面
(内面及び管台溶接部 50箇所)

点検: 渦流探傷試験、外観目視点検

予防保全工事: ウォータージェットピーニング工事



ウォータージェットピーニングの原理
【原理イメージ図】



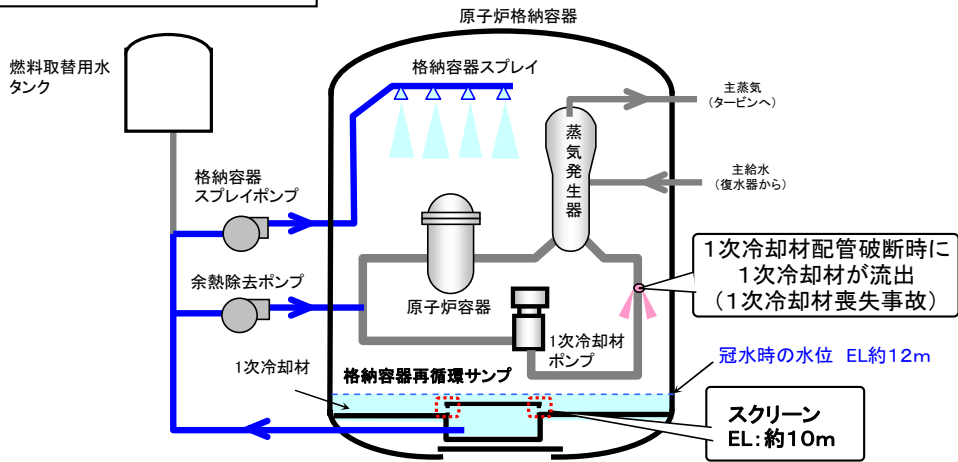
【説明】
水中で高圧ジェット水(約60MPa)をノズルから噴射すると気泡が発生する。この気泡は、高速のウォータージェット流に乗って流れ、金属表面近傍で崩壊する。その時に生じる衝撃力で金属表面をたたき(ピーニング)、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

図-4 格納容器再循環サンプスクリーン取替工事

工事概要

1次冷却材喪失事故時に、格納容器再循環サンプスクリーンが異物混入による機能低下することを防止する観点から、スクリーンをより表面積の大きいものに取り替えた。

系統概要図(格納容器再循環サンプ使用時)



スクリーンの取替概略図

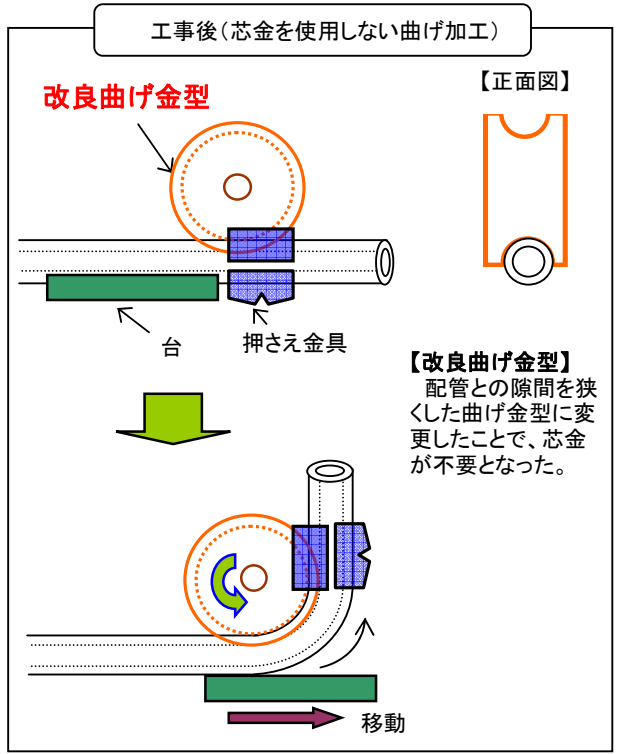
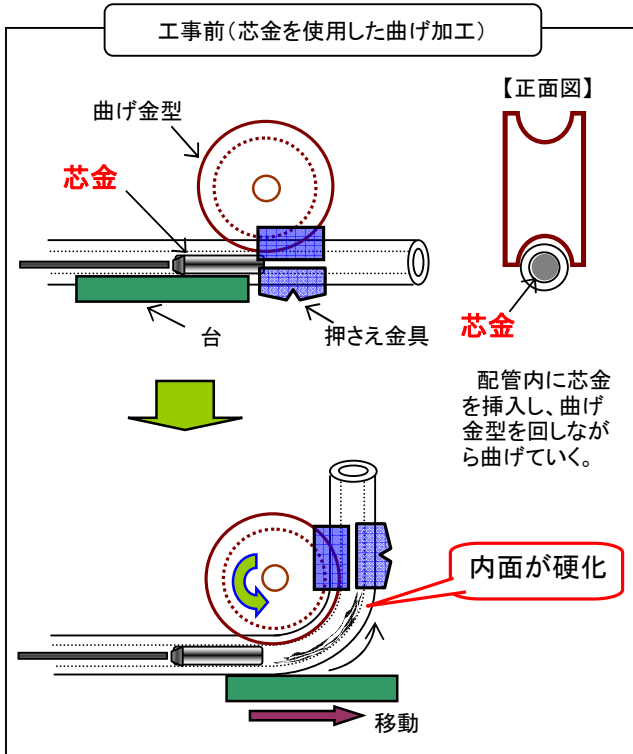
項目	工事前	工事後
再循環サンプスクリーンの概要	<p>平面図</p> <p>①断面図</p> <p>②断面図</p>	<p>平面図</p> <p>①断面図</p> <p>②断面図</p>
スクリーンの概要	<p>スクリーンの写真</p> <p>スクリーン</p> <p>スクリーン拡大図</p>	<p>スクリーンの写真</p> <p>スクリーン拡大図</p> <p>モジュール構造図</p> <p>【モジュール1基の大きさ】 大きさ: 高さ約1.5m、奥行き約1m 多孔板33枚、多孔板1枚の面積約1.3m²</p>
ろ過穴	約2mm × 約5.0mm	直径 約1.7mm
全体の表面積	① : 約26m ² ② : 約26m ²	① : 約310m ² ② : 約310m ²
材質	ステンレス	ステンレス

図-5 1次系小口径曲げ配管取替工事

工事概要

国外BWRプラントにおいて、芯金を使用して曲げ加工した配管の内面で応力腐食割れが発生した事象を踏まえ、予防保全として、1次冷却材系統につながる小口径曲げ配管のうち、芯金を使用して曲げ加工したものを、芯金を使用せずに曲げ加工した配管に取り替えた。

工事概要図（曲げ加工方法）



取替範囲概要図

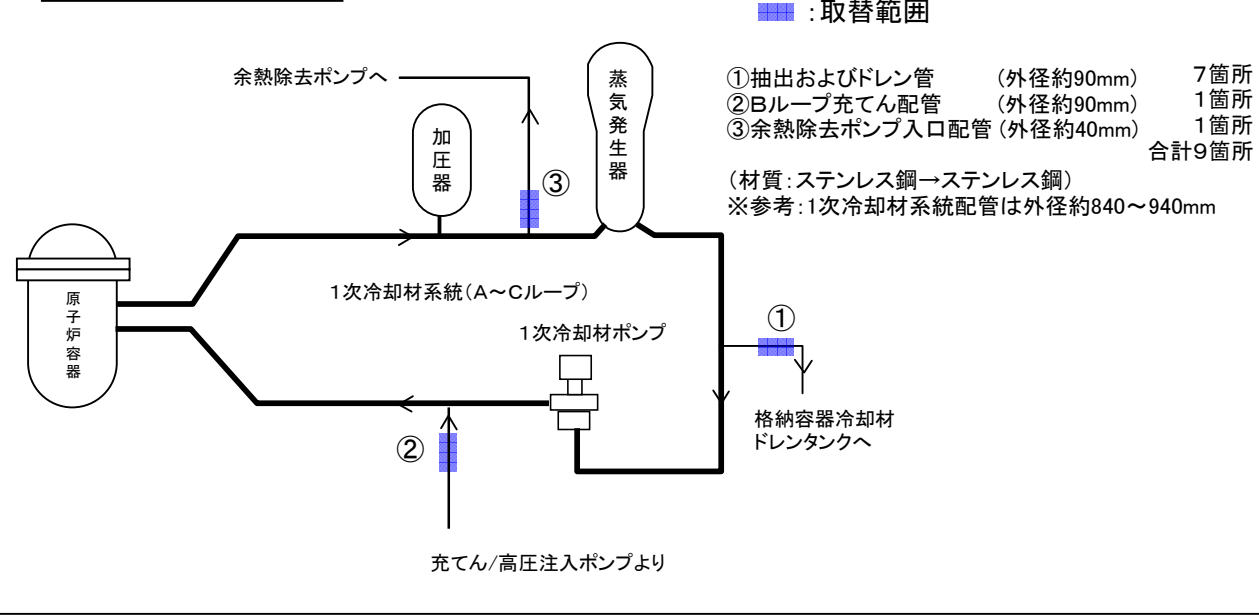



図-6 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事

工事概要

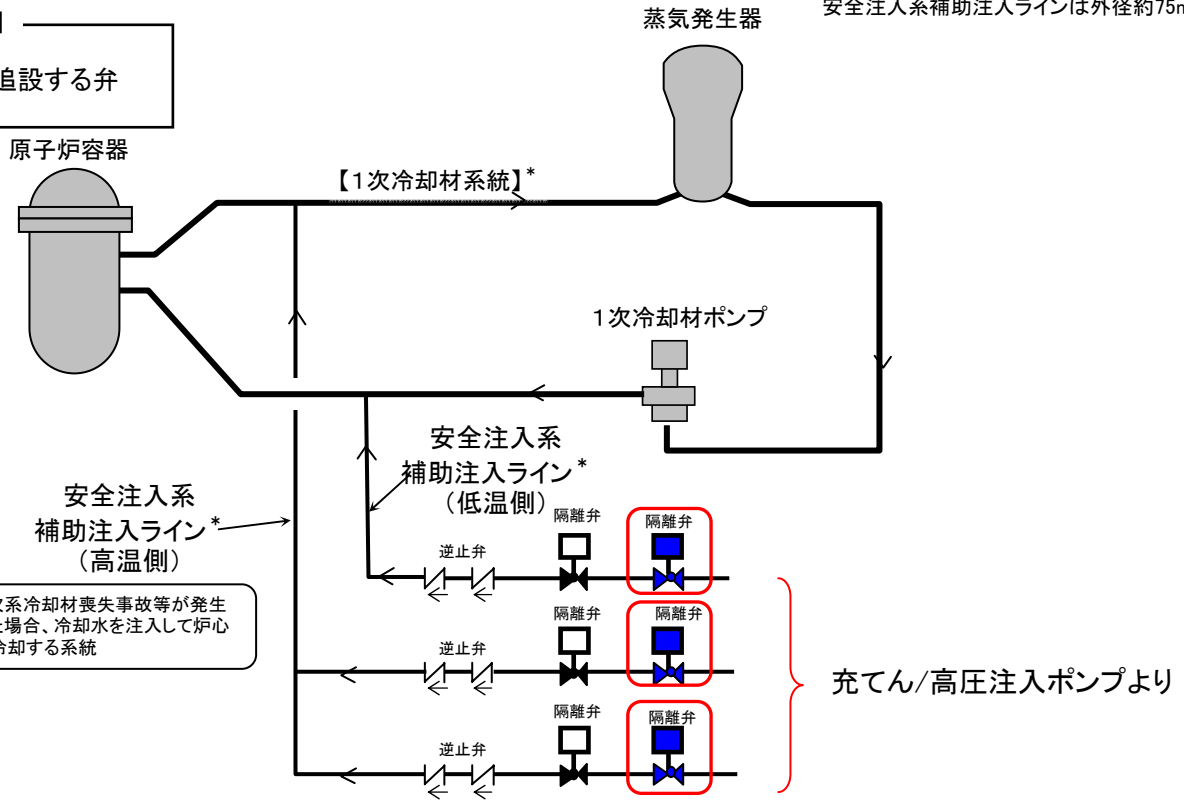
国内外PWRプラントにおける高サイクル熱疲労割れ(温度ゆらぎによる疲労)を踏まえ、安全注入システムの補助注入ライン高温側2箇所、低温側1箇所に弁を追加した。また、作業性を考慮し、対象となる部分の周辺の配管の一部を取り替えた。

* : 隔離弁のシートリークにより洩れ出た低温水(滞留した水)が高温水側に流入し、高温水と低温水の境界が変動することにより熱疲労が発生する可能性がある。

系統概要図

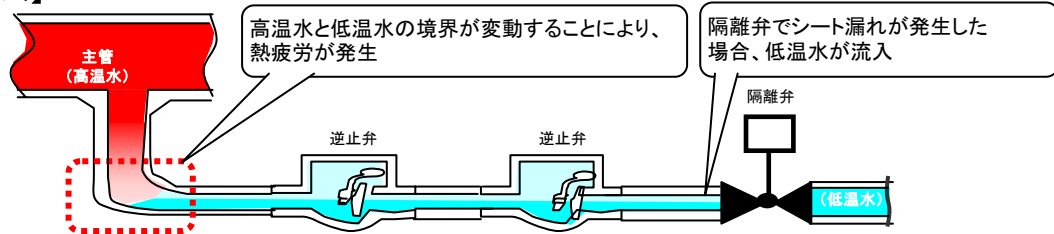
【凡例】
 追設する弁

* : 1次冷却材系統の配管は外径約840~880mm
 安全注入系補助注入ラインは外径約75mm



工事概要図

【発生メカニズム】



【工事後】

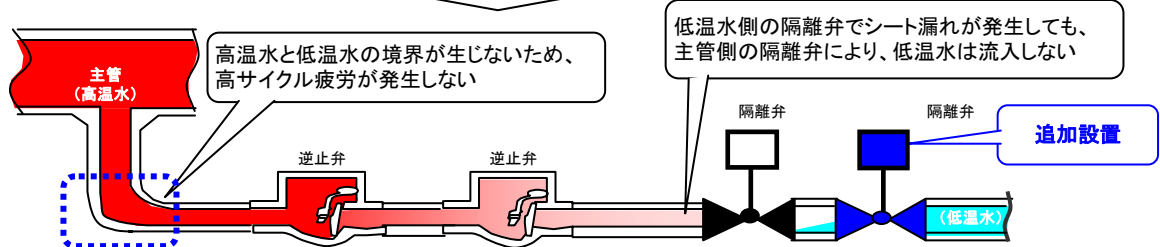


図-7 原子炉保護装置取替工事

工事概要

原子炉保護装置*の電子部品が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮して、一部を最新設計のものに取り替えるとともに、1次冷却材系統の圧力・温度等を測定する検出器について、信頼性向上のため、現在3台のものを4台に変更し、原子炉停止信号や工学的安全施設作動信号の発信に用いられる信号を増やした。

* 1次冷却材系統の圧力・温度などからプラントの異常を検出して、原子炉トリップしゃ断器および工学的安全施設を動作させるための信号を送る装置。

取替概要図

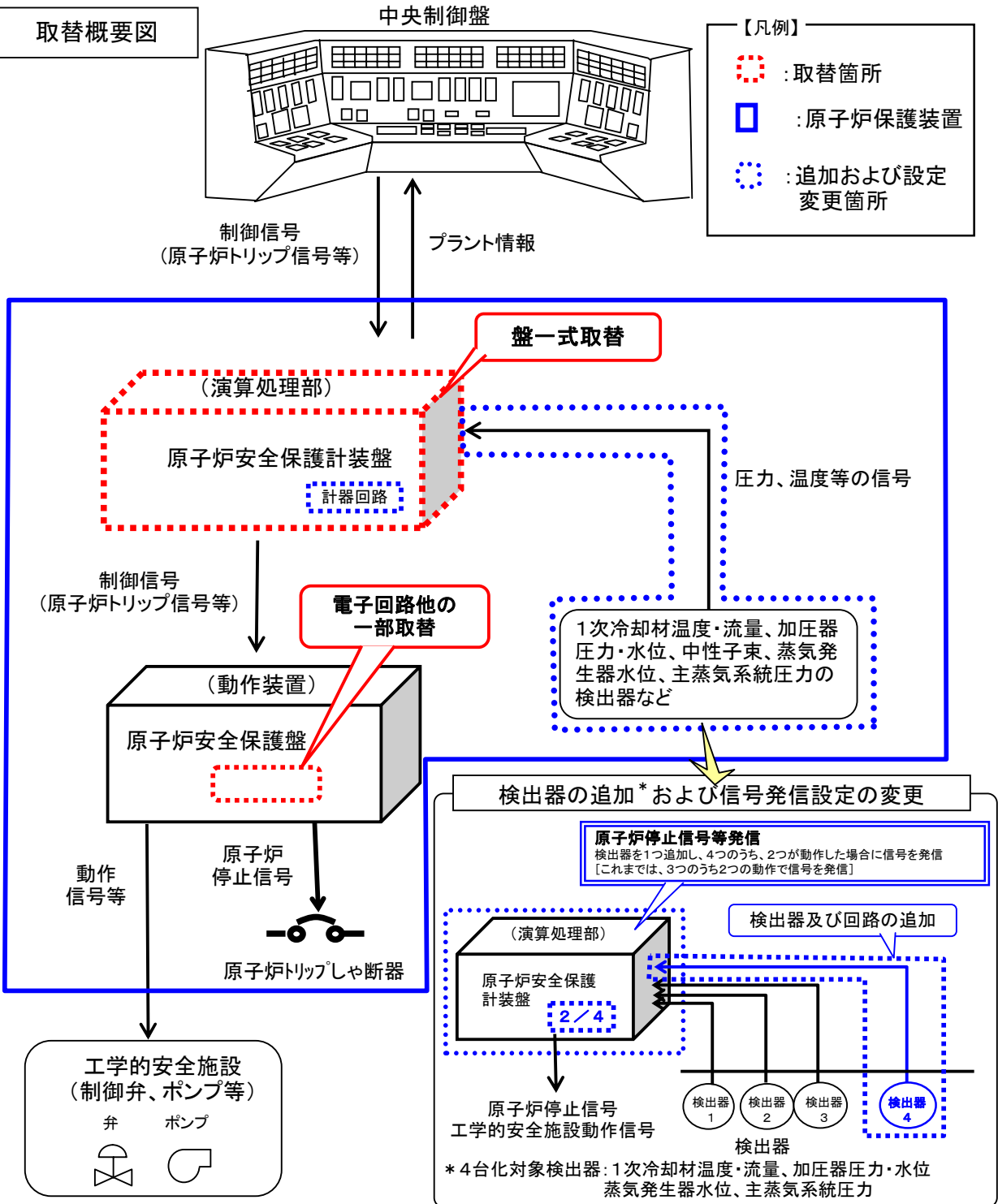


図-8 2次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、合計740箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。

○2次系配管肉厚の管理指針に基づく超音波検査(肉厚測定)部位

	「2次系配管肉厚の管理指針」の点検対象部位	今回点検実施部位数		
		計画部位	追加部位	合計
主要点検部位	1,639	285	14 ※	299
その他部位	1,374	441	0	441
合計	3,013	726	14	740

※:他プラントの点検で減肉傾向が認められた部位の類似部位14箇所を追加点検した。

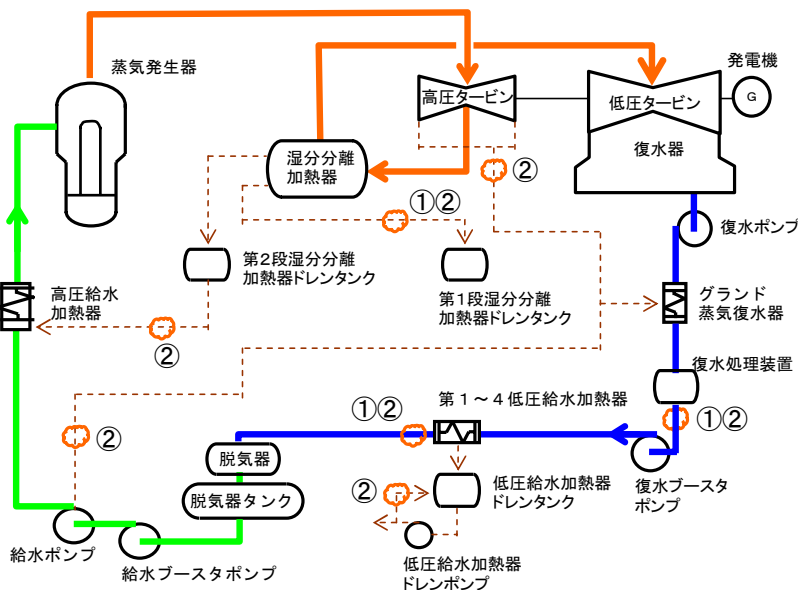
(結果)

必要最小厚さを下回っている箇所、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。

取替概要

過去の点検で減肉が確認された部位3箇所、配管の保守性を考慮した部位170箇所、合計173箇所を耐食性に優れたステンレス鋼又は低合金鋼の配管に取り替えた。

系統別概要図



【凡例】

- :主蒸気系統
- :給水系統
- :復水系統
- - - :ドレン系統
- :主な配管取替箇所

【取替理由】

- ① 過去の点検結果で減肉が認められているため計画的に取り替えた箇所 (3箇所)
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が5年未満の箇所 (1箇所)
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 1箇所
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が5年以上の箇所 (2箇所)
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 2箇所
- ② 配管の保守性*を考慮して取り替えた箇所 (170箇所)
 - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 136箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 34箇所

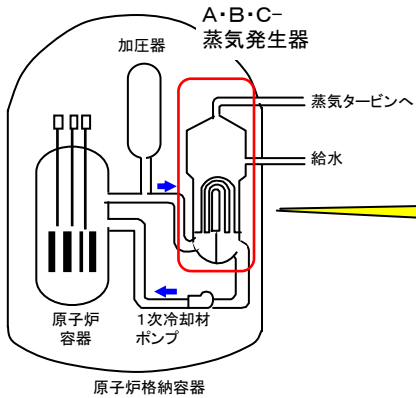
合計 173箇所

* 狭隘部で肉厚測定がしづらい小口径配管などについて取り替えた。

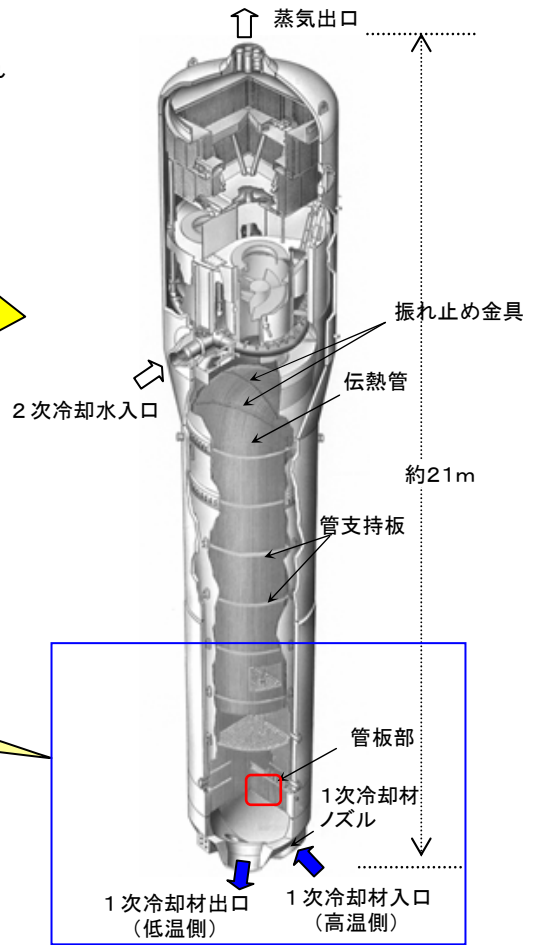
図-9 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査における有意な信号指示の原因と対策について

発生箇所

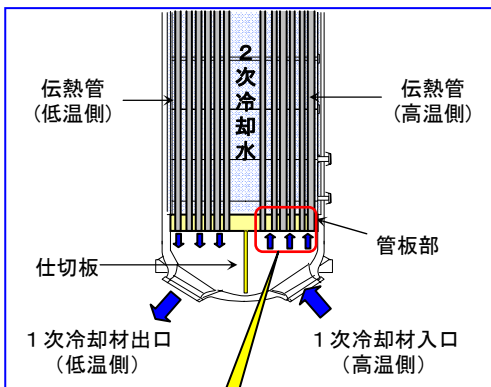
系統概要図



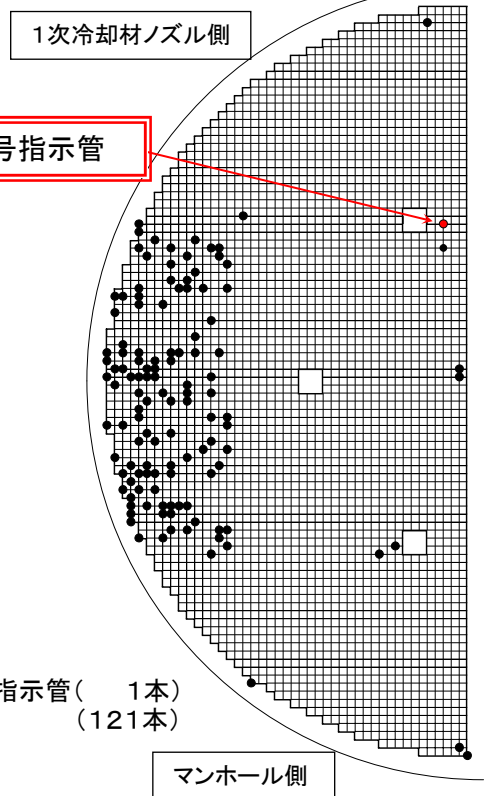
蒸気発生器の概要図



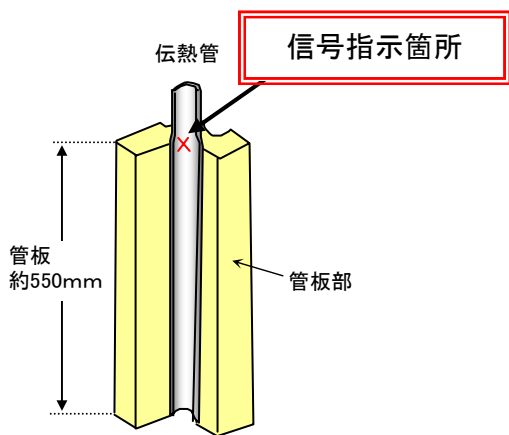
蒸気発生器下部の断面図



C-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図



管板部拡大図



伝熱管外径 : 約22.2mm
 " 厚さ : 約1.3mm
 " 材質 : 600系ニッケル基合金(特殊熱処理*)

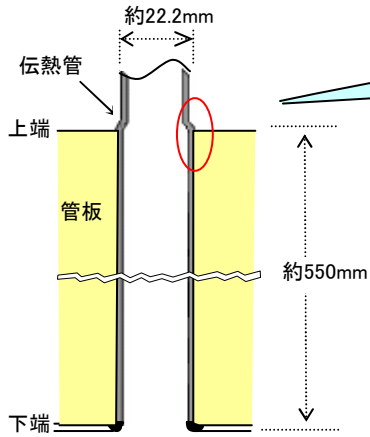
有意な信号指示管

● : 有意な信号指示管 (1本)
 ● : 既施栓管 (121本)

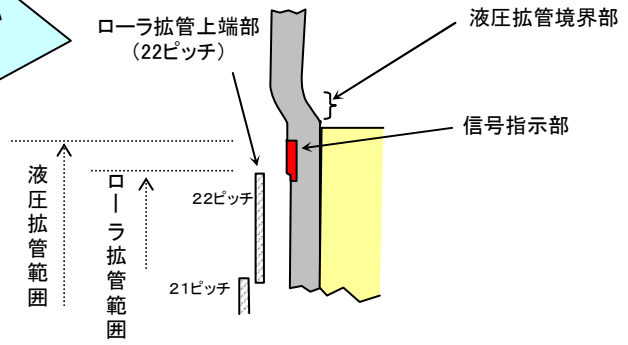
* 高温状態を一定時間保持(約700°Cで約15時間)した後、徐冷することにより、耐食性の向上を図る。

渦流探傷検査(ECT)結果

信号指示の位置

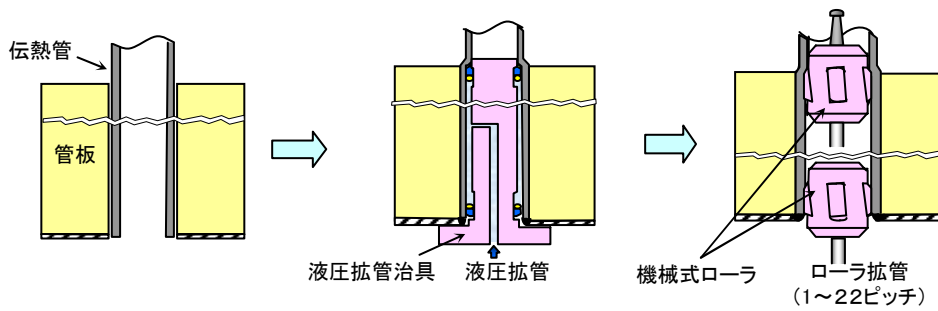


ローラ拡管部(イメージ)



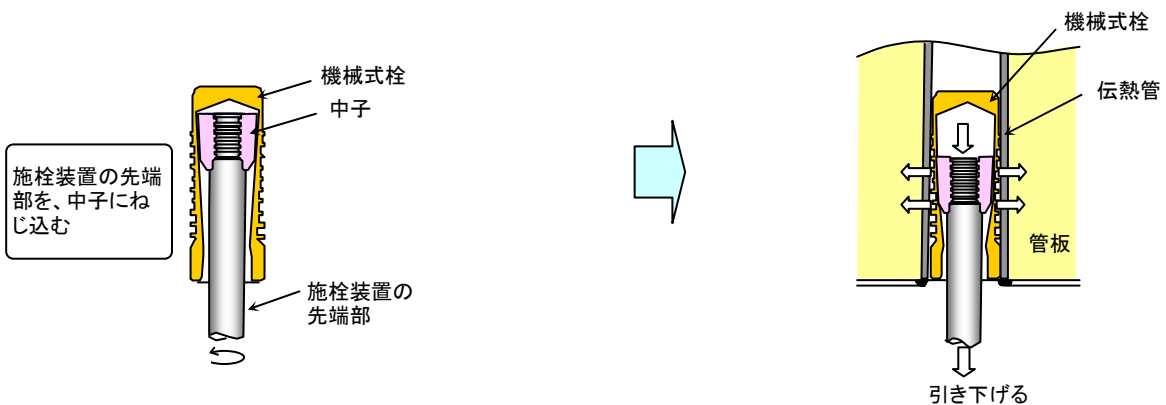
信号指示位置は22ピッチローラ拡管上部部であった

蒸気発生器製作時の管板部の伝熱管拡管方法



管板部でローラ拡管する際、伝熱管内面で局所的に引張残留応力が発生

対策(施栓方法)



機械式栓を伝熱管に挿入し、施栓装置の先端部を引き下げることにより、中子も同時に引き下がり、機械式栓を押し広げ施栓する

高浜発電所4号機 第19回定期検査の作業工程

平成22年2月4日から、以下の作業工程にて実施しています。

(平成22年5月7日現在)

