

令和3年4月9日
原子力安全対策課
(03-02)
<15時記者発表>

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23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、令和2年10月7日から第23回定期検査を実施しているが、令和3年4月12日に原子炉を起動し、13日に臨界となる予定である。

その後は、諸試験を実施し、4月15日に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、5月中旬には総合負荷性能検査を実施し、営業運転を再開する予定である。

1 主要工事等

(1) 高エネルギーアーク損傷対策工事 (図-1参照)

国内外の原子力発電所の電気設備で高エネルギーアーク損傷が発生していることを踏まえ、原子力規制委員会によるバックフィット(新たな規制基準の既存の施設等への適用)として保安電源設備に係る技術基準規則等が一部改正(平成29年8月)されたことから、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤に対して保護継電器(リレー)およびインターロックの追加を行った。

(2) 原子炉照射試験片取出工事 (図-2参照)

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5回目)

(3) 化学体積制御系統 抽出水オリフィス取替工事 (図-3参照)

プラント起動時に化学体積制御系統を用いた圧力調整を実施できるよう、当該系統の抽出水オリフィスを口径の大きいものに取り替えた。

※1 米国原子力規制委員会が米国事業者に対し、「蒸気ボイドによる余熱除去ポンプ機能喪失問題」を通知したことを受け、国内においても原子力規制委員会および事業者が議論し、対策を講じる必要があると評価された。

※2 現在、プラント起動時には余熱除去系統を用いて原子炉冷却系統(RCS)の圧力およ

び温度の調整を実施しているが、この時にRCSの漏えいが発生した場合、非常用炉心冷却装置の作動に伴い燃料取替用水タンクからの注水となるため、余熱除去系統の圧力が低下することから、高温の状態では当該系統内の水が沸騰し、余熱除去ポンプが使用できなくなる可能性がある。

- ※3 圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた圧力調整に切り替える運用に変更した。

2 設備の保全対策

2 次系配管の点検等

(図-4 参照)

関西電力㈱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596箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。その結果、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。

また、過去の点検で減肉傾向が確認された部位20箇所、配管取替時の作業性を考慮した部位70箇所、今後の保守性を考慮した部位13箇所、合計103箇所を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の結果

(図-5 参照)

3台ある蒸気発生器(SG)の伝熱管全数(既施栓管を除く計9,747本)について、渦流探傷検査を実施した結果、A-SGの伝熱管1本、C-SGの伝熱管3本について、管支持板部付近に外面(2次側)からの減肉とみられる有意な信号指示が認められた。

原因は、これまでの運転に伴い伝熱管表面に生成された稠密なスケールが、プラント運転に伴い剥離し、管支持板下部に留まり、伝熱管に繰り返し接触したことで摩耗減肉が発生したものと推定した。

なお、前回(第22回)の定期検査において発生した伝熱管の外面減肉の原因は、SGへ混入した異物が管支持板下部に留まり、その異物に伝熱管が繰り返し接触したことで摩耗減肉が発生したものと推定していたが、今回の調査結果を踏まえると、スケールによる減肉の可能性も否定できない。

対策として、当該伝熱管の高温側および低温側管板部で閉止栓(機械式栓)を施工した。また、スケール全体の脆弱化を図るため、SG器内の薬品洗浄を行った。

[令和2年11月20日、25日、12月15日、令和3年1月14日、25日公表済]

4 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数157体のうち73体を取り替えた。このうち、新燃料集合体は56体である。また、MOX燃料は前サイクルに引き続き16体を継続使用する。

燃料集合体の外観検査(36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

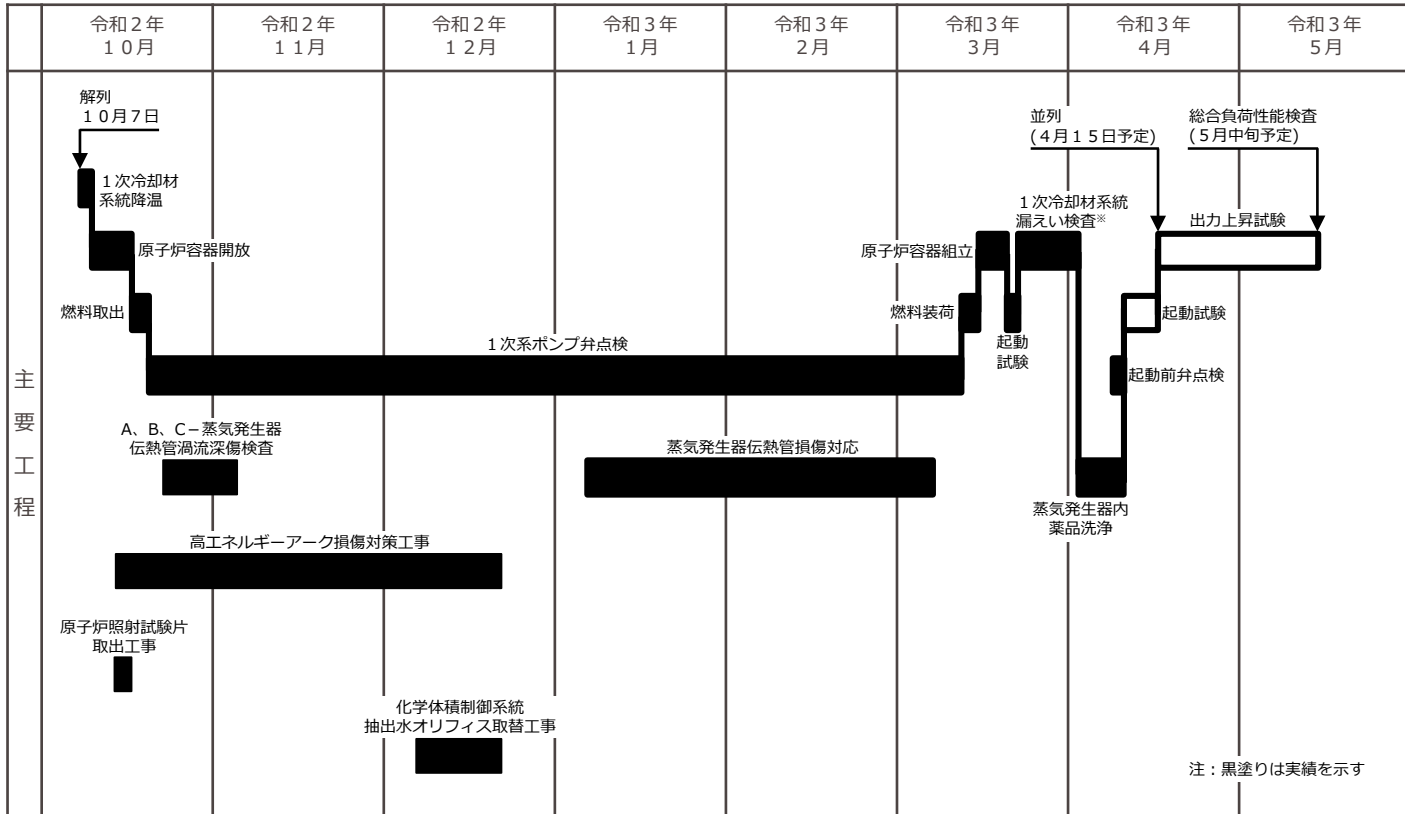
令和4年春頃

6 その他

大飯発電所3号機の加圧器スプレイ配管溶接部において、溶接時に生じた部材の硬化により割れが発生し、応力腐食割れが進展した傷を確認した。これを踏まえ、高浜発電所4号機において、当該箇所と同様の方法で溶接され、かつ応力腐食割れが発生する可能性がある条件に該当する44箇所について超音波探傷検査を実施した。その結果、問題がないことを確認した。

高浜発電所4号機 第23回定期検査の作業工程

(令和3年4月9日現在)



* 高浜発電所4号機 特定重大事故等対処施設は令和3年3月25日に運用開始

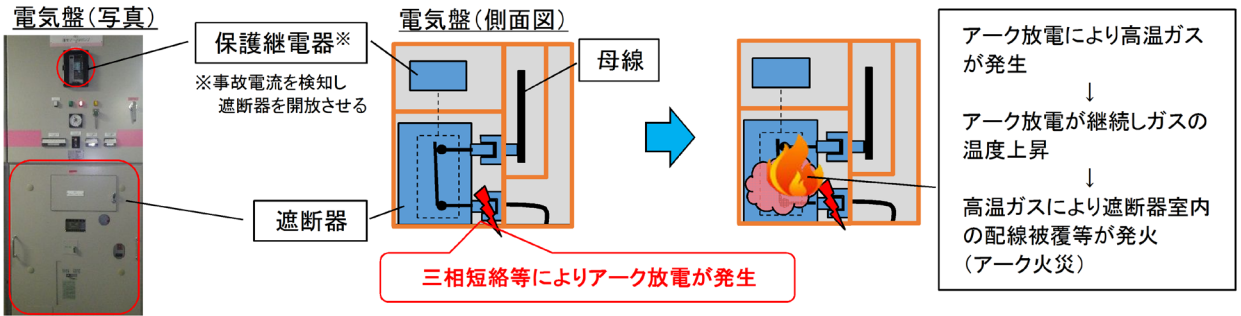
※原子炉容器上蓋温度計引出管接続部にて確認した水のにじみに対する処理（5日間）を含む

図-1 高エネルギーアーク損傷対策工事

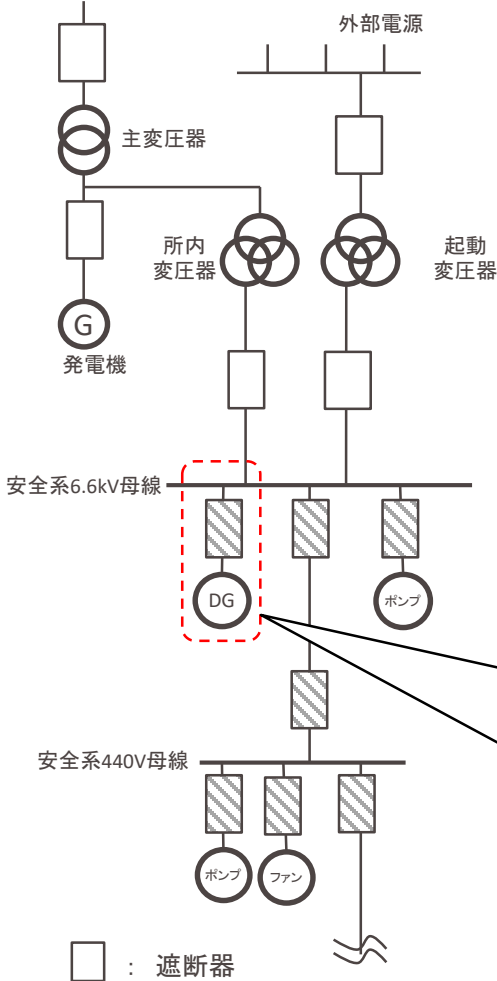
工事概要

国内外の原子力発電所の電気設備で高エネルギーアーク損傷が発生していることを踏まえ、原子力規制委員会によるバックフィット(新たな規制基準の既存の施設等への適用)として保安電源設備に係る技術基準規則等が一部改正(平成29年8月)されたことから、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤に対して保護継電器(リレー)およびインターロックの追加を行った。

工事概要図



<電源系統構成(イメージ)>

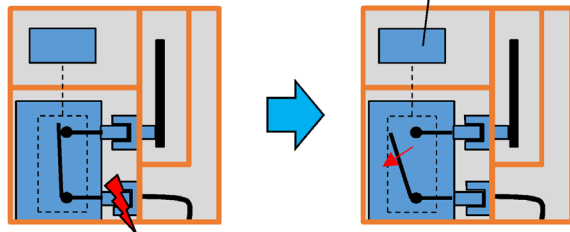


遮断器の遮断時間の変更

※前回定期検査で実施済

対象箇所:

事故電流を検知してから遮断器を開放させるまでの時間(遮断時間)を早くし、アーク放電の継続時間を短くする。



リレーおよびインターロックの追加

※今回定期検査で実施済

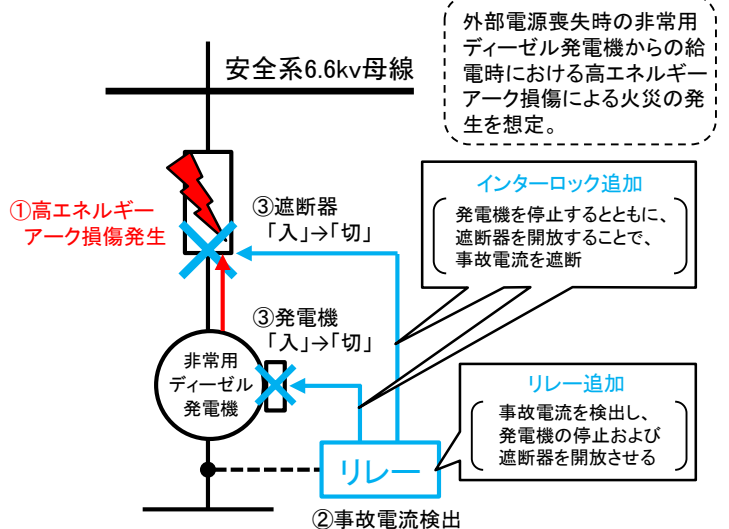


図-2 原子炉照射試験片取出工事

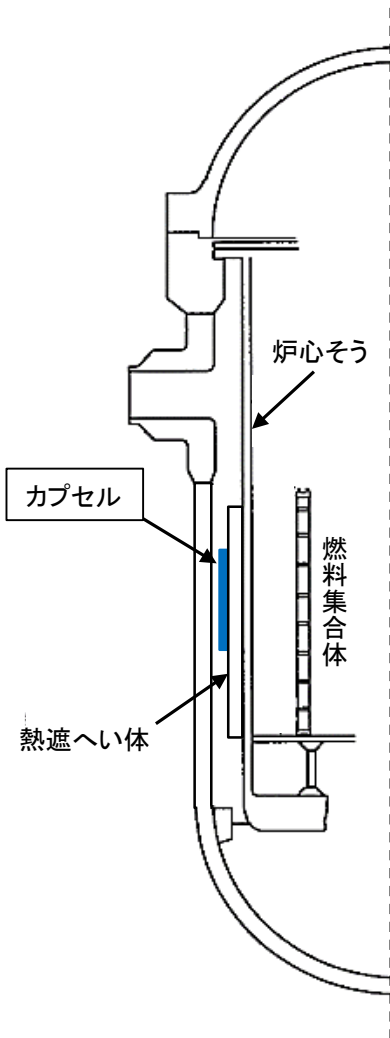
工事概要

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5回目)

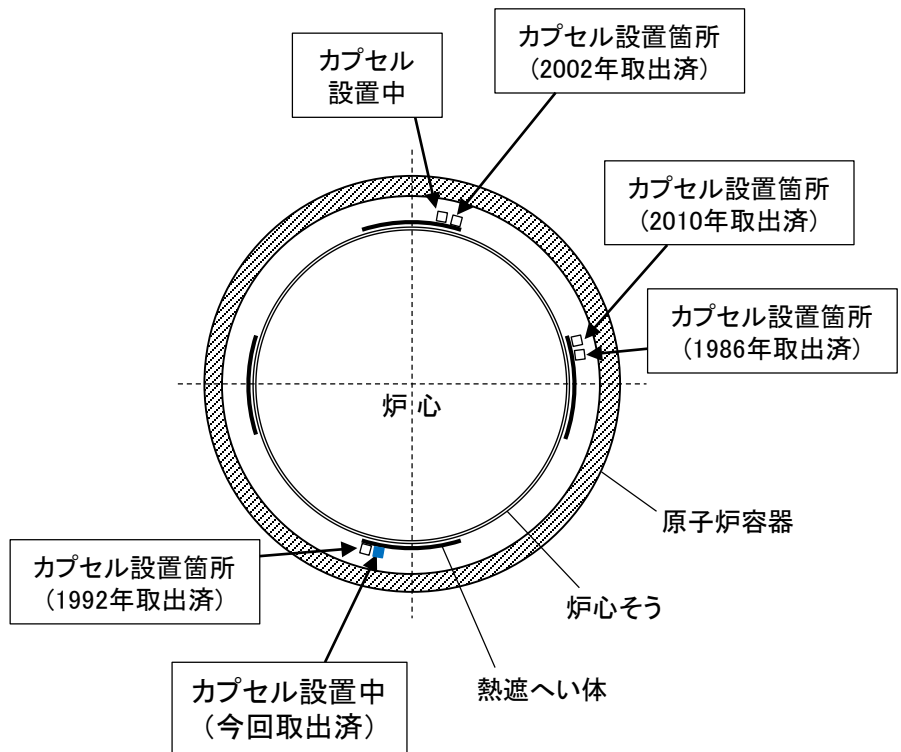
なお、取り出した照射試験片は、試験場所へ運搬し、各種試験を実施する予定である。(令和3年6月運搬予定)

工事概要図

原子炉容器(横から見た図)



原子炉容器(上から見た図)



カプセル: 照射試験片を収納した箱型の容器
取り出しはカプセルごとに行い、試験場所
において中の試験片を取り出す

図-3 化学体積制御系統 抽出水オリフィス取替工事

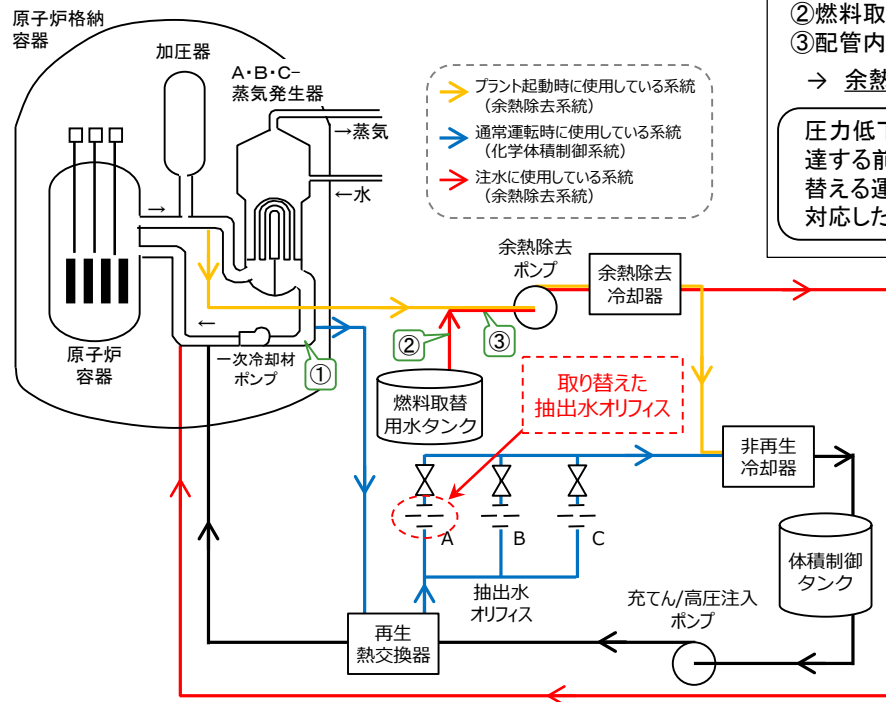
工事概要

プラント起動時に化学体積制御系統を用いた圧力調整を実施できるよう、当該系統の抽出水オリフィスを口径の大きいものに取り替えた。

- ※1: 米国原子力規制委員会が米国事業者に対し、「蒸気ボイドによる余熱除去ポンプ機能喪失問題」を通知したことを受け、国内においても原子力規制委員会および事業者が議論し、対策を講じる必要があると評価された。
- ※2: 現在、プラント起動時には余熱除去系統を用いて原子炉冷却系統(RCS)の圧力および温度の調整を実施しているが、この時にRCSの漏えいが発生した場合、非常用炉心冷却装置の作動に伴い燃料取替用水タンクからの注水となるため、余熱除去系統の圧力が低下することから、高温の状態では当該系統内の水が沸騰し、余熱除去ポンプが使用できなくなる可能性がある。
- ※3: 圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた圧力調整に切り替える運用に変更した。

工事概要図

<系統概要図>

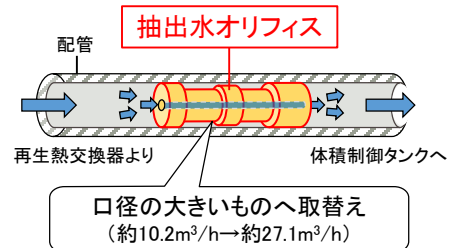


- ① プラント起動中に原子炉冷却系統の漏えいが発生
- ② 燃料取替用水タンクからの注水を実施
- ③ 配管内の水が圧力低下により沸騰

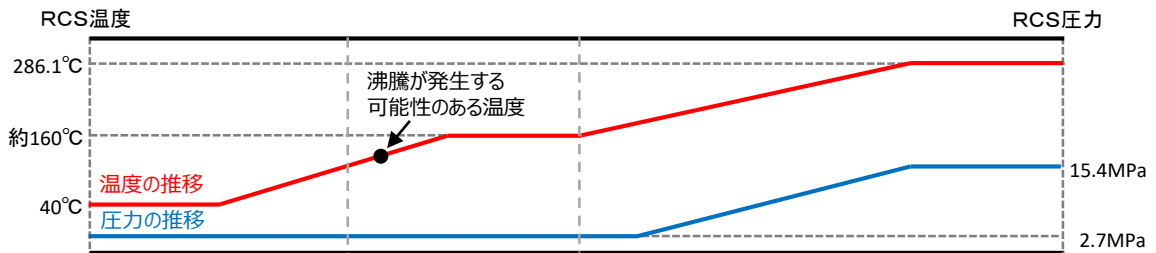
→ 余熱除去ポンプが使用できなくなる可能性がある

圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた調整に切り替える運用に変更するため、プラント起動時の流量に対応した口径の抽出水オリフィスに取り替えた。

<抽出水オリフィス概要図>



<プラント起動時の原子炉冷却系統(RCS)の温度と圧力の推移>



現運用	余熱除去系統で圧力を調整 (2系統のうち、1系統を使用)	加圧器で圧力を調整
新運用	余熱除去系統で圧力を調整	化学体積制御系統で圧力を調整
		加圧器で圧力を調整

圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた調整に切り替え、余熱除去系統を早期に隔離する。

図-4 2次系配管の点検等

工事概要

今定期検査において、596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
主要点検部位	1, 638	383
その他部位	1, 081	213
合計	2, 719	596

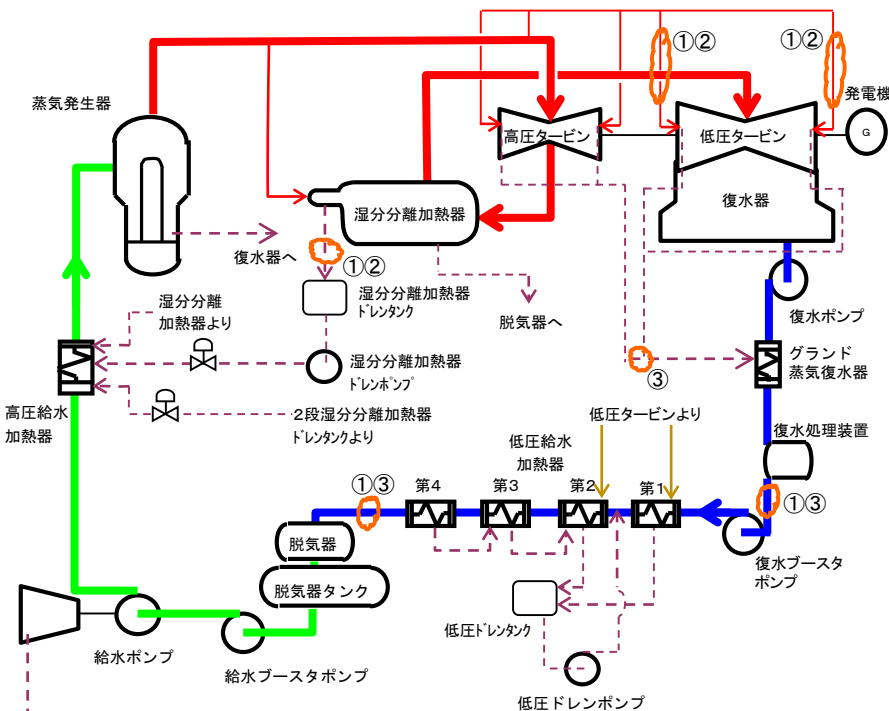
(結果)

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箇所はなかった。

取替範囲概略図

過去の点検において減肉傾向が確認された部位20箇所、配管取替え時の作業性を考慮した部位70箇所、今後の保守性を考慮した部位13箇所、合計103箇所を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。

<系統別概要図>



【凡例】

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

【取替理由】

- ① 過去の点検で減肉傾向が確認されているため計画的に取り替える箇所 (20箇所)
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年未満の箇所
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 2箇所
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年以上の箇所
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 18箇所
 - ② 配管取替時の作業性^{※1}を考慮して取り替える箇所(70箇所)
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 70箇所
 - ③ 今後の保守性^{※2}を考慮して取り替える箇所(13箇所)
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 12箇所
炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 1箇所
- [合計 103箇所]

※1: 配管取替時に近隣の配管も一緒に取替えた方が作業をし易いために取替え

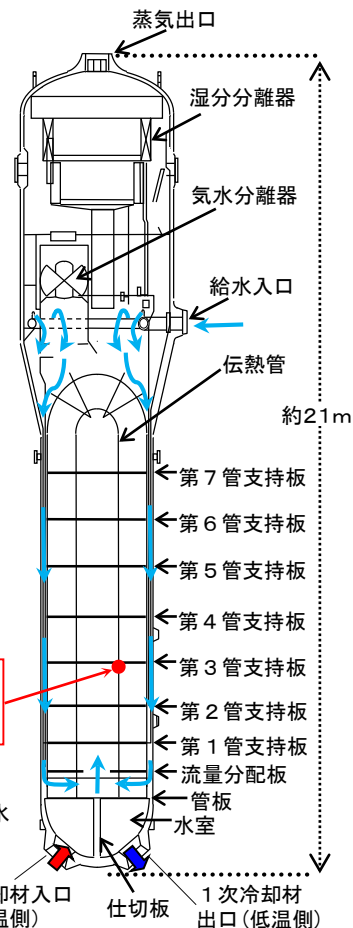
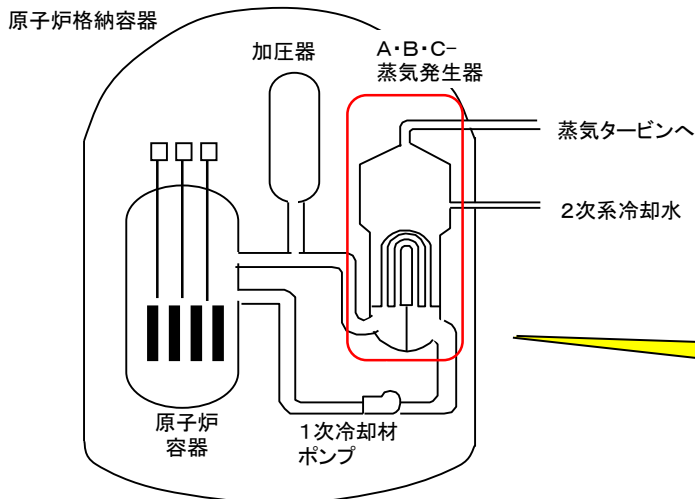
※2: 狭隘部で肉厚測定がしづらい配管について取替え

図-5 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

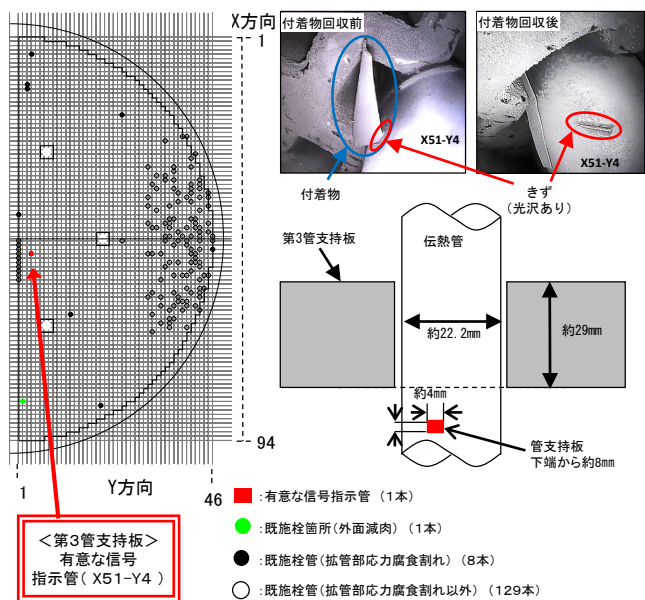
発生箇所

系統概要図

蒸気発生器の概要図



A-蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



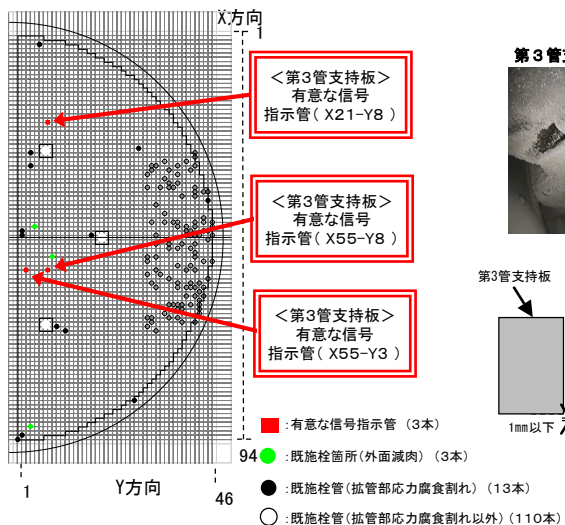
信号指示本数
 <第3管支持板>
 A-SG : 1本
 C-SG : 3本

← : 2次系冷却水の流れ

伝熱管の拡大平面図



C-蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



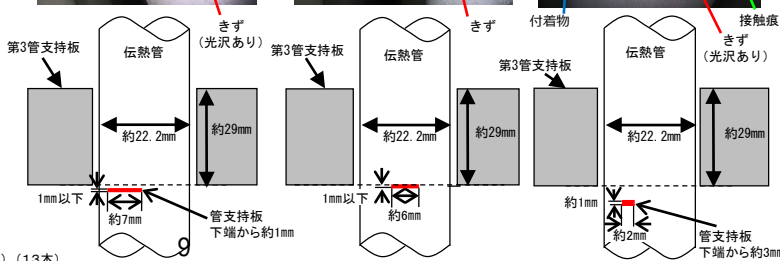
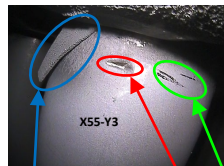
第3管支持板 (X21-Y8)



第3管支持板 (X55-Y8)



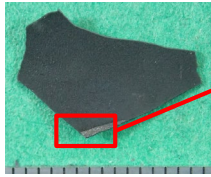
第3管支持板 (X55-Y3)



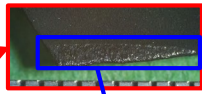
スケールの分析結果

スケールA

<凹面>



伝熱管との接触箇所



- ・伝熱管との接触箇所に光沢を確認。(電子顕微鏡による観察の結果、筋状の摺れ痕を確認。)
- ・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

幅 : 約15mm
長さ : 約9mm
厚さ : 約0.2mm~0.3mm
重さ : 約0.1g
材質 : マグネタイト
(鉄酸化物)

スケールC 2

<凹面>

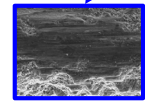
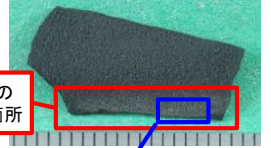


平滑面
(管支持板との
接触想定箇所)

- ・管支持板の主成分であるクロムを検出。

伝熱管との
接触想定箇所

<凸面>

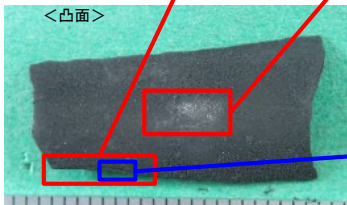


- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

幅 : 約18mm
長さ : 約10mm
厚さ : 約0.3mm
重さ : 約0.19g
材質 : マグネタイト
(鉄酸化物)

スケールC 3

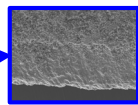
<凸面>



伝熱管との
接触想定箇所

平滑面
(管支持板との
接触想定箇所)

- ・管支持板の主成分であるクロムを検出。



- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

幅 : 約23mm
長さ : 約11mm
厚さ : 約0.3mm
重さ : 約0.25g
材質 : マグネタイト
(鉄酸化物)

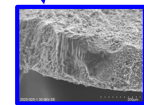
スケールC 4

(伝熱管から剥離後に破損したスケールの一部と推定)

伝熱管との
接触想定箇所



幅 : 約11mm
長さ : 約3mm
厚さ : 約0.3mm
重さ : 約0.03g
材質 : マグネタイト
(鉄酸化物)



- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

スケールA、C2、C3、C4の断面観察結果

稠密層の範囲

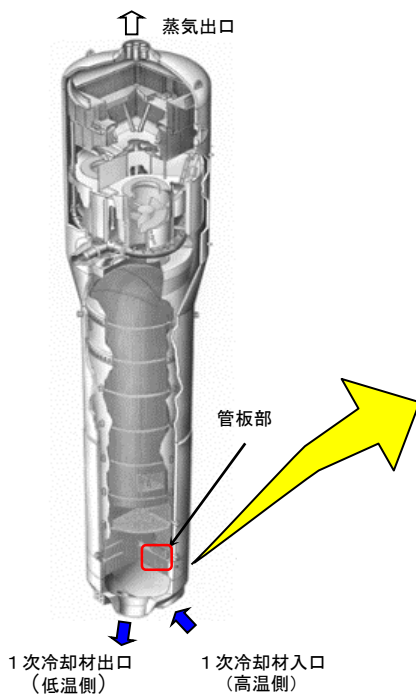
	スケールA	スケールC2	スケールC3	スケールC4
断面観察結果	約0.2~0.3mm	約0.3mm	約0.3mm	約0.3mm
回収場所	A-SG伝熱管減肉部 (第3管支持板下部)	第2管支持板上	第1管支持板上	第2管支持板上
性状	稠密層が主体			

対策(蒸気発生器伝熱管の施栓)

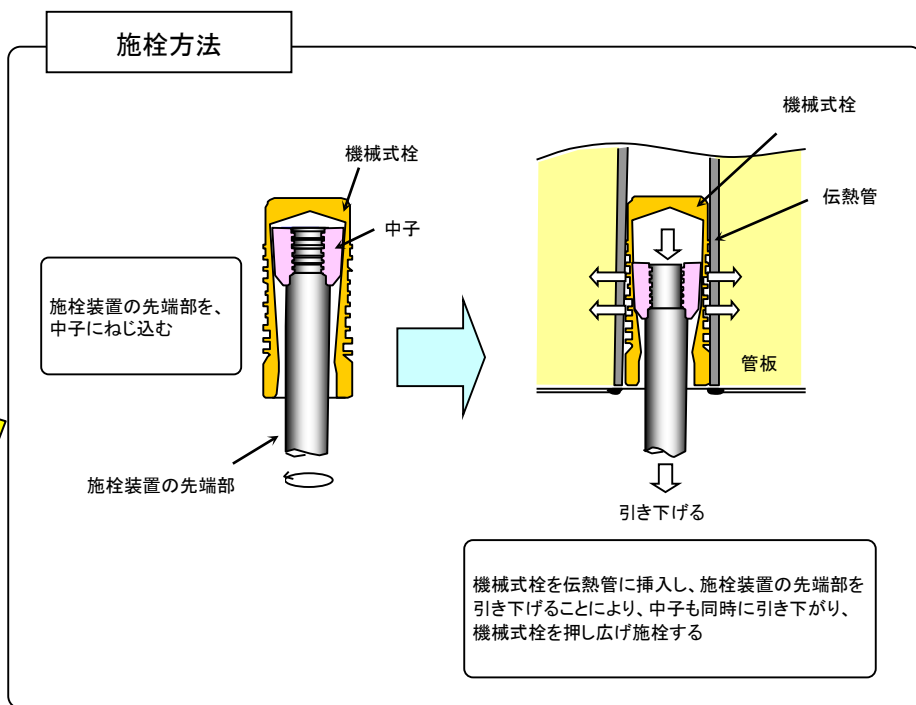
【蒸気発生器伝熱管の施栓方法】

◆外面減肉が認められた蒸気発生器伝熱管4本については、高温側および低温側管板部で閉止栓（機械式栓）を施工した。

蒸気発生器の概要図



施栓方法



【蒸気発生器伝熱管の施栓状況】

	A-蒸気発生器 (3,382本)	B-蒸気発生器 (3,382本)	C-蒸気発生器 (3,382本)	合計 (10,146本)
検査対象本数	3,244	3,247	3,256	9,747
今回施栓予定	1	0	3	4
累積施栓本数 (応力腐食割れによる施栓本数) [施栓率]	139 (8) [4.1%]	135 (3) [4.0%]	129 (13) [3.8%]	403 (24) [4.0%]

○蒸気発生器1基あたりの伝熱管本数: 3,382本

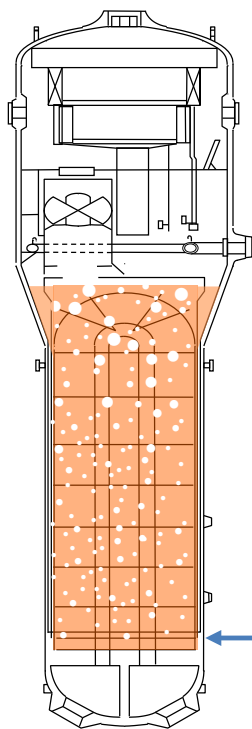
○安全解析施栓率は10%

(伝熱管の施栓率が10%の状態において、プラントの安全性に問題がないことが確認されている)

対策(蒸気発生器内の化学洗浄)

- ◆SG器内から回収した稠密なスケールを薬品洗浄し摩耗試験を行った結果、伝熱管をきずつける前に折損したことから、対策として十分な効果があることを確認した。
また、高浜発電所3号機の第24回定期検査においてSG器内を薬品洗浄し、スケールが脆弱化していることが確認できたため、今回、4号機においてもSG器内の薬品洗浄を実施した。

【薬品洗浄の流れ】



STEP①

SG内温度を100℃に昇温し、薬品を注入する。



(その後、スケールの洗浄で分離した銅成分の洗浄を実施)

STEP②

SG内温度を常温に戻し、スケールを系外へ排出(回収)する。



STEP③

水張り・水抜きを数回繰り返し残留した薬品やスケールを洗い流す。

STEP①～③までを約1週間かけて実施した。

水

薬品

窒素/空気

窒素: 鉄洗浄の際に使用
空気: 銅洗浄の際に使用