

## 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18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20年8月23日から第18回定期検査を実施しているが、12月22日に原子炉を起動し、翌23日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、12月24日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、平成21年1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。

#### 1 主要工事等

- (1) 耐震裕度向上工事 (図-1参照)  
既設設備の耐震性を一層向上させるため、伝送器および、安全注入系統や余熱除去系統などの配管の支持構造物28箇所の強化工事を実施した。
  
- (2) 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事 (図-2参照)  
国内外PWRプラントにおける高サイクル熱疲労割れ事象(温度揺らぎによる疲労)を踏まえ、対策工事を実施した。  
2系列ある充てん配管のうち、熱疲労が発生しやすい、使用していない系列の充てん配管、隔離弁等を撤去した。  
AおよびB余熱除去冷却器バイパスライン合流部の2箇所について、熱疲労が抑制できる合流部形状に変更するとともに、応力集中が小さい溶接形状に変更した。また、余熱除去系統入口部1箇所と出口部1箇所において、熱疲労を抑制するため配管ルートを変更した。

## 2 設備の保全対策

### (1) 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る点検・予防保全工事 (図－3参照)

国内外PWRプラントでの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冷却材出入口管台および蒸気発生器出入口管台の溶接部について、超音波探傷検査や渦流探傷試験を実施した。

その結果、蒸気発生器入口管台の溶接部において、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、補修工事を施工した（3ページの6(1)を参照）。また、その他の部位については、異常は認められなかった。

予防保全対策として、蒸気発生器出口管台の溶接部については、溶接部表面の残留応力を低減させるため、ショットピーニング工事<sup>\*1</sup>を施工した。

※1 金属表面の引張り残留応力を低減させる工法で、金属表面に金属の玉を高速度で叩き付ける工法

### (2) 2次系配管の点検等 (図－4参照)

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1,619箇所について超音波検査（肉厚測定）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。

②過去の点検で減肉が確認された部位など263箇所の配管を耐食性に優れたステンレス鋼や低合金鋼に取り替えた。

### (3) 格納容器ガスモニタ取替工事

格納容器ガスモニタについて、伝送装置が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮して、現在の電離箱式<sup>\*2</sup>から同等の性能を有するプラスチックシンチレーション式<sup>\*3</sup>に取り替えた。

※2 放射線により電離箱内の格納容器内にあった空気（サンプルガス）が電子とイオンに電離し、それぞれプラスの電極、マイナスの電極に集まる。各電極の電子、イオンが電離電流として、監視盤へ送信される。

※3 放射線が容器（プラスチックシンチレータ）内に入射すると微弱な光を発する。発生した光を増加させるとともに、電気信号に変換し、監視盤へ送信される。

## 3 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果 (図－5参照)

蒸気発生器3台の伝熱管全数（既施栓管を除く計9,758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20年9月22日、10月3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、77体（うち60体は新燃料集合体）を取り替えた。

また、燃料集合体の外観検査（50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21年度 冬頃

#### 6 定期検査中に発生した安全協定に基づく異常事象

##### (1) 蒸気発生器入口管台溶接部での傷 (図-6 参照)

蒸気発生器（全3台）の1次冷却材入口管台の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のため、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、BおよびC号機の入口管台溶接部で有意な信号指示が合計36箇所で見られた。信号指示が見られた箇所を超音波探傷試験したところ、最大深さが約16mmと評価された。

当該箇所の型取観察等を実施した結果、傷に複数の枝分かれや折れ曲がりの特徴が見られ、グラインダによる研磨加工が見られた。このことから、敦賀発電所2号機での調査結果と同様、応力腐食割れの感受性のある600系ニッケル基合金溶接部で、高温の1次冷却材水質環境、グラインダ加工による引張り残留応力が重畳して発生した応力腐食割れであると推定された。

対策として、傷が見られた箇所は、内表面全周を切削装置で一様に切削し、深い傷については部分的にグラインダで切削して全ての傷を除去した。その後、深く切削した部分は600系ニッケル基合金で補修溶接を行い、その上で全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を行った。また、溶接部内表面についてバフ研磨を行い引張り残留応力の低減を図った。

[平成20年10月3日、10日 公表済]

問い合わせ先(担当：神戸)  
内線2354・直通0776(20)0314

図-1 耐震裕度向上工事

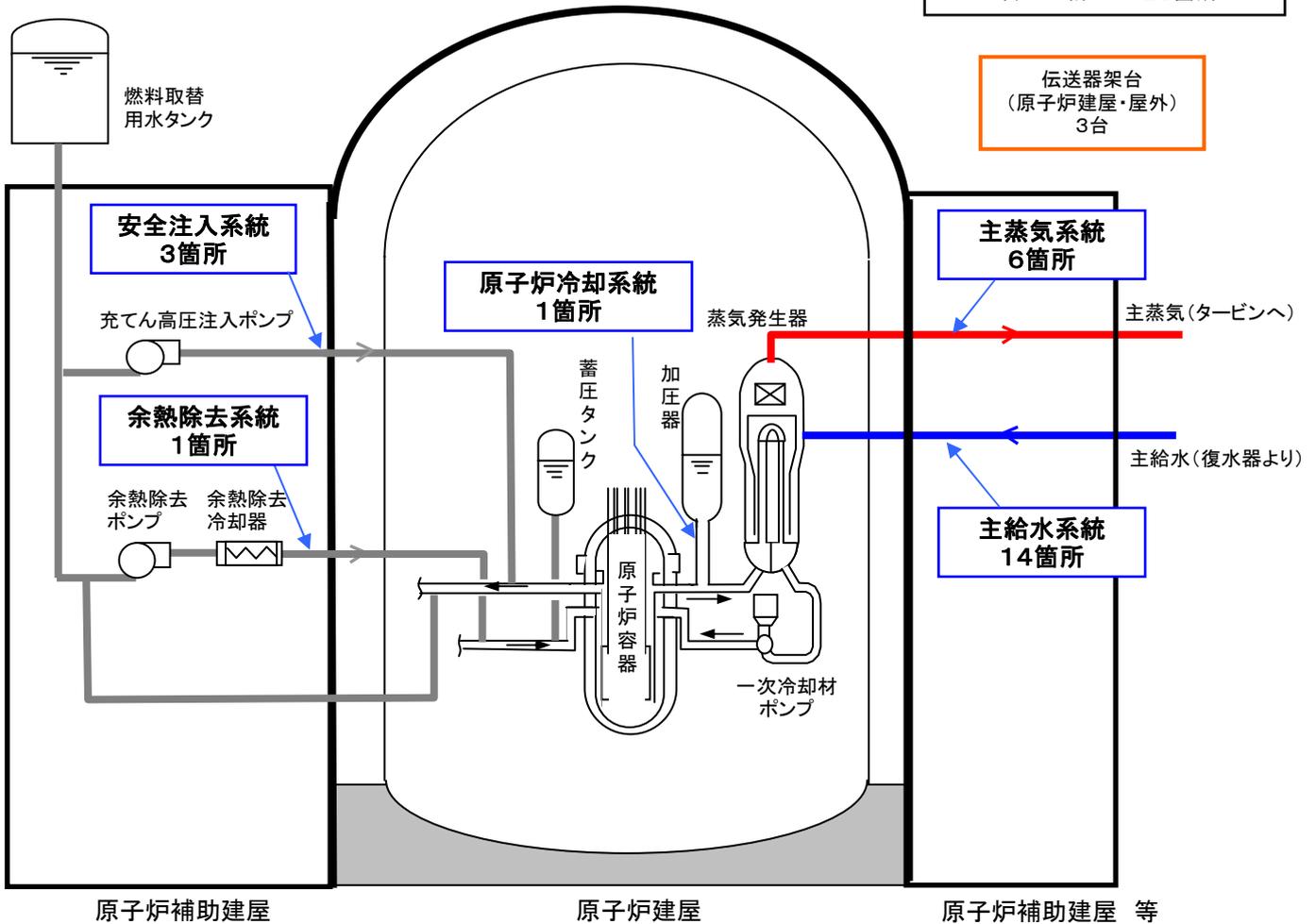
工事概要

既設設備の耐震性を一層向上させるため、伝送器および、安全注入系統や余熱除去系統などの配管の支持構造物28箇所の強化工事を実施した。

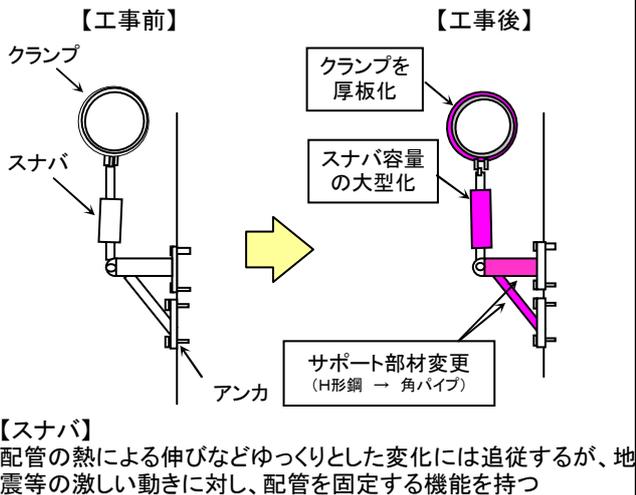
支持構造物を補強する系統概要図

工事実施箇所数

配管支持構造物	25箇所
伝送器支持構造物	3箇所
合計	28箇所



配管の支持部の強化例(イメージ)



伝送器架台の強化例(イメージ)

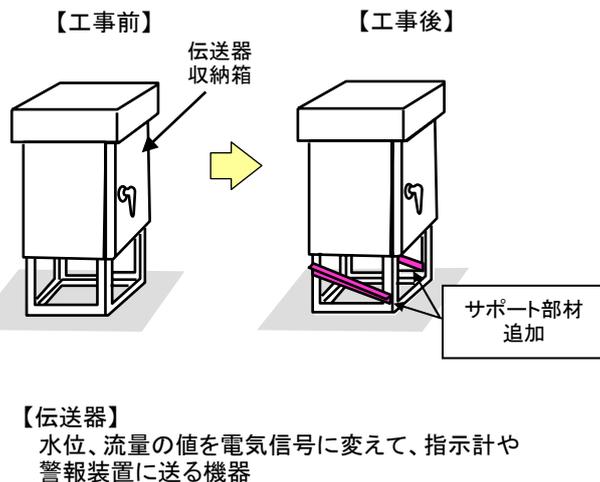
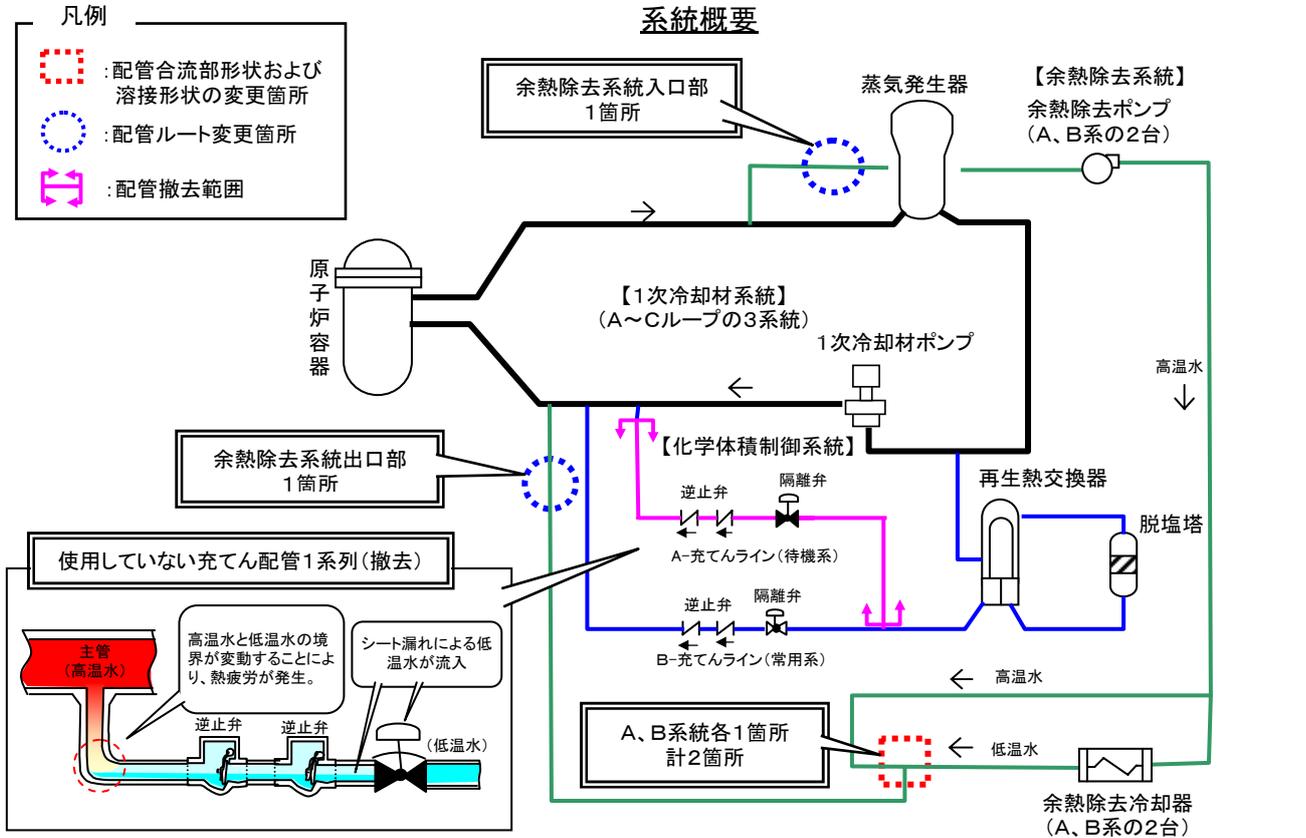


図-2 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事

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事象(温度ゆらぎによる疲労)を踏まえ、対策工事を実施した。2系列ある充てん配管のうち、1系列の充てん配管、隔離弁等を撤去した。AおよびB余熱除去冷却器バイパスライン合流部の2箇所について、合流部および溶接の形状を変更した。A余熱除去系統入口部1箇所と出口部1箇所について、配管ルートを変更した。



	現状	取替後
配管の合流部形状を変更する箇所 (合わせて溶接形状変更)	<p>【余熱除去冷却器バイパスライン合流部の例】</p> <p>バイパスライン(高温水) 1次冷却材系統配管 低温側へ</p> <p>出口ライン(低温水)</p> <p>1次冷却材系統配管 低温側へ</p> <p>パイパス側の配管を小さくし、高温水と低温水の衝突型から合流型に変更することにより、温度ゆらぎの影響を少なくする。</p>	<p>出口ライン(低温水)</p> <p>パイパスライン(高温水)</p>
	<p>溶接形状</p> <p>配管外面 配管内面 溶接裏波</p> <p>・溶接裏波を取り除き、応力集中を小さくする。 ・開先形状(狭開先)を変更することにより、溶接残留応力を低減する。</p>	<p>配管外面 配管内面</p>
配管のルートを変更する箇所	<p>【余熱除去系統入口配管の例】</p> <p>B-1次冷却材系統配管より</p> <p>高温水 低温水</p> <p>熱疲労割れ懸念部位</p> <p>B-余熱除去ポンプへ</p> <p>ルート変更することにより、高温水と低温水の境界を曲がり部から外すことで熱疲労割れの懸念を解消する。</p>	<p>B-1次冷却材系統配管より</p> <p>高温水 低温水</p> <p>B-余熱除去ポンプへ</p>

# 図-3 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る点検・予防保全工事

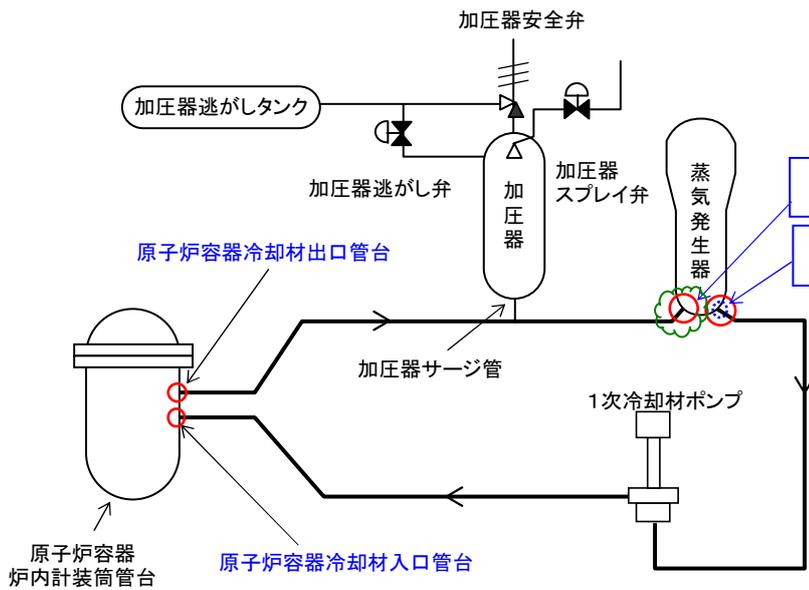
## 工事概要

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冷却材出入口管台、蒸気発生器出入口管台の溶接部について、超音波探傷検査や渦流探傷試験を実施した。  
 その結果、蒸気発生器入口管台の溶接部において、応力腐食割れによる傷が認められたことから、補修工事（傷を除去した上で、690系ニッケル基合金で肉盛溶接）を施工した。また、その他の部位については、異常がないことを確認した。  
 予防保全対策として、蒸気発生器出口管台の溶接部については、ショットピーニング工事を施工した。

## 【点検・予防保全工事対象箇所】

施工箇所管台	原子炉容器									加圧器				蒸気発生器							
	上部 ふた	入口			出口			炉内計装筒		逃がし弁	安全弁			スプレ イ弁	サー ジ管	入口			出口		
		A	B	C	A	B	C	溶接 部	母材 内面		A	B	C			A	B	C	A	B	C
外観目視検査	△	●	●	●	●	●	=	●	●	●	●	●	●	●	△	△	△	=	●	●	
超音波探傷検査	△	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	●	●	●	●	●	●	△	△	△	●	◎	●	
渦流探傷試験	△	○	○	○	○	○	△	○	△	△	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
予防保全(補修)工事	△	○									△				補修 (肉盛溶接)			ショットピー ニング			

## 【系統概要図】



＜凡例＞

- ◎: 今回の定期検査で実施
- : 次回定期検査以降に実施予定
- : 実施済み
- =: 超音波探傷検査実施済みのため点検対象外
- △: 対象外

蒸気発生器入口管台…補修(肉盛溶接)  
 (3ループ 3箇所)

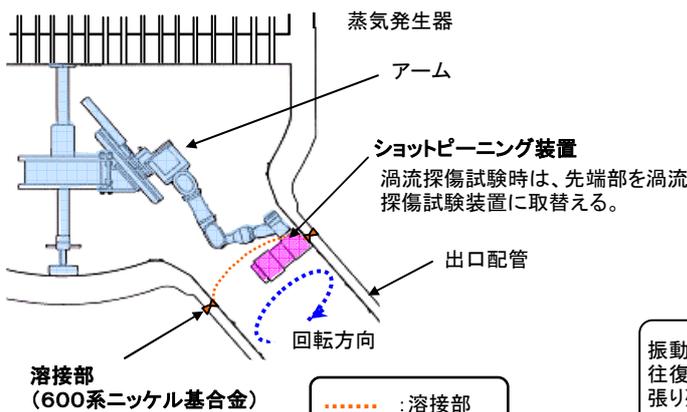
蒸気発生器出口管台…ショットピーニング  
 (3ループ 3箇所)

○: 点検箇所

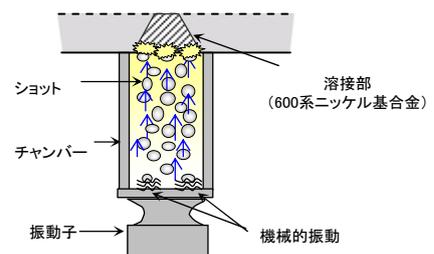
○: 予防保全工事範囲

○: 傷が確認されたことによる  
 補修工実施箇所

## 蒸気発生器冷却材出口管台溶接部の作業イメージ



## ＜ショットピーニングの原理＞



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口管台溶接部に衝突させ、金属表面近傍の引張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

図-4 2次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、1619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	今回点検開始時点での 点検未実施部位	今回点検実施部位
主要点検部位	1,835 <0>	0 <0>	1,019 <0>
その他部位	1,441 <0>	0 <0>	600 <0>
合計	3,276 <0>	0 <0>	1,619 <0>

<>内は定検開始時からの増減

(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。

取替概要

○今定期検査開始時に計画していた263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又は低合金鋼に取替えた。

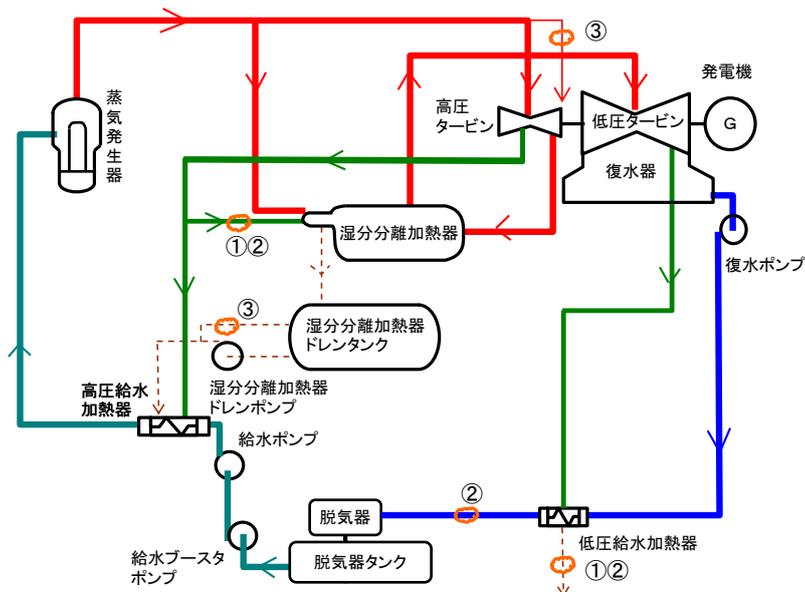
系統別概略図

☁️ : 主な配管取替箇所

復水系統	■
給水系統	■
主蒸気系統	■
抽気系統	■
ドレン系統	- - -

【取替理由】

- ① 余寿命5年未満で減肉が確認されたため取り替えた(2箇所)  
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 1箇所  
炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 1箇所
- ② 余寿命5年以上であるが減肉が確認されたため取り替えた(48箇所)  
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 46箇所  
炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 2箇所
- ③ 配管の保守性を考慮して取り替えた(213箇所)  
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 193箇所  
炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 20箇所



(参考)

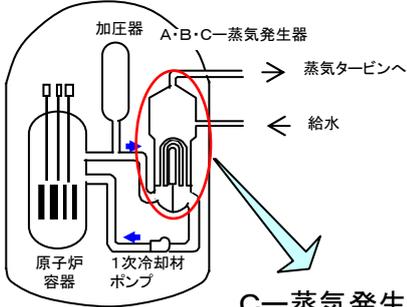
保安院の指示文書(平成19年11月)で示された方法による余寿命評価結果を踏まえ、今定期検査において、27箇所を肉厚測定し、4箇所の配管を取り替えた。

注:27箇所の肉厚測定は、1,619箇所の肉厚測定に含まれる。また、4箇所の取り替えは、263箇所(取替理由②および③)の取り替えに含まれる。

# 図-5 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について

## 発生箇所

系統概略図  
原子炉格納容器

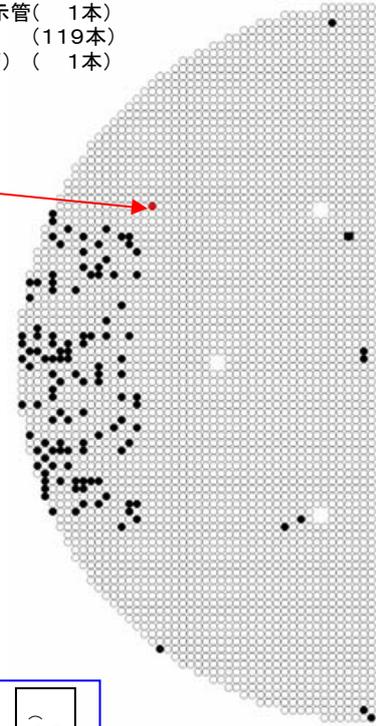


← 1次冷却材の流れ

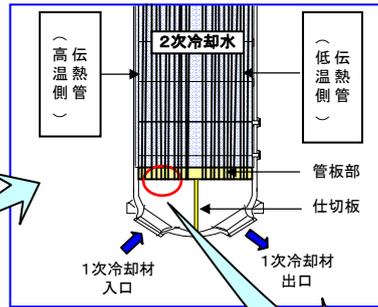
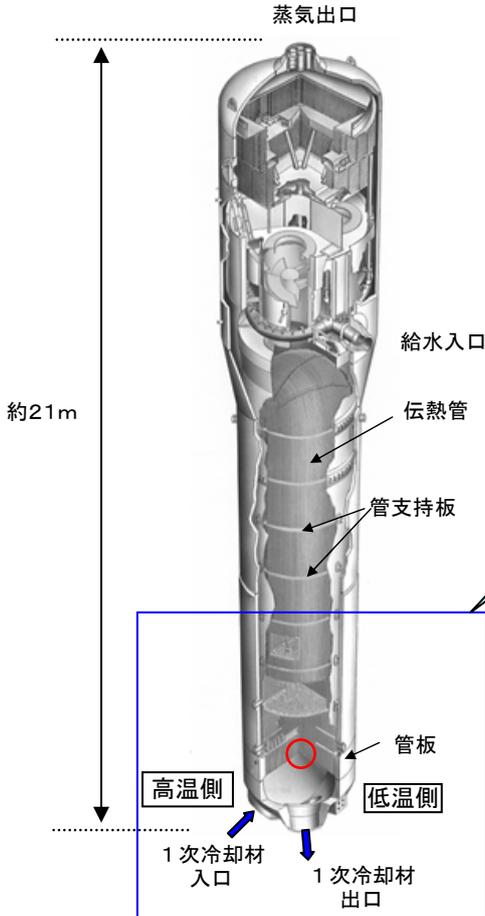
C-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図

- : 有意な信号指示管 ( 1本 )
- : 既施栓管 ( 119本 )
- : 既施栓管(抜管) ( 1本 )

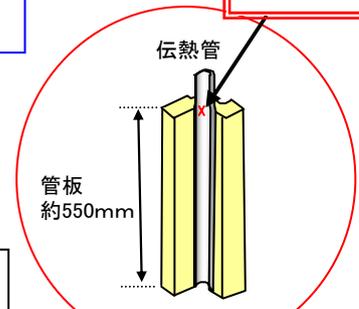
有意な  
信号指示管



C-蒸気発生器



信号指示箇所

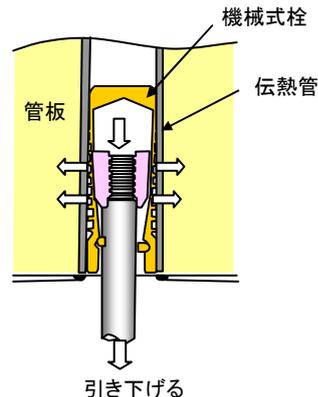
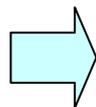
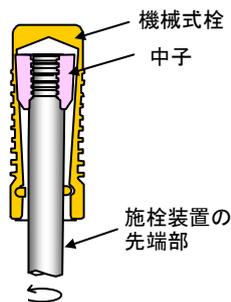


伝熱管外径 : 約22.2mm  
 // 厚さ : 約1.3mm  
 // 材質 : インコネルTT600  
 (特殊熱処理材)

管板部拡大図

## 対策(施栓方法)

施栓装置の先端部を、中子にねじ込む

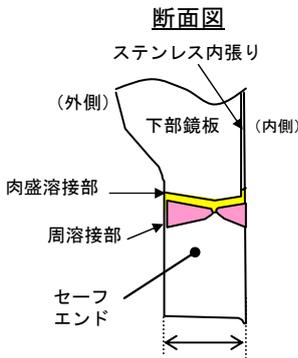
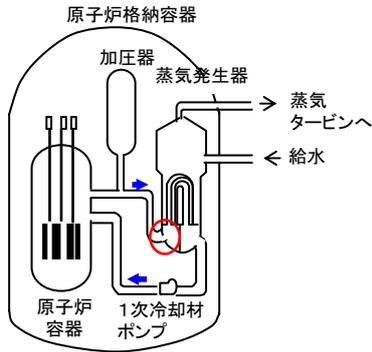


機械式栓を伝熱管に挿入し、施栓装置の先端部を引き下げることにより、中子も同時に引き下がり、機械式栓を押し広げる

図-6 蒸気発生器入口管台溶接部での傷について

発生箇所

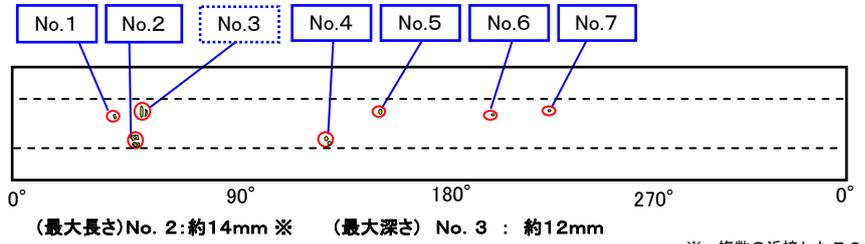
系統概略図



A号機: 約76.6mm, B号機: 約77.5mm, C号機: 約76.8mm  
(工事計画書記載値: 66.5mm)

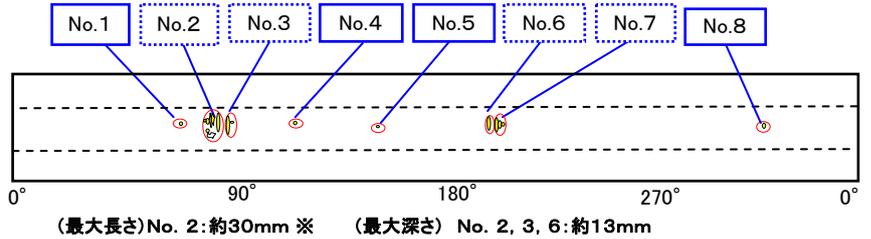
□ : 渦流探傷試験で、有意な信号指示が確認されたが、超音波探傷試験では、傷の深さが評価できなかった箇所  
□ : 超音波探傷試験で、傷の深さが評価できた箇所

A-蒸気発生器 点検状況

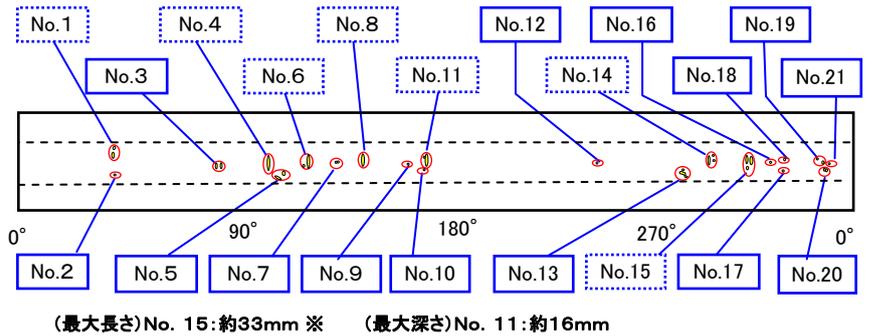


※: 複数の近接したECT信号指示を連続したものと評価した値。

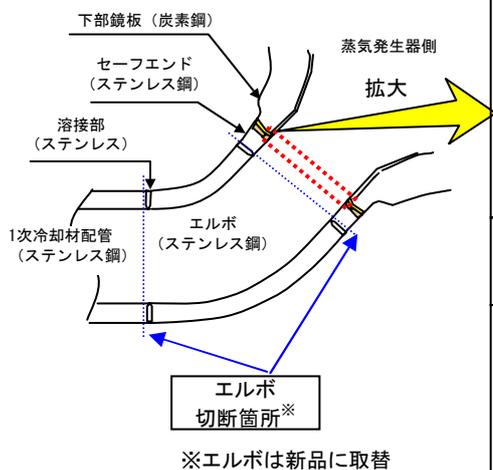
B-蒸気発生器 点検状況



C-蒸気発生器 点検状況



対策(補修)

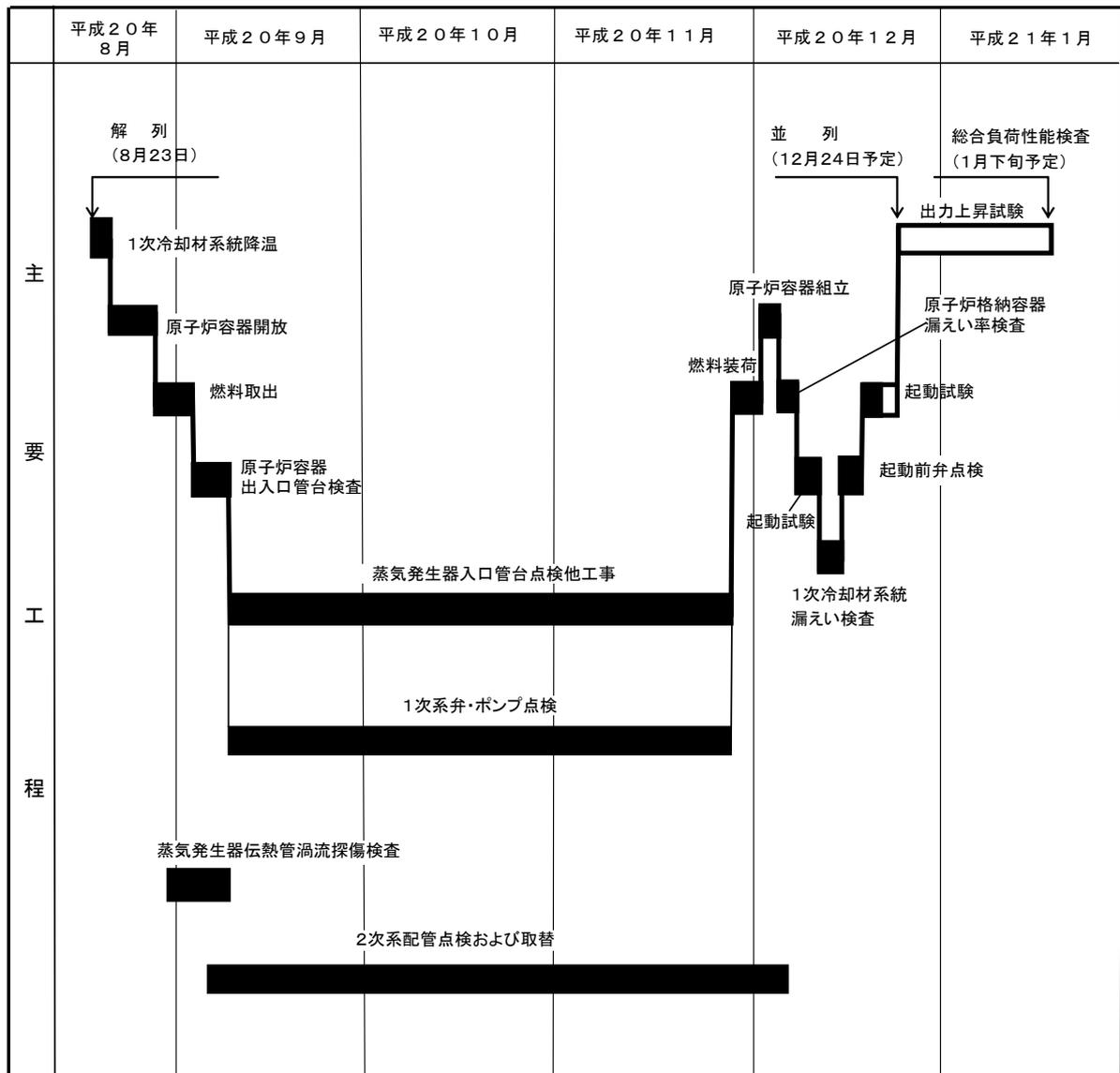


<p>① 全周にわたり、割れを含む当該部を切削 ・浸透探傷試験(PT)により割れが除去されたことを確認</p>	<p>② 残存した傷を部分的に切削 ・浸透探傷試験(PT)により割れが除去されたことを確認</p>
<p>③ 600系ニッケル基合金で補修溶接</p>	<p>④ 全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接 ・念のため、パフ施工を行い残留応力を低減</p>

## 高浜発電所4号機 第18回定期検査の作業工程

平成20年8月23日から約5ヶ月の予定であり、以下の作業工程にて実施しています。

(平成20年12月19日現在)



黒塗りは実績を表します。