

高浜発電所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

高浜発電所2号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力82.6万kW）は、平成19年8月17日から第24回定期検査を実施しているが、平成20年6月6日に原子炉を起動し、翌7日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、6月8日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、7月上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10月上旬に発電を再開、11月上旬に定期検査を終了する予定であったが、制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良、蒸気発生器入口管台溶接部の傷に対応するため、定期検査期間を延長した。

1 主要工事等

(1) 原子炉容器周辺遮へい体設置工事 (図-1参照)

原子炉運転中に機器の点検で立ち入る原子炉格納容器周辺建屋屋上の放射線量を低減させるため、原子炉容器の上部に遮へい体を追加設置した。

(2) 耐震裕度向上工事 (図-2参照)

既設設備の耐震性を一層向上させるため、内部スプレイクーラ2台の支持構造物を強化した。

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

(図-3、図-6参照)

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B-蒸気発生器の入口管台について超音波探傷検査を実施するとともに、3台ある蒸気発生器の入口管台について渦流探傷試験を追加で実施した。

その結果、すべての蒸気発生器の入口管台で応力腐食割れによる傷が認められたことから、補修工事を実施した。

(2) 2次系配管の点検等

(図-4参照)

①美浜発電所3号機事故を踏まえ、2次系配管1,147箇所について超音波検査(肉厚測定)等を行った結果、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。(超音波検査1,134箇所^{※1}、内面目視点検4箇所^{※2}、内面目視点検および超音波探傷検査9箇所^{※2})

※1 定期検査開始時の計画では、1,019箇所の超音波検査(肉厚測定)を実施する予定であったが、他プラントでの減肉事象を踏まえ、115箇所を追加した(平成19年11月に原子力安全・保安院から指示のあった配管曲がり部等を含む)。

※2 高圧排気管部13箇所について、配管内面から目視点検を実施した結果、9箇所に減肉が認められたため、配管外面から超音波検査(肉厚測定)を実施した。

②今定期検査開始時には158箇所の配管取替えを計画していたが、配管取替え時の作業性を考慮して2箇所を追加し、合計160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) 制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良

(図-5参照)

今定期検査中の平成19年10月1日、制御棒クラスタ動作検査で制御棒クラスタ1本が動作不良のため、ほぼ全引抜き位置にあることが確認された。その後、当該制御棒クラスタに対し、手動で挿入および引抜き操作を繰り返し行った結果、全挿入位置まで挿入された。

調査のため原子炉容器上部ふたを開放して、当該制御棒や制御棒クラスタ案内管等を点検した結果、案内管下部のCチューブで筋状模様が確認され、当該案内管や原子炉容器内で微小な金属片等の異物が発見された。発見された異物は今定期検査でコンクリート壁に埋め込まれたボルトを切断した際の切粉と推定された。また、実機を模擬した装置で再現試験を行った結果、制御棒クラスタとCチューブとの隙間に金属片が挟まると制御棒の動きが拘束されることが確認された。

これらのことより、切粉が当該制御棒クラスタとCチューブとの間に挟まり、動作不良を起こしたものと推定された。

対策として、当該案内管を現在使用していない案内管に、当該制御棒クラスタを新品に取り替えた。また、原子炉起動前および調整運転開始前に動作確認を行う。

(2) 蒸気発生器入口管台溶接部での傷 (図-6参照)

他プラントにおいて蒸気発生器入口管台溶接部で傷が確認された事象を踏まえ、蒸気発生器全3台の入口管台溶接部の渦流探傷試験を追加で実施したところ、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9箇所認められた。有意な信号指示が認め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8mmと評価された。

詳細調査の結果、応力腐食割れに特有の結晶境界に沿った割れが認められ、引張り残留応力が生じる切削加工跡が確認されたことから、当該部で応力腐食割れが発生・進展したものと推定された。

対策として、傷を切削除去した後、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。

4 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

蒸気発生器3台のうち、AおよびC-蒸気発生器伝熱管全数(3,382本×2台、計6,764本)について、渦流探傷検査を実施し、異常のないことを確認した。

5 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数157体のうち、81体(うち56体は新燃料集合体)を取り替えた。

燃料集合体の外観検査(10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20年度 冬頃

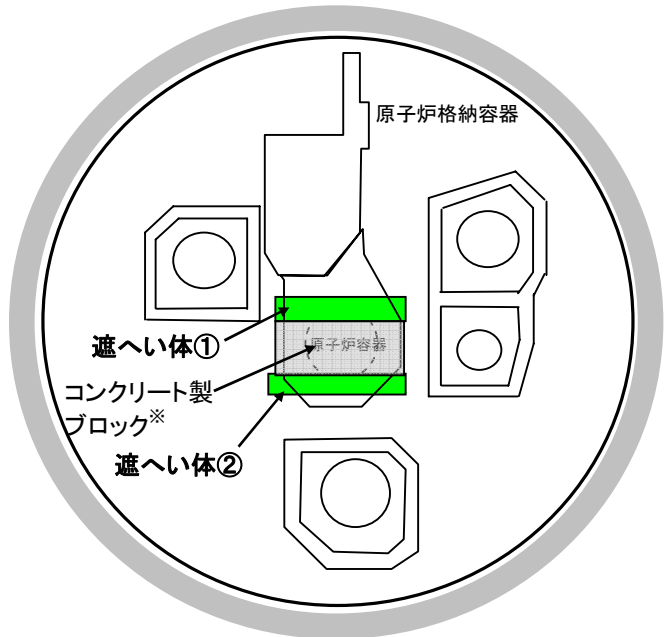
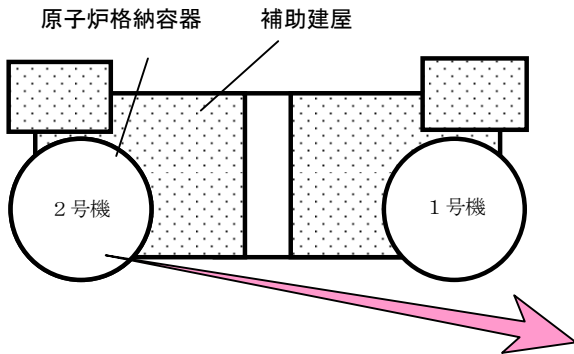
問い合わせ先(担当:藤内)
内線2354・直通0776(20)0314

図-1 原子炉容器周辺遮へい体設置工事

工事概要

原子炉運転中に機器の点検で立ち入る原子炉格納容器周辺建屋屋上の放射線量を低減させるため、原子炉容器の上部に遮へい体を追加設置した。

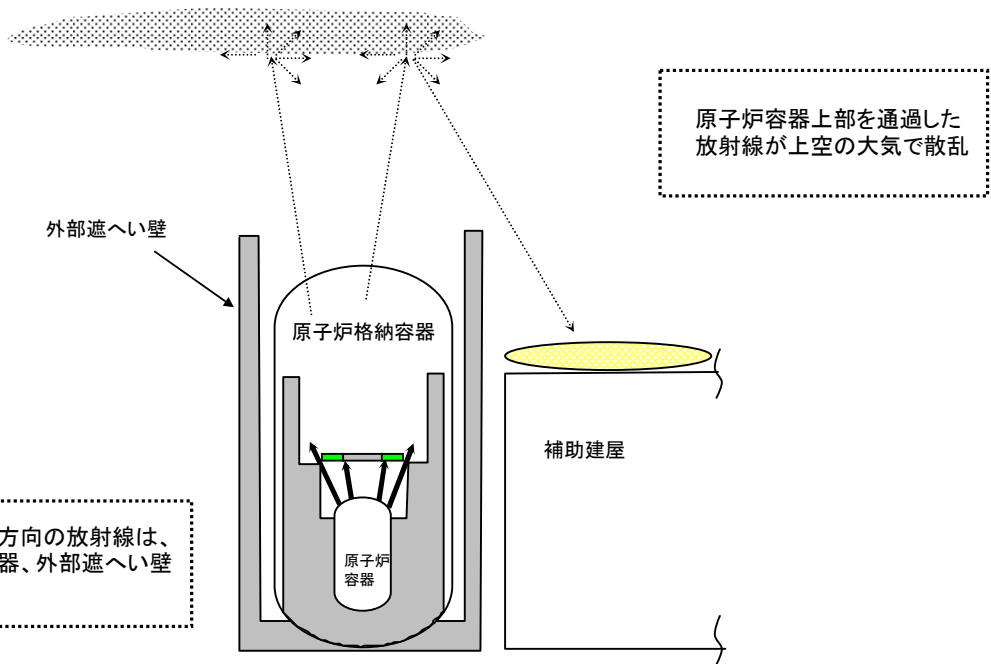
系統概要図



[遮へい体の主な仕様]

- ① 鋼板型枠コンクリート製
寸法：約9.1m×約1.5m×約0.25m
重量：約18t
- ② 鋼板型枠コンクリート製
寸法：約9.3m×約1.5m×約0.25m
重量：約22t

※制御棒飛び出し事故時の影響緩和のために設置
(放射線遮への役割も果たす)



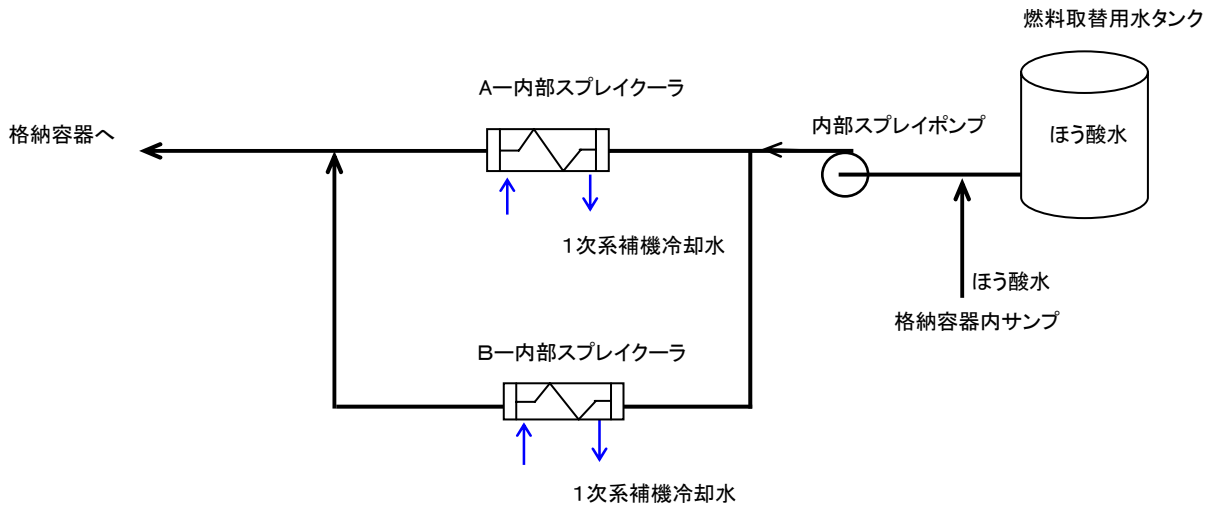
原子炉容器上部を通過した放射線が上空の大気で散乱

原子炉容器横方向の放射線は、原子炉格納容器、外部遮へい壁等により低減

図-2 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、内部スプレイクーラ2台の支持構造物を強化した。



内部スプレイクーラ支持部の強化(イメージ)

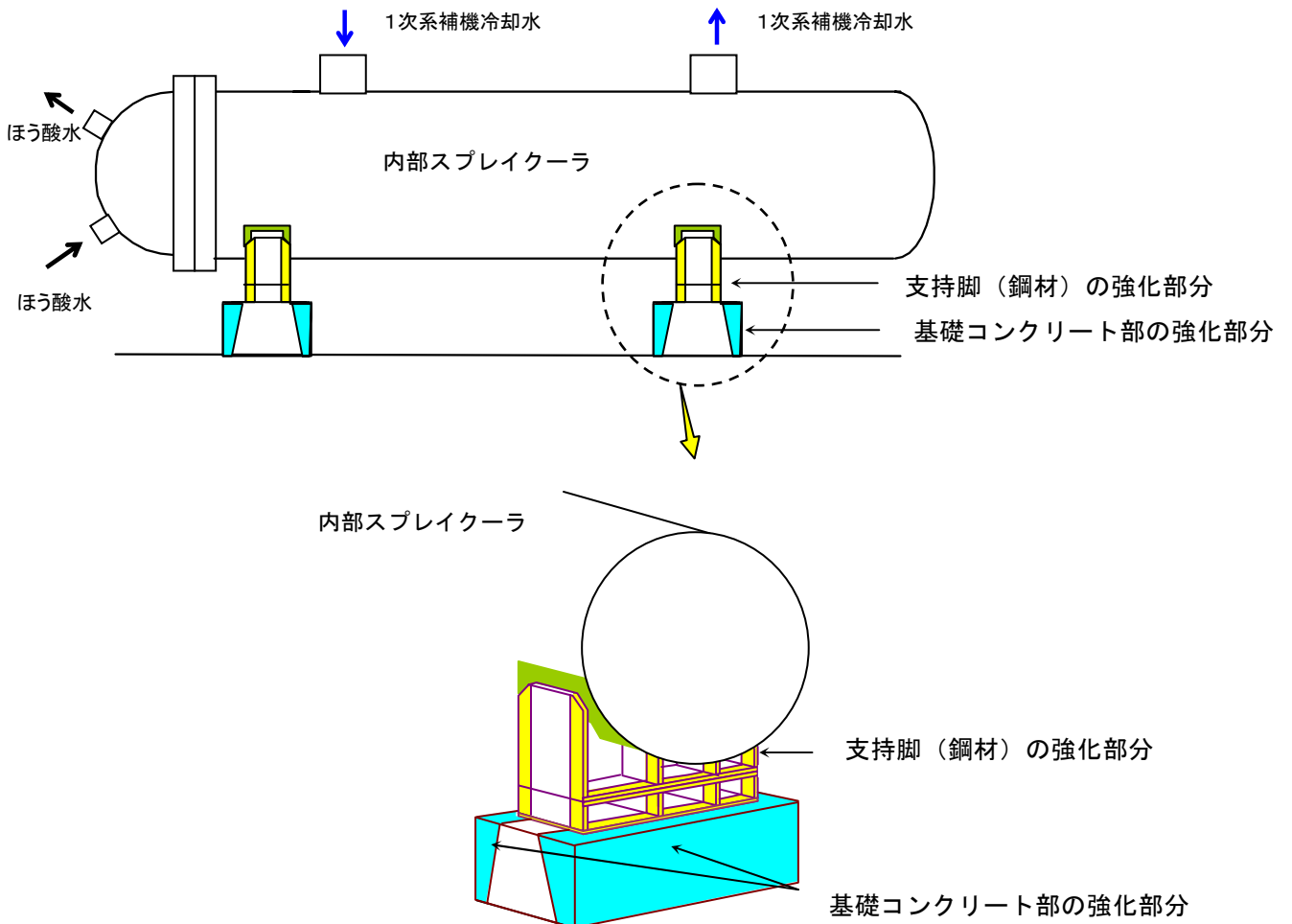
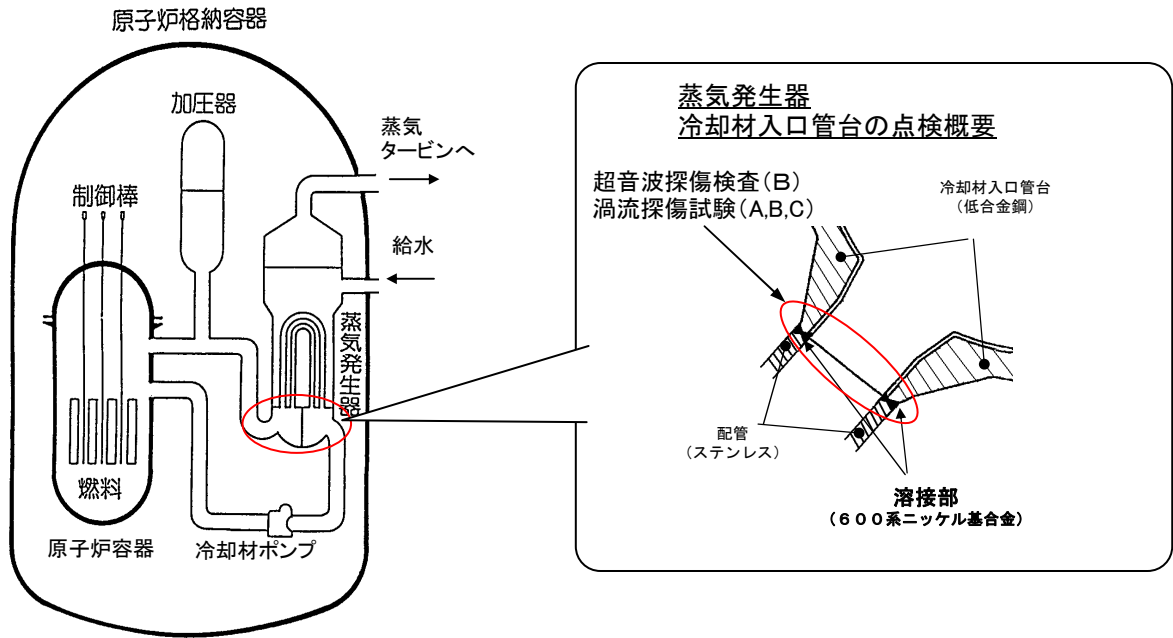


図-3 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る点検

点検概要

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B-蒸気発生器の入口管台について超音波探傷検査を実施するとともに、3台ある蒸気発生器の入口管台について渦流探傷試験を追加で実施した。
その結果、全ての蒸気発生器の入口管台で応力腐食割れによる傷が認められたことから、補修工事を実施した。

概略系統図



【管台点検箇所】

点検方法	点検箇所 管台	原子炉容器							加圧器				蒸気発生器							
		上部 ふた	入口			出口			底部	逃がし 弁	安全弁	スプレ 弁	サージ	入口			出口			
			A	B	C	A	B	C						A	B	C	A	B	C	
外観目視点検		●	●	●	●	●	●	●	※2				●	●	●	●	●	●	●	※3
超音波探傷検査	※1	●	●	●	●	●	●	—	※2				●	—	◎	●	●	●	●	●
渦流探傷試験		○	○	○	○	○	○	—	※2				●	◎	◎	◎	○	○	○	○

【記号説明】

- ◎: 今回定期検査で実施した
- : 次回定期検査で実施予定
- : 過去の定期検査で実施済み
- : 対象外
- ※1: 690系ニッケル基合金であり対象外
- ※2: 冷却材と接液しない構造であるため対象外
- ※3: 超音波探傷検査を実施したことにより、外観目視点検は免除となる
- ※4: 今回定期検査で接液部の材質を690系ニッケル基合金に変更したため対象外

図-4 二次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、合計1,147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):1,134箇所 内面目視点検:4箇所 内面目視点検および超音波検査(肉厚測定):9箇所]

○二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

	「二次系配管肉厚の管理指針」の点検対象部位		※1 今回点検実施部位	今回点検実施後の点検未実施部
	総数	未点検部位		
主要点検部位	1,458 <0>	31 <0>	606 <+110>	0 <0>
その他部位	1,285 <0>	10 <0>	528 <+5>	0 <0>
合計	2,743 <0>	41 <0>	1,134 <+115>	0 <0>

<>は定検開始時からの増減

※1:定期検査開始時の計画では、1,019箇所の超音波探傷検査(肉厚測定)を実施する予定であったが、他プラントの減肉事象を踏まえ、主要点検部位110箇所、その他部位5箇所、合計115箇所を追加した。(平成19年11月に原子力安全・保安院から指示のあった配管曲がり部等を含む)

○二次系配管肉厚の管理指針に基づく内面目視点検ならびに超音波検査(肉厚測定)部位
 高圧排気管の直管部13箇所について、配管内面から目視点検を実施した結果、9箇所の配管内面に減肉傾向が認められたため、配管外面から超音波検査(肉厚測定)を実施した。

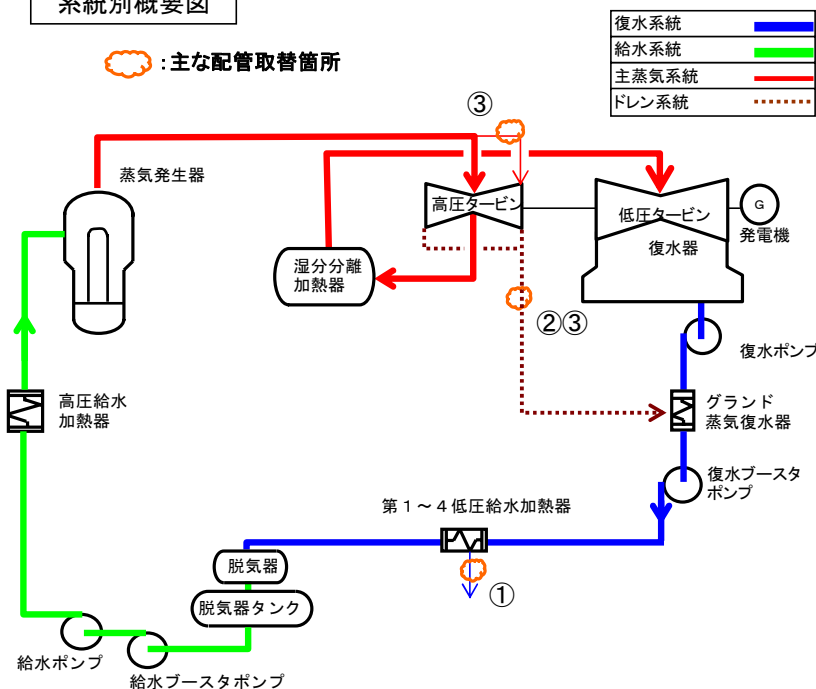
(結果)

○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は158箇所の配管取替を計画していたが、配管取替時の作業性を考慮して2箇所を追加し、合計160箇所について配管を取り替えた。

系統別概要図



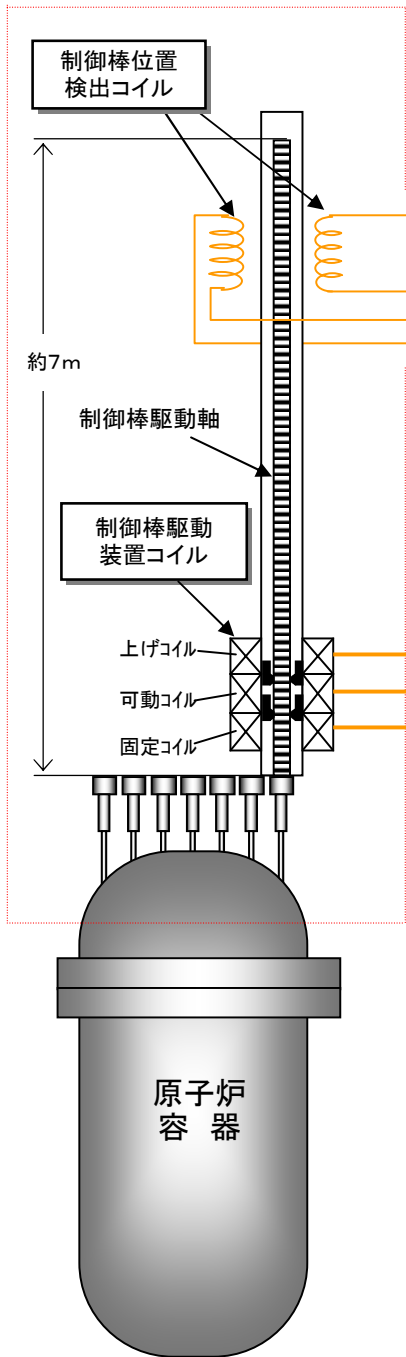
【取替理由と取替え箇所数】

- ① 余寿命10年未満で減肉が確認されたため取り替えた。(7箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 7箇所
- ② 配管取替時の作業性を考慮して取り替えた。(2箇所 追加取替え)
 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 2箇所
- ③ 今後の保守性を考慮して取り替えた。(151箇所)
 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 119箇所
 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 32箇所

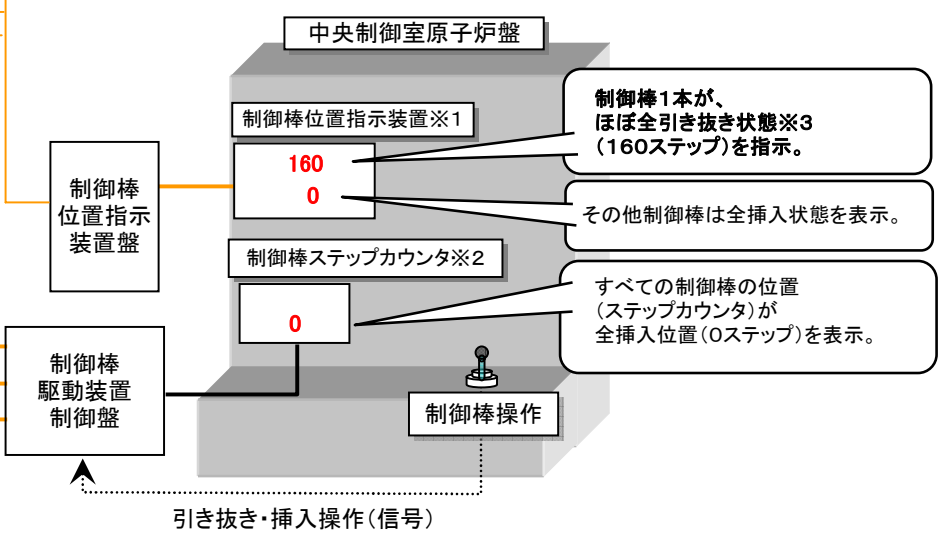
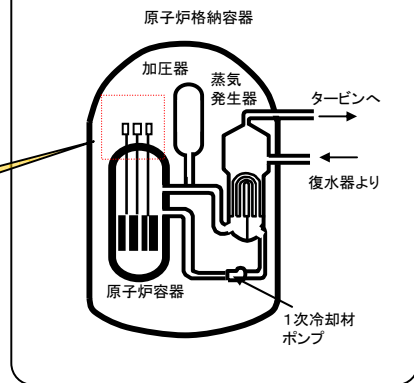
(取替箇所数合計 160箇所)

事象発生時の概要

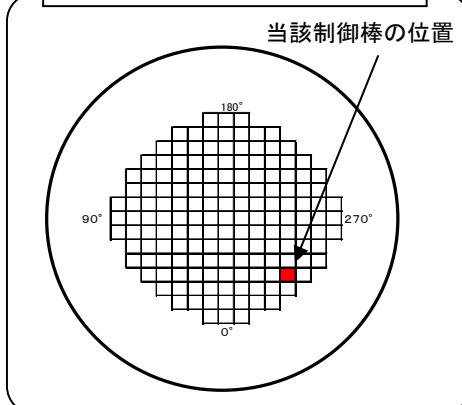
制御棒駆動および制御棒位置検出概要図



系統概要図



上から見た制御棒クラスタ配置図



- [制御棒のグループ]
- 停止グループA(8本)
 - 停止グループB(8本)
 - 制御グループA(8本)
 - 制御グループB(8本)
 - 制御グループC(8本)***
 - 制御グループD(8本)
 - 計48本
- * 当該制御棒の属するグループ

※1: 制御棒位置指示装置

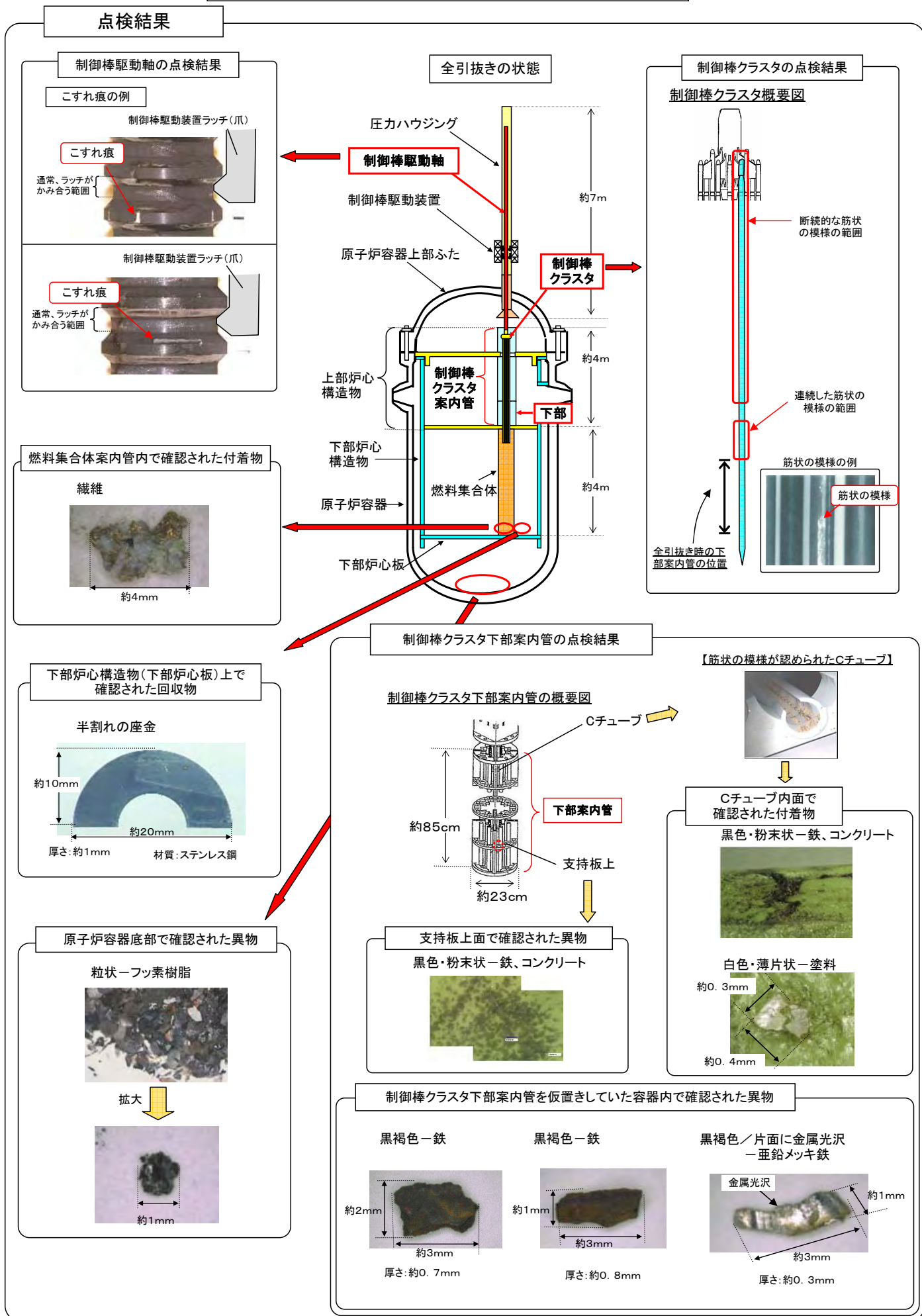
検出コイルで制御棒位置指示を検出し、指示計とプラントコンピュータに信号を伝送し、制御棒位置を表示するもの。

※2: 制御棒ステップカウンタ

制御棒駆動装置制御盤からの制御棒引き抜き・挿入操作信号をカウントして表示するもの。

※3:

当該制御棒の位置は、冷却材の温度が低い影響で通常より低く表示(160ステップ)されるが、実際は、ほぼ全引き抜き状態にあると推定される。

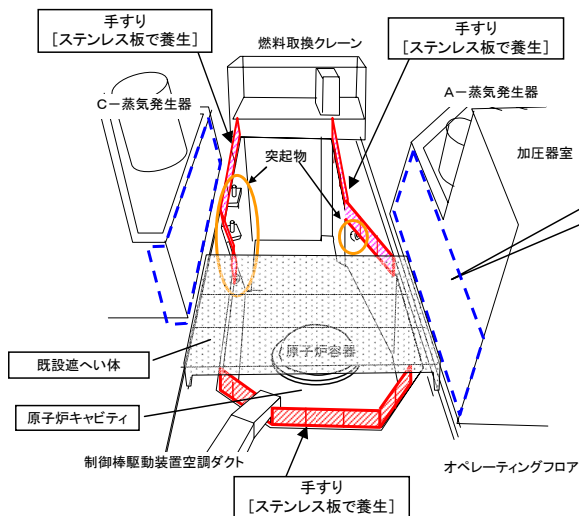


原子炉容器上部遮へい設置工事における状況

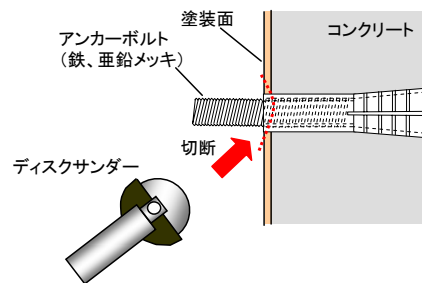
既設アンカーボルト撤去等の作業範囲

養生範囲

燃料取出しに行った作業の状況



アンカーボルト撤去作業の概要



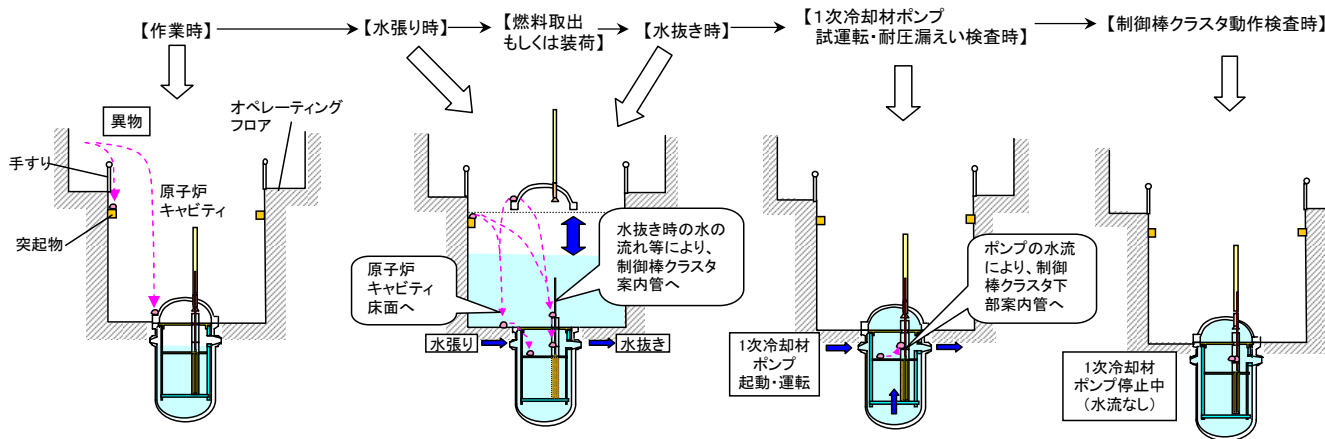
＜原子炉容器上部遮へい設置工事の概要＞

原子炉格納容器周辺建屋上における、原子炉運転中の放射線量を低減させるため、既設遮へい体の両脇に遮へい体(2体)を追加設置する。

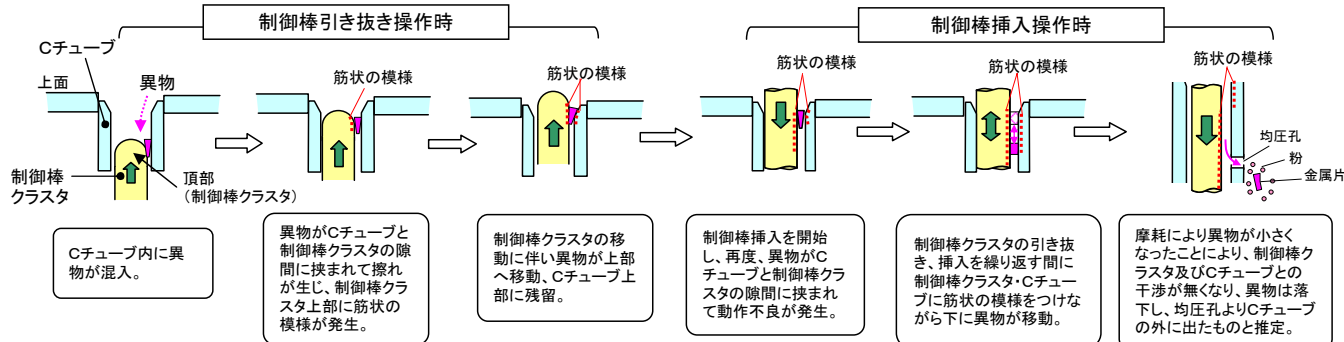
異物飛散防止措置として、手すり等を養生をしていたが、アンカーボルトの撤去作業により発生した切粉(鉄材、コンクリート、塗料が混在したもの)が原子炉キャビティ内の壁突起物等へ飛散し、異物となった可能性が考えられる。

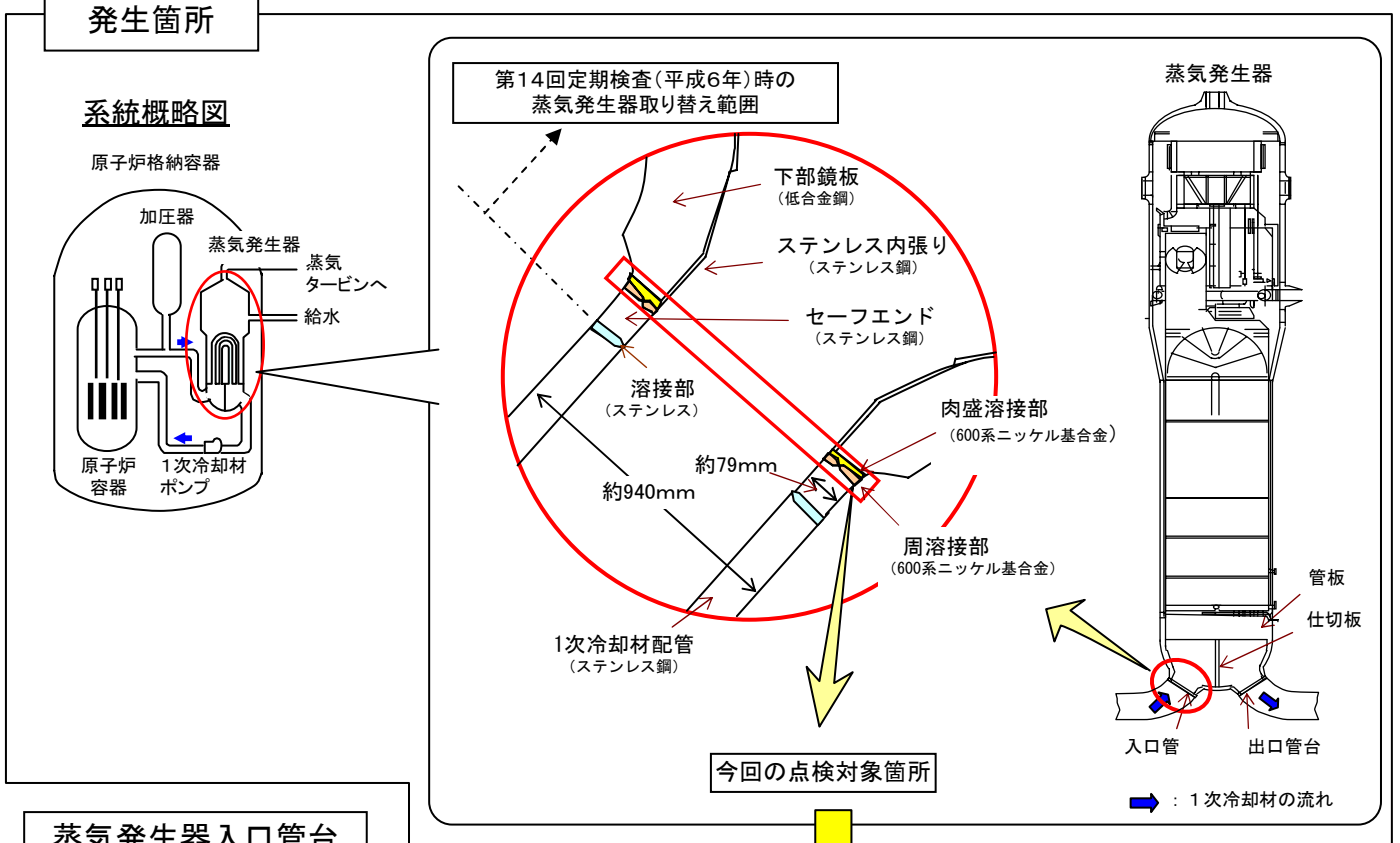
推定原因

異物の混入経路の推定



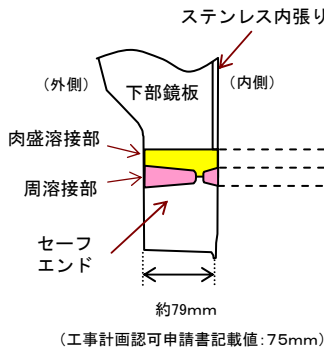
制御棒動作不良の推定原因





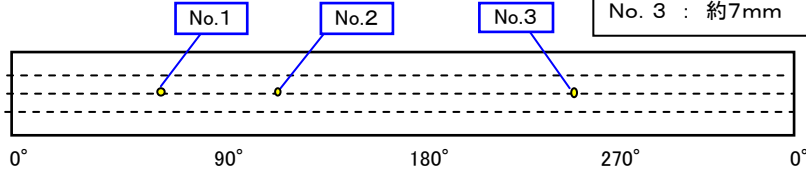
蒸気発生器入口管台点検状況

断面図



渦流探傷試験結果
(有意な指示箇所)

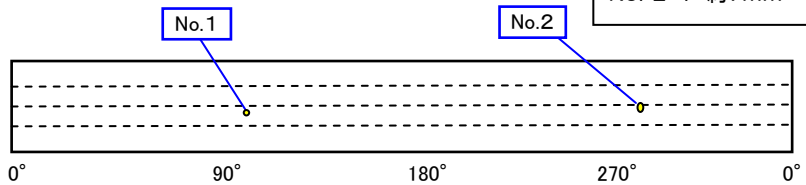
A-蒸気発生器



深さは超音波探傷検査による評価

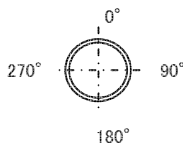
長さ	深さ
No. 1 : 約6mm	検出できず
No. 2 : 約6mm	検出できず
No. 3 : 約7mm	検出できず

B-蒸気発生器

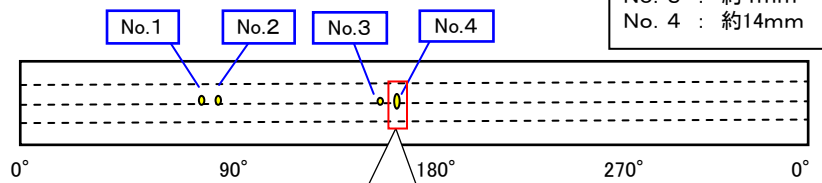


長さ	深さ
No. 1 : 約5mm	検出できず
No. 2 : 約7mm	約6mm

蒸気発生器側から見た図
(天を0°とする)



C-蒸気発生器



長さ	深さ
No. 1 : 約9mm	約6mm
No. 2 : 約8mm	検出できず
No. 3 : 約4mm	検出できず
No. 4 : 約14mm	約8mm

スンプ観察箇所

C-蒸気発生器入口管台溶接部 No4の観察結果(最も傷が長く、深かった箇所)

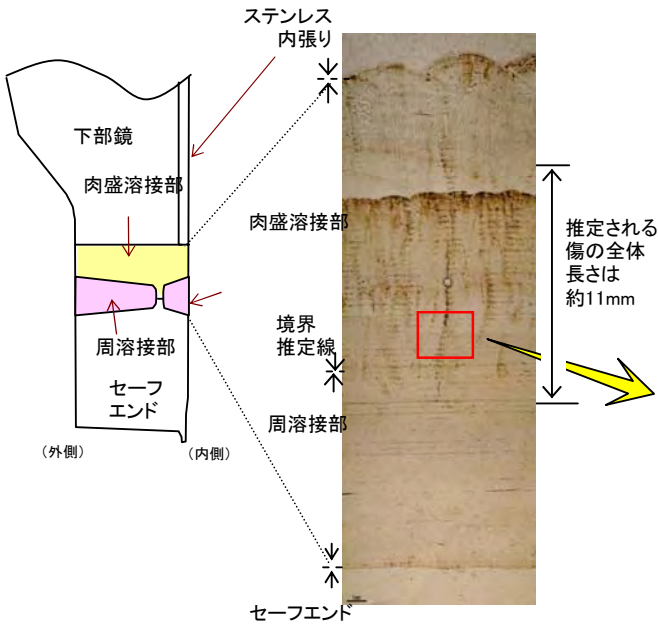
○傷は、長さ約3~5mmの複数の割れが軸方向に断続的に集まったもので、全体の長さは約11mmであり、デンドライト境界に沿った割れであった。
 ○この割れは、これまでの国内外の600系ニッケル基合金溶接部で確認されている1次冷却材環境下における応力腐食割れと同様の様相であった。

断面図

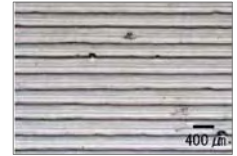
スンプ観察結果

型取観察結果

美浜2号機における機械加工跡の再現試験



○機械加工の跡が認められた。
 ○製造時のバフ施工による明確な施工跡は認められなかった。



拡大



[参考] 美浜2号機のスンプ観察結果



推定原因

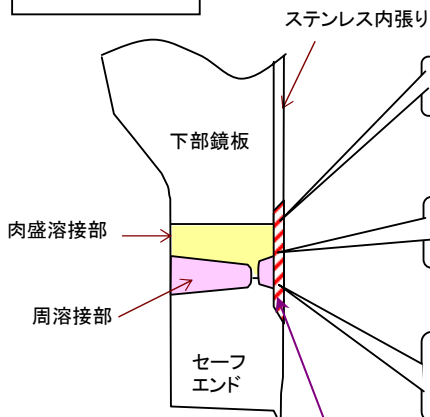
<環境> 高温の1次冷却材水質環境。

<材料> 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金。

<応力> 溶接および機械加工による引張残留応力。

1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定。

対策



○全周にわたり、傷を含む当該部を切削。

○浸透探傷試験(PT)により傷が除去されたことを確認した。

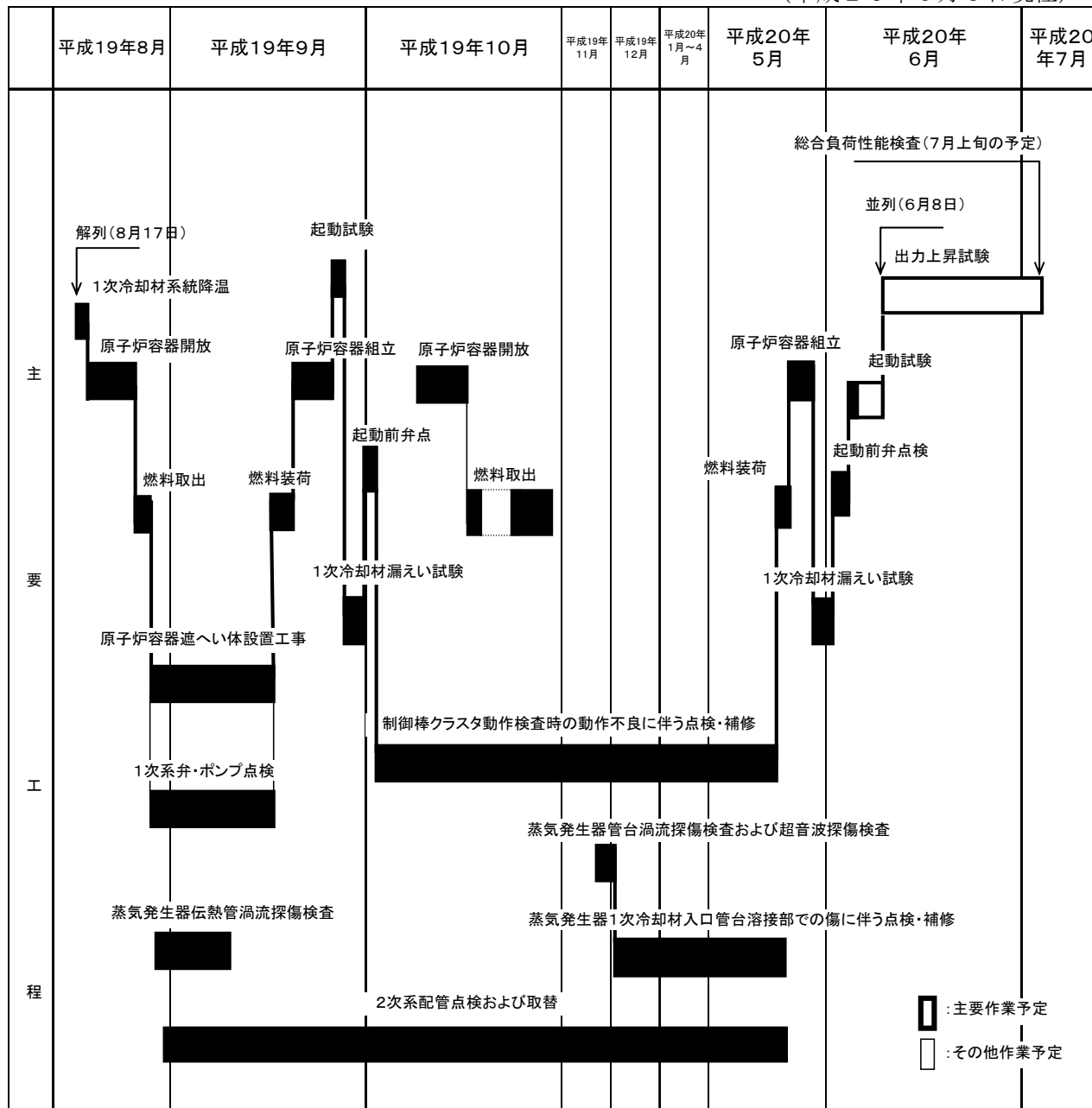
○全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を実施した。
 ○念のため、バフ施工を行い残留応力の低減を図った。

切削および肉盛溶接部分
 深さ 約4mm~約5mm
 長さ 約50mm

高浜発電所2号機 第24回定期検査の作業工程

定期検査は、平成19年8月17日から約11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6月5日現在)



※：黒塗りは実績を示す。

(参考) 高経年化対策として実施する主な作業

○燃料取換クレーン他ロッキングカム検査

燃料取換クレーンおよび燃料ピットクレーンにおいて、燃料をつかむフィンガはロッキングカムとの連携により作動するが、連携部分(摺動部)はこすれにより摩耗する可能性があるため、フィンガとロッキングカムとの隙間計測を行い、これらの機能に係る健全性を確認した。