

高浜発電所3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3号機(加圧水型軽水炉;定格電気出力87.0万kW)は、平成19年11月23日から第18回定期検査を実施しているが、平成20年8月1日に原子炉を起動し、翌2日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、8月3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20年3月上旬に調整運転を開始、4月上旬に定期検査を終了する予定であったが、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) 原子炉容器上部ふた取替工事 (添付一1、図一1参照)

大飯発電所3号機の原子炉容器上部ふた管台溶接部からの1次冷却材漏えい事象を踏まえ、長期的な健全性維持を図るため、材質を変更するなど改良を施した新しい上部ふたに取り替えた。

旧上部ふたについては、専用の容器に格納して既設のB蒸気発生器保管庫内に保管した。

(2) 再生熱交換器取替工事 (図一2参照)

国内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、内筒を有する再生熱交換器については定期的に点検を行っていたが、今後の保守性を考慮し、再生熱交換器一式(3台)を内筒のない構造のものに取り替えた。

旧再生熱交換器は、専用容器に格納して既設のC廃棄物庫に保管した。

(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底部、加圧器逃がし弁管台、同安全弁管台、同スプレイ弁管台、および同サージ管の溶接部は外観目視点検や超音波探傷検査を、原子炉容器冷却材出入口管台と蒸気発生器出口管台の溶接部は渦流探傷試験にて異常のないことを確認した。

これらの溶接部については、予防保全対策として溶接部表面の残留応力を低減させるため、原子炉容器冷却材出入口管台溶接部と炉内計装筒の内面および表面溶接部にウォータージェットピーニング工事*を、蒸気発生器出口管台の溶接部表面にショットピーニング工事*を実施した。

なお、蒸気発生器入口管台溶接部は、工事施工前の渦流探傷試験で信号指示が認められたことから、補修工事を実施した。(次頁の3参照)

※ 金属表面の引張り残留応力を低減させる工法で、ウォータージェットピーニングでは金属表面に高圧ジェット水を吹き付ける工法、ショットピーニングでは金属表面に金属の玉を高速度でたたきつける工法

(4) 亜鉛注入装置設置工事 (図-4参照)

作業員の被ばく低減を図るため、コバルト-60等の放射性物質が機器や配管内表面への付着を抑制する効果がある亜鉛を1次冷却材中に注入する装置を化学体積制御系に設置した。

※ 1次冷却材中に放射化しにくい亜鉛を注入して、機器や配管内表面に被膜を形成させることにより、コバルト-60等の放射性物質が機器・配管内表面へ付着することを抑制し、1次冷却材系配管等の線量を低減する。亜鉛注入は国内プラントでの実績がある。

2 設備の保全対策

(1) 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事 (図-5参照)

国内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、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、温度ゆらぎを抑制するため配管ルートを変更した。

また、弁のシートリークによる高サイクル熱疲労割れの予防保全対策として、安全注入系統の3箇所に弁を追設した。

(2) 2次系配管の点検等 (図-6参照)

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1,528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。

※ 定期検査開始時の計画では、1,531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3箇所の減少となった。

・保安院の指示文書(H19.11)を受けた追加	11箇所増
・配管の追加取替えによる変更	14箇所減
合計	3箇所減

②今定期検査開始時には596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を考慮して14箇所を追加し、合計610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) 蒸気発生器入口管台溶接部での傷 (図-7参照)

蒸気発生器（全3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32箇所で認められた。信号指示が認められた箇所を超音波探傷試験したところ、最大深さが約15mmと評価された。

当該箇所のスンプ観察等を実施した結果、粒界割れの特徴と内面にグラインダによる研磨加工が認められたことから、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測された。

対策として、傷が認められた箇所は、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、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。

4 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

蒸気発生器3台の伝熱管全数（既施栓管を除く計9,786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、57体（うち32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（8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年度 春頃

問い合わせ先(担当：藤内)
内線2354・直通0776(20)0314

(添付－ 1)

高浜発電所 3 号機原子炉容器上部ふた取替工事の概要

1 概要

高浜発電所 3 号機は、平成19年11月23日から開始した第18回定期検査において、原子炉容器上部ふた取替工事を実施した。

平成20年 1 月16日に新上部ふたの原子炉格納容器内への搬入、1 月24日から25日に旧上部ふたの搬出を行い、新上部ふたは 7 月 7 日から14日に原子炉容器へ据え付けた。

2 原子炉容器上部ふた取替工事の工程（実績）

取替工事の開始（原子炉容器開放開始）：平成19年11月24日

取替工事の終了（原子炉容器組立完了）：平成20年 7 月14日

3 原子炉容器上部ふたの技術的改善点 （図－ 1 参照）

新上部ふたは主要寸法等の仕様に変更はないが、管台の材料を変更し耐腐食性の向上を図るなどの改善が行われている。

主な改善点は以下のとおりである。

項 目	改 善 点	理 由
管台の材料	690系ニッケル基合金に変更(旧ふたは600系ニッケル基合金)	耐腐食性向上
キャノピーシール	廃止	信頼性向上
フランジと鏡板の取合部	一体化による溶接部の廃止	信頼性向上
管台溶接部形状	溶接開先角度の変更	溶接残留応力低減

4 旧原子炉容器上部ふたの保管

旧原子炉容器上部ふたは、保管容器内に収納した状態で、B 蒸気発生器保管庫に保管した。

5 廃棄物の発生量

原子炉容器上部ふたの取替工事に伴い、上部ふた搬出時の干渉物（コンクリート壁）などが放射性廃棄物として発生し、発生量は、旧上部ふたを除き、200リットルドラム缶に換算して約310本であった。

これらの廃棄物は、既設の廃棄物庫と、AおよびB蒸気発生器保管庫内に保管している。

6 被ばく線量

約 0.23 人・シーベルト

(参考)

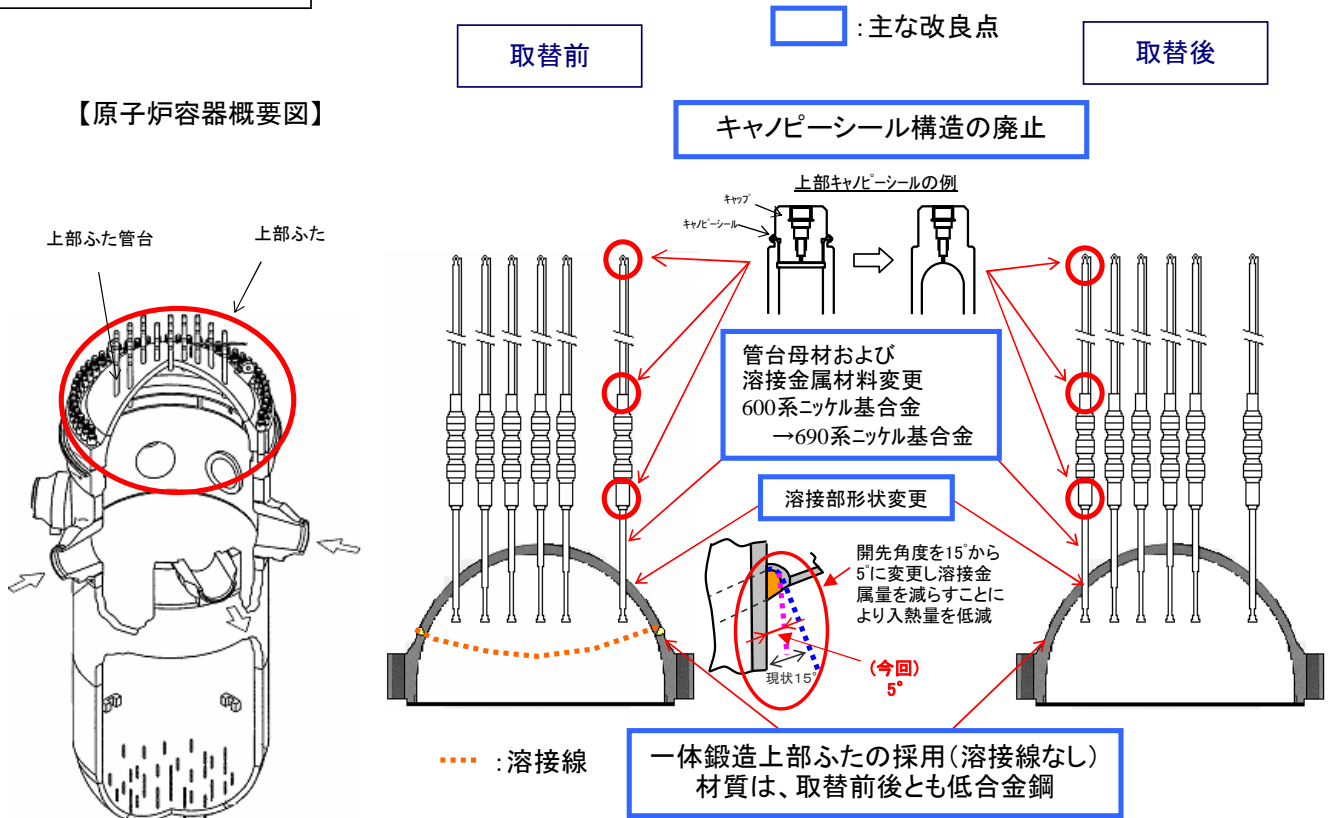
原子炉容器上部ふた取替工事計画経緯

関西電力株式会社は、県および高浜町に安全協定に基づく「事前了解願い」を提出	H17. 1. 11
県および高浜町は、国への手続きについて了承。関西電力株式会社は、国に原子炉設置変更許可申請	H17. 4. 8
関西電力株式会社は、国に原子炉設置変更許可申請の一部補正を実施	H17. 7. 29
経済産業省は、関西電力株式会社に対し、原子炉設置変更許可	H17. 10. 14
県および高浜町は、関西電力株式会社に対し、安全協定に基づき事前了解	H17. 11. 7

工事概要

大飯発電所3号機の原子炉容器上部ふた管台溶接部からの1次冷却材漏えい事象を踏まえ、長期的な健全性維持を図るため、材質を変更するなど改良を施した新しい上部ふたに取り替えた。旧上部ふたについては、専用の容器に格納して既設のB蒸気発生器保管庫内に保管した。

取替工事概略図



【管台の本数】

	旧	新
制御棒駆動装置	48	48
炉内熱電対(温度計測用)	3	3
空気抜き	1	1
予備	14	4
合計	66	56

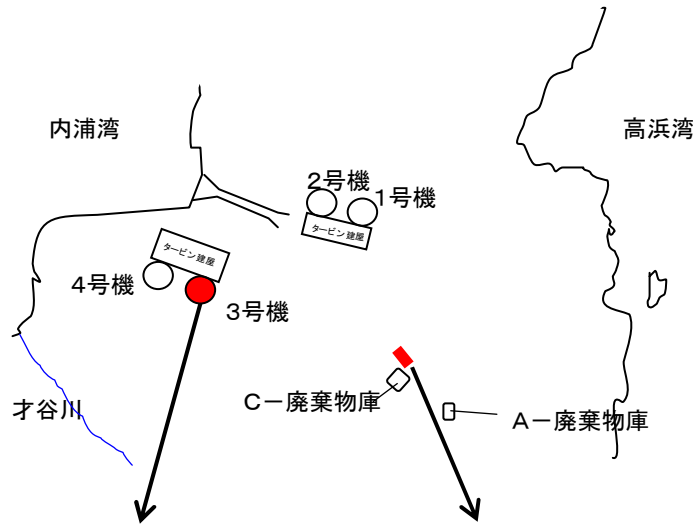
(参考) 原子炉容器上部ふた管台からの1次冷却材漏えい事象

大飯発電所3号機 第10回定期検査中の平成16年5月、原子炉容器上部ふたの外観目視点検において、制御棒駆動装置取付管台1箇所から1次冷却材の漏えい跡が確認された。

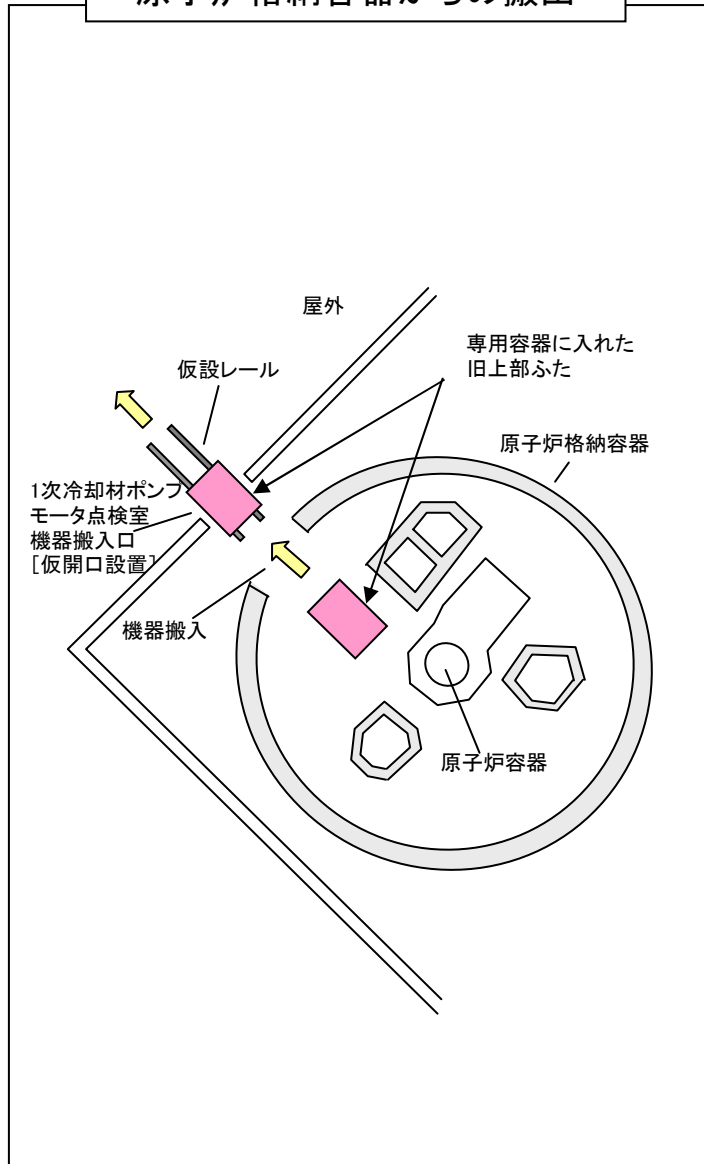
原因調査の結果、管台溶接部の表面仕上げが不十分であったことに起因して発生した応力腐食割れを起点として、1次冷却材中環境下において溶接金属内を応力腐食割れが進展し、貫通に至ったことにより、漏えいが発生したものと推定された。

発電所全体配置図

取替後の3号機旧上部ふたについては、B蒸気発生器保管庫内に旧1号機蒸気発生器とともに保管した。

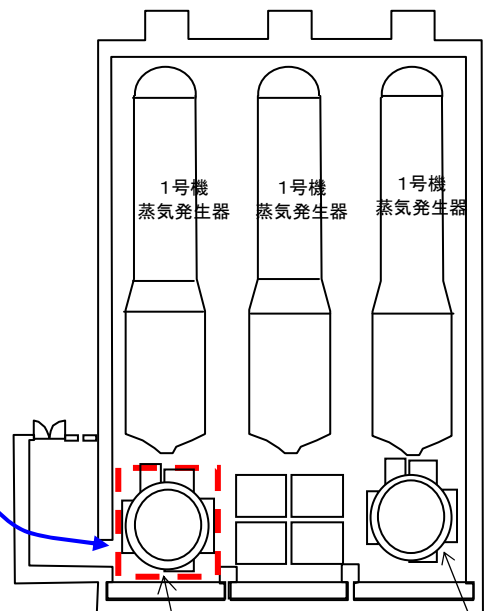


原子炉格納容器からの搬出

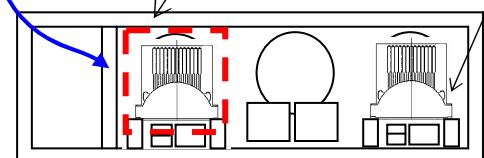


B蒸気発生器保管庫

旧上部ふたを専用の容器に入れ保管



3号機原子炉容器上部ふた 4号機 原子炉容器上部ふた



(断面図)

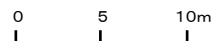
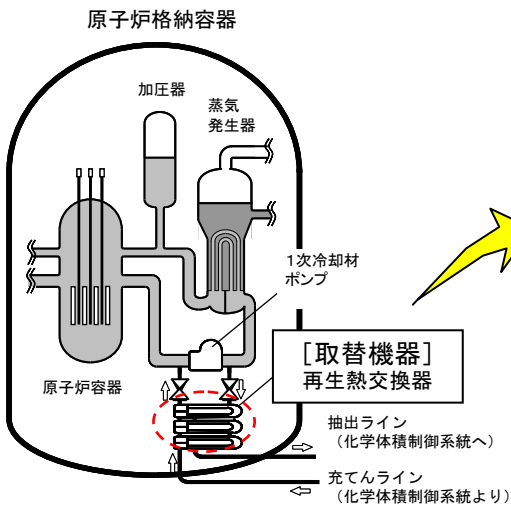


図-2 再生熱交換器取替工事

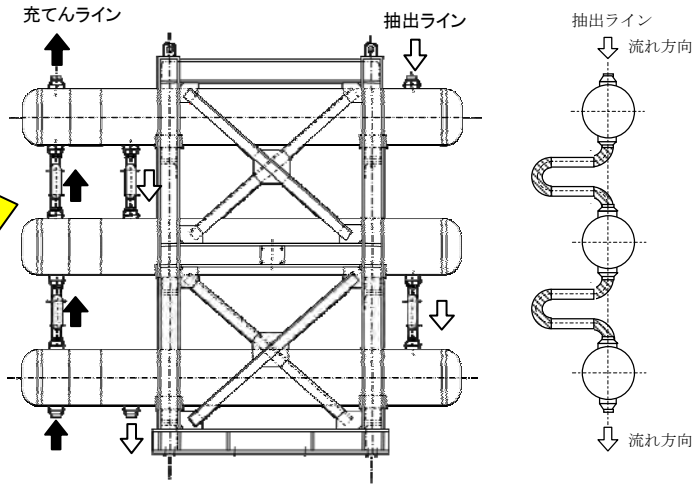
工事概要

国内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、内筒を有する再生熱交換器については定期的に点検を行っているが、今後の保守性を考慮し、再生熱交換器一式(3台)を内筒のない構造のものに取り替えた。
 旧再生熱交換器については、専用の容器に格納して既設のC廃棄物庫に保管した。

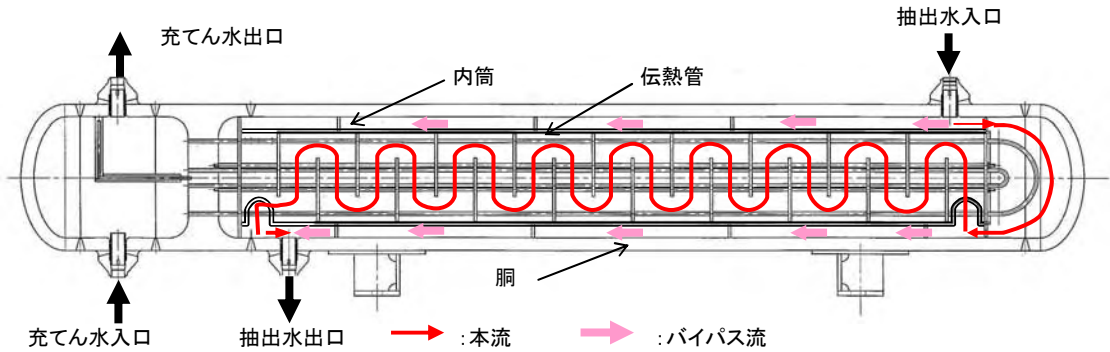
取替工事概略図



再生熱交換器外観図

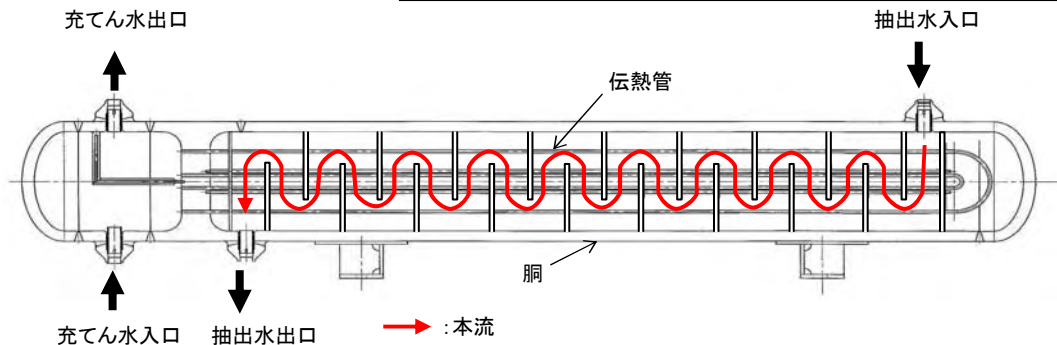


取替前(内筒有)



台数: 3台 寸法: 外径 約500mm × 全長 約4,200mm 伝熱管本数: 216本/台 伝熱管材質: ステンレス

取替後(内筒なし)



台数: 3台 寸法: 外径 約400mm × 全長 約4,100mm 伝熱管本数: 216本/台 伝熱管材質: ステンレス

伝熱管群に対し、胴が大きいことから、効率よく熱交換するために内筒を設けていたが、取替後の再生熱交換器は、高サイクル疲労割れ事象を踏まえ、内筒のない構造のものとした。

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底部、加圧器逃がし弁管台、同安全弁管台、同スプレイ弁管台、および同サージ管の溶接部については、外観目視点検や超音波探傷検査を、原子炉容器冷却材出入口管台と蒸気発生器出口管台の溶接部については、渦流探傷試験を実施し、異常がないことを確認した。

予防保全対策として、溶接部表面の残留応力を低減させるため、原子炉冷却材出入口管台と炉内計装筒の内面および表面溶接部にウォータージェットピーニング工事を、蒸気発生器出口管台の溶接部表面にショットピーニング工事を実施した。

なお、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工事施工前の渦流探傷試験で有意な信号指示が認められたことから、補修工事を実施した。

【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 *1	入口			出口			炉内計装筒 溶接部	母材 内面	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				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	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
予防保全工事	①ウォータージェットピーニング												補修			②ショットピーニング					

* 1: 今定期検査で新しい上部ふたに取替えた。

〈凡例〉

◎: 今回の定期検査で実施済

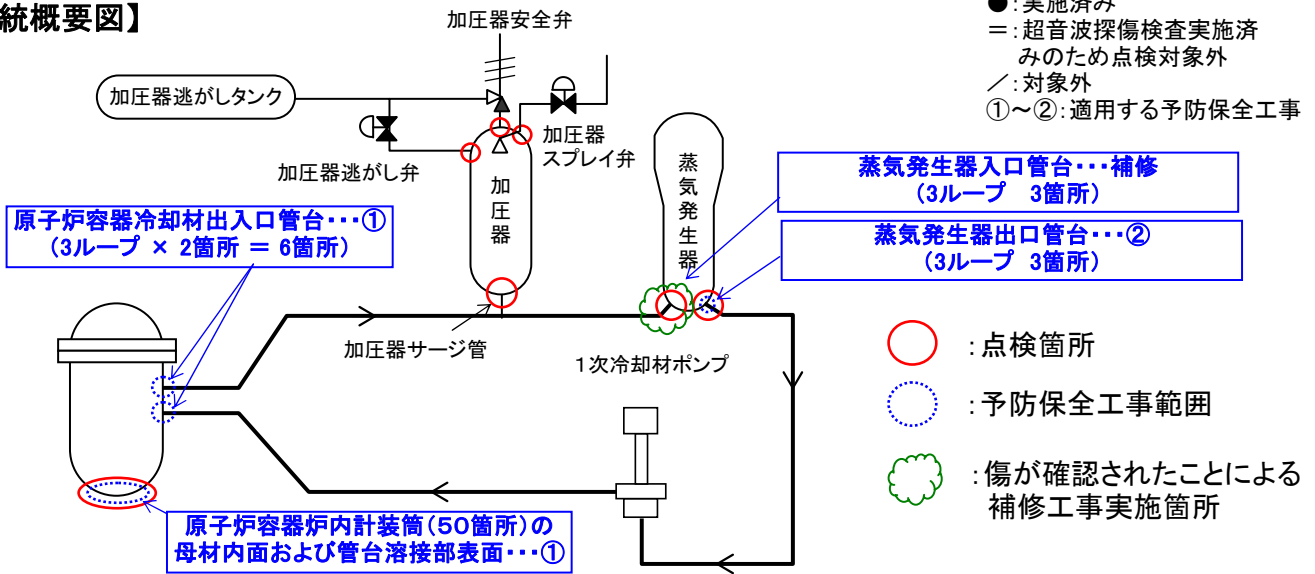
●: 実施済み

=: 超音波探傷検査実施済みのため点検対象外

/: 対象外

①~②: 適用する予防保全工事

【系統概要図】



〈適用する予防保全工事〉

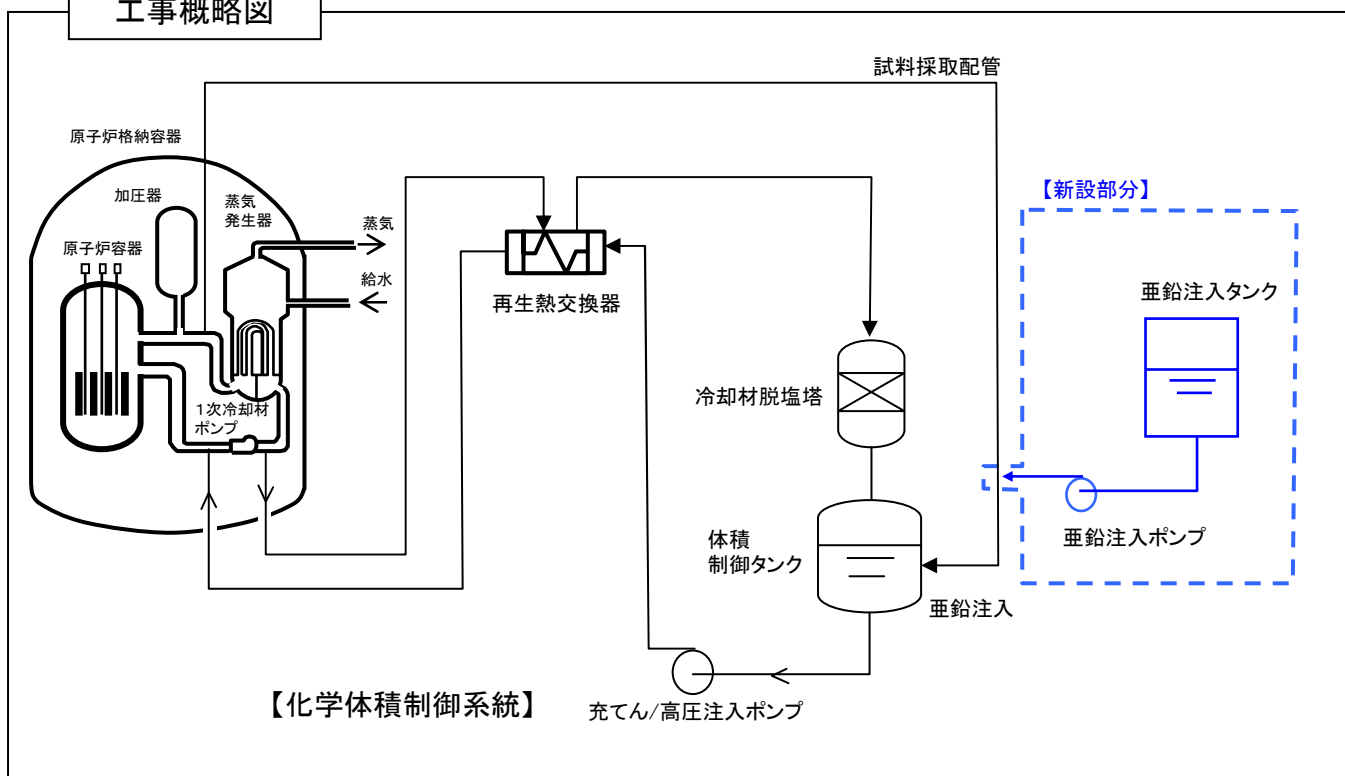
予防保全対策工事	①ウォータージェットピーニング	②ショットピーニング
工事対象箇所	原子炉容器冷却材出入口管台、炉内計装筒の母材内面および管台溶接部表面	蒸気発生器出口管台
イメージ図		
工事概要	水中で高圧ジェット水(約60MPa)をノズルから噴射すると気泡が発生する。この気泡は、高速のウォータージェット流に乗って流れ、金属表面近傍で崩壊する。その時に生じる衝撃力で金属表面をたたき(ピーニング)、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。	振動子の機械的振動によって、ショット(直径約4mmの金属球)を往復運動させて出入口管台溶接部に衝突させ、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

図-4 亜鉛注入装置設置工事

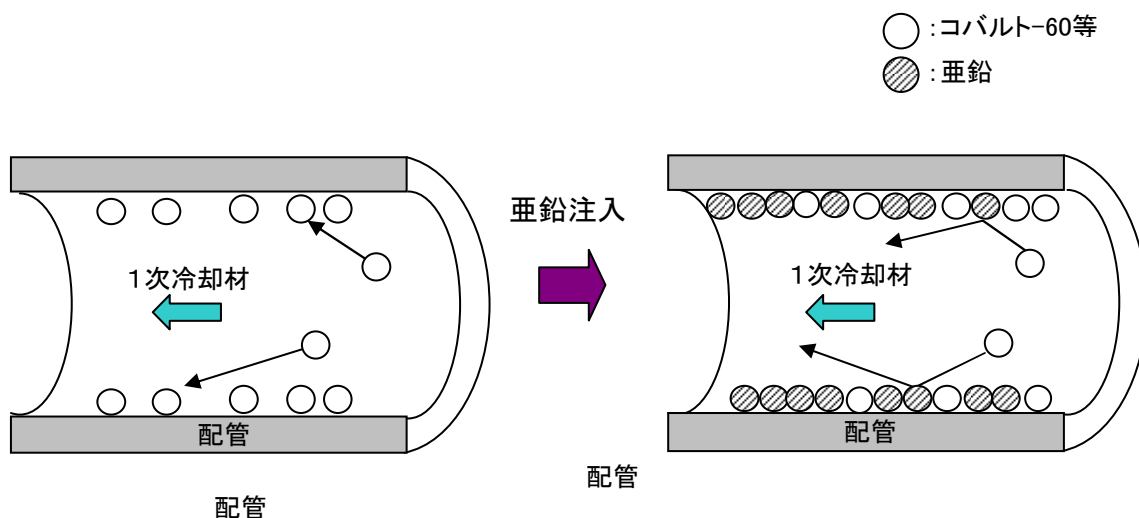
工事概要

作業員の被ばく低減を図るため、コバルト-60等の放射性物質が機器や配管内表面への付着を抑制する効果がある亜鉛を1次冷却材中に注入する装置を化学体積制御系に設置した。

工事概略図



亜鉛注入による放射性物質付着抑制メカニズム



1次冷却材中のコバルト-60等の放射性物質が機器・配管内表面に付着

亜鉛は、機器・配管内表面に皮膜を形成させ、コバルト-60等の放射性物質が付着することを抑制

※天然亜鉛から、中性子を吸収すると放射性物質(亜鉛-65)になる亜鉛-64を同位体分離して取り除き、中性子を吸収しても放射性物質にならない亜鉛-66を注入する。

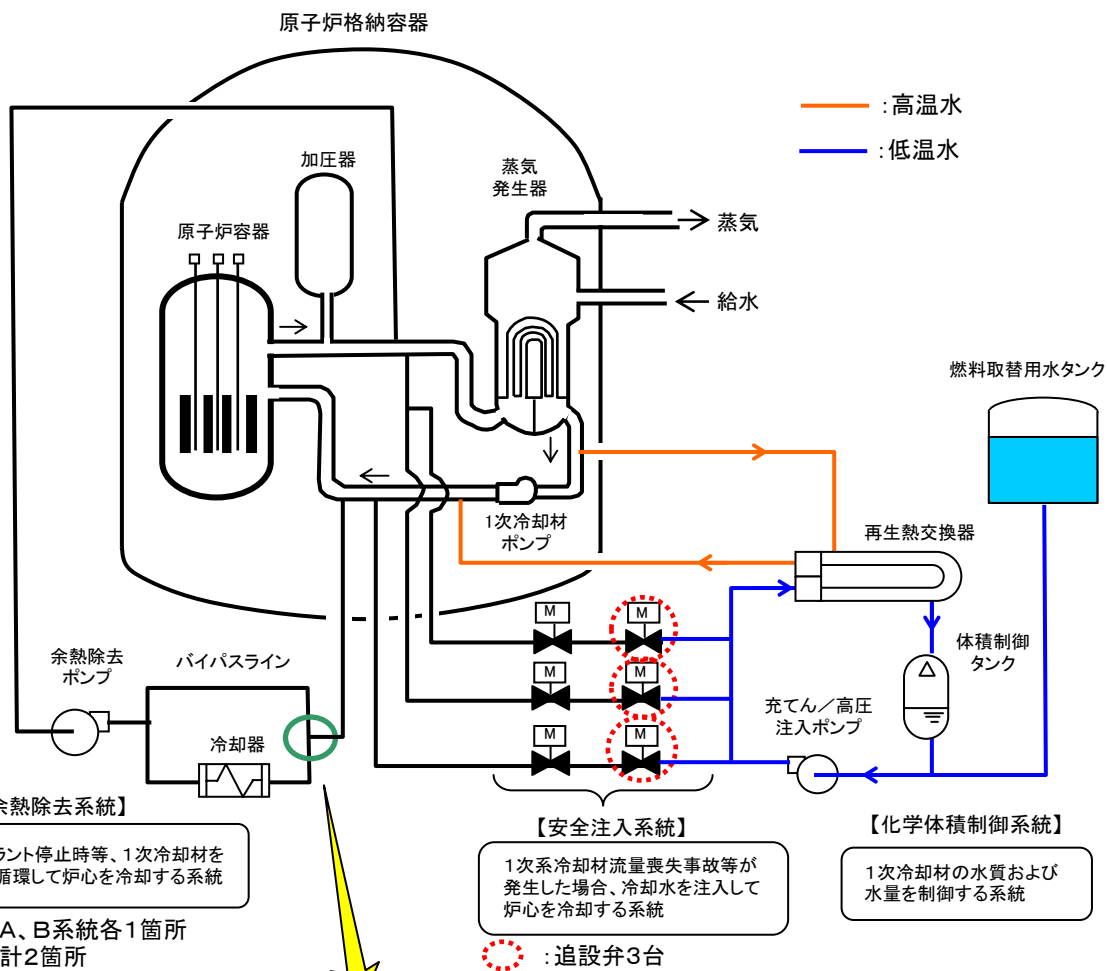
図-5 高サイクル熱疲労割れに係る対策工事

工事概要

国内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、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、温度ゆらぎを抑制するため配管ルートを変更した。

また、弁のシートリークによる高サイクル熱疲労割れの予防保全対策として、安全注入システムの3箇所 弁を追加した。

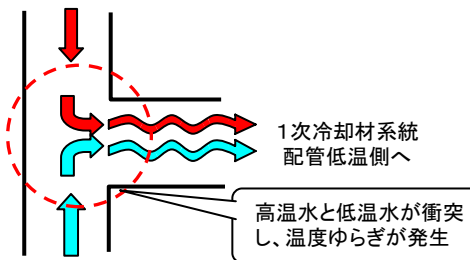
系統概要



配管ルート変更概要図

【変更前】

余熱除去冷却器バイパスライン(高温水)



【変更後】

余熱除去冷却器バイパスライン(高温水)

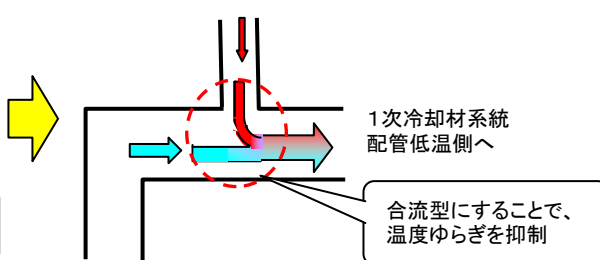


図-6 2次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、合計1,528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	今回点検実施後の点検未実施部位
主要点検部位	1,812	3	949<-6>	0
その他部位	1,419	0	579<+3>	0
合計	3,231	3	1,528<-3>	0

◇は定検開始時からの増減

※:(今回点検実施部位)定検開始時点からの変更内容

	今回点検実施部位	理由
主要点検部位	-6	・保安院の指示文書に基づく追加 :+8箇所 ・追加配管取替による減 :-14箇所
その他部位	+3	・保安院の指示文書に基づく追加 :+3箇所
合計	-3	

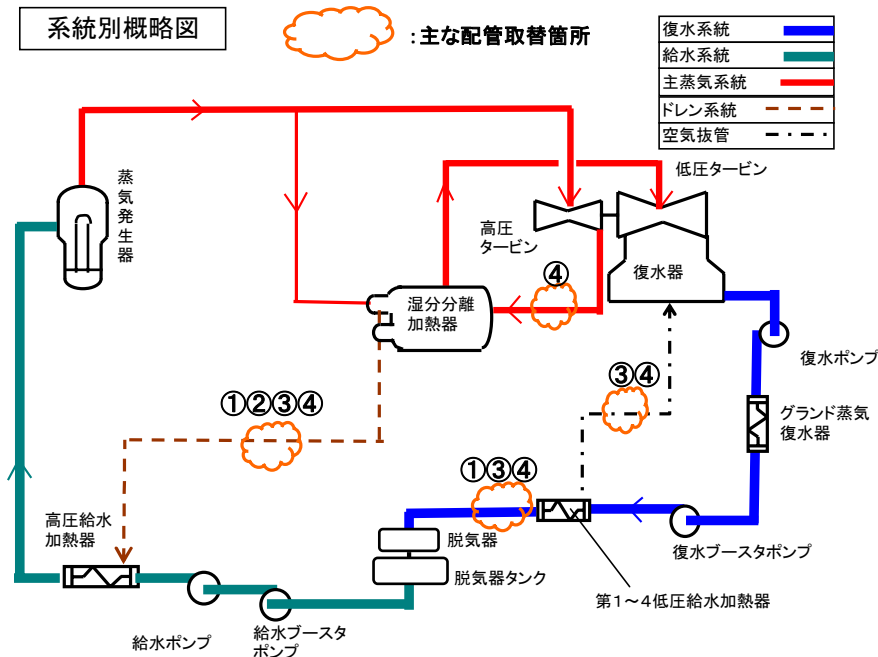
(結果)

○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は596箇所の配管取替を計画していましたが、配管取替の作業性を考慮して14箇所を追加し、合計610箇所の配管を取替えました。

系統別概略図



【取替理由】

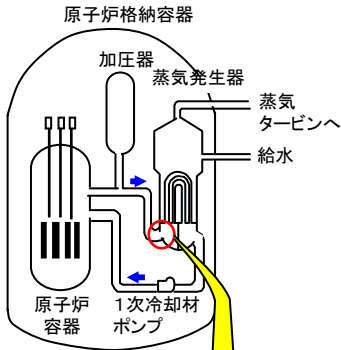
- ① 余寿命5年未満で減肉が確認されたため取替え(5箇所)
・炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 5箇所
- ② 余寿命5年以上であるが減肉が確認されたため取替え(2箇所)
・炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 2箇所
- ③ 配管の取替の作業性を考慮して取替え(14箇所)
・炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 8箇所
・ステンレス鋼 ⇒ ステンレス鋼 6箇所 (14箇所増)
- ④ 配管の保守性を考慮して取替え(589箇所)
・炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 457箇所 (2箇所増)
・炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 132箇所 (2箇所減)

(合計 610箇所)

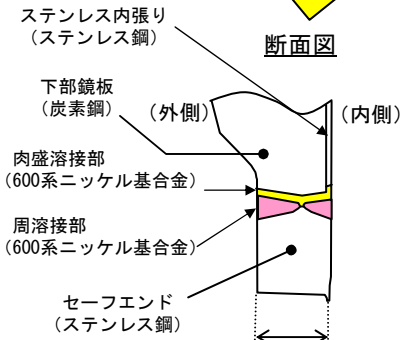
図-7 蒸気発生器入口管台溶接部での傷について

発生箇所

系統概略図



断面図



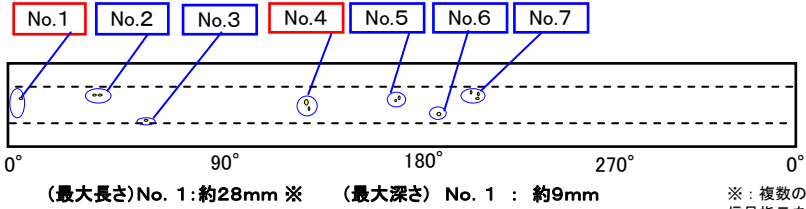
A号機:約78.0mm、B号機:約78.1mm、C号機:約78.4mm
(工事計画認可申請書記載値:75.26mm)

ECT結果(有意な指示箇所)

超音波探傷試験の結果、工事計画認可申請書の記載を下回ると評価された箇所

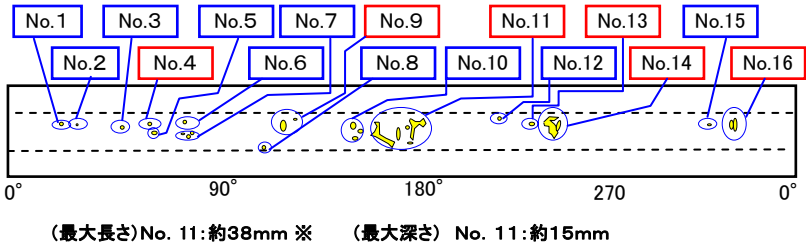
□ : 超音波探傷試験で傷の深さが検出できなかった。

A-蒸気発生器 点検状況

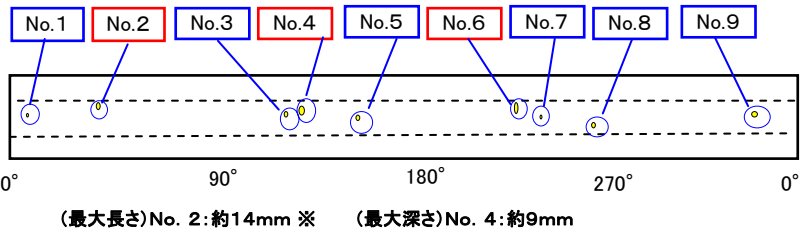


※:複数の近接したECT信号指示を連続したものと評価した値。

B-蒸気発生器 点検状況

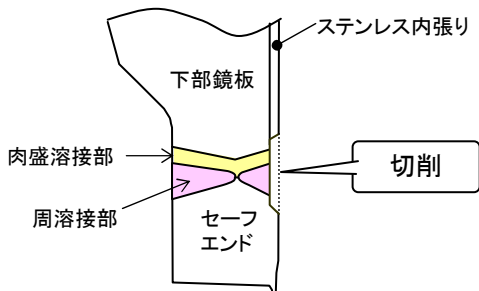


C-蒸気発生器 点検状況

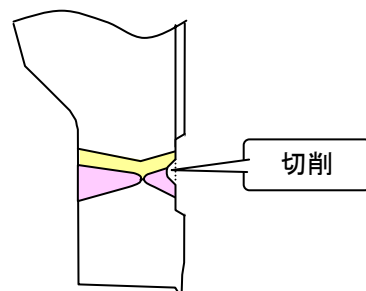


対策(補修)

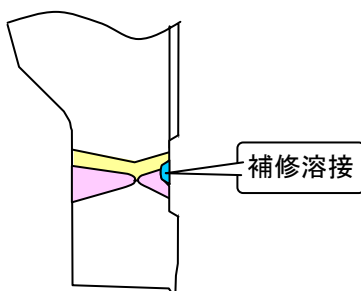
- ① ・全周にわたり、割れを含む当該部を切削
・浸透探傷試験(PT)により割れが除去されたことを確認



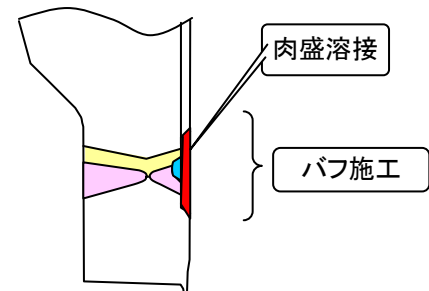
- ② ・残した傷を部分的に切削
・浸透探傷試験(PT)により割れが除去されたことを確認



- ③ 600系ニッケル合金で補修溶接



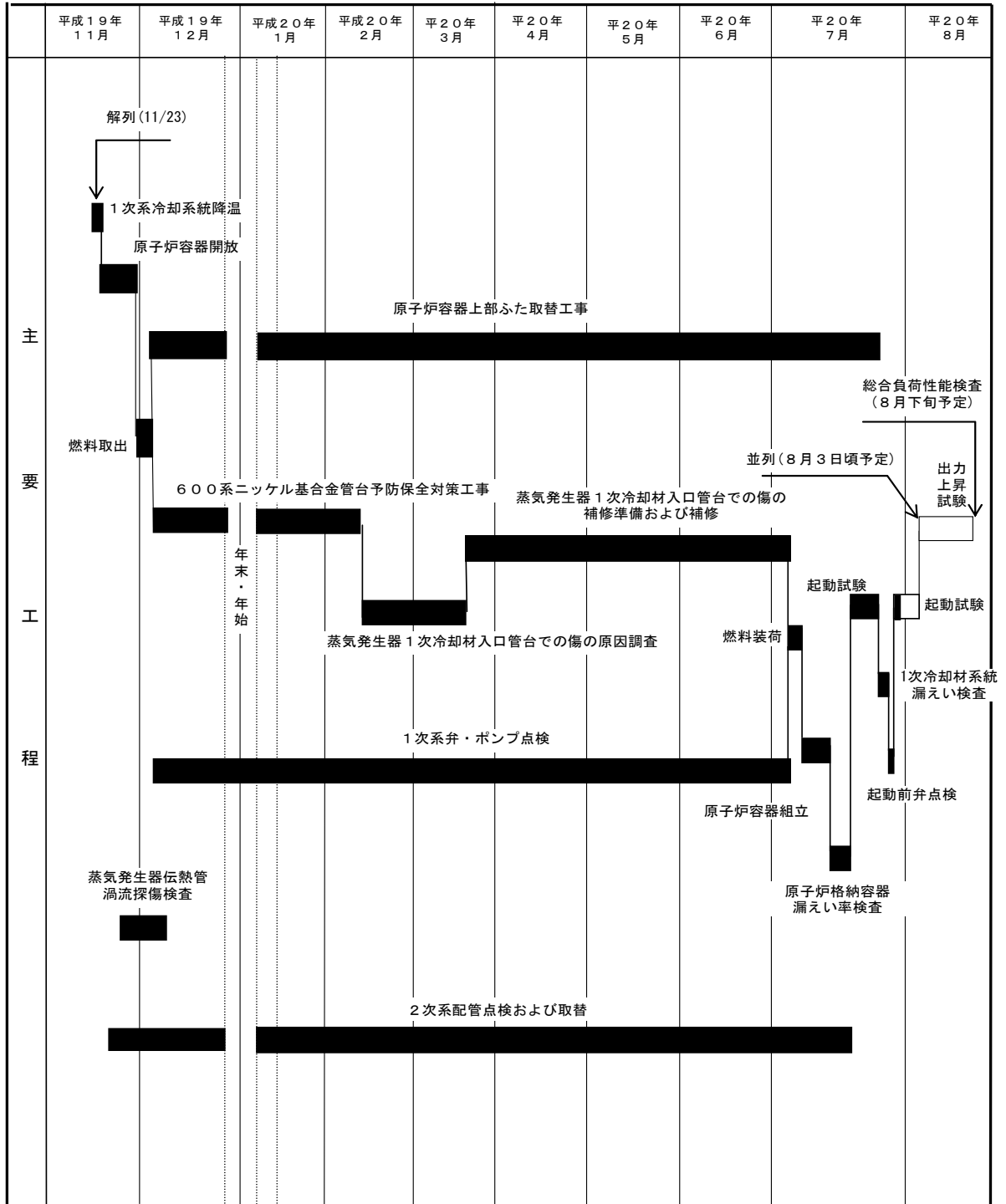
- ④ ・全周を耐食性に優れた690系ニッケル合金で肉盛溶接
・念のため、パフ施工を行い残留応力を低減



高浜発電所3号機 第18回定期検査の作業工程

平成19年11月23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31日現在)



※：黒塗りは実績を示す。