

## 大飯発電所3号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第13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

大飯発電所3号機(加圧水型軽水炉;定格電気出力118万kW)は、平成20年2月2日から第13回定期検査を実施しているが、平成20年11月5日に原子炉を起動し、翌6日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、11月7日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、12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20年4月下旬に調整運転を開始、5月下旬に定期検査を終了する予定であったが、原子炉容器出口管台溶接部の傷の調査等により、定期検査期間を延長した。

### 1 主要工事等

#### (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-1参照)

国内外PWRプラントにおける600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れ事象を踏まえ、原子炉容器のA～Dループ出入口管台溶接部と炉内計装筒の内面および溶接部については外観目視点検や渦流探傷試験を、D-蒸気発生器の出入口管台と加圧器安全弁の溶接部については外観目視点検や超音波探傷検査を実施した。

その結果、原子炉容器のAループ出口管台溶接部において、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、切削により傷を除去した(4ページの6(3)を参照)。また、その他の部位については、異常のないことが確認された。

予防保全対策として、溶接部の残留応力を低減させるため、原子炉容器のA～Dループ出入口管台の溶接部と炉内計装筒の内面および溶接部にウォータージェットピーニング工事<sup>\*</sup>を施工した。

※ 溶接部に高圧ジェット水を吹き付けることにより、溶接部表面の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

(参考) 蒸気発生器出入口管台溶接部については、第12回定期検査(H18)で渦流探傷試験を行い、異常がないことを確認した上で、予防保全工事(ショットピーニング工事)を実施した。

(2) 1次系強加工曲げ管取替工事 (図-2参照)

海外BWRプラントにおいて、芯金を使用して冷間加工したことにより曲げ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口径が約10cm以下の曲げ管を芯金を使用しないで曲げ加工した配管に取り替えた。

(3) 亜鉛注入装置設置工事 (図-3参照)

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統に設置した。

※ 亜鉛注入は国内外プラントで実績があり、1次冷却材中に放射化しにくい亜鉛を注入し、機器や配管内表面に強固な被膜を形成させ、コバルト60等の放射性物質が機器・配管内表面に付着することを抑制することで、1次冷却材系統配管等の線量を低減する。

(4) 耐震裕度向上工事 (図-4参照)

設備の耐震性を一層向上させるための耐震裕度向上工事として、工事実施箇所の検討が終了した原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統について、配管の支持構造物29箇所の強化工事を追加で実施した。

## 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、応力集中が小さい溶接形状のものに取り替えた。

(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 1,960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 1,937箇所\*、内面目視点検 23箇所)

※ 定期検査開始時の計画では、1,912箇所の超音波検査(肉厚測定)を実施する予定であったが、下記の点について見直しを行い、合計 1,937箇所の点検を実施した。

- ・今定期検査の点検で減肉傾向が認められた部位の水平展開 …………… 23箇所増
- ・原子力安全・保安院の指示文書(H19.11)を踏まえた追加 …………… 2箇所増
- 合計 25箇所増

②今定期検査開始時には 119箇所の配管取替を計画していたが、今定期検査の点検で減肉傾向の認められた2箇所を追加し、合計 121箇所の配管を取り替えた。

### 3 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

蒸気発生器4台のうち、BおよびD－蒸気発生器伝熱管全数（3,382本×2台、合計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。

### 4 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数 193 体のうち、81 体（うち56体は新燃料集合体で、55,000MWd/t高燃焼度燃料）を取り替えた。

燃料集合体の外観検査（99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 秋頃

### 6 定期検査中に発生した安全協定に基づく異常事象

#### (1) 中性子源領域検出器の一時的な停止 （図－7参照）

定期検査中の2月7日、2台ある中性子源領域検出器の電源が約40秒間切れ、その間の記録が欠測した。事象発生時、原子炉内に燃料が装荷された状態であり、この状態では保安規定で定める運転上の制限として1台以上の中性子源領域検出器で原子炉の状態を監視することが要求されている。このことから、記録が欠測した間、運転上の制限を満足していないと判断した。

調査の結果、原子炉保護系制御装置の点検作業において、当該検出器の切替えスイッチを誤って操作した結果、電源が切れたものと確認された。また、切替え操作は、プラントの運転操作を行っている発電室から点検担当課に操作移管されていたが、確実な操作確認が実施されていなかった。

対策として、保安規定の運転上の制限に係わる操作については、発電室から点検担当課に操作移管を行わず、発電室が直接操作を行うこととした。

[平成20年3月5日 公表済]

(2) 所内電源喪失に伴う非常用ディーゼル発電機の自動起動

(図－8 参照)

定期検査中の3月18日、発電機室素ガス封入装置の電磁弁の動作確認試験を行っていたところ、送電線から所内電源を供給するために投入されていた主変しゃ断器が開放し、所内電源が喪失するとともにB-1非常用ディーゼル発電機が自動起動した。

調査の結果、当該試験では、テストスイッチを使用する必要があったが、作業員の誤認識、作業要領書の誤記載および作業実施にあたってのチェック機能不足によって、正常な作業がなされていなかった。

対策として、作業要領書の修正、作業着手前の要領書再確認の徹底を行うこととした。  
[平成20年3月25日、4月7日 公表済]

(3) 原子炉容器出口管台溶接部での傷

(図－9 参照)

国内外で発生した600系ニッケル基合金溶接部での応力腐食割れ事象を踏まえ、原子炉容器の1次冷却材出口および入口管台の溶接部(計8箇所)内面について、予防保全としてウォータージェットピーニング工事を実施する計画としていた。

この工事に先立ち、溶接部内面の渦流探傷試験を実施したところ、Aループ出口管台部で有意な信号指示が1箇所認められ、水中カメラによる目視点検で長さ約3mmの傷が認められた。なお、当該箇所以外では有意な信号指示は認められなかった。

目視点検で認められた傷について、超音波探傷試験を実施した結果、傷の深さは特定できなかった。傷の深さを特定するため、工事計画認可申請書の記載板厚を変更し、傷を中心に円弧状に深さ約20.3mmまで削った結果、目視点検で傷が認められず、渦流探傷試験でも有意な信号指示が確認されなくなった。その後、さらに約0.7mm削り、目視点検および渦流探傷試験で傷がないことを確認した。以上の結果、傷があった部分の板厚は約53.6mmとなった。

調査の結果、溶接部の金属境界に沿って深さ方向に進展している割れが認められ、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、傷を全て削り取った形状にて、ウォータージェットピーニング工事を施工した。なお、次回定期検査で耐食性に優れた690系ニッケル基合金による補修溶接等を実施する予定である。

[平成20年5月26日、7月3日、8月5日、9月3日、26日 公表済]

問い合わせ先(担当：藤内)  
内線2354・直通0776(20)0314

# 図-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

## 工事概要

国内外PWRプラントにおける600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れ事象を踏まえ、原子炉容器のAからDループ出入口管台溶接部と炉内計装筒の内面および溶接部については外観目視点検や渦流探傷試験を、D-蒸気発生器の出入口管台と加圧器安全弁の溶接部については外観目視点検や超音波探傷検査を実施した。

その結果、原子炉容器のAループ出口管台溶接部において、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、切削により傷を除去した。また、その他の部位については、異常のないことが確認された。

予防保全対策として、溶接部の残留応力を低減させるため、原子炉容器のA~Dループ出入口管台の溶接部と炉内計装筒の内面および溶接部にウォータージェットピーニング工事を施工した。

## 点検・予防保全工事実施箇所

点検箇所 (管台)	原子炉容器								加圧器				蒸気発生器									
	入口				出口				炉内計装筒		逃がし弁	安全弁 (A,B,C)	スプレイ弁	サージ管	入口				出口			
点検方法	A	B	C	D	A	B	C	D	溶接部	母材 内面					A	B	C	D	A	B	C	D
外観目視点検	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	●	●	◎	●	●	=	=	●	◎	=	=	●	◎
超音波探傷検査	●	●	●	●	●	●	●	●	/	/	●	◎	●	●	●	●	●	◎	●	●	●	◎
渦流探傷試験	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	/	◎	/	/	/	/	●	●	●	●	●	●	●	●
予防保全工事	◎ウォータージェットピーニング										●ショットピーニング(H18年度)											

<凡例> ◎:今定期検査で実施    ●: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

## 系統概要図

○ : 点検箇所

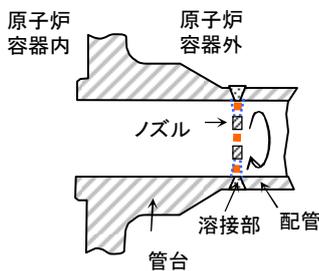
⊙ : 予防保全工事実施箇所

- ・原子炉容器冷却材出入口管台 (4ループ × 2箇所 = 8箇所)
- ・原子炉容器炉内計装筒 (58箇所)
- ・母材内面

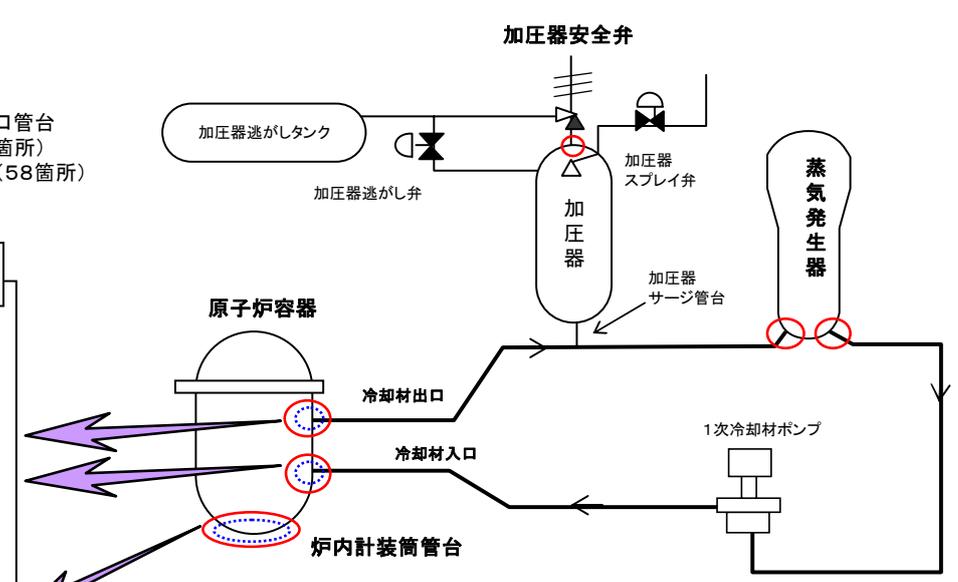
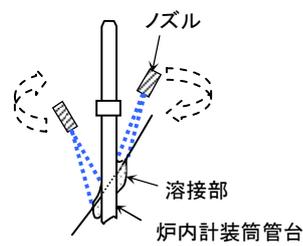
### ウォータージェットピーニング作業イメージ

#### 冷却材出入口管台

..... : 溶接線

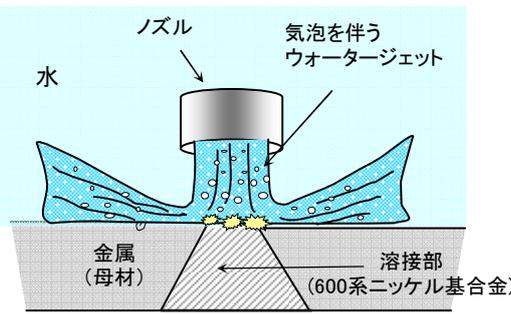


#### 炉内計装筒管台



### 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】

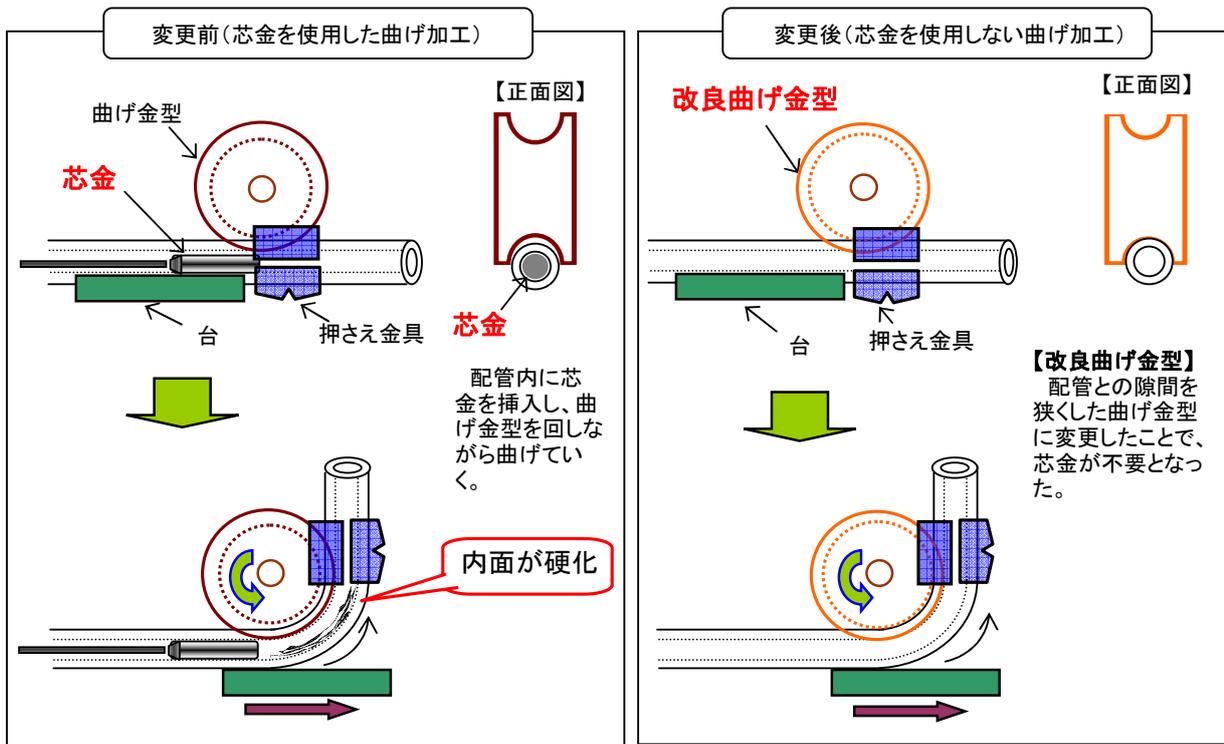
水中で高圧ジェット水(約60 MPa)をノズルから噴射すると気泡が発生する。この気泡は、高速のウォータージェット流に乗って流れ、金属表面近傍で崩壊する。その時に生じる衝撃力で金属表面をたたき(ピーニング)、金属表面近傍の引っ張り残留応力を圧縮応力に変化させる。

図-2 1次系強加工曲げ管取替工事

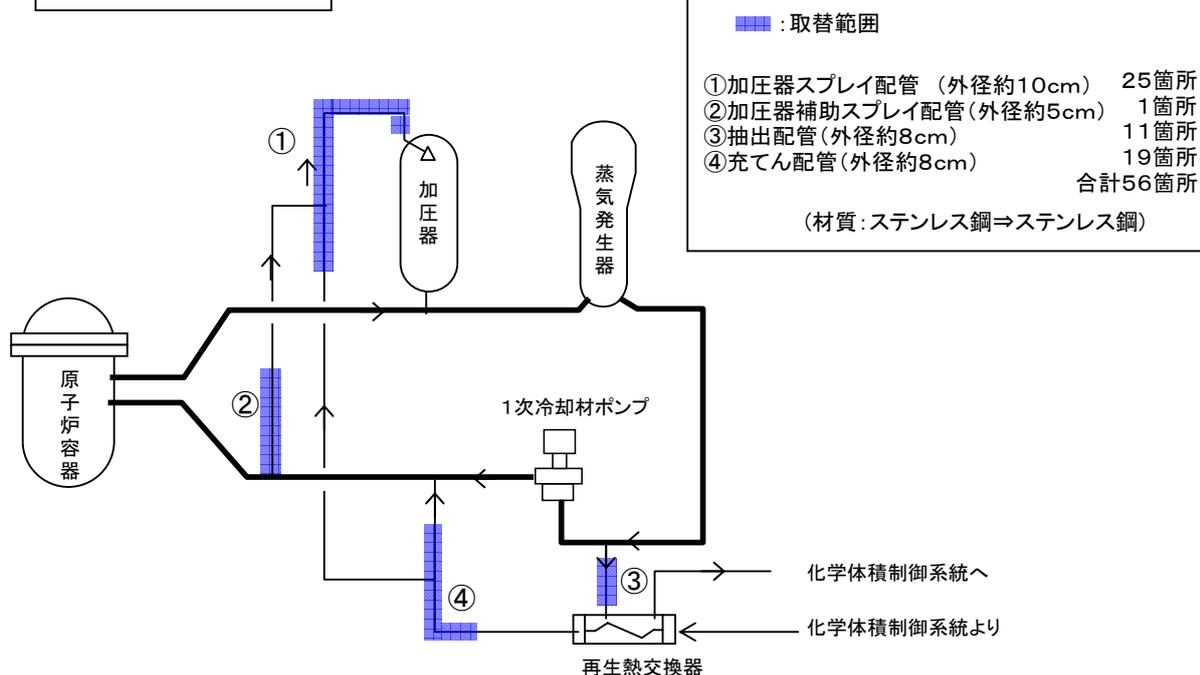
工事概要

海外BWRプラントにおいて、芯金を使用して冷間加工したことにより曲げ管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口径が約10cm以下の曲げ管を芯金を使用せずに曲げ加工した配管に取り替えた。

工事概略図（曲げ加工方法）



取替範囲概略図

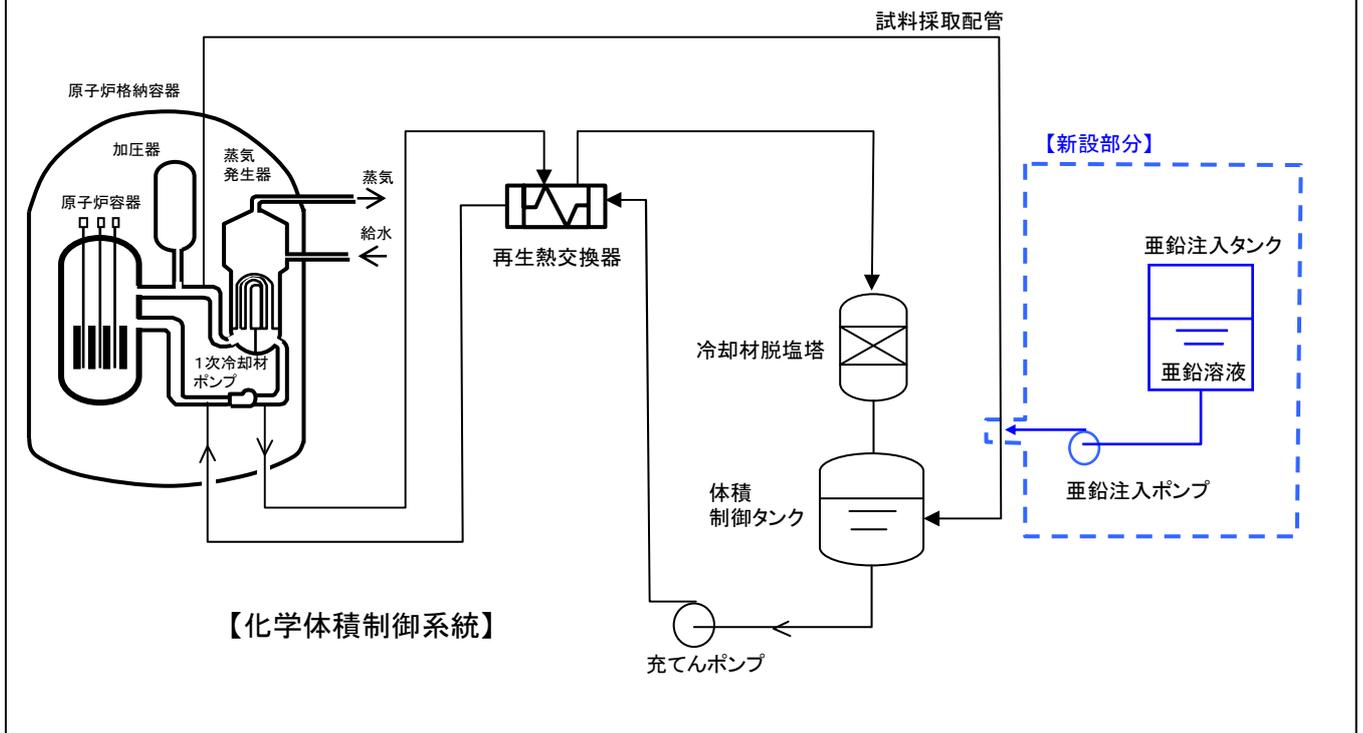


### 図-3 亜鉛注入装置設置工事

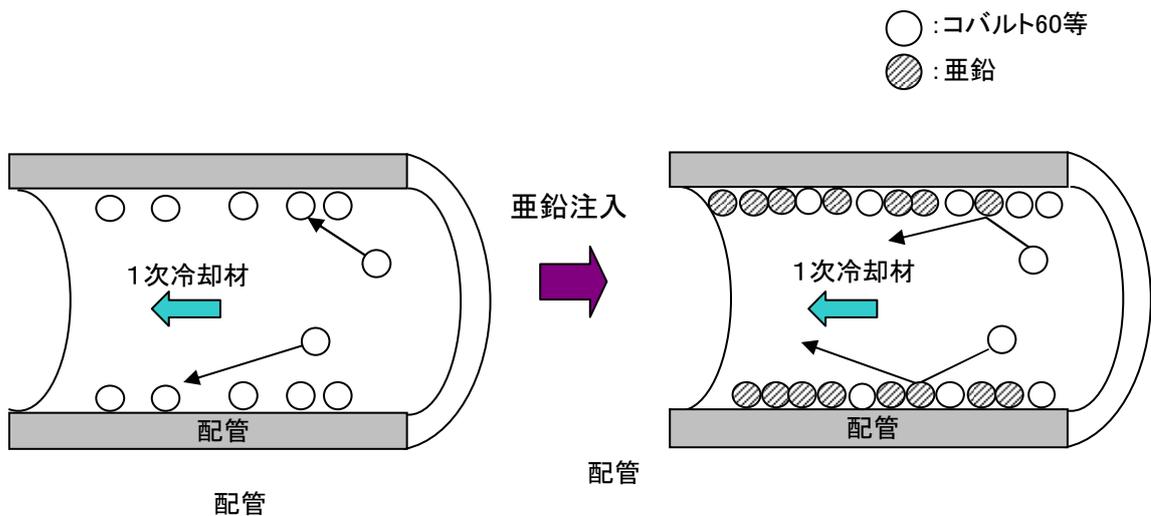
#### 工事概要

作業員の被ばく低減を図るため、1次冷却材中に含まれるコバルト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、化学体積制御系統に設置した。

#### 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

亜鉛注入により、機器・配管内表面に強固な皮膜を形成させ、コバルト60等の放射性物質が再付着することを抑制

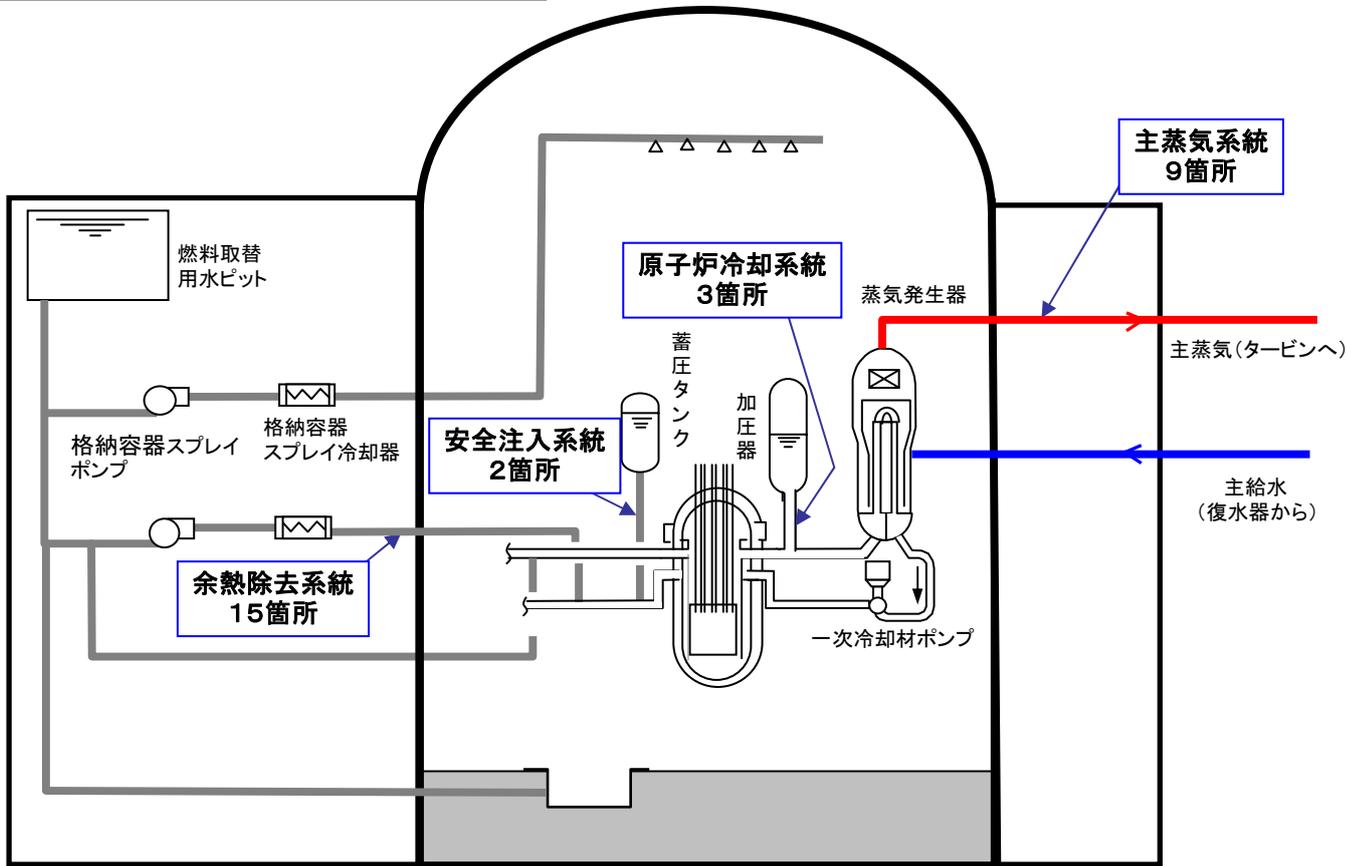
※天然亜鉛から、中性子を吸収すると放射性物質(亜鉛-65)になる亜鉛-64を同位体分離して取り除き、中性子を吸収しても放射性物質にならない亜鉛-66を注入する。

# 図-4 耐震裕度向上工事

## 工事概要

設備の耐震性を一層向上させるための耐震裕度向上工事について、工事実施箇所の検討が終了した原子炉冷却系統、安全注入系統、余熱除去系統、主蒸気系統について、配管の支持構造物29箇所の強化工事を追加で実施した。

## 支持構造物を補強した系統の概要図



原子炉周辺建屋

原子炉建屋

原子炉周辺建屋等

工事実施箇所数	
配管支持構造物	29箇所
合計	29箇所

## 配管の支持部の強化例

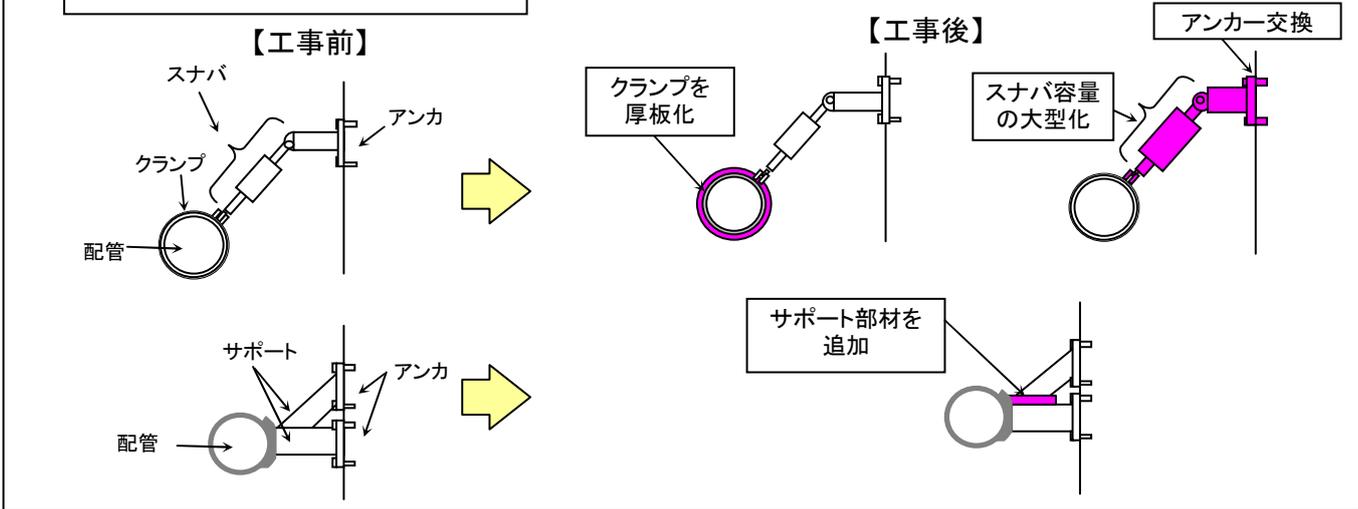


図-5 高サイクル疲労割れに係る対策工事

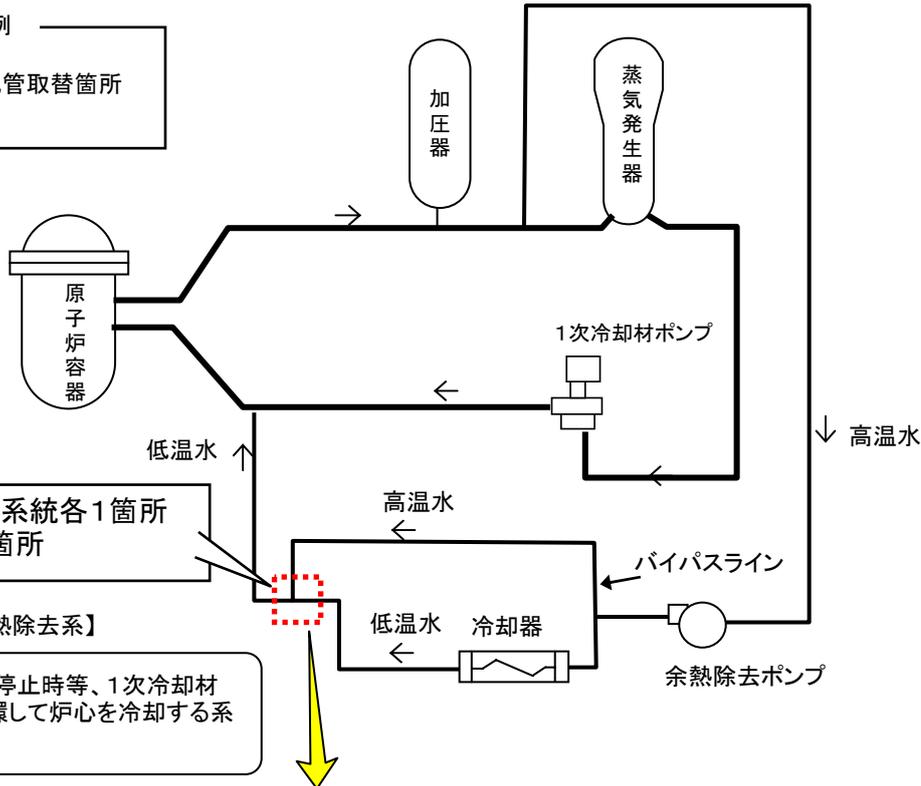
工事概要

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、応力集中が小さい溶接形状のものに取り替えた。

系統概要

凡例

配管取替箇所



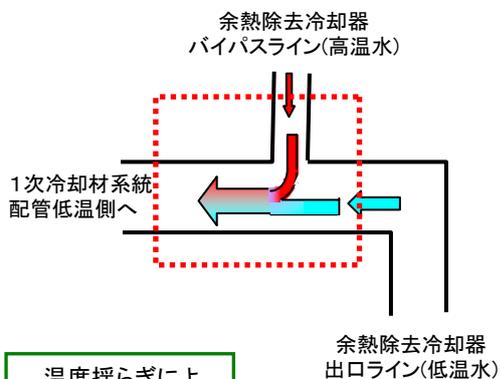
A、B系統各1箇所  
計2箇所

【余熱除去系】

プラント停止時等、1次冷却材を再循環して炉心を冷却する系統

取替概要図

配管取替箇所

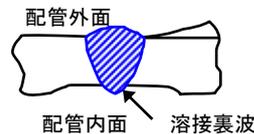


温度揺らぎにより疲労が蓄積した配管を新しいものに取り替えた。

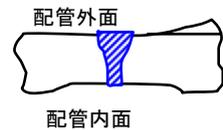
凡例  
配管取替箇所

配管溶接形状を変更

【変更前】



【変更後】



配管内面に溶接裏波が突起部として存在することで、当該部に応力が集中する。

・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。

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1,960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):1,937箇所、内面目視検査:23箇所)

○2次系配管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	今回点検実施後の 未点検部位
	総数	未点検部位		
主要点検部位	1,373 <0>	146 <0>	878 <+23>	0 <0>
その他部位	1,684 <0>	6 <0>	1,059 <+2>	0 <0>
合計	3,057 <0>	152 <0>	1,937 <+25>	0 <0>

<>内は定検開始時からの増減

※ 定検開始時から追加した点検部位

	今回点検実施部位	理 由
主要点検部位	+23	今定期検査の点検で減肉傾向が認められた部位の水平展開
その他部位	+2	原子力安全・保安院の指示文書(H19.11)を踏まえた追加
合計	+25	

○2次系配管の管理指針に基づく内面目視点検

高圧排気管の直管部23箇所について、配管内面から目視点検を実施した。

(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部位はなかった。

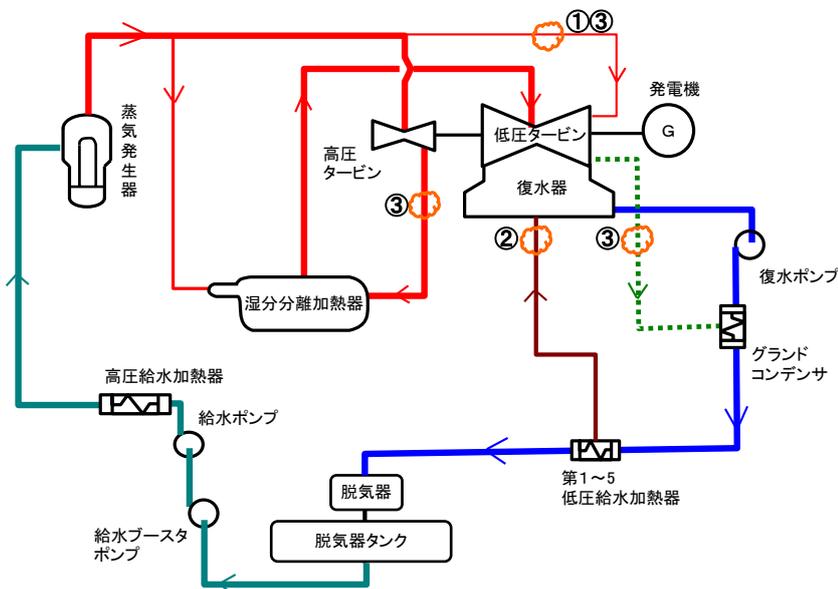
取替概要

○当初119箇所の配管取り替いを計画していたが、減肉が確認された部位2箇所を追加し、合計121箇所の配管を取替えた。

系統別概略図

復水系統		主蒸気系統		空気抜系統	
給水系統		ドレン系統			

: 主な配管取替箇所

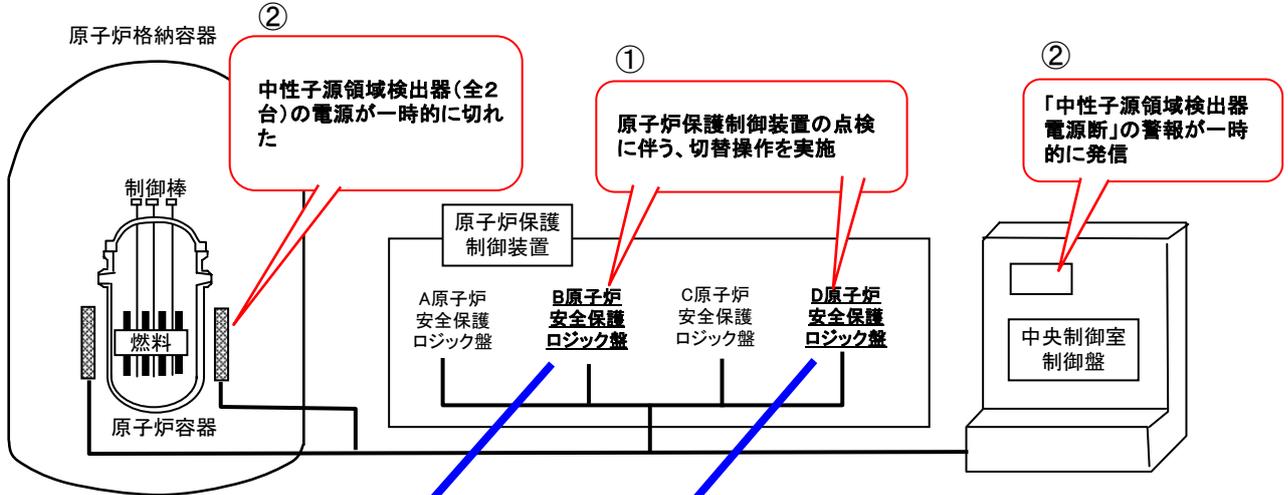


【取替理由】

- ① 余寿命5年未満で減肉が確認されたため取り替えた。 (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。 (2箇所)  
ステンレス鋼 ⇒ ステンレス鋼 2箇所 (2箇所追加)
- ③ 配管の保守性を考慮して取り替えた。 (118箇所)  
炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 14箇所  
炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 104箇所  
(合計121箇所)

# 図一七 中性子源領域検出器の電源断による一時的な停止について

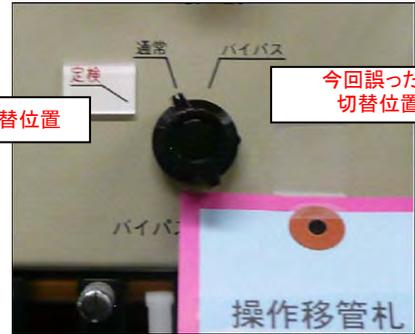
## 事象概要



原子炉安全保護ロジック盤



切替スイッチ(バイパススイッチ)



正しい切替位置

今回誤った切替位置

スイッチを「定検」位置に切り替えるべきところ、誤って「バイパス」位置に切り替えた。

## 原因

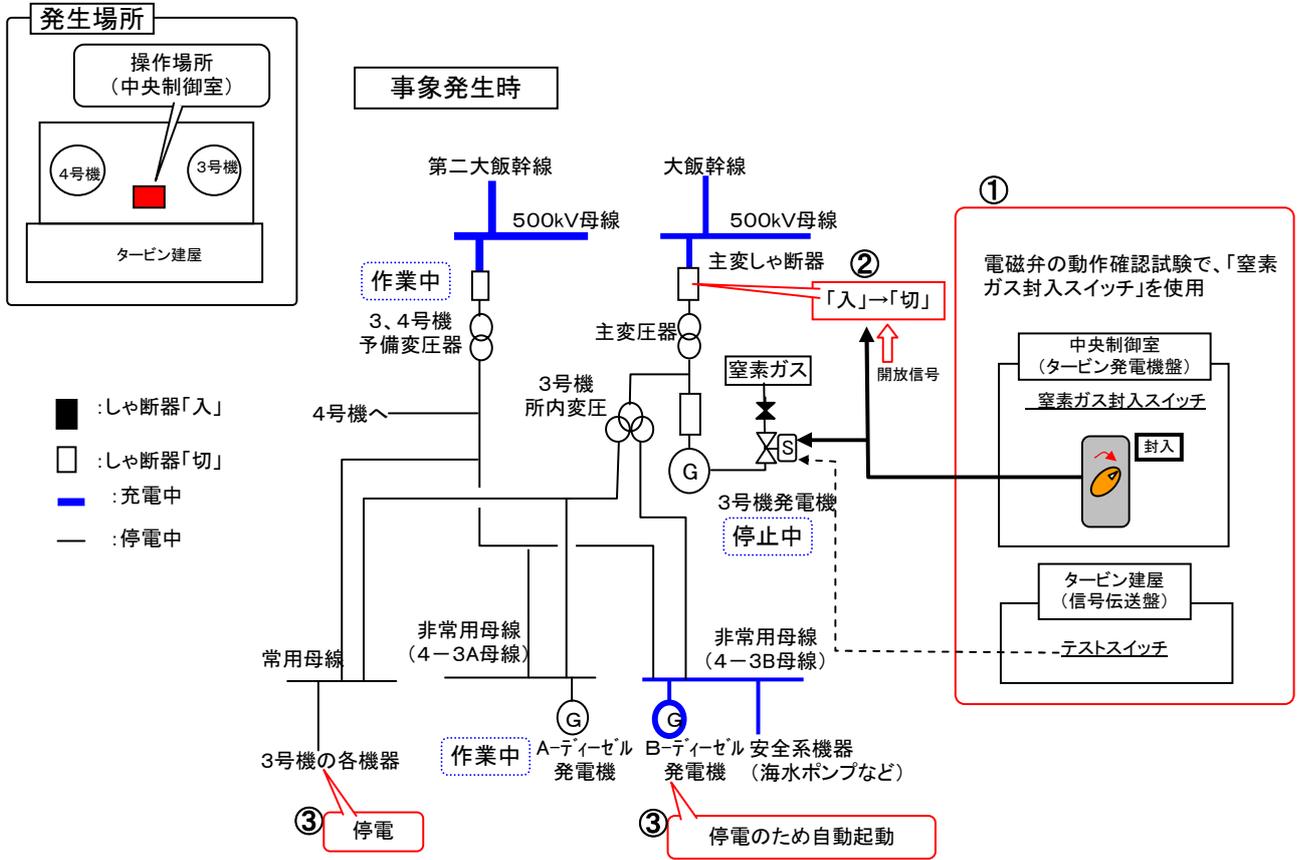
本切替操作は、プラントの運転操作を行っている発電室から点検担当課に移管され、点検担当課員の立ち会いのもと、協力会社作業員が操作を実施した。この操作において、操作手順書と現場機器の状態を照合することや、操作前後のスイッチ位置を指差呼称するなどの確実な操作確認が行われていなかった。

## 対策

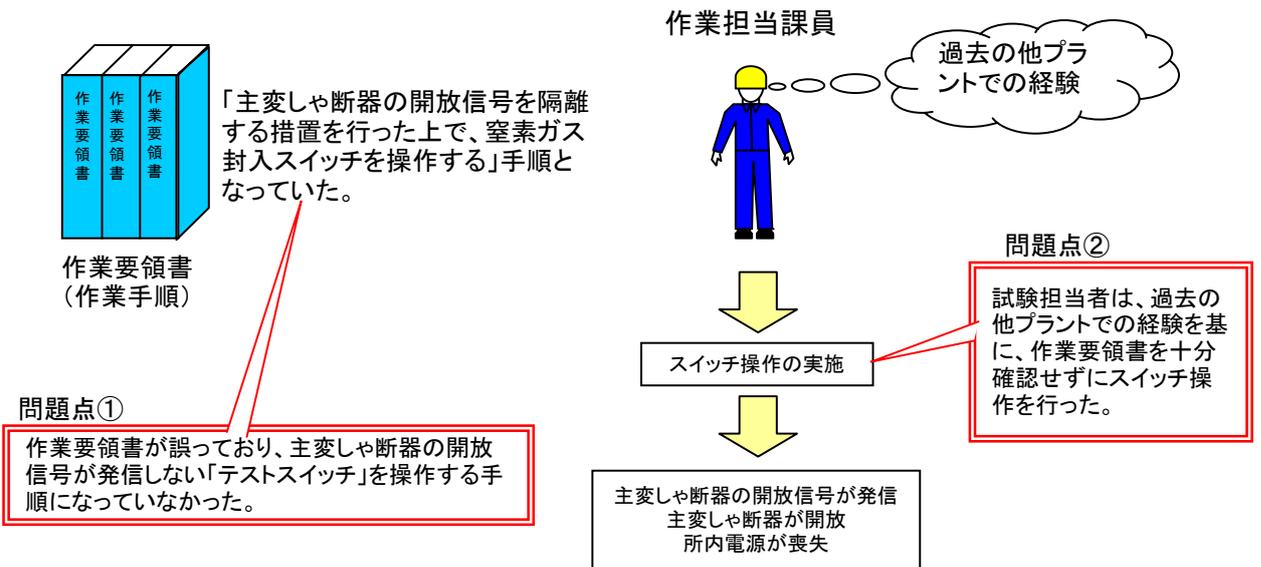
- ・保安規定「運転上の制限」に関わる重要な操作については、発電室から点検担当課に操作移管を行わず、発電室が直接操作することとし、その旨、所内ルールに反映した。
- ・今回、確実な操作確認などの基本動作が実施されていなかったことから、全所員(当社社員および協力会社作業員)に対し、基本動作の徹底を図るよう強く指導を行うとともに、点検担当課員に対し、役職者が基本動作に関する指導を行う。
- ・今回の要因の深掘り検討を行い、所内ルールの改善や教育訓練の充実を図る。

図-8 所内電源喪失に伴う非常用ディーゼル発電機の自動起動

事象概要

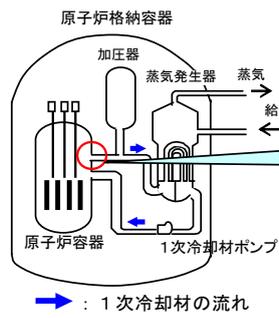


動作確認試験の実施状況

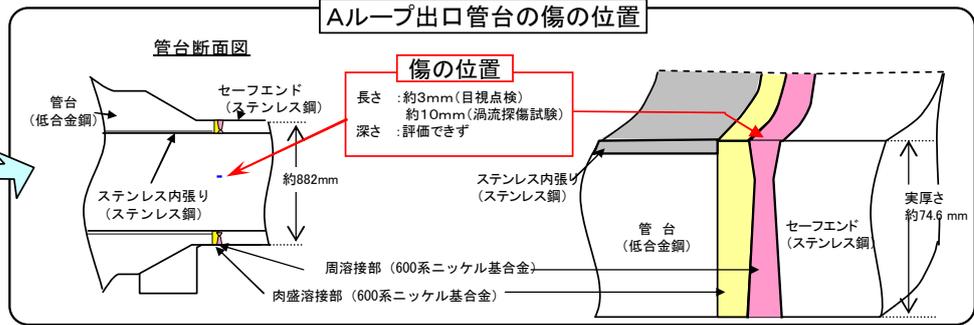


# 図-9 原子炉容器Aループ出口管台溶接部の傷の原因と対策について

## 系統概略図



## Aループ出口管台の傷の位置



## 研削結果

**研削前**

約3mm  
 機械加工の跡  
 管台側 ← → セーフエンド側  
 傷のスケッチ

**深さ約20.3mm(板厚54.3mm)の研削後**

傷は認められなくなった

**切削部**

傷の形状  
 約21mm  
 段階的な切削形状  
 管台 (低合金鋼)  
 セーフエンド (ステンレス鋼)  
 肉盛溶接部 (600系ニッケル基合金)  
 周溶接部 (600系ニッケル基合金)

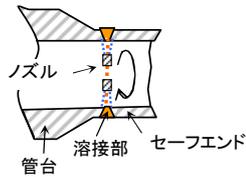
[参考]高浜2号機の蒸気発生器管台溶接部の傷

型取観察結果      スンプ観察結果

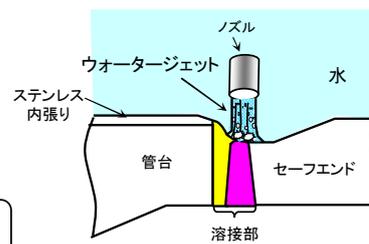
## 対策

### 《今定期検査で実施》

応力腐食割れの予防保全対策として、表面近傍の引張残留応力を圧縮応力に変えるため、ウォータージェットピーニング工事を施工する

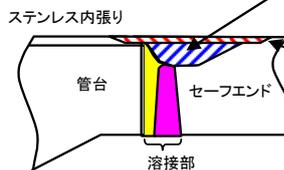


研削部はノズルの角度を変えてウォータージェットを吹き付ける



### 《次回定期検査で実施》

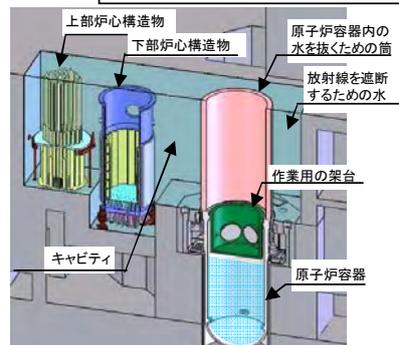
#### 肉盛溶接の概要



○600系ニッケル基合金にて肉盛溶接

- 溶接部全周にわたり、一様に切削
- 溶接部全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接

#### 肉盛溶接工法イメージ図

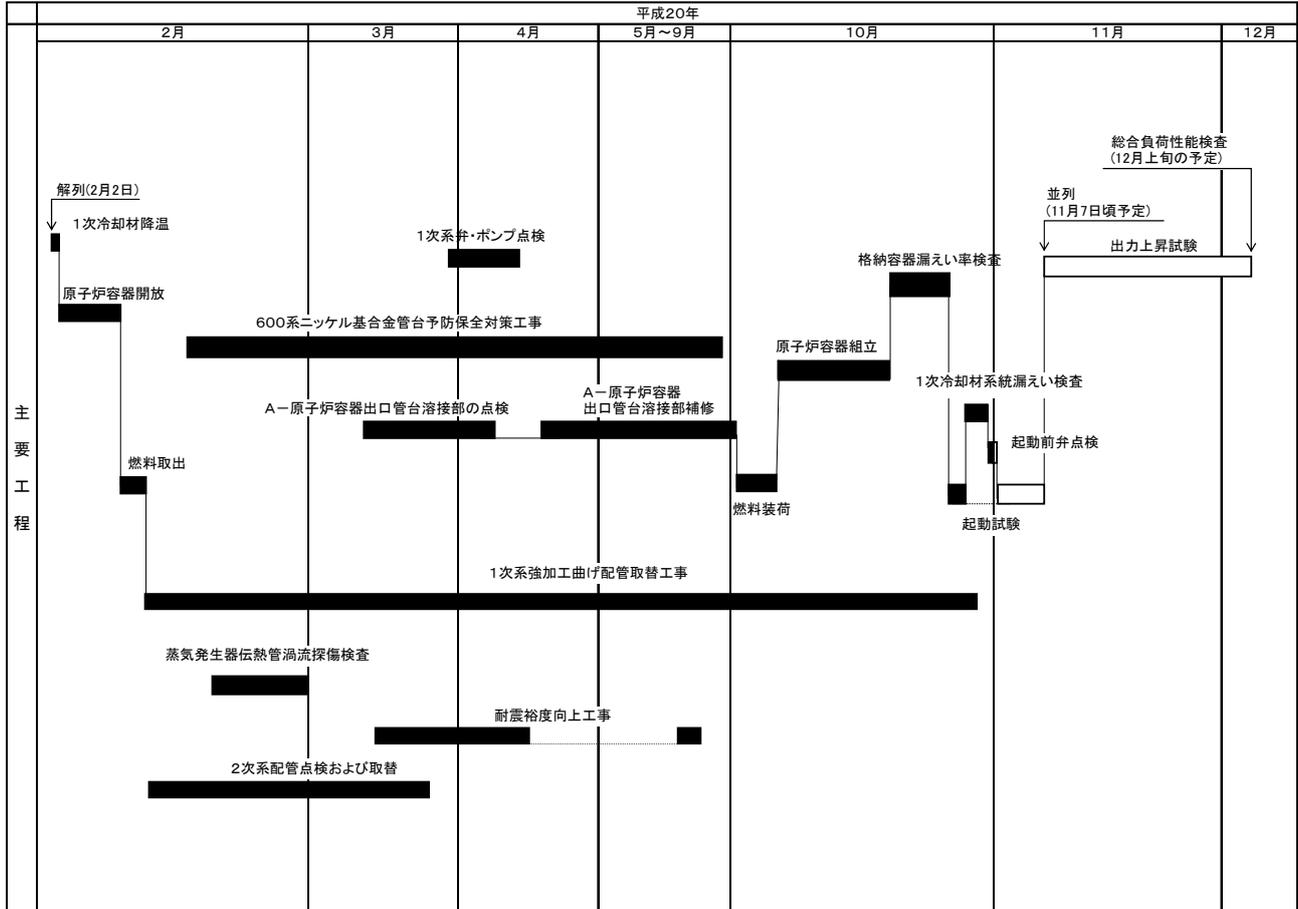


原子炉容器の上に筒を設置し、水を抜いて肉盛溶接を実施する

## 大飯発電所3号機 第13回定期検査の作業工程

平成20年2月2日から、以下の作業工程にて実施しています。

(平成20年10月31日現在)



黒塗りは実績を表します。