

大飯発電所1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

大飯発電所1号機(加圧水型軽水炉;定格電気出力117.5万kW)は、平成22年12月10日から第24回定期検査を実施しているが、3月10日に原子炉を起動し、翌11日に臨界となる予定である。

その後は、諸試験を実施し、3月13日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、4月上旬には経済産業省の最終試験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、安全注入系統や余熱除去系統などの配管やアニュラス浄化系統や補助建屋よう素除去排気系統などのダクト、余熱除去クーラなどの機器の支持構造物を強化した。

(2) 化学体積制御系統小口径配管他取替工事 (図-2参照)

国外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、1次冷却材の流れがない配管(高温環境で溶存酸素濃度が高い)の溶接部について、計画的に対策工事*1を実施しており、今回は当該系統1箇所について耐食性に優れた材料に取り替えた。また、取替え時の作業性を考慮し、対象箇所周辺の弁や配管の一部を取り替えた。

*1 応力集中の小さい溶接形状への変更と耐食性に優れた材料への変更

(3) 安全系計器用電源装置取替及び常用系直流電源装置他設置工事 (図-3参照)

安全系計器用電源装置の構成部品が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮し、最新の電源装置に取り替えた。取替えにあたっては、電気・計装装置のデジタル制御による消費電力の増加を見据えて、電源

容量（電源供給能力）が大きな装置に取り替えた。

また、この安全系計器用電源装置のバックアップ電源となる安全系直流電源装置について、今後の消費電力の増加を見据えて、新たに常用系直流電源装置を設置し、安全系直流電源装置に接続している一部の機器を移設した。

(4) 1次冷却材ポンプ電源監視回路改造工事 (図－4 参照)

1次冷却材ポンプ駆動用電源の電圧および周波数の低下を監視する装置の電源が喪失した状態で運転することを防止するため、監視装置の電源が喪失した場合には中央制御室に警報を発報するとともに、「電源電圧低」および「電源周波数低」の信号を発信する回路構成に変更した。

* 2 敦賀発電所2号機で、1次冷却材ポンプ駆動用電源の監視装置の電源が喪失した状態で運転した事象を踏まえ、平成22年5月、原子力安全・保安院は、事業者に対し監視装置の電源が喪失した場合に中央制御室に警報を発報する等の設備改善を行うよう指示した。

(5) 格納容器再循環サンプスクリーン取替工事 (図－5 参照)

1次冷却材喪失事故時に格納容器再循環サンプスクリーンが異物混入により機能低下することを防止する観点から、スクリーンをより表面積が大きいものに取り替えた。

また、同スクリーンを通過した異物が流量調整弁で閉塞しないよう弁開度（隙間）を大きくするため、一部の流量調整弁を新品に取り替えるとともに、弁の下流側に流量調整用オリフィスを設置した。

* 3 国外BWRプラントでの非常用炉心冷却系統ストレーナの閉塞事象を踏まえた原子力安全・保安院の指示を受け、格納容器再循環サンプスクリーンの有効性を評価した結果、設備上の対策が必要であると評価された。なお、設備上の対策を講じるまでは、閉塞事象発生時対応マニュアルの整備などの暫定対策を講じており、安全上の問題が生じることはない。

(6) 原子炉容器供用期間中検査 (図－6 参照)

原子炉容器の供用期間中検査として、原子炉容器溶接部等の超音波探傷検査を行い、健全性を確認した。

2 設備の保全対策

(1) 2次系配管の点検等 (図－7 参照)

①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 1,494 箇所について超音波検査（肉厚測定）等を実施した結果、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。

（超音波検査 1,448箇所、内面目視点検 46箇所）

②今定期検査開始時に計画していた 93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結果

蒸気発生器4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。

4 燃料集合体の取替え (図－8参照)

燃料集合体全数 193 体のうち、56 体を全て新燃料集合体（55,000 MWd/t高燃焼度燃料）に取り替えた。

このうち、A型燃料の40体については、平成20年以降大飯発電所で発生した燃料漏えい*4の対策として、燃料集合体の下部ノズルにある流路孔を従来より小さくし、集合体下部コーナー部での1次冷却材の横向きの流れを減少させた改良型燃料を使用した。

また、燃料集合体の外観検査（18体）を実施した結果、異常は認められなかった。

*4 大飯発電所では平成16年から高燃焼度燃料を採用している。この燃料採用以降、平成20年に大飯4号機で1体、平成21年に大飯2号機で2体、平成22年に大飯1号機で2体の計5体、全てA型燃料で漏えいが発生しており、一部の漏えい燃料は試験施設で詳細調査中である。

これまでの調査で、漏えいの原因は、A型燃料の集合体下部コーナー部において、燃焼度が進んだ状態で、かつ原子炉の中央部に配置したケースで、燃料下部で隣接燃料への横流れにより燃料棒が通常よりも大きく振動し、下部支持格子のパネ板部等で被覆管の摩耗が進み漏えいしたものと推定された。

当面の対策として、A型高燃焼度燃料では燃焼度制限（38,000MWd/t）を設けて使用している。

5 次回定期検査の予定

平成24年 春頃

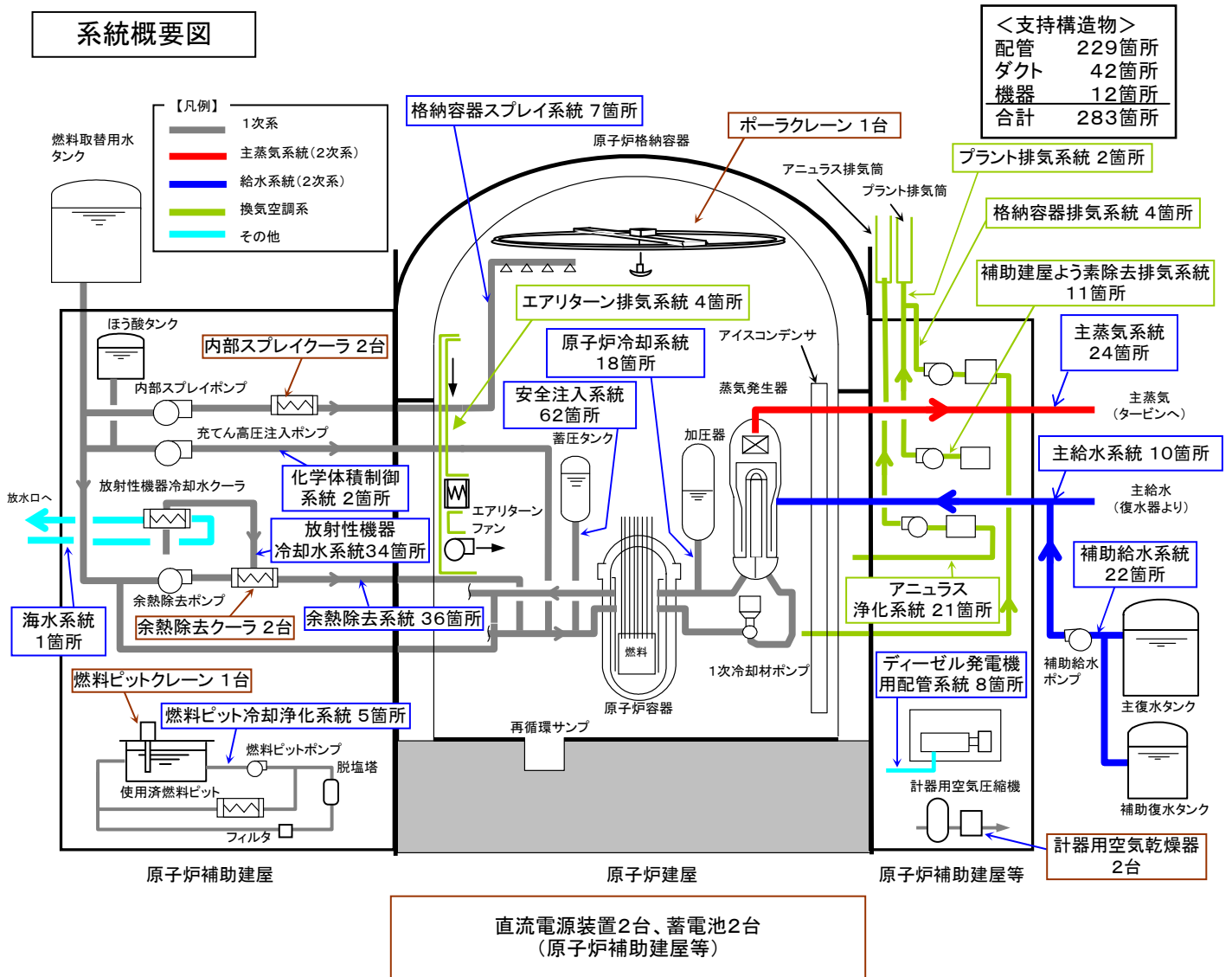
問い合わせ先(担当：有房) 内線2354・直通0776(20)0314
--

図-1 耐震裕度向上工事

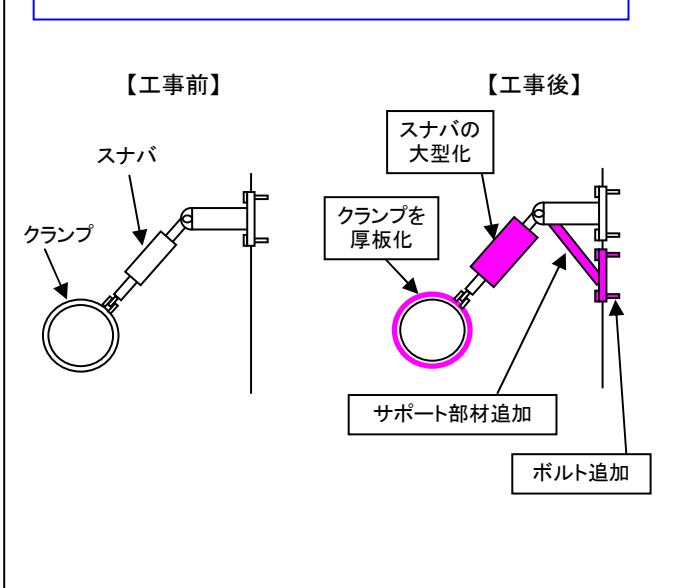
工事概要

既設設備の耐震性を一層向上させるため、安全注入系統や余熱除去系統などの配管やアニュラス浄化系統や補助建屋よう素除去排気系統などのダクト、余熱除去クーラなどの機器の支持構造物を強化した。

系統概要図



配管の支持部の強化例(イメージ)



内部スプレイクーラの支持構造物の強化例(イメージ)

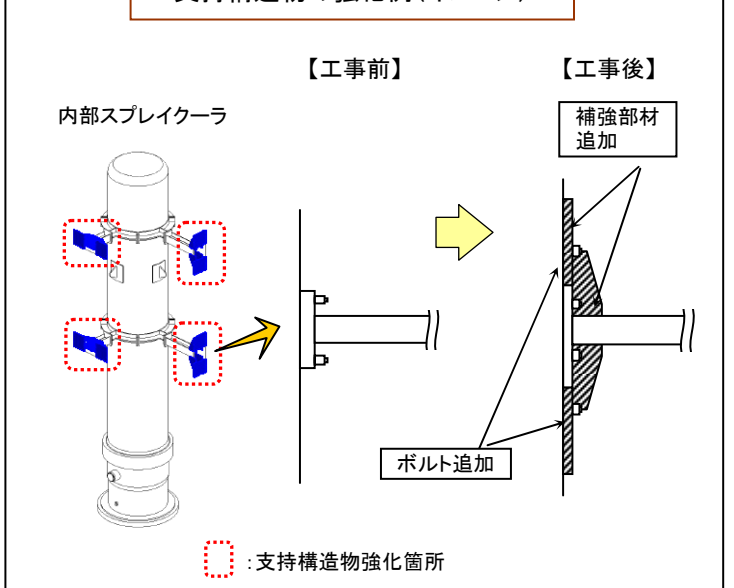


図-2 化学体積制御系統小口径配管他取替工事

工事概要

国外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、1次冷却材の流れがない配管(高温環境で溶存酸素濃度が高い)の溶接部について、計画的に対策工事を実施しており、今回は当該系統1箇所について耐食性に優れた材料に取り替えた。また、取替え時の作業性を考慮し、対象箇所周辺の弁や配管の一部を取り替えた。

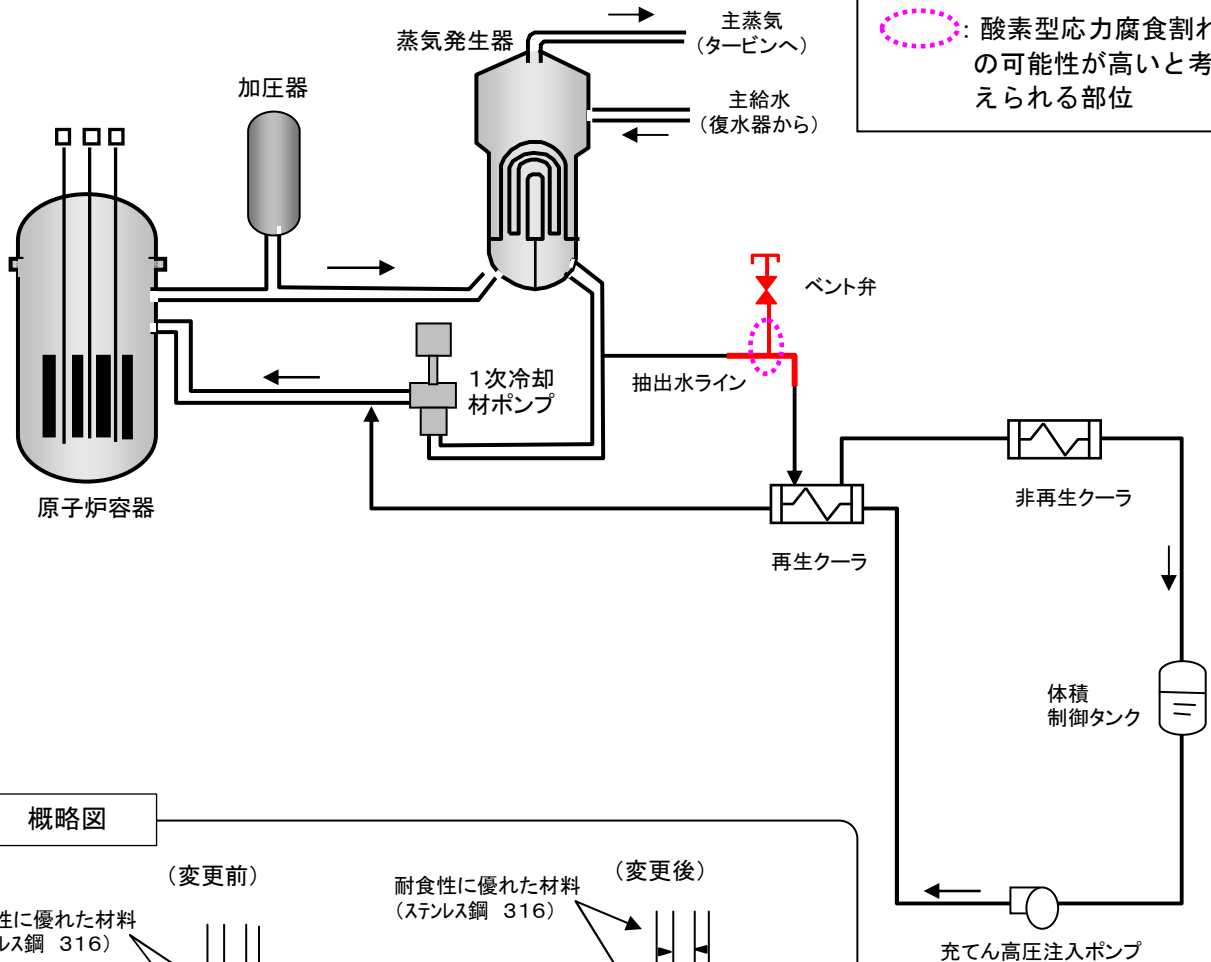
取替概要図

取替箇所

系統名	対象箇所	箇所数
化学体積制御系統	抽出水ライン再生クーラ入口配管	1箇所

【説明】

- : 取替範囲
- ⋯ : 酸素型応力腐食割れの可能性が高いと考えられる部位



概略図

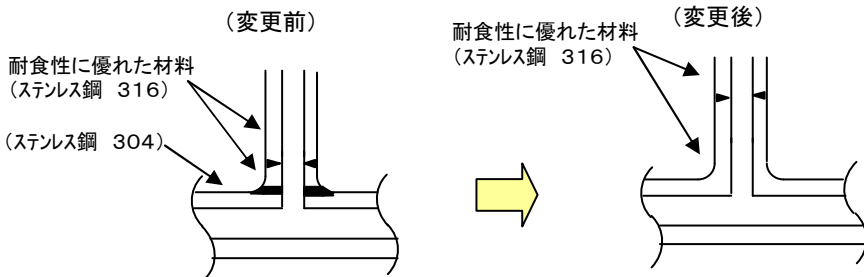


図-3 安全系計器用電源装置取替及び 常用系直流電源装置他設置工事

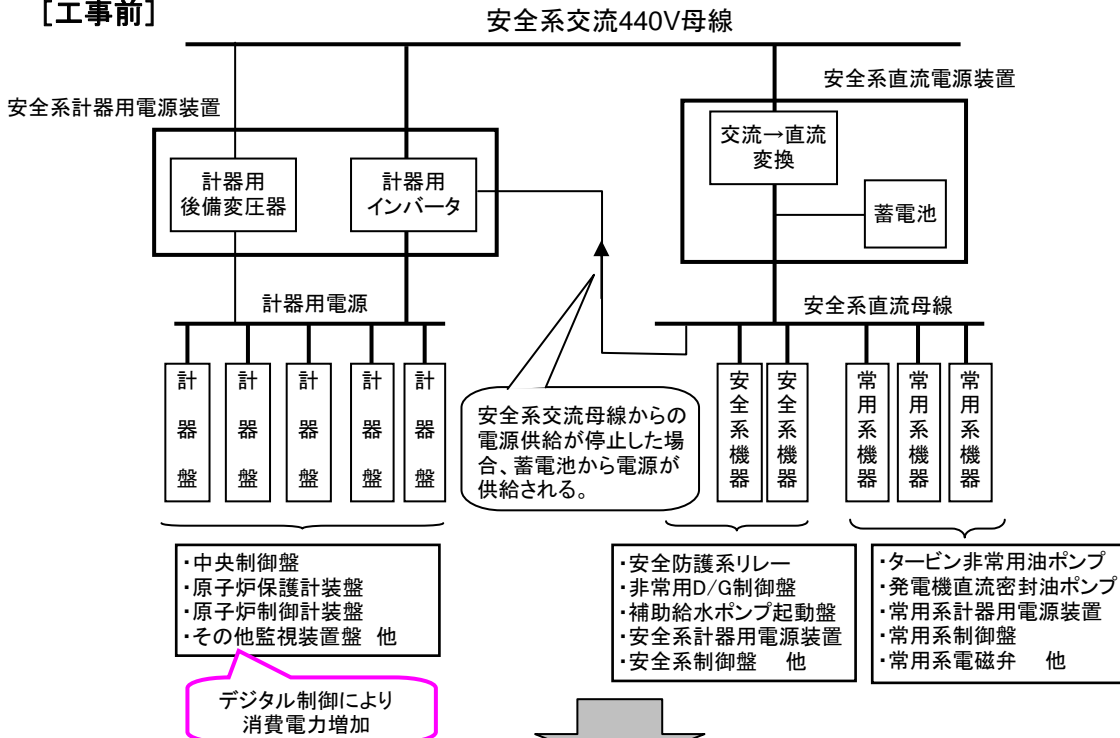
工事概要

安全系計器用電源装置の構成部品が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮し、最新の電源装置に取り替えた。取替えにあたっては、電気・計装装置のデジタル制御による消費電力の増加を見据えて、電源容量(電源供給能力)が大きな装置に取り替えた。

また、この安全系計器用電源装置のバックアップ電源となる安全系直流電源装置について、今後の消費電力の増加を見据えて、新たに常用系直流電源装置を設置し、安全系直流電源装置に接続している一部の機器を移設した。

系統概要

[工事前]



[工事後]

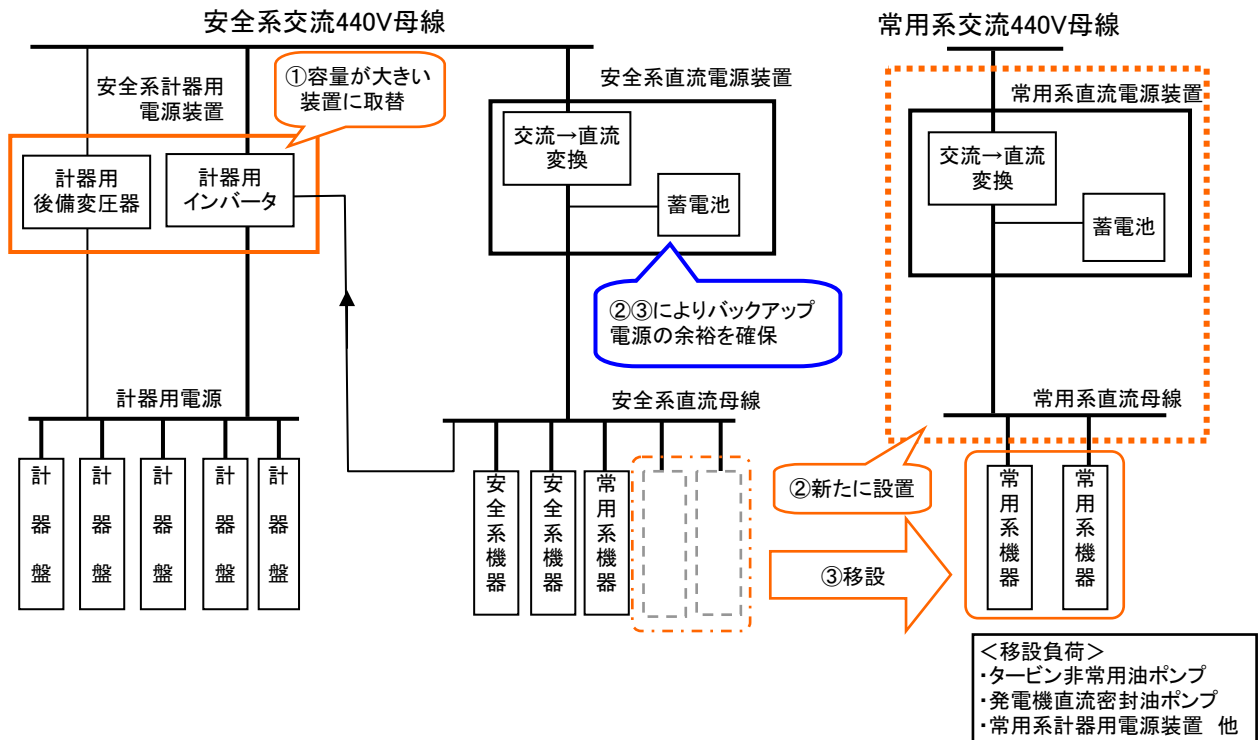


図-4 1次冷却材ポンプ電源監視回路改造工事

工事概要

1次冷却材ポンプ駆動用電源の電圧および周波数の低下を監視する装置の電源が喪失した状態で運転することを防止するため、監視装置の電源が喪失した場合には中央制御室に警報を発報するとともに、「電源電圧低」および「電源周波数低」の信号を発信する回路構成に変更した。

概要図

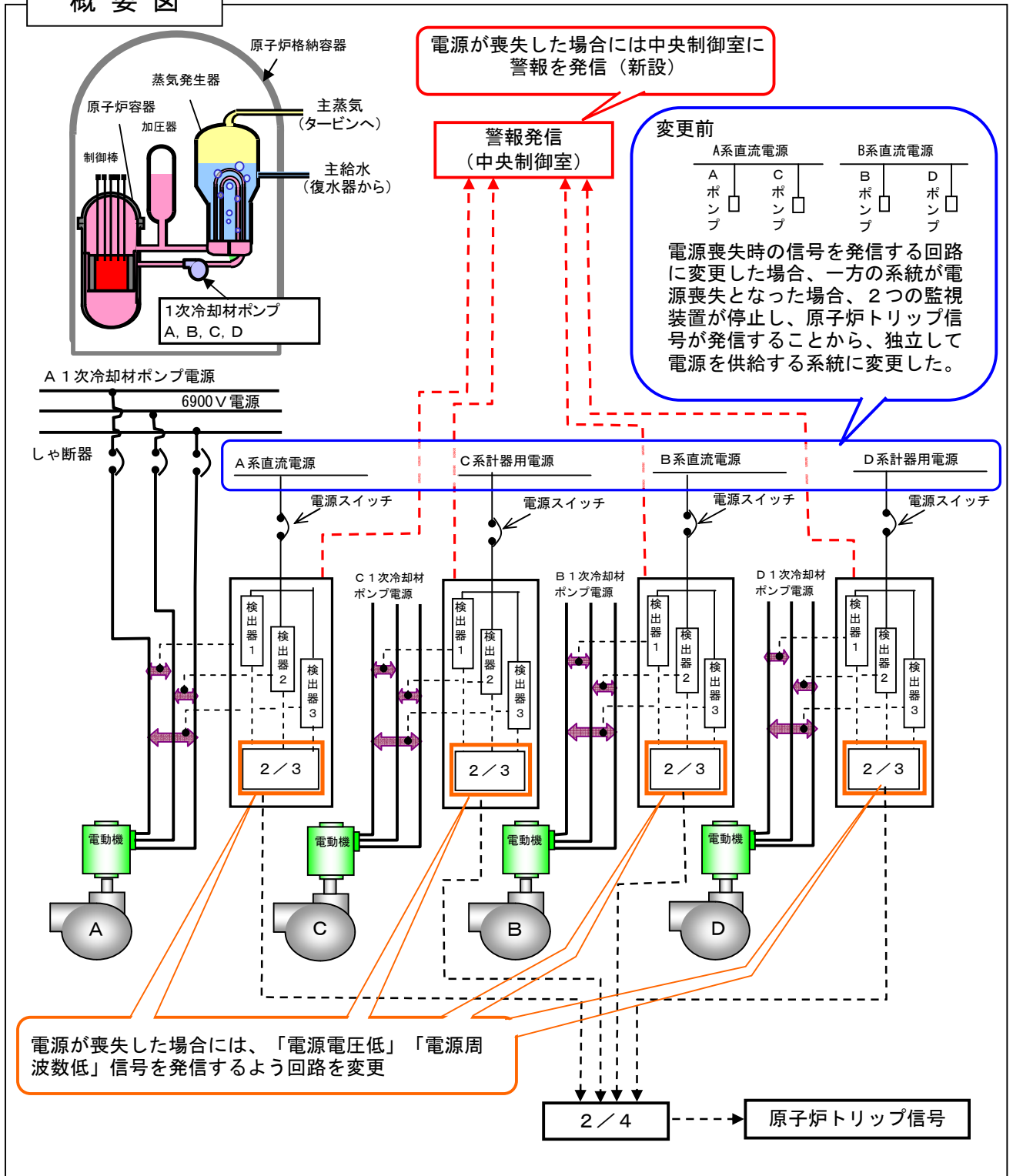
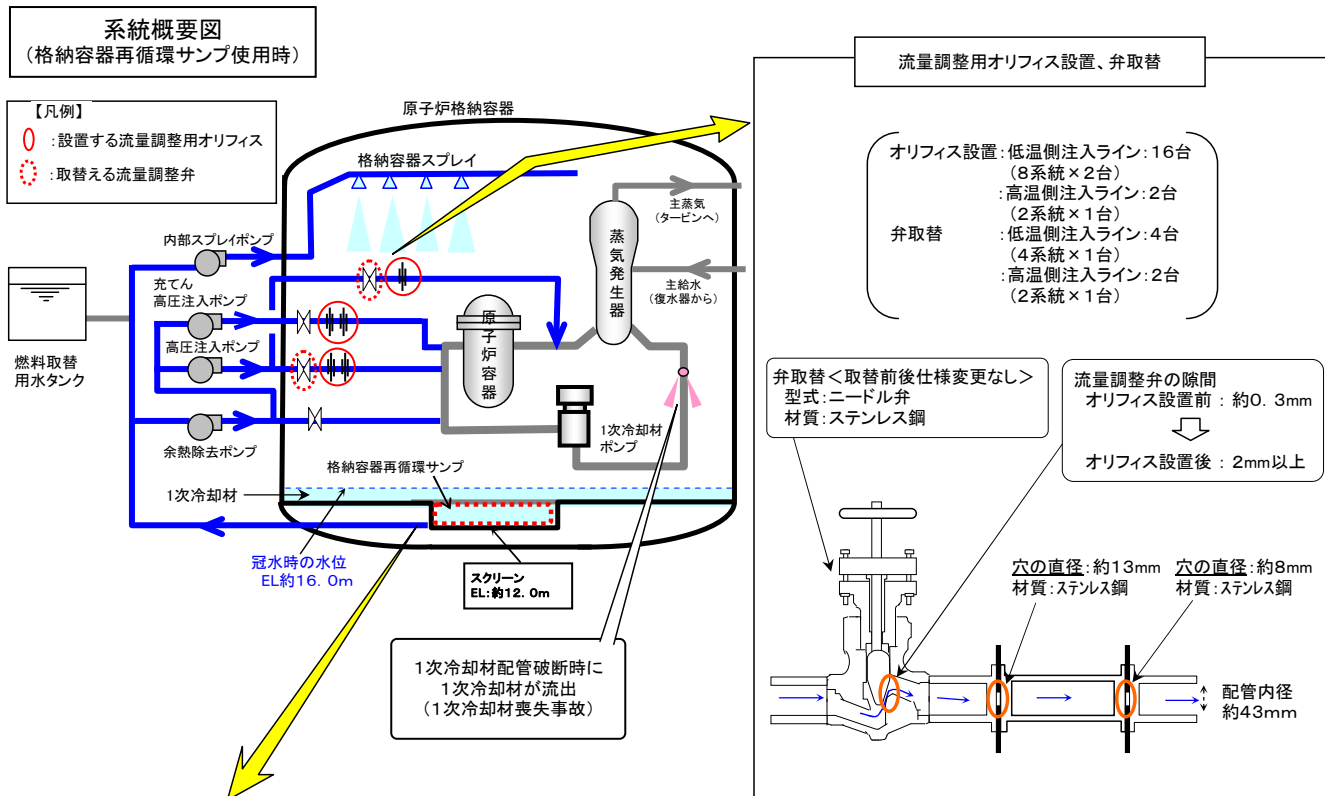


図-5 格納容器再循環サンプスクリーン取替工事

工事概要

1次冷却材喪失事故時に格納容器再循環サンプスクリーンが異物混入により機能低下することを防止する観点から、スクリーンをより表面積が大きいものに取り替えた。
 また、同スクリーンを通過した異物が流量調整弁で閉塞しないよう弁開度(隙間)を大きくするため、一部の流量調整弁を新品に取り替えるとともに、弁の下流側に流量調整用オリフィスを設置した。



参考 (スクリーン取替イメージ)

項目	工事前	工事後(イメージ)
工事前後設備概要図	<p>平面図 スクリーン 断面図 ←: 1次冷却材の流れ</p> <p>1次冷却材 内部スプレイポンプへ 余熱除去ポンプへ</p>	<p>平面図 スクリーン 断面図 ←: 1次冷却材の流れ</p> <p>1次冷却材 内部スプレイポンプへ 余熱除去ポンプへ</p> <p>*: 新型スクリーンは複数のモジュールで構成されている</p>
スクリーンの概要	<p>スクリーンの写真</p> <p>下から見た写真</p> <p>スクリーン</p>	<p>スクリーンの写真</p> <p>ヘッドカバー ろ過穴 スクリーン拡大図 多孔板(ダイヤク)</p> <p>モジュール構造図 ←: 1次冷却材の流れ</p> <p>【モジュール1基の大きさ】 大きさ: 高さ約2.7m、幅約1m、奥行き約1m 多孔板62枚、多孔板1枚の面積約1.3m²</p> <p>コアチューブ</p>
ろ過穴	(縦) 約5mm × (横) 約5mm	(直径) 約1.7mm
全体の表面積	約14.7m ² × 1	約578m ² × 1
材質	ステンレス鋼	ステンレス鋼

図-6 原子炉容器供用期間中検査

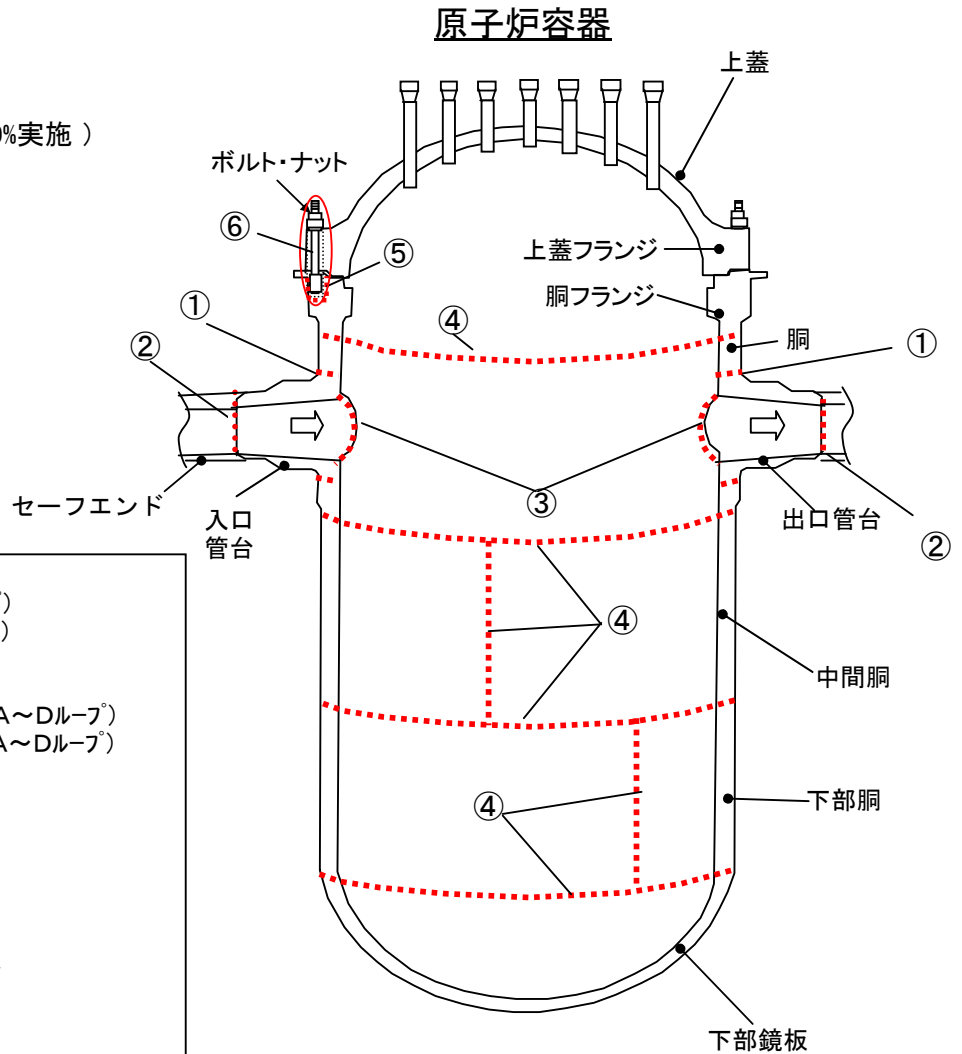
検査概要

原子炉容器の供用期間中検査として、原子炉容器溶接部等の超音波探傷検査を行い、健全性を確認した。

超音波探傷検査の箇所

..... : 検査箇所(7年間で100%実施)

- ① 入口管台と胴との溶接部(A~Dループ)
出口管台と胴との溶接部(A~Dループ)
全8箇所の溶接部全周を検査
- ② 入口管台とセーフエンドとの溶接部(A~Dループ)
出口管台とセーフエンドとの溶接部(A~Dループ)
全8箇所の溶接部全周を検査
- ③ 入口管台内面丸み部(A~Dループ)
出口管台内面丸み部(A~Dループ)
全8箇所の丸み部を検査
- ④ 胴の溶接部
全6箇所の溶接部全周(全長)を検査
- ⑤ 胴フランジネジ穴のネジ部
54箇所中14箇所を検査
- ⑥ スタッドボルト
54本中14本を検査



検査装置の概要

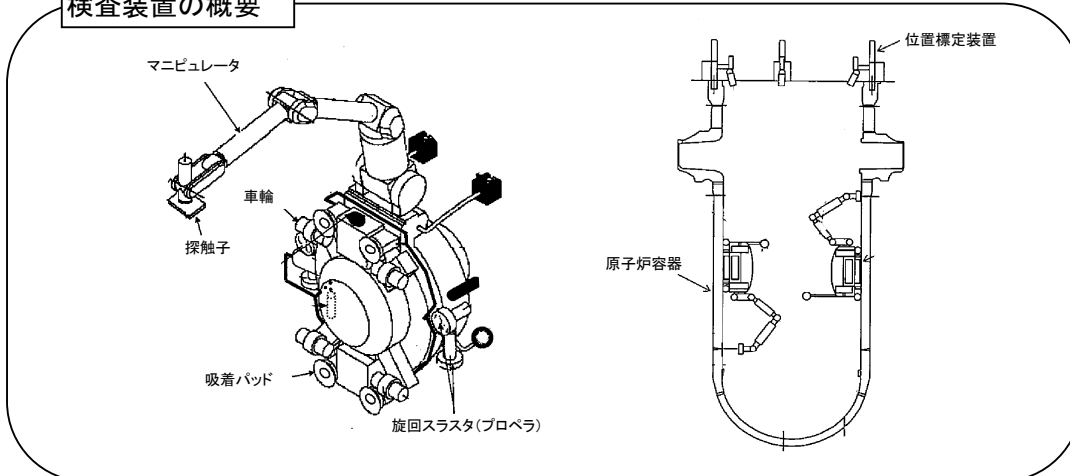


図-7 2次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、合計1,494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):1,448箇所、目視検査:46箇所>

○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	1,425	763
その他部位	1,938	685
合計	3,363	1,448

○2次系配管肉厚の管理指針に基づく内面目視点検

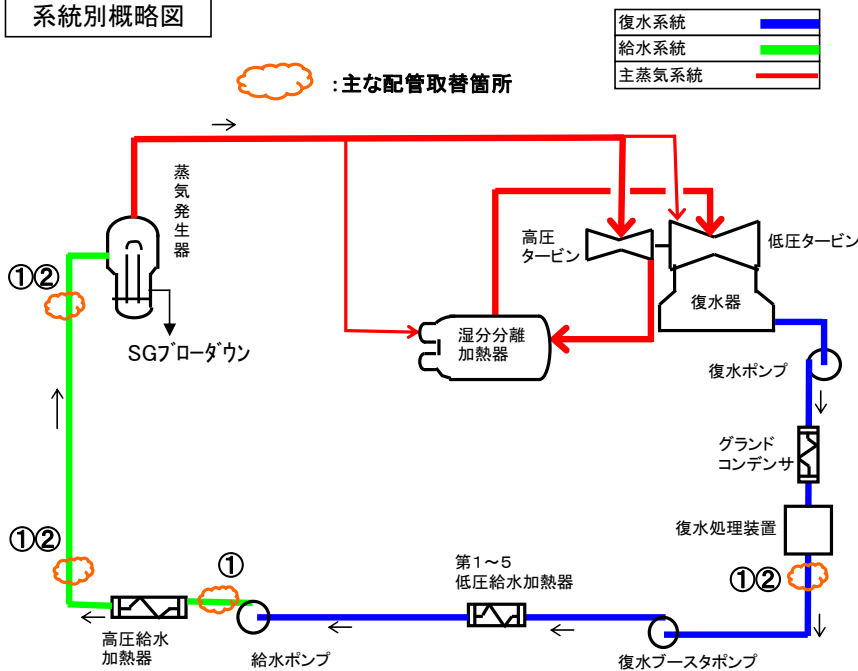
高圧排気管の直管部46箇所について、配管内面から目視点検を実施した。

(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箇所はなかった。

○過去の点検において減肉が確認された部位47箇所、配管取替え時の作業性を考慮した部位46箇所、合計93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。

系統別概略図



【取替理由】

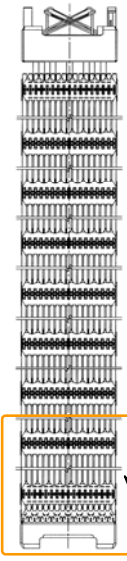
- ① 過去の点検結果で減肉が認められているため計画的に取り替えた箇所 (47箇所)
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年未満の箇所
 - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 33箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 6箇所
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年以上の箇所
 - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 5箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 3箇所

- ② 配管取替時の作業性*を考慮して取り替えた箇所 (46箇所)
 - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 28箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 18箇所

[合計 93箇所]

* 配管取替時に近隣の配管も一緒に取替えた方が作業がし易いため取替えた。

燃料集合体

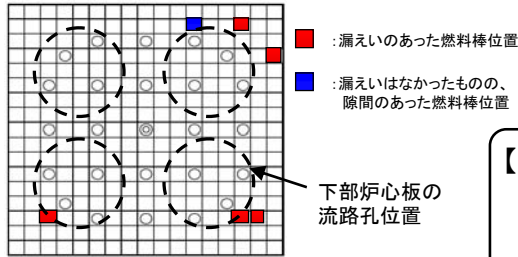


漏えい燃料の特徴

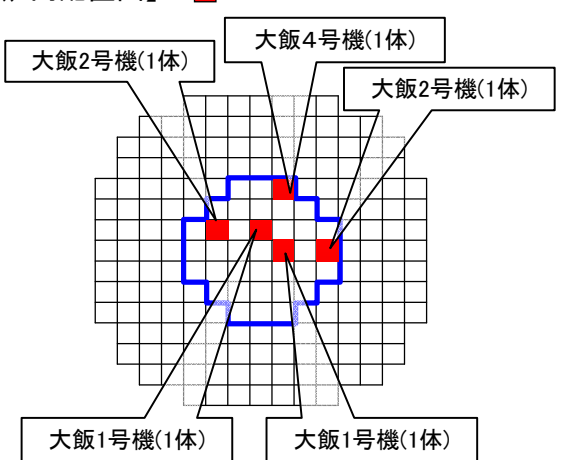
- ・ウラン燃料約40,000MWd/t以上、ガドリニア入り燃料約37,000MWd/t以上の燃焼度で漏えい
- ・原子炉での配置は炉心中央から4列目までの位置
- ・漏えい燃料棒は集合体内の外周に近いコーナー部の燃料棒
- ・第9支持格子部に支持板やばね板と燃料棒の間に隙間や入り込みが認められるものがある

【燃料棒の位置】

- ・漏えい燃料棒は集合体内の外周に近いコーナー部で発生している。



【炉内配置図】

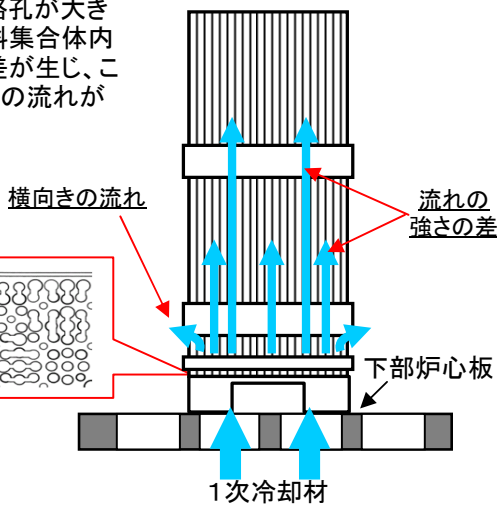


・炉心中心から4列目までに装荷された際に漏えいが発生している。

要因 : 燃料集合体内の流れの強さの分布

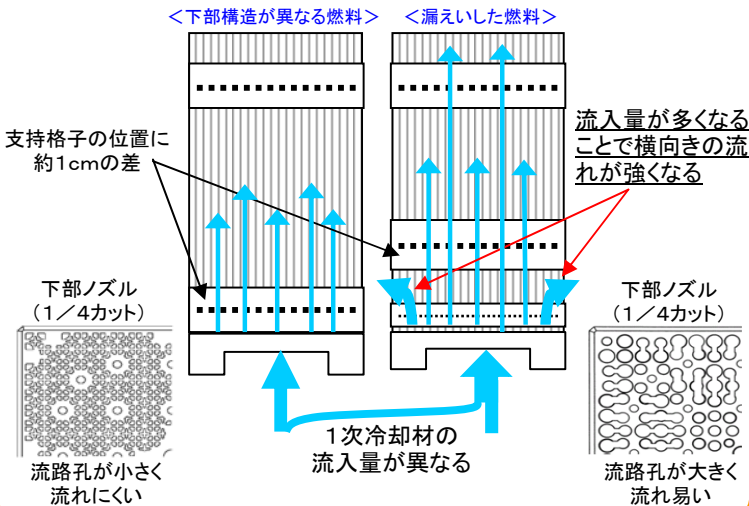
下部ノズルの流路孔が大きいことにより、燃料集合体内の流れの強さに差が生じ、この差により横向きの流れが生じる。

【燃料下部の拡大図】



要因 : 燃料の種類による流入量の相違

- ・下部構造の違う燃料が隣接すると、流れ易さの違いにより、1次冷却材の流入量が異なり、横向きの流れが強くなる。



摩耗の発生

燃料集合体の要因に加えて、炉心中央部の流れが強いことも加わり、横向きの流れが強くなり、燃料棒が通常よりも大きく振動し、フレットング摩耗が進展したと推定した。

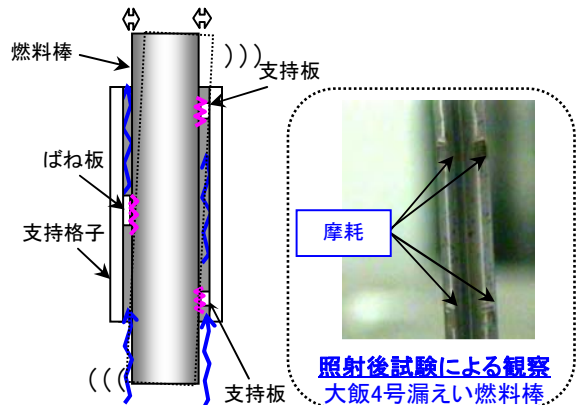
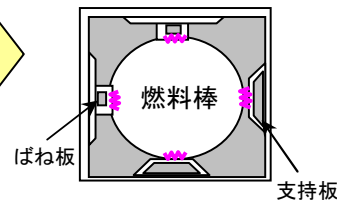


図-8 高燃焼度17×17A型燃料集合体の漏えい事象を踏まえた対策

対策(下部ノズルの設計変更)

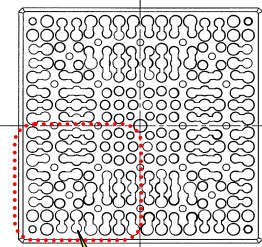
下部ノズルの設計を変更し流路孔を小さく(小径多孔化)することにより、以下の改善を図る。

- ・集合体内での1次冷却材の流れの強さの差を小さくする。
- ・下部構造の流れ易さの違いによる1次冷却材の流入量の差を解消する。

対策

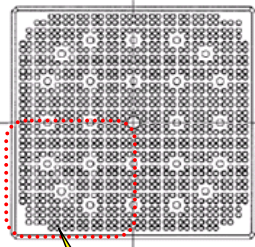
現行A型燃料

下部ノズル[上から見たもの]

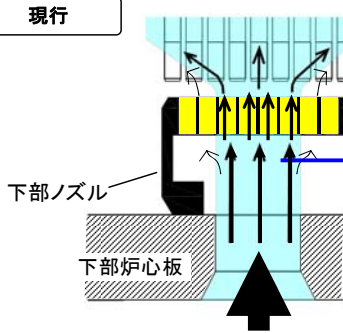


設計変更

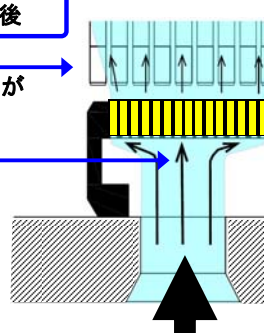
下部ノズルの流路孔を小さなものに変更



現行



変更後

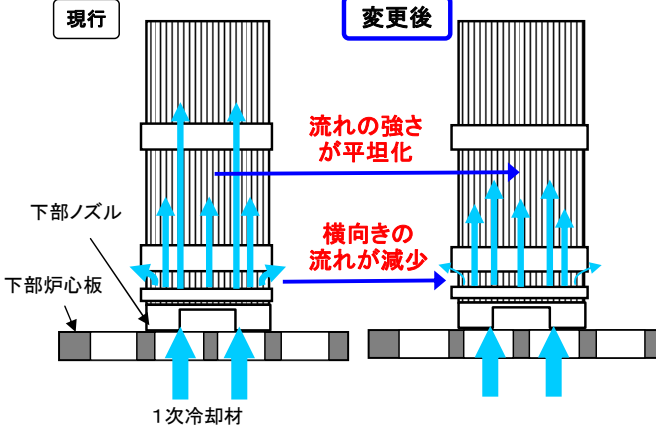


1次冷却材の流れが整えられる

流れが抑えられる

燃料集合体内の流れの強さの分布

現行



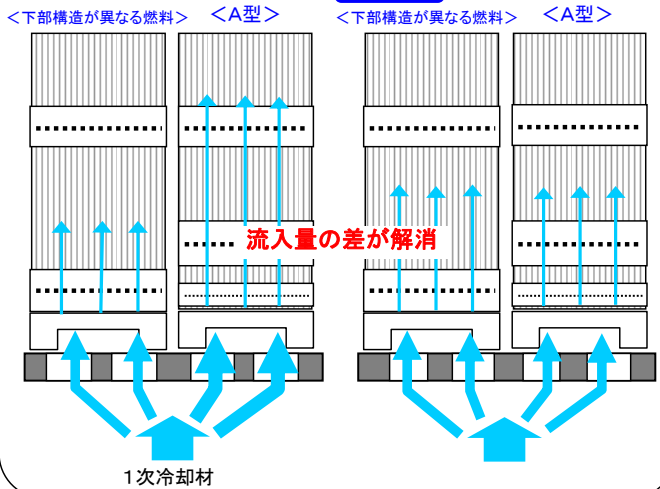
流れの強さが平坦化

横向きの流れが減少

1次冷却材

燃料の種類による流入量の差

現行



変更後

<下部構造が異なる燃料> <A型> <下部構造が異なる燃料> <A型>

流入量の差が解消

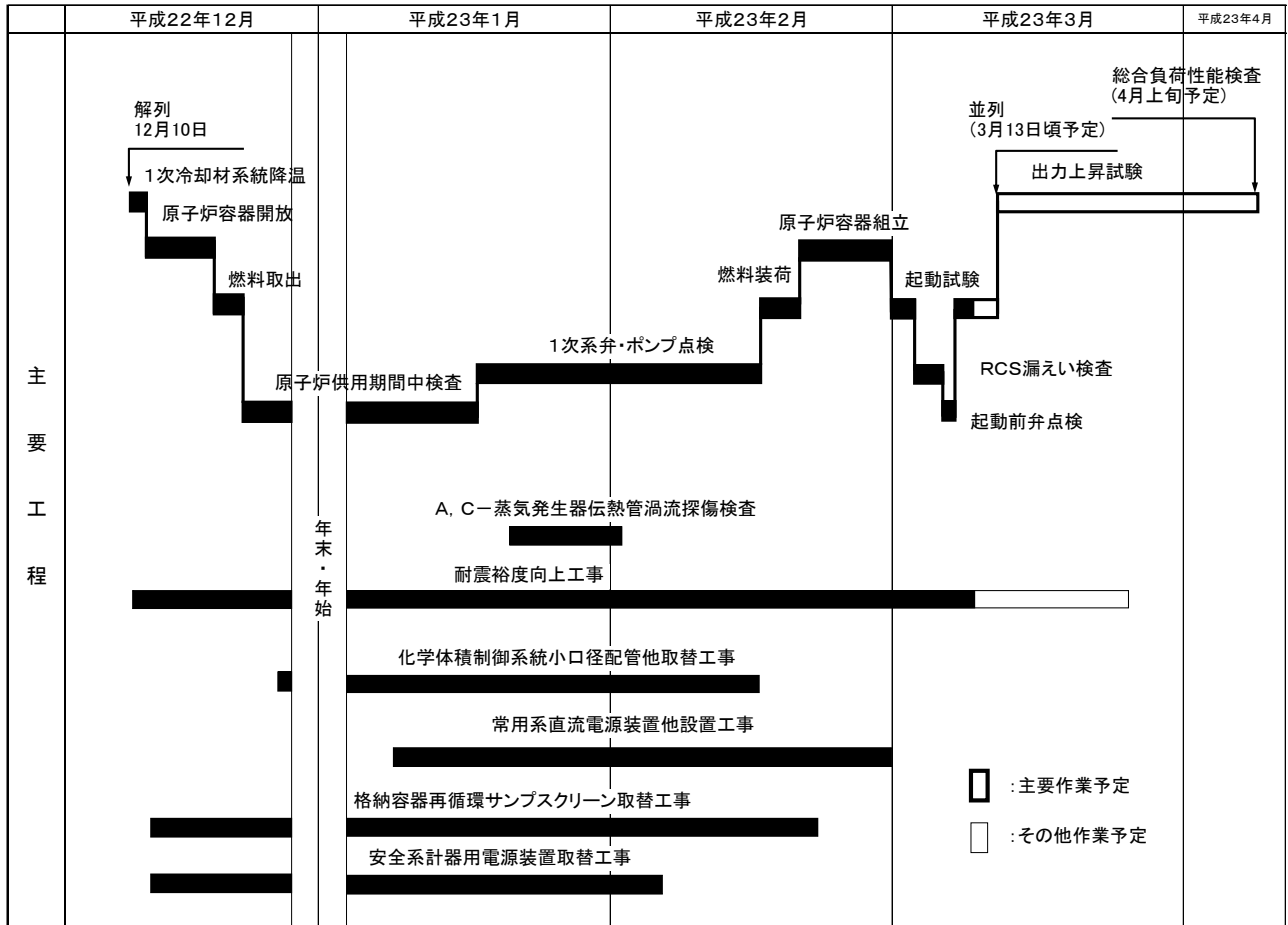
1次冷却材

横向きの流れが抑えられ、燃料棒が振動しにくくなる

大飯発電所1号機 第24回定期検査の作業工程

平成22年12月10日から、以下の作業工程で実施している。

(平成23年3月9日現在)



黒塗りは実績を表す。

[参考] 高経年化対策として実施した主な作業 ケーブル取替工事

事故発生時に使用する設備の電気・信号ケーブルは、長期健全性試験による評価を行った結果、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないが、他の製造メーカのケーブル評価から健全性を確認したケーブルについては、念のため取り替えを実施した。