

平成19年8月28日
原子力安全対策課
(19-44)
<11時資料配付>

敦賀発電所1号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第31回定期検査)

このことについて、日本原子力発電株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

敦賀発電所1号機（沸騰水型軽水炉；定格電気出力35.7万kW）は、平成19年2月16日から第31回定期検査を実施していたが、8月29日に原子炉を起動し、同日に臨界となる予定である。

その後、諸試験を実施し、9月1日～4日頃^{*}に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、9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。

※ タービンバランシング作業（調整運転開始前にタービンの回転数を上昇させて振動を測定し、振動が大きい場合には、タービンの車軸におもりを取り付け、振動が小さくなるように調整する作業）の実施の有無により、調整運転の開始が前後する。

平成19年5月上旬に発電を再開し、5月下旬に定期検査を終了する予定であったが、国の特別な検査や原子炉給水ポンプミニマムフロー配管曲がり部からの漏えい事象に対応するため、定期検査期間を延長した。

1 主要工事等

(1) 主発電機用励磁機取替工事 (図-1参照)

設備信頼性維持の観点から、主発電機用励磁機^{*}を同じ仕様の新品に取り替えた。

※ 励磁機とは、主発電機の回転子コイルに電流を供給するための機器。

(2) 原子炉圧力容器頭部冷却系配管改造工事 (図-2参照)

国内外BWRにおいて、水の放射線分解で発生した非凝縮性ガス（水素、酸素）が、配管内等で滞留し急速に燃焼することで配管が破断した事例に鑑み、運転中に流れがなく、非凝縮性ガスが滞留する可能性がある原子炉圧力容器頭部冷却系^{*}配管に、ガス抜き配管を設置した。

※ 原子炉圧力容器頭部冷却系とは、原子炉停止後の冷却過程において、容器上蓋側と中央部の温度差をなくす目的で、頭部に冷却水を供給する系統。

2 設備の保全対策

(1) 制御棒点検工事 (図－3 参照)

国内BWRにおいて、ハフニウム板型およびハフニウムフラットチューブ型の制御棒で損傷が認められたことから、現在使用している制御棒全73体のうち、ハフニウム板型制御棒4体とハフニウムフラットチューブ型制御棒9体について、十分な使用実績のあるボロンカーバイド型制御棒に取り替えた。

なお、これら13体の制御棒について外観目視点検を行った結果、異常は認められなかった。

※ ハフニウム板型およびハフニウムフラットチューブ型制御棒とは、中性子吸収材をボロンカーバイドからハフニウムに変更し、炉内での長期間使用を目的に開発されたもの。ハフニウム板型制御棒4体は、平成15年度定期検査時以降、停止用として使用していた。ハフニウムフラットチューブ型制御棒9体は、前回定期検査以降、制御用として使用していた。

なお、今回取替えにより、制御棒は全てボロンカーバイド型になった。

(2) 配管内円柱状構造物健全性確認検査 (図－4 参照)

配管内に差し込まれている円柱状の構造物として、原子炉冷却材浄化系等にある温度計ウェル12箇所とサンプリングノズル8箇所について、放射線透過試験にて形状を確認した上で、振動評価を行った結果、原子炉冷却材浄化系の温度計ウェルの2箇所では振動が発生する可能性があることと評価されたことから、当該2箇所について浸透探傷検査を実施し、健全性を確認した。

また、今後使用予定のないサンプリングノズルについて、現場確認で新たに確認された1箇所を含む合計3箇所を、撤去して閉止栓を取り付けた。

※ 平成7年の「もんじゅ」事故を踏まえ、各電力事業者は、配管内に設置されている円柱状構造物について、当時の知見をもとに流力振動が発生しないことを確認している。その後、日本機械学会で「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」が整備され、平成18年1月より技術基準として適用されたことから、今回改めて評価を行った。

なお、図面で形状が把握できた温度計ウェルなど69箇所については、流力振動が発生する可能性がないことを確認している。

(3) 原子炉圧力容器等の供用期間中検査 (図－5 参照)

供用期間中検査として、原子炉圧力容器溶接部の超音波探傷検査、原子炉再循環ポンプBのケーシング内面等および原子炉再循環ポンプCの入口弁の弁内面等の目視点検を実施し、異常がないことを確認した。

(4) 耐震裕度向上工事 (図－6 参照)

既設設備の耐震裕度を一層向上させるため、格納容器冷却系等の配管や中央制御室換気空調系の空調ダクトのサポート等を強化した。

また、非活性ガス系配管および原子炉再循環系配管分岐管のサポート強化を追加で行った。

(5) 給水系統等の配管点検工事 (図一 7 参照)

- ①美浜発電所 3 号機事故を踏まえ、給水・復水系統等の配管668箇所*について、肉厚測定を実施した結果、計算必要厚さを下回る箇所、および余寿命評価で次回定期検査までに計算必要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。

※ 今定期検査開始時には607箇所について肉厚測定を実施する計画であったが、下記の点について計画を見直し、668箇所の検査を実施した。

| | |
|-------------------------|----------|
| ・スケルトン図と現場との照合結果による変更 | 2箇所 |
| ・日本機械学会が制定した技術規格を踏まえた変更 | 44箇所 |
| ・敦賀発電所での減肉事象を踏まえた変更 | 15箇所 |
| | 計 61箇所追加 |

- ②原子炉給水ポンプミニマムフロー配管曲がり部からの漏えい事象の対策として、漏えい部位 1 箇所を新品の配管に取り替えた。また、259箇所について肉厚測定を実施した結果、計算必要厚さを下回る部位および次回定期検査までに計算必要厚さを下回ると評価された部位はなかったが、減肉傾向が認められた 1 箇所について、念のため、新品の配管に取り替えた。

以上をまとめると、今定期検査では、合計927箇所の肉厚測定を実施し、2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) 復水移送配管流量計からの水漏れ (図 8 - 1 参照)

定期検査中の平成19年 2 月 17 日、旧廃棄物処理建地下に設置されている床ドレンサンプの水位上昇を示す警報が発報したことから、現場を確認したところ、復水移送配管流量計から水が漏れていることが確認された。

当該流量計を点検したところ、パッキンの一部が外側にはみ出しており、テーパー管の全周の長さに差が認められた。このことから、パッキンの押さえつけが不均一で、復水移送系統の運転操作に伴い、押さえつけの弱い部分のパッキンが外側に押し出され、漏えいが発生したものと推定された。

当該流量計を新品に取り替えるとともに、同型の流量計を点検する際には、テーパー管の全長等を測定し、形状管理することを、作業要領書に反映した。

[平成19年 3 月 5 日、4 月 5 日 公表済]

(2) 格納容器冷却系海水配管からの漏えいに伴う炉心スプレイポンプ電動機の機能低下 (図8-2参照)

定期検査中の平成19年4月5日、原子炉建屋地下1階に設置されている格納容器冷却系熱交換器Aの出口弁（開放点検中）から海水が漏れ、階下の炉心スプレイポンプ2台の電動機上部に滴下していることが確認された。直ちに運転中のB系海水ポンプを停止し、熱交換器Aの水抜きを行い、漏えいを停止させた。漏えい量は約100リットルで、すべて回収された。また被水した2台の電動機を点検した結果、絶縁抵抗の低下等が認められた。

調査の結果、海水が漏れた出口弁の上流側の弁（隔離のため閉止中）で、止水（シート）機能の低下が認められたことから、当該弁から海水が流れ出し、下流側の点検開放中の弁から海水が漏れ出したものと推定された。

止水機能が低下していた弁を新品に取り替えるとともに、被水した電動機2台を含め、階下の機器・配管について点検および清掃を行った。

[平成19年5月2日、6月5日 公表済]

(3) 原子炉給水ポンプミニマムフロー配管曲がり部からの漏えい

(図8-3参照)

原子炉起動に向けて原子炉給水系統の水張りを行い、平成19年7月22日に復水ポンプ1台を運転した状態で、当該系統を点検していたところ、原子炉給水ポンプAのミニマムフロー配管曲がり部からの水の滴下が確認された。

当該部を切断して内面目視した結果、局所的な減肉とくぼみ状の浸食（エロージョン）が確認された。また、当該部を流れる水の圧力や温度から、二相流（蒸気と水が混在した流れ）が発生していたものと推定された。これらのことから、二相流が曲がり部に衝突して、浸食による減肉が発生したものと推定された。

対策として、当該曲がり部を二相流の衝撃を緩和する構造の配管に取り替えた。

[平成19年7月26日、8月6日、8月8日 公表済]

4 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数308体のうち、52体（全て新燃料集合体で9×9燃料集合体）を取り替えた。また、再装荷する燃料集合体4体の外観目視検査を実施した結果、異常は認められなかった。

5 発電設備の総点検結果を踏まえた特別な検査への対応

発電設備の総点検結果を踏まえ、以下の特別な検査を実施した。

- ・復水貯蔵タンク外面腐食の隠ぺい事象を踏まえ、タンクの肉厚測定や基礎ボルトの外観目視点検を追加で行い、異常がないことを確認。
- ・高圧注水系機能検査や自動減圧系機能検査などについて、準備段階ごとの現場確認、検査用機器の校正記録の確認、現場と中央制御室の2箇所に出ち会うなど、厳格な検査を実施。

また、気体廃棄物処理系機能検査や総合負荷性能検査におけるデータ改ざんに関しては、調整運転開始後、今定期検査終了までに特別な検査を実施する予定である。

6 次回定期検査の予定

平成20年 秋頃

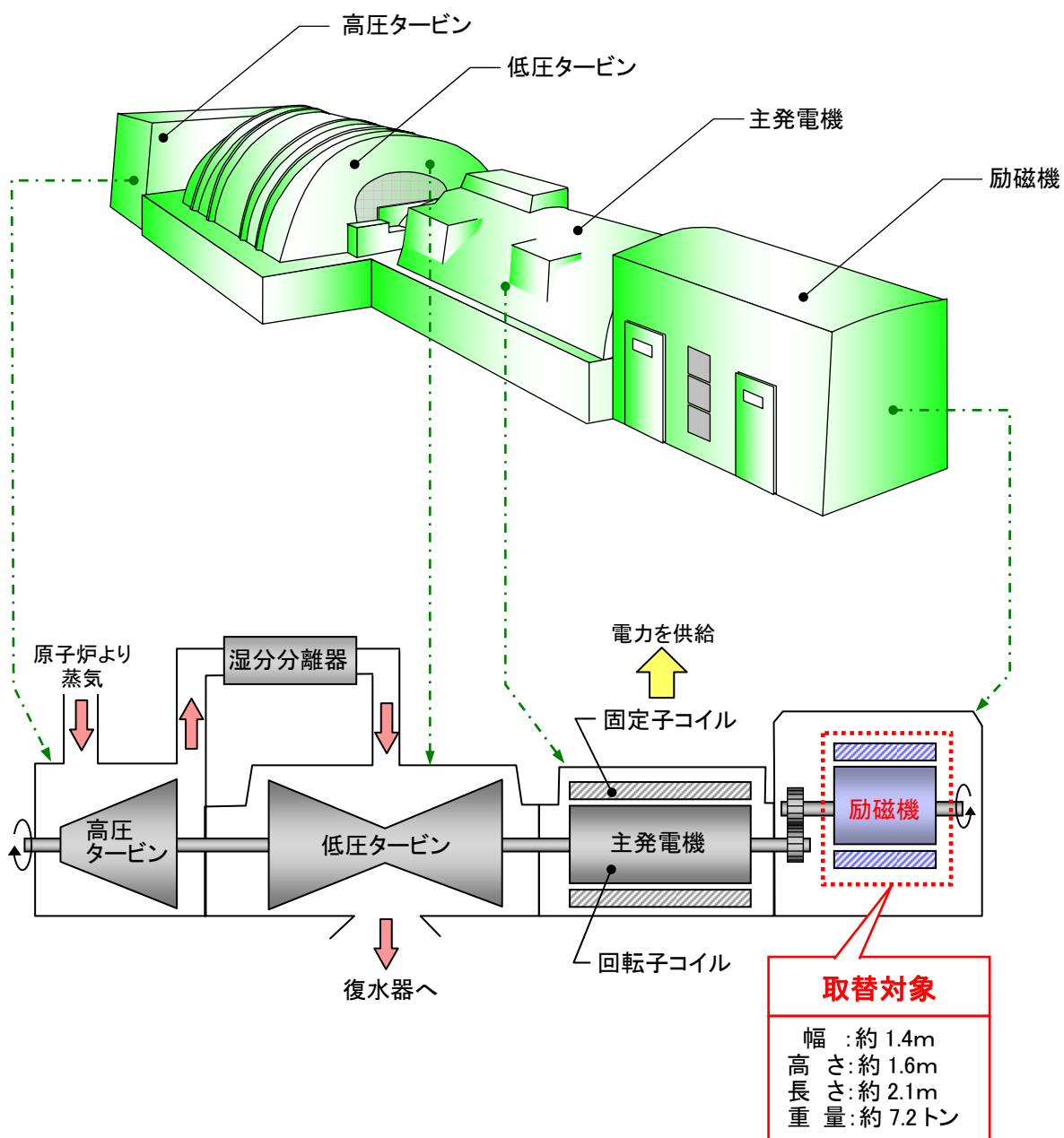
| |
|--|
| 問い合わせ先(担当：藤内) 内線2354・直通0776(20)0314 |
|--|

主発電機用励磁機取替工事

概要

設備信頼性維持の観点から、主発電機用励磁機※を同じ仕様の新品に取り替えました。

※励磁機:主発電機の回転子コイルに電流を供給するための機器。

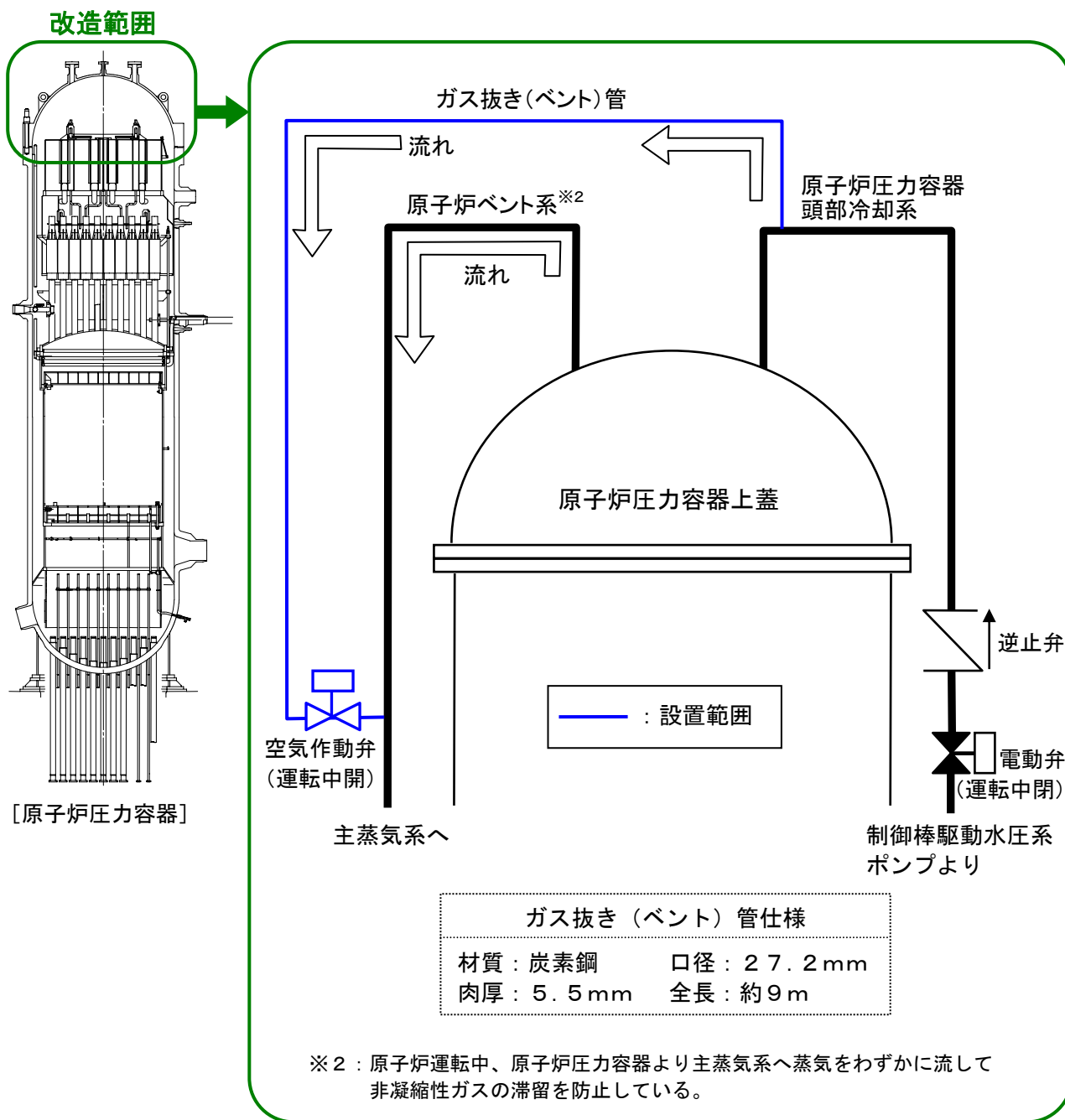


原子炉压力容器頭部冷却系配管改造工事

概要

国内外BWRプラントにおいて、水の放射線分解で発生した非凝縮性ガス（水素、酸素）が配管内等で滞留し急速に燃焼することで配管が破断した事例に鑑み、運転中に流れがなく、非凝縮性ガスが滞留する可能性がある原子炉压力容器頭部冷却系[※]配管に、ガス抜き配管を設置しました。

※：原子炉停止後に、原子炉压力容器の上部を冷却するための系統。

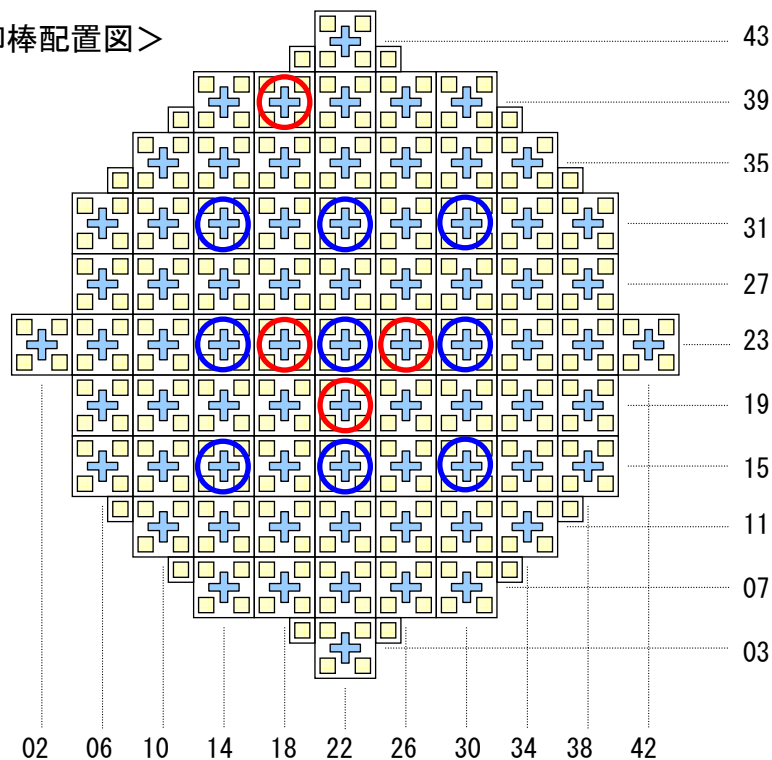


制御棒点検工事

概要

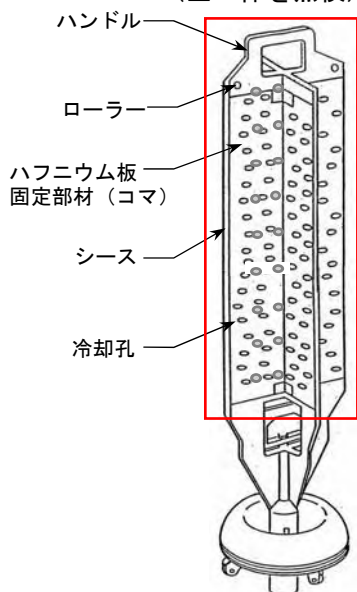
国内BWRプラントにおけるハフニウム板型およびハフニウムフラットチューブ型の制御棒で損傷が認められたことから、現在使用している制御棒全73体のうち、ハフニウム板型制御棒4体とハフニウムフラットチューブ型制御棒9体について、十分な使用実績のあるボロンカーバイド型制御棒に取り替えました。なお、これら13体の制御棒について外観目視点検を行った結果、異常は認められませんでした。

<制御棒配置図>

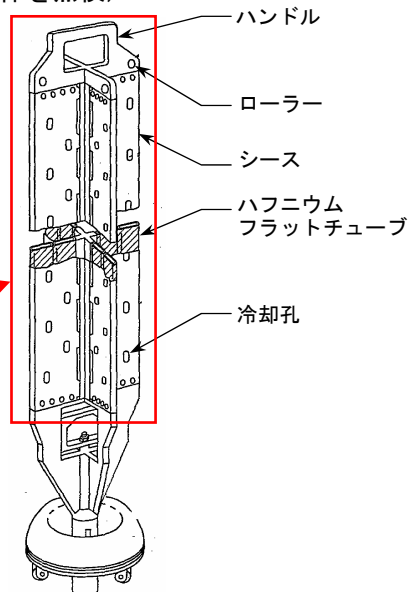


○ : ハフニウム板型制御棒
(全4体を点検)

○ : ハフニウムフラットチューブ型制御棒
(全9体を点検)



ハフニウム板型制御棒



ハフニウムフラットチューブ型制御棒

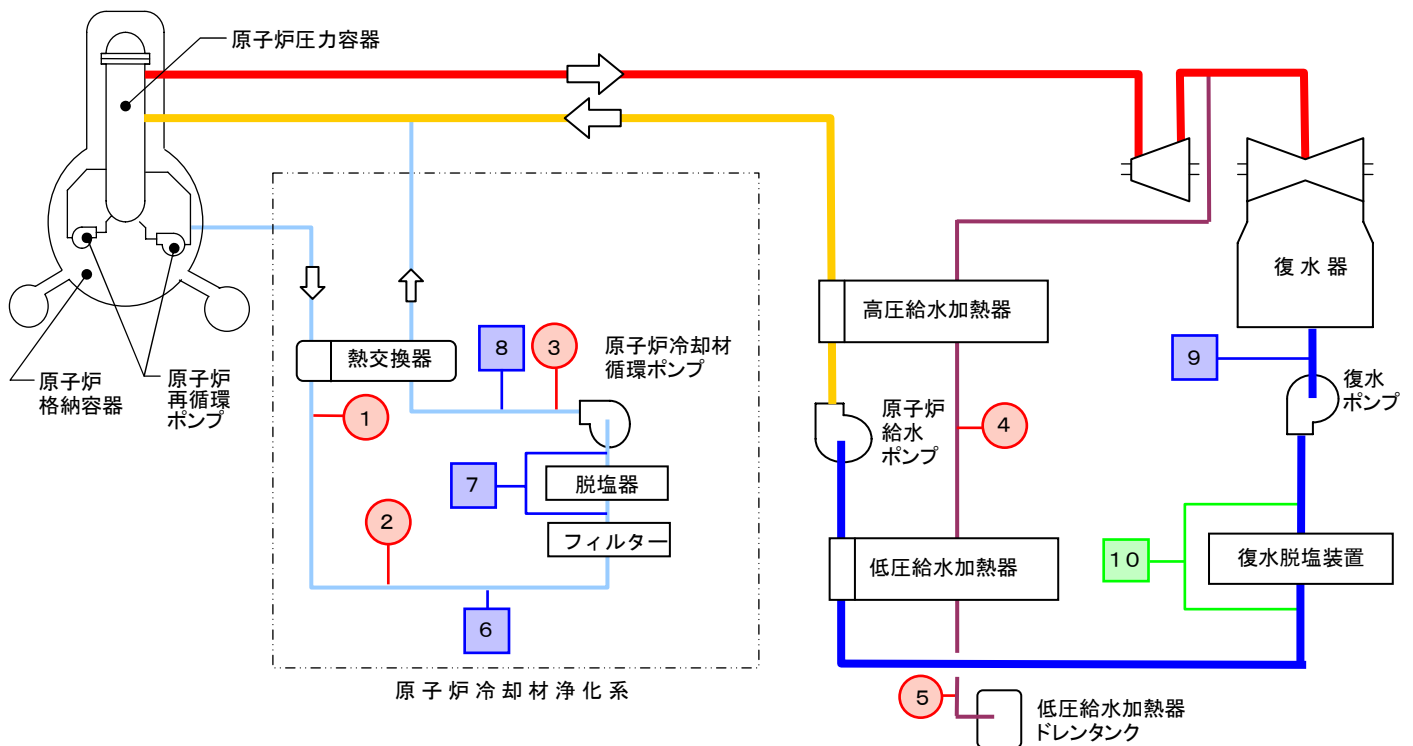
目視点検範囲

配管内円柱状構造物健全性確認検査

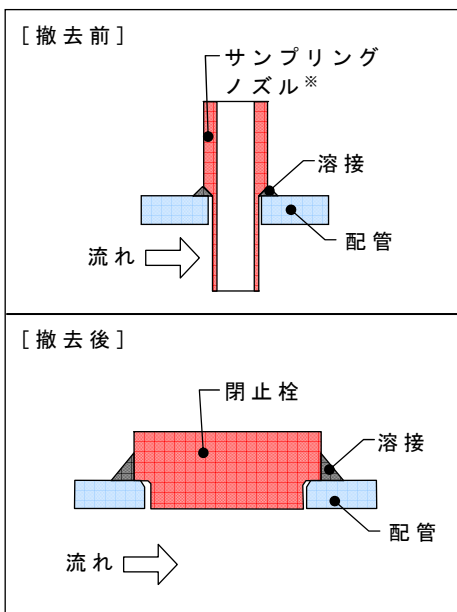
概要

配管内に差し込まれている円柱状の構造物として、原子炉冷却材浄化系等にある温度計ウェル12箇所とサンプリングノズル8箇所について、放射線透過試験にて形状を確認した上で、振動評価を行った結果、原子炉冷却材浄化系の温度計ウェルの2箇所では振動が発生する可能性があることと評価されたことから、当該2箇所について浸透探傷検査を実施し、健全性を確認しました。

また、今後使用予定のないサンプリングノズルについて、現場確認で新たに確認された1箇所を含む合計3箇所を、撤去して閉止栓を取り付けました。



◀ サンプリングノズルイメージ図 ▶



※：系統水を分析するために、水を取り出す配管

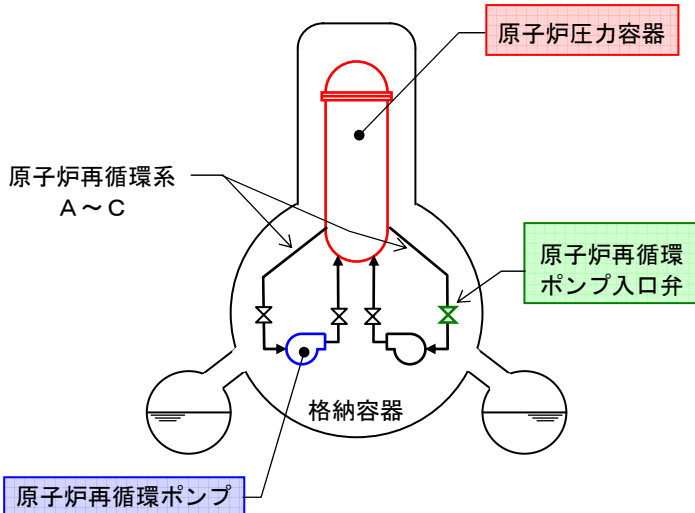
◀ 健全性確認対象 ▶

| | | | |
|---------------|-----------|-----------------|-----|
| 放射線透過検査にて形状確認 | 温度計ウェル | 原子炉浄化系 ① ② ③ | 6箇所 |
| | | ヒータードレン系 ④ ⑤ | 6箇所 |
| 浸透探傷検査にて健全性確認 | 温度計ウェル | 原子炉浄化系 ③ | 2箇所 |
| | サンプリングノズル | 原子炉浄化系 ⑥ ⑦ ⑧ | 6箇所 |
| 撤去 | サンプリングノズル | 復水系 ⑨ | 2箇所 |
| | | 復水系 ⑩ | 3箇所 |

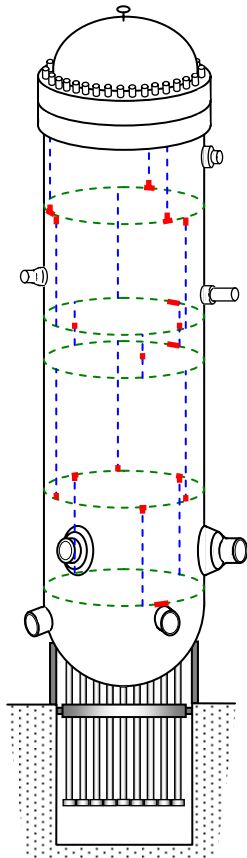
原子炉圧力容器等の供用期間中検査

概要

供用期間中検査として、原子炉圧力容器溶接部の超音波探傷検査、原子炉再循環ポンプBのケーシング内面等および原子炉再循環ポンプCの入口弁の弁内面等の目視点検を実施し、異常がないことを確認しました。



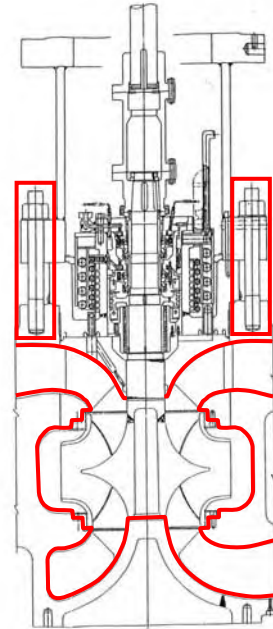
原子炉圧力容器溶接部 超音波探傷検査概要



- : クラス1機器供用期間中検査対象範囲
- - - : 胴長手方向溶接線(15本)
- - - : 胴周方向溶接線(5本)

1. 胴長手方向
15溶接線(39306mm)の10%が対象。
溶接線4300mmについて検査を実施しました。
2. 胴周方向
5溶接線(72935mm)の5%が対象。
溶接線3750mmについて検査を実施しました。

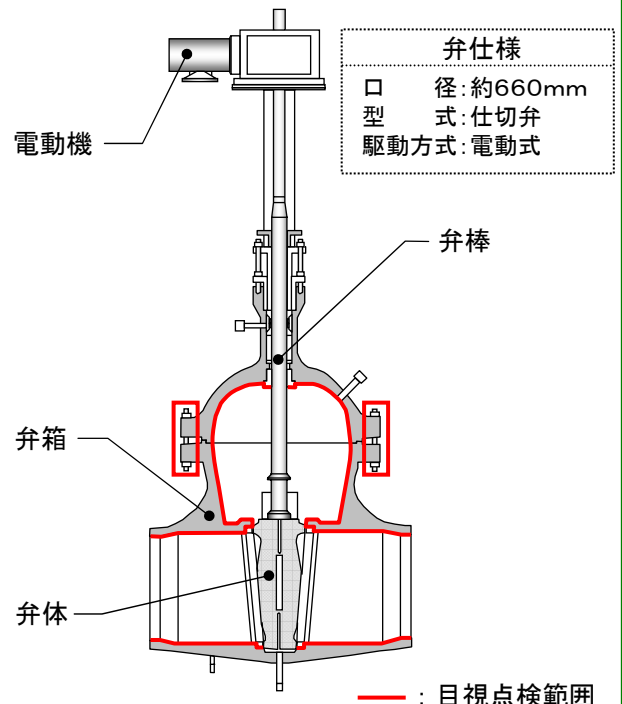
原子炉再循環ポンプB 検査概要



— : 目視点検範囲

原子炉再循環ポンプB本体を分解し、ケーシング内面等の目視点検を実施しました。

原子炉再循環ポンプC入口弁 検査概要



— : 目視点検範囲

原子炉再循環ポンプC入口弁を分解し、弁内面等の目視点検を実施しました。

耐震裕度向上工事

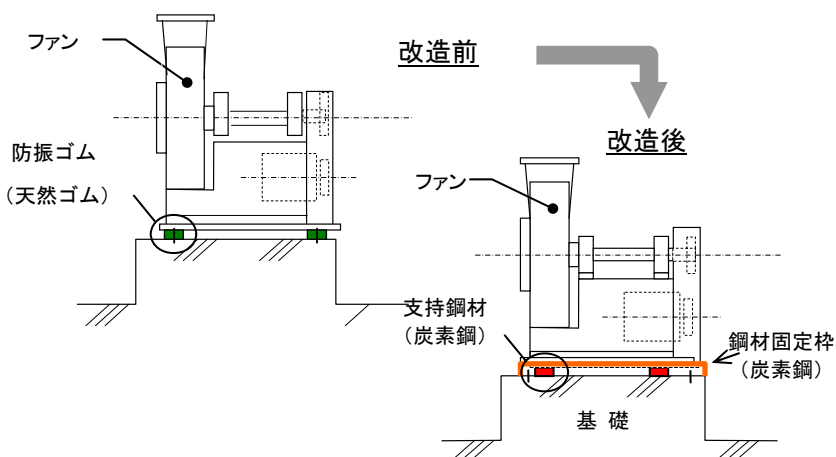
概要

既設設備の耐震裕度を一層向上させるため、格納容器冷却系等の配管や中央制御室換気空調系の空調ダクトのサポート等を強化しました。また、非活性ガス系配管と原子炉再循環系配管分岐管のサポート強化を追加で行いました。

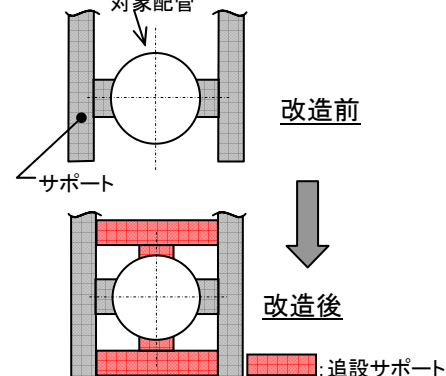
【工事箇所一覧】 * : 追加で実施したものを示します

| 系統名称 | 支持構造物の補強内容 | 改造箇所数 | 例示 |
|----------------|---------------------------|-------|----|
| 非常用ガス処理系 | 非常用ガス処理ファン基礎改造 | 1箇所 | ① |
| | 配管サポート改造 | 64箇所 | ② |
| 中央制御室換気空調系 | 中央制御室換気空調系ファンフィルターケーシング改造 | 2箇所 | ③ |
| | 空調ダクトサポート改造 | 22箇所 | ④ |
| 液体毒物注入系 | 配管サポート改造 | 8箇所 | ② |
| 格納容器冷却系 | 配管サポート改造 | 6箇所 | ② |
| * 非活性ガス系 | 配管サポート改造 | 33箇所 | ② |
| * 原子炉再循環系配管分岐管 | 配管サポート容量（配管を押さえる力）の増加 | 2箇所 | ⑤ |

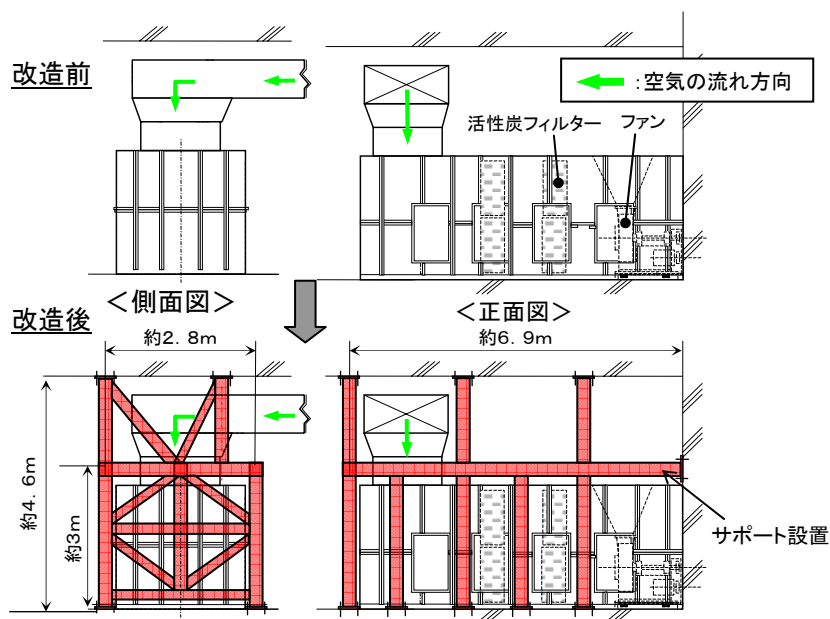
①ファン基礎改造



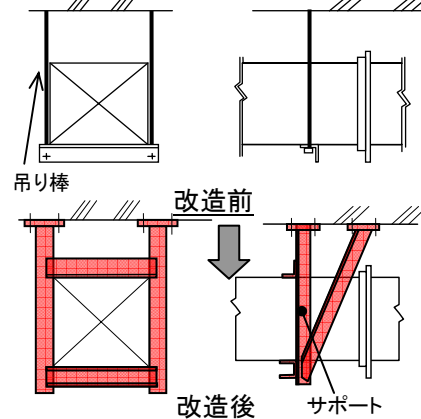
②配管サポート改造



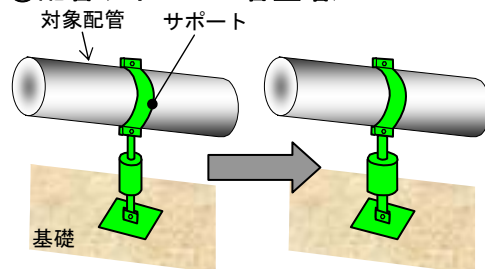
③中央制御室換気空調系ファンフィルターケーシング改造



④空調ダクトサポートの改造



⑤配管サポートの容量増加



給水系等の配管点検工事

1. 点検概要

定期検査開始時には、607箇所について肉厚測定を実施する計画であったが、原子炉給水ポンプミニマムフロー配管からの漏えい事象等を踏まえ、合計927箇所の肉厚測定を実施しました。

その結果、計算必要厚さを下回る個所および余寿命評価で次回定期検査までに計算必要厚さを下回る可能性があるとして評価された個所はありませんでした。

| 点検区分 | 点検対象部位*1 <>内は定期検査開始時点 | | 点検実施部位*2 <>内は定期検査開始時点 | 点検実施後の未点検部位 <>内は定期検査開始時点 |
|--------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | 総数 | 未点検部位 | | |
| 主要点検部位 [うち代表部位] | 475 <475> [175] | 202 <202> [12] | 145 <123> [12] | 70 <91> [0] *3 |
| その他点検部位 | 4,156 <4,152> | 3,572 <3,568> | 782 <484> | 2,798 <3,085> |
| 合計 | 4,631 <4,627> | 3,774 <3,770> | 927 <607> | 2,868 <3,176> |

*1 点検対象部位の定期検査開始時点からの変更

| | 総数 | 未点検部位 | 理由 |
|-------|----|-------|-----------------|
| その他部位 | 4 | 4 | スケルトン図と現場との照合結果 |

*2 点検実施部位の定期検査開始時点からの変更

| | 総数 | 未点検部位 | 理由 |
|--------|-----|-------|--|
| 主要点検部位 | 22 | 21 | 敦賀発電所での減肉事象を踏まえた追加 3箇所 漏えい事象を踏まえた追加 19箇所 |
| その他部位 | 298 | 287 | 機械学会の技術基準を踏まえた追加 44箇所 敦賀発電所での減肉事象を踏まえた追加 12箇所 スケルトン図と現場の照合結果 2箇所 漏えい事象を踏まえた追加 240箇所 |
| 合計 | 320 | 308 | |

*3 主要点検部位のうち代表部位については、今定期検査で全て点検完了となった。

2. 取替概要

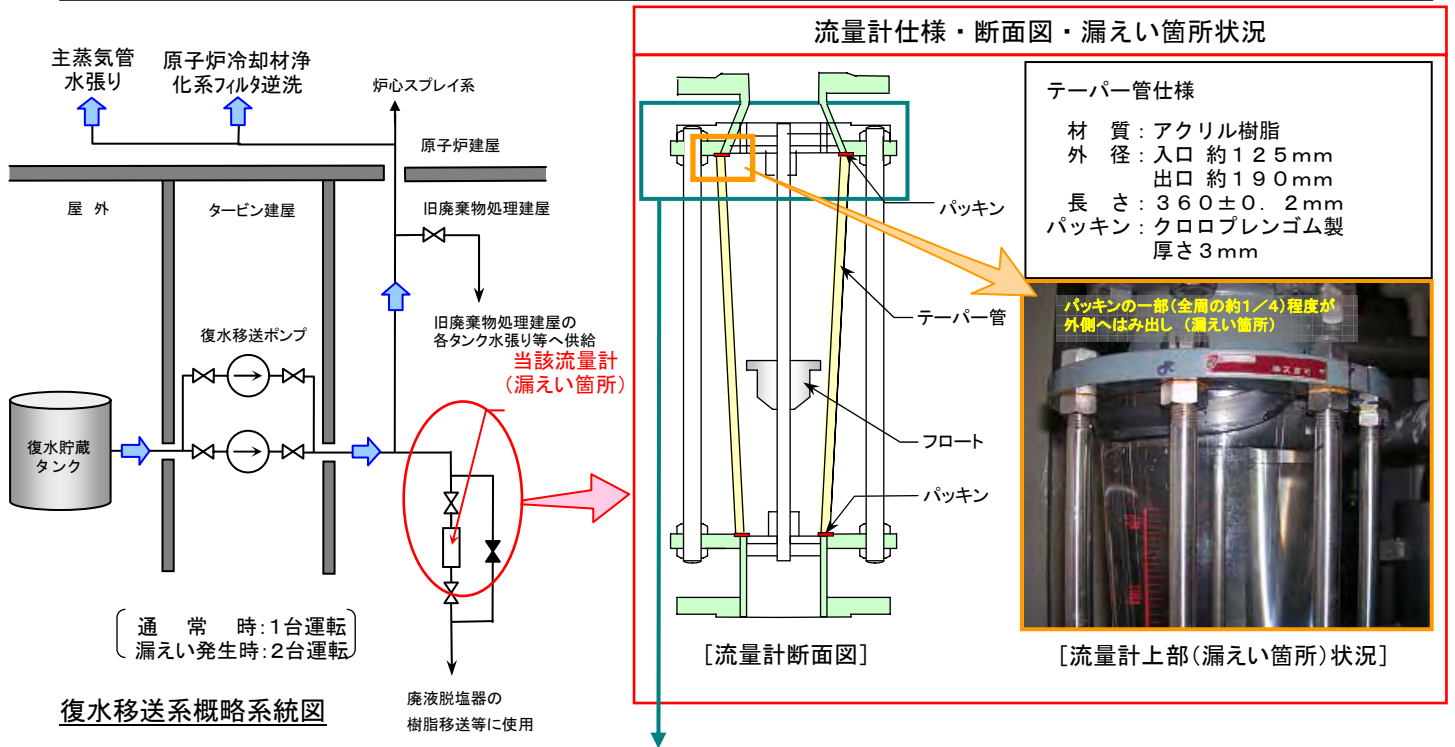
原子炉給水ポンプミニマムフロー配管からの漏えい事象を踏まえ、追加で2箇所の配管を新品に取り替えました。

- ①漏えいが確認された原子炉給水ポンプAミニマムフロー配管の曲がり部
(低合金鋼→低合金鋼)
- ②点検の結果、減肉が確認された原子炉給水ポンプBミニマムフロー配管の曲がり部
(低合金鋼→低合金鋼)

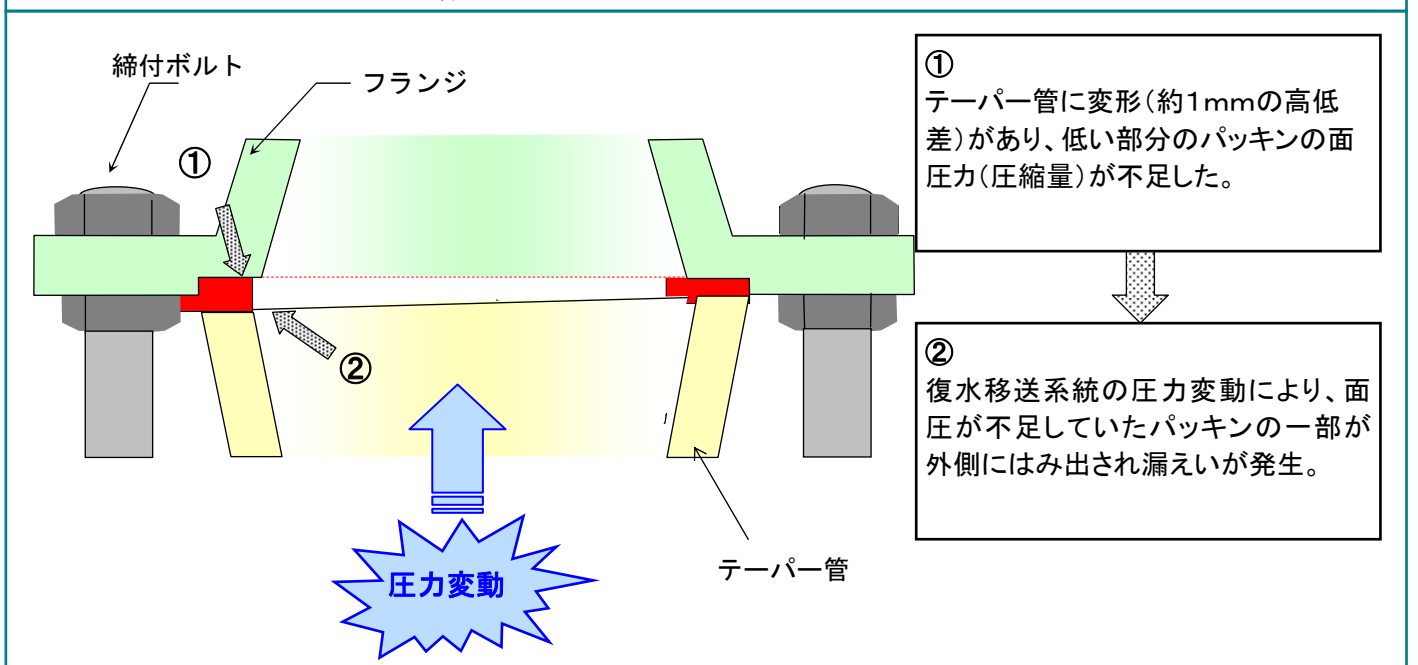
復水移送配管流量計からの水漏れ

概要

旧廃棄物処理建屋地下に設置されている床ドレンサンプの水位上昇を示す警報が発報したため、現場を確認したところ、同建屋1階の復水移送配管からの漏えいを確認しました。当該流量計を外観点検したところ、テーパー管とフランジ部の間に取り付けられたパッキンが外側にはみ出してあり、そこから漏えいが発生したものと推定されました。



漏えいのメカニズム



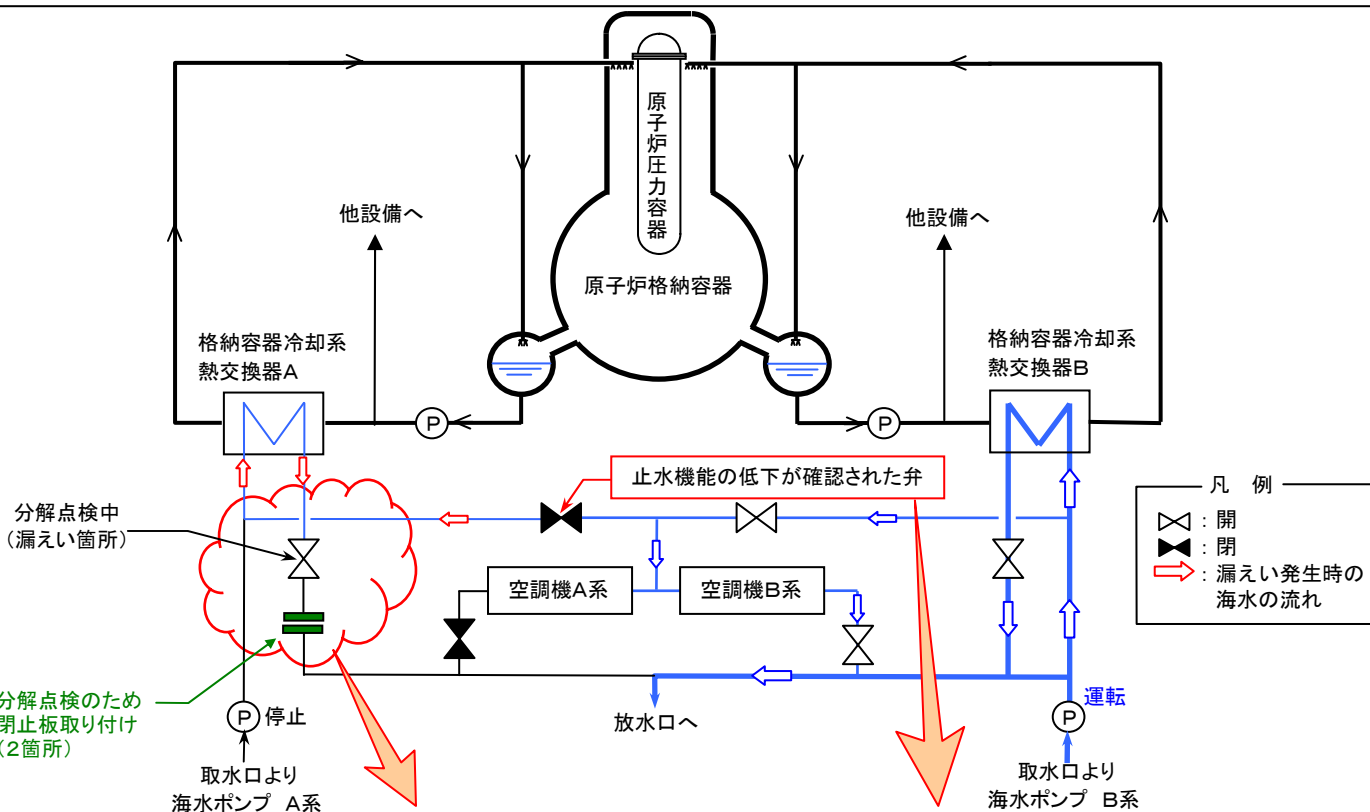
対策

- 当該流量計を、テーパー管の長さが均一な新品に取り替えました。
- 同型の流量計の点検においては、テーパー管の長さを測定し、変形(高低差)がないことを確認することとし、この旨を作業要領書に反映しました。

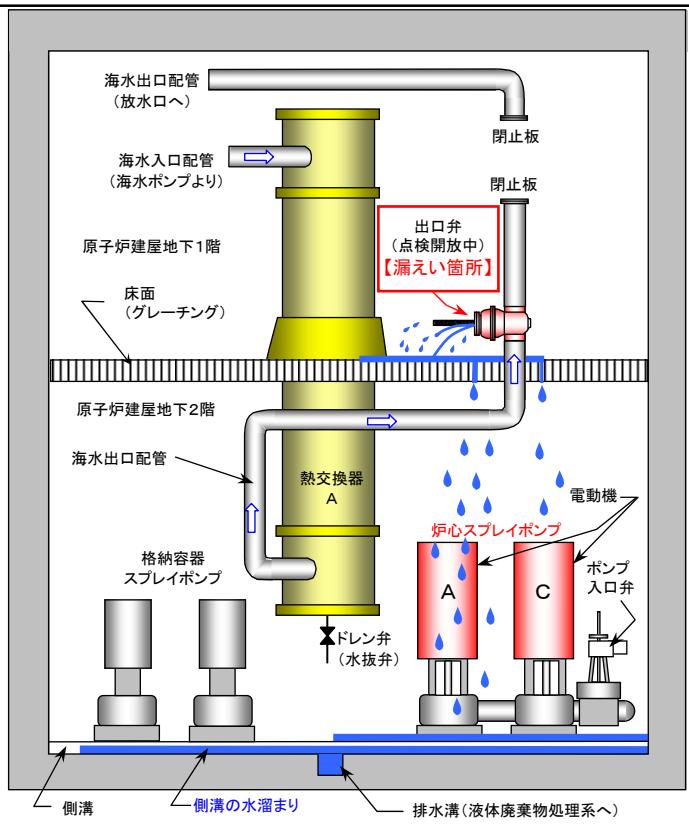
格納容器冷却海水配管からの海水漏えいに伴う炉心スプレイポンプ電動機の機能低下

概要

漏電を示す警報が発生したことから、点検を行なった結果、原子炉建屋地下1階に設置されている格納容器冷却系熱交換器A出口弁（開放点検中）から海水が漏れ出し、階下の炉心スプレイポンプ2台（A、C号機）のモータ上部に滴下しているのが確認されました。



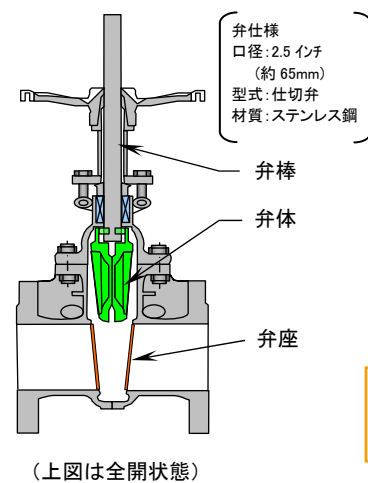
海水漏えい時の状況



弁の分解点検結果

弁構造図

弁体



スケールの剥離
[当たりの強い部分]

スケールの付着
[当たりの弱い部分]

推定原因

隔離のために閉止した1台の弁で止水（シート）機能が低下していました。当該弁を分解点検したところ、弁体と弁座の当たりが不均一であったため、漏えいが発生し、下流側の点検開放中の弁から海水が漏れ出ました。

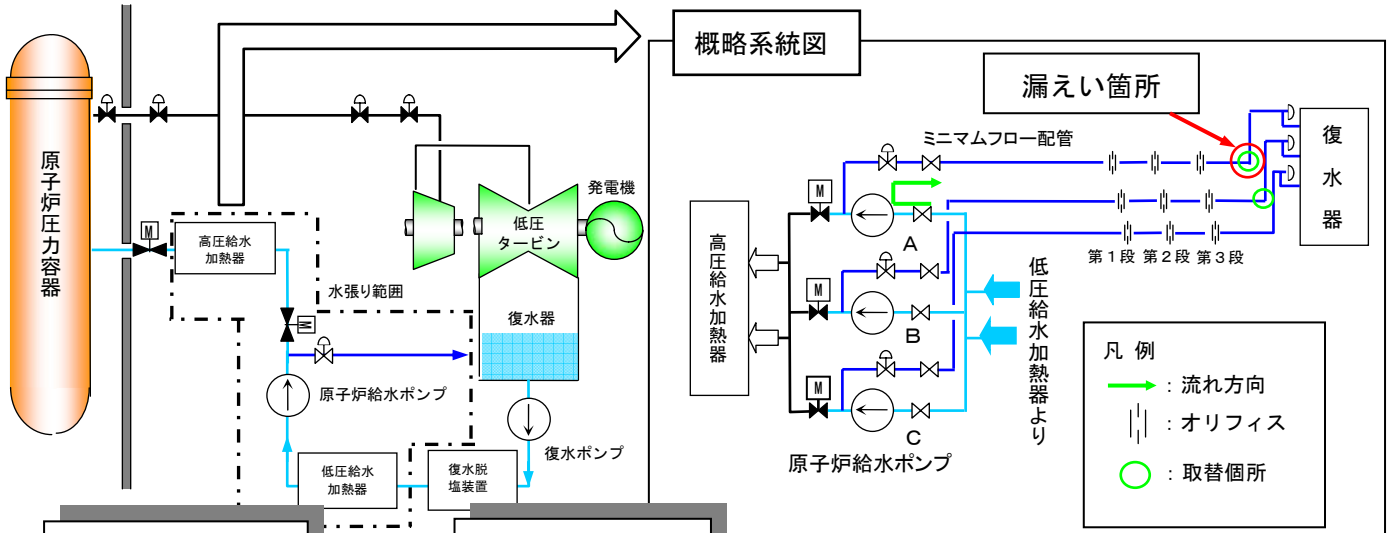
対策

- ・止水機能が低下していた弁を新品の弁に取替えました。また、被水した電動機2台を含め、階下の機器・配管について点検および清掃を実施しました。
- ・海水システムの隔離作業において、ポンプ等を起動し、水圧を高めた状態で、閉止弁下流側への漏れがないことを確認するよう所内規程に定め、関係者に周知しました。

概要

復水ポンプ 1 台運転にて原子炉給水系統の水張りを行ったところ、原子炉給水ポンプ A のミニマムフロー配管* 曲がり部から水の滴下が確認されました。

* : ミニマムフロー配管 : 原子炉給水ポンプの必要最低流量を確保するために敷設されている配管で、復水器に接続されている。当該配管は、ポンプ起動及び停止操作時に主に使用され、通常運転中には使用されていない。



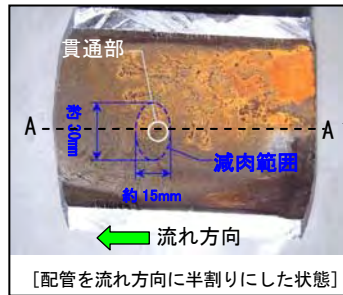
漏えい箇所写真



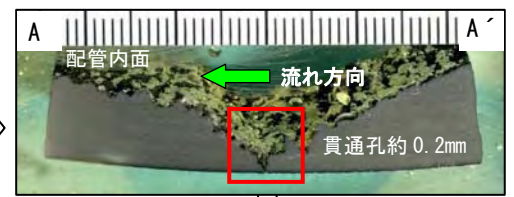
配管仕様
 外径 : 約 114mm
 肉厚 : 約 11mm
 材質 : 低合金鋼

内面観察結果

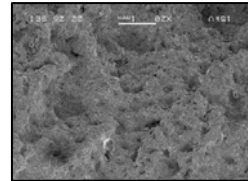
【内面観察写真】



減肉は局所的であった。



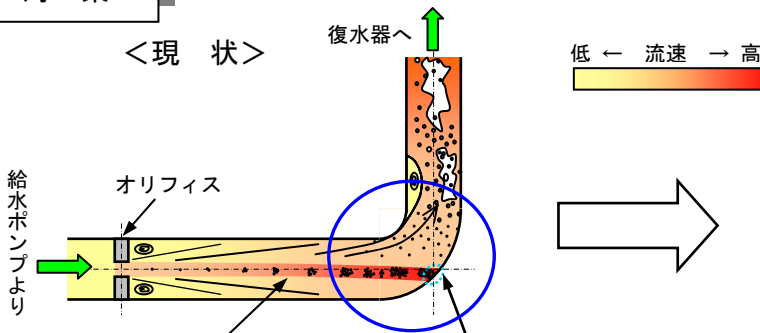
【SEM観察写真】



くぼみ状の浸食が見られた。

対策

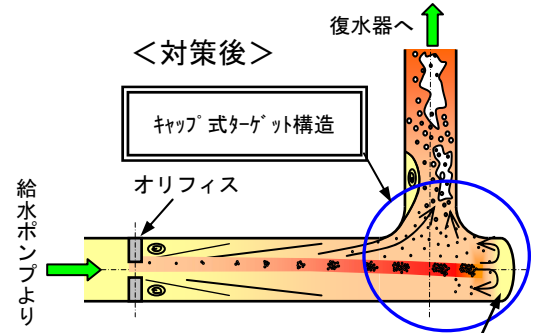
<現 状>



減圧沸騰により高速の 2 相流が発生

曲がり部の背側に衝突した 2 相流の衝撃により浸食による減肉が発生。この減肉が徐々に進行し貫通。

<対策後>



T 分岐管の先端部に取付けたキャップ部に停滞した水で、流体の流れを直接受け止め、その衝撃を緩和し T 枝管側に流れを逃がすため、減肉しにくい。

