

県内原子力発電所の最近の異常事象について

1 プラント操作に係る事象（計画外の環境放出事象、原子炉安全系の警報発信）

- 1-1 美浜 1 号機 定期的な放射性気体廃棄物放出時の警報発信
- 1-2 大飯 2 号機 「1 次冷却材平均温度異常低」警報の発信

2 配管減肉事象

- 2-1 大飯 2 号機 2 次系主給水配管曲がり部の減肉
- 2-2 大飯 2 号機 湿分分離加熱器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止

3 施工不良に伴う事象

- 3-1 美浜 1 号機 湿分分離器ドレンタンク水面計取出しフランジからの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止
- 3-2 敦賀 1 号機 使用済燃料貯蔵池冷却系プリコートポンプ出口流量計からの水漏れ

4 その他事象

- 4-1 高浜 2 号機 制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良
- 4-2 高浜 1 号機 A-非常用ディーゼル発電機の待機除外

5 応力腐食割れ事象

- 5-1 高浜 2 号機 蒸気発生器入口管台溶接部での傷

平成 1 9 年 1 2 月 2 5 日

福井県安全環境部原子力安全対策課

平成19年度安全協定に基づく異常事象報告一覧

(平成19年12月25日現在)

| 件番 | 発電所名 | 発生日 | 事象発生時 運転状況 | 事象概要 | 影響等 | 国への報告区分 |
|----|-------|-------------|----------------------|---------------------------------------|------|---------|
| | | 終結日 | | | | 評価尺度 |
| 1 | 敦賀1号機 | H19. 4. 5 | 定期検査中 | 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 | — | — |
| | | H19. 6. 1 | | | | — |
| 2 | 美浜1号機 | H19. 4. 17 | 定期検査中 | 原子炉格納容器内の壁面からの水のにじみ | — | — |
| | | H19. 8. 3 | | | | — |
| 3 | 美浜3号機 | H19. 4. 25 | 定期検査中 | 蒸気発生器2次側管板上面での異物確認 | — | — |
| | | H19. 7. 9 | | | | — |
| 4 | 敦賀発電所 | H19. 5. 2 | 1号機:定期検査中 2号機:運転中 | 補助ボイラーの定期事業者検査の未実施 | — | — |
| | | H19. 6. 27 | | | | — |
| 5 | 美浜3号機 | H19. 5. 28 | 定期検査中 | 発電機部品(ケーシングボルト)運搬中の負傷 | — | — |
| | | H19. 6. 4 | | | | — |
| 6 | 美浜3号機 | H19. 6. 8 | 定期検査中 | A蓄圧タンク窒素供給系統からのわずかな窒素漏れ | — | — |
| | | H19. 7. 2 | | | | — |
| 7 | 敦賀1号機 | H19. 7. 22 | 定期検査中 | 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 | — | — |
| | | H19. 8. 22 | | | | — |
| 8 | 大飯1号機 | H19. 8. 10 | 運 転 中 | B-非常用ディーゼル発電機の待機除外 | — | — |
| | | H19. 8. 11 | | | | — |
| 9 | 大飯1号機 | H19. 9. 3 | 運 転 中 | 1次冷却材ポンプ封水注入フィルタからの漏れに伴う原子炉手動停止 | 手動停止 | 法律 |
| | | H19. 9. 10 | | | | 0- |
| 10 | 大飯2号機 | H19. 9. 11 | 運 転 中 | 復水処理建屋内での配管点検準備作業中の負傷 | — | — |
| | | H19. 9. 19 | | | | — |
| 11 | 敦賀1号機 | H19. 9. 25 | 定期検査中 (調整運転中) | 原子炉再循環ポンプメカニカルシールの機能低下に伴う原子炉手動停止 | 手動停止 | — |
| | | H19. 10. 7 | | | | — |
| 12 | 美浜2号機 | H19. 9. 25 | 定期検査中 | A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷 | — | 法律 |
| | | | | | | 0-(暫定) |
| 13 | 高浜3号機 | H19. 9. 28 | 運 転 中 | A-非常用ディーゼル発電機の待機除外 | — | — |
| | | H19. 9. 29 | | | | — |
| 14 | 高浜2号機 | H19. 10. 2 | 定期検査中 | 制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良 | — | 法律 |
| | | | | | | 0+(暫定) |
| 15 | 敦賀2号機 | H19. 10. 18 | 定期検査中 | 蒸気発生器入口管台溶接部での傷 | — | 法律 |
| | | | | | | 0-(暫定) |
| 16 | 大飯3号機 | H19. 10. 24 | 運 転 中 | プラント排気筒からの僅かな希ガスの放出 | — | — |
| | | H19. 10. 31 | | | | — |
| 17 | 高浜1号機 | H19. 11. 5 | 運 転 中 | A-非常用ディーゼル発電機の待機除外 | — | — |
| | | H19. 11. 8 | | | | — |
| 18 | 大飯2号機 | H19. 11. 7 | 定期検査中 | 2次系主給水配管曲がり部の減肉 | — | 法律 |
| | | H19. 12. 9 | | | | 0-(暫定) |
| 19 | 敦賀1号機 | H19. 11. 11 | 運 転 中 | 使用済燃料貯蔵池冷却系プリコートポンプ出口流量計からの水漏れ | — | — |
| | | H19. 12. 20 | | | | — |
| 20 | 高浜2号機 | H19. 12. 4 | 定期検査中 | 蒸気発生器入口管台溶接部での傷 | — | 法律 |
| | | | | | | 0-(暫定) |
| 21 | 美浜1号機 | H19. 12. 5 | 運 転 中 | 湿分離器ドレンタンク水面計取出しフランジからの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止 | 手動停止 | — |
| | | H19. 12. 16 | | | | — |
| 22 | 美浜1号機 | H19. 12. 6 | 停 止 中 | 定期的な放射性気体廃棄物放出時の警報発信 | — | — |
| | | H19. 12. 11 | | | | — |
| 23 | 大飯2号機 | H19. 12. 13 | 定期検査中 (原子炉起動中) | 「1次冷却材平均温度異常低」警報の発信 | — | — |
| | | H19. 12. 18 | | | | — |
| 24 | 大飯2号機 | H19. 12. 15 | 定期検査中 (原子炉起動中) | 湿分離加熱器空気抜き管からの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止 | 手動停止 | — |
| | | H19. 12. 23 | | | | — |

事象の状況

- ・ 湿水分離器ドレンタンク水面計取出しフランジからの蒸気漏れへの対応のため、12月6日3時26分に原子炉を停止し、同日17時35分にD-ガス減衰タンクに貯留している希ガスの管理放出作業を開始した。
- ・ この放出作業中に補助建屋排気筒ガスモニタの指示値が上昇（通常約850cpm→約4200cpm）し、17時39分に警報（設定値2000cpm）が発信。直ちに放出作業を停止した結果、モニタの指示値は低下し、17時49分に通常値に戻った。
- ・ 指示値上昇に伴う環境中に放出された希ガスの量は、約 $8.3 \times 10^8 \text{ Bq}$ と評価。保安規定に基づく美浜発電所の希ガスの放出管理目標値（ $2.1 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$ ）に比べ250万分の1以下と十分低く、周辺環境等への影響はなかった。（発電所周辺の環境放射線監視用ポストの指示値に有意な変化なし）

調査結果

○管理放出作業の調査結果

- ・ D-ガス減衰タンク内の希ガスは98日間減衰され、前日測定した放射能濃度測定でも十分に減衰（ 85.8 Bq/cm^3 ）されていることを確認していた。
- ・ この放出作業に伴う弁操作等は手順書に基づき実施され、D-ガス減衰タンクの圧力変化も僅かで急激な放出はなかった。

○放出系統設備の調査結果

- ・ 高濃度の希ガスがガス減衰タンクの放出経路に流入する可能性のある系統を調査した結果、体積制御タンク側につながっているガス分析系統の弁（ガス減衰タンク分析ライン止め弁）にシート漏れが認められた。
- ・ 当該弁を分解点検したところ、弁シート面の2箇所に漏えい跡があり、そのうちの1箇所には微小な異物（金属粉）が認められた。

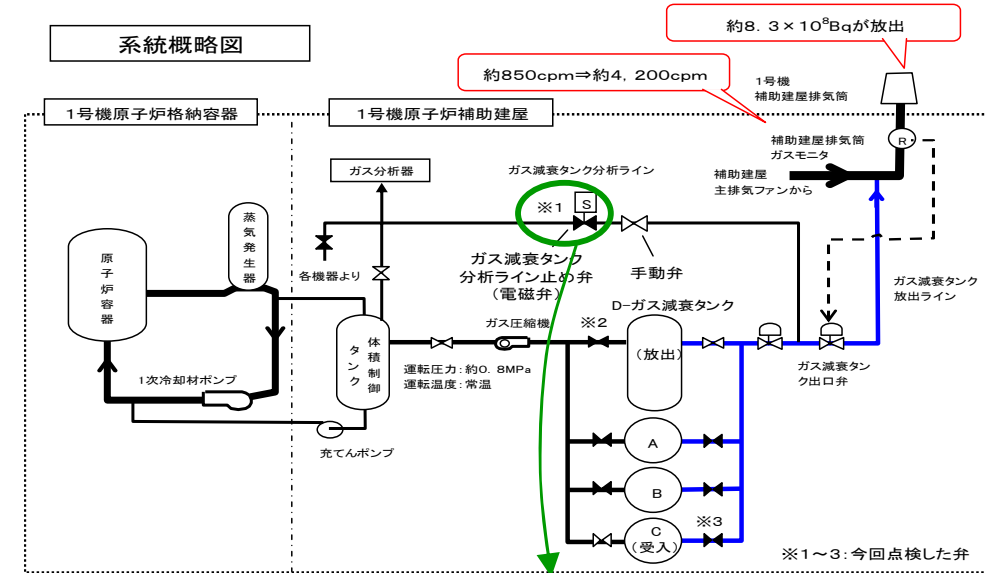
原因

- ・ 警報発信当時、ガス分析系統では、連続して体積制御タンク内のガス分析を行っており、当該弁のシート漏れにより、放出作業開始前に、体積制御タンク内の高濃度の希ガス（約 $3 \times 10^4 \text{ Bq/cm}^3$ ）がガス減衰タンク放出系統の配管内に滞留していた。
- ・ この状態で、減衰タンクの希ガス放出作業を行った結果、滞留していた高濃度の希ガスと体積制御タンク内の希ガスの一部が補助建屋排気筒から排出され、補助建屋排気筒のモニタの指示値が上昇し、警報が発信したものと推定された。

対策

- ・ シート漏れがあったガス減衰タンク分析ライン止め弁を予備品に取り替えた。
- ・ ガス減衰タンク分析ライン止め弁に加え、その上流側の弁を閉めることにより系統隔離を強化した。

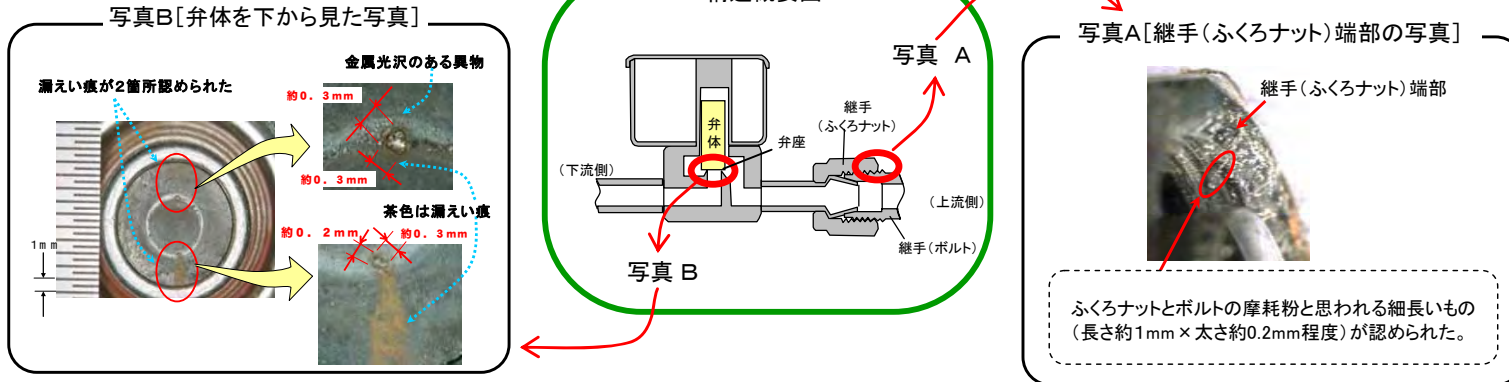
状況図



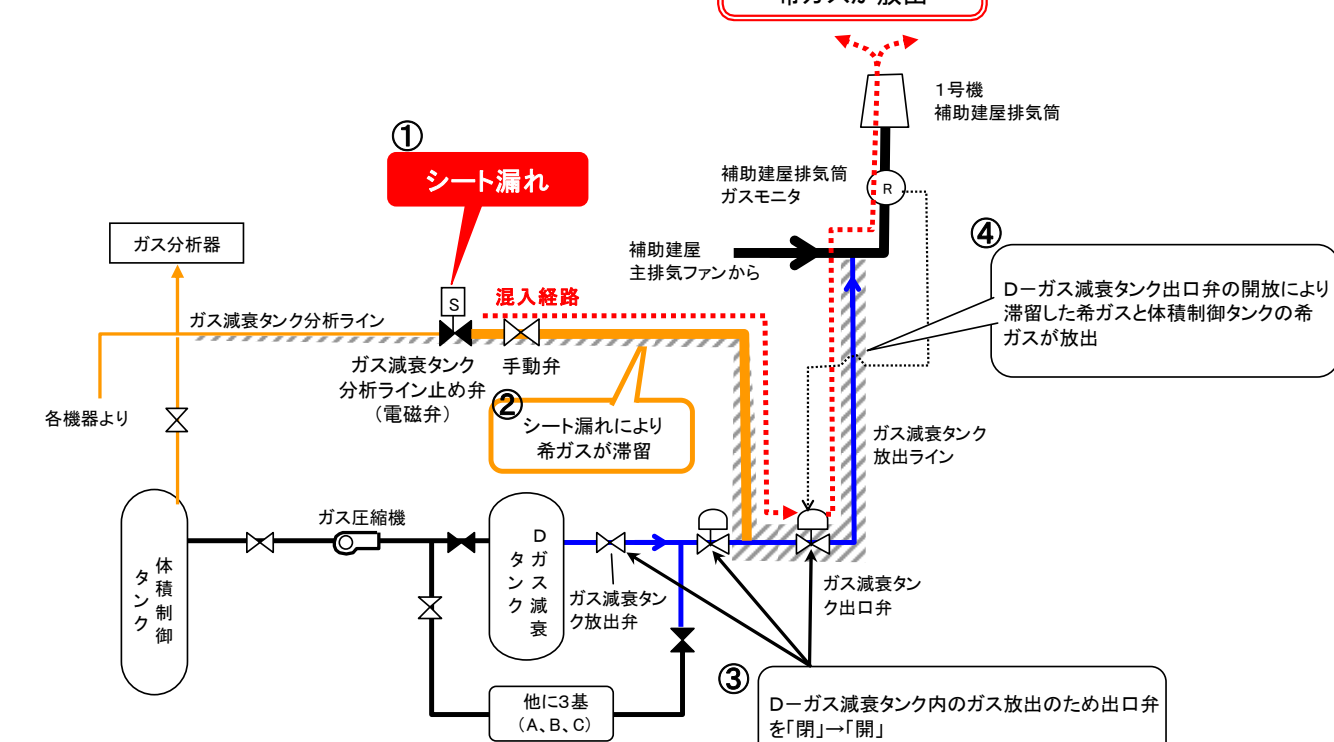
○ガス減衰タンク
原子力発電所の運転に伴い発生する放射性気体廃棄物（希ガス）の放射能を減衰させるために、一時的に希ガスを貯留するタンク（全4台）。放射能が減衰したことを確認し、定期的に希ガスを管理放出する。

○美浜発電所の放射性気体廃棄物（希ガス）の放出実績
H18年度: $2.3 \times 10^9 \text{ Bq}$
H17年度: $1.2 \times 10^9 \text{ Bq}$
H16年度: $1.9 \times 10^9 \text{ Bq}$

ガス減衰タンク分析ライン止め弁 構造概要図



補助建屋排気筒のモニタの指示の経緯



事象の状況

- 第21回定期検査の最終段階である調整運転開始に向け、平成19年12月12日19時00分に原子炉を起動、翌13日0時30分に臨界とし、原子炉出力1~2%で炉物理試験※1を実施した。
- その後、原子炉出力を0%に戻すため、16時46分~16時53分にかけて制御棒の挿入操作を行ったところ、17時05分に「1次冷却材平均温度異常低」警報※2が発信した。
- 警報発信時の状況を確認したところ、原子炉入口と出口の1次冷却材の平均温度(289.1℃)が警報設定値(289.4℃)を下回っていた。
- 原子炉出口温度を回復するため、直ちに制御棒の一部を僅かに引き抜くなどの操作を行い、17時24分に当該警報は復帰した。

- ※1 炉物理試験：原子炉臨界状態（原子炉出力1~2%）で、制御棒や1次冷却材中のホウ酸が原子炉を停止させる能力や、炉内の出力分布を確認する試験。
- ※2 「1次冷却材平均温度異常低」警報：主蒸気管が破断した場合、主蒸気が大量に放出するとともに、1次冷却材の温度が低下することから、主蒸気流量と1次冷却材平均温度を監視することで、主蒸気管破断を検知する。今回の事象では主蒸気流量に有意な変動はなく、主蒸気管が破断したものではない。

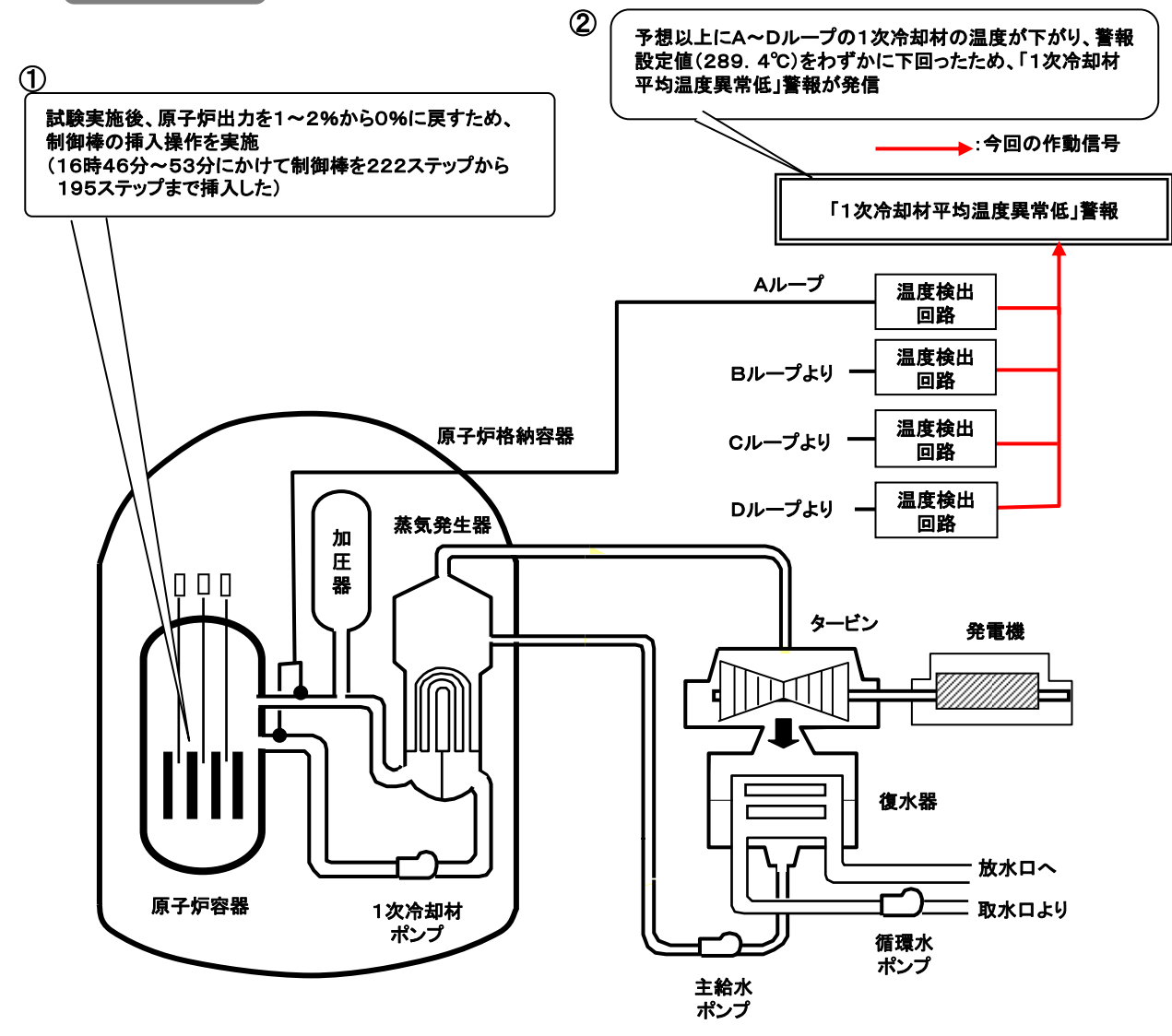
推定原因

炉物理試験後の復旧操作開始時の原子炉出力が通常より若干高く、予想通りに原子炉出力が低下しなかったことから、3回の制御棒挿入操作を行った。
その結果、制御棒挿入操作に伴う1次冷却材平均温度の低下幅が通常よりも大きくなったため、直ちに1次冷却材温度の回復操作を実施したものの、「1次冷却材異常低」警報が発信したものと推定される。

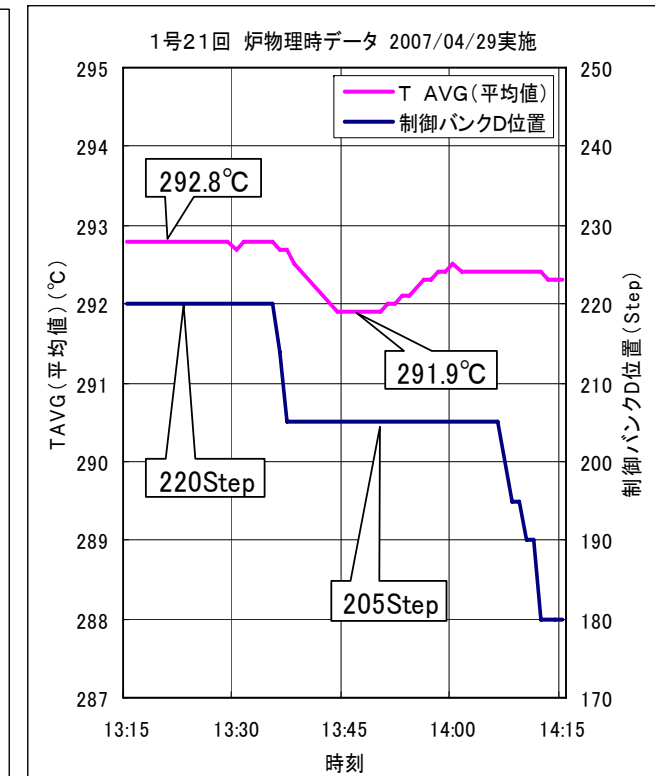
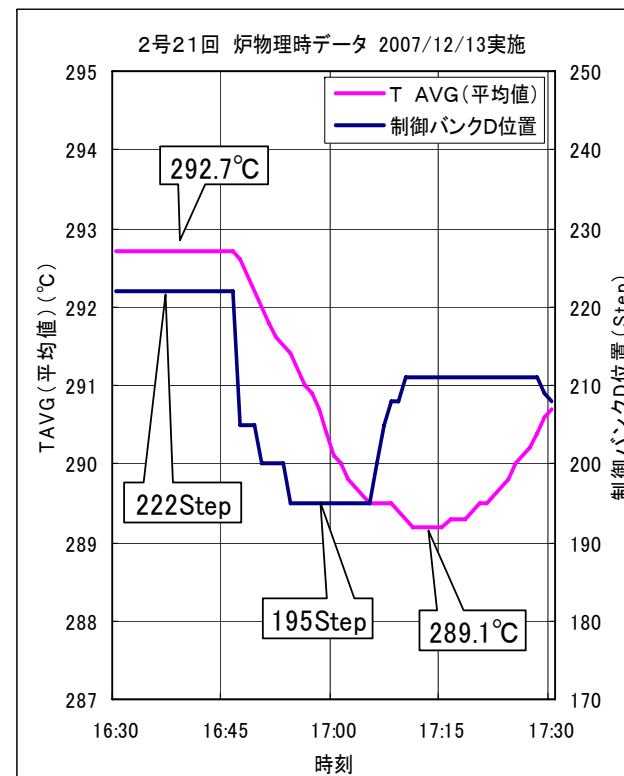
対策

- 今後、炉物理試験後の出力降下の際に、1次冷却材の低下量を見込んだ制御棒挿入量及び挿入間隔を適切に評価することとし、その旨を手順書に反映する。
- 発電室員と原子燃料課員に対し今回の事例を紹介し、発電室員と原子燃料課員の連携の重要性について周知徹底するとともに炉物理試験時における注意事項（運転操作がプラントに与える影響等）の教育を実施する。

状況図



大飯1号機、2号機 炉物理試験後の操作におけるパラメータの推移



制御棒操作前と操作後の反応度差

222step
195step
反応度 -110×10^{-5}

220step
205step
反応度 -50×10^{-5}

事象の発生と調査結果

- 第21回定期検査において主給水配管の超音波による厚さ測定を行ったところ、4系統ある配管のうち、1系統(C)の主給水隔離弁下流の配管曲がり部で、必要最小肉厚(15.7mm)を下回っている(実測最小値...10.9mm)ことを確認。
- 減肉が認められた曲がり部の下流側を切断し、内面を目視点検した結果、減肉部で流れ加速型腐食(FAC)*特有の鱗片状模様が認められた。
- 配管内を流れる高温水の状態を解析した結果、主給水隔離弁で流れに乱れが生じ、乱れは曲がり部まで継続していた。

*流れ加速型腐食(FAC): 流れの影響で配管材料の腐食が加速される現象。配管曲がり部や弁の下流、オリフイス下流など流れが乱れる部分で発生しやすい。

推定原因

- 主給水隔離弁(玉型弁)下流側に生じる流れの乱れにより、当該部でFACによる減肉が発生、進展し、計算必要厚さを下回ったものと推定される。

対策

- 当該エルボ部を同一寸法、同一材料の新品に取替えた。また、耐食性に優れた低合金鋼へ取替えを計画する。
- 主要点検部位で、点検回数が3回未満で至近の定期検査(前回および前々回の定期検査)で点検を実施していない部位については、今回の定期検査で追加で点検を実施した。
- 今定期検査点検終了時点で点検回数が3回に達しない部位については、今後3定検を超えない範囲で点検を実施する。

保守管理に関する調査結果

平成2年(第8回定検)
肉厚測定を実施
最小肉厚:20.5mm
余寿命:27.2年

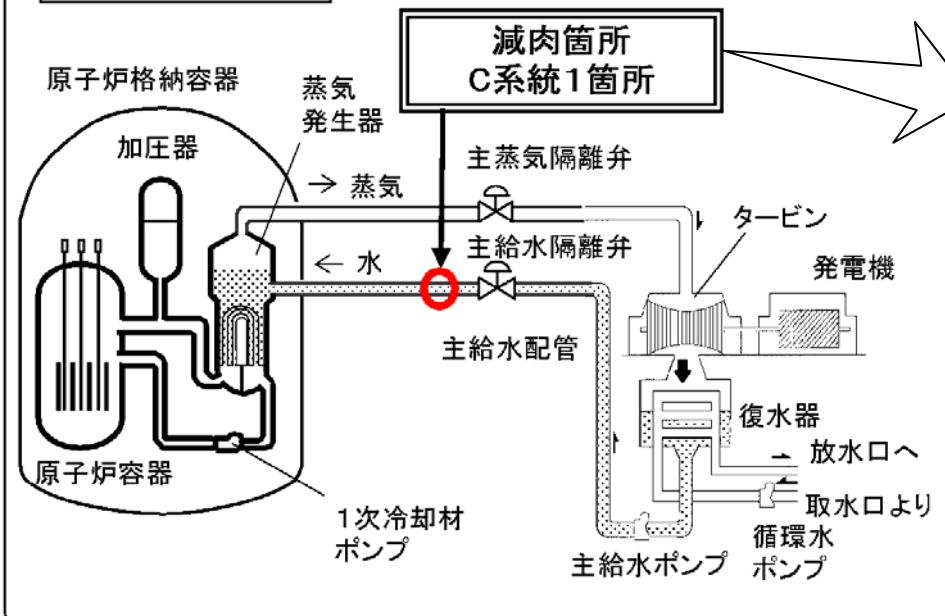
平成16年7月
大飯1号機の同一部位
で減肉を確認

当該部位を主要点検部位
に変更

美浜3号機事故を踏まえ、管理指針を改正
主要点検部位は
10年以内に3回の点検実施
10年以上前の点検部位は至近定検で点検

平成19年11月
当該部の肉厚測定を実施
最小肉厚:10.9mm

系統概要図



測定結果

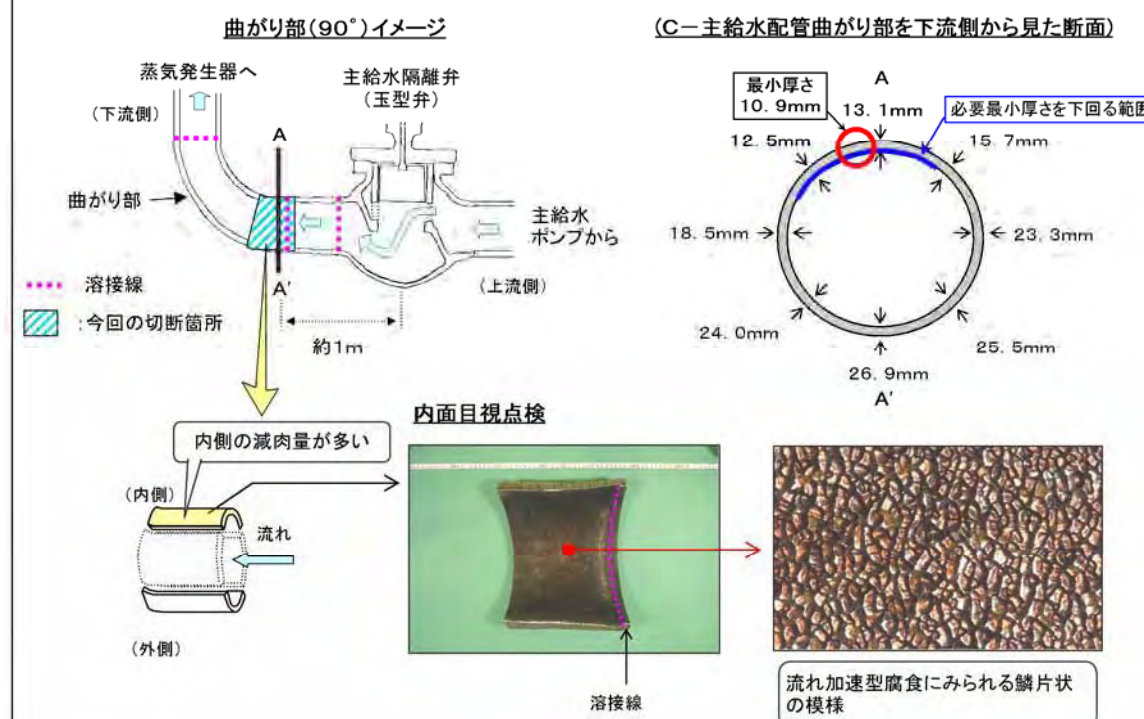
| 配管形状 | 必要最小厚さ | 実測最小値 |
|------------------|--------|---------|
| A-主給水配管曲がり部(45°) | 15.7mm | 21.0mm |
| B-主給水配管曲がり部(90°) | | 21.5mm |
| C-主給水配管曲がり部(90°) | | 10.9mm※ |
| D-主給水配管曲がり部(90°) | | 19.0mm |

※定点測定(8点)にて減肉が確認された周辺を、詳細(約20mmピッチ)に測定した値

配管仕様

外径:約406mm 最高温度:約230℃
 厚さ:約21mm 材質:炭素鋼
 最高内圧:約8MPa 流量:約1,700t/h・系統

C-主給水配管曲がり部の減肉状況、内面調査結果



事象の発生状況

平成19年12月15日

- 06時00分 発電機並列
- 15時50分 出力30%到達
- 16時00分頃 出力30%到達における点検開始
- 17時45分頃 第2段湿分分離加熱器空気抜き管付近の保温材部から僅かに蒸気が出ているのを発見
- 19時15分頃 空気抜き管の保温材を取外し、空気抜き管直管部のドレントラップ配管合流部背側に、僅かな漏えいを確認

点検結果

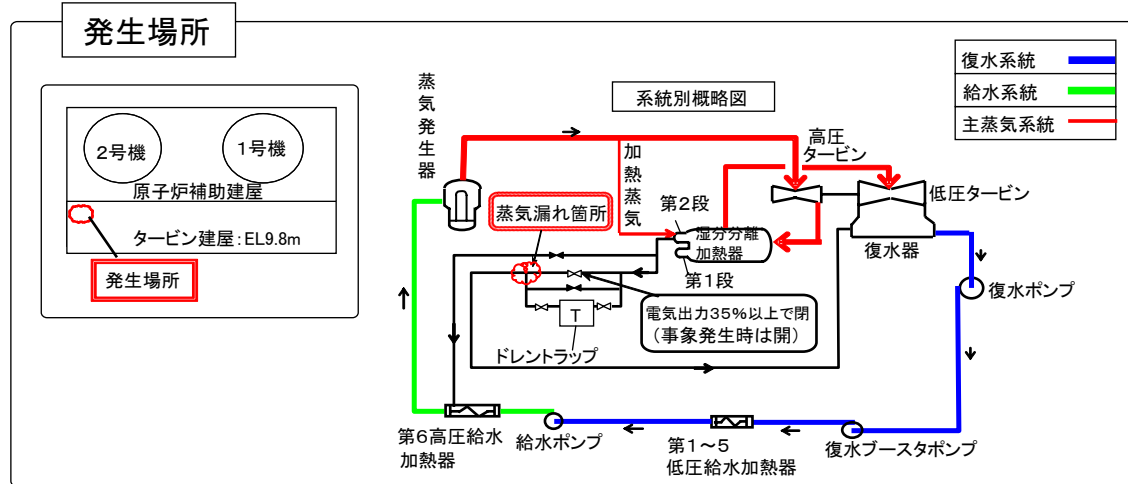
減肉部の調査結果

- 蒸気漏れ箇所の外観観察の結果、空気抜き管の外面に直径約2mmの円形の開口部が認められ、その位置は、ドレントラップ下流配管が接続されている位置のほぼ対面位置であった。
- 超音波肉厚測定の結果、開口部を中心に局所的な減肉が認められ、切断後の内面調査の結果、その形状はすり鉢状であった。
- 減肉部の断面観察を行った結果、液滴衝撃エロージョンに見られる鋸刃状の減肉形態が認められた。

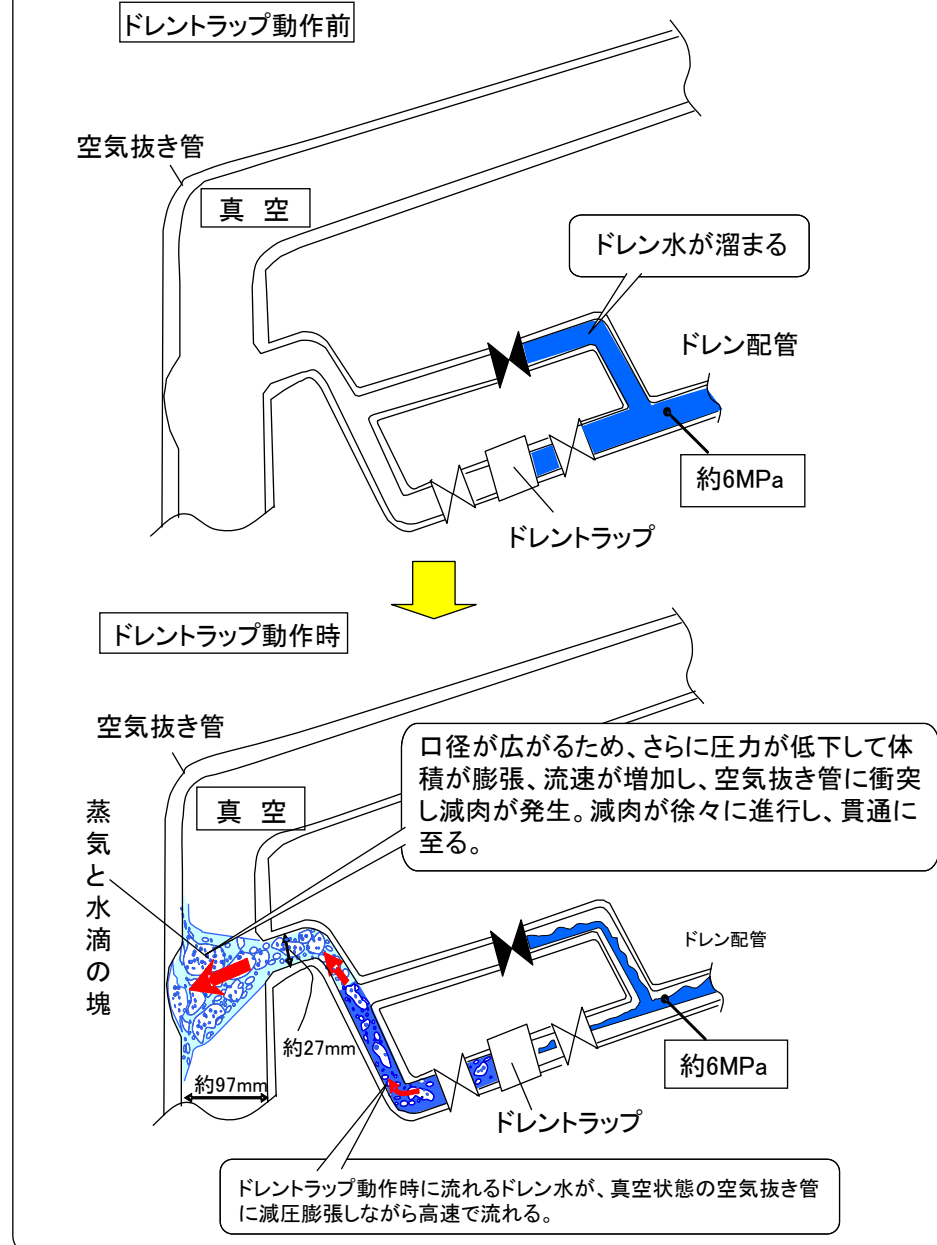
系統構成調査結果

- 当該系統は、運転中、ドレントラップ上流側は運転圧力がかかっており、下流側はほぼ真空中に減圧される系統であった。
- ドレントラップ出口配管から排出されるドレン水は、直径の大きい真空中に近い状態の空気抜き管に流れ込むため、当該部で減圧膨張し、流速が大きくなる箇所であった。

概要図



推定メカニズム



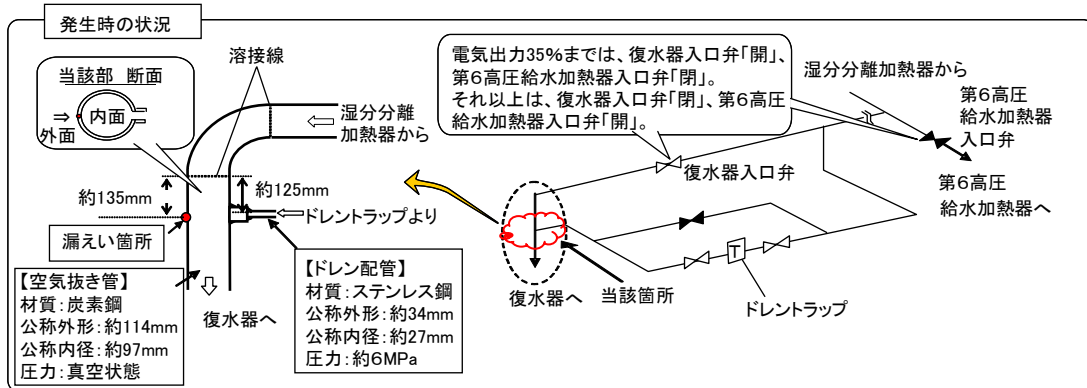
推定原因

- ドレントラップ出口配管は、口径の大きい空気抜き管に合流しており、運転中のドレントラップ動作時に排出されたドレン水が減圧膨張することで多数の液滴が発生し、当該部でさらに流速を増し、管壁に高速で衝突することによって減肉が徐々に進行して、貫通したと推定。

対策

- 当該配管を炭素鋼配管から減肉に強いステンレス鋼配管に取り替えた。
- 今回の事象を踏まえ、ドレントラップ下流の合流部の20箇所について点検を行い、必要な肉厚があることを確認した。
- 次回定期検査時に、当該ドレントラップ出口配管を直接復水器に接続する等、配管経路の変更について検討する。
- 今後、復水器に接続されるドレントラップ出口配管を、計画的にステンレス鋼配管に取替えるとともに、計画的に点検を実施する。

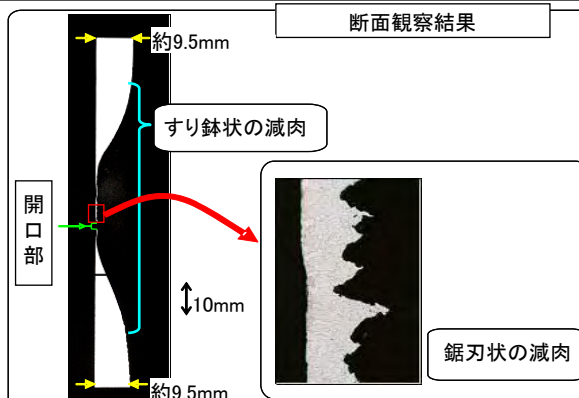
点検結果



外観観察結果



断面観察結果



関西電力における 2 次系配管肉厚の管理指針について

| | 事 象 | 点検対象部位 | 点検時期 | 各プラントの対応 |
|---------------------|--|--|--|---|
| 平成 2 年 | 配管肉厚の管理指針を作成 | <ul style="list-style-type: none"> 点検対象系統 水単相流では 100℃～200℃ 二相流では 湿り度 5%未満/150℃～ 湿り度 5%以上/150～250℃ 口径：小口径配管は除く 偏流発生部位 エルボ、オリフィス下流、 曲げ管 など | <ul style="list-style-type: none"> 減肉傾向が認められる部位を「主要点検部位」とし、余寿命 2 年前までに点検 減肉傾向が認められない部位を「その他点検部位」とし、10 年で 25%を点検 | <ul style="list-style-type: none"> 初回点検時期は、初期設定減肉率で余寿命を算出した結果を踏まえ計画 |
| 平成 16 年 7 月 | 大飯 1 号機の主給水隔離弁（玉型弁）下流曲がり部で減肉を確認 | <ul style="list-style-type: none"> 偏流発生部位に「玉型弁下流」を追加 点検対象系統に「水単相流/200℃～250℃」を追加 | | <ul style="list-style-type: none"> 至近定検で、「玉型弁下流」「水単相流/200℃～250℃」のうち、未点検部位の点検を実施（H16 年度内に完了） |
| 平成 16 年 8 月 | 美浜 3 号機事故 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> 当該部は主要点検部位であったが、点検リストから記載漏れしており、過去に一度も点検されていなかった。 </div> | | <ul style="list-style-type: none"> 主要点検部位は余寿命 5 年前までに点検（高経年化プラントは 10 年前までに点検） その他点検部位は平成 20 年度末までに全数点検 | <ul style="list-style-type: none"> 点検リストのチェックと、記載漏れ部位の点検を実施（H16 年度内に完了） その他部位の未点検部位の点検を実施（H19.8 に完了） |
| 平成 17 年 2 月 | 原子力安全・保安院が配管減肉管理に対する要求事項を发出 | <ul style="list-style-type: none"> 点検対象系統に「小口径配管」を追加 | | |
| 平成 16 年 ～平成 19 年 | 自他社での減肉事象 | <ul style="list-style-type: none"> 点検対象部位に「高圧排気管の直管部」などを追加 偏流発生部位に「ポンプ吐出管」などを追加 液滴衝撃エロージョンが発生する部位として、蒸気発生器ブローダウン流量調整弁下流等で常時流れがある部位を追加 | <ul style="list-style-type: none"> 主要点検部位は平成 26 年度までに点検回数が 3 回となるよう、点検を実施 運転開始から 30 年を経過する直前の定検から 3 定期検査以内に、主要点検部位を全数点検 減肉事象の水平展開のルールを明確化 | <ul style="list-style-type: none"> 主要点検部位の点検計画を見直し、平成 26 年度までに 3 回点検を終えるよう、点検を実施中 運開後 30 年経過プラントの点検状況 美浜 1 号：H20 年度中に完了予定 美浜 2 号, 3 号：全数点検完了 大飯 1 号：H22 年頃に完了予定 大飯 2 号：H23 年頃に完了予定 高浜 1 号：H20 年度中に完了予定 高浜 2 号：H19 年度中に完了予定 |
| 平成 19 年 3 月 | 日本機械学会が配管減肉管理に関する技術規格を策定 | <ul style="list-style-type: none"> 偏流発生部位に「フローノズル」「熱交換器出口管」など追加 液滴衝撃エロージョンが発生する部位として、負圧機器に接続された配管絞り部（制御弁、オリフィス等）下流を追加 | <ul style="list-style-type: none"> 主要点検部位は 10 年以内に 1 回は点検 主要点検部位は前回点検が 10 年以上前の箇所について、至近定検で点検 | |

県内原子力発電所の減肉事象（平成 19 年度）

参考 2 - 2

【異常事象】

| | プラント名 | 事象発生日 | 減肉箇所 | 原因 | 管理指針上の扱い |
|---|---------|-------------------|-------------------------------|--|---|
| ① | 大飯 2 号機 | 平成 19 年 11 月 7 日 | 主給水配管の主給水隔離弁（玉型弁） 下流の曲がり部 | 玉型弁で流れが乱れ、流れ加速型腐食（FAC）による減肉が発生したものと推定 | 管理指針の対象部位（主要点検部位） |
| ② | 大飯 2 号機 | 平成 19 年 12 月 15 日 | 復水器につながるドレントラップ下流で、大口径管との合流部 | 大口径管との合流部でドレン水が減圧沸騰し、液滴衝撃エロージョンによる減肉が発生したものと推定 | 管理指針の非対象部位 |
| ③ | 敦賀 1 号機 | 平成 19 年 7 月 22 日 | 復水器につながる配管で、最終段オリフィス下流の配管曲がり部 | オリフィス下流で減圧沸騰し、液滴衝撃エロージョンによる減肉が発生したものと推定 | 管理指針の対象部位（その他点検部位） 〔平成 18 年 11 月に制定された日本機会学会の技術規格を踏まえ、次回定期検査で点検する計画であった〕 |

【軽微事象】

| | プラント名 | 事象発生日 | 減肉箇所 | 原因 | 管理指針上の扱い |
|---|---------|------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| ④ | 敦賀 2 号機 | 平成 19 年 11 月 8 日 | 第 5 抽気系（高圧タービン～脱気器） に設置された逆止弁の弁箱 | 現在調査中 | 第 5 抽気系は管理指針の対象系統だが、弁箱は非対象部位 |

敦賀発電所 1 号機 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

概要

敦賀発電所 1 号機は、平成 19 年 2 月 16 日から第 31 回定期検査中であるが、7 月下旬に予定していた原子炉起動に向けて原子炉給水系統の水張りを行い、7 月 22 日に復水ポンプ 1 台を運転した状態で、当該系統の点検を行ったところ、タービン建屋 1 階ヒータ室において、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た。

このため、直ちに当該配管を隔離して水抜きを行い、漏えいを停止させた。
漏えい量はわずかで、放射能は検出限界 ($4.8 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^2$) 未満であった。
なお、本事象による周辺環境への影響はない。

調査結果

点検・調査の結果、以下のことが確認された。

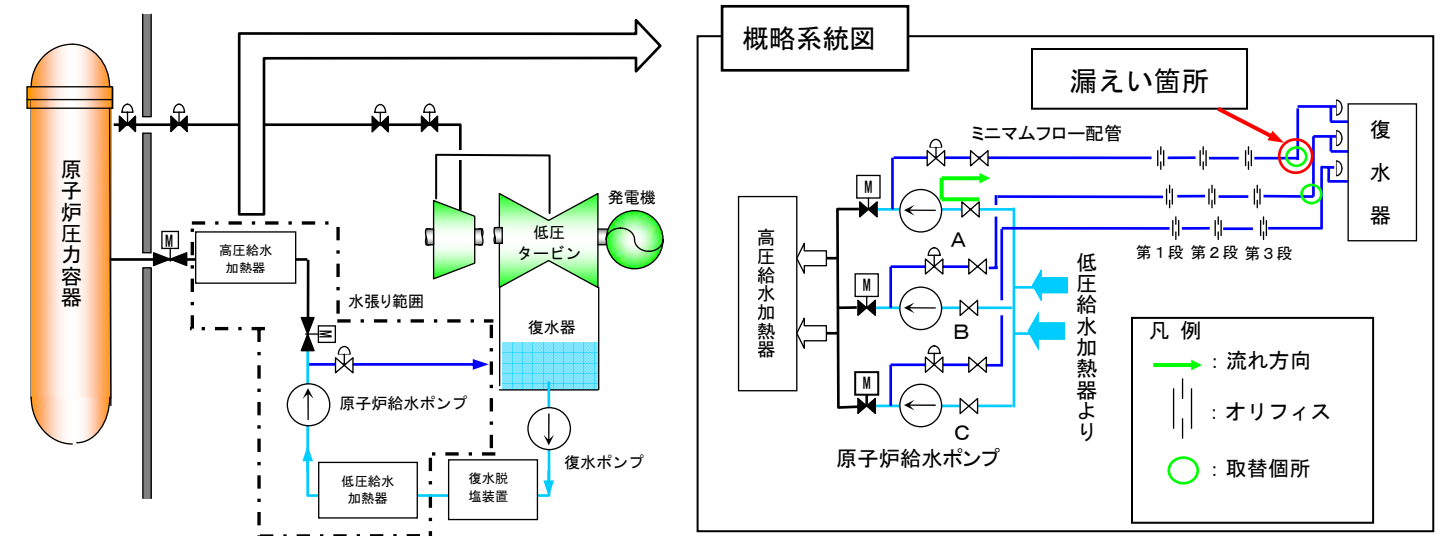
- ・当該ミニマムフロー配管は、各原子炉給水ポンプ（全 3 台）の起動および停止時に流す水（ミニマムフローという）を復水器に回収している配管で、今回、水漏れが確認された部位は、流れる水の量を制限するために配管内に設置されたオリフィス下流側（復水器側）の曲がり部背側であった。
- ・当該部を切断し内面視した結果、オリフィスからの流れが直接衝突している曲がり部の位置（背側）に局所的な減肉が認められ、減肉部を拡大観察したところ、くぼみ状の浸食が確認された。
- ・流れる水の圧力や温度を評価したところ、当該オリフィスを通った水は下流側で一部が減圧沸騰し、二相流（蒸気と水が混在した流れ）となっていたものと推定された。
- ・当該配管には同様なオリフィスが他に 2 個あるが、これらを含め肉厚測定を実施した結果、漏えい箇所以外で明らかな減肉や計算必要厚さを下回る箇所はなかった。

推定原因

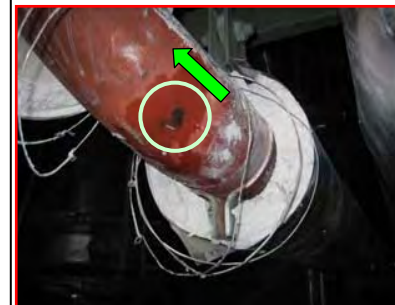
原子炉給水ポンプ A のミニマムフローを流した際、当該オリフィス下流の流れ（二相流）が曲がり部背側に衝突して、浸食（エロージョン）による減肉が発生した。この減肉がポンプの運転・停止に伴い徐々に進行し、貫通に至り漏えいしたものと推定された。

対策

- ・当該曲がり部については、二相流の衝撃を緩和する構造のキャップ式ターゲット方式の配管に取替えた。
- ・原子炉給水ポンプ B および C のミニマムフロー配管について肉厚測定を実施し、計算必要厚さを上回っていることを確認したが、B 号機のミニマムフロー配管において、同様の位置の曲がり部で明らかな減肉が認められたことから、念のため、当該部については新品の配管に取替えた。
- ・今回の事象を踏まえ、復水器に接続されている配管で、浸食（エロージョン）による減肉が発生する可能性のある部位のうち、未点検部位について肉厚測定を実施し、計算必要厚さを上回っていることを確認した。

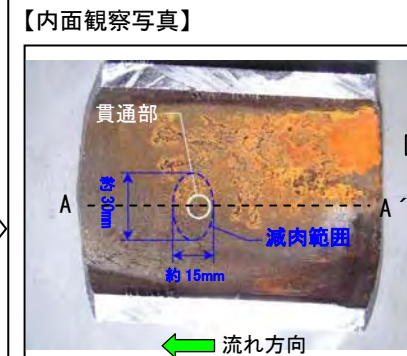


漏えい箇所写真

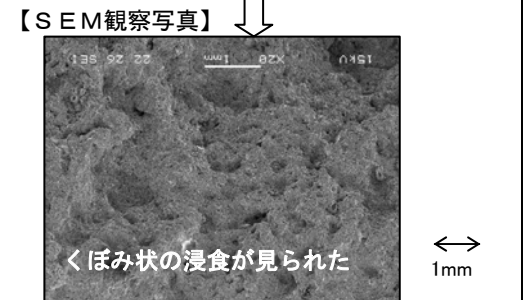
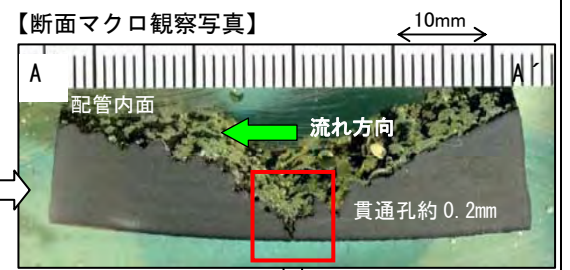


配管仕様
外径：約 114mm
肉厚：約 11mm
材質：低合金鋼

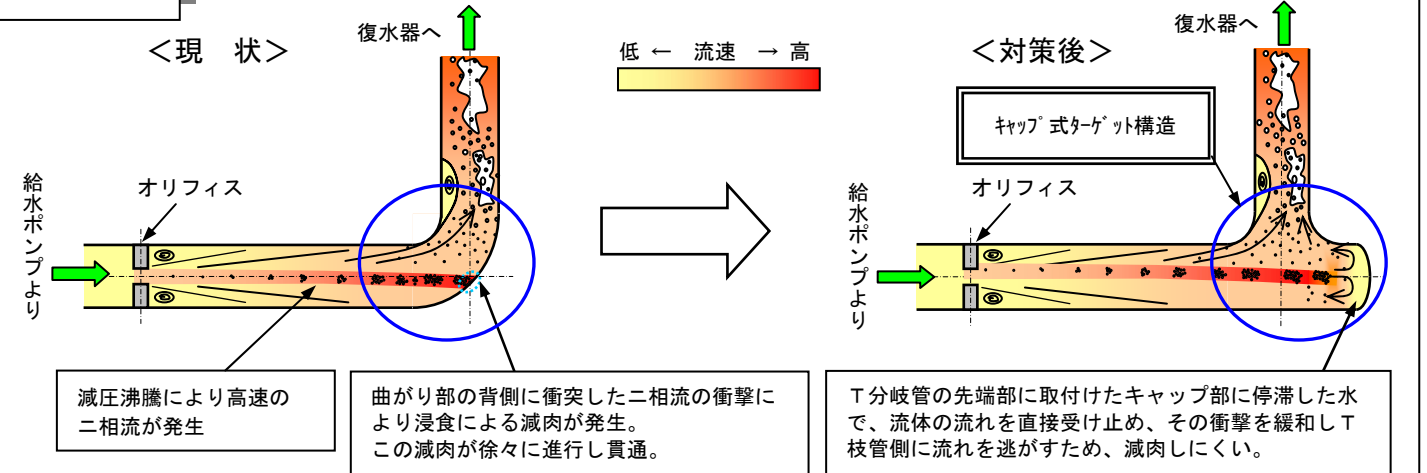
内面観察結果



局所的に減肉していた



対策



敦賀発電所 2号機 第5抽気逆止弁の肉厚測定結果について

参考 2-4

事象の状況

- ・敦賀発電所 2号機（加圧水型軽水炉：定格電気出力 116万キロワット）は、第 16 回定期検査（平成 19 年 8 月 26 日より開始）中の 11 月 8 日、第 5 抽気系^{※1}に設置されている逆止弁 2 台（A 系、B 系）の分解点検において、弁箱（材質：炭素鋼）の肉厚測定を行ったところ、弁の設計時に使用する規格^{※2}で定める最小肉厚 12.5mm を下回る箇所（A 系の測定最小肉厚：9.6mm、B 系の測定最小肉厚：10.3mm）が確認された。
- ・なお、本事象による周辺環境への影響はない。

※1：タービンの途中段階から蒸気を抽出し、給水加熱器や脱気器に導く系統を抽気系と言う。第 5 抽気系は、高圧タービンの排気蒸気を脱気器で利用するために導く系統で、圧力は約 1.1MPa、温度は約 190℃、流速は約 55m/s。

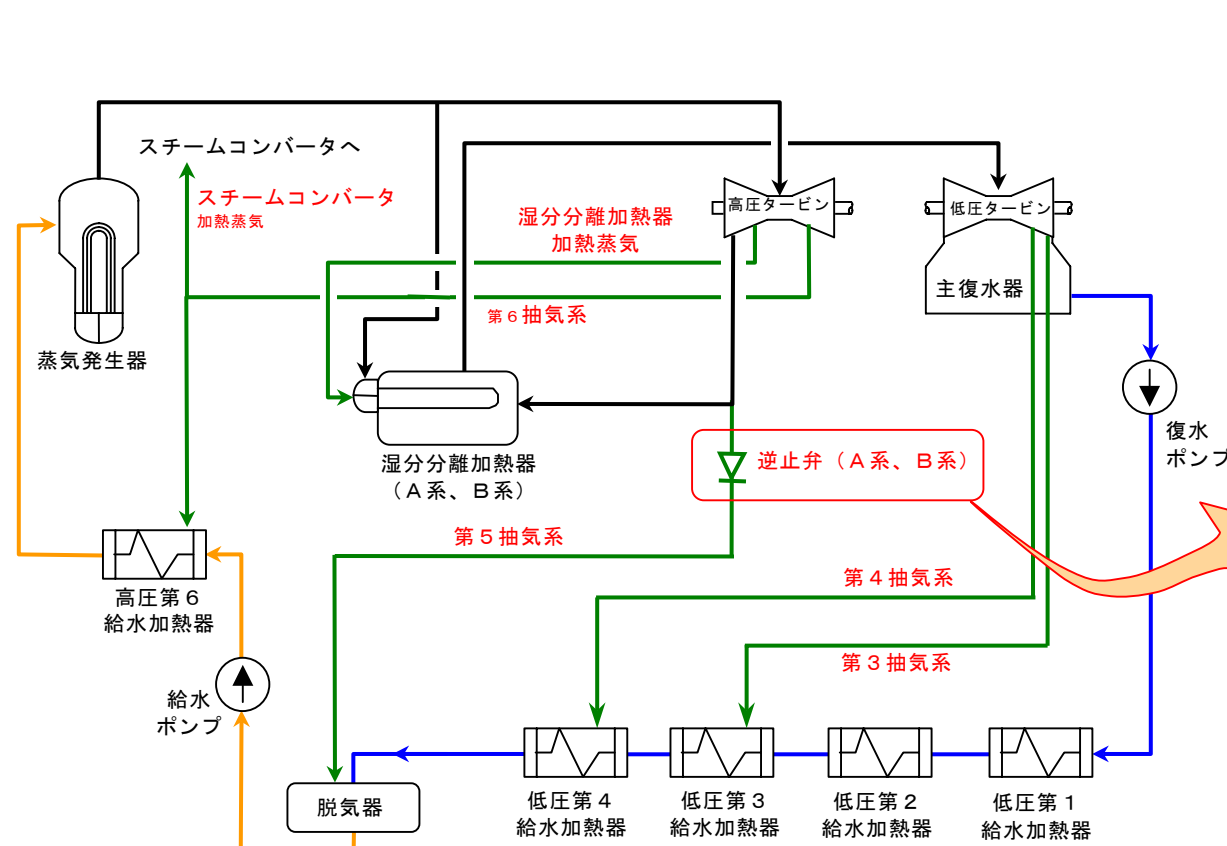
※2：技術基準には弁の耐圧部に対する要求事項はなく、日本電気協会が定める「電気技術規程 火力編 圧力配管及び弁類規定」を使用して設計している。

今後の対応

- ・当該弁については新品に取替える。
- ・当該弁の減肉部を詳細点検し、原因調査を行う。
- ・抽気系に設置されている逆止弁 10 台について肉厚測定を実施し、この結果を踏まえ、弁の管理方法について検討を行う。

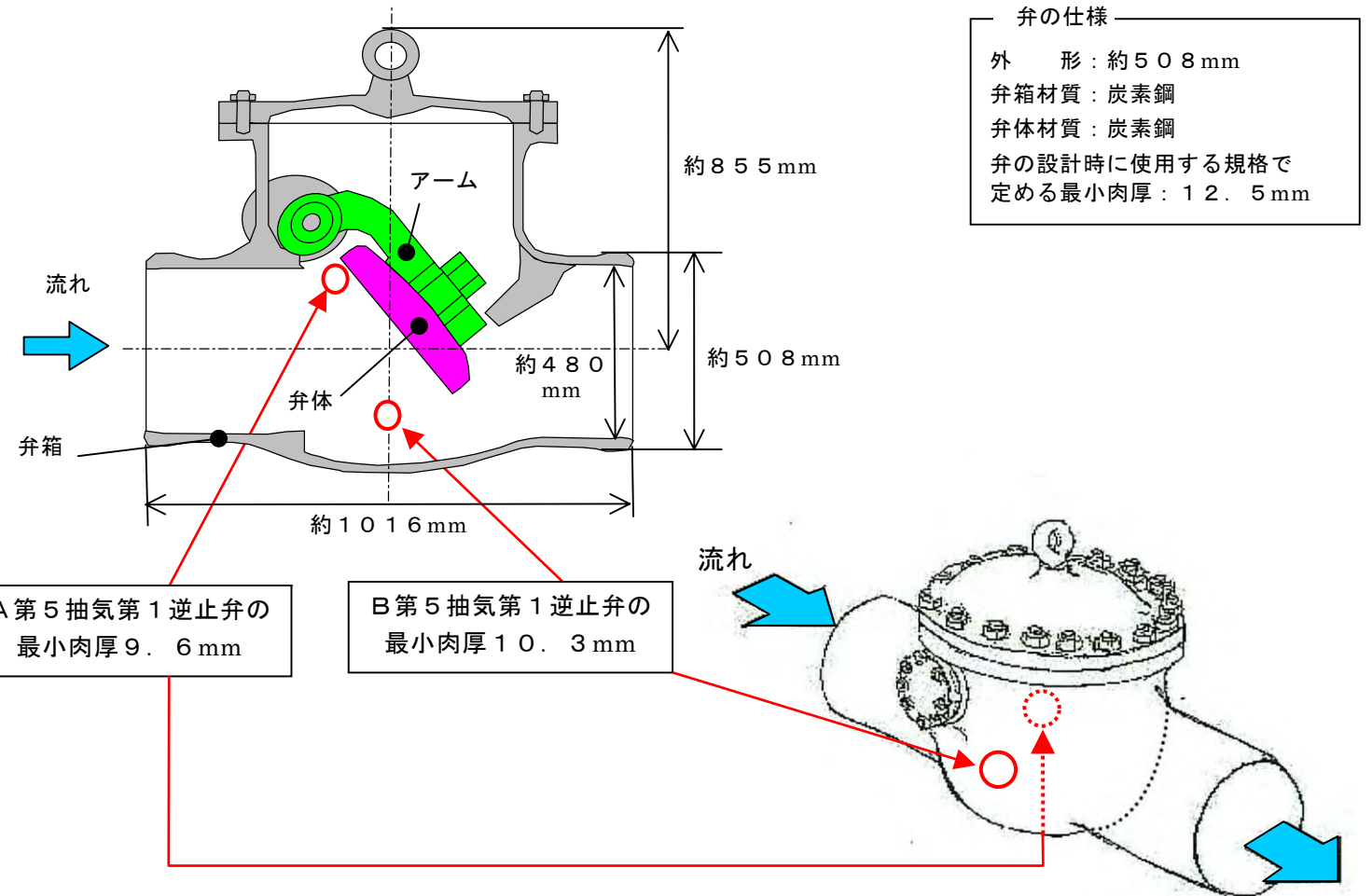
| | |
|---|-------|
| 第 3 抽気系（約 0.2MPa, 約 135℃, 約 75m/s） | : 3 台 |
| 第 4 抽気系（約 0.4MPa, 約 175℃, 約 55m/s） | : 3 台 |
| 第 5 抽気系（約 1.1MPa, 約 190℃, 約 55m/s） | : 1 台 |
| 第 6 抽気系（約 2.8MPa, 約 235℃, 約 55m/s） | : 1 台 |
| 湿分分離加熱器加熱蒸気系（約 5.6MPa, 約 275℃, 約 40m/s） | : 1 台 |
| スチームコンバータ加熱蒸気系（約 5.8MPa, 約 275℃, 約 30m/s） | : 1 台 |

抽気系統概略図



凡例
 緑線：抽気系統
 黒線：主蒸気系統
 青線：復水系統
 橙線：主給水系統

第5抽気逆止弁構造図・仕様



弁の仕様
 外形：約 508 mm
 弁箱材質：炭素鋼
 弁体材質：炭素鋼
 弁の設計時に使用する規格で定める最小肉厚：12.5 mm

A 第 5 抽気第 1 逆止弁の
 最小肉厚 9.6 mm

B 第 5 抽気第 1 逆止弁の
 最小肉厚 10.3 mm

事象の状況

- 定格熱出力一定運転中の12月5日、巡視点検中の運転員が、湿分分離器ドレンタンク水面計取出しフランジ付近から僅かな蒸気漏れを発見した。
- 現場確認の結果、フランジパッキン部分からの漏れと判断され、当該部の締め付けボルトを増し締めしたが、漏れは停止しなかった。
- 漏れは僅かで、プラントの運転や安全性に影響はないが、当該フランジの点検・補修を行うため、12月6日午前2時17分に発電停止、午前3時26分に原子炉停止。

調査結果

- フランジ部分解前点検結果
 - ・漏れは、湿分分離器ドレンタンクの水面計上部フランジで発生していた。
 - ・取出し配管側と水面計側のフランジとの合わせ面のパッキン締め付け隙間が、上下部とも均一でなく、パッキンの締め付けが十分でなかったと推定された。
- フランジ部分解点検結果
 - ・フランジ面の寸法等を測定した結果、タンク側のフランジ面が傾いていた。
 - ・上部の水面計側フランジ面で、内側から外側に向かって溝状の腐食痕が2本認められ、うち1本はパッキンの外側に達していた。
- 保守点検実績
 - ・平成17年の第21回定期検査において、当該水面計点検のためフランジを取り外し、パッキンの交換作業を行った。
 - ・当時の作業員から、当該水面計は、フランジ面間のズレが大きく、ボルトが締めにくかったとの証言があり、パッキン取替時に適切な締め付け管理ができていなかった可能性があるとして推定された。

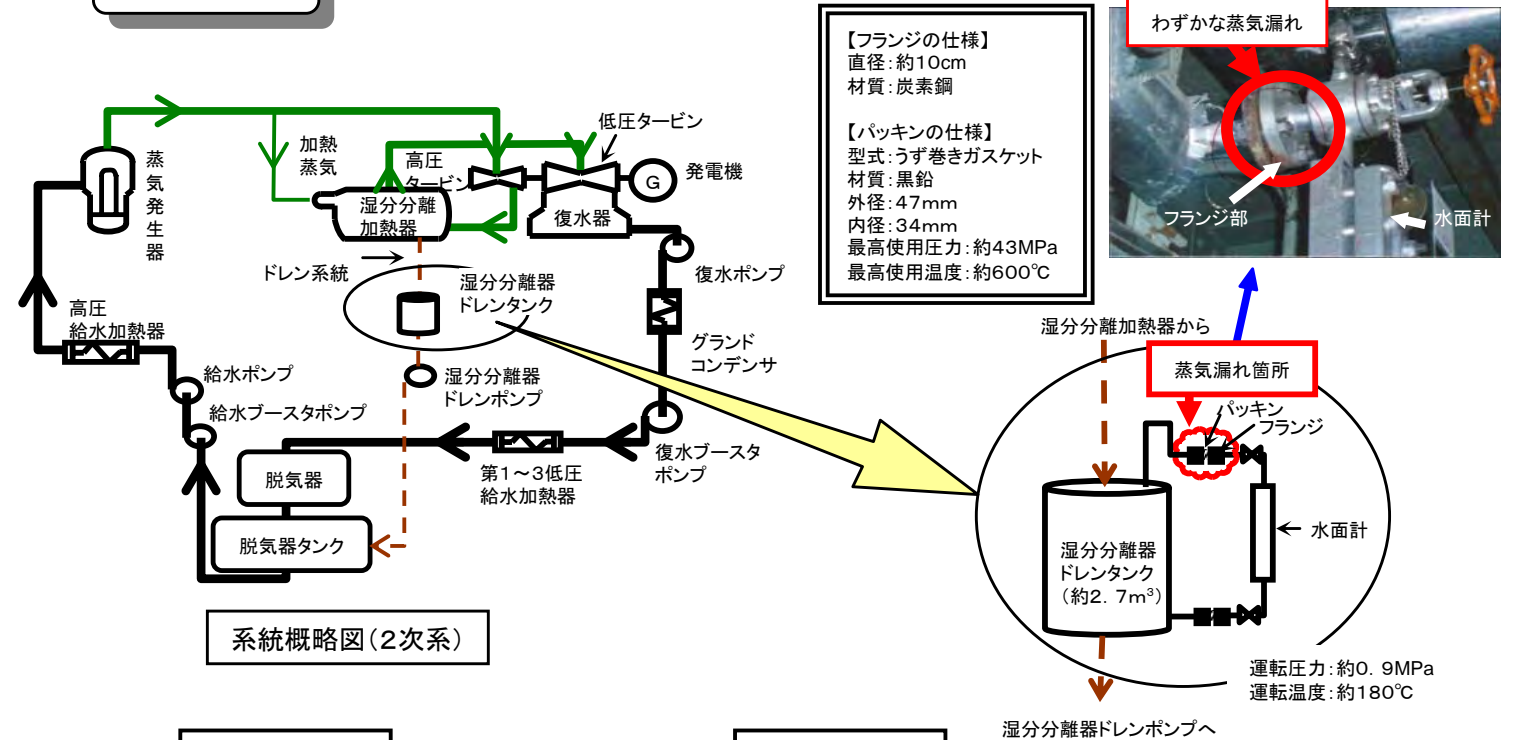
原因

第21回定期検査の水面計点検作業において、フランジ面のズレが大きく、パッキン部の締め付け管理が適切に行われなかったため、フランジ面の一部（微小な荒れがあった箇所）で、パッキンの内側から蒸気の浸入による腐食が徐々に進行し、溝状の腐食痕がパッキン外側に達し、蒸気漏れが発生したものと推定された。

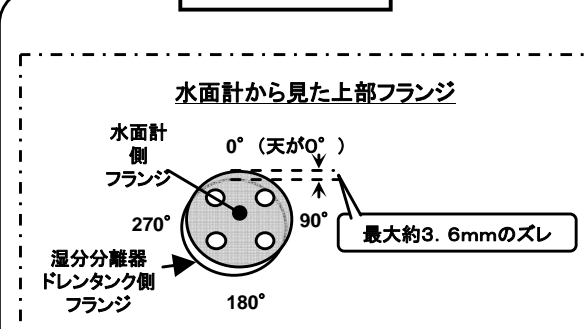
対策

- 漏れが認められた水面計を予備品に取り替えるとともに、タンク側フランジを傾きのないように取出し配管を取り替えた。
- フランジの締め付け管理については、現在、隙間管理を行い記録を残すこととしており、この管理を確実に実施していく。
- 2次系の類似の水面計点検においては、フランジの傾きを確認し、必要に応じて取出し配管の取替えを行う。
- 今回の事象において、作業性の問題点が情報共有されなかったことを踏まえ、協力会社への聞き取り調査を行い、設備改善につなげていく。

状況図

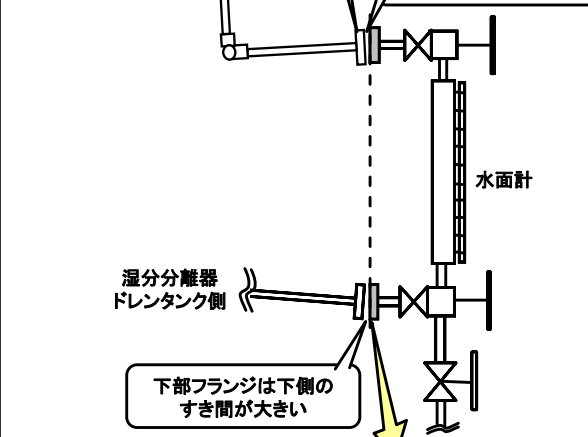


分解前点検結果



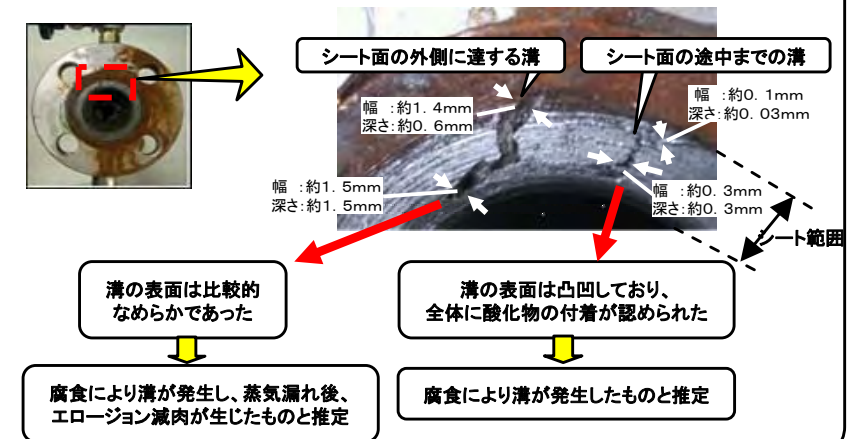
湿分分離器ドレンタンク側

上部フランジは上側のすき間が大きい

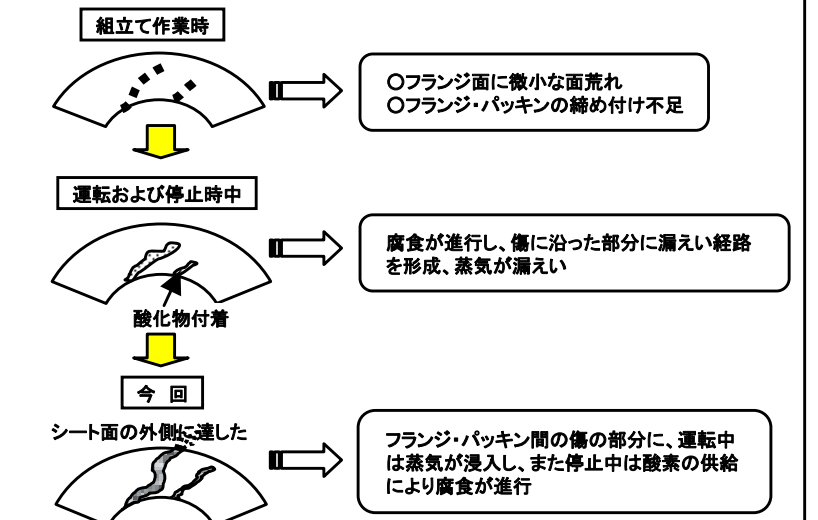


分解後点検結果

水面計側 上部フランジ写真



推定原因



事象の状況

- ・敦賀発電所1号機（沸騰水型軽水炉：定格電気出力35万7千キロワット）は、運転中の平成19年11月11日7時59分頃、送電線（275kV敦賀線1号）への落雷が発生した際、プラントの運転への影響はなかったが、所内電源系で瞬時的な電圧低下があったことにより、運転中の使用済燃料貯蔵池冷却系のフィルタ制御装置で「シーケンサ※1異常」警報が発報した。
- ・これにより、運転状態にあった使用済燃料貯蔵池冷却系のポンプBに加え、待機状態にあったプリコートポンプ※2が自動起動した。
- ・自動起動したプリコートポンプを停止する操作の過程で、10時頃、プリコートポンプ出口流量計※3の上部フランジ部分から水が漏れていることを運転員が発見した。また、同時刻に当該流量計が設置されているエリアの床漏えい警報が発報した。
- ・このため、当該流量計の出入口弁を閉止し、水漏れを停止した。漏えいした水の量は約100リットル程度で、すべて回収した。
- ・漏えい水の放射能濃度は検出限界値未満であった。
- ・なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかった。

- ※1 フィルタ廻りに設置されている弁やプリコートポンプの状態を要求されているモードに合わせて自動的に切替える装置
- ※2 使用済燃料池の冷却水中に含まれる固形不純物を吸着するために用いるろ過剤をフィルタエレメントに付着させる（プリコート）際に使用するポンプで、フィルタ出口流量が低下した場合にはフィルタに付着しているろ過剤の剥離を防止するために自動起動する。
- ※3 透明なテーパー管を上下からフランジにて締め付けて固定している流量計で、テーパー管とフランジ部との間にはパッキンが装着されている。

点検・調査結果

- ・当該流量計の外観を点検したところ、上部フランジ部に装着されているパッキンの一部が所定の位置からずれており、当該箇所から水が漏れたものと判明した。
- ・当該流量計を取り外し原因を調査した結果、変形等の異常はなかったが、流量計を取付けている出入口配管に最大約19mmの芯ずれ（配管中心軸のずれ）があることを確認した。

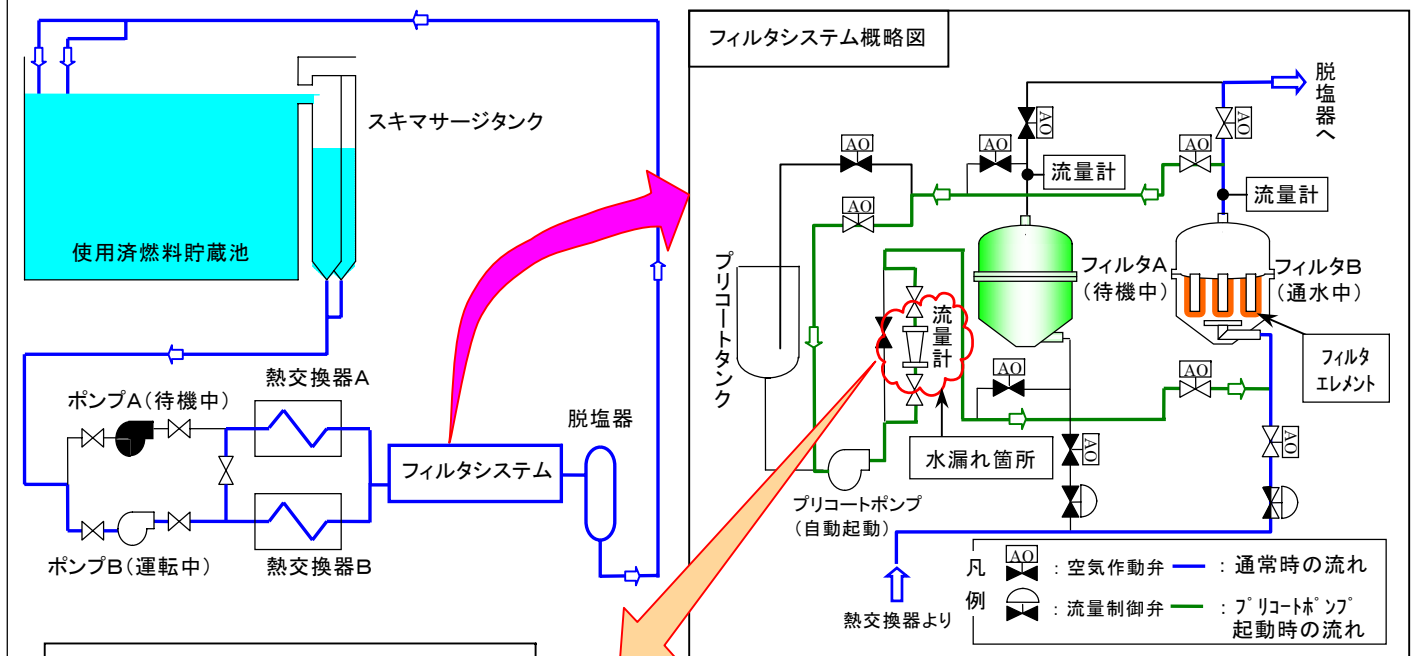
推定原因

- ・流量計出入口配管の芯ずれにより、締め付けていた上部フランジ部では、パッキンの一部に面圧の小さい部分が生じていたと推定され、今回の復旧操作でパッキン内面に加わる圧力が変動し、面圧の小さい部分のパッキンが所定の位置からずれ、漏えいが発生したものと推定された。

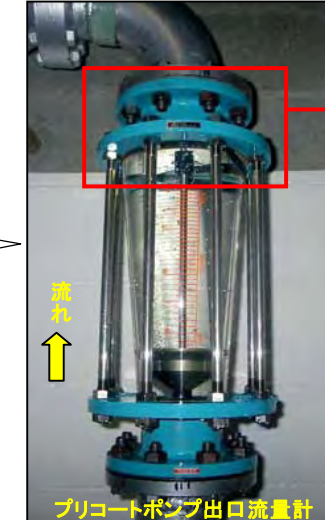
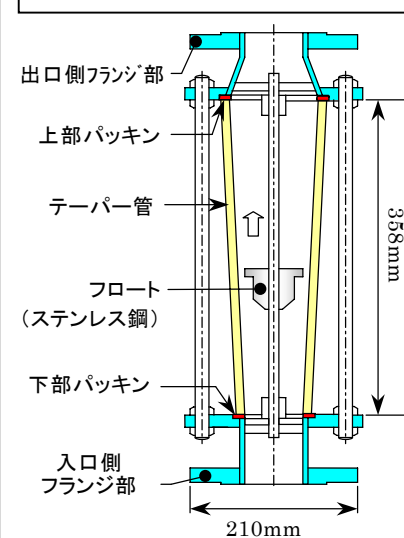
対策

- ・本流量はフィルタ出口流量計により確認できるため、当該流量計を撤去し出入口配管に閉止板を取付けた。
- ・また、格納容器内ガス冷却系に設置されている同じ型式の流量計については、現在、使用していないことから、流量計を撤去し出入口配管に閉止板を取付ける。復水移送系の流量計については、水漏れが発生し難い金属管式流量計に取替える。

状況図



プリコートポンプ出口流量計構造図



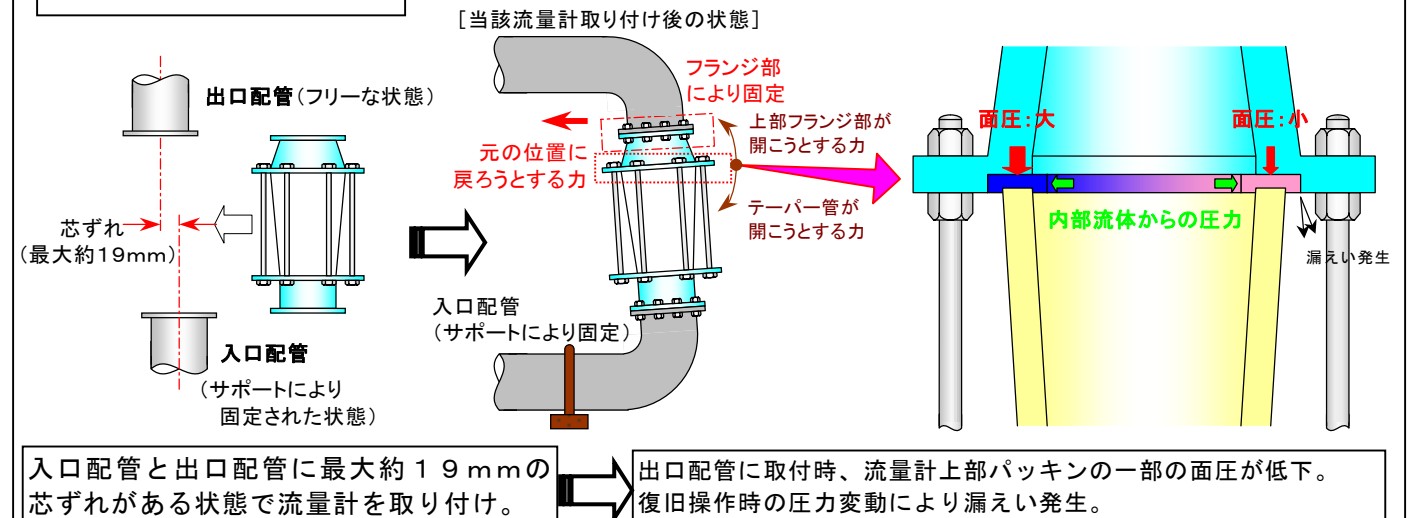
【流量計上部状況】 (漏えい箇所)



【流量計仕様】

材質：アクリル樹脂
 外形：フランジ約210mm
 テーパー管（入口）約125mm
 テーパー管（出口）約195mm
 長さ：約550mm
 パッキン材質：エチレンプロピレンゴム

漏えいの推定メカニズム



これまでの状況

- 定期検査中の10月1日に制御棒クラスタ動作検査で制御棒クラスタ（制御棒を束ねたもの）1本が動作不良のためほぼ全引き抜き位置にあることを確認した。
- その後、当該制御棒クラスタに対し、手動で挿入および引き抜き操作を繰り返した結果、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た後、当該制御棒クラスタおよび制御棒クラスタが挿入されていた燃料集合体、制御棒クラスタをガイドする案内管（以降、案内管という）および制御棒駆動軸と制御棒駆動装置について、カメラによる目視点検等を行った。
- その結果、下部案内管のCチューブ（断面がC型形状の管）と、Cチューブを通過する制御棒クラスタの表面に筋状模様を確認した。また、制御棒駆動軸の表面で、通常はラッチが噛みあわない部位にこすれ痕を確認した

その後の点検状況

筋状模様の発生原因と制御棒クラスタ動作不良の関係等を調査するため、当該制御棒等について詳細点検を行うとともに、原子炉容器内等の点検を行った。

1 当該制御棒等の詳細点検

①筋状模様

- ・Cチューブと制御棒クラスタの表面に認められた筋状模様は、金属光沢を呈するこすれ痕で、表面は凹んでいた。
- ・制御棒クラスタのこすれ痕は、制御棒全引き抜き時の下部案内管上端位置と対応しており、動作不良は制御棒と下部案内管の干渉によるものと推定された

②設備健全性

- ・当該制御棒、案内管および燃料集合体について、膨れや曲がり等の異常は認められなかった。

③異物の発見

- 当該制御棒クラスタ案内管
 - ・Cチューブ周辺から粉末状の物質と微小な金属片3個が発見された。
- 当該制御棒が挿入されていた燃料集合体
 - ・燃料集合体の案内管の底部から繊維状の付着物が回収された。

2 原子炉容器内等の点検

①原子炉容器内

- ・下部炉心構造物上に半割れの座金、原子炉容器底部に粒子状物質が認められた

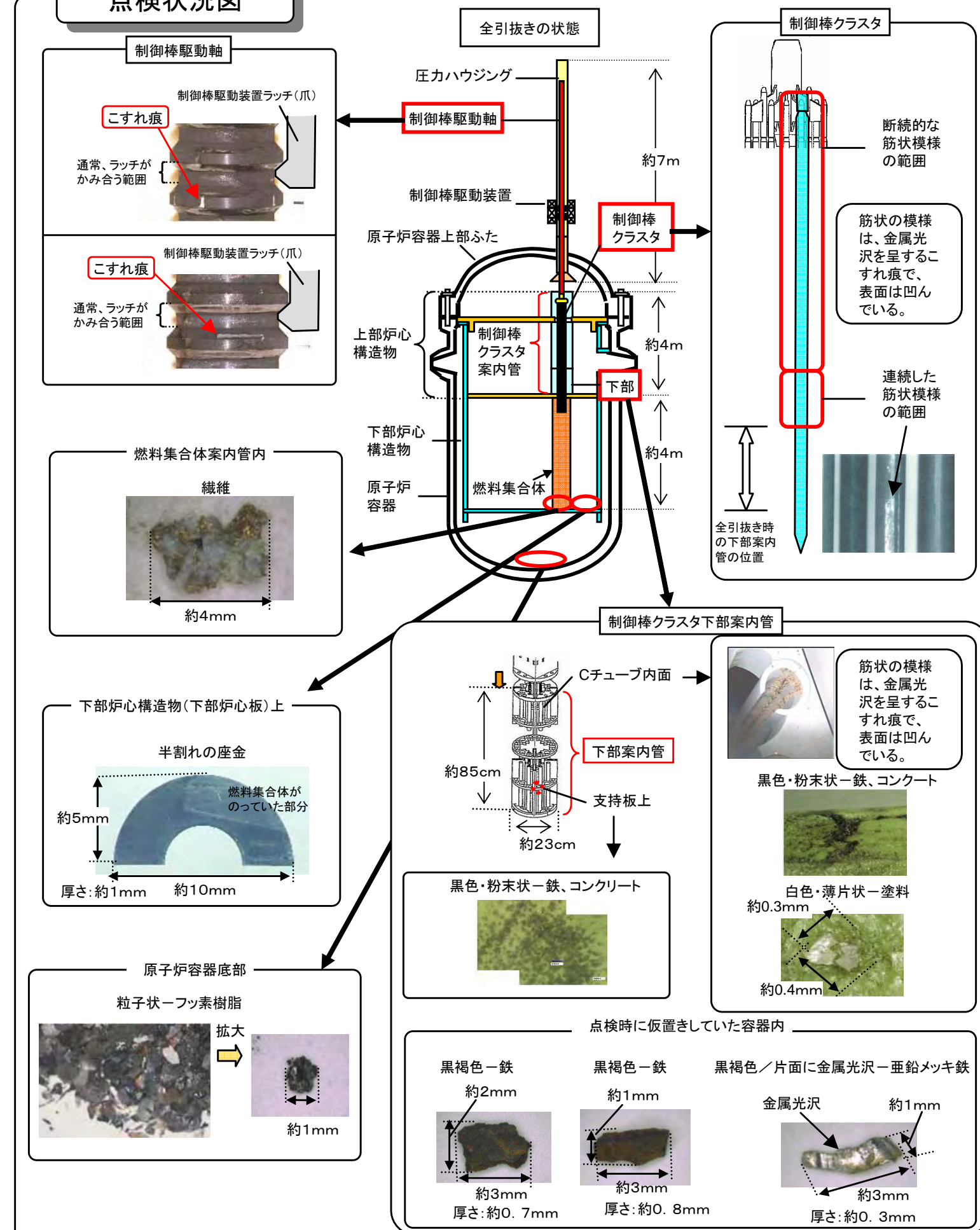
②残りの燃料集合体（156体）および制御棒案内管（51体）

- ・今回見られたような顕著なこすれ痕や異物は認められなかった。

今後の予定

- ・異物の混入経路を調査する。
- ・制御棒クラスタ動作不良との関連を調査する。

点検状況図



事象の発生状況

平成19年11月5日

- 14時10分 A-非常用ディーゼル発電機(DG)起動試験(1回/月)のためスイッチ操作
- 14時11分 警報発信(A-DGが起動しなかった)
- 14時15分 運転上の制限を満足しない状態と判断
- 14時20分 A-DG待機除外
- 15時18分 B-DG起動試験(動作可能確認)
- ~15時29分

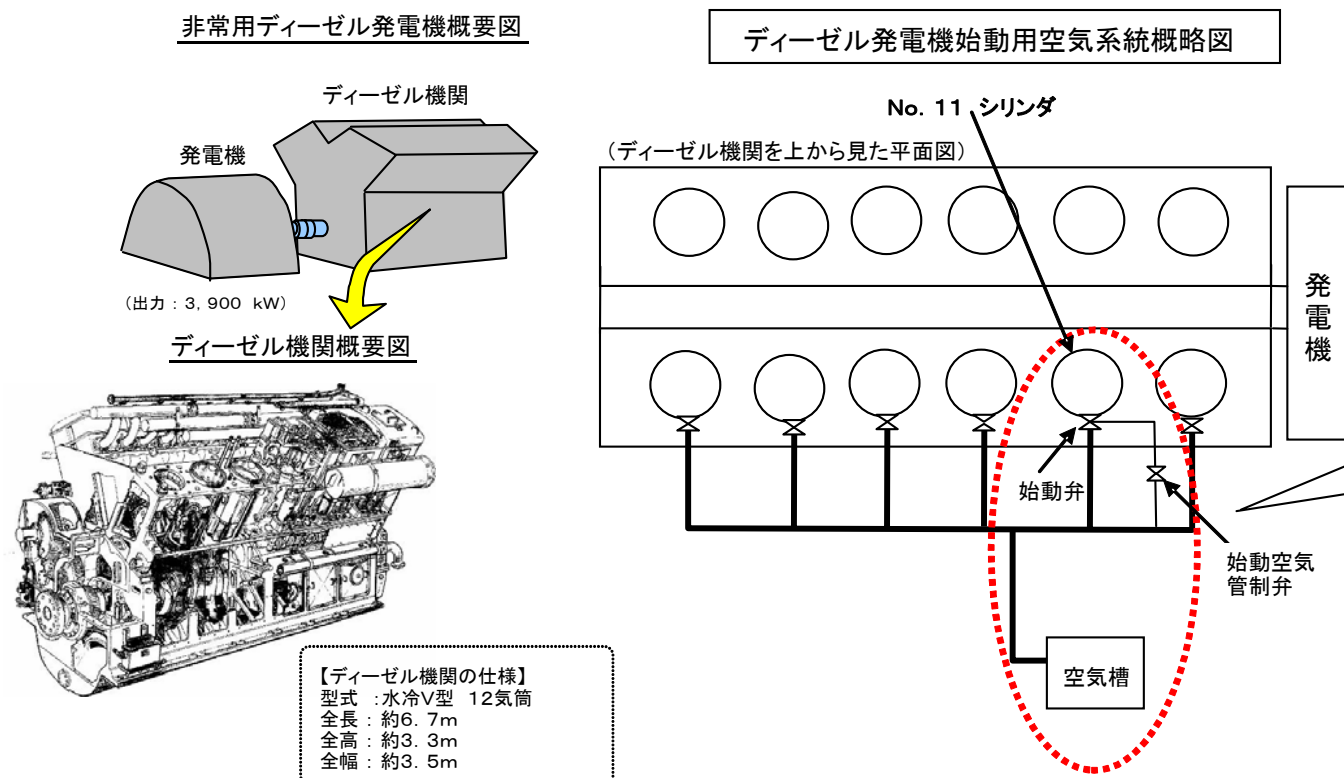
平成19年11月8日

- 20時10分 A-DG起動試験(動作可能確認)
- ~20時23分
- 20時47分 A-DGを自動待機状態にし、運転上の制限を満足した状態に復帰

点検結果

- DGのシリンダに始動用空気が供給され機関が始動するはずのところ、全く機関が動いていないことが確認された。
- 機関本体および始動用空気系統の点検を行ったところ、機関本体の動作に異常は認められなかったが、シリンダへ始動用空気を供給する始動弁の開閉を制御する空気が通っている配管の途中にあるナット締め構造の継手部1箇所が外れていることが確認された。

概要図



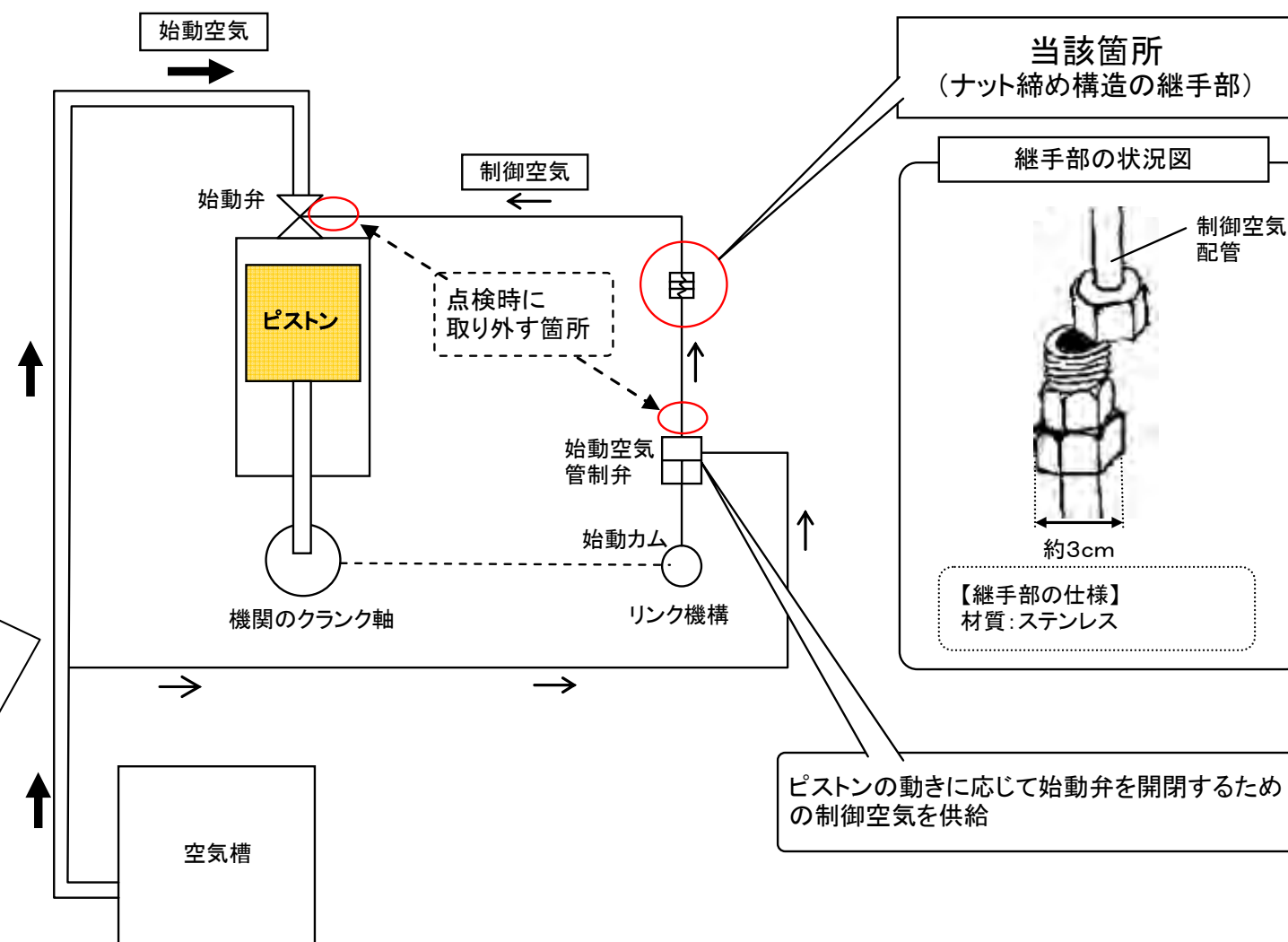
推定原因

- 当該の継手部が外れたことにより制御空気が漏れたため、始動弁が開かずに、シリンダへの始動用空気が供給されず、機関が始動しなかったものと推定
- 当該の継手部が外れたことについて、当該の配管は、定期検査時に弁の点検のため、配管の両端にある弁との接続部で取外し・取付けを実施しているが、この作業の際に配管途中にある当該の継手部のナットが緩み、DGの試験運転時の振動により徐々にナットが回って、外れたものと推定

対策

- 当該部および同様な構造の継手部について緩みがないように締め付け、DGの試運転を行って健全性を確認した後、自動待機状態に復帰した。
- 今後、当該配管の取付け作業の際には、配管途中の継手部に緩みがないことを確認することとした。

No. 11シリンダへの始動用空気の流れ詳細図



事象の状況

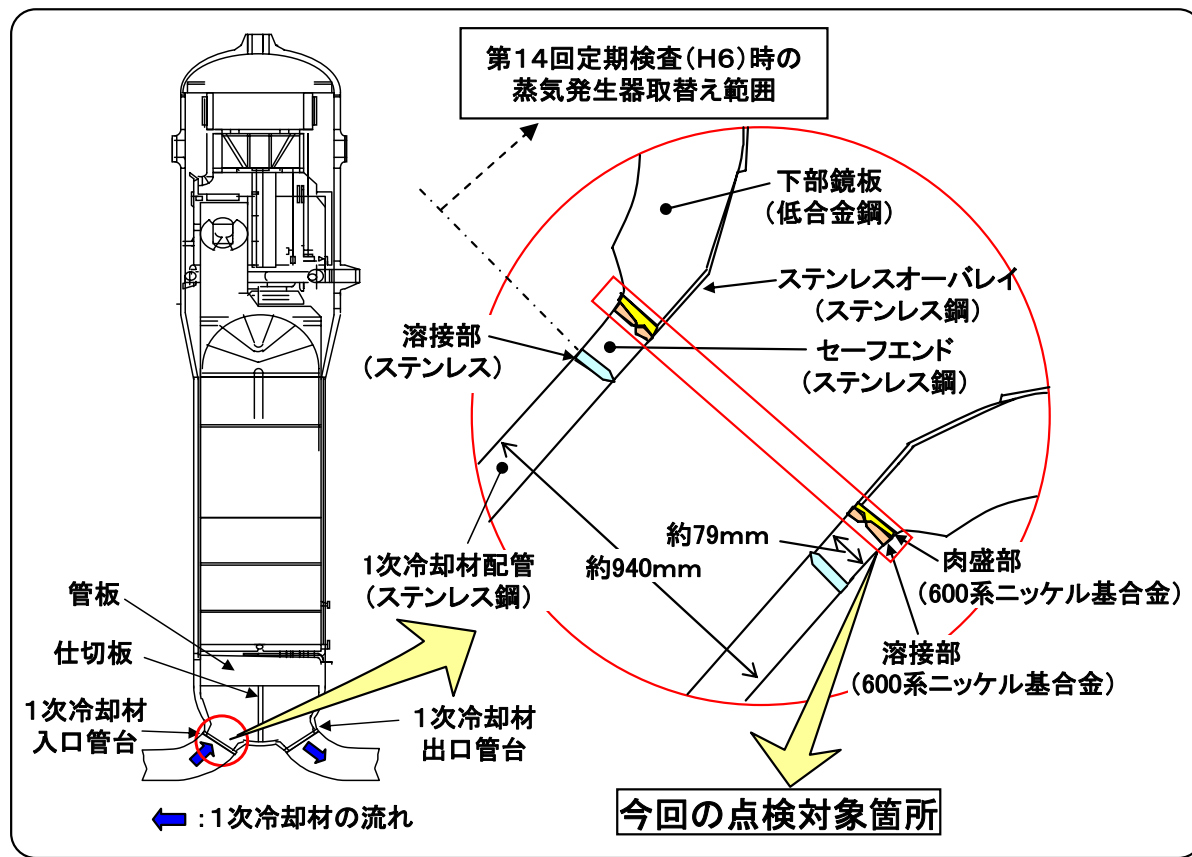
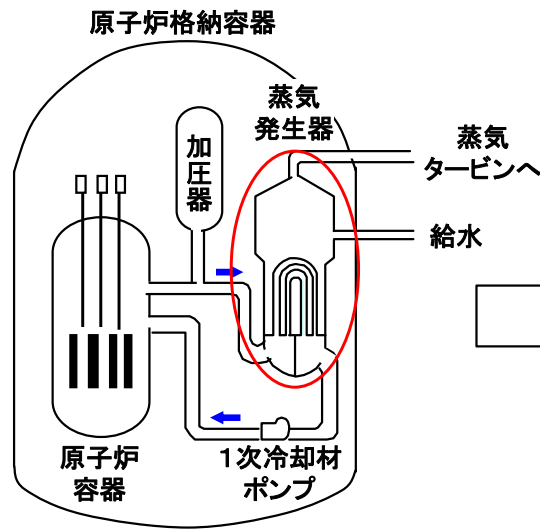
- 美浜2号機・敦賀2号機の蒸気発生器入口管台溶接部での傷の確認を受け、第24回定期検査中（平成19年8月17日開始）に3基（A～C）ある蒸気発生器の入口管台溶接部に対し、渦流探傷試験（ECT）を追加で実施
- その結果、各蒸気発生器において有意な信号指示（A：3箇所、B：2箇所、C：4箇所）を確認
 [傷の最大長 A：約7mm、B：約7mm、C：約14mm]
- 傷の深さを確認するため、超音波探傷試験（UT）を実施した結果、B・C-蒸気発生器において有意な信号指示（B：1箇所、C：2箇所）を確認 [傷の深さ B：約6mm、C：約6mmと約8mm]
- これらの傷の深さを考慮すると、当該管台溶接部の板厚は、電気事業法に基づく工事計画認可申請書に記載の板厚（75mm）を下回るものと評価
 [傷の深さを考慮した板厚 B：約73mm、C：約73mmと71mm]

今後の予定

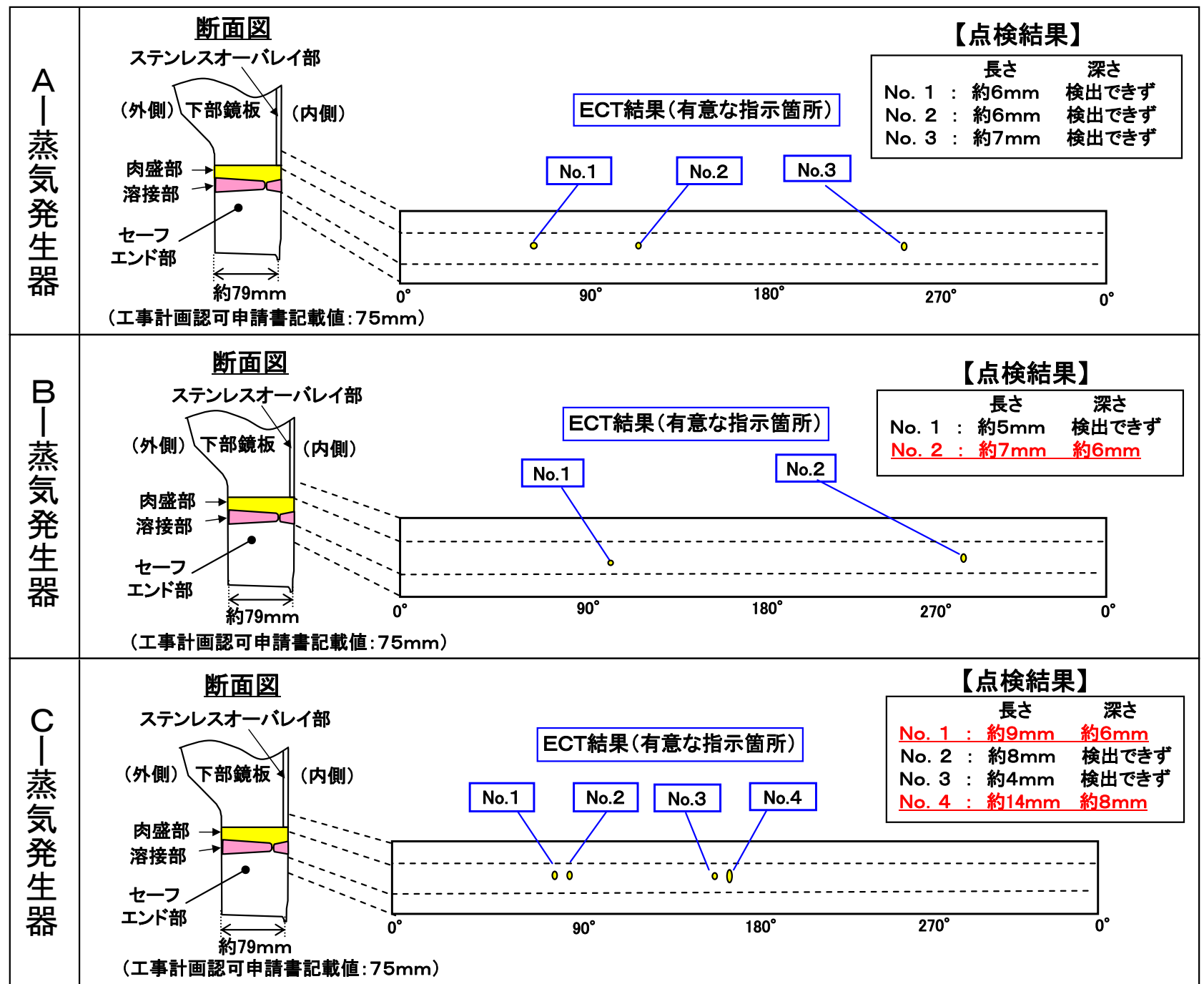
原因究明のため、スンプ観察（金属組織観察）等の詳細調査を実施中

状況図

系統概略図



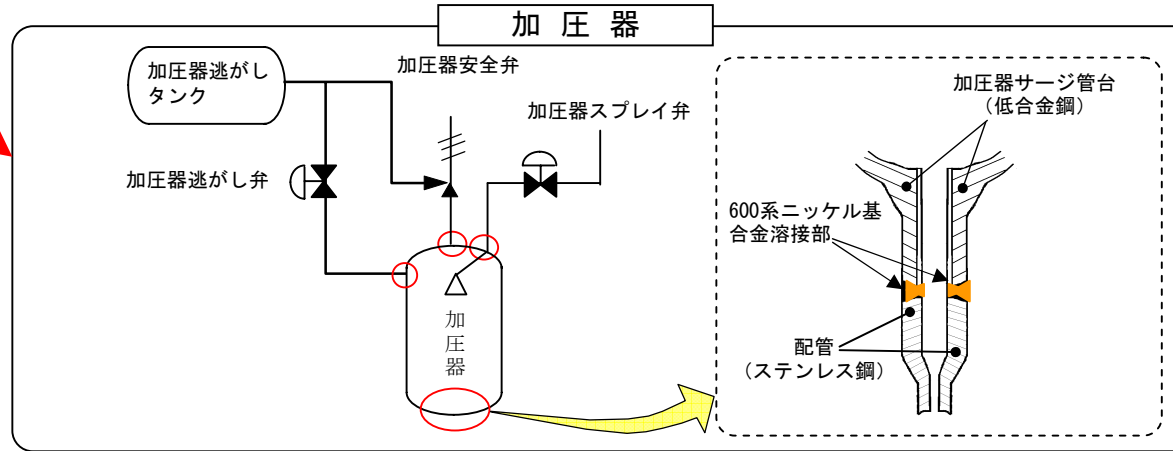
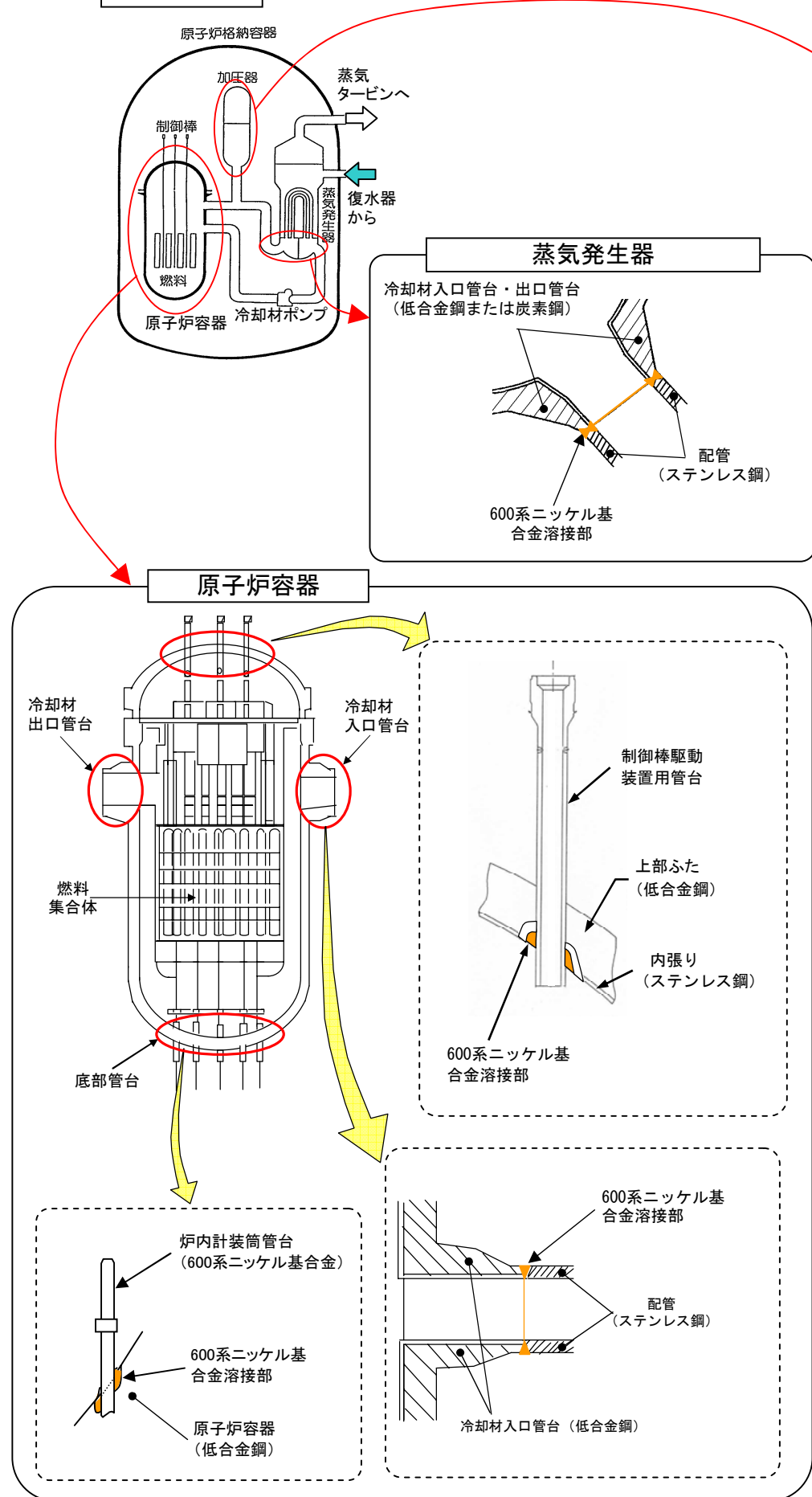
点検状況



1次系の600系ニッケル基合金溶接部の予防保全対策工事実施状況

参考5-1

概略系統図



予防保全対策工事の実施状況

平成19年11月30日現在

| | 運転開始後の発電時間 | 原子炉容器 | | | | 加圧器 | 蒸気発生器取替後の発電時間 | 蒸気発生器 | |
|-------|----------------------|------------------|-----------------|------------------|------------|---------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | 出入口管台 | 炉内計装筒管台 (溶接部表面) | 炉内計装筒管台 (管台母材内面) | 上部ふた | 管台部 | | 出入口管台 | 伝熱管 |
| 敦賀2号機 | 148,766 時間 17.0 年 | ●(H19) ECT,VT | ○ VT | ○ ECT | 取替え 作業中 | 一部実施中 (※1) | | ○ ECT,VT | ●(H16) 毎定検ECT |
| 美浜1号機 | 174,265 時間 19.9 年 | ●(H18) VT | ●(H18) VT | ●(H14) ECT | — | — (※2) | 78,253 時間 8.9 年 | — | — |
| 美浜2号機 | 196,523 時間 22.4 年 | ●(H19) ECT,VT | ●(H19) VT | ●(H13) ECT | — | ○(※3) UT | 91,968 時間 10.5 年 | ○ ECT,VT | — |
| 美浜3号機 | 191,323 時間 21.8 年 | ●(H19) ECT,VT | ●(H19) VT | ●(H16) ECT | — | ○(※3) UT | 63,705 時間 7.3 年 | — | — |
| 大飯1号機 | 168,417 時間 19.2 年 | ●(H19) ECT,VT | ●(H19) VT | ●(H14) ECT | — | ○(※3) UT | 89,167 時間 10.2 年 | ●(H19) ECT,VT | — |
| 大飯2号機 | 179,085 時間 20.4 年 | ●(H18) VT | ●(H18) VT | ●(H14) ECT | — | ○(※3) UT | 69,424 時間 7.9 年 | — | — |
| 大飯3号機 | 118,581 時間 13.5 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ○ ECT | — | ○ UT | | ●(H18) ECT,VT | — |
| 大飯4号機 | 111,183 時間 12.7 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ○ ECT | — | ○ UT | | ○ ECT,VT | — |
| 高浜1号機 | 201,204 時間 23.0 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ●(H14,16) ECT | — | ○(※3) UT | 86,245 時間 9.8 年 | — | — |
| 高浜2号機 | 196,128 時間 22.4 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ●(H15) ECT | — | ○(※3) UT | 99,274 時間 11.3 年 | ○ ECT,VT | — |
| 高浜3号機 | 169,546 時間 19.4 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ○ ECT | 取替え 作業中 | ○ UT | | ○ ECT,VT | ●(H13) 毎定検ECT |
| 高浜4号機 | 166,790 時間 19.0 年 | ○ ECT,VT | ○ VT | ○ ECT | — | ○ UT | | ○ ECT,VT | ●(H13) 毎定検ECT |

<凡例>

- : 今後、予防保全工事を実施
- : 予防保全工事を実施済
- : 690系ニッケル基合金を使用

<予防保全工事施工時に実施する点検>

- ECT: 渦流探傷検査
- VT: 外観目視確認
- UT: 超音波探傷検査

※1: サージ管台は工事实施中。逃がし弁管台、A-安全弁は690系を使用。B,C-安全弁およびスプレイ弁管台は、次回定期検査で実施する予定
 ※2: サージ管台、逃がし弁管台、安全弁管台、スプレイ弁管台の溶接部はステンレス材を使用
 ※3: 逃がし弁管台、安全弁管台、スプレイ弁管台はステンレス鋼の内挿管により接液しないため、対策工事不要

○県内原子力発電所の蒸気発生器（SG）出入口管台の点検実績、点検計画

・600系ニッケル基合金を使用しているプラント

(点検済)

| | SG 取替実績 | SGの 運転時間 | 点検実績 | 点検結果 |
|------|------------------|-------------|----------------|------------------------------------|
| 敦賀2号 | なし | 17.0年 | 16回点検 (H19) | E C Tの結果、29箇所 で有意な信号指示を 確認 |
| 美浜2号 | 14回定検 (H3~H6) | 10.5年 | 24回点検 (H19) | E C Tの結果、13箇所 で有意な信号指示を 確認 |
| 大飯1号 | 12回定検 (H6~H7) | 10.2年 | 21回定検 (H19) | E C Tの結果、異常なし 予防保全工事を実施 |
| 大飯3号 | なし | 13.5年 | 12回定検 (H18) | E C Tの結果、異常なし 予防保全工事を実施 |
| 高浜2号 | 14回定検 (H6) | 11.3年 | 24回定検 (H19) | 入口管台のみ実施 9箇所 で有意な信号指示を 確認 |

(点検予定)

| | SG 取替実績 | SGの 運転時間 | 点検予定 | 備考 |
|------|---------------|-------------|--------------------|---------------------|
| 大飯4号 | なし | 12.7年 | 12回定検 (H20) | 入口管台を優先して 実施 |
| 高浜2号 | 14回定検 (H6) | 11.3年 | 25回定検 (H20) | 出口管台を実施 |
| 高浜3号 | なし | 19.4年 | 18回定検 (H19.11~) | 現在実施中の定期 検査で点検予定 |
| 高浜4号 | なし | 19.0年 | 18回定検 (H20) | 入口管台を優先して 実施 |

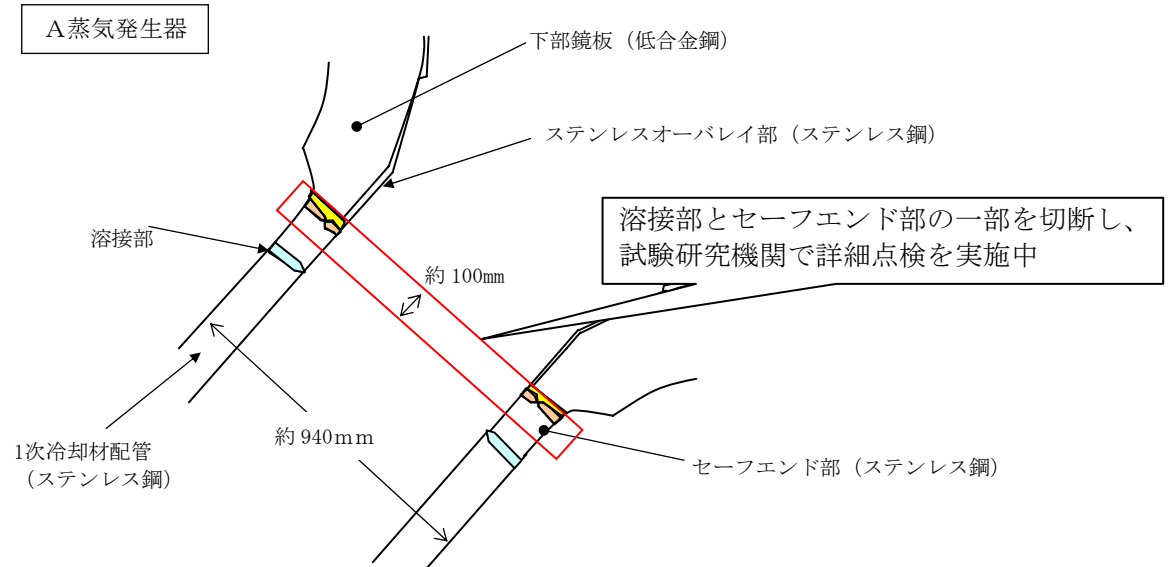
・690系ニッケル基合金を使用しているプラント

| | SG取替実績 | SGの運転時間 |
|------|--------------|---------|
| 美浜1号 | 14回定検(H6~H8) | 8.9年 |
| 美浜3号 | 15回定検(H8~H9) | 7.3年 |
| 大飯2号 | 13回定検(H9) | 7.9年 |
| 高浜1号 | 16回定検(H8) | 9.8年 |

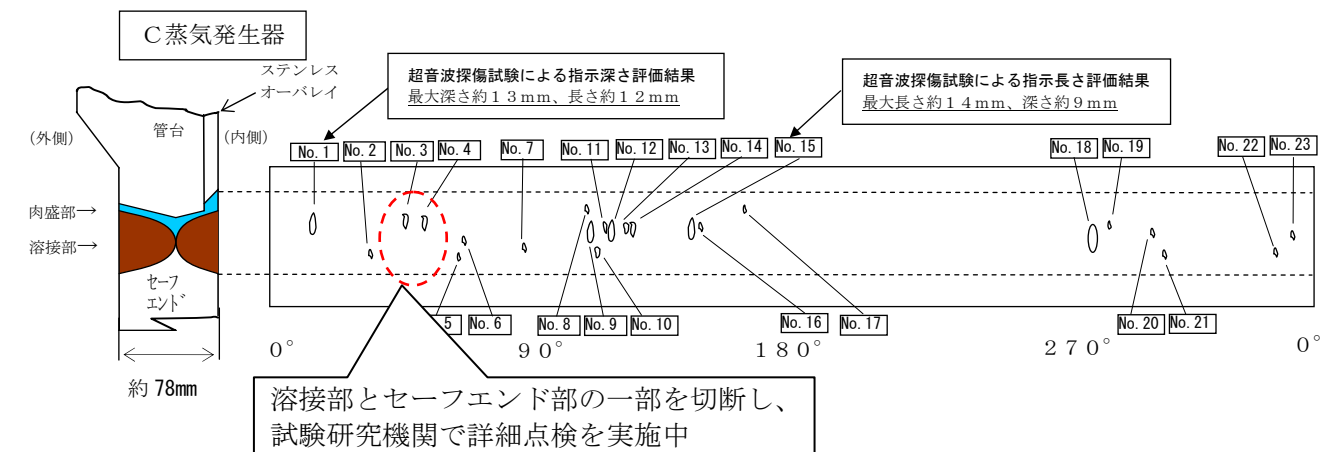
※SGの運転時間は、蒸気発生器取替後の発電時間（平成19年11月30日現在）

○美浜2号機、敦賀2号機、高浜2号機の調査状況について

【美浜2号機】



【敦賀2号機】



【高浜2号機】

