

13. 全ての原子力発電所のこれまでの事故に関する情報

(1)平成23年度

番号	発生年月日	ユニット	件名	法令	異常事象
1	平成23年7月15日	大飯1号機	C-アキュムレータ圧力低下に伴う原子炉手動停止		●
2	平成23年8月18日	高浜4号機	蒸気発生器伝熱管の傷	●	●
3	平成23年12月7日	美浜2号機	A-加圧器27レバゲラントリカワ流量の増加による原子炉手動停止		●
4	平成23年12月31日	高浜2号機	協力会社作業員の負傷		●

(2)平成22年度

番号	発生年月日	ユニット	件名	法令	異常事象
1	平成22年4月19日	美浜2号機	1次冷却材中の放射能濃度の上昇(燃料集合体からの漏えい)		●
2	平成22年5月11日	高浜2号機	発電機B水素ガス冷却器冷却水配管からの漏えいに伴う出力抑制		●
3	平成22年5月12日	高浜4号機	発電機水素ガス冷却器の冷却水入口弁フランジ部からの漏えいによる発電停止		●
4	平成22年5月14日	高浜1号機	タービン動補助給水ポンプの待機除外(ポンプ軸受部からの油漏えい)		●
5	平成22年8月10日	大飯2号機	主復水タンク内での協力会社作業員の負傷		●
6	平成22年10月26日	美浜2号機	調整運転中における電気出力の変動		●
7	平成22年11月1日	美浜2号機	原子炉格納容器空気再循環ファン定期試験における運転上の制限の逸脱(冷却コイル冷却水出口弁の動作不良)		●
8	平成23年2月7日	高浜1号機	タービン建屋での協力会社作業員の負傷		●
9	平成23年3月8日	高浜3号機	補助建屋での協力会社作業員の負傷		●
10	平成23年3月9日	高浜1号機	B-非常用ディーゼル発電機からの潤滑油漏えい		●

(3)平成21年度

番号	発生年月日	ユニット	件名	法令	異常事象
1	平成21年7月7日	大飯1,2号機	ほう酸補助タンク設置工事における協力会社作業員の負傷		●
2	平成21年8月31日	大飯2号機	1次冷却材中の放射能濃度の上昇(燃料集合体からの漏えい)		●
3	平成21年10月12日 平成21年10月19日	大飯1号機	プラント排気筒ガスモニタの一時的な指示値の上昇(水素再結合装置にあるガス分析装置の入口酸素濃度計の自動校正)		●
4	平成21年11月13日	美浜1号機	発電機出力上昇操作中の不具合による発電停止	●	●
5	平成21年12月24日	大飯1号機	プラント排気筒ガスモニタの一時的な指示値の上昇(体積制御タンク水位計の検出配管内の水抜き作業)		●
6	平成22年2月1日	大飯1号機	1次冷却材中の放射能濃度の上昇(燃料集合体からの漏えい)		●
7	平成22年3月8日	高浜2号機	補助建屋排気筒ガスモニタの一時的な指示値の上昇		●
8	平成22年3月16日	高浜4号機	蒸気発生器伝熱管の有意な信号指示	●	●
9	平成22年3月19日	美浜2号機	化学体積制御系統の空気抜き配管溶接部からの漏えいによる原子炉手動停止	●	●

(4)平成20年度

番号	発生年月日	ユニット	件名	法令	異常事象
1	平成20年5月26日	大飯3号機	原子炉容器Aループ出口管台溶接部での傷(4月8日微小な傷確認)	●	●
2	平成20年7月21日	美浜2号機	A-余熱除去ポンプ軸封部の不調に伴う運転上の制限の逸脱		●
3	平成20年7月27日	大飯1号機	管理区域内での協力会社作業員の体調不良(熱中症)		●
4	平成20年8月19日	大飯4号機	1次冷却材中の放射能濃度の上昇(燃料集合体からの漏えい)		●
5	平成20年9月8日	大飯3,4号機	海水淡水化装置建屋での作業中の負傷		●
6	平成20年9月22日	高浜4号機	蒸気発生器伝熱管の有意な信号指示	●	●
7	平成20年10月3日	高浜4号機	蒸気発生器入口管台溶接部での傷	●	●
8	平成20年11月20日	美浜発電所	送電系統への落雷による1,2号機の自動停止と3号機の系統単独運転		●
9	平成20年12月3日	美浜1号機	タービン動補助給水ポンプの運転上の制限の逸脱		●
10	平成21年1月5日	大飯3号機	原子炉熱出力の運転上の制限の逸脱		●
11	平成21年3月12日	大飯2号機	取水路壁面の防汚塗装工事における協力会社作業員の負傷		●

(5)平成19年度

番号	発生年月日	ユニット	件名	法令	異常事象
1	平成19年4月17日	美浜1号機	原子炉格納容器内の壁面からの水のにじみ		●
2	平成19年4月25日	美浜3号機	蒸気発生器2次側管板上面での異物確認		●
3	平成19年5月28日	美浜3号機	発電機部品(ケーシングボルト)運搬中の協力会社作業員の負傷		●
4	平成19年6月8日	美浜3号機	A蓄圧タンク窒素供給系統からの僅かな窒素漏れ		●
5	平成19年8月10日	大飯1号機	B-非常用ディーゼル発電機の待機除外		●
6	平成19年9月3日	大飯1号機	1次冷却材ポンプ封水注入フィルタからの漏えいに伴う原子炉手動停止	●	●
7	平成19年9月11日	大飯1,2号機	復水処理建屋内での配管点検準備作業中の協力会社作業員の負傷		●
8	平成19年9月25日	美浜2号機	A-蒸気発生器入口管台溶接部の傷	●	●
9	平成19年9月28日	高浜3号機	A-非常用ディーゼル発電機の待機除外		●
10	平成19年10月2日	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	●	●
11	平成19年10月24日	大飯3号機	プラント排気筒からの僅かな希ガスの放出		●
12	平成19年11月5日	高浜1号機	A-非常用ディーゼル発電機の待機除外		●
13	平成19年11月7日	大飯2号機	2次系主給水配管曲がり部の減肉	●	●
14	平成19年12月4日	高浜2号機	蒸気発生器入口管台溶接部での傷	●	●
15	平成19年12月5日	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えいに伴う原子炉手動停止		●
16	平成19年12月6日	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		●
17	平成19年12月13日	大飯2号機	「1次冷却材平均温度異常低」警報の発信		●
18	平成19年12月15日	大飯2号機	第2段湿分分離加熱器空気抜き管からの蒸気漏えいに伴う原子炉手動停止		●
19	平成20年1月9日	高浜1号機	1次冷却材中の放射能濃度の上昇(燃料集合体からの漏えい)		●
20	平成20年2月4日	高浜3号機	蒸気発生器入口管台溶接部での傷	●	●
21	平成20年2月7日	大飯3号機	中性子源領域検出器の一時的な停止		●
22	平成20年3月12日	大飯2号機	制御棒位置偏差大警報発信に伴う出力降下	●	●
23	平成20年3月18日	大飯3号機	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		●

⑥平成18年度

番号	発生年月日	ユニット	件 名	法令	異常事象
1	平成18年5月16日	美浜3号機	格納容器内での水漏れ		●
2	平成18年6月24日	美浜2号機	5 A 高圧給水加熱器ドレンライン逆止弁フランジ部からの蒸気漏れに伴う出力降下		●
3	平成18年8月18日	高浜3号機	「B－蒸気発生器の水位異常低」警報発信による原子炉自動停止	●	●
4	平成18年8月25日	大飯4号機	B－電動補助給水ポンプの待機除外		●
5	平成19年1月14日	高浜1号機	原子炉補助建屋内（管理区域内）での水漏れ		●
6	平成19年2月16日	美浜1号機	余熱除去系統サンプリングラインの溶接事業者検査手続き漏れ		●
7	平成19年3月19日	大飯1号機	協力会社作業員の負傷		●

⑦平成16年度

番号	発生年月日	ユニット	件 名	法令	異常事象
1	平成16年8月9日	美浜3号機	2次系配管破損事故	●	●

⑧平成2年度

番号	発生年月日	ユニット	件 名	法令	異常事象
1	平成3年2月9日	美浜2号機	蒸気発生器伝熱管損傷事象	●	●

大飯発電所１号機の原子炉手動停止について (Ｃ－蓄圧タンク圧力の低下の原因と対策)

平成２３年８月２６日

関西電力株式会社

大飯発電所１号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力１１７万５千キロワット、定格熱出力３４２万３千キロワット）は、第２４回定期検査中で調整運転中のところ、平成２３年７月１５日２２時４６分に「Ｃ－蓄圧タンク※１圧力高／低」の警報が発信しました。

Ｃ－蓄圧タンクの圧力計を確認したところ、圧力が通常４．６０ＭＰａのところ、保安規定に定める運転上の制限値４．０４ＭＰａを下回り、３．６５ＭＰａに低下していることが確認されました。このため、２３時２０分に、窒素供給ラインから当該タンクに窒素補給を開始した結果、２３時４５分に圧力は４．０９ＭＰａに回復し、保安規定に定める運転上の制限値４．０４ＭＰａを満足しました。

その後、７月１６日０時３８分に窒素補給を終了し、当該タンクの圧力の監視を強化するとともに、当該タンクおよびタンク周りの弁や配管の外観点検を行い、タンク等の外観に異常は認められませんでした。また、圧力も約４．０８ＭＰａで安定的に推移しています。

当社では、安全を最優先に、７月１６日、１３時００分から出力降下し、１９時４８分に発電を停止、２０時５３分に原子炉を停止させ、圧力低下の原因を調査し、対策を実施することとしました。

本事象による環境への放射能の影響はありません。

[７月１６日お知らせ済み]

※１ 蓄圧タンク

ほう酸水を蓄えているタンクで、４系統ある１次冷却系統にそれぞれ１基ずつ設置されている。原子炉冷却材喪失事故時など、１次冷却系統の圧力が窒素で加圧されている蓄圧タンクの圧力よりも低下した際に、ほう酸水が系統に注入される。

１．原因調査

(１) 現地調査結果

- ・当該タンクおよびタンクに接続されている配管等の漏えい確認および圧力計（２台）の点検の結果、異常は認められませんでした。
- ・当該タンクの圧力低下時に、格納容器圧力が僅かに上昇していることから当該タンク内の窒素が格納容器内に排出されたものと推定されました。

- ・プラント起動時（平成23年3月）と比較すると、格納容器内空調設備の冷却水を冷やす海水温度の上昇に伴い格納容器内の温度が上昇し、蓄圧タンク圧力も増加傾向（約4.50MPa→4.62MPa）にあることを確認しました。

（2）蓄圧タンク安全弁の調査結果

上記の調査結果から、当該タンクの安全弁^{※2}が作動し、タンク内の圧力が低下したものと推定されたことから、安全弁の詳細調査を実施しました。

※2 安全弁

タンク内の圧力が上昇した際に、タンクの損傷を防止するために圧力を逃す弁

（吹出し圧力確認結果）

- ・当該安全弁は、バネで弁体を弁座に押し付ける構造で、タンク圧力がバネ力を上回ると弁が開きます。
- ・前回の定期検査（平成21年8月～平成22年1月）で当該弁を分解点検し、弁が開く圧力（吹出し圧力）が基準値内（4.76MPa～4.89MPa）であることを試験で確認した後、タンクに取り付けられました。
- ・今回、当該安全弁の吹出し圧力の確認試験を実施した結果、前回の定期検査での値を下回る（4.50MPa～4.71MPa）ことが確認されました。

（吹止まり圧力確認結果）

- ・安全弁が開いた後に閉止する時の圧力（吹止まり圧力）は、吹出し圧力からの低下が10%以内とされていますが、今回、圧力低下が約20%であったため、吹止まり圧力の確認試験を行いました。吹止まり圧力は正常な範囲でした。

（分解点検結果）

- ・当該安全弁の分解点検を実施した結果、バネ、弁棒等の部品に異常はなく、異物も認められませんでした。
- ・弁体、弁座の当たり面（シート面）の目視確認の結果、有意な傷は確認できませんでしたが、拡大観察の結果、細かなレコード溝状のすじが認められました。

（吹出し圧力低下の調査結果）

- ・分解点検からタンクへの取付けまでの一連の作業について再現試験を行った結果、シート面の手入れ（研磨材を用いた研磨作業）時間が短い場合には、シート面にレコード溝状のすじが発生し、シート面が粗い状態になることを確認しました。
- ・シート面の状態が吹出し圧力に与える影響についてモックアップ試験を行った結果、シート面が粗い状態では、吹出し圧力の確認試験後に、吹出し圧力が低下する場合があることが確認されました。

(吹止まり圧力低下の調査結果)

- ・バネのへたりや部品の腐食等の異常が認められていないことから、吹止まり圧力が低下する要因としては、異物の混入により、吹出し後に弁体が元の位置に戻りにくくなった可能性があるかと推定されました。
- ・モックアップ試験の結果、微小な異物（金属性のくず等）が弁体とその外側に設置されている弁体ガイドの間に入った場合、接触抵抗が増加し、吹止まり圧力が低下することが確認されました。
- ・前回の定期検査での作業状況を調査した結果、当該安全弁の取外しおよび取付けの際に、安全弁取付け配管に異物が混入した可能性は否定できませんでした。

2. 推定原因

前回の定期検査において、当該安全弁の分解点検を実施した際、弁体および弁座のシート面の手入れ時間が短く、シート面が粗い状態であったことから、吹出し圧力検査後、吹出し圧力が低く動作する状態となっていたものと推定されました。

この状態で、格納容器内の温度上昇に伴い、タンク内の圧力が徐々に高くなったことから、安全弁が動作したものと推定されました。

吹止まり圧力低下の原因については、定期検査時の当該安全弁取外し・取付けの際に、異物が安全弁取付け配管内に混入し、安全弁作動時に、弁体と弁体ガイドの隙間に噛み込んだためと推定されました。

3. 対策

当該安全弁については、シート面の手入れ作業を行い、シート面が平滑に仕上げられていることを拡大鏡を用いて確認した上で復旧するとともに、作業要領書を見直し、シート面の手入れ後に拡大鏡で確認する手順を追記します。

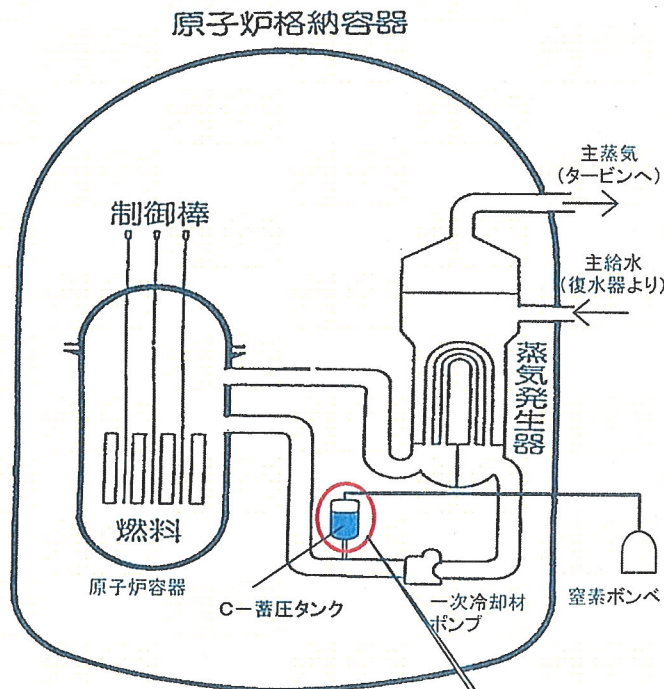
当該安全弁取外し・取付け作業の際は、安全弁の周囲をビニールシート等で覆い、異物が入り込まないように異物管理を強化します。

大飯1号機の他の3台の蓄圧タンク安全弁については、今回の調査の一環として分解点検を行い、シート面に傷等がないことを確認していますが、今後、タンクに取付ける際には、これらの対策を徹底します。

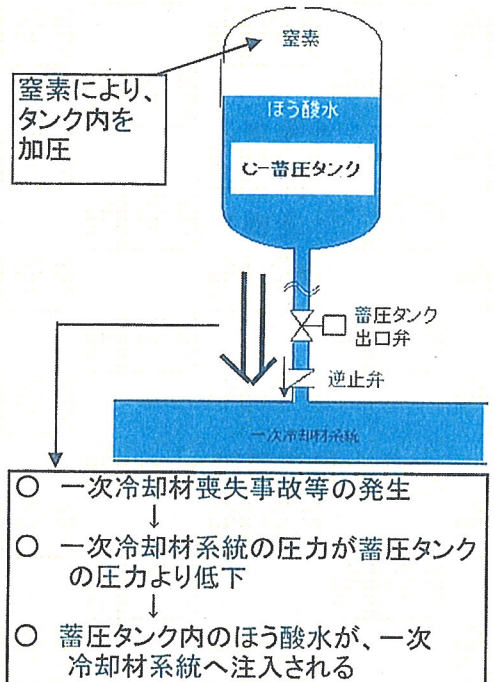
なお、格納容器内の温度上昇に伴う当該タンクの圧力変化を考慮し、運用圧力や警報設定値の適正化を図ることとしました。

以 上

概略系統図



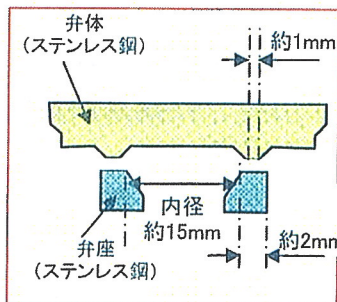
蓄圧タンクの動作概要



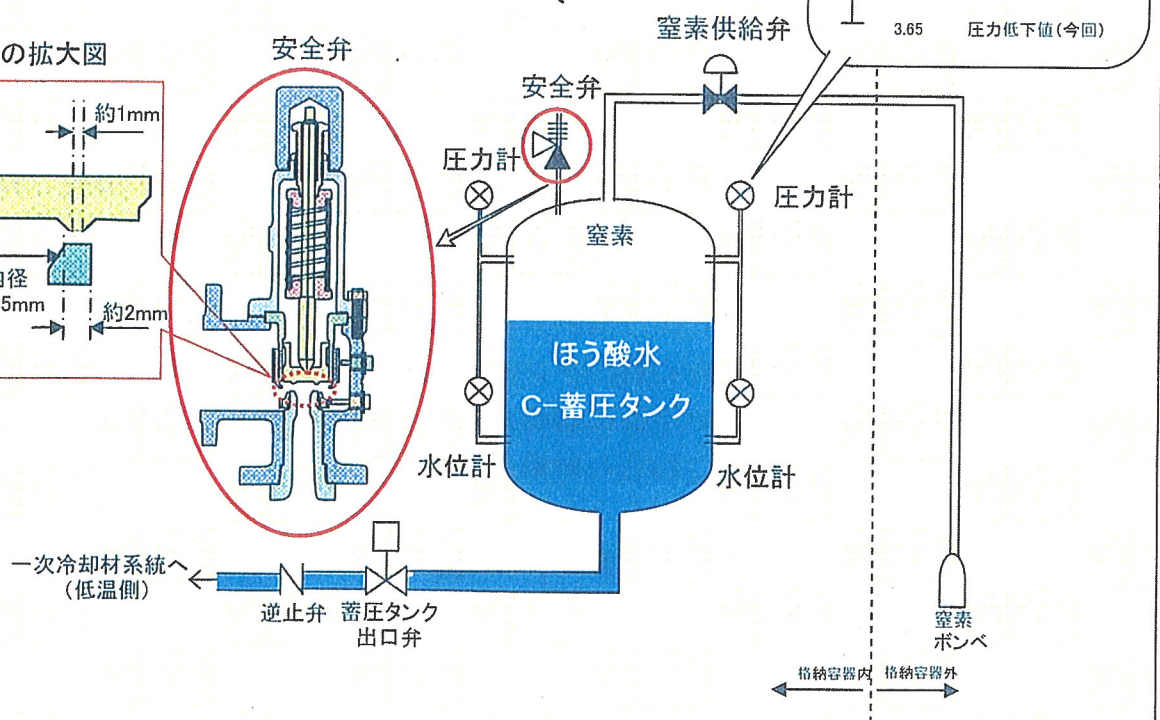
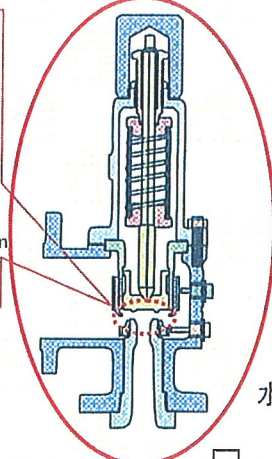
【蓄圧タンクの仕様】

寸法：高さ 約7m × 内径 約3m
 容量：約38m³ (最大)、約28m³ (運転中のほう酸水量)
 ほう酸濃度：2800 ppm以上
 圧力：約4.2~4.7MPa(運転中)
 材質：低合金鋼

シート部の拡大図

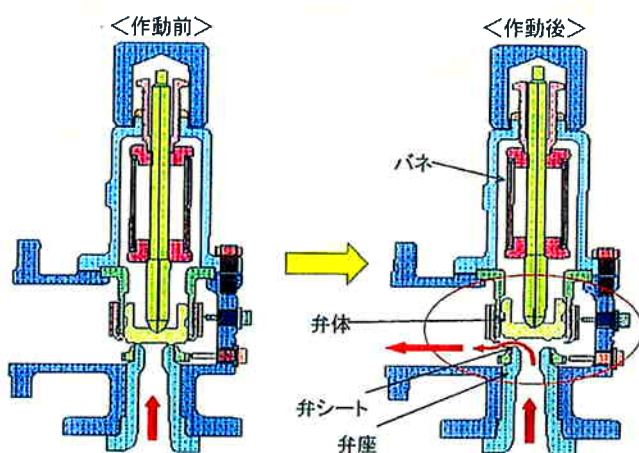


安全弁



大飯発電所1号機 C-蓄圧タンク圧力低下の点検結果(2/3)

安全弁の設置目的



設置目的

安全弁は、蓄圧タンク内の圧力が上昇し、設定圧力に到達した場合、蓄圧タンクの過加圧防止を目的に作動

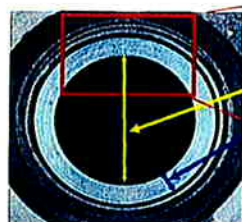
①吹出し圧力が基準値内になるようバネ力で調整

②安全弁が作動し、タンク内のガスを放出

③タンク内圧力が低下し、バネ力が上回った時点で安全弁が閉止

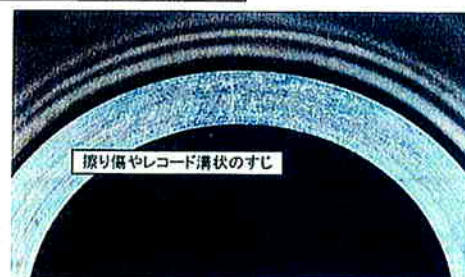
弁シート面点検結果

弁座シート面

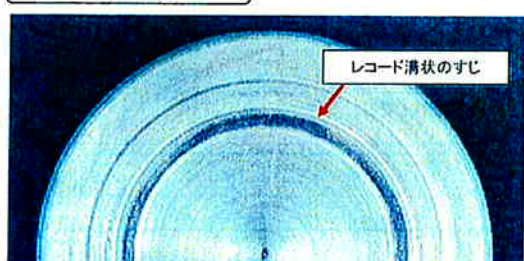


約15mm(内径)
約2mm(シート幅)

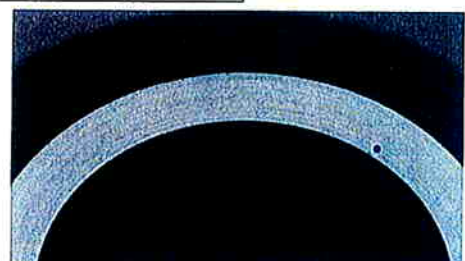
弁座シート面拡大(当該)



弁体シート面拡大(当該)



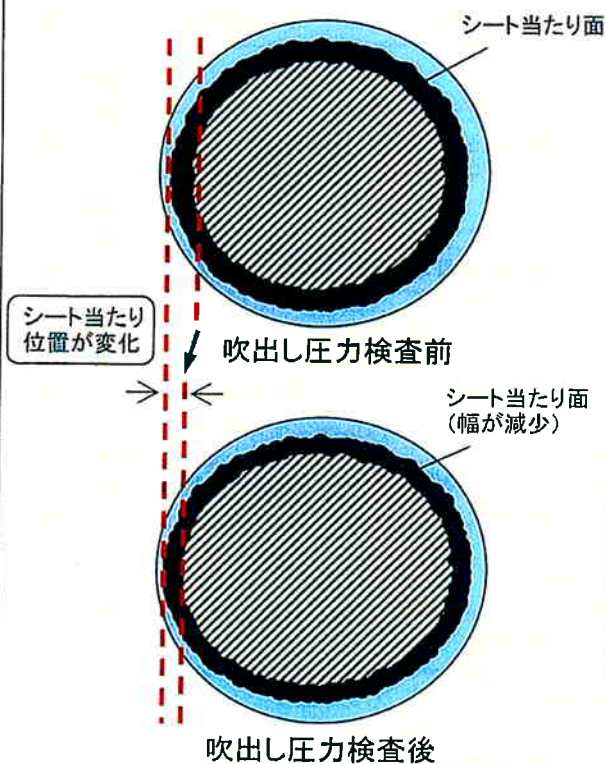
弁座シート面(手入れ品)



- ・弁体および弁座のシート面全体に、擦り傷やレコード溝状のすじ(粗い状態)
- ・手入れ時間が短い場合には、シート面の全面が粗い状態になることを確認
- ・弁シート面が粗い場合、吹出し圧力が低下することを確認

安全弁吹出し推定メカニズム

弁座シート面のイメージ



①吹出し圧力検査後に取付け



②吹出し圧力検査にて安全弁
シート当たり幅、位置が変化



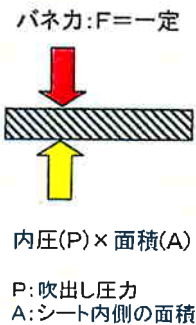
③シート当たり幅が減少したこと
で作動圧力が低下



④格納容器内の温度上昇に伴う
蓄圧タンク内の圧力の上昇



安全弁作動

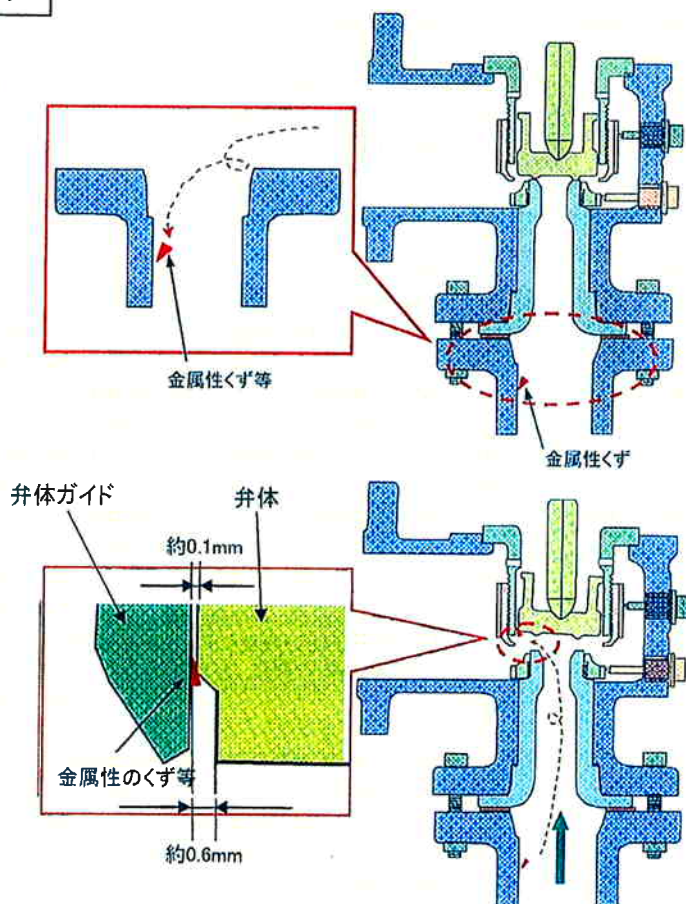


安全弁吹止まり圧力低下推定メカニズム

①定期検査時の当該安全弁取外し・
取付け作業時に、入口配管近傍に微
小な異物(金属性のくず等)が混入し
た可能性は否定できない。



②当該安全弁の作動に伴い、この異
物が弁体と弁体ガイドの隙間に噛み
込み、弁体下降時の摺動抵抗が増加
し、吹止まり圧力に影響したものと推
定。



高浜発電所４号機の定期検査状況について
(蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果
に対する原因と対策について)

平成２３年８月２６日
関西電力株式会社

高浜発電所４号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力８７万キロワット、定格熱出力２６６万キロワット)は、平成２３年７月２１日から第２０回定期検査を実施していますが、３台ある蒸気発生器（ＳＧ）の伝熱管全数^{*１}について渦流探傷検査（ＥＣＴ）^{*２}を実施した結果、Ｂ－ＳＧの伝熱管１本およびＣ－ＳＧの伝熱管１本の高温側管板^{*３}部（計２本）で、有意な信号指示が認められました。なお、Ａ－ＳＧの伝熱管については、有意な信号指示は認められませんでした。本事象による環境への放射能の影響はありません。

- *１ 既施栓管を除きＡ－ＳＧで３,２４７本、Ｂ－ＳＧで３,２４９本、Ｃ－ＳＧで３,２６０本、合計９,７５６本。
- *２ 高周波電流を流したコイルを、伝熱管に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥により生じた渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する検査。
- *３ 蒸気発生器内の伝熱管が取り付けられている部品。伝熱管と管板で、１次冷却材と給水（２次冷却水）の圧力障壁となる。

[８月１８日お知らせ済み]

１．原因調査

伝熱管２本の高温側管板部で有意な信号指示が認められた原因を調査するため、過去の調査結果との比較や運転履歴の調査を実施しました。

(１) 過去の調査結果との比較

- ・高浜４号機では、第１１回定期検査（平成１１年）において高温側管板拡管部で有意な信号指示が確認され、抜管調査の結果、ローラ拡管^{*４}上端部付近の伝熱管内面で軸方向に沿った割れが認められました。原因は、管内面での引張り残留応力と運転時の内圧とが相まって生じた応力腐食割れであると推定しました。
- ・その後、当該部の応力腐食割れの発生を予防するため、第１３回定期検査（平成１４年）でＳＧ伝熱管の高温側管板拡管部内面にショットピーニング^{*５}を施工し、伝熱管内表面の引張り残留応力を改善しました。
- ・今回の有意な信号指示は、いずれも①高温側管板部のローラ拡管上端部付近であり、②伝熱管の軸方向に沿った内面傷を示す指示であるなど、過去に同機で検出された信号と類似の特徴が認められました。
- *４ 伝熱管内部に機械式ローラを通すことで伝熱管を押し広げて、伝熱管と管板を接合させる工程。
- *５ 伝熱管内面に小さな金属球を高速で叩き付けることにより、伝熱管内面の引張り残留応力を圧縮応力に改善する工事。

(2) ショットピーニングの効果

- ・ショットピーニングでは、伝熱管内表面近傍（深さ約 0.2mm まで）の引張り残留応力が改善されますが、これより深い部分では効果が小さいことが知られています。
- ・このため、ショットピーニング施工時に、深さ約 0.2mm 以上で当時使用していた ECT の検出限界未満（深さ約 0.5mm 未満）の微小な傷が既に発生していた場合、時間の経過とともに傷が進展する可能性があるかと推定しました。

(3) 運転履歴調査

運転開始以降、今定期検査開始に至るまでの期間について、1 次冷却材の主要パラメータである温度、圧力、水質について調査を行った結果、過大な応力を発生させる温度、圧力の変化はなく、水質も基準値の範囲内で安定していたことを確認しました。

2. 推定原因

有意な信号指示が認められた原因は、過去の調査結果等から S G 製作時に当該伝熱管を管板部で拡張する際、管内面に引張り残留応力が生じ、これが運転時の内圧と相まって伝熱管内面で応力腐食割れが発生し、今回検出されたものと推定しました。

3. 対策

有意な信号指示が認められた伝熱管 2 本については、高温側および低温側管板部で閉止栓（機械式栓）を施工し、使用しないこととします。

以 上

(経済産業省による I N E S の暫定評価)

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0 —	0 —

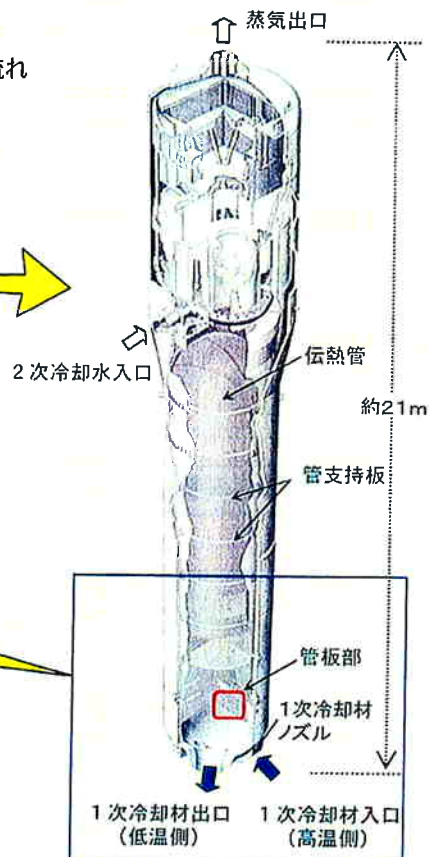
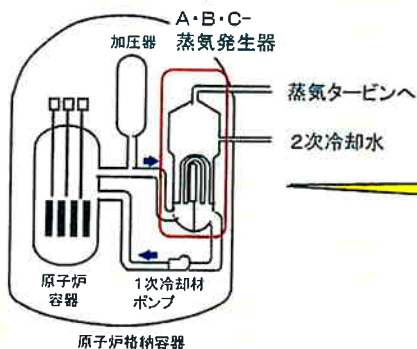
I N E S : 国際原子力事象評価尺度

高浜発電所4号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果)

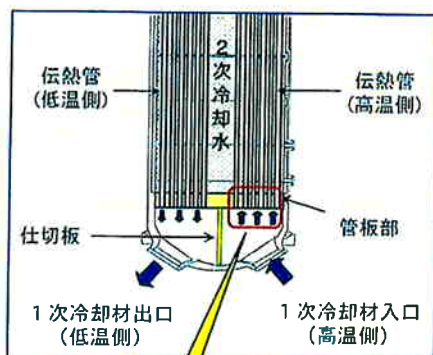
発生箇所

蒸気発生器の概要図

系統概要図

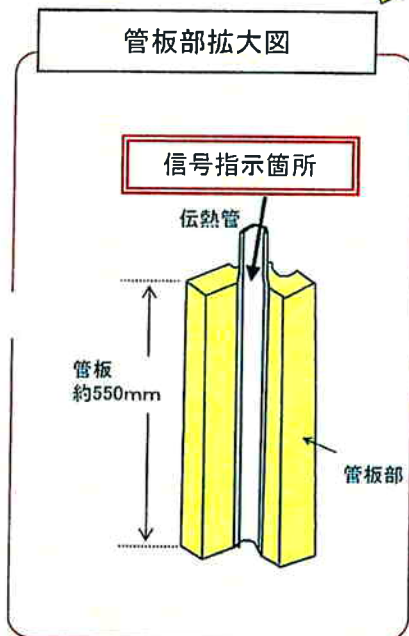


蒸気発生器下部の断面図

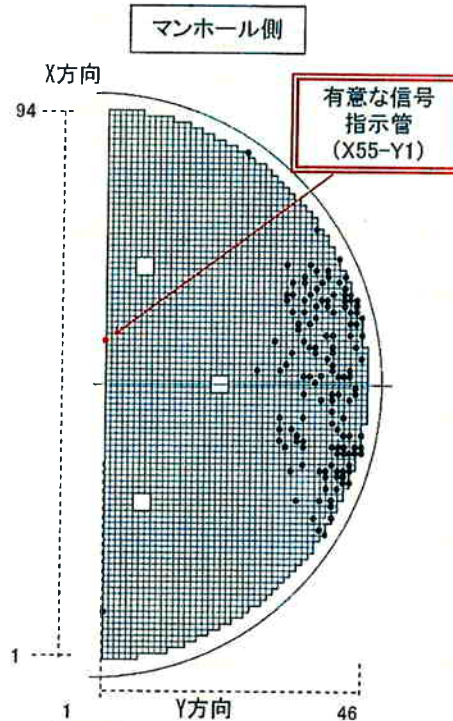


B-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図

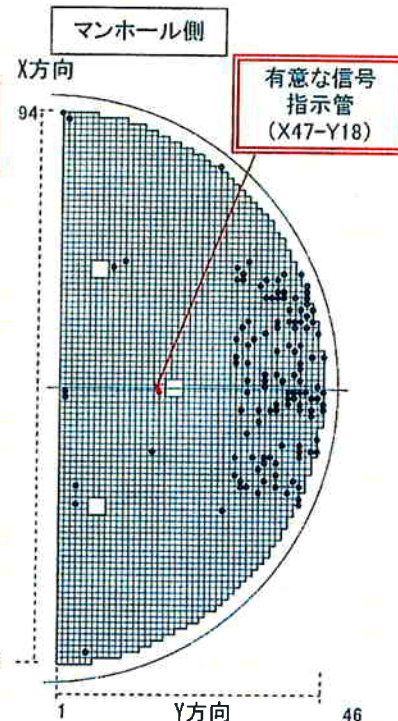
C-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図



伝熱管外径 : 約22.2mm
 " 厚さ : 約1.3mm
 " 材質 : インコネル600(特殊熱処理)



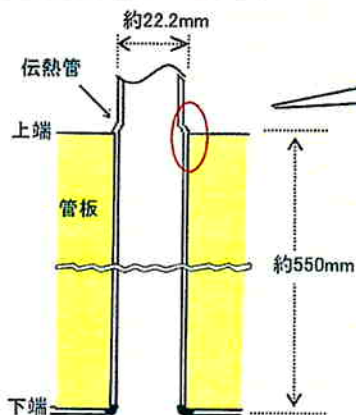
● : 有意な信号指示管 (1本)
 ● : 既施栓管 (133本)



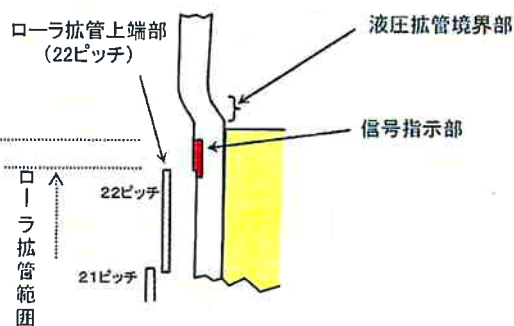
● : 有意な信号指示管 (1本)
 ● : 既施栓管 (122本)

渦流探傷検査(ECT)結果

信号指示の位置

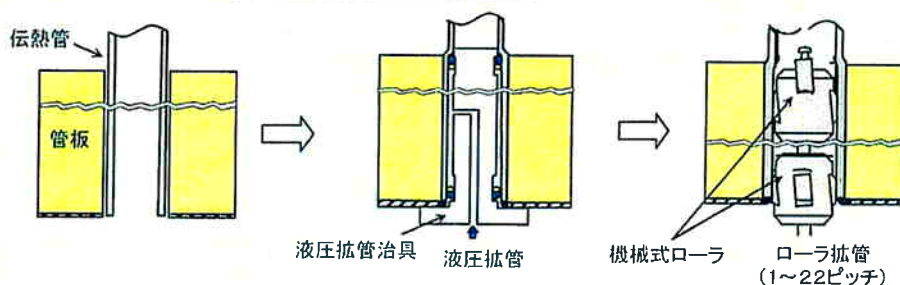


ローラ拡管部(イメージ)



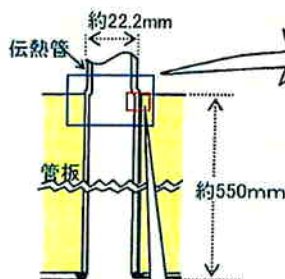
信号指示位置は22ピッチローラ拡管上部部であった

蒸気発生器製作時の管板部の伝熱管拡管方法

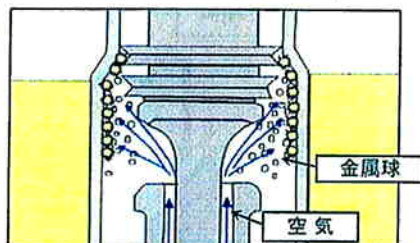


管板部でローラ拡管する際、伝熱管内面で局部的に引張り残留応力が発生

ショットピーニングの効果と渦流探傷検査(ECT)の検出範囲



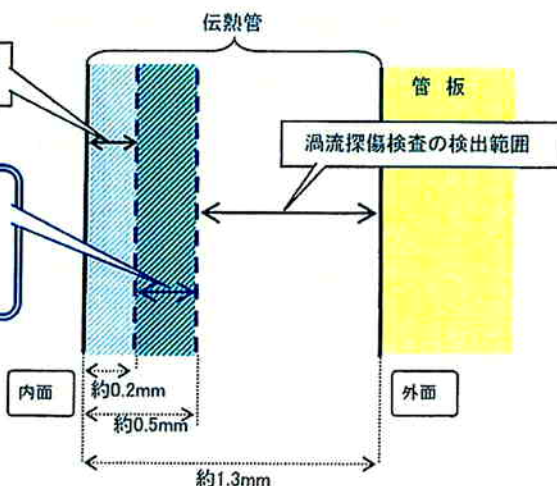
ショットピーニングの実施概要



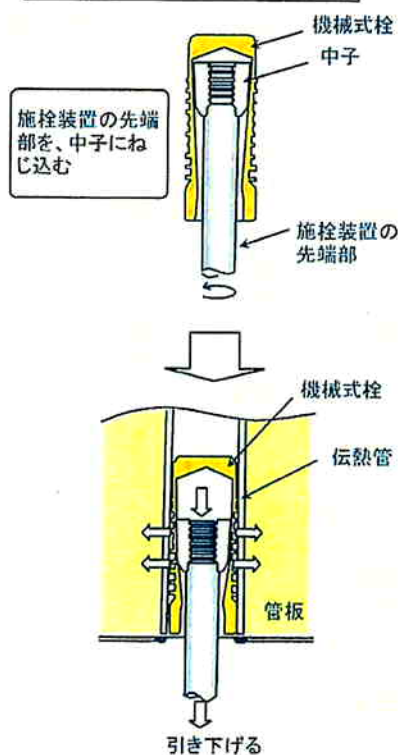
空気によって、金鋼球(直径約0.2mmの金属球)を打ち付け、伝熱管表面近傍の引張り残留応力を圧縮応力に改善する

ショットピーニングによる圧縮応力付与範囲

この範囲に、応力腐食割れの先端があった場合、割れが進展し、顕在化する可能性がある



対策(施栓方法)



機械式栓を伝熱管に挿入し、施栓装置の先端部を引き下げるにより、中子も同時に引き下がり、機械式栓を押し広げ施栓する

高浜発電所4号機のSG伝熱管の施栓履歴

	Aー蒸気発生器 (3,382本)	Bー蒸気発生器 (3,382本)	Cー蒸気発生器 (3,382本)	合 計 (10,146本)	施栓理由
第4回定期検査 H2.2～H2.5	7	9	5	21	振れ止め金具部の摩耗減肉 (振れ止め金具の取替実施)
第9回定期検査 H8.9～H8.11	10	0	0	10	管支持板洗浄装置の接触痕を 確認
第11回定期検査 H11.4～H11.7	0	0	4	4	高温側管板部の応力腐食割れ
第12回定期検査 H12.9～H12.11	4	1	6	11	高温側管板部の応力腐食割れ
第13回定期検査 H14.1～H14.3	1	0	0	1	高温側管板部の応力腐食割れ (ショットピーニング施工)
第14回定期検査 H15.4～H15.6	1	1	0	2	高温側管板部の応力腐食割れ
第15回定期検査 H16.8～H16.10	112	122	105	339	旧振れ止め金具部の微小な 摩耗減肉(新方式のECT 採用)
第18回定期検査 H20.8～H20.12	0	0	1	1	高温側管板部の応力腐食割れ
第19回定期検査 H22.2～H22.6	0	0	1	1	高温側管板部の応力腐食割れ
第20回定期検査 (今回施栓予定)	0	1	1	2	高温側管板部の応力腐食割れ
累積施栓本数	135	134	123	392	—
[施栓率]	[4.0%]	[4.0%]	[3.6%]	[3.9%]	

【補足】

○SG一基あたりの伝熱管本数:3,382本/基

○定検回時の下の年月は、解列～並列を表す。

○安全解析施栓率は10%である。

(伝熱管の施栓率が10%の状態において、プラントの安全性に問題が無いことが確認されている)

美浜発電所2号機 A-加圧器スプレ弁グランドリークオフ 流量の増加について（調査状況）

平成24年1月20日

関西電力株式会社

美浜発電所2号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力50万キロワット、定格熱出力145万6千キロワット)は、平成23年11月9日頃から、2台ある加圧器スプレ弁^{※1}のうち、A-加圧器スプレ弁のグランド部から1次冷却水をドレンタンクに回収する配管(グランドリークオフ^{※2}配管)の温度が若干高めであったことから、当該配管内の流量等の監視を行っていましたが、配管内の流量が液体廃棄物処理設備の処理能力を超える可能性があったことから、12月7日20時から出力降下を開始し、8日3時15分に発電を停止、4時に原子炉を停止しました。

なお、格納容器内の放射線モニタや加圧器水位等の運転パラメータに変化はなく、格納容器内の監視カメラによる点検で漏えいは認められませんでした。

原子炉停止後、当該弁の外観目視点検を実施したところ、1次冷却水の系統外への漏えい等の異常は認められませんでした。

この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

[平成23年12月7日、12月15日お知らせ済み]

その後、美浜発電所2号機は、12月18日から定期検査を開始し、燃料を取り出した後、系統の水抜きを行い、当該弁の分解点検を実施しました。

その結果、1次冷却水が弁棒に沿って上昇するのを防ぐために弁棒を覆っている金属製の蛇腹(ベローズ)の折り目(内側)の溶接部1箇所、全周にわたる貫通割れが確認しました。

また、B-加圧器スプレ弁についても、分解点検を実施した結果、ベローズに同様の貫通割れが確認されました。

今後、これらベローズの材料成分分析、破面観察等の詳細調査を実施します。

※1 加圧器スプレ弁

加圧器の圧力が設定値(15.59Mpa)を超えて高くなった場合に、加圧器内に水を拡散し、圧力を調整する弁

※2 グランドリークオフ

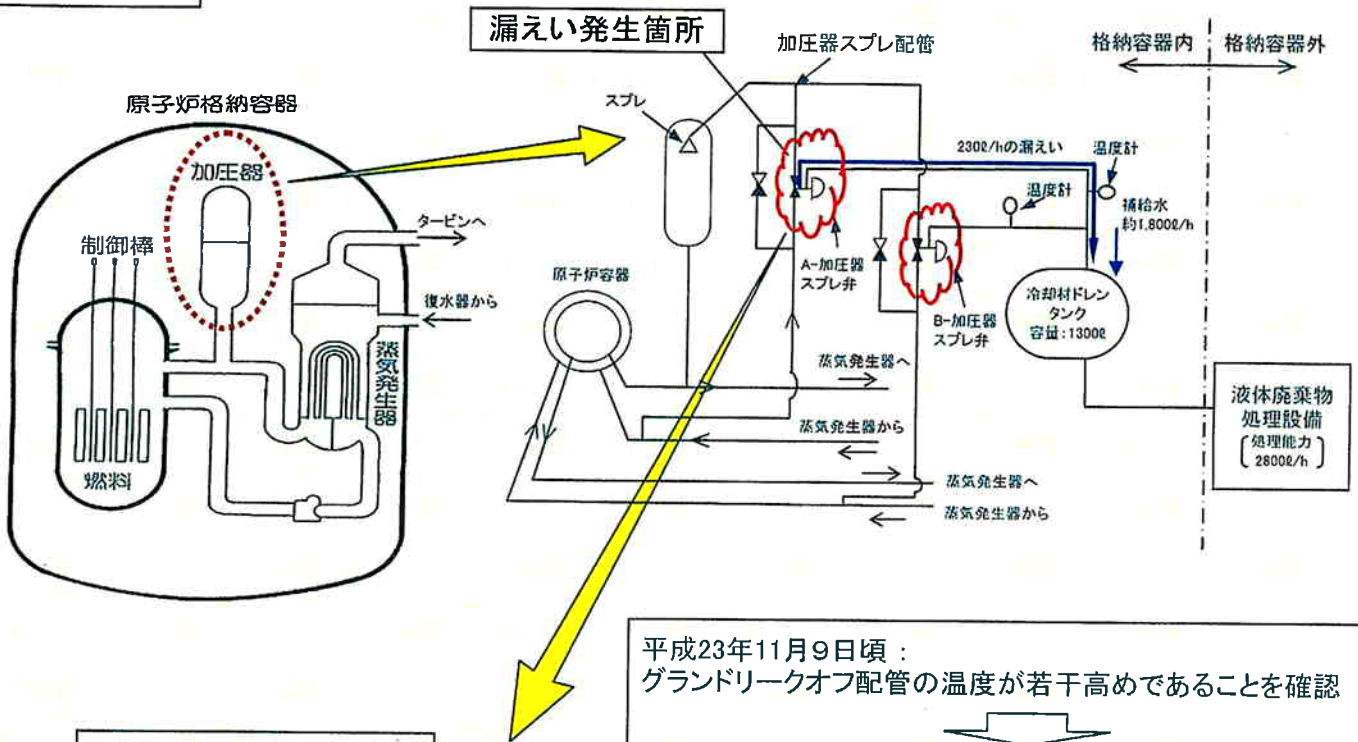
加圧器スプレ弁からの漏えいを系統外に出さないよう回収する系統。

以上

美浜発電所2号機 A-加圧器スプレ弁グランドリークオフ流量の増加について(調査状況)

(1/2)

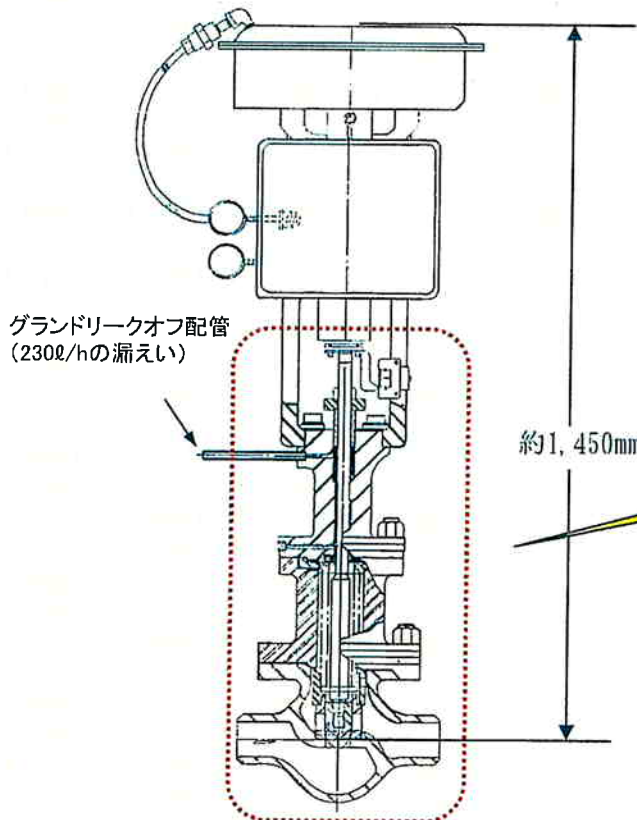
系統概要図



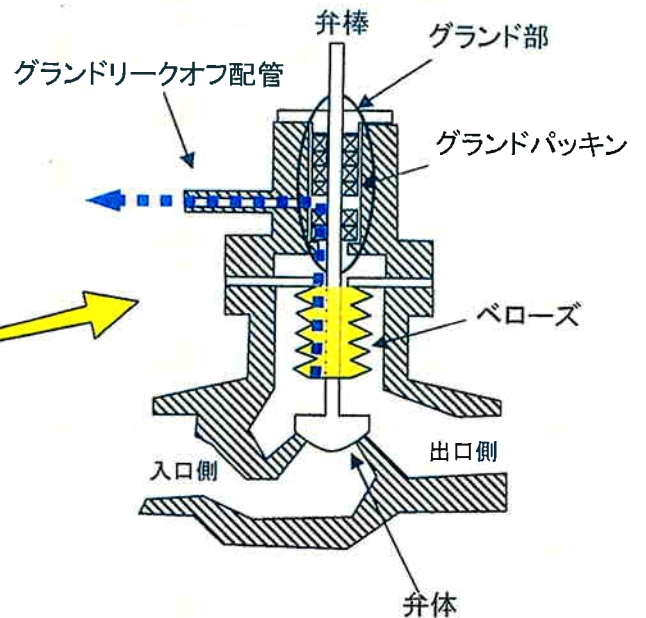
加圧器スプレ弁概要図

平成23年11月9日頃：
グランドリークオフ配管の温度が若干高めであることを確認

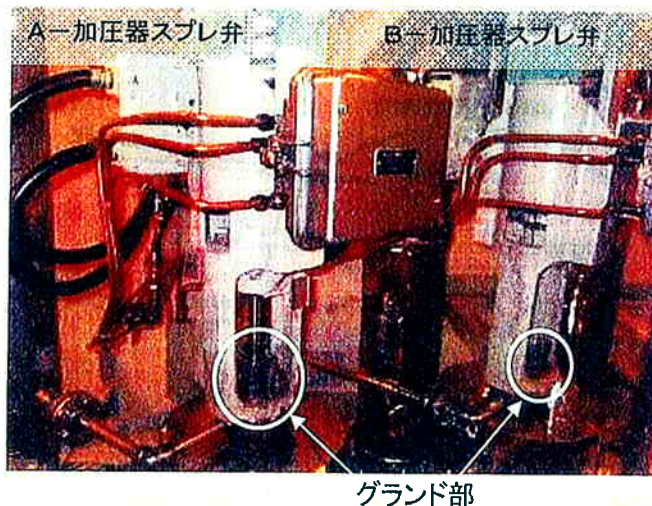
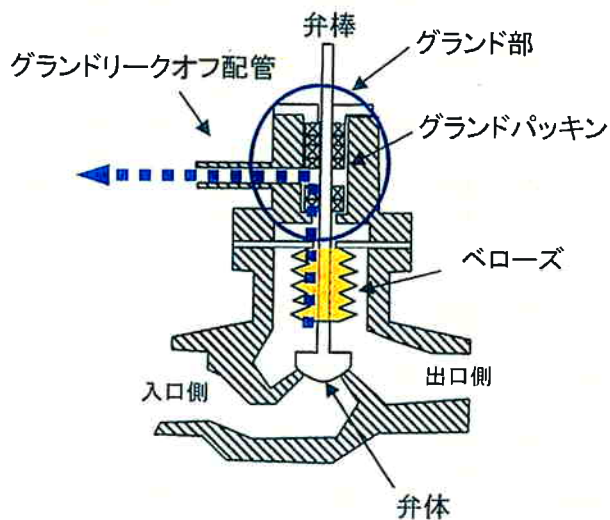
グランドリークオフ流量等の監視強化



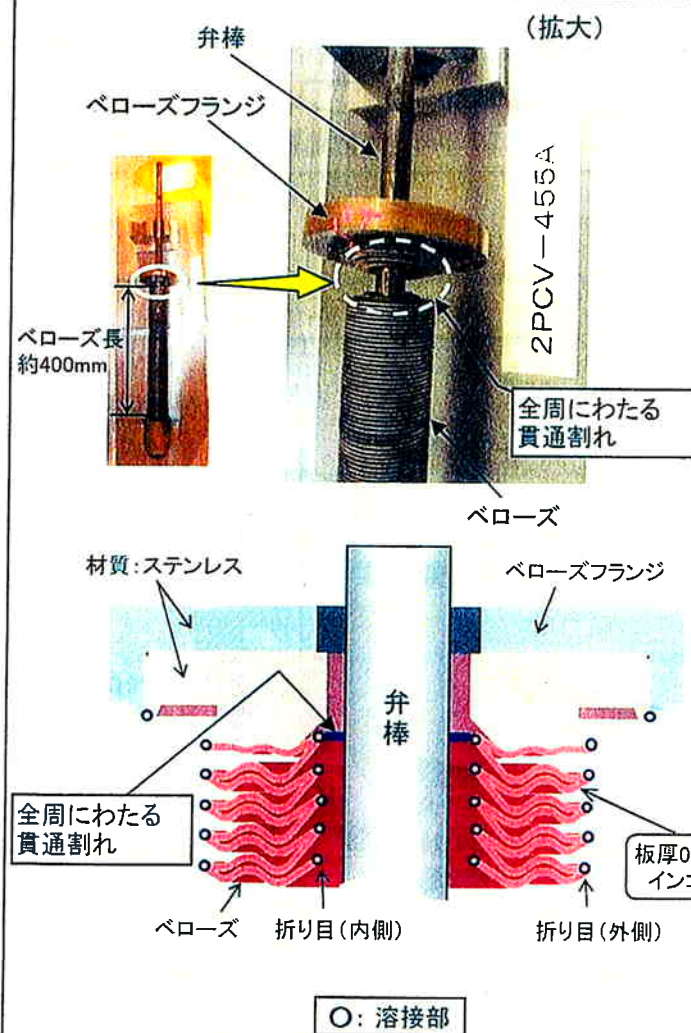
加圧器スプレ弁の拡大図



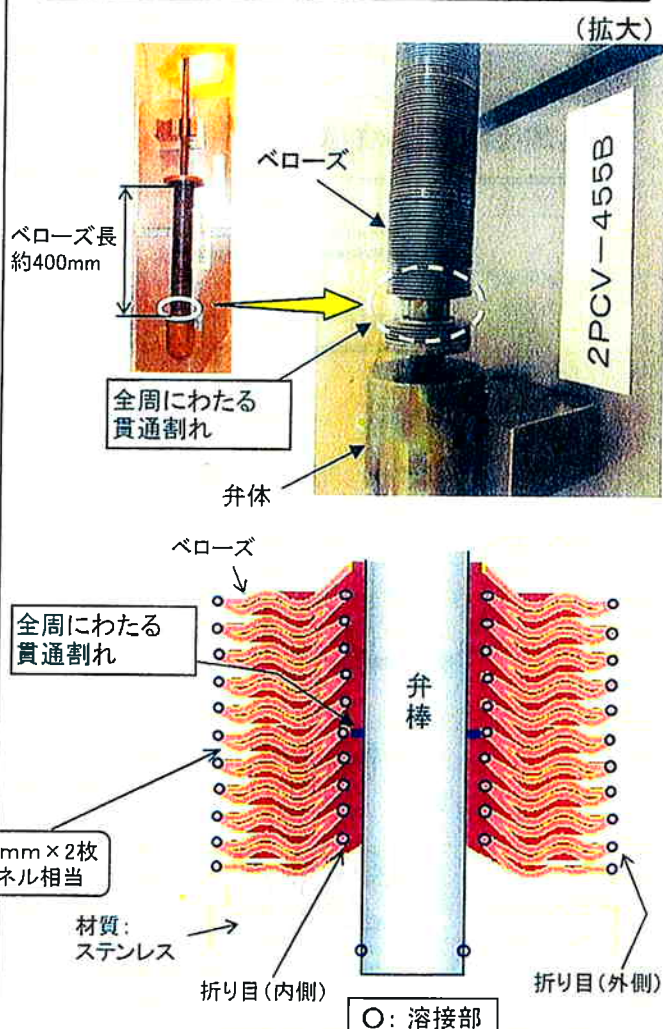
加圧器スプレ弁



A-加圧器スプレ弁(弁棒、弁体、ベローズ)



B-加圧器スプレ弁(弁棒、弁体、ベローズ)



(2) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	高浜発電所2号機	発 生 日	平成23年12月31日
件 名	タービン建屋内での協力会社作業員の負傷 (添付図2)		

(概要)

定期検査中の高浜発電所2号機において、平成23年12月27日、タービン建屋2階での電源盤取替工事の作業中に手が滑り、使用していたカッターナイフが跳ねて作業員の左上眼瞼に当たり負傷しました。

調査の結果、保護メガネを着用していなかったため負傷したものと推定しました。

保護メガネを着用していなかったのは、着用要否の判断にあたって、顔の近くでカッターナイフを使用するという具体的な作業状況等を考慮していなかったためと推定しました。

対策として、具体的な作業状況等を考慮して、確実に保護メガネを着用するよう周知徹底します。

事 象
および
対策等

1. 発生状況

第27回定期検査中の12月27日14時15分頃、タービン建屋2階（非管理区域）において、パワーセンタ盤※1を新しい盤に取り替えるため、既設盤の解体撤去作業を行っていたところ、盤内にある導体に巻かれていた絶縁テープをカッターナイフで剥がす作業中に手が滑り、使用していたカッターナイフが跳ねて作業員の左上眼瞼に当たり負傷しました。

病院で診察を受けた結果、左眼に傷が認められたため、平成23年12月27日から平成24年1月3日の間、入院しました。

※1：電圧を6600Vから440Vに降圧し、440V機器へ電力を供給するための電源盤

2. 調査結果

関係者からの聞き取り調査等から、作業員は保護具として革手袋、ヘルメット、安全靴を着用していたが、目を保護する保護メガネは着用していませんでした。

保護メガネの着用については、原則着用することとなっていたが、視認性が悪い等の場合には、作業責任者の了解を得た上で外すことができることとなっていました。

今回、作業責任者は、正確に切断位置を把握する必要があると考え、視認性確保の観点から、保護メガネを着用せずに作業を行なうことを許可していました。

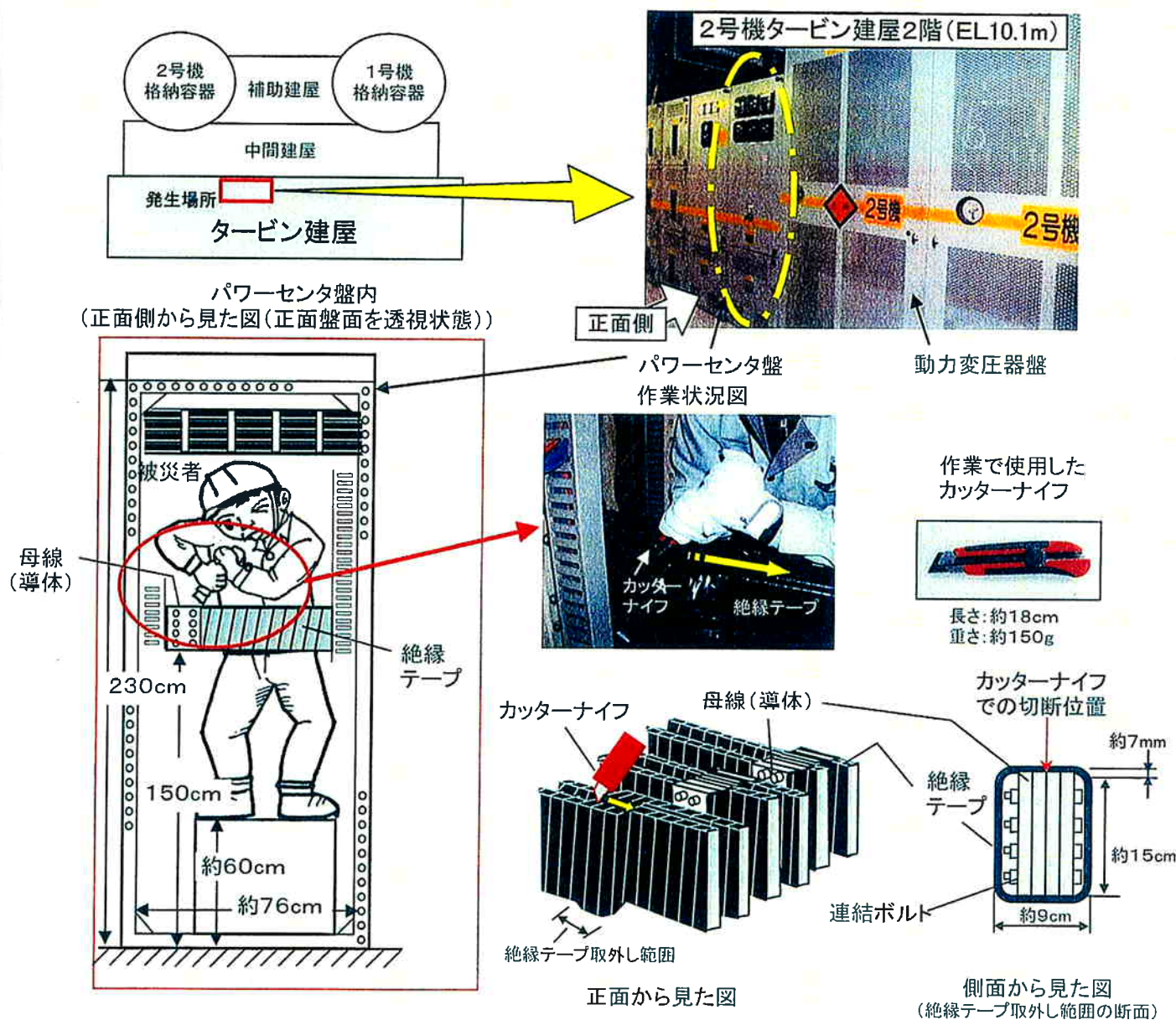
3. 原因

保護メガネを着用していなかったため、跳ねたカッターナイフで負傷したものと推定しました。また、保護メガネを着用していなかったのは、着用要否の判断にあたって、顔の近くでカッターナイフを扱うという具体的な作業状況等を考慮していなかったためと推定しました。

事 象 お よ び 対 策 等	4. 対策 現場作業における保護メガネの着用を再徹底するため、作業責任者は保護メガネの着用要否の判断を行う際、具体的な作業状況等を考慮して判断すること、および当社は協力会社との間で行う事前の作業内容の確認において、保護メガネの着用に関する作業責任者の判断内容を確認することを社内規定に明記し協力会社に周知徹底します。 また、カッターナイフなどの鋭利な工具を使用する場合は、滑り止めの付いた手袋を使用する等の滑り対策を行います。
--------------------------------	--

高浜発電所2号機 タービン建屋内での協力会社作業員の負傷について

発生時の作業状況



対策

現場作業における保護メガネの着用を再徹底するため、作業責任者は保護メガネの着用要否の判断を行う際、具体的な作業状況等を考慮して判断すること、および関西電力は協力会社との間で行う事前の作業内容の確認において、保護メガネの着用に関する作業責任者の判断内容を確認することを社内規定に明記し、協力会社に周知徹底する。

また、カッターナイフなどの鋭利な工具を使用する場合は、滑り止めの付いた手袋を使用する等の滑り対策を行う。

美浜発電所２号機の燃料集合体漏えいに係る原因と対策について

平成２２年６月１１日
関西電力株式会社

美浜発電所２号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力５０万キロワット、定格熱出力１４５万６千キロワット）は、定格熱出力一定運転中の４月１９日、１次冷却材中の希ガス（Xe－１３３）の濃度が、前回測定値から上昇していることを確認したため、燃料集合体に漏えいが発生した疑いがあるものと判断し、監視を強化しました。

１次冷却材中のよう素（I－１３１）濃度は運転上の制限値に比べて十分に低い値でしたが、漏えい燃料の特定調査を行うため４月２４日に原子炉を停止し、１次冷却材中の放射能濃度を低減させた後、原子炉に装荷された燃料集合体（１２１体）を使用済燃料ピットに取り出し、全数について SHIPPING 検査*１を実施しました。

その結果、原子炉内で隣接して装荷されていた２体の燃料集合体（KABA１０、KABC１３）に漏えいを確認しました。

漏えいを確認した２体について水中カメラによる外観目視検査を実施したところ、２体が隣接する面にある燃料棒３本（KABA１０：２本、KABC１３：１本）の第４支持格子下部で、燃料棒表面に傷のようなものを確認しました。また、３本のうち２本（KABA１０：１本、KABC１３：１本）には、燃料棒表面に白色の模様を確認しました。

*１：漏えい燃料集合体から漏れ出てくる核分裂生成物（キセノン-133、ヨウ素-131など）の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する。

[平成２２年４月１９日、２３日、６月１日お知らせ済み]

１．漏えい燃料の調査結果

（１）超音波による調査

- 漏えい燃料棒を特定するため超音波による調査*２を実施した結果、燃料集合体KABA１０およびKABC１３で漏えい燃料棒を１本ずつ確認しました。これらは、外観検査で傷のようなものを確認した燃料棒でした。

（２）ファイバースコープによる調査

- 漏えい燃料棒２本について、ファイバースコープを用いて詳細に目視点検を実施したところ、いずれの燃料棒においても第４支持格子の下で、燃料棒表面に削り取られたような傷を確認しました。また、KABC１３の漏えい燃料棒１本の第５支持格子と第６支持格子との間で、二次的な水素化*３よと思われる燃料棒被覆管の膨らみを確認しました。
- このファイバースコープの調査で、KABC１３の漏えい燃料棒に隣接する燃料棒の第５支持格子内に異物を確認しました。
- なお、外観検査で傷のようなものと白色の模様を確認したものの漏えいは認められなかったKABA１０の燃料棒１本についても、ファイバースコープで調査した結果、第４支持格子の下で、燃料棒表面に削り取られたような傷を確認しました。白色の模様については、燃料棒表面に膨らみが認められなかったことから、燃料棒表面のクラッド*４の付着むらと判断しました。

*２：漏えいが発生した燃料棒の内部には水の浸入が予想されるため、超音波が燃料棒内を伝播する際の減衰を検出することで、燃料棒内部の水の有無を判断し、漏えい燃料棒を特定する。

*３：何らかの原因により燃料に１次破損が生じると、冷却水が燃料棒内に浸入して水素が発生する。被覆管は水素を吸収し、１次破損箇所から離れた場所で膨らみが発生する。

＊４：１次冷却材中において、配管等の金属材料の酸化により生じる腐食生成物のうち、水に溶けないで存在する粒子状の金属酸化物の総称。

２．異物に関する調査結果

（１）異物の寸法、性状

- ・異物は、長さ約 22mm、幅約 4mm、厚さ約 0.3mm のゆるやかに湾曲した板状であり、表面には全体的にスケール（水に含まれる不純物が付着したもの）が見られ、一部に金属光沢がありました。また、成分分析の結果、材質はステンレスであることがわかりました。形状と材質から、配管等の保温材の外側に巻くステンレス板（以下「外装板」という）の可能性が高いと推定しました。
- ・燃料棒の傷と異物の関係を見るため、模型により異物と傷を合わせてみた結果、それらの位置がほぼ一致したことから、今回の傷は異物との接触により生じたものと推定しました。

（２）混入時期、経路

- ・混入時期については、異物表面の放射線量の測定結果から、前回定期検査時（平成 21 年 4 月 3 日～平成 21 年 7 月 23 日）に混入したものと評価しました。
- ・混入経路について調査した結果、異物は、燃料集合体下部ノズルの流路孔や、支持格子と燃料棒のすき間を通ることができない形状・寸法であったため、燃料下部から 1 次冷却材の流れにのって混入した可能性は低いものと判断しました。
- ・このため、燃料上方の原子炉キャビティ＊５廻りについて調査したところ、キャビティ廻りの床面には異物落下防止の柵が設置されていましたが、キャビティ近傍の蒸気発生器に設置された点検用架台（以下「SG 点検架台」という）と架台下方のコンクリート壁との間に異物落下防止措置がなされていない開口部が認められました。
- ・SG 点検架台を点検したところ、グレーチング床の支持部に、保温材の修繕工事に伴い発生したと思われる外装板の切れ端等があることを確認しました。
- ・また、前回定期検査の原子炉への燃料装荷中に、原子炉格納容器内の点検のため、当該架台を人が通行した実績があることを確認しました。

＊５：原子炉容器の上部に設置しているプール。燃料取替え時に、ほう酸水を満たすことにより、燃料から放出される放射線を遮へいする。

３．推定原因

前回定期検査の原子炉への燃料装荷中に、SG 点検架台のグレーチング床の支持部にあった異物が、点検架台を通行する人の振動等により、SG 点検架台とコンクリート壁との開口部から原子炉キャビティへ落下し、原子炉内に装荷されていた燃料集合体 K A B A 1 0 の第 5 支持格子に引っかかりました。

その状態で隣接位置に K A B C 1 3 を装荷した後、原子炉起動のために 1 次冷却材ポンプを起動したことにより、1 次冷却材の流れにのって異物が第 4 支持格子の下に移動し、燃料棒とこすれて傷が発生、進展させました。

その後、化学体積制御系統の空気抜き配管からの漏えいにより 3 月 1 9 日に原子炉を停止し、4 月 6 日に再起動しましたが、この際の 1 次冷却材圧力の変動により、摩耗傷が進展していた 1 本目の燃料棒に漏えいが発生したものと推定しました。

また、原子炉の再起動により、異物が第 4 支持格子下部の別の位置に移動したことで、新たな燃料棒とこすれて傷が発生、進展し、2 本目の燃料棒の漏えいとなったものと推定しました。

4. 対 策

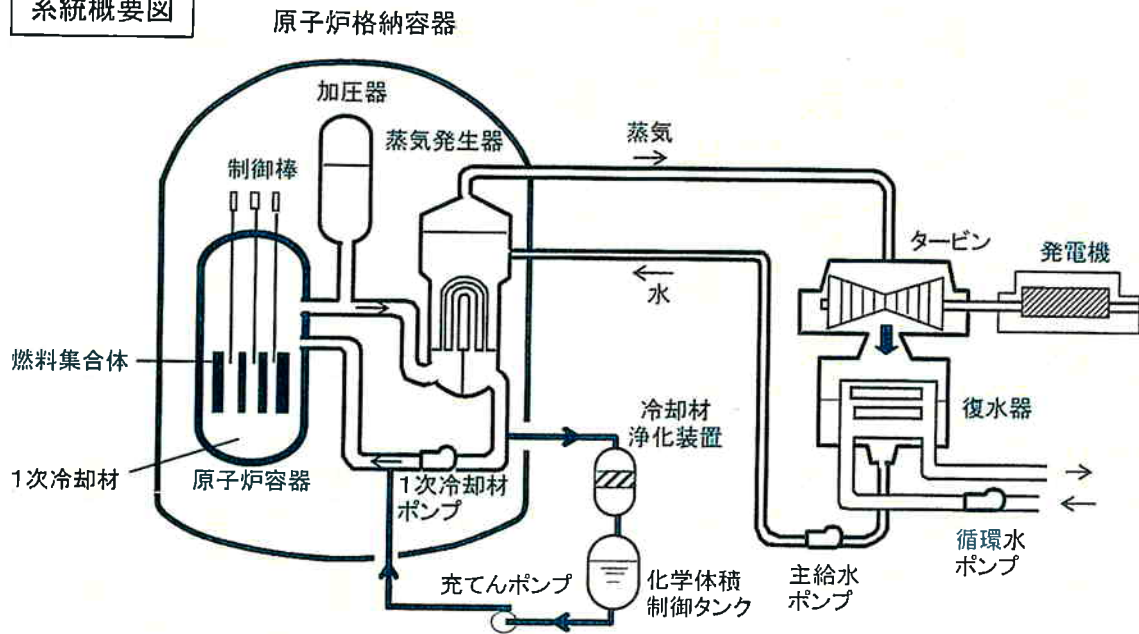
- ・ 漏えいが確認された燃料集合体については、再使用しません。
- ・ 原子炉に装荷していた他の燃料集合体（119体）について、水中カメラによる外観点検を実施し、傷や異物がないことを確認しました。
- ・ 原子炉容器の底部および下部炉心構造物について、水中カメラによる外観点検を実施し、異物がないことを確認しました。
- ・ SG点検架台の清掃を実施し、異物がないことを確認しました。
- ・ 次回定期検査において、SG点検架台下部の開口部から異物が落下しないよう、金属板で開口部を塞ぐ措置を行います。なお、今回の燃料装荷時にはSG点検架台への人の立ち入りを禁止します。
- ・ 現場作業終了時に作業場所周辺も含め確実に清掃を行い、異物がないことの確認を再徹底します。さらに燃料装荷前に、原子炉キャビティおよびその周辺について、異物がないことを確認することとしました。
- ・ 本事象を社員および協力会社に周知し、燃料集合体に対する異物管理の重要性を再認識させます。

美浜発電所2号機は、今後燃料装荷等の作業を行い、6月下旬に原子炉を起動する予定です。

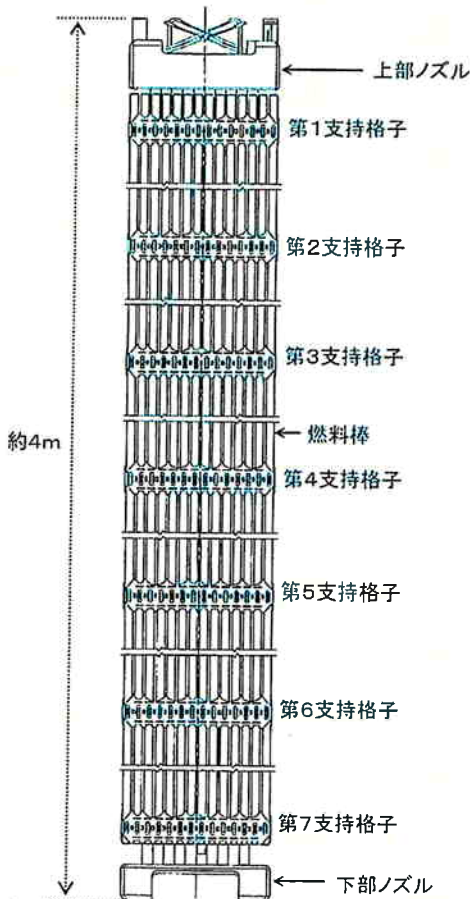
以 上

美浜発電所2号機の燃料集合体漏えいに係る原因と対策について

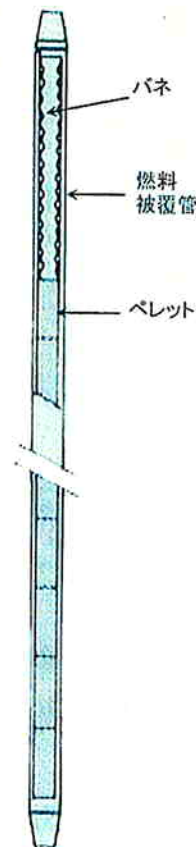
系統概要図



燃料集合体概要図



燃料棒

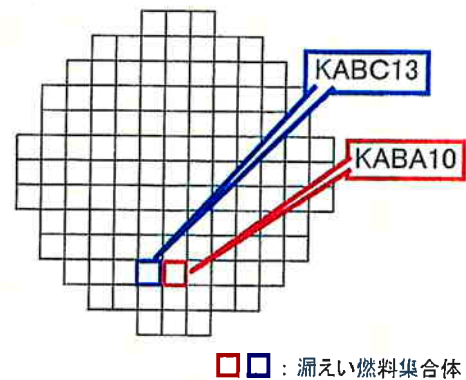


【燃料集合体の仕様】

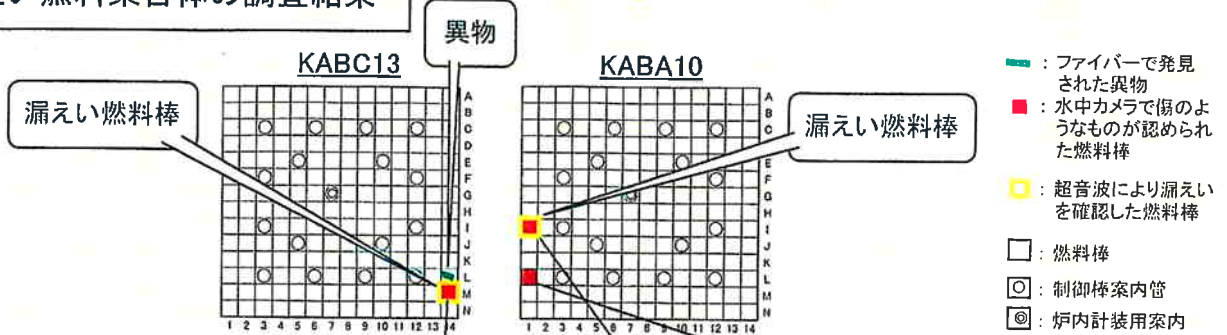
燃料タイプ: 14×14型
 全長: 約4m
 全幅: 約20cm
 支持格子数: 7個
 燃料被覆管材質: ジルカロイ-4
 燃料被覆管外径: 約11mm
 燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
 最高燃焼度: 48,000MWd/t
 燃料集合体1体あたりの燃料棒本数: 179本
 装荷体数: 121体

漏えい燃料集合体の装荷位置

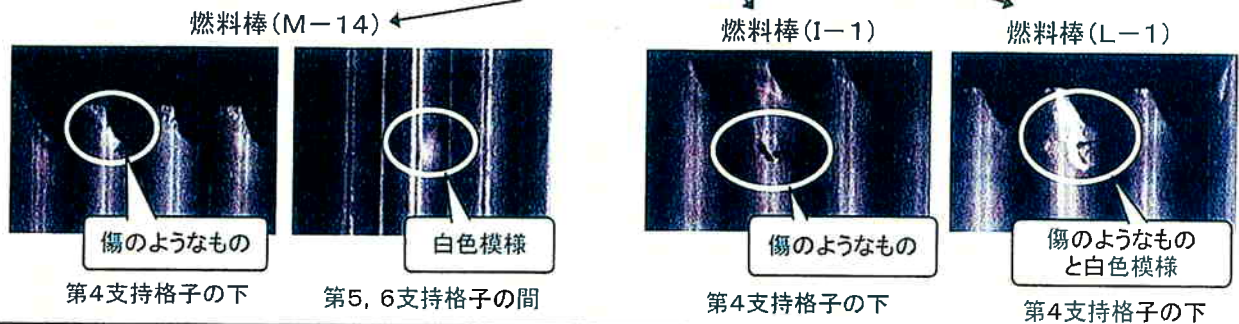
原子炉内で漏えい燃料集合体が装荷されていた位置



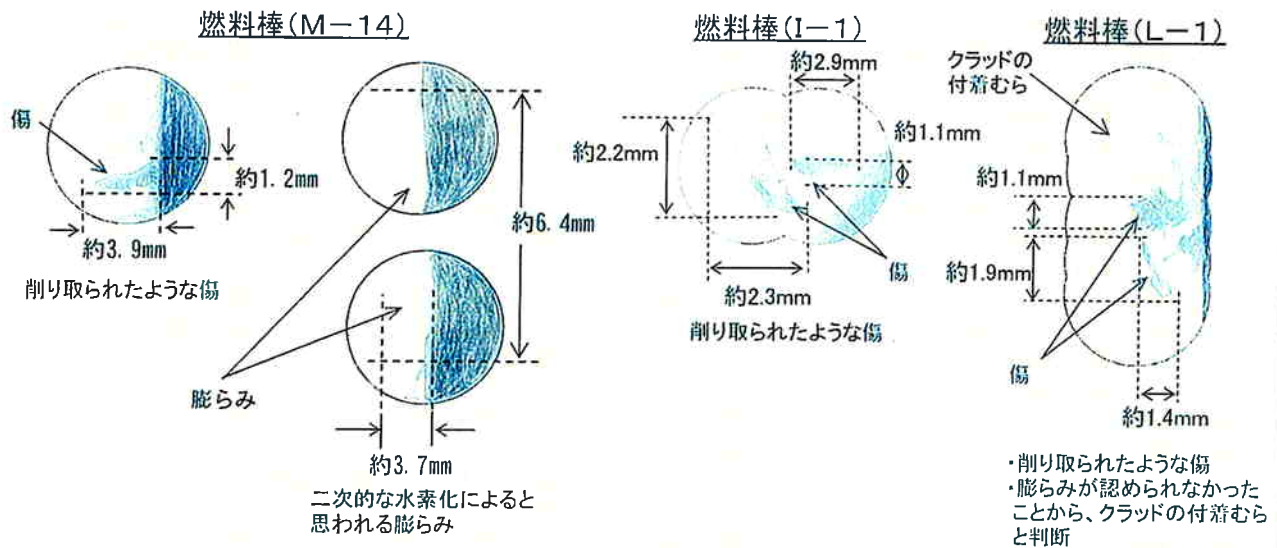
漏えい燃料集合体の調査結果



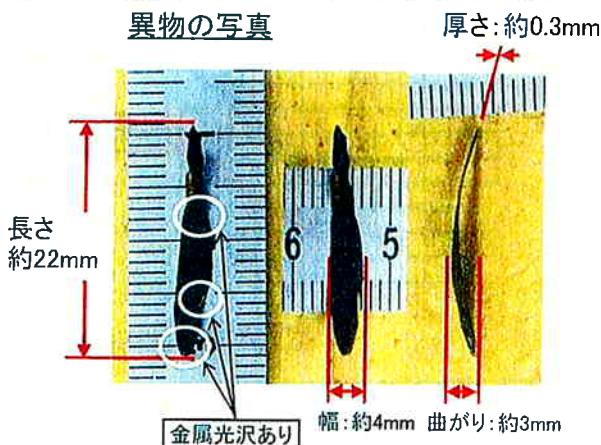
水中カメラによる外観目視検査結果



ファイバーによる調査結果



回収された異物(KABC13 L14燃料棒の第5支持格子内)



○ 異物の成分

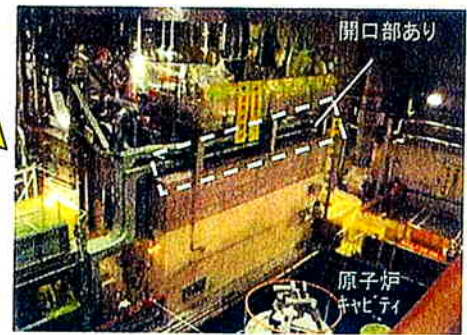
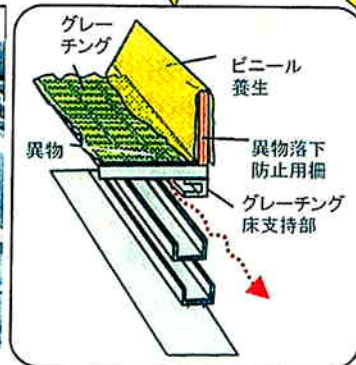
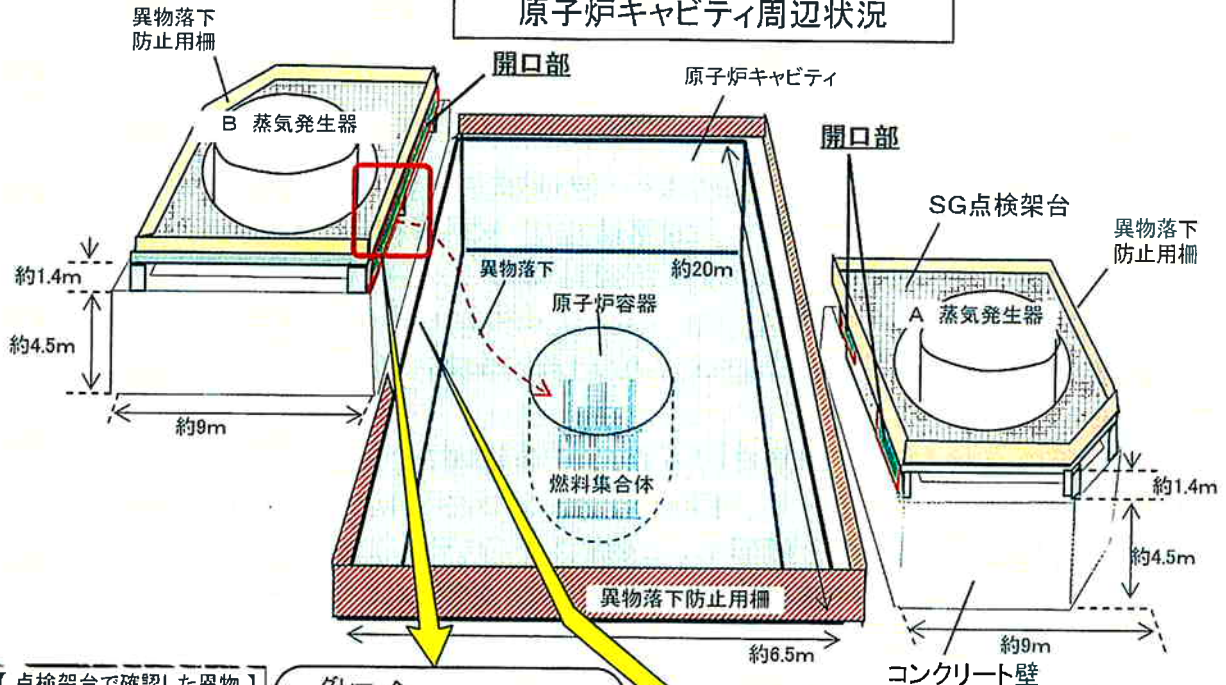
成分に鉄、クロム、ニッケルが認められたことから、ステンレスと推定

○ 異物表面の放射線量

18 mSv/h

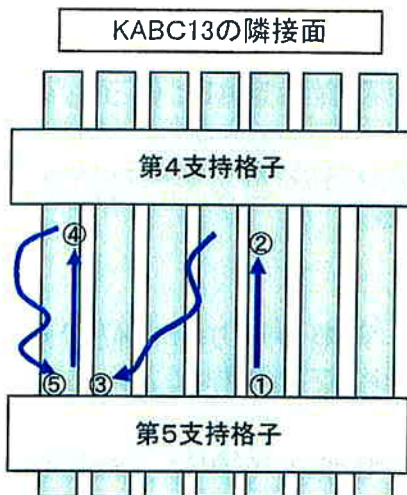
放射線量から照射期間は200～300日相当であり、前回定期検査の調整運転開始(H21.6.28)以降の運転期間281日と整合がある

原子炉キャビティ周辺状況

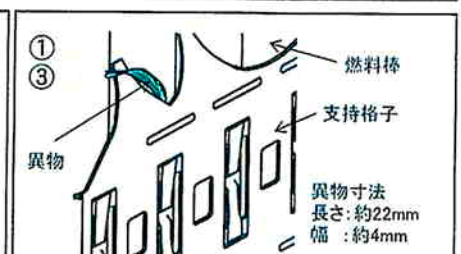
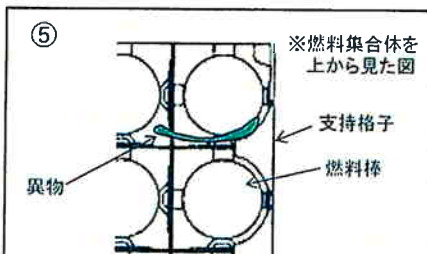
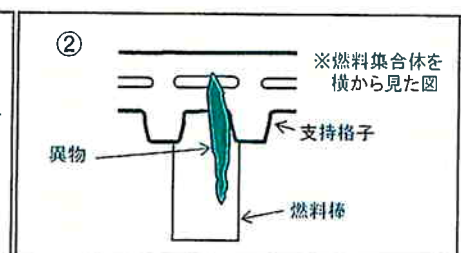
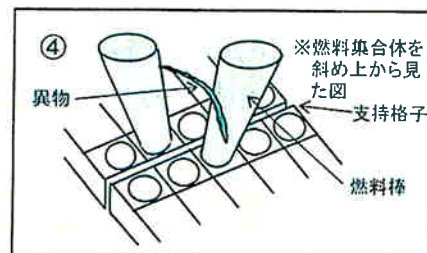


混入した異物による推定漏えいメカニズム

- ①第25回定検時(H21年4月～H21年7月。調整運転期間を含む)に異物が混入。第5支持格子上に落下
- ②運転中(H21年6月～H22年3月)に第4支持格子下へ移動し燃料棒と接触
- ③中間停止(H22年3月～H22年4月)に伴い、第5支持格子上へ移動
- ④再起動(H22年4月)に伴い、②と別の場所で燃料棒と接触
- ⑤停止に伴い、第5支持格子上へ移動



← : 異物移動



高浜発電所2号機 発電機水素ガス冷却器冷却水系統の ドレン配管付根からの漏れについて（原因と対策）

平成22年5月20日
関西電力株式会社

高浜発電所2号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力82万6千キロワット、定格熱出力244万キロワット。定格熱出力一定運転中）において、5月11日10時30分頃、巡回点検中の当社運転員が、タービン建屋2階にある発電機水素ガス冷却器^{*1}4台（A、B、C、D号機）のうち、B冷却器の冷却水入口配管のドレン配管付根付近からの冷却水の漏れ（約0.8リットル/分）を確認しました。

漏れ箇所の点検および補修を行うため、発電機出力を約105%から約98%に降下させることとし、同日16時22分に出力を約98%とした後、当該冷却器の冷却水系統を隔離し、水抜きを行いました。

その後、ドレン配管付根付近について外観点検および浸透探傷試験^{*2}を行ったところ、冷却水配管とドレン配管との溶接部からドレン配管にかけて、指示模様（長さ約26mm）を確認しました。

なお、この事象による環境への放射能の影響はありません。

*1：発電機内部を冷却する水素ガスを冷やすための機器。

*2：染料の入った液（浸透液）を傷に浸透させた後、余分な浸透液を除去し、現像剤により浸透指示模様として観察する方法。

[平成22年5月11日、12日お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 破面観察等の調査

- ・当該部を切断し、内表面の浸透探傷試験を行った結果、外表面と同じ部位で指示模様（長さ約23mm）を確認しました。
- ・断面観察の結果、指示模様を確認した部位でき裂が貫通しており、溶接部の内側に空洞（幅約3.0mm×深さ約2.4mm）を確認しました。
- ・破面観察の結果、疲労破壊の特徴であるストライエーション状模様^{*3}が確認され、溶接部の空洞部では腐食跡も確認しました。
- ・ドレン配管は管台等を用いず、冷却配管に穴をあけて直接溶接されていたことから、空洞はこの溶接時（建設時）の欠陥で、腐食は運転に伴うものと推定しました。

*3：電子顕微鏡による疲労破面の観察結果において見られる縞状模様をいい、その数や間隔からき裂成長過程の情報が得られる。

(2) 当該部の履歴調査等

- ・当該ドレン配管について製作図と比較したところ、実機の取り付け位置は製作図より約60mm下方となっており、他のドレン配管は製作図どおり取り付けられていました。
- ・当該ドレン配管の下流にあるドレン弁については、昭和58年に、ねじ込み式の取り付け方法からフランジ式に変更していました。

(3) 疲労破壊等に関する調査

- ・冷却水配管は、発電機の運転時の振動（120 Hz）を大きく受けていました。
 - ・ドレン配管の固有振動数*4を調査したところ、今回漏れが発生したドレン配管は119.6 Hzであり、発電機の振動数に近いことがわかりました。なお、製作図どおり取り付けられていたドレン配管の振動数は108 Hzでした。
 - ・以上の結果から、発電機からの振動と当該配管が共振し、当該ドレン配管の溶接部に繰り返し振動応力が加わっていたと推定しました。
 - ・溶接部の強度評価を実施した結果、溶接部に空洞等のき裂がない場合は、共振による振動応力では疲労破壊は発生しませんが、き裂が2.4 mm程度ある場合には疲労き裂が進展することがわかりました。
 - ・当該ドレン配管は、両端とも支持されている構造（入口配管とドレン集合管の2箇所）のため、これまで振動測定を行った実績はありませんでした。
- *4：配管の重量、長さ等により配管それぞれが持つ固有の振動数。

2. 推定原因

当該ドレン配管は、建設時、製作図より約60 mm 下方に取り付けられ、その後ドレン弁の改造を実施したことにより、当該部の固有振動数が発電機運転時の振動数に近くなっていました。また、ドレン配管を溶接した際に生じていた溶接欠陥部（空洞）において、運転に伴い腐食が進行したことで、共振による振動応力によりき裂が進展し、貫通に至ったものと推定しました。

3. 対 策

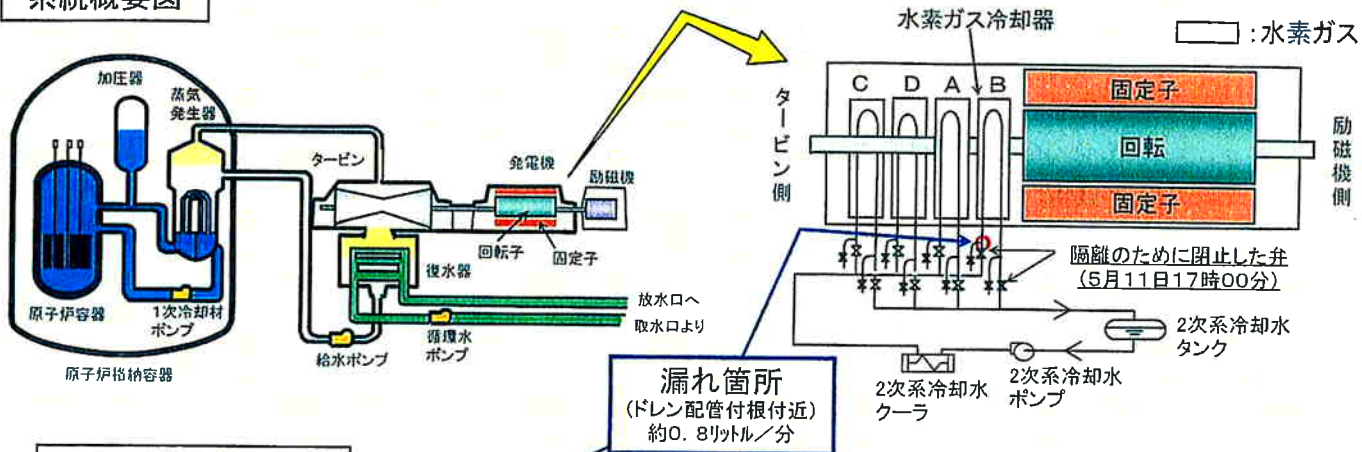
- ・当該ドレン配管については、管台を取り付け、差し込み溶接により補修します。またドレン配管にサポートを設置し、共振を回避します。これらについては対策工事後、振動測定によりその効果を確認します。
- ・両端支持の小口径配管は、共振等による影響が想定される範囲のものについては振動測定を行うこととします。
- ・配管に直接溶接しているドレン配管等については、管台を用いた溶接方法に計画的に変更します。

今後、当該配管の対策工事を実施し、漏えい確認により健全性を確認した後、今週中にも定格熱出力一定運転に復帰する予定です。

以 上

高浜発電所2号機 発電機水素ガス冷却器冷却水系統の ドレン配管付根からの漏れについて(原因と対策)

系統概要図

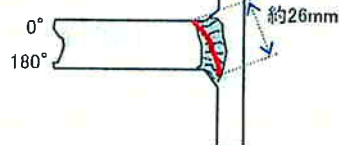


点検(観察結果)



ドレン配管 外面からの浸透探傷試験

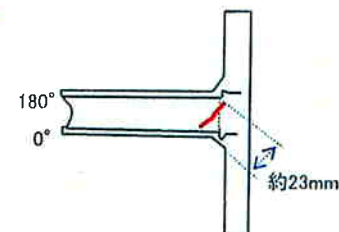
【ドレン配管の仕様】
外径: 約25mm、肉厚3.4mm
材質: 炭素鋼



有意な浸透指示模様



ドレン配管 内面からの浸透探傷試験

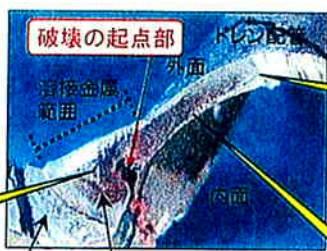
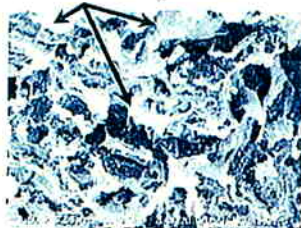


有意な浸透指示模様



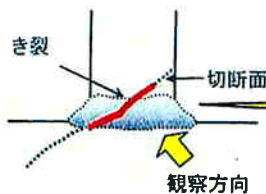
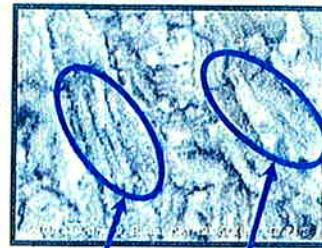
破面観察の結果

腐食生成物(錆) (倍率: 1500倍)



冷却水入口配管 溶接金属

(倍率: 5000倍)



破壊の起点部

冷却水入口配管

溶接金属

空洞 深さ: 約2.4mm 幅: 約3mm

ドレン配管

外面

内面

溶接金属範囲

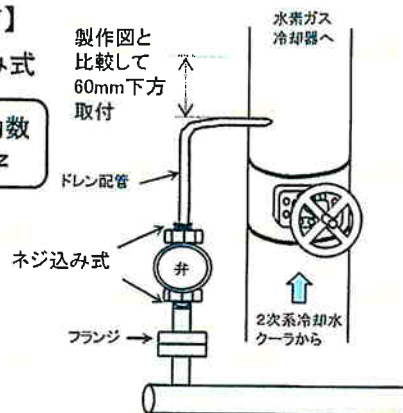


(倍率: 5000倍)

点検補修履歴調査と振動計測結果

【工事前】 ねじ込み式

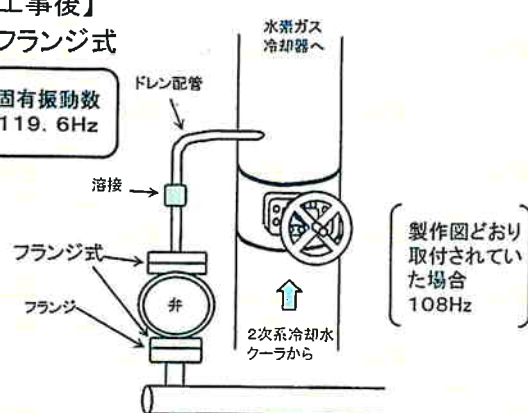
固有振動数
104Hz



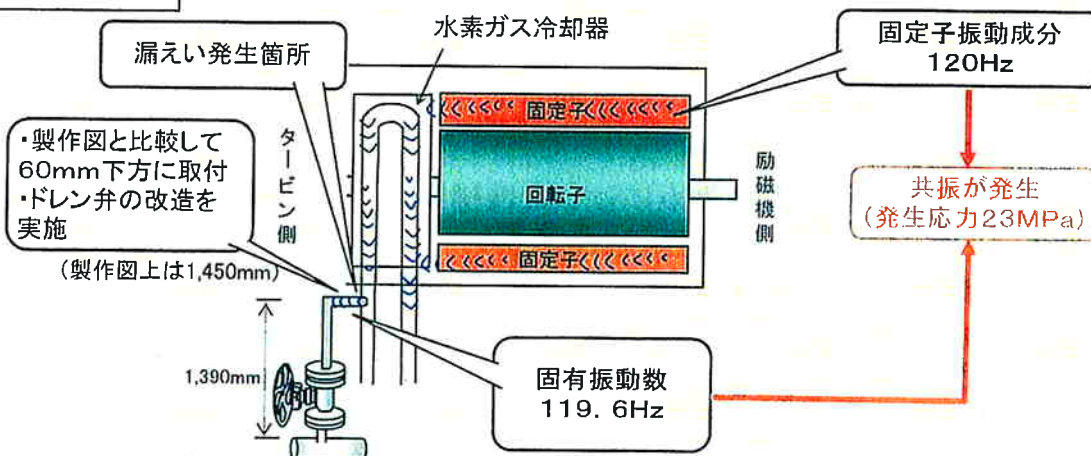
【工事後】 フランジ式

固有振動数
119.6Hz

昭和58年
弁取付方法変更



推定原因

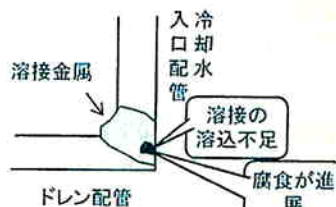


推定メカニズム

ドレン配管設置時 (昭和50年)

溶接欠陥(空洞)
が発生

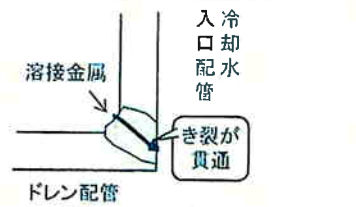
当該ドレン配管の冷却水
入口配管への接続を設計
より約60mm下方に接続



運転に伴い、
腐食が発生し、
進展

昭和58年 弁取付方法変更(ねじ込み式→フランジ式)により共振が発生

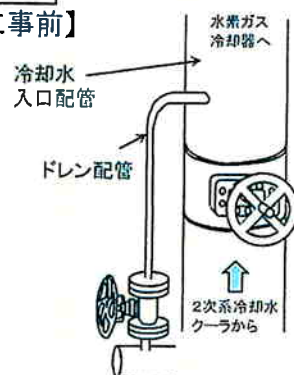
運転中溶接部に23MPaの繰返応力が作用



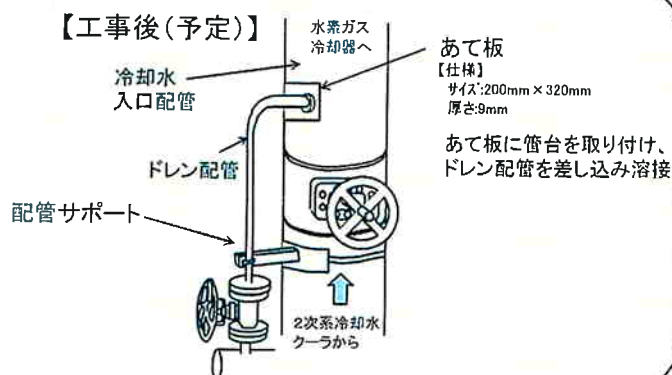
当該ドレン管
外周面にき裂
が貫通した

対 策

【工事前】



【工事後(予定)】



高浜発電所４号機の発電停止について（発電機水素ガス冷却器の冷却水入口弁フランジ部からの漏れの原因と対策）

平成２２年５月２０日
関西電力株式会社

高浜発電所４号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力８７万キロワット、定格熱出力２６６万キロワット。第１９回定期検査中の５月１０日に調整運転を開始）は、発電機出力約７５％で調整運転中の５月１２日、当社運転員が２次系の弁操作のため現場に向かっていたところ、発電機水素ガス冷却器*^１４台（No. １～４）のうち、No. ２冷却器の冷却水入口配管の弁フランジ部から冷却水が漏れている（３滴／秒）ことを確認しました。

その後、当該冷却器の出入口弁を閉止して当該部を隔離したところ、漏れは停止しました。

漏れ箇所の点検、補修のためには、発電機水素ガス冷却器４台に共通する冷却水系統*^２を隔離する必要があることから、発電を停止することとし、５月１２日１６時に出力降下を開始し、２１時に発電を停止しました。

なお、この事象による環境への放射能の影響はありません。

* １：発電機内部を冷却する水素ガスを冷やすための機器。

* ２：漏れ箇所の上流側にある、冷却器４台に冷却水を供給する系統。

[平成２２年５月１２日お知らせ済み]

１．調査結果

（１）フランジの点検結果

冷却器の冷却水出入口弁のフランジ部は、配管の上部と下部のフランジの間に弁本体とパッキンを入れ、ボルトで締め付けています。

今回漏れが認められた No. ２冷却器の入口弁フランジ部について分解点検した結果、漏れが確認された上部フランジのボルト穴部で、パッキンにシート面を貫通する割れを確認しました。

当該フランジ部のボルトを取り外す際に締め付け力を測定した結果、シート面での漏れ止めに必要な締め付け力は確保されていましたが、漏れが認められたボルト穴での締め付け力は、他のものより小さいことがわかりました。

パッキンの仕様は、当該部の使用環境（圧力約 0.7MPa、温度約 29 度）に適合しており、パッキン納入時やフランジ部の取り付け前の外観検査記録で、傷等の異常は認められていませんでした。

（２）当該弁に係る作業実績の調査結果

当該部は、今定期検査において、他の冷却水出入口弁（７箇所）とともに分解点検を実施しました。この分解点検時における当該弁（フランジ部）の取り付け作業状況について作業員への聞き取りを行った結果、

- ・ 上部フランジを吊り上げて弁を入れる隙間を確保する
- ・ 下部フランジ面にシール剤を塗ったパッキンを取り付ける
- ・ 弁を下部フランジにのせる

- ・ シール剤を塗ったパッキンを取り付けた上部フランジを吊り降ろす
- ・ その際、ボルト穴とパッキン穴との位置調整を行うため、棒状の工具をボルト穴に差し込み、パッキンを押し込む等の作業を行っていました。

現場でこれらの作業状況を再現した結果、上部フランジを吊り降ろした際にパッキンが滑って、上部フランジのボルト穴とパッキン穴に芯ずれ（約4 mm）が生じました。また、ボルト穴に工具を差し込んでパッキン穴の芯ずれ位置調整を行うと、工具がパッキンに接触する部分に長さ数 mm 程度の傷をつけることがわかりました。

この状態で配管内に実機と同じ圧力をかけると、パッキンのボルトの締め付け力が小さい箇所に傷が生じていた場合、傷が押し広げられ、配管内面から外面まで貫通することを確認しました。

2. 推定原因

今定期検査において、当該フランジ部の分解点検作業を行った際、上部フランジ穴とパッキン穴との芯ずれが生じた状態で、ボルト穴に棒状の工具を差し込み位置調整を行いました。この作業でパッキンに小さな傷が生じ、当該ボルト部での締め付け力が小さかったこともあり、この傷が運転時の冷却水圧力により押し広げられて貫通し、冷却水が漏れたものと推定しました。

3. 対 策

- (1) 当該フランジのパッキンを新しいものに取り替えます。
- (2) 弁の取り付け作業にあたっては、事前にボルト穴にガイド棒を取り付け、フランジ穴とパッキン穴に芯ずれが生じないようにします。

今定期検査において、当該部と同様の取り付け作業を行った他の冷却水出入口弁（7箇所）についても、パッキンの取り替えを行います。

この取り替えにあたっては、冷却水系統全体を停止する必要があることから、5月20日19時頃に原子炉を停止します。

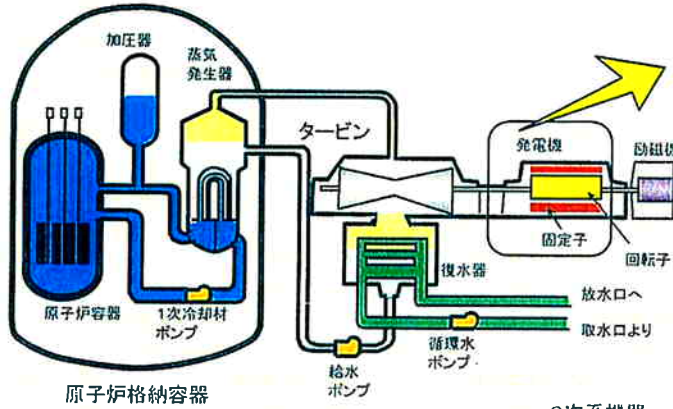
これらのパッキンの取り替え作業を行った後、冷却水系統の健全性を確認し、5月下旬頃に原子炉を起動し、調整運転を再開する予定です。

以 上

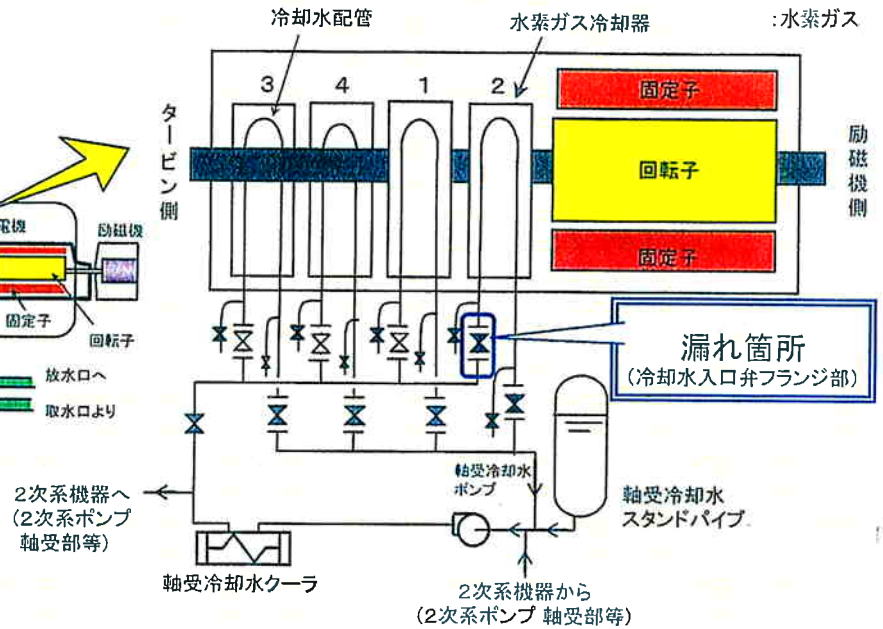
高浜発電所4号機の発電停止について (発電機水素ガス冷却器の冷却水入口弁フランジ部からの漏れの原因と対策)

系統概要図

調整運転中
[電気出力 約75%]



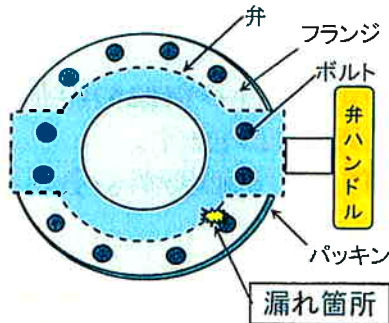
水素ガス冷却器冷却水系統概要図



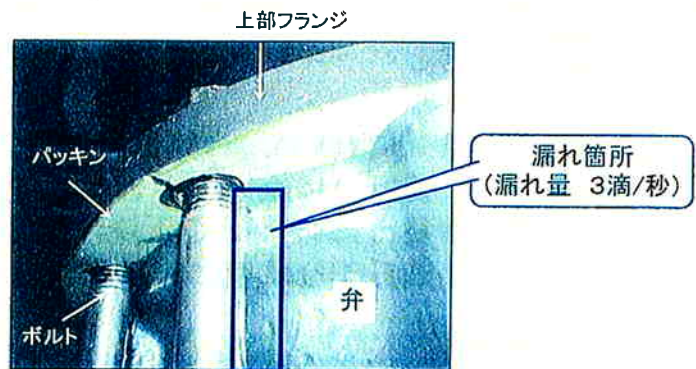
水が漏れた弁フランジ部の拡大図

弁フランジ部の概要図

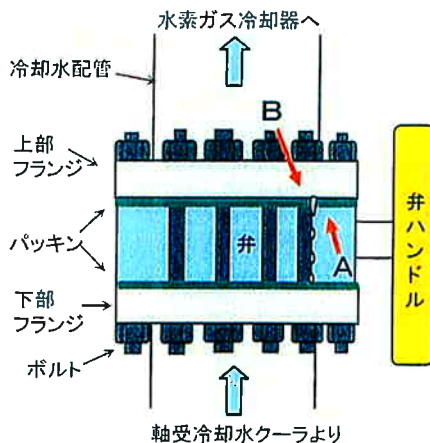
フランジ、弁、パッキンを上から見た図



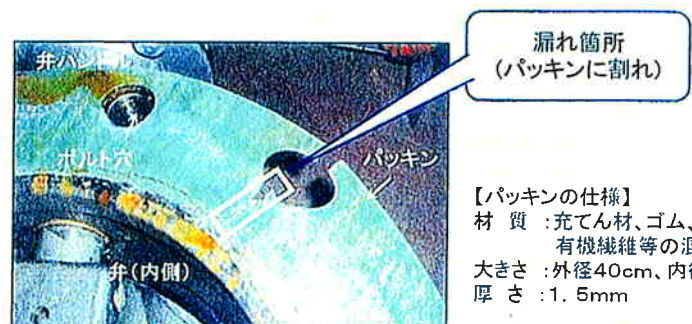
漏れ箇所の写真 (概要図A方向矢視)



フランジ、弁、パッキンを側面から見た図



上部フランジ取り外し後の写真 (概要図B方向矢視)

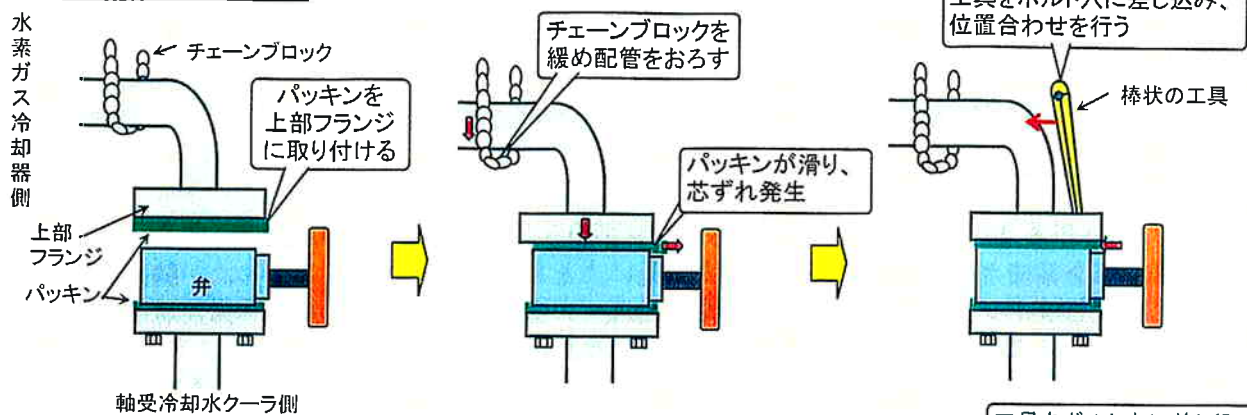


【パッキンの仕様】
材 質 : 充てん材、ゴム、
有機繊維等の混合物
大 き さ : 外径40cm、内径27cm
厚 さ : 1.5mm

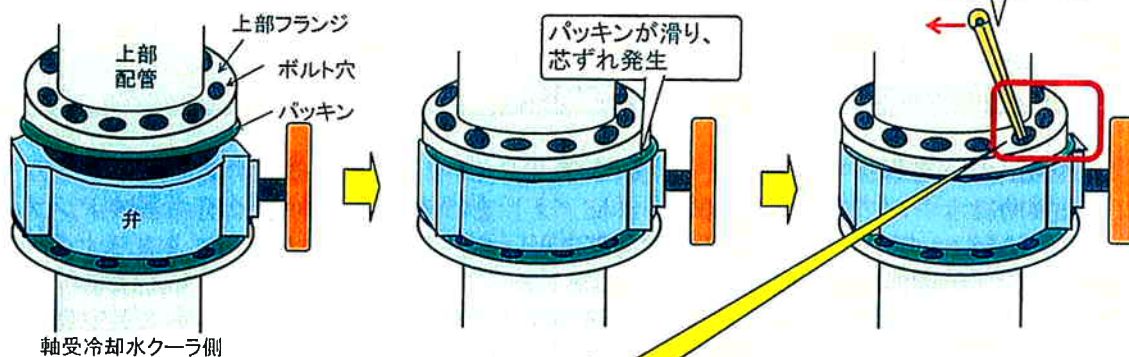
➡ : 冷却水の流れ (冷却水温度: 約29℃、供給圧力: 約0.7MPa)

今回の作業の流れ

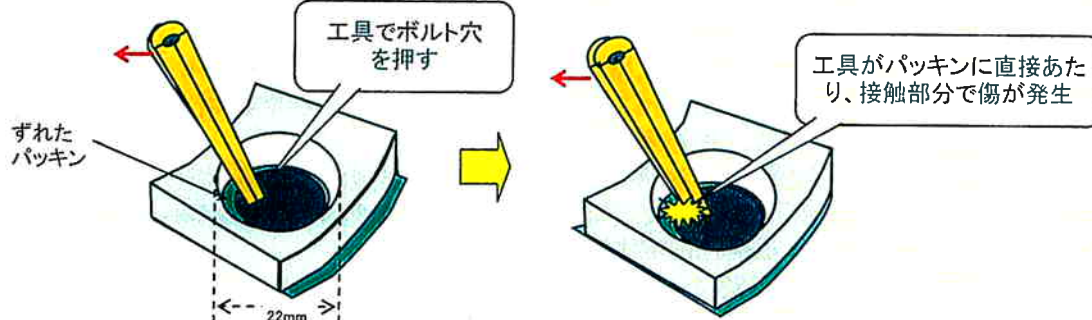
今回の作業の側面図



フランジ部拡大図

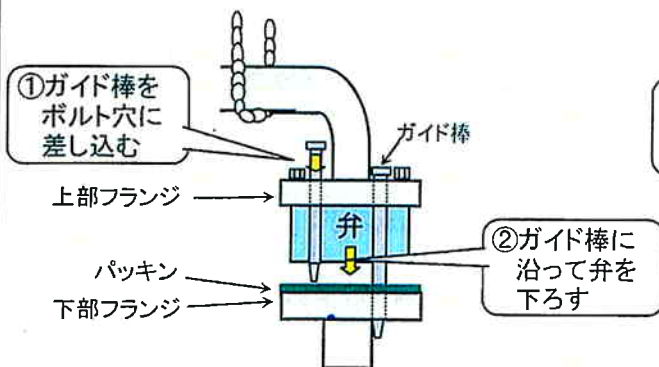


ボルト穴拡大図

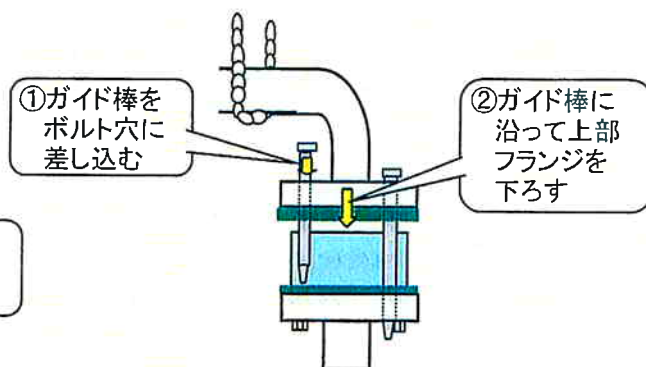


施工方法(対策後)

下部フランジへのパッキン取り付け時



上部フランジへのパッキン取り付け時



発電所名	高浜発電所 1 号機	発 生 日	平成 2 2 年 5 月 1 4 日
件 名	タービン動補助給水ポンプの待機除外について (添付図 4)		

(概要)

運転中の平成 22 年 5 月 14 日、3 台ある補助給水ポンプのうち、1 台の起動試験を実施したところ、ポンプ軸受部の潤滑油等を循環させている油系統の圧力が低いことを示す警報が発信しました。試験を中断し点検を行ったところ、当該ポンプの軸受部から潤滑油が漏れていることを確認したため、保安規定の運転上の制限を満足していないものと判断し、当該ポンプを待機除外としました。

原因は、今回の試験前に点検を行った発電室員が、当該軸受部から潤滑油を排出するための弁に触れ、弁の開度が全開状態から微開状態になりました。この状態で当該ポンプを起動したため、当該軸受部に供給された潤滑油が十分に排出されずに、軸受部の油面が上がって漏れ出たものと推定しました。

対策として、当該弁のハンドルを配管に固縛し動かないようにした後、当該ポンプの試運転を行い、5 月 18 日に待機状態（運転上の制限を満足した状態）に復帰しました。

なお、本事象による周辺環境への影響はありませんでした。

事 象
および
対策等

定格熱出力一定運転中のところ、平成 22 年 5 月 14 日、3 台ある補助給水ポンプ*¹のうち、タービン動補助給水ポンプの定期起動試験（1 回／月）を行うため、10 時 22 分に当該ポンプを起動したところ、10 時 33 分にポンプ軸受部の潤滑等に用いている油の圧力が低いことを示す「タービン動補助給水ポンプ制御油圧低」警報*²が発信しました。このため、試験を中断し点検を行ったところ、ポンプ軸受部から潤滑油が漏れていることを確認したため、同日 10 時 51 分に保安規定の運転上の制限*³を満足していない状態にあると判断するとともに、当該ポンプを待機除外としました。本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。

[平成 2 2 年 5 月 1 4 日 当社ホームページ上でお知らせ済み]

当該軸受部と油系統の点検を行った結果、当該軸受部の構成部品に異常は認められませんでした。ポンプ運転時に軸受部に供給される潤滑油を排出するための軸受油出口弁が、本来全開状態のところ微開状態となっていることを確認しました。

今回の起動試験の状況を調査した結果、試験前に発電室員が、当該ポンプ下に腕を差し込んでウェスで油漏れの確認を行っていました。ポンプ下部が狭隘であったことから、その際に同じポンプ下部にある当該弁ハンドルに触れた可能性があります。

以上のことから、当該弁が微開となった原因は、今回の試験前に、発電室員が油漏れの確認を行った際、当該弁のハンドルに触れ、弁の開度が全開から微開状態になり、この状態で当該ポンプを起動したため、当該軸受部に供給された潤滑油が十分に排出されずに、ポンプ軸との隙間から漏れ出したものと推定しました。

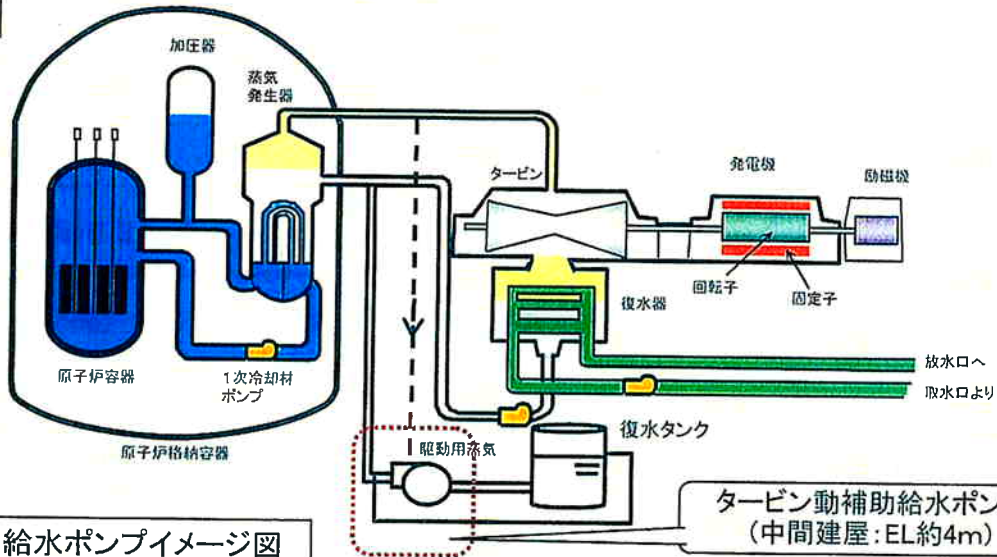
対策として、今回の事象を発電室員に周知するとともに、当該弁のハンドルを配管に固縛し、動かないようにしました。その後、当該ポンプの試運転を行い、5 月 18 日 0 時 15 分に待機状態（運転上の制限を満足した状態）に復帰しました。

* 1 3 台ある補助給水ポンプ: 補助給水ポンプは、主給水系統事故時など、通常の給水系統の機能が失われた場合に、蒸気発生器に給水を行うためのポンプである。高浜発電所 1 号機には、電動ポンプが 2 台と、蒸気発生器で発生した主蒸気の一部でタービンを回し、その回転力でポンプを駆動するタービン動補助給水ポンプ 1 台がある。通常時は 3 台とも待機状態にあり、定期的に運転して異常のないことを確認している。

* 2 「タービン動補助給水ポンプ制御油圧低」警報: 油圧が 177kPa 以下となった場合に発信する。運転中の平常値は約 200～380kPa。

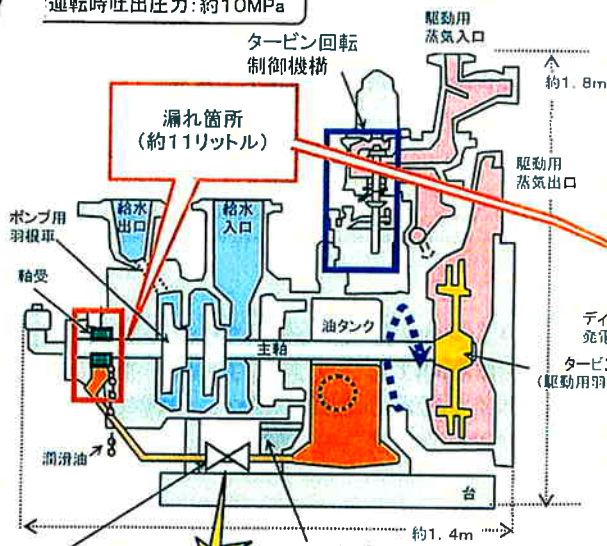
* 3 運転中は、補助給水ポンプ 3 台が動作可能であることが求められている。

発生場所



タービン動補助給水ポンプイメージ図

【タービン動補助給水ポンプ仕様】
容量：約150m³/h
運転時吐出圧力：約10MPa



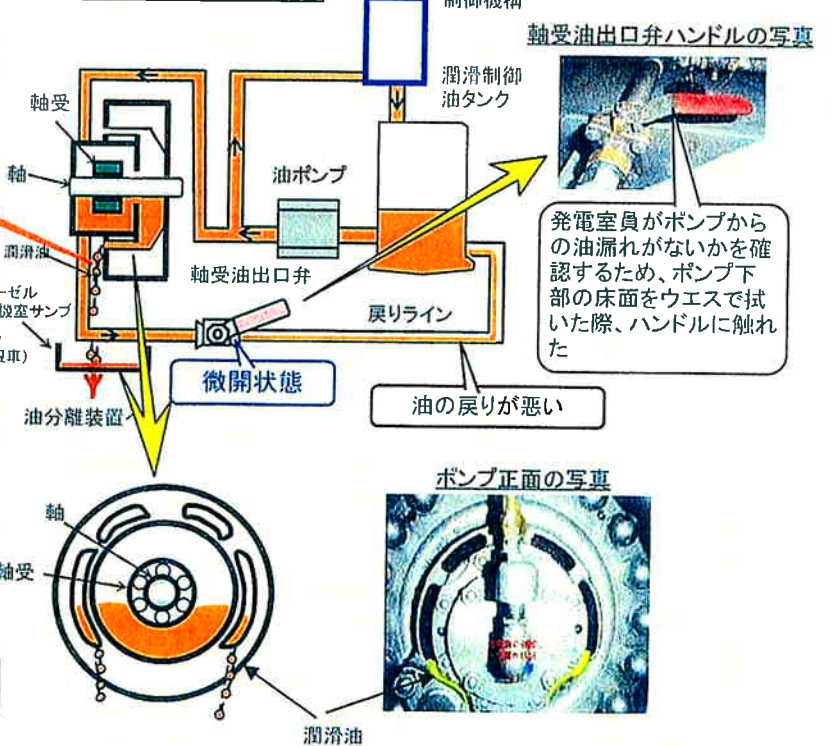
タービン動補助給水ポンプ下部の様子



ポンプ
当該軸受油出口弁
ポンプ下部と床面との距離約15cm

タービン動補助給水ポンプの制御油系の概要図

油が漏れ出した状態



軸受油出口弁ハンドルの写真

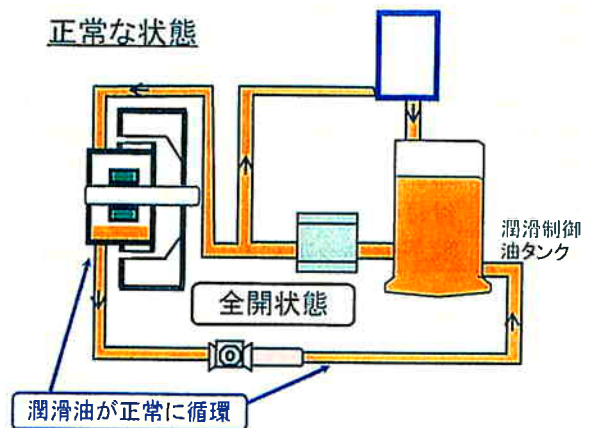


発電室員がポンプからの油漏れがないかを確認するため、ポンプ下部の床面をウエスで拭いた際、ハンドルに触れた

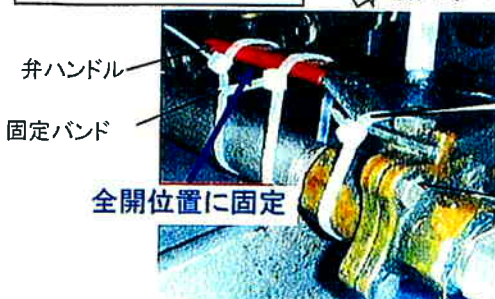
ポンプ正面の写真



正常な状態



対策



弁のハンドルを配管に固縛し、動かないようにした

軸受油出口弁

軸受部より

2. トラブル等情報について

(1) 法令に基づき国に報告する事象（安全協定の異常時報告事象にも該当する事象）

なし

(2) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	大飯発電所2号機	発生日	平成22年8月10日
件名	主復水タンク内での協力会社社員の負傷について（添付図1）		

（概要）

定期検査中の大飯2号機において、8月10日、主復水タンク*1内で水位計の取付け作業を行なった作業員が、タンクの外に出るために仮設の垂直縄ばしご（全長約13m）を昇っていたところ、高さ約5mの位置で手を滑らせて落下し、右足等を負傷しました。

調査の結果、本来、この縄ばしごを使用する際は、タンク上部で数名の作業員が使用者を命綱で保持する必要がありますが、今回はこの措置がとられていなかったことがわかりました。

対策として、当該マンホールを含む縄ばしごを使用する箇所に、命綱なしでの縄ばしごの使用を禁止する旨を掲示します。さらに、現在、実施している安全体感研修に縄ばしごの項目を追加します。

*1：運転中に2次系に補給する水の貯蔵タンク（高さ約15m、外径約11m）、当時は点検のため水は抜かれた状態

事象
および
対策等

1. 発生状況

大飯発電所2号機は、第23回定期検査中の8月10日15時15分頃、屋外にある2次系の主復水タンクにおいて、タンク上部のマンホールから仮設の垂直縄ばしご（全長約13m）を使ってタンク内に入り、ダイヤフラム*2に水位計を取り付ける作業を行なった作業員が、作業後、外に出るために縄ばしごを昇っていたところ、高さ約5mの位置で手を滑らせ、タンク床面にあるダイヤフラム上に落下しました。

病院に搬送し、診察を受けた結果、右足等に負傷が認められ、約2ヶ月の入院・加療が必要と診断されました。

*2：タンク内に貯蔵された水の水質を保つため、水が空気と触れないようにする目的で設置されているゴム製の膜

2. 調査結果

発生時の状況を調査した結果、本来、縄ばしごを使用してタンク内に入る際は、タンク上部で数名の作業員が使用者を命綱で保持する必要がありますが、今回はこの措置がとられていなかったことがわかりました。

作業状況を調査した結果、今回の作業は、タンク内の修繕工事に伴い取り外した水位計を元の状態に復旧する作業で、作業計画では、修繕工事を実施した機械作業班がタンク内で水位計の取り付けを行い、被災者が所属する計装作業班は、この取付け作業に立ち会うとともにタンクの外で水位計の機能確認を行うこととなっていました。ところが、これら作業班の間で当日の作業について事前確認していなかったため、計装作業班は作業分担を誤認し、単独で担当外の水位計取付け作業を実施しました。また、この作業を行なった計装作業班は、過去に縄ばしごを使った経験がなかったため、縄ばしごを使用する際に命綱が必要と思いませんでした。

事象概要 および 対 策 等	3. 原因 今回の落下は、命綱等の落下防止措置をとらずに縄ばしごを昇ったためと推定しました。落下防止措置をとらなかった原因については、作業計画とは異なる作業班が当該作業を実施したため、作業手順書に記載された命綱等の落下防止措置が行われなかったことに加え、作業を実施した作業班に縄ばしごの使用経験者がいなかったため、命綱の必要性に気付かなかったことによるものと推定しました。 4. 対策 当該マンホールを含む縄ばしごを使用する箇所に、命綱なしでの縄ばしごの使用を禁止する旨を掲示しました。 また、作業分担の誤認を防止するため、作業班の間で事前打ち合わせを行い、作業分担等を確認することを徹底させるとともに、関西電力の担当者は、作業責任者に作業の実施を許可する際、作業内容に加え、事前打ち合わせの内容について確認を行うこととしました。 なお、今回、縄ばしごの使用経験がなかったために命綱の必要性に気付かなかったことを踏まえ、現在、発電所内の作業員全員を対象に実施している安全体感研修に縄ばしごの項目を追加し、縄ばしごでの昇降時の命綱の必要性を体感させます。
-------------------------------	--

(3) 保全品質情報等

なし

以 上

主復水タンク内での協力会社社員の負傷について

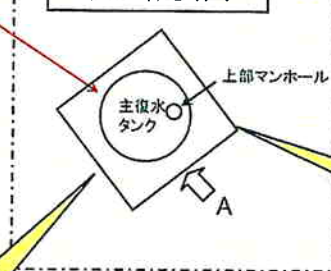
(添付図1)

発生場所



発生場所

状況概要図

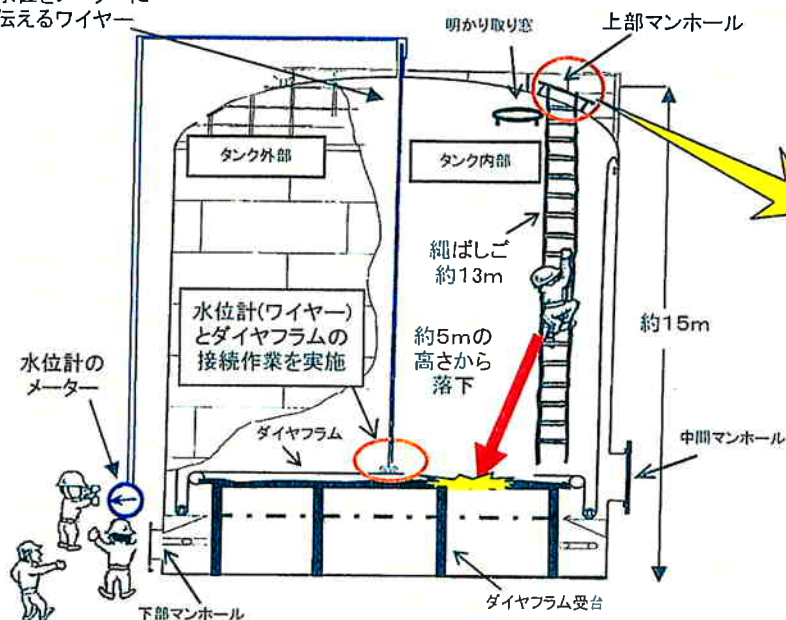


主復水タンク外観



発生状況

水位をメーターに
伝えるワイヤー

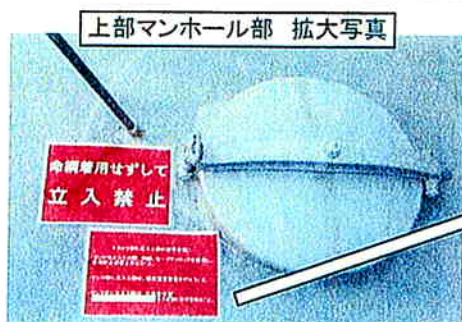


上部マンホールから見た
タンク内部

対策

- 当該マンホール等に、命綱なしでの縄ばしごの使用を禁止する掲示をした。
(下図参照)
- 協力会社作業班の間で事前打ち合わせを行い、作業分担等を確認することを徹底させる。
- 当社の担当者は、作業の実施を許可する際、事前打ち合わせの内容も確認する。
- 現在、発電所内の作業員全員を対象に実施している安全体感研修に縄ばしごの項目を追加する。

現場注意事項掲示写真(例)



注意事項掲示 拡大写真

<タンク等に立入る際の厳守事項>

- ・タンク等立入りの際、命綱、セーフティロックを使用し、墜落防止措置を行なうこと。
- ・タンク等に立入る際は、酸素濃度確認を行なうこと。
- ・タンク等に立入る際は、作業責任者()まで連絡し許可を得ること。

美浜発電所2号機の定期検査状況について
(調整運転中における電気出力の変動の原因と対策)

平成22年10月28日
関西電力株式会社

美浜発電所2号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力50万キロワット、定格熱出力145万6千キロワット。)は、第26回定期検査において、電気出力約30%で調整運転中のところ、10月26日15時15分頃、2次系にある高圧給水加熱器*1のドレン水を系統外への排出から復水器への回収に切り替える*2ために弁操作を実施していたところ、復水器の真空度が低下(約98kPa→約82kPa)し、これに伴い電気出力が約22%に低下しました。

直ちに当該操作を中止するとともに、復水器真空ポンプ2台が自動起動し、15時51分に復水器真空度および電気出力は事象発生前の状態(約98kPa、約30%)に復帰しました。

この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

- *1 蒸気発生器への給水を、高圧タービンを回した後の蒸気の一部を用いて加熱する機器。
- *2 高圧タービンを回した後の蒸気の一部を高圧給水加熱器に回し、給水を加熱させると、蒸気が凝縮してドレン水(高圧給水ヒータドレン)になる。ドレン水は、原子炉起動当初は水質(鉄などの不純物濃度)が基準を満足しないため、系統外に放出しているが、運転に伴い、水質が基準を満足する状態になれば、復水器に回収している。

[平成22年10月26日 お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 設備に関する調査

復水器の真空度は、外部から空気が流れ込んだ場合に低下することから、当該ドレン系統の配管および弁について外観点検を行った結果、漏れや吸込みがないことを確認しました。また、復水器周辺の配管や機器にも異常は認められませんでした。

(2) 運転操作に関する調査

- ・復水器の真空度が低下した時間帯に、復水器の真空度に影響を与える可能性がある運転操作は、高圧給水加熱器ドレン切替操作以外には行っていませんでした。
- ・この操作では、ドレンをそれまでのタンクを通じての放水口への排出から、復水器側へ切り替える準備として、一旦、ドレンを脱気器への回収に切り替えた状態としたうえで、タンクへの排出弁を閉止し、復水器への回収弁を開く操作を実施しており、B系のドレン切替操作の際に、復水器の真空度が低下しました。

- ・現場で弁を操作していた当社運転員2名（運転員A、B）に聞き取り調査を行った結果、運転員AがA系のドレン切替操作を完了させた後、B系の切替操作に移った際、運転員BのOJT（On-the-Job Training）として、運転員Aは排出弁を途中まで閉止した後、運転員Bに操作を交代しました。その後、運転員Aは、運転員Bが当該弁の閉止を完了したことを確認せずに、回収弁の開操作を開始したことがわかりました。

2. 推定原因

高圧給水加熱器ドレンを系統外への排出から復水器への回収に切り替える際、弁の操作にあたった運転員が、排出弁の閉止を確認せずに復水器への回収弁を開いたことにより、系統外から復水器に空気が吸い込まれ、復水器真空度が低下し、電気出力が低下したものと推定しました。

3. 対 策

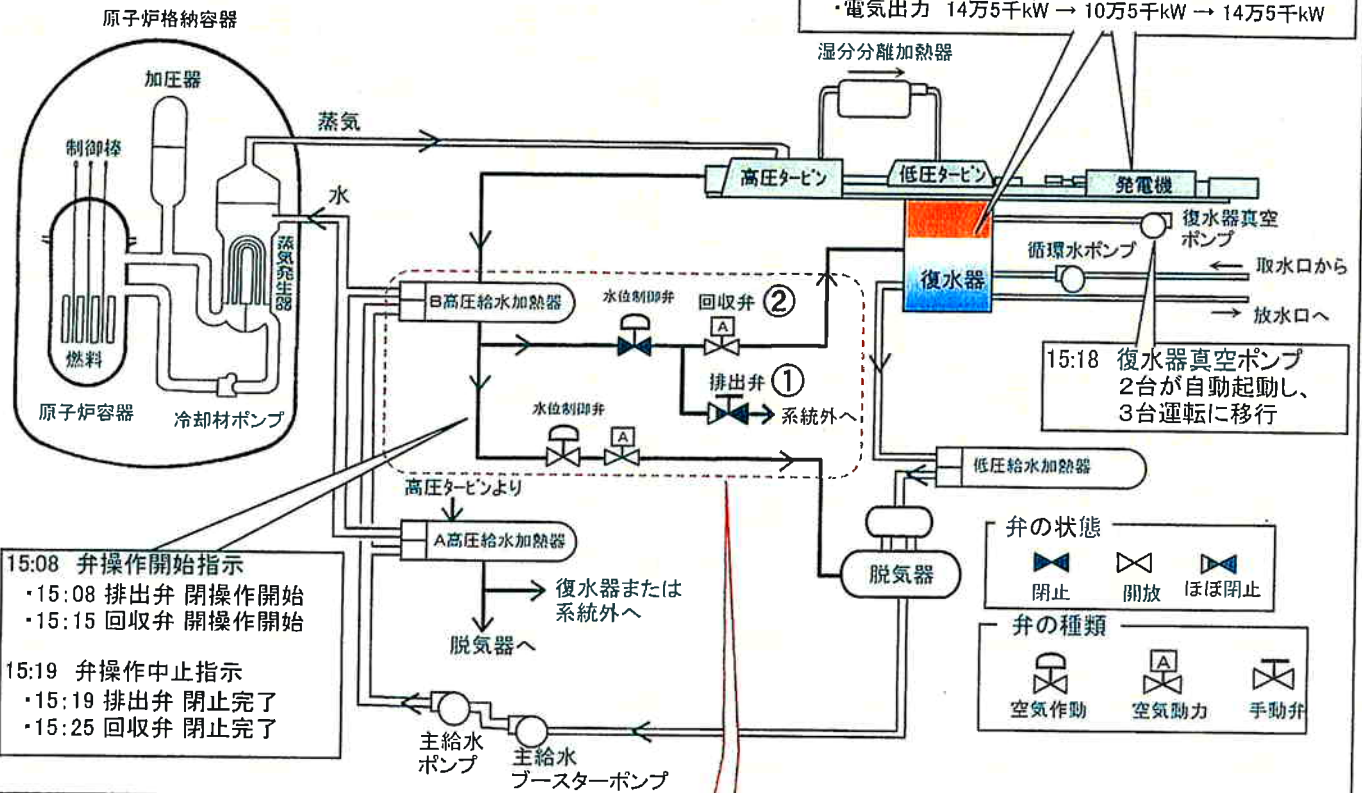
- ・今回の事例を含めて、確認を怠ったことによるトラブル事例を用いて、運転員全員に対して「1操作・1確認」の重要性を再認識させるための研修を実施します。
- ・また、今回の事象がOJTの際に発生したことから、OJTの基本である操作者の操作に対する指導員の確認を徹底させるとともに、上位者が、あらかじめ指導員に対して操作のポイントやリスクを問いかけて確認し、現場で確実に指導できるようにします。

今後、運転員への事例研修を行った後、高圧給水加熱器のドレンを復水器に回収するよう切り替えた後、電気出力を上昇させ、11月中旬に経済産業省の最終検査を受けて本格運転を再開する予定です。

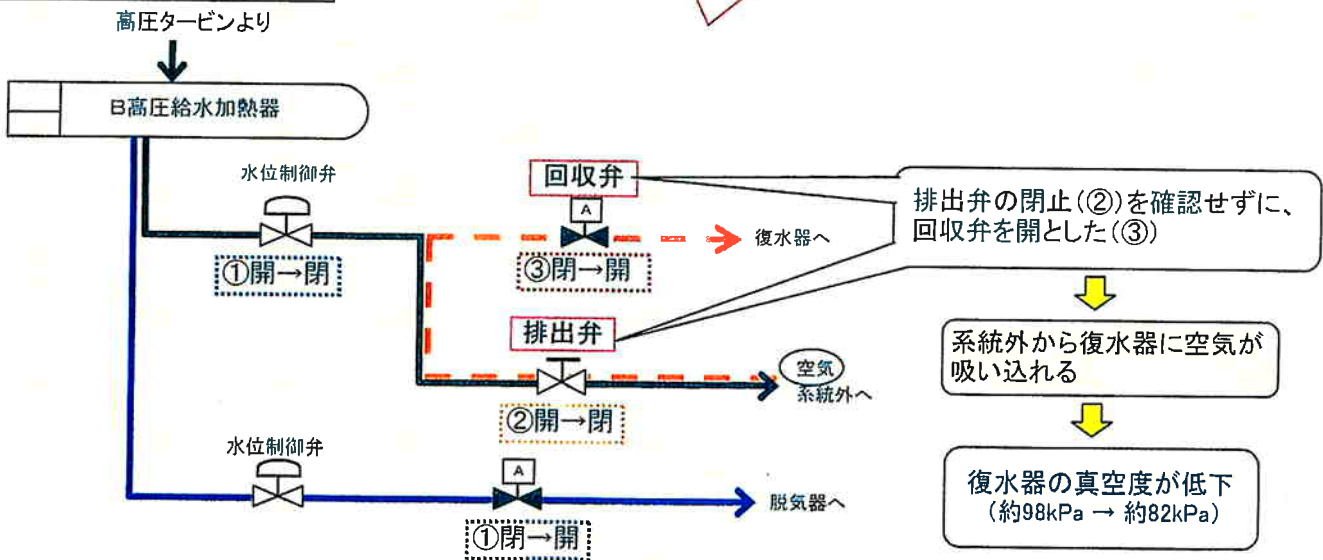
以 上

美浜発電所2号機の定期検査状況について (調整運転中における電気出力の変動の原因と対策)

系統概要図



B系統切替操作



対策

- 今回の事例を含めて、確認を怠ったことによるトラブル事例を用いて、運転員全員に対して「1操作・1確認」の重要性を再認識させるための研修を実施する。
- OJTの際、操作者の操作に対する指導員の確認を徹底させる。
- 上位者が、あらかじめ指導員に対して、操作のポイントやリスクを問いかけて確認し、それらが現場で確実に指導されるようにする。

発電所名	美浜発電所 2 号機	発 生 日	平成 2 2 年 1 1 月 1 日
件 名	原子炉格納容器空気再循環ファン定期試験における保安規定の運転上の制限の逸脱について (添付図 2)		
(概要) 定期検査中の美浜発電所 2 号機は、定格熱出力で調整運転中の 1 1 月 1 日 1 3 時 4 5 分頃、原子炉格納容器内の空気を循環させて冷やす系統の定期試験のため、空気再循環ファン 1 台を起動したところ、ファンは正常に起動しましたが、ファン起動に伴い自動で開くはずの空気冷却装置の冷却水入口弁と出口弁のうち、出口弁が開きませんでした。このため、同日 1 4 時 0 0 分、保安規定の運転上の制限を満足していないものと判断しました。 調査の結果、定期試験時に当該弁を開閉するモータに電源を供給する電気回路を構成するスイッチの一つに電気的な接触不良が生じ、モータへの電源が供給されなかったため、当該弁が開かなかったものと推定しました。 対策として、当該スイッチを新品に取り替えることとしました。 この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。			
事象概要 および 対 策 等	美浜発電所 2 号機は、1 0 月 2 6 日に発生した高圧給水加熱器ドレン水切替操作時の電気出力変動の対策を終え、1 0 月 2 8 日 1 9 時に電気出力約 3 0 %からの出力上昇操作を始め、1 0 月 3 1 日 6 時 3 0 分に定格熱出力に到達し、調整運転中のところ、1 1 月 1 日 1 3 時 4 5 分、原子炉格納容器空気再循環系※¹の定期試験として、原子炉格納容器空気再循環ファン（以下「再循環ファン」）の 1 台（待機中の D 号機）を起動したところ、再循環ファンは正常に起動しましたが、起動信号を受けて自動で開くはずの格納容器循環空調装置冷却コイルの冷却水入口弁と出口弁のうち、出口弁が開きませんでした。 1 3 時 5 1 分に中央制御室から当該出口弁の操作スイッチを開操作しましたが、開きませんでした。 このため、1 4 時 0 0 分に、原子炉格納容器空気再循環系は、保安規定の運転上の制限※²を満足しないものと判断しました。 他の 3 台の再循環ファンについては正常に運転しており、格納容器内の温度および圧力は安定しています。 この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。 ※ 1 原子炉格納容器空気再循環系は、通常運転中は格納容器内の温度調整を行い、1 次冷却材喪失事故時には格納容器内の圧力上昇を抑え、放射性物質の除去を行う。このための設備として、再循環ファン 4 台（1 系統に 2 台）、空気を冷やす冷却コイル 4 台（1 系統に 2 台）、放射性物質を除去するフィルタ 4 台（1 系統に 2 台）からなる。 ※ 2 保安規定上は、運転中に 2 系統が動作可能であることを求めている。1 系統が動作不能の場合、他の 1 系統が動作可能であることを速やかに確認した上で、1 0 日以内に正常な状態に復旧することを求めている。 [平成 2 2 年 1 1 月 1 日 当社ホームページ上でお知らせ済み]		

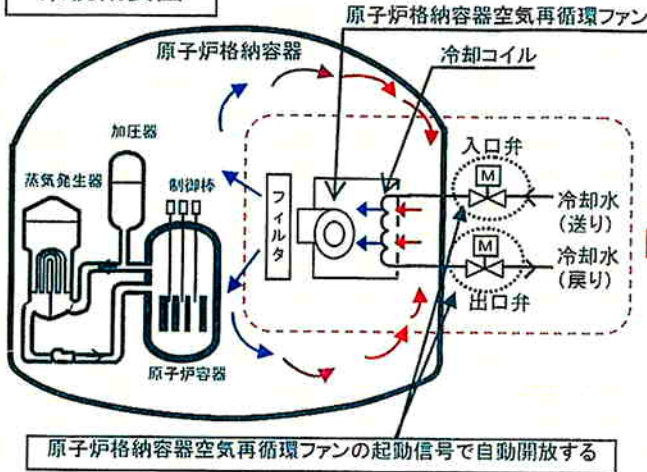
	1. 調査結果 現場にいた運転員に、聞き取り調査を行った結果、弁を開閉するモータが動作していないことがわかったため、モータおよびモータに電源を供給する電気回路について電気的な導通試験を行いました。異常は認められませんでした。 このため、現場で当該弁を手動操作し、弁の開閉動作に引っかかり等の異常がないことを確認した上で、定期試験を模擬した再現試験を行った結果、当該弁の開動作中にモータへの電源電圧が瞬時低下する事象が発生しました。 電圧低下は、電気回路を構成するトルクスイッチ※³で発生していることを確認し、トルクスイッチを取り外して外観点検した結果、接点部に茶色の皮膜があることを確認しました。 ※3 弁の開閉動作時、規定値以上の駆動力が加わった際に、電源回路を切断し、動作を自動停止するスイッチ。 2. 原因 当該弁を開閉するモータに電源を供給する電気回路のトルクスイッチの接点部に形成された皮膜により電気的な接触不良が生じ、モータへの電源が供給されなかったため、定期試験時に当該弁が開かなかったものと推定しました。 3. 対策 当該トルクスイッチを新品に取り替えた後、弁の開閉試験を行い、正常に動作することを確認します。 また、取り外したトルクスイッチを工場にて詳細に点検します。
--	--

(3) 保全品質情報等

なし

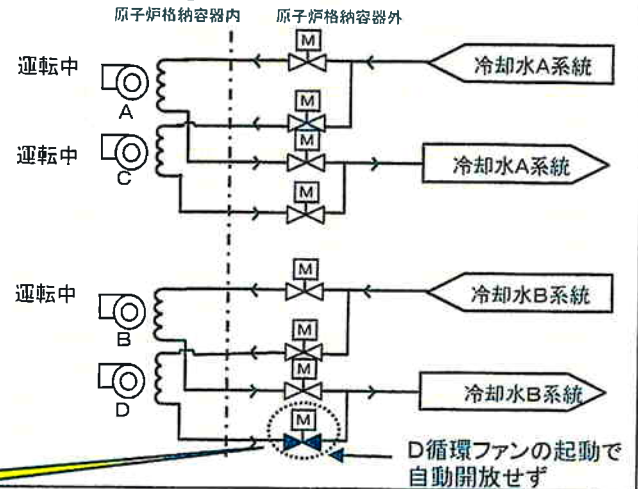
以 上

系統概要図

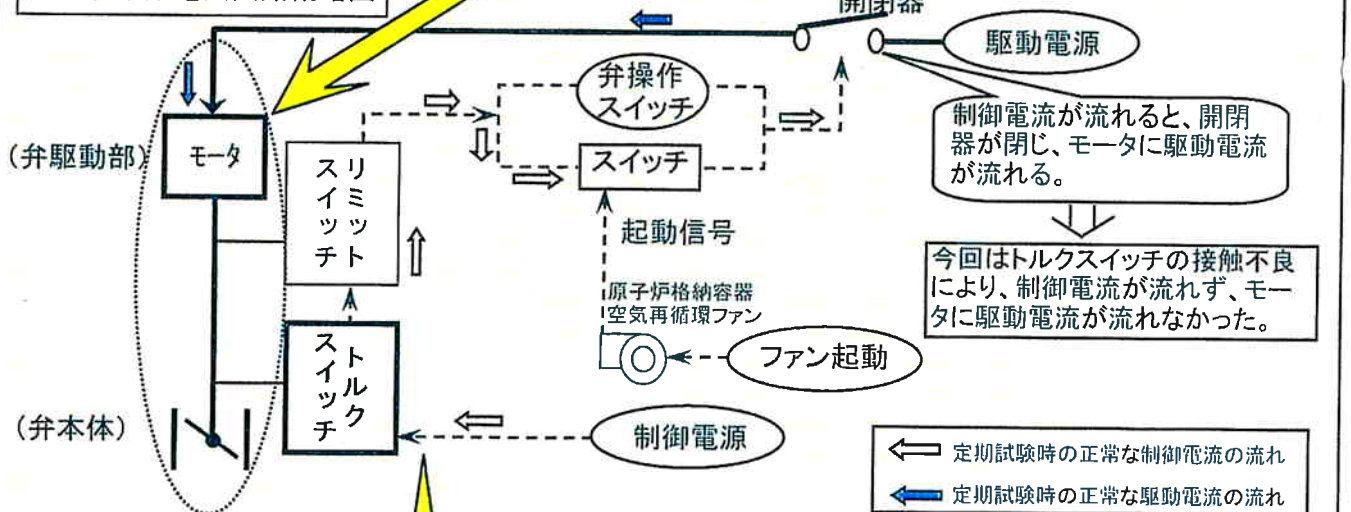


原子炉格納容器再循環系への冷却水系統図

[定期試験時の状態]



弁の駆動用電気回路概略図

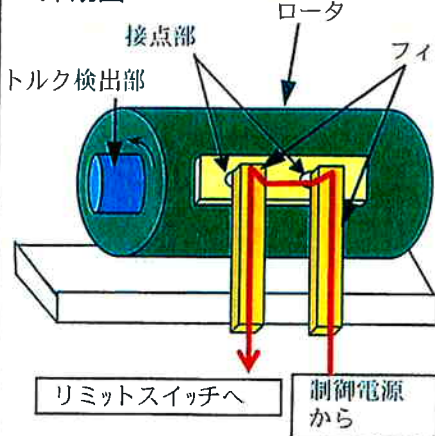


トルクスイッチの調査結果

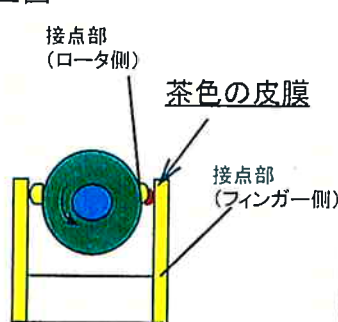
(トルクスイッチ機能)

弁の開閉動作時、規定値以上の力が加わった際に、ロータが回転し、接点が切れて電気回路を切断し、モータを停止させる。

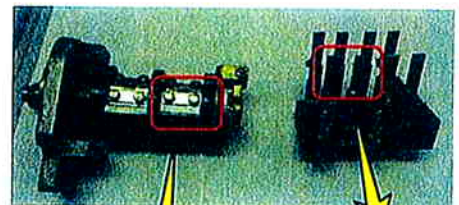
外観図



断面図



分解点検結果



2. トラブル等情報について

(1) 法令に基づき国に報告する事象（安全協定の異常時報告事象にも該当する事象）

なし

(2) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	高浜発電所 1 号機	発 生 日	平成 23 年 2 月 7 日
件 名	タービン建屋内での協力会社作業員の負傷 (添付図 1)		

(概要)

定期検査中の高浜 1 号機において、2 月 7 日、タービン建屋内で弁を手入れする加工機を、加工機の 2 箇所吊り金具にワイヤーを取り付け、チェンブロックで吊り上げて、恒設足場から 1 階面へ階段に沿って移動させていたところ、ワイヤーがチェンブロックのフックから外れたため、加工機のバランスが崩れ、加工機の下方にいた作業員の右足にあたり負傷しました。

原因は、事前の吊り上げ作業計画の検討が不十分であったため、作業中に吊り上げ方法を変更する必要が生じ、その際に十分な検討が行われなかったことにより不適切なフックの掛け方を行い、加工機の吊り上げ移動の際、ワイヤーがフックの止め具側に移動し、止め具に加工機の重量がかかって止め具が外側に變形して隙間ができ、ワイヤーが外れたものと推定されました。

対策として、不適切なフックの掛け方を禁止します。また吊り上げ作業にあたっては、事前にフックの掛け方などの作業手順を考慮した具体的な計画を立てるとともに、作業中に変更が必要となった場合は、作業を中断し計画を再検討することを社内規定に明記することとし、周知徹底しました。

事 象 お よ び 対 策 等	1. 発生状況 高浜発電所 1 号機は、第 27 回定期検査中の 2 月 7 日 10 時 40 分頃、タービン建屋（非管理区域）において、2 次系制御弁のガスケット座を手入れする切削加工機（高さ約 1.7m、重量約 330kg）を、作業用の恒設足場（EL6.2m）から階段を使って 1 階面（EL4m）に降ろすため、加工機の吊り金具 2 箇所にワイヤーを取り付けて、チェンブロックで吊り上げて、階段に沿って移動させていたところ、1 箇所のワイヤーがチェンブロックのフックから外れたため、加工機のバランスが崩れ、加工機の下方で加工機を一旦階段上に置くために加工機の位置調整を行っていた作業員の右足にあたり、負傷しました。 病院に搬送し、診察を受けた結果、約 3 ヶ月の加療を要すると診断されました。
	2. 調査結果 当該フックの外観を確認したところ、ワイヤーが外れるのを防止する止め具がフックの外側に變形し、外れ止めが効かない状態となっていました。当日行った作業前点検では、止め具に異常は認められていなかったことから、この變形は今回の作業で発生したものと推定されました。 作業状況を調査した結果、弁の手入れを行った後、加工機を階段手前に移動させ、加工機の吊り金具 2 箇所にそれぞれワイヤーを掛け、それらのワイヤーを階段下方側の天井 2 箇所の吊り位置と階段上方側の足場手すり 1 箇所の計 3 箇所からチェンブロックで引っ張って、加工機を吊り上げていました。

事 象 お よ び 対 策 等	フックが外れた階段上方側のワイヤーには、手すりからのチェンブロックのフックを掛けた後、そのフックに天井からのチェンブロックのフックを掛けていました。再現試験の結果、加工機の吊り上げおよび移動操作に伴い、フックに掛かっているワイヤーが止め具側に移動し、止め具に加工機の重量がかかって変形することが確認されました。 また、作業計画を調査した結果、加工機を恒設足場に上げる際は、加工機を挟んだ階段上方側1箇所と下方側1箇所の天井の吊り位置から吊って移動させ、加工機を降ろす際も同じ方法をとる予定でした。ところが、加工機を階段手前に移動した時に、加工機が搬入時とは逆向きになったことにより、加工機の階段上方側の吊り金具と階段上方側の天井の吊り位置との間の距離が近く、十分な吊り上げ高さを得られなかったため、現場の作業員は、天井の吊り位置を階段下方側2箇所に変更するとともに、この変更により加工機吊り上げ時に加工機が階段下方側に引っ張られて動くのを止めるために、新たに階段上方側の手すりの1箇所から階段上方側に引っ張ることとしました。 3. 原因 ワイヤーが外れた原因は、ワイヤーに掛けた手すりからのフックに天井からのフックを掛けたため、加工機の吊り上げおよび移動操作に伴い、ワイヤーがフックの止め具側に移動し、止め具に加工機の荷重がかかったことにより、止め具が外側に変形して隙間ができ、外れものと推定されました。 不適切なフックの掛け方を行った原因は、事前の吊り上げ作業の計画の検討が不十分であったため、作業途中で吊り上げ方法を変更する必要性が生じ、現場作業員の判断のみで十分な検討が行われなかったためと推定されました。 4. 対策 以下の対策を請負工事の注意事項を定めた社内規定に明記することとし、協力会社に周知徹底しました。また当社は、作業内容を確認する際、下記の点を踏まえた吊り上げ作業の計画が立てられていることを確認します。 ・ チェンブロックを用いた吊り上げ作業において、フックにフックを掛けることを禁止します。 ・ 吊上げ作業前の計画策定に当たっては、機器の吊り金具の位置と吊り位置の関係や、フックの掛け方など、作業手順を考慮した具体的な計画を立てます。 ・ 作業中に計画の変更が必要になった場合は、作業を中断し、作業責任者を含めて計画を再検討します。
--------------------------------	---

(3) 保全品質情報等

なし

以 上

2. トラブル等情報について

(1) 法令に基づき国に報告する事象（安全協定の異常時報告事象にも該当する事象）

なし

(2) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	高浜発電所 3 号機	発 生 日	平成 2 3 年 3 月 8 日
件 名	補助建屋内での協力会社社員の負傷について (添付図 1)		

(概要)

運転中の高浜 3 号機において、3 月 8 日、補助建屋の資材搬入エリアで、パンチングメタル（多孔板）を搬入する作業を行っていた作業員が被災しました。

原因は、パンチングメタルをクレーン付きトラックから運搬用台車に降ろし立掛けた後、台車とパンチングメタルに挟まっていたナイロンスリング（ナイロン製の吊り具）を取り外していた際、転倒防止措置を行っていなかったため、パンチングメタルのバランスが崩れて倒れ、被災者の右足にあたり負傷したものと推定されました。

対策として、クレーン等の揚重設備による荷降ろし後、吊り具を取り外す前に吊り具の挟まりがないことを確認するとともに固縛等の転倒防止措置を行うことを社内規定に明記することとし、協力会社に周知徹底しました。

事 象
お よ び
対 策 等

1. 発生状況

高浜発電所 3 号機は定格熱出力一定運転中の 3 月 8 日 11 時 15 分頃、補助建屋（管理区域）の資材搬入エリアにおいて、点検通路にパイプ手摺と異物落下防止用のパンチングメタルを取り付ける工事を実施するために、パンチングメタルを搬入する作業を行っていた作業員が被災しました。

被災時の状況は、パンチングメタル 59 枚（総重量約 720kg）をクレーン付きトラックから運搬用台車に降ろして台車の手摺に立掛けた後、吊り上げ用に使用していたナイロンスリングを取り外すため、別の作業員がナイロンスリングを引き抜いていたところ、パンチングメタルが被災者の方向へ倒れ、被災者の右足にあたり負傷しました。

病院に搬送し、診察を受けた結果、約 3 ヶ月の加療を要すると診断されました。

2. 調査結果

作業状況を調査した結果、被災者を含む作業員計 5 人は、パンチングメタル 59 枚（総重量約 720kg）をクレーン付きトラックから運搬用台車に降ろして台車の手摺に立掛けた後、吊り上げに使用していたナイロンスリング 2 本を取り外す作業を行っていました。

パンチングメタルは運搬用台車の手摺りに立掛けられていたことからパンチングメタルが倒れてくるとは思わず、固縛などの転倒防止措置を行わないままナイロンスリングを取り外していました。2 本の吊り具の内、被災者側の吊り具は特に問題なく被災者が取り外し、別の作業員が外そうとしたもう片方の吊り具については、パンチングメタルと台車との間に挟まっていましたが、無理な力をかけることなく引き抜くことができたため、そのまま取り外していました。

3. 原因

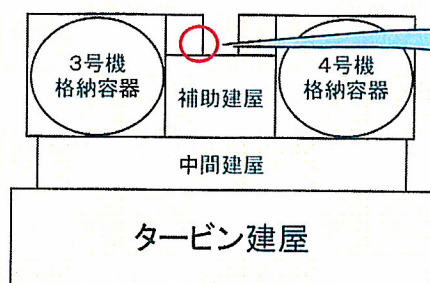
原因は、パンチングメタルを運搬用台車に乗せた後、挟まっていた吊り具を取り外す作業を行っていた際、転倒防止のための固縛等の処置を行っていなかったため、パンチングメタルのバランスが崩れて倒れ、被災者の右足にあたり負傷したものと推定されました。

4. 対策

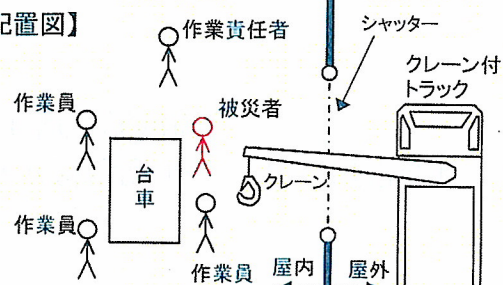
対策として、クレーン等の揚重設備による荷降ろし後、吊り具を取り外す前に吊り具が挟まっていないことを確認するとともに、固縛等の転倒防止措置を行うことを請負工事の注意事項を定めた社内規定に明記することとし、協力会社に周知徹底しました。

高浜発電所3号機 補助建屋内での協力会社社員の負傷について

発生場所



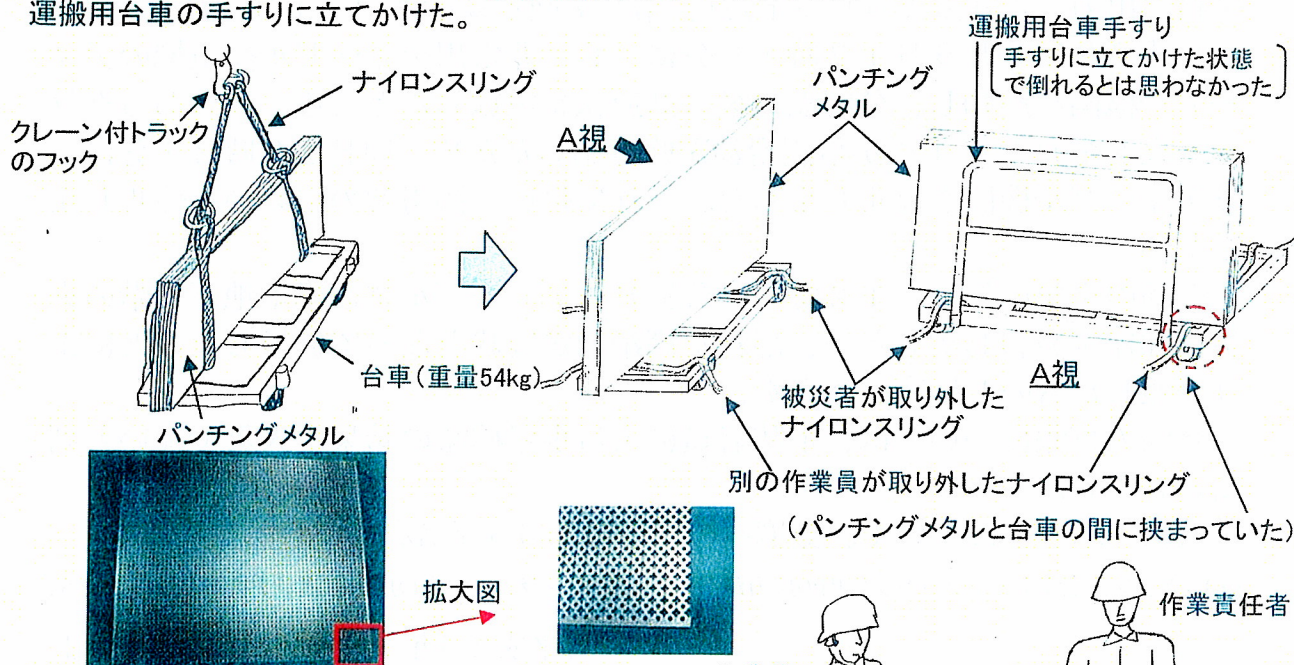
【作業員配置図】



発生時の作業状況

①運搬用台車に吊り降ろした際の状況

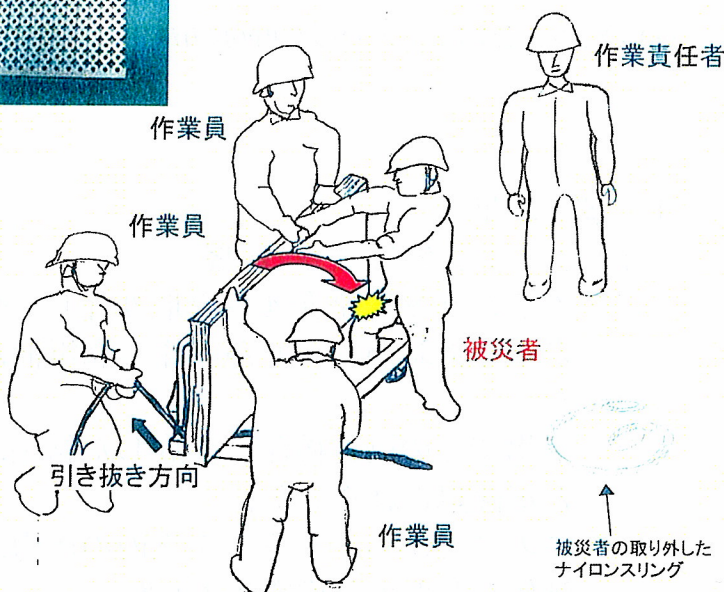
パンチングメタル59枚(総重量約720kg)を運搬用台車へ吊り降ろし、運搬用台車の手すりに立てかけた。



②被災時の作業状況

ナイロンスリングを取り外した際に、パンチングメタルのバランスが崩れて被災者側へ倒れた。

無理な力をかけることなく引き抜くことができた



対策

クレーン等揚重設備による荷降ろし後、吊り具を取り外す前に、吊り具が挟まっていないことを確認するとともに固縛等による転倒防止の処置を行うことを請負工事の注意事項を定めた社内規定に明記することとし、協力会社に周知徹底しました。

高浜発電所1号機の定期検査状況について
(非常用ディーゼル発電機からの潤滑油漏えいに係る原因と対策について)

平成23年4月7日
関西電力株式会社

高浜発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力82万6千キロワット、定格熱出力244万キロワット)は、第27回定期検査中(1月10日開始)の平成23年3月9日12時19分に、B-非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関を起動し、分解点検後の試運転を実施したところ、4台あるクランク室安全弁^{※1}の1つから潤滑油が吹き出したため、同日12時21分に当該ディーゼル機関を停止しました。これに伴い、潤滑油の漏えいも停止しました。

今回の事象に伴い、12時22分にB-ディーゼル発電機室地下1階の火災報知器が発報しましたが、漏れた潤滑油が霧状となって拡散したことにより発報したものと推定されます。

今回の事象については、消防署員による現場確認の結果、火災でないと判断されました。

なお、本事象において、環境への影響はありません。

※1:クランク室安全弁…クランク室内の圧力が上昇した時に、クランク室内の圧力を逃がす役割を持っている。

[平成23年3月9日お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) クランク室安全弁の調査

- ・クランク室安全弁4台を取り外し、外観点検を行った結果、すべての安全弁において、弁が動作し潤滑油が漏れ出した痕跡が認められました。
- ・工場で弁の動作確認を実施した結果、すべての弁が正常に動作することが確認されました。
- ・このことから、クランク室内の圧力が上昇したことにより、安全弁が動作したものと推定しました。

(2) クランク室内の圧力上昇に係る調査

- ・ディーゼル機関の分解点検を行った結果、シリンダ内に燃料油を供給するため、クランク室入口に設置されている燃料油供給ポンプ駆動装置の駆動軸および軸継手の表面に変色が認められました。
- ・工場で燃料油供給ポンプ駆動装置の詳細点検を実施した結果、変色は、駆動軸を保持する軸スリーブ近傍の駆動軸および軸継手の表面に認められ、その色調（褐色、青・紫色）から、試運転中の当該部の温度は250℃を超えていたものと推定しました。
- ・また、駆動軸と軸スリーブの間には潤滑油が供給されて滑らかに動く構造となっていますが、駆動軸と軸スリーブの間に潤滑油の残渣^{※2}が堆積し、潤滑油の流れが悪い状態であることを確認しました。

※2：残渣…機関の摺動部から発生する剥離物と潤滑油が長期間のうちに油溝にたまったもの。

(3) 燃料油供給ポンプ駆動装置の点検履歴

- ・ポンプ駆動装置については、定期検査の試運転時に動作確認を行うのみで分解点検は実施していませんでした。

2. 推定原因

燃料油供給ポンプの軸スリーブ内面に加工された油溝に潤滑油の残渣が堆積していたことにより、潤滑油の流れが妨げられ、駆動軸と軸スリーブの摺動部の接触抵抗が大きくなりました。

このため、駆動軸と軸スリーブの摺動部が高温となり、摺動部周辺の潤滑油が気化することにより、クランク室内の圧力が上昇し、クランク室安全弁が動作したものと推定しました。

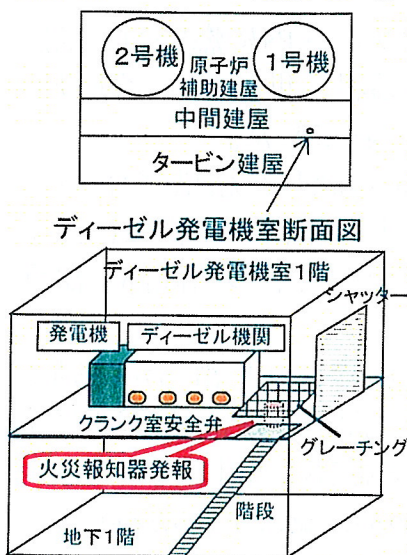
3. 対策

- ・当該B-非常用ディーゼル発電機の燃料油供給ポンプ駆動装置の駆動軸、軸スリーブおよび軸継手を新しいものに取り替えます。
- ・また、A-非常用ディーゼル発電機の燃料油供給ポンプ駆動装置についても、同様に駆動軸等の取替えを行います。
- ・今後、ポンプ本体の分解点検（2定検に1回）に合わせて、燃料油供給ポンプ駆動装置の分解点検を行います。

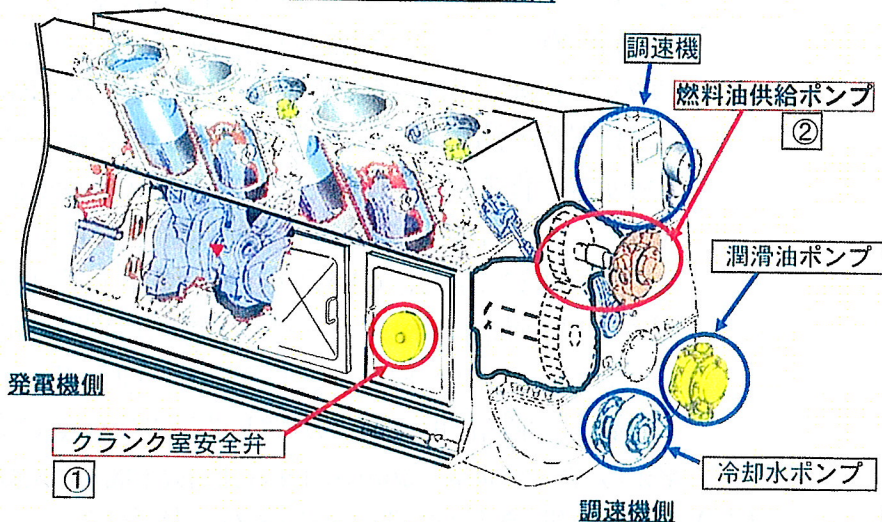
以 上

高浜発電所1号機の定期検査状況について (B-非常用ディーゼル発電機からの潤滑油漏えい)

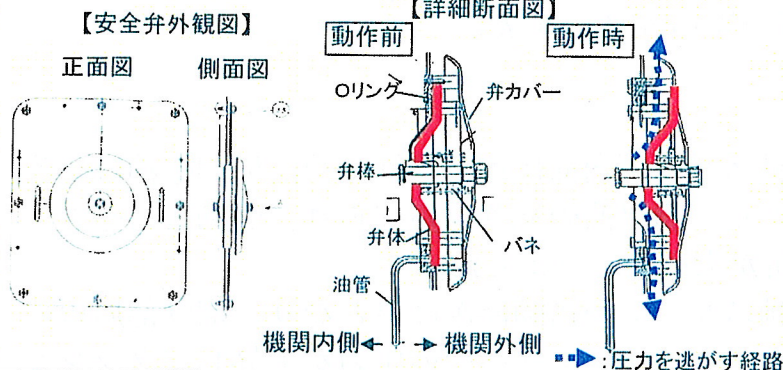
ディーゼル機関 概要図



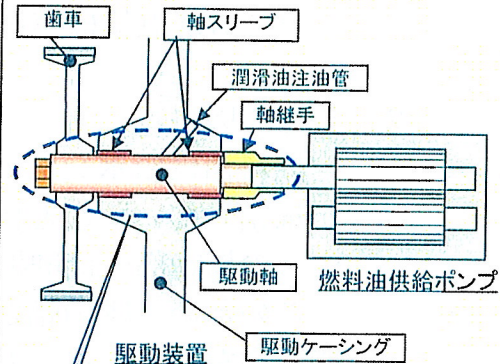
ディーゼル機関 外観図



①クランク室安全弁構造図

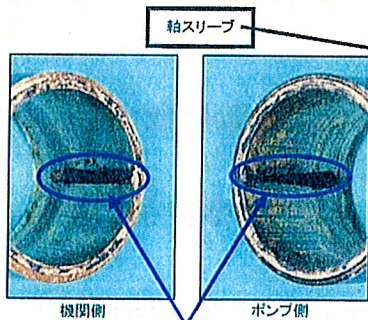


②燃料油供給ポンプ構造図

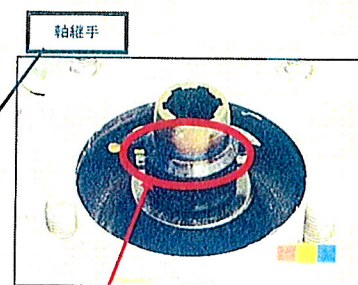
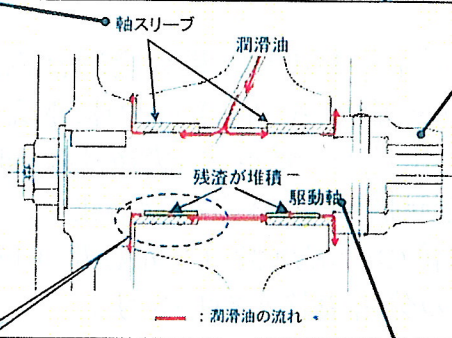


燃料油供給ポンプ駆動装置点検結果

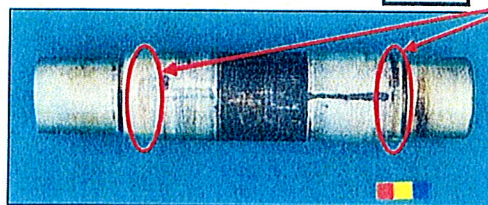
燃料油供給ポンプ駆動装置



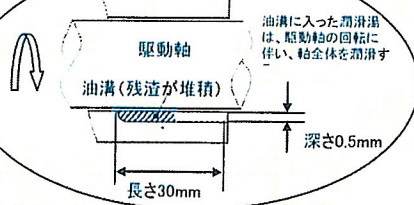
軸スリーブの油溝に潤滑油の残渣が堆積していた。



駆動軸



変色は、駆動軸を保持する軸スリーブ近傍の駆動軸および軸継手の表面に認められ、その色調(褐色、青・紫色)から、試運転中の当該部の温度は250℃を超えていたものと推定された。



大飯発電所１、２号機 ほう酸補助タンク設置工事における 協力会社作業員負傷の原因と対策について

平成２１年８月７日
関西電力株式会社

大飯発電所では１、２号機共用のほう酸補助タンクを、１号機原子炉補助建屋内に追加設置する工事を平成２１年２月から実施しており、この工事のため、建屋屋外に設置した仮設足場（地上約１７ｍ）の足場材（パイプ）に固定していた金具（鋼材）の先端に資材運搬用のウインチ※１を取り付け、作業を開始しようとしていた、７月７日８時３５分頃、ウインチが金具とともに（重さ計約２５ｋｇ）落下し、地上にいた作業員の頭部に当たり、負傷しました。

落下したウインチと金具を調べた結果、金具を足場材に固定しているクランプ（固定金具）に取り付けていたピン（固定ボルト）が折れていることを確認しました。

※１ ウインチ：荷物を上げ下ろしするための工具。重さ約１９ｋｇ

〔平成２１年７月７日お知らせ済み〕

１．調査結果

（１）金具の調査

- ・今回落下した金具は、足場板を載せるために使用している三角形の足場材で、足場材に取り付けるためのクランプにガイドと固定ボルトで連結されていました。
- ・固定ボルトは、クランプ側の根元付近で折損しており、破断面には引きちぎられたような破面の特徴が見られました。
- ・クランプは固定していた足場材に取り付けられたままでした。
- ・金具を抑えているガイドには変形が認められ、足場材に残っていたクランプの取り付け部では、足場材に周方向の擦り傷が認められました。
- ・金具・固定ボルト・クランプ等は一体品であり、今回の工事を使用する前に、目視にて変形や腐食等の異常がないことを確認していました。

（２）作業状況の聞き取り調査

- ・ウインチ（金具を含む）は、工事で追加設置するタンクを屋上から建屋内に搬入するのに伴い、屋上部の撤去物を地上に下ろす（荷下ろし作業）ためのもので、４月１０・１１日、７月６日の作業で使用していました。
- ・荷下ろし作業は、作業前に金具の先端にウインチを取り付け、荷下ろし中に吊り荷（約３０ｋｇ）が足場板と干渉しないよう、金具を足場より外側に押し出した後、荷下ろしを行い、作業終了後には金具を元の位置に戻し、ウインチを取り外していました。
- ・金具を外側に押し出す動作は、荷を吊った状態でも行っており、押し出し・戻し動作は、足場材に固定しているクランプのボルトを緩めずに行っていました。

（３）金具押し出し動作の再現試験

- ・今回と同一仕様の金具・固定ボルト・クランプ等を用いて足場材に固定し、クランプのボルトを緩めずに金具の押し出し・戻し動作を再現した試験を行った結果、５～４０回程度の動作で、固定ボルトの根元付近で折損し、その破断面は過大な力によって破断する延性破面の特徴が認められました。

2. 原因

ウインチを取り付けるために使用していた金具を足場材に取り付けていたクランプのボルトを緩めずに、金具の押し出し・戻し動作を繰り返したことにより、固定ボルトの根元付近に過大な力が加わり、押し出し動作を行った際に固定ボルトが折損し、ウインチとともに落下したものと推定しました。

また、被災した時間帯は、荷下ろし作業の準備段階であり、ウインチの下方に立入り制限区画を設定しておらず、落下防止措置をとっていなかったことから、運搬車の誘導作業をしていた作業員に当たり被災したものと推定しました。

3. 対策

今回の事故は、ウインチ（仮設揚重設備※²）を足場材に取り付けていた金具の使用 방법이適切でなかったために固定ボルトが折損し、ウインチとともに落下したものであり、今後は、請負工事にあたっての社内規定（請負工事一般仕様書）に以下の対策を明記し、災害の発生防止を徹底させることとします。

- ・準備や片付け等の作業段階であっても、上下作業となる範囲は、作業区画を明確にして、立入禁止の措置をとるか、監視員を配置します。さらに、ネット等による防護措置を確実に実施することを徹底させます。
- ・仮設足場上等で仮設揚重設備や金具等を使用する場合は、当該設備や金具が落下しないよう、落下防止措置を必ず行います。
- ・仮設揚重設備を仮設足場等で使用する際には、専用の金具を使用し、事前に金具の正しい使用方法を作業関係者に徹底させます。

※2 揚重設備：重量物を吊り上げるウインチ等。

当社では、原子力発電所における労働災害を防止すべく、安全技術アドバイザーによる現場パトロール強化や、危険予知活動に関する教育の充実等の労働災害撲滅活動を昨年8月から展開していたにもかかわらず、今回の災害を防止できなかったことを反省し、上下作業における落下防止に力点を置いた現場パトロールの追加実施など、これまでの取り組みを一層充実させ、改めて労働災害の防止に努めていきます。

さらに、工事計画から実施に至る全ての段階において、労働安全に主眼をおいた確実な事前検討の実施、適切な作業手順の策定・遵守、危険予知活動の徹底など、原点に立ち返った基本動作の徹底を図り、労働災害を発生させない作業環境づくりと、安全で確実な工事の実施に向けて全社を挙げて取り組んでまいります。

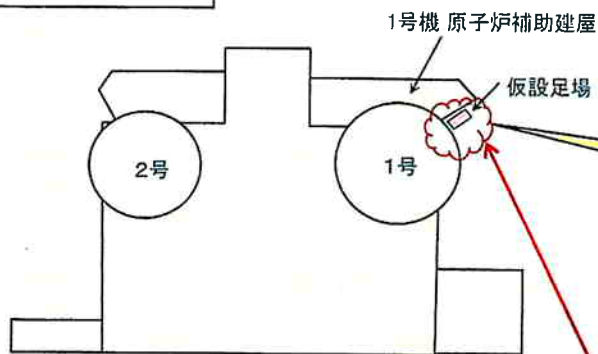
なお、当社は、原子力安全・保安院からの指示（平成21年7月7日付け）を踏まえ、上記の内容を含めた報告書を取りまとめ、本日、原子力安全・保安院、福井県、おおい町に提出しました。

安全最優先の取り組みを進めている中で、皆さまに多大なご心配をおかけしたことに対し、深くお詫び申し上げます。負傷された方の一日も早いご回復をお祈り申し上げますとともに、今回策定した再発防止対策を徹底し、安全最優先の発電所運営に努めてまいります。

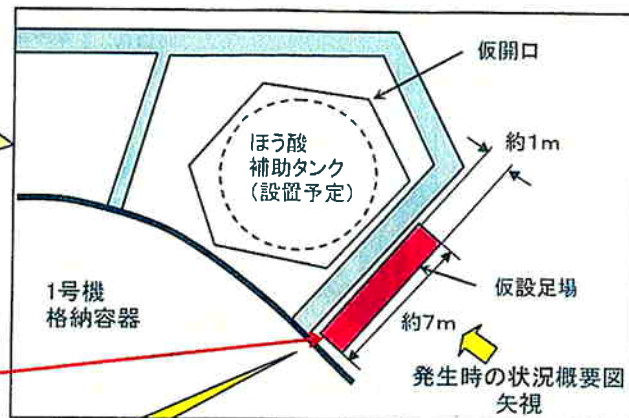
以 上

大飯発電所1、2号機 ほう酸補助タンク設置工事における 協力会社作業員負傷の原因と対策について

発生場所

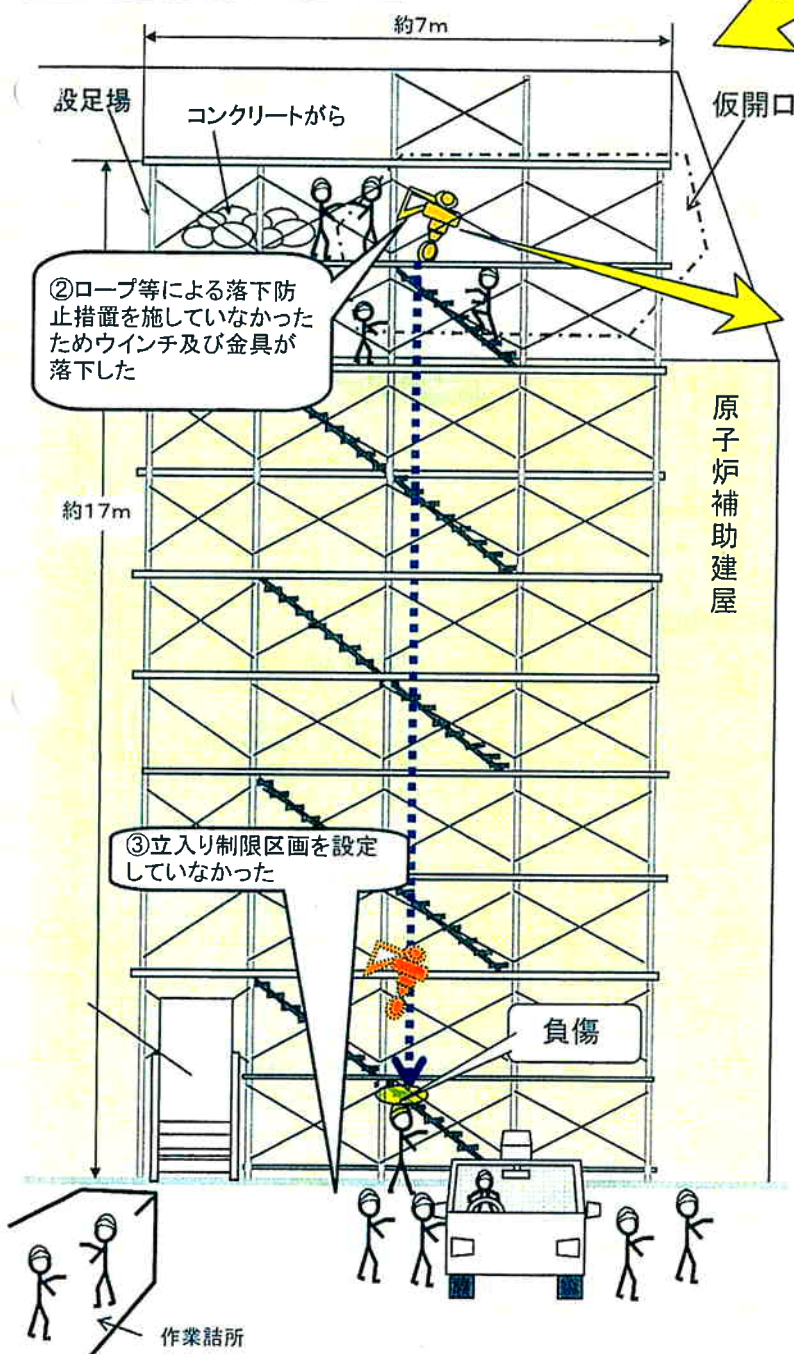


発生場所

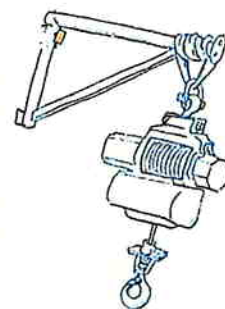
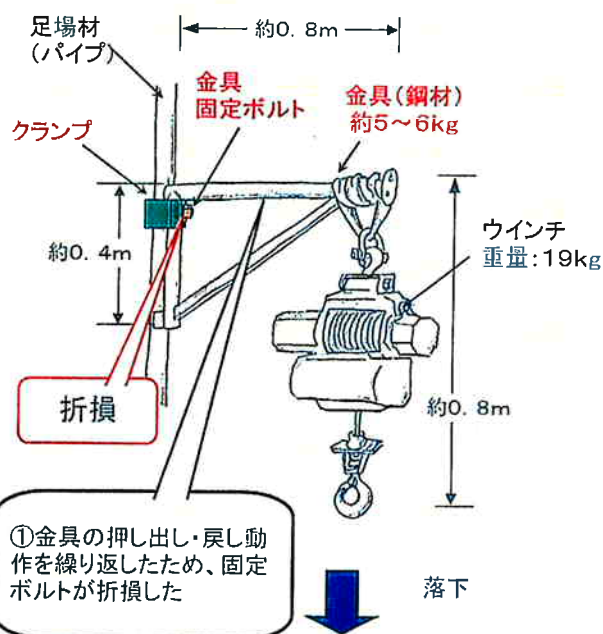


発生時の状況概要図 矢視

発生時の状況概要図

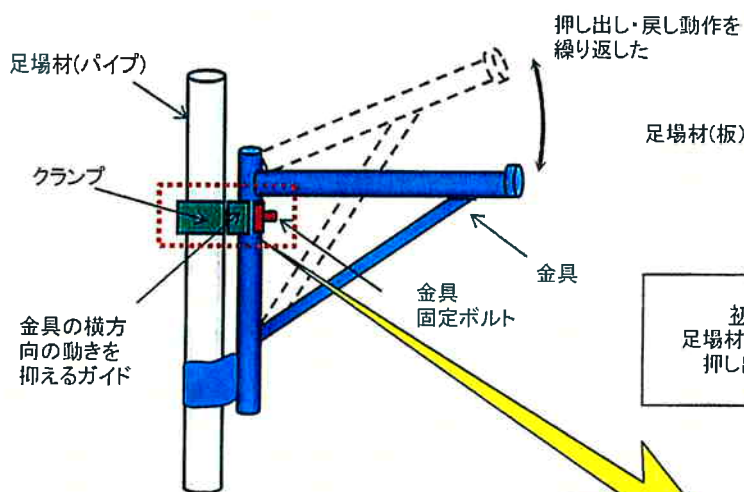


ウインチ、金具取付状況

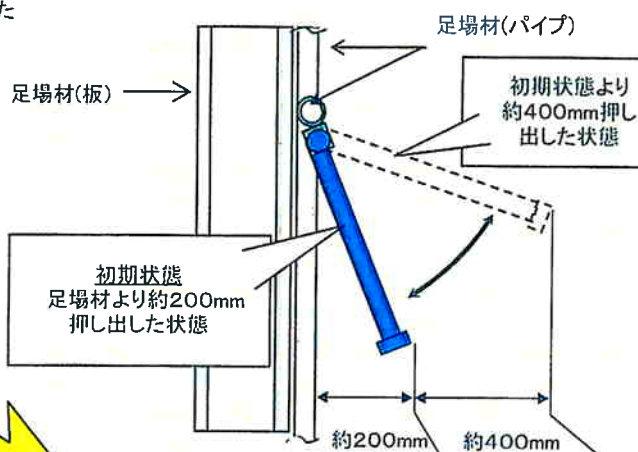


押し出し動作による影響の再現性確認

横から見た図

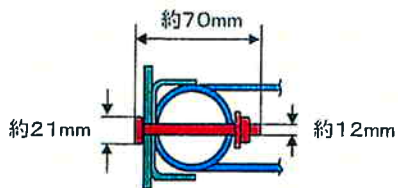


上から見た図



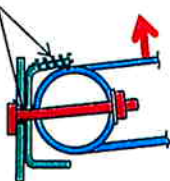
金具固定ボルト折損メカニズム

【初期状態】



【初期状態より押し出した状態】

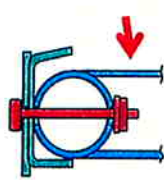
ガイドが開き
ボルトが曲がる



繰り返し

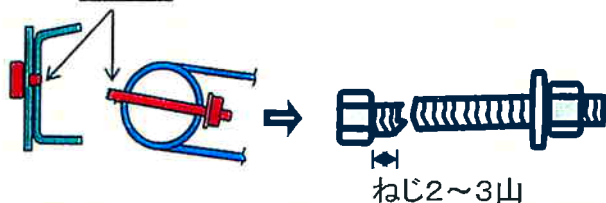


【初期状態に戻した状態】



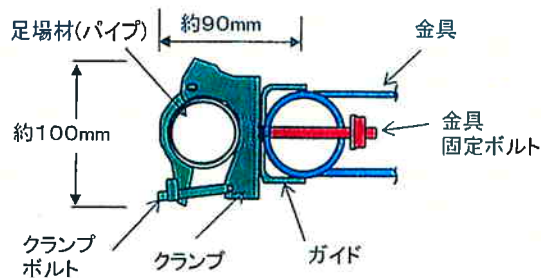
【固定ボルトの折損】

折損



上から見た図

【正常な状態】



【折損メカニズム】

クランプボルトを緩めずに
金具を押し出した



ガイドが変形



金具固定ボルトの根元付近に
過大な力が加わった



金具固定ボルトが折損

大飯発電所２号機の燃料集合体漏えいに係る調査結果について(原因と対策)

平成２１年１２月２５日

関西電力株式会社

大飯発電所２号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力１１７万５千キロワット、定格熱出力３４２万３千キロワット)は、定格熱出力一定運転中の８月３１日、１次冷却材中のよう素（Ｉ－１３１）濃度と希ガス※^１濃度が前回の測定値を上回ったため、燃料集合体に漏えい※^２が発生した疑いがあるものと判断し、１次冷却材中の放射能濃度の監視を強化して運転を継続していましたが、１０月６日頃から希ガス濃度が上昇傾向にあったことから、漏えい燃料の特定調査を実施するため、１０月２１日に原子炉を停止しました。

１次冷却材中の放射能を低減させた後、１２月７日から漏えい燃料を特定するため、 SHIPPING 検査※^３を実施したところ、２体の燃料集合体で漏えいが認められました。

燃料集合体２体の燃料棒について、漏えい燃料棒特定のため超音波による調査※^４を実施した結果、燃料集合体１体（ＫＣＨＣ８１）の燃料棒３本、別の燃料集合体１体（ＫＣＨＣ８８）の燃料棒１本で漏えいが認められました。

漏えいが認められた燃料棒計４本について、ファイバースコープを用いて外観目視点検を実施したところ、燃料集合体（ＫＣＨＣ８１）の漏えい燃料棒３本では、燃料棒（全２６４本／体）を保持している第９支持格子※^５（最下段）の内部で、燃料棒を支持している支持板またはばね板と燃料棒との間で隙間が認められました。また、そのうちの１本については、第１支持格子（最上段）の下で二次的な水素化※^６によるものと思われる燃料棒被覆管の膨らみが認められました。もう一方の燃料集合体（ＫＣＨＣ８８）の漏えい燃料棒では、明らかな隙間等は認められませんでした。

漏えいが確認された燃料集合体２体は、いずれも同一メーカーで、同一時期に製造された燃料でした。

※１ ウランの核分裂反応で生成するキセノン等のガス。

※２ 燃料ペレットを収納している燃料被覆管から漏えいがあると、燃料被覆管内のよう素や希ガスが１次冷却材中に放出される。このため、１次冷却材中のよう素や希ガス濃度の変化から、漏えいの疑いの有無を判断している。

※３ 燃料集合体から漏れ出てくる気体および液体に含まれる核分裂生成物(キセノン-133、よう素-131 等)の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する検査。

※４ 漏えいが発生した燃料棒の内部に漏えい孔から浸入した水が存在すると、健全な燃料棒に比べて、燃料被覆管を伝播する際の超音波が減衰する。これを検出することで、漏えい燃料棒を特定する。

※５ 燃料棒を保持するための部品であり、支持格子内は燃料棒１本ごとに燃料棒を保持するための支持板とばね板で構成される。

※６ 何らかの原因により燃料に一次破損が生じると、冷却水が燃料棒内に浸入して水素が発生する。被覆管は水素を吸収し、一次破損箇所から離れた場所で膨らみが発生する。

[平成 21 年 9 月 1 日、10 月 19 日、21 日、12 月 7 日、8 日、18 日お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 燃料集合体 (KCHC81) の追加調査

- ・ 当該燃料集合体 (KCHC81) の健全な燃料棒 (261 本) について、ファイバースコープにより第 9 支持格子 (最下段) 内の確認を行ったところ、支持板またはばね板との間に隙間は認められませんでした。
- ・ 過去の燃料漏えい事例^{※7}を調査したところ、支持格子部に隙間が認められた場合の漏えい原因については、一次冷却材の流れによる微小な振動により、燃料棒と支持板またはばね板がこすれることで燃料棒が磨耗して微小孔 (ピンホール) が発生するフレッティング磨耗でした。
- ・ 当該燃料集合体の第 9 支持格子部の一次冷却材の流れを解析したところ、漏えい燃料棒付近の支持格子コーナー部は、中央部に比べて一次冷却材の流れにより燃料棒を振動させる力が強くなる可能性があることがわかりました。

※7 過去のフレッティング磨耗は、原子炉容器内バップル板のコーナー部の燃料集合体の上部支持格子部で発生しており、支持格子の設計改良が施された後は同様な事象が発生していないことから、今回の事象との関連性はないと考えられます。

(2) 燃料集合体 (KCHC88) の追加調査

- ・ 燃料集合体 (KCHC88) の漏えいが第 9 支持格子コーナー部の燃料棒で認められたことを受け、燃料集合体 (KCHC88) の第 9 支持格子コーナー部を含む燃料棒 (18 本) について、ファイバースコープにより第 9 支持格子 (最下段) 内の確認を行ったところ、支持板またはばね板との間に隙間は認められませんでした。

(3) 製造時期が同じ燃料集合体の調査

- ・ 漏えい燃料集合体と同一時期に製造された燃料集合体全 36 体 (当該燃料集合体 2 体を含む) について、材料から製品に至る製造データについて調査を行った結果、燃料棒を構成するペレット、被覆管および第 9 支持格子の製造データに大きな偏りはなく、燃料集合体の組み立て工程においても特異な点は認められませんでした。
- ・ また、発電所における使用、取扱実績等の運転履歴について調査を行いました。が、燃焼度や装荷サイクル数等の履歴は異なっており、特に問題点や共通性は認められませんでした。
- ・ 今回漏えいした燃料 2 体と、昨层高浜発電所 1 号機で漏えいが認められた燃料 2 体の製造時期が比較的近いことから、製造データの詳細な調査を行ったところ、製造時の品質管理値は満足していましたが、ペレット成型時の上下端面の傾きが、他の製造時期のものに比べて大きい特徴が認められました。

(4) 製造時期が異なる燃料集合体の調査

- ・ 漏えい燃料集合体より後に製造された燃料集合体では、既に高い燃焼度までの使用実績があるものの、これまでに漏えいは発生していません。
- ・ 念のため、これらの燃料集合体のうち6体について、ファイバースコープによる第9支持格子コーナー部の燃料棒(16本)の確認を行った結果、支持板またはばね板との間に隙間は認められませんでした。

2. 推定原因

- ・ 燃料集合体1体(KCHC81)については、過去の燃料漏えいの事例や、漏えいが認められた燃料棒のファイバースコープによる観察結果および運転中の放射能濃度推移から、第9支持格子内での燃料棒と支持板またはばね板の接触する面で、一次冷却材の流れに当該燃料集合体固有の要因が重なったことで発生した微小な振動によって燃料棒が摩耗し、微小孔(ピンホール)が生じて、そこから漏えいしたものと推定しました。
- ・ もう一方の燃料集合体1体(KCHC88)については、隙間等の異常は見つからなかったことから、現時点で、原因は特定できませんでした。

3. 対 策

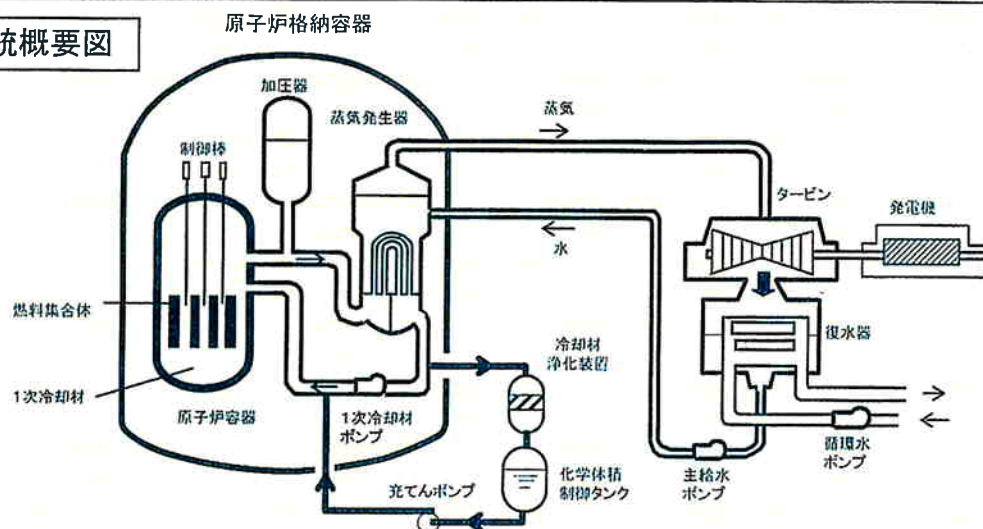
- ・ 漏えいが確認された燃料集合体2体については今後再使用しないこととし、漏えいに至ったメカニズム解明のため、当該燃料集合体2体を1年から2年程度、使用済燃料ピットで冷却および放射能を低減させた後、試験研究施設へ搬出し詳細な調査を実施する予定です。
- ・ また、漏えい原因が判明するまで、今回漏えいした2体と同一メーカー、同一時期製造の燃料集合体の使用を見合わせることにします。

大飯発電所2号機は今後、燃料装荷等の必要な作業を行い、1月下旬頃に原子炉を起動する予定です。

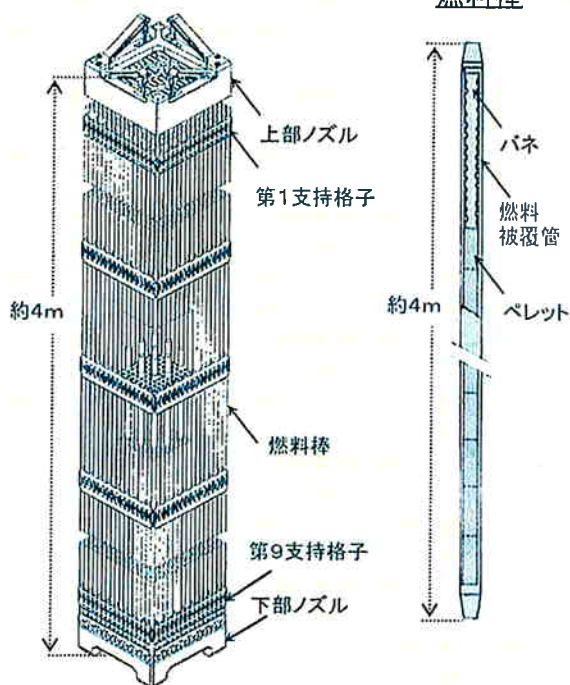
以 上

大飯発電所2号機の燃料集合体漏えいに係る調査結果について(原因と対策)

系統概要図



燃料集合体概要図



【燃料集合体の仕様】

燃料タイプ: 17×17型

全長: 約4m

全幅: 約20cm

支持格子数: 9個

燃料被覆管材質: ジルカロイ-4^{※1}または
ジルコニウム基合金^{※2}

燃料被覆管外径: 約10mm

燃料被覆管肉厚: 約0.6mm

燃料棒の本数: 264本

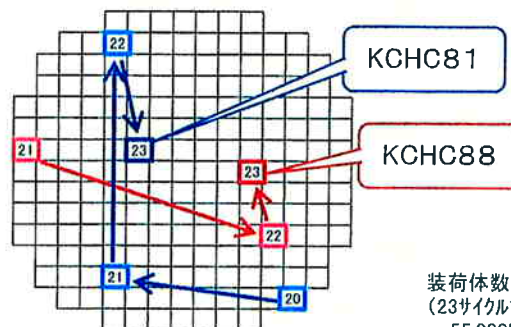
※1: 最高燃焼度48,000MWd/tの燃料

※2: 最高燃焼度55,000MWd/tの燃料

漏えい燃料集合体の装荷位置

原子炉内で漏えい燃料集合体が
装荷されていた位置

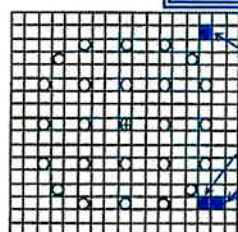
■: 漏えい燃料集合体
(数字: 運転サイクル数)



装荷体数: 193体
(23サイクルでの内訳)
・55,000MWd/t: 192体
・48,000MWd/t: 1体

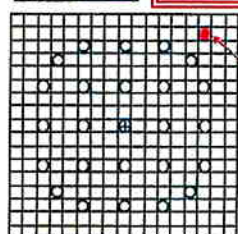
超音波による調査結果

KCHC81 漏えい燃料棒3本を確認



■: 漏えい燃料棒
□: 燃料棒
○: 制御棒案内管
Ⓢ: 炉内計装案内管

KCHC88 漏えい燃料棒1本を確認



■: 漏えい燃料棒
□: 燃料棒
○: 制御棒案内管
Ⓢ: 炉内計装案内管

漏えい燃料棒のファイバースコープによる調査結果

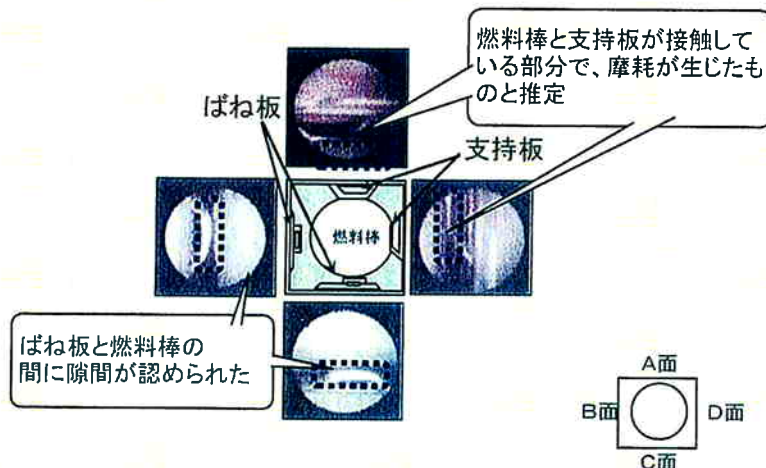
KCHC81の調査結果

3本の燃料棒には、燃料棒と支持板
またはばね板との間に隙間が見られた

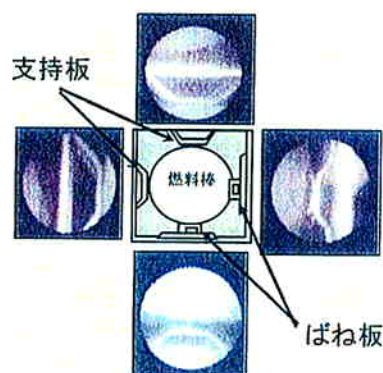
KCHC88の調査結果

明らかな隙間等は認められなかった

燃料棒第9支持格子部の写真(〇-15の例)

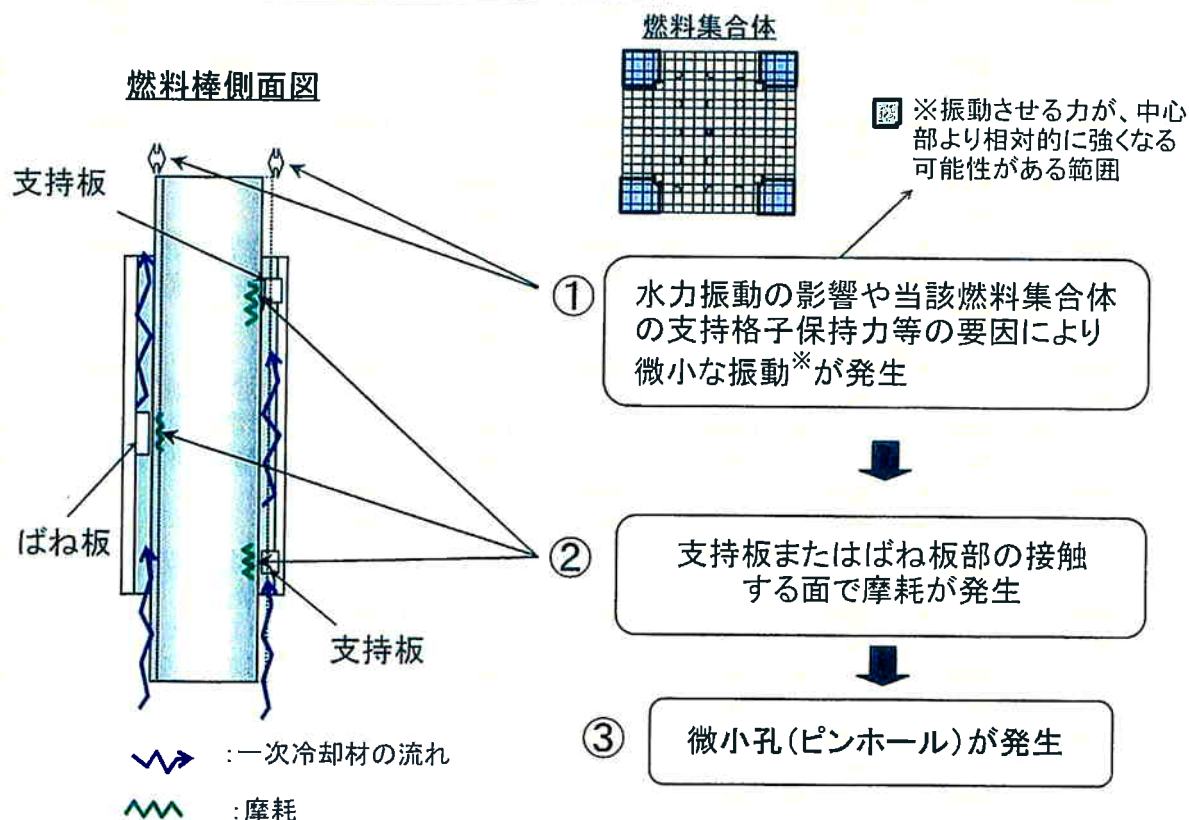


燃料棒第9支持格子部の写真



支持板: 燃料棒を保持するための突起
ばね板: 燃料棒を支持板に押え付けるためのばね

微小な振動による摩耗の推定メカニズム



大飯発電所1号機プラント排気筒ガスモニタの一時的な 僅かな指示値の上昇の原因と対策について

平成21年12月7日
関西電力株式会社

大飯発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力117万5千キロワット、定格熱出力342万3千キロワット)は、定期検査中の10月12日および19日の、いずれも10時10分頃から約10分間、プラント排気筒ガスモニタ※1の指示値が僅かに上昇しました(最大値は両日とも18.1cps※2。通常値は14.5cps)。また、19日には、原子炉補助建屋内の空気を吸引して測定している放射線モニタ※3の指示値が同時刻に上昇しました。

10月19日までの調査で、モニタが上昇する同じ時間帯で、運転中の2号機の化学体積制御タンク※4の気相部の水素ガスを処理している気体廃棄物処理系統のガス分析装置の自動校正が動作していることが判明しました。

排気筒から放出された希ガスの放射エネルギーは12日および19日の合計で約 $1.0 \times 10^9 \text{ Bq}$ と評価し、保安規定に基づく放出管理目標値($3.9 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$)に比べ十分低い値でした。また、発電所敷地内および周辺のモニタリングポストの指示値は平常と変わりなく、周辺環境等への影響はありませんでした。 [以上は平成21年10月19日 お知らせ済み]

また、同2号機は、定格熱出力一定運転中の8月31日、1次冷却材中のよう素(I-131)濃度と希ガス※5濃度が前回の測定値を上回ったため、燃料集合体に漏えい※6が発生した疑いがあるものと判断しました。その後、10月6日頃から希ガス濃度が上昇傾向にあったことから、漏えい燃料の特定調査を実施するため、10月21日に原子炉を停止しました。

[平成21年9月1日、10月19日、21日お知らせ済み]

なお、2号機は原子炉停止後、1次冷却材中の放射能を低減させた後、原子炉容器上部ふたを取り外し、12月4日から燃料集合体を取り出す作業を行い、12月7日からは SHIPPING 検査※7を実施しています。

- ※1 運転に伴って発生する気体放射性廃棄物(希ガス)を監視するモニタ。大飯1号機ではプラント排気筒で原子炉格納容器および補助建屋からの排気を監視している。
- ※2 1秒間に測った放射線の数を表す単位。
- ※3 気体廃棄物処理系統の換気空調系ガスモニタ(通常は常時測定しているものではないが、10月12日以降、常時計測する設定に変更していたもの)。
- ※4 化学体積制御系の設備で、原子炉容器や配管内の1次冷却材の量を調整するためのタンク。
- ※5 ウランの核分裂反応で生成するキセノン等のガス。
- ※6 燃料ペレットを収納している燃料被覆管から漏えいがあると、燃料被覆管内のよう素や希ガスが1次冷却材中に放出される。このため、1次冷却材中のよう素や希ガス濃度の変化から、漏えいの有無を判断している。
- ※7 燃料集合体から漏れ出てくる気体および液体に含まれる核分裂生成物(キセノン-133、よう素-131等)の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する検査。

1. 調査結果

(1) 気体廃棄物処理系（1・2号機共用）の運転実績の調査

- ・大飯1・2号機では、運転中、1次系の化学体積制御タンクの気相部（水素ガス）を定期的に取り出し、ガス圧縮機および水素再結合装置を循環しながら、放射性気体廃棄物処理系のガス減衰タンクに圧縮し貯留しています。この際、水素ガスは水素再結合装置にて水にすることで貯留するガスの容積を小さくしています。
- ・大飯2号機では、8月31日、燃料漏えいの疑いが発生したことから、翌日から、1次冷却材中に含まれる放射性ガス（希ガス）濃度が上昇していくのを抑えるため、気相部の取り出しを連続して実施していました。
- ・水素再結合装置は、2系列（A、B）あり、通常は一系統を運転しており、9月1日からの処理ではB系を使用していました。
- ・水素再結合装置では、水素濃度に応じて酸素量を適切に調整する等のため、装置の入口側と出口側での水素濃度及び酸素濃度を分析（ガス分析装置）しています。
- ・この分析装置では、各濃度の検出計を定期的に自動校正^{※8}する仕組みが備わっており、今回、プラント排気筒ガスモニタが上昇した際には、入口側の酸素濃度計で自動校正が行われていました。

※8 入口酸素濃度計は、タイマーにより168時間（7日）毎に約10分間、自動校正（計器のゼロ点調整とスパン調整）が行われるように設定されていた。

(2) ガス分析装置の入口側酸素濃度計の調査

- ・酸素濃度計の自動校正は、以下の順序で弁等が自動操作されます。
 - ①水素再結合装置につながる入口弁を閉じた後、窒素ガスを流して濃度計内に残留しているガスを廃棄物処理系（ガス圧縮機側）に排出します。
 - ②出口弁をガス圧縮機側から排気筒側（1号機）に切り替えて、校正用ガス（窒素、一定濃度の酸素）を流して自動校正を行います。
- ・これら一連の動作に係する弁等について、校正作業中の圧力状態を模擬した漏えい試験を行ったところ、ガス圧縮機側出口弁でわずかな漏れが認められました。

(3) 入口酸素濃度計のガス圧縮機側出口弁の調査

- ・当該弁は、弁体の自重とバネ力により、弁体先端のゴム製シート部を弁座に押しつけて閉止する構造となっています。
- ・通常当該弁は開となっていますが、自動校正中（排気筒側への切替時）には、弁は閉となります。この際、弁体で締め切れられた下流側はガス圧縮機側の圧力は高く、弁体の上流側（排気筒側）は大気圧となり、この圧力差で弁体が持ち上げられる方向に働き、シート部の押しつけ力が弱まることがわかりました。
- ・ガス分析装置の弁は平成11年の定期検査で取替えを行い、その後は動作確認を行っていました。
- ・原因調査として実施した分解点検の結果では、バネや弁座等の構成部品に異常は認められませんでした。が、ゴム製シート部の弁座とのあたり位置にできる凹みが若干深く、幅広くなっていることや、ゴムが若干硬

化していることを確認しました。

- ・ A系の同じ弁について確認したところ、自動校正装置設置当初^{※9}から弁閉止時に弁体押し付ける方向に設置されていました。（弁の取り付け方向がB系とは逆）

※9 B系は昭和61年、A系は昭和62年に取替えられ、自動校正となった。

2. 推定原因

- ・ 1号機プラント排気筒ガスモニタが上昇した原因は、燃料漏えいに伴い通常より高い濃度となっていた2号機の放射性ガス（希ガス）を処理していたB－水素再結合装置で、入口酸素濃度計の自動校正時に、ガス圧縮機側出口弁のシート部に漏れが発生し、放射性気体廃棄物処理系統内の高い濃度の希ガス^{※10}が、1号機プラント排気筒から放出されたためと推定しました。
- ・ 出口弁のシート部の漏れは、当該弁が閉止した状態で、弁体押し上げる圧力が作用するような方向になっていたためと推定しました。

※10 2号機の希ガス濃度は10月上旬から、それまでの値より約5倍(2260Bq/cm³ → 9700Bq/cm³)上昇していた。

3. 対策

- ・ 当該弁を新品に取り替えるとともに、その設置にあたっては、自動校正中にシート漏れが起きない向きに取り付けました。（B系のみ）
- ・ 濃度計（全4台）のプラント排気筒側への排出ラインは栓をして使用しないこととし、自動校正用ガスは全てガス圧縮機側に排出し、気体廃棄物処理系で処理することとしました。（A、B系とも）

なお、今回の調査の一環として、ガス分析装置の配管からの漏れを確認するため、より精度の高い漏えい検査（ヘリウムリークテスト）を行ったところ、配管継手部3箇所（入口酸素濃度計、入口水素濃度計、出口水素濃度計の各々1箇所ずつ）からごく僅かな漏れが認められたため、継手部の増し締めを行い漏えいは停止しました。また、自動校正動作の確認を行ったところ、濃度計内に残留した放射性ガスを廃棄物処理系に排出するための時間設定が短く、残った放射性ガスがわずかに排気筒側に排出される可能性があることがわかりました。

これらの影響については、漏れ量が極微量であることや、排気筒モニタの有意な変動がないことなどから、周辺環境への影響はないと評価しました。

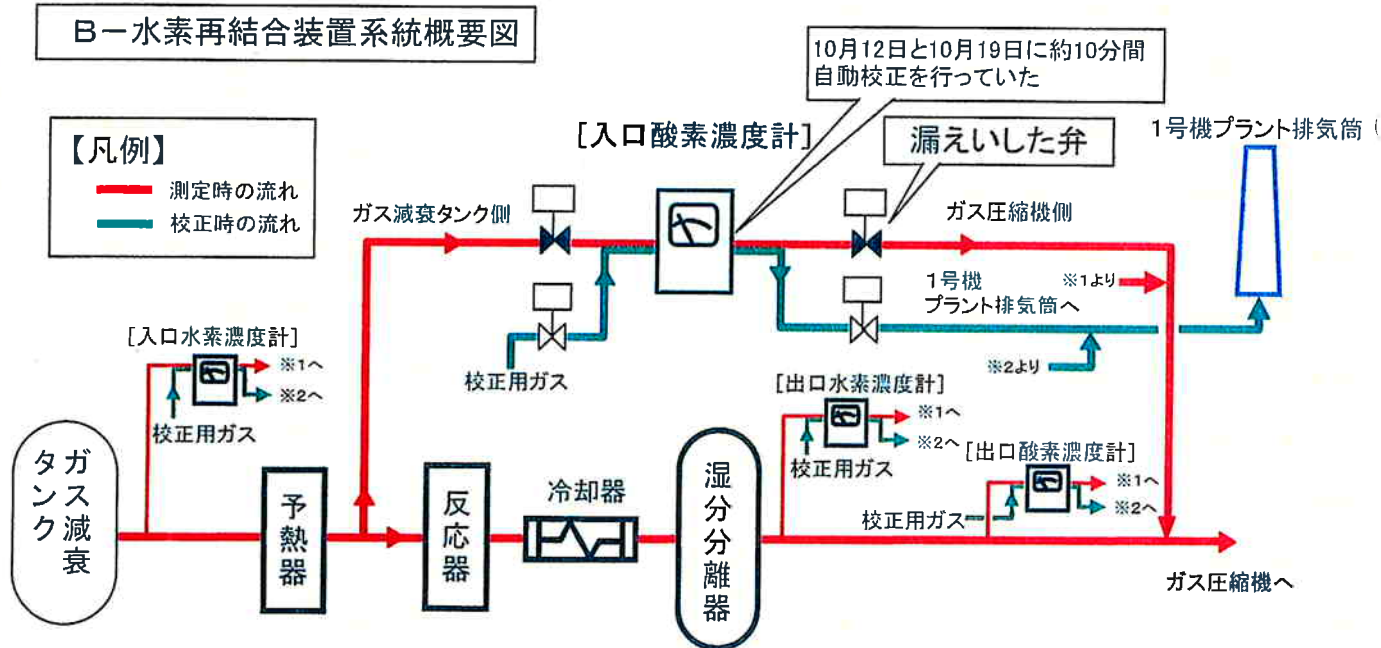
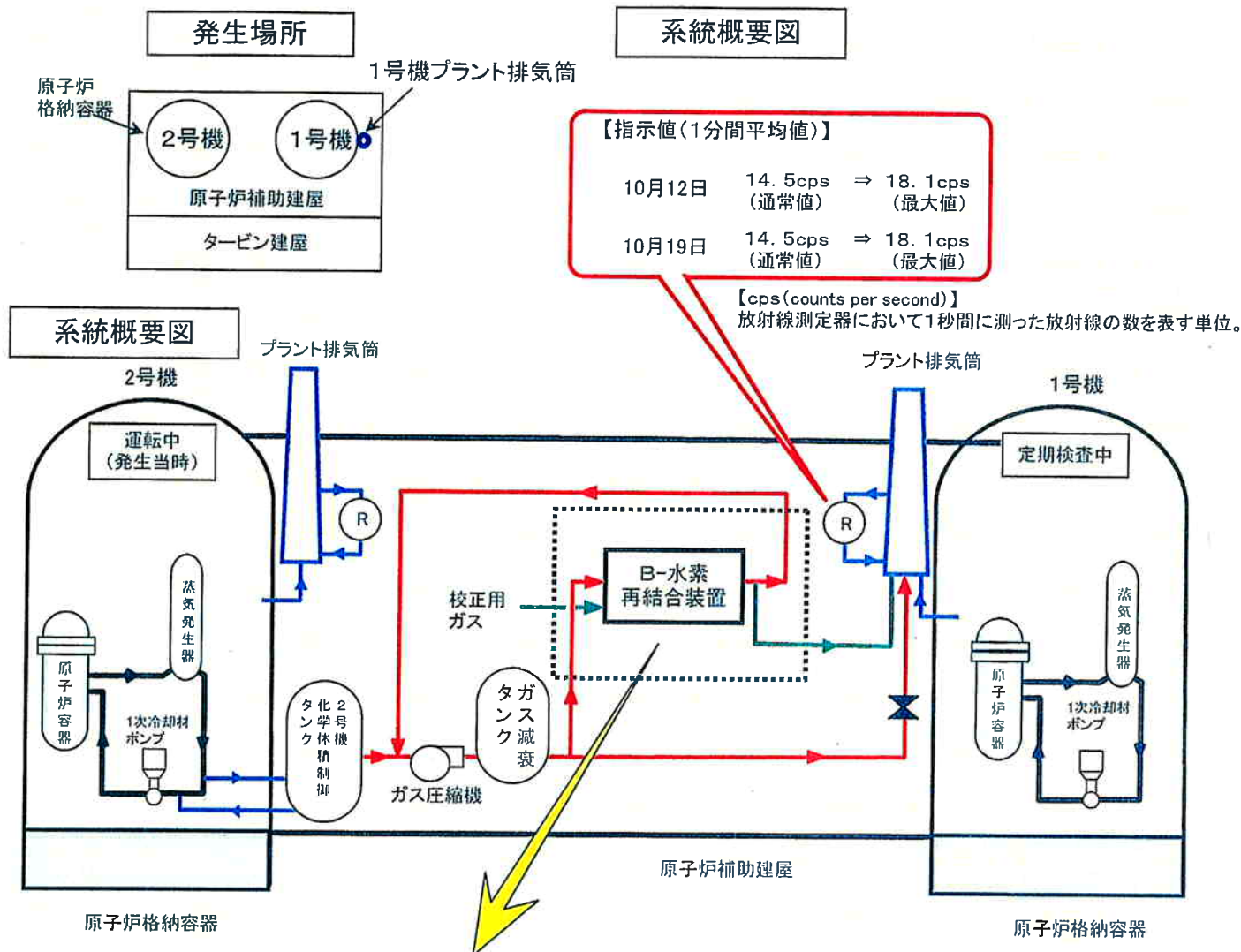
なお、ガス分析装置においては、今後の定期検査時に従来から実施している窒素ガスによるリークテストに加え、ヘリウムガスによるリークテストを行うこととしました。また、今回の事象の対策として排気筒側への排出ラインを閉止することから、残った放射性ガスが排気筒に放出されることはありません。

今回の事象を受けて、B系の後に設置されたA－水素再結合装置のガス分析装置を確認したところ、自動校正中にシート部の漏れが起きないように弁の取り付け方向を配慮しており、B系の当該弁については、その配慮が反映されず、今回の事象に至るまで取り付け方向が改善されていませんでした。

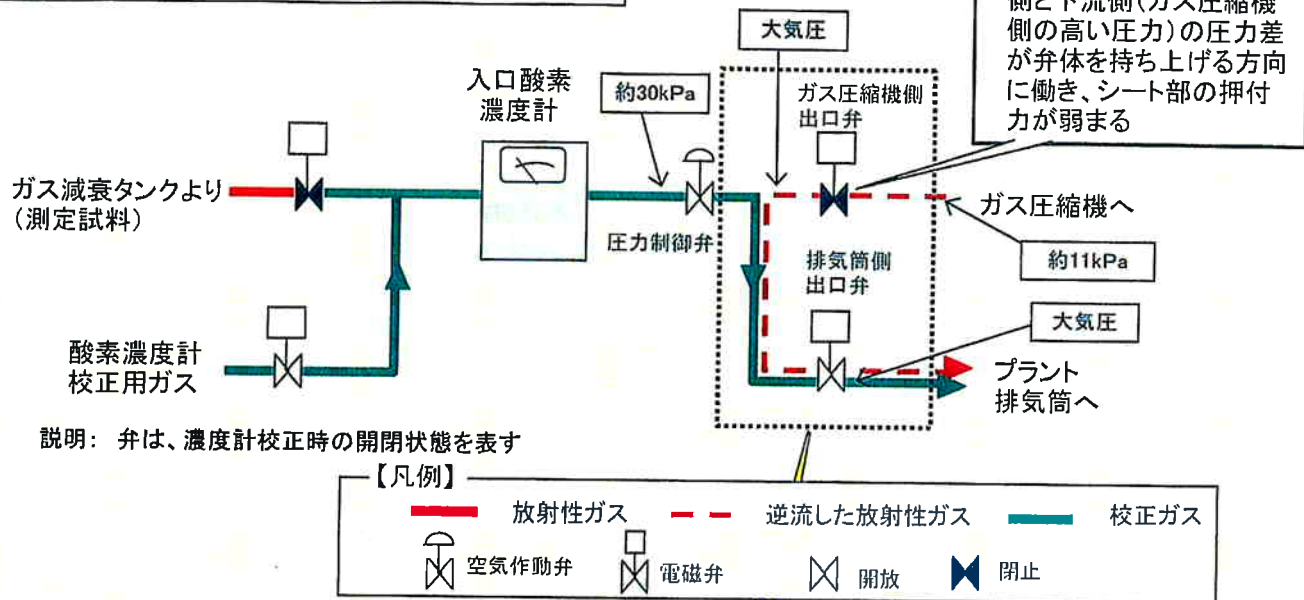
このことを踏まえ、放射性ガスの放出にかかる系統設備について、設備設計に問題がないかを設計根拠や実際の設備動作等を書類及び現地調査により確認していきます。

以 上

大飯発電所1号機プラント排気筒ガスモニタの一時的な僅かな指示値の上昇の原因と対策について



B-水素再結合装置 入口酸素濃度計(校正時)



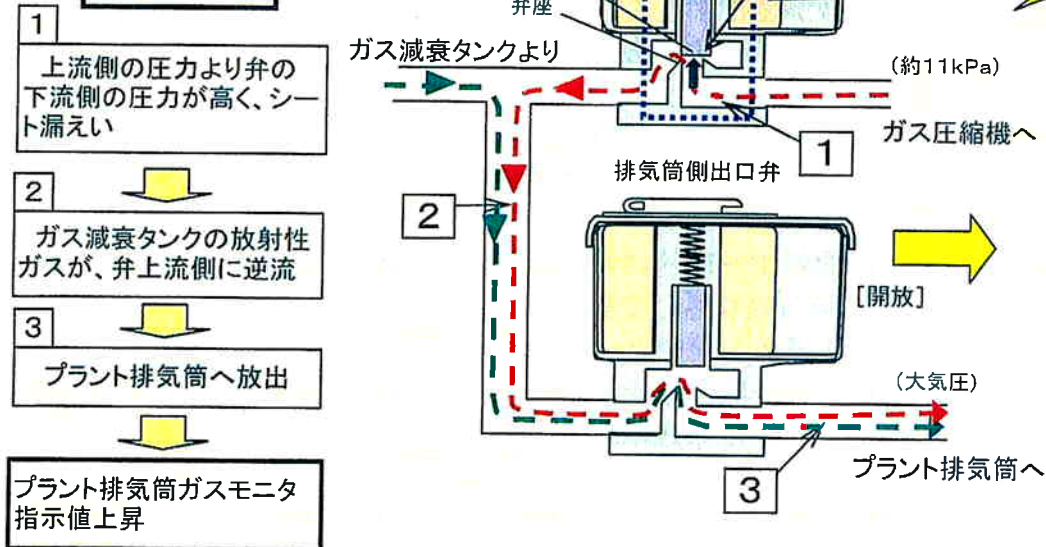
ガス圧縮機側出口弁からの漏えいメカニズム

[シート部を下から上に見た写真]



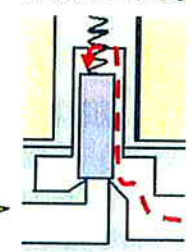
ゴムが若干硬化し、凹みが若干深く幅広くなっていた

メカニズム



対策①

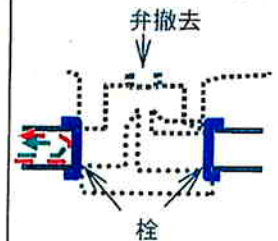
<取付方向変更>



「→」は、ガス圧縮機側の高い圧力が弁体上部に加わる方向

対策②

<弁撤去、栓の取り付け>



対策

- ①当該弁を取替えるとともに、設置に当たっては自動校正中のシート漏れが起きない方向に取り付けた。
- ②また、プラント排気筒側への排出ラインは栓をして使用しないこととし、校正用のガスはすべてガス圧縮機側に排出し、気体廃棄物処理系で処理することとした。

美浜発電所 1 号機の定期検査状況について
(発電機出力上昇操作中の不具合による発電停止の原因と対策)

平成 21 年 11 月 24 日
関西電力株式会社

美浜発電所 1 号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力 34 万キロワット、定格熱出力 103 万 1 千キロワット）は、定期検査中の平成 21 年 11 月 12 日 19 時 40 分から約 20% 出力に向けて出力上昇操作を始めましたが、タービンに送る蒸気の量を制限している弁（蒸気加減弁）の制御スイッチ（ロードリミッタスイッチ）を出力上昇側に 1 回操作※¹したところ、発電機出力が急激な上昇傾向を示しました。その後の出力降下操作により、出力は同日 22 時頃には約 6% の出力で安定に推移する状態となりました。

原因調査として、ロードリミッタスイッチや弁の制御回路等について点検しましたが、異常は認められなかったことから、詳細な点検を行うため発電を停止することとし、11 月 13 日 7 時 00 分に出力降下を開始し、7 時 8 分に発電を停止しました。

なお、本事象による原子炉熱出力の変動は、17 万 9 千 600 キロワット（定格熱出力の 17.4%）から 6 万 3 千キロワット（同 6.1%）までとなっています。

この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

[平成 21 年 11 月 13 日 お知らせ済み]

※1：ロードリミッタスイッチを 1 回上昇操作すると、結果として電気出力が約 0.1% 上昇する程度の蒸気量が増える。（弁が開側になる）

1. 調査結果

(1) 蒸気加減弁およびロードリミッタ（負荷制限器）※²等の調査

蒸気加減弁の開度は、ロードリミッタ（以下「負荷制限器」という）の信号によって弁の開度を制御する油圧信号が変化することで制御されている。

発電停止後、負荷制限器および蒸気加減弁について外観点検や動作試験等を行った結果、異常は認められませんでした。

詳細調査として、事象発生時における負荷制限器の油圧信号を調査したところ、油圧信号の変化量が、通常（約 0.15kPa 程度）より大きい値（約 7kPa）を示していたことを確認しました。

このことから、負荷制限器内で一時的に異常が発生した可能性がある判断し、負荷制限器部分を制御油圧系統から取り外して詳細に点検しました。

その結果、構成部品であるピストンやカップ弁等の構成部品に傷等の異常は認められませんでした。内部の制御油を回収したところ、微小な異物を確認しました。分析の結果、異物は負荷制限器を制御油圧系統に取り付ける際の接続面（合わせ面）に用いるペースト状ガスケット※³の成分と一致することを確認しました。

※2：蒸気加減弁の開度を調整する油圧制御機構の一部。制御機構は主ガバナ、補助ガバナ、油圧ブースタおよび負荷制限器から構成される。

※3：機密性を高めるために部品と部品の合わせ面に塗布しているシール材。

(2) 異物混入の調査

負荷制限器は定期検査作業に制御油圧系統から取り外し、油が通る開口部は布ウエス※4で塞ぎ、合わせ面に塗布しているペースト状ガスケットは除去しています。

これらの作業過程から、ガスケットの微小な残片等がウエスに付着するなどして開口部に混入した可能性が否定できないと判断しました。

※4：機械の油の拭き取りなどに用いる布

(3) 異物混入時の動作再現試験

負荷制限器の内部には、それぞれ独立して上下に動くピストンと、弁の開閉を制御する油圧を発生させているカップ弁があり、負荷制限器スイッチからの信号により、カップ弁の位置が微小に動き、ピストンとの隙間が変化しますが、この隙間を一定に調整するように油圧が変化することで弁の開度が制御されます。

ガスケットの微小片（異物）が、上下に動くピストンの外面にはさまった場合の再現試験を行った結果、ピストンが動く際に、異物による抵抗力が働くため、油圧と釣り合う位置が通常と異なり、油圧の変化量が通常と比べ大きくなることを確認しました。

2. 推定原因

今回の定期検査時の負荷制限器の取外し・取り付け作業に伴い、微小なガスケットの残片が負荷制限器内の油系統に混入し、出力上昇時にピストン外側に噛み込んだことにより、蒸気加減弁の開度制御油圧の変化量が大きくなった結果、発電機出力が大きくなり、原子炉熱出力も追従して変動したものと推定しました。

3. 対策

今回不具合が認められた負荷制限器については、工場にて点検・調整を行った後、発電所にて油圧系統に取り付け、蒸気加減弁が正常に動作することを確認しました。

また、今後、定期検査時に負荷制限器を油圧系統から取り外す際には、合わせ面の開口部に専用の閉止プラグを取り付けるとともに、作業場所をクリーンエリア（異物の侵入を防ぐエリア）に設定し、異物管理を強化することとします。

美浜発電所1号機は今後、平成21年11月24日17時頃、調整運転を再開（発電再開）し、12月中旬に経済産業省の最終検査を受けて本格運転を再開する予定です。

以上

（経済産業省によるINESの暫定評価）

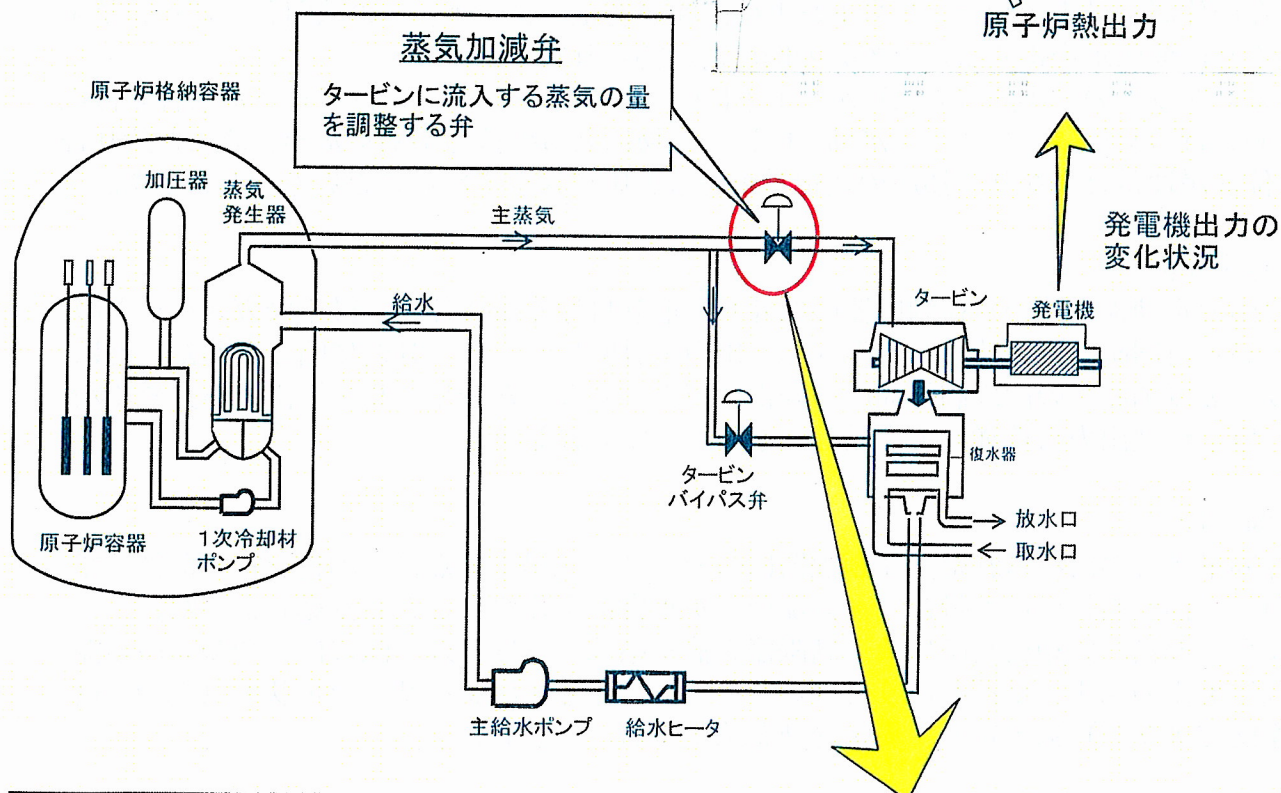
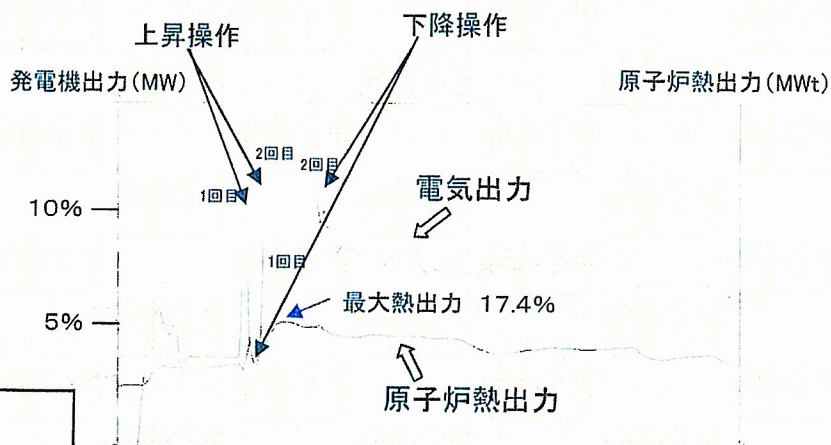
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

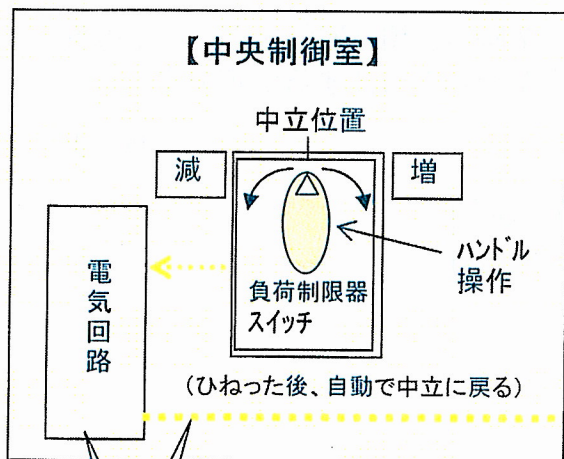
美浜発電所1号機の定期検査状況について
(発電機出力上昇操作中の不具合による発電停止の原因と対策)

添付図(1/3)

系統概要図



【中央制御室】

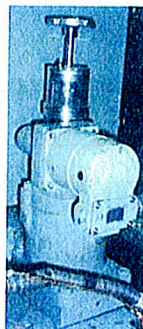


点検の結果、異常は認められなかった

【凡例】

←..... 電気信号
←..... 油圧系統

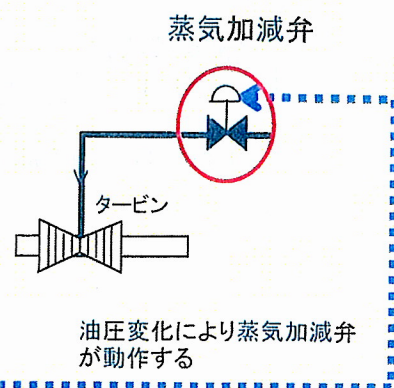
【 負荷制限器写真 】



負荷制限器
(油圧制御機構)

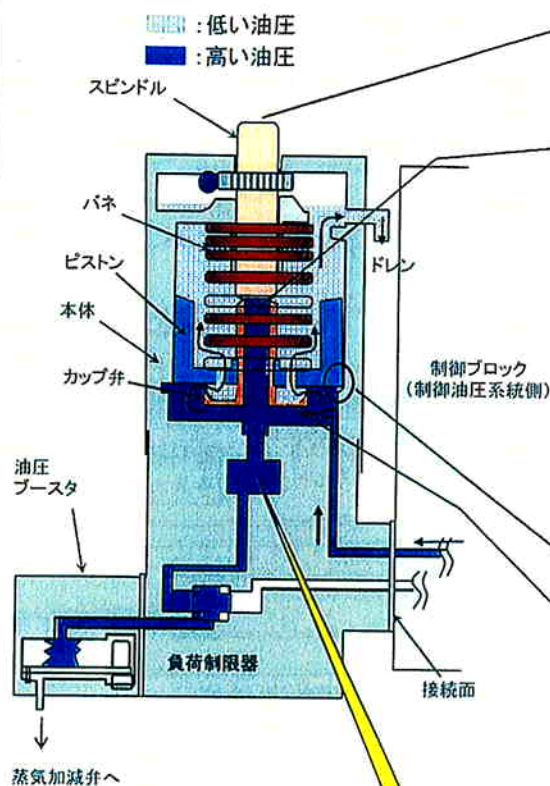
出力上昇操作時などに、蒸気加減弁の開度を調整する装置

【タービン建屋】



外観点検の結果、異常は認められなかった

負荷制限器の詳細点検結果



ピストン等

<ピストン>



<負荷制限器本体内部面>
(ピストンとの摺動面)



表面と溝に軽微な摺動痕は認められたが、損傷等の異常は認められなかった。

スピンドル



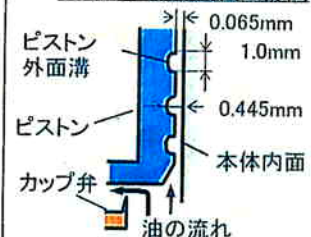
摺動部に損傷や、カップ弁との接触部に異常は認められなかった。

カップ弁



異物の噛み込みや、欠損は認められなかった。

ピストンと本体内部の隙間



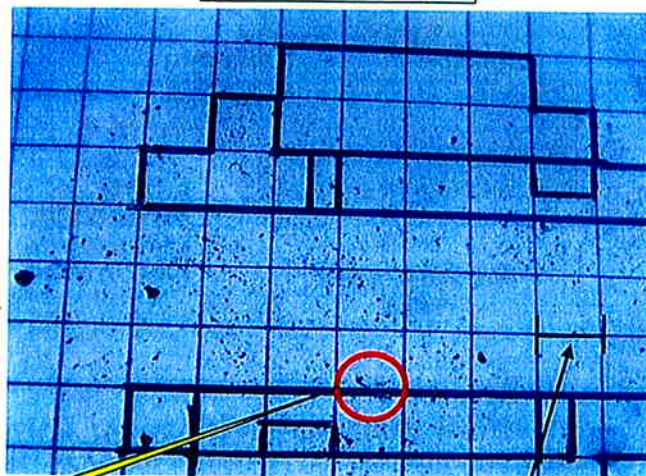
制御油サンプリング結果

回収した油の様子



異物が確認された。

異物の拡大写真



1目盛り 約3.0mm

制御油の中にあつた
異物のスケッチ



異物は、弾力があり、細長い形状(長さ約2mm、幅約0.4mm)であつた。
成分分析の結果、制御機構取り付け合わせ面に塗布しているペースト状ガスケットと同一成分であつた。

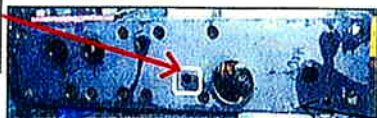
異物混入経路の推定

取り付け合わせ面の写真(油が通る穴以外に、ペースト状ガスケットを塗布)

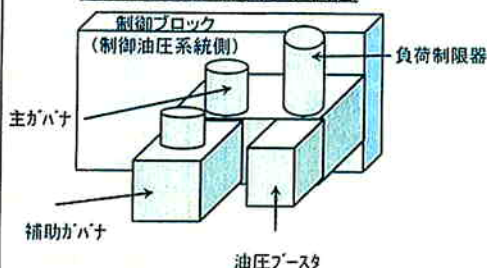
異物の混入
(負荷制限器
行き油入口)

負荷制限器側

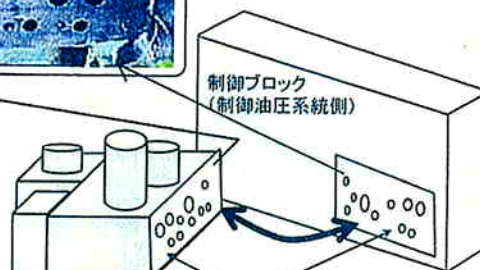
制御ブロック(制御油圧系統側)



負荷制限器取り付け状態



定期検査時に取
り外し・取り付け



合わせ面手入れ(毎定期検査)

油が通る開口部を
布ウエスで塞ぐ

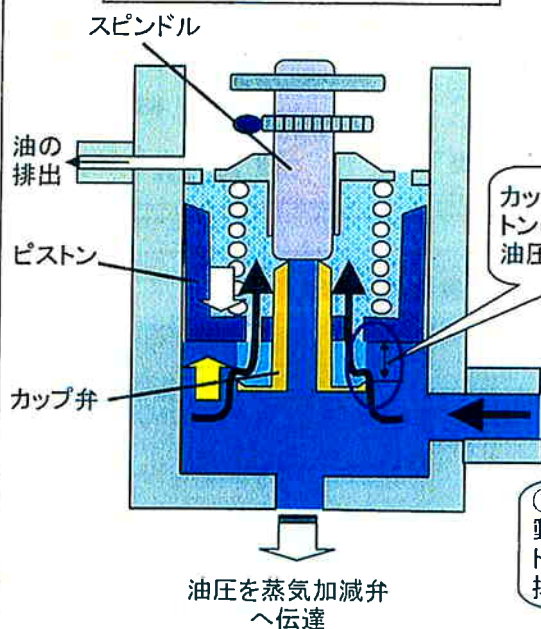
古いペースト
状ガスケット
除去

合わせ面
手入れ

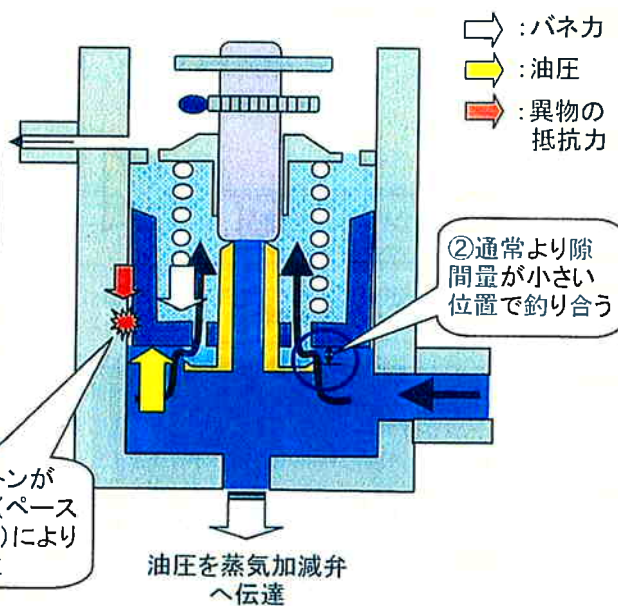
布ウエス
取り外し

負荷制限器の動作不良の原因

通常(開動作の例)



今回(開動作の例)



□ : バネ力
□ : 油圧
□ : 異物の抵抗力

原因

今回の定期検査時の負荷制限器の取り外し・取り付け作業に伴い、微小なガスケットの残片が負荷制限器内の油系に混入し、出力操作時にピストン外側に噛み込んだことにより、蒸気加減弁の開度制御油圧の変化量が大きくなり、その結果、発電機出力が大きく変化したものと推定された。
なお、異物は事象発生後、ピストンから外れたものと推定された。

対策

- 今回不具合が認められた負荷制限器については、工場にて点検・調整を行った後、発電所にて油圧系統に取り付け、蒸気加減弁が正常に動作することを確認した。
- 今後、定期検査時に負荷制限器を油圧系統から取り外す際には、合わせ面の開口部に専用の閉止プラグを取り付けるとともに、作業場所をクリーンエリア(異物の侵入防止エリア)に設定し、異物管理を強化することとする。

大飯発電所1号機プラント排気筒ガスモニタの 一時的な指示値の上昇の原因と対策について

平成22年1月7日
関西電力株式会社

大飯発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力117万5千キロワット、定格熱出力342万3千キロワット。調整運転中)において、平成21年12月24日14時46分から15時03分にかけて、プラント排気筒ガスモニタ^{※1}の指示値が僅かに上昇しました(最大値は約19.4cps^{※2}。通常値は約14.5cps)。

大飯発電所1号機では、この時間帯に1号機の体積制御タンク水位計の検出配管内に溜まった水を抜く作業を実施しており^{※3}、水位計につながるドレン配管の先端にビニール袋を取り付け、ドレン弁を開いて、水とともに系統内の放射性ガスを回収していました。

14時42分にドレン弁を開いた後、現場に設置した仮設モニタの指示値が上昇したため、ドレン弁を閉じましたが、室内に漏れ出た放射性ガスがプラント排気筒に排出され、モニタの指示値が上昇したものと推定し、原因調査を行うこととしました。

放出された放射性気体廃棄物の放射エネルギーは、約 $4.5 \times 10^8 \text{ Bq}$ と評価しており、保安規定に基づく発電所の放出管理目標値($3.9 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$)に比べ約860万分の1以下と十分低い値でした。

また、発電所敷地内および周辺のモニタリングポストの指示値は平常と変わりなく、周辺環境等への影響はありませんでした。

※1 運転に伴って発生する気体放射性廃棄物(希ガス)を監視するモニタ。大飯1号機ではプラント排気筒で原子炉格納容器および補助建屋からの排気を監視している。

※2 1秒間に測った放射線の数を表す単位。

※3 体積制御タンクは原子炉容器や配管内の一次冷却材の量を調整するためのタンク。点検の結果、体積制御タンク水位計の指示値が通常より低いことから、水位計の検出配管に水が滞留している可能性があるかと判断し、水抜きを実施することとした。

[平成21年12月24日お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 体積制御タンク水位計の水抜き作業に関する調査

① 12月24日の水抜き作業状況

当日、14時38分から14時42分にかけて、ドレン配管に水抜き用の仮設ホースとビニール袋(容量50リットル)を取り付けた後、弁を開く操作を行いました。

排気筒モニタの指示値は、14時46分から上昇傾向が見られ、14時47分頃、水抜き作業の現場に設置していた仮設放射線モニタの指示値が急激に上昇したことから、直ちに各弁を閉止しました。

排気筒モニタの指示値は14時50分に最も高くなり、その後低下しました。

② 水位計の検出配管内の水抜き作業

今回指示不良となった水位計は、体積制御タンク上部のガス抜き配管と接続しており、指示不良は12月18日から発生していました。

このため、12月21日に今回と同じ方法で水抜き作業を行って約700ccの水を回収し、その直後は指示値が回復したように見えたが、指示不良が引き続き発生していたことから、水の回収が不十分であったと判断し、再度水抜き作業を行うこととしました。

12月24日に2回目の水抜き作業として弁を僅かに開き、水が間欠的に噴出する状況を監視していたところ、現場の仮設モニタの指示値が上昇したため、直ちに弁を閉止しました。この作業で回収された水は約10ccでした。その後、水位計の指示は正常な状態に復旧しました。

(2) 放射性ガスが漏えいした原因の調査

排気筒モニタの指示値が上昇した時間帯の作業および運転操作について調査したところ、当該水抜き作業の他に、放射性ガスを扱う作業や運転操作はなかったことから、作業で使用した仮設ホース等について調査を行いました。

作業で使用したホースとビニール袋について、発泡剤等により漏えい検査を行った結果、ドレン配管とホースをつなぐ継手部で漏えいを確認しました。このため、継手部とホースとの接続状態を確認したところ、継手内に差し込むホースの長さが十分でないことが判明しました。

この継手は、差し込んだホースの抜けを防止する部分（チャック）と、継手とホースの隙間をシールする部分（パッキン）で構成されており、ホースを所定の長さまで差し込んだ状態では漏えいせず、差し込みが不十分な状態では継手内部の隙間から漏えいすることがわかりました。

また、作業員への聞き取り調査の結果、継手にホースを差し込んだ後、引っ張って抜けないことは確認していましたが、ホースの差し込み量が十分であったかどうかは確認していませんでした。

2. 推定原因

(1) プラント排気筒モニタの指示値が上昇した原因

体積制御タンク水位計の指示不良を改善するため、水位計の検出配管内にたまった水を抜く作業を行った際、ドレン配管につないだ仮設継手部へのホースの差し込み量が少ない状態でドレン弁を開放したことにより、継手部から体積制御タンク気相部の放射性ガスが室内に漏れ、建屋の排気ダクトからプラント排気筒に放出されたものと推定しました。

(2) 水位計の指示不良が発生した原因

水位計の検出配管内に水がたまり、指示不良となる原因について調査したところ、同様の指示不良が、前回の定期検査後の原子炉起動時に発生していましたが、それ以前には発生していないことがわかりました。

このため、原子炉起動時の運転操作を分析したところ、指示不良が発生する直前の操作として、1次冷却材の一部を化学体積制御系統に抽出して行っていた水質を安定させる操作がほぼ終了したことから、この抽出流量を下げる操作と同時に、抽出した1次冷却材を系統に戻すため、充てん／高圧注入ポンプ※⁴出口にあるミニマムフローライン※⁵の弁を開く操作を行っていました。この操作は、平成18年に実施した定期検査後から実施していましたが、前回と今回の定期検査後は、この操

作を行った際に体積制御タンクから気相部の放射性ガスを気体廃棄物処理系統に排出する操作を行っていました。

この弁の操作を行うと、充てん／高圧注入の入口側にミニマムフローラインからの水が流入し、その圧力上昇により、ポンプ入口側に設置しているガス抜き配管内の水が押し上げられ、当該配管の先にある水位計の検出配管が接続されているドレン配管に多くの水が流れ込みました。

ドレン配管に多くの水が流れ込むと、検出配管にも水が流入し、配管の位置関係から水が滞留します。この水により体積制御タンク気相部の圧力が水位計の圧力伝送器に正確に伝えられず、指示不良に至ったものと推定しました。

※4 体積制御タンクの水を充てん系や1次冷却材ポンプ封水注入系へ供給することで、1次冷却材系統と化学体積制御系統の水の循環を行うポンプ。

※5 ポンプの必要最低流量を確保するための配管。

3. 対 策

- ・水位計の検出配管部への水の流入を防ぐため、原子炉起動時に抽出流量を下げる場合は、充てん／高圧注入のガス抜き配管に設置されている隔離弁を閉止します。なお、次回の定期検査時に、当該水位計の検出配管を、水が流入しにくい位置に変更します。
- ・仮設のホースや継手等を用いて放射性ガスを取り扱う作業の際には、継手部に差し込むホースにマーキングを行い、差し込み不足とならないよう確実に管理するとともに、継手部をビニールテープ等で養生します。

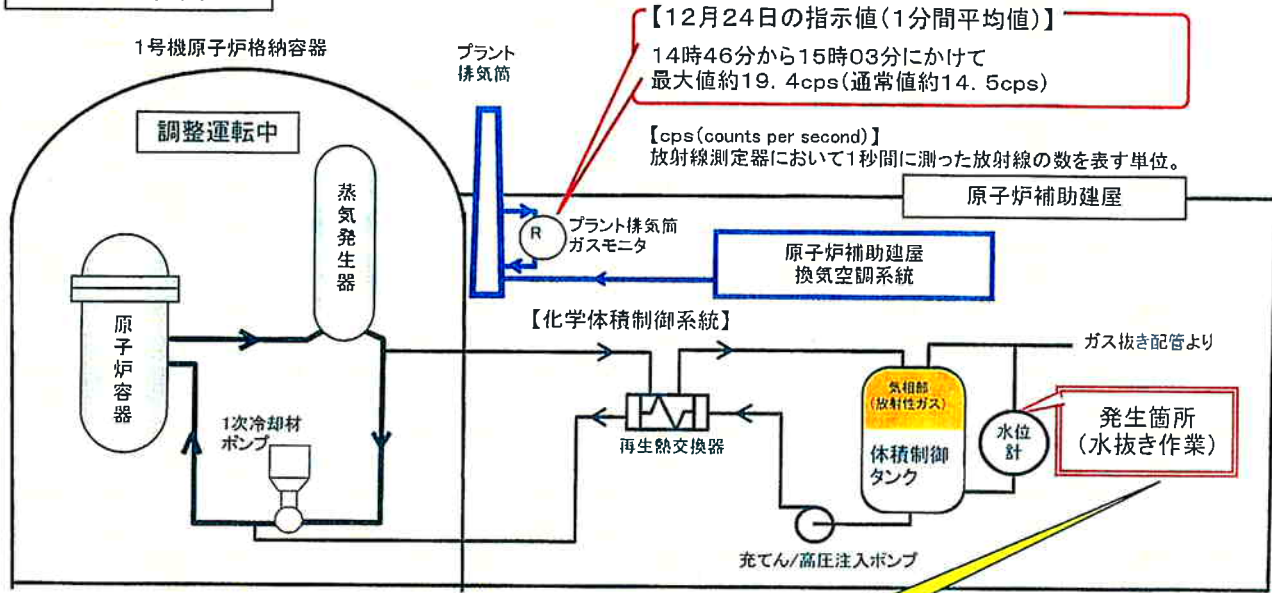
なお、今回の作業では、作業現場での放射性ガス漏えいを早期に検知するため設置していた仮設モニタでの検知が遅れたことや、仮設継手部からの漏えいを封じ込める対策等について、事前の検討が不足していたことから、今後、仮設設備を用いて放射性ガスを取り扱う作業については、作業計画段階で、作業体制や監視方法等について多角的なリスク評価を行うための検討会を開催し、放射性ガスの予期せぬ放出を徹底的に防止することとします。

大飯発電所1号機は、本事象により、1月上旬に予定していた本格運転再開の時期を、1月中旬頃に延期します。

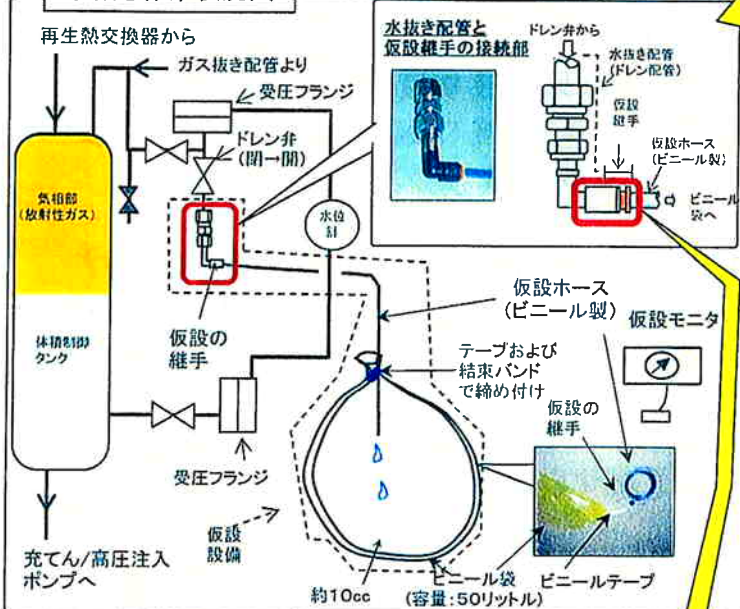
以 上

大飯発電所1号機 プラント排気筒ガスモニタの一時的な指示値の上昇の原因と対策について

系統概要図



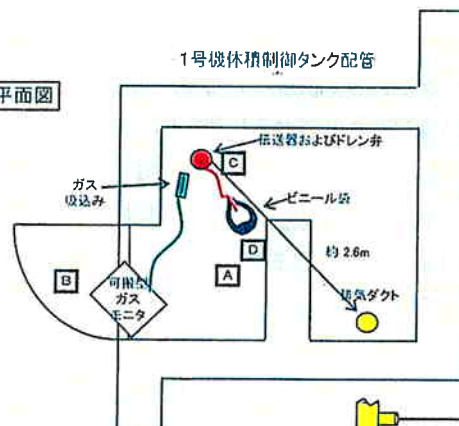
水抜き作業状況図



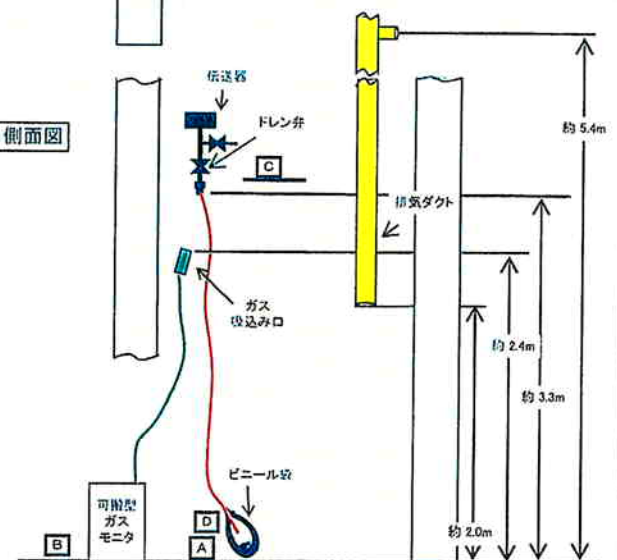
仮設モニタ測定状況説明図(位置関係)

- A : 当社作業担当者①
- B : 当社作業担当者②
- C : 協力会社作業員
- D : 協力会社放射線管理員

平面図

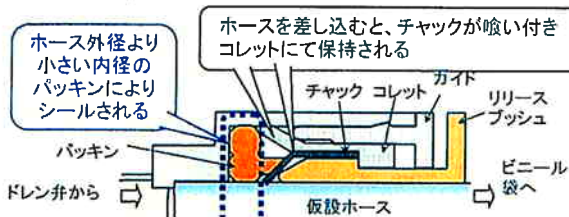


側面図

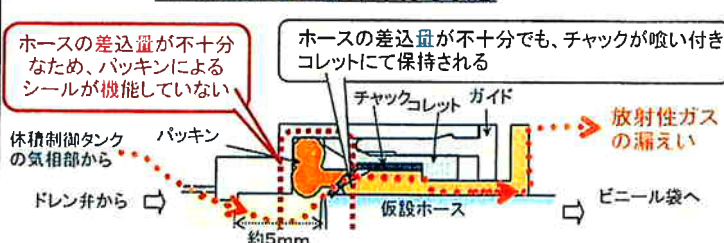


放射性ガス放出の発生メカニズム

ホースの差込量が正常な状態



ホースの差込量が不十分な状態



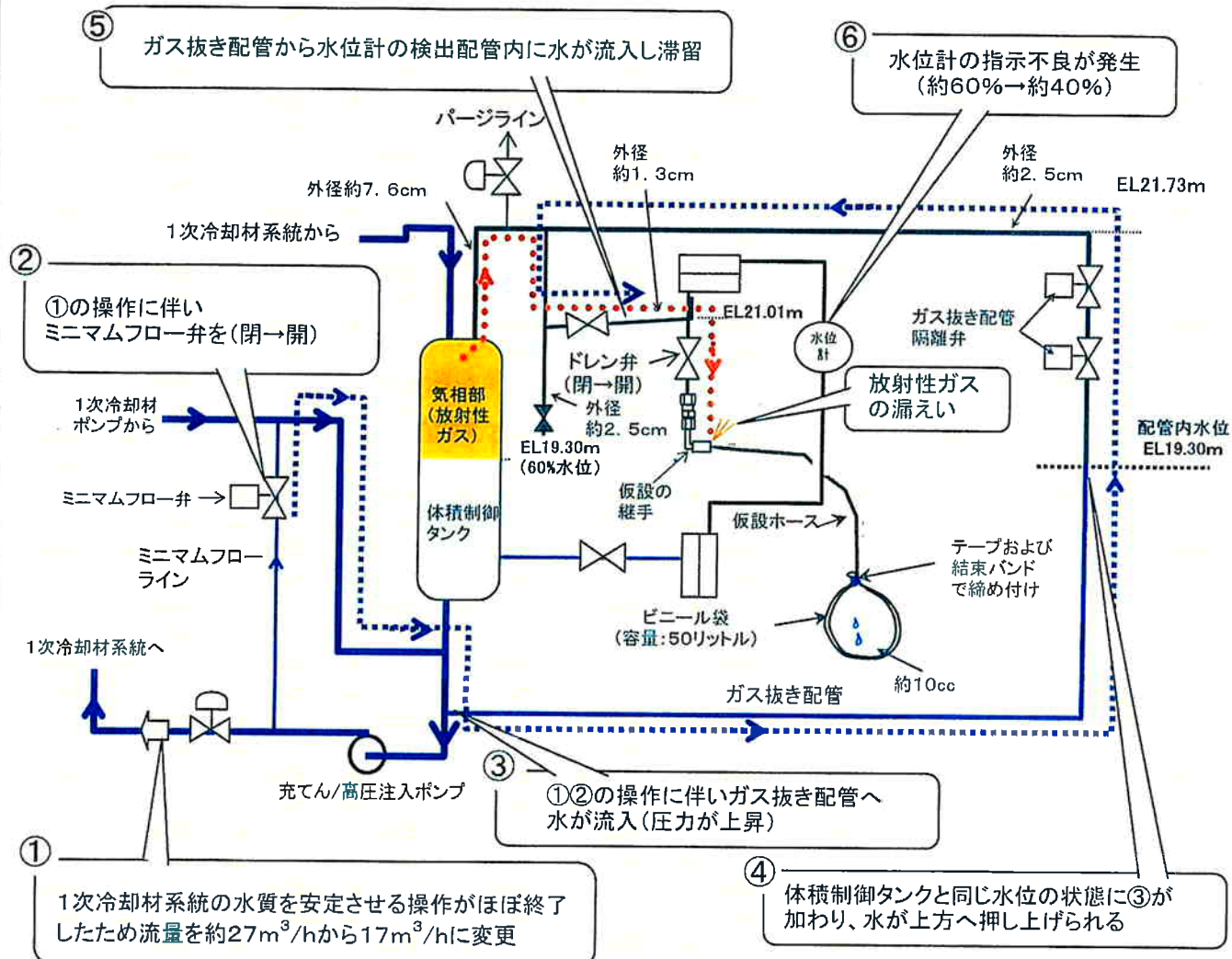
水位計の指示不良が発生した原因

【凡例】

●→ : 流入した水の流れ ●→ : 放射性ガスの流れ — : 水の流入箇所 ⊗ : 開放 ⊗ : 閉止

→ : 放射性ガスの流れ

M · 開放

・閉止

对策

- ・水位計の検出配管部への水の流入を防止するため、原子炉起動時等に抽出流量を下げる際は、充てん／高圧注入ポンプのガス抜き配管に設置されている隔離弁を閉止する。なお、次の定期検査時に、ドレン配管と当該水位計の検出配管の接続位置を水が流入しにくい位置に変更する。
- ・仮設のホースや継手等を利用して放射性ガスを取り扱う作業の際には、継手部に差し込むホースにマーキングを行い、差し込み不足とならないよう確実に管理するとともに、継手部をビニールテープ等で養生する。

大飯発電所 1 号機の燃料集合体漏えいにかかる原因と対策について

平成 22 年 4 月 28 日

関西電力株式会社

大飯発電所 1 号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力 117 万 5 千キロワット）は定格熱出力一定運転中の平成 22 年 2 月 1 日、1 次冷却材中のよう素（I-131）濃度および希ガス濃度（Xe-133）が前回（1 月 29 日）の測定値を上回ったため、1 次冷却材中の放射能濃度の監視を強化していましたが、漏えいの疑いがある燃料集合体を特定するため 2 月 6 日 1 時に発電を停止し、同日 1 時 47 分に原子炉を手動停止しました。

なお、この期間中の 1 次冷却材中のよう素濃度は、保安規定で定める運転上の制限値（63,000 Bq/cm³）に比べて十分に低い値でした。

停止後、原子炉に装荷されていた燃料集合体（193 体）全数を取り出し、 SHIPPING 検査^{*}を実施した結果、2 体の燃料集合体（KCHC51、KCHC55）で漏えいを確認しました。

※ 漏えい燃料集合体から漏れ出てくる核分裂生成物（キセノン-133、よう素-131 等）の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する検査。

[平成 22 年 2 月 1 日、5 日、3 月 23 日お知らせ済み]

1. 漏えい燃料の調査結果

- ・ SHIPPING 検査の結果、上記 2 体以外に漏えいは確認されませんでした。
- ・ 漏えいが確認された燃料集合体（2 体）について、水中カメラによる外観目視検査を実施したところ、特に異常は認められませんでした。
- ・ 2 体は同一メーカーで、同一時期に製造された燃料（高燃焼度 17×17A 型燃料）でした。
- ・ 2 体の燃料棒全数（264 本／体）について超音波による調査^{*1}を実施した結果、漏えいしている燃料棒がそれぞれ 1 本（計 2 本）確認されました。
- ・ 漏えいした燃料棒 2 本をファイバースコープで点検したところ、KCHC51 の燃料棒 1 本において、燃料棒を保持している第 9 支持格子^{*2}内で、燃料棒を支持する支持板部で隙間が認められるとともに、ばね板が棒側に入り込んでいました。KCHC55 の燃料棒 1 本には異常等は認められませんでした。
- ・ 漏えい燃料集合体 2 体の他の燃料棒についても、第 9 支持格子内部をファイバースコープで点検したところ、KCHC55 の燃料棒 1 本で、支持板部のすき間やばね板の入り込みが認められました。

*1： 漏えいした燃料棒に水が入ると、燃料被覆管を伝わる超音波が減衰することから、これを検出することで、漏えい燃料棒を特定する。

*2： 燃料棒を保持するための部品。支持格子は燃料棒 1 本ごとに保持するための支持板とばね板で構成されている。

2. 最近の大飯発電所で発生した燃料漏えいを踏まえた原因調査

大飯発電所（4ループ型）では、平成20年に大飯4号機で1体、同21年に大飯2号機で2体、および今回の大飯1号機における2体の計5体（漏えい燃料棒は計7本）で漏えいが発生しています。漏えいした燃料集合体はいずれも平成16年以降採用している高燃焼度燃料（17×17A型：最高燃焼度 55,000MWd/t）で、全てが同一メーカーの燃料集合体であったことから、これらの特徴等を整理し、漏えい発生に至った要因を推定しました。

（1）漏えい燃料を含む製造等の履歴調査

- ・大飯1号機で使用していた、今回の漏えい燃料と同じメーカーで同時期に製造された燃料集合体全12体（漏えい2体を含む）について、製造データや原子炉への装荷履歴、取扱い等を調査した結果、特に問題は認められませんでした。
- ・大飯2号機および4号機で漏えいした燃料と同じメーカーで同時期に製造された燃料計80体の製造データを調査した結果、特に問題は認められませんでした。
- ・大飯発電所全体ではこれまで448体の17×17A型高燃焼度燃料を使用しています。これらのうち、燃焼の進んだ燃料の使用履歴についても調査を行い、特に問題は認められませんでした。漏えいした燃料については、以下の特徴が認められました。

（2）漏えい燃料に見られた共通の特徴

漏えい燃料（5体）について調査した結果、以下の共通した特徴が認められました。

- ①漏えいが発生した時期は、4サイクル^{*3}運転時のものが3体、3サイクルおよび2サイクル運転時のものが各1体であり、これを燃料集合体の燃焼度で整理すると、ウラン燃料で約40,000MWd/t以上、ガドリニア入りウラン燃料^{*4}では約37,000MWd/t以上で漏えいが発生していました。
- ②漏えいが発生した際の燃料集合体の装荷位置（原子炉内での配置）を見ると、炉心の中心から4列目以内に装荷されていました。
- ③漏えいしていた燃料棒は、燃料の外周に近いコーナー部に位置していました。
- ④漏えい燃料棒全7本のうち4本で、第9支持格子部において、支持板の隙間やばね板の入り込みが認められました^{*5}。

*3：1サイクル＝1運転期間のこと。

*4：燃料の核分裂をコントロールするため、中性子吸収効果が高いガドリニアをウランと混合した燃料。

*5：大飯発電所4号機の漏えい燃料集合体（照射後試験実施中）については、発電所での外観検査では明確な隙間や入り込みは認められなかったものの、照射後試験での燃料棒引抜時に引っ掛かりが確認されており、わずかな入り込み等が発生しているものと推定している。

また、過去の漏えい事象の事例調査を行った結果、支持格子部に隙間が認められた場合の漏えい原因については、1次冷却材の流れによる微小な振動により、燃料棒と支持板またはばね板がこすれることで燃料棒が摩耗して微小孔（ピンホール）が発生するフレッティング摩耗でした。

以上のことから、今回の漏えい発生の要因として、同一型式の燃料集合体のコーナー部にある燃料棒の、第9支持格子部におけるフレッティング摩耗が考えられます。

（3）燃料棒漏えいの発生要因の推定

今回の漏えいは第9支持格子部におけるフレッティング摩耗と考えられることから、燃料内の1次冷却材の流れについて流動解析等を行い、漏えい発生に至った要因の推定を行いました。

①燃料の種類による相違点

大飯発電所では従来使用していた燃料（最高燃焼度 48,000MWd/t）に加え、平成16年から高燃焼度燃料（最高燃焼度 55,000MWd/t）を採用し、それぞれ独自の設計（型式）である2社の燃料を併せて使用していますが、

- ・漏えいした燃料集合体と他社の燃料集合体とでは、特に、第9支持格子の位置にずれ（約1cm：一方の下端と他方の上端との隙間）がありました。
- ・燃料下部にある下部ノズルの形状（流路孔）にも違いがあることから、下部ノズルを流れる流速について評価したところ、漏えいした燃料のほうが約7%流速が速いことがわかりました。

②原子炉内の1次冷却材の流れ

燃料集合体内を流れる1次冷却材は、下部炉心支持板の流路孔を通過した後、燃料を保持している下部炉心板の流路孔から燃料の下部ノズルを通過し、燃料棒の間を上昇流として流れますが、

- ・下部炉心支持板にある流路孔が中央部のみ大きくなっているため、この影響を流動解析で評価したところ、平均的な流速に比べ、炉心中央部の流速は約10%、炉心中心の流速は約20%速いことが確認されました。

③燃料集合体内の流れ（隣接燃料による影響）

下部炉心板の流路孔から下部ノズルに入った冷却材は、そのほとんどが燃料棒に沿って上向き（軸方向）に流れ、一部は燃料棒を横切る方向（横方向：隣接燃料側）に流れますが、

- ・この横流れは、同一型式の燃料が隣接する場合は小さいが、型式が異なる燃料が周囲にある場合は大きくなるため、流動解析で評価したところ、漏えい燃料が型式の異なる燃料で囲まれた場合、第9支持格子のコーナー部で最大約1.8倍の横流れが生じている可能性があることがわかりました。

④摩耗の発生

これまでの知見から、フレッティング摩耗は、振動の大きさと振動している時間の長さに応じて大きくなることがわかっていますが、

- ・上記①～③の状況から、漏えい燃料棒では、その周りの1次冷却材の上昇流や横流れが大きくなっていたことから、振動が大きくなった可能性があります。
- ・また、漏えいは燃焼の進んだ燃料で発生していることから、振動が大きくなった状態が継続したために摩耗が進展し、漏えいに至ったものと考えられます。

3. 推定原因

これらの原因調査の結果から、第9支持格子内での燃料棒と支持板またはばね板の接触面で、燃料の種類による相違点、原子炉内の1次冷却材の流れ、燃料集合体内の流れ（隣接燃料による影響）などの影響が重なったことによって燃料棒の振動が大きくなり、その状態で燃焼が進んだことから摩耗が進展して微小孔（ピンホール）が生じ、漏えいしたものと推定しました。

4. 対策

これらの原因調査の結果から、以下の通り対策を検討し、実施することとしました。

(1) 対策の検討

①燃料の種類による相違点の影響

燃料の種類による相違点の影響は、設計の違いに起因しており、漏えいした燃料の設計を変更することによって緩和することができると考えられます。

②原子炉内の1次冷却材の流れによる影響

原子炉内の1次冷却材の流れによる影響は、原子炉（下部炉心支持板）の構造に起因しており、この構造を変更することは困難です。ただし、原子炉の中心位置では流速が特に速いことから、その位置での漏えい燃料と同型の燃料装荷を避けることにより、漏えい発生の可能性を低減させることができると考えられます。

③燃料集合体内の流れ（隣接燃料による影響）

燃料集合体内の流れによる影響は、型式の違う燃料が隣接することに起因していますが、設計の違いによる影響は、漏えいした燃料の設計を変更することによって緩和することができると考えられます。

④摩耗の発生

摩耗は振動が大きくなった状態が継続することで進展するため、振動時間を抑制することにより、進展を抑制できます。このことから、燃焼度を抑制することによって振動時間を抑制し、漏えい発生の可能性を低減させることができると考えられます。

(2) 対策

①今回の漏えい燃料集合体の調査結果に基づく対策

- ・漏えいが確認された燃料集合体については取り出し、今後使用しないこととします。
- ・今回漏えいした2体の燃料集合体と同じ型式で同時期に製造された燃料については、現在実施中の照射後試験等を踏まえた漏えい原因が判明するまで、再使用しないこととします。

②共通要因分析を踏まえた追加対策

- ・漏えい発生の可能性を低減させるため、漏えい原因が判明するまでは、漏えい燃料集合体と同型の燃料について、
 - 1) これまでに漏えいが発生した燃焼度以上とならないよう、燃焼度を管理する。
(ウラン燃料は 38,000MWd/t 未満、ガドリニア入り燃料は 36,000MWd/t 未満)
 - 2) 炉心中心には装荷しないこととし、運転中は、1次冷却材中の放射能濃度の監視を強化します。
- ・今後、漏えい発生に対する1次冷却材の流れの影響を緩和するために、燃料設計の一部変更について検討を行います。

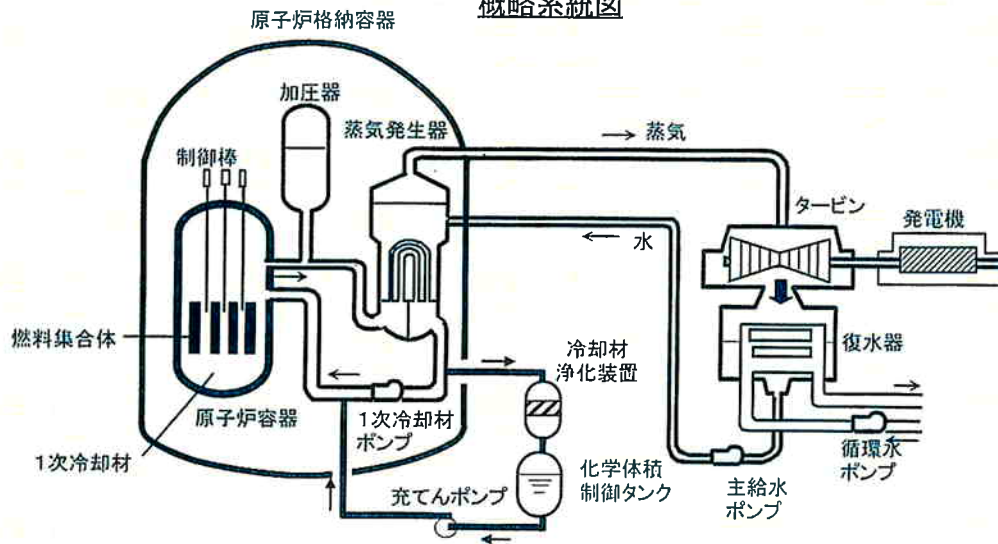
大飯発電所1号機については、上記の対策を実施した上で燃料装荷等の必要な作業を行い、5月中旬に原子炉を起動する予定です。

また、現在定格熱出力一定運転中の大飯発電所3号機については、上記の対策を踏まえ、4月29日に原子炉を停止して燃料取り替えを行い、6月上旬に原子炉を再起動する予定です。

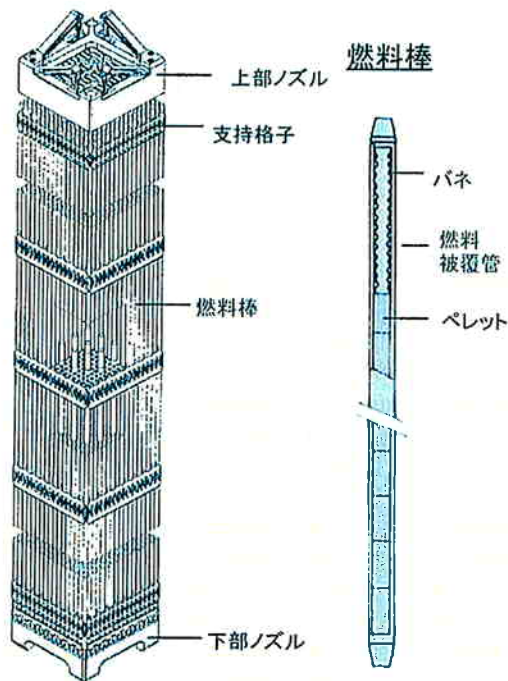
以 上

大飯発電所1号機の燃料集合体漏えいに係る原因と対策について

概略系統図

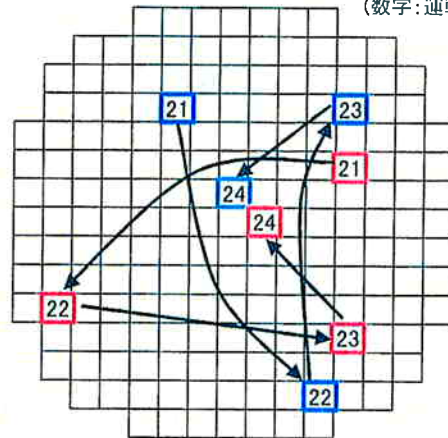


燃料集合体概略図



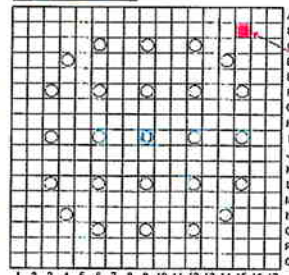
漏えい燃料集合体の装荷位置

漏えい燃料集合体が原子炉内で装荷されていた位置
 □ : 漏えい燃料集合体 KCHC51
 □ : 漏えい燃料集合体 KCHC55
 (数字: 運転サイクル数)



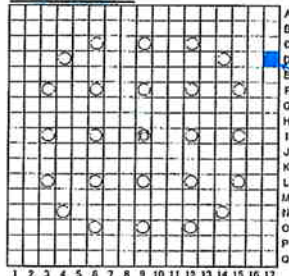
超音波による漏えい燃料棒の調査結果

KCHC51



■ B-15 : 漏えい燃料棒
 □ : 燃料棒
 ○ : 制御棒案内管
 ⊗ : 炉内計装用案内管

KCHC55



■ D-17 : 漏えい燃料棒
 □ : 燃料棒
 ○ : 制御棒案内管
 ⊗ : 炉内計装用案内管

【燃料集合体の仕様】

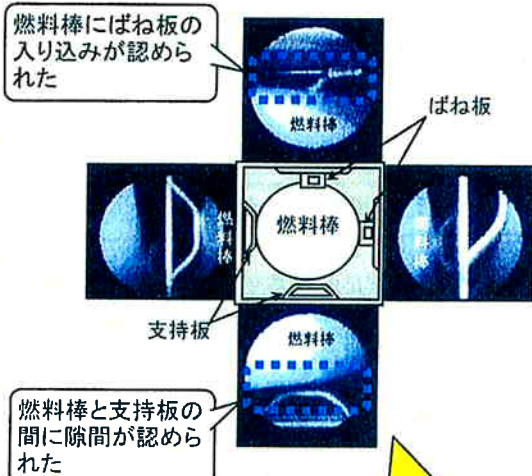
燃料タイプ: 17×17型
 全長: 約4m
 全幅: 約20cm
 支持格子数: 9個
 最高燃焼度: 55,000MWd/tの燃料
 燃料被覆管材質: ジルコニウム基合金
 燃料被覆管外径: 約10mm
 燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
 燃料棒の本数: 264本

○ 漏えい燃料棒のファイバースコープによる調査結果

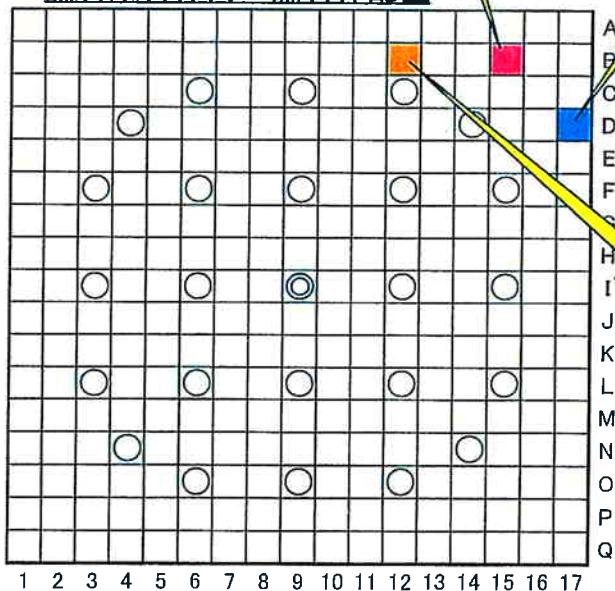
KCHC51の調査結果

漏えい燃料棒(B-15)には、第9支持格子内部で燃料棒と支持板またはばね板との間に隙間や入り込みが認められた。

他の燃料棒には隙間や入り込みは認められなかった。

漏えい燃料棒(B-15)
第9支持格子内部の写真

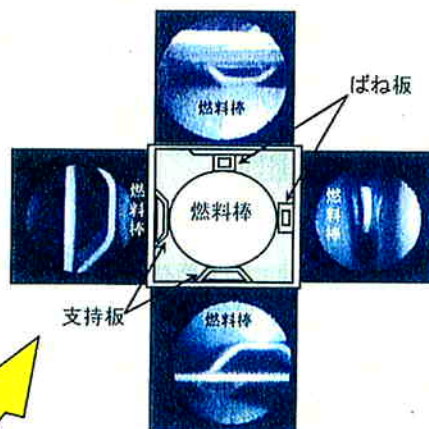
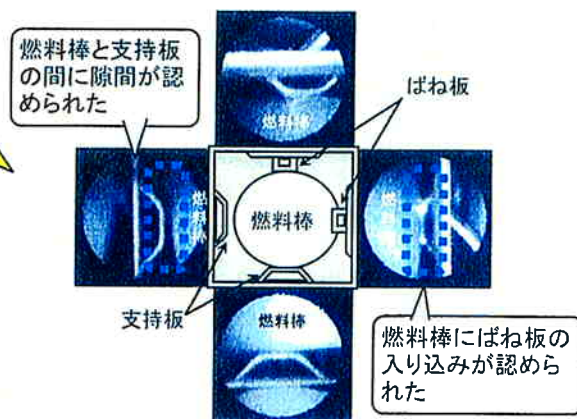
燃料集合体内の燃料棒配置



KCHC55の調査結果

漏えい燃料棒(D-17)には、第9支持格子内部で燃料棒と支持板またはばね板との間に明確な隙間や入り込みは認められなかった。

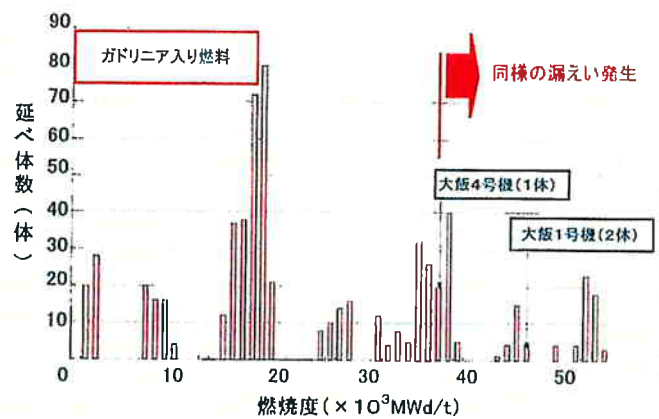
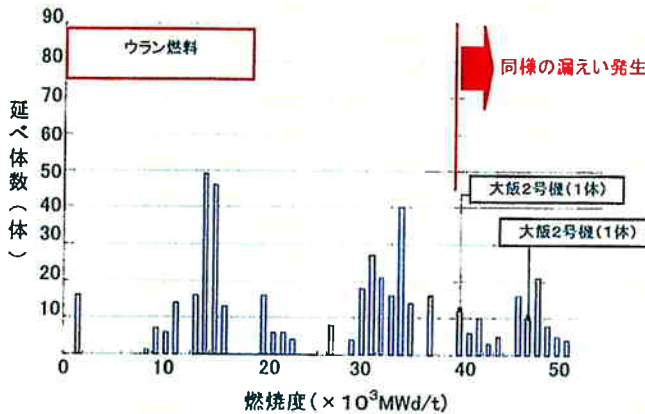
また、第9支持格子内の他の燃料棒(B-12)において、燃料棒と支持板やばね板との間に隙間や入り込みが認められた。

漏えい燃料棒(D-17)
第9支持格子内部の写真漏えいが認められなかった燃料棒(B-12)
第9支持格子内部の写真

最近の大飯発電所で発生した高燃焼度17×17A型漏えい燃料の共通的な特徴を調査した。

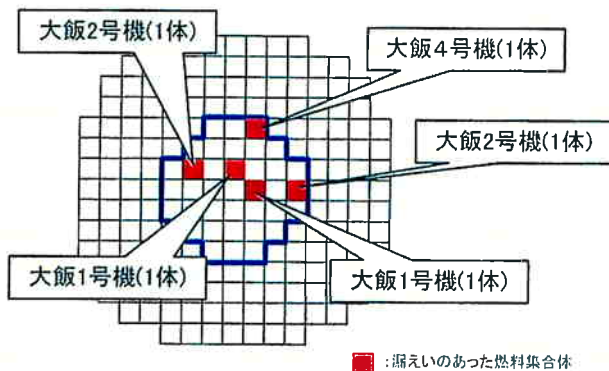
①漏えい燃料集合体の燃焼度

- ・漏えいの発生した燃料は燃焼が進んだ燃料で認められている。
(ウラン燃料は約40,000MWd/t以上、ガドリニア入り燃料は約37,000MWd/t以上)



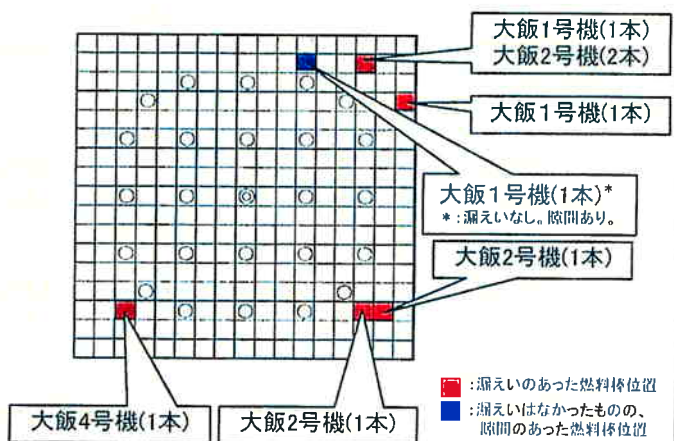
②原子炉内の燃料集合体の漏えい配置

- ・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。



③燃料集合体内の漏えい燃料棒の位置

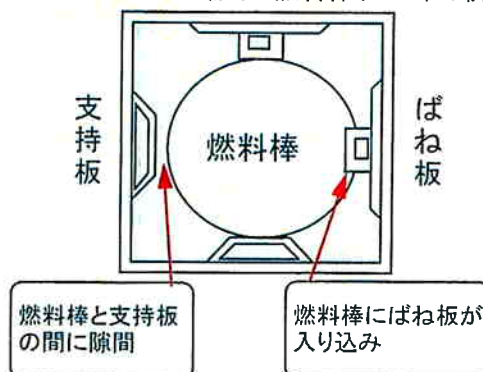
- ・第9支持格子のコーナー部で漏えいが発生している。

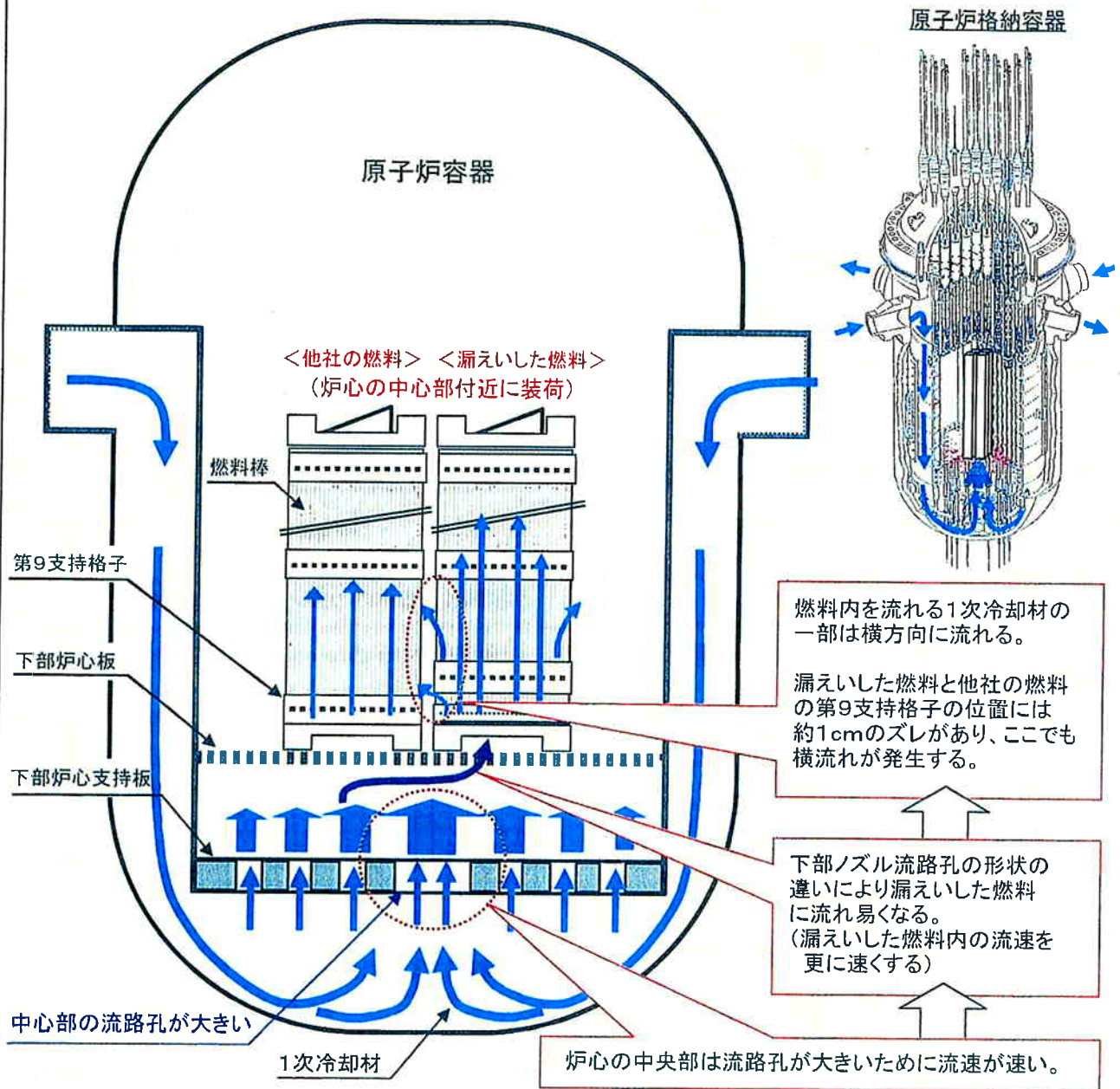


④第9支持格子での隙間や入り込み

- ・漏えい燃料棒7本のうち4本で、第9支持格子内部で燃料棒と支持板やばね板との間で隙間や入り込みを確認している。

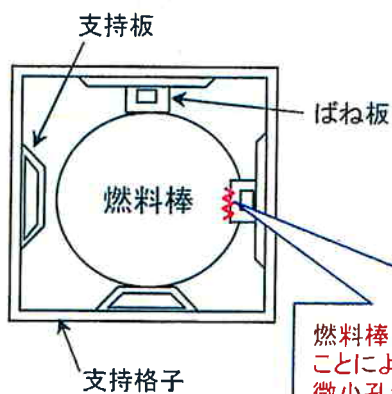
(KCHC51の漏えい燃料棒(B-15)の例)





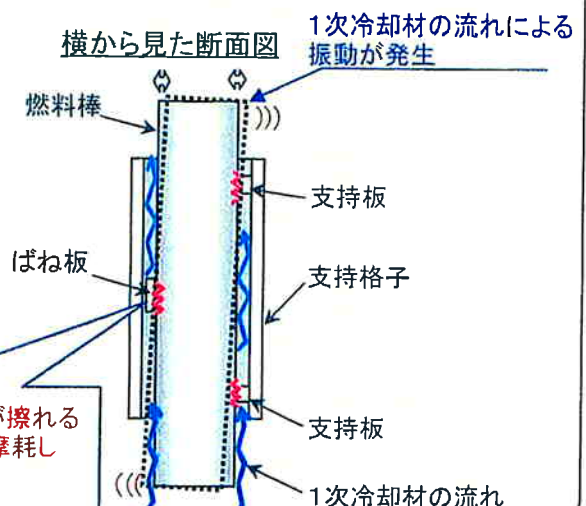
【第9支持格子内部】

上から見た断面図



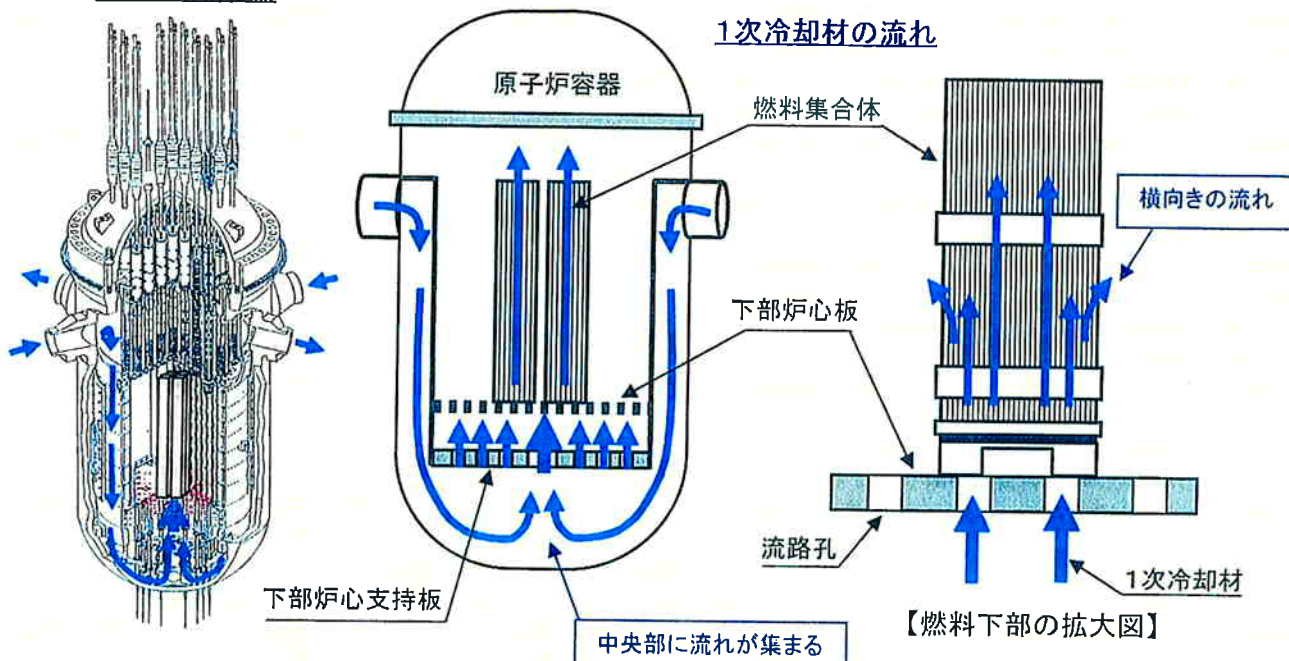
燃料棒と支持板またはばね板が擦れることにより、燃料棒の接触部が摩耗し微小孔が発生

横から見た断面図



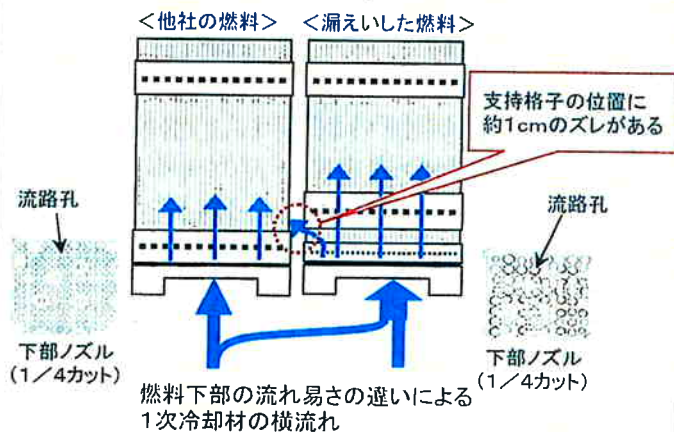
共通的な特徴をもとに流動解析などを行い、漏えい発生に影響を与える要因の推定を

原子炉格納容器



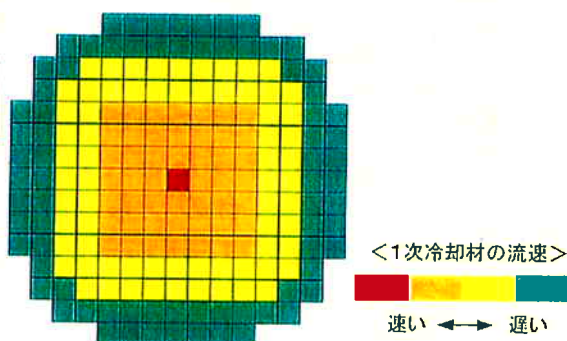
要因-①：燃料の種類による相違点

- ・構造の違う燃料が隣接すると、片方の燃料を流れる1次冷却材の流速が速い。



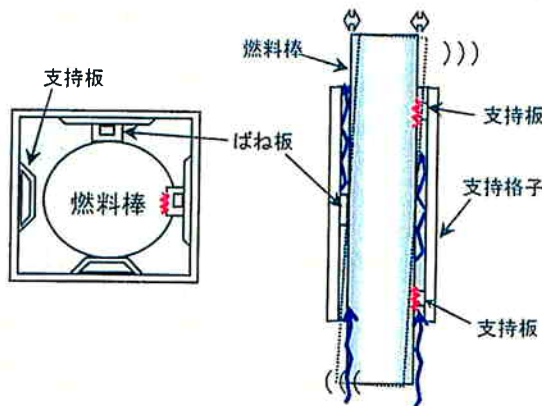
要因-②：原子炉内の1次冷却材の流れ

- ・炉心中央部を流れる1次冷却材は平均的な流速に比べて速い。



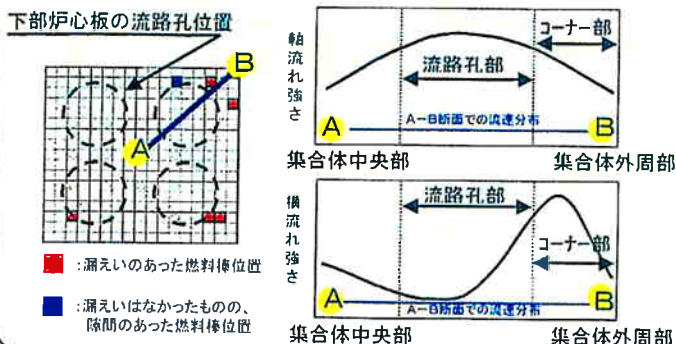
要因-④：摩耗の発生

- ・過去の漏えい事象でも1次冷却材の流れによる振動により燃料棒のフレット磨耗が確認されている。



要因-③：燃料集合体内の流れ(隣接燃料による影響)

- ・型式の異なる燃料が周辺にある場合には、集合体コーナ部の横流れが強くなる。



高浜発電所2号機補助建屋排気筒ガスモニタの 一時的な指示値の上昇に係る原因と対策について

平成22年4月9日
関西電力株式会社

高浜発電所2号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力82万6千キロワット、定格熱出力244万キロワット。定格熱出力一定運転中）では、平成22年3月8日1時00分よりガス分析器^{※1}による体積制御タンク^{※2}の放射性ガスの定例分析を実施したところ、1時13分に補助建屋排気筒ガスモニタ^{※3}の注意警報が発信し、当該モニタの指示値が最大809cpm[13.5cps]^{※4}に上昇しました。

このため体積制御タンクとガス分析器の間の弁を閉じ、モニタ指示値は1時22分に通常レベル（約700cpm[約11.7cps]）に戻りました。

この時間帯に、当該分析系統が設置されたフロア（4階）のモニタ（仮設）も上昇していたことから、今回の分析操作に伴い、放射性ガスが室内に漏れ、補助建屋換気空調系統を通じて補助建屋排気筒から排出されたものと推定されたことから、放射性ガスが漏れた原因について調査を行うこととしました。

今回、補助建屋排気筒から放出された放射性気体廃棄物の量を評価した結果、約 $2.8 \times 10^8 \text{ Bq}$ で、保安規定に基づく高浜発電所の年間放出管理目標値（ $3.3 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$ ）の約1,100万分の1以下^{※5}で十分低く、発電所敷地内および周辺のモニタリングポストの指示値にも有意な変化は認められず、周辺環境等への影響はありませんでした。

体積制御タンクのガス分析操作の際に使用した系統の機器および配管について漏えい検査を行ったところ、ガス分析器にガスを送り込んでいるポンプ（サンプラポンプ）2台のうち、今回使用していたポンプ（No.2）のダイヤフラム^{※6}に変形とひび割れ（最大17.5mm）があり、ひび割れの中央部に貫通孔（ピンホール）を確認しました。

なお、当該ポンプ以外の機器および配管については、漏えいにつながる異常は認められませんでした。

- ※1 ガス減衰タンクなどの、1次系タンクの放射性ガスに含まれる酸素および水素の濃度を測定する装置。
- ※2 化学体積制御系統の設備で、原子炉容器や配管内の1次冷却材の量を調整するためのタンク。
- ※3 運転に伴って発生する気体放射性廃棄物（希ガス）を監視するモニタ。
- ※4 cpmは1分間に、cpsは1秒間に測った放射線の数を表す単位。
- ※5 高浜2号機の放射性気体廃棄物（希ガス）の年度放出実績は、平成18年度は $6.3 \times 10^9 \text{ Bq}$ 、平成19年度は $9.5 \times 10^9 \text{ Bq}$ 、平成20年度は $3.2 \times 10^9 \text{ Bq}$ 。
- ※6 ガスを吸込・吐出する際にガスと外気を隔てているゴム製の隔膜。

[平成22年3月8日、23日 お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) ダイヤフラム表面の観察

- ・電動機と反対側のダイヤフラム表面に認められた周方向のひび割れ（最大17.5mm）について、詳細に観察したところ、ひび割れの近傍に、面荒れやしわを確認しました。

(2) ダイヤフラムの取り付け状態の観察

- ・当該ポンプは電動機の回転を、回転軸に取り付けたアームロッドの上下動に変え、アームロッドの先端に取り付けられたダイヤフラムを上下させることで吸排気を行う構造です。
- ・このダイヤフラムは、外周部をポンプのアップブラケット（外枠）のフランジの段付き部にはめ込み、キャップで押さえつけて固定しています。
- ・ダイヤフラムの取り付け状態を確認したところ、ダイヤフラムは段付き部に収まっていたものの、ダイヤフラム表面のキャップ押さえ痕が偏っていたことから、ポンプの中心に対し電動機と反対側にずれて取り付けられていることを確認しました。

(3) アームロッドの取り付け位置の調査

- ・ダイヤフラムは、アームロッドにネジで固定されていますが、ネジ部にガタツキ等の異常は認められませんでした。
- ・アームロッドの回転軸への取り付け位置を確認したところ、ポンプ中心に対し、約1.2mm、電動機と反対側にずれて取り付けられていることを確認しました。
- ・このことから、ダイヤフラムがずれていた原因はアームロッドの回転軸への取り付け位置のずれによるものであることがわかりました。

(4) 前回定期検査時の分解点検状況の調査

- ・当該ポンプは、定期検査毎に現場で分解点検を行っており、前回定期検査の点検状況を確認したところ、分解時にアームロッドの取り付け位置をポンプの回転軸にマーキングし、組み立て時にはそのマーキングに目測で合わせて、アームロッドを取り付けていました。

(5) アームロッドの位置ずれがダイヤフラムに及ぼす影響の評価

- ・通常、アームロッドがポンプの中心から1.2mmずれた状態でダイヤフラムの取り付けを行うと、アップブラケットのフランジの段付き部から僅かにはみ出した状態となりますが、今回、当該ダイヤフラムは段付き部に収まっていたことから、組み立て時にダイヤフラムを段付き部に押し込み、圧縮方向の力がかかった状態で取り付けられていたものと推定しました。
- ・文献調査の結果では、ダイヤフラムが圧縮された状態で、繰り返し応力が加わると、摩擦熱が発生し、ゴムの劣化が促進され、面荒れやしわが発生し、これらが進展することでひび割れが生じることがわかりました。

- ・また、ダイヤフラムの電動機側の変形は、劣化に伴うしわの発生により、引っ張られて生じたものと推定しました。

2. 推定原因

- ・補助建屋排気筒ガスモニタの指示値が上昇した原因は、体積制御タンクのガス分析時に、放射性ガスが当該ポンプのダイヤフラム損傷部（貫通孔）から室内に漏れ、補助建屋換気空調系統を通じて補助建屋排気筒から排出されたものと推定しました。
- ・ダイヤフラムが損傷した原因は、前回定期検査時に現場で当該ポンプの分解点検を行った際、アームロッドの取り付け位置がずれた状態でダイヤフラムを押し込んで組み込んだことにより、ダイヤフラムに圧縮の力が加かった部分が生じました。この部分にポンプ運転中のダイヤフラムの上下動に伴い繰り返し応力が加わったことにより、摩擦熱が発生し、ゴムの劣化が促進され、ひび割れが発生し、進展したため、漏えいに至ったものと推定しました。

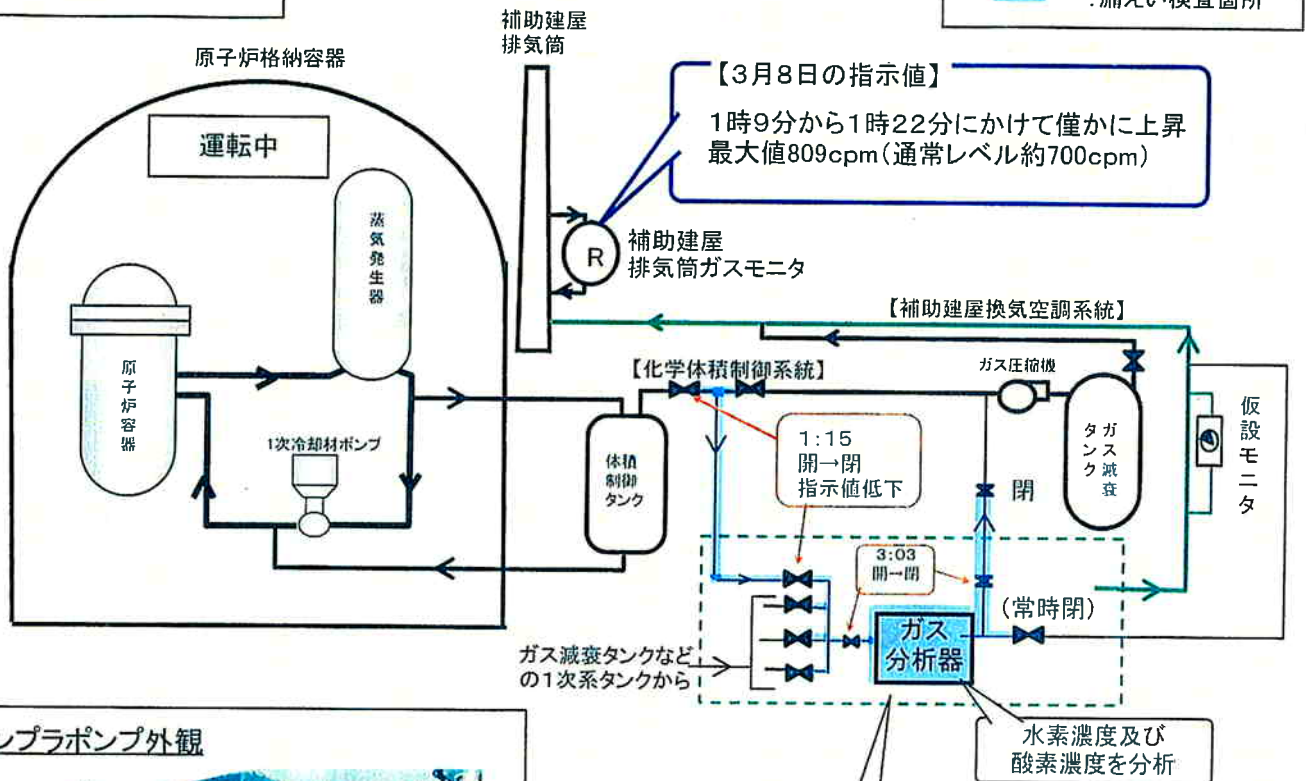
3. 対 策

- ・当該ポンプを含むサンプラポンプ2台について、軸部分（回転軸、アームロッド、軸受）とダイヤフラムを新品に取り替えます。その取り替えにあたっては、アームロッドの位置ずれを防止するため、あらかじめ工場でアームロッドと軸受を回転軸に取り付けることとします。
- ・また、組み立ての際には、アームロッドとアップブラケットの間の距離を測ることにより、アームロッドが正規の位置（ポンプ中心）にあることを確認し、ダイヤフラムを取り付けます。
- ・今後の分解点検にあたっては、軸部分は再使用せず、あらかじめ工場で部品の取り付けが行われた新品の軸部分に取り替えます。また、その組み立て時にはアームロッドが正規の位置にあることを確認し、ダイヤフラムを取り付けます。

以 上

高浜発電所2号機補助建屋排気筒ガスモニタの 一時的な指示値の上昇の原因と対策について

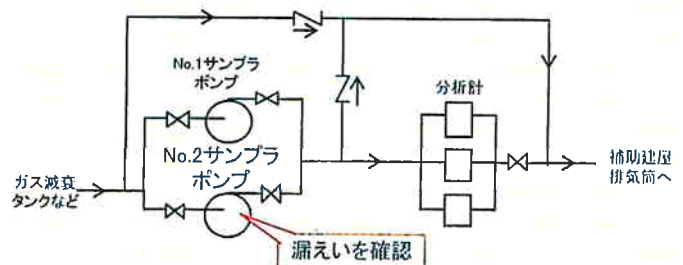
系統概要図



サンブラポンプ外観

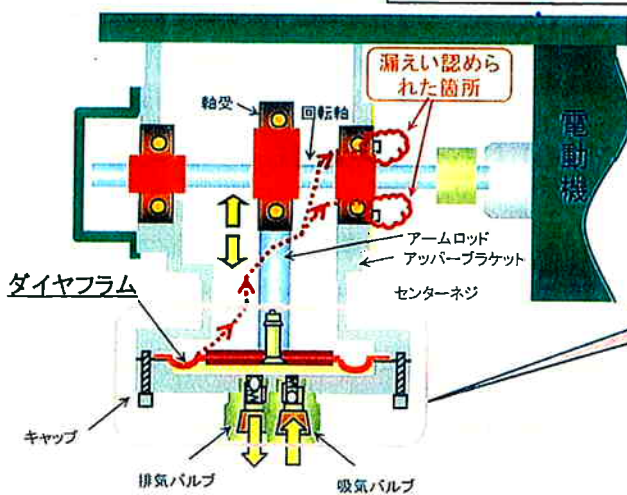


ガス分析器廻りの漏えい調査状況

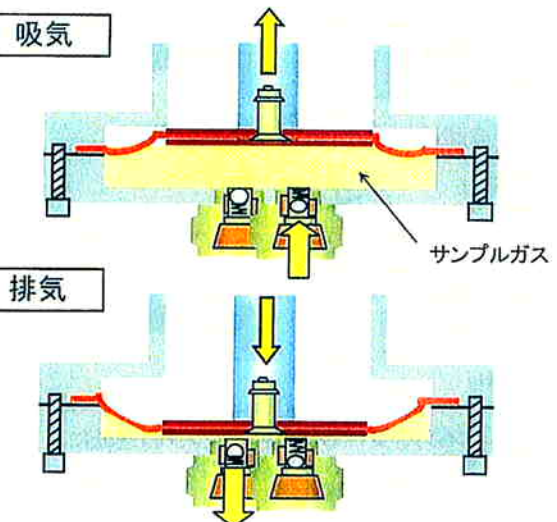


サンブラポンプ断面図

【凡例】
↑ : アームロッドの動き



動作メカニズム

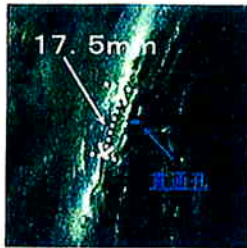


調査結果

※ 分解・組立ては、ポンプを取り外し、ダイヤフラム部を上に向けて行う

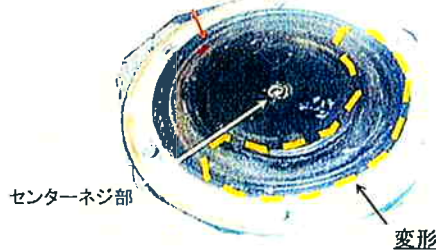
キャップをはずした状態

ひび割れ拡大

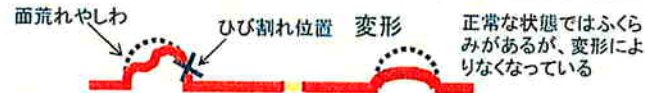
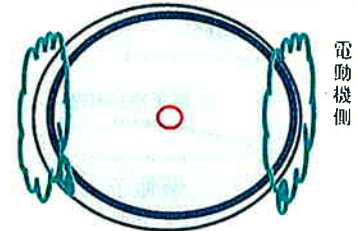


ダイヤフラム
材質:クロロプレンゴム
外径:約80mm
厚さ:2.6mm

ひび割れ



キャップによる押さえ痕に片寄り



正常な状態ではふくらみがあるが、変形によりなくなっている

キャップとダイヤフラムをはずした状態

アームロッド位置の測定

アームロッド中心とアッパースラケットとの距離

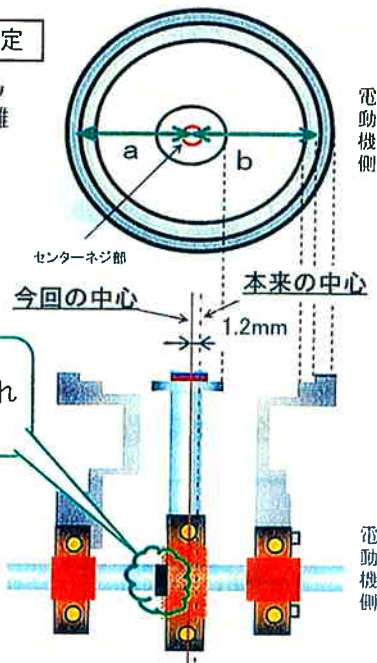
a:38.97mm

b:41.28mm

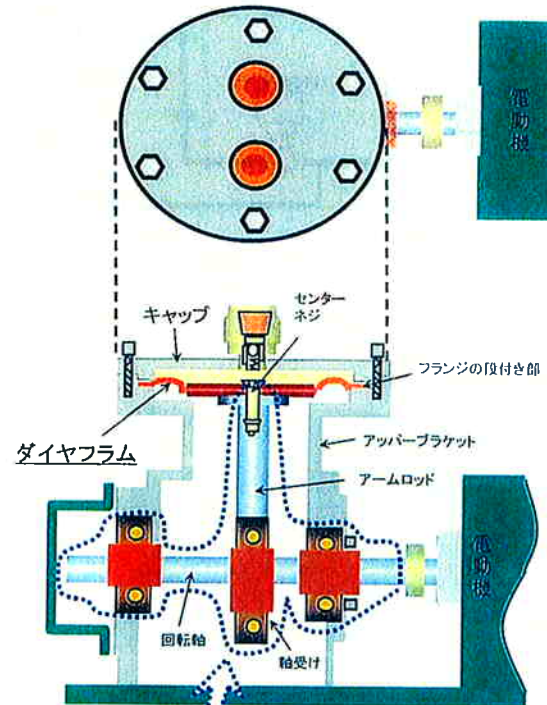
差 2.31mm

正規の取付け位置
(ポンプ中心)

とのずれ 1.2mm

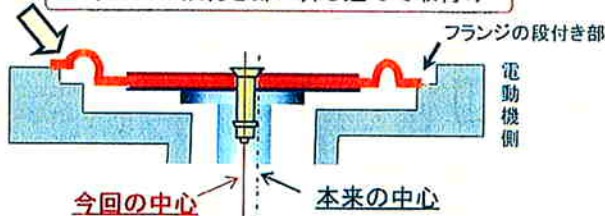


マーキング位置とずれて取り付けられたと推定される



アームロッドのずれによる、ダイヤフラムへの影響

フランジの段付き部に押し込んで取付け



圧縮状態

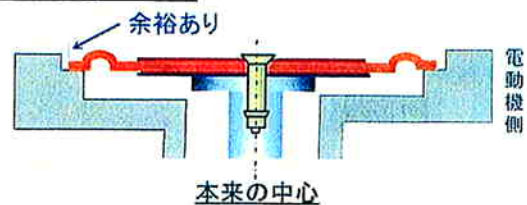
余裕なし

圧縮による力を受ける部分に、ポンプの運転による上下動の繰り返し応力が加わり、摩擦熱が発生し、劣化が促進され損傷

対策

- サンプラポンプの分解点検にあたっては、軸部分(回転軸、アームロッド、軸受け)は、あらかじめ工場で部品の取付けが行われた新品に取り替える。
- ダイヤフラムの取付け時に、アームロッドの中心とアッパースラケットの間の距離を測ることにより、アームロッドが正規の位置(ポンプ中心)にあることを確認し、ダイヤフラムを取り付ける。

正常な場合



高浜発電所 4 号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査における 有意な信号指示の原因と対策について)

平成 22 年 3 月 23 日
関西電力株式会社

高浜発電所 4 号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力 87 万キロワット、定格熱出力 266 万キロワット)は、平成 22 年 2 月 4 日から実施している第 19 回定期検査において、3 台ある蒸気発生器 (SG) の伝熱管全数^{*1}について渦流探傷検査 (ECT)^{*2}を行った結果、C-SG の伝熱管 1 本の高温側管板^{*3}部に、有意な信号指示が認められました。なお、A、B-SG の伝熱管については、有意な信号指示は認められませんでした。

本事象による環境への放射能の影響はありません。

- * 1 既施栓管を除き A-SG で 3,247 本、B-SG で 3,249 本、C-SG で 3,261 本、合計 9,757 本。
- * 2 高周波電流を流したコイルを、伝熱管に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥に起こった渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する検査。
- * 3 蒸気発生器内の伝熱管が取り付けられている部品。伝熱管と管板で、1 次冷却材と給水 (2 次冷却水) の圧力障壁となる。

[3 月 16 日お知らせ済み]

1. 原因調査

伝熱管 1 本の高温側管板部で有意な信号指示が認められた原因を調査するため、過去の調査結果や、運転履歴の調査を実施しました。

(1) 過去の調査結果との比較

- ・高浜 4 号機では、第 11 回定期検査 (平成 11 年) において、高温側管板拡管部で有意な信号指示が確認され、拡管調査の結果、ローラ拡管^{*4}上端部付近の伝熱管内面で軸方向に沿った割れが認められました。原因は、管内面での引張り残留応力と運転時の内圧とが相まって生じた応力腐食割れであると推定しました。
- ・その後、当該部の応力腐食割れの発生を予防するため、第 13 回定期検査 (平成 14 年) で SG 伝熱管の高温側管板拡管部内面にショットピーニング^{*5}を施工し、伝熱管内表面の残留応力を改善しました。
- ・今回の有意な信号指示は、①高温側管板部のローラ拡管上端部付近であり、②伝熱管の軸方向に沿った内面傷を示す指示であるなど、過去に同機で検出された信号と類似の特徴が認められました。

- * 4 伝熱管内部に機械式ローラを通すことで伝熱管を押し広げて、伝熱管と管板を接合させる工程。
- * 5 伝熱管内面に小さな金属球を高速で叩き付けることにより、伝熱管内面の引張り残留応力を圧縮応力に改善する工事。

(2) ショットピーニングの効果

- ・ショットピーニングでは、伝熱管内表面近傍（深さ約 0.2mm）で引張り残留応力が緩和されますが、これより深い部分では、効果が小さいことが知られています。
- ・このため、ショットピーニング施工時に、深さ 0.2mm 以上の、当時使用していた ECT で検出されない微小な傷（約 0.5mm 未満）が既に発生していた場合、時間の経過とともに傷が進展する可能性があるかと推定しました。

(3) 運転履歴調査

運転開始以降、今定期検査開始に至るまでの期間について、1 次冷却材の主要パラメータである温度、圧力、水質について調査を行った結果、過大な応力を発生させる温度、圧力の変化はなく、水質も基準値の範囲内で安定していたことを確認しました。

2. 推定原因

有意な信号指示が認められた原因は、過去の調査結果等から、SG 製作時に当該伝熱管を管板部で拡張する際、管内面で引張り残留応力が発生し、これが運転時の内圧と相まって、伝熱管内面で応力腐食割れが発生し、今回検出されたものと推定しました。

3. 対策

有意な信号指示が認められた伝熱管 1 本については、高温側および低温側管板部で閉止栓（機械式栓）を施工し、使用しないこととします。

以 上

（経済産業省による INES の暫定評価）

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0 —	0 —

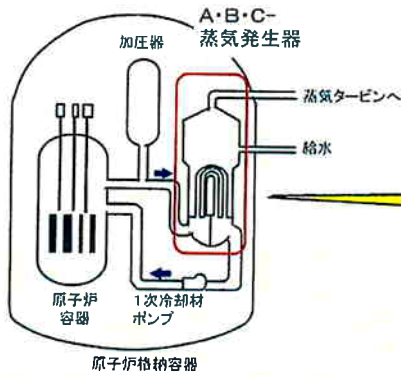
INES：国際原子力事象評価尺度

高浜発電所4号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査における有意な信号指示の原因と対策について)

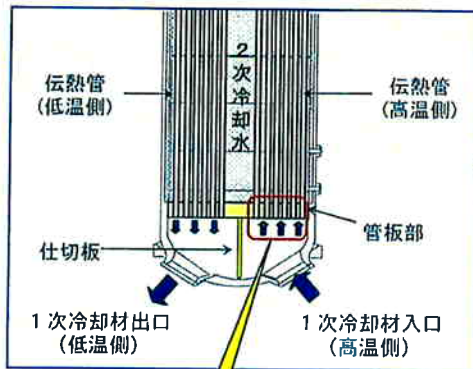
発生箇所

系統概要図

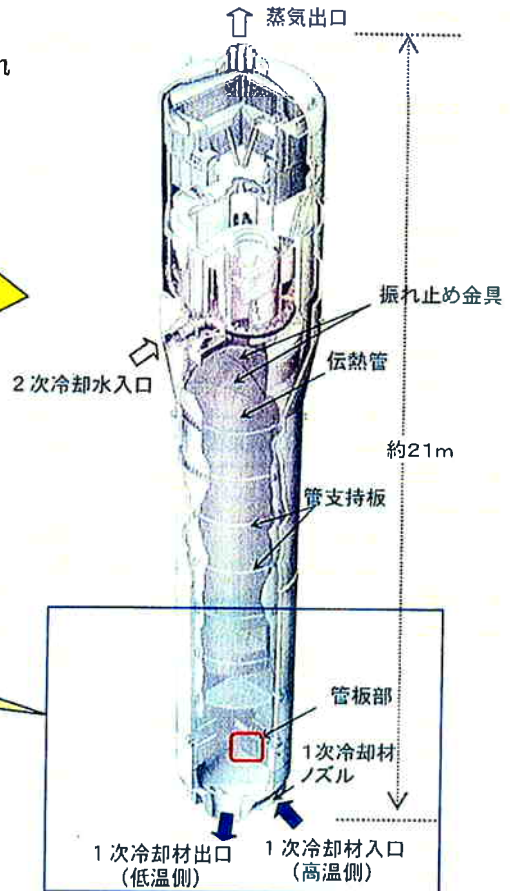
➡ : 1次冷却材の流れ



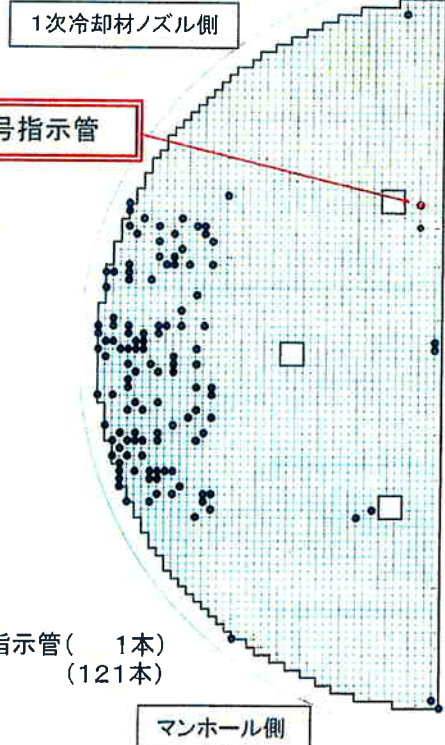
蒸気発生器下部の断面図



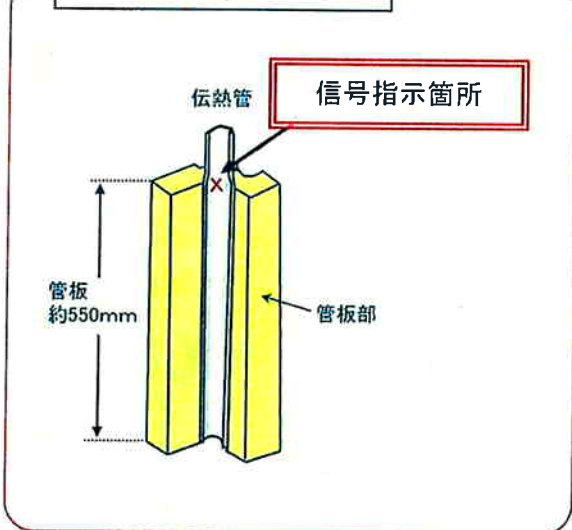
蒸気発生器の概要図



C-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図



管板部拡大図



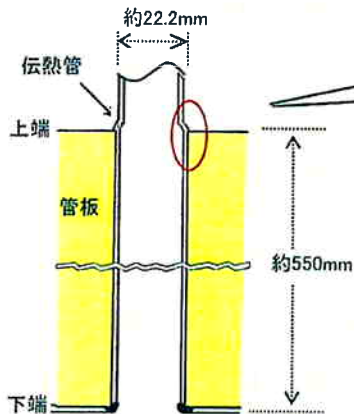
伝熱管外径 : 約22.2mm
 " 厚さ : 約1.3mm
 " 材質 : 600系ニッケル基合金(特殊熱処理*)

●: 有意な信号指示管 (1本)
 ●: 既施栓管 (121本)

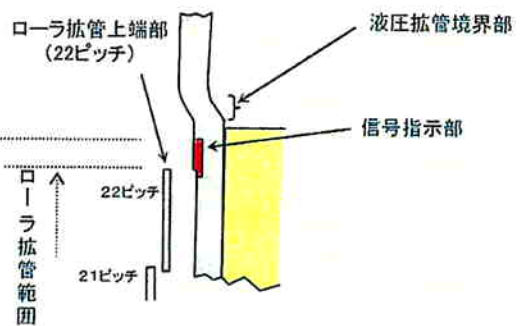
* 高温状態を一定時間保持(約700℃で約15時間)した後、徐冷することにより、耐食性の向上を図る。

渦流探傷検査(ECT)結果

信号指示の位置

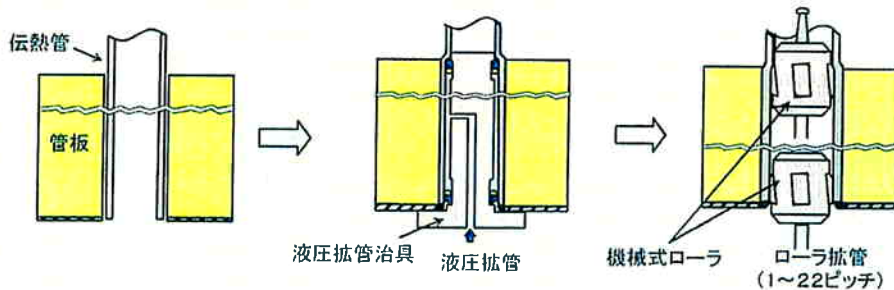


ローラ拡管部(イメージ)



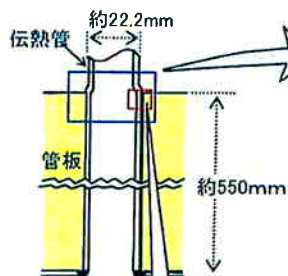
信号指示位置は22ピッチローラ拡管上部部であった

蒸気発生器製作時の管板部の伝熱管拡管方法

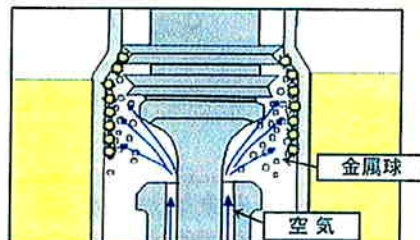


管板部でローラ拡管する際、伝熱管内面で局部的に引張残留応力が発生

ショットピーニングの効果と渦流探傷検査(ECT)の検出範囲



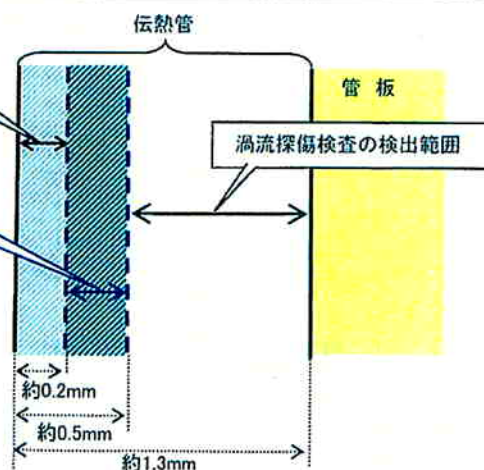
ショットピーニングの実施概要



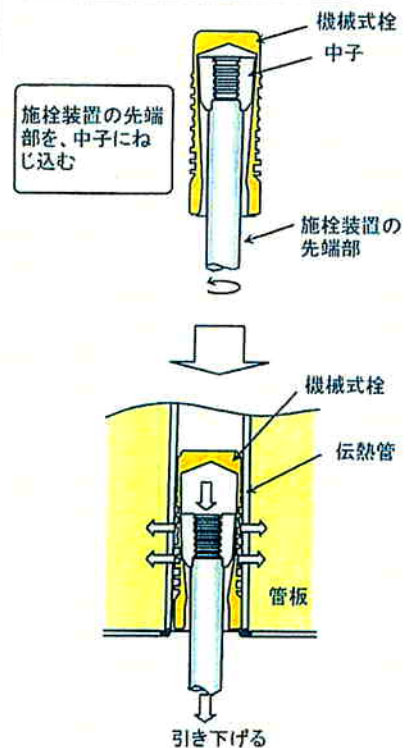
空気によって、金属球(直径約0.2mmの金属球)を打ち付け、伝熱管表面近傍の引張残留応力を圧縮応力に変化させる

ショットピーニングによる圧縮応力付与範囲

この範囲に、応力腐食割れの先端があった場合、割れが進展し、顕在化する可能性がある



対策(施栓方法)



機械式栓を伝熱管に挿入し、施栓装置の先端部を引き下げることで、中子も同時に引き下がり、機械式栓を押し広げ施栓する

高浜発電所4号機のSG伝熱管の施栓履歴

	Aー蒸気発生器 (3,382本)	Bー蒸気発生器 (3,382本)	Cー蒸気発生器 (3,382本)	合 計 (10,146本)	施栓理由
第4回定検 H2.2～H2.5	7	9	5	21	振れ止め金具部の摩耗減肉 (振れ止め金具の取替実施)
第9回定検 H8.9～H8.11	10	0	0	10	管支持板洗浄装置の接触痕を確認
第11回定検 H11.4～H11.7	0	0	4	4	高温側管板部の応力腐食割れ
第12回定検 H12.9～H12.11	4	1	6	11	高温側管板部の応力腐食割れ
第13回定検 H14.1～H14.3	1	0	0	1	高温側管板部の応力腐食割れ (ショットピーニングを施工)
第14回定検 H15.4～H15.6	1	1	0	2	高温側管板部の応力腐食割れ
第15回定検 H16.8～H16.10	112	122	105	339	旧振れ止め金具部の微小な摩耗 減肉 (新方式のECTの採用)
第18回定検 H20.8～H20.12	0	0	1	1	高温側管板部の応力腐食割れ
第19回定検 H22.2～H22.5 (予定) [今回施栓予定]	0	0	1	1	高温側管板部の応力腐食割れ
累積施栓本数 [施栓率]	135 [4.0%]	133 [3.9%]	122 [3.6%]	390 [3.8%]	—

※ ()内は伝熱管の設備本数、定検の下の年月は解列～並列を表す。

安全解析施栓率は10%である。

(伝熱管の施栓率が10%の状態において、プラントの安全性に問題がないことが確認されている)

美浜発電所 2 号機の化学体積制御系統の 空気抜き配管溶接部からの漏えいに係る原因と対策について

平成 22 年 4 月 2 日
関西電力株式会社

美浜発電所 2 号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力 50 万キロワット、定格熱出力 145 万 6 千キロワット）は、定格熱出力一定運転中のところ、3 月 19 日 12 時頃に、中央制御室で監視カメラによる原子炉格納容器内の確認を行っていた運転員が、化学体積制御系統^{※1}の再生熱交換器^{※2}室内で水の滴下（4 滴／分）を確認しました。

運転パラメータや格納容器内の放射線モニタ等に異常は認められませんでした。漏れ箇所の特定や詳細な点検調査を行うため、同日 14 時に出力降下を開始し、21 時 00 分に発電を停止し、21 時 55 分に原子炉を停止しました。

原子炉停止後、室内の状況を確認したところ、原子炉冷却系統への充てん水が流れる配管（充てん配管）に設置されている空気抜き配管^{※3}と管台（異径管）との溶接部にほう酸の析出^{※4}が認められ、浸透探傷試験^{※5}で、周方向の指示模様（長さ約 2.6 cm）を確認しました。

なお、この事象による環境への放射能の影響はありません。

- ※1 化学体積制御系統：原子炉冷却系統から 1 次冷却材の一部を抽出し浄化した後、保有水量やほう素濃度等を調整して、原子炉冷却系統に 1 次冷却材を充てんする系統。
- ※2 再生熱交換器：原子炉冷却系統から化学体積制御系統への抽出水と、原子炉冷却系統への充てん水との間で熱交換を行うことにより、充てん水を加熱し、原子炉冷却系統への熱影響を緩和する。
- ※3 空気抜き配管：空気抜き配管は、原子炉冷却系統への充てん水が流れる配管（充てん配管）の水張り時に、配管内の空気を抜くために設置されているもので、充てん配管の管台（異径管）に溶接されている。
- ※4 析出：1 次冷却材が漏れ出して、1 次冷却材に含まれるほう酸が結晶化している状態。
- ※5 浸透探傷試験：染料の入った液（浸透液）を傷に浸透させた後、余分な浸透液を除去し、現像剤により浸透指示模様として観察する方法。

[平成 22 年 3 月 19 日、23 日 お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 破面観察等の調査

- ・当該配管を切断し浸透探傷試験を行った結果、配管外面の指示模様が認められた部分の内面の管台との溶接部境界（溶接止端部）に沿う周方向で、同様の指示模様（長さ約 1.5 cm）を確認しました。
- ・断面観察を行った結果、き裂は溶接止端部から溶接金属内を直線的に進み外面に達していました。
- ・破面観察の結果、破面は 2 つの様相を呈していました。内面側は複数のき裂の起点と接触が顕著な範囲が確認され、その外側に、外面に向かってき裂が広がり、疲労割れの特徴であるビーチマーク模様^{※6}を確認しました。
- ・配管等の材質に問題はなく、放射線透過試験^{※7}の結果、溶接欠陥は認められませんでした。
- ※6 ビーチマーク模様：疲労破面に観察される特徴的な破面模様の 1 つで、砂浜に残る波跡に似た縞模様。
- ※7 放射線透過試験：試験対象物を透過する放射線を利用して、試験対象物の内部構造等（内部欠陥の有無等）を画像化することにより、試験対象物の内部構造等を確認する手法。

(2) 振動計測

- ・当該配管の固有振動数^{※8}を計測したところ、充てん配管の流れに直交する方向で22.0Hzであることがわかりました。

※8 固有振動数：配管の重量、長さ等により配管それぞれが持つ固有の振動数。

(3) 点検・補修履歴の調査

- ・小口径配管の振動による損傷事例を踏まえ、その未然防止を図るため、平成11年に小口径配管管理マニュアルを定め、振動評価を実施してきました。
- ・当該配管では、第18回（平成11年）および第20回定期検査（平成14年）において振動評価を行い、固有振動数は23.5Hzで、当該溶接部に働く応力は疲労限（疲労割れを起こす応力）より低いことを確認していました。
- ・その後、第22回定期検査（平成17年）において、当該配管の空気抜き弁のハンドルを、バーハンドル（重量 約0.35kg）から丸ハンドル（重量 約2.5kg）に取替えましたが、振動評価は行っていませんでした。
- ・前回の第25回定期検査（平成21年）において、管理マニュアルに基づき、当該溶接部の浸透探傷試験を行い、指示模様がないことを確認しました。

(4) 疲労割れに関する調査

- ・当該配管は充てんポンプの下流側にあることから、ポンプ運転に伴う充てん水の圧力脈動（振動）の影響を調査したところ、定期検査中の試運転や検査時に行われるポンプ100%流量運転時の振動（21.8Hz）と、当該配管の固有振動数（22.0Hz）がほぼ一致していることから、当該配管が共振し、当該配管と管台の溶接部に疲労限を超える繰り返しの振動応力が加わっていたと推定しました。
- ・一旦、疲労割れが発生すると、プラント通常運転中のポンプ振動（80%流量運転）により、緩やかに進展すると推定しました。

2. 推定原因

- ・平成17年の第22回定期検査で、空気抜き弁のハンドルを取替えたことにより、当該配管の固有振動数が、充てんポンプの試運転や検査時の振動数とほぼ一致し、配管が共振したことで、当該配管と管台の溶接部に疲労限を超える応力が働きました。
- ・この応力の繰り返しにより疲労が蓄積し、前回定期検査時の試運転もしくは検査中に、配管内面に疲労割れが発生し、その後のプラント運転中に進展し、漏えいに至ったものと推定しました。

3. 対策

- ・当該配管について、充てんポンプの振動との共振を回避するため、弁ハンドルをバーハンドルに戻すとともに、剛性を高めた改良型管台に変更します。
- ・振動により疲労割れの発生が懸念される小口径配管について、至近の振動計測以降に弁ハンドル取替え等の改造が行われていないことを現場で確認しました。

今後、当該配管を取替えたうえで、漏えい確認および振動計測を行った後、来週中にも原子炉を起動し、発電を再開する予定です。

なお、これまで小口径配管で振動による損傷を経験してきているにもかかわらず、今回、同様な事象が発生させたことは、過去の事例を十分に活かせていなかったものと反省し、再度、全保修課員に対し、振動管理の重要性を教育するとともに、小口径

配管の改造工事を行う場合は、軽微なものも含めすべての工事について振動評価を行うよう管理マニュアルに明記します。

(経済産業省による I N E S の暫定評価)

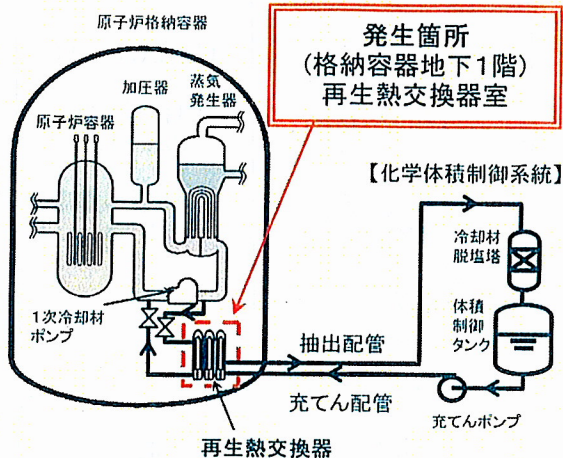
基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0 —	0 —

I N E S : 国際原子力事象評価尺度

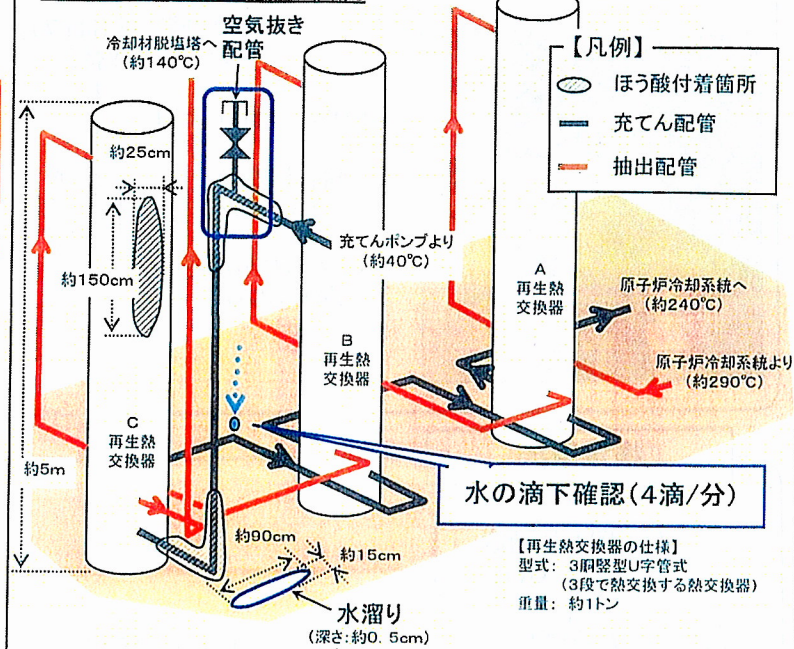
以 上

美浜発電所2号機の化学体積制御システムの 空気抜き配管溶接部からの漏えいに係る原因と対策について

発生箇所

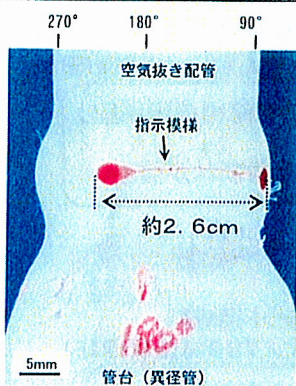


再生熱交換器室内の状況

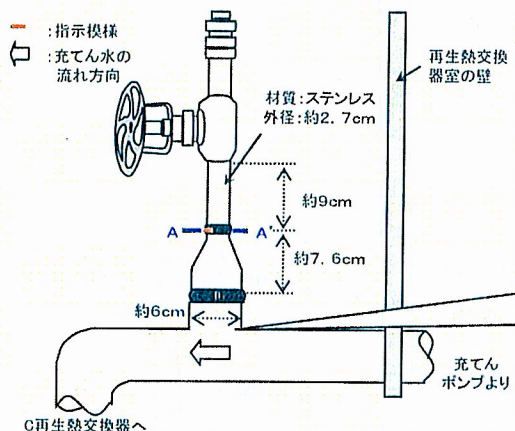


点検(観察結果)

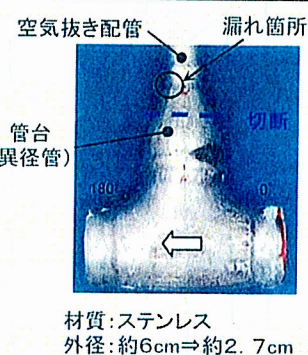
外面の浸透探傷試験結果



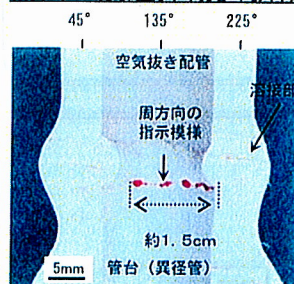
空気抜き配管を横から見た図



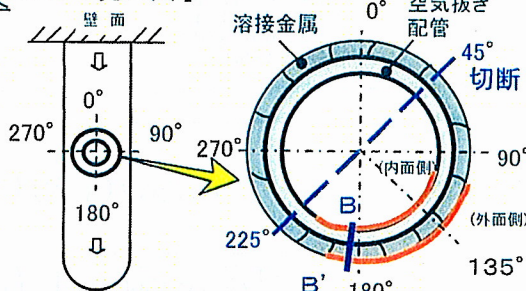
管台(異径管)の写真



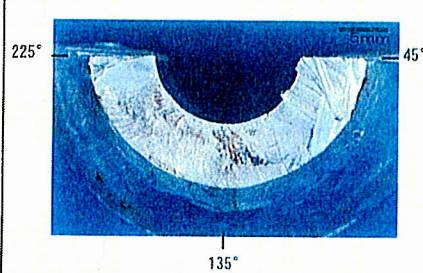
内面の浸透探傷試験結果



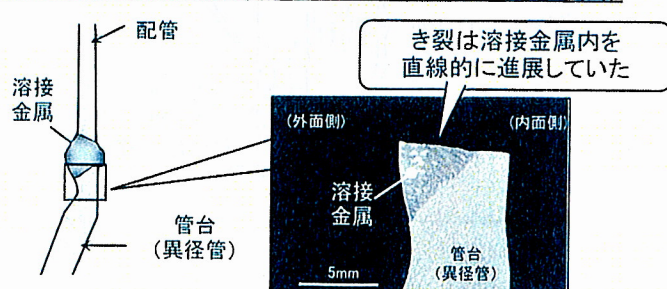
【空気抜き配管を上から見た図】



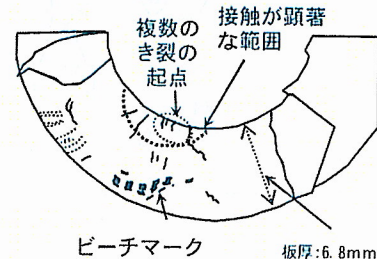
破面観察の写真



断面観察の結果(B-B'を135°方向から見た図)



破面観察のスケッチ



点検・補修履歴の調査と振動計測結果

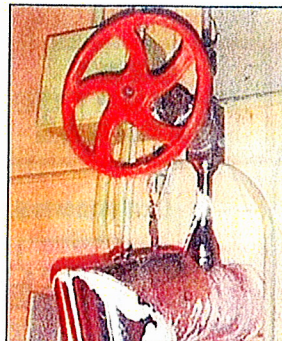


【第20回定検(H14)】

固有振動数
23.5Hz

バーハンドル重量
約0.35kg

【第22回定検(H17)】
ハンドル取替え

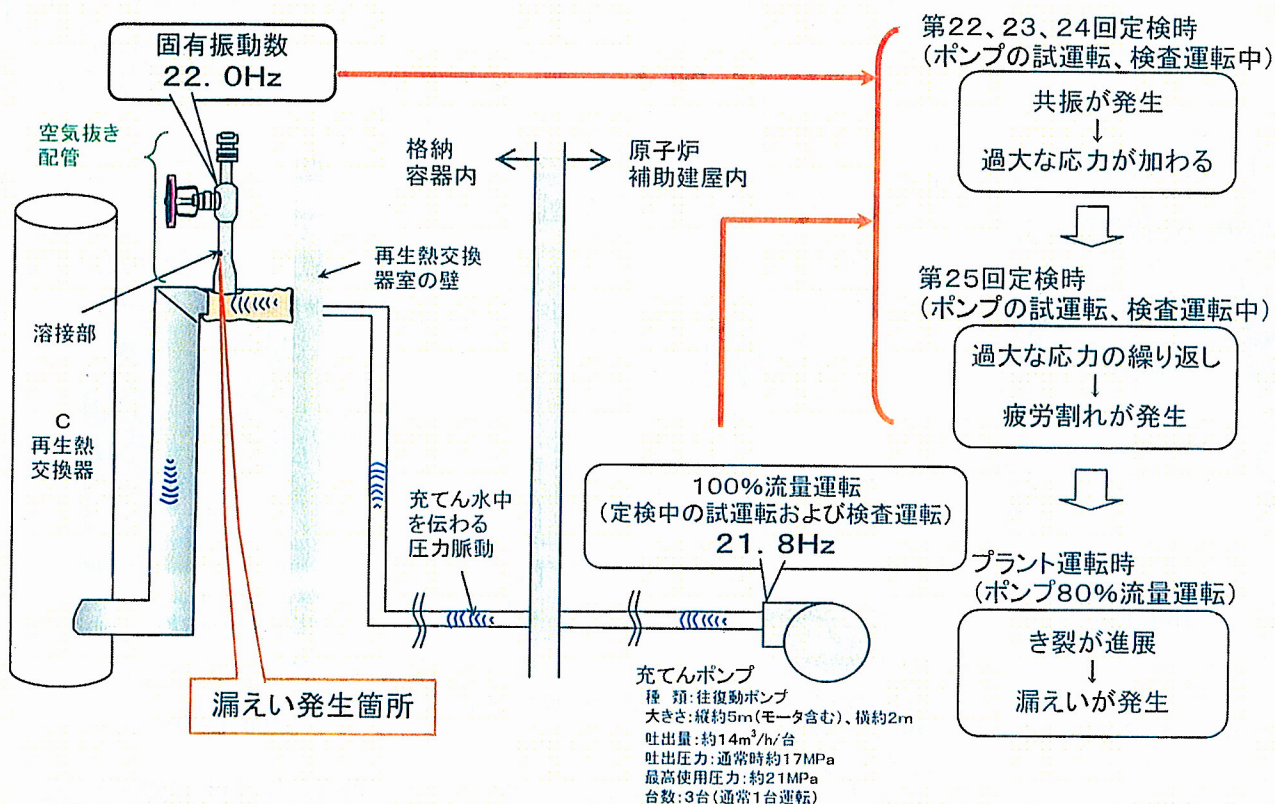


【現在(H22)】

固有振動数
22.0Hz

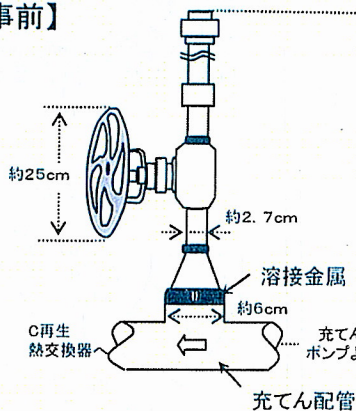
丸ハンドル重量
約2.5kg

推定原因

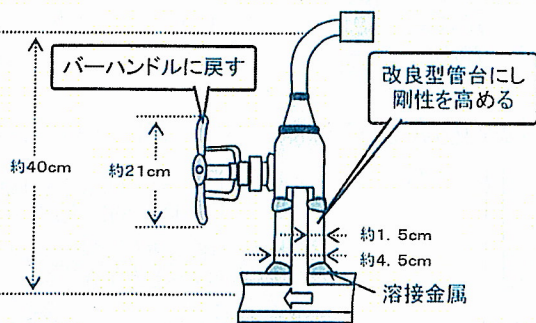


対 策

【工事前】



【工事後(予定)】



大飯発電所３号機の定期検査状況について
(原子炉容器Ａループ出口管台溶接部の傷の原因と対策)

平成２０年９月２６日
関西電力株式会社

大飯発電所３号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力１１８万キロワット、定格熱出力３４２万３千キロワット）は、第１３回定期検査中であり、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、原子炉容器出入口管台（計８箇所）の溶接部にウォータージェットピーニング工事※１を実施する計画としていました。

この工事のため、３月６日から３月１０日にかけて、事前に当該溶接部内面の渦流探傷試験（ＥＣＴ）※２を行ったところ、Ａループ出口管台の６００系ニッケル基合金溶接部１箇所では有意な信号指示（長さ約１０ｍｍ）を確認しました。なお、Ａループ入口管台およびＢ、Ｃ、Ｄ各ループの出入口管台については、有意な信号指示は認められませんでした。

傷の形状は複数に折れ曲がるとともに枝分かれた割れで、１次冷却材環境下における応力腐食割れ※３の特徴を有しており、周辺に、引張応力が残留する可能性がある機械加工※４跡を確認しました。これらのことから、１次冷却材環境下における応力腐食割れの可能性が高いと推定しました。

超音波探傷試験（ＵＴ）※５を行った結果、傷の深さは特定できず、４月２２日より当該部表面の研削を開始しましたが、約３．６ｍｍ研削した時点で傷が消えず、さらに研削した場合、工事計画認可申請書※６に記載している板厚（７０ｍｍ）を下回る可能性があったことから、記載板厚を、傷を含めた幅約１１ｃｍの部分について全周にわたり７０ｍｍから６４ｍｍに変更しました（なお元の板厚は約７４．６ｍｍ）。その後、約１０．５ｍｍまで研削しましたが、傷は消えませんでした（この時点の板厚約６４．１ｍｍ）。

さらに深く研削を行うため、７月３０日に、工事計画認可申請書の記載板厚を、傷を含めた箱状（軸方向の幅約１１ｃｍ、周方向の幅約１３ｃｍ）の部分のみ６４ｍｍから５３ｍｍに、その他の部分を７０ｍｍに変更する手続きを行い、強度上の問題がないことを国にもご確認頂いた上で、８月８日に研削を再開しました。

８月２３日、深さ約２０．３ｍｍ（当該部分の板厚約５４．３ｍｍ）まで研削した結果、外観目視観察で傷が認められず、渦流探傷試験でも有意な信号指示が確認されなくなりました。さらに念のため追加研削（約０．７ｍｍ）を行い、傷がないことを確認しました（当該部分の板厚約５３．６ｍｍ）。

本事象による周辺環境への影響はありません。

[平成２０年４月１７日、５月１６日、５月２６日、６月１６日、７月１６日、
８月８日、８月１５日、８月２７日お知らせ済み]

※１：ウォータージェットピーニング工事

金属表面に高圧ジェット水を吹き付けることにより、金属表面の引張残留応力を圧縮応力に変化させる。

※2：渦流探傷試験（ECT）

高周波電流を流したコイルを対象となる配管等に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥に起こった渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する試験。

※3：1次冷却材環境下における応力腐食割れ

1次冷却材環境下で600系ニッケル基合金に発生するPWRプラント特有の応力腐食割れ。（材料、環境および応力の3要素が重なって発生する割れ）

※4：機械加工

溶接により発生する表面の凸凹を切除するとともに、管台とセーフエンド部の段差を無くするため、金属製の刃を周方向に回転させ切削加工すること。

※5：超音波探傷試験（UT）

超音波を使って金属等の内部にある傷を検出する試験。

※6：工事計画認可申請書

発電所の建設工事を開始する前に機器の詳細設計内容について、国に提出する申請書。

原因調査結果、推定原因および対策は次のとおりです。

1. 原因調査結果

（1）外観目視観察

水中カメラによる外観目視観察の結果、溶接部表面に周方向の等間隔の筋状の跡が認められ、傷はいずれの深さでも複数の折れ曲がりおよび枝分かれがあることが確認するとともに、デンドライト境界^{※7}に沿ったものと推定しました。これらの特徴は、過去の1次冷却材環境下における応力腐食割れと同様であることを確認しました。

なお、傷の深さは最大で約20.3mmと評価し、傷の深さ調査後に確実に傷の除去を行うための研削を実施した結果、研削部分の形状は、周方向の幅約102mm、軸方向の幅約74mmの半球状で、当該部分の板厚は約53.6mmとなりました。

（2）製造・運転履歴調査

大飯発電所3号機の原子炉容器は、昭和62年5月から平成元年12月にかけて製作されていますが、当該管台の製作手順に特異性は認められず、記録確認および聞き取り結果から、溶接の手直しはなかったと考えられました。また、工場において原子炉容器管台とセーフエンド部を600系ニッケル基合金で溶接した後、溶接で生じた内面の段差を除去するため、金属製の刃を周方向に回転させて切削する機械加工を行うとともに、加工後、溶接部について浸透探傷試験（PT）、放射線透過試験（RT）、超音波探傷試験（UT）を行い、異常のないことを確認していました。

加えて、運転時の1次冷却材温度・圧力に異常はなく、水質も基準値内に管理されていることを確認しました。

（3）表面加工状態確認試験（実物大の模型試験）

機械加工による影響を確認するため、ステンレス配管に600系ニッケル基合金を溶接し、内面を機械加工した実物大の試験体を製作して目視点検したところ、機械加工後の表面に、当該管台と同様、等間隔の機械加工跡を確認するとともに、

1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある約300MPaを超える引張残留応力を確認しました。

(4) 文献調査

過去に発生した管台溶接部の損傷は、製作過程における溶接の手直しもしくは機械加工による高い引張残留応力によって、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定されていました。

2. 推定原因

原子炉容器製造時、600系ニッケル基合金溶接部に機械加工を行ったこと、並びに溶接時の残留応力により、内表面に高い引張残留応力が生じ、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生し、運転時の応力等により、割れが進展したものと推定しました。

3. 対 策

- (1) 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに対する予防保全対策として、Aループ出口管台溶接部については、研削部を含めた管台溶接部内表面に対して、水中での施工が可能なウォータージェットピーニング工事を実施します。Aループ出口管台溶接部以外の出入口管台溶接部については、既にウォータージェットピーニング工事を実施しています。
- (2) なお、当該溶接部については、耐食性に優れた690系ニッケル基合金を用いた肉盛溶接補修の具体的工法等を検討し、次回定検時に実施することとしています。

大飯発電所3号機は、当該部のウォータージェットピーニング工事を実施後、当該部の健全性を確認するため1次冷却材系統の耐圧漏えい検査^{※8}等を行い、11月上旬に原子炉を起動する予定です。

※7：デンドライト境界

溶接部では、熔融した金属が固まる際にできる柱状の結晶（デンドライト結晶）ができ、その結晶組織の境界のことをデンドライト境界という。

※8：1次冷却材系統の耐圧漏えい検査

1次冷却材系統の圧力を昇圧した後、当該部の目視点検を行い、変形等の異常がないことを確認する検査。

以 上

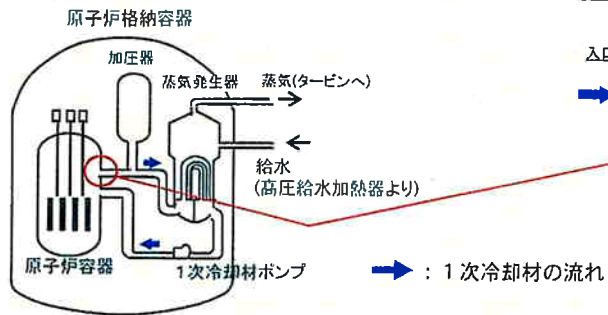
(経済産業省によるINESの暫定評価)

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

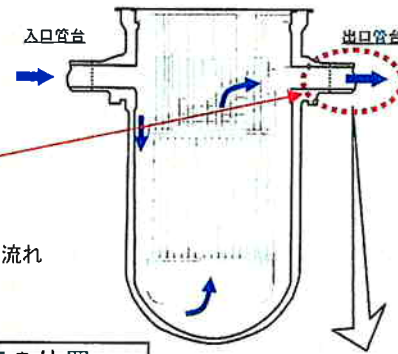
INES：国際原子力事象評価尺度

大飯発電所3号機 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

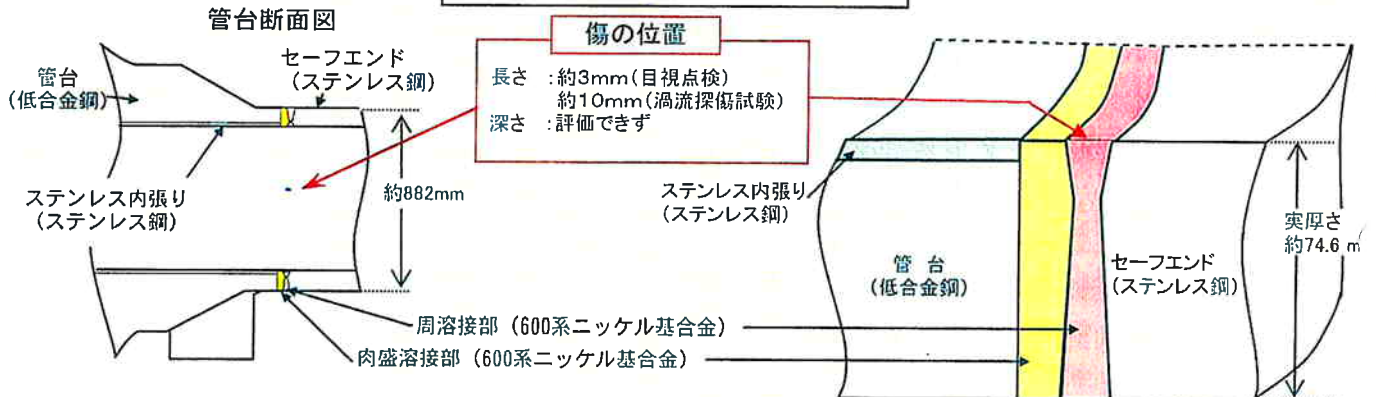
系統概略図



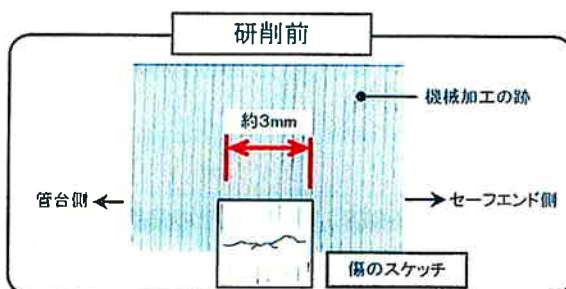
原子炉容器断面概要図



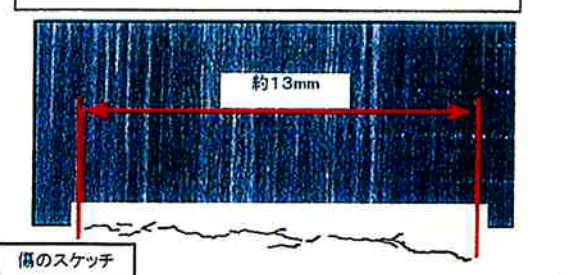
Aループ出口管台の傷の位置



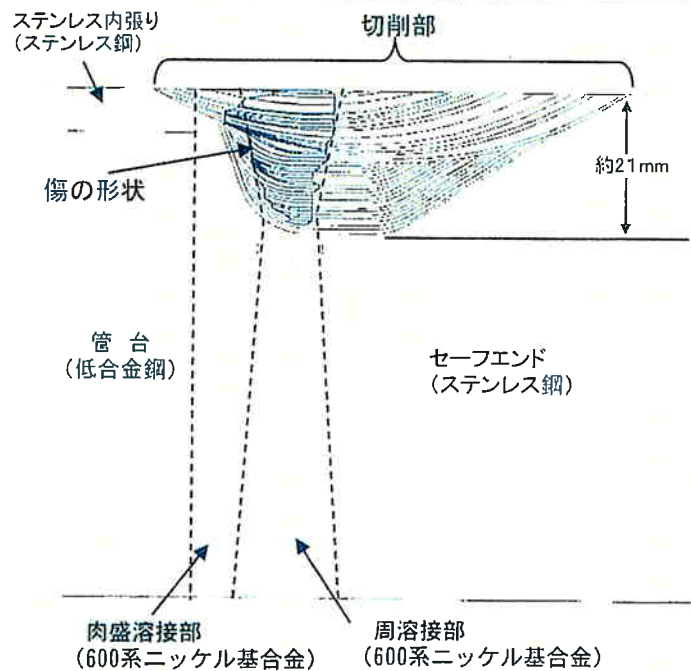
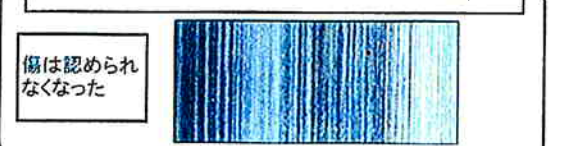
研削結果



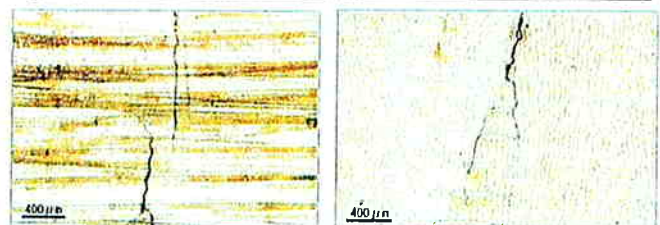
深さ約3.4mm (板厚71.2mm)の研削後



深さ約20.3mm (板厚54.3mm)の研削後



[参考]高浜2号機の蒸気発生器管台溶接部の傷



機械加工による影響調査

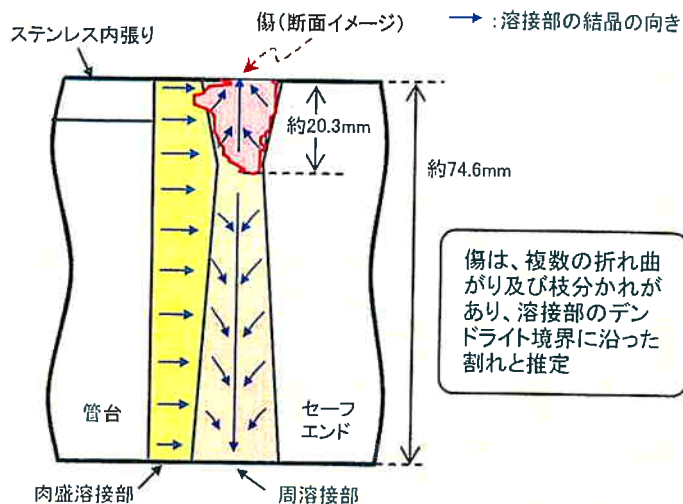
機械加工の再現試験



1mm

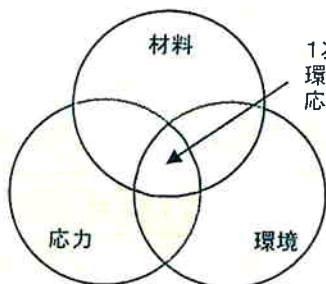
- 機械加工後の表面は、実機の水中カメラによる外観目視観察結果と同様の様相
- 機械加工後の表面から1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある引張残留応力を確認

傷形状イメージ図



傷は、複数の折れ曲がり及び枝分かれがあり、溶接部のデンドライト境界に沿った割れと推定

推定原因



1次冷却材中の環境下における
応力腐食割れ

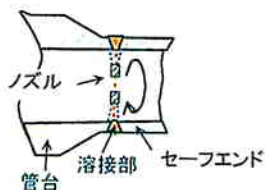
- ・環境: 高温の1次冷却材水質環境
- ・材料: 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金
- ・応力: 溶接および機械加工による引張残留応力

三因子が重畳し、応力腐食割れが発生したものと推定

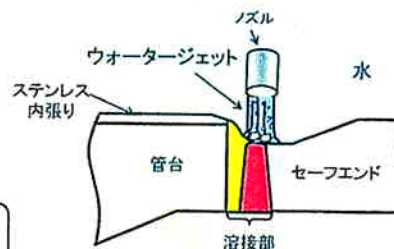
対 策

《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

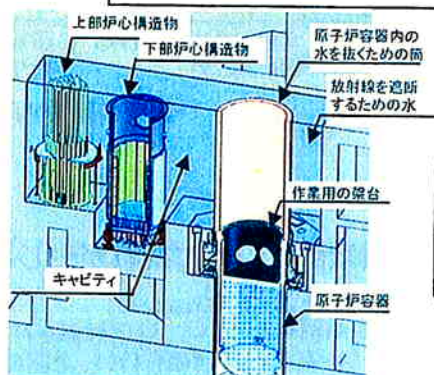
ステンレス内張り



○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

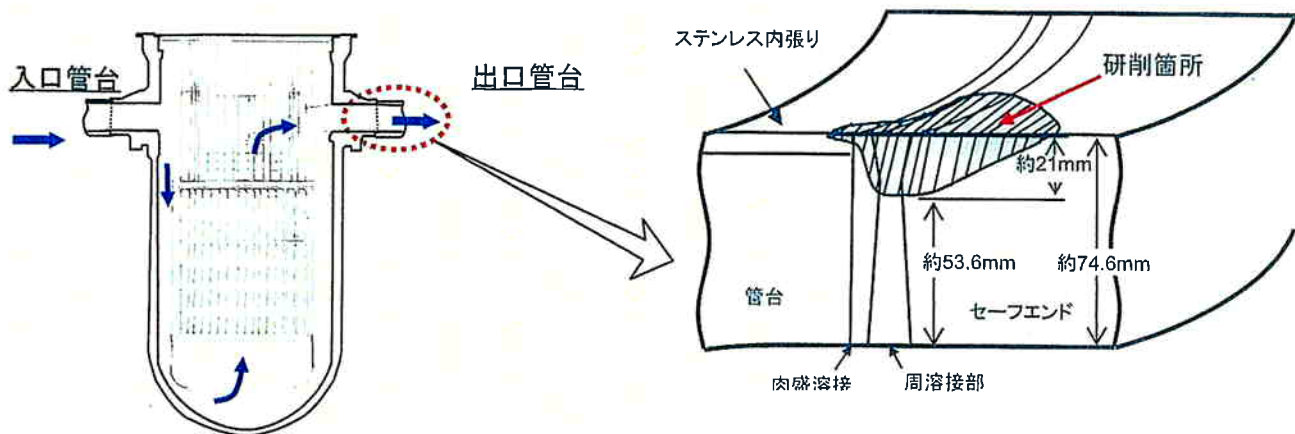
肉盛溶接工法イメージ図



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

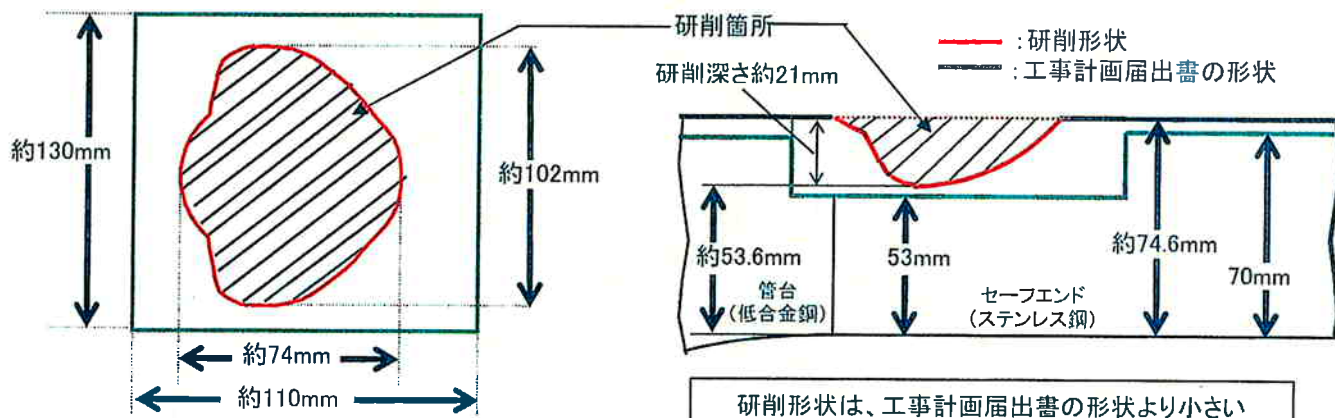
原子炉容器

→ : 1次冷却材の流れ



【上から見た研削形状】

【横から見た研削形状】



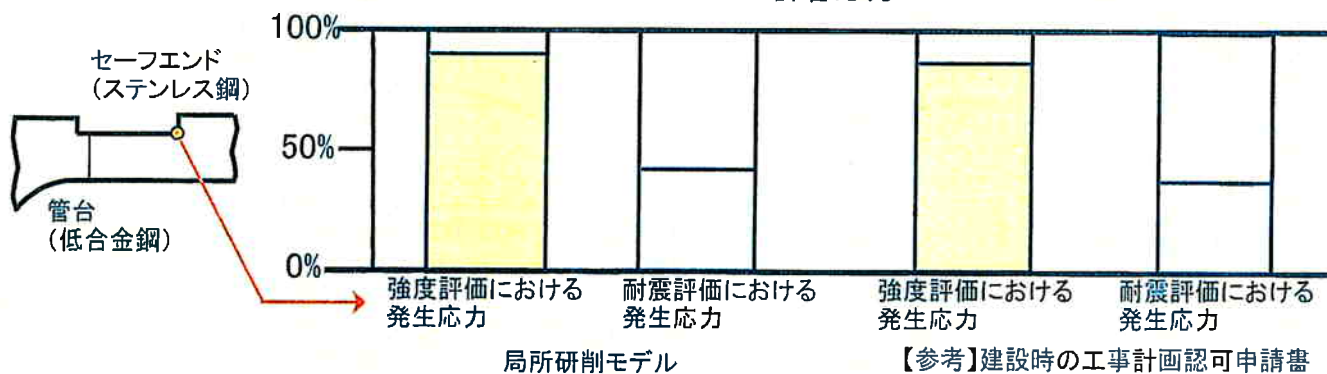
研削形状は、工事計画届出書の形状より小さい

工事計画届出書の評価内容

○局所研削モデル（箱型形状）を用いて以下の評価を実施

- ・強度評価：設計・建設規格に基づき、管台部の強度評価（通常運転時、事故時の圧力及び熱等によるもの）を行い、国の技術基準に適合していることを確認。
- ・耐震評価：耐震設計技術指針に基づき、管台部の耐震評価を行い、国の技術基準に適合していることを確認。

許容応力



【参考】建設時の工事計画認可申請書

○その他

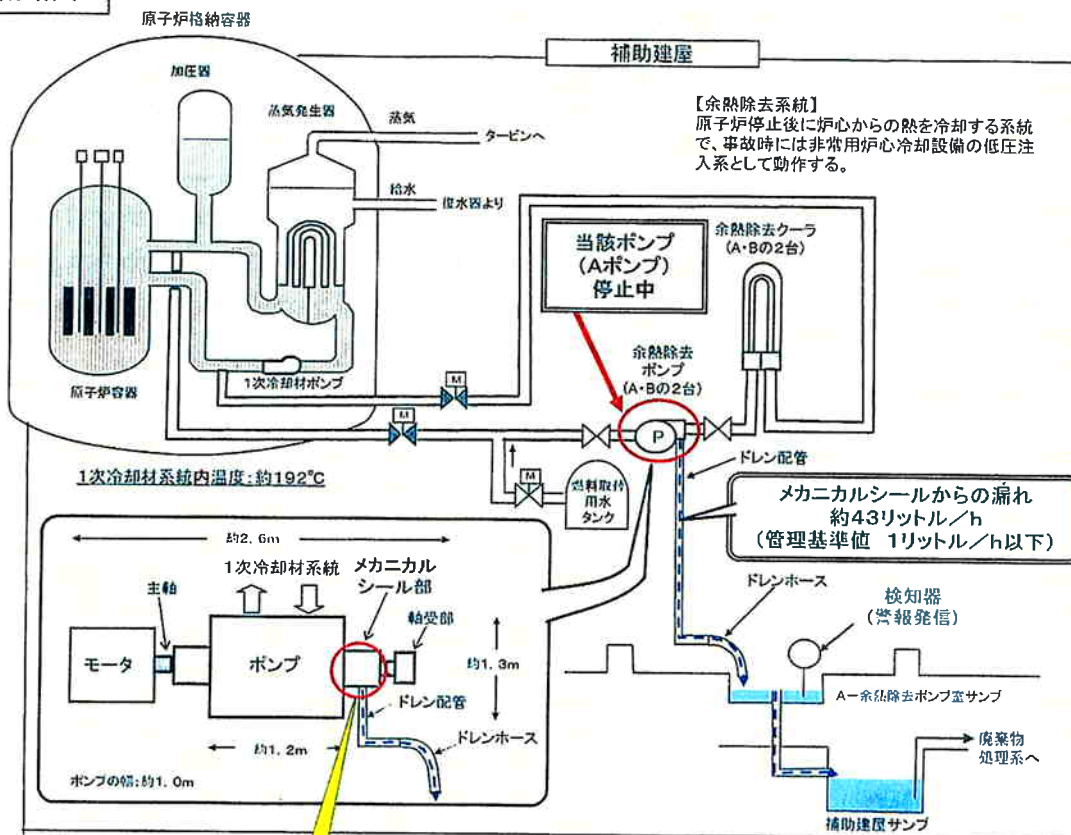
窪みが残存して当該部で流れに乱れが生じることによる侵食等の可能性についても評価を行い、発生しないことを確認。

注)建設時の工事計画認可申請書について、強度評価を行った上で、幅約110mmの部分のみ板厚64mmとする形状に変更した後、再度強度評価を行い、上記の形状に変更した。

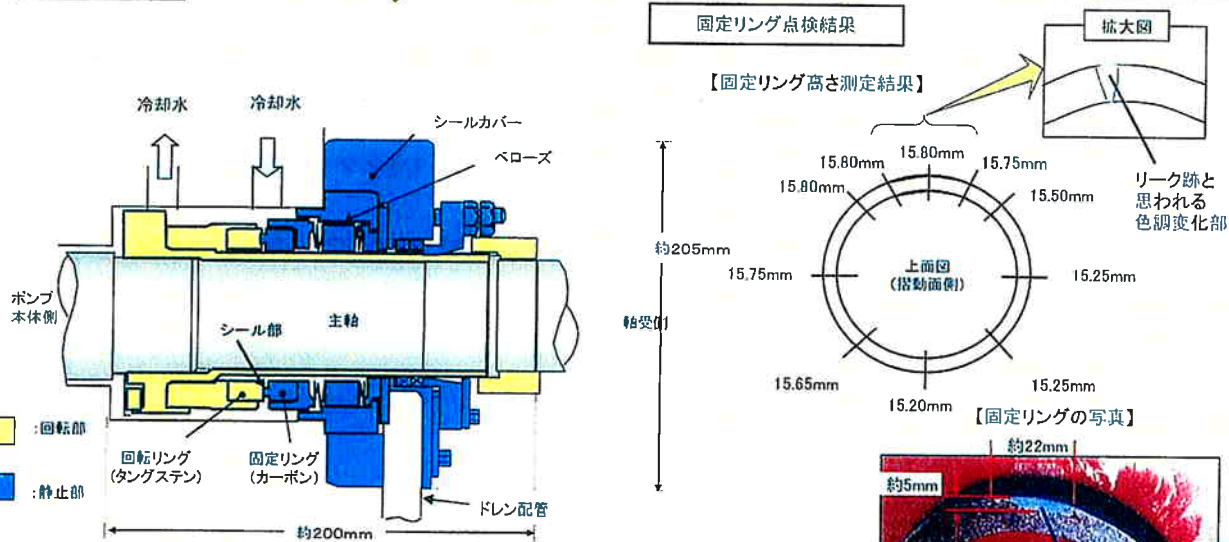
(２) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	美浜発電所 2 号機	発 生 日	第 2 4 回定期検査中 (平成 2 0 年 7 月 2 1 日)
件 名	A 余熱除去ポンプ軸封部の不調について (添付図 2)		
事象概要 および 対 策 等	原子炉起動準備中の 7 月 2 1 日 1 1 時 2 9 分、A 余熱除去ポンプ室のサンプ（水溜め）水位の上昇を示す警報が発信しました。直ちに現場を確認したところ、停止中の A 余熱除去ポンプ軸封部（メカニカルシール）から、配管を介してサンプに回収されている軸封水の量が、運転時の管理基準値※を超えて漏れ出ていることが確認されました。 当該ポンプの軸封部は、軸に固定されている回転リング（タングステン製）に対して、固定リング（カーボン製）をその背面からベローズ（蛇腹状のバネ）で押さえつけることで止水（シール）する構造となっています。この軸封部を分解点検したところ、回転リングと接触している固定リング表面の摩耗量が円周上で均一ではなく、また、ベローズで押されている固定リング背面の一部で、水平面が確保されていない部分があり、この部分で表面側の摩耗量が小さく、かつ漏えいの痕跡も認められました。 これらのことから、回転リングに対して固定リングの押しつける力が全周にわたって均一でなかったことから、ポンプ運転時において固定リング表面の摩耗量に差が生じる状態となり、ポンプ停止後の温度変化等の影響で、押しつけ力の弱いところで漏えいに至ったものと推定されました。 対策として、ベローズの押しつけ力が均一になるよう、固定リング背面の水平面が全周にわたって確保されていることを確認した新しい軸封部に取り替えました。 今後は、回転・固定リングタイプの軸封部を取り替える際には、固定リング背面が全周にわたって水平であることを確認します。 ※：管理基準値は 1 リットル/時以下であり、今回の漏えいは約 4 3 リットル/時程度であった。 [平成 2 0 年 7 月 2 5 日 お知らせ済み]		

系統概略図

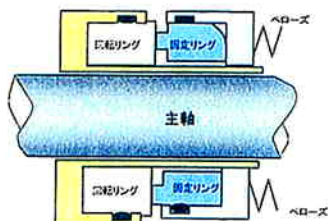


点検結果



推定原因

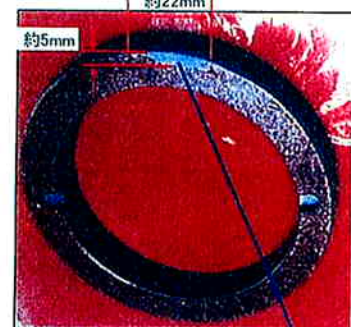
摩耗量「小」 → 押さえ力「小」 → 漏えいに至る



摩耗量「大」 → 押さえ力が強い

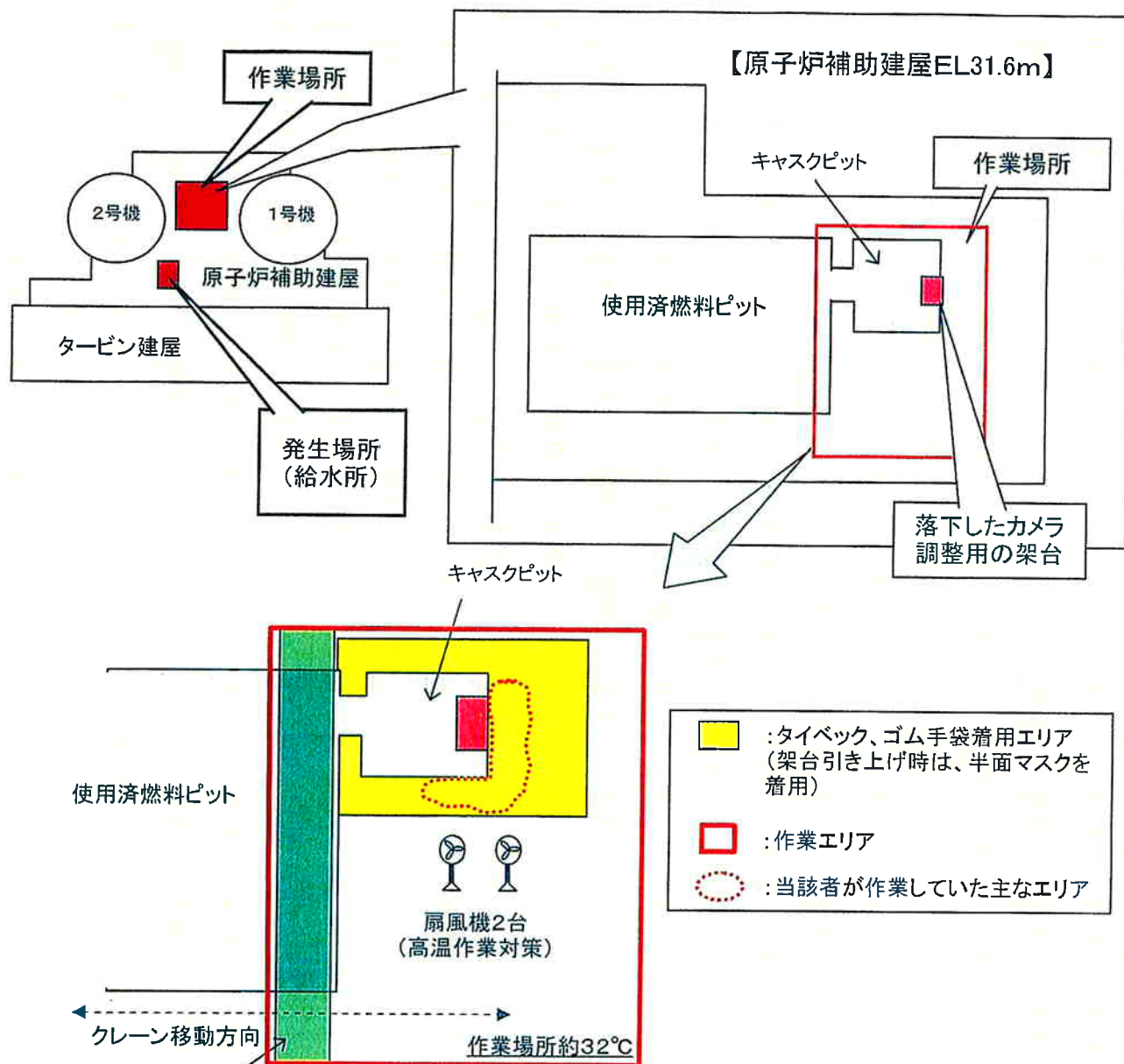
対策

ベローズの押しつけ力が均一になるよう、固定リング背面の水平面が全周にわたって確保されていることを確認した新しい軸封部に取り替えた。
今後は、回転・固定リングタイプの軸封部を取り替えた際には、固定リング背面が全周にわたって水平であることを確認する。



発電所名	大飯発電所１号機	発 生 日	第２２回定期検査中 (平成２０年７月２３日)
件 名	管理区域内での作業員の体調不良について (添付図３)		
事象概要 および 対 策 等	７月１６日、１、２号機使用済燃料ピットエリア（管理区域内）にて、燃料外観検査用水中カメラの片付け作業を行っていた作業員が、水中カメラの調整用の架台の取り外し作業中、当該架台とともに落水しました。 この作業員は、負傷はなく、内部被ばくおよび外部被ばくもないことを確認しました。 その後、７月２３日、落下した架台等の引き上げ作業をしていた別の作業員が、作業終了後、給水所にて休憩していたところ、１９時１０分頃、気分が悪くなりました。 このため、当該作業員を管理区域から退出させ、産業医による診察と点滴による治療を受けた後、町内の病院へ搬送しました。 診断の結果、熱中症の疑いがあると診断され、経過観察のため入院し、その後、２６日に退院しましたが、８月１日の再診察までは自宅療養とし就労を禁ずるとの診断であったことから休業４日以上となりました。 本事象を踏まえ、作業環境に合わせた熱中症対策としてクールベストの充実、作業前および作業中のこまめな水分や塩分補給の重要性などを全協力会社に周知しました。 [平成２０年７月３１日 お知らせ済み]		

【発生場所および作業場所】



使用済燃料ピットクレーン

【作業時の服装】

半面マスク
(内部被ばくの防止)

ゴム手袋
(身体汚染の防止)



タイベック
(身体汚染の防止)

【作業時間】

7月23日 9:20~19:00
実作業時間: 約6時間
休憩時間 : 約3.5時間(3回)

大飯発電所４号機の定期検査状況について (燃料集合体漏えい検査結果)

平成２０年１０月２３日
関西電力株式会社

大飯発電所４号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力１１８万キロワット、定格熱出力３４２万３千キロワット）は、定格熱出力一定運転中の８月１９日、１次冷却材中のよう素（ $I-131$ ）濃度の上昇（約 0.6 Bq/cm^3 から約 1.1 Bq/cm^3 ）が認められたことから、燃料集合体に漏えい※１が発生した疑いがあるものと判断しました。

このため、１次冷却材中の放射能濃度の監視を強化した上で運転を継続していましたが、放射性廃棄物の放出抑制の観点から定期検査開始時期を約２日間前倒しして、９月９日から第１２回定期検査を開始しました。

※１：燃料ペレットを収納している燃料被覆管から漏えいがあると、燃料被覆管内のよう素が１次冷却材中に放出される。このため、１次冷却材中のよう素濃度の変化から、漏えいの有無を判断している。

[平成２０年８月１９日、９月９日 お知らせ済み]

[燃料集合体漏えい検査の結果]

- ・原子炉に装荷されていた燃料集合体全数（１９３体）について、漏えい燃料集合体を特定するため SHIPPING 検査※２を行った結果、燃料集合体１体に放射性物質の漏えいが認められました。
- ・漏えいが認められた燃料集合体の設計燃焼度は $55,000\text{ MWd/t}$ で、取り出し時の燃焼度は $37,562\text{ MWd/t}$ （２サイクル使用）でした。
- ・漏えいが認められた燃料集合体１体について、水中カメラによる外観目視点検を実施したところ、異常は認められませんでした。
- ・漏えい燃料棒の特定のため、超音波による調査※３を実施した結果、燃料棒１本に漏えいが認められました。当該燃料棒１本について、ファイバースコープを用いて外面目視点検を実施したところ、傷等の異常は認められませんでした。

※２：燃料集合体から漏れ出てくる気体および液体に含まれる核分裂生成物（キセノン-133、よう素-131等）の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する。

※３：漏えいが発生した燃料棒の内部に漏えい孔から浸入した水が存在すると、健全な燃料棒に比べて、燃料被覆管を伝播する際の超音波が減衰する。これを検出することで、漏えい燃料棒を特定する。

これらの検査結果から、今回の漏えいは、燃料棒に偶発的に発生した微小孔（ピンホール）によるものと推定しました。

当該燃料集合体１体は再使用しないこととし、知見拡充のため、当該燃料集合体を１年間程度、使用済燃料ピットで冷却および放射能を低減させた後、試験研究施設に搬出し、詳細な調査を実施する予定です。

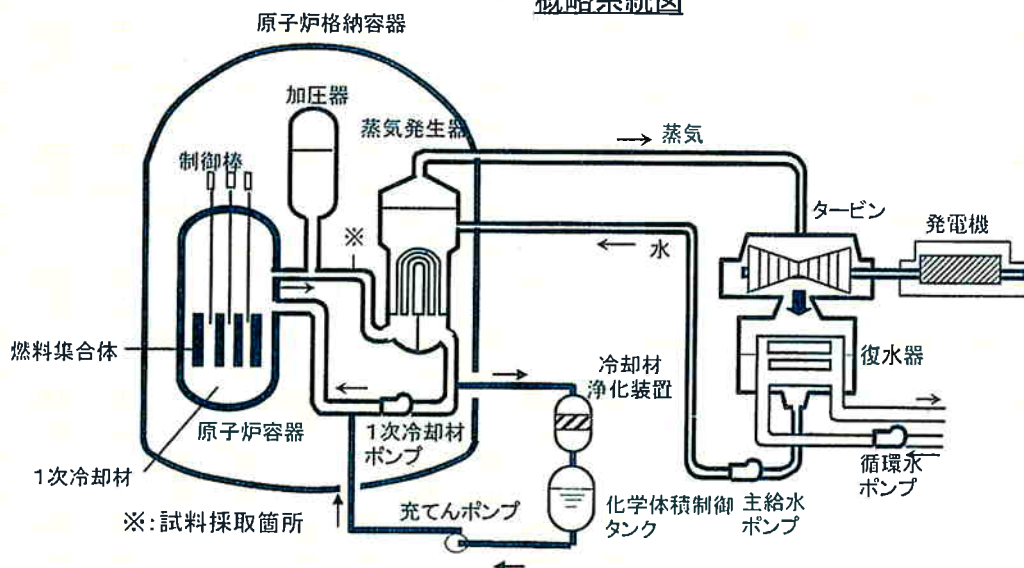
この事象による環境への放射能の影響はありませんでした。

なお、今回の燃料集合体からの漏えいにより、定期検査開始時に実施している１次系の放射能低減操作に時間を要したことから、原子炉起動時期を１１月下旬から１２月上旬に変更します。

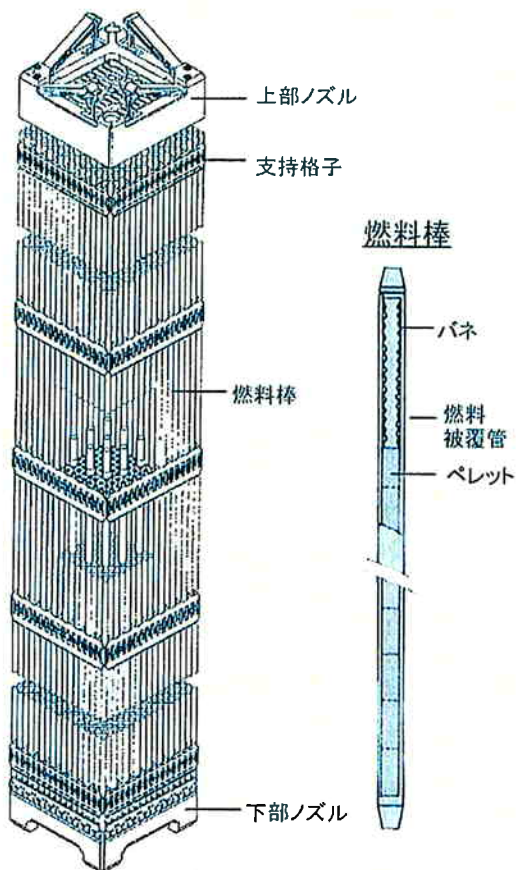
以 上

大飯発電所4号機の定期検査状況について(燃料集合体漏えい検査結果)

概略系統図

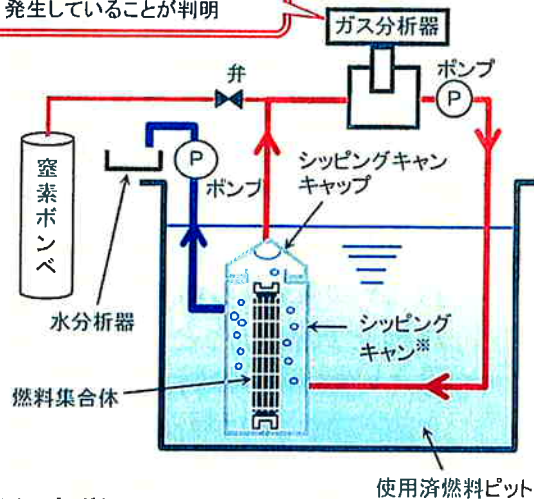


燃料集合体概略図



燃料集合体シッピング検査概要

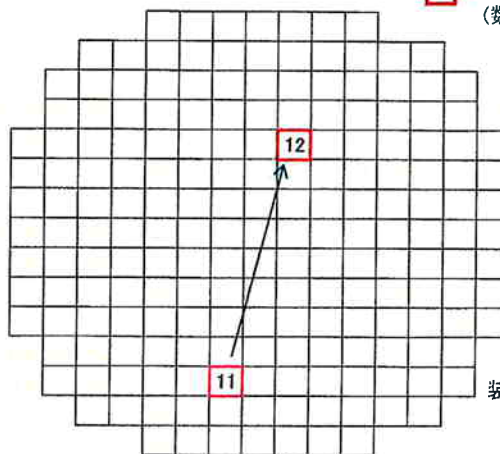
燃料集合体1体に漏えいが発生していることが判明



※: シッピングキャン
燃料集合体を使用済燃料ピット水から遮断し、燃料集合体の温度を若干上昇させ、漏えい燃料棒から核分裂生成物の放出を促すためのもの

漏えい燃料集合体が原子炉内で
装荷されていた位置

□: 漏えい燃料集合体
(数字: 運転サイクル数)



装荷体数: 193体
(内訳)
・55,000MWd/t: 164体
・48,000MWd/t: 29体

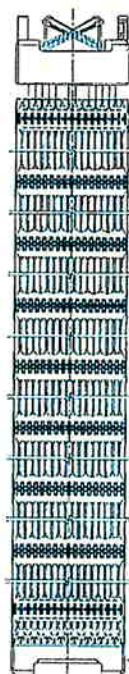
【燃料集合体の仕様】(55,000MWd/tの場合)

燃料タイプ: 17×17型
全長: 約 4m
全幅: 約20cm
支持格子数: 9個
燃料被覆管材質: ジルコニウム基合金
燃料被覆管外径: 約10mm
燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
燃料棒の本数: 264本
制御棒案内管: 24本

漏えい燃料集合体および燃料棒の調査結果

○外観目視点検結果

異常は認められなかった



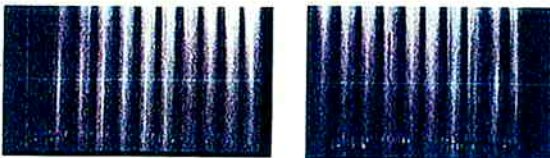
上部ノズル



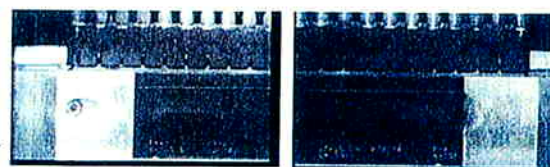
第3支持格子



燃料棒(第3～第4支持格子間)

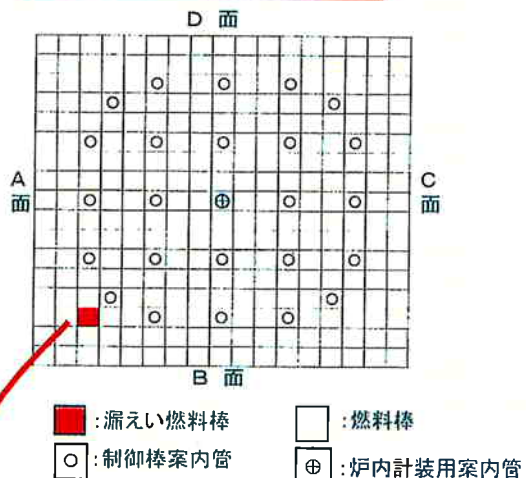


下部ノズル

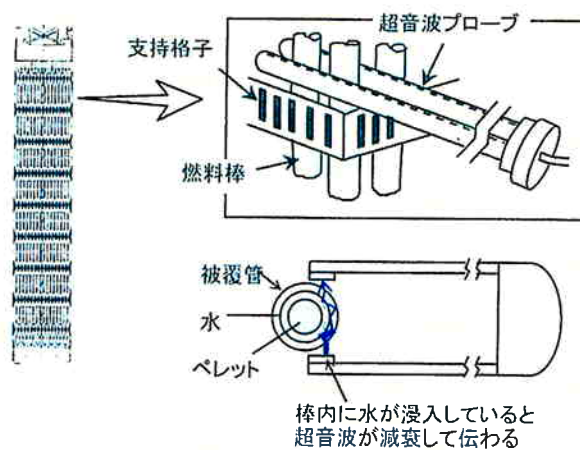


○超音波による調査結果

漏えい燃料棒1本を確認



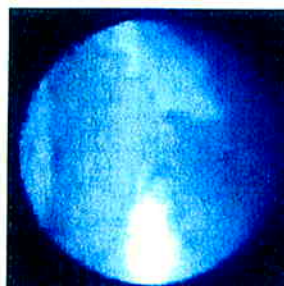
超音波による漏えい燃料棒調査の原理



○ファイバースコープ外面目視点検結果

燃料棒表面に通常見られる腐食生成物の付着がみられたが、傷や異物等は認められなかった

第3～4支持格子間の燃料棒表面(C面)



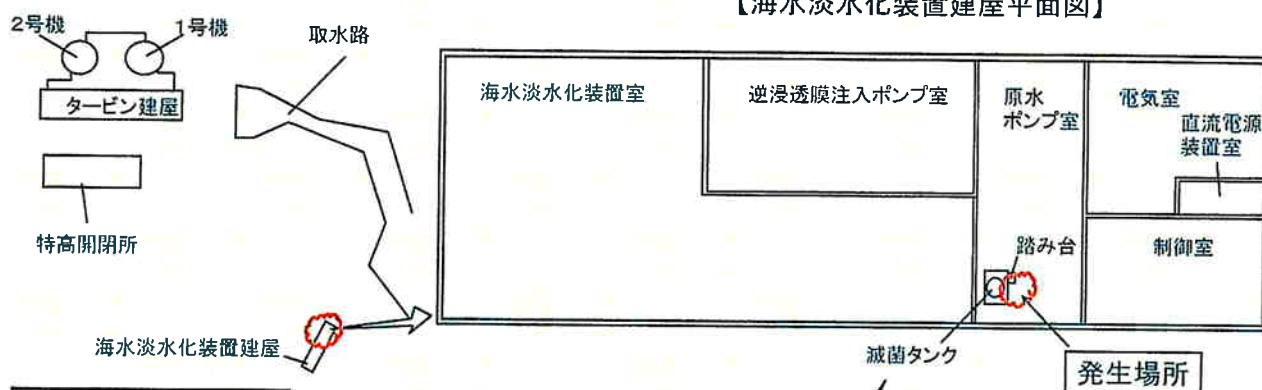
第8～9支持格子間の燃料棒表面(D面)



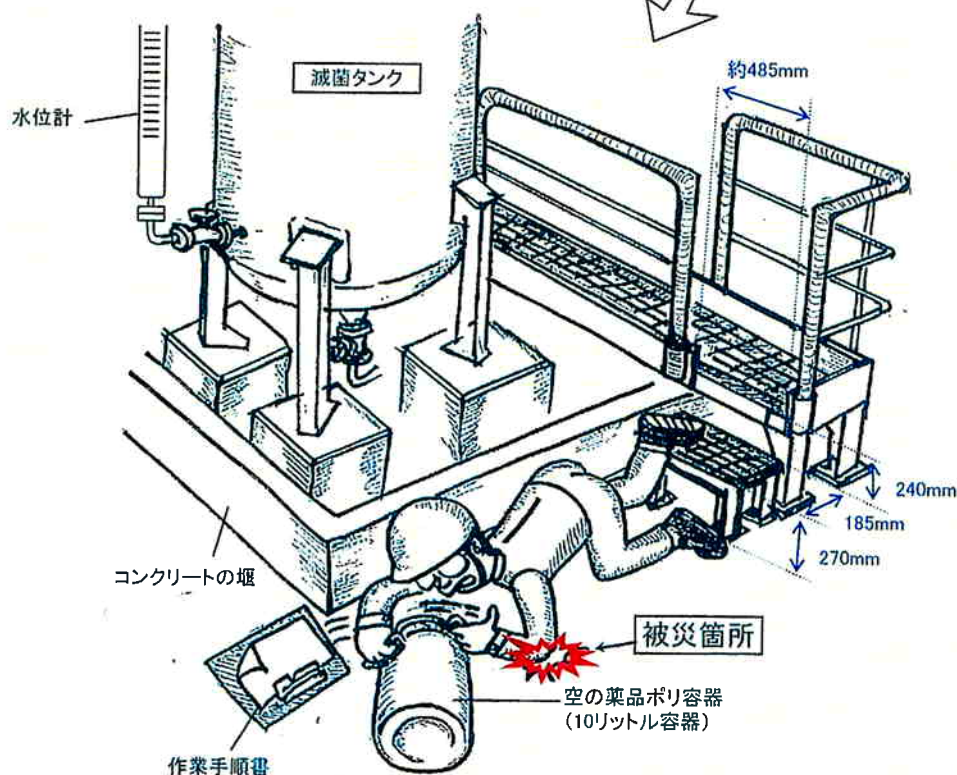
発電所名	大飯発電所 3、4 号機	発 生 日	平成 20 年 9 月 8 日
件 名	海水淡水化装置建屋内での協力会社作業員の負傷について (添付図 2)		
事象概要 および 対 策 等	9 月 8 日 9 時 45 分頃、大飯発電所 3、4 号機共用の海水淡水化装置※¹建屋において、協力会社作業員が、滅菌タンクに次亜塩素酸ソーダ※²を投入後、空のポリ容器（10 リットル容器）を右手に、作業手順書を左手に持って踏み台を降りていたところ、足元を滑らせバランスを崩して床面に転倒し、左肘を床面に打ち付け負傷しました。外傷および出血はありませんでしたが左肘に痛みがあるため、10 時 12 分に当該作業員を病院へ搬送し、診察を受けた結果、左肘負傷により 9 月中は就労できず 3 ヶ月間の加療を要する見込みと診断されました。 転倒した原因を調査した結果、踏み台を降りる際に十分な注意を払っていなかったこと、右手にもっていたポリ容器により足元が見えにくい状態であったこと、踏み台のステップ幅が十分でなく踏み外す可能性のある構造であったことがわかりました。 対策として、本事例に基づく注意喚起文書を作成し、当社社員および協力会社社員に周知し、階段等昇降時の足元の確実な確認および慣れた作業にも危険要因が潜んでいることを徹底しました。また、危険要因への感受性を高めるための危険予知活動の活性化を継続して実施します。さらに、当該踏み台のステップ幅を拡張し滑りにくい大きさにしました。なお、ステップ幅拡張完了までの間は、踏み台に目立つビニールテープを貼り付け注意喚起を行いました。 ※ 1：海水淡水化装置 発電所用水確保のため、海水から淡水（真水）を生産するための装置。（非管理区域） ※ 2：次亜塩素酸ソーダ 一般に飲料水に使われる滅菌用の薬品		

大飯発電所3、4号機 海水淡水化装置建屋内での協力会社作業員の負傷について

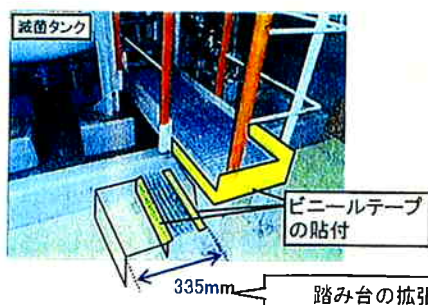
発生場所



発生状況の概要



対策



○注意喚起文書を作成し、当社社員および協力会社社員に周知し、階段等昇降時の足元の確実な確認と慣れた作業でも危険要因が潜んでいることを徹底した。

○危険予知活動の活性化を継続して実施する。

○当該踏み台のステップ幅を拡張し滑りにくい大きさにした。
なお、ステップ幅拡張完了までの間は、踏み台に目立つビニールテープを貼り付け注意喚起を行った。

高浜発電所 4 号機の定期検査状況について
（蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査における
有意な信号指示の確認結果の原因と対策について）

平成20年10月3日
関西電力株式会社

高浜発電所 4 号機（加圧水型軽水炉、定格電気出力 87 万キロワット）は、平成 20 年 8 月 23 日から第 18 回定期検査を実施していますが、3 台ある蒸気発生器（SG）の伝熱管全数^{*1}について渦流探傷検査（ECT）^{*2}を実施した結果、C-SG の伝熱管 1 本の高温側管板^{*3}部に、有意な信号指示が認められました。なお、A、B-SG の伝熱管については、有意な信号指示は認められませんでした。

今後、有意な信号指示が認められた原因について調査します。

本事象による環境への放射能の影響はありません。

〔9 月 22 日お知らせ済み〕

- * 1 既施栓管を除き A-SG で 3,247 本、B-SG で 3,249 本、C-SG で 3,262 本、合計 9,758 本。
- * 2 高周波電流を流したコイルを、伝熱管に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥に起こった渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する検査。
- * 3 蒸気発生器内の伝熱管が取り付けられている部品。伝熱管と管板で、1 次冷却材と給水（2 次側水）の圧力障壁となる。

1. 原因調査

有意な信号指示が認められた原因を調査するため、過去の検査結果との比較や、運転履歴等の調査を実施しました。

（1）過去の検査結果との比較

- ・高浜 4 号機では、第 11 回定期検査（平成 11 年）において、初めて高温側管板部で有意な信号指示が確認され、抜管調査の結果、ローラ拡管^{*4}部上端部付近に位置する伝熱管内面の軸方向に沿った割れが認められました。原因は、SG 製作時に、伝熱管を固定する管板管穴の穴径が部分的にわずかに広がったため、その後伝熱管拡管の際、管内面で局所的に引張り残留応力が生じ、この残留応力と運転時の内圧が相まって生じた応力腐食割れであると推定されました。
- ・その後、表面の応力を改善するために、第 13 回定期検査（平成 14 年）で SG 伝熱管の高温側管板部にショットピーニング^{*5}を施工しました。

- ・今回の有意な信号指示は、①高温側管板部のローラ拡張管上端部付近に発生しており、②伝熱管の軸方向に沿った内面傷を示す指示である等、第11回定期検査（平成11年）から第14回定期検査（平成15年）までに同機で応力腐食割れが発生した際に確認された信号と類似の特徴が認められました。

*4 伝熱管内部に機械式ローラを通すことで伝熱管を押し広げて、伝熱管と管板を接合させる工程。

*5 溶接部に小さな金属球（ショット）を高速で叩き付けることにより、伝熱管内の引張り残留応力を圧縮応力に改善する工事。

（2）ショットピーニングの効果

- ・伝熱管内面でのショットピーニングでは、内表面から一定の深さ（約0.2mm）までは引張り応力が圧縮応力となりますが、これより深い部分では、効果が小さいことが知られています。
- ・このため、ショットピーニング施工時にECTの検出限界*6未満（約0.5mm）の傷が既に発生していた場合、時間の経過とともに傷が進展する可能性があり、これまでも、ショットピーニング後の第14回定期検査で、有意な信号指示が確認されています。

*6 ECTの検出限界は、ショットピーニング施工時の第13回定期検査（平成14年）ではDF-ECT（旧方式）で約0.5mmですが、第15回定期検査（平成16年）以降は、インテリジェントECT（新方式）採用により約0.46mmとなっています。

（3）運転履歴調査

運転開始以降、今定期検査開始に至るまでの期間について、1次系の主要な運転パラメータである温度、圧力、水質について調査を行った結果、過大な応力を発生させる温度、圧力の変化はなく、水質も基準値の範囲内で安定していたことが確認されました。

（4）その他調査

製造履歴調査、材料調査等の調査を行い、いずれも問題がないことを確認しました。

2. 推定原因

有意な信号指示が認められた原因は、過去の調査結果等から、SG製作時に当該伝熱管を管板部で拡張する際、管内面で引張残留応力が発生し、これが運転時の内圧と相まって、伝熱管内面から応力腐食割れが発生し、これが徐々に進展し、今回検出されたものと推定されました。

3. 対策

有意な信号指示の認められた伝熱管1本については、高温側および低温側管板部で閉止栓（機械式栓）を施工し、使用しないこととします。

以上

（経済産業省によるINESの暫定評価）

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

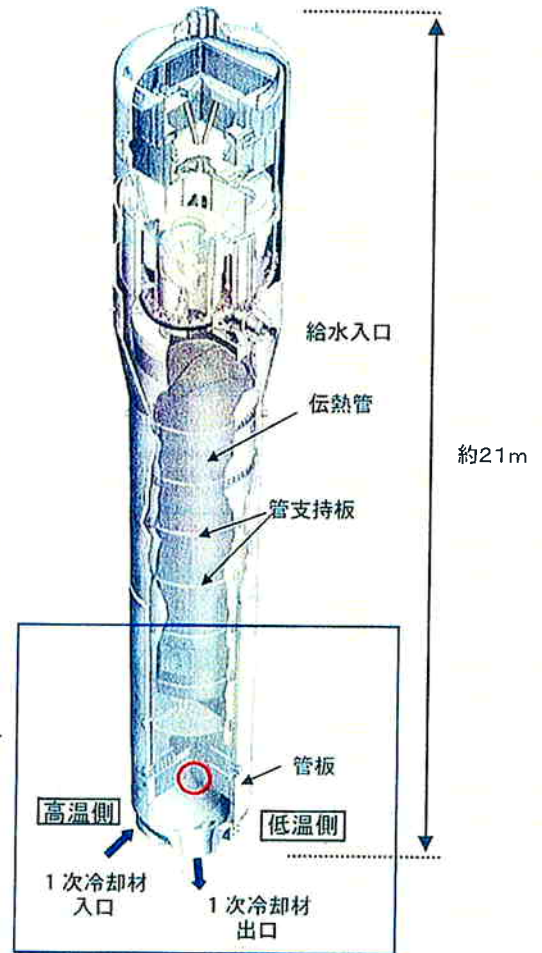
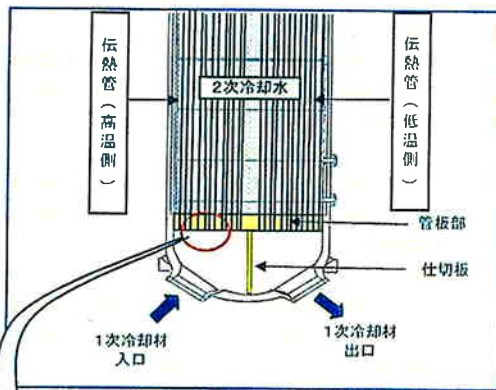
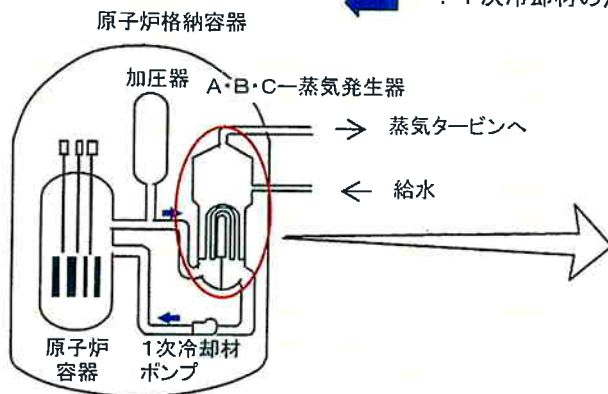
高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査における 有意な信号指示の確認結果の原因と対策について

発生箇所

C-蒸気発生器

蒸気出口

系統概略図

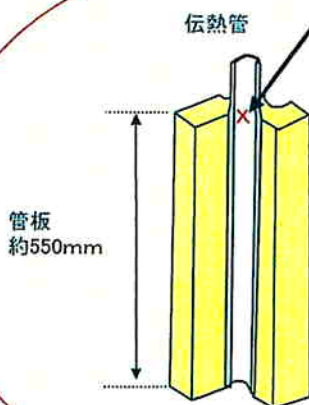


C-蒸気発生器(高温側)上部より見た伝熱管位置を示す図

信号指示箇所

- : 有意な信号指示管 (1本)
- : 既施栓管 (119本)
- : 既施栓管(抜管※) (1本)

有意な 信号指示管



管板部拡大図

伝熱管外径 : 約22.2mm
 " 厚さ : 約1.3mm
 " 材質 : インコネルTT600
 (特殊熱処理材)

※(お詫びと訂正)

平成20年9月22日の発表において、下記の誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

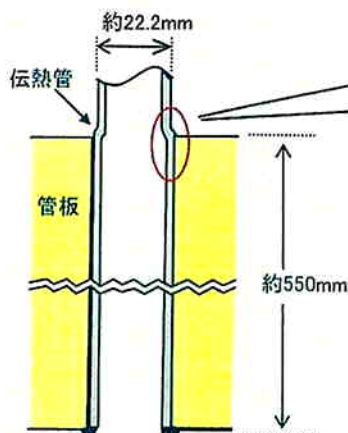
(誤) ■: 既施栓管(健全管抜管) (1本)

(正) ■: 既施栓管(抜管) (1本)

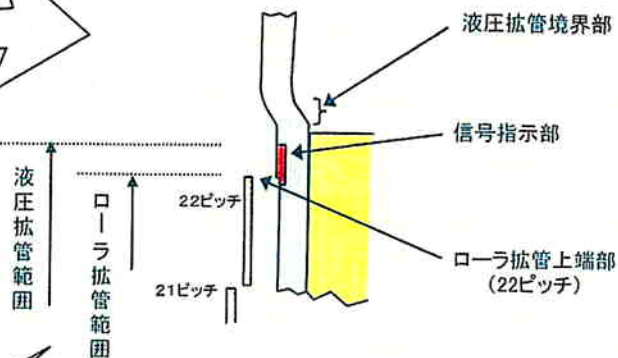
平成11年の第11回定期検査時に、ECTの結果、高温側管板部で有意な欠陥信号があった伝熱管について、原因調査の一環として抜管したものです。

渦流探傷検査(ECT)結果

信号指示の位置

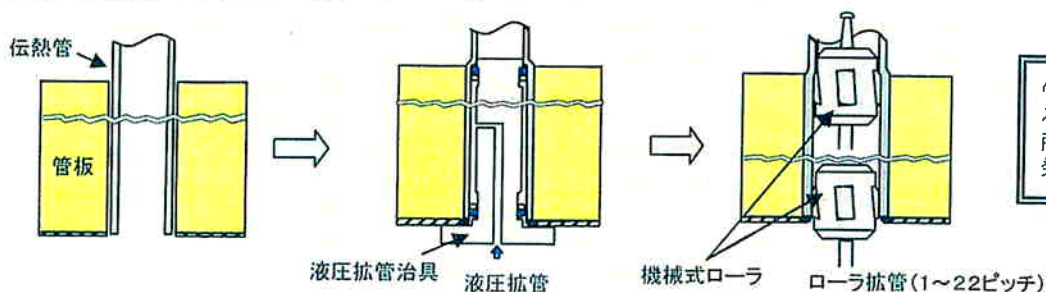


ローラ拡管部(イメージ)



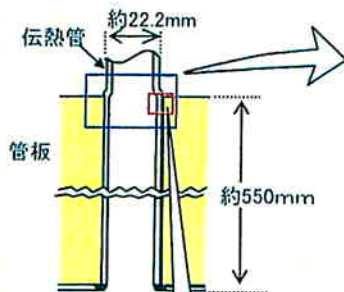
信号指示位置は22ピッチローラ拡管上部部であった

管板部の伝熱管拡管方法

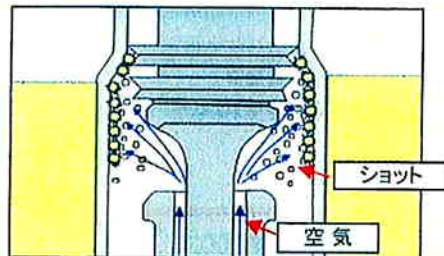


管板部でローラ拡管する際、伝熱管内面で局部的に引張残留応力が発生

ショットピーニングの効果と渦流探傷検査(ECT)の検出範囲



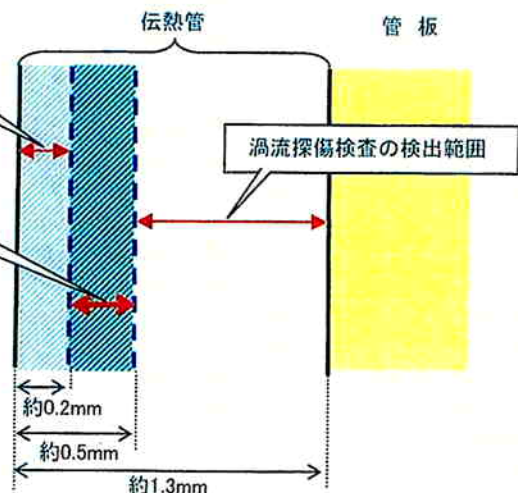
ショットピーニングの実施概要



空気によって、ショット(直径約0.2mmの金属球)を打ち付け、伝熱管表面近傍の引張残留応力を圧縮応力に変化させる

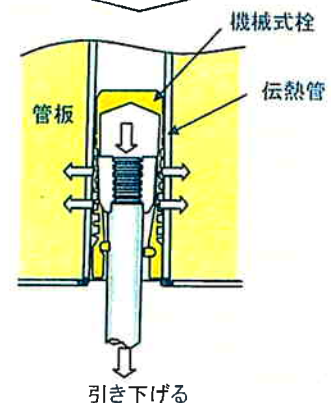
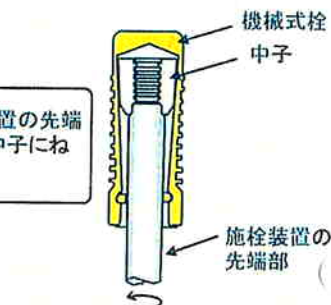
ショットピーニングの応力低減範囲

この範囲に、応力腐食割れの先端があった場合、割れが進展し、顕在化する可能性がある



対策(施栓方法)

施栓装置の先端部を、中子にねじ込む



機械式栓を伝熱管に挿入し、施栓装置の先端部を引き下げることにより、中子も同時に引き下がり、機械式栓を押し広げる

【参考】

高浜発電所4号機のSG伝熱管の施栓履歴

	A-SG	B-SG	C-SG	合 計	施栓理由
伝熱管の設備本数	3, 382	3, 382	3, 382	10, 146	-----
第4回定検 H2.2~2.5	7	9	5	21	振止め金具部の摩耗 減肉
第9回定検 H8.9~8.11	10	0	0	10	管支持板洗浄装置の 接触痕（予防保全）
第11回定検 H11.4~11.7	0	0	4	4	高温側拡管板部の応 力腐食割れ
第12回定検 H12.9~12.11	4	1	6	11	高温側拡管板部の応 力腐食割れ
第13回定検 H14.1~14.3	1	0	0	1	高温側拡管板部の応 力腐食割れ
第14回定検 H15.4~15.6	1	1	0	2	高温側拡管板部の応 力腐食割れ
第15回定検 H16.8~16.10	112	122	105	339	旧振止め金具部の摩 耗減肉検出
第18回定検 (今回施栓予定)	0	0	1	1	高温側拡管板部の応 力腐食割れ
累積施栓本数 [施栓率]	135 [4.0%]	133 [3.9%]	121 [3.6%]	389 [3.8%]	-----

[安全解析施栓率*：10%]

* プラントの安全性に問題ないことが確認されている伝熱管の施栓率。

高浜発電所 4 号機の定期検査状況について (A、B、C－蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

平成 20 年 10 月 10 日
関西電力株式会社

高浜発電所 4 号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力 87 万キロワット）は、平成 20 年 8 月 23 日から第 18 回定期検査中であり、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、3 台ある蒸気発生器（SG）の 1 次冷却材出入口管台溶接部（計 6 箇所）について予防保全工事※¹を実施する計画でした。

この工事のため、事前に入口管台溶接部内面について渦流探傷試験（ECT）※²を行ったところ、A－SG 入口管台溶接部で 7 箇所、B－SG 入口管台溶接部で 8 箇所、C－SG 入口管台溶接部で 21 箇所の有意な信号指示（最大長さ A－SG：約 14 mm、B－SG：約 30 mm、C－SG：約 33 mm）を確認しました。

SG 入口管台溶接部において ECT による有意な信号指示が認められた 36 箇所について、傷の深さを確認するため超音波探傷試験（UT）※³を実施した結果、A－SG で最大深さ約 12 mm、B－SG で最大深さ約 13 mm、C－SG で最大深さ約 16 mm の傷と評価しました。

この結果、A から C の各 SG で、当該部の板厚が電気事業法に基づく工事計画書に記載の板厚※⁴を下回る※⁵が分かりました。

本事象による環境への放射能の影響はありません。

[平成 20 年 10 月 3 日 お知らせ済み]

※ 1：予防保全工事

出口管台溶接部内面（3 箇所）については、ショットピーニング工事（小さな金属球を高速で叩き付けることにより、溶接部表面の引張残留応力を圧縮応力に改善する工事）を、入口管台溶接部内面（3 箇所）については、内表面を一律に切削し、耐食性に優れた 690 系ニッケル基合金で肉盛溶接する工事を計画している。

※ 2：渦流探傷試験（ECT）

材料表面に渦電流を流して、材料に発生する電磁誘導の変化から検査対象の傷を検出する方法。

※ 3：超音波探傷試験（UT）

構造物に入射した超音波が欠陥に当たって跳ね返ってくる反響を観測することにより、欠陥の形態、形状、寸法を測定する方法。

※ 4：工事計画書記載値

予防保全対策工事（690 系ニッケル基合金を用いた肉盛溶接補修）に伴い、工事計画書記載の板厚を 75.26 mm から 66.5 mm に変更した。（8 月 18 日に当社が変更手続きを実施）

※ 5：各 SG 入口管台の元の板厚は、A－SG が約 76.6 mm、B－SG が約 77.5 mm、C－SG が約 76.8 mm。

傷が発生した原因を調査するため、A、B、C－SGの入口管台溶接部内表面における傷部の、外観目視観察および型取観察等を行った結果は、以下のとおりです。

1. 原因調査結果

(1) 外観目視観察および型取観察

カメラによる外観目視観察や型取観察の結果、傷の周辺は全体的にグラインダ施工※6やバフ施工※7による仕上げ跡が認められ、傷には複数の折れ曲がりおよび枝分れがあることが確認されました。

傷の特徴は、過去600系ニッケル基合金溶接部で認められている1次冷却材環境下における応力腐食割れと同様であることを確認しました。

※6：グラインダ施工

溶接部表面等に対して、電動工具等に取り付けた円形状の砥石で研削または研磨を行うこと。

※7：バフ施工

溶接部表面等に対して、電動工具等に取り付けた砥粒を付着させた布ペーパーを何枚も円形状に組み合わせたもの（バフ）で、グラインダ施工より細かな研磨を行うこと。

(2) 製造履歴調査

当該SGは、プラント建設時に設置されたものであり、昭和55年10月から昭和58年9月の間に工場で製作されていました。

当時の製造方法や検査記録を確認するとともに、関係者への聞き取り調査を行った結果、SGの製作手順は日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機のSGと同様に、SG管台とセーフエンドを溶接した後、溶接で生じた溶接部表面の凹凸を除去するため、グラインダ施工（研削）およびバフ施工が行われていました。

また、手直し溶接等を実施した場合は、溶接部表面を弾力性のある砥石※8によりグラインダ施工（研磨）した可能性があることを確認しました。

※8：弾力性のある砥石

弾力性を持たせた砥石で、グラインダ施工（研削）と比較して滑らかな研磨加工ができる。

(3) 文献調査

600系ニッケル基合金溶接部については、加圧水型軽水炉（PWR）の1次冷却材環境下で、約300MPa以上の引張応力が残留していた場合、応力腐食割れが発生する可能性があるとして推定されており、国内外で、今回と類似した部位に損傷が確認されています。

(4) 表面加工状態確認試験結果との比較による表面残留応力評価

当該SG入口管台は、日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機と同様の製作手順であることから、敦賀発電所2号機の原因究明において実施された表面加工状態確認試験の結果と、今回の型取観察結果を比較しました。

その結果、傷の周辺の表面状態は、グラインダ施工（研削）後のバフ施工でグラインダ施工（研削）が残った部位や、グラインダ施工（研磨）した部位と同様であることを確認しました。

これらの部位では、内表面に、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある約300MPaを超える引張残留応力が発生することが確認されています。

(5) 調査結果のまとめ

外観目視観察や型取観察結果等から、傷は複数の折れ曲がりおよび枝分れが認められ、過去の1次冷却材環境下における応力腐食割れ事象と同じ様相を呈しており、溶接部内表面はグラインダ施工（研削）後にバフ施工が行われ、手直し溶接部等ではグラインダ施工（研磨）が行われたものと推定されました。

また、敦賀発電所2号機の表面加工状態確認試験結果から、これらの部位では高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生している可能性が考えられました。

2. 推定原因

SG製作時、SG管台とセーフエンドとの溶接部内面の仕上げとして行ったグラインダ施工（研磨）した部位、またはグラインダ施工（研削）後にバフ施工した箇所でグラインダ施工（研削）の跡が残った部位の内表面に高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定されました。

また、割れは運転時の応力等により、軸方向に進展したものと推定されました。

3. 対策

SG管台溶接部の内表面を一様に切削後、残存する深い割れを部分切削で除去し、600系ニッケル基合金で肉盛溶接を行った上で、溶接部内表面全周に、より耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を行います。

また、念のため、バフ施工を行い残留応力の低減を図ります。

以上

(経済産業省によるINESの暫定評価)

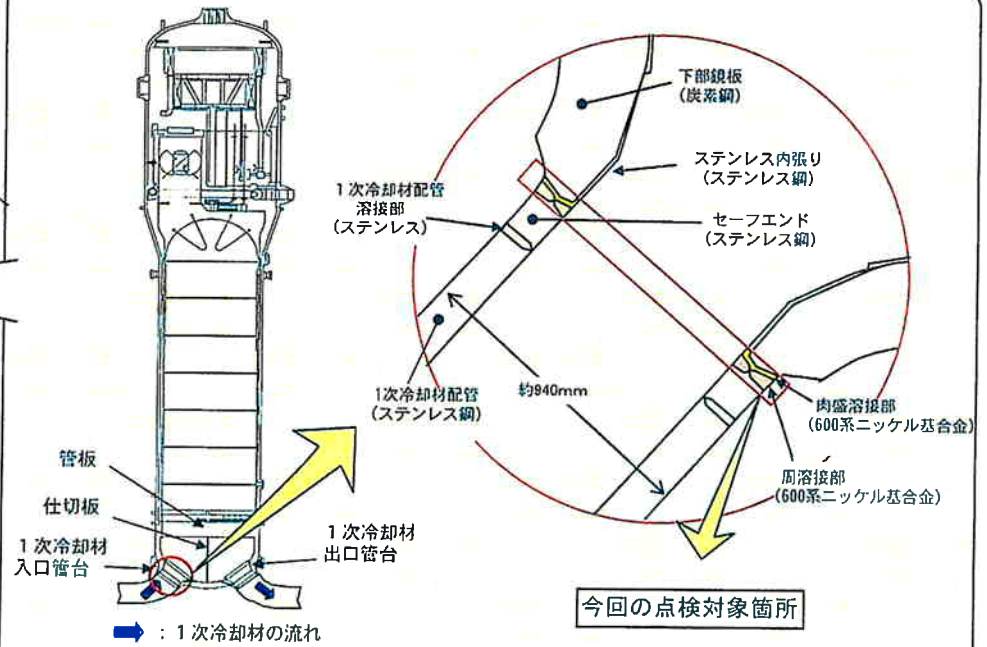
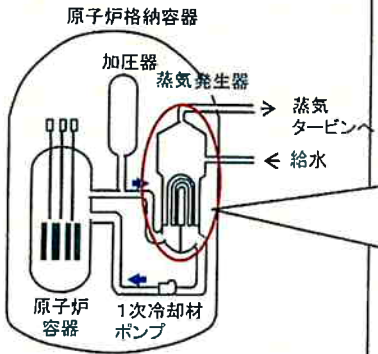
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

高浜発電所4号機 定期検査状況について (蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

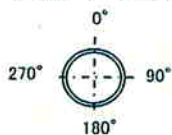
発生箇所

系統概略図



蒸気発生器入口管台 点検状況

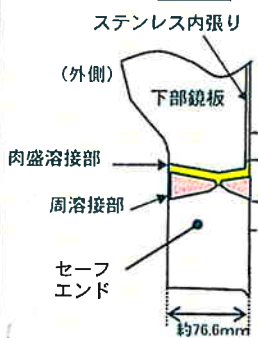
蒸気発生器側から見た図 (天を0°とする)



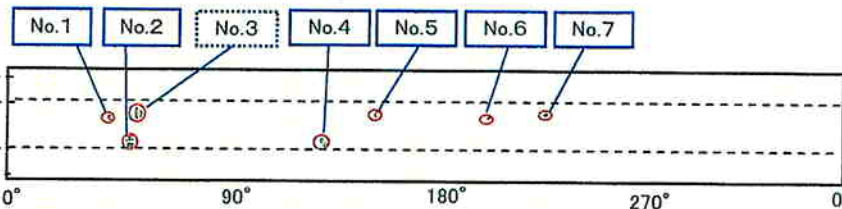
□ : 渦流探傷試験で、有意な信号指示が確認されたが、
超音波探傷試験では、傷の深さが評価できなかった箇所

□ : 超音波探傷試験で、傷の深さが評価できた箇所

断面図



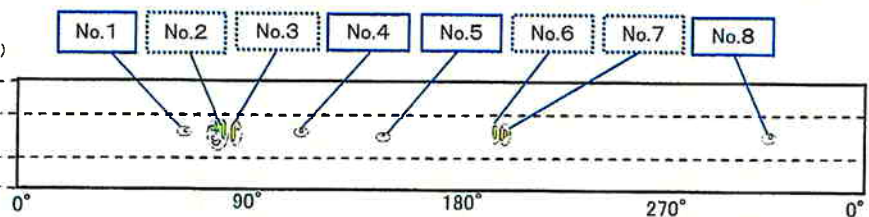
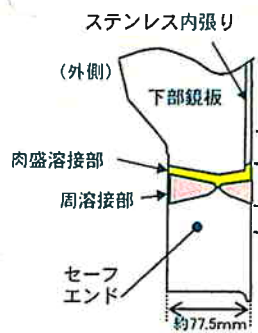
A-蒸気発生器 点検状況



(最大長さ)
No. 2 : 約14mm ※
(最大深さ)
No. 3 : 約12mm

※ : 複数の近接したECT
信号指示を連続した
ものとして評価した値

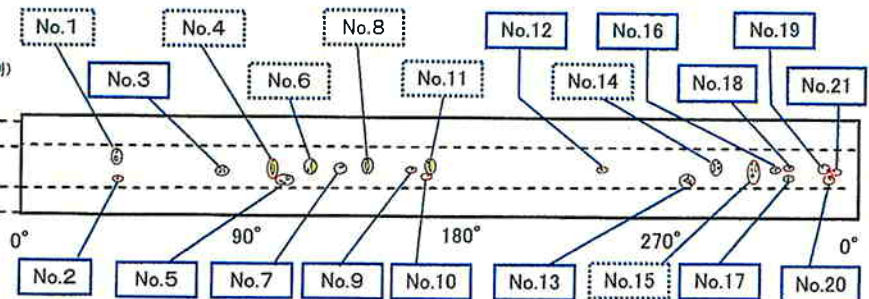
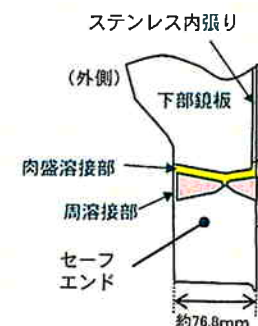
B-蒸気発生器 点検状況



(最大長さ)
No. 2 : 約30mm ※
(最大深さ)
No. 2, 3, 6 : 約13mm

※ : 複数の近接したECT
信号指示を連続した
ものとして評価した値

C-蒸気発生器 点検状況

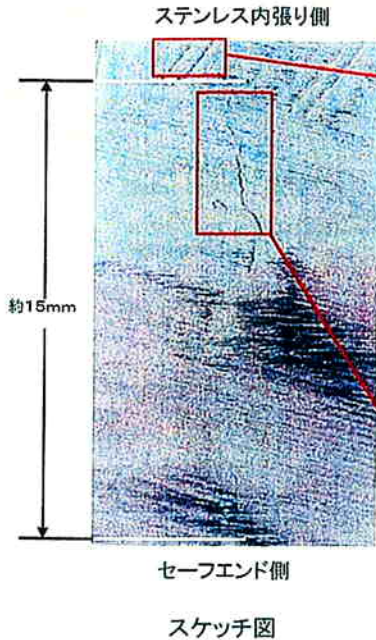


(最大長さ)
No. 15 : 約33mm ※
(最大深さ)
No. 11 : 約16mm

※ : 複数の近接したECT
信号指示を連続した
ものとして評価した値

C-SG入口管台溶接部 No. 4指示部の詳細観察結果

目視観察

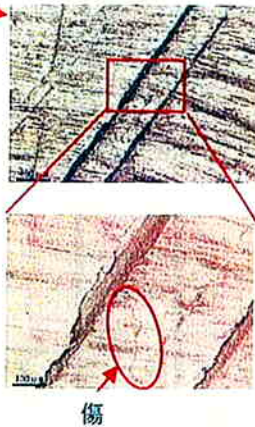


配管表面
・筋状模様

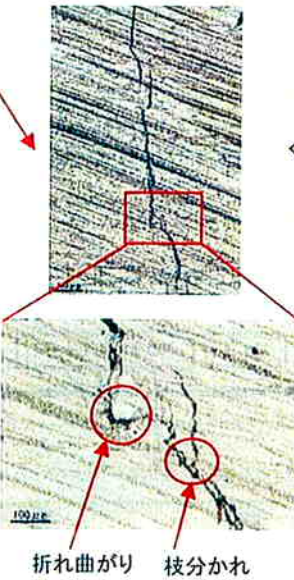
傷の特徴
・軸方向
・折れ曲がり
・枝分かれ

型取観察

グラインダ施工(研削)+バフ施工の跡
(大きな溝はグラインダ施工(研削)の跡)



グラインダ施工(研削)
(弾力性のある砥石)の跡



同様の
筋状模様

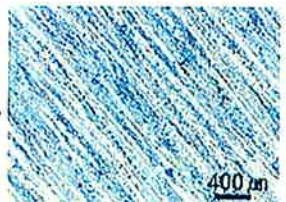
同様の
筋状模様

敦賀発電所2号機 表面加工跡の再現試験



[表面加工条件]
グラインダ施工(研削)
(粗めの施工)
+
バフ施工

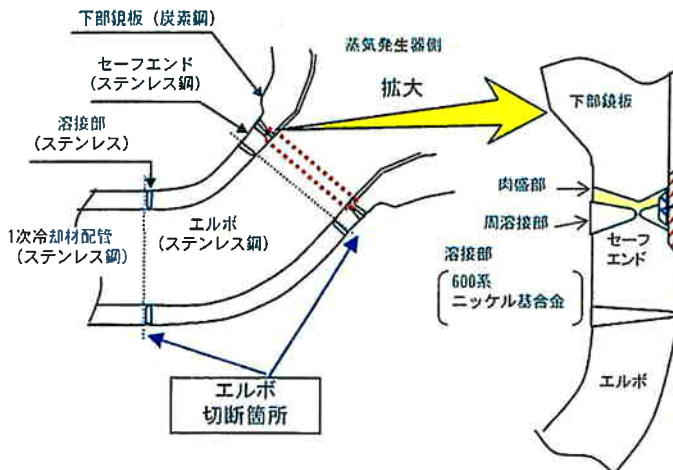
[残留応力]
応力腐食割れ発生
の可能性あり



[表面加工条件]
グラインダ施工(研削)
+
バフ施工
+
グラインダ施工(研削)
(弾力性のある砥石)

[残留応力]
応力腐食割れ発生
の可能性あり

対 策



○エルボを切断。

○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。

○割れが残存した場合、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。
○600系ニッケル基合金で肉盛補修溶接を実施。

○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実施。
○念のため、バフ施工を行い残留応力を低減。

○エルボを新品で復旧。

２．トラブル等情報について

（１）法令に基づき国に報告する事象（安全協定の異常時報告事象にも該当する事象）

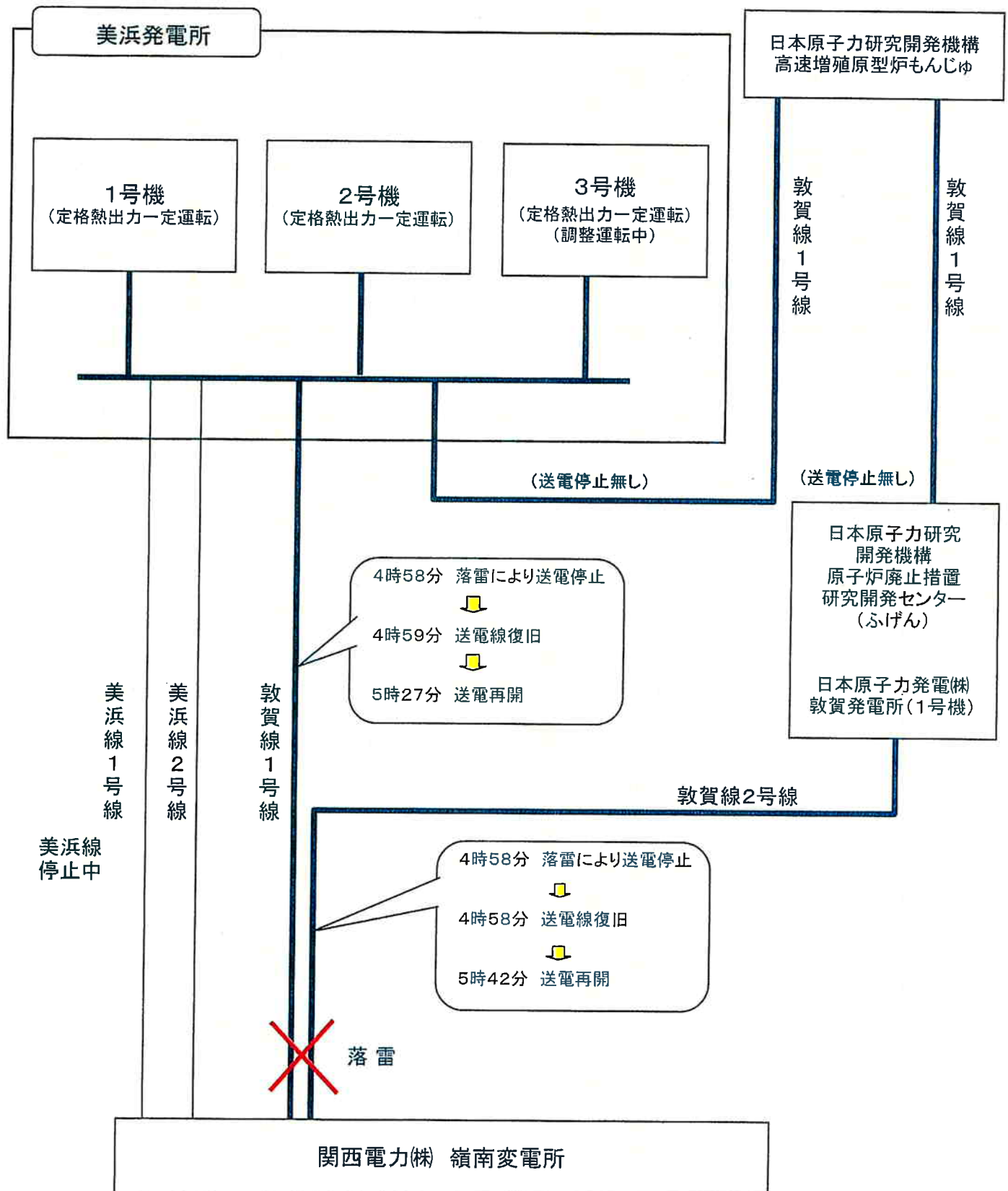
なし

（２）安全協定の異常時報告事象

発電所名	美浜発電所１、２、３号機	発 生 日	平成２０年１１月２０日
件 名	美浜発電所１、２号機の原子炉自動停止および３号機の系統単独運転について (添付図１)		
事象概要 および 対 策 等	平成２０年１１月２０日４時５８分落雷により、送電系統（敦賀線）が送電停止しました。この影響により、調整運転（定格熱出力一定運転）中の美浜発電所３号機は、２０日４時５８分に系統単独運転※１に移行しました。その後、送電系統（敦賀線）が４時５９分に復旧したことから、５時２７分に送電を再開し、９時１１分より出力上昇を開始し、同日２０時１５分に定格熱出力一定運転に復帰しました。 定格熱出力一定運転中の美浜発電所２号機については、２０日４時５９分に原子炉が自動停止しました。その後、２０日１７時５５分に原子炉を起動し、同日１８時５０分に臨界、２１日の４時４分に発電を再開して、２２日２０時１０分に定格熱出力一定運転に復帰しました。 定格熱出力一定運転中の美浜発電所１号機については、２０日４時５９分に原子炉が自動停止しました。その後、２１日１８時００分に原子炉を起動し、同日１８時５５分に臨界、２２日の９時３０分に発電を再開して、２３日２１時１５分に定格熱出力一定運転に復帰しました。 本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。 ※１ 系統単独運転 所内負荷および同じ送電系統の一部の負荷に送電を継続している状態。 [平成２０年１１月２０日、２１日 お知らせ済み] なお、保安規定において、原子炉運転中は２系列以上の外部電源（送電線より受電）から受電可能であることが要求されていますが、３号機は、送電停止した４時５８分から送電を再開した５時２７分までの間、運転上の制限から逸脱した状態となりました（１、２号機は原子炉が自動停止したことにより、保安規定に定める異常時の措置に該当するため、運転上の制限は適用されません。）。 また、原子炉運転中の制御棒は挿入限界以上※２であることが要求されていますが、３号機は系統単独運転となったことにより、４時５９分に原子炉出力を低下させるため制御棒が挿入限界を超えて挿入されたことから、運転上の制限から逸脱した状態となりました。その後、ほう素濃度や制御棒の位置の調整を行い、５時４３分に運転上の制限の逸脱から復旧しました。 ※２ 挿入限界 制御棒で原子炉が余裕をもって停止できるよう、通常運転時には制御棒の挿入位置を制限しており、これを挿入限界という。		

美浜発電所1, 2号機の原子炉自動停止および3号機の系統単独運転について

送電系統図

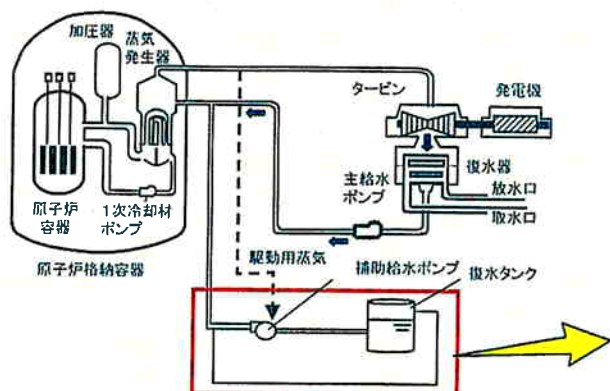


発電所名	美浜発電所 1 号機	発 生 日	平成 2 0 年 1 2 月 3 日
件 名	タービン動補助給水ポンプの運転上の制限の逸脱について (添付図 2)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の平成 2 0 年 1 2 月 3 日、3 台ある補助給水ポンプ※¹のうち、タービン動補助給水ポンプについて、9 時 1 6 分にポンプを起動し定期試験（1 回／月）を行っていたところ、ポンプから送り出される給水の圧力（吐出圧力）が通常（約 8 MP a）より低いこと（約 4 MP a）が確認されたため、9 時 2 1 分に当該ポンプを停止し、試験を中断しました。このため、9 時 3 0 分に保安規定で定める運転上の制限※²を満足していないものと判断しました。 タービン動補助給水ポンプの外観を確認した結果、当該ポンプのタービンに流入する蒸気量を調整するガバナ弁の弁軸を上下させて、ガバナ弁を開閉させる部品（油圧ピストンスピンドル）の位置が全開状態であるべきところ中間開度になっていることを確認しました。 このため、ガバナ弁駆動部を分解点検したところ油圧ピストンスピンドルに繋がるガバナ弁の弁軸に引っ掛かりがあることを確認しました。また、ガバナ弁の弁軸とそのガイド部の摺動面に擦れ痕を確認しました。さらに、ガバナ弁のドレン排出管が錆および昆虫の死骸で詰まっていたことや、ドレン室内から水が出てきておりドレン室内の全体が濡れていたことを確認しました。 このことから、ガバナ弁ドレン排出管内に、錆および昆虫の死骸が詰まったことでガバナ弁ドレン室内が満水状態となり、その状態でポンプ起動に伴いガバナ弁の弁軸が動いた際、ドレン室内の錆が弁軸と下部ガイドの隙間に噛み込み弁軸の動きを阻害したため、ガバナ弁が中間開度までしか開かず、ポンプに十分な駆動用蒸気が供給されなかったものと推定されました。 対策として、ドレン排出管の清掃とガバナ弁の弁体および下部ガイド部の手入れを行ったうえでポンプを復旧し、当該ポンプの健全性を確認した上で、6 日 5 時 5 6 分に待機状態（運転上の制限を満足した状態）に復帰しました。 また、ドレン排出管先端部からの昆虫の侵入を防止するため、先端部周辺を金網で覆いました。 今後、定期検査時に毎回ドレン排出管の清掃を行うこととします。 本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。 ※ 1 補助給水ポンプ 主給水系統事故時など通常の給水系統の機能が失われた場合に、蒸気発生器に給水するためのポンプ。 美浜発電所 1 号機には、タービン動ポンプが 1 台、電動ポンプが 2 台ある。 ※ 2 保安規定で定める運転上の制限 運転中は、補助給水ポンプ 3 台が動作可能であることが要求されている。		

美浜発電所1号機 タービン動補助給水ポンプの運転上の制限の逸脱について

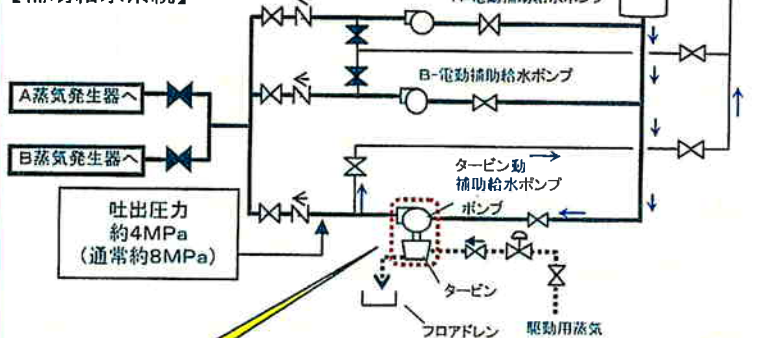
発生時の状況

系統概要図



定期試験時の状況

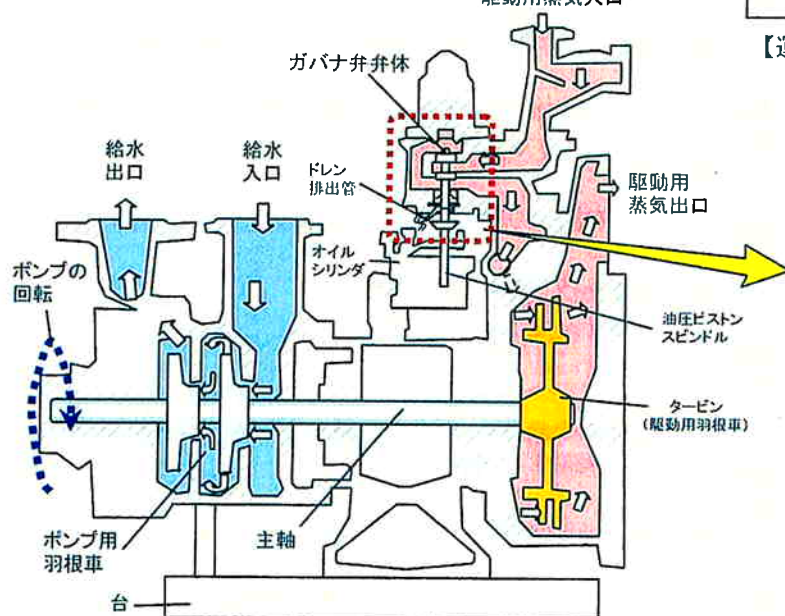
【補助給水系統】



【タービン動補助給水ポンプ仕様】
容 量 : 約80m³/h 通常運転時吐出圧力: 約8MPa

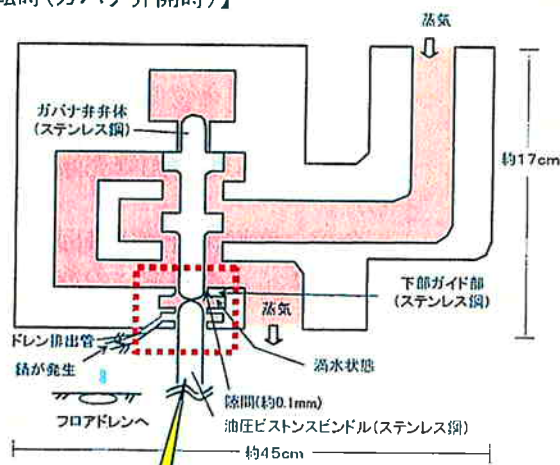
タービン動補助給水ポンプイメージ図

駆動用蒸気入口



ガバナ機構断面図

【運転時(ガバナ弁開時)】



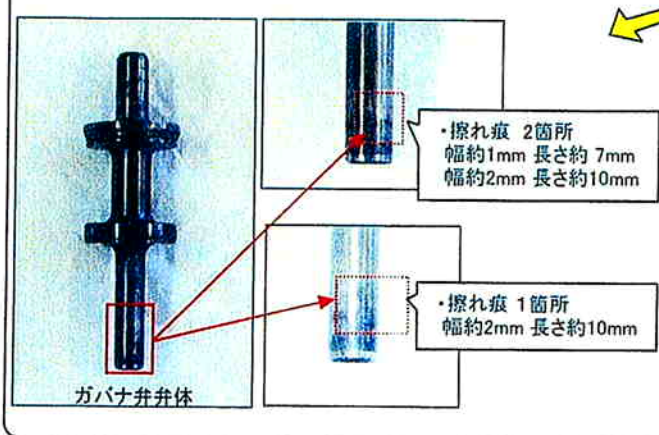
推定メカニズム

①ドレン排出管内に、錆および昆虫の死骸が詰まったことによる排水不良に伴いドレン室内が満水状態(湿潤環境)となり、炭素鋼製品部に錆が発生

②錆が下部ガイド部のわずかな隙間に噛み込みガバナ弁の動きを阻害

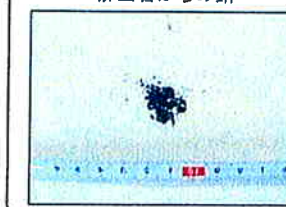
ポンプの吐出圧力が上がらず(約4MPa)

ガバナ弁点検結果



排出管点検結果

排出管からの錆



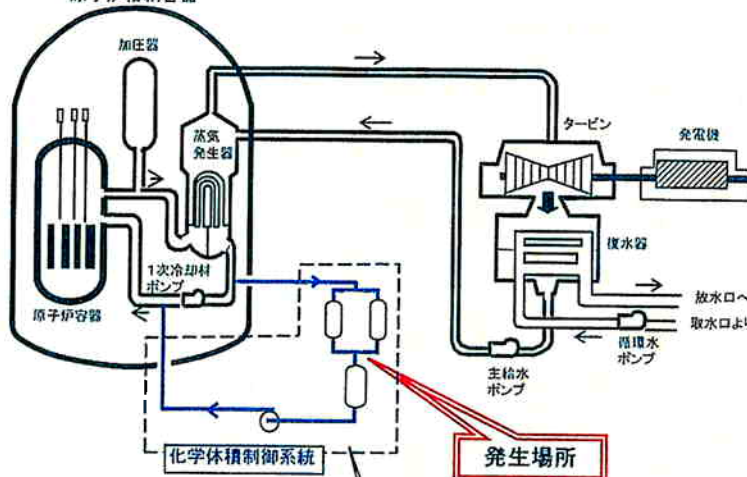
昆虫の死骸



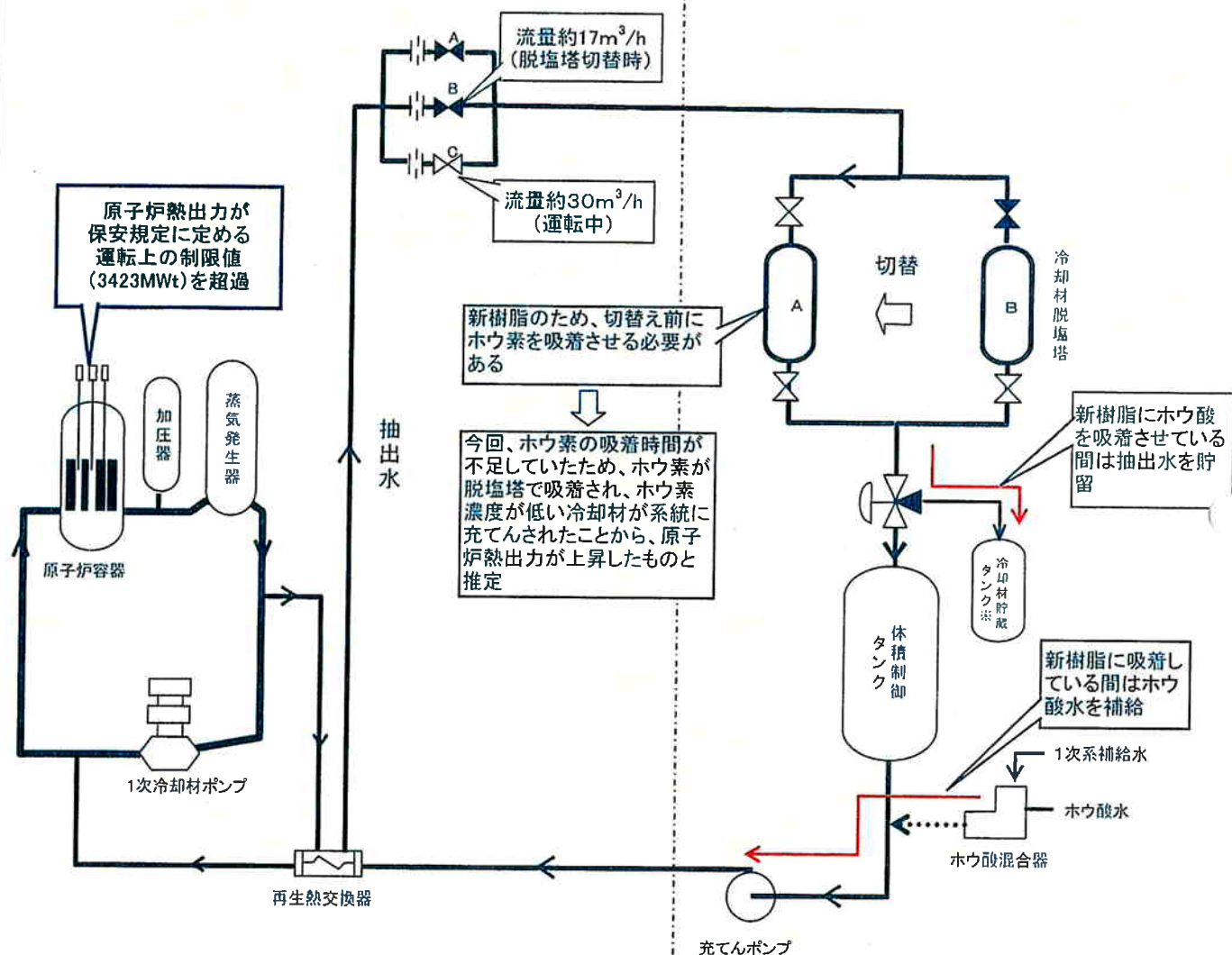
(2) 安全協定の異常時報告事象

発電所名	大飯発電所 3 号機	発 生 日	平成 2 1 年 1 月 5 日
件 名	原子炉熱出力の運転上の制限の逸脱について (添付図 1)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の平成 2 1 年 1 月 5 日 1 8 時 4 分、1 次冷却材の水質等を調整している化学体積制御系統にある冷却材脱塩塔※¹ (A, B 号機) を、使用中の B 号機から待機中の A 号機 (新しい樹脂に交換済み) への切り替え操作を行ったところ、1 8 時 1 0 分に冷却材平均温度※²と原子炉熱出力がわずかに上昇傾向であることを運転員が確認しました。 このため、直ちに原子炉の出力を抑制するため、制御棒の挿入操作と 1 次冷却材系統へのホウ素注入を実施しました。その結果、原子炉熱出力では、1 8 時 4 0 分頃に最大約 1 0 1 % (3, 4 5 9. 9 MW t) まで上昇した後、低下傾向となり、1 8 時 5 4 分、保安規定に定める運転上の制限値※³ (3, 4 2 3 MW t) に戻りました。 これにより、1 9 時の時点で、1 8 時から 1 9 時までの原子炉熱出力 1 時間平均値 (3, 4 3 3. 3 MW t) が、保安規定に定める運転上の制限値を約 0. 3 % 超えており、1 9 時 5 分、運転上の制限を満足していないと判断しました。なお、2 0 時の時点で、1 9 時から 2 0 時の 1 時間平均値 (3, 3 9 9. 6 MW t) は、運転上の制限値以下となったことから、2 0 時 5 分、運転上の制限を満足した状態に復帰したと判断しました。 脱塩塔のイオン交換樹脂では、金属イオン等とともに中性子を吸収するホウ素も吸着されます。特に、新しい樹脂を使用する前には、1 次冷却材を一定時間通水※⁴させることで、樹脂全体で十二分にホウ素を吸着させ、使用中にホウ素を吸着できない状態とした後、システムで使用するとしています。 今回の原因を調査したところ、脱塩塔切替え前に実施した A 号機でのホウ素吸着作業が不十分であったため、A 号機への切替え後、樹脂で 1 次冷却材中のホウ素が吸着され、1 次冷却材中のホウ素濃度が低下 (事象発生前 1, 0 6 6 p p m から約 1, 0 4 3 p p m まで低下) した結果、原子炉出力が上昇したものと推定されました。 ホウ素の吸着作業が不十分であった原因は、脱塩塔に通水操作を行う発電室では、抽出流量をそれまでの運転中の流量 (約 3 0 m³/h) より低い流量 (約 1 7 m³/h) にした後※⁵に行うこととしましたが、ホウ素を吸着させるための通水時間を評価する放射線管理課では、運転中の流量 (約 3 0 m³/h) で評価した結果として、「通水時間 3 0 分以上」と発電室に依頼していたことから、通水量が約 1 7 m³/h の場合に必要な通水時間 (約 5 0 分) が確保できず、A 号機に切替え後、1 次冷却材のホウ素が吸着されたものと判明しました。 対策として、脱塩塔切替え操作にあたっては、脱塩塔切替え前に 1 次冷却材系統と新しく使用する脱塩塔出口のホウ素濃度が同等であることを確認した上で使用します。また、脱塩塔切替え操作に関する放射線管理課と発電室の意志疎通を、対面連絡により確実に実施します。 本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。 ※ 1 冷却材脱塩塔 1 次冷却材系統から一定量の 1 次冷却材を抽出し、浄化や中性子を吸収するホウ素濃度の制御等を行っている。脱塩塔では、イオン交換樹脂に金属イオン等の不純物を吸着させて浄化しており、その能力が低下していたことから、待機中のものに切替える操作を行ったもの。 ※ 2 冷却材平均温度 1 次冷却材が原子炉子炉に入る時と出る時の平均温度で、原子炉の出力を示すパラメータとして監視している。 ※ 3 保安規定に定める運転上の制限値 運転中は、原子炉熱出力が 3, 4 2 3 MW t 以下であることが求められている。運転上の制限を満足していない場合、速やかに原子炉熱出力を下げる操作を行うことが求められている。 ※ 4 1 次冷却材を一定時間通水 新樹脂を充填した脱塩塔のホウ素吸着作業中に、ホウ素濃度の低い脱塩塔出口水は、1 次冷却材系統に戻さず、冷却材貯蔵タンクへ貯蔵し、その間、1 次冷却材系統には 1 次冷却材系統水と同等のホウ素濃度水をホウ酸混合器より補給している。 ※ 5 運転中の流量より低い流量 ホウ酸混合器等の供給能力の制約から、現状の 1 次冷却材系統水のホウ素濃度と同等の補給水を安定して供給するため、運転中の流量より低い流量に変更している。		

原子炉格納容器



原子炉格納容器



※冷却材貯蔵タンク

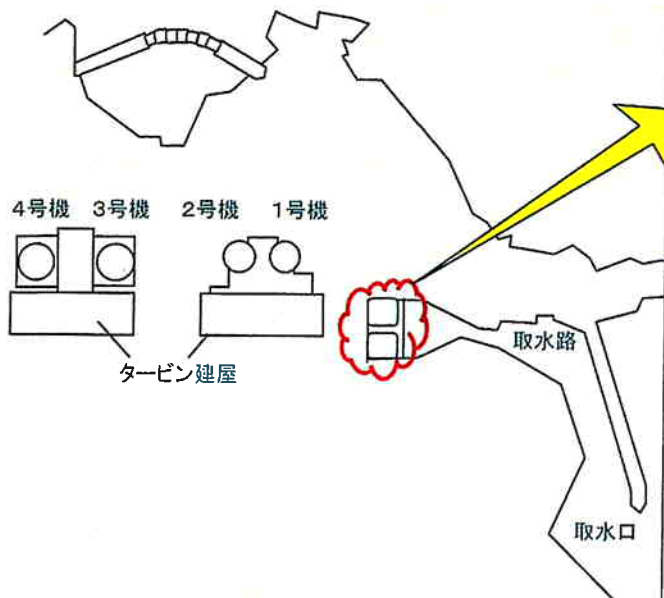
ホウ素希釈または濃縮等により、原子炉冷却システムから出るホウ素を含む1次冷却材を貯蔵するタンク。

(2) 安全協定の異常時報告事象

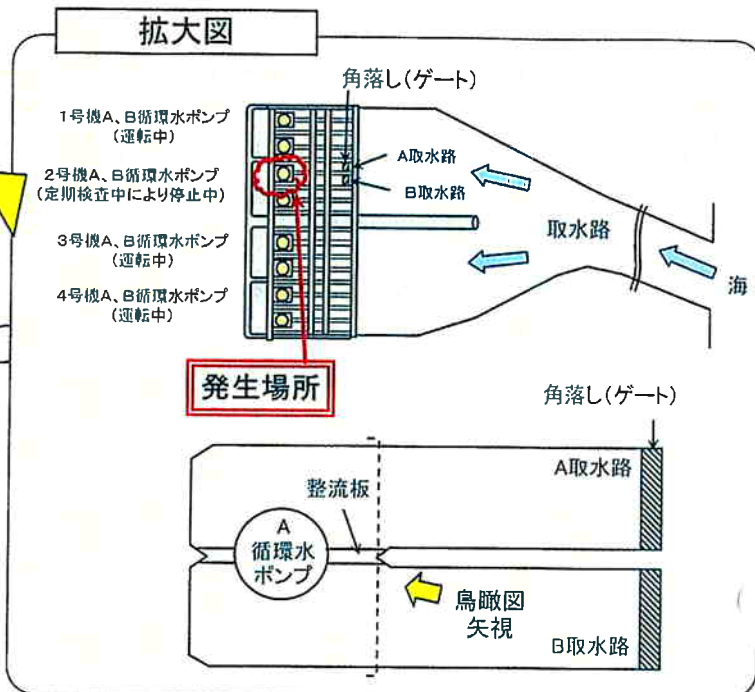
発電所名	大飯発電所２号機	発 生 日	第２２回定期検査中 (平成２１年３月１２日)
件 名	取水口機器防汚塗装工事における協力会社作業員の負傷について (添付図１)		
事象概要 および 対 策 等	第２２回定期検査中の３月１２日９時５０分頃、取水口にあるＡ循環水ポンプ取水路において、２号機取水口機器防汚塗装※１工事のための足場組み立て作業に従事していた協力会社の作業員が、高さ約４ｍ、幅約５０ｃｍの仮設足場上で安全帯を掛けるためのロープ（親綱）を張る作業中、別の作業員とすれ違った際に、作業リーダーから声を掛けられたため、その声にとらわれ、バランスを崩して足から落下し、左足首を負傷しました。 当該作業員を病院に搬送し診察を受けた結果、左足首の負傷により、約２ヶ月の休業を要する見込みと診断されました。 [平成２１年３月１６日 お知らせ済み] 調査の結果、当日の足場組立作業では、落下防止用の手すりを設置した後に足場板を設置する作業手順となっていました。足場部材が全て揃っていなかったため当該作業員の判断で作業手順を変更し、揃っていた部材で足場板を設置した後、落下防止用の親綱を張ることとしました。 当該作業員は、親綱を張る作業時に、安全帯を使用する等の落下防止措置を実施せずに足場上を移動し、別の作業員とすれ違った際に、作業リーダーから声を掛けられ、その声にとらわれてバランスを崩し、落下したものと推定されました。 対策として、足場の組立作業においては、必要な部材を揃えた上で足場板設置前に手すりや親綱を設置することを、請負工事の注意事項を定めた当社の社内規定に明記しました。 また、高所作業では必ず落下防止措置を行うことや、作業手順を変更する際には作業リーダーに報告し確認を受けることを徹底するよう周知しました。 さらに、当該作業を実施した協力会社に対し、足場設置に関する注意事項等の再教育を行いました。今後、当該協力会社が行う作業に安全技術アドバイザー※２等が立会い指導を行っていきます。 ※１ 防汚塗装 取水路の壁などに貝が付着することを防止するための塗装。 ※２ 安全技術アドバイザー 労働安全に係わる活動内容を強化することを目的とし、作業現場の危険有害要因低減業務、安全衛生関係教育などを現場の安全管理者と連携を図りながら現場の労働安全を支援する。		

大飯発電所2号機 取水口機器防汚塗装工事における協力会社作業員の負傷について

発生場所



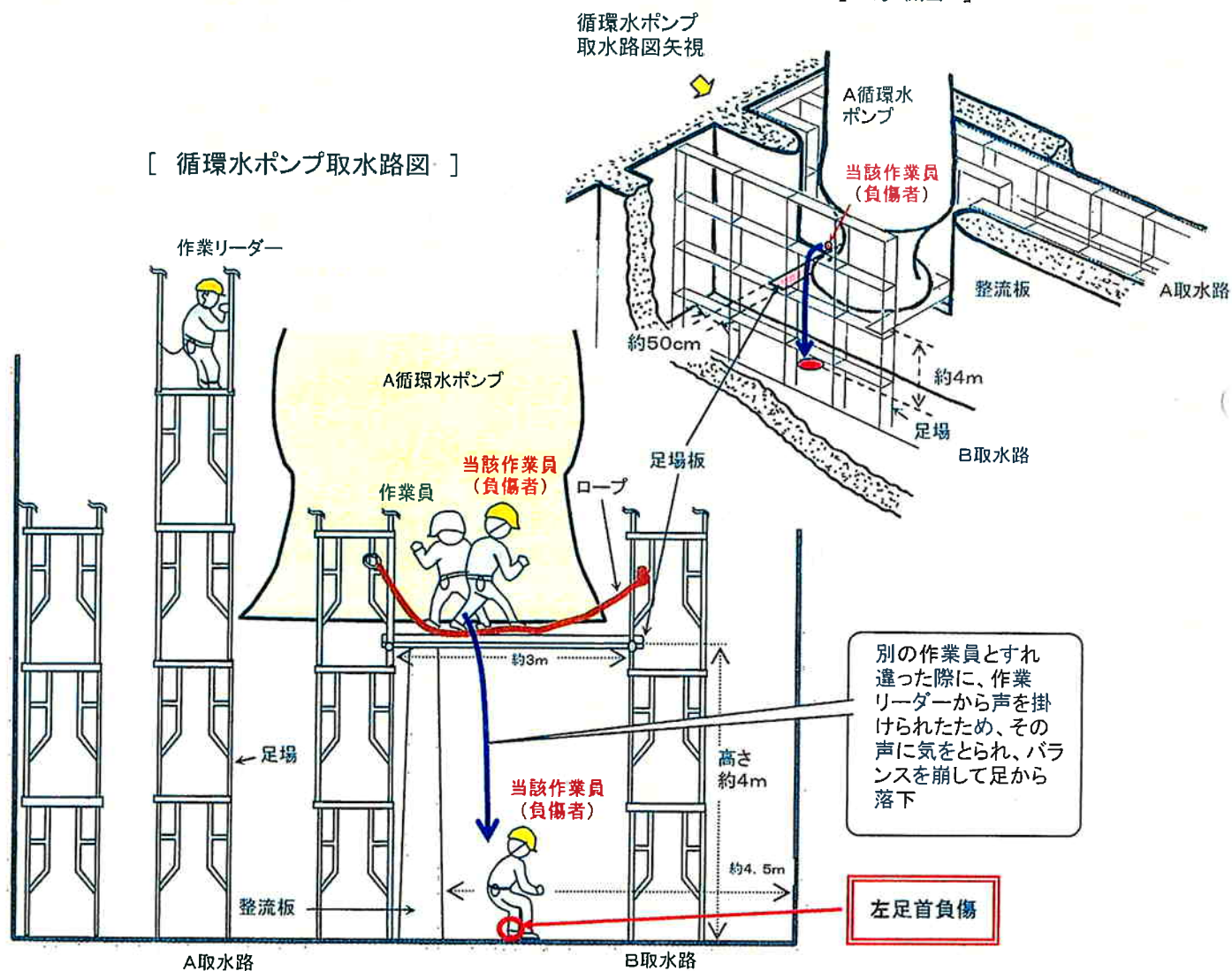
拡大図



発生時の状況概要図

[鳥瞰図]

[循環水ポンプ取水路図]



美浜発電所1号機の定期検査状況について
(原子炉格納容器内壁面の水のにじみに関する原因と対策)

平成19年6月14日
関西電力株式会社

美浜発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力34万キロワット、定格熱出力103万1千キロワット)は、第22回定期検査中の平成19年3月22日6時30分頃に、運転員が巡回点検において、原子炉格納容器内のBループ室で床面に小さな水溜り(約5cm×約5cm)と原子炉キャビティ^{※1}側の壁面が濡れていることを確認しました。このため、キャビティの水抜きを行った結果、壁面からの水のにじみはなくなりました。

また、キャビティ周辺の壁面および天井面を目視点検した結果、当該箇所以外の4箇所でのにじみ跡(ほう酸の析出)が確認されました。

その後、キャビティとそれにつながるキャナル^{※2}の内面を覆っているステンレス板の溶接部などについて、貫通傷がないかを確認するための真空発泡試験^{※3}による点検中に4箇所で僅かな発泡を確認しました。

なお、にじみ出た水は全て回収しており、環境への放射能の影響はありません。

[平成19年3月23日、4月17日 お知らせ済み]

1. 点検および調査結果

(1) キャビティおよびキャナルの点検

- 真空発泡試験等による点検の結果、既に確認されている4箇所以外に発泡箇所は認められませんでした。
- キャビティは使用済燃料プール側(キャナル部)に向かって深さが段差となって深くなっており、4箇所は全てこの段差状の部分でした。
- キャビティおよびキャナルは、コンクリート構造の内側にステンレス板を張り付けており、床面のコーナー部や段差部は、ステンレス製の曲がり板(コーナープレート)やL型材(コーナーアングル)に溶接しています。
- 4箇所のうち、3箇所は床面のコーナープレートとの溶接部で、1箇所はキャビティ床面段差部のコーナーアングル材の溶接部でした。

(2) 発泡箇所の詳細調査

- コーナープレート溶接部の3箇所について金属組織観察を行った結果、割れはプレート裏面から進展し、塩素型応力腐食割れ^{※4}に特有の様相が認められ、切り出し調査の結果、裏面で塩素が検出されました。
- コーナーアングル溶接部の1箇所の金属組織観察では、延性割れ^{※5}に特有の様相が確認され、切り出し調査の結果、溶接部の溶け込みが少なく、過度の仕上げにより溶接部の厚さが薄くなっていました。

(3) キャビティおよびキャナルの工事实績の調査

- 当該ステンレス板はプラント建設時（昭和42～45年）に施工されており、当時の工事状況としては、大型機器搬入のため原子炉格納容器に仮開口部を設けており、飛散した海塩粒子が付着する可能性があります。
- 前回定期検査において、プラント建設時に設置したステンレス板の上に研磨加工したステンレス板を設置するオーニング設置工事^{*6}を実施しましたが、今回の4箇所は工事の対象範囲外であり、コーナーアングル溶接部1箇所は当該工事の溶接箇所の近傍にあり、溶接時の引張り力を受けやすい位置にありました。

2. コンクリート点検結果

- 壁面や天井面の析出物を成分分析した結果、コンクリート成分であるカルシウム等は検出されましたが、鉄分は検出されなかったことから、コンクリート内の鉄筋に腐食はないものと推定されました。
- 水のにじみやほう酸の析出が認められた5箇所のうち3箇所についてコンクリートを削って点検した結果、コンクリート内部で中性化^{*7}は認められず、鉄筋の腐食や欠損は確認されませんでした。また、周辺のコンクリートについて強度測定し、設計基準強度を上回っていることを確認しました。
- コーナーアングル溶接部切り出しにより露出したコンクリート部を点検した結果、中性化は認められませんでした。

3. 推定原因

(1) コーナープレート溶接部の貫通割れ（3箇所）について

プラント建設時にコーナープレート裏面に付着した海塩粒子が、運転時と定期検査時のキャビティ水張り時の温度変化により、結露・蒸発を繰り返すことで塩素が濃縮し、溶接部の裏面から塩素型応力腐食割れが発生・進展して貫通に至ったものと推定されました。

(2) コーナーアングル溶接部の貫通割れ（1箇所）について

プラント建設時の施工段階で、溶接金属の溶け込みや厚さが不足していたため、キャビティ水張り時の温度変化に伴う引張り力により、溶接部に延性割れが発生しました。その後、前回定期検査でのオーニング溶接時の引張り力が作用し、割れが拡大したものと推定されました。

(3) 水のにじみおよびほう酸の析出について

水のにじみおよびほう酸の析出が認められた5箇所のうち3箇所については、今回貫通割れが認められた箇所に近いことから、漏れ出たキャビティ水がコンクリート内を通過して壁面または天井面からにじみ出たものと推定されました。

あとの2箇所については、ほう酸の析出を生じさせた貫通割れ箇所は、既にオーニング設置工事で施工したステンレス板で覆われており、今後漏えいはないと推定されました。

4. 対 策

- コーナープレート溶接部3箇所については、当該部を切り取って、内面を洗浄した後、新品のコーナープレートを溶接します。
- コーナーアングル溶接部1箇所については、当該部を切り取って、新品のコーナーアングルを十分な溶接金属厚さを確保して溶接します。
- 予防保全として、オーニング設置工事を実施していない床面のコーナープレート部およびコーナーアングル部に樹脂を塗布し、遮水性能を高めます。

これらの作業には1ヶ月から2ヶ月程度を要する見込みであり、その後、原子炉起動準備が整い次第、原子炉を起動して調整運転を開始する予定です。

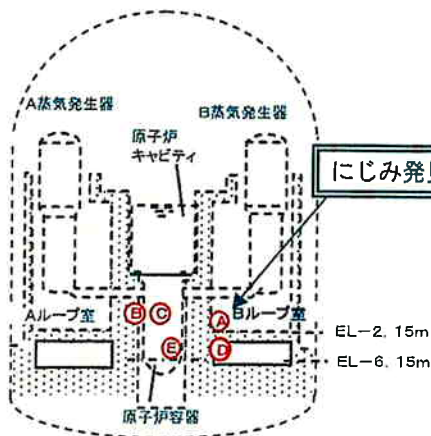
以 上

- ※1：原子炉キャビティ
原子炉容器の上部に設置しているプールであり、燃料取替え時に、ほう酸水を満たすことにより、燃料から放出される放射線を遮へいする。
- ※2：チャナル
キャビティと使用済燃料ピットをつなぐ水路で、燃料移送装置が取り付けられている箇所。
- ※3：真空発泡試験
検査対象部位に発泡液を塗布し、アクリル透明箱で覆って内部を真空状態にして、発泡液塗布部の泡の発生状態から漏えい箇所を特定する試験。
- ※4：塩素型応力腐食割れ
塩化物が付着し、環境条件（温度、水分等）が満たされた場合に発生する応力腐食割れの一種。応力腐食割れは、腐食環境下におかれた金属材料に引張応力が作用した結果、割れが発生する事象。材料、環境、応力の3つの要因が重複した場合に発生する。
- ※5：延性割れ
延性のある金属が伸びきって引きちぎられるように破壊すること。
- ※6：オーニング工事
キャビティには原子炉容器上部ふた取付け、取外し時に作業員が立ち入ることから、被ばく低減のために立ち入り前に清掃を実施しているが、清掃作業時間を短くし、清掃時の被ばく量を低減させるため、コーナー部を除く床全面と高さ1mまでの壁面に、研磨加工を施した耐食性に優れたステンレス板（厚さ約3mm）を設置した。
- ※7：中性化
コンクリートは通常強アルカリ性であるが、空気中の二酸化炭素（炭酸ガス）と反応し、徐々にアルカリ性を失っていく。コンクリートが中性化すると鉄筋の防食性が低下する。

美浜発電所 1号機の定期検査状況について
(原子炉格納容器内壁面からの水のにじみに関する原因と対策)

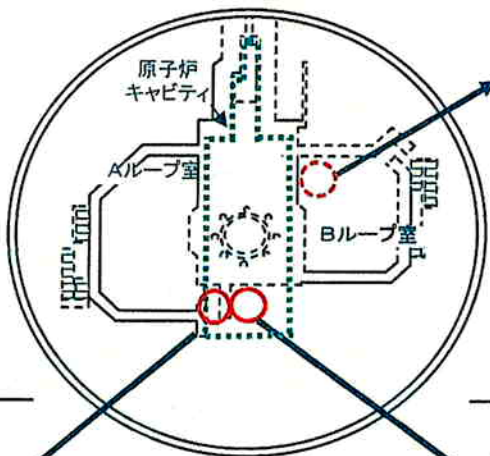
にじみ発見箇所および目視点検結果

原子炉格納容器 断面図



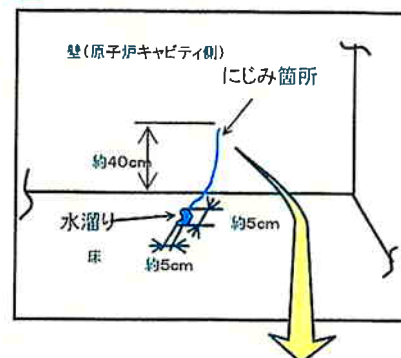
にじみ発見箇所

原子炉格納容器 平面
(EL-2.15mフロア)



にじみ発見箇所

(A) : 壁からのにじみ箇所



壁面塗装剥がし後の写真



キャビティ周りの
コンクリート点検結果

(B) : 天井に白いほう酸析出跡

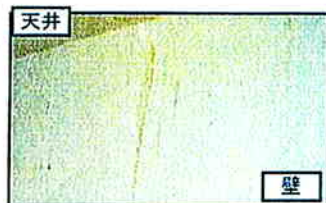


(EL-6.15mフロア)

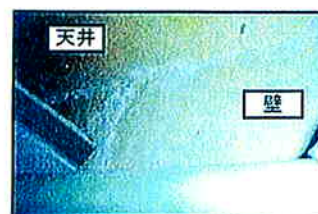
(C) : 天井に白いほう酸析出跡



(E) : 壁に白いほう酸析出跡

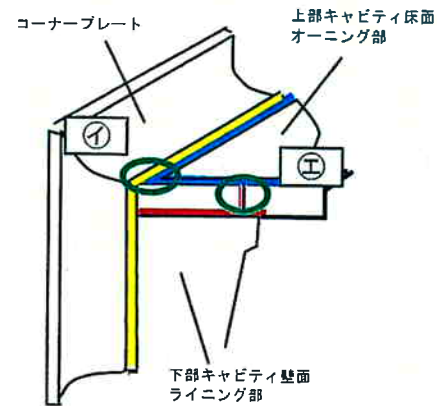
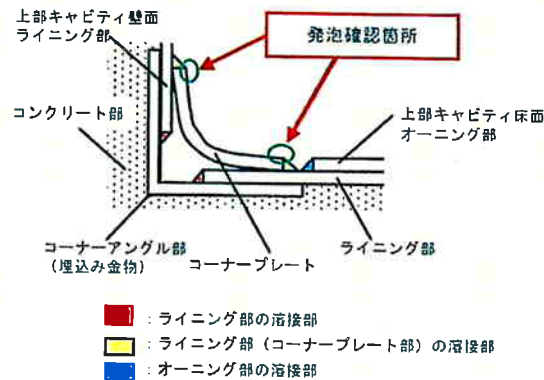


(D) : 壁に白いほう酸析出跡

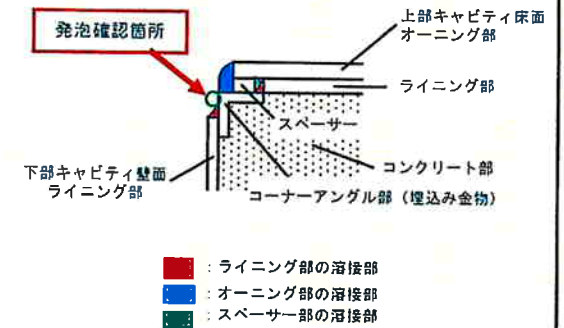


キャビティの点検結果(真空発泡試験等)

① 断面図



② 断面図



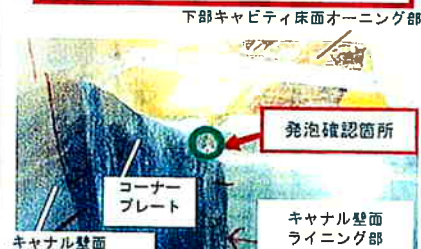
発泡確認箇所①
(コーナープレート部)



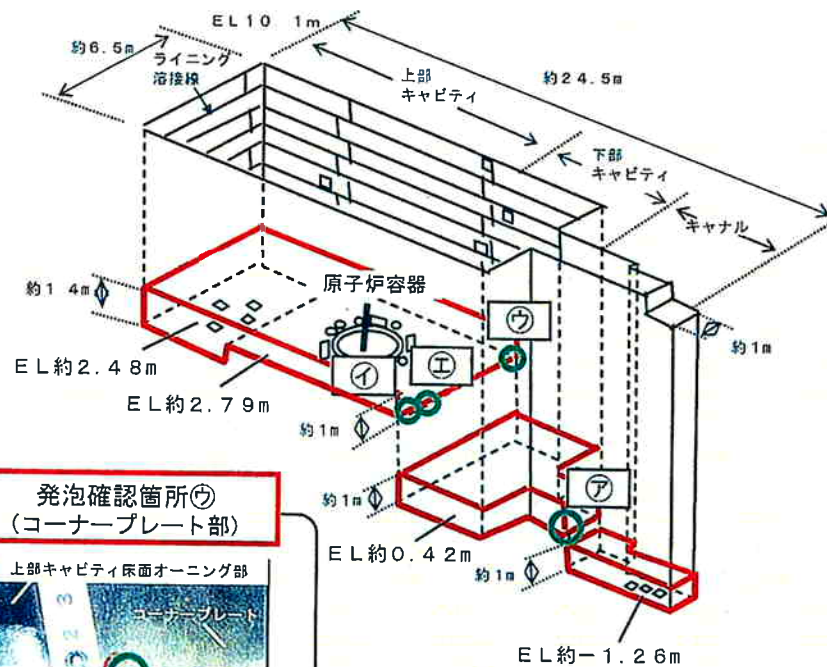
発泡確認箇所②
(コーナーアングル部)



発泡確認箇所③
(コーナープレート部)

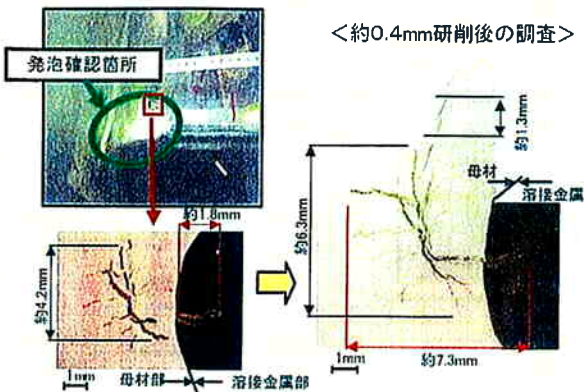


発泡確認箇所④
(コーナープレート部)



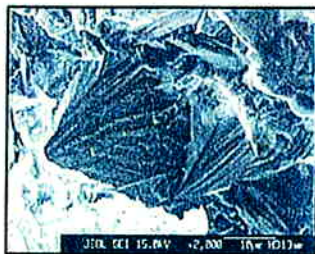
コーナープレート部の調査 (例:発泡確認箇所①)

欠陥形態調査



割れは、溶接近傍母材で発生し、結晶粒内を進展、枝分かれしており、塩素型応力腐食割れの様相である。また、約0.4mm研削後、枝別れていた割れが繋がったことから、裏側から発生・進展したものと考えられた。

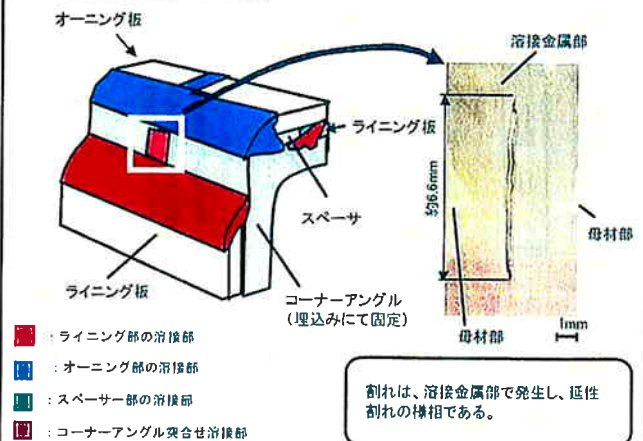
切出調査(破面観察)



塩素型応力腐食割れ特有の羽毛状の破面が認められた。

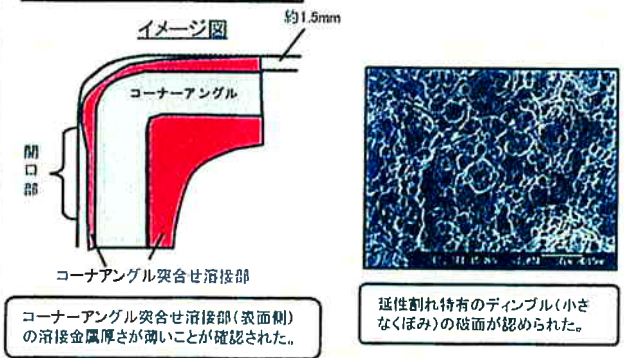
コーナーアングル部の調査 (発泡確認箇所②)

欠陥形態調査



割れは、溶接金属部で発生し、延性割れの様相である。

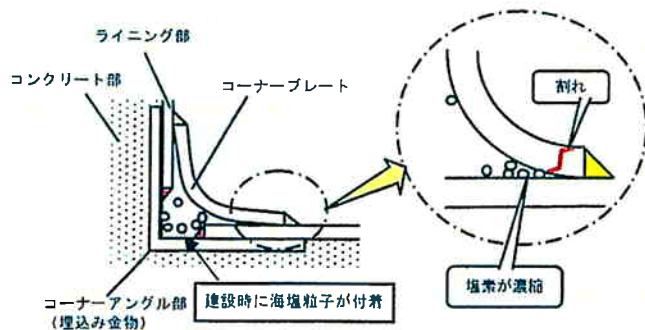
切出調査(破面観察)



コーナーアングル突合せ溶接部(表面側)の溶接金属厚さが薄いことが確認された。

延性割れ特有のディンプル(小さくぼみ)の破面が認められた。

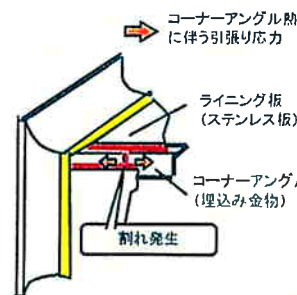
塩素型応力腐食割れの 推定メカニズム



コーナープレートとコーナーアングル部との隙間において、運転時と定期検査時のキャビティ内の温度変化により、結露水が発生・蒸発を繰り返すことで塩素が濃縮し、塩素型応力腐食割れが発生・進展し、貫通した。

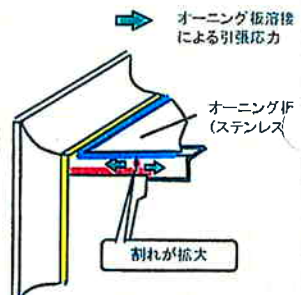
引張応力による延性破壊の 推定メカニズム

【定期検査時のキャビティ水張り】



溶接金属の溶け込みや厚さ不足していたため、水張り時にコーナーアングル熱収縮に伴う引張り応力により延性割れが発生した。

【前回定検時のオーニング施工】



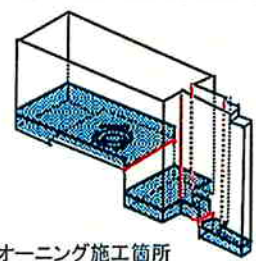
前回の定期検査時にオーニング板(ステンレス板)の溶接により、引張応力が発生し、割れが拡大した。

対 策

- コーナープレート溶接部3箇所については、当該部を切り取って、内面洗浄した後、新品のコーナープレートを溶接する。
- コーナーアングル溶接部1箇所については、当該部を切り取って、新品のコーナーアングルを十分な溶接金属厚さを確保して、溶接する。
- 予防保全の観点から、オーニング設置工事を実施していない床面のコーナープレート部およびコーナーアングル部については樹脂を塗布する。

【樹脂塗布概要図】

--- : 樹脂塗布箇所



--- : オーニング施工箇所

美浜発電所3号機の定期検査状況について
(蒸気発生器2次側管板上面および管支持板付近での異物確認の原因と対策)

平成19年6月14日

関西電力株式会社

美浜発電所3号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力82万6千キロワット、定格熱出力244万キロワット)は、第22回定期検査中の平成19年4月25日20時頃、蒸気発生器3台のうちのC-蒸気発生器2次側管板上面の清掃作業^{*1}を実施するため、カメラで事前点検を行っていたところ、管板上面で円柱状の異物を確認しました。

当該円柱状の異物を回収し詳細調査した結果、異物は円錐台形状(長さ約12mm×直径約7mmおよび約11mm)で、金属薄板(長さ約120mm、幅約1～7mm、厚さ約0.2mm、重量約0.9グラム)が渦状に巻いたものでした。当該異物は炭素鋼で、母材と溶接金属から構成されており、配管の溶接準備として開先加工^{*2}を行った際に発生した削り屑と考えられました。

一方、今回の定期検査の計画に基づき、A-蒸気発生器について渦流探傷検査(ECT)を実施するとともに、管支持板穴を点検していたところ、4月27日18時30分頃、カメラにて第3管支持板上で線状の異物を確認しました。

[平成19年4月26日、5月9日 お知らせ済み]

1. C-蒸気発生器管板上面の異物の発生源の調査結果

今回発見された円錐状の異物が配管等の取替作業時に発生したと推定されたことから、蒸気発生器に至る2次冷却水系統について調査した結果、以下のことが判明しました。

- 蒸気発生器上流側の給水ブースタポンプ入口には、異物より小さいストレーナ^{*3}(約0.5mmの網目状)が設置されており、異物はこのストレーナから蒸気発生器の間で行われた工事に伴うものと考えられました。
- 前回定期検査において同範囲で行われた工事を調査したところ、異物混入の可能性がある工事として、A-給水ポンプ出口配管取替工事とB-給水ブースタポンプ出口配管取替工事が想定されました。
- これらの工事では配管取替部が上下に開口しており、新配管溶接前に旧配管に取り付けていた養生蓋を上下同時に取り外した状態で、配管内を覗き込むように下側、上側の順で最終の異物確認を行っていました。

以上の状況から、下側配管の養生蓋を外した状態で上側配管内の異物確認を行っていた際に、作業員の衣服等に付着していた削り屑が落下して下側配管内に混入し、系統内へ持ち込まれた可能性があるかと推定されました。

2. A-蒸気発生器管支持板付近の異物の発生源の調査結果

○線状の異物を回収した結果、異物は3つに割れましたが、細長い薄片状(全長約115mm、幅約1mm、厚さ約0.09mm)で、粒状のものが集まった多孔性(スポンジ状)のものでした。

○異物の主成分はマグネタイト(酸化鉄の一種)で、その表面には蒸気発生器伝熱管の表面仕上げ時の加工痕と思われるスジ模様が確認されました。

以上のことから、当該異物は外部から持ち込まれたものではなく、給水系統の配管から発生した酸化鉄が蒸気発生器伝熱管表面に付着し、線状に剥がれたものと推定されました。

3. 今回の事象を踏まえた点検

○蒸気発生器(全3台)の2次側管板上面を点検し、異物等のないことを確認しました。

○今回の定期検査で計画していたA-蒸気発生器に加え、B、C-蒸気発生器の伝熱管全数についてECTを実施し、定期事業者検査にて健全性を確認しました。

○給水ブースタポンプ入ロストレーナ(全6台)から蒸気発生器の間で、異物滞留の可能性のある箇所を点検し、異物等のないことを確認しました。

4. 対 策

配管取替作業時における異物混入を防止するため、以下の項目を社内ルールへ反映し、異物管理のさらなる徹底を図ります。

- ・異物確認を実施する直前に、異物確認者の作業服や作業靴などの清掃を行う。
- ・異物確認は1箇所ずつ確実にを行い、確認の直前に異物養生を取り外す。

また、異物管理に関する協力会社への説明会を実施し、異物管理の再徹底を図りました。
(平成19年5月25日実施済み)

以 上

※1：清掃作業

蒸気発生器の2次側に持ち込まれた給水中の不純物が管板上面に堆積するため、それを取り除く作業を定期検査毎に実施している。

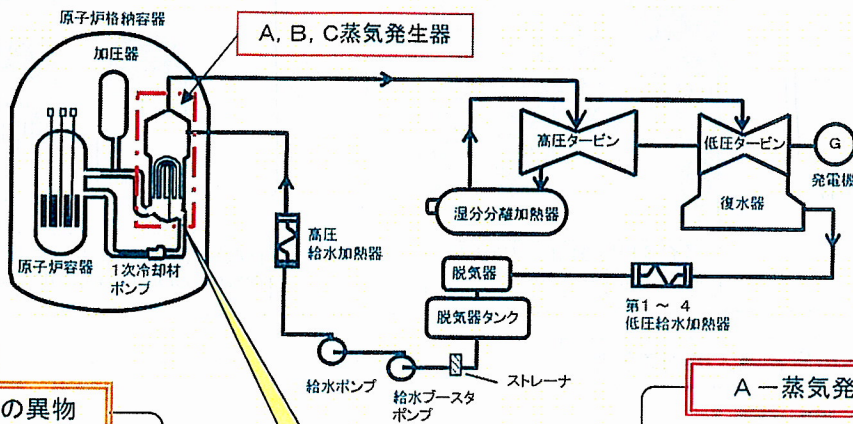
※2：開先加工

配管同士を溶接するために端面をあらかじめ斜めに加工すること。

※3：ストレーナ

流体通路にあって、油、水、蒸気に含まれている異物を除去する装置。

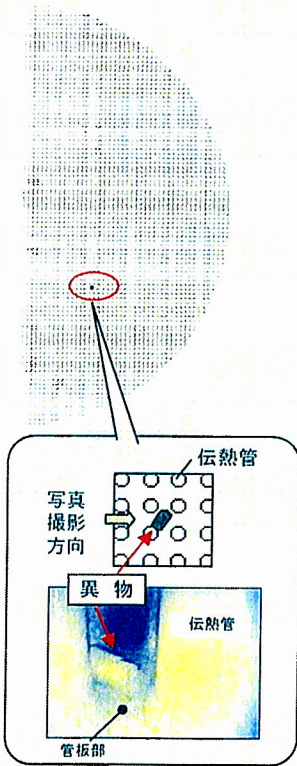
異物の回収結果



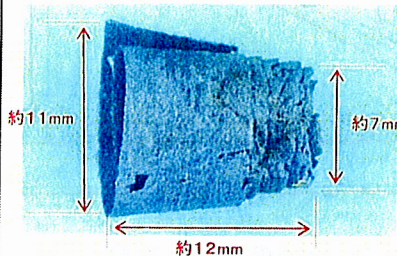
C-蒸気発生器内の異物

高温側管板部

(上から見た図)

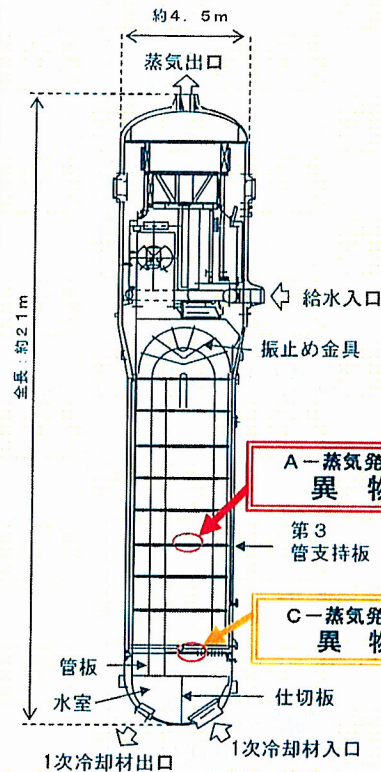


回収異物



形状: 渦を巻いた形状
重量: 約0.9グラム
板厚: 約0.2mm
材質: 炭素鋼の母材と溶接金属が混在

蒸気発生器概要図



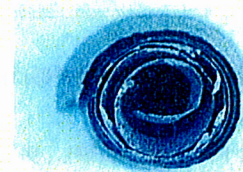
A-蒸気発生器
異物

第3管支持板

C-蒸気発生器
異物

伝熱管本数: 3,382本
伝熱管外径: 約22.2mm
伝熱管厚さ: 約1.3mm
伝熱管材料: インコネルTT690
(特殊熱処理材)

矢印方向に撮影した写真

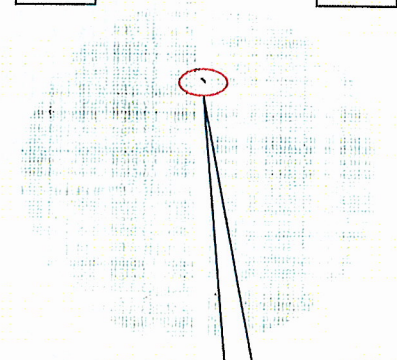


A-蒸気発生器内の異物

第3管支持板部

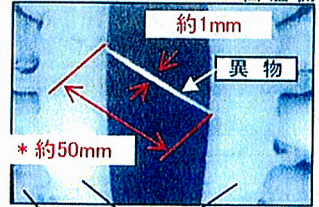
(下から見た図)

低温側 高温側



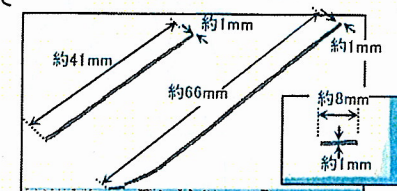
(下から見た写真)

低温側 高温側



回収異物

異物は、簡単に割れる脆いものであったため、回収の際、3つに割れた。

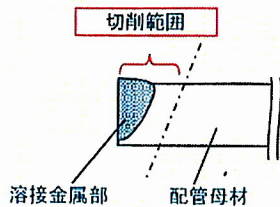


形状: 幅の狭い帯状
表面: 多孔性(スポンジ状)で、一部の面では蒸気発生器伝熱管表面と同様のスジ模様を有していた。
板厚: 約0.09mm
材質: マグネタイト[酸化鉄(黒錆の主成分)の一種]

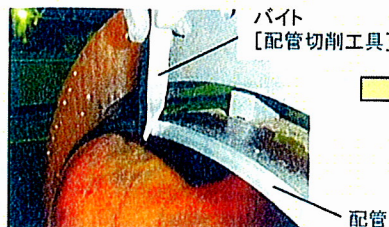
給水系統で発生した酸化鉄が蒸気発生器伝熱管表面に付着し、それが剥がれたものと考えられた。

開先加工の試験

<開先加工>

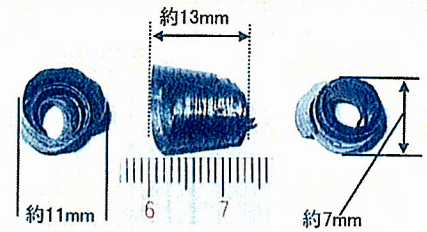


<開先加工機の例>



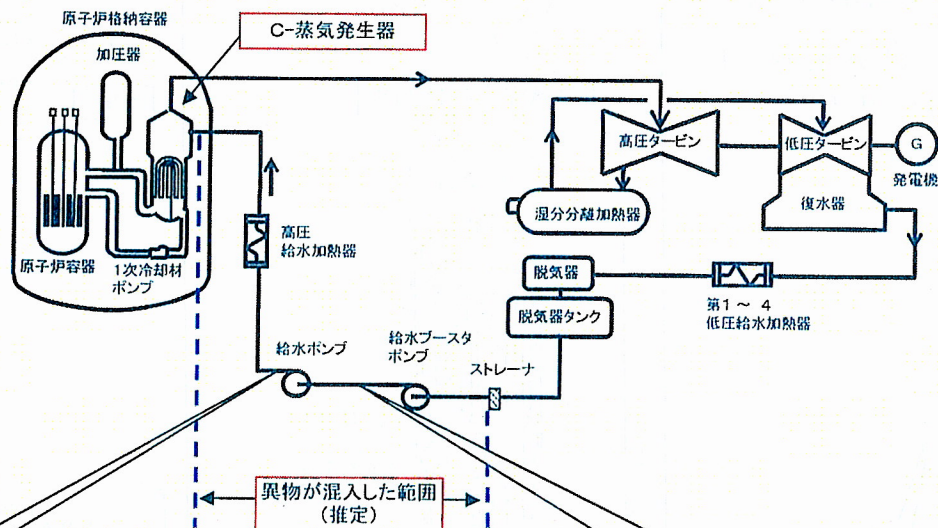
パイプを円周方向に繰り返し動かし、薄く削り取る作業

試験時の削り屑



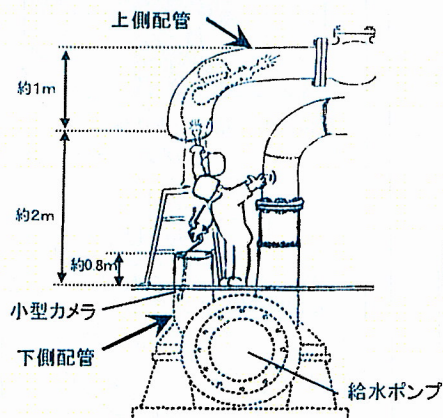
回収異物と同様な形状であることから、回収異物は、炭素鋼配管の開先加工時の削り屑であると考えられた。

C-蒸気発生器への異物混入の調査結果



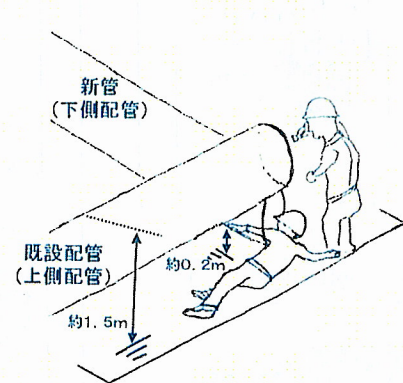
A-給水ポンプ出口配管取替工事 【異物養生蓋を取り外して行った作業】

〔新管取付前の異物確認作業状況〕



B-給水ブースタポンプ出口配管取替工事 【異物養生蓋を取り外して行った作業】

〔新管取付前の異物確認作業状況〕



異物確認の際、衣服等に付着していた削り屑が落下し、下側配管内に混入しものと考えられた。

対 策

○今回の美浜3号機の配管取替工事および定期検査開放機器の復旧にあたって、異物管理に関する協力会社への説明会を実施し、異物管理の再徹底を図った。(平成19年5月25日実施済み)

○配管取替作業時における異物混入を防止するため、以下の項目を社内ルールへ反映し、異物管理のさらなる徹底を図る。

- ・異物確認を実施する直前に、異物確認者の作業服や作業靴などの清掃を行う。
- ・異物確認は1箇所ずつ確実にいき、確認の直前に異物養生を取り外す。

3. その他情報

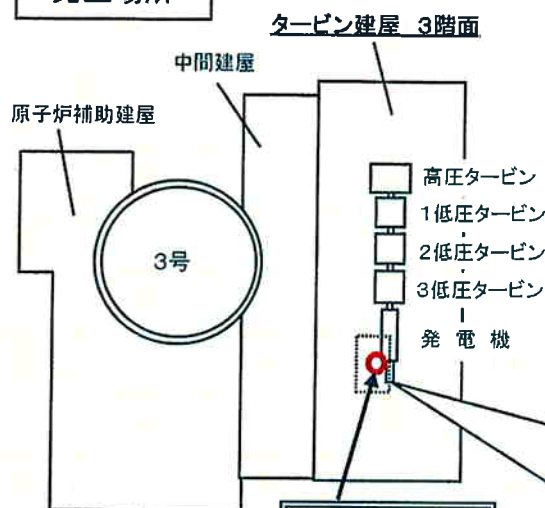
(1) 不具合情報

発電所名	美浜発電所3号機	発生日	第22回定期検査中(5月24日)
件名	発電機部品(ケーシングボルト)運搬中の協力会社作業員の負傷について (添付図5参照)		
事象概要 および 対策等	定期検査中の5月24日、タービン建屋3階において発電機定期点検工事に従事していた協力会社社員が、発電機のケーシングボルト6本(1本:長さ約700mm、直径75mm、重量20kg)を台車にて発電機近くへ運搬し、その後、ケーシングボルト(1本)を両手で抱えて運搬していたところ、足元にあったエアホースの束につまずいて転倒し、その際、両手が床とケーシングボルトに挟まれ、指2本を負傷しました。 原因は、作業区画内には障害物が置かれていましたが、作業員が当該作業エリア内での運搬を意識したこと、障害物は容易にまたげると判断したこと、障害物を乗り越える運搬経路を選択し、足元の障害物につまずき負傷する結果となりました。 また、作業計画段階に人力運搬に関する危険性を把握していましたが、人力運搬は日々行うことから当日の作業前ミーティングなどでも特段の注意喚起を行っておらず、転倒に関する作業員の危機意識が不十分でした。 対策については以下のとおり実施します。 (1) 今回の事例を協力会社に周知し、重量物を人力運搬する際は障害物のない安全な経路を通ること、滑り止めのついた手袋を着用することについて、注意喚起を行った。 (2) 今後、重量物の運搬作業は、障害物のない安全な経路を確保すること、台車等で可能な限り運搬先付近まで運搬して人力運搬の距離をできるだけ短くすることを、労働安全に関する注意事項表に明記する。		

美浜発電所3号機

発電機部品(ケーシングボルト)運搬中の協力会社作業員の負傷について

発生場所



発生場所

発電機部品(ケーシングボルト)



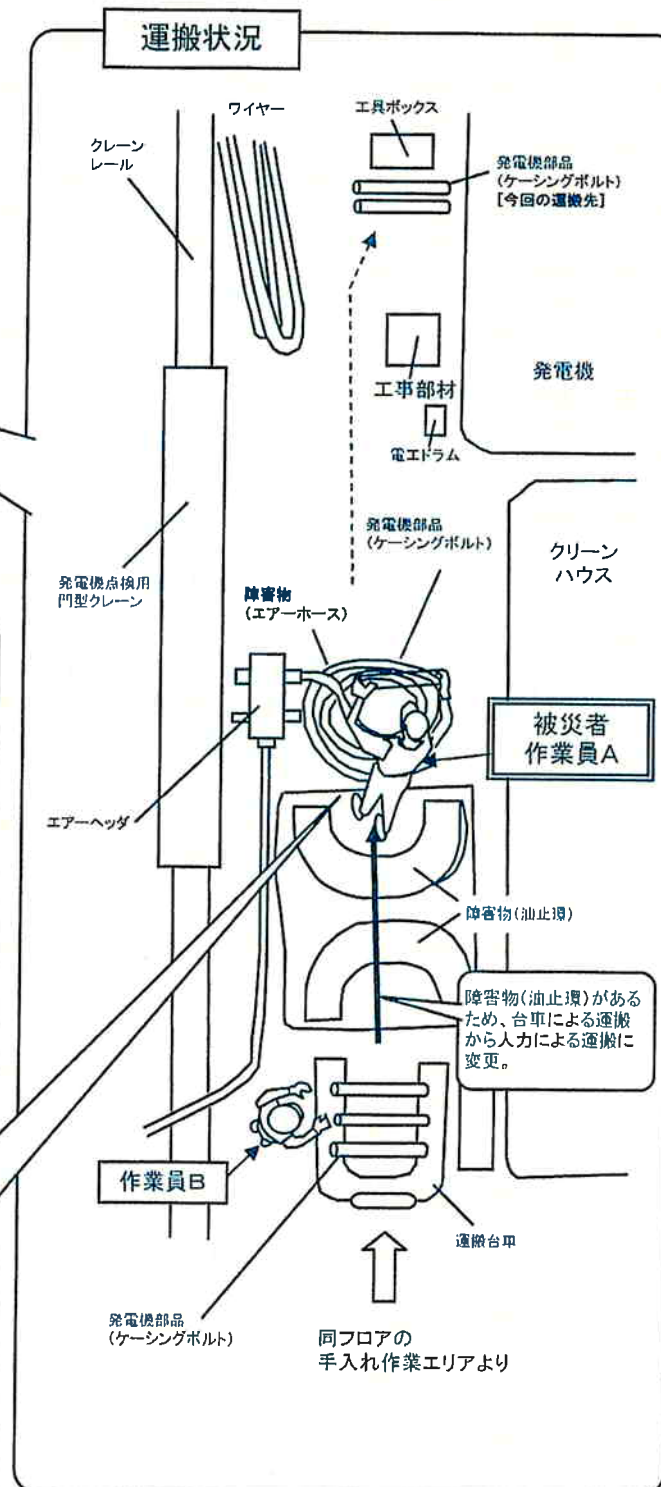
直径:約75mm、長さ:約700mm、重さ:約20kg
 材質:クロムモリブデン鋼
 運搬時の状態:ウエスとビニールテープで養生

負傷時の状況



エアース東につまづき倒れ、両手の指を負傷した。

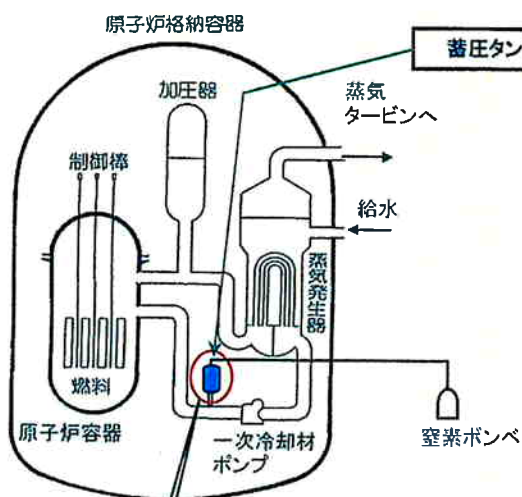
運搬状況



発電所名	美浜発電所3号機	発 生 日	第22回定期検査中（6月8日）
件 名	A蓄圧タンク窒素供給系統からの僅かな窒素漏れについて (添付図3参照)		
事象概要 および 対 策 等	定期検査中の6月8日、蓄圧タンク※（全3台）の漏えい検査を行うため、同タンクに窒素を供給し、所定の圧力にて漏えい確認を行っていたところ、A蓄圧タンクの窒素供給系統配管の溶接部1箇所から僅かに窒素が漏れていることを確認しました。 このため、今後、当該部を切断し新品の配管に取り替えるとともに、漏えい部について詳細調査を行います。 なお、B、C蓄圧タンク、および蓄圧タンクにつながる窒素供給配管の溶接部について点検し、当該部以外に漏えいのないことを確認しました。 本事象による環境への放射能の影響はありません。 ※蓄圧タンク 原子炉冷却材喪失事故時など1次冷却系統の圧力が所定値以下に低下した際に、系統に注入するためのほう酸水を蓄えているタンク。ほう酸水は窒素により加圧（約4.4～4.5MPa）されている。 [平成19年6月11日 お知らせ済み]		

美浜発電所3号機 A蓄圧タンク窒素供給系統からの僅かな窒素漏れについて

概略系統図

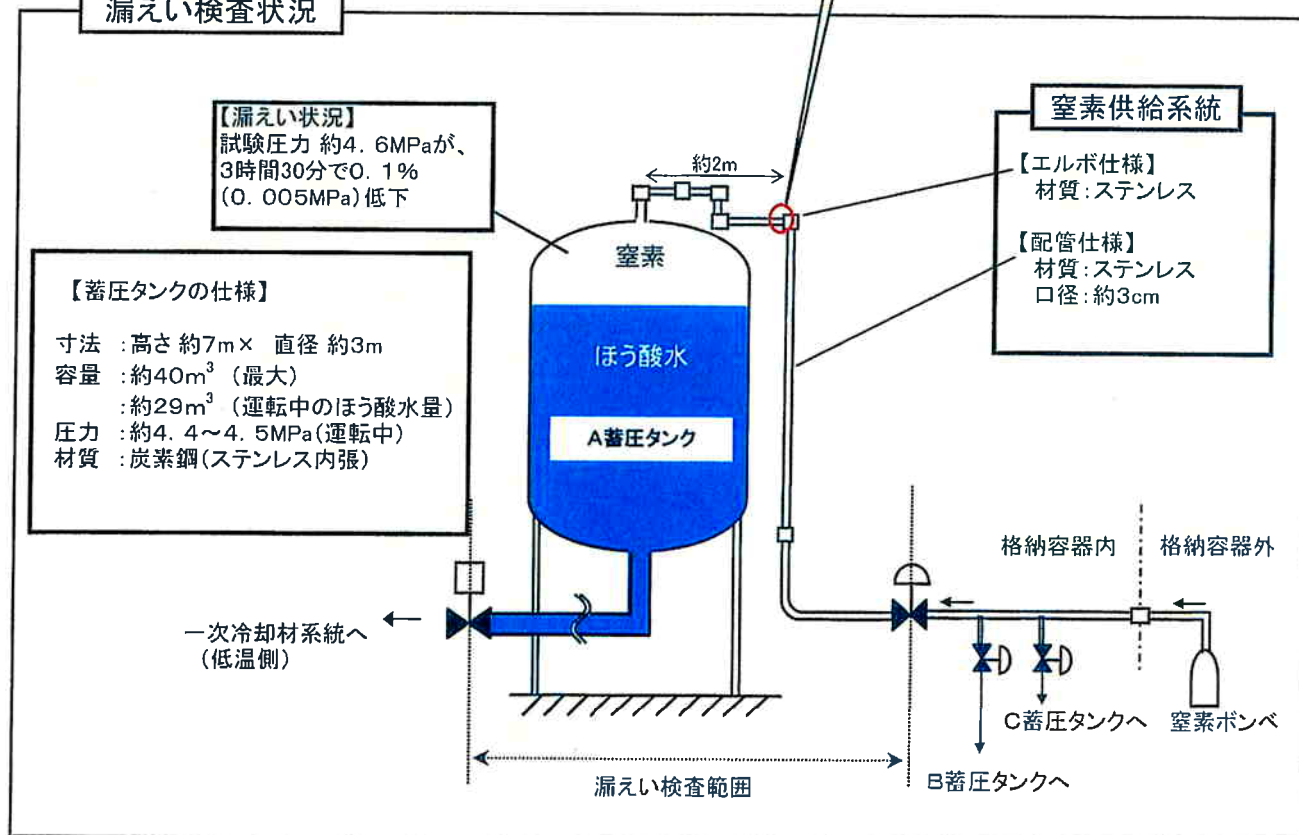


漏えい箇所



発泡液を塗布し、漏えいの有無を確認したところ、発泡が確認された。

漏えい検査状況



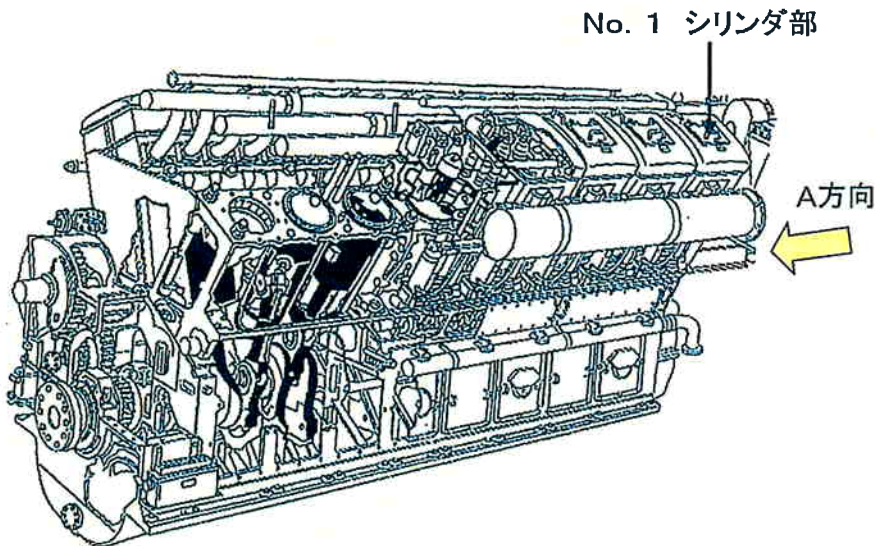
(2) (1) に至らない軽微な事象

発電所名	大飯発電所1号機	発 生 日	8月10日
件 名	B-非常用ディーゼル発電機シリンダ冷却水の漏えいに伴う待機除外について (添付図2参照)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の8月10日、2台ある非常用ディーゼル発電機のうちB号機の定期負荷試験^{※1}を実施していたところ、シリンダ冷却水フランジ部から水漏れが確認されました。 漏えい箇所を確認した結果、フランジ部のパッキンに損傷が確認され、B号機の機能に影響があることから、保安規定の運転上の制限^{※2}を満足していないものと判断し、待機除外^{※3}としました。同日、当該部のパッキンを新品に取り替え、翌11日に再度定期負荷試験を行い健全性を確認し、待機状態に復旧し保安規定の運転上の制限を満足した状態に復帰しました。 なお、本事象による環境への放射能の影響はなく、プラントの運転にも影響はありません。 ※1：定期負荷試験 非常用ディーゼル発電機の機能の健全性を確認するための試験である。(1回/月) ※2：保安規定の運転上の制限 運転中は、非常用ディーゼル発電機が2台動作可能であることが求められている。 ※3：待機除外 通常、いつでも起動できる状態(待機状態)にある機器を起動できない状態とすること。 [8月15日お知らせ済み] 漏えい箇所について確認した結果、パッキンに経年変化によるひび割れ等が確認されており、また、その後の詳細調査の結果、パッキンを固定するフランジ部を取付ける際に片締めとなり、当該部破損箇所は締付け力が不十分な状態であったことが確認されました。 これらのことから今回の事象の原因は、フランジ部が片締めとなっていたため、当該部破損箇所の締付け力が不十分な状態であったことに加え、長期間の締付けによってパッキンの反発力(締付け力)が低下したことにより、パッキン接触面の摩擦力が低下し、当該部のパッキンが水圧によってフランジ外側へと押し出されました。また、パッキンが押し出された箇所において外気との接触による硬化およびき裂の進展が繰り返され、最終的にパッキンが破断し、シリンダ冷却水が漏えいしたものと推定されました。 対策として、締付け不足が発生しないよう、パッキンの取付け時の締付け量について数値管理を行うこととし、作業手順書に反映します。また、長期間の締付けによる締付け力の低下を考慮しパッキンの取替え周期について検討します。		

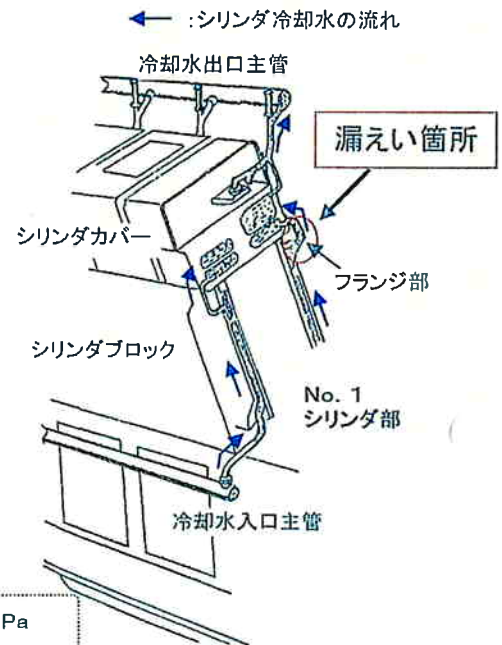
大飯発電所1号機

B-非常用ディーゼル発電機シリンダ冷却水の漏えいに伴う待機除外について

B-非常用ディーゼル発電機概要図



A方向より見た断面概要図

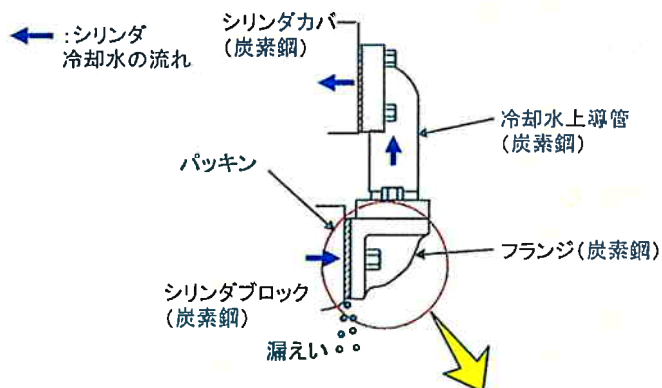


【B-非常用ディーゼル発電機の仕様】

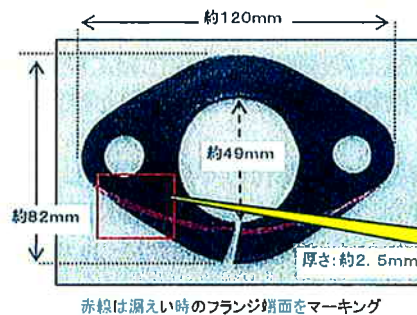
出力: 5,500kW
全長: 約7m
全高: 約4m
全幅: 約4m

冷却水系統内圧力: (運転時) 約200~250kPa
(待機時) 約40kPa
冷却水系統内温度: (運転時) 90℃未満
(待機時) 約60~80℃

フランジ部の概要図

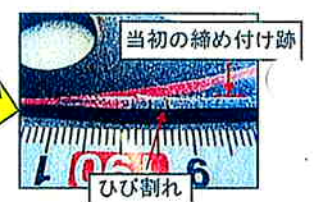


パッキンの点検結果

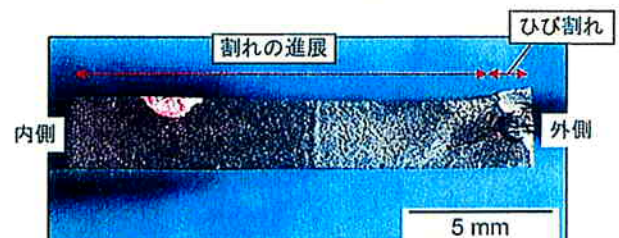


【パッキンの仕様】

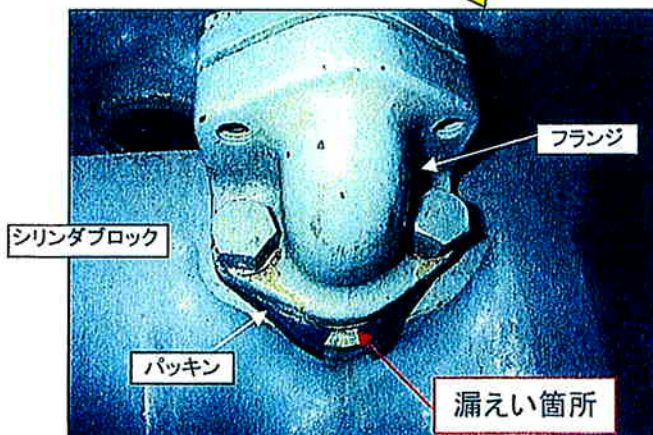
材質: ニトリルゴム
最高使用温度: 100℃



破断面の観察



外側のひび割れを起点として、内側に向かって進展している様相。



大飯発電所1号機の原子炉手動停止に伴う点検結果について
(1次冷却材ポンプ封水注入フィルタからの水漏れの原因と対策)

平成19年9月7日
関西電力株式会社

大飯発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力117万5千キロワット、定格熱出力342万3千キロワット)は、定格熱出力一定運転中のところ、9月3日21時15分頃、当社社員が体積制御タンク水位の低下を確認するとともに、加圧器水位についてもわずかに低下傾向にあることを確認しました。

直ちに関連パラメータを確認したところ、原子炉補助建屋の床ドレンタンク水位の上昇が確認されたため、同建屋内を点検した結果、1次冷却材ポンプのA-封水注入フィルタ※1付近から漏水していることが判明しました。

このため、B-封水注入フィルタに切り替えるとともに、A-封水注入フィルタの入口弁と出口弁を閉止し、同日23時39分に漏水は停止しました。今後の運転に万全を期す観点から、原子炉を手動停止し、漏えいが発生したA-封水注入フィルタの点検を行うこととしました。

漏えいした水は補助建屋の床ドレンタンクに回収しており、漏水量は約3.4 m³(放射エネルギーは約 6.8×10^5 Bq)と推定されます。

また、今回の漏水に伴い、プラント排気筒ガスモニタの指示値が通常値に比べわずかに上昇(約870 cpm→約900 cpm)※2しましたが、これによる環境への放出放射エネルギーは、約 1.4×10^9 Bqと評価され、保安規定に基づく年間の放出管理目標値(3.9×10^{15} Bq/年)に比べ、200万分の1以下であることを確認しています。

なお、発電所敷地内および周辺のモニタリングポストの指示値は平常と変わりなく、環境への影響はありません。

※1：ポンプ内の水が主軸に沿ってポンプ外部に流出しないようにシール水を注入しているが、その水を浄化するもの。

※2：大飯1号機においては、注意警報値3000cpm、高警報値20000cpm

[平成19年9月4日 お知らせ済み]

9月4日16時より出力降下を開始し、23時に発電を停止、9月5日0時49分に原子炉を停止した後、漏水が確認されたA-封水注入フィルタの詳細調査等を実施しました。

1. 調査結果

(1) 漏えい部の調査結果

- 当該フィルタは、上部にフランジタイプの蓋が取り付けられた円筒形容器で、フランジ合わせ面の溝にOリング(ゴム製で断面が円形のリング状パッキン)を装着し、3本のボルトで蓋を締め付けて漏れを防止しています。
- 外観観察の結果、容器表面の一部に漏れ跡が確認され、Oリングが破断してフランジ合わせ面からはみ出していることが認められました。また、発泡材を用いた漏えい試験で、フランジ合わせ面からの漏えいが確認されました。

○フランジ合わせ面の隙間測定を行ったところ、漏えい部位で最大0.35mmの隙間が認められましたが、その他の部位ではほとんど隙間が認められず、フランジ部の締付けが不均一（片締め）となっていたことが確認されました。

（２）フィルタ取替状況の調査結果

- 当該フィルタについては、7月30日にフィルタ取替作業が行われていますが、その作業状況を調査したところ、協力会社作業員は3本のボルトを交互に段階的に締め付け、目視で片締めのないことを確認した後、系統圧力をかけて漏えい試験を実施していました。
- その後、出入口弁を閉じて待機状態としていましたが、9月1日にB-フィルタから当該フィルタへの切替えを行い、通水を開始しました。

2. 推定原因

- 7月30日のフィルタ取替作業において、フランジ部が片締めとなっていたため、当該部において十分な締付け量が確保されていませんでした。
- このため、9月1日の当該フィルタへの通水開始に伴い、当該部において、系統圧力によりＯリングが徐々に外側（フランジ端面方向）に押し出され、Ｏリングの伸びの限界を超えて破断し、漏えいが発生したものと推定されました。
- なお、片締めとなった原因については、フィルタ取替作業手順書に片締めの確認方法が明記されておらず、適切な締付管理ができていなかったことによるものと考えられます。

3. 対 策

- 当該フィルタおよびB-フィルタについてＯリングを新品に取替えます。取替えにあたっては、片締めにならないよう、隙間ゲージによるフランジ部の隙間管理を実施します。
- 今回の封水注入フィルタと同様の1次系水フィルタのフランジ合わせ面について、隙間確認を行い、片締めが確認された箇所については再度締付けを行いました。
- Ｏリングを使用する容器等のフランジ部における取替作業手順書に、隙間ゲージによるフランジ部の隙間管理を実施することを明記します。
- 本事象を協力会社作業員に周知徹底しました。また、本事象を原子力発電所請負工事に関する心得集に事例追加することとしました。

当該フィルタおよびB-フィルタのＯリングを新品に取替えた後、9月8日に原子炉を起動し、同日中に発電を再開する予定です。

以 上

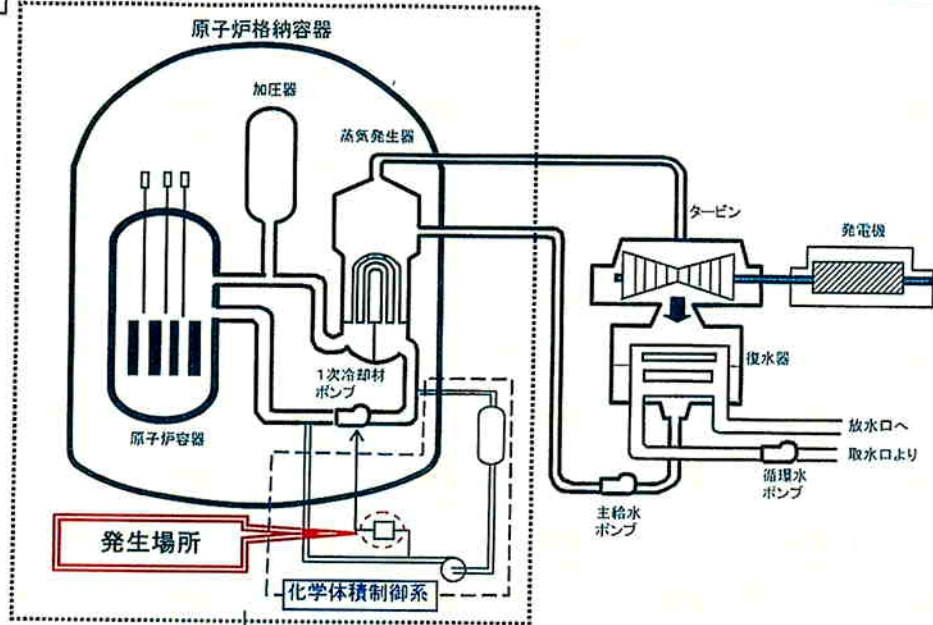
（経済産業省によるINESの暫定評価）

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0+	0+

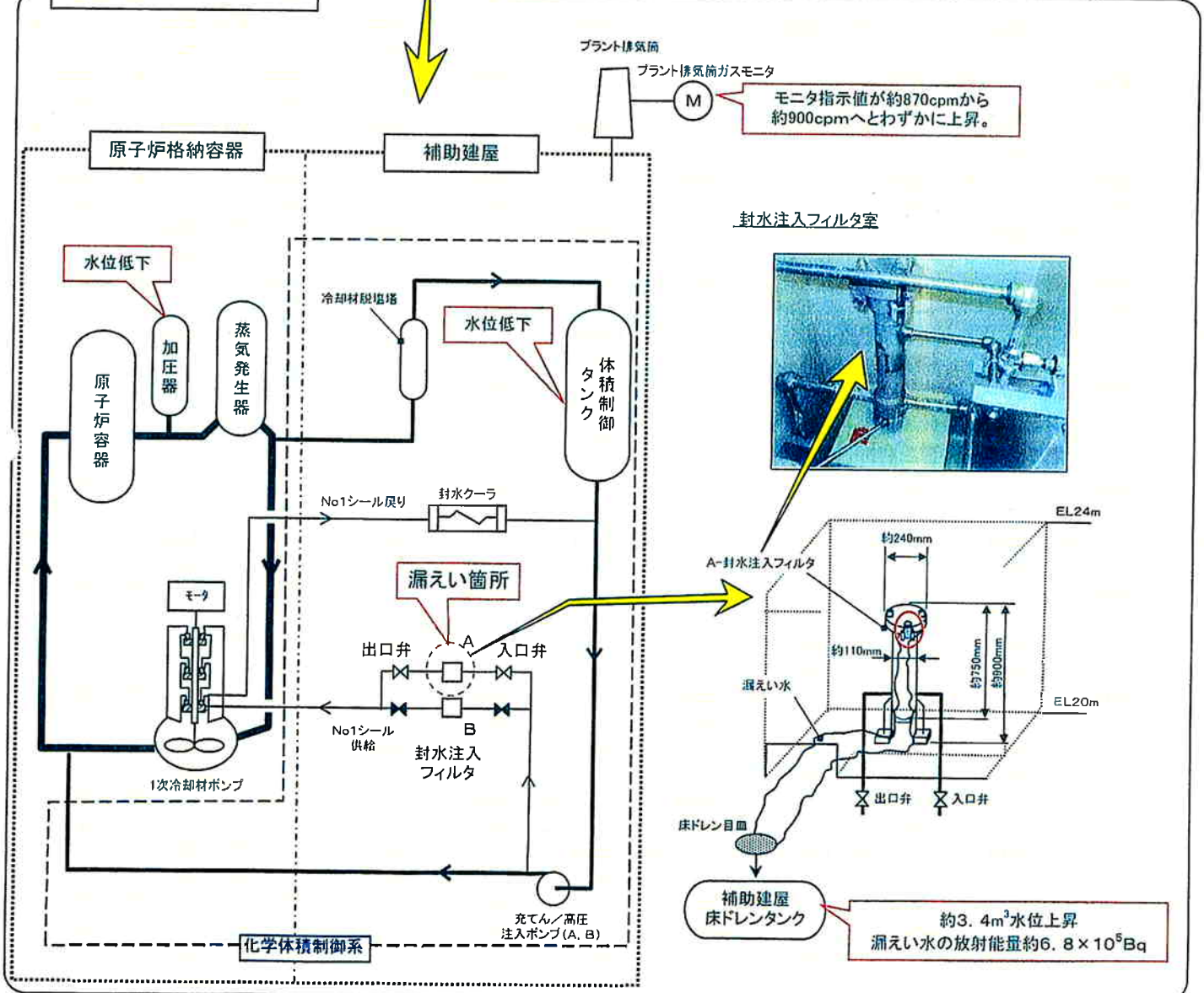
INES：国際原子力事象評価尺度

大飯発電所1号機の原子炉手動停止に伴う点検結果について
(1次冷却材ポンプ封水注入フィルタからの水漏れの原因と対策)

系統概略図

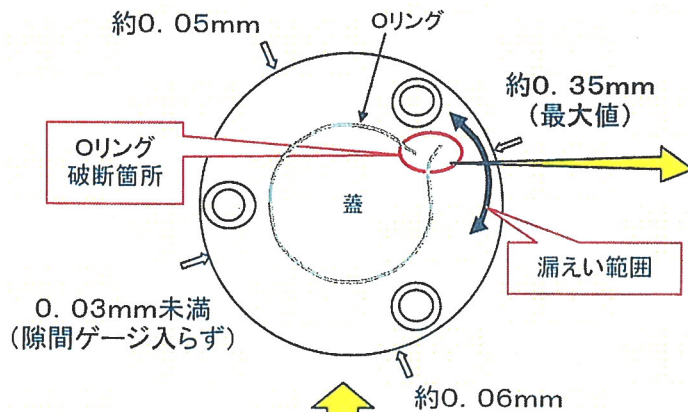


漏えい確認箇所

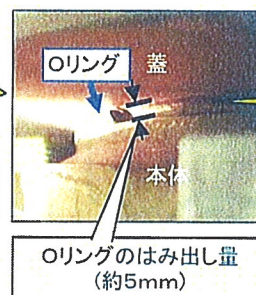


点検結果

蓋を上から見た図(蓋とフランジの隙間測定)



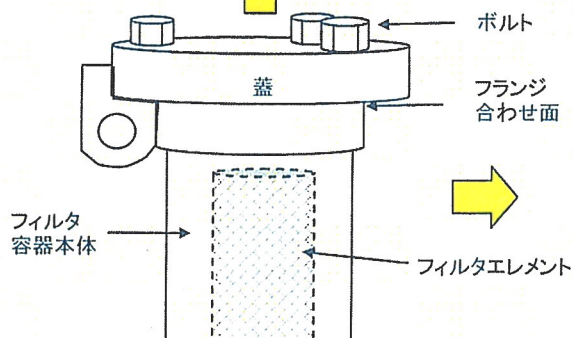
漏えい箇所の状況写真



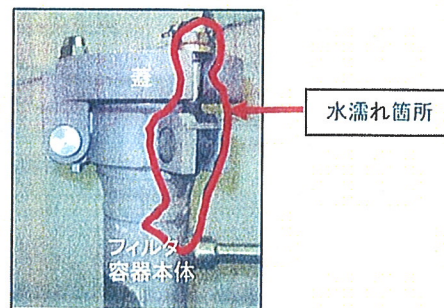
リング写真

【仕様】
材質:エチレンプロピレンゴム
リング内径:約97mm
円形断面径:約3.5mm

封水注入フィルタ部概略図

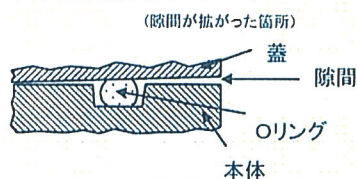


水濡れ状況写真



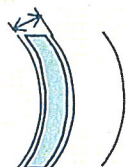
漏えい発生メカニズム

フランジ片締め状態



リングは正常

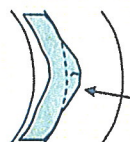
リング溝(幅:約5mm 深さ:約3mm)



圧力がかかった状態



隙間が大きいため、
系統水の圧力により
リングが徐々に外
側に押し出された。



リングの伸
びが発生。

漏えいが発生



リングの伸びの
限界を超えて破断
し、漏えいが発生
した。



対 策

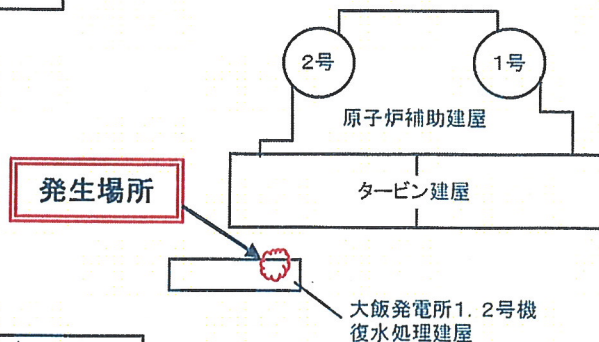
- 当該フィルタおよびB-フィルタについてリングを新品に取替える。なお、取替えにあたっては、片締めにならないよう、隙間ゲージによるフランジ部の隙間管理を実施する。
- 今回の封水注入フィルタと同様の1次系水フィルタのフランジ合わせ面について、隙間確認を行い、片締めが確認された箇所については再度締め付けを行った。
- リングを使用する容器等のフランジ部における取替作業手順書に、隙間ゲージによるフランジ部の隙間管理を実施することを明記する。
- 本事象を協力会社作業員に周知徹底した。また、本事象を原子力発電所請負工事に関する心得集に事例追加する。

(1) 不具合情報

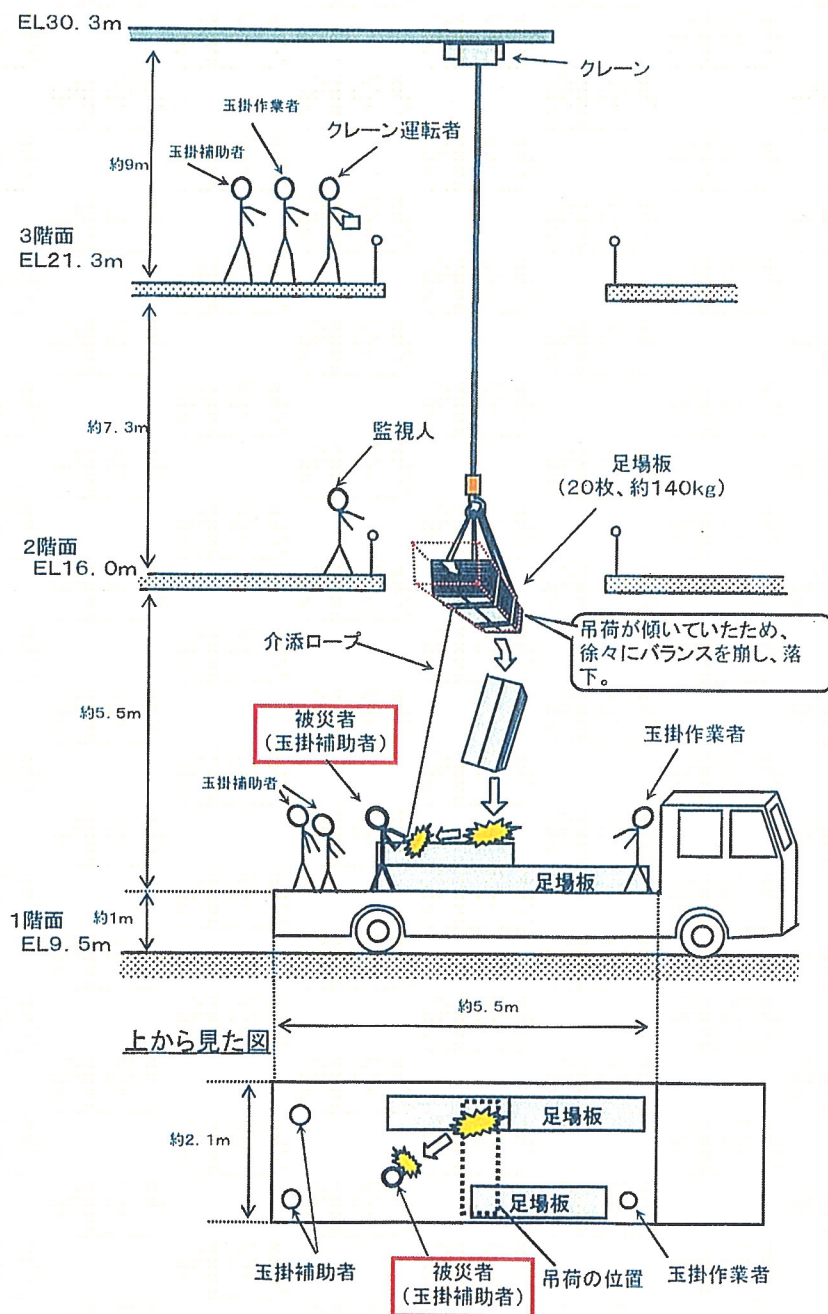
発電所名	大飯発電所1, 2号機	発 生 日	9月10日
件 名	復水処理建屋での協力会社作業員の負傷について (添付図3参照)		
事象概要 および 対 策 等	9月10日、大飯発電所1, 2号機復水処理建屋1階面の機器搬出入口において配管点検の準備作業中、トラックの荷台からスチールバンドで固縛した足場板20枚(約140kg)を、3階面までクレーンで吊り上げる作業を実施していたところ、吊り上げ途中で荷崩れを起こし、足場板がトラック荷台に落下しました。 その際、落下した衝撃で固縛していたスチールバンドが切れ、足場板の一部が跳ね上がり、トラックの荷台にいた作業員の1人に当たり、左足、右肩および腰を負傷しました。 原因は、吊上げ作業の際、玉掛け作業員が吊荷の拘束力が弱い「半掛け（吊荷に回して掛ける方法）」により玉掛けを行い、吊上げ途中で吊荷が若干傾いていることに気づいたものの、問題ないと判断し作業を続行したため、足場板が徐々にバランスを崩し落下したものと推定されました。 対策として、吊荷の拘束力が強い「目通し（吊荷を絞り込むように掛ける方法）」等による玉掛けを実施することを社内ルールに明記します。また、今回の事例について協力会社に周知・徹底を行います。		

大飯発電所1、2号機 復水処理建屋内における協力会社作業員の負傷について

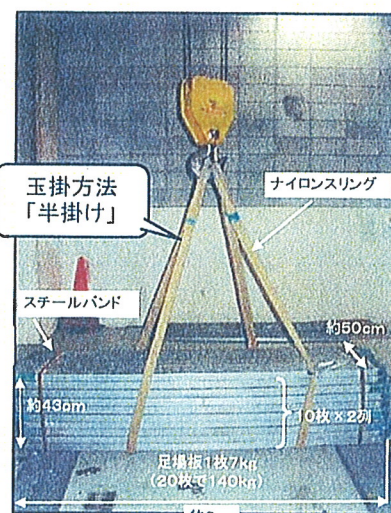
発生場所



発生時の状況概要図



足場板の吊り上げ時の状況



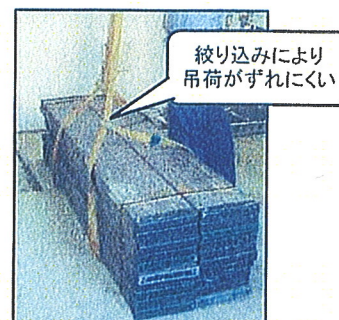
作業はトラックの荷台上で行っていた

【足場板仕様】
縦：約2m
横：約25cm
重さ：約7kg
材質：スチール(鋼鉄)

【ナイロンスリング仕様】
材質：超高強度ポリエステル
基本使用荷重：2.88ton
寸法：幅約5cm、長さ約2.9m

【スチールバンド仕様】
幅：約19mm
厚さ：約0.6mm
端部は留め金具を圧着

対策(玉掛方法「目通し」)



美浜発電所2号機の定期検査状況について (A—蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

平成20年2月4日
関西電力株式会社

美浜発電所2号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力50万キロワット、定格熱出力145万6千キロワット)は、第24回定期検査中に、予防保全対策として、蒸気発生器(SG)出入口管台(計4箇所)溶接部表面の残留応力を低減させるためにショットピーニング工事※1を実施することとし、平成19年9月15日から9月18日にかけて、その施工前確認のための目視点検および渦流探傷試験(ECT)※2を行ったところ、A—SG入口管台溶接部においてECTで13箇所の有意な信号指示が認められ、目視点検で1箇所の傷(ECTで有意な信号指示が確認された箇所)を確認しました。浸透探傷試験(PT)※3を実施したところ、それら全ての箇所において有意な浸透指示模様(最大長さ:約17mm)を確認しました。

このため、超音波探傷試験(UT)※4で傷の深さを測定した結果、浸透指示模様で最大長さを確認した部位で深さ約13mmの傷を確認しました。この傷の深さを考慮すると、当該管台溶接部の板厚(約68mm)は、電気事業法に基づく工事計画認可申請書に記載している板厚(75mm)を下回るものと評価されました。

その後、傷が確認されたA—SG入口管台溶接部の内表面について、エッチング※5およびスンプ※6による金属組織観察を行った結果は以下のとおりです。

○エッチングによる金属組織観察の結果、傷は主に600系ニッケル基合金溶接部に認められましたが、ステンレス製短管(セーフエンド)部にも一部認められました。

○最も傷が深かった箇所(長さ約17mm、深さ約13mm)についてスンプ調査を実施した結果、長さ約3～5mmの複数の割れが軸方向に断続的に存在し、600系ニッケル基合金溶接部内のデンドライト境界※7に沿った割れでした。

この割れの特徴は、これまで国内外の600系ニッケル基合金溶接部で確認されている1次冷却材中の環境下における応力腐食割れ※8と同様の様相でした。

○セーフエンド部で認められた傷についてスンプ調査を実施した結果、金属結晶の粒界に沿って枝分かれした割れが複数認められました。

本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。

[平成19年9月25日、10月18日 お知らせ済み]

※1: ショットピーニング工事

金属表面に金属の玉を高速度でたたきつけることにより、金属表面の引張残留応力を圧縮応力に変化させる工事。

※2: 渦流探傷試験(ECT)

材料表面に渦電流を流して、材料に発生する電磁誘導の変化から検査対象の傷を検出する方法。

※3: 浸透探傷試験(PT)

試験体表面に開口している傷を目で見やすくするため、可視染料の入った高浸透性の液を浸透させた後、余分な浸透液を除去し、現像剤により浸透指示模様として観察する方法。

※4：超音波探傷試験（UT）

構造物に入射した超音波が欠陥に当たって跳ね返ってくる反響を観察することにより、欠陥の形態、形状、寸法を調べる方法。

※5：エッチング

損傷部の表面を磨いた後、しゅう酸水溶液等により表面を腐食させ、溶接部や母材部などの金属組織の違いを出現させて光学顕微鏡で観察する方法。

※6：スンプ

損傷部の表面を磨いた後、表面にフィルム等を貼り付け写し取り、これを顕微鏡で観察。損傷部の金属サンプルを切り出すのと同様な調査が可能。

※7：デンドライト境界

溶接部では、溶融した金属が固まる際にできる柱状の結晶（デンドライト結晶）ができ、その結晶組織の境界のことをデンドライト境界という。

※8：1次冷却材中の環境下における応力腐食割れ

1次冷却水中の環境下で600系ニッケル基合金に発生するPWRプラント特有の応力腐食割れ。（材料、環境および発生応力の3要素が重なって発生する割れ）

割れが発生した原因について詳細に調査するため、A-SGの入口管台溶接部および配管の一部を切断し、試験研究機関に搬出して、破面観察や化学成分分析等の調査を行った結果は、以下のとおりです。

1. 原因調査結果

（1）実機切断調査

（溶接部）

- ・割れは、軸方向の複数の割れから構成されており、最大深さ約11.5mmであり、デンドライト境界に沿って進展していました。
- ・割れ周辺は、スンプ観察の前に表面を磨く必要がありバフ施工^{※9}を行ったため、表面は研磨が施されていた状態でしたが、それ以外の溶接部（一般部）に、機械加工^{※10}跡である周方向の筋状の跡が等間隔に認められました。
- ・表面の残留応力を測定した結果、周方向に約280～480MPa、軸方向に約70～350MPaの引張残留応力を確認しました。
- ・溶接金属の化学分析を行い、製造時のミルシート（材料成績書）と相違がないことを確認しました。

※9：バフ施工

溶接部表面等に対して、電動工具に取り付けた円形状のワイヤブラシ等（バフ）により、表面の研磨を行うこと。

※10：機械加工

溶接により発生する表面の凸凹を切除するとともに、管台とセーフエンド部の段差を無くするため、金属製の刃を周方向に回転させ切削加工すること。

(セーフエンド部)

- ・割れは、主に2つの表層部の微小な割れからなり、オーステナイト結晶粒界^{※11}に沿った破面が認められました。また、割れの最大深さは約0.9mmであり、当該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している板厚(75mm)を上回っていることを確認しました。
- ・割れ周辺は、スンプ観察の前に表面を磨く必要がありバフ施工を行ったため、表面は研磨が施されていた状態でしたが、それ以外のセーフエンド一般部の表面を型取観察した結果、機械加工跡である周方向の筋状の跡がほぼ等間隔に認められました。
- ・表面の残留応力を測定した結果、周方向に約570MPa、軸方向に約350MPaの引張残留応力を確認しました。
- ・短管金属の化学分析を行い、製造時のミルシート(材料成績書)と相違がないことを確認しました。

※11：オーステナイト結晶粒界

ステンレス鋼に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼が持つハチの巣のような形をした結晶粒同士の境をいう。

(2) 製造履歴調査

当該SGは、平成3年10月～平成6年2月の間に工場で製作した際、SG管台部とセーフエンド部の溶接作業が行われていました。その際、機械加工を実施していました。

また、当該管台と今回の検査で傷が認められなかったB-SG管台との製作手順を確認しましたが相違は認められず、溶接の手直しについてもなかったと考えられました。

(3) 機械加工再現試験

機械加工による影響を確認するため、聞き取り結果を踏まえた加工条件で実物大の共試体に機械加工を実施し、表面状態の観察をしたところ、実機で観察されたものと同様な周方向の筋状の跡がほぼ等間隔で確認されました。

また、残留応力を測定したところ、当該部と同様に、周方向に大きな引張残留応力を確認しました。

(4) 文献調査

(溶接部)

文献調査を行った結果、600系ニッケル基合金溶接部については、加圧水型軽水炉(PWR)の1次冷却材環境下で300MPa以上の応力が残留していた場合、1次冷却材中の環境下における応力腐食割れが発生する可能性があることを確認しました。

また、応力腐食割れは、溶接部のデンドライト境界に沿った割れが進展することを確認しました。

(セーフエンド部)

セーフエンド部で使用しているステンレス鋼については、PWRの1次冷却材環境下で応力腐食割れが発生した事例を確認することはできませんでした。

(5) 調査結果のまとめ

(溶接部)

- ・過去の応力腐食割れ事象と同じデンドライト境界に沿った割れを確認しました。
- ・溶接部の表面において、1次冷却材環境下で応力腐食割れが発生する可能性のある応力を超える引張残留応力を確認しました。

(セーフエンド部)

- ・溶接部近傍において、オーステナイト結晶粒界に沿った微小な割れを確認しました。
- ・セーフエンド部の表面に、機械加工の影響と考えられる高い引張応力が残留していることを確認しました。

2. 推定原因

600系ニッケル基合金部の割れについては、取替用SGの製作時の溶接および機械加工を行ったところ、金属表層部に高い引張残留応力が発生したことにより、1次冷却材中の環境下における応力腐食割れが発生し、運転中の応力等によりデンドライト境界に沿った割れが進展したものと推定しました。

またセーフエンド部は、割れの様相から、内面のごく表層部に高い引張残留応力が発生し、溶接部近傍において運転中の応力等により、オーステナイト結晶粒界に沿った割れが進展したものと推定しました。

3. 対策

- ・切出した当該部については、セーフエンド部は新品に取替え、より耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行います。
- ・セーフエンド部については、バフ施工を行い引張残留応力の低減を図ります。

また、690系ニッケル基合金溶接部についても念のためバフ施工を行います。
なお、セーフエンド部の割れの発生に関する研究を行い、知見の拡充を図っていきます。

対策工事には、数ヶ月を要する見込みであり、原子炉起動は今年の夏頃となる見込みです。

以 上

(経済産業省によるINESの暫定評価)

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

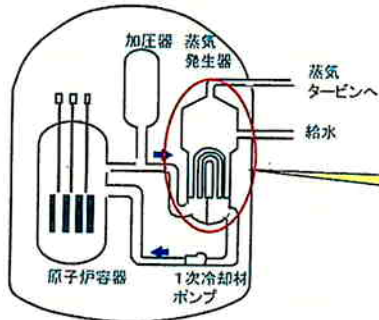
INES：国際原子力事象評価尺度

美浜発電所2号機の定期検査状況について (A-蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

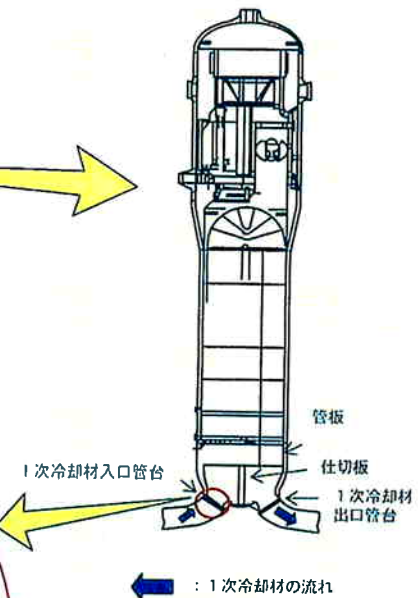
発生箇所

系統概略図

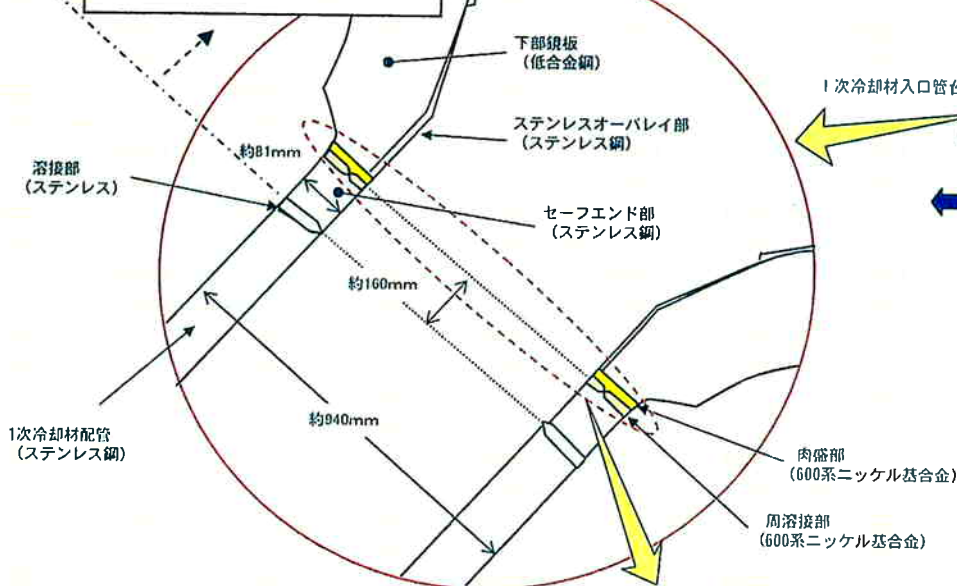
原子炉格納容器



A-蒸気発生器構造図



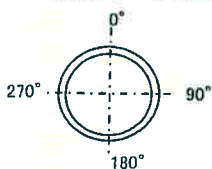
第14回定期検査(H3~H6)時の
蒸気発生器取替え範囲



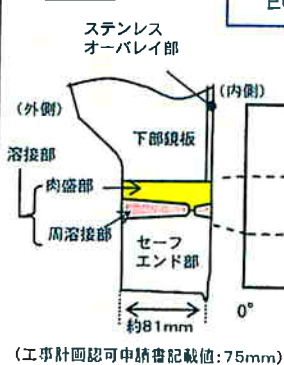
今回の点検対象箇所

点検結果

蒸気発生器側から見た図
(天を0°とする)



断面図



(工事計画認可申請書記載値: 75mm)

ECT・PT結果(有意な指示箇所)

No.1

No.2

No.7

No.11

No.8,10

No.3,12

No.4

No.5,9

No.6

No.13

詳細観察箇所

PT指示模様

浸透液の広がり

約17mm
(最大長さ)

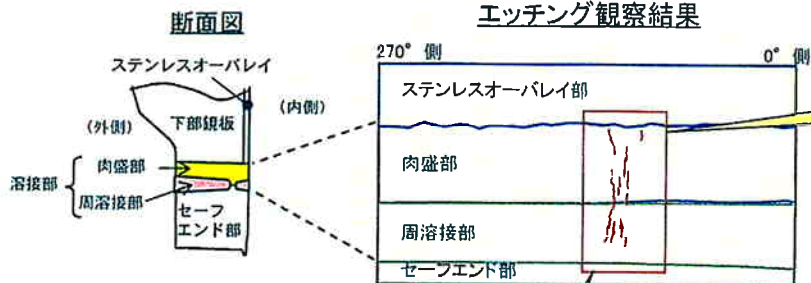
○超音波探傷試験による
深さ評価結果
約13mm(最大深さ)

□ : 超音波探傷試験で傷の深さが検出できなかった。

溶接部の観察結果

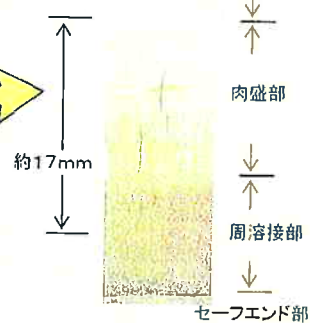
- 長さ約3～5mmの複数の割れが断続的に存在していた。
- 溶接部内のデントライト境界に沿った割れであった。

No4 (最も傷が深かった箇所) のエッチング観察結果

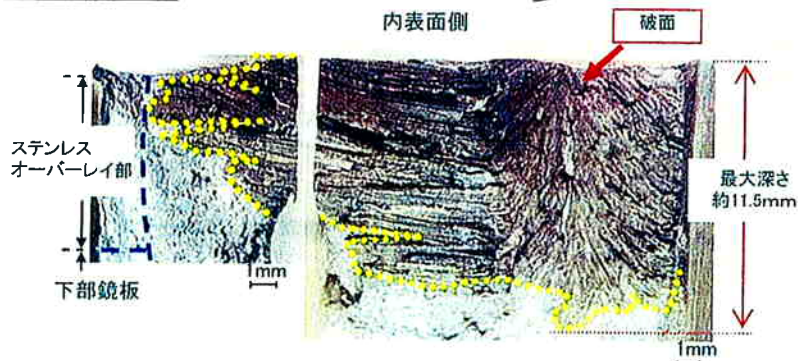


スンプ観察結果

ステンレスオーバーレイ部

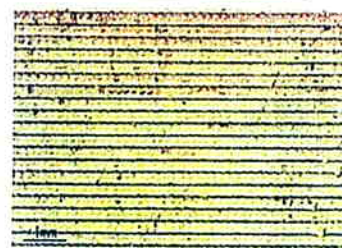


破面観察



- 最大深さ約11.5mmでデンドライト境界に沿って進展していた。

溶接部の型取観察結果

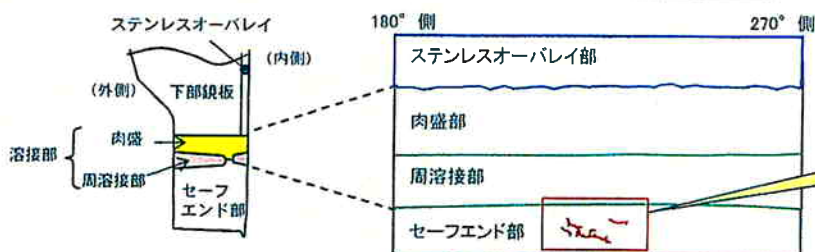


- 機械加工の跡が認められた。

セーフエンド部の観察結果

- 金属結晶の粒界に沿って枝分かれした割れが複数認められた。

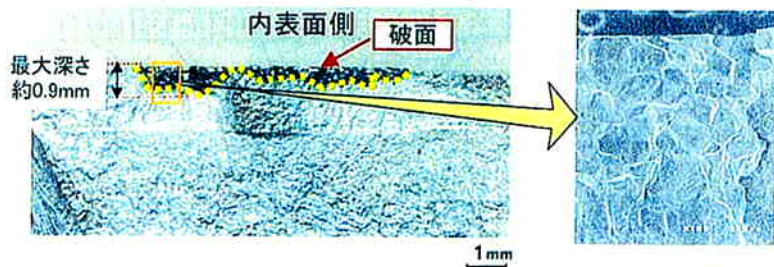
No13のエッチング観察結果



スンプ観察結果

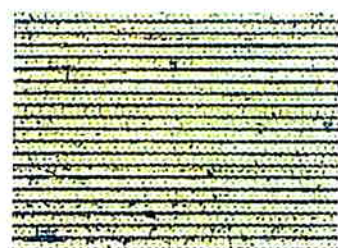


破面観察



- 最大深さは約0.9mmでオーステナイト結晶粒界に沿って進展していた。

セーフエンド部の型取観察結果

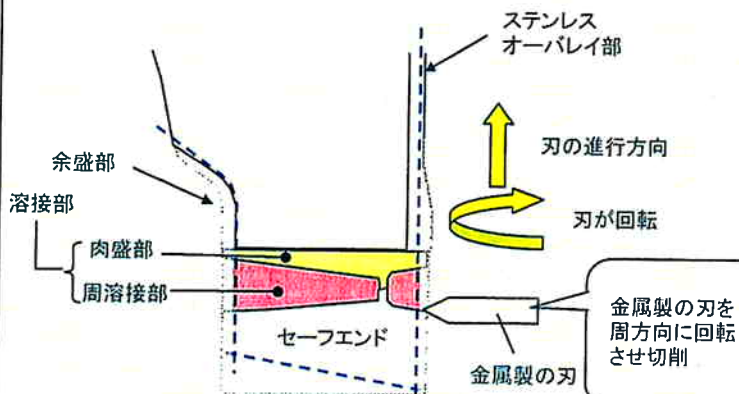


- 機械加工の跡が認められた。

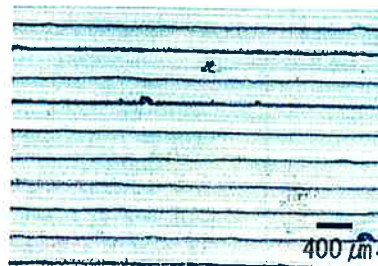
機械加工

【製作時の機械加工】

--- :溶接等による内表面の凸凹を除去するために
切削装置により切削加工した箇所



再現試験した機械加工跡

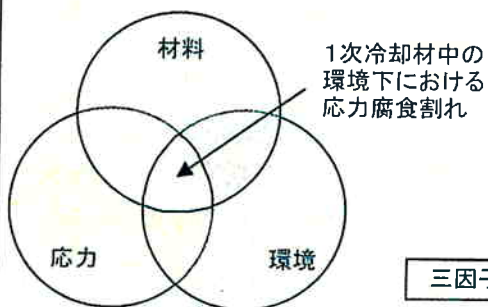


○実機の当該部を型取りしたものと
同様の機械加工跡が確認された。

○残留応力測定結果、
周方向に大きな引張残留応力が確認された。

推定原因

溶接部



環境: 高温の1次冷却材水質環境

材料: 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金

応力: 溶接および切削加工による引張り残留応力

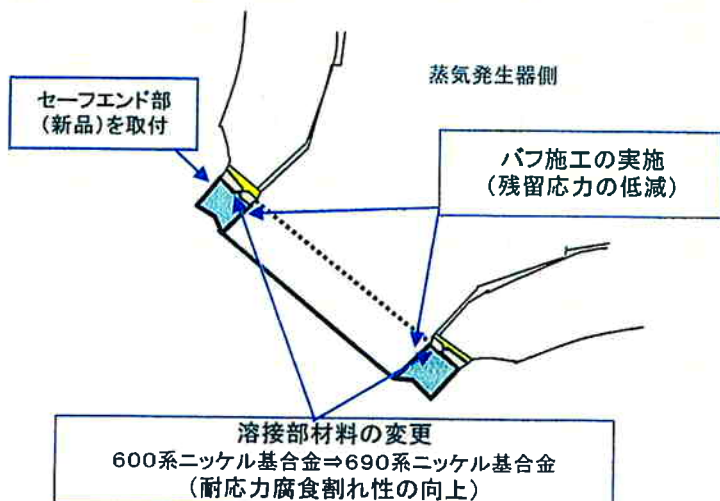
三因子が重畳し、1次冷却材中の環境下における応力腐食割れが発生したものと推定

セーフエンド部

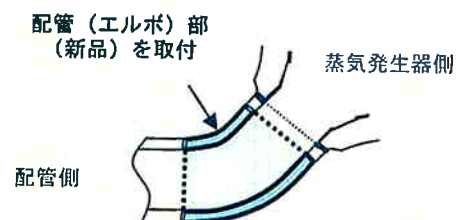
○内面のごく表層部に高い引張残留応力が発生し、溶接部近傍において運転中の応力等により、オーステナイト結晶粒界に沿った割れが進展したものと推定した。

対策

【セーフエンド部溶接取付】



【配管(エルボ)部溶接取付】



(2)(1) に至らない軽微な事象

発電所名	高浜発電所3号機	発 生 日	9月28日
件 名	A-非常用ディーゼル発電機の待機除外 ^{※1} について (添付図3参照)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の9月28日、2台ある非常用ディーゼル発電機のうちA号機（以下、A-DG）の定期起動試験（1回/月）を実施していたところ、ディーゼル機関（14気筒）のNo. 1シリンダ始動弁^{※2}付近にて異音と温度上昇が確認されたため、同DGを停止するとともに、保安規定に基づく運転上の制限^{※3}を満足していないと判断しました。本事象による環境への放射能の影響はなく、プラントの運転にも影響はありません。 当該始動弁の分解点検を行なった結果、弁体と一体となっている長尺の弁棒を上部で固定しているナットの廻り止めピン（割ピン）がなく、ナットに緩みが生じ、弁体の下がり完全に閉止していない状態でした。他の始動弁についても廻り止めピンがなく、ナットの緩みが認められました。 ※1（待機除外）：通常、いつでも起動できる状態（待機状態）にある機器を起動できない状態とすること。 ※2（シリンダ始動弁）：DGを起動させる際、クランク軸を回転させるための始動用空気をシリンダ内に注入する弁で、DG起動後、始動弁は閉止する。 ※3（保安規定の運転上の制限）：運転中は、非常用ディーゼル発電機2台が動作可能であること。 原因は、弁棒上部のナットには、本来廻り止めピンが取り付けられている構造でしたが、当該品はこのピンがなかったことから、定期負荷試験等での弁の開閉動作に伴ってナットが徐々に緩み、弁が完全に閉止しない状態となりDG起動後、シリンダ内の燃焼ガスが始動弁側に逆流し、異音と温度上昇が発生したものと推定されました。 廻り止めピンが取り付けられていなかった原因は、以下の経緯によるものでした。 ○始動弁はDG分解点検時に取り外し、工場にて部品手入れ後、発電所で予備品（ローテーションパーツ）として保管し、次回取付け時、各部の寸法確認し、廻り止めピンの取付けた後、DGに組み込んでいた。 ○平成15年、異物管理を徹底するため、工場にて部品手入れと寸法確認、廻り止めピンの取付けまで行い、完成品として発電所に保管し、次回取付け時そのままDGに組み込むよう組立手順を変更した。 ○今回の始動弁は、平成15年以前の手順にて手入れし、予備品（廻り止めピンのない状態）として保管されていたが、平成17年のDG分解点検時に組み込む際、新しい手順にて保管されていた予備品（廻り止めピンが取り付けられた完成品）と思い込み、DGにそのまま組み込んだ。 ○このため、廻り止めピンが取り付けられていない始動弁が組み込んだ。 以上のことから、今回の原因は、DG分解点検後の組立時に、部品（始動弁）の品質管理が不十分となり、また、組立手順の変更が予備品（ローテーションパーツ）の管理に全く反映されていないことが原因と推定されました。 対策として以下のとおり実施することとしました。 ○始動弁全台（14台）について、廻り止めピンがある予備品に取り替えた。その後、A-DGの確認試験を行い、9月29日に保安規定に定める運転上の制限を満足した状態に復帰した。 ○今回の始動弁の組立手順の変更は、高浜発電所として改訂したものであったことから、高浜発電所にある当該DG以外のDG全7台について、廻り止めピンがついた始動弁が取り付けられていることを確認した。 ○今後、機器の分解点検後の組立作業にあたっては、部品の品質管理を徹底するとともに、組立手順を変更する際には、既に保管されている予備品（ローテーションパーツ）が、変更内容に合致した状態で保管されているかを確認する。		

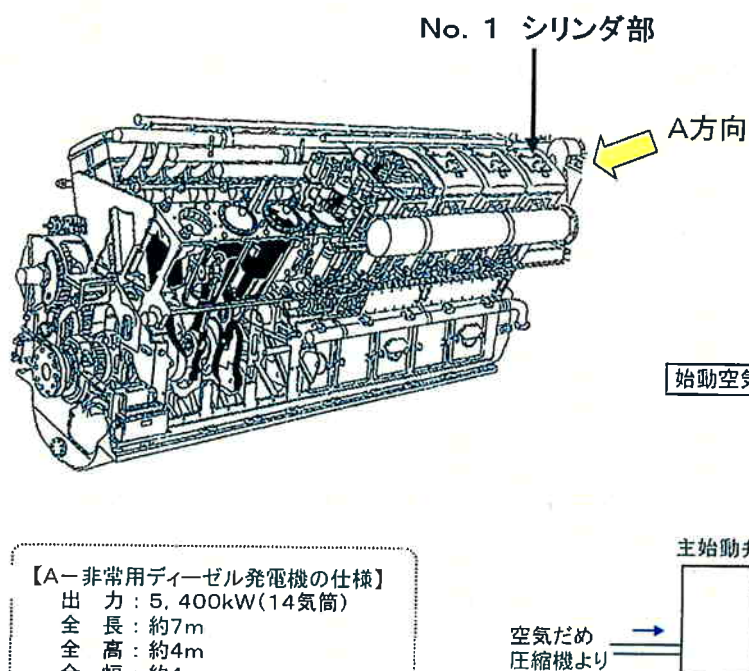
高浜発電所3号機 A-非常用ディーゼル発電機の待機除外について

A-非常用ディーゼル発電機概要図

A方向より見た
No. 1 シリンダ部の断面概要図

← : 通常の始動時の空気の流れ

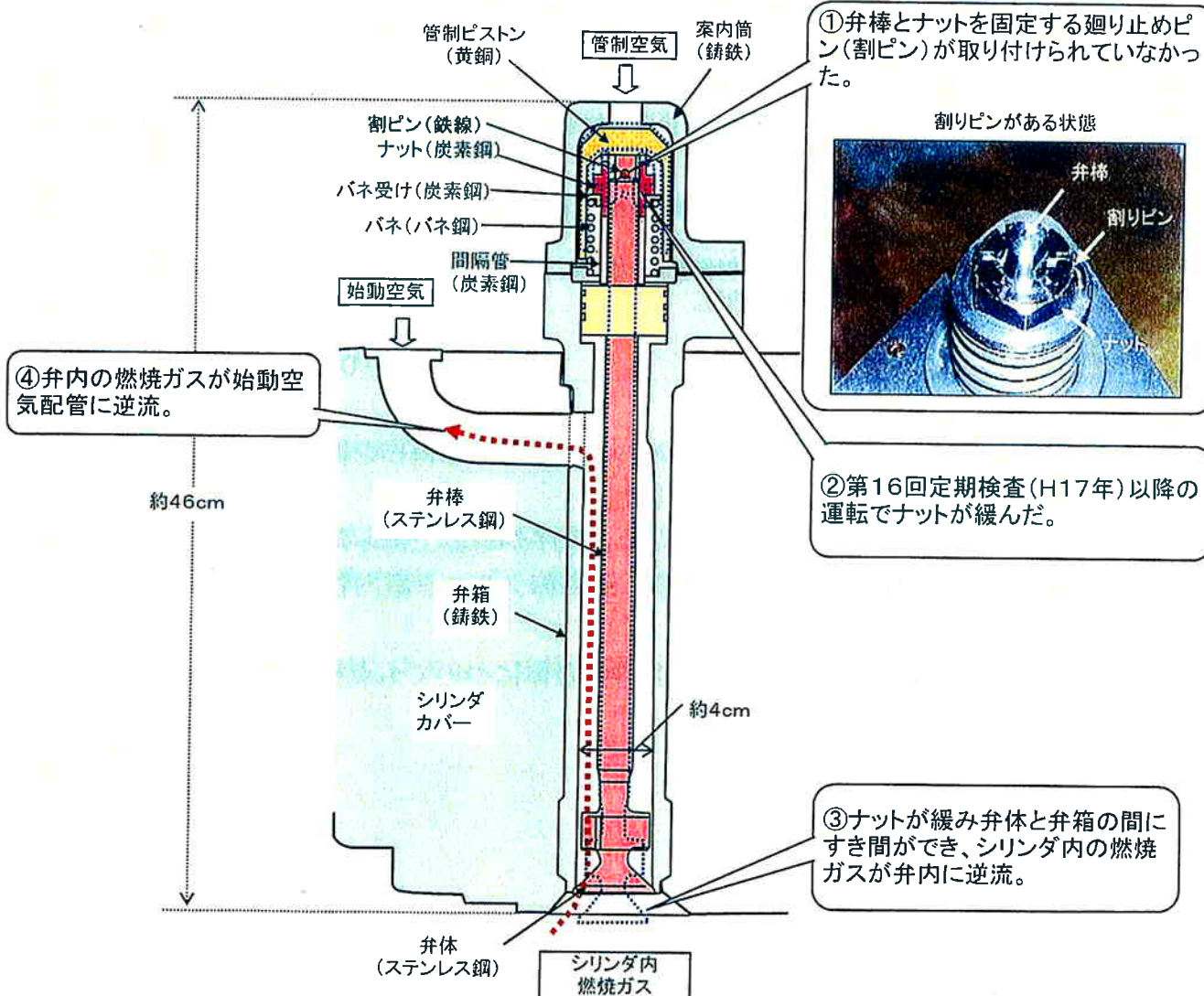
← : 今回の試験運転時の空気の流れ



【A-非常用ディーゼル発電機の仕様】

出力 : 5,400kW(14気筒)
全長 : 約7m
全高 : 約4m
全幅 : 約4m

始動弁断面概要図



高浜発電所２号機の定期検査状況について
(制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良の点検状況)

平成１９年１０月１０日

関西電力株式会社

高浜発電所２号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力８２万６千キロワット、定格熱出力２４４万キロワット）は、定期検査中の１０月１日に制御棒クラスタ動作検査の一環としてオーバーラップ操作※１を行い、制御棒位置の確認を行っていたところ、制御棒ステップカウンタ※２では全ての制御棒が全挿入位置にあることを表示していましたが、制御棒位置指示装置※３では制御棒１本がほぼ全引き抜き位置にあることを確認しました。

このため、制御棒位置指示装置の点検を行った結果、位置指示装置には異常がなく、当該制御棒の手動挿入確認を行ったところ、制御棒駆動装置の電流波形等に正常な波形と異なるものが認められたため、制御棒駆動装置または制御棒の動作不良であると判断しました。

また、本事象による環境への放射能の影響はありません。

※１：オーバーラップ操作

制御用制御棒を、全挿入位置から全引き抜き位置に引き抜き、再度、全挿入位置に挿入する操作を行った時に、制御バンクが予め定められたプログラム通り動作することを確認する検査。

※２：制御棒ステップカウンタ

制御棒の操作信号を数えて、制御棒位置を検出する装置。

※３：制御棒位置指示装置

制御棒位置指示コイルで制御棒位置を検出し、指示計とプラントコンピュータに信号を伝送し、制御棒位置を表示する装置。

[平成１９年１０月２日 お知らせ済み]

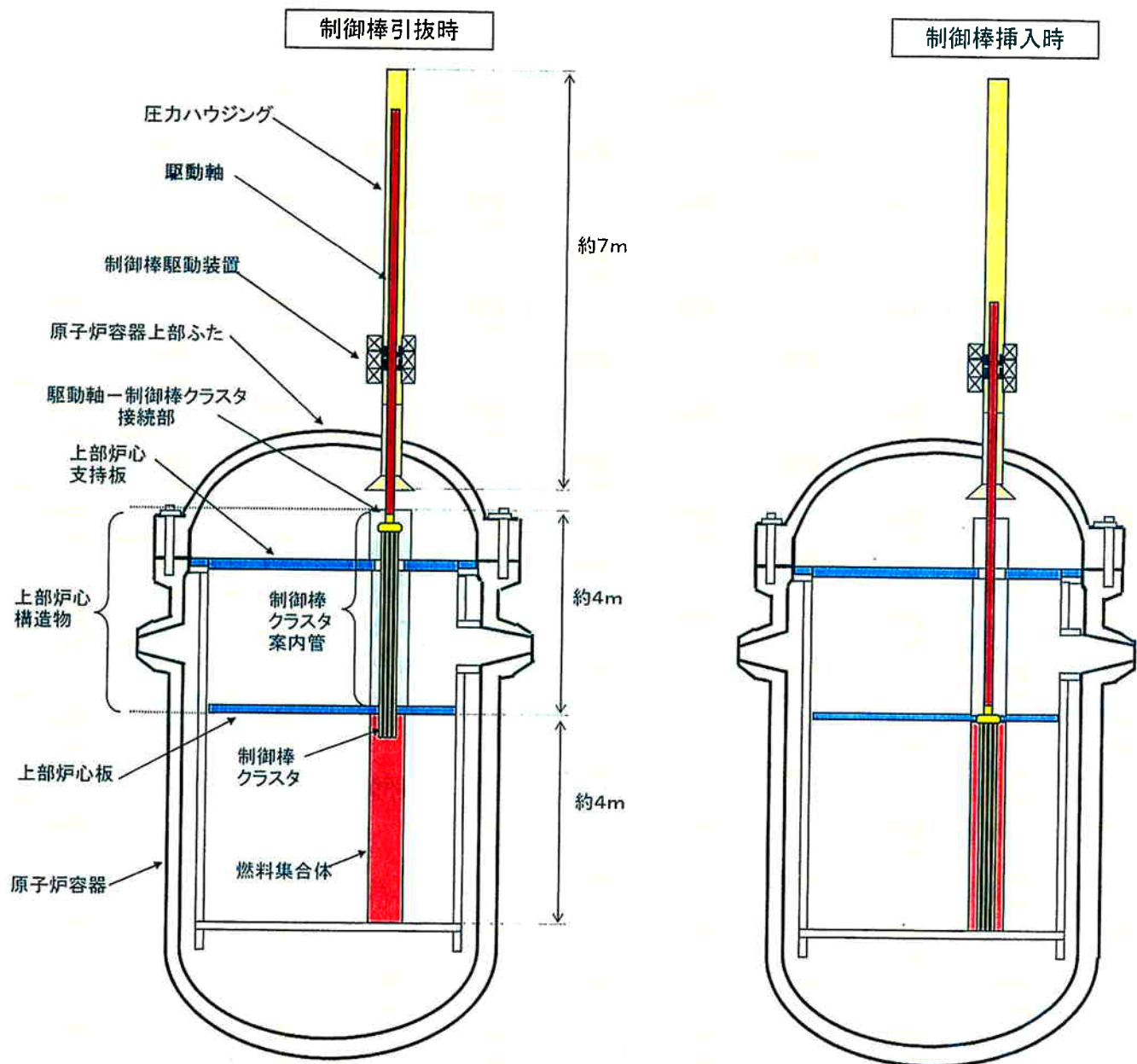
当該制御棒について、手動にて挿入および引き抜き操作を繰り返し行った結果、当該制御棒は全挿入位置に挿入されました。

今後、動作不良の原因を調査するため、原子炉容器上部ふたを開放した後、当該制御棒の制御棒駆動軸、制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管等について点検を行います。

また、当該制御棒クラスタおよび燃料集合体についても点検を行います。

以 上

制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良の点検状況



大飯発電所3号機プラント排気筒からの僅かな希ガスの放出の原因と対策について

平成19年10月26日

関西電力株式会社

大飯発電所3、4号機（ともに加圧水型軽水炉 定格電気出力118万キロワット、定格熱出力342万3千キロワット）は、定格熱出力一定運転中のところ、本年10月24日12時30分頃、当社社員が4号機体積制御タンク※の水位が若干低下傾向にあることを確認しました。

関連パラメータおよび操作実績を確認した結果、同日9時20分から1次冷却材の定期試料採取を実施していたことが確認されたため、試料採取室を点検したところ、試料採取フード内のシンク（流し台）に、4号機Dループ高温側試料採取ラインから試料採取水が流れていることが判明しました。また、その際、試料採取ラインの弁が開いていることを確認しました。

このため、直ちに試料採取ラインの弁を閉止し、同日13時00分頃、試料採取水の停止を確認しました。流出した試料採取水（320リットル）は全てドレン系統で回収されており、環境への放出はありません。

当該弁のある試料採取フード内の気体は3号機プラント排気筒から連続放出されているため、当該弁が開状態であった期間中、4号機の1次冷却材中に含まれる希ガスが環境に放出されたものと評価しました。排気筒モニタの指示値から、環境への希ガス放出放射エネルギーは約 $5.0 \times 10^8 \text{ Bq}$ と評価され、保安規定に基づく放出管理目標値（ $3.9 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$ ）に比べ約780万分の1以下であることを確認しています。

なお、発電所敷地内および周辺のモニタリングポストの指示値は平常と変わりなく、環境への影響はありません。

※体積制御タンク：1次冷却材系統の水の量を調整するためのタンク。

〔平成19年10月24日 お知らせ済み〕

1. 調査結果

(1) 試料採取員への聞き取り調査結果

- 当日は、1次冷却材定期試料採取（4回/週）として、3号機の1次冷却材の試料採取を実施した後、4号機の1次冷却材の試料採取を実施していました。
- 3号機での試料採取後には試料採取ラインからの流水が停止したことを目視確認していましたが、4号機での試料採取後には、空気圧で動作する試料採取弁の操作スイッチの閉止操作を行った際に、弁閉止時の空気排出音が聞こえた気がしたことから、弁が閉止したものだと思い込み、弁からの流水が停止したことや弁開閉表示灯での確認を実施していませんでした。

(2) 当該弁および操作スイッチの点検結果

- 当該弁の開閉動作はスムーズであり、弁の固着や配管部からの空気漏れなどの異常は認められませんでした。
- 操作スイッチについても開閉操作を実施した結果、確実に弁が開閉され、異常のないことを確認しました。

2. 推定原因

- 試料採取員が4号機の試料採取弁を閉止しなかったため、試料採取弁から1次冷却材の流出が継続し、その中に含まれる希ガスが3号機プラント排気筒から放出されたものと推定されました。
- 試料採取弁を閉止しなかった原因は、試料採取員が弁操作スイッチの閉止操作を行った際に、弁閉止時の空気排出音が聞こえた気がしたことから、弁が閉止したと思い込んだものと推定されました。
- また、弁開閉表示灯が試料採取フード上部の見上げる場所に位置しており見づらいこと、弁操作スイッチに開閉位置表示がついておらず位置確認が難しいことといった設備上の問題点も明らかになりました。

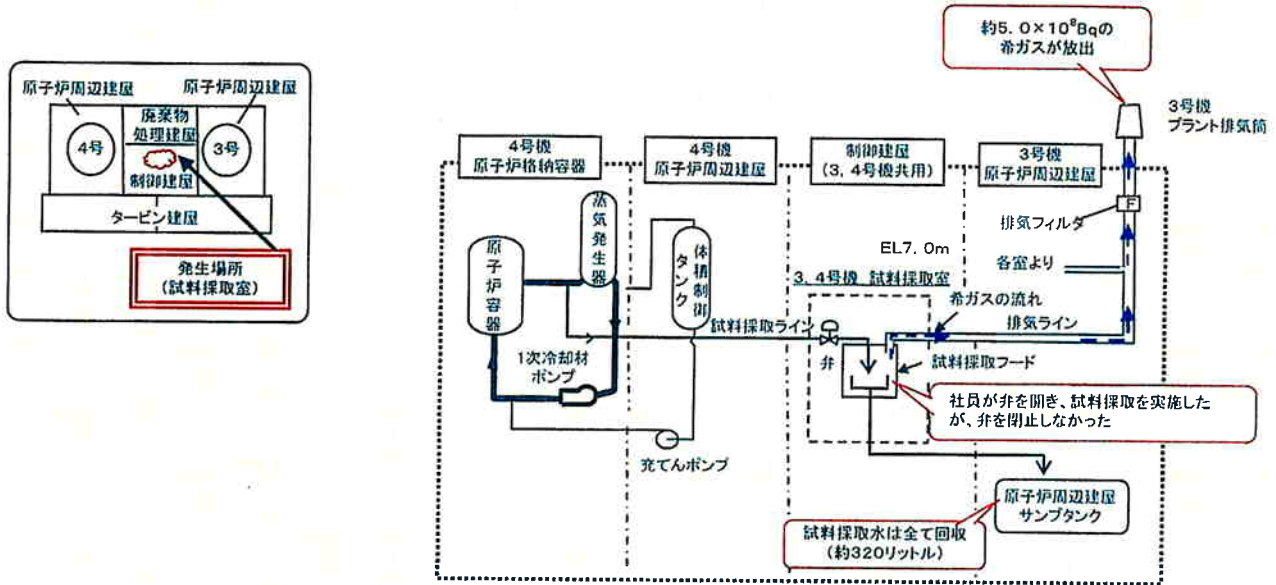
3. 対 策

- 原子力事業本部長および発電所長が、発電所員全員に対し、機器操作時の自問自答、指差呼称の確実な実施等の基本動作を再徹底するよう訓示します。また、試料採取員全員に対し、基本動作の再訓練を計画的に実施します。
- 試料採取を行う際の基本事項の実施・確認について、注意喚起表示を行います。
- 試料採取をフード内にて行う弁について、操作スイッチの開閉位置表示を速やかに取り付けます。
- また、試料採取をフード内にて行う弁について、今後以下の設備改善を検討し、実施します。
 - ・弁開放により流水がある場合は、試料採取者への注意喚起を音や光等にて行う。
 - ・見やすい開閉表示灯とする。
 - ・操作ミスをしてでも設備面でバックアップできるように、弁からの流水が長時間継続しないようにする。
- なお、本事象について第3者を加えたヒューマンファクター分析を実施し、発生要因のさらなる検討を行い、得られた結果を踏まえ対策の充実を図ります。

以 上

大飯発電所3号機 プラント排気筒からの僅かな希ガス放出の原因と対策について

事象概要



設備上の問題点と対策

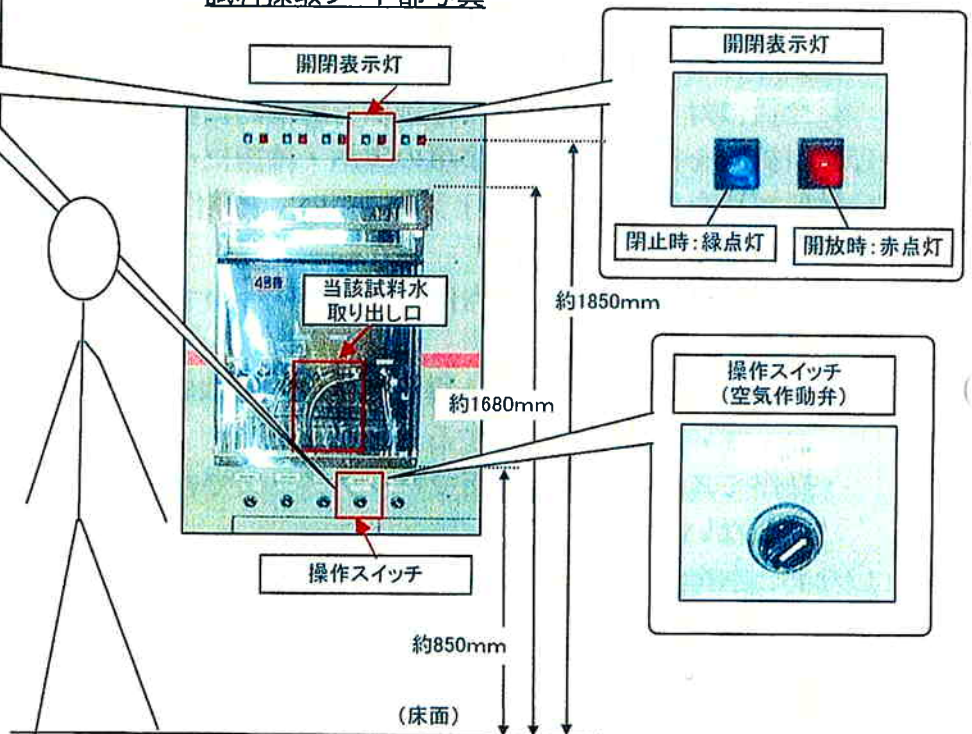
問題点

- 開閉表示灯が見上げる場所にあり、見づらいこと。
- 弁操作スイッチに開閉位置表示がついていないこと。

対策

1. 試料採取を行う際の基本事項の実施・確認について、注意喚起表示を行う。
2. 試料採取をフード内にて行なう弁について、操作スイッチの開閉位置表示を速やかに取り付ける。
3. 試料採取をフード内にて行なう弁について、今後以下の設備改善を検討し実施する。
 - ・ 弁開放により流水がある場合は、試料採取者への注意喚起を音や光等にて行う。
 - ・ 見やすい開閉表示灯とする。
 - ・ 操作ミスをしてでも設備面でバックアップできるように、弁からの流水が長時間継続しないようにする。

試料採取フード部写真



対策1のイメージ

- ・ 弁開閉状態の確実な確認
- ・ 流水停止の確実な確認

対策2のイメージ



発電所名	高浜発電所1号機	発 生 日	定格熱出力一定運転中（11月5日）
件 名	A-非常用ディーゼル発電機の待機除外について (添付図5参照)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の11月5日、2台ある非常用ディーゼル発電機のうちA号機の定期起動試験（1回/月）を行ったところ、「Aディーゼル発電機故障」等の警報が発信し、起動しませんでした。 このため、保安規定の運転上の制限※1を満足していないものと判断し、A号機を待機除外※2としました。なお、保安規定に基づき、同日にB号機の起動試験を行い、動作可能であることを確認しました。この事象による環境への放射能の影響はなく、プラントの運転にも影響はありませんでした。 警報発信時の状況を確認したところ、ディーゼル発電機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、全く機関は動いていないことが分かりました。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ませんでした。始動用空気系統のうち、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を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ました。 当該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、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されました。 当該配管は、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、取付けが行われていますが、この作業の際に配管途中の継手部のナットが緩み、ディーゼル発電機の試験運転時の振動により徐々にナットが回って、外れたものと推定されました。 当該部および同様な構造の継手部（計18箇所）について、緩みがないように締め付け、ディーゼル発電機の試運転を行って健全性を確認した後、11月8日に待機状態（運転上の制限を満足している状態）に復帰しました。 また今後、当該配管の取り付け作業の際には、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ます。 ※1 保安規定の運転上の制限： 運転中は、非常用ディーゼル発電機2台が動作可能であることが求められている。 ※2 待機除外： 通常、いつでも起動できる状態（待機状態）にある機器を、点検等のために自動起動できない状態にすること。		

(3) 保全品質情報等

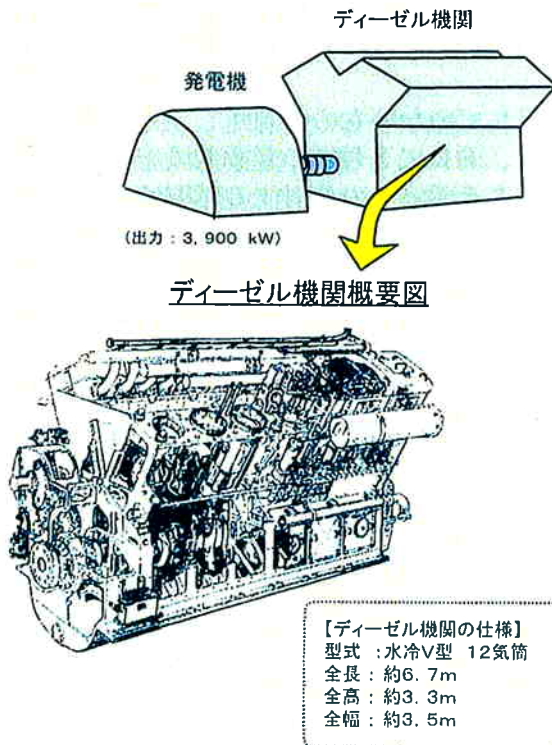
なし

以 上

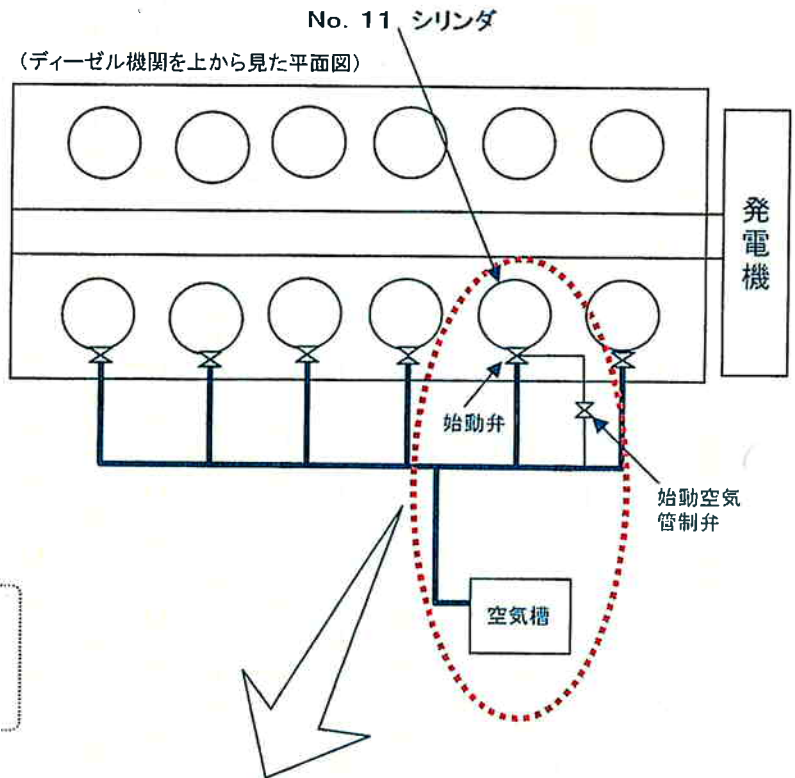
高浜発電所1号機 A-非常用ディーゼル発電機の待機除外について

事象概要

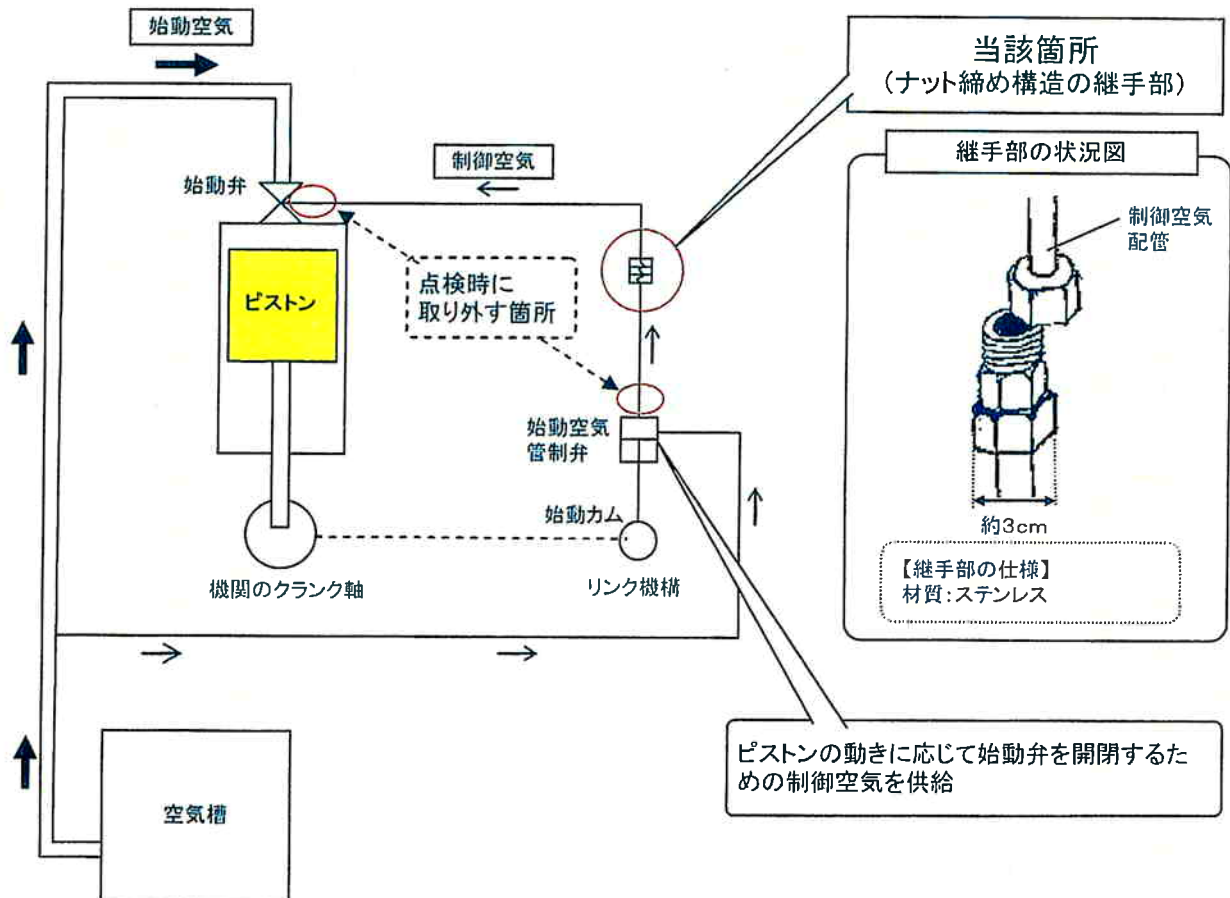
非常用ディーゼル発電機概要図



ディーゼル発電機始動用空気系統概略図



No. 11シリンダへの始動用空気の流れ詳細図



大飯発電所2号機の定期検査状況について
(2次系主給水配管曲がり部の減肉の原因と対策について)

平成19年11月22日
関西電力株式会社

大飯発電所2号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力117万5千キロワット、定格熱出力342万3千キロワット)は、第21回定期検査中のところ、2次系配管点検の一環として、主給水隔離弁^{※1}から蒸気発生器までの主給水配管について超音波による肉厚測定を実施した結果、平成19年11月7日、4系統ある主給水配管のうち1系統のC-主給水隔離弁下流の配管曲がり部の肉厚が10.9mm(実測最小値)で、技術基準に定められた計算必要厚さ(15.7mm)を下回っていることを確認しました。

当該以外の3系統(A、B、D)の主給水隔離弁下流の配管曲がり部については、今回の定期検査で実施した肉厚測定の結果、計算必要厚さを上回っていることを確認しています。

なお、本事象による環境への放射能の影響はありません。

[平成19年11月7日 お知らせ済み]

1. 調査結果

(1) 減肉状況の調査

- 超音波による肉厚測定で減肉状況を確認したところ、主給水隔離弁下流側の直管部と曲がり部との溶接部近傍で最も減肉していました。
- 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、割れ等の異常は認められませんでした。拡大観察の結果、減肉部で流れ加速型腐食(FAC)^{※2}特有の鱗片状模様が認められました。また、直管部でもわずかに鱗片状模様が認められました。
- 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ました。

(2) 過去の点検実績

- 主給水隔離弁下流の配管曲がり部は、当社の2次系配管肉厚の管理指針(以下「管理指針」という)では減肉点検対象外(その他点検部位)でしたが、平成2年の第8回定期検査で当該部の肉厚測定を実施し、実測最小値は20.5mm、余寿命は27.2年と評価しました。
- 平成16年7月、大飯1号機の同一部位で計算必要厚さを下回る事象が発生したことから、管理指針を改定し、主給水隔離弁下流の配管曲がり部を減肉点検対象(主要点検部位)に変更しましたが、大飯2号機では過去に点検実績があったことから、当該部の肉厚測定を行いませんでした。

○平成16年8月に発生した美浜3号機二次系配管破損事故を受けて、当社は管理指針を改定しました。主な改定内容は、主要点検部位は10年以内に3回の肉厚測定を実施すること（改定時期：平成16年12月）、測定時期が10年以上前の主要点検部位は至近の定期検査で点検すること（改定時期：平成19年3月）等です。
○これらの改定を受け、今回の定期検査で当該部の肉厚測定を行いました。

（3）運転パラメータ等の調査

前回肉厚測定を行った第8回定期検査以降の運転期間中の主給水の流量、温度、圧力、pH、溶存酸素濃度、電気伝導率を確認したところ、有意な変化は認められませんでした。

2. 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ました。

また、管理指針を改定するたびに当該部の点検時期を見直してきましたが、今回の当該部の点検では平成2年の点検時の余寿命で評価しており、結果的に計算必要厚さを下回る前に点検が実施されませんでした。

なお、最新の知見を反映した現在の管理指針では、同様の事象の発生は防止できると考えています。

3. 対 策

○当該部を同寸法、同材料の新品に取り替えます。また、信頼性向上の観点から、主給水隔離弁（玉型弁）下流の曲がり部を耐食性に優れた低合金鋼に取り替えることを計画します。

○点検時期が10年以上前の主要点検部位については、管理指針に基づき今回の定期検査で全て点検し、当該部を除いて計算必要厚さを満足していることを確認しました。

○念のため、点検回数が3回に達していない主要点検部位については、以下のように点検を実施します。

- ・至近2回の定期検査で未点検の部位については、今回の定期検査で点検を実施。
- ・今回の定期検査完了時点で点検回数が3回に達しない部位は、今後3定期検査を超えない範囲で順次点検を実施。

以 上

（経済産業省によるINESの暫定評価）

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

※1：主給水隔離弁

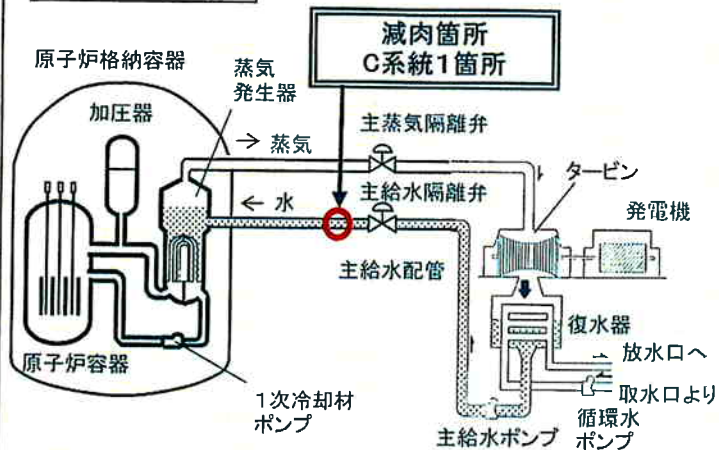
原子炉の過冷却を防止するために、主蒸気管破断事故時等に蒸気発生器への給水を早期に隔離する弁。

※2：流れ加速型腐食（FAC）

流れの影響で配管内面の腐食が加速される現象。配管曲がり部や弁の下流、オリフィス下流など流れが乱れる部分で発生しやすい。

大飯発電所2号機の定期検査状況について (2次系主給水配管曲がり部の減肉の原因と対策)

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

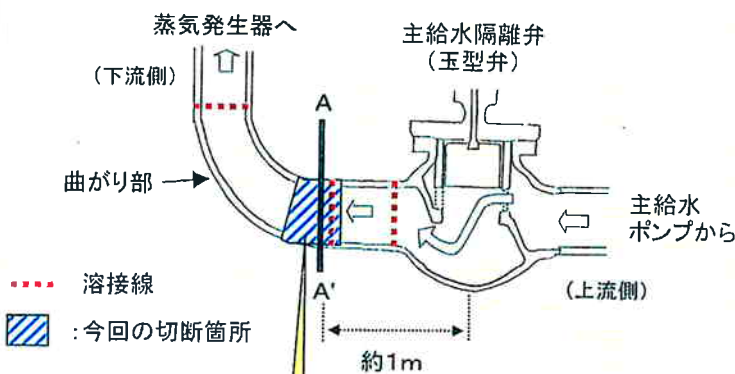
※定点測定(8点)にて減肉が確認された周辺を、詳細(約20mmピッチ)に測定した値

配管仕様

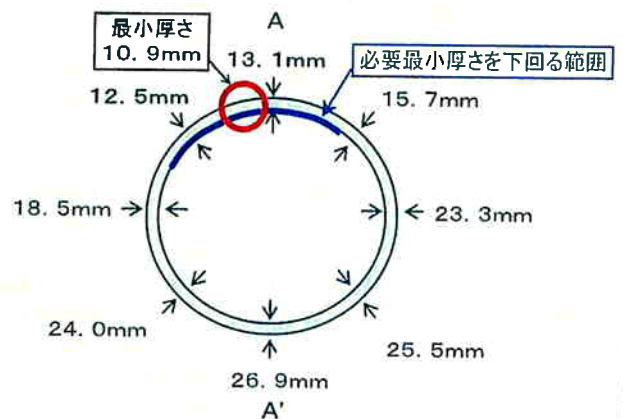
外 径: 約406mm
厚 さ: 約21mm
最高内圧: 約8MPa
最 高 温 度: 約230℃
材 質: 炭素鋼
流 量: 約1,700t/h・系統

C-主給水配管曲がり部の減肉状況、内面調査結果

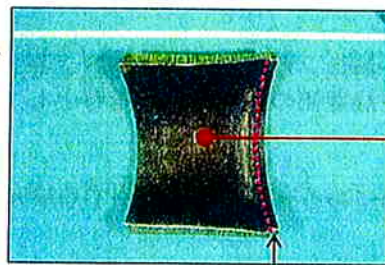
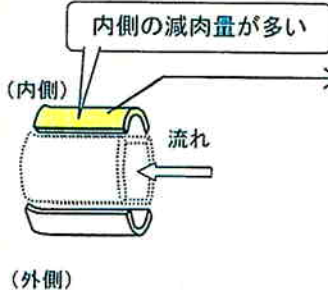
曲がり部(90°)イメージ



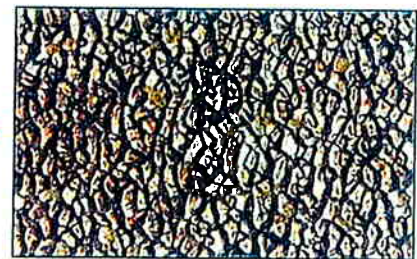
(C-主給水配管曲がり部を下流側から見た断面)



内面目視点検



溶接線



流れ加速型腐食にみられる鱗片状の模様

対 策

- 当該曲がり部については、同寸法、同材料の配管に取り替える。また、信頼性向上の観点から、主給水隔離弁下流の曲がり部(A~D)について、耐食性に優れた低合金鋼への取り替えを計画する。

高浜発電所２号機の定期検査状況について
(Ｂ、Ｃ－蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

平成２０年２月８日
関西電力株式会社

高浜発電所２号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力８２万６千キロワット、定格熱出力２４４万キロワット）は、美浜発電所２号機の蒸気発生器（ＳＧ）入口管台溶接部（６００系ニッケル基合金使用）で傷が確認されたことを踏まえ、第２４回定期検査中の平成１９年１１月２５日から１２月３日にかけて、３台あるＳＧの入口管台溶接部内面の渦流探傷試験（ＥＣＴ）※１を行ったところ、Ａ－ＳＧ入口管台溶接部で３箇所、Ｂ－ＳＧ入口管台溶接部で２箇所、Ｃ－ＳＧ入口管台溶接部で４箇所の有意な信号指示（最大長さ Ａ：約７ｍｍ、Ｂ：約７ｍｍ、Ｃ：約１４ｍｍ）を確認しました。

このため、傷の深さを確認するため超音波探傷試験（ＵＴ）※２を行った結果、Ｂ－ＳＧ入口管台溶接部（管台部の厚さ：約７９ｍｍ）の１箇所で深さが約６ｍｍ、Ｃ－ＳＧ入口管台溶接部（管台部の厚さ：約７９ｍｍ）の２箇所で深さが約６ｍｍおよび約８ｍｍの信号指示が確認され、計３箇所の板厚が電気事業法に基づく工事計画認可申請書に記載の７５ｍｍを下回ると評価されました。

本事象による環境への放射能の影響はありませんでした。

[平成１９年１２月４日、１２月７日 お知らせ済み]

※１：渦流探傷試験（ＥＣＴ）

高周波電流を流したコイルを対象となる配管等に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥に起こった渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する検査。

※２：超音波探傷試験（ＵＴ）

超音波を使って金属等の内部にある有害な傷を検出する検査。

傷が発生した原因について詳細に調査するため、傷の長さ、深さ共に最大と評価したＣ－ＳＧの入口管台溶接部１箇所について溶接部表面の型取観察およびスンプ※３による金属組織観察等の調査を行った結果は、以下のとおりです。

※３：スンプ

損傷部の表面にフィルム等を貼り付け写し取り、これを顕微鏡で観察する。

1. 原因調査結果

(1) 型取観察

- ・傷の周辺および溶接金属全体に機械加工※⁴による周方向の筋状の跡が等間隔に認められました。
- ・製造時のバフ施工※⁵による明確な施工跡については認められませんでした。

※4：機械加工

溶接により発生する表面の凸凹を切除するとともに、管台とセーフエンド部の段差を無くすため、金属製の刃を周方向に回転させ切削加工すること。

※5：バフ施工

溶接部表面等に対して、電動工具に取り付けた円形状のワイヤブラシ等(バフ)により、表面施工(仕上げ)を行なうこと。

(2) スンプ金属組織観察

- ・傷は、長さ約3～5mmの複数の割れが軸方向に断続的に集まったもので、全体の長さは約11mmであり、デンドライト境界※⁶に沿った割れでした。
- ・この割れは、これまで国内外の600系ニッケル基合金溶接部で確認されている1次冷却材環境下における応力腐食割れ※⁷と同様の様相でした。

※6：デンドライト境界

溶接部では、溶融した金属が固まる際にできる柱状の結晶(デンドライト結晶)ができ、その結晶組織の境界のことをデンドライト境界という。

※7：1次冷却材環境下における応力腐食割れ

1次冷却材環境下で600系ニッケル基合金に発生するPWRプラント特有の応力腐食割れ。(材料、環境および応力の3要素が重なって発生する割れ)

(3) 製造履歴調査

高浜発電所2号機のSGは、平成3年6月～平成5年12月の間に工場で製作した際、SG管台とセーフエンドの溶接作業が行われていました。その溶接後に機械加工を実施していました。

また、当該管台の製作手順を確認しましたが特異性は認められず、溶接の手直しもなかったと考えられました。

(4) 文献調査

文献調査を行った結果、600系ニッケル基合金溶接部については、加圧水型軽水炉（PWR）の1次冷却材環境下で約300MPa以上の引張応力が残留していた場合、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性があることを確認しました。当社の美浜発電所2号機のSG入口管台溶接部において、機械加工の影響による高残留応力により1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生した事象についても確認しました。

また、応力腐食割れは、溶接部のデンドライト境界に沿った割れが進展することを確認しました。

(5) 機械加工再現試験

高浜発電所2号機SG入口管台の内面機械加工条件については、同部位で応力腐食割れが発生した美浜発電所2号機と同等であり、美浜発電所2号機の原因究明において実施した機械加工再現試験結果から、高浜発電所2号機SG入口管台の溶接部表面においても、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある約300MPaを超える引張残留応力が発生すると推定しました。なお、バフ施工を実施すると十分に残留応力が低減することを確認しました。

(6) 調査結果のまとめ

- ・過去の1次冷却材環境下における応力腐食割れ事象と同じデンドライト境界に沿った割れを確認しました。
- ・美浜発電所2号機の原因究明において実施した機械加工再現試験結果から、SG入口管台の溶接部表面には、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性のある引張応力が残留していたものと推定しました。

2. 推定原因

取替用SGの製作時に溶接および機械加工を行ったところ、SG入口管台の溶接部表面に高い引張残留応力が発生したことにより、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生し、運転時の応力等によりデンドライト境界に沿って軸方向に割れが進展したものと推定しました。

3. 対策

B、C－SGについては、以下のとおり対策を実施します。

- (1) 傷を切削し、浸透探傷試験（PT）※⁸により傷が除去されたことを確認した上で、切削深さを計測し、必要に応じ600系ニッケル基合金で肉盛溶接を行います。
- (2) その後、表面全周に、より耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を行うとともに、念のため、バフ施工を行い残留応力の低減を図ります。

傷の深さが検出できなかったA－SGについても、同様の方法で対策を実施します。

対策工事には、数ヶ月を要し、原子炉起動は今年の夏頃となる見込みです。

※8：浸透探傷試験（PT）

検査用の浸透液を材料表面に塗布し、材料表面に開口した傷を検出する検査。

以 上

（経済産業省によるINESの暫定評価）

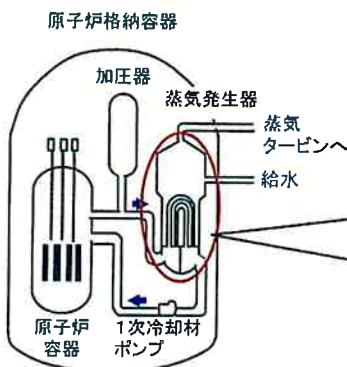
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

高浜発電所2号機の定期検査状況について (蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

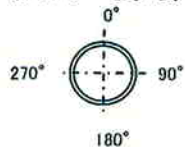
発生箇所

系統概略図

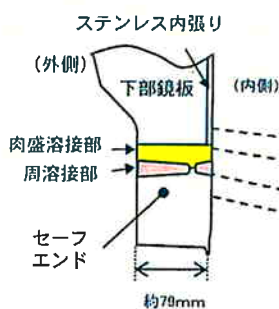


蒸気発生器入口管台点検状況

蒸気発生器側から見た図
(天を0°とする)



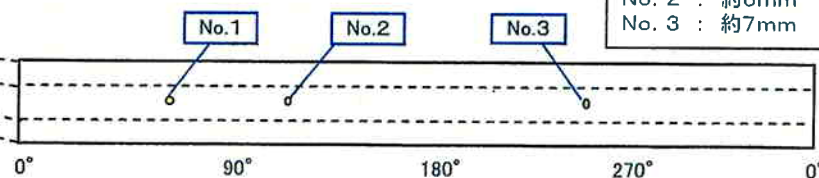
断面図



ECT結果(有意な指示箇所)

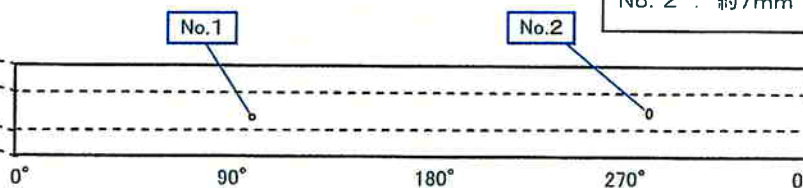
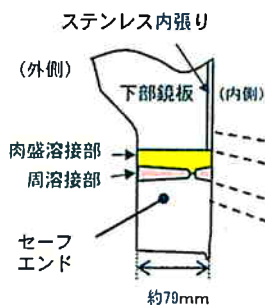
深さは超音波探傷検査による評価

A-蒸気発生器



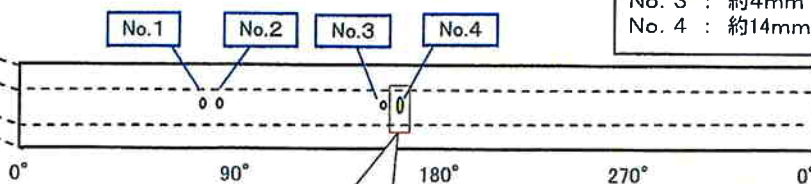
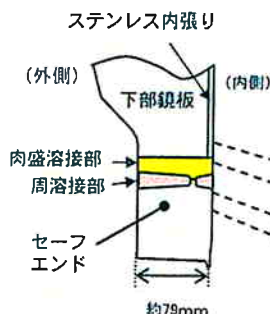
	長さ	深さ
No. 1	約6mm	検出できず
No. 2	約6mm	検出できず
No. 3	約7mm	検出できず

B-蒸気発生器



	長さ	深さ
No. 1	約5mm	検出できず
No. 2	約7mm	約6mm

C-蒸気発生器



	長さ	深さ
No. 1	約9mm	約6mm
No. 2	約8mm	検出できず
No. 3	約4mm	検出できず
No. 4	約14mm	約8mm

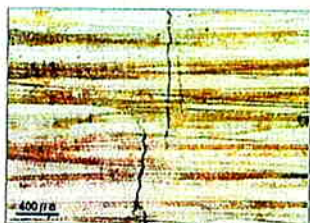
スンプ観察箇所

(工事計画認可申請書記載値: 75mm)

C-SG入口管台溶接部 No4の観察結果(最も傷が長く、深かった箇所)

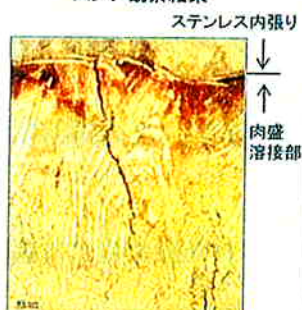
- 傷は、長さ約3～5mmの複数の割れが軸方向に断続的に集まったもので、全体の長さは約11mmであり、デンドライト境界に沿った割れであった。
- この割れは、これまでの国内外の600系ニッケル基合金溶接部で確認されている1次冷却材環境下における応力腐食割れと同様の様相であった。

型取観察

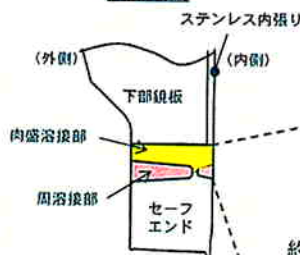


- 機械加工の跡が認められた。
- 製造時のパフ施工による明確な施工跡については認められなかった。

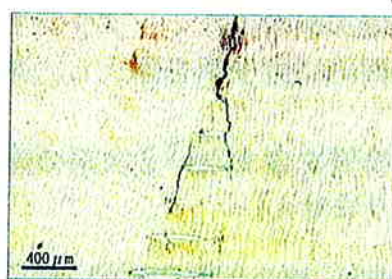
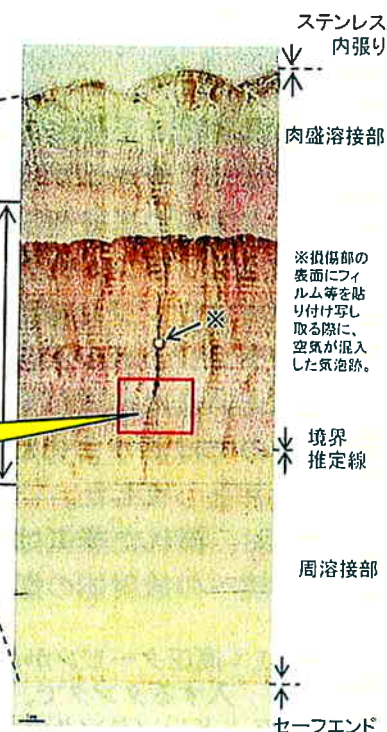
【参考】美浜発電所2号機の スンプ観察結果



断面図

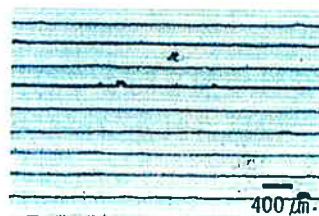


スンプ観察結果



機械加工

美浜発電所2号機における 機械加工跡の再現試験



- 実機の当該部を型取りしたものと同様の機械加工跡が確認された。
- 再現試験の残留応力測定結果から、周方向に大きな引張残留応力が発生することが確認された。

推定原因

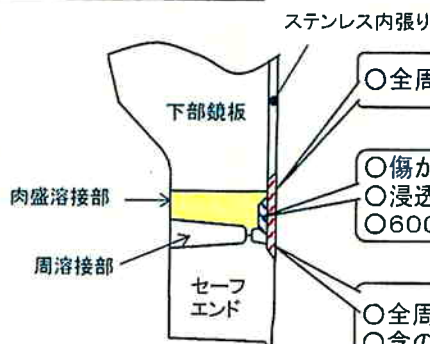
環境: 高温の1次冷却材水質環境

材料: 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金

応力: 溶接および機械加工による引張残留応力

三因子が重畳し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定

対策



- 全周にわたり、傷を含む当該部を切削。

- 傷が残存した場合、部分的に切削。
- 浸透探傷試験(PT)により傷が除去されたことを確認する。
- 600系ニッケル基合金で肉盛補修溶接を実施。

- 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実施。
- 念のため、パフ施工を行い残留応力の低減を図る。

美浜発電所1号機の原子炉手動停止に伴う点検結果について
(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の原因と対策)

平成19年12月10日

関西電力株式会社

美浜発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力34万キロワット、定格熱出力103万1千キロワット)は、定格熱出力一定運転中のところ、12月5日午前6時頃、巡視点検中の当社運転員が、タービン建屋1階にある湿分分離器ドレンタンク※1水面計取出しフランジ付近※2からわずかな蒸気漏れを発見しました。

当該フランジを確認したところ、パッキン部分からの漏えいと判断されたため、当該フランジのボルトを増し締めしましたが、蒸気漏れは停止しませんでした。

漏えい量はわずかであり、増加傾向はなく、プラントの運転や安全性に影響を及ぼすものではありませんが、計画的に原子炉を停止し、当該フランジの点検・補修を行うこととしました。

なお、漏れた蒸気は放射性物質を含まない2次系の蒸気であり、この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

※1: 高圧タービンから出た蒸気が、湿分分離器で加熱・湿分除去された際に生じる凝縮水が流入するタンクで、同タンクに流入した凝縮水は給水系統に流入する。

※2: ドレンタンクの水位を確認できるよう、ドレンタンク脇に水面計を設置している。

水面計とドレンタンクとは、上部と下部の2つの配管でつながっており、上部配管はタンク気相部から下部配管はタンク液相部からそれぞれ空気(蒸気を含む)と水を取り出し水位を表示している。この配管を水面計取り出し配管といい、フランジとは、配管の継手部のことをいう。

[平成19年12月5日 お知らせ済み]

12月5日18時52分より出力降下を開始し、12月6日午前2時17分に発電を停止、午前3時26分に原子炉を停止した後、蒸気漏れが確認されたフランジの点検を実施しました。

1. 点検結果

(1) フランジ分解前点検結果

○湿分分離器ドレンタンクと水面計とは、上部と下部の2つの配管でつながっており、この2つの配管のフランジを点検しました。上部フランジ(蒸気漏れが発生した側)は、最大約3.6mm、上下方向(水面計側フランジが上側)にずれていました。また、面間寸法(水面計側フランジ面とタンク側フランジ面との間隔)は4.2mm～5.0mmと、計測部位によって異なり、若干片締め傾向(上側の隙間の方が大きい)が認められました。下部フランジは、最大約2.0mm、左右方向にずれていました。また、面間寸法は4.3mm～5.8mmで若干片締め傾向(下側の隙間の方が大きい)が認められました。

(2) フランジ分解後点検結果

○フランジ面の傾きを（平行度）を確認したところ、水面計側フランジはほぼ平行でしたが、タンク側フランジは、上部フランジが約 0.6° 上向き、下部フランジは約 1° 下向きの状態でした。

○上部フランジの水面計側シート面において、 0° （上側）付近に、シート部を貫通し漏れ経路となった、幅約 1.5mm 、深さ約 1.5mm の溝と、未貫通の溝が認められました。溝の表面観察の結果、貫通溝は蒸気によって削られたと見られるなめらかな様相がみられ、未貫通の溝には、腐食によると思われる酸化物が認められました。

(3) 当該フランジの保守経歴の調査

○当該フランジは、第21回定検時に水面計点検のため取り外され、パッキンを取替えていました（水面計点検頻度は3定検に1回）。当時の作業員に聞き取りした結果、タンク側フランジのずれが大きく、フランジを締付けるボルトが締めにくかったとの証言がありました。

(4) モックアップ試験

○当時の水面計取り付け作業を模擬するため、当該タンクのフランジに、同寸法の水面計取り付け作業の再現試験を行いました。その結果、タンク側フランジのずれが大きいことに加え、干渉物が多いことなどから、作業性が悪く、パッキンの圧縮量は、上部フランジ部の 0° 付近については、不十分となることがわかりました。

2. 推定原因

湿水分離器ドレンタンクの水面計（剛構造）のフランジの取付け時、タンク側フランジ面が傾いていたため、パッキンの締付けが上部フランジ部の 0° 付近で不足していたこと、およびフランジシート面に微小な線状の傷または腐食が存在していたため、その傷または腐食部分に蒸気が進入し、腐食が進行し、運転中に蒸気漏れに至ったものと推定されました。

3. 対 策

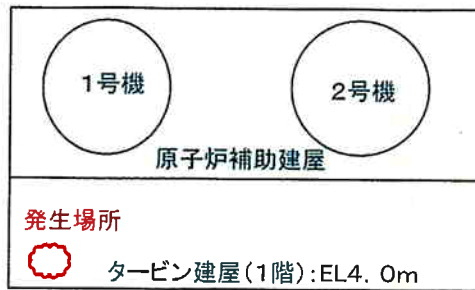
- (1) 当該部については、タンク側フランジを上部、下部とも取替え、面ずれ、面開きを修正します。また、水面計側フランジは水面計と一体で取り替えます。フランジ締付けに当たっては、隙間管理（パッキン圧縮量管理）を確実にを行います。
- (2) 今後の水面計分解点検においては、フランジの傾きを確認し、必要によりフランジの取替えを行います。
- (3) 今回の事象において、作業性の問題点が共有されなかったことを踏まえ、協力会社への聞き取り調査を行い、情報共有を強化することで、設備改善につなげていくこととします。

美浜発電所1号機は、今後、当該フランジ等を取替えた後、今週中にも原子炉を起動し、発電を再開する予定です。

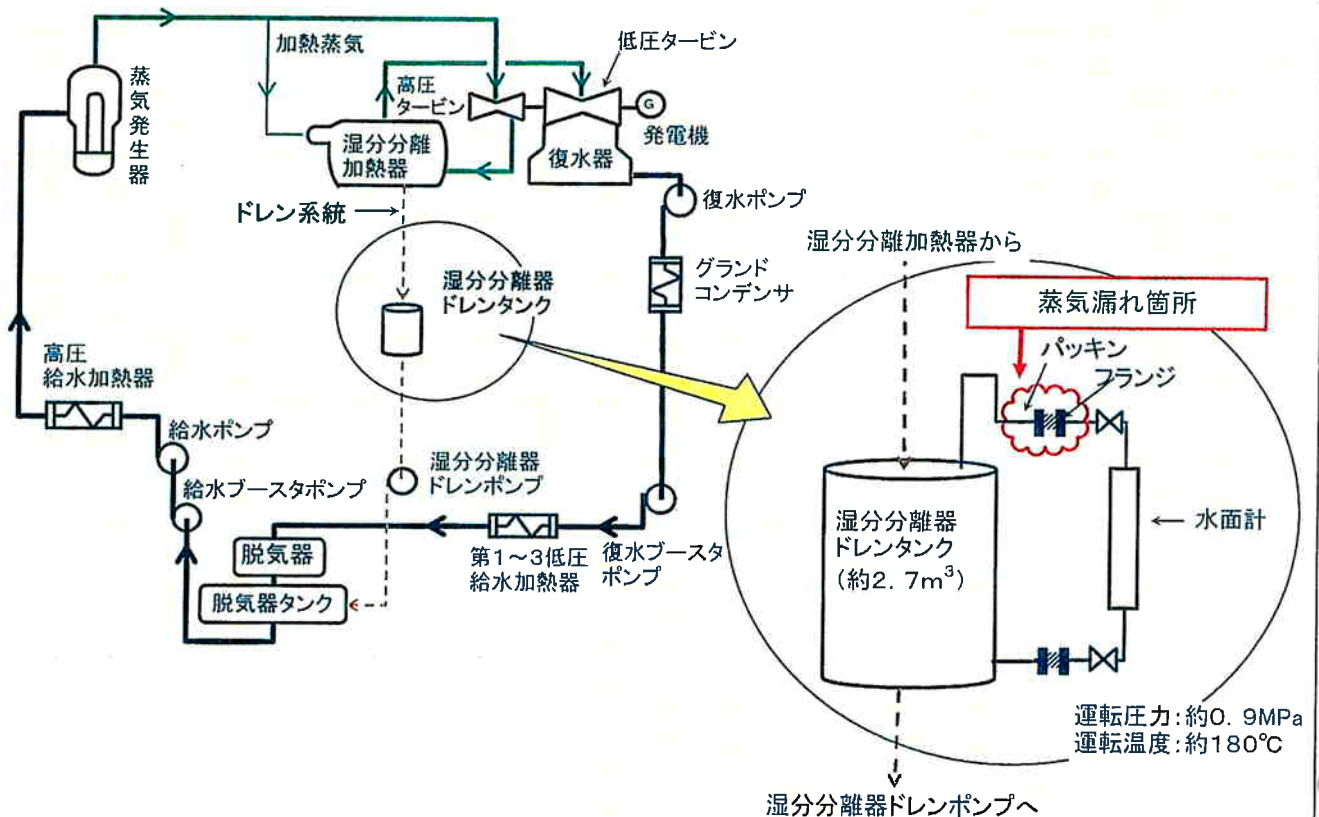
以 上

美浜発電所1号機の原子炉手動停止について
(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の原因と対策)

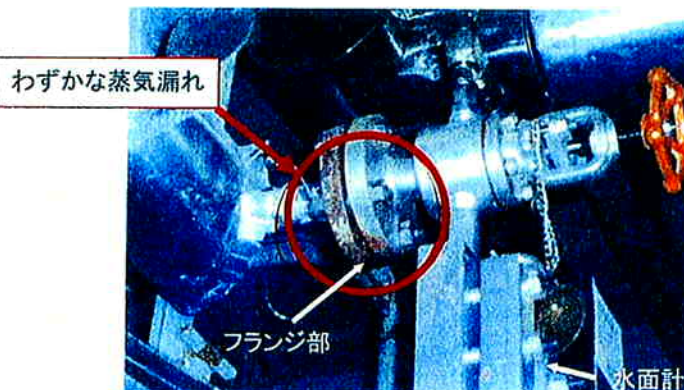
発生場所



系統概略図(2次系)



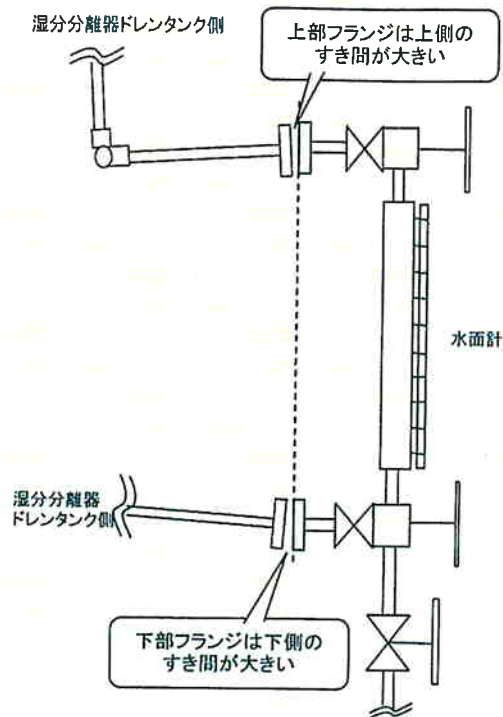
状況写真



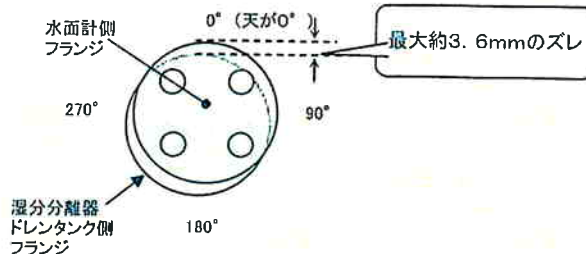
【フランジの仕様】
直径: 約10cm
材質: 炭素鋼

【パッキンの仕様】
型式: うず巻きガスケット
材質: 黒鉛
外径: 47mm
内径: 34mm
最高使用圧力: 約43MPa
最高使用温度: 約600℃

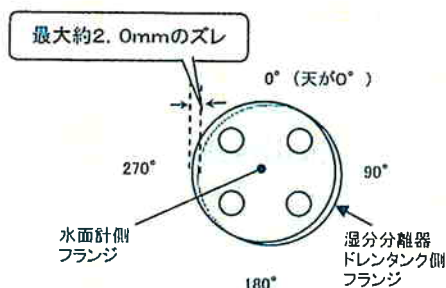
分解前点検結果



水面計から見た上部フランジ

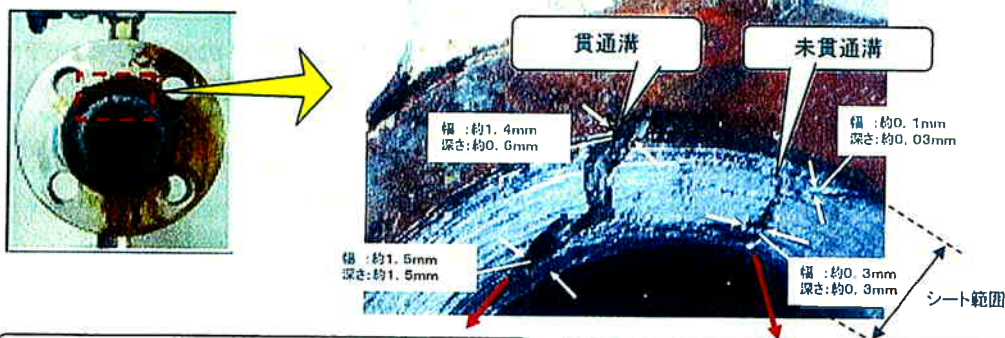


水面計から見た下部フランジ



分解後点検結果

水面計側 上部フランジ写真



貫通溝の表面は比較的なめらかであった

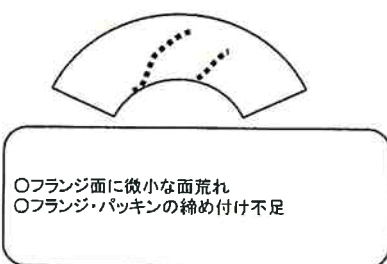
未貫通溝の表面は凸凹しており、全体に酸化物の付着が認められた

腐食により溝が発生し、蒸気漏れ後、エロージョン減肉が生じたものと推定

腐食により溝が発生したものと推定

推定原因

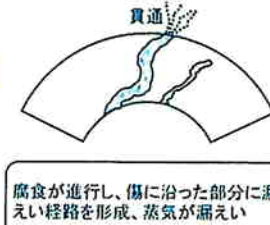
組立て作業時



運転および停止時中



今回



美浜発電所1号機の定期的な希ガス放出時の警報発信の原因と対策について

平成19年12月10日

関西電力株式会社

美浜発電所1号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力34万キロワット、定格熱出力103万1千キロワット）は、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の蒸気漏れの点検および補修のために原子炉を停止した後、定期的な放射性気体廃棄物（希ガス）の管理放出作業として、12月6日17時35分から、D-ガス減衰タンク※1に貯留している希ガスを補助建屋排気筒から放出する作業を実施していたところ、17時39分に「プロセスモニタ計数率注意警報」が発信しました。

直ちに関連パラメータを確認したところ、補助建屋排気筒ガスモニタの指示値が上昇（通常値約850cpmが約4,200cpmに上昇、警報設定値は2,000cpm）していることが確認されたため、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分に通常値に戻りました。その後、補助建屋排気筒ガスモニタの指示値は、通常値で安定しています。

補助建屋排気筒ガスモニタの指示値から、希ガスの放出放射エネルギーは約 $8.3 \times 10^8 \text{ Bq}$ と評価され、保安規定に基づく放出管理目標値（ $2.1 \times 10^{15} \text{ Bq/年}$ ）に比べ約250万分の1以下と十分低く、周辺環境等への影響はありません。

なお、本事象による発電所周辺モニタリングポスト等の指示値に有意な変化は認められておりません。

※1：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、定期的に希ガスの管理放出を行う。

[平成19年12月6日 お知らせ済み]

1. 点検結果

(1) 放射能濃度の評価結果

○D-ガス減衰タンクに貯留している希ガスは、98日間減衰（通常：30日以上減衰）されており、減衰期間には特に問題はありませんでした。また、希ガス放出前のD-ガス減衰タンクの放射能濃度分析も手順どおり実施し、十分に放射能濃度が落ちていることを確認（測定結果： $8.58 \times 10^4 \text{ Bq/cm}^3$ ）しており、事象発生後に再度分析した結果、前日の分析結果とほぼ同値であり（ $7.34 \times 10^4 \text{ Bq/cm}^3$ ）、問題はありませんでした。

(2) 放出手順・弁の操作方法の確認結果

○希ガスの放出は手順書に基づき実施しており、放出手順や弁の操作方法に問題はありませんでした。

(3) ガス減衰タンク放出系統設備の点検結果

○Dーガス減衰タンクの希ガス放出操作時において、シート漏れが起こった場合に希ガスが補助建屋排気筒に放出される可能性のある弁3台を点検した結果、1台の弁（「ガス減衰タンク分析ライン止め弁」※2）については、圧力をかけると漏えいが起こることが確認され、当該弁の分解点検の結果、弁のシート面に2箇所、の漏えい痕が確認されました。また、漏えい痕の1箇所には、金属光沢のある異物が認められました。なお、他の弁2台については、異常は認められませんでした。

○異物の成分分析を実施した結果、ステンレス鋼（SUS316同等の成分）であることを確認しました。当該弁の上流側の配管継手を観察した結果、ナットのネジ部に配管継手のボルトナットの摩耗粉（SUS316）と思われるもの（長さ約1mm、厚さ約0.2mm）が認められました。

※2：Dーガス減衰タンクの放出操作中、体積制御タンクの気相部のガスをガス分析器に通気していたが、この系統とガス減衰タンク放出系統は、ガス減衰タンク分析ライン止め弁を介してつながっている。このため当該弁がシート漏れした場合、希ガスが補助建屋排気筒に放出される。

2. 推定原因

○これらの点検結果から、ガス減衰タンク分析ライン止め弁の上流側の配管継手のボルトナットの摩耗粉が当該弁のシート部に付着してシート漏れが発生し、比較的高濃度の体積制御タンクの希ガスが、ガス減衰タンク放出系統に充満しました。その状態でガスの放出操作を行ったため、まず、充満していた体積制御タンクの希ガスが補助建屋排気筒から放出されたものと推定されました。

○さらにこの放出に伴って、ガス減衰タンク放出系統の配管内の圧力が低下することにより、体積制御タンクの希ガスが、Dーガス減衰タンクから放出されたガスとともに補助建屋排気筒から放出されたため、補助建屋排気筒のモニタの指示値が上昇し、計数率注意の警報が発信したものと推定されました。

3. 対 策

○シート部の漏えいが確認されたガス減衰タンク分析ライン止め弁を取替えます。

○今後は、当該ライン止め弁の上流側に設置している手動弁を常時閉じておくことで、ガス減衰タンク分析系統とガス減衰タンク放出系統とを、2台の弁で2重に隔離することとし、これを所則に反映することとします。

美浜発電所1号機は、今後、ガス減衰タンク分析ライン止め弁を取替えた後、今週中にも原子炉を起動し、発電を再開する予定です。

以 上

美浜発電所1号機の定期的な希ガス放出時の警報発信の原因と対策について

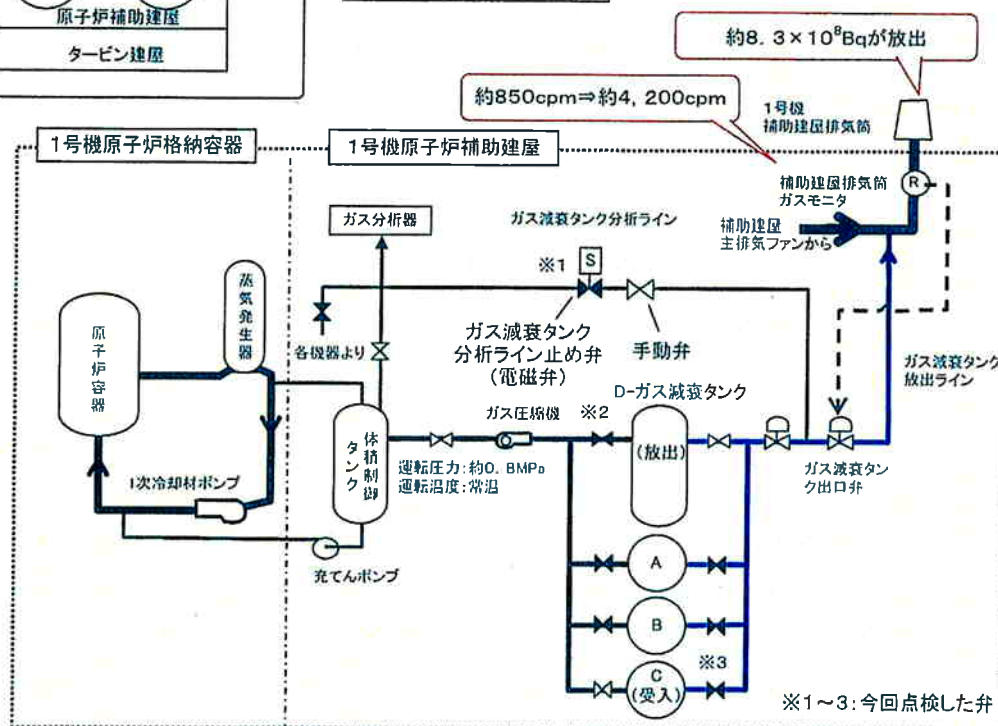
発生時の状況

発生場所

ガス減衰タンク設置場所 (EL4, 0m)
1号機補助建屋
排気筒設置場所 (屋外)

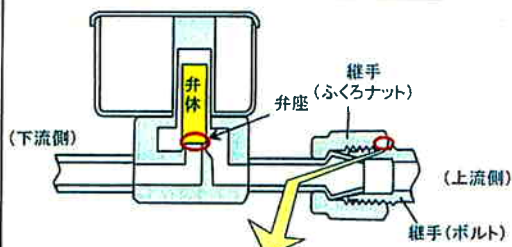


系統概略図

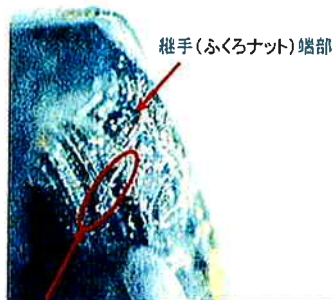


点検結果

ガス減衰タンク分析ライン止め弁構造概要図



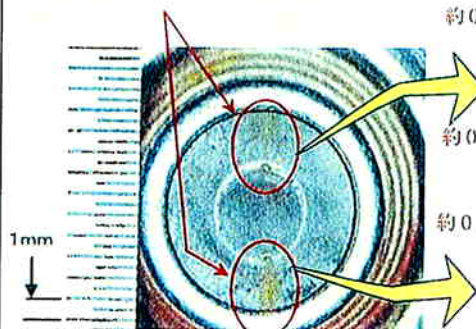
継手(ふくろナット)端部の写真



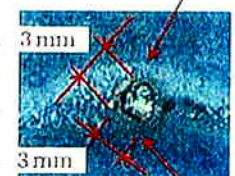
ふくろナットとボルトの摩耗粉と思われる細長いもの(長さ約1mm×太さ約0.2mm程度)が認められた。

弁体を下から見た写真

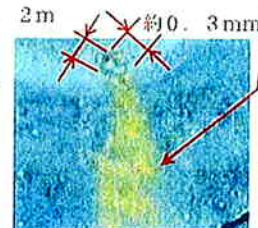
漏えい痕が2箇所認められた



金属光沢のある異物

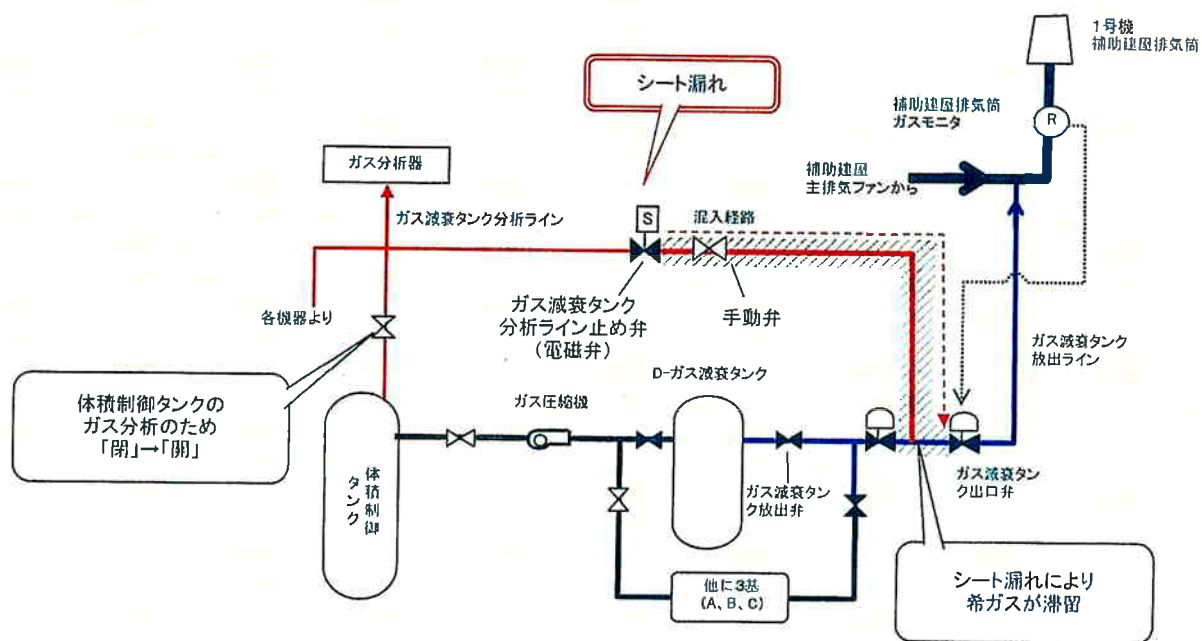


茶色は漏えい痕

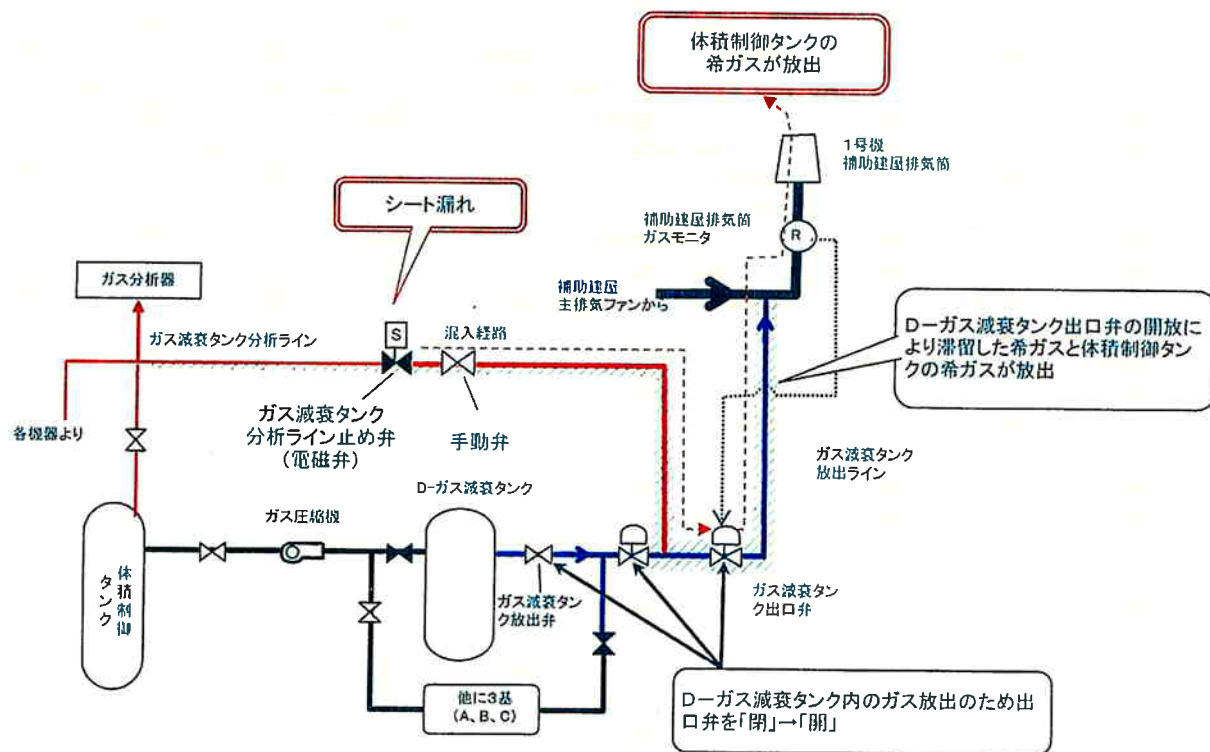


推定原因

① Dガス減衰タンク放出前の状態



② D-ガス減衰タンク放出時の状態



発電所名	大飯発電所２号機	発 生 日	１２月１３日
件 名	炉物理試験の復旧操作における警報の発信について (添付図５参照)		
事象概要 および 対 策 等	大飯発電所２号機は、定期検査の最終段階である調整運転開始に向けて、１２月１２日に原子炉を起動、翌１３日に臨界とし、原子炉出力１～２％で炉物理試験※１を実施しました。その後、原子炉出力を０％に戻すため、１６時４６分～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、警報※２が発信しました。 警報発信時の状況を確認したところ、原子炉容器入口と出口の１次冷却材の平均温度（２８９．１℃）が警報設定値（２８９．４℃）を下回っていました。 調査の結果、設備に異常は認められず、制御棒の挿入操作間隔が若干短かったことにより１次冷却材平均温度の低下が通常より大きくなり警報発信に至ったものと考えられます。 今後、１次冷却材平均温度の低下量を見込んだ制御棒挿入間隔を適切に評価し、要領書に反映します。 本事象を受け、本日予定していた調整運転の開始を明日に変更しました。 なお、本警報は、本来、主蒸気管が破断した場合の蒸気の流出に伴う１次冷却材平均温度の低下を検知するものですが、今回の警報発信は制御棒操作に伴って発信したものであり、蒸気漏れは発生しておりません。 本事象による周辺環境への影響はありません。 ※１：炉物理試験 本検査は原子炉が臨界に達した後、制御棒の挿入・引き抜き、１次冷却水（ほう酸水）中のほう素濃度の希釈・濃縮および１次冷却系統の温度変化を与えることにより、制御棒、ほう酸水の効果や、原子炉内の出力分布の状態等を確認する試験。 ※２：「１次冷却材平均温度低低パーシャル主蒸気隔離&安全注入」警報 主蒸気管が破断した場合、蒸気の流出により１次冷却材温度が低下し、原子炉に正の反応度が投入されることから、４ループのうち２ループでの「１次冷却材平均温度低低」信号と４ループのうち２ループでの「主蒸気流量高」信号の一致により、主蒸気管破断が発生したことを検知し、「主蒸気隔離信号」と「非常用炉心冷却設備（ＥＣＣＳ）作動信号」を発信、主蒸気隔離弁を閉止するとともにＥＣＣＳを作動させ、事故の収束を図る。 今回は、２つの動作要素のうち、「１次冷却材平均温度低低」の信号が発信されたものである。		

大飯発電所2号機 炉物理試験の復旧操作における警報の発信について

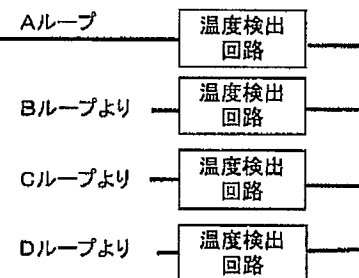
事象概要

→ : 今回の作動信号

②

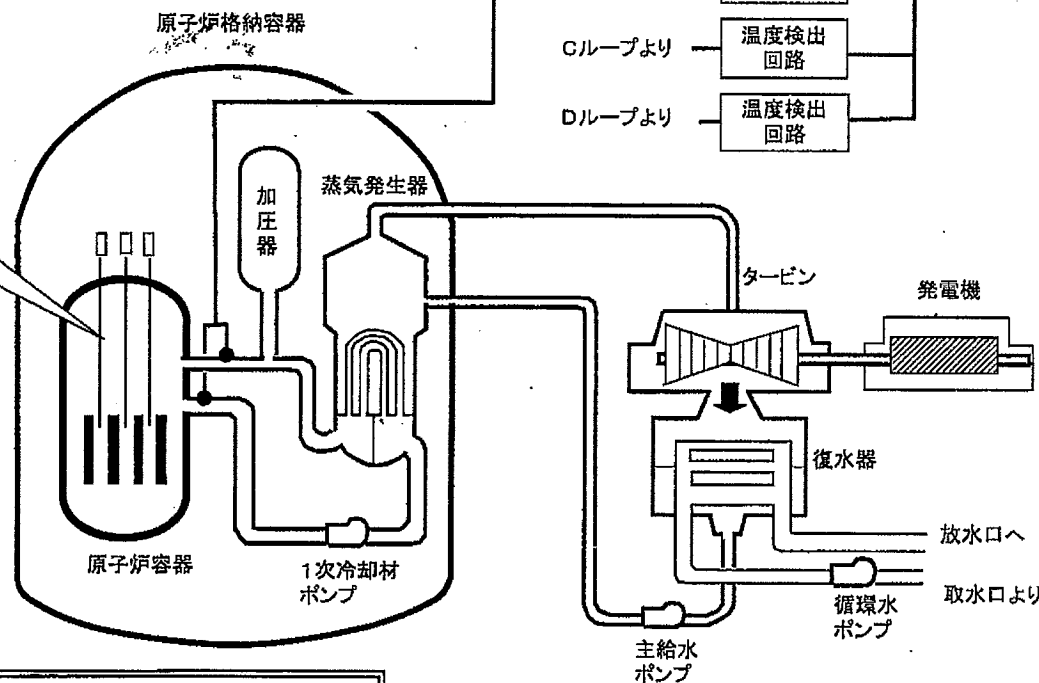
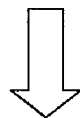
予想以上にA～Dループの1次冷却材の温度が下がり、警報設定値(289.4℃)をわずかに下回ったため、「1次冷却材平均温度低低パーシャル主蒸気隔離&安全注入」の警報が発信

1次冷却材平均温度低低パーシャル
主蒸気隔離&安全注入



①

試験実施後、原子炉出力を1～2%から0%に戻すため、制御棒の挿入操作を実施(16時46分～53分にかけて制御棒を222ステップから195ステップまで挿入した)



挿入操作については、時間間隔を十分取るべきであった

大飯発電所２号機の調整運転停止について (湿分分離加熱器空気抜き管からの蒸気漏れの原因と対策)

平成19年12月21日
関西電力株式会社

大飯発電所２号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力117万5千キロワット、定格熱出力342万3千キロワット)は、第21回定期検査中、12月15日に調整運転を開始し、電気出力30%出力に達した後、2次系の点検を行っていたところ、点検中の当社社員が湿分分離加熱器^{※1}の加熱蒸気側水室に接続されている空気抜き管の保温材から僅かに蒸気が出ているのを確認しました。

このため、加熱蒸気の供給を停止する措置を行った上で、保温材を取り外して確認したところ、空気抜き管の直管部で蒸気漏れ箇所を確認しました。当該部はドレントラップ^{※2}出口配管との合流部付近でした。

蒸気漏れの原因調査を行うため、計画的に原子炉を停止することとしました。

なお、漏れた蒸気は放射性物質を含まない2次系の蒸気であり、この事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

※1：高圧タービンを出た蒸気を加熱し湿分を除去する機器。

※2：空気抜き管内に溜まった水を下流側の復水器に排出する装置。

[平成19年12月15日 お知らせ済み]

12月15日23時00分より出力降下を開始し、翌16日午前2時00分に発電を停止、午前3時26分に原子炉を停止した後、蒸気漏れの原因調査を実施しました。

1. 調査結果

(1) 減肉部の調査結果

○蒸気漏れが確認された箇所の外観観察を行った結果、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した。

○超音波肉厚測定の結果、開口部を中心とする範囲で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した。

○減肉部の断面観察を行った結果、液滴衝撃エロージョン^{※3}に見られる鋸刃状の減肉形態が認められました。

※3：液滴衝撃エロージョン・・・蒸気とともに加速されるなどして高速になった液滴が、配管の壁面に衝突したときに、局所的に大きな衝撃力を発生させ、配管表面が侵食される現象。

(2) 設備点検結果

○ドレントラップ等を分解点検した結果、異常は認められませんでした。

(3) 系統構成調査結果

- 当該系統は、運転中、ドレントラップの上流側（ドレン水側）には、運転圧力がかかっており、一方、ドレン水が排出される下流側は、ほぼ真空の状態まで減圧される系統でした。
- また、ドレントラップ下流配管から排出されるドレン水は、直径の大きい真空に近い状態の空気抜き管に流れ込むため、当該部は、減圧膨張し、流速が大きくなる箇所でした。

(4) 配管管理の状況

- 当該箇所は常時流れのある系統ではないことから、「2次系配管肉厚の管理指針」に基づく点検対象の範囲外でした。
- また、知見拡充の観点から、平成17年より順次、復水器につながるドレントラップ近傍の下流側偏流発生箇所（曲がり部、合流部等）について点検し、減肉が認められた場合には系統全体の点検を行うこととしていましたが、当該ドレントラップについては、近傍の下流側曲がり部等に減肉が認められなかったため、当該箇所の点検は行っていませんでした。

2. 推定原因

- ドレントラップ下流配管は、より口径の大きい当該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、貫通に至ったものと推定されました。

3. 対 策

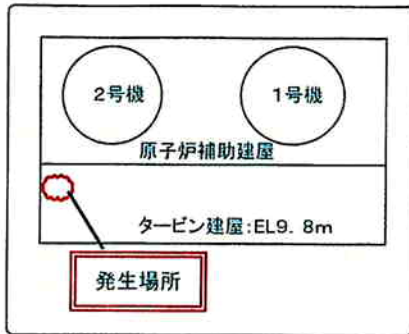
- 当該配管を炭素鋼配管から減肉に強いステンレス鋼配管に取替えます。
- 今回の事象を踏まえ、知見拡充の観点からドレントラップ下流の合流部の20箇所について点検を行い、必要な肉厚があることを確認しました。
- 次回定期検査時に、当該ドレントラップ下流配管を直接復水器に接続する等、配管経路の変更について検討します。
- 今後、復水器に接続されるドレントラップ下流配管を、計画的にステンレス鋼配管に取替えるとともに、計画的に点検を実施します。

大飯発電所2号機は、今後、配管取替えを行った後、今週末にも原子炉を起動し、来週初めに調整運転を再開する予定です。

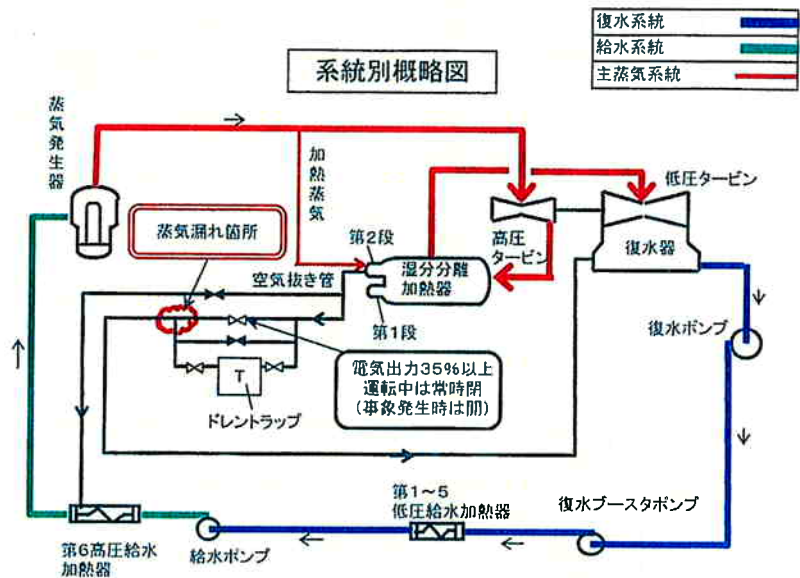
以 上

大飯発電所2号機の調整運転停止について (湿分分離加熱器空気抜き管からの蒸気漏れの原因と対策)

発生場所

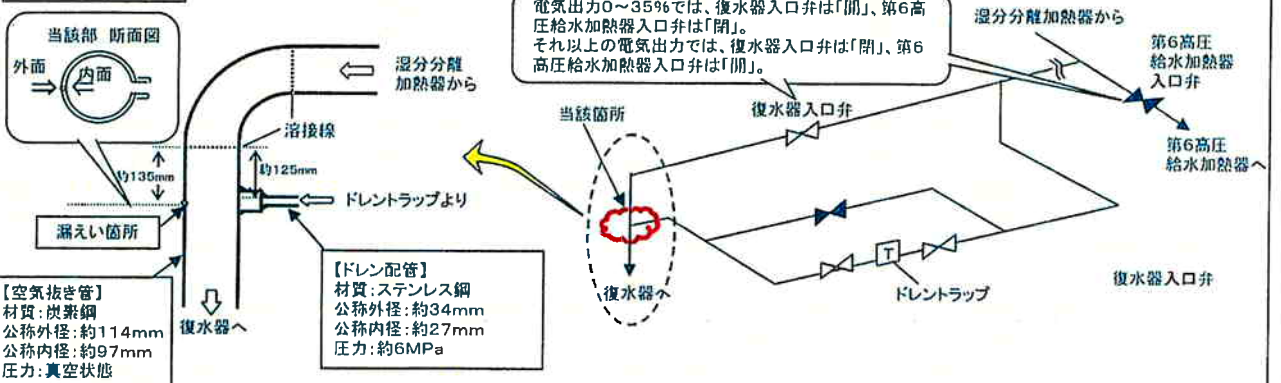


系統別概略図

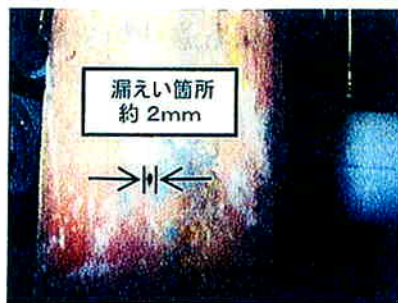


点検結果

発生時の状況



外観観察結果



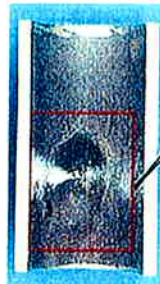
配管外面からの肉厚測定のため表面の手入れを実施した際、減肉により肉厚が薄くなっていたことにより開口した穴

蒸気漏れ箇所

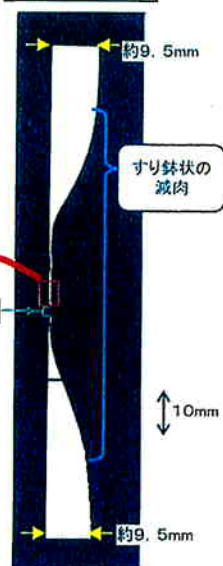


内面観察および断面観察結果

内面の写真

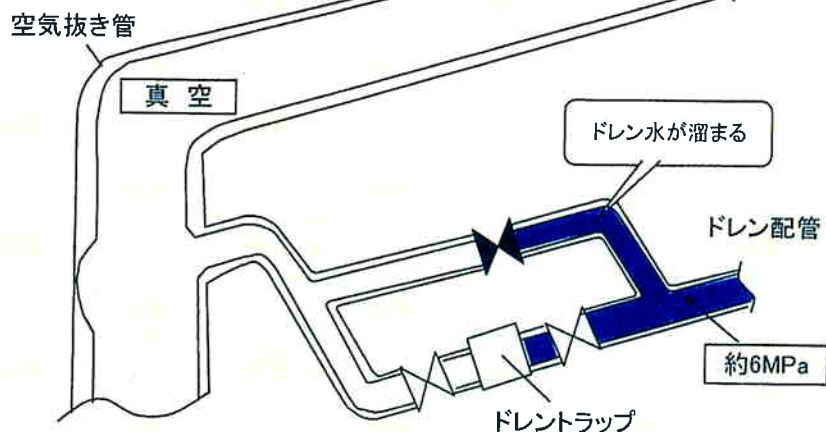


断面写真

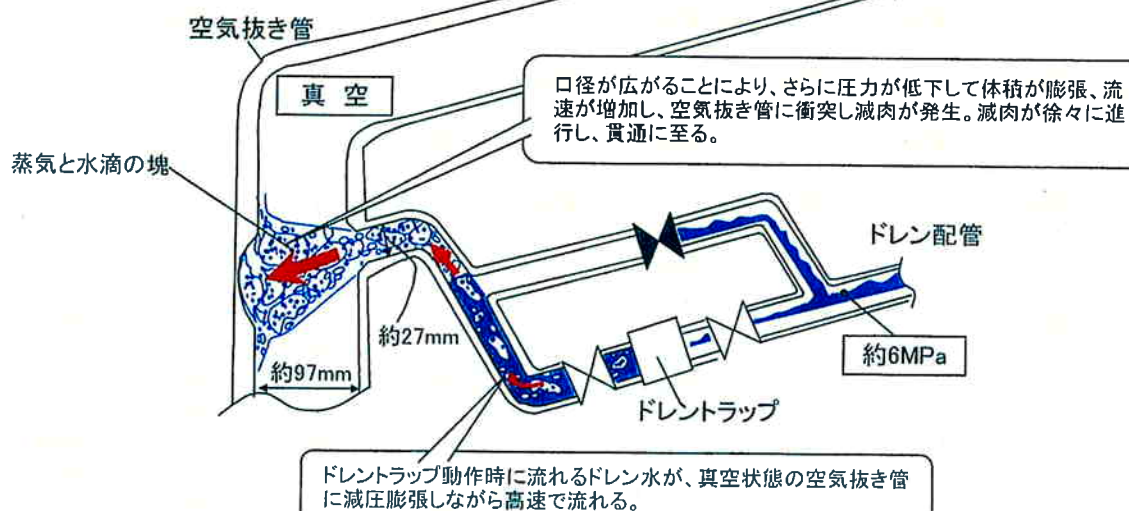


推定メカニズム

ドレントラップ動作前

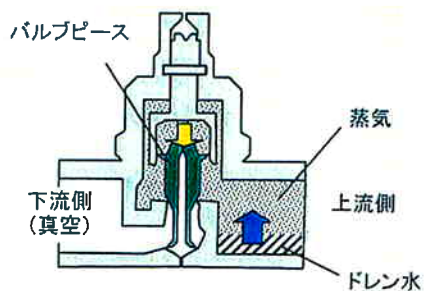


ドレントラップ動作時



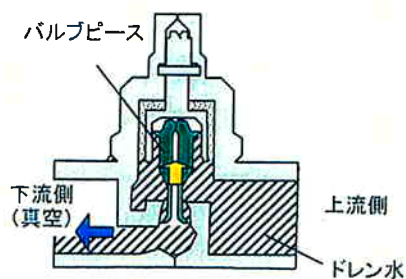
ドレントラップ動作原理

ドレン水位上昇時



上流側の高い圧力でバルブピースが押し下げられる。

ドレン排水時



上流側蒸気がしゃ断されバルブピース頭部が、放熱により冷却されバルブピース上部の圧力が低下し、バルブピースが押し上げられる。

高浜発電所1号機の定期検査状況について
(燃料集合体漏えい検査結果)

平成20年5月16日
関西電力株式会社

高浜発電所1号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力82万6千キロワット、定格熱出力244万キロワット)は、定格熱出力一定運転中の1月9日、1次冷却材中のよう素(I-131)濃度の上昇(約0.7 Bq/cm³から1.5 Bq/cm³)が認められたことから、燃料集合体に漏えい※1が発生した疑いがあるものと判断しました。

このため、監視を強化した上で運転を継続していましたが、放射性廃棄物の放出抑制および作業員の被ばく低減の観点から、十分な放射能低減期間を確保するため、年度計画上の予定から約11日間前倒して3月19日から第25回定期検査を開始しました。

※1: 燃料ペレットを収納している燃料被覆管から漏えいがあると、燃料被覆管内のよう素が1次冷却材中に放出される。このため、1次冷却材中のよう素濃度の変化から、漏えいの有無を判断している。

[平成20年1月9日、3月18日 お知らせ済み]

[燃料集合体漏えい検査の結果]

- ・原子炉に装荷されていた燃料集合体全数(157体)について、漏えい燃料集合体を特定するため燃料集合体 SHIPPING 検査※2を行った結果、燃料集合体2体(燃料集合体番号KAEA70およびKAEA72)に放射性物質の漏えいが認められました。
- ・漏えいが認められた燃料集合体2体について水中カメラによる外観検査を実施したところ、傷や割れなどの異常は認められませんでした。また、燃料集合体の燃料棒全数(204本/1体)について、漏えい燃料棒の特定のため、超音波による調査※3を実施した結果、燃料集合体1体(KAEA70)の燃料棒1本で漏えいが認められました。なお、もう1体の燃料集合体(KAEA72)では、漏えい燃料棒の特定に至りませんでした。
- ・漏えいが認められた燃料棒1本について、ファイバースコープを用いて外面目視点検を実施したところ、傷や割れは認められませんでした。

※2: 燃料集合体から漏れ出てくる気体および液体に含まれる核分裂生成物(キセノン-133、よう素-131等)の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する。

※3: 漏えいが発生した燃料棒の内部は、漏えい孔から浸入する水により、健全な燃料棒に比べ、燃料被覆管を伝播する際の超音波が減衰する。これを検出することで、漏えい燃料棒を特定する。

これらの検査結果から、今回の漏えいは燃料棒に偶発的に発生した微小孔（ピンホール）によるものと推定しました。

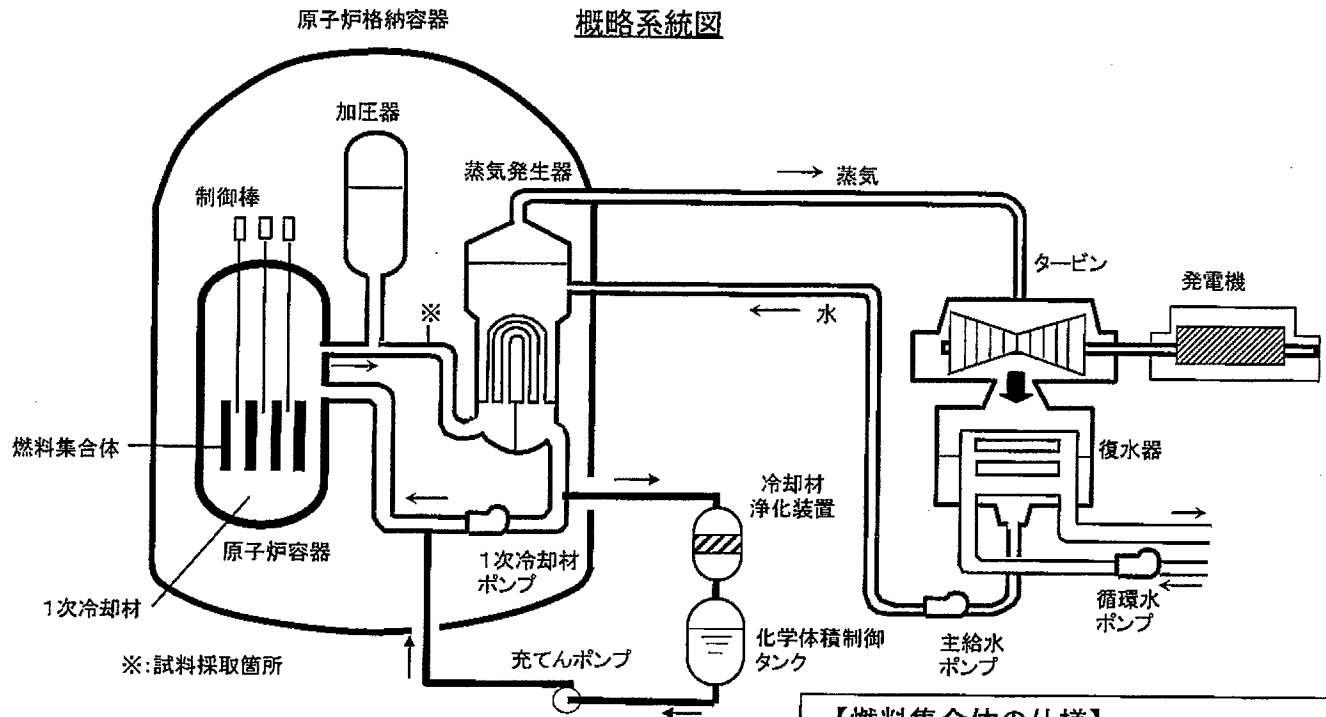
当該燃料集合体２体は、今後、再使用しません。

なお、当該燃料集合体２体は所定の燃焼が終了しており、再使用しない計画でした。

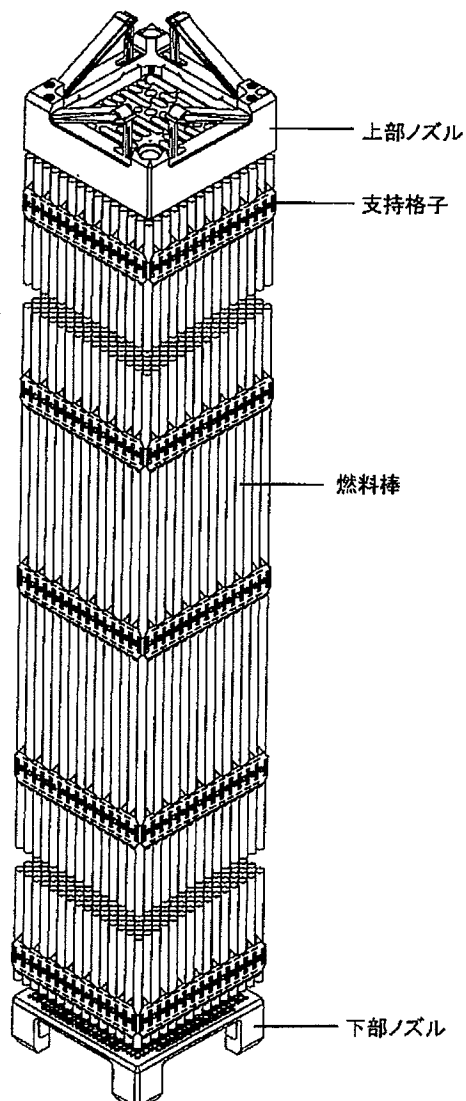
この事象による環境への放射能の影響はありませんでした。

以 上

高浜発電所1号機の定期検査状況について (燃料集合体漏えい検査結果)



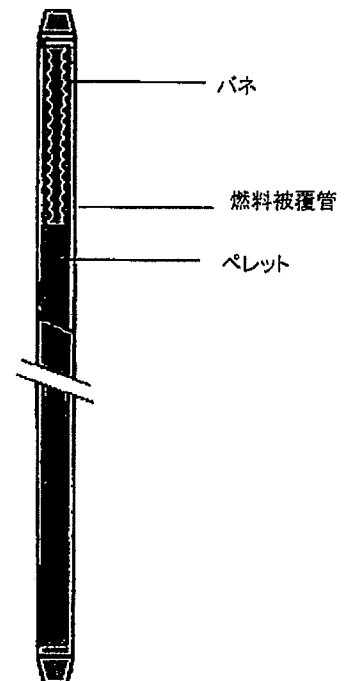
燃料集合体概略図



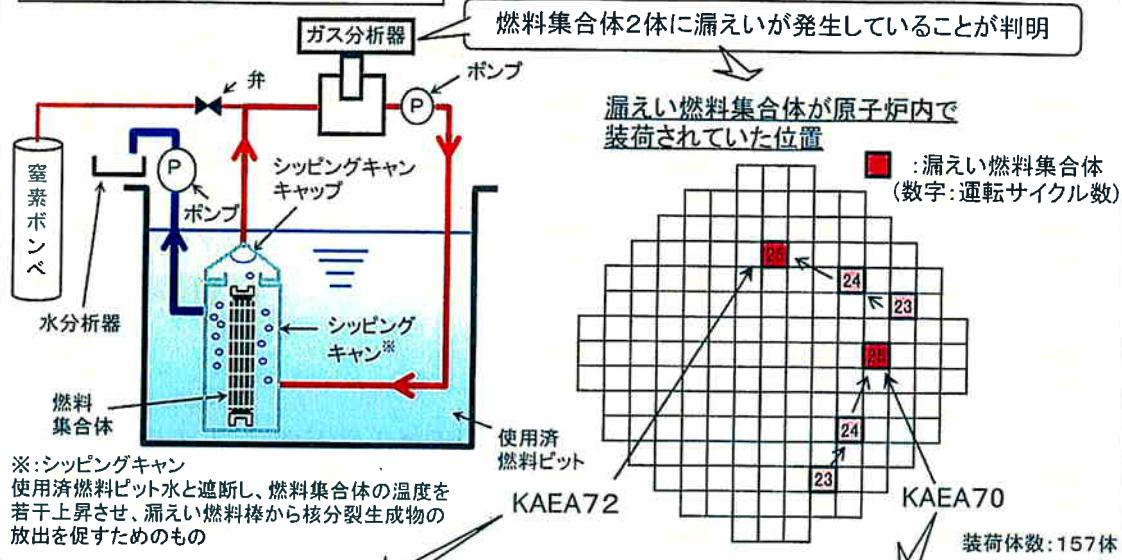
【燃料集合体の仕様】

燃料タイプ : 15×15型
全 長 : 約4m
全 幅 : 約20cm
支持格子数 : 7個
燃料被覆管材質: ジルカロイ-4
燃料被覆管外径: 約11mm
燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
燃料棒の本数 : 204本
制御棒案内管 : 20本

燃料棒

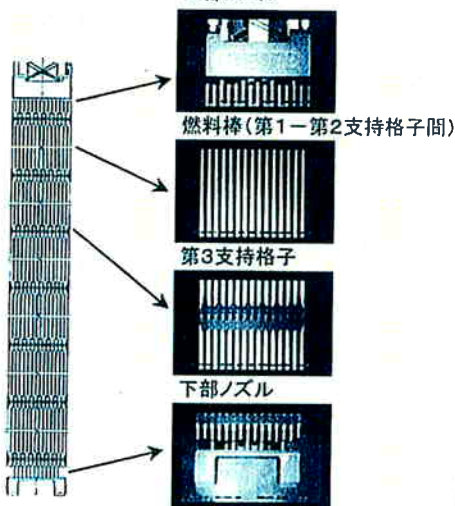


燃料集合体シッピング検査概要



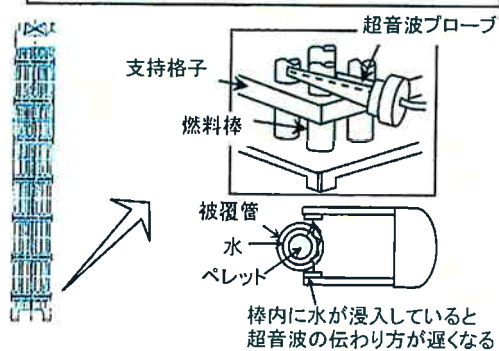
KAEA72の調査結果

○目視検査: 異常は認められなかった
上部ノズル



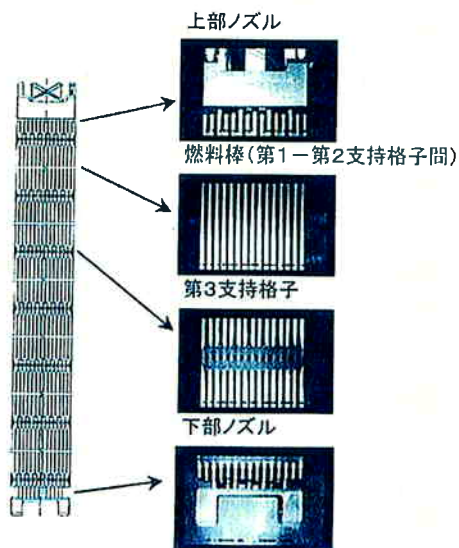
○超音波による調査
漏えい燃料棒の特定には至らなかった

超音波による漏えい燃料棒調査原理

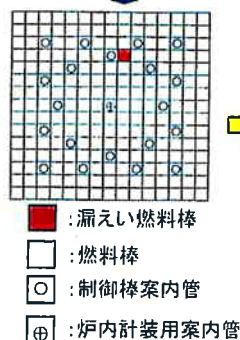


KAEA70の調査結果

○目視検査: 異常は認められなかった

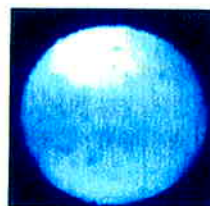


○超音波による調査
漏えい燃料棒1本を確認



ファイバースコープの結果

燃料棒表面に傷や割れは認められなかった



(矢印から観察)

高浜発電所3号機の定期検査状況について
(A、B、C-蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

平成20年3月10日
関西電力株式会社

高浜発電所3号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力87万キロワット、定格熱出力266万キロワット)は、第18回定期検査において、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、3台ある蒸気発生器(SG)の1次冷却材出口および入口管台の溶接部(計6箇所)内面について、応力腐食割れ予防保全としてショットピーニング工事^{※1}を実施する計画でした。

この工事のため、事前に当該溶接部内面の渦流探傷試験(ECT)^{※2}を行ったところ、A-SG入口管台溶接部で7箇所、B-SG入口管台溶接部で16箇所、C-SG入口管台溶接部で9箇所の有意な信号指示(複数の近接した信号を連続したものと評価した最大長さ A:約28mm、B:約38mm、C:約14mm)を確認しました。

ECTにおける有意な信号指示が認められたSG入口管台溶接部32箇所について、傷の深さを確認するため超音波探傷試験(UT)^{※3}を実施した結果、A-SG入口管台溶接部の2箇所、B-SG入口管台溶接部の6箇所、C-SG入口管台溶接部の3箇所の計11箇所の板厚が、電気事業法に基づく工事計画認可申請書に記載の75.26mmを下回ると評価しました。(最大深さ A:約9mm、B:約15mm、C:約9mm)

本事象による環境への放射能の影響はありません。

[平成20年2月4日 お知らせ済み]

※1:ショットピーニング工事

小さい金属の玉を溶接部表面に当てることにより、溶接部表面の残留応力を低減させる工事。

※2:渦流探傷試験(ECT)

高周波電流を流したコイルを対象となる配管等に接近させることで対象物に渦電流を発生させ、対象物の欠陥に起こった渦電流の変化を電気信号として取り出すことで欠陥を検出する検査。

※3:超音波探傷試験(UT)

超音波を使って金属等の内部にある有害な傷を検出する検査。

傷が発生した原因について詳細に調査するため、傷の深さが最大と評価したB－SGの入口管台溶接部について溶接部表面の型取観察およびスンプ観察※⁴等の調査を行った結果は、以下のとおりです。

※4：スンプ観察

損傷部の表面にフィルム等を貼り付け写し取り、これを顕微鏡で観察する。

1. 原因調査結果

(1) 型取観察

- ・ 傷の周辺では、グラインダ施工※⁵による仕上げ跡を確認しました。
- ・ 傷の下方にバフ施工※⁶の跡も確認しました。

※5：グラインダ施工

溶接部表面等に対して、電動工具に取り付けた円形状の砥石で研削または研磨を行うこと。

※6：バフ施工

溶接部表面等に対して、電動工具に取り付けた砥粒を付着させた布ペーパーを何枚も円形状に組み合わせたもの（バフ）で、グラインダ施工より細かな研磨を行なうこと。

(2) スンプ観察

- ・ 傷は、軸方向の複数の割れが約23.5mmにわたって集まっており、デンドライト境界※⁷に沿った割れでした。
- ・ 割れの周辺に直径約7mmの手直し溶接と思われる溶接の跡が認められました。
- ・ 割れは、これまで手直し溶接補修跡が認められた国内外の600系ニッケル基合金溶接部で確認されている1次冷却材環境下における応力腐食割れ※⁸と同様の様相でした。

※7：デンドライト境界

溶接部では、溶融した金属が固まる際にできる柱状の結晶（デンドライト結晶）ができ、その結晶組織の境界のことをデンドライト境界という。

※8：1次冷却材環境下における応力腐食割れ

1次冷却材環境下で600系ニッケル基合金に発生するPWRプラント特有の応力腐食割れ。（材料、環境および応力の3要素が重なって発生する割れ）

(3) 製造履歴調査

当該SGは、プラント建設時に設置されたものであり、昭和55年9月から昭和58年3月の間に工場で製作されていました。

当時の工事記録や検査記録を確認するとともに、関係者への聞き取り調査を行った結果、SGの製作手順は、同部位でグラインダ施工（研削または研磨）の影響により高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生した日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機のSGと同様であり、SG管台とセーフエンドを溶接した後、溶接で生じた溶接部表面の凸凹を除去するため、グラインダ施工（研削）およびバフ施工が行われていました。

また、手直し溶接を実施した場合は、溶接部表面を弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）した可能性があることを確認しました。

(4) 文献調査

文献調査を行った結果、600系ニッケル基合金溶接部については、加圧水型軽水炉（PWR）の1次冷却材環境下で約300MPa以上の引張応力が残留していた場合、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性があることを確認しました。

日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機のSG入口管台溶接部において、手直し溶接部に弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）した内表面と、グラインダ施工（研削）およびバフ施工後の内表面におけるグラインダ施工跡に高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生した事象についても確認しました。

また、応力腐食割れは、溶接部のデンドライト境界に沿って進展することを確認しました。

(5) 表面加工状態確認試験

高浜発電所3号機SG入口管台の内表面加工条件については、日本原子力発電（株）敦賀発電所2号機と同様であり、敦賀発電所2号機の原因究明において実施された表面加工状態確認試験結果と今回の型取観察結果を比較しました。

その結果、当該溶接部内表面は、敦賀発電所2号機でグラインダ施工（研削）およびバフ施工を行い、手直し溶接後に、弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）したものと推定された筋状の模様と同様であることを確認しました。

その加工条件においては、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある約300MPaを超える引張残留応力が発生することを確認しました。

なお、バフ施工を実施すると十分に残留応力が低減することを確認しました。

(6) 調査結果のまとめ

- ・割れは、デンドライト境界に沿った割れであり、過去の1次冷却材環境下における応力腐食割れ事象と同じ様相を呈していました。
- ・当該溶接部内表面は、グラインダ施工（研削）およびバフ施工を行い、手直し溶接部は、弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）が行われたものと推定しました。
- ・敦賀発電所2号機で確認されたものと同様に、手直し溶接部を弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）が行われた表面と、グラインダ施工（研削）およびバフ施工した後のグラインダ施工跡に高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生している可能性が考えられました。

2. 推定原因

SGの製作時、SG管台溶接部において、グラインダ施工（研削）およびバフ施工を行い、一部手直し溶接と弾力性のある砥石によりグラインダ施工（研磨）が行われたことで、高い引張応力が残留し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定しました。

3. 対策

以下のとおり対策を実施します。

- (1) SG管台溶接部の内表面全周を切削して浅い割れを除去した後、グラインダにより部分的に深い割れを除去します。
- (2) その後、深い割れを除去した部位に600系ニッケル基合金で肉盛溶接を行った上で、内表面全周をより耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を行うとともに、念のため、バフ施工を行い残留応力の低減を図ります。

対策工事には、数ヶ月を要し、原子炉起動は今年の夏頃となる見込みです。

以 上

(経済産業省によるINESの暫定評価)

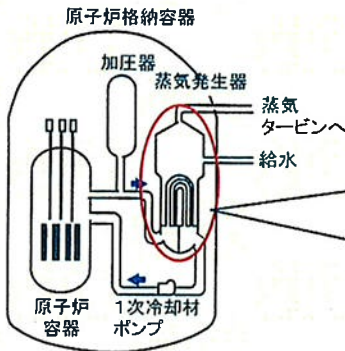
基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

INES：国際原子力事象評価尺度

高浜発電所3号機 定期検査状況について (蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

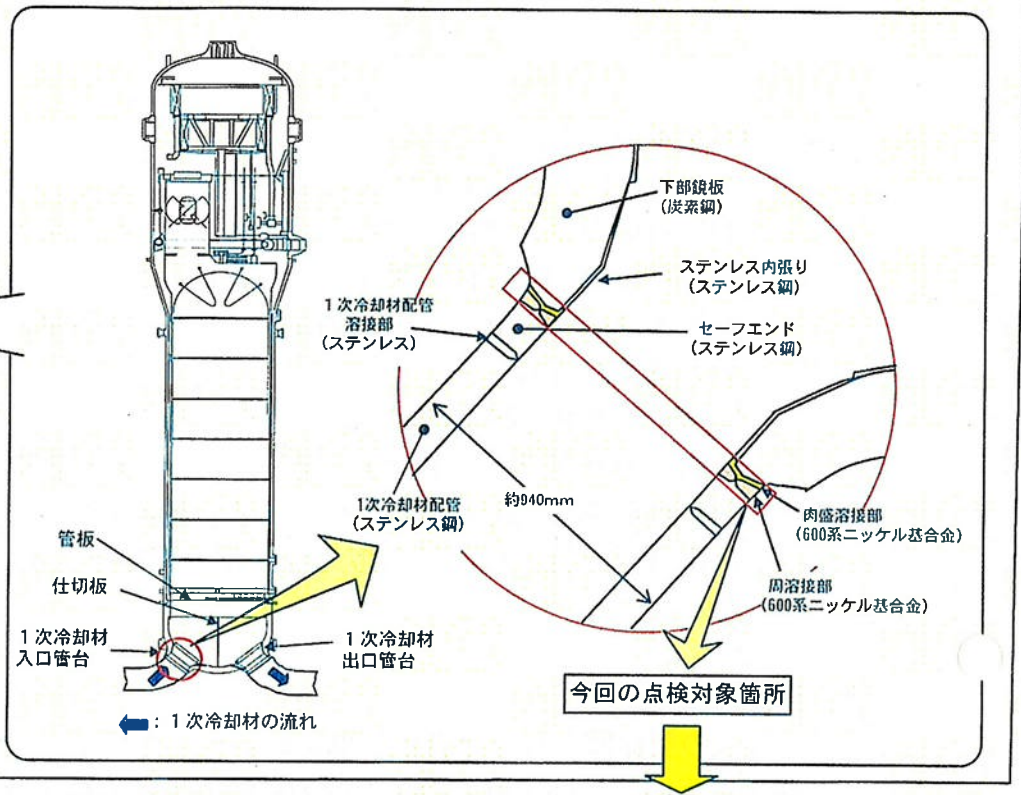
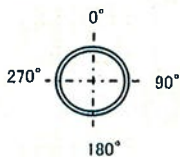
発生箇所

系統概略図



蒸気発生器入口管台点検状況

蒸気発生器側から見た図
(天を0°とする)

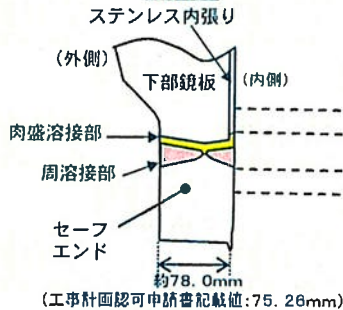


ECT結果(有意な指示箇所)

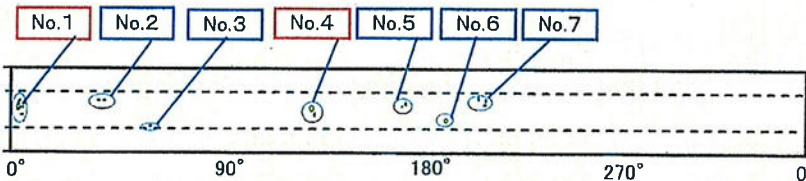
超音波探傷試験の結果、工事計画認可申請書の記載を下回ると評価された箇所

□ : 超音波探傷試験で傷の深さが検出できなかった。

断面図



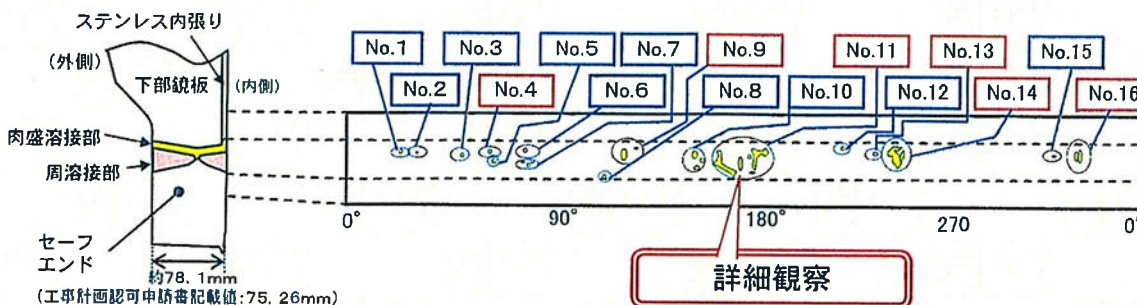
A-蒸気発生器 点検状況



(最大長さ)
No. 1 : 約28mm ※
(最大深さ)
No. 1 : 約9mm

※: 複数の近接したECT信号指示を連続したものとして評価した値。

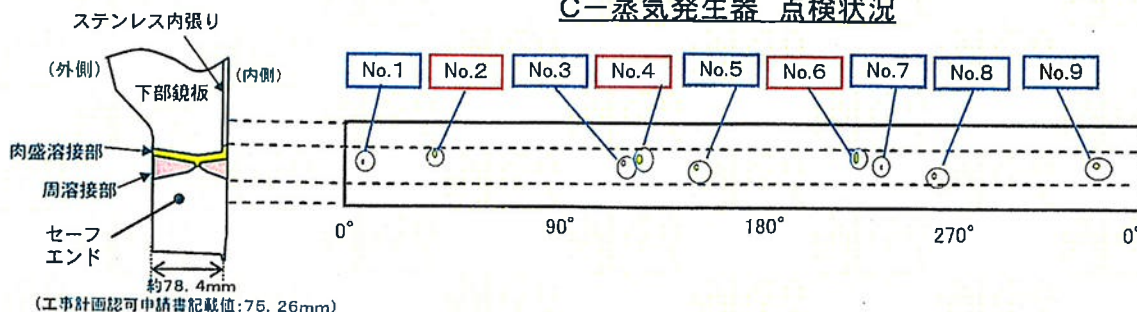
B-蒸気発生器 点検状況



(最大長さ)
No. 11 : 約38mm ※
(最大深さ)
No. 11 : 約15mm

※: 複数の近接したECT信号指示を連続したものとして評価した値。

C-蒸気発生器 点検状況



(最大長さ)
No. 2 : 約14mm ※
(最大深さ)
No. 4 : 約9mm

※: 複数の近接したECT信号指示を連続したものとして評価した値。

B-SG入口管台溶接部 NO. 11指示部の詳細観察結果

型取観察

グラインダ施工(砥石により研磨または研削)の仕上げ跡

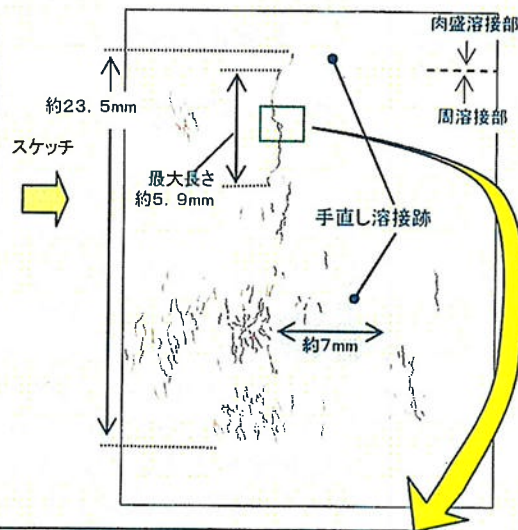


バフ施工の跡

スンプ観察結果



2mm



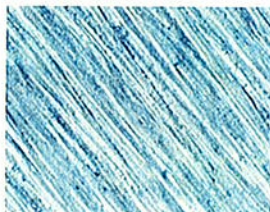
割れは、1次冷却材環境下における応力腐食割れの様相であり、デンドライト境界に沿った割れであった。

400μm

表面加工状態確認試験

日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機
における表面加工跡の再現試験

[表面加工条件]
グラインダ施工(研削)
+
バフ施工
+
グラインダ施工(研磨)
(弾力性のある砥石)



○高浜発電所3号機の型取観察結果と同様の様相。

○1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生する可能性がある引張残留応力を確認。

推定原因

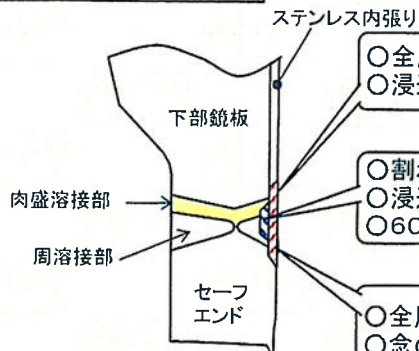
環境: 高温の1次冷却材水質環境

材料: 応力腐食割れの感受性がある600系ニッケル基合金

応力: グラインダ施工による引張残留応力

三因子が重畳し、1次冷却材環境下における応力腐食割れが発生したものと推定

対 策



○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。

○割れが残存した場合、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。
○600系ニッケル基合金で肉盛補修溶接を実施。

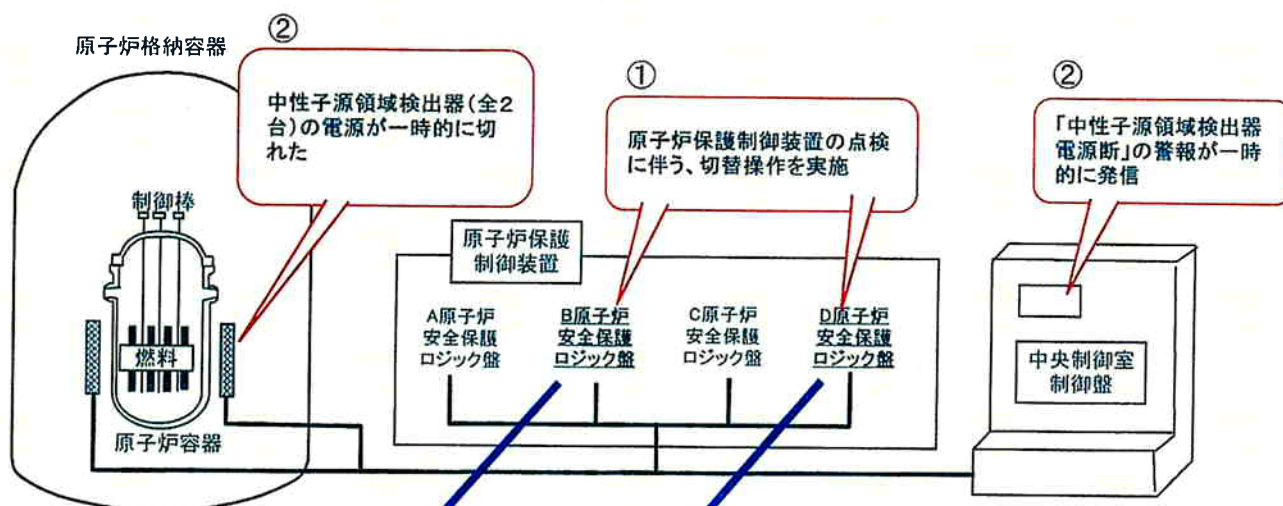
○全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を実施。
○念のため、バフ施工を行い残留応力の低減。

(2) 安全協定の異常時報告事象

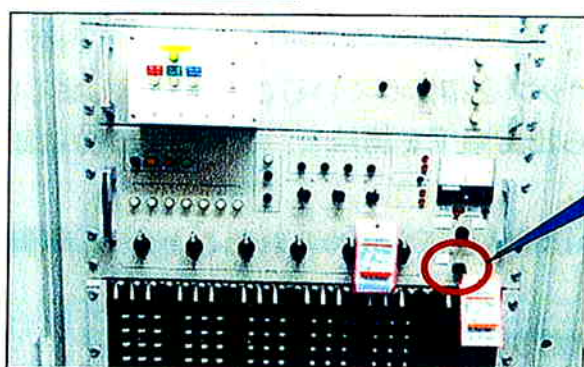
発電所名	大飯発電所3号機	発生日	第13回定期検査中(平成20年2月7日)
件名	中性子源領域検出器の電源断による一時的な停止について (添付図5参照)		
事象概要 および 対策等	大飯発電所3号機は平成20年2月2日に原子炉停止し、第13回定期検査中ですが、平成20年2月7日9時46分、中性子源領域検出器※(全2台)の電源が一時的に切れ、当該検出器が約40秒間停止し、その間の記録が欠測状態となっていることを確認しました。電源が復旧した後、記録計の値は警報発信前の値に戻っており、原子炉の安全性には影響がないことを確認しました。 事象発生時は、原子炉容器開放前の原子炉内に燃料が装荷された状態にあり、この状態では、保安規定において、運転上の制限として、1台以上の中性子源領域検出器で監視することが要求されていますが、今回、当該検出器が停止した間(約40秒間)、運転上の制限を満足していないと判断され、同日10時15分に、一時的な運転上の制限逸脱と、復帰を宣言しました。 当時、原子炉保護系制御装置の定期点検工事として、原子炉保護系の回路(4チャンネル:A~D)を隔離するため、各チャンネルの回路の切替スイッチを「通常」位置から「定検」位置に切り替える操作を行っていましたが、誤って2チャンネル(BおよびD)続けて「バイパス」位置に切り替えていたことが確認されました。本来の「定検」位置では当該検出器の電源は切れませんが、2チャンネルを「バイパス」位置に操作すると、自動的に検出器の電源が切れる仕組みになっており、そのことによって検出器が停止、その後、異常に気が付いた操作者が直ぐに切替スイッチを「通常」位置に戻した結果、検出器が復旧したものと確認されました。 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ました。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ませんでした。 対策は以下のとおり実施します。 ・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ます。 ・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、発電所幹部等が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こととします。 ・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ります。 ※：中性子源領域検出器 原子炉が未臨界状態で中性子束の計数が非常に小さな時に測定する装置		

大飯発電所3号機 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

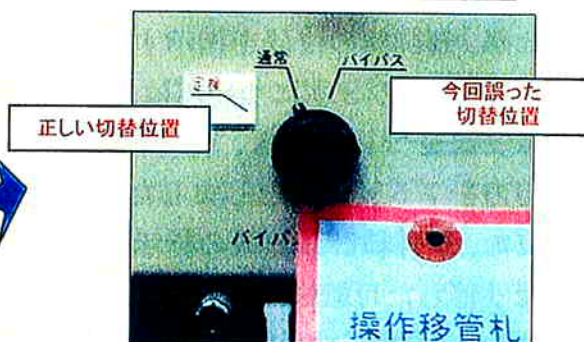
事象概要



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)



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、所内ルールに反映する。
- ・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。

大飯発電所２号機の出力降下について (制御棒位置偏差大警報発信の原因と対策)

平成２０年３月２６日
関西電力株式会社

大飯発電所２号機(加圧水型軽水炉 定格電気出力１１７万５千キロワット、定格熱出力３４２万３千キロワット)は、定格熱出力一定運転中、平成２０年３月１２日９時１５分から定期試験（１回／月）である制御棒動作確認試験を実施していたところ、停止グループのバンクＤ（制御棒４本／グループ）を２２８ステップから２１６ステップまで挿入し、その後２２２ステップまで引き抜いたところ、９時３１分に「制御棒位置偏差大※１」の警報が発信しました。

直ちに、ステップカウンタ※２表示値と制御棒の位置を指示する装置※３の指示値を確認したところ、停止グループバンクＤのステップカウンタ表示値は２２２ステップでしたが、制御棒の位置を指示する装置では、１本の制御棒が１９８ステップを指示しており、残りの３本については、２２２ステップを指示していることを確認しました。

保安規定※４に基づき、１０時２５分から出力降下を開始し、１１時４５分に原子炉出力を７５％以下としました。

また、炉外核計装装置の指示値に若干の指示値低下が認められたことから、制御棒が滑り落ちた可能性があります。

なお、本事象による周辺環境への影響はありません。

保安規定で定める運転上の制限として、全ての制御棒が不整合でないことが求められていることから、当該制御棒の挿入、引き抜き操作を行い、正常位置に戻し、３月１３日２３時４５分に保安規定の運転上の制限を満足した状態に復帰しました。

[平成２０年３月１２日、３月１４日 お知らせ済み]

※１：ステップカウンタの表示値と制御棒位置指示装置の指示値の偏差が±１２ステップ以上、または各バンクの制御棒位置指示装置の指示値の偏差が±１２ステップ以上になると警報が発信する。

※２：制御棒の操作信号を数えて、制御棒位置を表示する装置。

※３：電氣的にコイルを用いて制御棒位置を指示する装置。

全挿入位置は０ステップ、全引き抜き位置は２２８ステップ。

※４：当該警報が発信し、制御棒１本が不整合であることを確認後、１時間以内に復旧できない場合、２時間以内に原子炉出力を７５％以下に下げることがある。

1. 原因調査結果

当該制御棒が滑り落ちた原因として、制御棒を駆動させる電気設備や制御棒駆動機構等の異常が考えられるため、以下の調査を行いました。

(1) 電気設備の調査

a. 制御棒駆動装置盤

ヒューズ、配線等の接触不良により発生した可能性があることから、当該停止グループについて調査しましたが、異常は認められませんでした。

また、当該停止グループのコイル電流測定や、制御棒駆動装置動作確認時における各コイルの電流波形の確認を行いました。異常は認められませんでした。

b. 制御棒位置指示装置

警報発信後の確認において、指示装置の異常を示す警報が出ていなかったこと、また、炉内出力分布結果から求めた評価位置と指示位置が一致していたことから、指示装置は正常であると考えられました。

(2) 制御棒駆動機構の調査

部材の変形等による制御棒駆動機構摺動抵抗（部品同士の僅かな隙間部に生じる抵抗）の増加の有無について調査した結果、制御棒動作確認時のコイル電流波形および動作状況に異常は認められませんでした。1次冷却材中に存在するクラッド^{※5}が摺動部の隙間に入り込んで、駆動機構摺動抵抗が増加する可能性があると考えられました。

※5：1次冷却材中において、配管等の金属材料の酸化により生じる腐食生成物のうち、水に溶けないで存在する粒子状の金属酸化物の総称。

(3) 制御棒動作ライン（制御棒の通る部分）

制御棒動作確認では異常は認められていないことから、制御棒動作ラインの部品隙間部の抵抗に変動は生じていないと考えられます。

(4) 1次冷却材の水質調査

前々回から前回定検と今回のプラント運転中の1次冷却材中の水質（pH、濁度等）は、社内管理値以内で管理されていることを確認しました。

また、至近3定検以降の停止中、運転中の1次冷却材中のクラッド濃度に特異な変化はなく、異常は認められませんでした。

(5) その他（制御棒動作確認試験時等の動作確認）

原子炉出力75%以下の状態で当該制御棒を正常な位置に戻して、全ての停止グループバンクの制御棒動作確認試験を行った結果、制御棒の動作状況および制御棒駆動装置のコイル電流波形に異常は認められませんでした。

制御グループバンクについても、原子炉出力75%以下の状態での制御棒動作確認試験や、出力降下時における制御棒の動作状況を確認した結果、異常は認められませんでした。

また、3月25日より出力上昇を開始し、翌26日5時20分に定格熱出力一定運転状態として制御棒動作確認試験を行った結果、異常は認められませんでした。

2. 国内外の同種事例調査

国内外の同種事例を調査した結果、国内で1件、海外で数件の事例が抽出され、制御棒の滑り落ち事例については、制御棒駆動機構摺動部へのクラッドの付着が原因であることがわかりました。

国内の事例

- 平成18年12月に四国電力伊方発電所2号機で発生した制御棒の滑り落ち事象は、制御棒駆動機構摺動部へのクラッド等の付着により摺動抵抗が増加したことで、ツメ^{※6}の動作時間遅れが発生したことが原因と推定されています。当社は、クラッド濃度が高くなるプラントの停止時、起動時の制御棒動作時には、1次冷却材浄化流量を最大とし、クラッドの低減に努めることや、通常運転中にはクラッドの濃度測定、および適切な1次冷却材の浄化流量の管理を行うことについて、伊方発電所2号機の事象が発生する以前から実施しています。

※6：制御棒駆動機構のうち、制御棒を固定および上下する際に、制御棒駆動軸をつかむ部位。

海外（米国）の事例

- 制御棒駆動装置設計メーカーであるウェスティングハウス社が昭和52年に出した見解では、制御棒を数ステップ動作させることにより事象が解消するような制御棒の滑り落ち事象は、クラッドが制御棒駆動機構内に浸入したことが原因の偶発的な事象であるとしており、クラッド量低減のために、1次冷却材を浄化することを推奨しています。この見解は現在も変わっていません。

以上より、今回の同種事象は、国内PWR(23基)では伊方発電所2号機の1件(～現在)で、米国PWR(約60基)では約1件/年(平成2年～18年)であり、極めて稀なケースと考えられます。

制御棒駆動装置内のクラッド量低減のためには、現在実施している浄化運転に加え、高温停止状態にて制御棒を動作させることにより、制御棒駆動装置内の水を、浄化運転によりクラッド濃度が低くなった1次冷却材と入れ替えることが有効と考えられます。

3. 健全性評価

制御棒の機能で最も重要なことは、原子炉の緊急停止が必要な場合に、所定の時間内に制御棒が炉心に挿入されることです。今回の事象では制御棒の挿入性に問題はなく、これらの安全機能は確保されていました。

4. 推定原因

原因調査、および同種事例の調査結果などから、1次冷却材中に存在するクラッドが制御棒駆動機構の摺動部の隙間に入り込んで摺動抵抗が増加し、固定つかみ部の動作が遅れてツメが駆動軸の溝にかみ合っていない状態で可動つかみ部のツメを離したか、可動つかみ部の動作が遅れてつかみ方が不十分な状態で固定つかみ部のツメを離したこと等から、制御棒が自重で滑り落ちたものと推定されました。

5. 対 策

今後の定期検査のプラント起動時に、従来から実施している低温停止状態における制御棒の全挿入・全引き抜き操作に加えて、新たに高温停止状態においても制御棒の全挿入・全引き抜き操作を行い、制御棒駆動装置内のクラッドの排出促進を図ります。

また、次回定期検査までの間、運転中に行う月1回の制御棒動作確認試験で、停止グループバンクDのコイル電流波形を採取して、駆動機構がスムーズに動作していることを確認します。

なお、制御棒動作波形観測装置を設置し、高温停止状態における制御棒動作確認時に電流波形を採取して動作時間を確認することで、駆動機構の動作影響状況を的確に把握していきます。

以 上

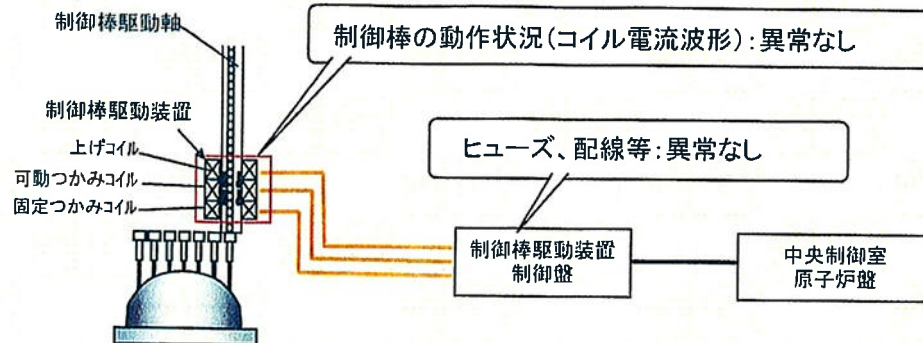
(経済産業省によるINESの暫定評価)

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

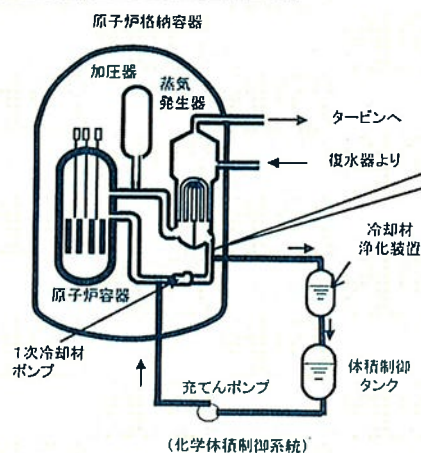
INES：国際原子力事象評価尺度

制御グループバンクA(4本)
制御グループバンクB(8本)
制御グループバンクC(8本)
制御グループバンクD(9本)
計53本

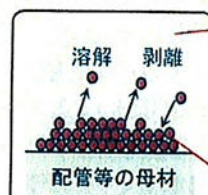
点検結果



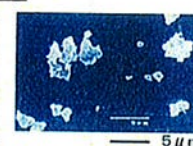
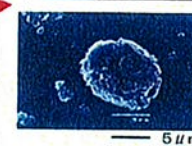
推定原因



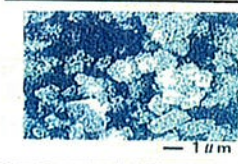
クラッドの発生(1次冷却材系統)



冷却材中のクラッド



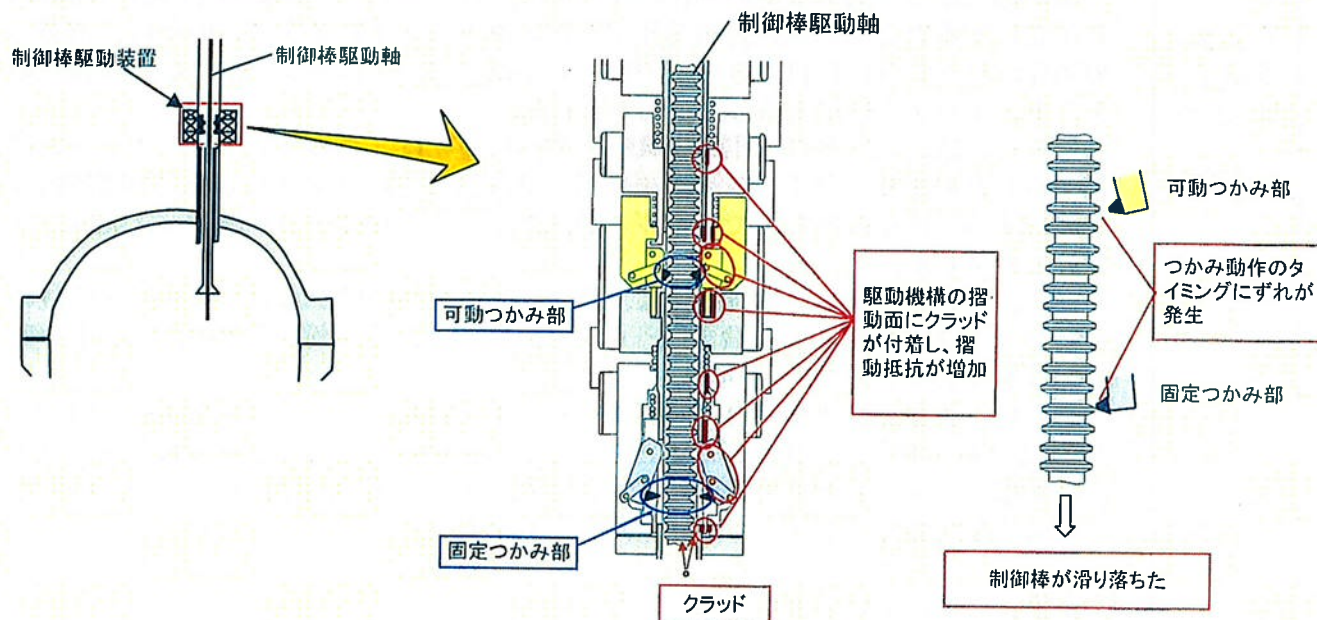
配管等表面付着クラッド



資料元:平成9年の美浜発電所クラッド性状調査資料より抜粋

クラッドの制御棒駆動装置への浸入

制御棒駆動装置(引き抜き時)への影響



対策

今後の定期検査のプラント起動時に、従来から実施している低温停止状態における制御棒の全挿入・全引き抜き操作に加えて、新たに高温停止状態においても制御棒の全挿入・全引き抜き操作を行い、制御棒駆動装置内のクラッドの排出促進を図る。

また、次回定期検査までの間、運転中に行う月1回の制御棒動作確認試験で、停止グループバンクDのコイル電流波形を採取して、駆動機構がスムーズに動作していることを確認する。

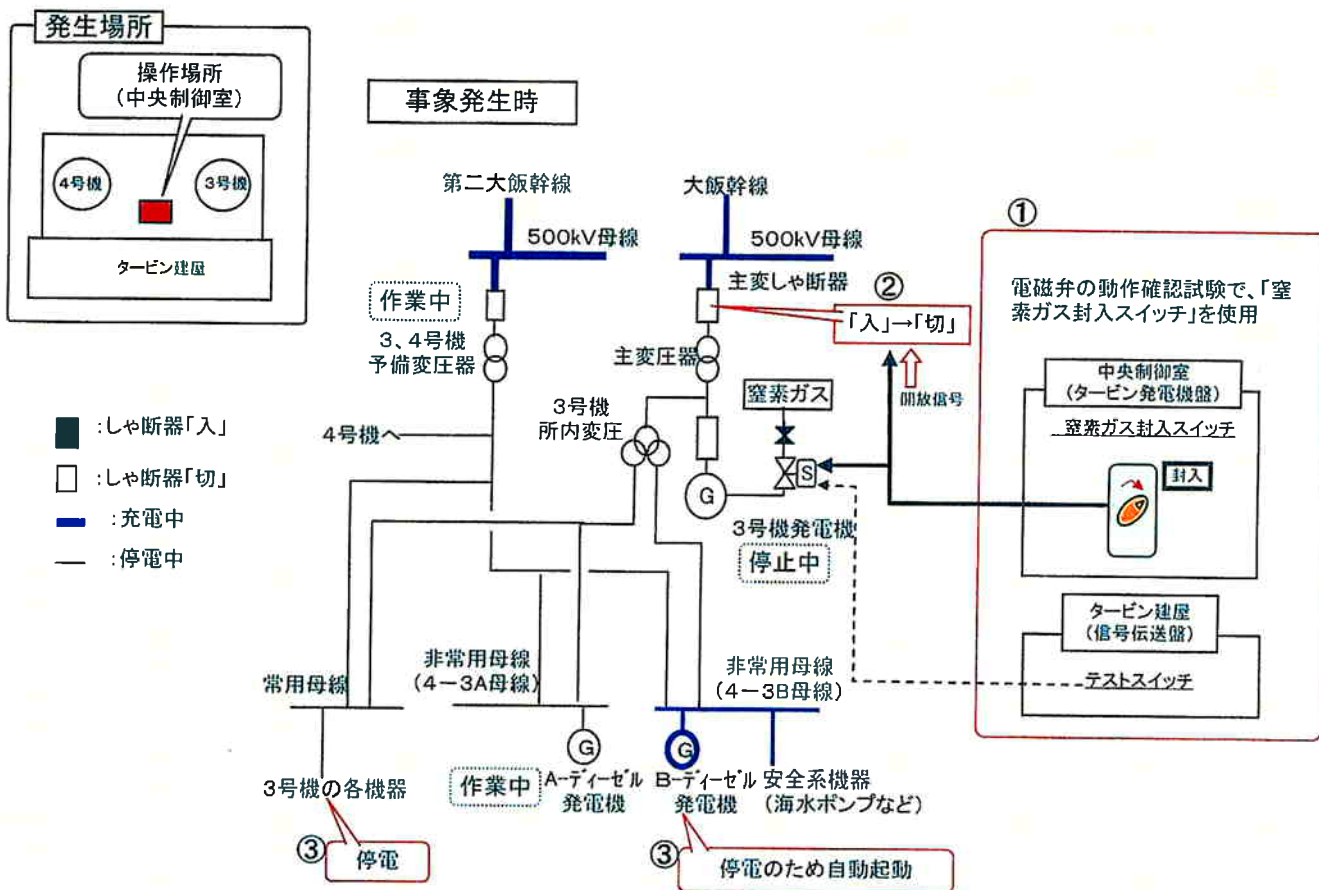
なお、制御棒動作波形観測装置を設置し、高温停止状態における制御棒動作確認時に電流波形を採取して動作時間を確認することで、駆動機構の動作影響状況を的確に把握していく。

(2) 安全協定の異常時報告事象

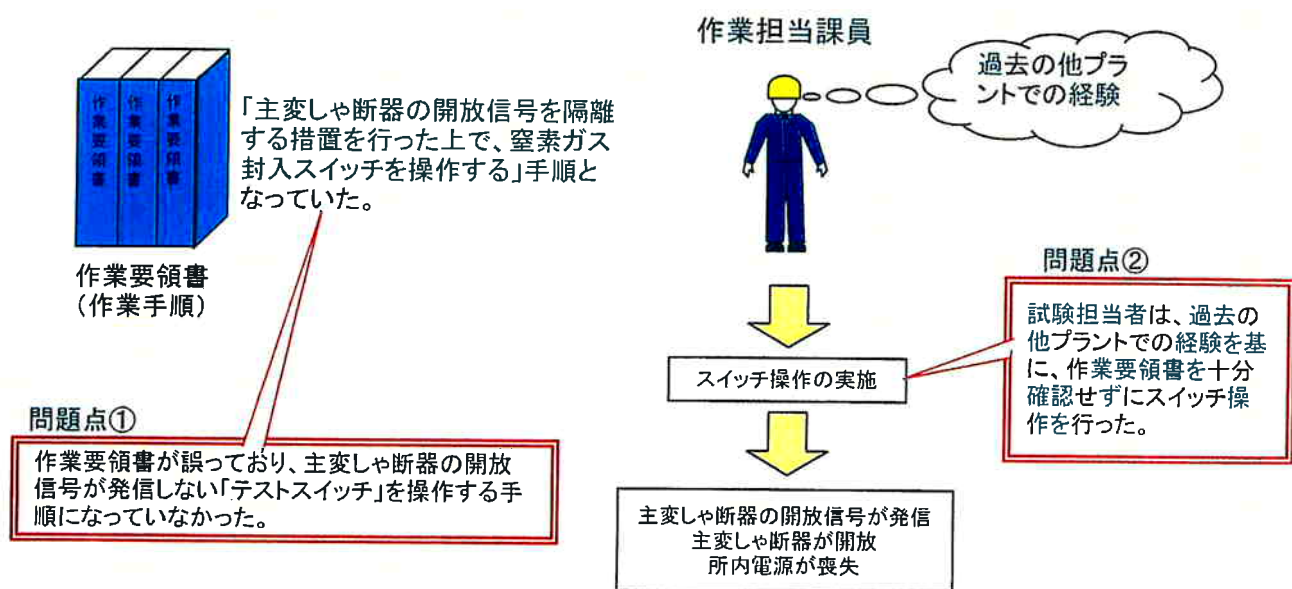
発電所名	大飯発電所3号機	発 生 日	第13回定期検査中 (平成20年3月18日)
件 名	所内電源喪失に伴う非常用ディーゼル発電機の自動起動について(添付図2参照)		
事象概要 および 対 策 等	第13回定期検査中(平成20年2月2日～)の平成20年3月18日16時8分、送電線から所内電源を供給するため投入されていた主変しや断器が開放し、所内電源が喪失するとともに待機中のB-非常用ディーゼル発電機が自動起動しました(A-非常用ディーゼル発電機は定期点検中)。 主変しや断器が開放した原因を調査したところ、事象発生時に発電機窒素ガス封入装置※の電磁弁の動作確認試験を実施しており、この試験において操作した窒素ガス封入スイッチにより主変しや断器が開放したことが判明しました。 このため、同日16時40分に主変しや断器を投入し、所内電源を停電前(主変しや断器開放前)の状態に復旧しました。 事象発生時、原子炉から燃料はすべて取り出されており、保安規定に定められた運転上の制限からの逸脱はなく、プラントの安全性に影響はありませんでした。 また、環境への放射能の影響もありませんでした。 ※：窒素ガス封入装置 発電機で火災が発生した場合、主変しや断器を開放して発電機を停止させるとともに、発電機内の水素ガスを排出するため、窒素ガスを発電機に注入する装置。 当該動作確認試験について調査したところ以下のことが判明しました。 発電機窒素ガス封入装置の動作スイッチを動作させると、主変しや断器の開放信号が発信するとともに電磁弁が動作する仕組みとなっています。このため、電磁弁の動作試験を行う際には、3号機では、しや断器の開放信号が発信しない同装置のテストスイッチを使用する必要があります。 しかし、当該電磁弁の動作確認試験作業要領書には、この「テストスイッチを操作する」との記載がなく、3号機の設備では該当しない「主変しや断器の開放信号を隔離する措置を行った上で窒素ガス封入スイッチを操作する」と誤った記載がなされていました。 また、作業を実施した担当課員は、他プラントでの経験から窒素ガス封入装置の動作スイッチを使用して試験を行うものと思い込み、作業要領書等の内容を十分確認せずに操作を行っていました。 さらに、作業要領書の内容が誤っていたにもかかわらず、具体的な作業計画書には正規の手順が記載されていたことや、作業に伴い作成する隔離明細書(スイッチや弁の状態表示票)の内容も誤っていたことなど、作業実施にあたっての所内でのチェック機能が不十分であったことが判明しました。 対策として以下のとおり実施します。 当該作業要領書の記載内容を、3号機の装置に応じたものに修正しました。また、現在実施している定期検査において、作業着手前に、作業要領書が3号機設備(装置)に応じたものになっているかについて再確認を行うこととしました。さらに、所長から全所員に対し、今回の作業ミスを知るとともに、基本動作励行の再徹底やトラブル低減に向けた確実な取組みを強く指導しました。 [平成20年4月7日 お知らせ済み]		

大飯発電所3号機 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



美浜発電所３号機の定期検査状況について (格納容器内での水漏れの原因と対策)

平成１８年５月１９日
関西電力株式会社

美浜発電所３号機は、第２１回定期検査中のところ、５月１６日１５時１３分に、中央制御室で、格納容器サンプの水位が上昇していることを示す「格納容器サンプ水位上昇率高」の警報が発信しました。運転員が現場を確認したところ、１５時４０分頃に、仮設キャビティ※１浄化装置※２のホースからキャビティ水が漏れ出したことを発見しました。

現場の作業員から聞き取り調査を行った結果、使用中の浄化装置のホースを誤って取り外したことにより漏れが発生したため、直ちに同装置のポンプを停止させたことがわかりました。

漏れは、浄化装置が設置されている３２ｍフロアからドレン配管を通じて格納容器下部の格納容器サンプに達し、サンプ水位を上昇させるとともに、各フロアの床面にも漏れしました。漏れ量は、格納容器サンプの水位上昇分と床面への漏れ量を合わせて約４００ℓです。漏れしたキャビティ水の放射能濃度は 8.12 Bq/cc であり、放射エネルギーは約 $3.25 \times 10^6\text{ Bq}$ と推定されます。

なお、この漏れにより、作業員１名の足首付近が濡れましたが、サーベイの結果、汚染はありませんでした。また、原子炉の燃料は全て取り出した状態であり、安全上の問題はなく、環境への放射能の影響はありませんでした。

※１：キャビティ

原子炉容器の上方に設けているプールであり、燃料取り扱い時にはプール内部にほう酸水を満たすことにより、必要な遮蔽が得られるようにする。

※２：仮設キャビティ浄化装置

キャビティ水を浄化するため設置していた仮設の装置。ポンプにより汲み上げたキャビティ水をフィルタにより浄化して再びキャビティに戻している。

[平成１８年５月１６日 お知らせ済み]

今回の事象では、仮設キャビティ浄化装置が運転中であるとの認識がなく、作業員が誤ってホースを取り外した可能性があるため、今回の作業の状況を調査しました。

１．調査結果

(１) 作業の体制および内容

現場周辺では、作業指導員と作業員４名の計５名が作業をしていました。

作業内容は、キャビティ内に保管している制御棒駆動軸を清掃するための仮設装置（制御棒駆動軸清掃装置）を設置し、同装置と仮設キャビティ浄化装置を接続する作業を行う計画でした。

作業責任者は、制御棒駆動軸をキャビティ内から取り出すための装置（制御棒駆動軸取扱装置）の点検を監督しており、清掃装置の設置については、作業責任者を補佐する指導員に指揮を任せていました。

(2) 作業要領書の記載内容

作業手順や注意事項を記載している作業要領書には、仮設キャビティ浄化装置と接続するときは「浄化装置を停止させる」旨の記載はありませんでした。

(3) 作業開始前の打ち合わせ

作業責任者は、仮設キャビティ浄化装置が運転中で、清掃装置と浄化装置を接続する前には浄化装置を停止する必要があることを認識していましたが、指導員や作業員にその旨注意することを伝えていませんでした。

2. 原因

制御棒駆動軸清掃装置と仮設キャビティ浄化装置とを接続する前には、運転中の浄化装置を停止させる必要がありましたが、作業要領書にそのことが記載されておらず、また、そのことを知っていた作業責任者が、指導員や作業員に対して「装置を停止させる」との明確な指示や注意を与えていませんでした。

このため、浄化装置が運転中であるとの認識がない状態で、指導員の指示により、作業員がホースを取り外したため漏えいが発生しました。

3. 対策

今回の事象を受けて、直ちに以下の対策を実施します。

- 仮設キャビティ浄化装置のホースを取り外す前には、当該装置を停止することを作業要領書等に明記します。
- 仮設キャビティ浄化装置については、運転状態が容易に識別できるよう表示を行います。
- 当日の作業前の打ち合わせにおいては、作業責任者が設備の運転状態等を作業関係者に対し確実に周知・伝達するよう指導します。

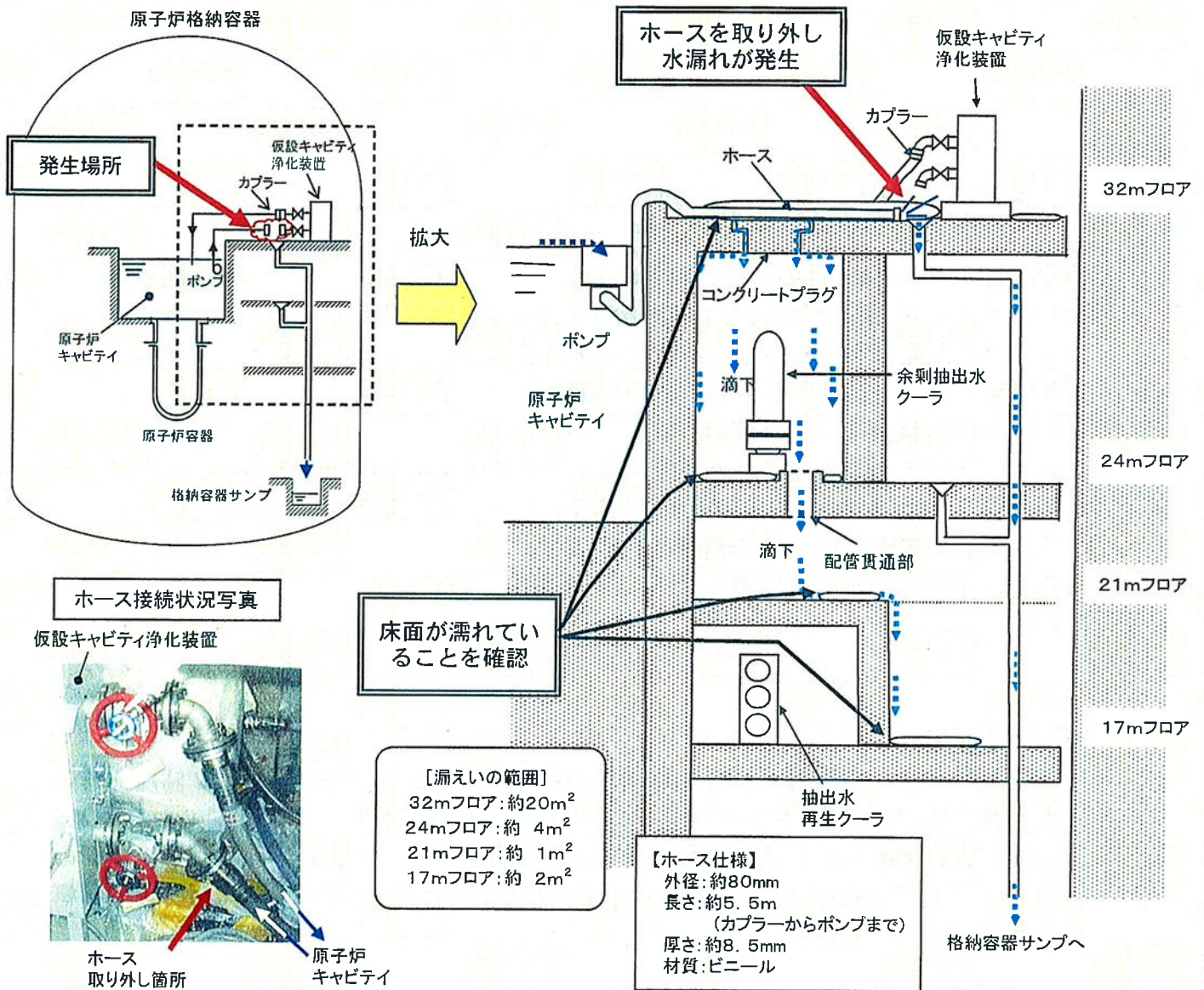
さらに、以下の対策についても今後実施してまいります。

- 仮設設備を利用する際は、当該設備の系統や電源等の隔離など、作業上の重要なステップについてホールドポイントを設定し、作業要領書等に確実に記載するよう社内マニュアルに追記します。
- 今後随時本格導入していく労働安全衛生マネジメントシステムにおいて、今回の事例を教訓として、危険予知活動の充実に努めます。
- 定期検査中に動作している仮設設備について、運転状態が容易に識別できるよう表示を行います。

以上

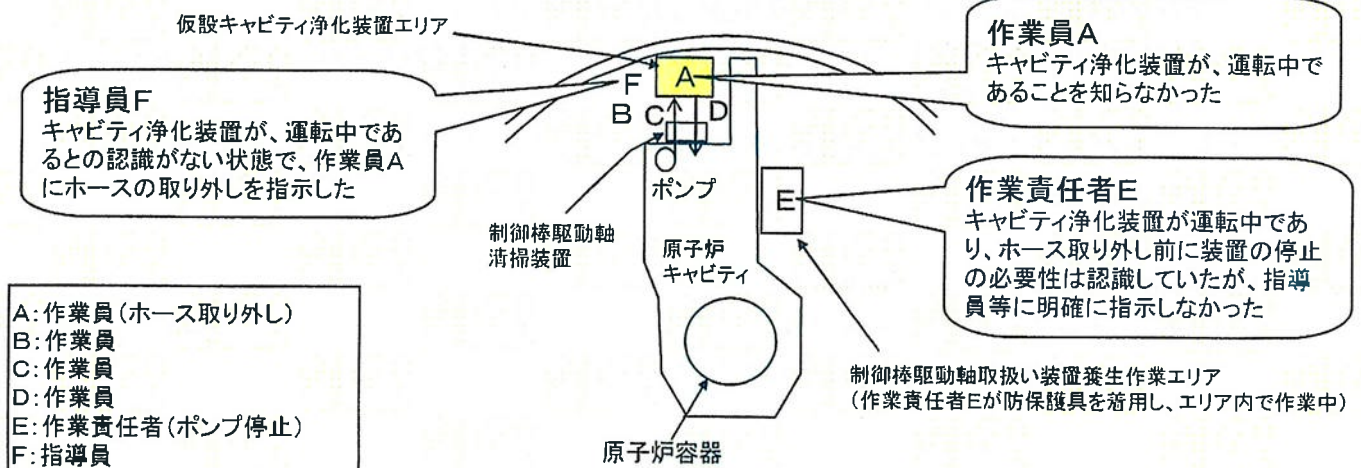
美浜発電所 3 号機 格納容器内での水漏れについて

発生場所および水漏れの状況



作業状況

原子炉容器炉内構造物点検清掃工事作業人員配置図 (32mフロア)



美浜発電所2号機 5A高圧給水加熱器ドレンライン逆止弁フランジ部からの わずかな蒸気漏れの原因と対策について

平成18年6月30日
関西電力株式会社

美浜発電所2号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力50万キロワット、定格熱出力145万6千キロワット）は、定格熱出力一定運転中のところ、6月24日1時30分頃、当社運転員の巡回点検において、タービン建屋2階にある5A高圧給水加熱器ドレンライン逆止弁上部の保温材付近からわずかな蒸気漏れを発見しました。

その後、保温材を取り外し、当該弁の2箇所（1箇所）のフランジ部からわずかに蒸気が漏れいしていることを確認しました。蒸気の漏れ量はわずかであり、運転パラメータならびに漏れい状況に変化は認められませんでした。

6月24日11時から出力降下を開始し、12時17分に電気出力を約75%（約37万5千キロワット）として当該加熱器ドレンラインを隔離し漏れいを停止した上で、冷却後、当該弁の点検や補修を行います。

なお、本事象における周辺環境への影響はありません。

[平成18年6月24日 お知らせ済み]

1. 調査結果

当該逆止弁に1箇所ある分解点検用の蓋（ボンネットフランジ）と2箇所ある逆止弁軸支持部の蓋（スピンドルフランジ）のうちの1箇所に漏れいが見られたため、点検調査を実施しました。なお、両フランジは、弁箱側フランジと蓋側フランジの間にシートパッキン※を入れ、ボルトで締め付けることにより、漏れを防止する構造となっています。

※当該フランジ部では、石綿にゴムを配合したシート状（厚さ1mm）のパッキンを円盤形状にくり抜いたものを使用している。

（1）両フランジの分解結果

- ・弁箱側フランジ部および蓋側フランジ部の形状寸法を確認した結果、シートパッキンの締付けに影響するような変形等はありませんでした。
- ・締付けボルトに曲がり等の異常は認められず、ボルト締付け力も必要な締付け力であることを確認しました。
- ・シートパッキンの取付け状況を確認した結果、取付け状態に問題はありませんでした。

（2）ボンネットフランジ面の観察結果

ボンネットフランジ面の2箇所（1箇所）で漏れ跡が確認され、その周囲のパッキンの変色と、フランジシート面の内周側に面荒れが認められました。

(3) スピンドルフランジ面の観察結果

スピンドルフランジ面の1箇所で漏れ跡が確認され、フランジシート面の当該位置に軽微な減肉や面荒れが認められました。

(4) 保守履歴の確認結果

当該弁は約10年の頻度で点検を行っており、前回の点検（平成10年、第17回定期検査）において、フランジシート面に異常はなく、当該系統条件（約180℃、約2.2MPa）を満足する仕様のシートパッキン（使用条件：260℃以下、2.94MPa以下）を使用し、適正なボルト締付け力で組み立てられていることが確認されました。

2. 原因

当該弁のシートパッキンは、メーカーが示す使用条件以下の環境であったものの、比較的高温・高圧の環境下で使用されていたことや、前回分解点検以降にフランジシート面の面荒れが進行したことなどから、高温・高圧のドレン水が徐々にシートパッキンに浸透し、蒸気の漏えいに至ったものと推定されます。

3. 対策

- ・当該弁のフランジシート面の補修を行い、シートパッキンを新品に取り替えます。
- ・また、次回定期検査時に、当該弁のシートパッキンをより高温・高圧の環境下での使用が可能な仕様のものに取り替えます。
- ・今後、比較的高温・高圧条件下にある弁フランジ部について、パッキン仕様や点検頻度等について検討し、フランジ部の保守管理の充実を図ります。

なお、当該弁のシートパッキンを新品に取り替えた後、系統の隔離復旧を実施し、7月3日から出力を上昇させ、7月4日に定格熱出力一定運転に復帰させる予定です。

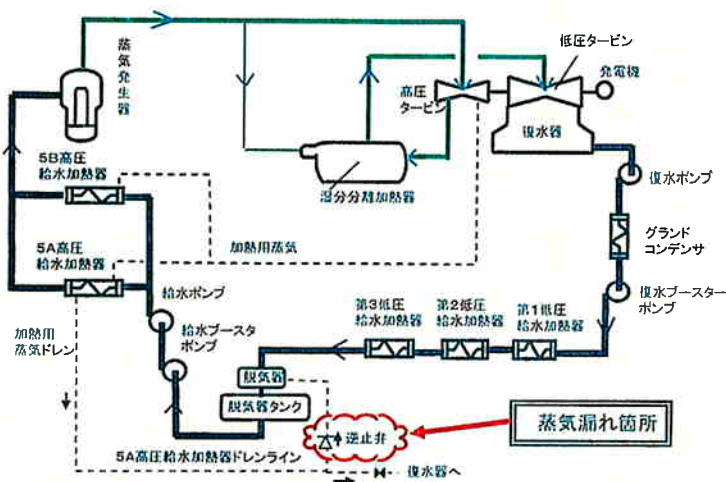
以 上

美浜発電所2号機

5A高圧給水加熱器ドレンライン逆止弁フランジ部からのわずかな蒸気漏れの原因と対策について

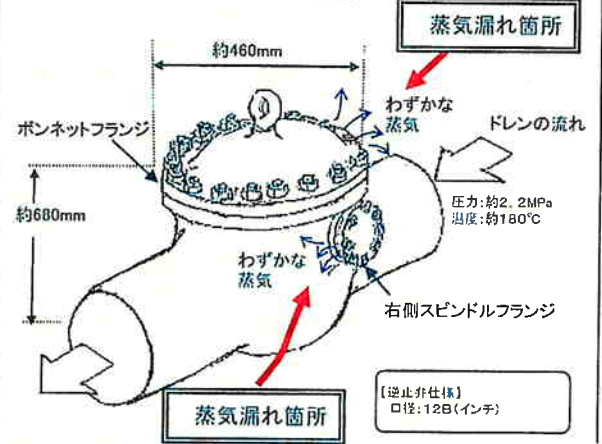
発生箇所

系統概略図



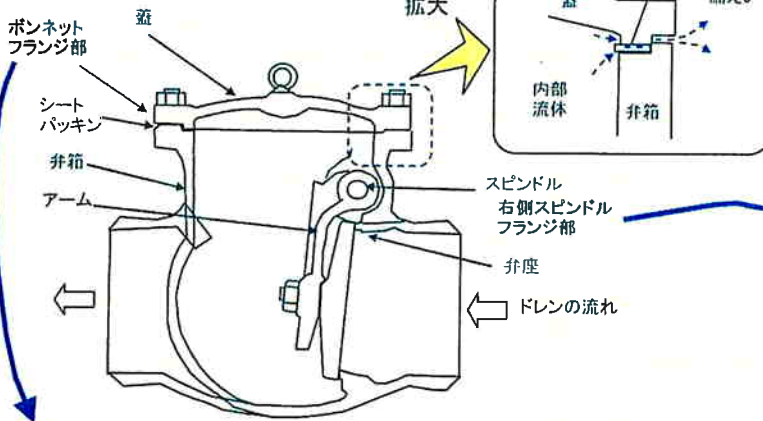
蒸気漏れ箇所の状況

逆止弁外観イメージ



点検結果

逆止弁構造概要図



右側スピンドルフランジ部

弁箱側フランジ面



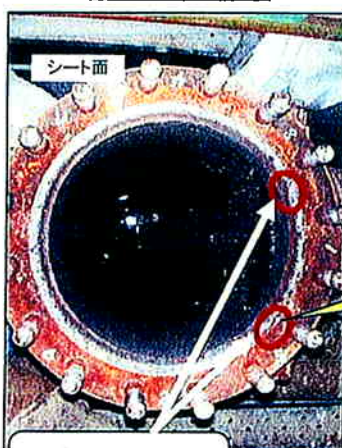
漏れ跡

拡大

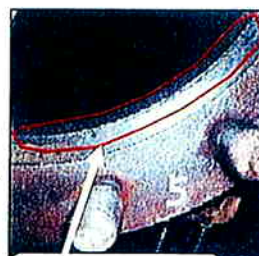


ボネットフランジ部

弁箱側フランジ面

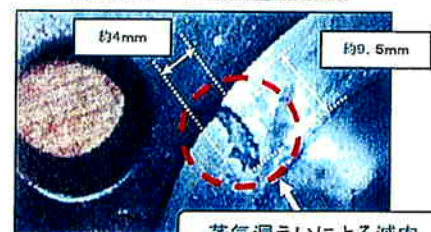


付着したシートパッキンを除去後



拡大

蓋側フランジ面
付着したシートパッキンを除去後



高浜発電所３号機の定期検査状況について

（「Ｂ－蒸気発生器水位異常低」警報発信による原子炉自動停止の原因と対策）

平成１８年９月１９日

関西電力株式会社

高浜発電所３号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力８７万キロワット、定格熱出力２６６万キロワット）は、第１７回定期検査のため出力降下中の８月１８日２３時５５分、電気出力約１１％にてＢ系統の給水制御を主給水流量制御弁から主給水バイパス流量制御弁へ切替操作を行っていたところ、「Ｂ－蒸気発生器※１水位異常低」警報が発信し、原子炉が自動停止しました。

事象発生時の状況は、主給水バイパス流量制御弁が開かなかったため、Ｂ－蒸気発生器の水位が低下しました。このため、運転員は自動切替操作を中止し、手動で蒸気発生器水位の回復操作を行いました。水位低下が継続し原子炉が自動停止しました。

その後、当該弁の動作試験を実施した結果、弁開度を調整するポジショナの入力信号（弁開度要求信号）に対する出力信号（弁開度調整信号）の応答が遅いことが確認されました。

※１：高浜発電所３号機には、蒸気発生器はＡ、Ｂ、Ｃの３台があり、そのうちの１台の水位が低下。

[平成１８年８月１９日、８月２１日 お知らせ済み]

ポジショナは、制御弁への開度要求信号に応じ弁の開度を正確に維持するための装置で、弁への駆動空気圧を調整します。ポジショナ内部の調整弁（パイロット弁）の弁棒（パイロットステム）が上下動することにより、弁開度調整信号（空気圧）を出力します。出力信号を受けたブースタリレーは、その信号に応じた駆動用空気を弁に供給し、弁が開閉します。

今回の事象を受けて、Ａ～Ｃ－主給水バイパス流量制御弁のポジショナを工場に持ち帰り、詳細点検を実施しました。

１．ポジショナの工場調査結果等

- 当該ポジショナの分解点検の結果、部品に損傷等の異常は認められませんでした。パイロット弁の弁棒上部とそのまわりのスリーブ（内筒）やシートに黒色の固体状の付着物（約０．４ｍｇ）が認められ、成分分析の結果、硫酸アンモニウム※２が主成分であることが確認できました。
- 残りのＡ弁およびＣ弁のポジショナについても、当該ポジショナと同じ場所に黒色の付着物が認められましたが、その付着量は少ないものでした。
- なお、主給水バイパス流量制御弁本体および制御系には異常は認められませんでした。

※２：硫酸アンモニウムは、硫酸とアンモニアの中和反応などによって生成される。化学式は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。白色結晶で吸湿性がある。化学肥料の材料などにも利用されている。

２．パイロット弁内部の付着物に関する調査

- 通常運転中の状態（主給水バイパス流量制御弁全閉）を模擬した試験において、ブースタリレーの排気口からパイロット弁内部に外気が吸い込まれることが確認されました。

- これは、パイロット弁の弁棒とスリーブの間にあるごくわずかな隙間を介して、供給空気（弁開度調整信号用）が上部軸端側から排出される際に、パイロット弁内の圧力が低下することにより、外気が吸い込まれるものと推定されました。
- これらのことから、パイロット弁内部に外気が吸い込まれるのに伴い、硫酸アンモニウムが流入し付着した可能性があるかと推定されました。

3. 付着物（硫酸アンモニウム）の発生源

- 発電所内で硫酸アンモニウムが発生する可能性のある設備を調査した結果、復水処理装置再生排水処理設備（E T A処理装置）※³が該当しました。
- この設備は当該弁がある主給水配管室の近くに位置し、主給水配管室の外気取り入れ口は夏期に開放されていることから、硫酸アンモニウムが室内に流入しやすい状況にあったものと推定されました。

※3：復水処理装置再生排水処理設備（E T A処理装置）

2次系系統水用イオン交換樹脂（不純物除去用）の再生処理に伴い発生する廃液を焼却処理する設備。この廃液にはエタノールアミン（E T A： $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ）、ヒドラジン（ NH_2NH_2 ）およびアンモニア（ NH_3 ）が含まれており、重油を用いて焼却するため硫黄酸化物（ SO_x ）も同時に発生する。

4. 推定原因

- 通常運転中に、E T A処理装置から排出された硫酸アンモニウムが、主給水配管室の外気取り入れ口から室内に流入し、ブースタリレー排気口からパイロット弁内に取り込まれ、弁棒上部に硫酸アンモニウムが堆積しました。
- 給水制御を主給水流量制御弁から主給水流量バイパス制御弁に切り替えた時、パイロット弁の弁棒上部とそのまわりのスリーブやシートに付着した硫酸アンモニウムが弁棒の動きを阻害し、弁開度要求信号が出力されているにもかかわらず、主給水流量バイパス制御弁が開かなかったものと推定されました。

5. 対 策

- 主給水流量バイパス制御弁（3台）のパイロット弁を新品に取り替えます。
- 硫酸アンモニウムの流入を防ぐため、主給水配管室の外気取り入れ口は閉止することとします。
- 次回定期検査において、主給水流量バイパス制御弁が開放したことを検知した後、主給水流量制御弁が閉止する給水切替プログラムに変更します。また、それまでの間、給水制御切替前に、手動で当該弁の開閉確認を実施し健全性を確認します。なお、切替中に「主給水制御弁自動切換流量注意」警報が発信した場合は、切替操作を中止します。これにより、それ以上の給水流量の低下を抑制することが可能となります。

以 上

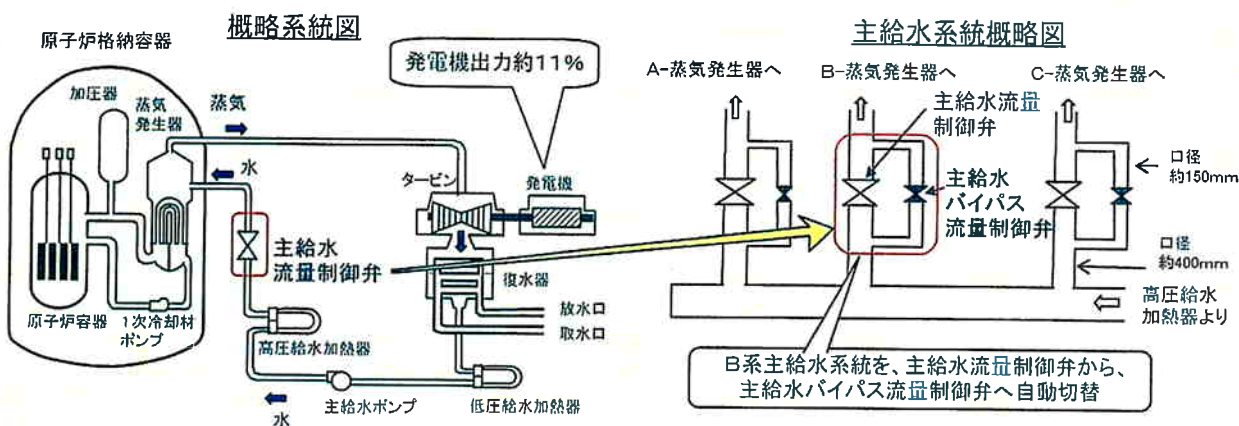
（経済産業省による I N E S の暫定評価）

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0 +	0 +

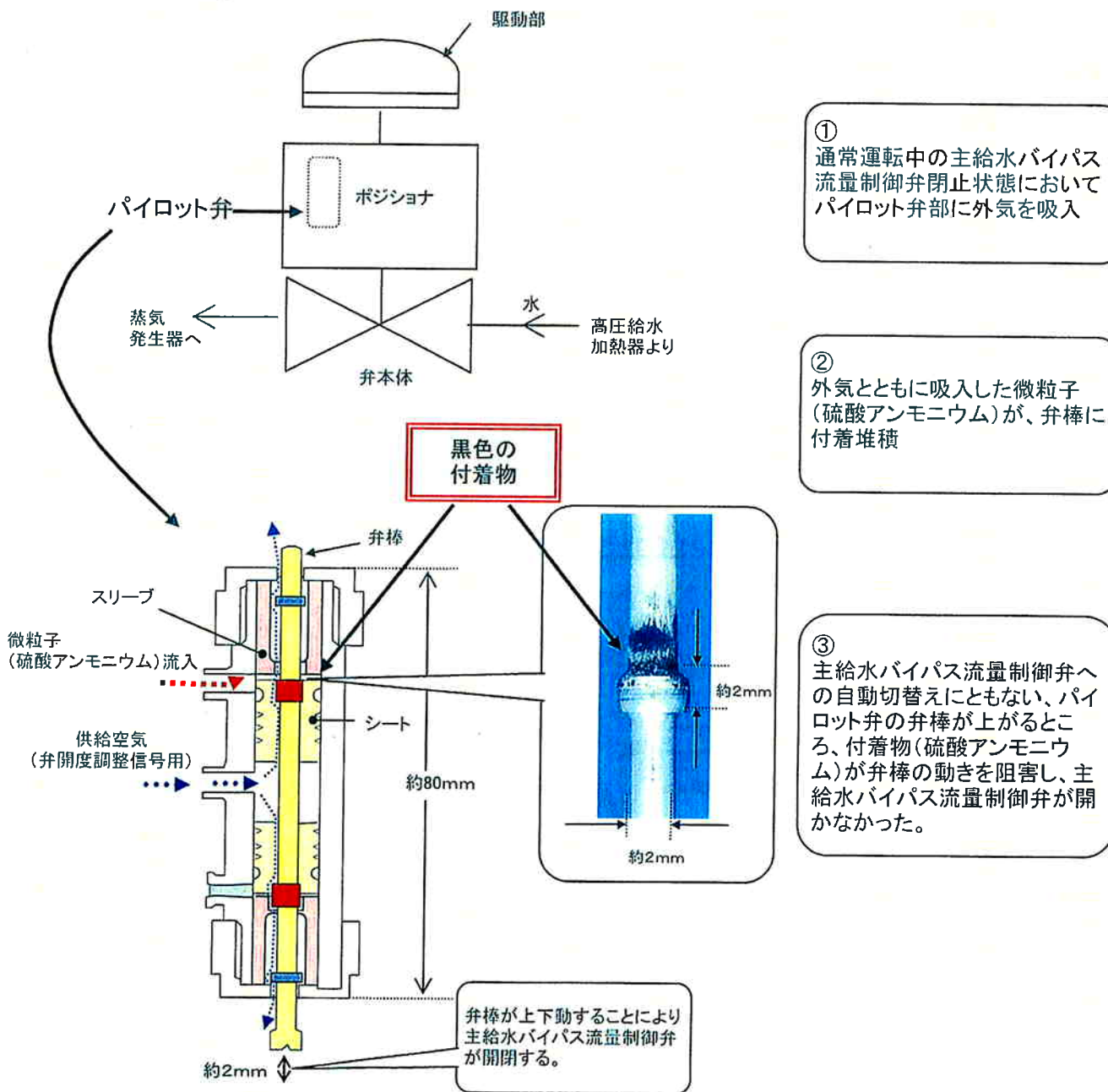
I N E S：国際原子力事象評価尺度

高浜発電所3号機の定期検査状況について (B-SG水位異常低警報発信による原子炉自動停止の原因と対策)

発生時の状況

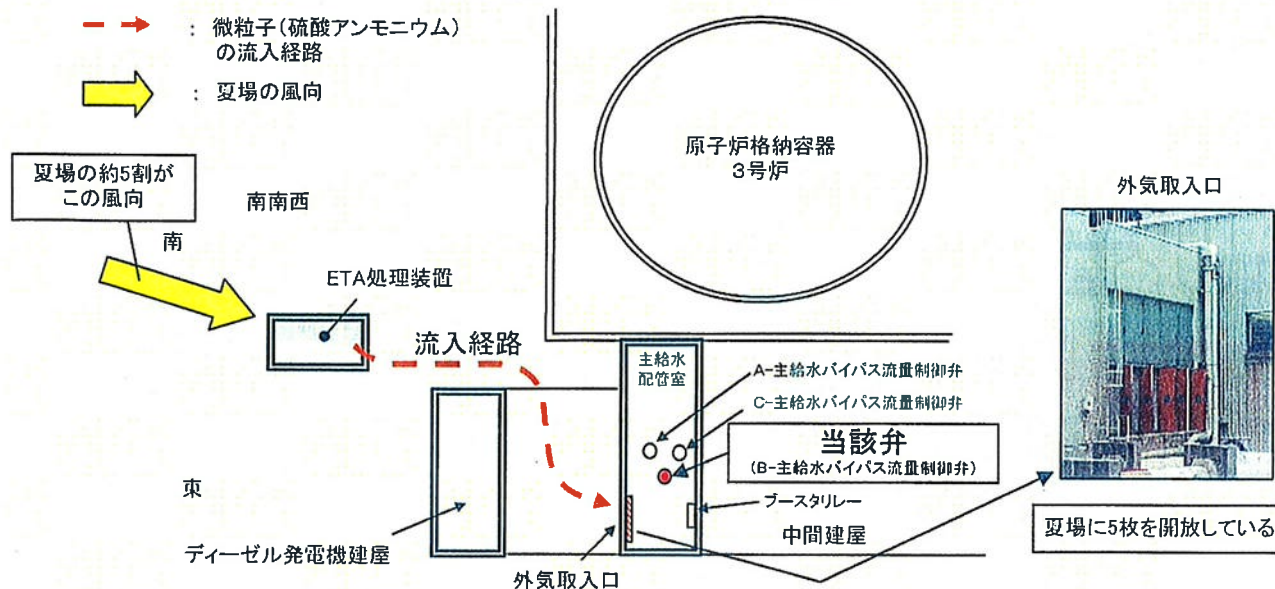


点検結果

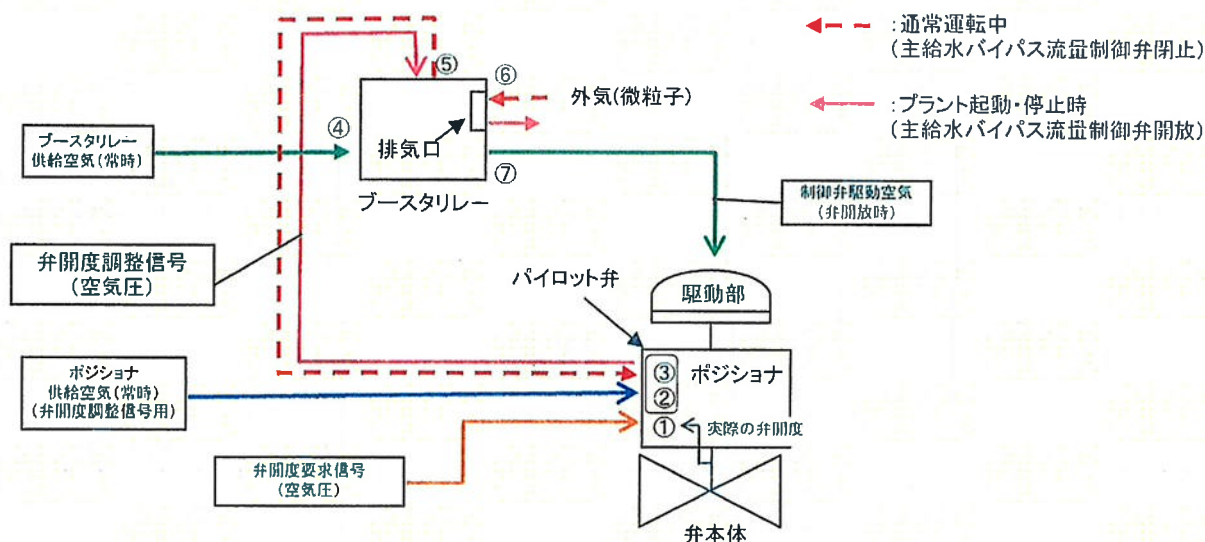


微粒子(硫酸アンモニウム)の流入経路

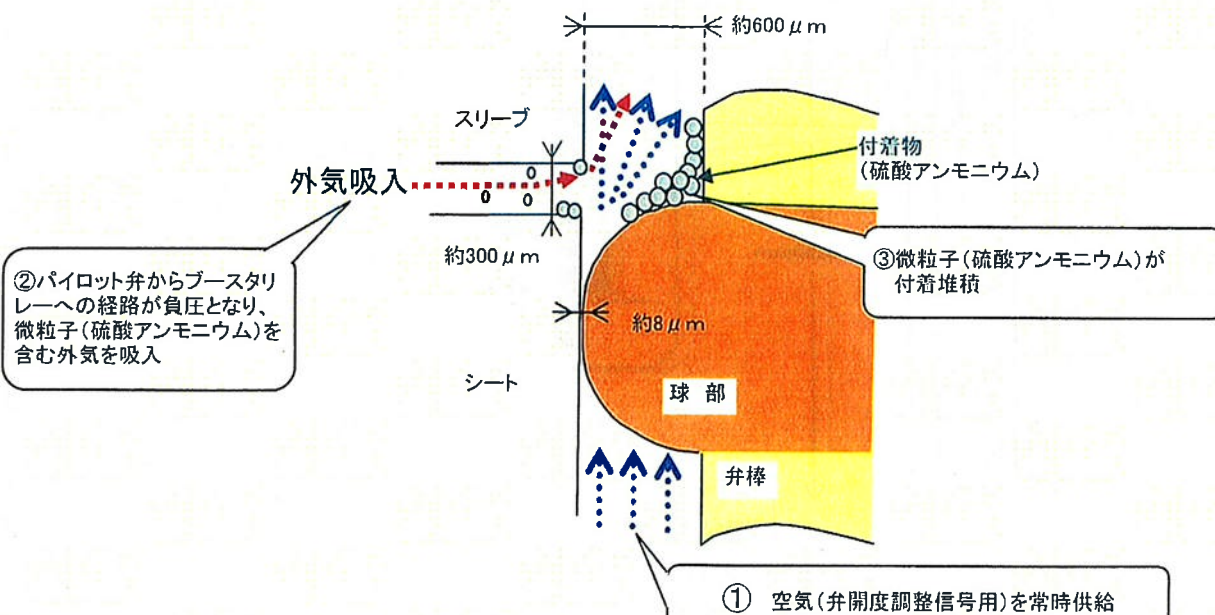
建屋内への流入



パイロット弁への流入



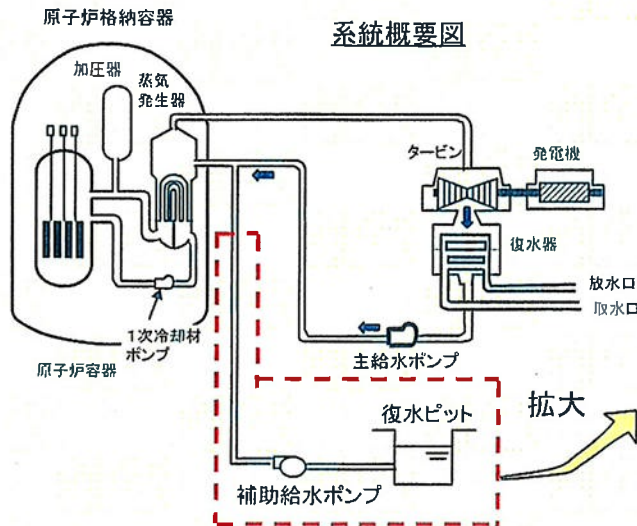
パイロット弁上部詳細図



発電所名	大飯発電所4号機	発 生 日	8月25日
件 名	B-電動補助給水ポンプの待機除外 ^(※1) について (添付図-3参照)		
事象概要 および 対 策 等	定格熱出力一定運転中の平成18年8月25日10時41分、2台(A、B)ある電動補助給水ポンプ^(※2)の定期試験(1回/月)において、B-電動補助給水ポンプを起動したところ、ポンプの軸封部より湯気が出るとともに異臭がしたことから、10時44分に当該ポンプを停止し、試験を中断しました。このため、11時12分に保安規定で定める運転上の制限^(※3)を満足していないものと判断しました。その後、11時32分に当該ポンプを待機除外とし、点検を行いました。 当該軸封部は、ポンプ内の水が主軸に沿って漏れ出るのを抑制するため、ひも状のパッキン6本をポンプの主軸に巻きつけており、ポンプ内の一部の水は主軸とパッキンの接触面に流れ、軸封部の冷却も行っています。また、パッキンは、現場で実機にあった長さに調整(切断)した後、軸封部に取り付けられています。 当該ポンプの点検記録を確認したところ、第10回定期検査(平成17年度)のポンプ分解点検時にパッキン全数を取り替えていました。また、軸封部の分解点検結果で、異物としてパッキンの切れ端が発見されるとともに、2本のパッキンの内周面(主軸との接触面)にへこみと端部にわずかな切れ残りが確認されました。 ※1 待機除外：通常、いつでも起動できる状態(待機状態)にある機器の故障や点検等のため、自動起動できない状態とすることをいう。 ※2 補助給水ポンプ：主給水系統事故時など通常の給水系統の機能が失われた場合に、蒸気発生器に給水するためのポンプ。大飯発電所4号機には、電動が2台、タービン動が1台ある。 ※3 保安規定で定める運転上の制限：運転中は、補助給水ポンプ3台が動作可能であること。今回は、点検作業により、プラント運転中に待機除外とするため、万一の事故に備え、10日間に待機状態に復帰させる必要がある。その間、もう2台のポンプが健全であることを4時間以内で確認し、その後は8時間毎に確認することとしている。 調査の結果、前回定期検査でパッキン取替え作業を行った際、パッキンの切断が悪く切れ残りが生じていました。これがポンプ運転時にパッキンからちぎれて異物となり、パッキンと主軸の接触面に入って摺動抵抗が増加し、摩擦熱により冷却用の水が湯気となるとともに、パッキンが過熱し、異臭が発生したものと推定されました。 対策として、主軸に異常がないことを確認した上で、軸端側および継手側軸封部のパッキン(計12本)を新品に取り替え、ポンプを試運転し健全性を確認した後、8月26日1時15分に当該ポンプを待機状態とし、運転上の制限を満足する状態に復帰しました。 また、パッキン取付け作業を行う際には、パッキン切断面に切れ残りがいないことを確認しながら取り付けることなどを作業手順書に明記します。		

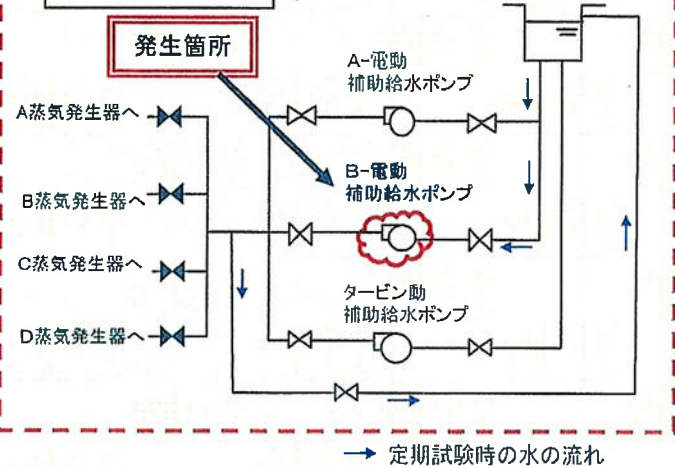
大飯発電所4号機 B-電動補助給水ポンプの待機除外について

発生時の状況



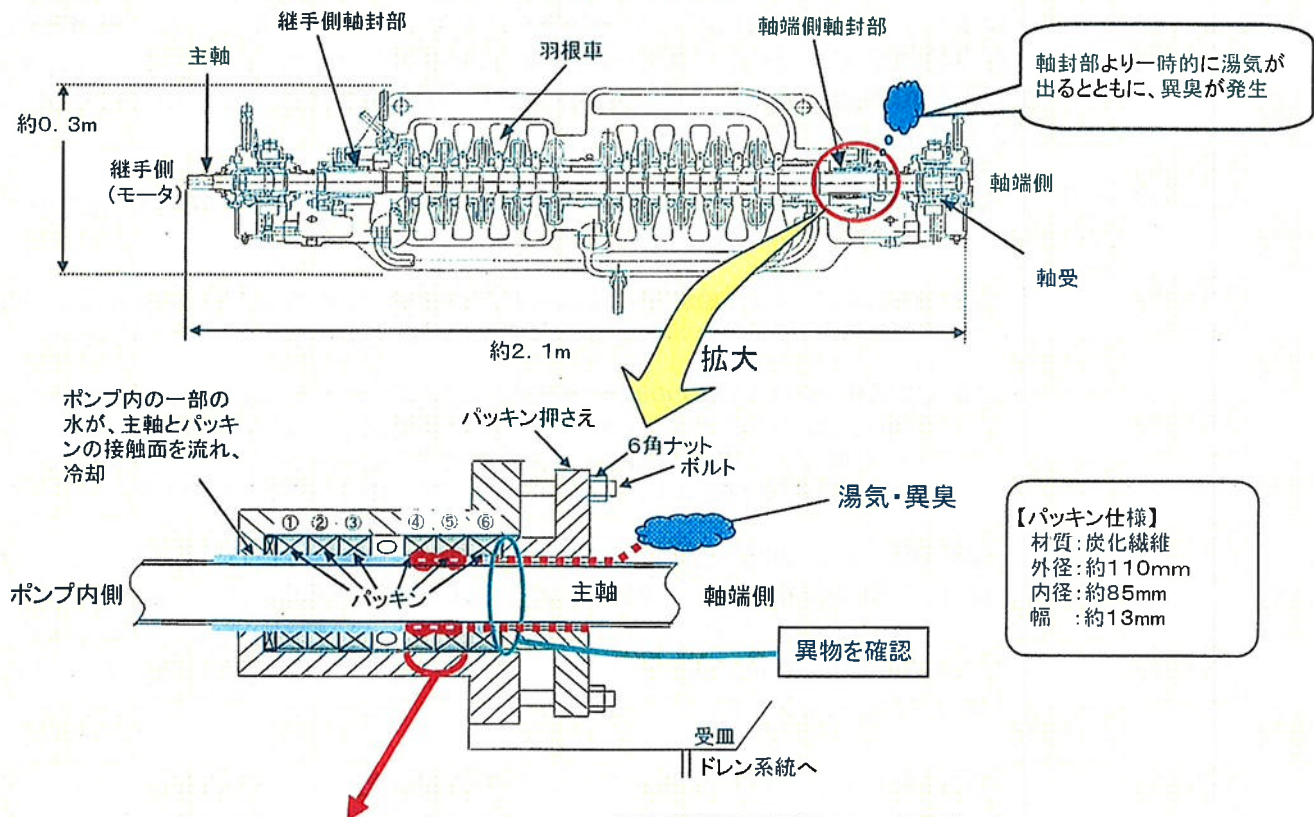
【補助給水系統】

定期試験時の状況

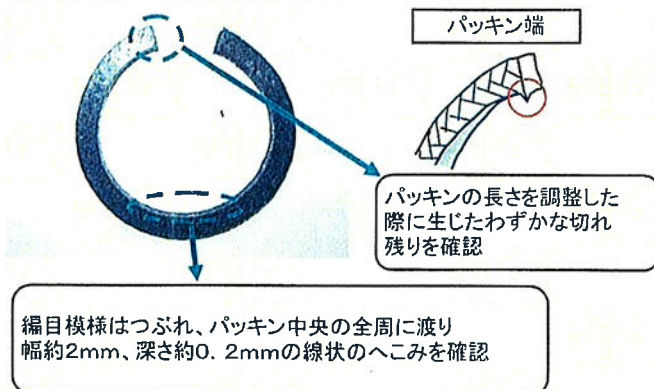


点検結果

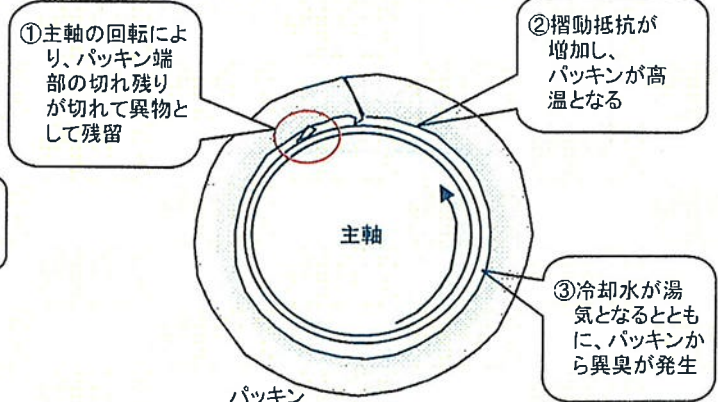
電動補助給水ポンプ構造図



ポンプ内側から4段目、5段目のパッキン



パッキンの状況(イメージ)



高浜発電所１号機の定期検査状況について (原子炉補助建屋（管理区域）での水漏れの原因と対策)

平成１９年１月３０日
関西電力株式会社

高浜発電所１号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力８２万６千キロワット、定格熱出力２４４万キロワット）は、第２４回定期検査中の平成１９年１月１４日１４時頃に、原子炉補助建屋の体積制御タンク※１室前で、充てん／高圧注入ポンプ※２入口連絡弁他修繕工事の耐圧漏えい試験終了後の復旧作業として流量計閉止フランジの取り外し作業を行っていたところ、水漏れが発生し、協力会社作業員４名にかかりました。作業員４名については、測定の結果、身体に放射能の影響はありませんでした。

漏水量は約３７０ℓで、漏えいした放射エネルギーは約 $6.9 \times 10^6 \text{ Bq}$ と推定しております。漏えいした水は、排水目皿から廃液ホールドアップタンクに回収されており、外部への漏えいはなく、環境への放射能の影響はありませんでした。

※１：体積制御タンク

運転中の１次冷却材系統の保有水量、水素濃度を調整するためのタンク。

※２：充てん／高圧注入ポンプ

通常運転中は、１次冷却材系統の水質や保有水量等を調整する系統で浄化した１次冷却水を、１次冷却材系統へ送り込むポンプ。

[平成１９年１月１５日 お知らせ済み]

作業状況を確認したところ、当初の作業計画では、耐圧漏えい試験を実施した系統の水抜き完了後、１月１５日に当該フランジを取り外す計画でしたが、水抜き操作の実施段階で、当該工事を担当する原子炉保修課が系統の水抜き操作など運転を担当する発電室の承認を得ずに、フランジの取り外し作業を実施していたことが判明しました。

この結果、水抜き操作の過程で、系統内に残留していた圧力により系統内の水が取り外し作業中のフランジから漏えいしたものと推定されました。

このため、今回の作業状況について関係者から聞き取り調査を実施するなど、詳細な原因調査を行いました。

１．調査結果

(１) 作業に当たっての基本ルール

○作業の実施に当たっては、作業担当課は隔離明細書（系統管理に関する作業計画）を作成し、発電室に承認を得て操作を依頼しています。

○また、作業担当課は、作業が可能な系統状態になったことを発電室に確認した上で、作業に着手することになっています。

(2) 今回の作業状況の調査

①作業計画段階

- 原子炉保修課の作業責任者A（当該工事の主担当）は、定期検査開始前の平成18年10月の段階で、系統の水抜き完了後、1月15日に当該フランジを取り外す計画で隔離明細書を作成し、発電室の承認を得ていました。
- その後、1月12日の段階で、15日の作業負担を軽減するため、14日午前に実施する弁の耐圧漏えい試験が予定どおり終了すれば、同日中に、当該フランジの取り外しを前倒しして実施する計画に変更することとし、その旨を14日の作業責任者Bに引き継ぎました。
- その際、計画変更について発電室の承認が必要なことが引き継がれず、発電室に対して計画変更の手続きが実施されませんでした。
- また、隔離明細書では原子炉保修課が当該フランジの取り付け・取り外し作業を行うため、系統を構成する機器でありながら、当該フランジなどの仮設機器については発電室の管理する機器になっておらず、確実に発電室の許可を得るルールになっていませんでした。

②作業着手段階

- 14日午前、予定どおり弁の耐圧漏えい試験が終了したため、作業責任者Bは、発電室に水抜き作業の実施を依頼するとともに、同日午後より当該フランジの取り外し作業を実施することとしました。
- 作業着手に当たり、作業可能な系統状態になったことを発電室に確認しなければなりませんが、作業責任者Bは、14日に前倒しして当該フランジの取り外し作業を実施することについて、既に発電室の承認が得られていると思い込み、十分な検討をしないまま、当該フランジ部については水抜き操作開始後すぐに取り外し作業が可能になると判断し、発電室に確認せずに協力会社に作業着手を指示していました。
- さらに、当該フランジ取り外しに当たり、本来、発電室にしか操作ができないベント弁について、現場の状況や隔離明細書を十分に確認しないまま、作業責任者Bは協力会社に操作の指示をしていました。

2. 推定原因

原子炉保修課において、事前に発電室の承認が得られていない状態で、水抜き操作中に当該フランジの取り外し作業が行われたため、弁の操作の過程で、系統内に残留していた圧力により系統内の水が取り外し作業中のフランジから漏えいしたものと推定されました。

3. 対 策

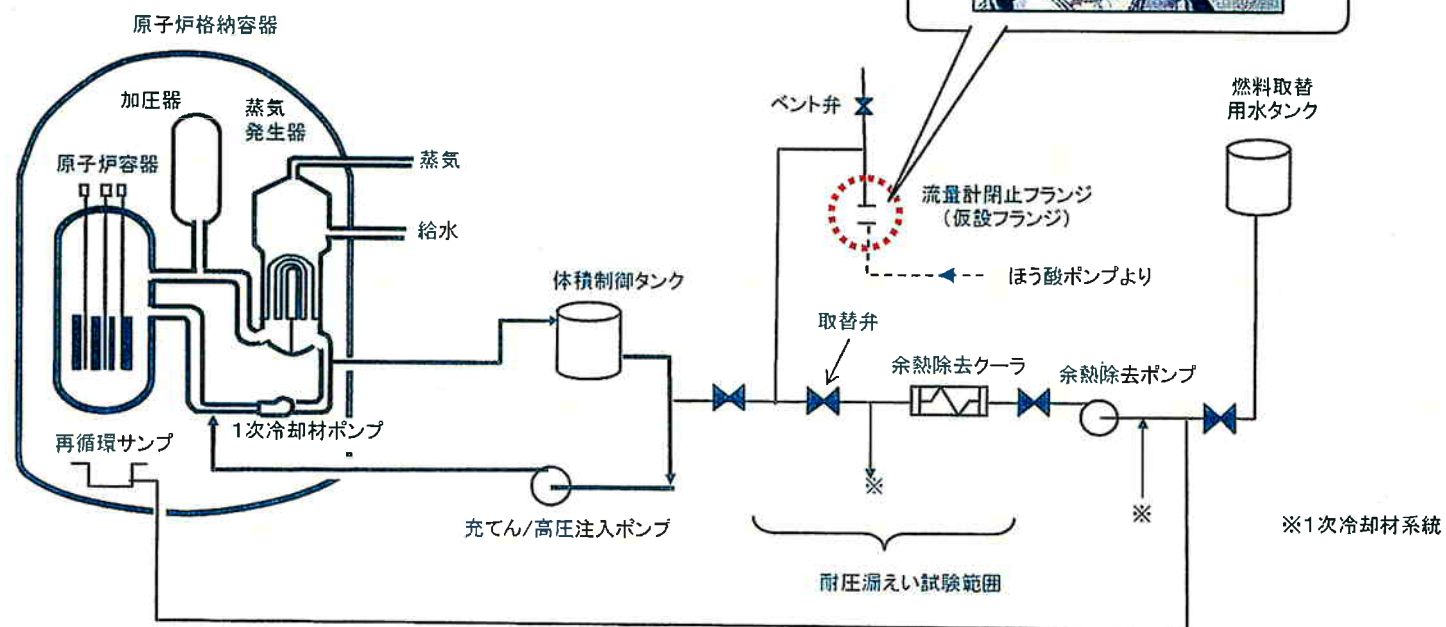
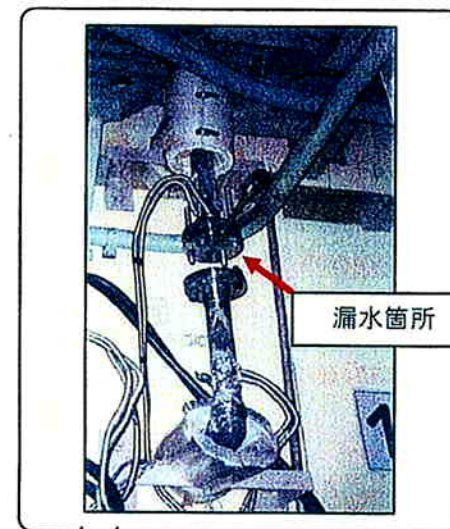
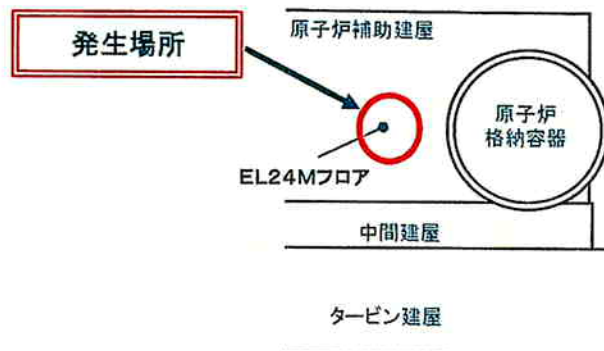
- 全原子力発電所員に対し、隔離操作を実施する上での基本動作の再徹底について周知しました。（平成19年1月16日実施済み）
- 作業着手前に系統状態を発電室に確認することや、計画の変更について発電室の承認を得ること、弁等の操作を発電室以外は原則実施できないことなど、基本ルールの遵守や基本動作の徹底について、原子炉保修課をはじめとした作業担当課全員を対象に再教育を速やかに実施します。

- 当該フランジなどの仮設機器について、発電室の管理対象になっていなかったため、隔離明細書の手続きの中で発電室の管理対象であることを明確にし、発電室の許可がなくては取り付け・取り外し作業ができないように社内ルールを変更します。
- 発電室と原子炉保修課等の作業担当課との間や、課内での連絡・調整が確実に実施されるように、業務の手続きや連携のあり方を検討し、社内ルールに反映します。

以 上

高浜発電所1号機 原子炉補助建屋(管理区域)での水漏れの原因と対策

発生状況



調査結果

[漏えい経路]

- ← : 1回目 約 90リットル
- ← : 2回目 約280リットル

原子炉補助建屋

EL24mフロア

EL17mフロア

EL9.7mフロア

[系統内圧力]

- 耐圧漏えい試験時 約2.1MPa → 終了後 0MPa
- 耐圧漏えい試験時 約6.2MPa → 終了後 約0.2MPa
- 燃料取替用水タンクの水頭圧がかかった範囲

①

【作業責任者B】

近設弁(ブロー弁・ベント弁)を開放し、当該フランジの取り外しを指示

「閉」→「開」

13:10頃

ベント弁

漏えい箇所
流量計閉止フランジ(仮設)

「閉」→「開」 13:10頃

ブロー弁(仮設)

ほう酸ポンプより

②

【発電室】

・隔離復旧に伴い弁開放

(余熱除去クーラ内の圧力により、系統内の水が当該フランジ部へ押し流され、約90リットルの水が漏えい)

取替弁

「閉」→「開」

14:00頃

余熱除去クーラ

タンクへの流入量から漏えい量を約370リットルと推定

廃液ホールドアップタンク

余熱除去ポンプ

「閉」→「開」

14:10頃

③

【発電室】

・隔離復旧を進め弁開放

(余熱除去ポンプ入口ラインの圧力により、系統内の水が当該フランジ部へ押し流され、約280リットルの水が漏えい)

ドレン回収ポンプ

燃料取替用水タンクへ

燃料取替
用水タンク

水位88.8%
(EL34.5m)

美浜発電所1号機余熱除去系統サンプリングラインの
溶接事業者検査手続き漏れの原因と対策について

平成19年3月16日
関西電力株式会社

美浜発電所1号機（加圧水型軽水炉 定格電気出力34万キロワット、定格熱出力103万1千キロワット）は、平成18年11月1日より第22回定期検査中ですが、平成19年2月16日、今回の定期検査で実施した余熱除去系統^{※1}サンプリングライン^{※2}の溶接形状変更工事において、溶接事業者検査^{※3}を実施していない箇所が2箇所あることが判明しました。

※1：余熱除去系統

原子炉を停止した後の炉内の燃料の余熱を除去する系統であり、事故時に原子炉を冷却する機能も有している系統。

※2：サンプリングライン

配管内流体を分析するために試料採取装置へ導くための系統。

※3：溶接事業者検査

電気事業法第52条に基づいて、溶接部の健全性を確認するために、事業者が溶接検査を実施するとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構に溶接安全管理審査を申請し審査を受ける。

[平成19年2月16日 お知らせ済み]

当該工事は、平成17年3月に発生した大飯発電所3号機の加圧器気相部サンプリングラインからの1次冷却水漏えい事象の水平展開^{※4}として、余熱除去系統サンプリングラインの第一弁の下流配管の溶接形状を変更するとともに、溶接時の作業性を考慮し、第一弁とその上流側配管をあわせて取り替えたものです。

美浜発電所1号機では、前回定期検査に引き続き、今定期検査で大飯発電所3号機の事象の水平展開として133箇所（当該2箇所を除く）の溶接形状変更工事を行っています。

※4：漏えいの原因が初期の溶接不良であったことから、各発電所では至近定期検査で現場調査を実施し、5定期検査以内に類似箇所の溶接形状変更工事を実施することとした。

当社は、溶接事業者検査が電気事業法に基づく重要な手続きであるにも関わらず、手続き漏れが発生したことを重大な問題と捉え、2月19日に社内に「溶接事業者検査手続き問題対策検討会」を設置し、同検討会および社内のトラブル対策委員会において、原因の究明および再発防止対策の検討を行ってきました。

（1）発見に至った経緯

サンプリングライン溶接形状変更工事について、次回定期検査の工事計画立案のため、メーカーが当該サンプリングラインの図面を確認していたところ、当該箇所で溶接事業者検査が未実施であることが判明しました。

(2) 調査結果

a. 事実経過

- 当該サンプリングラインの溶接形状変更工事は溶接事業者検査対象外でありましたが、溶接時の作業性を考慮し、余熱除去系統からの第一弁とその上流側配管を取り替えることとしたため、その溶接箇所が溶接事業者検査対象となりました。しかしながら、業務決定文書を作成した担当者は、当該部を溶接事業者検査対象外と判断していました。
- 課内上位者、技術アドバイザー、技術課長などの審査者は、業務決定文書の審査を行いましたが、添付資料の系統図には余熱除去系統の主配管を示していなかったため、取り替える弁が余熱除去系統からの第一弁であることを認識できませんでした。
- さらに、施工会社から提出された工事図面の審査においては、使用材料等の技術基準への適合についての審査を実施しており、溶接事業者検査の可否に関する観点で審査は行われていませんでした。

b. 問題点

- 担当者が溶接事業者検査を不要と判断しましたが、この背景には、実務経験が浅い担当者に対する課内上位者の業務フォローのあり方、溶接事業者検査等の法令業務を体系的に修得する教育の仕組みに問題がありました。
- 業務決定文書や工事図面の審査段階で、工事範囲に溶接事業者検査対象となる余熱除去系統からの第一弁が含まれることをチェックできなかった背景には、審査方法や添付資料のあり方等に問題がありました。

(3) 推定原因

①教育計画の問題

溶接に携わる社員を対象として、溶接事業者検査に関する教育を計画的に実施していたものの、受講者は定期検査を3～6回経験した者から選抜することとしていたため、当該担当者に、溶接事業者検査要否判断に関する十分な教育を実施していませんでした。

②書類作成ルールの問題

溶接事業者検査の可否について業務決定文書に記載することが社内ルールで定められていますが、要否判断をしたプロセスを示すフロー図や主配管との関係を示す系統図を業務決定文書に添付することになっていなかったため、溶接事業者検査の可否を確認できる内容になっていませんでした。そのため、審査者は、当該部が溶接事業者検査対象であるとの認識に至りませんでした。

③審査方法および業務フォローの問題

業務決定文書や工事図面の審査は複数の社員が行っていましたが、各審査者の審査事項・方法が明確になっていませんでした。また、課内上位者が担当者に対して行う業務フォローのポイントが明確になっていませんでした。

(4) 対 策

本件を受けて、速やかに、原子力事業本部長から原子力関係の社員に対し、文書で、法令遵守の再徹底について指示しました（２月２０日実施済み）。

①教育計画の問題に対する対策

- ・すでに受講した者も含め、配管、容器等の溶接工事を担当する社員を対象に、溶接事業者検査対象範囲を体系的に修得する教育を実施し、溶接事業者検査に関する能力向上を図ります。
- ・溶接事業者検査に関する教育について、その実効性を検証し、教育内容や頻度、対象者等の改善について検討します。

②書類作成ルールの問題に対する対策

- ・溶接事業者検査の可否を判断したプロセスが審査者にわかるように、フロー図および溶接事業者検査が必要な設備との関係を示す系統図を業務決定文書に添付することを社内ルール化し、審査が確実に実施できるようにします。また、今回のように担当者の可否判断に誤りが生じやすい部分については、フロー図に補足説明を追記し、検査の可否判断を確実にできるようにします。
- ・溶接事業者検査可否を工事計画段階等で確実に識別できるように、あらかじめ各系統図に検査対象範囲を色分けすることを検討します。また、検査可否の判定を支援するツールとして解説書等を整備し、これらを教育資料として活用することも検討します。

③審査方法および業務フォローの問題に対する対策

- ・溶接事業者検査の手続きを確実に実施するために、審査者の役割分担や着目すべきポイントおよび上位者が担当者に対して行う業務フォローのポイント等を明確にすることを検討します。

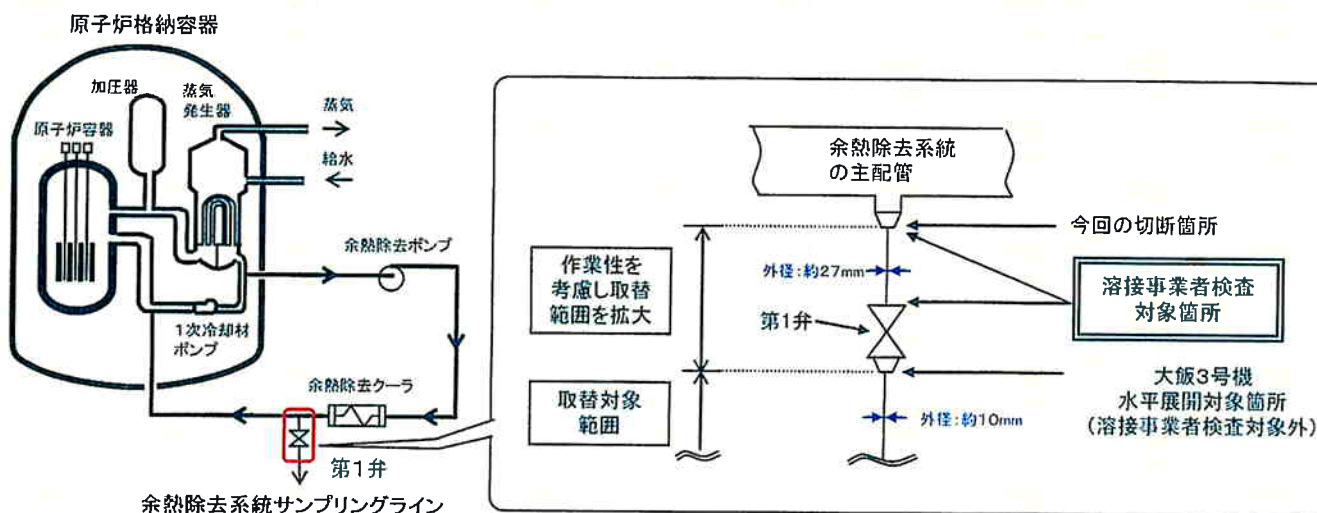
当該サンプリングラインについては、現在、溶接事業者検査を実施中であり、今後、監督官庁のご指導を賜りながら、適切に対応してまいります。

なお、当該部の配管取替作業は３月中旬頃に完了する見込みであり、その後、燃料装荷、原子炉容器組立ておよび必要な定期事業者検査を実施後、原子炉を起動し、調整運転を開始する予定です。

以 上

美浜発電所1号機余熱除去系統サンプリングラインの 溶接事業者検査手続き漏れの原因と対策について

発生箇所



問題点および対策



【問題点】

○担当者は、当該部を溶接事業者検査対象外と判断した。

○実務経験が浅い担当者に対する課内上位者の業務フォローのあり方、溶接事業者検査等の法令業務を体系的に修得する教育の仕組みに問題があった。

【問題点】

○業務決定文書に添付された系統図では工事対象の弁が溶接事業者検査が必要な余熱除去系統サンプリングライン第1弁という認識に至らなかった。

○溶接事業者検査の要否を、的確に判断ができる図面等を業務決定文書に添付することを明確にしていなかった。
○複数の審査者が業務決定文書や工事図面を確認していたが、各人の役割分担や着目すべきポイント、深さ等が不明確であった。また上位者による業務フォローについて着目すべきポイント等が不明確であった。

【対策】

原子力事業本部長から原子力関係の社員に対し、文書で法令遵守の再徹底について指示した。(平成19年2月20日実施済み)

【対策】

○配管、容器等の溶接工事を担当する社員に対し、溶接事業者検査対象範囲について教育を実施する。
○確実に要否判断が行えるよう、要否判断フロー図を整備する。
○溶接事業者検査を容易に識別できるように検査対象範囲を色分けした系統図や解説書を整備することなどを検討する。

【対策】

○溶接事業者検査の要否を判断したプロセスがわかるフロー図および系統図等を業務決定文書に添付することとし、審査が確実に実施できるようにする。
○審査者の役割分担や着目すべきポイントおよび上位者が担当者の業務に対して行うフォローのポイント等を検討する。

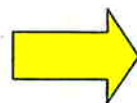
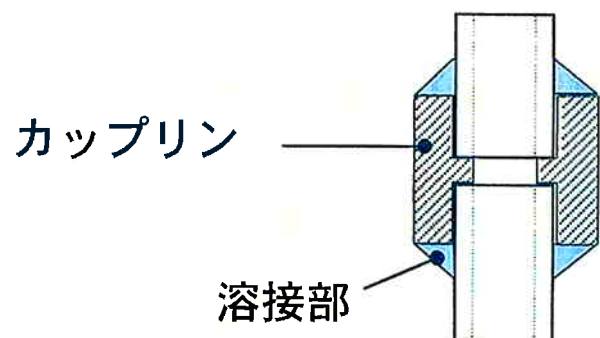
美浜発電所1号機余熱除去系統サンプリングラインの溶接工事概要

平成17年3月に発生した、大飯発電所3号機の加圧器気相部サンプリングラインからの1次冷却水漏えい事象は、原因が初期の溶接不良であったことから、各発電所において、5定期検査以内に類似箇所の溶接形状変更工事(ソケット溶接→突き合わせ溶接)を実施している。

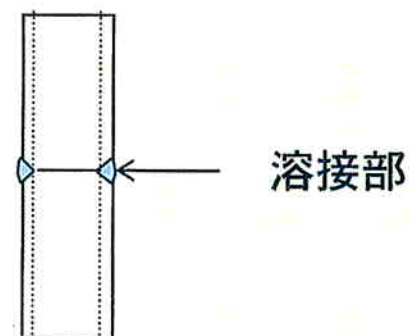
美浜発電所1号機では、前回定期検査に引続き、今定期検査で大飯発電所3号機の事象の水平展開として133箇所の溶接形状変更工事を行っている。

溶接部の形状変更のイメージ図

変更前（ソケット溶接）



変更後（突き合わせ溶接）



3. その他情報

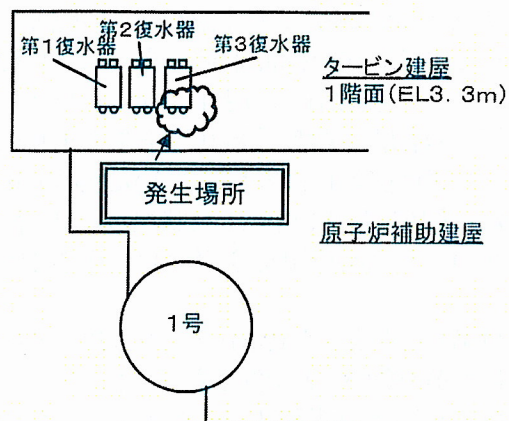
⑥-7

(1) 不具合情報

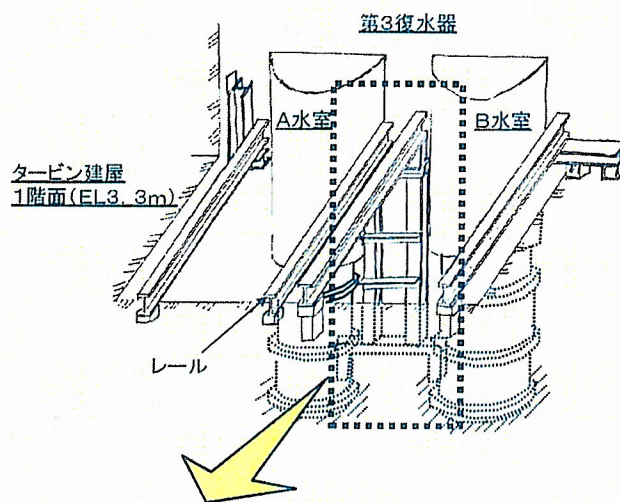
発電所名	大飯発電所1号機	発 生 日	第21回定期検査中(3月15日)
件 名	仮設レール撤去作業中の協力会社作業員の負傷について (添付図2参照)		
事象概要 および 対 策 等	定期検査中の3月15日、復水器の伝熱管取替工事※に使用した仮設レールの切断・撤去作業において、切断したレールをチェーンブロック1本で吊って床面に降ろそうとしましたが、その途中でレールが架台に引っかかったため、引っかかりを解消しようとしてチェーンブロックを揺すった際に、レールの一部が、近傍にいた作業員の右足大腿部に接触して負傷しました。 調査の結果、原因は切断したレールがチェーンブロック1本で吊られていたため不安定な状態であったこと、および架台がレールに引っかかった際に作業を中断して状況の確認を行わず引っかかりを外そうと揺らしたことにより、レールのバランスが崩れ、近傍にいた作業員にレールが接触し、負傷したものと推定されました。 対策として、吊り荷の形状が複雑な場合には吊り荷を安定させるために2本以上で吊ること、吊り荷を上げる際には、吊り荷が振れる方向に人がいないことを確認すること、吊り荷が引っ掛かった場合には作業を中断し、状況を十分確認することを関係者に周知徹底しました。 ※：復水器の伝熱管取替工事 復水器の伝熱管からの海水漏えいを防止するため、伝熱管の材質を耐食性の優れたものに取替える工事。 [平成19年4月5日 お知らせ済み]		

大飯発電所1号機 仮設レール撤去作業中の協力会社作業員の負傷について

発生場所



レールの撤去作業前の状況図



現場概要図

