

高浜発電所 4号機の原子炉起動と調整運転の開始について  
( 第 1 5 回定期検査 )

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

高浜発電所 4号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力 87.0万kW）は、平成16年 8月10日から第 15回定期検査を実施していたが、平成16年10月26日に原子炉を起動し、翌27日に臨界となる予定である。

その後は諸試験を実施し、10月下旬（10月28日頃）に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、11月下旬には経済産業省の最終検査を受けて営業運転を再開する予定である。

なお、蒸気発生器の伝熱管補修工事等に時間を要したため、定期検査終了時期は当初予定の11月上旬から11月下旬に延期している。

1. 主要工事等

(1) 原子炉補機冷却水冷却器伝熱管補修工事 ( 図 - 1 参照 )

設備の信頼性維持の観点より、4台ある原子炉補機冷却水冷却器の伝熱管全数（既施栓管を除く11,385本）について、渦流探傷検査（ECT）を行い、有意な信号指示（肉厚の50%以上の減肉指示）が認められた伝熱管（3本）および既施栓伝熱管（21本）について、同形状、同材質の新しい伝熱管に取り替えた。

また、肉厚の45%の減肉指示信号が確認された伝熱管（2本）については、施栓を行った。

注）信号指示は、伝熱管内面に貝等の海生物が付着し、伝熱管内の海水の流れが局所的に速くなることによって、伝熱管内表面に侵食による減肉が生じたもの。これまでの定期検査においても同様の減肉は確認されており、その都度、施栓や新管への取替を実施している。

(2) 2次系熱交換器他取替工事 (図 - 2 参照)

2次系給水系統の水質向上対策として、高圧給水加熱器、第1低圧給水加熱器および第2低圧給水加熱器の伝熱管について、銅合金製から耐食性に優れたステンレス製に取り替えた。これにより、蒸気発生器への不純物の持ち込み低減が図られる。

## 2. 保全対策について

(1) 原子炉容器管台溶接部等の応力腐食割れに係る点検

国内外PWRプラントにおいて、600系ニッケル基合金を用いた原子炉容器上部ふた管台や1次冷却材系統の溶接部で応力腐食割れが発生した事象に鑑み、以下の点検を実施した。

原子炉容器上部ふた管台の点検 (図 - 3 参照)

原子炉容器上部ふた管台全数(66本)について、上部ふた表面の外観目視点検を行い、漏えいの無いことを確認した。また、予備管台を除く56本の管台母材部については、管台内面の渦流探傷検査(ECT)を実施し、異常のないことを確認した。

なお、大飯発電所3号機における、原子炉容器上部ふた管台からの漏えい事象を踏まえ、漏えいの発生を早期に検知するため、漏えい監視装置を設置した。

1次冷却材系統管台溶接部等の点検 (図 - 4 参照)

溶接箇所には600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器冷却材出口管台、加圧器逃がし弁管台、加圧器安全弁管台等について、外観目視点検や超音波探傷検査を行い、異常のないことを確認した。

(2) 高サイクル熱疲労割れに係る点検 (図 - 5 参照)

国内PWRプラントにおいて、再生熱交換器の胴側出口配管部で、高温水と低温水の混合により発生する温度ゆらぎを主要因とする高サイクル熱疲労割れが発生した事例に鑑み、同様の熱疲労割れが発生する可能性のある再生熱交換器の胴側出口配管部や、余熱除去ポンプ入口ミニマムフローライン接続部などについて、超音波探傷検査を実施し、異常のないことを確認した。

(3) 2次系配管の肉厚検査結果 (図 - 6 参照)

大飯発電所1号機において、2次系主給水配管の主給水隔離弁下流の配管曲がり部で、エロージョン・コロージョン(壊食・腐食)による減肉が発生、進展した事象、および、美浜発電所3号機の2次系配管破損事故を踏まえ、2次系配管の965カ所について、超音波検査(肉厚測定)を実施した。

その結果、今回検査を実施した部位については、全て、必要最小肉厚を満足していることを確認した。

また、余寿命を評価した結果、次回定期検査時点で余寿命が5年を下回ると評価された部位が25箇所あり、このうち、次回定期検査までに必要最小肉厚を下回ると評価された部位3カ所については、同材料の配管に取り替えた。この3箇所以外の部位については、現時点での余寿命が最も短いもので1.6年と評価された。なお、これらについては、次回定期検査において、肉厚測定または配管の取替を行う。

[平成16年10月25日 福井県原子力安全専門委員会に報告済]

### 3. 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果 (図 - 7 参照)

3台ある蒸気発生器の伝熱管全数(既施栓管を除く10,097本)について、検出精度および深さ測定精度を向上させたマルチコイル型(インテリジェント)渦流探傷検査(ECT)を行った結果、339本の伝熱管のUベント部において、判定基準(20%)をわずかに超える有意な信号指示が認められた。

有意な信号指示は、伝熱管外表面の減肉指示で、平成2年まで旧振止め金具が取り付けられていた位置に確認された。また、当該部位について、従来方式のECTによる検査を行い、過去の検査結果と比較したところ、減肉は進展していないことを確認した。

全ての信号指示は、先行してマルチコイル型ECTによる蒸気発生器の伝熱管検査を実施した高浜3号機(第15回定検、平成15年12月～16年3月に実施)での信号指示と同様の特徴を示していた。なお、高浜3号機においては、有意な信号指示が認められた伝熱管1本を抜管して調査した結果、旧振止め金具取付位置の伝熱管外表面の摩耗減肉であることが確認されている。

これらのことから、これまで実施していた通常ECTでは判定基準内としていたものが、マルチコイル型ECTでは、判定基準をわずかに超える有意な信号指示として検出されたものと推定された。

対策として、信号指示が認められた伝熱管339本に閉止栓(機械式栓)を施工し、使用しないこととした。

[平成16年9月7日 記者発表済]

#### 4 . 定期検査中に発生した異常事象

##### (1) タービンサンプ水モニタ等の指示の上昇 (図 - 8 参照)

8月30日18時46分、「プロセスモニタ放射線注意」警報が発信した。放射線監視盤を確認したところ、タービンサンプ水モニタの指示値等が上昇しており、タービンサンプポンプ等を停止し、放水口への各サンプ水の放出を停止した。

タービンサンプ水の分析結果、放水口へ放出された放射エネルギーは約 $3.0 \times 10^5 \text{Bq}$ と推定された。これは、保安規定に定める年間の放出管理目標値 ( $1.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ) に比べ十分低く、また放水口モニタ (R-99) の指示値に変動はないことから、周辺環境への影響はなかった。

原因調査の結果、B余熱除去クーラの補機冷却水のブロー作業時、廃液貯蔵タンク行きの1次系ドレンの排水口に接続されたベントホースが空気を吸い込むとともに、同じ排水口に接続されていた当該クーラ1次系側水ドレン配管内の残留放射性廃液を吸引したため、放射性廃液が補機冷却水内に流入し、中間建屋サンプに放出されたと推定された。

対策として、補機冷却水ベントホースは、他系統からの吸い込み防止の観点から、仮設タンク等を介して排水口と接続することとし、手順書に反映した。 [平成16年8月31日、9月14日 記者発表済]

#### 5 . 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数157体のうち、65体(うち56体は新燃料集合体)を取り替えた。

燃料集合体の外観検査(24体)を実施した結果、異常は認められなかった。

#### 6 . 次回定期検査の予定

平成17年度 秋頃

問い合わせ先(担当:宮川) 内線2353・直通0776(20)0314
--

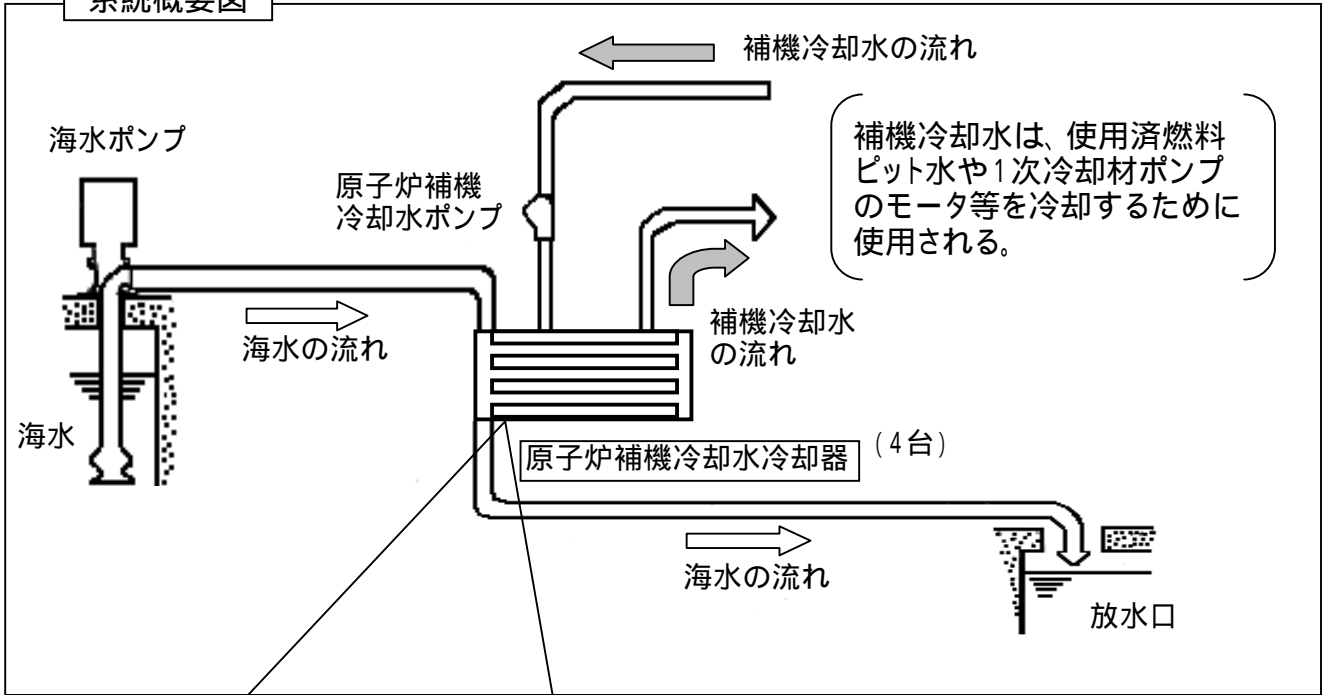
# 図 - 1 原子炉補機冷却水冷却器伝熱管補修工事概要図

## 工事概要

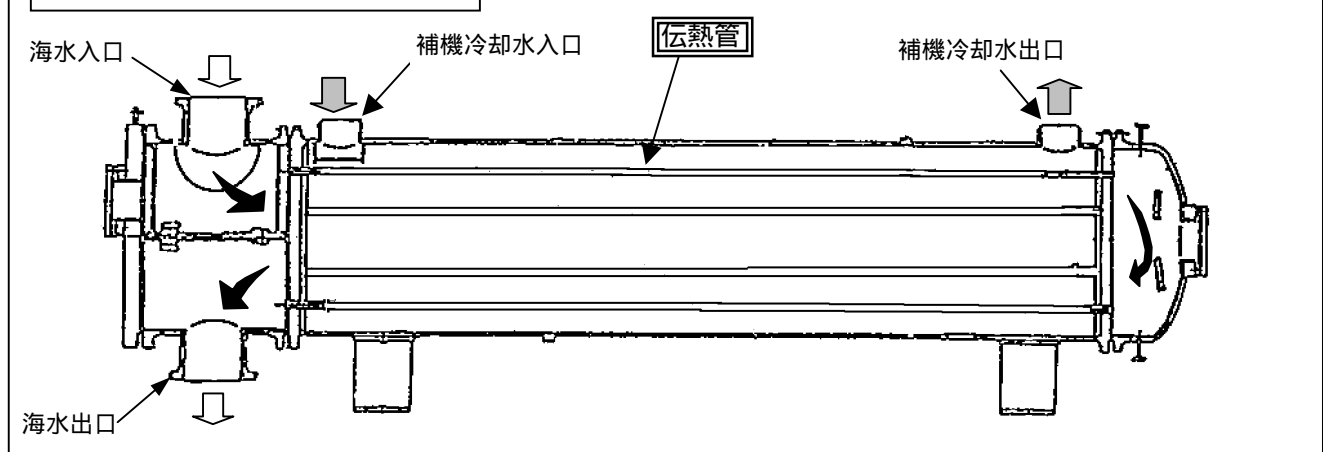
設備の信頼性維持の観点より、4台ある原子炉補機冷却水冷却器の伝熱管全数(既施栓管を除く11,385本)について、渦流探傷検査(ECT)を実施し、有意な信号指示(肉厚の50%以上)が認められた伝熱管(3本)および既施栓管(21本)について、同形状、同材質の新しい伝熱管に取り替えた。

また、C号機については、45%の減肉指示が確認された伝熱管(2本)について、予防保全の観点から施栓を実施し、使用しないこととした。

## 系統概要図



## 原子炉補機冷却水冷却器概要図



## 原子炉補機冷却水冷却器伝熱管信号指示本数および補修状況

	A号機	B号機	C号機	D号機
設備総本数	2852本	2852本	2852本	2852本
既施栓本数	10本(取替)	5本(取替)	2本	6本(取替)
検査対象本数	2842本	2847本	2850本	2846本
有意な信号指示(肉厚の50%以上)本数	0本	0本	0本	3本(取替)
今回施栓本数	0本	0本	2本(施栓)	0本
累積施栓本数 (施栓率)	0本 0%	0本 0%	4本 0.1%	0本 0%

## 原子炉補機冷却水冷却器関係諸元

種類 : 横置直管式  
全長 : 約10m  
直径 : 約1.8m  
伝熱管長さ : 約8m  
伝熱管外径 : 約19mm  
伝熱管肉厚 : 約1.2mm  
伝熱管材料 : 復水器用黄銅

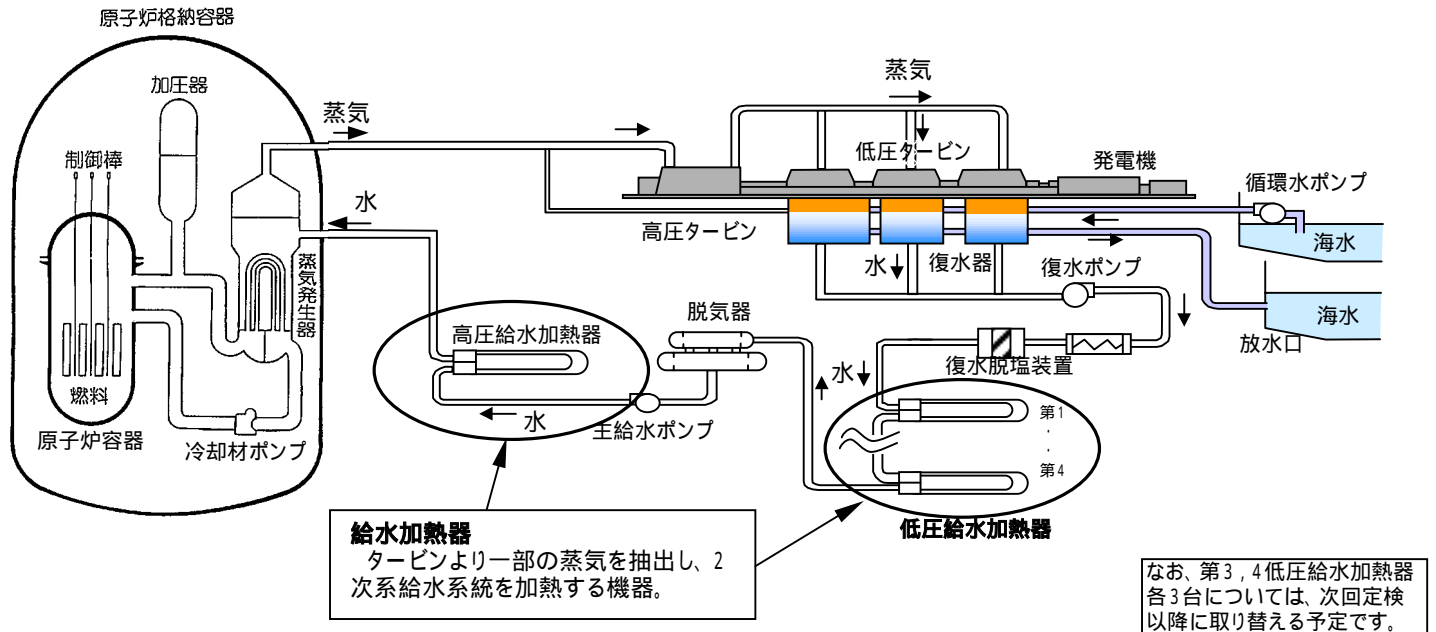
# 図 - 2 2次系熱交換器他取替工事概要図

## 点検概要

2次系給水系統の水質向上対策として、一部の給水加熱器伝熱管を、銅合金から耐食性に優れたステンレス製に取り替えた。

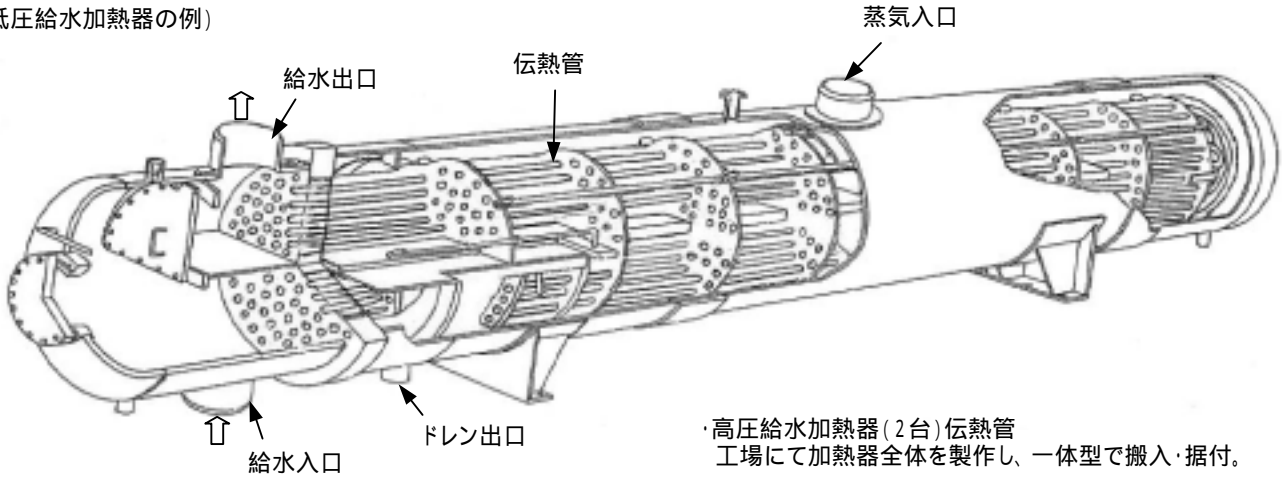
- ・高圧給水加熱器 2台
- ・低圧給水加熱器 6台  
(第1低圧給水加熱器 3台、第2低圧給水加熱器 3台)

## 概略系統図



## 給水加熱器取替概

(低圧給水加熱器の例)



- ・高圧給水加熱器 (2台) 伝熱管  
工場にて加熱器全体を製作し、一体型で搬入・据付。
- ・第1低圧給水加熱器 (3台)、第2低圧給水加熱器 (3台) 伝熱管  
工場にて管束 (伝熱管の集合体) 状態に組み立て、搬入・据付。

	高圧給水加熱器		第1低圧給水加熱器		第2低圧給水加熱器	
	取替前	取替後	取替前	取替後	取替前	取替後
伝熱管材料	銅合金	ステンレス	銅合金	ステンレス	銅合金	ステンレス
伝熱管本数 (本)	2,247(U字管)	2,807(U字管)	814(U字管)	907(U字管)	675(U字管)	901(U字管)
外觀長さ (m)	約 1.1		約 1.3		約 1.3	
外觀直径 (m)	約 2.5		約 1.5		約 1.5	

図 - 3 原子炉容器上部ふた管台の点検概要図

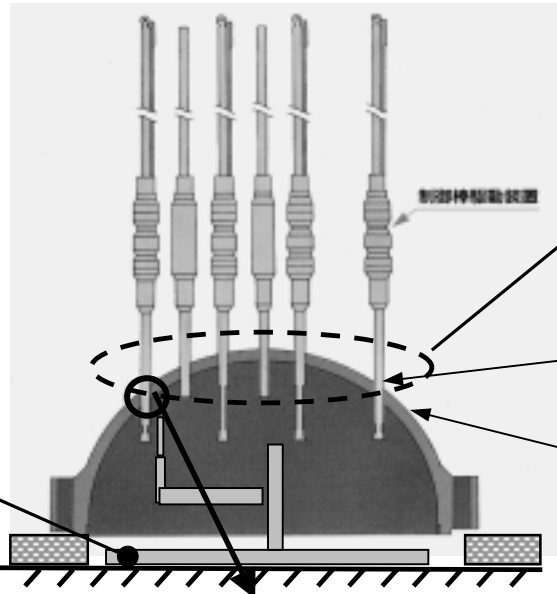
工事概要

原子炉容器上部ふた管台全数(66本)について、上部ふた表面の外観目視点検を実施し、漏えいのないことを確認した。

また、管台母材部における応力腐食割れの発生予測時間の比較的短い同号機において、検査データの蓄積を図る観点から、予備管台(10本)を除く56本の原子炉容器上部ふた管台母材部について、渦流探傷検査(ECT)を実施し健全性を確認した。

なお、大飯発電所3号機の原子炉容器上部ふた制御棒駆動装置取付管台からの漏えい事象を踏まえ、原子炉容器上部ふた管台からの漏えいを早期に検知するため、漏えい監視装置を設置した。

点検箇所概要図



(点検範囲)

外観目視点検: 66本  
渦流探傷検査: 56本

\* 代表的な管台寸法  
内径: 約70mm  
厚さ: 約15mm

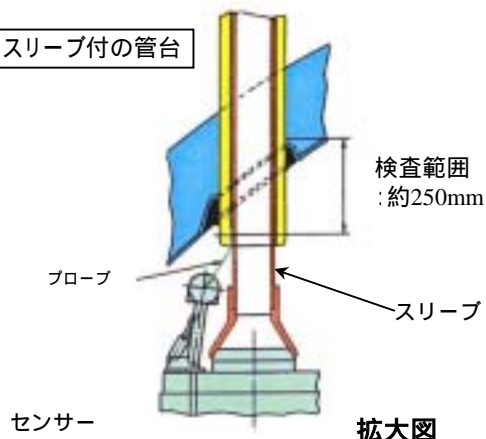
原子炉容器上部ふた管台  
[制御棒駆動装置取付管台]  
(600ニッケル基合金)

原子炉容器上部ふた  
(低合金鋼)

遠隔で探傷プローブを案内できる検査装置を使用。

検査の概要

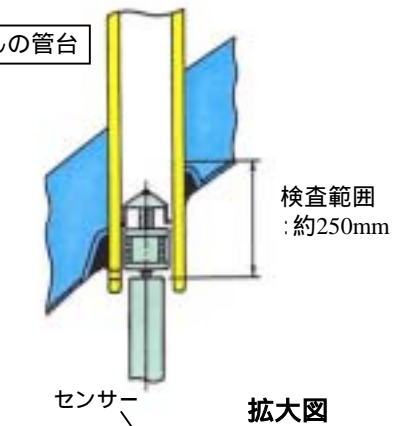
スリーブ付の管台



制御棒駆動装置取付管台用  
プローブ

スリーブ付きの管台については管とスリーブとの間に薄板状のプローブを挿入し、上昇(下降)させ探傷を行う。(順次周方向へ位置を替えて探傷を行う。)

スリーブなしの管台



温度計取付管台、空気抜き管台用  
プローブ

スリーブなしの管台については円筒型のプローブを管内面に沿って上昇(下降)させ探傷を行う。(順次周方向へ位置を替えて探傷を行う。)



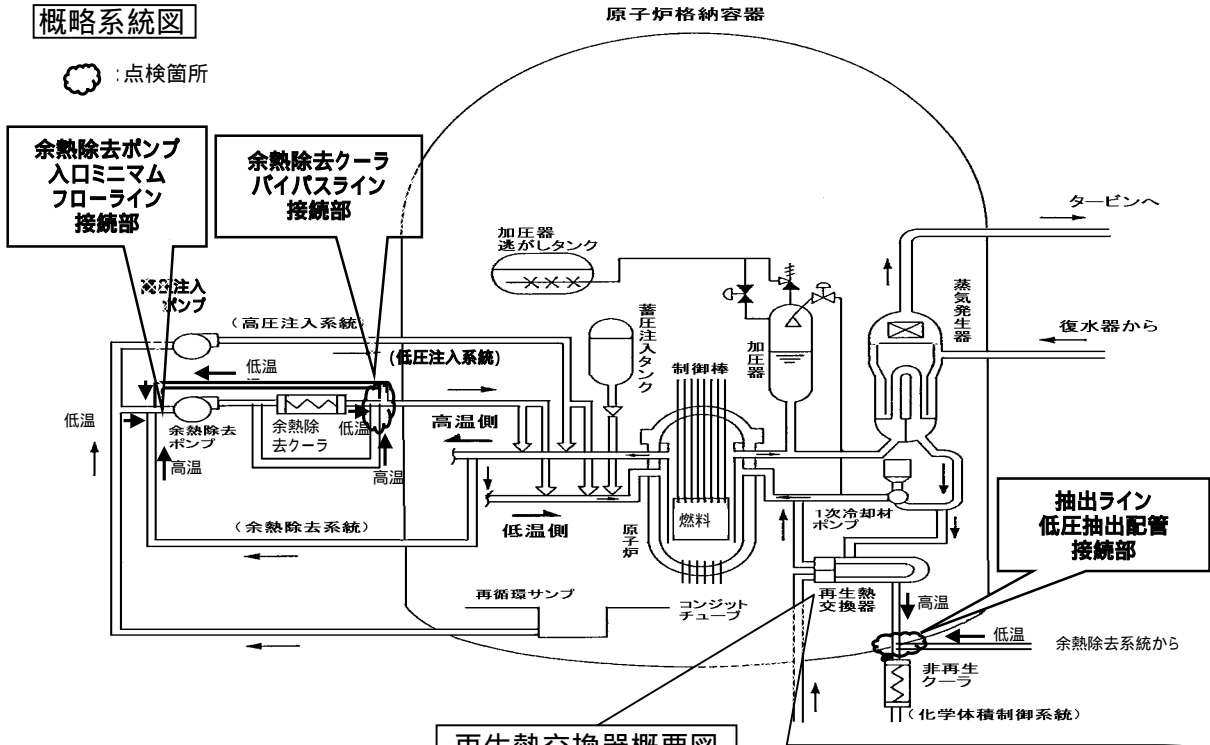


図 - 5 高サイクル熱疲労割れに係る点検概要図

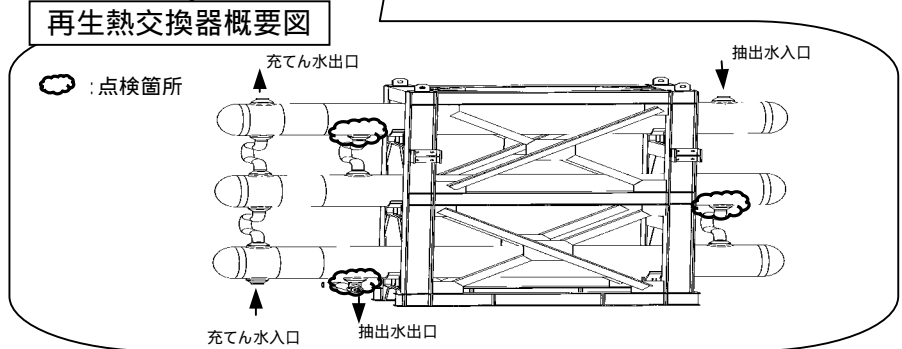
点検概要

国内PWRプラントにおいて、再生熱交換器の胴側出口配管部で、高温水と低温水の混合により発生する温度ゆらぎを主な要因とする高サイクル熱疲労割れが発生した事例に鑑み、同様の熱疲労割れが発生する可能性のある再生熱交換器の胴側出口配管部や余熱除去ポンプ入口ミニマムフローライン接続部などについて、超音波探傷検査を実施し、異常のないことを確認した。

概略系統図



再生熱交換器概要図



配管点検範囲(例)

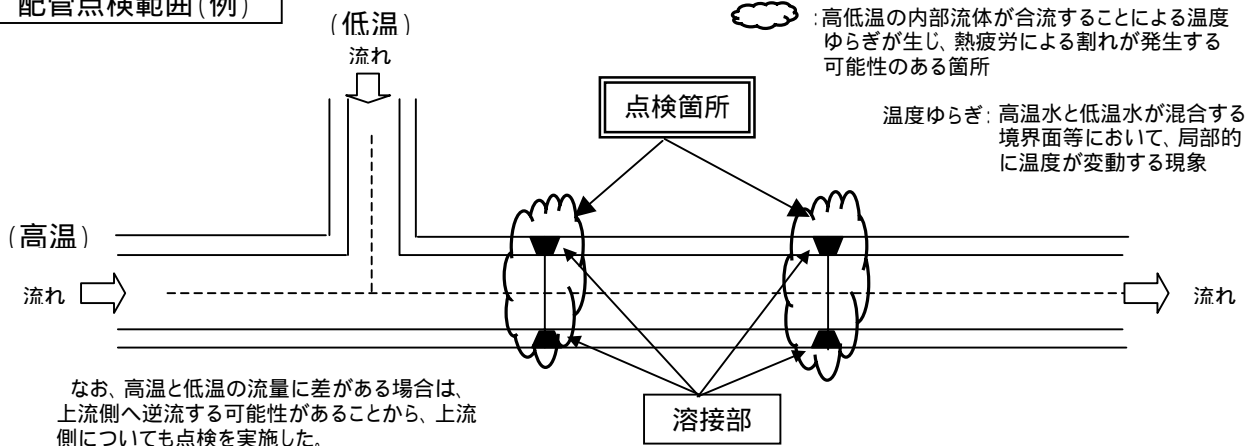


図 - 6 2次系配管の肉厚検査

点検概要

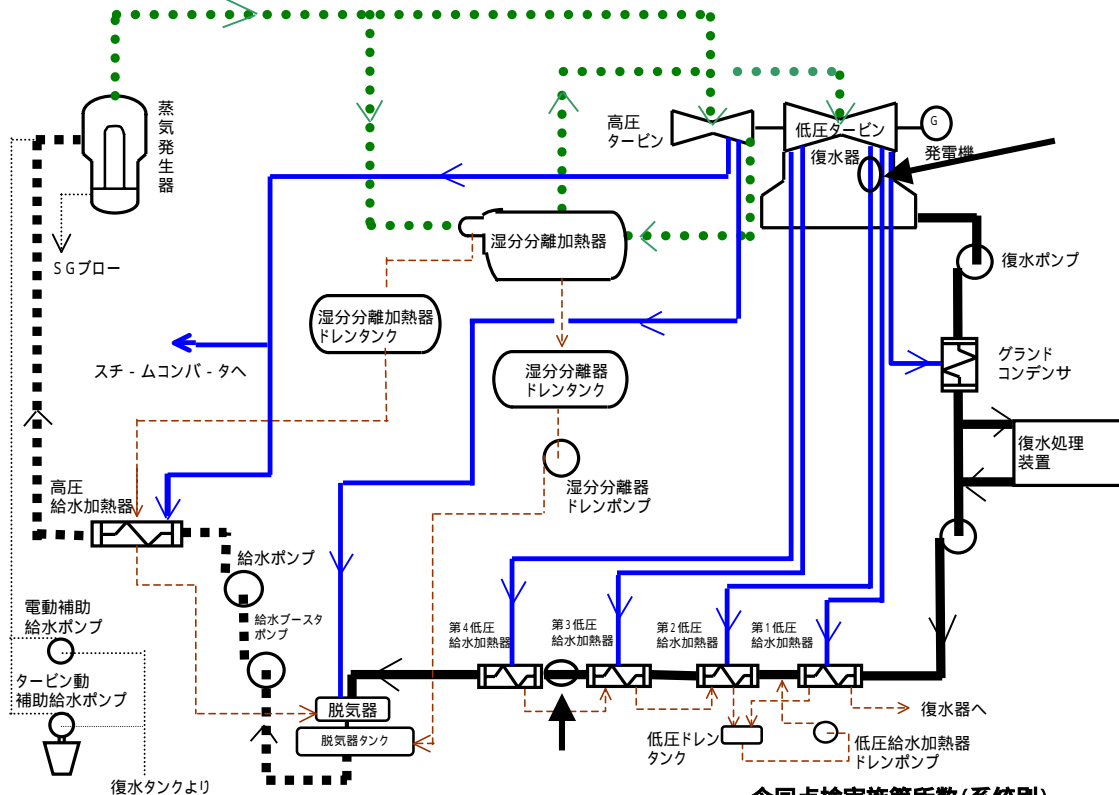
大飯発電所1号機2次系主給水配管配管曲がり部減肉事象および美浜発電所3号機2次系配管破損事故を踏まえ、2次系配管の965箇所(当初計画は569箇所)について超音波検査(肉厚測定)を実施した。その結果、今回検査を実施した部位については、全て、必要厚さを満足していることを確認した。なお、3箇所については、余寿命が1年以下であり、次回定期検査までに必要最小厚さを下回ると評価されたため、当初から取り替えを予定していたものではないが、同材料の配管に取り替えた。

肉厚測定結果(余寿命が1年以下の箇所)

取替箇所番号	名称	分岐距離(mm)	測定中心径(mm)	計算必要厚さ(mm)	余寿命(年)	取替長さ(m)	外径(mm)	圧力(MPa/温度℃)	材質
①	C第4低圧給水加熱器 蒸気入口管エルボ	12.7	8.9	8.6	0.4	約1.5	約410	4.07 / 129	炭素鋼
②	A第2低圧給水加熱器 蒸気入口管エルボ	10.0	4.2	3.8	1.0	約1.0	約460	0.07 / 98	炭素鋼
③	C第2低圧給水加熱器 蒸気入口管エルボ	10.0	4.0	3.8	0.5	約1.0	約460	0.07 / 98	炭素鋼

系統別概略図

配管取替箇所3箇所: ~



今回点検実施箇所数(系統別)

系統名	主要点検部位	その他点検部位
復水系統	11(1)	61
給水系統	19(1)	29(11)
主蒸気系統	16	164
抽気系統	13(1)	148
ドレン系統	169(12)	295
その他系統	0	40
合計	228(15)	737(11)

大飯1号機2次系主給水配管曲がり部減肉事象および美浜3号機2次系配管破損事故を受け実施した2次系配管の点検箇所26箇所の内訳

美浜3号機当該部と同位置のオリフィス下流部	1
その他の復水系統、給水系統オリフィス下流部	13
経済産業大臣指示文書に基づく調査結果、必要と判断した部位	1
大飯1号機主給水配管減肉事象に伴う追加点検部位	11
原子力安全・保安院の指示による追加点検部位	0

今回点検実施箇所数

	点検対象部位	点検未実施部位	今回点検実施箇所数		今回点検実施後の未実施部位
			点検未実施部位	点検済部位	
主要点検部位	602	1	1(1)	227(14)	0
その他点検部位	4,038	911	377(11)	360	534
合計	4,640	912	965(26)		534

\* 経済産業大臣指示文書に基づく調査結果、必要と判断した部位(スチームコンバータ加熱蒸気管オリフィス下流部)  
( )再掲: 大飯1号機2次系主給水配管曲がり部減肉事象および美浜3号機2次系配管破損事故を反映し点検した部位

配管肉厚測定結果表(次回定検での余寿命評価結果が5年以下の箇所一覧)  
ユニット 高浜発電所4号機

スケルトン 図番号	部位 番号	名 称	公称肉厚 (mm)	測定最小 値 (mm)	計算必要 厚さ(mm)	今回定検 での余寿 命(年)	次回定検 時点での 余寿命(年) <sup>※</sup>	部位 分類	系統名	対 応
8	33	第6抽気管 下流管	10.3	8.4	5.3	5.5	4.5	主要	抽気	次回定検にて測定実施。(SUS化済) 余寿命の値は配管取替後の初回計測による評価で あり、配管製造時の肉厚変化による影響と考えられ るため。
12	2	第1段湿分離加熱器加熱蒸気管(1/2) 45° 曲管	9.3	8.8	3.9	2.0	1.0	主要	主蒸気	次回定検にて測定実施。 余寿命の値は配管取替後の初回計測による評価で あり、配管製造時の肉厚変化による影響と考えられ るため。
12	3	第1段湿分離加熱器加熱蒸気管(1/2) 45° 曲管	9.3	9.4	3.9	3.1	2.1	主要	主蒸気	同上
12	8	第1段湿分離加熱器加熱蒸気管(1/2) 90° 曲管	9.3	9.0	3.9	2.5	1.5	主要	主蒸気	同上
25	9	第4ヒータドレン管(1/6) レジューサ	11.0	6.0	3.8	5.2	4.2	主要	ドレン	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。
25	12	第4低圧給水加熱器ドレン管(1/6) 90° エルボ	11.0	5.6	3.8	4.2	3.2	主要	ドレン	同上
82	7	主給水管(1/5) 下流管	29.4	20.9	18.2	5.7	4.7	主要	給水	次回定検にて炭素鋼(低合金鋼)に取替を計画する。
83	12	主給水管(2/5) 下流管	29.4	28.3	21.9	3.2	2.2	主要	給水	次回定検にて測定実施。 余寿命の値は配管取替後の初回計測による評価で あり、配管製造時の肉厚変化による影響と考えられ るため。
88	22	主蒸気ドレン管(2/6) 直管	8.6	8.0	5.4	3.5	2.5	その他	ドレン	次回定検にて測定実施。(SUS化済) 余寿命の値は配管取替後の初回計測による評価で あり、配管製造時の肉厚変化による影響と考えられ るため。
125	4	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(2/3) 90° エルボ	7.1	4.5	3.8	4.0	3.0	その他	ドレン	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。
150	4	復水管(5/12) 90° エルボ	12.7	9.1	8.8	1.6	0.6	その他	復水	同上
152	7	復水管(7/12) 45° 曲管	12.7	10.1	8.8	4.7	3.7	その他	復水	同上
155	7	C第4低圧給水加熱器入口配管エルボ	12.7	8.9	8.8	0.4	—	主要	復水	今回の定検で炭素鋼に取替済
156	5	復水管(11/12) 90° エルボ	12.7	9.2	8.8	2.7	1.7	主要	復水	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。

## 配管肉厚測定結果表(次回定検での余寿命評価結果が5年以下の箇所一覧)

ユニット 高浜発電所4号機

スケルトン 図番号	部位 番号	名 称	公称肉厚 (mm)	測定最小 値(mm)	計算必要 厚さ(mm)	今回定検 での余寿 命(年)	次回定検 時点での 余寿命(年)*	部位 分類	系統名	対 応
157	15	復水管(12/12) 小径側	10.0	6.2	4.3	5.9	4.9	主要	復水	同上
161	4	主給水ブースタポンプ吐出管(1/3) 90° エルボ	16.0	12.3	11.2	2.9	1.9	主要	給水	同上
161	6	主給水ブースタポンプ吐出管(1/3) 90° エルボ	16.0	19.1	11.2	4.1	3.1	主要	給水	次回定検にて測定実施。 余寿命の値は配管取替後の初回計測による評価で あり、配管製造時の肉厚変化による影響と考えられ るため。
162	1	主給水ブースタポンプ吐出管(2/3) 小径側	16.0	12.1	9.9	5.4	4.4	主要	給水	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。
162	2	主給水ブースタポンプ吐出管(2/3) 90° エルボ	16.0	12.2	11.2	2.5	1.5	主要	給水	同上
162	4	主給水ブースタポンプ吐出管(2/3) 90° エルボ	16.0	12.6	11.2	3.7	2.7	主要	給水	同上
255	10	A第2低圧給水加熱器抽気入口管エルボ	10.0	4.2	3.8	1.0	—	その他	抽気	今回の定検で炭素鋼に取替済
255	11	復水器(A)第1, 第2抽気管 90° エルボ	10.0	5.1	3.8	3.4	2.4	その他	抽気	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。
256	10	復水器(B)第1, 第2抽気管 90° エルボ	10.0	4.7	3.8	2.4	1.4	その他	抽気	同上
257	7	C第2低圧給水加熱器抽気入口管エルボ	10.0	4.0	3.8	0.5	—	その他	抽気	今回の定検で炭素鋼に取替済
257	8	復水器(C)第1, 第2抽気管 90° エルボ	10.0	5.2	3.8	3.9	2.9	その他	抽気	次回定検にてステンレス管に取替を計画する。

 : 今回取替箇所

※次回定検における余寿命の想定であり、今回定検での余寿命より次回定検までの期間として1年を引いた値

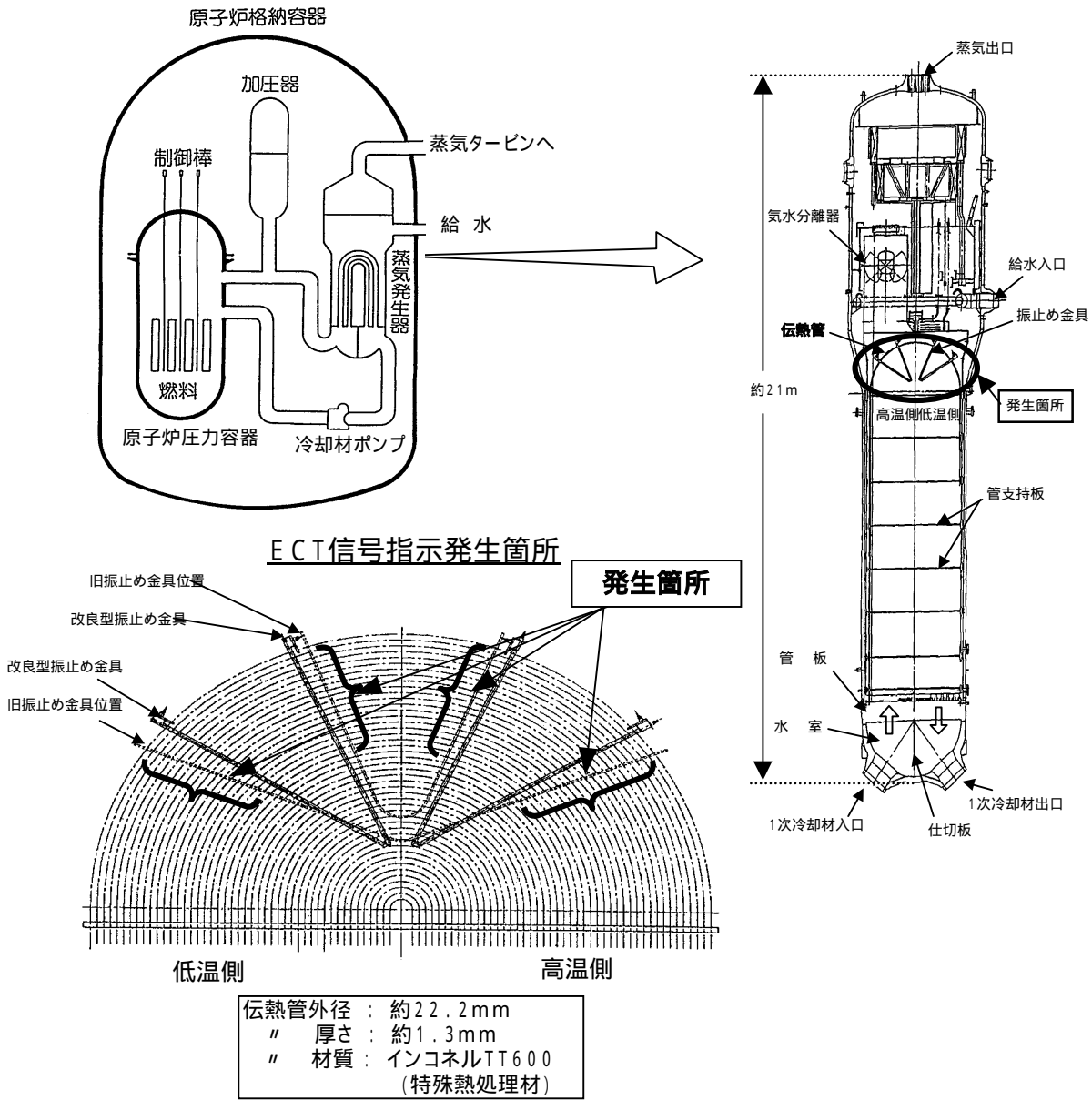
全25箇所 (内訳: 取替済3箇所、次回取替予定15箇所、点検継続7箇所)

②

12

③

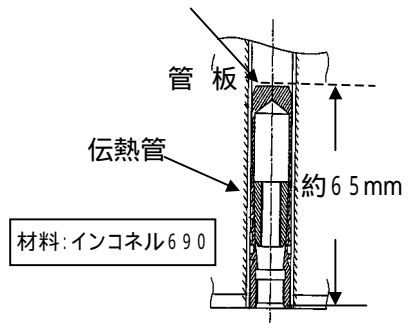
図 - 7 蒸気発生器伝熱管渦流探傷検査 減肉発生箇所



### 伝熱管施栓方法

機械式栓(メカニカルプラグ)  
(ECT信号指示管)

メカニカルプラグ



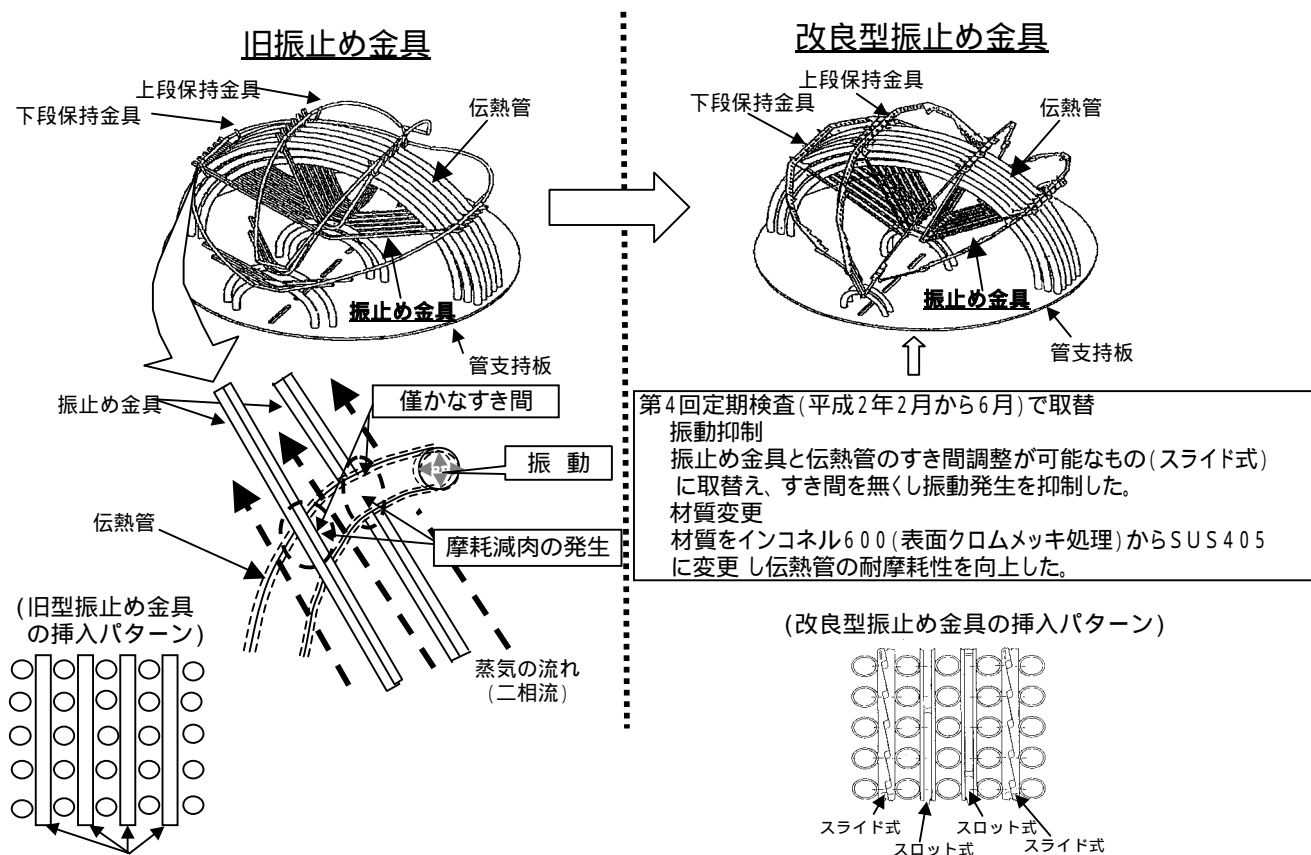
### 蒸気発生器伝熱管施栓状況

(単位:本)

蒸気発生器	A-蒸気発生器	B-蒸気発生器	C-蒸気発生器	合計
今回施栓本数	112	122	105	339
既施栓本数	23	11	15	49
総施栓本数	135	133	120	388
設備本数	3,382	3,382	3,382	10,146
施栓率(%)	4.0	3.9	3.5	3.8

[安全解析施栓率:10%]

## 振止め金具の取付状況



## ECT信号指示位置図(例)

A - 蒸気発生器ECT信号指示管位置図(高温側を上部から見た図)  
 (B・C - 蒸気発生器についてもほぼ同様の位置で信号指示管が認められた) ● 既施栓管指示管

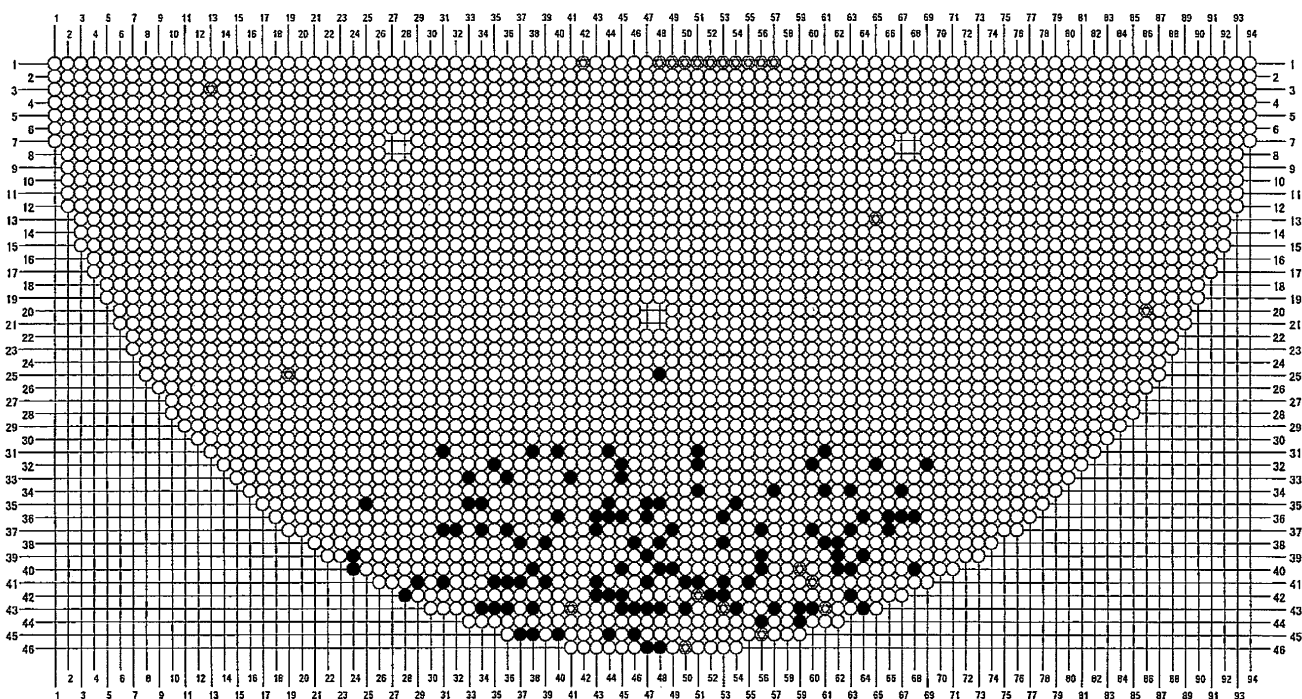
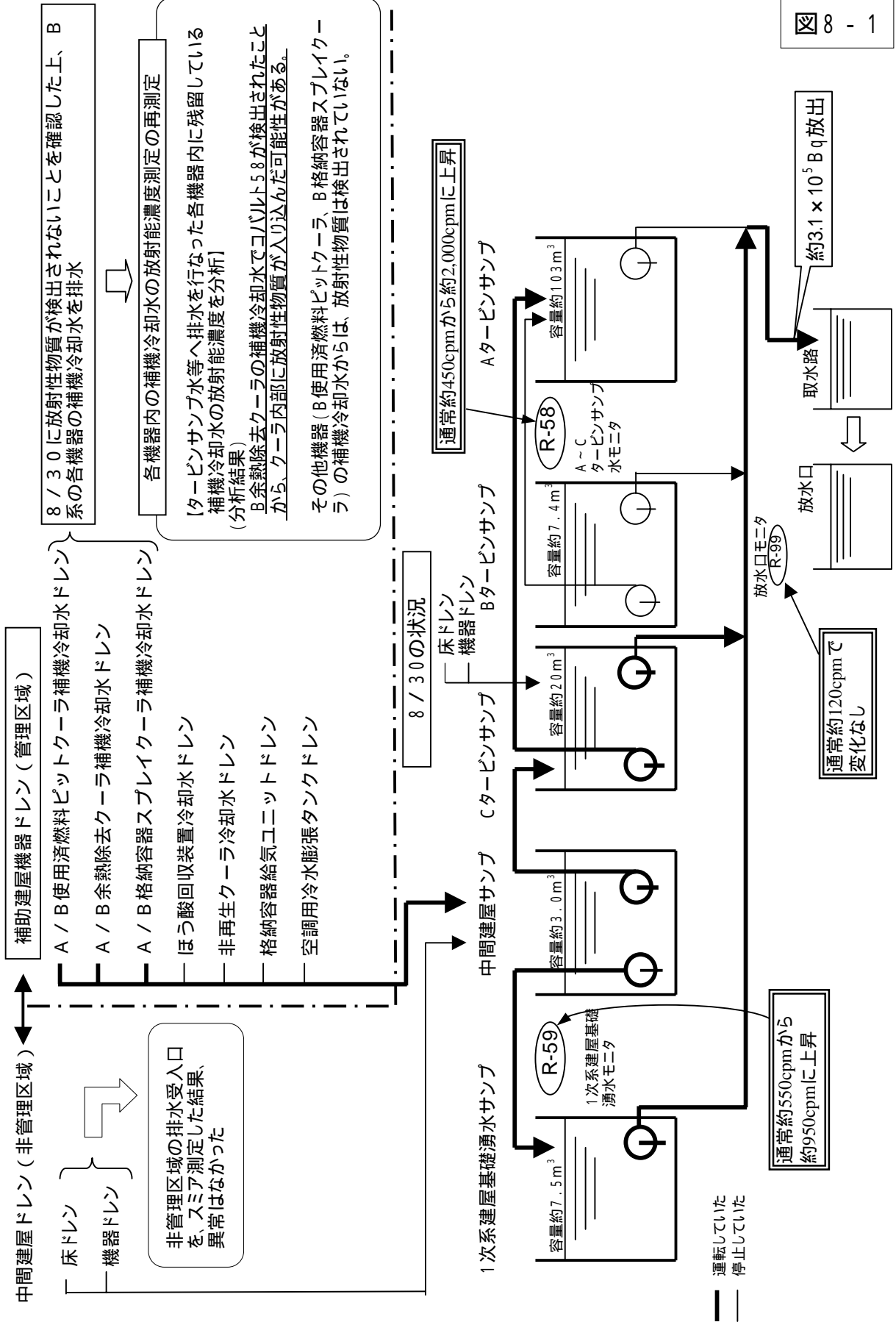
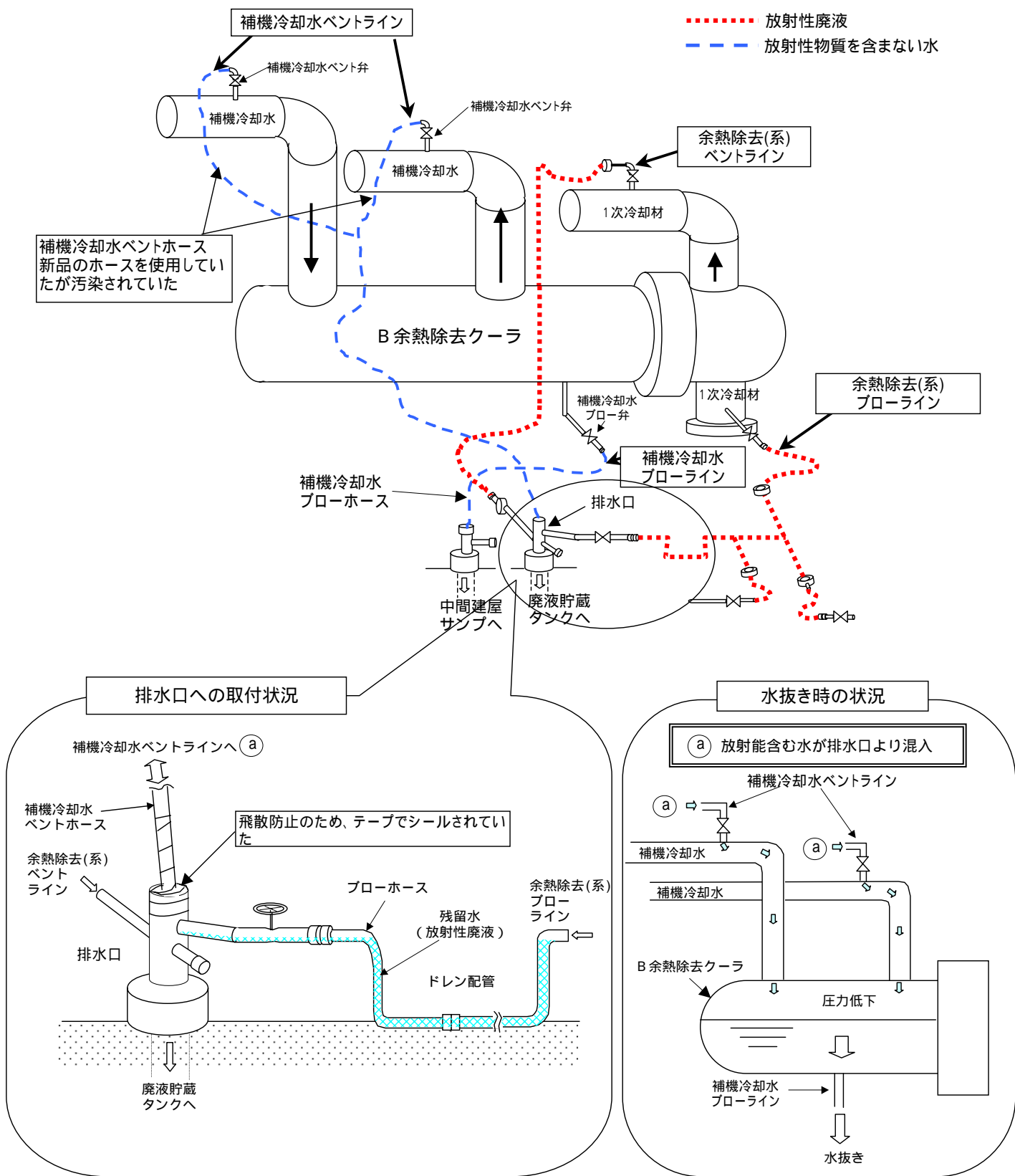


図 - 8 タービンサンプ水モニタ等指示上昇について



B余熱除去クーラの原子炉補機冷却水の水抜き状況概要および調査状況





## 高浜発電所4号機の第15回定期検査に関する補足説明資料

- ・ 原子炉起動 : 10月26日 (19時頃)
- ・ 臨界 : 10月27日
- ・ 調整運転開始 : 10月28日頃
- ・ 営業運転再開 : 11月下旬