

令和 3 年 3 月 5 日
原子力安全対策課
(0 2 - 3 6)
< 1 5 時記者発表 >

高浜発電所 3 号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第 2 4 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 3 号機（加圧水型軽水炉：定格電気出力 87.0 万 kW）は、令和 2 年 1 月 6 日から第 24 回定期検査を実施しているが、令和 3 年 3 月 7 日に原子炉を起動し、8 日に臨界となる予定である。

その後は、諸試験を実施し、3 月 10 日※頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、4 月上旬には総合負荷性能検査を実施し、営業運転を再開する予定である。

※：発電機バランシング作業（調整運転開始前に発電機の回転数を上昇させて振動を測定し、振動が大きい場合には発電機の車軸におもりを取り付け、振動が小さくなるように調整する作業）の実施有無により、工程を変更する場合がある。

1 主要工事等

(1) 高エネルギーアーク損傷対策工事 (図－1 参照)

国内外の原子力発電所の電気設備で高エネルギーアーク損傷が発生していることを踏まえ、原子力規制委員会によるバックフィット（新たな規制基準の既存の施設等への適用）として保安電源設備に係る技術基準規則等が一部改正（平成 29 年 8 月）されたことから、重要安全施設への電力供給に係る電気盤について、遮断器の遮断時間の変更やインターロックの追加を行った。

また、非常用ディーゼル発電機受電遮断器への保護継電器（リレー）やインターロックの追加を行った。

(2) 格納容器サンプ水位計取替工事 (図－2 参照)

格納容器サンプに設置している浮力式水位計が製造中止になったことから、今後の保守性を考慮し、差圧式水位計へ取替えた。

(3) 原子炉照射試験片取出工事 (図－3 参照)

中性子照射による原子炉容器の材料特性変化を定期的に把握するため、原子炉容器内部に設置している照射試験片を取り出した。(今回で5回目)

(4) 発電機固定子コイル取替および回転子コイル取替工事 (図－4 参照)

発電機固定子コイル・回転子コイルの絶縁材料が経年劣化傾向にあることから、予防保全として、発電機固定子コイル・回転子コイルおよび発電機励磁機を新品に取替えた。

(5) 原子炉容器供用期間中検査 (図－5 参照)

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

2 設備の保全対策

2 次系配管の点検等 (図－6 参照)

関西電力㈱の定めた「2 次系配管肉厚の管理指針」に基づき、2 次系配管 1,093 箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。その結果、必要最小厚さを下回る箇所および次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性があるとして評価された箇所はなかった。

また、過去の点検で減肉傾向が確認された部位 41 箇所、配管取替時の作業性を考慮した部位 4 箇所、今後の保守性を考慮した部位 2 箇所、合計 47 箇所を耐食性に優れたステンレス鋼もしくは低合金鋼の配管に取り替えた。

3 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査の結果 (図－7 参照)

3 台ある蒸気発生器(SG)の伝熱管全数(既施栓管を除く計 9,782 本)について、渦流探傷検査を実施した結果、B-SG の伝熱管 1 本、C-SG の伝熱管 1 本について、管支持板部付近に外面(2 次側)からの減肉とみられる有意な信号指示が認められた。

原因は、管支持板下面に異物が留まり、その異物に伝熱管が繰り返し接触したことで摩耗減肉が発生したものと推定した。なお、異物は前回(第 23 回)の定期検査以前における弁等の分解点検時に混入したものと推定した。

対策として、当該伝熱管の高温側および低温側管板部で閉止栓(機械式栓)を施工した。また、SG への異物混入の可能性のある機器の点検については、立ち入り前に作業服を着替えるとともに靴カバーを着用することや、垂直配管に取り付けられている弁の点検後、目視による確認が困難な箇所に対して、ファイバースコープによる異物確認を行うことなどを作業手順書等に記載した。

これらに加え、S G水張系統にストレーナを設置し、系統通水により健全性を確認した。

[令和2年2月18日、28日、4月17日、7月17日、9月7日 公表済]

その後、高浜発電所4号機第23回定期検査においてS G伝熱管の外面減肉が発生し、原因は稠密なスケールによるものと推定された。高浜発電所3号機においてもスケールの性状等を調査した結果、高浜発電所4号機と同様に稠密層を主体とするスケールであることを確認した。前回(第23回)と今回の定期検査において発生した伝熱管の損傷原因は、上記のように異物によるものと推定していたが、高浜発電所4号機の事象を踏まえ、スケールによる減肉の可能性も否定できない。

従って、高浜発電所4号機の対策であるS G器内の薬品洗浄を高浜発電所3号機において先行実施し、洗浄後に回収したスケールが脆弱化していることを確認した。

4 燃料集合体の取替え

燃料集合体全数157体のうち、69体を取り替えた。今回装荷した新燃料集合体は52体である。また、MOX燃料は20体を装荷した。

燃料集合体の外観検査(65体)を実施した結果、異常は認められなかった。

5 次回定期検査の予定

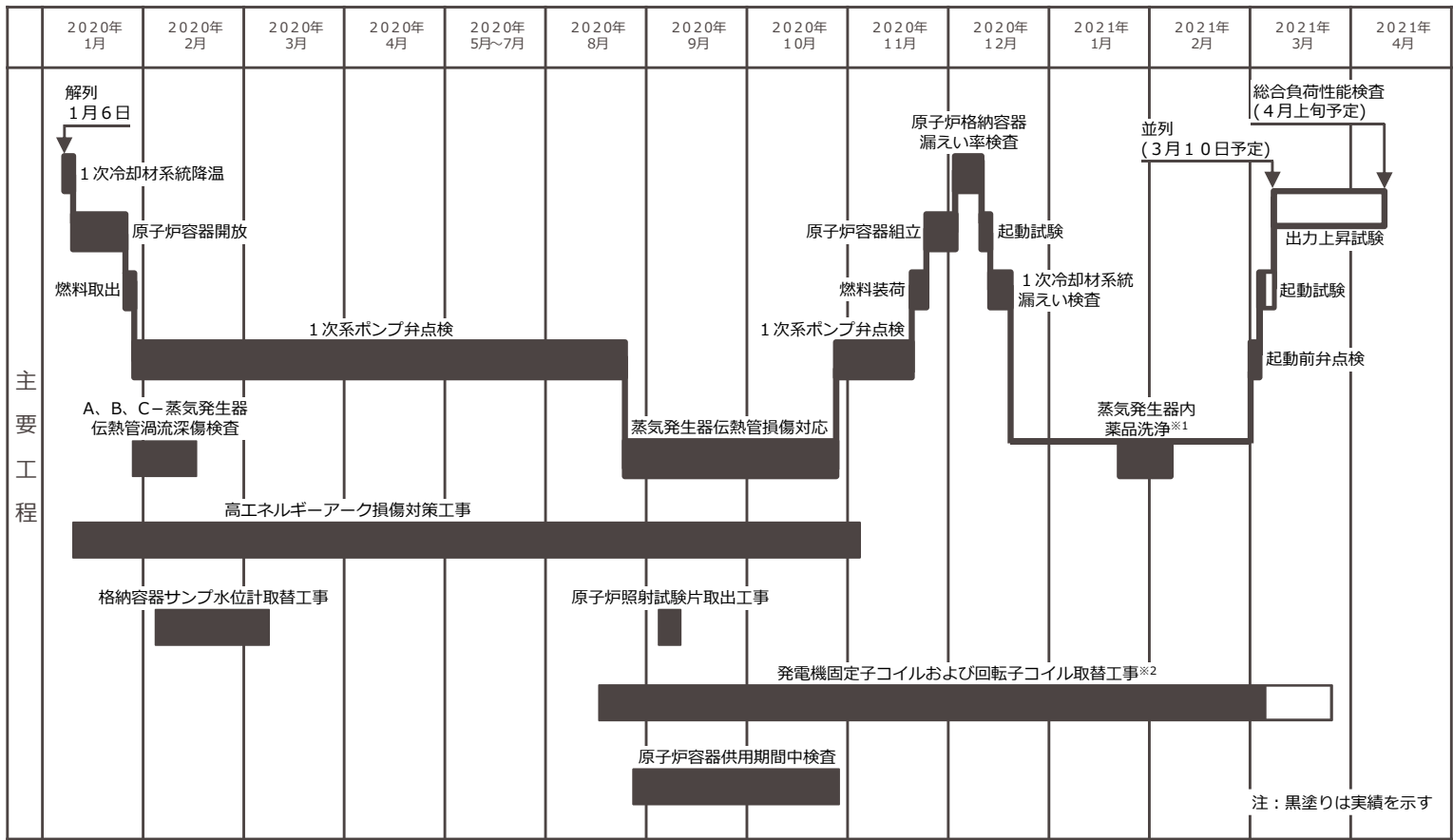
令和4年冬頃

6 その他

大飯発電所3号機の加圧器スプレイ配管溶接部において、溶接による硬化に伴う応力腐食割れを確認した。これを踏まえ、高浜発電所3号機において、応力腐食割れが発生する可能性がある条件で、かつ、当該箇所と同様の方法で溶接された54箇所について超音波探傷検査を実施した。その結果、問題がないことを確認した。

高浜発電所 3 号機 第 2 4 回定期検査の作業工程

(2021 年 3 月 5 日現在)



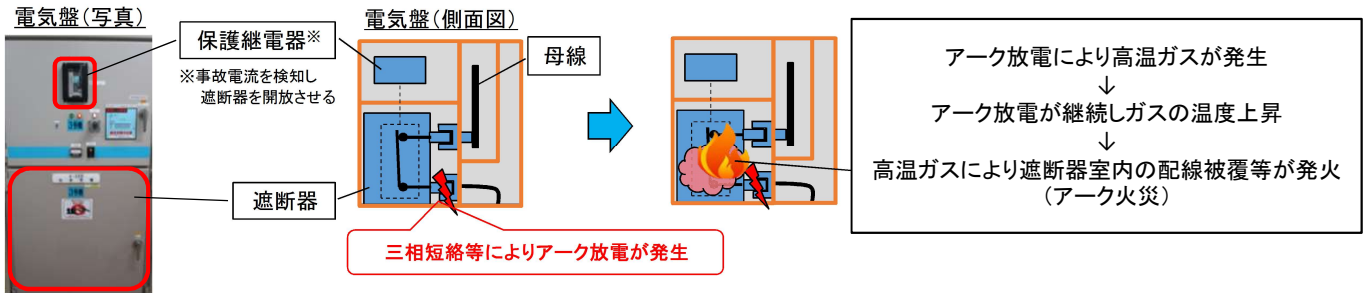
※ 1：高浜発電所 4 号機の蒸気発生器伝熱管損傷を受けた
対策である蒸気発生器内の薬品洗浄を先行実施
※ 2：定格熱出力一定運転において性能検査を実施

図－１ 高エネルギーアーク損傷対策工事

工事概要

国内外の原子力発電所の電気設備で高エネルギーアーク損傷が発生していることを踏まえ、原子力規制委員会によるバックフィット(新たな規制基準の既存の施設等への適用)として保安電源設備に係る技術基準規則等が一部改正(2017年8月)されたことから、重要安全施設への電力供給に係る電気盤について、遮断器の遮断時間の変更やインターロックの追加を行った。また、非常用ディーゼル発電機受電遮断器についても、保護継電器(リレー)やインターロックの追加を行った。

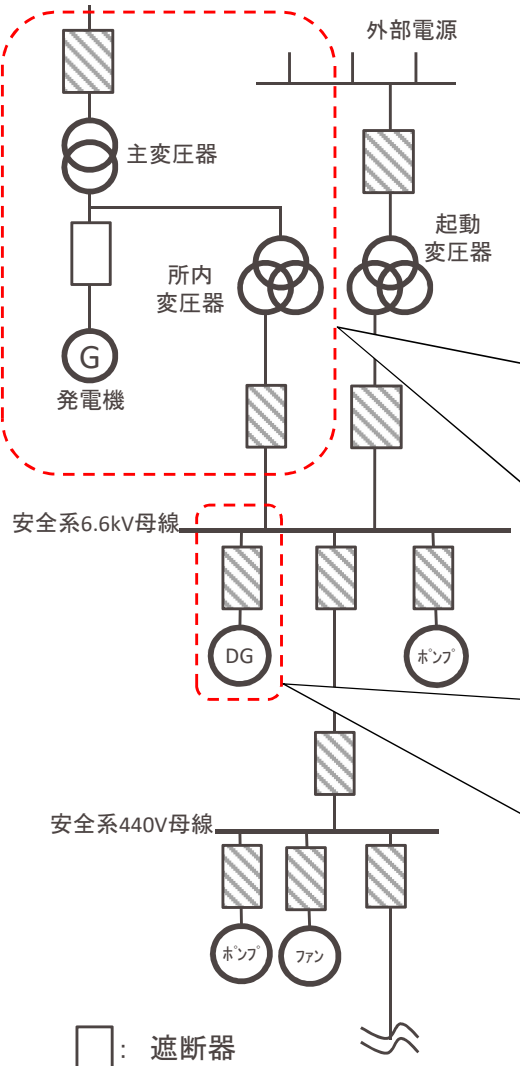
工事概要図



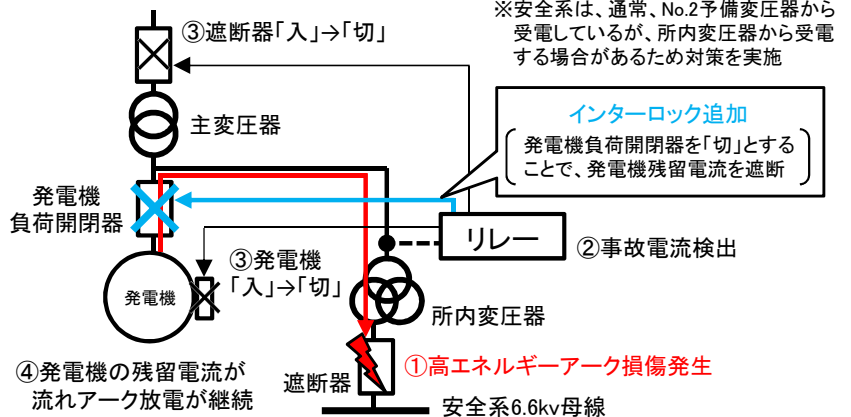
遮断器の遮断時間の変更



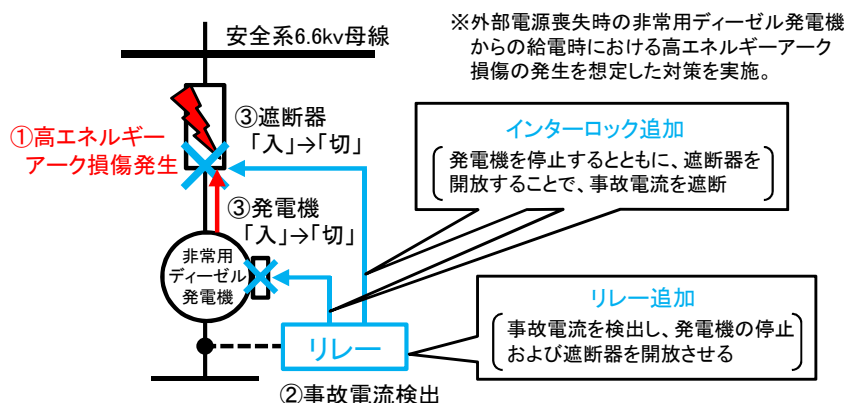
<電源系統構成(イメージ)>



インターロックの追加



リレーおよびインターロックの追加



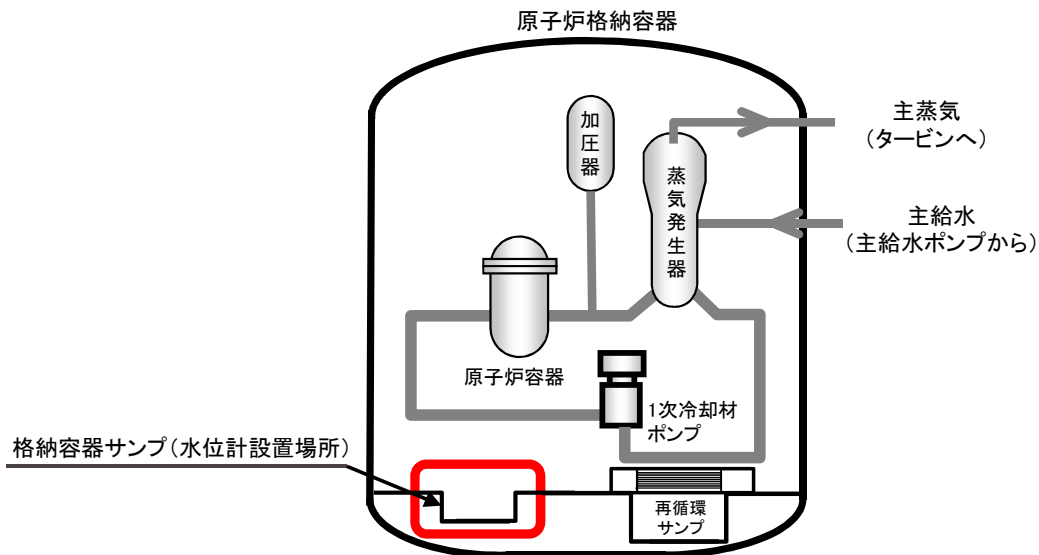
図－２ 格納容器サンプ水位計取替工事

工事概要

格納容器サンプに設置している浮力式水位計が製造中止となったことから、今後の保守性を考慮し、差圧式水位計へ取り替えた。

工事概要図

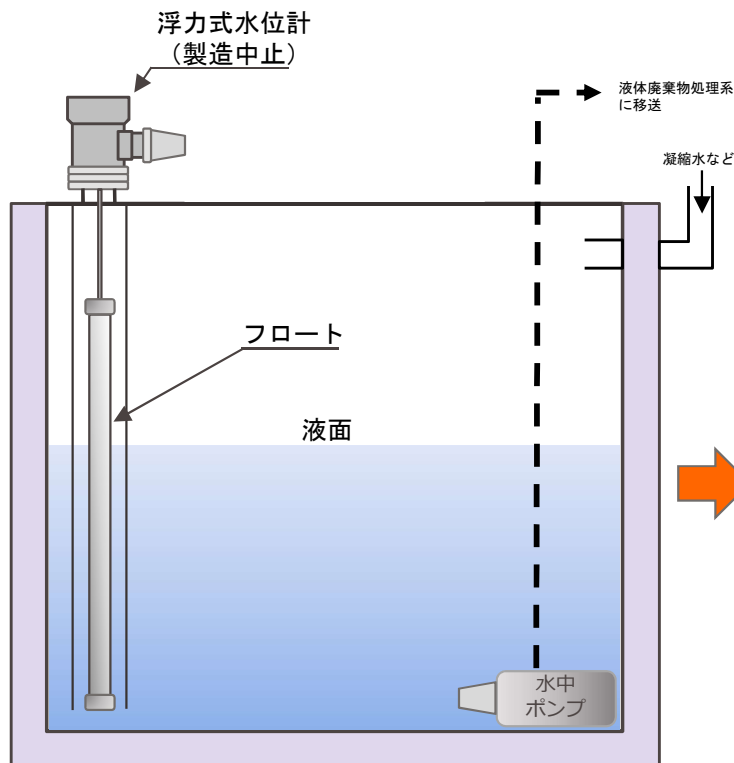
格納容器サンプに設置している水位計を浮力式から差圧式へ変更した。



<取替前>

【浮力式水位計】

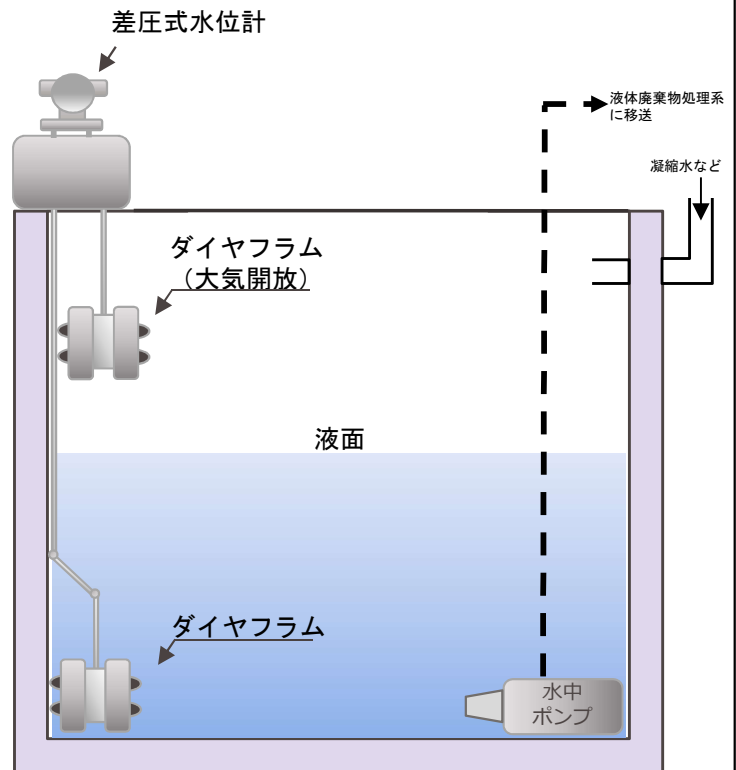
フロートの浮力により液面水位を検出する。



<取替後>

【差圧式水位計】

ダイヤフラムにかかる水圧により液面水位を検出する。



格納容器サンプ：格納容器内の凝縮水などの床ドレンが溜まる。通常運転中の水位は５０％から８５％であり、水位が８５％になれば水中ポンプで液体廃棄物処理系へ移送する。

図－3 原子炉照射試験片取出工事

工事概要

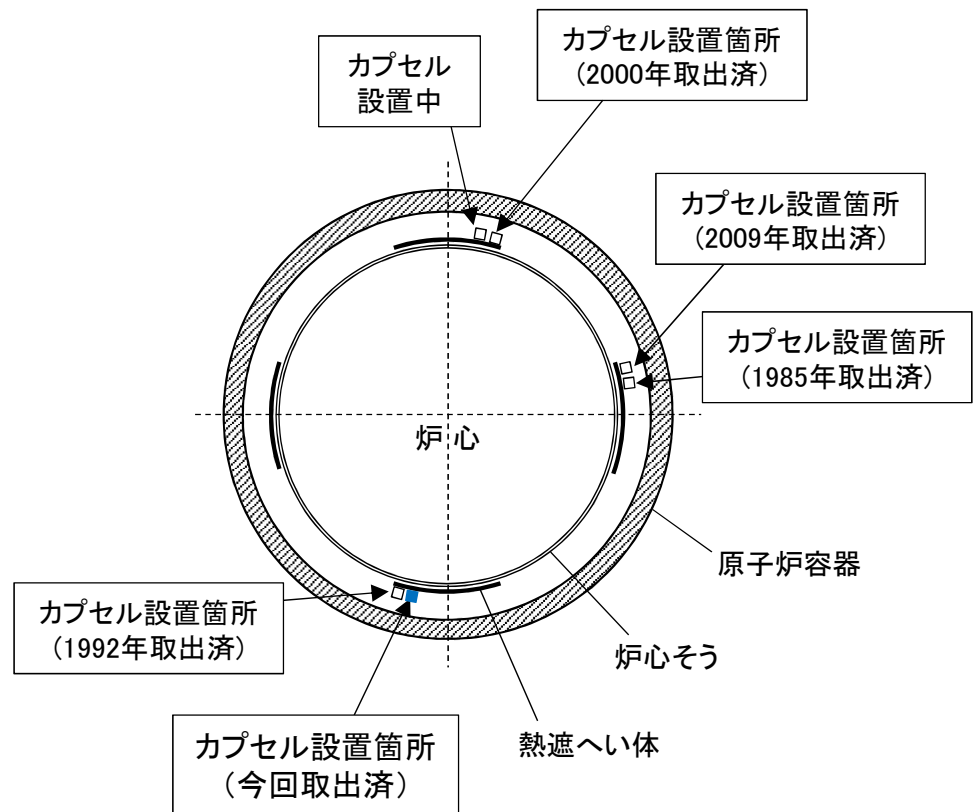
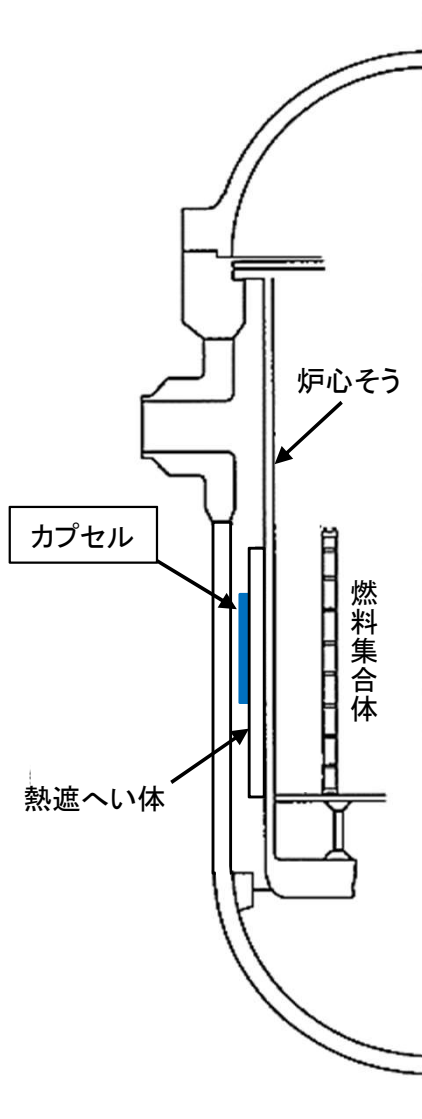
中性子照射による原子炉容器の材料特性変化を定期的に把握するため、原子炉容器内部に設置している照射試験片1個を取り出した。(今回で5回目)

取り出した照射試験片は、試験場所へ運搬し、各種試験を実施する予定である。
(2021年3月運搬予定)

工事概要図

原子炉容器(横から見た図)

原子炉容器(上から見た図)



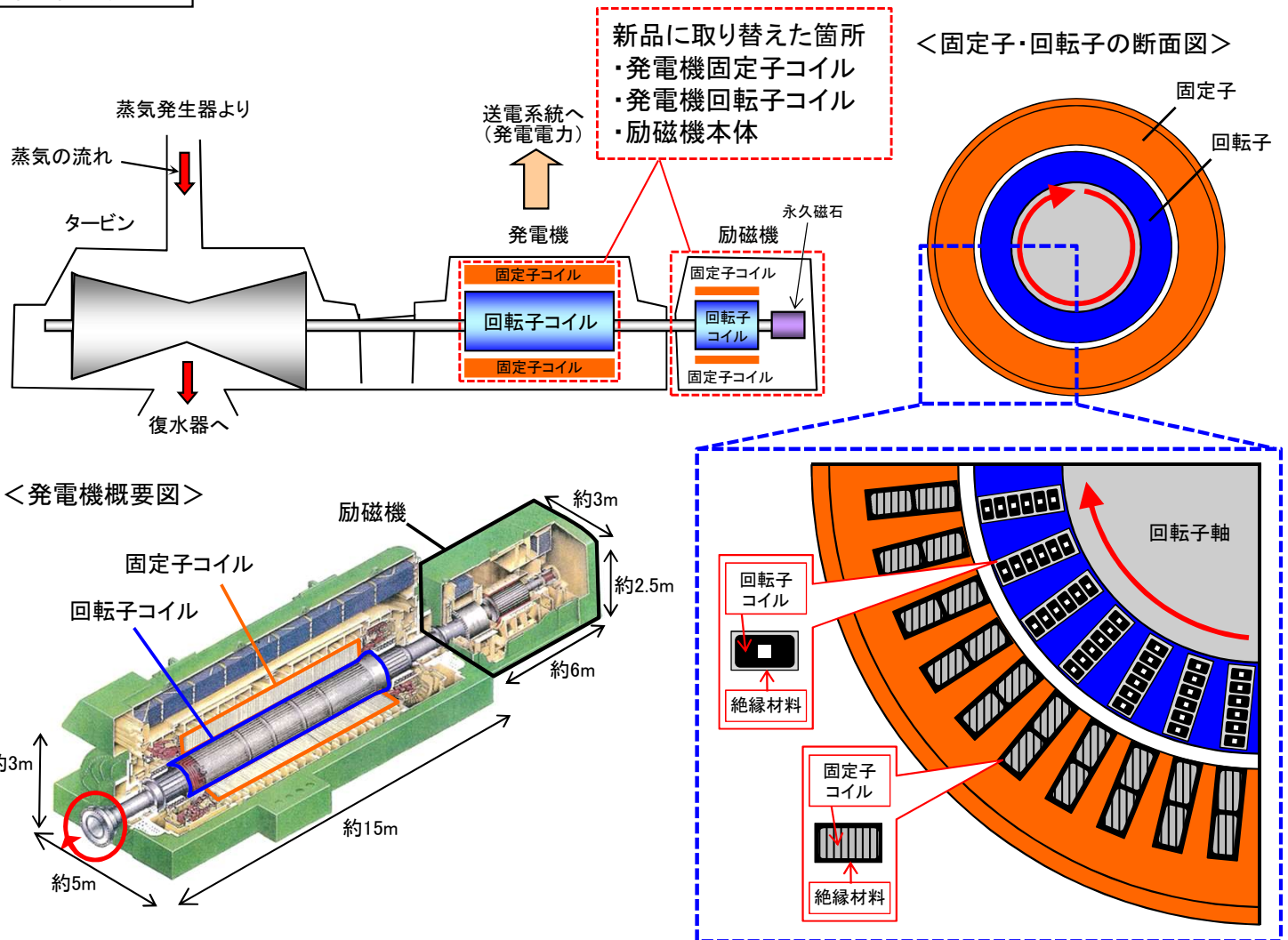
カプセル:照射試験片を収納した箱型の容器
取り出しはカプセルごとに行い、試験場所
において中の試験片を取り出す

図-4 発電機固定子コイル取替および回転子コイル取替工事

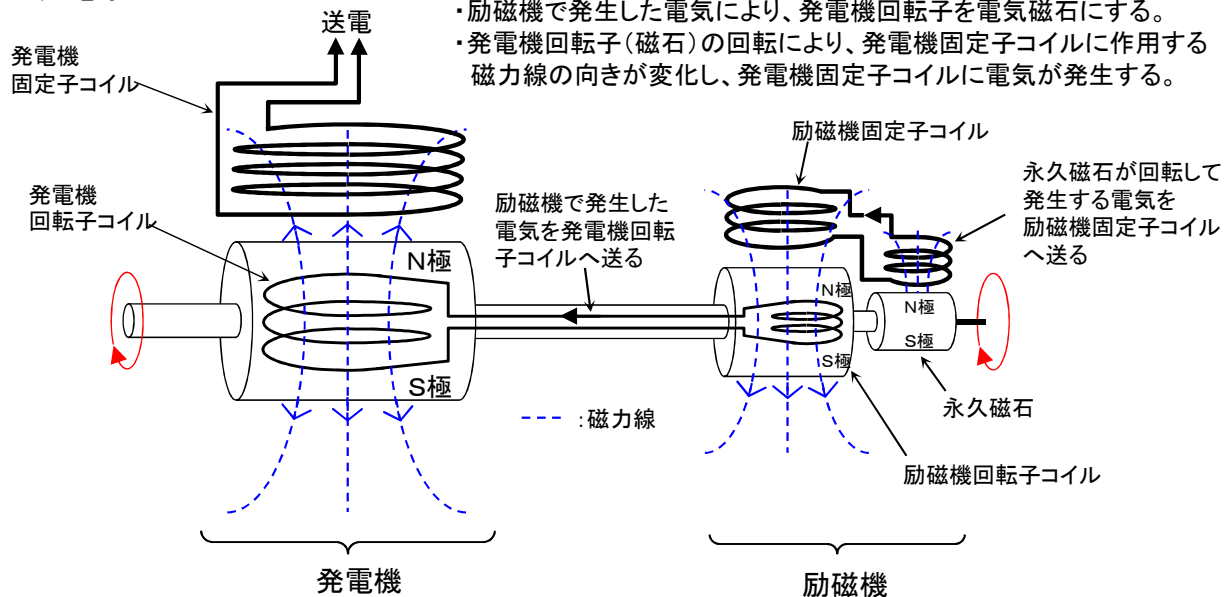
工事概要

発電機および励磁機の回転子コイル・固定子コイルの絶縁材料が経年劣化傾向にあることから、予防保全として、発電機固定子コイル・回転子コイルおよび発電機励磁機を新品に取り替えた。

設備概要図



<発電原理>



図－5 原子炉容器供用期間中検査

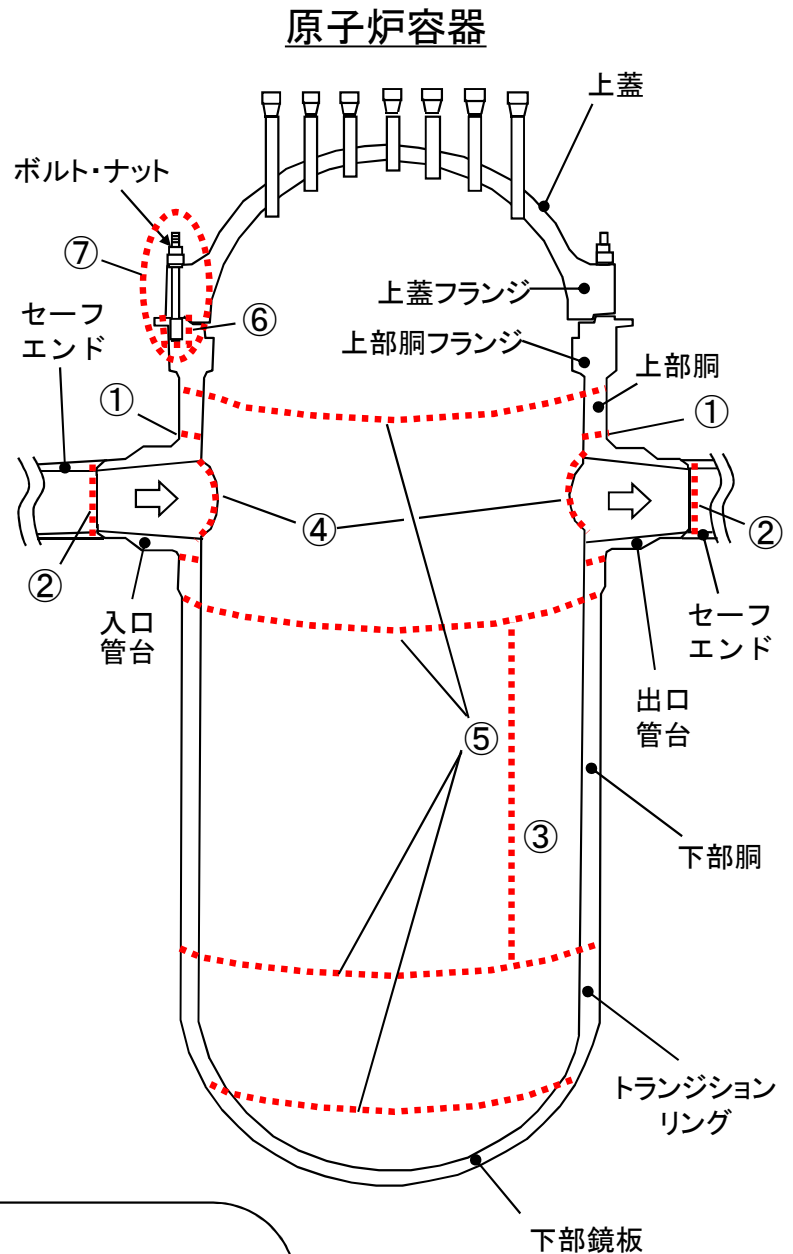
検査概要

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

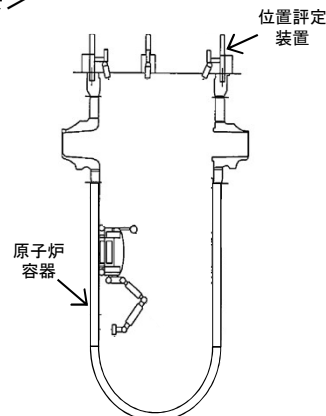
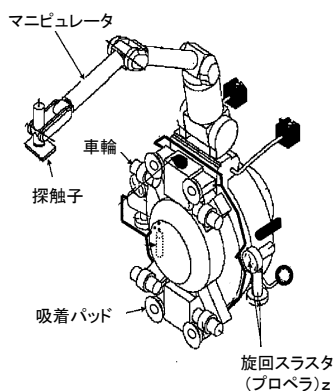
超音波探傷検査の箇所

..... : 検査箇所

- ① 入口管台と胴との溶接部 (A～Cループ)
出口管台と胴との溶接部 (A～Cループ)
全6箇所の溶接部を検査
- ② 入口管台とセーフエンドとの溶接部 (A～Cループ)
出口管台とセーフエンドとの溶接部 (A～Cループ)
全6箇所の溶接部全周を検査
- ③ 下部胴の長手溶接部
全3箇所の溶接部を検査
- ④ 入口管台内面丸み部 (A～Cループ)
出口管台内面丸み部 (A～Cループ)
全6箇所の丸み部を検査
- ⑤ 胴の溶接部
全4箇所の溶接部を検査
- ⑥ 胴フランジ ネジ穴のネジ部
58箇所中20箇所を検査
- ⑦ スタッドボルト
58本中17本を検査



<検査装置の概要>



図－6 2次系配管の点検等

工事概要

今定期検査において、1, 093箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。

○2次系配管肉厚の管理指針に基づく超音波検査(肉厚測定)部位

	「2次系配管肉厚の管理指針」 の点検対象部位	今回点検実施部位
主要点検部位	1, 468	688
その他部位	871	405
合計	2, 339	1, 093

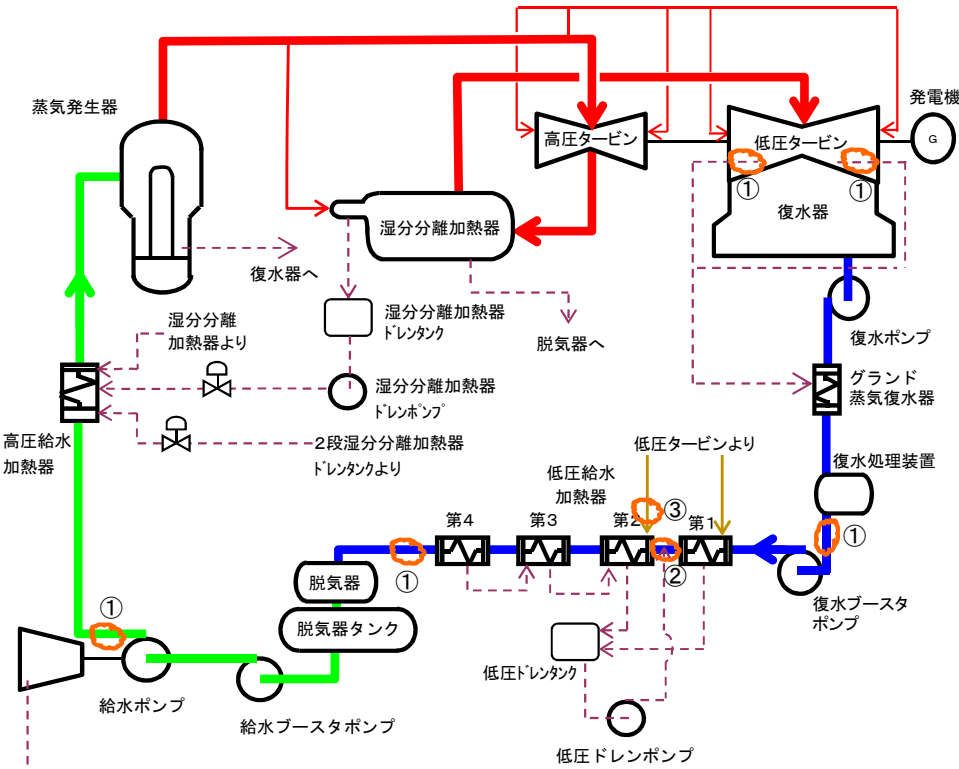
(結果)

必要最小厚さを下回っている箇所、および次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性があるとして評価された箇所はなかった。

取替範囲概略図

過去の点検において減肉傾向が確認された部位41箇所、配管取替え時の作業性を考慮した部位4箇所、今後の保守性を考慮した部位2箇所、合計47箇所を耐食性に優れたステンレス鋼もしくは低合金鋼の配管に取り替えた。

<系統別概要図>



【凡例】

主蒸気系統
給水系統
抽気系統
復水系統
ドレン系統
主な配管取替箇所

【取替理由】

- ① 過去の点検で減肉傾向が確認されているため計画的に取り替えた箇所（41箇所）
- ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年未満の箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 3箇所
 - ・必要最小厚さとなるまでの期間が10年以上の箇所
 - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 18箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 20箇所
- ② 配管取替時の作業性※1を考慮して取り替えた箇所（4箇所）
- 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 4箇所
- ③ 今後の保守性※2を考慮して取り替えた箇所（2箇所）
- 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 2箇所
- [合計 47箇所]

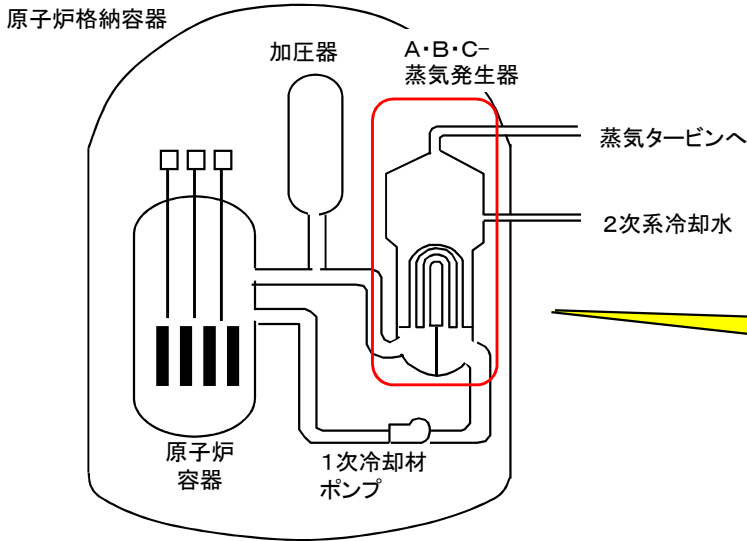
※1: 配管取替時に近隣の配管も一緒に取替えた方が作業をし易いために取替えた

※2: 狭隙部で肉厚測定がしづらい配管を取替えた

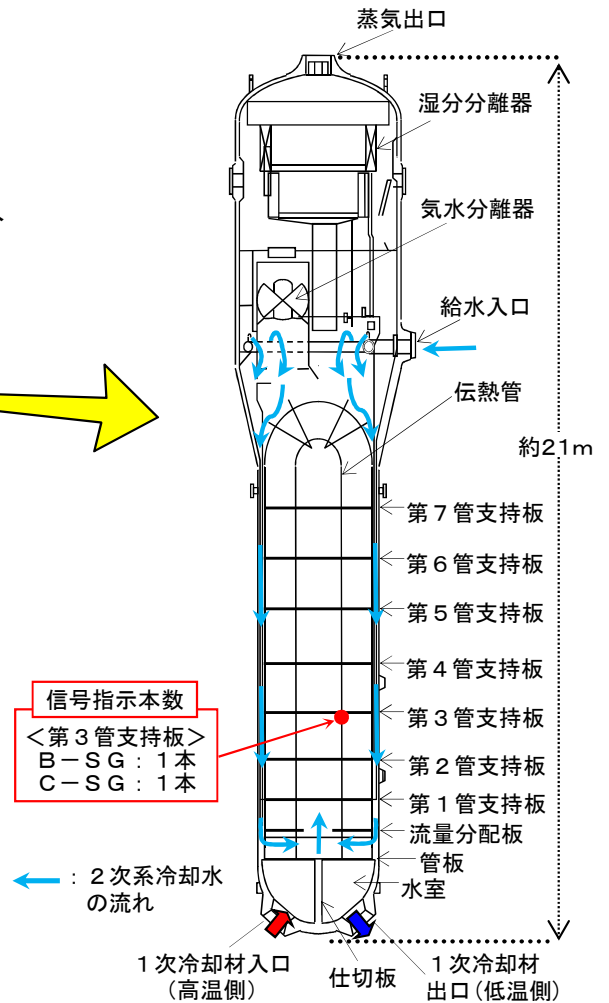
図-7 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

発生箇所

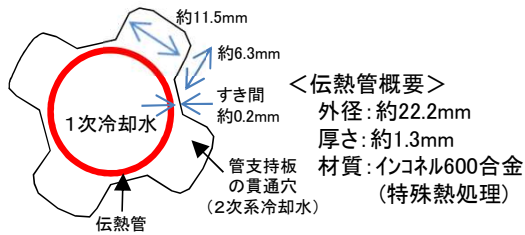
系統概要図



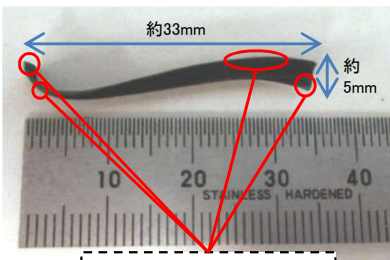
蒸気発生器の概要図



伝熱管の拡大平面図



C-SGで回収した金属片



電子顕微鏡にて確認した結果
すれ痕や摩耗、打痕を確認

縦: 約33mm 横: 約5mm
厚さ: 約0.2mm 重さ: 約0.3g
材質: ステンレス鋼(SUS304相当)

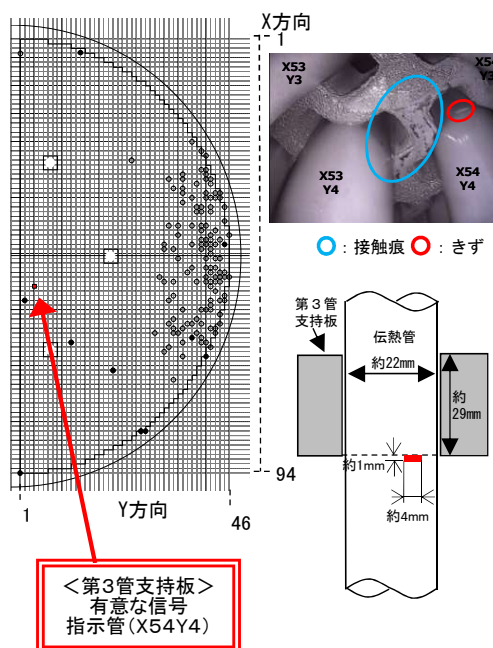
A-SGで回収した金属片



電子顕微鏡にて確認した結果
すれ痕や摩耗を確認

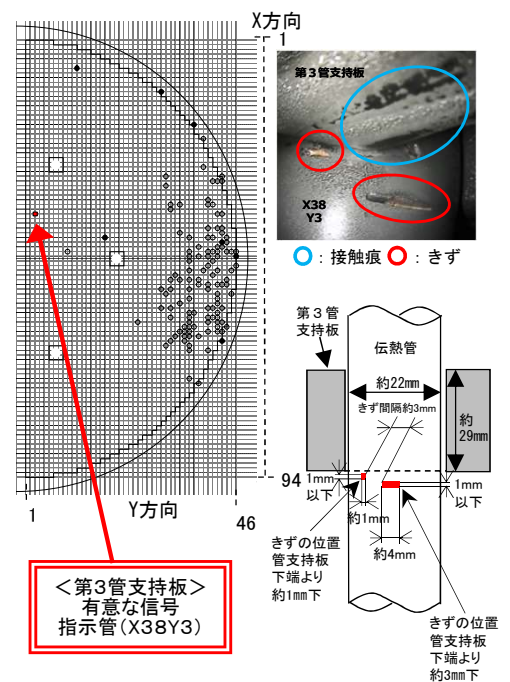
縦: 約24mm 横: 約5mm
厚さ: 約0.2mm 重さ: 約0.2g
材質: ステンレス鋼(SUS304相当)

B-蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



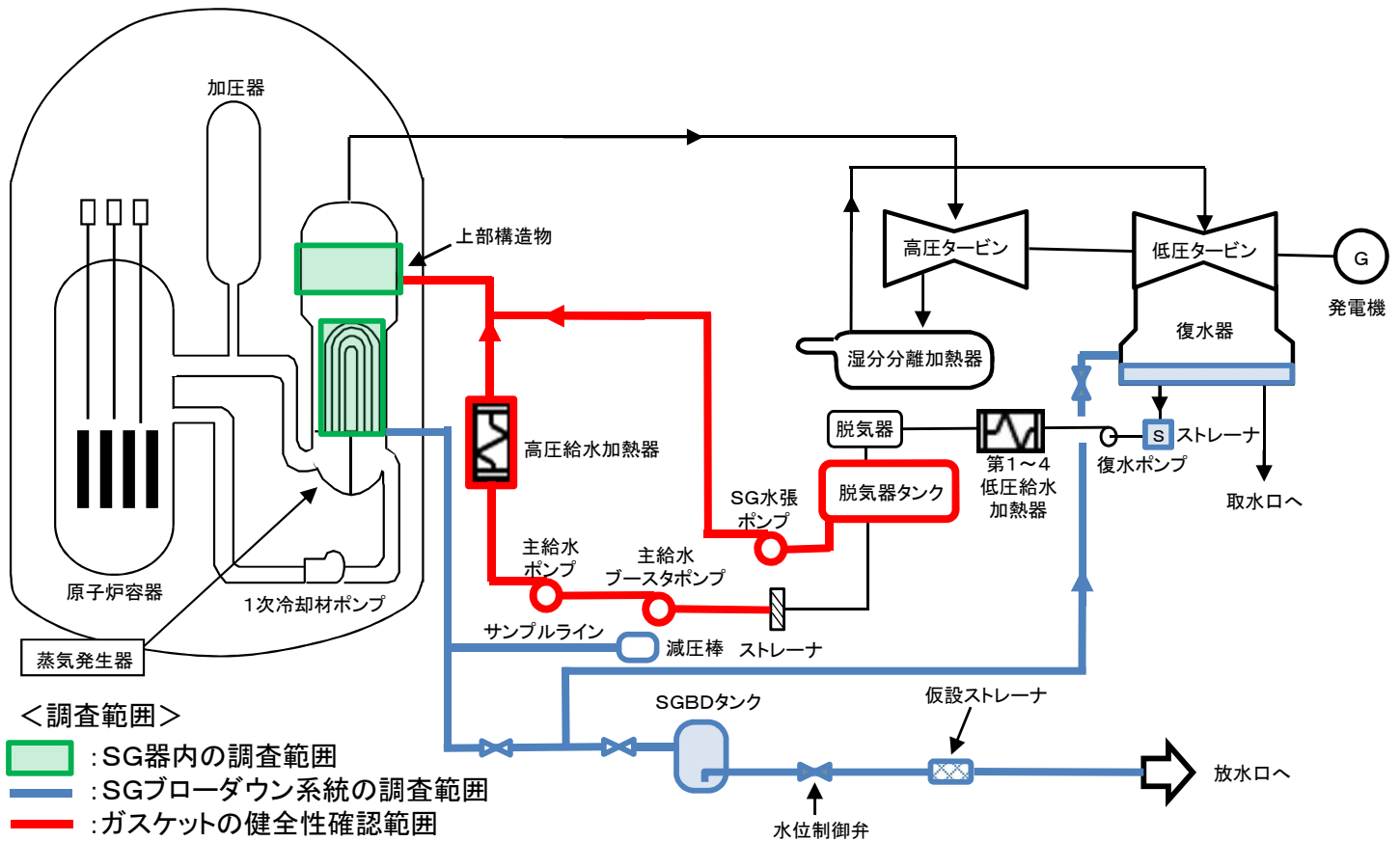
■: 有意な信号指示管 (1本)
●: 既施栓管(拡管部応力腐食割れ) (10本)
○: 既施栓管(拡管部応力腐食割れ以外) (124本)

C-蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



■: 有意な信号指示管 (1本)
●: 既施栓管(拡管部応力腐食割れ) (7本)
○: 既施栓管(拡管部応力腐食割れ以外) (113本)

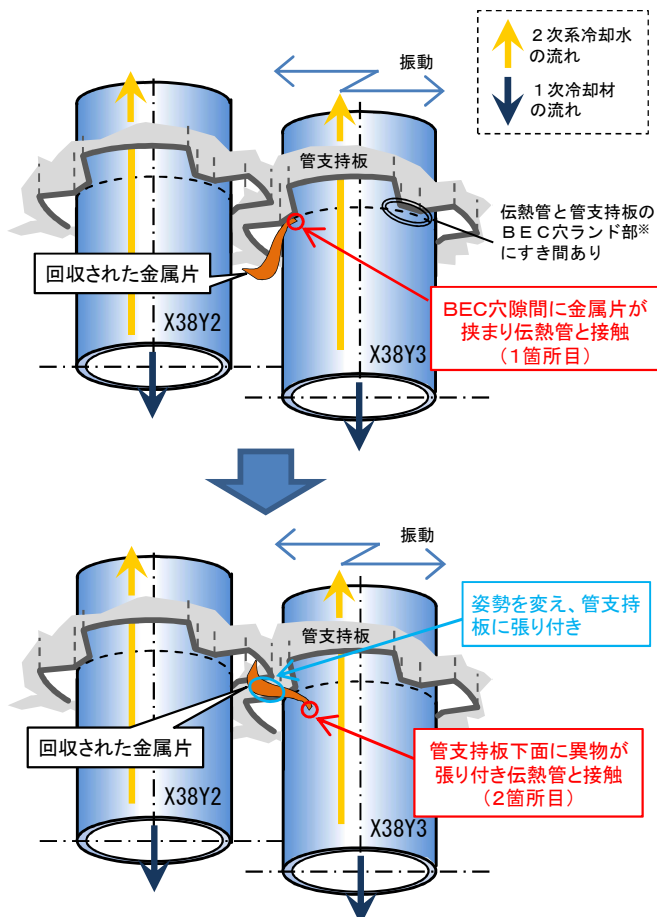
系統図(調査範囲)



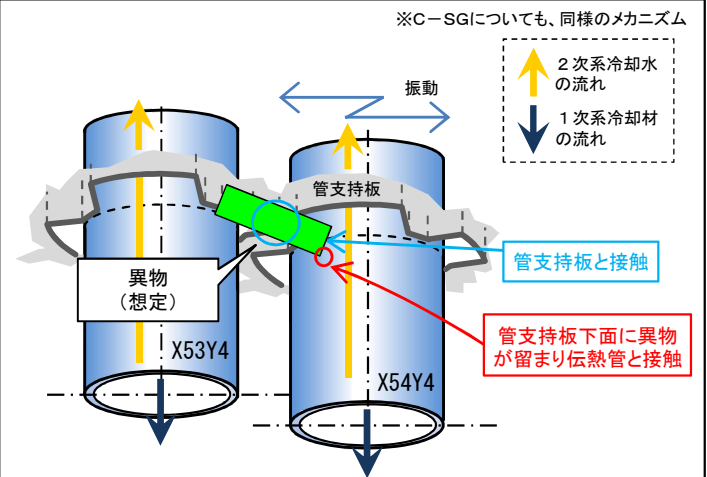
伝熱管損傷の推定メカニズム

工場における再現試験等の結果、管支持板下面に留まった異物に伝熱管が繰り返し接触することで摩耗減肉が発生することを確認した。

C-SGでの減肉メカニズム(回収した金属片)



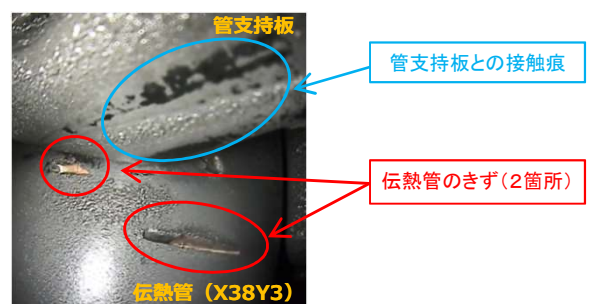
B-SGでの減肉メカニズム(想定される形状の異物)



※BEC穴ランド部

- ・BEC穴: 2次系冷却水の流路 (管支持板の四葉型の貫通穴)
- ・ランド部: 伝熱管の支持部 (四葉型の凸面部)

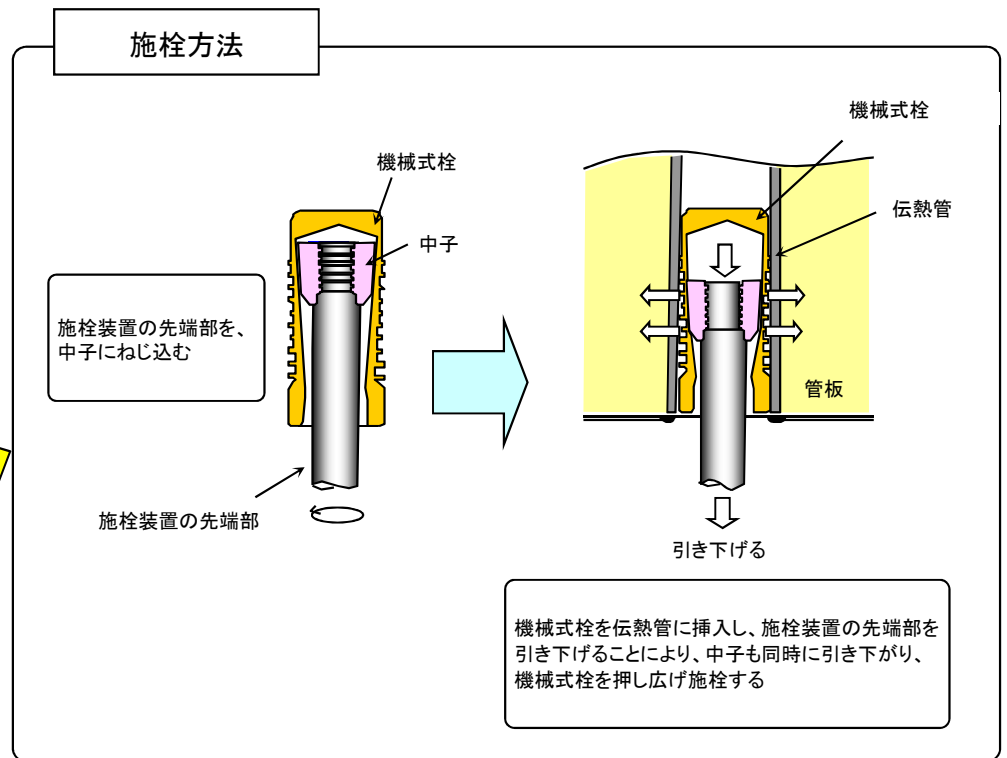
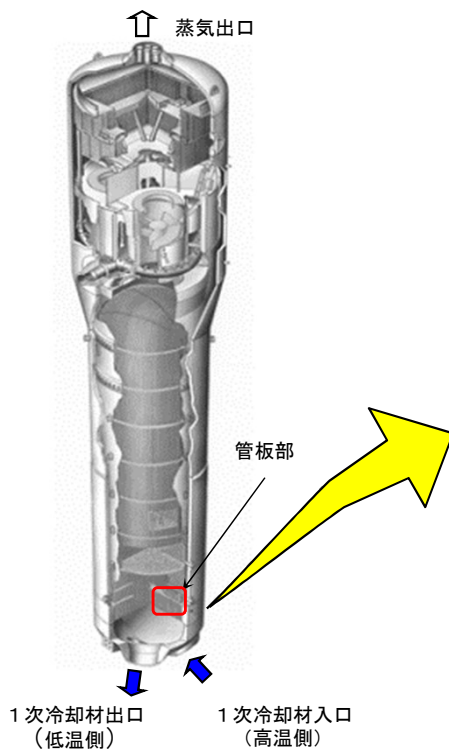
参考: C-SG伝熱管のきず



対 策 ①

◆外面減肉が認められた蒸気発生器伝熱管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、使用しないこととする。

蒸気発生器の概要図



高浜発電所3号機の蒸気発生器伝熱管の施栓状況

	A-蒸気発生器 (3,382本)	B-蒸気発生器 (3,382本)	C-蒸気発生器 (3,382本)	合計 (10,146本)
検査対象本数	3, 272	3, 248	3, 262	9, 782
今回施栓予定	0	1	1	2
累積施栓本数 (応力腐食割れによる施栓本数) [施栓率]	110 (7) [3. 3%]	135 (10) [4. 0%]	121 (7) [3. 6%]	366 (24) [3. 6%]

○蒸気発生器1基あたりの伝熱管本数:3, 382本

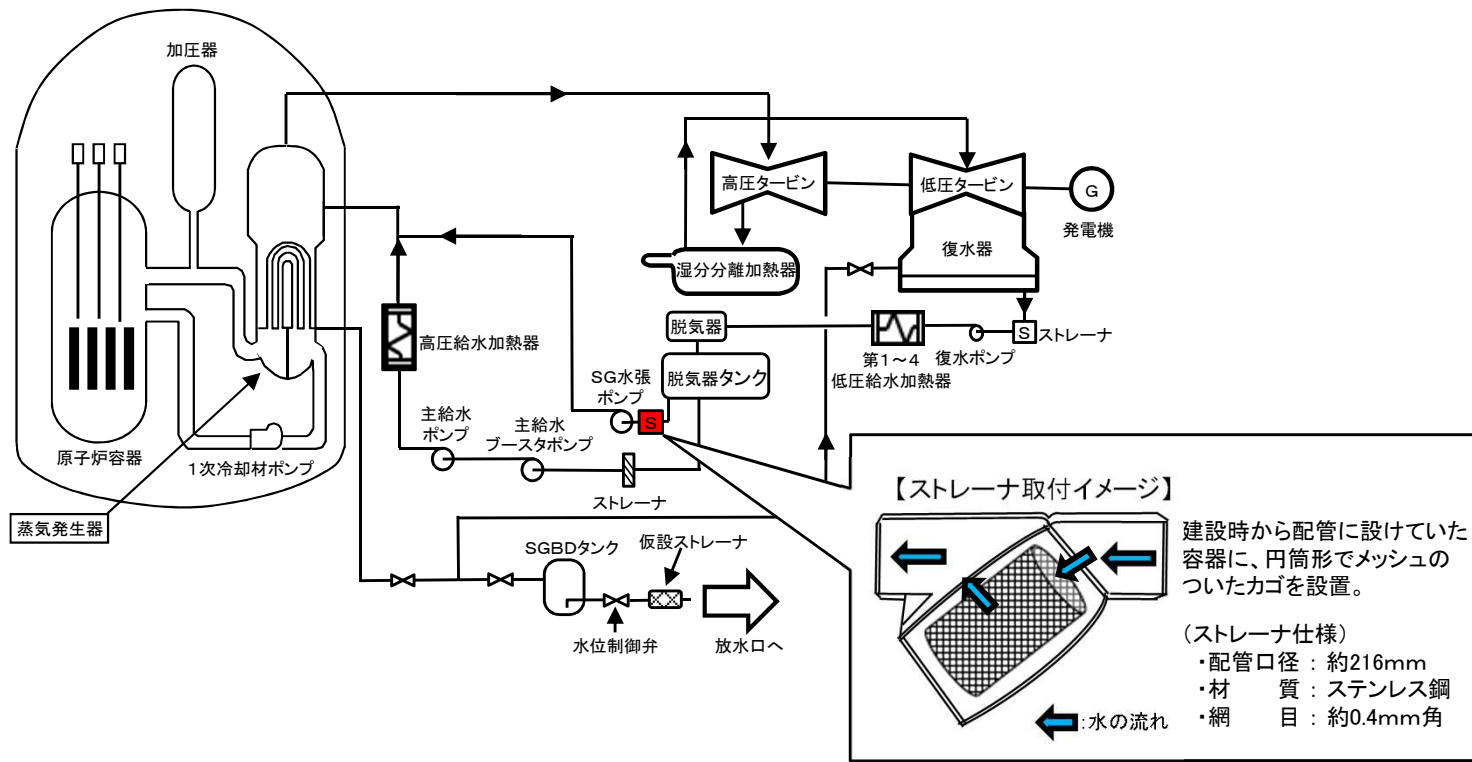
○安全解析施栓率は10%

(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)

対 策 ②

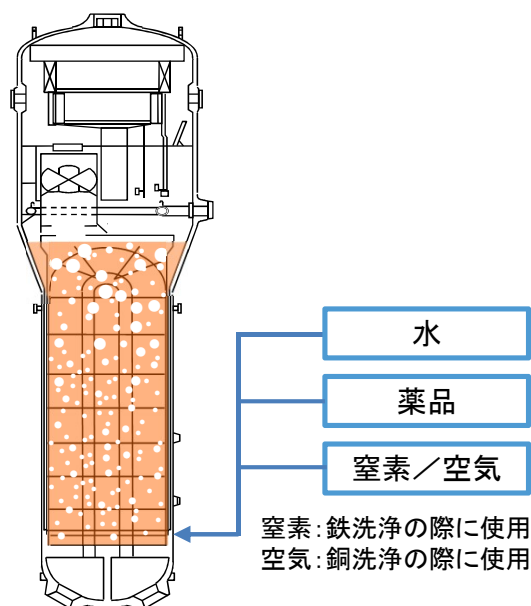
- ◆蒸気発生器への異物混入の可能性のある機器の点検について、次の内容を作業手順書等に記載した。
これらについては、高浜発電所4号機第22回定期検査で反映したものである。
 - ・作業員が機器に立ち入る際には、作業服を着替えるとともに靴カバーを着用する。
 - ・垂直配管に取り付けられている弁の点検後、目視による点検が困難な箇所に対してファイバースコープによる異物確認を行う。また、ウエスを使用する場合は新品とし、新品と再使用品を区別して管理する。

- ◆SG水張系統にストレーナを設置した。



SG器内の薬品洗浄結果

- ◆高浜発電所4号機の対策であるSG器内の薬品洗浄を高浜発電所3号機において先行実施し、洗浄後に回収したスケールが脆弱化していることを確認した。



<薬品洗浄の流れ>

STEP①

SG器内温度を100℃に昇温し、薬品を注入する。



（その後、スケールの洗浄で分離した銅成分の洗浄を実施）

STEP②

SG器内温度を常温に戻し、スケールを系外へ排出（回収）する。

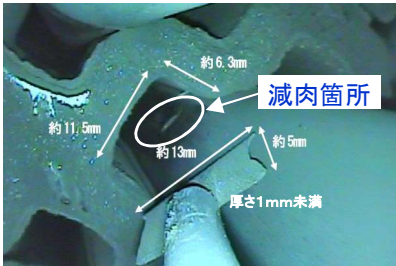
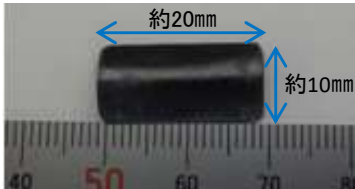
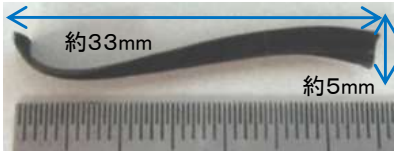
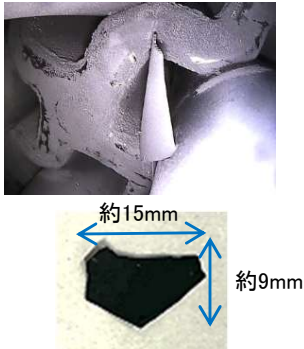


STEP③

水張り・水抜きを数回繰り返して残留した薬品やスケールを洗い流す。

STEP①～③までを約1週間かけて実施する。

図8 これまでのSG伝熱管減肉事象における調査結果

	減肉が確認された 伝熱管本数	調査結果概要		スケールによる 減肉の可能性
高浜3号機 第23回定検 (2018年8月)	A-SG:1本 (減肉率20%未満)	減肉指示のあった 箇所付近にスケール を確認。 スケールの回収を 試みたものの、破 損したため、スケール 以外の異物による 減肉と推定		否定できない
高浜4号機 第22回定検 (2019年10月)	A-SG:1本 B-SG:1本 C-SG:3本	きず近傍にスケールは確認されず。 1つの異物(ステン レス薄片)が確認され たものの、摩耗 痕が確認されな かったため、異物 は流出したものと 推定※		否定できない
高浜3号機 第24回定検 (2020年2月)	B-SG:1本 C-SG:1本	きず近傍にスケールは確認されず。 2つの異物(ガス ケットフープ材)が 確認され、そのうち の1つが1本のきず の原因の可能性が あり、その他の異 物は流出したものと 推定※		否定できない
高浜4号機 第23回定検 (2020年11月)	A-SG:1本 C-SG:3本	有意な信号指示が あった1本の伝熱 管の減肉箇所にスケールが確認され、 スケールによる減 肉と推定。 その他2本の伝熱 管についても、近傍 の管支持板上で摩 耗痕のあるスケールを回収		可能性が高い

※ 摩耗試験の結果、スケールが伝熱管を有意に減肉させる可能性は低いと推定