

令和 2 年 9 月 7 日
原子力安全対策課
(0 2 - 1 3)
< 15 時 記者発表 >

高浜発電所 3 号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管の損傷に関する原子炉施設故障等報告書の提出)

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、3 台ある蒸気発生器（SG）の伝熱管全数^{※1}の渦流探傷検査（ECT）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^{※2}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。

その後、有意な信号指示があった伝熱管の外観を小型カメラで調査した結果、B-SG 伝熱管に幅約 4 mm、C-SG 伝熱管に幅約 1 mm と約 4 mm の周方向のきずがあることを確認した。いずれもきずの形状から摩耗減肉の可能性が高いことを確認するとともに、当該伝熱管周辺の管支持板等に接触痕が認められた。

このため、異物が接触した可能性が考えられることから、小型カメラを用いて SG 器内を調査した結果、C-SG および A-SG の流量分配板^{※3}上で異物（金属片）を確認した。また、SG ブローダウン系統について調査した結果、異物は確認されなかった。

C-SG および A-SG 器内で確認された金属片は、配管等に使用されているうず巻ガスケット（幅 4.5 mm 程度）の一部である可能性があるため、2 次系給水系統の配管や機器について、類似のガスケットを使用している箇所を抽出し、開放点検等を行ったが、異常はなかった。また、C-SG で回収した金属片が伝熱管を損傷させた可能性の調査として、運転中の SG 器内の流況を模擬した試験装置を用いて、金属片と形状等が同じ試験片を管支持板下部に配置したところ、水の流れにより試験片が管支持板下面に保持され伝熱管に接触することを確認した。

※1 既施栓管を除き A-SG で 3,272 本、B-SG で 3,248 本、C-SG で 3,262 本、合計 9,782 本

※2 伝熱管を支持する部品

※3 管板と第 1 管支持板の間に設置しているドーナツ形状の平板

（令和 2 年 2 月 18 日、2 月 28 日、4 月 17 日、7 月 17 日 記者発表）

関西電力は、これまでの調査結果や原因と対策をとりまとめ、本日、原子力規制委員会に対して、原子炉施設故障等報告書を提出した。これらの内容については次のとおりである。

1. 原因調査

有意な信号指示があった伝熱管（計2本）は、小型カメラによる調査の結果、いずれもきずの形状から摩耗減肉の可能性が高いことを確認した。このため、伝熱管外面に減肉が認められた原因として、異物が接触した可能性が考えられることから、SG器内外および減肉メカニズム等について調査を行った。

（1）SG器内（2次側）の調査

A～C—SG器内の管板、流量分配板、第1～第7管支持板の上面および上部構造物について、小型カメラを用いて点検した結果、C—SGおよびA—SGの流量分配板上で異物（金属片）を確認した。一方、B—SGについて、異物は確認されなかった。

また、A～C—SGについて、器内に水を張り、底部から窒素を噴射させた後、排水する操作を行い、排水内の異物確認を行うとともに、管板部を小型カメラで確認した結果、スラッジ^{※4}以外の異物は確認されなかった。

※4 2次系配管に含まれる鉄の微粒子が、給水系統によってSG内に流れ集まって生成されるもの。スラッジによる伝熱管摩耗試験を実施した結果、伝熱管に軽微なきずは付くものの、スラッジはもろく、伝熱管との接触部が摩滅することから、伝熱管を摩耗減肉させる可能性は低いことを確認

（2）SG器外の調査

SGブローダウン系統（系外排出ライン、復水器回収ライン、サンプルライン）について、タンク、弁等の機器、配管直管部内を小型カメラ等で点検した結果、異物は確認されなかった。また、SG器内の2次系冷却水の排出にあたり、系外排出ラインに仮設ストレーナを設置して排水内の異物確認を行った結果、スラッジ以外の異物は確認されなかった。

このため、他の可能性について調査した結果、定期検査開始後の数日間は復水器回収ラインの通水を行っており、この系統から異物が流出する可能性が否定できないことがわかった。

（3）回収した金属片に関する調査

C—SGおよびA—SGで確認された金属片を回収し、工場において分析した結果、金属片^{※5}はステンレス鋼（SUS304相当）であり、配管等に使用されているうず巻ガスケット^{※6}（幅4.5mm程度）の一部である可能性があるとして推定した。

※5 C—SGで回収した金属片は、縦約33mm、横約5mm、厚さ約0.2mm、重さ約0.3g、A—SGで回収した金属片は、縦約24mm、横約5mm、厚さ約0.2mm、重さ約0.2gの線形状

※6 配管の継手部や容器のマンホール部、弁やポンプのボンネット部に使われているシール材

・2次系主給水系統等のガスケットの調査

回収した金属片は、配管等に使用されているうず巻ガスケットの一部の可能性があるので、2次系主給水系統等の配管や機器について、類似のガスケットを使用している箇所（20箇所）を抽出し、今回の定期検査で点検した2箇所以外

の 18 箇所開放点検を実施するとともに、全ての箇所の過去の点検記録等を確認した結果、ガスケットが損傷し系統内に流出した実績はなかった。

・ C-SGで回収した金属片の調査

電子顕微鏡による観察の結果、複数箇所筋状の擦れ痕や摩耗、打痕があることおよび一部の板厚の減少が確認された。また、運転中のSG器内（2次側）の流況を模擬した試験装置を用いて、金属片と形状、重さが同じ試験片を管支持板下部に配置したところ、水の流れにより試験片が管支持板下面に保持され伝熱管に接触することを確認した。これらのことから、当該金属片が伝熱管にきずをつけた可能性があることを確認した。

・ A-SGで回収した金属片の調査

A-SGについては、今回の定期検査で摩耗減肉は確認されていないものの、前回（第23回）の定期検査で伝熱管1本に摩耗減肉が確認された。このため、今回回収した金属片がその原因であった可能性について検討した。その結果、摩耗減肉の位置、金属片のサイズおよび管支持板の接触痕の状況から、その可能性は低いことを確認した。

（4）減肉のメカニズム

・ 管支持板下面での減肉メカニズム

B、C-SGについて摩耗減肉が確認され、C-SGで金属片を回収できたことから、工場でその金属片と形状、重さが同じ試験片を用いて再現試験を実施した。その結果、SG器内の水、蒸気の流れにより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により、摩耗減肉が発生することを確認した。

・ 想定される異物の形状

B-SGでは異物が確認されていないことから、きずの形状や接触痕の位置をもとに、異物の形状を推定した結果、長さ15～25mm、幅4～7mm、厚さ1mm以下となった。

（5）異物の混入経路

異物の形状等から、2次系主給水系統もしくはSG水張系統からSGに異物が流入した可能性があるとして推定した。このため、これらの系統への異物混入の可能性を調査した結果、定期検査時に弁やストレーナ、タンクの分解点検の際に機器を開放することで作業員の持ち物（ウエス等）に付着していた異物（ガスケット片等）が系統内に混入する可能性があることを確認した。

（6）異物の混入時期

前回（第23回）の定期検査において、2次系主給水系統は、機器の開放点検後

にファイバースコープによる異物確認を行っていたが、SG水張系統については、当時想定されていた異物の形状（長さ約11.5mm、幅約2.5mm、厚さ約0.65mm）から、脱気器タンクからSG水張ポンプまでの範囲を調査範囲外としていた。

このため、異物（C、A-SGで回収した金属片を含む）は、前回（第23回）の定期検査以前に系統内に混入したものと推定した。

2. 推定原因

伝熱管の外面減肉が認められた原因は、管支持板下面に異物が留まり、伝熱管と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。

また、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。

3. 対策

（1）伝熱管の施栓

当該伝熱管2本について、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。

（2）SGへの異物混入防止対策

SGへの異物混入の可能性のある機器の点検について、前回定期検査での対策に加え、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。

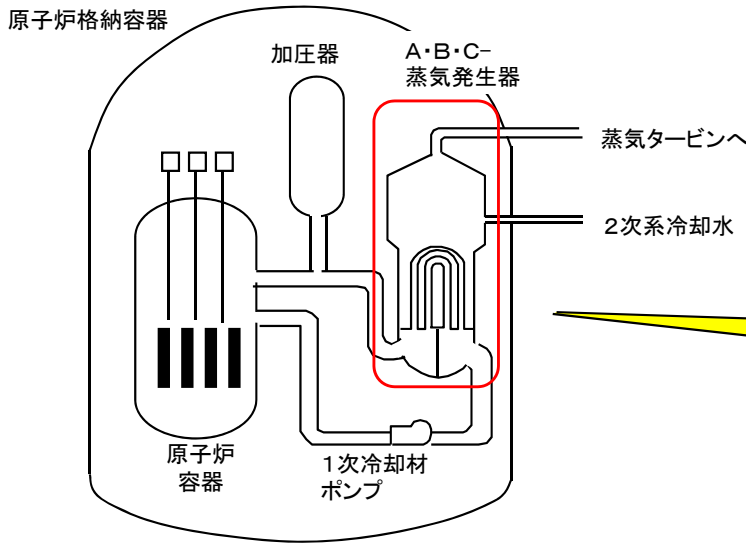
また、これらに加え、SG水張系統にストレーナを設置する。

| |
|---|
| 問い合わせ先 原子力安全対策課（鷺田） 内線 2353・直通 0776(20)0314 |
|---|

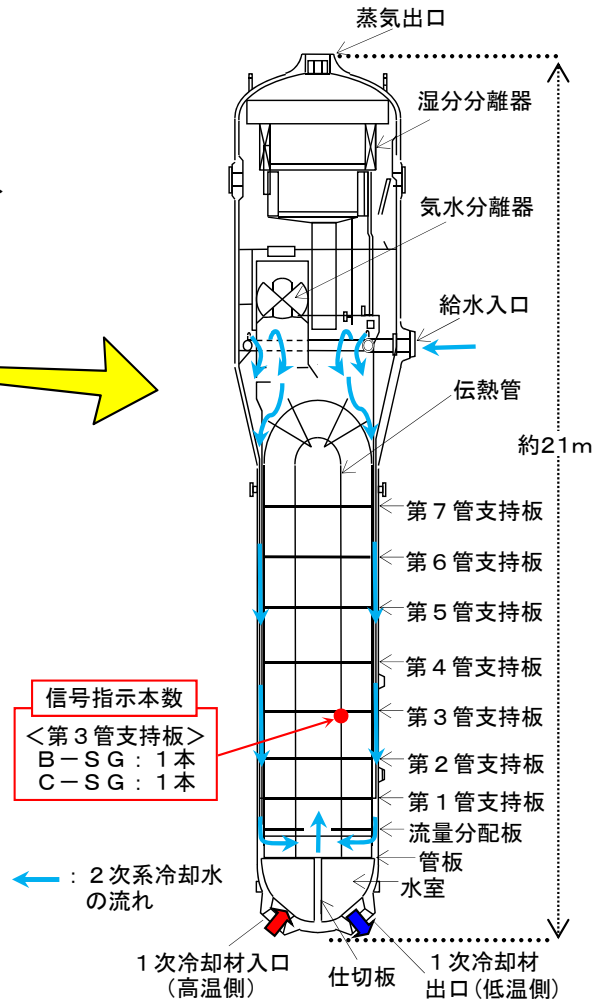
高浜発電所3号機の定期検査状況について

発生箇所

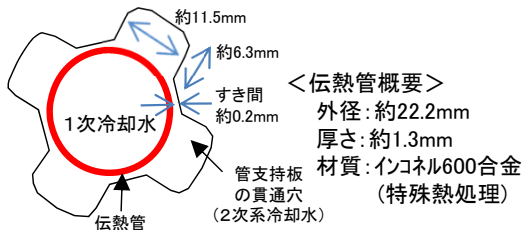
系統概要図



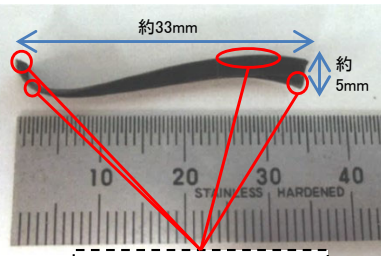
蒸気発生器の概要図



伝熱管の拡大平面図



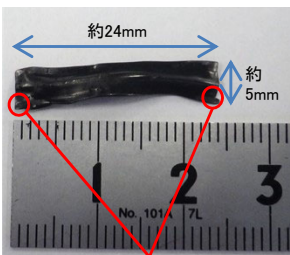
C-SGで回収した金属片



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)

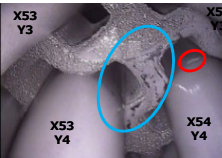
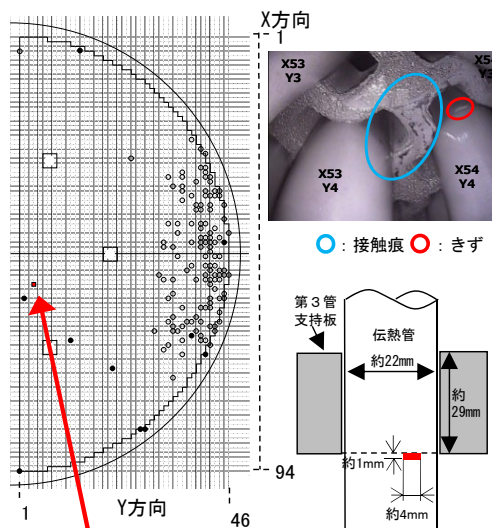
A-SGで回収した金属片



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

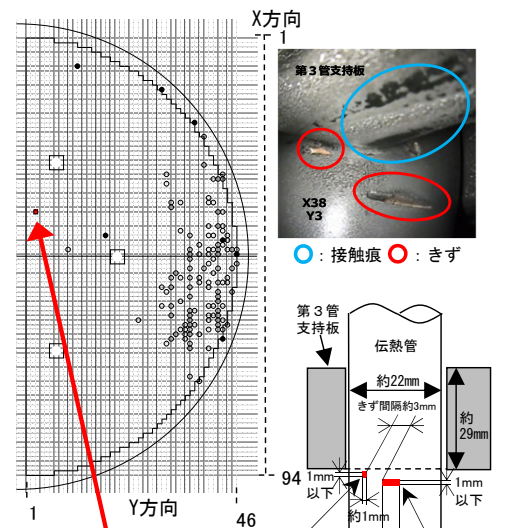


●：接触痕 ○：きず

<第3管支持板>
有意な信号
指示管(X54Y4)

- ：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

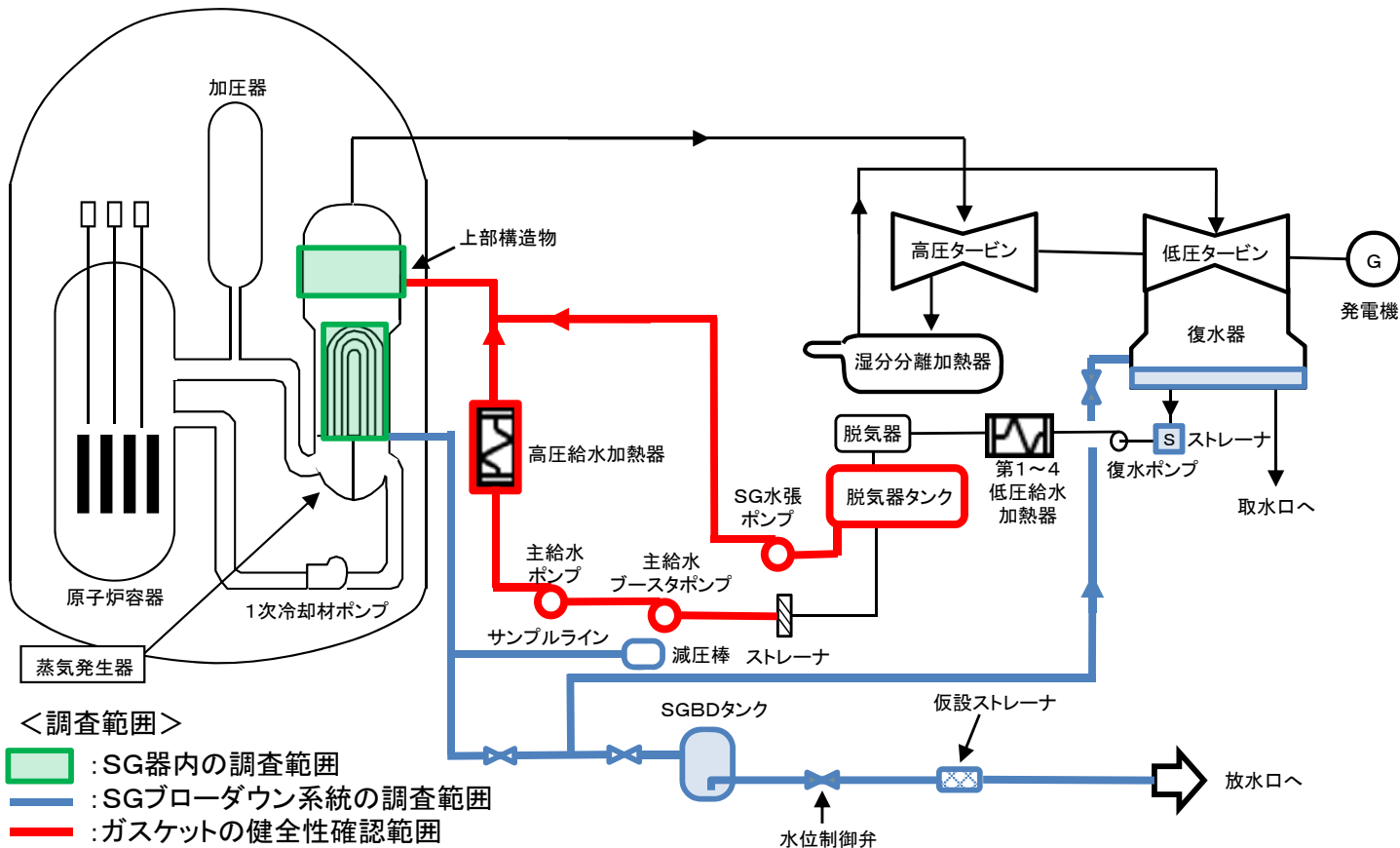


●：接触痕 ○：きず

<第3管支持板>
有意な信号
指示管(X38Y3)

- ：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)

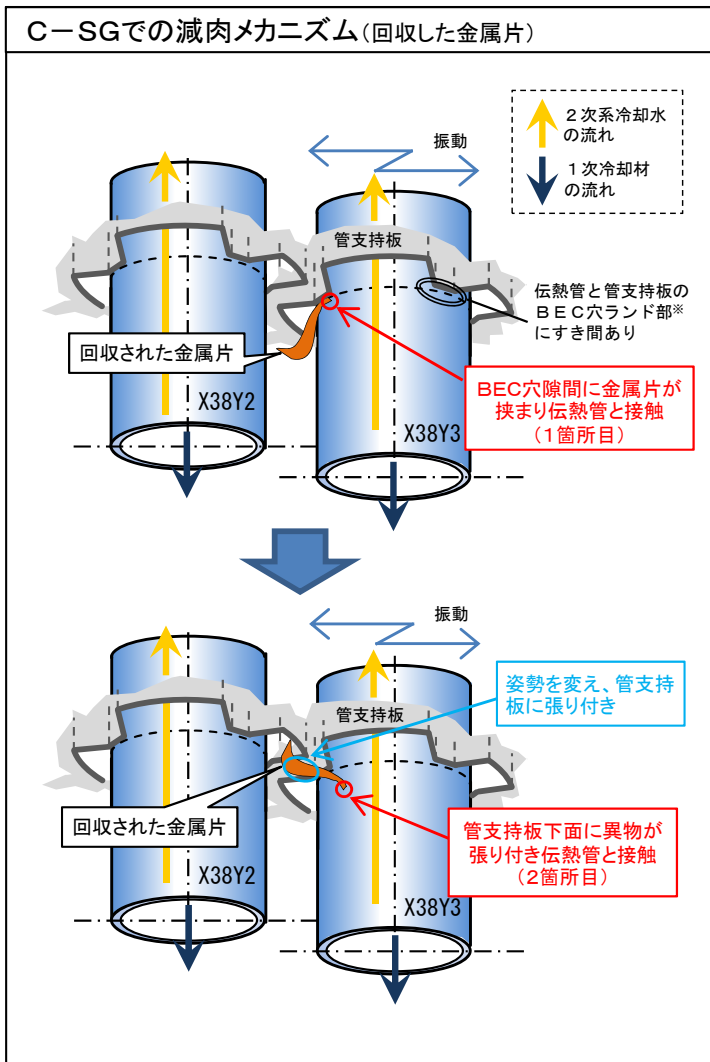
系統図(調査範囲)



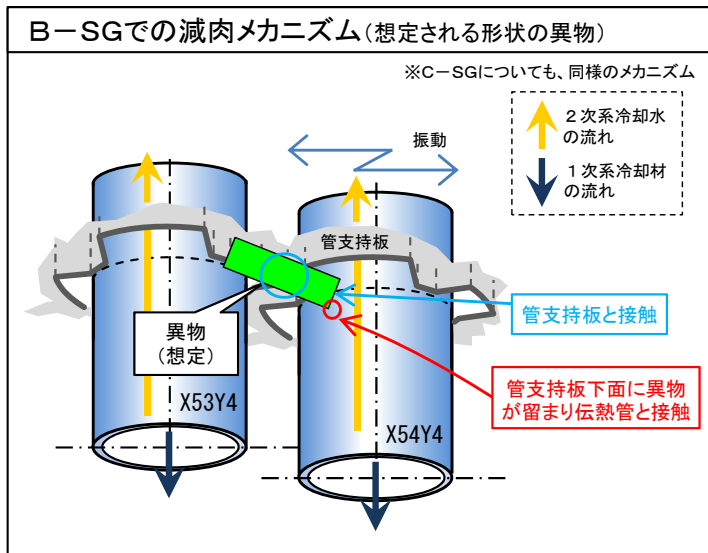
伝熱管損傷の推定メカニズム

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)



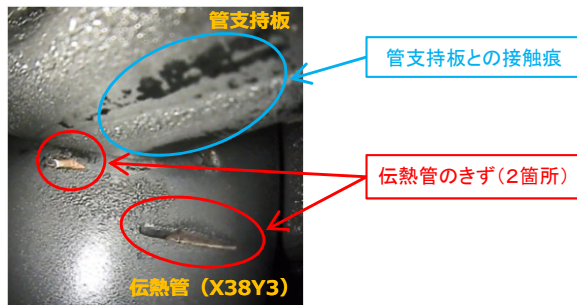
B-SGでの減肉メカニズム(想定される形状の異物)



※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)

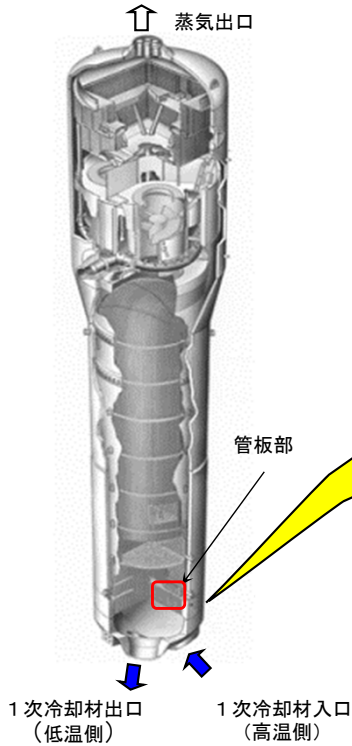
参考: C-SG伝熱管のきず



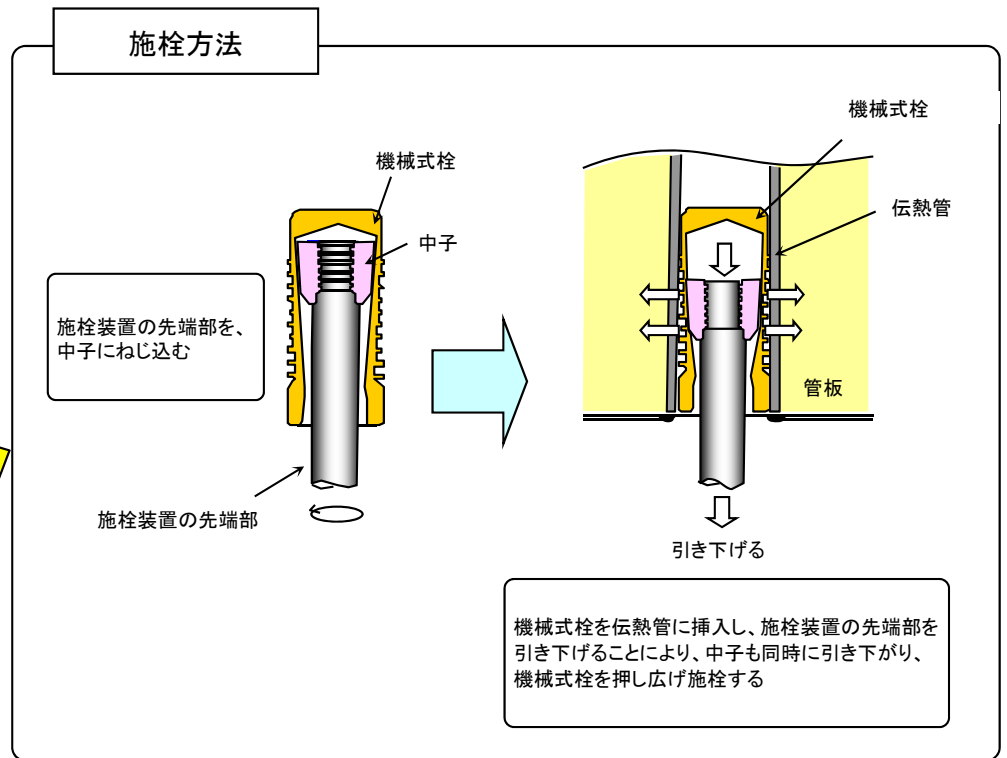
対 策

- ◆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

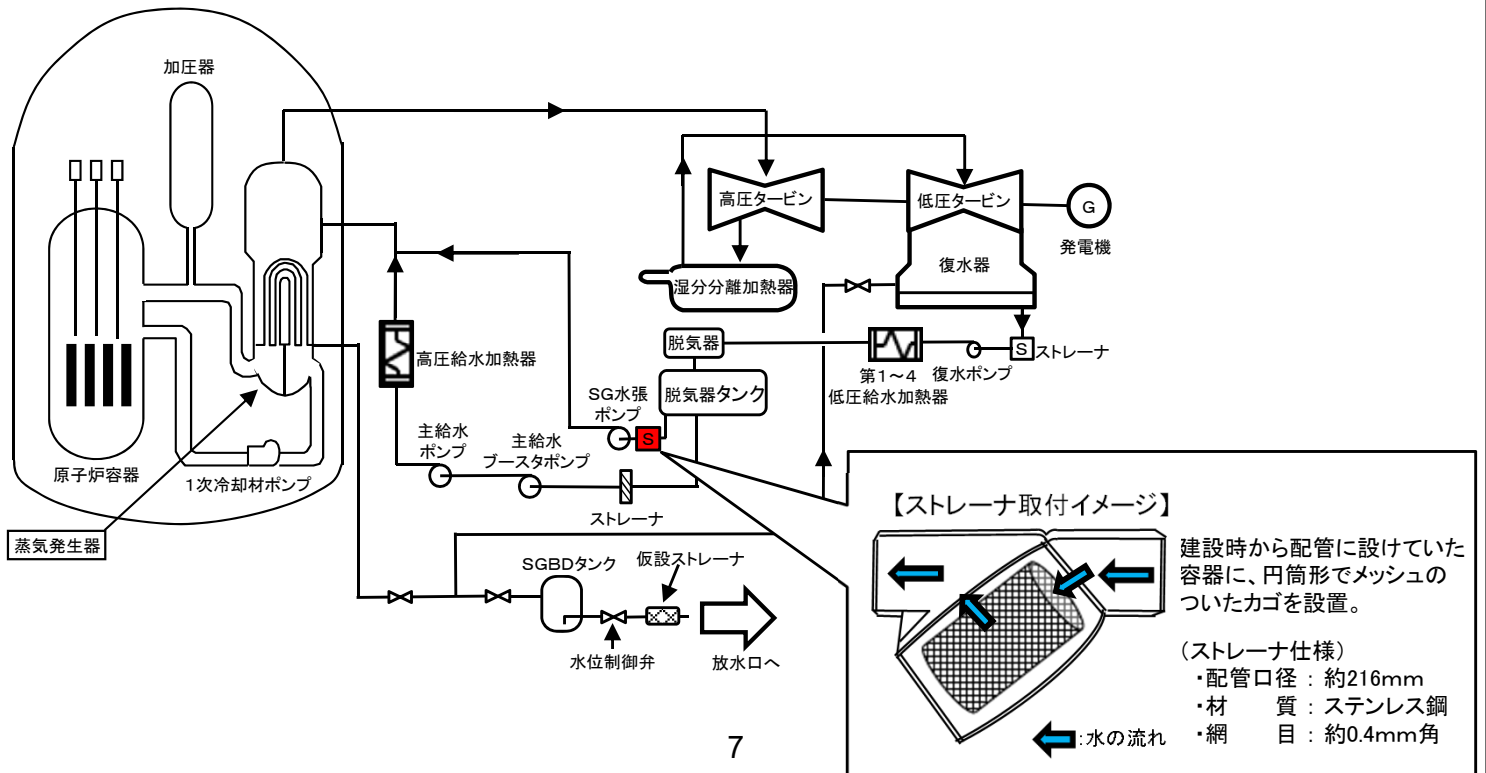


施栓方法



- ◆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する。



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)