

## 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損傷に関する調査状況)

2022年7月22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、2022年6月8日から実施している第24回定期検査において、3台（A、B、C）ある蒸気発生器（SG）の伝熱管全数※<sup>1</sup>について渦流探傷検査（ECT）※<sup>2</sup>を実施しました。

その結果、A-SGの伝熱管4本、B-SGの伝熱管1本およびC-SGの伝熱管5本について、管支持板※<sup>3</sup>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※<sup>4</sup>が認められました。

これらのほか、A-SGの伝熱管1本およびB-SGの伝熱管1本について、管支持板部付近に外面（2次側）からの微小な減肉とみられる信号指示（判定基準未満）が認められました。

今後、これら12本の伝熱管の外観等を確認するため、小型カメラによる調査等を実施します。

なお、本件による環境への放射能の影響はありません。

- ※1 過去に有意な信号指示が認められ、施栓した管等を除きA-SGで3,243本、B-SGで3,247本、C-SGで3,253本、合計9,743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、対象物のきず等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きず等を検出する検査であり、伝熱管の内面（1次側）から、伝熱管の内面（1次側）と外面（2次側）の両方を検査している。
- ※3 伝熱管を支持する部品。
- ※4 割れを示す信号や20%以上の減肉を示す信号の指示。

（2022年7月8日お知らせ済み）

### 1. これまでの経緯

高浜発電所4号機では、前回および前々回の定期検査において、SGの伝熱管に外面からの減肉信号指示が認められています。

また、高浜発電所3号機でも同様の事象が発生しており、2022年3月から実施している第25回定期検査においても、3本の伝熱管に外面からの減肉信号が認められています。

これら高浜発電所3、4号機での事象の原因は、これまでの運転に伴い、伝熱管表面に生成された稠密なスケール※<sup>5</sup>が前回定期検査時の薬品洗浄の後もSG器内に残存し、プラント運転中に管支持板下面に留まり、そのスケール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可能性が高いと推定しました。

これまでの事象を踏まえ、高浜発電所3号機第25回定期検査においては、SG器内のスケールおよびスラッジ※<sup>6</sup>を可能な限り除去するため、小型高圧洗浄装置を用いて管支持板の洗浄を実施した上で、薬品洗浄を実施しました。また、きずが認められた伝熱管については、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した。

※5 2次冷却水に含まれる鉄の微粒子が、給水系統によってSG内に流れ集まって伝熱管に付着したもの。

※6 スケールが砕けて小さくなったもの。

## 2. SG器内の調査

現在、小型カメラによるSG器内のスケールおよびスラッジの残存状況等の調査を進めるとともに、SG器内からスケールを回収し、それらの形状や性状等の調査を行っています。現時点の調査状況は以下のとおりです。

### （1）信号指示が認められた箇所の外観調査

小型カメラを用いて、有意な減肉信号指示が認められた伝熱管10本および微小な減肉信号指示が認められた伝熱管2本（合計12本）の外観を観察した結果、信号指示箇所の伝熱管の周方向に摩耗減肉とみられるきずを確認しました。

きずについては、幅1mm以下から約1mm、周方向に約2mmから約7mmの大きさであることを確認しました。

なお、きずの周辺にはスケール等の付着物は認められなかったものの、当該伝熱管周辺の管支持板下面に接触痕を確認しました。

### （2）SG器内のスケールおよびスラッジの残存状況等の調査

小型カメラを用いて、A-SGの第2管支持板、B-SGの第1管支持板およびC-SGの第2管支持板の上面等の調査を行った結果、スケールおよびスラッジが残存していることを確認しました。なお、現時点でSG器内に異物は確認されませんでした。

### （3）SG器内から回収したスケールの性状調査

A-SGの管板および第2管支持板、B、C-SGの管板、第1管支持板および第2管支持板からスケールを約150個取り出し、3個について化学成分分析を実施した結果、主成分はマグネタイトであり、SG器内で発生するスラッジと同成分であることを確認しました。

また、スケール20個を対象に断面観察を行った結果、稠密層（密度の高い酸化鉄の層）が主体のスケールを5個確認しました。

そのうち、比較的大きなスケール10個を対象に摩耗試験を行い、伝熱管とスケールの摩耗体積比を調査した結果、伝熱管の減肉量がスケール摩滅量と同等のスケールを1個確認しました。

#### （４）前回の定期検査における薬品洗浄の実施結果

前回定期検査における薬品洗浄時の条件を確認した結果、温度管理や薬品濃度管理が計画どおり実施されていたことを確認し、薬品洗浄によって、ＳＧ１基あたり約６８０kgの鉄分を除去できていたことを確認しました。

また、前回定期検査後の運転実績を確認した結果、主蒸気圧力が向上したことを確認しました。これは、薬品洗浄の効果により伝熱管に付着したスケールが減少し、熱伝達率が改善したものと考えられます。

### ３．今後の予定

引き続き、小型カメラによるＳＧ器内のスケールおよびスラッジの残存状況等の調査を進めるとともに、ＳＧ器内からスケールを回収し、それらの形状や性状等の調査を行います。

また、ＳＧ器内に残存するスケールおよびスラッジを可能な限り除去するため、以下の対策を検討しています。

- ・ 小型高圧洗浄装置を用いた管支持板の洗浄によるスケールおよびスラッジの除去
- ・ ＳＧ器内のスケールの脆弱化を目的とした薬品洗浄

なお、損傷が認められた伝熱管１２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

添付資料１：蒸気発生器器内の調査

添付資料２：今後の調査および対策の検討

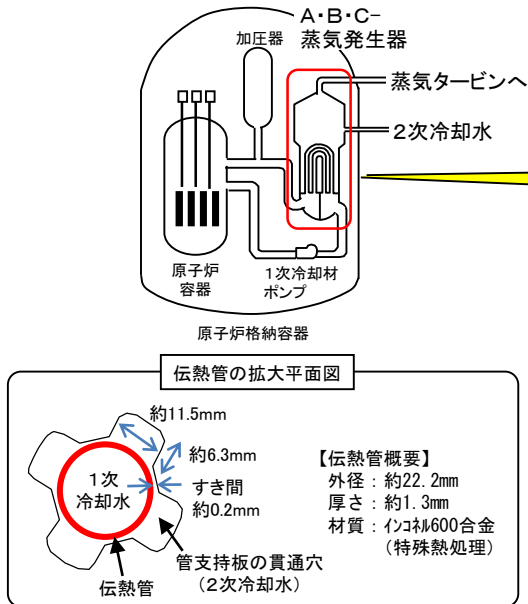
添付資料３：蒸気発生器伝熱管の施栓方法と施栓状況

添付資料４：これまでの経緯

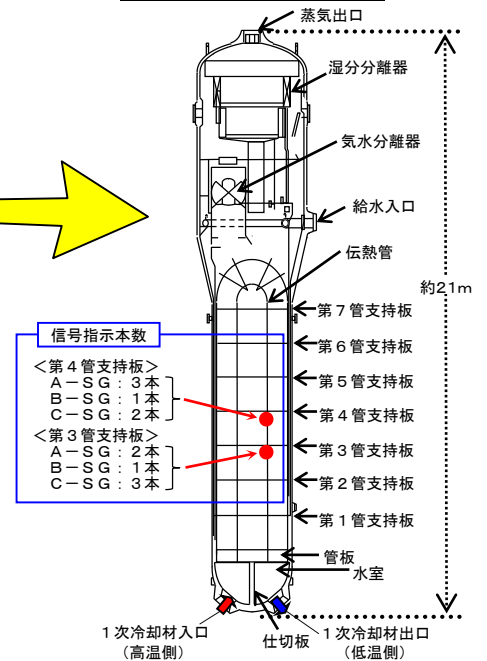
# 蒸気発生器器内の調査

## 発生箇所

## 系統概要図

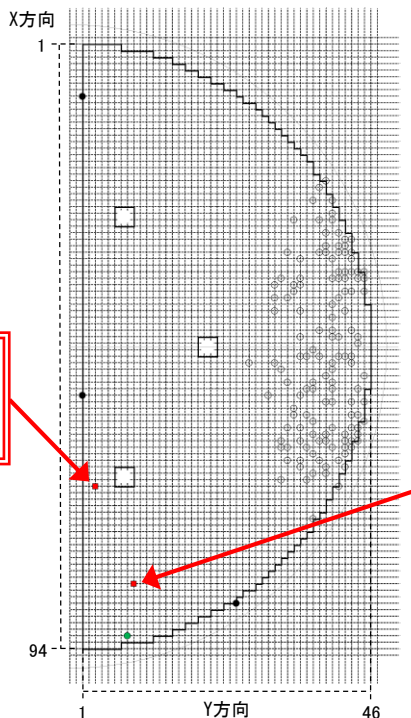


## 蒸気発生器の概要図



## B-蒸気発生器の調査

### B-蒸気発生器上部から見た 伝熱管位置を示す図



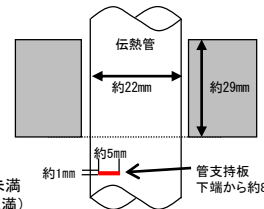
<第3管支持板>  
 微小な信号  
 指示管  
 (X69-Y3)

<第4管支持板>  
 有意な信号  
 指示管  
 (X84-Y9)

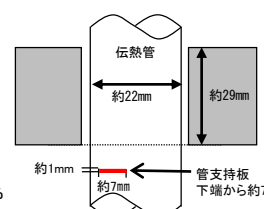
- : 今回外面減肉が認められた位置 (2本)
- : 既施設箇所 (外面減肉) (1本)
- : 既施設管 (拡管部応力腐食割れ) (3本)
- : 既施設管 (拡管部応力腐食割れ以外) (131本)

## 小型カメラで確認したきずの状況

### 第3管支持板 (X69-Y3)



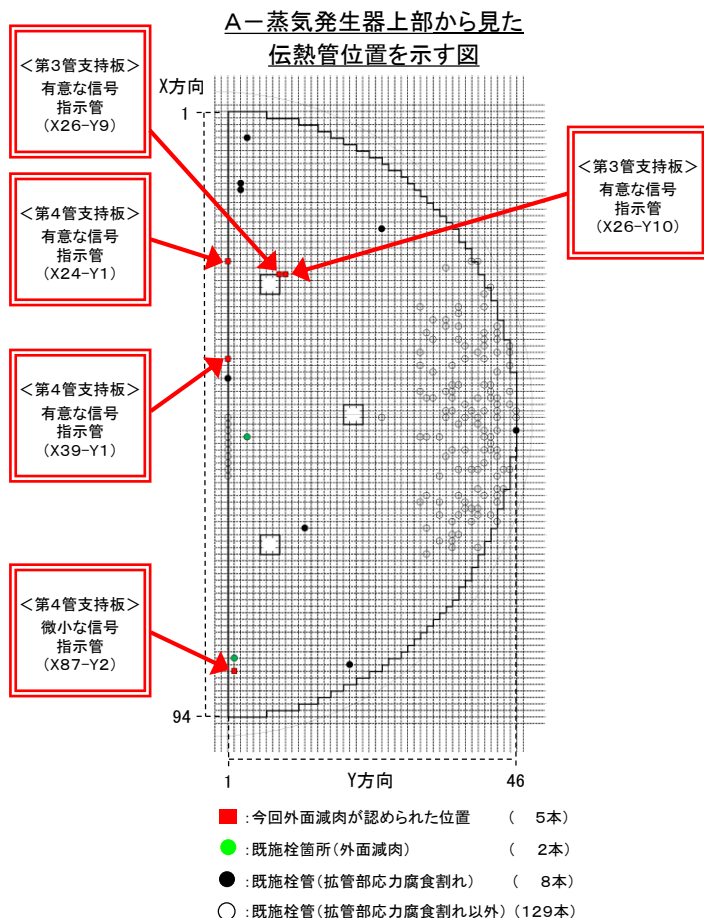
### 第4管支持板 (X84-Y9)



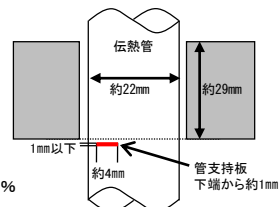
※: 渦流探傷検査(ECT)結果による

# A-蒸気発生器の調査

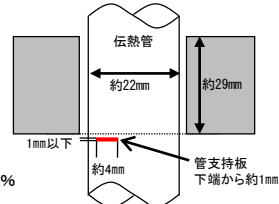
## 小型カメラで確認したきずの状況



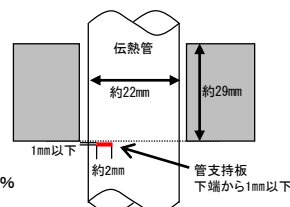
### 第3管支持板 (X26-Y9)



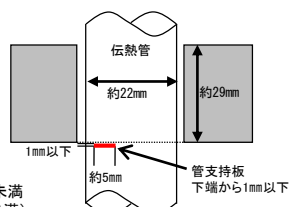
### 第3管支持板 (X26-Y10)



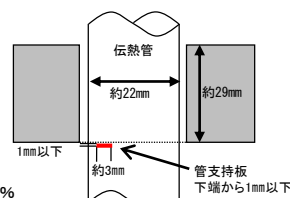
### 第4管支持板 (X24-Y1)



### 第4管支持板 (X87-Y2)



### 第4管支持板 (X39-Y1)

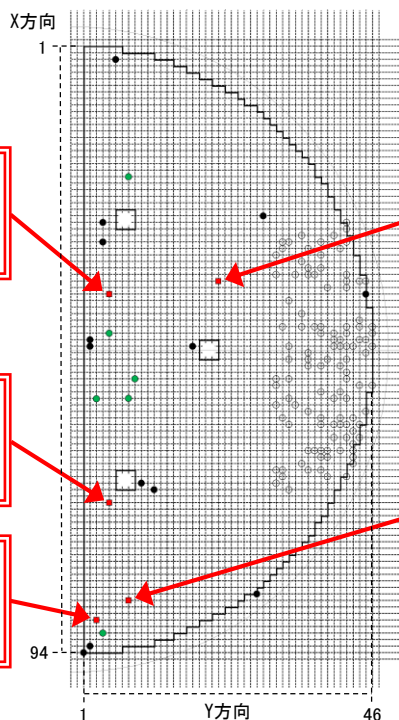


※: 渦流探傷検査(ECT)結果による

# C-蒸気発生器の調査

## 小型カメラで確認したきずの状況

C-蒸気発生器上部から見た  
伝熱管位置を示す図



<第3管支持板>  
有意な信号  
指示管  
(X39-Y5)

<第4管支持板>  
有意な信号  
指示管  
(X37-Y22)

<第3管支持板>  
有意な信号  
指示管  
(X71-Y5)

<第4管支持板>  
有意な信号  
指示管  
(X89-Y3)

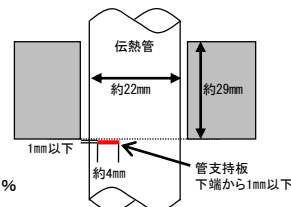
<第3管支持板>  
有意な信号  
指示管  
(X86-Y8)

- :今回外面減肉が認められた位置 ( 5本)
- :既施栓箇所(外面減肉) ( 6本)
- :既施栓管(拡管部応力腐食割れ) ( 13本)
- :既施栓管(拡管部応力腐食割れ以外) (110本)

### 第3管支持板 (X39-Y5)



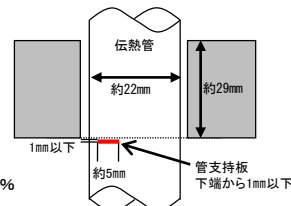
きずの深さ※: 減肉率約49%



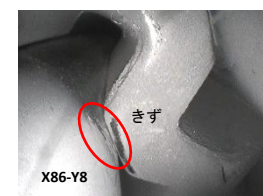
### 第3管支持板 (X71-Y5)



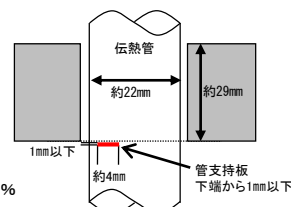
きずの深さ※: 減肉率約34%



### 第3管支持板 (X86-Y8)



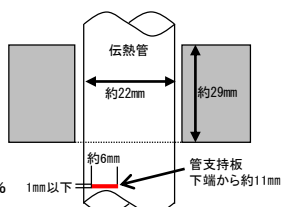
きずの深さ※: 減肉率約35%



### 第4管支持板 (X89-Y3)



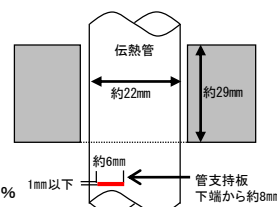
きずの深さ※: 減肉率約31%



### 第4管支持板 (X37-Y22)



きずの深さ※: 減肉率約34%



※:渦流探傷検査(ECT)結果による



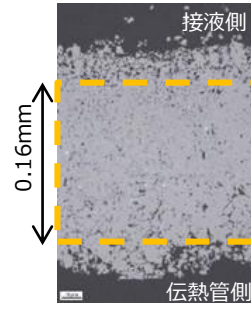
## 今後の調査および対策の検討

### 今後の調査

引き続き、小型カメラによるSG器内のスケールおよびスラッジの残存状況等の調査を進めるとともに、SG器内からスケールを回収し、それらの形状や性状等の調査を行います。



SG器内のスケールおよびスラッジの残存状況  
(B-SG 第1管支持板上)



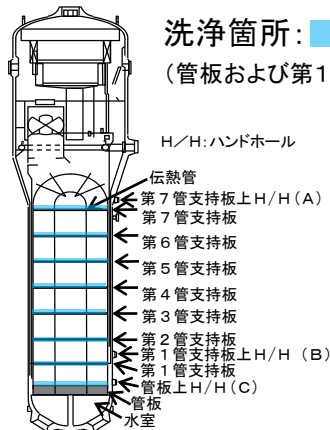
回収したスケールの断面観察  
(B-SG 第2管支持板上より回収)

### 対策(検討中)

SG器内に残存するスケールおよびスラッジを可能な限り除去するため、以下の対策を検討しています。

- (1) 小型高圧洗浄装置を用いた管支持板の洗浄によるスケールおよびスラッジの除去
- (2) SG器内のスケールの脆弱化を目的とした薬品洗浄

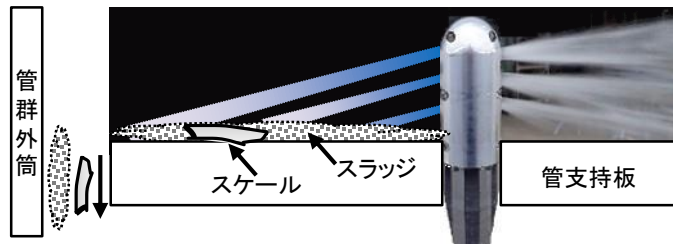
#### 小型高圧洗浄装置による洗浄(高浜3号機 第25回定期検査の例)



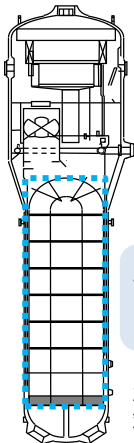
洗浄箇所:             
(管板および第1管支持板から第7管支持板上)

#### 例) 第1, 2管支持板の洗浄(水平ノズルによる洗浄)

管支持板上に移動させたスケール等を押し流し、管板に落下させる。



#### 薬品による洗浄(高浜3号機 第25回定期検査の例)



#### STEP 1 鉄洗浄

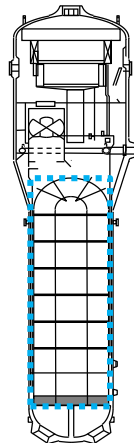
濃度: 3%

範囲: 伝熱管全体

<前回>

濃度: 3%

範囲: 第3管支持板以下



#### STEP 2 鉄洗浄

濃度: 3%

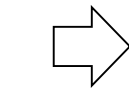
範囲: 伝熱管全体

<前回>

濃度: 2%

範囲: 伝熱管全体

洗浄箇所:           



スケール排出  
(回収)

#### STEP 3

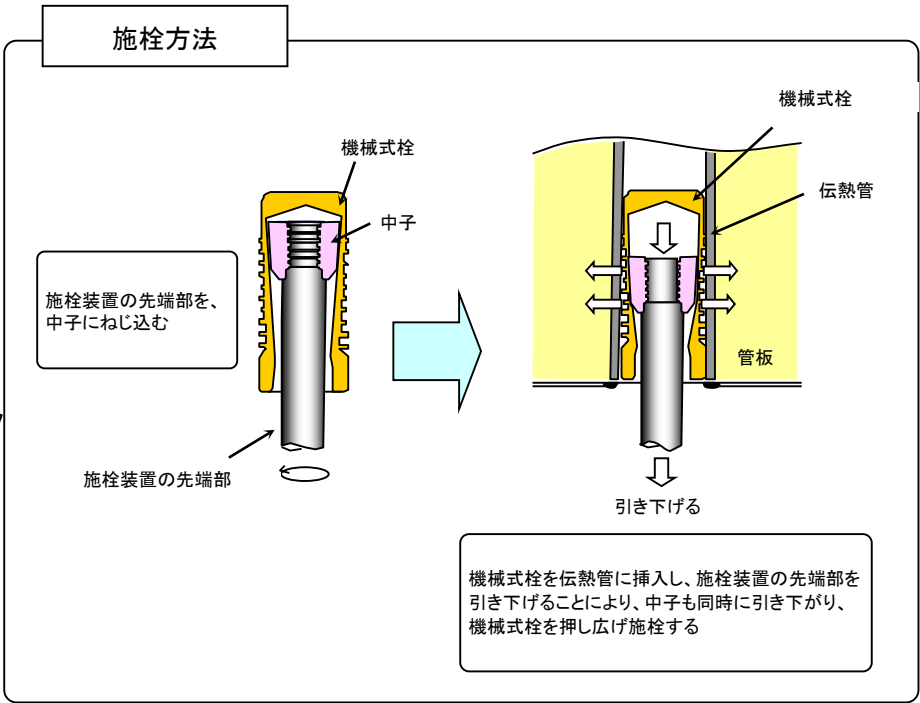
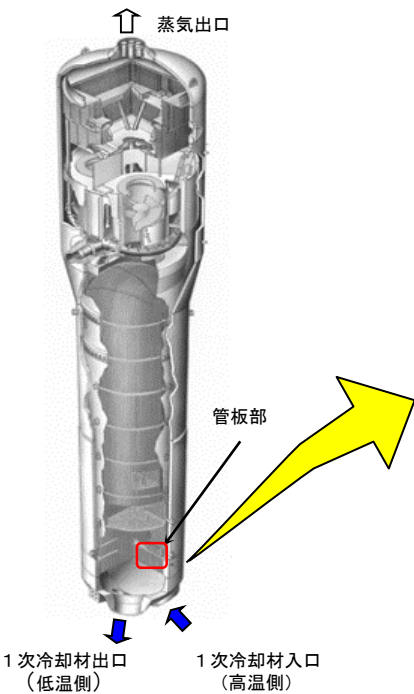
純水による洗浄

蒸気発生器伝熱管の施栓方法と施栓状況

蒸気発生器伝熱管の施栓方法

損傷が認められた蒸気発生器伝熱管12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。

蒸気発生器の概要図



高浜発電所4号機の蒸気発生器伝熱管の施栓状況

|                           | A蒸気発生器<br>(3,382本) | B蒸気発生器<br>(3,382本) | C蒸気発生器<br>(3,382本) | 合計<br>(10,146本) |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 検査対象本数                    | 3,243              | 3,247              | 3,253              | 9,743           |
| 今回施栓予定                    | 5                  | 2                  | 5                  | 12              |
| 累積施栓本数<br>(応力腐食割れによる施栓本数) | 144<br>(8)         | 137<br>(3)         | 134<br>(13)        | 415<br>(24)     |
| (外面減肉による施栓本数)             | (7)                | (3)                | (11)               | (21)            |
| 〔施栓率〕                     | [4.3%]             | [4.1%]             | [4.0%]             | [4.1%]          |

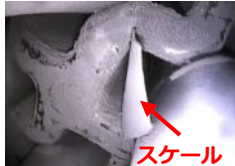
○蒸気発生器1基あたりの伝熱管本数:3,382本

○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)



## これまでの経緯（高浜発電所3、4号機における蒸気発生器伝熱管外面の損傷事例）

| 定期検査                                                                                                                                                                                                                                        | 蒸気発生器伝熱管外面の<br>損傷本数                                                                                          | 調査結果概要                                                                               |                                                                                      | スケールに対する<br>対策                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 3号機<br>第23回<br>(2018年8月～)                                                                                                                                                                                                                   | A-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br><br>【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。スケールの回収中に破損したため、スケール以外の異物による減肉と推定。異物は流出したものと推定。                 |    | —                                     |
| 4号機<br>第22回<br>(2019年9月～)                                                                                                                                                                                                                   | A-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br>B-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br>C-蒸気発生器:3本<br>(第2管支持板2本、<br>第3管支持板1本)<br><br>【最大減肉率:63%】 | A-蒸気発生器内にステンレス薄片を確認したが、摩耗痕が確認されなかったため、原因となった異物は前回の定期検査時に混入していたものと推定。なお、異物は流出したものと推定。 |                                                                                      |                                       |
| 3号機<br>第24回<br>(2020年1月～)                                                                                                                                                                                                                   | B-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br>C-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br><br>【最大減肉率:56%】                                          | AおよびC-蒸気発生器内にガスケットフープ材を確認。C-蒸気発生器伝熱管の損傷原因を異物と推定。B-蒸気発生器伝熱管の損傷原因となった異物は流出したものと推定。     |                                                                                      | 薬品洗浄を実施                               |
| 4号機<br>第23回<br>(2020年10月～)                                                                                                                                                                                                                  | A-蒸気発生器:1本<br>(第3管支持板)<br>C-蒸気発生器:3本<br>(第3管支持板)<br><br>【最大減肉率:36%】                                          | A-蒸気発生器の減肉箇所にスケールが残存。C-蒸気発生器の減肉箇所近傍から回収したスケールにも摩耗痕を確認し、原因は、スケールによる減肉と推定。             |  |                                       |
| <ul style="list-style-type: none"><li>4号機第23回定期検査において、蒸気発生器器内から回収したスケールの性状調査や摩耗試験などを実施した結果、蒸気発生器伝熱管表面からはく離した稠密なスケールによるものと原因を推定。</li><li>上記の蒸気発生器伝熱管の外面減肉の原因が、スケールの可能性も否定できないことから、対策として、3号機第24回および4号機第23回定期検査において、蒸気発生器器内の薬品洗浄を実施。</li></ul> |                                                                                                              |                                                                                      |                                                                                      |                                       |
| 3号機<br>第25回<br>(2022年3月～)                                                                                                                                                                                                                   | A-蒸気発生器:2本<br>(第3管支持板1本、<br>第4管支持板1本)<br>B-蒸気発生器:1本<br>(第2管支持板)<br><br>【最大減肉率:57%】                           | 摩耗痕のあるスケールは回収できなかったが、各蒸気発生器から採取したスケールの性状、摩耗試験等の調査の結果、スケールによる減肉と推定。                   |                                                                                      | 薬品洗浄の前に<br>小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施。 |