

## 高浜発電所4号機の原子炉起動予定および調整運転の開始予定について

2021年4月9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、2020年10月7日から第23回定期検査を実施していましたが、2021年4月12日に原子炉を起動し、翌13日に臨界に達する予定です。

その後は、諸試験を実施し、4月15日に定期検査の最終段階である調整運転を開始する予定であり、5月中旬には総合負荷性能検査を実施し、本格運転を再開する予定です。

以 上

（添付資料）高浜発電所4号機 第23回定期検査の概要



## 高浜発電所4号機 第23回定期検査の概要

### 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（2017年8月）されたことから、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤に対して保護継電器（リレー）およびインターロックの追加を行いました。
- (2) 原子炉照射試験片取出工事 (図－2 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ました。（今回で5回目）
- (3) 化学体積制御系統 抽出水オリフィス取替工事 (図－3 参照)  
プラント起動時に化学体積制御系統を用いた圧力調整を実施できるよう、当該系統の抽出水オリフィスを口径の大きいものに取り替えました。
- ※1：米国原子力規制委員会が米国事業者に対し、「蒸気ボイドによる余熱除去ポンプ機能喪失問題」を通知したことを受け、国内においても原子力規制委員会および事業者が議論し、対策を講じる必要があると評価されました。
- ※2：現在、プラント起動時には余熱除去系統を用いて原子炉冷却系統（RCS）の圧力および温度の調整を実施していますが、この時にRCSの漏えいが発生した場合、非常用炉心冷却装置の作動に伴い燃料取替用水タンクからの注水となるため、余熱除去系統の圧力が低下することから、高温の状態では当該系統内の水が沸騰し、余熱除去ポンプが使用できなくなる可能性があります。
- ※3：圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた圧力調整に切り替える運用に変更しました。

### 2. 設備の保全対策

- 2次系配管の点検等 (図－4 参照)  
当社の定めた「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、2次系配管596箇所について超音波検査（肉厚測定）を実施しました。その結果、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ありませんでした。
- また、過去の点検において減肉傾向が確認された部位20箇所、配管取替時の作業性を考慮した部位70箇所、今後の保守性を考慮した部位13箇所、合計103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ました。

### 3. 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

(図－5 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9,747本）について、渦流探傷検査を実施した結果、A－SGの伝熱管1本、C－SGの伝熱管3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ました。

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が、プラント運転に伴い剥離し、管支持板下部に留まり、伝熱管に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ました。

なお、前回（第22回）の定期検査において発生した伝熱管の外面減肉の原因は、SGへ混入した異物が管支持板下部に留まり、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ていましたが、今回の調査結果を踏まると、スケールによる減肉の可能性も否定できないと考えています。

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）を施工しました。また、スケール全体の脆弱化を図るため、SG器内の薬品洗浄を行いました。

[2020年11月20日、25日、12月15日、2021年1月14日、25日お知らせ済み]

### 4. 燃料集合体の取り替え

燃料集合体全数157体のうち73体を取り替えました。このうち、新燃料集合体は56体です。また、MOX燃料は前サイクルに引き続き16体を継続して使用します。

燃料集合体の外観検査（36体）を実施した結果、異常は認められませんでした。

### 5. 次回定期検査の予定

2022年春頃

### 6. その他

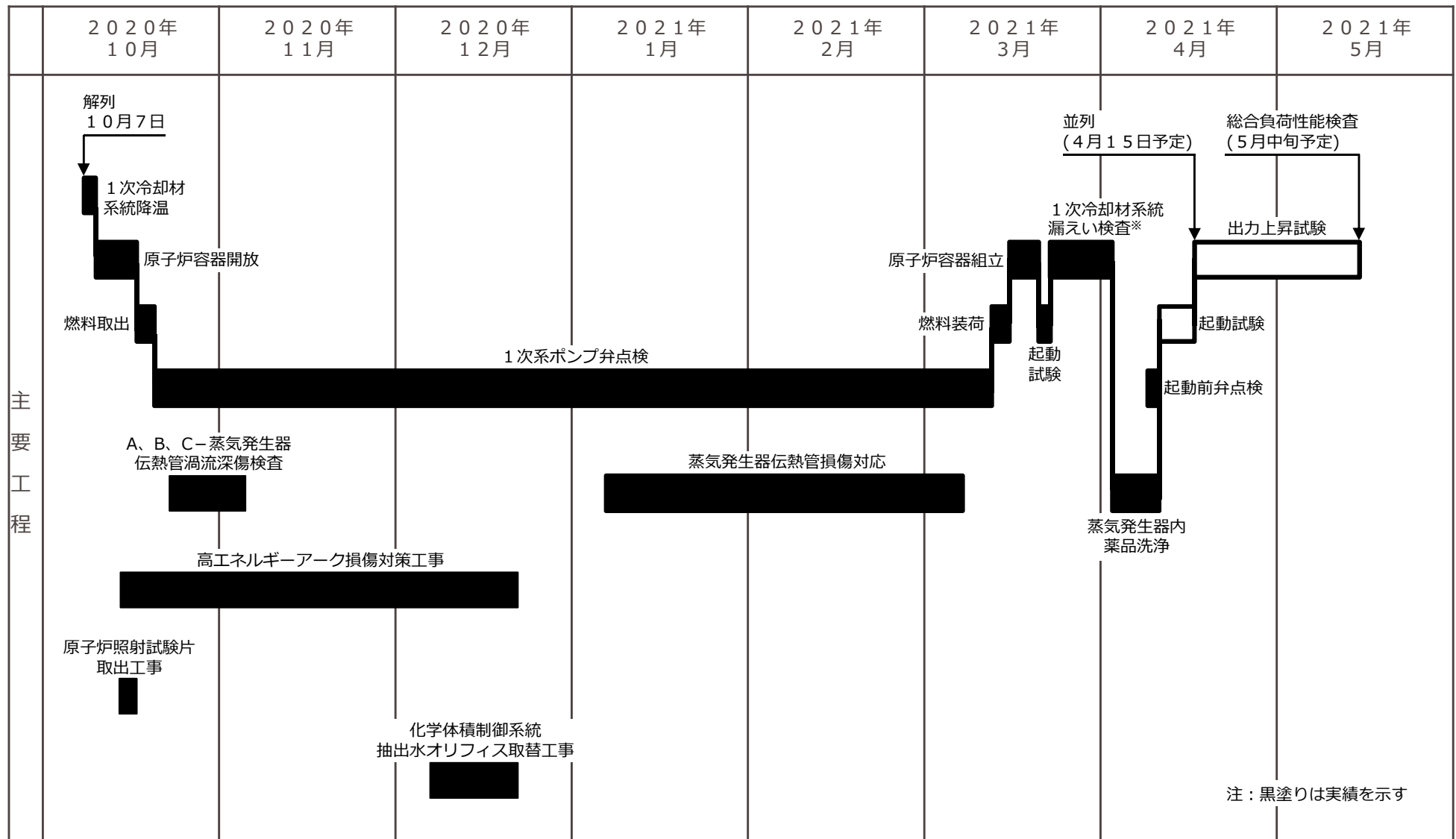
大飯発電所3号機の加圧器スプレイ配管溶接部において、溶接時に生じた部材の硬化により割れが発生し、応力腐食割れが進展した傷を確認しました。これを踏まえ、高浜発電所4号機において、当該箇所と同様の方法で溶接され、かつ応力腐食割れが発生する可能性がある条件を満たす44箇所について超音波探傷検査を実施しました。その結果、問題がないことを確認しました。

以 上



## 高浜発電所 4 号機 第 2 3 回定期検査の作業工程

(2021年4月9日現在)



\* 高浜発電所 4 号機 特定重大事故等対処施設は 2021 年 3 月 25 日に運用開始

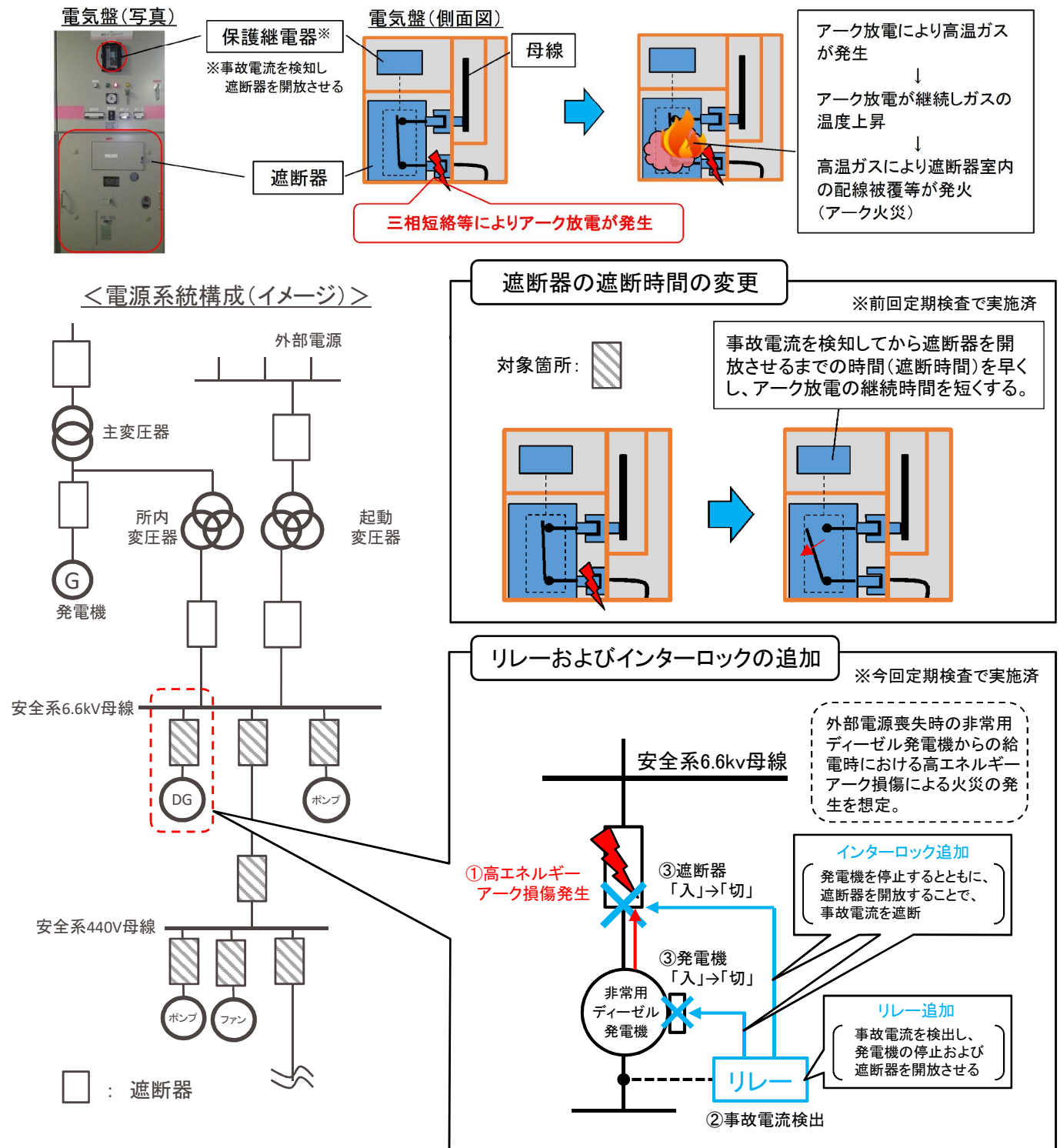
※原子炉容器上蓋温度計引出管接続部にて確認した水のにじみに対する処置(5日間)を含む

# 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、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤に対して保護継電器(リレー)およびインターロックの追加を行いました。

## 工事概要図



## 図－2 原子炉照射試験片取出工事

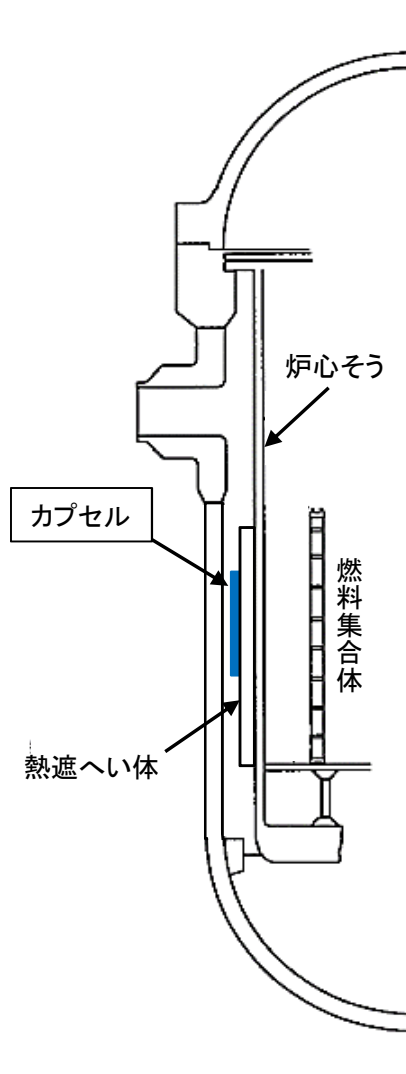
### 工事概要

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を取り出しました。（今回で5回目）

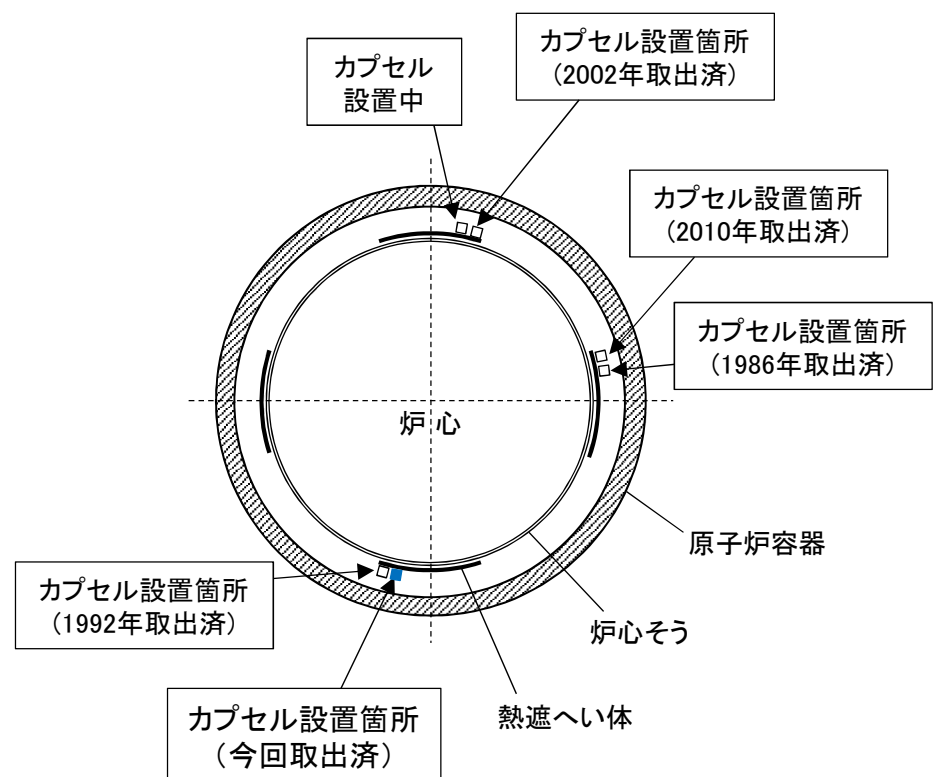
取り出した照射試験片は、試験場所へ運搬し、各種試験を実施する予定です。（2021年6月運搬予定）

### 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－3 化学体積制御系統 抽出水オリフィス取替工事

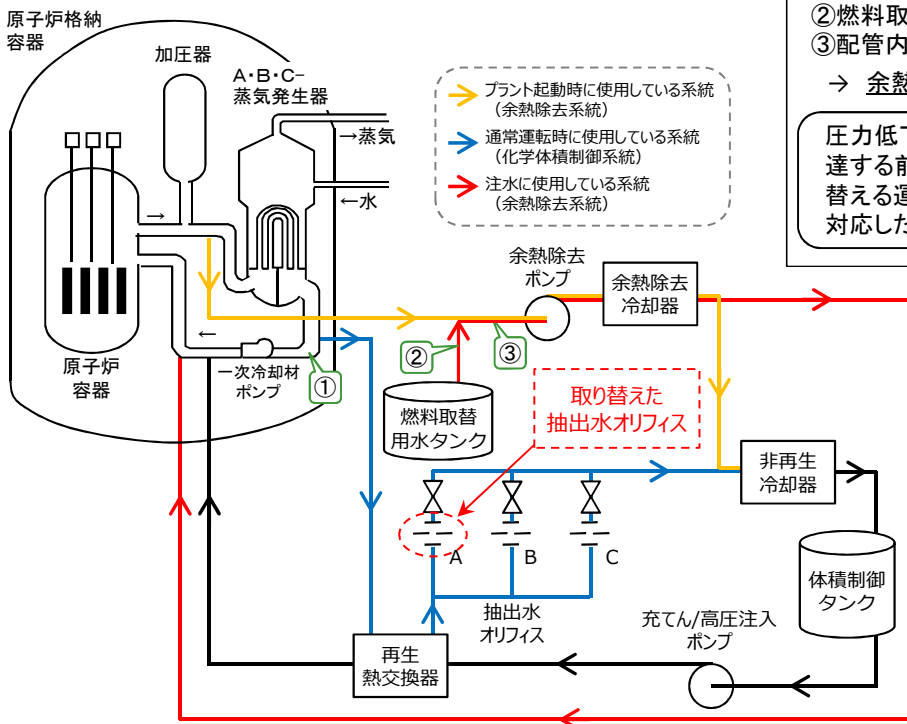
### 工事概要

プラント起動時に化学体積制御系統を用いた圧力調整を実施できるよう、当該系統の抽出水オリフィスを口径の大きいものに取り替えました。

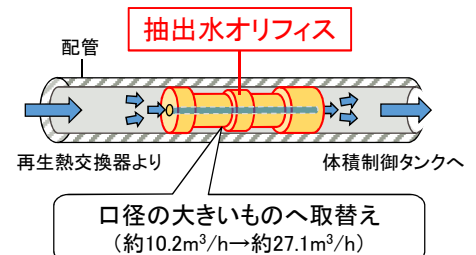
- ※1: 米国原子力規制委員会が米国事業者に対し、「蒸気ボイドによる余熱除去ポンプ機能喪失問題」を通知したことを受け、国内においても原子力規制委員会および事業者が議論し、対策を講じる必要があると評価されました。
- ※2: 現在、プラント起動時には余熱除去系統を用いて原子炉冷却系統(RCS)の圧力および温度の調整を実施していますが、この時にRCSの漏えいが発生した場合、非常用炉心冷却装置の作動に伴い燃料取替用水タンクからの注水となるため、余熱除去系統の圧力が低下することから、高温の状態では当該系統内の水が沸騰し、余熱除去ポンプが使用できなくなる可能性があります。
- ※3: 圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた圧力調整に切り替える運用に変更しました。

### 工事概要図

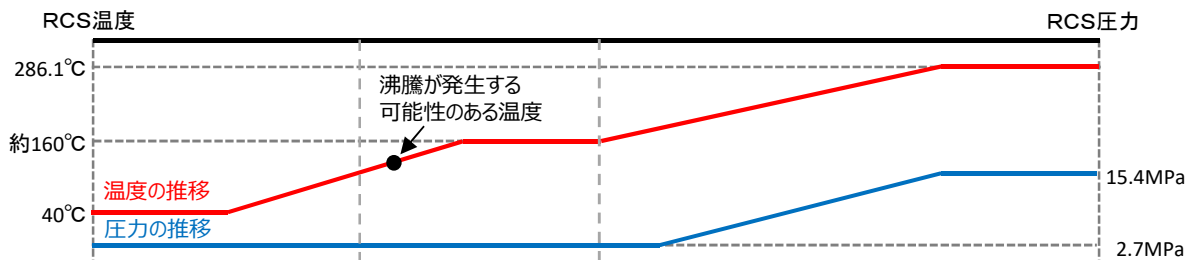
#### <系統概要図>



#### <抽出水オリフィス概要図>



#### <プラント起動時の原子炉冷却系統(RCS)の温度と圧力の推移>



|     |                                 |                             |
|-----|---------------------------------|-----------------------------|
| 現運用 | 余熱除去系統で圧力を調整<br>(2系統のうち、1系統を使用) | 加圧器で圧力を調整                   |
| 新運用 | 余熱除去系統で圧力を調整                    | 化学体積制御系統で圧力を調整<br>加圧器で圧力を調整 |

圧力低下による沸騰が発生する可能性のある温度に達する前に、化学体積制御系統を用いた調整に切り替え、余熱除去系統を早期に隔離します。

図－4 2次系配管の点検等

## 工事概要

今定期検査において、596箇所について超音波検査（肉厚測定）を実施しました。

### ○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」<br>の点検対象部位 | 今回点検実施部位 |
|--------|---------------------------|----------|
| 主要点検部位 | 1, 638                    | 383      |
| その他部位  | 1, 081                    | 213      |
| 合計     | 2, 719                    | 596      |

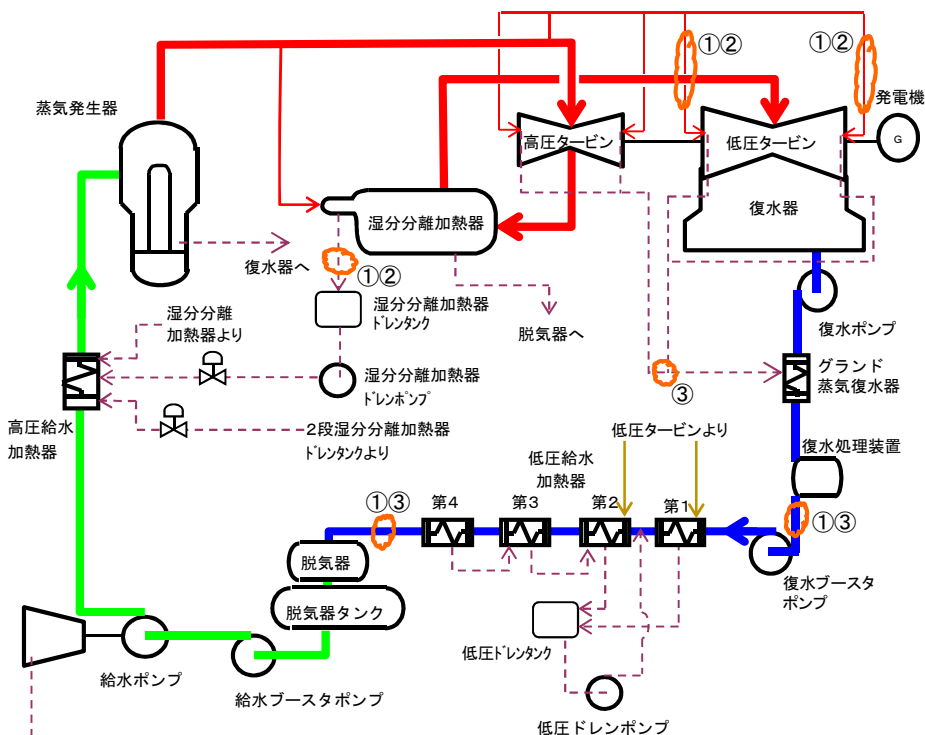
（結果）

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箇所はありませんでした。

## 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20箇所、配管取替え時の作業性を考慮した部位70箇所、今後の保守性を考慮した部位13箇所、合計103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ました。

### <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（20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 ⇒ ステンレス鋼 2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
  - ② 配管取替時の作業性※1を考慮して取り替えた箇所（70箇所）
    - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 70箇所
  - ③ 今後の保守性※2を考慮して取り替えた箇所（13箇所）
    - 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 12箇所
    - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 1箇所
- [合計 103箇所]

※1: 配管取替時に近傍の配管も一緒に取替えた方が作業をし易いために取替

※2: 狭隙部で肉厚測定がしづらい配管を取替

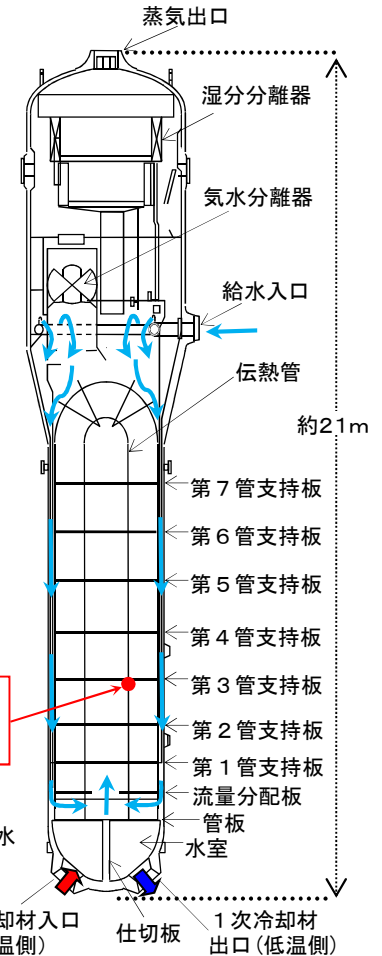
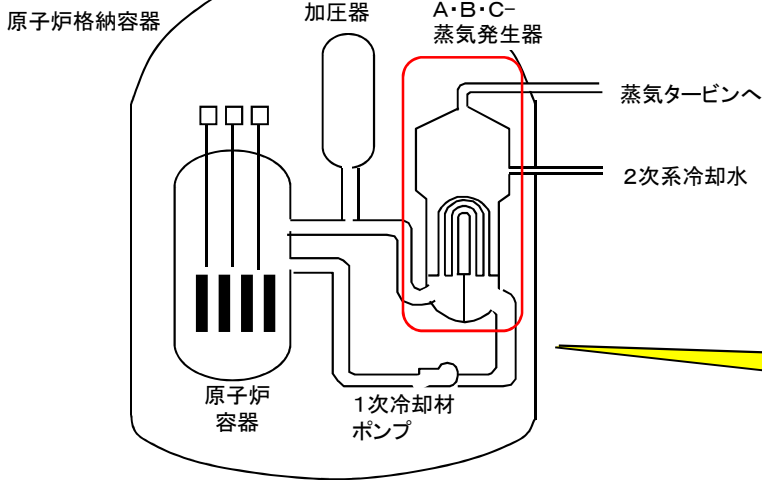


図-5 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

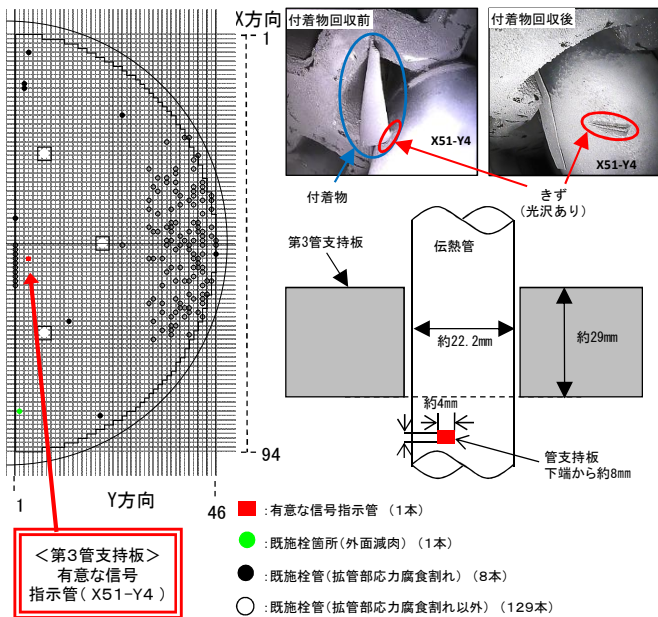
発生箇所

系統概要図

蒸気発生器の概要図



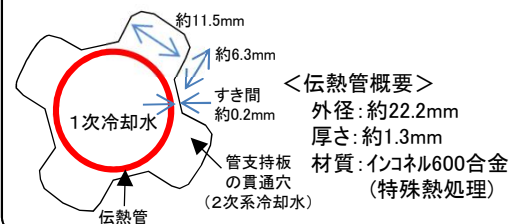
A- 蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



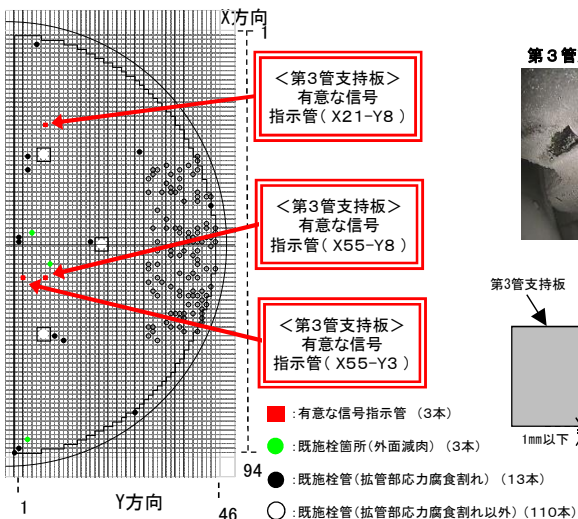
信号指示本数  
 <第3管支持板>  
 A-SG: 1本  
 C-SG: 3本

← : 2次系冷却水の  
 の流れ

伝熱管の拡大平面図



C- 蒸気発生器伝熱管(低温側)の状況



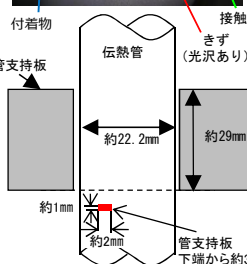
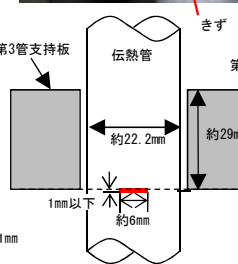
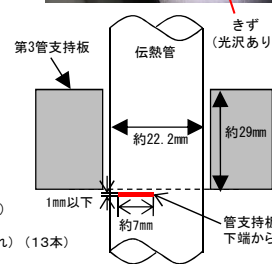
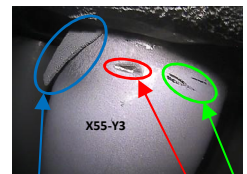
第3管支持板 (X21-Y8)



第3管支持板 (X55-Y8)



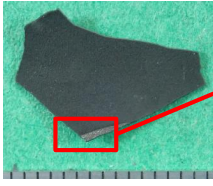
第3管支持板 (X55-Y3)



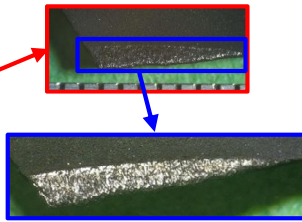
## スケールの分析結果

### スケールA

<凹面>



伝熱管との接触箇所



幅 : 約15mm  
長さ: 約9mm  
厚さ: 約0.2mm~0.3mm  
重さ: 約0.1g  
材質: マグネタイト  
(鉄酸化物)

- ・伝熱管との接触箇所に光沢を確認。  
(電子顕微鏡による観察の結果、  
筋状の摺れ痕を確認。)
- ・伝熱管の主成分であるニッケルや  
クロムを検出。

### スケールC 2

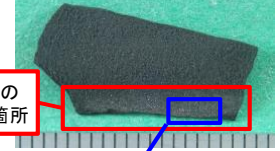
<凹面>



平滑面  
(管支持板との  
接触想定箇所)

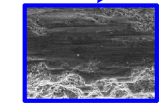
- ・管支持板の主成分で  
あるクロムを検出。

<凸面>



伝熱管との  
接触想定箇所

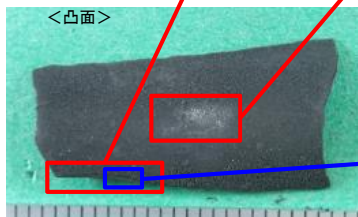
幅 : 約18mm  
長さ: 約10mm  
厚さ: 約0.3mm  
重さ: 約0.19g  
材質: マグネタイト  
(鉄酸化物)



- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分である  
ニッケルやクロムを検出。

### スケールC 3

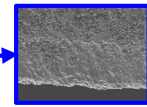
<凸面>



伝熱管との  
接触想定箇所

平滑面  
(管支持板との  
接触想定箇所)

- ・管支持板の主成分で  
あるクロムを検出。



幅 : 約23mm  
長さ: 約11mm  
厚さ: 約0.3mm  
重さ: 約0.25g  
材質: マグネタイト  
(鉄酸化物)

- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分である  
ニッケルやクロムを検出。

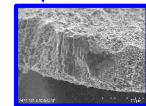
### スケールC 4

(伝熱管から剥離後に破損したスケールの一部と推定)

伝熱管との  
接触想定箇所



幅 : 約11mm  
長さ: 約3mm  
厚さ: 約0.3mm  
重さ: 約0.03g  
材質: マグネタイト  
(鉄酸化物)



- ・筋状の摺れ痕を確認。
- ・伝熱管の主成分である  
ニッケルやクロムを検出。

## スケールA、C2、C3、C4の断面観察結果

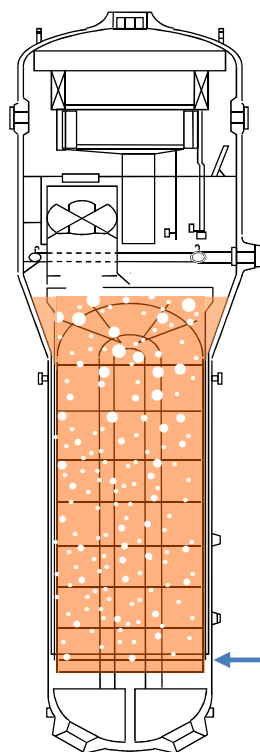
稠密層の範囲

|                | スケールA                    | スケールC2     | スケールC3     | スケールC4     |
|----------------|--------------------------|------------|------------|------------|
| 断面<br>観察<br>結果 | <br>約0.2~0.3mm           | <br>約0.3mm | <br>約0.3mm | <br>約0.3mm |
| 回収<br>場所       | A-SG伝熱管減肉部<br>(第3管支持板下部) | 第2管支持板上    | 第1管支持板上    | 第2管支持板上    |
| 性状             | 稠密層が主体                   |            |            |            |

## 対策(蒸気発生器内の化学洗浄)

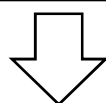
- ◆SG器内から回収した稠密なスケールを薬品洗浄し摩耗試験を行った結果、伝熱管をきずつける前に折損したことから、対策として十分な効果があることを確認しました。
- また、高浜発電所3号機の第24回定期検査においてSG器内を薬品洗浄し、スケールが脆弱化していることが確認できたため、今回、4号機においてもSG器内の薬品洗浄を実施しました。

### 【薬品洗浄の流れ】



#### STEP①

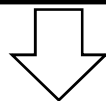
SG器内温度を100℃に昇温し、薬品を注入する。



(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。

水

薬品

窒素／空気

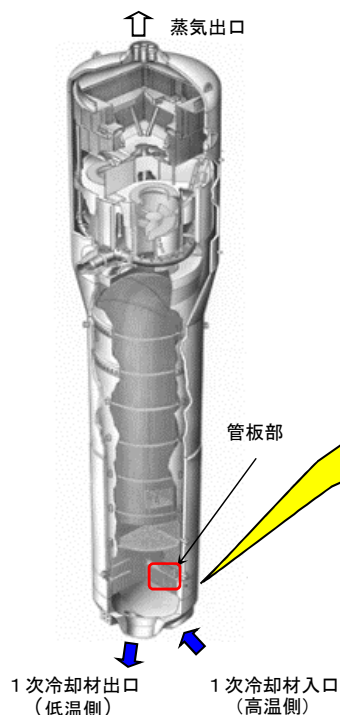
窒素: 鉄洗浄の際に使用  
空気: 銅洗浄の際に使用

## 対策(蒸気発生器伝熱管の施栓)

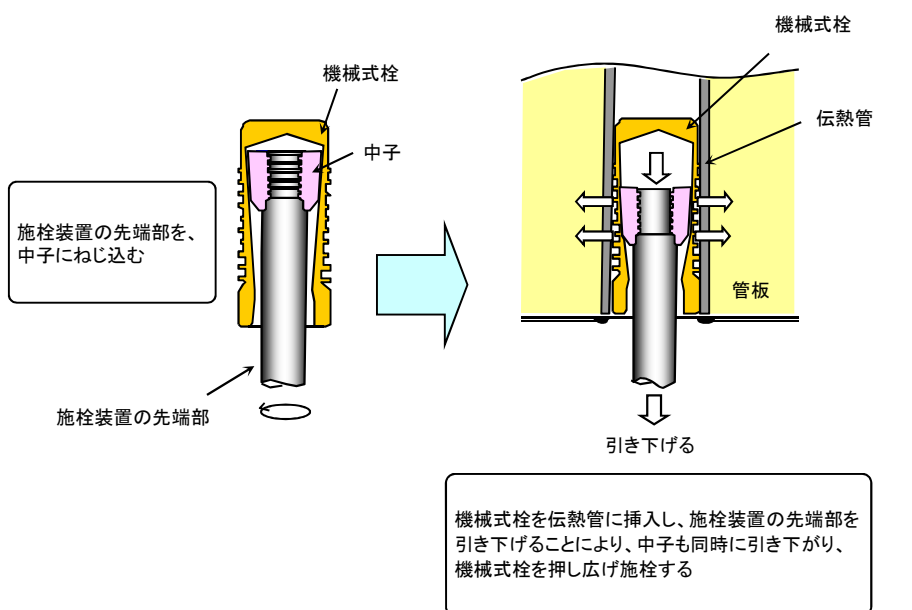
### 【蒸気発生器伝熱管の施栓方法】

◆外面減肉が認められた蒸気発生器伝熱管4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）を施工しました。

蒸気発生器の概要図



施栓方法



### 【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, 244                 | 3, 247                 | 3, 256                  | 9, 747                  |
| 今回施栓予定                             | 1                      | 0                      | 3                       | 4                       |
| 累積施栓本数<br>(応力腐食割れによる施栓本数)<br>[施栓率] | 139<br>(8)<br>[4. 1 %] | 135<br>(3)<br>[4. 0 %] | 129<br>(13)<br>[3. 8 %] | 403<br>(24)<br>[4. 0 %] |

○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)