

令和元年 11 月 28 日
原子力安全対策課
(3 1 - 2 8)
< 1 5 時記者発表 >

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 4 号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力 87.0 万 kW）は、令和元年 9 月 18 日から第 22 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}について渦流探傷検査（ECT）を実施した結果、A-SG の伝熱管 1 本、B-SG の伝熱管 1 本、C-SG の伝熱管 3 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、幅約 4 mm から 8 mm の周方向のきずがあることを確認した。いずれも光沢のある金属面が確認されていることや、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。

また、きずの位置は、ECT および外観確認の結果から、管支持板の下面約 1 mm から 10 mm の範囲にあることを確認するとともに、有意な信号指示があった伝熱管周辺の管支持板等に接触痕を確認した。

※1 既施栓管を除き A-SG で 3,245 本、B-SG で 3,248 本、C-SG で 3,259 本、合計 9,752 本

※2 伝熱管を支持する部品

(令和元年 10 月 17 日 15 時、10 月 29 日 15 時 11 月 15 日 15 時 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。

1. 原因調査

有意な信号指示があった伝熱管（計 5 本）は、小型カメラによる調査の結果、いずれも光沢のある金属面が確認されていることや、きずの形状から摩耗減肉の可能性が高いことなどを確認した。

このため、減肉の要因として異物の接触等の可能性が考えられることから、SG 器内（A～C）および 2 次冷却系統の調査および減肉のメカニズムの検討を行った。

(1) S G器内の調査

a. 伝熱管近傍の点検

有意な信号指示があった伝熱管（計5本）の外観等を確認するため、小型カメラを用いて各S G器内（2次側）の調査を行った結果、A-S Gの第1管支持板上に金属片（長さ約20 mm、幅約10 mm、厚さ約0.6 mm、重量約1 g）を確認し、工場において化学成分分析、外観観察等を実施した結果、ステンレス鋼（SUS304相当）と推定した。

また、外観観察の結果、摺動痕が認められなかったため、この金属片は伝熱管を摩耗減肉させたものではないと推定した。

b. S G器内上部構造物の点検

気水分離器、給水リング等について、小型カメラ等により目視点検を実施した結果、異常は認められなかった。

c. S G器内の水張りによる調査

S G器内に水を張り、底部から窒素を噴射させた後、水を抜き、管板部をカメラで確認するとともに、排水内の異物を確認したが、スラッジ以外の異物は確認できなかった。

なお、S G器内から回収した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、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した。

これらの調査の結果、部品損傷などの異常は認められず、A-S Gで確認された金属片以外の異物は確認されなかった。

(2) S G器外の調査

S G器外から異物が持ち込まれた可能性が高いと推定されたことから、昨年の高浜3号機の蒸気発生器伝熱管における外面減肉事象と同様に、S Gへ異物が持ち込まれる経路等の調査を行った。

a. 異物の混入時期

減肉が認められた伝熱管については、今回の定期検査で初めて外面からの減肉信号指示が確認されていることから、前回の定期検査時に系統内に異物が混入した可能性が高いと推定した。

b. 異物の流入経路

2次冷却系統内の機器の部品が損傷すること等により異物となる可能性は低いことから、主給水系統もしくはS G水張系統からS Gに異物が流入した可能性があるかと推定した。

このため、これらの系統への混入の可能性を調査した結果、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衣服等に付着していた異物が系統内に混入する可能性があることを確認した。

また、垂直配管に取り付けられている弁については、作業完了後の最終異物確

認時に目視による確認が困難な範囲があることを確認した。

c. 想定される異物

系統の開放点検を実施している作業箇所付近において、保温材外装板や配管識別表示等の現地加工を実施した際に部材の切れ端等が発生し、異物となる可能性があることを確認した。

(3) 減肉のメカニズム

a. 想定される異物の形状

減肉痕等の位置関係から、異物形状を、長さ 18 mm～24 mm、幅 6 mm～8 mm、厚さ 1 mm以下と推定した。

b. 管支持板下面での減肉メカニズム

工場における再現試験等の結果、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。

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、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。

また、異物は、前回の定期検査（第 21 回）中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、次の内容を作業手順書等に記載する。

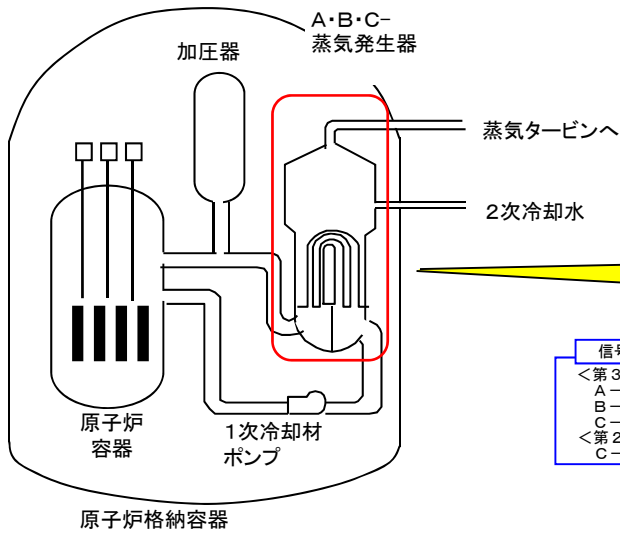
- ・作業員が機器に立ち入る際には、作業服を着替えるとともに靴カバーを着用する。
- ・垂直配管に取り付けられている弁の点検後、目視による点検が困難な箇所に対してファイバースコープによる異物確認を行う。

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

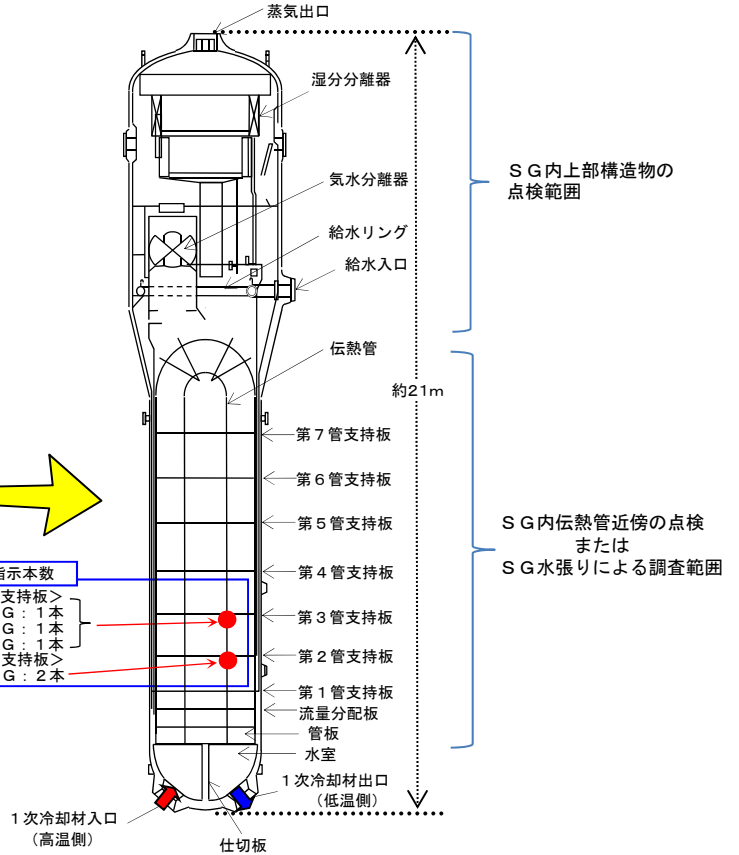
高浜発電所4号機の定期検査状況について

発生箇所

系統概要図



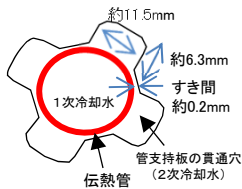
蒸気発生器の概要図



信号指示本数

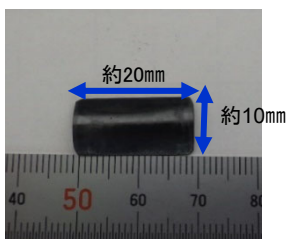
<第3管支持板>	
A-SG	1本
B-SG	1本
C-SG	1本
<第2管支持板>	
C-SG	2本

伝熱管の拡大平面図



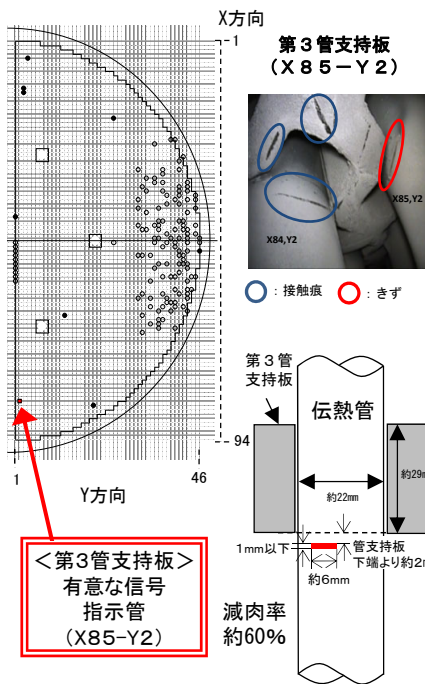
伝熱管概要
 外径：約22.2mm
 厚さ：約1.3mm
 材質：インコル600合金
 (特殊熱処理)

回収したA-蒸気発生器第1管支持板上の金属片



材質：ステンレス鋼
 (SUS304相当)
 重量：約1g

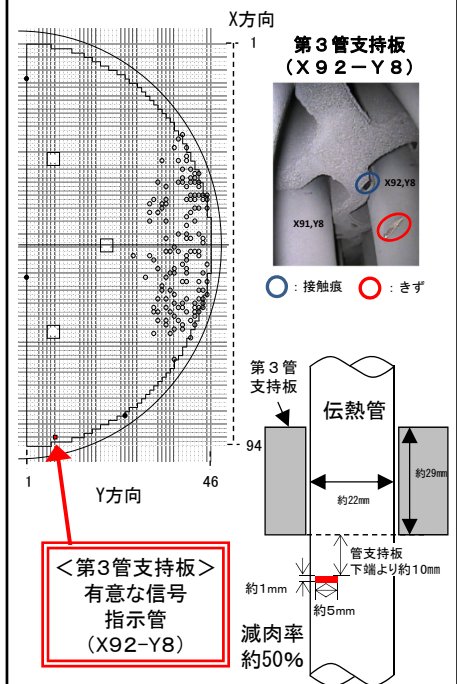
A-蒸気発生器伝熱管の状況



<第3管支持板>
 有意な信号指示管 (X85-Y2)

- : 有意な信号指示管 (1本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ) (8本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ以外) (129本)

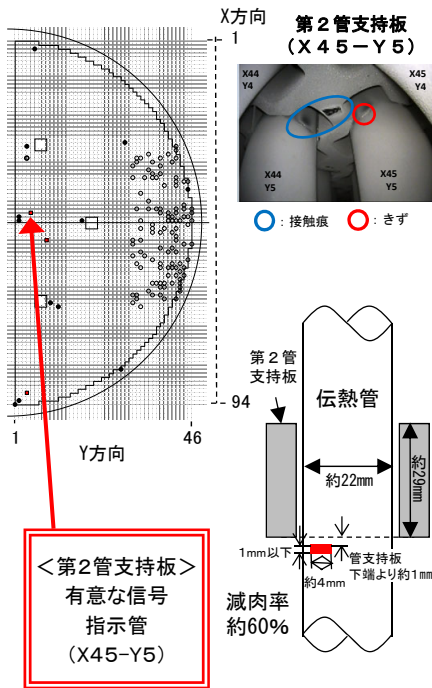
B-蒸気発生器伝熱管の状況



<第3管支持板>
 有意な信号指示管 (X92-Y8)

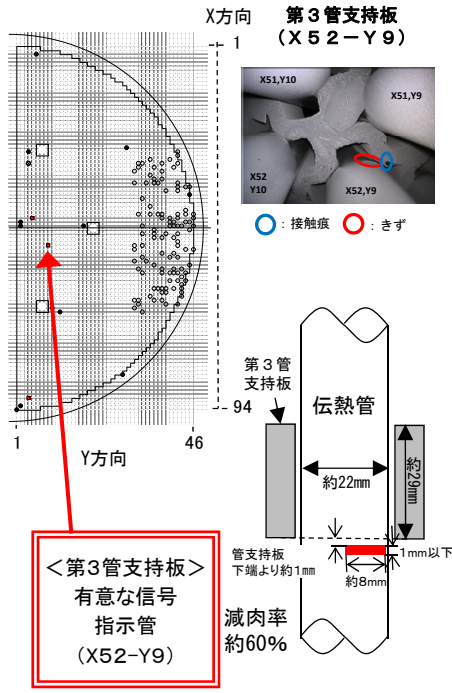
- : 有意な信号指示管 (1本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ) (3本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ以外) (131本)

C- 蒸気発生器伝熱管の状況



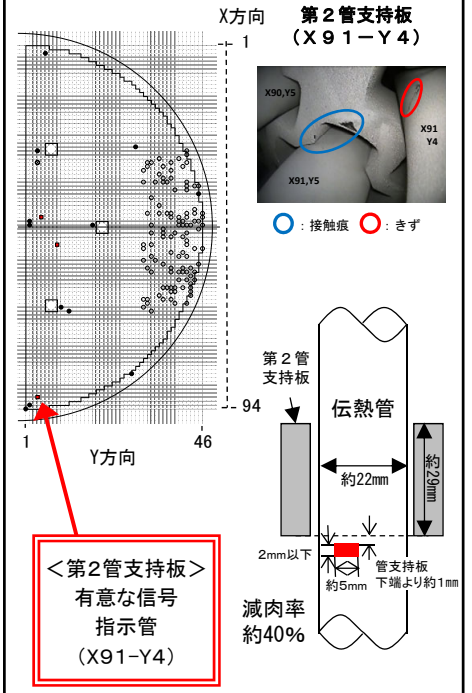
- : 有意な信号指示管 (3本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ) (13本)
- : 既施栓管 (拡管部応力腐食割れ以外) (110本)

C- 蒸気発生器伝熱管の状況



- : 有意な信号指示管 (3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)

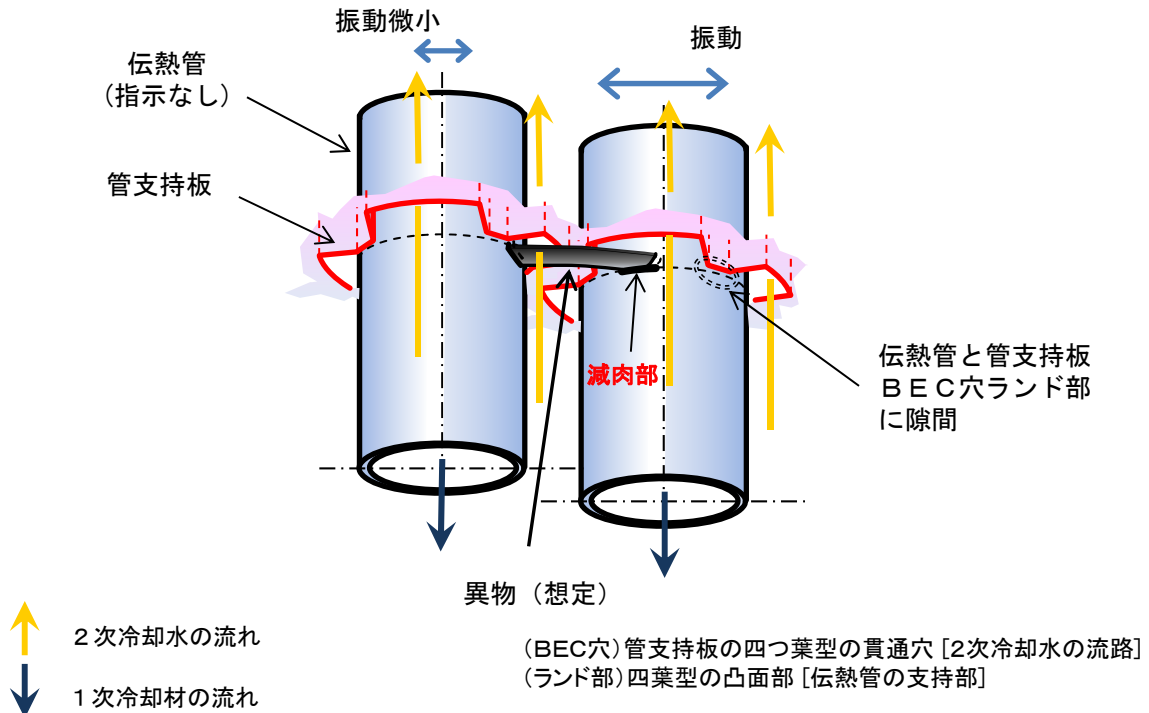
C- 蒸気発生器伝熱管の状況



- : 有意な信号指示管 (3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)

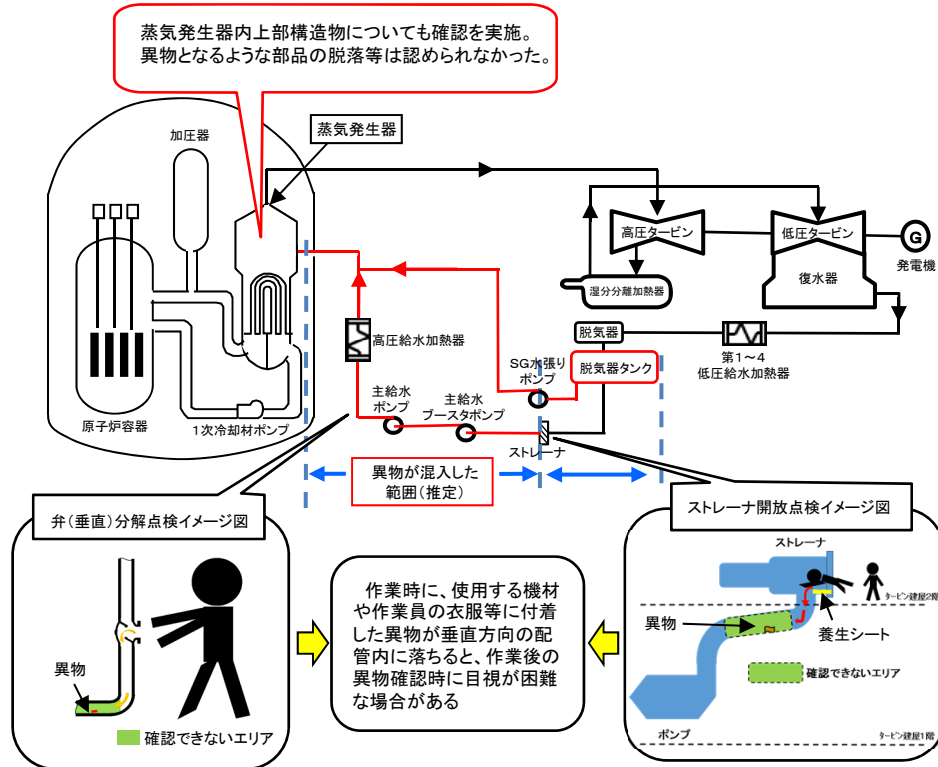
伝熱管損傷の推定メカニズム

◆工場における再現試験等の結果、蒸気発生器内の水・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、摩擦減肉が発生することを確認した。



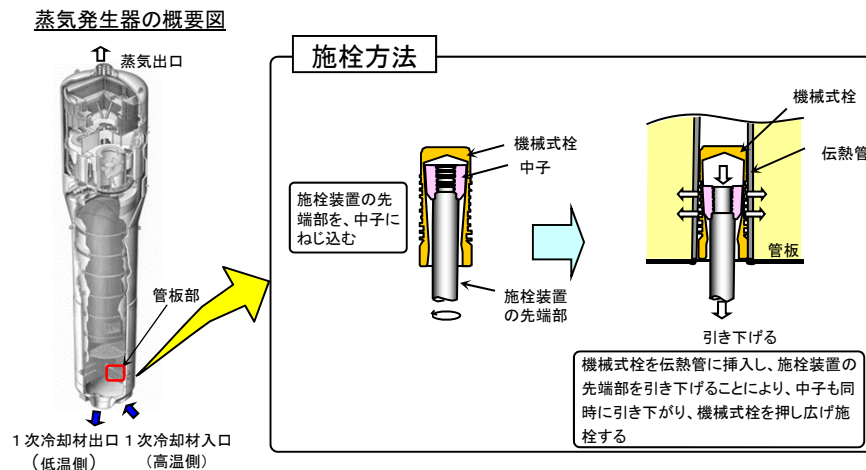
外面減肉の要因となった異物混入の調査結果

◆伝熱管に外面減肉を生じさせた異物は、前回の定期検査(第21回)の作業で2次系に混入した後、蒸気発生器内に流入し、当該部に入り込んだ可能性が高いと考えられる。



対策

◆外面減肉が認められた蒸気発生器伝熱管5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する。

- ・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。

高浜発電所4号機の蒸気発生器伝熱管の施栓履歴

	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)	施 栓 理 由 ()内は、実施した対策
第4回定検 (1990.2～5)	7	9	5	21	振止め金具部の摩耗減肉 (振止め金具の取替実施)
第9回定検 (1996.9～11)	10	0	0	10	管支持板洗浄装置の接触痕を確認
第11回定検 (1999.4～7)	0	0	4	4	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第12回定検 (2000.9～11)	4	1	6	11	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第13回定検 (2002.1～3)	1	0	0	1	高温側管板拡管部の応力腐食割れ (ショットピーニング施工)
第14回定検 (2003.4～6)	1	1	0	2	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第15回定検 (2004.8～10)	112	122	105	339	旧振止め金具部の微小な摩耗減肉 (新方式のECT採用)
第18回定検 (2008.8～12)	0	0	1	1	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第19回定検 (2010.2～5)	0	0	1	1	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第20回定検 (2011.7～2017.5)	0	1	1	2	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第21回定検 (2018.5～2018.9)	2	0	0	2	高温側管板拡管部の応力腐食割れ
第22回定検 (今回施栓予定)	1	1	3	5	外面からの摩耗減肉
累積施栓本数 [施栓率]	138 [4.1%]	135 [4.0%]	126 [3.7%]	399 [3.9%]	

○蒸気発生器1基あたりの伝熱管本数: 3, 382本

○定検回数下部に記載しているカッコ内の年月は、解列～並列

○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)