



高浜発電所 4 号機の 蒸気発生器伝熱管の損傷

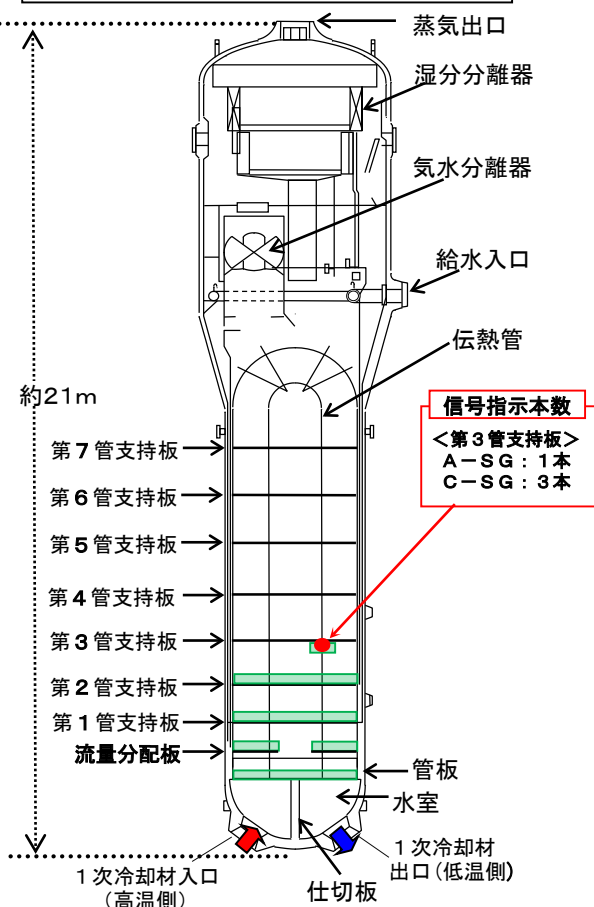
2021年1月22日

蒸気発生器伝熱管の損傷発生状況

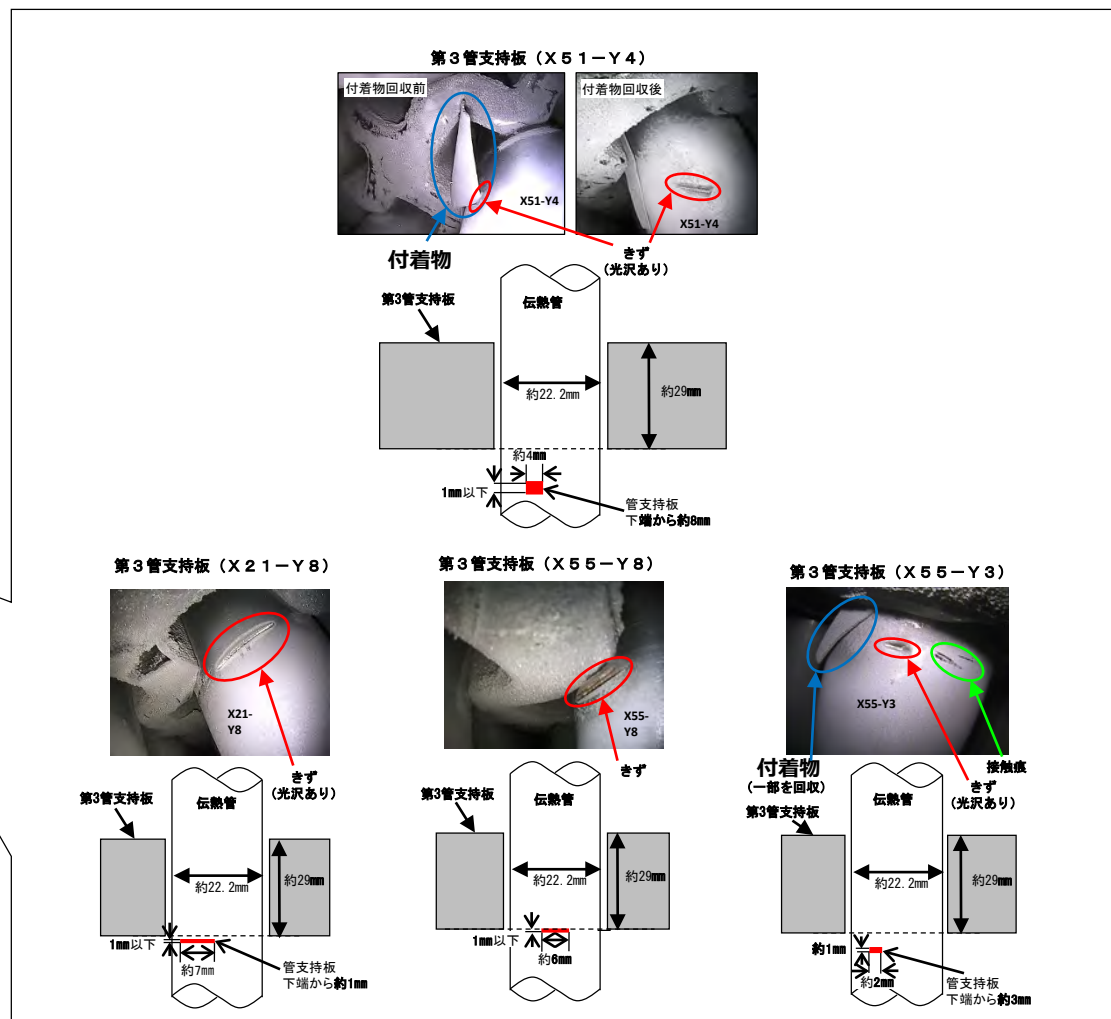
事象の概要

- 2020年10月7日からの第23回定期検査において、蒸気発生器（以下、「SG」と言う）伝熱管の渦流探傷試験を実施した。その結果、同年11月20日にA-SGの伝熱管 1 本およびC-SGの伝熱管 3 本の伝熱管 4 本について、管支持板部付近に外面からの減肉とみられる有意な信号指示を確認した。
- 小型カメラによる外観観察の結果、有意な信号指示を確認した箇所に外面減肉が認められた。

小型カメラでの点検箇所



■：小型カメラでの点検箇所

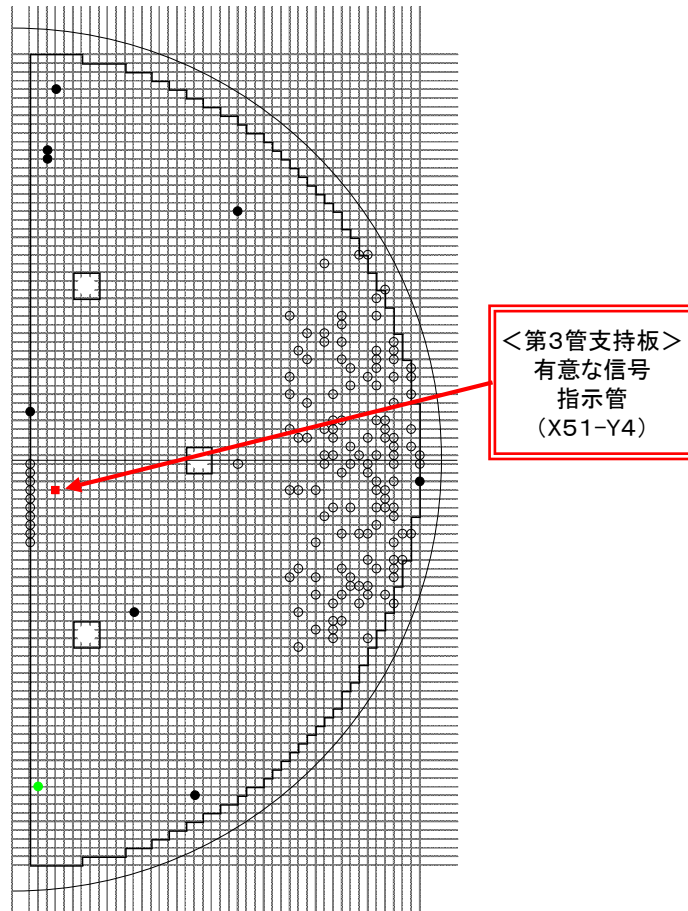


AおよびC－SG信号指示位置およびスケール回収範囲

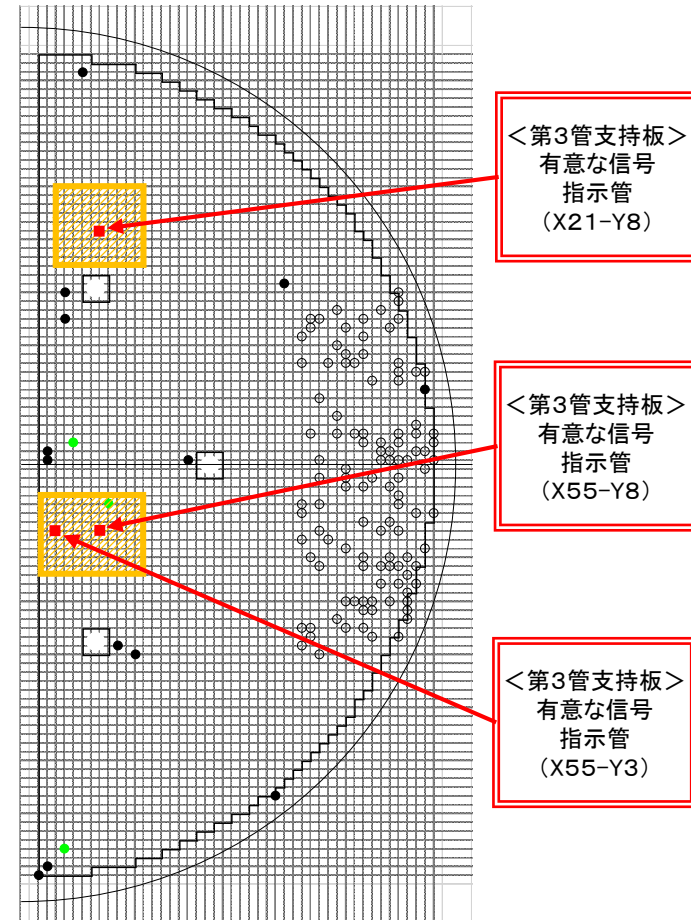
2

A、C－S/Gの信号指示位置およびC-S/Gのスケール回収範囲を下图に示す。

A－蒸気発生器上部より見た伝熱管位置を示す図



C－蒸気発生器上部より見た伝熱管位置を示す図

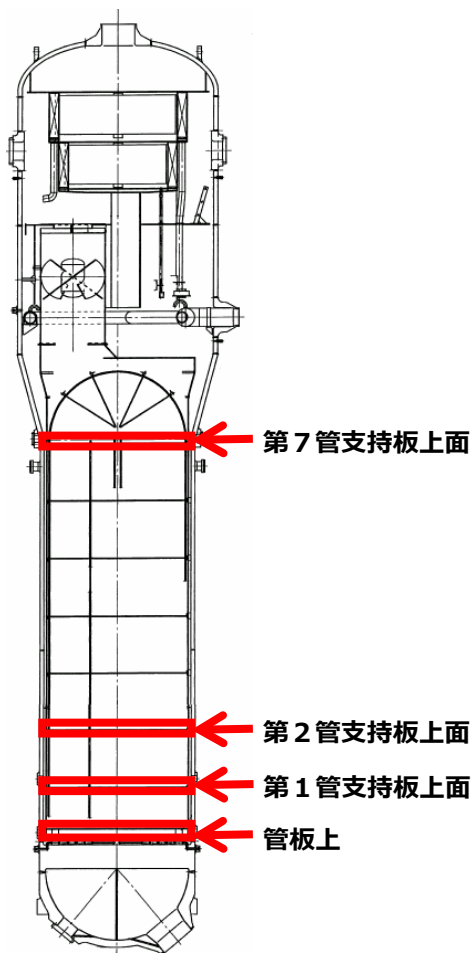


凡例

- : 有意な信号指示管
- : 既施栓箇所(2019年第22回定検時外面減肉)
- : 既施栓管(拡管部応力腐食割れ)
- : 既施栓管(拡管部応力腐食割れ以外)
- : スケール回収範囲

スケール回収数一覧表

高浜、大飯各発電所のスケール回収数を下表に示す。



	高浜 4号機 (C-SG) ※1	高浜 3号機	大飯 3号機	大飯 4号機	高浜 2号機
第7管支持板	約40個	約70個	—※2	—※2	—※2
第2管支持板	約190個	約50個	—※2	—※2	—※2
第1管支持板	約100個	約80個	—※3	—※3	—※3
管板※4	3,000個以上	3,500個以上	約100個	約150個	—※3

※1 高浜4号機では、C-SGの他にA-SGの有意な信号指示があった1本の伝熱管の減肉箇所に確認されたスケールを回収している

※2 ハンドホールが無いため回収不可

※3 スケール採取を試みるも伝熱管へのスケール付着が軽微であり、採取できるほどの厚みがないことを確認

※4 毎定検実施している管板上清掃の際に回収

管支持板下面へのスケールの付着状況の想定

- スケールC 2、C 3について、管支持板下面に付着した場合のきずの位置との関係について調査した結果、スケールの筋状痕ときずの位置や、スケールに認められた平滑な面と管支持板表面の接触痕の位置等が一致することを確認した。

A – S Gで回収したスケールの分析結果

<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

- ・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。

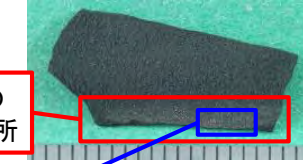
C – S Gで回収したスケールの分析結果

スケールC 2

<凹面>

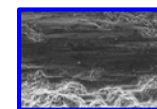


<凸面>



伝熱管との
接触想定箇所

- ・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。

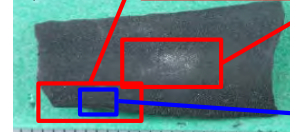


平滑面
(管支持板との
接触想定箇所)

- ・管支持板の主成分であるクロムを検出。

スケールC 3

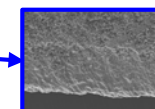
<凸面>



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。



- ・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。

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

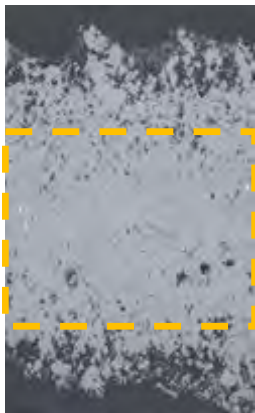
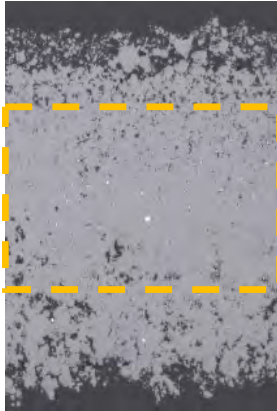
AおよびCーSGから回収したスケールの性状の確認

伝熱管をきずつけた可能性が高いと推定されたスケールA、C 2、C 3について、それぞれ一部を切断して断面を観察した結果、大部分が密度の高い層（稠密層）になっていることを確認した。

回収スケールの断面観察結果

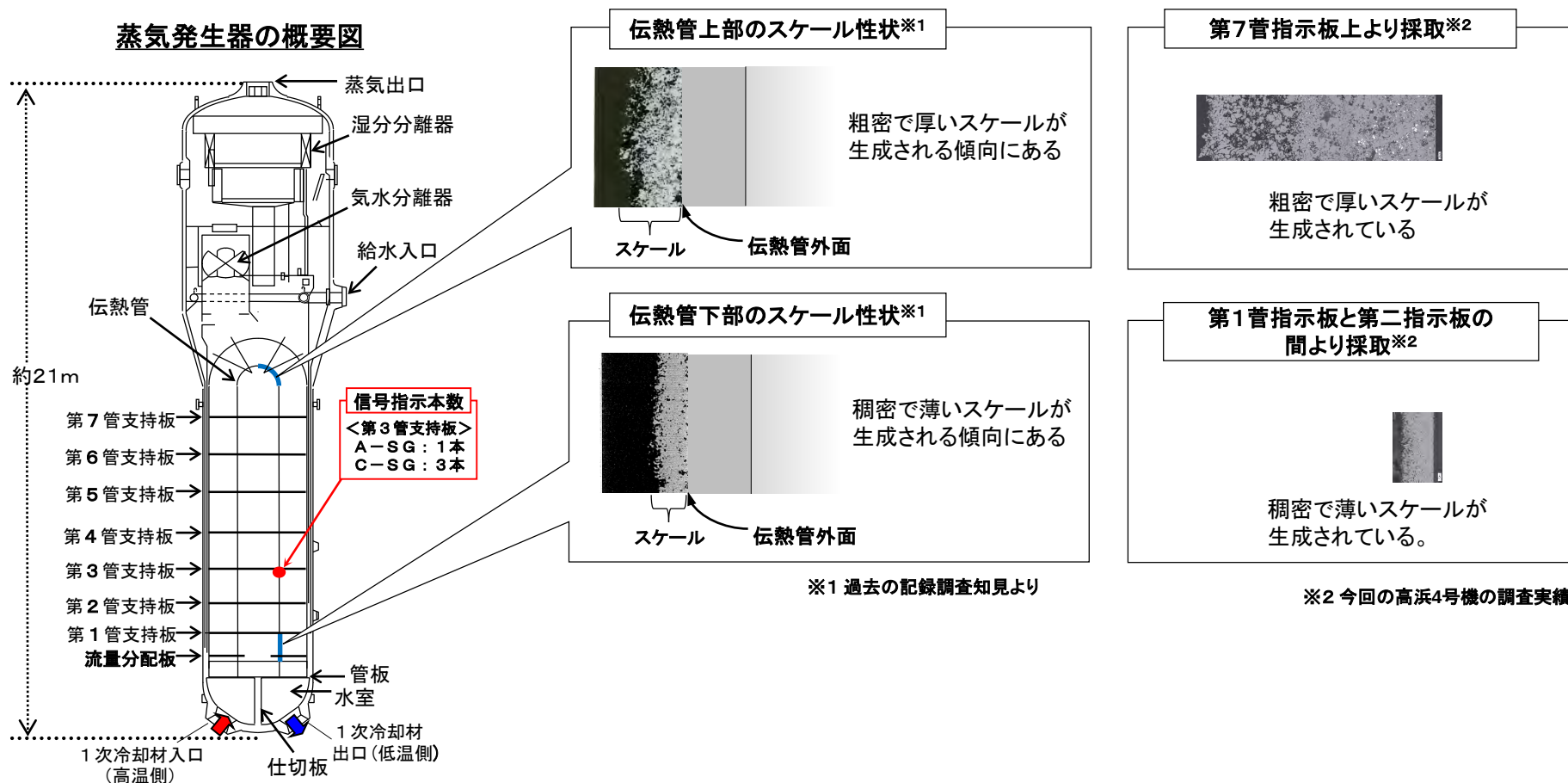


稠密層の範囲

	AーSG 回収スケール	CーSG回収スケール(C2)	CーSG回収スケール(C3)
断面観察結果	 約0.2～0.3mm	 約0.3mm	 約0.3mm
回収場所	AーSG伝熱管減肉部 (第3管支持板下部)	第2管支持板上	第1管支持板上
性状	稠密層が主体(稠密層厚さ 0.1mm～0.2mm程度)		

伝熱管のスケール付着状況の調査

- S G伝熱管のスケールの性状については、1996年に高浜発電所3号機S G伝熱管の健全性確認を目的とした抜管調査を実施した際に、スケールの付着状況の調査を行っており、その結果、伝熱管の場所によりスケールの性状が異なり、伝熱管上部のスケールは厚みがある一方で密度が比較的低い層（粗密層）が主体であり、下部のスケールは層厚が薄いものの稠密層が主体であるとの結果が得られている。
- これらを踏まえ、高浜発電所4号機の伝熱管上部および下部のスケールの付着状況を調査するため、S Gの上部（第7管支持板上）および下部（第2管支持板から管板上の間）のスケールを採取し、断面観察を行った結果、高浜発電所3号機の調査結果と同様の結果が得られた。



スケールによる伝熱管外面の摩耗減肉の可能性調査

7

過去の摩耗試験結果

- 高浜発電所 3 号機では、S G 伝熱管損傷の原因調査を行うため、S G 内から採取したスケールを用いて摩耗試験を実施。
- スケールの厚さが大きいほどスケールが折損しにくいと想定し、比較的厚みのあるものを（約0.6mm～1.0mm）を 7 個、比較的薄いもの（約 0.3mm～0.4mm）を 2 個選定。
- これらの摩耗試験の結果、いずれもスケールが先に摩滅したため、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。

今回の摩耗試験結果

- スケール A、C 2、C 3 は、厚さが約0.2mm～0.3mmであり、稠密層が主体であった。
- このため、S G 内から回収したスケールのうち、厚さが0.2mm～0.3mm程度かつ稠密層が主体のスケールを 3 個選定して摩耗試験を実施。
- その結果、伝熱管の減肉量がスケール摩滅量よりも大きくなることを確認。

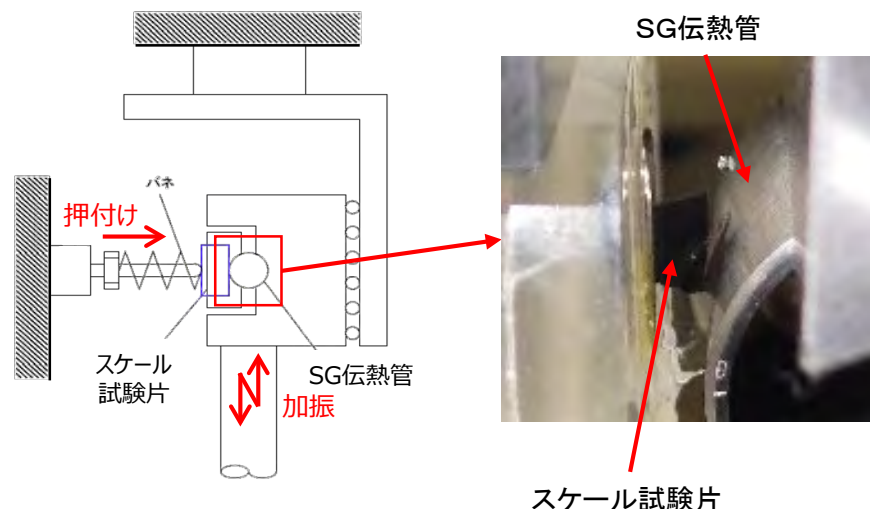
摩耗試験の状況

【摩耗試験概要】

工場において、試験装置により、S G 内から回収したスケールを伝熱管（実機と同材料）に押し付けた状態で加振し、有意な摩耗減肉が生じる可能性について確認を実施。

【摩耗試験結果】

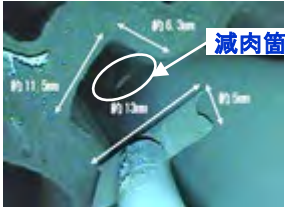
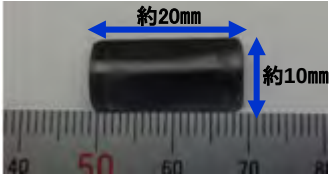
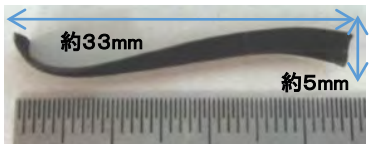
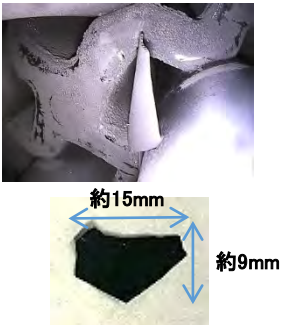
伝熱管の減肉量がスケール摩滅量よりも大きくなることを確認。



稠密層が主体であるスケールが伝熱管に繰り返し接触することにより、伝熱管に有意な減肉が生じる可能性があることを確認。

これまでのS G 伝熱管減肉事象における調査状況

8

	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 2 3 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 2 2 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 2 4 回定検 (2020年2月)	B-SG : 1本 C-SG : 2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 2 3 回定検 (今回)	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		<u>可能性が高い</u>

※ 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

原因調査状況

スケールの生成には、S G内への鉄イオンや鉄微粒子の持ち込み量が関係していることから、運転時間や水質管理の状況について調査を実施。

S G内への鉄持ち込み量と運転時間

ユニット	鉄持ち込み量(kg)	運転時間(万時間)	薬品洗浄実績	特徴
高浜4号機	2,490	22.2	無	他プラントに比べ、運転時間が長く、鉄イオンや鉄微粒子の持ち込み量が多い。
高浜3号機	2,620	22.3	無	
大飯3号機	1,850	17.0	有	2019～2020年に薬品洗浄を実施している。
大飯4号機	1,950	17.2	有	
高浜1号機	680	10.9	無	平成6～8年にかけてSG取替えを実施している。
高浜2号機	940	12.5	無	
美浜3号機	780	9.0	無	

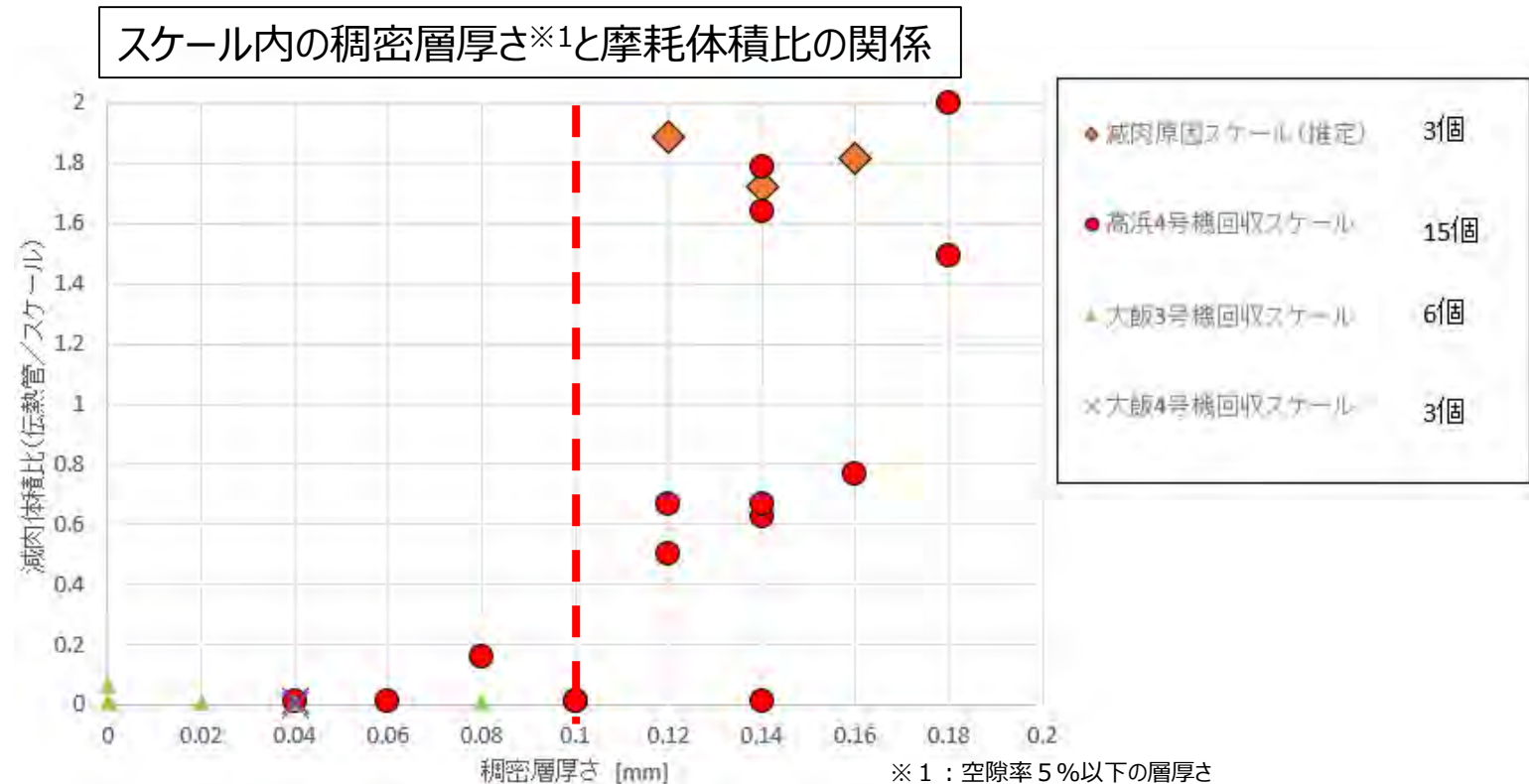
他プラントのS G伝熱管スケールの性状比較

- 大飯発電所4号機のS G伝熱管下部からスケールを採取し、断面観察を行った結果、高浜発電所4号機S G内から採取したスケールと比べて、稠密層の割合が少ないことを確認した。
- これらのスケールを用いて摩耗試験を実施した結果、試験開始直後にスケールが折損するか、伝熱管よりも先にスケールが摩滅した。
- 高浜発電所2号機のS G伝熱管下部では、伝熱管へのスケール付着がごく軽微であり、採取できるほどの厚みがないことを確認した。

これまでの調査状況の整理

- 伝熱管にきずをつけた可能性が高いスケールA、C2、C3の性状を確認した結果、稠密層が主体であることを確認するとともに、同様の稠密なスケールを採取し摩耗試験を実施した結果、伝熱管の減肉量がスケール自身の摩滅量よりも大きくなることを確認している。

これまでの調査の結果、空隙率の大きい多孔質層は摩耗能力に影響しないと考えられる。このため、「厚さ」としてカウントする稠密層を空隙率5%以下として減肉体積比との相関に係るデータを採取し、稠密層厚さが減肉体積比に影響することを確認している。



再発防止策

再発防止対策として薬品洗浄の実施を検討中。

(高浜4号機回収スケールを用いた薬品洗浄試験(浸漬試験)の結果、スケールを粗密化できることを確認済)