

令和3年1月14日
原子力安全対策課
(02-30)
<15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調査状況)

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2年10月7日から第23回定期検査を実施しており、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、A-SGの伝熱管1本、C-SGの伝熱管3本の管支持板^{※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。

小型カメラを用いて有意な信号指示があった伝熱管の外観を調査した結果、A-SG伝熱管の信号指示箇所に付着物を確認した。付着物を回収した結果、大きさは、幅約15mm、長さ約9mmであった。また、伝熱管のきずの大きさは、幅約1mm以下、周方向に約4mmであった。

また、C-SGの3本の伝熱管には、信号指示箇所に幅約1mmもしくは1mm以下、周方向に約2mmから7mmのきずを確認した。このうち、1本の伝熱管において、伝熱管と管支持板の間に付着物が挟まっていることを確認した。

これら4本の伝熱管のきずの位置は、いずれも、第3管支持板下端付近もしくは、第3管支持板下端から約1mm～8mm下にあることを確認した。

SG内で確認された付着物について、工場において化学成分分析、外観観察等の詳細調査を実施した結果、プラント運転に伴いSG伝熱管外表面に生成された鉄酸化物（スケール）と推定された。

付着物A（スケールA）では、伝熱管減肉部と接触していたと想定される部位に伝熱管の主成分であるニッケルおよびクロムの成分を検出したことから、この付着物が伝熱管をきずつけた可能性が高いと推定された。一方、付着物C（スケールC1）では、表面の一部にニッケルをわずかに検出したが、クロムは検出されなかった。

今後、スケールが伝熱管を傷つけるメカニズムを調査するため、蒸気発生器内からスケールを採取し、その性状等の確認を行う。また、蒸気発生器および2次冷却系統の水質管理の履歴等について調査を行う。

なお、この事象による環境への放射能の影響はない。

※1 既施栓管を除く合計9,747本（A-SG：3,244本、B-SG：3,247本、C-SG：3,256本）

※2 伝熱管を支持する部品

※3 2次系配管に含まれる鉄の微粒子が固まってできた鉄酸化物。

（令和2年11月20日、25日、12月15日記者発表済）

スケールが伝熱管を傷つけるメカニズムを調査するため、C-SGにおいて損傷が確認された3本の伝熱管周辺の第1、第2管支持板上から約300個のスケールを回収し、その性状等の確認を行った。その過程で、C-SGの伝熱管を損傷させた可能性のあるスケールを回収した。

これらの調査状況については以下の通りである。

1. C-SGから回収したスケールの調査

回収したスケールの外観観察等の結果、2つのスケール(C2、C3)の外表面に接触痕が認められたことから、工場において化学成分分析、外観観察等の詳細調査を実施した結果、以下のことを確認した。

(1) 外観観察結果

スケールC2(幅約18mm、長さ約10mm、厚さ約0.3mm、重さ約0.19g)およびC3(幅約23mm、長さ約11mm、厚さ約0.3mm、重さ約0.25g)には、伝熱管減肉部と接触していたと想定される部位に接触痕を確認した。

スケールC2、C3の形状を計測した結果、スケールC2は直径約22.3mmの円筒状、スケールC3は直径約22.6mmの円筒状に沿った形状であり、伝熱管(円筒)の外周(直径約22.2mm)に近い形状であることを確認した。

(2) 電子顕微鏡による観察結果

スケールC2およびC3について、伝熱管減肉部と接触していたと想定される部位を拡大観察した結果、筋状痕があり、伝熱管との摺動によりできたものと推定した。

また、スケールの表面の一部に平滑な面が認められたが、拡大観察の結果、筋状痕は確認されなかった。

(3) 成分分析結果

スケールC2およびC3の化学成分分析の結果、主成分はマグネタイトであり、SG内で発生するスラッジ(スケール)と同成分であることを確認した。また、伝熱管減肉部と接触していたと想定される部位に伝熱管の主成分であるニッケルおよびクロムの成分が検出されたことから、これらのスケールが伝熱管をきずつけた可能性が高いと推定された。なお、スケールの表面に認められた平滑な面には、管支持板の材料に多く含まれるクロムの成分が検出された。

(4) 管支持板下面へのスケールの付着状況の想定

スケールC2、C3について、管支持板下面に付着した場合の傷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傷の位置や、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。

2. AおよびC-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、C2、C3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。

3. 伝熱管のスケール付着状況の調査

SG伝熱管のスケールの性状については、平成8年に高浜3号機SG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、SG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3号機の調査結果と同様の結果が得られた。

4. スケールによる伝熱管外面の摩耗減肉の可能性調査

(1) 過去の摩耗試験結果

高浜4号機および高浜3号機では、至近の定期検査においてSG伝熱管損傷が発生しており、原因調査の中でスケールに起因する可能性についての調査を行うため、SG内からスケールを採取し摩耗試験を実施している。

高浜3号機では、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（約0.6～1.0mm）を7個、比較的薄いもの（約0.3～0.4mm）を2個選定した。

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した。

(2) 今回の摩耗試験結果

スケールA、C2、C3は、厚さが約0.2～0.3mmであり、稠密層が主体であった。

このため、SG内から回収したスケールのうち、厚さが0.2～0.3mm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行った。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した。

これらのことから、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した。

5. SGの運転履歴調査

スケールの生成には、SG内への鉄イオンや鉄微粒子の持ち込み量に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行った。

(1) 運転時間

高浜4号機のSGは、運転開始以降22.2万時間の運転を行っている。また、高浜3号機のSGも22.3万時間の運転実績があり、大飯3、4号機や蒸気発生器の交換を行った美浜1～3号機、大飯1、2号機、高浜1、2号機よりも運転時間が長いことを確認した。

(2) 水質管理履歴

2次冷却系統については、溶存酸素、電気伝導率等を管理し、また pH を高く維持することで給水設備からの溶出による鉄イオンや鉄の微粒子の持ち込みを抑制しており、これらの履歴からも水質管理に問題がないことを確認した。

高浜3、4号機は運転年数も長いことなどから、SG内に持ち込まれた鉄分の積算量についても、他プラントに比べ多いことを確認した。

なお、大飯3号機および4号機は、SG伝熱性能などのプラント性能指標の回復を目的として、SG内の薬品洗浄を実施しており、その結果、スケールの除去、粗密化が図られている。

6. 他プラントのSG伝熱管スケールとの性状比較

SGの運転履歴を調査した結果、高浜4号機および高浜3号機は運転時間がほぼ同じであり、他プラントは、これらのプラントと比較して運転時間が短く、SGへの鉄の持ち込み量は少ない状況であることを確認した。

大飯4号機のSG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4号機SG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。また、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。

なお、高浜2号機のSG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。

7. これまでの原因調査状況のまとめ

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、密度の高い酸化鉄の層（稠密層）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た。

6. 今後の予定

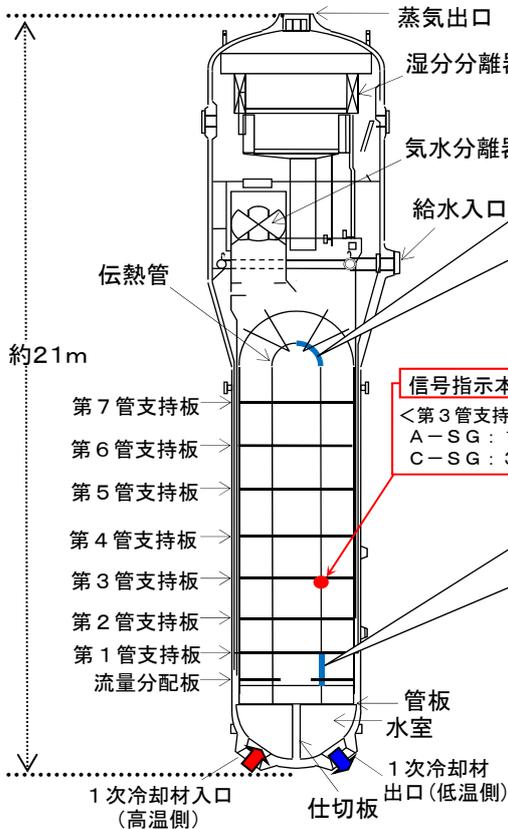
引き続き、回収したスケールの分析等を実施し、再発防止策の検討を行う予定である。

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

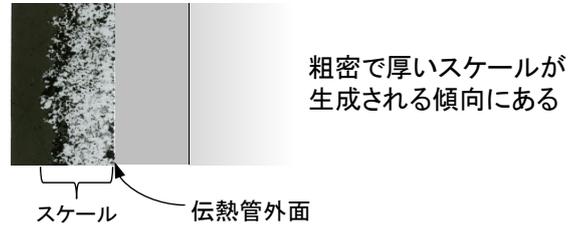
高浜発電所4号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管損傷に関する点検状況の続報)

発生箇所

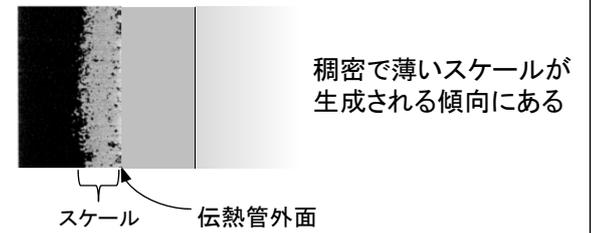
蒸気発生器の概要図



伝熱管上部のスケール性状※

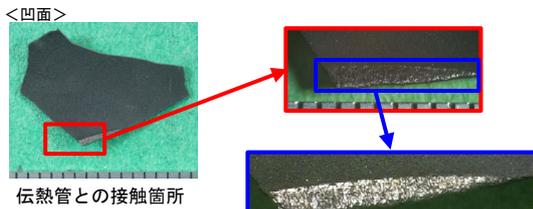


伝熱管下部のスケール性状※



※過去の記録調査知見より

A-SGで回収したスケールの分析結果



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)

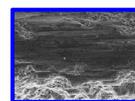
・伝熱管との接触箇所に光沢を確認。
(電子顕微鏡による観察の結果、筋状の摺れ痕を確認。)
・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

C-SGで回収したスケールの分析結果

スケールC2

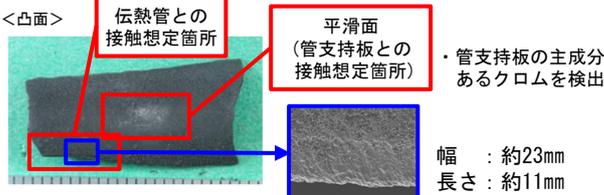


・筋状の摺れ痕を確認。
・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。

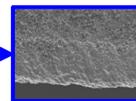


幅 : 約18mm
長さ : 約10mm
厚さ : 約0.3mm
重さ : 約0.19g
材質 : マグネタイト
(鉄酸化物)

スケールC3



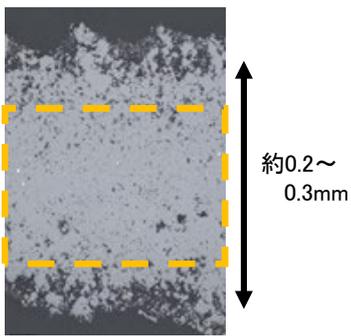
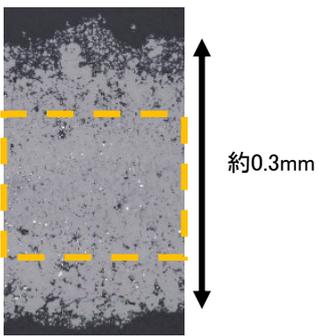
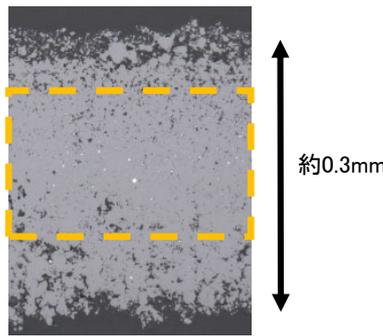
・筋状の摺れ痕を確認。
・伝熱管の主成分であるニッケルやクロムを検出。



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
(鉄酸化物)

回収スケールの断面観察結果

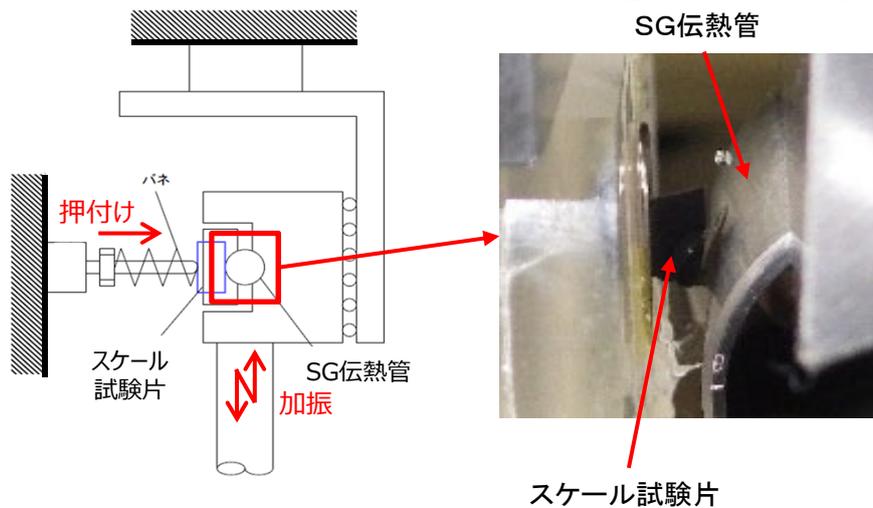
 稠密層の範囲

	A-SG 回収スケール	C-SG回収スケール(C2)	C-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-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	稠密層が主体	稠密層が主体

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、SG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行った。



【これまでの摩耗試験結果】

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した。

SG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)
高浜4号機	2,490	22.2
高浜3号機	2,620	22.3
大飯3号機	1,850	17.0
大飯4号機	1,950	17.2
高浜1号機	680	10.9
高浜2号機	940	12.5
美浜3号機	780	9.0