

原子力施設等における事故トラブル
事象への対応に関する公開会合
第15回議事録

令和3年2月5日（金）

原子力規制委員会

原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合
第15回
議事録

1. 日 時：令和3年2月5日（金）10:00～11:50

2. 場 所：原子力規制委員会 13階会議室B, C, D

3. 出席者

(1) 原子力規制委員会

武山 松次	実用炉監視部門	安全規制管理官（実用炉監視担当）
高須 洋司	実用炉監視部門	統括監視指導官
小野 達也	実用炉監視部門	上級原子炉解析専門官
反町 幸之助	実用炉監視部門	主任監視指導官
東 侑記	実用炉監視部門	原子力規制専門員
片岡 一芳	原子力規制企画課・技術基盤課	専門職

(2) 事業者

関西電力株式会社

日下 浩作	原子力事業本部	原子力発電部門	原子力保全担当部長
長谷川 宏司	高浜発電所	副所長	
佐藤 友康	高浜発電所	運営統括長	
白子 博章	高浜発電所	原子炉保修課長	
志和屋 裕士	高浜発電所	課長	
荒田 豊志	高浜発電所	第二発電室	定検課長
今岡 友久	高浜発電所	タービン保修課	タービン係長
赤峰 浩司	原子力事業本部	原子力発電部門	放射線管理グループ リーダー
丹羽 悠介	原子力事業本部	原子力発電部門	保全計画グループ リーダー

4. 議 事

(1) 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管の損傷について

(2) その他

5. 配付資料

資料 1 - 1 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管の損傷について（概要版）

資料 1 - 2 発電用原子炉施設故障等報告書

6. 議事録

○武山安全規制管理官 定刻になりましたので、第15回原子力施設等における事故トラブル事象への対応に関する公開会合を開催します。

司会進行を務めます、私、実用炉監視部門の安全規制管理官をしております武山です。

本日の会合は、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを利用しております。そこで、テレビ会議システムでの会合について、注意事項を説明します。

説明者及び質問者は、まず所属と名前をおっしゃってから発言してください。映像から発言者が特定できるように、必要に応じて挙手してから発言を行ってください。また、説明終了時には、説明が終わったことが分かるようにしていただきたいと思います。説明に当たっては、説明している資料の項目やページ番号を明確にしてください。音声について、不明瞭なところがあれば、お互いがその旨を伝え、再度説明していただくことにしようと思いますので、よろしくお願いします。

本日の議題は、高浜発電所4号機蒸気発生器伝熱管の損傷についてです。

本件は、定期検査中の関西電力高浜発電所4号機において、関西電力が3台の蒸気発生器の伝熱管全数について、渦流探傷検査を実施したところ、Aの蒸気発生器の伝熱管1本、Cの蒸気発生器の伝熱管3本の管支持板下部に外面からの減肉と見られる有意な信号指示が認められ、昨年11月20日に法令に基づいて原子力規制委員会に報告があった事案です。

本件について、令和元年10月17日に高浜発電所4号機で、令和2年2月18日に高浜発電所3号機で類似の事象が発生しておりますけれども、その原因として蒸気発生器の器外等から流入した異物が蒸気発生器伝熱管を損傷したと推定しておりましたけれども、本年1月25日付で関西電力から提出された、今回の事象の原因と対策に係る報告書では、蒸気発生器伝熱管表面に付着したスケールが剥離し、それが伝熱管と接触し損傷したと推定しております。今回、その推定原因の詳細及び対策について、御報告をいただきたいと思っております。

では、関西電力のほうから、資料に基づいて御説明をお願いいたします。

○長谷川副所長 関西電力、高浜発電所の長谷川でございます。本日はお忙しい中、会合を開催いただきありがとうございます。

今回、高浜4号機のSGで認められました外面減肉につきまして、徹底的に調査を行いまして、原因と対策を取りまとめまいりました。本日はその内容について、御説明させていただきます。

資料につきましては、お手元に資料1-1、高浜発電所4号機、蒸気発生器伝熱管の損傷について（概要版）というものと、報告書をそろえております。資料1-1の概要版を用いて御説明させていただきたいというふうに思っております。

それでは、よろしくお願いいたします。

○志和屋課長 関西電力の志和屋です。

そうしましたら、高浜4号機蒸気発生器伝熱管の損傷について、資料1-1に基づき説明い

たします。よろしくお願ひします。

2ページをお願ひします。

本日の説明内容は以下のとおりで、事象の概要から対策まで、順に御説明いたします。

3ページをお願ひします。

まず、事象の概要です。昨年10月7日からの高浜4号機第23回定期検査において、蒸気発生器、以下「SG」と言いますが、伝熱管の渦流探傷試験、以下「ECT」と言いますが、これを実施しました。その結果、AのSGの伝熱管で1本、CのSGの伝熱管の3本について、全ての低温側の第三管支持板部付近に外面からの減肉と見られる有意な信号指示を確認しました。

4ページをお願ひします。

4ページは、A-SGのECTの信号指示の結果を示しています。渦電流変化の電気信号を図で示したリサージュ波形は、伝熱管外面の周方向に沿った非貫通の傷の特徴を有しており、また色調図表示により管支持板部下面付近の指示を確認しました。なお、右側には前回、第22回定期検査におけるECTデータと比較していますが、前回は有意な信号指示がないことを確認しています。

続いて、5ページをお願ひします。

以降の5ページ、6ページ、7ページにC-SGのECTの信号指示の結果を示しています。前ページのA-SGと同様に、管支持板部下面付近に伝熱管外面周方向に沿った非貫通の傷の指示を確認しました。また、それぞれ前回は有意な信号指示がないことを確認しています。

ページを飛ばしまして、続いて8ページをお願ひします。

ECTで減肉と見られる信号指示が認められた伝熱管を2次側から小型カメラを用いて観察した結果、各SGの第三管支持板の下部に外面からの摩耗減肉痕を確認し、また伝熱管周辺の管支持板に接触痕を確認しています。なお、この外観観察結果とECTからの信号指示による位置及びサイズに相違がないことを確認しました。

また、下の写真に示すように、A-SGの箇所、及び、このほか、C-SGの1箇所の信号指示部付近において付着物を確認しており、その付着物も回収しております。

続いて、9ページをお願ひします。

ここからは伝熱管の外面減肉の原因調査について、説明します。要因分析図に基づき伝熱管内面からの傷、伝熱管外面からの粒界腐食割れなどの損傷の可能性について、記載のようにそれぞれ確認を実施しました。

主要なものとしましては、黒ポツの下三つでございますが、SG器外流入物による減肉については、カメラによる目視点検等を実施した結果、異物は確認できなかったということで、これについては10ページ以降で御説明いたします。

その下の黒ポツ、SG器内流入物のうち、SG内部品の脱落については設計図書により確認した結果、内部品の脱落はないことを確認しています。こちらについては、17ページ。

その下のSG器内流入物のうち、A及びCの伝熱管に付着したスケール及びC-SGの減肉を確認した伝熱管周辺で回収したスケールについて、成分分析等を実施した結果、これらのス

ケールが減肉を発生させたというふうに考えています。こちらにつきましては、18ページ以降のほうで説明いたします。

続いて、10ページをお願いします。

まず、異物に対する調査として、これまでの対策内容の整理を実施しました。高浜4号機、前回22回定期検査におけるSG伝熱管損傷事象を受け、以下に示す異物混入対策を実施しており、その対策を確実に実施することにより、SGの異物混入の可能性はないというふうに考えています。なお、これらの対策の内容については、その後に発生した高浜3号機、第24回定期検査における伝熱管の損傷事象での異物混入対策の内容と同等の実施内容となっております。下の白丸のところに、それぞれの内容を記載してございます。

続いて、11ページをお願いします。

こちらは異物混入対策の変遷を示していますが、下から上へと、対策内容を充実させており、高浜4号機においても、前回、高浜3号機の内容を展開し、異物混入対策を実施しています。後ほどのページで御説明しますSG内外の点検結果からも、異物の混入はなく、異物混入対策は有効であったと判断しています。今後も引き続き同様の異物混入対策を実施し、異物混入を徹底的に防止していきます。

続いて、12ページをお願いします。

具体的にSGに異物が流入する可能性がある機器の開放箇所について、調査しております。範囲は図のとおり、SG上流側の主給水系統及びSG水張系統となります。

13ページをお願いします。

先ほどの系統にて実施している全ての点検対象機器は310箇所あり、機器の健全性及び異物管理状況を確認した結果、異物混入の可能性はないことを確認しました。具体的には今回の定期検査で開放した機器は24箇所であり、また前回、3号機の事象ではSG器内でガスケットパッキンの一部を確認しましたが、同様に渦巻きガスケットを使用している機器のうち構造上流出の可能性のある20の機器についても、過去の点検記録により異常のないことを確認しており、異物管理の観点でも問題なかったことを確認してございます。

続いて、14ページをお願いします。

次は異物調査、異物探しの観点の御説明です。A及びC-SGの管板、流量分配板、第一及び第二管支持板の上面の全ての範囲並び減肉が認められた伝熱管近傍の第三管支持板下面について、目視点検を実施しました。また、念のため、第三管支持板以上の上面の全ての範囲についても目視点検を実施しています。また、減肉を確認していないB-SGについても同様に目視点検を実施しました。その結果、伝熱管から剥離したスケール及びスラッジ以外の異物は確認できませんでした。

15ページをお願いします。

次に、SG下流側の調査になります。前回、3号機の事象を踏まえ、SGブローの前に系外ブローライン及び復水器ホットウェルブローラインに仮設ストレーナを設置し、SGブロー後に開放点検を実施しました。また、系外ブローライン、復水器回収ラインについても開

放点検を実施しました。その結果を次ページで御説明します。

16ページをお願いします。

一つ目の白丸、仮設ストレーナを確認した結果、スラッジ及び鉄さびを確認しましたが、異物は確認できませんでした。

二つ目、三つ目の白丸、系外ブローライン、復水器回収ラインを確認した結果、異物は確認できませんでした。

以上により、SG器内、器外からの異物は確認できませんでした。

続いて、17ページをお願いします。

ここでは、SG器内の流入物として、SG器内部品の脱落について、調査しました。薄片形状のSG内部品が脱落し、伝熱管を減肉させる可能性について、設計図書により確認しております。その結果、振止め金具のキー固定板等が内部品として使用されていることを確認しましたが、これらの部品は溶接止めされていること、また周囲を溶接止めされた構造物に囲まれており、万が一脱落したとしても、周囲の構造物の外には出ないことから、内部品の脱落の可能性はないと考えられます。

以上までがSG器外、器内の流入物に対する確認となります。

18ページをお願いします。

ここからは、スケールに関する調査となります。A-SG、C-SGの一つから、それぞれ付着物を回収しており、成分分析等を実施しました。18ページからは、減肉を確認したA-SGの付着物の確認結果について、御説明します。

外観観察では、伝熱管減肉部と付着物の接触想定部である角部には接触痕があり、光沢が認められました。また、形状を計測した結果、直径約22.5mmの円筒状に沿った形状であり、これは伝熱管外径の22.23mmに近い形状であることを確認しました。SEM（走査型電子顕微鏡）観察を行った結果、接触想定部である角部に筋状痕を確認しました。

19ページをお願いします。

表面の化学成分分析を実施した結果、中央の主成分が主にマグネタイトの酸化鉄であったことから、スケールと推定しました。このスケールを今後、「スケールA」と言います。接触想定部である角部の成分分析をした結果、伝熱管母材のNi（ニッケル）及びCr（クロム）の成分を検出しました。

20ページをお願いします。

ここからは、C-SGの付着物の確認結果です。外観観察、SEM観察の結果、伝熱管の外径に近い形状のR形状であることを確認しました。また、付着物の凹面に接触痕はあったが、筋状痕は確認できませんでした。

21ページをお願いします。

成分分析の結果、中央の主成分が主にマグネタイトの酸化鉄であったことから、スケールであると推定しました。このスケールを今後「スケールC1」と言います。凹面の接触痕を成分分析した結果、伝熱管母材のNiはわずかに検出しましたが、Crは検出できませんで

した。

22ページをお願いします。

C-SG伝熱管の減肉を発生させたと考えられる異物等が発見されていないことを踏まえ、伝熱管周りからスケールを回収し、その場所を示してございます。C-SGの減肉を確認した伝熱管を中心に、X及びY方向に約10列ずつの範囲として減肉箇所下方の第二及び第一管支持板上にあるスケールを約300個回収し、確認しました。結果としまして、この範囲から減肉を発生させた可能性のある三つのスケール、以降「スケールC2、C3、C4」と言いますが、この三つのスケールを回収しており、これらのスケールの分析結果を以降で御説明いたします。

続いて、23ページをお願いします。

まず一つ目として、回収スケールC2の確認結果でございます。外観観察によって、凹面の一部に接触痕を確認し、また側面にも一部に接触痕を確認しました。形状についても、R形状を確認しています。SEM観察において、凹面の接触痕には筋状痕は確認できなかったものの、側面の接触痕では筋状痕を確認しました。

24ページをお願いします。

成分分析においては、凹面の接触痕が認められた部分より管支持板、SUS（ステンレス鋼）の主成分であるCr成分を検出しました。また、側面の接触痕が認められた部分からは伝熱管、こちらはインコネル600の主成分であるNi成分とCr成分を検出しました。

以上から、スケールC2は管支持板下面と接触しながら伝熱管に減肉を与えた可能性があると推定しました。

25ページをお願いします。

次に、減肉箇所との位置関係、当て込みを確認してございます。スケールC2の形状や筋状痕、接触痕の位置は減肉箇所や周辺の第三管支持板表面の接触痕の位置と一致することを確認しました。

続いて、26ページをお願いします。

次は、二つ目の回収したスケールC3についてでございます。外観観察にて凸面及び側面に接触痕を確認しました。形状においてもR形状を確認しています。SEM観察においては凸面の接触痕、接触痕③には筋状痕を確認できませんでしたが、側面の接触痕①②に筋状痕を確認しました。

27ページをお願いします。

成分分析においては、側面の接触痕が認められた部分からは伝熱管、インコネル600の主成分であるNi成分とCr成分を検出しました。また、凸面の接触痕が認められた部分より管支持板、SUSの主成分であるCr成分を検出しました。

以上から、スケールC3は管支持板下面と接触しながら伝熱管に減肉を与えた可能性があると推定しました。

28ページをお願いします。

減肉箇所との位置関係、当て込みについても確認しており、回収スケールC3の形状や筋状痕、接触痕の位置は減肉箇所や周辺の管支持板表面や隣接管の接触痕の位置と一致することを確認してございます。

続いて、29ページをお願いします。

こちらは三つ目の回収したスケールC4についてです。外観観察において、角部に接触痕を確認しました。形状についても、R形状を確認しています。SEM観察においては、接触痕に筋状痕を確認しました。

30ページをお願いします。

成分分析においては、角部の接触痕が認められた部分の表面の化学成分分析を実施した結果、伝熱管主成分であるNi成分とCr成分を検出しました。

以上から、スケールC4は管支持板下面と接触しながら伝熱管に減肉を与えた可能性があるかと推定しました。

続いて、31ページをお願いします。

減肉箇所との位置関係、当て込みについても確認しており、スケールC4の一部、伝熱管と接触部以外の箇所が破損したとすると、破損前の想定形状は減肉箇所や周辺の管支持板の接触痕の位置と一致することを確認しました。

32ページをお願いします。

まとめを記載していますが、付着物スケール、回収したスケールの確認結果より、スケールA、スケールC2、C3、C4が減肉を発生させたと考えてございます。

次に、33ページをお願いします。

ここからは、減肉メカニズムということで、減肉を発生させるスケールの生成メカニズム及び伝熱管を損傷させる可能性について、調査及び検討についての御説明となります。

スケールの生成メカニズムについては、これまでの水化学に関する知見から、2次系構成機器の流れ加速型腐食等で生じる鉄イオンや鉄の微粒子が給水とともにSG2次側へ持ち込まれることにより、析出付着と蒸発残渣という二つの現象が発生することで、SG伝熱管表面にスケールとして付着します。

まず、析出付着とは、給水とともにSG2次側に持ち込まれる鉄イオンが伝熱管に析出付着するものです。左下のグラフに鉄イオンの温度と溶解度の関係を示してございますが、高温ほど溶解度が小さくなるということで、溶解度の減少幅が大きい伝熱管下部において鉄イオンが析出するもので、そのスケールは稠密で薄い傾向がございます。

次に、蒸発残渣とは、鉄の微粒子が蒸発残渣として伝熱管表面に残留堆積するものです。伝熱管の上部では沸騰現象が顕著であることから、鉄イオンの析出付着よりも鉄の微粒子が蒸発残渣として残留堆積するもので、そのスケールは粗密な傾向がございます。また、右の図に記載してございますが、蒸発残渣によって残留堆積する鉄の微粒子のほうが、析出付着する鉄イオンに比べて粒径が大きいことから、伝熱管の上部ほど粗密で厚いスケールが、伝熱管の下部ほど稠密で薄い傾向になります。

34ページをお願いします。

ここではスケールの性状について、過去の実機調査の知見を説明いたします。平成8年に高浜3号機で健全性確認を目的に、伝熱管の抜管調査を実施した際、伝熱管各部位のスケールについて、断面マイクロ観察を実施しました。その結果、伝熱管上部のスケールほど粗密で厚く、伝熱管下部ほど稠密で薄いことを確認してございます。

35ページをお願いします。

こちらは高浜4号機、今回定期検査でも実機を確認してございます。伝熱管の上部と下部からスケールを回収し、性状を確認し、同じく伝熱管上部のスケールは粗密で厚く、伝熱管下部では稠密で薄いということを確認しました。

以上の結果から、稠密なスケールは伝熱管の下部で発生し、粗密なスケールは伝熱管の上部で発生することを確認してございます。

36ページをお願いします。

スケールは給水とともに持ち込まれる鉄イオン及び鉄の微粒子により生成されることから、2次系の水質管理について、調査してございます。

まず、SGの給水における水質管理については、電気伝導率、溶存酸素濃度、アンモニア濃度、ヒドラジン濃度及びpH等を管理しており、これまでの水質管理実績を確認し、いずれも基準値を満足しており、問題ないことを確認してございます。また、下に各プラントの水質管理の変遷を整理してございますが、スケールの生成に関係するpHについて、2次系の給水中への鉄の放出を抑制するために、アルカリ側に水質管理を行う必要があることから、これまでpH上昇によりSGへの鉄の持込み量の低減を図るべく、AVT (All Volatile Treatment) 処理、ETA (エタノールアミン) 処理、高ETA処理、高アンモニア処理と、改善してきてございます。

37ページをお願いします。

高浜4号機の給水中の鉄含有量の実測データを用い、各水処理履歴、各水処理の運転時間により鉄の持込み量を算出しており、各水処理、また合計値を示してございます。

以上の調査結果から、水処理方法に応じた量の鉄が経年的に持ち込まれていることを確認しました。

38ページをお願いします。

スケールは経年的に厚さが増加するということが考えられることから、厚さの増加に関する調査を実施しました。スケールの厚さの傾向を推定するパラメータとしては、主蒸気圧力やSG伝熱抵抗係数があり、その変化量を確認した結果、いずれも運転時間の経過とともに圧力低下や係数増加が認められるため、スケール厚さは経年的に増加しています。

以上の結果から、スケール厚さは経年的に増加していくものであることを確認しました。また、現在では高ETA処理や高アンモニア処理によって給水のpHを高く維持することで、1サイクル当たりの鉄の持込み量は1SG当たり数十kg程度に抑えられていることも確認してございます。

39ページをお願いします。

減肉を発生させる可能性のあるスケール性状を確認するため、A及びCで回収しましたスケールA、C2、C3及びC4の断面マイクロ観察を実施しました。下の写真に示すとおり、空隙率5%以下の稠密層を有する稠密で薄いスケールであることを確認しました。

40ページをお願いします。

これらのスケールは稠密であることから、それらと同等性状、稠密なスケールで摩耗試験を実施しました。稠密層が主体なもので、厚さが0.2~0.3mmのスケールを用いまして、実機条件を模擬した摩耗試験を行いました。伝熱管のほうが早く摩耗する結果が得られました。一方、これまで前回事象、高浜3号機の試験では、スケールのほうが早く摩滅してございましたが、前回の試験におきましては割れにくいスケールということで、稠密さではなく厚さに着目し、主に伝熱管上部から回収したスケールを供試体として選定したため、スケールのほうが早く摩滅しました。なお、前回のスケールは空隙率5%を超える領域が主体であったのに対し、今回回収したスケールは空隙率5%以下の領域が主体であったことから、以降では空隙率5%以下の領域を稠密層と定義しています。

伝熱管に減肉を与える可能性があるスケールの性状については稠密さが重要であり、稠密なスケールは伝熱管と接触することで減肉を発生させる可能性が高いというふうに考えています。

41ページをお願いします。

次に、有意な減肉を与える稠密層厚さを検討するため、稠密層厚さと摩耗体積比の関係を整理しました。下の表で、横軸を稠密層厚さ、縦軸を減肉体積比として整理しましたが、スケールとして大飯3号機並びに高浜4号機から採取した実機スケールを用いて摩耗試験を実施しました。その結果、有意な減肉を発生させる可能性があるのは稠密層厚さが0.1mm以上のスケールであることを確認しました。また、大飯3号機及び4号機から採取した実機スケールでは有意な減肉は発生せず、高浜3号機及び4号機に特有なものであることを確認しました。なお、高浜3号機のスケールは、56ページの写真でも分かるのとおり、高浜4号機と同様に、稠密層厚さが0.1mm以上のスケールが生成されることを確認しています。

42ページをお願いします。

ここからは、減肉メカニズムの検討として、これまでの事象で用いた手法で検討しており、その流れのフローを示してございます。今回回収したスケールによる減肉を与えたメカニズムとして、フローに従い、試験での接触状態の推定、再現、解析で摩耗形態の推定、試験、減肉形状の試験、ECTモックアップ試験、最後に摩耗体積の評価を行い、検討した減肉メカニズムにより1サイクルの運転で今回の減肉が生じることを確認していきます。

43ページをお願いします。

まず、スケールと伝熱管との接触状態の推定再現として、SG器内のスケール挙動について、検討してございます。下の図に示しましたとおり、主にプラント停止中に伝熱管から剥離し、落下したスケールが、運転中のSG2次側器内の流況により、管群内の上昇流と高

温側から低温側への水平方向流により、第三管支持板の低温側下面に到達したと推定しました。

44ページをお願いします。

ここではSG2次側の流況を再現するモックアップ試験により、接触状態の再現性を確認しています。実機二相流相当条件下を再現したモックアップ試験装置により、模擬スケール片が管支持板下面で推定した接触状態で維持されることを確認しました。

45ページをお願いします。

45ページ～47ページにて、摩耗形態の推定をさせていただきます。

46ページに示すスケール振動による摩耗のケース、47ページに示す伝熱管振動による摩耗のケースにおいて、減肉が生じるワークレート評価を行い、今回の減肉摩耗は伝熱管振動によって生じたものというふうに推定しました。

続いて、飛ばして48ページをお願いします。

減肉形状の試験として、伝熱管を模擬した石膏を用い、スケールと伝熱管の接触状態及び摩耗形態で生じる減肉形状を模擬しました。

49ページをお願いします。

それぞれの結果を49ページ、50ページのほうに示しますが、49ページはA-SGの減肉痕についての減肉形状を取得したものです。

続いて、50ページはC-SGの減肉痕について、減肉形状を取得したものです。

続いて、51ページをお願いします。

次は、ECTモックアップ試験です。先ほどの石膏の減肉試験で取得した実機寸法相当の減肉形状と同等の人工欠陥をTT600の伝熱管モックアップに付与し、ECT信号を取得しています。こちらはA-SGの結果を示していますが、実機信号と整合することを確認しました。

続いて、52ページをお願いします。

C-SGについても、実機信号と整合することを確認させていただきます。

53ページをお願いします。

最後に、ワークレートによる摩耗体積評価を実施しています。上の表にECTモックアップ試験で整合性が確認された人工欠陥の体積を記載し、下の表に流動振動解析により得られたワークレートから算出した摩耗体積を記載しています。ほぼ一致することを確認しました。これにより、これまで検討しました伝熱管振動のメカニズムにより、今回のスケールと伝熱管の接触にて、1サイクルの運転で同様の減肉が生じることを確認しました。

続いて、54ページをお願いします。

ここからは、高浜3号機の特異性の検討として、当社他プラントも含めた検討を実施しました。

まず、鉄の持込み量について整理します。各プラントの鉄の持込み量、また当社他プラントでは薬品洗浄を実施しており、スケール性状に影響を与えている可能性があることから、その実績を確認しました。その結果として、鉄持込み量は高浜3・4号機が最も大きく、

続いて大飯3・4号機であり、SG取替を実施している美浜3号機並びに高浜1・2号機が最も小さいことを確認しました。また、大飯3・4号機のみ、薬品洗浄を実施しています。以上から、鉄の持込み量が最大の高浜3号機のスケールが最も稠密層が厚く成長しているものと推定しました。

55ページをお願いします。

次に、スケール回収について、整理しています。高浜3号機ではいずれも長期停止後にスケール回収量が増加していました。一方、大飯3・4号機では長期停止前後でスケールの回収量の変化が認められませんでした。これにより、長期停止に伴うスケール剥離の増加は、スケールが厚く成長したSGほど顕著であると推定しました。

56ページをお願いします。

次に、実機スケールの比較をしています。当社他プラントの伝熱管下部から実機スケールを採取し、断面マイクロ観察を実施した結果を記載していますが、鉄の持込み量が大きいプラントほど、空隙率5%以下であるスケールの稠密層は厚く成長しており、SGを取り替えたプラントである高浜2号機ではスケールの付着がごく軽微で、採取できるほどの厚みもなかったことを確認しています。なお、大飯4号機では16回定期検査に薬品洗浄を適用していることから、大飯4号機のスケールでは薬品洗浄1回分の粗密化効果の影響もあるというふうに推定されます。

また、下に断面マイクロの写真を示してございますが、高浜3号機のスケールも、高浜4号機と同様に稠密なスケールが生成されていることを確認しています。

57ページをお願いします。

これまでの検討を踏まえ、推定原因について、説明します。

まず①ですが、プラント運転中に2次系給水とともに持ち込まれる鉄イオン及び鉄の微粒子が析出付着、蒸発残渣として伝熱管表面にスケールが生成されます。

②のように、生成されたスケールはプラントの起動停止による伝熱管の熱伸び、収縮によりスケールが剥離します。

58ページをお願いします。

次に、③停止時に剥離したスケールはプラントの起動運転時の管群上昇流及び水平流によって第三管支持板下面に達し、伝熱管と接触したと考えます。

そして、④のように、剥離したスケールのうちA及びCのSGで回収した稠密な性状を持つスケールが伝熱管と接触し、運転中に生じる伝熱管の振動によって伝熱管外表面を摩耗させ、減肉管外面に傷をつけたものというふうに考えています。

59ページをお願いします。

続いて、対策の検討として、稠密な性状のスケールを脆弱化させるための対策として、大飯3号機及び大飯4号機においても実績のある薬品洗浄について、検討しました。

洗浄試験により洗浄条件を選定し、その有効性の検証を行っています。具体的にはスケールの薬品浸漬試験を行い、稠密層厚さの減少効果を確認するとともに、伝熱管との摩耗

試験により脆弱化効果を確認しました。

まず、洗浄条件の設定ですが、薬品濃度と洗浄温度について、検討を行いました。薬品濃度は、左のグラフに示すとおり、薬品濃度に比例して鉄の溶解度は増加することから、スケール脆弱化の観点では濃度が高くなるほどよいものの、右のグラフに示すとおり、薬品濃度に比例してSG内構造物の主な構成材料である炭素鋼の腐食量も増加するため、SG器内構造物への腐食影響を最小限に抑える観点で、薬品濃度は国内実績での最大の3%以下とし、2%~3%を適用します。

次に、洗浄温度は温度が高いほどスケール内のEDTAの侵入及び鉄の反応は進むため、基本となる80℃よりも高温側に設定します。ただし、実機適用を想定し、洗浄中のSG器内の薬品濃度を均一にすること及び作業安全の観点から、洗浄中のSG器内圧で沸騰しない100℃とします。

続いて、60ページをお願いします。

前ページの洗浄条件による浸漬試験の結果、下の表に試験前のもの、上に試験後のものを記載していますが、稠密層厚さが大きく減少していることを確認してございます。

続いて、61ページをお願いします。

さらに、浸漬試験後のスケールで伝熱管との摩耗試験を行っており、浸漬試験後のスケールはいずれも試験中に欠損又はスケールの摩滅量が大きく増加したため、十分な脆弱化効果が得られたことを確認しています。

以上のことから、スケールに起因した伝熱管減肉事象の対策としての有効性を確認しました。

62ページをお願いします。

実機洗浄の方法をまとめてございます。実機洗浄の条件につきましては、洗浄試験の結果から薬品濃度は2%~3%、洗浄温度は100℃とします。その他の洗浄に係る諸条件は、これまでの国内施工実績と同様とします。

洗浄範囲については図に示してございますが、ステップ1で管群全体を対象とした鉄洗浄を行います。なお、今後のプラントの運転にさらなる万全を期すため、スケールの生成メカニズムから下部ほど稠密で薄いスケールがあるということが分かっていますので、第三管支持板以下につきましては、事前に1度、洗浄を行うこととします。

最後に、ステップ2として、管群全体にも同洗浄を実施します。なお、実機スケールの脆弱化効果の確認として、高浜4号機での対策実施に先立ち、同程度のスケールが堆積していると考えられる高浜3号機において、薬品洗浄を実施後にスケールを回収し、そのスケールが脆弱化されていることを確認します。

63ページをお願いします。

最後に、対策について、説明します。

一つ目として、従前同様、損傷が認められたSGの伝熱管について、高温側及び低温側のSG管板部で施栓し、供用外といたします。

二つ目として、薬品洗浄による稠密性状のスケールの脆弱化を行います。薬品洗浄はSG器内に薬液を流入し、伝熱管全体を浸すことにより、伝熱管に付着している稠密な性状のスケールを粗密化させ、脆弱化させるものです。

なお、高浜4号機、次回24回定期検査において、スケールの性状を確認し、今後の保全計画に反映します。

以上で御説明を終了します。

○武山安全規制管理官 ありがとうございます。

それでは、規制庁のほうから質問、確認があればお願いします。

じゃあ東さん、お願いします。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

40ページでちょっと確認したいことがあるんですけど、40ページに、前回、高浜3号機でスケールの摩滅試験をされていますと。このときは厚さに注目してということで、その理由について、先ほどの御説明では割れにくいものと考えて、厚さに注目して試験を行いましたということなんですけど、割れにくいというのは、イコール、摩滅しにくいという理解で選定したということでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

当時は割れにくさといった、平たい板がパキッと二つに割れてしまわないことが強いスケールだろうというふうに想定しまして、そういったものを中心に、厚いものを中心に選定しておりました。また、今回の調査で明らかになったことは、そういった全体としての構造体としてではなくて、摩耗面としてなかなか耐摩耗性にすぐれた稠密なもの、これが伝熱管の減肉に効いてくるんだということが分かった、そういう次第でございます。

以上です。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

ありがとうございます。じゃあ、その当時はそこまで、稠密なスケールというのがそうになっていたというのは、当時は知見としてはなかったというところですかね。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽です。

そのとおりでございます。

以上です。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

あともう一点なんですけど、一応このメカニズムとしては第三管支持板以上は上がらないということなので、これについても基本的には第三管支持板のところまでで調査するもののかなと個人的には思うんですけど、前回の分の採取場所が伝熱管の上部ということで、これって第三管支持板より上のところで採取している、多分、厚さに注目してというところだとは思うんですけど。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

そのとおりでございます。前回は上が粗密で、下が稠密でと、そういった密度に関する

考察をしてごさいませんでしたので、とにかく厚いものということで第七管支持板、一番、最も厚いものという選び方をしてごさいました。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

分かりました。じゃあ、条件が一番厳しいところということで、その場所を。要は事象が起り得るというところではなくて、条件が厳しいものという理解で選定したということですね。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

そのとおりでございます。前回までは最も上が厚いので、それが一番厳しい条件になるだろうという想定の下、上から取っていたというものです。

以上です。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

ありがとうございます。あと、もう一点すみません、62ページなんですけど、今後、3号機において実機試験のほうをされるかと思うんですけど、これのスケールの検証方法ですね、サンプルの取り方であったりとか、あと試験の内容等をちょっと、資料のほうに記載がなかったものですので、ちょっと御説明いただくとありがたいんですが。

○白子原子炉保修課長 関西電力、高浜発電所の白子でございます。

まず、スケールの採取につきましてはA、B、C、各SGから採取いたします。場所につきましては、管板、第一管支持板、第二管支持板と、今回比較的、稠密層が厚いところをまず採取いたします。その中から、先ほど申しましたように、0.2～0.3mmの厚さのものが中密度厚さが大きいというふうに考えますので、そういったものを選定いたしまして、断面ミクロ観察による稠密層厚さの確認、それから摩耗試験による摩耗能力の確認を大体10ケース程度行おうと考えております。

以上です。

○東原子力規制専門員 原子力規制庁の東です。

ありがとうございました。

○武山安全規制管理官 ほかにありますでしょうか。

片岡さん、お願いします。

○片岡専門職 ありがとうございます。規制企画課、技術基盤課の片岡です。

私は、IAEA（国際原子力機関）にインフォメーション・レポーティングシステムというトラブル情報のデータベースがあるんですけど、その登録の係をやっております。この事象は非常に興味深いので、ぜひ世界に共有して、同様の事象が起らないようにするのに役立ちたいと思っております。ちょっと細かいんですけど、幾つか確認の質問をさせていただきます。

鉄の持込みのところ、55ページのところです。あと、詳細な報告書のほうも併せて質問させていただきたいんですけど、まず55ページですけど、プラントごとにスケール回収量が載っているんですけども、ちょっと細かいんですけど、高浜3号と4号で長期停止後の回

収量が1桁どころか2桁違うんですけど、これはどういうことなのでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

ここでお示ししているのは、スラッジランシングによって剥離して、フレークの形を保ったまま回収したスケールの量の変化でございますけれども、御指摘のとおり、3号機と4号機で剥離量が、回収量が異なります。剥離というものはなかなか、伝熱管の熱収縮によってランダムに生じるものですので、これとって確実な数字が決まるというものではございませんけれども、3号機と4号機では長期停止していた時間が違いまして、4号機のほうが1.5倍ほど長期停止の時間が長かったということもございますので、その辺りが寄与していた可能性はあるかなというふうに考えてございます。

以上です。

○片岡専門職 ありがとうございます。

長期停止の時間が違うというのは非常に有用な情報だと思います。

詳細版のほうも併せて質問させていただきたいんですけど、報告書のほうですね、スケール回収量に関わることで添付資料36というのがあったと思いますけれども、私はこのグラフは非常に重要な情報かなと思ったんですが、よく見ると、よく意味が分からないんですが、スケール回収量につきましては、説明ではスケール回収量を確認した結果、高浜3号機、4号機ではいずれも長期停止後にスケール回収量は増加していた、一方、大飯発電所では長期停止前後でスケール回収量の変化が認められなかったとありますけれども、添付資料36のグラフを見ると、どちらかというが高浜3・4のほうが長期停止後の回収量が増えているなくて、大飯3・4のほうが極端に増えているように見えるんですけど、これは何か私の読み取り方が間違っているのでしょうか、このグラフは何を指しているのでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

簡易資料の55ページのほうはフレーク状のスケールの回収量を示したものである一方で、詳細版の添付資料36というものは、スケールだけでなく粉状の、粉碎されたスラッジを含んだ全量の回収量になってございます。この中からフレーク状を取り出したものが55ページのデータということになっております。

直接のスケールの剥離量は55ページのフレーク状のものの回収量に表れてくるんですけども、ここの詳細資料の135ページのほうは、スラッジの全体の回収量を示しているものでございまして、大飯3・4号機で長期停止後になぜこんなに増えているかというところ、ここでASCA (Advanced Scale Conditioning Agent) 洗浄をしております。ASCA洗浄をすると、フレーク状のスケールというよりは粉状のスラッジが多く堆積するということが知見として分かっております、我々はこの影響が、ASCA洗浄でスラッジが多く増加したことが大飯3・4号機で伸びている理由というふうに考えております。

以上です。

失礼、薬品洗浄です。失礼しました。

○片岡専門職 技術基盤課の片岡です。

ありがとうございます。半分ぐらい分かったんですけど、残り半分ぐらい分からないのは、元々鉄の持込み量が高浜3・4のほうが大飯よりもずっと多いという話だったと思うんですけど、その影響以上に大飯3・4の回収量が多いように、イメージ的には思うんですけど、そこはいかがなんでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

大飯3・4号機も薬品洗浄していなければ、恐らく鉄の持込み量に応じた結果が得られていたものと思います。一方で、薬品洗浄しますと、スケールが粗密化して、それによってたくさんの粒子状の鉄が下に落ちて堆積しますので、そのせいで増えたものでございます。ちょっと先ほど定義の御説明ができておりませんでしたけれども、我々はスラッジとスケールで言葉を使い分けてございます。伝熱管から剥離して形を保ったようなもの、それをスケールと呼んでおりまして、それが細かくなったものでありますとか、あとは大部分を占める粉状のもの、これを総称してスラッジというふうに使分けしてございます。

以上です。

○片岡専門職 ありがとうございます。

ちょっと関連してもう一つ、質問させてください。これも詳細版の報告書のほうにあったんですけど、ヒドラジンの影響ですね。長期停止中はヒドラジンで満たしていたから粒径が、スケールの粒径が大きくなって外れやすくなったという説明がございましたが、これが私は全く新知見でございまして、非常に大きな発見かなと思うんですけど、今まで知られていなかった現象なんでしょうか。それとも、ただただ偶然知らなかっただけなんでしょうか。

○赤峰リーダー 関西電力、原子力事業本部の赤峰でございます。

長期停止中の影響としましては、小さい粒子につきましては溶解平衡という現象がSG器内の中で起こります。そのときに溶解と析出というのが繰り返されまして、徐々に粗密化しているものが稠密化するという方向に成長して、逆でございまして、粗大化してまいりまして、粒が大きくなって粒子が成長するという現象が考えられます。それによりまして剥離が進むという現象でございまして。

以上です。

○片岡専門職 ありがとうございます。

ちょっとごめんなさい、私の質問がよくなかったかもしれませんが、これは新たに発見された新知見なんでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力、原子力事業本部の丹羽でございます。

高濃度のヒドラジンにつけますと、鉄が還元溶解して、それが再析出してという現象は理論的にも全く普通にあり得る話で、想定の話ではございました。想定できたかどうかという、想定できているものです。

以上でございます。

○片岡専門職 分かりました。ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 武山ですけれども。

ちょっと今の片岡さんの質問に関連して、ちょっと一つ確認したかったんですけれども、報告書の135ページのほう、先ほどのスラッジとスケールが合わさった回収量ですというのが説明としてあったと思うんですけれども、大飯3号は、いわゆる薬品洗浄を第17回、第18回でやっているの、その影響で増えているんですと、こういう御指摘、内容だと思うんですけれども、大飯4号なんですけれども、大飯4号は第16回ときには薬品洗浄をしているけれども、第17回はやってないんですけれども、でも、第17回が多くなっているんですけれども、これはどういう意味なんですかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

薬品洗浄を1回でもすると、かなりスケールが粗密化して、かなりぼそぼそと、ぼろぼろとした状態になります。そうしますと、どうしても薬品洗浄の効果1回だけで終わるわけではなくて、スラッジとして降り積もるという効果がしばらく続きますので、17回定検でスラッジが増えているということは特に不思議な現象ではないというふうに我々は考えてございます。

○武山安全規制管理官 分かりました。結局、16回で洗って、スラッジランシングをするわけなんですけれども、そこで回収した量は57.17だと。その後、運転をした後にまたやるんですけれども、そのときには、だから伝熱管についていたスケールが剥がれ落ちてきて、剥がれ落ちやすくなっているの、それでもって増えていると、そういうことですかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

そのとおりでございます。

以上です。

○武山安全規制管理官 分かりました。ありがとうございます。

御質問。高須さん、お願いします。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の実用炉監視部門の高須でございます。

今の質問にちょっとつながるんで、まずここを最初にちょっと質問させていただきませんが、増えたところはよしとして、高浜3・4号と大飯3・4号、全体の最初からのスケールの量全体を見渡すと、高浜とか、鉄の持込み量に比べて大飯は少ないのにもかかわらず、スケールとして出てくる量は大飯3・4が全体的に何かちょっと多いかなと思うんですが、ここは何か考察されていますでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部の丹羽でございます。

ここで回収されているスラッジ・スケールの量は、毎定検の鉄の持込み量によって決まってまいります。高浜3号機と4号機では、これSGの数が違いまして、4ループのほう合計としては大きく出てまいります。そういう意味で言いますと、SG当たりのスケール・スラッジ回収量というのはあまりプラント間で差異はないと、そういう状況でございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 ありがとうございます。じゃあ、私のほうからちょっと引き続いて幾らか確認させていただきたいことがあります。

ちょっと冒頭、御説明がなかったんですけども、まず、この概要版と提出いただいている報告書のところで、差があるところがあるのかなのかというのは何かありますか。

○佐藤運営統括長 関西電力高浜発電所の佐藤でございます。

詳細版のほうは、一部表等に誤記等がございまして、基本、正確な資料というのは資料1-1の概要版という形になります。したがって、1月25日に提出させていただきました施設故障等報告書（詳細版）につきましては、改めて補正という形で提出し直させていただきたいというふうに思っております。申し訳ございませんでした。

以上です。

○高須統括監視指導官 分かりました。報告書の中身等、今、今日説明していただいた資料に若干差があるところがあるので、正確には今日説明いただいたほうが正式ですということに理解しました。

じゃあ、その上で幾らか質問させていただきます。まず、資料の25ページをお願いします。もうこれは事実関係だけを教えていただければいいです。この形状で、例えば左の下の赤いところが伝熱管に接触しています。で、青いところが支持板に接触しています。この絵なんですけど、右側の模式的に描いてあるのは、あたかも下にスケールが落ちたような絵に見えていますが、これは逆に言えば、下から上を見ている絵というふうに理解をしておけばよろしいですねという、まず事実関係の確認です。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

おっしゃるとおり、御認識のとおりで結構です。

○高須統括監視指導官 ありがとうございます。

その上で、右側の図面といいますか、伝熱管と図面の、伝熱管4本描いた絵があると思うんですけど、「マンホール側」「ノズル側」「フローロット側」と書いてあって、そこに赤くスケールの絵を描かれているんですけど、これを見ると、今、左側の写真と見比べると、「X55, Y8」、ここの伝熱管に接触しているのは分かりましたと。その下側の支持板にも接触している傷がありましたと。一方で、その上の「X55, Y8」の上側のところと「X54, Y8」、ここの2箇所には接触痕があったような記載はないんですが、事実関係としてはそういうものがなかったのか、ないのか、スケール側にそういう確認をされたのかどうかというのを教えてください。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

スケールにつきましては、おっしゃっていただいている「X54, Y8」近傍の角についても接触痕の有無を確認しておりまして、実際に接触痕は確認されていないという状況でございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 分かりました。じゃあ、接触痕はなくて、スケール側にも何かそ

ういう接触した後、いわゆる分析された結果、何かCrが出るとか、そういうことも確認されていないということでしょうか。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

スケール側につきましても接触痕は確認されていないということでございます。なので、接触痕は確認されておりませんので、化学分析は行っていないというのが実態でございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の高須です。

ありがとうございました。

続きまして、ちょっと飛びますが、31ページです。ちょっとこの表現、④の二つ目のポツの表現の仕方もちょっとはてな、クエスチョンがつくところがあるんですけど、これはちょっとさておいて、ちなみに真ん中の絵のところ、オレンジでスケールの痕を、今、残存確認ができていない範囲と、まず、こうであったであろうという形状を書かれているグレーというか薄青色のところ、オレンジのところ、青い一点鎖線で「接触箇所」というふうにかかれてはいるんですが、ここってスケール側のほうも接触痕、接触したということであれば、何かのそういう痕跡があったんじゃないかと思われるんですけども、それが今のこの頂いた資料の中では、すみません、私の読み方が悪いのかもしれないんですけど、読めないように見えるんですが、ここが接触していたというふうにした根拠みたいなものがあるならば教えてください。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

スケール側につきましては、接触痕は確認できておりません。ただ、管支持板のほう、こちら31ページの写真を見ただけですと、少し青い点線のところで囲ってあるところ、こちらにつきましての管支持板のところに少し接触したような痕が見られているということでこういった想定をしております。

以上でございます。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の高須です。

分かりました。そうすると、今までの、今御説明いただいたものでは、接触痕が確認できれば接触してただろうという推定をされて、接触痕がなければ接触していないだろうというようなことですが、そうすると、ここだけが何か少し説明が、何か推定の域が入ってきているような気がして、逆に言えば、このオレンジのところは接触したかどうか分からないんですけど、何かもっと先に、これが本当に最初の形なのかどうなのかというのが、何か疑義が出てきそうな気もしないでもないんですけど、そこら辺はどのように御推察されてますでしょうか。

○長谷川副所長 関西電力高浜発電所の長谷川でございます。

この推定した形状というのはこういう形かなというところがあって、これが実際こうだったかというところまでは言えないところではあります。おっしゃるとおりであります。

ただ、実際取り出してきた300個につきまして全て取った上で、そこに接触痕が有る無しを全て見て、この三つが出てきまして、この三つ目につきまして、やはりこれが接触痕を与えたというもの、接触痕といいますか、傷を与えたものというふうに判断いたしました。以上でございます。

○高須統括監視指導官 分かりました。スケール側にそういう成分は析出というか、抽出はできてないけども、確認はされてないけども、ここは接触しているだろうという推定を、あくまでも推定をされているということの御説明ということで理解しました。

○長谷川副所長 おっしゃるとおりです。ありがとうございます。以上です。

○武山安全規制管理官 どうぞ。

○高須統括監視指導官 これも事実関係だけです。原子力規制庁の高須です。

35ページで、この写真で意味するところは、寸法を意味されて記載されているのかなと思っているんですけど、これは資料の作り方の話になるのであんまり本質的な話ではないんですが、これは、縮尺は基本的に合っていないですよ、という確認です。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

おおよそ合わせたつもりではございますけれども、ちょっと資料上で完全に一致しているかという、少しずれは生じてしまっている可能性はございます。以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の高須です。

分かりました。以後、なるべく合わせていただいたほうがいいかなと。見た目で見ると、0.09mmの稠密の幅と実際に右側のやつを多分恐らく視覚的に見比べてしまうんですけど、実際は多分恐らく左側のサイズのほうが、0.09を正にすると少し大きいかなと思っているので、そこら辺ちょっと気をつけていただければと思います。分かりました、事実関係としては。

すみません、原子力規制庁の高須です。引き続き、もうちょっと質問させてください。

41ページになります。これで、いわゆるどれぐらい稠密さが摩耗するかというのを調べていらっしゃるグラフなんですけども、これって緑とバツテンが大飯を示されていて、高浜が赤丸ということで、これ、それなりにデータは取られてはいるんですけど、これが、このデータがいいとか悪いとか言うつもりはないんですが、この伝熱管の、大飯の伝熱管と高浜の伝熱管って、その材料の差は何かありますか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

材料の違いでいきますと、高浜3・4号機はTT600合金でありまして、大飯3・4号機ではTT690という違いはございます。ただ、この耐摩耗性という観点では摩耗性には硬さというファクターが効きますけれども、その違いがほぼないので、摩耗という観点においては、両者はほぼ同一の材料というふうに考えてございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 分かりました。じゃあ、プラントによる差はないので、同じグラフで示しても問題ないということの評価ということで理解しました。

○丹羽リーダー そのとおりでございます。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

すみません、長々と申し訳ないです。43ページで、減肉メカニズムで高温側から低温側に流れが行くので、ある意味、高温側にあったものが低温側に行くようなこともあるかと思うんですけど、そうすると、これを推測すると、一般的に高温側にあったスケールが低温側に寄っていくということになるのかなというふうに思うんですけど、そこら辺はどういった具合で考察されているって何かありますか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

おっしゃるとおりでして、ホットからコールドへの流れがありますので、行き着く先は、やはりコールド側になる可能性が高かろうというふうに考えております。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

ありがとうございます。

すみません、あともう一つか二つ、教えてください。47ページで、減肉メカニズムで、ワークレートの試算の結果ということで出されているものがあるんですが、この押付力1N、これが、例えば前のページだったかな、前のページの46ページですよ、管に押付力、管に垂直というか軸方向に押し付けた、軸方向か、周方向か、管に対して垂直に力を与えた場合の力で1N。今度は一方で、水流によって押さえつけられた力で、これが押付力1Nなのかどうなのかって、この押付力というのが、どこの押付力を御説明されているのかというのをまず教えてください。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

まず、46ページの押付力は、これはスケールがちゃんと固定されて、スケール自身が流体力を受けて、そのスケールが受けた流体力で伝熱管に押し付けられている力というふうになります。一方で、47ページについては、これはスケール側は固定されていて伝熱管が揺れるときの押付力と、伝熱管が流体力で揺らされて伝熱管に当たる押付力というふうになります。

この流体力は解析から出してございまして、76ページを御覧いただきたいんですけども、76ページは、流動振動解析でワークレートを算出する際の流れを示しているものでございますけれども、ワークレートを出すためにインプットとなるのが流体力として、その流体力というのは一番左下の熱流動解析とありますけれども、ここでSG器内の流況を解析で出して、この流体が伝熱管を押し付ける力、すなわち伝熱管からのスケールに伝達する力というものを算出した、これが1Nだったということでございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

ごめんなさい、私の理解が悪いのかもしれないんですが、今の御説明はある程度分かったとして、46ページと47ページの押付力の差はありますか、ありませんかというふうに言くと、ありますか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

この紙面に記載のとおり、押付力に差はほぼございません。

○高須統括監視指導官 分かりました。そうすると、46ページは、スケール側を押し付けて上下に振らしたものと、逆に今度は伝熱管を同じ力で押し付けて横に振らした、横に振動させたものの違いという理解でよろしいでしょうか。

○丹羽リーダー メカニズムとしてはその御理解のとおりです。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

ありがとうございます。

あとは、すみません、もう一つ、ちょっと理解、これは多分恐らく記載が誤っているのかなと思うんですけど、49ページで、同じ意味を言っているかと思うんですけど、軸幅約3mmというのがスケールの、いわゆる石膏の傷の寸法「約3mm（軸幅）」と書いてあるんですが、それはちなみに、例えば51ページで言うモックアップの軸長さって、「軸長」と書いてある、これと同じ、ああ、そうか、こっちの絵には「軸幅」って書いてあるから多分同じ、まあ、同じことですよねという確認です。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

すみません、そうです、長さとは幅ということで、ちょっと言葉が統一できておりませんでした。失礼いたしました。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

じゃあ、これは同じ意味ということで了解いたしました。

私からは以上です。

○武山安全規制管理官 反町さん、お願いします。

○反町主任監視指導官 実用炉監視部門の反町です。

今し方の高須からの質問の御回答の中でちょっと疑問に思ったところが出てきましたので確認をさせていただきたいと思います。31ページをお願いします。先ほどの御説明を伺っていて、あれっと思ったんですが、この真ん中の絵のグレーの部分というのは、実際に回収されているという理解でよろしかったでしょうか。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

こちらグレーの部分につきましては回収できておりません。

以上です。

○反町主任監視指導官 そうしますと、こういうロジックが何かちょっとよく分からなくなってしまいうんですけども、この接触、青字のところですね、管支持板との接触箇所に合わせてこの形を描いてしまえば、この接触痕の位置と一致することを確認したということ

になってしまうので、ここのロジックがちょっとよく分からなくなるんですけども。

○長谷川副所長 関西電力高浜発電所の長谷川でございます。

先ほど高須さんから御指摘あったように、この言葉がちょっといまいちだよねというお話があったとおり、一致するといいますか、推定、この形、灰色のところは推定でございますので、一致するといいますか、こういった形であれば減肉し得るということを確認したというものでございます。ただ、先ほど御説明しましたように、その黄色いスケールですけども、こちらに摩耗痕、摩耗のした痕、それからCr、Niが認められていることから、これが減肉を発生させたということは言えるかというふうに思っております。

以上でございます。

○反町主任監視指導官 実用炉監視部門の反町です。

私も減肉部分については異論を持っていないんですが、この管支持板の接触痕については、そうすると、このスケールじゃないものが付けた可能性も残っているという理解になると思うんですけど、いかがでしょうか。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

その可能性もあるのかと思っております。

以上です。

○反町主任監視指導官 分かりました。

私からは以上です。

○武山安全規制管理官 ほかにありますでしょうか。

小野さん、お願いします。

○小野上級原子炉解析専門官 すみません、規制庁、小野ですけど、36ページをお願いします。ここにこれまでの水質管理の変遷の記載がございますけども、2次系の給水加熱器の交換とか銅系の排除を行っているのは、高アンモニア処理の移行の前になりますかね。どのタイミングかをちょっと教えてください。

○赤峰リーダー 関西電力原子力事業本部の赤峰でございます。

高アンモニア処理、もしくは高ETA処理を行う前に銅系材料の排除を行ってございます。以上でございます。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

規制庁、小野です。

今回、高浜3号でやるASCA洗浄の条件が、鉄洗浄のEDTA（エチレンジアミン四酢酸）の濃度の記載はありましたけども、銅洗浄の際の薬品濃度はどの程度をお考えでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部の丹羽でございます。

銅洗浄の場合は、およそ0.4%程度になります。

以上でございます。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

この値は大飯のときの実績と変わらないという理解でいいですか。

○丹羽リーダー 関西電力、丹羽でございます。

銅洗浄の場合は、基本的に含有している銅を全て除去するという観点から、実際スケールを取ってきて銅が入っている量を調べて、それが完全に反応し切れる量を入れてまして、大飯3・4号機に合わせているというよりかは、調査した結果、結果として同量になったと、そういう形でございます。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 お願いします。

○反町主任監視指導官 実用炉監視部門の反町です。

すみません、誤解があるといけないので、私の先ほどの質問の趣旨をちょっと述べておきたいと思えますけれども、今回、伝熱管の減肉箇所のその原因の調査ということで御説明いただいているというふうに理解しております、そういった意味では、このオレンジの部分の回収スケールというところのNi、Crが検出されているのですとか、接触痕があるというところで、伝熱管の減肉部分については御説明できているのかなというふうに思っております、今回、管支持板の接触痕のところの説明をこの形を使って行う必要があるのかなのかというところに私ちょっと疑問を感じているので、そういった趣旨で御質問をさせていただきます。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

承知いたしました。

○武山安全規制管理官 ほかは。

どうぞ、片岡さん、お願いします。

○片岡専門職 規制企画課技術基盤課の片岡です。

すみません、追加で質問をさせていただきます。高浜3・4号は、再稼働以降、SG伝熱管の指示の件が毎定検報告されていると思うんですけども、私の感覚からすると、いずれも大きな事象ではなくて、恐らく海外では報告すらしないような事象だと思いますけども、いずれにしても続いていますと。過去の伝熱管の異常の報告ではデブリの影響だったという説明だったと思いますが、確かにデブリが見つかったものについてはその影響だと思いますけど、見つかってないものもあったと思うんですけども、それらは今回見つけられましたスケールの影響ということではないのでしょうか。

○長谷川副所長 関西電力高浜発電所の長谷川でございます。

おっしゃるように、これまでもスケールによるものということとは否定できないというふうに考えております。ですので、これまで対策として実施してきた異物対策、これはしっかり継続するとともに、今回のスケール対策もしっかり行いまして、再発防止に努めたいというふうに考えております。

以上でございます。

○片岡専門職 分かりました。ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 小野さん、お願いします。

○小野上級原子炉解析専門官 すみません、規制庁、小野ですけれども、資料の42ページなんですけれども、一番最後に「今回の摩耗量が1サイクルで発生し得ることを確認」という記載がございますけれども、この掲載においてスケール側の摩耗も考慮されているのか、従来と同じような評価をやられているのか、スケール側が摩耗しないという評価なのか、どちらでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

53ページを御覧ください。53ページ、表が二つありまして、下段の表が御回答の表になるんですけれども、ここに数字は機密ですのであれですけれども、比摩耗量というものがございます。これは物質の減肉の摩耗のしやすさという指標を表す指標でして、これは実際にインコネル600合金とスケールを接触させて、摩滅させて取得しているものです。当然、スケールは摩滅しながらこの数字が出ておりますので、そういった意味でスケールが摩滅していく効果が入っての数字になります。

以上でございます。

○小野上級原子炉解析専門官 ありがとうございます。この1サイクルというのは、今回、運転期間、たしか短かったと思うんですけれども、何日ぐらいの想定で書かれていますか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

この同じ表の運転時間約5,800時間で、これは実際の運転サイクル時間で計算してございます。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

この5,800時間、240日ぐらいですかね、これで評価しているという理解でいいですか。

○丹羽リーダー そのとおりでございます。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 どうぞ。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の高須でございます。

今の53ページで、私がちょっと気になっているというか、教えていただきたいのは、Cの伝熱管に傷をつけているのは、恐らくほぼ支持板にある程度スケールが平行でくっついた状態でくっついているのかなど。こうなった場合は、ある程度スケールも摩耗してくるので、お互いが削れながらいくのである程度の限界が、ほかの異物に比べたら減肉量は少ないのかな、伝熱管に対する減肉量というのは少ないのかなというのは想像できるものの、Aのほうなんですけど、Aのああいいうスケールのくっつき方をすると、恐らく伝熱管にスケ

ールが片寄るといふか、寄り添った形にずっと維持されるのではないかなと思ってまして、当然、そうすると、恐らくずっと片寄ってる状態なので、幾らスケールが摩耗しても伝熱管にずっと接触してるのではないかなというふうに思うのですが、今回は実際のスケールとその傷の大きさはこの240日というか、5,800時間ぐらいで、これ相当でしたとおっしゃるのは分かりましたと。一方で、例えば稠密厚さが、どれぐらいの厚みが何時間経てば、いわゆる貫通に至るような、まず傷になり得るのかどうなのかというところを教えてください。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部の丹羽でございます。

Aの接触、Aの支持状態に関する御質問ですけれども、8ページの左下の写真に示すとおり、確かにAのスケールだけは立てかかったように見える状態です。ただ、このスケールを取った後の支持板の接触痕等を見ても、このスケールの支持状態というのは、BEC穴の縁の部分、内壁の部分の2点で支持されておまして、ある程度しっかりと自立した状態であったというふうに考えております。これがもし寄りかからないといけないような支持のされ方ですと、伝熱管とスケールというのは十分な摺動がなされずにですが、このような減肉は起きなかったのではないかなというふうに考えてございます。そういった観点からしますと、最大減肉はどこまで行くのかという話はC-SGとA-SGでスケールが固定された状態に変わりはないということになりますので、最大減肉深さによる考察として、84ページにございますけれども、今回の事象は、伝熱管が振れて減肉する事象ですけれども、その振れ幅というのはBEC穴の最大寸法に限定されますので、同じように最大深さに制限があるものというふうに考えてございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 規制庁、高須です。

御説明は分かりました。今の現状のA-SGに対するこうだろうというところもある程度理解はします。一方、私が申し上げているのは、Aのような片当たりになった状態が維持されたときに、一体どれぐらいの稠密量のものが何時間運転されると、そういった貫通に至るような状況になるのかという御質問をしているつもりなので、今の結果がこうだからというのではなくて、我々、異物のときもそうですけど、ある程度、伝熱管の振れ幅が決まっているので貫通には至らない、これも理解はできます、メカニズム的に。一方で、Aのようにスケールがずっと当たり続けるような、ああいった形状でずっと伝熱管にずっと当たり続ける形状にはならないんだという御説明ならそうでもいいんですけど、それは多分否定できないのではないかなと思ってまして、そうなったときに稠密量が、どれぐらいのものが何時間やればこうなるんだという考察はあってもいいんじゃないかなと思うんですけど、いかがでしょうか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

まず稠密さと減肉量の関係なんですけれども、それは41ページでこれまで稠密層厚さと摩耗体積比の関係をとったとおり、おおよそ稠密層厚さの0.18mmぐらいがマックスで、減

肉体積比としても2ぐらい。実際に今回発見された原因のスケールについても同じような水準にあるということで、恐らくこの辺りが最も減肉させる可能性が高い集団であろうというふうに考えていますと。じゃあ、こういったスケールがひょっとしたら貫通をもたらしてしまうんじゃないかという話については、これはスケールのもう支持状態によるというふうに考えております。今の御質問は、C-SGはしっかり保持されていただろうけれども、A-SGはしっかり保持されていないがために、どんどん伝熱管に押し当てられ続けて、際限なく減肉をさせてしまうのではないかという、そういう御懸念だと思うんですけども、恐らくその伝熱管がランダム振動している状態ですので、伝熱管側に倒れるということは、反対に伝熱管のランダム振動で伝熱管とは反対側にも振れ得るという非常に不安定な状態になります。そうすると、有意な摩耗、ワークレートが発生しませんので、やはりここはA-SGのスケールというのは管支持板、BEC穴でしっかり固定されて、同じように最大減肉深さの制限が適用されると、そういうふうな考察でございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁の高須です。

今言われたやつをきちっと御説明いただかないと、我々、やはり次、これが本当に対策はできました、でも、スケールが出てくることは否定できません、そのスケールが悪化する可能性はどこまで悪化するんでしょうかというところが多分一つの大きな論点だと思うんです。そういうふうにお互いが振れるんで、その摩耗量がそこまで行かないんですという、その口頭の御説明いただいても、これはなかなか私としては納得いかないかなと思っておりますので、そこはしっかり御説明していただく必要があるんじゃないかなと思いますが、いかがでしょうか。

○丹羽リーダー 承知いたしました。報告書に記載することといたします。

以上です。

○高須統括監視指導官 規制庁、高須です。

よろしく願いいたします。

○武山安全規制管理官 小野さん、お願いします。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

今の件であれば、以前御説明いただいた、どっちが振れるか、伝熱管側が振れるか、異物側が振れるかで摩耗が生じるか生じないかという評価をされてますので、それが再度再掲されるという理解ということになりますかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

そうですね、おっしゃるとおり考察の中には、今おっしゃっていただいたようなことも、同じようなことが、再掲に近いようなことも書かれると思っております。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

あと、さっきの84ページで、これまで最大深さの評価をされていますけど、今回、スケールと伝熱管、この減肉摩耗比を使って評価した場合、この数値に単純に掛ければいいですかね。それとも何かまたちょっと解析が必要になるとかいうことになりますかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

体積比でございますので、単純に長さだけでは、深さだけではなくて、体積という観点で比率を取っていただければ出すことは可能でございます。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

例えば単純に摩耗比が2だったと。その数値を使うと、この最大減肉深さは半分になるとか、そういう単純なものではないですよ。

○丹羽リーダー そのとおりでございます。84ページの右側の図にありますとおり、単に体積で利いてきますので、二等辺三角形の体積が1対2になっていくと、1対2でお互いを分け合うというようなことになりますので、単純に高さ、深さだけではございません。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 どうぞ。まだ時間ありますから、どうぞ。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ASCA洗浄の件で、多分、今後、事業者のASCA洗浄の実施の可否というのは多分、電気出力から判断していたということを伺ってますけれども、今回こういう事象が起きたんで、スケールの状態を見ながらASCA洗浄やるかやらないか決定されていくかと思うんですけども、何か新たな指標がつけられるのか、つけれないのか。次回、公開会合とかで高浜3号の結果を見ながらちょっと御検討していただきたいなど。例えば海外の化洗の実施の是非、可否を判断するのに給水とSGブローとのヒドラジン濃度の比を使ってやっているような発電所もあるようですので、そういうのも使うのか、単純にスケールの状態だけで判断するのか、そういうところもちょっと御検討いただきたいなど。よろしく申し上げます。

○丹羽リーダー 関西電力、丹羽でございます。

承知いたしました。

○武山安全規制管理官 ちょっと私から、じゃあ質問、いいですかね。

ちょっと前のほうに戻っちゃうんですけども、40ページなんですけれども、要は伝熱管の上のほうは、いわゆる稠密層が少なく粗雑な層のほうが多いという話だったと思うんですけども、しかしながら、稠密層が全くゼロじゃないと思うんですね、ある程度厚さがあるのかなと思うんですけども。いわゆる今までのスケールの摩耗試験では、その上部のほうから取ってきたので、伝熱管に傷をつけるほどにはならなかったという話だったんですが、ただ、そうはいつでも、稠密層がある程度あるのではないかなと思うんですね。だから、そういうことを考えたときに、何でその厚いものだと摩耗しないのかなというの

がちょっと分からなかったんですけれども、要するにある程度、先ほどのそちらの考察によると、0.1mmの稠密層があればいいと、摩耗するかもしれないという話が出てきたので、ちょっとそれと厚さとの関係ってあまり関係ないのかなと思ったんで、稠密層さえあれば摩耗するのかなと思うんですけれども、そこら辺ってどういうふうにかえたらいいですかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部の丹羽でございます。

全くおっしゃるとおりでございます。厚さという指標ではなくて、稠密層厚さが指標になるものでございます。おっしゃるとおり、上のほうの粗密なスケールであっても稠密層はゼロというわけではございません。当然、稠密層厚さは薄いですが、存在いたします。ですので、摩耗試験をしますと、伝熱管に全く傷をつけないというわけではなくて、スケールのほうがちびっていく速度は速いものの、伝熱管にも減肉を与えるという効果は前回からも確認されてございます。

以上です。

○武山安全規制管理官 そうなるとね、だから、上のほうは、そうすると0.1mmよりも少ないとか小さい、薄い稠密層だから、摩耗してそのまま行ってしまう。逆に0.1、今回で言えば0.1以上なのか、もしくは0.1~0.18の間なのか分からないけれども、何かある程度の厚みがある稠密層が、その厚いスケールの中に入っていれば、そこだけ残った形で摩耗を継続するのではないかなと思うんですけれども、そういうことはないんですか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部の丹羽でございます。

厚いスケールに対して薬品洗浄を行えば、粗なスケールな分、中まで確実に薬品が浸透していきますので、稠密層はなくなっていくというふうにかえてございます。現実にこの41ページの結果のとおり、稠密層厚さがある程度厚いものであっても薬品洗浄でしっかりこの稠密層厚さが低減できるということを確認してございますので、上の厚いものに対しても薬品洗浄を行えば、ほとんど稠密層厚さにカウントされるものはなくなるであろうというふうにかえてます。

以上になります。

○武山安全規制管理官 個々の薬品洗浄の効果は、今、3号機でやっているんで、それをそういうふうになっているかどうかというのも併せて確認されるのでしょうかね、そうすると。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

今回の3号機でやった結果というのは、稠密層厚さが幾つになっているかということの計測も行います。

以上でございます。

○武山安全規制管理官 またちょっと話が戻っちゃうんですけど、だから、前回とか前々回、異物だと言われたときのスケールで摩耗試験をした結果が、要するに否定的だったわけですが、そこで取ってきたスケールというのは、先ほど、要するに伝熱管の上部のほうから持ってきたという話だったんですよ。それが厚いもの、逆に言うと、それは

稠密層がすごく薄かったというものなんですね。だから、つまり結果としては、だから何か、今回の考察を考えると0.1mmよりも薄かったのかどうか分かりませんが、そういうものをたまたま取ってきちゃったんですという、そういうことなんじゃないかな。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

そのとおりでございます。41ページにはプロットはしてございませんけれども、前回の高浜3号機のデータをこの表にプロットしますと、ほとんど左下に来るような状態になります。

以上です。

○武山安全規制管理官 分かりました。

あと、後ろのほうで、59ページで、洗浄試験をやられたデータというか、こういう条件でやりましたというのがあるんですけども、ちょっと確認ですけれども、ここで言っている薬品濃度と鉄の溶解量の関係とか、あるいは薬品濃度と炭素鋼腐食量の関係というのがグラフにあるんですけども、これは下に書いてあるとおり、80℃というのがあるので、これは80℃でのグラフということになるんですよ。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽です。

そのとおりでございます。

○武山安全規制管理官 今回は100℃でやるということになっているので、ちょっと温度が20℃ぐらい高いんですけども、それによってこのグラフというのがどう変わるのかなと。そんなに変わるものじゃないかという、そこら辺の評価というのは何かされてますか。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

まず、薬品濃度と鉄溶解量の関係ですけれども、これは薬品が全て反応し切るまで取っておりますので、温度の大小でこのグラフが変わることはございません。あと、右側の炭素鋼腐食量の関係も20℃程度ではほとんど変わることはないことを確認してございます。

以上です。

○武山安全規制管理官 それは何か、腐食量のほうの確認というのは何かデータがあるなら、何かこんなふうな、こういうことからこういうふうに言えるんだということがあれば後で教えていただければと思うんですけども。今でもいいですけども。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

こちらのような腐食の検討につきましては、まずSGの構成品全てを対象にまず実施しております。腐食の懸念があるのは炭素鋼、低合金鋼、それからステンレス鋼、600合金が上げられておまして、EDTAの濃度、今回2%~3%という条件で腐食試験を行っております。全ての材料で腐食量は軽微であるということを確認しております。実際にこちらの炭素鋼につきましては、46 μ mという程度の腐食量ということで確認できております。

以上でございます。

○武山安全規制管理官 それは100℃でということでもいいんですか。温度は関係ないんですか。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所、白子でございます。

100℃で実施しております。

以上でございます。

○武山安全規制管理官 分かりました。あと、ちょっとそのデータというか、こういうグラフ、もしこういうのがあれば追加でちょっと見せていただければと思うんですけど、いいですか。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

承知いたしました。

○武山安全規制管理官 あと、後ろのほうの参考資料なんですけれども、79ページですかね、79ページで国内外の事例調査というのをやられていますね。ここで国内、海外ともスケールが原因とされる事例はなかったと、こういう話になっています。下のほうのプラントで、高浜と同じぐらい運転経験を積んでいる、蒸気発生器に関して運転経験を積んでいるプラント、これは恐らく海外のプラントだと思うんですけども、これについて、このぐらいのものでしたと、こういうのがあります。ここは、だからこのプラントA～Hに関しては、いわゆる薬品洗浄をしていないものと、こういうことなんですけれども、ここで、この調べていただいたプラントで、それはスケールが原因というものはなかったんだろうとは思いますが、ただ、異物かもしれないけど、よく分からないけど、外面から腐食してましたみたいなやつがあるとすれば、それがもしかしたら今回と同じことかもしれないというふうにも思われるんですけども、そういう何か分からないけれども、何か外面からありましたみたいな、もしくは一応異物と断定して、そういう対策を打つてますみたいな、そういうプラントはあったんでしょうかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

ここでは具体的に申し上げることはできませんけれども、今おっしゃられたような趣旨の何かは特定できなかったけれども、それで減肉が生じたというプラントはございます。

○武山安全規制管理官 そうですか。それは、だから何か、A～Hまでありますけれども、これ全てそういうのがあったと考えていいですか。それともこの中での幾つかがあったということなんですか。

○丹羽リーダー 我々が確認したところでは、この中の二つほどでございます。

○武山安全規制管理官 二つほどあったということですね。分かりました。それは、やっぱり発生している時期としてはどのくらいの時期で発生されておりましたか。特に今、データがなければ後で教えていただければと思います。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

比較的2000年代の最近の事象でございました。あまりSGR（SGの取替え）した直後とか、そういうものではございません。

○武山安全規制管理官 結局、だから今回の高浜の4号のメカニズムを考えると、結局ある程度運転して、スケールがたまってこないところならないのかなと思うんですけども、

そういう考え方からすると、これEFPY（定格負荷相当年数）、これだけ洗ってませんという話で、2019年とか18年という話になっているので、高浜に関して言うと、24とか25辺りで、EFPYでは発生しているということなので、大体そのくらいの近辺で今言ったような話が、今言ったようなことがあったと、こういうことなんでしょうかということなんですけどね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

具体的に数字は言えないですけども、おっしゃったようなタイミングで発生してございます。

以上です。

○武山安全規制管理官 分かりました。これはあれですか、情報としては公開されていない情報から持ってきたから言えないということですかね。NRC（米国原子力規制委員会）とかでよくLER（異常事象報告書）とかがあったりするので、そういうやつで出ていけば公開できると思うんですけども。そういうものじゃない。

○丹羽リーダー 失礼いたしました。これはEPRI（米国電力研究所）で世界のSGの運転経験が網羅されているデータベースがあるんですけども、そこから抽出してきてますので、そのアウトプットとなってしまう以上、ちょっとここまでの開示が、申し訳ありませんけれども、限界ということになります。

○武山安全規制管理官 分かりました。

私からは取りあえず今以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

すみません、単純に教えてください。洗浄するとき下部を先に一回やるとおっしゃっていた、その下部のやり方というのは具体的にどういうふうにやるかというのを分かれば教えてほしいんですけど。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

62ページを御覧ください。下に三つほどSGの絵がございますけれども、一番左下が下部をやるときのものとして、第三管支持板のところまで水を浸漬して洗浄するというのが下部のやり方でございます、その隣の全範囲をやるときは全て浸漬すると。浸漬する範囲で洗浄範囲が決まるというものでございます。

以上です。

○高須統括監視指導官 原子力規制庁、高須です。

分かりました。ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 ほかに皆さん、何かありますか。

時間ありますので、どうぞ。

○片岡専門職 規制庁、片岡です。

これは質問じゃなくて、半分ほど宣伝になるんですけども、薬品洗浄の話ですが、海外ではよくやられていると聞いております。最近の事象で報告されているものが、薬品洗

浄の薬品は熱交換器などを対象にしているんですけども、熱交換器には大丈夫ですよ。けど、その薬品が流れる配管で、配管はその薬品に対して弱いものがあったりして、そこを傷めてしまうという事象が報告されていますので、ぜひそういう情報も生かして薬品洗浄するときは気をつけていただけたらいいなと思います。すみません、宣伝でした。

○白子原子炉保修課長 関西電力高浜発電所の白子でございます。

承知いたしました。ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 ほかに何か。

小野さん、お願いします。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

61ページに試験の結果の一覧がございますけども、過去の他プラントでの結果から見ると、結構、稠密層の厚さの減少が大きいなという印象なんですけど、どう見られていますか、この結果について。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

おっしゃるとおり、他プラントはこれまでの実績から比べると、やはり稠密層厚さの低減が大きくなっているかなというふうに思います。そこは、他プラントはこれまで薬品濃度1%が中心でしたので、今回2%、3%に上げていっておりますので、やはりその効果が大きく出ているのだろうなというふうに考えております。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

であれば、今回の高浜での洗浄についても過去の他プラントよりも大きな効果が得られると期待されているということではないですかね。

○丹羽リーダー 関西電力原子力事業本部、丹羽でございます。

そのとおりでございます。今回はスケールの脆弱化を狙って、過去よりも高い濃度で行っておりますので、期待どおりいくのではないかなというふうに考えております。

以上です。

○小野上級原子炉解析専門官 規制庁、小野です。

ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 ほかに何かありますか。大丈夫ですかね。特にないですかね。

ほかに特にないようですので、今日お聞きして我々のほうでもいろいろ考えるところとしては、まずSG伝熱管を損傷した原因が伝熱管に付着したスケールで、その対策としてスケールの脆弱効果がある薬品洗浄を検討しているということを確認したというふうに考えています。今後、今、既にもうやられているというふうに聞いてますけれども、いわゆる高浜4号機のスケールの性状と同様だと確認されている高浜3号機において、実機の薬品洗浄を実施しているということなので、その結果をまた次回の会合で確認をしたいと思えます。その確認状況を踏まえて次回の会合を設定したいと思えますけれども、いかがでしょうかね。

○長谷川副所長 関西電力高浜発電所の長谷川でございます。

承知いたしました。結果、効果につきましては来週にでも出るものと思っておりますので、また御報告したいと思っております。

以上です。

○武山安全規制管理官 分かりました。ありがとうございます。

では、そういう形にしたいと思っておりますので、本日はこれで公開会合を終了したいと思います。ありがとうございました。