

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10回議事録

令和元年12月19日（木）

原子力規制委員会

（注：この議事録の発言内容については、発言者のチェックを受けたものではありません。）

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10回
議事録

1. 日 時：令和元年12月19日（木）10:00～10:53

2. 場 所：原子力規制委員会 13階会議室A

3. 出席者

(1) 原子力規制委員会

山中 伸介	委員		
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)
吉野 昌治	実用炉監視部門	企画調査官	
小野 達也	実用炉監視部門	上級原子炉解析専門官	
比企 教雄	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	
藤森 昭裕	実用炉審査部門	安全管理調査官	
坂本 一信	システム安全研究部門	主任技術研究調査官	
船田 立夫	システム安全研究部門	技術参与	

(2) 事業者

関西電力株式会社

近藤 佳典	原子力事業本部	副事業本部長	
決得 恭弘	原子力事業本部	原子力発電部門	原子力発電部長
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
千秋 隆博	原子力事業本部	原子力発電部門	保修管理グループマネージャー
佐藤 友康	原子力事業本部	原子力発電部門	機械設備グループマネージャー
越智 文洋	原子力事業本部	原子力発電部門	機械設備グループマネージャー
丹羽 悠介	原子力事業本部	原子力発電部門	機械設備グループリーダー
足立 憲治	原子力事業本部	原子力発電部門	機械設備グループ
田中 裕久	原子力事業本部	原子力安全部門	安全技術グループチーフマネージャー

橋田 憲尚	原子力事業本部	原子力安全部門	安全技術グループマネージャー
野元 滋子	原子力事業本部	原子力技術部門	プラント・保全技術グループマネージャー
鶴 一隆	高浜発電所	副所長	
今村 雄治	高浜発電所	運営統括長	
小島 庸光	高浜発電所	保全計画課	課長
志和屋裕士	高浜発電所	課長	
福岡 大志	高浜発電所	原子炉保修課	原子炉係長
藤井 浩之	東京支社	技術グループ	チーフマネージャー

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 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管の損傷について（12月6日
公開会合でのご質問回答）
- 資料2 関西電力株式会社からの高浜発電所4号機蒸気発生器伝熱管の損傷に係る報告に対する評価及び今後の対応について（案）
- 追加資料 減肉した伝熱管の強度・耐震性について

6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、第10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。

本日の議題は1件でございます。議題1、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。

本日の配付資料は、議事次第に記載のとおりです。

それでは、早速、議題1に移ってまいりたいと思いますが、以後の司会進行については、武山安全規制管理官をお願いいたします。安全規制管理官、よろしく願いいたします。

○武山安全規制管理官 実用炉監視部門の武山です。

本件は、12月6日、第9回の事故トラブル会合で質疑応答で出されたコメント等について、関西電力から既に事務局でヒアリングをしているところなんですけれども、今回の会合でその内容を確認したいと考えております。その後、原子力規制庁のほうから、これまで聴取した内容を踏まえて、今回の事象に対する評価の案について説明をしたいと思っております。

なお、資料ですね、ホームページにアップされている資料以外に、追加で減肉した伝熱管の強度及び耐震性に関する資料が、今朝ですね、関西電力のほうから提出されましたので、それもあわせて説明をしていただければと思います。なお、この資料については、後ほどホームページにアップをしていきたいと思っております。

では、前回の会合のコメント等に関する回答を、関西電力のほうから御説明をお願いいたします。

○近藤副事業本部長 関西電力の近藤でございます。本日は、よろしく願いいたします。

高浜発電所4号機の蒸気発生器伝熱管の損傷に関しまして、12月6日の公開会合でいただきました御質問への回答を、それを主としまして、今回、御説明させていただきますので、御確認のほど、よろしく願いいたします。

それでは、説明をよろしく願いいたします。

○日下原子力保全担当部長 関西電力の日下です。

高浜4号機蒸気発生器伝熱管の損傷につきまして、12月6日の公開会合でいただいた御質問への回答を説明いたします。

次の2ページの目次に示しております項目に沿って御説明いたします。

項目の1～3では前回会合でいただいた質問への回答、また、参考1～3では前回会合での議論を踏まえまして、補足の説明をさせていただきます。

次、お願いします。まず、説明項目1のSG内に異物が残留していないかについてです。

異物は、重量やサイズに応じてSG器内での挙動が異なりますので、このフローのとおり三つのカテゴリーに分類し、器内での挙動及びそれを踏まえた検出の可能性を整理してございます。

一つ目のカテゴリーⅠは、異物の落下力が流体抗力を上回る、すなわち重量が大きく、

浮き上がらない場合がございます。この場合の運転中の異物の挙動は、一つ目の四角の枠に示すとおり、浮き上がらないために管板上面で滞留いたします。そのため、この状態で伝熱管と接触した場合には、減肉が発生する可能性がございます。定期検査での水抜時の異物の挙動は、その下の四角枠に示すとおり、管板上面で滞留すると考えられます。異物が残留した場合の検出可能性につきましては、一番下の四角枠に示すとおり、スラッジランシングまたは管板上面の点検で検出可能ですが、今回の点検の結果、本カテゴリーに属する異物は確認されませんでした。

続きまして、真ん中のカテゴリーⅡですが、これは異物が流体抗力で浮き上がり、かつ、右上の図に示すBEC穴のベイ部よりも小さい場合がございます。運転中の異物の挙動は2次側器内の流体とともに移動し、BEC穴ベイ部を通過、上昇することから、管支持板に保持されることはなく、減肉の可能性はないと考えてございます。定期検査での水抜時の異物の挙動は、SG器内を下降する流れに乗り、各管支持板、流量分配板、管板へ向かって落下していくものと考えられます。水抜時には、管板まで落下すると考えられ、異物が残留した場合の検出可能性につきましては、スラッジランシングで検出可能と考えてございます。また、今回はさらなる異物調査としまして、後ほど6ページで御説明しますが、N₂バブリングを実施してございまして、その中では、異物は確認されませんでした。

そして、最後は、一番右の列のカテゴリーⅢでございますけれども、これは異物が浮き上がり、かつBEC穴ベイ部よりもサイズが大きい場合で、今回の想定異物とA-SGで認められた金属片が該当いたします。運転中の異物の挙動は、後ほど詳細を御説明しますが、第二または第三管支持板の下面で保持されるため、伝熱管と接触した状態で保持された場合は、減肉を発生させる可能性がございます。定期検査での水抜時の異物挙動は、SG器内を下降する流れに乗り、第二、第一管支持板、流量分配板、管板へ向かって落下していくものと考えられます。異物が残留した場合の検出の可能性につきましては、スラッジランシング、管板、流量分配板、第一または第二管支持板上面の点検で検出できると考えてございます。今回の点検の結果、A-SGで金属片が一つ確認されました。一方、想定異物は確認されなかったため、SGブローダウン系統から流出したものと考えられます。

なお、A-SG器内に残留していた金属片との挙動の違いにつきましては、後ほど詳細を御説明いたします。

以上のとおり、今回実施したSG内部の目視点検等の結果、異物は確認されなかったことから、異物はSG器内に残留していないものと考えてございます。

次、お願いいたします。前回の会合におきまして、後ろの19ページでお示しした資料で概要を御説明しておりますが、このページでも、先ほどのカテゴリーⅢに分類される異物が第二または第三管支持板の下面で保持される理由について、詳細を御説明させていただきます。

左の図が、第一管支持板から第三管支持板を側面から見たもので、各管支持板の中央に設けられた開口がフローロットを指してございます。その左が高温側、右側が低温側と

なっております。SG器内では、第一管支持板から図に示す高さ以上では、高温側から低温側へ水平方向の流れがございますので、第一管支持板を通過した異物は、この水平方向の流れに乗って、図の赤い矢印のように低温側へ移動していったものと考えられます。この水平方向の移動量がフロースロット幅よりも大きければ、異物は第三管支持板を通過できないため、第三管支持板下面で到達した今回の想定異物の三つにつきまして、水平方向移動量を算出し、フロースロット幅との比較を行っております。

算出結果を右の表にお示ししておりますが、移動量は約440mmとなり、開口幅よりも十分大きいことが確認されました。また、図に赤い丸で示した①～③の減肉位置は、この移動範囲内であるので、実機とも整合しております。このことから、カテゴリⅢに分類される異物は第二または第三管支持板で保持されるため、第三管支持板より上には上昇しないと考えております。

次、お願いいたします。ここでは、A-SGで確認された金属片と想定異物の挙動の違いについて、考察を行っております。右上の平面図に金属片が確認された位置と減肉指示のあった伝熱管の位置を示しておりますが、減肉が確認された伝熱管は、SG中央のフロースロット近傍であるのに対し、金属片が確認された位置は、低温側の管群中央部であることがわかります。

この違いにつきまして、まず、金属片の流入について、考察を行いました。表に示すとおり、金属片は想定異物に比べ、落下力は想定異物の約4倍、流体抗力は想定異物の約2倍となります。そのため、想定異物よりも相対的に浮き上がりにくいことから、より多くの横方向に流されるため、低温側の管群中央部に移動したものと考えられます。

次は、金属片の流出について考察を行いました。SG水抜き時に、SG中央部付近ではフロースロットに向かう流れが大きいことから、想定異物はフロースロットを経由し、管板まで到達した後、ブローダウン系統から流出したと考えられます。一方で、金属片が確認された低温側管群中央部ではフロースロットに向かう流れが比較的小さく、また、想定異物に比べ落下力が大きいことから、金属片は横方向に流されにくく、管支持板の低温側管群中央部にとどまっていたものと考えられます。

次に、6ページですが、ここでは、さらなる異物調査として実施したN₂バブリングの結果について御説明いたします。左の図がN₂バブリングの概要を示したのですが、SG器内の最上段、第七管支持板まで水張りを行い、底部のブローダウン配管より器内攪拌用の窒素を注入します。窒素は約4時間かけて1,000m³を注入しておりますが、これはSG2次側の全体容量が約160m³でございますので、約6回分の入れかえに相当いたします。また、25mプールの容量が350m³であることから、注入量が非常に大きいことがわかっていただけたかと思っております。N₂バブリングの結果、スラッジ以外の異物は回収されませんでした。回収したスラッジ量からその効果を確認することができ、右下の表のとおり、今回のスラッジランシングの約3割に相当する量を回収できたことから、一定の効果はあったものと考えております。

参考に、N₂バブリング前後のSG器内の状況を、A-SGを例に左下の写真でお示ししておりますが、管支持板上のスラッジが除去されたことがわかるかと思えます。なお、N₂バブリング時には、器内には異物を上昇させる水の流れはございませんので、異物が上昇することはないと考えてございます。

それでは、次をお願いいたします。2ページ目でお示した目次の2番目といたしまして、エロージョンの限界流速に温度影響を考慮する必要はないのかとのコメントをいただきましたので、御説明いたします。

エロージョンは、流体が金属表面に衝突することで生じる機械的な衝撃力によりまして、材料が損傷する現象で、温度は流体の密度、材料の硬さに影響いたします。まずは、流体の密度に対する温度の影響ですが、SG2次側温度270℃での水の密度は約770kg/m³でございまして、通常に比べ約2割程度小さくなります。密度が低下いたしますと流体の持つエネルギーは小さくなりますので、エロージョンは生じにくくなります。つまり、エロージョンが発生する限界流速は上昇することとなります。他方、材料の硬さに対する温度影響でございまして、実機伝熱管温度約300℃での硬さは約1.59GPaであり、常温に比べ約1割程度小さくなります。材料の硬さが低下しますとエロージョンは生じやすくなり、文献によりますと、図1のとおり、硬さが約1割低下しますと、限界流速は約2m/s低下いたします。このことから、保守的に材料の硬さの温度影響のみを考慮したといたしましても、図2のとおり、限界流速は約68m/sであり、SG2次側器内流速に対して十分余裕があると言えます。したがって、温度の影響は小さく、常温の知見を用いても問題はないと考えてございます。

次、お願いいたします。今回確認された傷は、プラントメーカーの材料研究部門の有識者を含め検討した結果、摩耗減肉であると判断してございます。

なお、目次の3項目につきまして、他のSG伝熱管外面からの損傷による傷の形状例を以下にまとめてございます。発生部位の図と表面状態の写真を示してございますが、次の9ページのほうにも同様に示してございますが、いずれも摩耗減肉に特徴的な金属光沢はなく、今回認められた傷とは明らかに様相が異なっていることがおわかりいただけるかと思えます。

以上のことから、今回認められた傷が摩耗減肉であるというふうに判断してございます。

次、10ページのほうをお願いいたします。前回会合では、海外の異物減肉の事例を御説明いたしましたが、ここでは、複数SGで同時に異物による外面からの摩耗減肉が認められた事例についても調査した結果を御説明いたします。2000年以降の公開文献から調査を行いました結果、少なくとも10件の事例があり、複数のSGで同時に発生した事例もあることを確認してございます。

次、お願いいたします。ここでは、減肉により施栓した伝熱管が他の伝熱管へ影響を与えないことにつきまして、減肉が進展しないこと及び減肉した伝熱管が強度・耐震上問題

ないことを御説明いたします。

まず、一つ目の減肉の進展性についてです。当該伝熱管の減肉箇所近傍をカメラにより目視点検した結果、減肉箇所に異物は残留していないことを確認してございます。また、3ページで御説明いたしましたフロー図でも、SG器内の異物の調査により、異物が残留していないことを確認してございます。したがって、減肉を発生させる異物は全て除去されており、減肉の進展性はないと考えてございます。

次に、2の強度及び三つ目の耐震性について、伝熱管が損壊することはないことを確認してございまして、その詳細につきまして、次ページ以降で御説明いたします。

次、お願いします。まず、減肉を有する伝熱管の強度についてです。施栓後の伝熱管内は大気圧となりますので、運転中及び事故時には外圧として2次側から1次側への圧力が作用します。そのため、この条件で強度評価を行ってございます。過去の国プロジェクト「蒸気発生器信頼性実証試験」では、局部減肉を有する伝熱管の外圧強度評価手法を確立するため、外圧による高温圧壊試験を実施してございます。この試験結果から導出された外圧圧壊式を用いて、施栓後の外圧による圧壊圧力を算出し、通常運転時及び事故時の最大外圧との比較を行いました。その結果を表にお示ししてございますが、圧壊圧力は19.2MPaであり、事故時の最大外圧8.3MPaに対し、十分な裕度があることを確認してございます。したがって、減肉により施栓した伝熱管が外圧により損壊することはないと考えてございます。

次に、減肉を有する伝熱管の耐震性について御説明いたします。

耐震評価の流れですが、まず、新規制基準工認審査時に御説明した基準地震動 S_s による地震力と伝熱管全長モデルから減肉のあった伝熱管直管部に作用する力である部材力を算出いたします。次に、部材力から発生応力と疲労累積係数を算出し、許容値に対する裕度を確認いたします。その際に保守的に一様外面減肉と仮定し、断面積を減じて計算いたします。得られた結果を表に示しておりますが、発生応力及び疲労累積係数はいずれも十分な裕度があることから、減肉により施栓した伝熱管が地震により損壊することはないと考えられます。

以上のことから、施栓した伝熱管の減肉は進展せず、また、強度及び耐震性の観点でも問題がないことから、他の伝熱管へ影響を与えることはないと考えています。

次、お願いいたします。これまで、前ページまでは施栓した伝熱管の減肉は進展せず、強度及び耐震上の問題もないことから、他の伝熱管へ影響を与えることはないと御説明いたしましたが、ここでは、仮に減肉した施栓管が破断した場合の他伝熱管への影響を御説明いたします。

過去、安全評価審査指針の検討におきまして、伝熱管1本が破断しても隣接管へ有意な影響を与えないことが確認してございます。その検討において根拠とされた実験は、先ほども引用した国プロジェクトの試験によるもので、その中では、下の図に示す実験及び解析によりまして、伝熱管が破断し、ジェット反力によって隣接管へ衝突しても、その隣

接管に発生する応力が許容値以下であるため、有意な影響がないことを確認しています。施栓した伝熱管の場合は、内部に系統圧力がかかっておらず、破断時にジェット反力は生じないため、隣接管への影響はないものと考えてございます。

次、お願いいたします。最後に、異物混入防止対策の考え方について、御説明いたします。今回の対策は、作業内容を踏まえ、協力会社さんと一体となって、より踏み込んで検討したものです。下の表に示すとおり、昨年発生いたしました高浜3号機の伝熱管外面からの減肉事象を踏まえた異物対策に加え、今回の対策では、開口部の周辺作業と隔離したエリアを設けることや、作業服を着がえる等のハード対策を充実してございます。これらの対策によりまして、異物混入防止を確実に実施できるものと考えてございます。さらに、この対策の実施状況につきましても、当社による現場パトロールの実施等を通じて、計画どおりに実施できていることを確認することによって、異物混入防止対策の管理強化を図ってまいります。また、今回の対策につきましては、美浜、大飯の他サイトに水平展開を実施するとともに、今後もPDCAを回し、改善への取組を継続してまいります。

なお、これらの対策に加えて、事業者といたしまして、定期検査の立ち上げに当たり、開放点検を実施した脱気器タンク等につきまして、ファイバースコープによる異物確認を行います。というのが異物防止対策の考え方でございます。最後に、お配りいたしました減肉した伝熱管の強度について御説明させていただきます。

この資料は、先ほどは施栓した伝熱管につきまして運転中、事故時において問題ないということを御説明いたしましたが、この資料では、この施栓していない伝熱管につきまして、これらが減肉した伝熱管の強度及び耐震性に問題がないということをお示しした資料でございます。

こちらの検討におきましても、先ほどから引用しております国プロジェクトの蒸気発生器信頼性実証試験で導出された結果を用いまして、評価してございます。

まず、この伝熱管の強度ですが、強度につきましては、この試験結果から導出された内圧破断の評価式を用いて、破断圧力を算出してございます。表を見ていただきますと、今回、最大の減肉深さであった63%に対しまして、破断圧力が28.17MPa。それに対しまして、事故時を包絡する内外差圧が17.31MPaということで、ちゃんと裕度を有しているということで、減肉した伝熱管が運転時及び事故時の内外圧の差圧によって破断することがないということを確認してございます。

次に、耐震性でございますけれども、耐震性につきましても、先ほどの施栓した管と同様の考え方で、この伝熱管直管部に作用する力、部材力を算出してございます。表にお示ししておりますとおり、許容値に対して、裕度を有しておるということで、今回認められた減肉を考慮しても、発生応力及び累積疲労係数に十分な裕度があることを確認してございます。

以上のことから、減肉した伝熱管が地震により損壊することはないということで、施栓していない伝熱管につきましても、強度、耐震性が確保されているということを確認して

ございます。

説明は以上となります。

○武山安全規制管理官 ありがとうございます。

では、質問、確認があれば、お願いいたします。

○吉野企画調査官 実用炉監視部門の吉野です。

資料をまとめていただきまして、ありがとうございます。

3ページ目の異物の件でございますけれど、一応、今回はカテゴリーⅠからⅢという形に整理してございます。それで、今回のA-SGで見つかった金属片をカテゴリーⅢ、想定異物もⅢという形にしてございます。それぞれカテゴリーⅠ、Ⅱ、Ⅲの異物について、想定される異物の形状とか重さ等について、まず御説明いただけますでしょうか。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

それぞれのカテゴリーⅠ、Ⅱ、Ⅲに属する異物の具体的なサイズと重さなんですけれども、まず、カテゴリーⅠの場合は、流体の落下力、これは流体の重さがきいてきますけれども、流体抗力の場合は、形状がきいてきます。ですので、一義的にこのカテゴリーの大きさと重さがこれだということを断定することはできないんですけれども、例えば、過去に当社の美浜3号機であったような異物であれば、管板上に滞留してしまして、実際に伝熱管に減肉を発生させていたという事象がありました。このケースでいくと、大体、サイズの5×4cm程度で、重さも10gということで、今回、我々が想定している異物の形状に比べて、大分サイズも大きくて、重量も大きいというのが、感覚としておわかりいただけるかなというふうに思います。

続いて、カテゴリーⅡとⅢですけれども、ここについては、異物がBEC穴のベイ部よりも大きいか小さいかということでスクリーニングをかけておりますので、このサイズについては、例えば右側に示しますようなBEC穴のベイ部で6.3、×約11.5ぐらいになりますので、サイズ感としては、これぐらいの閾値になります。

重量としては、おおよそ今回、カテゴリーⅢで認められたものが大体1g以下でしたので、重量的にはその程度未満であろうと。未満になるのがカテゴリーⅡ、それ以上になるのがカテゴリーⅢ。そのようなイメージ感を持っていただければよいかなと思います。

以上です。

○吉野企画調査官 ありがとうございます。

では、引き続きまして、カテゴリーⅡとⅢですけれど、スラッジランシングでカテゴリーⅡであれば、検出可能という形になってございますが、カテゴリーⅢで、SGブローダウン系統からの流出という形になってございます。今回、カテゴリーⅡのほうがカテゴリーⅢよりも小さいということですので、カテゴリーⅡはブローダウン系統からの流出も考えられるという理解でよろしいでしょうか。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

その御理解のとおりかと思えます。

○吉野企画調査官 ありがとうございます。

引き続き、別の観点でございますけれど、追加で御説明いただきました資料、減肉した伝熱管の強度の件でございます。これは、内圧での計算をされてございますけれど、今回の傷、これは円周方向の減肉になってございます、たしか発電用熱機関協会の資料でいきますと、軸方向の傷であったかと思うんですけれど、これは、今回、計算に当たりまして、その辺りを考慮した点があれば御説明いただけますでしょうか。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

このときの国プロジェクトにおいてでも、周方向の減肉というのをに入れておりまして、ちょうど以前の会合でお示したようなかまぼこ型で、大きく体積欠損が出るような条件でやってございます。ということで、今回の傷にも十分活用できるものというふうに考えて、適用しております。

以上です。

○吉野企画調査官 ちなみに、そのかまぼこ型というのは、傷の幅というか、それは何mmのもので想定してございますか。

○丹羽機械設備グループリーダー かまぼこ型の場合は、深さが決まれば、その深さ分、辺で削っていきますので、幾何学的に自動的に円周方向の長さが決まります。

○吉野企画調査官 わかりました。ありがとうございます。

私からの質問は以上でございます。

○武山安全規制管理官 ほかにありますでしょうか。

ちょっと私から、じゃあ一つ。資料の見方なんですけれども、資料1の4ページにある、いわゆる移動量なんですけれども、これは、ちょっとぱっと見たところ、だから、440mmというのは、左の絵に描いてあります。一方、こっちの右の表では、441だとか、439とか441とかが書いてあって、440をちょっと超えているような数字になっているんですけど、これは何か数字的には、で、絵が何かどっちかというところ、この440より手前のところに全部、①、②、③ありますと書いてあるんですけど、ここの関係というのは、どういうふうに見たらいいんですかね。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

まず、御指摘の左の440と、あと右側の表ですけれども、この約440という数字は、右の表の①、②、③の数字をまとめて転記したものですので、ちょっとそういう意味では、概略数字になっております。

○武山安全規制管理官 わかりました。

だから、開口幅からいっても、幾何学的にいったとき、ずっと斜めに行ったところで、最大こころ辺までしか行きませんということを言っているんだと思うんですけれども、それは、数字的には、むしろ、この440というのはあくまでも実績なので、実際にはもっとノウハウ的なものがあるのであれば、あれかもしれないけれども、それよりも高い、でも440が大体マックスぐらいかなという、そういうことなんですかね。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

この440という数字は、実際に計算すると、移動し得る量でありまして、実際の実績というのは、ここの左の絵に示しております①、②、③の位置になります。実際は、異物から見ると、フローロットを上がっていくと伝熱管の林のようなものにぶち当たりますので、物によって、そこでひっかかったような格好になっていると考えています。

以上です。

○武山安全規制管理官 わかりました。基本的に斜めに行って、またさらに水平方向に流れがあるので、そこまでまた流される可能性もある。そういうことですね。

○丹羽機械設備グループリーダー はい。その御理解で結構かと思えます。

以上です。

○武山安全規制管理官 わかりました。

ほかにはありますか。特にないですか。

○山中委員 今回、高浜4号炉でのSGで見つかった2次側の損傷について、原因分析と対策を報告いただいたわけですが、前回の会合では、損傷の環境要因の分析をかなり詳細に報告をいただいたと。今回は、損傷の形状の分析をメーカーの専門家とともに分析いただいて、総合的な結論として、原因としては異物摩耗、デブリフレッシングであるという結論を報告いただいた。かなり詳細に分析をしていただきまして、私自身としても、もちろんデブリ自身は、異物自身は見つかってはいないんですけども、原因としては、異物摩耗で間違いなからうという確信が持てました。

また、国内外の事例を調べていただきまして、国内では、事例が3例でございますか。少のうございませけれども、海外では、公開の文献などで、少なくとも10例の報告があったということで、多数のSGでの2次側のデブリフレッシングというのが報告があるということで、非常に特異な事象ではないというのが理解できました。

とはいえ、一つのサイト、発電所で多号炉の蒸気発生器で2次側損傷が発生したということは、私自身、重大に事を捉えております。もちろん関西電力事業者の職員御自身は、皆さん、PWRでのSGの重要性というのは把握されておられると思えますし、今回の事象の重大性というのは、十分認識はされていると思うんですけども。15ページで防止対策について御提案をいただいているわけですが、今回の事象の重大性を考えますと、さらに防止対策については、強化をお願いしたいと、委員としては考える次第でございます。特に、現場の協力会社の作業員の方々が今回の事象の中身を十分に理解して、その重大性を把握していただくまでは、事業者の職員自身がパトロール、あるいは管理の強化というよりは、むしろ、このような事象を防止する必要がある重大な作業については、直接、立ち会っていただくなどの措置を講じて、現場の協力会社の作業員とともに作業に当たっていただくようお願いしたいと思います。

その点、少しつけ加えていただいて、対策の強化ということで、改善をお願いしたいという点でございます。

原因防止対策についての私のコメントは以上でございます。

○今村運営統括長 関西電力の今村でございます。

貴重な御意見ありがとうございます。

我々も今回の対策、二度と同じようなことが発生しないようにということで、強い決意のもと、協力会社さんといろいろコミュニケーションをとって、知恵を出しながらつくったものと考えております。ただ、改善に終わりはございませんので、とりあえず今、立てた対策をきちっとやっていくということが大事やと思いますので、我々もきちんと現場を見て、さらに改善が必要な部分がありましたら、速やかに改善して行って、よりいいものにして、いい対策にどんどん上げていけるように頑張っていきたいと思っておりますので、また御指導をよろしくお願いいたします。

以上です。

○山中委員 よろしくお願ひいたします。

○近藤副事業本部長 関西電力、近藤でございます。

先ほど今村が申しましたように、PDCAを回して得た知見というものは、高浜発電所だけではなく、やはりSGというものは、PWRの非常に重要な機器でございますので、3サイトへの展開もきっちりとさせていただくということで考えてございます。

○武山安全規制管理官 ちょっと私のほうから確認なんですけれども、今回、異物を混入するのを防止するというので防ぐということなんですけれども、現実問題としては、やはり異物は何がしか入っちゃうかもしれない。仮に、蒸気発生器の伝熱管にやはりまた傷がついて、例えばリークをすとかというふうなこともあるかもしれない。そういう場合に、当然ながら、保安規定に従って、漏えい監視をしていて、かつ、あれば原子炉を止めるといった措置をすとかということになると思うんですけれども、そういうことはきちっとそういう監視とか、そういうところについては、きちんとしていくということがまず大事だと思っておりますけれども。それはそういうことということですよね。

○今村運営統括長 おっしゃるとおりでございます。日々の運転管理のほうもきちっと、現状もやっておりますけれども、継続的に注意深くやっていきたいと思っております。

以上です。

○近藤副事業本部長 関西電力、近藤でございます。

蒸気発生器のその細管に異常があった場合のモニターというのも、連続的に監視してございまして、その警報値を設定してございまして、何か漏えいが発生しましたら、運転員のほうにすぐさまアラートを発するような仕組みになってございまして、また、SGチューブリークというような訓練は、PWRの運転員としては基礎として、毎年、訓練してございまして、ということでございます。

○武山安全規制管理官 わかりました。

あと、ちょっと戻ってすみませんけれども、今日、朝、追加で配られた資料の中でちょっと確認なんですけれども。いわゆる減肉した伝熱管、今回の事象のときに減肉したわけ

ですけれども、それが最大の減肉で63%と、こういうことなんですけれども、その減肉した管に関して、通常運転時、事故時に耐えられたのかどうかという、こういう計算をしているわけなんですけれども。ここで言っている17.31という差圧の数字というのは、これはあれですか、事故時、重大事故時の包絡する内外圧差圧と書いていますけれども、恐らく主給水管破断で、2次系が大分減圧されている状態とか、そういうところで、要は、一番最大のところというのはどういうところを捉えたというのでしょうかね。

○丹羽機械設備グループリーダー 関西電力の丹羽でございます。

まさに御指摘のとおりで、事故時のときの最大の差圧というのをとってきております。

○武山安全規制管理官 主給水管破断。

○丹羽機械設備グループリーダー 主給水管破断ですね。御指摘のとおりです。

○武山安全規制管理官 ほか。どうぞ。

○吉野企画調査官 実用炉監視部門の吉野です。

先ほどからの対策につきまして、15ページの防止対策につきまして、関西電力からの御説明ですと、PDCAを回していきますということの御説明がありました。ちょうど来月から高浜3号の定期検査が入りまして、本当はあってはならないことですが、仮に3号のほうで異物が発生した場合については、3号の今までの定検での再発防止対策が不十分であって、その異物の内容等を勘案した上で、今回、4号での対策が十分であったのかどうか、これも確認した上で、必要な対策は適切にとりいただくようお願いいたします。

○今村運営統括長 関西電力の今村でございます。

もし、万が一、そういうことがあった場合、そちらのほうも原因究明等をきちっとして、さらに対策に反映していくと。よりよい対策にしていくという活動を続けてまいりたいと思います。

以上です。

○吉野企画調査官 ありがとうございます。

○武山安全規制管理官 ほかに何かございますでしょうか。ありませんか。

ないようでしたら、では、次のところで、それでは、資料、今度、2に基づいて、原子力規制庁から、事務局のほうから、今回の事象に関する評価案について、説明をお願いいたします。

○吉野企画調査官 実用炉監視部門の吉野です。

資料の2ページ目を御覧になっていただけますでしょうか。

今回の関西電力からの御説明を踏まえて、評価及び今後の対応についてという形の資料をまとめてございます。

資料の構成としましては、3構成になってございまして、1番目が経緯について、2番目が事業者からの報告内容について、3番目が原子力規制委員会の評価及び考察になってございます。

まず1ページ目の経緯でございますけれども、これは御説明がありましたように、外面か

らの減肉と見られる有意な信号指示が認められて、ただし、本事象に伴う外部への放射線の影響はなかったこと。関西電力からは本年10月17日に事故報告がありましたということを書いてございます。

2番目の事業者からの報告内容につきましては、第9回の公開会合の内容と12月13日、17日に行われました面談での資料を反映しまして、報告内容を作成してございます。

まず、事象の原因・対策に関する報告を令和元年11月28日に受けて、その内容を記載してございます。2.1としまして、事象に係る原因調査につきましては、2.1.1使用環境等における調査ということで、粒界腐食割れの内容。2ページ目に移りまして、ピッチング、リン酸減肉についての内容を記載してございます。

2.1.2としまして、機械的な接触に係る調査ということで、まず管支持板との接触による減肉摩耗について記載をしてございます。

3ページ目に移りまして、デンティング、流体振動による疲労、エロージョンについての記載がございます。

2.1.3としまして、国内外における事例調査を記載してございまして、国内では3件、玄海原子力発電所1号、美浜発電所3号、高浜発電所3号の内容を記載してございます。海外においては、ガスケット片とワイヤ等の異物により、複数のSG伝熱管の外面において減肉した事例が多数報告されているという内容を記載してございます。

2.1.4としまして、原因調査のまとめについて記載してございます。

2.2は、事象の推定メカニズムについて記載してございまして、2.2.1想定される異物の形状と挙動について、想定される異物としましては、長さが18mm～24mm、幅が6mm～8mm、厚さが1mm以下というふうに推定してございまして、管支持板のフローロット部を通過して、第一管支持板の上方では上昇流に加え高温側から低温側に水平移動したのではないかというふうな推定をしてございまして、その内容を記載してございます。

また、4ページ目にいきまして、第三管支持板以上には上昇せずという内容を記載してございます。

2.2.2としまして、減肉メカニズムにつきましては、異物の振動による摩耗のケースと伝熱管の振動による摩耗のケースについて記載してございまして、今回は伝熱管の振動による摩耗のケースで十分なワークレートが得られることから、これによる減肉と想定してございまして記載してございます。

2.3は、異物流入に関する調査としまして、想定される異物が系統水の流れに乗って移動する可能性がある範囲の調査結果と、主給水系統及びSGの水張系統から異物が流入する可能性があるという推定を記載してございます。

2.4の推定原因でございまして、先ほどの説明から推定原因といたしましては、前回定検における機器の開放点検作業中に混入した異物が最終異物確認時に目視確認が困難な箇所に残留したこと。この残留した異物が主給水系統を通じてSGに到達し、SG内の上昇流に乗って、第二、第三管支持板の下面に到達し、伝熱管と接触したという内容。伝熱管

と接触した異物は、運転中に生じる伝熱管の振動により、伝熱管外表面を摩耗させ、伝熱管外面に傷をつけた。今回の定検において、原子炉停止後、SG内の上昇流が喪失したことによって異物は落下して、SGブローダウン系統から海水管に放出されたということが記載されてございます。

2.5としまして、再発防止対策につきましては、SG内の異物流入の可能性がある機器の点検における異物混入防止対策の徹底のため、四つの対策の内容を作業手順等に追加するとともに、現場パトロール等の実施等により、管理強化を図るという内容。さらに、当該対策については、必要に応じ、見直しを行うという内容が書いてございます。また、四つの対策につきましては、美浜発電所、大飯発電所に対しても水平展開を行うという内容になってございます。

なお、摩耗減肉が認められたSG伝熱管につきましては、高温側、低温側のSG管板部で施栓をするということでございます。

これが今まで御説明いただいた内容を包括的にまとめたものでございます。

3番目に原子力規制委員会からの評価及び考察について。これは初めての内容ですので、文章を読み上げたいと思います。

3.1、原因調査結果等について。SG伝熱管の損傷に至った原因については、2.1のとおり想定される原因が網羅的に抽出され、水質管理、SG伝熱管の減肉状況及び粒界腐食割れ等の表面形状との比較から、異物による摩耗減肉と考えられることは妥当であると評価する。また、異物は確認できていないが、摩耗痕から想定した形状の異物がSG内で移動し減肉を発生させることをモックアップ及び解析等により確認しており、想定した形状の異物が管支持板下面で保持され、伝熱管の振動により摩耗したと推定することは妥当であると評価する。

3.2、安全上の影響について。本事象において、異物によりSG伝熱管5本が減肉したが、3.1で妥当と評価した伝熱管の振動による減肉においては、伝熱管と管支持板との隙間により振幅が制限されるため、これ以上の当該減肉部の進展、破断等による他の伝熱管への影響はないと考えられる。また、当該伝熱管の強度は、通常運転時及び事故時の内外圧差に対して裕度があることから、発電用原子炉施設の安全機能は確保されていたものと評価する。

3.3、再発防止対策について。再発防止対策については、2.5のとおり、推定原因から作業服の着替え、ファイバースコープでの確認、新ウエスの使用等の異物混入防止対策に加え、関西電力が現場パトロール等により管理強化をするとしており、その対策は妥当であると評価する。

4、今後の対応。当委員会としては、今後も関西電力が行う定期事業者検査（蒸気発生器伝熱管体積検査）の結果について確認するとともに、異物混入防止対策及び現場パトロールの実施状況について、原子力運転検査官が現場にて確認を行うこととするということで資料をまとめてございます。あと、別紙1～別紙3として、提出された資料の抜粋とい

うことで必要なものをつけてございます。

説明は以上です。

○武山安全規制管理官 ありがとうございます。

では、質問、確認があれば、お願いいたします。

○近藤副事業本部長 関西電力の近藤でございます。

経緯、弊社からの御説明させていただいた内容の趣旨に沿ったものでございますので、コメントはございません。

また、すみません、最後、4.の今後の対応でお示しされていますように、弊社が行う定期事業者検査についての御確認、または原子力運転検査官が現場にて確認されていることに対しては、真摯に対応させていただきます。

○武山安全規制管理官 あとは、特にないでしょうか。

ちょっと私から。先ほど吉野からも言いましたけれども、やはり今度、3号機で来年、定期検査が始まるので、同じように蒸気発生器の。高浜3、4号に関して言うと毎定検ですね、蒸気発生器の伝熱管に対する検査を行っていると思うんですが。したがって、その結果で、やはり結果は、というか、その状況というのは大事だと思っています。今回、再発防止対策をされる、何とかな、どの程度それが効果があるのかとか。もともとこの3号機に関して言うと、4号機の今度の対策は、する前に今、運転しているものですから、そのままじゃないんでしょうけど、また、その状況によって、また異物の状況がどうなるかということにもよるのであれですけども、同じように、やはり異物対策というのを、次の運転サイクルをするに当たっては、当然ながら、同じことをしなきゃいけないと思いますし。やはり先ほど山中委員からも言われましたけれども、関西電力自ら、当然、協力会社の方がきちんと異物対策をしていただくということは大事なんですけれども、さらに加えて、やはりその状況というのはちゃんと関西電力としても確認をする。あるいは、この作業もタンクの開放作業等については、その中でも特にそういう異物が混入しやすいような場面ってあると思うので、そういうところなんかは、きちんとやっぱり工程を見た上で立ち会うとかということ、ぜひお願いしたいなと思っているところでございます。

○今村運営統括長 関西電力の今村でございます。

いただいたコメント、重々心に響いておりますので、きちっと対応をしていきたいと思っておりますので、また御指導をよろしくお願いいたします。

以上です。

○武山安全規制管理官 ほかに何かございますでしょうかね。

(なし)

○武山安全規制管理官 なければ、じゃあこの議題1というのは、とりあえず説明に関しては終了させていただきます。

○山中委員 それでは、議題1について、使用環境等や機械的な接触に関わる調査を行い、異物が発見されなかったものの、摩耗痕は異物によるものであると推定した報告について

は十分理解できるものでございます。今後は、異物混入防止対策について関西電力が主体となって取り組むこと、何か問題が生じた場合は保安規定に従って原子炉安全となる対応をとることの表明があったことから、早速、原子力規制委員会で本評価書について、審議いただくことといたします。

事務局では、準備のほうをよろしく願います。

そのほか何かございますでしょうか。よろしゅうございますですか。

(なし)

○山中委員 それでは、以上で、第10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終了したいと思います。