

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第814回

令和元年12月17日（火）

原子力規制委員会

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第814回 議事録

1. 日時

令和元年12月17日（火）10：30～11：41

2. 場所

原子力規制委員会 13階 会議室A

3. 出席者

担当委員

山中 伸介 原子力規制委員会 委員

原子力規制庁

山形 浩史 緊急事態対策監
田口 達也 安全規制管理官（実用炉審査担当）
川崎 憲二 安全管理調査官
植木 孝 主任安全審査官
宇田川 誠 主任安全審査官
津金 秀樹 主任安全審査官
照井 裕之 安全審査官
寺垣 俊男 技術研究調査官
山浦 良久 技術参与

中国電力株式会社

北野 立夫 常務執行役員 電源事業本部 副本部長
岩崎 晃 電源事業本部 担当部長（原子力管理）
谷浦 亘 電源事業本部 担当部長（原子力管理）
田村 伊知郎 電源事業本部 マネージャー（原子力耐震）
朝倉 弘晃 電源事業本部 担当課長（原子力耐震）
中野 欣治 電源事業本部 担当副長（原子力耐震）
大久保 厚志 電源事業本部 担当

4. 議題

- (1) 中国電力（株）島根原子力発電所2号炉の設計基準への適合性について
- (2) その他

5. 配付資料

- 資料1-1 島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止（耐震設計の論点）
[サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更]
- 資料1-2 島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止（耐震設計の論点）
[機器・配管系に係る論点のうち動的機能維持評価の実施他]
- 資料1-3 島根原子力発電所2号炉 審査会合における指摘事項に対する回答一
覧表（設計基準対象施設：第4条（地震による損傷の防止））
- 資料1-4 島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止

6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、ただいまから原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合、第814回会合を開催します。

本日の議題は、中国電力株式会社島根原子力発電所2号炉の設計基準への適合性についてです。

本日は、プラント関係の審査ですので、私が出席いたします。

議事に入ります。

それでは、資料について説明を始めてください。

○中国電力（北野） 中国電力の北野でございます。

本日は、第4条、地震による損傷の防止のうち、サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更及び機器・配管系に係る論点のうち動的機能維持評価の実施他につきまして、二つのパートに分けて御説明し、都度、御質問等をお受けしたいと考えております。

それでは、電源事業本部担当課長の朝倉のほうから御説明させていただきます。

○中国電力（朝倉） 中国電力の朝倉です。

資料1-1により、機器・配管系に関わる論点のうちサプレッション・チェンバ内部水質

量の考え方の変更について、説明いたします。

1ページをお願いいたします。1ページに目次を示しております。

2ページをお願いいたします。耐震設計の論点、論点Ⅱ-5、サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について、概要を説明します。

島根2号炉の既工認では、サプレッションチェンバに加わる地震荷重の算出において、内部水を剛体とみなし、内部水の全質量を用いております。今回工認では、タンクの耐震設計に一般的に用いられている有効質量の考え方を適用し、サプレッションチェンバに加わる荷重を現実的に見直します。下の図に示しますように、通常運転時、重大事故時ともに、また、地震動 S_s 及び S_d ともに有効質量を適用する方針としておりますが、重大事故時水位については、現在、39条の審査で審査中であり、この審査結果を踏まえて、設定をするものといたします。

本論点の先行プラント実績としては、工事計画認可実績はありませんが、女川2号炉の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同一のものととなります。島根2号炉と女川2号炉では、手法の検証において参照する試験が異なる等の差異がありますが、耐震設計の手法としては、同一の考え方をを用いて、内部水質量を考慮いたします。

3ページをお願いいたします。有効質量の概要について説明します。

容器の内部水が自由表面を有する場合、容器の振動方向に地震荷重として付加される質量は、内部水を剛体として扱う場合の荷重よりも小さいことが知られております。下の図に示しますように、内部水を剛体として扱う場合は、水の全質量が容器に加わる荷重に付加されますが、有効質量を考慮する場合、容器に加わる地震荷重は内部水の全質量よりも小さい質量が荷重として付加されることとなります。また、スロッシング荷重を別途考慮することとなります。容器の形状と水位が既知であれば、有効質量は汎用構造解析プログラムNASTRANを用いて算出が可能です。島根2号炉のサプレッションチェンバでは、NASTRANを用いて、有効質量を算出し、地震荷重を評価いたします。

4ページをお願いいたします。サプレッションチェンバの構造について説明します。

下の図に示すように、サプレッションチェンバは、16セグメントの円筒をつなぎ合わせた円環形状であり、サプレッションチェンバサポートにより、原子炉建物基礎版上に自立しております。原子炉格納容器ドライウェルとは、ベント管を介して接続されます。サプレッションチェンバ内部には、自由表面を有する内部水が貯留されております。

下の表に、島根2号炉のサプレッションチェンバの諸元を示しております。

5ページをお願いいたします。既工認と今回工認の耐震評価手法の比較について説明いたします。

島根2号炉のサプレッションチェンバの耐震評価における既工認からの変更点は、一つ目が内部水による現実的な地震荷重を考慮するため、サプレッションチェンバの内部水質量に対して、有効質量を適用するという点。二つ目が、有効質量の適用に伴い、スロッシング荷重を流体解析により個別に評価することです。

下の表に、既工認と今回工認の比較を示しております。変更点は表の中の下線部で示しております。

6ページをお願いいたします。ここでは、既工認と今回工認のサプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フローを示しております。右側の今回工認でハッチングをしている部分が既工認から変更する部分となります。水の有効質量の適用、流体解析によるスロッシング荷重の考慮が変更点となります。

7ページをお願いします。有効質量を適用する目的と効果について、説明します。

二つ目のポツに記載しましたように、島根2号炉の今回工認では、サプレッションチェンバの内部水について、より現実に近い挙動を考慮した評価を行うことを目的に、NASTRANを用いて算出した有効質量を適用します。本手法を用いて、サプレッションチェンバサポートの構造強度評価を実施する場合、発生応力が下の図に示しますように低減する見込みです。

8ページをお願いします。本ページは、有効質量の適用方針の概要について示しています。以降のページで、円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証方法、耐震評価で用いる有効質量の設定方法について説明してまいります。

9ページをお願いします。円環形状容器の有効質量の妥当性検証について、説明いたします。文中の数字と図中の数字は対応しておりますので、あわせて御参照ください。

妥当性検証の流れとしては、まず、①で、サプレッションチェンバ解析モデルを作成し、NASTRANにより有効質量比を算出します。次に、②で、縮小試験体を用いて振動試験を行い、試験データから有効質量比を算出します。そして、③で、両者で得られた有効質量比を比較し、NASTRANで算出した円環形状容器の内部水の有効質量比の妥当性を検証します。なお、女川2号炉とは、②で参照する振動試験が異なるということになります。

10ページをお願いします。サプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量の設定方法について、説明します。

まず①で、NASTRANを用いて、島根2号炉の実機解析モデルにより有効質量比を算出します。次に、②で、NASTRANの実機解析の妥当性を検証するため、汎用流体解析コードFluentを用いて、島根2号炉の主要な内部構造物をモデル化した実機解析モデルにより有効質量比を算出し、両者を比較して妥当性の検証を行います。そして、③で、NASTRANに対する流体解析及び振動試験での有効質量比の値の差異を踏まえ、NASTRANで算出された値の保守性を検討し、島根2号炉の実機評価に適用する有効質量を設定します。

11ページをお願いします。これまで説明しました方針に従った検証方法及び有効質量比設定の詳細を説明いたします。

まず、円環形状容器の有効質量の妥当性検証について説明いたします。円環形状容器の内部水の有効質量は、NASTRANにて算出可能であり、入力波によらず、容器の構造と内部水の水位により定まります。円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証の対象としては、代表形状として、島根1号炉のサプレッションチェンバを採用することとしました。下の図に構造解析モデルを示します。また、右の表にNASTRANによる有効質量比の算出結果を示します。島根1号炉の構造解析モデルの有効質量比は、0.21と算出されました。

12ページをお願いします。次に、有効質量妥当性検証における振動試験の試験体について、説明いたします。

試験体は、島根1号炉の20分の1の縮小モデルを用いました。下の図に示しますように、振動台の上に試験体を支持する架台を設け、これらの間にリニアガイドを設けて、試験体及び架台が加振方向に移動できる構造としました。試験体及び架台はロードセルを介して振動台に固定されるため、振動応答による水平方向反力はロードセルで確認することができます。

13ページをお願いします。計測項目は、表に示しますように、反力と加速度となります。反力はロードセルで、加速度は加速度計を用いて計測しました。

14ページをお願いします。振動試験の試験条件について、説明します。

振動台への入力波として、スロッシング周期帯に加速度成分を含まないランダム波Aと加速度成分を含むランダム波Bの模擬地震波を適用しました。それぞれのランダム波の最大応答加速度を100～400Galの4ケースについて、試験を実施しました、試験水位レベルは、内部水なしと内部水ありの2ケースとしました。下の図にランダム波A及びBの振動台入力加速度の時刻歴波形と加速度スペクトルを示します。また、水位レベルについて、右下の図に示しております。

15ページをお願いします。振動試験の試験結果について、説明します。

計測した荷重 F と架台上の計測加速度の関係は、中段に示します運動方程式で表されます。したがって、試験体と内部水の有効質量の合計値は、計測加速度に対する計測荷重の比。つまり、左下の図に示す直線の傾きとなります。内部水ありの試験結果と内部水なしの試験結果から得られる回帰直線の傾きをそれぞれ求め、両者の傾きの差から有効質量を算出することができます。振動試験から算出した有効質量比を右下の表に示します。ランダム波Aで0.18、ランダム波Bで0.20の有効質量比が得られました。

16ページをお願いします。妥当性の検証結果について、説明いたします。

NASTRANにより算出した有効質量比と振動試験から算出した有効質量比は、下の表に示すように、同等な値となることを確認しました。

以上の結果から、NASTRANにより算出される有効質量比は妥当なものと考えております。

17ページをお願いします。ここから、実機の耐震評価に用いる有効質量比の設定方法について、説明いたします。

まず、実機の有効質量比の算出について、説明します。ここまでに説明した検証により、妥当性を確認したNASTRANを用いまして、島根2号炉の実機サプレッションチェンバの内部水に対する有効質量を算出します。有効質量を算出する水位としては、重大事故水位 S_s 及び重大事故水位 S_d について算出します。通常運転時における有効質量は、保守的な条件として、重大事故水位 S_s における値を適用することとします。なお、重大事故時水位は、39条の審査で審査中であり、審査を踏まえて設定するものいたします。

内部水の有効質量に対する流動影響を確認するため、汎用流体解析コードFluentにより有効質量比を算出し、NASTRANにより算出した値と比較することで、妥当性を確認します。下の図に、NASTRANの実機解析モデル、Fluentの実機解析モデル及び現時点での解析水位のケースを示しております。

18ページをお願いします。Fluentによる流体解析に用いる地震動条件については、左側の二つのグラフに示すように、スロッシングの固有周期帯及び設備の固有周期帯における応答加速度が大きい S_s -Dを選定しました。右の表に、NASTRANとFluentによる有効質量比の算出結果を示します。NASTRANにより算出した有効質量比は、流体解析から得られる有効質量比と同程度となっていることを確認しました。

19ページをお願いします。実機評価に適用する有効質量比について、保守性を踏まえた設定の考え方について説明します。

NASTRAN及び振動試験により算出した有効質量比は同等であり、NASTRANのほうがやや保守的な傾向を示します。実機解析モデルに対する有効質量比は、NASTRANと流体解析の算出結果が同等の値として得られました。下にそれぞれの有効質量比の比較結果を再度、示しております。また、容器構造設計指針・同解説に記載される球形タンク及び円筒タンクの有効質量比に対して、NASTRANを用いて確認解析を実施したところ、いずれのタンクについても有効質量比がほぼ一致、または、NASTRANのほうが保守的な傾向になっていることを確認しました。

したがって、島根2号炉の地震応答解析では、NASTRANにより算出される有効質量比がほかの評価手法に対して一致、もしくは、概ね保守的な傾向を示すことから、NASTRANにより算出される有効質量を適用することとします。

20ページをお願いします。ここでは、今回工認での地震応答解析の方法について、説明します。

島根2号炉の地震応答解析は、既工認と同様に、下の図に示す3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析により地震荷重を算出します。サプレッションチェンバ内部水の有効質量はNASTRANの実機解析モデルにより算定された値をはり要素の各質点に縮約して付加します。水平方向の地震荷重に考慮するスロッシング荷重は、流体解析により個別に評価します。

21ページをお願いします。ここまでの説明をまとめます。

島根2号炉サプレッションチェンバの水平方向地震応答解析に用いる内部水質量は、NASTRANを用いて算出した有効質量を適用します。

サプレッションチェンバの評価に用いるスロッシング荷重は、流体解析により個別に評価します。

論点Ⅱ-5、サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について、説明は以上となります。

○山中委員 それでは、質疑に入ります。

質問、コメントございますか。

○津金審査官 規制庁、津金です。

今回、サプレッションチェンバ内部水の質量の考え方、全質量から有効質量に変えたということなんですけれども、パワーポイントの資料5ページで、水平方向については有効質量ということになっているんですけれども。鉛直方法は全質量のままということなんです

けど、これについて、違いを説明してください。

○中国電力（大久保） 中国電力の大久保です。

鉛直方向につきましては、有効質量を算出することも可能なんですけども、ほぼ全質量と一致する結果となります。ですので、今回工認におきましては、保守的な考え方となるように全質量を考慮することとしてございます。

○津金審査官 規制庁、津金です。

説明は理解いたしました。

もう一つ、パワーポイント2ページをまずご覧いただきたいんですけども、重大事故時の水位というのが2種類あって、Sdと組み合わせるものとSsと組み合わせるもので水位が変わっているんですけども、この辺について、39条のほうで既に議論しているところではあるんですが、この違いについて説明してください。

○中国電力（朝倉） 中国電力の朝倉です。

重大事故水位Sdに関しましては、水位が約5.05m、重大事故水位Ssに関しましては、約4mとなっておりますが、こちらの違いは、想定している重大事故のシナリオの違いとなっております。どちらのシナリオで重大事故時の評価をするのがよいかということについて、今、39条のほうで審査いただいているというところでございます。

○津金審査官 規制庁、津金です。

今の点、パワーポイントの17ページにも説明があるんですけども、Ssと組み合わせるものは、重大事故後の約70日以降ということで、Sdと組み合わせるときと、炉心と違いますか、状態が違くと。違っていることから水位も違っているという理解でよろしいでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

はい。おっしゃるとおりで、Sdの場合は、フィルタベントを使う場合で、Ssのときの水位は、代替残留熱除去系を使う場合ということで、一応、シナリオが異なっております。そこについて、コメントをいただいておりますので、ただいま御回答を検討しているところで、見直しすることもあるかと思っております。

以上です。

○津金審査官 規制庁、津金です。

理解しました。また、別途説明を受けることでも理解しました。

もう一つ、パワーポイント12ページに振動試験の概要が示されているんですけども、

試験自体が結構、前に行われているところなんですけども、これは従前から、サプレッションチェンバの内部水の質量の考え方というのには、こういう検討課題があって試験を行っていったという理解でよろしいでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

島根1号機のサプレッションチェンバの20分の1スケールとしております。この当時から耐震バックチェックがありまして、地震動の見直しをしております、その中で、1号機の耐震性を確認する中で、ここの部位が課題となりましたので、このような試験を検討して実施してございました。それを今回、2号機も同様の形状であることから適用することにしたものです。

以上です。

○津金審査官 規制庁、津金です。

理解しました。

以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

パワーポイントの16ページをお願いします。

説明の冒頭に言われていたように、先行の女川2号の設置許可の審査でも同様な検討、サプレッションチェンバの有効質量の適用について、振動試験とか解析によって検討しています。その結果をそのまま島根にも使うということも考えられたと思うんですけども、島根で、もう一度同様な検討をしたという理由を、説明をお願いします。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

女川の審査において同様の審査がされたことは承知しておりますが、まず、島根2号機、当初として検討していた、妥当性を検討していたデータがございましたことで、それを御説明させていただきましたことと、島根2号機の形状においても、流体解析をいたしましたので、若干、形は違いますので、流動解析で妥当性を確認してお示しさせていただきました。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

経緯はわかりました。

関連して、女川2号のほうでは、試験において水位を複数のケースに対してやっているのに対して、島根のほうでは代表水位に対して試験をやられているということで、確認は、

今回得られた島根2号の有効質量比というのは、女川2号で得られた有効質量比、同じ同程度の水位の条件に対して、同程度の値というふうに考えてよろしいでしょうか。

○中国電力（朝倉） 中国電力の朝倉です。

おっしゃったとおり、女川2号炉と島根2号炉で同程度の水位であれば、同程度の有効質量比が得られているということになってございます。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。

それで、お願いなんですけれども、女川2号の結果ですね、横軸が水位で、縦軸が有効質量比という図が得られていて、その図に今回の島根2号炉の振動試験の結果とか解析の結果、解析のほうは通常の水位と事故時の水位があると思うんですけども、それらを同じ図にプロットして、女川の結果と同程度であるということを示していただきたいと思えます。

○中国電力（朝倉） 中国電力の朝倉です。

承知いたしました。水位と有効質量比の関係で、女川2号炉と島根2号炉ですね、比較できるような図をお示ししたいと思えます。

○植木審査官 規制庁、植木です。

お願いします。趣旨としては、2社で違う試験をやって、解析のほうはプログラムが同じということもあるんですけども、違う検討の別のところでやられた検討結果を比較することで、クロスチェックというか、そういう意味もありますので、よろしくをお願いします。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

パワーポイントの20ページにサプレッションチェンバの地震応答解析モデルの全体図がついているんですけども、サプレッションチェンバのサポートの部分に質量がそれぞれ載っているというふうなモデルになっています。このサプレッションチェンバのサポート部分というのは、円周方向に固定されていますので、結構、この部分は剛構造になるかと思えます。剛の場合には、相当、振動数も高くなって、床応答曲線でうまく応答が出ない可能性もありますので、この付近については、高次モードの影響を十分考慮して、実際の耐震解析をやっていただきたいというふうに思えます。

いかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

御指摘の点を踏まえて、御指摘いただいた点は詳細設計段階での応答解析になるかと思っておりますので、そのときに、ただいまいただいたコメントも配慮した上で、結果をお示しさせていただきますと思います。

以上です。

○山浦技術参与 了解いたしました。

詳細設計段階で、十分説明をお願いしたいと思います。

私からは以上でございます。

○山中委員 そのほかいかがですか。よろしいでしょうか。

それでは、引き続き、資料の説明をお願いいたします。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

それでは、資料1-2により、機器・配管系に係る論点のうち動的機能維持評価の実施他について、御説明いたします。

初めに、1ページをお願いいたします。目次に示しておりますとおり、動的機能維持評価に関する論点としては、三つの論点がございまして、それぞれの詳細について、後段で御説明いたします。

2ページをお願いいたします。論点Ⅱ-20、動的機能維持評価の実施について、御説明いたします。

説明の概要としまして、地震時、または地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動 S_s による応答に対して、機能確認済加速度等を許容限界とした評価を行います。先行プラント実績としましては、大間1号炉、東海第二発電所及び先行PWRプラント等での適用例がございます。

3ページをお願いいたします。動的機能維持評価においては、下に示しておりますフローに基づき、実施をしております。まず、Sクラス設備並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に対しまして、動的機能維持の要求の有無を確認し、要求がある設備については、JEAG4601に規定の適用範囲内であることを確認いたします。JEAGの適用範囲に該当する設備については、基準地震動 S_s による応答加速度を求めまして、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認いたします。機能確認済加速度を上回る設備については、動的機能維持評価上、必要となる項目を抽出しまして、対象部位ごとに

構造評価または動的機能維持評価を行い、発生値が許容値を満足していることを確認いたします。

説明としては、以上となります。

4ページをお願いいたします。論点Ⅱ-8、規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施について、御説明いたします。

説明の概要としまして、JEAGに定められた適用範囲から外れた機器に対して、動的機能維持評価を新たに検討いたします。島根2号炉においては、新たに検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びガスタービン機関を抽出してございまして、その検討内容としましては、既往研究等を参考に、設備の地震時異常要因分析を実施し、その分析に基づき抽出された基本評価項目を選定いたします。また、JEAGの適用範囲内であるものの、機能確認済加速度を超える設備につきましては、代表機種ごとに規定された全ての基本評価項目について、構造評価または動的機能維持評価を実施いたします。先行プラント実績としましては、スクリー式ポンプは東海第二発電所、ガスタービン機関につきましては、先行PWRプラントに適用例がございます。

5ページをお願いいたします。下に、先ほど3ページにて御説明いたしましたフローと同様のフローをお示ししてございまして、論点のⅡ-8における御説明内容を青枠、赤枠、緑の枠でお示しをしております。それぞれの内容につきまして、三つの矢羽の上から順に、JEAGの適用範囲外であり、解析による評価を実施するものについては、新たな検討が必要な設備。JEAGの適用範囲内であるものの、評価用加速度が機能確認済加速度を超えるものについては、詳細検討が必要な設備。JEAGの適用範囲外であり、試験による評価を実施するものについては、加振試験が必要な設備として抽出をしております。

6ページをお願いいたします。まず、新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討の御説明をいたします。

新たな検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びガスタービン機関を抽出してございます。これらの設備に対する検討方針としましては、公知化された検討として、原子力発電耐震設計特別調査委員会及び電力共通研究を参考としまして、地震時異常要因分析を実施し、その分析に基づき抽出された設備の基本評価項目に対しまして、構造評価または動的機能維持評価により、発生値が許容値を満足していることを確認いたします。

7ページをお願いいたします。ここからスクリー式ポンプにおける検討を御説明をいたします。基本評価項目の抽出については、ページの左に、フローにのっとり実施をして

おりまして、フローごとの詳細内容を右にお示しをしておりますので、右の内容について、御説明いたします。

まず、ステップ1としましては、スクリー式ポンプに対して、異常要因分析を実施しまして、分析に基づく基本評価項目を選定いたします。続いて、ステップ2としましては、ステップ1で選定した評価項目に対しまして、遠心式、ギヤ式ポンプに対する耐特委及び電共研で実施されている異常要因分析と評価項目との比較を行いまして、類似する評価項目が抽出されていることを確認することで、ステップ1で行った抽出作業に漏れがないかということを確認いたします。最後に、ステップ3としまして、これまでのステップの内容を踏まえた評価項目に対し、動的機能維持評価における評価対象部位を選定いたします。

以上がスクリー式ポンプに対する検討の全体の流れでございますけれども、ステップ2の参考とする機器との比較作業について、詳細を御説明いたします。

8ページをお願いいたします。まず、このページについて、上の表にスクリー式ポンプと検討において参考とした機器、下の図に参考機器を含めた構造図をお示しをしております。

参考とした設備としましては、スクリー式ポンプと同様の横型ポンプでございまして、作動原理または構造が類似をしている構成設備を有しております遠心式、ギヤ式のポンプを参考としております。

9ページをお願いいたします。続いて、参考機器との比較の方法について、御説明いたします。ページについて、左にスクリー式ポンプと遠心式ポンプとの異常要因分析図の比較例、最終的な抽出結果を右にお示しをしておりますので、左の比較例の内容について、御説明いたします。

表の左には、先ほどのステップ1におけるスクリー式ポンプの異常要因分析図、右側には、耐特委における遠心式の異常要因分析図をお示ししております。比較の方法としましては、赤枠に示しておりますとおり、スクリー式と遠心式ポンプの類似する構成設備ごとに異常要因分析及びその評価項目においても類似していることを確認することで、ステップ1で行った評価項目の抽出は、耐特委でも同様に抽出されていることを確認いたします。この比較をギヤ式ポンプに対しましても同様に実施することで、ステップ1で行った抽出作業の網羅性を向上させております。

10ページをお願いいたします。ここから、ガスタービン発電機における検討内容を御説明いたします。

検討の全体の流れとしましては、基本的にスクリー式ポンプと同様でございますので、概要説明のみといたしますと、ステップ1において、ガスタービン発電機に対する評価項目の抽出。ステップ2において、耐特委における非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンとの比較。ステップ3において、動的機能維持評価における評価対象部位の選定という流れでございます。

11ページをお願いいたします。ガスタービン発電機に対し、参考とした機器としましては、作動原理、構造、または機能が類似している構成設備を有しております非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンを参考としております。ガスタービン発電機と非常用ディーゼル発電機は、ともに大型の内燃機関でございます、各構成設備単位に作動原理、構造または機能の観点で類似性がございます。また、ガスタービン機関とポンプ駆動用タービンにつきましても、ともにタービンを有するターボ機械でありまして、その構造が類似をしております。

12ページをお願いいたします。続いて、参考機器との比較の方法についてですが、こちらも基本的にはスクリー式ポンプと同様でございます、赤枠に示しておりますとおり、ガスタービン発電機とポンプ駆動用タービンの類似する構成設備ごとに異常要因分析とその評価項目においても類似していることを確認することで、ステップ1における評価項目について、耐特委でも同様に抽出されているということを確認いたします。この比較を非常用ディーゼル発電機に対しても同様に実施することで、ステップ1の抽出作業の網羅性を向上させております。

13ページをお願いいたします。続いて、詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針を御説明いたします。

まず、下の表を御覧ください。表の左から1列目に、JEAGの適用範囲内であるものの、機能確認済加速度を超える具体的な設備を示しておりまして、一番右の列にて、それぞれの設備に対する基本評価項目をお示ししております。こちらの基本評価項目は、JEAG及び耐特委報告書において示されている内容でございます、それらに基づいて、動的機能維持評価を実施いたします

14ページをお願いいたします。続いて、加振試験が必要な設備について、島根2号炉では、高圧原子炉代替注水ポンプに対して、試験による評価を行います。こちらのポンプは、タービンとポンプ一体型の蒸気駆動式ポンプでございます、JEAGに定められた適用範囲外の設備となりますけれども、海外メーカー製であり、異常要因分析などが容易ではない

という理由から、試験による評価を実施いたします。加振試験の具体的な内容と試験により得られた機能確認済加速度との比較結果につきましては、添付資料でお示しをしております。

論点Ⅱ-8としては以上となります。

15ページをお願いいたします。論点Ⅱ-9、一定の余裕を考慮した弁の動的機能維持評価について、御説明いたします。

説明の概要としまして、JEAGにおいて、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されておりまして、配管系の固有値が剛の場合は最大加速度、柔の場合は配管系のスペクトルモード解析により算出された弁駆動部での応答加速度を用いることとされております。島根2号炉につきましては、JEAGの規定に加えまして、一定の余裕を見込んで評価を実施する方針でございます。先行プラント実績としましては、東海第二発電所及び先行PWRプラントに適用例がございます。

16ページをお願いいたします。まず、下の表を御覧ください。弁の動的機能維持評価に用いる応答加速度に関しまして、表の左側にJEAGに示されている方針、右側に島根2号炉における応答加速度の算定方針をお示ししております。配管系の固有値が剛の場合につきましては、島根2号炉においては、最大加速度を1.2倍した値を適用します。また、柔の場合につきましては、JEAGの方法でございます、設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析に加えまして、剛な場合と同様に、1.2倍した加速度による評価を行いまして、いずれか大きいほうの加速度を適用いたします。

17ページをお願いいたします。下に、弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトルのイメージをお示ししております。弁駆動部の応答加速度算定に用いる配管系のスペクトルモード解析において、周期0.05秒未満の剛領域の振動モードの影響を考慮するため、高周波数領域の振動モードを考慮した地震応答解析を実施します。0.05秒未満の領域につきましては剛領域として扱いますけれども、設計用に用いる床応答スペクトルとしては、図の黄色の線で示しておりますとおり、周期0.05秒から0.033秒までを直線補間した床応答スペクトルを用います。なお、設計用床応答スペクトルにおいて、周期0.05秒未満の領域で応答増幅を考慮しないことにつきましては、時刻歴解析等により、その影響を確認する方針としており、図の青線のスペクトルのようなイメージとなります。

以上で、動的機能維持評価に関する三つの論点についての説明を終了いたします。

○山中委員 それでは、質疑に移ります。

質問、コメントございますか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

パワーポイントの5ページをお願いします。

このフロー図上で、左の上から三つ目で、JEAG4601の適用範囲外、範囲かどうかということで、Noの場合は、右のひし形のほうに行って、動的機能維持評価法の選択ということで、解析あるいは試験ということで分かりますけれども、このひし形ですね、試験をするか、解析をするかという判断基準というか、考え方を説明してください。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

御質問の試験または解析の判断根拠としましては、一般的な判断要素としましては、設備の構造の複雑さであったり、加振試験で実機を用いた試験が行えるかどうか。また、加振台の性能限界等もございますので、目標とする機能確認済加速度が得られるかどうかという観点がございますけれども、それらの判断要素を踏まえまして、そのときに試験または解析で合理的なほうを選択するというエンジニアリングジャッジを行って、判断を行うこととしております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

説明は理解しました。

今の考え方をまとめ資料のほうにも記載していただきたいと思いますが、どうでしょう。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

了解いたしました。こちらは書ける範囲で記載します。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

私からは、3点お伺いいたします。パワーポイントの6ページで、新たな検討が必要な設備として、ガスタービン発電機が挙げられています。すなわち、机上検討で動的機能を検討するということですが、実際には、パワーポイントの19ページとか20ページにありますように、ほぼ同じ型式のガスタービン発電機が、他社ですが、試験がもう既に行われていて、これは米国でもレポートが発表されています。この試験結果を使用せずに、机上検討で評価するという考え方について、御説明をお願いいたします。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

ガスタービン発電機の加振試験について、こちらを試験による評価と適用しなかった理由ですが、まず1点目に、一部、構造差が存在していることがございます。パワーポイントの20ページの仕様の比較について、一番下のほう、始動方式というのがこちら具

体的に異なっております。このほかにも、燃料制御ユニットと減速機について、構造的に一部差異があることを確認しております。二つ目の理由としまして、こちらは米国向けのガスタービンの発電機に対する加振試験でございまして、試験の内容が一部国内基準に適合するかどうか。しない可能性があったということから、一応、当社としては、試験による評価ではなく、解析による評価という位置付けとしております。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

考え方につきましては、了解いたしました。

その次ですけれども、まとめ資料の164ページ、下の大きなページ数で164ページなんですけれども、よろしいでしょうか。

ここでは、dの燃料制御装置のところなんですけれども、非常用DGとは機構が異なるが、機能面では類似性を有するので、評価の参照にするということが記載されていますけれども、機能が類似するというので、どのように非常用DGの評価が参照できるのか、ちょっとわかりませんので、そこを御説明お願いします。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

機能の観点で類似できるという理由ですけれども、まず、各構成設備ごとに、構造、作動原理、または機能の三つの観点のうち、どれか一つでも類似であれば、この比較の目的としまして、ガスタービン発電機に対して抽出しました基本評価項目に対して、漏れがないかという目的の比較作業でございまして、どれか一つでも該当していれば、類似とできます。

具体的に、まとめ資料の通し番号で177ページ。PDF上で178ページをお願いします。こちらは図が二つございまして、下のほうに、非常用ディーゼル発電機の異常要因分析図（出力制御系）とございます。こちらが、非常用ディーゼル発電機におけるガバナにおける異常要因分析の内容なんですけれども、青の点線の内容で示しております内容がガスタービン発電機における燃料制御装置における異常要因分析の内容と類似をしております。こちらに示しておりますとおり、機能の観点、構造の観点では類似ではなくて、機能の観点でのみ類似であっても、異常要因分析として比較をした場合に、内容としては類似をしておりますので、漏れがないかということを目的とした比較の作業としては、類似とすることは有効というふうに考えております。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

考え方はわかりました。詳細設計段階でも、この話はもう一回聞けるとお思いますので、

そこでも確認させていただきたいと思っています。

3番目ですけれども、まとめ資料の172ページです。よろしいでしょうか。

172ページの上から四つ目の枠の異常要因のところなんですけれども、回路の電気的特性に異変が生じ、制御信号に乱れが生じる可能性があるということで、異常要因として挙げられているんですけれども、これが169ページの異常要因分析図からはちょっとよく読み取れないので、今の文章と169ページの異常要因分析図の関係をちょっと御説明お願いします。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

まとめ資料の169ページの出力制御系の異常要因分析図との関係ですけれども、一番上に、要因で燃料制御ユニット応答過大と要因がございまして、こちらから現象、ケーシング転倒モーメントであったりという現象があつて、一番右のほうに、3-(i)、3-(iii)、3-(ii)と、こちらが評価項目の内容を示しております。

御指摘としまして、3-(ii)の制御ユニットということなんですけれども、一番下の燃料制御弁応答過大ということで、機関回転数乱調、加速度トリップ、機関停止ということで、3-(ii)という形で抽出をされております。

以上です。

○山浦技術参与 規制庁の山浦ですけれども。

電気的特性に異変が生じ、制御信号が乱れて、それが異常要因になるというふうな文章と、これとの関係が今の説明でもよくわからなかったもので、別の機会にでも整理して説明していただきたいと思います。

それから、電気信号の関係で、机上検討でその評価ができるのかというのがちょっと疑問なんですけれども、その付近については、どうお考えでしょうか。

○中国電力（中野） 中国電力の中野です。

御指摘のとおり、こういう制御系の機器につきましては、なかなか机上検討で評価が難しいというのは御指摘のとおりと思っています。そういう部分につきましては、部分的に取り出して、部分的な試験を行いまして、実際に加振試験で制御系に問題がないのかというところを確認する検討を行う方針としています。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

その付近、十分説明をお願いしたいと思います。了解いたしました。

私からは以上です。

○山中委員 そのほかいかがですか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

何点か確認させてください。パワーポイントの13ページなんですけども、この一覧表に現段階でJEAG4601の機能確認済加速度を超える機器が抽出されていて、JEAGに基づく基本評価項目という一覧表がありますけれども、弁類に関しては、ここに特に抽出されていないんですが、それは機能確認済加速度以下になる見通しということでしょうか。

○中国電力（中野） 中国電力の中野です。

弁につきましては、機能維持確認済加速度を超えたものに対しては、応答を抑える等の対応もできますし、そういったことで、詳細評価をやる以外の対応もありますので、ここでは一応、対象外として、今、除いた記載としております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。

まとめ資料の一覧表のほうにも応答加速度と確認済加速度の比較とかをしている表があって、弁に関しては、全部バーになっているので、多分、今の段階では、加速度がわからないということだと思うんですけど、今、説明されたようなことを、ちょっと注記でその表に弁の扱いについて記載をしていただきたいと思います。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

了解いたしました。弁については、今後の設計によると思いますけども、機能確認済加速度を超えて詳細評価、構造評価をするものもあると考えておりますので、その旨、記載させていただきます。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

お願いします。

それと、まとめ資料、資料1-4の163ページをお願いします。PDFの通しで、164ページです。よろしいでしょうか。

この中で、aポツのガスタービン（機関）というところで、このガスタービンの機関自体が十分剛であるという記載があります。これに関して、試験等で剛であるということが確認されているのかどうかということについて、説明をお願いします。

○中国電力（中野） 中国電力の中野です。

ガスタービンの機関のほうも加振試験を行いまして、実際に振動特性把握試験などを行

ておりまして、剛柔判定、20Hzなりの、以上あるということで、十分、剛であるということを確認しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。今の件についても、ガスタービンの試験の概要に振動数の確認結果というのが載っていないので、それをその結果があるということなので、記載していただいて、エビデンスというふうにしていただきたいと思います。

それから、今の件にも関連するんですけども、まとめ資料の202ページをお願いします。ここで、202ページ以降に、高圧原子炉代替注水ポンプとガスタービン発電機の加振試験の結果が載っています。パワーポイントのほうにもありますけども。これに関して、先ほどガスタービンに関しては、解析評価を正として、試験のほうは参考とするというようにお話もありましたけれども、やはり動的機能維持の確認については、試験が基本になると思いますので、試験した二つの機器に関しては、もう少し試験の条件とか結果の詳しいものを載せていただきたいと思います。例えば、入力波の波形であるとか、センサーの取り付け位置であるとか、先ほども共振振動数の確認結果とか計測結果の例とか、その辺をつけていただいて、充実させていただきたいと思います。さらに詳細なところは詳細設計段階ということなんですけども、最低限、この機能維持評価に必要、成立性の確認に必要と思われるものについては、今の段階で、少し情報を追加していただきたいと思います。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

加振試験の内容の充実化について拝承いたしました。ただし、ガスタービン発電機につきましては、やはり当社としては、解析による評価という位置付けでございまして、こちらの載せている参考資料と記載をしておりますけれども、参考資料という位置付けでございまして、当社としての評価としては、ここら辺はあまり参考という位置付けでございませぬ。というのは、示しています。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

先ほどガスタービンが剛であるということに関しても、やっぱり試験の結果だけ確認されているということであれば、その結果をエビデンスとしてつけていただきたいと思います。解析で剛であるという確認をしているのであれば、その結果でも構いませんけれども、なるべく試験の結果というのを出していただきたいと思いますというふうに思います。

どうでしょうか。

○中国電力（中野） 中国電力の中野です。

試験条件の充実化については、承知いたしました。資料に反映するようにいたします。

○植木審査官 規制庁、植木です。

次ですけれども、パワーポイントの12ページで、これはちょっと確認なんですけれども、ガスタービン発電機の右のほうに評価対象の部位の抽出結果ということで、評価項目が幾つか挙げられていますけれども、まとめ資料と比較すると、まとめ資料のほうでは、これよりもっとたくさんの評価項目というのが抽出されています。このパワポの12ページは、そのうち代表を示したという理解でよろしいですか。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

御理解のとおり、基本評価項目から選定を行いまして、その中で選定した結果をパワーポイントにお示しをしている形でございます。

○植木審査官 規制庁の植木です。

確認なんですけど、基本評価項目を異常要因モード分析に従って、基本評価項目を抽出して、その基本評価項目に対して評価するというふうに考えているんですけど、違うんですか。基本評価項目のうちの代表をさらに選ぶということですか。

○中国電力（中野） 中国電力の中野です。

まとめ資料のほうに基本評価項目として多数抽出されておりますけれども、その結果を踏まえまして、例えば、取り付けボルトなんかはいろんな構成機器の中で同じようなところとして挙がってきています。その中で一番裕度が低いところを一番代表と設定しまして、そこを最終的に評価する基本評価項目というような選定を行いまして、最終的に工認上なりで評価する項目としましては、パワーポイントで示すような四つの基本評価項目ということで、抽出をしております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

まとめ資料のほうにも、今、説明されたような抽出された基本評価項目からさらに絞り込んだという記載はありますか。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

まとめ資料でございますと、通し番号で187ページ、PDF上でいいますと、188ページ、こちらのほうからそれぞれの基本評価項目を全て、一例として188ページを御覧いただくと、1-(i)、ケーシング取付ボルト、評価対象「×」ということで、理由としまして、取付ボルトについては、減速機取付ボルトに対して裕度が大きいいため、評価対象外としたと

いったように、全ての基本評価項目について、ここで説明をしております。

まとめ資料としては、194ページまでこちらの選定理由のほうを記載しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

そうすると、この抽出された基本評価項目の中で、さらに検討をやって、この表で「○」がついたものを評価対象とするということですか。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

御理解のとおりでございます。

○植木審査官 規制庁、植木です。

理解しました。

それから、まとめ資料の163ページ、お願いします。

163ページから165ページにかけて、ガスタービン発電機の動的機能維持評価で参考とする非常ディーゼル発電機とポンプ駆動用タービンの類似性を文章で説明していますがけれども、先ほど山浦から指摘があったように、構造上、どう類似しているかというのが、この文章だけではわからないので、図面、構造図を含めて文章の説明をしていただきたいというふうに考えます。

関連して、まとめ資料の168ページから170ページにかけて、ガスタービン発電機の異常要因分析図があります。これに関しても、異常要因分析に出ている部品に対して、その構造がわかるような図を、異常要因分析図と一緒につけていただきたいというふうに考えています。

これも先ほどの指摘と同じように、構造がよくわからないところがありますので。ちなみに、参考としている耐特委の報告書には、一応、異常要因分析図とともに、その部分の構造を示す図というのが一緒につけられていて、その図とあわせて要因分析図を見ると、わかりやすいというか、確認ができるので、それをお願いしたいと思います。

どうでしょう。

○中国電力（熊谷） 中国電力の熊谷です。

異常要因分析図と構造図をともにお示しすることについては、拝承いたしました。

一方で、この類似点で構造図を比較してお示しすることなんですけれども、先ほどの説明で繰り返すにはなってしまうんですけれども、各構成設備単位で、構造は類似でなくとも、機能の観点で類似であれば、先ほどの説明のあった燃料制御装置などは、そちらと比較対象としておりますので、構造図を比較としてお示ししたとしても、構造として

は類似をしておりませんので、あくまで類似点としましては、構造または機能、作動原理という三つの観点のうち、どれか一つということで、類似点をお示ししております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

では、構造あるいは作動原理が同じという場合に関しては、図をつけてください。

以上です。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

了解いたしました。

一つ確認ですけれども、それは詳細設計段階か、現時点の段階かは、伺いたいと思います。

○植木審査官 規制庁、植木です。

できれば、今の段階で示していただきたいと思います。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

了解いたしました。

○山中委員 そのほかいかがでしょう。

○植木審査官 規制庁、植木です。

最後に、パワーポイントの17ページ、お願いします。

最後に説明のあった剛領域の振動モードの考慮に関してなんですけれども、この図でオレンジ色の0.05秒から0.033秒の間は、線形で結んだ床応答曲線を使って評価すると。一方、実際、床応答スペクトルを計算すると、青のようになるということで、この辺のやり方ですね。最初に、線形で結んだもので検討して、その後で影響検討として、青のものを使うと。かつ、青の検討の際には、時刻歴解析を使うという、そういう考え方は理解しがたいところがありまして、最初のオレンジの床応答スペクトルをつくる时候にも、0.05秒より右側と同様に、床応答スペクトルを計算して、その床応答スペクトルを使って、スペクトルモーダル解析をして、剛領域の影響を検討するというほうが自然だと思うんですけれども、その辺の考え方を説明してください。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

この剛領域の扱いになりますけれども、同じ加速度であっても、振動数が高くなりますと、振動数の自乗に反比例して変位が大変小さくなりまして、同じ1Gの加速度であっても、コマ05秒であれば、もう入力の変位は1mmとか以下とか、33Hzになると、0.数mmとかになって、非常にどんどん小さくなっていきまして、設計は弾性線形解析をやっておりますので、どこかでジャッジをする必要があると思っていまして、それをこのオレンジのスペク

トルのような形で、耐震設計することが基本だと考えております。そこは踏まえた上で、微小な変位にはなりますけれども、スペクトルのピークが出たりしますので、それは、機器への影響検討として検討させていただきたいと考えております。そういう意味で、2段階で設計というか、耐震性をお示しすることを考えております。

以上です。

○植木審査官 規制庁の植木です。

今の御説明で、定性的には理解できるところもあります。ごく短周期側については変位も小さいので、構造に対する影響も小さいだろうという、そういう考えだと思うんですけども、今回のこの検討というのは、解析として高振動数側を無視していた従来のやり方に対して、高振動数側の影響を確認して、しかも、加速度で評価する。弁に関して、それを確認するという事なので、ここはごく自然に普通の応答スペクトルの計算を高振動数側でもやっていただきたいというふうに考えます。

いかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

加速度の試験についても、実際やっている試験は、弁であれば非常に大きい、こういう高振動数でもっと振動数が低いところで試験したりしております。ということも踏まえておりますけれども、踏まえて、今回、このようなやり方をすることを御説明させていただきましたけれども。ただいまの御意見を踏まえて、検討させていただきたいと思います。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

例えば、一つのやり方として、まず、計算した床応答スペクトルで計算して、弁の加速度が過大だった場合に、今度は時刻歴で検討してみるとか、そういうやり方もあるのかなというふうに考えます。

私からは以上です。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

ただいま言われた手法等もあると考えておりますので、検討して、また御回答させていただければと思います。

以上です。

○山中委員 そのほかいかがですか。よろしいですか。

何か事業者のほうから。

○中国電力（北野） 中国電力の北野です。

特にございません。

○山中委員 検討していただく項目は幾つか出てまいりましたけども、今後、御検討をお願いいたします。よろしく申し上げます。

それでは、以上で議題で終了いたします。

本日予定していた議題は、以上でございます。

今後の審査会合の予定については、本日午後にプラント関係（非公開・公開）、12月20日金曜日に地震・津波関係（公開）の会合を予定しております。

それでは、第814回審査会合を閉会いたします。