

# 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

## 第796回

令和元年11月12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796回 議事録

1. 日時

令和元年11月12日(火) 15:00～18:00

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)  
天野 直樹 安全管理調査官  
川崎 憲二 安全管理調査官  
義崎 健 管理官補佐  
止野 友博 上席安全審査官  
植木 孝 主任安全審査官  
宇田川 誠 主任安全審査官  
片桐 紀行 主任安全審査官  
竹田 武司 主任安全審査官  
千明 一生 主任安全審査官  
津金 秀樹 主任安全審査官  
皆川 隆一 主任安全審査官  
宮本 健治 主任安全審査官  
照井 裕之 安全審査官  
小野 寛 主任技術研究調査官  
柴 茂樹 技術研究調査官

下崎 敬明 技術研究調査官  
寺垣 俊男 技術研究調査官  
大類 馨 技術参与  
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）  
阿比留 哲生 電源事業本部 担当部長（電源建築）  
田村 伊知郎 電源事業本部 マネージャー（原子力耐震）  
蔵増 真志 電源事業本部 副長（原子力耐震）  
香川 慶太 電源事業本部 担当副長（原子力耐震）  
岩本 拓真 電源事業本部 担当（原子力耐震）  
井田 裕一 電源事業本部 マネージャー（原子力安全）  
村上 幸三 電源事業本部 担当課長（原子力安全）  
別府 信昭 電源事業本部 副長（原子力安全）  
神崎 直也 電源事業本部 担当副長（原子力安全）  
西本 和弘 電源事業本部 担当（原子力安全）  
西村 怜哉 電源事業本部 担当（原子力安全）  
森本 康孝 電源事業本部 副長（原子力運営）  
廣井 得甫 電源事業本部 担当（原子力運営）  
藤本 博之 島根原子力発電所 副長（発電部）  
星野 正樹 島根原子力発電所 担当（発電部）  
西村 英樹 電源事業本部 副長（原子力電気設計）  
今井 雄太 電源事業本部 担当（原子力電気設計）  
小川 昌芳 電源事業本部 担当（原子力電気設計）  
吉岡 敏行 電源事業本部 担当副長（原子力設備）

東北電力株式会社

加藤 功 常務執行役員  
小保内 秋芳 原子力本部 原子力部 部長

阿部 正芳	原子力本部	原子力部	部長
佐藤 大輔	原子力本部	原子力部	課長
菅原 清	原子力本部	原子力部	副長
豊嶋 慶徳	原子力本部	原子力部	副長
田中 晃	原子力本部	原子力部	副長
森島 祐介	原子力本部	原子力部	主任

#### 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及び重大事故等対策について
- (2) 東北電力（株）女川原子力発電所2号炉の原子炉設置変更許可申請に係る審査について
- (3) その他

#### 5. 配付資料

- 資料1-1-1 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）  
[機器・配管系に係る論点のうち機器・配管系への制震装置の適用他]
- 資料1-1-2 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1-1-3 島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止
- 資料1-2-1 島根原子力発電所2号炉 運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策の有効性評価について
- 資料1-2-2 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（有効性評価：運転停止中の燃料損傷防止）
- 資料1-2-3 島根原子力発電所2号炉 重大事故等対策の有効性評価
- 資料1-2-4 島根原子力発電所2号炉 重大事故等対策の有効性評価 成立性確認  
補足説明資料
- 資料1-2-5 島根原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について
- 資料1-2-6 島根原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について 補足説明資料

資料 1 - 2 - 7 島根原子力発電所 2 号炉 「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」への適合状況について

## 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796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及び重大事故等対策について、議題2、東北電力株式会社女川原子力発電所2号炉の原子炉設置変更許可申請に係る審査についてです。

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。最初の議題は、議題1、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及び重大事故等対策についてです。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。

本日はまず、第4条、地震による損傷防止のうち、機器・配管系への制震装置の適用並びに取水槽ガントリクレーン及び原子炉建物天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用につきまして、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、電源事業本部の岩本のほうから御説明させていただきます。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

それでは、資料1-1-1により、機器・配管系に係る論点のうち、機器・配管系への制震装置の適用他について説明します。

1ページめくっていただいて、1ページに目次を示しております。このうち、まず論点Ⅱ-6、制震装置に関連した説明をさせていただきます。

2ページをお願いします。耐震設計の論点。論点Ⅱ-6、機器・配管系への制震装置の適用についてですが、本件は論点の重みづけとしては全く同じ先行実績はないため、重みづけがAとなっております。また、黒枠内に説明の詳細項目を記載しておりますが、これらは第701回審査会合（平成31年4月9日）における指摘事項No.6の回答を含めた内容となっております。

概要を説明します。島根2号炉において、波及的影響を防止するための対策を行う取水槽ガントリクレーン及びBクラスの配管系に耐震性向上を目的として制震装置を設置します。

制震装置の適用に当たっては、その減衰性能を適切にモデル化し、制震装置を組み込んだ機器・配管系の地震応答解析を実施する必要があります。そこで、制震装置の構造、作動原理等を示した上で、制震装置の減衰性能を適切に考慮したモデル化及び地震応答解析手法について説明します。先行プラント実績ですが、制震装置の設置は島根2号炉、島根3号炉及び柏崎6/7号炉等の排気筒で実績があり、型式としては単軸粘性ダンパの実績となっております。

今回説明するのは機器・配管系への適用であるため、まず適用対象が異なるといった差異があります。また、取水槽ガントリクレーンでは、制震装置として非線形の単軸粘性ダンパを適用するため、ダンパの特性に差異があります。また、Bクラスの配管系に適用する三軸粘性ダンパは、海外の原子力発電所では適用実績があるものの、国内の原子力発電所では適用実績がないという差異があります。

3ページをお願いします。ここから、単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンの設置について説明します。

まず、要求事項についてです。発電所の運転中は、取水槽ガントリクレーンは下の図中に示す待機位置に待機しており、上位クラス施設と十分な隔離距離があります。一方で、定期検査中などは原子炉補機海水ポンプ等上位クラス施設が設置されている取水槽海水ポンプエリア付近に位置することとなるため、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求されます。

4ページをお願いします。ここに取水槽ガントリクレーンの構造について示しています。取水槽ガントリクレーンは、下の図に示しておりますとおり門型の構造となっております。脚はガーダを支持し、下部に走行車輪が設置されています。取水槽ガントリクレーンは、横行方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、1方向に減衰性能を発揮する単軸粘性ダンパが制震装置として適しております。

5ページをお願いします。ここに、単軸粘性ダンパの構造概要を示します。単軸粘性ダンパは、主にシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体により構成されており、仕様表と構造図をページの下部に示しております。

右図を使って動作原理について説明します。単軸粘性ダンパは、ピストン、ロッドが軸

方向に移動することにより、シリンダ内面とピストン外面の間に形成されるオリフィス部を粘性体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものです。

6ページをお願いします。ここには単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーンの設計フローを示しております。フローを見ていただいて、白塗りの部分というのは通常的设计プロセスどおりのものであり、従来と同じものです。一方で、黒塗りで示している部分が今回、従来の設計プロセスからの追加設計プロセスとなっており、そこに注目して本資料で説明をさせていただきます。

併記している括弧の項目番号は、次ページ以降の項目番号と対応させたものとなっております。

7ページをお願いします。単軸粘性ダンパの設置箇所について説明します。取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討します。結果として単軸粘性ダンパは、大きな変位が生じる取水槽ガントリクレーンのガーダと脚の間に設置することとしました。

8ページをお願いします。ここでは単軸粘性ダンパの取り付け方法について示しております。単軸粘性ダンパは、ブレースと組み合わせてクレーンに取り付けます。単軸粘性ダンパとガーダの接続部、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ばれる回転部が設けられており、このクレビスによって伸縮方向以外に荷重が加わらない構造としております。

9ページをお願いします。単軸粘性ダンパの性能評価方針について示します。単軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化に当たって、減衰性能への影響の検討を要する項目を免震構造の審査手引きの提案（平成26年1月）独立行政法人原子力安全基盤機構により抽出しました。

抽出結果を下の表にまとめております。項目としては、三つが抽出されています。

まず、No.1、連続加振についてですが、連続加振による減衰性能への影響が十分に小さいことを試験により確認しております。

No.2の振動数についてですが、減衰性能は加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認しています。

No.3の製造公差につきましては、減衰性能のばらつきが±10%以内となるように管理を行います。

No.2の振動数、No.3の製造公差による減衰性能の変動及びばらつき、これらを合わせて±20%の減衰性能のばらつきとして考慮する。そういった対応方針としております。

10ページをお願いします。ここでは、単軸粘性ダンパの性能試験条件の設定について示しています。実機使用状況を踏まえて性能試験条件を設定します。

性能試験条件として、加振振動数による減衰性能の変動が小さいことを踏まえまして、単軸粘性ダンパの許容変位の中で実機使用条件を含む幅広い試験速度（0.1m/s～0.8m/s）で設定を行うことを考えました。下の表に実際の試験条件をまとめております。

11ページをお願いします。性能試験の実施について示しております。設定した性能試験条件により、減衰性能を取得した結果を下のグラフに示しております。単軸粘性ダンパは、抵抗力が速度の0.1乗に比例する設計となっており、非線形の挙動を示すことから、こちらが示しているグラフのとおり、抵抗力と速度の関係でその減衰性能を把握します。

12ページをお願いします。ここでは、減衰性能のモデル化について示しております。試験結果に基づいて、単軸粘性ダンパの減衰性能、このページ右下に示しておりますMaxwellモデルでモデル化します。単軸粘性ダンパの減衰性能は、加振速度の変化に対して抵抗力の変化が小さく、振動数依存性も比較的小さいことから、速度の0.1乗に比例するダッシュポットを組み込んだMaxwellモデルとしております。

左下に試験データとモデルの比較について示しています。左下の左側の図が速度と抵抗力の関係、右側の図が抵抗力と変位の履歴曲線となっております。どちらを見ていただいても、黒色の試験データに対しまして赤線のモデルで精度よくモデル化できていることがわかります。

13ページをお願いします。ここでは、モデル化に当たってのばらつきの考慮について説明します。モデル化した単軸粘性ダンパの減衰性能に対して、±20%、こちら先ほど説明した振動数と製造公差によるものです。これらを考慮して、下の図のように標準性能+20%、標準性能、標準性能-20%の3段階の減衰性能を設定します。プラス側の+20%の減衰性能を設定する理由としては、単軸粘性ダンパの取り付け部材の設計においては、減衰性能が高く抵抗力が大きい場合の荷重を適用するためです。

14ページをお願いします。単軸粘性ダンパの解析モデルの追加について説明します。先ほど単軸粘性ダンパをモデル化したMaxwellモデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加します。ダンパ設置前の地震応答解析モデルに制震装置を適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様です。

15ページをお願いします。こちらには、地震応答解析に関わる内容を記載しております。非線形時刻歴解析を実施するということ。3段階の減衰性能に対応した地震応答解析を行



い、最大応答を評価するということ。また、減衰定数について、既往の研究等によって妥当性が確認されたものを使用すること。また、時刻歴解析を採用することから、ASMEの手法による検討を行うこと。こういった内容をまとめて記載しております。

16ページをお願いします。16ページには、単軸粘性ダンパの評価について示しております。評価には二つの観点がありまして、一つは地震応答解析によって得られた応答値が性能試験の試験条件範囲内であることを確認します。もう一つは単軸粘性ダンパが許容荷重、許容変位を満たしていることを確認します。

17ページをお願いします。こちらでは、機器評価についてまとめております。応力評価等における許容限界は、JEAG4601等に基づき設定することを基本としており、各部について整理した結果をこのページの表に示しております。

18ページをお願いします。18ページからは、三軸粘性ダンパの配管系への設置について説明します。

まず、要求事項について説明します。三軸粘性ダンパは、下の図の黄色い枠内で囲んでおりますとおり、外側主蒸気隔離弁から低圧タービン、復水器までの主蒸気系配管に設置することとしています。主蒸気系配管の耐震重要度分類はBクラスであり、図の中で青線で示しております外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの範囲はSd機能維持設計とすることを考えております。

19ページをお願いします。こちらには、主蒸気系配管の構造概要をまとめています。主蒸気系配管は大口径の配管であり、地震荷重が大きく、運転時には高温になるということから、熱膨張の変位を拘束せずに地震荷重を低減する対策が有効であります。

配管系の応答は、複数の振動モードの重ね合わせであり、応答の方向も部位により異なるため、配管系の耐震評価においては3方向の影響を考慮する必要があります。こういったことから、熱膨張の変位を拘束せず、配管系の応答に対応した3方向に減衰性能を発揮する三軸粘性ダンパを主蒸気系配管に設置します。

20ページをお願いします。20ページに三軸粘性ダンパの構造概要を示しております。ページの下部に外観と構造の図を示しております。三軸粘性ダンパは、主にピストン、ハウジング及び粘性体から構成されており、粘性体への異物等の混入防止のため、保護スリーブというものが取り付けられています。

ページの中央に使用予定の大型と中型のものについて、仕様をそれぞれまとめて示しております。

21ページをお願いします。ここでは、三軸粘性ダンパの動作機構について説明します。下の図を御覧ください。三軸粘性ダンパは、粘性体とピストンの間に相対運動が生じることで、相対運動の方向と逆向きに流動抵抗力による減衰性能を発揮します。

回転対称の構造であることから、水平方向については減衰性能の違いはありませんが、鉛直方向については動作機構が異なり、減衰性能が異なります。また、自重等の静的荷重は支持せず、熱膨張のような低速度の運動を拘束しません。

22ページをお願いします。三軸粘性ダンパの適用性についてまとめております。三軸粘性ダンパは、原子力発電所に用いることができる制震装置としてASMEに記載されており、海外の原子力発電所において振動対策及び地震対策として設置の実績があります。その実績の例について、このページ下部の写真に示しております。

また、三軸粘性ダンパを配管系に設置した場合の有効性を確認するため、配管系の加振試験も実施しており、地震応答の低減に有効であることを確認しております。

23ページをお願いします。ここには三軸粘性ダンパを設置する配管系の設計フローを示しております。構成としては単軸と同様の構成となっておりまして、追加の設計プロセスに当たる黒塗り部分について、以降で重点的に説明します。

24ページをお願いします。三軸粘性ダンパの配置検討として、地震荷重の低減に効果的な三軸粘性ダンパの配置を検討し、具体的には配管系の変位が大きくなる箇所に三軸粘性ダンパを設置します。

25ページをお願いします。ここでは三軸粘性ダンパの減衰性能の表し方について説明します。三軸粘性ダンパに使用される粘性体は粘弾性を有しており、その減衰性能は等価剛性 $K$ 及び等価減衰係数 $C$ により表現できます。左下の図に典型的な粘弾性体の荷重、変位の特性を示しておりまして、右側が時刻歴の関係、左側が履歴曲線となっております。

等価剛性 $K$ は最大の変位と最大の荷重の比で表され、粘弾性体の合成を定量的に定義するパラメータとなっております。また、等価減衰係数 $C$ は粘弾性体を散逸エネルギーが等しい速度比例型ダッシュポットに置きかえた場合の減衰係数として定義されます。

なお、散逸エネルギーというのは、左下に示しているグラフの曲線で囲まれる部分の面積に相当します。

三軸粘性ダンパの等価剛性 $K$ 及び等価減衰係数 $C$ は、振動数依存性を有しておりまして、右下に例示しておりますとおり、横軸が振動数、縦軸が減衰性能、こういった減衰性能の表し方となります。

26ページをお願いします。こちらでは、三軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討、単軸側と同様に行った結果を示しております。表に影響検討結果をまとめております。項目としては七つが抽出されました。

No.1、水平・鉛直同時加振としましては、地震時に三軸粘性ダンパは3方向同時加振されることから、水平方向及び鉛直方向の同時加振と1方向加振との減衰性能に差異がないことを試験により確認しております。

また、No.2の放射線については、減衰性能への影響が十分小さいことを確認しております。

No.3の温度に関しては、粘性体は高温になるほど粘度が低下し、粘性体の温度によって三軸粘性ダンパの減衰性能が変動することを試験により確認しております。

No.4の振幅については、減衰性能は加振振幅が大きいほど低下することを試験により確認しております。

また、No.5の連続加振については、減衰性能は連続加振により累積消費エネルギーが増大するほど低下することを試験により確認しております。

このNo.3の温度、No.4の振幅、No.5の連続加振につきましては、対応方針として減衰性能を取得する性能試験条件の設定において考慮することを考えております。

また、No.6の製造公差、No.7の据付公差はばらつきに関する項目ですが、No.6の製造公差は±10%以内で管理し、No.7の据付公差は±20%以内で管理することを考えており、対応方針として、これらを合わせて±30%の減衰性能のばらつきとして考慮することを考えております。

27ページをお願いします。実機使用状況を踏まえ、性能試験の条件を設定します。三軸粘性ダンパの減衰性能は、変動及びばらつきを包絡するように上限と下限を設定するように考えます。上限と下限を設定する理由としては、減衰性能が低いほど配管系の応答は大きくなりますが、三軸粘性ダンパを支持する構造物の設計においては、上限の減衰性能に基づく最大荷重を適用する必要があるためです。

温度、振幅及び連続加振による変動を踏まえた性能試験条件により、高側ダンパ試験性能 ( $K_{High}$ 、 $C_{High}$ ) と低側ダンパ試験性能 ( $K_{Low}$ 、 $C_{Low}$ ) を性能試験で取得します。これらの試験条件について、下の表を用いて説明します。

まず、高側のダンパ試験性能を取得する際には、実機使用条件より易しい試験条件により、減衰性能を高く取得します。また、低側のダンパ試験性能については、実機使用条件

より厳しい試験条件により、減衰性能を低く取得します。こうすることで実際の減衰性能は高側と低側の間になるというふうに考えております。

28ページをお願いします。こちらで性能試験の実施について、実施した結果をグラフで示しております。高側及び低側のダンパ試験性能を取得しており、示しているのは中型の例ですけれども、高側と低側の性能を水平、鉛直でそれぞれ取得した結果を示しております。

29ページをお願いします。ここでは減衰性能のモデル化について説明します。性能試験の結果に基づきまして、三軸粘性ダンパの減衰性能を振動数依存性を精度よくモデル化できる4パラメータMaxwellモデル、左下に示しておりますモデルでモデル化します。

右下に黒線の試験データと赤線のモデルで比較を行っております。見ていただくと、黒色の試験データに対して赤線のモデルで精度よくモデル化できていることがわかります。三軸粘性ダンパの減衰性能は、水平、鉛直でそれぞれ高側及び低側の試験性能を取得するため、4パラメータMaxwellモデルも同様に、各方向に対して高側と低側を設定します。

30ページをお願いします。こちらでは、三軸粘性ダンパの上限及び下限の減衰性能のモデル化について説明します。高側及び低側の減衰性能に、さらに±30%のばらつき、これは製造公差と据付公差によるものですが、これらを考慮して解析上の減衰性能の上限及び下限を設定します。

図で説明しますと、図中の赤点線が先ほどの高側の性能であり、さらに1.3倍した赤実線を減衰性能の上限として設定します。同様に、青点線が低側の性能であり、さらに0.7倍した青実線を減衰性能の下限として設定します。

31ページをお願いします。こちらには、段階的な減衰性能の設定について示しております。三軸粘性ダンパの減衰性能は変動及びばらつきを考慮することに伴い、上限と下限の減衰性能の差が大きくなるため、下の図に示しておりますとおり、上限と下限を含む5段階の等間隔に補間した減衰性能により設定することを考えております。

32ページをお願いします。32ページには、三軸粘性ダンパの解析モデルの追加について示しております。考え方は単軸と同様で、三軸粘性ダンパを4パラメータMaxwellモデルでモデル化し、ダンパ設置前のモデルに追加します。また、4パラメータMaxwellモデルによるモデル化は、海外の原子力発電所において実績のある指標となっております。

33ページをお願いします。こちらには、地震応答解析の地震について関連事項をまとめておりまして、記載内容としては単軸と同様の内容をまとめております。

34ページをお願いします。ここでは三軸粘性ダンパ評価についてまとめて記載しており

ます。単軸と同様ですが、二つの観点がありまして、地震応答解析によって得られた応答値が減衰性能を取得した性能試験条件の範囲内であることを確認します。また、三軸粘性ダンパは、荷重及び許容変位を満たしていることを確認します。なお、許容変位の評価においては、配管系の熱移動も考慮した上で評価を行います。

35ページをお願いします。こちらには、配管系評価についてまとめております。単軸のときも説明しましたが、応力評価等における許容限界は、JEAG4601等に基づき設定することを基本としており、各部位について整理した内容をこのページの表にまとめております。

36ページをお願いします。最後に、このページには、これまでの説明内容の要点をまとめて示しております。

論点Ⅱ-6、機器配管系への制震装置の適用に関する説明は以上です。

○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でしょうか。

○千明審査官 規制庁の千明です。

私からは、単軸粘性ダンパに関して、2点あります。パワーポイント資料の2ページをお願いします。

ここには、第701回審査会合における指摘事項が記されていますが、そのうち制震装置と対象設備の地震時の構造成立性の見通し、こちらについては今回、資料に示されていないというふうに思います。ですので、次回以降にこちらについては説明してください。

その際には、パワーポイント資料のすみません、7ページ、8ページにあります単軸粘性ダンパの配置検討というのがあるんですが、そこに記されているんですが、既工認実績として排気筒への設置があるんですが、その排気筒の設置等は設置箇所であったり取り付け方法というのとは異なっています。例えば、長いブレースを介してダンパを設置することや接続部が複数有すること、ガーダ、ダンパ、ブレース、脚、そういったところに接続部を複数有するといったところが差異となりますので、そういった今、例示した場所というのは、構造弱部になり得るというふうに想定されますので、そういった箇所は抽出していただいた上で、それらも含めた構造成立性の説明をお願いしたいというふうに考えていますが、いかがでしょうか。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

今、御指摘ありました構造成立性につきましては、詳細な評価結果につきましては工認段階で御説明するものと考えておりますけれども、御指摘の趣旨を踏まえまして、現時点における構造成立性の見通しについて、また資料を整理いたしまして御説明させていただ

きたいと思います。

また、その際には、御指摘の中にありました取り付け方法、接続部等、そういった評価部位についてもきちんと考え方を整理してお示ししたいと思います。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

了解しました。よろしく申し上げます。

2点目ですが、まとめ資料の35ページをお願いします。

こちらには、2.1.4節ということで適用規格、その後に2.2節で耐震評価方法ということで説明のほうが続いていくんですが、その中、この単軸粘性ダンパの設置に伴う追加設計、追加の設計プロセスというところがこの後、説明が記されているんですけど、その中の単軸粘性ダンパの今回の設計体系全体とダンパの構成要素に対する、それとの適用規格、基準との関係というか、準用するものとか、そういったものがちょっと今の資料から明確に見えてこないの、その辺りを明確に記して説明いただきたいんですが、この点についてはいかがでしょう。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

単軸粘性ダンパの設計に適用する規格等についての御質問ということでございますけれども、基本的には応力評価等につきましては資料にも記載のとおり、JEAG4601等を適用した強度評価、応力評価を実施いたします。

それ以外のダンパとしての性能の評価等につきましては、これはダンパそれぞれによりまして、その特性ですとかも異なりますので、基本的にはメーカー等の知見も参照して、適切な試験方法等を設定して実施しているというのが実態でございます。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

単軸粘性ダンパが主に確認する内容かと思うんですが、その辺りの今、説明いただいた内容を資料化していただいて説明いただきたいのと、また、その適用する評価基準の適用範囲とか適用条件についても、その辺りについても説明いただいて、それを今回適用することの妥当性についてもあわせて説明いただければというふうに思いますが、いかがでしょう。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

単軸粘性ダンパの適用規格とかはパワーポイントの17ページに許容限界等をお示しして

おりまして、ブレースについてはJEAGの許容応力、鋼材ですので許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力を用いること、あと単軸粘性ダンパとしては、設計している許容荷重と許容変位が超えないことを確認することをこちらで御説明しております。

追加で御説明する必要があることを御指摘いただければ、対応させていただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

○植木審査官 規制庁の植木です。

ちょっと今の点ですけれども、例えば7ページにほかの設備への適用例として、橋梁へこのダンパを設置した例が挙がっていますけれども、例えばこの橋梁への適用に際して、ダンパに関する適用の基準とか、そういうものはないのでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

再度、御確認はさせていただきたいと思いますが、基本的にはこのダンパは許容荷重と許容変位、その中で地震時の応答解析をして、その範囲で使うということで、メーカーからも聞いておりますし、我々もその構造を理解した上でそれで妥当であると考えております。そこらをもう一度確認して御説明することよろしいでしょうか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

はい、お願いします。

あと三軸のほうも同様に、三軸のほうは引用している基準の中にダンパ、制震装置の文献も引用されていて、それが実際どのように使われているかというのがちょっと明確にもなっていないので、両方のダンパについて、ちょっと適用基準とか適用範囲とかその辺をもう一度整理して説明……、もし適用しないのであれば、今回の試験で妥当性を確認した方法で設計しますということでもいいと思うんですけれども、その辺をもう一度整理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。

はい、了解いたしました。適用するに当たって、どちらのダンパも当社でも試験もしておりますので、適用している規格と当社の試験で確認している部分を整理して御説明いたします。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

単軸ダンパに関して、二、三確認させていただきたいんですけれども、まず15ページなんですけれども、解析方法として非線形の時刻歴応答解析を使用しますということなんで

すけれども、あと本体の減衰定数についてはJEAGに従って2%を適用しますという記載がありますけれども、この減衰の取り扱いですね、本体部分の減衰2%について、どのようなタイプの減衰を使うのか、説明していただきたいと思います。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

ここで解析手法としては、非線形時刻歴応答解析を適用すると資料15ページに記載しておりますけれども、具体的にはモーダルな時刻歴応答解析で計算するというのを考えておりますので、各モードの減衰比として設定するということになります。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

モーダル時刻歴ですか。直接積分法ではないのでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

失礼しました。ちょっと今の先ほどの御回答を訂正させていただきます。非線形の時刻歴解析ですので、直接積分でやっております、減衰はレイリー減衰で設定しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。それで、レイリー減衰の場合には、振動数に依存した減衰になりますので、 $\alpha$ と $\beta$ ですか、係数をどのように与えるのか、1次と2次の振動数をどのようにとって、減衰をどう与えるかというのを資料化して説明していただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

了解しました。1次固有周期、クレーンの固有周期帯で非保守的にならないようにパラメータを設定しておりますので、そちらについて資料化して御説明いたします。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

本件に関しては、三軸のほうのダンパも共通で、配管の応答解析のときに配管部分の減衰を、そちらもレイリー減衰であればどのように振動数をとって与えているかということをお知らせして説明をお願いします。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

今、質問をいただいた三軸粘性ダンパの解析につきましては、線形の時刻歴応答解析を行っております、こちらはモーダルな時刻歴解析を行っておりますので、各モードに、すみません、配管のほうでは配管に適用した減衰定数ですけれども、それを各モードにモー



ド減衰として与えることを考えております。

○植木審査官 三軸ダンパのほうはモーダル時刻歴ということですか。わかりました。ちょっと今、その辺が先ほどの直接積分法とモーダル時刻歴というのが両方とも資料に書いていないので、その辺を明確にしてください。あと減衰の扱い方も含めてです。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

了解いたしました。

○植木審査官 規制庁、植木です。

あともう一つ、12ページですけれども、このダンパについては振動数依存性が比較的小さいので、速度の0.1乗に比例するダッシュポットということの記載があります。これに関しては、このダンパの仕様として速度の0.1乗に比例するという事によろしいですか。例えば、0.2乗とか0.3乗ではなくて、もうスペックとして速度の0.1乗に比例するというスペックになっているという理解でよろしいですか。

○中国電力（香川） 中国電力の香川です。

そのとおりです。速度の0.1乗に比例するという仕様のダンパを使用しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。

それと、この減衰係数、同じページの減衰係数のCの設定の仕方なんですけれども、これは試験の結果で、速度と抵抗力の関係とか右側の図の変位と抵抗力の関係、結果的には試験結果と一致するというふうに読めるんですけれども、実際にこの減衰係数Cというのは、試験の結果からどのようにして設定するのでしょうか。三軸ダンパのほうはかなり詳しく式の説明まで含めて書いてあるんですけど、一軸のほうは逆にちょっと試験の結果からどういうふうに決めるのかというのがちょっとわからなかったもので、説明をお願いします。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

減衰係数、Cのパラメータの設定の仕方につきましては、パワーポイントの資料12ページに記載のとおり、試験結果のデータに基づきまして、これを再現するようにフィッティングして最小二乗法等でパラメータをベストフィットで設定するという考え方をとっております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

この図に逆に合うようにフィッティングして、Cを決めるということで理解しました。

ちょっとその辺も含めて、資料のほうに説明を加えていただきたいと思います。

それから、最後ですけれども、速度の0.1乗の比例するダッシュポットということで、非線形性を持っているということ、速度に比例するのではなくて0.1乗に比例するということだと思うんですけど、この際、運動方程式上はどういうふうになるのかというのがちょっとわからなかったもので、説明をお願いします。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

応答解析における扱いとしましては、こういったパワーポイント12ページ、右下のようなMaxwellモデルを解析モデルの中に組み込みまして、それをダイレクトに解いて計算しているということになります。

その際のパラメータの設定の仕方としましては、Vの0.1乗に比例するというので、非線形なものになりますので、そういったテーブルを持たせて解析しているというようなところになります。

以上です。

○植木審査官 規制庁の植木です。

ちょっと今の説明も資料のほうに具体的にどのように解いていくのかということを書き加える必要はないんですけども、わかるようにちょっと説明を加えていただきたいと思います。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

○山浦技術参与 規制庁の山浦です。

パワーポイントの29ページをお願いいたします。これは三軸粘性ダンパの4パラメータのMaxwellモデルを示しておりますけれども、この4パラメータを設定した理由としては、図の右側にありますように、振動数に依存した減衰とか剛性をうまくこのモデルで表現できるということかと思えます。

一方で、12ページをあけていただきたいと思いますけれども、これは単軸粘性ダンパのモデルでして、これは右側にありますように、Kが一つとCが一つの2パラメータだと思うんですけども、それにモデル化しています。

この理由としては、真ん中の図にありのように、振動数で整理しているわけじゃなくて、抵抗力と変位で整理して、これでよく合うというような説明になっております。

単純に考えて、三軸粘性ダンパのほうは4パラメータでモデル化して、単軸粘性ダンパ

のほうは2パラメータでモデル化していると。この根拠となる実験の整理の仕方も違うんですけども、それぞれ4パラメータ、2パラメータでうまく合う理由と、どうしてモデル化が違うのかを御説明をお願いいたします。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

モデル化の違いにつきまして御説明をいたします。

まず、三軸粘性ダンパ、29ページを御覧ください。29ページでは、三軸粘性ダンパの減衰性能は左側の図のような4パラメータのMaxwellモデルでモデル化するということが記載しております。Maxwellモデルを用いるということになりますけども、このMaxwellモデルというのが一般的に振動数依存性があるような粘弾性体を表現する際に用いるモデルとなっております。ここで、通常Maxwellモデルといいますと、1本のばねとダッシュポットになりますけども、それをより精度よくフィッティングさせるという観点で、パラメータを増やしたほうが精度が上がるということがございますので、当社としましては4パラメータのMaxwellモデルを用いて三軸粘性ダンパの特性をモデル化しているということになります。

三軸粘性ダンパにつきましては、29ページ、右側の図でお示ししておりますとおり、等価剛性、等価減衰係数それぞれ振動数に対して依存性を有するような特性となっております。

こういったことから、これを精度よくモデル化するということが4パラメータMaxwellモデルを用いております。

単軸粘性ダンパにつきましては、12ページをお願いします。単軸粘性ダンパは、12ページに記載のとおり、速度の0.1乗に比例する抵抗力というような設計になっております。速度の0.1乗比例ということになりますので、速度と抵抗力の関係が非線形な関係になります。そういった非線形のものになりますので、非線形な特性を直接表すには、直接抵抗力と速度の関係で性能を把握しているということになります。

また、Maxwellモデルが二つのパラメータの1本のMaxwellモデルで表現しているということにつきましては、単軸粘性ダンパのほうは、浸透数に対する減衰性能の依存性は小さいということになりますので、そういった観点で4パラメータ等精度を上げる必要はないというふうに判断しております。

以上です。

○山浦技術参与 今、お伺いいたしましたけども、単軸粘性ダンパに2パラメータを用い

て、三軸粘性ダンパに4パラメータを用いるほうが良いというその理由が、もうちょっとかみ砕いて資料にまとめて説明していただきたいんですが、いかがでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

先ほど蔵増のほうから説明していただいた内容について補足させていただきます。

資料1-1-3、PDFでページ数89ページ、通し番号88ページを御覧ください。こちらのページに示しております一番下の第3-5-4添図なんですけども、これ三軸粘性ダンパのモデル化に関する検討でして、2パラメータ、いわゆる二つのパラメータでモデル化をしたときと4パラメータ、今採用しているそのモデルを同じくしたときで、どの程度差異があるのかというような検討を行った結果がこちらのほうに示されております。

黒線で示している試験データに対しまして、パラメータ二つですと青線のような、少し差が出ているようなフィッティング結果になるんですけども、4パラメータにしますと赤線のように精度よくフィッティングできると、こういった検討もした上で、三軸粘性ダンパについて4パラメータMaxwellモデルを採用するというふうに考えております。

○山浦技術参与 すみません、88ページを見ればいいんですかね。

○中国電力（岩本） はい。通し番号88ページです。

○山浦技術参与 88ページで、三軸粘性ダンパは4パラメータと2パラメータを比べると、4パラメータのほうがよく合いますということですよ。単軸粘性ダンパのほうでこれに相当するようなグラフはあるんでしょうか。

○中国電力（香川） 中国電力、香川です。

まとめ資料のほうの別紙7-65ページ、通し番号で69ページを御覧ください。こちらのほうに、振動数を変更して同じ速度で評価した単軸粘性ダンパの特性試験結果があります。こちらで見ますと、単軸粘性ダンパのほうはほとんど速度依存はないものの、振動数依存はないものの、振動数の変更により若干の変化は見られるものの、基本的には2パラメータで示したMaxwellモデルに対して±10%以内におさまるという結果になっております。

○山浦技術参与 了解いたしましたけども、ともかく同じ粘性ダンパを使って、片っぱは2パラメータ、片っぱは4パラメータを採用していますので、その辺、どういう理由でこれが妥当なのかというのをちょっとやっぱり1回整理して、まとめ資料とかに説明、お願いいたします。いかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

御説明内容は今、申し上げたとおりですけども、ちょっと今、あちらこちらに資料が、

データが離れていますので、それを整理した上で御説明させていただきます。

○山浦技術参与 了解いたしました。よろしくお願いいたします。

もう一点、お伺いいたしますけれども、33ページですけれども、一番上のポチで三軸粘性ダンパに対しては、地震応答解析手法としてスペクトルモーダル解析は一般的ではないことから、時刻歴応答解析を適用するというふうに書かれているんですけども、もともとスペクトルモーダル解析の場合は、振動数依存で剛性が変わるとか減衰が変わるとか、こういうものはモデル化できないのではないと思うんですけども、モーダル解析でも妥当な解析ができるということなんでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

一般的に配管系の解析においては、スペクトルモーダル解析を当社のほうでも実施しております。ただ、スペクトルモーダル解析は、その式展開の中の前提として、減衰が小さい場合ということで、減衰の項を無視して運動方程式を解いておきまして、減衰の効果は逆に入力で使用する応答スペクトルのほうで見ているというものになっております。

そういった意味で、今回の単軸粘性ダンパを適用した配管系は、減衰がすごく大きくなってしまいますので、通常どおり減衰の項を無視したような式展開による解析はできないというふうに考えておきまして、そういった場合にはスペクトルモーダル解析は一般的ではなく、時刻歴応答解析を採用するという内容を説明させていただいております。

○山浦技術参与 スペクトルモーダル解析は一般的ではないというふうに書かれると、実際にはできるけどもやらないような印象を受けるんですけども、やはりこの三軸粘性ダンパを妥当な解析手法で行うためには、やっぱり時刻歴応答解析が適切であるということではないかと思うんですが、そのように理解してよろしいでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

はい、御認識としてはそのとおりです。そういった点も含めて、記載について検討したいと思います。

○山浦技術参与 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。

○千明審査官 規制庁の千明です。

三軸粘性ダンパに関して何点か確認します。パワーポイント資料の22ページをお願いします。

ここでは、三軸粘性ダンパは海外の原子力発電所において設置実績があるというふう

記されております。確認ですが、海外の原子力発電所で使用している三軸粘性ダンパは、今回、島根2号炉に適用しようと考えているものと同じメーカー、型式なのでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

メーカー、基本構造は同じものでございます。

○千明審査官 規制庁の千明です。

メーカーと基本的なところは一緒ということで理解しました。

また、すみません、パウポの32ページのほうですが、こちらについて確認ですが、4パラメータのMaxwellモデルによるモデル化というのも、これも海外の原子力発電所で実績がある手法ということで記されております。ここも確認ですが、その際、係数の設定法であったり地震応答解析手法、ダンパの許容限界等の耐震設計法についても、これも同じというふうに理解しておけばよろしいでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

許容変位、許容荷重等是一緒です。応答解析の中で、パラメータのばらつきの考慮とかその保守性の見方とかは、今、国内の規制を踏まえて適切にしっかりばらつき、保守性を見るような形で係数を設定して解析しております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今、御説明があったような内容についても、資料に加えていただければなというふうに思いますので、よろしく申し上げます。

続いて、すみません、パワーポイント資料の24ページをお願いします。

冒頭、単軸粘性ダンパの指摘と同様なんですけど、こちらの制震装置と対象設備の地震時の構造成立性の見通しについて、こちらについても次回以降説明していただければと思います。

その際、三軸粘性ダンパの配管への取り付け部はどのような構造になっているのかとか、あとダンパの取り付け部についての構造の詳細であったり、あと配管からの荷重伝達機構、そういったものがわかるような形で説明をしていただいて、構造弱部となり得るようなものが、そういったところを抽出した上でダンパ取り付け部を含めた配管系及びダンパ全体の構造成立性の見通しについて、説明していただきたいというふうに思いますが、いかがでしょうか。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

承知いたしました。取り付け部の構造等も改めてお示しした上で、構造成立性の見通しを御説明いたします。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

了解しました。私からは以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

どうぞ。

○植木審査官 規制庁、植木です。

同じ24ページについて、確認させてください。このダンパは下から配管系を支持する構造であって、支持の位置としてはかなり下だけからということで、制約があるというふうに思われます。

一方、ほかの一般に使用されるスナバとか、あと一軸の制震サポートは、下からだけではなくて各方向から支持が可能であるというふうに、そういう違いがあると思いますけれども。あと、まとめ資料の記載によると、このダンパは配管系に約50台設置するというようなことですが、支持架台も含めて、配置スペース上の問題とかその辺りも含めて、配置計画の成立性ですね、この辺は大丈夫なんでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

補足させていただきますと、この三軸粘性ダンパは、必ずしも配管の下に設置しなければならないものではなくて、配管の上に乗せてピストン側のほうを支持構造物に接続して、その荷重を躯体に伝達すると、そういった構造もとることは可能です。なので、設置箇所の状況に応じて下に設置するべきか上に設置するべきか、そういう現場の状況も踏まえて選択をして設置していくと、そういうものになります。ですので、配置状況も踏まえて成立する案を現在検討しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

確認ですが、下から、または上からで、横からはできないと、そういう理解でよろしいですか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

配管からダンパに接続するものをまた別につくれば、少し横であっても荷重を伝達することは可能なんですけども、今現在、そういったものを計画はしていません。

○植木審査官 規制庁、植木です。

今、説明のあった配置計画も含めて、構造成立性ですか、耐震設計の成立性の見通しについて、次回以降説明していただきたいと思います。

それから、パワーポイントの26ページですが、ここに各項目に対して三軸粘性ダンパの性能が変わらないかどうかというような検討がなされていますけれども、1点確認したいのは、配管系の熱移動によってピストンの初期位置とか初期変位とか角度が標準的な位置と角度からずれるということがあると思うんですけれども、この場合にも、ダンパの性能は変化しないという理解でよろしいでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

御指摘いただいた配管の熱移動、そういったものは解析の中で考慮した上で、逆に言うと高温時でないときにはピストンとハウジングの間にオフセットをかけるような設定も行った上で、実際に耐震性が必要な運転時に理想的な位置にピストンとハウジングの関係性が来るように調整を行っております。

また、この位置関係につきましては、据付公差のほうで±20%以内で管理するということも記載しておりますけれども、そういったところでも余裕を持って設定をしております。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

ちょっとその熱移動による変位とか角度に対する今の説明についても資料の中に加えていただきたいと思います。設計上の配慮というか。よろしいでしょうか。

○中国電力（岩本） 中国電力の岩本です。

はい、御指摘を踏まえて対応させていただきます。

○植木審査官 規制庁、植木です。

最後になりますけれども、パワーポイントの42ページをお願いします。40ページから配管系にダンパを設置した際の振動試験を実施して、効果を確認しています。43ページに応答低減効果の説明として、配管系のA3の位置で10分の1、それからA5の位置で5分の1に低減されているというふうに記載があります。

これに関してなんですけれども、42ページの固有振動数の比較を見ますと、ダンパなしの配管の場合は、1次固有振動数が4.5Hz、ダンパを設置した配管系は9Hzというふうに、剛側に配管系がシフト、振動数が変わっています。

このダンパを設置したことによって、固有振動数が変わって、それによって応答が低減する効果もこれには含まれていると思いますけれども、その辺りはいかがでしょうか。



○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

パワーポイント42ページに、ダンパなしの配管とダンパ設置配管の固有振動数等を表でお示ししております、今、お話の中にあつたとおり、固有振動数としてはダンパを設置した配管のほうが、これはもう単純にダンパがプラスアルファ設置されているということになりますので、その剛性分は固有振動数としては高くなる方向になります。

御指摘の中でありました、そういった固有振動数がずれることも含めた応答の低減効果ではないかということに関しては、御指摘のとおりだと認識しております。

それから、43ページの応答の比較は、あくまで計測された加速度応答等で算出しておりますので、あらゆる全ての効果をトータルひっくるめた応答低減効果を43ページでお示しているということにはなりません。

○植木審査官 規制庁、植木です。

今の説明は理解しました。ただ、ダンパの応答低減効果という意味では、固有振動数はそろえて従来型のサポートを同じ位置に設置して、それでもって減衰による効果を確認して比較すべきだと思うんですけども、その辺りはいかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力、田村です。

この43ページの見方としましては、各点はその固有周期のずれも入っていますけども、この勾配が応答低減効果を表していますので、白のダンパがついているほうがこの勾配が寝ているという意味では、それは固有周期のずれによる応答低減効果はなしで見ることができます。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

ちょっと今の説明が理解できないんですけども、例えば41ページの入力地震波の応答スペクトルを見ると、左下の水平方向の応答スペクトルですけども、4.5Hzと9Hzの応答スペクトルの加速度の値は当然違っているので、入力自体がサポートをつけたことによって変わっていると思います。まあ試験はもう既に終わっているんで、やり直しはできないと思うんですけども、考察としてその辺が必要かと思うんですけども、必ずしもそのダンパだけの効果ではないということは明らかだと思うんですけど、ちょっと今すぐ回答していただかなくても結構ですけども、ちょっと整理していただいて、次回、回答を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。

固有周期がずれるという点は事実ですので、それを踏まえてどういうふうに試験結果を分析して考察する必要があるかというのはもうちょっと丁寧に記載する必要があると思いますので、資料化して御説明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。

以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○津金審査官 規制庁、津金です。

パワーポイント41ページ、加振試験のところなんですけれども、ここで加振試験については耐震バックチェック用の評価用地震動を使っているということで、今、設定している基準地震動とは異なるものだと思うんですけれども、この試験をもって今のその新しい基準地震動に対して十分な耐震性能を持つと言えるのか、その辺の考え方を説明してください。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

この試験自体は、数年前に実施したものになりますので、入力地震波としては資料41ページに記載の耐震バックチェック評価用地震動 $S_s-1$ というものをを用いておりました。

また、本試験、42ページを御覧いただきますと、42ページはまず正弦波の掃引試験結果をお示ししておりますので、まずこちらは地震波の違いにかかわらず、正弦波によってこの配管系の振動伝達特性をお示ししている結果になっております。

また、地震派の入力が現在の $S_s$ と異なるという点におきましては、この試験でもって必ずしも実機の設計の妥当性をお示ししているというものではございませんで、あくまで制震装置としてのこの粘性ダンパを設置した場合の効果が有効なもので、配管系に対しても一定に有効なものであるということを確認するための試験が目的となっておりますので、そういった観点で地震波の違いというのは目的に照らせば問題ないかなというふうに判断しております。

○津金審査官 規制庁、津金です。

説明は理解しましたがけれども、特にこの三軸粘性ダンパを取りつける主蒸気配管は、弾性設計用地震動 $S_d$ に対して機能維持を図るという設計方針ですので、特に $S_d$ について新たに設定した $S_d$ ということもありますので、そういうものも踏まえた結果、適切にモデル化されていて、解析上の結果が十分なものであるということは詳細設計で説明していただき

たいと思います。よろしいでしょうか。

○中国電力（蔵増） はい、承知いたしました。

詳細な評価内容につきましては、詳細設計段階でお示しをいたします。先ほどからの御指摘にありますとおり、構造成立性の見通しという観点で、現時点での評価もお示しするというところで考えております。

以上です。

○津金審査官 規制庁、津金です。

実際は詳細設計において計算を見ないと何とも言えないところはあるんですけども、許可段階においても今回、単軸にしても三軸にしても適用する範囲、そもそもの目的として波及的影響をなくすとか、BクラスだけでもSd機能維持するという、その対象を明確にした上で、耐震設計でほかでも議論になっております水平2方向の影響ですとかばらつきの考慮といった、そういう点についてもこのダンパについてきちっと説明をしていただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

承知いたしました。

○津金審査官 規制庁、津金です。

ちょっと確認だけなんですけれども、本三軸粘性ダンパについては、海外の原子力発電所では実績があるという御説明があったんですけども、国内で原子力発電所以外でこういったものが使われているという実績はあるのでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

国内でも実績はございまして、石油精製施設での配管系の振動対策、あとはディーゼルとかいろんな機関ものの防振対策、あとは大きいものと、排気筒のようなスタック状のものとか、ビルとかにもそれは耐震性の付与ということで実績があると聞いております。

以上です。

○津金審査官 規制庁、津金です。

今、御説明いただいたとおり、実績はあると思いますけれども、原子力発電所の耐震設計で求められているような三方向同時入力による加振に対しての性能等を見ているということでも必ずしもないと思いますけれども、ちょっと国内実績についても資料のほうに追加していただいて、今回、その欧米で使われているものについては国内で考えている耐震設計と同様の設計をしていて、国内の原子力発電所に適用可能であるということの説明し

ていただきたいんですけども、いかがでしょうか。

○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、いかがですか。よろしいですか。

それでは、続いて、資料の説明をお願いします。

○中国電力（香川） 中国電力の香川です。

これから論点Ⅱ-10及び18について説明いたします。

資料47ページを御覧ください。論点Ⅱ-10、取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について説明いたします。

本論点では、取水槽ガントリクレーンの概要、構造、評価手法について説明し、先行他社との差異について説明いたします。

まず、工認実績のある大間1号炉原子炉建屋天井クレーンとは評価手法は同等ですが、構造に若干差異があります。女川2号炉海水ポンプ室門型クレーンに対しては、設置許可変更段階の審査において採用されている手法と同等となっております。

48ページをお願いいたします。取水槽ガントリクレーンの設置箇所は、先ほどの論点Ⅱ-6で御説明したとおりです。下の図に示すとおりでございます。

続いて、49ページを御覧ください。取水槽ガントリクレーンは、取水槽上を走行車輪により走行し、クレーン上部にあるガーダ上をトロリが横行車輪により横行し、主巻により吊荷を吊り上げます。

この右の図の右上部のほうにありますホイストにつきましては、ガーダ下に設置されたガーダレールを移動し、吊荷を吊り上げます。

また、左の図下部にあります走行車輪の駆動輪、従動輪の間には、転倒防止装置を設置しております。また右の図の上部には、設計中のトロリストッパの設置箇所を記載しております。

50ページを御覧ください。取水槽ガントリクレーンの各部の構造を示しております。転倒防止装置は、車輪に浮き上がりが生じた場合でも転倒しない構造となっております。こちらの構造は伊方3号と同等の構造となっております。トロリストッパにつきましては、今、設計中ですけども、浮き上がりによる脱線・落下を防止する構造となっております。ホイストは、ホイスト車輪がホイストレールを挟み込むことにより懸架される構造となっております。

51ページを御覧ください。耐震評価方針ですけれども、こちらも先行他社と同様な耐震評価方針ですが、ダンパを設置したことにより、この右の下部のほうにありますように、ダンパの評価を追加しております。

52ページをお願いいたします。取水槽ガントリクレーンは、車輪に浮き上がりが発生する可能性があることから、非線形時刻歴応答解析を実施します。解析のケースとしましては、下の表に示しますとおり、トロリの位置、吊荷のケースによってケース分けし、3ケース実施します。

53ページをお願いいたします。こちらに解析に用いる3次元FEMモデルを示します。単軸粘性ダンパについては先ほど論点Ⅱ-6で説明したとおりです。転倒防止装置はギャップ要素によりモデル化しております。

54ページをお願いいたします。車輪のすべり、浮き上がり、衝突を模擬するための車輪部の非線形をそのモデルを右の下の図に示しております。

55ページをお願いいたします。取水槽ガントリクレーンの評価部位を表のとおり整理しております。

56ページをお願いいたします。取水槽ガントリクレーンと先行の大間1号炉の原子炉建屋天井クレーン、女川2号炉の海水ポンプ室門型クレーンとの構造を比較しております。

57ページをお願いいたします。56ページでお示ししました構造比較について、表にまとめました。こちら先行他社との差異は、脚を有する点、単軸粘性ダンパを有する点、転倒防止装置が異なる点が差異となっております。

58ページをお願いいたします。評価手法を先行他社と比較したものを表にまとめました。こちら、解析手法、解析モデルの種類、境界条件等全て同等の手法であることを確認いたしました。

59ページをお願いいたします。論点Ⅱ-10のまとめを述べます。審査実績のある大間1号炉原子炉建屋天井クレーンと比較し、脚及び単軸粘性ダンパの有無、脱線防止装置と転倒防止装置の違いはあるものの、全体構造、荷重の伝達及び車輪周りの構造が同等であることを確認しました。また、車輪のすべり、浮き上がり、衝突を考慮し、非線形要素の考え方も同等であることを確認しました。

以上のことから、島根2号炉取水槽ガントリクレーンの耐震評価として、非線形時刻歴応答解析を適用することは妥当であると考えております。

60ページをお願いします。続いて、論点Ⅱ-18、原子炉建物天井クレーンの非線形時刻

歴応答解析の適用について説明いたします。

本論点では、原子炉建物天井クレーンの概要、構造、評価手法について説明し、先行他社との差異について説明いたします。

原子炉建物天井クレーンは、車輪に浮き上がりが発生する可能性があります。この浮き上がりを考慮した地震応答解析手法として、非線形時刻歴応答解析を適用いたします。本件につきましては、大間1号炉、東海第二と同等の構造、手法となっております。

61ページをお願いいたします。原子炉建物天井クレーンの構造を右の図に示します。原子炉建物天井クレーンは、ガーダ及びサドルが走行方向に走行し、ガーダ上をトロリが横行する構造となっております。これは、左の図に示します大間1号炉原子炉建屋天井クレーンと同等の構造となっております。

62ページをお願いいたします。ここでは、既工認からの構造変更箇所について説明いたします。左側の図に示しますように、既工認では落下防止ラグ、トロリストッパともにガーダ、トロリの浮き上がりを許容しない構造となっておりますが、構造変更によりどちらも浮き上がりを許容する構造とすることで耐震性を確保しております。この変更後の構造につきましても、大間1号炉と同等の構造となっております。

63ページをお願いいたします。原子炉建物天井クレーンの評価手法を表に示します。ここで、解析手法、解析モデルの種類、境界条件等、全て大間1号炉と同等の手法となっております。

64ページをお願いいたします。こちらに解析に用いる地震応答解析モデルを示しております。

続いて、65ページをお願いいたします。車輪とレール間の摩擦特性及び非線形要素として、右の図の下部に示す車輪部の非線形要素モデルを適用しております。

66ページをお願いいたします。論点Ⅱ-18のまとめを述べます。構造については、原子炉建物天井クレーンと先行実績のある大間1号炉原子炉建屋天井クレーンに差異は見られませんでした。解析手法として、3次元FEMモデルによるモデル化、車輪のすべり、浮き上がりを考慮する非線形要素の考え方は同様であることも確認いたしました。

以上のことから、島根2号炉原子炉建物天井クレーンの耐震評価として、非線形時刻歴応答解析を適用することは妥当であると考えております。

以上で説明を終わらせていただきます。

○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。

○宇田川審査官 規制庁の宇田川です。

パワーポイント53、54、55辺りの解析モデルについて質問いたします。54ページの下の方を見ていただきたいんですけども、先ほどからの説明で、横行方向の振動が支配的という御説明が何度かあったかと思うんですけども、54ページの(2)の3行目の辺りから見ていただきたいんですけども、駆動輪は回転が拘束されていて、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わったときに、レール上をすべるといふふうにありますので、最大静止摩擦力未達であればすべらないで、固定されたような振る舞いをすると思っています。

そうしますと、図で説明いたしますが、走行方向の振動やねじれるような振動も現れるかと思うんですけども、53ページで示されている解析モデルでこのような複雑な振動を再現できると考えてよろしいでしょうか。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

はい、御指摘いただきましたとおり、レールの走行方向につきましても全く応答が生じないというものではないということは、そのように考えております。

53ページに地震応答解析モデルを記載しておりますけども、こういった3次元的な形状をモデル化しておりますので、今、御指摘があったような3次元の応答もきちんと評価できるものというふうに考えております。

以上です。

○宇田川審査官 規制庁の宇田川です。

そうしますと、論点になっていきます単軸粘性ダンパの取り付け部なんですけども、曲げ変形が生じる懸念があります。55ページの耐震評価方法、こちらに方針のようなものが書いてあるんですけども、ここで単軸粘性ダンパの取り付け部がクレビスと御説明されていますが、そのクレビスを評価部位として挙げていただいて、許容回転角におさまることを方針として示していただきたいんですけども、まとめ資料なり、示していただくということでもよろしいでしょうか。

○中国電力（蔵増） 中国電力の蔵増です。

承知いたしました。取り付け部についても評価結果をお示ししたいというふうに考えております。

○宇田川審査官 規制庁、宇田川です。

解析結果等につきましては詳細設計段階で改めて確認いたします。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、質問、コメントございますか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

50ページをお願いします。この左下の図で、レールを挟むような転倒防止装置があると思うんですけども、この挟み込むところの左右に、ちょっと四角いものが二つぐらいあるんですが、これは何を示しているのでしょうか。金具の左右。

○中国電力（香川） 中国電力、香川です。

今、御指摘されている場所は、走行レールの上側のものでしょうか、下側でしょうか。

○植木審査官 走行レールの横ですね。

○中国電力（香川） これは、接触しないようにはなっているはずなんですけど、一応ローラーのようなものがついております。

○植木審査官 規制庁の植木です。

ちょっとその辺が全然わからなかったもので、構造的な説明をお願いします。

今の転倒防止装置なんですけれども、これについては先行の女川の海水ポンプ室のクレーンとちょっと方法が違うというか、レールを挟み込んで転倒を防止するような構造ではなくて、その辺がちょっと違っていると思います。

53ページの解析モデル図に、左下の転倒防止装置のモデルというのがあるんですけども、ここにある節点の「（レール）」という上のものについては、ここは固定点というふうに考えてよろしいですか。右側に車輪部のモデルがあって、そこはレールの節点は固定になっているんですけども、左側の転倒防止装置のレールもここも当然のことながら固定ということよろしいですか。

○中国電力（香川） 中国電力、香川です。

ここも固定点と考えていただいて結構です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。

あと、下なんですけど、この下の転倒防止装置の節点と、この左右に伸びる線というのは、これは梁ですか。転倒防止装置の剛性を持った梁で、それがクレーンの脚のつなぎの梁につながっているという、そういうモデルになっているんですか。

○中国電力（香川） すみません、これギャップ要素は……、すみません、中国電力、香川です。

これギャップ要素につきましては、爪部とレールとの間の空間を考えております。ですの



で、爪部と、おっしゃられるとおり、脚の下部のところは一体の構造というか、つながっているんですけども、正しくはここに書いておりますように、転倒防止部の装置の爪部を指しております。

○植木審査官 規制庁、植木です。

ちょっと先ほどの転倒防止装置の構造とか、このモデルのところをもう少し詳細に次回説明をお願いします。というのは、ちょっと先ほど女川との比較で言いましたけれども、結構ここは厳しくなるのかなと。レールで転倒をおさえるような構造ですので、構造弱部になる可能性があるというふうに思っています、それで確認した次第です。

それからもう一つ、48ページをお願いします。ここに平面図がありまして、左側のほうが稼働の範囲だと思うんですけども、クレーンが、クレーンの運転中に左側の端のほうに寄っている場合があると思います。このときに地震を受けた場合に、レールの端にある停止装置、とめ装置ですか、そこに衝突してクレーンが転倒するというようなことはないのかどうかということなんですけれども、これは車輪、地震応答解析をやって、すべり量の評価をやって、そこに衝突するか否かという検討が必要だと思うんですけども、その辺はいかがでしょうか。

○中国電力（田村） 中国電力の田村です。

この48ページの図では取水槽の上で切っていますけども、レールはこの左端がストッパがついているわけではなくて、レールが伸びておりますので、少し移動したからといって衝突する構造にはなっておりません。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

わかりました。その辺の端部の状況についても、ちょっと資料のほうに説明をお願いしたいと思います。

以上です。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。よろしいですか。

それでは、ここで、席がえを行いますので、一旦中断し、10分後、16時35分から再開したいと思います。

（休憩）

○山中委員 再開いたします。

引き続き資料の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。

今回は、重大事故等対策の有効性評価のうち、運転停止中の原子炉における燃料損傷防止対策につきまして、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、電源事業本部担当副長の神崎のほうから御説明させていただきます。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

それでは、資料1-2-1を用いまして御説明をいたします。

1ページをお願いいたします。まず、目次ですけれども、1.～5.目までありまして、まず1.～3.まで御説明をしました後、このシナリオに関します御指摘事項に対します御回答ということをお説明をいたします。その後、また4.、5.と御説明をいたします。

それでは、2ページ目から、崩壊熱除去機能喪失について御説明をいたします。

3ページ目をお願いいたします。まず、事象の概要ですけれども、下の図にも状況をお示ししてございまして、原子炉の運転停止中におきまして、運転中の残留熱除去系の故障により崩壊熱除去機能が喪失することを想定いたします。

燃料の崩壊熱によりまして冷却材が蒸発しますことから、緩和措置がとられない場合には原子炉水位の低下により燃料が露出し、燃料損傷に至る事象ということでございます。

4ページ目をお願いいたします。燃料損傷の防止対策です。①番としまして、待機中の残留熱除去系によります低圧注水モードによる原子炉注水を行います。また、②番としまして、残留熱除去系の原子炉停止時冷却モード運転によります原子炉除熱を実施していきます。下の図にも、その対策の状況を記載しております。

5ページ目をお願いいたします。主要評価条件です。まず、初期条件につきまして、原子炉圧力容器の状態としましては、圧力容器の未開放ということを設定してございます。燃料の崩壊熱につきましては、約14MWということで、9×9燃料（A型）の原子炉停止後1日後という想定をしております。原子炉水位については、通常の水位、水温については52℃を想定しております。

事故条件についてですけれども、残留熱除去系の機能喪失ということで、外部電源については外部電源なしという設定をしております。

また、機器条件につきましては、残留熱除去系の低圧注水モード及び停止時冷却モードにつきましては、それぞれの設計値ということで設定をしております。

また、最後に操作条件ですけれども、残留熱除去系によります原子炉注水開始という

ころにつきましては、事象発生から2時間後ということで、事象の認知または現場操作の実績等々を踏まえまして設定をしております。

6ページ目をお願いいたします。対応手順の概要となります。まず、評価上、0秒としまして、外部電源喪失が発生いたします。その後、運転をしておりました残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）の停止を確認いたします。その後、また再起動を操作いたしますけれども、事象発生から約0.9時間後では、原子炉冷却材温度が100℃到達ということで、その時点で残留熱除去系の故障を確認いたします。

7ページ目をお願いいたします。左上の「Aより」ですけれども、逃がし安全弁1弁によります原子炉減圧を行います。その後、事象発生2時間のところで、残留熱除去系の待機側ですけれども、低圧注水モードを起動いたしまして、注水を開始いたします。

原子炉水位回復後については、原子炉停止時冷却モードの系統構成を行いまして、そのモードによります原子炉冷却を実施していくというような対応の流れでございます。

8ページ目をお願いいたします。有効性評価の結果となります。表1-2に示します3項目の評価項目につきまして、評価結果が満足することを確認しております。また、これに關します図を二つ載せてございまして、表1-1では原子炉水位の推移と、図1-2では、原子炉水位の線量率ということで、図をおつけしてございまして、図1-1では、事象発生から約0.9時間のところで原子炉水温100℃到達ということで原子炉水位が低下することになりますけれども、事象発生から2時間のところで注水を開始いたしまして、水位回復。またそれ以降は、その状態を維持してまいるというような結果でございます。

9ページ目をお願いいたします。最後に、必要な要員及び資源の評価結果です。表1-3に示しますとおり、重大事故等対策に必要な要員というものは、保有要員40名に対しまして、今回、必要な要員は10名というところですので、確保可能であることを確認しております。

また、資源につきましても、水源、燃料、電源についても供給可能であることをそれぞれ確認をしております。

以上が、崩壊熱除去機能喪失の御説明となります。

それでは、続きまして、10ページから、全交流動力電源喪失について御説明をいたします。

11ページ目をお願いいたします。全交流動力電源の特徴ですけれども、事象としては原子炉の運転停止中に全交流動力電源が喪失いたしまして、原子炉の注水機能及び除熱機能が喪失することを想定いたします。下の図にもその状況を示しております。燃料の崩壊熱

によりまして、冷却材が蒸発いたしますので、緩和措置がとられない場合には原子炉水位の低下により燃料が露出し、損傷に至るといった事象でございます。

12ページ目をお願いいたします。燃料損傷の防止対策です。対策のまず一つ目、①番ですが、常設代替交流電源設備によります受電操作及び低圧原子炉代替注水系（常設）によります原子炉注水を実施してまいります。

②番としまして、原子炉補機代替冷却系を介しました残留熱除去系（停止時冷却モード）によります原子炉除熱を実施していくこととなります。下の図にもその対策の状況をお示ししてございます。

以上が対策となりますので、13ページ目をお願いいたします。主要評価条件となります。初期条件につきましては、先ほどのシナリオと同等となっております。事故条件につきましては、起因事象としては外部電源喪失と。安全機能の喪失に対します過程としましては、全交流動力電源喪失、それと原子炉補機冷却系の機能喪失を設定しております。

14ページ目をお願いいたします。機器条件ですけれども、低圧原子炉代替注水系（常設）によります注水については、設計値として200m<sup>3</sup>/hというところで、原子炉注水を行います。原子炉補機代替冷却系を介しました停止時冷却モードについても、設計値ということで設定をしております。

また、操作条件につきましては、常設代替交流電源設備の受電及び低圧原子炉代替注水系（常設）によります原子炉注水については、事象発生から2時間後。また、原子炉補機代替冷却系とそれを介しました残留熱除去系によります停止時冷却モードの原子炉除熱といった作業につきましては、ともに事象発生から10時間後と設定をしております。

15ページ目をお願いいたします。対応手順の概要です。外部電源喪失がまず発生をいたしまして、分岐を右に行っていただきますと、非常用ディーゼル発電機等の機能喪失の確認ということで、ここで全交流動力電源喪失となります。早期の電源回復不能を確認いたしまして、常設代替交流電源設備の起動を行います。その後、SAの低圧母線の受電を行います。その後、事象発生から約0.9時間のところで、原子炉冷却材温度が100℃到達というようなところで、逃がし安全弁1弁によります原子炉減圧を行います。

16ページ目をお願いします。左上の「Aより」ですけれども、低圧原子炉代替注水系（常設）を起動いたします。事象発生から2時間後には、そのポンプによります原子炉への注水を開始をいたしまして、原子炉水位回復を確認いたします。

以後は、水位を維持してまいりますけれども、事象発生から10時間後のところで原子炉

補機代替冷却系を起動いたしまして、残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）の起動を行いまして、以後は原子炉の冷却を行ってまいるといった対応となります。

17ページ目をお願いいたします。有効性評価の結果となります。表2-2に示します評価項目3項目について、評価結果が満足することを確認しております。

また、それに伴います評価としまして、図を下のほうにおつけをしております。図2-1では、原子炉水位の推移ということで、先ほどの崩壊熱除去機能喪失と同様に、事象発生から約0.9時間後のところで水温100℃到達をもって水位が低下してまいりますけれども、事象発生から2時間後のところで注水を開始し、原子炉水位が回復し、その後はそれを維持していくというような結果となっております。

以上が結果となります。

18ページ目をお願いいたします。必要な要員及び資源の評価結果です。表2-3に示します重大事故等対策に必要な要員ということで、本シナリオでは必要な要員29名ということですがけれども、保有要員については40名ということで確保可能であることを確認しております。また、水源、燃料、電源につきましても、それぞれ供給可能であることを確認しております。

19ページ目をお願いいたします。ここまでが全交流動力電源喪失の御説明となりまして、続いて20ページ目からは原子炉冷却材の流出について御説明をいたします。

20ページ目をお願いします。本ページで事象の概要とその対策についてお示しをしております。原子炉冷却材流出の事象概要ですがけれども、原子炉の運転停止におきまして、原子炉冷却材圧力バウンダリに接続されました系統から、運転員の誤操作等によりまして系外への冷却材流出が発生するというようなところを想定いたします。冷却材の流出に伴いまして、緩和措置がとられない場合につきましては、水位が低下し、燃料が露出し、損傷に至るというような事象です。

対策の概要ですが、①番としまして、運転員によります原子炉冷却材流出の停止と隔離操作を行いますとともに、残留熱除去系（低圧注水モード）によります原子炉注水を実施いたします。

対策の②番としては、残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）によります原子炉除熱を実施していくというような想定です。

下の図にもその状況をお示ししてございまして、Aの残留熱除去系、赤の点線で書いてありますところで冷却材の流出が発生しますというところで、①番として隔離操作、弁を閉

めまして、もう片方のB系の残留熱除去系ポンプで注水をしてまいるというようなところ  
です。

21ページ目をお願いいたします。主要評価条件です。初期条件につきましては、原子炉  
圧力容器の状態としましては、開放状態を想定しております。原子炉の水位については、  
原子炉ウエルの満水状態、水温については52℃を想定しております。また、プールゲート  
の状態については、保有水量が少ない想定とするために、閉状態を想定しています。

事故条件ですが、原子炉冷却材流出いたしますので、その流出量については約94m<sup>3</sup>/hと  
いうことを想定しております。

機器条件については、残留熱除去系の低圧注水モードということで、設計値であります  
1m136m<sup>3</sup>というようなところを想定しております。

最後に操作条件ですけれども、原子炉冷却材流出の停止について事象発生から2時間後、  
また、残留熱除去系によります注水といったところも同様に2時間後を想定しております。

22ページ目をお願いいたします。対応手順の概要ですが、プラントの前提条件としまし  
て、今回はBの残留熱除去系が停止時冷却モードで運転中を想定しております。外部電源  
喪失が発生いたしまして、B系の停止時冷却材モードの停止を確認いたします。その後、  
再起動を行いますけれども、この後、作業等によります運転号機の切替操作のために、停  
止中でありますA側の原子炉停止時冷却モードの切替操作を実施いたします。その際に人  
的過誤としまして、ミニマムフロー弁の閉のまま電動弁の電源を切り操作してしまうとい  
うようなところを想定いたしまして、下から二つ目のところですが、残留熱除去系の運転  
号機をそのまま切り替えるというような操作を行いますして、流出が発生するというよう  
なところの想定でございます。

23ページ目をお願いいたします。左上の「Aより」ですが、事象発生から約1時間のとこ  
ろで水位の確認いたしまして、以後、低下の調査を行います。事象発生から2時間後のと  
ころで隔離ミニマムフロー弁の開を確認いたしまして、隔離操作というような操作を行  
いますとともに、その後、残留熱除去系の威圧注水モードの待機号機の起動というよう  
なところを行いますして、原子炉水位を回復してまいると、以後はその状態を維持してま  
います。

以上が対応の手順となります。

24ページ目をお願いいたします。有効性評価の結果です。表3-2に示します評価項目に  
ついて評価結果が満足することを確認しております。図3-1については、原子炉水位の推

移をつけておりますけれども、事象発生から水位低下しますけれども、事象発生2時間後から注水によりまして水位は回復するというようなところでございます。

25ページ目をお願いいたします。必要な要員及び資源の評価結果です。表3-3に示しますとおり、重大事故等対策に必要な要員については、対策要員で確保可能であること、また、水源についてもそれぞれ水源、燃料、電源についても確保、供給可能であることを確認しております。

以上が原子炉冷却材流出の説明となりまして、ここからこの三つのシナリオに関しての御指摘事項ということで回答させていただきます。

同じ資料の34ページ目をお願いいたします。34ページ目に運転停止中におきます燃料損傷防止対策の御指摘事項に対しますもので一覧表になってございまして、今回、5件について御回答いたします。このうち、まず、No.1番と2番について御説明をいたします。

35ページ目をお願いいたします。35ページ目、まずNo.1番ですけれども、御指摘事項は、注水だけで除熱ができることを定量的に説明することといただいております、これにつきましては、停止中におけます崩壊熱除去機能喪失及び全交流動力電源の格納容器の影響についてということで御指摘いただいたと理解してございまして、回答ですけれども、一つ目の矢羽根ですが、原子炉注水につきましては燃料の冷却までは維持されますけれども、減圧によって原子炉内の熱量というものがサプレッション・チェンバのほうに移行いたします。よって格納容器内の温度、また圧力の上昇に至ることとなります。格納容器の除熱につきましては、原子炉補機代替冷却系または格納容器ベントによって対応いたしますけれども、ここでは全交流動力電源が喪失した場合を想定いたしまして、格納容器ベントまでのタイミングというものを評価いたしました。

結果は下の表にまとめておりまして、このうち格納容器代替スプレイに期待しないケースにおいては、ベントタイミングというものは事象発生から約51時間後というような評価結果となっております、原子炉補機代替冷却系の準備時間10時間ですけれども、十分時間余裕があるというような結果を確認してございます。

以上が本御指摘事項に対します回答となります。

続きまして、36ページ目をお願いいたします。御指摘事項ですが、POSの選定の考え方について、圧力容器の開放の有無及びそれに伴う影響を含めて整理して説明することと御指摘をいただいております。

こちらは原子炉冷却材の流出事象におけます残留熱除去系切替時の流出事象に対して、

それを想定していることの御指摘ということで、まず、回答ですけれども、下の表のほうに各POSと、それぞれの項目についてまとめておりまして、赤枠が今回、有効性評価で想定をしていますところでございますけれども、まず、これに至った考え方としましては、残留熱除去系の切替操作時の冷却材流出というものにつきましては、その検知性の観点で厳しい想定をすることが適切と考えまして、まず、原子炉圧力容器の上蓋が開放されている状態でありますPOS-BとCというところをまず考えました。このうちPOS-Cにつきましては、原子炉浄化系のブローによりまして、ウェルの水位低下操作を行いますPOSとなります。よって、原子炉水位について特に注意が払われているPOSでありますので、ここで考えるべき重要事故シーケンスについては、POS-Bということが代表として選定いたしました。原子炉水位の低下につきましては、その時間余裕という観点では未開放のPOSというところが厳しい想定となりますけれども、原子炉水位計によります警報発生や緩和設備の起動等に期待できるといったところから、原子炉開放時と比べて速やかな検知と注水が可能であるというようなこととなります。

本御指摘事項と回答は以上となりまして、まず、一つ目のパートの御説明は以上となります。

○山中委員 それでは質疑に移ります。質問、コメント、お願いします。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

パワーポイントの一番最後の36ページのところで、ここはPOSの変更があったということで理解していますけれども、それでよろしいですか。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

以前の審査会合からの変更ということでPOSの見直しを行ってございます。

以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

その中で、ここ以外でもPOSが変更されていると思うんですけども、そこについても説明してもらえますか。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

資料ですが、資料1-2-4、有効性評価の補足説明資料の通し番号で15ページをお開きください。資料1-2-4の通し番号で15ページとなります。

こちらは(8)としまして、運転停止中の原子炉におけます燃料損傷防止対策の有効性評価の中から、以前の審査会合からの変更点をまとめている資料となりますけれども、この



うちのb.崩壊熱除去機能喪失及び全交流動力電源喪失におけるプラント状態の見直しということで、この二つのシナリオについてPOSを見直しております。

POSの選定、プラント状態については、崩壊熱の保有水量の観点からPOS-Sというようなところを想定し、評価しておりましたが、RPVの状態が閉止から開放となるPOSの状態であります崩壊熱除去機能喪失と全交流動力電源喪失というようなところで想定をいたしますと、緩和系が使用できなくなるということがございますので、そういったところも考慮いたしまして、今回、POS-Aのほうに評価を見直してございます。

最後に、なお書きですけれども、ただし、POSは見直しましたがけれども、想定する崩壊熱というようなところは原子炉停止から12時間という厳しい想定の評価もしてございます。

御説明は以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

説明は理解しました。最後に、不確かさを考慮して、今までのPOS-Sのところでも評価しているということでも理解しました。

ちなみに、これは先行炉と同じPOSということでもよろしいですかね。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

先行プラントと同様の評価結果となっております。

以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

了解しました。

続いてなんですけれども、まとめ資料の13ページ、先ほどの崩壊熱除去のところの有効性評価の結果、13ページの(3)のa.の事象進展の中の10段ぐらいの説明なんですけれども、ここでRHR、先ほどRHRを低圧モードで注水した後に水位回復から30分後ぐらいにRHRの停止時冷却モードに切り替えるという説明があったんですけれども、これは先行プラントからすると、時間的に非常に半分以下の速さで切り替えがされているんですけれども、これはどういった理由になっているのでしょうか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

まとめの補足説明資料を用いて御説明させていただきます。有効性評価の補足説明資料、通し番号の34ページをお願いいたします。説明資料だと1-2-4でございます。

34ページの(1)崩壊熱除去機能喪失の操作条件のところに残留熱除去系（原子炉停止冷却モード）による原子炉除熱操作というところで、先行プラントとの相違点を記載してご

ございます。端的に申しますと、設備設計の相違及びそれに伴う運用の相違というところでございます。

まず、東海第二との違いを御説明させていただきます。島根2号炉に関しましては、残留熱除去系（原子炉停止冷却モード）の起動に原子炉保護系母線の復旧が不要となっておりますけれども、東海第二はこちら外部電源喪失によって原子炉保護系母線の復旧が必要となります。その時間が相違理由として島根2号炉は少し早いというところでございます。

もう一つ、柏崎6・7号炉との違いについて御説明させていただきます。柏崎6・7号炉と島根2号炉の違いですけれども、島根2号炉はBWR-5のプラントでございます。残留熱除去系（原子炉停止冷却モード）の戻り水が再循環配管に流入する設計となっております。

こちらは想定の違いのところといたしましては、原子炉停止冷却モードの起動前に暖気運転を考慮するかしないかというところの違いがございます。BWR-5の場合は戻り水が再循環系の配管にそのまま流入いたしますので、昇温されることによって低温水が直接入ることがないので、暖気運転というものを実施いたしません。一方で、ABWRの場合は戻り水が直接RPVに流入する設計となっておりますので、暖気運転を実施することがあると。その違いから島根2号炉においては、先行プラントよりも半分以上、具体的に言いますと30分という時間で起動できるというところでございます。

御説明は以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

今の説明で、暖気運転が必要でないというのと電源が切替不要ということで短いというのは理解しました。この時間で適切に切り替えられるというのは理解しました。

別件なんですけども、パワーポイントの35ページ、コメント回答の確認なんですけども、35ページの注水だけで除熱できることを定量的に評価することの下の方に書いてあるんですけども、51時間で代替スプレイを期待しないケースではベントするということで、回答の一番最後の矢羽根に、原子炉補機代替冷却系による復旧の時間10時間は十分確保されるとあるんですけども、この10時間の開始時間というのは、起点としてはベントのタイミングから51時間とあるんですけども、同じ起点で考慮されていると、そういう理解でよろしいんですか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

まず、崩壊熱除去機能の復旧時間10時間に関しましては、事象発生から10時間というところ

ころでございます。

MAAPのベントタイミングに関しましても、事象発生から51時間後にベントというところで事象発生の起点というところは一緒のところでございます。

以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

時間の余裕は十分あるというのは理解しました。

その上で確認なんですけども、まとめ資料の78ページに作業と所要時間、先ほどの作業の時間があるんですけども、78ページの中段ぐらいに原子炉代替補機冷却系の操作で7時間20分とあるんですけども、その前に輪谷の貯水槽への補給作業があるんですけども、この作業をした後に代替の補機冷の作業に入るといふ、そういう理解でよろしいですか。

○中国電力（廣井） 中国電力の廣井です。

御理解のとおりです。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

そうすると、代替補機冷の手順に行くのは、SBOを確認した後に代替補機冷の手順というふうになるんですけども、実はその前に輪谷の補給水が先にあるということで、先ほどの判断基準、作業に着手する判断ですと、いきなり代替補機冷の手順に行ってしまうような書きぶりなんですけども、実際は先に輪谷の注水槽に補給してから代替補機冷の手順にかかる、そういう理解なんですけども、判断基準として、同じ人が行くんじゃないで、同じ人が行くのであれば、代替注水槽への補給が先に行って、その後に原子炉代替補給冷に行くという、そういう手順側の補足というか、そういう勘違いをしないで、直接、補機冷に行かないで、先に代替貯水槽に行くということにはなっているのでしょうか。少し回りくどかったんですけども。

規制庁の義崎です。

趣旨としては、先ほど言ったように、SBOで代替補機冷の手順に行くと言っているのですが、そこに行く前に輪谷の補給水に行ってから行くというふうに手順側になっていけば、それでいいんですけども、ちょっとそこは今回確認できなかったもので、確認の意味で聞いている次第です。

○中国電力（廣井） 中国電力の廣井です。

すみません。今、お示ししています技術的能力の資料には、その辺、明確には記載しておりませんが、優先としましては、まずは原子炉注水の操作を優先するということ

で、低圧原子炉代替注水系（常設）を使った原子炉注水を実施するという事で、運転継続のために輪谷から低圧原子炉代替注水槽への補給の準備というところを優先して実施するという手順になってございますので、技術的能力に、その辺、明確に記載をしたいと思えます。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

違う人がパラで行くならわかるんですけど、このフローチャートを見ると、輪谷のほうの補給に14人行って、その人が12人行くようになっていまして、直接、代替補機冷のほうに行かないで、先に輪谷の代替貯水槽に補給をしてから行くというふうになっているかの確認なので、そこはまた確認させてください。

○中国電力（廣井） 中国電力の廣井です。

了解しました。

○義崎管理官補佐 私からは以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○照井審査官 規制庁の照井です。

原子炉冷却材流出の関係で確認をさせていただきたいんですけども、今回、原子炉冷却材の流出に関してはPOS-Bに変更をしたということで、POS-Bの状態というのと、RHR、残留熱除去系が片系運転をしていて、もう片系は恐らく待機をしている場合もあれば、点検中の場合もあると思うんですけど、今回、事象想定としてはRHRの繰り替えのタイミングで流出していくという状態なので、A系、B系ともに動かせるという状態での想定になると思うんですけど、当然、それ以外の状態も考えられるわけで、そういった場合には、例えばB系が使えないとかという状態にもなると思うんですけど、例えば、今回、冷却材の流出としては切替時が一番流量が多いということで想定をしているわけですけども、当然、ほかのもCRD点検時の流出とか、ほかの事象も想定をされているわけで、この切り替えじゃないタイミング、RHRが片系しか使えないというような状況での対策というのは、どのようなことを考えているのか御説明ください。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

御質問を確認させていただきたいんですけども、RHRの、例えば切り替えではなくて片系が生きている状態、もう片方が点検とか、使えない場合に、流出事象が、生きている系が起動したことで流出した状態の対策という、その場合にどういうふうに対処するかというところの確認ということでよろしいでしょうか。

○照井審査官 規制庁の照井です。

別に起因事象は、今回は切り替えのタイミングの想定をされているんですけど、いわゆるシーケンス選定のタイミングでは、別の点検、CRDの点検をやっているときの流出とかも、今回、シーケンスとしては想定をされているわけですよね。それは多分POS-Bの状態で行われる点検作業だと思うんですけど、そういうときにはRHRの状態というのは、例えばA系運転中でB系が待機状態、B系を点検しているというような状態、A系で冷却をしながらB系で点検をしているというような状態が想定されると思うんですけど、そうしたときには、今、この対策、切り替えのときであれば、A系とB系は当然両方使えるわけですけど、A系とB系両方使えないというような状態も想定され得るというふうに思いますけれども、その場合の対策というのは、どのようになりますかと。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

資料1-2-3、まとめ資料ですけれども、このうち通し番号でいきますと120ページを御覧ください。資料1-2-3の通し番号で120ページです。こちらは原子炉冷却材の流出事象におけます各プランと状態における状態をまとめ、そのときの重大事故等対処設備、注水系等によります対策というようなところを一覧表でまとめているところがございます、このうち黄色のハッチングをしてあるところが、いわゆるPOS-Bの状態であるというようなところでして、このうち、欄の左から三つ目のところですけども、重大事故等対処設備等ということで、このときに期待できる設備ということで記載させていただいております。このうち一番上の非常用炉心冷却系（LPCI）については、本日御説明をした片系のRHRで救うというようなところですけども、それが使えない場合については、ほかの注水系としまして低圧原子炉代替注水系の可搬型というふうなところも、ほかの注水系もありますので、そのときに期待できる注水系を用いまして事象を収束に向かわせるというような対策を行ってまいります。

御説明は以上です。

○照井審査官 規制庁の照井です。

御説明は理解しました。RHRが使えない場合でもほかの系統、生きている系統を使って注水と冷却という対策をとっていくということで理解をしました。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○川崎調査官 規制庁、川崎です。

まとめ資料の冷却材流出のところなんですけれども、通しページ111ページを確認したいのですが、この表5.3.1-1表で、原子炉冷却材の流出で判断及び操作のところに、まず最初に、水が抜けていくと、そうすると水位低下を確認するんだというふうにフローを見ても書いてあるんですけれども、ここで計装設備として原子炉水位（広帯域）とSA、あとサブプレッション・チェンバプール水位というのが書いてあるんですけれども、これらのシーケンス上はサブプレッション・プールの水位を見ているんですよね。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

はい。事象の流出の確認ということで計装設備で記載してございますサブプレッション・プールの水位で確認するというところでございます。

以上です。

○川崎調査官 そうすると、原子炉水位の広帯域とSAが書いてある意味というのは、何のためのこの水位計が挙がっているんですかね。今のこの状態では、ウェル満水ですよね。明らかにこの水位計でカバーできる範囲ではない。つまり、よっぽど見過ごされて、事象がとんでもなく進んでしまったときにしか、こんな水位計は使わないという認識でよろしいですか。POS-SとかPOS-Aのときで、こういうのが起きているんだったら、まず、こっちだと思えるんですけれども。POSを今回変えたんですよね。だから、それで何か残っちゃっているのかというふうに思ったんですけれども。そもそも、こういうのはやっぱり優先順位が高いものをちゃんと上に書いておいてもらいたいんですよね。

○中国電力（村上） 中国電力、村上です。

計装設備については、もう一回整理してお答えさせていただきます。

○川崎調査官 以上です。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

それでは、引き続き資料の説明をお願いします。

○中国電力（神崎） 中国電力の神崎です。

それでは、引き続き資料1-2-1、パワーポイントの資料を用いまして、反応度の誤投入の事象について御説明をいたします。ページとしましては27ページをお開きください。資料1-2-1のパワーポイントの資料の27ページ目です。事象の概要と燃料損傷防止対策について記載をしております。

反応度の誤投入の事象についての特徴としまして、原子炉の運転停止中に制御棒の誤引き抜き等によりまして、燃料に反応度が投入されることを想定をいたす、そういった事象

です。緩和措置がとられない場合については、原子炉は臨界に達しますので、急激な反応度投入がございますので、出力上昇によって燃料損傷に至ることとなります。

対策については、その下、矢羽根が書いてありますけれども、中間領域計装の中性子束高信号によります原子炉スクラムを行いまして、事象収束をいたします。

28ページ目をお願いいたします。主要解析条件ですけれども、今回、解析のコードとしてはAPEX/SCATを使用しております。

初期条件については、炉心状態としては、9×9燃料（A型）（単一炉心）の平衡炉心のサイクル初期ということで設定をしております。実効増倍率は1.0ということで臨界状態、また、原子炉出力については定格の $10^{-8}$ というような状態を想定しております。燃料の被覆管表面温度と冷却材温度については $20^{\circ}\text{C}$ 、燃料エンタルピについては $8\text{kJ/kg}$ ということで設定をしております。

29ページ目をお願いいたします。事故条件ですけれども、制御棒の誤引き抜きということで、誤引き抜きされます制御棒の設定については、最大反応度値を有します制御棒の斜め隣接の制御棒ということを設定しております。誤引き抜きされる制御棒1本当たりの反応度値というところについては、右の条件設定の考え方に記載をしております、3行目ですが、約 $1.75\% \Delta k$ というようなところで設定をしております。

機器条件につきましては、制御棒の引き抜き速度は、速度の上限値ということで $9.1\text{cm/s}$ と、中間領域計装のバイパスの状態はA、Bチャンネルそれぞれ1個をバイパスしている状態を想定しております。また、制御棒の引抜阻止信号については期待をしておりますし、原子炉のスクラム信号については、中間領域計装の原子炉スクラム機能というようなところを想定しております。

30ページ目をお願いいたします。対応手順の概要ですけれども、今回、複数本の制御棒の引き抜きの操作というようなところを想定いたします。

まず、最大反応度値制御棒というものを全引抜操作をいたします。その後、全引抜制御棒の斜め隣接の制御棒というようなところの引き抜きの操作を開始いたしまして、解析条件の0秒としまして、誤引き抜きされる制御棒の連続引き抜きというようなところの操作を想定いたします。その後、事象発生から約10秒のところ原子炉スクラム信号が発生いたしまして、スクラムをし、その後、未臨界を達成するというような対応手順の概要となります。

31ページ目をお願いいたします。有効性評価の解析結果となりますけれども、表4-2に

示します評価項目につきまして、それぞれ評価項目が満足することを確認しております、評価項目の三つ目、未臨界を確保することについては、評価結果としては制御棒の誤引き抜きによります反応度投入によりまして一時的な臨界はありますけれども、原子炉のスクラムによって未臨界は確保されるというような結果となっております。

また、評価結果の燃料エンタルピについては、表4-3のほうにまとめておりました、このうち燃料エンタルピの最大値、また、燃料エンタルピの増分の最大値については、それぞれ判断基準に比べまして余裕にある結果というようなところを確認しております。

32ページ目をお願いいたします。必要な要員及び資源の評価結果ですけれども、表4-4に示しますとおり、重大事故等対策に必要な要員というようなところは、今回については重大事故等対策というのはスクラムは自動で作動いたしますので、必要な要員はないというようなところで整理をしております。また、その他についても想定はしておりません。

以上が反応度の誤投入の御説明となりまして、このシナリオに関しましての御指摘事項の回答に移らせていただきます。

同じ資料の37ページ目をお願いいたします。37ページ目、御指摘事項に対します回答と、No. 3、4番でございます。指摘事項については、制御棒誤引き抜き以外を選定しなかった理由を説明することと反応度誤投入の事象選定について、過去に実際に発生した制御棒引き抜き事象を選定しなかった理由を説明することということで御指摘をいただいています。

回答につきましては、表のほうにもまとめてございますけれども、想定されます事象というもの、燃料の誤装荷、制御棒を複数引き抜く試験、また、過去に発生した反応度投入事例ということで、それぞれまとめておりました、それぞれについて発生と急激な反応度投入の有無というようなところを整理しております。この結果から最初の赤枠で囲っています制御棒の誤引き抜きの連続引き抜きというようなところを重要事故シーケンスとして、今回選定をしております。

表のほうで真ん中のほうで発生と急激な反応度の投入の有無ということで、それぞれまとめておりますけれども、③番以外のものについては、それぞれ事象の認知ですとか、その操作が1ノッチずつでありますとか、また、対策も過去の事例から対策しておりますところを踏まえまして、最終的に③番の制御棒の連続引き抜きというようなところを、今回想定しております。

本御指摘事項に対します回答は以上となります。

続いて、38ページ目をお願いいたします。No. 5番の回答です。指摘事項ですけれども、



燃料エンタルピを保守的に評価するため、出力分布やピーキングファクターが保守的になるように制御棒パターンや炉心燃焼度が選定されていることを説明すること。また、 $\beta_{eff}$ 、ドップラー反応度、初期出力等については、不確かさ評価を説明することというような御指摘です。

回答ですが、まず、一つ目の矢羽根ですけれども、燃料エンタルピを保守的に評価するというので、燃料の燃焼寿命を通じて最大値となります局所ピーキング係数及び保守的な引抜制御棒価値というものを今回用いまして、評価のほうを行っております。表にまとめてございますけれども、局所ピーキング係数については燃焼寿命を通じての最大値ということで設定をしております、引抜制御棒価値につきましても、先ほど条件のところの説明いたしました約1.75%  $\Delta k$ というようなところの設定をしております。

二つ目の矢羽根ですけれども、実効遅発中性子  $\beta_{eff}$  とドップラー反応度、初期出力については、それぞれの不確かさが評価項目に与えます影響の程度を確認するというところで、感度解析を実施しております。それぞれ感度解析のふり幅を設定いたしまして、燃焼エンタルピの最大値と増分の最大値というようなところを表のところ整理をしております。評価結果については、いずれも閾値に対しまして十分な余裕があるというようなところを確認しまして、不確かさの評価項目へ与える影響が小さいことを確認しております。

以上が御指摘事項に対します回答となりまして、二つ目のパートの御説明は以上となります。

○山中委員 質問、コメントございますか。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

パワーポイントの29ページに、先ほどの反応度誤投入の主要解析条件があるんですが、一番下のところに、原子炉スクラム信号で、中性子領域計装のスクラム機能により設定とあるんですけれども、これは先行プラントと設備が違って、スクラム動作の仕方も違うと思うんですけれども、設備の違いによるスクラム動作への影響について説明してください。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

補足説明資料、資料番号で言いますと、資料1-2-4、通し番号で37ページを御覧ください。こちらのほうに島根2号炉の原子炉中性子計装系の設備概要について記載をしております。

まず初めに、島根2号炉では、中性子源の領域計装としてSRM、あと中間領域計装として

IRM、あと平均出力領域計装としてAPRMを採用しております。あと、先行のプラントでは、島根のSRMとIRM、この測定領域を集約した形でSRNMが採用されております。

この資料の(2)のc.の異常反応度投入の検知方法のところを御覧ください。島根2号炉は、原子炉起動時の制御棒過引抜等に伴う異常反応度投入による燃料破損を防止するため、制御棒過引抜により燃料が熱的限界を超えない値としてIRMの各レンジのフルスケールの95%をスクラム設定値として、異常反応度投入を中性子束高により確実に検知する設計としております。

これに対しまして、先行プラントでは、SRNMを採用してございまして、この中では運転操作の確保のため、レンジの自動切替を採用してございまして、中性子束高が設定できないということから、ペリオドにより監視をしております。具体的には、ペリオド短の設定値はIRMの中性子束高と同様でありまして、制御棒過引抜により燃料が熱的限界を超えない値としてIRMの中性子束高によるスクラムが起こるまでの出力上昇と、ほぼ同等となるように設定されております。

具体的には、反応度の誤投入による解析の結果では、中性子束高によるスクラム信号の検出時間が10.3秒であるのに対しまして、仮にSRNMをペリオド短のスクラム信号とした場合、簡易評価したところ、10.2秒というところでありまして、作動条件の違いにより検知性及び有効性評価の結果に影響がないということを確認しております。

以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

今のページで(2)のa.の運転操作性のところ「SRM及びIRMは、検出器が運転時引き抜きであり」ということなんですけども、反応度誤投入のときはどういう過程でスクラムに至るかというのを少し説明してもらえますか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

SRM、IRMは、起動のときには入っている状態から、それぞれSRM、IRM、引き抜くんですけども、停止時におきましては、今、SRM、IRMが停止時の状態は抜けている状態になります。制御棒が1本、炉から引き抜けて、2本目が引き抜けたときに検出をしてスクラム信号を出すこととなっております。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

説明は何となくわかるんですけども、文章だけだとわかりづらいので、SRMとIRMの計測範囲を示してもらった上で、先行プラントとの設備の差、あとはスクラム動作、今回、反

応度誤投入に至る動作の過程をわかるようにしていただいて、説明を追加していただいた上で、同等にスクラム動作をするという説明を追加してください。

あと、それに応じて、最初のほうにあった解析条件だとか、フローのほうに、もし反映するものがあれば適切に反映してください。

以上です。

○中国電力（藤本） 中国電力の藤本です。

資料のほうについては適正に修正したいと思います。

あと、あわせて、先ほどの御説明で一部訂正させてください。SRNM、IRMにつきましては、停止中、引き抜きということだったんですけれども、停止中は挿入されて計測できる状態であるというところの誤りでございます。こちらのほうは訂正させてください。

以上です。

○義崎管理官補佐 規制庁の義崎です。

その辺は、わかりやすく、今回の反応度誤投入のときはどうで、どういうふうに再スクラムを監視してスクラムさせるかというのをわかるように図と文章で追加してください。

以上です。

○中国電力（藤本） 中国電力、藤本です。

了解いたしました。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○柴調査官 規制庁の柴です。

感度解析について2点ほど確認させていただきます。まとめ資料1-2-3です。通し番号で言いますと、155ページになります。

反応度誤投入における炉心の状態等の不確かさについてというところの1.の感度解析条件についてなんですけれども、今回、出力分布の変化については、三次元計算から二次元に縮約する過程でモデルの誤差が生じるという記載があります。それに関しては、局所ピーキング等々の保守性を設定しているというところは理解するんですけれども、その下のところに書かれている「軸方向及び径方向の不確かさを包絡しているため」といったところ、この点について、しっかりと確認されて、この表現を使われているのかどうかといったところが1点目の質問です。

2点目は、「また」以降のところなんですけれども、「二次元領域への縮約操作に伴う不確かさは燃料エンタルピに影響を与えないものであることを確認している」と記載があ

るのですけれども、こちらについても定量的に確認されていることなのかどうかといったところ。

また、仮にエンタルピに影響がないのであれば、上段に書かれています保守性の話というのは不要ではないかと考えております。その点について御説明をお願いします。

○中国電力（西本） 中国電力の西本です。

質問に回答させていただきますけれども、今回、計算コードとしてAPEXを使用しております。まず、核定数としては三次元の計算コード、こちらから算出をして、APEXのモデルで計算をする上で荷重平均等をして二次元へ縮約操作を行っております。こちらの縮約操作をする上で、三次元から二次元へ縮約をしますのです、必ずしも、不確かさが発生すると考えておまして、こちらについては不確かさを発生しますけれども、解析条件として保守的な設定をしておりますので、この不確かさは包絡されていると考えております。

この不確かさについてですけれども、こちらはコードの説明資料にも記載されておりますとおり、TRACGを用いて三次元解析をした場合とAPEXコードを使って使用した場合の結果、こちらが比較されておまして、仮に不確かさを考慮したとしても、非常に不確かさが小さいということが確認されております。

説明は以上です。

○柴調査官 規制庁の柴です。

三次元コードと二次元コードで比較検討されているということは承知しました。その点について、もし、仮に「軸方向、径方向の不確かさを包絡している」といったところを記載するのであれば、その点、説明を資料のほうにお願いします。

○中国電力（西本） 中国電力の西本です。

了解しました。

○山中委員 よろしいですか。そのほか、いかがですか。

○津金審査官 規制庁、津金です。

先ほど、義崎から質問のあった原子炉中性子計装系の件で確認したいんですけれども、c.、補足資料の37ページのところで、スクラム設定値として、IRMの各レンジのフルスケール95%で設定しているとあるんですけれども、SRMではスクラムの設定値はないという理解でよろしいですか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

SRMに関するスクラムの設定はありません。

以上です。

○津金審査官 規制庁、津金です。

SRMとIRMですと、SRMのほうがレンジが低いといいますか、中性子束が少ないところを監視していると思うんですけども、そちらのほうが入っているときには、基本的にスクラムはせずに、切り替えないとスクラム信号が入らないという、そういう設計だという理解でよろしいですか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

SRMに関しましては、原子炉周期短という警報がありまして、これは起動運転時制御棒の引き抜きにより炉心の部分的な過渡出力の倍増を避けるために設定しておりまして、この警報が出ますと、反応度を制御するために制御棒を操作シーケンスに従って装入する、こういう対応を行うことになっております。

○津金審査官 規制庁、津金です。

今の説明だと、それは手動によるものであって、自動スクラムというわけではないという理解でよろしいですか。

○中国電力（西村） 中国電力の西村です。

はい、手動による対応となっております。

○津金審査官 規制庁、津金です。

理解しました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。よろしいですか。

それでは、以上で議題の1を終了いたします。

ここで一旦中断し、10分後、17時50分再開でよろしいですか。

（休憩 中国電力退室 東北電力入室）

○山中委員 再開いたします。

次の議題は議題2、東北電力株式会社女川原子力発電所2号炉の原子炉設置変更許可申請に係る審査についてです。

今回の審査会合は、審査書案について、規制庁内で議論していたところ、改めて事業者の考えを確認しておきたい点が出てきましたので、開催するものでございます。

それでは、まず、事務局から確認事項について説明をお願いいたします。

○天野調査官 規制庁の天野です。

では、私のほうから東北電力に確認したい点について説明します。

原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用（FCI）に関して先行BWRの状況を確認したところ、先行炉ではさらなる安全性向上策として、溶融炉心を分散して下部ドライウェルに落下させる対策を行うこととしておりますけれども、先行炉と女川2号を比べた場合に、対策に差異があることから、女川2号においても同様の対策を実施しないのか、東北電力の考えを確認したいと思いますので、説明をお願いします。

以上です。

○山中委員　それでは、よろしく申し上げます。

○東北電力（小保内）　東北電力、小保内です。

今の天野さんの御質問というか、確認事項は、Ex-Vesselというか、炉外での圧力容器を貫通してから、下にペDESTALで水張りしているわけですけど、そういうことについて、先行炉さん、これは多分、柏崎刈羽のことを念頭に置いてお話しされていると思うんですけど、その中でさらなる安全対策を先行炉さんでは打ち出していると。それに対して、女川でも同様な対策をとるのかという御質問というふうに理解しました。

まず、柏崎刈羽さんで、そういうふうな対策を行うことは我々も承知しています。最終回答に入る前に、一旦、我々の水張りの高さの妥当性について、今までの審査会合をかいつまんでお話しさせてください。

ペDESTALに水を張るというのは、一つにはMCCI、コンクリートと溶融物との侵食を低減するという、これについては非常に有効です。一方、ただ、水というのが水蒸気爆発に対しては逆に張り過ぎると、ちょっとマイナスのほうになっちゃうということで、このバランス、二律背反のところをどうとるかというのが難しいと。この辺は前の会合でも話させていただきましたが。そして、議論させていただいている中で、DCHの対策として、SR弁をきちんと開けるんだということでは、PCVスプレイを行って、SR弁の熱の温度対策をすることをしていくということを出しています。

ということで、この辺のバランスを見て、そして、あと、ペDESTALにどういうふうに水を張っても、仮に水蒸気爆発が起きたとしても、ペDESTALは大丈夫だと、そういうことを確認して、ペDESTALの下部から3.88mのところ到我々は設置するというように説明させていただいています。

水蒸気爆発の発生の可能性については、いろいろ海外を中心にして実験結果があります。ウラン酸化物を用いて代表的な実験をKROTOSとかTROIで行っているわけですけど、実機によると大規模な水蒸気爆発が発生する可能性は極めて小さいというか、なかなか起こりに

くいというような結果が出ていると。

加えて、BWRの特徴ですけれど、RPVの下部のところにCRDの構造物があると、CRD、駆動機構ですね。さらにその下のところには駆動機構を交換するための治具を支えるグレーチング等があると。こういうものが多分いろんな緩衝物になるので、水蒸気爆発の発生可能性を低くしたり、また、仮に発生したとしても、爆発性エネルギーを小さくするという要素となり得ると考えています。すみません。長々と話してしまいましたけれども。このように水蒸気爆発に関しては、きちんと適切な対応をとっていると考えています。

しかしながら、我々はこれまでも、さらなる安全向上のために可能な限りのリスク低減策をとってきております。水蒸気爆発対策に関しても、さらなるリスク低減といえますか、もう一段さらにリスクを下げてあげるということで、さらなる安全向上のための対策を自主的にとることとします。これが今の天野さんへの御回答になるかと思えます。

具体的には、今、先行炉さんと比べましても、水深ペDESTALのところは3.88mとさっき申し上げましたけれども、深いということが一つのリスク要因としてあると思えます。これに対しては、溶融物の水中に落ちてからの落下挙動をちょっと制限するというような対策をとります。例えば、先ほどお話がありましたように、柏崎さんでは、いわゆるコリウムバッファと名づけていますけれども、こういうふうな設置が考えられます。この設置の目的というのは、落下した溶融物を一時的にテンポラリに受け止める、またはその緩衝物というか、そこから下に落ちていく場合の流量面積を少なくする、そういう対策になるかと思えます。こういう対策をとっていきます。

ただ、これは概念的にはこういうことが言えるんですけども、実際にこれを実機に当てはめて、どういうふうにやっていくかということに関しては、いろいろ検討が必要だと思っています。例えば、材料もありますし、設置の位置、そういうもの、あと形状をどういうものにするのか、すっきり受け止めてしまうのか、それともある程度は下のほうに流してあげるようにするのか、そういうことについては、しっかり検討していきたいと思えます。

また、一番大事なのは、冒頭申し上げましたように水蒸気爆発もありますし、一方、MCCIについても、きちんと侵食しないような対策をとっていかないといけないということで、こういう対策をとることによって悪影響を及ぼさないようにしないということが一番肝要だと思っていますので、こういうことについて、まず、しっかり検討して進めていきたいと思っています。

以上、今の確認事項といたしますか、御質問に対する回答になります。

○山中委員 それでは質疑に移りたいと思います。質問、コメントございますか、規制庁のほうから。

○天野調査官 規制庁の天野です。

今、説明いただきましたように、先行と同様にさらなる安全性向上策として対策を行うということは理解いたしましたので、具体的な内容について、まとめ資料に反映して事務局ヒアリングで説明をいただきたいと思っています。

以上です。

○東北電力（小保内） 東北電力の小保内です。

今の具体的なまとめ資料のほうに、今、私、お話ししたようなことをもう少し具現化して整理するよということだと思しますので、しっかり対応させていただきたいと思します。

○山中委員 そのほか、確認しておきたいことはございますか。よろしいですか。

それでは、東北電力におかれましては、ただいまの説明に基づく具体的な内容についてまとめ資料を作成いただいて、事務局ヒアリングにおいて説明をお願いいたします。よろしくをお願いいたします。

よろしいでしょうか。

それでは以上で議題2を終了いたします。

本日予定していた議題は以上です。

今後の審査会合の予定については、11月14日木曜日にプラント関係（公開）の会合を予定しております。

第796回審査会合を閉会いたします。