

# 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

## 第465回

平成29年4月27日（木）

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465回 議事録

1. 日時

平成29年4月27日（木） 15：45～17：26

2. 場所

原子力規制委員会 13階 会議室A

3. 出席者

原子力規制委員会

更田 豊志 原子力規制委員会 委員長代理

原子力規制庁

山田 知穂 原子力規制部長  
山形 浩史 審議官  
小野 祐二 安全規制管理官（BWR担当）  
山口 道夫 安全管理調査官  
岩永 宏平 管理官補佐  
金子 真幸 管理官補佐  
津金 秀樹 管理官補佐  
堀田 亮年 統括技術研究調査官  
小林 貴明 安全審査官  
皆川 隆一 安全審査官  
小城 烈 技術研究調査官  
鈴木 哲夫 技術参与  
竹内 洋一郎 技術参与

日本原子力発電株式会社

和智 信隆 常務取締役  
福山 智 執行役員 発電管理室室長（許認可担当）  
門谷 光人 参与（安全技術担当）

山本 昌宏	発電管理室	副室長
鈴木 雅寛	発電管理室	技術・安全グループマネージャー
中西 繁之	発電管理室	技術・安全グループ副長
上屋 浩一	発電管理室	設備耐震グループ副長
渡辺 剛宏	東海・東海第二発電所	保守室副長
中村 和幸	発電管理室	プラント管理グループ副長
小川 勤	開発計画室	建築グループ主任
熊谷 雄人	発電管理室	技術・安全グループ副主任
山本 龍大	発電管理室	技術・安全グループ担当
小山 光	発電管理室	技術・安全グループ担当

#### 4. 議題

- (1) 日本原子力発電（株）東海第二発電所の重大事故等対策について
- (2) その他

#### 5. 配付資料

- 資料 1 - 1 東海第二発電所 ペDESTALでの物理現象発生に対する対応方針
- 資料 1 - 2 東海第二発電所 ペDESTALでの物理現象発生に対する対応方針（添付資料）

#### 6. 議事録

○更田委員 それでは、原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合、第465回会合を開催します。

議題は一つ。日本原電東海第二の重大事故等対策について、説明を始めてください。

○日本原子力発電（和智） それでは初めに、原電の和智でございます。

今日は東海第二の重大事故の対策として、重大事故が発生した場合に炉心の燃料が溶けて、圧力容器が破損して、格納容器内にデブリが落ちた場合、格納容器を破損させないための対策をまとめてまいりました。

審査会合としては初めてのお話になりますので、丁寧に御説明申し上げたいと思います。それでは始めさせていただきます。お願いします。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。よろしくお願いいたします。

資料1-1、資料1-2で説明をさせていただきます。

進め方としましては、資料1-1、本体資料をまず一通り説明させていただきますして、資料1-2はその補足する添付資料になってございますが、その添付資料のうち重要と思われる添付資料四つ、それを本体資料の説明の後に続いて説明をさせていただきますして、その後質疑に移らせていただきたいと思いますと考えています。よろしくお願いいたします。

では、資料1-1を御覧ください。

タイトルが東海第二発電所、ペDESTALでの物理現象発生に対する対応方針ということで、ペDESTALでの物理現象の発生を想定した場合の対応方針についてまとめた資料になっております。

めくっていただきまして2ページ目。目次になります。

目次につきまして、1～4につきましては対応方針を説明する前段として必要な事項を整理しておりますので、それをまず説明させていただきます。その後5ポツで対応方針を説明させていただいて、6ポツで対応方針の具体的なところ、7ポツでまとめというふうにまとめております。

3ページ目にいっていただきまして、本題に入っていますけれども、1ポツ、対象とする評価というところになります。ペDESTALでの物理現象としましては、ここに書いてある二つを対象としておりまして、熔融炉心・コンクリート相互作用(Molten Core Concrete Interaction:MCCI)という事象がまず一つあります。こちらについては規則の解釈で評価要求がありまして、コンクリート侵食を考慮したペDESTALの健全性を評価するということが必要になります。

それから(2)としまして、熔融燃料－冷却材相互作用(Fuel Coolant Interaction:FCI)という事象になりますが、こちらについても規則の解釈で評価要求がありまして、矢印の一つ目になりますけれども、FCIの現象としまして、まず一つは水蒸気発生による急激な圧力上昇(圧カスパイク)に対して格納容器の健全性を確保する必要があるということで、こちらについては格納容器の有効性評価において説明を実施いたします。

今回対象としておりますFCIのもう一つの現象としまして、二つ目の矢印にあります水蒸気爆発(Steam Explosion)、ここの説明ではSEと呼ばさせていただきますが、こちらを対象といたします。

こちらにつきましては、添付1にも少し触れておりますけれども、試験で自発的トリガ

リングが起きているのは、実機より溶融物の温度が高いといったようなことから、実機ではSEの発生可能性というのは十分に小さいというふうに考えられていますが、BWRにつきましては、ペDESTALのRPV支持機能喪失が格納容器の健全性に影響するため、SEの発生を想定したペDESTAL健全性を評価するという事を考えております。

それでは4ページ目にいっていただきまして、MCCIとSEというものの対応方針を議論するに当たって、東海第二発電所はMark-II格納容器になっておりまして、この特徴について説明いたします。

一つ目のポツですけれども、ペDESTALの床スラブ及びダイアフラムフロアの下部に、サブプレッション・プールを内包するサブプレッション・チェンバが存在するという事で、左下の原子炉建屋断面を見ていただきたいんですけども、水色の部分、こちらがサブプレッション・プールになっておりまして、ペDESTALはこの赤で囲った範囲になるんですが、この下にもサブプレッション・プールが存在するという事で、仮にMCCIで床スラブ、床の部分が貫通しましてデブリが落下したという事を考えると、サブプレッション・プールにデブリが落ちるとというのが東海第二の特徴になります。

それから二つ目ですけれども、床スラブにドレンサンプが存在するという事で、右下のペDESTAL構造概要図を見ていただきたいんですけども、ペDESTAL領域の下の床スラブのところにサンプがありまして、これは床スラブにサンプがある箇所だけ局所的にくぼんでいることになるんですけども、RPBが破損してデブリがペDESTALに落ちてくると、このサンプの中に局所的にデブリが堆積して侵食が進むといったことが考えられるのがもう一つの特徴です。

それから3番目ですけれども、ペDESTAL側壁、床スラブが鉄筋コンクリート製になっているという事で、他の申請済のBWRプラントにおきましては、二重鋼板ペDESTALプラントですけれども、東海第二発電所は鉄筋コンクリート製という事で、これが東海第二発電所の特徴というふうになっています。

5ページ目にいっていただきまして、3ポツでRPV破損後の事象進展というところを説明いたします。

図のところで説明いたしますが、まず、①でRPVが破損したところからスタートしておりまして、デブリがペDESTALの中に落ちてくるということになります。②で、基本的にはFCIという現象に対しては圧カスパイクが発生するというふうに考えておりますけれども、それが発生した後は、右にいただいてMCCIが発生がする。いずれはデブリが冷

やされまして、④でMCCIが停止して長期冷却に移るといったような流れになります。

もう一つ、この②の圧カスパイク発生というところのFCIの現象につきましては、可能性は低いというふうに先ほど説明させていただきましたが、SEが発生する可能性があるということで、このSEが発生した場合も想定して対応方針をまとめるということにしております。

6ページ目、お願いいたします。

6ページ目につきましては、RPV破損後のペデスタルに要求される機能ということで、MCCI、SEが発生した際にどういう機能を満足しなきゃいけないかというところをまとめております。

規則の解釈には、溶融炉心による侵食によって原子炉格納容器の構造部材の支持機能が喪失しないこと。及び溶融炉心が適切に冷却されることといった要求があります。

一つ目の原子炉格納容器の構造部材の支持機能が喪失しないことというところは、下の①に記載しておりますが、ここの要求に対しましては、デブリによるコンクリートの侵食が進み、または熱影響もあることでPPVの支持機能が喪失したということを考えますと、RPVが転倒しまして可能容器本体へ接触する等、格納容器健全性に影響を及ぼす可能性があります。ということで、ペデスタルの側壁はRPVの支持機能を有していますけれども、これの健全性確保が要求されるというのが一つ考えております。

それから、②で、溶融炉心が適切に冷却されることといったことに対しましては、デブリが床スラブを貫通し、先ほど東海第二発電所Mark-IIの特徴のところでも触れましたが、サプレッション・プールに落下するというようなことを考えますと、格納容器の冷却を行うサプレッション水源の系統、残留熱除去系等に影響を及ぼす可能性がありまして、もし機能を喪失すれば、格納容器の冷却ができなくなり、こういった格納容器が冷却できない状態においては、我々としては溶融炉心が適切に冷却されているとは言いがたいというふうに考えておりまして、こういうことから床スラブでのデブリ保持機能というものも確保する必要があるというふうに考えております。

その下に3行ほど続いているんですけども、床スラブでのデブリ保持機能を確保することによって、デブリがS/Pに落下した場合の、下に二つ書いてある影響についても防止できるものというふうに考えております。

一つ目が、ベント実施時のサプレッション・プールにおけるスクラビング効果への影響ということで、通常はウェットウェルベントを実施するというのを考えておりますが、

ドライウエルに存在する放射性物質というのは、ベントを実施した際にはベント管を通してサブプレッション・プールでスクラビングされて格納容器から排出されるということになりますけれども、デブリが床スラブを貫通するようなことになると、ドライウエルにあるFPというのは、スクラビングされずに直接格納容器の外に排出されるということが考えられますので、こういったスクラビング効果に影響があるというのがまず一つあります。

それからもう一つは、サブプレッション・プールの一番底部にはライナーが張られておりまして、このライナーが格納容器の閉じ込め機能を確保しております。このデブリがサブプレッション・プールに落下することによって、ライナーが損傷するということが考えられまして、そうなる閉じ込め機能への影響があるということが考えられまして、床スラブでデブリを保持するという事は、こういった二つの影響も防止することが可能というふうに考えております。

7ページ目にいっていただきまして、ここからが対応方針の中身の説明に入っていきます。

7ページ目につきましては、最初の2行に書いてあるんですけども、格納容器・ペDESTALの機能を確保する上で重要となるRPV破損時のペDESTAL水位、ここでは初期水位というふうに呼びますけれども、それに着目して、初期水位に対する考え方というところをまとめております。

考えるべき現象としては①、②にまとめていまして、格納容器の熱的負荷、あとはMCCI/SEと、この二つを考えております。

格納容器の熱的負荷につきましては、これを低減させて、事故収束の確実性が向上する初期水位を設定というふうにはしていますが、具体的にはRPVが破損して、そこからペDESTAL注水を開始するまでの間、いくらか時間的な間隔があるというふうに考えておりますけれども、その間に水がデブリによって蒸発することが考えられますので、その間でもデブリを冠水させて、デブリが露出した際の輻射熱等の影響を防止して、可能容器的熱的負荷を低減させると、そういった意図である程度の初期水位が必要だろうというふうに考えて①というのは挙げております。

それから、②でMCCI/SEですけれども、MCCI/SE、当然ここについては初期水位が重要な因子でして、下の表で説明させていただきますが、MCCIの影響抑制、SEの影響抑制といった観点では、初期水位に対する要求がそれぞれ異なっております。

MCCIの影響抑制に対しては、デブリをなるべく冷やしたいという観点で、初期水位がな

るべく高くしたいという要求があるということで、この観点では水位の下限が設定されると考えています。

それから、SEの影響抑制といった観点では、発生エネルギー等をなるべく抑制するという観点で、初期水位はなるべく低くしたいという要求があると考えています。

こうすることで上限が設定されるものと考えています。

このように初期水位に対してMCCIとSEというのは背反した傾向を示しますので、そこで我々としてはどう考えているかといいますと、表の下になるんですが、MCCI及びSEの影響抑制の両立のために、まずMCCIの影響を抑制するための設備対策、コリウムシールドを採用します。それから、コリウムシールドを採用に伴って初期水位を低下することが可能となりますので、これによってもSEの影響を抑制するという事を考えております。

7ページ目につきましては、その初期水位に対する対応方針というところを説明させていただきましたけれども、次に8ページ目についていただきまして、ここでは格納容器ペDESTALの機能を確保するために考慮すべき三つの項目に対して対応方針をまとめております。

①、②、③とありますけれども、まず、①事故収束の確実性というところにつきましては、先ほどのページでも説明させていただいたデブリを冠水させるといったところの話になります。そういう観点から、初期水位の下限が設定されるというふうに考えています。

それから、②のMCCIの影響抑制につきましては、まず、その影響抑制のためにペDESTALにコリウムシールドを設置する。それからコリウムシールド等の設備対策を前提にMCCIにペDESTALの機能を確保できる初期水位、これも下限ですけれども、設定する。

それから、③でSEの影響抑制ということで、①と②の両方を満足する最低水位において、ペDESTALの機能が確保されるということを確認して、もし仮にペDESTALの機能が確保されない場合は設備対策を採用するといった方針にしております。

右の上のグラフのようなものを見ていただきたいんですけども、水位に対してもう少しわかりやすくイメージした図を説明させていただきたいと思います。

縦軸は要求水位で、上にいけばいくほど水位が上がるといったようなイメージになるんですが、まず、①の事故収束の確実性、デブリ冠水という観点では、ある下限が設定されて、それより水位が多ければ多いほどいいというような要求が課されると考えています。

それから、②のMCCIの抑制。こちらについてもある下限が設定されてそこから水位が多ければ多いほどいいということが要求されると考えています。



ここで、SEの評価水位というものに対しては、①、②の両方を満足する最低の水位ということで、この図上でいきますと①の点線の部分、これをSEの評価水位というふうにして、ここでSEが発生した際のペDESTALの機能が確保されるかというところを確認するというを考えています。

ここでSEの抑制の観点からは、ある上限が決定されて、それより下方向に水位があればいいということになると考えられまして、SEの評価水位からある程度の幅をもって裕度があると考えておりますけれども、※に書いてあるとおり、SE評価の不確かさが大きいことを考慮して、我々としては、①、②で評価可能な下限推移にて評価するというので、なるべく可能な範囲で、水位はSEの観点から下げたいというを考えております。

8ページ目までが対応方針の大枠のところを説明させていただきまして、9ページ目からが、対応方針の具体化したところを説明させていただきます。

まず一つ目が、事故収束の確実性向上ということで、これはデブリ冠水の観点のお話になりますけれども、この事象を通じてRPV破損以降はデブリを冠水させたいということから、冠水状態を維持したいということになるんですが、下のほうにあります低減できる格納容器の負荷ということにつきましては、デブリが露出した際の過温です。デブリが露出してしまうと、格納容器内に窒素等のガスがありますけれども、そのガスが温められて格納容器の構造材等に影響を与える可能性がある。それから輻射熱によって構造材が影響を受ける可能性がある。

それから、デブリが露出しますと、ヒートアップしていったらどんどん温度が上がっていきますので、これによつての過温も考えられると、さらには、先ほどちょっと触れましたけれども、RPVが破損してからペDESTAL注水を開始するまでにある程度の時間がかかるというふうを考えておりまして、その注水開始までの時間の不確かさによつては、さらに過温が進むというようなことも考えられると考えています。こういったことを冠水状態を維持することによつて防ぐことができると考えています。

その対応方針としましては、一番下に書いてありますけれども、デブリ落下から注水開始まではデブリ落下前に一定の初期水位を確保し、デブリの換水状態を維持するということ。それから、ペDESTAL注水を開始した以降については、ペDESTAL注水によりデブリの冠水状態を維持するというを考えております。

10ページ目にいっていただきまして、デブリ冠水の観点でもう少し具体化したところを説明させていただきます。

一番上にRPV破損後の事象の流れというのを記載しております、一定量の初期水位を確保して、デブリが落下してきてRPVの破損を判断して、デブリに対してペDESTAL注水をして、デブリ冠水を継続させるといったような流れになります。

ここで、赤点線のデブリが落下してからRPV破損判断をして、ペDESTAL注水を開始するまで、ここを下のほうに①で記載しております、この対応方針につきましては、まず一つ目なんですけども、デブリ落下からデブリへの注水開始まで、今、我々としては7分間の時間があれば注水できるだろうというふうに考えております。括弧の中に書いてますけども、RPVの破損認知に5分、注水操作に2分と、これで足して7分というのを考えております。

それから二つ目のポツで、水深1mというふうにした場合には、この7分間の水位低下を考慮してもデブリは冠水を維持できるということは確認しております。

それから、注水開始の不確かさというものを考慮しても、20分間程度は冠水が維持可能というふうに評価しております、この下の緑の枠の中に記載したとおり、不確かさを考慮したとしても、デブリ冠水を維持できる初期水位として約1m以上というものをデブリ冠水の観点からの最低要求水位として考えております。

その下に括弧として書いてありますけども、初期水位をある程度確保するということによっては、デブリが水中に落下した際の粒子化というものに期待できますので、それによる冷却促進効果というものも期待できる考えています。

それから、一番上の事象の流れのところの青の点線で囲ったところですけども、ペDESTAL注水を開始してからデブリが冠水を継続するというところにつきましては、一番下の②の注水開始以降というところですけども、ここにつきましては、デブリ冠水を維持可能なペDESTAL注水流量を確保するというので、これによってデブリ冠水を継続させるといったことを考えております。

続きまして11ページ目にいっていただきまして、次はMCCIの影響抑制という観点で対応方針の具体化について説明させていただきます。

目的はMCCI時の各機能を確保するということになるんですけども、対応方針が一番下の緑の枠内に囲ってあるとおりでして、まず、RPVの支持機能を確保するという観点からは、ペDESTAL側壁の侵食を抑制するという。あとは側壁への熱影響を抑制することになります。

それから、床スラブでのデブリ保持機能を確保するという観点からは、床スラブの侵食

を抑制することと、床スラブへの熱影響を抑制するということ。

それから、下にいきまして、先ほど東海第二の特徴のところでお話ししましたけども、サンプが局所的に掘られているということがありますので、その床スラブの局所的な侵食を抑制するということ。

それから、その下で、ペDESTAL内サンプからS/Pへのデブリ移行防止というふうに書いていますけれども、この点につきましては、次のページの12ページ目に先に飛んできまして、次のページの絵のところイメージを説明させていただきたいと思います。

左下のほうに形状変更前ということで、現状の東海第二発電所のペDESTALの構造のイメージを記載しておりますが、そのイメージ図の上は、横方向の断面を上から見た図。その下が、縦に切った断面を横から見た図になっていきますけども、下の図を見ていただきまして、サンプが局所的にくぼんでいるところから排水配管が流れていまして、これは通常運転中にサンプに水がたまったものをリアクタービル側に流すときの排水配管になるんですけども、この配管がサプレッション・プールを介してリアクタービル側に流れるようなラインになっております。

サンプにデブリが入ってきますと、この排水配管にもデブリが流れまして、デブリが配管の中にたまっていきますと、配管を溶かしてサプレッション・プール側にデブリが移行してしまうということで、そういうことによって床スラブでのデブリ保持機能が確保できないということが考えられますので、11ページ目に戻っていただきまして、先ほどの対応方針の真ん中の列の一番下。デブリ内サンプからS/Pへのデブリ移行防止というのが必要と考えております。

これらを達成する対策としましては、右に青字で書いていますけれども、対侵食性を有するコリウムシールドを設置するというのが、侵食抑制だったり、熱影響抑制の観点で対策が必要と考えております。

それから、局所的な侵食抑制という観点からは、床スラブを平坦化する。平坦化して局所的にデブリがたまらないようにするといったことが必要と考えております。それから、サンプからサプレッション・プールへのデブリ以降防止といった観点からは、デブリ凝固のための排水流路形状変更という対策が必要と考えております。

具体的なイメージにつきましては、12ページ目に再度いっていただきまして、こちらでイメージを御説明いたします。

まず、コリウムシールドの設置につきましては、ペDESTAL内に対侵食性にすぐれたジ

ルコニア製のコリウムシールドを設置するという事を考えておきまして、右下の形状変更後の図を見ていただきますと、ピンクの斜線の範囲、こちらについてコリウムシールドを設置することを考えております。

ということで、床面、側面ともにコリウムシールドを設置するという事を考えております。それから床スラブの平坦化につきましては、右下の図を見ていただくとわかるとおり、くぼんだところをなくして、そのかわりサンプ機能を確保する必要がありますので、平坦化した上に床ドレンサンプと機器ドレンサンプというものを設置するという事を考えております。

それから、デブリ凝固のための排水流路の形状変更ということにつきましては、このサンプの排水流路を、スリット形状というものに変更しまして、このスリットの中でデブリを凝固させて、それ以降の排水配管のところにデブリを移行させないような形状にするということを考えております。

形状変更後の図の右の下の方に※を打ってありますけれども、図の中は床ドレンの排水流路について記載しておりますけれども、機器ドレン流路も同様の形状にしまして、既設にあります油ドレンサンプについては廃止する予定というふうにしております。

それでは13ページ目についていただきまして、このMCCIの対策を考慮した場合のペDESTタルの侵食量等の評価について説明をいたします。

まず評価条件につきましては、対象シーケンスとして有効性評価におけるMCCIのベースケースである過渡事象時に炉心損傷冷却に失敗し、RPV破損するシーケンス。コリウムシールド厚さについてはここに記載のとおりです。初期水位につきましては、コリウムシールドの降下を確認するために保守的に0mと設定をしております。それからペDESTタル注水につきましては、RPV破損7分後から80m<sup>3</sup>/hで注水するという条件にしております。

それからデブリから水への限界熱流束、ペDESTタル注水開始後にデブリが冠水した以降の水への熱流束につきましては、800kW/m<sup>2</sup>一定ということで、これは侵食の不均一性等の影響を考慮した保守的な条件として800kW/m<sup>2</sup>一定という条件を設定しております。

それからコリウムシールドの侵食開始温度、こちらにつきましては、2100℃というふうに設定をしております。こういう条件から評価をした結果、コリウムシールド、ペDESTタルともに侵食はなしというような結果になっておきまして、あと、ペDESTタル表面のコンクリートの最高温度につきましては、470℃程度ということで、コリウムシールドがない場合に比べて700℃以上低減されているということで、デブリによる熱影響もコリウム

シールドの採用によりかなり緩和されるといったことが確認されております。

それから、排水流路内でのデブリ凝固評価につきましては、添付8に詳細を示しておりますけれども、排水流路内でデブリは凝固するといったような評価結果になっておりまして、以上をまとめますと、緑の枠線の中にありますけれども、コリウムシールドの設置、床スラブ平坦化により、侵食等は当然抑制されるとともに、初期水位を低減できるといったことがわかっております。

それから、排水流路のスリット化により流路内でデブリが凝固できることがわかっております。

なお、今後、ペDESTALへの熱影響等を評価しまして、コリウムシールドの厚さは最適化していきたいというふうに考えております。

14ページ目をお願いします。

3番目の項目としまして、SEの影響抑制ということになります。

目的については、SE発生を想定した場合の各機能を確保するということですが、対応方針、一番下のところですが、につきましては、SE時のペDESTAL構造物への影響を抑制するという観点から、事故収束の確実性向上、これはデブリ冠水という観点。それからMCCI抑制という観点、両方の要求を満足する最低水位に設定しまして、そこでその水位においてSE時のペDESTAL構造健全性というものを評価します。

これを考慮してもペDESTALの機能が確保されないという場合には、機能確保のための設備対策を採用するという方針を考えております。

15ページ目にいっていただきまして、SEの影響評価をした結果について説明いたします。

まず、評価方法ですが、事故収束の確実性向上、これはデブリ冠水の観点、それからMCCIの影響抑制の観点を踏まえて、RPV破損時の推移を1mというふうに設定しました。この条件においてJASMINE、LS-DYNAコードにより、SE時のペDESTALの構造等を解析しております。

その結果が下の表にまとまっておりまして、表の一番左から機能とありまして、これはRPV支持機能は側壁、デブリ保持機能は床スラブについて、それぞれコンクリート、鉄筋について評価項目がありまして、それぞれ全て解析結果は判断基準を満足しているということで、水位1m時におけるSEの発生を考慮したとしても、ペDESTALの構造健全性は確保されるという結果になっていると、確保されるというふうに考えております。

以上、対応方針の具体化について説明させていただきましたが、16ページ目で7ポツま

とめとしております。

RPV破損後の事故収束の確実性向上、デブリ冠水の観点、あとはMCCI及びSE時の各機能の確保の観点から、以下の具体的対応を行う方針とするということで、(1)MCCIの影響抑制を目的としまして、以下の設備対策を実施するということを考えております。

まず一つが、ジルコニア製のコリウムシールドを設置する。それから床スラブを平坦化すること。それからペDESTALの排水流路をスリット形状に変更するということを考えております。

なお、先ほども触れましたが、今後MCCI時のペDESTALへの熱影響等を評価しまして、コリウムシールド厚さを決定したいというふうに考えております。

それから、(2)としまして、RPV破損時のペDESTAL水位を1mというふうに設定いたします。これにつきましては、先ほど御説明しましたとおり、デブリ冠水という観点、それからMCCI、SEの両方の影響抑制という観点から、全てを満足する水位として1mというふうに設定するということを考えております。

本体資料につきましては、説明は以上になりますが、重要な添付資料につきまして説明をさせていただきたいと思っております。

本体資料のまず10ページ目を見ていただきたいんですけども、10ページ目のところで添付3というところを読み込んでいる場所があります。デブリ落下～デブリの注水開始まで7分と、PRV破損認知5分、注水開始2分。こここのところの時間の考え方について説明をさせていただきます。

資料1-2の右下、通し番号の29ページ目をお願いいたします。

タイトル添付3. RPV破損後の注水開始時間についてという資料になります。

まず1ポツでRPVの破損判断パラメータがどういうものがあるかといったところを説明しております。この四角枠囲いの中に記載してありますパラメータを用いてRPVの破損を判断するような手順に、現状はなっております。

大きく分けて3種類ありまして、このカギ括弧の中にありますけれども、破損の徴候パラメータ、破損の判断パラメータ、破損判断の参考パラメータという、この3種類がありまして、それぞれポツで書いてあるようなパラメータを設定しております。計10個ほどパラメータがあるということになります。

それから、30ページ目、次のページを見ていただきたいんですけども、その四角の中の下です。それぞれの3種類のパラメータというのは、次の理由により選定しているという

ことで、ここを説明させていただきますけれども、破損の徴候パラメータというものにつきましては、RPV破損前の徴候として確認できる可能性があるパラメータというものを選定しております。RPVの破損の徴候が確認できるパラメータとして選定しております。

それから2番目で、破損の判断パラメータという、こちらにつきましては、RPV破損時の変化が顕著で、破損判断の確実性が高いというふうに考えられるパラメータを選定しております。

それから3番目の、破損判断の参考パラメータというものにつきましては、RPV破損時のあるパラメータの副次的な変化として確認されるパラメータであったり、RPV破損時の変化幅が小さいパラメータなどを設定しております。これら三つのパラメータを確認することによって、RPVの破損を判断するという手順としております。

それから2ポツ目ですけれども、破損の徴候パラメータによる、RPVの破損徴候の検知というところを説明させていただきます。炉心損傷をした場合には、原子炉水位の低下によって炉心が露出しまして、その後、熔融炉心のRPV下部プレナムへの移行が起こります。2段落目にいきまして、RPVの下部プレナムに熔融炉心が移行しますと、RPVの下鏡部温度指示値が上昇しまして、その後、熔融炉心からの熱影響により徐々に指示値の喪失が発生するというふうに考えられます。

32ページ目、次のページの図2というところを見ていただきたいんですけども、この赤で囲った部分がRPVの下鏡温度計というところになっておりまして、この8～12番、こういったところは中央制御室に実際の温度が表示されるようなことになっておりまして、こういった温度計から、中央制御室で温度が上昇して、RPV破損の徴候を検知できるといったようなことに、そういうことを確認するといったことになっております。

31ページ目に戻っていただきまして、今、2ポツ目の破損の徴候パラメータというところを説明しているところですけども、その上から2行目、「このような」というところがありますけれども、このようなRPV下部プレナム部に移行した熔融炉心による影響の拡大について、運転員は破損の徴候パラメータに基づき継続的に監視していくということで、ある程度破損の徴候が出てくると常にこういったパラメータを監視している状態になっているということがまず考えられます。

それから、こういった状況を踏まえまして、3ポツのほうでRPV破損の判断時間についてというところをまとめております。

運転員は、先ほど説明しました破損の徴候パラメータによってRPV下部プレナムへの溶

融炉心の移行・影響拡大を検知した後は、破損判断パラメータ及び破損判断の参考パラメータと、残り2種のパラメータによってRPVの健全性を継続的に監視していくということになります。ということで、RPV破損の発生時には、これらの監視パラメータの変化によって、速やかにRPV破損を判断することが可能でして、この判断に大幅な時間遅れはないというふうに考えております。

以上を考慮しまして、有効性評価においては先ほど示しましたRPV破損判断に必要なパラメータに基づくRPV破損の認知に係る時間として、RPV破損後のパラメータ確認開始までの時間遅れを特に考慮せず、先ほど10種ほどあると言いました書くパラメータの確認に必要な時間を保守的に積み上げて5分というふうに想定しております。

その後、さらには格納容器のスプレイ、あとはペDESTALの注水という操作に1分1分かかるといふふうに想定しまして、計7分ペDESTAL注水に時間がかかるということを考えております。

最後に、「なお」とありますけれども、東海第二発電所では、デブリ冠水維持の観点でRPV破損の認知が重要であるということに鑑み、ペDESTAL内に水温計を設置して、PRV破損判断パラメータというふうに位置づけることでRPV破損の認知に係る信頼性を向上するというを考えております。

添付3の資料の説明は以上になります。

それから本体資料に戻っていただきまして、本体資料の13ページ目を御覧いただきたいんですけども、13ページ目のところの評価条件の最後に、コリウムシールドの侵食開始温度2100℃というふうに記載しておりますが、ここの根拠のところを説明させていただきたいと思います。

資料1-2の通し番号60ページ目を御覧ください。

添付6、ZrO<sub>2</sub>耐熱材の侵食開始温度の設定についてという資料でございます。

2段落目からいきますけれども、ZrO<sub>2</sub>単体での融点といいますのは、約2,700℃というふうになっておりますが、溶融炉心に含まれるZr等の金属との化学反応によってZrO<sub>2</sub>耐熱材の侵食開始温度というのは2,700℃より低下するということがわかっております。

これに対して化学反応による耐熱材の侵食影響を確認するために試験が実施されておりました、その結果というものが次のページの61ページ目のところに試験の結果として断面写真を記載しております。

60ページ目の本文に戻っていただきまして、4段落目からになるんですけども、図1、



2と始まっているところですが、極めて耐熱材の侵食が大きくなる100mol%Zrの条件で試験を実施した結果が先ほどの写真になるんですけども、試験結果より2,150℃以上の条件では数分で耐熱材試験片が大きく侵食されているというものに対して、2,100℃では30分保持した場合でもほとんど侵食されていないという結果になっております。

この試験は100mol%Zrという極めて厳しい条件で実施されていますが、実機における熔融炉心ではこの100mol%Zrという条件は考え難く、ZrO<sub>2</sub>耐熱材は試験条件よりも侵食されにくくなるというふうに考えています。

以上を踏まえまして、本体資料におけるコリウムシールドの侵食開始温度というものは2,100℃というふうに設定してございます。

添付6の資料の説明は以上になります。

それから、本体資料にいつていただきまして、本体資料の15ページ目を見ていただきたいんですけども、一番上の段でRPV破損時の水位を1mと設定というところで添付9を読み込んでおります。

このRPV破損時の推移を1mというふうにできるというところの説明が添付9にありまして、資料1-2の88ページ目を御覧ください。

添付9の水位管理方法についてという資料になります。

下の図のところの説明いたしますが、まず通常運転中につきましては、1mという水位に例えば設定するとした場合には、U字型の配管を設置しまして、そこから排水するというのを考えておりまして、1m水位以上になれば、このU字型の配管から排水配管を通じて右へ行きまして、格納容器外側隔離弁が通常運転時は開いていますので、ここからサンプル設備へ排水する。サンプル設備側で漏えい流量を検知するといったようなこととなります。

それから、事故発生時につきましては、事故発生してからRPV破損までに水位を1mに管理しなければいけないということになりますけれども、まずこの図ペDESTAL流入水の制限（弁）というところがありますけれども、ここは弁を新設することを考えておりますが、この弁がない場合にはダイヤフラムフロアに例えば格納容器スプレイをした水がたまって、この配管を通じてペDESTALの中に水が流入するということが考えられます。そうしますと、ペDESTALの水位が上昇しますので、この水位の流入を防止するためにペDESTAL流入水の制限、弁と、これからここは遮断弁というふうに言わせていただきますけれども、この遮断弁を設置しまして、事故時に閉とすることによって、ペDESTALの中に水が流入することを防止するというのを考えています。

それから、この遮断弁を閉じるまでもいくらか時間がかかりますし、ペDESTALの中で何かしら水が、やっぱり入ってくるという可能性も考えられますので、そういった場合に水位を1mまで下げられるかといったところにつきましては、この排水配管の途中に格納容器外側隔離弁へいくラインの途中から上に配管が分岐しているラインがありますけども、このラインと弁を新設しまして、ベント管からサプレッション・プール側に排出するというのを考えております。

こちらについては、ペDESTALの中に水がたまっていけば自重で自動的に排水されまして、排水配管の最初のU字型のところでは1m以上は下がらないといったような構造にすることで、特に操作は必要なく自動的に排水できる。1mに管理できるといったような設備を考えております。

それから、89ページ目についていただきたいんですけども、別紙1というのがありまして、事故発生からRPV破損までのペDESTAL流入水の排水評価についてということで、実際に水が入ってきて、先ほどの排水流路を通じて水が排水できますか、1mまで下げられますかといったようなところの評価をしております。

評価条件につきましては、次のページの90ページ目の図のところの説明をさせていただきたいんですけども、ペDESTALの物理的に水が張られる最大水位としましては、人通用開口部、ここより上には水を張ろうとしてもここから水が、ドライウェルからあふれてしまいますので、ペDESTALの最大水位としてはこの人通用開口部の下端までということで、そこから水位1mまで水を排水するというので、この必要排水範囲、少し薄いグレーの範囲を排水する必要がある。この時間を評価するというにしております。

排水流量を評価する上では、あとは配管の圧損なども考慮しまして評価をしておりますので、その評価結果につきましては、90ページ目の上の表に書いてありますけれども、まず制限時間につきましては、事故発生からRPVが破損するまで比較的時間が早い大破断LOCAを想定しまして、そのときの事故発生からRPV破損までの時間が約3.3時間というふうになっております。その3.3時間に対しまして、事故発生から先ほど言いました遮断弁というものを閉じるという時間は30分程度というふうに考えておりますので、3.3時間から30分を引きました2.8時間、遮断弁を閉じてペDESTALに水が入ってこないようにしてからRPVを挟むまでの早い時間、2.8時間以内に水位1mまで排水できるかといった評価をしております。

その結果が表の中にありまして、必要排水量は59m<sup>3</sup>のところを、排水時間は2.3時間と

なっております、2.8時間以内に推進1mまで排水可能ということを確認しております。

以上が添付9の資料の説明になりまして、以上をもって、この設備において事故時にもRPV破損までに水位を1mに管理できるというふうに我々としては考えております。

それから、最後の添付の説明になりますけれども、本体資料の15ページ目に戻っていただきまして、15ページ目のペDESTAL機能確保評価のところ添付12というものを読み込んでおります。

こちらについてはSE時のペDESTALの構造応答を評価した結果なりをまとめておりまして、資料1-2の119ページ目になります。

119ページ目から添付12ということで、SEの発生を想定した場合の格納容器の健全性への影響評価という資料になっておりますが、こちらを簡単に説明させていただきます。

○熊谷副主任 日本原子力発電の熊谷と申します。よろしく申し上げます。

添付12、右下で119ページですけども、SEの発生を想定した場合の格納容器の健全性への影響評価について、ポイントの部分を御説明させていただきます。

119ページの下、3ポツのほうに評価方法を記載してございますけども、今回の解析ではSEの解析についてはJASMINE、それから構造解析については汎用有限要素解析コードのLS-DYNAを用いて解析を実施しております。

具体的な入力条件ですとか解析モデルについては、別の添付の10と11にそれぞれ示してございますので、必要に応じて御参照いただければと思います。

LS-DYNAにつきましては、3次元の2分の1体系のモデルでモデル化しております。それから、ペDESTALの水位については1mの条件として、あと、強度部材として期待しないコリウムシールドについては模擬しない条件としております。

それから120ページにいきまして、この評価の判断基準(2)のところですけども、まず、適用する考え方について記載させていただいておりますけども、今回の対象とするSEについては、いわゆる運転状態4を超える事象ですので、それらに対して構造健全性を確認する観点では、終局限界に至らないということ判断基準として設定するというように考えております。

それぞれRPV支持機能を分担する側壁と、あとはデブリ保持機能を分担する床スラブに対して判断基準を設定しておりまして、ページが変わりまして右下の124ページを御覧ください。

124ページのほうに今回の構造健全性評価の判断基準を一覧表で記載させていただいて

おります。

まず左のほうにRPV支持機能とデブリ保持機能、それぞれ分担する側壁と床スラブということで記載させていただきまして、東海第二のペデスタルはRC構造ですので、コンクリートと鉄筋について、それぞれ評価するという考え方を取ってございます。

具体的な評価項目としましては、まず一番上、RPV支持機能のところの変位について記載しておりますけれども、判断基準としては変位が増大せず、SE後の構造物の進行性の崩壊がないということに記載させていただいております。

これにつきましては、建築学会から発行されております耐衝撃設計の考え方、この中に進行性崩壊の回避の考え方というものが示されておりました、爆発事象に対しては小規模であっても構造の安定性を確認する必要があると、そういった考え方が示されておりますので、そちらのほうを今回参考にいたしまして、SEの評価に対しても変位を確認するということとしております。

それから、下のコンクリートの圧縮ひずみ、面外せん断。コンクリートはもともと圧縮の強度と、それとあと、せん断について負担するという考え方ですので、それぞれに対してCCV規格のほうを参照いたします。

ペデスタルは円筒構造ですので、同じ円筒形状であるCCV規格を適用可能というふうに判断いたしまして、圧縮ひずみについてはRPV支持機能に及ぼす範囲の圧壊、CCV規格のクライテリア $3,000\mu$ が生じないということを確認するとしております。

それから、面外せん断については、CCV規格に定められておりますせん断の終局面外せん断応力度を算定式を用いまして、それぞれ上部の側壁 $3.09\text{N/mm}^2$ 、それから下部のところ、 $2.65\text{N/mm}^2$ を超えないという条件を設定しております。それから鉄筋については引張りを分担しますので、これについては同様に状態4の基準でございます引張ひずみ $5,000\mu$ を超えないというものを設定してございます。

それから、続きまして床スラブに対しては、これは基本的に側壁等を同じクライテリアを設定してございますけれども、一部、面外せん断に対しては東海第二の場合、床スラブは半径に対して板厚が非常に分厚いという特徴があります。いわゆるディープビームと呼ばれる構造になります。せん断スパンが短い構造物という特徴がありますので、こちらに関してはCCV規格を参照するのではなく、コンクリートの標準示方書の構造照査編、この資料の中ではコンクリート示方書と呼んでおりますけれども、そちらのほうのせん断耐力評価式を用いまして評価しております。

さらに床スラブに対しては、爆元を置いて、せん断力が強いものがかかりますので、コンクリートの圧縮強度増倍率というものも考慮しておりまして、その終局面外せん断応力度を $4.33\text{N/mm}^2$ というものを設定してございます。そちらのほうの詳細については、別添2の132ページに記載させていただいております。

これらの判断基準を満足するというを今回解析しておりまして、次に解析結果の御説明をさせていただきたいと思っております。

ページ変わりますので、126ページを御覧ください。

126ページに図1としてペDESTAL半径方向の変位の時刻歴を示させていただいております。

具体的な位置としましては、上のほうに図で示してございますけれども、赤ポチを打ってある位置でございまして、それからグラフを見ていただきますと、赤と青の線がございまして、赤の線に関してはX方向変位ということで、この紙面に向かって奥行方向に働くような方向の変位ですけれども、そこで最大を取りまして約 $0.16\text{mm}$ という結果を得ております。

ただし、その $0.16\text{mm}$ がピークを取った後以降は、徐々に変位は収束しておりますので、進行性の変位の増大はないというところが確認できるかと思っております。Y方向変位については、こちらはちょうど測定点がペDESTALの中心を取っておりますので、ほぼ平坦な支持ということになっております。

それから、続きまして127ページのほうに、今度は床スラブの鉛直方向の変位です。

爆発によって床スラブに鉛直方向、下向きの荷重が加わりますので、そちらに対する変位をこのグラフで示しております。

示している対象部位としましては、これも同様に赤ポチで示してございますけれども、一番変位の表れやすい床スラブの中心の位置を示してございまして、その位置でも、爆発する直後に最大の位置で約 $2.0\text{mm}$ というものをピークを取りますけれども、その後は収束するという傾向を確認してございます。

それから、次に128ページを御覧ください。

図3のほうにコンクリートの最小主ひずみ、圧縮ひずみの分布を示させていただいております。コンクリートのクライテリアに関しましては、先ほど $3,000\mu$ と申し上げましたけれども、その部分が赤くなるように表示しておりまして、この $3,000\mu$ を超える部位は、この床スラブ中心のわずかな部分にとどまるということと、側壁に関しては生じて

いないというところが見られるかと思えます。

それから図4のほうに鉄筋の軸ひずみの分布を示させていただいておりました、これは最大のレンジ5,000 $\mu$ で示しておりますので、コンター図上は見えてございませんけども、値としましては側壁で約184 $\mu$ 、それから、床スラブで約364 $\mu$ という結果を得てございまして、これらを整理いたしますと、資料が変わりますけども、パワーポイントのほうの資料、資料1-1、15ページのほうに戻っていただきまして、解析結果のまとめということで記載させていただいています。

したがって、これらの解析結果をもってRPV支持機能、デブリ保持機能がSEによっても維持されるということを確認してございます。

御説明については以上です。

○更田委員 質問、コメントありますか。

○皆川審査官 規制庁、皆川です。

パワーポイントの資料でいいますと10ページになります。

このパワーポイントの前の段階で、SEとMCCIの対策の基本的な考え方を述べていて、その一つのポイントとして、そのSEの影響緩和ということで、その水位をコントロールするというところがあって、この10ページにこの水位の維持の流れが一番上に示されていると思います。ちょっとこの点に関して何点か御質問させていただきたいと思えます。

まず初めなんですけれども、デブリの落下前に一定量の推移で維持をしますというところで、先ほど添付資料の中で、資料1-2の添付9で御説明があったと思うんですけれども、まずちょっと確認したいのが、通しで言うと88ページで、①通常運転時とその下②の事故発生からRPV破損までというところで、可能性としては1mを下回っている場合も考えられるのではないかなというふうに思うんですけれども。

その場合、それをどういうふうに検知して、それを検知した場合に、どういう方法で1mにするのかというところを説明いただければと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

1mを下回った場合の対応についての御質問と理解しておりますが、資料1-2の88ページ目で説明させていただきますと、まずこの水位1mに管理するに当たっては、1mのところには水位計を設置することを考えております。なので、その水位計によって1mの水位を下回ったということが検知できるというふうに考えております。

それから、その1mを下回ったことを検知した場合の対応につきましては、88ページ目の

図にありますとおり、ペDESTAL注水配管というのがあります、これは低圧代替注水系から注水できるようなシステムになっておりますが、ここから実際に注水しまして、1mまで水を張るといった対応を考えております。

説明は以上でございます。

○皆川審査官 わかりました。

基本的には、ペDESTAL内に水位計を設置して、監視して、不足していれば注水をする、それで管理をするということだと思います。

その点については、通常運転時、それとRPV破損までだと思うんですけども、こういう検知器をペDESTAL内に設置して、それに基づいて、こういう対応を取って確保しますという形で資料上に記載いただければというふうに思います。

それが1点目で、水位の管理について、もう一つなんですけれども、パワーポイントの10ページに戻っていただきまして、先ほどのRPV破損後の事象の流れの四角枠ですけれども、その一定量の推移の管理の後、RPV破損を判断をしてというところで、資料1-2の添付の3で御説明があったと思うんですけども、これについてはRPVの破損を判断して7分後にデブリへ注水をするということで、このやり方にのっとればRPVの破損を正確に判断して対応に移ることが重要だと思っています。

通しでの29ページのところに、RPV破損の破損判断パラメータという記載があって、例えば原子炉圧力の低下とか、ドライウェル圧力の上昇とかというようなパラメータ項目が並んでいます。

ここにあるパラメータの項目なんですけれども、例えば原子炉圧力の低下だったり、ドライウェル圧力の上昇っていうものについては、RPVの破損だけにこのようなパラメータの傾向が見られるわけでは、多分なくて、例えばですけど、主蒸気逃がし安全弁から蒸気が格納容器に流れてというようなときにも、同様なパラメータの変化というのは、程度は違うかもしれないですけど、あると思います。

確認したいのは、そのRPV破損以外の事象で似たようなパラメータの変化が考えられる事象はどんなものがあるかって、その事象の中でRPV破損というのが適切に判断できるのかというところを説明いただければと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

まず一つ目で、ペDESTAL水位計について資料に記載することについては拝承いたしましたので、今後反映させていただきます。

それから添付資料の3のところ、今お話がありましたPRVの破損というものが、ほかの事象と区別してちゃんと検知できるのかといったような御質問と申しますけれども、RPV破損の判断につきましては、今お話があった原子炉圧力とかドライウェル圧力だけではなくて、ここに記載してあるとおり、複数の数多くのパラメータをもって判断するといったことで、総合的にPRVが破損するということが、まず一つ、我々の考え方としてあると考えています。

それから、先ほどちょっと触れさせていただきましたけれども、資料の2-1の31ページ目を御覧いただきたいんですけども、31ページ目の一番下になお書きがありまして、この東海第二発電所ではデブリ冠水維持の観点でPRV破損の認知が重要であるというふうに考えまして、ペDESTAL内に水温計を設置しましてRPV破損判断パラメータというふうに位置づけることでRPV破損の認知に係る信頼性を向上するというのを考えております。

このペDESTAL内の水温計といいますのは、ほかの事象では、他の事象とRPVが破損した事象の区別というのはしっかりできるというふうに我々は考えています。

ペDESTALにデブリが落ちてきた際には、ペDESTALの1mの水が、水温が急激に上昇しますので、そういったところで、この水温計を設置することによってRPVの破損というものの信頼性を向上させることができるのではないかなというふうに考えています。

○日本原子力発電（鈴木） 原電の鈴木です。若干補足させていただきます。

29ページを御覧ください。補足説明資料の29ページです。

こちらの①過渡事象のところの破損判断パラメータのところ、例えば原子炉圧力の低下というのが書いてございます。

先ほど、SR弁が開いたときにも低下するのではないかと申したようなお話があったんですけども、圧力容器破損のときの大きな特徴としまして、こちらにあるような原子炉圧力容器の低下と、あと、ドライウェル圧力の上昇、その下のペDESTAL雰囲気温度の上昇、ドライウェル雰囲気温度の上昇が同時に起こるといったことが大きな特徴になってございます。

したがって、そういった同時に動いたということもあわせて見て判断をするということでございます。

以上です。

○皆川審査官 今回の回答では、29ページのパラメータの観点で言えば、RPV破損に特徴的なパラメータの変動があるし、もう一つ、31ページ側の説明で言いますと、それに加えて



ペDESTAL内に水温計を設置をしてさらに信頼性を上げてRPVの破損の判断というのを確  
実にやっていくという説明だったと思いますので、そういう意味では、まず一つ目、パラ  
メータの変動の特徴という、そういうふうに言っているのかあれですけど、パラメータの  
変動の特徴、その他の事象とRPVの破損のところ、こういう点で異なっていて、そうい  
うことで判断ができますという点と、もう一つ、信頼性向上のために水位計というものを  
置くのであれば、それをどのようにペDESTAL内に配置して、どう運用していくかという  
点についてはまとめていただいて、またこの場で御説明いただければというふうに思いま  
す。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

了解いたしました。RPV破損とその他の事象が区別できるというところを資料にまとめ  
て説明させていただきます。

○更田委員 ほかに。

○山口調査官 規制庁の山口です。

今のところに関連いたしまして、中央制御室で運転員の方がRPVの破損の検知のために  
このようなパラメータで判断されるという御説明だったんですけど、他方で、注水であつ  
たり、あるいは水がある水位に達しているかといった確認、判断が非常に短い時間で行わ  
れるというような、先ほど御説明だったと思うんですけども、つまり、この事象というの  
は、今回の前提では、まずLOCAが起きて、その対策が十分機能しないといった中でこうい  
ったことが起きるという前提であると、ここで期待しているパラメータの確認の方法とい  
うことが成立しているのかどうかといったことの観点もあると思いますので、先ほど皆川  
が申しあげました次回以降の御説明の中では、そういった観点も踏まえて御説明してい  
たきたいというふうに思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

事象を通じて、時間的にそのパラメータを確認できるのかといったようなコメントと受  
け取りましたので、それも次回以降、資料に反映して説明させていただきます。

○山口調査官 規制庁、山口です。

時間的なものと、それから追加的に申しあげれば、運転員の方がどれくらいいらっしや  
って、その時間帯にどういったことを、例えば監視だったり、複数同時的なことが流れて  
いると思いますので、そういったことも踏まえて実現の見通しというか、そういったこと  
をどのように考えていらっしゃるのか御説明をお願いしたいと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

わかりました。説明させていただきます。

○岩永管理官補佐 規制庁の岩永です。2点ほど確認させてください。

1点目は、この分厚い資料の中の90ページでございまして、排水に要する時間です。

大LOCAが起こった後に流入しているであろう水位を下げるということについて、今、3.3時間後の事象に対して、2.8時間で完了できるといったことにおいて、0.5時間もどうお考えになっているのか。これは余裕があるのか、それともこれは30分ですよ。SA時においての30分というのは非常に短いと思うんですが、それをどうお考えかということと、パワーポイントの資料において、8ページ。

8ページには何が書いてあるかといいますと、いわゆるMCCIの影響抑制のためとSEの影響抑制というこの二つの事象は、相反する事象だと御説明されましたが、一見、この右上の表は妥当なようにも考えるんですが、そもそもお互いに全く別事象であって、非常に起こってしまったときの起こる確率や起こる影響を考えたときの、全く違う現象に対してお互いを削らないといけない、ここに、MCCI対策もやりたいけども、FCIを達成するために削るということの、安全に対する考え方です。

そもそもSEはSEできちんと抑制することを考えたのか。こういうことの考えに至った経緯は確認しておきたいと思うんですが。あたかも、これが成立するようには見えるんですが、本当にそうですかというところを教えてください。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

まず、1点目の御質問の排水時間の余裕についてですけれども、実際、大破断LOCAが起きて、破断口からの水だとか、格納容器のスプレイをした水というものがペDESTAL内に遮断弁というものを閉じるまでに幾らか入ってくるということになるんですけども、事故後30分で閉じるということにしておりますので、そういった際には、この必要排水範囲の今考えております人通用開口部の下端までは、実際は水がそこまでたまらないというふう考えています。

実際に、ダイヤフラムフロアのベント管までたまりますと、そこからベント管からサブレーション・プール側に水があふれ出まして、そこよりもペDESTALの水は上昇しないということに構造上なっておりますので、それはここの評価上はそこを厳しめに人通用開口部の下端まで水位が到達したと仮定して、それでRPV破損までの時間が短い大LOCAに照らし合わせても排水できると、そういう条件で計算したとしても30分の余裕があるという結果

になっておりますので、我々としては十分余裕があるというふうに考えております。

1点目の御質問に対する御回答は以上です。

それから、本体資料の8ページ目のところ、三つの項目に対してどう考えているのかと  
いったところになるんですけども、我々としては、やはり必ずRPVが破損したら起こる  
というふうに考えられる事故収束の確実性、デブリを冠水させなきゃいけないということ  
と、MCCIの抑制、これはMCCIも必ず発生する事象ですので、そちらについては先ほど御説  
明しましたとおり、デブリ冠水という観点であれば、RPV破損からペDESTAL注水までの  
時間の不確かさも考慮して、裕度を持った対応として水位を設定する。

MCCIもコリウムシールドを張ることによって、裕度を持った対応をして、そういったと  
ころで水位の下限を設定するというので、まず必ず起きる事象に対しては、そういった  
裕度を確保するという考え方で対応するというので考えています。

その上で、水蒸気爆発については、この8ページ目の右上の図にあるとおり、いくらか  
ぎりぎりといいますか、SEが抑制できる範囲というのは幅があるとは考えているんですけ  
れども、やはり※で書いてあるとおり、SE評価の不確かさというものが存在する  
というふうに認識しておりますので、こちらも、できるだけ影響は抑制したほうがいい  
だろうという観点で、裕度を確保した①、②の推移の最低水位で、なるべくSE側の影響も  
よくせいさせるといったような考え方になっております。

2点目の質問に対する御回答は以上になります。

○岩永管理官補佐 規制庁の岩永です。

1点目については、考え方をそろえていかないといけないと思うんですが、いずれにし  
ても、人通用開口部までの量において非常に保守的に考えているんだと。

いわゆる外部からバイパスして入ってくるようなものとか、流入経路を全て潰した上で、  
これが供給が続かない状態で、いわゆるお風呂の栓と一緒に、抜いていても、入ってくれ  
ば減りませんから、そういうことを踏まえても保守的であるということを手張されている  
ということですね。

であれば、流入経路と排水口の大きさとの関係はきちんと示されるべきだと思いますの  
で、その点についてはこの資料では読み取れませんので、確認させてください。その上で  
余裕があるのかないのかというのが判断ができると思います。

2点目ですが、私の質問させていただいたのはSEを直接対策をとるということについて  
は考えたんでしょうか。先ほどは、水位に全て帰着させた議論でしたが、これは下げられ

るものは下げてしまうということもありますが、それ以上下げられない、もしくは下げることが確実にできるか説明がし尽せない場合において、SE対策を何か打っていることを考えているのかというところを教えてほしいと思っているんですが。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

今の御質問に対しましては、SEの影響抑制という観点では、まず、先ほど御説明したとおり水位をできるだけ下げるとというのがまず第一だと思っております。

その水位を今回、下げることによって、先ほど御説明しましたSE時の構造との評価をしまして、ペDESTALの健全性が確保されているという結果を得ておりますので、そういう結果を得たことをもって、我々としては今の時点では対策は不要でないかというふうに考えております。

当然、JASMINEとか、LS-DYNAの評価において、入力条件に対する保守性なんかも確保しておりますので、そういった保守性も入っているということも含めて、今、我々としては対策は不要でないかというふうに考えております。

○日本原子力発電（鈴木） 原電の鈴木です。若干補足させていただきます。

補足説明資料の26ページから御覧ください。

26ページからが添付の2ということで、SEの影響を緩和防止するための設備対策案ということでまとめてございます。

こちらのほうでは26ページの真ん中あたりから2.1のところ、①床スラブの支持構造物の追設であるとか、②ペDESTALへの衝撃を緩和する構造物の追設。その下の2.2の発生防止のほうについてもSEの発生防止剤の添加といったところで、それぞれ三つの案を考えてございます。

27ページと28ページのほうに絵が描いてございますけれども、こういった案を考えて検討してきました。ただ、それぞれ大きな課題を抱えておりまして、水位を確実に下げることによってSEのエネルギーを下げる、そういったことによってリスクを減らすほうを我々として選択したということでございます。

以上です。

○岩永管理官補佐 規制庁の岩永です。

わかりました。お考えはあったということだけでも、社としては、より確実なエネルギー源となる水位をとにかく下げろということが第一であると考えたということですね。

○日本原子力発電（鈴木） はい。御理解のとおりです。

○岩永管理官補佐　ただ、そのフィジビリティとして、今すごく水位に対しての説明が非常に不確かさも含めてまだ曖昧なところがあるように感じますので、本当にできるのかというところを見る必要あるとは思いますが。

○日本原子力発電（鈴木）　承知しました。水位の管理については、今後も説明してまいります。

○更田委員　ちょっと感想を言わせてもらいますけど。

すみません。規制庁の職員のほうについて語るのは本来ふさわしくないのかもしれないんだけど、岩永さんの質問は、一つ目の質問はすごくいいんだけど、二つ目の質問は、私は原電のここですてきた説明っていうのは、比較的一般的というか、デブリが溶融した、溶融炉心が下部ヘッドを抜けて落ちてきたときに、ドライ戦略を取るか、ウェット戦略を取るかというのは、ごくごく一般的に議論されていて、水蒸気爆発の発生を恐れてドライ戦略を取るという考え方も、もちろんあるのは事実です。

ただ、そのときにMCCIは必ず起きる。一方で、スチームエクспロージョンは発生確率からしても、特にBWRの場合はコントロールロードの駆動機構もあって、またペDESTALの上がつるっとしているわけでもないので、むしろ積極的にさせないという手もありますけれども、水蒸気爆発の発生確率は非常に小さいとされている。

黎明期でも、Pの下部ヘッドに比べてBの下部ヘッドの構造を考えたときは、BWRでのスチームエクспロージョンの発生確率というのは極めて小さいと、一般論としては言われている。

ですから、Pではウェット戦略を恐れてドライ戦略だという意見があるのも事実だけでも、一方で、これも一般的事実で、原電の提案のあるように、要するに浅い水位であれば、発生確率そもそも小さいし、発生したところで機械的エネルギーは決して大きなものにならない。だから、たまっている水を区分化してやるという考え方はあるけれども、特に鉛直方向の水の量を少なくしてやるというのは効果的だというのは間違いないと。

ですから、MCCI対策とSE対策が相矛盾するところがあるというのは、それは事実だろうと思います。MCCIだけ考えれば、あらかじめ、どっちやり水を置いておきたいのは事実。特にMCCIは激しくなったら後から水かけてもクラストできてなかなかとまらないというのは、これもMCCIの実験で一般的に知られている。

ですから、あらかじめ水は置いておきたいんだけど、余分には置いておきたくない、できれば少なくしておこうということで、この1mという提案は領けるんですけど、できる

だけそれを動的な操作で水位を保つというようにしたくない。

ですので、配管を置いて、ヘッド差で水が出て行ってくれる。流量を決めるのは、この88ページの図で見ると、ペDESTALのほうで開口しているところと、それからベント管のほうへ向けていく管の出口の高低差分のヘッド差と、この管の間の圧損で決まりますよね。岩永の質問、一つ目はよかったと私は思っているのは、できればできるだけ流量を流れやすくしておいて、できればお風呂の栓みたいに、栓に管が立っているぐらいのほう望ましいんですが、まさかこのペDESTALの底に穴開けるわけにはいかないだろうから、こういう構造にはなるんだろうけど、配管径と高低差で工夫できないか。

これは具体的な高低差であるとか、配管の径は書かれていないんですが、それが工夫の余地があるものであれば、なるべく圧損を小さくして、高低差つけて早く出るようにしておきたいということと。

もう一つは、もうデブリが落ちてくるのではないかと考えなければならないような状態ですから、ケーブル類であるとか、下部ヘッド回りのものというのはかなり損傷している可能性がある。

今、1FのペDESTAL見に行っても、ぼろぼろ炭化したようなものが転がっている。まだまだこれからですけど。そうすると、デブリが落ちてくるようなときというのは、先にいろんなものが落っこちてきている可能性があって、そうするとこの88ページに書かれているような絵だけだとちょっと頼りないんです。閉塞しないかどうか。

ですから、なるべく閉塞せずに、そして繰り返しになりますが、小さな圧損で流れていくようにして、受動的にというか、静的に1mという水位が守られるようにしてもらおうと、事実上、SEの発生可能性、構造物に強度を及ぼすレベルでの水蒸気爆発の発生可能性というのは事実上、排除できると思います。

ですから、提案としては非常に納得のいく、理解しやすいものなんですが、一転、水位制御に関しては、工夫ができるのであればそれを考えていただきたいというのが一つ。

それからもう一つは、通常運転時に水位ということで、水位計をつけられるということでしたが、水位計の動作原理みたいなものは説明をする際に紹介してください。

結局、連続的な水位を詳細にはかるようなものをつけると、かえって、いざというときには調子が悪くて、単純なフローティングスイッチみたいなもののほうがいざというときにはということがありますが、それでも電気を必要とするかといったケースもありますので、なるべく単純で、厳しい条件下で動作の信頼性の高いものをお願いしますけれども、こ

これは水位計をつけるということで既に計画されているんだろうと思いますから、それは次回でも結構ですので紹介していただきたいと思います。

以上です。

小城さん。

○小城調査官 原子力規制庁、小城です。

今、水位を1mに下げていくという話の中で、やはり懸案になってくるのは、MCCIの対策としてという話と、あともう1個、デブリの冠水に関しての話が出てくると思っています。

今、更田委員からも少しありましたけれども、デブリが落ちてきたときの冠水の評価について、こちらは通しの資料の33ページ以降に紹介されておりまして、一読させていただいたんですけども、この中でポロシティに関する部分、あと35ページには堆積形状のところとかが書かれているんですけども、ランプデブリの割合をどういうふうにするのかという話。あと、構造材、今、CRD等と一緒に落ちてくる可能性があるという話がありましたけれども、構造材等が落ちている場合、そういったところをどのように考えていらっしゃるのか。その際にも冠水が維持されるという話になるのかというところ。

あとは、堆積していったものが、コリウムシールドを超えないというふうな設計になっているのかどうかというところの確認をさせてください。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

ランプデブリというのは、堆積の不確かさのお話というふうに理解しました。わかりました。

まず、堆積の不確かさのところにつきましては、資料1-2の35ページ目に記載させていただいていますが、プリムス実験というところでデブリ体積の不確かさというところに関するデータがありまして、具体的には、その実験に基づきますと、大体1対16です。アスペクト比が1対16というデータが得られていますので、それに基づきまして体積の不確かさの高さというものを考慮しております。

1点目の御質問に対する御回答は以上になります。

それから、ペDESTAL内の構造材というものをどう考慮しているかということにつきましては、資料1-2の37ページ目を御覧ください。

別添1として、デブリとして考慮するペDESTAL内構造物についてという資料がありまして、我々としましては、ペDESTALの中の構造物を広く調査しまして、実際はペDESTALの床から結構高い位置にあるサポート類とか、デブリになりにくいと考えられる構造物

についても対象に含めているとか、保守的に構造物としては拾い上げて、その堆積高さとして考慮しているというふうに考えております。

御質問に対する回答としては以上になりますけれども。

○小城調査官 ランデブリのところに関しては、実機への適用性というところを今後また話を、ぜひ説明していただければなと思います。

あとは実験等の材料が違う等、そういったところは、今後、話を説明していただければなと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

了解いたしました。今後説明させていただきます。

○更田委員 堀田さん。

○堀田統括調査官 原子力規制庁、堀田です。

コリウムシールドの耐熱性について質問させてください。資料1-2の通しの61ページ目ですが、コリウムシールド・ジルコニアの耐熱試験の結果がございまして、2,100℃というのはこの実験をもって決められたと思うんですけども、2,100℃にどれぐらいの余裕があるのかと見ると、一見するとそんなに余裕をもって設定したような数字には見えないというところが一つあります。

そこでですけれども、確かにこの実験、未酸化のジルコニウムを使ったということで、非常に還元性の強い環境でやられたということは説明のとおりだと思います。

それでは、コリウムシールド実機で熔融物が落下した場合、パワーポイントの資料ではドライ条件で評価したとありますけれども、その場合に、ジルコニアと熔融炉心のインターフェースの温度ですとか、それが一時的にも2,100℃を超えるとすれば、どれぐらいの時間超えるのかとか、そういう数字を持っていらっしゃいましたら説明していただければと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

東海第二発電所の事故の解析においてデブリの温度がどれぐらいまで上昇しているかという点につきましては、コリウムシールドを張った場合の評価において、およそ2,060℃程度までデブリが上昇しているということで、2100℃は超えていないことは確認しております。

それから、先ほどお話がありました添付の6で2100℃を侵食開始温度としているという点につきましては、MAAP解析の結果を見ますと、金属ジルコニウムといいますか、酸化し



ているジルコニウムが溶融炉心が大体20%を占めているということで、残りは8割、金属ジルコニウム以外にも例えばSUSとかいろんなものが入っているんですけども、少なくとも80%は下回っているということで、この試験条件は100%でやっておりますので、それよりも実機条件は緩和された条件になっているというのは確認しております。

○堀田統括調査官 規制庁、堀田です。

恐らく実験の点数とかはそんなにないような印象を持っているんです。

確かに実験で確認することは非常に重要なアプローチかと思うんですけども、あと実機の場合、8割ぐらい未酸化の金属がペDESTALに落ちてくるという評価もあるということを知ると、ローカルに、例えばペDESTALの床面の80%といえ、仮にそれが一様に分布した場合、決して無視できる量ではないし、そんなに実験の条件と変わらないという可能性もあるわけです。

ですので、この2, 100°Cの説明というのは、もう少し違った側面から見る必要もあるのかなと。例えば、もう少し冶金学的な話とか化学反応とか、そういうところからも説明していただきたいなという感想を持っています。

以上です。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

今のコメントを踏まえまして、検討させていただきます。

○鈴木技術参与 規制庁の鈴木です。

資料の1-2の119ページから構造評価をされてますので、その件について確認させていただきます。

基本的にはFEMで全部やっているということですけども、この構造はかなり単純構造で、厚肉シェルみたいなものなんですね。ですから、113ページに、SEによって爆発源で50MPaという話があるんですが、この構造のどのくらいの応力かというのは構造の内壁に50MPaがどのくらいの圧力になって作用するかという話がわかれば、厚肉シェルでかなりわかるわけなんですけど、何MPa作用しているということは検討されていますかということを確認したいんですけど。

○日本原子力発電（熊谷） 原電の熊谷です。

御質問の件に関しましては、爆源の圧力としましては今回55MPaです。ただし、それは、ペDESTALの中心位置に置いての圧力でございまして、例えば今、シェルとおっしゃっていただきましたけれども、ペDESTALの側壁に到達する点では4MPaまで距離減衰いたしま

す。構造のペDESTALの中に入りますと、圧力も、そこからさらに4MPaから減衰して2MPaですとか、そういったレベルまで低いレベルになります。

○鈴木技術参与 だけど、基本的には約2MPaぐらいという話ですね。

私も、先日いただいた資料で、細かいんですけど、137ページに半径方向の面外せん断があるんですね。これは多分、平均値だと思いますので、面外せん断は多分面内の壁が一番大きくて、外側は多分0だと思うので、三角形のような分布になるとすると、内面には平均値の2倍、要は2MPaぐらいが作用するかなと。これは厚肉シェルで当たり前のことなんですけど。ということで確認しました。

だから、2MPaという話がFEMの計算の中でもそういう形で作用しているということを会合でも示していただければと思いますけど。もう少し、計算結果の詳細を示していただければと思います。

○日本原子力発電（熊谷） 原電の熊谷です。

承知いたしました。資料のほうに反映させていただきたいと思います。

○鈴木技術参与 よろしく願いいたします。以上です。

○更田委員 ほかにいいですか。

先ほどの堀田さんとの間のコリウムシールドですけど、ジルコニア以上の選択肢って恐らくないだろうと。こんな小さなものだったらなくはないけど、トリアとかそんなものありますけども、あんなものは、とてもこんな構造材に使えないから、一般的にジルコニアを使う。ただ、共晶反応等々かなり複雑なものがあるので、実証するのは、ただ少なくとも緩和機能は間違いなく持っているので、いい方向であるのは間違いのないことなのだろうと思います。

それから、先ほど岩永からの質問で、水蒸気爆発を別途プロアクティブに抑制しに行くという話ですけども、繰り返しになりますけれど、一番いいのは水位を下のほうに保つということだろうと思います。

界面活性剤を入れるというのもありますけど、いろいろと悪さをしますし、あとはウォーターベッドとか、水を入れておくんじゃなくて、ペットボトルに水入れて並べて置いたどうだというようなのはなくはないですけども、ただ、それにしても水深が浅く保つというのが大事だろうと思いますので、排水の信頼性が高ければと思います。

それから、スラブを支える構造物に関しては、これは悪さしないのだったらやって悪いことはないだろうと思うんですけど、ただ、そこら辺いじり回すことについてどうなの

かというのは事情を話してもらえればと思いますけれども。

結構、東二って線量が高いですね。今まで私は入ったペDESTALで一番線量が高かったような気がする。

ほかにありますか。

○山形審議官 規制庁、山形です。

さっき皆川も質問してたんですけど、破損判断のところは、やっぱりいろいろと気になるので、次回のときにはよく検討しておいていただきたいんですけども、いろいろなパターンがあると思っていて、いきなり大きな穴が開いて、ドロドロっとデブリが落ちてくるような場合もあれば、でも、本当のところは多分、小さく開いて、トロトロッと最初にまず落ちてくるような場合もあると思うんです。

そういうので、初期は少量が落ちてきて、落ちてきたっていう判断をして、注水をだーっと一気に始めると水位が上がってしまいますよね。

その後に大きなのが徐々に広がってきて、大きい口径で落ちてくるというようなことになると、悪影響があるような気もするので、ここの判断というのはすごく難しいと思っ  
ていまして、雰囲気温度の上昇とか、圧力だけで大LOCAでわっと出てくる場所の瞬間のところと、じゃあ落ちてきて上がるという瞬間のところを本当に見ることができるのかなどいうのをよくよく整理して次回お願いしますというのと。もう少し単純な方法はないのか。

もう一つの質問は、32ページのところにRPVの下部の温度計は、8、9、10、11って、五つしかないんですけど、こんな少なかったでしたっけというのがあって、1Fは何十個ってあったような気がしたんですけども。かつCRDの温度計とかもあって、結構密に温度計があったように思うんですけども、というのが質問で、そういうのは使わないんですかというのと、ペDESTAL内に水温計を設置しますというふうに書いてあるんですけど、これってどこにどういう目的で置くのかなどというのがあって、当然、落ちてきたら温度は上がるでしょうけども、床に置いておけばもっと直接的に落ちてきたことがわかりますよねというのもあって、そういうことも含めて次回に説明していただければと思います。

○日本原子力発電（中西） 日本原子力発電の中西です。

今のコメントに対しましては、次回整理してお話しさせていただきたいと思います。よろしくをお願いします。

○更田委員 いいですか。

そちらから追加の説明ありますか、確認しておきたいこと等はありますか。

こっちももういいですか、全体にわたって。

○日本原子力発電（和智） 次回は、今いただいた御指示、それから確認すべきこととか、判断の基準とかをクリアにして、もう一度御説明させていただきたいと思います。

○更田委員 最後に、私のほうからお伝えしようと思うのは、今日の説明を聞いても、それから有効性評価の説明を聞いても、原電は、会社の特徴もあるのかもしれないですけど、SA対策についての説明は非常に強いという感触を受けてます。

一方で、審査のこれからを考えると、外郭防護、前回あった津波の防護の話ですね。耐津波の話。私たちには急ぐ理由があるわけではないですけど、そうはいっても効率的に進めたいということからすると、耐津波の外郭防護の話を早くやらないと、結局そこが律速する可能性ありますし、それから具体的に言えば、先行する例えば関西電力や東京電力の審査でも、ああいった外郭防護の部分で方針変更がありますと、全体のスケジュールに非常に大きな影響を与える。

有効性評価や、こういったSA対策に関して言うと、先行の審査が随分重なっていることもあるだろうと思いますけども、比較的効率的にやれるんじゃないかなという感触はあるんですけども、ですので、繰り返しになりますけれど、外郭防護の部分についてしっかり準備を進めていただいて、それを、むしろ早い時点で聞きたいというふうに思います。

○日本原子力発電（和智） わかりました。

○更田委員 では、よろしく申し上げます。

では、以上で第465回の審査会を終了します。ありがとうございました。