

第32回

原子力安全委員会

地震・地震動評価委員会及び

施設健全性評価委員会

ワーキング・グループ2

速記録

原子力安全委員会

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

原子力安全委員会

地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会

第32回 ワーキング・グループ2 議事次第

1. 日 時 平成21年10月2日（金） 10:00～11:00
2. 場 所 原子力安全委員会 第1、2会議室（虎の門三井ビル2階）
3. 議 題
 - (1) 新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性評価（中間報告等）の検討状況について（もんじゅ）
 - (2) その他
4. 配付資料

WG2第32-1号	前回までのWG2における主な論点と対応について（施設の耐震安全性評価「もんじゅ」）
WG2第32-2号	高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価 主要施設の概要（コメント回答）
参考資料第1号	独立行政法人日本原子力研究開発機構もんじゅ 施設の耐震安全性に関する検討の整理（案）

出席者

●ワーキング・グループ2委員

伊藤 智博 △大谷 圭一 ○奥村 晃史
◇鹿島 光一 中村 友紀子

注) ○：WG2主査 △：WG2副主査 ◇：WG3副主査

●耐震安全性評価特別委員会（ワーキング・グループ2構成員を除く）

◎入倉 孝次郎 ○秋山 宏 桑原 文夫
小長井 一男 白鳥 正樹 塚田 隆
東原 紘道

注) ◎：耐震安全性評価特別委員会委員長 ○：施設健全性評価委員会主査

●原子力安全委員会

鈴木 篤之 久住 静代 久木田 豊

●事務局

岩橋 理彦 海老根 強 角田 英之
長谷川 清光 植田 正弘 佐々木 誠
鈴木 聖夫

●経済産業省 原子力安全・保安院

塚部 暢之（新型炉検査係長）

●説明者

独立行政法人日本原子力研究開発機構

森下 正樹（次世代原子力システム研究開発部門
FBR要素技術ユニット長）

池田 真輝典（敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター 技術主席）

大前 隆広（敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
プラント保全部 施設保全課）

宮本 明倫 (敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
プラント保全部 施設保全課)

森泉 真 (敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
プラント保全部 施設保全課)

古賀 和弘 (敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
プラント保全部 施設保全課)

午前10時00分開会

○大谷副主査 おはようございます。それでは、時間になりましたので、ワーキング・グループ2の第32回目の会合を開催いたします。

過去2回ほど、もんじゅの施設関係ということで、言ってみれば、もんじゅの機器・配管を含めた施設はどのようになっているのだろうかということの勉強会的なことをやってまいりましたので、今日の進行役も私の方で務めさせていただきます。

ワーキング・グループは、評価委員会における検討において、必要な調査、整理作業を行うということで、定足数を設けない会となっております。また、会合は公開となっておりますので、発言内容につきましては、速記録として残すこととなっております。ご発言が重ならないように、ご発言につきましては、進行役の指名後ということでお願いいたします。もう一つついでに付け加えさせていただきますと、ご発言の時にはマイクをオンにしてご発言願えればと思います。よろしくをお願いいたします。

前回、第28回ワーキング・グループ2の会合の時には、もんじゅの施設の検討の3回目として、代表機器の耐震安全性の評価方法、それからそれまでの質疑に対する回答といったことをしてまいりました。基準地震動が策定できた後の評価以外の部分につきましては、一通り説明をいただいたと理解しております。本日は、これまでの検討の整理と、それから質疑で残っているものについて、回答をお願いいたしたいと思います。ということで、できれば、もんじゅの勉強会は今日で一応お終いにして、後はS sが決まった後に、個別の具体的な評価内容についての議論をしたいと思っております。よろしくご協力をお願いいたします。

それでは、事務局より配付資料の確認をお願いいたします。

○長谷川安全調査副管理官 本日の資料でございますけれども、32-1号がこれまでの質問の整理表です。それから、32-2号につきましては、本日の説明用の資料で、コメント回答の資料となっております。

それから、参考資料の1号としまして、事務局が整理しております検討の整理案ということとなっております。

それから、お手元の方に封筒に入れている資料がございますけれども、これは、本日、もんじゅの方は概ね1時間程度で終わると思っておりますので、連続しまして次

のPWRの方をやりたいと思っておりますが、その資料となっておりますので、あらかじめ配付しております。

説明は以上でございます。

○大谷副主査、資料につきましてはよろしいでしょうか。もし過不足がございましたら、事務局の方へお申し付けいただきたいと思います。

それでは、審議に入らせていただきます。

まず、初めに、事務局に今までの議論を整理していただいておりますので、その確認を含めてご説明を願いたいと思います。

○長谷川安全調査副管理官 それでは、参考資料1号に基づきまして、これまでの検討の整理案ということで、簡単にご説明を差し上げたいと思います。

まず、1ページ目の建物・構築物及び機器・配管系の全般の部分でございます。本日コメント回答をいただきますけれども、説明が今されていない排気筒と燃料取扱設備について、本日説明いただくということにしています。

それから、②の評価手法及び結果の信頼性ということでございますけれども、これは26回のワーキング・グループでQMSの体系につきまして、説明をいただいております。事業者の説明では、評価手法及び結果の結果の信頼性に関しては、品質マネジメントシステム体系の下、解析実施者に対して解析業務の品質保証活動として、作業手順の整備、入力根拠書の作成、適正な計算機プログラムの使用、入出力データの確認等の実施を求めるとともに、その実施状況について、解析実施者へ出向き、入力根拠書、計算機プログラム、検証記録等の品質管理記録を確認することにより、解析の信頼性を確認している。さらに、解析実施者への監査等により、QMSが適正に構築され機能していることを確認しているという事業者の説明がありまして、適切なQMS体系の下、実施されていると考えるという整理にしております。

それから、次の2ページ目でございますけれども、③の建物・構築物というところでございます。ここにつきましては、原設計の S_1 、 S_2 の地震動の評価結果を用いて説明を伺っております。基本的にはコメントは特にありませんでしたが、今後 S_s が確定した時点で応力評価結果等について確認するというところで、これは具体的には今後の話ということとしております。

それから4番目、機器・配管系、これは原子炉容器についてというところで

ございます。コメントは幾つかございまして、ここに書いてあるとおりでございます。その中の検討の状況ということで、先ず、ナトリウムの液体とのスロッシングについて説明を受けておりまして、ディッププレートを配置する等の防止措置が講じられていること、それから実験結果等からスロッシングによる影響がないことについて説明をいただき、確認しているということです。

それから、2番目の原子炉容器の地震時荷重を支持する下部支持構造について、これは相当いろいろ議論いただいております、本日もきちんと整理してもう一度説明するというので、後ほど説明があるかと思っております。

それから、3番目でございますけれども、原子炉容器と配管の境界の構造基準に基づき決めている第1溶接線としていること、それから同境界部の構造概要を確認しております。それから、原子炉容器ノズルの局部応力解析においては、原子炉容器の地震応答解析及び原子炉容器の熱膨張計算による水平及び鉛直の変位を配管側で考慮した解析により配管反力を算出し、荷重条件として自重、内圧、地震力、ノズル位置への全配管反力を考慮して、計算されているということを確認しております。

それから、3番目でございますけれども、⑤、これは制御棒の挿入性についてでございますけれども、事業者側から制御棒挿入性について、実験結果等を含めて説明がされております。それで、炉心構成要素に対する水平方向時刻歴応答解析モデル及び炉心群振動解析モデルについて確認しております。この説明によりますと、炉心中心の1列をモデル化した炉心構成要素を30体列群体系による炉心群振動解析では、個々の炉心構成要素の振幅が相互に若干異なっているところがありますが、全体としては同じ傾向にあるということを確認しております。

それからもう一つ、制御棒挿入性に関する静的及び動的スクラム試験について、炉心構成要素5体単列構造の試験装置、試験条件、試験結果及び炉心上部構造と制御棒案内管の許容相対変位の考え方が示されております。また、制御棒が3点拘束されない条件であれば、制御棒挿入に係る機能要求を満足できることを、スクラム試験で確認していることを確認しております。これらについての公開文献について求めておりますけれども、実施したのが非常に古いということで、公開されている文献はないということでございます。

それから、最後、4ページ目の⑥でございますけれども、機器・配管系として、

大型機器として蒸発器について、代表して説明を受けております。これにつきましては、説明を受けて、特段のコメントはなかったということで、考え方については了承されているのかなということでございます。

それから、⑦につきまして、これは配管系でございますけれども、ここにつきましては、貫通部のモデル化とか、それから1次冷却系の地震荷重の割合についてということで、本日これから説明をされるということとなっております。

説明の方は以上でございます。

○大谷副主査 過去の我々の議論の中身を要領よくまとめていただいたと思いますが、こんなところで間違いはないでしょうか。先生方の中で、ここはちょっと違うといったことがございましたら、ご指摘いただきたいと思います。よろしいでしょうか。

それでは、この参考資料第1号につきましては、基本的にお認めいただいたということで、次に進ませていただきたいと思います。ここで議論しましたことは、S sが決まった後のいわゆるバックチェックそのものの議論になった時にまたこの問題が出てくるとお思いますので、その時にまた先生方の方からコメントがあればいただければと思います。当面、今までの議論のまとめとしては、これでまとめさせていただきたいと思います。

それでは引き続きまして、今度は第32-1号によりまして、日本原子力研究開発機構の方から「前回までのワーキング・グループ2における主な論点と対応について」というご説明をいただきます。よろしくお願いいたします。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 原子力機構の池田でございます。第32-1号についてご説明させていただきます。

これまでのコメントの整理表でございます。黄色で囲まれているところは、前回までにご回答したものでございます。水色で囲まれているところが、今回ご回答するところでございます。

まず、原子炉容器につきましては、先ほども紹介がありましたが、原子炉容器下部のモデル化について整理して、再度説明することとございますので、今日ご説明させていただきます。

配管系につきましては、1次系を前回説明しましたけれども、1次系配管のところ、原子炉容器室と主冷却系配管室の間のところの貫通部についてのご質問

がありまして、そこの構造解析モデルについて説明して下さいというのがございました。後、もう一つありましたのは、1次主冷却系配管の一次応力の地震荷重の割合がどれくらいになっているのですかということでしたので、それについて本日説明させていただきます。

その他の施設につきましては、前回までに説明していないものとして排気筒がありましたので、排気筒の構造概要、耐震安全性評価の考え方について、説明して下さいということがありましたので、本日説明させていただきます。

それ以外に、もんじゅの特徴的な設備として燃料取扱設備がございます。そのうち炉外燃料貯蔵槽は少しナトリウムを使っていますので、そこにつきまして、構造概要、耐震安全性評価の考え方について、本日説明させていただきます。

前回までのコメントは以上でございます。

○大谷副主査　　こういうことでよろしかったと思いますが、具体的なご説明に入らせていただきたいと思います。それでは、すみません、次の32-2号の資料を使って、今日のコメント回答をお願いいたします。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席）　　続きまして、32-2号の資料について、ご説明させていただきます。本日は、この後また会合が控えているということですので、要点をかいつまんでご説明させていただきます。

先ず、質問の回答でございまして、先ほど説明したものが一覧表にまとめられてございます。

一番初めの回答としまして、原子炉容器下部のモデル化の考え方について、再整理して説明するというところでございます。

これは、前回もお示ししましたけれども、原子炉容器の下部の支持状況を説明した図でございます。原子炉容器がここにありまして、その外側にガードベッセルの容器がありまして、その一番下に下部支持構造物がございます。こういう構造になっています。原子炉容器のここの部分を拡大したものでございます。このモデル化の考え方は、前回ご説明しましたけれども、ちょっと資料が十分ではなくてわかりにくかったので、もう一度説明させていただきます。

これは、原子炉容器だけ取り出してモデルを記載しています。原子炉容器のモデルは、多質点のはりモデルでモデル化してございます。それで1本のはりのモデルにして、それぞれ1から12番まで質点を置いています。これにつきまして

は、問題になったのはこの部分でして、ここがどうやっているかということですが、モデルとしましては、全て円筒のモデルとして、先ず、個々の剛性を見ます。一方で、この部分は鏡板ですので、軸対称のソリッドモデルを使いまして、荷重をかけた時にどういう変形をするかということを経算で解析しております。

こちらは円筒形のモデルで行ってまして、ここに荷重をかけると変形が出ます。こういうソリッドモデルで解析したものと、こういう円筒モデルの解析で変位を評価したものと、当然差が出ますので、その部分について、このモデルの12のところにバネを入れるというモデルでございます。前はちょっとこのところが確認できなかったので説明していませんでしたけれども、ここは上と同じ円筒の断面2次モーメントを使って値を入れてまして、その時にこちらに荷重を入れた時にどれくらい変位が出るか、一方でこういう詳細なモデルでこちらに荷重を入れた時にどれだけ変位が出るか、その差分をここにバネとして入れているというものでございます。

後、原子炉容器とガードベッセルは二重になってまして、それぞれ見ますと、原子炉容器では、先ほど説明しましたように、多質点のはりモデルがありまして、ここに補正分のバネを入れている。こちらは支持構造物のバネです。こういう形になります。ガードベッセルも同じようにモデル化できます。これとこれが重なりますので、ちょうどこの接点のところに42番という質点番号がありますが、ここで並進バネを置いているというモデルになってございます。

後、もう一つ、ガータ構造を持っているということを説明しましたが、ガードベッセルと原子炉容器と下部支持構造物、図上はこうなりますけれども、実際は熱膨張等を考慮していますので、少し隙間があきます。大体2mmぐらいでございますが、そのぐらいの隙間がございまして。そうしますと、ここに隙間があいています。隙間があいていると、ばねというのはどうなるかといいますと、これがギャップがあった場合のバネのモデルなんですけれども、この破線の方ですが、ギャップが当たるまでは全然荷重が働かなくて、ギャップに当たると荷重が働く。荷重と変位が比例すると。また荷重が取れると、ここへ戻ってこうなるということですが、解析モデル上はここはギャップを入れていませんで、ギャップのない構造ということで、変位と荷重が比例するという関係でこの部分のバネをモデル化してございます。

ではギャップがあったらどうなるのですかということなんですが、ギャップがありますと、ここにギャップ要素を入れることになります。ギャップ要素を入れてどうなるかということですが、これはもんじゅの設計の時にその評価を行ってしまっていて、もんじゅの原子炉容器ガードベッセルは、スペクトルモーダルで基本的に解析評価を行っていています。それと、こういう時刻歴解析でギャップを入れてやったらどうなるかということの評価してございまして、これは一例ですけれども、曲げモーメントの状態を書いております。スペクトルモーダルで解析したものと、ギャップを入れて非線形で解析したものとは、ほぼ同等な結果が得られるということで、原設計ではギャップなしのモデル及びスペクトルモーダルで解析を行ってございます。耐震安全性評価につきましても、スペクトルモーダルで耐震安全性を評価することを考えてございます。

○大谷副主査 ちょっとここで、一回止めましょう。いいですね、池田さん。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） はい。

○大谷副主査 それでは、今の原子炉容器下部のモデル化について、再度きちんと説明していただいたわけですが、特に、最後のページにありますように、言ってみればガタ系といいますか、ギャップがあるものをどうするのか、その辺のモデルかがどうなっていたかが、この間の説明では必ずしも明確でなかったのも、その辺も含めて今日ご説明いただきましたが、先生方、ご意見はいかがでしょうか。何かございますでしょうか。

中村先生、ご理解いただけましたでしょうか。

はい、桑原先生。

○桑原委員 前の方で6ページのことでもよろしいですか。今の説明でわかったんですけども、この鏡面の部分を入れない円筒形で計算するという場合は、言ってみれば開放型の筒なんですか。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） そういうモデルです。

○桑原委員 そうすると、今この11、12番の間を、言ってみれば閉じた形の容器にしているわけですね。そうすると、単純に考えますと、開放しているよりも閉じている方が、剛性は上がると思うんです。12番と42番は、もし今このことを考慮に入れなければ、完全にくっついて、このKを入れることは逆に剛性が落ちることになりませんかという気がちょっとしたものですから。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） はい、ご指摘のとおりです。安全側ということで、こういうモデル化をしております。右側の図で、ご指摘のように、原子炉容器のはりモデルが上からずっと延びてきております。それに赤いKという鏡の部分のバネを足しているわけなんですけれども、仮に下部鏡のところ、剛性が非常に高いという場合を仮想的に考えて、剛体だと考えてみますと、11、12のところは、それにもかかわらず円筒のビームでモデル化していますから、それで剛性が落ちます。それに、先ほど剛だと申しましたけれども、有限な鏡のところの剛性は高いですけれども、Kというものを直列に結合していますから、実際よりは若干、全体の系としては剛性が低いものになっています。ただ、それはほとんど効かないとは思いますが、ご指摘のように、実際よりは少し柔らかいものになっているので、固有振動数を下げる側の評価になっていますから、安全側だと考えています。

○桑原委員 意味はわかったんですけれども、ちょっともう一回確認のために、12番と42番というところの間に、Kが入っているわけですね。これは、もしそれがない同一の点だと考えると、言ってみれば、それよりも剛性が落ちているわけですね、今のKが入ることによって、少なくとも。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） そのとおりです。

○桑原委員 そうですよ。そうすると、実際には剛性はもっと上がるのではないかと。つまり、開放よりも、閉じた場合ですから。つまり、開放の場合で42と12が1点と考えられるから、逆にそういう三次元の効果が入ると、これは何かKは入れないよりも、さらに剛な形になるように私は思うんですけども、そうではないですか。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） かもしれませんね、実際として。ですから、こういうモデルを組みますと、実際の下部に鏡がある原子炉容器のはりとしての振動特性を実際よりも少し柔らかめに見積もっていることになります。

○桑原委員 それは安全側なんですか。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） はい。一般論として、常に安全側ということは言えないと思いますけれども、原子炉容器の固有振動数と原子炉容器に入力される床応答の卓越振動数との関係において、原子炉容器は12 Hzぐらいなんですけれども、それに対して入力がか5～6 Hzのところピーク

があります。そういう意味で、剛性を柔らかめに、従って振動数を少し低めに見積もるということは、床応答を大きめに入力するということに相当します。ほんの僅かですけれども。

○大谷副主査 白鳥先生、どうぞ。

○白鳥委員 今話を聞くと、11と12の間が要らないのではないかな、11と42の間にKが入れば、ご説明のと通りのモデルなのかなという気がしたんだけれども。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） 剛性という観点からは、ご指摘のとおりです。後は、変位の関係がありますから、上で吊るされた原子炉容器が1次モードで振動した時に、11のところで結んでしまうと、若干その変位が小さくなる部分がありますけれども、剛性という観点からは、白鳥先生のおっしゃるとおりです。

○大谷副主査 こういう考え方でやっていらっしゃるということで、先ずはそこまでの理解をしたいと思います。実際に11と42を結んだらどうなるかとか、あるいはKをもう少しじったらどうなるかといったことは、やる気になればできないわけではないと思いますけれども、今ご説明いただいたように、若干柔らかめになっても、実際には安全性ということについては、あまり大きな影響はないだろうと、入力との比較でそういう判断があるということと、それから変位をきっちり見ておきたいということもあって、この12番を是非作っておきたいのだというご説明で、とりあえずここは収めておきたいと思います。また、実際のバックチェックの段階で具体的な応答が出てきた時に、また先生方から何かご意見があればいただきたいと思いますが、そういうことでよろしいでしょうか。

ありがとうございました。

それでは、次の回答②について、ご説明をお願いいたします。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 続きまして、1次主冷却系配管についてのご質問に回答させていただきます。

ご質問の1点は、原子炉容器主冷却系配管室の貫通部がありますけれども、そのところの構造と解析モデルはどうなっているのですかということでございます。

原子炉容器室がここでありまして、主冷却系室も3部屋ございます。いずれも

室素雰囲気に保たれていますので、それぞれ気密構造になっています。気密構造になっていますので、その壁のところの貫通部の構造はこのような形になっています。壁のコンクリートがございまして、そこに配管が通る。配管は二重管になっています、ガイドパイプがありまして、その間を気密用のベローズでつないでいるということです。これも2次系の配管と同じでございまして、熱膨張に対しては自由に逃げるような形にしているということでございます。解析上のモデルとしましては、ちょうど原子炉容器室と主冷却系室の貫通がここに相当します。このモデル上でもレストレイントになっていますけれども、ベローズを模式的に書きますと、ここが固定されて、ここにはバネが入るという構造になっています、これは2次系の解析モデルと同じでございます。

もう1点の質問は、地震時の応力の割合ということでございましたので、一次応力の最大箇所について示した表を提示させていただきました。原子炉容器から出てきたところにエルボがありますけれども、この一次応力が最大になりますということです。ここに内圧、自重、熱膨張、地震という、それぞれの荷重が書かれていまして、合計がどれぐらいかというのを記載しています。許容値は 25 kg/mm^2 でございます。これに対して実際発生は 5.4 kg/mm^2 ということでございます。一次応力的にはそれほど大きくありませんが、大きいものの比率が、ここを見ていただくとわかりますように、地震の荷重は 4.6 kg/mm^2 ですので、この 5.4 kg/mm^2 に対して86%ぐらいの比率になりますということです。もんじゅの内圧が低いので、内圧の応力が非常に小さい。熱膨張はありますけれども、軸力としてみれば非常に小さいというところがございます、一次応力としますと、地震応力がほとんどを占めるというのが定性的な感覚でございます。

配管については以上でございます。

○大谷副主査 後の2枚はいいですね。もう既にご説明いただいていますから。

それでは、先ず、私が質問しました、最初の解析モデルの絵の中に貫通部の扱いは入っていなかったもので、どうなっていますかということで、実際に解かれているのは、この12ページのようなモデルを解いていらっしゃるんだろと思うんですが、なぜか貫通部が書いていない絵が出てきていたということで、きちんと実際に解いていらっしゃるモデルを出してというつもりで申し上げたのですが、

今日お示しいただいたように、こういう格好で貫通部をモデル化してということで、この点については了解いたしました。

それから、一次応力の問題は白鳥先生だったと思いますが、8割というか、9割近くが地震力だということのようですが、ご了解いただいたということで、よろしいでしょうか。

○白鳥委員 結構大きいから、重要だということを確認いたしました。

○大谷副主査 他の荷重に比べて地震力の割合が大きいということは、逆に言うと、地震の解析をきっちりやっておかないといけないということになるということだと思います。ありがとうございました。

それでは引き続きまして、排気筒の概要についてご説明下さい。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 続きまして、排気筒の構造概要と耐震安全性評価の考え方についても、ご説明させていただきます。

これがもんじゅの排気筒でございます。もんじゅの屋上に立ってまして、約100mの排気筒でございます。

排気筒の構造としましては、100mありまして、筒がここにありまして、その周りを支持鉄塔で支えるという形でございます。支える支持点としては5箇所ありまして、下から第1、第2、第3、第4、第5ということになっています。真ん中の筒身ですが、直径約4mでございます。筒身の肉厚は約12～17mm、少し下の方が荷重がかかりますので肉厚が厚くできてまして、途中で薄くなるという構造でございます。重量としては650t、材料はSS400、STK400、STK490でございます。

これは排気筒の支持部ですが、屋上の上に単に立っているだけではなくて、排気筒専用の支柱を設けまして、その上に固定しているというものでございます。はりとしましては、屋上に出ているだけではなく、下の方から支柱を立てて、その上に載せているというものでございます。

排気筒は、現在改良工事を行ってまして、今の構造と少し変わってきます。地震動が大きくなりましたので、もう少し余裕を上げようということで、改良工事を行ってございます。行ったことは、排気筒の一番上、第5支持点がありますが、それを外しまして、そこの筒身を包むようにしてオイルダンパーの制震装置をそれぞれ4方向に取り付けて、個数としては8台付けたということでござい

す。その他、支持点が5箇所ありましたけれども、さらに下の方から第2支持点、第3支持点を開放したということです。開放することによって筒身と支持鉄塔、この上の部分でダンパーを置きますので、この制震機構を効かせたいということで、相対変位を少し大きくとるということで、下を外してございます。後、もう一つは、下を外すことによりまして、筒身と支持鉄塔の揺れ方が少しずつ増えてきますので、固有周期がずれてきます。改造後では、1次モードはそれほど変わりませんが、2次モードでは長周期側にずれ込むという形になります。これは、屋上のS1の床応答スペクトルを書いていますけれども、定性的に見ますと、2次モードが長周期にいきますので、揺れ方が小さくなるということになります。

これがモード図を比較したものでございます。これが改良前の振動モードの1次モードと2次モード、こちらが改良後の1次モードと2次モード。1次は、筒身と支持鉄塔が同じように振れていますので、改良後も改良前もあまり変わりません。ところが、2次モードになりますと、途中の支持点を外しましたので、前は支持鉄塔と筒身が同時に揺れていたようなモードでしたが、途中を外したことによって支持鉄塔はあまり振れず、筒身だけが振れるというモードになってきます。ですので、ここにダンパーを入れることによって、制震効果が効くということでございます。

耐震安全性評価の方法としましては、改造しましたので、排気筒は直接積分法による時刻歴応答解析を行います。入力としましては、3方向を同時入力します。軸力曲げモーメントを計算しまして、それ以外の荷重と組み合わせて、機械でいうと応力ですけれども、建築物なので応力度を算定しまして、評価基準値以下になるかということの評価を行います。モデルとしましては、立体骨組モデルにしております。

モデルの図ですが、排気筒を立体骨組モデルにしまして、三次元のFEM解析のはり要素で解析を行います。筒身基部につきましては固定支持、鉄塔のこの支持部についてはピン支持でございます。

後、上の制震装置はオイルダンパーですが、オイルダンパーはこの支持鉄塔の辺に付けていますが、モデル上はこの筒身のところに斜めから入るということで、この部分を、二つを一つのダンパーとして、ここにモデル化するという事で解析を行っております。

評価点でございますが、先ず、支持鉄塔の強度について評価する。後、筒身について評価する。後、下の方の基礎となりますアンカーボルトについて評価する予定でございます。適用基準としましては、J E A Gの原子力発電所耐震設計技術指針、それ以外に、これは排気筒でございますので、建築基準法の技術基準を適用してございます。

これが技術基準を記載したものでございます。

これも同じです。これは参考として付けさせていただきました。

以上でございます。

○大谷副主査 随分たっぱの高いというか、100mというものが補助建物の上に立っているなという感じがしたんですが、もちろん100mという排気筒を作られた理屈があるんだろうと思いますが、100mがなぜ必要なのかということと、それからこれを建物の屋上ではなくて地盤に普通に作られなかったのはなぜなのかという、考え方だけ教えていただけますか。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 排気筒の高さですが、これは被ばく評価によって決まってきます。事故が起きた時に、アニュラスを持っていて、そこからフィルターで濾されて出てくるのですけれども、ヨウ素は濾されませんので、一部出てきます。そうするとここから出てくるので、これは私はちょっと専門ではないので詳しいことはわからないのですけれども、被ばく評価上の拡散の式がございまして。拡散の式ですから、ここから出てきますので、このところが非常に濃度が高くて、周りに行くほど濃度が薄くなるということになります。そうしますと、普通は正規分布になって拡散していくという評価をします。そうしますと、ある程度の高さがないと、地上に降りた時の放射能濃度が高くなるので、評価上はある程度の高さが必要ということでございます。数値はちょっと覚えていませんので、もし必要であれば、ちゃんと調べてまたご回答したいと思います。

後、もう一つ、なぜこの屋上に載せたかといいますと、当時の設計として、地上から立てる案と屋上に載せる案と二つがありました。地上から立てますと、やはりここですと、今は100mありますから、ここは50mですから、150mぐらいの排気筒を立てなければいけないという技術的な問題がございまして。もう一つは、屋上に載せるとかなり重いものが載るので大丈夫かという問題がありましたが、当時、この排気筒は、支持鉄塔とこの筒身という構造をとることによつ

である程度軽量化できるということで、屋上に載せる設計が可能だということで、この方式を採ったと。もしこれを採らないと、150mぐらいの排気筒を立てなければいけないということでございます。

○大谷副主査 ありがとうございます。何で排気筒を屋上に作ったのかということだけ先ず、お伺いしましたけれども、設計法等について何かお伺いしておくことはございますか。はい、どうぞ。

○白鳥委員 先ず、単純なことで、この制震装置の重さというのはどのぐらいのものなんですか。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 一つ650kgです。8個付けますと、その8倍です。

○白鳥委員 8個というのは、この一番上の赤印のところに、これが8つ付いていると。この赤いのが……。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） はい。一つ650kgですから、8つで約5tになります。

○白鳥委員 小さなもので、すごい効果があるんだなというので、ちょっと感心したんですけども。

それともう一つ、これはよくわからないんですけども、鉄塔とその支持構造で、例えば22ページのところをちょっと詳細に見ると、確かに2次モードのところ、支持構造は揺れが激減しているんですけども、鉄塔は、これが中心線ですよ。それは制震構造を入れる前と後でそんなに差がないように見えるんですけども、この辺はどうなっているんですか。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） これは固有振動モードの図ですので、基本的に減衰はあまり関係しませんというか、固有振動モードが変わっているのは、主として第5番目のところですが、支持塔と真ん中の煙突を支持するところを、一つ外したことによってモードが変わっております。

○白鳥委員 それを外したから、鉄塔自体は柔らかくなっているわけだよね、支持されていない分だけ。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） そうですね。はい。

○白鳥委員 だから、その形状がそのまま出ているかなと。だから、例えば応力的にいった場合に、この左と右で2次の場合を比べてみて、固有値のところだか

らなかなか難しいのかもしれないけれども、そんなに差がないような気がしたんですけれども。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） 左下の図をご覧くださいますと、これは、この排気筒に入力される地震動の床応答と、それからこの排気筒の全体系の今ご覧いただきました1次モードと2次モードの固有周期の関係を書いております。改良工事前には、この2次モードの固有周期が、床応答のピークはちょっと外れていますけれども、坂を駆け上ったところにいたので、結構な応答が出ているという状況でした。ダンパー、制震装置を取り付けることによって、先ず、大きな減衰を付加するというのと、それに加えて2次モードの周期を右の方へずらしておきまして、その二つの効果によって系全体の応答は有意に下がっております。その結果、いろいろなところの応力評価をするわけなんですけれども、それが新しい、厳しくなったS_sでも成立するように設計したわけなんですけれども、そういう結果になっております。

○白鳥委員 説明はわかるんですけれども、要するに、1次とか2次というのは、これは全体をはりと見てしまえば1次とか2次なんだけれども、これを構造としてローカルにきっちり見ていくと、筒の振動と支持部の振動がちょっと違うように見えるんですけれども、特に変形状態が、制震構造を入れるか入れないかで、その辺の真ん中の拘束を外すということの影響が結構出ているのかなという気がして……。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） はい、出ていますね。

○白鳥委員 その辺を詳細に検討すると、結果としては改善されているんでしょうけれども、どの程度の改善効果があるのかというのは、筒の立場で見た場合に、どうなんだろうということを知っているんですけれども。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） それは、ご指摘、ご質問の趣旨は理解させていただいたと思います。結果についてご説明する時に、その点を踏まえて説明させていただくことにいたします。

○小長井委員 よろしいでしょうか。

○大谷副主査 はい、どうぞ。

○小長井委員 暫くずっと議論に出ていなかったので場違いな質問かもしれませんが、単純な質問です。建屋とのインタラクションをどのようにモデル化され

るのか、あるいはその必要はないのか。それから、後、風荷重とか、そういったものも併せて考えているのかどうか、その必要はあるのかないのか。そこら辺、コメントをいただければと思います。

○日本原子力研究開発機構（宮本） 建屋との相互作用の件でございますが、先ず、重量の認識をしていただきたいんですけれども、このスタック部分は650tでございます。建屋は78万tでございますので、全く逆に、従来の床応答的な評価で十分だと考えています。すなわち分離開放でいいと。ただ、私どもは、本当に分離がいいのかと、別途建物と連成した解析も、改造工事前ですけれども、やっております。床応答を介した評価と連成で解いた評価は、当然ですけれども、ほとんど差がないということを確認しております。

風の方は、当然この解析の中で別途やっているはずです。

ご回答、よろしいでしょうか。

○小長井委員 建屋の総重量と比較するのはおかしいような気がします、先ず、そのローカルな構造とのインタラクションをやっぴり考えないといけないのかなという気がするんですが。

○日本原子力研究開発機構（宮本） カップリング、デカップリングの議論は、私は二つあると思ひまして、周波数特性の話と重量の話がございます。2次モードが、昔は建屋の1次モードと非常に近いので、カップリングの要求は高いと思ひますけれども、質量比が75万t対650tというのは、全く普通の意味では連成する必要がないのではないかなと思ひています。ただ、私どもとしては、用心を考えて連成もあえてやって、分離開放でやっても答えは変わらないということを確認しております。

○小長井委員 はい、わかりました。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） 風荷重については、別途評価をしています。地震との重ね合わせというのは、建築基準法からいいますと、重ね合わせは必要がないと。後、地震と強風が吹いた時、確率的に見てそれが重なり合わさる確率が非常に低いので、普通は風荷重と地震荷重は重ね合わせは行いません。

○大谷副主査 小長井先生、よろしいでしょうか。

○小長井委員 はい。

○大谷副主査 伊藤先生。

○伊藤委員 ちょっと時間もあれなので、簡単な質問です。今の21ページのところで、一つは、この一番下の基部のところ、建屋の支柱と一体構造になっていると書いてあって、その支柱の剛性はこの解析モデルの中には入っているのか、入っていないのかということです。

それから、このオイルダンパーを入れられて減衰性を高めるということを書いているのですが、これは通常のオイルダンパーですと、あまり減衰というのは効かなくて、剛性ぐらいでしか効かないというのが通常なんです、このオイルダンパーというのはかなり減衰性を高めた特殊なダンパーなのかどうか。ちょっとそこの2点、教えていただけますでしょうか。

○日本原子力研究開発機構（宮本） レベルの高い点を入力として、支柱の部分は剛体だと評価しております。

○伊藤委員 剛体として見てもほとんどいいぐらいの非常に高い、建屋の方の基部というのは非常に強い剛性だと。

○日本原子力研究開発機構（宮本） 剛性比が全然違いますので。はい。

○伊藤委員 わかりました。

つまり、どちらかといいます、これは改良の思想としましては、柔構造化させてピークを外しているという、そちらの方が強いのかなと思ったんですが、そういう何か思想なんですか。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） 柔構造化が圧倒的ということでもないかもしれませんが、床応答をずらすというのは、基本的にそういう考え方です。

ダンパーは、特注なんですけれども、ちょっと減衰係数が $0.12 \text{ kN} \cdot \text{s} / \text{m}$ とかといっても、ちょっとそのキャパシティーはぱっと出てこないかと思うんですけれども、このCをあえてモーダル減衰に換算すると、2次モードで30%ぐらいの減衰になっていると評価されております。

○伊藤委員 わかりました。いずれ一度、そうしますと、かなり減衰が大きいということは、荷重変位特性を見ますと、大きなヒステリシスを描くような制震性の高いダンパーだと思うんですけれども、もし次回、何かこういう解析結果を示していただく時に、何かそういう減衰のヒステリシスカーブみたいなものがもし

わかれば、併せてちょっと見せていただければと思います。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） 承知いたしました。

○大谷副主査 他にございますでしょうか。はい、中村先生。

○中村委員 ここでも、21ページでも出てきているんですけども、床応答スペクトルのピークから外すような補強をいろいろなところでやっておられると思うんですけども、過去の地震の観測結果で、大体このピークというのはきちんと合っているといったデータはあるのでしょうか。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） はい。基本的に、どのような地震が来てもと言うとちょっと大げさになりますけれども、大本の地震動が地盤・建屋という振動系に入力されます。その結果が床応答なわけですけども、地盤・建屋系というのは、昔も今も一緒に、基本的に原子炉建物の1次固有振動数と2次固有振動数、そこにピークが出る床応答になります。

ご質問の趣旨に答えていないですか。

○中村委員 柏崎等では、多少今まで考慮していなかった壁等を考慮した、固く見た方が観測結果と合っているということがあったので、観測してみると、実際は少し固くなるというようなことがあるのかなという気がしています。これは伸びる方向にずらしていますけれども、逆に固くするような方向にずらしている補強もあったように思うので、その点、観測結果のピークとこの床応答のピークが大体10%の拡幅の範囲に入っているのかどうかというのが気になっているということです。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） わかりました。原子炉建物の解析手法の中で、床の柔性とか、いろいろなモデル化とここで使っているような単純なものとの比較というのをやっています、先生のご発言にありましたように、プラスマイナス10%の拡幅の中には十分収まっています。いろいろモデルを変えますと、それはもちろんピーク外れますけれども、それはマクロに見て、床応答の幅広げの中に十分収まっております。

○中村委員 わかりました。ありがとうございました。

○大谷副主査 今、中村先生がおっしゃったので、柏崎とか他のサイトでは結構地震データをお持ちなんですけれども、ここはそんなに大きな記録は採れているわけではないですね、このサイトは。という理解でいいですね。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） はい、小さな地震の記録しかございません。

○中村委員 でも、観測はされているんですよね。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） しております。幸か不幸かというか、それはあれですけども。

○中村委員 一応大きいものが残る状態で、m観測をしていただきたいと思いません。

○大谷副主査 仮に将来大きな地震が起こった時の本震の記録がなくなるように、きちんとお願いしておきたいと思えます。

では、この問題はよろしいでしょうか。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） すみません、ちょっと1点だけよろしいでしょうか。

○大谷副主査 はい。

○日本原子力研究開発機構（森下ユニット長） 排気筒の高さのところ、先ほど何か濃度の高い放射性物質が煙突から出てくるような説明をいたしましたけれども、基本的には、仮想的な事故を想定した時にこの排気筒から微量の放射性物質が排出されても、例えば敷地周辺ですとか、周りの地域ですとか、そういうところに許容値以上のそういう放射性物質が決して放出されないということを解析でもって確認した上で、こういう排気筒の設計をしております。ちょっとその点を付け加えさせていただきます。

○大谷副主査 ありがとうございます。

少し先へ進ませていただきたいと思えます。最後の回答④、炉外燃料貯蔵槽の概要についてご説明いただきます。

○日本原子力研究開発機構（池田技術主席） ちょっと時間がなくなってきましたので、ポイントだけご説明させていただきます。

これがもんじゅの燃料取扱設備を示した鳥瞰図です。原子炉容器がここにありまして、その外側に炉外燃料貯蔵槽というのがございます。使用済燃料が出ますと、ここから燃料を取り出して、いったん炉外燃料貯蔵槽に入れて、ここで冷却して、冷却後、水で洗浄して燃料プールに貯蔵するというシステムになってございます。高速炉の場合、取り出した燃料の崩壊熱が高いものですので、すぐ水で

ールへ持っていけるという状況ではございませんので、いったん冷却用の貯槽を設けているというものでございます。

貯槽の構造ですが、これが断面図と主要仕様を書いたものでございます。容器としましては、直径6 mぐらいの容器でございまして、その中に燃料を貯蔵する。その外側に外容器というものを持っています。これは、万一ナトリウムが漏れても、この冷却材の液を確保しようということで、外容器を付けてございます。

燃料は、この貯槽に回転するラックがございまして、6列ほど入れられる穴があいてございます。穴というより板がございまして、そこには6列ほど燃料が入ります。全体では約250体ほどの燃料が入ります。使用済燃料は、ここに案内管がありまして、ここからここに入れるということになります。この案内管が全部で6本並んでいまして、それぞれのところに入るような設計になっています。後は、これはラックを回転させますので、回転させる駆動軸を持っていまして、この駆動軸をモーターで回転させることによりまして、入れる位置を変えていくという設計になってございます。

耐震関係でございまして、内側の容器はこのフランジでまとめている。その上に遮蔽用の蓋をしてあるというものでございます。外側には外容器がありまして、外容器は床からスカートで固定していまして、ここはくっついているように見えますけれども、ここが開放されていまして、ここは上下方向はフリーです。炉外燃料貯蔵槽の容器は上下方向に伸びるということになります。支持は、外容器と容器のところにキー溝とボスがありまして、そこで支える構造になっています。後、内側のラックにつきましては、ここに振れた時に止めるような支持台がございまして、ここで支持をするという設計になってございます。

後、E V S Tの外容器の中には、冷却しなければいけませんので、冷却系配管がらせん状に巻いてございます。それにつきまして炉外燃料貯蔵槽冷却系というのを持っています。3系統持っています。最大発熱が660 kwぐらい出ますので、それが取れる冷却系を持っている。冷却系はナトリウム系でございまして、電磁ポンプで循環させて、空気冷却器で冷却する。後、崩壊熱がなくなってきましたと固まってしまいますので、加熱器を持っているということでございます。

先ほどの外容器と貯槽の支持の模式図がここに書かれています。ここには振止めのキーがありまして、外側の容器でキー溝が書かれていまして、ボスがありま

して、そこで支持をするという設計になっています。上は、コンクリートの支持の床がございまして、そこにフランジで固定するという構造になってございます。

耐震安全性評価としましては、他の機器と同じように、水平方向と鉛直方向をそれぞれスペクトルモーダル解析または時刻歴応答解析をやりまして、それぞれ応力を算定して、水平と鉛直を組み合わせて、地震以外の荷重と組み合わせて、評価基準値以下になるかということで評価を行います。

これがE V S Tのモデルと評価する部位でございます。耐震上の話ですから、これがE V S Tのバウンダリをきちんと守るということで、支持をしている部分のところ、据付ボルト、あるいは回転ラックの支持円筒、後は振止ボスとか、外容器のスカートの基礎ボルト、このようところが評価対象となっております。

こちらは、水平方向に振れた時に大きなモーメントが発生する部位を記載してございます。E V S Tのフランジの付け根部分、後は外容器のスカート部分、後、上の回転ラックの支持円筒部分、後は回転ラックの駆動軸のところ。このところに大きなモーメントが出ますので、この辺が評価対象となっております。

ちょっと時間がないので、簡単に説明しましたけれども、以上でございます。

○大谷副主査 何か伺っておくことはございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、また実際のバックチェックの解析結果が出てきた時に議論を続けたいと思います。とりあえず今日、事業者さんの方をお願いして用意していただいた資料についてのご説明は以上でございます。基本的に、今日ご説明いただいたので、大きな問題は残っていないと思っております。今後は、S sが決まった後に、今度はその新しいS sに対して応答解析をされた結果が出てくる。その段階で、もう一回議論をさせていただきたいと思っております。

事務局の方では、今日の議論も含めて、先ほど参考資料1というのをお配りしておりますが、そのリバイスバージョンを作って先生方にメールでお送りさせていただきたいと思っております。それに対して先生方からコメントをいただいて直すということで、そのコメントだけを議論するためにもう一回会議を開くのも大変なので、メールでやりとりということで、今日のまとめが妥当かどうかということは、先生方にメールをお送りして進めたいと思っております。ということで、ご了解

いただけますでしょうか。

ありがとうございます。

それでは、事務局から何か連絡事項はございますでしょうか。

○長谷川安全調査副管理官 この後、そのままやりたいと思いますので、事業者の入れかえだけさせていただく程度の間ということで、よろしくお願いします。

午前 11 時 03 分閉会