

原子炉安全小委員会燃料ワーキンググループ（第11回）
議事録

日 時：平成 22 年 7 月 29 日（木） 13：30～17：20
場 所：経済産業省別館 9 階 944 共用会議室

出席者：	主	査	寺井	隆幸
	委	員	阿部	弘亨
			天谷	政樹
			出光	一哉
			大橋	弘士
			木下	幹康
			小無	健司
			杉原	淳
			更田	豊志
			古田	照夫
			前田	誠一郎

敬称略・順不同

枠囲みの内容には商業機密が含まれますので公開できません

寺井主査 それでは、まだ予定された時間より若干早いですけれども、本日御出席予定の委員の先生方は全員おそろいでございます。官庁の方はまだおそろいではありませんが、おいおい見えられるということでございますので、ただいまから「原子炉安全小委員会燃料ワーキンググループ」の第11回を開催いたします。

初めに、事務局から定足数の確認、事務連絡及び配付資料の確認をお願いいたします。

青木統括安全審査官 原子力発電安全審査課の青木でございます。

まず、定足数の確認でございます。

本日は11名の委員に御出席いただいております。このうち臨時委員は8名で、定足数でありませぬ臨時委員6名以上の要件を満たしております。

次に、本日の会合でございますけれども、保安院における委員会等につきましては、原則公開で行うということでございますが、本会議につきましては、企業秘密等に係る情報を取扱いますことから、非公開とさせていただきます。

それでは、配付資料の確認をさせていただきます。

座席表、委員名簿の下に、本日の議事次第を用意させていただいております。

「4. 配付資料」にございますとおり、本日は燃料W11-1～3までの資料を御用意させていただいております。

燃料W11-1「17×17 A型高燃焼度燃料 対策燃料設計について」でございます。

燃料W11-2「燃料ワーキンググループ コメント回答(その2)」でございます。

燃料W11-3「『17×17 A型高燃焼度燃料 燃料被覆管摩耗の評価について(燃料W10-2)』に係る新旧比較表(案)」でございます。

配付資料につきましては、以上でございます。

寺井主査 どうもありがとうございました。もし資料に不備等がございましたら、事務局へお申し出いただければと思います。本日の配付資料は1～3までということでございます。

早速でございますが、議事に入りたいと思います。

本日の議題は、前回同様「高燃焼度17行17列A型燃料集合体からの一次冷却材中への放射性物質の漏えいについて」でございます。本日は対策燃料の設計と前回のワーキンググループでいただいたコメントに対する回答を審議させていただき予定でございます。

それでは、事務局から御説明をお願いいたします。

青木統括安全審査官 配付資料の御説明の前に、全体的なお話をさせていただきたいと思ひます。

高燃焼度17×17A型燃料の微少漏えいの話につきましては、これまでに2回ワーキンググループで御審議をいただいております。1回目の御審議では、ファイバースコープによる観察結果などから、フレット摩耗であろうということと、燃料集合体のコーナーの内側のところに燃料ピンのリーカーが多く発生しているということで、燃料集合体については5体、燃料ピンについては7本微少漏えいがあったわけですが、コーナーの内側に集中しているということで、事業者が流動解析をやった結果、最下部支持格子の下に突き出た当該部分に横向きの流体のピークになるような力が加わっていたことが新たにわかったということで、その辺が原因であろうと推定をする報

告がございました。これを御紹介させていただいて、御審議をいただきました。

前は、2体の流水試験、実際に実験をやってみて、やはり最下部支持格子の2行3列目、3行2列目辺りに横流れのピークが出るということが実験的にも確認できたということの御報告をさせていただいたところでございます。

また、照射後試験施設に持ち込んだ漏えい燃料の燃料ピンを引き抜いた写真などをごらんいただきまして、確かにフレティング摩耗でありそうだということで御確認をいただいたところでございます。

事業者は、その辺の結果を踏まえて、流動解析のコードを更に反映して、照射によってばねが緩和するわけですけれども、ある程度緩和が進んで、そのばねを支持する励振力が上回ったところで振動が始まるといったような閾値があるであろうというコメントをいただいたわけですけれども、その辺も組み込んで、新たに改良しましたということで御紹介をさせていただいたところでございます。

今回は、下部ノズルにつきまして設計変更をしたいということで、事業者から話がございました。これに関係いたしまして、既に大飯の1号～4号に向けた燃料体の設計認可申請もございまして、これもお手元に机上配付資料として置かせていただきましたが、既にこういう申請もございまして、本日はこの設計につきまして御審議をいただきたいと思っております。

それから、これまで解析につきましていろいろコメントをいただいております。今回の設計について改善効果が見込めるということで、事業者から提出のあった資料を今日燃料W11-1ということで用意させていただき、これをこれから御説明させていただきますけれども、この中では、新たな設計のものの流水試験を実施して、実際に効果があることを確認している。あるいは解析を実施して、これだけの効果がありますよということで、その効果について報告がありますが、これまで解析コードに関するコメントにつきましては、まだ全てお答えしているわけではございませんので、そのコードを使って、設計の妥当性を示しているところもございまして、本日は併せてコメント回答の方も御用意させていただいているということでございます。

御説明の段取りでございますけれども、最初に燃料W11-1で御説明をさせていただいた後、現設計の下部ノズルのカットモデル、今回申請がございました変更後の新しい設計の下部ノズルのカットモデルを御用意させていただいておりますので、御説明が終わった後、若干休憩をとっていただいて、実際にモデルをお手にとりごらんいただいた後、質疑応答をやっていただければどうかと思っております。その後、今までいただきましたコメントについて御回答させていただきたいと思っております。

よろしければ、そのような形で進めさせていただきたいと思っておりますので、よろしく願いいたします。

寺井主査 以上のような形で、本日は17時まで進めさせていただきたいと思っておりますが、よろしゅうございますでしょうか。

それでは、そういう形で説明をいただければと思います。

木原安全審査官 それでは、燃料W11-1「17×17 A型高燃焼度燃料 対策燃料設計について」

の資料を基に御説明させていただきたいと思います。

1枚めくっていただきますと「目次」となっております。

今回の資料につきましては、まず「1. はじめに」がありますが、「2. 対策設計の考え方」ということで、今回の対策設計における基本的な考え方を整理した後、「3. 対策燃料の仕様」ということで、どういう設計燃料となっているかの仕方を整理しております。

「4. 対策効果の確認」で、この対策燃料がどういった効果を与えるのかということで、「4 - 1 励振力測定による確認」「4 - 2 流動解析による確認」「4 - 3 振動測定による確認」の効果の確認を行っております。

「5. 摩耗評価」としまして、W10の前のA型燃料等で評価している、同じ評価を行って、対策燃料の方のフレットング摩耗がどうなっているのかということ整理しております。

「6. 影響評価」としまして、対策燃料全体の他の影響がどのようなものが考えられるのかということで、それぞれ「6 - 1 燃料集合体の水力振動への影響」「6 - 2 混在炉心における燃料集合体への影響」「6 - 3 燃料機械設計健全性への影響」ということで、影響評価を整理しております。

最後に「7. まとめ」という形で整理をした資料となっております。

では、2枚めくっていただきまして、1ページから説明させていただきたいと思います。

先ほど説明がありましたように、今回の推定要因分析は、前回までのワーキング等で、要因分析の結果、最下部支持格子でのフレットング摩耗の推定要因が主な論議ということで、そのフレットング摩耗の要因としまして、～ までの要因を挙げております。

としまして、集合体内流動要因。

としまして、隣接燃料による流動要因。

としまして、炉内流動要因。

としまして、構造、照射要因。

今回の資料では、上記の～ の要因に対する対策案のうち、本格的な対策に先立ち、既に製造済み、もしくは製造中の燃料等に適用できる設計変更として、次ページ以降にとっている対策を整理しております。

2ページ「2. 対策設計の考え方」になります。

先ほどの4つの要因のうち、燃料棒のフレットング摩耗の推定要因の炉内流動要因につきましては、プラントの特性で決まるため、燃料設計で対応できるものに対する対策として、以下のような設計変更が考えられるとしております。

全体の考え方を整理したものを、4ページの表2 - 1で一覧表にしております。

4ページで、大きく左側のところで推定要因を3つ述べております。

一番上の「集合体内流動要因」が先ほどの、その下の「隣接燃料による流動要因」が、最終段の「構造、照射要因」がに該当するものになります。

まず、集合体内流動要因の原因としまして、集合体内横流れ強度の低減ということで、5ページの図2 - 1を準備しております。こちらの方で一次冷却材が下部炉心板流路孔を通過する際、流路

孔直上の流速は速いが、流路口外側の流速が遅いため、流量分布が生じる構造となっております。A型燃料のように下部ノズルの流路孔が大きい場合には、下部ノズルで十分整流されず、下部ノズル通過後も上記流量分布が残るために、最下部支持格子に至る間に横流れが生じるという現象が生じておりました。これが図2 - 1の左側の図になります。

ここで下部ノズルの上のところで、黒の線になっているところが流路孔となっております。A型の場合は、この流路孔が大きいものとなっておりますが、その右側の対策A型燃料の方では、この流路孔を小孔径のものに変えております。この小孔径の流路孔を多く配置することで、下部ノズル通過時にできるだけ一次冷却材の流量分布を均質化させ、下部ノズル通過後の横流れを低減させる構造としております。

その主な横流れを低減ということで、大きな矢印で一次冷却材の流れを書いてありますが、その後の矢印のところを均質化させ、横流れを減少させております。

(2) 隣接燃料による流動要因の低減としまして、隣接燃料との圧損差による流況変化の抑制を図っております。

こちらのイメージ図は、6ページの図2 - 2となります。A型燃料の炉心入口部圧損につきましては、B型燃料よりも従来低かったため、A型燃料への一次冷却材の流量が増加する傾向がございました。この対策としまして、下部ノズルの圧損をB型燃料程度に増加させることで、A型燃料への一次冷却材流量増加を抑制するように図っております。

その図は、図2 - 2の上の図になります。従来のA型燃料の場合ですと、隣接する燃料からの圧損や構造の異なる燃料から流入することで横流れ量が増えていたものを、下部ノズルの圧損を上げることで、横流れの量を抑制する構造としております。

隣接燃料との構造差による流況変化の抑制としまして、A型燃料とB型燃料で最下部支持格子軸方向位置が異なっており、隣接した場合にこの支持格子位置ずれによる一次冷却材の横流れが大きくなるという事象もあります。

この対策としまして、A型燃料の最下部支持格子軸方向位置をB型燃料にできるだけそろえることで、一次冷却材の流況の変化を抑制することが可能としております。

ただ、こちらの構造は、今回の設計変更が下部ノズルにおいて行っておりますので、ここの変更点については、今回の設計では未対応となっております。

(3) 構造、照射要因の低減につきまして、リフトオフ発生低減、流体力によるモーメントの低減を図るための設計を行っております。

こちらは先ほどの5ページの図を例示しておりますが、A型燃料につきましては、下部ノズル通過後の一次冷却材流れが十分整流化されない。このため、燃料棒周りの静圧差が大きくなり、流体力によるモーメントを大きくすることでリフトオフ発生の可能性を大きくしておりました。また、炉心入口部の圧損が高い燃料と隣接した場合に、更に静圧差が大きくなる傾向にあったことから、この対策として、下部ノズルの整流効果及び圧損増加を図ることにより、静圧差及び流体力によるモーメントを低減することができる。

また、燃料棒が流体力により受けるモーメントは、最下部支持格子から下に突き出した長さを短

くすることにより低減することができる。

こちらの最下部支持格子から下に突き出したというところにつきましては、6ページの図2-3を載せておりますが、A型燃料につきましては、最下部支持格子から下に突き出した燃料棒部分がありまして、この燃料棒のところでモーメントを大きくする働きがありますので、これを短くすることにより低減することも可能としております。

3ページ、リフトオフ発生低減としまして、最下部支持格子ばね力の緩和の低減。

最下部支持格子は照射量が低く、照射によるばね力緩和は小さいと考えられるが、最下部支持格子の照射量を更に低減できるように最下部支持格子位置と燃料棒有効部の距離を広げることにより、照射中のばね力をできるだけ大きく保つことができるとしております。

これらの設計変更の考え方のうち、先ほども御説明しましたが、製造済みの燃料に適用できるものについては、下部ノズルへの設計変更が可能であることから、今回、下部ノズルに対して変更ができる設計を採択しております。

適用している考え方につきましては、4ページの表2-1の一番右側のところで印をしている設計変更について対応をとっております。具体的には、一番上の「集合体内横流れ」「横流れ強度の低減」「下部ノズル圧損をB型燃料程度に増加させることで、A型燃料への一次冷却材流量増加を抑制する」「流動の低減、圧損の増加」ということで、下部ノズル部での整流効果を上げるという3点の設計変更を行っております。

これらの設計変更を講じることで、フレットング摩耗の対策として期待ができるとしております。

具体的な下部ノズルの図につきましては、7ページに資料を準備しております。左側がA型燃料下部ノズルということで、従来の下部ノズルになりますが、これを改良下部ノズルに交換することで、圧損を高め、かつ下部ノズル部の小径多孔流路により、燃料集合体に流入する冷却材の整流効果を向上させるという効果を図る形としております。

具体的にこの対策燃料をどのような仕様にするかということで、8ページにその資料を整理しております。

変更する下部ノズルの仕様及び集合体の仕様を図3-1及び図3-2に整理しております。これが9、10ページになります。

まず、9ページが下部ノズルに注視したものになっております。このうち、下部構造のところは従来と同じですが、下部ノズルの上面、下面のところ、左側のA型燃料の場合と対策A型燃料のところで設計が変更されております。

A型燃料の場合ですと、流量孔径を約7~11mmとしていたものを、流路孔径を右側の対策A型では約4mmの孔径の穴のものを並べる形となっております。

燃料集合体全体の比較としまして、10ページに、左側のA型燃料と右側の対策A型燃料の比較図を載せております。それぞれの設計の比較を真ん中の表に載せておりますが、今回の設計変更で対応を図っているものは、一番下から3番目の下部ノズルのところになります。A型の低圧損型に対して、対策A型燃料では均一多孔型に、これにより一番下の安全解析上の現行燃料の炉心全体圧力

損失係数を 1 として規格化した場合の圧損が 1.01 に対して、対策 A 型は 1.03 と圧損を高めた設計としております。

この対策 A 型燃料の圧力損失につきましては、現在使用している 17×17 B 型の下部ノズルとほぼ同じ圧損となるように設計されているものとなります。

11 ページの「4 . 対策効果の確認」としまして、先ほどの設計変更を行いました対策 A 型燃料の設計変更が、フレットング摩耗に対して対策効果があることを確認するというので、確認を行っております。確認方法につきましては、部分モデル二体流水試験によって、A 型燃料で特に励振力の高くなっている 3 - 2、3 - 3、セル位置での励振力が対策設計により低減していることを確認しております。

「4 - 1 励振力測定における確認」で (1) 対策 A 型燃料の励振力測定試験について、試験装置の概要を図 4 - 1 - 1 として 13 ページに載せておりますが、部分モデル二体流水試験装置自体につきましては、この図のような形で行っております。

下の図 4 - 1 - 2 のところで、供試体のモデル化範囲ということで、今回 B 型燃料と対策 A 型燃料を並べた形のところで模擬範囲を示しております。

これらの部分モデル二体流水試験につきましては、A 型燃料の漏えい原因究明の際に使用している試験装置と同様のものを使っておりまして、対策 A 型燃料の構造自体を A 型から対策 A 型に変更している形で試験を行っております。

励振力の測定をしているセルの位置を 14 ページの図 4 - 1 - 3 に示しておりますが、励振力の測定セル位置につきましては、A 型燃料で漏えいの生じた流路孔周縁部 (3 - 2、3 - 3) と流路孔中央部 (5 - 5) 及び集合体中央部 (8 - 8) のところで測定を行っております。図の中でいいますと、オレンジ色のところで整理しておりますが、この位置での励振力測定を行っております。

対策 A 型燃料単体及び対策 A 型燃料に B 型燃料が隣接した条件の 2 種類の条件で試験を実施しております。対策 A 型燃料単体での測定結果と対策 A 型燃料に B 型燃料が隣接した場合での測定結果を比較することで、B 型燃料が隣接することによる励振力の変化を確認しております。

また、対策 A 型燃料と A 型燃料の測定結果を比較することで、対策 A 型燃料の励振力低減効果の確認を併せて行っています。

その結果が 15 ページの上の図 4 - 1 - 4 になりまして、その比較図を示しております。

まず、対策 A 型燃料につきましては、燃料棒下端の部分になりますが、下の A 型燃料単体の場合、燃料棒下端で流路孔縁、3 - 2、3 - 3 に位置するところですが、こちらの方が A 型燃料単体に対して B 型燃料が隣接しているときに励振力の相対比が上がっていることに対しまして、その上の対策 A 型燃料では、この上昇が発生しておらず、A 型よりも励振力が低減し、その数値自体も漏えいが発生していない他の位置、これは右隣の 5 - 5、8 - 8 と同程度の励振力に抑えられているということがわかるかと思えます。

また、対策 A 型につきましては、上の図の両方を見比べていただくとわかるかと思えますが、A 型の場合のように、A 型燃料と A、B 隣接タイプで若干位置がずれているものがありましたが、対策 A 型では、点がほぼ重なっておりまして、B 型燃料の隣接による影響がほとんど現れていないと

ということで、励振力の増加がほとんどないことがわかるかと思えます。

これらの結果から、対策A型燃料の励振力につきましては、燃料棒位置に依存することなく、A型燃料で漏えいが発生していない燃料棒位置と同じレベルに低減しており、またB型燃料が隣接したとしても、その影響がほとんどないことがわかるかと思えます。

続きまして、16ページで流動解析による確認を行っております。

この流動解析による確認では、対策A型燃料における励振力の低減効果をCFDにより確認を行っております。CFD解析で考慮している前提条件につきましては、下の評価軸方向位置等で整理をしている条件で実施をしております。

この結果につきましては、18ページに示しております。

上の図4-2-1がA型とB型燃料を隣接した際の結果。下の図4-2-2が対策A型とB型を隣接した結果を載せております。

申し訳ありません。逆にとなっております、上が対策A型、下がA型燃料となっております。

この図表から、A型燃料の場合に比べまして、対策A型燃料の方は色の濃度差が抑えられた形になっておりまして、いわゆる赤い流速の高い部分が比較的少なくなっていることから、軸流速分布はA型燃料に比べて均質化されていることがわかるかと思えます。

これらの解析結果を更に各セル位置での燃料棒周りの軸流速を整理し、19ページの図4-2-3と図4-2-4で示しております。これらの図から、流量孔縁のセル位置において軸流速が低減し、各セル位置で均質化していることがわかるかと思えます。

赤がA型燃料で、B型が隣接している場合。これに比べまして、対策A型のB型と隣接した場合の緑色の棒のグラフは、燃料棒位置の右側の4つ、3-3、2-3、3-2、2-2の方で低下しているのがわかるかと思えます。

同様に横流れ強度を整理したものが、下の図4-2-4になります。こちらの方が同じ位置のところでA型の赤い棒グラフに対して、対策A型の緑色の棒グラフの方が低い強度となっていることがわかるかと思えます。

これらのCFD解析の結果につきましては、B型燃料隣接時について横流れ強度が増加しており、この点については、先ほどの4-1のところを確認しております励振力の測定結果と傾向が一致しないところはございますが、CFD解析結果では、A型燃料に比べて全体的に横流れ強度が小さくなっており、A型燃料よりも対策A型燃料の励振力が小さくなる傾向が確認されたかと思えます。

これらの観点から、B型燃料隣接時の横流れ強度の変化と励振力との傾向が一致しない点はあるものの、対策A型燃料の軸流速分布はA型燃料に比べて均質化されており、B型燃料が隣接したときの軸流速と横流速につきましては、A型がB型に隣接したときよりも低減していることがわかるかと思えますので、対策A型燃料のフレティング摩耗に対する対策の有効性を確認することができたとしております。

20ページに、静圧分布に関する解析結果を示しております。

燃料棒の保持状態は、燃料棒が受ける流体力によるモーメントに影響を受けることから、対策A型燃料にB型燃料が1面隣接した際の静圧分布を、CFDにより求めております。その結果を21

ページの図4 - 2 - 5で示しておりますが、こちらの(a)が対策A型、(b)が従来のA型になりますが、3 - 2位置に当たるところで P 約 0.0035MPa となっていた静圧の部分が、約 と低減していることが確認されております。

そのため、対策A燃料の流体力による静圧差による流体力モーメントにつきましては、A型燃料より低減していると考えられる。

これらの結果から、対策A型燃料では燃料棒が受ける流体力による発生モーメントが低減することがわかるとしております。

22ページでは、振動測定による確認ということで、実機フルサイズでの対策A型燃料の効果を確認しております。

フルモデル流水試験を実施しております、最下部スパンでの燃料棒の振動を測定し、燃料棒の振動速度についてA型燃料でのフルモデル流水試験結果との比較を行い、その効果を確認しております。

この試験により得られた結果を23ページの図4 - 3 - 1で示しておりますが、 がA型燃料、 が対策A型燃料の結果を示しております、全体的にA型燃料の数値に対して、対策A型燃料の振動速度の相対比は低い位置に得られております。

これらから対策A型燃料の流路孔周縁部のセル位置においては、振動速度が低下しており、また、流路孔中央から流路孔周縁部にかけて、ほぼ同じレベルでの数値が得られていることから、全体的に均質化していると考えております。

これらの結果から、対策A型燃料の燃料棒振動は燃料棒位置にほとんど依存することなく、A型燃料で漏えいが発生していない燃料棒位置の燃料棒振動と同等以下に低減していることがわかるかと思えます。振動速度が均質化していることは、励振力の均質化によるものであり、対策A型燃料の効果によると考えられるとしております。

24ページでは、摩耗評価を実施しております。

対策A型燃料の摩耗体積につきましては、A型燃料と同じフレットング摩耗評価方法を用いた評価を実施しております、モデル自体は前回のワーキングの試験方法モデルと同じものを使っております。

その評価結果につきましては、26ページの図5 - 2 - 1で示しておりますが、左側のA型燃料の摩耗体積相対比の確認結果に比べまして、右側の対策A型燃料の解析結果が示しております。これからわかるかと思えますが、対策A型燃料の摩耗量につきましては、A型燃料に比べ大幅に低下しております。

27ページ、影響評価に移らせていただきたいと思います。

影響評価としましては、6 - 1の「燃料集合体の水力振動への影響」、6 - 2の「混在炉心における燃料集合体の共存性への影響」、6 - 3の「燃料機械設計健全性への影響」の3点から評価を行っております。

燃料集合体の水力振動への影響につきましては、先ほどの4章のところで確認を行っておりますが、B型燃料との隣接によって、対策A型燃料への影響がないということを確認しておりますが、

一方で対策 A 型燃料が隣接したときの B 型燃料への影響についても併せて問題ないことを確認しております。こちらの確認につきましては、別添資料としまして、30 ページの後ろに「対策 A 型燃料隣接時における B 型燃料の健全性」ということで、その健全性を評価した結果をまとめております。

まず、こちらの別添を御説明させていただきたいと思います。

B 型燃料の健全性に関しまして、B 型燃料自体が A 型燃料とは異なる設計が行われておりますので、まずその全体図を確認することで、別添の 4 ページでその比較を行っております。A 型燃料集合体と B 型燃料集合体を比較のために並べておりますが、B 型燃料集合体につきましては、燃料棒下端が下部ノズルに接するボトムオン構造をとっておりまして、A 型燃料棒に対しまして、B 型燃料棒は下部ノズルの上に設置した形で配置されております。そのため、A 型燃料に最下部支持格子からの突き出し長さが無い形となっておりますので、燃料棒の振動が生じにくい構造となっております。また、燃料下部の流れに着目しましても、下部ノズルの流水孔が小さいため、集合体下部における流れが比較的均一になりやすく、更にボトムオン構造により燃料棒下部における流れの乱れから振動が生じにくい構造となっていることから、隣接燃料によらずに、B 型燃料ではフレッティングが生じにくい構造となっております。

ただし、今回対策 A 型燃料採用による影響としましては、隣接する対策 A 型燃料の方で圧損係数を変更していることから、それに起因する横流れの影響が考えられるということで、その横流れの影響を確認しております。

まず、燃料下部の部分におきましては、対策 A 型燃料の圧損係数が A 型燃料よりも大きく、B 型燃料とほぼ同等のものに変更されることから、横流れは減少すると考えられます。また、燃料上部においては、A 型燃料と対策 A 型燃料で圧損係数が同じであることから、更に PWR 燃料では開格子であることから、燃料上部に到達するまでに流れが均一化され、横流れはほとんど影響を受けないと考えられるということです。

以上のことを確認するために、A 型燃料と B 型燃料が隣接した場合のサブチャンネル解析を実施しております。このサブチャンネル解析につきましては、別添 - 5 のところでその解析体系を整理しております。

A 型燃料と B 型燃料を並べた場合のモデル化を行っておりまして、A 型燃料につきましては、図 2 の真ん中のところになります。それぞれ異物フィルタ、下部ノズル、下部炉心板等の圧損係数をどのノードで入力するかということと比較整理しております。A 型と B 型で異なる構造としまして、A 型の燃料につきましては、異物フィルタを有することから、圧損係数の入力値としまして、A 型は第 1 ノードのところで異物フィルタの圧損係数を入力し、第 2 ノードのところで最下部支持格子の圧損係数を入力するようしております。B 型の方につきましては、異物フィルタを有さないことから、第 1 ノードのところで最下部支持格子の圧損係数を入力する形となっております。

これらの圧損係数の入力値につきましては、一番右側のところで白抜きのところが B 型燃料、赤いところが A 型燃料、青いところが対策 A 型燃料ということで、圧損係数の相対図を載せております。

このサブチャンネル解析の結果を別添 - 6 の図 3、図 4 で整理しております。上の図 3 が軸方向流速について整理したもので、下の図 4 が横方向流速について整理したものになります。

まず、図 3 の軸方向流速につきましては、赤い破線と緑の破線が A、B を想定したものです。実線が対策 A 型と B 型を隣接した場合の図となっております。こちらの図から確認できるかと思いますが、A 型、B 型の破線で示されている図につきましては、当初の A 型の下部ノズルのところの圧損が低いことから、B 型と A 型との間で軸方向流速に開きがございまして、A 型の方が流速が大きい状態になっております。その後、上部軸方向位置が高い右側になりますが、この上部に行くに従って、運動量交換により、流速差が解消されていくという傾向があります。

それに対しまして、対策 A 型の下部ノズルにつきましては、圧損を上げていることから、実線のところ、5.0 の上下の位置になりますが、軸方向流速の相違は低くなっており、かつ B 型よりも圧損係数がわずかに対策 A 型の方で大きいいため、流速自体は対策 A 型の方が小さい状態となっております。

その後、対策 A 型につきましては、収束する方向に向かう前に、先ほどの最下部支持格子の位置が A 型と B 型で異なっていることから、最下部支持格子による横流れが発生しておりまして、一旦流速差が大きくなる方向に傾向を示した後、収束する方向になっているかと思っております。

その横流れによる流速差が大きくなるということの確認する 1 つの資料としまして、下の図 4 の横方向流速のところを御確認していただければと思いますが、先ほどの A の最下部支持格子による横方向流速の影響ということで、下に突き出た部分があるかと思っておりますが、こちらのところで最下部支持格子による横流れが相当程度発生していることがわかるかと思っております。

対策 A 型と A 型の横方向流速につきましては、図 4 で見られるかと思いますが、若干傾向が異なっておりまして、A 型の赤い線の方では、一度最下部支持格子のところできく横方向流速が発達した後、0.0 に近づく形に収束しておりますが、対策 A 型の方につきましては、一度最下部支持格子のところ横流れが発生した後、正の方向、こちらで言うと 0.0 より上の領域になりますが、こちらの B 型から A 型の方に流れる横流れが発生した後、収束する方向に向かう傾向を示しております。

以上が A 型燃料と対策 A 型燃料が B 型燃料と隣接した場合の流れの状況になりますが、B 型燃料の健全性への影響の観点からしますと、対策 A 型燃料が隣接した際の横流れの強度につきましては、A 型燃料が隣接したよりも絶対値として小さいことがわかるかと思いますが、この絶対値が小さいことから、B 型燃料の健全性に影響する横流れにつきましては、A 型燃料隣接のものに比べて小さいことがわかるかと思っております。

B 型燃料につきましては、A 型燃料との隣接によって、横流れに起因する燃料破損を生じることなく健全性を維持しておりまして、また上記のように、対策 A 型燃料との隣接時にも燃料下部における横方向流速の増加がなく、また燃料中間部及び燃料上部でも燃料下部における圧損差の影響がないことから、対策 A 型燃料との隣接時においても B 型燃料の健全性は維持されるとしております。

27 ページの影響評価の 6 - 2 に移りたいと思っております。

混在炉心における燃料集合体の共存性への影響につきましては、まず核的共存性につきましては、

今回の変更が下部ノズルの適用のみであることから、燃料有効部に変更が生じないため、B型燃料との有効部分の位置ずれによる核的影響も従来から変更がないことから、影響については問題ないとしております。

また、熱水力共存性につきましても、今回の変更点が下部ノズルの変更のみでありますので、支持格子の仕様に変更が生じておりません。そのため、B型燃料との支持格子の位置ずれによるDNB特性上の変更点も発生していないことから問題はないと整理しております。

28ページ、燃料機械設計健全性への影響ということで、今回の下部ノズルの適用により燃料構造が変更となるため、燃料集合体の機械的健全性への影響を評価しております。

まず、燃料輸送及び取扱い時における強度評価の影響としまして、改良下部ノズルを用いて行った強度試験に基づきまして、設計荷重（6G荷重）を用いた最大発生応力を評価しております。

その結果を29ページの表6-1に示しておりますが、現行下部ノズルに対して、改良下部ノズルの設計比は上がってはおりますが、許容値に対する応力以下であることから、設計基準を満足していると整理しております。

また、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度評価への影響としまして、運転中のスクラム時における下部ノズル強度への影響が考えられるため、スクラム時の下部ノズル最大発生応力を評価しております。

その結果が、先ほどの29ページの表6-2になりまして、設計比の方を示しております。設計基準を満足していることを確認しております。

また、改良下部ノズルの適用により、燃料集合体圧損が増加するため、燃料集合体揚力が大きくなり、上部ノズル押さえばねの機能評価への影響が考えられることから、流水試験により得られた圧損及び改良下部ノズルの質量増加分を考慮して、対策A型燃料に浮き上がりの評価を行っております。

その結果につきましても、29ページの表6-3に示しておりますが、いずれも設計基準を満足していることを確認しております。

30ページ「7.まとめ」となります。

最下部支持格子でのフレットング摩耗対策として、圧損が大きく、整流効果を向上させた改良下部ノズルを適用した対策A型燃料の効果を上記のように確認しまして、混在炉心における燃料集合体の共存性への影響も問題ないことを確認したとしております。

この対策A型燃料は55GWd/tまで健全性を確保することができると考えられるとまとめております。

以上で説明を終わらせていただきます。

寺井主査 どうもありがとうございました。

それでは、先ほど御案内がありましたように、ここで一旦区切りまして、10分ほど休憩をさせていただきます。その間に、脇のところに下部ノズルの古いバージョンと新しいバージョンがありますので、それを見ていただいて、10分後ぐらいに再開をして、質疑応答に入りたいと思います。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、10分間休憩をとらせていただきます。

(休憩)

寺井主査 先生方、10分間ぐらいの休憩の間に見ていただいてというふうに申し上げていたんですが、20分弱経ちましたけれども、もしお手洗い等が御必要でしたらと思いますが、いかがですか。よろしゅうございますか。

(「はい」と声あり)

寺井主査 それでは、再開させていただいて、質疑応答から始めさせていただければと思います。先ほど御説明いただいた資料11-1につきまして、コメントあるいは御質問をよろしくお願いたします。

基本的な趣旨は下部ノズルを取り替えるということで、それに対して具体的にどういう影響があるかということ解析してきている資料になります。実際には、対策は表2-1、4ページにありますけれども、このうち、で書いてあるところが下部ノズルを交換することによって改善できるという趣旨であります。

更田委員、どうぞ。

更田委員 御説明いただいた対策なんですけれども、対策としては対策になっている、要するに改善されるということは明らかだろうと思うんです。ですから、今回の問題にしている事象に関して言えば、ベターであることは間違いない。それでは、何を心配するかといいますと、対策を取ったことによって、ほかで何か悪さをしないかということだけだと思うんです。何か対策を取って、それが既存の、あるいはほかのものに対して何か悪さをしないか。

それで、1点だけ気になったのは、そもそもジルカロイグリッド採用によって圧損を下げようとしていたにもかかわらず、今回、また圧損の大きなものに変えるということで、先ほど、休憩中にはありましたけれども、トータルの圧損は大きくなる。それで、集合体全体としてのトータルの圧損が大きくなることによって、何か想定される悪さ、あるいはその程度の圧損の増加は問題にならないというような評価といいますか、何かはされているんでしょうか。

寺井主査 いかがでしょうか。

竹内建設班長 済みません、一応、この資料の中では、後段のところではほかへの影響というところで一通り、27ページ以降、ごく簡単に、影響はないということで、例えば混在炉心、炉として見た場合の核特性とか熱水力的な観点とかといった点についても問題ないということ。それと、28ページで、これはむしろ今回、単体的なものでありますけれども、機械的な影響はないという評価をしております。

それで、別添でB型との組み合わせの比較といったところもしてございますが、更に可能性としてありますのは、例えば安全評価への影響という点も、まさにこの部分というものは設置許可の手續が要るかどうかという点にかかっておりますけれども、その部分も我々としては一応、聞き取りの中で確認しております。そこにつきましては審査グループの方で一応確認しておりますので、

少し簡単にお話をさせていただきます。

黒村統括安全審査官 設置許可での評価をいろいろやっておりますので、その観点でどうだったかというのを、概略を御説明させていただきます。

まず、添付書類八関係で熱水力設計等の評価をしておりますけれども、そのとき燃料の圧損が大きくなるということで、その分、バイパス側の流量が増えるというところがあります。そういったところで、炉側に流れる熱設計流量、ここも実際の流量に比べれば少な目の設定でやっているということ。あと、バイパス流量については、評価で設定しているバイパス流量の余裕の中で、今回のものは十分包絡できるような内容になっている。

次に、添付書類十の方に行きますと、やはり同様に、一次冷却材の流量と、あとは炉心部の圧損といったところが影響になりますけれども、LOCAの評価においても、従来、今回のものよりもっと大きい圧損の燃料も考慮してやっておりますので、特に影響はないということを確認しております。

また、下部ノズルの設計が変わるということで、燃料集合体落下の評価はどうかということも確認しております。ここについては下部ノズルの変形試験を今回新たに追加してやっております。それを基に破損燃料本数を評価して従来の評価結果の中に入っているということで、被ばく評価への影響もないというようなところについては確認しております。

寺井主査 更田委員、よろしゅうございますか。

更田委員 はい。

寺井主査 出光委員、どうぞ。

出光委員 関連して、同じような趣旨なんですけど、18ページの絵を見ますと、図4-2-1と図4-2-2なんですけれども、要はA型燃料とB型燃料隣接のときはA型の方の圧損が少ない分、下の方で流速が速くてということなんですけど、対策A型にして、上の図を見ると、B型の方で結構、赤い流速の早い分が増えていっているようなふうに見えるんですけども、これのここでの影響は、多分、この対策でA型の方だけを見ているような気がするんです。

それで、その次の19ページに軸流量と横流れがあるんですけども、これはA型だけしか見ていないんですね。そういう意味で、この試験をやったときのB型側で、要は横流れが増えるとか、そういうことがないのかということをお聞きしたかったんです。

寺井主査 非常に重要な論点だと思いますが、ここはいかがでしょうか。

竹内建設班長 済みません、18ページにあるようなCFD等の評価を用いて、個別にその位置をとらえて評価というものは、横流れによる影響というものは解析としてはしておりません。といいますのも、こちらはA社といいますか、A型燃料ということで、三菱側のスペックでやっているところもございますが、B型への影響といたしましては、最後にこの資料の別添の中で御説明させていただきましたように、この別添-6ですね。

済みません、もともと、この別添というものは、別添-1の一番上のところがございますように、この資料そのものは関西電力と三菱原子燃料の2者のクレジットによるものでございますが、この別添部分につきましては別途、関西電力の方から原子燃料工業、B型燃料のメーカーの方で評価し

てもらった結果を添付しているという位置づけのものでございまして、B型のメーカーの方で評価した結果をまとめた内容ということで、この別添 - 6の方でも下の図、この横方向の流れというのは、圧損とのバランスでノード分割して用いた、導き出したということでございますが、もともと対策前のA型燃料との組み合わせでも特にB型は影響がないといいますが、漏えいは発生していないということもございまして、今回の中でも特に大きな流れはないということで評価しております。

青木統括安全審査官 済みません、別添 - 6の上のグラフをごらんいただきたいと思うんですけども、これは縦軸は軸方向流速になっていて、横軸が縦方向の位置です。それで、最下部のところを見ていただくと、B型については緑で描いてございますけれども、A型燃料と隣接したときのB型が緑の波線で、それから、対策A型燃料と隣接したときのB型は緑の実線で描いてございますが、このとおり、最下部のところでは対策A型燃料と隣接したときの方が、B型の軸方向流速は確かに上がっているという評価はB社でもやっております。しかしながら、それでも大丈夫ですよという説明です。

出光委員 わかっているといいますが、どのくらいB社の方がやっているかというのが少し、この資料だけではわからないのでお伺いしたんですが、別添 - 5で、要はA型燃料からB型燃料側への流れがあって、別添 - 6の方で、対策をすることによって横流れの流速が減るといのはわかるんですけども、この流速が入って、B社の方で大丈夫ですよというのが、この報告書には載せにくいかもしれないんですけども、そういうことであるというふうに理解してよろしいということですか。

竹内建設班長 はい。特に今回、この別添の中では定量的にどれくらい、振動がどうであるとか、応答値がどうであるとかというのは、特にそこまでは載せていないんですけども、別添 - 1を、頭のところにございますように、やはりこちらのB型燃料というものは一番下部の支持格子が一番下のところで両端支持のはりの状態であるということで、基本的にはそういった設計では、今回のA型のような、片持ちのような影響を受けて、フレッキングが発生して、摩耗には至らないであろうということを原子燃料工業としても評価しているということで、問題ないだろうと考えております。

出光委員 わかりました。

寺井主査 多分、今のところは非常に重要なポイントで、相互干渉の結果、B型の影響が出てくると、これは何をやってたのかわからないという話になりますから、そここのところの確認はお願いしたいということで、これは別添 - 1にまとめていただいているということですね。

ただ、この中にあるデータだけからですと見にくいといいますが、信用するしかないのかなという感じになってしまいますけれども、少し、その辺のところは保安院の方で確認をきっちりとおいていただければと思います。

大橋委員、どうぞ。

大橋委員 26ページなんですけれども、摩耗体積の評価例というものがありますね。それで、A型燃料のときには最確値も大きいんですけども、2 が非常に大きい。それに対して、対策A型

燃料になると最確値も小さくなる。しかも、2 といいますが、ばらつきが非常に小さくなる。これは本当かなと思ってしまいうんですけれども、この辺りをもう少し詳しく御説明いただきたいと思います。

竹内建設班長 今、御指摘いただいたところは前回の中でも御質問いただいた 2 の内訳とごさいます。今回、少し順番は先にこちらの資料になってございましたが、もう一つのコメント回答その 2 の方で、この内訳について御説明させていただきますので、そのときに御回答させていただきたいと思います。

寺井主査 よろしゅうございますか。ここのところは前回、かなり議論になったところで、摩耗量の評価をどうするかというところの議論ですね。これは前回のときにコメントをたくさんいただきまして、それに対するコメント回答の中で整理をしていただいているというふうに聞いていますので、そのときに御説明いただくということで御了解いただければと思います。

阿部委員、どうぞ。

阿部委員 関連して、同じ 26 ページなんですけど、文章の方、24 ページを拝見しますと、対策 A 型燃料の摩耗評価には励振力測定結果を用いて、励振力時刻歴波形に変換し、評価をしたということで、非対策型と対策型で評価の手法が違うんです。これが大きな差なのではないんですか。ですから、これはものすごくミスリーディングしているやり方ではないかなというふうな印象がありますので、ここはきちんと確認をしていただいた方がよろしいかと思います。

竹内建設班長 ここのワークレートから摩耗体積を求める評価手法は、前回御説明したものと同じ評価手法です。

阿部委員 ここの文章を素直に読むと、対策 A 型燃料の摩耗評価には、励振力の時刻歴波形を使って評価した。非対策型は、この方法を使っていないというふうに読めるわけですね。

それで、ここで素直に私が質問したかったのは、それでは、普通はこれをどうやって評価しているんだろうかというところが興味があったわけなんですけど、ただ、この結果を基にして 26 ページのデータが出てきているとなると、手法が違うものを比べて、手法が違うもので燃料の設計も違うものを比べて、対策 A 型燃料は問題ないという結論を導いていることになってしまうので、ここはちゃんと確認をしなければいけないというのが私の言い方です。

それで、ワークレート云々の摩耗の話は、こちらのもう一個のその 2 の方ですね。私はこちらの方を先に読んでいましたけれども、こちらの方も読んで納得はしておりますので、そこは置いておいて、ここの評価が非常におかしいのではないかと思うんです。

寺井主査 今のは表現の話ですか。それとも、実際に方法が違っているのか、同じなのか。

竹内建設班長 いえ、26 ページのグラフの左半分のところですけども、これは前回も概要をお示ししてございまして、それで今回、この右半分の小さいレンジのものを入れておりますので、これは当然、同じ評価手法を用いて載せたということです。

阿部委員 ただ、これは少しデータにいろいろと矛盾がありまして、先ほど別添 - 6 の下の方の図 4 を見ますと、A 型と対策 A 型とで、最下部支持格子の辺りのところの A から B への流れというもの、さほど大きな変化はないんです。それから、ほかのところも見ていてそうなんですけれど

も、対策A型と非対策型を比べていても、さほど影響があるようには思えないが、摩耗量の評価になると一気にここまで下がってしまうというのは、どこかで何か変なことをやっていると思います。

竹内建設班長 そこはコメント回答資料の中で、このように下がるというところの図の説明の中で、できる限り御理解いただけるような説明に努めたいと思います。

寺井主査 それでは、その件は一応、保安院の方の理解では、評価の方法は同じ方法を使っている。それで、その結果の大きな食い違いについては、この後、もう一つの資料で御説明いただくということで、今のところは御了解いただければと思います。

杉原委員、どうぞ。

杉原委員 冒頭に更田委員が御質問されたように、下部によって、何かほかのところの影響が出ないか。それで、私は上部に何か影響が出てこないかという心配があって、それで見てみると、28ページに、先ほど御説明がありましたのですが、わずかに上部のことについても触れておられて、29ページの表6-3に、一応、上部ノズルの押さえばね力評価というものがあります。

それで、これは2つ質問があるんですが、1つはそこの表6-3の*1と*2で「上部ノズル押さえばね力に対する上部ノズル押さえばね力に要求される力の比である」。これは明らかに間違いであると思うんですが、これは単にちょっとしたミスであると思うんですけれども、これは違いますね。完全におかしいですね。それで、どちらが上部で、どちらが下部かはわかりませんが、その問題が1つあること。

それから、確かに上部ノズルについてはこういう評価をされた。しかし、例えば6Gの荷重がかかったようなことに対する上部ノズルの方の検査といいますか、評価をやっておるのかどうかです。

そこら辺の2点について、お願いします。

竹内建設班長 まず、押さえばね力の29ページの表6-3のところ、*1で上部ノズル押さえばね力に対する、ばね力に要求される力の比。これが表現として間違っているのではないかという御指摘でございますが、通常ですと、例えばその比というものは、降伏応力に対する比という見方になるかと思うんですが、この場合ですと、何と言えいいんでしょうか。

青木統括安全審査官 要するに、浮き上がらないようにするために、ばねに要求される力に対して、どの程度ですかというものを表した数字です。ですから、これが1になると浮き上がってしまうということになりますので、1の手前、どれくらい手前なのかということで比率で見るとなっております。日本語としての表現はどうかといいますと、間違いではないんですけれども、少しわかりにくい表現であるのは確かであると思います。

それから、済みません、もう一つの御質問ですけれども、28ページの6-3の(1)の2つ目のパラグラフ、なお書きのところ、輸送及び取扱い時の強度評価への影響ですけれども、下部ノズルが改良下部ノズルにすることによって約1kg増えますので、下部ノズルと、それから、上の部分との取り付けのところ辺りは応力がかなり厳しくなるかなというところはあります。

それで、上のところにつきましては、評価した結果が軽微、ほとんど影響がないというふうに聞いております。そのことが、そのなお書きのところ記述があるとおりでございます。

寺井主査 杉原委員、よろしゅうございますか。

杉原委員 はい。

寺井主査 阿部委員、どうぞ。

阿部委員 済みません、今の質問とは少し離れますけれども、よろしいですか。

寺井主査 どうぞ。

阿部委員 19ページの図4-2-4ですけれども、横流れの評価をそれぞれの燃料棒位置で行って、非対策型に比べると対策型の方がBと隣接していても横流れ強度が下がっているということで、対策として有効であるという結論は納得できるんですけども、これはどこまでの有効性を基にして有効であるというふうに結論をしているんですか。

つまり、39GWd/tで止めなければいけなくなってしまった今回の事象が、例えば55GWd/tではなくて48GWd/tで止めざるを得なくなるように、要するに遅延できればいいのか。それとも、55GWd/tの寿命といいますか、そもそもの設計仕様を全うするまでもたせることを有効として考えているのか。その有効であるということの意味がよくわからないので、教えていただきたいんです。

寺井主査 これは、この後、どこまでを認めるかという方針と関わってくる話だと思うんですが、もし何か、現在お考えがあれば、あるいは何を前提として有効と考えるか。この辺りのところだと思いますが、いかがでしょうか。

青木統括安全審査官 このところは、先ほどの二体流水試験の結果を見れば、ほとんど差がない。隣にBが来ようが、来まいが、ほとんど影響を受けないというのが実験の結果でございました。

それで、ここの解析の部分では、隣にBが来ると若干影響が出ますという結果になっていて、解析と実験の結果がここは一致していない部分なんですけれども、それにしても、やはり対策を打つことによって、赤よりは緑の方が若干効果が上がっていますねという意味で有効という言葉を使っているんだろうと思います。

ただ、この資料全体については、まとめて書いてあるとおり、今後、この対策を打つことによって、55GWd/tまでもって問題ないと考えますというふうになっていますので、事業者は、この対策を打つことによって燃焼度制限は解除したいと考えているというふうに我々は理解しております。

阿部委員 その結論になると、先ほど私が最初に申し上げた別添-6の下の方の絵が果たして本当に正しい評価になっているのかどうかというところの妥当性にきいてくると思うので、そこは後から御説明いただけるということで、あと、もう一つあるんです。

前回の資料、あるいは前々回の資料を見ていると、それから、前回のワーキンググループの中でも委員のどなたかが御指摘されていたと思うんですけども、リークに至った燃料、あるいは最も厳しい環境に置かれている棒というものはどこにあるかといいますと、3つのB型に挟まれたところが一番厳しくなっていて、そういう意味では今回のAとB、2体並べている試験というものは保守性が担保されていない試験になるわけです。それで、どこまでそれが保守的であるというふうに考えていらっしゃるのか。そこもお考えをいただきたいと思います。

青木統括安全審査官 我々は、同じ質問を事業者にも投げかけて聞いてみました。それで、本来ですと二体流水試験で、対策A型とB型とで背中合わせにして試験をやっていますけれども、4分

の1カットモデルにして、対策A型を4分の1、それから、B型を3つつなげてやれば今の一番厳しい状態を模擬できるわけなんですけれども、それはやっていないということです。

ただ、実験結果の と の重ね合わせのグラフを見ますと、ほとんど重なっていますので、2体やってもほとんど変わらないということなので、今のようにB型が3体接しても、さほど変わらないであろうと考えますというのが事業者の回答で、要するに内挿ではなくて外挿して問題ないと思いますというのが事業者の回答で、確かにプロットされているところは重なっていますので、そんなに厳しいことにはならないのかなというふうには我々も思っております。

寺井主査 この辺りは結局、出てきた許可申請をどう判断するかということに関わってくるわけですね。ですから、今日出てきたW11-1というものは、保安院としては、まだこれを全部認めましたという話ではない。そういう理解でいいですね。

青木統括安全審査官 まだ保安院として結論は出しておりません。保安院の審査を担当する私どもの感触で言えば、この実験結果から見ればかなり改善されるであろう、認めてもいいかなというふうな気持ちではありますけれども、そこは専門家の御意見を伺った上で判断していきたいと考えております。

それから、済みません、15ページのグラフで少し説明が漏れていたと思うので補足させていただきたいのですが、先ほど御説明した資料のW11-1の15ページ、右上のグラフですが、これは右のグラフが燃料棒の下端です。それで、上の方が対策A型燃料とB型と隣接させたときの試験の結果ですけれども、4点あって、一番右だけ黒くなっておりまして、これはなぜかと思いましたが、ほかのところは が の上に重なって が見えない状態になっています。それで、一番右のものだけが になっているのは、 のデータを取りに行ったときに試験装置が壊れてしまったのでデータが取れませんでしたというもので、ここだけ がそのままむき出しになっています。恐らくデータが取れても、この上に重なってくるのではないかなと予測はされますけれども、少し試験装置に水が入ったか何かでデータが出力しなくなってしまったそうなので、ここだけデータが欠測で、こういう形になっております。

寺井主査 補足説明、ありがとうございました。

阿部委員、さっきの御回答についてはいかがですか。

阿部委員 改善ができているというところはそれぞれのデータを見ていて明らかですので、それはよろしいと思うんですけれども、その次のステップの認めていいかなというところになりますと、先ほどのどこまで、要するに55GWd/tを全うさせるところまで破損しない、漏えいすることはないんだということまでを保証させた上で有効というふうに判断しているのであれば、それはそれでよろしいのではないかなと思います。

ただ、そこまで考えていなくて、現状でいいから、現時点で改善されているからいいというのであれば、もしかしたら39GWd/tで、今、とまっているものは45GWd/tでとめなければいけなくなる事態に、要するに遅れるだけのことになる可能性もあるので、そこについては余り賛同できない。そういう、余り根拠のないことであれば少し賛同しかねるかなという意見です。

寺井主査 ありがとうございました。

この辺は、最後の御判断は、この委員会の委員の先生方の御意見を参考にして保安院の方で御判断されることになるんだろうと思うんですが、事業者さんの意向は 55,000 までをとということですね。

それから、もう一個の論点は系統的な破損をいかに抑えられるかという話で、現在、幾つか見つかってきているので、これのメカニズムを解析して、ある種、有効な対策を打つというのが多分、現時点で一番重要なポイントである。

それで、恐らく、この暫定措置についてはあくまでも暫定措置なので、この後、抜本的に設計を見直されるというふうに聞いていますので、そういう意味では状況を見ながらということになるのかなという気もしますけれども、ですから、一応、55,000 を目途にしているが、途中で何らかのトラブルがもし見つかると、そこでおしまいとか、あるいはそれ以降は、それをまた上限にしますとか、そんな感じになるのか。

私は別に行政庁の人間ではないので、何の判断をする権限もありませんし、そういう立場でもありませんけれども、この辺は保安院の方でどうお考えになるかということかな。最後の御判断は保安院かなとかと思いますけれども、我々としては、このいただいている申請書、あるいは保安院の御判断に対して画一的、あるいは実際、いろんなこれまでの学識経験者の先生方の高所大所の御判断を基に、最終的に保安院の方で、それをどういうふう施策に反映していただくかということかなと思いますが、青木統括、そういう取扱いでよろしゅうございますか。

青木統括安全審査官 ありがとうございます。是非、専門家の御意見を聞かせていただきたいと思います。

それで、この後、いただいているコメント回答もございまして、この辺を御説明させていただくとまたかなり疑問点が晴れると思うんですけれども、我々はそれを承知した上でいいかなというふうにジャッジできるかなと思っているんですが、まだ先生方には全部説明し切っておりませんので、今のところで御心証はどうでしょうかとお伺いしても、また答えが違うかもしれませんので、一通り話を聞いていただいて、またさらなる御質問がありましたらお答えいたしますので、それらを踏まえた上で最終的に専門家としてどう考えるかといったところをお聞かせいただければありがたいと思っております。

寺井主査 木下委員、よろしゅうございますか。

木下委員 後でいいです。

寺井主査 それでは、とりあえず、ここで一旦、この資料W11 - 1についての議論は中断いたしまして、W11 - 2の、前回のワーキンググループのときのコメントに対する回答を事務局の方から御説明をお願いいたします。

竹内建設班長 それでは、資料番号「燃料W11 - 2」「燃料ワーキンググループ コメント回答(その2)」ということで、1枚表紙をめくっていただきますと、前回いただいたコメントのうち、前回はP I Eに関する御説明をいたしました、それにつきましてお答えできないところは今後ということでございますが、それ以外のところで解析評価に関するところは、基本的に今回御回答させていただくものということで、1 ~ 14までをコメントリストとして回答させていただきます。

まず最初の No. 1 ということで、2枚めくっていただいて1 - 1ページ「B型燃料との隣接を経験したサイクル、各サイクルでの炉心装荷位置、各サイクルでの燃焼度を示すこと」ということで、これは何かと申しますと、後ろの1 - 7ページをお開きください。こちらの表のうち、左側の縦4列、これを前回お示ししてございまして、基本的には大飯4号機が持っている実績が全てということでございます。燃焼度50GWd/t以上燃焼した燃料で、3体以上隣接経験があって、そのまま燃焼した燃料はどれくらいあるのかという御質問に対して、前回左側の表4列分をお示ししました。

それに対しまして、各燃料では各サイクルにおいて、こういった隣接状況にあったのかということを追加で質問いただきましたので、今回、こういう形で提示したものでございます。

1 - 7ページが健全に照射が終了した燃料に対して、1 - 8ページの表2といたしまして、今回、漏えいが認められた燃料、こちらにつきましても同じような装荷状況を表として表したものでございます。

また1 - 7ページに戻っていただきまして、4つにグルーピングしておりまして、一番右の欄にございますように、ここでくくった燃料につきましては、基本的に対象位置に装荷されているということで、その装荷パターンを図1と図2、図1が1 - 2ページ、図2が1 - 3ページということで、代表的な燃料の装荷パターンを示した図になっております。

それから、1 - 4～1 - 6ページは漏えいした燃料の装荷パターンを示した図になってございます。健全に燃えた燃料と漏えいした燃料と共通的な比較といえますと、やはり大飯4号機の燃料でございまして、大飯4号の燃料で、今、照射後試験施設に入っている燃料がございまして、それが1 - 8ページの表の一番下のKCHC24、この燃料が1 - 7ページの一番上の4つにグルーピングされた燃料と基本的には同じ装荷パターンになるということで、漏えいした燃料の方は2サイクル目で漏えいしておりますけれども、健全に燃えた燃料、1 - 2ページですけれども、こちらの上の図のKCHC27、基本的にはこちらと同じパターンを取るということでございまして、健全な燃料につきましては、1サイクル、2サイクル、3サイクルとも3体隣接、L型の隣接をしている。最後の3サイクル目につきましては、もう4面隣接になっているということで、むしろ漏えい燃料より厳しい条件で照射を終えているといったような特徴が比較できるということでございます。

更に全体的な評価といたしましては、1 - 1ページの最後の方に記載してございますけれども、今、申し上げたように漏えいした燃料よりも健全な燃料の方が、B型燃料の隣接条件としては厳しいものも多数あるということでございまして、ただし、漏えい燃料につきましては、漏えい時には炉心の中央域に入っているという特徴があるということで、1 - 4ページの図3から図6をごらんいただきますと、赤枠で囲った炉心の中央領域に入ったときに、やはり漏えいを起こしている。そのときには、やはりB型燃料が隣接状態にあるといったような特徴があるということでございます。

一方、健全燃料につきましては、隣接燃料が1面のもも3面のL型隣接もありますけれども、大体総じて炉心の中央領域からちょっと外れたところに入っている傾向にあるのではないかとといったような評価を事業者はしております。

ということで、特に何か特徴的にどうだと言えるものはございませんけれども、漏えい燃料の状況といたしましては、炉心の装荷位置が中央よりにあるということも隣接状態はかかってきている

のではないかとということが考えられるということでございます。

次のコメントといたしまして、2 - 1 ページの No. 2「燃料被覆管は製造される工場によっては、その性質が異なることがあるが、MDA、ZIRLOが製造された工場はそれぞれどこか」ということで、2種類のMDA、ZIRLO管があるということで、それぞれ同じところで作られたのかどうかという御質問をいただきまして、今回お答えするものでございます。

回答のところでございますように、MDAとZIRLO被覆管は両方とも素管は米国で製造されて、それを2本の製品管にする段階で三菱マテリアルの桶川製作所で製品として加工されたということで、MDAとZIRLOどちらがどうだということはないということでございます。

次のコメントは No. 3「摩耗深さごとの発生頻度と燃料集合体内の燃料棒位置との関係を示すこと」ということで、こちらにつきましては、3 - 2 ページをお開きください。上のヒストグラムのところですが、これは照射後試験施設の中で漏えいした燃料集合体の健全な燃料棒を引き抜きいたしまして、その中で外面観察の擦れ幅から摩耗深さを推定して、それをヒストグラムにしたものをお示しいたしましたところ、そのヒストグラムの内訳として、燃料棒のどの部分が、どの支持位置のものがどこに分布しているのかを示すようにというコメントをいただきましたので、それを回答するものでございます。

3 - 3 ページをお開きください。これはホットラボに入っております KCHC24 の漏えい燃料集合体の、上が内訳でございます、ヒストグラムの対象にしているのは、左端に赤の斜線で、これが漏えい燃料棒ですが、その隣接と相対的に同じ位置にある4隅の燃料棒を色づけしているところですが、これが摩耗深さを測定した燃料でございます。その色に応じて、下の表にございます、各燃料棒の位置ごとに、下に行くほど摩耗の深さが深くなるといった分類をしたものでございます。

この表の右の方をごらんいただきますと、O - 2 とか P - 3 が上の図でいきますと漏えい燃料棒の隣になる3 - 2 であるとか、2 - 3 であるとか、比較的横流れ強度が強いところが、割と下の方にあるなということで、それから、この表1の内訳の凡例を御説明いたしますけれども、括弧の中で、まず最初に出てくるAというのが、上の図でいうとA面を指します。それからスラッシュの後ろで、例えばSとあるのが、これはグリッドの真ん中のスプリングを指します。それから、上Dというのが上部支持板、下Dというのが下部支持板、上ディンプル、下ディンプルといった凡例になってございます。

話を戻しますが、そうすると比較的漏えい燃料棒の隣のオレンジのO - 2 とか P - 3、こういったものが比較的摩耗深さが大きいのではないかとこの分類ができております。

あと特徴といたしましては、S、スプリングのばねに比べて、やはりディンプルの方が摩耗深さが大きいのではないかとこのように、これまでの測定結果からこういった特徴があるのではないかとこのようにございまして、いずれにせよ、今後更にホットセル内で詳細な観察をして、確認していくということでございます。

次にコメントは No. 4「摩耗の進行において、フレットング・コロージョンや衝撃による摩耗の影響を考慮する必要がないか、見解を示すこと」ということですが、まずフレットング腐食ということで、今回我々としてはフレットング摩耗であろうということを考えておりますが、フレ

フレッティング腐食はどうかということをごさいますて、回答の(1)の1つ下の段落のところ、これは文献からの引用でございますが、フレッティング腐食というのは、接触する金属2面間に小さな振動運動を与えると化学反応すなわち表面の酸化が非常に促進するものであるということで、金属面に荷重を加えると下地金属が塑性変形を起こして、その結果保護酸化膜が延ばされたり変形したり、傷ついたりして、金属がより酸素と結合しやすくなり、反応は一層急速に進みやすくなる。そこでもし滑りがある場合には、小さな金属結合が次々と生成、せん断されて、新鮮な正面が次々と露出されて、一層その反応が促進するといった定義でございます。

その下の段落ですが、今回、摩耗評価で用いている比摩耗量というのは、長時間流水試験の結果を使っておりますが、その試験環境は比較的常温ということで、腐食環境ではあるんですけども温度は低いということで腐食は小さくて、フレッティング摩耗の中で腐食の影響が小さいということになってございます。比摩耗量には腐食の影響は余り含まれておりませんということです。

実機条件でも、実機はもっと温度が高いんですけども、もともと御承知のとおり被覆管には耐食性のよい材料が用いられているということと、フレッティング摩耗が発生したと推定している最下部支持格子は、燃料棒の出力から見ても比較的溫度は低いということと、顕著な腐食は発生しない、フレッティング腐食も発生しないであろうと考えているものでございますが、こちらにつきましては、照射後試験の中でコメントを踏まえて腐食の状況を確認するというところでございます。

4 - 2ページの衝撃(衝突)による摩耗への影響ということでございますが、これも前回衝突による荷重、これにぶつかることによって摩耗を考慮しているのかということで、若干お答えしたつもりでございますが、この部分につきましては、次の4 - 3ページをお開きください。図1のところで、これも前回示した図と同じものでございますが、モデルに用いているのは非線形ばねということで、燃料棒がある程度変異した場合でも、非線形ばねにぶつかったときにエネルギーをもってぶつかるということで、そういった状態ですと線形ばねより非常に大きな荷重が発生するといったことを、この非線形ばねで表現しているということでございます。そのときのばね力を使って、ワークレートを表現している。評価に用いているということでございます。

ワークレートは、ばね力と下の図、これも前回お示したものでございますが、押し付け力と摺動距離、滑り距離、この2つがあって初めて発生するものでございますので、こちらにつきましては、図2の漫画がございまして、燃料棒は前回お示しましたようにランダムに振動するというところで、片方がすき間があるときに、がんとぶつかったときに、必ずしも垂直にぶつかるわけではなくて横成分もあるということで、ぶつかった衝撃荷重と横滑りの力もあるということで、それぞれを掛け合わせるんですけども、その際にばねの押し付け力というのが摩擦係数を掛け合わせた荷重より小さければ滑りは発生しないということで、それを越えたときにワークレートをカウントするといったような評価方法をしているということでございますので、基本的にはそういった形で衝突が発生したときによる滑りの摩耗を考慮しているということでございます。

次のコメントはNo.5「比摩耗量について、どのような数値を評価に用いているのか説明すること」ということで、これも前回阿部委員の方から御指摘のあった部分でございます。本日もあったところで御説明させていただきます。比摩耗量でございますが、これは長時間の流水試験により求

めたということで、2枚めくっていただいて添付1というのが5-3ページにございます。その次のページに流水試験装置の漫画が描いてございます。その下に15×15の、今回と同じインコネル支持格子グリッド、黒く枠で囲ったところを切り取って供試体をつくって、それで試験装置の中でばね力を緩和させた状態と、あと温度・圧力は常温・常圧ですが、流速条件としては毎秒約5mといった流れを使って、試験時間としては500時間、こういった体系で試験を行いまして、まず5-2ページに戻りますけれども、この試験の中で摩耗深さを測定するということがございます。

また5-1ページに戻っていただきまして、(2)でございますけれども、先ほど申し上げました摩耗試験のデータから、摩耗が認められたものだけをデータとして集めまして、その摩耗深さと摩耗体積の関係を求めたものが、次の5-2ページの図1でございます。結局、摩耗データが得られたのは、9個のデータが得られたということで、その大きさ順に摩耗データを示したのが、5-2ページの下側の図2のグラフのデータでございます。

また5-1ページに戻っていただきまして、(3)ですが、ここで振動条件によりワークレートを求めるということで、ワークレートそのものにつきましては、やはり実測することはできないということで、励振力を基に燃料棒の応答が一致するような解析条件からワークレートを求めております。

(4)のところ、これは前々回から説明してございますように、摩耗体積と、 V というのは比摩耗量×ワークレート×時間ということで、 Ws を求めるに当たっては V がわかった。それで、 W_r のワークレートも(3)で決めたということと、あと T が試験時間ということで、比摩耗量を求めたということで、その摩耗量は当然ばらつきがあるということで、その下に平均値といたしまして、ということと、あとそのばらつき といましては。結局、摩耗評価に用いているのは、2分を考慮したということでございます。このようにして、比摩耗量を決定したということです。

次に摩耗体積の求め方ということで、添付2をごらんください。こちらは前回御指摘がございました、摩耗体積とワークレートはどのように決めているのかということをお説明する内容でございます、5-5ページでございますが、1.のところは先ほどから御説明している内容でございます。

2.のワークレートということでございますが、基本的にはワークレートというのは、ここに示してございます、 から 、 ということで、流動条件とかグリッドのばね力との関係、そういったことを基にワークレートが求まるということを示したものでございます。

5-7ページをお開きください。この図が摩耗体積の評価結果の内訳を示したものになってございます。この図の中で、一番上が摩耗体積の相対比を示したものでございますが、その内訳としてその下に3つのブロックがございますが、それぞれをかけ合わせたときに上のグラフになるというものでございます。これは、前回もお示ししております比較的流速の早い炉心位置としてH-07、B型燃料が4面隣接している。更に燃料集合体の中でも3-2という横流れ強度が厳しいところ、比較的ワークレートとしては大きく出るところを例にした図でございます。

まず、この図の一番下のところで、比摩耗量というのがございますが、青線が先ほど申し上げま

した平均値 μ でございます。その上にある赤線でございますが、この平均値プラス 2 を比摩耗量のばらつきの範囲内と。この範囲内で比摩耗量を考慮しているということでございます。

その 1 つ上のところで、ばね力残存率というのがございますが、これも前回御説明いたしました。照射に伴ってばね力がだんだん緩和してくるということで、1 サイクル、2 サイクル、3 サイクル目ということで、緩和するばね力をここで設定してございます。

その 1 つ上のワークレートでございますけれども、まず 3 サイクル目のワークレートで 2 種類、上と下に線が引いてございますが、この下側の線がちょっとワークレートとしてゼロより上がっている部分が、2 サイクルが照射した時点でリフトオフに至っていると。これはそういう想定をしているものでございますが、そのときのワークレートというのは比較的小さいワークレートが発生していて、この状態で例えば先ほどいたしました 4 - 3 ページの図 2 の下のところでございますけれども、ワークレートが少し発生している状態というのは、4 - 3 ページの下の図の左側の μF_1 を少し超えたようなところが、 μF_1 よりも小さいか、超えるか、そういったようなところで部分的に超えるものも波としてあるであろうといったところで、ちょこちょこワークレートが発生している。これをカウントしていくと、比較的小さなワークレートで推移している。これがまさにリフトオフ状態でのワークレートが小さく設定する。それが時間との関係で、徐々に削れていくことによって、いずれはギャップ状態にまで、すき間が開いてしまう状態までいったところで、そこでワークレートとしてはかなり大きくなるということで、ワークレートの 3 サイクル目の上の方にギャップ状態に至ったところでどんと上に上がると。

こういった形でワークレートは一定なものとしてずっと評価していく。それをそれぞれかけ合わせたのが、この上の摩耗体積ということで、結局は青線のところが平均的な比摩耗量の場合は、このような形で比較的小さい摩耗体積になりまして、2、ばらつきを考慮した場合ですと一挙にワークレートとしてはギャップ状態に至るのが早くなりまして、摩耗体積としても急激に伸びて貫通に至るといった設定の仕方で求めたものでございます。

以上がワークレートの比摩耗量とワークレートの算出の仕方の説明でございます。

次のコメントが No. 6 「A 型燃料単体、A 型燃料 (B 型 1 面隣接時)、A 型燃料 (B 型 3 面隣接時) それぞれの場合のワークレートを示すこと」ということで、これは更田委員からいただいたコメントで、6 - 2 ページで前回お示ししているのは、一番下の (c) B 型燃料 3 面隣接ということで、これはコーナーに 3 つ B 型燃料が存在している場合をお示ししておりますが、1 面隣接の場合であるとか、もしくは単体の場合、ワークレートがどのように推移するのかということを示すということで、今回お示したものでございます。

一番上の A 型燃料単体の場合ですと、一番下にありますように、赤い部分がなくて、ワークレートとしてはかなり小さくなっているということが示されているということと、あと真ん中の 1 面隣接の場合ですと、若干単体に比べるとオレンジ色が出てくるというような傾向になるというもので、ワークレートは隣接条件によって、隣接体数が増えるとともに、ワークレートが増加するということをお示しさせていただきました。

次のコメントが No. 7 「写真上で燃料棒の上下を示すこと」、ここだけではわからないんですけれ

ども、7 - 4 ページをお開きください。この御質問をいただいた経緯といたしましては、燃料棒の下のところに容器のようなものがあるんですけども、これが7 - 4 ページだと上にあって、これは逆さまに写しているのではないかと。どっちが上で、どっちが下かという御質問をいただきましたので、7 - 2 ページ～7 - 4 ページにかけて、基本的には全部上下関係を示しました。

7 - 4 ページですが、これは逆さになっているわけではなくて、写真の とか の下の枠のところに入れましたように、燃料棒の引き抜き装置ということで、引き抜きながら容器の中に収納されるといった引き抜き装置を示したものでございまして、上下関係といたしましては写真のとおりでございます。そういったところを補足させていただきます。

7 - 1 ページの中で、若干追加で説明部分がありますけれども、いずれにせよ、ここは抜き取り時の写真ということで、今後ホットセルの中で詳細に確認するというところでございますけれども、7 - 3 ページの図3で、第8支持格子のところですけども、漏えいした燃料棒でガドリ棒ということで、仮定としては第8グリッドで最下部支持より1つ上のところで、少しすき間を仮定してワークレートを評価しているものでございますが、こちらにつきましては、上側の支持板、ディンブルのところですけども、摩耗痕が確認できるんですけども、下側のところは確認されていないということで、今後更に詳細に確認するというのを追加で説明させていただきます。

次のコメントが No. 8 「試験装置における燃料集合体入口部の流れは、十分に発達した流れになっており、実機を模擬したものになっているか」ということで、8 - 2 ページと8 - 3 ページにそれぞれ、8 - 2 ページは単体の燃料集合体の流水試験装置で、8 - 3 ページはカットモデル二体流水試験装置、この試験装置の流れがポンプの直後とかであって、ちゃんとした流れが発達しているのかという御指摘を受けたもので、今回お答えするものでございます。

いずれの装置につきましても、供試体の上流側というか、ポンプ側のところに整流板を設けまして、更に下部の炉心板と整流板との距離を大きく取って、均一な流れが供試体に流入する構造になっているということでございます。

また、ポンプから整流板までの距離も長くとるということで、8 - 2 ページですと約 30m、8 - 3 ページですと約 50mの距離を取っているということでございます。更に供試体下部炉心板につきましましては、実機の板厚と穴の形状を模擬している。実機と同等な構造にしておりますので、流水試験の条件としては十分発達した流れといえますか、模擬しているということでございます。

次のコメントが No. 9 「逆フーリエ変換により、励振力の時刻歴波形を求める際に、位相因子はどのように考慮しているか」。これにつきましては、前回資料の中で、イメージ的に周波数のスペクトルから時刻歴波形に変換するというので、イメージ的な波を入れたときに、始点が時刻ゼロで、振動ゼロという波が1本だけ書いてあって、それがちゃんとX方向、Y方向に入力する際に、ちゃんと位相差を考慮しているのか。同じ波を入れれば共振などをしているのではないかと御指摘を阿部委員からいただいておりまして、それに対するお答えでございまして、これも前回の資料の中でも、位相はランダムに設定するというのを一言入れてはおりますが、改めて御説明するものでございます。

この回答にございますように、9 - 2 ページのところ、パワースペクトル密度ということで、

これはフーリエスペクトルの二乗の関係にあるということで、(1 式) というのが得られますけれども、それを絶対値として求めるんですけども、(2) のところで周波数領域の $X(f)$ というのが位相を考慮したエクスポネンシャルのオイラーの式で、 (f) のところが位相をランダムに設定すると。その式を使って、時刻歴の時間領域での逆フーリエ変換で求めるといった流れで入れているものでございまして、それを実際に解析モデルに入れる際には、X方向、Y方向同じではなくて、ランダムに位相を設定したものを入れます。更に鉛直方向につきましても、第8支持格子と最下部支持格子のところも、そういったお互いに違う波形を入れるということで、9 - 2 ページの一番下の図でございまして、コヒーレンスと呼ばれる相関関数の関係式で、X方向・Y方向の関係を見たところ、ほとんどゼロに近いといえますが、無相関であるということを確認しておりますので、特にそういった位相があることによって過大になるとか、非保守的になるといったものではないということでございます。

次のコメントが No.10 「燃料棒の保持状態としてリフトオフの発生やギャップ条件を考慮しているが、保持状態が変われば流れの挙動・振動の挙動が変化すると考えられるが、これらは考慮されているのか」ということで、回答のところでございます。

まず、流れの挙動への影響、流れが変わるのかというところの御質問に対しましては、燃料棒の保持状態として、ばね板、支持板による支持の一部が外れるリフトオフの発生やばね板や支持板の保持力が作用しなくなるギャップ条件においても、発生するすき間は極めて微小なものであるということで、流れそのものに与える影響は軽微であるということで、解析では流れがどう変わるかということは考慮していないということでございます。

その次の振動の挙動への影響としましては、保持状態の変化が解析モデルに反映されるものになっているということでございます。3つほどボツがございまして、支持板、ばね板と燃料棒との接触部は、次のモデル図1ということで、これも先ほど御説明いたしましたけれども、燃料棒の法線方向のすき間やばね板、支持板のばね剛性を考慮することのできる非線形ばねを用いて設定しているということでございます。

次のボツで、リフトオフ条件やギャップ条件での、支持板、ばね板と燃料棒の間の滑りや衝突などについても、この非線形ばねにより模擬されるということで、これは先ほど御説明したものでございます。

この非線形ばね要素により、燃料棒の接線方向における、摩擦力によるすべり発生を考慮することができるとございます。

10 - 2 ページの下の図ですが、これも前回お示ししたのですが、左側がリフトオフ条件ということで、点々の丸で囲ったところが、上と下の赤いばねの1本が少し離れる状態ですが、ギャップ条件になりますと、これが全部保持されない状態を非線形ばねで表わすということでございます。

次のコメントが No.11 「燃料棒の振動モード、固有振動数を示すこと」。これはそのまま解析モデル上、どうなるのかという御質問がございましたので、御回答させていただきます。

結果といたしましては、11 - 2 にお示ししてございます。上の図1のところ、上下の図がございまして、上が試験結果、下が解析結果の周波数と加速度の関係を示した図でございます。

上の試験につきましても、下の解析につきましても、単体流水の振動試験による結果で模擬したものということでございます。比較対象としている燃料棒につきましても、比較的振動、漏えいも多く発生している3 - 2の位置を使ったということで、図1のところで上下を比べて大体おわかりのように、スペクトルの形状はおおむね一致しているということで、一次基本モードといたしましては、いずれも□ぐらいのところが固有振動数、一次モードということでございます。

試験結果の左側のX方向の図で、□辺りにピークが出ておりますけれども、これは二次モードに対応するだろうということでございます。更にその下の図2のところですが、これはモード図でございまして、特に何がどうというものではございませんが、基本的に一次モードの曲がり形状のモード図になっているものでございます。

次のコメントがNo.12「摩耗量への影響はどの因子が効いているのか感度解析を実施すべき」ということです。

12 - 1ページ、表1が真ん中の項目に關与する項目、これが影響因子としてとらえたものでして、炉心装荷位置、集合体内のセル位置、B型燃料の隣接面数、保持力としてばね力の緩和、こういったことを影響因子としてとらえて、感度解析をした結果を12 - 3ページ以降にお示ししてございます。

12 - 3ページの上の図1でございまして、これは軸流速による感度を評価するために、炉心装荷位置でのワークレートの影響を評価したものでございまして、炉心の中心と外周部ではワークレートで、大体プラス・マイナス40%ぐらい差があるということでございます。

その下の図2でございまして、こちらは横流れによる感度を評価するために集合体内のセル位置でのワークレートを評価したものでございまして、やはり横流れ強度が大きい3 - 2の位置でのワークレートが大きいということで、横流れ強度の小さいセルでは、前に入るワークレートもかなり小さくなるということでございます。

次に12 - 4ページの上の図3、こちらではB型燃料の隣接面数、もしくは体数によるワークレートへの影響評価でございまして、一番左のA型の単体に比べまして、B型燃料が隣接して、1面、4面、3面というのはL隣接ですけれども、こういった隣接体数が増えていくことによりまして、ワークレートも大きくなっていくということでございます。

その下の図4は、ばねの保持力でございまして、ばね力の緩和によるワークレートへの影響評価をしたものでございます。ばね力が緩和することによりまして、保持力が緩んでワークレートが増加して、ギャップ状態に至りますと非常に大きく増加するものでございます。

以上、図1～図3の示す流動要因と言えることは、一番影響が大きいものとしたしましては、燃料集合体の中の燃料棒のセル位置の影響が大きいということでございます。やはり横長流れの強度の影響が支配的ではないかというものでございます。

更に炉心位置でも軸流速の差とか、隣接数による横流れ強度の差、こういったものもワークレートを変動させるものと考えられるとしているものでございます。

更にばね力の緩和もワークレートを増加させるということでございますので、厳しい流動条件に置かれた場合は、ワークレートを更に増加させる関係になるということで、基本的には横流れの影

響が大きいということですが、こういったことが組み合わさりまして、炉内の流動要因や集合体内の流動の違い、また隣接燃料による流動要因、ばね力、こういったものが影響してワークレートにそれぞれ影響する形になったということですが。

次のコメントが No.13「摩耗体積評価に考慮した2」について、この中に含まれるばらつきの要因にはどのようなものがあるか、その内訳とともに示すこと」ということで、先ほど御質問がありました、13-2ページの図に、更に今回小さくなったところがありますけれども、この違いについて2 というのがワークレートにどう効いてくるのかということをお説明するものでございます。

13-1ページの回答でございますが、実機で摩耗する場合のばらつきの要因となるものとしたしましては、以下の因子が考えられるということで、1つ目が支持格子による燃料棒保持部の状態、これはばねの状態、そのばらつきもある。

燃料棒の軸流速及び横流速のばらつき。

燃料棒の振動特性のばらつき。

比摩耗量のばらつき。これはもう先ほど御説明したとおりでございます。

最後に、燃料棒、支持格子の製造上のばらつきといたしまして、外径や支持格子のばね力、こういった製造時のばらつきもある。

こういったものがばらつきの要因になるということで、実機でこれらのばらつきが重畳することによって発生する、ばらつきが生まれるということで、それぞれを個別に分類して評価するのは困難であるということで、摩耗評価の中ではインコネル支持格子燃料の長時間流水試験、先ほど御説明いたしましたが、この結果に基づいて、いわゆる比摩耗量、これは実機の条件を全て出しているだろうということで、全てのばらつきをこれに代表させて2 と設定して評価しているものでございます。

この試験につきましては、流水試験の結果ということで、上のところのばらつきを含むと考えられるということでございます。

試験の詳細につきましては、先ほど御説明したところでございます。

このように2 というのを設けて、ワークレートをお評価したのが、先ほど既に御説明したところでございますが、こういった形で幅を持ってくるということですが、前回お示したように、ウラン燃料棒とガドリ燃料棒で違いがあるということで、13-2ページでございますけれども、この違いはなぜ生じるのかということをお説明したところが、次の13-3ページでございます。上の図が、ウラン棒の摩耗体積を示したもので、下の図がガドリ燃料棒を示したものでございます。

その違いといたしましては、下の図のガドリ燃料棒をごらんいただきたいと思うんですけれども、2サイクルが終わった時点で、上も下もリフトオフが発生しているということで、その後比較的、励振力からいいますと上のウランの方が大きいということで、比較的短い時間で上のウラン棒ではギャップ条件に至って、その後、ギャップ条件で急速に摩耗が進展していく。

その下のガドリ棒の場合ですと、励振力は比較的小さいということで、ワークレートも小さくなるはずなんですけれども、ここで前回からも御説明、先ほども申し上げましたが、ガドリ棒の場合ですと、一番下の支持格子の1つ上の第8支持格子のところにすき間を設ければ摩耗が進展すると

いう仮定を置いておりますので、このモデルでもそういう仮定を置いておりますので、その状態になりますとワークレートは2倍になるという設定をさせていただきます。

ただし、まだギャップ条件に至る前でワークレートを2倍にしたとしても、やはりウラン棒に比べると徐々に摩耗が進展していくんですけども、これがギャップ条件になった途端に急速に進行して行って摩耗に至る。

その幅を取ると、その幅というのは下の図でオレンジ色の線と青色の線です。ウラン棒の場合ですと、青色の線と赤色の線の平均値と2を考慮した場合の差、これが先ほどの13-2の形で表れてくるといった違いが出るものでございます。

最後のコメントがNo.14「漏えいの原因として、摩耗がクローズアップされているが、振動による疲労は問題にならないのか」。フレッティング摩耗ではなくて、フレッティング疲労というモードもあるので、それはどうなのかという御質問がございました。

回答のところを読み上げさせていただきますが、最初の段落のところは、既に御説明した内容で、摩耗痕が確認されているので、フレッティング摩耗による漏えいに至った可能性が高いという評価になってございます。

一方、固体と固体が繰り返し接触する部位では、摩耗減肉のほかにフレッティング疲労と呼ばれる亀裂を伴う疲労損傷が生じることが考えられるということで、次のページに発生としては2種類のメカニズムがあるということで、上の図1にお示しするように、固体と固体が接触する表面での摩擦によるせん断応力によりまして局所的な繰り返し応力が発生する場合と、下のBのところにありますように、摩擦による表面の凹凸が大きくなるということで、こういった接触部で微小の滑りが生じる箇所から疲労亀裂が発生し、進展していく現象が考えられるということでございますが、この部分につきましては、御指摘がございましたように、今後の照射後試験(PIE)の中で表面観察、拡大観察、断面のミクロ観察を行いまして、疲労亀裂が認められるかといったことを判断できると考えております。

ちょっと長くなりましたが、前回のコメント回答としては以上でございます。

寺井主査 どうもありがとうございました。No.1~14まで14件に関してコメント回答を御紹介いただきました。どうでしょうか。順不同でも結構ですが、お気づきの点、再度コメントがありましたらお願いでしょうか。それとも1個1個確認した方がいいですか。どうでしょうか。

明らかにこれでいいというのもありますし、先ほど少し議論になっていましたワークレートのところとか、摩耗の評価の話とか、その辺のところはかなり前回たくさん御質問、コメントをいただいたところですけども、そこに入ります前にそれ以外のところで何かお聞きの点はございますか。

天谷委員、どうぞ。

天谷委員 1つ確認したいんですけども、1-7ページに表1というのがあるんですが、これは全て健全だったという理解でよろしいのでしょうか。

竹内建設班長 全て健全に照射を終了したということでございます。

寺井主査 よろしいですか。No.1はそういうことですね。No.2、古田委員、よろしいですか。

古田委員 はい。

寺井主査 No. 3 は摩耗の話なので、これは燃料棒位置との関係ですけれども、単に示していただくだけで、出光委員、よろしいですか。

4 からずっと摩耗に入りまして、これは置いておきまして、7 番、燃料棒の上下、出光委員、これもよろしいですね。

出光委員 結構です。

寺井主査 8 番が流体試験ですが、更田委員、これはよろしいですか。示してくださいという話で。

更田委員 十分発達した流れになっていることが確認できる。

寺井主査 9 番は少し摩耗に関しますので置いておきまして、それ以外で言うとあとは大体摩耗関係かな。では、以上の点はお認めいただいたということで、それ以外の点で。

どうぞ。

出光委員 1 のところで 1 点だけ。見ていて非常にわかりやすくなって面白かったんですが、1 - 2 ページの K C H C 27 と、1 - 6 ページの K C H C の 24、履歴は全く同じで、位置が上下逆さまぐらいですけれども、片や 2 サイクル目で破損して、片や 2 サイクル目では O K で 3 サイクル目も O K でということなんですが、このときの K C H C の 27 の壊れていない方、漏えいがない方の同じピン部分の摩耗状況はチェックされているのでしょうか。

要は同じような履歴をとっているのに、こちら側には起きて、片や破損して、片や全く損傷がないというのはなぜかというのを一応お調べになったのかどうか。あるいはたまたま K C H C の 27 はぎりぎりもって、その後、揺れの少ない外側に行ったのでそれから壊れなかったということなのか。

青木統括安全審査官 前回お答えしたとおり、今の炉心の対象位置にあるからということで調査の対象としてピックアップは、そういう観点では選んでいませんということでした。たまたま燃焼度が進んでいたりとか、そういうことでピックアップした調査燃料の対象の中にたまたま対象位置のものが含まれる場合もありますけれども、そのことだけで選んでいなかったということなので、今回のものはたしか入っていなかったと思うんですけれども、その時点ではそこまで考えていなかったです。

寺井主査 どうぞ。

森施設検査班長 補足しますと、K C H C 24、大飯の 4 号で最初に壊れた燃料ですけれども、これはファイバースコープで見ても外観上異常がなかったということで、まだこのような現象が起きているということが理解される前に破損があったものでして、言っては悪いですが、原子炉停止の後、当該燃料に異常がないので偶発的だというふうに当時は処理していたものでございます。

寺井主査 ありがとうございます。この辺、同じような状況でどうして片方で起きて、起きないのかというところは、実は原因究明のためには非常に大事な話かもしれないんですけれども、そういった事情ということでございます。

よろしければ摩耗関連あるいは振動、摩耗のところ辺りに関して御質問、コメントをいただければと思いますが、いかがでしょうか。これはどこからでも結構です。

木下委員、どうぞ。

木下委員 基本的なことかもしれませんが、実験で振動を測定したりしているんですけども、少しわかる範囲でどういう測定装置を使っているのかとか御説明いただけますでしょうか。実験方法というか、少し細かく。

竹内建設班長 測定装置の場合ですと、例えば流水試験。

木下委員 興味がありましたのは、今、摩耗の話なので、振動のスペクトルとかいろいろ出ているようですけれども、励振力とか摩耗量に対応するような振動の。

竹内建設班長 励振力の測定ということになりますと、前回御説明したんです。

青木統括安全審査官 お手元に紙ファイルでとじ込んだこれまでの2回分の資料を置いてございますけれども、オレンジ色のインデックスの下側に付いています燃料W10-2の資料の28ページで資料の2-3、通しページで28に当たるところだと思うんですけども、そこに試験体の絵が書いてございます。

寺井主査 木下委員、よろしゅうございますか。ひずみゲージの話ですね。よろしゅうございますか。

阿部委員、どうぞ。

阿部委員 励振力とワークレートのことについてなんですが、例えば今の資料の11-2の4.3のところにも力の時間によって変動している絵がありますけれども、私はよく理解できないのかもしれないので少しステップを追って確認させていただきたいんですが、この力がある閾を超えるとワークレートとしてカウントしている。その閾は何かというと、 μF ですね。摩擦係数がかかっているんで、摩擦係数よりも小さければ動かないからこれは関係ない。これより超えているものが励振力になっている。多分、これより超えているものの時間平均みたいなものを励振力として定義しているのかなと思うんですけども、それは正しいですか。

竹内建設班長 励振力というのは、今のところだと水による棒を揺らそうとする力ということで。

阿部委員 ということは、摩擦係数も何もかも関係なくて単純に力の時間平均であると。

竹内建設班長 励振力としては、燃料棒の下端に加える力ということで、入力する値ということになりまして、燃料棒がどう応答するかというのは、励振力というのは入力する力。実際どういう揺れがあるか。

阿部委員 例えば今日の11-1の資料の15ページとかを見ると、励振力というのを求めて、それぞれ比をとっていますね。

竹内建設班長 これは励振力ということで、実は棒はリジットで固定しているところで、ひずみゲージで求めている。水がどのように力を与えるかという励振力ということの比をとったものでございます。

阿部委員 済みません。まだよくわからないんですけども、これはすなわち μF_1 を超える、超えないは関係なく、かかっている力の時間平均であるということなので正しいですか。

ごめんなさい。そうすると、結構初歩の段階から前提条件が崩れてくるので、私の理解は間違っ

ていたということになるのかもしれませんが、励振力の相対的な比を持って、対策型の効果があるというふうに表現するのは正しいですか。そこが1つ大きな疑問です。

少しずつ考えていきたいんですけども、例えば今 15 ページの図で対策型のもので励振力が大きく下がったと言っているのは、15 ページの右側の上と下のグラフを見て、B型に隣接している場合の対策A型と、B型に隣接している非対策A型の白丸の位置を見ると、非対策型の方は大体 1.9 ぐらいのところにあるのに対して、対策をしていると位置よりも低くなっているの、これで大きく低減されている。この位置は何かというと、5 - 5 の位置にある燃料のA型のこと。

次のステップは、ではこの励振力は一体どこから来るかということなんですけれども、軸方向流れの影響もあると思うんですが、横の方向の流れの力の影響が多分主要因子ですね。これはいいですね。

それを考えると、すごく大きく矛盾していると思うのは 19 ページの下の方のグラフなんですけど、例えば 3 - 2 の位置に関して言えば、これは相対的な強度をとっているの絶対値はわかりませんが大体 15% ぐらい赤に対して緑が下がっていて改善されているということですが、改善はたったの 15% ぐらいなんです。

では、5 - 5 の位置はどこにあるかということ、同じグラフの左から 2 番目のもので、4 分の 1 ぐらいになっています。だから、励振力が 5 - 5 に相当するところまで来るのであれば、そこまで横流れが変わっていなければいけないんです。

ところが、15 ページのグラフはそうっていないので、まずここに大きな矛盾があるんです。では、この励振力をどうやって定義しているのかというのは次の私の疑問だったんですけど、今のお話だと単純に μF_1 を超える、超えないを関係なく時間平均だということなので、では 15 ページのグラフと 19 ページのグラフは 1 対 1 に対応できるかということ、多分そうではないのかもしれないなと。ただ、字面だけを追いかけると、振動を励起する力なので、多分 μF_1 よりも大きいものをとっているのではないかなと思います。その定義は御確認をいただいた方がよろしいかと思います。過去の資料も引っくり返してみたんですけども、よくわからなかったの。

そこまで考えると、ますますこの辺のところのデータの解釈がよくわからなくなってきたというのが正直なところなんです。

ワークレートをどういうふうに求めたのかということについて御説明をいただいたところなんですけど、どこに書いてあったかということ、1 の方の資料の 24 ページのところ、対策A型燃料の摩耗評価は励振力測定結果を用いて励振力時刻歴波形に変換し評価を実施したと書いてあって、この表現と、前回の配付資料の中の表現が必ずしも一致していなくて、果たして本当に同じ評価をしているのかどうかというのが少し苦しいところがあります。

それはどこかということ、W10 - 2 の資料の 8 ページ目のところは何と書いてあるかということ、あらかじめ種々の流速条件、ばね力条件において実施したワークレート解析結果を用い、燃料集合体の照射履歴を考慮して、燃料棒の照射中のワークレートを内挿により求めたというふうに書いてありまして、そうすると、今回の対策A型の方の評価の仕方と非対策型の方の評価の仕方が違うのではないかなという印象を持つんですけども、いかがでしょうか。

竹内建設班長 まず、励振力のところから御説明したいと思えますけれども、本日お配りした 11 - 1 で、最初に御指摘いただいた 19 ページと 15 ページの 5 - 5 の位置と 3 - 2 の位置は合わないというのは、確かに我々としてもここは確認が必要かと思っておりますので、確認はしたいと思えます。

もともと励振力というのがどういうものなのかと。μF₁と直接つながりがあるかというところですが、こちらにつきましては、前回の資料の 10 - 2 の 14 ページで概念を前回は御説明したんですが、A3 の見開きのものの真ん中のところに「3 - 2 励振力」というものがございまして、こちらがまず水の流れによってどういう周波数分布があるかということのを棒がリジッドな状態で測定する。それをホワイトノイズと周波数がほぼ一定のレベルのものであるということで、これを基に具体的な時刻歴波形にする。その際に、実際の応答というのはどうなるかというのを一致するような形で入力条件のパラメータを決めているというのが前回説明したところでございます。

これに時刻歴波形というのが実際その隣の燃料棒振動解析。このモデルの入力条件として励振力を入力する。それによって時刻歴波形なので時刻歴解析を行っているモデルなので零点何百刻みかで燃料棒の応答を見ながら実際の変位なりがこちらの右側のモデルに出てくる。そういった流れで荷重が求められて、そのときに初めて燃料棒のばねとの比較で摩擦係数を上回った荷重が発生していれば、全てが発生するといった流れでやっている。

阿部委員 要は単純な時間平均であるということですね。励振力の方。

竹内建設班長 励振力の方ですと、このスペクトルですとそういった形で平均値をはかっているといえますか、要するに実効値といえますか。

阿部委員 単純平均だとかはいいとして、そういうことですね。

データに少し矛盾があるなというのが強い印象なので、ここは今後は是非よろしく願いいたします。

青木統括安全審査官 私が説明したところでもあるので、私の理解だと、軸流れがあって、軸流れで燃料棒に対しては平行に流れているんだけど、流れが速くなるとやはり燃料棒がその流れによってゆすられます。横流れがあれば当然燃料棒に当たりますのでゆすられます。

軸流れ、横流れともに燃料棒に対して振動を与える因子になっていて、それがどれぐらいの度合いでもって燃料棒を揺らす力に変化するのかといったところは、私はチューニングという言葉で御説明しましたけれども、今のページの真ん中の絵のホワイトノイズで説明されているグラフがありますけれども、軸流速による励振力の影響分と、横流速による励振力の分。実際に試験の結果と解析の結果が一致するようにここをうまくチューニングをして合わせていきますということで、そこは現象をとらえてやっているのではなくて、結果が合うようにそこは合わせていますというふうに我々は説明を聞いていたと思えます。

阿部委員 A 型の評価のときにはそれでよかったんだけど、対策 A 型になるといきなりどんと大きく変わっているわけで、だけれども、ほかのデータはそうならないわけですから、摩耗量の評価だけがどんと下がっていて、そうするとそこには大きく矛盾があるというのがそもそもの発端ではないかなと。私がすごく懐疑的になっているところなので。

寺井主査 ありがとうございます。そのところは是非精査をしていただいて、少し事業者さん、メーカーさんから詳しく事情あるいはロジックを聴取していただいて、その辺は次回、再度詳細に御説明いただければと思いますが、よろしゅうございますでしょうか。

青木統括安全審査官 先ほどグラフがございましたけれども、資料 11 - 2 の 13 - 3 ページでもいいんですけども、ギャップ条件になったら一気に加速をして貫通に至るという。こういう絵で表しますと、対策燃料だとかかなり横流れ、縦流れ、軸流れが緩和されますので、その摩耗量とするか、解析モデルをいじって今の閾値を超えたら滑りが発生する。それまではグリップ力が強ければこすれが発生しないという条件、解析ができるように改良されていますので、かつ今回の対策でもってかなり揺る方の力が緩やかになっていますので、この辺が相当緩やかに進むので、結局ギャップ条件になって急激に立ち上がっても追いつかないというか、急激に立ち上がる手前の緩やかなカーブのところの方が更に緩やかになって、ギャップ条件に至るところまでもいかないということになっていて、結果としてあれだけ 2 でも低い位置でとどまっているのではないかと。

ギャップ条件に至ってしまえば一気に加速して貫通に至りますので、棒が立ち上がりますから 2 で数も上の方に行ってしまうけれども、そこにすら至らないので、結局低いところでとどまっていますという評価になっていると思います。

それは結局、条件が緩和されているのでそうなっているんだと我々は理解していたんですけども、今そうやって解析に違いがあるのであれば話は違いますので、そこも確認させていただきます。

寺井主査 ありがとうございます。多分ドラスティックに変化が生じないとあれだけの違いは出ないです。だから、御説明があったとおりかもしれませんが、その辺の中身のロジックがきっちりその通りになっているかどうか。そのところを確認いただければと思います。

出光委員、どうぞ。

出光委員 2点あって、まず1点目。先ほど阿部委員の方が資料 11 - 1 の 26 ページの の違いなんですけど、これはA型燃料のものは実際のデータを基にしているもので、対策A型は評価値ですね。だから、 の考え方そのものが実際のいろんな現象が入ったばらつきに入ったものと、計算評価上のばらつきしか入らないものとなっていないんですかというのが1つ目の質問なんです。

寺井主査 2ついただくとして、まず1つ目はいかがでしょうか。

青木統括安全審査官 ワークレート自体は計算でしか出せませんので、ワークレートを使って摩耗体積を求めていますので、いずれも計算は入っています。比摩耗量を求める際には実験をして、ワークレートで割り戻してあげないと比摩耗量が出てきませんので、そこも解析というかそういうものが入り込んでいます。

問いにストレートに答えるならば、これは両方とも計算が入って同じ条件だと思っています。

出光委員 特に対策をしていない側に実験データのばらつきが入っているということはないですか。

青木統括安全審査官 比摩耗量を求める際には実験データを基に計算したワークレートで割り戻して比摩耗量を求めていますけど、同じ比摩耗量を使っていて、この摩耗体積を求める際には比摩耗量に今度はまた計算で求めたワークレートをかけ合わせて摩耗体積を求めることになりましてけ

れども、やり方は同じだと思います。

出光委員 わかりました。2つ目の質問なんですけれども、幾つかの条件があるんですが、1つは写真で11-2の7-3ページ、先ほども少し文章の方に書いてあったんですが、7-3の写真の上の方で見ると、支持板の摩耗が上の方はあるけれども、下はない。

あとは、いろいろどこにどれぐらいの摩耗があるかというヒストグラムの中の分がありましたけれども、上と下で滑りの違う分ということは、要は上しかない。下の分の滑りがないということは、燃料棒がちょっと曲がっているのか、あるいは抑えの部分の高さが微妙に違うかわからないですけれども、リフトオフが始まったときに片側にまず当たってということが考えられるわけです。

そうすると、両方一遍に当たっていれば両方同じように摩耗するかもしれないけれども、片側があるとそこだけが非常に強くなるとか、そういうことがどうも起きているのではないかとということが考えられるんです。

それが起きなければ当然いいんですけれども、そういう意味で先ほどのものはそこに至る前の評価になっているので、の幅は小さいんだろうなと少しは理解したんですが、実際に壊れるか壊れないかというのはそういう非常に微妙なところで、あるところで非常に激しく起き始めるとそこが破壊的に進んでしまうと見てとれますので、それに至らないようにする。勿論、励振力を抑えるというのもありますし、上の方の今後の設計変更になるかもしれませんが、ばね力をどう低下を抑えるかとかそういうところになるかと思うんですが、そこら辺の考え方については、私の今の疑問のような形でとらえられているのでしょうかということなんです。

要は抑えが同じように抑えているというふうにそこまで見ているのかどうか。あるいはそのずれが何らかの原因で生じてきて、そこが加速度的に例えば壊れたものと壊れないものの微妙な違いは実はそういうところだったということもあるのかなと思ったんです。

竹内建設班長 今回のモデル上の評価ですと、まず2サイクル終わった地点でリフトオフが発生するというので、上と下のばねそれぞれ1本が離れたという前提で置いていますので、片側がどうかといったような観点のところは今のところモデルとしては考慮に入っていないと思います。

今日お示したように、若干傾きが上の方が大きいとか、下がないというところは、今後PIEの中でももう少しデータが取れた中でも傾向は出てくるとは思いますが、おっしゃられたような観点での検討も入れたいと考えます。

寺井主査 出光委員、そういう御回答ですがよろしいですか。それでは、ほかにいかがでしょうか。

阿部委員、どうぞ。

阿部委員 11-2の資料のNo.9の点なんですけれども、ホワイトノイズを仮定することで特定の大きなピークが出てこないというのは数学的にもう明らかなので、私はこういうことを質問したい意図ではなくて、そのときに本当は聞きたかったのは、多分言葉が足りなかったと思うんですけれども、ホワイトノイズを解析に仮定しているんです。それが正しいのかということをお教えいただきたいかったです。

済みません。私の言葉足らずでしたのでこういう形になって数学的な表現になっていて、これは

全くそのとおりだと思っているんですけども、気になっているのは、例えば船とかがときどき転覆するのに三角波が発生して、たまたまた船が引っかかってしまう。それも結局これと似たような事象が連続的、単発で起こっていると考えてもいいわけで、そういうある特定の部位のところで共鳴が起こるようなことが起こりはしないだろうかというのが質問です。

あとはコメントなんですけど、フレット腐食という言葉が出てきているんですけども、多分フレット腐食という言葉は、今は使われていない言葉です。多分、私の理解が正しければ、フレット腐食という言葉が最初に導入されたときの翻訳のされ方が間違っていて、腐食ではないんだけど、腐食のグループの1つとしてカテゴリーとして言葉が導入されてしまったのでフレット腐食という言葉になったんですけども、実際には今ここで説明があったのとフレット摩耗でもまさに同じことなんですけども、言葉の定義が本当は摩耗なんだということと修正されているはずなんです。ですから、同じことです。

あとはフレット疲労という言葉は前回多分聞いていなかったんですけども、今日初めて伺いましたので、これについては私もよくわからないところです。それだけ1つ。

寺井主査 それはコメントということによろしいですね。前半の方でホワイトノイズを仮定することが妥当かどうかということはいかがですか。

竹内建設班長 前回資料で、10 - 2の方をごらんください。通し番号で61ページがございます。通し番号はございますでしょうか。真ん中のページだと、資料5 - 5というのがございます。

その図で一番上のところに測定したスペクトルといいますか、周波数に応じた励振力のPSD、パワースペクトル密度というのを示した図がございまして、これが大体フラットになっているということで、右の方で500~600Hzのところではピークは出ているんですけど、これはセンサーの固有振動数を拾って出ているということですが、それ以外のところは、ほぼフラットであるということで、ホワイトノイズを仮定しているということとでございます。

阿部委員 これは、ある特定の条件の流速条件のときだけです。

竹内建設班長 代表的にそうはかっているということで、特に別のところで、何かピークが出るかということ、現時点では何とも言えないところです。

寺井主査 ほかにいかがでしょうか。

杉原委員、どうぞ。

杉原委員 今日のW11 - 1の20ページ、静圧分布に対する解析結果がありまして、その次の21ページに絵が描いてあるわけです。大体0.0035MPaと、実際は[]、つまり[]のところでは差が低減していると、こういう表現をしてあるわけです。

ちょっとお聞きしたいのは、ここで3 - 1の燃料棒についてそういう解析がしてあるわけですね。それだけで対策A型のフレット摩耗に対する対策の有効性を確認することができるという表現があるわけですが、ほかのところは実際に解析はやっていないのかという問題が1つ。

それで、そういうふうなたぐいのことが、先ほど阿部委員が言われた15ページの5 - 5位置の燃料棒励振力を1.0とした場合の相対という、そういう表現があります。何かあちこちで標準にしているか、基準にしているか、あるいはそれを測定されたのか、そういうのが統一性がないという

か、例えば静圧分布に関する解析結果のとき、3 - 2 位置のものを、なぜそれをもってきているのかとか、何か最初にそれを3 - 2 だけにしたのか、あるいはほかのもやっているんだとか、何かその辺のことがわかるような最初の前提というか、そういうものが解析のときにほしいんです。場所によって、それを基準にしている場合とか、1つだけを評価して、あと有効だとか、そういう表現が割とあるんですけれども、まず、今の静水圧については、例えばどうなんですかね、これでいいんですかということなんです。

竹内建設班長 21 ページの静圧の差圧というところで、今、ここでお示ししているのは、3 - 2 位置、なぜこの値だけを引っ張っているのかということになるかと思うんですけれども、基本的に、今、漏えいがよく起きている位置というのが、この3 - 2、もしくは3 - 3というのは、ガドリ入りの棒ではありますけれども、漏えいが起きているところでもあるといったところで、実はこのところが、静圧というのが、実は曲げモーメントにどれだけ影響し得るかという点で、実はこの静圧というのを、前々回から評価しておるんですが、その静圧の差圧が大きいと、曲げモーメントが一番働く、その透き間のリフトオフの発生に寄与しているのではないかというところの一番厳しいところが、この3 - 2 というところを取り上げているということでございまして、確かに御指摘のように、なぜこれなのかというのが、前の資料で、話をちゃんと、我々であれば当たり前のように思ってしまうんですけれども、そういったところをきちんと、どこかで断りを入れておくべきということであれば、そういった形で前提としている条件というのは何かというのは、できるだけ入れるようにしたいと思います。

あと、先ほどの5 - 5 位置のところですが、これは基本的には、15 ページのところですが、これは、なぜ5 - 5 位置かと言いますと、やはり5 - 5 位置というのが、流路孔の一番真ん中のところに、前の14 ページをお開きいただければわかると思うんですけれども、この位置が一番、横流れはもともと小さくて、ある程度基準にしているところというところで、これとの比較で過去示しているところがございます。

というのは、どれかと申し上げますと、23 ページ、これは加速度計で、実際の燃料棒がどれくらい揺れるかと、加速度計を基に速度を求めたと、実際の応答のグラフを示したのですが、ここでは5 - 5 位置が振動としては一番小さいところになるというところで、これを基準にして求めているということ、これの比較で、今回、5 - 5 位置を基準にしているといったところの流れということになります。

できるだけ、今、その辺のところは何を基準として選んでいるかというところは、まとめてどこかに表示するとか、わかりやすいような形に努めたいと思います。

杉原委員 それがないと、では、後の議論は正しいのかどうかというのが変わってきますから、それは大事だと思うんですけれどもね。

寺井主査 ありがとうございます。では、そのところは、そういう記述を付け加えると。
どうぞ。

木下委員 加速度計とおっしゃいましたけれども、加速度計というのは、どこにどういうふうに付いているんですか。

竹内建設班長 これも前回の資料で、ちょっとお待ちください。場所を探します。

木下委員 励振力はいただいたんですけども、加速度計と言われたのは。

竹内建設班長 済みません。ちょっと図面はないんですけども、前回ワーキング資料の 10 - 2 の通し番号右下でいうと、23 ページ、24 ページというところで、ここで単体流水試験というのがございまして、つまり、ここには先ほどのひずみゲージみたいな絵はないんですけども、単体流水試験では、燃料グリッド、グリッドのスパンの中央部で加速度を測定しております。

木下委員 通し番号で 23、24 ですか。

竹内建設班長 24 ページです。ちょうど 24 ページのところに図はあるんですけども、そのセンサーの取り付けというのは絵がないんですけども、スパン中央で一番応答としては大きくなるので、燃料棒のグリッド、グリッドの一番中間のところ、図 1 というのがあるんですが、A - A と示したところ、ここでの応答を測ると。具体的な位置としては、その下の図にございます、赤く塗った位置のところを測っている。

木下委員 わかりました。ということは、質問したのは、燃料 W11 - 2 のコメント回答の 11 - 2 ページにスペクトルが書いてありますね。例えば最下部中央スパンにおける加速度の試験結果と解析結果の比較というのがあって、おっしゃった意味がつながるんですが、中央スパンの加速度をはかった結果を試験結果と解析結果を比較していると、そういうことになるんですか。

竹内建設班長 おっしゃるとおりです。

木下委員 わかりました。

寺井主査 木下委員、よろしいですか、どうぞ。

木下委員 別の質問ですけども、先ほど横流れの C F D の解析結果がございまして、その静圧分布ですか、W11 - 1 であれば、21 ページに図の 4-2-5 がございまして、これをちょっと見させていただいて、実はこれは軸方向、高さ方向でいうと、B 型燃料はちょうど下側のグリッドですか、その上のところに当たるんですかね。

ですから、教えてほしいのは、B 型燃料の方は全部青くなっていて、A 型燃料の方は分布がきれいに出ているという条件の面だけを取ってきて、ある意味では A 型にとっては一番厳しいという典型的なものを標準にされたと思うんですけども、それで、今回のケースというのは、先に更田さんがおっしゃったように、B 型の方への影響はどうなのかという論点が非常に重要な問題であって、先ほどの資料の御説明では、COBRA をサブチャンネル解析でやりましたというふうにあったんですが、それは境界条件はある意味でインプットとして与えていて、横からどれくらいの横流れが入るかということは、入力なんです。

それで、ここにさっきの 21 ページの図の 4-2-5 というのは、A 型の方からしてみれば、それはいいんですけども、実はちょっとエレベーションを変えると、B 型の方から横流れが走っていて、この場合は B から A に流れているのではないですか。

それで、さっきの絵は COBRA の計算はそうなっていましたね。

竹内建設班長 途中で逆転している。

木下委員 逆転していますね。この解析で重要なのは、A が B を逆に悪さしていないということ

を確認しなければいけないはずなので、それは原燃工さんの責任だということで押し付けてしまっていいのかというのが、私の質問なんです。この例は、一番いい1つの例になっていて、B側の方からどういうふうに変ってくるのかというのは、確認できるはずなんではないでしょうか。

寺井主査 いかがですか。

竹内建設班長 現状、B型の部分を何か具体的に実機と同じような条件設定をしているかというところ、そこまではちょっと確認が、例えばさっき申しました支持力がどれくらいかということであるとか、流況がどうなるかというのは、かなり細かい流れのところを追わないと、正確には模擬できないと思いますので、現時点で、静圧がどうなのかというのは、三菱側としてはなかなかできないのではないかと考えております。

それで、B型燃料の健全性としては、やはり今回は前段のところは、A型燃料としてどうかといったところを評価しているもので、B型燃料というのは、やはりこの資料の一番後ろの別添の中が検討内容ということになっておりますので、更に静圧度はどうかといったところを見ようとすると、三菱側だけでできるのはなかなか難しいのかなと、別途原燃工側の製造メーカー側でどうでしょうかということをお聞きしないと、わからないのかなというふうに思います。

寺井主査 どうぞ、木下委員。

木下委員 さっき図の4-2-5をお話ししたのは、ある意味でA型の計算ではあるのですが、そういうB型の方の、いわゆる静圧分布についても、本来は計算されているんだけど、表示されていないというだけの問題なので、参考にはなるとは思ったんです。それが決定打になるということとは全然思いませんけれども。

もう一つ言えるのは、先ほどからいわゆる設計思想が違う、つまり、A型の方は、本来は下部ノズルの抵抗を低めていたんだと。実は、その流れの中で、内部の燃料の中の設計もそういうふうになっているわけですね。つまり、出力分布にしても何にしても、要するにそこでいかにパワーを出すかという設計がそういうふう最適化されているはずなので、このまま隣接させると、今度は、B型の方からA型の方に吸われるのではないかと考えています。

つまり、下側の流速が早い条件で最適化されていたのに、それを今、落としてしまったということは、簡単なことと言えば、水が足りないよと言っているわけですね。外から持ってこいという話になるわけで、外にあるのは、自分のだったらいいけれども、他人のBだったらBから持ってこいという話になるから、当然BからAに流れるんですね。

その辺、もし、そういう条件があるんだとしたら、今は一番下しか見ていないけれども、本当は出力が上がっていったときに、BからAに引っ張ってくるということはどれくらい起きるんだとか、要するにコンセプトの違いが、クロッシングに、相互作用に影響するということはあるわけで、その辺は少なくとも言及くらいはしておいた方がいい。大丈夫なんだと、責任を持って言えるんだとしたら言っておいた方がいいし、そういうふうに思いました。

寺井主査 ありがとうございます。ここはどうですかね。これは、本来、事業者さんにお考えいただく話かなと思いますけれども、そういうのが出てきていないところで、どういうふうな判断をするのか、そこは悩ましいところですね。

青木統括安全審査官 今日の資料で、ほかへの影響ということで、27 ページ以降書いてありましたけれども、下部ノズルを過ぎた辺りのところは、多少横流れが出ます。圧損差がございましたので、それが今回解消されるということですが、下流側に行きますと、影響がなくなってくるというのが、そういった評価になっていて、27 ページの核的共存性ですとか、(2) の熱水力的共存性といったところでは、上に行けば影響が出てこないといったような評価をしております。そういうことかなと、我々は理解しております。

寺井主査 ですから、本来、木下委員は、ここの中身をもう少しちゃんと書いてくださいということを書いておられたと思うんですけども。

杉原委員 今の件で、例えば別添 - 2 のところに、A と B の関係がかなり詳しく定性的に書いてあるんですけども、この辺をある程度定量的にやらないと、A と B で、まさに今言われた設計思想が違おうと、特に日本国というのは横のつながりが非常に悪い国ですから、こういうところに出てくるのではないかというのが非常に心配なんです。その辺をちょっと、別添 - 2 の辺りをもう少し定量的にやる必要があるのではないかという気がします。

寺井主査 そうですね。この辺は、保安院さんの方から事業者さんに指導するということは可能なんですか。もう一度詳しいエビデンスを見せてくださいと。

青木統括安全審査官 勿論です。

寺井主査 もし、可能であれば、その辺のところを掘り下げただけるとありがたいかなと思いますけれども。

相互干渉の問題というのが、要は、今回は、まさにその問題なので、そこどころがどういうふうに解決できるのか、あるいは改良型でそこはちゃんと担保できるのかということが、一番の本質的な問題ではないかと思しますので、そこどころは注意をして、保安院さんの方で事業者に確認をしていただくようお願いいたします。

ほかにいかがでしょうか。よろしゅうございますでしょうか。幾つか、今日はまた問題が指摘されまして、要は、もう少し相互干渉の点も含めて、特に摩耗のところのロジックとか、今の相互干渉で B 型の方への影響は、今度はないのかとか、それから何をもって A 型がこれで改良されたかとか、その辺のところとか、幾つか重要な御指摘があったと思います。

それで、これにつきましては、次回のワーキンググループで、再度コメント回答をお願いするということかと思えますし、それから、今日の W11 - 1 につきましても、今回御指摘されたようなところを、もう少し明確に回答していただくということを次回にお願いしたいと思います。

それでは、どうもありがとうございました。ほかに御意見等ございますでしょうか。全般的なことでも結構でございますが。

横長の資料、新旧比較表、これは事務局の方から。

竹内建設班長 先ほど御説明が漏れておりましたが、これは前回等から御説明した 10 - 2 の資料、摩耗評価の資料の中で、いろいろ表現として適切ではないものがあるというコメントをいただきまして、それを踏まえて変更をしたということで、少しわかりやすさを入れたということで、今ちょっと御説明は省略させていただきますが、このような形で変更して、今後、最終的にはちゃんとし

た形のをセットしたいということを考えておりますので、お気づきの点がありましたら、コメントいただければと思っておりますので、よろしくお願いいたします。

寺井主査 ありがとうございます。前回資料のW10 - 2に関する修正(案)ということでございます。本日、御質問、コメントいただいたことも一部この中に入っておりますので、是非ごらんいただきまして、御意見等ありましたら、事務局の方までお願いをしたいと思っております。ありがとうございました。

それでは、特に御意見がないようでしたら、今日いただきましたコメントを事務局の方で再度整理をしていただきまして、次回の会合以降に御回答をいただくということをお願いをしたいと思っております。

更田委員 ちょっと全体に関わることで確認なんですけど。

寺井主査 どうぞ。

更田委員 休みの間に模型を見せていただいた対策燃料なんですけれども、ちょっとそのとき、私は対策燃料というよりは応急措置燃料ではないかというようなことを申し上げたのではあるんですけれども、今日いろいろほかの先生方からの指摘もあって、干渉の問題であるとか、その説明は必ずしも十分できない部分があったかもしれないですけれども、ごく一般論から言うと、今回起きた事象に関しては、対策になっていると。それから、ほかに対する悪さも特段指摘があったわけではないと。説明性の問題はあったかもしれないけれども、ある意味、対策燃料というのは、速やかに措置しなければならないから、できているものだろうと思われるので、そういう意味では、おおむねこの対策燃料というのは、応急措置かもしれないけれども、対処されると、そういうふうにご覧いただければいいですか。

寺井主査 いかがでしょうか。

青木統括安全審査官 私たちの事業者から聞いている感触ですと、これでかなり対策効果が見込めるのではないのかなと思っております。先生方の御意見をお伺いして、最後はエンジニアリングジャッジしなければいけないんだと思うんですけれども、その辺は先生方の御意見も十分踏まえて、ジャッジしたいなと思っております。

寺井主査 ありがとうございます。更田委員、特にございますか、よろしいですか。

今、事務局の方からの御回答は、私は妥当な判断ではないかと思っております。今回のもともとの問題の発端は、保安規定からいうと全然問題ないレベルで、安全性等に直接関わる問題ではないと。ただ、系統的なトラブルが今後生じるようになってくると、これはやはり抜本的な対策を考えないといけないという話なので、そういう観点から始まった議論であると理解をしています。

ただ、いろいろ事業者さんのサイドであるとか、メーカーの方の事情もあって、当面の対策と抜本的な対策と二段階で考えておられるようなので、今、御指摘がありましたように、時間が余りないところでの対策をまず打って、そこで、まず、現実的な対応をすると、その後、根本的な抜本的な対応を考えるということは、私は非常に現実的な解としては意味があるのではないかと考えております。

ですから、恐らく、今、更田委員がおっしゃいましたように、それほど深刻な問題といたしますか、

この対応をすれば、ゼロにならないかもしれないけれども、今までと全く同じような状況が再現するというだけでも、多分なさそうだというような判断が、もしできれば、仮にこれで破損がゼロにならなくても、それはそれで意味があることではないかと思います。この辺は、最後は、保安院さんの方のジャッジメントをどうされるか、これは規制行政庁ですから、そこの御判断ということになると思いますけれども、この委員会の位置づけは、多分、そういうふうなところかなと思っているということを最後に申し上げておきたいと思います。

小無委員、どうぞ。

小無委員 そうしますと、P I Eの結果というのは、タイミング的にこういう対策にどのように反映されるとお考えでしょうか。

寺井主査 これは、いかがですか。

青木統括安全審査官 まだ、P I Eで貫通に至っている部分の写真は撮れておりませんが、状況から見て、恐らくフレッティング摩耗であろうと考える、そうだと思って対策を考えてきているわけなんですけれども、P I Eの結果が出てきたら、やはりそうだったなということの確認が取れるということになるんだろうと思っています。

あと、細かいデータが拾えますので、解析が実験結果にチューニングさせて、なるべく合うようにしてきておりますけれども、あとは摩耗量のヒストグラムがありましたけれども、ああいった関係のものも織り込んできておりますけれども、更に精度の上がった解析コードになっていくのかと、そのためのデータが出てきて、よりよくシミュレーションできるようになってくるのかなと思っています。

小無委員 そうすると、今の応急措置としては後付けでP I Eの確証を得ていくという理解でよろしいですか。

青木統括安全審査官 絶対、100%というのは、多分ないと思いますので、P I Eもその思い込みだけでやらないように、ほかのもひょっとしたらあるかもしれないという観点も忘れないでやりなさいというコメントもいただいておりますので、必ずしもこれだけだと限定的に進めるわけでは決してないですけれども、これはこれとして、今、考えられる原因に対して取れる最大限の対策、取りたいという事業者の気持ちはよくわかりますし、安全に対して、真摯に対応するということは、いいことだと考えます。

P I Eの結果が出てくれば、結局は、事前にとったこの対策がこれでよかったんだと、後で確認が取れることになるんだろうと思うんですけれども、また、そこで新たな知見があるのではあれば、また、それに対応するということは考えなければなりません。それは開けてみなければわからないんですけれども、今のところ、わかっている最大限の対応をしている状況だと理解しております。

小無委員 ということは、あくまで応急措置という理解でよろしいですね。

寺井主査 そういうふうに理解をさせていただいていいのではないかと思います。大体この応急措置燃料は何体くらいが、今、想定されているんですか。そんなに多くはないですね。つくりかけのものだけをこの対策をするという話。

青木統括安全審査官 全部で、大体□□くらいです。

寺井主査 それで、これまで入って燃やしているのは、もうこれはできないから、それは燃焼制限の方で担保すると、そういうことですね。

青木統括安全審査官 はい。

寺井主査 この応急措置型については、了解が得られれば 55,000 というのを、一応年数制限は、ここでは考えないで、そういうことでございますね。

青木統括安全審査官 万が一リークに至っても、十分コントロールができます、監視しておりますので、安全という点では、全く問題ないと思っていますので、ただ、系統的にと言ったところに、どこまで思い入れをもって対応するかということだと思わんでも、我々安全規制とすれば、この辺までは許容できるのではないのかなという感じがしておりますけれども、この辺も含めて御意見を賜われればと思っております。

寺井主査 ありがとうございます。ほかに御意見あるいは御発言はございますでしょうか。よろしゅうございますか。

それでは、事務局から今後の予定等について事務連絡をお願いいたします。

青木統括安全審査官 本日は、ありがとうございます。本日いただきました御意見等、また検討の上、御回答させていただきます。

次回会合につきましては、また、別途調整させていただきますので、よろしくをお願いいたします。

それから、今日、机上配付させていただきました資料でございますけれども、こちらの方は、ちょっとマスキングとかをしてございませんので、申し訳ございませんが、机上配付の資料はそのまま置いておいて、お持ち帰りにならないようお願いしたいと思います。

事務局からは、以上でございます。

寺井主査 ありがとうございます。机上配付資料というのは、この申請書と、それから過去の審議資料の 2 点ですか。

青木統括安全審査官 申請書の方が、まだマスキングしていませんので、これは置いておいてください。それから、机上配付の資料は、お持ち帰りいただいている過去の資料と同じでございますので、これは置いておいていただければ、また次回に御用意させていただきますので、済みません。

寺井主査 本日の資料も、ここにまた入れておいていただけるということでございますので、その点、御注意をお願いします。

それでは、これをもちまして、ちょっと予定の時間を過ぎましたけれども、本日の会合を終了いたします。長時間にわたる御審議、誠にありがとうございました。