

原子炉安全小委員会燃料ワーキンググループ（第14回）  
議事録

日 時：平成 22 年 11 月 9 日（火） 15：30～17：40  
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
			木下	幹康
			小無	健司
			杉原	淳
			更田	豊志
			古田	照夫
			前田	誠一郎
			三島	嘉一郎
			山口	彰

〈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、時間になりましたので、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（第14回）」を開催いたします。

出光先生は遅れられるという御連絡をいただいておりますので、委員の先生方は以上でございます。

それでは、まず初めに事務局から、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 それでは、定足数の確認をさせていただきます。

遅れて御出席の出光委員を含め、本日、12名の委員の御出席をいただく予定になっております。このうち臨時委員は8名、現在、7名御出席いただいておりますので、既に定足数の臨時委員6名以上の要件を満たしております。

それから、本日の会合でございますが、企業秘密、知的財産にかかわる情報を取り扱いますことから、非公開とさせていただきます。

資料等につきましては、後ほど必要な箇所をマスキングした上で、ホームページに掲載する予定でございます。

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してございます。

4番の配付資料のところでは本日の配付資料のリストがございまして、燃料W14-1から5まで、5つの資料を本日は御用意させていただきます。

14-1「燃料ワーキンググループ コメント回答（その5）」。

14-2「17×17 A型高燃焼度燃料 信頼性向上燃料設計について」、これは前回の配付資料でございますが、これに係る新旧比較表。一部改定してございます。

それから、14-3、今の反映をして新しくしたものです。前回の13-1を改定して、新たに14-3としてお配りしております。

それから、14-4「17×17 A型高燃焼度燃料 大飯4号機漏えい燃料の照射後試験の実施状況について」。

それから、14-5「高燃焼度17行17列A型燃料からの一次冷却材中への放射性物質の漏えいについて（案）」という保安院の評価を記載したものでございます。

それから、机上配付資料といたしまして、第9回以降の配付資料、10月12日付けで三菱原子燃料株式会社から申請がございました、燃料体設計認可申請書の写しをお配りしております。

配付資料につきましては、以上でございます。

○寺井主査 ありがとうございます。

資料に不足等ございましたら、事務局までお申し出をお願いいたします。

それでは、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、これまでと同様、「高燃焼度17行17列A型燃料からの一次冷却材中へ

の放射性物質の漏えいについて」ということで、本日は、前回ワーキングにて御審議いただきました恒久対策燃料の設計につきまして、委員の皆様方からいただいたコメントを踏まえたコメントへの回答と、前回資料の修正、これは先ほど御紹介ありましたものですが、それから、信頼性向上燃料に関する原子力安全・保安院の取りまとめ文書について、御説明をいただく予定としております。

それでは、順次、事務局から御説明をお願いいたします。

○竹内建設班長 それでは、最初の資料、燃料W14-1「コメント回答（その5）」、こちらの方を御説明させていただきます。

資料を1枚めくっていただきまして、御質問リストということで、前回ワーキングにおきまして皆様からいただきました御質問等を列挙いたしております。全部で8つございますが、そのうち、必ずしも宿題となっていないものもございますが、明確に改めて今回御説明させていただくということで用意したものでございます。

2枚めくっていただきまして、最初のNo.1のコメントでございます。

燃料中心温度、燃料径及び燃料棒内圧の履歴図（詳細設計ベース）を示すことということで、更に1枚めくっていただけますでしょうか。

こちらは、燃料中心温度の履歴図ということで、上の図が二酸化ウランの燃料の中心温度、下の図面がガドリニア入りの二酸化ウラン燃料棒の中心温度の履歴図でございます。

赤い色の線が、信頼性向上A型燃料という、前回より御審議いただいている設計の燃料のものでございまして、黒線がA型燃料のものでございます。

上の図でございますけれども、こちら、二酸化ウラン燃料棒の方でございますが、前回も更田先生から御質問がありましたけれども、信頼性向上A型燃料の場合は、サイクル初期において燃料中心温度が最も高くなるということでございまして、点線の所が設計線出力密度でございます。これは異常な過渡変化時のもので59.1kW/mというものでございますが、赤線の推移を見ますと、最初、ヘリウム初期加圧量を若干下げているということで、赤線はA型燃料に比べると、クリープダウンが進みまして、ギャップが閉じる方向に行くということで、熱伝導率がよくなるということで、温度は若干下がるという傾向になっております。

その後、ある程度燃焼が進みますと、燃焼によりますFP等により熱伝導率が低下いたしまして温度が上昇する方向になるということで、あとはA型燃料と同じように推移していく傾向になってございます。

その下のガドリニア入りの燃料棒でございます。こちらは、ヘリウムの初期加圧量がA型燃料と信頼性向上A型燃料では□MPa程度しか変わらないといえますか、A型に比べて□MPa低くした初期加圧量ということで、中心温度としてはほぼ同等になるという評価結果になってございます。

次の1-3ページをごらんください。

こちらが燃料のペレットと燃料棒の被覆管の内径の履歴図でございます。

同じく上がウラン燃料棒で、下がガドリニア入りの燃料棒です。

上のウラン燃料棒の方から御説明いたしますが、赤い色が今回の信頼性向上A型燃料でございますが、こちらヘリウムの初期加圧量が低いため、こちらでは照射クリープが進んで、黒い線に比べて燃料被覆管の内径が小さくなるということになっております。

それから、ペレット外径につきましても、赤い信頼性向上A型燃料は温度が低いため、径は小さめに推移するというところでございます。

2サイクルの真ん中あたりでペレットと被覆管がコンタクトして、その後は同じように推移するという評価になってございます。

それから、その下のガドリニア入りの燃料棒でございますが、こちら先ほどと同様、ヘリウム加圧量の下げ幅がわずかなものでございますので、基本的に同じような傾向で被覆管の径とペレットの径は変化していくという評価になってございます。

次の1-4ページでございます。こちらは、燃料棒内圧の履歴でございます。

上の二酸化ウランの場合ですと、初期ヘリウム加圧量が小さいということで、最初は低めで推移いたしますが、プレナム体積が信頼性向上燃料の場合ですと小さくなっているということで、内圧の増加割合が大きいということで、最終的にはA型とほぼ同等になるという履歴になってございます。

その下のガドリニア入り燃料棒の場合ですと、上がり方といたしましては、ウラン燃料棒と同じように上がりますけれども、初期加圧量が余り変わらないということと、プレナム体積が小さめということで、最終的には信頼性向上の方が内圧は高くなるという評価になってございます。

以上が履歴図でございます。

次の質問でございます。No. 2でございますが、こちら、初期ヘリウム圧力を下げていることによりましてガドリニア入りの二酸化ウラン燃料棒外径への影響を示すことということで、先ほども示しましたけれども、こちらでは、出力の出ている所の燃料棒を評価したものでございます。それでフレットング摩耗に影響がないことを示すことということで、下に回答を説明いたします。

燃料の径が小さくなる最小燃焼度のガドリニア入り二酸化ウランの燃料棒の燃料径の変化といたしましては、下の図に示すとおりでございますが、先ほど同様、赤い色が信頼性向上燃料で、黒線がA型燃料のものでございます。

信頼性向上A型燃料では、初期ヘリウム圧力を下げておりますけれども、その低減幅といたしましては、MPa とわずかであるということで、両者の燃料径はほぼ同等でありまして、フレットング摩耗への影響はほとんどないと。ほとんど径としては変わらないということでございます。

更に、ばね力緩和が進みましてフレットング摩耗条件として厳しくなる寿命末期におきましては、第3サイクルのあたりですけれども、ペレット被覆管が接触、コンタクトいたしまして、燃料棒の外径変化はペレットの径の変化に依存したものとなるため、初期へ

リウム圧力の違いによるフレッティング摩耗への影響は小さいというものでございます。

こちらの図1の評価位置でございますが、図中にご覧いただけますように、最も細くなる燃料棒、最小燃焼度となる燃料棒の第2支持格子位置と。これは大飯発電所のと看すと、こちらの場合と看すと、下から2番目の支持格子の所での外径変化となります。

先ほど御説明いたしましたところは、2ページ前ですけれども、こちらの方は、最も出力が高くなる、中性子束としては高い所の燃料棒の軸方向で言うると、中央付近の推移になりまして、出力評価位置が違ふということてこの違いが出てくるということてでございます。

次の御質問、No. 3でございます。過去のペレットL/D変更による影響はどのように評価しているかということて、前回の設計時の御説明におきましては、品質向上のためにL/Dを変更するということて御説明しておりましたが、過去のL/D変更時にどういったことを評価していたのか調べるということてコメントをいただいております。

回答でございますが、三菱製燃料のペレット寸法は過去に2回の変更が行われております。

1回目の変更といたしましては、L/Dが1.6から1.2。これは昭和62年に変更したものでございます。このときは、チャンファの採用と併せてPCMIの低減と製造時のペレット欠けを低減することを目的としておりました。

その後、2回目の変更といたしましては、L/D1.2から1.4にしております。これは平成9年のときの変更でございます。こちらにつきましては、ペレット生産数の減少によるコスト低減のための生産性の向上が目的であったということてでございます。

これらの変更の際には、ペレットL/Dの変更による影響評価といたしまして、燃料中心温度等の5基準と、ペレットの変形挙動が変わることによりますPCMIへの影響、核設計や熱水力設計の影響について評価が行われております。

いずれにせよ、このときも今の燃料ワーキングの前身であります燃料部会におきまして御意見を伺っているものでございます。

今回の変更によります5基準への影響につきましては、初期ヘリウム圧力低減等の設計変更と併せまして評価したところ、A型燃料の評価結果と同等程度であるということて、問題にはならないということてでございます。

それから、PCMIへの影響につきましては、L/Dが小さいほど照射時の鼓型の変形が小さくPCMIが軽減されるため、問題にならないという評価結果でございます。

それから、核設計、熱水力設計への影響につきましては、過去の変更時と同じようにウラン装荷量が同等であることや、燃料有効長にも変更がないということから問題とならないということてでございます。

それから、現行のPCIのしきい値につきましては、次のページにございますが、これは燃料体設計認可申請書にも添付してございますが、この大きな2つの図がございまして、1つが最大線出力密度と、その下が線出力密度の変化幅ということて、これらが同時に超えたときにPCIの破損が発生するという評価でございまして、この中で、L/D

Dの範囲といたしましては、1.1 から 1.7 の間で評価しているものでございまして、今回のL/D1.2 は、この範囲に包絡されているということで、今回の信頼性向上A型燃料にも適用できるというものでございます。

その次の御質問と回答でございますが、4-1 ページ、No. 4 でございます。

ペレットL/D変更はペレット密度分布にどのような影響があるのかということで、これは前回、L/Dが小さくなるということは、密度的には分布としてはいい方向に、分布としては振れ幅が小さくなる方向にいきますよということでアドバイスを受けたものでして、一応これに関して御説明させていただくものでございます。

ペレット成形体には密度分布があるということで、軸方向の中央部の方が端部に比べまして相対的に密度が低いが、焼結時には密度が低い軸方向の中央部ほど収縮率が高く、ペレット焼結体は鼓型形状をしているというものでございます。このため、成形体に生じていました密度分布は減少し、ペレット焼結体の密度分布は小さいと考えられます。

信頼性向上A型燃料では、ペレットL/Dを低減するため、ペレット成形体のL/DもA型燃料のペレット成形体よりも小さい。L/Dが小さいほど成形体の密度分布は小さくなる方向でありますことから、信頼性向上A型燃料のペレット焼結体の密度分布はA型燃料よりも更に小さくなるということで、L/D低減によりまして密度分布が大きくなるということではなく、照射挙動に影響はないということでございます。

次のページで、No. 5 の御質問でございますが、信頼性向上A型燃料炉心の運転管理への影響を整理することということで、今回の信頼性向上A型燃料は、燃料有効長は変わらないのですが、全体的に上の方に□mm 上昇するというので、これによる核的な影響のうち、運転上の制限値、運転段階でどのような制限値等に影響し得るか示すことということでございまして、これにつきましては、次のページの表で御説明いたします。

項目といたしましては2項目ございまして、制御棒の挿入限界と出力分布測定になります。

1つ目の制御棒の挿入限界でございますが、こちら、燃料の有効部が上にずれることによりまして、制御棒の2ステップ分、相対的に入ることになりますので、その分、挿入限界といいますか、制御の余裕しろが食われるということになりまして、その影響がどうかということでございますけれども、右の所に記載がございまして、約2ステップ分の反応度に対しましては、約 0.02%  $\Delta k / k$  程度ということで、次のページをごらんください。

下の図面にございますけれども、停止余裕の評価値 1.8%  $\Delta k / k$  の更に上の所の挿入限界設定値の線がございまして、これに対して 0.02%  $\Delta k / k$  は極めて小さな値ということで、ほとんど影響はないということでございます。

前のページに戻りまして、2つ目の項目で出力分布測定でございますが、こちらの出力分布につきましては、運転時に炉内核計装で定期的に压力容器の下部から可動型検出器を挿入いたしまして、定期的に測定や校正を行っているということですが、燃料有効部が上

に行くことによって、測定範囲がもしかして足りなくなるのではないかという懸念はあるということですが、いずれにしても、こちらにつきましても、若干上がるとしても、可動型検出器の届く範囲、測定範囲はもともと余裕があるということで、出力分布測定には影響しないということになります。

以上、核的な影響への評価項目でございます。

6-1 ページの6つ目の質問でございます。

川内原子力発電所に保有しているA型燃料の体数はどれくらいか。九州電力が川内発電所に保有しているA型燃料の体数について整理したものでございまして、この表に示しますとおり、川内には1号、2号機がございまして、今、この表の中にあります真ん中の行でございますが、炉内の装荷体数といたしましては、1号機が70体、2号機が68体、燃料集合体の炉心の総数といたしましては157体でございますので、おおよそ半分が今のところA型燃料が装荷されているということになります。残りにつきましては、B型燃料と、あと、48,000MWd/tの燃焼度の燃料がまだ若干残っているということになります。

それから、新燃料貯蔵庫に入っている4体がございまして、これは今後も照射制限のもとで使用していくという予定にしているということになります。

体数といたしましては、以上でございます。

それから、次のページで7番目のコメントでございますが、信頼性向上A型燃料とB型燃料が隣接した場合のB型燃料に対するCFD結果につきまして、三菱と原燃工がそれぞれ実施した結果を比較するとやや違いがあるようではありますが、その解析の違いは何かと。こちらは三島先生の方から、B型燃料の方がチェックリストが増えているのは問題ないのかという御趣旨でコメントいただきまして、こういう形で整理させていただいております。

こちらにつきましては、図をごらんいただきたいと思ひまして、今日お配りしております燃料W14-3の資料でございますが、こちらの23ページをごらんください。それと、もう一つ、別添1というのが後ろにございまして、別添1-10ページをごらんください。

燃料W14-3の本体資料の23ページの上の図面のところのB型燃料のところでございますけれども、こちらの方が赤と青のコントラストが非常にくっきりしていて、B型燃料への影響が大きいんじゃないかという御質問がございまして、片や原燃工が別添1-10ページの方ですけれども、こちら、原子燃料工業が評価いたしましたB型燃料の信頼性向上A型燃料とB型燃料が隣接した場合の評価、上の図面でございますけれども、こちらと何が違うのかという御質問がございましたので、こちらについては改めて整理させていただきます。

その違いといたしましては、回答のところになります1.、2.の記載のとおり、まず、解析コードによる違いということと、CFD評価軸方向位置、評価している高さの違いがあるということで、これは若干、前回口頭でも御回答差し上げているところがございますが、違いといたしましては2点あるということになります。

1つ目の解析コードの違いでございますけれども、三菱の方が用いているCFDの流体

解析コードにつきましては、1990年代初めに初めて非構造格子を用いた商用コードとしてリリースされて、非常に多く使われているといったものでございまして、一方、原燃工が用いているものとしたしましては、STAR-CDの後継機種として精度や操作性向上を目指して開発されて、2005年にリリースされたSTAR-CCM+といったコード、製造元は同じでございますけれども、バージョンといいますか、版が違うといったところが違いがあるということでございます。

それから、2.のCFDの評価軸方向位置の違いでございますが、これは次のページをごらんください。コメント回答資料の次のページでございますけれども、こちらが、三菱が評価したものと原燃工が評価したところの評価位置を点線で示しておりまして、左側の三菱評価位置というのが、A型燃料を評価するために、下部ノズルの上の最下部支持格子の下の所を評価位置にしております。

一方、右側の原燃工の評価位置としたしましては、B型燃料を評価するために、B型燃料の一番下の支持格子の直上部、こちらを評価しておりまして、B型燃料に着目いたしますと、三菱が評価した部位というのは、先ほど燃料W14-3の23ページのところになりますが、グリッドの中を評価していることとなります。それから、原燃工が評価した結果としたしましては、別添1-10ページですけれども、グリッドの直上ということで、評価位置が違うということになっております。

ですから、ここで申し上げたいのは、評価位置が違うことでこういう結果になりますよということの回答になるわけでございますけれども、23ページには、グリッドの中のところ、赤と青のコントラストが激しいというのは、グリッドがある部位は、当然水の流れがないということで、おのずとこういったような色の分布が出てしまっているのではないかと。こういったところで違いが出ているということでございます。

ですから、原燃工が評価した別添1-10のところだと、グリッドから出た後のところでございますので、余りそれほど激しく色の変化はないということで、それほど問題にならないのではないかとということでございます。

以上が7番目のコメントへの回答でございます。

それから、No.8、最後のコメントへの回答でございますけれども、これは、前回の資料で4章の中で励振力測定結果の後のCFDの結果が記載されているが、CFDを実施した上で、代表的な点に対して励振力を測定し、問題ないことを確認しているのではないかと。これは阿部先生の方から、もともと励振力測定の評価位置がある程度限られたA型燃料のときと同じ評価位置を選んで、それでもってすべてのほかのセル位置の励振力も代表が本当にできているのかと。論理としておかしいんじゃないのかという趣旨の御質問でございましたので、これに対して回答させていただきます。

信頼性向上A型燃料におきまして、対策A型燃料、これは、前回御審議いただいたところでございますけれども、それと同じような流路孔パタンのもの、整流効果の高い、孔の小さい均質的な多孔流路を持つ下部ノズルを今回適用するというところでございますので、

対策A型燃料と同様に励振力のセル位置依存性はなくなることが期待されるということでございます。

ですので、そこで信頼性向上A型燃料の部分モデル二体流水試験におきましては、対策A型燃料での確認結果を踏まえまして、下にありますセル位置を測定したということでございます。

3-2と3-3の位置、こちらにつきましては、A型燃料で非常に励振力が高かったものでございますが、信頼性向上A型燃料では低減効果を確認していると。

それから、5-5の位置。これは燃料集合体の下部ノズルの下に4つ流路孔がありますがけれども、その4分の1より下の所の流路孔の中心位置になります。こちらにつきましては、励振力が均質化した対策A型燃料の測定結果の中で励振力が最大になる所を選んで、こちらの評価をしたものでございます。

それから、8-8の位置。こちらは燃料集合体の本当の中心位置付近ということで、A型燃料でも対策A型燃料でも参考として測定しているというものでございます。

その下ですが、またCFD解析により燃料棒周りの流速を評価し、これらの結果と励振力測定結果によりまして、CFD解析による流速と励振力の相関式を求めるということで、集合体内の励振力を評価して、励振力が均質化されているということが確認されたものでございます。

その下が更にということですが、単体のフルモデルの流水試験によりまして、実際の信頼性向上A型燃料では励振力の低減により実際の燃料棒の振動応答が低減することと、セル位置依存性がなくなって均質化しているということフルモデル試験によっても確認しているということでございます。

それから、その下のなお書きでございますけれども、こういった趣旨のことで、もう一つの次の資料ですが、燃料W14-2のA3で綴じているものでございますけれども、こちらの5ページをごらんいただきたいと思っております。

真ん中の下に5ページと記載されているところで、変更箇所といたしまして、燃料W14-3の変更箇所ですが、4.の対策効果の確認ということで、今御説明した趣旨のことをこちらに記載させていただきました。ポイントといたしましては、A型燃料の対策をいたしました対策A型燃料、こちらでの確認された内容を、こちらで対策いたしました対策下部ノズルによる励振力が均質化されているということで、こういった結果を踏まえて、今回の信頼性向上A型燃料についても評価位置を選んでいるということを記載させていただいております。

コメント回答といたしましては、以上でございます。

引き続き、燃料W14-2の変更点について御説明させていただきたいと思っております。

こちらは、前回ワーキングの中でいろいろと御指摘を踏まえまして変更した内容を新旧対照という形で記載したものでございます。

1ページから3ページまででございますけれども、こちらといたしまして、図面の引用

番号を追加したということで、図 2-1 ということをごさいますして、この図につきましては、燃料 W14-3 の 4 ページの燃料仕様の比較ということで、A 型と今回の信頼性向上 A 型燃料、これの仕様を比較した図面を引用箇所として増やしているところを追加したものでございます。

燃料 W14-2 の新旧対照表に戻っていただきまして、4 ページ目でございます。こちら、杉原委員からもメールをいただきまして、4 ページの新しい所で図が書いてございますが、「下部端栓」という言葉を追加いたしました。

5 ページは、先ほど申し上げたとおりでございます。

それから、6 ページでございますけれども、これも前回ワーキングでコメントいただきました、ちゃんと試験条件を記載することということで、試験条件を図の凡例の所に追加させていただいております。

それから、7 ページと 8 ページですが、こちらにも試験条件を、試験の内容、概要というものちゃんと明記することという御指摘をいただいておりますので、文書に記載すると、次の 8 ページのところ、単体試験の流水試験装置、これの図面を入れさせていただきました。

次の 9 ページでございますが、これは、先ほどの図を追加したことにより番号の変更でございます。

それから、10 ページでございますが、こちら、前回、更田先生の方から御質問ありまして、燃料の中心温度が初期に最も高くなるということで、寿命前半という言葉や、下にあります寿命末期、この言葉を追加いたしました。

それから、次のページの 11 ページから 13 ページの表でございますが、こちら、「○」がどういう意味を持つとか、「-」がどういう意味を持つとかということが説明がないという御指摘ございましたので、それを表の下に赤枠で囲ったとおり記載させていただきました。

資料の変更点としては以上でございます、コメント回答と併せて、前回に対する御質問等の回答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。

それでは、ただいまの御説明につきまして、御意見等をお願いいたします。まず、コメント回答（その 5）、燃料 W14-1 ですね。前回、コメントを出されまして、その場で御回答もいただきましたけれども、一応重要と思われるもの 8 件につきまして、回答を今日お示しいただいたということでございます。

いかがいたしましょうか。順番に確認をいたしましょうか。

それでは、前回の質問の No. 1 ですね。更田委員、いかがでしょうか。

○更田委員 ありがとうございます。

これでもう十分だと思えるんですけれども、できれば、図 3 の解析を与えた履歴と中心温度があると、これ、中心温度については異常な過渡の解析で、あとは第 1、第 4 サイクル

の履歴になっているんですけれども、ペレット径の変化であるとか、被覆管内径の変化が内圧を見るとすると、線出力とそのときの温度の評価結果があると、より分かりやすいとは思いますが、質問の趣旨に対してはお答えいただいたと思っておりますので、ありがとうございました。

○寺井主査 ありがとうございます。

それでは、No. 2、木下委員、いかがですか。

○木下委員 今のでちょっといいですか。更田さんがお話しされたことなんですけれども、具体的にちょっと確認ですけれども、1-3ページ、1-4ページで、特にペレットの外径を見ると、サイクル1からサイクル2で変化しているところに階段状に変化しているのは、個々の燃料棒の当該位置での出力変化ということですね。

○寺井主査 それはそうだと思いますけれども。

○木下委員 分かりました。一応確認。

○寺井主査 No. 2の方はいかがですか。

○木下委員 No. 2の方も基本的には結構だと思いますが、ただ、ちょっと教えていただきたいかったのは、これ、線出力が低い部位とおっしゃっていたんですが、確認ですけれども、これは、軸方向で言うと下の方になるのでしょうか。

○竹内建設班長 小さい図の中に書いてございますけれども、第2支持格子位置とありまして、すみません、これ、関西電力のときと九州電力ですと、振り方が違うんですが、第2支持格子位置というのは下から2番目の部分でございます。3ループで漏えいが起こした所と同じ位置を比較したものでございます。漏えい位置ではなくて、漏えい位置があった所の1つ上の所のものでございます。

○木下委員 それで、赤い線と黒い線とを比較した場合なんですけれども、細かい話ではあるんですが、赤い方が信頼性向上A型ですので、本当に細かい話ですが、ヘリウム圧力は低減しているわけですね。だけど、この計算では、黒の方が被覆管がより大きく減少、これ、クリープダウンというわけでしょうけれども、クリープダウンしているんですが、圧力の外圧との差からすると、赤の方が下にくるような気もするんですが、この辺は何か説明はできますか。

○竹内建設班長 これにつきましては、内圧との関係がありますというのはおっしゃるとおりでございます。前の1ページ戻っていただいて、1-4ページをごらんください。下の図のガドリ棒でございますけれども、おっしゃるとおりサイクル初期、一番燃焼初期につきましては、ヘリウム加圧量が若干下げているということで、信頼性向上燃料は若干低くなりますけれども、プレナム体積が約2割減っておりますので、途中で内圧が逆転いたします。ですから、第2サイクルあたりから信頼性向上燃料の方が内圧が高くなるということで、そうすると、2-1ページのところで信頼性向上燃料の方はクリープダウンが進みにくくなるといいますか、内圧が高い分、径の変化がそれほど大きくないということでございます。

○木下委員 もう一つ教えていただきたいんですが、ペレットの外径の方は、逆に赤の方が黒よりも下側になっているわけですけれども、常識的に考えると、こういう傾向が出るのは赤、つまり、信頼性向上A型の方が温度が低いのかなと思うんですが、この辺は何か理由がありますか。

○竹内建設班長 済みません。これも若干有効部が上の方にシフトしておりまして、それによって軸方向のフラックスといいますか、出力との関係からすると若干低くなっているというところがございます。済みません。

○木下委員 分かりました。多分そうだと思います。ありがとうございます。

○寺井主査 よろしいですか。

No. 2につきましては、特にほかに御意見ございませんか。よろしいですか。

それでは、No. 3、古田委員からの御質問です。いかがですか、古田委員。

○古田委員 これで結構だと思いますが、念のために1つだけ確認させていただきますと、真ん中の第2パラグラフのところで、「今回の変更による」というところで、「A型燃料の評価結果と同程度であり、問題とならないとしている」という結論の裏付けとして、A型燃料と数字的にも変わっていないということを確認していただいていると思いますが、この点はいかがでしょう。

○竹内建設班長 5基準等につきましては、燃料W14-3の資料をごらんください。42ページをごらんください。

○古田委員 分かりました。数値が入っていますね。どうもありがとうございます。

○寺井主査 よろしゅうございますか。

ほかにNo. 3、コメントございますか。よろしいですか。

それでは、No. 4ですね。木下委員です。いかがでしょうか。

○木下委員 L/D変更が密度分布に影響がないという御説明で、これで結構だろうと思います。どうもありがとうございます。

○寺井主査 ありがとうございます。

今のコメント、よろしゅうございますか。特に御意見ございませんか。

それでは、次、No. 5ですね。山本委員は今日は御欠席ですが、山本委員にはもうこのコメントはいつていますか。特にはいつていない。

○竹内建設班長 まだいつていません。

○寺井主査 いかがでしょうか。この御質問、御回答ですが、先生方の方でお気付きの点、ございますか。

特に問題はないんじゃないかなと思いますが。いずれも余裕の範囲内であるということですね。よろしゅうございますか。

それでは、一応御確認いただいたということにさせていただきます。山本委員にはまた後で確認をお願いできればと思います。

No. 6は天谷委員からの質問でございます。これは、調べれば済む話なので、いかがで

しょうか、天谷委員。

○天谷委員 どうもありがとうございました。大体半々ぐらいということで、今回、川内の方から設認が上がってきていますので、これで早く進めないといけないのかなと。

○寺井主査 ありがとうございます。緊急性はこれから読み取れるということですね。

それでは、No. 7ですが、三島委員、いかがでしょうか。

○三島委員 解析結果が見た目に少し違うかなと思ったので、この質問をさせていただいたんですけども、解析コードにつきましては、基本的には同じSTAR-CDということで、ただ、バージョンが違うようですので、その辺、どういうふうに違うのかなというのは気になる場所ですけども、結果から見ると、そんなに大きく結果を変えるようなものではないと思いますので、これで結構だと思います。原燃工と三菱とで解析の位置がずれているということで見た目に違う結果が出ているということが分かりました。

○寺井主査 ありがとうございます。

No. 7につきましては、ほかにコメントございますか。よろしゅうございますか。

それでは、最後ですが、No. 8ですね。阿部委員、御質問の趣旨とコメントの表現がいかどうか、それから、御回答につきましてお願いします。

○阿部委員 質問の趣旨は、要は、3-2、3-3、5-5というところが代表性が本当にあるんですかという質問。全く設計の異なるものを比較したときに、前のもので問題になったものが新しいところで果たして代表性があるのかという質問だったんですが、全体的に流れが均質化しているという傾向を踏まえた上で、この場所を代表させたという論理にされたと思いますので、これはこれでよろしいのではないかと思います。結構です。

○寺井主査 ありがとうございます。

No. 8に関する御回答、ほかにコメントございますか。よろしゅうございますか。

それでは、一応コメント回答（その5）につきましては、山本委員には御確認いただくとしたしまして、一応この場では御了解をさせていただいたということにさせていただきます。

それでは、前回の燃料W13-1の改ですね。燃料W14-3、これについて、先ほど新旧対照表がございましたけれども、いかがでしょうか。コメントございましたら、お願いします。先ほどのコメント回答の結果ももとに、あとは図番を1個増やしたとか、そういった類のところは大部分かなと思いますが、お気付きの点ございましたら、よろしく願います。

○青木統括安全審査官 1点よろしいでしょうか。前回、私、間違えて御説明をいたしましたので、訂正させていただきたいと思います。

今の燃料W14-3の資料の6ページになりますけれども、信頼性向上A型燃料の下部ノズルの構造詳細図で、異物フィルタをビルトインしたタイプですと。これは実績がありますという御説明をさせていただいたんですけども、高燃焼度燃料の採用以前にも実績があるという御説明を私はしてしまいましたが、これは間違いでございまして、訂正させて

いただきます。均質多孔流路の下部ノズル、これにつきましては、高燃焼度化する前の燃料で採用されておりました。14×14、15×15、17×17 共通で孔の小さな下部ノズルというのは以前から採用されていたということでございます。

ただ、薄板を入れているビルトイン異物フィルタ下部ノズルといわれるものにつきましては、14×14 と 15×15 型の高燃焼度化に伴って採用されたものだそうございまして、済みません、もう既に実績はあるんですけれども、そんなに遠い昔から採用されていたというものではないということございまして、ここだけ訂正させていただきます。

○寺井主査 そういう補足説明を今いただきまして、特にこれは変更箇所に影響するものではありませんですね。前回の御説明を一部口頭で御修正いただいたということでございます。

新旧対照表の1ページ目から3ページ目は、図2-1を入れたということに伴う変更で、編集上の改定。

それから、図2-4は、「先端をテーパ状にして」という所が「下部端栓先端をテーパ状にして」ということで、下部端栓であるということを確認に書いたというものです。

それから、5ページは、対策効果の確認ということで、先ほどの阿部委員のところの話ですね。CFD解析の話です。ここはいかがでしょうか。阿部委員、どうですか。よろしいですか。

○阿部委員 はい、結構です。

○寺井主査 それから、6ページは、試験条件を記載しているということですね。

7ページも試験装置の概要ですね。4-3の位置ということで、その図が8ページにあると。これを追記したということですね。

9ページは、図4-3-2が、1が4-3-2に、先ほど1つ図を入れましたので、後ろにずれたという編集上の修正と。

それから、10ページは、寿命末期であるということを確認したということで、これも前回いただいたコメントに沿った修正であります。

それから、11ページは、表の中の「○」と、「—」が分かりにくいということで、この説明を入れていただいた。

12ページもそうですね。

それから、13ページもそうですね。表の意味ということであります。

ということで、特に問題になるようなところはないかなと。適切に修正されているのではないかなと思いますが、いかがでしょうか。

よろしゅうございますか。

特に御意見なければ、W14-2、御承認いただいたということで、14-3はそれに伴う改定ということで、これを修正いただいたということにさせていただきます。

ありがとうございました。

それでは、これで前回の説明資料についての宿題は終わりました、引き続きまして、W

14-4、17×17のA型高燃焼度燃料のPIEの試験の実施状況について、事務局から御説明をお願いいたします。

○市原審査係長 それでは、資料番号燃料W14-4、17×17A型高燃焼度燃料、こちら大飯4号漏えい燃料の照射後試験の実施状況について、実施状況を本日紹介させていただきます。

資料の方は、3枚ほどおめくりいただきまして、1ページ目でございます。

こちら、「はじめに」とさせていただきます。17×17A型高燃焼度燃料につきましては、近年、燃料漏えいが発生しております。A型燃料の漏えい原因につきましては、摩耗痕の観察等から、最下部支持格子の特定セル位置におけますフレット磨耗であると推定されておりますが、現在、御審議いただいているところでございます。

現在ですが、大飯4号機の第12サイクルで発生しました漏えい燃料、こちらの損傷状況を詳細に把握いたしまして、燃料漏えいに至りましたメカニズムを解明しますために、照射後試験施設にて照射後試験を実施中でございます。

本日は、この照射後試験の実施状況につきまして説明させていただきます。

実施状況につきましては、この資料にまとめてございますが、資料の後ろの方をおめくりいただきますと、照射後試験の全体の試験項目とまとめてございますので、そちらを先に紹介させていただきます。

10ページ目をごらんいただきますと、このたびの照射後試験項目一覧がございます。照射後試験の項目につきましては、第10回の燃料ワーキングにおきまして、項目を紹介させていただいておりますが、そのときいただきましたコメント等を反映いたしまして、1から10項目の項目につきまして、NDCで試験を実施中でございます。

追加されました試験や充実された箇所につきまして紹介させていただきます。

項目のNo.の6番と8番、こちらはこのたび追加してございます。

6番ですが、こちら、寸法測定といたしまして、摩耗痕の形状調査といたしまして、このたび、漏えい原因としてフレット磨耗の可能性が高いことから、こちらの燃料棒の支持格子保持部、こちら、詳細によく観察するよというコメントをいただいております。

そのコメントをいただきまして、このたび、被覆管の外表面の型をレプリカを採取いたしまして、3Dスキャンを行いまして、摩耗形状を詳細に確認すると、こういった調査を実施してございます。本日はレプリカのサンプルを持ってきてございますので、回覧させていただきます、どのようなものかをごらんいただければと思います。

○青木統括安全審査官 傷を付けまして、そこに歯型を取って、レプリカとしているんですけども、ホットなやつは持ち出せませんので、わざわざおもちゃを作って削って、歯型をとって、こんなものかというのを作ってもらいました。

○市原審査係長 では、回覧させていただきます。

もう一点の試験の追加項目ですが、8番目でございます。こちら、御指摘いただきまし

たとおり、SEM観察を追加してございます。

もう一点、充実しました項目としましては、項目 No. 2 番の寸法測定でございます。こちら、外径の方、オーバーティをよく確認するよという御指摘をいただきましたので、燃料棒の全長及び外径、こちらを8方位を測定することで、ひずみですとか、そういったものをきちんと測定するように実施していくということで試験項目として追加してございます。この10項目につきまして、現在の実施状況の方は右側でございますが、それぞれ実施中、実施済とございます。本日説明いたします内容は、実施済と実施中の内容の結果を踏まえた現状での調査報告とさせていただきます。

続きまして、12ページの方をごらんいただきますと、今も一部御紹介いたしました、前回いただきましたコメントに対しまして、どのような対応かということをもとめてございます。

1番目のコメントですが、破壊前に入念に金相を調査すること。あと、SEM等を用いて、摩耗痕のこすれた方向などを見てほしいということで、対応といたしましては、破壊試験前に型取り、今、回覧してございますレプリカの方を採取いたしまして、詳細に観察することとしてございます。もう一点は、SEM観察を実施するということにしてございます。

2つ目のコメントですが、ECTで孔の箇所をよく特定してから試験を実施してほしいと。また、酸化膜のつき方をよく観察するように。また、燃料棒の曲がりもよく観察するようにと御指摘をいただいております。

こちらにつきましては、渦電流欠損探傷試験を実施いたしまして、損傷孔を確認いたします。また、酸化膜につきましても、渦電流酸化膜厚さの測定を実施いたします。その他、曲がりにつきましても測定するというので準備の方を進めているものでございます。

次に、3番目ですが、寸法測定、外径測定につきまして、スパイラルオーバーティのような詳細も見てほしいということで、先ほど説明差し上げましたとおり、燃料棒の8方位の外径も測定いたしまして、外径の特異点、オーバーティを確認することとしてございます。

次に、4番目ですが、ペレット及びペレットと被覆管の関係も重要であるから、よく観察するよという。こちらは金相試験の方で観察していくこととしてございます。

5点目ですが、対称燃料棒位置の摩耗痕もしっかり観察するよという御指摘ですが、こちら、対応内容ですが、対称位置の燃料棒につきましても、外観観察によりまして、摩耗痕を詳細に確認いたします。また、型取りによる摩耗痕形状調査もいたしますが、こちら、対称燃料棒のうち、摩耗痕の大きい箇所等を選定いたしまして、その部分をリファレンスとしてレプリカを再生しまして測定するということとしてございます。

次に、6番目のコメントで、断面金相につきまして、追い込みで実施するよというので御指摘いただいているものですがけれども、こちら、検討されました結果、追い込みで削りながらやっていきますと照射試料自体がなくなってってしまうということで、追

い込みでの実施は今回はいたしませんで、そのかわり、先ほどあります型取りですとか、外観検査等で適切、適当な位置の金相を採取いたしまして確認していくことで対応していくということを検討中でございます。

続きまして、7番目ですが、摩耗だけクローズアップされているけれども、振動によります疲労等は問題はないのかということと、あとは、摩耗進行におきますフレッティング・コロージョンや衝撃によります摩耗への影響を考慮する必要がないか、見解を示すことといただいております。今後、SEM観察及び金相観察によりまして、よく観察しました結果、見解をまとめていく予定としてございます。

以上が試験項目と、あと、いただきました御指摘に対します対応でございます。

更に、順番を飛んで申し訳ございませんが、11ページの方をごらんいただきますと、現在の照射後試験の工程の状況をごらんいただければと思います。11ページ、横向きにさせていただきますと、全体の工程がございます。現在ですが、項目、左に並べてございます。

左の方をごらんいただきますと、現在は外観観察の方がほぼ終了しつつございます。

非破壊試験につきましては4点ございますが、このうち、寸法測定の方を実施してございます。

破壊試験、その他支持格子の方の測定観察等は今後の実施ということになっております。本日は、外観試験と、非破壊試験のうちの寸法測定、先ほどのレプリカの方の測定ですが、こちらにつきまして、紹介させていただければと思います。

では、2ページの方にお戻りいただきまして、実施状況の方を説明させていただきます。

2ページの2番といたしまして、照射後試験実施状況とまとめてございます。

2-1において、外観観察結果をまとめてございます。

漏えい燃料棒を次の3ページに示します装置で観察してございます。こちらの装置で第1支持格子から第9支持格子の燃料棒の接触面と外観を観察いたします。この観察いたしました結果が2ページの表1の方に簡単にまとめてございます。その観察結果といたしましては、第1から第7支持格子部、こちらは有意な摩耗痕はございませんでした。第8支持格子部ですが、上側の支持板部及びばね板部のみ摩耗痕がございました。第9支持格子部ですが、こちらは最下部支持格子部となります。こちらは有意な摩耗痕がありました。後ろのページから写真がございしますので、説明させていただきます。

4ページ目に第9支持格子部の観察の写真等が掲載してございます。

4ページをごらんいただきますと、写真6枚、6点の支持箇所ございまして、それぞれ、A、B面、C、D面の支持板部、ばね板部、それぞれ写真を掲示してございます。

写真の一番右下のD面下側支持板部、こちらが一番深い摩耗痕になってございまして、それぞれ軸方向にこのような傷、上の方に2mm、太い幅で3mm、更に、目視でもご確認いただけますとおり、2mmの更に深い痕が御確認いただけるかと思っております。

こちらですが、第9支持格子部、こちらの方ですけれども、2ページの方にお戻りいた

だきますと、2-1の2パラ目になります。第9支持格子部のD面下側支持板部の摩耗痕内の最も深いと思われる所、こちらに軸方向長さ2mm程度の縦の筋状の傷が確認されてございます。

また、摩耗痕の上の部分ですが、こちら、支持板と接触面が移動してできたと思われる階段状の摩耗痕の方が確認されてございます。摩耗痕のメカニズムですが、とりあえずまだ推定の段階ではございますけれども、燃料棒振動によりまして摩耗が進行いたしまして、被覆管貫通に至り、その結果、燃料棒内外圧差の解消によりまして燃料棒軸方向の圧縮ひずみの解放と、あともう一点は、被覆管内面への浸水によりまして被覆管の水素吸収に伴います体積膨張、更には摩耗発生後の照射成長が重畳いたしまして、これにより漏えい後に燃料棒伸びが生じ、被覆管と支持格子の接触面がずれて、この階段状の摩耗痕が生じたのではないかと推定されております。こちらにつきましては、今後の試験等の結果から、詳細に考察していく予定でございます。

次に、5ページが第8支持格子部の写真を掲載してございます。

同じように、A、B、C、D面のそれぞれ、ばね板部、支持板部の痕の写真を掲示してございます。

第8支持格子部につきましては、それほど大きな有意な摩耗痕は認められるものではございません。ということで、それぞれ、更に紹介し損ねましたが、6ページの方には更にリファレンス燃料棒の写真がございますので、それぞれこの3枚の方をお見比べいただければと思います。

以上が外観観察結果の報告でございます。

次に、7ページの方をお開きいただきますと、こちら、回覧でござらんいただいております、レプリカの測定によります摩耗痕形状調査結果でございます。まだ実施中なものですから、すべてのものが測定できているものではございません。

こちらの評価のねらいですが、漏えい燃料棒の原因としましてフレットング摩耗が考えられることから、寸法測定にレプリカの採取を追加いたしまして、摩耗痕の3次元形状測定を実施してございます。

調査方法ですが、図5で流れを示してございます。ホットセル内でレプリカを採取いたしまして、それをホットセル外に出してから、3Dでのレーザ試験で測定を実施してございます。

現在実施中ということで、これまでに得られている知見としまして(3)にまとめてございます。

こちらですが、漏えい燃料棒の摩耗痕のレプリカ採取を行いました。漏えい燃料棒の第9支持格子部の摩耗痕の形状調査実施例ですが、こちらは、9ページにございます図6に示しております。

9ページをお開きいただきますと、上から実際に採取されましたレプリカの写真があります。2箇所の摩耗部がございます。

次に、真ん中にこれを3Dスキャンしたデータがございます。こちらですが、赤から青に色が変わっていく次第で、深い摩耗となっていると解析されてございます。

更に一番下の方をごらんいただきますと、それぞれ2つ図がございます。燃料棒を上から切って見た図と、縦に切って見た図が左と右にございます。ごらんいただきますと、今回の摩耗深さ、最大深さが600 $\mu$ m以上ということで、特に右側の図の方をごらんいただきますと、階段状のものが上から削られておりまして、それには3mm更に削られてございます。更には貫通部と考えられます2mmの長さ、このあたりで最大摩耗痕深さが600 $\mu$ m以上と観察をされているものでございます。

7ページの方にお戻りいただきますと、図の6の方でごらんいただきましたとおり、第9支持格子部、D面下側の支持板部の外観観察結果で、最も摩耗部の深い所、筋状で見えていた部分につきまして、最大の深さは約600 $\mu$ m以上であったと計測されました。

こちらの燃料棒の燃料棒製造時の被覆管最大肉厚が□ $\mu$ m以上でございましたので、被覆管を貫通していると考えられてございます。

2-3につきましては、先ほど説明差し上げましたものですので、省略させていただきます。

最後、8ページにまとめとさせていただきます。

まとめでございますが、漏えい燃料棒を外観観察しました結果、漏えい燃料棒の第8、第9支持格子部のばね板及び支持板接触部に有意な摩耗が認められました。更に、摩耗が最も深いと思われ第9支持格子のD面下側の支持板部、こちらでは摩耗痕の中に縦筋が認められてございます。

その漏えい燃料棒の摩耗痕の形状調査を行いました結果、外観観察で認められました第9支持格子のD面下側支持板部におきます摩耗痕中央の筋状の傷は、最大深さが被覆管肉厚以上であり、被覆管を貫通していると考えられます。

以上のとおり、これまでの調査実施状況からは、燃料漏えいの原因は、最下部支持格子部のフレットング摩耗であると考えられると至ってございます。

今後ですが、引き続き、非破壊試験と破壊試験の結果を含めました検討を行いまして、燃料漏えいの起きましたフレットング摩耗の挙動につきまして評価していく予定としてございます。

説明につきましては、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。

ワーキンググループの先生方からPIEをやるべしという御意見をいただいて、コメントもたくさんいただきましたけれども、それに対して、どういう形でやるかという計画と、実際に既にPIE、まだ破壊までいっていませんが、始まっていて、その結果の御説明を今日いただきました。

まだ最終結果ではございませんけれども、今日御説明いただいた内容につきまして、御質問、コメント、よろしくお願ひいたします。更田委員、どうぞ。

○更田委員 これから原因を見るということですので、今までのところ、フレッティング摩耗であるということに反する結果は出てきていないので、おおむね予想に即した結果が出てきていると思うんですが、9ページで貫通部と階段状摩耗痕部があって、現時点での推測は、貫通してから伸びて階段状のものができたとしているけれども、貫通してから止めるまでの期間を考えると、随分上が削れたものだなというふうに見えるのと、もしそのストーリーに合っているのであれば、階段状の摩耗痕部に薄い酸化膜ができていのかどうか。要するに、できてどのくらいあったものかということの方が分かるんだろうと思うので、本当に貫通部が貫通して水が入って、その後、伸びることによってできたものかのかの特定というのは、なかなか簡単ではないとは思いますが、追っていただきたいと思えます。

それから、水が入って水素化云々というのがありましたけれども、照射成長の方はそんなにどうなんだろうと思われるところもあって、それを見ようと思うと、恐らく全体にわたって水が入ったことによってどういう影響があったかということを見ることになるんだろうと思うんですけども、今の時点では、ここに書かれている仮説というのは、本当に仮説にすぎないかなという気がいたしますので、貫通部と階段状摩耗痕部がどっちが先にできたのか、上下に振れていて、ある所に固定したら、そこで今度は位置的には正のフィードバックが入りますから、貫通に向かっていくということもあるだろうと思うので、階段状の部分も貫通部と同等の注意を払って調べていただきたいと思えます。

○寺井主査 ありがとうございます。

よろしゅうございますか。今のはコメントということだと思います。推定というのはもちろん大事で、原因が幾つか記載されていますけれども、それに対するエビデンスをとることが非常に重要だと。特に、今、更田委員おっしゃったように、どちらが先かということを考える上で、階段部分の酸化被膜がどれぐらいできているのかということころは、前後関係を考える上で極めて重要じゃないかなと思いますので、このあたりのところは、是非事業者さんにお伝えいただいて、その方向で注意をしてやっていただくようにというふうにお伝えいただければと思います。

杉原委員、どうぞ。

○杉原委員 ちょうど今の更田委員の最初の部分のコメントに関係するんですけども、私もそう思ったんです。酸化被膜はそんなに難しくないと思うので、提案したいのは、10ページの8番目のSEM観察をするだけだったんですが、必ずどんなSEMにもこの機能が付いているので、X線分析というのがあるんですよ。X線でSEM分析する。それが例えば上から下でも、下から上でも、階段の所をずっとスキャンしていけば、元素で特定できますから、酸素があるとか、あるいは私が考えているのは、ジルカロイの元素、これが移動していないかどうかですね。そういうことも分かると思うので、是非酸化物と同時に、そういう元素移動もないかどうかということも見られたらいいと思います。ですから、この8番の項目のところにもX線分析というのを入れられたらいいんじゃないかなと思いま

す。

以上です。

○寺井主査 ありがとうございます。

この辺のところは、実際の測定の可能性とその測定で何が分かるかというところも少し調べていただいて、適切な形で取り入れていただくということを御検討いただければと思います。

関係する事柄ですか。特にどちらも関係はしないですか。

○木下委員 関係します。

○寺井主査 じゃ、木下委員、どうぞ。

○木下委員 先ほど、摩耗痕がどういう順番でできたかという議論のところ、2ページ目にメカニズムの項目が挙がっているんですけども、よくハルデンプロジェクトなどでは、軸方向の変化をオンライン測定していきまして、燃料破損が起きたときにどのような挙動が起きるかというのは、幾つか知見があります。その中の一つが抜けていて、内外圧差があつて水が入ることが原因だと思えますが、通常、PCMIでの破損の場合に限るかもしれませんが、破損すると燃料棒は縮みます。伸びるのではなくて縮みます。これは、オンチ効果とかあるいはハルデン効果とか言われるんですけども、そういう現象から見ると逆なんですね。だから、実際に実測された現象とは逆の現象が起きているということは十分意識して、きちんとメカニズムを解明していただきたいというふうに思います。それが1点。

○寺井主査 今のはコメントということで、推定から検討するときに少し今のコメントは参考にさせていただきたいということでございます。

もう1件どうぞ。

○木下委員 もう一つ、これは個人的には重要かと思っているんですけども、5ページの図3で、文章にも書いてございましたけれども、下側支持板部の摩耗痕が余り顕著に出ていないということの原因ですけれども、これは、逆に言うと、ばね板部と上側支持部では摩耗痕ができていくということになるわけですね。第8支持格子の下から2番目。ということは、可能性としてですけども、第8支持格子よりも上側、つまり、7、6、5、4、3とありますが、そちら側が振れた可能性はないのでしょうか。つまり、今、一番下側が三菱燃料は下部部分がフリーになっているから、そこが揺れているというふうに皆さん考えているわけでしょうけれども、燃料棒は4m長、全体が比較的長い波長で振動することが考えられるので、例えばですけども、下側支持板部がノードになっている可能性、ノード、つまり、摩耗のポテンシャルは低くなっていたということが事実としてあるわけで、その原因は何であるかということ、振れていなかったという可能性もある。とすると、逆に上の部分、つまり、さっき言いました長尺の部分が振れている可能性がないわけではないということがありますね。ですから、この辺は、むしろ弱い流れのときに何が起きるかということに非常に重要なことが関係していると思いますので、ちょっと調べ

ていただきたいなど。

長いコメントになりまして申し訳ありません。

○寺井主査 ありがとうございます。今のは、第8支持格子の所だけじゃなくて、上も調べるべしということですか。

○木下委員 そこまでは。調べても傷が見つからないということでは余り意味がないと思うんですけども、あるいは解析をするときに、どういう振動モードが発生していたかということがこれから分かればいいなど。それとの、寺井先生がおっしゃったようなエビデンスとの絡みが見ればいいなと思います。

○寺井主査 分かりました。今のは御検討いただければということをお願いいたします。これは特には外観検査上は問題ないですね。

○青木統括安全審査官 私たちも現場に行ってみてきましたけれども、燃料ピンを上から下まで移動させて、スライドさせて見ることができるんですけども、傷があったのは下の2つだけです。上は傷が付いていませんでした。

○寺井主査 ありがとうございます。解析するときに少し上部の振れというのも考慮に入れてくださいということでございます。

三島委員、どうぞ。

○三島委員 私もちよっと木下委員と同じような感想を持ったんですけども、先ほどの御説明では、膨張で上の方に摩耗痕ができたのではないかということなんですけれども、本当に膨張で説明がつくのか。それは、例えば均圧になって膨張するのか、熱膨張するのか、大体の数字が分かると思いますので、それでどれぐらい膨張するかというのを当たってみて、本当にこれぐらいずれるのかどうかというのを確認できるのではないかと思うんですけども、そういった調査が要るかなと思います。

ひょっとしたら、そういう膨張ではなくて、燃料棒というのは完全に上端を固定されているわけではなく、上下にはずれる構造になっていると思いますので、ひょっとしたら上下にずれがあったとか、そういうことはないのかどうかということも調べていただくとよいと思います。これを見ますと、本当に膨張なのかなと、まだそこは確信が持てない気がしますね。

ただ、この写真と先ほどのレプリカを見ますと、恐らくフレットング摩耗が原因だろうということは確からしいという印象を持ちました。私が前に申し上げたのは、振動でき裂が入ったのではないかと、そういう可能性はないのかと思ったんですけども、この傷のレプリカを見ますと、そういう振動によるき裂ではないような気がします。ということで、恐らく原因としてはフレットング摩耗ということは確からしいなと思ったんですけども、ただ、先ほどの膨張の傷跡ですね。上の方にできた傷跡が本当に膨張でできたのかどうか。その辺、御確認いただきたいと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

今のコメントも非常に貴重だと思います。推定原因を書いていますけれども、

多分、いろんな実験データなり、あるいは過去の知見を踏まえて定量的に検討しないと、本当にこれが原因というふうには言えないと思うんですね。ですから、その辺のところは今後のPIE、それから、それをベースにしたモデル化といいますか、メカニズムの検討ということになると思うんですが、青木統括、何かございますか。

○青木統括安全審査官 私ども、非常に関心を持ちまして、ただ、今、フレッティング摩耗が恐らく原因であろうという推定をしておりますけれども、それを否定するような違ったものが見つかったのかなと思って、最初、この段は何だろうと思ったんですけども、今みたいな説明を伺いますと、一応論理的にフレッティング摩耗から派生してこういうものができたんだということも可能性としてあるのかなというのは理解できましたので、これがあるがゆえにフレッティング摩耗ではないということにはならないなといったところは確認できたかなと思っています。

ただ、おっしゃるとおり、まだ仮説でありますので、私ども、非常に関心を持っておりますので、この後、酸化膜厚さだとか、いろいろその段の表面を観察して、どちらが先にできたのかと、深い所が先か、浅い所が先なのかといったところは、これからまた調査をしていけば分かってきますので、また、その辺が分かりましたら、御報告申し上げたいと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

ほかにコメント。小無委員、どうぞ。

○小無委員 私は余り専門ではないので、間違っただけを言っているかもしれませんが、熱応力解析をされるという予定はあるのでしょうか。時系列的にだんだん傷が深くなって、水が入って、温度が変化するということが起きてくると思うんですけども、それで熱応力解析した結果と、三次元にとった変形というのが、もし解析できれば、そういうところの情報といいますか、根拠を考えるとときに重要になるのかもしれないなと思ったんですけども、いかがでしょうか。

○寺井主査 ありがとうございます。

今のは多分PIEではなくて、その後のメカニズムを考えると、傷の深さとか、寸法とか、そういうものをベースに熱応力、温度は多分時間的に変化しますから、その辺のところでは熱応力でき裂が入る、あるいは傷が進展する、そんなようなことも検討してみたいかがでしょうかというコメントだと思いますが。ちょっとそれは御検討いただければと思います。

出光委員、どうぞ。

○出光委員 4ページの写真を見ていて思ったのは、A、B面と、C、D面を見ると、A、B面側の方が横側の幅が狭くて、C、D側が深く削れているということですね。ということは、燃料はきれいに振れているのではなくて、内側の部分に強く当たりながら振れているということですが、その説明は何でそういうふうになるかというのは、合理的に説明できるんですか。

○青木統括安全審査官 ばねと支持板の形状が違っているので、単純に比較できないと思います。支持板の方は、さっきの9ページの下絵で、支持板の断面図がこういうふうに当たって摩耗しましたというので、こちらの方はこういう形だというのは見ていただいたとおりなんですけれども、ばねの板の詳細図がないので、比較するものがなくて申し訳ないんですけれども、たしか形状が違っていますので、単純に比較はできないと思っています。

○寺井主査 ばねの方がもうちょっととんがっている感じですかね。イメージとしてはね。だから、当たっている所の面積が小さいという。そこに見本がありますかね。

じゃ、ちょっと見ていただいている間に、三島委員、どうぞ。

○三島委員 今のことと関連しての質問なんですけれども、これを見ますと、C、D面が強く押しつけられて摩耗しているという写真ですよ。それで、以前の御説明では、A型燃料からB型燃料の方に流れる、横流れで摩耗が起こったということなんです。そうだとすると、流れの方向からすると、どっちかというA、B面の方が強く押しつけられたのかなと思ったんですけれども、これ、逆になっているんですけれども、その理由は何でしょうか。

4ページの図はA型燃料ですよ。そうだとすると、この説明では、A型燃料の下部ノズルの抵抗が小さいので、そこに余計に流量が流れ込んで、入った後の横流れでB型の方に流れ込んだという話だったと思うんですけれども、そうだとすると、下端部の燃料棒が押し付けられる方向というのは、むしろA、B面ではないかなと思ったんですけれども、逆にC、D面が強くえぐられているというか、摩耗しているということで、その辺はどういうふうに考えたらいいか、ちょっと分からないんですけれども。

○竹内建設班長 過去の御説明ですと、確かに流れる方向でモーメントが加わっているというのが、それは方向性はあるのかと思うんですけれども、実際の振動を測定したところ、大体ホワイトノイズといいますか、大体ランダム振動になっておりまして、XY方向、大体特定の方向性がない形で振れているといった形で説明させていただいて、解析でもそのような形で、同じレベルの振動を与えて評価しているということになっておりますので、振動方向が特定の方向で振れているかということ、そういうことはないんじゃないかと。

○三島委員 振動の向きはランダムだとは思いますが、平均的には流体力は流れの方向に押し付けられて、そこでランダムに振動すると思うんですよ。そういうふうに考えると、この横流れの方向からすると、むしろA、B面の方に余計に押し付けられて、そこで振動するというふうに考えるのが自然だと思うんですけれども。

○寺井主査 どうぞ。

○出光委員 今、形を見ていて思ったんですが、A、B面のばねというのは長いんですね。縦になっていて、燃料と一緒に揺れてくれたかもしれないですね。それに比べてC、Dは幅が狭い側に付いているから、余りばね自身が動かない所で燃料が振れたかもしれない。

○寺井主査 どうぞ。

○青木統括安全審査官 セルの中で上中下とあるわけですがけれども、一番下の位置にあるのはC、D面にしかなくて、A、B面には下の段にはございませんので、A、B面側にあるのは真ん中のばねしかないわけですね。更にその上はまたC、Dになっています。ですから、一番下の所でC、Dしか出ないのは、下側はC、Dしかないものですから、C、Dがこうやって出ていますということになります。

あとは出光先生におっしゃっていただいたようなことかなと。

○三島委員 もしそうだとしますと、じゃ、なぜA、B面のばね板部で摩耗が大きくなかったかというのはどうなのでしょう。

○寺井主査 それは、先ほどの出光先生のコメントでしょうかね。

○青木統括安全審査官 あと、ばねですので、ばね側の方で変位してくれますので、一方で支持板の方は、リジッドに固定されていますから、そこに当たれば当たただけこすれるということになろうかと思えます。ばね側の方はばね側の方で多少前後しますので、その分、影響は少なかったのではないかと思えます。

○三島委員 A、B面はばね板だからということですか。

○寺井主査 よろしいですか。これ、4面全部固定しているんじゃないかと、C、Dが支持板で、A、Bがばねで、またその上のC、Dが支持板と、そんな格好になっていますね。

阿部委員、どうぞ。

○阿部委員 漏えいがフレットニングによるものだということがはっきり分かってきたので、これまでの対策について、決め打ちしすぎではないかというコメントを私、差し上げていたわけですがけれども、これについてはほっと一息ついたところで、よかったなと思っております。

問題は、4ページの写真の右下のところ、D下面支持板部、あるいは9ページの下断面の深さ方向の分布になるわけですがけれども、提案されているというか、今のところ想定されているメカニズムは、これから先、適宜修正されていくものと思えますけれども、今のこの状態のメカニズムのままだと、漏えいを長い間放置していたということの裏返しにもなりますから、これは時系列的にそうではないということですから、このメカニズムは明らかに明確に否定されるべきものではないかなという気がいたします。

これは、フレットニングによって削られていく時間と、照射成長にかかる時間、それから、これに想定されている提案されているようなメカニズムによって生じる時間軸というのが全然違うような気がいたしますので、多分これは間違いではないかな。

問題は、9ページのところの評価断面2のところ、深く削れていたものが、その後上にずれていったときに、かなり急峻な変化をもって変化しているわけですね。つまり、支持板と被覆管との間の接触が急激に変化したということを示していますので、ということは、これは場合によっては、被覆管だけを見ていたらだめで、支持板の方もきちんと観察をしていただいて、それでトータルとして、要するに、相手側のことも考えながら、支持板と燃料板の間のことを考えながら、解析というか、モデルをちゃんと立てていただい

た方がよろしいのではないかなと思います。

それから、最後の孔がどうして空いたかという点についてですけれども、フレッティングによって摩耗したことによって貫通に至ったのではないかなというのが、この絵を見た感想で、最後、薄皮一枚残した状態で上に上がっていった後、腐食によって最終的に膜厚強度が薄い所の強度が下がって、割れたことで漏えいに至った可能性があります。これを見るためには、割れた所のSEM観察というのをきちんとやっていただいて、あと、一番最初に更田委員がおっしゃいましたけれども、酸化膜の厚さというものをフレッティングを起こした所と上にずれていった所とちゃんと測っていただいて、膜厚の違いというのを明確にすれば、今、私が申し上げたような形のモデルになるのではないかなと思いますけれども。いずれにしても、今あるモデルをこのまま受け入れてしまうと、ちょっと誤解されてしまう可能性がありますので、御注意された方がよいのではないかなと思います。

以上です。

○寺井主査 ありがとうございます。

今のも非常に貴重なコメントだと思います。原因を推定するのは大事ですが、それにとらわれちゃうと、今度はやるべきものが見えないケースが出てくるので、今、コメントありましたように、酸化被膜の厚さというのは非常にいい時間指標だと思いますから。

それと、あとは、今お話がありました貫通部の所の元素分析も含めてSEM観察ですね。このところをしっかりとやっていただく。それから、支持板の方の様子ももし可能であれば見ていただくということをお願いできればと思いますが。

どうぞ。

○青木統括安全審査官 最後の、燃料棒側ではなくて支持格子側のそちらの方もよく見るようにということをお願いしておりますけれども、今の計画ではそちらの方もちゃんと見るようになっておると聞いております。

11 ページで全体工程を示されておりますけれども、下から2番目の段ですね。支持格子セル内観察とか、拘束力の測定といったものが入っておりますので、支持板とばねの部分についてもよく観察するようにというふうに申し伝えたいと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

ほかに。天谷委員、どうぞ。

○天谷委員 今の阿部委員のコメントと関係するんですけども、4ページのD面上側支持板部と下部支持板部の摩耗の仕方を見てちょっと思ったんですけども、両方とも似たような削れ具合なんですけれども、D面の下側の支持板部の方で、割れか、あるいは漏えい部があるということで、ひょっとして、何か下部の支持板部に相当する所に、例えば支持板に傷があったりして、そこがずっと残っていて、あるいは照射中に隙間の所に何か入って、そこがフレッティングを更に助長して孔が空いた、そういうふうに見えなくもなかなとちょっと思っていて、それを考えると支持板部、D面の下部支持板部の所にももしそういうことがあるのであれば、何か形跡が残っているんじゃないかなと思います。

そういったことをちょっと確認すべきかなと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

今の件も含めて、支持板部の観察をよろしくお願いします。

更田委員、どうぞ。

○更田委員 今度はちょっと違った観点からなんですけど、こういった漏えい燃料の発生の原因を究明するというのも重要なんですけども、ただ、必ずしも漏えい燃料を生じたからといって、すぐ止めるかどうかは別問題であって、場合によっては、予定されたサイクルの末期まで漏えい燃料が至って運転を続けるという運用だって十分あり得ることだと思うんです。

ただ、それを考える上では、こういった貫通部を持った燃料、言い換えれば浸水という言い方もできるんですけども、そういったリーカーが居る状態での炉心というのは、どういう状態なんだと。安全性と言うとちょっと大きいかもしれないけれども、異常過渡であるとか、事故に対して。事故の場合は、一番単純に言うと、反応度投入事象なんかの場合は、炉心に1%、浸水燃料が居るということを仮定していますので、安全裕度としては十分大きなものがあるんですけども、そういった事故とか異常過渡というところまでいかないでも、通常運転でリーカーが居る状態での炉心というのは一体どういうものなのかというのを詳しく知ることによって、場合によってはリーカーが居たってサイクル末期まで運転を続けるという運用だってあるだろうとは思いますが。それは、炉心を汚したくないとか、それは事業者の判断によるものだと思うんですけども、安全性に果たして影響があるのか、ないのかというのは、知っておいていいことだろうと思うんです。

そういう意味だとすると、先ほど小無先生が質問された熱応力解析ということなんですけれども、これ、私、余りよく知らないんですが、こういった貫通部ができたといって、じゃ、解析をやっていくときに、水が本当にどこまで入っていったのか。これはギャップが閉じてから貫通しているわけなので、そんなに簡単にツーツーに水が入っていくものでもなかろうとも思うんですけども、それを知ろうと思うと、被覆管の内面観察なんかをしていって本当に分かるものなのかどうか。それをやろうとすると、相当な膨大な照射後試験になってしまうので。

○木下委員 そんなでもない。

○更田委員 そんなでもない？ 縦割りをずっとやっていくということになりますけれども、飛び飛びで構わないんでしょうけれども、水が入っていった形跡があるのか、ないのか。これは、必ずしも今回リーカーを出したから、A社がやらなければいけないものだとは思わないんですけども、ただ、一般的な運用を考えていくんだったら、こういった漏えい燃料がどういう振る舞いをするのか、そして、漏えい燃料を持った炉心というのはそうでない炉心に比べてどういう違いがあるのかということを知っておくということは重要だと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

今のは、今回のこれにかかわらず、今後、漏えい燃料の運用をどうするかというところへの指針にもなるような話で、安全研究の一環として考えれば、非常に重要なことかなと思うんですが、JAEAにお金を払って出してやりたいという部分もないわけで。これはむしろ別の話かもしれませんが。今回どこまでやるかということですのでけれども、今、木下委員がそんなにお金もかからないよとおっしゃったので。

○木下委員 ちょっとそれで誤解を招くといけないので。これはPWRでの話なんですけれども、Bでは浸水燃料に関してのPIE試験もあれば、計算コードもかなり高度なものが用意されています。PWRについては、今まで破損燃料が余りなかったのも、そういう意識はないんですけれども、できれば、その辺はもう少し会社、あるいは炉型ではなしに、より高い視点で整理してみればいいんじゃないかと思います。

それで、PWRについてですけれども、さっきお金がかかるかどうかという話ですが、それは、確かに断面を取ることは必要なんですけれども、それほど大きなものではないというふうに意識しています。

○寺井主査 ありがとうございます。この辺のところは、非常に大きな立場から見て、今後の核燃料の安全運用という部分、あるいは経済的、合理的な運用という意味で非常に重要な点があるかと思しますので、オブリゲーションということではなくて、保安院さんの方からどうぞ。

○山本原子力発電検査課長 今御指摘いただきました、漏えい燃料があった場合の運転管理をどうしていくかという問題でございますが、それで、今、事業者内でそういう検討がなされるかどうかということなんですけれども、実は、BWRの事業者のオーナーズグループとPWRのオーナーズグループが、それぞれ漏えいした燃料をどのような形で運用していくかというガイドラインの検討を行っております。

具体的に言いますと、まず、BWRの方は、これまでいろいろ、特に異物によるフレッキングによる漏えいが多かったものですから、そういう異物があった場合の漏えい箇所を、制御棒は非常に細かく制御できるものですから、それで出力抑制法というもので特定をして、そして、燃料リークをある程度抑制しながら運転をするというガイドラインを実は既に作成してございます。

ちなみに、現在でも柏崎の7号機なんですけど、第1サイクルで燃料リークがあって、このときは交換いたしましたけど、実は第2サイクルでまた燃料リークが発生してございます。これについては、先ほど言いましたように、ガイドラインに基づいて、漏えい箇所をある程度特定して、その箇所の核反応を押さえながら、要はリークをある程度押さえながら、今、安定運転をしているという取り組みをやっているところであります。したがって、1つは、そういうガイドラインをきちっと位置付けてやっていくことが1つあると思います。

それから、PWRに関しては、残念なことに、制御棒で漏えいを抑制するという方法がなかなかないものですから、燃料リークから出てきます放射性物質の量を幾つかの領域で分けまして、安定運転ができる範囲とか、あるいはこの場合は止めて見なくちゃいけない

とか、幾つかの領域を設定しながら、運転管理をやっというガイドラインを、これは現在作成中でございますけれども、そういったものが今行われているということでもあります。

ただ、今申しましたのは、どちらかというと対策編、あるいは経験値的などころからきておりますので、今御指摘があったような、燃料リークの詳細なメカニズムに基づいて何かしているということではありません。むしろ、対策の方を中心とした運転管理のガイドラインが今検討されているというところでございます。

○寺井主査 ありがとうございます。

この問題、全体を考えると非常に大きな問題で、今回のこの件にかかわらず、少し保安院さんの方で今後どういう形でこの辺のところを考えていくかというところは御検討いただければと思います。

更田委員、どうぞ。

○更田委員 ありがとうございます。

済みません。更に話を広げるようで申し訳ないんですけれども、これは過去事業の許可に関わるとは思うんですけれども、米国との比較で言うと、米国の集合体、上下のタイプレートを外せるようになっていて、リーカーを発電所で引っこ抜いて、そこへS U S管を突っ込んで、そのまま集合体は炉心へ戻っていくというような運用が漏えい燃料に対してはされているんですね。日本の場合は、それは加工許可が発電所にはありませんから、リーカー側で起きたら、集合体ごとホットラボ等々へ持っていかなきゃならない。そのまま炉心へ戻すわけにはいかない。ですが、米国の集合体の設計というのは、上下のタイプレートが外せるようになっていて、場合によってはさかさまにして抜いて、リーカーだけを抜く。リーカーを抜くというのは相当勇気が要るんだろうとは思いますが、リーカーを抜いて、S U S管を入れて戻っていく。それは核燃料にとってははるかに有効な運用ですので、更に大きな話で恐縮ですけれども、そういうことも効率的な運用のためにはあるか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 御意見ございますか。

○山本原子力発電検査課長 課題として検討させていただきます。ありがとうございます。

○寺井主査 いろいろと大きな話が出てきておりますけれども、よろしく御検討いただければと思います。

ほかにコメント等ございますか。天谷委員、どうぞ。

○天谷委員 先ほどの漏えい燃料の解析の話に関連するんですけれども、今回、D面の下部支持板部で漏えい部があるということで、ここがペレットのチャンファにかかっていないか。そういったところで局所的に応力がかかって原因になっていないか。そういうことを見ておいた方がいいのかなと思ひまして。もしP I Eでガンマスキャンとか撮るのであれば、ここがペレットとペレットの境界になっているかどうか、そういったところをちょ

っと見ておいた方がいいのかなと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

さすが現場でやられただけあって、貴重なコメントでございます。この辺のところも是非よろしく願いいたします。

ほかにございませんか。

それでは、W14-4につきましては、今いただいたコメントをもとに事業者さんの方に保安院さんの方から適切に御指導いただくということにさせていただきます。恐らくPIEの結果につきましては、また後日御報告をいただく機会があるかと思っておりますので、そこでまた結果についてコメントいただければと思います。

それでは、次に移らせていただきます。

本日、最後の資料でございますが、保安院のポジションペーパーということでございまして、燃料W14-5について御説明をお願いいたします。

○青木統括安全審査官 それでは、燃料W14-5の資料を御説明いたします。

あらかじめドラフトを見ていただきまして、コメントを委員の方々からいただいた反映版でございます。

1番、はじめに。

近年、高燃焼度17行17列A型燃料において、放射性物質の漏えいが発生している。原子力安全・保安院は、A型燃料を使用している事業者による原因の推定とその対策について、専門家の意見を踏まえて検討を行っている。

今般、事業者はこれまでに得られた知見をもとに、下部ノズルや下部端栓の形状、最下部支持格子の軸方向位置等の設計変更を行った「信頼性向上A型燃料」を採用するとして、九州電力川内原子力発電所1、2号機に向けた燃料体設計認可申請がなされております。

以下、これまでの検討内容を整理するとともに、信頼性向上A型燃料の妥当性について取りまとめを行いました。

なお、保安院は、燃焼度等を制限しつつ現行のA型燃料を継続使用すること、及び製造済みあるいは製造中の現行のA型燃料に設計改良を加えた下部ノズルを適用した対策燃料を採用すること、これらについて、その妥当性を別途確認をしております。このことにつきましては、平成22年9月16日付けの同じタイトルの文書でございますけれども、ホームページに掲載しておりますが、こちらの方を参照せよというふうにしております。

2番、燃料からの放射性物質の漏えいの原因。

A型燃料からの放射性物質漏えいの原因は、漏えい箇所の観察等から最下部支持格子の特定セル位置におけるフレット磨耗であると推定されております。これは、①燃料集合体内を流れる一次冷却材の流速分布の不均一、②圧力損失や構造が異なる燃料集合体との隣接が流動特性に与える影響、③炉内装荷位置による流速の違いといった流動要因と、④燃料集合体の構造や照射に起因する要因とが重畳して特定の燃料棒の振動が大きくなったためと考えられ、流動解析、流水試験、振動解析、これらの要因によって特定の条件の

下で最下部支持格子部の摩耗が大きくなるという評価結果が示されています。

また、照射後試験において関西電力大飯4号機漏えい燃料集合体の漏えい燃料棒の最下部支持格子の位置に、フレットングによると考えられる最大深さが被覆管の肉厚相当の摩耗痕が認められておりますけれども、他の漏えい原因は確認をされておられません。

以上のことから、現時点におきましても、漏えいの原因をフレットング摩耗と推定することは妥当であるという判断には変わりはありません。

3番、信頼性向上A型燃料について。

3.1 設計の変更点。

燃料体設計認可申請書及び事業者から提出された資料によると、信頼性向上A型燃料は、以下の設計変更を行い、フレットング摩耗への対策を施したとしております。

(i) 下部ノズルの変更。

均質多孔型の流路孔を適用し、炉心入口流れの整流化を図る。また、下部ノズル部での圧力損失を高燃焼度17行17列B型燃料のそれと同程度とすることでB型燃料と隣接した場合における一次冷却材の流入量の増加を抑制する。

(ii) 最下部支持格子軸方向位置の変更。

最下部支持格子の軸方向位置を下げることにより、B型燃料と隣接した場合における横流れの低減を図る。また、最下部支持格子からの燃料棒下端の突出し長さを短くし、燃料棒に働く流体力を低減する。

(iii) 下部端栓形状及び燃料棒軸方向位置の変更。

下部端栓を長尺化し、最下部支持格子をペレット有効部から離すことにより、燃料の寿命を通じて照射による最下部支持格子のばね力の緩和を低減する。なお、最下部支持格子は下部端栓を保持することとなり、仮にフレットング摩耗が進展したとしても被覆管は貫通しない構造となっている。

これらのフレットング摩耗対策のための設計変更に伴い、上部ノズル、燃料棒全長、プレナム長さ、初期ヘリウム圧力の変更及び中間支持格子軸方向位置の変更並びに現行の異物フィルタを廃止して異物フィルタを組み込んだ下部ノズルを採用しています。

また、これらの設計変更に併せて、ペレット品質向上のためにペレット長さを変更してあります。

3.2 漏えい対策効果。

信頼性向上A型燃料とB型燃料との部分モデル二体流水試験の結果から、信頼性向上A型燃料では、何れの燃料棒位置でも、燃料棒の励振力がA型燃料でフレットング摩耗による漏えいが生じていない5-5セル位置の半分以下にまで低減し、励振力が低減し、励振力がセル位置に依存せず均質化していることが確認されている。この傾向は流動解析、以下、CFD解析と言いますが、この結果からも確認され、また励振力が低減した結果として燃料棒振動応答が低減することがフルモデル流水試験結果から確認されております。

更に、17行17列型燃料を装荷する3ループ及び4ループ炉心を包絡する流速条件を想

定した摩耗評価の結果によると、燃料寿命末期（55GWd/t）までの間の摩耗量は被覆管肉厚の10%以下であり、摩耗発生位置が被覆管であると仮定したとしても燃料からの放射性物質の漏えいが生じる可能性が十分に小さいことが確認されております。

### 3. 3 設計変更による影響。

異なる設計の燃料集合体との混在時の影響評価として、B型燃料に信頼性向上A型燃料が隣接した場合のB型燃料の燃料棒の水力振動への影響について、サブチャンネル解析及びCFD解析により問題のないことが確認されております。A型燃料に信頼性向上A型燃料が隣接した場合の燃料棒の水力振動の影響については、A型燃料にB型燃料が隣接した場合の影響より緩和されることがCFD解析により確認されており、現行の運用制限の下でA型燃料を継続使用することは問題ないといえます。

また、異なる設計の燃料集合体との混在時は支持格子軸方向位置及び燃料有効部位置の変更の影響が考えられますけれども、核的及び熱的影響について問題ないことが確認されております。

機械的健全性への影響として、燃料棒健全性については燃料棒下部端栓を長くすることによるプレナム体積減少の影響が考えられますけれども、初期ヘリウム圧力をA型燃料より低減させることにより燃料棒内圧の増加を抑制して、燃料中心最高温度、被覆管応力、被覆管引張歪、被覆管累積疲労及びその他の項目については、A型燃料と同等程度であり、問題のないことが確認されております。また、燃料集合体に関する評価についても燃料集合体伸び、燃料棒とノズルの間隙変化、燃料棒曲がり、輸送・取扱い時の燃料集合体強度、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の燃料集合体強度並びに上部ノズル押さえばねの機能評価について問題のないことが確認されております。

以上のことから、本件申請に係ります信頼性向上A型燃料の設計は妥当なものと判断をいたします。

なお、本件申請以外の原子炉における信頼性向上A型燃料の適用につきましては、一次冷却材平均温度等が異なることから、個別の燃料体設計認可申請において、設計基準への適合性を確認してまいります。

### 4. 今後の対応。

#### 4. 1 照射後試験による知見拡充。

現在実施中及び今後実施予定の照射後試験の結果に基づき、漏えい発生状況を把握し、関連する知見を拡充してまいります。

#### 4. 2 異なる設計の燃料集合体との混在時の影響評価。

今回の燃料からの放射性物質漏えいの推定原因の一つとして、異なる設計の燃料集合体の混在による影響が示唆されましたが、この影響については、流水試験及びCFD解析による評価に基づいて確認をしております。今回の事例を踏まえて、今後燃料集合体内の流動に影響を与える、もしくは流動が燃料集合体の方に影響を与える設計変更が行われる場合には、設計変更を施した燃料集合体が及ぼす安全性への影響を確認するとともに、炉心

内で共存する異なる設計の燃料集合体同士の相互影響について確認をしております。

以上です。

○寺井主査 どうもありがとうございました。

この原案は、もともと先週の木曜日ぐらいに委員の先生方にお送りいただいて、金曜日までにコメントを返してくださいということで、いただいた御意見をもとに修文をしたものであるということでございます。コメント等をお願いいたします。

更田委員、どうぞ。

○更田委員 あらかじめお送りいただいたということで少しだけ。

最後から、本当に最後から3番目の行で、「設計変更を施した燃料集合体が及ぼす安全性への影響を確認するとともに」、「安全性への影響」という言葉になっているんですけども、今回の信頼性向上燃料と呼ばれているものに関して、炉設置変更は必要としないということがあって、基本的に安全性に対する影響を与えるような設計変更ではないという理解なんです。 「安全性への影響を確認」と書かれると、現状の評価結果に違いがあるのか、ないのかというイメージになって、少し「安全性への影響」という表現が強いのではなかろうか。「燃料集合体が及ぼす影響を確認するとともに」でも十分なような気がいたします。

あとはつまらないコメントですけれども、その下の行で「燃料集合体同士の相互影響」、「同士の相互影響」というのはリダンダントなような気がしますので。

それから、もう一つ、これは、毎回同じことを申し上げていますので、くどいようすけれども改めて、恐らく今日最後になるのではないかと思いますので申し上げますけれども、いまだに、相互干渉といいますか、異なる設計のものが共存することの影響で破損に至ったわけですけれども、そうであるとすると、対策が求められるのは双方であって、しかし、今回、A型、A型とずっと出てきたのは、やっぱり壊れたもの負けなんですけれども、工学的に壊れたもの負けの対処が正しいとは、ベストであるとは限らない。

ですから、何に引っかかるかという、例えば、今回これは申請者がそう名付けたのかもしれませんけれども、「信頼性向上燃料」と書かれているけれども、これはそうじゃなくて、異なる設計の燃料が隣にきたときに、それに対抗する燃料の設計であって、じゃ、前の燃料の信頼性が低かったのかといたら、自分たちの設計だけで炉心を組んでくれれば信頼性は十分高かったんだらうになという設計者の嘆きが聞こえてくるように思うんですね。ですから、「信頼性向上燃料」とこれを呼ぶことに対して少し引っ掛かりがありますし、それから、ベストの対策ということを考えるのであれば、必ずしも壊れたもの負けではないだろうというのを繰返し申し上げたいと思います。よろしくをお願いいたします。

○寺井主査 ありがとうございました。

最初の2件の修文の件はよろしいですか。

○青木統括安全審査官 はい。

○寺井主査 下から3行目、「安全性への」は書かなくてもいいんじゃないと。

それから、「相互影響」は「相互」なしでもいいかなという感じがします。

それから、後半のところは、更田委員の心情というか、個人的な心情がもろに出ている部分ですけども、これは事業者さんの申請名称ですかね。

○青木統括安全審査官　そうです。

○寺井主査　信頼性向上A型燃料。それをどうするわけにも多分いかないですね。保安院としては。それで、多分、混在したときの話だから、A型だけ悪いわけではないというのもそのとおりだと思うんですが、これは基本的には事業者判断ですよ、結局は。だから、事業者が異なった燃料集合体タイプのものを入れている以上、それを安全に運営管理するのは事業者の責任だということで、ここは保安院としては何の指導もできないのかなという感じはいたします。

ほかにコメント等ございますか。

木下委員、どうぞ。

○木下委員　今、寺井先生が事業者判断とおっしゃったんですけども、ちょっと視点を変えることになるかもしれないんですが、まず、最初のポイントは、この最後の文章に、「燃料集合体の相互影響について確認する」というふうに言明されていらっしゃる。その確認をどのようにしてするかということについてコメントさせていただきたいんですが、基本的な考え方として、PWRである設計の枠組みが決まっている範囲内の各メーカーさんの自由度というのは保証されなければいけないというのが民間企業の原則だと思うんですが、その観点からすると、今回、幸か不幸か、国内2社に関しては、設計の特性がかなりお互いに分かってしまった部分があるわけですね。それを基盤としてコメントするんですけども、フレットング摩耗というのは、物理的というか、メカニズム的には横流れで発生しているわけですね。ですから、横流れの振動をどう相互影響として起きないかということを確認するということなんですが、その観点はむしろ流体力学屋さんの観点ですけども、圧力損失というようなもの、各支持格子とか、あるいは圧力に関わる部材の部分での圧力損失の分布がどうなるかということだと思います。

結論として言いたいのは、そういう圧力損失のような工学的なパラメータについて、より上の視点で基準を設けて、基準の範囲内であれば、どのような集合体を横に置いてもいいというところまで工学的なレベルを上げるということが最終的な解決になるのではないかと私は思います。

ですから、繰返しになりますが、どのように確認するかということは、そういう意味で、より非常に分かりやすいというか、判断しやすい基準に持っていく努力をこれからすべきだろうと思います。

○寺井主査　ありがとうございました。

ただいまのコメントは、この文章の一番最後のところですね。燃料集合体の相互影響についての確認ということですが、これは、だから、燃料のスペックなりを決めるときに、全体の圧損というのは一つのあれですけども、それだけじゃなくて、例えば、上部の圧

損とか、下部の圧損とか、そういうようなところまでもうちょっとファインにリファインすれば、その範囲内で燃料を設計してください、製造してくださいということに多分なるんですよね。でも、これは、保安院で決める話なのか、あるいは事業者さんがそういう基準を設けて、それを製造メーカーさんに提示すると、そういうレベルの話かなという気もちょっとしますけれども、その辺のところは、もし機会があれば、むしろ保安院さんはそういう形のところを適切に事業者さんに御指導いただくというスタンスかなと思います。

○木下委員 おっしゃるとおりだと思います。ただ、これは民間の競争を排除するものであってはいけないので、やはりメーカーなり電力、あるいは事業者などで、いわゆるウィンウィンの関係という形をうまくつくっていかなければいけないと思います。そのときには国の方もうまく御指導していただくような配慮をしていただきたいと思います。

○寺井主査 ありがとうございます。

では、その点はよろしく願いいたします。

何か修正等ございますか、ほかに。

よろしいですか。

ほかにコメントございますでしょうか。

基本的には、この文章で御了解いただけたというふうにさせていただきますが、もちろん編集上の修正とか、その辺のところは時間の許す限りやらせていただきたいと思ひますし、それから、私の方でも文章をもう一回じっくり読ませていただいて、誤解等がないか、分りやすい文章になっているか、その辺のところを確認させていただくということで、お任せいただきたいと思ひますが、よろしゅうございますでしょうか。

もし差し支えなければ、事務局と私の方で最終的に責任をもって文章を修文させていただいて、恐らく大きく変わることはないですね。大きく変わるようであれば、もう一回委員の先生方にメール等でお送りいたしまして確認をいただくことも考えますけれども、よろしゅうございますか。もし大きく変わればそうしますが、余り変わらなければ、趣旨を変えない範囲で編集上の修正をやらせていただくということにさせていただければと思ひます。

ほかに今の件、コメントございますでしょうか。

よろしゅうございますか。

今の件、事務局の方からは何かございますか。特によろしいですか。

それでは、一応これで本日予定しておりました議題はすべて終了でございます。ほかに何か御意見、コメントがあれば、お願いいたしますが、いかがでしょうか。委員の先生方。

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、事務連絡をお願いいたします。

○青木統括安全審査官 今日は長時間御審議いただきまして、ありがとうございます。

三菱原子燃料株式会社から申請がございました信頼性向上燃料に係ります燃料体の設計認可につきましては、本ワーキングの御議論を踏まえまして、今後しかるべく手続を進め

させていただきたいと思っております。

今日の燃料W14-5の資料でございますけれども、これが保安院として決定をいたしましたら、また前回と同様、認可をいたしましたというホームページ掲載のところで併せてこういう検討を行った上でちゃんと判断しましたということで、ホームページに掲載したいと思っております。

次回の会合につきましては、また改めて御案内をさせていただきたいと思えます。

それから、机上配付資料でございますけれども、申し訳ございませんが、申請書の方はマスキングの手続、何もしていないものでございますので、置いておいていただければと思っております。

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。

恐らくPIEの結果についてまた御報告いただく機会があるかなと思えますけれども、それはそのときということにさせていただきます。

それでは、これを持ちまして、本日の会合を終了させていただきます。長時間にわたる御審議、誠にありがとうございました。