

伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会

議事録

令和2年9月8日（火）14：00～16：40

松山市総合コミュニティセンター 3階 大会議室

1 開会

○福井防災安全統括部長

防災安全統括部長の福井でございます。

本日は、伊方原子力発電所 環境安全管理委員会 原子力安全専門部会を開催いたしましたところ、委員の皆様方には、大変お忙しい中、御出席いただきまして誠に有難うございます。また、本県の原子力安全行政に対しまして、格別の御協力を賜っておりますことに、厚くお礼申し上げます。

また、本日は、伊方原子力規制事務所の村上所長様にも御出席いただいております。どうぞよろしくお願いいたします。

本年1月に伊方発電所で連続発生しましたトラブルにつきましては、この専門部会で取りまとめていただきました5項目の要請事項に、県としての要請事項2項目、「県民の信頼回復」、それから「安全性の不断の追求」、この2項目を追加いたしまして、8月3日、知事から四国電力社長に対し、再発防止の徹底と安全確保に万全を期すことを強く要請したところでございます。四国電力の取組み状況を、当専門部会に適宜報告させていただきながら、県として、しっかり確認・指導していくこととしておりますので、引き続き、よろしくお願いいたします。

さて、本日の審議事項であります使用済燃料乾式貯蔵施設につきましては、6月に開催された国の原子力規制委員会において、新規制基準に適合するとした審査書案が了承されまして、7月24日までの意見募集を経て、パブリックコメントの手続きが進められているところでございます。県といたしましては、県民の安全・安心を確保するため、これまで同様、地元の視点から、伊方発電所の安全性を確認、追求していくことが重要であると考えております。委員の皆様方には、技術的・専門的観点から厳しくご審議いただきますようお願いを申し上げまして、簡単ではございますが、開会のご挨拶といたします。

本日は、どうぞよろしくお願いいたします。

2 審議事項

伊方発電所の使用済乾式貯蔵施設について

○望月部会長

ただいまから伊方原子力発電所環境安全管理委員会 原子力安全専門部会を開始いたします。

本日の審議事項であります、伊方発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設については、本年2月18日に、「地震等外力の影響」について審議いただきましたので、本日は、「乾式キャスクの安全機能等」について審議いただくこととしております。それでは、事務局及び四国電力から説明をお願いします。

○事務局

愛媛県の原子力安全対策推進監、大橋です。

本日の審議事項である伊方発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設に係る国の審査につきましては、本年6月24日、新規規制基準に適合するとして取りまとめられた審査書案が、原子力規制委員会です承されており、現在、パブリックコメントで提出された意見の整理等がなされているところでございます。本部会においては、東海第二発電所など先行事例の視察を行った上で、国の審査と並行して、安全性等について審議を重ねてきたところであり、本日は、四国電力から、乾式キャスクの安全機能等について説明いただくとともに、これまでの審議において、委員の皆様からいただきましたコメントに対する回答をしていただくこととしております。それでは、四国電力から説明をお願いいたします。

○四国電力

四国電力 原子力本部長の山田でございます。ご説明に入ります前に一言ご挨拶をさせていただきます。原子力安全専門部会の委員の皆様方におかれましては、日頃より伊方発電所の運営に際しまして、ご理解とご指導を賜り厚く御礼を申し上げます。まず、本年1月に連続して発生したトラブルに関しまして、本部会で取りまとめて頂いた要望事項等につきましては、着実かつ確実に実施することによりまして、今後とも伊方発電所の安全運転に万全を期してまいります。また、8月5日より定期検査を再開しております伊方発電所3号機につきましても、引き続き、慎重に点検作業を行ってまいります。委員の皆様には、引き続きご指導のほど、よろしくお願い申し上げます。本日は、本年2月18日、本部会でご説明しました使用済燃料乾式貯蔵施設の審査状況につきまして残りの部分をご説明するものでございます。それでは、原子力本部の津村よりご説明させていただきます。

四国電力 原子力本部の津村です。よろしくお願いいたします。それではお手元の資料1-1に基づき、使用済燃料乾式貯蔵施設の審査状況についてご説明させていただきます。失礼して、着座させていただきます。1枚めくっていただきまして、右下の頁番号1頁をご覧ください。本資料では、設計方針の概要、当初申請時からの主な変更点、設置許可基準規則への適合状況、今後の予定についてご説明いたします。参考資料については、必要に応じて説明させていただきます。

2頁をご覧ください。当社は、平成30年5月25日、伊方発電所における使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に係る原子炉設置変更許可申請書を原子力規制委員会へ提出するとともに、愛媛県及び伊方町に対して、「伊方原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書」に基づく事前協議の申入れを行いました。その後、当社設計方針の説明など審査対応を行っており、本年2月18日の原子力安全専門部会において、審査状況の一部についてご説明させていただいております。また、本年5月18日に補正書を原子力規制委員会へ提出するとともに、愛媛県及び伊方町に対して、事前協議内容を補正する文書を提出しました。本年6月24日の原子力規制委員会において、当社の設計方針が審査基準に適合しているとの審査結果の取りまとめ案について了承されており、今後、審査結果に対する一般意見公募の結果等を踏まえ、許可処分の可否について判断される見通しです。本日は、本資料にて、審査状況の未説明部分となっております設置許可基準規則第16条、29条、30条及び補正内容についてご説明させていただきます。

3頁をご覧ください。3頁では、当社設計方針の全体概要をまとめております。本日ご説明させていただく条文の設計方針については、赤字で示しております。まず、設置許可基準規則第16条につきましては、乾式キャスクは乾式貯蔵建屋の内部に設置するとともに、右下に示しておりますように、4つの安全機能を維持する設計としております。29条につきましては、乾式貯蔵

建屋の壁及び天井の部分に記載しておりますが、建屋にて放射線を低減する設計としております。30条につきましては、適切に管理区域を設定することとしております。以上の3項目につきまして、後ほど、詳細をご説明させていただきます。

4頁をご覧ください。4頁では、当初申請からの主な変更点をご説明いたします。本年5月18日に実施した原子炉設置変更許可申請書の一部補正における主な変更点は、4点ございます。まず1点目は、原子力規制委員会による規則改正等に伴う記載の変更でございます。内容は、設置許可基準規則において、乾式キャスクは「兼用キャスク」、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び天井クレーン等は「周辺施設」として新たに定義され、要求事項が明確化されたこと等による、設計方針に係る記載の充実化及び適正化。変更後における発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する説明書の追加でございます。2点目は、設計方針の一部変更、3点目は、中央構造線断層帯の長期評価に係る記載の追加であります。これらは、2月の部会においてご説明させていただいております。4点目は、運用開始時期の変更でございます。審査状況等を踏まえ、運用開始時期を令和5年度から令和6年度に変更しました。以降の頁では、以上の変更を踏まえ、各条文への審査状況についてご説明いたします。

5頁をご覧ください。5頁からは、当社の設計方針等について整理しております。このうち、2月の部会では、第3条から12条まで、頁で言いますと5頁から9頁までご説明しました。本日は、16条から30条についてご説明しますので、10頁をお願いいたします。

表の見方としましては、左側に、規則の要求項目、主たる要件等を整理しております。右側には、当社の設計方針及び審査会合での主な議論の概要について記載しております。10頁では、16条「燃料体の取扱施設及び貯蔵施設」第2項「燃料体等の貯蔵施設」について、整理しております。規則改正等により追加・修正はなく、当社設計方針に変更はございません。審査会合での議論といたしましては、2点あり、1つは、中段に記載しておりますが、サイト全体での長期的な燃料管理方針を説明するよう指摘があり、十分に冷却が進んだ収納対象燃料は、再処理工場への搬出状況等を踏まえながら、計画的に使用済燃料乾式貯蔵施設に搬出することを説明しました。もう1つは、下段に記載しております建屋天井クレーンによるキャスクへの波及的影響について説明するよう指摘があり、周辺施設である天井クレーンは、一般産業施設として設計し、乾式キャスクの安全機能を維持するため、落下防止対策を講じることを説明しました。

11頁をご覧ください。11頁では、16条第4項「キャスク」について、整理しております。規則改正等により、主たる要件の欄に青字下線部が追加されておりますが、当社設計方針に変更はございません。審査会合では、蓋間圧力等の監視頻度の妥当性について説明するよう指摘があり、3か月に1回の頻度で監視することで、核分裂生成ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できることを説明しました。

12頁をご覧ください。12頁では、29条「工場等周辺における直接線等からの防護」及び30条「放射線からの放射線業務従事者の防護」について整理しております。規則改正等により、主たる要件の欄の青字下線部のとおり変更はありますが、当社の設計に変更はございません。当社は乾式貯蔵建屋にキャスクを貯蔵することとしておりますが、審査会合での議論に記載のとおり、規制委員会より、解析における過度な保守性を排した上で建屋の遮蔽機能の必要性を確認するとの方針が示されました。このため、乾式貯蔵建屋なしで評価条件を現実的に見直した場合でも、目標値である年間 $50\mu\text{Sv}$ 以下を満足できないため、乾式貯蔵建屋を設置し放射線量を低減する必要があることを説明しました。以上の16条、29条、30条、それぞれにつきまして、具体的な設計方針及びその妥当性について、27頁以降でご説明いたします。

27頁をご覧ください。16条「燃料体の取扱施設及び貯蔵施設」について、ご説明いたします。まず、乾式キャスクの構造としましては、キャスクは2タイプありまして、左側がタイプ1で、

1、2号燃料用、右側がタイプ2で、3号燃料用です。形状につきましては、右側の四角枠内に記載しておりますが、外径は直径2.6メートル、高さは5.2メートルであり、重さは、使用済燃料を収納した状態で約120トンです。収納物につきましては、1、2号用は、1基あたり32体の使用済燃料を収納することができ、3号用は、1基あたり24体の使用済燃料とバーナブルポイズン12体を収納することができます。

28頁をご覧ください。28頁では、乾式キャスクの収納制限について記載しております。2つのタイプの乾式キャスクについて、燃料タイプ、初期ウラン濃縮度、最高燃焼度、使用済燃料ピットでの冷却期間、キャスク1基あたりの平均燃焼度、キャスク内での配置制限などを設定しております。

29頁をご覧ください。29頁からは、乾式キャスクの4つの安全機能のうち、閉じ込め機能についてご説明いたします。閉じ込め構造としましては、右の図をご覧くださいまして、乾式キャスク、一次蓋及び二次蓋で構成されています。具体的には、乾式キャスク本体及び一次蓋により、使用済燃料を封入する空間、右の図の赤く囲んだ部分ですが、この範囲を、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持し、一次蓋と二次蓋の蓋間、右上の拡大図の青い部分ですが、この範囲をあらかじめ正圧として、圧力障壁を形成することにより、放射性物質を乾式キャスク内部に閉じ込める構造としております。蓋及び蓋貫通孔シール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを使用し、金属ガスケットは、設計貯蔵期間中に乾式キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率、「基準漏えい率」を満足するものを使用します。また、蓋間の空間圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視します。この監視方法については、後ほど、31頁でご説明いたします。評価方法としましては、蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが、設計貯蔵期間を通じて圧力を一定とした条件下で乾式キャスク内部に漏えいするとともに、燃料棒からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、乾式キャスク内部を負圧に維持可能な基準漏えい率を求め、基準漏えい率よりも、漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認します。具体的な評価方法及び評価結果を、次頁でご説明いたします。

30頁をご覧ください。閉じ込め機能についての具体的な評価方法及び結果です。基準漏えい率は、ボイル・シャルルの式及びクヌッセンの式を用い、設計貯蔵期間60年経過後の乾式キャスク本体の内部圧力が大気圧となる漏えい率を算出します。蓋間圧力については、保守的に貯蔵開始時から60年後まで、初期圧力で一定としております。計算結果としましては、いずれの乾式キャスクにおきましても、基準漏えい率は10のマイナス6乗オーダーとなっております。一方、金属ガスケットの性能は、10のマイナス8乗オーダーですので、基準漏えい率よりも2桁ほど漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認しております。

31頁をご覧ください。閉じ込め機能の監視構造についてです。右側の蓋部詳細図をご覧くださいますと、キャスクの二次蓋に貫通部を設けておりまして、ここと圧力計を繋ぐことにより、蓋間の空間圧力図の青い部分を監視できる構造としております。以上のとおり、閉じ込め機能に係る設計方針は妥当であると考えております。

32頁をご覧ください。32頁からは、乾式キャスクの臨界防止機能についてご説明いたします。臨界防止構造としましては、乾式キャスク内のバスケットは、右の図のとおり、格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の配置に維持できる設計としております。また、バスケットには、中性子吸収材であるほう素添加アルミニウム合金、図では赤く示しておりますが、これを配置する構造としております。評価方法としましては、最も厳しい条件となる、乾式キャスクに使用済燃料を収納する際の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95以下となることを確認します。評価条件としましては、収納物に係る解析条件は、28頁に示した収

納制限を鑑みて、保守的に設定します。具体的な評価手法、評価結果について、次頁にお示しします。

33 頁をご覧ください。臨界防止機能についての具体的な評価手法及び結果です。評価手法としては、SCALE コードシステムを用い、実効増倍率の計算には、コードシステムに含まれる KENO-VIコードにより評価しております。なお、許認可での使用実績のあるコードであります。解析結果としましては、1、2号用及び3号用ともに、実効増倍率は基準値 0.95 を満足することを確認しております。以上のとおり、臨界防止機能に係る設計方針は妥当であると考えております。

34 頁をご覧ください。34 頁からは、乾式キャスクの遮蔽機能についてご説明いたします。遮蔽構造としましては、乾式キャスクは、使用済燃料からの放射線を、キャスク本体及び蓋部により遮蔽し、ガンマ線遮蔽材には鋼製の材料を用い、中性子線遮蔽材には水素を多く含有するレジンを用いる構造とします。評価方法及び評価条件としましては、使用済燃料を線源として遮蔽評価を実施し、キャスク表面で 2 mSv/h 以下、表面から 1 メートル離れた位置で 100 μ Sv/h 以下となることを確認します。収納物に係る解析条件は、収納制限を鑑みて、保守的に設定します。具体的な評価手法、評価結果について、次頁に示します。

35 頁をご覧ください。乾式キャスクの遮蔽機能についての具体的な評価手法及び結果です。評価手法としましては、線源強度計算には ORIGEN2 コード、乾式キャスクの線量当量率評価には DOT コードを使用して評価しております。なお、いずれも許認可での使用実績のあるコードであります。評価結果としましては、1、2号用及び3号用ともに、最大線量当量率が、基準値を満足することを確認しております。以上のとおり、遮蔽機能に係る設計方針は妥当であると考えております。

36 頁をご覧ください。36 頁からは、乾式キャスクの除熱機能についてご説明いたします。除熱構造、伝熱経路としましては、乾式キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を、右の図のとおり、熱伝導及びふく射により乾式キャスクの外表面に伝え、対流及びふく射により周囲の空気等に伝達する構造としており、乾式キャスク本体側部の中性子遮蔽材には、熱伝導率の低いレジンを用いるため、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保します。評価方法及び評価条件としましては、燃料被覆管及び乾式キャスク構造部材の健全性が維持できる温度を超えないこと、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認します。また、収納物に係る解析条件は、収納制限を鑑みて保守的に設定します。具体的な評価手法、評価結果について、次頁に示します。

37 頁をご覧ください。具体的な評価手法及び結果についてです。評価手法としましては、使用済燃料の崩壊熱計算は ORIGEN2 コード、乾式キャスク構成部材及び燃料集合体の温度解析には ABAQUS コードを使用して評価します。なお、いずれも許認可での使用実績のあるコードであります。評価結果としましては、表及び温度分布で示しておりますが、1、2号用及び3号用ともに、各部材の温度が、基準値を満足することを確認しております。

38 頁をご覧ください。38 頁は、建屋の評価についてです。評価方法としましては、発熱量の大きい3号用の乾式キャスクを貯蔵した状態で、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを評価します。評価にあたりましては、乾式キャスクの発熱量は、全て空気によって除熱されると考え、建屋コンクリート等を通じて大気や地中に逃げる熱は考慮しないなど保守性を持たせております。評価結果としましては、乾式キャスク周辺の温度は約 45℃であり、乾式キャスクの除熱評価で設定した温度、50℃を下回っていることから、乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認しております。以上のとおり、除熱機能に係る設計方針は妥当であると考えております。

39 頁をご覧ください。39 頁では、蓋間圧力等の監視頻度、貯蔵建屋内温度及び乾式キャスク表面温度の監視方法について、ご説明いたします。先ほどご説明しました蓋間圧力に加え、乾式キャスク表面温度及び貯蔵建屋内温度を 3 か月に 1 回の頻度で監視します。これらの監視方法ですが、このうち、蓋間圧力の監視方法は 31 頁のとおりでありますので、ここでは貯蔵建屋内温度、乾式キャスク表面温度についてご説明いたします。貯蔵建屋内温度の監視方法につきましては、貯蔵建屋内の温度が異常に上昇していないことを監視するため、建屋内の温度が最も高くなる建屋排気口付近の温度、建屋排気温度を監視します。具体的には、右上の図にイメージを示しておりますが、温度センサを排気口付近に設置し、温度を監視できる設計としております。乾式キャスク表面温度の監視方法につきましては、使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを監視するために、乾式キャスクの表面温度を監視します。具体的には、右下の図にイメージを示しておりますが、温度センサを乾式キャスク外筒の外表面に接触させ、外筒外表面の温度を温度計により監視できる設計としております。

40 頁をご覧ください。40 頁では、使用済燃料及び乾式キャスクの長期健全性についてご説明いたします。設計貯蔵期間 60 年における放射線、温度及びキャスク内部環境下における、乾式キャスクの各部材及び使用済燃料が健全であることを文献等により確認しております。右の表をご覧ください。照射影響につきましては、各評価部位の設計貯蔵期間中の中性子照射量が、文献等に示される機械的特性変化が見られない基準値を超えないことから、中性子照射による影響はないことを確認しております。次に、熱的影響につきましては、各評価部位の温度は、文献等に規定される基準値を超えないことから、熱による経年変化を考慮する必要はないことを確認しております。最後に、右下に記載しております化学的影響につきましては、キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間には、不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としており、腐食の影響はなく、また、中性子遮蔽材の充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はないことを確認しております。以上のとおり、乾式キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮したうえで、使用済燃料の健全性を確保する設計としております。

41 頁をご覧ください。41 頁では、燃料に関する先ほどの評価について、少し詳しくご説明いたします。総合資源エネルギー調査会報告書等において、PWR 燃料被覆管を用いた各種材料試験の結果を基に、貯蔵期間中の使用済燃料の健全性を維持するための具体的な温度や、圧力等の条件が示されております。これに対し、伊方発電所の乾式キャスクは、示された条件の範囲内で以下のとおり設計しているため、使用済燃料の長期健全性を維持できます。また、PWR 燃料を対象とした乾式キャスク先行貯蔵試験等の知見や情報について引き続き収集を行います。具体的には、まず、照射影響につきましては、燃料被覆管に使用するジルカロイは、設計貯蔵期間中の中性子照射量が $1.5 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ であ基準となる炉内の中性子照射量に対して十分低いことから、照射の影響は無視し得ることを確認しております。次に、熱的影響につきましては、熱による経年変化、クリープひずみの進行による燃料被覆管の破損、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下、燃料被覆管中の水素化物再配向による燃料被覆管の脆化及び応力腐食割れに対して、以下のとおり、最も厳しい制限である燃料被覆管の温度を 275 °C 以下、周方向応力を 100 MPa 以下とすることにより、熱による経年変化を防ぐことができます。クリープひずみの進行につきましては、温度を 320°C 以下に制限することによってクリープ変形が 1 % 以下となり、クリープ破損を防止することが確認されております。照射硬化の回復につきましては、300°C 以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さいことが確認されております。燃料被覆管中の水素化物再配向につきましては、被覆管の周方向機械的特性が低下しない燃料被覆管の温度が 275°C 以下、周方向応力が 100 MPa 以下と確認されております。応力腐食割れについては、燃料棒ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく、また、原子炉運転中に燃料棒ペレットから放出されたよう素は、ヨ

ウ化セシウムとして安定に存在していることから応力腐食割れが発生する化学的雰囲気となっておりません。なお、応力腐食割れのしきい応力は、200MPa であることが確認されております。最後に、化学的影響につきましては、残留水分が 10wt%以下の不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視し得るほど小さいため、健全性に影響はないことを確認しております。以上のとおり、設計貯蔵期間は 60 年として、使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計としております。

42 頁をご覧ください。42 頁では、「設計上想定される状態」について、ご説明いたします。評価内容としましては、貯蔵施設でキャスクを取扱う天井クレーン及び搬送台車については、クレーン構造規格等に基づき、一般産業施設や公衆施設と同等の安全性を有していることから、通常取扱時において想定すべき事象としては、作業員の誤操作が想定され、下図のとおり、a から e の 5 つの事象を抽出しております。抽出した事象につきましては、バスケットが塑性変形しないこと及び密封境界部がおおむね弾性範囲内にとどまることを確認しております。

43 頁をご覧ください。43 頁からは、29 条「工場等周辺における直接線等からの防護」についてご説明いたします。具体的な設計方針としましては、敷地境界での線量評価を行い、年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下となる設計としております。なお、評価における線源条件につきましては、右側の表に整理しております。

44 頁をご覧ください。44 頁では、解析結果についてご説明いたします。敷地境界外における年間線量は、既設建屋からの線量寄与を考慮しても、評価地点 A 点及び B 点いずれの地点においても、基準値である年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足するとともに、安全協定に定める目標値年間 $7 \mu\text{Sv}$ 以下を満たすことを確認しております。以上のとおり、第 29 条の設計方針は妥当であると考えております。

45 頁をご覧ください。45 頁では、30 条「放射線からの放射線業務従事者の防護」についてご説明いたします。設計方針としましては、乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう遮蔽し、乾式キャスクの配置等、放射線防護上の措置を講じた設計としております。具体的な設計方針としましては、立ち入り頻度等を考慮した遮蔽設計を行い、左の図のとおり管理区域を設定しております。具体的には、建屋の断面図をご覧くださいまして、図の太線に示しておりますように管理区域を設定し、建屋内は、区分 I ～ IV に設定し管理します。

46 頁をご覧ください。今後の予定です。冒頭で述べましたとおり、原子力規制委員会での審査については、当社からの説明及び質問への回答は全て終了しており、本年 6 月 24 日に当社の設計方針が審査基準に適合しているとの審査結果の取りまとめ案が了承されました。現在、審査結果に対する一般意見公募の結果等について、確認がなされている段階であり、今後、許可の可否について判断される見通しです。当社は引き続き、令和 6 年度の運用開始を目指して、地域の皆様のご理解をいただきながら、乾式貯蔵施設の設置に向けた取組みを着実に進めてまいります。ご説明は以上となります。

四国電力の樫尾でございます。資料 1－1 の説明に続きまして、資料 1－2 についてご説明いたします。失礼して着座させていただきます。

まず、コメント番号 2 番、23 番について、ご回答いたします。コメント番号 2 番として、「乾式キャスクについて、貯蔵と輸送の兼用であるので、輸送の面での安全性の評価を踏まえて、その安全設計を説明してほしい。」というコメントをいただいております。

また、コメント番号 23 番として、「乾式キャスクの設置許可基準規則に対する設計方針について、輸送容器に関する規則はどのように対応し評価しているのか。」とのコメントをいただいております。

弊社回答としましては、資料 1－1 の参考資料として、乾式キャスク輸送時及び貯蔵時の規制要求の考え方を比較しまして、資料 1－1 の 65 頁及び 66 頁に整理してございます。65 頁をご覧いただきまして、こちらのほうでは輸送時と貯蔵時の状態を示してございます。また、66 頁をご覧いただきまして、こちらのほうには輸送時と貯蔵時の規制要求事項を整理してございます。このように、要求事項及び前提となる乾式キャスクの状態が、輸送時と貯蔵時で異なることから、個別に評価を行いまして、それぞれの規則要求に適合することを確認してございます。

続きまして、コメント番号 7 番、34 番についてご回答いたします。コメント番号 7 番としまして、「使用済燃料ピットの水中で 15 年以上の保管した燃料を、乾式キャスク内のヘリウム環境下で長期間保管するとしているが、PWR の燃料では乾式貯蔵は初であるので、乾式キャスクはもとより収納する使用済燃料集合体自体の長期健全性について示してほしい。」というコメントをいただいております。また、コメント番号 34 番としまして、「乾式貯蔵は、PWR の使用済燃料の保管としては国内では最初の事例になる。BWR と PWR の燃料を保管する場合に、それぞれの燃料の使用条件は異なっているが、どのような知見で検討されているのか。」とのコメントをいただいております。

弊社回答としましては、使用済燃料の長期健全性につきましては、PWR 用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響及び化学的影響の観点から問題ないことを確認してございます。具体的には、先ほどの資料 1－1、41 頁でご説明いたしましたが、照射影響につきましては、炉内における照射量に比べて十分低いこと、熱的影響につきましては、貯蔵時の燃料温度及び応力においてはクリープひずみ、照射硬化回復、被覆管中の水素化物再配向、応力腐食割れの影響を受けないこと、化学的影響につきましては、残留水分が少なく不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視できることを確認してございます。

続きまして、コメント番号 22 番、31 番についてご回答いたします。コメント番号 22 番としましては、「乾式貯蔵施設の安全機能について、重要度分類し対応するとのことなので、対照表として整理してほしい。」とのコメントをいただいております。また、コメント番号 31 番として、「乾式貯蔵施設について、安全機能をリストのようにまとめてほしい。それぞれの設備の相互作用を考えるかどうかを含めて、検討内容とその安全性評価方法を整理してほしい。」とのコメントをいただいております。

弊社回答としましては、先ほどの資料 1－1 でご説明いたしましたが、規制要求を満足するように、乾式キャスク及び貯蔵建屋に持たせるべき安全機能を検討しまして、各機能に対する安全性を解析等により確認してございます。具体的には、乾式キャスクについては耐震 S クラスとして分類し、基準地震動 Ss による地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないよう設計しております。また、貯蔵建屋については、耐震 C クラスとして分類し、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計としでございます。

次に、コメント番号 27-2 番についてご回答いたします。コメント番号 27-2 番としまして、「乾式キャスクの落下により内封している燃料の破損が想定される場合の対応を説明すること。」とのコメントをいただいております。

弊社回答としましては、乾式キャスクにおいても、これまでの輸送キャスクと同様に、安全に留意した上で取扱作業を行います。仮に、取扱時に乾式キャスクの落下等により、安全機能又は使用済燃料に影響が疑われる事象が発生した場合は、3 号機使用済燃料ピットへ移送し、点検等の必要な対応をとることになると考えてございます。

最後にコメント番号 28 番について、ご回答いたします。コメント番号 28 番としまして、「原子炉から取り出した後、15 年経った燃料は大体何度ぐらいに低下するのか。その温度で、ヘリウム環境下で負圧であっても燃料体は劣化をするのか。」とのコメントをいただいております。

弊社回答としましては、資料 1-1 でご説明いたしましたが、貯蔵時の燃料温度は最大でも約 220℃程度と見込んでおります。使用済燃料の長期健全性については、PWR 用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響及び化学的影響の観点から問題ないことを確認してございます。資料 1-2 のご説明は以上でございます。

○望月部会長

ありがとうございました。それでは資料 1-1 及び 1-2 の内容につきまして、ご欠席の委員からご意見等がありましたら、事務局からお願いします。

○事務局

愛媛県の原子力安全対策推進監、大橋です。本日の資料につきましては、事前に各委員に送付させていただいており、本日欠席の宇根崎委員及び岸田委員からは、本資料に関する意見等はなく、四国電力の回答内容についても、問題ない旨の回答を頂戴しておりますのでご報告させていただきます。

○望月部会長

ありがとうございました。それでは、委員の先生方から、ご意見、ご質問はございませんでしょうか。どうぞ、中村先生。

○中村委員

いくつかありまして、まず、一番気になるところは、放射線がどのくらい出ているかということですが、敷地境界での放射線レベルですけれども、今回の評価は問題ないということだと思っておりますけれども、ここで、スカイシャイン線と直接線の評価されていらっしゃると思うんですが、どれくらいの量かというのは 43 頁、44 頁には書いていけませんので、もしも内訳が分かるのであれば教えてください。

○望月部会長

44 頁に書いてはおりますが、その内訳が分かればということですが。

○四国電力

四国電力の高須賀です。まず 44 頁の評価地点 A の使用済燃料乾式貯蔵建屋で年間 $0.16 \mu\text{Sv}$ の内訳については、手持ちデータがございますので内訳について説明させていただきます。ガンマ線と中性子線についてそれぞれ評価しておりまして、ガンマ線 100% のほうが保守的、より高い線量となっておりますので、この $0.16 \mu\text{Sv}$ というのはガンマ線の線量を示しております。このうち直接線とスカイシャイン線ですけれども、直接線が 97%、スカイシャイン線が 3%、併せて $0.16 \mu\text{Sv}$ となっております。以上です。

○中村委員

ありがとうございました。

○望月部会長

どうぞ、森先生。

○森委員

ご説明どうもありがとうございました。私は専門ではないので基本的なことをお聴きしたいのですが、この書類で安全性が全部確認されたというご説明で、41 頁の 16 条に対する「（補足）燃料の長期健全性について」というところの説明で、多くが対象が燃料被覆管というものの様々な安全性について書いておられるのですが、資料的にこの 41 頁以前に燃料被覆管という言葉がどこで出ているのか、言ってみれば図としての説明だとか定義だとかを探しました。それを探しましたところ、燃料という言葉は出てくるのですが、被覆管という言葉はなかなか出てきません。36 頁のところに評価方法として、燃料被覆管及び乾式キャスクの説明があるのですが、燃料被覆管というのはどの部分に相当するのか、何か図で説明していただけるようなものがあればお教えいただきたいのです。

○四国電力

四国電力の樞尾です。森委員のご質問にお答えいたします。燃料を具体的に描いたところは、資料上はないのですが、資料 1-1 の 65 頁を見ていただきまして、右側に貯蔵時の状態がございます。こちらのほうに乾式キャスクの全体の概要図を示しておりまして、上から 3 つ目に使用済燃料という言葉がございます。これが乾式キャスクに収納する燃料集合体を示してございます。当然、この中に燃料ペレットが詰まった燃料棒というものがございますので、燃料棒というのが燃料被覆管ということになりますので、この図では示してございません。

○森委員

燃料棒というものがあって、その細い棒を被覆しているものを被覆管というのですが。

○四国電力

燃料棒自体を燃料被覆管ということによってございます。

○森委員

燃料棒そのものを燃料被覆管という言い方になっているんですか。

○四国電力

はい。

○森委員

なるほど。分かりました。被覆管っていうので、何か物体を覆っている物質だと思っていたら、物体そのものを被覆管という言葉を使うという意味でいいのですか。

○四国電力

おっしゃるとおりでございまして、燃料棒という言い方をしておりますし、専門的用語でございしますが、燃料被覆管という言葉も使用してございます。

○森委員

そうすると、この資料を読む際に、使用済燃料の安全性という議論、記述をしているところと、それから燃料被覆管の安全性を議論、記述しているところというのは、実は同じ使用済燃料なん

だけれども、さらに使用済燃料を構成する一つ一つの燃料被覆管というものの話をしているのですか。つまり単一のものと集合体とを分けて、議論したり記述したりするということでしょうか。

○四国電力

四国電力の古泉です。先ほどの頁と違うんですが、27 頁を見ていただきまして、27 頁の右下のほうに燃料集合体の図がございます。ここでちょっと小さいですけど、燃料棒ということで矢印を引いておりますが、燃料集合体というのは、その上のほうで四角で囲んでおりますが、1、2 号用の燃料で言いますと、こういった燃料棒を縦 14、横 14 で束ねたもの、3 号用で言いますと、17 列と 17 列を束ねたものを燃料集合体と言ってございます。この資料の中では、燃料集合体ということできずと説明してございますが、最後、41 頁の長期健全性のところで、燃料集合体のことを言っているのが、被覆管というお話をしましたけれども、厳密に言えば、燃料ペレットを被覆管の中に入れて構成しているものが燃料棒ということで、燃料ペレットを入れているバウンダリがこの被覆管ということになりますので、このバウンダリとなります被覆管の健全性というところが、燃料の健全性としては大事なもののなので 41 頁でそういった確認をしているという整理でございます。

○望月部会長

この中で整理ができたのかなと思います。よろしいですか。

○森委員

はい。整理ができたようなできていないような。ちょっと難しくて。結局、27 頁では説明できないということなんですか。専門家の皆さんがお分かりだったらそれはそれでいいんですけども、私がこのことを聴いたのは、それぞれのいろいろな安全性を議論している際に、例えば温度だとか、16 条に対する安全性の検討が、1、2 頁で何かの基準値と評価値とを比較するという構成になっておりまして、例えば 37 頁ですと、表のところに使用済燃料を評価する場合は、基準値の考え方として、「燃料被覆管の長期健全性が維持される制限温度」として基準値が 275℃と決まっています、それに対して四国電力さんの解析された結果が約 220℃となっていると。先ほどの質疑応答の中では、資料 1-2 の御回答の中の 3 頁で、「最大でも約 220℃程度と見込んでおり」というのはこの 220℃に対応するのだと、非専門家ながらも言葉と数字で安全性を考える論理を一生懸命追っているんですけども、ここのところは分かるんですけど、それ以外のところが分かりにくかったので聴きました。

別の質問もよろしいでしょうか。こういう基準値と解析結果というものの比較になっているんですけども、全体として聴きたい質問は、この解析結果の精度です。何らかのかたちで想定される入力条件に対して、ある解析をなさっているんでしょうけれども、その出てきた解析結果というのがどれくらいの信頼性、信頼性というのは、ばらつきと言いますか、それを持っているのかという点について各項目について聴かせていただければありがたいなと思います。例えば、220℃というのは、 $220^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ なのか、 $220^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ なのか、そういう信頼性と言いますか、不確定性に関する情報について教えていただければと思います。

○四国電力

四国電力の樫尾でございます。40 頁のご質問だと思いますが、例えば熱的影響の使用済燃料の温度につきましては、約 220℃と約 210℃でございます。こちらのほうは、37 頁にも同じ数字を記載しておりますが、実際は細かい数字がございまして、10℃単位の表示で記載してございます。

ですから、210℃というのは、もう少し小さい数字で、200 何度という数字がございまして、それを 10℃単位で丸めた数字でございます。あとの胴とか外筒、中性子遮蔽材、金属ガスケット、バスケットにつきましては、これは基準値の数字は整数値でございますので、整数値になるように小数点以下の数字を丸めたものでございます。以上でございます。

○望月部会長

表示の仕方は、それで、切り上げでいいと思うんですけども、例えば一般的にこの 210℃みたいに測ったときの温度計の精度とか、そういうことも含めて聴かれたのかなと思ったのですけれども。

○森委員

そうです。私の理解でいけば、これは 60 年間の話で、そういう長期の間で初期の条件はちょっとよくわかりませんが、何らかの初期の条件を設定して、60 年間にわたって変化を解析してということをすると思うんですけども、ちょっとした条件設定によってどれくらいのばらつきがあるのかなということです。計算としては何らかの計算でしょうから、小数点以下いくらかも出てくるんでしょうけども、いわゆる有効桁、例えば計算でいけば有効桁数が何桁であるとか、あるいは数値計算というより、入力条件、つまりその条件の設定のばらつき、そういったことも含めて、この数値をどうやって判断したらいいのかわかりませんので教えてくださいということです。

○四国電力

四国電力の樞尾です。ご指摘の件は評価の保守性に関連しました内容だと思います。こちらにつきましては、28 頁をご覧くださいなのですが、28 頁のほうに先ほど申しました収納制限についてまとめたものがございます。こちらは一般的な収納制限を書いたものでございまして、別途、先ほど申しました温度評価につきましては、多少振らしてございます。例えば右側でいきますと、タイプ 2 のキャスクでいきますと、初期ウラン濃縮度は 4.2%以下と書いてございますが、これはわざと低い値で評価してございます。というのも、発熱量の評価につきましては別途コードをまわして評価してございますが、低くしたほうが発熱量が高くなるということで評価してございます。燃焼度につきましては、燃料のタイプとして中央部が 48GWd/t 以下、外周部につきましては 44GWd/t 以下でございますが、キャスク 1 基あたりの平均燃焼度は 44GWd/t 以下という 2 つの制限がかかっておりますので、そちらを満足するように配置制限、下側のキャスクの断面図でございしますが、中央部と外周部に燃料を配置してございます。例えば、中央部に 48GWd/t の燃料を配置しまして、キャスク全体で平均を満足するように周りが 40GWd/t の燃料を配置してございます。あと冷却期間につきましては、15 年とかそういう短い期間で設定しまして保守性を満たしてございます。

○森委員

はい、分かりました。

○中村委員

森委員、今ので理解できましたか。

○森委員

理解できませんでした。

○中村委員

今のお話は多分、37 頁の下に温度の分布の断面図があると思うんですけど、ここの中で、右側にタイプ 2 というのがございますけど、タイプ 2 のうちの左側の図で乾式キャスクの断面というのがありますよね。これは私の理解ですけれども、この中で一番温度が高いのは真ん中部分にある 2 つの燃料集合体の温度で、それが一番高いところが右の色と温度の対照のバーがありますよね。その中で、220℃と言うのが赤で一番高い温度だと思うんですが、それがこの燃料集合体の中央部にあるんですよね。その部分をちょうど右側に拡大したかたちで断面として出しているのが、17 本×17 本のものがここに展開されていて、その中の温度分布を真ん中の部分が 220℃で、周辺部分が温度が下がってくるというのが分かると思うんです。これが 28 頁の 48GWd/t でしたっけ。ここでは 48 とか 44 とか書いてあるんですけども、GWd/t という燃焼度の単位があって、それで比べますと、今温度が高かったのが 48 GWd/t のほうで、外周部が 44 GWd/t で、これは多分私の理解では、なるべくキャスクの外側の温度を高くしないために、内側には燃焼度高い中にいわゆる F P といいますか Fission Product (核分裂生成物) というか、燃料が核反応してウランが核分裂をしてその核分裂生成物がたくさんできますので、そうしますと発熱が高くなりますよね。そうしますと、このキャスク収納制限の中央部の 48GWd/t っていうほうがたくさん発熱しますから、しかも熱伝導で熱が伝わっていきますが、真ん中のほうが外気温から遠いので温度が高くなりやすいということでこういうような考え方をしていると思うんです。ただ、外表面にいくにしたがって水色のドーナツ型のものが外側にありまして、どうして内側はこんなに温度分布がついているのに外側は一定の温度になるのかということですけども、多分、熱伝導度が違っておりまして、ウラン酸化物は金属ではないので熱伝導度が悪いんです。だから発熱をしていますし、その中で温度分布ができてしまうんですけど、外側は金属なので熱伝導度が高いので温度が一定になりやすいから、内側は温度にムラがあるけれども外側は温度分布がつかなくて、外周のところから空気に対流をして熱を取っていますので、一番外側は温度が低いということだと私は解釈したんです。ただこの資料の中で、36 頁に、今の熱の状態を考えたときに、これでいきますと右の横断面のところに熱伝導と書いてありまして、今お話ししたような内側のほうの使用済燃料からたくさん熱が出てきて、それが外表面に向かって進んでいます。そうしますと、断面ではよくわからないのですが、直径によって、法面といいますか、その長さがだんだん長くなってきますよね。ですから、対流によって、あるいは熱伝導によって、放出されていく熱の量がだんだんと単位面積当たりでは小さくなってくるはずなんです。一番最後の外表面のところで、図には「対流」、「ふく射」とありますよね。この 2 つのメカニズムで熱が出ていくと思うんですが、私はふく射なんていうのは、ものすごく量は少ないと思っておりまして、38 頁では、「乾式キャスクの発熱量は、全て空気によって除熱される」とあって、この空気によって除熱されるメカニズムというものは、36 頁にある「対流」の部分ですよ、「ふく射」ではなくて。その辺のところをそれぞれの頁ごとに、整合性があるように、お書きいただいたほうがよく分かるかなと思ったんですが、ただふく射は小さいと申し上げたんですけども、一番外側の表面の温度が結構高くなるところがあるので、そこは多分、一番最初に使用済燃料プールから燃料を引き上げて、乾式キャスクの容器の中に収納して、真空引きで中を脱気をして、それでヘリウムの中に入れて置き換えて蓋ををすると思うんですが、その一番最初の一番発熱が高いときにこの温度になって、あと 60 年じわじわと温度が下がっていくんだと思うんですが、その温度の下がり方の経過を、もしもここで資料で出されていれば、その辺りがすごく分かりやすいと思ったのですが、なぜかという、これは説明されているんですけど、いつの状態の説明かわからないんですよ。だから、

これは封入した直後の話であって、しばらく置いておきますとどんどん発熱が下がってくるし、それから放射線量も下がってくるし、それがどのように下がってくるかというのは、実は非常に関心がありまして、先ほど一番最初に説明を受けましたけれども、43 頁、44 頁の直接線とかスカイシャイン線といった放射線がどのように出ているかといったところも確実に効きますので、そういったところをなるべくダイナミックなかたちで、分かるようにご説明いただくのがいいかなと思いました。それから 40 頁に「設計貯蔵期間（60 年）」とあるのですが、これは今の目標ですと、最終的には六ヶ所村に運ぶわけですよ。ですから、何年後か分かりませんが、途中で多分なくなっちゃうと思うんですが、その途中でもいいんですけども、私が心配なのは、右側の表に乾式キャスクの構成部材の中に、中性子遮蔽材（レジン）がありますよね。金属とかセラミック、酸化ウランというのは、放射線による劣化は大したことないんですけど、レジンというのは、ガンマ線が当たっても、直接線が当たっても、劣化していきますので、劣化する部材が基準値で 10^{15} とあるんですけども、この考え方が 60 年を考慮しているのかどうかというのがよくわからなかったです。このレジンが分解されたときにガスが出ないのかとか、そこを知りたいと思います。すみません、非常に長かったんですが、まず森先生のご理解いかがでしょうか。

○森委員

私の質問は、今もご説明ありましたけれども、最初に詰めて、それからずっと下がっていくということでしょうから、詰めた直後といいますか、半年なのか 1 年なのか期間的なものはよくわかりませんが、詰めた直後がきっと危ないだろうと。そうすると、37 頁の乾式キャスクの断面というところで、中心から外に向かって放射状に均等に分布しているのではなくて、このようにちょうどメロンパンの表面のようになっているのは、要するに格子状に隙間ができていて、そこから熱が奪われていくから、こういう形状になっているんだろうと理解しました。そのときに最も真ん中の赤いところが 220°C で、それから乾式キャスクの表面に近いところが 130°C くらいであると。そのように理解したんですけども、この図のこのような理解の上で、まず最初の疑問は、中央で 220°C になっているというのは 28 頁での最初の条件というのが、ここで示されているような条件になっているんだろうとすると、もともと熱を出すのが、ここでいう最高燃焼度ということで、これがある上限以下になるように配置することという条件があるということは、言ってみれば、規制された値を入力して計算されているんだろうと思いました。けど、ひょっとしたら以下とあるだけで、 48GWd/t なのか 46GWd/t なのか、その数字はよくわかりませんが、そういった初期の条件によっても変わるのであれば、初期の条件の運用といいますか、四国電力さんが社内でいくつになったら入れようねというルールがあって、それに応じてこういう計算をされているんだろうと推察するんですけども、その辺り、初期の条件をどのように設定しているのかということをお聴きしたかった。これが一つ目。それと二つ目は何かというと、さっきのような理解をすると 37 頁の左の絵で拡大されている色の断面が、何で対称になっていないんだろうとか、対称になっていないようなものであれば何らかの解析だとか、あるいは解析の評価条件だとかでばらつきが出ていて、その状況においては変動するのかというのが二つ目の疑問でした。それから三つ目としては、このキャスクの表面が 130°C くらいになっていると言いつつ、38 頁では乾式キャスクの周辺温度は、評価結果が 45°C となっていると。そうすると、37 頁だと $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ になっているのに、いきなり 38 頁になると 45°C になっている、このギャップと言いますか、 130°C から 45°C にまで扱いが変わるのは何でなのか、ちょっとよくわかりません。その三つをお答えいただけるとありがたいです。最初のほうは、入力条件というのがどれくらいばらつくものなのかということなんです。

○四国電力

四国電力の樞尾です。十分冷却した燃料は 1,200 体ほどありますので、それを基に設計をしてございまして、キャスクの設計で除熱だけを考慮した設計というのはできませんので、遮蔽とか臨界などの 4 つの安全機能を全部考慮しまして、総合的に適切なキャスクを設計してございます。先ほどお話しがございましたけれども、中央部に 48GWd/t というのは一番燃えた燃料ということで配置してございます。外周部の燃料につきましては、除熱のことは先ほど申しましたが、例えば遮蔽で申しますと、外周部の燃料を 48GWd/t で設計することはできるんですが、遮蔽というのを考えまして、できるだけ 44GWd/t という設計としてございます。そういった先ほど申しました遮蔽とかそういうことも考慮しまして、こういう配置を組んでございます。それぞれの 4 つの安全機能につきましても、解析条件につきましては冒頭で申しましたが、それぞれ保守性を持たすべく配置を考えておりまして、遮蔽でいきますと真ん中を 48GWd/t で、外側を 44GWd/t という配置をしておりまして、除熱とは違った条件を設定して保守的な解析をしてございます。実際に、どのように運用するかと言いますと、燃料の使用具合を見ながら、キャスクに配置するように運用してございますが、いろいろなパターンがございまして、今キャスクに全部こう入れるとかそこまでは考えてございせんが、このような配置制限を満足するように燃料を収納しまして、適切に貯蔵をしたいと考えております。また、27 頁に燃料集合体の図がございまして、補足させていただきますと、右の使用済燃料の構造図（17×17 型燃料の例）でございまして、非常に小さくてわかりにくくて申し訳ございませんが、右側から下部ノズルとその左に燃料棒とございます。こちらは燃料ペレットが入った燃料棒を示してございまして、この細長い棒が、片側 17 本、もう一方が 17 本ですが、17×17 型と申してございまして、そういった配置で燃料集合体を構成しているところでございます。これは補足でございまして、よろしいでしょうか。

あと、中村委員のご質問で、温度の話がございましたが、これは貯蔵初期、一番高い値の温度と考えてございまして、こちらの条件で考えてございまして。おっしゃるとおり、貯蔵初期のほうからだんだん崩壊熱とか線源が徐々に減ってきますので、60 年後にはこの温度よりもかなり下がると考えてございまして。概算ですが、だいたい 60 年後に燃料については 100℃程度下がるものと考えてございまして。これは試算値でございまして、その程度になってございまして。外周部の温度については、現時点で詳細な評価がございせんので、外周の温度もかなり減ってくるものと考えてございまして。あと真空乾燥の話でございまして、真空乾燥につきましては、中村委員のおっしゃるとおり、当然真空乾燥については十分に注意しながら作業を行っていきたいと思っております。真空時に伝熱性能が多少悪くなって温度が上昇しますので、そういった温度を下げる意味で、ある一定の時間を置きましたら、今度はヘリウムを充填して温度を下げるということをして 1 回もしくは 2 回繰り返すことで、燃料棒の温度を上げないような作業を進めていきたいと思っております。基本的には先行でも行われておりますので、そういった知見を踏まえながらしっかりと作業を進めていききたいと思っております。以上でございまして。

○森委員

よろしいですか。ものすごく簡単な質問に変えます、言い方を変えます。例えば 37 頁の図が出ていますけれども、その条件は 36 頁に書いてある評価条件ですよね。つまり、「収納制限（P28 参照）を鑑みて、保守的に設定する」とある、「保守的」とは 28 頁でいう、48GWd/t 以下としているのであれば、48GWd/t として評価をしているんですか。

○四国電力

四国電力です。36 頁で除熱評価で言いますと、この一番下を書いてあります評価条件のところに、収納制限を鑑みて保守的に設定するですか、初期ウランの濃縮度を保守的に設定、それから燃焼度は燃料温度が高く評価できるよう中央部は最高燃焼度とするとか、こういった保守的な設定をして、評価をして計算をしています。これは除熱評価に限らず、他の遮蔽も保守的な設定というのを当然やっております。28 頁のように収納制限を設けておりますけれども、こういう制限の中で除熱評価をするときにはこの制限の中で除熱評価に厳しいような組み合わせの燃料を入れてやる。そういうモデルを組む。遮蔽評価のときには、遮蔽上厳しくなるような組み合わせの燃料を入れてやる。基本的にはそんな考えでそれぞれの解析にあわせて収納条件としての保守性を持たせております。それから除熱評価のところで、37 頁でキャスクの各温度が出ておりまして、140℃とか、150℃となっています。これはあくまでこのキャスクの部材に発生する最も高いところの温度を記載しております。当然、燃料に近い側が熱くなります。例えば、キャスクの胴でありますと、胴の内側のほうが外側よりは熱くなりますので、そういったところの温度ということになります。ここにはキャスクの表面の温度というのは出てきておりません。それから、評価するときには、36 頁に戻っていきますと、さきほどの評価条件の一番下に環境温度を 50℃とするところがあります。つまり、キャスクの周辺の温度を 50℃にした条件で、キャスクの中が熱くて、外が 50℃という計算をしているというものでございます。そして、38 頁にいまして、建屋の評価をしているんですけれども、これは建屋に空気が流れるという条件で、計算をしてみますと、乾式キャスクの周辺温度が約 45℃になるということで、建屋の中が 45℃という計算になりますので、37 頁のキャスク単体の評価のキャスクの周辺温度は保守的に 50℃に設定して評価していると、そういう関係でございます。

○望月部会長

よろしいですか。

○森委員

はい。

○望月部会長

渡邊先生。

○渡邊委員

渡邊ですけれども、説明が非常に分かりにくいですね。例えば物質と放射線との相互作用を議論するときにはどういう粒子、それがニュートラルなものか、荷電粒子であるかによって、物質との相互作用というのは変わってくるわけですね。原子力の場合で言うときには、ガンマ線も来たり、ニュートロン（中性子）も来たりするわけで、それをまずしっかり皆さんに知らせてもらって、どういう粒子、どういうエネルギーの粒子線がどういうときにやってくるかをまず示してもらわないと。まあ、さっぱりわからない。それをまず示してもらって、それともう一つわからないのは温度ですよ。例えば 60 年というのは我々にとって良い期間で、原発の寿命が 60 年と言われてるんですね。我々、材料を評価する人間は 60 年の期間中、鉄鋼材料でいいですけど、鉄鋼材料でやってくるニュートロンの量、これはニュートロンのエネルギーとしては 1 メガエレクトロンボルト以上のものと仮定して、照射効果は我々は理解できるので、皆さんに対して、これは安全ですよと説明ができる。それは我々の知見として持っているから。だからそれはニュートロンだとニュートロンのエネルギーを仮定して、ニュートロンの量を仮定して照射効果というのが

できるわけで我々も説明できる。あなた方の説明というのは、エネルギーも仮定せずに、ニュートロンの量もよく分からなくて、それがガンマ線なのか、ニュートロンなのかもさっぱり分からないようなものを説明してもらっても分からない。だからどう答えるんですか。それとまたわからないのは遮蔽の計算で、遮蔽の計算に使っているようなもののエネルギーと材料にやってくるものの量の計算を同じようにやったり、発熱にしても、そういう計算をするわけです。それをやっぱりしっかりと説明をあなた方、しなければいけないと思うんですよ。それと、安全側に評価しているという言い方なんですけども、例えば鉄鋼材料で我々、さっきも言いましたけど、290℃で照射脆化というのは分かっているわけですね。ところが、低い温度では、220℃になったとき、あるいは100℃以下になったとき、照射脆化の試験というのはほとんどないんです。それが温度が低いから安全かということではなくて、むしろ、照射脆化というのは低いところで、顕著な量として現れるというのは、我々は知見として持っているわけです。だから、それが安全側だと言われると非常に困るんですね。どう答えますか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。貴重なご意見ありがとうございます。先ほどの回答としまして、例えば、40 頁になるかと思うんですが、こちらのほうの健全性などの照射影響のところ、弊社の場合、解析結果としまして、使用済燃料ですと 1.5×10^{15} という中性子の個数ですけど、 n (ニュートロン) / cm^2 という単位での結果を示させていただいてございます。こちらにつきましては、先ほど委員からご指摘のございましたように遮蔽設計のほうで用いました中性子の解析結果を示してございます。これは60年間、中性子が同じ量をずっと照射されたと仮定しまして、示してございます。ですから、エネルギーとしましては1メガエレクトロンボルトという値もありましたが、1メガエレクトロンボルトを閾値としたわけではなくて、全エネルギーを対象としました数字でございます。委員のおっしゃるように、材料的に見ますと、1メガエレクトロンボルトを閾値と考えますと、大体一桁ぐらい小さい値になると思ってございまして、そういう数字で比較しましても、基準値で申しました $10^{21} \sim 10^{22}$ よりかなり小さい値でございまして、健全性は問題ないと考えてございます。以上でございます。

○渡邊委員

ニュートロン (中性子) でなくてもいいんですけども、いろんな粒子がやってきてそれが時間で変化する状況下なんですよ。しかも温度が変わってきている。それを例えばある一定の温度で評価したときに正しいという根拠を示してもらいたい。我々の知見というのは実機の運転温度での290℃の評価として、我々は知見としてもっている。ところが、温度が変動するような状況下で、ニュートロンの量も変わってくるような知見というのは我々はないんですよ。原子力事業者が60年原発を運転したいと言ったから、我々はみんな、60年間の運転を実機の温度で安全評価するだけの知見というのを蓄えてきた。数十度の照射温度というのは、例えば3号炉で言うと、サポート、圧力容器、原子炉容器を支えているサポート部分というのが温度は低い。しかも、おそらく、ニュートロンの量としては何桁も下がっている。そういうところの、例えば、照射の影響だとかというのは、我々には分からないんですよ。しかも、サポート部分というのは、我々、アンビエント温度、室温に近い状況下ですよ。これが270℃という非常に厳密な温度での照射効果というものの知見というのは我々は持っていないんです。

○四国電力

四国電力の樞尾です。例えばですが、資料の 54 頁にございますが、弊社としまして、今までの知見をいくつか整理させていただいたのがこちらの 54 頁でございます。こちらの総合資源エネルギー調査会等で、燃料健全性に関する文献等がございまして、そちらを簡単に整理させていただいたものでございまして、照射劣化及びクリープ、照射硬化、水素化物再配向、応力腐食割れ、それぞれ閾値がございまして、それに対しての記載がございますので、さきほど申しました基準値にしております。また、その下に原子力学会の標準がございまして、クリープ、化学的影響、こういった知見がございますので、そういったことを燃料被覆管の健全性のところを文献として確認した内容を記載させていただいております。こういった乾式貯蔵に関する知見を活用しながら、その範囲中でこの燃料を使用することで問題ないことを確認してございますので。以上でございます。

○渡邊委員

よろしいですか。

私、長期保管中の燃料健全性っていうのがおそらく重要になると考えているんですね。例えば運転中でも、燃料の被覆管というのは、ある確率でもって、破損する場合というのが発生する。それは確率の問題なんです。今ここで、否定している燃料被覆管の破損の割合というのは一体どのくらいの確率で、発生すると考えているんですか。

○四国電力

例えば、資料の 50 頁に記載していますが、これは閉じ込め評価のときに使っている考えでございますが、例えば表の一番右上ですか、0.1%燃料破損と書いてございますが、これは今までの国内外で破損がどれくらい発生したかというのを調べまして、オーダーとしましてはこれより一桁小さい 0.01%くらいということで、それを切り上げて考えてございます。こういう閉じ込め評価につきましては、先ほど委員のおっしゃった破損の割合というのは、現在の知見からすると、0.01 パーセント程度だと考えてございます。かといって、乾式貯蔵につきまして、こちらの静的など言いますか、建屋内に置きまして、いろいろと飛来物からの防護をしていますし、地震に対しても転倒しないなどの設計としておりますし、また頑丈なキャスクでございまして、破損することは小さいと考えてございます。ですから、通常の場合ですと蓋間圧力の監視とか、先ほど申しましたキャスク表面温度の監視などにより、状況・状態を監視していきたいと考えてございます。

○渡邊委員

粒子線のスペクトルのエネルギー分布を示すというのはそれだけ難しいことなのですか。

○四国電力

粒子線というのは中性子のみということでしょうか。

○渡邊委員

じゃあ、やって来るのは中性子線だけですかという質問でもいいですが。それは違うでしょう。いろんなガンマ線もやって来るし、崩壊のエネルギーというのは均一ではないわけですよ。それが、時間変化でもって、刻一刻とは言いませんけど、変わってくるという状況下にあるわけですよ。それをあなた方が言うように、安全ですよという評価になる道筋をしっかりと示してもらいたい。それをやっぱり皆さんに分かってもらうためには、ある年月のときにどういう粒子線がどれくらいの割合でやって来て、というのを示してもらいたい。そのときの保管中の燃料、キャス

クの温度分布が時間的にどういうふうになっているかということを示してもらえれば、我々が評価というか、分からないこともない。しかしそれは、我々の現在の知見をはるかに超えた情報なんですよ。私は思うんですね。あなた方は安全だと言って、本当にそうですかというのが私の考えです。

○四国電力

委員のおっしゃるとおりでございますが、そういった時系列に関しまして、中性子を含めて粒子線の話ですとか、温度の推移に関しましてのデータは現在持ち合わせてございませんのでお示しできませんが、定性的に言いますと、貯蔵の期間、貯蔵した時間が経つにしたがって、崩壊熱等も下がりますし、線量も下がりますので、ご説明をさせていただいていると思ってございます。定量的なデータはすみません、現在、持ち合わせていませんので。

○渡邊委員

崩壊熱が下がるという、最初の質問、また、同じことを言うのですが、下がったから材料に対しての損傷が少ないということではなくて、同じニュートロン（中性子）がやってくればむしろ増加する場合もあるわけで、そこをきちんと示さないとわからない。照射の脆化は低温ほど同じニュートロンの量だと高いという知見を我々は持っている。以上ですが。

○四国電力

四国電力の古泉です。私の理解は、我々が設計方針としてご説明しているのはキャスクについて使用済燃料の知見なども踏まえてまとめられた、資源エネルギー庁などの知見ですね、こういったものに照らして、我々の設計というのが問題ないものという確認をしながら設計を今後進めていくというものです。それは多分、渡邊委員もご理解いただいているのかなと思っています。ただ、今、ご指摘いただいたのは、もっと分かりやすい説明といえますか、ちょっと今日の資料の作り方で、我々の説明の仕方でもう少し分かりやすさがちょっと足りないといえますか、そういうご指摘ではないかと思いますので、少し今日いただいた点も踏まえまして、説明の仕方を工夫したいと思います。以上です。

○望月部会長

経年的変化が、いろんなたくさんの条件をもって経年的変化ということなので、データとか条件設定としたら非常にたくさんのことがあって、特に経年的なことあるいは追加していく劣化程度というか、そういう知見がまだ十分ではないから、本当に大丈夫なのというのが渡邊先生のご意見かなと思ったのですが、より幅広く知見を集めていただいて、自分たちで実験できるところはそういうのを追加して、教えてもらえるといいかなと思うんですけど。

はい、中村先生。

○中村委員

先ほど、一番最後の質問、レジンの件ですが、今ご説明いただいた 53 頁の参考 2 の中にレジンが入っているんです。ここに確かに基準値が燃料だとか、乾式キャスク構成部材のところちゃんと書いてあるんですけども、温度基準だと思いますが、このレジンは「Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material」なので、中性子線だとか、ガンマ線にさらされた状態で 149℃ということなのかなと思うんですけど、そうしますとさっき 40 頁にレジンは 10^{15}n/cm^2 と書いています。これは、先ほど申し上げたんですけどレジンというのは分解すると思っていま

して、もしもそこでガスとかが出ますと、本来は大気圧より低い圧力にしておくべきところをそうじゃなくなっていくと思ってまして、ここでもしも、知見があつてそうでありませんということであれば、そういった追加の情報をいただければと思いますけれど。

○四国電力

四国電力の樞尾です。それも 53 頁の本文に書いてございます。試験につきましては、閉鎖環境下で、レジンの照射材と未照射材の加熱試験を行ってございます。そういった試験条件としましては、例えば照射量としては先ほど申しました 10^{15} レベルと文献には書いてございまして、その中で、照射した後に加熱した結果を見ますと照射材と未照射材で比べますと、質量減損に有意な差は認められなかったことから、照射の影響はというのはほとんどなくて、支配的なのは、熱的劣化によるものであろうということで、この制限を設定されてございます。渡邊委員もおっしゃいましたけれども、いろいろと部材によって試験とか長期的な課題が違いますし、幅広くデータがございまして、その辺を工夫してご説明できればと思うんですが、なかなか、今回はちょっと整理できませんで、結果しかご説明しかできませんでしたので。レジンのほうは申しましたとおり、中性子とかガンマ線も含めて試験されているということで理解してございます。

○中村委員

分かりました。ただしよく見ますと、これ試験したときのレポートは 34 年前のもので、その後、今回お使いのレジンの成分はこのときと同じなのか、もっと改良されているのか、それによって耐放射線性が上がっているのかとか、そういったところはいかがでしょうか。もし、そういったところが、改良されているのであれば、照射基準値の 10^{15}n/cm^2 だとか、温度基準値に対して、もう少し保守性があるのかなと思うんですけど。

○四国電力

試験条件等の細かい比較については、改めて整理をしてお答えさせていただきたいと思います。

○村松委員

ちょっと違う話ですけども、渡邊委員が議論されたことにも繋がるかもしれないと思います。燃料体の長期健全性について、41 頁のところで、総合資源エネルギー調査会の報告書に基づいて、評価方法を決めて評価しているというお話が書いてあります。それから、31 頁のところでは、キャスクそのものの密閉性について、定期的に監視をしながらやっていくという方法について、説明していただいています。一応これで考慮しなければいけない、決められたことについては、ちゃんとやっているということだとは思いますが、新しい技術を使うときには、やはり、完全に見切っているかどうかというところで、少し不確かさがあるので、実証試験のようなものを行うとか、あるいは、他の国で既に同じものを使っていれば、その調査をするといったことが非常に重要になってくると思うんです。そういうことを、ここでは何が新しかったのかということと、そういう意味での見落としがないかどうかを継続的に確認していくということに対応したことをやっているかということについて、お伺いさせていただきたいと思います。この 41 頁には、「PWR 燃料を対象とした乾式キャスク先行貯蔵試験等の知見や情報について、引き続き収集を行う。」ということが書いてありますが、これがそういうものに対応すると考えて良いでしょうか。あるいは、その他、足りないところがあるかどうかといったことについて、ご説明いただければと思います。

○四国電力

二つございまして、一つは今回の新しいキャスクでございますが、こちらにつきましては、先行施設でも兼用キャスクがいろいろと設計されてございますが、基本的な設計方針につきましては同じでございます。ですから、4つの安全機能の設計方針は、ほぼ同じでございます。BWRとなりますと、燃料タイプが違いますのでそういった面は違うところがございますが、キャスク自体につきましては同じ設計方針で設計してございます。燃料につきましては、先ほどの村松委員からございました海外の事例を示させていただきまして、資料1-1の55頁にございます。こちらにつきましては、55頁の上側に米国アイダホ国立研究所におきまして、乾式キャスクの先行貯蔵を行ってございます。この中で、アメリカのほうでは1985年よりPWRの燃料が乾式貯蔵されてございまして、このカバーガスと言いますのは、実際のキャスクの中のガスを測定しまして、燃料からのリークがないかどうかとかそういった確認がされてございます。ここには書いてございませんが、確か15年貯蔵したところでは、実際に燃料棒一本を抜きまして、詳細観察をしてございます。その結果、特に異常がないことを確認してございます。そういった知見も収集しながら、乾式キャスクの設計を行ってございます。以上でございます。

○望月部会長

村松委員よろしいでしょうか。

○村松委員

そうすると、燃料については大体分かったんですけども、この内蓋と外蓋との間で圧力を測っているという技術については、いろんところで使われて、実証されてきていると考えてよろしいですか。

○四国電力

先行事例としましては、あまり事例はないのですが、先行ではこういう監視をされてございます。

○村松委員

少ないけど、あるところはある。

○四国電力

東海発電所でございます。

○村松委員

はい。分かりました。

○森委員

森でございます。少し細かいんですけども、教えていただきたいのですが、私が質問しているのは、資料がとても良くまとめられていて、専門家でない私でも良く理解できるものですから、私が普段からやっている解析なんかの考え方を転用して、想像で話をすることができるものがあります。質問は、37頁の金属ガスケットというもので、約110℃というものがあります。一方、下の方は断面が書いてあって、断面にはガスケットというのは表れてこないものですから、三次元で解析されているものだと思いますけれども、そういう理解でよろしいでしょうか。

○四国電力

四国電力の樞尾でございます。森委員の質問に回答します。おっしゃるとおり、こちらは二次元の断面図で示してございます。一方、解析の方は三次元で解析してございますので、金属ガasketは一次蓋、二次蓋に付いてございますので、そちらの温度は三次元の解析結果として、こちらの数値として記載させていただいてございます。

○森委員

ありがとうございます。そうすると、31 頁の図を見てみます。31 頁の最も右の絵を見ると、部材の名前が書いてありますから、解析結果の数字を書き込んでいきますと、一次蓋が 150℃、二次蓋 150℃、それから胴が 150℃というふうに、全部 150℃になっていて、それらの二次蓋と胴と一次蓋に挟まれている金属ガasketが 110℃になっているというのはどういうふうに理解すればよいのでしょうか。150℃にならないといけないと、熱的溫度解析からすると、そういうふうに思うので、説明してください。

○四国電力

四国電力の樞尾です。森委員のご質問に対してお答えいたします。先ほど 150℃というのは、胴と一次蓋と二次蓋につきまして一番高い温度を示してございます。最高温度でございます。ですから、委員のおっしゃるとおり各部材の評価温度は別にございまして、胴ですと約 150℃でございしますが、一次蓋は、約 110℃とか、二次蓋では約 100℃程度と低い温度を解析で求めてございまして、あくまでも資料上は、この中で一番高い値の 150℃を記載させていただいております。

○森委員

高い温度ということは、熱源に近いところほど高いということが常識的に考えられますけれども、そうすると内部が高いと。内部が高ければ、一次蓋の内面と胴の内面が最も高い温度になるわけでしょうから、そこが 150℃になってくるということですね。それから、二次蓋にどういうふうに熱が伝わるかという、胴と一次蓋を介してしか伝わりようがありませんから、それが 150℃になっているということは、どう考えてもこの間は全部 150℃でなければいけないのではないのでしょうか。そうでなければ、この解析はおかしいということにならないのでしょうか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。ご質問にお答えします。断面でいきますと、おっしゃるとおり、こちらの 36 頁のとおりこういった断面図になりますので、半径方向に熱が逃げていきますので、胴の内面が 150℃になります。一方、軸方向に見ますと、先ほど燃料集合体の図が 27 頁にございましたが、燃料集合体の上と下に、上部ノズルと下部ノズルという発熱体ではございませんが、構造部材がございまして、その上に一次蓋がございまして、若干ヘリウムの層がございまして、こういったところを解析でモデル化してございますので、そこを評価しますと結果的に 110℃と低くなってございます。

○森委員

今おっしゃっているのは、ヘリウムが詰まっているというのは、27 頁の何となく三次元の絵で説明されたわけですけど、厳密には、31 頁の断面図で同じようなことが説明できますよね。つまり、一次蓋の下面よりも下にヘリウムガスというのは詰まっているのですか。今のおっしゃり

方は、ヘリウムガスが詰まっているから、実際の下の方の熱源からは直接来ずに、ヘリウムガスがあるおかげで一次蓋が低くなっているというご説明だったのではないのでしょうか。でも、一次蓋と胴というのは両方とも金属でありますから、表面よりも内部温度のほうが高くて、内部温度が高いということは150℃であるほうが、より確度が高いので、そうすると、金属ガスケットが150℃にならざるを得ないと思いますが。

○四国電力

ヘリウムの熱伝導は、金属とは違いますので、そういったところはヘリウムの熱伝導の係数とかを用いまして、モデル化して。

○森委員

先に申し訳ないのですが、ヘリウムはだから関係ないのではないのですかというのが私の質問ですので、ヘリウムで答えて欲しくないんですけども。個体としての熱伝導を考えるとヘリウムは関係ないですよというのが私の質問で、胴と一次蓋が両方とも150℃になっていて、そして、その間に挟まれている金属ガスケットが110℃というのはあり得ないのではないのですかということです。今の反論がもしあるとすれば、一次蓋の下面が150℃ではなくて低い温度で、胴の下面が150℃じゃなくて低い温度だというような、表面温度が150℃より低いということであれば、今のような反論も成り立つのでしょうか、そうすると、表面が150℃より低いのに内部が150℃になり得るとするのはどういうメカニズムでなるのかという、これが今度は分からなくなってくるので、もう少し熱の伝わり方からして、ご説明をしていただきたいんですけども。

○四国電力

36頁で申しますと、断面図がございますが、左の図にございまして、燃料棒から発熱した熱がそれぞれ熱伝導してガスケットを伝わりまして、このガスケットは部材がアルミでございしますが、こちらのガスケットを介しまして、胴のほうに伝わっていきます。こちらは、このモデルを用いて解析しましたとおり、150℃でございまして。一方、上の方はどうかというのはモデル図を用意してございませぬので、申し訳ございませぬが、燃料集合体の発熱した燃料というのは一次蓋のほうに、金属によって伝わるというのはありませんで、一次蓋を本体の横で支えているフランジ部に熱が伝わることはあるかもしれませんが、燃料から上に伝わる場所にはヘリウムがありますので、ヘリウムを伝わって熱伝導するというところをお答えしているものでございまして、このモデルはあくまでも断面図、水平方向のモデルでございまして、軸方向のモデルではないということをご説明させていただきたいと思っております。

○森委員

ですから、軸方向のモデルというのは、モデル図はないけれども、軸方向の断面というのは31頁にあるんですけども。

○四国電力

これがずっと繋がっているという意味ではございませぬ。多分、森先生のご理解では、一次蓋がずっと繋がっていて、ガスケットと一次蓋が接しているとかそういうご理解でしょうか。

○森委員

一次蓋というのは 27 頁のソリッド漫画にありますように、これは、ようするに金属の板そのもののなんですよ。そういう理解で良いのでしょうか。炭素鋼と書いてある。

○四国電力

はい。

○森委員

今おっしゃっているのは、炭素鋼と書かれている一次蓋の下面は、ここの 27 頁で言うと、最も上のバスケットと書いているところと、一次蓋の下面との間の空間にヘリウムが満ちているので、そのヘリウムを伝わって一次蓋に熱が伝わるというそういう理解ですか。

○四国電力

すいません。説明が不足してございますが、150℃というのは、補足させていただきますと、あくまでも、胴本体の軸方向の分布で一番高いところを示してございます。ですから、軸方向に当然高いところ、低いところがございますして、高いところでもって 150℃を示してございます。一次蓋に近いところは、中央付近になってございますので。

○森委員

分かりました。つまり、軸方向温度分布の絵がないから、そのことが理解できないということですね。言ってみれば、今のご説明だと、結局閉じ込め機能というのが確保、担保されているのは、一次蓋の中が負圧で、それから金属ガスケットできちんと止められていて、そしてその間の一次蓋と二次蓋の間が正圧でというお話だから、金属ガスケットというのは、負圧だとか正圧を保つための最も重要な部材になってくるのではないかなと思ったので聞いた次第です。

○四国電力

四国電力の樞尾です。ご説明が不十分ございました。三次元解析の結果で、ちゃんと一次蓋、二次蓋を評価してございますので、そういった意味で先ほど申しました胴の 150℃は、軸方向でも分布をもってございます。なので一番高い値でございますので、ご理解いただけましたらと思います。

○森委員

つまり、今のお話ですと、結局、一番外側の胴というのは、下は熱いけれども、上は低いということになりますね。

○四国電力

いえ、一番高いところなので、三次元分布図がないので申し訳ございませんが、キャスクの中心部の付近でございまして、これで言いますと、先ほどの温度分布図のキャスク側の面のところと合っているかと思ってございます。

○森委員

今 37 頁の断面図のことをおっしゃっていますが、私の質問は、37 頁の断面図は、左側の 16.9kW というのも、右側の 18.1kW というのも両方とも外側の胴にあたる場所は、ブルーの色があって、これは 120～140℃の色になっているということです。その 120℃から 140℃の色が鉛直方向でい

くと、どの水平断面なのかは分かりませんが、この 120～140℃という温度があったとすると、これは上の蓋のほうに近付くにつれ、120～140℃あったのが 110℃まで落ちるというそういう理解をすればよいのですか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。おっしゃるとおりでございます。真ん中から上側、下側に行くにしたがって温度が下がっていきますので、そのご理解で間違いございません。

○森委員

そうすると、私自身の理解は、例えばこの 27 頁に書いてある三次元ソリッドの漫画で言うと、使用済燃料というのが、軸方向に対しておおよそ同じ挙動をするので、厳密には三次元なんでしょうですけども、二次元的に断面を切って温度を理解すれば良いのかなと理解しました。そうすると、この蓋のために拡張しているところ、つまりは、使用済燃料の上端部よりも下のところについては、軸方向に対してあまり変化がなくて、使用済燃料の上端部から上方について、急激に温度が低くなっていて、130～140℃あるところが、上のガスケットにあたるところにまで、110℃に落ちていくというそういう分布をしているのですか。

○四国電力

おっしゃるとおりでございます。

○森委員

そしたら、そういう分布をしているのだとしたら、これだけ長いこと説明が必要だから、絵を一枚付けていただけたら、それで済むのではないのでしょうか。私はずっとこのお話を聴いていたから、ガスケットが機能を保つのに重要になってくるから、今の肝心のところはここなので、これについては、こんな結果が出てきて安全ですという非常にシンプルなことだと思うんですけども、その説明が、そういう理解が簡単に得られるような図がないので難しかったのかなと思いました。以上です。

○中村委員

今の話ですけど、PWRは運転していると、制御棒を全部引き抜いた状態で運転していますから、ボロンの濃度で出力を制御していますよね。そうしますと、炉心の出力分布っていうのは、真ん中が一番高く、周辺部にいくにしたがって、水平方向も垂直方向も大体球状になっているのではないのでしょうか。そうしますと、使用済燃料の発熱分布は、その時に出来上がった核分裂生成物の分布の発熱強度に依存しますから、そうすると、今ここで計算されて見せていただいているのは、高さで言うと、真ん中の部分の水平断面のところを見せていただいている。今のお話は水平断面のほうなので、一個図があればいいというのは、垂直断面も一個あって、それで、それがどんな出力分布を、そもそもこれは計算なので、仮定されてやっていると思うんですけども、それがどんなふうになっているかということと、もう一つはヘリウムが中に詰まっていて、中心部分が熱いですから、気体なので対流します。それが対流して、熱伝播すると思うんですけど、どうせヘリウムだから非常に軽い気体なので、あまり熱伝導、熱がそれで伝わるということはないと思うんですが、そういったことの影響もここでもし計算で考慮されているのであれば、ABAQUSは有限要素法の解析コードですよ。これで、対流を入れて計算するとかなり難しい計算になっちゃうので、そこは分けてされているのかもしれないですけど、まず 36 頁のような熱伝

導だけで計算をしていて、それで出力分布が入っている状態で、縦方向の熱伝導の条件から温度分布を見たうえで、それで上蓋付近の温度分布が、三次元でされているとおっしゃったので、それがもしもでているのであれば、横断面と縦断面をみて見れば、一読で全部が分かるんです。

○四国電力

四国電力の樞尾です。おっしゃるとおりでございまして、縦断面図はあります。先ほどのキャスクの縦に半分から輪切りにした図面がございまして、示させていただけたらと思っております。ありがとうございます。軸方向の対流につきまして、そちらのほうは解析では今回は考慮してございません。以上でございます。

○望月部会長

それでは、その縦断面の図を一枚追加していただけたらと思います。

○森委員

別の質問です。私にとって、最後の質問なんですけど、40 頁の上のほうの表です。主なご説明は、使用済燃料が、基準値が $10^{21} \sim 10^{22}$ に対して、解析結果は 1.5×10^{15} ということで、だから 21 乗に対して 15 乗。つまり、6 乗分も低いということで、この中性子の個数が 6 乗分低いんだということで十分安全だというコメントが書いていらしゃいました。一方で、ここでバスケットというものと、中性子遮蔽材（レジン）と書いてあるものは、基準の 10^{15} に対して、解析結果は 10^{14} ということで、オーダーとしては 1 乗。1 乗ということは、逆に言えば安全率という言い方をして良いのかどうか分かりませんが、この比をとってみると、10 を切って、7 とか 8 とか 6 とかそういう数字になってきます。そういう比率ぐらいしかありませんから、使用済燃料が 10 の 6 乗ぐらい違って十分安全だという言い方をされているのに対して、ここでいう 10 の 1 乗も変わらないような状況では、十分に安全だというような言い方は難しいかと思えます。でも、基準よりも下回っているので、安全だというような言い方は設計としてはできると思うんです。それで、質問は、これぐらいの差であって、十分に安全だとか、あるいは保守的な条件でいろいろ設計するから、これでも十分安全だということか、そのオーダーについて、どれぐらい信頼性があるのかこれについて教えていただきたいと思えます。

○四国電力

四国電力樞尾です。40 頁の上の表の数値につきましては、小数点以下 2 桁目の数字は、有効数字 3 桁目の数字がございまして、こちらの数字を丸めて記載させていただいているということでございます。この解析結果につきましては、先ほどお話をさせていただきました遮蔽計算の中で、求めました中性子の照射量というのを 60 年間一定ということでそれが保守的になると考えてございまして、それが 60 年間一定という条件の下で算出した数字でございます。これも実際の 60 年間の推移につきましては、ご質問ございましたが、定量的な数字は今持ち合わせてございませんが、定性的には貯蔵する期間が延びるにしたがって下がっていくものと考えてございますので、そういった面では保守的な設計をしていると考えてございます。以上でございます。

○森委員

では、要するにこの数字は十分信頼できるし、時間が経過するごとにこれは落ちていくので、十分安全だと、そういう理屈ですね。

○四国電力

四国電力樫尾です。はい、おっしゃるとおりでございます。

○望月部会長

ありがとうございます。中村先生どうぞ。

○中村委員

確認ですけれども、この中性子が出てくるという計算は、37 頁だとか、それから 35 頁の評価方法のところに書いております ORIGEN2 を使ってされてるんですよね。それが元々の計算で始めて、そこにこれまでの運転に応じた炉心定数の中に全部入れて、それで中性子がいくつと出している。

○四国電力

四国電力樫尾です。37 頁、評価方法につきましては例えば遮蔽でいきますと。

○中村委員

結局、遮蔽も熱も核分裂生成物から出てくる放射線が元になっているので、ORIGEN2 で評価をされているのは、それは正しいと思いますし、非常に ORIGEN2 は精度が高いので、そういう意味では信頼性があると思うんですが、それを使ってこの今の 40 頁の 10^{14} とか、そのあたりのところをされているのだと思います。運転したときの条件をそこに入れ込んで、その後、15 年の冷却期間を考えたとえで、こういうふうになるだろうということとされているということですか。

○四国電力

四国電力樫尾です。おっしゃるとおりでございます。ORIGEN2 コードを使用して計算してございます。

○中村委員

了解です。

○望月部会長

ありがとうございました。その他に、どうぞ、渡邊先生。

○渡邊委員

仮に、燃料被覆管が破損してある程度のリークが発生した場合の対応というのはどうされているのですか。

○四国電力

四国電力樫尾です。仮の話としましては、先ほど申しましたとおり、燃料の破損というのはなかなか考えにくいことではございますが、もしあったとすれば、それは 3 号機使用済燃料ピットに持っていきまして、適切に燃料を取り出した後、ピットの中で適切に貯蔵するようになると思っています。

○渡邊委員

燃料ピンの破損でリークがあったときには、水の中だったらある程度カメラで見たりだとか実績があるわけですね。そうでないときの対応というのは、どこで破損したかというのは分かりますか。そういう実績はないですね。

○四国電力

監視の方法につきましては、キャスク表面温度を見て、異常に温度が上がっていないかどうかだとか、当然蓋間圧力で評価しますので、蓋間で閉じ込め機能がなくなった場合は、中の状態が変わっていないだとかそういったことを見ながら、監視をしながら状態を見て、異常があればそれに適切に対応するということが、基本的な考え方だと思ってございます。

○渡邊委員

私が言っているのは、燃料被覆管の話をしているわけで、それがどういう試験方法、監視方法ですかというような質問です。キャスクの話ではないんです。

○四国電力

燃料被覆管のことにしまして、例えば、研究で、燃料被覆管に上と下から圧力を加えまして、破断するという試験をしております。そういった試験の結果を見ますと、今回もいろいろと事象を想定していますし、貯蔵時の状態も考えますと、そういった破断は起こらないと考えてございますので、燃料の破断は起こらないと考えてございます。もしリークが起これば、リークと申しますか、蓋間圧力とかそういった異常がありましたら、原因を追究しまして、必要に応じて例えば輸送の状態にしまして、3号使用済燃料ピットに持っていきまして、そちらのほうで適切に対応することを考えてございます。

○渡邊委員

先ほど言われた燃料被覆管の破断の話というのは、これは事故時の話で、いわゆる過去にそういう状況というのがあるわけですが、供用期間中で保管している場合は、どこでリーク、破損するのかというのは、おそらく溶接のところがあるわけで、そういうところの情報というのは我々研究者でも良く分からないわけですね。やはり、そういうことをしっかりみんなに示してもらわないと、我々は分からないわけですね。恐らく溶接線があって燃料を中に封じ込めているんですよ。

○四国電力

申し訳ございません。恐らく燃料集合体の製造段階で溶接というのはきちんと確認されているものと思ってございまして、そこで先生がおっしゃるとおり、燃料リークが発生する可能性があるということでしょうか。

○渡邊委員

そうです。

○四国電力

そういうのはあまり想定してございませんので。

○渡邊委員

想定してないようなことが、60年の供用期間中に発生したときに、どういう対応をするかということが、やっぱり重要だと思うんですね。燃料集合体というのは、作ったメーカの機密は、非常にたくさんあって我々も良く分からないんですね。何故、こういう原子力の状況になっているのか分からないんですけども、会社の何かあるのでしょうか。だから、我々も分からないんですね。そういうところを含めて明らかにしてもらって、本当に安全だということをしっかりやってもらいたいですね。

○四国電力

四国電力の樞尾です。先生のご主旨は理解しましたが、そのために、監視の頻度を設定しまして、適切に監視を進めながら、何か異常があれば適切に対応すると、そういうふうに考えてございますので、異常があればそういったことは実行していきたいと考えてございます。

○望月部会長

渡邊委員がいつも言われているのは、非常に基本的なというか、根本的なところで、科学として本当にそれで大丈夫かというところと知りたいというところと、両方あると思うんですけど、出来る範囲で対応していただければと思います。その他、ございませんでしょうか。中村先生、どうぞ。

○中村委員

今日既にご説明いただいている資料1-2の2頁の一番下で、私が以前、昨年6月に質問しました乾式キャスクの落下によって、内包している燃料の破損が想定される場合の対応ということで、既に説明していらっしゃいますけれども、これは落下と言いますか、倒れたときとか、要するに衝撃が加わったときに、中に全部使用済燃料が入っているときに、この燃料体が破損する可能性があるのではないかという部分がまずあって、それで42頁にそういった状況を図示していただいています、例えば、Cの横倒し時の衝突という部分で言いますと、1.2m/分ということで、速度が多分が一番早いところで、クレーンで吊っているところが落ちて下の地面が何かにがんとぶつかるということを示していると思うんですけど、この衝撃の与え方の範囲で、例えば、トレーラーに積んで運んでいるときにガラッと落下したとか、もっと別のところから落ちたとかそのようなことを全部包含していて、それでこの条件であれば、燃料体は大丈夫なのか、それとも燃料体が破損したと思われる場合は、蓋間のガスを測ってみて、そこに何か出ているかそういったことを確認するのか。そういったその事後の対策としては、どういういったことを具体的に考えられているのか。もっとも燃料が破損しないことが一番良いんですけど、もしも破損した場合を考えた場合にどうするかということはいかがお考えでしょうか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。42頁でございますが、こちらの場合は、文書にも記載しているとおり、こういった作業時の誤操作の事象を抽出しまして、それぞれを評価しました結果、バスケットに塑性変形が生じないこと、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること、燃料の健全性が維持されていることを確認してございます。これは、それぞれ評価がございまして、輸送時の評価の一般試験条件というのがございまして、そちらで求めました燃料に発生する応力がございまして、その応力の範囲内にあるということで、輸送時の設計承認の中で、こういった健全性は確認してございますので、応力がこの範囲内であれば問題ないと考えてございます。輸送時に、例えばキャスクを横倒して発電所内を輸送する場合につきましても、専用車両にしっかりと固縛しまして落

下しないように、転倒しないようにしてございますので、そういった面でキャスクの落下とかそういったことは起こらないと考えてございます。また、事象によって、どういった対応をするかにつきましては、原因がどういうことかにもよりますし、まず原因を究明してそれに応じて適切に対応するのかなと考えてございます。

○中村委員

世の中には予想しないことが起こることがたくさんありまして、茨城県でも、ワゴン車に大型トラックが信号を無視してぶつかったということがありまして、それで、運転されていたお母さんと娘さんが怪我をされてらっしゃることがあるのですが、この 1.2m/分はそういった範囲内で十分な想定になっているかというのは、いかがでしょうか。これは二次蓋の衝突というものも 1.2 m/分になっていますし、このあたりのところの想定の根拠がある程度説明が必要かなと思ったのですが。

○四国電力

四国電力の樞尾です。1.2m/分ですが、事象で言うと、(42 頁の) c. (横倒し時の衝突) と d. (二次蓋の衝突) ということで書いていると思いますが、これは生じる加速度で言いますと c の場合、約 1.1G 程度でございます。d につきましては、1 G 程度と考えてございまして、先ほどの輸送側の設計承認でございますが、こちらで評価しているそういう加速度は約 20~30G ということでございますので、それよりもかなり低いところでございますので、こういった評価としましてもそれぞれの健全性には影響がないと考えてございます。

○中村委員

今おっしゃった 20~30G というのは、今回頂いている資料のどこかに記載されておりますでしょうか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。申し訳ございません。輸送時の件につきましては、こちらの資料には記載しておりませんが、別途そういった評価値も持ち合わせてございます。

○森委員

67 頁にある資料ではないのですか。

○四国電力

四国電力の樞尾です。おっしゃるとおり 67 頁の資料でございますが、数値としては記載しておりませんが、上側の一般試験条件の真ん中の自由落下とか、こういった評価結果でございます。

○中村委員

何となく 67 頁は、漫画チックで、それで今の何とかG というのは中に入らないです。これが、今回の検討において、漫画チックな 67 頁といいますのは、私の個人的な理解で申し訳ないんですが、キャスクそのものはこれで壊れないと思うんです。だけど、中の燃料体はこれではあまり考えていないと思っていたんです。ですけど、今回は、中の燃料体の健全性の話をしておりますので、そういうときに 1.2m/分とか、この 67 頁の場合は 20~30G とか、このような状況になったときに、燃料体はどうなるのかということと関連することがあると思いましたので。もう一つ、関連

しまして、先ほどの資料 1－2 の 2 頁目の下のご回答の中で、もしも使用済燃料に影響が疑われる事象が発生した場合には、3 号機使用済燃料ピットに移送して、点検等の必要な対応を取っているのですが、ここでは具体的にどういう対応をなさるのかということが必要だと思ひまして、例えば、放射性のガスが蓋の間のガスサンプリングから結構出てきていることが分かったときに、どうされるのかとか、そのあたりのところをお考えなのかなというところを教えてください。

○四国電力

四国電力の古泉です。一つ前のご質問についてまず補足からさせていただきますと、42 頁で、想定される状態ということで、1.2m/分というスピードでの衝突と言いますか、荷重について、いろいろとお話がありましたけれども、ここに記載しているとおり、想定するのは、作業員の誤操作が想定される場合です。想定されるものとしては、誤操作があって、クレーンを操作するときにどんと置いてしまったとか、そういうことが想定されますので、こういう状態について評価しました。つまり、1.2m/分というのはクレーンの速度ですということが補足です。資料 1－2 の 2 頁ですけれども、何か異常がありましたら、状態に応じて対応はしますけれども、3 号機の使用済燃料ピットへ移送したほうが良いという場合はそのようにします。ちょっと直接的な資料ではないかもしれませんが、資料 1－1 の 51 頁になりますけれども、キャスクの蓋間圧力に異常が見られた場合というものを 51 頁の右側にフロー図で整理しておりますが、このように蓋間圧力の状態に応じて、乾式貯蔵建屋内でガasket を交換する、これは真っ直ぐ下に下りているものですけど、真ん中のほうに大気圧を下回っているかで、Yes となっていると、3 号機の使用済燃料ピットに移送して、一次蓋のガasket を交換するというので、乾式貯蔵建屋内で対応が難しいと考えられる場合には、3 号機の使用済燃料ピットに持って行って適切な対応を取るということでございます。その具体的ななどという対応を取るのかということについては、現時点でいろいろなことが考えられますので、個別での整備はまだできておりません。以上です。

○望月部会長

渡邊委員。

○渡邊委員

みなさんが言われたのは、20G から 30G の応力が加わった場合に、中に入っているジルカロイ 2 の燃料被覆管にどういふ応力が発生して、それを計算してくださいと言っているんです。それが、前回の部会でも議論しましたけれども、100MPa という基準値を超えていませんかと、その 100MPa うちの 60MPa は、中に入っている燃料の内圧から発生してくるものというのは前回議論してきたわけです。それをきちんと数値で示してくださいという議論をしているんです。

○四国電力

四国電力の古泉です。主旨は理解しています。私が補足したのは、想定される状態での評価というのと、一番後ろのほうに付けております 9m の落下試験というものは、これは少し種類が違いますということを補足しただけです。以上です。

○望月部会長

ありがとうございます。その他、ございませんでしょうか。今日は乾式貯蔵施設について、主に安全性のすごく突っ込んだ議論と、それから村松先生のような全体像の安全性についての両方で議論できたのではないかなと思います。本日の議題はこれで終了なんですけれども、皆様から

他にご意見ございませんでしょうか。全体像でも構いません。ありがとうございます。特にないようですので、本日の部会は終了したいと思います。委員の皆様には、長時間にわたり熱心なご審議ありがとうございました。メディアの方も、傍聴の方もお疲れ様でした。特に無いようですので、それでは今後の流れについて、事務局のほうから説明をいただけますでしょうか。

○事務局

原子力安全対策推進監の大橋です。先ほどもご説明しましたがけれども、当該乾式貯蔵施設に係る国の審査につきましては、最終段階と認識しておりまして、今後、パブリックコメントでの意見を踏まえて、許可の可否が判断される見込みでございます。県では、原子力規制庁に対し、審査結果の説明を求めることとしておりますので、委員の皆様には、国の審査結果もしっかりとご確認していただいた上で、部会意見の取りまとめに向け、さらなるご審議をよろしくお願いいたします。

○望月部会長

どうもありがとうございました。それでは終了したいと思います。お疲れ様でした。