

4月26日技術専門部会の概要(論点ごとの質疑)

安全性について

1 燃料の健全性

(1)燃料の溶融点

委員からの質問	回 答
MOX燃料は、ウラン燃料に比べて融点が低い、燃料の最高温度の解析結果が、燃料の設計基準に比べて200程度余裕があるが、これは解析の不確実性など、いろいろな不確定要素を考慮した余裕か。	制限値の方に実際の物性値に対するよりも計算上の不確かさとかMOX燃料の製造公差などの不確定な要素が、中心温度評価でどの程度効いてくるかというようなことを評価し、その中で220の余裕をとって、厳しめの制限値を設定している。それと評価値を比べて、下回っていることを確認している。 (原子力安全・保安院)
溶融点に関して、高燃焼度では、燃料ペレットの周辺部、外周部にリム領域が形成され、燃料の特性が劣化するのではないか、また、内圧の上昇に悪影響を及ぼすのではないか。その影響についてはどのように検討されたのか。	基本的には、リム領域は、高燃焼度領域で、ヘリウム、FPガスの放出が多くなるのではないかとということであるが、実際にそのデータを確認してみると、思ったほどFPガスの放出量が増えていないというようなこともあり、一部そのコードに反映していたりするが、特段の影響はないとステップ2燃料でも考えている。そのため、MOX燃料についても、同様に取扱っている。 燃料棒設計コードの妥当性は、実験データと比較して確認している。 (原子力安全・保安院)
溶融温度というのは、燃焼度がどの程度の状態について確認されているのか。燃焼度に伴う融点の低下というのを考慮しているといわれておりますけれど、どのように考慮して、どの燃焼度において、燃料中心温度が一番厳しくなっているか。	まず、燃焼度10,000Mwd/tあたり32低下と、実際の溶融点の低下よりも、保守的に下がるという評価をして、制限値を設定している。ステップ2では、一番最初が厳しくなっている。一方でステップ1燃料とか、MOX燃料だと、密度で若干、ステップ2よりも低い、95%理論密度であり、多少、最初に焼きしめる(締む)ため、ごく少し燃えた約1,200Mwd/tという初期が、一番厳しくなっている。 (原子力安全・保安院)

(2)燃料棒の内圧(プルトニウムスポット)

委員からの質問	回 答
プルトニウムスポットについて、所定の仕様のペレットが造れるという技術的な根拠はあるのか。燃料棒を3種類造るということだが、核設計と、熱水力設計で、製造公差を考慮して検討しているとのことだが、その製造公差というのは、どのように決められているのか。その信頼性はどうか。	プルトニウムスポットに関して、古い製法でも実績としては400ミクロンぐらいのスポットに納まっている。実際に考えられるMIMAS法や、SBR法についても、200ミクロンや、100ミクロン程度で製造が可能だという実績がある。それも踏まえて、問題ないという解析結果である。燃料体の検査において、最終的には確認することにしている。 製造公差の件については、MOXについて、過去の実績が多数あるので、それらを参考に、製造公差を決めている。 (原子力安全・保安院)

(3)燃料集合体の健全性(燃料棒の健全性を含む)

委員からの質問	回 答
プルトニウムの濃度を上げることで、プルトニウムスポットも考慮して、中性子のフラックスや、アルファ放出体なので、ヘリウムのフラックス、それに伴い、ヘリウムの拡散、プルトニウムの拡散がその被覆管(ジルカロイ)に対して、どういう影響を与えるのかについて、ウランの時と比べて、定量評価されているのか。燃料棒強度について、実際は照射員	被覆管への照射影響について、MOX燃料になることにより、スペクトルが高速中性子の方が多くなるような状況であり、約1割程度増える可能性があるということを考えている。これまでのウラン燃料についても同様に高速中性子による照射影響というのは考慮しており、そのデータから被覆管への耐力への影響は、小さいというデータを確認している。 アルファ線については、基本的には、アルファ線の飛程がマイクロメートル程度ということもあり、全体的な被覆管の強度への影響は小さいと考えている。また、美浜1号での試験照射からも確認をしている。実際、アルファ線関連で問題になるのは、出てくるアルファ線がヘリウムになって燃料棒内に溜まるということになるので、それで内圧上昇があり、被覆管に応力をかけるということがあがるが、それは内圧評価を行い、問題ないと評価

傷を受けていることを考慮した、また、プルトニウム、ヘリウム等の拡散というものを考慮した、燃料被覆管、いわゆるジルカロイの強度の算定なのか。	している。 (原子力安全・保安院)
プルトニウムスポットの領域で、高速中性子のフラックスは、増加すると思うが、実際に燃料被覆管の内部構造とかを見られているのか。要するに格子欠陥は溜まっていきますので、フラックスの違いはものすごく影響する。それで、従来のウランの評価で本当にいいのか。	基本的には、積算値でも最大でも1割程度と考えているので、フラックスも同程度だと考えている。 今回の申請における燃料の使い方というのは、ウランと変わらないように使うため、具体的には、その燃料の出力履歴というものを確認し、MOXの方が極端に出力を上げるようなことがないということを確認しており、フラックスが高くなるようなことはないと考えている。 (原子力安全・保安院)
審査結果の記載には、「ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料集合体は、輸送中に高温となり強度が低下するが、輸送及び取扱い時の荷重を4Gに制限する」とされているが、実際輸送の時、その荷重を4Gに制限するというのは、実際にはどのように担保されるのか。	実際に輸送や取扱い時どれだけのGがかかるのか評価しており、その中で実際には設備的に4Gを超えることはないという評価があるが、4G制限を明確にしているものである。また、輸送においては、4Gを超えていないことを確認するために輸送容器に荷重計を設け、それにより4Gを超えていないことを、受け入れの時に確認する。 (原子力安全・保安院)

(4)燃料棒設計コードの妥当性

委員からの質問	回 答
計算については、どこでやっているのか。また計算結果のクロスチェックについては、どこで実際に行われているのか。	今回の高燃焼度用のコードについては、ステップ2を採用する際、伊方の平成15年の際の審査において、原子力安全・保安院の中の審査の過程で、現在の原子力安全基盤機構で解析をして、コードの妥当性を確認している。今回は、それにMOXの特性を取り込む微調整なので、クロスチェックまではしていない。 (原子力安全・保安院)
燃料棒設計コードについて、燃料ペレットの一部が移動して被覆管に悪影響を及ぼすリロケーションという影響も、燃料棒設計コードの中に入っているのか。	リロケーションについては、FPACは、より詳細に取り入れている。具体的には燃焼初期にリロケーションを起こし、早めに被覆管に接触するモデルを組んでいる。その代わりに、リロケーション、燃料ペレットが多少くずれて広がることによって、ペレットの固さが弱くなるモデルになっている。一方で、FINEは、明示的には取扱っていないが、どちらにしても、実測値との比較によって妥当性を確認している。 (原子力安全・保安院)

2 設備の健全性

委員からの質問	回 答
圧力容器の内部がステンレスでコーティングされていると聞いているが、ボロンの圧力容器内への腐食、中性子照射も含め応力腐食割れ等に及ぼす効果を定量評価されているのか。	原子炉容器にはステンレス鋼をコーティングしているので、基本的には化学的な耐性があり、今回のMOXについても、原子炉容器のその内面のステンレス鋼への中性子照射量は、照射誘起型応力腐食割れを起こすほどの中性子量の増加にはなっていない。 (原子力安全・保安院)

3 原子炉の制御性

(1)制御棒及びほう素の効きについて

委員からの質問	回 答
プルトニウムの特性から考えると、制御棒とかほう素の効きが悪くなるので、炉心設計上の工夫で、効きを同等にできるということだが、1つ	安全審査の段階では、典型的な炉心を想定して、それに対して基準を満たしていることを確認し、実際の運転中の原子炉については、定期検査で、実際構築する炉心配置というのを定めて、それに対して、その炉心による運転中は、制限値が満たせるというのを確認する。

<p>は、そういう炉心の配置というのは1つの例で、運転中に炉心の配置が変わると思うのですが、その間、どういう風に制限値を満たしていることを確認しているのか。</p> <p>制御棒の効きに関しては、反応度の停止余裕が1つの目安になると思うが、これは運転して燃料が燃焼すると数値が変わるが、燃料の燃焼に伴う反応度変化はどのように検討され、結果はどうだったのか。</p>	<p>(原子力安全・保安院)</p>
<p>ほう素濃度をウラン燃料炉心が3400ppmに対して、4400ppmに上げるとのことだが、例えば、原子炉停止とか起動とかの際、使用済燃料ピットについても、ほう素濃度を高くしているように思われるが、例えば、運転中でもほう素濃度を変化させているという事もあると思うが、ウラン炉心と混合炉心とで、そういう濃度が、どれくらいの差があるのか。</p>	<p>炉心については、運転時はほう素濃度は変わっていない。バーナブルポイズンや、ガドリニアなどの中性子吸収体を入れることにより、ほう素の量は変えずに、運転できるようにしている。1サイクルで出す出力は当然決まっているので、ほう素濃度は変わるものではない。それ以外については、燃料取替用水タンクの濃度を変えているので、それに付随して、蓄圧タンクの濃度や、ピットの濃度も変わってくるが、その辺りは、必要性があるというものではなく、燃料取替用水タンクの濃度を上げたことによるものである。ピットの未臨界性については、純水で解析をして、問題ないことを確認しているものである。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p>

(2)自己制御性について

委員からの質問	回 答
<p>出力が急上昇する場合は、ドブラー効果などのフィードバック効果で、すぐに下がると、むしろそのMOX燃料の方が、自己制御性の作用が強くて、早めに下がるということであるが、逆に出力が下がるような事象の場合は、出力を上げようとする作用が働いて、それが大き過ぎるとかえって危ない方向に行くのではないかという懸念があるが、その辺りはどうか。</p>	<p>動特性については、出力が増えるときの条件だけではなくて、出力が増える場合と下がる場合の解析をしている。また、急激な負荷減少というようなケースを考えて解析をしている。その中でも制御性については問題ないと、基本的にはウラン炉心と比べて大きく変わるものではないということを確認している。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p>

(3)出力分布特性

委員からの質問	回 答
<p>ステップ2燃料とMOX燃料を混在させた炉心は、最大線出力密度が通常の運転中に基準以下に保たれているのは、どう担保されるのか。</p>	<p>最大線出力密度についても、代表的なところで確認をし、具体的な個々の炉心については、定期検査時に最終的には制限値を満足していることを確認する。</p> <p>実際にステップ2とMOXを入れたときに、水平方向のピーキングは、ウラン燃料と大きく変動するようなものではなく、具体的には、炉心の配置は、それぞれの燃料を、炉心全体に散りばめているので、全体的に見ると、ピーキングは抑えられている。ステップ2については、初期の反応度が高いので、ピーキングが立ちやすい傾向もあるが、それについては、ステップ2の安全審査において妥当性を確認しているものであり、その点については、MOX採用についても変わらない。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p>

4 MOX燃料の使用実績

(1) プルトニウム富化度、燃焼度等の実績

委員からの質問	回 答
<p>プルトニウムの富化度について、実際に日本の中のデータを見ると、海外の実績に比べてプルトニウムの富化度の設定の違いというのがあるが、それについては、どうか。</p>	<p>プルトニウム富化度は日本の方が高い。ただ、燃焼度でいうと、大体同じである。実際には、MOX燃料というよりも、ウラン燃料でも同様に違っており、海外に比べて日本の燃焼の方が、ウラン235の濃縮度が高くなっている。これは、炉の運転の仕方が、海外の方は、持っている反応度をなるべく出そうとする運転をしている。そのため、燃焼度がたいぶ上がる。日本の場合は、定期検査が13か月以内ということや、定格出力をずっと出す運転をしているので、燃焼度が上がらない。その観点から、逆に、濃縮度、プルトニウム含有率が、高く設定されるので、物性的に問題があるから海外は低く、日本はそんなことを考えずに上げているというわけではなくて、日本の仕様で問題がないことは、3分の1MOX報告書や、それまでの試験照射で、確認している。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p>
<p>MOX燃料とステップ2燃料を混在させる炉が海外にあるという先行例について、出力、それから燃料集合体の数、MOX燃料やウラン燃料などの燃料体数や、取出回数の実績、燃焼度の許可値と実績、それと、炉心の状況が、MOXとステップ2と両方使う事で、普通のウランだけの燃料を使う場合と違いがあったかどうか。</p> <p>また、実績のあるベルギーやフランスなどで、実際にMOX燃料を使って運転することで、周辺環境の放射線、放射能のレベルに何か違いが出たか。</p>	<p>海外の実績は、具体的にそのベルギーの許可の数字では、ウランの燃料では、伊方と同じ55,000Mwd/tという許可になっています。その同時に燃やすMOXが、伊方よりも多少高めめの50,000Mwd/tというものが許可されている。実績についても、ベルギーにおいてMOXの燃焼度として、49,000まで燃えた実績があり、同じようにウランの燃料でも、54,000まで燃えている。</p> <p>また、実績として、何か周りに問題が無かったかという話でございますけど、被覆管の損傷も含めまして、ウランと特変変わったことは報告はされていない。周辺環境への影響も特設の報告はない。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p> <p>原子力発電所で重要なトラブル等が起こった場合には、国際原子力安全機関に報告するというシステムがあるが、MOX燃料のトラブルについては、特にヨーロッパでの発電所の使用経験などにおいては、今のところ、全く報告されていない。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全委員会事務局)</p>
<p>ステップ2燃料とMOX燃料の併用というのは、国内で初めてであるが、具体的にこれまでのプルサーマルと比べてどう異なっているのか、また、何を重点的に審議したのか。</p>	<p>基本的に安全審査のやり方については、MOX燃料を入れるからといって特別なやり方があるというものではなく、審査に使う指針についても、原子力安全委員会が定めた安全審査指針類、あるいは、3分の1MOX報告書を使ってやるというやり方は変わらない。今回の伊方におけるステップ2燃料とMOX燃料の併用という日本で初めてのケースについては、審査で重点的に行ったポイントは、先行例を参考にした上で、今回の変更によって、どういった違いが出るかということであり、その具体的な内容は、特に燃料の健全性、原子炉の動特性にどういった影響があるのかということところが中心であった。また、特に燃料設計コードなどに新しい知見が取り入れられているかどうか、その辺りを中心にしている。それから、最終的にMOX燃料を入れていく過程では、いろいろな炉心の装荷パターンのバリエーションがあって、そういったものの代表的なものが、きちんと評価されているか。それから、安全評価について、すなわち運転時の異常な過渡変化及び事故の解析においては、ステップ2燃料と、MOX燃料と、それぞれパラメータや条件が違いますが、それらをより厳しい側に包絡するような安全解析の条件やパラメータが設定されているということを重点的に確認している。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全委員会事務局)</p>

5 平常時の被ばく

委員からの質問	回 答
<p>平常時の被ばくについて、MOX新燃料はウラン燃料に比べて表面線量率が大きくなるということだが、実</p>	<p>実際取り扱うときについては、取り扱いの場所で、0.15mSv/hを超えないように、新燃料取扱装置というものを使って安全に取り扱っているようにしている。もとの新燃料の表面線量率でいうと、約1.0mSv/h程度と</p>

<p>際の表面線量率はどの程度になるのか。</p>	<p>なっている。それを新燃料取扱装置で遮へいをすることで、そこまで抑えている。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全・保安院)</p>
---------------------------	--

6 事故時の影響

委員からの質問	回 答
<p>事故時の影響について、安全審査の対象外だとは思いますが、過酷事故が発生した場合、一般の人たちの一部では、プルトニウムが環境に飛散して、大きな被害を及ぼすのではないかと、という意見があると思う。そういった意見に対して、どういった見解をお持ちなのか。</p>	<p>プルトニウムが実際に飛散するかどうかということに関しては、実際にプルトニウムが飛散するような事故というのは、技術的には考えられないだろうということがある。ただし、実際にプルトニウムが格納容器の中に放出されたという条件で評価した例が「プルトニウムめやす線量の適用方法について」という中で検討が行われている。そこでは、プルトニウムが格納容器の中へ希ガスとかよう素と一緒に放出されると仮定して、それが、どのくらい周辺環境に影響を与えるかということで評価が行われている。当時存在した軽水炉に3分の1までMOX燃料を装荷するという前提で対象とする原子炉全てについてひとつひとつ確認していき、いずれの軽水炉においても、よう素の被ばく線量の被ばく線量限度に対する比率よりも、プルトニウムの被ばく線量の被ばく線量限度に対する比率の方が低いということがわかり、よう素だけを見ておけば、ある程度プルトニウムの影響は、予想がつくということで、そういう評価結果が、報告書としてまとめられている。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全委員会事務局)</p>
<p>例えば、アメリカのスリーマイル島事故のような事故が3分の1MOX炉心で起こった場合にどうなるのかということは、スリーマイル島事故のデータ等から考えて、どういうことが起こりそうなのか。</p>	<p>スリーマイル島の事故というのは、炉心の内部において、燃料が溶けて下に落下しているという、被覆管の閉じ込め機能などは一切ないというような状況になったものである。その中で、格納容器の中に希ガスなどいろんなものが放出されたわけであるが、実際に希ガスとかよう素は環境中でも検出されている。ただし、プルトニウムよりもはるかに外に出やすいと考えられるセシウム、ルテニウムなどは検出されていない。MOX燃料という形では使っていなかったが、プルトニウムは必ず運転しているので燃料中に存在している。しかし外では検出されていないことを考えると、スリーマイル島のような事故が起こったとしても、外に出されるようなことは考え難いのではないかと考えている。</p> <p>一般的な話として、放射性物質というのは、物質ごとに、動きやすさに大きな差があります。希ガスというのはガスであるから、隙間があれば自由に出て行ける。それから注目しているよう素は、人体に対しての影響も大きいというのもあるが、よう素自体は高い揮発性がある、それから水に溶けやすい性質もあることから、出ていきやすいものである。一方、プルトニウムというのは、酸化物だと、融点が評価上は2,500と高く固体状態で水にもほとんど溶けない。そこで、動くためには、例えばそれが蒸発するとどうなるかということになると、沸点は3,600とか高い温度である。いくら原子炉の中で、シビアアクシデントを考え、燃料が溶けたとしても、それは液体としてそこに存在し、大量に蒸発して出て行けるような物理的な状態になっているわけではない。原子炉の中に物質があるということと、それが、動きやすくて外に出て行きやすいものかどうかというものは、少し区別して考えなければいけない。</p> <p style="text-align: right;">(原子力安全委員会事務局)</p>

7 使用済MOX燃料の貯蔵

委員からの質問	回 答
<p>MOX燃料の今後の処分の見通しというものが、どうなっているのか。再処理について、東海村の再処理工場であるとか、フランスであるとか、既に実績が積み重ねられていると思いますが、その実績状況と、それら</p>	<p>使用済のMOX燃料の再処理の実績については、フランス、日本でも実績があり、実際、把握している範囲で、フランスで約22トン程度過去に実績があり、日本でも24トン程度実績がある。その意味で、技術的には再処理をすることが可能であると理解している。原子力政策大綱でも、この使用済みのMOX燃料についての検討方法についてまとめており、青森県の六ヶ所村の再処理工場の運転の実績なども十分に勘案した上で、201</p>

<p>について、技術的には確立されているか</p>	<p>0年頃から、処理の方策について検討を行っていくという予定である。 (経済産業省)</p>
<p>もし、プルサーマルをやらなければ政策上どうなるのか。</p>	<p>既に海外に再処理委託しており、プルトニウムを回収しているという状況である。国内においても、現在、六ヶ所村で再処理工場の、最終的なアクティブ試験を行っているという状況である。仮に再処理だけが進み、プルサーマルが行われないことになると、プルトニウムが貯まり続けることとなる。国際的には、平和利用以外の目的に使われるという疑念が生じる可能性があるため、我が国としては、原子力委員会のほうでも、利用目的のないプルトニウムは所有していかないということで、きちんとした利用計画を内外ともに発表しながら、そういった疑念が生じないように、きちんと進めていくということにしている。 (経済産業省)</p>

8 地震への対応

委員からの質問	回 答
<p>原子力発電所の耐震設計について、見直しを進めているが、具体的には直下地震でマグニチュード6.5を考慮して耐震設計するものを、より厳しい条件に、つまり想定される最大規模の地震を考えなさいという風に変えられると伺っておりますが、伊方では、このように国の方針に変更があったとして、実際にマグニチュード6.5直下型より大きな地震があり得るのかということと、もし、それが、あるのだとすれば、今の耐震設計で、より大きな地震に耐えられるようになっているのか。</p>	<p>マグニチュード6.5、ガルで言うと、350、370ガルぐらいであるが、伊方の場合は、473ガルが最大ということで、中央構造線の動きをベースに473ガルで耐震安全性を確認しており、その範囲内は十分耐震安全性は確認している。 (四国電力)</p>
<p>耐震設計については、前面海域の活断層や中央構造線の影響も考慮しているということだが、そのような新しい知見を反映して設計震度を決めたとということなのか。</p>	<p>設計震度は、設置許可申請のときをベースにしているが、その後、新しい調査結果が出たことに対しては、その都度耐震性が大丈夫かというのを見直してチェックをして、安全上問題ないことを確認している。具体的には、S1地震については、申請書上では221ガルであるが、平成9年に、S1、350ガルということで、見直し、チェックをしている。平成15年には地震調査研究推進本部で中央構造線が四国から紀伊半島まで360kmぐらい動く可能性も否定できないという話があったので、それに対しても評価をしておいて、今の設計のベースに入っているかどうか、耐震上問題がないかということも、その都度、予防保全的に、自主的に評価をして、問題ないことを確認してきている。 (四国電力)</p>
<p>志賀2号機の運転差し止め判決に関して、判決内容では、邑知瀧断層の影響を考えてないということ、それは志賀2号固有の指摘以外に、S2の評価対象としているマグニチュード6.5は小さいということと、原発敷地内の地震動を想定する手法である大崎の手法は、実際の観測結果と整合性がない、妥当性がないという指摘があったが、そういう耐震設計審査指針そのものに対する問題点が指摘されているが、そのあたりをどのように考えているか。</p>	<p>原子力安全委員会においては、耐震設計については、実際には指針ができてから随分時間が経っているため、平成13年から耐震設計審査指針を見直してきている。ほぼ終盤に近づきつつあり、それができた段階においては、直下の地震の考え方とか、そういった最大の地震力の考え方なども、設計の仕方が見直されているため、志賀判決で言われた点については、ほぼ解消されるのではないかと期待している。 (原子力安全委員会事務局)</p>
<p>耐震安全性については、耐震設計上</p>	<p>使用済燃料の貯蔵に関して何が重要かということ、未臨界性になるので、水</p>

<p>は重要度分類でAsとかA、B、Cとかに分類されていて、例えば、使用済燃料ピットはAsで、その使用済燃料ピットの冷却設備はBクラスとなっている。もし、Asクラスの地震が来た場合に、Bクラスの冷却設備は壊れ冷却機能がなくなる恐れがある。MOX燃料は しばらくたつと、ウラン燃料に比べて、発熱が大きくなるということだが、仮にそういう地震が来たとしても、その使用済燃料の健全性については、特に問題は起こらないのか。</p>	<p>が貯まっていれば基本的には問題ない。もしそれが長時間になると、温度が高くなりすぎて水が蒸発するということになるので、その点では、補給水系を用意して、蒸発した分の水を追加することで、未臨界性を担保している。その点で、冷却系についてはBクラスとなっている。 (原子力安全・保安院)</p>
--	---

9 安全審査の判断基準等について

委員からの質問	回 答
<p>ステップ2燃料とMOX燃料という特性が違う燃料を混在する炉心の解析、特に核計算などの解析は予測精度が悪くなると思うが、例えば核的ピーキングや、制御棒の反応度価値などの予測精度とか、計算結果の妥当性については、どのように確認されたのか。</p>	<p>制限値等を決めるときに、その精度というものは、十分認識をして、それを考えても大丈夫なように設定されている。実際にそのMOX燃料を入れた体系を考え、実験をしたり、実際の炉心での実績を見たりということによって評価をしてウラン炉心と変わらないことを確認している。 (原子力安全・保安院)</p>