

別 添

島根原子力発電所2号機における ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の使用について

検討にあたって

原子力発電については、国において、設計から建設、運転管理に至るまで一元的に規制、監督されており、特に原子炉設置変更許可申請については、経済産業省原子力安全・保安院で審査後、内閣府原子力委員会、原子力安全委員会でも審査を行う、いわゆるダブルチェック体制がとられている。

県としては、「島根原子力発電所周辺地域住民の安全確保等に関する協定」に基づき、国にさきがけ、安全性の検討を行った。

検討項目は、「プルトニウム混合燃料に関する懇談会」（以下「懇談会」という。）での議論、島根県原子力発電所周辺環境安全対策協議会顧問（以下「顧問」という。）の意見などを踏まえ、県として、安全性、必要性に関する主要な論点を整理し、検討すべき項目を下表のとおり抽出した。

検討にあたっては、懇談会からの「安全協定の事前了解については、可とすべき。」との報告、顧問の意見、原子力委員会の「原子力政策大綱」、原子力安全委員会の指針類、原子力安全・保安院の審査方針、他電力での安全審査結果、文献、フランス等の実情調査結果などを踏まえ、中国電力から事前了解願いがあった平成17年9月以降、慎重に検討を行った。

〔検討項目〕

	大 項 目	小 項 目
安 全 性	1. 原子炉の制御性	(1)原子炉内の出力分布の特性 (2)制御棒の効き (3)自己制御性（反応度係数） (4)一般公衆への線量評価
	2. MOX燃料の健全性	(1)MOX燃料の融点や熱伝導率 (2)燃料棒の内圧上昇 (3)プルトニウムスポット (4)海外製造のMOX燃料の品質
	3. MOX燃料の使用実績	
	4. 事故時の影響	
	5. MOX燃料の輸送及び取扱い	(1)MOX燃料の輸送 (2)MOX燃料の発電所内での取扱い
	6. 使用済MOX燃料の貯蔵	(1)使用済MOX燃料貯蔵 (2)使用済MOX燃料の処理方策
	7. 耐震安全性	
	8. テロ対策	
	9. 中国電力の安全管理体制	
	10. プルサーマルの必要性	

I 安全性について

1. 懇談会の検討結果

- ① ウラン燃料を用いた発電でも、約30%がプルトニウムの核分裂によるものであること。
- ② プルサーマルは、海外では30年以上にわたる実績があること。
- ③ MOX燃料*¹を原子炉の3分の1以下で用いるのであれば、制御棒の制御能力などの原子炉の運転への影響については、これを適切に炉心管理に反映させることによって、現在のウラン燃料と同等の安全性を確保できること。
- ④ MOX燃料の健全性については、プルトニウムの特性を考慮して燃料設計することにより、従来のウラン燃料と同等であること。
- ⑤ 国において、厳格な安全審査が実施されること。
- ⑥ 中国電力の技術的能力、研修体制等については、一定の評価ができること。

以上のことを踏まえると、プルサーマルの安全性については、設計面での配慮、厳格な審査、厳密な運転管理によって、ウラン燃料を使用する従来の原子力発電とほぼ同等の安全性は確保できると思われる。

また、MOX燃料及び使用済MOX燃料の取扱いについては、安全な輸送や貯蔵、作業員の被ばく低減対策など、安全側への配慮がなされるものと理解できる。

*1：MOX燃料：ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料

2. 顧問のコメント

- これまでと変わったことがあるかどうかということが問題であり、特段変わったことではなく、安全審査の枠内の問題である。トータルとしてウラン燃料と変わることはない。
- プルサーマルの安全性は確保できるとの懇談会の結論は妥当である。
- MOX燃料はウラン燃料同様、安全に利用することができる。
- MOX燃料の採用は、安全上特に問題はない。
- 従来のウラン炉心でもプルトニウムは燃えており、プルサーマルは最初からプルトニウムが入っているだけである。
- プルトニウムの特性は、十分把握されており、それを考慮した燃料設計がなされている。
- MOX燃料を装荷する際には、各指針類に基づいた安全審査（ダブルチェック）が行われ、安全が確認される。
- 「出力の偏り」でも、難しい炉心管理をしなくても燃料破損するようなことはない。元々大した偏りではないはず。
- MOX燃料の利用は、従来のウラン燃料と同等の安全性確保ができる。
- 各検討項目について、科学的には全て想定・解決済みの問題と考える。
- 発電開始後にはMOX状態になり、安全操業しているのだから問題はない。
- 設計で配慮する部分は想定範囲でのことで、それを守ってやればよい。
- MOX燃料の特性はあるが、それによる問題は生じておらず支障ない。
- MOX燃料に関する技術は、国際的にも認められているものである。（2003年のIAEAの報告書にも記載）

- 個別にコメントすることは出来ないが、現在のウラン燃料と特別に違う部分がないのであれば、問題はないと考える。
- 検討項目は妥当と考える。

3. 県の考え

上記の1、2及び検討項目毎の検討結果を踏まえて、県としては次によりウラン燃料を使用する従来の原子力発電と同等の安全性は確保されるものと判断した。なお、安全性の各項目については、Ⅲで詳述する。

- MOX燃料を原子炉の3分の1以下で用いる計画であり、現在のウラン燃料と同等の安全性を確保できること。
- MOX燃料の健全性については、プルトニウムの特性を考慮して燃料設計することにより、従来のウラン燃料と同等であること。
- MOX燃料は、海外では40年以上にわたる使用実績があること。
- 事故時における周辺環境への影響は、ウラン燃料と同等であること。
- MOX燃料の輸送時及び発電所での取扱い時においては、安全性は確保できること。ただし、MOX燃料はウラン燃料と比べて放射線量が高いことから、中国電力は作業員被ばく対策を確実に実施する必要がある。
- 使用済MOX燃料の取扱いや発電所内での貯蔵は、安全に行えること。
- 島根2号機の耐震安全性は、確保されていると考えられること。なお、耐震設計審査指針が改定された際には、島根原子力発電所の耐震安全性について確認する必要がある。
- 原子力発電所へのテロ攻撃については、国、関係自治体、事業者が一体となった対策が進められていること。
また、県としては、「島根県国民保護計画」を策定し、万が一の事態に対しても対処できるよう体制整備に努めている。
- 中国電力の安全管理体制については、適切なものと考えられること。

なお、島根原子力発電所2号機での最終的な安全性については、国の安全審査において、MOX燃料及びその装荷炉心の特性を考慮して、専門的審査体制の下で具体的に評価されることから、国の安全審査結果を確認する必要がある。

Ⅱ 必要性について

1. 懇談会の検討結果

- ① 今後のエネルギー必要量予測、新エネルギーの伸び予測を見ると、必要エネルギーの安定供給のために、原子力発電を抜きには考えにくいと思われる。
発電に伴って二酸化炭素の排出が少ない原子力発電が地球温暖化防止対策の柱の一つとなっていることの意味も大きい。
- ② 我が国のエネルギー自給率は、主要先進国の中でも最も低い僅か4%と言われている中で、使用済燃料の再利用は、エネルギー資源の有効活用という視点から、取り組むべき課題である。ウラン資源も有限であり、ウラン、プルトニウムを再利用して安定したエネルギーの確保のため、プルサーマルの必要性を認める。

- ③ 利用目的のない余剰なプルトニウムを持たないという我が国の国際公約を果たし、平和利用の透明性を確保するために、プルサーマルの実施は有効である。
- ④ 使用済燃料を再処理して、高レベル放射性廃棄物と再利用できる資源とに分離することは、高レベル放射性廃棄物の量と放射能の強さが減少し、直接処分する場合と比べて有利である。

2. 顧問のコメント

- ウラン資源有効利用、余剰プルトニウムを持たない国際公約の実行、高レベル放射性廃棄物量低減のためプルサーマル計画は必要と考える。
- 資源のない国が生き残るには、如何に有効利用するかが大切なこと。再生可能エネルギーも必要だが、時間変動のない安定した電力供給が必要であり、その面で原子力が有効である。日本は今後も「ものづくり」を基本とする産業が主体でありエネルギーの安定供給が出来ることが必要である。今日の快適な生活の維持には、原子力の利用は不可欠である。1/3を占める原子力をゼロにすることは不可能であり、安定・安価な電力供給が大切である。
- 平和利用は大切なことであり、推進すべきである。

3. 県の考え

長期的エネルギーの安定供給の確保、地球温暖化対策への貢献、余剰プルトニウムを持たないという国際公約の実行、高レベル放射性廃棄物量の低減にも寄与するなどの観点から、プルサーマルを実施するとする国及び中国電力の考え方は、合理性があり理解できるものである。

Ⅲ. 各検討項目の検討結果

1. 原子炉の制御性

(1) 原子炉内の出力分布の特性

▼検討内容

○MOX燃料では熱中性子による核分裂が起こりやすく、炉内出力分布に偏りが生じ、燃料が破損しやすくなるなど危険性が増加するとの意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

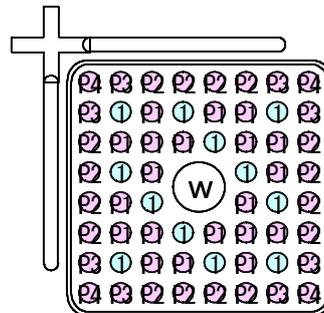
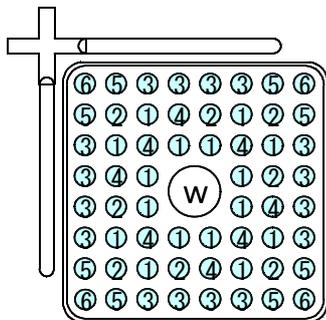
- 従来のウラン燃料集合体においても、異なる濃縮度をもった燃料棒の配置を工夫することにより、発熱の分布の平坦化を図っている。
- ・同様に、島根2号機で今回採用予定のMOX燃料についても、異なるプルトニウム含有率をもった燃料棒の配置を工夫することにより、燃料集合体内の発熱分布を平坦化し、極端に高い出力が発生する場所が生じないようにしている。
- 従来のウラン燃料のみの炉心*1においても、設計の異なる燃料が混在しており、また、燃焼期間の異なる燃料が混在していることから、これらの燃料を安全かつ効率的に燃焼させるよう、原子炉内での燃料集合体の配置を工夫している。
- ・MOX燃料もウラン燃料と比べて特性が大きく異なるわけではなく、島根2号機でMOX燃料集合体の配置に当たっては、ウラン燃料のみの炉心と比較して、特別に複雑な配慮を要するものではない。

*1 炉心：原子炉の燃料が装荷された部分。

燃料集合体内の燃料棒配置（島根2号機的设计例）

（ウラン燃料集合体の場合）

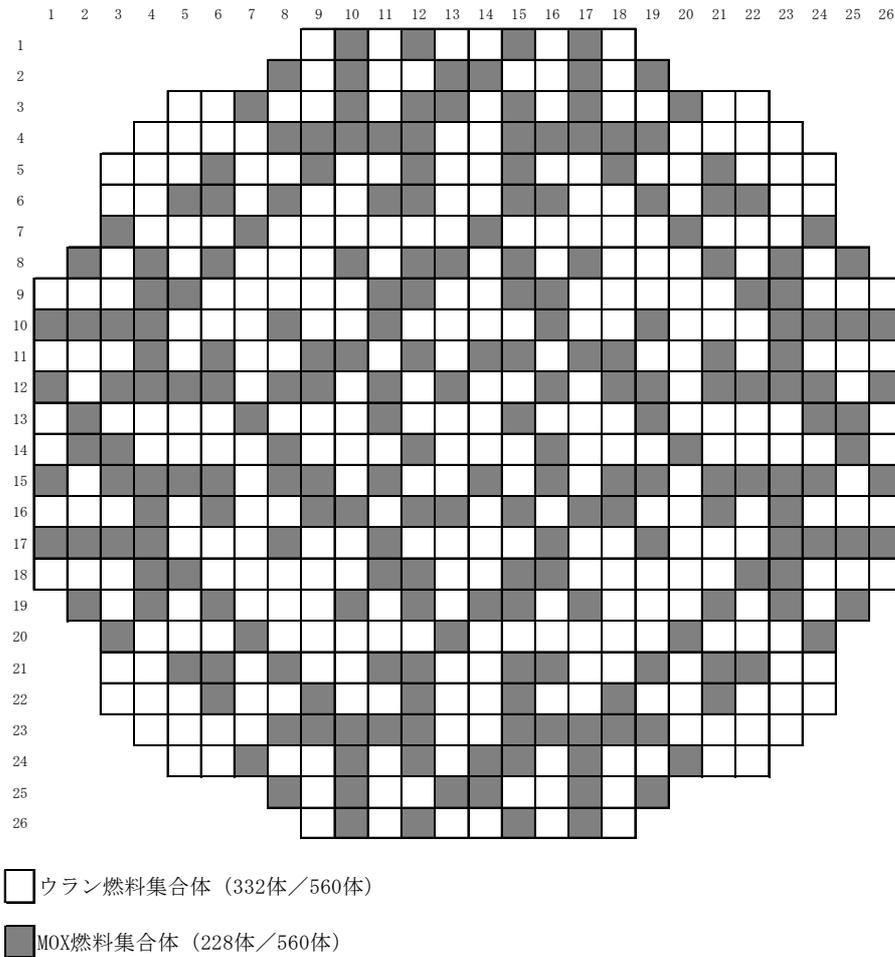
（MOX燃料集合体の場合）



- ①：最高濃縮度燃料棒
- ⑥：最低濃縮度燃料棒
- ①～⑥：この順で濃縮度が小さくなることを示す
- Ⓜ：ウォータロッド（1本）

- ①：ウラン燃料棒
- P1：最高Pu含有率MOX燃料棒
- P1～P4：この順でPu含有率が小さくなることを示す
- Ⓜ：ウォータロッド（1本）

図 MOX燃料集合体の炉内配置（島根2号機的设计例）



（出典：「第6回プルトニウム混合燃料に関する懇談会」資料1-3 以下、同様）

【文献】

○原子炉の中では、装荷された燃料の燃焼の進み度合により核分裂する物質の量（燃料の核分裂のしやすさ）が異なり、また原子炉内の場所によって中性子の数が異なるため、核分裂のしやすさ及び中性子の数が一様にはならず、炉内で発生する出力（核分裂のしやすさと中性子の数に比例している）には分布（出力分布のむら）が生じている。プルトニウムとウランでは中性子を吸収し核分裂を起こす性質が異なり、プルトニウムの方がウランに比べ中性子をより吸収しやすく、またこれによる核分裂もより起こしやすいため、原子炉内の核分裂のしやすさ及び中性子の数の分布のむらが大きくなり、MOX燃料を装荷した原子炉では出力分布のむらも大きくなる傾向がある。

- ・こうした出力分布のむらは、①燃料集合体内に配列された燃料棒間での出力むらと、②炉内にある燃料集合体同士の出力むらに分けられる。
- ・①は出力が高くなりやすい燃料棒に対してはプルトニウムの添加量を減らす、②には出力が高くなる燃料集合体を炉心内にかためて配置しない、などの工夫によりウラン燃料と同程度のむらにできることが確認されている。

○原子炉の内部では核分裂を起こす熱中性子の量が場所毎に違っている。燃料集合体の間など冷却水の多い部分には熱中性子の量が多くなり、その近くの燃料

ペレットはたくさんの核分裂をすることになる。

- ・また、核分裂の数は核分裂性物質（ウラン燃料ではウラン235、MOX燃料ではプルトニウム239及びプルトニウム241）の量に比例する。MOX燃料に含まれる核分裂性のプルトニウム（プルトニウム239及びプルトニウム241）はウラン燃料に含まれる核分裂性のウラン（ウラン235）に比べて、同じ中性子の量でも核分裂は起こりやすいが、核分裂する数は核分裂性物質の量にもよる。そのため、MOX燃料集合体は、組み込まれる燃料棒の中の核分裂性プルトニウムの濃度を位置により適切に調整して、ウラン燃料と調和して核分裂が起こるようにしている。
- ・さらに、原子炉の中の燃料集合体の位置も、原子炉全体としてウラン燃料の場合と同程度のむらに抑えて核分裂が起こるように調整をして運転をする。

（出典：注1）

（注1）（社）日本原子力学会 社会・環境部会 プルトニウムコアグループ作成資料
「プルスーマルの分かりやすい説明と問答集」から要旨を抜粋

〔原子力安全委員会〕

- 原子力安全委員会の原子炉安全基準専門部会（現原子力安全基準・指針専門部会）では、平成6年2月に「MOX燃料検討小委員会」を設置し、同年3月より翌年3月まで約1年間にわたって検討を行い、「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について」（平成7年6月19日原子力安全委員会了承。以下、「1/3MOX報告書」という。）にまとめた。
- ・MOX燃料の特性はウラン燃料と大きな差はなく、MOX燃料の割合が炉心全体の約1/3程度までの範囲内ならば、現在の安全設計・評価手法を使うことができる。
- ウラン燃料や減速材に隣接したMOX燃料は、熱中性子が多く存在する影響により、核分裂反応が増加する傾向がある。その結果、原子炉内の出力分布が不均一な状態になる可能性がある。
- ・このため、設計に応じて燃料集合体内の個々の燃料棒のプルトニウム含有率に幅を持たせたり、原子炉内の燃料集合体配置を工夫したりすることにより、出力分布の平坦化を図ることが必要である。
- ・「1/3MOX報告書」によれば、解析手法、臨界実験装置での実験と評価結果及び商用軽水炉での照射実績との比較評価等から見て、従来の設計手法をMOX燃料装荷炉心の設計評価に適用することは妥当であり、ウラン燃料炉心と同等の出力分布を有する炉心設計は可能である。

（出典：注2）

（注2）：平成13年版原子力安全白書

〔原子力安全・保安院〕

- MOX燃料集合体は、できるだけ燃料棒の出力が平坦になるように燃料棒の配置が工夫されている。
- ・安全審査では、想定される出力差を前提に評価を行い、燃料が安全であることを確認する。

（出典：注3）

（注3）：第4回プルトニウム懇談会資料No. 2

◆顧問のコメント

- 燃料集合体の各燃料棒の出力はウラン燃料棒とMOX燃料棒を適切に配置することで、平坦化することができ、設計で対応できる。なお、*1反応度の燃焼に伴う変化はMOX燃料棒の方がウラン燃料棒より小さく、これは出力分布を平坦に設計しやすい方向である。
- 指摘の事項はプルサーマルの安全性上の問題であるが、原子力安全・保安院、原子力安全委員会において既にMOX燃料の炉心設計・燃料設計において一般的に留意すべき事項として検討済みのものであり、中国電力においても島根2号機のプルサーマル化に備えて設計検討が詳細に行われている。
なお、中国電力がプルサーマル実施のため国に島根2号機の設置許可変更を申請する際には、原子力安全・保安院および原子力安全委員会において、基本的な設計事項の妥当性、安全性を厳正に審査され、また、実際に運転開始前にも原子力安全・保安院により工事認可の審査が行われる。従って、本問題点の指摘には、充分対応して安全性が確保される。
- 中国電力の説明及び原子力安全委員会の見解(1/3 MOX報告書)から、技術的な工夫によって原子炉の制御性は担保されると考えられる。

*1 反応度：原子炉で核分裂反応の起こりやすさを示す指標（正は中性子が増加し出力上昇、負は中性子が減少し出力低下。軽水炉は負になるよう設計されている。）

●県の考え

MOX燃料は、核分裂反応が増加する傾向があり、原子炉内の出力分布が不均一な状態になる可能性があるが、このことは原子力安全委員会などで既に検討されており、MOX燃料を適正に配置することで対応できるとされている。また、実際の炉心設計、燃料設計は、原子力安全委員会などが行う安全審査で安全が確認される。従って、ウラン燃料と同等の炉心設計が可能であり、安全性は確保できると考えられる。

-
- ①ウラン燃料や減速材に隣接したMOX燃料は、核分裂反応が増加する傾向があり、原子炉内の出力分布が不均一な状態になる可能性がある。
 - ②「1/3 MOX報告書」では、従来の設計手法をMOX燃料装荷炉心の設計評価に適用することは妥当であり、ウラン燃料炉心と同等の出力分布を有する炉心設計は可能であることが示されている。
 - ③中国電力の計画では、プルトニウム含有率の低い燃料棒を燃料集合体の周辺部に配置するなど、燃料集合体内の燃料棒配置を工夫し、発熱分布が平坦になるよう燃料設計を行うこととしている。
 - ④また、炉心内の燃料集合体の配置についても、MOX燃料集合体を適切に配置することにより出力分布の平坦化を図ることとしている。
 - ⑤国の安全審査では、想定される出力分布を前提に評価し、燃料が安全であるかどうかを確認される。
 - ⑥以上のことから、MOX燃料を採用しても、ウラン燃料と同等の安全性は確保できると考えられる。

(2) 制御棒の効き

▼検討内容

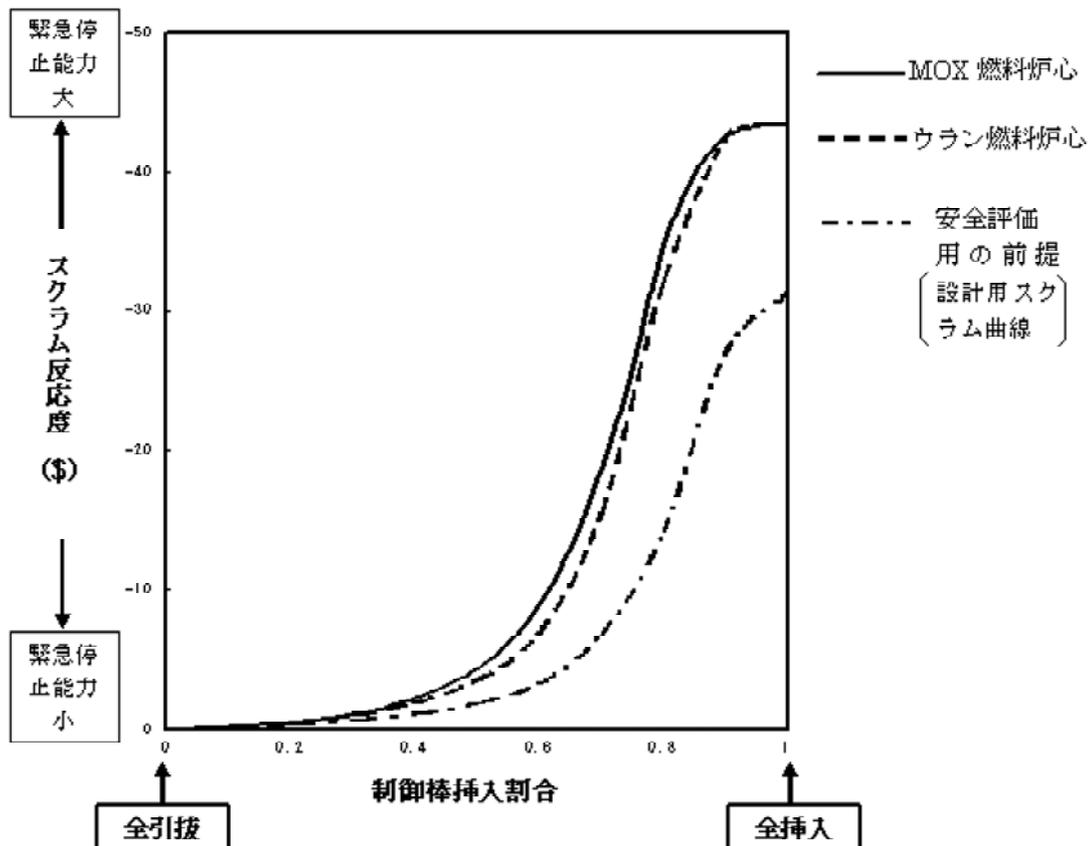
○プルトニウムはウランより中性子を吸収しやすいため、制御棒の効きが低下し、安全余裕が削られるとの意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

○プルトニウムはウランに比べ中性子を吸収しやすい性質を持っていることから、燃料中のプルトニウムの割合が増えると、相対的に制御棒に吸収される中性子の数が減少し、制御棒の効きが低下すると言われているが、島根2号機において評価した結果、MOX燃料を装荷した炉心とウラン燃料のみを装荷した炉心とでその差は小さく、いずれの炉心でも、通常運転中はもちろんのこと、万一の事故時においても十分な余裕をもって原子炉を停止させることができることを確認している。

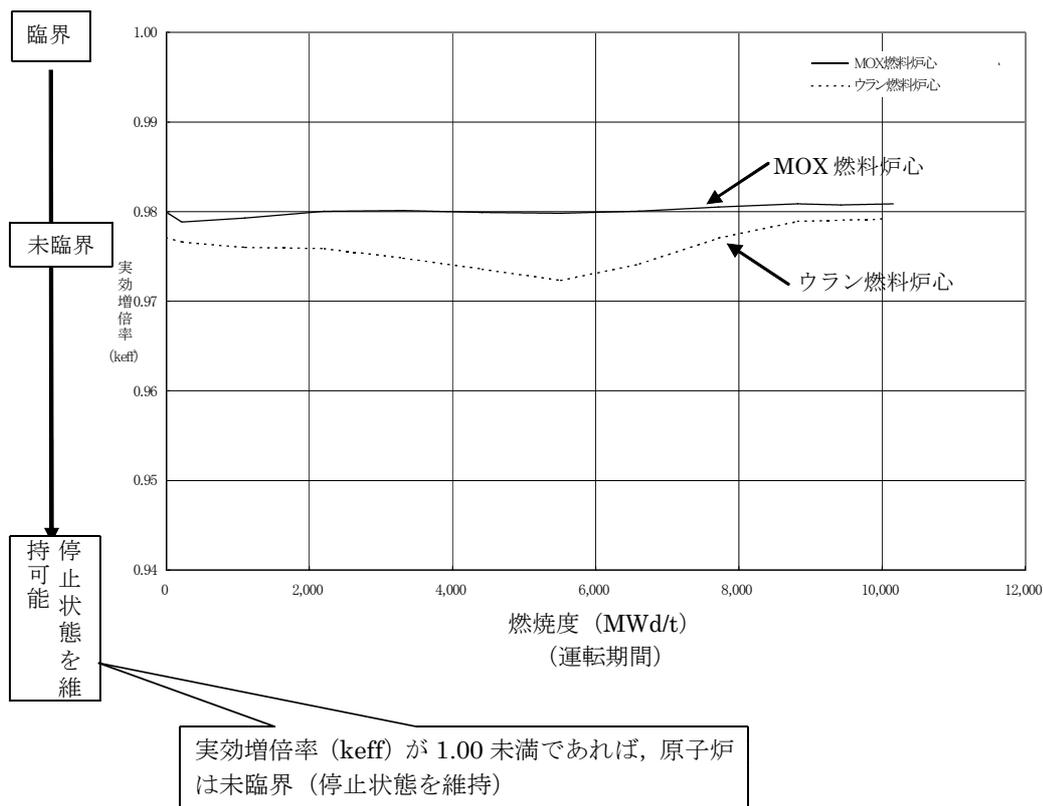
原子炉スクラムの機能（島根2号機の解析例）



・スクラム反応度

緊急時に原子炉を停止する能力を表し、このスクラム反応度が大きい方が停止能力が高いことを意味する。

原子炉の停止状態を維持する機能（島根2号機の解析例）



・実効増倍率 (keff)

原子炉では、ウラン、プルトニウムの核分裂性物質が中性子を吸収して核分裂反応を起こすと同時に、新たに中性子が発生する。

原子炉内における中性子の増加の割合を実効増倍率という。

実効増倍率 = 1.00 : 臨界 (中性子の数は時間によらず一定)

< 1.00 : 未臨界 (中性子の数は時間により減少)

> 1.00 : 超臨界 (中性子の数は時間により増加)

〔文献〕

- MOX燃料はウラン燃料よりも熱中性子を吸収しやすいため、MOX燃料の近くではMOX燃料棒に吸収される中性子が多く、制御棒に吸収される中性子が少なくなり制御棒の効きが悪くなる傾向にある。しかし、制御棒の熱中性子吸収能力自体がもともと十分に大きいため、ウラン燃料とMOX燃料の吸収能力の違いは制御棒の効きに大きな影響を与えない。
- ・制御棒の効き具合については、燃料集合体中の燃料棒のプルトニウム濃度の調整、原子炉内の燃料集合体の配置を調整して、十分に原子炉を制御できるように設計を行って運転する。
- ・これらの調整（核設計、炉心設計）は信頼性のあるコンピューター解析プログラムによって解析を行い、十分な余裕があることを事前に確認するとともに、その結果は国の厳格な審査を受けて許可を受けてから原子炉の運転を開始する。
- ・以上のように、MOX燃料が炉心に入った場合でも、安全に原子炉を停止するよう適切な工夫をすることができる。

(出典：注1)

〔原子力安全委員会〕

- 制御棒に求められる働きは主に、①停止した炉心を未臨界に維持する能力、②原子炉の異常時に速やかに炉心を停止させる能力、の2つである。
- ・ウラン燃料に比べてMOX燃料の場合、①については、反応度停止余裕が若干小さくなるものの大きな変化ではない。また、②については、制御棒の効きだけをみれば、停止能力が低下することになるが、プルトニウムの別の性質（遅発中性子割合がウランよりも小さいこと）から、中性子の減少が早くなるため、両方の効果が相殺して、異常時の炉心停止能力については、ウラン燃料とMOX燃料ではほとんど変わらないことになる。

（出典：原子力安全 意見・質問箱 2001年7月12日）

〔原子力安全・保安院〕

- 原子力安全委員会が定めた各種指針等を適用して安全審査を実施する。余裕をもって原子炉が停止できるかどうかを確認する。
- 実際にMOX燃料が装荷された炉心において確実に原子炉が停止できることを使用前検査で確認する。

（出典：注3）

◆顧問のコメント

- MOX燃料の炉心は自転停止（スクラム）反応度投入の効果が早くあらわれるので、緊急停止能力はウラン燃料の炉心より高くなる。
原子炉の停止時の未臨界度はMOX燃料炉心がウラン燃料炉心より若干少なくなるが、停止に必要なマージンに比べてその差は小さい。
- 制御棒の熱中性子吸収能力自体がもともと十分に大きいから、ウラン燃料とMOX燃料の吸収能力の違いは、制御棒の効きに大きな影響を与えない。
- 中国電力からの提出資料は、原子力安全委員会の見解を裏付けるものであり、とくにMOX燃料になったからといって従来のウラン燃料の場合と大差はないので問題にすることはない。
なお、実際の島根2号機のプルサーマル化においては、原子力安全・保安院および原子力安全委員会の安全審査、使用前検査でその安全性を確認される。

●県の考え

MOX燃料を装荷した原子炉では、制御棒の効きが低下する傾向にあるが、制御棒の制御能力自体がもともと十分に大きいため、ウラン燃料と同様に原子炉を安全に停止できると考えられる。

-
- ①原子炉を緊急停止する能力は、MOX燃料装荷炉心の方が自動停止（スクラム）の効果が早く現れるため、ウラン燃料炉心より高くなる。
 - ②原子炉の停止状態を維持する能力は、ウラン燃料炉心と比べて若干下がるが、停止に必要な余裕に比べてその差は小さい。
 - ③安全審査では、余裕をもって原子炉が停止できるかどうかを確認される。
 - ④実際にMOX燃料が装荷された炉心において確実に原子炉が停止できることを国の使用前検査で確認される。
 - ⑤フランス電力公社から「運転開始後の物理試験では、ホウ素濃度、温度効

果、制御棒価値（効果）に関する計算値と実測値の一致が良い。また、運転中の物理試験では、中性子の分布（中性子束分布）、出力ピーキング係数（出力の平均値と最大値の比）についての計算値と実測値の一致が良い。以上から安全解析が有効であることが確認されている。」との説明を受けている。（注4）

（注4）：原子力発電所等が立地している14道県で構成している原子力発電関係団体協議会が平成17年9月に実施した原子力事情海外調査団に島根県として参加し、イギリス、フランスの原子力施設及び関係機関を調査した。

(3) 自己制御性（反応度係数）

▼検討内容

- 「燃料中のプルトニウムの量が多くなると、原子炉出力が変動したときに出力を元に戻そうとする作用が大きくなる。しかし、何らかの原因で原子炉の圧力が高くなったり冷却水の温度が低くなったりすると、逆に出力が急に大きくなり危険性が増す。」との意見に対する見解

■上記に対する見解等

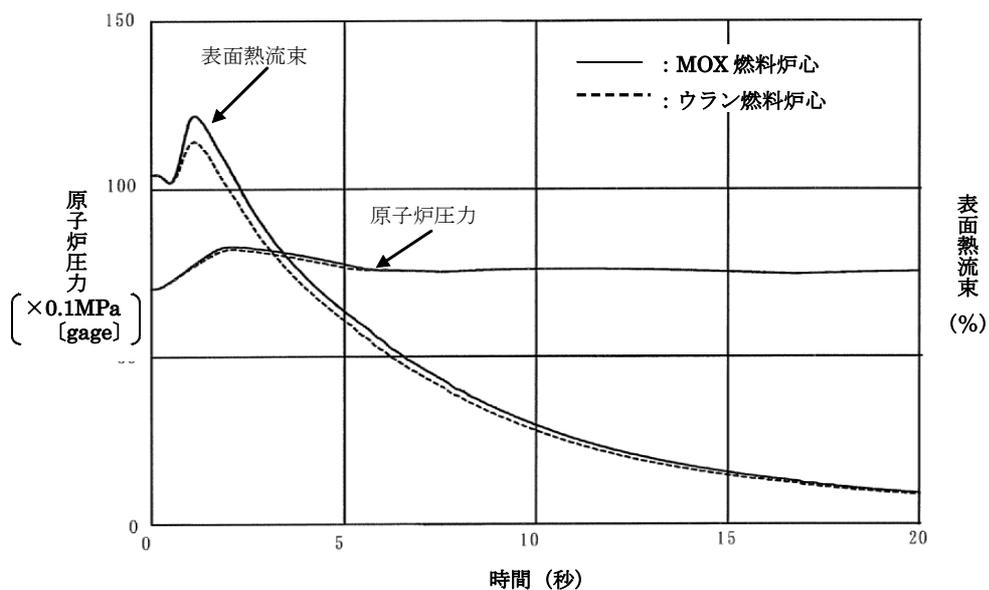
〔中国電力〕

- 原子炉圧力が上昇するような事象が発生した場合には、原子炉圧力の上昇に伴い原子炉内のボイド（泡）が潰れることによって水の密度が上昇し、中性子が減速しやすくなり（熱中性子になりやすい）、結果として核分裂が起こりやすくなることから、原子炉の出力が上昇する。
- ・島根2号機において、原子炉圧力が上昇する事象が発生した場合には、MOX燃料を装荷した炉心では、中性子束はより急上昇する傾向はあるものの、ウラン燃料のみを装荷した炉心と同様、原子炉スクラム（緊急停止）により中性子束は急減することになる。
- ・表面熱流束^{*1}や原子炉圧力の上昇は、中性子束の上昇に比べゆっくりとしているため、MOX燃料を装荷した炉心とウラン燃料のみを装荷した炉心とでその差はほとんどない。
- ・次に、「原子炉圧力の上昇が最も大きくなると想定される事象（島根2号機の解析例）」を示す。

*1 表面熱流束：単位時間、単位面積当たりの燃料被覆管表面の通過熱量を言う。

原子炉圧力の上昇が最も大きくなると想定される事象（島根2号機の解析例）

（想定事象：発電機負荷遮断バイパス弁不作動事象）



（基準値）

- ・表面熱流束：165%（燃料被覆管は、機械的に破損しないこと。すなわち燃料被覆管の円周方向の平均塑性歪が1%以下（表面熱流束165%に相当）であること）
- ・原子炉圧力：9.48MPa [gage]（原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、最高使用圧力（8.62MPa [gage]）の1.1倍以下であること）

〔文献〕

- 軽水型原子炉では、仮に出力（あるいは中性子の発生数）が異常に高くなると、それに伴って燃料温度の上昇、さらに冷却水の温度上昇による膨張や沸騰が起り得るが、これは中性子の数を減少させる効果を持ち、その結果、出力の増大が抑制されるような特性を持つ設計がなされている。これは原子炉の運転特性及び安全性上の重要な性質である。
- ・（MOX燃料を装荷された時のBWR炉心は）出力が上昇しボイド（泡）が増える事象では、反応度低下がやや大きくなり、熱的余裕を増加させる。
 - ・一方、原子炉内の圧力が上昇しボイド（泡）が減る事象では、反応度上昇がやや大きくなり、熱的余裕が減少するが、その影響は小さく、ウラン燃料炉心とあまりかわらない。

（出典：注1）

〔原子力安全委員会〕

- 原子炉内の圧力上昇時及び温度低下時における急速な反応について
- ・原子炉では出力が上昇し、原子炉中の温度が上昇すると、以下のような作用により、核分裂反応が抑制され、出力上昇が自動的に抑制される性質がある。
（原子炉の自己制御性）
 - ・BWR（沸騰水型原子炉）の場合、原子炉の出力が上昇すると、炉心内の水が沸騰することによりボイド（泡）の量が増え、減速材である水の密度が低下する。
 - ・その結果、中性子が減速されにくくなり、核分裂を進める熱中性子の割合が減少し出力の上昇が抑制される。
 - ・加えて、原子炉の出力が上昇して燃料の温度が上昇するとウラン238がより多くの中性子を吸収するようになり、核分裂を進める中性子の割合が減少して、やはり出力の上昇が抑制される。
 - ・このような自己制御性は、中性子共鳴吸収が増加する等のプルトニウムの持つ特性により、MOX燃料を装荷した炉心において、より大きくなることが分かっている。
 - ・しかしながら、何らかの原因で圧力が上昇してボイド（泡）がつぶれたり、温度が低下したりする過程で、これらの効果により、出力が上昇する場合には、MOX燃料を装荷した炉心で上記効果が反対に、より大きくなるため、出力上昇の度合いが大きくなる。
 - ・このような場合に備え、事前にMOX燃料の特性を適切に取り入れた安全評価を行っておく必要があり、その結果によっては、運転制限値の一部変更を行うなどして、従来のウラン燃料原子炉と同等の安全性を確保するための措置を講じる必要がある場合もある。
 - ・BWRで原子炉内の燃料の約1/3をMOX燃料とした設計例では、原子炉の冷却性に関する余裕を示す指標である最小限界出力比*1という値の運転制限値を数%高めに設定することが求められる。このような評価や必要に応じた措置が実際に事業者によって適切になされているかどうかについては、安全審査や保安検査等、国の段階的安全規制によって確認されることになる。

*1 最小限界出力比：原子炉内の冷却が追いつかなくなると燃料集合体の燃料被覆管の健全性が損なわれる可能性のある限界の出力と実際の運転時の出力の比を限界出力比という。原子炉内の各燃料集合体の限界出力比のうちで最小のものを最小限界出力比と言い、この値が大きいほどその原子炉の冷却性に関する余裕が大きいことを意味する。原子炉の運転では、異常時の出力上昇が生じて、燃料被覆管の健全性が損なわれないよう、この最小限界出力比がある値(運転制限値)以上で運転することが求められている。従って、MOX炉心では、異常時における出力上昇の度合いが大きいため、最小限界出力比の運転制限値をウラン炉心と比べて高めに設定する必要がある。

(出典：注2)

【原子力安全・保安院】

○原子力安全委員会が定めた各種指針等を適用して安全審査を実施する。
余裕をもって原子炉が停止できるかどうかを確認する。

(出典：注3)

◆顧問のコメント

○MOX燃料装荷炉心はウラン燃料炉心より*1ドップラー反応度係数、*2ボイド反応度係数とも負の値で大きい値になる。自己制御性があることは、MOX燃料炉心もウラン燃料炉心も同様である。

タービン負荷喪失時にはタービンへの蒸気が遮断されるので、原子炉が加圧されるが、負荷の喪失を検知して、原子炉は自動停止されるので、出力の上昇は許容範囲である。なお、ドップラー反応度係数、ボイド反応度係数が負で大きくなるために、ウラン燃料炉心よりMOX燃料炉心では圧力低下、温度上昇型の事象のように楽になるものもある。具体的には国の安全審査で評価される。

○原子炉の冷却性に関する余裕を示す指標である最小限界出力比の値は、数%の余裕を持って設定され、国の安全審査や保安検査等段階的安全規制によって確認されるのであれば、問題ない。

○指摘の事項については、原子力安全委員会で既に検討され、設計対応について見解が出され、中国電力においても島根2号機に対する安全解析で基本的に問題の生じないことを確認しているようである。また、中国電力によるこのような評価や必要に応じた措置が実際に適切になされているかどうかについては、安全審査や保安検査等、国の段階的安全規制によって確認される。

*1 ドップラー反応度係数：燃料温度が変化することにより中性子数が増減するが、その程度を表す係数（正は中性子が増加し出力上昇。負は中性子が減少し出力低下。軽水炉は負になるよう設計されている。）

*2 ボイド反応度係数：減速材（軽水）の密度が変化することにより熱中性子数が増減するが、その程度を表す係数（正は熱中性子が増加し出力上昇。負は中性子が減少し出力低下。軽水炉は負になるよう設計されている。）

● 県の考え

MOX燃料を装荷すると、原子炉圧力が上昇した時に出力がさらに上昇する傾向が強くなるが、制御棒による緊急停止能力はウラン燃料と同等以上であり、安全に原子炉を停止することができると考えられる。

-
- ①原子炉では出力が上昇すると、炉心内の水が沸騰することにより減速材である水の密度が低下して中性子が減速されにくくなり、熱中性子の割合が減少する。その結果、核分裂反応が抑制され、出力上昇が自動的に抑制される性質がある。（原子炉の自己制御性）
 - ②この自己制御性に関しては、ウラン燃料のみを使用した場合よりもMOX燃料を使用したときの方が強く、安全上有利である。
 - ③一方で、何らかの原因で原子炉圧力が高まるような場合には、原子炉内のボイド（泡）が潰れることによって水の密度が上昇し、自ら出力を上昇させる性質が強まる。
 - ④原子炉の圧力が設定値になると、原子炉は緊急停止（スクラム）するが、この緊急停止能力は、ウラン燃料炉心と同等以上であり、より早く原子炉を停止することが出来る。
 - ⑤なお、原子力安全委員会は、最小限界出力比の運転制限値の変更の可能性に言及しているが、このことについては、次のとおりである。
 - ・プルサーマルの安全審査が終了している福島第1発電所3号機及び柏崎刈羽3号機の安全審査結果によると、最小限界出力比の運転制限値はウラン燃料炉心と比べてやや高めに設定されている。
 - ・島根原子力発電所においても、このような特性を考慮した解析が行われ、運転制限値の評価や必要な措置が適切になされているかについては、国の安全審査等で確認される。

(4) 一般公衆への線量評価

▼検討内容

○平常時におけるMOX燃料の使用による一般公衆の被ばく線量への影響に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

○島根原子力発電所においては、これまで周辺環境に影響を与えるような放射性物質の放出はないこと、MOX燃料の信頼性も従来のウラン燃料と同等であり、これまでウラン燃料と異なる燃料破損の事例は報告されていないことから、MOX燃料の採用により、周辺環境への影響が大きくなることはない。

○島根原子力発電所における放射性廃棄物の管理状況

廃棄物の種類		放出管理目標値 (年間)	2000 年度	2001 年度	2002 年度	2003 年度	2004 年度
気体廃棄物	希ガス	8.4×10^{14} Bq (2.5×10^{15} Bq)	N. D				
	ヨウ素	4.3×10^{10} Bq (1.3×10^{11} Bq)	N. D				
液体廃棄物 (トリチウムを除く)		7.4×10^{10} Bq	N. D				

注1：過去の実績に照らし合わせ、放射性気体廃棄物の放出管理目標値を2005年6月28日に変更したため、変更後の値を上段に、変更前の値を下段の括弧内に記載

注2：N. D (Not Detectable)：検出限界以下

- ・希ガスの検出限界濃度： 2×10^{-2} Bq/cm³
- ・ヨウ素の検出限界濃度： 7×10^{-9} Bq/cm³
- ・液体廃棄物の検出限界濃度： 2×10^{-2} Bq/cm³ (⁶⁰Co で代表した)

注3：Bq(ベクレル)：放射能の単位。放射性核種の原子が毎秒1個崩壊するとき1 bq

〔原子力安全委員会〕

○炉心内の核分裂生成物の蓄積量については、MOX燃料装荷炉心とウラン燃料炉心で若干異なるものの、その差異は現行の安全評価手法の有する保守性の範囲内であることを確認した。なお同様に、平常運転時の線量当量評価についても従来と同様として支障はない。

(出典：「1/3MOX報告書」)

○平常運転時の被ばく評価

- ・フルMOX-¹ABWRは、先行ABWRから基本的なプラント構成上の変更がなく、また、全炉心にまでMOX燃料が装荷されても炉心パラメータがウラン燃料装荷炉心と大きくは変わらないため、事故時を含むフルMOX-ABWRのプラント挙動は先行ABWRと大きく変わることはないものと判断する。このため、フルMOX-ABWRの平常運転時、事故時及び重大・仮想事故時の被ばく評価における対象核種、放出経路、想定すべき事象、評価条件等の基本的考え方は、

先行ABWRと同様であり、「安全評価審査指針」、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」等に示されている手法等を適用できる。放射性物質が環境へ放出された後の拡散計算手法については、プラント構成によって変わるものではないことから、ウラン燃料装荷炉心の軽水炉と同様、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に記載された計算手法を用いることができる。

- ・ 平常運転時については、よう素131の最大濃度が制限値として定められることから、上記①^(注)の新たな燃料の破損を伴わない事象と同様の理由により、ウラン235の核分裂収率を用いた場合の方が保守側の評価となる。

したがって、フルMOX-ABWRの被ばく評価においては、*²希ガス及びよう素のいずれについてもウラン235の核分裂収率を用いて評価することとする。

*1：ABWR：改良型沸騰水型原子炉

*2：希ガス：ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドンの6元素の総称。化学的に非常に安定な元素で不活性ガスとも言う。原子力発電所で事故が発生した場合、主にクリプトンやキセノンの放射性希ガスが大気中に放出される。

(注)

① 新たな燃料の破損を伴わない事象

新たな燃料の破損を伴わない事象としては、先行ABWRの評価例では「放射性気体廃棄物処理施設の破損(事故)」、「主蒸気管破断(事故、重大事故、仮想事故)」及び「原子炉冷却材喪失(事故)」が該当するが、これらの事象については、通常運転時の燃料からの漏えい、事故後の減圧に伴う燃料からの追加放出を仮定して被ばく評価が行われる。

大気中に放出される核分裂生成物(希ガス及びよう素)の量は、運転上許容されるよう素131の最大濃度及び追加放出量を設定し、これらを基に算定されている。

フルMOX-ABWRにおいても、運転上許容されるよう素131の最大濃度及び追加放出量は先行ABWRと同等に設定し、MOX燃料装荷率や燃料の燃焼状態によらず、一定の値で制限することとしている。

このように、よう素131の制限値をウラン燃料装荷炉心に対しても全MOX燃料装荷炉心に対しても同一の値に制限することとすれば、ウラン235の核分裂の場合の方がプルトニウム239の核分裂の場合よりもよう素131の核分裂収率に対する他の希ガス及びよう素の核分裂収率が相対的に大きくなっていることから、ウラン235の核分裂収率を用いた方が、燃料から漏えいしたよう素の冷却材中濃度と燃料からの希ガス及びよう素の追加放出量をより保守側に算定することとなり、大気中への放出量の評価として保守側となる。

したがって、フルMOX-ABWRの被ばく評価においては、希ガス及びよう素のいずれについてもウラン235の核分裂収率を用いて評価することとする。

(出典：「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」付録8)

(平成11年6月28日 原子力安全委員会了承)

◆顧問のコメント

- 通常運転時の一般公衆の被ばくは、自然放射線によるバックグラウンドに隠れて検出できないほど小さい。これは、MOX燃料を用いる場合も同様である。事故時の被ばく評価においては、ヨウ素、希ガスの放出量にきわめて保守的な値を用いている。MOX燃料とウラン燃料とのヨウ素、希ガスの生成の差はこれに比べると極めて小さい。従って、通常時、事故時の一般公衆の線量評価はウラン燃料のときとあまり変わらないと考えてよい。具体的には、国の安全審査で評価される。
- MOX燃料はウラン燃料と基本構造が同じであるため、環境に影響を与えるような放射性物質の放出は考えなくとも良い。
- 中国電力による、島根2号機においてはこれまで周辺環境に影響を与えるような放射性物質の放出はないこと、MOX燃料の信頼性も従来のウラン燃料と同等であり、これまでウラン燃料と異なる燃料破損の事例は報告されていないことから、MOX燃料の採用により、周辺環境への影響が大きくなることはない、とする説明は妥当である。

●県の考え

MOX燃料の信頼性も従来のウラン燃料と同等であり、これまでウラン燃料と異なる燃料破損の事例は報告されていないこと、県が島根原子力発電所周辺で実施している環境放射線モニタリングにおいて原子力発電所の影響は認められていないことから、MOX燃料の採用により、周辺環境への影響が大きくなることは考えられない。

-
- ①MOX燃料は新燃料ペレットに初めからプルトニウムが含まれているが、燃料棒が健全であればプルトニウムの影響が周辺環境に及ぶとは考えられない。
 - ②MOX燃料棒はウラン燃料棒と同等の安全性が確保できると考えられる。
 - ③県が島根原子力発電所周辺で実施している環境放射線モニタリングにおいて、原子力発電所の影響は認められていない。
 - ④フランス電力公社から「MOX燃料の利用で環境面で変わったことはない。」との説明を受けている。(注4)

2. MOX燃料の健全性

(1) MOX燃料の融点や熱伝導率

▼検討内容

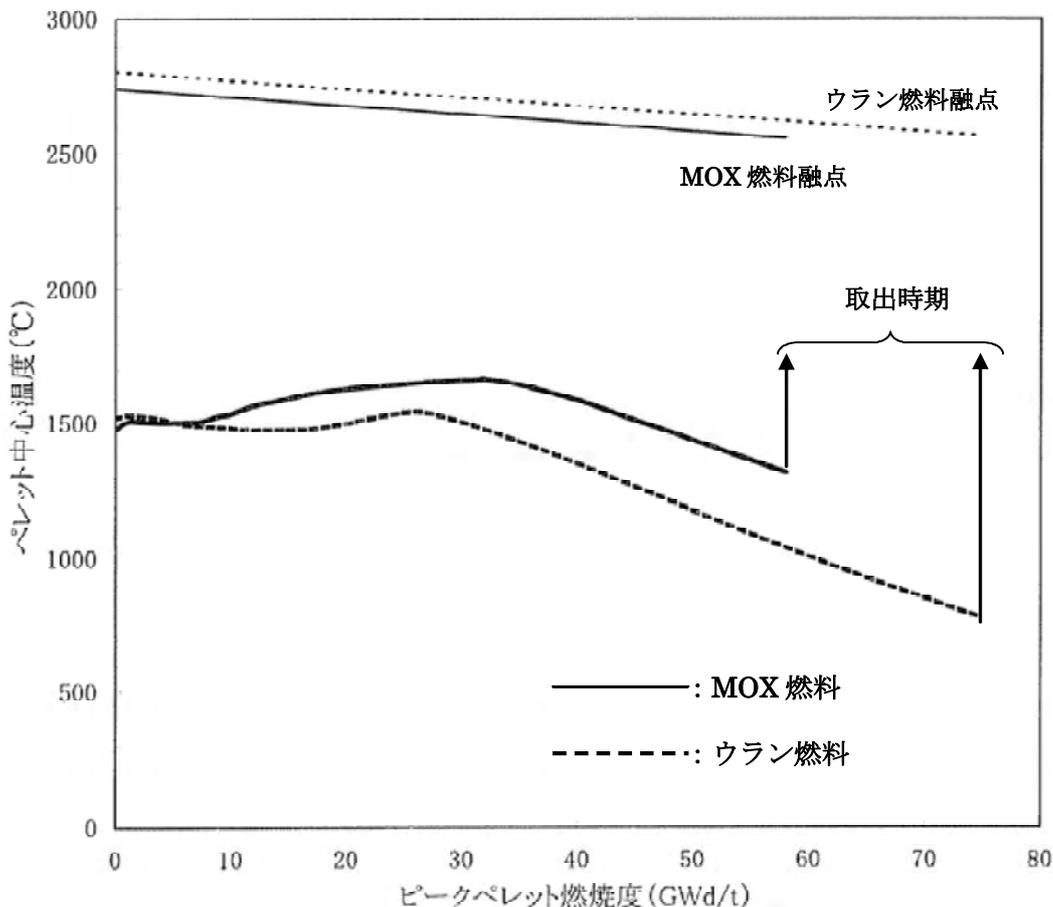
- 「MOX燃料はウラン燃料より融点（溶け出す温度）が数十℃低い。
また、MOX燃料は熱伝導率（熱の伝わりやすさ）が約5%小さくなる。
それだけ熱を伝えにくく、燃料温度が上がりやすくなる。温度が高ければFPガス（核分裂性ガス）の放出率も上がり、安全余裕が削られる。」との意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- MOX燃料ペレットの融点は、ウラン燃料ペレットの融点（約2,800℃）よりわずかながら低下するが、その差は数十℃に過ぎない。
- ・島根2号機で採用予定のMOX燃料では、ペレットの熱伝導度がわずかながら低下するが、これを考慮して評価した実際のペレット中心温度は千数百度程度であり、融点に対して十分な余裕があり問題となるものではない。

ペレット中心温度(島根2号機の解析例)



ピークペレット燃焼度: 燃料集合体を構成するペレットのうち、最も燃焼の進んだものの燃焼度

各グラフの終端の燃焼度が、燃料集合体最高燃焼度 (MOX燃料: 40GWd/t, 9×9ウラン燃料: 55GWd/t) 時点でのピークペレット燃焼度にあたる。

〔文献〕

- 熱伝導率については、MOX燃料はウラン燃料に比べ僅かに低下する。これは燃料中心温度を高くする効果となる。
- ・しかし、MOX燃料ではウラン燃料に比べて燃料の周辺部での発熱が大きく、熱は冷却水へと伝わりやすくなるので、燃料中心温度を低くする効果となる。
- ・このような効果を合わせて考えると、MOX燃料の温度が、ウラン燃料に比べて高くなるとはいえない。
- ・次に、MOX燃料の融点は、PuO₂（酸化プルトニウム）量の増加と共に連続的に低くなる。例えば、プルトニウム濃度10%のMOX燃料は、ウラン燃料に比べ約60℃低くなるが、それでも約2,800℃であり十分余裕があるといえる。
- ・また、これまでにいくつものMOX燃料の照射試験が行われているが、ペレットの熔融に対して十分に余裕があることが確認されている。

(出典：注1)

〔原子力安全委員会〕

- 燃料の融点は、プルトニウム含有率が増えるにつれて低くなる。(ウラン燃料；約2,800℃、プルトニウム含有率約13%のMOX燃料；約2,730℃、いずれも未燃焼時)
- ・また、プルトニウム含有率が増えるにつれてペレットの熱伝導率が低下するため、異常時のペレットの温度上昇が大きくなる可能性がある。
- ・このため、ペレットの中心が熔融を始めたり、ペレットを覆っている被覆管の損傷に至るまでの安全上の余裕が十分であることを事前に調べておく必要がある。
- ・MOX燃料を使用する場合にも、燃料の安全上の余裕は十分確保することが可能である。
- ・「1/3MOX報告書」によれば、検討したプルトニウムの含有率の範囲では、MOXペレットの融点の変化はこれまでの研究等により十分把握されており、ウラン燃料に用いているものと同様の燃料設計手法等にMOX燃料の特性を適切に取り込むことにより、MOX燃料の挙動を評価することは可能であることが示されている。

(出典：注2)

〔原子力安全・保安院〕

- 安全審査では、通常運転時や異常時における燃料被覆管の健全性が確保できるかどうかを確認する。

(出典：注3)

◆顧問のコメント

- 設計上の余裕に比べて融点や熱伝導特性の差は小さく、安全上の問題につながるものではない。
- MOX燃料の融点や熱伝導度特性は既に周知のものであり、そのことが直ちに燃料安全上の問題につながるものではないことを、中国電力の説明および原子力原子力安全委員会の見解で示されている。なお、国による安全審査では、通常運転時や異常時における燃料被覆管の健全性が確保できることを厳正にチェ

ックされる。

● 県の考え

プルトニウムの含有率が高くなると、燃料の融点が下がり、熱伝導率も下がる傾向にあるが、それらの特質は十分把握されており、その変化は設計安全余裕に対して十分小さいことから、MOX燃料の健全性は確保できると考えられる。

-
- ① プルトニウムの含有率が高くなると、燃料の融点が下がるが、その温度低下は、2800℃が数十℃下がる程度である。
 - ② また、熱伝導率が低下し燃料温度が高くなる傾向にあるが、このMOX燃料の特質も十分把握されており、これを考慮しても燃料中心温度は千数百℃であり、融点に対して十分な余裕があると考えられる。

(2) 燃料棒の内圧上昇

▼検討内容

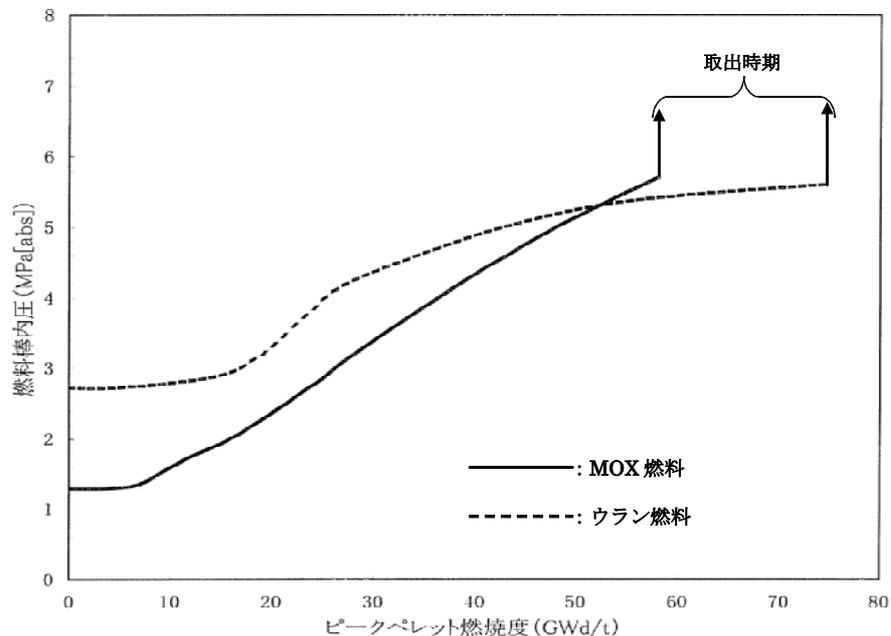
- 「MOX燃料は、ウラン燃料よりFPガス(核分裂生成ガス)が多く出やすい。プルトニウムスポット(プルトニウムのかたまり)の形成が、ウラン燃料よりMOX燃料でFPガスをより多く放出する主原因と考えられており、燃料が破損しやすくなる。」との意見に対する見解

■上記に対する見解等

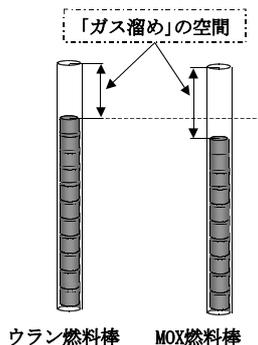
〔中国電力〕

- ウランやプルトニウムの核分裂により、キセノン(Xe)、クリプトン(Kr)などのFPガスが発生する。このFPガスの大部分は燃料ペレット内部に留まるが、その一部は燃料ペレットから燃料棒内部に放出されることから、燃焼に伴い、燃料棒の内圧が上昇する。
- ・MOX燃料については、FPガスの放出率が高くなるとのデータもあることから、島根2号機のMOX燃料の設計にあたっては、先行電力のMOX燃料と同様、ウラン燃料よりFPガスの放出率が高くなるものとして、燃料棒内の空間(ガス溜め)の体積をウラン燃料棒より増加させた設計としている。
- ・島根2号機でのMOX燃料棒内圧を評価した結果、燃料取り出し時の燃料棒内圧はウラン燃料棒と同等となることを確認している。

燃料棒内圧(島根2号機の解析例)



1GWd/t=1000MWd/t
1MPa=9.86923atm



ピークペレット燃焼度：
燃料集合体を構成するペレットのうち、最も燃焼の進んだものの燃焼度。
各グラフの終端の燃焼度が、燃料集合体最高燃焼度(MOX燃料：40GWd/t、9×9ウラン燃料：55GWd/t)時点でのピークペレット燃焼度にあたる。

〔文献〕

- ウラン燃料棒もMOX燃料棒も、ウランあるいはプルトニウムの核分裂によって固体状及び気体状の核分裂生成物が発生する。この核分裂生成物のほとんどはペレットの内に貯まっていくが、気体状の核分裂生成物の一部はペレットから外の燃料棒の内側に放出されていく。このため、燃料棒の内部の圧力は高くなっていく。
- ・MOX燃料では、周りよりプルトニウム濃度の高いプルトニウムスポットでは、核分裂がたくさん起こる。このため、プルトニウムスポットが気体状核分裂生成物（FPガス）の放出に影響を与えることが考えられるが、以下の研究成果より、その影響は小さいと考えられる。
 - ①気体状核分裂生成物の放出割合は、燃料棒の経験する出力（出力はペレット温度と対応する。）に大きく依存し、同じ出力における気体状核分裂生成物の放出割合は、MOX燃料棒とウラン燃料棒に有意な差はなかった。
 - ②プルトニウムスポットの大きさの異なるMOX燃料棒で、気体状核分裂生成物の放出割合に、大きな差はなかった。
- ・MOX燃料では、むしろ、ヘリウムの生成と放出がウラン燃料より大きく、このヘリウムの放出が、MOX燃料棒の内部の圧力がウラン燃料棒より高くなる一因と考えられている。MOX燃料設計においては、この特徴を考慮し、内圧を低減する必要がある。具体的には、燃料棒の内部の空間を大きくしたり、製造時に燃料棒に詰めるヘリウムの量を少なくする、など設計上の考慮が行われている。

（出典：注1）

〔原子力安全委員会〕

- FPガスの放出率については、ウラン燃料に比べて大きくなる傾向が認められており、燃料被覆管のプレナム体積（ガス溜め）を大きくするなどの考慮をし、燃料棒の内圧が高くなりすぎないように設計される。その結果、燃料棒内圧はウラン燃料と同等になると評価されている。

（出典：原子力安全 意見・質問箱 2001年7月12日）

〔原子力安全・保安院〕

- ペレットから燃料棒内に出てくるガスの量が多くなる可能性がある。対応策として、あらかじめ燃料棒内の空間体積を増やして圧力の上昇を抑える。
- ・安全審査では、使用末期の燃料棒内の圧力を計算して、安全上問題ない範囲に抑えられるかどうかを確認する。

（出典：注3）

◆顧問のコメント

- FPガス放出量の差は設計で対応できる。具体的には国の安全審査で確認される。
- FPガスの放出率が高くなっても、燃料被覆管のガス溜めを大きくし、燃料棒の内圧が高くなりすぎないように設計されているので問題ない。
- MOX燃料の研究段階では、ウランとプルトニウムの不均一な混合でプルトニ

ウムスポットは問題にされたが、MOX燃料の製作技術が向上している。MOX燃料のFPガス放出率はウラン燃料に比して大きくなることは既知であり、島根2号機のMOX燃料設計でもFPガスプレナムの体積を大きくして燃料内圧が高くなるように対応している。原子力安全・保安院および原子力安全委員会による安全審査では、安全上問題ない範囲に抑えられるかどうかを確認するとしている。

●県の考え

MOX燃料は、FPガスの発生量がウラン燃料より多くなる傾向があるが、その特質は十分把握されており、ガス溜め容積を大きくするなど、適切に設計に反映される。また、その設計が妥当であることは安全審査で確認されることから、燃料棒の健全性はウラン燃料と同様に確保されると考えられる。

-
- ①中国電力の設計では、この特質を考慮してMOX燃料棒内の空間（ガス溜め）の体積をウラン燃料棒より増加させた設計となっている。
 - ②また、燃焼度をウラン燃料より低く設定しており、結果的に核分裂生成ガスの発生量を少なくすることが出来る。
 - ③中国電力の設計が妥当であるかどうかは、原子力安全・保安院及び原子力安全委員会の安全審査で確認される。
 - ④以上のことから、MOX燃料棒の健全性は、ウラン燃料と同様に確保できると考えられる。

(3) プルトニウムスポット

▼検討内容

- プルトニウムスポット（プルトニウムのかたまり）の影響で、燃料が壊れやすくなるとの意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- 初期のMOX燃料は、二酸化プルトニウム粉末と二酸化ウラン粉末とを単純に混ぜ合わせる加工法であったことから、比較的大きなプルトニウムスポット（プルトニウムのかたまり）が発生する傾向にあった。
- ・しかしながら、最近では、二酸化プルトニウム粉末と二酸化ウラン粉末とを粉碎し、すりつぶしながら混合する加工法が採用されていることから、プルトニウムスポットは十分小さくなっており、照射実績によっても燃料の健全性に問題ないことが確認されている。
- ・なお、「1 / 3 MOX燃料報告書」によると、反応度投入事象時の局所的出力増加による破損挙動の解明のための実験がアメリカで行われており、プルトニウムスポット径400 μm (0.4mm) , 1100 μm の実験結果によってもプルトニウムスポットの破損しきい値（燃料が破損したとみなす燃料の発熱量）への影響がないことが確認されている。

〔文献〕

- 反応度事故では、プルトニウムスポットで多量に発生した熱が周りに伝わる余裕もないためプルトニウムスポットが高温になり、融点の低い被覆管への影響が懸念される。
この影響を調べるため、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）（以下「旧原研」という。）は、NSRR試験炉を用いて、被覆管に最も近いMOXペレット表面に、直径400 μm のプルトニウムスポット1個を埋め込んだ実験を行った。通常MOXペレットのプルトニウムスポットの大きさは、大部分が数十 μm 以下（最大数百 μm ）であることから、試験に用いられた400 μm という大きさのプルトニウムスポットは通常より大きく、また、被覆管に最も近いペレット表面にプルトニウムスポットを埋め込んでいるので、高温のプルトニウムスポットが被覆管に与える影響を調べる上で妥当な試験条件となっている。
- ・実験の結果、被覆管は損傷に至らず、MOXペレットと面している被覆管の内面に影響が見られない結果であった。

(注1)

〔原子力安全委員会〕

- MOXペレット中に製法によっては発生する可能性のあるプルトニウムスポットについては、MOXペレット製造時にプルトニウム粉末とウラン粉末の二段階混合等を採用しており、大きなプルトニウムスポットの発生は考えられない。仮にプルトニウムスポットが存在した場合、局所的な出力増加により燃料の破

損挙動に影響を及ぼす可能性があるが、旧原研の実験結果から、 $1,100\mu\text{m}$ のプルトニウムスポットでは、反応度事故時にも燃料の破損しきい値に影響しないとの結論が得られており、問題ないと考えられる。

(出典：原子力安全 意見・質問箱 2001年7月12日)

- プルトニウムスポットの影響については、「1/3MOX報告書」において、現実の加工工程で考えられるものよりも過大なプルトニウムスポット（数倍程度）をもつ燃料を使用した反応度投入実験の結果などから、現実的に想定される程度のプルトニウムスポットによる燃料破損への影響を特に考慮する必要はないことが示されている。

(出典：注2)

【原子力安全・保安院】

○輸入燃料体検査制度の改善

- ・燃料体検査申請書に「品質保証に関する説明書」の添付を義務付け
- ・設置許可取得後にMOX燃料体の製造を開始
- ・MOX燃料体の製造前に検査申請を行い、品質保証計画の確認を受けるとともに、製造後の日本に向けた輸送開始前に品質保証活動結果の確認を受けた上で、MOX燃料体そのものの検査を実施
- ・当分の間、海外燃料工場の品質保証活動の確認の際、第三者機関を活用

(出典：注3)

◆顧問のコメント

- プルトニウムスポットはMOX燃料の燃料製造プロセスの改良により小さくなり、現在では欧米でプルサーマルが始まった初期のように問題はなくなってよい。
- 現在のMOX燃料製造技術では一般的には解決済みの問題である。なお、島根2号機のMOX燃料の製造は海外発注が想定されているところから、原子力安全・保安院においては輸入燃料の品質保証・検査するとされており、中国電力において万全の注意を期待する。

●県の考え

現在の製造方法では、大きなプルトニウムスポットの発生は考え難いとされており、また旧原研での実験結果からも、プルトニウムスポットによる燃料被覆管への影響は考えにくく、燃料棒の健全性は確保されると考える。

①二酸化ウラン粉末と二酸化プルトニウム粉末を混合するとき、プルトニウムスポットが発生することが考えられるが、原子力安全委員会によると「現在の製造方法として二段階混合等を採用しており、粒径の大きいプルトニウムスポットの発生は考え難い」とされている。

②仮にプルトニウムスポットが生じたとしても、旧原研等のプルトニウムスポット径 $400\mu\text{m}$ 、 $1100\mu\text{m}$ の実験の結果で燃料被覆管の破損には至っていないことを考慮すれば、燃料棒の健全性は確保できると考えられる。

③フランスのメロックス社によると同社が採用しているMIMAS法につい

て「MIMAS法は二段階で混合していることから、均質である。」との説明を受けている。(注4)

(4) 海外製造のMOX燃料の品質

▼検討内容

- 関西電力(株)高浜3, 4号機でのMOX燃料データ改ざん問題もあり、海外メーカーのMOX燃料の品質に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- 「英国BNFL社製MOX燃料データ問題」を受けて、輸入燃料体検査制度の改善やJEAC4111-2003「原子力発電所における安全のための品質保証規程」の策定がなされており、これらを踏まえ、品質管理の徹底を図ることとしている。具体的には、国（原子力安全・保安院）の通達に基づき、MOX燃料の製造期間中、MOX燃料加工工場に当社社員を派遣し、製造状況及び品質保証活動について確認するとともに、適切な頻度で監査を行うこととしている。さらに、品質保証活動の確認等を実施する場合には第三者機関を活用することとしている。これらの取り組みにより、確実な品質管理を行うことができるものと考えている。

〔文献〕

- 現在、世界にあるMOX燃料工場のおおよその規模と累積の燃料製造量を表-1に示す。この中で最も大きいのが、フランスのメロックス工場とイギリスのSMPで、両工場とも年産100トンを超す能力を持ち、高度に自動化され、高品質な燃料の製造と安全確保の両立が図られたものと言われている。（出典：注1）

【表1】

国	工場名	粉末プロセス	能力	運転開始年	累積生産量
ベルギー	デッセル	* ¹ MIMAS	40* ⁴ tHM/y	1986	497.7tHM
フランス	カダラーシェ	MIMAS	40tHM/y	1991	286.5tHM
フランス	メロックス	* ² A-MIMAS	101tHM/y	1995	555.2tHM
イギリス	SMP	* ³ SBR	120tHM/y	2002	—
イギリス	MDF	SBR	8tHM/y	1989	16tMOX
日本	JMOX(仮称)	MIMAS	130tHM/y	2009(予定)	— 約153tMOX
日本	JNC第2開発室	1段混合	10tMOX/y	1972	約17tMOX
(参考)日本	JNC第3開発室	1段混合	5tMOX/y	1988	—
アメリカ	MFFF	A-MIMAS	70tHM/y	2008(予定)	—

*1 MIMAS：MIMAS (Micronized Master Blend)法はベルギーのベルゴニュークレア社で開発され、同社のデッセル工場では1987年からMIMAS法によりMOX燃料体の製造が行われてきている。この方法はフランスのCOGEMA社（仏国核燃料公社）も同社のカダラーシェ工場とメロックス工場に採用している。

*2 A-MIMAS：メロックス工場のMIMASプロセスは大型化・自動化されていることからAdvanced MIMAS（略してA-MIMAS）と呼ばれている。

*3 SBR：SBR (Short Binderless Route) 法というのは英国のBNFL社（英国原子燃料公社）で開発された方式で、ボールミルに替わってアトリターミルというより強力な粉砕混合機を用いて処理時間の短縮化を図っている。

* 4 tHM : HMとはHeavy Metalのことで、MOXの金属分（ウランとプルトニウム）の重量。
MOX重量の約88%に相当する。

〔原子力安全委員会〕

○燃料の詳細なデータについては、燃料を輸入する場合には、設置変更許可後、改正された電気事業法施行規則に則り、燃料の加工着手1ヶ月前までに輸入燃料体検査申請書（燃料仕様、試験計画、品質保証計画等を記載）を提出、さらに輸送開始1ヶ月前までに申請書の追加書類（試験結果及び品質保証に関する説明書を記載）を提出することとされており、使用に至る各段階で規制行政庁により確認されることになる。

（出典：第17回原子力安全委員会試料第1－2号 平成18年3月7日）

〔原子力安全・保安院〕

○輸入燃料体検査制度の改善

- ・燃料体検査申請書に「品質保証に関する説明書」の添付を義務付け。
- ・設置許可取得後にMOX燃料体の製造を開始。
- ・MOX燃料体の製造前に検査申請を行い、品質保証計画の確認を受けるとともに、製造後の日本に向けた輸送開始前に品質保証活動結果の確認を受けた上で、MOX燃料体そのものの検査を実施。
- ・当分の間、海外燃料工場の品質保証活動の確認の際、第三者機関を活用。

（出典：注3）

◆顧問のコメント

- 過去の苦い経験を生かして、確実な品質管理を事業者に行うことを期待している。国の検査制度も改善されている。なおBNFLの問題は検査と記録の問題であり、燃料品質そのものではなかった。
- 過去の問題もあり、監督官庁である原子力安全・保安院においても輸入燃料体検査制度を設けて中国電力への万全の監督に当たるとしている。中国電力においても海外発注にあたり、MOX燃料の品質保証に万全を期すことを期待する。

●県の考え

海外で製造される燃料体についても、輸入燃料体検査制度が適正に実施されることにより、品質は確保できると考えられる。

-
- ①英国BNFL社のデータ改ざんを受けて、国において輸入燃料体検査制度が改善されている。
 - ②この改善を受け、中国電力は次の対応を取ることとしている。
 - ・MOX燃料の製造期間中、MOX燃料加工工場に中電社員を派遣し、製造状況及び品質保証活動について確認するとともに、適切な頻度で監査を行うこととしている。
 - ・さらに、品質保証活動の確認等を実施する場合には第三者機関を活用することとしている。
 - ③海外でのMOX燃料使用実績においても、MOX燃料に特有な燃料破損の事例は報告されていない。

④フランスのメロックス社から「MOX燃料における検査は、ペレットで80項目、燃料棒で30項目、燃料集合体で15項目の検査を行い、品質管理に万全を期している。また、品質保証に関する査察も積極的に受けしており、去年は東京電力㈱の査察も2回受けている。」との説明を受けている。(注4)

3. MOX燃料の使用実績

▼検討内容

○MOX燃料の使用実績に対する見解

■上記に対する見解等

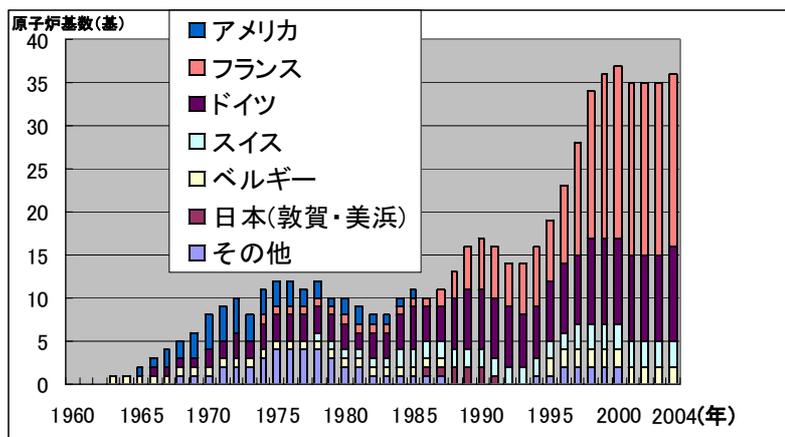
〔中国電力〕

○国内の使用実績としては、少数体規模での実証試験として、日本原子力発電(株) 敦賀発電所1号機(BWR)で2体、関西電力(株)美浜発電所1号機(PWR(加圧水型原子炉))で4体のMOX燃料が安全に使用され、その後の照射後試験でも、燃料の健全性が確認されている。

また、旧核燃料サイクル開発機構(現日本原子力研究開発機構)の新型転換炉ふげんにおいても772体のMOX燃料が装荷され、燃料集合体最高燃焼度は約40,000MWd/tに達しており、全て健全に使用されている。

- ・海外の使用実績としては、MOX燃料は、1960年代から使用が開始され、海外では欧州を中心に、9ヶ国、54基の原子力発電所において2004年12月末現在で約5,000体の豊富な使用実績がある。
2004年12月末現在、フランス、ドイツ、スイス、ベルギーの4ヶ国、36基で使用されている。
- ・これまで、ウラン燃料と異なる燃料破損の事例は報告されていない。
- ・BWRでの使用実績は、我が国を含め、世界7ヶ国、14基の原子力発電所で、2004年12月末現在約940体の使用実績があり、燃料集合体最高燃焼度も約58,000MWd/tに達している。

各国の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績



国名	利用期間
フランス	1974～
ドイツ	1966～
ベルギー	1963～
スイス	1978～
アメリカ	1965～1985
イタリア	1968～1981
オランダ	1971～1987
日本	1986～1991
スウェーデン	1974～1979
インド	1994～2000

その他は、イタリア、オランダ、インド、スウェーデンを示す。

出典：資源エネルギー庁調べ（原子力2005）
（2004年12月末現在）

〔文献〕

○BWRにおいて現在継続的にMOX燃料が使用されているのはドイツのグンドレミンゲン発電所B、C炉のみであるが、継続的に使用されており集合体燃焼度として約50,000MWd/tまでの使用実績を有しており、日本で導入が予定されているMOX燃料の集合体燃焼度は最高45,000MWd/tであり、これを上回る使用実績になっている。

(出典：注1)

〔原子力安全委員会〕

○国内の軽水炉での実績については、少数体装荷として、敦賀発電所1号炉（BWR）で、MOX燃料2体が1986年から1990年まで3サイクル（燃料集合体燃焼度で約26,000MWd/t）、美浜発電所1号炉（PWR）で、MOX燃料4体が1988年から1991年まで3サイクル（燃料集合体燃焼度で約23,000MWd/t）にわたり照射されている。

(出典：原子力安全 意見・質問箱 2001年7月12日)

○BWRにおけるMOX燃料の使用については、これまでの実績から、安全上の問題点は特に見い出されておらず、その基本的な技術は確立されているものと判断する。

(出典：「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」)

〔資源エネルギー庁〕

○関西電力(株)美浜発電所1号機(PWR)、日本原子力発電(株)敦賀発電所1号機(BWR)でプルサーマルの実証試験が行われ、試験後も燃料が健全であったことが確認されている。

- ・我が国が独自に開発した新型転換炉ふげん（1979～2003.3）においては、24年間でMOX燃料を770体以上利用した（1基当たりの装荷体数では世界最高）。
- ・世界でも、10ヶ国で40年以上にわたるMOX燃料の利用実績がある（累積装荷体数：約4,900体）。
- ・以上のプルサーマルの利用実績を積み重ねている間に、プルトニウムを起因とする事故は生じていない。

(出典：第2回プルトニウム混合燃料に関する懇談会資料)

◆顧問のコメント

- 世界及び我が国におけるMOX燃料使用の実績から導入には全く問題はない。
- 実績は国内でも実証試験で確認されており、問題ない。
- 海外実績では40年以上に亘る実績もあり、我が国においては電力事業において海外炉、国内炉で少数燃料棒の炉内照射実験で燃料健全性確認の実績がある以外に、新型転換炉ふげん用のMOX燃料の豊富な実績がある。
なお、高速炉でもMOX燃料を用いることから、我が国では高速実験炉常陽においてMOX燃料の照射実績のデータが蓄積されている。

● 県の考え

MOX燃料は海外も含めると相当数の使用実績があり、特段の問題はないものと考えられる。また、BWRにおける実績も同様である。

-
- ①国内においては、美浜、敦賀での少数体実証試験や新型転換炉「ふげん」における実績がある。
 - ②世界でも、10ヶ国で40年以上にわたるMOX燃料の使用実績がある。
(累積装荷体数：約4,900体：2004年12月末)
 - ③BWRでの使用実績は、我が国を含め、世界7ヶ国、14基の原子力発電所で、2004年12月末現在で約940体の実績がある。
 - ④原子力安全委員会では、これまでの実績から安全上の問題点は特に見い出されておらず、その基本的な技術は確立しているものと判断する、としている。
 - ⑤フランス電力公社から「これまでの17年間の運転、180炉年の経験から、MOX燃料は90万kWクラスのプラントにおいて、ウラン燃料に等しい信頼性があると考えている。なお、これまで4体のMOX燃料集合体で漏洩があったが、これは外部の異物からの影響によるものであり、現在は解決している。MOX燃料の漏洩率は0.1%である。」との説明を受けている。また、OECD/NEAのデュジャダン氏から「軽水炉でのMOX燃料使用は、加圧水型や沸騰水型の原子炉で十分商業利用ベースになっている。」との説明を受けている。(注4)

4. 事故時の影響

▼検討内容

○プルサーマル炉で大事故が起きた場合の被害の大きさに対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- 島根2号機においてMOX燃料を採用しても、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の安全機能はウラン燃料を使用する場合と変わるものではなく、万一事故が起こったとしても、プルトニウムが外部に放出される恐れはない。
- ・事故時に周辺環境に放出される主な核種はガス状の希ガス及びよう素であり、これら核種の放出量について、従来のウラン燃料の場合でも、十分安全側の評価を行っており、島根2号機においてMOX燃料を採用した場合にも、この評価値に包絡されることから、線量評価値は変わらない。
- ・MOX燃料は、ウラン燃料に比べ、長期間にわたってアルファ線を放出する放射性物質（プルトニウム等）の蓄積量は多くなるが、原子炉内の蓄積量が増加したからといって、事故時にこれが放出されるというわけではない。
- ・プルトニウム等は沸点が高く、よう素や希ガスと異なり、燃料から放出されることはなく、仮に燃料が溶融したとしても、格納容器内に放出されることは考えられない。
- ・万一、格納容器内に放出されたとしても、プルトニウム等の粒子状放射性物質は格納容器内のスプレイ水による除去機能や気密性の高い格納容器の保持能力、原子炉建屋の高性能粒子フィルタの除去機能により、実際には周辺環境に放出されることは考えられず、これらによる環境への影響はウラン燃料の場合と同様に無視できる。
- ・なお、燃料が溶融したスリーマイルアイランド事故でもプルトニウムは放出されていない。

〔文献〕

- 原子力発電所では、万が一事故が起っても放射能を持った核分裂生成物が外に漏れだし、周りに住んでいる人々に害が及ばないように、幾重もの防御を設けており、MOX燃料を使用した場合でもこれら防御が有効に働き、周辺へ害が及ばない。
- ・MOX燃料でもウラン燃料と同様に、ペレットと呼ばれる高温で焼き固められた焼き物の形にし、これらを金属製の被覆管と呼ばれる鞘の中に密封し、燃料棒の形に仕上げられ、これらが複数本毎に束ねられた燃料集合体として、原子炉圧力容器と呼ばれる頑丈な容器内に納められている。国内の原子力発電所では、さらにその外側を格納容器というもので大きく覆っている。
- ・例え、燃料被覆管から一部放射能が漏れ、さらに原子炉圧力容器から一部が漏れてもこの格納容器の中に閉じ込めることで外には出ないようにしている。この格納容器は米国を始め、旧西側の原子炉では全て設けられている。
- ・事故時にプルトニウムが外部に放出された例として、チェルノブイリ原子力発

電所が引き合いに出されるが、この発電所ではこの格納容器を設置していなかったために破損した燃料からのプルトニウムが原子炉容器からほぼ瞬時に直接環境へ放出されたため、放出量が4%にも達してしまったのである。

- ・格納容器が壊れる可能性については、例えば格納容器内で溶融燃料等と冷却水との反応で起る水蒸気爆発により、格納容器が破損することが考えられるが、この溶融燃料と冷却水の反応といったこと自体、滅多に起らず、この水蒸気爆発により格納容器が壊れる確率は十分に低く無視できることが確認されている。

(出典：注1)

【原子力安全委員会】

○MOX燃料の燃料中心温度は、照射中を通じて溶融点未満に保たれる設計になっている。そのため、プルトニウム酸化物を含む超微粒子などが、燃料被覆管の外へ放出され、さらに原子炉容器及び一次冷却材設備の外まで放出されるような可能性は極めて低いと言える。万が一わずかに放出されるようなことがあったとしても原子炉格納施設等で捕獲される。

- ・従って、原子炉から周辺環境に放出されて経口あるいは吸入により体内に取り込まれることを想定することは現実的ではないと考えている。
- ・さらに、プルトニウムを燃料とする原子炉の立地に対して公衆の安全を確保するため、原子力安全委員会ではこれまでも検討を重ねており、「プルトニウムめやす線量」や「プルトニウムめやす線量適用方法報告書」をとりまとめており、その検討の中で、MOX燃料装荷率1/3までのMOX燃料装荷炉心の軽水炉については、プルトニウムの放出を想定した場合でも被ばく評価上重要な核種はよう素及び希ガスであり、プルトニウムに関する評価は必要ないとの結論に至っている。

(出典：H18.3.7 第17回原子力安全委員会資料第1-2号)

【原子力安全・保安院】

- 「事故を想定した場合の発電所周辺への影響はないか」については、安全審査でMOX燃料を使用した場合でも、周辺の住民に放射線による影響がないことを確認する。

(出典：注3)

◆顧問のコメント

- プルトニウムは微粒子になって肺に吸入されなければ、人体への影響は小さい。原子炉の燃料が溶融する大事故でプルトニウムが飛散してそれが一般公衆（住民）の居住地域に及ぶことは格納容器のある原子炉では極めて考えにくい。事故評価において、重要な希ガス、ヨウ素については安全評価で仮定することになっている放出量は実際そうであろう放出量よりずっと保守的である。国の安全審査においては、その保守的な値を用いて評価が行われ確認される。以上、まとめてMOX燃料はウラン燃料同様、安全に利用することができる。
- MOX燃料を使用した場合でもウラン燃料の場合と同様、周辺地域住民への放射線影響は考えられない。
- 中国電力の説明のとおりである。

●県の考え

プルトニウムは沸点が高く気体になりにくいいため、仮に燃料破損に至る事故が発生しても、放射性物質を閉じこめる何重もの壁があり、格納容器等で捕獲され、プルトニウム等が外部に放出されることはほとんど考えられない。

また、原子力安全委員会によると、MOX燃料装荷炉心での事故評価にプルトニウムは考慮しなくてもよいとされている。

従って、事故時においても周辺環境への影響はウラン燃料炉心と同等と考えられる。

-
- ① プルサーマルを実施した場合には、ウラン燃料と比べて原子炉内にプルトニウムが多く存在する。
 - ② しかし、プルトニウムは沸点が高く気体になりにくいいため、仮に燃料破損に至る事故が発生しても、放射性物質を閉じこめる何重もの壁があり、格納容器等で捕獲され、プルトニウムが外部に放出されることはほとんど考えられない。
 - ③ 原子力安全委員会においても、被ばく評価上重要な核種はよう素及び希ガスであり、プルトニウムに関する評価は必要ないとの結論に至っている。
 - ④ フランス電力公社から「プルトニウムは放出されにくいことから、防災計画では日本と同様、原子力発電所事故でプルトニウムが環境中に広く拡散することは想定していない。」との説明を受けている。(注4)
 - ⑤ 以上のことから、事故時においても周辺環境への影響はウラン燃料炉心と比べて同等と考えられる。

5. MOX燃料の輸送及び取扱い

(1) MOX燃料の輸送

▼検討内容

- MOX燃料輸送時の安全性に関する見解
(プルトニウムが含まれており、放射線量が高い)

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- MOX燃料の輸送時の安全の確保
 - ・国内基準はもとより、国際海事機関（IMO）の安全基準において最高の水準に適合し、使用済燃料輸送船と同等の安全対策が施された輸送船を使用。
 - ・国内基準はもとより、国際原子力機関（IAEA）等によって国際的に定められた要件を満足し、輸送中に万一、落下、火災、水没等の事故に遭遇しても十分耐えられる安全性の高い輸送容器を使用。

〔文献〕

- MOX燃料輸送に使用される輸送船は、いろいろな安全設備を装備した専用輸送船であり、海没するような事態はまず考えられない。
- ・輸送船の安全設備には、船舶との衝突や座礁などを考慮して、船底及び船側を二重船殻構造としていること（船の中に船があるような構造により、万一、船体が損傷しても内側まで水が入りにくく、沈みにくい構造となるとともに、船の浮力が強化される）や船舶との衝突を避けるため、衝突予防レーダーなどがある。
- ・また、輸送容器も国内法令やIAEAが定めた国際基準を満たすと同時に、水深数千メートル程度まで水没しても健全性は保持されることが確認されている。
- ・さらに、輸送容器は過酷な条件下でも密封性が保たれるように設計され、様々な試験、評価が行われているが、それでもなお、輸送容器内部に水が浸入した場合を想定しても、MOX燃料が臨界に達することはなく、また、輸送容器1基が海没した状態で密封機能を無視した場合でも、環境への影響がないことが確認されている。

(出典：注1)

◆顧問のコメント

- 輸送に用いる容器は万一の落下、火災、水没などに対して耐える基準で作られており、輸送中の公衆の安全性は確保される。
- 問題ない。安全は確保されている。
- 高レベル廃棄物の輸送実績があるのだから、MOX燃料輸送も問題なく行える。
- MOX燃料の輸送安全性は、国内基準、IAEA基準等で確保されている。

●県の考え

MOX燃料はウラン燃料と比べて放射線量が高いため、使用済燃料と同様に遮へい効果の高い輸送容器を用いることとなっている。
また、輸送方法についても使用済燃料と同様の船舶輸送であり、使用済燃料輸

送の実績からしてMOX燃料輸送の安全性は確保できると考えられる。

-
- ①MOX燃料はウラン燃料より放射線量が高いが、船舶による海上輸送が想定されており、一般住民への影響は考えられない。また、従業員被ばくについても遮蔽等の対策は実施可能であり、ウラン燃料と比べて被ばく量が大幅に増加することは考えられない。
 - ②運搬船には使用済燃料運搬船と同等の二重船殻構造などの安全設備を装備していること。
 - ③輸送容器についても国内法令やIAEAが定めた国際基準を満足している。
 - ④以上のことから、MOX燃料輸送の安全性は確保できると考えられる。

(2) MOX燃料の発電所内での取扱い

▼検討内容

- プルトニウムの放射能はウランより強いため、MOX燃料の取扱い作業（輸送、発電所内取扱）による労働者被ばくに対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- MOX燃料は、プルトニウムの壊変により生じたアメリシウムからのガンマ線等の影響により、ウラン燃料に比べ線量が高くなる。
- ・そこで、島根原子力発電所での取扱いにあたっては、必要に応じて遮へい体を設置するとともに、可能な限り燃料との距離をとる等、作業員の被ばく低減対策を確実に実施することとしている。
- ・MOX燃料の保管は燃料プールで行うこととしており、プール水の遮へい効果により、被ばくの問題が生じることはない。

〔文献〕

- MOX燃料は、新燃料の段階からプルトニウムを含んでいるため、ウラン新燃料より線量率、発熱量が高くなり、取扱いにあたっては配慮する必要がある。
- ・しかし、作業者と燃料体との間に遮蔽板を置くなど種々の配慮を払うことにより、ウラン燃料と比較しても問題なく取扱うことができる。

(出典：注1)

〔原子力安全委員会〕

○放射線量

- ・新MOX燃料は、輸送容器から取り出した後は、気中で取り扱うが、ガンマ線源であるアメリシウム241や、 (α, n) 反応により中性子を放出するプルトニウム238、自発核分裂性核種であるプルトニウム240等を含んでいるため、新ウラン燃料に比べて線量率が大きく、プルトニウム含有率、再処理後の時間等により異なるが、燃料表面で約3 mSv/h(新ウラン燃料の100倍程度)になるものと推定される。
- ・これら燃料の放射線強度の計算については、一般的な燃焼計算コードを用いた計算を行い、その結果に基づき、各核種の量及び特性を適切に取り込むことにより次元輸送計算コード等を用いて線量当量率を計算する一般的な手法を用いることができる。

(出典：「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」付録9)

〔原子力安全・保安院〕

○新燃料受入について

MOX新燃料は、ウラン新燃料と比べて数十倍放射線が高いことから、専用の容器に入れての輸送、取扱い時に遮へいを考慮するなどの被ばく管理、使用済燃料プールでの保管などの対応を行う。

- 安全審査では、MOX燃料の安全な取扱いが可能かどうかを確認する。

(出典：注3)

◆顧問のコメント

- 作業員の被ばく対策については安全審査の基本設計に関わる問題ではないが、注意すべきことである。
- MOX新燃料は放射線量が高いことを反映して、発電所での取扱いにおいて作業員の被ばく低減が図られる。保管はプール水中で行うので、放射線は遮蔽される。
- MOX燃料を使用する際に一番問題になるのは、作業員被ばく対策である。
- 作業員の被ばく低減対策を確実に実施することによって避けられる。
- 作業員の被ばくを少なくし、安全を確保することは大切である。
- 作業員の被ばく対策については、国としてするわけではないので中国電力として気をつけなければならない。輸送、燃料装荷等の取扱いは、ウラン燃料と比べて明らかに違ってくる。

●県の考え

MOX燃料は放射線量が高いことから、作業員被ばくに対する対策を講じる必要があるが、遮蔽体を用いるなどの対策は実施可能であり、中国電力が作業員被ばく対策を確実に実施することにより、ウラン燃料と比べて大幅に作業員被ばくが増えるとは考えにくい。

-
- ①MOX燃料はウラン燃料と比べて放射線量が高く、そのため輸送時にはより遮蔽効果の高い輸送容器を用いるなどの対策が必要である。
 - ②また、発電所内での取扱いについても、同様に従業員の被ばく低減の観点から遮蔽や離隔などの対策が必要である。
 - ③しかしながら、それらの対策は十分実施可能と考えられる。
 - ④フランス電力公社から「従事者の被ばくは、汚染物質からの影響が大きく、燃料からの影響は少ない。MOX燃料使用に伴って従事者の被ばくに変化はない。」との説明を受けている。(注4)

6. 使用済MOX燃料の貯蔵

(1) 使用済MOX燃料貯蔵

▼検討内容

○現在の燃料プールでの冷却能力及び取扱いに伴う作業被ばくに対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

○冷却性能の観点

使用済ウラン燃料と使用済MOX燃料とで発熱量に大差はなく、いずれも現在の燃料プールの冷却設備により十分冷却することができる。

・使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料の崩壊熱

使用済燃料の崩壊熱は、核分裂生成物（F P : Fission Product）とアクチニドの崩壊によるものである。燃料取出直後はF Pが支配的であり、ウラン燃料とMOX燃料の崩壊熱はほぼ等しい。一方、燃料取出から長期間を経た後の崩壊熱はアクチニドによって支配されるため、アクチニドの生成量が多いMOX燃料の方が若干大きくなる。しかしながら、その差はわずかであり、取出後1年程度経た後の崩壊熱はいずれも十分減衰している。

使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料の崩壊熱（評価例）

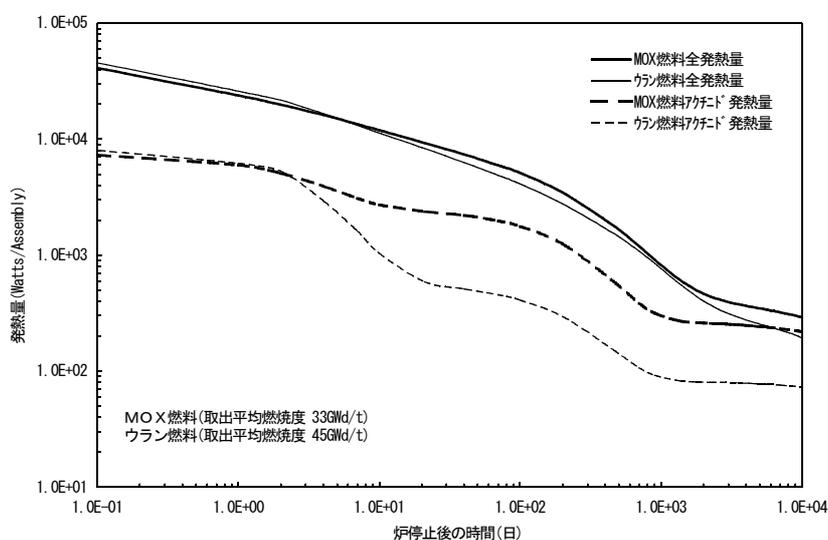


図 3-1 MOX燃料とウラン燃料の崩壊熱

出典：沸騰水型原子力発電所MOX燃料の貯蔵について（平成11年8月 株式会社日立製作所）

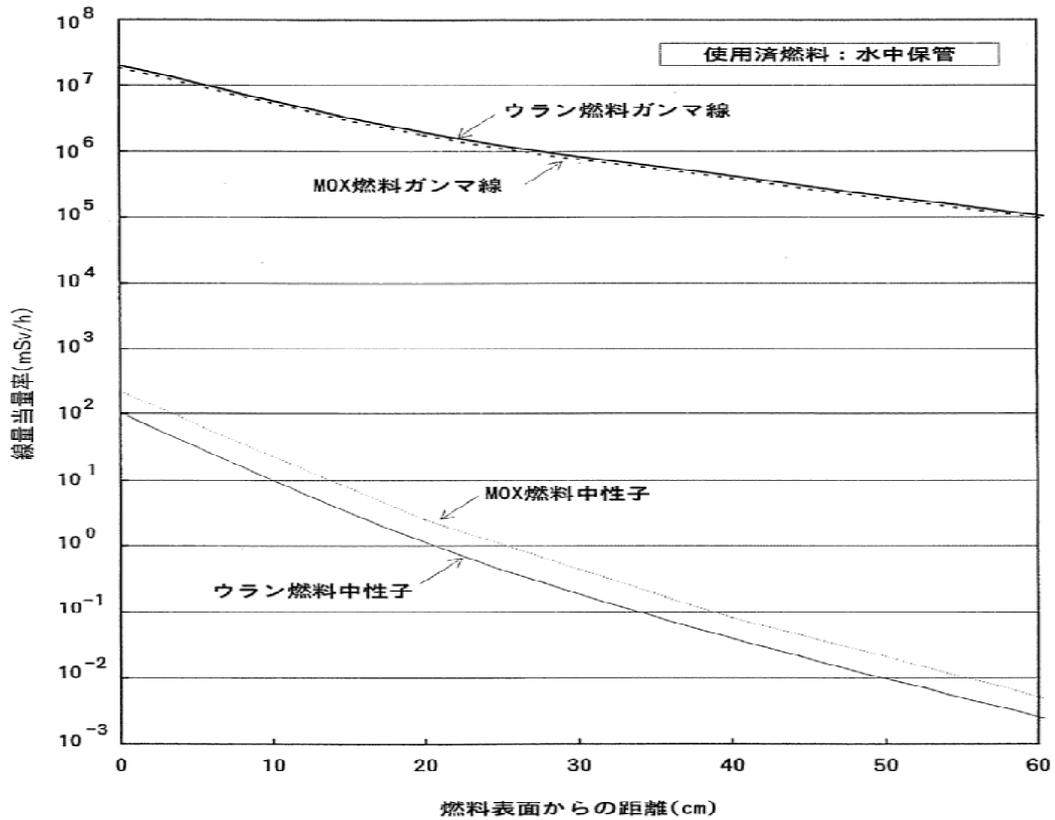
○被ばくの観点

使用済MOX燃料は、使用済ウラン燃料と同様、全て水中で取扱い、燃料プールで貯蔵することから、プール水の遮へい効果により、被ばくの問題が生じることはない。水は1 mの水深で1/1000以下に放射線を低減させる。燃料プールに保管中の燃料上部から水面までの距離は約7 mあり、プール近傍でもほとんど被ばくすることはない。

・なお、使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料では核分裂生成物核種組成等がほ

ほぼ等しく、燃料集合体あたりのガンマ線はほぼ同等となる。

使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料の線量（評価例）



（ウラン燃料：最高燃焼度 55 GWd/t MOX燃料：最高燃焼度：40 GWd/t）

（出典：沸騰水型原子力発電所MOX燃料の貯蔵について（平成11年8月 株式会社日立製作所）

【文献】

○核分裂生成物については、燃焼度が高ければそれだけ核分裂するのでより多くの核分裂生成物が出る。プルトニウムが含まれていることに対する特有の現象としては、TRUと呼ばれる超ウラン元素が、多少蓄積をする。それと発熱量が多少高目になるが、今の貯蔵能力でも十分に貯蔵できると理解している。TRUはアルファ線を出す放射性物質であるが、アルファ線というのは紙1枚で止るので、燃料棒の外に出てくることはない。ガンマ線は、ほかの核分裂生成物からたくさん出るので、放射能的、全体の量的にはほかの燃料と大差ない。

（出典：注1）

【原子力安全委員会】

○発熱量

- ・使用済燃料の場合は、MOX燃料とウラン燃料とでは核分裂生成物の蓄積量が若干異なることから、崩壊熱に若干の相違が見られ、原子炉停止後しばらくの間は、MOX燃料の方が崩壊熱が小さく、その後はMOX燃料の方が大きくなる傾向にあり、これを考慮して燃料の貯蔵設備の設計を行なう必要がある。
- ・燃料の発熱量の計算については、MOX燃料及びウラン燃料に含まれる超ウラン元素や核分裂生成物等の崩壊特性を入力値として適切に反映することにより

一般的な手法を用いて行うことができる。

○線量当量率

- ・使用済MOX燃料は、水中で取り扱うことからガンマ線強度が問題となるが、使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料ではF P核種組成等がほぼ等しく、燃料集合体当たりのガンマ線強度はほぼ同等である。

(出典：「改良型沸騰水型原子炉における混合酸化物燃料の全炉心装荷について」付録9)

【原子力安全・保安院】

- 「使用済MOX燃料の取扱いや貯蔵は安全に行えるか」については、安全審査で使用済燃料貯蔵プール冷却設備で冷却できるかどうかを確認する。

(出典：注3)

◆顧問のコメント

- 使用済MOX燃料とウラン燃料ではF P核種組成等がほぼ等しく、ガンマ線強度は同等である。従って使用済燃料貯蔵プール冷却設備で充分。
- 中国電力の説明に同じである。

●県の考え

使用済MOX燃料と使用済ウラン燃料の核分裂生成物の核種組成はほぼ等しいことから、発熱量、放射線量ともに使用済ウラン燃料と大差なく、従来の燃料プールで安全に取扱いや貯蔵ができると考えられる。

-
- ①使用済MOX燃料のガンマ線量は使用済ウラン燃料とほぼ等しく、また使用済ウラン燃料と同様に燃料プールの水中で取り扱われることから十分な遮蔽効果が期待できる。
従って、従事者被ばくが使用済ウラン燃料と比べて増えるとは考えにくい。
 - ②また、発熱量もウラン燃料と大差なく、現在の燃料プールの冷却能力で十分対応可能と考えられる。

(2) 使用済MOX燃料の処理方策

▼ 検討内容

○ 使用済MOX燃料の処理方策に対する見解

■ 上記に対する見解等

〔中国電力〕

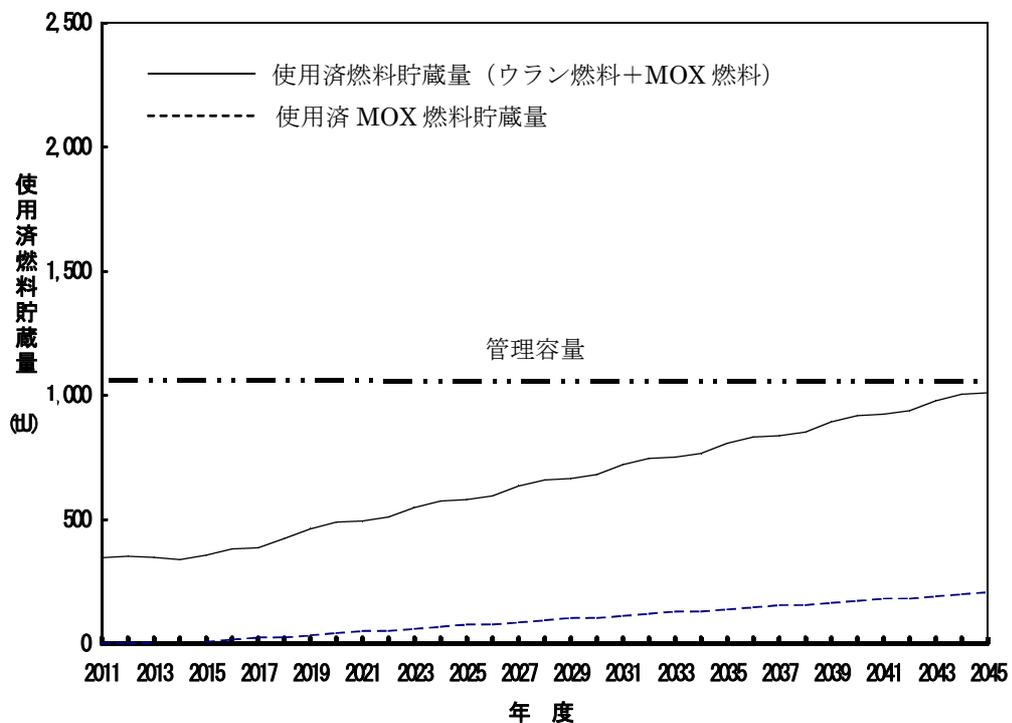
○ 使用済MOX燃料の処理方策については、国において2010年頃から検討が開始され、その操業が六ヶ所再処理工場の操業終了に十分間に合う時期までに結論を得ることとされており、中国電力としては、当面、適切に貯蔵管理することとしている。

○ なお、仏国COGEMA社の再処理工場において約22トン、国内の東海再処理工場において約20トンの使用済MOX燃料の再処理実績がある。

使用済MOX燃料の再処理については、新型転換炉「ふげん」等の使用済MOX燃料の再処理実績より、燃料の溶解特性やウラン、プルトニウム、核分裂生成物等の抽出特性に、ウラン燃料と有意な相違は認められておらず、また、燃焼度の差による有意な相違も認められていないことから、使用済MOX燃料の再処理は技術的には可能と考えられる。

下図に「島根原子力発電所使用済燃料貯蔵量の推移」を示す。

島根原子力発電所使用済燃料貯蔵量の推移



- ・ 2010年頃から、使用済MOX燃料の処理方針について検討開始
- ・ 2045年頃に第2再処理工場の運転開始

〔文献〕

- 使用済MOX燃料のその後の扱い方については、技術に係わるものと原子力発電全体を考えたものの両方があるので、それらを別の問題としてそれぞれについて見解をまとめる。
- 技術的な観点から言えば、ウランとプルトニウムは化学的な性質が似通っているので、ウラン燃料とMOX燃料はその性質において大きな違いはない。大まかに言えば、使用済MOX燃料は今の技術で再処理することが可能である。実際に、東海再処理工場で新型転換炉「ふげん」のMOX燃料が再処理されており、他にもいくつかの実績がある。ただし、使用済MOX燃料は、使用済ウラン燃料と比べて、軽水炉で燃えやすいプルトニウム239、プルトニウム241の割合が少ないという特徴があるので、実際に再処理を実施する際には、使用済ウラン燃料と混合して再処理して、プルトニウム239、プルトニウム241の割合を高める方法をとることになると考えられる。
- なお、高速増殖炉ではすべてのプルトニウム同位体がよく燃えるので、高速増殖炉が実用化されれば使用済MOX燃料からのプルトニウムも使用済ウラン燃料からのプルトニウム同様に使用することができる。
- 政策的な観点から言えば、国内で毎年1000tほどの使用済み燃料が発生する予定であり、再処理工場の処理能力は年間800tであるから、軽水炉で使いやすいプルトニウムを含むウランの使用済み燃料を優先的に再処理を行い、使用済MOX燃料は貯蔵しておくというのが、現実的な政策判断であると思われる。

(出典：注1)

〔原子力委員会の見解〕

- 原子力政策大綱（平成17年10月14日閣議決定）

中間貯蔵された使用済燃料及びプルサーマルに伴って発生する軽水炉使用済MOX燃料の処理の方策は、六ヶ所再処理工場の運転実績、高速増殖炉及び再処理技術に関する研究開発の進捗状況、核不拡散を巡る国際的な動向等を踏まえて2010年頃から検討を開始する。この検討は使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用するという基本的方針を踏まえ、柔軟性にも配慮して進めるものとし、その結果を踏まえて建設が進められるその処理のための施設の操業が六ヶ所再処理工場の操業終了に十分間に合う時期までに結論を得ることとする。

◆顧問のコメント

- 使用済MOX燃料は、今の技術で再処理可能。再処理は政策判断で行えばよい。
- 我が国の方針を含め、中国電力の説明と同じことを承知している。なお、使用済MOX燃料の処理に関し付言すると、IAEA資料の記述によれば軽水炉におけるMOX燃料の1回限りの使用済み燃料は、現行の再処理方式であるピュレックス法で可能でありフランスでは実績もあるとしている。しかし、2回、3回と使用を経た使用済みMOX燃料の再処理は、プルトニウム同位体構成が変化して放射線レベルが高くなることから現行のピュレックス方式では難しく、新たな方式の研究開発が行われているとしているので、我が国において201

0年頃から検討を開始する際にはこのような動向にも鑑みて検討されると思われる。

●県の考え

国の原子力政策大綱では、使用済MOX燃料の処理方策は2010年頃から検討を開始し、六ヶ所再処理工場の操業終了までに十分間に合う時期までに結論を得るとしている。

従って、使用済燃料の処理の方策が確定するまでの間、中国電力が適切に貯蔵保管するとしていることは妥当と考える。

-
- ①中国電力は、使用済MOX燃料の処理方策の結論が出るまで、当面、適切に貯蔵管理することとしている。
 - ②原子力政策大綱では「使用済MOX燃料の処理の方策は、2010年頃から検討を開始する。（略）その処理のための施設の操業が六ヶ所再処理工場の操業終了に十分間に合う時期までに結論を得ることとする。」としており、国においては、責任を持って核燃料サイクル政策を推進を図るべきである。

7. 耐震安全性

▼検討内容

- 「耐震設計審査指針の見直しが行われているが、プルサーマルを導入しても耐震安全性は大丈夫か。」との意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- 原子力発電所は、国の「耐震設計審査指針」等に基づき、過去の地震や活断層の存在などを文献や現地調査などにより詳細に調べ、将来その地域で予想される最も大きな地震にも耐えられるよう設計している。また、安全上重要な建物・構築物は堅固な地盤（岩盤）に設置し、地震による揺れを小さく抑えている（※1）。

島根2号機は、その地域で考えられる最大地震として以下の大きさの地震を考慮し、これらを上回る基準地震動S2（最大加速度：398gal）により、安全上特に重要な設備の安全機能が保持できるよう設計している。

- ・西暦880年の出雲の地震に余裕を見たM（マグニチュード）7.5（※2）
- ・直下地震としてM6.5
- ・また、島根1号機についても、島根2号機の基準地震動S2に対する耐震安全性を確認している。
- ・さらに、島根3号機においては基準地震動S2-D1（最大加速度：398gal）に加えて、基準地震動S2-D2（最大加速度：456gal）を設定し設計しており、島根1, 2号機においても島根3号機の基準地震動S2-D2に対する耐震安全性を確認している。

※1 平成12年鳥取県西部地震（M7.3）においては、島根原子力発電所の建物地階で最大加速度34galが観測された。このとき発電所近くの旧鹿島町役場では最大加速度109galが観測されている。

※2 M（マグニチュード）：地震の規模を表す単位で、地震のエネルギーの大きさを表している。

〔原子力安全委員会〕

- 原子力施設の耐震安全性については、立地地域周辺の過去の地震、活断層による地震、直下地震などを考慮して、想定されるいかなる地震力に対しても、

- （1）止める（原子炉の緊急停止）
- （2）冷やす（原子炉停止後の崩壊熱除去）
- （3）閉じ込める（放射性物質を格納容器に閉じ込める）

という重要な安全機能を保持し、このような地震力が大きな事故の要因とならないように設計が行なわれている。

また、このような耐震設計が各原子力発電所において確実に実施されることについては、原子力安全・保安院において安全審査（1次審査）を実施し、その審査結果について原子力安全委員会においても2次審査を実施する等により、厳正に確認を行うとともに、原子炉施設の耐震安全性の向上については、最新の知見の反映など、常に万全を期すよう心がけている。

（出典：原子力安全 意見・質問箱 2005年4月4日）

- ダブルチェックの際に原子力発電所の耐震設計について、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定)に基づいて安全審査を行っている。本指針では、まず基本方針として、「発電用原子炉施設は、想定されるいかなる地震力に対してもこれが大きな事故の誘因とならないよう十分な耐震性を有していなければならない。」としている。
- ・指針では、この基本方針に基づき、原子力発電所の各施設について、それぞれの施設を安全確保の観点から3つの重要度に分けて耐震設計上の要求を行っている。
- ・このうち重要度の高いもの(Aクラス)については、「近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうち、敷地の基盤に最大の地震動を与える地震(設計用最強地震)」においても耐えるように設計を行うこととしている。また、Aクラスの施設のうち、原子炉圧力容器等の安全上特に重要な施設(A sクラス)については「地震学上設計用最強地震を上回る地震のうち敷地の基盤に最大の地震動を与える地震(設計用限界地震)」においてもその安全機能を保持できるよう設計することとしている。

(出典：原子力安全 意見・質問箱 2004年12月6日)

〔原子力安全・保安院〕

○安全審査

- ・原子力発電所の耐震設計について、原子力安全委員会の定めた耐震設計審査指針への適合性はもとよりのこと、敷地周辺の活断層や過去の地震などの詳細な調査に基づき、想定される最大の地震動に対しても安全性が確保されていることを確認する。この安全審査は、その時点の最新の知見を踏まえて厳正に行っている。
- 原子力発電所の運転開始後も、適宜その時点で得られた最新の知見を踏まえた安全確認を行っている。
- 一定以上の大きさの地震動を関知した場合には、直ちに原子炉が自動停止する仕組みとなっている。

(出典：「原子力発電所の耐震安全性について」平成18年3月)

○耐震設計審査指針の見直し

- ・耐震設計審査指針の改訂原案が原子力安全委員会により4月28日に取りまとめられたことを受け、以下のように対応する。

当院は、従来から、耐震指針への適合性はもとより地震学や耐震工学の最新の知見を踏まえた安全審査等を行ってきており、既に稼働中又は建設中の発電用原子炉施設(以下、「既設発電用原子炉施設」という。)の耐震安全性は確保されているものと考えている。新耐震指針が最近の地震学や耐震工学の成果など最新の知見を取り入れて、発電用原子炉施設の耐震安全性に対する信頼性を一層向上させることを目的にしていることを受け、当院は、既設発電用原子炉施設についても新耐震指針に照らして耐震安全性を評価することにより耐震安全性の信頼性の一層の向上を図っていくことが重要であると考え、次のような手順でこのための作業を進めていくこととする。

- (1) 原子力安全委員会において新耐震指針の原案が決定され意見公募がなさ

れる段階で経済産業省の総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会を開催し、①事業者が新耐震指針に照らして耐震安全性を評価するための基準的な手法、②事業者が行った評価結果を当院として確認するための基準、について検討する。

(2) 原子力安全委員会において新耐震指針が策定された段階で、当院から事業者に対して新耐震指針に照らして耐震安全性の評価を行うことを指示する。なお、耐震安全性の評価の作業には一定の期間を要することから、事業者に対して、評価作業に入るに先立ち事業所毎に実施計画書を作成し、当院に報告することを求める。

(3) 事業者は、必要に応じて地質調査等を実施した上で耐震安全性を評価し、当院へ報告する。当院は、報告書の提出があったものから順次確認することとし、確認結果については、耐震・構造設計小委員会に報告する。その上で、当院は、確認結果を原子力安全委員会に報告する。

(出典：「発電用原子炉施設の新耐震指針の取りまとめに対する経済産業省原子力安全・保安院の対応について」平成18年5月11日)

◆顧問のコメント

- 耐震問題について、県としては結論が出せない問題なので、原子力安全委員会へ任せるべき。
- 耐震性は、地盤や建屋や機器に関することであり、これらは、燃料がMOXであってもウランであっても同じであるので、耐震安全性は変わらない。
- 耐震の問題は、プルサーマルとは、直接関係しない。原子力発電所全体の問題である。
- 原子力安全委員会による耐震設計審査指針の見直し(案)は、4月28日に取りまとめられた。その対象は新規プラントの耐震性強化を趣旨とするものではあるが、在来炉へのバックフィットにおいても現実的対応が期待されているものと理解している。この基準は在来のウラン燃料、プルサーマルの相異に拘わらず原子力発電所全体の耐震構造健全性を対象とするものであるから、島根2号機においても耐震性強化のため然るべく現実的なバックフィットが検討されるものと考えている。

●県の考え

耐震安全性は主として建屋・機器に関することであり、ウラン燃料の一部に酸化プルトニウムを混合するプルサーマル計画を採用するか否かで影響を受けるものではない。また、MOX燃料の構造は、従来のウラン燃料と同じことから、耐震安全性は現在のウラン燃料炉心と同等と考えられる。

しかしながら、耐震設計審査指針が改定された際には、島根原子力発電所の耐震安全性について確認を行う必要がある。

①島根原子力発電所の耐震安全性については、国において、その時点における最新の知見を踏まえた厳格な安全審査が行われている。

②現在、安全審査の際に用いられる耐震設計審査指針の見直しが行われてお

り、新指針が策定された場合には、国において既存の原子力発電所に対しても新指針に照らした安全確認が行われると承知している。

県としては、原子力発電所等が立地する道県で構成する「原子力発電関係団体協議会」として、国に対して「耐震設計審査指針改訂後は、新たな指針に基づき、厳正かつ速やかに既設の原子力発電所の耐震安全評価を行い、必要に応じ、事業者に対する対策の指示を行われたい。」と要望している。

③MOX燃料集合体の強度は、従来のウラン燃料集合体と基本的に同一であると考えられる。

④以上のことから、耐震安全性は現在のウラン燃料と同等と考えられる。

8. テロ対策

▼検討内容

- プルトニウムを用いるとテロ攻撃の対象となる可能性が高くなるのではないかとの意見に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

- 島根原子力発電所においては、核物質の盗難、不法な移転及び妨害・破壊行為を防止するため、法令に基づき核物質防護対策を講じている。
- ・防護対策の具体的な内容については、機密保持の観点から説明出来ないが、MOX燃料を導入するにあっても、現状の防護設備等で基本的に対応可能と考える。
- ・これまでも、島根原子力発電所では、原子炉等規制法において、施設内の核物質の盗取等の不法移転や、施設内の重要機器等の妨害破壊行為による放射性物質の外部放出に対する防護のため必要な措置について、「核物質防護規定」を定め、これを遵守すること、及び防護に関する業務を統一的に管理する「核物質防護管理者」を選任すること等を行ってきた。
- ・米国における2001年9月11日の同時多発テロの発生以降、テロを巡る情勢は国際的に緊迫しており、島根原子力発電所においても、銃器を所持した警察官が常時配備されるなど、核物質防護のための強化策が講じられている。
- このようなテロを巡る国際情勢を踏まえ、より厳しさを増している核物質防護に的確に対応し、我が国原子力施設の防護水準を国際的に遜色のないレベルにまで引き上げ、核物質防護体制を磐石のものとするため、国においては、IAEA（国際原子力機関）の最新のガイドラインの防護要件を取り入れた原子炉等規制法の改正が行われた。
- ・この法令改正に従って島根原子力発電所においても、核物質防護設備の整備および核物質防護規定の変更等、核物質防護対策の強化を行っている。

〔原子力安全委員会〕

- 原子力発電施設については、国、関係地方自治体、事業者が一体となったテロ対策が進められている。具体的には、警察及び海上保安庁が、陸上及び海上からの警備を実施し、事業者が出入管理を行う等テロの未然防止の措置がとられている。
- 今後とも、政府、関係者が一体となって、原子力発電施設に対するテロ未然防止のための取り組みが進められることとなる。
- 原子力発電所等のテロ対策については、より厳しさを増しているテロ脅威に的確に対応し、我が国の原子力発電所等の防護水準を国際的に遜色のないレベルにまで引き上げ、核物質防護体制を盤石のものとするため、IAEAの最新のガイドラインに規定されている防護要件を参考とし、各種防護体制の強化（設計基礎脅威（DBT）の導入、核物質防護検査制度の創設、核物質防護に係る秘密制度の制定）を盛り込んだ原子炉等規制法の一部を改正する法案が成立した。

（出典：原子力安全 意見・質問箱 2005年8月8日）

〔原子力安全・保安院〕

- 原子力施設からの核物質の不法移転（盗取等）や、原子力施設等へのサボタージュ（妨害破壊行為）による放射性物質の外部放出に対する防護のため、原子力事業者は、原子炉等規制法において必要な防護措置（防護区域等の設定、出入管理、監視装置、見張り人の巡視、詳細事項の情報管理等）を実施してきている。原子力安全・保安院も治安当局と連携してこれをサポートしている。
- 近年、国際的なテロ脅威の高まり等から、平時における対応として原子力事業者が講じる核物質防護対策についても、国際的に遜色のないレベルにまで引き上げることが重要である。
- 国際原子力機関（IAEA）ガイドラインを踏まえ、抜本的な核物質防護対策の強化を図るため、設計基礎脅威（DBT）の導入、核物質防護検査制度の創設、核物質防護に係る機密保護制度の制定を盛り込んだ原子炉等規制法の改正等を実施（平成17年12月1日施行）した。
- この結果、国際的水準に適合し、想定される脅威に対応した核物質防護対策の強化が図られることとなった。

（出典：第19回原子力安全委員会資料第2号

「原子力安全・保安院5年間の発展と今度の課題（原子力安全関係）」

【島根県】

○島根県国民保護計画

- ・島根県においては、平成18年1月20日に「島根県国民保護計画」を策定し、島根原子力発電所への武力攻撃事態等に対して平素からの備え、予防から災害発生時の対策まで一連の措置について定め、的確な国民保護措置を講じることとしている。

◆顧問のコメント

- MOX燃料のプルトニウムは原爆に用いるには、同位体組成が劣化しており、大きい爆発力を得るのは困難であると言われている。原爆を作るためにはMOX燃料からプルトニウムだけを抽出する必要もある。従って、MOX新燃料集合体がテロ組織の奪取の対象となることは考えにくい。使用済みMOX燃料は放射線が高く取扱い設備も必要なので、さらに対象とはなりにくい。テロ対策は、近年強化されており、適切な防護体制が整えられていると理解している。
- 国がテロ対処措置を講じている。
- テロ対策は進められている。世界情勢から見てテロ対策は悲しい現実であり、我が国が余剰プルトニウムを抱えこむことは、内外からの潜在的なテロ組織のターゲットにされる危険性ばかりでなく、国全体として無用な国際摩擦を生む源になることから、余剰プルトニウムを減らす手だてとしてプルサーマルを推進する原子力政策は、人命尊重の上からも国際平和上も非常に重要である。

●県の考え

原子力発電所へのテロ攻撃については、国、関係自治体、事業者が一体となった対策が進められている。

なお、原子力発電所にとってテロ攻撃は脅威であるが、プルサーマルを実施したからといって、テロの可能性が特に高まるとは考えにくい。

- ①原子力発電所は耐震性や遮蔽性能の観点から、強固な構造物となっており、外部からの衝撃に対しては相当な耐力を有していると考えられる。
- ②テロ対策は外交的、政治的努力によってその可能性を低減していく必要があると考える。
- ③島根県においては、平成18年1月20日に「島根県国民保護計画」を策定し、島根原子力発電所への武力攻撃事態等に対して平素からの備え、予防から災害発生時の対策まで一連の措置について定め、的確な国民保護措置を講じることとしている。
- ④原子力発電所は、有事の際には攻撃対象となる恐れも高いことから、県としては、「原子力発電関係団体協議会」として、国に対して「大幅な警察機能の強化を図るなど万全の体制を確立すること。」などを要望している。

9. 中国電力の安全管理体制

▼検討内容

○最近の島根原子力発電所における安全確保体制や技術的能力に対する見解

■上記に対する見解等

〔中国電力〕

1. 発電所の安全対策

○多重防護の設計

- ・原子力発電所は、その運転により原子炉内に放射性物質が発生、蓄積されるという特性を考慮し、一般の産業施設等における措置以上に入念な事故防止のための技術的措置を講じている。
- ・具体的には、多重防護の考え方により、余裕のある安全設計により異常の発生を未然に防止するとともに、仮に異常が発生したとしても、それが事故にまで拡大し、周辺公衆に著しい放射線被ばくを及ぼすことがないように、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」^(*)の安全機能による十分な事故防止対策を講じている。

^(*) 止める・・・自動的に原子炉を停止する装置

冷やす・・・非常用炉心冷却装置

閉じ込める・・・原子炉格納容器

○厳重な品質管理、入念な点検・検査

- ・発電所では品質保証体制を確立し、事故の発生防止のために厳重な品質管理に努めるとともに、定期検査時に加え、通常運転期間中においても機器・系統を定期的に巡視点検・検査することで事故や異常の発生防止に努めている。

○社員の資質向上

- ・運転員、保修員を含めた原子力部門の技術系社員は、技術訓練センターでの訓練に加え、国内の原子力関係機関（株式会社BWR 運転訓練センター等）において、各人の能力、目的に応じた実技訓練や机上教育を計画的に実施し、一般及び専門知識、技能の習得及び習熟に努めている。また、原子力安全の達成に必要な技術的能力を維持・向上させるため、保安規定に基づき対象者、教育内容、教育時間等について保安教育実施計画を立てそれに従って教育を実施している。

○安全文化の醸成

- ・国際的には、原子力発電の安全性、信頼性をより一層向上させる目的で設立されたWANO（世界原子力発電事業者協会）^(*)1)の活動を通じて、国内においては、原子力産業界全体の安全意識の高揚、モラルの向上、原子力の安全文化の共有化・向上を図り、原子力に対する信頼を回復することを目的として設立したNS ネット^(*)2)（ニュークリアセイフティネットワーク、平成17年3月に日本原子力技術協会へ継承）の活動を通じて、安全文化の醸成に努めている。
- ・具体的には、会員の専門家により構成したチームにより、会員の事業所の原子力安全に関する取り組みを、現場観察及び書類審査、面談などの意見交換を通して専門的立場から評価し、課題や良好事例を抽出することで、会員の自主的な安全推進活動の向上を図っている（ピュアレビュー）。
- ・また、「安全文化意見交換会」を通して、経営者をはじめとして発電所員と原

子力安全委員会との間で、安全文化に関する意見交換を行っている。

- ・更にモラル向上のための教育を定期的に実施している。

(*1) WANO : World Association of Nuclear Operators

原子力発電事業者単位で会員となる民間組織で、会員間で、情報を交換することと、コミュニケーション、比較、学び合いを奨励することにより原子力発電所の安全性と信頼性を最高レベルに高めることを目的としています（1989年5月設立）。

2005年1月末現在、35の国と地域の440以上の原子力発電所が会員になっています。

(*2) NS ネット

JCO 臨界事故を教訓に、1999年12月に設立された組織ですが、現在は、日本原子力技術協会にその業務が継承されています。NS ネットは、原子力業界会員が、安全文化の共有、向上を図るために設立された相互交流ネットワーク組織です。

2. 品質保証活動

○品質保証活動は、ISO9001-2000を基本とする「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（JEAC4111-2003）に従って、社長をトップマネジメントとする品質マネジメントシステムを確立、実施、評価を行うことで、システムの有効性を継続的に改善している。

- ・島根原子力発電所においては、社長が定めた品質マネジメントシステムに基づき、保安規定において「島根原子力発電所品質マニュアル」を定め、これにより品質保証活動を的確に遂行し、発電所の安全・安定運転の継続を図っている。
- ・また、保安規定において、巡視点検及び保守管理について規定し実施している。
- ・島根原子力発電所の安全・安定運転を維持するために、系統、機器等について安全上の機能・重要度等に応じた適切な保全を実施している。

この保全では、保全計画（点検・補修等の方法、実施時期及び頻度）、点検、補修等の結果の確認・評価方法、記録の採取・保存及び是正処置の方法を定め、点検、補修、取替、改造などの実施並びに当該設備が技術基準に適合することを定期事業者検査において確認している。

○国の安全規制

原子力発電所は、原子炉等規制法に基づき原子炉の設置許可、設計および工事の方法の認可、使用前検査、溶接検査、保安規定の認可、運転開始後の定期検査、保安規定の遵守状況の検査（保安検査）ならびに運転管理監督までの安全規制が実施されている。

また、電気事業法の規定に基づき、工事計画認可、使用前検査、溶接検査、定期検査等の安全規制が実施されている。

3. 運転員・保修員の資質向上

- ・発電所の安全確保および安定運転に必要な知識、技能、モラルを兼ね備えた要員を養成するための教育訓練は、日常業務を通して行うOJTを主体とし、これを補完するために社内外の研修を活用している。

○運転員の資質向上策

- ・運転員の教育・訓練は、運転員の知識・技能の維持・向上を目的として運転員の長期養成計画に基づき、（株）BWR運転訓練センター（BTC）、当社原

子カシミュレータ、技術訓練棟において体系的、計画的に実施している。

- ・運転員の資格レベルに応じた教育計画を運転員の長期養成計画として定めており、当社原子カシミュレータおよびBTCにおけるシミュレータを主体とした各種訓練、原子力の基礎教育、事故・故障時運転操作訓練及び原子炉施設保安規定の教育等の職場における教育を通じて、運転員の技能向上を図っている。

○ 係員の資質向上策

- ・品質保証センターにおいて、社内やメーカー等の専門的知識・技能を有している者を講師・指導員として、入社年数により初級、中級、上級、専門コース等、実機に近い設備・機器を用いた教育・訓練を実施し、作業安全管理、品質管理等の項目を設定し、係員担当員の養成に取り組んでいる。
- ・また、メーカー等主催の研修へも積極的に係員担当員を派遣し、技術・技能の習得を図っている。

4. プルサーマルに関する社内研修体制

- ・これまでも、燃料・炉心管理、燃料輸送、機器の点検・検査及び運転操作に関する継続的な社内外の研修・教育を通して、技術系職員の資質向上に努めるとともに、品質保証体制を確立する等を通して、島根原子力発電所の安全・安定運転に取り組んできているが、プルサーマルの実施にあたっては、MOX燃料の成型加工時の検査業務、輸送業務、発電所での受取・検査業務が新たな業務として加わることになるので、これまでの社内外の研修・教育に加えて、MOX燃料に関する社内外の教育・研修、作業前の事前教育・訓練を通じて、これまで同様、安全確保に万全を期していく。

○ プルサーマル実施に向けた主な研修

- ・品質管理強化に向けた社内教育，社外講習会の受講
- ・発電所作業員等に対する事前教育
 - ・MOX燃料加工工場での立会検査の事前教育
 - ・MOX燃料輸送に係る事前教育
 - ・MOX燃料受取作業の事前訓練（発電所内での取扱技術の習得）

○ これまでの燃料関係の主な研修・教育

- ・社内教育の実施
 - ①原子力部門全般を対象
 - ・初級教育の一環として燃料炉心についての教育を実施。
 - ・JCO事故の際、臨界管理について発電所員全員を対象とした教育を実施。
 - ②燃料関係者を対象
 - ・燃料検査員に対して事前教育を実施。
 - ・定期検査期間中の炉心管理について、関係者に対する教育を実施。
- ・社外講習会の受講
 - ・放射性物質安全輸送講習会（国土交通省）
 - ・核燃料に関する技術セミナー
 - ・核物質防護セミナー 等
- ・国内関連機関での研修
 - ・旧日本原子力研究所の炉物理・核燃料に関する研修

- ・ 東京大学大学院原子力専攻（専門職大学院）への職員の派遣 等

〔原子力安全委員会〕

- 3号機の安全審査において中国電力の技術的能力について審査しており、妥当なものとしている。
 - ・ 2基の原子炉の設計及び工事の経験と約30年におよぶ運転及び保守の経験を有している。
 - ・ 3号原子炉を設置するために必要な技術的能力と運転を適確に遂行するに足りる技術的能力を有するものと判断する。
 - ・ 3号炉の増設に伴い1号及び2号原子炉施設の変更を行うととしているが、申請者の組織、技術者の確保、経験、品質保証活動、教育訓練、有資格者の選任・配置の現状等から見て、これについても必要な技術的能力を有するものと判断する。

出典：

中国電力株式会社島根原子力発電所の原子炉の設置変更 （1号及び2号原子炉施設の変更並びに3号原子炉の増設）について （技術的能力に関する調査審議結果）

〔原子力安全・保安院〕

- 上記の原子力安全委員会と同様の見解。

◆顧問のコメント

- 事業者の技術的能力については国の安全審査で確認される。
「安全文化」の向上を旨として、安全確保に取り組んでいると理解している。
運転員・保守員の訓練も行われている。「水平展開」などにより過去の経験を生かすことも行われている。「安全確保」は原子力発電に携わる場合、経営の根幹であり、それがおろそかになる経営がなされることは考えにくい。
- 島根原発では情報公開が積極的に行われており、安全確保の機能が働いていると思う。
- 中国電力における安全確保体制、技術能力の維持向上への取り組みを妥当なものと考えている。原子力安全への取り組みは、中国電力だけでなく、他電力および原子力メーカ等の協力会社も含めた原子力事業総体として支えられるものであり、実は我が国の根幹を支えるエネルギーの安定確保、生活基盤の維持のために国民それぞれが原子力事業の意義を理解し、支えていくべきものである。
- 中国電力の技術的能力から考えて、安全性の評価は維持できる。

●県の考え

- ・ 中国電力が実施している安全対策、品質保証活動、教育訓練、研修などは適切なものと考えられる。
- ・ また、1号機営業運転開始以来30数年にわたり、1, 2号機ともに周辺環境に影響を与える事故もなく、現在まで安全運転を継続していることは評価できる。
- ・ 原子力発電所は、いわゆる多重防護の考えに基づき、たとえ人為ミスや機器の

故障が発生しても、安全が確保されるよう、設計の段階からきめ細かい防護対策が講じられている。しかしながら、発電所の運転管理にあたっては、人為ミスは起こりうるとの前提に立って、設計から運転保守に至る各段階において万全の措置を講ずる必要がある。

10. プルサーマルの必要性

(1) 懇談会での議論と検討結果

懇談会においては、必要性の検討項目として、中国電力がプルサーマルを導入する理由として掲げている①有限なウラン資源の有効利用、エネルギー安定供給に寄与、②余剰プルトニウムを持たないという国際公約の実行、③高レベル放射性廃棄物量の低減、の3項目について検討し、次の結論に達した。

- ①今後のエネルギー必要量予測、新エネルギーの伸び予測を見ると、必要エネルギーの安定供給のために、原子力発電を抜きには考えにくいと思われる。発電に伴って二酸化炭素の排出が少ない原子力発電が地球温暖化防止対策の柱の一つとなっていることの意味も大きい。
- ②我が国のエネルギー自給率は、主要先進国の中でも最も低い僅か4%と言われている中で、使用済燃料の再利用は、エネルギー資源の有効活用という視点から、取り組むべき課題である。ウラン資源も有限であり、ウラン、プルトニウムを再利用して安定したエネルギーの確保のため、プルサーマルの必要性を認める。
- ③利用目的のない余剰なプルトニウムを持たないという我が国の国際公約を果たし、平和利用の透明性を確保するために、プルサーマルの実施は有効である。
- ④使用済燃料を再処理して、高レベル放射性廃棄物と再利用できる資源とに分離することは、高レベル放射性廃棄物の量と放射能の強さが減少し、直接処分する場合と比べて有利である。

(2) 顧問のコメント

- ウラン資源有効利用、余剰プルトニウムを持たない国際公約の実行、高レベル放射性廃棄物量低減のためプルサーマル計画は必要と考える。
- 資源のない国が生き残るには、如何に有効利用するかが大切なこと。再生可能エネルギーも必要だが、時間変動のない安定した電力供給が必要であり、その面で原子力が有効である。日本は今後も「ものづくり」を基本とする産業が主体でありエネルギーの安定供給が出来ることが必要である。今日の快適な生活の維持には、原子力の利用は不可欠である。1/3を占める原子力をゼロにすることは不可能であり、安定・安価な電力供給が大切である。
- 平和利用は大切なことであり、推進すべきである。

(3) 検討事項

懇談会からの報告と顧問のコメントを踏まえ、中国電力のプルサーマル導入の必要性及び国の原子力発電・核燃料サイクルに対する考え方を整理し、県として検討した。

〔中国電力のプルサーマル導入の必要性〕

- 中国地方の電力需要は中長期的には、快適性志向の高まりや電化住宅の普及拡大から緩やかながら着実に増加していくものと想定しており、この電力需要に対応して電力の安定的かつ効率的な供給を果たすためには、バランスのとれた電源構成（ベストミックス）の実現を目指していくことが必要。
- 特に原子力比率の低い中国電力(株)においては、供給安定性、経済性、環境保全（運

転中にCO₂を排出しない)の面で優れた原子力の開発が経営の最重要課題。

- プルサーマルを含めた原子燃料サイクルの確立は、エネルギーの安定供給性に優れるという原子力発電の特性をより一層向上させるものであり、ウラン資源の有効利用、将来にわたるエネルギーの安定供給の観点から、その早期の確立は極めて重要。
- 地球環境問題に配慮しつつ、地域の皆さまに将来にわたり安定した電気をお届けすることを責務と考えており、その公益的課題達成のためにも、原子燃料サイクルの早期確立が必要。

○ウラン資源の有効利用

- ・再処理により回収されたプルトニウムを全てMOX燃料として再利用すると、ウラン利用効率を約2割程度高めることが可能。なお、回収ウランも全て再利用した場合には、ウラン利用効率を約4割程度高めることが可能。
- ・日本全体で計画中の16～18基の原子力発電所でプルサーマルを実施し、各原子力発電所でMOX燃料を炉心の1/3に装荷した場合のウラン資源の節約量は、年間約300億kWhの電力量に相当。
- ・核燃料サイクルに伴って獲得できるエネルギーは、再処理・MOX燃料加工等で使用するエネルギーに比べはるかに多いという試算がある。

○余剰プルトニウムを持たないという国際公約の実行

○高レベル放射性廃棄物の低減

- ・使用済燃料を直接処分した場合には使用済燃料そのものが高レベル放射性廃棄物になるのに対し、再処理を行った場合にはウランとプルトニウムを回収した後に残る高レベル放射性廃液をガラス固化したものが高レベル放射性廃棄物。
- ・再処理により、高レベル放射性廃棄物の量(体積)は約40%に減らすことができるとの試算あり。
- ・再処理を行った場合には、ウランとプルトニウムが回収されるため、放射能の強さは直接処分の場合に比べて減少し、環境負荷の低減も図れる。
- ・ガラス固化体(高レベル放射性廃棄物)は、冷却のために30～50年間、日本原燃(株)の貯蔵管理施設にて貯蔵を行った後、最終処分場に輸送。

なお、ガラス固化体は、法律に基づき、300m以深の地層に処分することになっており、現在、処分実施主体である「原子力発電環境整備機構」が平成40年後半頃(2035年頃)の処分開始を目指し、最終処分場の公募を行っているところ。

- 太陽光や風力などの新エネルギーは、自然条件による供給の不安定性やコスト高などから、現段階では補完的なエネルギー源との位置付け。これに対し、原子力発電は、その発電の過程でCO₂やSO_x・NO_xを排出しない上、安定的に大規模な電力供給を見込むことが可能。

なお、中国電力(株)では新エネルギーの普及促進に向けて、適切な購入基準を定めた余剰電力の購入、「中国グリーン電力基金」への業務支援等を実施。

- 日本原燃の再処理工場が本格操業すると、核分裂性プルトニウムが年間約4トン発生するが、プルサーマルが日本全体で16～18基導入された段階では需要が供給を上回り確実に利用可能。

【我が国の方針】

- 安定供給の確保、地球温暖化防止等の環境への適合を図るため、省エネの推進、新エネの開発、原子力発電の推進を図ることが必要。
- 原子力発電は、ウラン資源の安定供給面、発電過程で二酸化炭素を排出しないという地球温暖化対策面等で優れた特性を有し、安全確保を大前提に基幹電源として推進する。
- 核燃料サイクルは、供給安定性等に優れているという原子力発電の特性を一層改善するものである。このため、我が国としては核燃料サイクル政策を推進することを国の基本的考え方としている。

(参考)

- 「当面の核燃料サイクルの推進について」（平成9年2月4日閣議決定）
 - ・ウラン資源の有効利用となり、現時点で最も確実なプルトニウムの利用方法であるプルサーマルについては、これを早急に開始することが必要である。
 - ・準備を進めている一部電気事業者からプルサーマルを開始し、原子力発電を行っている全ての電気事業者が順次実施することが適当である。
- 「エネルギー基本計画」（平成15年10月7日 閣議決定）
 - ・原子力発電は、
 - ①燃料のエネルギー密度が高く備蓄が容易であること
 - ②燃料を一度装填すると一年程度は交換する必要がないこと
 - ③ウラン資源は政情の安定した国々に分散していること
 - ④使用済燃料を再処理することで資源燃料として再利用できることから国際情勢の変化による影響を受けることが少なく供給安定性に優れており、資源依存度が低い準国産エネルギーとして位置付けられるエネルギーである。また、発電過程で二酸化炭素を排出することがなく地球温暖化対策に資するという特性を持っている。他方、適切な安全確保がなされない場合には大きなリスクを持つことから、国が法令に基づき、その安全を確保するための厳重な規制を行ってきたところである。原子力発電については以上の点を踏まえ、安全確保を大前提として、今後とも基幹電源と位置付け引き続き推進する。
 - ・核燃料サイクルは、原子力発電所から出る使用済燃料を再処理し、有用資源を回収して再び燃料として利用するものであり、供給安定性等に優れているという原子力発電の特性を一層改善するものである。このため、我が国としては核燃料サイクル政策を推進することを国の基本的考え方としており、これらのプロセスの一つひとつに着実に取り組んでいくことが基本となる。その際、安全の確保と核不拡散が前提となることは言うまでもなく、さらに、原子力発電全体の経済性や国民の理解の確保が重要な要素であることから、これらを踏まえて確に、核燃料サイクルを進めることとする。なお、長期的観点からは、エネルギー情勢、ウラン需給動向、核不拡

散政策、プルトニウム利用の見通し等を勘案して、その進め方は硬直的ではなく、柔軟性を持ちつつ着実に取り組むことが必要である。核燃料サイクルの重要な前提である使用済燃料の再処理によって発生するプルトニウムの確実な利用という点で、当面の中軸となるプルサーマルを着実に推進していくものとする。

○「原子力政策大綱」(平成17年10月14日 閣議決定)

- ・我が国において各種エネルギー源の特性を踏まえたエネルギー供給のベストミックスを追求していくなかで、原子力発電がエネルギー安定供給及び地球温暖化対策に引き続き有意に貢献していくことを期待するためには、2030年以後も総発電電力量の30～40%程度という現在の水準程度か、それ以上の供給割合を原子力発電が担うことを目指すことが適切である。
- ・我が国においては、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、安全性、核不拡散性、環境適合性を確保するとともに、経済性にも留意しつつ、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする。この基本方針を踏まえ、当面、プルサーマルを着実に推進することとする。

●県の考え

長期的エネルギーの安定供給の確保、地球温暖化対策への貢献、余剰プルトニウムを持たないという国際公約の実行、高レベル放射性廃棄物量の低減にも寄与するなどの観点から、プルサーマルを実施するとする国及び中国電力の考え方は、合理性があり理解できるものである。