

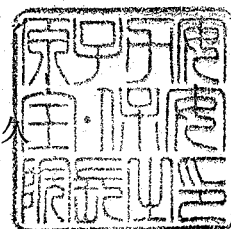
経済産業省

平成 20・12・17 原院第 2 号

平成 20 年 12 月 26 日

松江市長 松浦 正敬 殿

経済産業省原子力安全・保安院長 薦田 康久



島根原子力発電所 2 号機のウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の使用に係る国への原子炉設置変更許可申請の申請了解について（回答）

平成 18 年 10 月 27 日付け政第 410 号において質問のありました上記の件について、別紙のとおり回答いたします。併せて「中国電力株式会社島根原子力発電所 2 号炉におけるウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料の使用（プルサーマルの実施）に係る原子炉の設置変更許可に関する安全審査結果」を添付します。



1. 大地震時における原子炉の緊急停止等について

原子力発電所の安全性を確保するため、地震時においても制御棒が確実に炉内に挿入されることが設計上求められている。中国電力においては、地震時においても制御棒が所定の時間内に挿入できることを確認するため、制御棒、燃料集合体、制御棒駆動機構を模擬した試験装置により加振させ、制御棒の挿入時間を測定している。その結果、燃料集合体の相対変位が 40mm 以内であれば、設置許可申請書に記載してある時間内に制御棒の挿入が可能であるとしている。

一方、平成 18 年 9 月に原子力安全委員会において耐震設計審査指針が見直されており、中国電力においては、新しい耐震指針に基づく基準地震動 S_s の検討が行われ、基準地震動 S_s に基づく制御棒の挿入性についても評価が行われている。評価によれば、建物・機器の連成モデルにより大型機器の地震応答解析を行って燃料集合体の相対変位を求め、相対変位が 40mm 以下であることを確認したとしている。

原子力安全・保安院では、これらの評価結果について、専門家からなる審議会の場で厳正に審査し、その結果を別添資料のとおりとりまとめたところであるが、制御棒の挿入性については、評価方法の妥当性について確認し、島根原子力発電所 2 号機の地震時の挿入性については問題のないことを確認している。

また、プルサーマル実施原子力発電所の原子炉特性等については、地震によってその特性等について影響があるものではない。

なお、上述の報告書には中国電力のバックチェックに対する保安院の評価として基準地震動の妥当性、施設の耐震安全性の妥当性についても記載している。

2. MOX 燃料の放射線毒性と被ばく低減措置について

(1) 放射線毒性の比較

原子力発電所の運転に伴って発生する放射線のうち、人体への影響を考慮する必要がある放射線としては α 線 *1、 β 線 *2、 γ 線 *3 及び中性子線 *4 がある。

① α 線の特徴

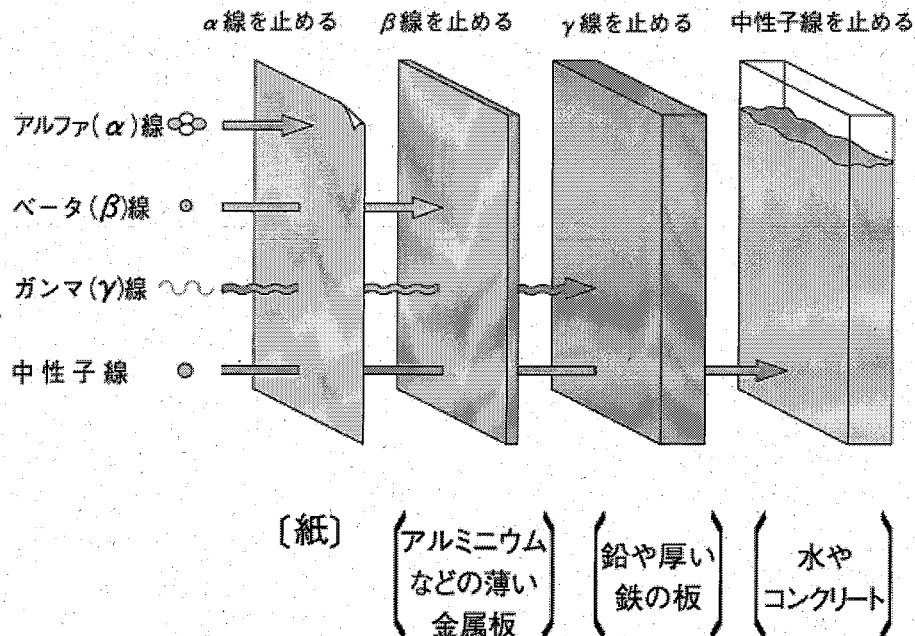
α 線は、紙一枚で遮へいすることが可能であるため、ウラン及びプルトニウムを体内に取り込まない限り、被ばく上問題となることはない。

② β 線の特徴

β 線は、薄い金属板などで遮へいすることが可能であり、燃料被覆管で十分に遮へいされるため、被ばく上問題となることはない。

③ γ 線及び中性子線の特徴

γ 線及び中性子線は、 α 線、 β 線に比べてはるかに高い透過性を持っているが、鉛、厚い鉄の板及び水などで遮へいすることができる。



1) ウラン新燃料と MOX 新燃料の比較

ウラン新燃料は、極めて長半減期のウラン 235 及びウラン 238 により構成されるが、MOX 新燃料に含まれるプルトニウム 238、プルトニウム 240 及びプルトニウム 241 の半減期は比較的短く、これらの核種の崩壊により発生する α 線、 β 線、 γ 線、及び自発核分裂 *⁵により発生する中性子線は、ウラン新燃料より多くなる。

MOX 新燃料の線量率は、プルトニウムの含有率、再処理後の時間等により異なるが、燃料表面で約 3 mSv/h 程度と高く、ウラン新燃料の 100 倍程度である。

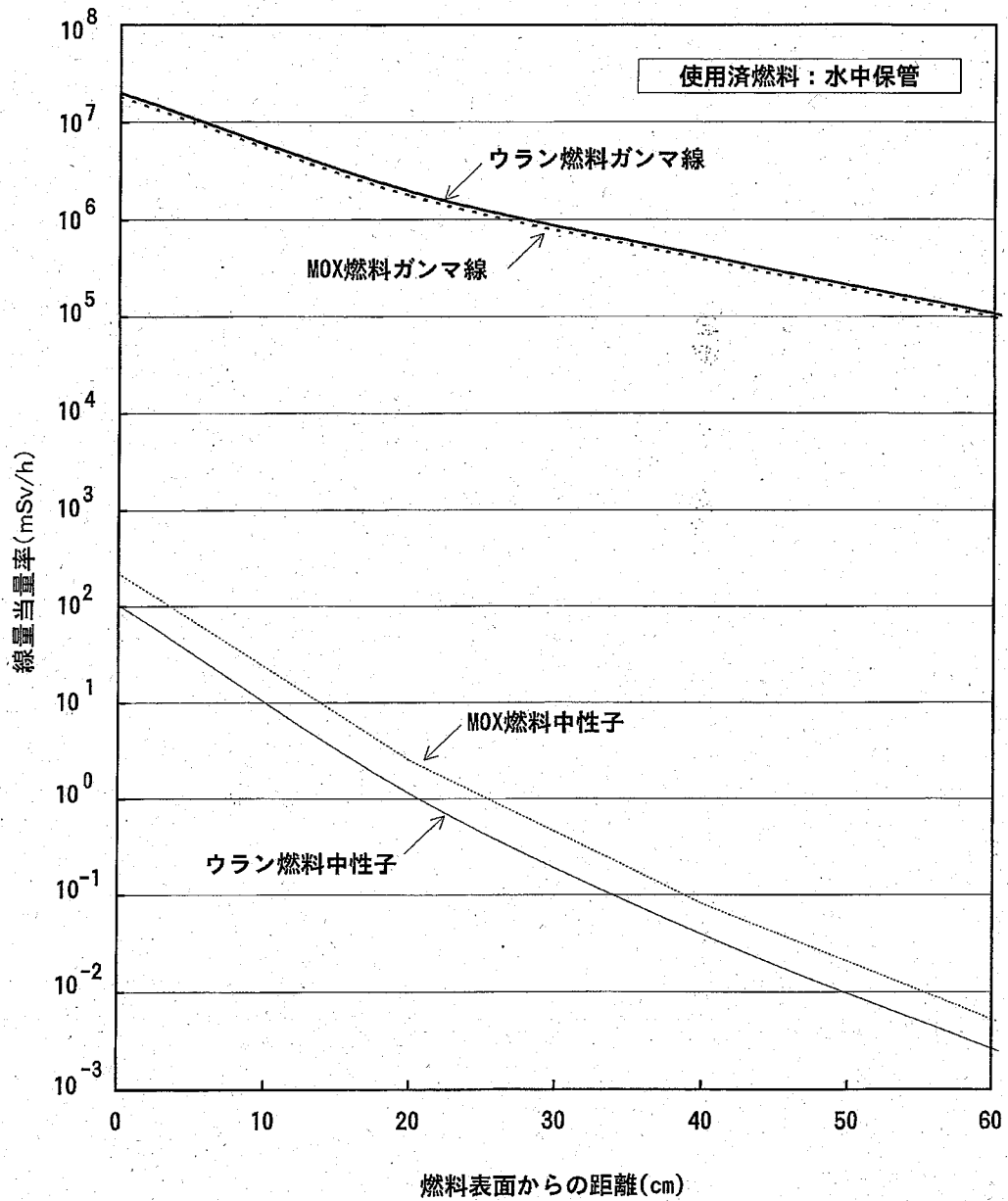
2) 使用済ウラン燃料と使用済 MOX 燃料の比較

使用済ウラン燃料と使用済 MOX 燃料の線量評価例を次項に示す。

使用済ウラン燃料と使用済 MOX 燃料の線量評価結果を比較すると、使用済 MOX 燃料の取出し燃焼度が低いため、両者の燃料集合体あたりの γ 線及び中性子線の線量に大きな差はない。

なお、 α 線及び β 線による線量については、(1)で述べたとおり、燃料被覆管等による遮へい効果により、使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料とも無視できる。

使用済ウラン燃料と使用済 MOX 燃料の線量評価例



(ウラン燃料：燃焼度 55GWd/t MOX 燃料：燃焼度 40GWd/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)

(2) 放射線毒性に対する具体的な対策

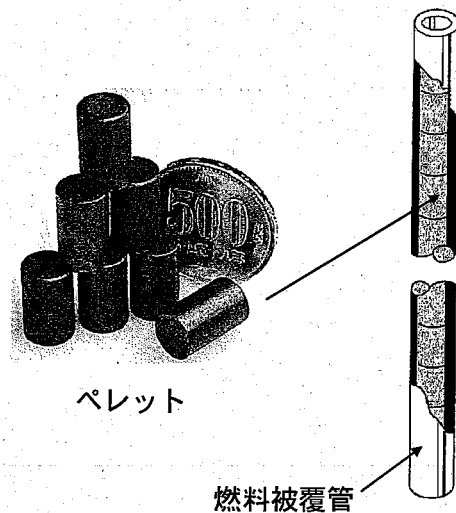
1) 人体に及ぼす影響、被ばく低減措置

① α 線及び β 線について

原子力発電所で使用する MOX 燃料ペレットは、陶器のように焼き固めた円柱状のものであり、核分裂性物質の多くをペレット内に保持できるようにしており、さらに、ペレットは金属製の燃料被覆管の中に密封されている。また、プラントの運転中におけるペレット温度は、溶融に対して十分な余裕がある。

このため、MOX 燃料中のプルトニウムが燃料被覆管の外に出るようなことはない。したがって、体内に取り込まれることはないことから、 α 線による内部被ばく^{*6}が問題になることはない。

また、燃料被覆管により十分に遮へいされるため、 β 線による被ばくも問題になることはない。



② γ 線及び中性子線について

MOX 新燃料から発生する γ 線及び中性子線による被ばくに対しては、様々な被ばく低減手法（遮へい設備の設置、作業時間の短縮、距離の確保）を組み合わせることにより、放射線業務従事者が受ける線量を低減するようにしている。

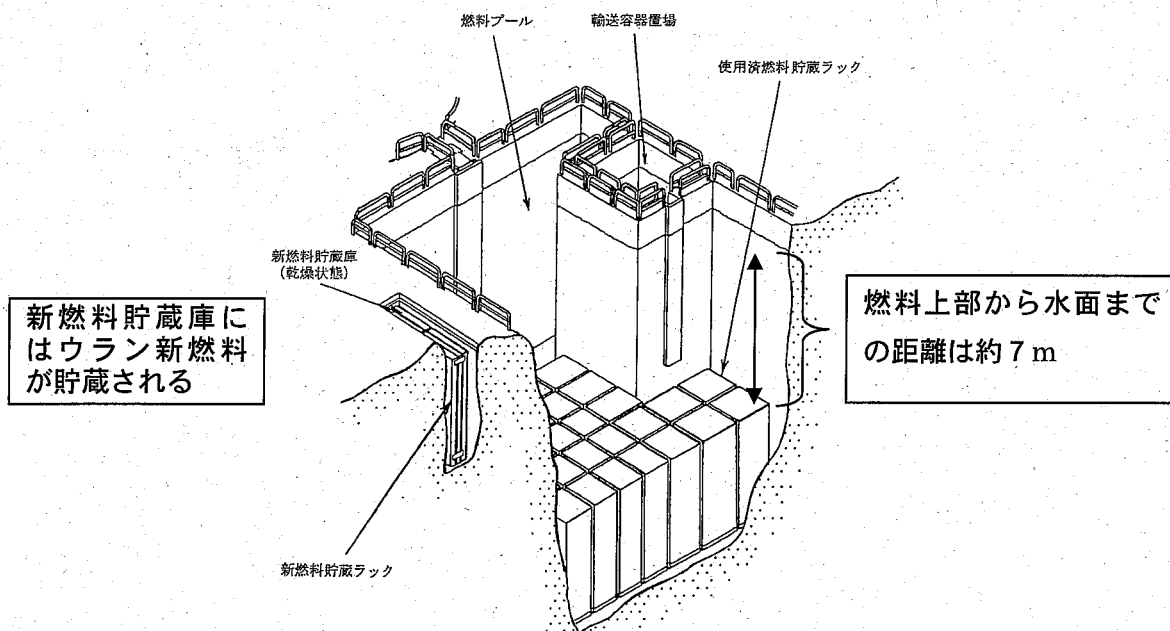
具体的には、MOX 新燃料の受け入れに当たって、次表のような対策がある。

MOX 新燃料受け入れ時の具体的な被ばく低減対策

	被ばく低減対策
遮へい設備の設置	・ MOX 新燃料輸送容器の上蓋を取外す際に、上部遮へい板を設置する。 ・ MOX 新燃料から燃料ホルダを取外す際、これらを囲うように遮へい板を設置する。
作業時間の短縮	燃料取扱い作業を効率的に行うことにより、放射線環境下における作業時間の短縮を図る。
距離の確保	MOX 燃料をクレーンによりつり下げて移動する時、MOX 燃料の振れ防止を図る必要があるが、この時、燃料体移動ガイドを用いて、MOX 燃料からの距離を確保する。

また、使用済 MOX 燃料は、使用済ウラン燃料と同様、全て水中で取り扱い、燃料プール内に貯蔵することとなる。水は 1 m の水深で放射線を 1/1000 以下に低減させることができ、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 あることから、燃料プール水による遮へい効果により、使用済 MOX 燃料の貯蔵中に被ばくの問題が生じることはない。

なお、MOX 新燃料についても、原子炉に装荷されるまでの間は、燃料プールで貯蔵することとしている。



燃料プール概要図

(3) 輸送時の安全確保のための具体的な対策

1) 輸送容器の健全性（密閉性）

MOX 新燃料の輸送容器は、輸送中に受ける荷重や輸送中の温度条件に対して、十分健全性が確保できる設計となっており、輸送中に万一、落下、火災、水没などの事態に遭遇した場合を仮定しても、容器の健全性を十分確保できる構造となっている。

（主な試験条件）

- ・落下試験：9m の高さから鉄板上に落下
- ・棒上への落下試験：直径 15cm の鉄棒上に 1m の高さから落下
- ・耐火試験：800℃の熱的環境に 30 分間置く
- ・浸漬試験：深さ 15m 相当の水圧下に 8 時間浸漬

2) 輸送容器の表面線量

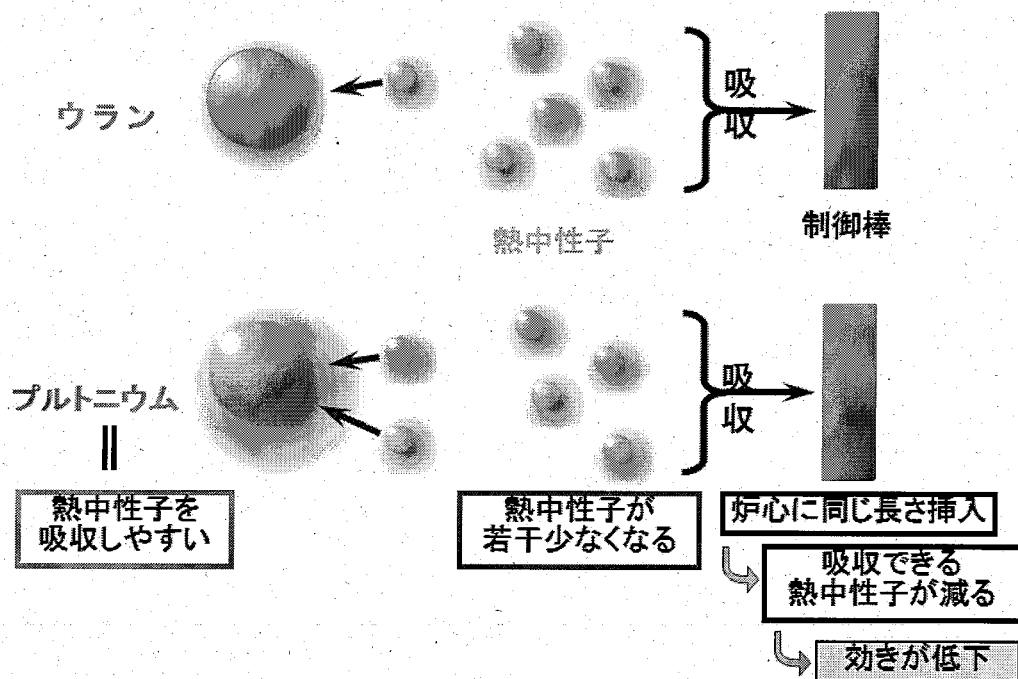
MOX 新燃料の輸送容器には遮へい材（レジン等）が設置されており、法令に定める技術基準（表面における線量当量率 *7 が 2 mSv/h 以下）を遵守して輸送が行われるため、輸送に当たって作業員等に対して放射線による被ばくが問題となることはない。

したがって、本輸送容器を用いて輸送を行うことにより、MOX 新燃料の輸送時の安全性は確保できる。

3. 制御棒の効きについて

MOX 燃料に含まれるプルトニウムは、ウランに比べて熱中性子を吸収しやすい性質があることから、燃料中のプルトニウムの割合が増えると、制御棒が吸収できる中性子の数が減少する。このため MOX 燃料を多数装荷した炉心では、同じ制御棒挿入割合でもコントロールできる中性子の数が減少し、このことをもって、制御棒の反応度価値が低下すると言われている。

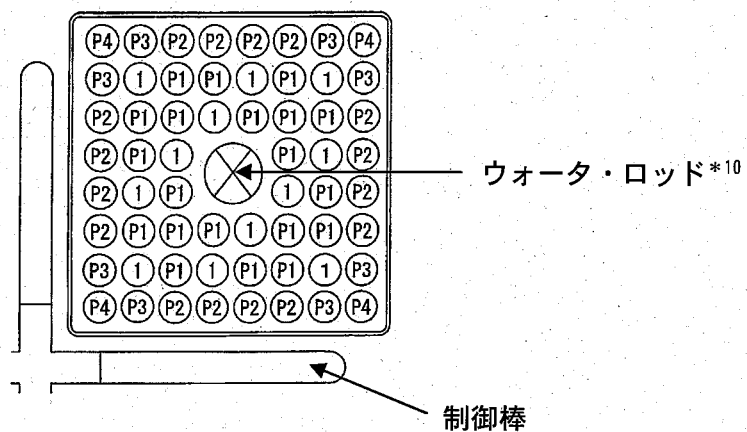
しかし、(1)及び(2)に示す措置により、MOX 燃料を装荷した炉心においても、ウラン燃料のみを装荷した炉心と同様、安全を確保した運転が可能である。



(1) 制御棒の反応度価値 *⁸ 低下に対する設計上の考慮

制御棒の反応度価値は、制御棒に近い燃料棒がどのくらい熱中性子を吸収するかによって変化する。MOX 燃料集合体では、制御棒に近い燃料集合体外周部に比較的低いプルトニウムの含有率の低い MOX 燃料棒を配置することにより、この近辺の燃料棒による熱中性子の吸収を少なくし、制御棒が吸収する熱中性子の量の低下を押さえるよう、燃料集合体内の燃料棒の配置設計を行っている。

燃料集合体内の燃料棒の配置設計の例を以下に示す。



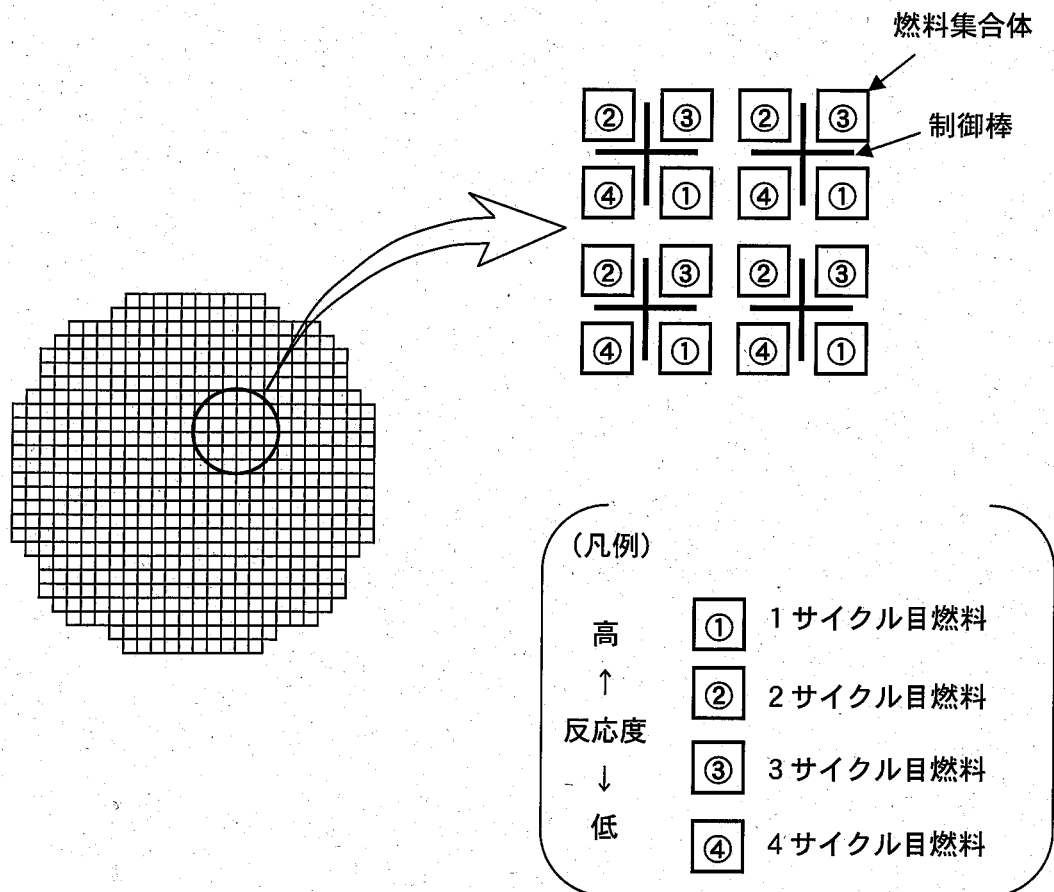
- ① ウラン燃料
- ①P1 最もプルトニウム含有率の高いMOX燃料棒
- ①P1～①P4はこの順にプルトニウム含有率が小さくなることを示す

MOX燃料集合体内の燃料棒の配置例（島根2号機の例）

(2) 原子炉の停止余裕の確保

原子炉には、すべての制御棒の中で最も反応度価値の大きい制御棒1本が仮に挿入できない場合でも、原子炉を安全に停止できることが要求されている。したがって、原子炉を停止するための余裕は、最も反応度価値の大きい炉心内の制御棒1本の反応度価値にも依存することとなる。

MOX 燃料を装荷した炉心でも、MOX 燃料集合体を含めて反応度の高い燃料が集中しないように燃料集合体の配置を考慮し、最も反応度価値の大きい制御棒1本の反応度価値を抑えることにより、最も反応度価値の大きい制御棒1本が仮に挿入できない場合でも、原子炉を安全に停止できる設計としている。



燃料集合体の配置例

(3) 停止余裕基準について

1) 制限値

原子力安全委員会の「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」において、ウラン燃料のみを装荷した炉心及び MOX 燃料を装荷した炉心ともに最も反応度価値の大きい制御棒 1 本が完全に炉心の外に引き抜かれ、挿入できない場合であっても、原子炉を臨界未満（実効増倍率 k_{eff} が 1 未満）にできる設計が要求されている。島根 2 号機においても本事項を制限値としている

2) 設計値

島根 2 号機の実際の炉心設計では、設計上の余裕を見込んで、最も反応度価値の大きい制御棒 1 本が完全に炉心の外に引き抜かれ、挿入できない場合であっても、実効増倍率が常に 0.99 未満となるように設計している。

島根 2 号機 MOX 燃料採用に当たっての安全審査において、平衡炉心（MOX 燃料 228 体を装荷した炉心）における解析により、設計目標を満足する炉心設計が可能であることを確認している。

3) 島根 2 号機における停止余裕の確認

停止余裕についての運用値として定義しているものはないが、1)、2)で述べたように、制限値及び設計値に従って運転管理を行っている。参考に島根 2 号機における至近の運転サイクルでの停止余裕の評価結果を下表に示す。いずれも設計目標値（1.0% Δk 以上（注 1））を満足した結果となっている。

停止余裕評価例

	停止余裕（実効増倍率）（注 2）
第 13 サイクル	1.5% Δk 以上（約 0.985 以下）
第 14 サイクル	2.1% Δk 以上（約 0.979 以下）
第 15 サイクル	1.4% Δk 以上（約 0.986 以下）

（注 1）停止余裕の設計目標値（1.0% Δk ） $= (1.0 - 0.99) \times 100$

（注 2）最も反応度価値の大きい制御棒 1 本が完全に炉心の外に引き抜かれた状態での値

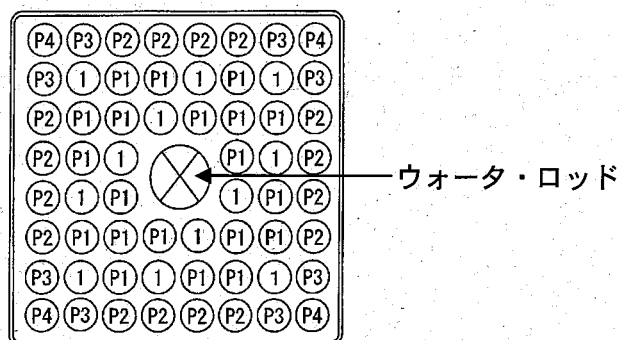
4. 出力のアンバランスに対する対応について

プルトニウムは、ウランに比べて熱中性子を吸収しやすいため、燃料中の核分裂性元素（ウラン 235、プルトニウム 239 等）の濃度が同じ場合、MOX 燃料棒の方がより中性子を吸収して反応するため、出力が大きくなる傾向があるが、(1)燃料集合体内の核分裂性プルトニウムの富化度^{*10}や核分裂性ウランの濃縮度の分布を調整することにより、燃料棒出力のアンバランスを防止し、(2)ウラン燃料集合体と MOX 燃料集合体の配置設計を適切に行うことにより、燃料集合体間の出力のアンバランスが生じない設計としている。

(1) 燃料集合体内の燃料棒出力分布の平坦化

燃料集合体は、燃料棒の周りに減速材（水）が多いほど熱中性子が増加するため、燃料集合体の外側近辺の燃料棒では出力が大きくなり、燃料集合体内側の燃料棒については、周りに減速材が少ないため相対的に出力が低くなるという特徴がある。

このため、MOX 燃料集合体では、燃料棒外周部に核分裂性プルトニウムの富化度の低い燃料棒を配置し、中央部には富化度の高い燃料棒を配置するとともに、燃料集合体内部に減速材を増やす目的で、ウォータ・ロッド^{*11}を燃料集合体中心に設けて、燃料集合体内の出力の平坦化を図っている。なお、これらの設計上の配慮はウラン燃料の場合と同じである。



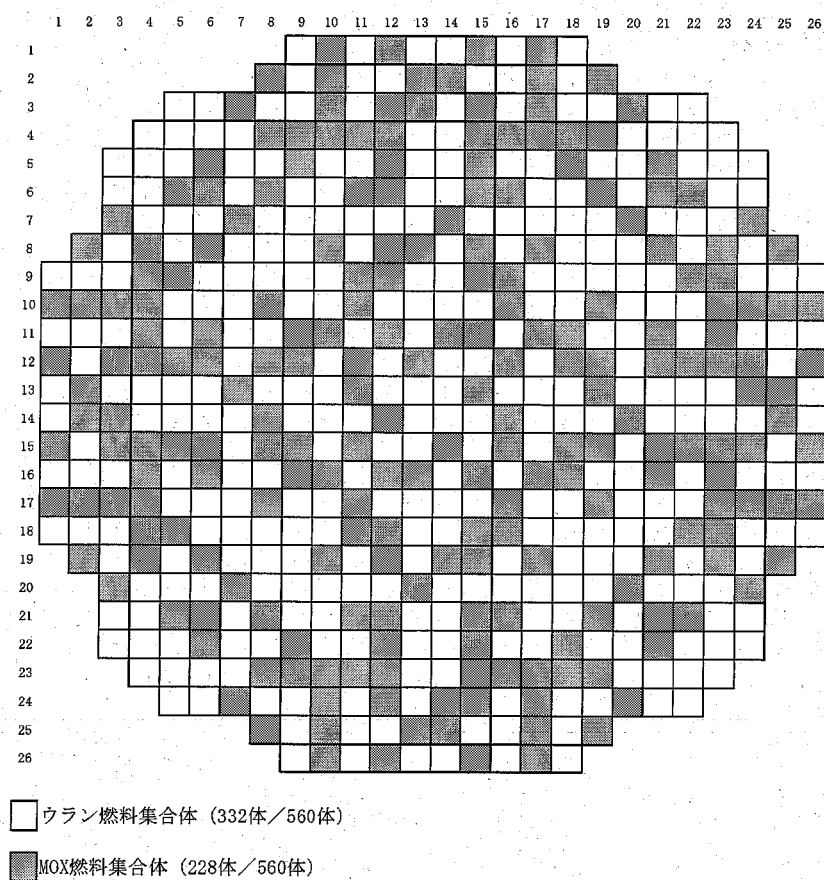
- ① ウラン燃料
- P1 最もプルトニウム含有率の高い MOX 燃料棒
- P1 ~ P4 はこの順にプルトニウム含有率が小さくなることを示す

MOX 燃料集合体内の燃料棒の配置例（島根 2 号機の例）

(2) 燃料集合配置設計における出力分布の平坦化

燃料集合体の配置においては、従来のウラン燃料のみの炉心と同様、反応度の高い燃料が集中しないように均質な配置となる設計としている。

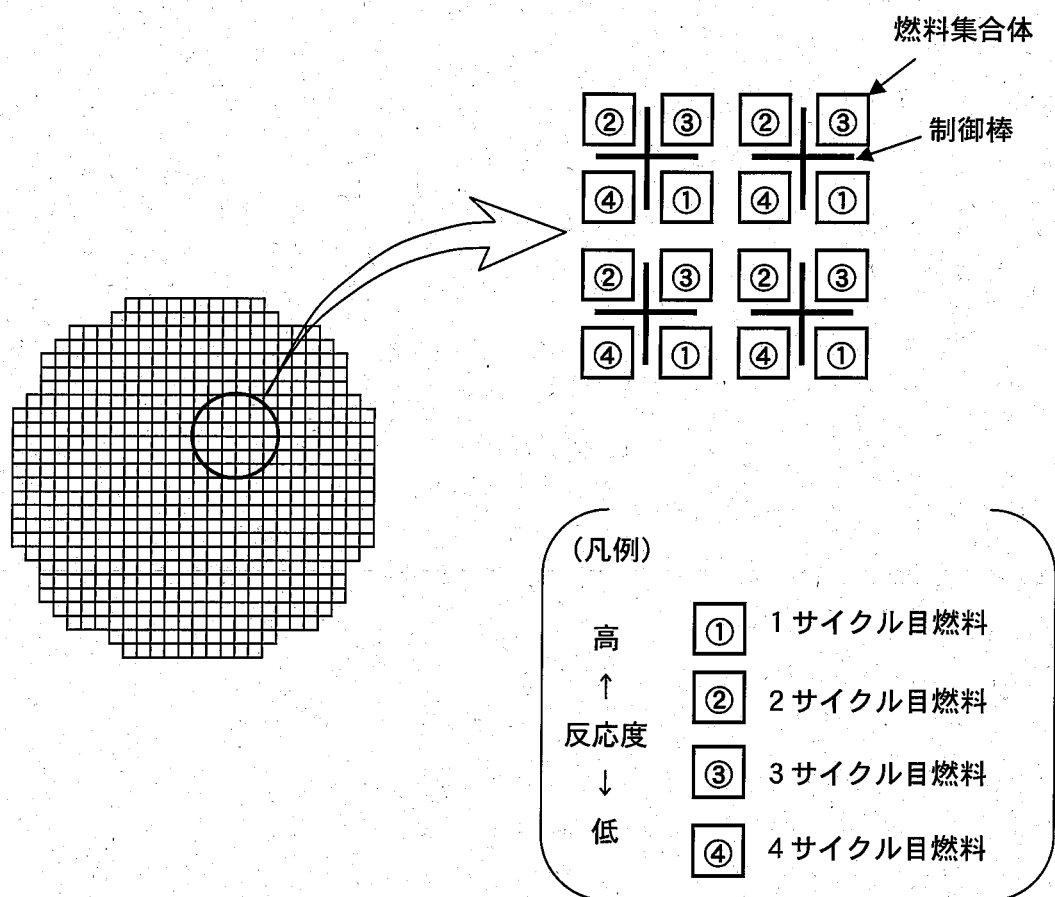
下図に、島根2号機においてMOX燃料を最大装荷体数である228体装荷した場合の炉内配置の例を示す。



MOX 燃料装荷炉心の燃料集合体配置例（島根2号機の例）

炉心内には、新燃料のように反応度の高い燃料、燃えて反応度の低くなった燃料が混在するので、燃料の配置によっては出力にアンバランスが生じる。このため、原子炉に燃料集合体を装荷する場合には、反応度の高い燃料が隣接して集中しないような配置とし、燃料集合体間の出力のアンバランスを防ぐ設計としており、MOX燃料炉心であっても従来のウラン燃料炉心であっても変わりはない。

燃料集合体の配置においては、下図の配置例に示すとおり、従来のウラン燃料のみの炉心と同様、反応度の高い1サイクル目燃料及び2サイクル目燃料には反応度の低い3サイクル目以降の燃料を隣接させることにより、反応度の高い燃料が集中しない設計としている。



燃料集合体の配置例

5. プルトニウムスポットによる影響について

MOX 燃料の中にプルトニウムが集中するプルトニウムスポット（プルトニウム濃度が平均より高い部分）ができると、プルトニウムスポット部分の反応度が高くなることが考えられる。これにより、局所的な温度上昇や核分裂生成ガス（FP ガス）放出率の増加の影響及び反応度が急激に投入されるような事故（以下「反応度投入事故 *¹²」という。）時にペレット表面にあるプルトニウムスポットが溶融し、燃料被覆管が破損する可能性について以下に示す。

(1) プルトニウムスポット中のプルトニウム含有率、プルトニウムスポットの大きさについて

従来の MOX 燃料の製法では、ウラン粉末とプルトニウム粉末を単純に機械混合するだけであったため、局所的にプルトニウム含有率が 100 wt %に近いプルトニウムスポットが存在することがあった。その大きさも最近の改良された製法による MOX 燃料に比べて大きなものが存在していた。

これに対して、最近用いられている製法（MIMAS 法、SBR 法）によれば、これらの事象は改善されてきている。これらの製法により製造した MOX 焼結ペレットでは、プルトニウムスポット中のプルトニウム含有率は最大でも 30 wt %、プルトニウムスポットの大きさは、ほとんどが直径 30 μm 以下、最大でも直径 200 μm 程度となっている。なお、MIMAS 法と SBR 法において大きな相違は見られない。

(2) FP ガス放出による燃料破損への影響について

プルトニウムスポットの存在による FP ガス放出への影響については、最近の MOX 粉末製法のうち、MIMAS 法により製造した MOX 燃料の FP ガス放出率の測定結果を第 1 図及び第 2 図に示すが、MOX 燃料とウラン燃料の測定結果に大きな差は見られない。

第 2 図は、第 1 図のデータを、取り出しまでに経験した最高出力（10GWd/t 以上で経験した最高出力）で整理したものであるが、MOX 燃料及びウラン燃料の FP ガス放出率の測定結果に大きな差は見られない。

以上のように、現在製造されている MOX 燃料のプルトニウムスポットでは、FP ガス放出率に対して顕著な影響が見られないことから、燃料棒内圧の上昇による燃料破損への影響はないと考えられる。

(3) 反応度投入事故時における燃料破損への影響について

プルトニウムスポットの影響として、反応度投入事故時にペレット表面にあるプルトニウムスポットが溶融して、燃料被覆管が破損する可能性について、以下の実験結果によると、プルトニウムスポット内のプルトニウム含有率が 100wt%であったとしても、その径が $550\mu\text{m}$ 以下であれば、反応度投入事故における燃料破損への影響はウラン燃料と同等とされている。

現在製造する MOX 焼結ペレットのプルトニウムスポット径は、仕様は最大 $400\mu\text{m}$ であるが、(1)で示したとおり、実績では最大でも $200\mu\text{m}$ 、プルトニウムスポット内のプルトニウム含有率は最大でも 30wt%程度であることから、反応度投入事故時におけるプルトニウムスポットの影響はないと考えられる。

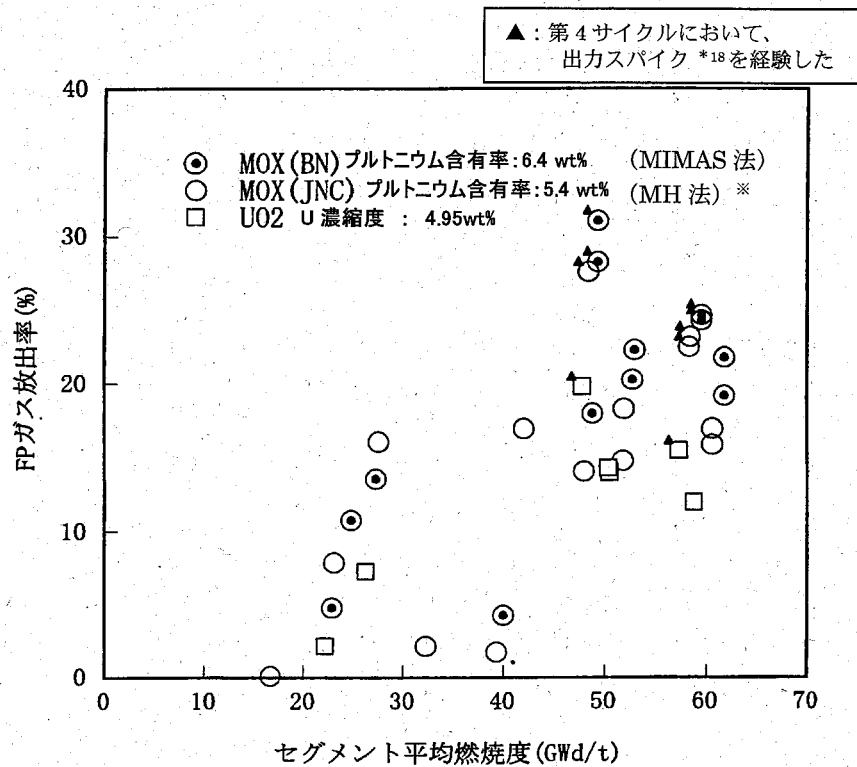
【反応度投入事故時における燃料破損への影響を確認した実験結果】

○日本原子力研究所（現独立行政法人日本原子力研究開発機構）の NSRR ^{*13} を用いた実験

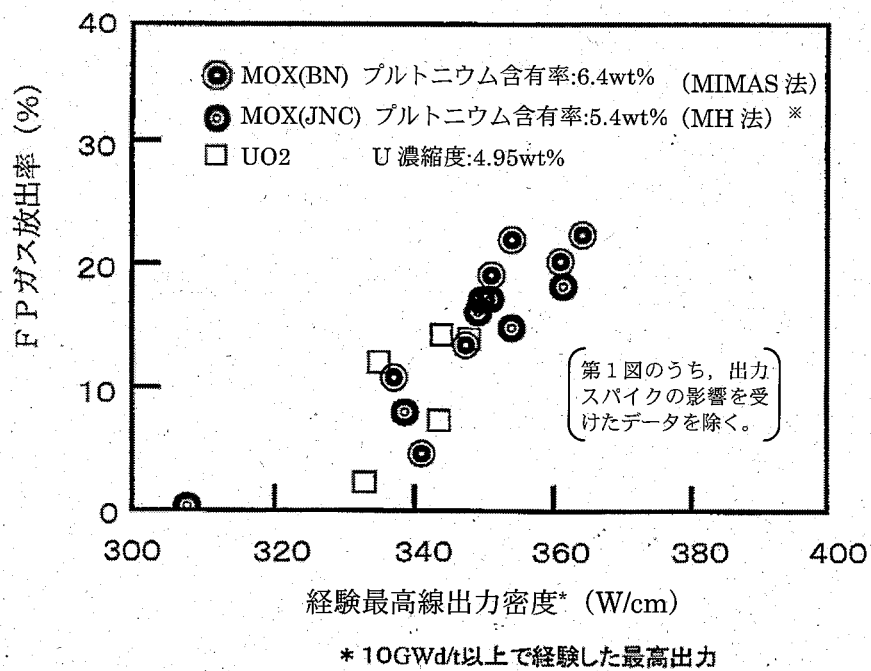
MOX 焼結ペレットの表面に直径 $400\mu\text{m}$ と直径 $1100\mu\text{m}$ のプルトニウムスポット（プルトニウム含有率 100wt%）を埋め込んだ実験が行われたが、直径 $1100\mu\text{m}$ の実験においても燃料破損のしきい値 ^{*14} はウラン燃料と同等であり、破損形態 ^{*15} も同じであると報告されている。

○米国の SPERT ^{*16} 実験

ウラン焼結ペレットの表面に直径 $550\mu\text{m}$ のプルトニウムスポット（プルトニウム含有率 100wt%）を埋め込んだ実験が行われたが、燃料破損に伴う機械的エネルギーの発生 ^{*17} は無い旨が報告されている。



第1図 FP ガス放出率の測定結果⁽¹⁾



第2図 FP ガス放出率と経験最高出力

※MH 法 : JAEA (旧動燃) が開発した製法。本試験ではウラン燃料、MIMAS 法により製造した MOX 燃料とともに FP ガス放出率の測定が行われている。

〔参考 1〕 MOX 粉末製法について

MOX 粉末製法の比較を第 1 表に示す。

第 1 表 MOX 粉末製法の比較

	従来の製法	最近の製法	
		① MIMAS 法	② SBR 法
加工フロー	<pre> graph TD UO2[UO2] --> MechMix[機械混合] PuO2[PuO2] --> MechMix MechMix --> MOXPow[MOX 粉末] </pre>	<pre> graph TD UO2_1[UO2] --> PowderMix[粉砕混合] PuO2[PuO2] --> PowderMix PowderMix --> UO2_2[UO2] UO2_2 --> MechMix[機械混合] MechMix --> MOXPow </pre>	<pre> graph TD UO2[UO2] --> PowderMix[粉砕混合] PuO2[PuO2] --> PowderMix PowderMix --> MOXPow </pre>
特徴	単純な機械混合	2 段階に分けて混合し 1 次混合でボールミルにより粉砕混合することにより均一性を改善	アトリターミルにより粉砕混合することにより均一性を改善

① MIMAS 法

ベルギーの BELGONUCLEAIRE 社が開発した製法であり、フランスの MELOX 社は本製法により MOX 粉末を製造している。2 段階に分けて混合を行う。最初は比較的高いプルトニウム含有率の MOX 粉末をボールミル（円筒形のセル内に MOX 粉末と金属製のボールを投入し、セルを回転）で粉砕混合によって均質化処理を行い（1 次混合）、さらに酸化ウラン粉末を混合して攪拌機にて均一化処理を行う（2 次混合）ことで所定のプルトニウム含有率に調整する。

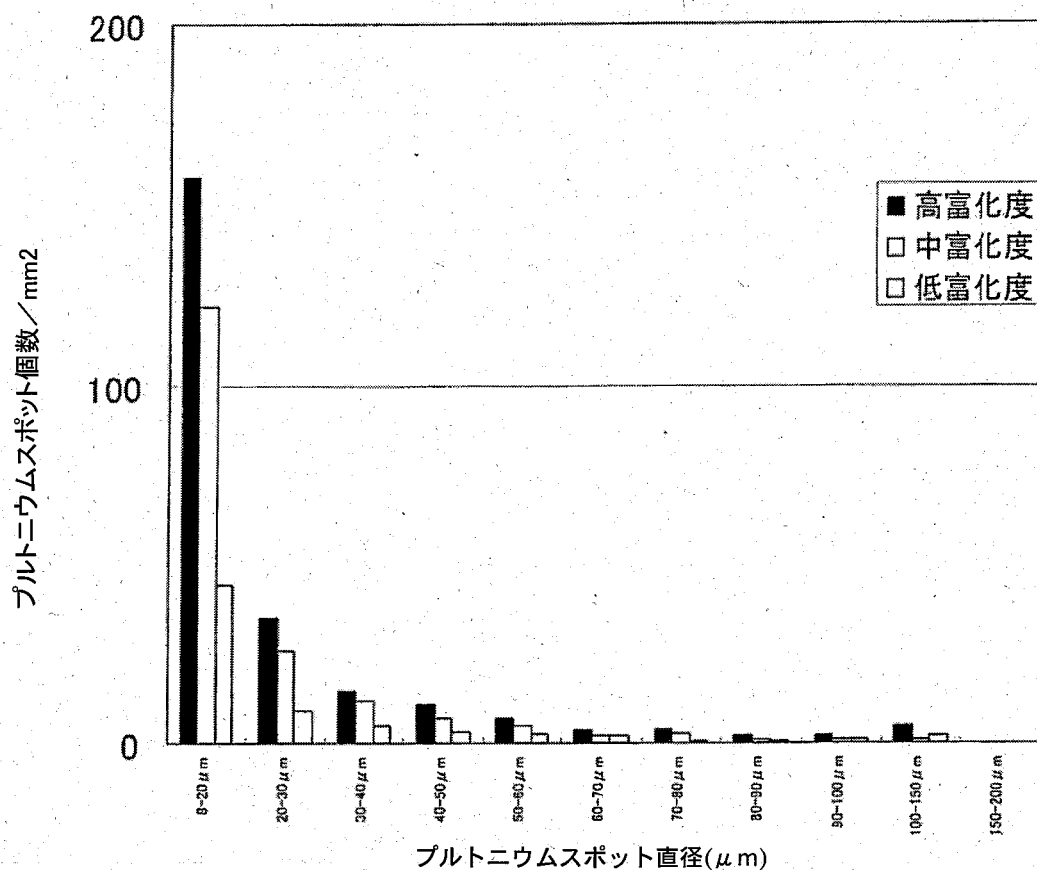
② SBR 法

イギリスの Sellafield Limited 社（旧 British Nuclear Group Sellafield Limited 社）が開発した製法。1 回の混合で所定のプルトニウム含有率の MOX 粉末を得る。高エネルギーを投入したアトリターミル（MOX 粉末と金属製のボールを攪拌棒により強制的に攪拌）によって粉砕混合を行うことで均一化を行う。

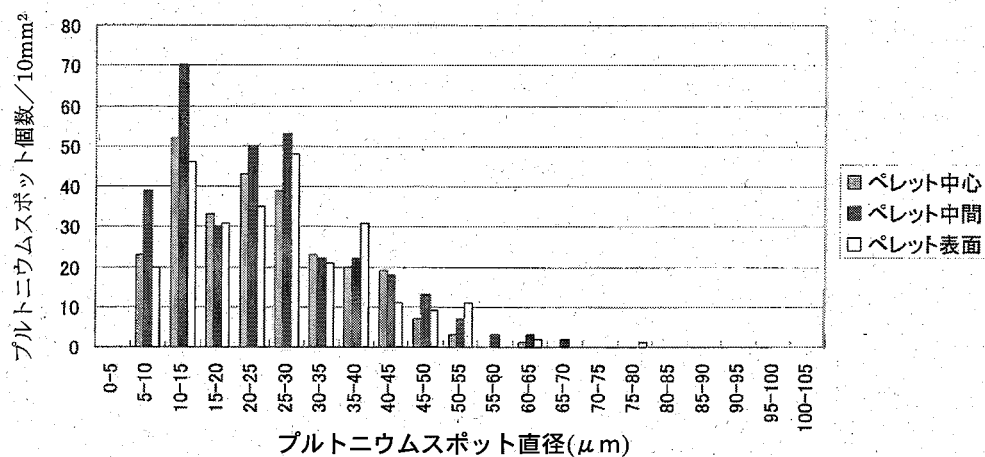
〔参考2〕 プルトニウムスポット中のプルトニウム含有率、プルトニウムスポット径の測定例

最近の製法である MIMAS 法及び SBR 法で製造された MOX 焼結ペレット中のプルトニウムスポット径の測定例を第3図に示す。第3図に示すとおり、MIMAS 法の測定例では、 $20\mu\text{m}$ 以下の個数が多く、最大でも約 $200\mu\text{m}$ 、SBR 法の測定例では、平均約 $24\sim 28\mu\text{m}$ 、最大でも約 $90\mu\text{m}$ と報告されている。

(MIMAS 法⁽²⁾)



(SBR 法⁽³⁾)



第3図 プルトニウムスポット径の測定例

出典

- (1)「沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（MOX 燃料への適用）」
（株式会社日立製作所、HLR-053、訂 2、平成 1 1 年 2 月）
- (2)平成 1 2 年度 燃料集合体信頼性実証試験に関する報告書（1／3 炉心混合酸化物燃料照射試験編）、平成 1 3 年 3 月（財）原子力発電技術機構
- (3)平成 1 1 年度 燃料集合体信頼性実証試験に関する報告書（混合酸化物燃料照射試験編）、平成 1 2 年 3 月（財）原子力発電技術機構

用語解説

*1: α 線

陽子 2 個と中性子 2 個が結びついたヘリウムの原子核と同じ構造で、プラスの電荷を帯びた粒子。紙一枚により止めることができる。

*2: β 線

電子線であり、アルミニウムなどの薄い金属板で止めることができる。

*3: γ 線

核分裂や原子の崩壊等により原子核から α 線や β 線が出た後、余ったエネルギーが電磁波の形で放出されるもので X 線も含み、鉛や厚い鉄の板で止めることができる。

*4: 中性子線

核分裂等に伴い放出される中性子であり、電氣的に中性の粒子。水素等、軽い原子との衝突により効率よく減衰するため、ポリエチレン等による遮へいが効果的。

*5: 自発核分裂

中性子などの吸収によらないで原子核が分裂する現象。自発核分裂により、中性子線等が放出される。

*6: 内部被ばく

経口または吸入により体内に摂取された放射性物質により、組織や臓器が放射線被ばくすること。

*7: 線量当量率

放射線被ばくによる人体への影響度合いを表す量を線量当量といい、1 時間当たりの線量当量を線量当量率[Sv/h]という。

*8: 制御棒の反応度価値

制御棒による中性子の吸収能力を示すもの。

*9: 実効増倍率

単位時間に核分裂により発生する中性子数と、吸収等により消滅する中性子数の比。実効増倍率が 1.0 の時、発生する中性子の数と消滅する中性子の数が同じとなり、炉心全体の中性子の増減がない臨界状態となる。

*10: 核分裂性プルトニウムの富化度

MOX 燃料中に含有される核分裂性プルトニウムの割合。

*11: ウォータ・ロッド

燃料集合体中心に配置された内部が空洞の棒で、原子炉に装荷された時は減速材（水）で満たされる。燃料集合体内部に減速材（水）領域を確保すること等を目的として設置している。

***12：反応度投入事故**

制御棒の落下等により原子炉に急激な反応度が投入され、原子炉出力が急上昇する事故。

***13：NSRR**

独立行政法人日本原子力研究開発機構にある、反応度投入事故を模擬する実験装置「Nuclear Safety Research Reactor」の略。

***14：燃料破損のしきい値**

反応度投入事故時には、事故時の燃料のエネルギー（燃料エンタルピー）が大きくなる程、その燃料は破損しやすくなる。この、燃料が破損するか、しないかの境界を燃料破損のしきい値という。

***15：破損形態**

燃料被覆管が破損するメカニズム。脆性型（燃料被覆管が急激に温度上昇することにより、酸化、脆化し、破損に至る）や高温破裂型（燃料棒内の温度上昇により燃料棒内圧が上昇し、破損に至る）等がある。

***16：SPERT 実験**

アメリカのアイダホ国立工学研究所で行われた、反応度投入事故を模擬した一連の実験「Special Power Excursion Reactor Test」の略。

***17：燃料破損に伴う機械的エネルギーの発生**

反応度投入事故時に燃料エンタルピーが非常に高くなり、ペレットの溶融や蒸発が生じると、燃料が破損して中から高温のペレットが冷却水中に飛散する可能性がある。ペレットが冷却材に飛散した場合、溶融したペレットと冷却材の相互作用により、圧力波等が発生する可能性が生じる。このことを「機械的エネルギーの発生」という。

***18：出力スパイク**

燃料棒に反応度が短時間に印加されて、局所的に出力が急上昇すること。