

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」に関するご質問回答

(抜粋)

平成 1 8 年 3 月 2 4 日

中国電力株式会社

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ますが、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ます。

添付図に、「原子炉スクラムの機能（島根 2 号機の解析例）」及び「原子炉の停止状態を維持する機能（島根 2 号機の解析例）」を示します。

（参考）制御棒の機能

制御棒の主な機能には以下の 2 点があります。

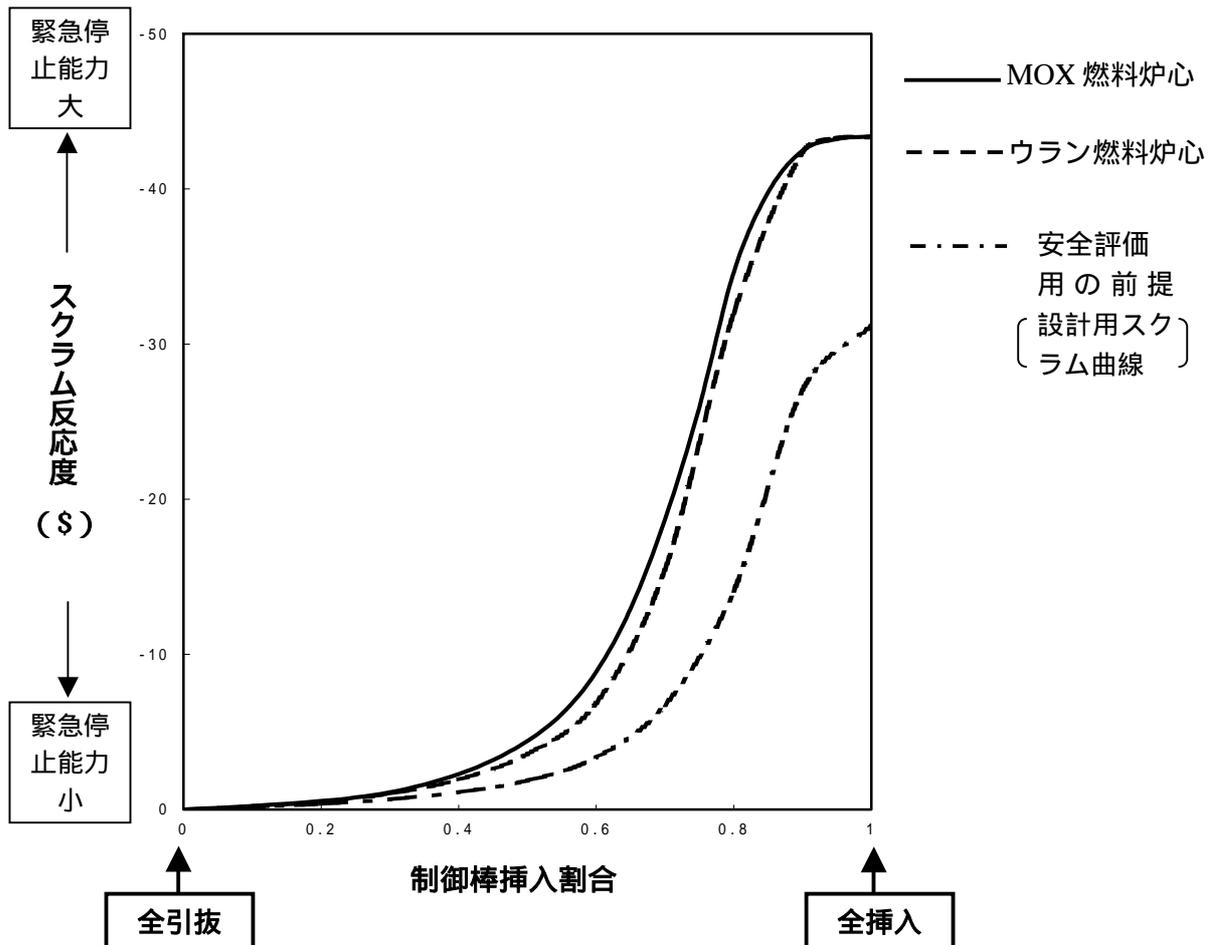
- ・ 緊急時に原子炉をすばやく止める機能
- ・ 停止している原子炉の停止状態を維持する機能

（参考資料）

（ 1 ）制御棒

原子炉スクラムの機能 (島根 2 号機の解析例)

島根 2 号機において、MOX 燃料を装荷した炉心でも、従来のウラン燃料を装荷した炉心と同等の緊急時の停止 (スクラム) 能力を有しています。

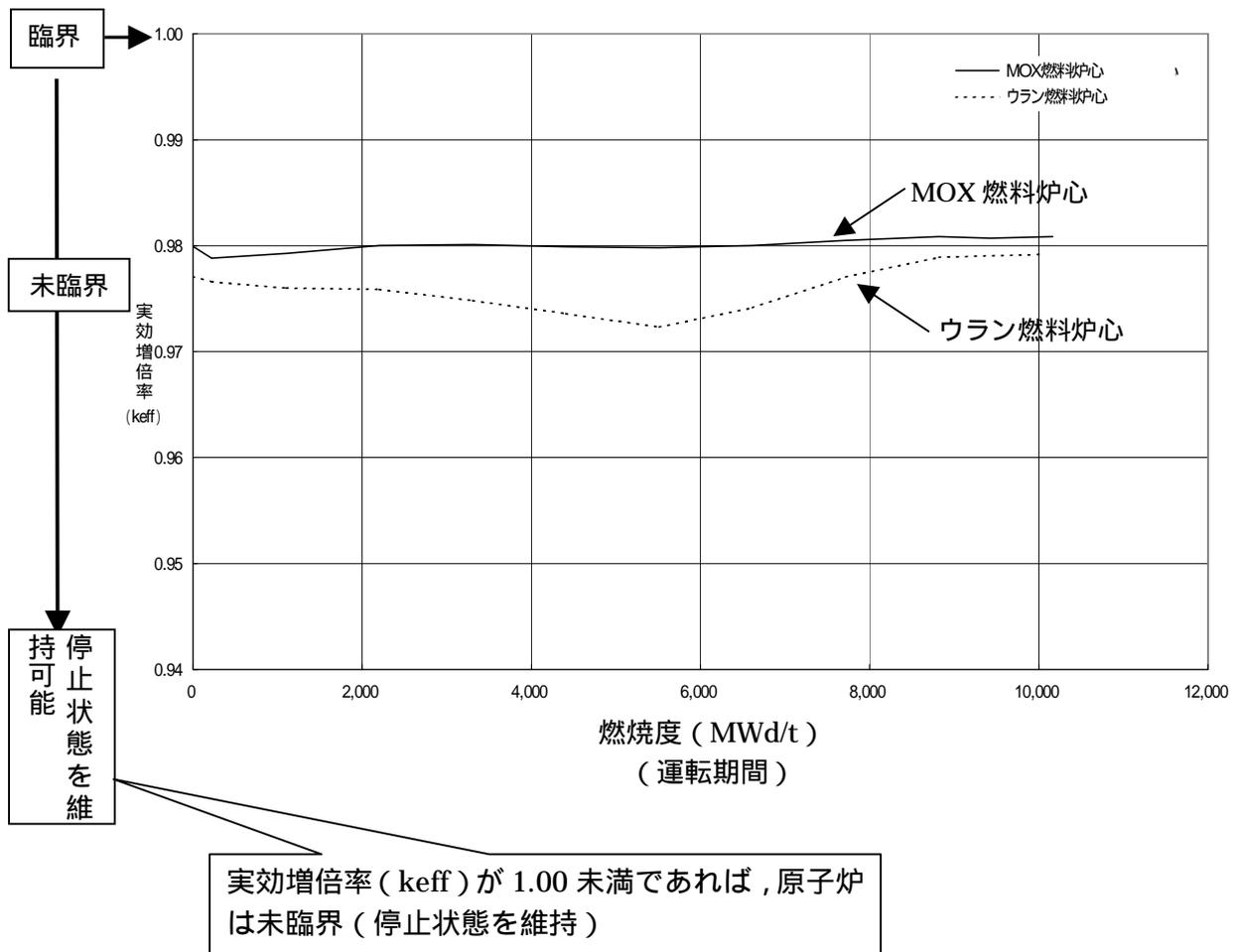


スクラム反応度

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します。

原子炉の停止状態を維持する機能（島根2号機の解析例）

島根2号機において、MOX燃料を装荷した炉心でも、従来のウラン燃料を装荷した炉心と同様、十分な余裕を持って原子炉の停止状態を維持することが可能です。



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ともに、新たに中性子が発生します。

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います。

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)

- 1 - 8 .燃料棒の発熱分布にむらが出て、燃料が壊れやすくなるのではないか。

島根 2 号機に限らず、従来のウラン燃料においても、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ます。

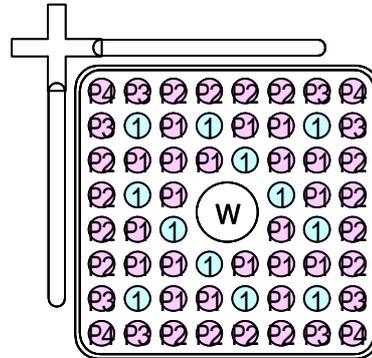
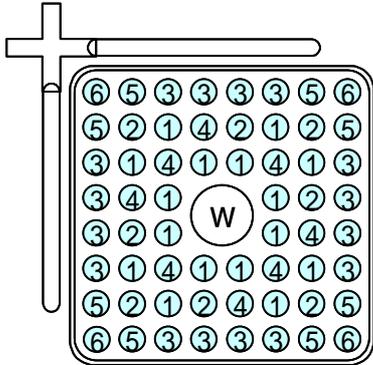
同様に、島根 2 号機で今回採用予定の MOX 燃料についても、異なるプルトニウム含有率をもった燃料棒の配置を工夫することにより、燃料集合体内の発熱分布を平坦化し、極端に高い出力が発生するところをなくすようにしています。

添付図に、「燃料集合体内の燃料棒配置（島根 2 号機的设计例）」及び「燃料集合体内の発熱分布（島根 2 号機の解析例）」を示します。

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例)

(MOX燃料集合体の例)

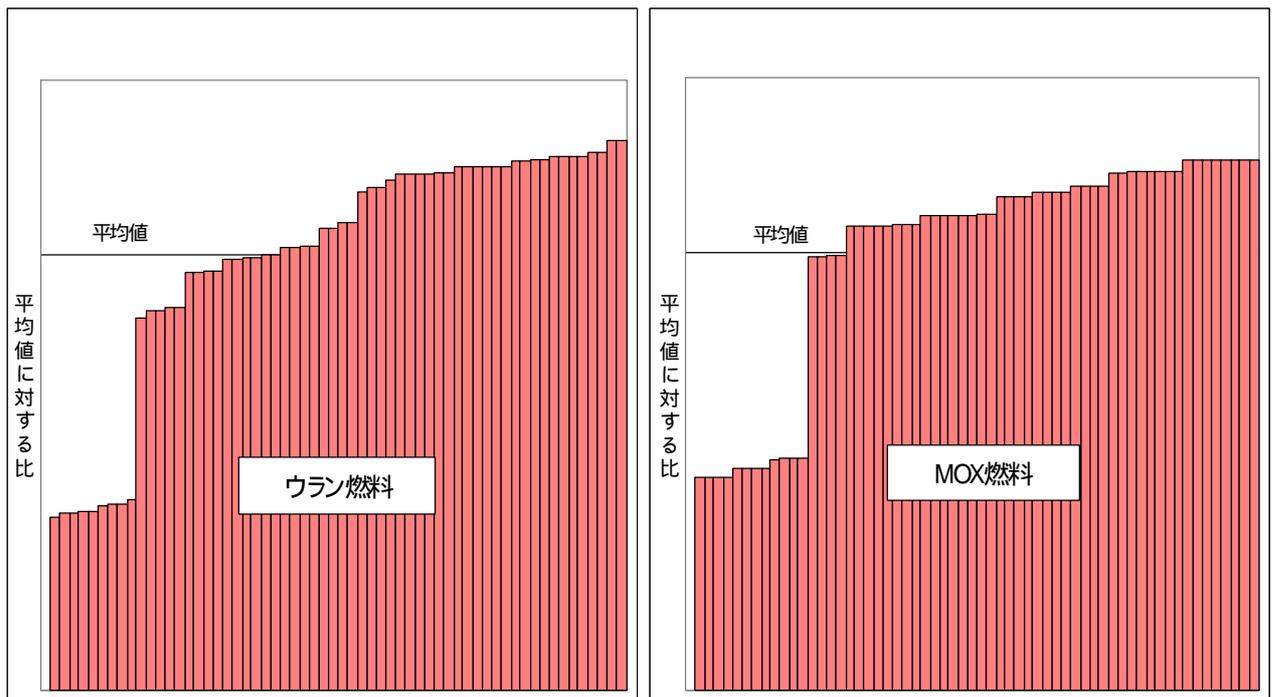


- ① : 最高濃縮度燃料棒
- ⑥ : 最低濃縮度燃料棒
- ① ~ ⑥ : この順で濃縮度が小さくなることを示す
- Ⓜ : ウォータロッド (1本)

- ① : ウラン燃料棒
- Ⓜ : 最高Pu含有率MOX燃料棒
- Ⓜ ~ Ⓜ : 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)

燃料集合体内の発熱分布 (島根2号機の解析例)

燃料集合体内の60本の燃料棒を発熱の低い順に並べて比較



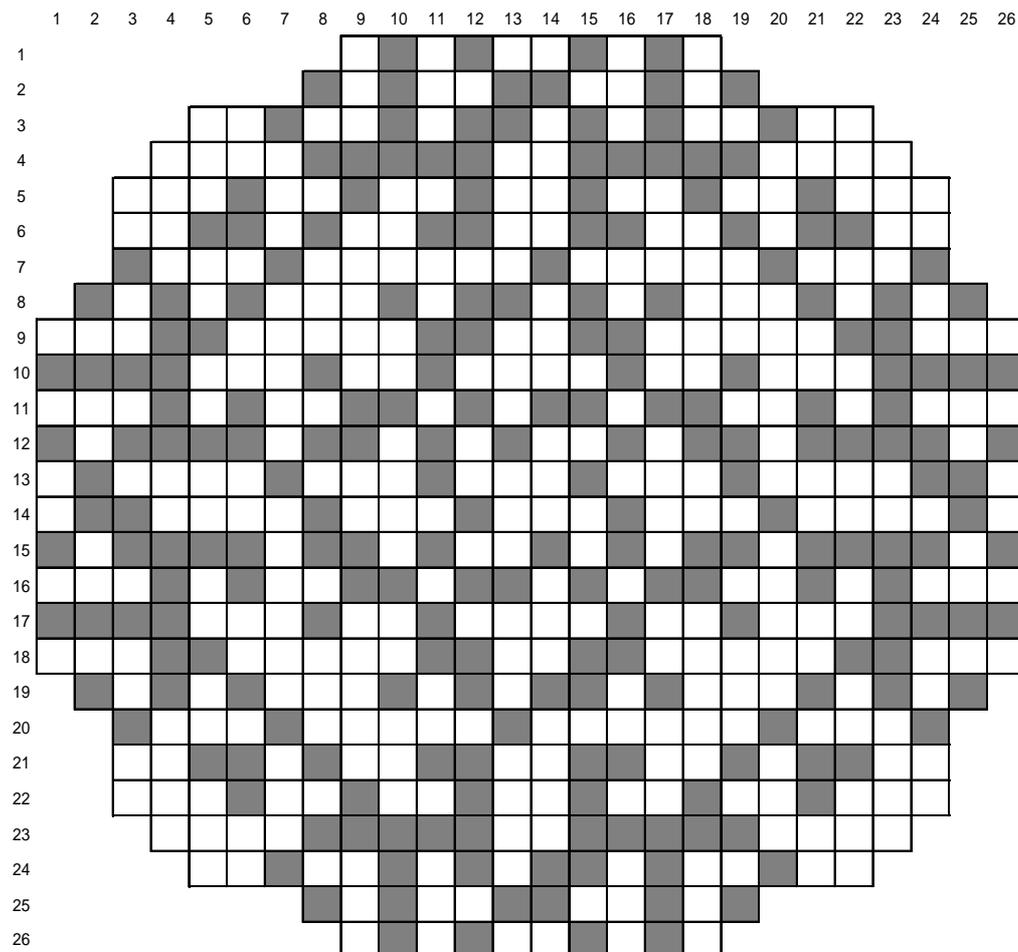
- 1 - 9 . 原子炉内の燃料集合体毎の発熱分布にむらができて、燃料が壊れやすくなるのではないか。

従来のウラン燃料のみの炉心においても、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に工夫を行っています。

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 号機での 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、特別複雑な配慮を要するものではありません。

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一例を示します。

図 MOX 燃料集合体の炉内配置（島根 2 号機的设计例）



□ ウラン燃料集合体（332体 / 560体）

■ MOX燃料集合体（228体 / 560体）

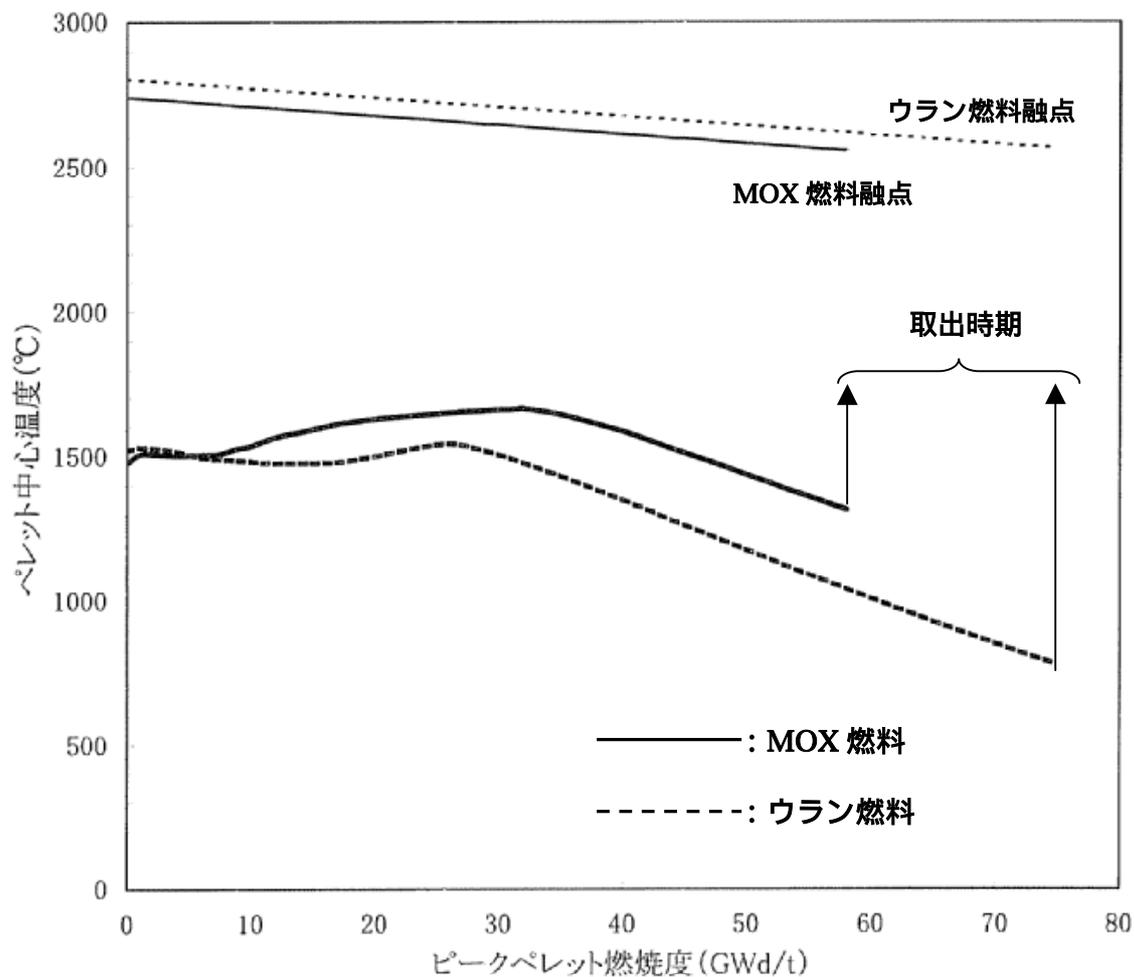
- 1 - 10 . 燃料が溶けやすくなって、壊れやすくないのか。

MOX 燃料ペレットの融点（溶け出す温度）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しますが、その差は数十 に過ぎません。

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（熱の伝わりやすさ）がわずかながら低下しますが、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ありません。

添付図に、「ペレット中心温度（島根 2 号機の解析例）」を示します。

ペレット中心温度 (島根 2 号機の解析例)



(1GWd/t=1000MWd/t)

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。

(参考)

(1) 燃料棒径方向温度分布 (島根 2 号機の解析例)

- 1 - 1 5 . 島根 2 号機の平常運転時の周辺環境への影響はどうか。

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ありません。

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	N.D	N.D	N.D	N.D
	ヨウ素	4.3×10^{10} Bq (1.3×10^{11} Bq)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
液体廃棄物 (トリチウムを除く)		7.4×10^{10} Bq	N.D	N.D	N.D	N.D	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)

なお、島根原子力発電所の放射性廃棄物処理実績（過去 5 年間）は、当社ホームページにて公開しています。

(参考資料)

(1) 日常生活と放射線

島根原子力発電所は、多重防護の考え方に基づく設計を行い、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、十分な事故防止対策を講じています。

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ありません。

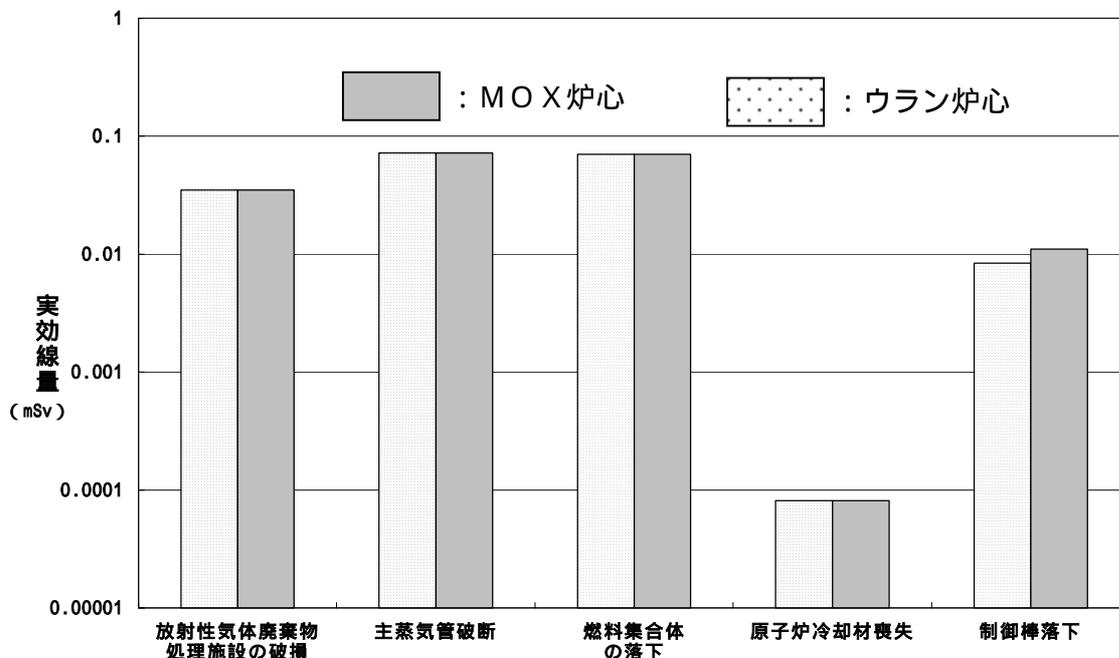
事故時に周辺環境に放出される主な核種はガス状の希ガス及びヨウ素であり、これら核種の放出量について、従来のウラン燃料の場合でも、十分安全側の評価を行っており、島根 2 号機において MOX 燃料を採用した場合にも、この評価値に包絡されることから、線量評価値は変わりません。

事故時の実効線量（島根 2 号機の解析例）

発電所敷地境界外の実効線量は、指針に示されている判断基準^(*)を十分満足しています。

(*) 判断基準：周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと。

(周辺公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり 5mSv を超えなければ、「リスク」は小さいと判断する)



(参考資料)

(1) プルトニウムが放出されない理由

プルトニウムが放出されない理由

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）の蓄積量は多くなりますが、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ありません。

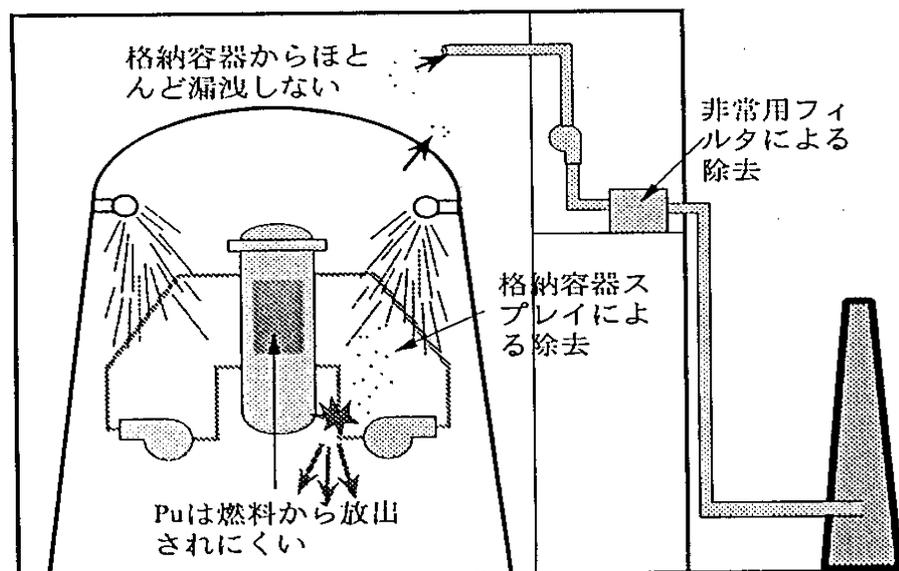
プルトニウム等は沸点が高く、よう素や希ガスと異なり、燃料から放出されることはありません。仮に燃料が溶融したとしても、格納容器内に放出されることは考えられません。

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ます。

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ません。

プルトニウムが格納容器内に放出された場合の周辺環境への放出量

- 過酷事故時（燃料溶融）の燃料からの放出量は、0.05%～0.5%（NUREG-1465）
- 格納容器の水スプレイや気密性（漏えい率：0.5%/日）により、格納容器からの放出は1/10000以下
- 非常用ガス処理系により、原子炉建屋からの放出は1/10以下



(参考) ラスムッセン報告に対する国際的評価

- 2 - 6 . 使用済 MOX 燃料は安全に貯蔵できるのか。(冷却性能の観点)

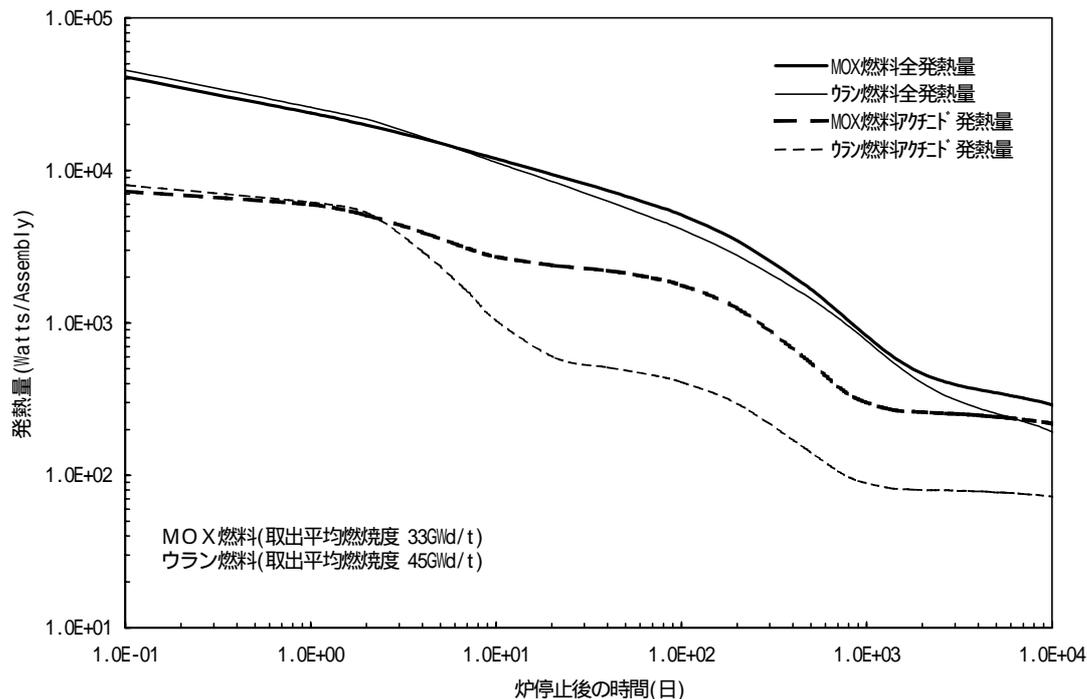
使用済ウラン燃料と使用済 MOX 燃料とで発熱量に大差はなく、いずれも現在の燃料プールの冷却設備により十分冷却することができます。

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 (FP : Fission Product) とアクチニドの崩壊によるものです。燃料取出直後は FP 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くなります。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ります。

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ます。

使用済 MOX 燃料と使用済ウラン燃料の崩壊熱 (評価例)



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)

(参考資料)

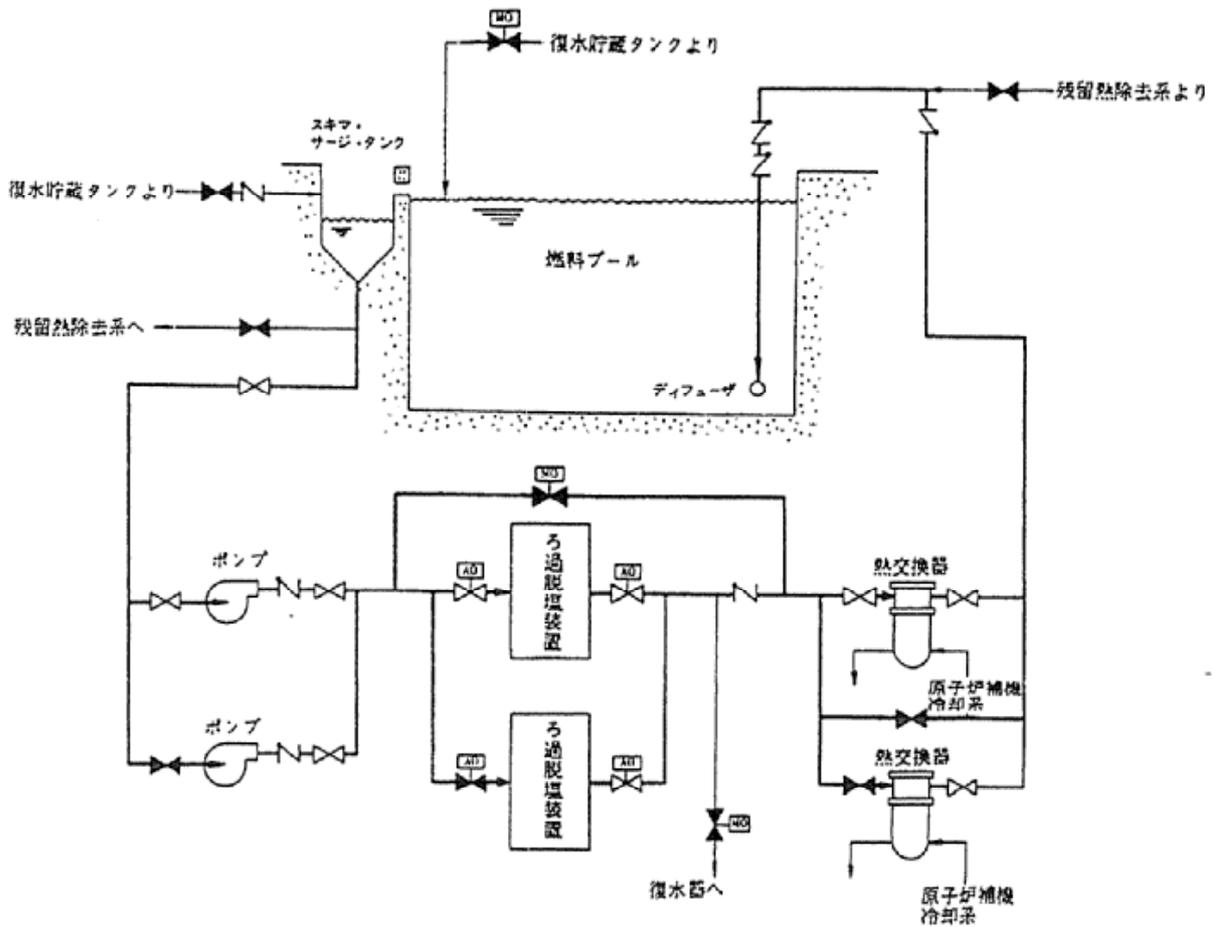
(1) 島根 2 号機の燃料プール冷却設備

島根2号機の燃料プール冷却設備

燃料プール冷却設備（燃料プール冷却系）は、ポンプ、熱交換器及びろ過脱塩装置を備えており、使用済燃料からの崩壊熱を熱交換器で除去して燃料プール水を冷却するとともに、ろ過脱塩装置で燃料プール水をろ過して、水の純度、透明度を維持しており、燃料プールの水温を保安規定に定めた値に維持できる能力を有しています。

なお、燃料プールの水温について、運転上の制限として「65 以下」とし、これを保安規定に定めています。

島根2号機の燃料最大貯蔵容量は、「3,518体」です。



島根2号機の燃料プール冷却系系統概要