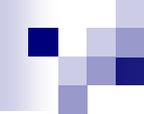




# 島根原子力発電所2号機の プルサーマルについて

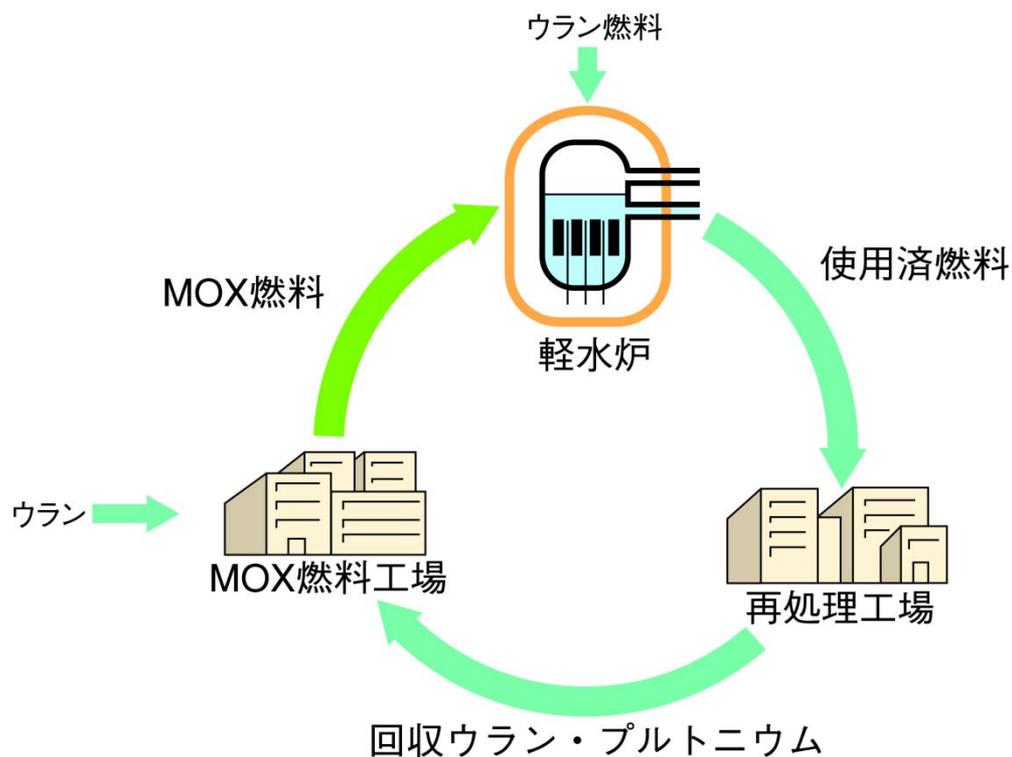
平成21年2月  
原子力安全・保安院



# 島根原子力発電所2号機プルサーマル計画の 安全審査結果について

# プルサーマルとは

使用済燃料から取り出したプルトニウムをウランと混ぜて加工した「MOX燃料(ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)」を、現在の原子力発電所(サーマルリアクター)で利用すること。



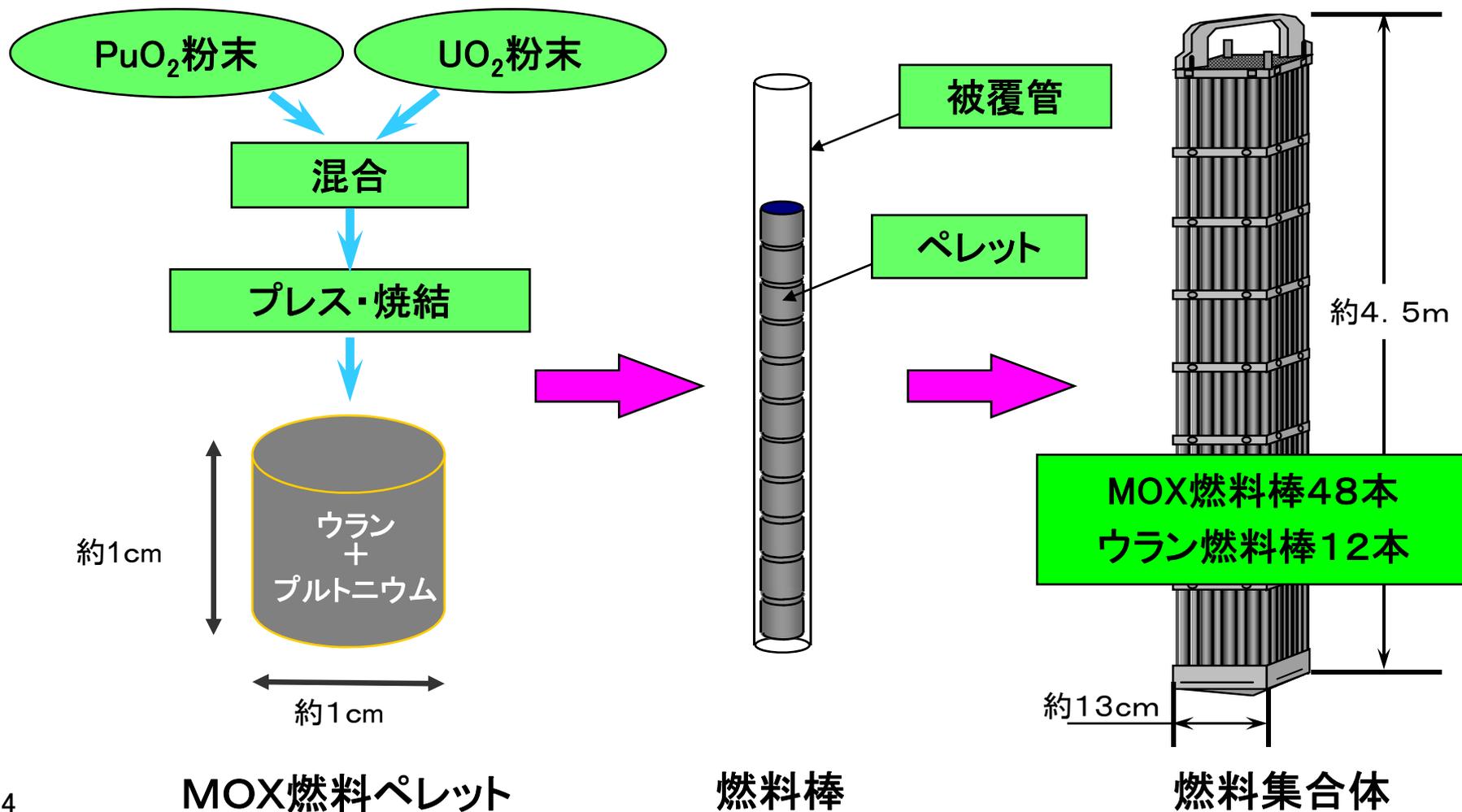
プルサーマル: プルトニウムの「プル」と、サーマルリアクターの「サーマル」をとってつくられた言葉です。

MOX燃料: 使い終わったウラン燃料からプルトニウムを取り出し、燃えにくいウランなどと混ぜてつくった燃料です。

※MOX=Mixed Oxide: 混合酸化物

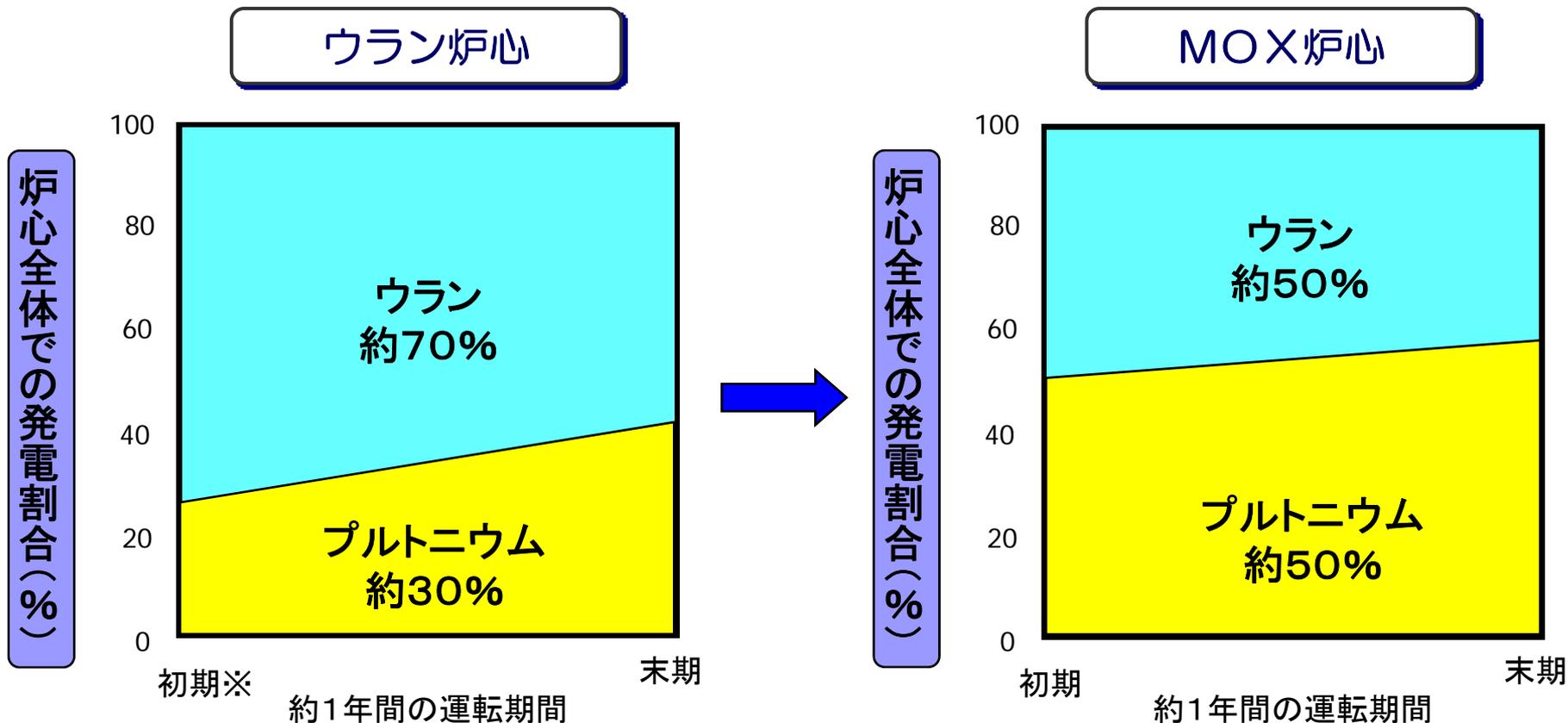
# プルサーマルに使用する燃料(MOX燃料)について

MOX燃料の外観は、高燃焼度8行8列型ウラン燃料と変わらない。



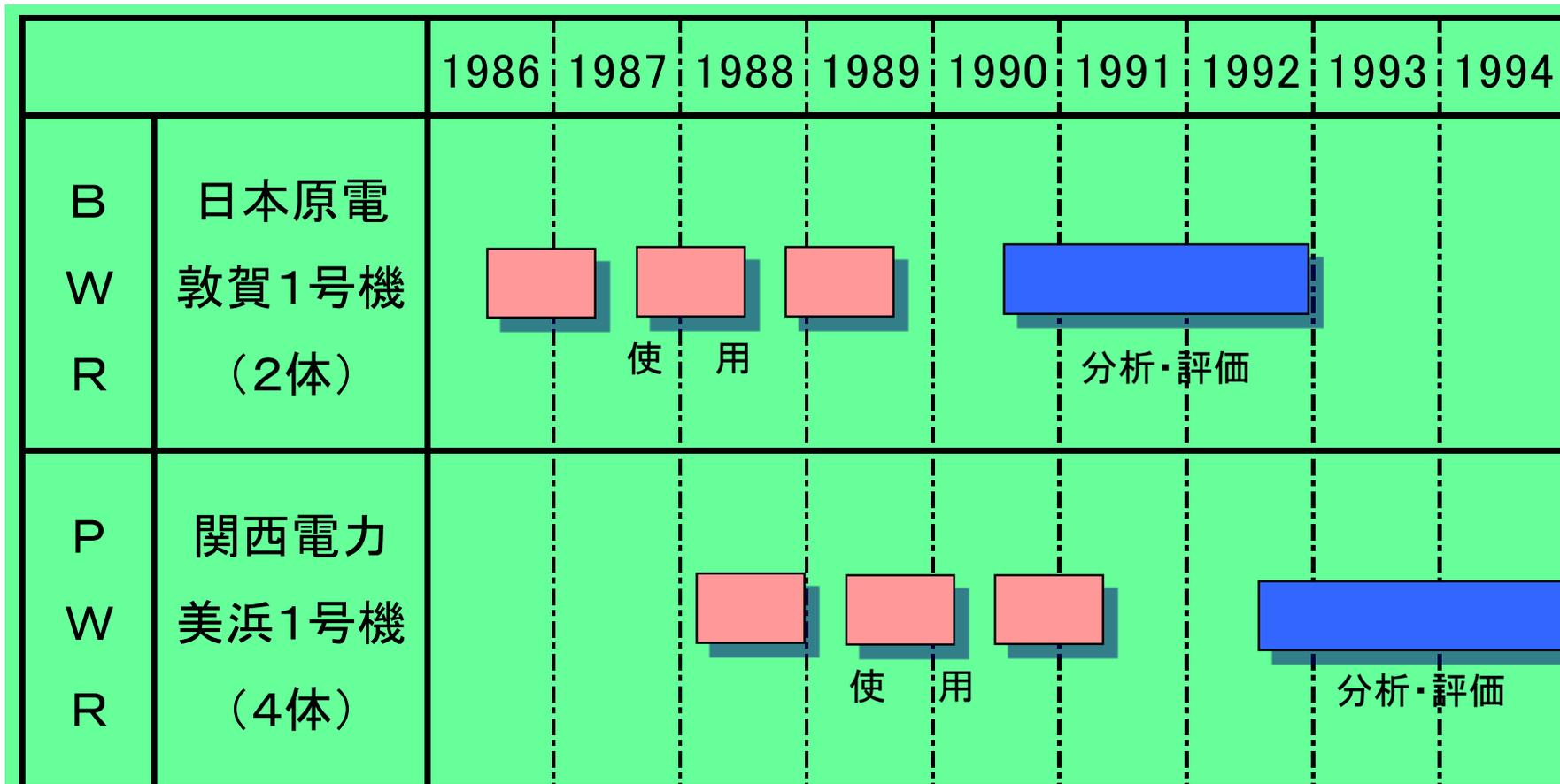
# プルトニウムの発電割合

現在の発電所でもプルトニウムで発電している。



※約1年間の運転毎に、炉心の燃料の約1/5から1/4を新燃料に取り替えるが、残りは継続使用するため、ウラン炉心の運転初期でも燃焼して生成したプルトニウムを含む燃料が存在している。

# 日本におけるMOX燃料の使用実績



原子力発電所の安全確保の基本は

## 原子炉の災害防止

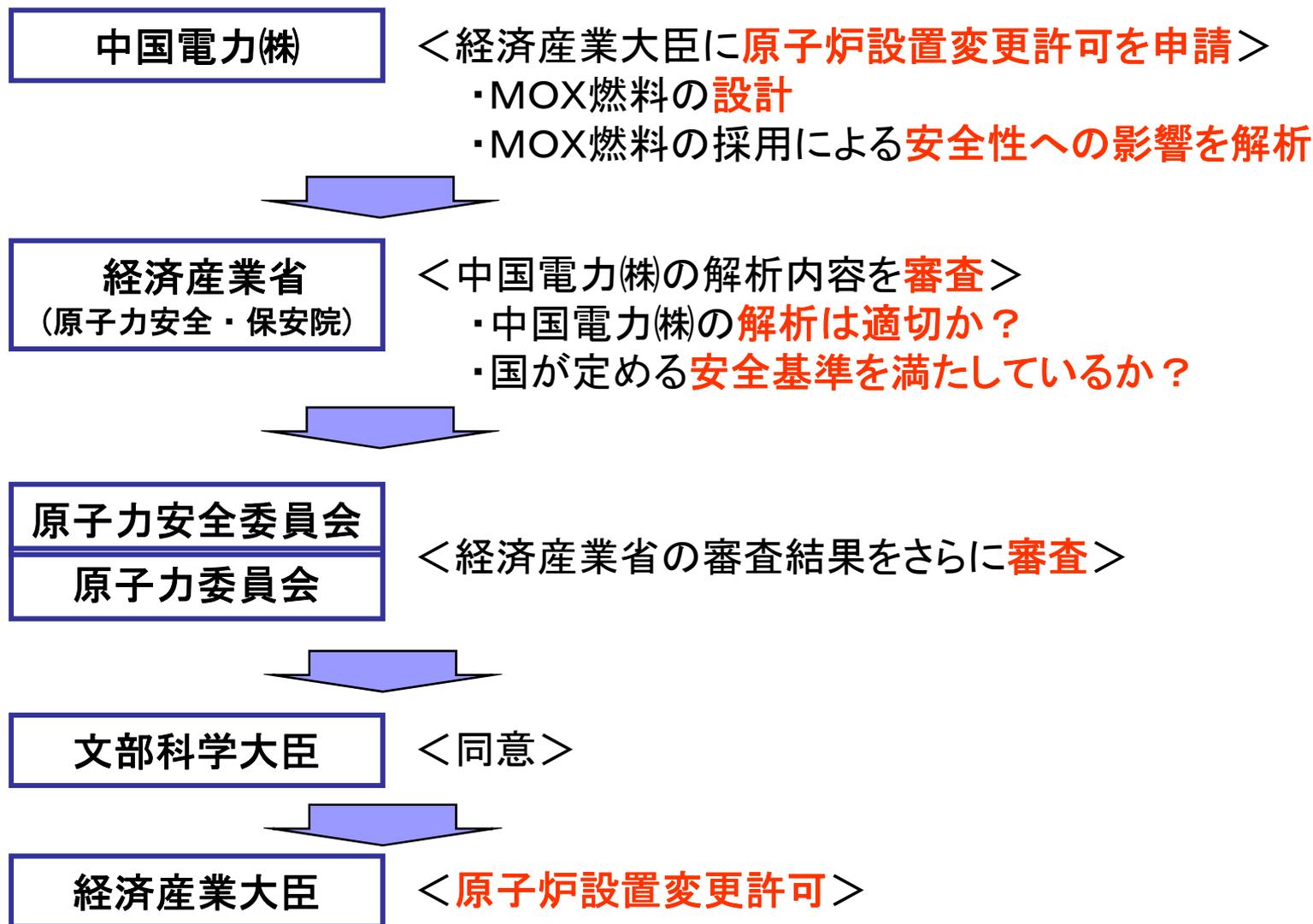
＝「万一の事故時にも  
発電所周辺の住民に放射線  
による影響を及ぼさないこと」

# 安全確保の基本を守るために

電力会社が安全上重要な施設の変更を行おうとする都度、

**国が安全審査を行って  
安全性を確認**

# 安全審査の流れ [島根2号機でのプルサーマル計画の場合…]



# 中国電力(株)のプルサーマル計画

- 申請年月日 平成18年10月23日
- 対象発電所 島根原子力発電所2号機
- 定格電気出力 82.0万kW
- 燃料集合体の数 560体
  - うちMOX燃料の数 (最大) 228体
  - MOX燃料の重量割合 約 1/3 以下
- MOX燃料
  - プルトニウム含有率<sup>1)</sup> (ペレット) 10 wt%以下
  - 核分裂性プルトニウム富化度<sup>2)</sup> (ペレット) 6 wt%以下
    - (燃料集合体平均ウラン235濃縮度 約3.0wt%相当以下)
  - 燃料集合体最高燃焼度 40,000MWd/t
- (参考) 9×9燃料(A型及びB型)
  - 燃料集合体平均ウラン235濃縮度 約3.7 wt%
  - 燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t

1) プルトニウム含有率 : 燃料内でのプルトニウムの量を示す指標

2) 核分裂性プルトニウム富化度 : 燃料内での核分裂性プルトニウムの量を示す指標

# 安全審査の際の基本的な考え方

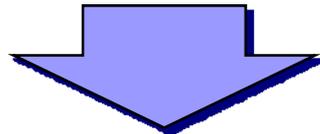
原子力安全委員会は、軽水炉に取替燃料の一部としてMOX燃料を装荷することに係る安全審査の指標について検討

(検討の範囲)

核分裂性プルトニウム富化度は8%まで、MOX燃料の炉心装荷率は1/3程度まで、燃料集合体最高燃焼度は45,000MWd/tまで

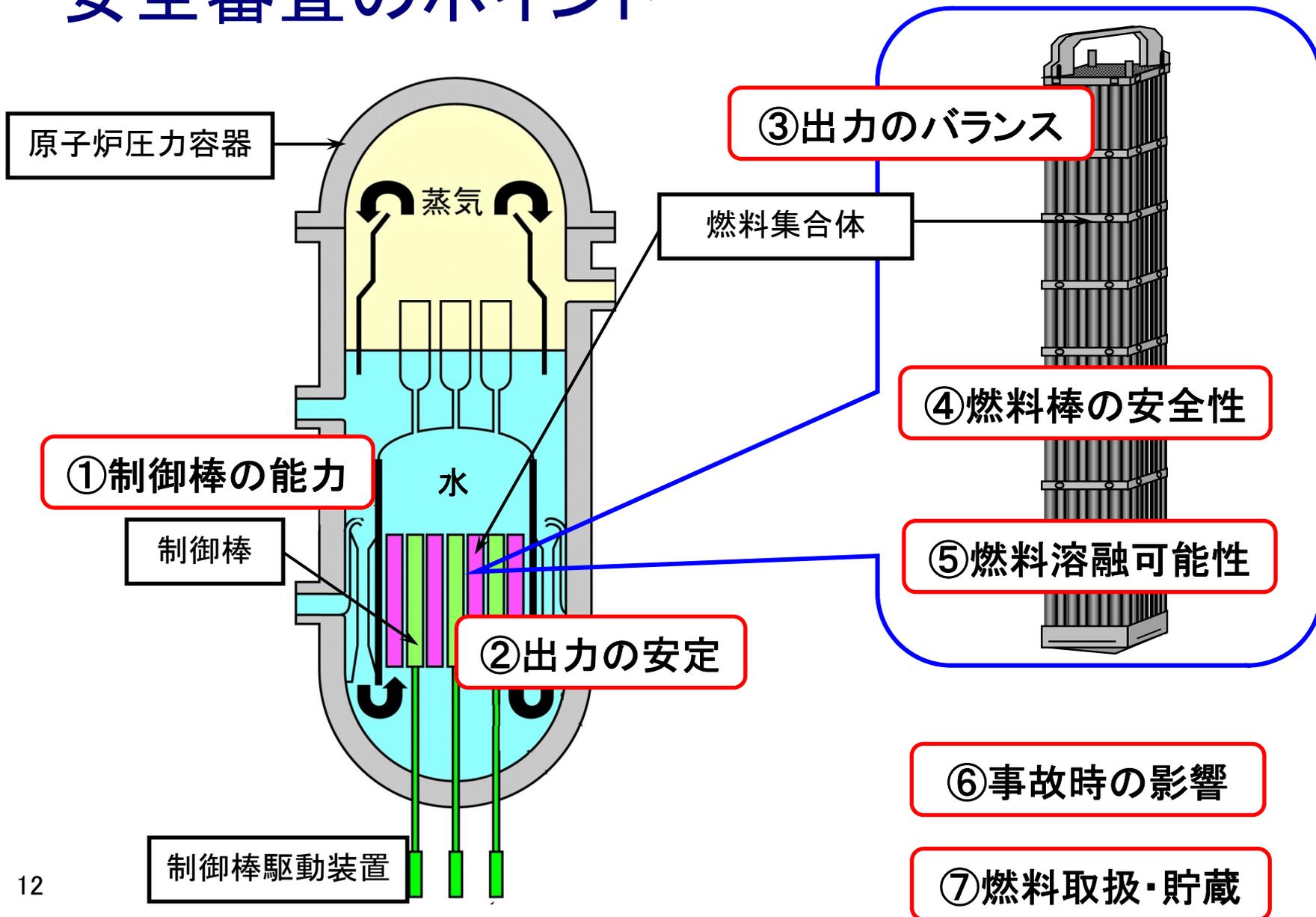
(検討結果)

MOX燃料の特性、挙動はウラン燃料と大きな差はなく、また、MOX燃料及びその装荷炉心は、従来のウラン燃料炉心と同様の設計が可能  
安全評価に当たって、従来ウラン燃料炉心に用いている判断基準並びにMOX燃料の特性を適切に取り込んだ安全設計手法、安全評価手法を適用することは差し支えない



原子力安全委員会の検討結果を踏まえ、ウラン炉心に用いている各種指針等を適用して安全審査を実施

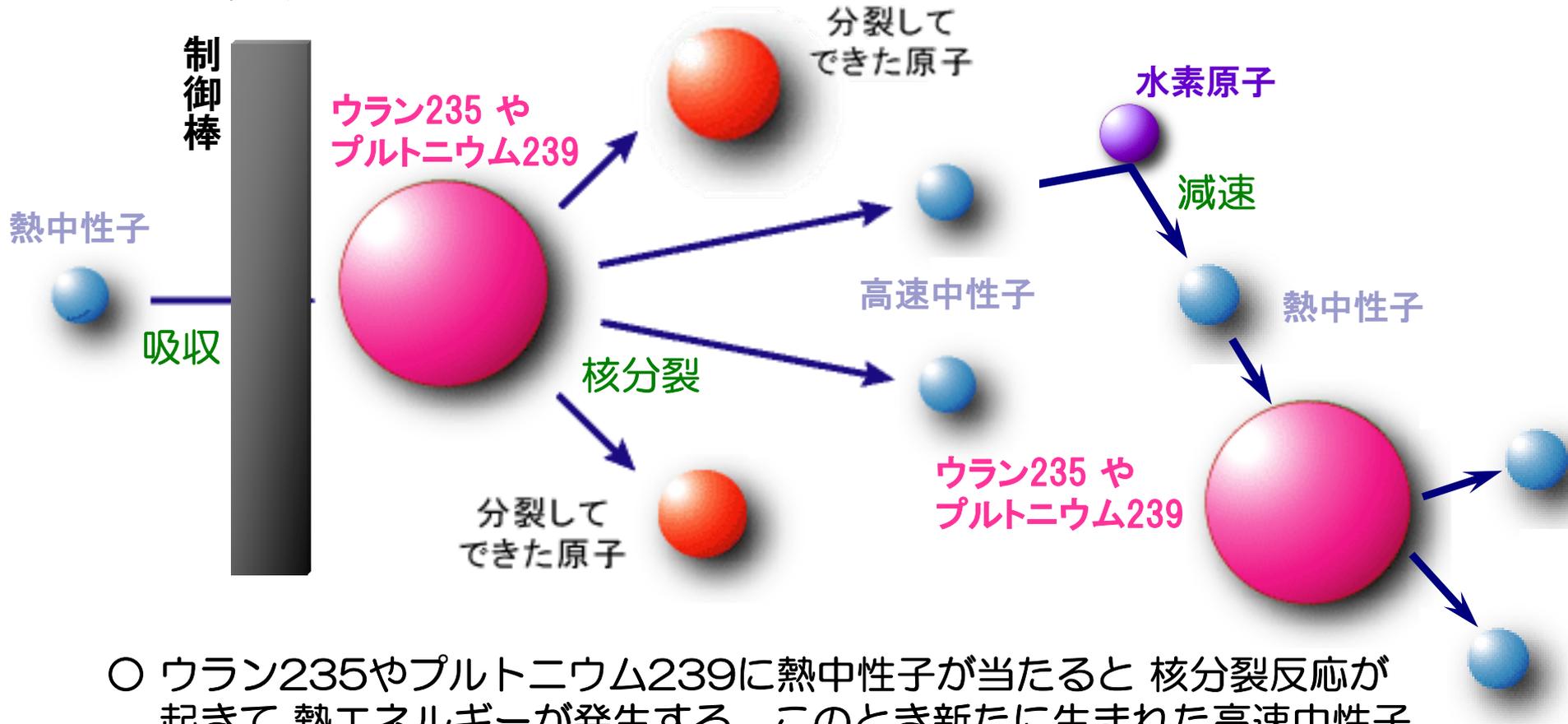
# 安全審査のポイント



# 安全審査のポイント

- ① 制御棒の原子炉を止める能力は十分か
- ② 出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか
- ③ 各々の燃料棒の出力の出方にアンバランスはないか
- ④ 燃料棒内にガスが異常に充満したり、出力が異常に上昇した時に燃料棒を傷めないか
- ⑤ 運転中に燃料が高温になり燃料が溶けないか
- ⑥ 事故を想定した場合に発電所周辺への影響はないか
- ⑦ MOX燃料の取扱いや貯蔵は安全に行えるか

# 核分裂反応のしくみ



- ウラン235やプルトニウム239に熱中性子が当たると核分裂反応が起きて熱エネルギーが発生する。このとき新たに生まれた高速中性子が減速されて熱中性子となり、次の核分裂反応を起こす。

制御棒は—

熱中性子を吸収して核分裂を停止させることにより 原子炉を停止

# 安全審査のポイント

## ① 制御棒の能力

## ② 出力の安定

## ③ 出力のバランス

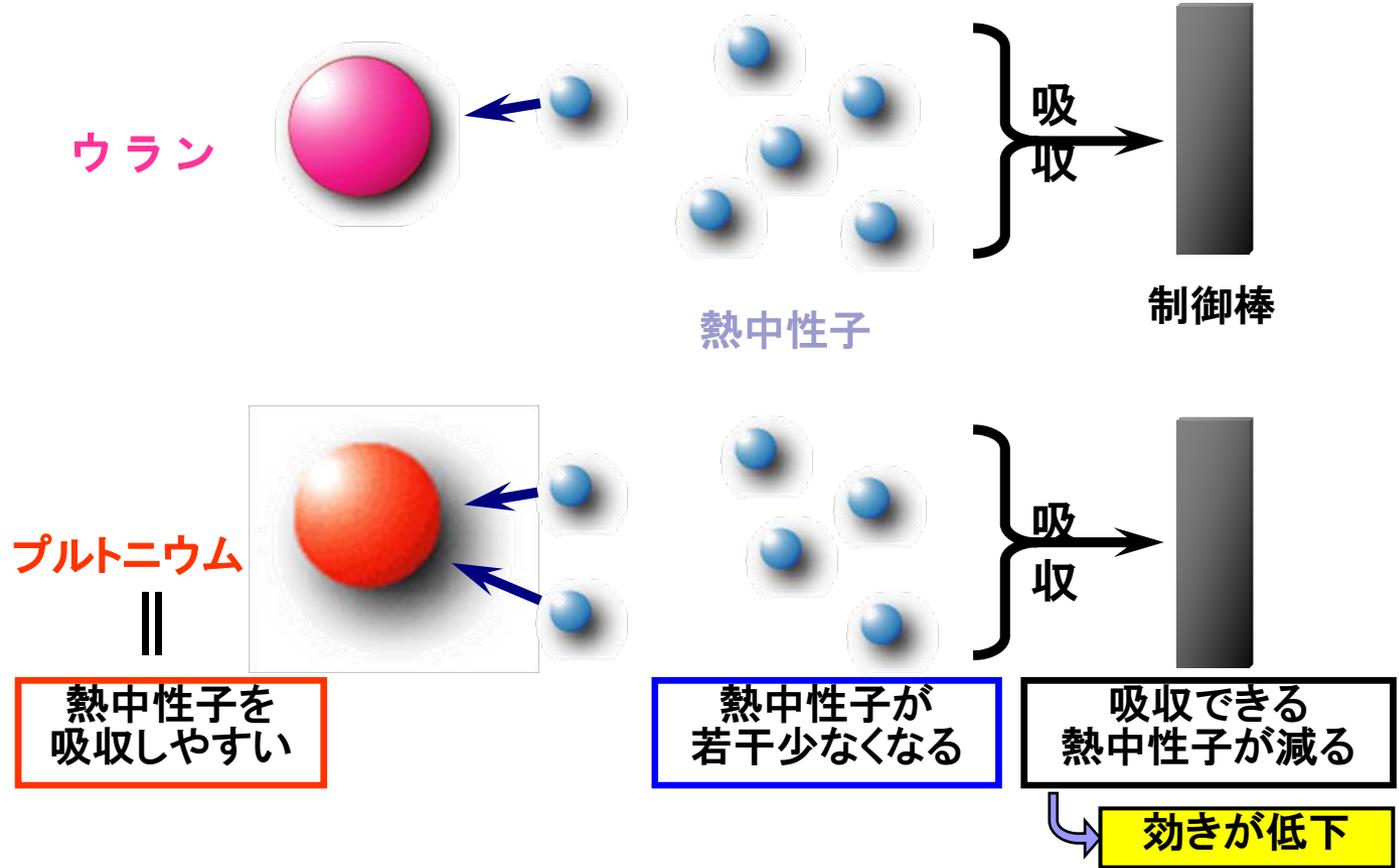
## ④ 燃料棒の安全性

## ⑤ 燃料溶融可能性

## ⑥ 事故時の影響

## ⑦ 燃料取扱・貯蔵

# 制御棒の原子炉を止める能力は十分か(1)



## 安全審査のポイント

# 制御棒の原子炉を止める能力は十分か(2)

① 制御棒の能力

② 出力の安定

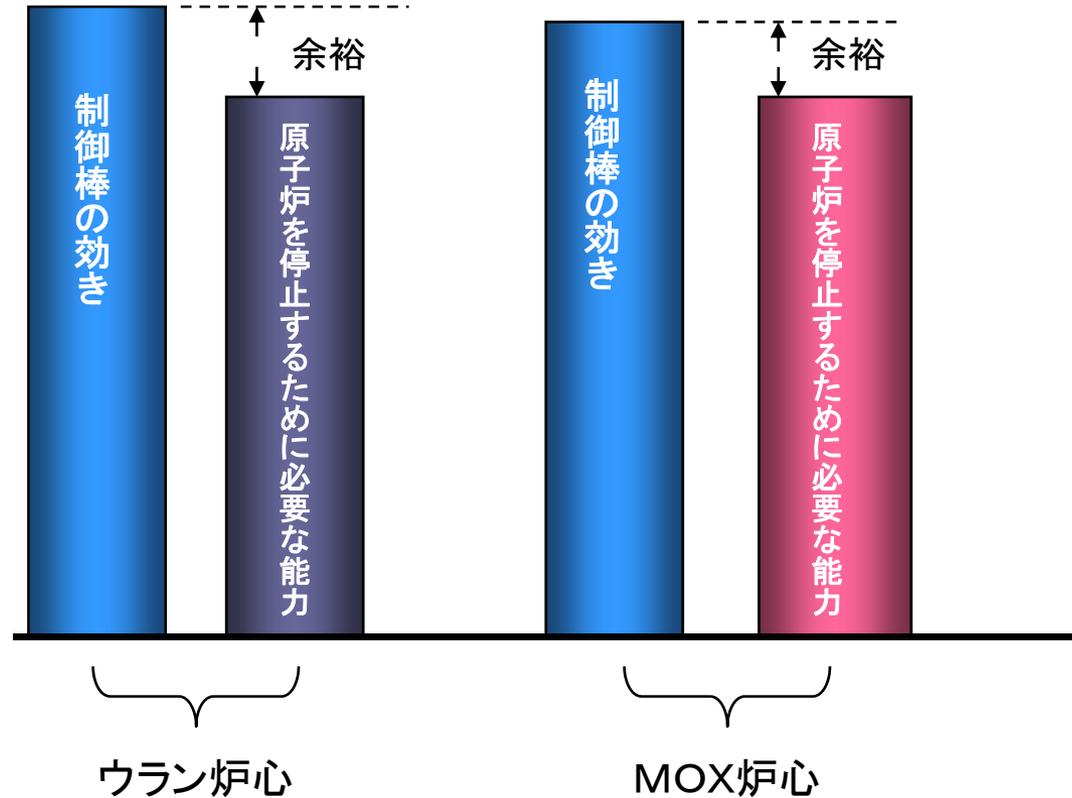
③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵



ウラン炉心と同様に余裕をもって  
原子炉が停止できることを確認した

## 安全審査のポイント

# 制御棒の原子炉を止める能力は十分か(3)

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

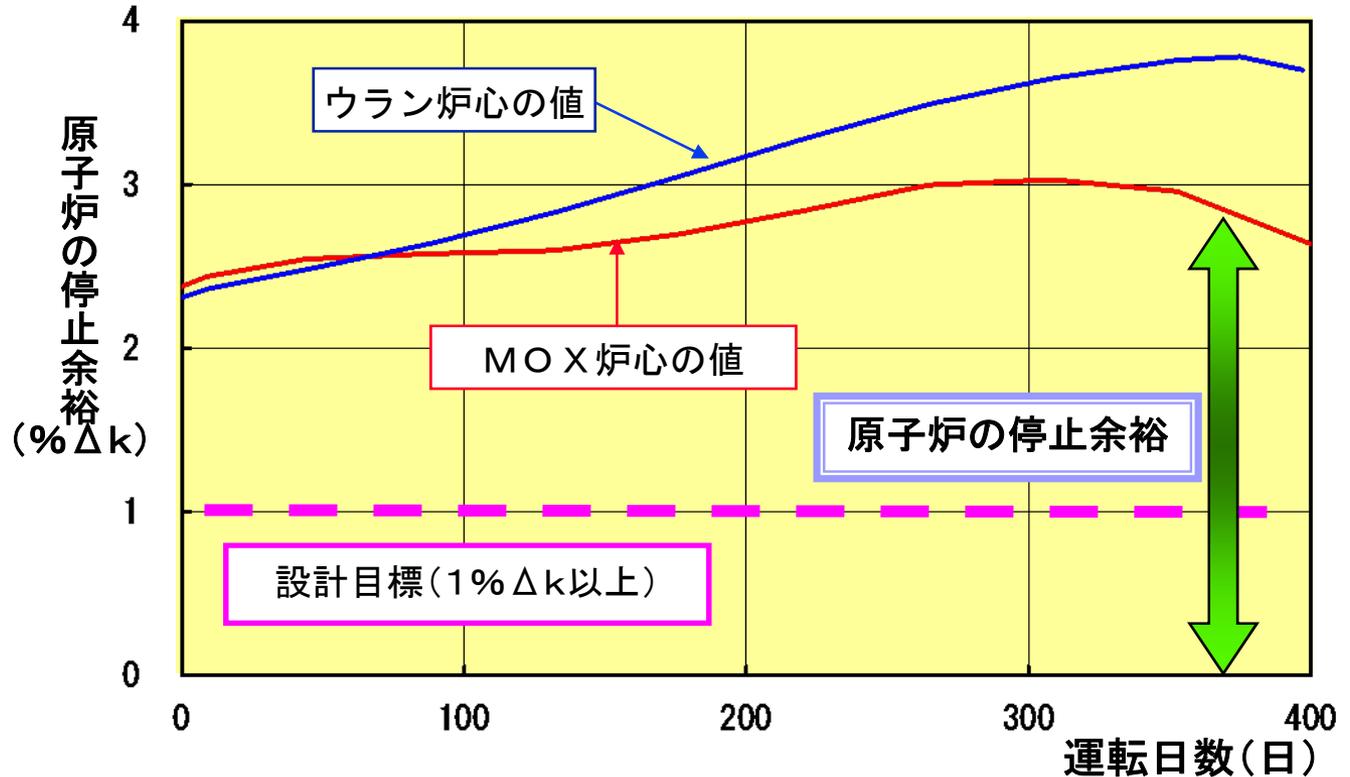
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

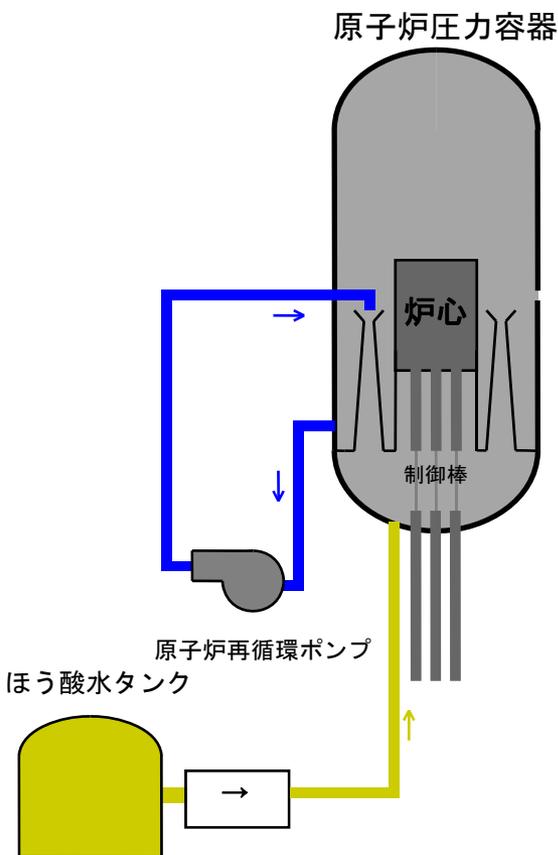
制御棒1本が入らない場合に原子炉を停止する能力



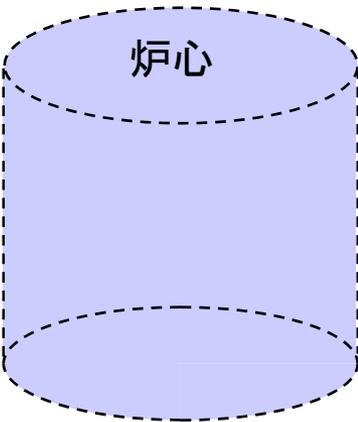
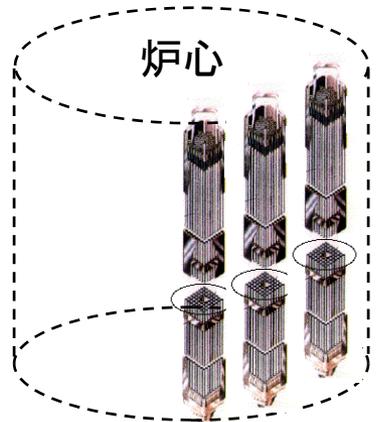
ウラン炉心と同様十分な  
原子炉の停止余裕を確保できることを確認した

# ほう酸水注入系作動時の未臨界性評価手法の変更

未臨界性評価手法について、より詳細に評価できる最新の手法を採用



ほう酸水注入系 (S L C)

対象	従来	今回の島根2号機
解析モデル	一点近似解析	三次元解析
解析方法	炉内を平均化し、空間的に一点で近似 	中性子等の解析要素を炉内の各燃料集合体、高さごとに考慮することで、炉内の実際の出力分布を模擬 

ほう酸水注入系により余裕を持って原子炉を未臨界にできることを確認した

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

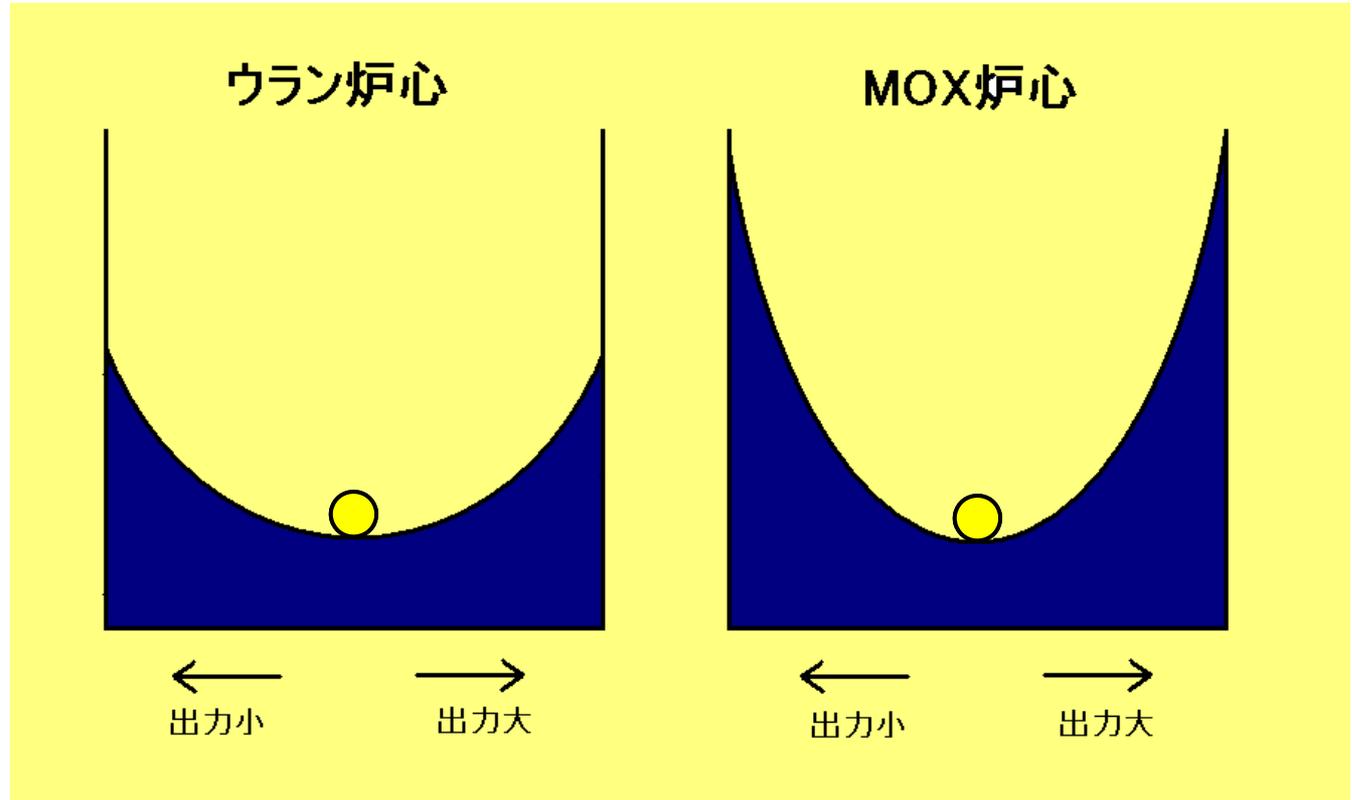
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

## 出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか(1)



**MOX炉心の方が出力が元に戻ろうとする力が強い**

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

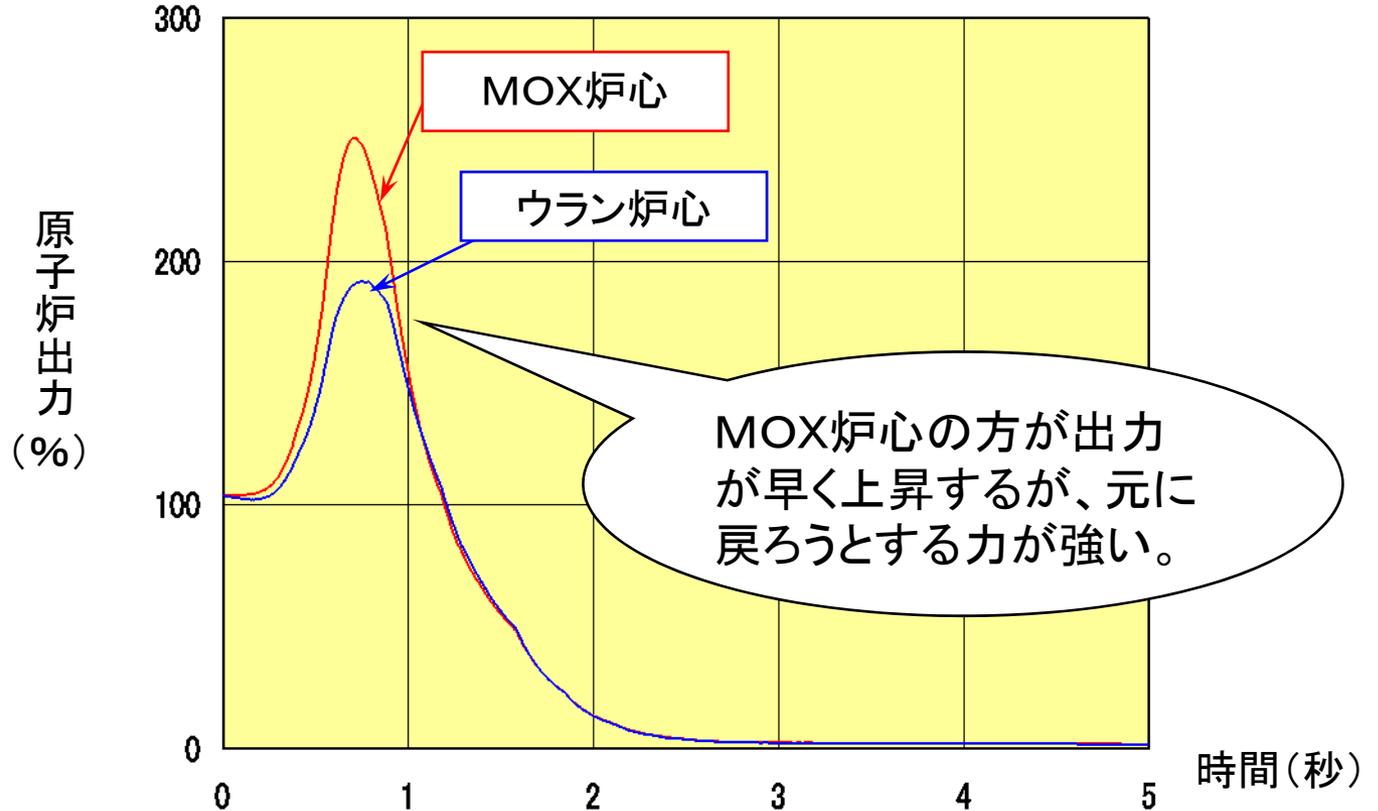
⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

## 出力が急激に変動したときうまく元に戻ろうとするか(2)

発電機負荷遮断時の出力の解析結果



MOX炉心もウラン炉心と同様に  
出力の急激な変動が抑えられる

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

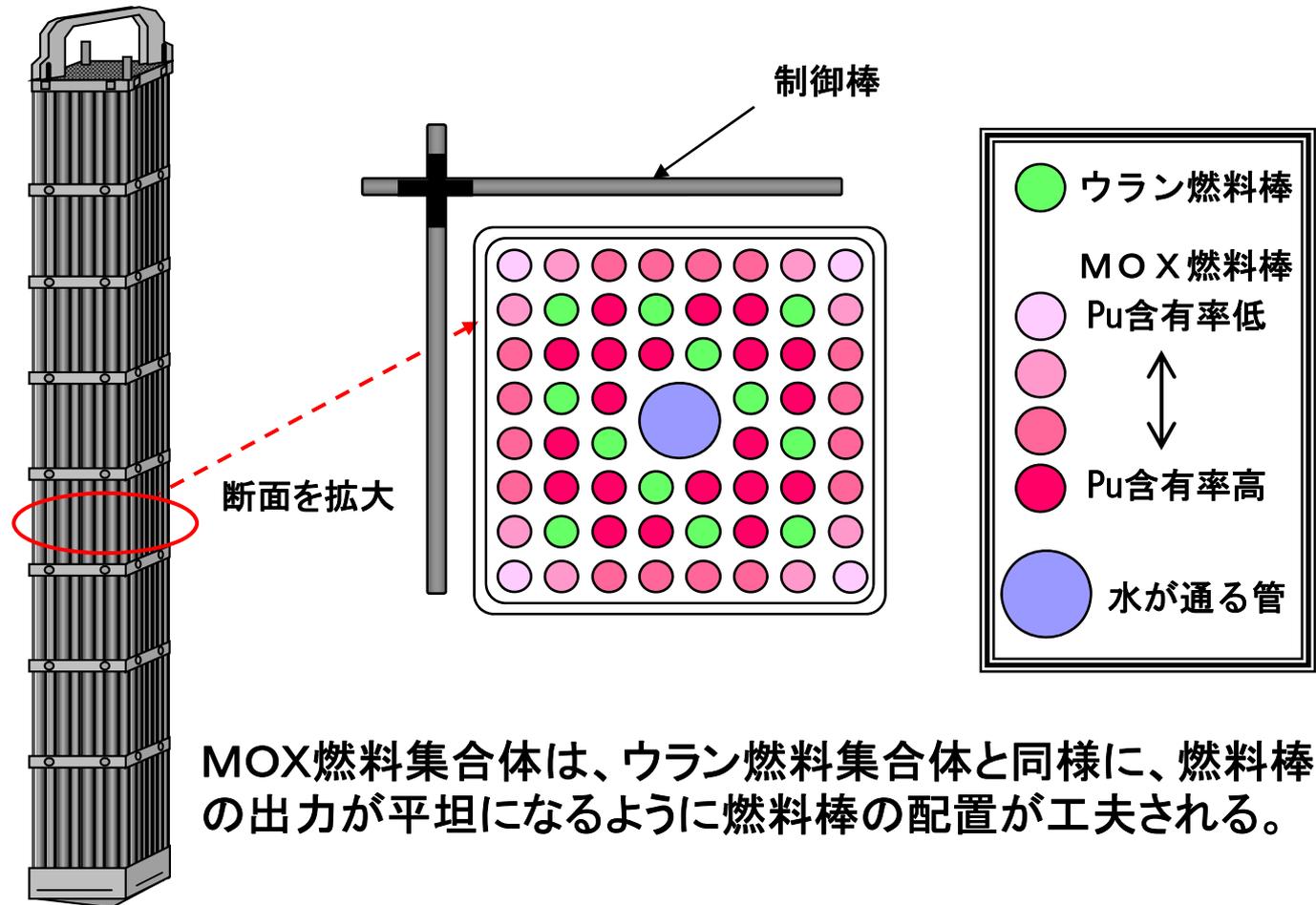
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

## 各々の燃料棒の出力の出方にアンバランスはないか



各々の燃料棒の出力の出方に大きな差が出ないように燃料棒が配置されることを確認した

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

## 燃料棒内にガスが異常に充満して燃料棒を傷めないか

燃料集合体

燃料棒

空間

### MOXペレットの特性

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あり

### 対応策

あらかじめ燃料棒内のガスを溜める空間の体積を増やして圧力の上昇を抑える

ペレット

解析プログラム

燃料棒内の圧力上昇等によって燃料棒に加わる応力を計算

解析結果(代表例)

MOX燃料棒

:0.56(設計比\*)

\* 設計比: 計算値と基準値の比

燃料棒内の圧力上昇等によって燃料棒に加わる応力が、安全上問題ない範囲に抑えられることを確認した

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

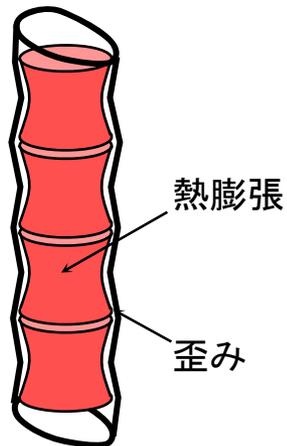
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

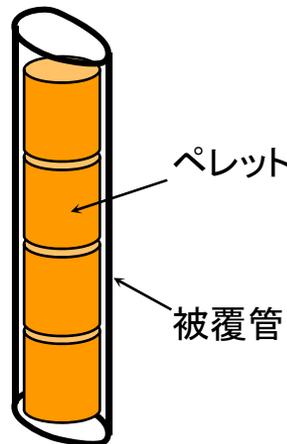
⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

異常時

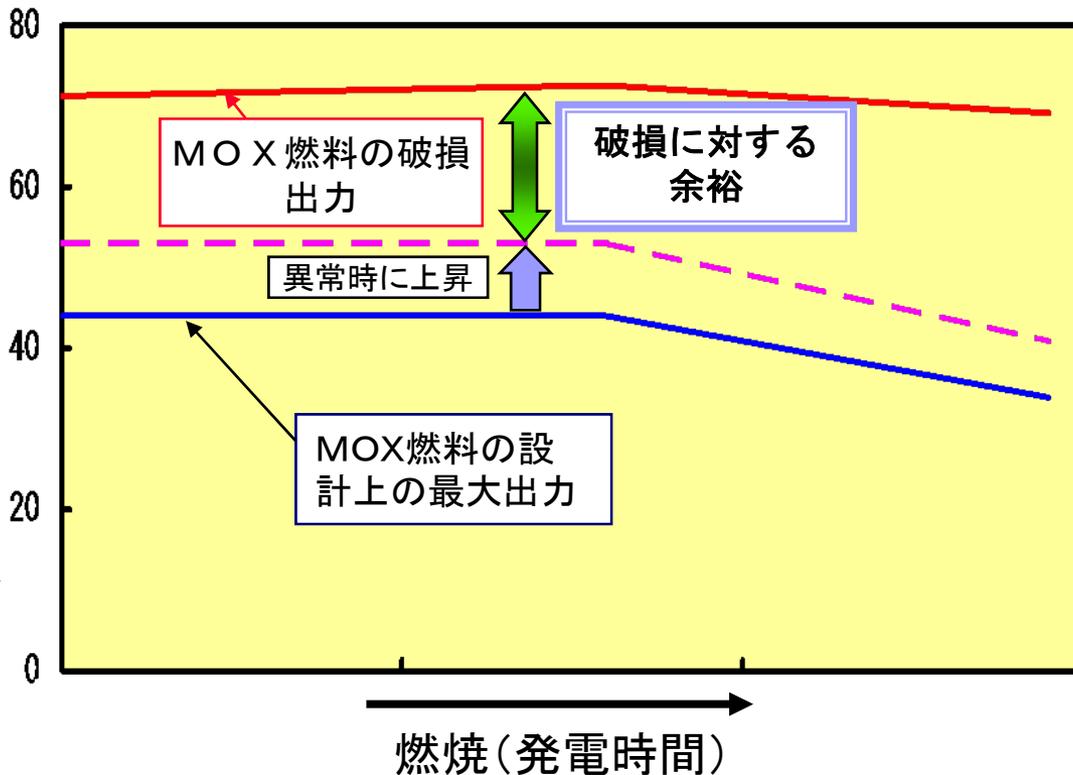


通常時



## 出力が異常に上昇して燃料を傷めないか

燃料の出力 (kW/m)



異常時においても燃料が破損するような出力に達しないことを確認した

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

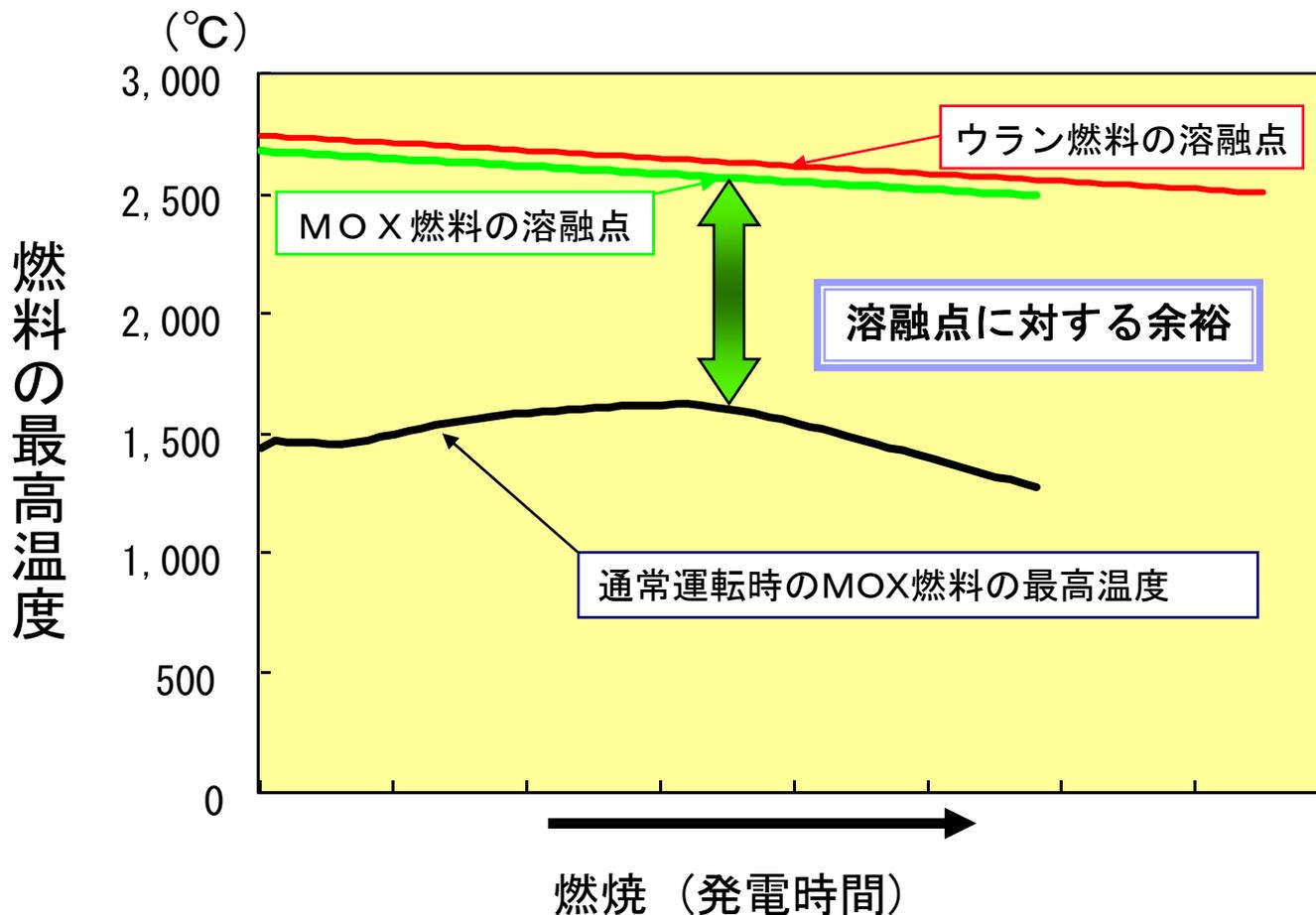
④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

## 運転中に燃料が高温になり燃料が溶けないか



通常運転中に、燃料最高温度が溶融点に達しないことを確認した

# 事故を想定した場合に発電所周辺への影響はないか

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

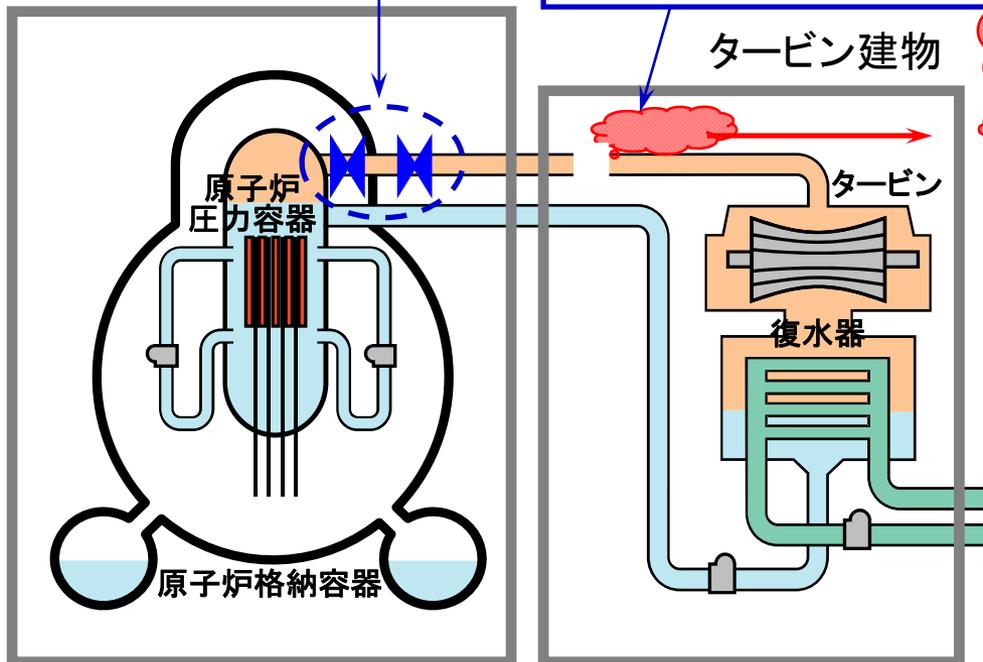
⑦ 燃料取扱・貯蔵

③ 主蒸気隔離弁が閉止し、破断口からの蒸気の流出を防止する

② 環境中に放射性物質が放出

① 主蒸気管が破断し建物内に蒸気が流出

原子炉建物



このような事故が発生しても被ばく量は約0.072 mSv  
〔胸のX線集団検診約1.5回分〕

MOX燃料を使用した場合でも、周辺の住民が放射線による著しい影響がないことを確認した

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

⑤ 燃料溶融可能性

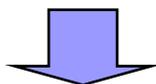
⑥ 事故時の影響

⑦ 燃料取扱・貯蔵

# MOX燃料の取扱いは安全に行えるか

## 新燃料受け入れ

MOX新燃料は、ウラン新燃料と比べて数十倍放射線が高い



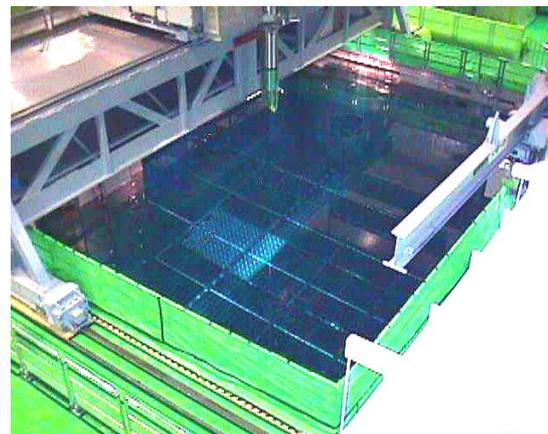
- 専用の容器に入れて輸送
- 取扱時に遮へいを設ける、取扱時間を短くする、距離を取る等の被ばく管理を行う
- 燃料プールに保管

## 使用済燃料の取扱い

- 専用装置で遠隔操作
- すべて水中で取扱う



ウラン燃料と取扱いは同じ



MOX燃料を安全に取扱うことができる

## 安全審査のポイント

① 制御棒の能力

② 出力の安定

③ 出力のバランス

④ 燃料棒の安全性

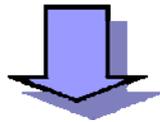
⑤ 燃料溶融可能性

⑥ 事故時の影響

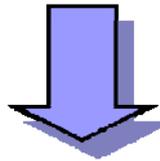
⑦ 燃料取扱・貯蔵

# 使用済MOX燃料の貯蔵は安全に行えるか

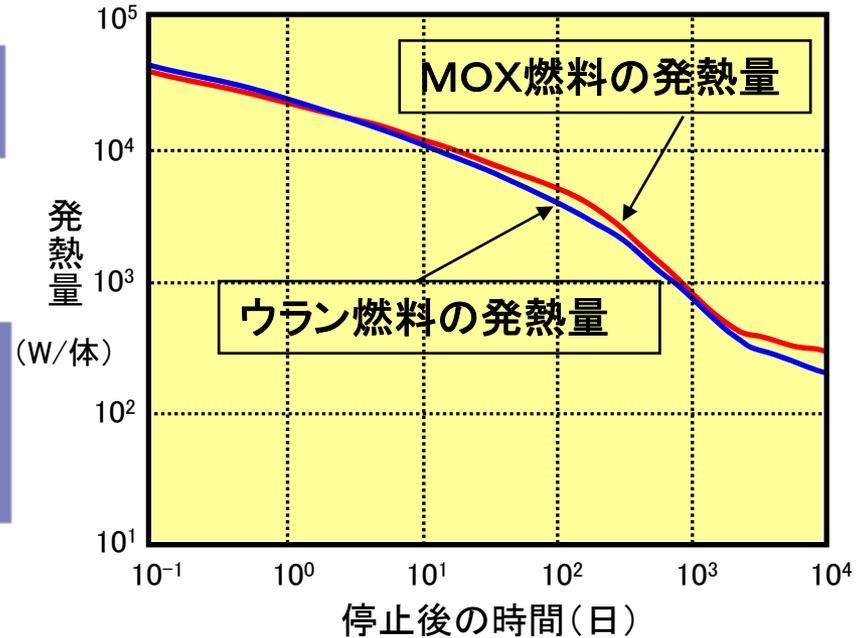
MOX燃料は取出直後を除きウラン燃料より発熱量が大きい



最も厳しい条件下(燃料プールが使用済のウラン燃料とMOX燃料で占められ、発熱が最も大きくなる場合)での水温を解析



燃料プール冷却設備で十分冷却できることを確認した



	2号機燃料プールの水温	基準値
MOX燃料貯蔵時	約46 °C	65 °C

# これまでのプルサーマルに関する許可の実績

## 沸騰水型原子炉(BWR)

- ・東京電力(株)福島第一原子力発電所3号炉  
平成10年11月 4日 原子炉設置変更許可申請  
平成11年 7月 2日 原子炉設置変更許可
- ・東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所3号炉  
平成11年 4月 1日 原子炉設置変更許可申請  
平成12年 3月15日 原子炉設置変更許可
- ・中部電力(株)浜岡原子力発電所4号炉  
平成18年 3月 3日 原子炉設置変更許可申請  
平成19年 7月 4日 原子炉設置変更許可
- ・電源開発(株)大間原子力発電所(ABWR)  
平成16年 3月18日 原子炉設置許可申請  
平成20年 4月23日 原子炉設置許可
- ・中国電力(株)島根原子力発電所2号炉  
平成18年10月23日 原子炉設置許可申請  
平成20年10月28日 原子炉設置許可

## 加圧水型原子炉(PWR)

- ・関西電力(株)高浜発電所3、4号炉  
平成10年 5月11日 原子炉設置変更許可申請  
平成10年12月16日 原子炉設置変更許可
- ・九州電力(株)玄海原子力発電所3号炉  
平成16年 5月28日 原子炉設置変更許可申請  
平成17年 9月 7日 原子炉設置変更許可
- ・四国電力(株)伊方発電所3号炉  
平成16年11月 1日 原子炉設置変更許可申請  
平成18年 3月28日 原子炉設置変更許可

# 原子炉設置変更許可後も安全の確保に努めます

## 審査のポイント

MOX燃料の  
製造時

- ✓申請されたMOX燃料の**詳細仕様**が**基準を満たしているか。**
- ✓MOX燃料を**きちんと造れるか。**

(輸入燃料体検査)

原子炉へMOX  
燃料を入れる時

- ✓詳細な原子炉の**制御性等が基準**を満たしているか。

(工事計画認可)

MOX燃料を入  
れての運転中

- ✓申請された**運転中の約束事**が安全管理上問題なく、**災害防止**上十分か。

(保安規定変更認可)

検査で  
確認