

2023年4月24日

九州電力株式会社

## 玄海原子力発電所第3号機

設計及び工事計画認可申請書

【ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料体】

補足説明資料

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

## 目 次

補足説明資料 1	設計及び工事計画認可申請における適用条文等の整理について
補足説明資料 2	設計及び工事計画認可申請書に添付する書類の整理について
補足説明資料 3	工事の方法に関する補足説明資料
補足説明資料 4	基本設計方針の確認方法に関する補足説明資料
補足説明資料 5	輸入燃料体検査申請書と設計及び工事計画認可申請書の記載に関する補足説明資料
補足説明資料 6	A型MOX燃料体の変更点に係る補足説明資料
補足説明資料 7	設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する補足説明資料

## 補足説明資料 6

### A型MOX燃料体の変更点に係る補足説明資料

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 変更内容と影響評価 .....	1

## 1. 概 要

本資料は、今回申請した燃料体（17行17列A型燃料集合体（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料））（以下、「A型MOX燃料体」という）の、輸入燃料体検査申請<sup>※1</sup>時からの変更点を示すとともに、燃料健全性等に影響を与えるものではないことを示すものである。

※1：平成20年9月9日付け原発本第221号、平成21年12月24日付け原発本第279号申請

## 2. 変更内容と影響評価

### 2.1 変更の概要

(1) A型MOX燃料体の設計の変更概要は以下のとおり。

- ・下部端栓の形状の変更（大テーパ化）

(2) A型MOX燃料体の規定値の変更概要は以下のとおり。

- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物（以下、「MOX」という）燃料材の組成のうち、水素含有量規定値（上限値）の緩和
- ・MOX燃料材の不純物のうち、  
の不純物含有量規定値（上限値）の緩和

## 2.2 下部端栓の形状の変更（大テーパ化）

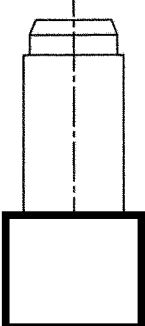
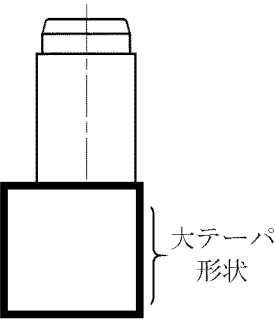
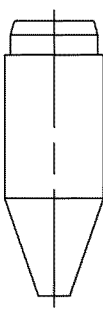
### (1) 背景


17行17列A型55GWd/tウラン燃料集合体（以下「55GWd/tウラン燃料体」という）において、最下部支持格子内における燃料棒の微小な振動によるフレット磨耗を原因とした漏えい燃料の発生が頻発<sup>1</sup>したことから、55GWd/tウラン燃料体に設計変更（下部端栓の大テーパ化等）を採用している。

これを踏まえフレット磨耗低減を目的として、17行17列A型48GWd/tウラン燃料集合体（以下「48GWd/tウラン燃料体」という）についても、大テーパ化した下部端栓（以下「改良48GWd/tウラン燃料体」という）を採用し、2020年から使用している。

A型MOX燃料体についても同様に、大テーパ化した下部端栓を採用する。

### (2) 変更内容

	変更前	変更後 <sup>※2</sup>	参考 (改良48GWd/t ウラン燃料体)
下部端栓			

※2:メロックス工場では、燃料棒を集合体内に引き込む方式で燃料集合体を組み立てるため、を設ける必要がある。

なお、燃料被覆材と下部端栓の溶接工法、下部端栓の材料及び寸法については、変更はない。

### (3) 影響評価

実機の流速を模擬した流水試験により、燃料棒の振動及び冷却材の流況に関連

<sup>1</sup> NUCIA の情報に基づく、漏えい実績は以下のとおり。なお、( ) 内は事象発生日を示す。

- ・関西電力株式会社 大飯2号機 (2009年 8月31日)
- ・四国電力株式会社 伊方3号機 (2009年11月19日)
- ・関西電力株式会社 大飯1号機 (2010年 2月 1日)

するパラメータとして励振力<sup>※3</sup>及び圧力損失係数を測定した。

a. 励振力測定結果

A 型 MOX 燃料体と 48GWd/t ウラン燃料体及び改良 48GWd/t ウラン燃料体の励振力測定結果を図 1 に示す。

同図では

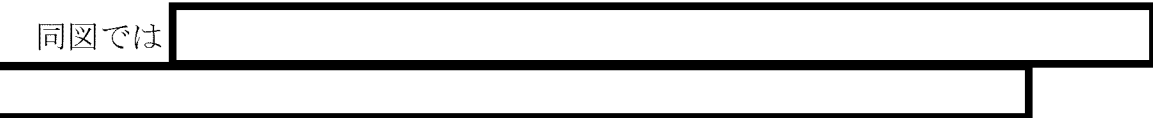


図 1 より、A 型 MOX 燃料体における燃料棒下端の励振力は改良 48GWd/t ウラン燃料体と同等以下である。このことから、フレット磨耗抑制効果が得られている。

※3：48GWd/t ウラン燃料体及び改良 48GWd/t ウラン燃料体においては、励振力の他に振動速度も測定しているが、励振力と振動速度は次式のように相関関係があるため、今回は励振力のみを測定した。

$ma+kx=f$  (m：質量、a：振動加速度、k：ばね定数、x：変位、f：励振力)

励振力 (f) が同等であれば、振動速度 (v) (振動加速度 (a) の時間積分値) は同等となる。

※4：

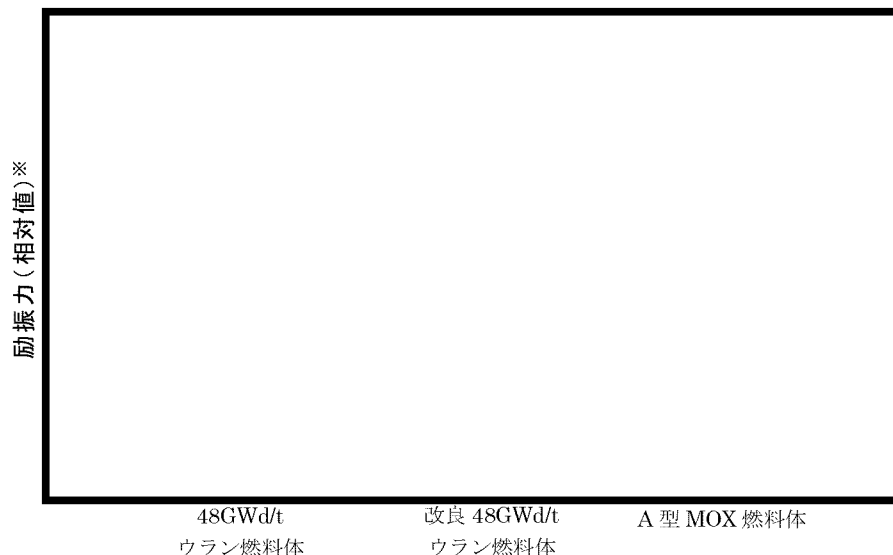


図 1 励振力測定結果

(※48GWd/t ウラン燃料体の 5-5 位置の燃料棒に加わる励振力を 1.0 としたときの相対値)



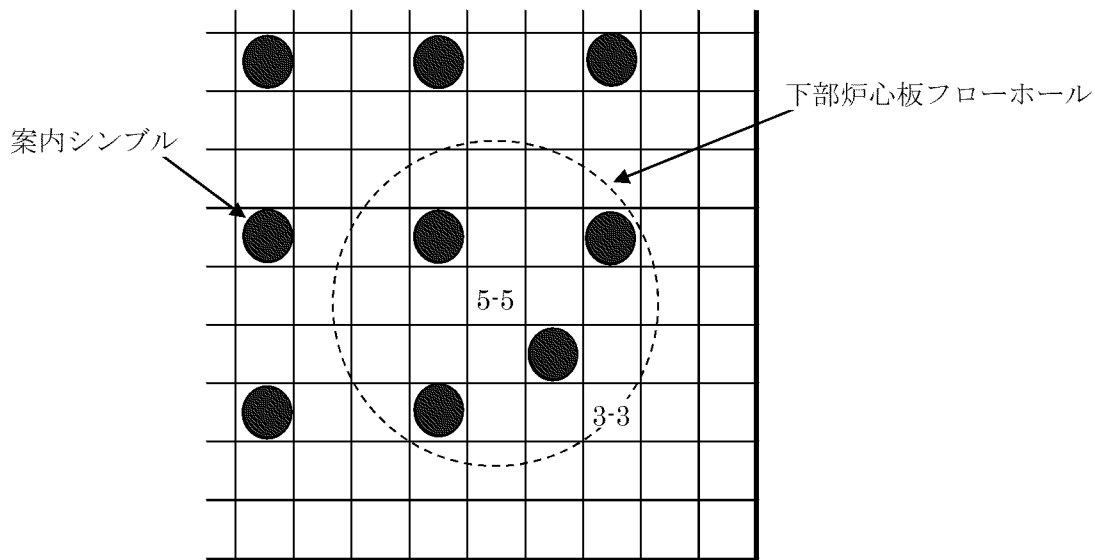


図 2 励振力測定位置と下部炉心板フローホールの関係

b. 圧力損失係数測定結果

A 型 MOX 燃料体と 48GWd/t ウラン燃料体及び改良 48GWd/t ウラン燃料体の圧力損失係数測定結果を図 3 に示す。

図 3 に示すとおり、A 型 MOX 燃料体の圧力損失係数及びそのレイノルズ数依存性は改良 48GWd/t ウラン燃料体と同等である。

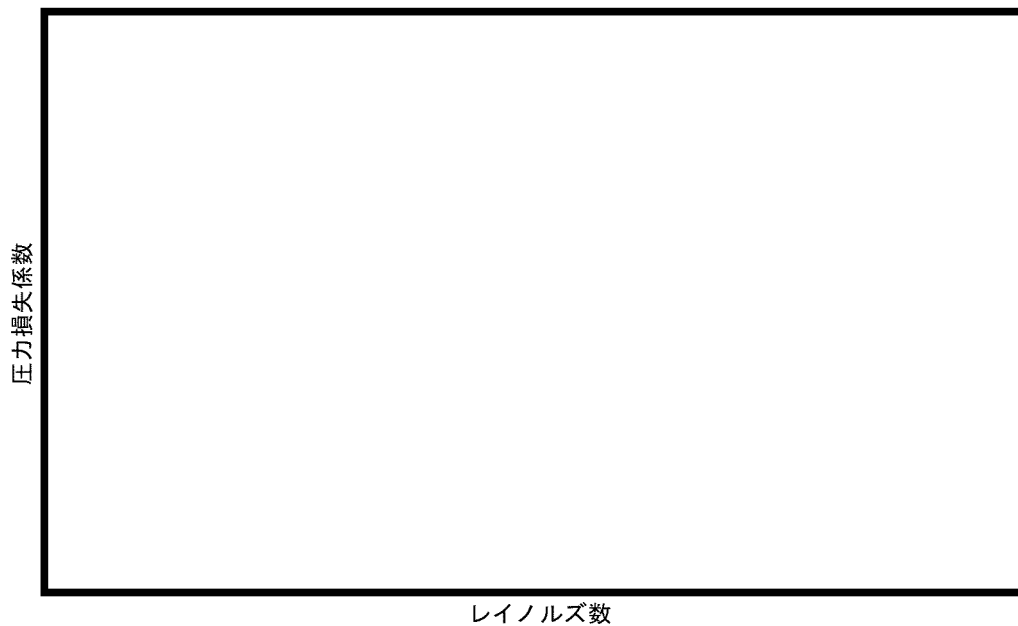


図 3 圧力損失係数測定結果

c. まとめ

流水試験により圧力損失係数や燃料棒の励振力について、改良 48GWd/t ウラン燃料体と同等であることを確認した。また、燃料体の質量が減少するが、その量は燃料体の全質量の約 0.1%未満とわずかである。

なお、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における燃料健全性等への影響評価については、添付 1 に整理した。

下部端栓の形状の変更により、端栓の全長や太径部の直径に変更はなく、燃料有効長や支持格子などの燃料体構造に変更はないことから、燃料体の健全性への影響を及ぼすものではない。

## 2.3 MOX 燃料材の水素含有量

### (1) 背景

メロックス工場で用いる    
  
 及び国内ウランペレットの規定値 ( $\leq$   ppm) を踏まえて、被覆管内面の水素脆化に関連する水素含有量規定値を緩和した。

### (2) 変更内容

	変更前	変更後
水 素	$\leq$ <input type="text"/> ppm	$\leq$ <input type="text"/> ppm

### (3) 影響評価

技術基準においては、ウランペレットのペレット内の水素含有量の具体的な基準が  $\leq 2$  ppm (ウランの含有量に対する百分率の値) に制限されており、MOX ペレットについては「各元素の含有量の全重量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。」と定められている。

図 4 に示すとおり、被覆管内面の水素脆化による破損は被覆管内面平均温度によらず、水分含有量  $\leq$   ppm (水素含有量  $\leq$   ppm) にて水分管理を行えば水素含有量に起因した破損には至らない。そのため、ウランペレットでは水素含有量を  $\leq$   ppm としている。

MOX 燃料体においても被覆管内面平均温度はウラン燃料体と同等であり、また、被覆材はウラン燃料体と MOX 燃料体で同一であることから、MOX ペレットにおいても水素含有量を  $\leq$   ppm とすることによる、燃料健全性 (被覆管の機械特性) への影響はない。

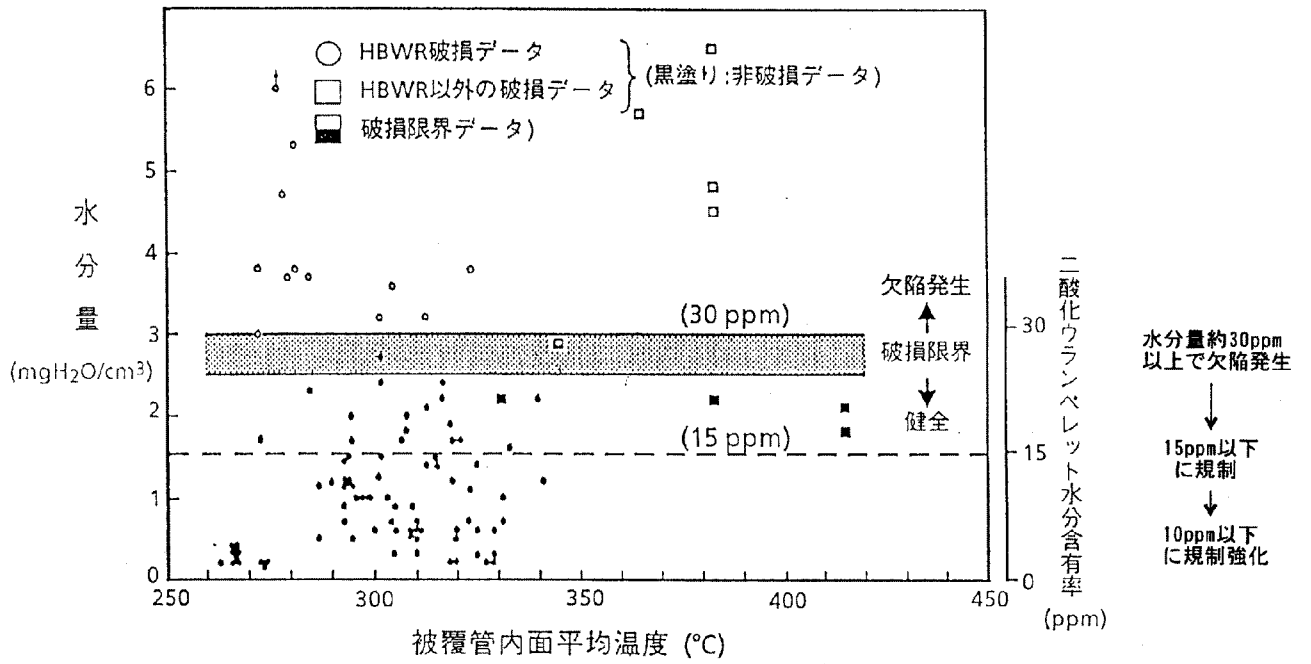


図4 PWR燃料不具合対策（初期水分濃度と水素脆化欠陥発生の限界）  
 （出典：（財）原子力安全研究協会“軽水炉燃料のふるまい 実務テキストシリーズ No.3”，平成25年3月）

2.4 MOX 燃料材の不純物 ( [ ] ) 含有量

(1) 背景

メロックス工場で MOX 燃料製造に用いる [ ] を踏まえて中性子経済に関連する不純物 ( [ ] ) 含有量規定値を緩和した。

(2) 変更内容

	変更前	変更後
[ ]		≦ [ ] ppm
[ ]		≦ [ ] ppm
[ ]	≦ [ ] ppm(合計)	≦ [ ] ppm
[ ]		≦ [ ] ppm

(3) 影響評価

[ ] は、熱中性子の吸収断面積が大きく、中性子経済に影響する可能性があるが、その影響はその他の不純物による影響も含めて別途ボロン当量として管理しており、ボロン当量は従来仕様 (≦ [ ] ppm) から変更しないことから中性子経済に影響はない。

不純物が MOX ペレット中に存在することで、その不純物が溶融し寸法安定性に影響する可能性はあるが、[ ] であり、4 元素合計で最大でも [ ] ppm と微量であることから、当該不純物元素は MOX ペレット中にほぼ全て固溶<sup>※5</sup>し、安定して存在するため、寸法安定性に影響するものではない。

また、仮に当該元素の一部が金属形態で MOX ペレット中に存在した場合、以下のとおり、運転時の異常な過渡変化時の MOX ペレット中心最高温度は各元素の金属形態の融点よりも高くなるが、上記の説明のとおり、当該元素の含有量は [ ] ppm よりも微量であることから、寸法安定性に影響するものではない。

※5：原子が1個1個ばらばらの状態で、金属の結晶格子の中に溶け込むこと。

- ・不純物 ( [ ] ) の融点

元素記号	融点 <sup>※6</sup> (金属)
[ ]	°C
[ ]	°C
[ ]	°C
[ ]	°C

※6：出典：セラミック工学ハンドブック

【第2版】 社団法人 日本セラミックス協会編

- ・MOX ペレット中心最高温度 (運転時の異常な過渡変化時)：約 2,240 °C

下部端柱の形状の変更(大テーパ化)に伴う影響評価  
(燃料集合体)

評 価 結 果	
流水振動	下部端柱の形状の変更(大テーパ化)により動振力が改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、流水振動の低減が図れていることを確認した。
フレティング摩耗	下部端柱の形状の変更(大テーパ化)により動振力が改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、フレティング摩耗の抑制が図れていることを確認した。
構造的共存性	本設計変更では、評価モデルは変わらないため影響はない。 また、支持椅子位置の変更はなく、隣接する支持椅子同士は半面接触が確保できており、燃料集合体の耐震性への影響はない。
上部ノズル押えばね機能	本設計変更では、燃料集合体圧損は改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、また燃料集合体の質量変更は0.1%未満と軽微なので、上部ノズル押えばねの燃料集合体押え力への影響はない。
スクラム時の健全性	本設計変更では、燃料集合体圧損は改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、スクラム特性への影響はない。
燃料棒曲がり	本設計変更では、燃料集合体の構造及び材質に変更はないため、燃料棒曲がりへの影響はない。
燃料集合体伸び	本設計変更では、燃料集合体の構造及び材質に変更はないため、燃料集合体伸びへの影響はない。
トータルギャップ	本設計変更では、下部端柱全長は変更していないことから、トータルギャップ(ギャップ閉塞)への影響はない。
圧力損失・DNB特性	本設計変更では、燃料集合体圧損は改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、熱水力特性への影響はない。
核特性(核的共存性含む)	本設計変更では、燃料有効部の仕様に変更はないため、核設計への影響はない。
輸送及び取扱い時荷重(4G荷重)	本設計変更では、燃料集合体質量の変更は0.1%未満と軽微であることから、輸送時及び取扱い時の燃料の健全性への影響はない。
DNB特性	本設計変更では、燃料集合体圧損は改良48Gd/tウラン燃料と同等であり、DNB評価に影響はない。
水力振動特性	本設計変更では、燃料集合体圧損は改良48Gd/tウラン燃料及び改良48Gd/tウラン燃料と同等であるため、燃料集合体の隣接による水力振動特性への影響はない。
熱水力的共存性	本設計変更では、外形及び寸法等の仕様に変更はなく、燃料集合体質量の変更は0.1%未満と軽微であることから、プラント機器とのインターフェイスへの影響はない。
プラント機器とのインターフェイス	本設計変更では、外形及び寸法等の仕様に変更はなく、燃料集合体質量の変更は0.1%未満と軽微であることから、プラント機器とのインターフェイスへの影響はない。
通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における燃料の健全性確保	下部端柱の形状の変更(大テーパ化)
輸送時及び取扱い時の燃料の健全性確保	下部端柱の形状の変更(大テーパ化)
共存性	下部端柱の形状の変更(大テーパ化)

下部端栓の形状の変更（大テーパー化）に伴う影響評価  
 (燃料棒)

	評価結果
燃料中心温度はMAX燃料の融点未満であること	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
燃料棒内圧はサーマルフィードバックを起こす圧力を超えないこと	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
被覆管発生応力は被覆管の耐力以下であること	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
被覆管円周方向引張歪の変化量は各過渡変化に対して1%以内であること	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
被覆管の全累積疲労損傷係数は1.0未満であること	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における燃料の健全性確保	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
下部端栓の形状の変更（大テーパー化）	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
被覆管の腐食による減肉量は健全性確保の観点から肉厚の10%以下を目安とする	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
被覆管水素吸収量は延性確保の観点から800ppmを目安とする	燃料健全性評価のインプットに変更はないため、燃料健全性に影響はない。
炉心内の出力変化がPCI破壊限界を超えないこと	炉心内の出力変化に影響はないため、PCI破壊限界に影響はない。
被覆管がクリーブコロブスしないこと	クリーブコロブスに影響のあるパラメータに変更はないため、燃料健全性に影響はない。