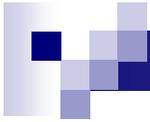


# 四国電力(株)伊方発電所 第3号機の輸入燃料体 検査申請について

平成19年11月1日  
経済産業省  
原子力安全・保安院



# . MOX輸入燃料体検査の概要



# 1. 輸入燃料体検査とは (1/3)

## 電気事業法

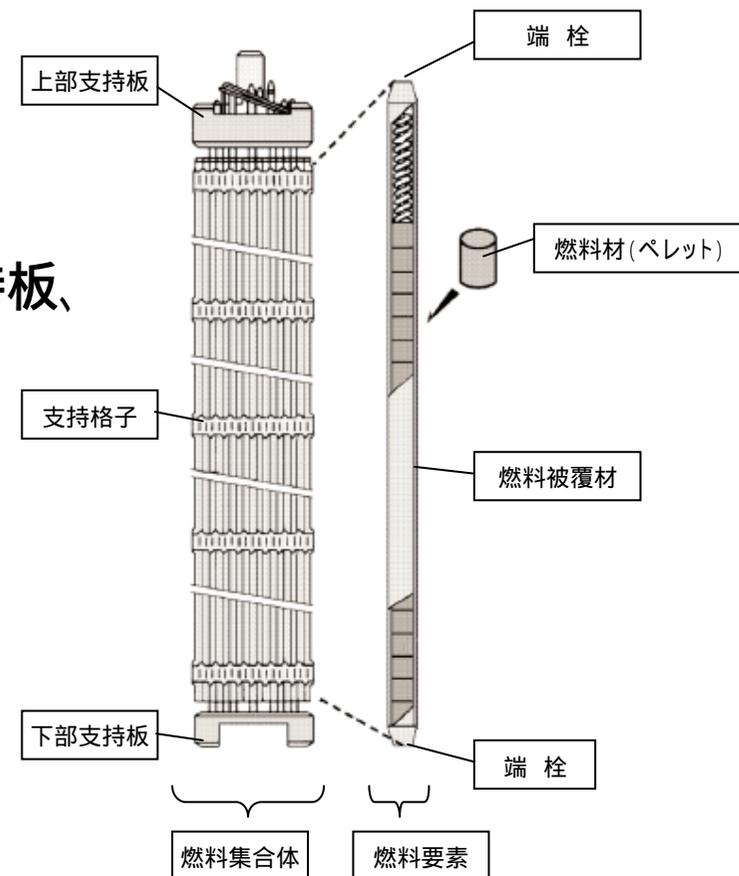
- 輸入した燃料体は、経済産業大臣の検査を受け、これに合格した後でなければ、これを使用してはならない。(第51条第3項)
- 前項の検査においては、その燃料体が経済産業省令で定める技術基準に適合しているときは、合格とする。(第51条第4項)

## 1. 輸入燃料体検査とは (2/3)

### 発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令

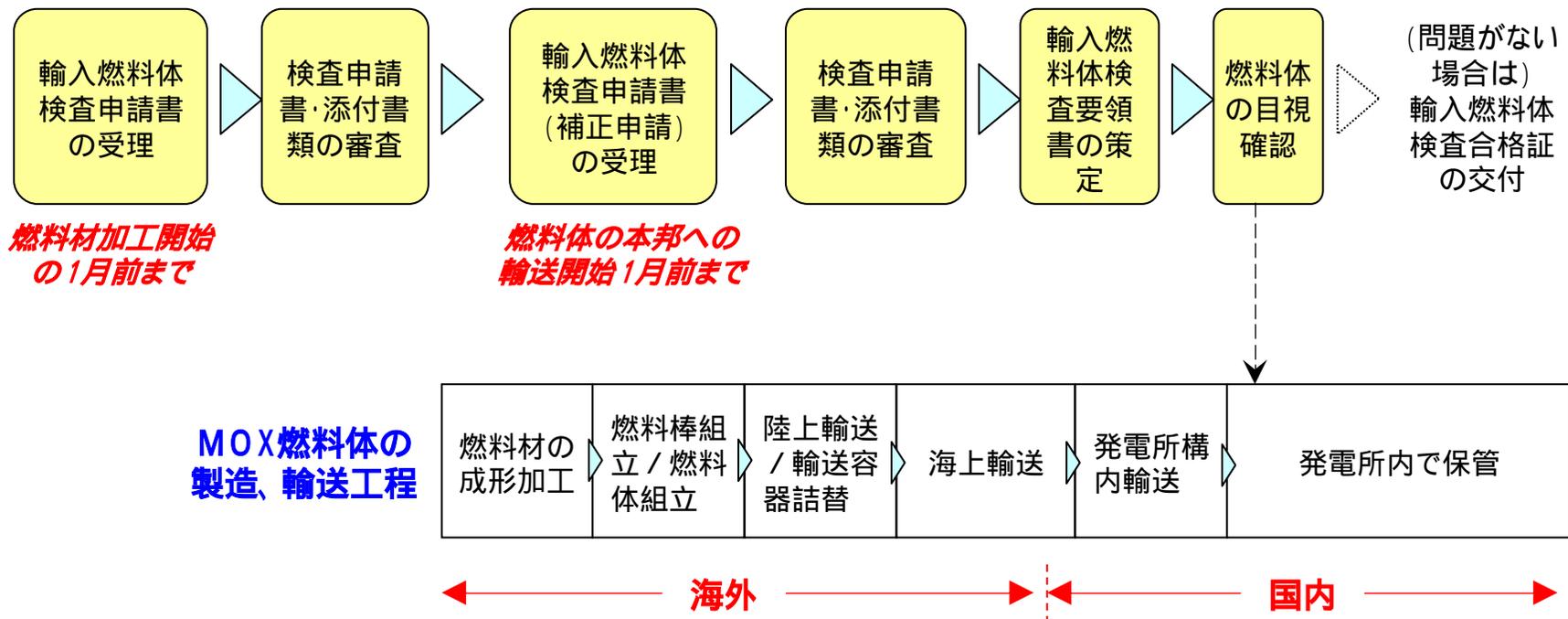
燃料体を構成する各部位及び燃料要素、  
燃料体の技術基準を規定。

- 燃料材(ペレット)
- 燃料被覆材、端栓
- その他部品(支持格子、上部支持板、下部支持板等)
- 燃料要素
- 燃料集合体



# 1. 輸入燃料体検査とは (3/3)

## MOX輸入燃料体検査の流れ



## 2. 輸入燃料体検査の方法(1/8)

輸入したMOX燃料体について次の検査を実施。

- 次に掲げる書類の内容(その根拠となる燃料加工事業者の記録も含む。)の審査
  - 燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐腐食性その他の性能に関する説明書
  - 燃料要素の強度計算書
  - 燃料体の構造図
  - 加工のフローシート
  - 燃料材、燃料被覆材その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の計画に関する資料
  - 品質保証の計画に関する説明書

(以下は補正申請受理後)

  - 燃料材、燃料被覆材その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の結果に関する資料
  - 品質保証に関する説明書
- 組み立てられた燃料体の寸法及び外観検査

## 2. 輸入燃料体検査の方法(2/8)

### 求められる技術基準への適合と検査項目(例1:MOX燃料材)

発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令		検査の項目と方法	
第5条 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料材		次の各号に適合すること	MOX燃料材
第一号 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値の偏差	著しく大きくないこと	・不純物 ・ <sup>235</sup> U濃度 ・プルトニウム含有率 ・プルトニウム組成	記録確認
第二号 酸素の原子数のウラン及びプルトニウムの原子数の合計に対する比率の値	実用上差し支えないこと	・化学成分 O/M比	記録確認
第三号 ウラン <sup>235</sup> 、プルトニウム <sup>239</sup> 及びプルトニウム <sup>241</sup> の含有量の合計のウラン及びプルトニウムの含有量の合計に対する百分率の値の偏差	著しく大きくないこと	・ <sup>235</sup> U濃度 ・プルトニウム含有率 ・プルトニウム組成	記録確認
第四号 プルトニウムの均一度	実用上差し支えないこと	・プルトニウム均一度	記録確認
第五号 ペレット型燃料材		次に適合すること	(以下のとおり)
イ 各部分の寸法の偏差	著しく大きくないこと	・寸法	記録確認
ロ 密度の偏差	著しく大きくないこと	・密度	記録確認
ハ 表面の割れ、きず等	有害なものがないこと	・外観 割れ、きず等	記録確認
ニ 表面の油脂、酸化物等の付着物	有害な付着物がないこと	・外観 表面の汚れ	記録確認

## 2. 輸入燃料体検査の方法 (3/8)

### 求められる技術基準への適合と検査項目 (例2:燃料集合体)

発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令		検査の項目と方法	
第15条 燃料集合体	次の各号に適合すること	燃料集合体	
第一号 各部分の寸法の偏差	著しく大きくないこと	・寸法	目視による確認、記録確認
第二号 表面の割れ、きず等	有害なものがないこと	・外観 割れ、きず等	目視による確認、記録確認
第三号 表面の油脂、酸化物等の付着物	有害な付着物がないこと	・外観 表面の汚れ	
第四号 部品の欠如	部品の欠如がないこと	・外観 部品の欠如	

## 2. 輸入燃料体検査の方法(4/8)

### 品質保証体制等に関する確認の観点(電気事業者への要求事項)

- 不正発生の未然防止対策について、MOX燃料加工事業者の評価が行われているか。(MOX燃料加工事業者の従業員教育、データのセキュリティ管理 等)
- 異常事態発生時の規制当局への連絡方法及び体制を定めているか。(品質保証に係る通常の不適合を超える事象が発生した場合)
- 加工の工程毎にMOX燃料加工工場において適切な検査を実施しているか。
- 製造期間を通じてMOX燃料加工工場に社員を派遣し、製造開始後のMOX燃料加工事業者の製造状況及び品質保証活動を確認しているか。
- 規制当局が必要に応じ、元請け企業及びMOX燃料加工事業者に立入り、調査を行うことができる旨、元請け企業及びMOX燃料加工事業者が定めていることを確認しているか。

## 輸入燃料体検査の方法(5/8)

<p>当院による電気事業者の品質保証体制に関する確認の観点</p>	<p>伊方発電所3号機用MOX輸入燃料体検査申請書添付書類の記載事項</p>
<p>(1)不正発生の未然防止対策について、MOX燃料加工事業者の評価が行われているか。(MOX燃料加工事業者の従業員教育、データのセキュリティ管理等)</p>	<p>4.2.3 品質保証監査による確認</p> <p>(a)システム監査 従業員教育</p> <p>メロックスにおいては、業務の遂行に必要な教育・訓練が、その目的、関係者、手段、期間を明確にし、毎年従業員に対して計画的に実行されている。これらは文書化され、結果が評価されている。</p> <p>教育・訓練には、製品品質、原子力安全、環境等の項目が含まれており、<u>この中で倫理、検査記録の重要性、データセキュリティ等の教育も実施されている。</u>また、日本顧客とのコミュニケーションをより円滑化するための啓発教育も計画されている。</p> <p>データのセキュリティ管理</p> <p>メロックスにおいては、コンピュータ化された生産監視システムが導入され、適切なセキュリティ管理が行われている。( )</p>

( ) 企業情報が含まれるため、申請書の原文とは異なる。

## 2. 輸入燃料体検査の方法(6/8)

<p>当院による電気事業者の品質保証体制に関する確認の観点</p>	<p>伊方発電所3号機用MOX輸入燃料体検査申請書添付書類の記載事項</p>
<p>(2) 異常事態発生時の規制当局への連絡方法及び体制を定めているか。(品質保証に係る通常の不適合を超える事象が発生した場合)</p>	<p>4.3 不適合(異常事態を含む)発生時の連絡について</p> <p>品質保証に係る不適合が発生した場合の連絡方法及び体制については、</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・当社MOX燃料の品質保証に係る不適合が発生した場合に、メロックスがMHIへ連絡する方法及び体制を定めていることを確認した。</li><li>・連絡された不適合が、万一、品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態である場合には、迅速にMHIが当社へ連絡する方法及び体制を定めていることを確認した。</li></ul> <p>また、<u>当社は日本の規制当局へ連絡する方法及び体制について定めている。</u></p>

## 2. 輸入燃料体検査の方法(7/8)

<p>当院による電気事業者の品質保証体制に関する確認の観点</p>	<p>伊方発電所3号機用MOX輸入燃料体検査申請書添付書類の記載事項</p>
<p>(3)加工の工程毎にMOX燃料加工工場において適切な検査を実施しているか。</p>	<p>4.4 検査・試験管理について</p> <p>メロックスにおけるMOX燃料の製造にあたっては、製造期間を通じて当社駐在社員により、製造の工程ごと(MOXペレット、燃料棒、燃料集合体)に検査(立会、記録確認)を実施する。なお、当社による検査の実施については、契約図書で明確にしている。</p> <p>更に検査に際しては、当社駐在社員その他、元請企業であるMHIの社員も検査を行う。</p> <p>また、部材の検査(立会、記録確認)については、MNFにおいて実施する。</p> <p>なお、メロックスにおける当社検査が適切に実施されていることについては、第三者機関の確認を受ける。</p>

## 2. 輸入燃料体検査の方法(8/8)

<p>当院による電気事業者の品質保証体制に関する確認の観点</p>	<p>伊方発電所3号機用MOX輸入燃料体検査申請書添付書類の記載事項</p>
<p>(4) 製造期間を通じてMOX燃料加工工場に社員を派遣し、製造開始後のMOX燃料加工事業者の製造状況及び品質保証活動を確認しているか。</p>	<p>4.2.3 品質保証監査による確認 (b) 工程監査          当社は、メロックスにおけるMOX燃料製造において、製造の工程ごと(MOXペレット、燃料棒、燃料集合体)の初期段階及び製造完了時に工程監査を実施する。なお、工程監査の実施については、契約図書で明確にしている。          工程監査では、          ・システム監査等を通じて確認したQMSが、現場で適切に機能していること          ・製造関係書類に記載された内容が現場にて遵守されていること          を、確認する。          なお、工程監査が適切に実施されていることについては、第三者機関の確認を受ける。</p> <p>4.4 検査・試験管理について (再掲)</p>
<p>(5) 規制当局が必要に応じ、元請け企業及びMOX燃料加工事業者に立入り、調査を行うことができる旨、元請け企業及びMOX燃料加工事業者が定めていることを確認しているか。</p>	<p>4.6 規制当局の立ち入りについて          当社は、日本の規制当局が必要に応じ、MHI及びメロックスに立ち入り、品質保証活動状況の調査を行うことができる旨を、契約図書にて明確にしている。</p>



**. MOX輸入燃料体の  
設計の審査について**

# 1. 発電所の主要な諸元

	伊方3号機 (3ループ)
炉心熱出力	約2,652MW
原子炉圧力	約15.4MPa[gage]
1次冷却材全流量	約 $45.7 \times 10^6$ kg/h
原子炉容器入口1次冷却材温度	約284
原子炉容器出口1次冷却材温度	約321
線出力密度(定格出力時平均)	約17.1kW/m
MOX燃料体と混在するウラン燃料体の最高燃焼度	55,000MWd/t



## 2. 関係する許認可等の状況

- 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
- 平成19年9月10日 輸入燃料体検査申請

今後、

- 輸入燃料体検査
  - 工事計画認可申請
- 等が行われる予定。



### 3 . 審査の主な観点

輸入燃料体検査申請では、詳細設計の妥当性について、以下のとおり確認。

- 設置変更許可段階での基本設計の方針を確認。
- 発電用核燃料物質に関する技術基準に適合していることを確認。
- 現行のウラン燃料との設計・構造等の比較による確認。

## 4 . 燃料の設計仕様比較

### (1)ペレット

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
プルトニウム含有率 (wt%)	約4.1wt%濃縮ウラン 相当以下		-
ウラン235濃度(wt%)	約0.2～約0.4	約0.2～約0.4	4.10
密度(%T.D.)	約95	約95	約95
O / M比	-	約2.0	
直径(mm)	約8.19又は約8.05	8.19	
長さ(mm)	約11.5	11.5	

商業機密に属するため、概略値を記載。

## 4 . 燃料の設計仕様比較

### (2)燃料被覆管

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17 × 17)
材料	ジルカロイ - 4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカロイ - 4)	
外径(mm)	約9.50	9.50	
内径(mm)	-	8.36	
肉厚(mm)	約0.57又は約0.64	0.57	

## 4. 燃料の設計仕様比較

### (3)燃料棒

	設置変更許可	輸入燃料体検査 申請	ウラン燃料 (17×17)
全長(端栓含む)	約3.9m	約3.9m	
燃料有効長	約3.66m	約3.65m	
数量(集合体当りの本数)	高Pu燃料棒:176 中Pu燃料棒:76 低Pu燃料棒:12		264
リペア用長尺端栓	-	採用	-

商業機密に属するため、概略値を記載。

## 4 . 燃料の設計仕様比較

### (4)燃料集合体

	設置許可	輸入燃料体検査 申請	ウラン燃料 (17×17)
全長	約4.1m	4,036mm	
断面寸法(最大)(mm)	約214×約214	214×214	
燃料棒ピッチ(mm)	約12.6	12.6	

## 4. 燃料の設計仕様比較

### (5) 上部ノズル

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	-	オーステナイト系ステンレス鋼	
外寸法(mm)	-	213×213	

### (6) 下部ノズル

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	-	オーステナイト系ステンレス鋼	
外寸法(mm)	-	214×214	

## 4. 燃料の設計仕様比較

### (7) 制御棒案内シンプル

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ - 4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカロイ - 4)	
外径(太径部)(mm)	約12.2	12.24	
外径(細径部)(mm)	約10.9	10.90	

### (8) 炉内計装用案内シンプル

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ - 4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカロイ - 4)	
外径(mm)	約12.2	12.24	

## 4. 燃料の設計仕様比較

### (9) 支持格子組立体

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ニッケル・クロム・鉄合金	析出硬化型ニッケル基合金 (インコネル718)	

### (10) ペレット押さえばね

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	-	オーステナイト系ばね用ステンレス鋼	

### (11) 燃料被覆材端栓

	設置変更許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ - 4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ - 4)	

## 4 . 燃料の設計仕様比較

### (12) 燃焼率

	設置変更許可	輸入燃料体検査 申請	ウラン燃料 (17×17)
燃料体最高(MWd/t)	45,000		48,000
燃料要素最高(MWd/t)	-	53,000	
ペレット最高(MWd/t)	62,000		

## 5 . 構成要素の確認

### (1)ペレット<その1>

#### 【耐熱性】

MOXの溶融点は、二酸化プルトニウムの添加により二酸化ウランに比べて低下し、また、燃焼に伴い低下するが、MOX燃料の燃料中心温度評価結果は、このようなMOXの溶融点の特性を考慮して設定した燃料中心温度の制限値に対して十分小さい。

#### 【耐放射線性】

照射によりペレットの焼きしまり及びスエリングが発生するが、焼きしまり及びスエリングに伴うペレットの密度変化は、実験結果から二酸化ウランペレットと同等。

照射に伴うペレットからのFPガスの放出は、ペレット製造法に依存すると考えられるが、照射試験データではプルトニウム均一化を図った製法ではFPガス放出率は低下。燃料棒強度評価においては、FPガス放出挙動として様々な製法のMOX照射試験データを適切に予測できるモデル(結果として二酸化ウラン燃料より大きく見積もるモデル)を用いており、燃料棒内圧等の評価結果は基準値以下。

## 5 . 構成要素の確認

### (1)ペレット<その2>

#### 【耐腐食性】

ペレットと接するステンレス鋼(ペレット押えばね)との共存性については、照射実績より問題はない。

ジルカロイ - 4 (被覆管)との共存性については、ペレットと接触した場合の被覆管内面酸化膜厚さが二酸化ウラン燃料と同程度であり、MOXペレットによる耐食性に問題はない。

燃料棒の充填ガスは不活性ガスのヘリウムであり、MOXペレットとの反応は生じない。

被覆管に貫通欠陥が生じた場合等における、ペレットと水との反応については、MOXペレットは二酸化ウランペレットに比べ、同じ環境下では水との反応等による酸化反応が小さいと考えること、1次冷却材中の溶存酸素濃度等の水質はMOX燃料装荷により変わらないことから、二酸化ウランペレットと同様、1次冷却材との反応は無視しうる。

## 5 . 構成要素の確認

(2) ジルカロイ - 4 (冷間加工応力除去焼鈍材) < その1 >

燃料被覆管に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

【耐熱性】

溶融点及び相変態温度は、炉心内での使用温度に比べ十分高い。

【耐放射線性】

MOX燃料装荷により高速中性子照射量が少し増加するが、実験データより、引張強さ・耐力は照射初期に増加、破断伸びは照射初期に低下した後、いずれも照射量による著しい変化はなく、MOX燃料装荷による高速中性子照射量の増加を考慮しても、問題はない。

疲労特性は、二酸化ウラン燃料と同様、燃料棒強度評価において、実験データにより得られた照射影響を考慮。

クリープ特性は、二酸化ウラン燃料と同様、高速中性子照射量により増加する傾向にあり、燃料棒強度評価においてこれらの特性を考慮。

照射成長は、高速中性子照射量に比例する傾向にあり、燃料棒強度評価においてこれらの特性を考慮。

## 5 . 構成要素の確認

### (2) ジルカロイ - 4 (冷間加工応力除去焼鈍材) < その2 >

#### 【耐腐食性】

酸化腐食による影響については、二酸化ウラン燃料と同様、酸化腐食による被覆管減肉量の評価結果は、機械的健全性の観点での目安の厚さを下回っている。

水素吸収による影響については、二酸化ウラン燃料と同様、水素吸収量の評価結果は、機械的健全性の観点での目安の値を下回っている。

#### 【その他の性能】

耐PCI性は、MOXペレットのクリープ速度が二酸化ウランペレットに比べ大きく、二酸化ウラン燃料棒と同等以上。

耐摩耗性は、二酸化ウラン燃料集合体と同じ。

## 5 . 構成要素の確認

### (3) ギルカロイ - 4 (再結晶焼鈍材)

被覆管端栓、制御棒案内シンプル、炉内計装用案内シンプル等に使用。  
二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

#### 【耐熱性】

二酸化ウラン燃料集合体と同様、炉心内での使用温度が溶融点及び相変態温度よりも十分低い。

#### 【耐放射線性】

MOX燃料装荷により高速中性子照射量が少し増加するが、この増加を考慮しても十分な強度と延性を有する。

#### 【耐腐食性】

酸化腐食については、実機での腐食データにより、予測される酸化膜厚さは機械的健全性の観点での目安の厚さを下回っている。

水素吸収については、実機でのデータにより、予測される水素吸収量は機械的強度に影響のない程度。



## 5 . 構成要素の確認

### (4)インコネル718

支持格子組立体等に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

#### 【耐熱性】

二酸化ウラン燃料集合体と同様、炉心内での使用温度は溶融点に比べて十分に低い。

#### 【耐放射線性】

MOX燃料装荷により高速中性子照射量が少し増加するが、この増加を考慮しても、十分な強度と延性を有する。

#### 【耐腐食性】

二酸化ウラン燃料集合体と同様、インコネル718は、高温水中ですぐれた耐食性を有する。1次冷却材水質等の使用環境はMOX燃料装荷により変わらない。



## 5 . 構成要素の確認

### (5) オーステナイトステンレス鋼

上部ノズル、下部ノズル、ペレット押えばね等に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

#### 【耐熱性】

二酸化ウラン燃料集合体と同様、炉心内での使用温度は溶融点に比べて十分低い。

#### 【耐放射線性】

MOX燃料装荷により高速中性子照射量が少し増えるが、この増加を考慮しても、十分な強度と延性を有する。

#### 【耐腐食性】

二酸化ウラン燃料集合体と同様、ステンレス鋼は高温水中ですぐれた耐腐食性を有する。1次冷却材水質等の使用環境はMOX燃料装荷により変わらない。

## 6 . 強度評価の確認

### (1)燃料棒の強度評価

・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度

項目	基準	設計比
燃料温度	燃料中心温度は燃料材の溶融点(2,500 :基準値)未満であること。	約2,230
燃料棒内圧	通常運転時において、燃焼によるFPガスの放出等による燃料棒内圧が、設計基準値以下であること。	0.91
被覆管応力	被覆材の耐力以下であること。	0.98
被覆管ひずみ	円周方向の引張ひずみの変化量は各過渡変化に対して1%以下であること。	0.55
被覆管疲労	被覆管の累積疲労サイクル数が、設計疲労寿命を超えないこと。	0.34

## 6 . 強度評価の確認

### (2)燃料集合体の強度評価

燃料輸送及び取扱時における軸方向4 G荷重での強度

構成要素	設計比
上部ノズル	0.62
下部ノズル	0.59
上部ノズルと制御棒案内シンプルの結合部	0.74
支持格子と制御棒案内シンプルの結合部	0.40
制御棒案内シンプル	0.97

## 6 . 強度評価の確認

### (2)燃料集合体の強度評価

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度

構成要素	設計比
上部ノズル	0.21
下部ノズル	0.34
上部ノズルと制御棒案内シンプルの結合部	0.28
支持格子と制御棒案内シンプルの結合部	0.35
制御棒案内シンプル(ダッシュポット部)	0.46

## 6 . 強度評価の確認

### (2)燃料集合体の強度評価

通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の上部ノズル  
押えばね力評価

状態	設計比
低温起動時	0.72
高温全出力時	0.32
ポンプオーバースピード時(高温)	0.98

## 6 . 強度評価の確認

### (2)燃料集合体の強度評価

#### 地震時の強度

構成要素	基準地震	設計比
制御棒案内シンプル	S 1	0.41
	S 2	0.55
支持格子変形量	S 1	制御棒の挿入性に支障なし
	S 2	制御棒の挿入性に支障なし



## 7. 詳細設計の確認結果

輸入燃料体検査申請書にあるMOX燃料の詳細設計仕様について確認した結果、以下のとおりであり、特段問題はないものと考えられる。

- 設計仕様を確認したところ、ペレット組成以外は、実績があるウラン燃料のものと同様の寸法・材質等ほぼ同じである。
- MOX特有な部分については、その特性が設計上考慮されている。
- 設計仕様に関する強度評価の結果、基準値を満足している。