

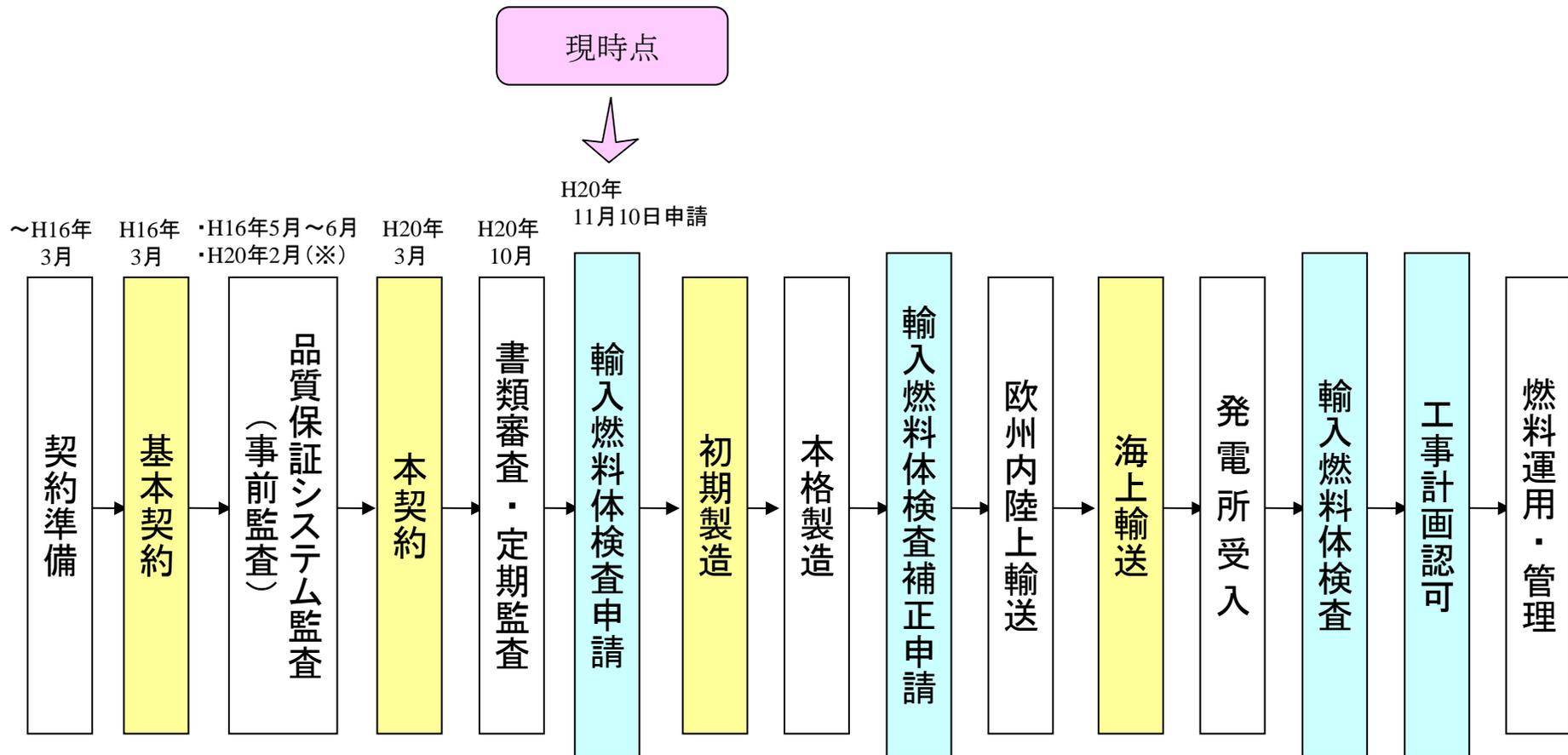
# 高浜発電所第3、4号機用MOX燃料に係る 輸入燃料体検査申請について

平成21年1月15日  
関西電力株式会社

# 目次

○海外MOX燃料調達に係るプロセス .....	1
○輸入燃料体検査制度 .....	2 ~ 3
○輸入燃料体検査申請書 .....	4 ~ 13
・MOX燃料に関する基本的事項 ...	4
・MOX燃料の技術的事項 .....	5 ~ 9
・MOX燃料の加工プロセス .....	10 ~ 11
・品質保証の計画 .....	12 ~ 13
○MOX燃料調達に関する定期監査結果 .....	14 ~ 17

# 海外MOX燃料調達に係るプロセス



(※) … 平成16年5月から6月にかけて実施した監査結果を確認するための再度の監査。

■ … 原子力安全・保安院による法的な規制事項。

■ … それまでの業務プロセスの実施結果に問題がないことを、社長が確認した上で実施する業務プロセス。

# 輸入燃料体検査制度(1/2)

## 電気事業法

### 【申請】 第51条第3項

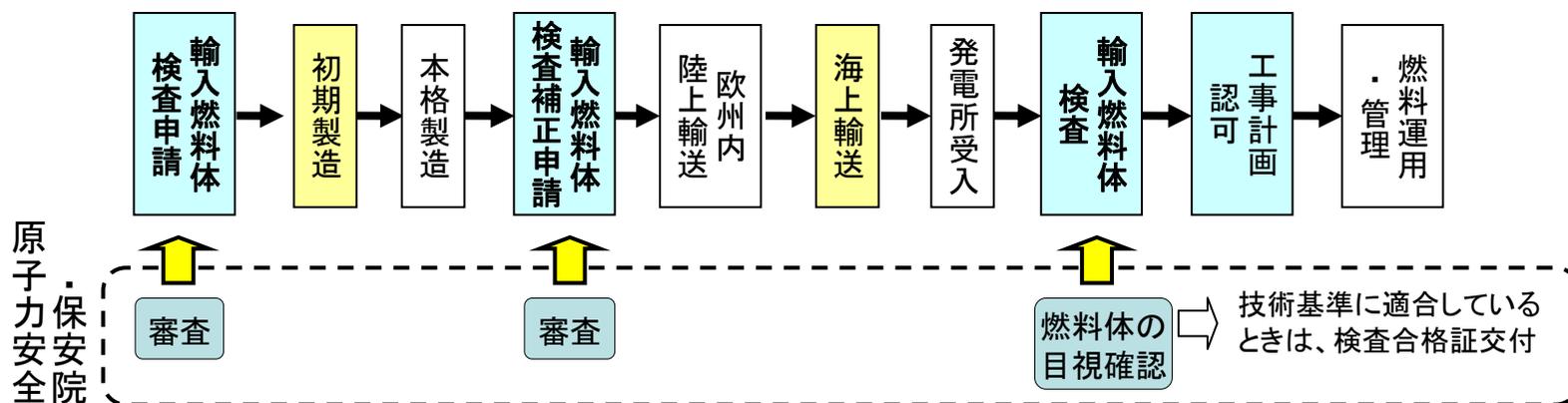
輸入した燃料体は、経済産業大臣の検査を受け、これに合格した後でなければ、これを使用してはならない。

### 【合格】 第51条第4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。

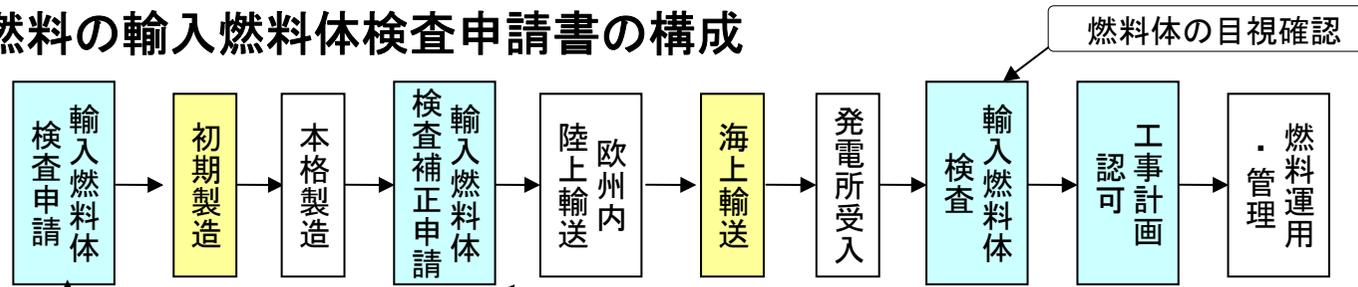
## BNFL製MOX燃料問題を契機とした輸入燃料体検査制度の改善内容

- 申請時期を「成型加工着手 1 月前」と「日本への輸送開始 1 月前」の 2 段階方式に変更
- 輸入燃料体検査申請書の添付書類に「品質保証に関する説明書」を追加



# 輸入燃料体検査制度(2/2)

## OMOX燃料の輸入燃料体検査申請書の構成



輸入燃料体検査申請(計画の申請)

輸入燃料体検査補正申請(実績の申請)

**【申請時期】**  
ペレットの成型加工に着手する1月前まで

**【申請書の構成】**

- 本文
- 添付書類
  - 一：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
  - 二：燃料体の強度計算書
  - 三：燃料体の構造図
  - 四：加工のフローシート
  - 五：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
  - 六：品質保証の計画に関する説明書

**【概要】**

- MOX燃料に関する基本的事項の説明
- MOX燃料の技術的事項の説明
- MOX燃料の加工プロセスの説明
- 品質保証の計画の説明

**【申請時期】**  
日本への輸送を開始する1月前まで

**【補正申請書の構成】**  
加工実績を踏まえて、本文、添付書類五、添付書類六で構成

- ・本文
- ・添付書類五  
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
- ・添付書類六  
品質保証に関する説明書

# MOX燃料に関する基本的事項(本文)

項目	MOX燃料		(参考)ウラン燃料
	設置変更許可申請書	輸入燃料体検査申請書	
燃料の種類	ウラン・プルトニウム混合酸化物	ウラン・プルトニウム混合酸化物	二酸化ウラン
燃焼率	最高燃焼度 45,000MWd/t	燃料体最高 45,000MWd/t	燃料体最高 48,000MWd/t
燃料材、燃料被覆材、その他の部品の種類および組成	燃料ペレット ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 被覆管 シルカロイ-4 支持格子 ニッケル・クロム・鉄合金 上部・下部ノズル -	燃料材 ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 燃料被覆材 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(シルカロイ-4) 支持格子 耐食耐熱ニッケル基合金 上部・下部ノズル ステンレス鋼鋳鋼	二酸化ウランペレット 同左 同左 同左
燃料体の構造	集合体全長 約4.1m 集合体断面寸法 約214mm×約214mm  燃料棒全長 約3.9m 集合体当たりの燃料棒数 264	燃料体の寸法 全長 4,035.5mm※ 断面寸法(最大) 214.3mm×214.3mm  燃料棒の寸法 全長 3,852.0mm 燃料棒の数量 燃料体あたり264本	同左 同左  同左 同左
燃料体の個数	-	高浜発電所3号機向け 8体 高浜発電所4号機向け 8体	-
製造者、所在地	-	メロックス社 フランス国シュスラン	-
使用発電所の名称、原子炉の型式	-	発電所 高浜発電所 型式 濃縮ウラン燃料、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料、軽水減速、軽水冷却、加圧水型	-
検査を希望する年月日	-	2008年11月10日～2010年12月31日	-

※上部ノズル突起部除く

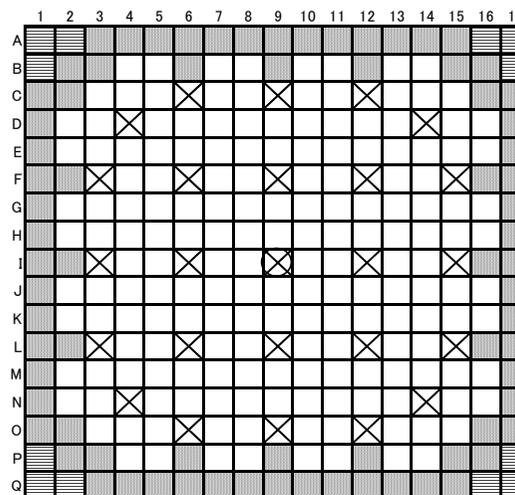
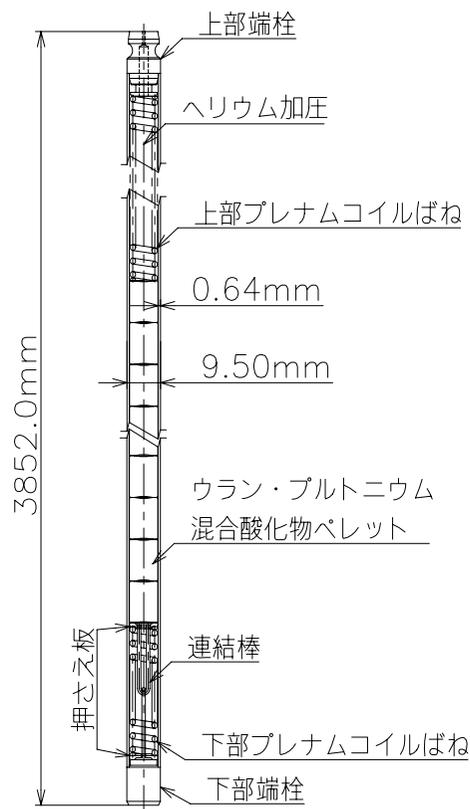
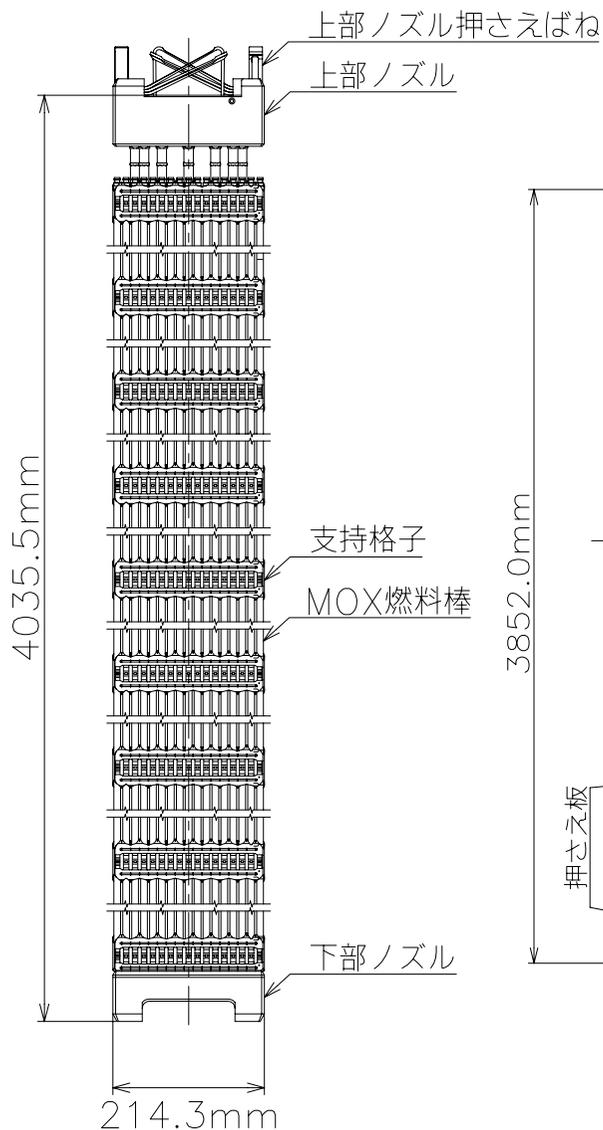
設置変更許可申請書を踏まえて輸入燃料体検査申請書で詳細仕様を決定

・MOX燃料の構造・材料はウラン燃料とほぼ同一  
・違いは、ペレットがウラン・プルトニウム混合酸化物



ウラン・プルトニウム混合酸化物であることを踏まえて技術的事項(強度計算等)を評価

## OMOX燃料体および燃料棒の構造



□ 高Pu富化度棒(約10.6wt%Pu-t※1)

▨ 中Pu富化度棒(約6.2wt%Pu-t※1)

▧ 低Pu富化度棒(約4.5wt%Pu-t※1)

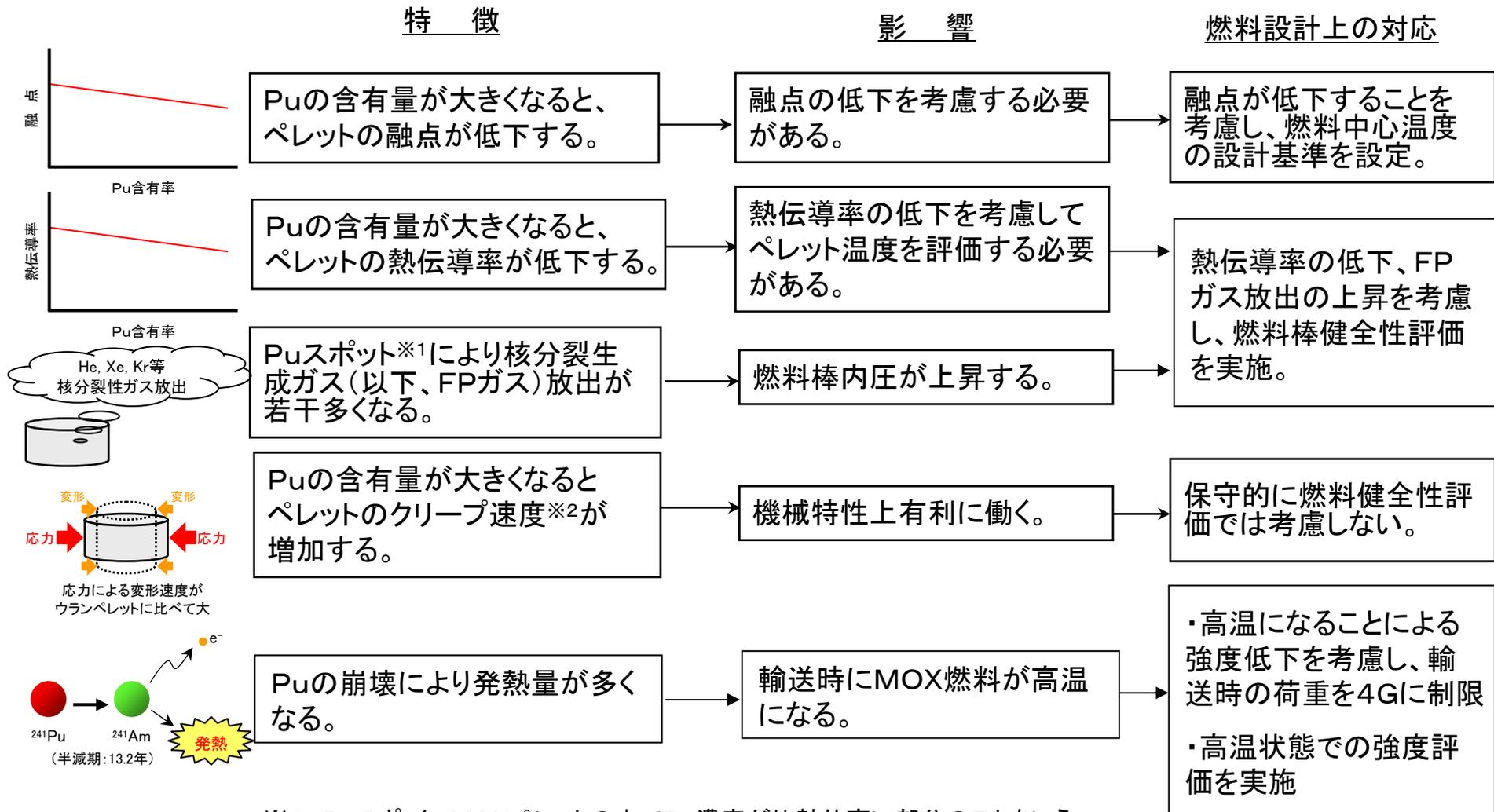
⊗ 制御棒案内シブル

⊗ 炉内計装案内シブル

※1 核分裂性Pu割合68%、母材用U-235濃度0.2wt%の場合

※2 MOX燃料集合体の周辺部の出力が高くないようMOX燃料集合体のプルトニウム富化度分布を設定

## OMOX燃料の特徴に対する燃料設計上の対応

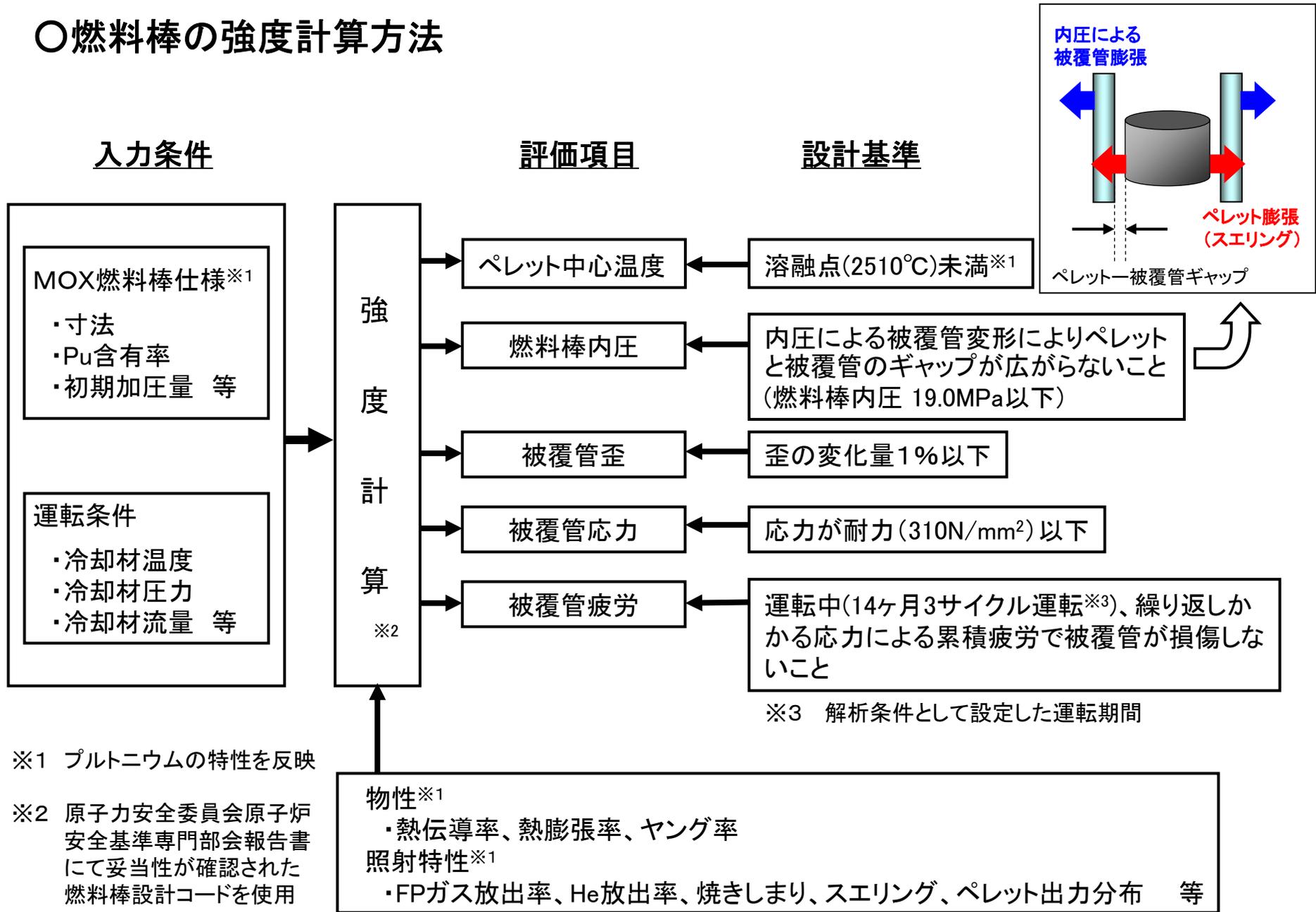


※1 Puスポット:MOXペレットの中でPu濃度が比較的高い部分のことをいう。

※2 クリープ速度:応力によりペレットが変形する速度のことをいう。

# MOX燃料の技術的事項(添付書類一～三)の説明(3/5)

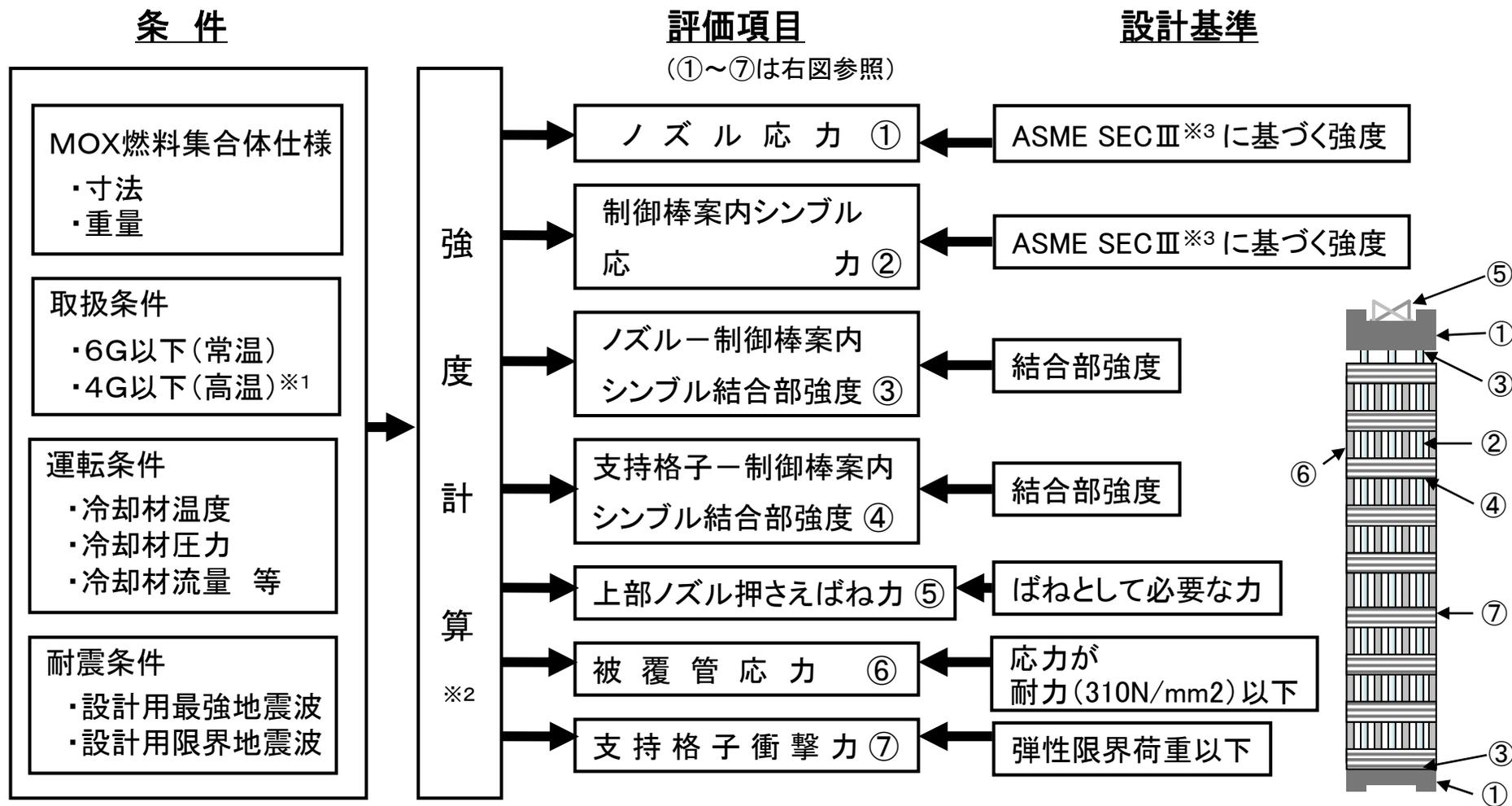
## ○燃料棒の強度計算方法



※1 プルトニウムの特性を反映

※2 原子力安全委員会原子炉安全基準専門部会報告書にて妥当性が確認された燃料棒設計コードを使用

## ○燃料集合体の強度計算方法



※1 プルトニウムの特性を反映

※2 ウラン燃料の燃料体設計認可申請書での評価で使用されるなど十分実績のある計算コードを使用

※3 米国機械学会(American Society of Mechanical Engineers)が発行している米国工業規格(ASME Code)のうち、原子炉に関連する部材や支持構造に関する設計基準が記されている第3章(Sec. III)のこと。

# MOX燃料の技術的事項(添付書類一～三)の説明(5/5)

## 燃料棒の強度計算結果

評価項目	設計基準	評価結果	設計基準値	設計比 <sup>※1</sup>
ペレット中心温度	MOXペレットの溶融点未満であること	約2220℃	<2510℃	—
燃料棒内圧	通常運転時において被覆管の外向きのクリープ変形によりペレットと被覆管のギャップが増加する圧力を超えないこと	16.1MPa [abs]	≤19.0MPa [abs]	0.85
被覆管歪	円周方向引張歪の変化量は各過渡変化に対して1%以下であること	0.44%	≤1%	0.44
被覆管応力	ジルカロイ-4の耐力以下であること	273N/mm <sup>2</sup>	≤310N/mm <sup>2</sup>	0.89
被覆管疲労	累積疲労サイクルは、燃料が損傷しない設計疲労寿命以下であること	0.229	≤1	0.23

※1 設計比とは、評価値÷設計基準値であり、1未満であれば基準を満足する

## 燃料集合体の強度計算結果

燃料取扱時、燃料輸送時、通常運転時および運転時の異常な過渡変化時、および地震時について評価する。

【燃料取扱時および燃料輸送時の評価結果】

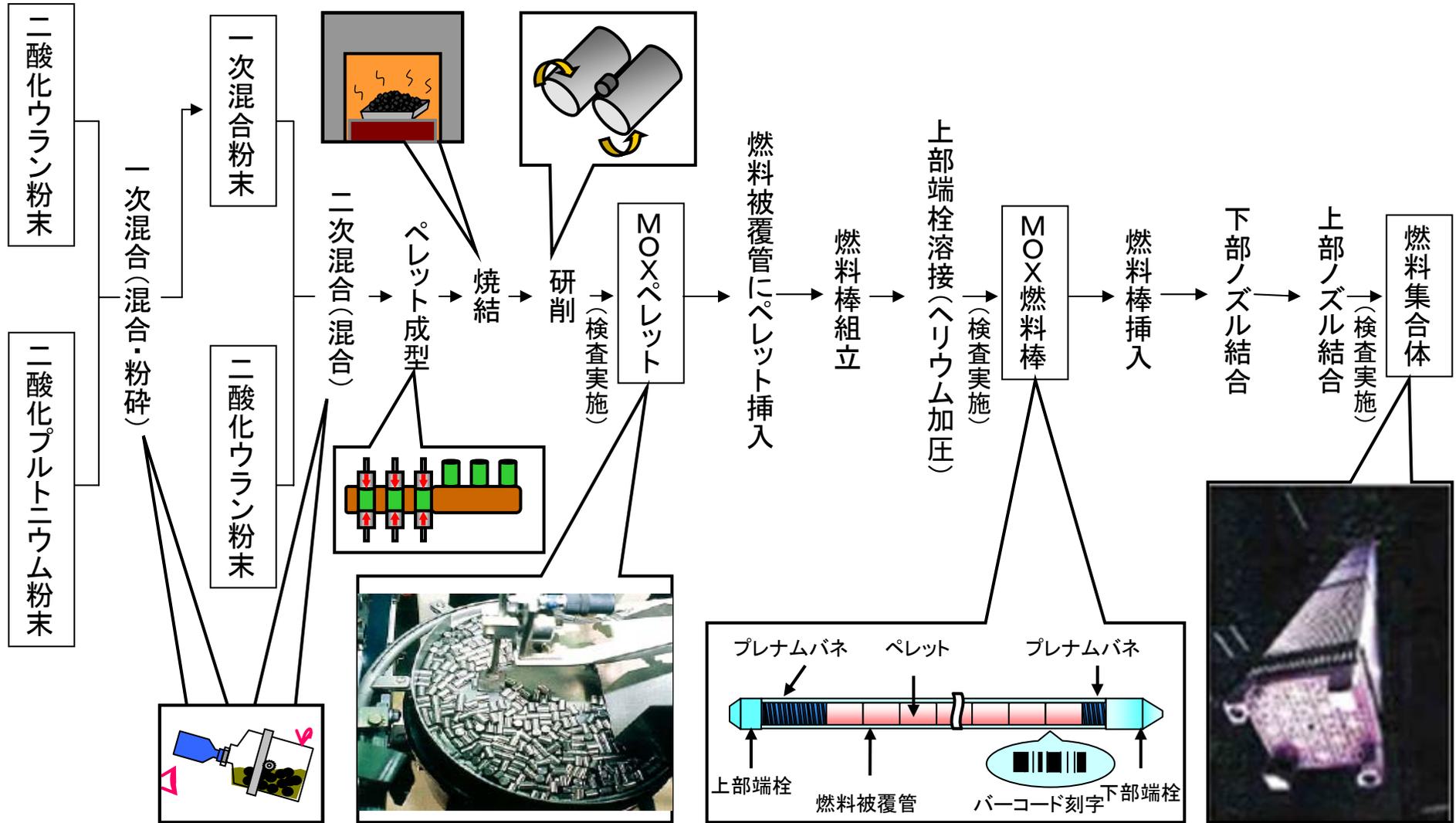
構成部分	評価内容	設計比 <sup>※1</sup>	
		燃料取扱時	燃料輸送時
上部ノズル	発生する応力が許容値以下であること	0.80	0.53
下部ノズル		0.80	0.62
制御棒案内シンブル		0.86	0.94
支持格子-制御棒案内シンブル結合部		0.68	0.45

※1 設計比とは、評価値÷設計基準値であり、1未満であれば基準を満足する

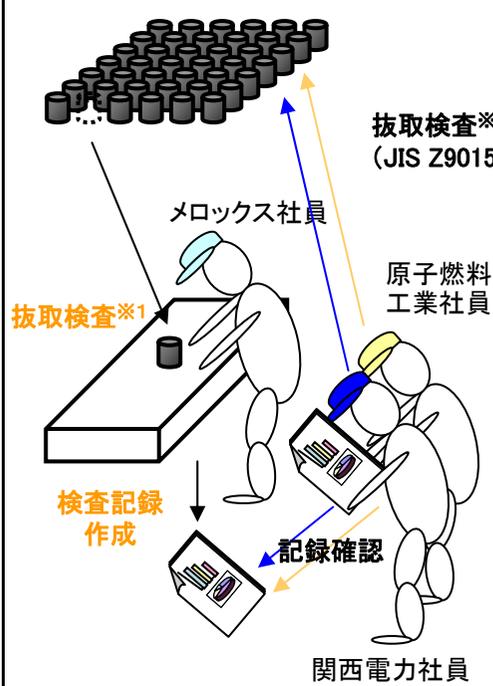
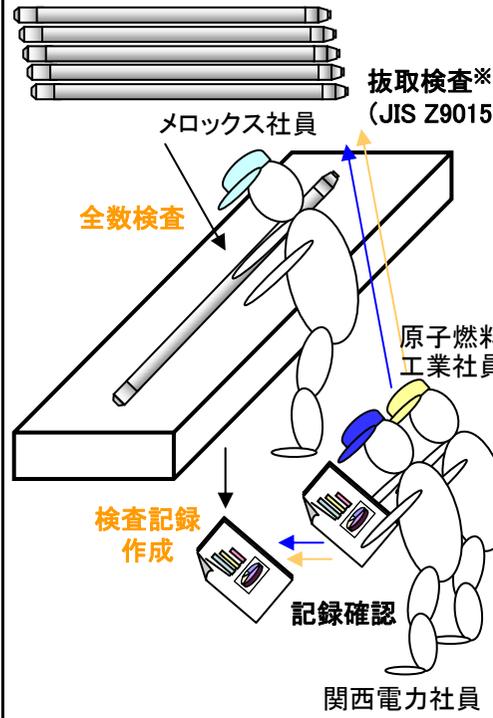
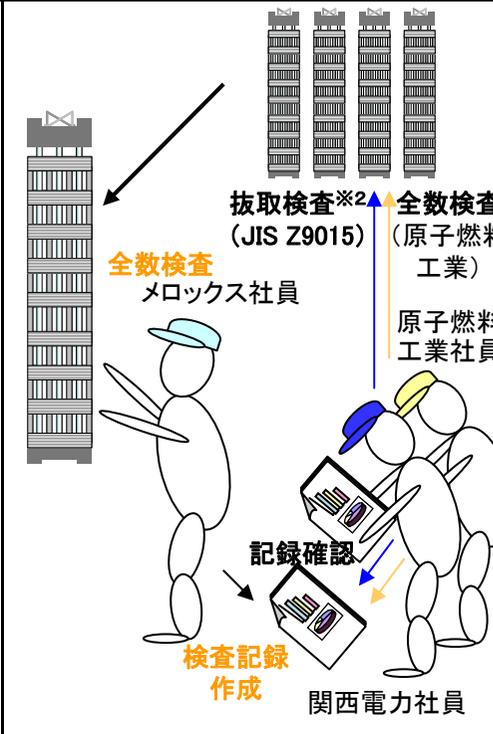
# MOX燃料の加工プロセス(添付書類四、五)の説明(1/2)

## ○メロックス社におけるMOX燃料製造の流れ

(注:燃料被覆管、上部ノズル、下部ノズル等の部品については原子燃料工業より供給)



# MOX燃料の加工プロセス(添付書類四、五)の説明(2/2)

	MOXペレット	MOX燃料棒	燃料集合体
検査内容	 <p>抜き検査※1 メロックス社員</p> <p>抜き検査※2 (JIS Z9015) 原子燃料工業社員</p> <p>記録確認 関西電力社員</p> <p>検査記録作成</p>	 <p>抜き検査※2 (JIS Z9015) メロックス社員</p> <p>全数検査 原子燃料工業社員</p> <p>記録確認 関西電力社員</p> <p>検査記録作成</p>	 <p>抜き検査※2 (JIS Z9015) メロックス社員</p> <p>全数検査 (原子燃料工業) 原子燃料工業</p> <p>記録確認 関西電力社員</p> <p>検査記録作成</p>
	<p><b>検査／記録確認項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・直径</li> <li>・密度</li> <li>・外観(割れ、きず等)</li> <li>・Pu均一度</li> <li>・化学成分(Pu含有率、不純物等)等</li> </ul>	<p><b>検査／記録確認項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全長</li> <li>・溶接部外径</li> <li>・わん曲</li> <li>・外観(割れ、きず等)</li> <li>・表面汚染</li> <li>・溶接部健全性等</li> </ul>	<p><b>検査／記録確認項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料棒間隔</li> <li>・全長</li> <li>・燃料棒とノズルの間隔</li> <li>・外観(割れ、きず等)</li> <li>・燃料棒組込位置 等</li> </ul>

※1 直径、密度、外観 : 国際規格(ISO)に基づき抜き取り  
Pu均一度、化学成分 : メロックス工場のペレット製造工程の安定性を踏まえて抜き頻度を決定

※2 メーカーが検査を実施したものを対象とする

# 品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(1/2)

## <MOX燃料の製造体制>

## <発注先の評価>

【発注者】

関西電力

JEAC4111に基づきMOX燃料調達を実施

【元請会社】

原子燃料工業

・燃料被覆管等の部品の製造、供給  
・メロックス社に対する製造管理

【MOX燃料製造メーカー】

メロックス社

・MOX燃料の製造

**■原子燃料工業**

○技術能力の評価

- ・ウラン燃料の製造実績(平成20年5月末 7,762体)
- ・当社向けMOX燃料の製造実績(平成11年~平成13年)

○品質保証活動の評価

- ・システム監査、定期監査の結果
- ・ISO9001:2000の認証取得

↓

MOX燃料の製造を適切に管理する能力、部品を供給する能力を有している。

**■メロックス社**

○技術能力の評価

- ・MOX燃料の製造実績(平成19年末 2,452体)
- ・当社向けMOX燃料の製造実績(平成11年~平成13年)

○品質保証活動の評価

- ・システム監査、定期監査の結果
- ・ISO9001:2000の認証取得

↓

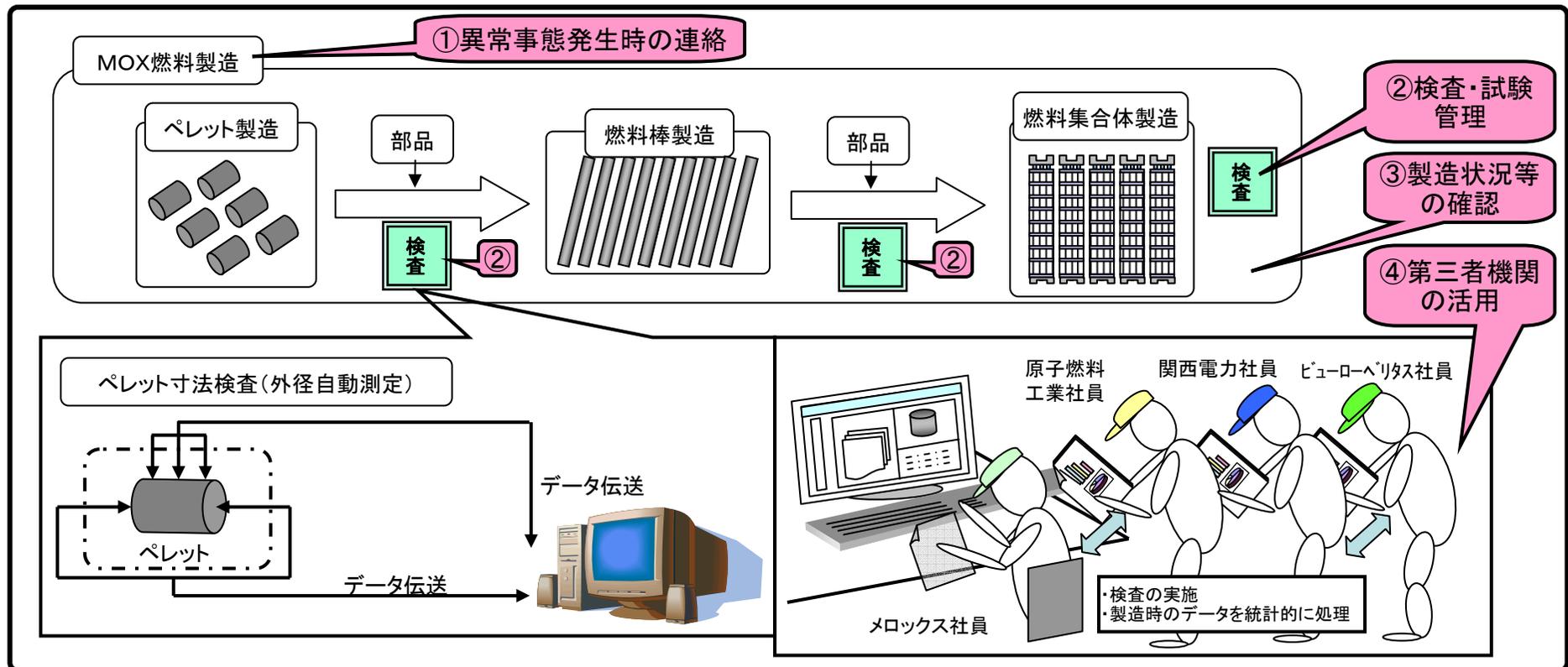
当社の要求事項を満たすMOX燃料の製造を行う能力を有している。

※定期監査の結果については、14 ~ 17

# 品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(2/2)

## OMOX燃料製造時の品質保証活動の計画

- ①異常事態発生時の連絡
  - ・異常事態発生時の連絡方法および体制を定め、メロックス社、原子燃料工業および当社は確実に連絡を実施する。
- ②検査・試験管理
  - ・製造期間を通じて、当社社員を現地に駐在させ、製造の工程ごとに、検査要領に従い、検査を実施する。
  - ・製造時のデータを統計的に処理し、品質が適性に確保されていることを継続的に確認する。
- ③製造状況等の確認
  - ・製造状況、品質保証活動状況を確認するため、工程監査、検査、巡視を実施する。
  - ・必要に応じて、規制当局が当社の品質保証活動の妥当性について調査を行うことができる。
- ④第三者機関の活用
  - ・工程監査、検査を実施するにあたり、当社の審査能力を補完し、信頼性を高めるために、第三者機関として仏国ビューローベリタス社の確認を受ける。



# MOX燃料調達に関する定期監査結果

## 【監査の位置づけ】

MOX燃料調達に係る本契約に先立ち実施した品質保証システム監査(事前監査)で確認したMOX燃料製造に係る両社の品質保証システムに基づき、本契約での要求事項を管理文書などに反映するなどの当社向けのMOX燃料製造に係る品質保証活動が適切に実施されていることを確認する。

## 【実施体制】

	原子燃料工業 (元請会社)	メロックス社 (海外MOX燃料加工メーカー)
実施日	平成20年10月16日	平成20年10月20日～23日
監査体制	・原子燃料部門統括: 監査に関する管理責任者 ・監査チーム: チームリーダー、監査員2名 ・ビューローベリタス社(1名)	・同左 ・同左 ・仏国ビューローベリタス社(2名)
確認方法	書類確認、記録確認、現場確認(メロックス社のみ)、インタビュー	

## 【監査の結果】

不適合に該当するものはなく、原子燃料工業およびメロックス社において、当社向けMOX燃料製造に係る品質保証活動が適切に実施されていることを確認した。

※定期監査における確認内容については、15 ~ 17

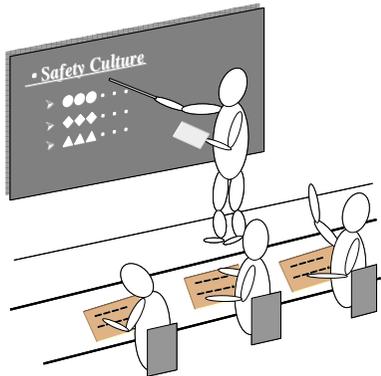
# 定期監査における確認内容(1/3)

項目	原子燃料工業(株) 熊取事業所	メロックス社 メロックス工場
①品質保証に関する要求	当社が要求するISO9001:2000等の要求事項を満足する品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを確認	同左
②製造管理及び製造の業務プロセス	管理文書に従い、メロックス社を管理・指導するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認	原子燃料工業の要求事項を満たすMOX燃料を製造するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認
③BNFL問題再発防止対策	メロックス社に対し組織的に指導・監督できる品質保証体制、綿密な立会検査、長期滞在の措置、異常時の連絡体制整備等のBNFL問題再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを確認	設備の自動化等の不正防止策を図っていること、データセキュリティが厳格に確保されていること、異常時の連絡体制整備等のBNFL再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを確認
④輸入燃料体検査制度への適合	規制当局による品質保証活動の受入れ、第三者機関の活用等の輸入燃料体検査制度へ適合するための事項がメロックス社へ要求されていることを確認	規制当局による品質保証活動調査の受入れ、第三者機関の活用等の輸入燃料体検査制度へ適合するための仕組みが整備されていることを確認
⑤先行電力の製造管理用部品の組み込み事象	再発防止対策がメロックス社への技術仕様書に明記されていること、製品用の部品にのみ合格証を発行して識別管理が適切に実施されていることを確認	原子燃料工業からの技術仕様書が契約後の会議でレビューされ、メロックス社の管理文書に反映されることを確認

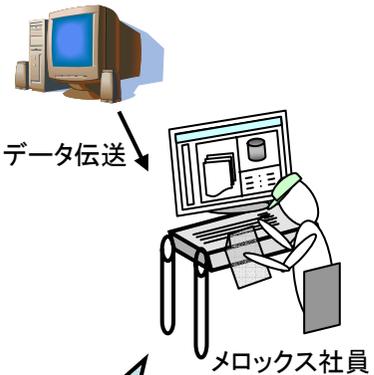
# 定期監査における確認内容(2/3)

原子燃料工業

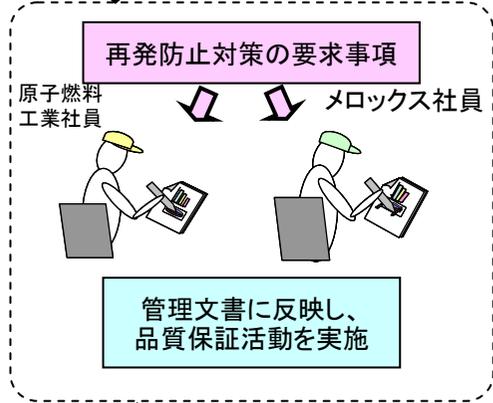
**確認項目①**  
 ・製造期間中のメロックス社に対する指導・監督のため、長期滞在する要員の体制を定め、その役割に応じた力量がもてるように教育・訓練の計画が作成され、計画に従い実施されている。



**確認項目②**  
 ・メロックス社に技術者を派遣し、燃料集合体の組立装置の保守・点検調整を実施し、製造に向けた準備を実施している。



**確認項目③**  
 ・綿密な立会検査、長期滞在の措置、異常時の連絡体制整備等のBNFL問題再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が実施されている。



メロックス社

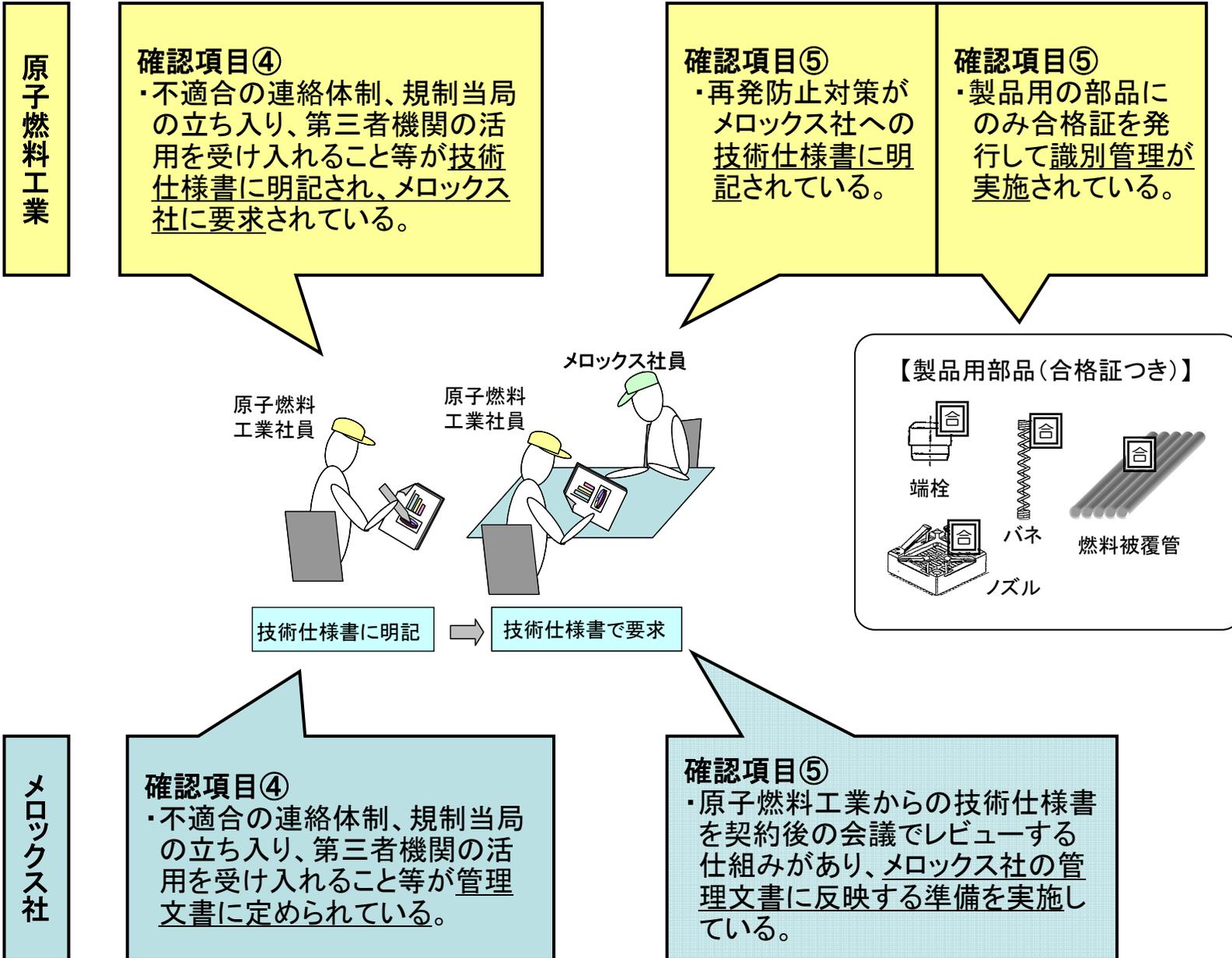
**確認項目①**  
 ・全社員を受講させる計画で、セーフティカルチャー(原子力の安全文化)に関する社外研修が開始されている。

**確認項目①**  
 ・燃料集合体の組立装置の保守・点検調整を原子燃料工業の技術者とともに実施し、製造に向けての準備を進めている。

**確認項目②**  
 ・工程管理用コンピュータを用いたオンラインシステムによって誤った手順書の適用等の人的ミスを防ぐ仕組みが整備されている。

**確認項目③**  
 ・データセキュリティが厳格に確保されていること、異常時の連絡体制整備等のBNFL再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が実施されている。

# 定期監査における確認内容(3/3)



## 參考資料

## 参考－1 燃料の設計仕様比較(1／3)

設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料(17×17)	
<b>(1)ペレット</b>			
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0.20	4.10
密度(%T.D.)	約95	約95※	約95※
O/M比	—	約2.00※	約2.00※
直径(mm)	約8.19又は約8.05	8.050	←
長さ(mm)	約11.5	11.5	9
<b>(2)燃料被覆管</b>			
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)	—	8.22	←
肉厚(mm)	約0.57又は約0.64	0.64	←
<b>(3)燃料棒</b>			
全長(端栓含む)	約3.9m	3852.0mm	←
燃料有効長	約3.66m	3648.0mm	←
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

※商業機密に属するため、概略値を記載。

## 参考－1 燃料の設計仕様比較(2／3)

設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料(17×17)	
<b>(4) 燃料集合体</b>			
全長	約4.1m	4035.5mm※	←
断面寸法(最大)(mm)	約214×約214	214.3×214.3	←
燃料棒ピッチ(mm)	約12.6	12.6	←
<b>(5) 上部ノズル</b>			
材料	－	ステンレス鋼鋳鋼	←
外寸法(mm)	－	213×213	←
<b>(6) 下部ノズル</b>			
材料	－	ステンレス鋼鋳鋼	←
外寸法(mm)	－	214×214	←
<b>(7) 制御棒案内シンプル</b>			
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	←
<b>(8) 炉内計装用案内シンプル</b>			
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	←

※上部ノズル突起部を除く

## 参考－1 燃料の設計仕様比較(3／3)

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料(17×17)
<b>(9) 支持格子</b>			
材料	ニッケル・クロム・鉄合金	耐食耐熱ニッケル基合金 (インコネル718)	←
<b>(10) 上部プレナムコイルばね</b>			
材料	—	ステンレス鋼	←
<b>(11) 下部プレナムコイルばね</b>			
材料	—	耐食耐熱ニッケル合金	←
<b>(12) 燃料被覆材端栓</b>			
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)	←
<b>(13) 燃焼率</b>			
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)	約62,000	62,000	←

## 参考-2 発電所の主要な諸元

	高浜3、4号機 (3ループ)
炉心熱出力	約2,652MW
原子炉圧力	約15.5MPa[abs]
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°C
原子炉容器出口1次冷却材温度	約321°C
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	48,000MWd/t

## 参考－3 燃料集合体の強度評価

### ①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※1
上部ノズル	0.30※2
下部ノズル	0.15※2
制御棒案内シムル(ダッシュポット部)	0.48※2

※1 設計比とは、評価値と設計基準値との比であり、1未満であれば基準を満足する

※2 制御棒落下時の評価結果

### ②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※1
高温全出力時	0.49
低温起動時	0.60
ポンプオーバースピード時(高温)	(0.67)※3

※3 ポンプオーバースピード時に燃料集合体が浮き上がるが、上部ノズル押えばねは塑性変形しない。( )内の値は、弾性限界ばね力に対する浮き上がり時のばね力の比。

### ③地震時の強度評価

構成部品	評価用地震動	設計比※1	
被覆管	S1	0.89※4	
	S2	0.28※5	
制御棒案内シムル	S1	一次一般膜応力	0.10(0.12)※6
		一次一般膜応力 + 一次曲げ応力	0.34(0.33)※6
	S2	一次一般膜応力	0.07(0.09)※6
		一次一般膜応力 + 一次曲げ応力	0.36(0.34)※6

※4 異常な過渡変化時の応力に地震動による応力を加えた評価結果

※5 通常運転時の応力に地震動による応力を加えた評価結果

※6 ( )内はダッシュポット部応力