

# 美浜3号機、高浜発電所第1～4号機、大飯3、4号機 燃料体に係る設計及び工事計画認可申請について

2021年11月26日  
関西電力株式会社

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

# 燃料体に係る設計及び工事計画認可申請について(目次)

---

1. 申請理由	⇒	3
2. 申請書の構成	⇒	4
3. 申請プラント及び申請対象燃料	⇒	6
4. 基本設計方針及び添付図面	⇒	7
5. 燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書	⇒	13
6. 強度に関する説明書	⇒	16
7. スケジュール	⇒	28

# 1. 申請理由

- 2020年4月の新検査制度施行後に新たに製造する燃料については、燃料体の設計及び工事の計画(以下「設工認」という)の認可を得て、使用前確認後に使用できることとなっている。
- 今回の申請する14タイプの燃料体は、2022年度から製造を開始する計画であり、製造開始に先立って設工認申請を行う。

	A型ウラン燃料 (国産)	B型ウラン燃料 (国産)	A型ウラン燃料 (輸入)	B型MOX燃料		
美浜3号機	○	○	使用なし	使用なし		
高浜1号機	○	○				
高浜2号機	○	○				
高浜3号機	○	○			● (2020.12認可済)	● (2020.12認可済)
高浜4号機	○	○			● (2020.12認可済)	● (2020.12認可済)
大飯3号機	○	○			使用なし	使用なし
大飯4号機	○	○				

今回申請

※A型ウラン燃料(国産): 15行15列A型燃料集合体(ウラン燃料)、17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)  
 B型ウラン燃料(国産): 15行15列B型燃料集合体(ウラン燃料)、17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)  
 A型ウラン燃料(輸入): 17行17列A型燃料集合体(輸入)(ウラン燃料)  
 B型MOX燃料: 17行17列B型燃料集合体(ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)

## 2. 申請書の構成(1/2)

➤ 新検査制度施行に伴い、燃料体が設備として追加され、旧法下の「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」等の添付資料が設工認に取り込まれた。

### 【 新検査制度見直し後 】

- 本文
- 一 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
  - 二 工事計画
    - ・要目表(燃料体)
    - ・基本設計方針(燃料体)
    - ・適用基準、規格(燃料体)
    - ・工事の方法
  - 三 工事工程表
  - 四 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム
  - 五 変更の工事又は設計及び工事の計画の変更の場合にあっては、変更の理由

実用炉規則別表第二の中欄に「燃料体」が追加

※質量等は添付図面に記載

### 【 旧法下 】

#### 燃料体設計認可申請書

##### <本文>

- 核燃料物質の種類／初期濃縮度／燃焼率
- 燃料材の種類、組成及び組織
- 燃料被覆材の種類、組成及び組織
- 燃料材及び燃料被覆材以外の部品の種類及び組成
- 燃料体の構造及び質量

- 添付資料
- ・熱出力計算書
  - ・設置の許可との整合性に関する説明書(燃料体)
  - ・発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書
  - ・安全設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書
  - ・発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書
  - ・耐震性に関する説明書
  - ・強度に関する説明書
  - ・燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書
  - ・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説明書

実用炉規則別表第二の下欄に追加

##### 添付資料

- 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(燃料要素の集合体である燃料体にあっては、燃料要素)の強度計算書
- 三 燃料体の構造図

添付図面(構造図)



## 2. 申請書の構成(2/2)

➤ 設計及び工事計画認可申請における申請書構成としては以下のとおり。

項目		記載内容	
本文	原子炉本体(燃料体)の要目表、基本設計方針、適用基準及び適用規格	燃料体に係る基本設計方針の追加、本設工認における適合性を説明するために必要な適用基準と関連する要目表の追加	➔ P7~12
	原子炉本体(燃料体)に係る工事の方法	設工認に係る工事の方法	
	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事項	設工認に係る品質管理の方法等	
添付1	熱出力計算書	既工認で適合性を確認した旨を記載	
添付2	発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書(燃料体)	本設工認で追加した基本設計方針と発電用原子炉設置変更許可申請書との整合性	
添付3	発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書	既工認で適合性を確認した旨を記載	
添付4	安全設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書	既工認で適合性を確認した旨を記載	
添付5	発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	既工認で適合性を確認した旨を記載	
添付6	耐震性に関する説明書	既工認で適合性を確認した旨を記載	
添付7	強度に関する説明書	燃料体の強度に係る評価方法、評価結果	➔ P16~27
添付8	燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書	燃料体の各材料の耐熱性、耐放射線性、耐食性及びその他の性能の説明	➔ P13~15
添付9	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説明書	設計及び工事に係る品質管理の計画、実績	
添付図面	構造図	本申請に係る構造図	➔ P7~12

旧法からの取り込み

### 3. 申請プラント及び申請対象燃料(美浜3号機、高浜発電所第1～4号機、大飯3、4号機)

- 今回申請したウラン燃料は、過去に工認および燃料体設計認可を受け、現在使用している燃料と同一設計である。
- したがって、申請書の構成変更はあるものの、添付資料、図面等の申請内容は、「従来の燃料体設計認可申請書と同じであり、新規性はない」。

ユニット	燃料タイプ	燃料体設計認可	工事計画認可
美浜3号機	15行15列A型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	M関15燃2号、H24年7月3日認可	H19年12月14日付け平成19・10・09原第5号
	15行15列B型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	平成17.08.04原第22号認可	
高浜1号機	15行15列A型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	M関15燃2号、H24年7月3日認可	H24年3月29日付け平成24・02・07原第10号
	15行15列B型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	平成23.02.08原第31号認可	
高浜2号機	15行15列A型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	M関15燃2号、H24年7月3日認可	H24年3月29日付け平成24・02・07原第11号
	15行15列B型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	平成23.02.08原第31号認可	
高浜3号機	17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)(48GWd/t)	M関高17燃第1号、H24年4月3日認可	H22年10月4日付け平成22・07・23原第5号
	17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)(48GWd/t)	平成13.12.05原第3号認可	
高浜4号機	17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)(48GWd/t)	M関高17燃第1号、H24年4月3日認可	H11年12月2日付け平成11・08・12資第8号
	17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)(48GWd/t)	平成13.12.05原第3号認可	
大飯3号機	17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	M関大17燃1号、H25年3月4日認可	H16年10月1日付け平成16・06・18原第22号
	17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	平成16.01.29原第17号認可	
大飯4号機	17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	M関大17燃1号、H25年3月4日認可	H16年9月10日付け平成16・06・18原第23号
	17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)(55GWd/t)	平成16.01.29原第17号認可	

# 4. 基本設計方針及び添付図面(1/6)

## 4. 1 基本設計方針

- 大飯3、4号機のA型及びB型燃料集合体の基本設計方針は以下のとおり。

### 【大飯3、4号機 17行17列A型燃料集合体(1/2)】

#### 1. 1 燃料体

##### 1. 1. 1 17行17列A型燃料集合体(ウラン燃料)

二酸化ウラン燃料材は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 以下に掲げる元素を含有する場合における当該元素の含有量のウランの含有量に対する百分率の値は、それぞれ以下に掲げる値であること。
  - 炭素 0.010以下
  - ふっ素 0.0015以下
  - 水素 0.0002以下
  - 窒素 0.0075以下
- (2) ウラン235の含有量のウラン含有量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。
- (3) ペレット型燃料材にあつては、ペレットが次に適合する設計とする。
  - a. 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
  - b. 密度の偏差は、著しく大きくないこと。
  - c. 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
  - d. 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) ガドリニウムを添加していないものにあつては、次に適合する設計とする。
  - a. ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、87.7以上であること。
  - b. 酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、1.99以上2.02以下であること。
- (5) ガドリニウムを添加したものにあつては、次に適合する設計とする。
  - a. ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、実用上差し支えがないものであること。
  - b. 酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、実用上差し支えがないものであること。
  - c. ガドリニウムの含有量の全重量に対する百分率の偏差は、著しく大きくないこと。
  - d. ガドリニウムの均一度は、実用上差し支えがないものであること。

ジルコニウム合金燃料被覆材は、次のいずれにも適合する設計とするか、これと同等以上の物理的性質及び化学的性質を保持するよう設計する。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 被覆材の軸は、著しく湾曲していないこと。
- (3) 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値は、日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表2及び表3に規定する値であること。
- (4) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書C 水素化物方位試験方法」又はこれと同等の方法によって水素化物方位試験を行ったとき、水素化物方向性係数が0.45を超えないこと。
- (5) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書D 超音波探傷試験方法」又はこれと同等の方法によって超音波探傷試験を行ったとき、対比試験片の人工傷からの欠陥信号と同等以上の欠陥信号がないこと。

- (6) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (7) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (8) 表面の粗さの程度は、実用上差し支えがないものであること。
- (9) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書B 腐食試験方法」又はこれと同等の方法によって腐食試験を行ったとき、表面に著しい白色又は褐色の酸化物が付着せず、かつ、腐食質量増加が3日間で22mg/dm<sup>2</sup>以下又は14日間で38mg/dm<sup>2</sup>以下であること。
- (10) 応力除去焼きなましを行ったものにあつては、日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。

ジルコニウム合金端栓は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値は、日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表2及び表3に規定する値であること。ただし、表3に掲げるニオブ及びカルシウムを除く。
- (3) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (4) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (5) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書B 腐食試験方法」又はこれと同等の方法によって腐食試験を行ったとき、表面に著しい白色又は褐色の酸化物が付着せず、かつ、腐食質量増加が3日間で22mg/dm<sup>2</sup>以下又は14日間で38mg/dm<sup>2</sup>以下であること。
- (6) 再結晶焼きなましを行ったジルコニウム合金端栓は、日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」、ASTM International規格ASTM B 351「Standard Specification for Hot-Rolled and Cold-Finished Zirconium and Zirconium Alloy Bars, Rod, and Wire for Nuclear Application」又はこれと同等の方法によって以下に掲げるいずれかの試験温度において引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが同欄に掲げる試験温度の区分に応じ、それぞれ以下に掲げる値であるものであること。
  - a. 試験温度 室温  
引張強さ:415N/mm<sup>2</sup>以上  
耐力:240N/mm<sup>2</sup>以上  
伸び:14%以上
  - b. 試験温度316℃  
引張強さ:215N/mm<sup>2</sup>以上  
耐力:105N/mm<sup>2</sup>以上  
伸び:24%以上



### 【大飯3、4号機 17行17列A型燃料集合体(2/2)】

燃料材、燃料被覆材及び端栓以外の燃料体の部品は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (3) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) 支持格子、上部支持板、下部支持板、制御棒案内シンプルにあっては、次に適合する設計とする。
  - a. 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。
  - b. 日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。
- (5) コイルばねにあっては、ばね定数が  $\square$  N/cm であること。

燃料要素は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 燃料要素の軸は、著しく湾曲していないこと。
- (3) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (4) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (5) 日本産業規格Z4504(2008)「放射線表面汚染の測定方法-β線放出核種(最大エネルギー0.15MeV以上)及びα線放出核種」における間接測定法又はこれと同等の方法によって測定したとき、表面に付着している核燃料物質の量が $0.00004\text{Bq/mm}^2$ を超えないこと。
- (6) ヘリウム漏えい試験を行ったとき、漏えい量が1億分の $304\text{MPa}\cdot\text{mm}^3/\text{s}$ を超えないこと。
- (7) 溶接部にブローホール、アンダーカット等で有害なものがないこと。
- (8) 部品の欠如がないこと。
- (9) ヘリウム加圧量は、次のとおりであること。  
二酸化ウラン燃料要素  $\square$  MPa[gauge]  
ガドリニア混合二酸化ウラン燃料要素  $\square$  MPa[gauge]

燃料要素の集合体である燃料体は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (3) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) 部品の欠如がないこと。



## 【大飯3、4号機 17行17列B型燃料集合体(1/2)】

### 1. 1 燃料体

#### 1. 1. 2 17行17列B型燃料集合体(ウラン燃料)

二酸化ウラン燃料材は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 以下に掲げる元素を含有する場合における当該元素の含有量のウランの含有量に対する百分率の値は、それぞれ以下に掲げる値であること。
  - 炭素 0.010以下
  - ふっ素 0.0015以下
  - 水素 0.0002以下
  - 窒素 0.0075以下
- (2) ウラン235の含有量のウラン含有量に対する百分率の値の偏差は、著しく大きくないこと。
- (3) ペレット型燃料材にあつては、ペレットが次に適合する設計とする。
  - a. 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
  - b. 密度の偏差は、著しく大きくないこと。
  - c. 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
  - d. 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) ガドリニウムを添加していないものにあつては、次に適合する設計とする。
  - a. ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、87.7以上であること。
  - b. 酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、1.99以上2.02以下であること。
- (5) ガドリニウムを添加したものにあつては、次に適合する設計とする。
  - a. ウランの含有量の全重量に対する百分率の値は、実用上差し支えがないものであること。
  - b. 酸素の原子数のウランの原子数に対する比率の値は、実用上差し支えがないものであること。
  - c. ガドリニウムの含有量の全重量に対する百分率の偏差は、著しく大きくないこと。
  - d. ガドリニウムの均一度は、実用上差し支えがないものであること。

ジルコニウム合金燃料被覆材は、次のいずれにも適合する設計とするか、これと同等以上の物理的性質及び化学的性質を保持するよう設計する。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 被覆材の軸は、著しく湾曲していないこと。
- (3) 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値は、日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表2及び表3に規定する値であること。
- (4) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書C 水素化物方位試験方法」又はこれと同等の方法によって水素化物方位試験を行ったとき、水素化物方向性係数が0.45を超えないこと。
- (5) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書D 超音波探傷試験方法」又はこれと同等の方法によって超音波探傷試験を行ったとき、対比試験片の人工傷からの欠陥信号と同等以上の欠陥信号がないこと。

- (6) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (7) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (8) 表面の粗さの程度は、実用上差し支えがないものであること。
- (9) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書B 腐食試験方法」又はこれと同等の方法によって腐食試験を行ったとき、表面に著しい白色又は褐色の酸化物が付着せず、かつ、腐食質量増加が3日間で22mg/dm<sup>2</sup>以下又は14日間で38mg/dm<sup>2</sup>以下であること。
- (10) 応力除去焼きなましを行ったものにあつては、日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。

ジルコニウム合金端栓は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値は、日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「4 品質」の表2及び表3に規定する値であること。ただし、表3に掲げるニオブ及びカルシウムを除く。
- (3) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (4) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (5) 日本産業規格H4751(2016)「ジルコニウム合金管」の「附属書B 腐食試験方法」又はこれと同等の方法によって腐食試験を行ったとき、表面に著しい白色又は褐色の酸化物が付着せず、かつ、腐食質量増加が3日間で22mg/dm<sup>2</sup>以下又は14日間で38mg/dm<sup>2</sup>以下であること。
- (6) 再結晶焼きなましを行ったジルコニウム合金端栓は、日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」、ASTM International規格ASTM B 351「Standard Specification for Hot-Rolled and Cold-Finished Zirconium and Zirconium Alloy Bars, Rod, and Wire for Nuclear Application」又はこれと同等の方法によって以下に掲げるいずれかの試験温度において引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが同欄に掲げる試験温度の区分に応じ、それぞれ以下に掲げる値であるものであること。

- a. 試験温度 室温  
引張強さ: 415N/mm<sup>2</sup>以上  
耐力: 240N/mm<sup>2</sup>以上  
伸び: 14%以上
- b. 試験温度 316°C  
引張強さ: 215N/mm<sup>2</sup>以上  
耐力: 105N/mm<sup>2</sup>以上  
伸び: 24%以上

## 4. 基本設計方針及び添付図面(4/6)

### 【大飯3、4号機 17行17列B型燃料集合体(2/2)】

燃料材、燃料被覆材及び端栓以外の燃料体の部品は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (3) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) 支持格子、上部支持板、下部支持板、制御棒案内シンプルにあっては、次に適合する設計とする。
  - a. 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。
  - b. 日本産業規格Z2241(2011)「金属材料引張試験方法」又はこれと同等の方法によって引張試験を行ったとき、引張強さ、耐力及び伸びが必要な値であること。
- (5) 上部プレナムコイルばね、下部プレナムコイルばねにあっては、ばね定数が次のとおりであること。
  - a. 上部プレナムコイルばね  N/cm
  - b. 下部プレナムコイルばね  N/cm

燃料要素は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 燃料要素の軸は、著しく湾曲していないこと。
- (3) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (4) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (5) 日本産業規格Z4504(2008)「放射線表面汚染の測定方法—β線放出核種(最大エネルギー0.15MeV以上)及びα線放出核種」における間接測定法又はこれと同等の方法によって測定したとき、表面に付着している核燃料物質の量が $0.00004\text{Bq}/\text{mm}^2$ を超えないこと。
- (6) ヘリウム漏えい試験を行ったとき、漏えい量が1億分の $304\text{MPa}\cdot\text{mm}^3/\text{s}$ を超えないこと。
- (7) 溶接部にブローホール、アンダーカット等で有害なものがないこと。
- (8) 部品の欠如がないこと。
- (9) ヘリウム加圧量は、MPa[gauge]であること。

燃料要素の集合体である燃料体は、次のいずれにも適合する設計とする。

- (1) 各部分の寸法の偏差は、著しく大きくないこと。
- (2) 表面に割れ、傷等で有害なものがないこと。
- (3) 表面に油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。
- (4) 部品の欠如がないこと。

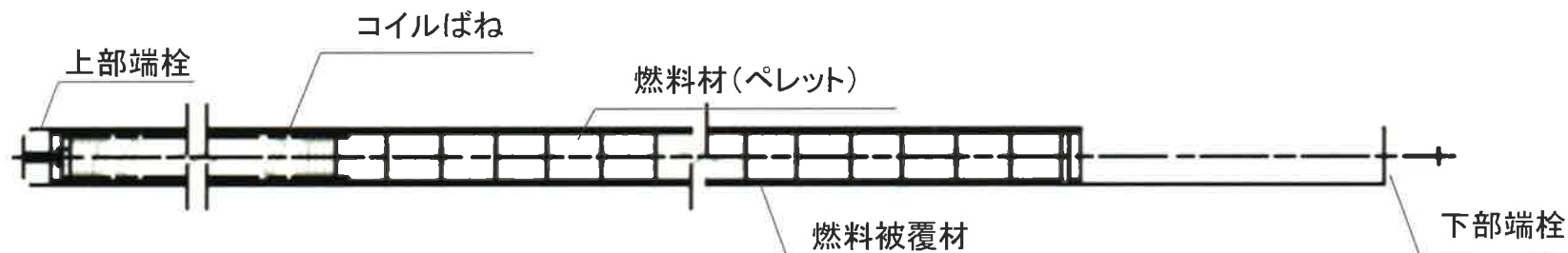
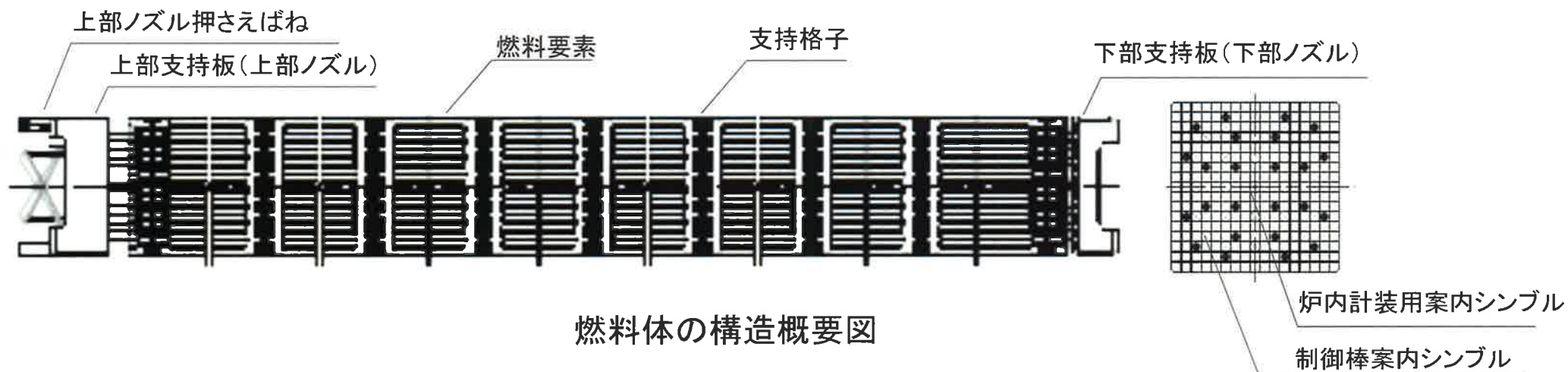
## 4. 基本設計方針及び添付図面(5/6)

### 4.2 添付図面

- 大飯3, 4号機のA型及びB型燃料集合体の構造について添付図面に示す。

#### 【大飯3, 4号機 17行17列A型燃料集合体】

- A型燃料集合体は、燃料被覆材、燃料材(ペレット)、コイルばね、燃料被覆材端栓からなる燃料要素、上部ノズル、下部ノズル、制御棒案内シンブル、炉内計装用案内シンブル及び支持格子から構成されている。



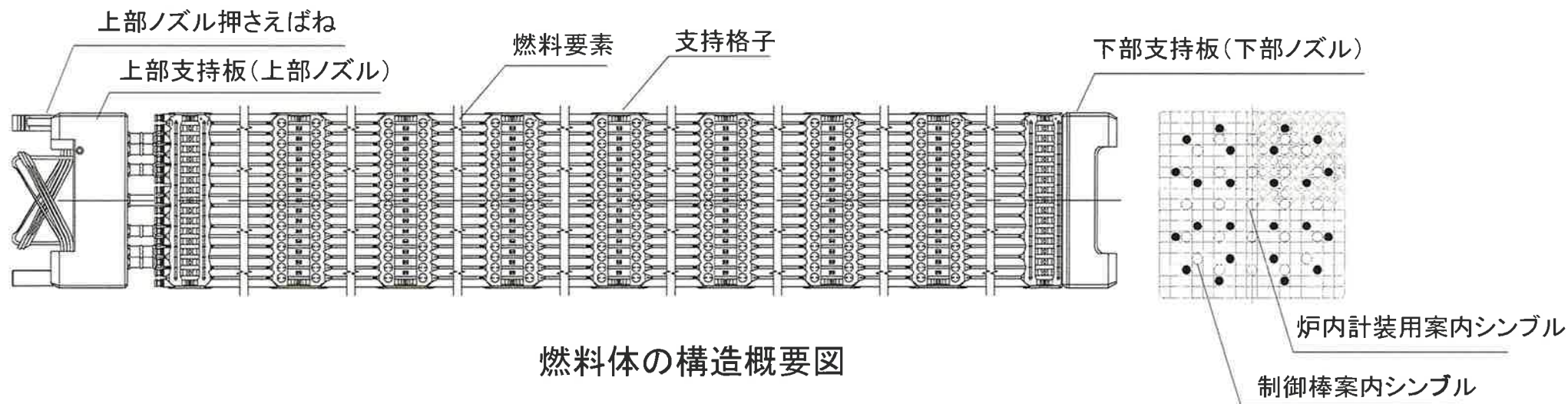
燃料要素の構造概要図



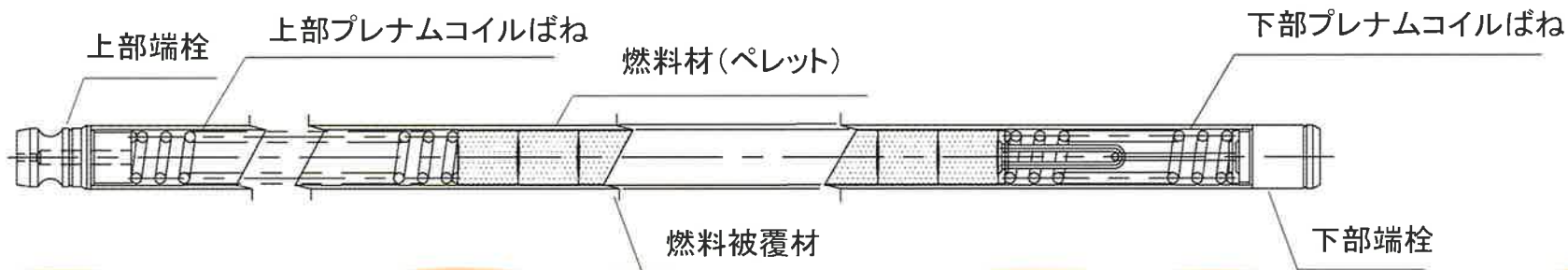
## 4. 基本設計方針及び添付図面(6/6)

### 【大飯3、4号機 17行17列B型燃料集合体】

- B型燃料集合体は、燃料被覆材、燃料材(ペレット)、上下部プレナムコイルばね、燃料被覆材端栓からなる燃料要素、上部ノズル、下部ノズル、制御棒案内シンプル、炉内計装用案内シンプル及び支持格子から構成されている。



燃料体の構造概要図



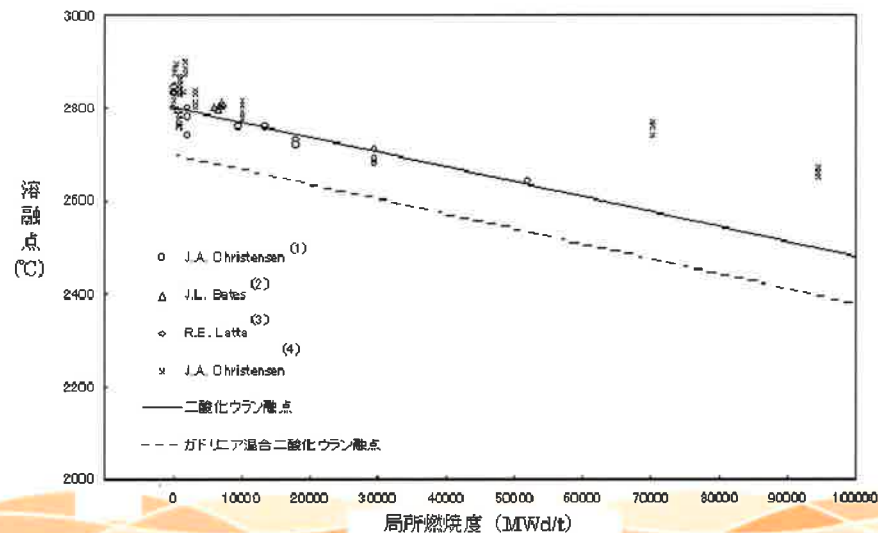
燃料要素の構造概要図



- 大飯3、4号機のA型及び/またはB型燃料集合体には、(ガドリニア混合)二酸化ウラン、Sn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム基合金(MDA)、Sn-Fe-Cr-Nb-Ni系ジルコニウム基合金(NDA)、Sn-Fe-Nb系ジルコニウム基合金(ZIRLO)、Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4)、析出硬化型ニッケル基合金(718合金、)、ニッケル・クロム・鉄合金()、オーステナイト系ステンレス鋼を使用しており、これらの材料はそれぞれ使用条件における耐熱性、耐放射線性、耐食性について問題ないことを確認している。

### 5.1 二酸化ウラン、ガドリニア混合二酸化ウラン

- 耐熱性について、試験データによりガドリニアの添加による溶融点を考慮したうえで、計算モデルの不確定性及び燃料の製造公差を考慮して燃料中心最高温度を評価し、燃料溶融に至らない性能であることを確認している。その他、耐放射線性、耐食性についても試験データ等により問題がないことを確認している。  
(使用部品)二酸化ウランペレット、ガドリニア混合二酸化ウランペレット

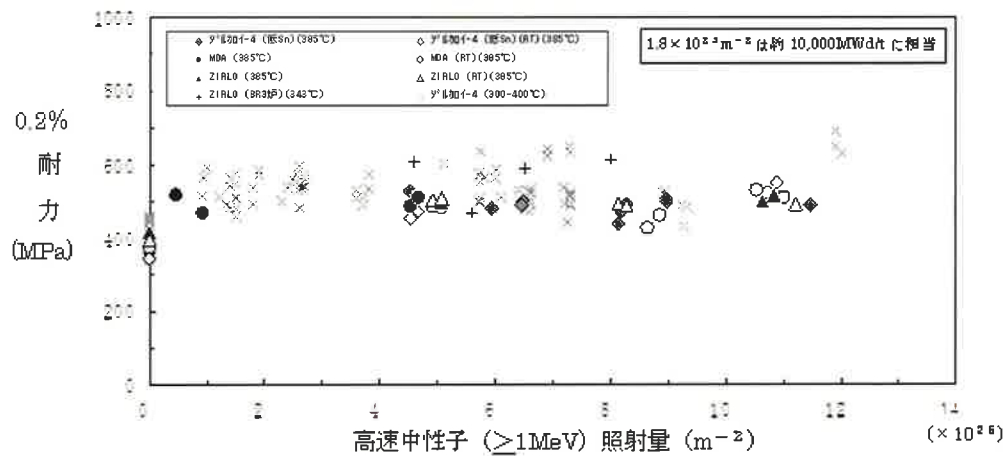


二酸化ウラン及びガドリニア混合二酸化ウランの溶融点図

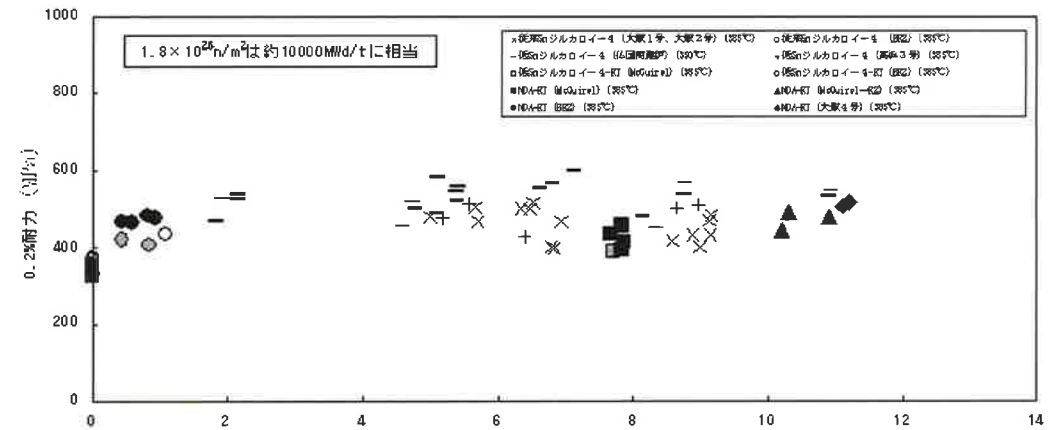
## 5.2 Sn-Fe-Cr-Nb系ジルコニウム基合金(MDA)、Sn-Fe-Cr-Nb-Ni系ジルコニウム基合金(NDA)、Sn-Fe-Nb系ジルコニウム基合金(ZIRLO)

- 機械的性質について、試験データにより照射等の使用環境による機械特性への影響を確認しており、これらを考慮した上で強度評価を行い、健全性を確認している。その他、耐熱性、耐食性についても試験データ等により問題がないことを確認している。

(使用部品)燃料被覆材



燃料被覆管(MDA、ZIRLO)の耐力特性図



燃料被覆管(NDA)の耐力特性図

### 5.3 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4)

- 機械的性質について、試験データにより照射等の使用環境による機械特性への影響を確認しており、これらを考慮した上で強度評価を行い、健全性を確認している。その他、耐熱性、耐食性についても試験データ等により問題がないことを確認している。

(使用部品)燃料被覆材端栓、制御棒案内シムル、炉内計装用案内シムル、中間部スリーブ、制御棒案内シムル端栓、中間部支持格子、カラー、ストッパー

### 5.4 その他の部品

- 耐熱性についてプラントの使用条件下で溶融や材質変化が生じることはなく、耐放射線性及び耐食性については試験データにより問題がないことを確認している。

#### (1)析出硬化型ニッケル基合金(718合金、)

(使用部品)上部・下部支持格子(最上部・最下部支持格子)、上部ノズル押さえばね、下部プレナムコイルばね及びブレード

#### (2)ニッケル・クロム・鉄合金()

(使用部品)クランプスクリュー

#### (3)オーステナイト系ステンレス鋼

(使用部品)上部・下部ノズル、コイルばね(上部プレナムコイルばね)、押さえ板、連結棒、上部スリーブ、スリーブ、インサート端栓、インサート管、リベット、上部リングナット、ロッキングカップ、シムルスクリュウ(シムルスクリュー)及びスプリングスクリュウ

- 基本設計方針に基づく具体的な強度に係る評価方法、評価結果を添付資料7「強度に関する説明書」に示す。本資料において、大飯3, 4号機のA型及びB型燃料集合体について説明する。
- 以降に、燃料要素(以下、「燃料棒」と称する。)の設計、燃料集合体の設計の概要を説明する。
  6. 1 燃料棒の設計基準
  6. 2 燃料棒の強度評価方法
  6. 3 燃料棒の強度評価結果
  6. 4 燃料集合体の設計基準
  6. 5 燃料集合体の強度評価方法
  6. 6 燃料集合体の強度評価結果

これらの設計は、

- 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号)」
- 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)」
- 「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日)」
- 「加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について(昭和51年2月16日)」

に記載されている考え方に基づいている。



## 6. 強度に関する説明書(2/12)

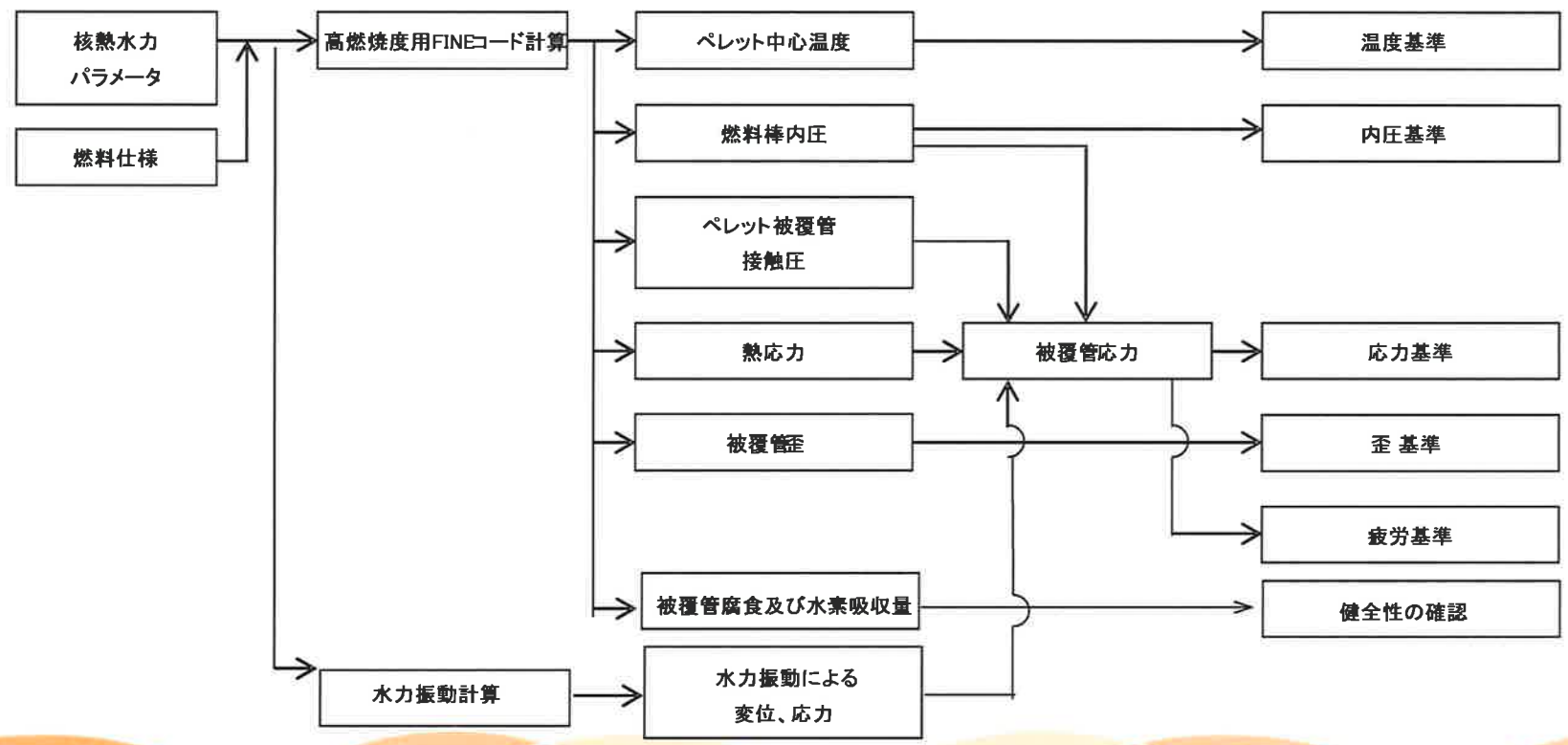
### 6.1 燃料棒の設計基準

- 燃料棒の構造設計基準については、「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について」、「加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について」に基づき、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時(以下、「過渡変化時」とする。)において、以下に示す基準を満足するように燃料棒を設計する。

項目	基本的考慮事項	設計基準
燃料温度	1) ペレット溶融に伴う過大な膨張を防ぐ 2) 燃料スタックの不安定化を防ぐ 3) 核分裂生成ガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ 4) ペレットと被覆管の有害な化学反応を防ぐ	燃料中心最高温度は二酸化ウラン及びガドリニア混合二酸化ウランそれぞれの溶融点未満であること
燃料棒内圧	サーマルフィードバック効果による燃料温度の過度な上昇を防ぐ	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
被覆管応力	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を通じて被覆管の健全性を確保する	被覆材の耐力以下であること
被覆管歪		円周方向引張歪の変化量は各過渡変化に対し1%以下であること
周期的な被覆管歪 (累積損傷係数)	日間負荷変動を含む種々の設計過渡条件に対して被覆管の健全性を確保する	ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること

## 6.2 燃料棒の強度評価方法

- 強度評価は、6.1項で述べた燃料棒設計基準に従って行う。評価の流れ及び評価の概要は以下のとおり。
  - ✓ 燃料棒の性能評価を、二酸化ウランペレット及びガドリニア混合二酸化ウランペレットの照射挙動並びに被覆管の照射挙動をモデル化した高燃焼度用FINEコード(Fuel Rod Integrity Evaluation Code)または高燃焼度用FPACコード(Fuel Performance Analysis Code)を用いて行う。
  - ✓ 燃料棒計算コードは、燃料棒が炉内で示す挙動(核分裂生成物の生成及び放出、熱膨張、焼きしまり及びスエリング、被覆管の熱膨張、クリープ、照射成長、弾性変形及び腐食、ペレットと被覆管の相互作用など)をモデル化して、ペレット中心温度、燃料棒内圧、被覆管の応力、歪及び疲労等を計算する。



燃料棒強度評価流れ図(高燃焼度用FINEコードの例)

### 6.3 燃料棒の強度評価結果(1/3)

- 燃料棒の温度評価結果により、ウラン燃料棒及びガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒(以下、「ガドリニア混合燃料棒」とする。)が設計基準を満足していることを確認した。

表: 燃料棒の温度評価結果

評価対象	条件	燃焼度 (MWd/t)	燃料中心温度 (°C)	判定	設計基準 (°C)
A型ウラン燃料棒	通常運転時(43.1kW/m)	0	約1,800	<	2,580
	過渡変化時(59.1kW/m)		約2,220		
A型ガドリニア混合燃料棒	通常運転時(33.4kW/m)	10,000	約1,680	<	2,440
	過渡変化時(44.3kW/m)		約2,040		
B型ウラン燃料棒	通常運転時(43.1kW/m)	0	約1,750	<	2,580
	過渡変化時(59.1kW/m)		約2,170		
B型ガドリニア混合燃料棒	通常運転時(33.4kW/m)	25,000	約1,540	<	2,400
	過渡変化時(44.3kW/m)	15,000	約1,900		2,430

## 6. 強度に関する説明書(5/12)

### 6.3 燃料棒の強度評価結果(2/3)

- 燃料棒の内圧評価結果により、設計基準を満足していることを確認した。
- 燃料棒の応力評価結果により、被覆材耐力以下であることを確認した。

表：燃料棒の内圧評価結果

評価項目	条件	内圧 (MPa[abs])	設計基準 (MPa[abs])	設計比*1
A型ウラン燃料棒	通常運転時	17.1	≤19.7	0.87
A型ガドリニア混合燃料棒	通常運転時	13.0	≤19.7	0.66
B型ウラン燃料棒	通常運転時	13.6	≤18.6	0.74
B型ガドリニア混合燃料棒	通常運転時	10.9	≤18.6	0.59

\*1：設計基準値に対する評価値の比

表：燃料棒の応力評価結果

評価項目	条件	体積平均相当 応力*1(MPa)	被覆材耐力 (MPa)	設計比*2
A型ウラン燃料棒	過渡変化時			0.92
A型ガドリニア混合燃料棒	過渡変化時			0.84
B型ウラン燃料棒	過渡変化時			0.57
B型ガドリニア混合燃料棒	過渡変化時			0.46

\*1：被覆管にかかる合応力を体積の重み付けで平均したもの

\*2：設計基準値に対する評価値の比



### 6.3 燃料棒の強度評価結果(3/3)

- 燃料棒の歪評価結果により、設計基準以下であることを確認した。
- 燃料棒の疲労評価結果により、設計基準以下であることを確認した。

表：燃料棒の歪評価結果

評価項目	条件	歪(%)	設計基準(%)	設計比*1
A型ウラン燃料棒	過渡変化時	0.47	≤1	0.47
A型ガドリニア混合燃料棒	過渡変化時	0.43	≤1	0.43
B型ウラン燃料棒	過渡変化時	0.26	≤1	0.26
B型ガドリニア混合燃料棒	過渡変化時	0.22	≤1	0.22

\*1: 設計基準値に対する評価値の比

表：燃料棒の疲労評価結果

評価項目	累積損傷係数*1	設計基準	設計比*2
A型ウラン燃料棒	40	≤100	0.40
A型ガドリニア混合燃料棒	32	≤100	0.32
B型ウラン燃料棒	6.9	≤100	0.07
B型ガドリニア混合燃料棒	2.6	≤100	0.03

\*1: B型は厳しい被覆管内面の評価値を記載

\*2: 設計基準値に対する評価値の比

### 6.4 燃料集合体の設計基準(1/2)

- 燃料集合体の構造設計基準については、「加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について」にて次のように定められている。
  - ✓ 燃料輸送及び取扱い時の6Gの設計荷重に対して、著しい変形を生じないこと。
  - ✓ 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において生じる荷重に対する応力は、原則としてASME Sec. IIIに基づいて評価されること。
- 燃料輸送及び取扱い時における評価項目および設計基準は以下のとおり。

燃料輸送及び取扱い時における燃料集合体の評価項目（設計荷重：6G）

構成部品	応力*1	許容値*1
上部ノズル、 下部ノズル	A型： $P_m + P_b$ B型： $P_L + P_b$	1.5Sm
上部ノズルー制御棒 案内シングル結合部	—	結合部の強度試験に基づく弾性限界荷重
支持格子ー制御棒 案内シングル結合部	—	結合部の強度試験に基づく弾性限界荷重
制御棒案内シングル	$P_m$	Sm

\*1: 応力は以下に示すASME Sec. IIIの炉心支持構造物の分類に従った。

$P_m$  : 一次一般膜応力

$P_L$  : 一次局部膜応力

$P_b$  : 一次曲げ応力

Sm : 設計応力強さ

(ASMEに従う。ただし、ジルカロイ-4については、0.2%耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方)

## 6.4 燃料集合体の設計基準(2/2)

- 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における評価項目および設計基準は以下のとおり。

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集合体の評価項目

構成部品	考慮点	応力*1	許容値*1
上部ノズル、 下部ノズル	スクラム時の衝撃力	A型: $P_m + P_b$ B型: $P_L + P_b$	1.5Sm
制御棒案内シンブル	スクラム時の衝撃力	A型: $P_m^{*2}$ B型: $P_L$	A型: Sm B型: 1.5Sm
	運転時荷重	$P_m^{*2}$	Sm
上部ノズル押さえばね	機械設計流量時	—	燃料集合体の浮き上がり防止のための必要なばね力
	ポンプオーバースピード時	—	上部ノズル押さえばねの塑性変形が進行しないたわみ量

\*1: 応力は以下に示すASME Sec. IIIの炉心支持構造物の分類に従った。

- $P_m$  : 一次一般膜応力
- $P_L$  : 一次局部膜応力
- $P_b$  : 一次曲げ応力
- Sm : 設計応力強さ

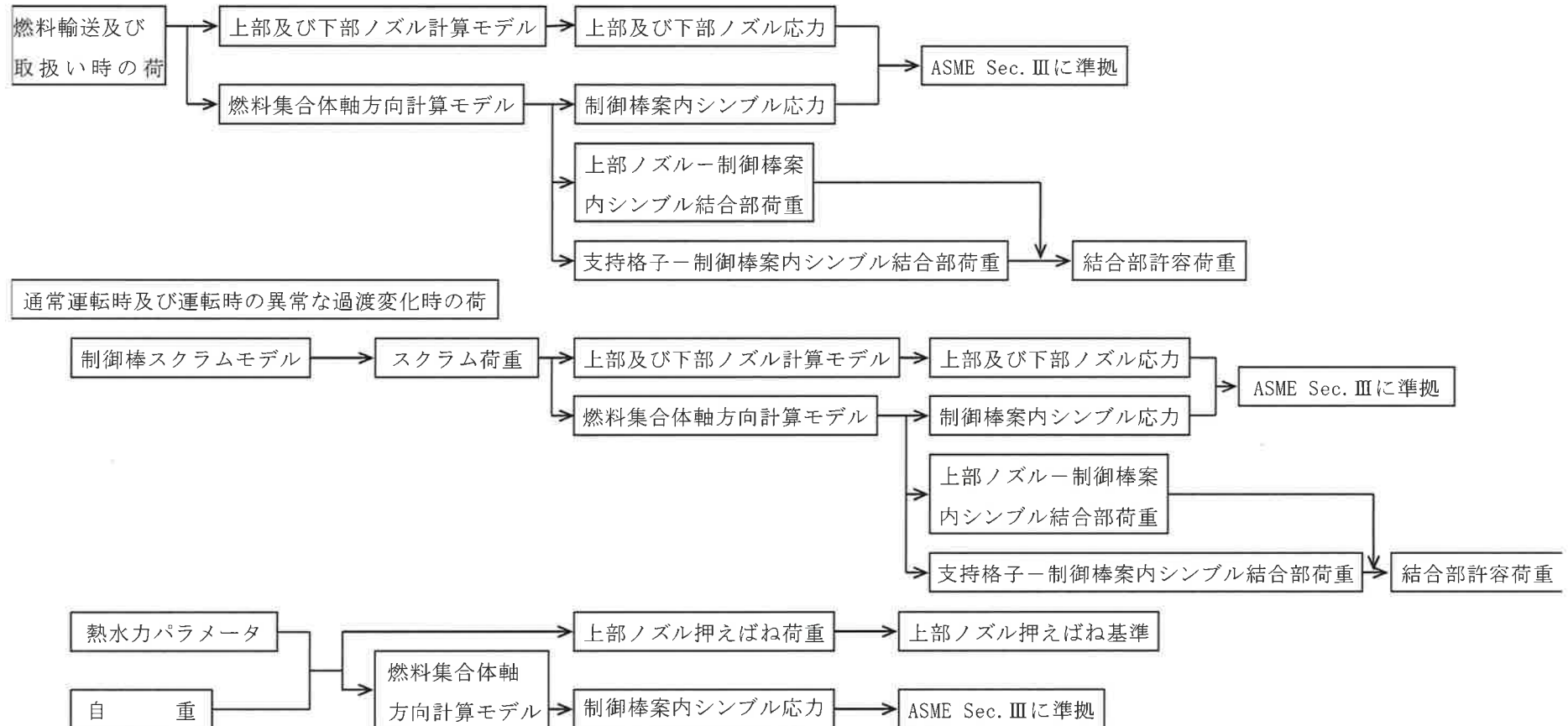
(ASMEに従う。ただし、ジルカロイ-4については、0.2%耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方)

\*2: ASME Sec. IIIでは2次応力まで考慮している。しかし、燃料集合体では以下の理由により考慮していない。

- ・支持格子と燃料棒がすべることにより、燃料棒と制御棒案内シンブルの熱膨張差、照射成長差を吸収し、しかも燃料棒拘束力は照射により緩和していくこと。
- ・制御棒案内シンブルはジルカロイ-4材であり、一般原子炉機器で採用されているステンレス鋼に比べクリープしやすく応力緩和すること。

## 6.5 燃料集合体の強度評価方法

- 以下に燃料集合体強度評価流れ図を示す。



燃料集合体強度評価流れ図



## 6. 強度に関する説明書(10/12)

### 6.6 燃料集合体の強度評価結果(1/3)

- 燃料輸送及び取扱い時の荷重における評価結果により、許容応力を満足していることを確認した。

表：燃料輸送及び取扱い時の荷重における評価結果

型式	構成部品	最大応力(MPa)	許容応力(MPa)	設計比*3
A型	上部ノズル			0.89
	下部ノズル			0.90
	上部ノズルー制御棒 案内シンプル結合部	*1	*2	0.76*4
	支持格子ー制御棒 案内シンプル結合部(ジルカロイ製)	*1	*2	0.48*4
	支持格子ー制御棒 案内シンプル結合部(インコネル製)	*1	*2	0.45*4
	制御棒案内シンプル			0.85
B型	上部ノズル			0.87
	下部ノズル			0.83
	上部ノズルー制御棒 案内シンプル結合部	—*5	—*5	—*5
	支持格子ー制御棒 案内シンプル結合部	*1	*2	0.67*4
	制御棒案内シンプル			0.89

\*1:最大荷重(N)

\*2:許容荷重(N)

\*3:許容応力値に対する最大応力値の比

\*4:許容荷重値に対する最大荷重値の比

\*5:結合部における発生応力が制御棒案内シンプル管より小さく応力評価の制限因子にならないことを確認。

## 6. 強度に関する説明書(11/12)

### 6.6 燃料集合体の強度評価結果(2/3)

- 通常運転時及び過渡変化時の集合体応力評価結果から、基準を満足することを確認した。

表: 通常運転時及び過渡変化時の応力評価結果(1/2)

型式	構成部品	考慮点	最大応力(MPa)	許容応力(MPa)	設計比*1
A型	上部ノズル	スクラム時の衝撃力			0.45
	下部ノズル	スクラム時の衝撃力			0.40
	制御棒案内 シンブル	スクラム時の衝撃力			0.46
		運転時荷重			0.05
B型	上部ノズル	スクラム時の衝撃力			0.31
	下部ノズル	スクラム時の衝撃力			0.15
	制御棒案内 シンブル	スクラム時の衝撃力			0.61
		運転時荷重			0.19

\*1: 許容応力値に対する最大応力値の比

## 6. 強度に関する説明書(12/12)

### 6.6 燃料集合体の強度評価結果(3/3)

- 上部ノズル押さえばねの評価結果から、基準を満足することを確認した。

表:通常運転時及び過渡変化時の応力評価結果(2/2)

型式	構成部品	考慮点	上部ノズル押さえばねに要求される力(N)	上部ノズル押さえばね力(N)	評価	設計比*1
A型	上部ノズル押さえばね	機械設計流量時(低温起動時)	[ ]	[ ]	浮き上がらない	0.89
		機械設計流量時(高温全出力時)			浮き上がらない	0.52
		ポンプオーバースピード時(高温)			浮き上がるがばねの塑性変形は進行しない	(0.78)*2
B型	上部ノズル押さえばね	機械設計流量時(低温起動時)			浮き上がらない	0.76
		機械設計流量時(高温全出力時)			浮き上がらない	0.74
		ポンプオーバースピード時(高温)			浮き上がるがばねの塑性変形は進行しない	-

\*1:「上部ノズル押さえばね力」に対する「上部ノズル押えばねに要求される力」の比

\*2:( )内の設計比はポンプオーバースピード時に塑性変形が進行しない荷重 [ ](N)に対して上部ノズル押えばねに要求される荷重の比

## 7. スケジュール

➤ 事業者としては、2022年4月認可を希望

2021年度					2022年度	
11	12	1	2	3	4	5～
	▽ヒアリング(1回目)	▽ヒアリング(2回目)			▽4月認可	
▼ 11月26日申請		▽ヒアリング(3回目)				