

泊発電所3号炉審査資料	
資料番号	DB04-9 r. 3.0
提出年月日	令和4年8月5日

## 泊発電所3号炉

### 設置許可基準規則等への適合状況について (設計基準対象施設等) 比較表

#### 第4条 地震による損傷の防止

令和4年8月  
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>1. 比較対象について</p> <p>(1) 比較表の形式は「女川2号機-泊3号機-大飯3/4号機」とした。</p> <p>(2) 泊3号機および女川2号機は再稼働審査時に合わせてバックフィットを扱っている点で同じであること、及びBWR審査知見の反映の観点から、資料の目次構成及び記載内容は、女川2号機に合わせた。</p> <p>(3) 許可済み最新プラントである島根2号機については、女川2号機との差異を把握したうえで必要な反映箇所がある場合は泊3号機のまとめ資料に反映することとした。                  島根と女川の主な差異は、評価した地震動の範囲（女川2号機は暫定の地震動、島根2号機は工認段階の地震動）、対象燃料（女川：9×9、島根：9×9及びMOX）の違いであり、結果的に、最新知見の観点から泊3号機に反映すべき項目はなかった。（ただし、島根2号機のMOX燃料に関する注釈「工事計画取得は未取得」の記載については泊3号機と同じ状況であることから、本記載ぶりを参考に反映した。）</p> <p>(4) BWRとPWRの燃料設計手法が異なることから、PWRの大飯3/4号機を設計評価に関する技術的な内容を比較する対象とした。</p> <p>2. 女川2号機との比較（主な差異）について</p> <p>(1) 適合方針に相違なし</p> <p>(2) 地震動による評価結果の提示範囲</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川2号機は、設置許可では地震動の暫定波<sup>※1</sup>による基準適合の見通しを示し、設工認段階で全ての地震動に対して評価した結果を示している。</li> <li>・泊3号機は、設置許可において全ての地震動に対して評価した結果<sup>※2</sup>を示す。</li> </ul> <p>※1 「H25年申請時のSs」                  ※2 現状は「H25年申請時のSs」および「平成26年12月25日審査会合時点までに策定したSs」に対して評価した結果を示している。                  今後策定する追加Ssに対する評価は、今後基準地震動確定後に評価し、設置変更許可段階でその評価結果を資料に反映する予定。</p> <p>(3) 既許可・既認可の燃料設計手法がBWRとPWRで異なるため、評価内容が異なる。</p> <p>1) BWRとPWRの燃料設計手法が異なる。（BWR/PWRそれぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「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日原子力安全委員会了承）」に加えて、BWRは「沸騰水型原子炉に用いられる8行8列型の燃料集合体について（昭和49年12月25日原子炉安全専門審査会）」及び「沸騰水型原子炉に用いられる9行9列型の燃料集合体について」（平成6年3月3日原子力安全委員会）、PWR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（昭和51年2月16日原子炉安全専門審査会）」に基づき設計している。</li> </ul> <p>2) BWRとPWRの燃料耐震評価手法が異なる。（右記のJEAG4601-1987参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・BWRは、すべての燃料集合体を単一の弾性はりで代表し、原子炉建屋-原子炉压力容器-炉内構造物連成系の地震応答解析により直接得られる燃料集合体の水平方向加速度、鉛直方向加速度及び応答相対変位に基づき、計算式により燃料被覆管の地震時応力を計算している。</li> <li>・PWRは、原子炉建屋-原子炉压力容器-炉内構造物連成系の地震応答解析により得られる上下部炉心板の時刻歴応答加速度を入力として、隣接燃料集合体の衝突等を考慮した非線形の水平方向群振動解析及び鉛直方向振動解析により得られる燃料集合体の応答に基づき、燃料被覆管の地震時応力を計算している。</li> </ul> <p>3) 材料物性の不確かさ等の考慮の取扱いが異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・BWRでは材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。一方、PWRでは以下の理由から材料物性の不確かさ等による燃料集合体の応答への影響は小さいため、材料物性の不確かさ等を考慮しない値を用いている。                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料耐震評価手法の相違としてPWRでは炉内の限られた空間で燃料集合体同士が衝突する挙動を模擬した時刻歴の非線形応答解析を実施していること、及び振幅に依存した振動特性（固有振動数、減衰比）を考慮していることから、材料物性の不確かさによる入力加速度の増加によって燃料集合体の応答が単純比例して増加するものではない。</li> <li>・燃料集合体の応答解析手法は「PWR炉内構造物の耐震実証試験」により十分検証されており、解析による応答は保守性を有していることが確認されている。</li> </ul>                     ただし、泊3号機においては設置許可段階では材料物性の不確かさ等のうち地盤の不確かさを考慮した影響評価を行い、設工認段階における評価では、その他の材料物性の不確かさの影響を評価する。                 </li> </ul> <p>4) 水平2方向の組合せの考慮の取扱いが異なる。女川2号機では設工認段階で水平2方向を考慮した定量的な影響評価（許容応力/発生応力の裕度が√2以上であることの確認）を行っている。一方、PWRは、水平2方向入力に比べ、1方向の振動応答を評価する現行の評価は、隣接列の集合体との接触による応答の阻害が無いことなどにより保守的な評価となるため、現行の水平1方向による評価で、水平2方向入力による影響は包絡されることについて設工認段階で説明している。</p> <p>3. 大飯3/4との比較（主な差異）について</p> <p>(1) 適合方針に相違なし</p> <p>(2) 評価方針および評価方法に相違なし</p> <p>(3) バックフィットを取り扱う審査上のタイミングが異なる。具体的には、大飯3/4号機は再稼働審査（新規基準の許可・認可取得）済みの状態でバックフィットとして申請した一方で、泊3号機および女川2号機は再稼働審査時に合わせてバックフィットを扱っている点異なる。このため、大飯3/4号機のまとめ資料で参照している既工認として引用している箇所については、内容に応じて泊3号機として適切な表現とした。</p> <p>(4) 対象燃料が異なる。（大飯3/4号機：ステップ1およびステップ2燃料、泊3号機：ステップ2燃料およびMOX燃料）</p>			

JEAG4601-1987 原子力発電所耐震設計技術指針（抜粋）

(BWR)  
 地震応答解析において、燃料集合体は上端を上部格子板に下端を炉心支持板と制御棒案内管にそれぞれ単純支持された弾性はりとして取扱っている。また、実際の炉心は、この燃料集合体が数百本集合したものであるが、すべての燃料集合体の運動は同相で振動するものとして単一の弾性はりで炉心を代表したモデルを採用している。

(PWR)  
 燃料集合体は、炉心内で上下部ノズルを上下部炉心板にて支持され間隔δで配列されている。したがって、地震時に燃料集合体がδ以上の振動をする場合には、バップル板と集合体の支持格子間に衝突が発生し、順次隣接する集合体に衝突が波及しながら複雑な非線形の群振動の応答をする。



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
目次	目次	目次	
1. はじめに	1. はじめに	1. 概要	
2. 基本方針	2. 基本方針	2. 改正規則に対する対応の方針	
2.1 要求事項の整理	2.1 要求事項の整理	2.1 改正規則において迫力日された事項	
2.2 追加要求事項の適合性のための設計方針	2.2 追加要求事項の適合性のための設計方針	2.2 改正規則への適合性	
		2.3 改正規則関係条文への適合性	
3. 追加要求事項に係る評価項目の選定	3. 追加要求事項に係る評価項目の選定	3. 炉心内における燃料被覆管閉じ込め機能において地震動の影響を考慮すべき項目	
4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針	4. 地震時の燃料被覆管閉じ込め機能評価方針	4. 荷重の組合せ及び許容応力	
<u>5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件</u>	<u>4.1 荷重の組合せ及び許容値</u>	5. 燃料被覆管応力評価	記載方針の相違
	<u>4.2 燃料被覆管応力評価の評価方針</u>	5.2 燃料被覆管応力評価の評価方針	・燃料被覆管閉じ込め機能の評価方針について、女川は「4. 燃料被覆管閉じ込め機能評価方針」、
	<u>4.3 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針</u>	6. 燃料被覆管累積疲労評価	「5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件」の項立てで記載している。
		6.1 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針	・泊は「4. 燃料被覆管閉じ込め機能評価方針」の中に「4.1 荷重の組合せ及び許容値」、「4.2 燃料被覆管応力評価の評価方針」及び「4.3 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針」と項立てで記載しているが、考慮すべき荷重と許容値等の評価方針を記載している点で同じ。
6. 評価手法	5. 評価手法	5. 燃料被覆管応力評価	
6.1 応力評価手法	5.1 燃料被覆管応力評価手法	5.3 燃料被覆管応力評価方法	
6.2 疲労評価手法	5.2 燃料被覆管累積疲労評価手法	6. 燃料被覆管累積疲労評価	
		6.2 既許可における燃料被覆管累積疲労評価方法	
		6.3 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価（本規則改正後の評価）	
		6.4 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法の妥当性	
7. 評価結果	6. 評価結果（追而：基準地震動確定後、追加された地震動の評価結果を反映する。）	5. 燃料被覆管応力評価	
		5.4 評価例	
		6. 燃料被覆管累積疲労評価	
		6.5 評価例	
8. まとめ	7. まとめ	7. まとめ	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
添付資料1：燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について 添付資料2：燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて	添付資料1 燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について	5.1 燃料被覆管に発生する応力	燃料設計手法等の相違 （BWR/PWRそれぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施。以下同様） ・女川添付資料2：PWRは下部端栓応力を評価する設計ではないため左記の添付資料は無い。（PWR燃料の下部端栓はBWR燃料のように下部端栓をタイプレートで拘束される構造ではないため評価対象としていない。なお、PWRの燃料はBWRの燃料被覆管下部端栓溶接部のように切り欠き形状を含む複雑な形状ではなく、有限要素法を用いた詳細な解析を要さない）
添付資料3：地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料4：地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について	添付資料2 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料3 地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について 添付資料4 <u>Langer and O' Donnellの設計疲労曲線</u> 添付資料5 <u>レインフロー法による計数方法</u> 添付資料6 <u>レインフロー法による繰り返し回数の計数結果</u>	別添資料4 燃料被覆管応力評価結果 別添資料6 燃料被覆管疲労評価結果 添付資料2 Langer and O' Donnellの設計疲労曲線 添付資料3 レインフロー法による計数方法 別添資料5 レインフロー法による繰り返し回数の計数結果	記載方針の相違 ・設計疲労曲線については、泊は大飯同様添付資料としている（女川は添付資料4の中で設計疲労曲線を示している） 燃料耐震評価手法の相違 ・PWRは燃料集合体の地震応答解析結果に基づき実際に繰り返し回数を計数



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付資料5：燃料被覆管応力評価における許容応力について                      添付資料6：燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について</p> <p>添付資料7：下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて</p>	<p>添付資料7 燃料被覆管応力評価における許容応力について</p>	<p>図-2 A型燃料被覆管の耐力（ジルコニウム基合金）</p>	<p>しているため、泊では添付資料5及び6にてその方法及び計数結果を示している。</p> <p>燃料設計手法等の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川添付資料6：PWRの応力評価はモンテカルロ法を用いる評価手法ではないため左記の添付資料は無い。（なおPWRでは被覆管応力評価の許容値を95%確率×95%信頼度下限値を考慮して設定しており、その旨を泊3の添付資料7に記載している）</li> <li>・女川添付資料7：添付資料7は女川が許認可コードと異なるコードを使用しているが故に添付している資料だが、泊3号機は許認可コードと異なるコードは使用していないため左記の添付資料は無い。（なお、PWR燃料の下部端栓はBWR燃料のように下部端栓をタイプレートで拘束される構造ではないため評価対象としていない。また、PWRの燃料はBWRの燃料被覆管下部端栓溶接部のように切り欠き形状を含む複雑な形状ではなく、有限要素法を用いた詳細な解析を要さない）</li> </ul>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止 (別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付資料8：9×9燃料（B型）における地震時鉛直方向加                      速度の考慮方法について</p>			<p>燃料設計手法等の相違                      ・女川添付資料8：BWR燃                      料設計手法に関するもの                      であるため、左記の添付                      資料は泊には無い。(BWR                      は、考慮する応力とし                      て、B型ではA型と異なり                      鉛直地震加速度に基づく                      応力を他の応力項目に加                      味している。一方、PWRで                      はA型とB型で考慮する                      応力項目に違いはない。)</p>
<p>添付資料9：評価部位の選定理由について</p>			<p>燃料設計手法等の相違                      ・女川添付資料9：BWR燃                      料設計手法に関するもの                      であるため泊には無い。                      (PWR 燃料の下部端栓は                      BWR燃料のように下部端栓                      をタイプレートで拘束さ                      れる構造ではないため評                      価対象としていない。ま                      た、支持格子部と支持格                      子間も含めた燃料被覆管                      全体をモデル化した応力                      解析モデルにて地震時応                      力を求めているため、評                      価部位（スペーサ部とス                      ペーサ間）を分けて計算                      式で応力を計算している                      BWRとは異なる。なお、燃                      料被覆管に発生する各応                      力(地震地応力、接触圧、                      内外圧差等)が最大となる                      軸方向位置はそれぞれ異                      なるのに対し保守的に同                      一の軸方向位置で最大に</p>

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付資料10：燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について</p> <p>添付資料11：改正規則の影響について</p>	<p>添付資料8：改正規則の影響について</p> <p>(別添資料)  <u>別添資料1 泊発電所 原子炉設置変更許可申請書の抜粋</u>  <u>別添資料2 燃料集合体の耐震計算方法</u>  <u>別添資料3 燃料被覆管応力評価方法及び疲労評価方法に係る公開文献の抜粋</u></p>	<p>添付資料1 大飯3号炉及び4号炉 「地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について」に伴う条文の整理表</p> <p>(別添資料)                  別添資料1 大飯発電所発電用原子炉設置変更許可申請書の抜粋                  別添資料2 燃料集合体の耐震計算書の抜粋                  別添資料3 燃料被覆管応力評価方法及び疲労評価方法に係る公開文献の抜粋</p>	<p>なると仮定して評価している。)</p> <p>燃料設計手法等の相違                  ・女川添付資料10：添付資料10はモンテカルロ法と決定論的手法との保守性の違いを比べた資料であり、BWR燃料設計手法に関するものであるため左記の添付資料は泊にはない。なおPWRでは被覆管応力評価の許容値を95%確率×95%信頼度下限値を考慮して設定しており、その旨を泊3の添付資料7に記載している。</p> <p>記載方針の相違                  ・燃料設計手法に関しては、泊は大飯と同様PWRの手法を用いており大飯同様、既許可、公開文献等の手法を用いることから、泊では別添として既許可等を抜粋している。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>1. はじめに</p> <p>燃料被覆管の応力評価に関しては、燃料の健全性を確認する観点から、原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力、熱応力等を考慮し、解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また、工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において、崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から、地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。</p> <p>一方、平成29年8月30日に原子力規制委員会にて「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」（以下、「設置許可基準規則」という）及び「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」（以下、「技術基準規則」という）の改正が決定、平成29年9月11日に施行され、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。</p> <p>本資料では、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び<u>地震動の暫定値<sup>※1</sup></u>による基準適合性の見通しについて説明する。なお、詳細評価については<u>工事計画認可申請</u>で説明する。</p> <p><u>※1：平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</u></p>	<p>1. はじめに</p> <p>燃料被覆管の応力評価に関しては、燃料の健全性を確認する観点から、原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類二（応力評価）において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力、熱応力等を考慮し、解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また、工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類二（地震時強度評価）において、崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から、地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。</p> <p>一方、平成29年8月30日に原子力規制委員会にて「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」（以下「設置許可基準規則」という。）及び「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」（以下「技術基準規則」という。）の改正が決定、平成29年9月11日に施行され、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。</p> <p>本資料では、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針及び<u>基準地震動</u>による基準適合性の見通しについて説明する。なお、詳細評価については<u>設計及び工事計画認可申請段階</u>で説明する。</p>	<p>1. 概要</p> <p>平成29年8月30日に原子力規制委員会にて「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」（以下、「設置許可基準規則」という）の改正が決定、平成29年9月11日に施行され、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持についての要求が追加された。</p> <p>本資料は、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について説明する資料である。</p>	<p>差異の説明</p> <p>評価方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川は当初申請時の地震動による評価を記載</li> <li>・泊は、全ての地震動による評価を記載予定（島根と同様）</li> </ul>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>2. 基本方針</p> <p>2.1 要求事項の整理</p> <p>設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条を第2.1-1表に、また、技術基準規則第5条及び技術基準規則の解釈第5条を第2.1-2表に示す。</p> <p>なお、本規則改正に伴う要求事項については、「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日 原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。</p> <p>『…地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として、より精緻化する観点から、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある1次応力及び2次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。</p> <p>よって、原子力規制庁としては、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動Ssの地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることを新たに要求し、耐震重要度分類Sクラスの耐震設計の考え方にならって、その判断基準として、基準地震動Ssの地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること、また、弾性設計用地震動Sdの地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』</p>	<p>2. 基本方針</p> <p>2.1 要求事項の整理</p> <p>設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条を表2-1に、また、技術基準規則第5条及び技術基準規則の解釈第5条を表2-2に示す。</p> <p>なお、本規則改正に伴う要求事項については、「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日 原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。</p> <p>『…地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る評価として、より精緻化する観点から、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある1次応力及び2次応力を加味した評価を実施することを求める必要がある。</p> <p>よって、原子力規制庁としては、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動Ssの地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることを新たに要求し、耐震重要度分類Sクラスの耐震設計の考え方にならって、その判断基準として、基準地震動Ssの地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計引張強さを下回ること、また、弾性設計用地震動Sdの地震による1次応力を加味した運転状態における応力が設計降伏点を下回ることとしたい。』</p>	<p>2. 改正規則に対する対応の方針</p> <p>2.1 改正規則において追加された事項</p> <p>改正設置許可基準規則 第四条（地震による損傷の防止）において、炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおりとされた。</p> <p>【第1項（変更なし）】</p> <p>1 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</p> <p>【第1項解釈（追加）】</p> <p>一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいう。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。</p> <p>【第5項（追加）】</p> <p>5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>【第5項解釈（追加）】</p> <p>二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。</p> <p>（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等の一部を改正する規則H29.9.11施行）</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																														
<p>第2.1-1表 設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条 (1/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</td> <td>一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。</td> <td>解釈 追記</td> </tr> <tr> <td>2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> <tr> <td>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> <tr> <td>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> </tbody> </table>	設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考	設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈 追記	2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	-	変更 なし	3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし	4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし	<p>表2-1 設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条 (1/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</td> <td>一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることをいう。</td> <td>解釈 追記</td> </tr> <tr> <td>2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> <tr> <td>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> <tr> <td>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>-</td> <td>変更 なし</td> </tr> </tbody> </table>	設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考	設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることをいう。	解釈 追記	2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	-	変更 なし	3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし	4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし	<p>本規則改正に伴う要求事項は、「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日 原子力規制庁）」において以下のとおり示されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・要求事項は、「通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、地震時の荷重が負荷された時に燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できること」。</li> <li>・具体的には、燃料被覆管に1次応力と2次応力と地震応力が作用した場合でも、燃料被覆管の許容値以下であること。</li> </ul>	
設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考																															
設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。	解釈 追記																															
2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	-	変更 なし																															
3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし																															
4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし																															
設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考																															
設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまることをいう。	解釈 追記																															
2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	-	変更 なし																															
3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし																															
4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	-	変更 なし																															
<p>第2.1-1表 設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条 (2/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</td> <td>追加 要求 事項</td> </tr> </tbody> </table>	設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考	5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項	<p>表2-1 設置許可基準規則第4条及び設置許可基準規則の解釈第4条 (2/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</td> <td>二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</td> <td>追加 要求 事項</td> </tr> </tbody> </table>	設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考	5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項																				
設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考																															
5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項																															
設置許可基準規則 第4条（地震による損傷の防止）	設置許可基準規則の解釈 第4条（地震による損傷の防止）	備考																															
5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項																															

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																														
<p>第2.1-2表 技術基準規則第5条及び技術基準規則の解釈第5条</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="240 275 557 321">技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）</th> <th data-bbox="566 275 863 321">技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）</th> <th data-bbox="872 275 923 321">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="240 327 557 491">設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="566 327 863 491">-</td> <td data-bbox="872 327 923 491">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 497 557 743">2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="566 497 863 743">-</td> <td data-bbox="872 497 923 743">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 749 557 913">3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</td> <td data-bbox="566 749 863 913">-</td> <td data-bbox="872 749 923 913">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="240 919 557 1241">4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="566 919 863 1241">5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。</td> <td data-bbox="872 919 923 1241">追加 要求 事項</td> </tr> </tbody> </table>	技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）	備考	設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	-	変更なし	2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	-	変更なし	3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	-	変更なし	4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項	<p>表2-2 技術基準規則第5条及び技術基準規則の解釈第5条</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="982 275 1299 321">技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）</th> <th data-bbox="1308 275 1605 321">技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）</th> <th data-bbox="1614 275 1665 321">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="982 327 1299 491">設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="1308 327 1605 491">-</td> <td data-bbox="1614 327 1665 491">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="982 497 1299 743">2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="1308 497 1605 743">-</td> <td data-bbox="1614 497 1665 743">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="982 749 1299 913">3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</td> <td data-bbox="1308 749 1605 913">-</td> <td data-bbox="1614 749 1665 913">変更なし</td> </tr> <tr> <td data-bbox="982 919 1299 1241">4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</td> <td data-bbox="1308 919 1605 1241">5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。</td> <td data-bbox="1614 919 1665 1241">追加 要求 事項</td> </tr> </tbody> </table>	技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）	備考	設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	-	変更なし	2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	-	変更なし	3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	-	変更なし	4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項		
技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）	備考																															
設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	-	変更なし																															
2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	-	変更なし																															
3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	-	変更なし																															
4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項																															
技術基準規則 第5条（地震による損傷の防止）	技術基準規則の解釈 第5条（地震による損傷の防止）	備考																															
設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。	-	変更なし																															
2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	-	変更なし																															
3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	-	変更なし																															
4 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	5 第4項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないことをいう。	追加 要求 事項																															



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>2.2 追加要求事項の適合性のための設計方針</p> <p>本規則改正に係る要求事項を満足し、追加要求事項への適合性を示すため、燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を定め、原子炉設置変更許可申請書に以下のとおり追記する。</p> <p>(本文)</p> <p>炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまるように設計する。</li> <li>基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないように設計する。</li> </ul> <p>(添付書類八)</p> <p>炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態にとどまる設計とする。</li> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさない設計とする。</li> </ul>	<p>2.2 追加要求事項の適合性のための設計方針</p> <p>本規則改正に係る要求事項を満足し、追加要求事項への適合性を示すため、燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を定め、発電用原子炉設置変更許可申請書に以下のとおり追記する。</p> <p>(本文)</p> <p>炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。</li> <li>基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさないように設計する。</li> </ul> <p>(添付書類八)</p> <p>炉心内の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆管の応答が全体的におおむね弾性状態に留まる設計とする。</li> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさない設計とする。</li> </ul>	<p>2.2 改正規則への適合性</p> <p>本規則改正に係る要求事項を満足し、規則への適合性を示すため、燃料被覆材の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を定め、発電用原子炉設置変更許可申請書に以下のとおり追記する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込め機能については、以下のとおり設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まる設計とする。</li> <li>基準地震動による地震力に対して、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさない設計とする。</li> </ul> <p>(本申請の発電用原子炉設置変更許可申請書 本文五号 口、発電用原子炉施設の一般構造 (1)耐震構造 (i)設計基準対象施設の耐震設計 H30.6.11申請)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まる設計とする。</li> <li>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能に影響を及ぼさない設計とする。</li> </ul> <p>(本申請の発電用原子炉設置変更許可申請書 添付書類八 1.2.8.1「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19日制定)」に対する適合 H30.6.11申請)</p> </div>	



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>(女川では右記に該当する資料は添付資料11に示している)</p>	<p>(泊では右記に該当する資料は添付資料8に示している)</p>	<p>2.3 改正規則関係条文への適合性</p> <p>本規則改正に伴う発電用原子炉設置変更許可申請（H30.6.11申請）における関係条文を整理した結果を添付資料1に示す。今回申請の関係条文は第三条～第十三条及び第十五条であるが、これらのうち第四条への適合性は2.2に示すとおりである。また、本規則改正に伴い変更されている第十五条への適合性を以下に示す。その他の関係条文については、発電用原子炉施設、設計基準対象施設または安全施設全般に関係するものであるが、添付資料1に示すとおり、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る本申請においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。</p> <p>○第十五条 炉心等</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>第十五条</p> <p>6 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。</p> <p>一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> </div> <p><u>規則への適合性</u></p> <p>本規則改正に伴い第十五条第6項は以下のとおり変更されている。本変更は記載の適正化であり、要求事項に変更はない。</p> <p>(変更前)</p> <p><u>通常運転時における発電用原子炉内の最高使用圧力</u>、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> <p>(変更後)</p> <p><u>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時</u>における発電用原子炉内の<u>圧力</u>、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> <p>本規則改正に伴い、発電用原子炉設置変更許可申請書本文五号の「口. 発電用原子炉施設の一般構造 (3)その他の主要な</p>	<p>※女川及び泊は添付資料に記載</p>



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
		<p>構造 (1)a. 設計基準対象施設 (j) 炉心等」の記載について以下のとおり適正化を行う。</p> <p>(従来の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時における原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとし、輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じない設計とする。</p> <p>(適正化後の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとし、輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じない設計とする。</p> <p>また、発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八の「原子炉設置変更許可申請に係る安全設計の方針」の記載について以下のとおり適正化を行う。</p> <p>(従来の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時における原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</p> <p>このため、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準を満足できる設計とする。</p> <p>(1) 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの溶融点未満であること。</p> <p>(2) 燃料要素内圧は、通常運転時において、燃料被覆材の外向きのクリープ変形により燃料材と燃料被覆材のギャップが増加する圧力を超えないこと。</p> <p>(3) 燃料被覆材応力は、燃料被覆材の耐力以下であること。</p> <p>(4) 燃料被覆材に生じる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。</p> <p>(5) 累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
		<p>(適正化後の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における原子炉内の圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</p> <p>～以下従来と同じ～</p> <p>なお、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る本申請においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、炉心等に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。</p>	



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>3. 追加要求事項に係る評価項目の選定</p> <p>BWR燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる8行8列型の燃料集合体について（昭和49年12月25日原子炉安全専門審査会）」に従い、構造強度設計で以下を考慮している。なお、損傷限界は1%塑性歪及び沸騰遷移であり、それぞれ最大線出力密度と最小限界出力比を通常運転時の熱的制限値として管理することで損傷限界に至らないことを確認しているため、地震の影響は問題とならない。</p> <p>(1)被覆管にかかる応力は、設計応力強さ限界を超えないこと。 (2)累積疲労サイクル数は、設計疲労寿命を超えないこと。 (3)使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。</p> <p>上記のうち、(3)の燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないための以下の配慮は地震の影響が問題とならないことから評価対象としない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料被覆管製造時における残留応力除去</li> <li>スペーサによる燃料棒の間隔保持及び燃料棒の軸方向伸縮を拘束しない接触圧保持</li> <li>上部タイプレートを通して燃料棒の軸方向伸びを自由に逃げられるようにすること</li> <li>スペーサ等によるウォータロッドと燃料棒の軸方向伸びの差への処置</li> </ul>	<p>3. 追加要求事項に係る評価項目の選定</p> <p>これまで、燃料被覆管の閉じ込め機能に関してはPWR燃料では「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日原子力安全委員会了承）」及び「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日原子炉安全専門審査会）」に基づき、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準（以下「5基準」という。）を満足できるように設計することとしている。</p> <p>(1)燃料中心最高温度は、二酸化ウラン、ガドリニア入り二酸化ウラン及びウラン・プルトニウム混合酸化物それぞれの溶融点未満であること。 (2)燃料棒内圧は、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。 (3)被覆管応力は、被覆材の耐力以下であること。 (4)被覆管に生じる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。 (5)累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。 (既許可の原子炉設置変更許可申請書添付書類八)</p> <p>本規則改正に伴う要求事項（2.1参照）は、上記の5基準のうち(3)応力を対象としたものであるが、2.2で示した設計方針を満足するための具体的な要求事項を明確化するため、以上の5基準のうち、応力以外の項目も含めて、地震による影響を考慮すべき項目を検討する。</p> <p>5基準に対する地震動の影響は以下のとおりである。</p> <p>(1)「燃料中心最高温度」及び(2)「燃料棒内圧」 「燃料中心最高温度」及び「燃料棒内圧」は、出力変化に依存するものである。一方、地震により生じるのは応力の増加といった機械的な変化であり、出力の著しい変化は起こらないため、地震動の考慮による影響はない。</p> <p>(3)「燃料被覆管応力」</p>	<p>3. 炉心内における燃料被覆管閉じ込め機能において地震動の影響を考慮すべき項目</p> <p>これまで、燃料被覆管の閉じ込め機能に関してはPWR燃料では「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日原子力安全委員会了承）」及び「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日原子炉安全専門審査会）」に基づき、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準（以下「5基準」という。）を満足できるように設計することとしている。</p> <p>(1)燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの溶融点未満であること。 (2)燃料要素内圧は、通常運転時において、燃料被覆材の外向きのクリープ変形により燃料材と燃料被覆材のギャップが増加する圧力を超えないこと。 (3)燃料被覆材応力は、燃料被覆材の耐力以下であること。 (4)燃料被覆材に生じる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。 (5)累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。 (既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八) (以下、燃料要素内圧を「燃料棒内圧」、燃料被覆材を「燃料被覆管」と読み替える)</p> <p>本規則改正に伴う要求事項（2.1参照）は、上記の5基準のうち(3)応力を対象としたものであるが、2.2で示した設計方針を満足するための具体的な要求事項を明確化するため、以上の5基準のうち、応力以外の項目も含めて、地震による影響を考慮すべき項目を検討する。</p> <p>5基準に対する地震動の影響は以下のとおりである。</p> <p>(1)「燃料中心最高温度」及び(2)「燃料棒内圧」 「燃料中心最高温度」及び「燃料棒内圧」は、出力変化に依存するものである。一方、地震により生じるのは応力の増加といった機械的な変化であり、出力の著しい変化は起こらないため、地震動の考慮による影響はない。</p> <p>(3)「燃料被覆管応力」</p>	<p>燃料設計手法の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>BWRとPWRは従来からそれぞれの安全専門審査会内規に基づき燃料設計を行っているため、燃料設計手法の相違により記載内容が異なる箇所（評価方針・評価結果等）については大飯3/4号機と比較する。以下、この比較表において同じ。</li> </ul> <p>【大飯】 申請対象燃料の相違</p>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用し、また、地震動が継続する間、繰り返し応力として作用するため、(1)及び(2)について地震影響を考慮した評価を行う。</p>	<p>地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用するため、影響を考慮する必要がある。</p> <p>(4)「燃料被覆管歪」                      運転時の異常な過渡変件事象において発生する円周方向の燃料被覆管引張歪はペレットと燃料被覆管の機械的相互作用（Pellet Cladding Mechanical Interaction：PCMI）による歪が支配的であり、地震により燃料被覆管に発生する変位は軸方向に作用するものであることから円周方向引張歪への影響はない。</p> <p>(5)「累積疲労サイクル（燃料被覆管累積疲労）」                      地震動によって燃料被覆管には外力が作用し、地震動が継続する間、繰り返し応力として作用するため、疲労評価への影響を考慮する必要がある。</p> <p>以上のとおり、燃料被覆管閉じ込め機能評価において地震動の影響を考慮すべき項目は「燃料被覆管応力」及び「燃料被覆管疲労」である。</p>	<p>地震動により燃料被覆管に外力として応力が作用するため、影響を考慮する必要がある。</p> <p>(4)「燃料被覆管歪」                      運転時の異常な過渡変件事象において発生する円周方向の燃料被覆管引張歪はペレットと燃料被覆管の機械的相互作用（Pellet Cladding Mechanical Interaction：PCMI）による歪が支配的であり、地震により燃料被覆管に発生する変位は軸方向に作用するものであることから円周方向引張歪への影響はない。</p> <p>(5)「累積疲労サイクル（燃料被覆管累積疲労）」                      地震動によって燃料被覆管には外力が作用し、地震動が継続する間、繰り返し応力として作用するため、疲労評価への影響を考慮する必要がある。</p> <p>以上のとおり、燃料被覆管閉じ込め機能評価において地震動の影響を考慮すべき項目は「燃料被覆管応力」及び「燃料被覆管疲労」である<sup>1</sup>。</p> <hr/> <p><u>1 今回の規則改正で追加された要求事項は、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に対するものであり、今回の規則改正による制御棒の挿入機能及び崩壊熱除去可能な形状の維持の評価への影響はない。</u></p>	<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バックフィット申請タイミングの相違による差異。大飯の記載は、認可済み工認（再稼働時の工認）への影響について言及したものである。一方、泊は今後の再稼働設工認で制御棒挿入機能等の評価を実施する。このため、左記の記載は泊には不要。</li> </ul>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>4. 燃料被覆管閉じ込め機能評価方針</p> <p>第4-1図に燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー、第4-2図に評価対象部位（スペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部）を示す。</p> <p>燃料被覆管閉じ込め機能の評価は、燃料棒熱・機械設計解析コードから得られる被覆管温度及び燃料棒内圧のほか、炉心条件、地震動<sup>※2</sup>に対する燃料集合体の応答加速度等を入力値とした応力評価及び疲労評価により行う。被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、被覆管寸法等については不確かさを考慮した値を用いる。なお、弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss（7波）を用いた応力評価及び疲労評価の詳細手法については工事計画認可申請で説明する。</p> <p>また、燃料集合体の浮き上がりの可能性については、冷却材による流体力、水平方向加速度（10G）及び鉛直方向加速度（2G）においても、浮き上がりの影響がない（燃料支持金具から外れない）ことが過去の解析評価により確認されている<sup>[1]</sup>。上記に加え、制御棒挿入時の突き上げや燃料と上部格子板との摩擦を考慮した場合においても、ほぼ同様の結果となること別の試験及び解析で確認されている<sup>[2]</sup>。</p> <p>※2：平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動 Sd 及び基準地震動 Ss</p>	<p>4. 燃料被覆管閉じ込め機能評価方針</p> <p>4.1 荷重の組合せ及び許容値</p> <p>3.で示した、燃料被覆管閉じ込め機能評価において地震動の影響を考慮すべき項目である「燃料被覆管応力」及び「燃料被覆管疲労」の評価に対して考慮する荷重の組合せ及び許容値は以下のとおりとする。これらの荷重の組合せ及び許容値は、応力については2.1で示した本規則改正に伴う要求事項のとおりとしており、また、疲労については、従来の5基準評価における評価条件に対し設計地震荷重を追加し、許容値については従来同様としている。それぞれの評価については次節以降で詳述する。</p>	<p>4. 荷重の組合せ及び許容応力</p> <p>3.で示した、燃料被覆管閉じ込め機能評価において地震動の影響を考慮すべき項目である「燃料被覆管応力」及び「燃料被覆管疲労」の評価に対して考慮する荷重の組合せ及び許容値は以下のとおりとする。これらの荷重の組合せ及び許容値は、応力については2.1で示した本規則改正に伴う要求事項のとおりとしており、また、疲労については、従来の5基準評価における評価条件に対し設計地震荷重を追加し、許容値については従来同様としている。それぞれの評価については次章以降で詳述する。</p>	<p>【大飯】 記載表現の相違</p>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違(実質的な相違なし)

第4条 地震による損傷の防止(別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持:本文)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																												
<p>第4-1図 燃料被覆管閉じ込め機能評価フロー</p>	<p>表4-1 荷重の組合せ及び許容値</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)</td> <td>応力 運転時荷重(注2) +設計地震荷重</td> <td>体積平均 相当応力(注3)</td> <td>Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)</td> </tr> <tr> <td>疲労</td> <td>種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重</td> <td>累積損傷 係数</td> <td>ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命 以下であること(注5)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) JEAC 4601補-1984より、「通常運転時」は「運転状態Ⅰ」に相当し、「運転時の異常な過渡変化時」は「運転状態Ⅱ」を包括した状態である。また、JEAC 4601-1991追補版では「運転状態Ⅰ」及び「運転状態Ⅱ」とSd地震動及びSa地震動の組合せに対する許容応力状態はそれぞれⅢS及びⅣSとされている。JEAC 4601-1991追補版では許容応力状態ⅢS及びⅣSには崩壊熱の除去が可能な形状を保つことが要求されているが、改正規則では、閉じ込め機能維持が要求されることから、1次+2次応力評価及び疲労評価を新たに実施する。</p> <p>(注2) 運転時荷重には通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の荷重を考慮する。</p> <p>(注3) 燃料被覆管に発生する応力には、一次応力(内外圧差による応力、水力振動による応力及び地震による応力)と、二次応力(ペレット-燃料被覆管相互作用による応力及び熱応力)があり、これらは燃料被覆管の内厚方向に分布を有している。体積平均相当応力とは燃料被覆管にかかる合応力を体積の重みを付けて平均したものである。</p> <p>(注4) 種々の設計過渡条件として起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時を考慮する。</p> <p>(注5) 設計疲労曲線にはLanger and O'Donnellの曲線を使用する。</p> <p>燃料被覆管応力評価の許容値について、上記表のとおり、弾性設計用地震動に対して耐力(Sy)、基準地震動に対して設計引張強さ(Su)であるが、基準地震動により生じる燃料被覆管応力は弾性設計用地震動により生じる応力を包含するため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に基準地震動により発生する応力を加えた場合でも耐力以下となることを確認することにより、弾性設計用地震動に対する要求も満足する。</p>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)	応力 運転時荷重(注2) +設計地震荷重	体積平均 相当応力(注3)	Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)	疲労	種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重	累積損傷 係数	ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命 以下であること(注5)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td rowspan="2">通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)</td> <td>応力</td> <td>運転時荷重(注2) +設計地震荷重</td> <td>Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)</td> </tr> <tr> <td>疲労</td> <td>種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重</td> <td>累積損傷 係数</td> <td>ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命以 下であること(注5)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) JEAC 4601補-1984より、「通常運転時」は「運転状態Ⅰ」に相当し、「運転時の異常な過渡変化時」は「運転状態Ⅱ」を包括した状態である。また、JEAC 4601-1991追補版では「運転状態Ⅰ」及び「運転状態Ⅱ」とSd地震動及びSa地震動の組合せに対する許容応力状態はそれぞれⅢS及びⅣSとされている。JEAC 4601-1991追補版では許容応力状態ⅢS及びⅣSには崩壊熱の除去が可能な形状を保つことが要求されているが、改正規則では、閉じ込め機能維持が要求されることから、1次+2次応力評価及び疲労評価を新たに実施する。</p> <p>(注2) 運転時荷重には通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の荷重を考慮する。</p> <p>(注3) 燃料被覆管に発生する応力には、一次応力(内外圧差による応力、水力振動による応力及び地震による応力)と、二次応力(ペレット-燃料被覆管相互作用による応力及び熱応力)があり、これらは燃料被覆管の内厚方向に分布を有している。体積平均相当応力とは燃料被覆管にかかる合応力を体積の重みを付けて平均したものである。</p> <p>(注4) 種々の設計過渡条件として起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時を考慮する。</p> <p>(注5) 設計疲労曲線にはLanger and O'Donnellの曲線を使用する。</p> <p>燃料被覆管応力評価の許容値について、上記表のとおり、弾性設計用地震動に対して耐力(Sy)、基準地震動Ssに対して設計引張強さ(Su)であるが、基準地震動により生じる燃料被覆管応力は弾性設計用地震動により生じる応力を包含するため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に基準地震動により発生する応力を加えた場合でも耐力以下となることを確認することにより、弾性設計用地震動に対する要求も満足する。</p>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)	応力	運転時荷重(注2) +設計地震荷重	Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)	疲労	種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重	累積損傷 係数	ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命以 下であること(注5)	<p>【大飯との差異】なし</p>
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																											
燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)	応力 運転時荷重(注2) +設計地震荷重	体積平均 相当応力(注3)	Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)																											
	疲労	種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重	累積損傷 係数	ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命 以下であること(注5)																											
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																											
燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること(注1)	応力	運転時荷重(注2) +設計地震荷重	Sd地震動時 :耐力(Sy) Sa地震動時 :設計引張強さ(Su)																											
		疲労	種々の設計過渡条件(注4) +設計地震荷重	累積損傷 係数	ASME Sec. IIIの概念 による設計疲労寿命以 下であること(注5)																										
<p>第4-2図 評価対象部位(イメージ)</p>																															



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																					
<p>5. 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管応力評価条件                      「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日 原子力規制庁）」を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件を表5-1に示す。</p> <p>第5-1表 追加要求事項を踏まえた燃料被覆管の応力評価条件</p> <table border="1" data-bbox="210 493 943 674"> <thead> <tr> <th>運転状態</th> <th>要求機能</th> <th>考慮すべき応力<sup>※3</sup>と地震動</th> <th>許容応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">地震時</td> <td rowspan="2">燃料被覆管の閉じ込め機能</td> <td>一次応力 (Sd を考慮) +二次応力 (Sd を考慮)</td> <td>降伏応力 (Sy)</td> </tr> <tr> <td>一次応力 (Ss を考慮) +二次応力 (Ss を考慮)</td> <td>引張強さ (Su)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※3：考慮すべき応力には熱応力を含む（添付資料1参照）</p> <p>なお、既許認可より実施している第5-2表に示す応力評価条件についても引き続き評価を行う。</p> <p>第5-2表 既許認可より実施している燃料被覆管の応力評価条件</p> <table border="1" data-bbox="210 898 943 1094"> <thead> <tr> <th>運転状態</th> <th>要求機能</th> <th>考慮すべき応力</th> <th>許容応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時</td> <td rowspan="2">燃料被覆管の 閉じ込め機能</td> <td>一次応力</td> <td>降伏応力 (Sy)</td> </tr> <tr> <td>一次応力+二次応力<sup>※3</sup></td> <td>引張強さ (Su)</td> </tr> <tr> <td>地震時</td> <td>崩壊熱除去可能な 形状の維持</td> <td>一次応力</td> <td>0.7Su</td> </tr> </tbody> </table> <p>評価対象燃料は、原子炉設置変更許可済の9×9燃料（A型）及び9×9燃料（B型）とする。</p>	運転状態	要求機能	考慮すべき応力 <sup>※3</sup> と地震動	許容応力	地震時	燃料被覆管の閉じ込め機能	一次応力 (Sd を考慮) +二次応力 (Sd を考慮)	降伏応力 (Sy)	一次応力 (Ss を考慮) +二次応力 (Ss を考慮)	引張強さ (Su)	運転状態	要求機能	考慮すべき応力	許容応力	通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時	燃料被覆管の 閉じ込め機能	一次応力	降伏応力 (Sy)	一次応力+二次応力 <sup>※3</sup>	引張強さ (Su)	地震時	崩壊熱除去可能な 形状の維持	一次応力	0.7Su	<p>4.2 燃料被覆管応力評価の評価方針                      今回の申請における燃料被覆管応力評価方針は以下のとおりである。</p> <p>表4-2 燃料被覆管応力評価の評価方針</p> <table border="1" data-bbox="973 499 1665 814"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td rowspan="2">通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時に閉 じ込め機能を維 持すること</td> <td>運転時荷重（通常運転時 及び運転時の異常な過渡 変化時の荷重） &lt;内外圧差による応力&gt; &lt;接触圧による応力&gt; &lt;熱応力&gt; &lt;水力振動による応力&gt;</td> <td rowspan="2">体積平均 相当応力</td> <td rowspan="2">Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup></td> </tr> <tr> <td>設計地震荷重 &lt;地震による応力&gt;</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないこと、すなわち燃料被覆管に破損が発生しないことは、許容値を引張強さとすることにより確認できる。一方、PWR燃料被覆管では、JEAGに規定されるように従来、保守的にSy（耐力）を許容値としており、この評価においても許容値として耐力を適用する。</p> <p>評価対象燃料は原子炉設置変更許可済の以下の燃料とする。</p> <p>表4-3 評価対象燃料</p> <table border="1" data-bbox="1032 1297 1614 1486"> <thead> <tr> <th></th> <th>燃料タイプ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)</td> <td>ステップ2燃料 <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup></td> </tr> <tr> <td>ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 <sup>(注3)</sup></td> </tr> <tr> <td>原子燃料工業製燃料 (B型燃料)</td> <td>ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup></td> </tr> </tbody> </table> <p>注1：信頼性向上燃料を含む                      注2：燃料集合体最高燃焼度 55,000 MWd/t                      注3：燃料集合体最高燃焼度 45,000 MWd/t。工事計画認可は未取得。</p>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時に閉 じ込め機能を維 持すること	運転時荷重（通常運転時 及び運転時の異常な過渡 変化時の荷重） <内外圧差による応力> <接触圧による応力> <熱応力> <水力振動による応力>	体積平均 相当応力	Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup>	設計地震荷重 <地震による応力>		燃料タイプ	三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)	ステップ2燃料 <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>	ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 <sup>(注3)</sup>	原子燃料工業製燃料 (B型燃料)	ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>	<p>5.2 燃料被覆管応力評価の評価方針                      今回の申請における燃料被覆管応力評価方針は以下のとおりである。</p> <table border="1" data-bbox="1724 510 2407 821"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td rowspan="2">通常運転時及び運転 時の異常な過渡変化 時に閉じ込め機能を 維持すること</td> <td>運転時荷重（通常運転時及 び運転時の異常な過渡変 化時の荷重） &lt;内外圧差による応力&gt; &lt;接触圧による応力&gt; &lt;熱応力&gt; &lt;水力振動による応力&gt;</td> <td rowspan="2">体積平均 相当応力</td> <td rowspan="2">Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup></td> </tr> <tr> <td>設計地震荷重 &lt;地震による応力&gt;</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能が損なわれるおそれがないこと、すなわち燃料被覆管に破損が発生しないことは、許容値を引張強さとすることにより確認できる。一方、PWR燃料被覆管では、JEAGに規定されるように従来、保守的にSy（耐力）を許容値としており、この評価においても許容値として耐力を適用する。</p>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び運転 時の異常な過渡変化 時に閉じ込め機能を 維持すること	運転時荷重（通常運転時及 び運転時の異常な過渡変 化時の荷重） <内外圧差による応力> <接触圧による応力> <熱応力> <水力振動による応力>	体積平均 相当応力	Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup>	設計地震荷重 <地震による応力>	<p>【大飯】                      記載方針の相違                      ・評価対象燃料の明確化                      （女川と同様）</p>
運転状態	要求機能	考慮すべき応力 <sup>※3</sup> と地震動	許容応力																																																					
地震時	燃料被覆管の閉じ込め機能	一次応力 (Sd を考慮) +二次応力 (Sd を考慮)	降伏応力 (Sy)																																																					
		一次応力 (Ss を考慮) +二次応力 (Ss を考慮)	引張強さ (Su)																																																					
運転状態	要求機能	考慮すべき応力	許容応力																																																					
通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時	燃料被覆管の 閉じ込め機能	一次応力	降伏応力 (Sy)																																																					
		一次応力+二次応力 <sup>※3</sup>	引張強さ (Su)																																																					
地震時	崩壊熱除去可能な 形状の維持	一次応力	0.7Su																																																					
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																																																				
燃料被覆管	通常運転時及び 運転時の異常な 過渡変化時に閉 じ込め機能を維 持すること	運転時荷重（通常運転時 及び運転時の異常な過渡 変化時の荷重） <内外圧差による応力> <接触圧による応力> <熱応力> <水力振動による応力>	体積平均 相当応力	Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup>																																																				
		設計地震荷重 <地震による応力>																																																						
	燃料タイプ																																																							
三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)	ステップ2燃料 <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>																																																							
	ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 <sup>(注3)</sup>																																																							
原子燃料工業製燃料 (B型燃料)	ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>																																																							
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																																																				
燃料被覆管	通常運転時及び運転 時の異常な過渡変化 時に閉じ込め機能を 維持すること	運転時荷重（通常運転時及 び運転時の異常な過渡変 化時の荷重） <内外圧差による応力> <接触圧による応力> <熱応力> <水力振動による応力>	体積平均 相当応力	Ss地震動時 ：耐力 (Sy) <sup>(注1)</sup>																																																				
		設計地震荷重 <地震による応力>																																																						

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																						
	<p>既許可の原子炉設置変更許可申請書添付書類八において、燃料被覆管応力評価の方針が以下のとおり記載されているが、上記表に示したとおり、今回申請の地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管応力評価方針と同様である。</p> <div data-bbox="973 535 1676 758" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(既許可の原子炉設置変更許可申請書 添付書類八)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・被覆管応力は、被覆材の耐力以下となる設計とする。</li> <li>・被覆管の応力として、内外圧差による応力、ペレットの接触圧による応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考えるが、これらの応力を組み合わせた場合でも被覆材の耐力を十分下回る。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、定常状態からの線出力密度の増加は過大なものとはならず、被覆管の応力を被覆材の耐力以下に保つことができる。</li> </ul> </div> <p>4.3 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針</p> <p>今回の申請における燃料被覆管累積疲労評価の方針は以下のとおりである。</p> <div data-bbox="1172 1045 1498 1071" style="text-align: center;"> <p>表4-4 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針</p> </div> <table border="1" data-bbox="973 1073 1676 1304"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td rowspan="2">通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること</td> <td>種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)</td> <td rowspan="2">累積損傷係数</td> <td rowspan="2">ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること<sup>(注)</sup></td> </tr> <tr> <td>設計地震荷重 (基準地震動Ss)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) 設計疲労曲線にはLanger and O'Donnellの曲線を使用する。</p> <p>既許可の原子炉設置変更許可申請書添付書類八において、燃料被覆管累積疲労評価の評価方針が以下のとおり記載されているが、上記表に示したとおり、今回申請の地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管累積疲労評価方針と同様である。</p> <div data-bbox="973 1711 1676 1816" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(既許可の原子炉設置変更許可申請書 添付書類八)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・累積疲労サイクルは設計疲労寿命以下となる設計とする。</li> <li>・設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnellの曲線を使用する。</li> </ul> </div>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること	種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)	累積損傷係数	ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること <sup>(注)</sup>	設計地震荷重 (基準地震動Ss)	<p>既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八において、燃料被覆管応力評価の方針が以下のとおり記載されているが、上記表に示したとおり、今回申請の地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管応力評価方針と同様である。</p> <div data-bbox="1724 525 2427 768" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書 添付書類八)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・被覆管応力は、被覆材の耐力以下となる設計とする。</li> <li>・被覆管の応力として、内外圧差による応力、ペレットの接触圧による応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考えるが、これらの応力を組み合わせた場合でも被覆材の耐力を十分下回る。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、定常状態からの線出力密度の増加は過大なものとはならず、被覆管の応力を被覆材の耐力以下に保つことができる。</li> </ul> </div> <p>6.1 燃料被覆管累積疲労評価の評価方針</p> <p>今回の申請における燃料被覆管累積疲労評価の方針は以下のとおりである。</p> <div data-bbox="1724 1087 2427 1289" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>要求事項</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>評価値</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料被覆管</td> <td rowspan="2">通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること</td> <td>種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)</td> <td rowspan="2">累積損傷係数</td> <td rowspan="2">ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること<sup>(注)</sup></td> </tr> <tr> <td>設計地震荷重 (基準地震動Ss)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) 設計疲労曲線にはLanger and O'Donnellの曲線を使用する。</p> </div> <p>既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八において、燃料被覆管累積疲労評価の評価方針が以下のとおり記載されているが、上記表に示したとおり、今回申請の地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管累積疲労評価方針と同様である。</p> <div data-bbox="1724 1711 2427 1816" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書 添付書類八)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・累積疲労サイクルは設計疲労寿命以下となる設計とする。</li> <li>・設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnellの曲線を使用する。</li> </ul> </div>	構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値	燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること	種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)	累積損傷係数	ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること <sup>(注)</sup>	設計地震荷重 (基準地震動Ss)	
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																					
燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること	種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)	累積損傷係数	ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること <sup>(注)</sup>																					
		設計地震荷重 (基準地震動Ss)																							
構成部品	要求事項	荷重の組合せ	評価値	許容値																					
燃料被覆管	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に閉じ込め機能を維持すること	種々の設計過渡条件 (起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時)	累積損傷係数	ASME Sec. IIIの概念による設計疲労寿命以下であること <sup>(注)</sup>																					
		設計地震荷重 (基準地震動Ss)																							



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>6. 評価手法</p> <p>6.1 応力評価手法<sup>※4</sup></p> <p>燃料被覆管応力評価は、燃料棒のスペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部の各位置について、せん断歪エネルギー説（von Mises理論）に基づき燃料被覆管の相当応力を求め、応力設計比<sup>※4</sup>を評価することにより行う。応力計算は、燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向（半径方向、円周方向及び軸方向）について解析し、それらより相当応力を評価する。燃料被覆管の応力評価に考慮する応力を添付資料1に示す。</p> <p>スペーサ間及びスペーサ部における応力評価では、燃料被覆管に発生する各応力についての厚肉円筒式を用いた弾性解析により、厚肉円筒式の入力変数の統計的分布に基づくモンテカルロ法（添付資料6参照）による統計評価を行う。このため応力設計比は、被覆管寸法、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、許容応力等の統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は、製造実績、実機運転データ等を考慮して設定した値を用いる。モンテカルロ法による評価では、1回の試行ごとに乱数が用いられ、統計的分布に従い設定された入力条件から1つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の95%確率上限値を求める。応力設計比の95%確率上限値が1以下であることで燃料の健全性を確認する。</p> <p>下部端栓溶接部における応力評価については、形状が複雑であることから有限要素法による決定論的評価を実施し、一次応力+二次応力と許容応力を比較して応力設計比が1以下であることを確認している。なお、既許認可における下部端栓溶接部の応力評価では簡便な扱いとしてピーク応力を含んだ値を用いていたが、今回申請ではピーク応力を含まない一次応力+二次応力にて応力評価を行う（添付資料2参照）。また、入力変数については、保守的な条件（変数の95%確率上下限値）を使用している。</p> <p>※4：応力設計比＝発生応力（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時にかかる応力+地震時にかかる応力）／許容基準値</p>	<p>5. 評価手法</p> <p>5.1 燃料被覆管応力評価手法</p> <p>燃料被覆管応力の評価方法は、既許可の原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載の参考文献及び既認可の工事計画認可申請書燃料集合体の耐震計算書に記載されている。</p> <p>4.2に示すとおり、考慮する荷重や評価値などの評価方針は既許可と同様であることから、今回申請している地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る応力は、<u>既許可の評価方法と同様の手法で評価する。</u></p> <p>(1) 概要</p> <p>4.2に記す方針を満足することを確認するため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に基準地震動による応力を加味した燃料被覆管応力を求め、これが燃料被覆管応力の評価基準である燃料被覆管の耐力以下となることを確認する。</p> <p>(2) 燃料被覆管応力評価方法</p> <p>燃料被覆管応力評価は、燃料棒健全性評価の方法として許可を受けている燃料棒挙動解析モデルによって行う（別添資料1及び別添資料3）。燃料被覆管応力評価の流れを図1に示す。</p> <p>(3) 地震時に燃料被覆管に生じる応力の評価方法</p> <p>燃料被覆管に生じる地震時応力については、燃料集合体の水平方向及び鉛直方向応答解析を実施し、得られた応答を入力として燃料棒に生じる応力の解析を実施して得られる結果を用いる。具体的な評価方法は、<u>別添資料2（燃料集合体の耐震計算方法）</u>によるが、<u>詳細については設計及び工事計画認可申請段階で説明する。</u></p>	<p>5. 燃料被覆管応力評価</p> <p>5.3 燃料被覆管応力評価方法</p> <p>燃料被覆管応力の評価方法は、既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載の参考文献及び既認可の工事計画認可申請書燃料集合体の耐震計算書に記載されている。</p> <p>5.2に示すとおり、考慮する荷重や評価値などの評価方針は既許可と同様であることから、今回申請している地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る応力は、<u>既許可の評価方法と同様の手法で評価する。また、基準地震動Ssによる燃料被覆管の応力については、既認可の工事計画認可申請書燃料集合体の耐震計算書に記載されている記載値を使用する。</u></p> <p>(1) 概要</p> <p>5.2に記す方針を満足することを確認するため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に基準地震動による応力を加味した燃料被覆管応力を求め、これが燃料被覆管応力の評価基準である燃料被覆管の耐力以下となることを確認する。</p> <p>(2) 燃料被覆管応力評価方法</p> <p>燃料被覆管応力評価は、燃料棒健全性評価の方法として許可を受けている燃料棒挙動解析モデルによって行う（別添資料1及び別添資料3）。燃料被覆管応力評価の流れを図1に示す。</p> <p>(3) 地震時に燃料被覆管に生じる応力の評価方法</p> <p>燃料被覆管に生じる地震時応力については、燃料集合体の水平方向及び鉛直方向応答解析を実施し、得られた応答を入力として燃料棒に生じる応力の解析を実施して得られる結果を用いる。具体的な評価方法は、<u>平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された工事計画の資料131713「燃料集合体の耐震計算書」、平成29年8月25日付け原規規発第1708255号にて認可された工事計画の資料131713「燃料集合体の耐震計算書」に記載の方法による（別添資料2）。</u></p>	<p>【大飯】</p> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大飯には既認可（再稼働時の工認）の記載値を使用するとの文言がある一方で、泊の既工認にはSsによる応力はないためこの文言は記載していないが、応力の評価手法を既許可と同じ手法で評価することについて、泊も大飯も同じ。</li> </ul> <p>【大飯】</p> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している。泊は今後の設工認段階で説明するため記載が異なるものの、</li> </ul>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>(4) 応力の組み合わせ</p> <p>燃料被覆管応力評価において考慮している応力は、「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」、「d. 水力振動による応力」、「e. 地震による応力」がある（添付資料1）。このうち、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において燃料被覆管に発生する応力は、運転時の異常な過渡変化時における線出力密度の上昇に伴うペレットの熱膨張により、ペレットと燃料被覆管の接触が増大することによるペレットと燃料被覆管の接触による応力が主である。このため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、線出力密度が上昇する事象として以下の2事象を選定し、炉心内の燃料の寿命期間中に燃料被覆管に発生する「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」を組み合わせた最大の応力を評価する。</p> <p>① 原子炉の出力運転中、ほう素の異常な希釈に伴う反応度添加を補償するよう自動制御された制御棒クラスタが炉心内に自動挿入され、出力分布の歪みが大きくなる「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」事象</p> <p>② 原子炉の出力運転中、制御棒クラスタの異常な引き抜きによる原子炉出力の上昇及び出力分布の変化を生じる「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」事象</p> <p>このように評価された「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」に、更に「d. 水力振動による応力」、「e. 地震による応力」を組み合わせ、最終的に体積平均の相当応力を算出し耐力と比較する。なお、上述している応力の組み合わせについては、許可を受けた原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載されている（別添資料1）。</p> <p>燃料被覆管に生じる応力は、上述のa～eまでの応力を組み合わせた合計応力が、内面から外面へと連続的に変化している。燃料被覆管に生じる応力が連続的かつ燃料被覆管が</p>	<p>(4) 応力の組み合わせ</p> <p>燃料被覆管応力評価において考慮している応力は、「5.1 燃料被覆管に発生する応力」にて述べたとおり「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」、「d. 水力振動による応力」、「e. 地震による応力」がある。このうち、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において燃料被覆管に発生する応力は、運転時の異常な過渡変化時における線出力密度の上昇に伴うペレットの熱膨張により、ペレットと燃料被覆管の接触が増大することによるペレットと燃料被覆管の接触による応力が主である。このため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、線出力密度が上昇する事象として以下の2事象を選定し、炉心内の燃料の寿命期間中に燃料被覆管に発生する「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」を組み合わせた最大の応力を評価する。</p> <p>① 原子炉の出力運転中、ほう素の異常な希釈に伴う反応度添加を補償するよう自動制御された制御棒クラスタが炉心内に自動挿入され、出力分布の歪みが大きくなる「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」事象</p> <p>② 原子炉の出力運転中、制御棒クラスタの異常な引き抜きによる原子炉出力の上昇及び出力分布の変化を生じる「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」事象</p> <p>このように評価された「a. 内外圧差による応力」、「b. 接触圧による応力」、「c. 熱応力」に、更に「d. 水力振動による応力」、「e. 地震による応力」を組み合わせ、最終的に体積平均の相当応力を算出し耐力と比較する。なお、上述している応力の組み合わせについては、許可を受けた発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載されている（別添資料1）。</p> <p>燃料被覆管に生じる応力は、上述のa～eまでの応力を組み合わせた合計応力が、内面から外面へと連続的に変化して</p>	<p>具体的な評価手法は大飯も含めて先行 PWR と同じ。</p> <p>【大飯】 記載方針の相違 ・泊は女川同様、燃料被覆管応力評価に考慮している応力について添付資料として整理している</p>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>延性材料であることから燃料被覆管に発生する応力が耐力を超えても直ちに破損しないことを考慮して、燃料被覆管全体としての変形を抑えることにより燃料被覆管の破損を防止するため、燃料被覆管応力に体積平均相当応力を用いて平均的な挙動として捉え、燃料被覆管耐力で制限する。</p> <p>なお、「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日原子炉安全専門審査会）に、燃料被覆管の応力は「体積平均の相当応力」を「耐力」と比較することで健全性を確認することが記載されている。</p> <p>ここで、体積平均相当応力とは、燃料被覆管にかかる合計応力を体積の重みを付けて平均したものであり、<u>既認可</u>の工事計画認可申請書の燃料集合体の耐震計算書における応力評価においても用いている方法である。具体的には以下に示すとおりである。</p> <p>まず、燃料被覆管任意半径 r における相当応力 <math>\sigma_{eff}(r)</math> は以下の式で与えられる。</p> $\sigma_{eff}(r) = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$ <p>これを軸方向単位長さ当たり、半径方向に体積積分（あるいは体積平均）をとり、体積平均相当応力 <math>\sigma_{eff}(r)</math> を以下の式で求める。</p> $\sigma_{eff} = \frac{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_{eff}(r) dz \cdot rd\theta \cdot dr}{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 dz \cdot rd\theta \cdot dr}$ $= \frac{2 \int_{r_i}^{r_o} r \cdot \sigma_{eff}(r) dr}{(r_o^2 - r_i^2)}$ <p>r、<math>\theta</math> 及び z は円筒座標系の変数であり、それぞれ径方向、周方向及び軸方向の座標値を表す。</p> <p>(5) 許容値（耐力）</p>	<p>いる。燃料被覆管に生じる応力が連続的かつ燃料被覆管が延性材料であることから燃料被覆管に発生する応力が耐力を超えても直ちに破損しないことを考慮して、燃料被覆管全体としての変形を抑えることにより燃料被覆管の破損を防止するため、燃料被覆管応力に体積平均相当応力を用いて平均的な挙動として捉え、燃料被覆管耐力で制限する。</p> <p>なお、「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日原子炉安全専門審査会）に、燃料被覆管の応力は「体積平均の相当応力」を「耐力」と比較することで健全性を確認することが記載されている。</p> <p>ここで、体積平均相当応力とは、燃料被覆管にかかる合計応力を体積の重みを付けて平均したものであり、工事計画認可申請書の燃料集合体の耐震計算書における応力評価においても用いている方法である（<u>別添資料2</u>）。具体的には以下に示すとおりである。</p> <p>まず、燃料被覆管任意半径 r における相当応力 <math>\sigma_{eff}(r)</math> は以下の式で与えられる。</p> $\sigma_{eff}(r) = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$ <p>これを軸方向単位長さ当たり、半径方向に体積積分（あるいは体積平均）をとり、体積平均相当応力 <math>\sigma_{eff}(r)</math> を以下の式で求める。</p> $\sigma_{eff} = \frac{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_{eff}(r) dz \cdot rd\theta \cdot dr}{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 dz \cdot rd\theta \cdot dr}$ $= \frac{2 \int_{r_i}^{r_o} r \cdot \sigma_{eff}(r) dr}{(r_o^2 - r_i^2)}$ <p>r、<math>\theta</math> 及び z は円筒座標系の変数であり、それぞれ径方向、周方向及び軸方向の座標値を表す。</p> <p>(5) 許容応力（耐力）</p>	<p>【大飯】 記載方針の相違 ・大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している。泊は既認可の工認の評価手法を引用しており記載表現は異なるものの、具体的な評価手法は大飯も含めて先行PWRと同じ。</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>応力評価における許容値として燃料被覆管の耐力を用いる。燃料被覆管の材料であるジルカロイ-4及びジルコニウム基合金の耐力は、高速中性子照射によつて増加するため、燃料寿命初期は未照射材の耐力と、それ以外の時点では照射材の耐力と比較する。これらの未照射材及び照射材の耐力基準値は、それぞれ耐力実績データに基づき、データのばらつきを考慮して導いた値である。最も評価結果の厳しいA型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料で適用した燃料被覆管の耐力を図2に示す。</p> <p>4.2及び本項に示したとおり、今回申請している地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管応力評価の評価方針及び評価方法は既許可の原子炉設置変更許可及び既認可の工事計画認可と同様であることから、燃料被覆管応力評価における技術的新規性はない。</p>	<p>応力評価における許容値として燃料被覆管の耐力を用いる。燃料被覆管の材料であるジルカロイ-4及びジルコニウム基合金の耐力は、高速中性子照射によつて増加するため、燃料寿命初期は未照射材の耐力と、それ以外の時点では照射材の耐力と比較する。これらの未照射材及び照射材の耐力基準値は、それぞれ耐力実績データに基づき、データのばらつきを考慮して導いた値であり、平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された工事計画の資料13-17-1-3「燃料集合体の耐震計算書」、平成29年8月25日付け原規規発第1708255号にて認可された工事計画の資料13-17-1-3「燃料集合体の耐震計算書」にて用いた値と同じである。大飯3/4号炉で最も評価結果の厳しいA型ウラン燃料(ステップ2燃料(信頼性向上燃料))で適用した耐力を図-2に示す。</p> <p>5.2及び本項に示したとおり、今回申請している地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管応力評価の評価方針及び評価方法は既許可の発電用原子炉設置変更許可及び既認可の工事計画認可と同様であることから、燃料被覆管応力評価における技術的新規性はない。</p>	<p>【大飯】                      記載方針の相違                      ・大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している一方で泊は記載がないものの、耐力基準を実績データに基づきデータのばらつきを考慮して導いた点は大飯も含めて先行PWRと同じ。                      ・泊の評価で用いる耐力基準は、既設置許可および燃料設計認可と同じ。                      評価結果の相違</p>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明												
<p>6.2 疲労評価手法</p> <p>燃料の疲労限界に対する設計基準は、累積損傷の法則（Minerの仮説）及びLanger-0' Donnellの考え方に基づく。具体的には炉内滞在期間8年を仮定した温度・圧力及び出力の予測サイクル<sup>※5</sup>による疲労に加え、地震動による繰り返し荷重を考慮し、累積疲労係数が1.0未満であることを確認する。疲労評価においては、一次応力と二次応力に加えてピーク応力を考慮する。また、地震荷重の繰り返し数は、建設時の評価に用いた60回とその倍の120回を用いて暫定的に影響を確認する。なお、詳細評価については、別途、等価繰り返し回数の検討結果を踏まえて工事計画認可申請にて行う。</p> <p>※5：予測サイクルを以下に示す。（原子炉設置変更許可申請書添付書類八より）</p> <table border="1" data-bbox="231 850 926 1102"> <thead> <tr> <th>サイクル条件</th> <th>予測サイクル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>室温から100%出力</td> <td>～4 / 年</td> </tr> <tr> <td>高温待機状態から100%出力</td> <td>～12 / 年</td> </tr> <tr> <td>50%出力から100%出力</td> <td>～60 / 年</td> </tr> <tr> <td>75%出力から100%出力</td> <td>～250 / 年</td> </tr> <tr> <td>100%出力から121%出力</td> <td>～0.5 / 年</td> </tr> </tbody> </table>	サイクル条件	予測サイクル	室温から100%出力	～4 / 年	高温待機状態から100%出力	～12 / 年	50%出力から100%出力	～60 / 年	75%出力から100%出力	～250 / 年	100%出力から121%出力	～0.5 / 年	<p>5.2 燃料被覆管累積疲労評価手法</p> <p>5.2.1 既許可における燃料被覆管累積疲労評価方法</p> <p>既許可における燃料被覆管累積疲労評価方法は、既許可の原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載の参考文献に記載されているとおり、ASME Sec. IIIの疲労評価手順（最大せん断応力説による疲労損傷評価）に基づいて実施する。以下、許可を受けた原子炉設置変更許可申請書の安全審査において確認されている評価方法の手順を示す（別添資料1及び別添資料3）。</p> <p>a. 応力繰り返しサイクル条件の設定</p> <p>燃料寿命中に想定される過渡条件について、3つに分類（起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時）してそれぞれの応力繰り返しサイクル数を設定する。</p> <p>b. 内外圧差による応力</p> <p>想定している3つの過渡条件ごとに以下のとおり実施する。</p> <p>(a) 燃料被覆管に発生する主応力成分（<math>\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z</math>）を温態停止時及び過渡条件時（冷態停止時、100%出力時（負荷追従運転）、運転時の異常な過渡変化時）について算出する。</p> <p>(b) ASME Sec. IIIの考え方に基づいて、温態停止時及び過渡条件時について、主応力差 <math> \sigma_r - \sigma_\theta ,  \sigma_\theta - \sigma_z ,  \sigma_z - \sigma_r </math> を求める。</p> <p>(c) 温態停止時の主応力差と過渡条件時の主応力差との幅を、疲労評価における繰り返し応力の全振幅と考慮して、大きい方の主応力差を最大値（下図の(i)）、小さい方の主応力差を最小値（下図の(ii)）として、（最大値－最小値）/ 2より片振幅<math>S_{alt}</math>（下図の(iii)）を算出する。</p> <p>(d) 燃料棒の寿命中の評価期間に対して上記の計算を行う。</p>	<p>6. 燃料被覆管累積疲労評価</p> <p>6.2 既許可における燃料被覆管累積疲労評価方法</p> <p>既許可における燃料被覆管累積疲労評価方法は、既許可の発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載の参考文献に記載されているとおり、ASME Sec. IIIの疲労評価手順（最大せん断応力説による疲労損傷評価）に基づいて実施する。以下、許可を受けた発電用原子炉設置変更許可申請書の安全審査において確認されている評価方法の手順を示す（別添資料1及び別添資料3）。</p> <p>a. 応力繰り返しサイクル条件の設定</p> <p>燃料寿命中に想定される過渡条件について、3つに分類（起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時）してそれぞれの応力繰り返しサイクル数を設定する。</p> <p>b. 内外圧差による応力</p> <p>想定している3つの過渡条件ごとに以下のとおり実施する。</p> <p>(a) 燃料被覆管に発生する主応力成分（<math>\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z</math>）を温態停止時及び過渡条件時（冷態停止時、100%出力時（負荷追従運転）、運転時の異常な過渡変化時）について算出する。</p> <p>(b) ASME Sec. IIIの考え方に基づいて、温態停止時及び過渡条件時について、主応力差 <math> \sigma_r - \sigma_\theta ,  \sigma_\theta - \sigma_z ,  \sigma_z - \sigma_r </math> を求める。</p> <p>(c) 温態停止時の主応力差と過渡条件時の主応力差との幅を、疲労評価における繰り返し応力の全振幅と考慮して、大きい方の主応力差を最大値（下図の(i)）、小さい方の主応力差を最小値（下図の(ii)）として、（最大値－最小値）/ 2より片振幅<math>S_{alt}</math>（下図の(iii)）を算出する。</p> <p>(d) 燃料棒の寿命中の評価期間に対して上記の計算を行う。</p>	<p>【大飯】</p> <p>記載表現の相違</p>
サイクル条件	予測サイクル														
室温から100%出力	～4 / 年														
高温待機状態から100%出力	～12 / 年														
50%出力から100%出力	～60 / 年														
75%出力から100%出力	～250 / 年														
100%出力から121%出力	～0.5 / 年														



女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<div data-bbox="1023 247 1617 546" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="1053 567 1587 598">繰り返し応力（主応力差）の時間変化（概念図）</p> <p data-bbox="964 672 1676 882">c. 許容繰り返しサイクル数の算出 b. にて算出した各過渡条件における<math>S_{alt}</math>のうち、それぞれ最大となる<math>Max S_{alt}</math>について、対応する許容繰り返しサイクル数<math>N</math>を、図3に示すLanger and O'Donnellによるジルカロイ材の設計疲労曲線に基づき算出する。</p> <p data-bbox="964 945 1676 1197">d. 累積疲労損傷係数の算出 評価期間ごとにc. にて求めた最大応力変動幅<math>Max S_{alt}</math>に対応する許容繰り返しサイクル数<math>N</math>と、各過渡条件にて想定される応力繰り返しサイクル数<math>n</math>の比、すなわち疲労損傷係数<math>n/N</math>を求め、これらを燃料寿命全般に渡って足し合わせ、累積疲労損傷係数を算出する。</p> <p data-bbox="964 1302 1676 1375">5.2.2 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価（本規則改正後の評価）</p> <p data-bbox="964 1386 1676 1648">今回の申請では、4.3に示すとおり、種々の設計過渡条件（起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時）及び設計地震荷重（基準地震動）に対し、既許可と同様にASME Sec. IIIの概念による方法を用いることとしているが、今回の申請において設計地震荷重を考慮した累積疲労評価は新たな取扱いとなる。</p> <p data-bbox="964 1659 1676 1732">以下に、設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法の概要を示す。</p> <p data-bbox="964 1795 1676 1869">a. 応力繰り返しサイクル条件の設定 地震時に燃料被覆管に発生する応力が繰り返し応力として</p>	<div data-bbox="1751 247 2344 546" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="1736 567 2270 598">繰り返し応力（主応力差）の時間変化（概念図）</p> <p data-bbox="1706 672 2418 882">c. 許容繰り返しサイクル数の算出 b. にて算出した各過渡条件における<math>S_{alt}</math>のうち、それぞれ最大となる<math>Max S_{alt}</math>について、対応する許容繰り返しサイクル数<math>N</math>を、図-3に示すLanger and O'Donnellによるジルカロイ材の設計疲労曲線に基づき算出する。</p> <p data-bbox="1706 945 2418 1197">d. 累積疲労損傷係数の算出 評価期間ごとにc. にて求めた最大応力変動幅<math>Max S_{alt}</math>に対応する許容繰り返しサイクル数<math>N</math>と、各過渡条件にて想定される応力繰り返しサイクル数<math>n</math>の比、すなわち疲労損傷係数<math>n/N</math>を求め、これらを燃料寿命全般に渡って足し合わせ、累積疲労損傷係数を算出する。</p> <p data-bbox="1706 1302 2418 1375">6.3 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価（本規則改正後の評価）</p> <p data-bbox="1706 1386 2418 1648">今回の申請では、6.1に示すとおり、種々の設計過渡条件（起動・停止、負荷追従運転、運転時の異常な過渡変化時）及び設計地震荷重（基準地震動）に対し、既許可と同様にASME Sec. IIIの概念による方法を用いることとしているが、今回の申請において設計地震荷重を考慮した累積疲労評価は新たな取扱いとなる。</p> <p data-bbox="1706 1659 2418 1732">以下に、設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法の概要を示す。</p> <p data-bbox="1706 1795 2418 1869">a. 応力繰り返しサイクル条件の設定 地震時に燃料被覆管に発生する応力が繰り返し応力として</p>	



女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																												
	<p>作用すると想定し設定する。設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価における繰り返し回数としては、他機器の評価条件（<u>詳細評価については設計及び工事計画認可申請段階で説明する</u>）と同一の200回としている。</p> <p>b. 応力変動幅の算出 以下のとおり応力変動幅を算出する。</p> <p>(a) 地震時に燃料被覆管に発生する応力の主応力成分（<math>\sigma_r</math>, <math>\sigma_\theta</math>, <math>\sigma_z</math>）を算出する。 地震動による発生応力として基準地震動により燃料被覆管に発生する応力を考慮する。地震による応力は以下のとおり軸方向成分のみである。</p> <table border="1" data-bbox="973 764 1665 831"> <tr> <td>径方向応力</td> <td>周方向応力</td> <td>軸方向応力</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_r [= 0]</math></td> <td><math>\sigma_\theta [= 0]</math></td> <td><math>\sigma_z [= \text{地震による応力}]</math></td> </tr> </table> <p>(b) ASME Sec. IIIの考え方に基づいて、温態停止時及び過渡条件時について、主応力差 <math> \sigma_r - \sigma_\theta </math>, <math> \sigma_\theta - \sigma_z </math>, <math> \sigma_z - \sigma_r </math> を求める。</p> <p>(c) 主応力差の最大値と最小値の幅を、疲労評価における繰り返し応力の全振幅と考えて、(最大値-最小値)/2より片振幅<math>S_{alt}</math>を算出する。</p> <table border="1" data-bbox="961 1268 1676 1398"> <tr> <td>応力の差</td> <td>径方向応力- 周方向応力</td> <td>周方向応力- 軸方向応力</td> <td>軸方向応力- 径方向応力</td> </tr> <tr> <td>主応力差</td> <td><math>\sigma_r - \sigma_\theta</math> [= 0]</td> <td><math>\sigma_\theta - \sigma_z</math> [= -地震による 応力]</td> <td><math>\sigma_z - \sigma_r</math> [= 地震による 応力]</td> </tr> </table> <p>c. 許容繰り返しサイクル数の算出 b. にて算出した地震時に燃料被覆管に発生する応力における<math>S_{alt}</math>を用いて、対応する許容繰り返しサイクル数Nを、図3に示すLanger and O' Donnellによるジルカロイ材の設計疲労曲線に基づき算出する。 Langer and O' Donnellの設計疲労曲線は、ジルカロイ照射材による高温（316℃）の疲労試験データに基づいて設定された最確曲線に対し、データのばらつきを考慮して、保守的に繰り返し応力の片振幅を1/2倍、許容繰り返し回数1/20</p>	径方向応力	周方向応力	軸方向応力	$\sigma_r [= 0]$	$\sigma_\theta [= 0]$	$\sigma_z [= \text{地震による応力}]$	応力の差	径方向応力- 周方向応力	周方向応力- 軸方向応力	軸方向応力- 径方向応力	主応力差	$\sigma_r - \sigma_\theta$ [= 0]	$\sigma_\theta - \sigma_z$ [= -地震による 応力]	$\sigma_z - \sigma_r$ [= 地震による 応力]	<p>作用すると想定し設定する。設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価における繰り返し回数としては、<u>工事計画認可申請書における他機器の評価条件と同一の200回</u>としている。</p> <p>b. 応力変動幅の算出 以下のとおり応力変動幅を算出する。</p> <p>(a) 地震時に燃料被覆管に発生する応力の主応力成分（<math>\sigma_r</math>, <math>\sigma_\theta</math>, <math>\sigma_z</math>）を算出する。 地震動による発生応力として基準地震動により燃料被覆管に発生する応力を考慮する。地震による応力は以下のとおり軸方向成分のみである。</p> <table border="1" data-bbox="1724 764 2415 831"> <tr> <td>径方向応力</td> <td>周方向応力</td> <td>軸方向応力</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_r [= 0]</math></td> <td><math>\sigma_\theta [= 0]</math></td> <td><math>\sigma_z [= \text{地震による応力}]</math></td> </tr> </table> <p>(b) ASME Sec. IIIの考え方に基づいて、温態停止時及び過渡条件時について、主応力差 <math> \sigma_r - \sigma_\theta </math>, <math> \sigma_\theta - \sigma_z </math>, <math> \sigma_z - \sigma_r </math> を求める。</p> <p>(c) 主応力差の最大値と最小値の幅を、疲労評価における繰り返し応力の全振幅と考えて、(最大値-最小値)/2より片振幅<math>S_{alt}</math>を算出する。</p> <table border="1" data-bbox="1712 1260 2427 1423"> <tr> <td>応力の差</td> <td>径方向応力- 周方向応力</td> <td>周方向応力- 軸方向応力</td> <td>軸方向応力- 径方向応力</td> </tr> <tr> <td>主応力差</td> <td><math>\sigma_r - \sigma_\theta</math> [= 0]</td> <td><math>\sigma_\theta - \sigma_z</math> [= -地震による 応力]</td> <td><math>\sigma_z - \sigma_r</math> [= 地震による 応力]</td> </tr> </table> <p>c. 許容繰り返しサイクル数の算出 b. にて算出した地震時に燃料被覆管に発生する応力における<math>S_{alt}</math>を用いて、対応する許容繰り返しサイクル数Nを、図3に示すLanger and O' Donnellによるジルカロイ材の設計疲労曲線に基づき算出する。 Langer and O' Donnellの設計疲労曲線は、ジルカロイ照射材による高温（316℃）の疲労試験データに基づいて設定された最確曲線に対し、データのばらつきを考慮して、保守的に繰り返し応力の片振幅を1/2倍、許容繰り返し回数1/20</p>	径方向応力	周方向応力	軸方向応力	$\sigma_r [= 0]$	$\sigma_\theta [= 0]$	$\sigma_z [= \text{地震による応力}]$	応力の差	径方向応力- 周方向応力	周方向応力- 軸方向応力	軸方向応力- 径方向応力	主応力差	$\sigma_r - \sigma_\theta$ [= 0]	$\sigma_\theta - \sigma_z$ [= -地震による 応力]	$\sigma_z - \sigma_r$ [= 地震による 応力]	<p>【大飯】 記載方針の相違 ・大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している。泊は今後の設工認段階で説明するため記載が異なるものの、具体的な評価条件は大飯も含めて先行 PWR と同じ。</p>
径方向応力	周方向応力	軸方向応力																													
$\sigma_r [= 0]$	$\sigma_\theta [= 0]$	$\sigma_z [= \text{地震による応力}]$																													
応力の差	径方向応力- 周方向応力	周方向応力- 軸方向応力	軸方向応力- 径方向応力																												
主応力差	$\sigma_r - \sigma_\theta$ [= 0]	$\sigma_\theta - \sigma_z$ [= -地震による 応力]	$\sigma_z - \sigma_r$ [= 地震による 応力]																												
径方向応力	周方向応力	軸方向応力																													
$\sigma_r [= 0]$	$\sigma_\theta [= 0]$	$\sigma_z [= \text{地震による応力}]$																													
応力の差	径方向応力- 周方向応力	周方向応力- 軸方向応力	軸方向応力- 径方向応力																												
主応力差	$\sigma_r - \sigma_\theta$ [= 0]	$\sigma_\theta - \sigma_z$ [= -地震による 応力]	$\sigma_z - \sigma_r$ [= 地震による 応力]																												



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>倍して設定されている。また、Langer and O'Donnellの設計疲労曲線を燃料被覆管の疲労評価に用いることについては「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」（昭和51年2月16日原子炉安全専門審査会）等に記載され、適用の妥当性が確認されている。詳細については、添付資料4に示す。</p> <p>d. 地震時に発生する応力による累積疲労損傷係数の算出                      c. にて求めた許容繰り返しサイクル数Nと、地震時に燃料被覆管に発生する応力の繰り返しサイクル数nの比、すなわち疲労損傷係数 <math>n/N</math> を求める。</p> <p>e. 累積疲労損傷係数の算出                      地震時の燃料被覆管閉じ込め機能維持に係る疲労評価では、5.2.1 d. で求めた燃料寿命期間中の疲労損傷係数と、本項d. で求めた地震時に発生する応力による疲労損傷係数を足し合わせることで、累積損傷係数を算出し、その総和が1を超えないことを確認する<sup>1</sup>。</p> <p>4.3、5.2.1 及び本項に示したとおり、地震時の燃料被覆管閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管累積疲労評価の評価方針については既許可の原子炉設置変更許可と同様であるが、設計地震荷重の考慮については既許可の範囲に含まれていないことから、次項では、設計地震荷重を考慮した累積疲労評価方法の妥当性について述べる。</p> <hr/> <p><sup>1</sup> 地震動のみの繰り返し応力による疲労損傷係数と燃料寿命期間中におけるその他の発生要因による繰り返し応力の疲労損傷係数を足し合わせて評価する方法（ASME Sec. IIIの概念による線形累積損傷則）は、JEAG 4601-1987における他機器の地震時の疲労評価の方法と同一である。</p>	<p>倍して設定されている。また、Langer and O'Donnellの設計疲労曲線を燃料被覆管の疲労評価に用いることについては「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」（昭和51年2月16日原子炉安全専門審査会）等に記載され、適用の妥当性が確認されている。詳細については、添付資料2に示す。</p> <p>d. 地震時に発生する応力による累積疲労損傷係数の算出                      c. にて求めた許容繰り返しサイクル数Nと、地震時に燃料被覆管に発生する応力の繰り返しサイクル数nの比、すなわち疲労損傷係数 <math>n/N</math> を求める。</p> <p>e. 累積疲労損傷係数の算出                      地震時の燃料被覆管閉じ込め機能維持に係る疲労評価では、6.2 d. で求めた燃料寿命期間中の疲労損傷係数と、本項d. で求めた地震時に発生する応力による疲労損傷係数を足し合わせることで、累積損傷係数を算出し、その総和が1を超えないことを確認する<sup>2</sup>。</p> <p>6.1、6.2 及び本項に示したとおり、地震時の燃料被覆管閉じ込め機能維持に係る燃料被覆管累積疲労評価の評価方針については既許可の発電用原子炉設置変更許可と同様であるが、設計地震荷重の考慮については既許可の範囲に含まれていないことから、次項では、設計地震荷重を考慮した累積疲労評価方法の妥当性について述べる。</p> <hr/> <p><sup>2</sup> 地震動のみの繰り返し応力による疲労損傷係数と燃料寿命期間中におけるその他の発生要因による繰り返し応力の疲労損傷係数を足し合わせて評価する方法（ASME Sec. IIIの概念による線形累積損傷則）は、JEAG 4601-1987における他機器の地震時の疲労評価の方法と同一である。</p>	



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>5.2.3 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法の妥当性</p> <p>5.2.2 a～eで示した設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法において、新たな取扱いとなる点についての妥当性は以下のとおりである。</p> <p>○ 地震による応力変動幅</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地震による応力変動幅は地震により燃料被覆管に発生する応力の最大値を使用する。</li> </ul> <p>○ 設計地震荷重を考慮した疲労損傷係数と設計過渡条件での疲労損傷係数の足し合わせ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各条件に対してそれぞれ評価した疲労損傷係数を足しあわせ累積疲労損傷係数を算出する方法についてはASME Sec. IIIの概念と同一である。なお、JSMEやJEAGにおいて機器の疲労評価にも採用されている一般的な疲労評価の方法である。</li> </ul> <p>○ 繰り返し回数200回</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価における繰り返し回数としては、他機器の評価条件（<u>詳細評価については設計及び工事計画認可申請段階で説明する</u>）と同一の200回としている。</li> <li>地震による応力の繰り返し回数200回については、他機器と同一の繰り返し回数の計数方法（<u>レインフロー法</u>）により、燃料集合体の地震応答解析結果に基づき、実際に繰り返し回数を計数し、200回を下回ることを確認している。（各燃料タイプの評価結果は添付資料6）</li> <li>具体的には、まず、図3に示すLanger and O'Donnellの設計疲労曲線より疲労限（繰り返し負荷しても疲労破損に到らない限界）となる応力（約55MPa）を求める。次に、燃料集合体の地震応答解析結果から、疲労限以上の応力が発生する変位となる応答変位が発生する回数をレインフロー法により計数する。レインフロー法による計数方法の詳細は添付資料5に示す。</li> </ul> <p>以上のように、今回申請している設計地震荷重を考慮した</p>	<p>6.4 設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法の妥当性</p> <p>6.3 a～eで示した設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価方法において、新たな取扱いとなる点についての妥当性は以下のとおりである。</p> <p>○ 地震による応力変動幅</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地震による応力は既認可の工事計画認可申請書燃料集合体の耐震計算書に記載されている地震により燃料被覆管に発生する応力の最大値を使用する。</li> </ul> <p>○ 設計地震荷重を考慮した疲労損傷係数と設計過渡条件での疲労損傷係数の足し合わせ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各条件に対してそれぞれ評価した疲労損傷係数を足しあわせ累積疲労損傷係数を算出する方法についてはASME Sec. IIIの概念と同一である。なお、JSMEやJEAGにおいて機器の疲労評価にも採用されている一般的な疲労評価の方法である。</li> </ul> <p>○ 繰り返し回数200回</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設計地震荷重を考慮した燃料被覆管累積疲労評価における繰り返し回数としては、<u>工事計画認可申請書における他機器の評価条件と同一の200回</u>としている。</li> <li>地震による応力の繰り返し回数200回については、他機器と同一の繰り返し回数の計数方法（<u>レインフロー法</u>）により、燃料集合体の地震応答解析結果に基づき、実際に繰り返し回数を計数し、200回を下回ることを確認している。（各燃料タイプの評価結果は別添資料5）</li> <li>具体的には、まず、図3に示すLanger and O'Donnellの設計疲労曲線より疲労限（繰り返し負荷しても疲労破損に到らない限界）となる応力（約55MPa）を求める。次に、燃料集合体の地震応答解析結果から、疲労限以上の応力が発生する変位となる応答変位が発生する回数をレインフロー法により計数する。レインフロー法による計数方法の詳細は添付資料3に示す。</li> </ul> <p>以上のように、今回申請している設計地震荷重を考慮した</p>	<p>【大飯】 記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している一方で泊は記載がないものの、地震により燃料被覆管に発生する応力の最大値を使用する点は大飯も含めて先行PWRと同じ。</li> </ul> <p>【大飯】 記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を引用している。泊は今後の設工認段階で説明するため記載が異なるものの、具体的な評価条件は大飯も含めて先行PWRと同じ。</li> </ul>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	燃料被覆管累積疲労評価の妥当性を確認している。	燃料被覆管累積疲労評価の妥当性を確認している。	



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																					
<p>7. 評価結果</p> <p>燃料被覆管応力評価結果（暫定条件による概算値）を添付資料3に示す。</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比は最大で0.73（9×9燃料（A型））及び0.73（9×9燃料（B型））となり、1.0より小さいことを確認した。</p> <p>燃料被覆管疲労評価結果（暫定条件による概算値）を添付資料4に示す。基準地震動Ssによる地震力が繰り返された場合の応力振幅と繰り返し回数、ジルカロイの設計疲労曲線を用いて評価された疲労係数の増分は繰り返し数60回の場合で0.00333（9X9燃料（A型））及び0.00536（9X9燃料（B型））、繰り返し数120回の場合で0.00667（9X9燃料（A型））及び0.01071（9X9燃料（B型））となった。</p> <p>よって、全寿命を通した累積疲労係数（約0.003<sup>[4]</sup>（9X9燃料（A型））及び約0.006<sup>[5]</sup>（9X9燃料（B型）））に、地震動による疲労係数増分を加えても累積疲労係数は1.0より小さいことを確認した。</p>	<p>6. 評価結果（追而：基準地震動確定後、追加された地震動の評価結果を反映する。）</p> <p>燃料被覆管応力評価結果について、表4-3に示す原子炉設置変更許可済の燃料タイプを対象に、最も評価が厳しくなる燃料タイプの評価結果（代表例）を表6-1に示す。（その他の燃料タイプの評価結果は添付資料2参照）</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても、燃料被覆管の体積平均相当応力は燃料被覆管の耐力以下となることを確認した。</p> <p>燃料被覆管疲労評価結果について、表4-3に示す原子炉設置変更許可済の燃料タイプを対象に、最も評価が厳しくなる燃料タイプの評価結果（代表例）を表6-2に示す。（その他の燃料タイプの評価結果は添付資料3参照）</p> <p>種々の設計過渡条件による疲労に加え、地震動による繰り返し荷重を考慮した場合においても、累積疲労損傷係数が1を超えないことを確認した。</p> <p>評価の詳細については、設計及び工事計画認可申請段階で説明する。</p> <p><b>【比較のため再掲】</b></p> <table border="1" data-bbox="973 1249 1676 1507"> <caption>表4-3 評価対象燃料</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">燃料タイプ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)</td> <td>ステップ2燃料 (注1) (注2)</td> </tr> <tr> <td>ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (注3)</td> </tr> <tr> <td>原子燃料工業製燃料 (B型燃料)</td> <td>ステップ2燃料 (注2)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1：信頼性向上燃料を含む 注2：燃料集合体最高燃焼度 55,000 MWd/t 注3：燃料集合体最高燃焼度 45,000 MWd/t。工事計画認可は未取得。</p>	燃料タイプ		三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)	ステップ2燃料 (注1) (注2)	ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (注3)	原子燃料工業製燃料 (B型燃料)	ステップ2燃料 (注2)	<p>5.4 評価例</p> <p>設計方針の実現可能性を示すために、大飯3号炉及び4号炉における基準地震動を考慮した場合の燃料被覆管応力について、表-1に示す認可を受けている工事計画認可申請書の燃料タイプを対象に、最も評価が厳しくなる燃料タイプの評価結果（代表例）を表-2に示す（その他の燃料タイプの評価結果は別添資料4参照）。</p> <p>評価の詳細については、工事計画認可申請書において示す予定である。</p> <p>6.5 評価例</p> <p>設計方針の実現可能性を示すために、大飯3号炉及び4号炉における設計過渡条件の累積疲労損傷係数と設計地震荷重の疲労損傷係数について、表-1に示す認可を受けている工事計画認可申請書の燃料タイプを対象に、各プラントで最も評価結果が厳しくなる燃料タイプの評価結果（代表例）を表-3に示す。（その他の燃料タイプの評価結果は別添資料6）</p> <p>評価の詳細については、工事計画認可申請書において示す予定である。</p> <p>表-1 大飯3/4号炉 評価対象の燃料タイプ</p> <table border="1" data-bbox="1914 1165 2398 1732"> <thead> <tr> <th colspan="2">三菱原子燃料製燃料（A型燃料）</th> </tr> <tr> <th></th> <th>燃料タイプ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">大飯3/4号炉</td> <td>ウラン燃料 (ステップ1燃料)</td> </tr> <tr> <td>ウラン燃料 (ステップ2燃料 (注1))</td> </tr> <tr> <th colspan="2">原子燃料工業製燃料（B型燃料）</th> </tr> <tr> <th></th> <th>燃料タイプ</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">大飯3/4号炉</td> <td>ウラン燃料 (ステップ1燃料)</td> </tr> <tr> <td>ウラン燃料 (ステップ2燃料)</td> </tr> </tbody> </table> <p>ステップ1燃料：燃料集合体最高燃焼度 48000 MWd/t ステップ2燃料：燃料集合体最高燃焼度 55000 MWd/t 注1：信頼性向上燃料を含む。</p>	三菱原子燃料製燃料（A型燃料）			燃料タイプ	大飯3/4号炉	ウラン燃料 (ステップ1燃料)	ウラン燃料 (ステップ2燃料 (注1))	原子燃料工業製燃料（B型燃料）			燃料タイプ	大飯3/4号炉	ウラン燃料 (ステップ1燃料)	ウラン燃料 (ステップ2燃料)	<p>【大飯】 記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価対象燃料タイプは、大飯は既工認に記載の燃料タイプ、泊は既許可に記載の燃料タイプとしている。</li> <li>・泊の資料構成は女川に合わせているため、泊では評価結果として確認した旨を言及。</li> </ul> <p>【大飯】 燃料タイプの相違</p>
燃料タイプ																								
三菱原子燃料製燃料 (A型燃料)	ステップ2燃料 (注1) (注2)																							
	ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (注3)																							
原子燃料工業製燃料 (B型燃料)	ステップ2燃料 (注2)																							
三菱原子燃料製燃料（A型燃料）																								
	燃料タイプ																							
大飯3/4号炉	ウラン燃料 (ステップ1燃料)																							
	ウラン燃料 (ステップ2燃料 (注1))																							
原子燃料工業製燃料（B型燃料）																								
	燃料タイプ																							
大飯3/4号炉	ウラン燃料 (ステップ1燃料)																							
	ウラン燃料 (ステップ2燃料)																							

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																																																																																																																
	<p>表6-1 応力評価結果 (最も評価が厳しくなるA型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を記載している)</p> <table border="1"> <caption>(単位:MPa)</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>応力成分</th> <th><math>\sigma_{\theta}</math></th> <th><math>\sigma_r</math></th> <th><math>\sigma_x</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">内外圧差及び接触圧による応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">熱応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>水力振動による応力</td> <td>内外面</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td><math>\pm 0.6</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地震による応力</td> <td>内外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">(注1) 合計応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(注1) 体積平均相当応力</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(注2) 許容応力</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>403</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 上段は地震及び水力振動に基づく応力の正符号の値を加えたもので、下段は負符号の値を加えたものである。 (注2) 燃料被覆管耐力データのばらつきを考慮した値である。 (注3) 負の数値は圧縮応力、正の数値は引張応力であることを示す。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>追函（上記の破線部分）は、基準地震動確定後の評価結果を反映する） ※現状の記載値は、「平成25年申請時のS<sub>a</sub>」および「平成26年12月25日審査会合時点までに策定したS<sub>a</sub>」に対して評価した結果を示している。以下、本資料に準じて同じ。</p> </div> <p>表6-2 疲労評価結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>燃料タイプ (注1)</th> <th>設計地震荷重の累積疲労損傷係数</th> <th>設計過渡条件の累積疲労損傷係数</th> <th>合計</th> <th>基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A型ステップ2燃料 (注2)</td> <td>0.02</td> <td>0.40</td> <td>0.42</td> <td>≤ 1</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 評価が最も厳しくなる燃料タイプを記載している (注2) 信頼性向上燃料を含む</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>追函（上記の破線部分）は、基準地震動確定後の評価結果を反映する）</p> </div>	項目		応力成分	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_r$	$\sigma_x$	内外圧差及び接触圧による応力	内面					外面					熱応力	内面					外面					水力振動による応力	内外面	0.0	0.0	$\pm 0.6$	地震による応力	内外面				内面				(注1) 合計応力	内面				外面				(注1) 体積平均相当応力					(注2) 許容応力				403	燃料タイプ (注1)	設計地震荷重の累積疲労損傷係数	設計過渡条件の累積疲労損傷係数	合計	基準	A型ステップ2燃料 (注2)	0.02	0.40	0.42	≤ 1	<p>表-2 燃料被覆管応力評価結果 大飯3/4号炉 (最も評価が厳しくなるA型ウラン燃料（ステップ2燃料（信頼性向上燃料））を記載している)</p> <table border="1"> <caption>(単位:MPa)</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>応力成分</th> <th><math>\sigma_{\theta}</math></th> <th><math>\sigma_r</math></th> <th><math>\sigma_x</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">内外圧差及び接触圧による応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">熱応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>水力振動による応力</td> <td>内外面</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td><math>\pm 0.5</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地震による応力</td> <td>内外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">(注1) 合計応力</td> <td>内面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>外面</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(注1) 体積平均相当応力</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(注2) 許容応力</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 上段は地震及び水力振動に基づく応力の正符号の値を加えたもので、下段は負符号の値を加えたものである。 (注2) 燃料被覆管耐力データのばらつきを考慮した値である。 (注3) 負の数値は圧縮応力、正の数値は引張応力であることを示す。</p> <p>表-3 疲労評価結果 大飯3/4号炉</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>プラント</th> <th>燃料タイプ (注1)</th> <th>設計過渡条件の累積疲労損傷係数</th> <th>設計地震荷重の疲労損傷係数</th> <th>合計</th> <th>基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大飯3/4号炉</td> <td>A型ウラン燃料（ステップ2燃料（信頼性向上燃料））</td> <td>0.40</td> <td>0.03</td> <td>0.43</td> <td>≤ 1</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 評価が最も厳しくなる燃料タイプを記載している</p>	項目		応力成分	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_r$	$\sigma_x$	内外圧差及び接触圧による応力	内面					外面					熱応力	内面					外面					水力振動による応力	内外面	0.0	0.0	$\pm 0.5$	地震による応力	内外面				内面				(注1) 合計応力	内面				外面				(注1) 体積平均相当応力					(注2) 許容応力					プラント	燃料タイプ (注1)	設計過渡条件の累積疲労損傷係数	設計地震荷重の疲労損傷係数	合計	基準	大飯3/4号炉	A型ウラン燃料（ステップ2燃料（信頼性向上燃料））	0.40	0.03	0.43	≤ 1	<p>【大飯】 評価結果の相違</p> <p>【大飯】 評価結果の相違</p>
項目		応力成分	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_r$	$\sigma_x$																																																																																																																																														
内外圧差及び接触圧による応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
熱応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
水力振動による応力	内外面	0.0	0.0	$\pm 0.6$																																																																																																																																															
地震による応力	内外面																																																																																																																																																		
	内面																																																																																																																																																		
(注1) 合計応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
(注1) 体積平均相当応力																																																																																																																																																			
(注2) 許容応力				403																																																																																																																																															
燃料タイプ (注1)	設計地震荷重の累積疲労損傷係数	設計過渡条件の累積疲労損傷係数	合計	基準																																																																																																																																															
A型ステップ2燃料 (注2)	0.02	0.40	0.42	≤ 1																																																																																																																																															
項目		応力成分	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_r$	$\sigma_x$																																																																																																																																														
内外圧差及び接触圧による応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
熱応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
水力振動による応力	内外面	0.0	0.0	$\pm 0.5$																																																																																																																																															
地震による応力	内外面																																																																																																																																																		
	内面																																																																																																																																																		
(注1) 合計応力	内面																																																																																																																																																		
	外面																																																																																																																																																		
(注1) 体積平均相当応力																																																																																																																																																			
(注2) 許容応力																																																																																																																																																			
プラント	燃料タイプ (注1)	設計過渡条件の累積疲労損傷係数	設計地震荷重の疲労損傷係数	合計	基準																																																																																																																																														
大飯3/4号炉	A型ウラン燃料（ステップ2燃料（信頼性向上燃料））	0.40	0.03	0.43	≤ 1																																																																																																																																														



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

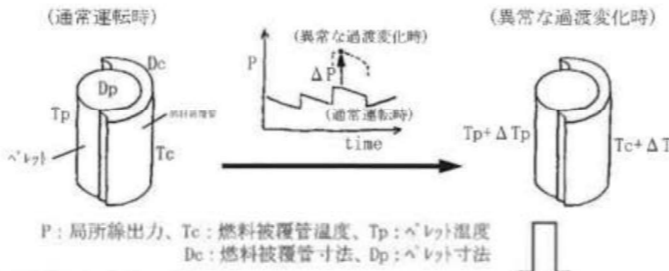
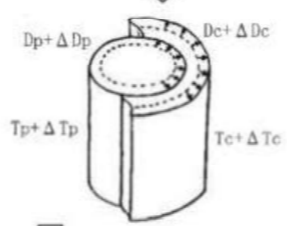
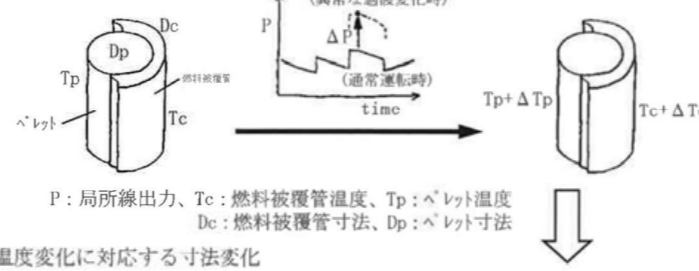
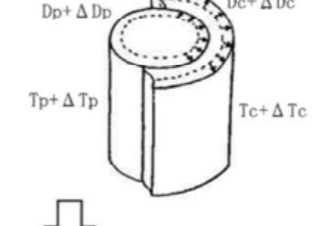
実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>8. まとめ</p> <p>地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を示すとともに、<u>地震動の暫定値</u>による評価により、基準に適合する見通しであることを確認した。なお、詳細評価については<u>工事計画認可申請</u>で説明する。</p> <p>※6：平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</p>	<p>7. まとめ</p> <p>地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る設計方針を示すとともに、<u>基準地震動</u>による評価により、基準に適合する見通しであることを確認した。なお、詳細評価については<u>設計及び工事計画認可申請段階</u>で説明する。</p>	<p>7. まとめ</p> <p>大飯3号炉及び4号炉において、地震時の燃料被覆管の放射性物質の閉じ込め機能維持の要求事項に対する、評価方針及び評価方法は妥当であることを確認した。</p>	<p>差異の説明</p> <p>評価方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川は当初申請時の地震動による評価を記載</li> <li>・泊は、全ての地震動による評価を記載</li> </ul>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）


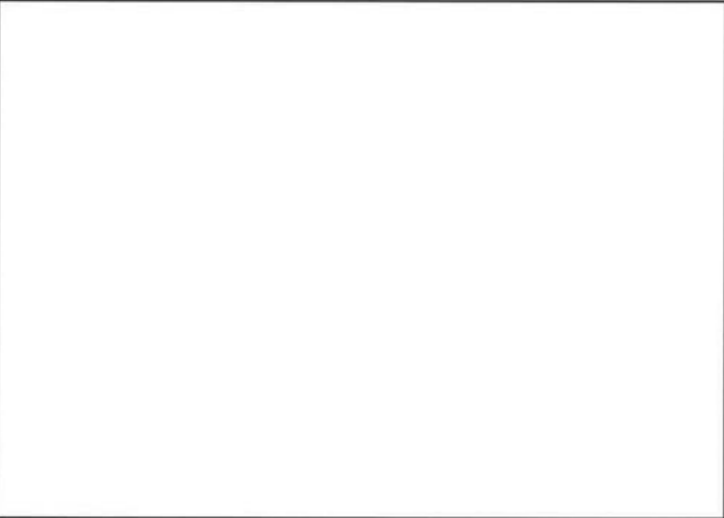
第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>(1) 燃料被覆管/ペレット温度変化</p>  <p>P: 局所線出力、Tc: 燃料被覆管温度、Tp: ペレット温度              Dc: 燃料被覆管寸法、Dp: ペレット寸法</p> <p>(2) 温度変化に対する寸法変化</p>  <p>(3) 温度変化・寸法変化に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             燃料被覆管 ペレット              温度変化: Tc+ΔTc Tp+ΔTp              寸法変化: Dc+ΔDc Dp+ΔDp         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             燃料棒内外圧差+ペレット-燃料被覆管相互作用              による発生応力: <math>\sigma_{dp} + \sigma_{POM}</math>              熱応力: <math>\sigma_T</math> </div> <p>(4) 水力振動・地震に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             水力振動による発生応力: <math>\sigma_v</math>              地震による発生応力: <math>\sigma_{se}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             体積平均相当応力: <math>\bar{\sigma}_g</math> </div> <p>(5) 耐力との比較</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             被覆材耐力: <math>\sigma_y</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             健全性判定              (耐力を超えないこと)         </div> <p style="text-align: center;">図1 燃料被覆管応力評価の流れ</p>	<p>(1) 燃料被覆管/ペレット温度変化</p>  <p>P: 局所線出力、Tc: 燃料被覆管温度、Tp: ペレット温度              Dc: 燃料被覆管寸法、Dp: ペレット寸法</p> <p>(2) 温度変化に対応する寸法変化</p>  <p>(3) 温度変化・寸法変化に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             燃料被覆管 ペレット              温度変化: Tc+ΔTc Tp+ΔTp              寸法変化: Dc+ΔDc Dp+ΔDp         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             燃料棒内外圧差+ペレット-燃料被覆管相互作用              による発生応力: <math>\sigma_{dp} + \sigma_{POM}</math>              熱応力: <math>\sigma_T</math> </div> <p>(4) 水力振動・地震に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             水力振動による発生応力: <math>\sigma_v</math>              地震による発生応力: <math>\sigma_{se}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             体積平均相当応力: <math>\bar{\sigma}_g</math> </div> <p>(5) 耐力との比較</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             被覆材耐力: <math>\sigma_y</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             健全性判定              (耐力を超えないこと)         </div> <p style="text-align: center;">図-1 燃料被覆管応力評価の流れ</p>	<p>【大飯との差異】なし</p>



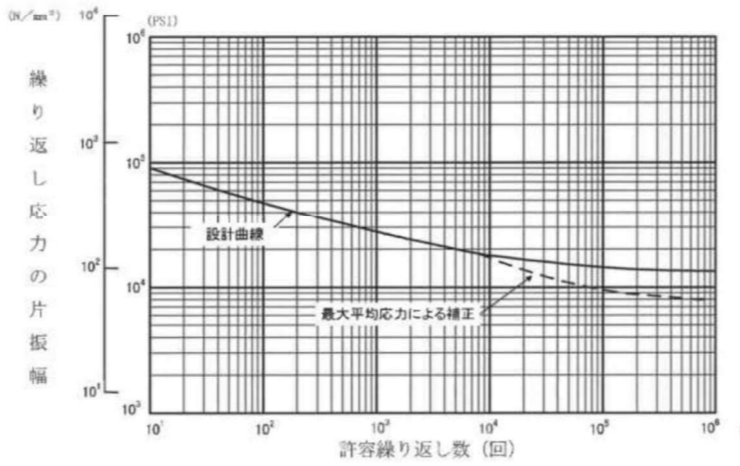
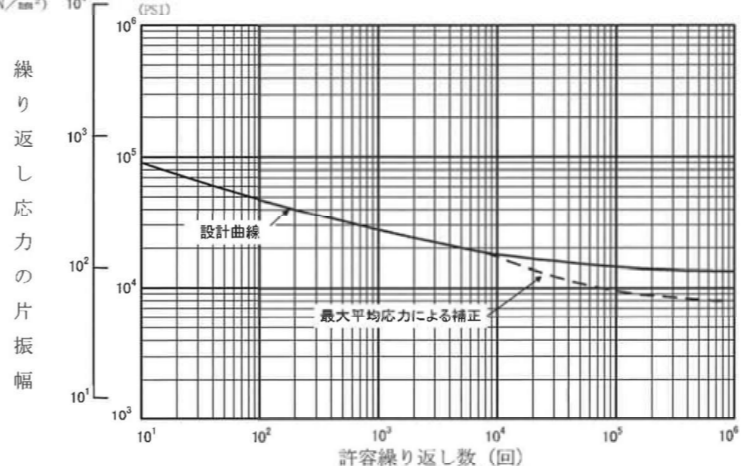
実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	 <p style="text-align: center;">温度 (℃)</p> <p style="text-align: center;">図2 燃料被覆管の耐力（ジルコニウム基合金）</p>	 <p style="text-align: center;">温度 (℃)</p> <p style="text-align: center;">図-2 A型燃料被覆管の耐力（ジルコニウム基合金） （大飯3/4号炉の評価結果）</p>	<p>【大飯との差異】なし</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：本文）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	 <p style="text-align: center;">図3 Langer and O'Donnellの設計疲労曲線<sup>3</sup></p> <p><sup>3</sup> W. J. O'donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components" Nuclear Science and Engineering 20, 1 - 12(1964)</p>	 <p style="text-align: center;">図-3 Langer and O'Donnellの設計疲労曲線*</p> <p>* W. J. O'donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components" Nuclear Science and Engineering 20, 1 - 12(1964)</p>	<p>【大飯との差異】なし</p>

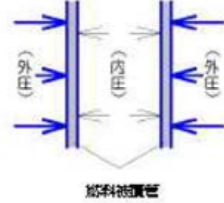
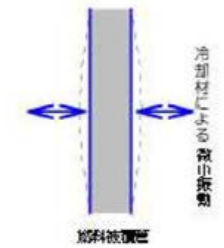
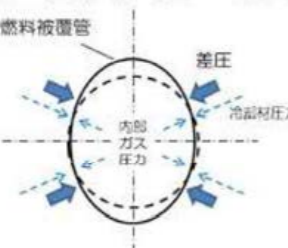
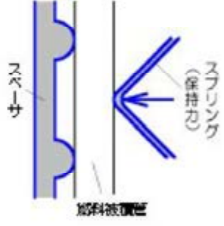
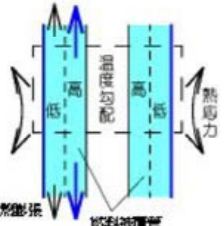
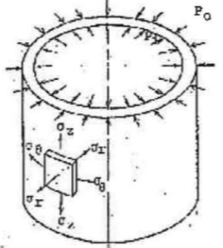
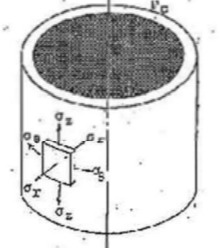
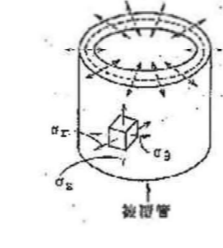
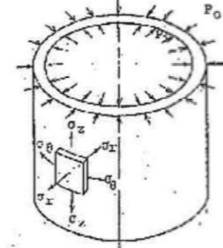
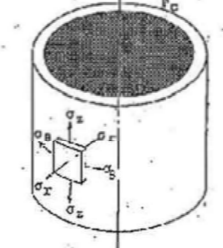
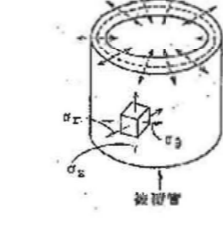


実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

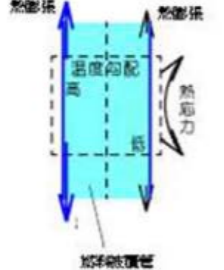
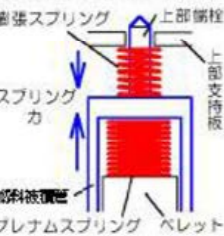
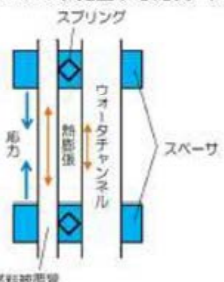
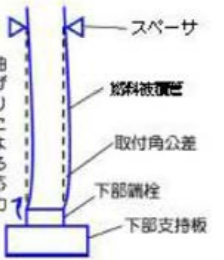
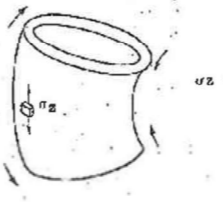
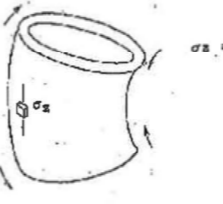

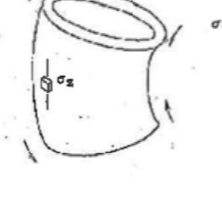
女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																				
<p style="text-align: center;">添付資料1</p> <p style="text-align: center;">燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について</p> <p>各評価対象部位において考慮する応力を添付1-1表に、評価対象部位（スペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部）を添付1-1図に示す。また、燃料集合体の構造図(9X9燃料(A型))を添付1-2図に、燃料集合体の構造図(9X9燃料(B型))を添付1-3図に示す。9X9燃料(A型)には2本の太径のウォータロッドがあるが、9X9燃料(B型)では1本の角管のウォータチャンネルであり、また9X9燃料(A型)のみに部分長燃料棒が存在するといった違いがある。</p> <p style="text-align: center;">添付 1-1 表 各評価対象部位において考慮する応力</p> <table border="1" data-bbox="231 856 926 1377"> <thead> <tr> <th>考慮する応力</th> <th>スペーサ間</th> <th>スペーサ部</th> <th>下部端栓溶接部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>(1) 内外圧力差に基づく応力</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(2) 水力振動に基づく応力</td><td>○</td><td>○<sup>※1</sup></td><td>—</td></tr> <tr><td>(3) 楕円度に基づく応力</td><td>○</td><td>○</td><td>—</td></tr> <tr><td>(4) スペーサの接触力に基づく応力</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td></tr> <tr><td>(5) 半径方向温度差に基づく応力</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(6) 円周方向温度差に基づく応力</td><td>○</td><td>○</td><td>○<sup>※1</sup></td></tr> <tr><td>(7) スプリング等による軸方向荷重に基づく応力</td><td>○</td><td>○</td><td>○<sup>※1</sup></td></tr> <tr><td>(8) スペーサチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力</td><td>○<sup>※2</sup></td><td>○<sup>※2</sup></td><td>—</td></tr> <tr><td>(9) 端栓取付角公差による曲がりに基づく応力</td><td>—</td><td>—</td><td>○<sup>※1</sup></td></tr> <tr><td>(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力<sup>※3</sup></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力<sup>※3</sup></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力<sup>※3</sup></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> </tbody> </table> <p>※1：9×9燃料（A型）の場合に考慮 ※2：9×9燃料（B型）の場合に考慮 ※3：地震動を考慮する場合に新たに加わる応力</p>	考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部	(1) 内外圧力差に基づく応力	○	○	○	(2) 水力振動に基づく応力	○	○ <sup>※1</sup>	—	(3) 楕円度に基づく応力	○	○	—	(4) スペーサの接触力に基づく応力	—	○	—	(5) 半径方向温度差に基づく応力	○	○	○	(6) 円周方向温度差に基づく応力	○	○	○ <sup>※1</sup>	(7) スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○ <sup>※1</sup>	(8) スペーサチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※2</sup>	—	(9) 端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○ <sup>※1</sup>	(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○	(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○	(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○	<p style="text-align: center;">添付資料1</p> <p style="text-align: center;">燃料被覆管の応力評価に考慮する応力について</p> <p>原子炉の運転中、燃料被覆管に発生する応力として以下の要因を考慮している。なお、燃料被覆管応力の評価項目については、許可を受けた原子炉設置変更許可申請書添付書類八において記載されている。（別添資料1）</p>	<p style="text-align: center;">5.1 燃料被覆管に発生する応力</p> <p>原子炉の運転中、燃料被覆管に発生する応力として以下の要因を考慮している。なお、燃料被覆管応力の評価項目については、許可を受けた発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八において記載されている。（別添資料1）</p>	<p>【大飯】</p> <p>記載方針の相違</p> <p>・泊は女川同様、燃料被覆管応力評価に考慮している応力について添付資料として整理している</p>
考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	下部端栓溶接部																																																				
(1) 内外圧力差に基づく応力	○	○	○																																																				
(2) 水力振動に基づく応力	○	○ <sup>※1</sup>	—																																																				
(3) 楕円度に基づく応力	○	○	—																																																				
(4) スペーサの接触力に基づく応力	—	○	—																																																				
(5) 半径方向温度差に基づく応力	○	○	○																																																				
(6) 円周方向温度差に基づく応力	○	○	○ <sup>※1</sup>																																																				
(7) スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	○ <sup>※1</sup>																																																				
(8) スペーサチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○ <sup>※2</sup>	○ <sup>※2</sup>	—																																																				
(9) 端栓取付角公差による曲がりに基づく応力	—	—	○ <sup>※1</sup>																																																				
(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○																																																				
(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○																																																				
(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力 <sup>※3</sup>	○	○	○																																																				

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>[解説]</p> <p>1. 運転中（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時）に発生する応力</p> <p>(1) 内外圧力差に基づく応力 燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。</p>  <p>(2) 水力振動に基づく応力 冷却材の流れによって生じる燃料被覆管の微小振動に基づき発生する応力。</p>  <p>(3) 楕円度に基づく応力 燃料被覆管製作時に生じる真円からのわずかな歪みにより、燃料被覆管内部ガス圧力と冷却材圧力の差圧により発生する応力。</p>  <p>(4) スペーサの接触力に基づく応力 スペーサのばね押圧により、スペーサ部に発生する応力。</p>  <p>(5) 半径方向温度差に基づく応力 燃料被覆管内外面の温度差に基づく熱膨張差が拘束されることにより発生する応力。</p> 	<p>a. 内外圧差による応力 内外の差圧により燃料被覆管が周りに圧縮されることにより発生する応力。1次応力に分類される。</p>  <p><math>P_o</math> : 外圧 <math>P_i</math> : 内圧 <math>\sigma_r</math> : 内外圧差による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 内外圧差による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 内外圧差による軸方向応力</p> <p>b. 接触圧による応力 ペレットと燃料被覆管の接触により、ペレットが燃料被覆管を押し広げようとする事により発生する応力。2次応力に分類される。</p>  <p><math>P_c</math> : ペレットと被覆管の熱膨張による接触圧 <math>\sigma_r</math> : 接触圧による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 接触圧による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 接触圧による軸方向応力</p> <p>c. 熱応力 燃料被覆管内外面で温度が異なるため、熱膨張の差により発生する応力。内面側は、温度が高く熱膨張量が大きくなるが、外面側では温度が低く、内面側に比べ熱膨張量が小さい。このため、内面側では外面側に押さえられ圧縮応力が発生し、外面側では、内側から広げられることにより引張り応力が発生する。2次応力に分類される。</p>  <p><math>\sigma_r</math> : 熱による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 熱による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 熱による軸方向応力</p>	<p>a. 内外圧差による応力 内外の差圧により燃料被覆管が周りに圧縮されることにより発生する応力。1次応力に分類される。</p>  <p><math>P_o</math> : 外圧 <math>P_i</math> : 内圧 <math>\sigma_r</math> : 内外圧差による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 内外圧差による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 内外圧差による軸方向応力</p> <p>b. 接触圧による応力 ペレットと燃料被覆管の接触により、ペレットが燃料被覆管を押し広げようとする事により発生する応力。2次応力に分類される。</p>  <p><math>P_c</math> : ペレットと被覆管の熱膨張による接触圧 <math>\sigma_r</math> : 接触圧による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 接触圧による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 接触圧による軸方向応力</p> <p>c. 熱応力 燃料被覆管内外面で温度が異なるため、熱膨張の差により発生する応力。内面側は、温度が高く熱膨張量が大きくなるが、外面側では温度が低く、内面側に比べ熱膨張量が小さい。このため、内面側では外面側に押さえられ圧縮応力が発生し、外面側では、内側から広げられることにより引張り応力が発生する。2次応力に分類される。</p>  <p><math>\sigma_r</math> : 熱による半径方向応力 <math>\sigma_\theta</math> : 熱による円周方向応力 <math>\sigma_z</math> : 熱による軸方向応力</p>	

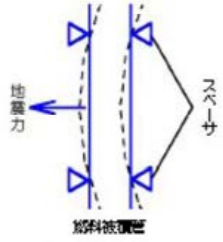
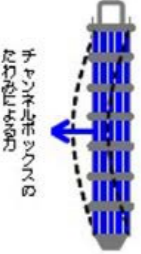


第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>(6) 円周方向温度差に基づく応力                  燃料被覆管の円周方向温度分布の不均一による燃料被覆管の湾曲がスペーサにより拘束されることで発生する応力（9×9燃料（B型）の熱湾曲矯正による応力も同様の応力）。</p>  <p>(7) 膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力                  膨張スプリング及びプレナムスプリング（内部スプリング）により発生する応力（9×9燃料（A型）については、燃料自重による応力も含む）。</p>  <p>(8) ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力                  ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差により、燃料被覆管の伸びが拘束されることにより発生する応力（9×9燃料（B型））。</p>  <p>(9) 端栓取付角公差による湾曲に基づく応力                  下部端栓の取付角の公差により、下部端栓とスペーサとの間で燃料被覆管に湾曲が生じることにより発生する応力（9×9燃料（A型））。</p> 	<p>d. 水力振動による応力                  燃料棒軸方向の冷却材の流れによって燃料棒が振動し、燃料被覆管が曲げられることにより発生する応力。1次応力に分類される。</p>  <p>e. 地震による応力                  地震による応力において、軸方向のゆれについては、燃料被覆管は自重による軸方向の荷重を受け、軸方向に応力が発生する。                  また、水平方向のゆれについては、燃料棒の曲がりが発生することにより応力が発生する。この曲がりについては、地震時に発生する燃料集合体の水平方向の変位により燃料棒が変位することにより発生するものであり周方向・径方向応力は、軸方向応力に比べ極めて小さく無視しうることから、燃料被覆管の地震による応力については、軸方向についてのみ考慮している。また、支持格子の衝突による荷重は支持格子が変形することにより、支持格子が荷重を負担することから、考慮していない。なお、地震による応力は1次応力に分類される。</p> 	<p>d. 水力振動による応力                  燃料棒軸方向の冷却材の流れによって燃料棒が振動し、燃料被覆管が曲げられることにより発生する応力。1次応力に分類される。</p>  <p>e. 地震による応力                  地震による応力において、軸方向のゆれについては、燃料被覆管は自重による軸方向の荷重を受け、軸方向に応力が発生する。                  また、水平方向のゆれについては、燃料棒の曲がりが発生することにより応力が発生する。この曲がりについては、地震時に発生する燃料集合体の水平方向の変位により燃料棒が変位することにより発生するものであり周方向・径方向応力は、軸方向応力に比べ極めて小さく無視しうることから、燃料被覆管の地震による応力については、軸方向についてのみ考慮している。また、支持格子の衝突による荷重は支持格子が変形することにより、支持格子が荷重を負担することから、考慮していない。なお、地震による応力は1次応力に分類される。</p> 	

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>2. 地震時に付加される応力</p> <p>(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力                  水平地震荷重により、スペーサを支持点として燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。</p>  <p>(11) チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力                  水平地震荷重によるチャンネルボックスのたわみに従って、燃料被覆管がたわむことにより発生する応力。</p>  <p>(12) 鉛直方向地震加速度に基づく応力                  鉛直方向地震加速度により、燃料被覆管に見かけの質量が軸方向に付加されることにより発生する応力。なお、9×9燃料（B型）では「(10) スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力」に加味する形で考慮している。</p>			



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付1-1図 評価対象部位（イメージ）【第4-2図再掲】</p>			

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付1-2図 燃料集合体の構造図（9×9燃料（A型））</p>			
<p>添付1-3図 燃料集合体の構造図（9×9燃料（B型））</p>			



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料2</p> <p><u>燃料被覆管下部端栓溶接部における応力の取扱いについて</u></p> <p>燃料被覆管下部端栓溶接部は、切り欠き形状を含む複雑な形状（添付2-1図参照）であるため有限要素法（以下「FEM」という。）を用いた解析により発生応力を求めている。FEM解析から得られる下部端栓溶接部の応力値には一次応力及び二次応力に加えて、切り欠き形状に伴うピーク応力が含まれる（添付2-2図参照）。ピーク応力は、荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはなく<sup>[1]</sup>、JEAG 4601・補-1984<sup>[2]</sup>においてもピーク応力は疲労評価が対象とされている（添付2-1表参照）。よって、等価線形処理によりFEM解析結果から一次応力+二次応力を求め、応力設計比の計算を行う。</p> <p>等価線形処理はFEM解析で得られた応力分布を一次応力及び二次応力並びにピーク応力に数値処理により分離する手法であり、压力容器等のプラント機器の応力解析に適用されている。</p> <p>一次応力及び二次応力に相当するのは、肉厚方向に分布する応力の平均値に等しい応力成分（膜応力）及び肉厚方向に分布する応力による正味の曲げモーメントと等しいモーメントによって生じる応力成分（曲げ応力の等価直線成分）である。ピーク応力に相当するのは、これらと元の応力分布との差である。</p> <p>なお、応力が最も厳しい条件となるのはピーク応力の方向と正味の曲げモーメントの方向が一致するケースであり、下部端栓溶接部の応力解析では燃料被覆管内面位置が該当する。よって、応力設計比の評価には燃料被覆管内面位置での応力を用いる。</p> <p>参考文献                  [1] 「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」、森北出版、第1版第6刷、2012年                  [2] JEAG 4601・補-1984、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」、(社)日本電気協会</p>	<p>（泊には左記の資料は無い）</p>	<p>（大飯には左記の資料は無い）</p>	<p>燃料設計手法の相違                  （BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施）                  ・女川添付資料2：PWR は下部端栓応力を評価する設計ではないため左記の添付資料は無い。（PWR 燃料の下部端栓はBWR 燃料のように下部端栓をタイプレートで拘束される構造ではないため評価対象としていない。なお、PWR の燃料はBWR の燃料被覆管下部端栓溶接部のように切り欠き形状を含む複雑な形状ではなく、有限要素法を用いた詳細な解析を要さない）</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																
<div data-bbox="320 254 813 562"> </div> <div data-bbox="261 590 783 617"> <p>添付2-1図 下部端栓接部の有限要素法による応力解析体系（模式図）</p> </div> <div data-bbox="231 695 783 1003"> </div> <div data-bbox="338 1045 715 1073"> <p>添付2-2図 応力分布と等価線形処理結果の模式図</p> </div> <div data-bbox="338 1150 813 1178"> <p>添付2-1表 第1種容器の許容応力（JEA 4501・補-1984<sup>2</sup>からの抜粋）</p> </div> <div data-bbox="299 1178 477 1205"> <p>2.1.1 第1種容器の許容応力</p> </div> <div data-bbox="320 1205 528 1232"> <p>第1種容器の許容応力を次に示す。</p> </div> <table border="1" data-bbox="290 1232 825 1822"> <thead> <tr> <th>応力分類 許容 応力状態</th> <th>1次一般膜応力</th> <th>1次膜応力+ 1次曲げ応力</th> <th>1次+2次応力</th> <th>1次+2次+ ピーク応力</th> <th>特別な応力限界 延性断裂 応力/変形応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計条件</td> <td><math>S_m</math></td> <td><math>1.5 S_m</math></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>I<sub>A</sub></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>3 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup></td> <td>運転状態I及びIIにおける荷重の組合せについて破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。</td> <td>0.6 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup> S<sub>y</sub><sup>(ii)</sup> (1.5 S<sub>y</sub>)</td> </tr> <tr> <td>II<sub>A</sub></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0.6 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup> S<sub>y</sub><sup>(ii)</sup> (1.5 S<sub>y</sub>)</td> </tr> <tr> <td>III<sub>A</sub></td> <td>S<sub>y</sub>と2/3 S<sub>m</sub>の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S<sub>m</sub>とする。</td> <td>左欄の1.5倍の値</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0.6 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup> S<sub>y</sub><sup>(ii)</sup> (1.5 S<sub>y</sub>)</td> </tr> <tr> <td>IV<sub>A</sub></td> <td>2/3 S<sub>m</sub>ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S<sub>m</sub>と2.4 S<sub>m</sub>の小さい方。</td> <td>左欄の1.5倍の値</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>III<sub>A</sub>S</td> <td>S<sub>y</sub>と2/3 S<sub>m</sub>の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S<sub>m</sub>とする。</td> <td>左欄の1.5倍の値<sup>(ii)</sup></td> <td>3 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup></td> <td>S<sub>y</sub>又はS<sub>m</sub>地震運動のみによる破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。</td> <td>0.6 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup> S<sub>y</sub><sup>(ii)</sup> (1.5 S<sub>y</sub>)</td> </tr> <tr> <td>IV<sub>A</sub>S</td> <td>2/3 S<sub>m</sub>ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S<sub>m</sub>と2.4 S<sub>m</sub>の小さい方。</td> <td>左欄の1.5倍の値</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0.4 S<sub>m</sub><sup>(ii)</sup> S<sub>y</sub><sup>(ii)</sup> (1.5 S<sub>y</sub>)</td> </tr> </tbody> </table>	応力分類 許容 応力状態	1次一般膜応力	1次膜応力+ 1次曲げ応力	1次+2次応力	1次+2次+ ピーク応力	特別な応力限界 延性断裂 応力/変形応力	設計条件	$S_m$	$1.5 S_m$	—	—	—	I <sub>A</sub>	—	—	3 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup>	運転状態I及びIIにおける荷重の組合せについて破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )	II <sub>A</sub>	—	—	—	—	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )	III <sub>A</sub>	S <sub>y</sub> と2/3 S <sub>m</sub> の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S <sub>m</sub> とする。	左欄の1.5倍の値	—	—	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )	IV <sub>A</sub>	2/3 S <sub>m</sub> ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S <sub>m</sub> と2.4 S <sub>m</sub> の小さい方。	左欄の1.5倍の値	—	—	—	III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と2/3 S <sub>m</sub> の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S <sub>m</sub> とする。	左欄の1.5倍の値 <sup>(ii)</sup>	3 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup>	S <sub>y</sub> 又はS <sub>m</sub> 地震運動のみによる破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )	IV <sub>A</sub> S	2/3 S <sub>m</sub> ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S <sub>m</sub> と2.4 S <sub>m</sub> の小さい方。	左欄の1.5倍の値	—	—	0.4 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )			
応力分類 許容 応力状態	1次一般膜応力	1次膜応力+ 1次曲げ応力	1次+2次応力	1次+2次+ ピーク応力	特別な応力限界 延性断裂 応力/変形応力																																														
設計条件	$S_m$	$1.5 S_m$	—	—	—																																														
I <sub>A</sub>	—	—	3 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup>	運転状態I及びIIにおける荷重の組合せについて破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )																																														
II <sub>A</sub>	—	—	—	—	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )																																														
III <sub>A</sub>	S <sub>y</sub> と2/3 S <sub>m</sub> の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S <sub>m</sub> とする。	左欄の1.5倍の値	—	—	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )																																														
IV <sub>A</sub>	2/3 S <sub>m</sub> ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S <sub>m</sub> と2.4 S <sub>m</sub> の小さい方。	左欄の1.5倍の値	—	—	—																																														
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と2/3 S <sub>m</sub> の小さい方。ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2 S <sub>m</sub> とする。	左欄の1.5倍の値 <sup>(ii)</sup>	3 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup>	S <sub>y</sub> 又はS <sub>m</sub> 地震運動のみによる破れ係数を求めた結果が1.0以下であること。	0.6 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )																																														
IV <sub>A</sub> S	2/3 S <sub>m</sub> ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については2/3 S <sub>m</sub> と2.4 S <sub>m</sub> の小さい方。	左欄の1.5倍の値	—	—	0.4 S <sub>m</sub> <sup>(ii)</sup> S <sub>y</sub> <sup>(ii)</sup> (1.5 S <sub>y</sub> )																																														



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料3</p> <p>地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価(閉じ込め機能の維持)について</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。</p> <p>1. <u>9X9燃料(A型)の評価結果(添付 3-1 表)</u></p> <p>(1) 評価部位: スペーサ間, スペーサ部, 下部端栓溶接部 (2) 解析コード:                      &lt;スペーサ間, スペーサ部&gt;                      弾性解析コード FURST Ver. 5<sup>*1</sup>(設置許可, 設計認可と同じ)                      &lt;下部端栓溶接部&gt;                      有限要素法解析コード ANSYS Ver. 14<sup>*2</sup>(添付資料7参照) (3) 評価点: 燃料寿命初期, 中期, 末期 (4) 運転状態:                      出力過渡(121%出力(出力運転中の制御棒の異常な引き抜き))又は圧力過渡(冷却材圧力<math>\square</math>MPa[abs](負荷の喪失)) (5) 考慮する応力:                      ①内外圧力差に基づく応力(一次応力)                      ②水力振動に基づく応力(一次応力)                      ③楕円度に基づく応力(一次応力)                      ④スペーサの接触力に基づく応力(スペーサ部評価のみ)(二次応力)                      ⑤半径方向温度差に基づく熱応力(二次応力)                      ⑥円周方向温度差に基づく熱応力(二次応力)                      ⑦膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力(一次応力)</p>	<p style="text-align: right;">添付資料2</p> <p>地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価(閉じ込め機能の維持)について</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。  <u>燃料被覆管応力評価の流れを添付2-1図、地震による応力評価の流れを添付2-2図に示す。</u></p> <p>1. <u>A型ステップ2燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の評価結果(添付2-1表及び添付2-2表)</u></p> <p>(1) 評価部位: 被覆管 (2) 解析コード:                      地震時応力解析コード                      ANSYS Ver11.0<sup>*1</sup> (設置許可、設計認可と同じ)                      燃料被覆管応力評価コード                      高燃焼度用FINE Ver3.0及び3.1<sup>*2</sup> (設置許可、設計認可と同じ) (3) 評価点: 燃料寿命初期、中期、末期 (4) 運転状態:                      高温停止時、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時                      (「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」又は「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」) (5) 考慮する応力                      ①内外圧差による応力 (一次応力)                      ②接触圧による応力 (二次応力)                      ③熱応力 (二次応力)                      ④水力振動による応力 (一次応力)                      ⑤地震による応力 (一次応力)</p>	<p style="text-align: right;">別添資料4</p> <p>燃料被覆管応力評価結果</p>	<p>※泊の資料構成は女川に合わせて作成する方針としたため、燃料設計手法は異なるものの本添付資料を泊でも作成し、女川と比較した。</p> <p>記載方針の相違                      ・泊3では、分かり易さの観点から耐震評価の流れを示した図を追加                      燃料設計手法の相違                      ・BWR と PWR は従来からそれぞれ安全専門審査会内規に基づき燃料設計を行っているため、燃料設計手法の相違により記載内容が異なる。</p>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>⑧端栓取付角公差による曲がりに基づく応力(二次応力) 地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度(水平方向)は燃料集合体軸方向で分布を持つが、スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。</p> <p>⑨スペーサ間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力(一次応力) ⑩チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力(二次応力) ⑪鉛直地震加速度に基づく応力(一次応力)</p> <p>(6)許容応力: 弾性設計用地震動(Sd)において、一次十二次応力に対して降伏応力(Sy) 基準地震動(Ss)において、一次十二次応力に対して引張強さ(Su) (添付資料5参照)</p> <p>(7)入力値<sup>※3</sup>: 〈スペーサ間, スペーサ部〉 水平加速度 4.66G(Ss 応答加速度概算値) 鉛直加速度 1.38G<sup>※4</sup>(同上) 燃料集合体相対変位 45.3mm<sup>※5</sup>(Ss 応答変位概算値) 水平加速度 2.68G(Sd 応答加速度概算値) 鉛直加速度 0.69G(同上) 燃料集合体相対変位 25.1mm(Sd 応答変位概算値) 〈下部端栓溶接部〉 水平加速度 3.07G(Ss 応答加速度概算値) 鉛直加速度 1.38G<sup>※4</sup>(同上) 燃料集合体相対変位 45.3mm<sup>※5</sup>(Ss 応答変位概算値) 水平加速度 1.63G(Sd 応答加速度概算値) 鉛直加速度 0.69G(同上) 燃料集合体相対変位 25.1mm(Sd 応答変位概算値)</p> <p>ここで、<u>工事計画認可申請における評価では、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度、燃料集合体の相対変位として、基本ケースの最大応答加速度に対し、材料物性の不確かさ等を考慮した値を用いる。</u></p>	<p>(6)許容値:耐力(Sy)</p> <p>(7)入力値:  <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>&lt;A型ステップ2燃料<sup>(注1)</sup>&gt; 燃料集合体最大変位(水平方向の燃料集合体群振動計算より): <input type="text"/> 燃料集合体軸荷重(鉛直方向の燃料集合体振動計算より): <input type="text"/> &lt;A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料&gt; 燃料集合体最大変位(水平方向の燃料集合体群振動計算より): <input type="text"/> 燃料集合体軸荷重(鉛直方向の燃料集合体振動計算より): <input type="text"/></p> </div> <p>(注1)信頼性向上燃料を含む。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>追而(上記の <span style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">破線部分</span> は、基準地震動確定後の評価結果を反映する) ※現状の記載値は、「平成25年申請時のSs」および「平成26年12月25日審査会合時点までに策定したSs」に対して評価した結果を示している。以下、本資料において同じ。</p> </div> <p>ここで、<u>燃料集合体に作用する地震時応答として、地盤の不確かさを考慮した影響評価を行う(追而)。工事計画認可申請段階における評価では、その他の材料物性の不確かさ等の影響を評価する。</u></p> </p>	<p>(参考)島根2号機の記載 ここで、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度、燃料集合体の相対変位として、基本ケースの値に加えて地盤の不確かさを考慮した値を用いる。工事計画認可申請段階における評価では、その他の材料物性の不確かさ等も考慮する。</p>	<p>記載方針の相違 ・泊は、設置許可段階で地盤の不確かさについて、設工認段階でその他の材料物性の不</p>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p><u>材料物性の不確かさは、別紙6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。</u></p> <p><u>今回の暫定評価は平成25年12月設置変更許可申請時の基準地震動(Ss-1, 2)及び弾性設計用地震動(Sd-1, 2)に対するものであり、今後工事計画認可申請段階において基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd(各7波)(材料物性の不確かさを考慮したケースを含む)に対する評価を実施する。なお、暫定評価の地震動条件は、工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること、また、暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから、工事計画認可申請段階における評価については、概ね問題ないものと考えている。</u></p> <p><u>また、工事計画認可申請段階の評価においては水平2方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平2方向の地震動を考慮した評価では、別紙3「水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料3に示すとおり、女川原子力発電所の基準地震動Ssには水平方向の地震動に方向性がないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち1方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙3に示すとおり、位相の異なる水平地震動を用いた場合、水平2方向の地震動によるオービットに</u></p>			<p>確かさについて影響を考慮する（島根と同様の方針）。                  プラント条件の相違                  ・別紙6及び別紙11は震災影響を受けた女川特有の資料であるため泊には無い。</p> <p>記載方針の相違                  ・女川は当初申請時の地震動による評価を記載                  ・泊は全ての地震動による評価を記載予定のため左記の記載は無い</p> <p>燃料耐震評価手法及び炉内燃料配置設計の相違による考慮事項の相違                  ・水平2方向入力の影響を踏まえた評価の成立性については、PWR 燃料集合体の耐震評価は、上部炉心板及び下部炉心板における時刻歴応答加速度を入力とした群振動解析により、水平EW方向および水平NS方向それぞれについて評価</p>

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>は偏りがない傾向となることから、水平2方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが、今後、工事計画認可申請段階で水平2方向への影響について詳細検討を実施する。</p> <p>※1:地震時に燃料被覆管に発生する応力は、燃料棒を梁モデルに置換し水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式、チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料棒に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び引張り応力の計算式で計算する。これは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり、応力計算方法は同じである。FURSTはこれらを組み合わせて計算することが可能である。</p> <p>※2:燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるがピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため、一次応力二次応力を評価に用いる。</p> <p>※3:平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</p>	<p>また、今後、設計及び工事計画認可申請段階で水平2方向への影響について検討を実施する。</p> <p>※1：ANSYS は燃料集合体の2次元有限要素法（はり要素）による応力解析に使用している汎用市販コードであり、地震時の燃料集合体変形等を入力して、燃料被覆管の地震時応力を算出することができる。</p> <p>※2：高燃焼度用FINEコードは、A型ウラン燃料(Ver3.0)及びMOX燃料(Ver3.1)を対象に、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び地震時における被覆管応力を足し合わせて、燃料被覆管の体積平均相当応力を計算することができる。</p> <p>なお、地震時に燃料被覆管に発生する応力は、上部炉心板及び下部炉心板における時刻歴応答加速度を入力とした燃料集合体の応答解析（水平方向群振動解析及び鉛直方向振動解析）を実施し、得られた応答を入力として燃料棒に生じる応力の解析を実施して得られる結果を用いる（添付2-2図）。これに、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時における内外圧差及び接触圧による応力、熱応力、水力振動による応力を組み合わせて体積平均相当応力を計算する（添付2-1図）。地震時に発生する応力にはANSYSを、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力には高燃焼度用FINEを用いて計算する。</p>		<p>を行っており、水平2方向同時による応答よりも保守的な応答となり保守的な評価となる。具体的には、横1列に並んだ15体の燃料集合体が同一の方向に振動する場合に比べて、水平2方向同時に振動すると振動方向がばらけることや加振力が直行方向に散逸することが考えられるため、1方向入力の方が2方向同時入力よりも保守的な応答になる。</p> <p>燃料耐震評価手法の相違</p> <p>記載方針の相違</p>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																															
<p>※4:鉛直加速度が1Gを超過するため、燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果は別紙1「既工認との手法の相違点の整理設置変更許可申請段階での整理」参考資料4に示しているが、既往知見より鉛直加速度1.5Gの場合でも燃料集合体の浮き上がりは5mm程度と小さく、浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが、工事計画認可申請段階で女川2号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う</p> <p>※5:燃料集合体を含めた制御棒挿入性試験について、別紙1「既工認との手法の相違点の整理(設置変更許可申請段階での整理)」参考資料5に示しているが、燃料集合体相対変位60mmにおける試験においても、チャンネルボックスに微小な変形が発生する程度であり、燃料集合体へ有意な影響を及ぼすことがないことを確認している。</p> <p>添付3-1表 燃料被覆管応力の評価結果（9×9燃料（A型））</p> <table border="1" data-bbox="231 1192 926 1625"> <thead> <tr> <th rowspan="2">地震動と許容応力</th> <th rowspan="2">運転条件</th> <th rowspan="2">評価点</th> <th>スベーク間 (応力設計比)</th> <th>スベーク部 (応力設計比)</th> <th>下部端栓溶接部 (応力設計比)</th> </tr> <tr> <th>一次応力+二次応力</th> <th>一次応力+二次応力</th> <th>一次応力+二次応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy</td> <td rowspan="3">圧力透過</td> <td>寿命初期</td> <td>0.73</td> <td>0.58</td> <td>0.66</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td>0.27</td> <td>0.25</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td>0.23</td> <td>0.22</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">出力透過</td> <td>寿命初期</td> <td>0.70</td> <td>0.49</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td>0.29</td> <td>0.27</td> <td>0.29</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td>0.24</td> <td>0.22</td> <td>0.22</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">基準地震動Ssに対して引張強さSu</td> <td rowspan="3">圧力透過</td> <td>寿命初期</td> <td>0.49</td> <td>0.45</td> <td>0.44</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td>0.30</td> <td>0.27</td> <td>0.34</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td>0.26</td> <td>0.27</td> <td>0.29</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">出力透過</td> <td>寿命初期</td> <td>0.49</td> <td>0.40</td> <td>0.41</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td>0.32</td> <td>0.29</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td>0.27</td> <td>0.26</td> <td>0.26</td> </tr> </tbody> </table>	地震動と許容応力	運転条件	評価点	スベーク間 (応力設計比)	スベーク部 (応力設計比)	下部端栓溶接部 (応力設計比)	一次応力+二次応力	一次応力+二次応力	一次応力+二次応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy	圧力透過	寿命初期	0.73	0.58	0.66	寿命中期	0.27	0.25	0.31	寿命末期	0.23	0.22	0.24	出力透過	寿命初期	0.70	0.49	0.60	寿命中期	0.29	0.27	0.29	寿命末期	0.24	0.22	0.22	基準地震動Ssに対して引張強さSu	圧力透過	寿命初期	0.49	0.45	0.44	寿命中期	0.30	0.27	0.34	寿命末期	0.26	0.27	0.29	出力透過	寿命初期	0.49	0.40	0.41	寿命中期	0.32	0.29	0.31	寿命末期	0.27	0.26	0.26			<p>設備の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体の浮き上がりについて、PWRでは、燃料集合体は上下部炉心板に支持される。（上部及び下部炉心板に取り付けられた案内ピンと燃料集合体の上部及び下部ノズルがかん合しているため、上下部炉心板に支持される）</li> </ul> <p>燃料設計手法の相違</p> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泊ではA型及びB型の評価結果をまとめて添付資料の最後に掲載</li> </ul>
地震動と許容応力				運転条件	評価点	スベーク間 (応力設計比)	スベーク部 (応力設計比)	下部端栓溶接部 (応力設計比)																																																										
	一次応力+二次応力	一次応力+二次応力	一次応力+二次応力																																																															
弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy	圧力透過	寿命初期	0.73	0.58	0.66																																																													
		寿命中期	0.27	0.25	0.31																																																													
		寿命末期	0.23	0.22	0.24																																																													
	出力透過	寿命初期	0.70	0.49	0.60																																																													
		寿命中期	0.29	0.27	0.29																																																													
		寿命末期	0.24	0.22	0.22																																																													
基準地震動Ssに対して引張強さSu	圧力透過	寿命初期	0.49	0.45	0.44																																																													
		寿命中期	0.30	0.27	0.34																																																													
		寿命末期	0.26	0.27	0.29																																																													
	出力透過	寿命初期	0.49	0.40	0.41																																																													
		寿命中期	0.32	0.29	0.31																																																													
		寿命末期	0.27	0.26	0.26																																																													

第4条 地震による損傷の防止 (別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>2. 9X9燃料(B型)の評価結果(添付3-2表)</p> <p>(1)評価部位:スペーサ間, スペーサ部, 下部端栓溶接部</p> <p>(2)解析コード:                      &lt;スペーサ間, スペーサ部&gt;                      弾性解析コード BSPAN2 Ver. 2.2<sup>*1</sup>(設置許可, 設計認可と同じ)                      &lt;下部端栓溶接部&gt;                      有限要素法解析コードANSYS Ver. 13<sup>*2</sup></p> <p>(3)評価点:燃料寿命初期, 中期, 末期</p> <p>(4)運転状態:出力過渡(121%出力(出力運転中の制御棒の異常な引き抜き))又は圧力過渡(冷却材圧力□MPa[abs](負荷の喪失))</p> <p>(5)考慮する応力:                      ①冷却材による外圧及び燃料被覆管内圧によって生じる応力(一次応力)                      ②燃料被覆管楕円度による曲げ応力(一次応力)                      ③流力振動による応力(スペーサ間評価のみ)(一次応力)                      ④支持格子での保持力による応力(スペーサ部評価のみ)(二次応力)                      ⑤燃料被覆管の径方向温度勾配による応力(二次応力)                      ⑥燃料被覆管の周方向温度勾配による応力(二次応力)                      ⑦熱湾曲矯正による応力(二次応力)                      ⑧ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力(二次応力)                      ⑨膨張スプリング及び内部スプリングによる応力(二次応力)</p> <p>地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度(水平方向)は燃料集合体軸方向で分布を持つが、スペーサ間及びスペーサ部については最大値を固定値として入力する。</p> <p>⑩支持格子間の水平地震力による燃料被覆管のたわみに基づく応力(一次応力)                      ⑪チャンネルボックスの水平地震力によるたわみに基づく応力(二次応力)</p> <p>鉛直方向の地震加速度は燃料要素単位長質量に加速度を考</p>	<p>2. B型ステップ2燃料の評価結果(添付2-3表)</p> <p>(1)評価部位:被覆管</p> <p>(2)解析コード:                      地震時応力解析コード                      NASTRAN Ver2012.2.0<sup>*1</sup>(設置許可、設計認可はNASTRAN ver70)                      燃料被覆管応力評価コード                      高燃焼度用FPAC Ver1<sup>*2</sup>(設置許可、設計認可と同じ)</p> <p>(3)評価点:燃料寿命初期、中期、末期</p> <p>(4)運転状態:                      高温停止時、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時(「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」又は「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」)</p> <p>(5)考慮する応力                      ①内外圧差による応力(一次応力)                      ②接触圧による応力(二次応力)                      ③熱応力(二次応力)                      ④水力振動による応力(一次応力)                      ⑤地震による応力(一次応力)</p>		<p>燃料設計手法の相違</p> <p>・BWR と PWR は従来からそれぞれの安全専門審査会内規に基づき燃料設計を行っているため、燃料設計手法の相違により記載内容が異なる。</p>



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>慮することでみかけの 質量増加として扱い、⑩に加味することで計算する。なお、水平方向の地震加速度 がおよそ□G を超える範囲において、地震時鉛直方向加速度を直接軸方向応力として作用させる手法に対して本手法が保守的な評価となることを確認している（添付資料8参照）。</p> <p>(6) 許容応力:弾性設計用地震動(Sd)において、一次十二次応力に対して降伏応力(Sy) 基準地震動(Ss)において、一次十二次応力に対して引張強さ(Su)（添付資料5参照）</p> <p>(7) 入力値<sup>※3</sup>：                      &lt;スペーサ間、スペーサ部&gt;                      水平加速度 4.66G(Ss 応答加速度概算値)                      鉛直加速度 1.38G<sup>※4</sup>(同上)                      燃料集合体相対変位 45.3mm<sup>※5</sup>(Ss 応答変位概算値)                      水平加速度 2.68G(Sd 応答加速度概算値) 鉛直加速度 0.69G(同上)                      燃料集合体相対変位 25.1mm(Sd 応答変位概算値)                      &lt;下部端栓溶接部&gt;                      水平加速度 3.07G(Ss 応答加速度概算値)                      鉛直加速度 1.38G<sup>※4</sup>(同上)                      燃料集合体相対変位 45.3mm<sup>※5</sup>(Ss 応答変位概算値)                      水平加速度 1.63G(Sd 応答加速度概算値) 鉛直加速度 0.69G(同上)                      燃料集合体相対変位 25.1mm(Sd 応答変位概算値)</p> <p><u>ここで、工事計画認可申請における評価では、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度、燃料集合体の相対変位として、基本ケースの最大応答加速度に対し、材料物性の不確かさを考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは、別紙6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。</u></p>	<p>(6) 許容値:耐力(Sy)</p> <p>(7) 入力値：                      燃料集合体最大変位（水平方向の燃料集合体群振動計算より）：<input type="text"/>                      燃料集合体軸荷重（鉛直方向の燃料集合体振動計算より）：<input type="text"/></p> <p>追而（上記の破線部分は、基準地震動確定後の評価結果を反映する）</p>		<p>記載方針の相違                      ・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>今回の暫定評価は平成25年12設置変更許可申請時の基準地震動(Ss-1, 2)及び弾性設計用地震動(Sd-1, 2)に対するものであり、今後工事計画認可申請段階において基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sd(各7波)(材料物性の不確かさを考慮したケースを含む)に対する評価を実施する。なお、暫定評価の地震動条件は、工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること、また、暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから、工事計画認可申請段階における評価については、概ね問題ないものと考えている。</p> <p>また、工事計画認可申請段階の評価においては水平2方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平2方向の地震動を考慮した評価では、別紙3「水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料3に示すとおり、女川原子力発電所の基準地震動Ssには水平方向の地震動に方向性がないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち1方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙3に示すとおり、位相の異なる水平地震動を用いた場合、水平2方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから、水平2方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが、今後、工事計画認可申請段階で水平2方向への影響について詳細検討を実施する。</p> <p>※1:地震時に燃料被覆管に発生する応力は、燃料棒を梁モデルに置換し水平方向の加速度による燃料被覆管のたわみに基づく応力の計算式、チャンネルボックスのたわみにより強制変位を受けた際の応力計算式及び燃料棒に鉛直方向地震力が加わった場合に燃料被覆管断面にかかる圧縮及び引張り応力の計算式で計算する。これは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり、応力計算方法は同じである。BSPAN2はこれらを組み合わせて計算することが可能である。</p>	<p>※1：NASTRAN は燃料集合体の2次元有限要素法（はり要素）による応力解析に使用している汎用市販コードであり、地震時の燃料集合体変形等を入力して、燃料被覆管の地震時応力を算出することができる。</p> <p>※2：高燃焼度用FPACは、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び地震時における被覆管応力を足し合わせて、燃料被覆管の体積平均相当応力を計算することができる。</p> <p>なお、地震時に燃料被覆管に発生する応力は、上部炉心板及び下部炉心板における時刻歴応答加速度を入力とした燃料集合体の応答解析（水平方向群振動解析及</p>		<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川は当初申請時の地震動による評価を記載</li> <li>・泊は全ての地震動による評価を記載予定のため左記の記載は無い</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</li> </ul> <p>燃料耐震評価手法の相違</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>※2:燃料被覆管下部端栓溶接部の切り欠き形状の先端近傍では応力集中が生じるが、ピーク応力は荷重の繰り返しがなければ直ちに破損につながることはないため、一次応力+二次応力を評価に用いる。</p> <p>※3:平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</p> <p>※4:鉛直加速度が1Gを超過するため、燃料集合体が浮き上がる可能性について検討した結果は別紙1「既工認との手法の相違点の整理(設置変更許可申請段階での整理)」参考資料4に示しているが、既往知見より鉛直加速度1.5Gの場合でも燃料集合体の浮き上がりは5mm程度と小さく、浮き上がりに伴う衝突荷重の影響や冷却材流路に及ぼす影響は小さいものと考えているが、工事計画認可申請段階で女川2号炉の地震応答に対する燃料集合体の浮き上がりの影響について詳細検討を行う。</p> <p>※5:燃料集合体を含めた制御棒挿入性試験について、別紙1「既工認との手法の相違点の整理(設置変更許可申請段階での整理)」参考資料5に示しているが、燃料集合体相対変位60mmにおける試験においても、チャンネルボックスに微小な変形が発生する程度であり、燃料集合体へ有意な影響を及ぼすことがないことを確認している。</p>	<p>び鉛直方向振動解析)を実施し、得られた応答を入力として燃料棒に生じる応力の解析を実施して得られる結果を用いる(添付2-2図)。これに、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時における内外圧差及び接触圧による応力、熱応力、水力振動による応力を組み合わせて体積平均相当応力を計算する(添付2-1図)。地震時に発生する応力にはNASTRANを、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に発生する応力には高燃焼度用FPACを用いて計算する。</p>		<p>燃料耐震評価手法の相違</p> <p>記載方針の相違</p> <p>設備の相違                  ・燃料集合体の浮き上がりについて、PWRでは、燃料集合体は上下部炉心板に支持される。(上部及び下部炉心板に取り付けられた案内ピンと燃料集合体の上部及び下部ノズルがかん合しているため、上下部炉心板に支持される)</p> <p>燃料設計手法の相違</p>

泊発電所 3 号炉 DB 基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

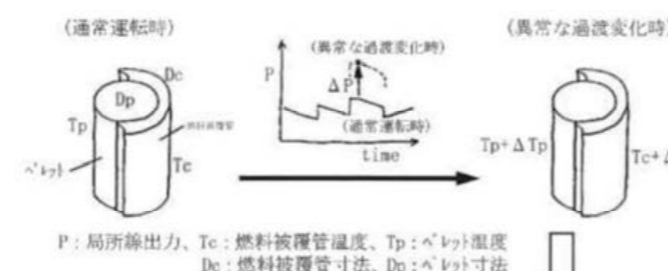
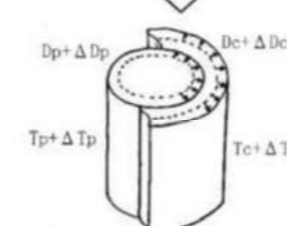
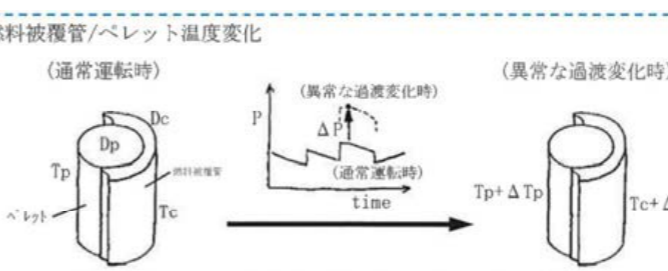
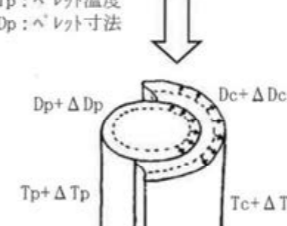
女川原子力発電所 2 号機					泊発電所 3 号機					大飯発電所 3 / 4 号機					差異の説明													
添付 3-2 表 燃料被覆管応力の評価結果 (9 × 9 燃料 (B 型))					添付 2-1 表 A 型ステップ 2 燃料 <sup>①②</sup> 被覆管応力評価結果 (単位: MPa)					表 1 大飯 3/4 号機 A 型ステップ 1 燃料 被覆管応力評価結果 (単位: MPa)					評価結果の相違													
地震動と許容応力	運転条件	評価点	スベーサ間 (応力設計比)	スベーサ部 (応力設計比)	下部端溶接部 (応力設計比)	高圧停止時	過渡運転時			運転時の異常な過渡変化時			高圧停止時	過渡運転時			運転時の異常な過渡変化時											
			一次応力+二次応力	一次応力+二次応力	一次応力+二次応力	高圧初期	高圧中期	高圧末期	高圧初期	高圧中期	高圧末期	高圧初期	高圧中期	高圧末期		高圧初期	高圧中期	高圧末期	高圧初期	高圧中期	高圧末期							
弾性設計用地震動 Sd に対して降伏応力 Sy	圧力過渡	寿命初期	0.68	0.73	0.64																							
		寿命中期	0.33	0.29	0.50																							
		寿命末期	0.27	0.26	0.48																							
	出力過渡	寿命初期	0.66	0.68	0.57																							
		寿命中期	0.35	0.30	0.45																							
		寿命末期	0.26	0.24	0.43																							
基礎地震動 Sd に対して降伏応力 Su	圧力過渡	寿命初期	0.53	0.53	0.44																							
		寿命中期	0.36	0.34	0.40																							
		寿命末期	0.32	0.30	0.39																							
出力過渡	寿命初期	0.52	0.49	0.42																								
	寿命中期	0.38	0.36	0.37																								
	寿命末期	0.32	0.30	0.36																								





実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

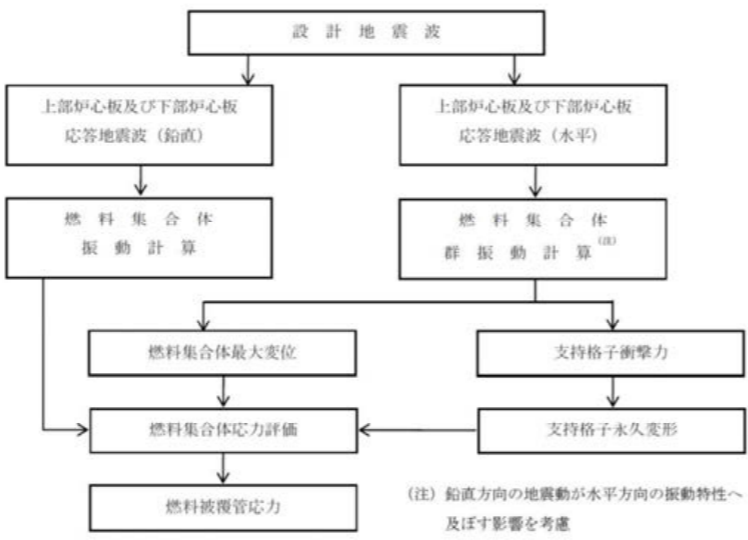

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>(1) 燃料被覆管/ペレット温度変化</p>  <p>(2) 温度変化に対する寸法変化</p>  <p>(3) 温度変化・寸法変化に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>燃料被覆管 ペレット</p> <p>温度変化: <math>T_c + \Delta T_c</math> <math>T_p + \Delta T_p</math></p> <p>寸法変化: <math>D_c + \Delta D_c</math> <math>D_p + \Delta D_p</math></p> </div> <p>燃料棒内外圧差+ペレット-燃料被覆管相互作用による発生応力: <math>\sigma_{dp} + \sigma_{POM}</math></p> <p>熱応力: <math>\sigma_T</math></p> <p>(4) 水力振動・地震に伴う発生応力</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">水力振動による発生応力: <math>\sigma_v</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地震による発生応力: <math>\sigma_{se}</math></div> </div> <p>体積平均相当応力: <math>\bar{\sigma}_g</math></p> <p>(5) 耐力との比較</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px; display: inline-block;">被覆材耐力: <math>\sigma_y</math></div> <p>健全性判定 (耐力を超えないこと)</p> <p style="text-align: center;">添付2-1図 燃料被覆管応力評価の流れ</p>	<p>大飯3, 4号機まとめ資料本文図1より</p> <p>(1) 燃料被覆管/ペレット温度変化</p>  <p>(2) 温度変化に対応する寸法変化</p>  <p>(3) 温度変化・寸法変化に伴う発生応力</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>燃料被覆管 ペレット</p> <p>温度変化: <math>T_c + \Delta T_c</math> <math>T_p + \Delta T_p</math></p> <p>寸法変化: <math>D_c + \Delta D_c</math> <math>D_p + \Delta D_p</math></p> </div> <p>燃料棒内外圧差+ペレット-燃料被覆管相互作用による発生応力: <math>\sigma_{dp} + \sigma_{POM}</math></p> <p>熱応力: <math>\sigma_T</math></p> <p>(4) 水力振動・地震に伴う発生応力</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">水力振動による発生応力: <math>\sigma_v</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地震による発生応力: <math>\sigma_{se}</math></div> </div> <p>体積平均相当応力: <math>\bar{\sigma}_g</math></p> <p>(5) 耐力との比較</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px; display: inline-block;">被覆材耐力: <math>\sigma_y</math></div> <p>健全性判定 (耐力を超えないこと)</p> <p style="text-align: center;">図-1 燃料被覆管応力評価の流れ</p>	<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊3では、分かり易さの観点から耐震評価の流れを示した図を追加</li> <li>・なお、燃料被覆管応力評価の流れは大飯と同様</li> </ul>



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	 <p style="text-align: center;">添付2-2図 燃料被覆管の地震による応力評価の流れ</p>	<p>大飯3, 4号機審査会合資料より</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について <span style="float: right;">参考5</span></p> <p>&lt;既認可の地震時の燃料被覆管の応力評価方法&gt;                  既認可の工事計画認可申請書燃料集合体の耐震計算書に記載の地震時の燃料被覆管の応力評価方法について示す。                  以下、大飯3, 4号炉三菱原子燃料製燃料の例について示す。</p> <p>1. 燃料被覆管の応力評価フローは以下のとおり。</p>  <p style="text-align: center;">第1図 燃料被覆管の応力評価フロー <span style="float: right;">The Kansai Electric Power Co., Ltd.</span></p> </div>	<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊3では、分かり易さの観点から耐震評価の流れを示した図を追加</li> <li>・なお、燃料被覆管の地震による応力評価の流れは大飯と同様</li> </ul>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料4</p> <p>地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について</p> <p><u>地震による振動サイクルを考慮した燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。燃料被覆管疲労解析の評価部位は、切り欠きと類似した形状を有し応力集中が発生する下部端栓溶接部とする。</u></p> <p>1. <u>9X9燃料(A型)の評価結果(添付4-1表)</u></p> <p>(1) 評価部位: 下部端栓溶接部                  (2) 解析コード:                      有限要素法解析コード ANSYS Ver. 14</p> <p>(3) 評価点: 燃料寿命初期, 中期, 末期                  (4) 運転状態: 応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡(冷却材圧力 <input type="text"/> MPa[abs])</p> <p>(5) 地震荷重の繰り返し数: 60回, 120回(暫定条件)                  (6) 許容サイクル数: 最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線(添付4-1図参照)に基づき設定</p>	<p style="text-align: right;">添付資料3</p> <p>地震による繰り返し荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価（閉じ込め機能の維持）について</p> <p><u>種々の設計過渡条件に加え、設計地震荷重を考慮した燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。</u></p> <p>1. <u>A型ステップ2燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の評価結果(添付3-1表)</u></p> <p>(1) 評価部位: 被覆管                  (2) 解析コード:                      地震時応力解析コード                      ANSYS Ver11.0</p> <p>(3) 評価点: 燃料寿命初期, 中期, 末期                  (4) 運転状態:                      高温停止時、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時                      (「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」又は「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」)</p> <p>(5) 地震荷重の繰り返し数: 200回                  (6) 許容サイクル数: 最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線(添付3-1図参照)に基づき設定</p>	<p style="text-align: right;">別添資料6</p> <p>燃料被覆管疲労評価結果</p>	<p>記載表現の相違                  燃料設計手法の相違                  ・BWRとPWRは従来からそれぞれの安全専門審査会内規に基づき燃料設計を行っているため、燃料設計手法の相違により記載内容が異なる。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>(7)入力値<sup>※1</sup>：</p> <p>水平加速度 3.07G(Ss 応答加速度概算値) 鉛直加速度 1.38G(同上) 燃料集合体相対変位 45.3mm(Ss 応答変位概算値) 水平加速度 1.63G(Sd 応答加速度概算値) 鉛直加速度 0.69G(同上) 燃料集合体相対変位 25.1mm(Sd 応答変位概算値)</p> <p>ここで、工事計画認可申請における評価では、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度、燃料集合体の相対変位として、基本ケースの最大応答加速度に対し、材料物性の不確かさを考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは、別紙6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。</p> <p>今回の暫定評価は平成25年12月設置変更許可申請時の基準地震動(Ss-1, 2)及び弾性設計用地震動(Sd-1, 2)に対するものであり、今後工事計画認可申請段階において基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sd(各7波)(材料物性の不確かさを考慮したケースを含む)に対する評価を実施する。なお、暫定評価の地震動条件は、工事計画認可申請段階で用いる地震動とほぼ同等レベルと見込まれること、また、暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから、工事計画認可申請段階における評価については、概ね問題ないものと考えている。</p>	<p>(7)入力値：</p> <p>&lt;A型ステップ2燃料<sup>(注1)</sup>&gt; 燃料集合体最大変位（水平方向の燃料集合体群振動計算より）：<input type="text"/> 燃料集合体軸荷重（鉛直方向の燃料集合体振動計算より）：<input type="text"/> &lt;A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料&gt; 燃料集合体最大変位（水平方向の燃料集合体群振動計算より）：<input type="text"/> 燃料集合体軸荷重（鉛直方向の燃料集合体振動計算より）：<input type="text"/></p> <p>(注1) 信頼性向上燃料を含む。</p> <p>追而（上記の破線部分は、基準地震動確定後の評価結果を反映する）</p>		<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川は当初申請時の地震動による評価を記載</li> <li>・泊は全ての地震動による評価を記載予定のため左記の記載は無い</li> </ul>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																		
<p>また、工事計画認可申請段階の評価においては水平2方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平2方向の地震動を考慮した評価では、別紙3「水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料3に示すとおり、女川原子力発電所の基準地震動 <math>S_s</math> には水平方向の地震動に方向性がないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち1方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙3に示すとおり、位相の異なる水平地震動を用いた場合、水平2方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから、水平2方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが、今後、工事計画認可申請段階で水平2方向への影響について詳細検討を実施する。</p>			<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊ではA型及びB型の評価結果をまとめて添付資料の最後に掲載</li> </ul>																																																		
<p>添付4-1表 燃料被覆管疲労評価結果（9×9 燃料（A型））</p> <table border="1" data-bbox="231 1003 926 1423"> <thead> <tr> <th>地震動</th> <th>評価点</th> <th>応力振幅 (N/mm<sup>2</sup>)</th> <th>許容サイクル数 (回)</th> <th>地震荷重の繰り返し数 (回)</th> <th>疲労係数の増分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">基準地震動 <math>S_s</math></td> <td rowspan="2">寿命初期</td> <td rowspan="2">90</td> <td rowspan="2"><math>1.9 \times 10^4</math></td> <td>60</td> <td>0.00316</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00632</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命中期</td> <td rowspan="2">90</td> <td rowspan="2"><math>1.9 \times 10^4</math></td> <td>60</td> <td>0.00316</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00632</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命末期</td> <td rowspan="2">91</td> <td rowspan="2"><math>1.8 \times 10^4</math></td> <td>60</td> <td>0.00333</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00667</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">弾性設計用地震動 <math>s_d</math></td> <td rowspan="2">寿命初期</td> <td rowspan="2">49</td> <td rowspan="2"><math>1.0 \times 10^6</math></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命中期</td> <td rowspan="2">49</td> <td rowspan="2"><math>1.0 \times 10^6</math></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命末期</td> <td rowspan="2">50</td> <td rowspan="2"><math>1.0 \times 10^6</math></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> </tbody> </table>	地震動	評価点	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分	基準地震動 $S_s$	寿命初期	90	$1.9 \times 10^4$	60	0.00316	120	0.00632	寿命中期	90	$1.9 \times 10^4$	60	0.00316	120	0.00632	寿命末期	91	$1.8 \times 10^4$	60	0.00333	120	0.00667	弾性設計用地震動 $s_d$	寿命初期	49	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006	120	0.00012	寿命中期	49	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006	120	0.00012	寿命末期	50	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006	120	0.00012			
地震動	評価点	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分																																																
基準地震動 $S_s$	寿命初期	90	$1.9 \times 10^4$	60	0.00316																																																
				120	0.00632																																																
	寿命中期	90	$1.9 \times 10^4$	60	0.00316																																																
				120	0.00632																																																
	寿命末期	91	$1.8 \times 10^4$	60	0.00333																																																
				120	0.00667																																																
弾性設計用地震動 $s_d$	寿命初期	49	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006																																																
				120	0.00012																																																
	寿命中期	49	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006																																																
				120	0.00012																																																
	寿命末期	50	$1.0 \times 10^6$	60	0.00006																																																
				120	0.00012																																																



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>2. 9X9燃料(B型)の評価結果(添付4-2表)</p> <p>(1) 評価部位:下部端栓溶接部</p> <p>(2) 解析コード:有限要素法解析コードANSYS Ver. 13</p> <p>(3) 評価点:燃料寿命初期, 中期, 末期</p> <p>(4) 運転状態:応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡(冷却材圧力 <input type="text"/> MPa[abs])</p> <p>(5) 地震荷重の繰り返し数:60回, 120回(暫定条件)</p> <p>(6) 許容サイクル数:最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線(添付4-1図参照)に基づき設定</p> <p>(7) 入力値<sup>*1</sup>:</p> <p>水平加速度3.07G(Ss 応答加速度概算値)</p> <p>鉛直加速度1.38G(同上)</p> <p>燃料集合体相対変位45.3mm(Ss応答変位概算値)</p> <p>水平加速度1.63G(Sd 応答加速度概算値)</p> <p>鉛直加速度0.69G(同上)</p> <p>燃料集合体相対変位25.1mm(Sd応答変位概算値)</p> <p>ここで、工事計画認可申請における評価では、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度、燃料集合体の相対変位として、基本ケースの最大応答加速度に対し、材料物性の不確かさを考慮した値を用いる。材料物性の不確かさは、別紙6「原子炉本体の基礎の復元力特性について」に示す原子炉本体基礎の復元力特性の不確かさを考慮したケースと別紙11「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に示す原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮したケースについて検討する。</p> <p>今回の暫定評価は平成25年12月設置変更許可申請時の基準地震動(Ss-1, 2)及び弾性設計用地震動(Sd-1, 2)に対するものであり、今後工事計画認可申請段階において基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sd(各7波)(材料物性の不確かさを考慮したケースを含む)に対する評価を実施する。なお、暫定評価の地震動条件は、工事計画認可申請段階で用いる地震動と</p>	<p>2. B型ステップ2燃料の評価結果(添付3-1表)</p> <p>(1) 評価部位:被覆管</p> <p>(2) 解析コード:</p> <p>地震時応力解析コード</p> <p>NASTRAN Ver2012.2.0</p> <p>(3) 評価点:燃料寿命初期、中期、末期</p> <p>(4) 運転状態:</p> <p>高温停止時、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時(「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」又は「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」)</p> <p>(5) 地震荷重の繰り返し数:200回</p> <p>(6) 許容サイクル数:最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線(添付3-1図参照)に基づき設定</p> <p>(7) 入力値:</p> <p>燃料集合体最大変位(水平方向の燃料集合体群振動計算より): <input type="text"/></p> <p>燃料集合体軸荷重(鉛直方向の燃料集合体振動計算より): <input type="text"/></p> <p>追而(上記の <input type="text"/> 破線部分 は、基準地震動確定後の評価結果を反映する)</p>		<p>燃料設計手法の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・BWR と PWR は従来からそれぞれの安全専門審査会内規に基づき燃料設計を行っているため、燃料設計手法の相違により記載内容が異なる。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川は当初申請時の地震動による評価を記載</li> <li>・泊は全ての地震動による評価を記載予定のため左記の記載は無い</li> </ul>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>ほぼ同等レベルと見込まれること、また、暫定評価での発生応力値は許容応力に余裕があることから、工事計画認可申請段階における評価については、概ね問題ないものと考えている。</p> <p>また、工事計画認可申請段階の評価においては水平2方向及び鉛直方向を考慮した評価も実施する。燃料被覆管の水平2方向の地震動を考慮した評価では、別紙3「水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」参考資料3に示すとおり、女川原子力発電所の基準地震動 Ss には水平方向の地震動に方向性がないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち1方向について位相の異なる模擬地震波を作成し入力する方法を適用する予定である。別紙3に示すとおり、位相の異なる水平地震動を用いた場合、水平2方向の地震動によるオービットには偏りがない傾向となることから、水平2方向を考慮した場合の影響は軽微であると考えられるが、今後、工事計画認可申請段階で水平2方向への影響について詳細検討を実施する。</p> <p>※1:平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</p> <p>※2:ジルカロイ設計疲労曲線は、ジルカロイ-2の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに、ジルカロイ-4等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ-2とほぼ同等であることを確認し、ジルカロイ-2、3及び4共通の設計曲線として設定したものである。Langer-0' Donnell は、設計曲線を保守側に見積もるため、未照射材及び照射材それぞれについて応力を1/2、サイクル数を1/20とし、未照射材及び照射材の両者の包絡線をLanger-0' Donnell の設計疲労曲線[1]としている。ここで、異なる高速中性子照射量に対する疲労試験結果から、疲労特性の照射量依存性は小さいことが示されており、また、過去の研究[2]において、高速中性子照射量約1.3X10<sup>22</sup>cm<sup>-2</sup>までのジルカロイ-2燃料被覆管の疲労試験</p>			<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同じ記載の繰り返しとなるため泊では記載していない。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <p>記載箇所の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・女川と同等の記載を泊では添付資料4として記載している</li> </ul>



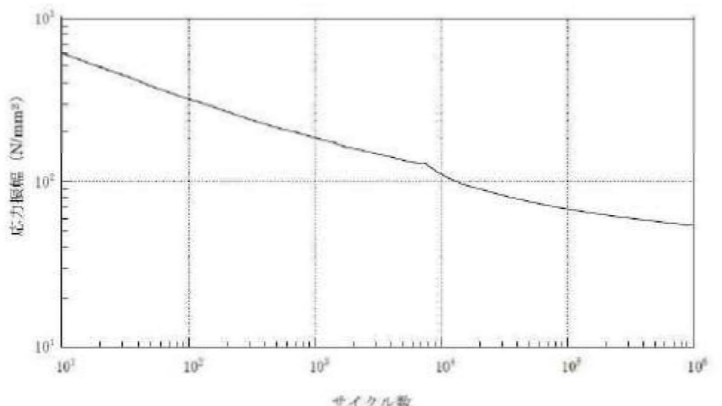
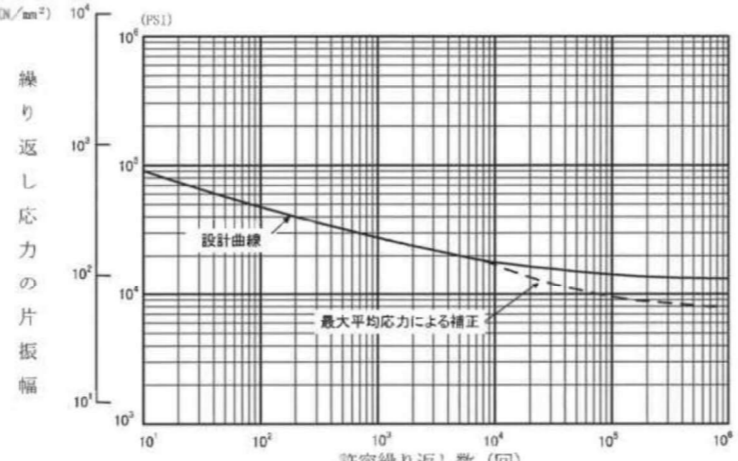
実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止 (別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p><u>データが採取され、Langer-O'Donnellの照射材疲労試験データに包絡されることが確認されている。なお、BWRの燃料被覆管はジルカロイ-2を用いており、疲労評価の対象部位である下部端栓溶接部の寿命末期に相当する高速中性子照射量は、上記疲労試験[1]、[2]の範囲内にある。</u></p> <p>参考文献                      [1] W. J. O'Donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964)                      [2] S. Ishimoto, et al., "Improved Zr Alloys for High Burnup BWR Fuel", Top Fuel 2006 (2006 International Meeting on LWR Fuel Performance, 22-26 October 2006, Salamanca, Spain)</p>			<p>記載箇所の相違                      ・女川と同等の記載を泊では添付資料4として記載している</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																																																																					
<p>添付4-2表 燃料被覆管疲労評価結果（9×9 燃料（B型））</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地震動</th> <th>評価点</th> <th>応力振幅 (N/mm<sup>2</sup>)</th> <th>許容サイクル数 (回)</th> <th>地震荷重の繰り返し数 (回)</th> <th>疲労係数の増分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">基準地震動 S<sub>B</sub></td> <td rowspan="2">寿命初期</td> <td rowspan="2">112</td> <td rowspan="2">1.1×10<sup>4</sup></td> <td>60</td> <td>0.00536</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.01071</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命中期</td> <td rowspan="2">110</td> <td rowspan="2">1.2×10<sup>4</sup></td> <td>60</td> <td>0.00508</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.01017</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命末期</td> <td rowspan="2">109</td> <td rowspan="2">1.2×10<sup>4</sup></td> <td>60</td> <td>0.00492</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00984</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">弾性設計用地震動 S<sub>d</sub></td> <td rowspan="2">寿命初期</td> <td rowspan="2">53</td> <td rowspan="2">1.0×10<sup>9</sup></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命中期</td> <td rowspan="2">52</td> <td rowspan="2">1.0×10<sup>9</sup></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寿命末期</td> <td rowspan="2">51</td> <td rowspan="2">1.0×10<sup>9</sup></td> <td>60</td> <td>0.00006</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.00012</td> </tr> </tbody> </table>	地震動	評価点	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分	基準地震動 S <sub>B</sub>	寿命初期	112	1.1×10 <sup>4</sup>	60	0.00536	120	0.01071	寿命中期	110	1.2×10 <sup>4</sup>	60	0.00508	120	0.01017	寿命末期	109	1.2×10 <sup>4</sup>	60	0.00492	120	0.00984	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>	寿命初期	53	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006	120	0.00012	寿命中期	52	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006	120	0.00012	寿命末期	51	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006	120	0.00012	<p>添付3-1表 疲労評価結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>地震地応力 (MPa)</th> <th>設計地震荷重の累積疲労損傷係数</th> <th>設計過渡条件の累積疲労損傷係数 (注1)</th> <th>合計</th> <th>基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A型ステップ2燃料<sup>(注2)</sup></td> <td rowspan="3">[ ]</td> <td>0.02</td> <td>0.40</td> <td>0.42</td> <td>≦1</td> </tr> <tr> <td>A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料</td> <td>0.01</td> <td>0.40</td> <td>0.41</td> <td>≦1</td> </tr> <tr> <td>B型ステップ2燃料</td> <td>0.18</td> <td>0.05</td> <td>0.23</td> <td>≦1</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 燃料体設計認可申請書の強度評価における起動・停止、負荷追従運転及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した疲労評価結果を記載している。          (注2) 信頼性向上燃料を含む。</p> <p>追記（上記の [ ] 部分は、基準地震動確定後の評価結果を反映する）</p>		地震地応力 (MPa)	設計地震荷重の累積疲労損傷係数	設計過渡条件の累積疲労損傷係数 (注1)	合計	基準	A型ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>	[ ]	0.02	0.40	0.42	≦1	A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料	0.01	0.40	0.41	≦1	B型ステップ2燃料	0.18	0.05	0.23	≦1	<p>表1 大飯3/4号機 地震時応力を考慮した疲労評価結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>地震時応力 (MPa)</th> <th>地震時疲労 (%)</th> <th>運転時疲労<sup>(注1)</sup> (%)</th> <th>疲労評価結果 (%)</th> <th>損傷限界 (%)</th> <th>設計比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大飯3/4号機 A型ステップ1燃料</td> <td rowspan="6">[ ]</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td rowspan="6">100</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 A型ステップ2燃料<sup>(注2)</sup></td> <td>3</td> <td>40</td> <td>43</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 B型ステップ1燃料</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 B型ステップ2燃料</td> <td>39</td> <td>4</td> <td>43</td> <td>0.43</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 燃料体設計認可申請書の強度評価における起動・停止、負荷追従運転及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した疲労評価結果を記載している。          (注2) 信頼性向上燃料を含む。</p>		地震時応力 (MPa)	地震時疲労 (%)	運転時疲労 <sup>(注1)</sup> (%)	疲労評価結果 (%)	損傷限界 (%)	設計比	大飯3/4号機 A型ステップ1燃料	[ ]	2	4	6	100	0.06	大飯3/4号機 A型ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>	3	40	43	0.43	大飯3/4号機 B型ステップ1燃料	4	2	6	0.06	大飯3/4号機 B型ステップ2燃料	39	4	43	0.43	<p>評価結果の相違</p>
地震動	評価点	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )	許容サイクル数 (回)	地震荷重の繰り返し数 (回)	疲労係数の増分																																																																																																			
基準地震動 S <sub>B</sub>	寿命初期	112	1.1×10 <sup>4</sup>	60	0.00536																																																																																																			
				120	0.01071																																																																																																			
	寿命中期	110	1.2×10 <sup>4</sup>	60	0.00508																																																																																																			
				120	0.01017																																																																																																			
	寿命末期	109	1.2×10 <sup>4</sup>	60	0.00492																																																																																																			
				120	0.00984																																																																																																			
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>	寿命初期	53	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006																																																																																																			
				120	0.00012																																																																																																			
	寿命中期	52	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006																																																																																																			
				120	0.00012																																																																																																			
	寿命末期	51	1.0×10 <sup>9</sup>	60	0.00006																																																																																																			
				120	0.00012																																																																																																			
	地震地応力 (MPa)	設計地震荷重の累積疲労損傷係数	設計過渡条件の累積疲労損傷係数 (注1)	合計	基準																																																																																																			
A型ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>	[ ]	0.02	0.40	0.42	≦1																																																																																																			
A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料		0.01	0.40	0.41	≦1																																																																																																			
B型ステップ2燃料		0.18	0.05	0.23	≦1																																																																																																			
	地震時応力 (MPa)	地震時疲労 (%)	運転時疲労 <sup>(注1)</sup> (%)	疲労評価結果 (%)	損傷限界 (%)	設計比																																																																																																		
大飯3/4号機 A型ステップ1燃料	[ ]	2	4	6	100	0.06																																																																																																		
大飯3/4号機 A型ステップ2燃料 <sup>(注2)</sup>		3	40	43		0.43																																																																																																		
大飯3/4号機 B型ステップ1燃料		4	2	6		0.06																																																																																																		
大飯3/4号機 B型ステップ2燃料		39	4	43		0.43																																																																																																		
 <p>添付4-1図 ジルカロイの設計疲労曲線<sup>(注)</sup></p>		 <p>添付3-1図 Langer and O'Donnellの設計疲労曲線</p>																																																																																																						



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明												
		<p>燃料被覆管累積疲労評価の傾向について</p> <p>燃料被覆管累積疲労評価は、燃料被覆管に作用するペレットの接触圧による応力が大きいほど（燃料の出力が大きいほど）、ペレットと燃料被覆管の接触時期が早いほど累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。</p> <p>燃料被覆管累積疲労評価に影響を与える燃料タイプ毎の傾向を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="1715 451 2398 1144"> <thead> <tr> <th>燃料タイプ</th> <th>傾向</th> <th>説明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ウラン燃料/ MOX燃料</td> <td>ウラン燃料&lt; MOX燃料</td> <td>MOX燃料は、ウラン燃料に比べて核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向があることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、MOX燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がウラン燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がウラン燃料に比べて早くなるため、MOX燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。</td> </tr> <tr> <td>ステップ1燃料/ ステップ2燃料</td> <td>ステップ1燃料&lt; ステップ2燃料</td> <td>ステップ2燃料は、ステップ1燃料に比べて高燃焼度化により核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向にあることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、ステップ2燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がステップ1燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がステップ1燃料に比べて早くなるため、ステップ2燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。</td> </tr> <tr> <td>15×15型3ループ燃料/ 17×17型3,4ループ燃料</td> <td>15×15型3ループ燃料&gt; 17×17型3,4ループ燃料</td> <td>15×15型3ループ燃料は、17×17型3,4ループ燃料に比べて燃料棒の出力が大きいため、15×15型3ループ燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。  (参考) 定格出力時平均線出力密度 15×15型3ループ：約20.3kW/m 17×17型3ループ：約17.1kW/m 17×17型4ループ：約17.9kW/m</td> </tr> </tbody> </table>	燃料タイプ	傾向	説明	ウラン燃料/ MOX燃料	ウラン燃料< MOX燃料	MOX燃料は、ウラン燃料に比べて核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向があることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、MOX燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がウラン燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がウラン燃料に比べて早くなるため、MOX燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。	ステップ1燃料/ ステップ2燃料	ステップ1燃料< ステップ2燃料	ステップ2燃料は、ステップ1燃料に比べて高燃焼度化により核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向にあることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、ステップ2燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がステップ1燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がステップ1燃料に比べて早くなるため、ステップ2燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。	15×15型3ループ燃料/ 17×17型3,4ループ燃料	15×15型3ループ燃料> 17×17型3,4ループ燃料	15×15型3ループ燃料は、17×17型3,4ループ燃料に比べて燃料棒の出力が大きいため、15×15型3ループ燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。  (参考) 定格出力時平均線出力密度 15×15型3ループ：約20.3kW/m 17×17型3ループ：約17.1kW/m 17×17型4ループ：約17.9kW/m	<p>【大飯】</p> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大飯は他サイトを含む複数プラントで使用しているすべての燃料タイプの傾向をしている。</li> </ul>
燃料タイプ	傾向	説明													
ウラン燃料/ MOX燃料	ウラン燃料< MOX燃料	MOX燃料は、ウラン燃料に比べて核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向があることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、MOX燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がウラン燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がウラン燃料に比べて早くなるため、MOX燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。													
ステップ1燃料/ ステップ2燃料	ステップ1燃料< ステップ2燃料	ステップ2燃料は、ステップ1燃料に比べて高燃焼度化により核分裂生成ガス（F Pガス）の放出量が大きくなる傾向にあることから、燃料棒内圧増加を抑制するため、初期ヘリウム加圧量を低減させている。これにより、ステップ2燃料の寿命初期の燃料棒内外圧差がステップ1燃料に比べて大きくなり、ペレットと燃料被覆管の接触時期がステップ1燃料に比べて早くなるため、ステップ2燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。													
15×15型3ループ燃料/ 17×17型3,4ループ燃料	15×15型3ループ燃料> 17×17型3,4ループ燃料	15×15型3ループ燃料は、17×17型3,4ループ燃料に比べて燃料棒の出力が大きいため、15×15型3ループ燃料の方が累積疲労損傷係数が大きい傾向となる。  (参考) 定格出力時平均線出力密度 15×15型3ループ：約20.3kW/m 17×17型3ループ：約17.1kW/m 17×17型4ループ：約17.9kW/m													

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>(女川では右記の内容を添付資料4に記載)</p>	<p style="text-align: right;">添付資料4</p> <p style="text-align: center;">Langer and O' Donnellの設計疲労曲線</p> <p>燃料被覆管の疲労評価においては、ジルコニウム材の疲労試験結果より設定されたLanger and O' Donnellの設計疲労曲線<sup>1</sup>を用いて評価をおこなっている。燃料被覆管の疲労評価にあたってLanger and O' Donnellの設計疲労曲線を用いることについては「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」（昭和51年2月16日原子炉安全専門審査会）（以下、17内規と称す）において記載されており、適用の妥当性が確認されている。</p> <p>ここで、17内規に記載されている燃料設計基準は、米国Westinghouse社製燃料の設計を基礎に検討、確認が行われたものである。米国におけるWestinghouse社製燃料の設計に関する許認可資料<sup>2</sup>によると、Westinghouse社は疲労評価手法について、Langer and O' Donnellの設計疲労曲線を用いASME Sec. III の概念に基づく疲労評価を実施することを妥当としたとの記載がある。このような経緯をふまえ昭和51年(1976年)の17内規における疲労評価においてLanger and O' Donnellの設計疲労曲線が採用されたものと考えられる。</p> <p>また、国産燃料では集合体燃焼度の最高燃焼度を55,000MWd/tとする燃料(ステップ2燃料)にて、耐食性を改良した燃料被覆管(MDA等)を導入している。これらの燃料被覆管の導入時には、疲労試験によりジルカロイ4と同様にLanger and O' Donnellの設計疲労曲線が適用できることを確認しており、「PWR燃料の高燃焼度化(ステップ2)及び燃料の高燃焼度化に係る安全研究の現状と課題について」（平成13年12月7日 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会）において改良被覆管とジルカロイ4とで疲労特性が同等であると結論付けられている。</p> <p>なお、Langer and O' Donnellの設計疲労曲線は、ジルカロイ照射材に対して高温(316℃)で軸方向または曲げ方向の繰返し試験により得られた疲労試験データをフィッティングすることで最確曲線を作成している。その後、データのばらつきを考慮して、保守的に最確曲線の繰返し応力の片振幅を1/2倍、許容繰返し回数を1/20倍することで設計疲労曲</p>	<p style="text-align: right;">添付資料2</p> <p style="text-align: center;">Langer and O' Donnellの設計疲労曲線</p> <p>燃料被覆管の疲労評価においては、ジルコニウム材の疲労試験結果より設定されたLanger and O' Donnellの設計疲労曲線<sup>1</sup>を用いて評価をおこなっている。燃料被覆管の疲労評価にあたってLanger and O' Donnellの設計疲労曲線を用いることについては「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」（昭和51年2月16日原子炉安全専門審査会）（以下、17内規と称す）において記載されており、適用の妥当性が確認されている。</p> <p>ここで、17内規に記載されている燃料設計基準は、米国Westinghouse社製燃料の設計を基礎に検討、確認が行われたものである。米国におけるWestinghouse社製燃料の設計に関する許認可資料<sup>2</sup>によると、Westinghouse社は疲労評価手法について、Langer and O' Donnellの設計疲労曲線を用いASME Sec. III の概念に基づく疲労評価を実施することを妥当としたとの記載がある。このような経緯をふまえ昭和51年(1976年)の17内規における疲労評価においてLanger and O' Donnellの設計疲労曲線が採用されたものと考えられる。</p> <p>また、国産燃料では集合体燃焼度の最高燃焼度を55,000MWd/tとする燃料(ステップ2燃料)にて、耐食性を改良した燃料被覆管(MDA等)を導入している。これらの燃料被覆管の導入時には、疲労試験によりジルカロイ4と同様にLanger and O' Donnellの設計疲労曲線が適用できることを確認しており、「PWR燃料の高燃焼度化(ステップ2)及び燃料の高燃焼度化に係る安全研究の現状と課題について」（平成13年12月7日 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会）において改良被覆管とジルカロイ4とで疲労特性が同等であると結論付けられている。</p> <p>なお、Langer and O' Donnellの設計疲労曲線は、ジルカロイ照射材に対して高温(316℃)で軸方向または曲げ方向の繰返し試験により得られた疲労試験データをフィッティングすることで最確曲線を作成している。その後、データのばらつきを考慮して、保守的に最確曲線の繰返し応力の片振幅を1/2倍、許容繰返し回数を1/20倍することで設計疲労曲</p>	<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計疲労曲線については、泊は大飯同様添付資料としてしている（女川は添付資料4の中で設計疲労曲線を示している）</li> </ul> <p>【大飯との差異】無し</p>



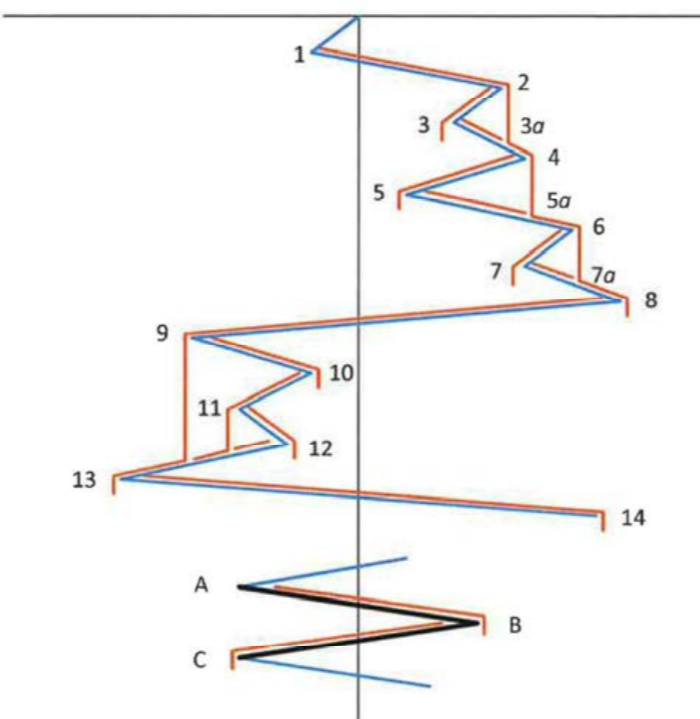
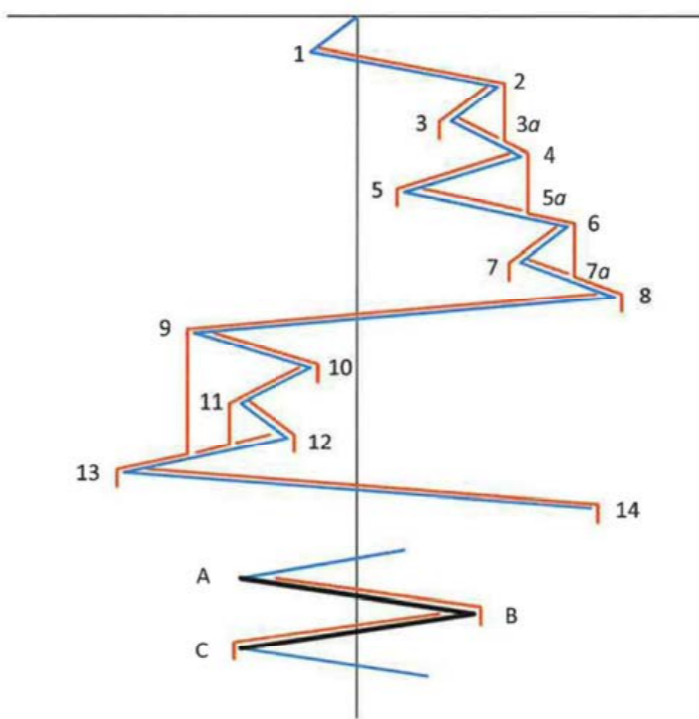
泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>線を設定している。</p> <p>_____</p> <p><sup>1</sup> W. J. O' Donnell and B. F Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components" Nuclear Science and Engineering 20, 1-12(1964)</p> <p><sup>2</sup> North Anna Power Station Updated Final Safety Analysis Report Revision 52 (NRC ADAMS 検索番号 ML17033B509)</p>	<p>線を設定している。</p> <p>_____</p> <p><sup>1</sup> W. J. O' Donnell and B. F Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components" Nuclear Science and Engineering 20, 1-12(1964)</p> <p><sup>2</sup> North Anna Power Station Updated Final Safety Analysis Report Revision 52 (NRC ADAMS 検索番号 ML17033B509)</p>	

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>(女川には右記の資料は無い)</p>	<p>添付資料5</p> <p>レインフロー法による計数方法*</p>  <p>時間変動する変位から疲労損傷評価において考慮すべき変位の発生頻度(回数)を計数する方法としてレインフロー法を用いた。具体的には、変位-時間の波形の時間軸を鉛直方向にとり、変位の大きさを多重の塔の屋根からの雨だれに例え、雨だれの流れた範囲(変位の幅)の変位が1/2回発生したとして変位の発生頻度を計数する方法である。以下に手順を示す。</p> <p>(1) 雨だれは各極値(波形の向きが変わる箇所。上図では極値となる箇所に番号が振られている(α と付く点は除く))から流れ出すが、一つの雨だれが流れている間は次の雨だれは流れ出さない。</p> <p>(2) 極値から流れ出した雨だれは屋根の先にきた場合、次の極値のほうが大きな値の場合には停止する(例では、1→8の流れは極値9が最初の極値1より大きいため停止する。同様に、9→10の流れは極値13が極値9より大きいため停止する。</p>	<p>添付資料3</p> <p>レインフロー法による計数方法*</p>  <p>時間変動する変位から疲労損傷評価において考慮すべき変位の発生頻度(回数)を計数する方法としてレインフロー法を用いた。具体的には、変位-時間の波形の時間軸を鉛直方向にとり、変位の大きさを多重の塔の屋根からの雨だれに例え、雨だれの流れた範囲(変位の幅)の変位が1/2回発生したとして変位の発生頻度を計数する方法である。以下に手順を示す。</p> <p>(1) 雨だれは各極値(波形の向きが変わる箇所。上図では極値となる箇所に番号が振られている(α と付く点は除く))から流れ出すが、一つの雨だれが流れている間は次の雨だれは流れ出さない。</p> <p>(2) 極値から流れ出した雨だれは屋根の先にきた場合、次の極値のほうが大きな値の場合には停止する(例では、1→8の流れは極値9が最初の極値1より大きいため停止する。同様に、9→10の流れは極値13が極値9より大きいため停止する。</p>	<p>燃料耐震評価手法の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・PWR は燃料集合体の地震応答解析結果に基づき実際に繰り返し回数を計数しているため、泊では添付資料5にてその方法を示している。</li> </ul> <p>【大飯との差異】無し</p>



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
	<p>_____</p> <p>* 日本機械学会編「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学」を参考としている</p> <p>(3) 先に雨だれが流れている場合は、いま考えている流れはその点で停止する。 (例では3→3α、5→5α など)</p> <p>(4) (例) 極値1→8の波形では以下の7つの範囲(大きさ)をもつ変位がそれぞれ発生したとして変位の発生頻度(回数)を計数する。 ① 1→2→3α→4→5α→6→7, →8の流れ ② 2→3の流れ ③ 3→3α の流れ ④ 4→5の流れ ⑤ 5→5α の流れ ⑥ 6→7の流れ ⑦ 7→7α の流れ 上記の変位は、変位-時間の波形としては1/2サイクルとなることから、頻度分布の計数としては、①から⑦の範囲(変位の幅)の変位がそれぞれ1/2回発生したと数える。 なお、この考え方では1/2サイクル毎に変位を計数するため、1サイクルの波を2回に分けて計数することとなる。その例をA→B→Cの1サイクルの波で示すが、A→Bで1/2サイクル、B→Cで1/2サイクルと計数し、その合計として1サイクルの波を計数する。</p> <p>(5) 計数した変位の頻度(回数)分布の結果のうち、疲労限以上となる応力が発生する変位を、地震時に被覆管に発生する応力の繰り返し回数として計数する。</p>	<p>_____</p> <p>* 日本機械学会編「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学」を参考としている</p> <p>(3) 先に雨だれが流れている場合は、いま考えている流れはその点で停止する。 (例では3→3α、5→5α など)</p> <p>(4) (例) 極値1→8の波形では以下の7つの範囲(大きさ)をもつ変位がそれぞれ発生したとして変位の発生頻度(回数)を計数する。 ① 1→2→3α→4→5α→6→7, →8の流れ ② 2→3の流れ ③ 3→3α の流れ ④ 4→5の流れ ⑤ 5→5α の流れ ⑥ 6→7の流れ ⑦ 7→7α の流れ 上記の変位は、変位-時間の波形としては1/2サイクルとなることから、頻度分布の計数としては、①から⑦の範囲(変位の幅)の変位がそれぞれ1/2回発生したと数える。 なお、この考え方では1/2サイクル毎に変位を計数するため、1サイクルの波を2回に分けて計数することとなる。その例をA→B→Cの1サイクルの波で示すが、A→Bで1/2サイクル、B→Cで1/2サイクルと計数し、その合計として1サイクルの波を計数する。</p> <p>(5) 計数した変位の頻度(回数)分布の結果のうち、疲労限以上となる応力が発生する変位を、地震時に被覆管に発生する応力の繰り返し回数として計数する。</p>	

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																
<p>(女川には右記の資料は無い)</p>	<p style="text-align: right;">添付資料6</p> <p style="text-align: center;">レインフロー法による繰り返し回数の計数結果</p> <p style="text-align: center;">添付6-1表 繰り返し回数の計数結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td style="border: 1px dashed black;">繰り返し回数 計数結果</td> </tr> <tr> <td>A型ステップ2燃料<sup>(注)</sup></td> <td rowspan="4" style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px;"></td> </tr> <tr> <td>A型ウラン・プルトニウム 混合酸化物燃料</td> </tr> <tr> <td>B型ステップ2燃料</td> </tr> <tr> <td>(注) 信頼性向上燃料を含む。</td> </tr> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>追記                  (上記の「破線部分」は、基準地震動確定後の評価結果を反映する)</p> </div>		繰り返し回数 計数結果	A型ステップ2燃料 <sup>(注)</sup>		A型ウラン・プルトニウム 混合酸化物燃料	B型ステップ2燃料	(注) 信頼性向上燃料を含む。	<p style="text-align: right;">別添資料5</p> <p style="text-align: center;">レインフロー法による繰り返し回数の計数結果</p> <p style="text-align: center;">表1 大飯3/4号機 繰り返し回数の計数結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">繰り返し回数 計数結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大飯3/4号機 A型ステップ1燃料</td> <td rowspan="8" style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px;"></td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 A型ステップ2燃料<sup>(注)</sup></td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 B型ステップ1燃料</td> </tr> <tr> <td>大飯3/4号機 B型ステップ2燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">(注) 信頼性向上燃料を含む。</td> </tr> </tbody> </table>		繰り返し回数 計数結果	大飯3/4号機 A型ステップ1燃料		大飯3/4号機 A型ステップ2燃料 <sup>(注)</sup>	大飯3/4号機 B型ステップ1燃料	大飯3/4号機 B型ステップ2燃料	(注) 信頼性向上燃料を含む。		<p>燃料耐震評価手法の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・PWRは燃料集合体の地震応答解析結果に基づき実際に繰り返し回数を計数しているため、泊では添付資料6にてその計数結果を示している。</li> </ul> <p>【大飯との差異】無し</p>
	繰り返し回数 計数結果																		
A型ステップ2燃料 <sup>(注)</sup>																			
A型ウラン・プルトニウム 混合酸化物燃料																			
B型ステップ2燃料																			
(注) 信頼性向上燃料を含む。																			
	繰り返し回数 計数結果																		
大飯3/4号機 A型ステップ1燃料																			
大飯3/4号機 A型ステップ2燃料 <sup>(注)</sup>																			
大飯3/4号機 B型ステップ1燃料																			
大飯3/4号機 B型ステップ2燃料																			
(注) 信頼性向上燃料を含む。																			



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料5</p> <p>燃料被覆管応力評価における許容応力について</p> <p>燃料被覆管の許容応力(降伏応力及び引張強さ)は、放射線照射量と燃料被覆管温度に依存するため、燃料メーカーの試験結果に基づき、添付5-1図～添付5-4図のように設定している。参考として、今回の応力評価に用いた各条件における許容応力を添付5-1表、添付5-2表に示す。</p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">添付5-1図 9×9燃料(A型)燃料被覆管の降伏応力設計値(公称値)</p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">添付5-2図 9×9燃料(A型)燃料被覆管の引張強さ設計値(公称値)</p>	<p style="text-align: right;">添付資料7</p> <p>燃料被覆管応力評価における許容応力について</p> <p>燃料被覆管の許容応力(耐力)は、放射線照射量と燃料被覆管温度に依存するため、燃料メーカーの試験結果に基づき、添付7-1図～添付7-3図のように設定している。参考として、今回の応力評価に用いた各条件における許容応力を添付7-1表～添付7-3表に示す。</p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 10px auto; position: relative;"> <span style="position: absolute; left: -30px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">耐力 (MPa)</span> </div> <p style="text-align: center;">温度 (°C)</p> <p style="text-align: center;">添付7-1図 A型ステップ2燃料<sup>MOX</sup>被覆管の耐力 (注1) 信頼性向上燃料を含む</p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 10px auto; position: relative;"> <span style="position: absolute; left: -30px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">耐力 (MPa)</span> </div> <p style="text-align: center;">温度 (°C)</p> <p style="text-align: center;">添付7-2図 A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料被覆管の耐力</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 10px auto; position: relative;"> <span style="position: absolute; left: -30px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">耐力 (MPa)</span> </div> <p style="text-align: center;">温度 (°C)</p> <p style="text-align: center;">図-2 A型燃料被覆管の耐力(ジルコニウム基合金) (大飯3/4号炉の評価結果)</p>	<p>差異の説明</p> <p>評価方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設計方針は泊も女川も同じだが、泊を含むPWRでは「許容値はSd地震動時に対してSy、Ss地震動時に対してSuであるが、Ss地震動時に対してSy以下となることを確認することによりSd地震動に対する要求も満足する」評価方針としている。女川では「Sd地震動に対してSy、Ss地震動に対してSy」の評価</li> </ul> <p>記載表現の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泊では安全専門審査会内規(17行17列型)の表記“耐力”に合わせた表記に統一しており、女川の降伏応力と同義である</li> </ul>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<div data-bbox="255 254 914 703" style="border: 1px solid black; height: 214px; width: 222px;"></div> <p data-bbox="290 716 848 768">添付5-3図 9×9燃料（B型）燃料被覆管のスペーサ間、 スペーサ部の引張強さ及び降伏応力設計値（公称値）</p> <div data-bbox="255 789 914 1239" style="border: 1px solid black; height: 214px; width: 222px;"></div> <p data-bbox="299 1255 839 1308">添付5-4図 9×9燃料（B型）燃料被覆管の下部端栓溶接部の 引張強さ及び降伏応力設計値（95%確率下限値）</p>	<div data-bbox="1026 262 1626 1262" style="border: 2px solid black; height: 476px; width: 202px;"></div> <p data-bbox="1003 695 1026 785" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">耐力 (MPa)</p> <p data-bbox="1299 1268 1377 1289">温度 (°C)</p> <p data-bbox="1151 1352 1537 1373">添付7-3図 B型ステップ2燃料被覆管の耐力</p> <p data-bbox="1130 1394 1546 1415"> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。         </p>		



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																																																																																
<p>(参考) 添付5-1表 9×9燃料(A型)における降伏応力及び引張強さ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>スペーサ間<sup>※1</sup></th> <th>スペーサ部<sup>※1</sup></th> <th>下部端栓溶接部<sup>※2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">降伏応力 Sy</td> <td>寿命初期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">引張強さ Su</td> <td>寿命初期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(参考) 添付5-2表 9×9燃料(B型)における降伏応力及び引張強さ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>スペーサ間<sup>※1</sup></th> <th>スペーサ部<sup>※1</sup></th> <th>下部端栓溶接部<sup>※2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">降伏応力 Sy</td> <td>寿命初期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">引張強さ Su</td> <td>寿命初期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：モンテカルロ法における中央値                  ※2：95%確率下限値</p>			スペーサ間 <sup>※1</sup>	スペーサ部 <sup>※1</sup>	下部端栓溶接部 <sup>※2</sup>	降伏応力 Sy	寿命初期				寿命中期				寿命末期				引張強さ Su	寿命初期				寿命中期				寿命末期						スペーサ間 <sup>※1</sup>	スペーサ部 <sup>※1</sup>	下部端栓溶接部 <sup>※2</sup>	降伏応力 Sy	寿命初期				寿命中期				寿命末期				引張強さ Su	寿命初期				寿命中期				寿命末期				<p>添付7-1表 A型ステップ2燃料被覆管の許容応力<sup>(注1)</sup></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">運転状態</th> <th>温度条件 (°C)</th> <th>S<sub>y</sub><sup>(注2)</sup> (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">高温停止時</td> <td>寿命初期</td> <td rowspan="6"></td> <td rowspan="6"></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">通常運転時</td> <td>寿命初期</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">運転時の 異常な過渡変化時</td> <td>寿命初期</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 評価結果が厳しい、信頼性向上燃料の値を記載している。                  (注2) 耐力の基準値は、当該材料の耐力実測データに基づいて、各評価時点での燃焼度、温度を基に決められる。ここで実測データには、個々のデータ間に大きさの不揃い、すなわち、ばらつきが存在するため、耐力の最確値にその不確定性（95%確率×95%信頼度下限）を考慮して添付7-1図のとおり保守的に定めた値を許容基準として採用する。</p> <p>添付7-2表 A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料被覆管の許容応力</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">運転状態</th> <th>温度条件 (°C)</th> <th>S<sub>y</sub><sup>(注1)</sup> (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">高温停止時</td> <td>寿命初期</td> <td rowspan="6"></td> <td rowspan="6"></td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">通常運転時</td> <td>寿命初期</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">運転時の 異常な過渡変化時</td> <td>寿命初期</td> </tr> <tr> <td>寿命中期</td> </tr> <tr> <td>寿命末期</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 耐力の基準値は、当該材料の耐力実測データに基づいて、各評価時点での燃焼度、温度を基に決められる。ここで実測データには、個々のデータ間に大きさの不揃い、すなわち、ばらつきが存在するため、耐力の最確値にその不確定性（95%確率×95%信頼度下限）を考慮して添付7-2図のとおり保守的に定めた値を許容基準として採用する。</p>	運転状態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> <sup>(注2)</sup> (MPa)	高温停止時	寿命初期			寿命中期	通常運転時	寿命初期	寿命中期	寿命末期	運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期	寿命中期	寿命末期	運転状態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> <sup>(注1)</sup> (MPa)	高温停止時	寿命初期			寿命中期	通常運転時	寿命初期	寿命中期	寿命末期	運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期	寿命中期	寿命末期		
		スペーサ間 <sup>※1</sup>	スペーサ部 <sup>※1</sup>	下部端栓溶接部 <sup>※2</sup>																																																																																															
降伏応力 Sy	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
引張強さ Su	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
		スペーサ間 <sup>※1</sup>	スペーサ部 <sup>※1</sup>	下部端栓溶接部 <sup>※2</sup>																																																																																															
降伏応力 Sy	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
引張強さ Su	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
運転状態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> <sup>(注2)</sup> (MPa)																																																																																																
高温停止時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
通常運転時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
運転状態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> <sup>(注1)</sup> (MPa)																																																																																																
高温停止時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
通常運転時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		
運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期																																																																																																		
	寿命中期																																																																																																		
	寿命末期																																																																																																		

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

第4条 地震による損傷の防止 (別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持: 添付資料)

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現, 設備名称の相違 (実質的な相違なし)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																								
	<p data-bbox="1101 279 1504 300">添付7-3表 B型ステップ2燃料被覆管の許容応力</p> <table border="1" data-bbox="1077 327 1528 863"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="1077 327 1344 394">運 転 状 態</th> <th data-bbox="1344 327 1439 394">温度条件 (°C)</th> <th data-bbox="1439 327 1528 394">S<sub>y</sub> (注1) (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1077 394 1231 462">高温停止時</td> <td data-bbox="1231 394 1344 462">寿命初期</td> <td data-bbox="1344 394 1439 863" rowspan="9" style="border: 2px solid black;"></td> <td data-bbox="1439 394 1528 863" rowspan="9" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 462 1344 529">寿命中期</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 529 1344 596">寿命末期</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 596 1231 663">通常運転時</td> <td data-bbox="1231 596 1344 663">寿命初期</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 663 1344 730">寿命中期</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 730 1344 798">寿命末期</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 798 1231 863">運転時の 異常な過渡変化時</td> <td data-bbox="1231 798 1344 863">寿命初期</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 863 1344 930">寿命中期</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="1231 930 1344 997">寿命末期</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="967 894 1662 1003">(注1) 耐力の基準値は、当該材料の耐力実測データに基づいて、各評価時点での高速中性子照射量・温度を基に決められる。ここで実測データには、個々のデータ間に大きさの不揃い、すなわち、ばらつきが存在するため、耐力の最確値にその不確定性(95%確率×95%信頼度下限)を考慮して保守的に定めた値を許容基準として採用する。</p>	運 転 状 態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (注1) (MPa)	高温停止時	寿命初期				寿命中期		寿命末期	通常運転時	寿命初期		寿命中期		寿命末期	運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期		寿命中期		寿命末期		
運 転 状 態		温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (注1) (MPa)																								
高温停止時	寿命初期																										
	寿命中期																										
	寿命末期																										
通常運転時	寿命初期																										
	寿命中期																										
	寿命末期																										
運転時の 異常な過渡変化時	寿命初期																										
	寿命中期																										
	寿命末期																										



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料6</p> <p><u>燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について</u></p> <p>燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理の概要フローを添付6-1図に示す。モンテカルロ法による統計処理では、入力変数に公称値と標準偏差を定め、一回の試行ごとに統計的分布に従った入力データセットを乱数により作成し、応力設計比を求める。本試行を繰り返すことで応力設計比の統計的分布を求め、95% 確率上限値が1以下であることを確認する。</p> <p>添付 6-1 図 モンテカルロ法による統計処理の概要フロー</p>	<p>(泊には左記の資料は無い)</p>	<p>(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>燃料設計手法の相違 (BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施) ・女川添付資料6：PWR の応力評価はモンテカルロ法を用いる評価手法ではないため左記の添付資料は無い。(なおPWR では被覆管応力評価の許容値を95%確率×95%信頼度下限値を考慮して設定しており、その旨を泊3の添付資料7に記載している)</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料7</p> <p><u>下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて</u></p> <p>下部端栓溶接部の応力評価は、端栓溶接部が切り欠き形状を含む複雑形状のため有限要素法を用いる。9X9燃料(A型)の下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについては、既認可の評価<sup>[1]</sup>ではMARCを使用しているが、本評価においてはANSYSを使用している。いずれのコードも様々な分野の構造解析に広く利用されている汎用の解析コードであり、ANSYSは9X9燃料(B型)の下部端栓溶接部の応力評価や工事計画認可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績がある。今回、9X9燃料(A型)の評価では、汎用有限要素法解析コードの集約化のためANSYSを使用するものである。</p> <p>本資料は、9X9燃料(A型)の評価にANSYSを適用するにあたり、既認可の9X9燃料(A型)の下部端栓溶接部応力解析において使用されたMARCと同等な入力条件（有限要素モデル、ペレットやジルカロイ被覆管の物性値、荷重条件及び境界条件）を設定可能なこと、MARCと本解析コードとで同等な解析結果となることを説明する。</p> <p>1. コードの概要</p> <p>本解析コードは、スワンソン・アナリシス・システムズ（現、アンシス）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり、伝熱、構造、流体、電磁界及びマルチフィジックス解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50及び10CFR21の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また、9X9燃料(B型)の原子炉設置変更許可申請書や</p>	<p>(泊には左記の資料は無い)</p>	<p>(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>燃料設計手法の相違                  (BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施)                  ・女川添付資料7：添付資料7は女川が許認可コードと異なるコードを使用しているが故に添付している資料だが、泊3号機は許認可コードと異なるコードは使用していないため左記の添付資料は無い。                  (なお、PWR燃料の下部端栓はBWR燃料のように下部端栓をタイプレートで拘束される構造ではないため評価対象としていない。また、PWRの燃料はBWRの燃料被覆管下部端栓溶接部のように切り欠き形状を含む複雑な形状ではなく、有限要素法を用いた詳細な解析を要さない)</p>



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績がある。本解析コードを適用するにあたり、以下の確認を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により検証されている。</li> <li>・ 本解析コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageを入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p>2. 下部端栓溶接部の応力評価の方法</p> <p>本再現解析は、MARCによる既存の解析結果とANSYSによる解析結果を比較するため、従来の下部端栓部応力評価と同等の入力条件にてMARCとANSYS応力設計比の比較を行った。添付7-1図に解析フローを示す。</p> <p>(1) 下部端栓溶接部の応力評価モデル</p> <p>下部端栓溶接部の応力評価では、最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓、被覆管及びペレットをモデル化し(添付7-2図参照)、有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。次に、熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み、熱膨張差による熱応力の分布、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における荷重条件に基づき発生する応力分布を、有限要素法を用いた機械解析により評価する。</p> <p>(2) 下部端栓溶接部の熱解析での入力データ</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため、以下の項目を入力している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペレットの発熱</li> <li>・ ジルカロイ部材の<math>\gamma</math>発熱</li> <li>・ ペレット-被覆管ギャップ熱伝達 <input type="text"/></li> </ul>			

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>・ 被覆管表面熱伝達係数 <input type="text"/></p> <p>・ ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率</p> <p>なお、解析モデル上下端は断熱の境界条件とし、ペレット-下部端栓接触面には熱抵抗がないものとして、上記の保守側の入力と合わせて、下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。</p> <p>(3) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に下部端栓溶接部に作用する荷重として、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 下部端栓及び被覆管部における温度分布(熱解析結果を読み込む)</li> <li>・ 燃料棒内圧 <input type="text"/></li> <li>・ 冷却材圧力 <input type="text"/></li> <li>・ 内外圧力差による軸方向荷重(軸方向応力)</li> <li>・ 被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲りに基づく曲げ荷重(曲げ応力)</li> </ul> <p>を考慮する。</p> <p>(4) 設計比の評価</p> <p>設計比の評価では、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、それぞれの95%確率上下限值に基づき解析結果が保守側となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。ここで、被覆管温度、燃料棒内圧については、燃料棒熱・機械設計コードによる解析結果を用いる。応力計算は、下部端栓溶接部に発生する三軸方向(半径方向、円周方向及び軸方向)の応力を解析し、それらより相当応力を計算する。また、許容応力については下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の95%確率下限値を用いる。</p> <p>3. 解析条件</p> <p>以下に、解析条件を示す。また、MARC及びANSYSによる下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値の比較を添付7-1表にまとめる。同表に示すとおり、MARCとANSYSの解析入力値は、一部の物性値について温度依存性を関数式で入力するかテーブル形式で入力するかの差があることを除いて</p>			



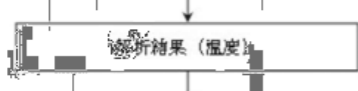
実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																					
<p>はすべて同一であり、同等な入力条件を設定可能である。</p> <p>(1)燃料タイプ:9X9燃料(A型)                  (2)評価部位:下部端栓溶接部                  (3)解析コード:                      ①有限要素法解析コード MARC Ver. K4                      ②有限要素法解析コード ANSYS Ver. 14                  (4)評価点:燃料寿命初期, 中期, 末期<sup>※1</sup>                  (5)運転状態:圧力過渡(冷却材圧力 <input type="text"/> MPa[abs](公称値))<sup>※2</sup>                  (6)考慮する応力:2.(3)の通り。                  (7)許容応力:引張強さ(Su)</p> <p>※1:燃料寿命初期, 中期, 末期は, 燃料棒熱・機械解析で設定された評価点を引き継ぎ, 炉内滞在期間がそれぞれ0年, 2.2年, 8年に相当する評価点。                  ※2:下部端栓部の燃料棒の出力は低く, 出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため, 圧力過渡時を評価対象とした。</p> <p>4.再現解析結果                  以下に解析結果を示す。MARCとANSYSによる同等な入力条件に基づく解析結果の差 分は0.02あり, 判定基準(応力設計比が1以下であること)に対し十分小さく同等な結果が得られ, 下部端栓溶接部の応力評価への適用に支障はないものと考え。</p> <table border="1" data-bbox="219 1352 937 1472"> <thead> <tr> <th rowspan="2">解析コード</th> <th rowspan="2">運転条件</th> <th rowspan="2">許容応力</th> <th colspan="3">応力設計比</th> </tr> <tr> <th>寿命初期</th> <th>寿命中期</th> <th>寿命末期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MARC</td> <td>圧力過渡</td> <td>Su</td> <td>0.39</td> <td>0.42</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>ANSYS</td> <td>同上</td> <td>同上</td> <td>0.40</td> <td>0.40</td> <td>0.27</td> </tr> </tbody> </table> <p>参考文献                  [1] 女川原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」                  (GNF 燃設認第 35 号, 平成 21 年 10 月 16 日認可)</p>	解析コード	運転条件	許容応力	応力設計比			寿命初期	寿命中期	寿命末期	MARC	圧力過渡	Su	0.39	0.42	0.28	ANSYS	同上	同上	0.40	0.40	0.27			
解析コード				運転条件	許容応力	応力設計比																		
	寿命初期	寿命中期	寿命末期																					
MARC	圧力過渡	Su	0.39	0.42	0.28																			
ANSYS	同上	同上	0.40	0.40	0.27																			

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<div data-bbox="240 401 804 573" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>入力（熱解析）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料棒仕様</li> <li>・ 熱伝導率</li> <li>・ 熱伝達係数（燃料棒熱・機械設計コード解析結果）</li> <li>・ ペレット及びピジルカロイ部材の発熱</li> </ul> </div> <div data-bbox="409 632 730 678" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>ANSYSによる熱解析</p> </div> <div data-bbox="397 709 730 793" style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  <p>解析結果（温度）</p> </div> <div data-bbox="261 814 804 1094" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>入力（機械解析）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料棒仕様</li> <li>・ 物性値（熱膨張係数、縦弾性係数等）</li> <li>・ 冷却材圧力</li> <li>・ 燃料棒内圧（燃料棒熱・機械設計コード解析結果）</li> <li>・ 温度分布（熱解析結果）</li> <li>・ 運転時の荷重条件</li> <li>・ 地震時の荷重条件※</li> </ul> </div> <div data-bbox="409 1136 730 1182" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>ANSYSによる機械解析</p> </div> <div data-bbox="409 1224 730 1270" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>解析結果（相当応力）</p> </div> <div data-bbox="753 1287 887 1333" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>許容応力</p> </div> <div data-bbox="409 1371 730 1417" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>設計比</p> </div> <div data-bbox="753 1350 937 1430" style="font-size: small;"> <p>※本再現解析においては、地震時の荷重は含まれない。</p> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">添付7-1図 下部端栓溶接部の応力評価のフロー</p>			



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明								
<p>添付7-1表 MARC及びANSYSによる下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値(1/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>解析</th> <th>項目</th> <th>MARCへの入力</th> <th>ANSYSへの入力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="height: 250px;"></td> </tr> </tbody> </table>	解析	項目	MARCへの入力	ANSYSへの入力							
解析	項目	MARCへの入力	ANSYSへの入力								
<p>添付7-1表 MARC及びANSYSによる下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値(2/2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>解析</th> <th>項目</th> <th>MARCへの入力</th> <th>ANSYSへの入力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="height: 250px;"></td> </tr> </tbody> </table>	解析	項目	MARCへの入力	ANSYSへの入力							
解析	項目	MARCへの入力	ANSYSへの入力								

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止 (別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料)

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付 7-2 図 下部端栓溶接部の有限要素モデル</p>			



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料8</p> <p><u>9X9燃料(B型)における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について</u></p> <p>9X9燃料(B型)では、地震時鉛直方向加速度を地震時水平方向加速度によるスペーサ間たわみにより発生する軸方向応力<math>\sigma_z</math>(式(1))における質量増加として考慮している。</p> $\sigma_z = \frac{W_0}{l} \cdot G \cdot I \cdot \alpha \quad (1)$ <p>ただし、<math>W_0</math>:見かけの燃料要素単位長質量、<math>l</math>:スペーサ間距離、<math>G</math>:地震時水平方向加速度、<math>I</math>:断面二次モーメント、<math>Do</math>:燃料被覆管外径とする。</p> <p>なお、地震時鉛直方向加速度による見かけの質量増加を式(2)のように定めている。</p> $W = W_0 \cdot (1 + \alpha \cdot g) \quad (2)$ <p>ただし、<math>W</math>:実際の燃料要素単位長質量、<math>\alpha</math>:地震時鉛直方向加速度、<math>g</math>:重力加速度とする。</p> <p>式(1)及び式(2)より、式(3)が得られる。</p> $\sigma_z = \frac{W}{D_i} \cdot G \cdot I \cdot \alpha \quad (3)$ <p>式(3)の右辺第二項が地震時鉛直方向加速度による応力に相当する。</p> <p>一方で、地震時鉛直方向加速度が慣性力として直接軸方向応力<math>\sigma_z</math>として作用すると考えると式(4)の計算式となる(9X9燃料(A型)の評価方法)。</p> $\sigma_z = \frac{m}{D_i} \cdot \alpha \quad (4)$ <p>ただし、<math>m</math>:燃料棒総質量、<math>D_i</math>:燃料被覆管内径とする。</p> <p>9X9燃料(B型)の地震時鉛直方向加速度の考慮方法(式(3)右辺</p>	<p>(泊には左記の資料は無い)</p>	<p>(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>燃料設計手法の相違 (BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施) ・女川添付資料8：BWR 燃料設計手法に関するものであるため、左記の添付資料は泊には無い。(BWRは、考慮する応力として、B型ではA型と異なり鉛直地震加速度に基づく応力を他の応力項目に加味している。一方、PWRではA型とB型で考慮する応力項目に違いはない。)</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>第二項)では、地震時水平方向加速度が約□Gを超える条件において、直接軸方向応力として考慮する場合(式(4))よりも保守的な評価となる(添付8-1図)。女川2号炉では、評価に用いた炉心内の燃料集合体の地震時水平方向加速度が2.68G(Sd-1, 2)以上であり□Gよりも十分大きいことから、地震時鉛直方向加速度に対する評価として十分保守的な評価となっていることを確認した。</p> <div data-bbox="234 590 920 1129" style="border: 1px solid black; height: 257px; width: 231px; margin: 10px 0;"></div> <p>添付8-1図 9×9燃料(B型)の地震時鉛直方向加速度考慮方法の保守性</p>			



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料9</p> <p style="text-align: center;"><u>評価部位の選定理由について</u></p> <p>燃料被覆管はその構造から管部、上部端栓溶接部及び下部端栓溶接部に分類することができる。管部についてはスペーサと接触しない部分(スペーサ間)とスペーサと接触する部分(スペーサ部)があり、いずれもその軸方向位置によらず同じ形状である。上部端栓溶接部は中空のプレナム領域を含み重量が小さいことから地震によるたわみに基づく曲げ応力が小さいこと、また、発熱部から離れており熱応力が小さいことから下部端栓溶接部の評価結果に包絡される。これらを踏まえ、スペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部を評価部位とする。評価部位の概要図を添付9-1図に示す。</p> <p>燃料被覆管応力評価は、JEAG4601-1987<sup>[1]</sup>に基づき地震動※1により生じる燃料集合体位置の加速度及び燃料集合体の相対変位を用いて応力値を算出している。</p> <p>地震動※1により生じる水平方向加速度については、各質点での値の差が大きいため、スペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部とも評価部位位置の値を使用しており、スペーサ間及びスペーサ部は複数存在することから最厳値を使用している。また、鉛直加速度については、各質点での値の差が比較的小さいため、スペーサ間、スペーサ部及び下部端栓溶接部とも全質点中の最厳値を使用している。</p> <p>なお、弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss(7波)を用いた評価は工事計画認可申請で説明する。</p> <p>※1:平成25年12月設置変更許可申請時の弾性設計用地震動Sd及び基準地震動Ss</p> <p>参考文献                      [1]JEAG4601-1987「原子力発電所耐震設計技術指針」,(社)日本電気協会</p>	<p style="text-align: center;">(泊には左記の資料は無い)</p>	<p style="text-align: center;">(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>燃料設計手法の相違                      (BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施)                      ・女川添付資料9：BWR 燃料設計手法に関するものであるため泊には無い。(PWR 燃料の下部端栓はBWR 燃料のように下部端栓をタイプレートで拘束される構造ではないため評価対象としていない。また、支持格子部と支持格子間も含めた燃料被覆管全体をモデル化した応力解析モデルにて地震時応力を求めているため、評価部位(スペーサ部とスペーサ間)を分けて計算式で応力を計算しているBWRとは異なる。なお、燃料被覆管に発生する各応力(地震地応力、接触圧、内外圧差等)が最大となる軸方向位置はそれぞれ異なるのに対し保守的に同一の軸方向位置で最大になると仮定して評価している。)</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>添付 9-1 図 評価部位の概要図</p>			



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料 10</p> <p><u>燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について</u></p> <p>1. はじめに 燃料被覆管の応力評価においては、高燃焼度 8X8 燃料の導入以降、スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析ではモンテカルロ法、下部端栓溶接部の FEM 解析では決定論的手法を用いて応力設計比(=発生応力/許容応力)を評価している。</p> <p>2. モンテカルロ法と決定論的手法の保守性の考え方 燃料被覆管(スペーサ間、スペーサ部、下部端栓溶接部)の応力評価における応力設計比は、被覆管寸法、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、許容応力等を入力変数とした関数となっている。また、これらの入力変数の不確かさを考慮するため、製造実績、実機運転データ等を考慮し、それぞれの公称値を中央値として統計的分布を設定している。</p> <p>(1) スペーサ間及びスペーサ部 モンテカルロ法では、1回の試行ごとに乱数を用いて、各入力変数の統計的分布から各入力条件を選定し、厚肉円筒式による弾性解析を行い、応力設計比を評価する。この試行を繰り返し実施することにより応力設計比の統計的分布を求め、95%確率上限値における応力設計比が1以下であることで当該部位の健全性を確認するとともに、評価結果に保守性を持たせている(添付 10-1 図参照)。</p> <p>(2) 下部端栓溶接部 下部端栓溶接部は、切り欠き形状を含んだ複雑形状のため、FEM 解析により応力設計比を評価する。ここで、スペーサ間及びスペーサ部と同様にモンテカルロ法を用いるとすると、入力変数となる被覆管寸法等を変動させる都度、FEM 解析モデルの修正が必要であり、対応が膨大となるため現実的ではない。よって、下部端栓溶接部の応力設計比の評価については、決定論的手法を適用することとし、各入力変数に統計的分布における 95%確率上下限値を用いる</p>	<p>(泊には左記の資料は無い)</p>	<p>(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>燃料設計手法の相違 (BWR/PWR それぞれ既許認可で妥当性が確認された評価手法に基づき実施) ・女川添付資料 10：添付資料 10 はモンテカルロ法と決定論的手法との保守性の違いを比べた資料であり、BWR 燃料設計手法に関するものであるため左記の添付資料は泊にはない。なお PWR では被覆管応力評価の許容値を 95%確率×95%信頼度下限値を考慮して設定しており、その旨を泊3の添付資料7に記載している。</p>

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>ことで保守性を持たせている（添付10-1図参照）。</p> <p>3. モンテカルロ法と決定論的手法における保守性の確認                  モンテカルロ法での保守性の確認として、スペーサ間の応力設計比の統計的分布における中央値と応力評価で用いた95%確率上限値の対比を添付10-1表に示す。</p> <p>また、決定論的手法の保守性の有無を把握する観点から、FEM解析モデルの修正を要しない範囲で変更可能なすべての入力変数を公称値とした解析を実施した。具体的には「内外圧力差に基づく応力」及び「温度差に基づく応力」に影響を与える入力変数、並びに「許容応力」を対象とした。この解析結果と応力評価で用いた95%確率上下限值による解析結果の対比を添付10-2表に示す。なお、FEM解析モデルの修正を実施し、すべての入力変数を変更する場合には、応力設計比がより中央値に近づき、さらに大きな保守性を示す結果になると考える。</p> <p>添付10-1表及び添付10-2表のとおり、モンテカルロ法及び決定論的手法による応力設計比はともに中央値、あるいは公称値による解析結果よりも保守的な評価結果となっている。</p> <p>なお、スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析にモンテカルロ法、下部端栓溶接部のFEM解析に決定論的手法をそれぞれ用いることは、「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、原子力安全委員会了承）」において妥当と判断されており、原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類II（応力解析）において許認可実績を有している。</p>			



実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																
<div data-bbox="231 325 926 661"> <p>(入力値は統計分布に従いランダムに生成)</p> </div> <p data-bbox="371 688 756 714">(a)モンテカルロ法（スパーサ間及びスパーサ部）</p> <div data-bbox="231 808 926 997"> <p>(入力値は固定値(95%確率上下限値))</p> </div> <p data-bbox="409 1033 697 1058">(b)決定論的手法（下部端栓溶接部）</p> <p data-bbox="270 1115 845 1140">添付10-1図 モンテカルロ法及び決定論的手法における保守性の概念図</p> <p data-bbox="329 1220 845 1245">添付10-1表 モンテカルロ法における保守性の確認</p> <p data-bbox="246 1287 371 1312">a. 確認条件</p> <table border="1" data-bbox="246 1316 926 1522"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>確認条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料タイプ</td> <td>9×9燃料（A型）</td> </tr> <tr> <td>評価部位</td> <td>スパーサ間</td> </tr> <tr> <td>地震動と許容応力</td> <td>弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy</td> </tr> <tr> <td>運転条件</td> <td>圧力過渡</td> </tr> <tr> <td>評価点</td> <td>寿命初期</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="284 1556 409 1581">b. 確認結果</p> <table border="1" data-bbox="284 1585 884 1724"> <thead> <tr> <th>中央値 (モンテカルロ法における中央値)</th> <th>ベースケース (モンテカルロ法における95%確率上限値)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.66</td> <td>0.73</td> </tr> </tbody> </table>	項目	確認条件	燃料タイプ	9×9燃料（A型）	評価部位	スパーサ間	地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy	運転条件	圧力過渡	評価点	寿命初期	中央値 (モンテカルロ法における中央値)	ベースケース (モンテカルロ法における95%確率上限値)	0.66	0.73			
項目	確認条件																		
燃料タイプ	9×9燃料（A型）																		
評価部位	スパーサ間																		
地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy																		
運転条件	圧力過渡																		
評価点	寿命初期																		
中央値 (モンテカルロ法における中央値)	ベースケース (モンテカルロ法における95%確率上限値)																		
0.66	0.73																		

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明																																				
<p style="text-align: center;">添付10-2表 決定論的手法における保守性の確認</p> <p>a. 確認条件</p> <table border="1" data-bbox="284 709 878 884"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>確認条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料タイプ</td> <td>9×9燃料（A型）</td> </tr> <tr> <td>評価部位</td> <td>下部端栓溶接部</td> </tr> <tr> <td>地震動と許容応力</td> <td>弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy</td> </tr> <tr> <td>運転条件</td> <td>圧力過渡</td> </tr> <tr> <td>評価点</td> <td>寿命初期</td> </tr> </tbody> </table> <p>b. 確認において変更した入力変数</p> <table border="1" data-bbox="240 936 928 1224"> <thead> <tr> <th>応力成分</th> <th>変更した入力変数</th> <th>確認解析</th> <th>ベースケース</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">内外圧力差に基づく応力</td> <td>冷却材圧力</td> <td>公称値</td> <td rowspan="6"></td> </tr> <tr> <td>燃料棒内圧</td> <td>公称値</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">温度差に基づく応力</td> <td></td> <td>公称値</td> </tr> <tr> <td></td> <td>公称値</td> </tr> <tr> <td></td> <td>公称値</td> </tr> <tr> <td>許容応力</td> <td></td> <td>公称値</td> </tr> </tbody> </table> <p>c. 確認結果</p> <table border="1" data-bbox="359 1276 804 1360"> <thead> <tr> <th>確認解析 (公称値を入力)</th> <th>ベースケース (95%確率上下限値を入力)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.59</td> <td>0.66</td> </tr> </tbody> </table>	項目	確認条件	燃料タイプ	9×9燃料（A型）	評価部位	下部端栓溶接部	地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy	運転条件	圧力過渡	評価点	寿命初期	応力成分	変更した入力変数	確認解析	ベースケース	内外圧力差に基づく応力	冷却材圧力	公称値		燃料棒内圧	公称値	温度差に基づく応力		公称値		公称値		公称値	許容応力		公称値	確認解析 (公称値を入力)	ベースケース (95%確率上下限値を入力)	0.59	0.66			
項目	確認条件																																						
燃料タイプ	9×9燃料（A型）																																						
評価部位	下部端栓溶接部																																						
地震動と許容応力	弾性設計用地震動Sdに対して降伏応力Sy																																						
運転条件	圧力過渡																																						
評価点	寿命初期																																						
応力成分	変更した入力変数	確認解析	ベースケース																																				
内外圧力差に基づく応力	冷却材圧力	公称値																																					
	燃料棒内圧	公称値																																					
温度差に基づく応力		公称値																																					
		公称値																																					
		公称値																																					
許容応力		公称値																																					
確認解析 (公称値を入力)	ベースケース (95%確率上下限値を入力)																																						
0.59	0.66																																						



第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p style="text-align: right;">添付資料 11</p> <p style="text-align: center;">改正規則の影響について</p> <p>地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する規則改正においては、要求事項が追加された第四条に加えて、第十五条についても要求事項に変更のない記載の適正化が行われている。</p> <p>本規則改正に対する第四条への基準適合性は「2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針」に示したとおりであり、第十五条については以下のとおり基準適合性確認に影響を与えるものではない。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 8</p> <p style="text-align: center;">改正規則の影響について</p> <p>地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する規則改正においては、要求事項が追加された第四条に加えて、第十五条についても要求事項に変更のない記載の適正化が行われている。</p> <p>本規則改正に対する第四条への基準適合性は「2.2 追加要求事項への適合性に係る設計方針」に示したとおりであり、第十五条については以下のとおり基準適合性確認に影響を与えるものではない。</p>	<p>2.3 改正規則関係条文への適合性</p> <p>本規則改正に伴う発電用原子炉設置変更許可申請（H30.6.11申請）における関係条文を整理した結果を添付資料1に示す。今回申請の関係条文は第三条～第十三条及び第十五条であるが、これらのうち第四条への適合性は2.2に示すとおりである。また、本規則改正に伴い変更されている第十五条への適合性を以下に示す。その他の関係条文については、発電用原子炉施設、設計基準対象施設または安全施設全般に関係するものであるが、添付資料1に示すとおり、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る本申請においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。</p>	
<p>(炉心等)</p> <p>第十五条 設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。</p> <p>2 炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない。</p> <p>3 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。</p> <p>4 燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動に</p>	<p>(炉心等)</p> <p>第十五条 設計基準対象施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、発電用原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。</p> <p>2 炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に発電用原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料要素の許容損傷限界を超えないものでなければならない。</p> <p>3 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電用原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。</p> <p>4 燃料体及び反射材並びに炉心支持構造物、熱遮蔽材並びに一次冷却系統に係る容器、管、ポンプ及び弁は、一次冷却材又は二次冷却材の循環、沸騰その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動に</p>	<p>○第十五条 炉心等</p> <p>第十五条</p> <p>6 燃料体は、次に掲げるものでなければならない。</p> <p>一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> <p><u>規則への適合性</u></p> <p>本規則改正に伴い第十五条第6項は以下のとおり変更されている。本変更は記載の適正化であり、要求事項に変更はない。</p> <p>(変更前)</p> <p><u>通常運転時</u>における発電用原子炉内の<u>最高使用圧力</u>、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p> <p>(変更後)</p> <p><u>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時</u>における発電用原子炉内の<u>圧力</u>、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p>より生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合                      その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により                      生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならぬ。</p> <p>5 燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならぬ。</p> <p>6 燃料体は、次に掲げるものでなければならぬ。                      一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。                      二 輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとする。</p>	<p>より生ずる流体振動又は温度差のある流体の混合                      その他の一次冷却材又は二次冷却材の挙動により                      生ずる温度変動により損傷を受けないものでなければならぬ。</p> <p>5 燃料体は、通常運転時における圧力、温度及び放射線に起因する最も厳しい条件において、必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならぬ。</p> <p>6 燃料体は、次に掲げるものでなければならぬ。                      一 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとする。                      二 輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じないものとする。</p>	<p>本規則改正に伴い、発電用原子炉設置変更許可申請書本文五号の「ロ. 発電用原子炉施設の一般構造 (3) その他の主要な構造 (1)a. 設計基準対象施設 (j) 炉心等」の記載について以下のとおり適正化を行う。</p> <p>(従来の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時における原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとし、輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じない設計とする。</p> <p>(適正化後の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における原子炉内の圧力、自重、附加荷重その他の燃料体に加わる負荷に耐えるものとし、輸送中又は取扱中において、著しい変形を生じない設計とする。</p>	
<p><u>規則への適合性</u>                      地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る変更においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、炉心等に係る基準適合性確認に影響を与えるものではない。</p> <p>ただし、本規則改正に伴い第十五条第6項の記載は適正化されていることから(要求事項の変更はない。)、規則への適合のための設計方針について、以下のとおり記載の適正化を図る。</p>	<p><u>規則への適合性</u>                      地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る変更においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、炉心等に係る基準適合性確認に影響を与えるものではない。</p> <p>ただし、本規則改正に伴い第十五条第6項の記載は適正化されていることから(要求事項の変更はない。)、規則への適合のための設計方針について、以下のとおり記載の適正化を図る。</p>	<p>また、発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八の「原子炉設置変更許可申請に係る安全設計の方針」の記載について以下のとおり適正化を行う。</p> <p>(従来の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時における原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</p> <p>このため、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準を満足できる設計とする。</p>	
<p><u>適合のための設計方針</u>                      5 及び 6 の一について</p> <p><u>燃料体は、発電用原子炉内における使用期間中を通じ、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料棒の内外圧差、燃料棒及び他の材料の照射、負荷の変化により起こる圧力、温度の変化、化学的効果、静的・動的荷重、燃料ペレットの変形、燃料棒内封入ガスの組成の変化等を考慮して、各構成要素が、十分な強度を有し、その機能が保持できる設計とし、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における発電用原子炉内の圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃</u></p>	<p><u>適合のための設計方針</u>                      5 及び 6 の一について</p> <p><u>燃料集合体は、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棒の内外圧差、燃料棒及び他の材料の照射、負荷の変化により起こる圧力・温度の変化、化学的効果、静的・動的荷重、燃料ペレットの変形、燃料棒内封入ガスの組成の変化等を考慮して、各構成要素が十分な強度を有し、その機能を保持できる設計とし、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における原子炉内の圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆管の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とす</u></p>	<p>(従来の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時における原子炉内の最高使用圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</p> <p>このため、燃料要素は所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、以下の基準を満足できる設計とする。</p> <p>(1) 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの熔融点未満であること。                      (2) 燃料要素内圧は、通常運転時において、燃料被覆材の外向きのクリープ変形により燃料材と燃料被覆材のギャップが増加する圧力を超えないこと。                      (3) 燃料被覆材応力は、燃料被覆材の耐力以下であること。                      (4) 燃料被覆材に生じる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。</p>	<p>既許可の記載の相違                      ・泊では本項は追加要求事項はなく、要求事項の変更もないことから既許可の記載をベースにしているため、女川と記載が異なる</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：添付資料）

女川原子力発電所2号機	泊発電所3号機	大飯発電所3/4号機	差異の説明
<p><u>料被覆管の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</u></p> <p><u>燃料体には燃料棒を保護する機能を持つチャンネルボックスをかぶせる。</u></p> <p>また、上記設計方針に対する燃料体の機械設計について、従前より通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した設計を行っており、その具体的な設計方針（評価結果含む）は、原子炉設置変更許可申請書の添付書類八、<u>3.2 機械設計</u>に記載している。なお、「3. 追加要求事項に係る評価項目の選定」にて言及した<u>燃料被覆管応力、累積疲労サイクル、過度の寸法変化防止</u>についても上記設計方針に含まれており、これらに適合するように燃料体の設計を行っている。</p>	<p><u>る。</u></p> <p><u>このため、燃料棒は使用期間中の通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、以下の基準を満足できる設計とする。</u></p> <p>(1) <u>燃料中心最高温度は、二酸化ウラン、ガドリニア入り二酸化ウラン及びウラン・プルトニウム混合酸化物それぞれの溶融点未満であること。</u></p> <p>(2) <u>燃料棒内圧は、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。</u></p> <p>(3) <u>被覆管応力は、被覆材の耐力以下であること。</u></p> <p>(4) <u>被覆管に生じる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。</u></p> <p>(5) <u>累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。</u></p> <p>また、上記設計方針に対する燃料体の機械設計について、従前より通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を考慮した設計を行っており、その具体的な設計方針（評価結果含む）は、原子炉設置変更許可申請書の添付書類八「<u>3.1 燃料</u>」に記載している。なお、「3. 追加要求事項に係る評価項目の選定」にて言及した<u>燃料中心最高温度、燃料棒内圧、燃料被覆管応力、燃料被覆管歪、累積疲労サイクル</u>についても上記設計方針に含まれており、これらに適合するように燃料体の設計を行っている。</p>	<p>(5) <u>累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下であること。</u></p> <p>(適正化後の記載)</p> <p>燃料体は、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における原子炉内の圧力、自重、附加荷重、核分裂生成物の蓄積による燃料被覆材の内圧上昇、熱応力等の荷重に耐える設計とする。</p> <p>～以下従来と同じ～</p> <p>なお、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に係る本申請においては、既存設備の変更はなく、及びそれらの運用の変更は伴わないことから、炉心等に係る既設置許可の基準適合性確認結果に影響を与えるものではない。</p>	<p>既許可の記載の相違</p> <p>燃料設計手法の相違</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
<p>(女川には右記の資料は無い)</p>	<p>別添資料1 <u>泊発電所 原子炉設置変更許可申請書の抜粋</u></p> <p>○資料</p> <p>・平成22年11月26日付け平成21・03・09原第4号にて許可を受けた原子炉設置変更許可申請書の抜粋</p>	<p>別添資料1 <u>大飯発電所 発電用原子炉設置変更許可申請書の抜粋</u></p> <p>○資料</p> <p>・平成15年9月25日付け平成14・03・21原第5号にて許可を受けた発電用原子炉設置変更許可申請書の抜粋</p>	<p>既許可の相違</p> <p>・別添資料1は既許可の内容を記載しているため、燃料タイプ*や記載表現などの相違はあるが、許可を受けている燃料棒健全性評価の方法に差異はない。以下、別添資料1において同じ。</p> <p>※泊3はステップ2燃料およびMOX燃料。大飯3/4はステップ1およびステップ2燃料。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: center;">平成21年3月9日申請書の抜粋</p> <p><u>3.1 燃料</u></p> <p>3.1.1 概要</p> <p>燃料集合体は、多数の二酸化ウラン焼結ペレット、ガドリニア入り二酸化ウラン焼結ペレット又はウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレットを「ジルカローイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金」若しくは「ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金」又はジルカローイ-4で被覆した燃料棒、制御棒案内シムプル、炉内計装用案内シムプル、支持格子、上部ノズル、下部ノズル等で構成する。申請書本文における 五、原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備 ハ、原子炉本体の構造及び設備（ロ）燃料体（2）被覆材の種類 に示す「ジルカローイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金」又は「ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金」（以下3.1では「ジルコニウム基合金」という。）の主成分は第3.1.1表のとおりである。</p> <p><sup>(1)(2)</sup>燃料棒の配列は、17×17であり、そのうち264本が燃料棒、24本が制御棒案内シムプル、残り1本が炉内計装用案内シムプルである。制御棒案内シムプルは、制御棒クラスタ、バーナブルボイズン、中性子源及びシムプルプラグアセンブリの挿入に使用する。</p> <p>3.1.2 設計方針<sup>(1)(2)(3)(4)</sup></p> <p>燃料の機械設計においては、燃料材料、使用温度、圧力条件及び照射効果を考慮し、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、原子炉施設の各設備とあいまって燃料の健全性を確保するため、次の設計方針を満足するようにする。</p> <p>(1) 燃料棒</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-3</p>	<p><u>3.2 機械設計</u></p> <p>3.2.1 燃料</p> <p>3.2.1.1 概要</p> <p>燃料集合体は、多数の二酸化ウラン焼結ペレット又はガドリニア入り二酸化ウラン焼結ペレットを「ジルカローイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金」若しくは「ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金」又はジルカローイ-4で被覆した燃料棒、制御棒案内シムプル、炉内計装用案内シムプル、支持格子、上部ノズル、下部ノズル等で構成する。申請書本文における五、原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備 ハ、原子炉本体の構造及び設備（ロ）燃料体（2）被覆材の種類 に示す「ジルカローイ-4の合金成分を調整しニオブ等を添加したジルコニウム基合金」若しくは「ジルコニウム-ニオブ合金にスズ及び鉄を添加したジルコニウム基合金」（以下、3.2.1では「ジルコニウム基合金」という。）の主成分は第3.2.1表のとおりである。<sup>(1)(2)</sup>燃料棒の配列は、17×17であり、そのうち264本が燃料棒、24本が制御棒案内シムプル、残り1本が炉内計装用案内シムプルである。制御棒案内シムプルは、制御棒クラスタ、バーナブルボイズン、中性子源又はシムプルプラグアセンブリの挿入に使用する。</p> <p>3.2.1.2 設計方針<sup>(1)(2)</sup></p> <p>燃料の機械設計においては、燃料材料、使用温度、圧力条件及び照射効果を考慮し、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、原子炉施設の各設備とあいまって燃料の健全性を確保するため、次の設計方針を満足するようにする。</p> <p>(1) 燃料棒</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-3</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>対象燃料の相違</p> <p>・泊はウラン・プルトニウム混合燃料について記載有</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>燃料棒は、燃料温度、燃料棒内圧、被覆管の応力、歪及び疲労を制限することにより、その健全性を確保する。このため、燃料寿命中、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、以下の方針を満足するように燃料棒の設計を行う。</p> <p>設計に当たっては、ペレットの熱膨張、スエリング及び焼きしまり、核分裂生成ガスの生成及び放出、被覆管の熱膨張、クリープ、弾性変形等の原子炉運転中に生じる諸現象を考慮する。</p> <p>a. 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン、ガドリニア入り二酸化ウラン及びウラン・プルトニウム混合酸化物それぞれの融点未満となる設計とし、それぞれのペレットと被覆管との熱膨張差によって生じる応力を抑える。</p> <p>b. 燃料棒内圧は、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設計とする。</p> <p>c. 被覆管応力は、被覆材の耐力以下となる設計とする。被覆材の耐力は、使用温度及び放射線照射の効果を考慮すると、約 310N/mm<sup>2</sup>～約 590N/mm<sup>2</sup>となる。</p> <p>d. 被覆管に生じる円周方向引張歪の変化量は、各過渡変化に対して1%以下となる設計とする。</p> <p>e. 累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下となる設計とする。設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnell の曲線を使用する。</p> <p>(2) 燃料集合体</p> <p><u>燃料集合体には、ウラン燃料集合体とウラン・プルトニウム混合酸化物燃料集合体があり、ウラン燃料集合体には、二酸化ウラン燃料集合体とガドリニア入り二酸化ウラン燃料集合体がある。</u></p> <p>8 (3) - 3 - 4</p>	<p>燃料棒は、燃料温度、燃料棒内圧、被覆管の応力、歪及び疲労を制限することにより、その健全性を確保する。このため、燃料寿命中、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、以下の方針を満足するように燃料棒の設計を行う。</p> <p>設計に当たっては、ペレットの熱膨張、スエリング及び焼きしまり、核分裂生成ガスの生成及び放出、被覆管の熱膨張、クリープ、弾性変形等の原子炉運転中に生じる諸現象を考慮する。<u>また、濃縮度、ガドリニア濃度等を考慮する。</u></p> <p>a. 燃料中心最高温度は、二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウランそれぞれの融点未満となる設計とし、それぞれのペレットと被覆管との熱膨張差によって生じる応力を抑える。</p> <p>b. 燃料棒内圧は、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設計とする。</p> <p>c. 被覆管応力は、被覆材の耐力以下となる設計とする。被覆材の耐力は、使用温度及び放射線照射の効果を考慮すると、約 310N/mm<sup>2</sup>～約 590N/mm<sup>2</sup>となる。</p> <p>d. 被覆管に生じる円周方向引張歪の変化量は、各過渡変化に対して1%以下となる設計とする。</p> <p>e. 累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下となる設計とする。設計疲労曲線としては、Langer and O'Donnell の曲線を使用する。</p> <p>(2) 燃料集合体</p> <p><u>燃料集合体の健全性は、種々の荷重に基づく応力及び変形を制限することにより確保する。</u></p> <p><u>また、燃料集合体は他の構成部品の機能に影響を与えないようにする。</u></p> <p>8(3)-3-4</p>	<p>既許可の記載方針の相違</p> <p>既許可の記載方針の相違</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p><u>ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料については、燃料中心温度の評価が最も厳しくなるのは、燃料中心温度が最高となり、かつ、燃料中心温度と制限値との差が最も小さくなる燃料寿命初期約1.200MWd/tであり、その制限値は2,500℃となるが、定格出力時の最大線出力密度41.1kW/m並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における最大線出力密度59.1kW/mに対する燃料中心最高温度は、第3.1.5(2)図に示すようにそれぞれ約1,740℃及び約2,230℃であり、制限値を十分下回っている。</u></p> <p>したがって、いずれの燃料の燃料中心最高温度も、それぞれの溶融点より十分低い。</p> <p>b. 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒内圧は、燃焼に伴う核分裂生成ガスの蓄積等により徐々に上昇するが、プレナムを十分大きくとっているため、最高燃焼度を有する燃料棒内圧でも、通常運転時において、第3.1.6(1)図及び第3.1.6(2)図に示すように過大となることはなく、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である約18.6MPa～19.7MPaを超えることはない。</p> <p>c. 被覆管の応力</p> <p>燃料寿命初期においては、1次冷却材定格運転圧力と燃料棒内圧との内外圧差によって被覆管には圧縮応力が生じるが、燃料棒をヘリウムガスで加圧しているため、定常状態での圧縮応力は小さい。燃焼に伴う核分裂生成ガスの蓄積等により内外圧差は低下し、ペレットと被覆管の接触後はペレットのスエリングにより、また、その後内圧が上昇した場合は内圧によっても、被覆管には引張応力が生じるが、被覆管の外側への変形は非常に小さく、また、変形には長</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-12</p>	<p><u>るのは、燃料中心温度が最高となり、かつ、燃料中心温度と制限値との差が最も小さくなるペレット初期密度約95%理論密度の場合の燃料寿命初期約1.200MWd/tであり、この場合制限値は2,570℃となるが、定格出力時の最大線出力密度43.1kW/m並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における最大線出力密度59.1kW/mに対する燃料中心最高温度は、第3.2.4図に示すようにそれぞれ約1,830℃及び約2,270℃であり、制限値を十分下回っている。</u></p> <p><u>ガドリニア入り二酸化ウラン燃料については、ウラン濃縮度を二酸化ウラン燃料よりも下げるにより、定格出力時の最大線出力密度は33.4kW/m、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における最大線出力密度は44.3kW/mとしているが、これらの線出力密度に対するガドリニア入り二酸化ウラン燃料の燃料中心最高温度はそれぞれガドリニア濃度約10wt%の場合の約1,680℃及び約2,040℃であり、ガドリニア入り二酸化ウラン燃料に対する解析上の制限値2,440℃を十分下回っている。</u></p> <p>したがって、いずれの燃料の燃料中心最高温度も、それぞれの溶融点より十分低い。</p> <p>b. 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒内圧は、燃焼に伴う核分裂生成ガスの蓄積等により徐々に上昇するが、プレナムを十分大きくとっているため、最高燃焼度を有する燃料棒内圧でも、通常運転時において、第3.2.5図に示すように過大となることはなく、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である約18.6MPa～約19.7MPaを超えることはない。</p> <p>c. 被覆管の応力</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-11</p>	<p>既許可の記載方針の相違</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>時間を要し、その間には被覆管のクリープによる応力緩和が起こるので、定常状態での引張応力は小さくなる。</p> <p>被覆管の応力として、内外圧差による応力、ペレットの接触圧による応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考えるが、これらの応力を組み合わせた場合でも被覆材の耐力を十分下回る。</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、定常状態からの線出力密度の増加は過大なものとはならず、被覆管の応力を被覆材の耐力以下に保つことができる。</p> <p>d. 被覆管の歪</p> <p>燃料棒の内圧は、燃料寿命初期においては1次冷却材定格運転圧力より低いので、被覆管は内外圧差による圧縮荷重を受け、クリープにより徐々に径が減少し、ペレットとの接触に至る。ペレットと接触後は、第3.1.7(1)図及び第3.1.7(2)図に示すように、ペレットのスエリングによる膨張速度、接触圧及び内圧によるクリープ速度が釣り合った状態で、径が徐々に増加する。接触してから燃料寿命末期までの歪増加は極めて小さく問題にならない。なお、スエリングによる歪増加率は小さく、このような場合、被覆管は10%以上の歪に至るまで定常クリープ領域にあり、不安定化は生じない。通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、定常状態からの線出力密度の増加は過大なものとはならず、被覆管の歪の増加量を設計方針で示した1%以下に保つことができる。</p> <p>e. 疲労サイクル</p> <p>被覆管には燃料寿命中、起動停止や負荷変化による応力サイクルがかかり、熱応力、内外圧差及び接触圧が変化する。燃料棒のヘリ</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-13</p>	<p>燃料寿命初期においては、1次冷却材定格運転圧力と燃料棒内圧との内外圧差によって被覆管には圧縮応力が生じるが、燃料棒をヘリウムガスで加圧しているため、定常状態での圧縮応力は小さい。燃焼に伴う核分裂生成ガスの蓄積等により内外圧差は低下し、ペレットと被覆管の接触後はペレットのスエリングにより、また、その後内圧が上昇した場合は内圧によっても、被覆管には引張応力が生じるが、被覆管の外側への変形は非常に小さく、また、変形には長時間を要し、その間には被覆管のクリープによる応力緩和が起こるので、定常状態での引張応力は小さくなる。</p> <p>被覆管の応力として、内外圧差による応力、ペレットの接触圧による応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考えるが、これらの応力を組み合わせた場合でも被覆材の耐力を十分下回る。</p> <p>通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、定常状態からの線出力密度の増加は過大なものとはならず、被覆管の応力を被覆材の耐力以下に保つことができる。</p> <p>d. 被覆管の歪</p> <p>燃料棒内圧は、燃料寿命初期においては1次冷却材定格運転圧力より低いので、被覆管は内外圧差による圧縮応力を受け、クリープにより徐々に径が減少し、ペレットとの接触に至る。ペレットと接触後は、第3.2.6図に示すように、ペレットのスエリングによる膨張速度、接触圧及び燃料棒内圧によるクリープ速度が釣り合った状態で、径が徐々に増加する。接触してから燃料寿命末期までの歪増加は極めて小さく問題にならない。なお、スエリングによる歪増加率は小さく、このような場合、被覆管は10%以上の歪に至るまで定常クリープ領域にあり、不安定化は生じ</p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-12</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>3.6 参考文献</p> <p>(1) 「三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計」  <u>MHI-NES-1021 改10, 三菱重工業, 平成19年</u></p> <p>(2) 「原燃工製PWRステップ2燃料の機械設計について(泊1, 2, 3号)」  <u>NFK-8134 改1, 原子燃料工業, 平成18年</u></p> <p>(3) 「燃料被覆管のクリープコラプスについて」  <u>MAPI-1030, 三菱原子力工業, 昭和49年</u></p> <p>(4) 「燃料被覆管のクリープコラプスの評価」  <u>NFK-8026 改3, 原子燃料工業, 昭和56年</u></p> <p>(5) 「原燃工製PWRステップ2燃料集合体の開発」  <u>NFK-8114 改2, 原子燃料工業, 平成15年</u></p> <p>(6) 「原燃工製PWRステップ2燃料の改良因子について」  <u>NFK-8116 改5, 原子燃料工業, 平成17年</u></p> <p>(7) 「燃料ペレットの焼きしまりについて」  <u>MAPI-1032, 三菱原子力工業, 昭和50年</u></p> <p>(8) 「燃料ペレット焼きしまりの評価」  <u>NFK-8010 改6, 原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(9) 「燃料ペレット焼きしまりによるパワースパイクについて」  <u>MHI-NES-1002 改1, 三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(10) 「三菱PWRの燃料設計計算コードの概要」  <u>MAPI-1019 改1, 三菱原子力工業, 昭和63年</u></p> <p>(11) 「燃料棒性能解析コード(FPAC)」  <u>NFK-8011 改9, 原子燃料工業, 平成17年</u></p> <p>(12) 「Melting Point of Irradiated Uranium Dioxide」  <u>J. A. Christensen, R. J. Allio and A. Biancheria, WCAP-6065, 1965</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-52</p>	<p>3.6 参考文献</p> <p>(1) 「三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計」  <u>MHI-NES-1021 改3</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(2) 「原燃工製PWRステップ2燃料の改良因子について」  <u>NFK-8116 改3</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(3) 「原燃工製PWRステップ2燃料の機械設計について(大飯1,2,3,4号)」  <u>NFK-8119 改1</u>  <u>原子燃料工業, 平成15年</u></p> <p>(4) 「燃料被覆管のクリープコラプスについて」  <u>MAPI-1030</u>  <u>三菱原子力工業, 昭和49年</u></p> <p>(5) 「燃料被覆管のクリープコラプスの評価」  <u>NFK-8026 改3</u>  <u>原子燃料工業, 昭和56年</u></p> <p>(6) 「原燃工製PWRステップ2燃料集合体の開発」  <u>NFK-8114 改1</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(7) 「燃料ペレットの焼きしまりについて」  <u>MAPI-1032</u>  <u>三菱原子力工業, 昭和50年</u></p> <p>(8) 「燃料ペレット焼きしまりの評価」  <u>NFK-8010 改6</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(9) 「燃料ペレット焼きしまりによるパワースパイクについて」  <u>MHI-NES-1002 改1</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(10) 「三菱PWRの燃料設計計算コードの概要」  <u>MAPI-1019 改1</u>  <u>三菱原子力工業, 昭和63年</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-75</p>	<p>既許可の相違</p> <p>・泊、大飯ともに同様の文献を参照しているが泊の方が最新の知見に合わせた参考資料を使用している。</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>(13) 「改良統計的熱設計手法について」  <u>MHI-NES-1009 改1, 三菱重工業, 平成12年</u></p> <p>(14) 「改良統計的熱設計手法について」  <u>NFK-8107 改1, 原子燃料工業, 平成12年</u></p> <p>(15) 「PWR燃料の使用実績」  <u>MHI-NES-1022 改5, 三菱重工業, 平成20年</u></p> <p>(16) 「原燃工B型燃料の照射実績」  <u>NFK-8049 改15, 原子燃料工業, 平成20年</u></p> <p>(17) 「ガドリニア入り燃料の核設計」  <u>MAPI-1066 改6, 三菱重工業, 平成17年</u></p> <p>(18) 「三菱PWRの新核設計手法と信頼性」  <u>MAPI-1087 改6, 三菱重工業, 平成16年</u></p> <p>(19) 「三菱PWRのPHOENIX-P/ANCによる核設計の信頼性」  <u>MHI-NES-1025 改2, 三菱重工業, 平成18年</u></p> <p>(20) 「PWR核設計手法と信頼性（改良NULIFシステム）」  <u>NFK-8102, 原子燃料工業, 平成7年</u></p> <p>(21) 「改良NULIFシステムにおけるPWR核設計手法の信頼性」  <u>NFK-8113 改3, 原子燃料工業, 平成18年</u></p> <p>(22) 「三菱PWRにおける出力分布制御について」  <u>MHI-NES-1027 改2, 三菱重工業, 平成16年</u></p> <p>(23) 「PWRのキセノン振動制御」  <u>原子力学会誌 Vol.19 No.1(1977)</u></p> <p>(24) 「A型及びB型燃料集合体の共存する炉心特性（3ループ17×17型  <u>ステップ2燃料集合体）」</u>  <u>NFK-8112 改2, 原子燃料工業, 平成20年</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-53</p>	<p>(11) 「燃料棒性能解析コード（FPAC）」  <u>NFK-8011 改7</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(12) 「Melting Point of Irradiated Uranium Dioxide」  <u>J.A.Christensen,R.J.Allio and A.Biancheria, WCAP-6065, 1965</u></p> <p>(13) 「改良統計的熱設計手法について」  <u>MHI-NES-1009 改1</u>  <u>三菱重工業, 平成12年</u></p> <p>(14) 「三菱製バーナブルポイズン（BP）集合体について」  <u>MAPI-1073</u>  <u>三菱原子力工業, 昭和60年</u></p> <p>(15) 「原燃工B型バーナブルポイズンの概要」  <u>NFK-8079 改4</u>  <u>原子燃料工業, 昭和60年</u></p> <p>(16) 「改良統計的熱設計手法について」  <u>NFK-8107 改1</u>  <u>原子燃料工業, 平成12年</u></p> <p>(17) 「PWR燃料の使用実績」  <u>MHI-NES-1022</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(18) 「原燃工B型燃料の照射実績」  <u>NFK-8049 改10</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(19) 「ガドリニア入り燃料の核設計」  <u>MAPI-1066 改4</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(20) 「三菱PWRの新核設計手法と信頼性」  <u>MAPI-1087 改5</u>  <u>三菱重工業, 平成10年</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-76</p>	<p>既許可の相違</p> <p>・泊、大飯ともに同様の文献を参照しているが泊の方が最新の知見に合わせた参考資料を使用している。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>(25) 「THINC-IVコードの概要」  <u>MAPI-1044, 三菱原子力工業, 昭和51年</u></p> <p>(26) 「PWR熱水力設計手法」  <u>NFK-8024 改6, 原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(27) 「三菱新DNB相関式(MIRC-1)について」  <u>MAPI-1075 改4, 三菱重工業, 平成18年</u></p> <p>(28) 「原燃工新DNB相関式(NFI-1)について」  <u>NFK-8087 改2, 原子燃料工業, 平成19年</u></p> <p>(29) 「三菱製バーナブルポイズン(BP)集合体について」  <u>MAPI-1073 改1, 三菱重工業, 平成12年</u></p> <p>(30) 「原燃工B型バーナブルポイズンの概要」  <u>NFK-8079 改5, 原子燃料工業, 平成12年</u></p> <p>(31) 「三菱PWRの過渡解析と実測の比較」  <u>MAPI-1046 改1, 三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(32) 「三菱PWR高燃焼度化ステップ2炉心におけるMOX燃料機械設計」  <u>MHI-NES-1032 改2, 三菱重工業, 平成21年</u></p> <p>(33) 「MOX燃料の特性について」  <u>NFK-8130, 原子燃料工業, 平成16年</u></p> <p>(34) 「MOX燃料の機械設計について(泊3号)」  <u>NFK-8135, 原子燃料工業, 平成20年</u></p> <p>(35) 「我が国におけるMOX燃料の照射実証及び照射後試験」  <u>原子力学会誌 (Vol.39 No.2) (1997)</u></p> <p>(36) 「PWR向けMOX燃料のプルトニウム富化度について」  <u>MHI-NES-1001 改1, 三菱重工業, 平成10年</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-54</p>	<p>(21) 「三菱PWRのPHOENIX-P/ANCによる核設計の信頼性」  <u>MHI-NES-1025</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(22) 「PWR核設計手法と信頼性(改良NULIFシステム)」  <u>NFK-8102</u>  <u>原子燃料工業, 平成7年</u></p> <p>(23) 「改良NULIFシステムにおけるPWR核設計手法の信頼性」  <u>NFK-8113 改1</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(24) 「三菱PWRにおける出力分布制御について」  <u>MHI-NES-1027</u>  <u>三菱重工業, 平成14年</u></p> <p>(25) 「PWRのキセノン振動制御」  <u>原子力学会誌, Vol.18 No.1 (1977)</u></p> <p>(26) 「A型及びB型燃料集合体の共存する炉心特性(4及び17×17型ステップ2燃料集合体)」  <u>NFK-8122</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(27) 「THINC-IVコードの概要」  <u>MAPI-1044</u>  <u>三菱原子力工業, 昭和51年</u></p> <p>(28) 「PWR熱水力設計手法」  <u>NFK-8024 改6</u>  <u>原子燃料工業, 平成14年</u></p> <p>(29) 「三菱新DNB相関式(MIRC-1)について」  <u>MAPI-1075 改3</u>  <u>三菱重工業, 平成12年</u></p> <p>(30) 「DNB相関式について」  <u>MAPI-1029 改2</u>  <u>三菱重工業, 平成12年</u></p> <p style="text-align: center;">8(3)-3-77</p>	<p>既許可の相違</p> <p>・泊、大飯ともに同様の文献を参照しているが泊の方が最新の知見に合わせた参考資料を使用している。</p>

泊発電所 3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所 2号炉	泊発電所 3号炉	大飯発電所 3 / 4号炉	差異の説明
		<p>(31)「<u>原燃工新DNB相関式（NFI-1）について</u>」  <u>NFK-8087改1</u>                      原子燃料工業、平成12年</p> <p>(32)「<u>三菱PWRの過渡解析と実測の比較</u>」  <u>MAPI-1046改1</u>                      三菱重工業、平成14年</p>	<p>既許可の相違                      ・泊、大飯ともに同様の文献を参照しているが泊の方が最新の知見に合わせた参考資料を使用している。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明																												
	<div data-bbox="1160 296 1665 365" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">                     平成22年3月19日一部補正の抜粋                      ※以下の [ ] は前頁までに掲載した頁の補正箇所を示す。                 </div> <table border="1" data-bbox="997 422 1620 1262"> <thead> <tr> <th>頁</th> <th>行</th> <th>補正前</th> <th>補正後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8(3)-3-38</td> <td>下6</td> <td>想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...</td> <td>想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3(1)表、第3.5.3(2)表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...</td> </tr> <tr> <td></td> <td>下3</td> <td>炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...</td> <td>炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5(1)表、第3.5.5(2)表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...</td> </tr> <tr> <td>8(3)-3-49</td> <td>上9</td> <td>...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期であり、...</td> <td>...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期0MWd/tであり、...</td> </tr> <tr> <td>8(3)-3-52</td> <td>上3</td> <td>MHI-NES-1021 改10, 三菱重工業, 平成19年</td> <td>MNF-1001, 三菱原子燃料, 平成21年</td> </tr> <tr> <td></td> <td>上13</td> <td>NFK-8116 改5, 原子燃料工業, 平成17年</td> <td>NFK-8116 改7, 原子燃料工業, 平成21年</td> </tr> <tr> <td></td> <td>下3</td> <td>NFK-8011 改9, 原子燃料工業, 平成17年</td> <td>NFK-8011 改11, 原子燃料工業, 平成21年</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">8-11</p>	頁	行	補正前	補正後	8(3)-3-38	下6	想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...	想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3(1)表、第3.5.3(2)表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...		下3	炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...	炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5(1)表、第3.5.5(2)表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...	8(3)-3-49	上9	...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期であり、...	...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期0MWd/tであり、...	8(3)-3-52	上3	MHI-NES-1021 改10, 三菱重工業, 平成19年	MNF-1001, 三菱原子燃料, 平成21年		上13	NFK-8116 改5, 原子燃料工業, 平成17年	NFK-8116 改7, 原子燃料工業, 平成21年		下3	NFK-8011 改9, 原子燃料工業, 平成17年	NFK-8011 改11, 原子燃料工業, 平成21年		<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「許可を受けた原子炉設置変更許可申請書の抜粋」として、泊では申請書の補正箇所も含めて記載している。</li> </ul>
頁	行	補正前	補正後																												
8(3)-3-38	下6	想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...	想定したケースの炉心の主要パラメータを第3.5.3(1)表、第3.5.3(2)表、第3.5.4(1)表及び第3.5.4(2)表に、...																												
	下3	炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...	炉心の安全性確認項目及び各ケースの詳細評価は第3.5.5(1)表、第3.5.5(2)表、第3.5.6(1)表及び第3.5.6(2)表に示すとおりであり、...																												
8(3)-3-49	上9	...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期であり、...	...、燃料中心温度が最高となるのは、燃料寿命初期0MWd/tであり、...																												
8(3)-3-52	上3	MHI-NES-1021 改10, 三菱重工業, 平成19年	MNF-1001, 三菱原子燃料, 平成21年																												
	上13	NFK-8116 改5, 原子燃料工業, 平成17年	NFK-8116 改7, 原子燃料工業, 平成21年																												
	下3	NFK-8011 改9, 原子燃料工業, 平成17年	NFK-8011 改11, 原子燃料工業, 平成21年																												

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明																													
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">頁</th> <th style="width: 10%;">行</th> <th style="width: 40%;">補正前</th> <th style="width: 40%;">補正後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: top;">8(3)-3-53</td> <td style="text-align: center;">上2</td> <td>MHI-NES-1009 改1, 三菱重工業, 平成12年</td> <td>MHI-NES-1009 改2, 三菱重工業, 平成21年</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">上6</td> <td>MHI-NES-1022 改5, 三菱重工業, 平成20年</td> <td>MNF-1002, 三菱原子燃料, 平成21年</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">上8</td> <td>NFK-8049 改15, 原子燃料工業, 平成20年</td> <td>NFK-8049 改16, 原子燃料工業, 平成21年</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;">8(3)-3-54</td> <td style="text-align: center;">下9</td> <td>MHI-NES-1032 改2, 三菱重工業, 平成21年</td> <td>MNF-1003, 三菱原子燃料, 平成21年</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">下4</td> <td>「我が国におけるMOX燃料の照射実証及び照射後試験」</td> <td>「我が国におけるMOX燃料の照射実証および照射後試験」</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">8(3)-3-63～ 8(3)-3-67</td> <td></td> <td>第3.5.1表 核設計値</td> <td>別紙2に変更する。</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">8(3)-3-69と 8(3)-3-70の間</td> <td></td> <td>(記載の追加)</td> <td>「第3.5.3表 炉心の主要パラメータ(1)」を「第3.5.3(1)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン燃料炉心)」に読み替えるとともに、「第3.5.3(2)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料炉心)」を追加する。</td> </tr> </tbody> </table>	頁	行	補正前	補正後	8(3)-3-53	上2	MHI-NES-1009 改1, 三菱重工業, 平成12年	MHI-NES-1009 改2, 三菱重工業, 平成21年	上6	MHI-NES-1022 改5, 三菱重工業, 平成20年	MNF-1002, 三菱原子燃料, 平成21年	上8	NFK-8049 改15, 原子燃料工業, 平成20年	NFK-8049 改16, 原子燃料工業, 平成21年	8(3)-3-54	下9	MHI-NES-1032 改2, 三菱重工業, 平成21年	MNF-1003, 三菱原子燃料, 平成21年	下4	「我が国におけるMOX燃料の照射実証及び照射後試験」	「我が国におけるMOX燃料の照射実証および照射後試験」	8(3)-3-63～ 8(3)-3-67		第3.5.1表 核設計値	別紙2に変更する。	8(3)-3-69と 8(3)-3-70の間		(記載の追加)	「第3.5.3表 炉心の主要パラメータ(1)」を「第3.5.3(1)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン燃料炉心)」に読み替えるとともに、「第3.5.3(2)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料炉心)」を追加する。		<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「許可を受けた原子炉設置変更許可申請書の抜粋」として、泊では申請書の補正箇所も含めて記載している。</li> </ul>
頁	行	補正前	補正後																													
8(3)-3-53	上2	MHI-NES-1009 改1, 三菱重工業, 平成12年	MHI-NES-1009 改2, 三菱重工業, 平成21年																													
	上6	MHI-NES-1022 改5, 三菱重工業, 平成20年	MNF-1002, 三菱原子燃料, 平成21年																													
	上8	NFK-8049 改15, 原子燃料工業, 平成20年	NFK-8049 改16, 原子燃料工業, 平成21年																													
8(3)-3-54	下9	MHI-NES-1032 改2, 三菱重工業, 平成21年	MNF-1003, 三菱原子燃料, 平成21年																													
	下4	「我が国におけるMOX燃料の照射実証及び照射後試験」	「我が国におけるMOX燃料の照射実証および照射後試験」																													
8(3)-3-63～ 8(3)-3-67		第3.5.1表 核設計値	別紙2に変更する。																													
8(3)-3-69と 8(3)-3-70の間		(記載の追加)	「第3.5.3表 炉心の主要パラメータ(1)」を「第3.5.3(1)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン燃料炉心)」に読み替えるとともに、「第3.5.3(2)表 炉心の主要パラメータ(1)(ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料炉心)」を追加する。																													



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>別添資料2 燃料集合体の耐震計算方法</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>本資料は、設計及び工事計画認可申請段階で提出する予定の添付資料「燃料集合体の耐震計算書」の資料案を抜粋したものであり、詳細は設計及び工事計画認可申請段階で説明するが、設置許可申請段階の燃料被覆管の閉じ込め機能維持の設計方針を説明するうえで参考となることから、別添資料として提出するものである。なお、燃料集合体の耐震計算方法は再稼働済み先行PWRと同じ評価方法である。</p> </div>	<p>別添資料2</p> <p>燃料集合体の耐震計算書の抜粋</p> <p>○資料</p> <p>平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された大飯3号機工事計画の資料13-17-1-3『燃料集合体の耐震計算書』のうち、地震時に燃料被覆管に生じる応力の評価方法に関する箇所の抜粋</p>	<p>記載表現の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目次のタイトルが異なるが、実質的な相違なし。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大飯は認可済み工認（再稼働時の工認）を抜粋している。泊は今後の設工認段階で説明するため記載が異なるものの、具体的な評価方法は泊も含めて先行PWRと同じ。</li> </ul>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

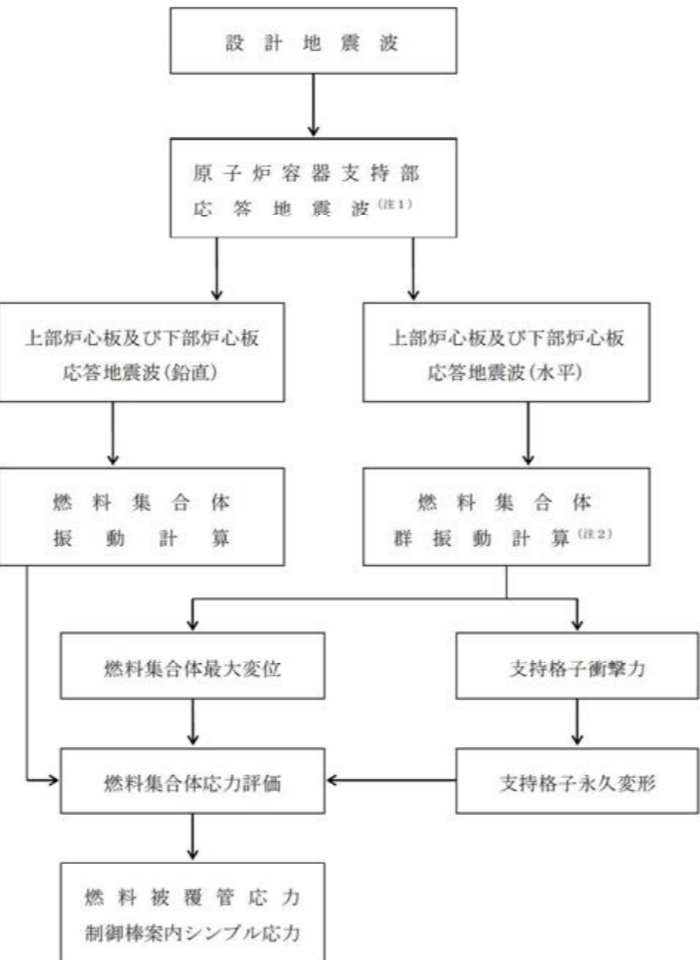
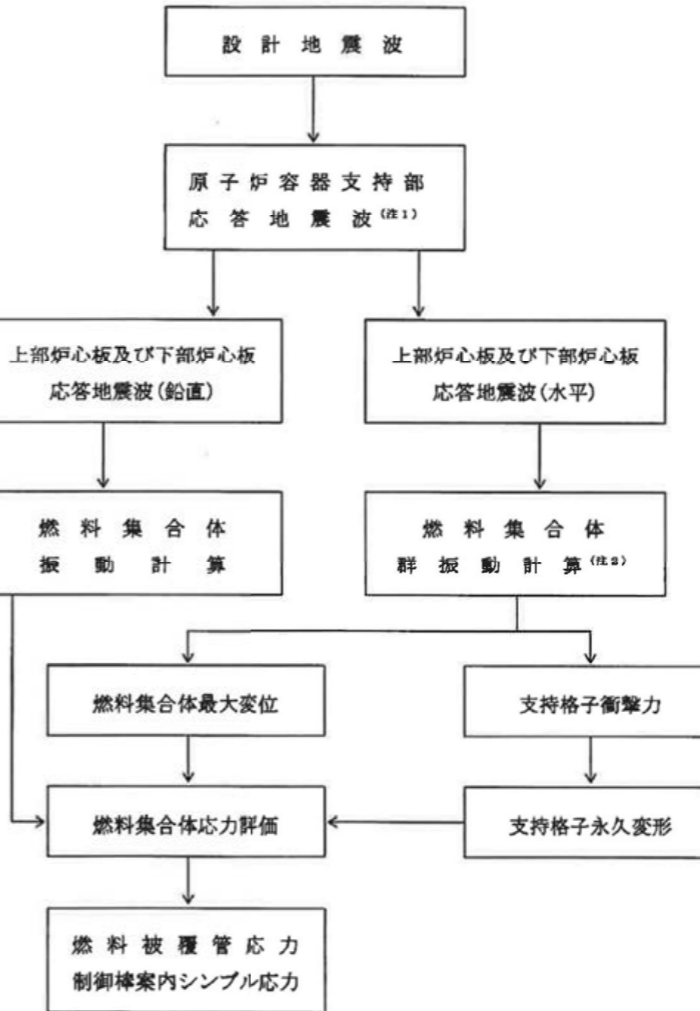
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>資料13-17-1-3 燃料集合体の耐震計算書</p> <p>2.2 評価方針</p> <p>燃料集合体の応力評価は、資料13-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す燃料集合体の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「6. 燃料被覆管の応力評価結果」、「7. 制御棒案内シンプルの応力評価結果」及び「8. 支持格子の強度評価結果」に示す。</p> <p>燃料集合体の耐震評価の流れは、泊発電所3号機平成20年8月14日付け平成22・06・17原第1号にて認可された工事計画の実績に基づき、実施する。</p> <p>燃料集合体の耐震評価フローを第2-9図に示す。</p>	<p>資料13-17-1-3 燃料集合体の耐震計算書</p> <p>2.2 評価方針</p> <p>燃料集合体の応力評価は、資料13-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す燃料集合体の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「6.1 燃料被覆管の応力評価結果」、「6.2 制御棒案内シンプルの応力評価結果」及び「6.3 支持格子の強度評価結果」に示す。</p> <p>燃料集合体の耐震評価の流れは、大飯発電所3号機平成16年10月1日付け平成16・06・18原第22号にて認可された既工事計画の実績に基づき、実施する。</p> <p>燃料集合体の耐震評価フローを第2-9図に示す。</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>・参照番号の相違。参照内容は同じ。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	 <p>設計地震波</p> <p>原子炉容器支持部 応答地震波<sup>(注1)</sup></p> <p>上部炉心板及び下部炉心板 応答地震波(鉛直)</p> <p>上部炉心板及び下部炉心板 応答地震波(水平)</p> <p>燃料集合体 振動計算</p> <p>燃料集合体 群振動計算<sup>(注2)</sup></p> <p>燃料集合体最大変位</p> <p>支持格子衝撃力</p> <p>燃料集合体応力評価</p> <p>支持格子永久変形</p> <p>燃料被覆管応力 制御棒案内シンプル応力</p> <p><u>(注1) 支持部位置における応答地震波を用いる。</u>  <u>(注2) 鉛直方向の地震動が水平方向の振動特性へ及ぼす影響を考慮</u></p> <p>第2-9図 燃料集合体の耐震評価フロー</p>	 <p>設計地震波</p> <p>原子炉容器支持部 応答地震波<sup>(注1)</sup></p> <p>上部炉心板及び下部炉心板 応答地震波(鉛直)</p> <p>上部炉心板及び下部炉心板 応答地震波(水平)</p> <p>燃料集合体 振動計算</p> <p>燃料集合体 群振動計算<sup>(注2)</sup></p> <p>燃料集合体最大変位</p> <p>支持格子衝撃力</p> <p>燃料集合体応力評価</p> <p>支持格子永久変形</p> <p>燃料被覆管応力 制御棒案内シンプル応力</p> <p><u>(注1) 支持部位置より1つ上の質点における応答地震波を用いる。</u>  <u>(注2) 鉛直方向の地震動が水平方向の振動特性へ及ぼす影響を考慮</u></p> <p>第2-9図 燃料集合体の耐震評価フロー</p>	<p>差異の説明</p> <p>設計の相違              ・泊と大飯でのRVサポート支持位置の違いによる。</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>3. 耐震評価箇所<sup>㉔</sup>                      燃料集合体においては、制御棒挿入機能の維持及び崩壊熱除去可能な形状維持の観点から、燃料集合体を構成する以下の箇所について耐震評価を行う。<sup>㉔</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料被覆管<sup>㉔</sup></li> <li>・制御棒案内シムプル<sup>㉔</sup></li> <li>・支持格子<sup>㉔</sup></li> </ul> <p>4. 地震応答解析<sup>㉔</sup>                      地震による燃料集合体の変形、支持格子の衝撃力及び変形を求めるために、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに対する水平方向及び鉛直方向の地震応答解析を時刻歴法にて実施する。<sup>㉔</sup></p> <p>4.1 基本方針<sup>㉔</sup>                      燃料集合体の耐震評価は、以下の手順で行う。<sup>㉔</sup></p> <p>(1) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。<sup>㉔</sup></p> <p>(2) 群振動解析に当たって、最新知見の反映として、照射による耐震性への影響の程度を確認するため、運転期間中における照射の影響を取り込んで評価を行う。<sup>㉔</sup>                      照射による影響の程度の確認においては、以下の影響を考慮する。<sup>㉔</sup></p> <p>① 支持格子ばね力緩和<sup>㉔</sup>                      支持格子のばね力は照射により緩和し、これにより支持格子強度特性及び燃料集合体振動特性が変化する。<sup>㉔</sup></p> <p>② 燃料被覆管及び制御棒案内シムプルの腐食<sup>㉔</sup>                      燃料被覆管及び制御棒案内シムプルは、照射により腐食が生じる。腐食により断面二次モーメントが低下することで、燃料集合体振動特性が変化する。<sup>㉔</sup>                      ①及び②の照射の影響について、具体的には、試験によって得られたデータに基づき入力定数を設定し、評価を実施する。第4-1表～第4-3表にA型燃料集合体、B型燃料集合体それぞれの耐震評価に必要なパラメータに関する照射の影響をまとめる。燃料集合体振動特性については、第4-1図～第4-8図に示す特性を用いる。<sup>㉔</sup></p> <p>(3) 燃料集合体の耐震解析は4.2に示す上部炉心板及び下部炉心板の地震波に対し、支持格子の衝突を考慮した時刻歴群振動解析により行う。<sup>㉔</sup></p> <p>(4) 事故時における原子炉容器内の圧力変動によっても地震時と同様に燃料集合体の振動が発生するが、その際の応答はこれらの入力地震波による応答に包絡される<sup>(㉔)</sup>。<sup>㉔</sup></p> <p>(注) 「三菱PWR燃料集合体の事故時強度評価」                      (MHI-NES-1034 改1、三菱重工業㈱、平成18年)<sup>㉔</sup></p>	<p>3. 耐震評価箇所<sup>㉔</sup>                      燃料集合体においては、制御棒挿入機能の維持及び崩壊熱除去可能な形状維持の観点から、燃料集合体を構成する以下の箇所について耐震評価を行う。<sup>㉔</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料被覆管<sup>㉔</sup></li> <li>・制御棒案内シムプル<sup>㉔</sup></li> <li>・支持格子<sup>㉔</sup></li> </ul> <p>4. 地震応答解析<sup>㉔</sup>                      地震による燃料集合体の変形、支持格子の衝撃力及び変形を求めるために、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに対する水平方向及び鉛直方向の地震応答解析を時刻歴法にて実施する。<sup>㉔</sup></p> <p>4.1 基本方針<sup>㉔</sup>                      燃料集合体の耐震評価は、以下の手順で行う。<sup>㉔</sup></p> <p>(1) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。<sup>㉔</sup></p> <p>(2) 群振動解析に当たって、最新知見の反映として、照射による耐震性への影響の程度を確認するため、運転期間中における照射の影響を取り込んで評価を行う。<sup>㉔</sup>                      照射による影響の程度の確認においては、以下の影響を考慮する。<sup>㉔</sup></p> <p>① 支持格子ばね力緩和<sup>㉔</sup>                      支持格子のばね力は照射により緩和し、これにより支持格子強度特性及び燃料集合体振動特性が変化する。<sup>㉔</sup></p> <p>② 燃料被覆管及び制御棒案内シムプルの腐食<sup>㉔</sup>                      燃料被覆管及び制御棒案内シムプルは、照射により腐食が生じる。腐食により断面二次モーメントが低下することで、燃料集合体振動特性が変化する。<sup>㉔</sup>                      ①及び②の照射の影響について、具体的には、試験によって得られたデータに基づき入力定数を設定し、評価を実施する。第4-1表にA型燃料集合体、第4-2表にB型燃料集合体、それぞれの耐震評価に必要なパラメータに関する照射の影響をまとめる。燃料集合体振動特性については、第4-1図～第4-8図に示す特性を用いる。<sup>㉔</sup></p> <p>(3) 燃料集合体の耐震解析は「4.2 入力地震動」に示す上部炉心板及び下部炉心板の地震波に対し、支持格子の衝突を考慮した時刻歴群振動解析により行う。<sup>㉔</sup></p> <p>(4) 事故時における原子炉容器内の圧力変動によっても地震時と同様に燃料集合体の振動が発生するが、その際の応答はこれらの入力地震波による応答に包絡される<sup>(㉔)</sup>。<sup>㉔</sup></p> <p>(注) 「三菱PWR燃料集合体の事故時強度評価」                      (MHI-NES-1034 改1、三菱重工業㈱、平成19年)<sup>㉔</sup></p>	<p>設計の相違                      ・泊と大飯での使用燃料の違い。</p>



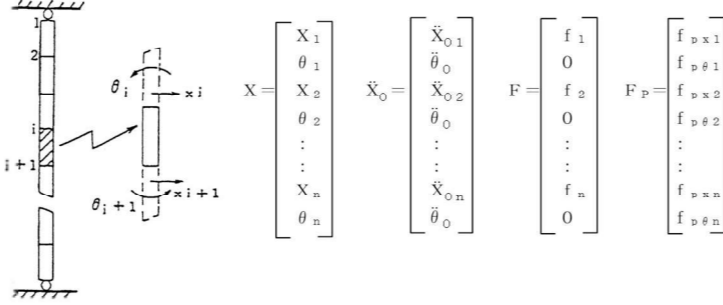
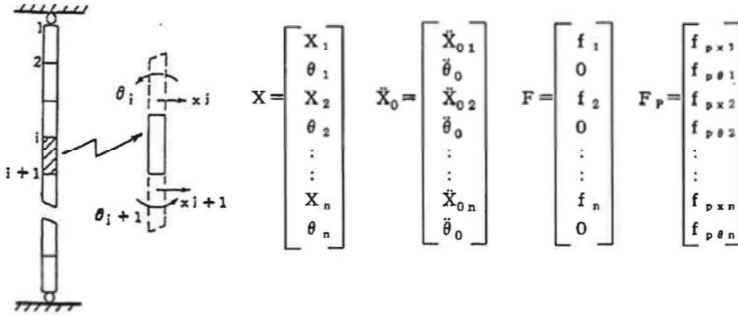
泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>4.2 入力地震動<sup>4)</sup></p> <p>資料 13-17-7-2「原子炉格納施設の地震応答解析」に基づく原子炉容器支持構造物設置位置の内部コンクリートの時刻歴応答波を、資料 13-17-1-4「炉内構造物（炉心支持構造物を含む）の耐震計算書」に示す、炉内構造物の地震応答解析モデルに入力し、得られる上部炉心板及び下部炉心板の応答波を燃料集合体の入力とする。<sup>4)</sup></p> <p>入力地震波として水平地震動及び鉛直地震動を考慮し、第4-4表のS<sub>s</sub>地震波及びS<sub>d</sub>地震波により評価する。なお、既設の設備における弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による耐震評価については、基準地震動S<sub>s</sub>による評価結果が資料13-9「機能維持の基本方針」に示す弾性設計用地震動の許容限界を満足する場合、省略するものとする。<sup>4)</sup></p> <p>S<sub>s</sub>地震動及びS<sub>d</sub>地震動の上部炉心板及び下部炉心板応答加速度を第4-7図～第4-9図に示す。<sup>4)</sup></p>	<p>4.2 入力地震動</p> <p>資料 13-17-7-2「原子炉格納施設の地震応答解析」に基づく原子炉容器支持構造物設置位置相当（設置位置より1つ上の質点）の内部コンクリートの時刻歴応答波を、資料 13-17-1-4「炉内構造物（炉心支持構造物を含む）の耐震計算書」に示す炉内構造物の地震応答解析モデルに入力し、得られる上部炉心板及び下部炉心板の応答波を燃料集合体の入力とする。</p> <p>入力地震波として水平地震動及び鉛直地震動を考慮し、第4-3表のS<sub>s</sub>地震波及びS<sub>d</sub>地震波により評価する。なお、既設の設備における弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による耐震評価については、基準地震動S<sub>s</sub>による評価結果が資料13-9「機能維持の基本方針」に示す弾性設計用地震動の許容限界を満足する場合、省略するものとする。</p> <p>S<sub>s</sub>地震動及びS<sub>d</sub>地震動の上部炉心板及び下部炉心板応答加速度を第4-9図～第4-202図に示す。</p>	<p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊と大飯でのRVサポート支持位置の違いによる。</li> </ul>

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>4.3 水平方向の解析方法<sup>4)</sup></p> <p>4.3.1 解析モデル<sup>4)</sup></p> <p>「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)」に基づき、第4-93図に示すように、炉心内の燃料集合体の最大体数15体の一列(X-X軸上)について、この燃料集合体群が地震によりその列方向に加振される場合を扱うことにする。<sup>4)</sup></p> <p>解析モデルは、第4-94図に示すように燃料集合体を模擬した15列のはりが間隔δで配列されたモデルとする。<sup>4)</sup></p> <p>炉心バップルと上部炉心板及び下部炉心板は一列の燃料集合体群と冷却水を格納する1つの剛なる閉じた容器(水槽)とみなし、また、燃料集合体の上端及び下端は容器にピン支持されているとする。衝突は支持格子の位置で発生することから、この位置に解析上、反発ばね及びエネルギー吸収素子を考慮する。<sup>4)</sup></p> <p>支持格子の数は実際には9個あるが、上端及び下端の2個はそれぞれ上部ノズル及び下部ノズルに近い位置にあり、衝突を生じ得ないと考えられるので省略する。<sup>4)</sup></p> <p>炉心内の水は付加質量として燃料集合体に加えており、また、燃料集合体の振動特性(固有振動数、減衰定数)で考慮する。<sup>4)</sup></p> <p>4.3.2 解析方法<sup>4)</sup></p> <p>燃料集合体は上部支点及び下部支点(上部炉心板及び下部炉心板)から入力された地震波により加振され、燃料集合体の振幅が間隔δより大となると、まず、炉心バップルと燃料集合体の間に衝突が生じ、以後は複雑な衝撃を伴う振動性状を示す。<sup>4)</sup></p> <p>従って、応答解析は、衝突を考慮した時刻歴法により行う。<sup>4)</sup></p> <p>振動方程式を以下に示す。<sup>4)</sup></p> <p>A型燃料集合体：<math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F - F_p</math><sup>4)</sup></p> <p>B型燃料集合体：<math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F</math><sup>4)</sup></p> 	<p>4.3 水平方向の解析方法</p> <p>4.3.1 解析モデル</p> <p>「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」に基づき、第4-203図に示すように、炉心内の燃料集合体の最大体数15体の一列(X-X軸上)について、この燃料集合体群が地震によりその列方向に加振される場合を扱うことにする。</p> <p>解析モデルは、第4-204図に示すように燃料集合体を模擬した15列のはりが間隔δで配列されたモデルとする。</p> <p>炉心バップルと上部炉心板及び下部炉心板は一列の燃料集合体群と冷却水を格納する1つの剛なる閉じた容器(水槽)とみなし、また、燃料集合体の上端及び下端は容器にピン支持されているとする。衝突は支持格子の位置で発生することから、この位置に解析上、反発ばね及びエネルギー吸収素子を考慮する。</p> <p>支持格子の数は実際には9個あるが、上端及び下端の2個はそれぞれ上部ノズル及び下部ノズルに近い位置にあり、衝突を生じ得ないと考えられるので省略する。</p> <p>炉心内の水は付加質量として燃料集合体に加えており、また、燃料集合体の振動特性(固有振動数、減衰定数)で考慮する。</p> <p>4.3.2 解析方法</p> <p>燃料集合体は上部支点及び下部支点(上部炉心板及び下部炉心板)から入力された地震波により加振され、燃料集合体の振幅が間隔δより大となると、まず、炉心バップルと燃料集合体の間に衝突が生じ、以後は複雑な衝撃を伴う振動性状を示す。</p> <p>従って、応答解析は、衝突を考慮した時刻歴法により行う。</p> <p>振動方程式を以下に示す。</p> <p>A型燃料集合体  <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F - F_p</math></p> <p>B型燃料集合体  <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F</math></p> 	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>ここで、<sup>4)</sup></p> <p><math>X_0</math> : 容器の絶対変位<sup>↓</sup>  <math>X_{0i}</math> : 容器のi節点相当高さ位置における絶対変位（並進成分）<sup>↓</sup>  <math>\theta_0</math> : 容器の絶対変位（回転成分）<sup>↓</sup>  <math>X_i</math> : i節点の容器に対する相対変位（並進成分）<sup>↓</sup>  <math>\theta_i</math> : i節点の容器に対する相対変位（回転成分）<sup>↓</sup>  <math>n</math> : 節点数（17）<sup>↓</sup>  <math>f_i</math> : i節点の衝撃力又は支持反力<sup>4)</sup>  <math>f_{pxi}</math> : i節点の軸力による補正荷重（並進成分）（A型燃料集合体のみ）<sup>4)</sup>  <math>f_{p\theta i}</math> : i節点の軸力による補正荷重（回転成分）（A型燃料集合体のみ）<sup>4)</sup>  <math>M</math> : 質量マトリックス<sup>↓</sup>  <math>K</math> : 剛性マトリックス<sup>↓</sup>  <math>C</math> : 粘性マトリックス<sup>4)</sup></p> <p><sup>4)</sup></p> <p><math>\ddot{x}_0</math>は地震波加速度であり、上記方程式を時刻歴解析することにより各節点の変位及び衝撃力を時間の関数として求める。<sup>4)</sup>                      また、支持格子の衝撃力が弾性限界荷重を上回った場合には、支持格子の変形を時間の関数として求め、さらに、その後の支持格子定数の変化を考慮する。<sup>4)</sup>  <math>K</math>及び<math>C</math>は燃料集合体の変位により変化するものとして扱う。<sup>4)</sup>                      A型燃料集合体については4.4.1(1)に示す鉛直方向応答解析コードVERSALで求められた時刻歴軸荷重を取り込んで解析を行う。また、B型燃料集合体については鉛直加速度に応じた<math>K</math>の低下を下記に示す燃料集合体群振動解析コードAQUARIUS内部で考慮する。<sup>4)</sup>                      解析に使用するコードはA型燃料集合体については燃料集合体群振動解析コード「FINDS Ver.4」、B型燃料集合体については「AQUARIUS Ver.3」である。なお、評価に用いる解析コード「FINDS Ver.4」及び「AQUARIUS Ver.3」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。解析の概要を第4-95図に示す。<sup>4)</sup></p>	<p>ここで、</p> <p><math>X_0</math> : 容器の絶対変位  <math>X_{0i}</math> : 容器のi節点相当高さ位置における絶対変位（並進成分）  <math>\theta_0</math> : 容器の絶対変位（回転成分）  <math>X_i</math> : i節点の容器に対する相対変位（並進成分）  <math>\theta_i</math> : i節点の容器に対する相対変位（回転成分）  <math>n</math> : 節点数（17）  <math>f_i</math> : i節点の衝撃力又は支持反力  <math>f_{pxi}</math> : i節点の軸力による補正荷重（並進成分）（A型燃料集合体のみ）  <math>f_{p\theta i}</math> : i節点の軸力による補正荷重（回転成分）（A型燃料集合体のみ）  <math>M</math> : 質量マトリックス  <math>K</math> : 剛性マトリックス  <math>C</math> : 粘性マトリックス</p> <p><math>\ddot{x}_0</math>は地震波加速度であり、上記方程式を時刻歴解析することにより各節点の変位及び衝撃力を時間の関数として求める。                      また、支持格子の衝撃力が弾性限界荷重を上回った場合には、支持格子の変形を時間の関数として求め、さらに、その後の支持格子定数の変化を考慮する。  <math>K</math>及び<math>C</math>は燃料集合体の変位により変化するものとして扱う。                      A型燃料集合体については4.4.1(1)に示す鉛直方向応答解析コードVERSALで求められた時刻歴軸荷重を取り込んで解析を行う。また、B型燃料集合体については鉛直加速度に応じた<math>K</math>の低下を下記に示す燃料集合体群振動解析コードAQUARIUS内部で考慮する。                      解析に使用するコードはA型燃料集合体については燃料集合体群振動解析コード「FINDS Ver.4」、B型燃料集合体については「AQUARIUS Ver.3」である。なお、評価に用いる解析コード「FINDS Ver.4」及び「AQUARIUS Ver.3」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。解析の概要を第4-205図に示す。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>4.4 鉛直方向の解析方法<sup>4)</sup></p> <p>4.4.1 解析モデル及び解析方法<sup>4)</sup></p> <p>(1) A型燃料集合体<sup>4)</sup></p> <p>第4-98図に燃料集合体の解析モデルを示す。主要部材である燃料棒と制御棒案内シムプル（炉内計装用案内シムプル、スリーブ等を含む）を各々1本の1次元ばね要素で扱い、それらの質量を支持格子位置にて集中質量で与えている。<sup>4)</sup></p> <p>支持格子位置では、燃料棒と制御棒案内シムプル間をばね-摩擦要素で結合し、すべりを考慮できるようにしている。<sup>4)</sup></p> <p>下部ノズルの質点の下側には下部ノズル剛性を模擬したばね要素を配している。<sup>4)</sup></p> <p>一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押えばねを表わすものである。<sup>4)</sup></p> <p>上記の解析モデルを用いて、次の振動方程式を時刻歴により解く。<sup>4)</sup></p> $M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F_L$ <p>ここで、<sup>4)</sup></p> <p>M : 質量マトリックス<sup>4)</sup></p> <p>K : 剛性マトリックス<sup>4)</sup></p> <p>C : 粘性マトリックス<sup>4)</sup></p> <p><math>\ddot{x}_0</math> : 炉心板の応答加速度<sup>4)</sup></p> <p><math>F_L</math> : 浮力、揚力、上部ノズル押えばね力<sup>4)</sup></p> <p>ここで求まる各要素の時刻歴軸荷重については、4.3.2に示す燃料集合体群振動解析コードFINDSの軸荷重成分としても用いられる。<sup>4)</sup></p> <p>解析に使用するコードは、燃料集合体鉛直耐震解析コード「VERSAL Ver.1」である。なお、評価に用いる解析コード「VERSAL Ver.1」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。<sup>4)</sup></p> <p>(2) B型燃料集合体<sup>4)</sup></p> <p>第4-97図に燃料集合体の解析モデルを示す。主要部材である燃料棒と制御棒案内シムプル（炉内計装用案内シムプル等を含む）をあわせて1本の1次元ばね要素で扱い、それらの質量を支持格子位置にて集中質量で与えている。<sup>4)</sup></p> <p>下部ノズルの質点の下側には下部ノズル剛性を模擬したばね要素を配している。<sup>4)</sup></p> <p>一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押えばねを表わすものである。<sup>4)</sup></p>	<p>4.4 鉛直方向の解析方法</p> <p>4.4.1 解析モデル及び解析方法</p> <p>(1) A型燃料集合体</p> <p>第4-206図に燃料集合体の解析モデルを示す。主要部材である燃料棒と制御棒案内シムプル（炉内計装用案内シムプル、スリーブ等を含む）を各々1本の1次元ばね要素で扱い、それらの質量を支持格子位置にて集中質量で与えている。<sup>4)</sup></p> <p>支持格子位置では、燃料棒と制御棒案内シムプル間をばね-摩擦要素で結合し、すべりを考慮できるようにしている。<sup>4)</sup></p> <p>下部ノズルの質点の下側には下部ノズル剛性を模擬したばね要素を配している。<sup>4)</sup></p> <p>一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押えばねを表わすものである。<sup>4)</sup></p> <p>上記の解析モデルを用いて、次の振動方程式を時刻歴により解く。<sup>4)</sup></p> $M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F_L$ <p>ここで、<sup>4)</sup></p> <p>M : 質量マトリックス<sup>4)</sup></p> <p>K : 剛性マトリックス<sup>4)</sup></p> <p>C : 粘性マトリックス<sup>4)</sup></p> <p><math>\ddot{x}_0</math> : 炉心板の応答加速度<sup>4)</sup></p> <p><math>F_L</math> : 浮力、揚力、上部ノズル押えばね力<sup>4)</sup></p> <p>ここで求まる各要素の時刻歴軸荷重については、4.3.2に示す燃料集合体群振動解析コードFINDSの軸荷重成分としても用いられる。<sup>4)</sup></p> <p>解析に使用するコードは、燃料集合体鉛直耐震解析コード「VERSAL Ver.1」である。なお、評価に用いる解析コード「VERSAL Ver.1」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。<sup>4)</sup></p> <p>(2) B型燃料集合体</p> <p>第4-207図に燃料集合体の解析モデルを示す。主要部材である燃料棒と制御棒案内シムプル（炉内計装用案内シムプル等を含む）をあわせて1本の1次元ばね要素で扱い、それらの質量を支持格子位置にて集中質量で与えている。<sup>4)</sup></p> <p>下部ノズルの質点の下側には下部ノズル剛性を模擬したばね要素を配している。<sup>4)</sup></p> <p>一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押えばねを表わすものである。<sup>4)</sup></p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

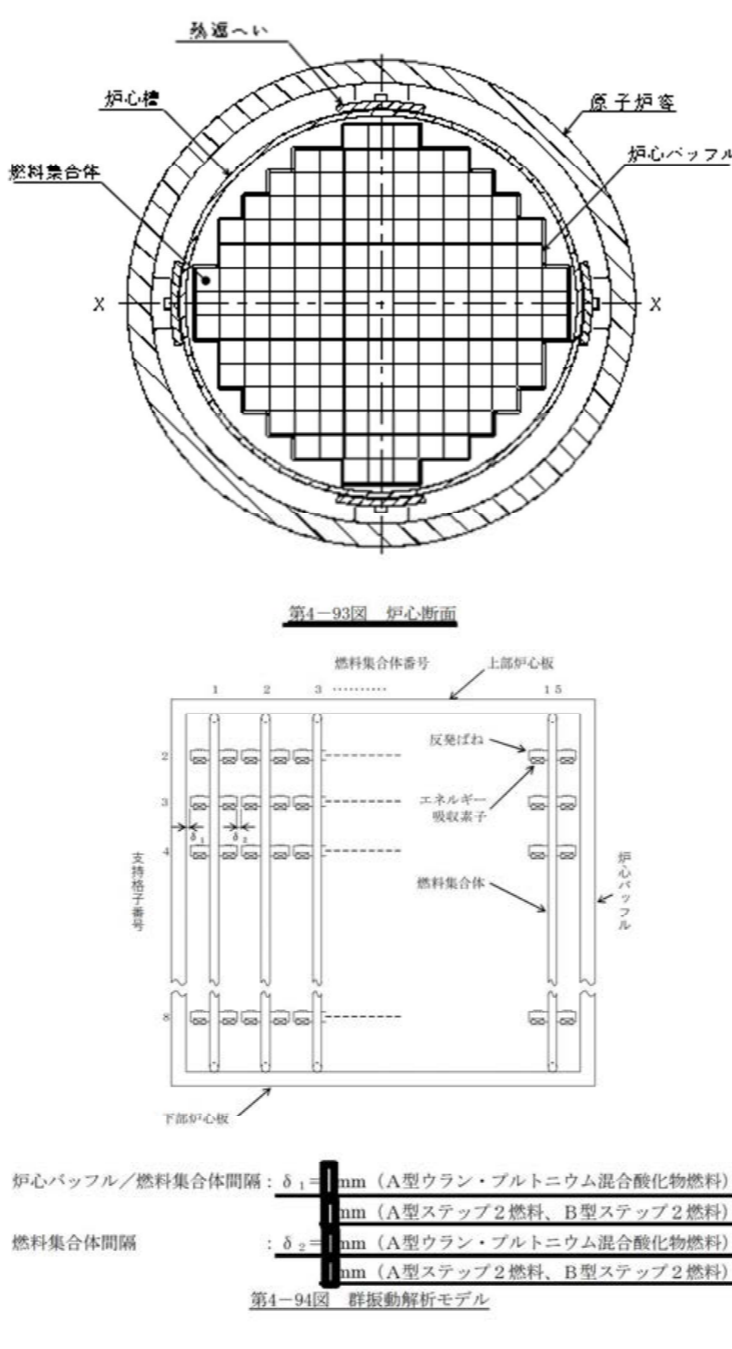
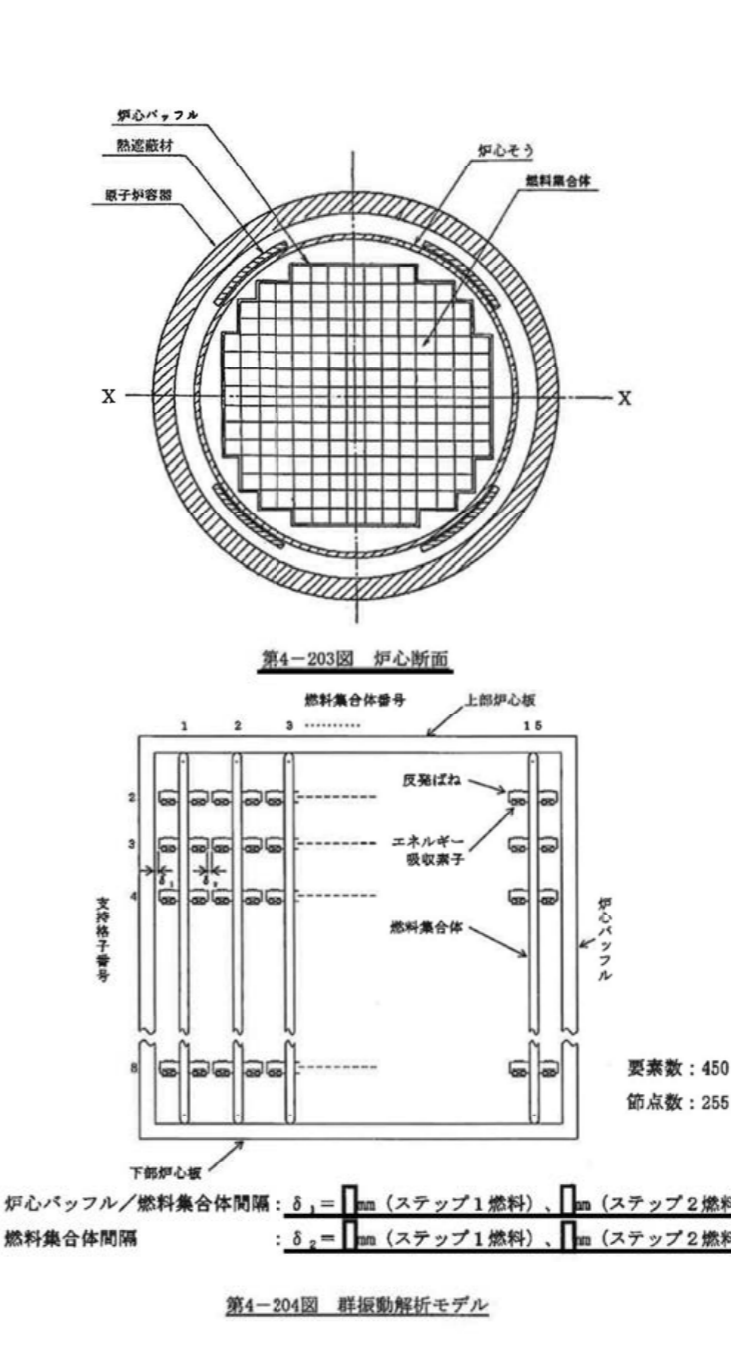
第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>上記の解析モデルを用いて、次の振動方程式を時刻歴により解く。<sup>4</sup></p> $M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F_L$ <p>ここで、<sup>4</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>M : 質量マトリックス<sup>4</sup></li> <li>K : 剛性マトリックス<sup>4</sup></li> <li>C : 粘性マトリックス<sup>4</sup></li> <li><math>\ddot{x}_0</math> : 炉心板の応答加速度<sup>4</sup></li> <li><math>F_L</math> : 上部ノズル押えばね力<sup>4</sup></li> </ul> <p><sup>4</sup></p> <p>解析に使用するコードは、燃料集合体群振動解析コード「AQUARIUS Ver.3」である。なお、評価に用いる解析コード「AQUARIUS Ver.3」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。<sup>4</sup></p>	<p>上記の解析モデルを用いて、次の振動方程式を時刻歴により解く。</p> $M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{X}_0 + F_L$ <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>M : 質量マトリックス</li> <li>K : 剛性マトリックス</li> <li>C : 粘性マトリックス</li> <li><math>\ddot{X}_0</math> : 炉心板の応答加速度</li> <li><math>F_L</math> : 上部ノズル押えばね力</li> </ul> <p>解析に使用するコードは、燃料集合体群振動解析コード「AQUARIUS Ver.3」である。なお、評価に用いる解析コード「AQUARIUS Ver.3」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違(実質的な相違なし)

第4条 地震による損傷の防止(別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持:別添資料)

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	 <p>第4-93図 炉心断面</p> <p>第4-94図 群振動解析モデル</p> <p>炉心バフフル/燃料集合体間隔: <math>\delta_1 =</math> mm (A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)              mm (A型ステップ2燃料、B型ステップ2燃料)              燃料集合体間隔: <math>\delta_2 =</math> mm (A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)              mm (A型ステップ2燃料、B型ステップ2燃料)</p>	 <p>第4-203図 炉心断面</p> <p>第4-204図 群振動解析モデル</p> <p>要素数: 450              節点数: 255</p> <p>炉心バフフル/燃料集合体間隔: <math>\delta_1 =</math> mm (ステップ1燃料)、mm (ステップ2燃料)              燃料集合体間隔: <math>\delta_2 =</math> mm (ステップ1燃料)、mm (ステップ2燃料)</p>	<p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>炉心断面については、大飯3/4号機は、4ループであるのに対し、泊3号機は3ループであるため、燃料装荷体数は193体(大飯)と157体(泊)で違いがある。</li> </ul> <p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>群振動解析モデルにおいて、大飯3/4号機はステップ1/2燃料を使用しているのに対し、泊3号機はウラン・プルトニウム混合酸化物燃料とステップ2燃料を採用している。</li> </ul>



実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: center;">入 力 定 数</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">支持格子定数 k, e, δ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">はり定数 m, E, I ↓ [K], [M]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">減衰比 C ↓ [C]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">初期条件 X(0)=0 Ẋ(0)=0 F(0)=0 F<sub>p</sub>(0)=0<sup>(注)</sup></div> </div> <p style="text-align: center;">t=0</p> <p style="text-align: center;">X(t), Ẋ(t), F(t), F<sub>p</sub>(t)<sup>(注)</sup></p> <p style="text-align: center;">入力地震波 ẋ<sub>0</sub>(t) (上部) → ẋ<sub>0</sub>(t) ẋ<sub>0</sub>(t) (下部)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F - F_p</math> (A型燃料集合体)  <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F</math> (B型燃料集合体)         </div> <p>から Ẋ, Ẋ, X, F (支持格子衝撃力) を求める。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">             集合体変位に応じて、              [K]、[C] を、              支持格子変形に応じて              k, e, δ を見直す。              またB型燃料集合体に              ついては鉛直加速度に              応じて [K] を見直す。         </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                 支持格子 &lt; 弾性限界荷重                  衝撃力             </div> <div style="text-align: right;">No</div> </div> <p style="text-align: right;">支持格子変形量出力</p> <p style="text-align: center;">t = t + Δt</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                 集合体変位                  支持格子衝撃力出力             </div> <div style="text-align: right;">No</div> </div> <p style="text-align: center;">t ≥ 地震継続時間</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Yes</div> <div style="text-align: right;">(注) A型燃料集合体のみ考慮</div> </div> <p style="text-align: center;">終</p> <p style="text-align: center;">第4-95図 燃料集合体群振動解析コード「FINDS」(A型燃料集合体用)及び「AQUARIUS」(B型燃料集合体用)における解析概要</p>	<p style="text-align: center;">入 力 定 数</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">支持格子定数 k, e, δ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">はり定数 m, E, I ↓ [K], [M]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">減衰比 C ↓ [C]</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">初期条件 X(0)=0 Ẋ(0)=0 F(0)=0 F<sub>p</sub>(0)=0<sup>(注)</sup></div> </div> <p style="text-align: center;">t=0</p> <p style="text-align: center;">X(t), Ẋ(t), F(t), F<sub>p</sub>(t)<sup>(注)</sup></p> <p style="text-align: center;">入力地震波 ẋ<sub>0</sub>(t) (上部) → ẋ<sub>0</sub>(t) ẋ<sub>0</sub>(t) (下部)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F - F_p</math> (A型燃料集合体)  <math>M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{x}_0 + F</math> (B型燃料集合体)         </div> <p>から Ẋ, Ẋ, X, F (支持格子衝撃力) を求める。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">             集合体変位に応じて、              [K]、[C] を、              支持格子変形に応じて              k, e, δ を見直す。              またB型燃料集合体に              ついては鉛直加速度に              応じて [K] を見直す。         </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                 支持格子 &lt; 弾性限界荷重                  衝撃力             </div> <div style="text-align: right;">No</div> </div> <p style="text-align: right;">支持格子変形量出力</p> <p style="text-align: center;">t = t + Δt</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                 集合体変位                  支持格子衝撃力出力             </div> <div style="text-align: right;">No</div> </div> <p style="text-align: center;">t ≥ 地震継続時間</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Yes</div> <div style="text-align: right;">(注) A型燃料集合体のみ考慮</div> </div> <p style="text-align: center;">終</p> <p style="text-align: center;">第4-205図 燃料集合体群振動解析コード「FINDS」(A型燃料集合体用)及び「AQUARIUS」(B型燃料集合体用)における解析概要</p>	

泊発電所 3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所 2号炉	泊発電所 3号炉	大飯発電所 3 / 4号炉	差異の説明
	<div data-bbox="1020 394 1555 926" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1555 785 1650 835" data-label="Text"> <p>要素数：33                      節点数：25</p> </div> <div data-bbox="1110 953 1531 978" data-label="Caption"> <p>第4-96図 A型燃料集合体応答解析モデル（鉛直方向）</p> </div> <div data-bbox="1020 995 1555 1478" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1555 1310 1650 1360" data-label="Text"> <p>要素数：                      節点数：</p> </div> <div data-bbox="1110 1486 1531 1512" data-label="Caption"> <p>第4-97図 B型燃料集合体応答解析モデル（鉛直方向）</p> </div>	<div data-bbox="1777 445 2276 999" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="2309 842 2404 892" data-label="Text"> <p>要素数：33                      節点数：25</p> </div> <div data-bbox="1783 1003 2252 1029" data-label="Caption"> <p>第4-206図 A型燃料集合体応答解析モデル（鉛直方向）</p> </div> <div data-bbox="1777 1041 2276 1545" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="2279 1415 2374 1465" data-label="Text"> <p>要素数：                      節点数：</p> </div> <div data-bbox="1783 1554 2252 1579" data-label="Caption"> <p>第4-207図 B型燃料集合体応答解析モデル（鉛直方向）</p> </div>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>5.2 燃料被覆管の応力評価方法                      燃料被覆管の応力評価においては、内外圧差による応力、水力振動による応力及び地震による応力を考慮する。                      これらの合計応力から体積平均相当応力を評価する。</p> <p>5.2.1 内外圧差による応力評価方法                      照射初期においては、燃料被覆管は外圧による圧縮応力を受ける。その後、核分裂生成ガスの蓄積による内圧の上昇がある。ここで、<u>A型ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料集合体については「高燃焼度用 FINE Ver.3.1」コード、A型ステップ2燃料集合体については「高燃焼度用 FINE Ver.3.0」コード、B型燃料集合体については「高燃焼度用 FPAC Ver.1」コードにより算出する。なお、評価に用いる解析コード「高燃焼度用 FINE Ver.3.0、Ver.3.1」及び「高燃焼度用 FPAC Ver.1」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</u>                      内外圧差による応力は泊発電所3号機平成20年8月14日付け平成20・06・17原第1号にて認可された既工事計画にて実績のある手法である下記により算定する。</p> $\sigma_r = \frac{1-k^2}{k^2-1} P - \frac{k^2-k^2}{k^2-1} P_0$ $\sigma_\theta = \frac{1+k^2}{k^2-1} P - \frac{k^2+k^2}{k^2-1} P_0$ $\sigma_z = \frac{1}{k^2-1} P - \frac{k^2}{k^2-1} P_0$ <p>ここで、  <math>\sigma_r</math> : 半径方向応力 (MPa)  <math>\sigma_\theta</math> : 円周方向応力 (MPa)  <math>\sigma_z</math> : 軸方向応力 (MPa)                      P : 内 圧 (MPa)                      P<sub>0</sub> : 外 圧 (MPa)                      r<sub>i</sub> : 燃料被覆管内半径 (mm)</p>	<p>5.2 燃料被覆管の応力評価方法                      燃料被覆管の応力評価においては、内外圧差による応力、水力振動による応力及び地震による応力を考慮する。                      これらの合計応力から体積平均相当応力を評価する。</p> <p>5.2.1 内外圧差による応力評価方法                      照射初期においては、燃料被覆管は外圧による圧縮応力を受ける。その後、核分裂生成ガスの蓄積による内圧の上昇がある。ここで、<u>内圧はA型ステップ1燃料集合体については「FINE Ver.1.0」コード、A型ステップ2燃料集合体については「高燃焼度用 FINE Ver.3.0」コード、B型ステップ1燃料集合体については「FPAC Ver.4」コード、B型ステップ2燃料集合体については「高燃焼度用 FPAC Ver.1」コードにより算出する。なお、評価に用いる解析コード「FINE Ver.1.0」、「高燃焼度用 FINE Ver.3.0」、「FPAC Ver.4」及び「高燃焼度用 FPAC Ver.1」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</u>                      内外圧差による応力は大飯発電所第3号機平成16年10月1日付け平成16・06・18原第22号にて認可された既工事計画にて実績のある手法である下記により算定する。</p> $\sigma_r = \frac{1-k^2}{k^2-1} P - \frac{k^2-k^2}{k^2-1} P_0$ $\sigma_\theta = \frac{1+k^2}{k^2-1} P - \frac{k^2+k^2}{k^2-1} P_0$ $\sigma_z = \frac{1}{k^2-1} P - \frac{k^2}{k^2-1} P_0$ <p>ここで、  <math>\sigma_r</math> : 半径方向応力 (MPa)  <math>\sigma_\theta</math> : 円周方向応力 (MPa)  <math>\sigma_z</math> : 軸方向応力 (MPa)                      P : 内 圧 (MPa)                      P<sub>0</sub> : 外 圧 (MPa)                      r<sub>i</sub> : 燃料被覆管内半径 (mm)</p>	<p>設計の相違                      ・計算コードについて、大飯3/4号機は、ステップ1/2燃料を使用しているのに対し、泊3号機A型はステップ2燃料とウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を使用しているため、使用している計算コードが違う</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p> <math>r_o</math> : 燃料被覆管外径 (mm) ↓  <math>R</math> : 燃料被覆管任意半径/燃料被覆管内半径 ↓  <math>k = \frac{r_o}{r_i}</math> </p> <p>5.2.2 水力振動による応力評価方法<sup>4)</sup>                      1次冷却材の流れによる振動については泊発電所3号機平成20年8月14日付け平成20・06・17原第1号にて認可された既工事計画にて実績のある、WV-1の式<sup>(注1)</sup>又はPaidoussisの式<sup>(注2)</sup>を用いて検討する。各燃料棒は9箇所を支持格子で支持されているが、支持格子ではさまれた代表的な1スパンについて評価する。<sup>4)</sup>                      振動の要因には流路の非一様性による横流れ、燃料棒支持構造物の点で生じる流れのはく離及び乱流がある。WV-1の式又はPaidoussisの式は上述のような流れの乱れを有する軸方向流れに対する棒又は管の振動振幅の実験式であり、炉心内の流れに対しても適合できる。<sup>4)</sup>                      (注1) J.R.Reavis, "Vibration Correlation for Maximum Fuel-Element Displacement in Parallel Turbulent Flow", Nuclear Science and Engineering, 38, 1969, pp.63-69<sup>4)</sup>                      (注2) M.P.Paidoussis, "An Experimental Study of Vibration of Flexible Cylinders Induced by Nominally Axial Flow", Nuclear Science and Engineering, 35, 1969, pp.127-138<sup>4)</sup>                      (1) A型燃料集合体<sup>4)</sup>                      軸方向の流れに伴う乱れによって生じる水力振動振幅は、次に示すWV-1の式によって与えられる。<sup>4)</sup>  <math display="block">\delta = C \cdot \eta_d \cdot \eta_D \cdot \eta_L \cdot \frac{d \cdot L}{W \cdot f^{1.5} \cdot \zeta^{0.5}} \cdot U \cdot \rho \cdot v^{0.5}</math>                     ここで、<sup>4)</sup>  <math>\delta</math> : 振 幅 (mm) ↓  <math>C</math> : 不等係数 (= <math>2.59 \times 10^{-3} C'</math>) ↓  <math>\eta_d</math> : 燃料棒直径に関する係数 ↓  <math>\eta_D</math> : 水力学的直径に関する係数 ↓  <math>\eta_L</math> : スパン長さに関する係数 ↓  <math>d</math> : 燃料棒直径 (mm) ↓                 </p>	<p> <math>r_o</math> : 燃料被覆管外径 (mm)  <math>R</math> : 燃料被覆管任意半径/燃料被覆管内半径  <math>k = \frac{r_o}{r_i}</math> </p> <p>5.2.2 水力振動による応力評価方法                      1次冷却材の流れによる振動については大飯発電所3号機平成16年10月1日付け平成16・06・18原第22号にて認可された既工事計画にて実績のある、WV-1の式<sup>(注1)</sup>又はPaidoussisの式<sup>(注2)</sup>を用いて検討する。各燃料棒は9箇所を支持格子で支持されているが、支持格子ではさまれた代表的な1スパンについて評価する。                      振動の要因には流路の非一様性による横流れ、燃料棒支持構造物の点で生じる流れのはく離及び乱流がある。WV-1の式又はPaidoussisの式は上述のような流れの乱れを有する軸方向流れに対する棒又は管の振動振幅の実験式であり、炉心内の流れに対しても適合できる。                      (注1) J.R.Reavis, "Vibration Correlation for Maximum Fuel-Element Displacement in Parallel Turbulent Flow", Nuclear Science and Engineering, 38, 1969, pp.63-69                      (注2) M.P.Paidoussis, "An Experimental Study of Vibration of Flexible Cylinders Induced by Nominally Axial Flow", Nuclear Science and Engineering, 35, 1969, pp.127-138                      (1) A型燃料集合体                      軸方向の流れに伴う乱れによって生じる水力振動振幅は、次に示すWV-1の式によって与えられる。  <math display="block">\delta = C \cdot \eta_d \cdot \eta_D \cdot \eta_L \cdot \frac{d \cdot L}{W \cdot f^{1.5} \cdot \zeta^{0.5}} \cdot U \cdot \rho \cdot v^{0.5}</math>                     ここで、  <math>\delta</math> : 振 幅 (mm)  <math>C</math> : 不等係数 (= <math>2.59 \times 10^{-3} C'</math>)  <math>\eta_d</math> : 燃料棒直径に関する係数  <math>\eta_D</math> : 水力学的直径に関する係数  <math>\eta_L</math> : スパン長さに関する係数  <math>d</math> : 燃料棒直径 (mm)                 </p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>L : スパン長さ (mm) ↓                      W : スパン当たりの燃料棒質量 (kg) ↓                      f : 燃料棒の固有振動数 (Hz) ↓                      D : 水力学的直径 (mm) ↓                      ζ : 減衰比 ↓                      U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速 (mm/s) ↓                      ρ : 流体の密度 (kg/mm<sup>3</sup>) ↓                      ν : 流体の動粘性係数 (mm<sup>2</sup>/s) ↓</p> <p>Cの値は第5-4図より、η<sub>d</sub>、η<sub>D</sub>、η<sub>L</sub>の値については、第5-5図より求める。                      上式より、燃料棒の最大振幅を求める。                      その変位を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力を求める。ここで燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、中立軸からr<sub>o</sub>の位置の被覆管断面に生じる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{48E \cdot r_o \cdot \delta}{5L^2}$ <p>ここで、                      σ<sub>z</sub> : 振幅に対応する応力 (MPa) ↓                      δ : 水力振動振幅 (mm) ↓                      L : スパン長さ (mm) ↓                      r<sub>o</sub> : 燃料被覆管外半径 (mm) ↓                      E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa) ↓</p>	<p>L : スパン長さ (mm)                      W : スパン当たりの燃料棒質量 (kg)                      f : 燃料棒の固有振動数 (Hz)                      D : 水力学的直径 (mm)                      ζ : 減衰比                      U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速 (mm/s)                      ρ : 流体の密度 (kg/mm<sup>3</sup>)                      ν : 流体の動粘性係数 (mm<sup>2</sup>/s)</p> <p>Cの値は第5-5図より、η<sub>d</sub>、η<sub>D</sub>、η<sub>L</sub>の値については、第5-6図より求める。                      上式より、燃料棒の最大振幅を求める。                      その変位を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力を求める。ここで燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、中立軸からr<sub>o</sub>の位置の被覆管断面に生じる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{48E \cdot r_o \cdot \delta}{5L^2}$ <p>ここで、                      σ<sub>z</sub> : 振幅に対応する応力 (MPa)                      δ : 水力振動振幅 (mm)                      L : スパン長さ (mm)                      r<sub>o</sub> : 燃料被覆管外半径 (mm)                      E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa)</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>(2) B型燃料集合体<sup>4</sup></p> <p>1次冷却材の軸方向流れによる振動により燃料被覆管に生じる応力を計算する。<sup>4</sup>                  燃料棒は1次冷却材の軸方向流れによって振動し、燃料棒に曲げ応力が生じる。この1次冷却材による振動は、次のPaidoussisの式により計算する。<sup>4</sup></p> $\frac{\delta}{D} = \alpha^{-4} \left[ \frac{\mu^{1.6} \cdot \varepsilon^{1.8} \cdot Re^{0.25}}{1 + \mu^2} \right] \left( \frac{D_h}{D} \right)^{0.4} \left[ \frac{\beta^{2/3}}{1 + 4\beta} \right] \times [5 \times 10^{-4} K]^{4}$ <p>ここで、<sup>4</sup></p> <p>D : 燃料棒直径 (mm) ↓                  δ : 振 幅 (mm) ↓                  D<sub>h</sub> : 水力学的等価直径 (mm) ↓                  Re : レイノルズ数 = <math>\frac{D_h \cdot U}{\nu}</math> ↓</p> $\mu : \left( \frac{M}{E \cdot I} \right)^{1/2} U \cdot L \downarrow$ <p>M : 単位長さ当たりの流体の質量 (kg/mm) ↓                  E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa) ↓                  I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>) ↓                  U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速 (mm/s) ↓                  L : スパン長さ (mm) ↓</p> $\beta : \frac{M}{(M+m)} \downarrow$ <p>m : 単位長さ当たりの燃料棒質量 (kg/mm) ↓                  ρ : 流体の密度 (kg/mm<sup>3</sup>) ↓                  ν : 流体の動粘性係数 (mm<sup>2</sup>/s) ↓</p> $\varepsilon : \frac{L}{D} \downarrow$ $\alpha : \alpha^2 = \left[ \frac{(m+M)L^4}{E \cdot I} \right]^{1/2} \cdot \omega \downarrow$ <p>ω : 燃料棒の固有角振動数 (Hz) ↓                  K : 流れの乱れのレベルを表わす因子 ↓                  (実際の流れではK=5)<sup>4</sup></p> <p>上式より、燃料棒の最大振幅を求める。<sup>4</sup></p>	<p>(2) B型燃料集合体</p> <p>1次冷却材の軸方向流れによる振動により燃料被覆管に生じる応力を計算する。                  燃料棒は1次冷却材の軸方向流れによって振動し、燃料棒に曲げ応力が生じる。この1次冷却材による振動は、次のPaidoussisの式により計算する。</p> $\frac{\delta}{D} = \alpha^{-4} \left[ \frac{\mu^{1.6} \cdot \varepsilon^{1.8} \cdot Re^{0.25}}{1 + \mu^2} \right] \left( \frac{D_h}{D} \right)^{0.4} \left[ \frac{\beta^{2/3}}{1 + 4\beta} \right] \times [5 \times 10^{-4} K]$ <p>ここで、</p> <p>D : 燃料棒直径 (mm)                  δ : 振 幅 (mm)                  D<sub>h</sub> : 水力学的等価直径 (mm)                  Re : レイノルズ数 = <math>\frac{D_h \cdot U}{\nu}</math></p> $\mu : \left( \frac{M}{E \cdot I} \right)^{1/2} U \cdot L$ <p>M : 単位長さ当たりの流体の質量 (kg/mm)                  E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa)                  I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)                  U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速 (mm/s)                  L : スパン長さ (mm)</p> $\beta : \frac{M}{(M+m)}$ <p>m : 単位長さ当たりの燃料棒質量 (kg/mm)                  ρ : 流体の密度 (kg/mm<sup>3</sup>)                  ν : 流体の動粘性係数 (mm<sup>2</sup>/s)</p> $\varepsilon : \frac{L}{D}$ $\alpha : \alpha^2 = \left[ \frac{(m+M)L^4}{E \cdot I} \right]^{1/2} \cdot \omega$ <p>ω : 燃料棒の固有角振動数 (Hz)                  K : 流れの乱れのレベルを表わす因子                  (実際の流れではK=5)</p> <p>上式より、燃料棒の最大振幅を求める。</p>	



第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>その変位を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力を求める。いま燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、任意の直径をdとすると、中立軸から<math>\frac{d}{2}</math>の位置の燃料被覆管断面に生じる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{M \cdot d}{2I} = \pm \frac{24 d \cdot E \cdot \delta}{5L^2}$ <p>ここで、</p> <p><math>\sigma_z</math> : 振幅に対応する応力 (MPa) ↓</p> <p>M : 最大曲げモーメント <math>\frac{W \cdot L^2}{8}</math> (N・mm) ↓</p> <p>d : 任意の直径 (mm) <math>\begin{cases} d_o : \text{燃料被覆管外径 (mm)} \\ d_i : \text{燃料被覆管内径 (mm)} \end{cases}</math> ↓</p> <p>I : 断面二次モーメント <math>\frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)</math> (mm<sup>4</sup>) ↓</p> <p>W : 等分布荷重 <math>\frac{384 E \cdot I \cdot \delta}{5L^4}</math> (N/mm) ↓</p> <p><math>\delta</math> : 振幅 (Paidoussisの式より求めた値) (mm) ↓</p> <p>L : スパン長さ (mm) ↓</p> <p>E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa) ↓</p> <p>5.2.3 地震による応力解析方法↓</p> <p>燃料被覆管には、地震時において、燃料集合体の変形に応じた応力が発生するので、応力解析を行う。</p> <p>(1) A型燃料集合体↓</p> <p>水平方向応力解析モデルを第5-6図に示す。燃料棒、制御棒案内シムプル、スリーブ、インサート、上部ノズル、下部ノズル及び支持格子は、はり要素で、また支持格子ばね及びディンプルは、ばね-摩擦要素にて模擬している。ここで上部ノズル及び下部ノズルは固定、ノズルと制御棒案内シムプル及び制御棒案内シムプルと支持格子は剛結合、燃料棒と支持格子は弾性結合、ノズル及び支持格子は変形に対して剛とする。燃料棒及び制御棒案内シムプルについては、複数本あるのでそれぞれ等価な剛性を持つ2本のはりとして扱う。</p> <p>鉛直方向応力解析モデルを第5-7図に示す。上部ノズル、下部ノズル、制御棒案内シムプル及び燃料棒等は、はり要素で、支持格子ばね及びディンプルは、ばね-摩擦要素にて模擬している。</p> <p>応力解析においては、地震応答解析で得られる各支持格子の最大変位における燃料集合体の振動モードを強制変位として、第5-6図の水平方向応力解析モデルに与えることにより水平地震による応力を求め、さらに、鉛直地震による応力を第5-7図の鉛直方向応力解析モデルにより求め、足し合わせ、地震時応力とする。</p> <p>なお、解析に使用するコードは「ANSYS Ver.11.0」である。評価に用いる解析コード「ANSYS Ver.11.0」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</p>	<p>その変位を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力を求める。いま燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、任意の直径をdとすると、中立軸から<math>\frac{d}{2}</math>の位置の燃料被覆管断面に生じる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{M \cdot d}{2I} = \pm \frac{24 d \cdot E \cdot \delta}{5L^2}$ <p>ここで、</p> <p><math>\sigma_z</math> : 振幅に対応する応力 (MPa)</p> <p>M : 最大曲げモーメント <math>\frac{W \cdot L^2}{8}</math> (N・mm)</p> <p>d : 任意の直径 (mm) <math>\begin{cases} d_o : \text{燃料被覆管外径 (mm)} \\ d_i : \text{燃料被覆管内径 (mm)} \end{cases}</math></p> <p>I : 断面二次モーメント <math>\frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)</math> (mm<sup>4</sup>)</p> <p>W : 等分布荷重 <math>\frac{384 E \cdot I \cdot \delta}{5L^4}</math> (N/mm)</p> <p><math>\delta</math> : 振幅 (Paidoussisの式より求めた値) (mm)</p> <p>L : スパン長さ (mm)</p> <p>E : 燃料被覆管の縦弾性係数 (MPa)</p> <p>5.2.3 地震による応力解析方法</p> <p>燃料被覆管には、地震時において、燃料集合体の変形に応じた応力が発生するので、応力解析を行う。</p> <p>(1) A型燃料集合体</p> <p>水平方向応力解析モデルを第5-7図に示す。燃料棒、制御棒案内シムプル、スリーブ、インサート、上部ノズル、下部ノズル及び支持格子は、はり要素で、また支持格子ばね及びディンプルは、ばね-摩擦要素にて模擬している。ここで上部ノズル及び下部ノズルは固定、ノズルと制御棒案内シムプル及び制御棒案内シムプルと支持格子は剛結合、燃料棒と支持格子は弾性結合、ノズル及び支持格子は変形に対して剛とする。燃料棒及び制御棒案内シムプルについては、複数本あるのでそれぞれ等価な剛性を持つ2本のはりとして扱う。</p> <p>鉛直方向応力解析モデルを第5-8図に示す。上部ノズル、下部ノズル、制御棒案内シムプル及び燃料棒等は、はり要素で、支持格子ばね及びディンプルは、ばね-摩擦要素にて模擬している。</p> <p>応力解析においては、地震応答解析で得られる各支持格子の最大変位における燃料集合体の振動モードを強制変位として、第5-7図の水平方向応力解析モデルに与えることにより水平地震による応力を求め、さらに、鉛直地震による応力を第5-8図の鉛直方向応力解析モデルにより求め、足し合わせ、地震時応力とする。</p> <p>なお、解析に使用するコードは「ANSYS Ver.10.0及び11.0」である。評価に用いる解析コード「ANSYS Ver.10.0及び11.0」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>解析時期の違いによるものだが、解析内容・結果は同じ。(検証及び妥当性確認したコードであることも同じ)</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>(2) B型燃料集合体<sup>4</sup></p> <p>水平方向応力解析モデルを第5-8図に示す。ここで、制御棒案内シムプルと上・下部ノズル及び最上・下部支持格子は固定、中間の7個の支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合しフローティングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬している。燃料棒については、たわみ方向と垂直な燃料棒列を考え、同一列に属するものを1本のはりとしてまとめ（剛性、断面二次モーメント等）、数本のはりとしてモデル化した。<sup>4</sup></p> <p>また、制御棒案内シムプルについても同様なモデル化を実施した。<sup>4</sup></p> <p>ノズル、支持格子については実験により求めた等価な物性値を持ったはり要素で代表している。<sup>4</sup></p> <p>鉛直方向応力解析モデルを第5-9図に示す。ここで、制御棒案内シムプルと上・下部ノズル及び最上・下部支持格子は固定、中間の7個の支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合しフローティングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬している。<sup>4</sup></p> <p>水平地震による応力は、地震応答解析により得られる各支持格子の最大変位を、第5-8図の水平応力解析モデルにおいてそれが生じる支持格子に与えることによって求め、さらに、鉛直地震による応力を第5-9図の鉛直方向応力解析モデルにより求め、足し合わせ、地震時応力とする。<sup>4</sup></p> <p>なお、解析に使用するコードは「NASTRAN Ver.2012.2.0」である。評価に用いる解析コード「NASTRAN Ver.2012.2.0」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。<sup>4</sup></p>	<p>(2) B型燃料集合体</p> <p>水平方向応力解析モデルを第5-9図に示す。ここで、制御棒案内シムプルと上・下部ノズル及び最上・下部支持格子は固定、中間の7個の支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合しフローティングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬している。燃料棒については、たわみ方向と垂直な燃料棒列を考え、同一列に属するものを1本のはりとしてまとめ（剛性、断面二次モーメント等）、数本のはりとしてモデル化した。</p> <p>また、制御棒案内シムプルについても同様なモデル化を実施した。</p> <p>ノズル、支持格子については実験により求めた等価な物性値を持ったはり要素で代表している。</p> <p>鉛直方向応力解析モデルを第5-10図に示す。ここで、制御棒案内シムプルと上・下部ノズル及び最上・下部支持格子は固定、中間の7個の支持格子とは摩擦要素とばね要素で結合しフローティングを模擬している。また、燃料棒と支持格子は摩擦要素、ばね要素及び回転ばね要素を用いて結合し、ソフトストップ及びハードストップを模擬している。</p> <p>水平地震による応力は、地震応答解析により得られる各支持格子の最大変位を、第5-9図の水平応力解析モデルにおいてそれが生じる支持格子に与えることによって求め、さらに、鉛直地震による応力を第5-10図の鉛直方向応力解析モデルにより求め、足し合わせ、地震時応力とする。</p> <p>なお、解析に使用するコードは「NASTRAN Ver.2012.2.0」である。評価に用いる解析コード「NASTRAN Ver.2012.2.0」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

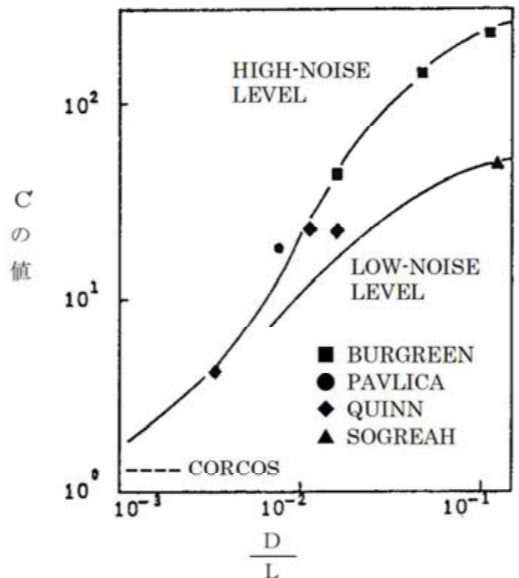
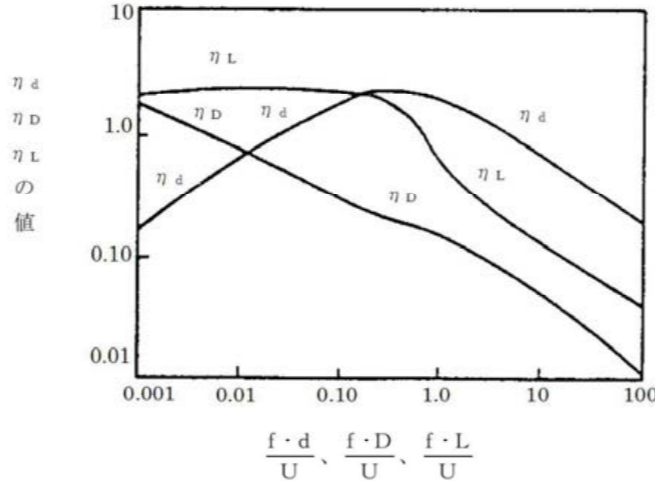
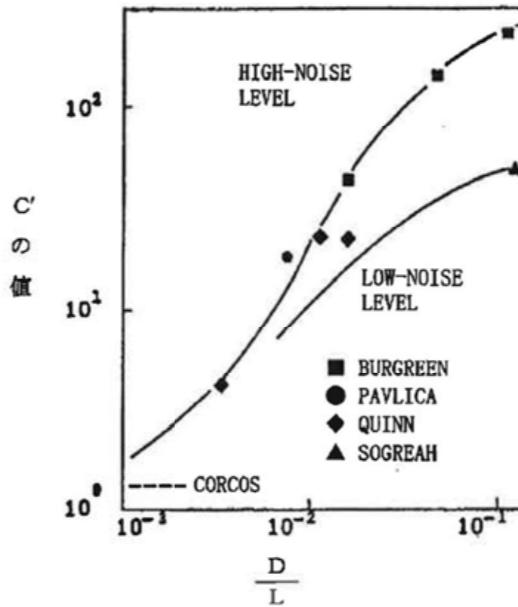
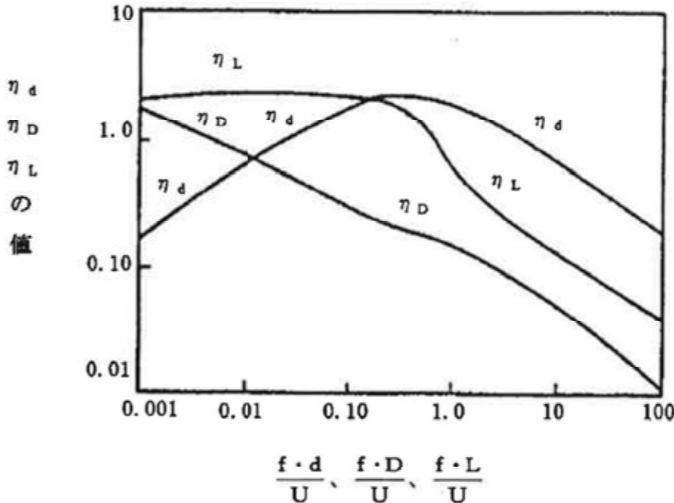
実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>5.2.4 体積平均相当応力評価方法<sup>4)</sup></p> <p>燃料被覆管に生じる応力は、内外圧差による応力の他に水力振動による応力と地震による応力を加えた合応力が、内面から外面へと連続的に変化している。燃料被覆管の破損を判定するため耐力と比較する応力は、燃料被覆管にかかる平均的な応力（せん断ひずみエネルギー説に基づく体積平均相当応力）とする必要がある。体積平均相当応力とは、燃料被覆管にかかる合応力を体積の重みを付けて平均したもので、以下に示すとおりである。なお、本手法は泊発電所3号機平成20年8月14日付け平成20・06・17原第1号にて認可された既工事計画にて実績のある手法である。<sup>4)</sup></p> <p>まず、燃料被覆管任意半径rにおける相当応力<math>\sigma_{eff}(r)</math>は以下の式で与える。<sup>4)</sup></p> $\sigma_{eff}(r) = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$ <p><sup>4)</sup>これを軸方向単位長さ当たり、半径方向に体積積分（あるいは体積平均）をとり、体積平均相当応力<math>\sigma_{eff}</math>を以下の式で求める。<sup>4)</sup></p> $\sigma_{eff} = \frac{\int_{r_1}^{r_0} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_{eff}(r) dz \cdot rd\theta \cdot dr}{\int_{r_1}^{r_0} \int_0^{2\pi} \int_0^1 dz \cdot rd\theta \cdot dr}$ $\downarrow$ $= \frac{2 \int_{r_1}^{r_0} r \cdot \sigma_{eff}(r) dr}{r_0^2 - r_1^2}$ <p><sup>4)</sup>ここで、r、<math>\theta</math>及びzは円筒座標系の変数であり、それぞれ半径方向、円周方向及び軸方向を表わす。</p>	<p>5.2.4 体積平均相当応力評価方法</p> <p>燃料被覆管に生じる応力は、内外圧差による応力の他に水力振動による応力と地震による応力を加えた合応力が、内面から外面へと連続的に変化している。燃料被覆管の破損を判定するため耐力と比較する応力は、燃料被覆管にかかる平均的な応力（せん断ひずみエネルギー説に基づく体積平均相当応力）とする必要がある。体積平均相当応力とは、燃料被覆管にかかる合応力を体積の重みを付けて平均したもので、以下に示すとおりである。なお、本手法は大飯発電所第3号機平成16年10月1日付け平成16・06・18原第22号にて認可された既工事計画にて実績のある手法である。</p> <p>まず、燃料被覆管任意半径rにおける相当応力<math>\sigma_{eff}(r)</math>は以下の式で与える。</p> $\sigma_{eff}(r) = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}}$ <p>これを軸方向単位長さ当たり、半径方向に体積積分（あるいは体積平均）をとり、体積平均相当応力<math>\sigma_{eff}</math>を以下の式で求める。</p> $\sigma_{eff} = \frac{\int_{r_1}^{r_0} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_{eff}(r) dz \cdot rd\theta \cdot dr}{\int_{r_1}^{r_0} \int_0^{2\pi} \int_0^1 dz \cdot rd\theta \cdot dr}$ $= \frac{2 \int_{r_1}^{r_0} r \cdot \sigma_{eff}(r) dr}{r_0^2 - r_1^2}$ <p>ここで、r、<math>\theta</math>及びzは円筒座標系の変数であり、それぞれ半径方向、円周方向及び軸方向を表わす。</p>	

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

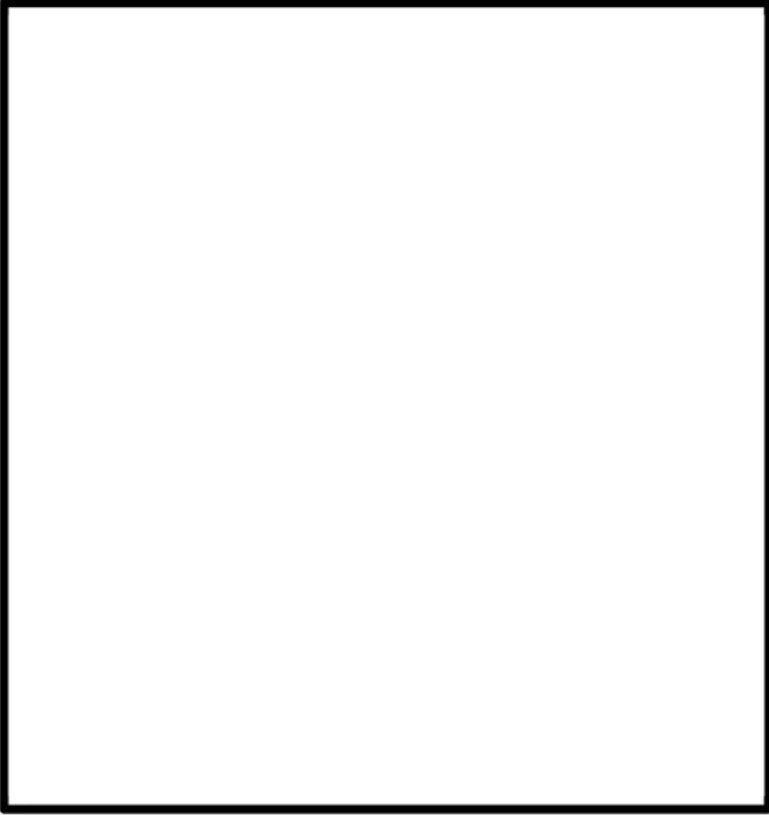
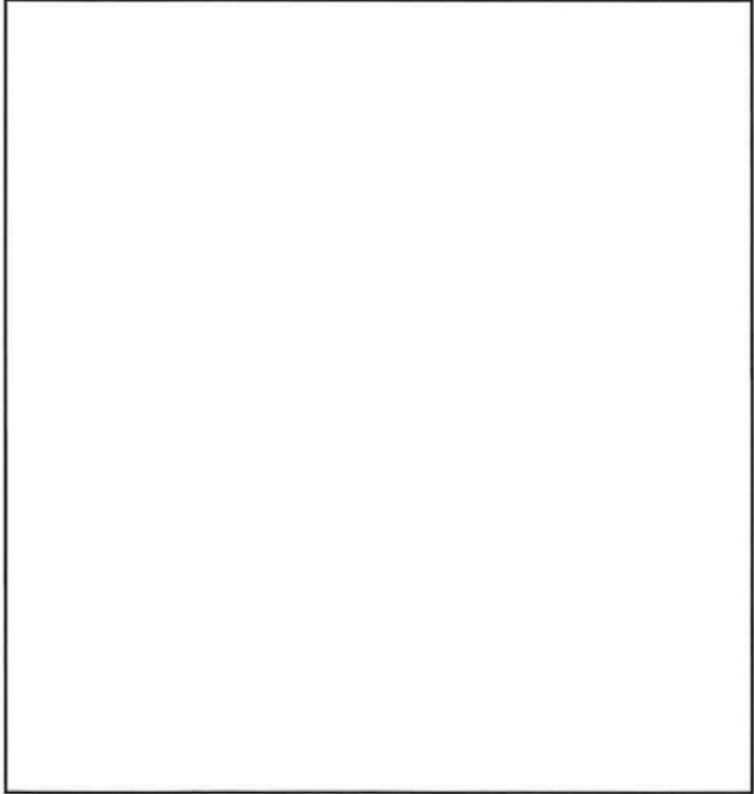
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	 <p>第5-4図 不等係数Cの値</p>  <p>第5-5図 各係数η<sub>d</sub>、η<sub>D</sub>、η<sub>L</sub>の値</p>	 <p>第5-5図 不等係数Cの値</p>  <p>第5-6図 各係数η<sub>d</sub>、η<sub>D</sub>、η<sub>L</sub>の値</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

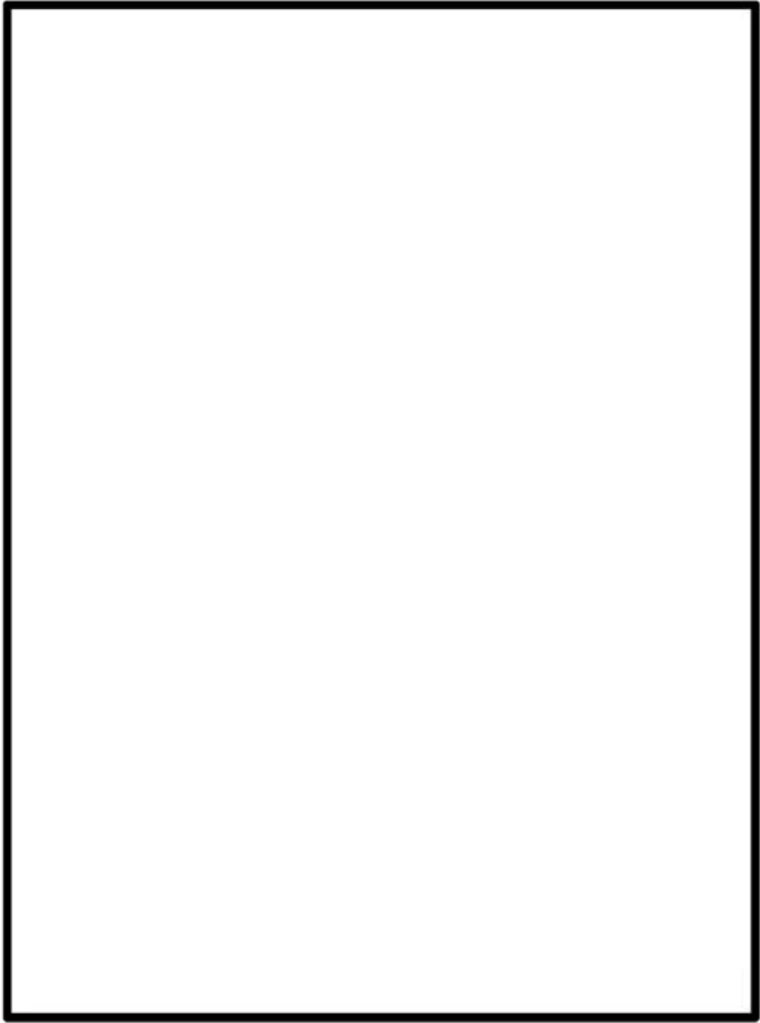
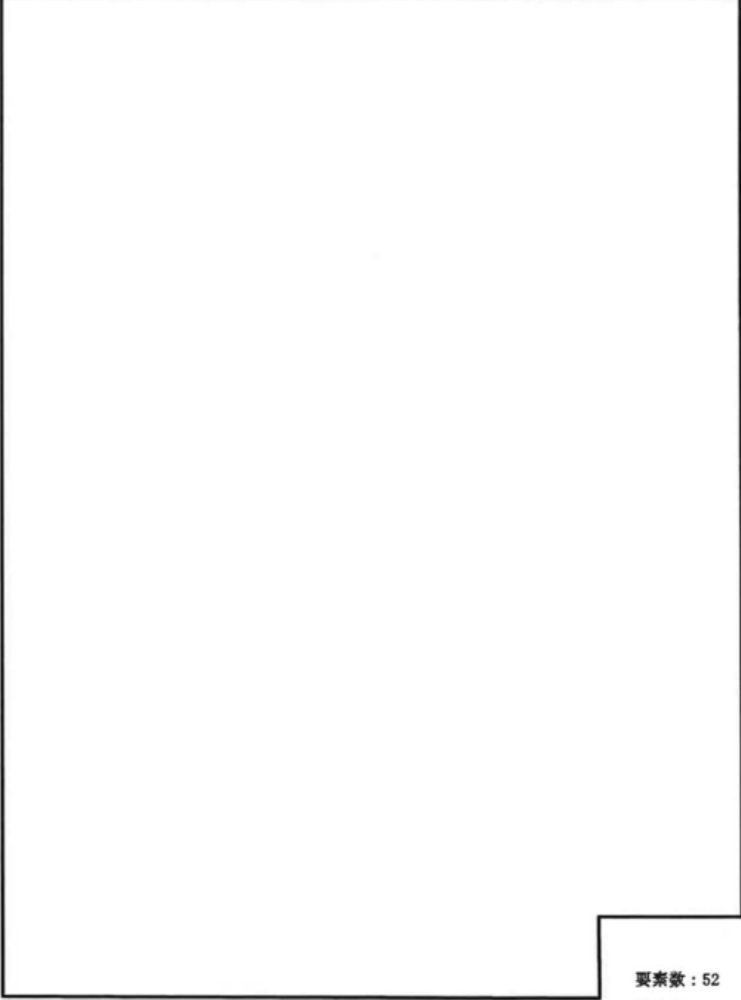
第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明									
	 <p>要素数：506（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）、574（ステップ2燃料）                  節点数：259（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）、327（ステップ2燃料）</p> <p>第5-6図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの水平方向応力解析モデル（A型燃料）</p>	 <table border="1" data-bbox="2071 1150 2389 1213"> <thead> <tr> <th></th> <th>ステップ1燃料</th> <th>ステップ2燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>要素数</td> <td>506</td> <td>574</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td>259</td> <td>327</td> </tr> </tbody> </table> <p>第5-7図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの水平方向応力解析モデル（A型燃料）</p>		ステップ1燃料	ステップ2燃料	要素数	506	574	節点数	259	327	
	ステップ1燃料	ステップ2燃料										
要素数	506	574										
節点数	259	327										

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

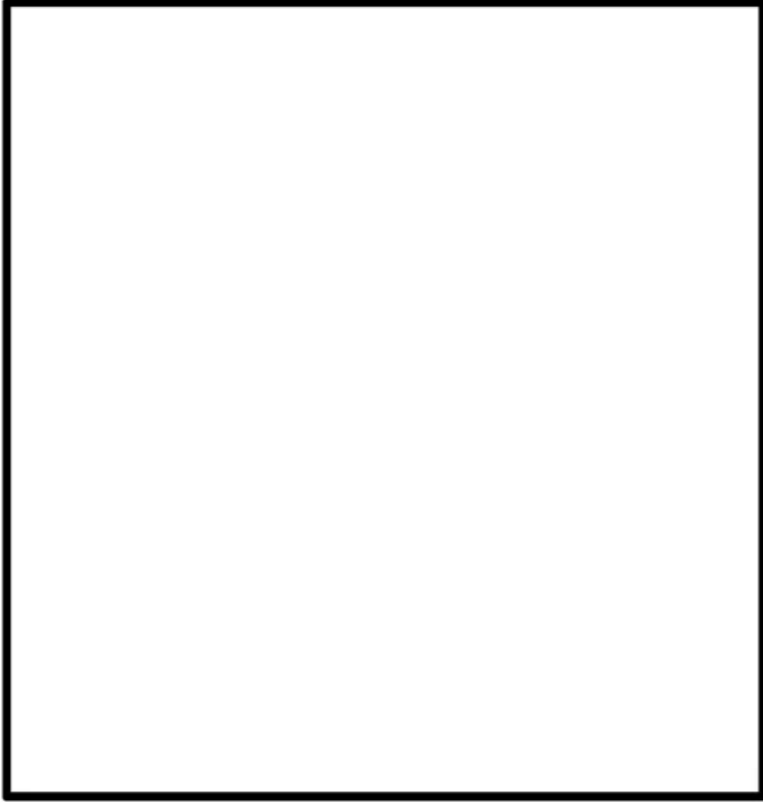
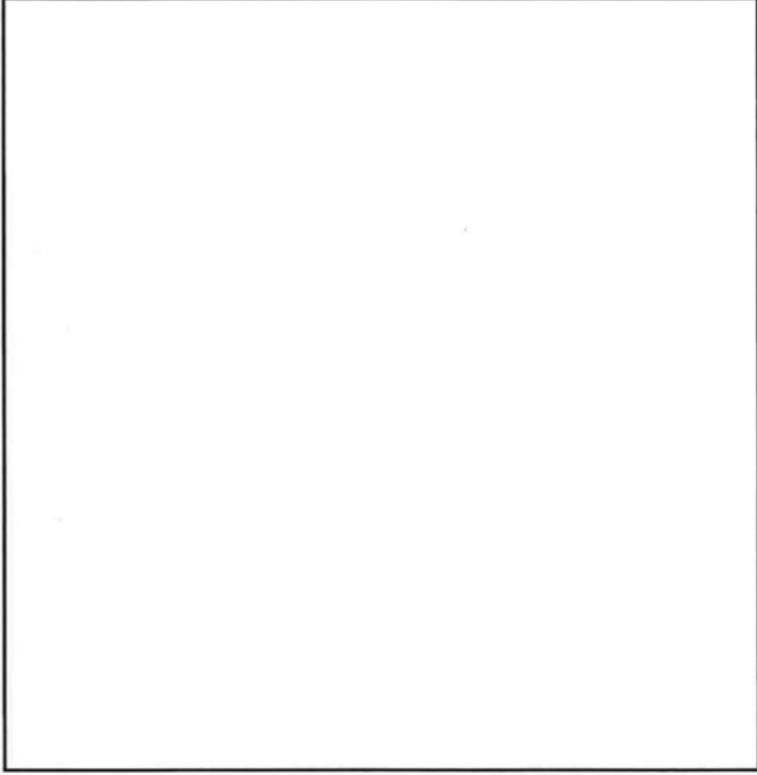
女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	 <p style="text-align: right;">要素数：52 節点数：43</p> <p>第5-7図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの鉛直方向応力解析モデル（A型燃料）</p>	 <p style="text-align: right;">要素数：52 節点数：43</p> <p>第5-8図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの鉛直方向応力解析モデル（A型燃料）</p>	



泊発電所 3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

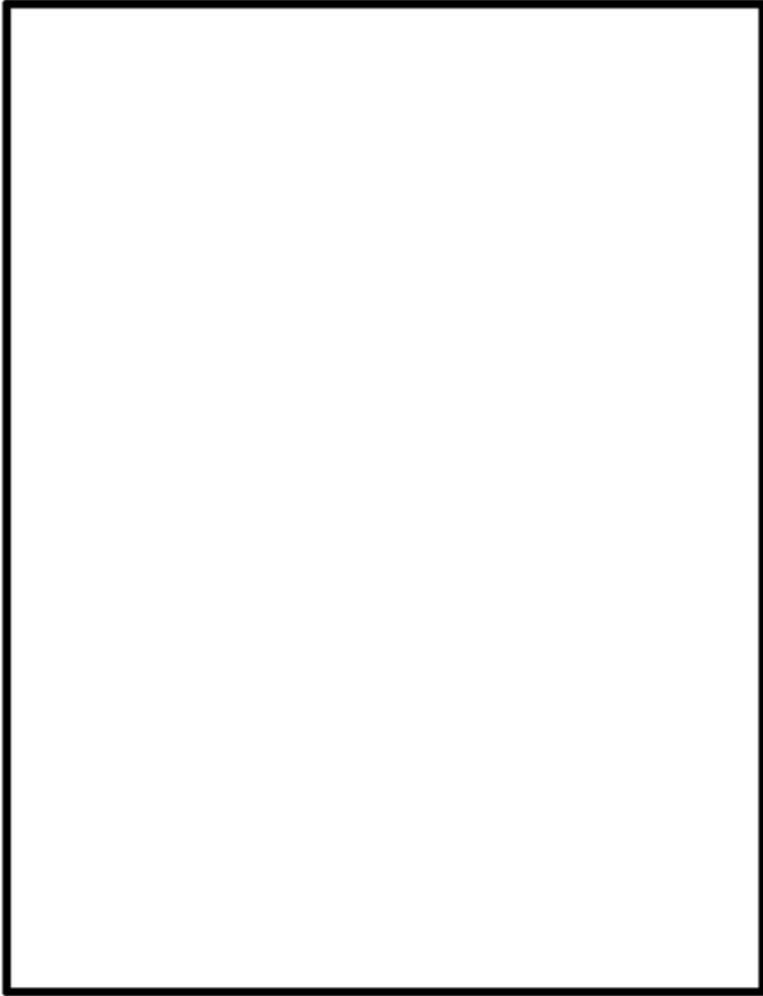
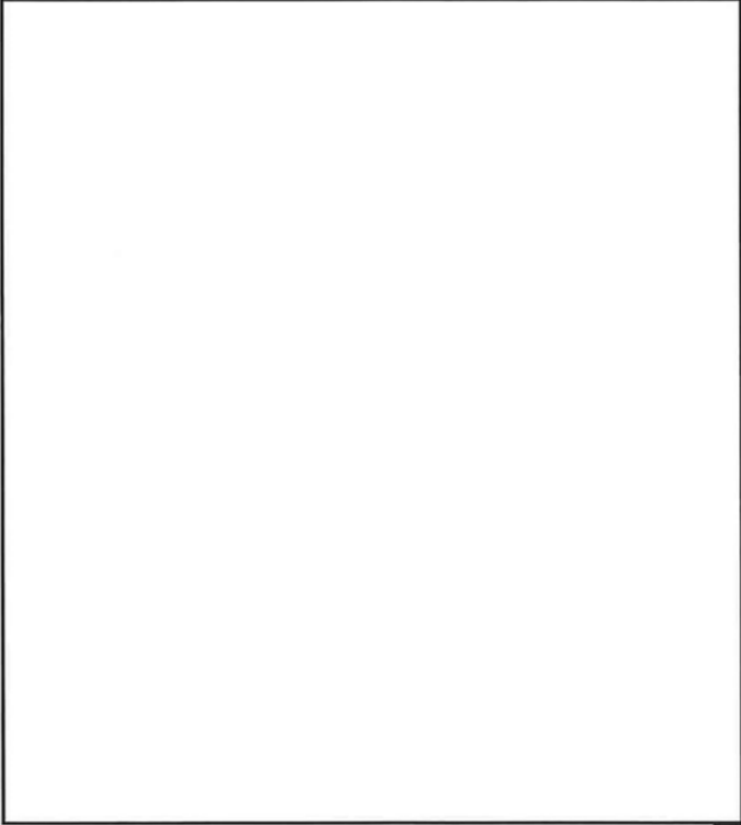
第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所 2号炉	泊発電所 3号炉	大飯発電所 3 / 4号炉	差異の説明
	 <p style="text-align: right;">要素数 <input type="text"/> 節点数 <input type="text"/></p> <p>第5-8図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの水平方向応力解析モデル（B型燃料）</p>	 <p style="text-align: right;">要素数 <input type="text"/> 節点数 <input type="text"/></p> <p>第5-9図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの水平方向応力解析モデル（B型燃料）</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	 <p style="text-align: right;">要素数： 節点数：</p> <p>第5-8図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの鉛直方向応力解析モデル（B型燃料）</p>	 <p style="text-align: right;">要素数： 節点数：</p> <p>第5-10図 燃料棒及び制御棒案内シンプルの鉛直方向応力解析モデル（B型燃料）</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

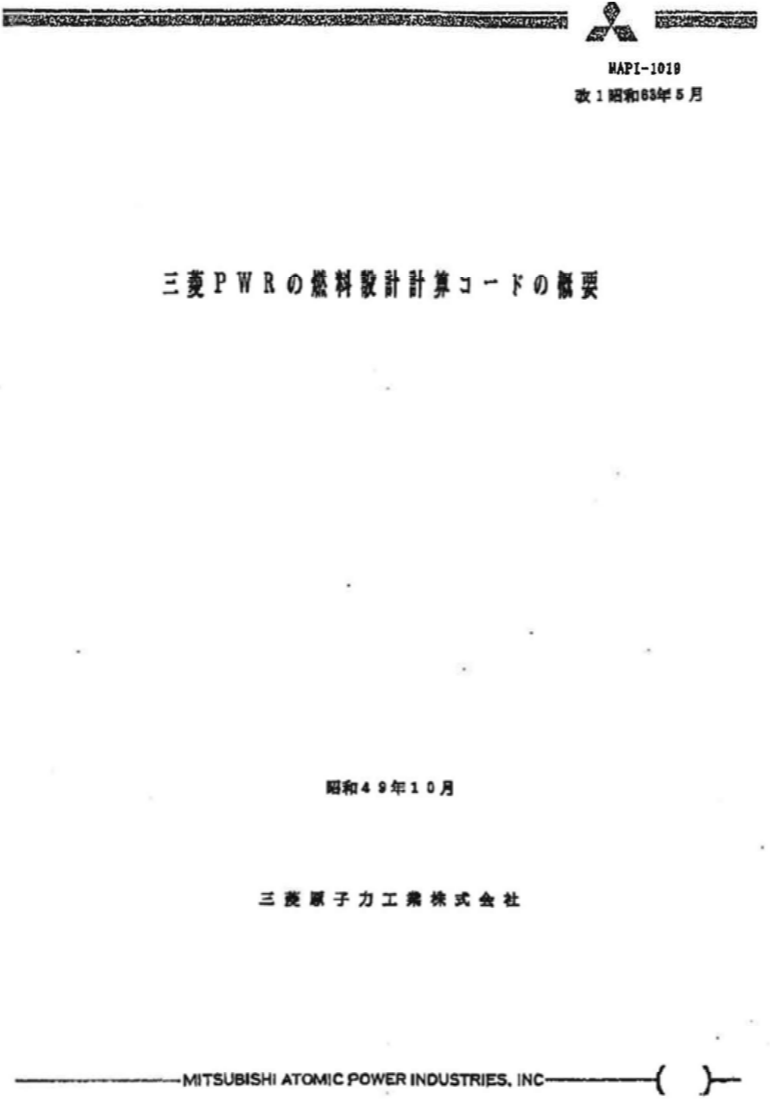

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>別添資料3 燃料被覆管応力評価方法及び疲労評価方法に係る公開文献の抜粋</p> <p>○資料</p> <p>【三菱公開文献】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MAPI - 1019 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要 改1</li> <li>・ <u>MNF - 1001 三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計</u></li> </ul> <p>【原燃工公開文献】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ NFK - 8011 燃料棒性能解析コード (FPAC) 改4</li> <li>・ NFK - 8011 燃料棒性能解析コード (FPAC) <u>改11</u></li> <li>・ <u>NFK - 8134 原燃工製PWRステップ2燃料の機械設計について(泊1, 2, 3号)改1</u></li> <li>・ <u>NFK - 8135 MOX燃料の機械設計について(泊3号)</u></li> </ul>	<p>別添資料3</p> <p>燃料被覆管応力評価方法および疲労評価方法に係る公開文献の抜粋</p> <p>○資料</p> <p>【三菱公開文献】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MAPI - 1019 三菱PWRの燃料設計計算コードの概要 改1</li> <li>・ <u>MHI - NES - 1021三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計 改3</u></li> </ul> <p>【原燃工公開文献】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ NFK - 8011 燃料棒性能解析コード (FPAC) 改4</li> <li>・ NFK - 8011 燃料棒性能解析コード (FPAC) <u>改7</u></li> <li>・ <u>NFK - 8119 原燃工製PWRステップ2燃料の機械設計について(大飯1, 2, 3, 4号)改1</u></li> </ul>	<p>既許可の相違による参照する公開文献の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 審査時期により参照する最新の公開文献が異なるが、燃料被覆管応力評価方法および疲労評価方法自体に相違は無い</li> </ul>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表





実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
			



第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: right;">2107</p>  <p>2.5 被覆管応力              被覆管応力の要因として、内外圧差やペレット-被覆管相互作用による応力、熱応力があるが、これらの応力はFEMコード内で計算される。以下にそれぞれの計算式を示す。</p> <p>2.5.1 内外圧差及び接触圧による応力              次の一般的な内外圧を受ける厚肉円筒公式を用いる。</p> $\sigma_r = \frac{1-K^2/R^2}{K^2-1} P' - \frac{K^2-K^2/R^2}{K^2-1} P_o$ $\sigma_\theta = \frac{1+K^2/R^2}{K^2-1} P' - \frac{K^2+K^2/R^2}{K^2-1} P_o$ $\sigma_z = \frac{1}{K^2-1} P' - \frac{K^2}{K^2-1} P_o$ <p>但し、</p> $K = r_o / r_i$ $R = r / r_i$ <p>ここで、<math>\sigma_r</math>: 被覆管半径方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>\sigma_\theta</math>: 被覆管円周方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>\sigma_z</math>: 被覆管軸方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>P'</math>: 内圧とペレット-被覆管接触圧の和 (Pi=Pc), kg/mm<sup>2</sup>  <math>P_o</math>: 外圧, kg/mm<sup>2</sup>  <math>r_o</math>: 被覆管外半径, mm  <math>r_i</math>: 被覆管内半径, mm  <math>r</math>: 被覆管任意半径, mm</p> <p>また、接触圧Pcは次の式を用いて計算する。</p> <hr/> <p style="text-align: center;">MITSUBISHI ATOMIC POWER INDUSTRIES, INC. (19)</p> <hr/>  $P_c = \frac{\frac{\delta}{r_i}}{\frac{K^2+1}{K^2-1} \times \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{\nu_1}{E_1} - \frac{\nu_2}{E_2}}$ <p>ここで、<math>r_i</math>: 燃料棒中心から接触面までの距離, mm  <math>r_o</math>: 被覆管外半径, mm  <math>\delta</math>: ペレットと被覆管の相互干渉（半値分）, mm  <math>\nu_1, \nu_2</math>: 被覆管及びペレットのポアソン比  <math>E_1, E_2</math>: 被覆管及びペレットの弾性係数, kg/mm<sup>2</sup></p>	<p style="text-align: right;">2107</p>  <p>2.5 被覆管応力              被覆管応力の要因として、内外圧差やペレット-被覆管相互作用による応力、熱応力があるが、これらの応力はFEMコード内で計算される。以下にそれぞれの計算式を示す。</p> <p>2.5.1 内外圧差及び接触圧による応力              次の一般的な内外圧を受ける厚肉円筒公式を用いる。</p> $\sigma_r = \frac{1-K^2/R^2}{K^2-1} P' - \frac{K^2-K^2/R^2}{K^2-1} P_o$ $\sigma_\theta = \frac{1+K^2/R^2}{K^2-1} P' - \frac{K^2+K^2/R^2}{K^2-1} P_o$ $\sigma_z = \frac{1}{K^2-1} P' - \frac{K^2}{K^2-1} P_o$ <p>但し、</p> $K = r_o / r_i$ $R = r / r_i$ <p>ここで、<math>\sigma_r</math>: 被覆管半径方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>\sigma_\theta</math>: 被覆管円周方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>\sigma_z</math>: 被覆管軸方向応力, kg/mm<sup>2</sup>  <math>P'</math>: 内圧とペレット-被覆管接触圧の和 (Pi=Pc), kg/mm<sup>2</sup>  <math>P_o</math>: 外圧, kg/mm<sup>2</sup>  <math>r_o</math>: 被覆管外半径, mm  <math>r_i</math>: 被覆管内半径, mm  <math>r</math>: 被覆管任意半径, mm</p> <p>また、接触圧Pcは次の式を用いて計算する。</p> <hr/> <p style="text-align: center;">MITSUBISHI ATOMIC POWER INDUSTRIES, INC. (19)</p> <hr/>  $P_c = \frac{\frac{\delta}{r_i}}{\frac{K^2+1}{K^2-1} \times \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{\nu_1}{E_1} - \frac{\nu_2}{E_2}}$ <p>ここで、<math>r_i</math>: 燃料棒中心から接触面までの距離, mm  <math>r_o</math>: 被覆管外半径, mm  <math>\delta</math>: ペレットと被覆管の相互干渉（半値分）, mm  <math>\nu_1, \nu_2</math>: 被覆管及びペレットのポアソン比  <math>E_1, E_2</math>: 被覆管及びペレットの弾性係数, kg/mm<sup>2</sup></p>	

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）


女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>2.5.2 熱応力 被覆管内の半径方向温度分布は次式で計算される。</p> $T(r) = \frac{T_o \cdot \ln(r/r_i) + T_i \cdot \ln(r_o/r)}{\ln k}$ <p>但し、<math>K = r_o/r_i</math> ここで、<math>T_i</math>：被覆管内面温度、℃      <math>r_i</math>：被覆管内半径、mm <math>T_o</math>：被覆管外面温度、℃      <math>r_o</math>：被覆管外半径、mm <math>r</math>：被覆管任意半径、mm この温度分布をもとに三軸方向の熱応力<math>\sigma_r</math>、<math>\sigma_\theta</math>、<math>\sigma_z</math>は各々次の円筒の熱応力式で計算される。</p> <p>(i) 半径方向応力</p> $\sigma_r = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \{ [K^2 T_o - T_i] - (T_o - T_i)(r_o/r)^2 \} / [K^2 - 1] - T(r)$ <p>(ii) 接線方向応力</p> $\sigma_\theta = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \{ [K^2 T_o - T_i] + (T_o - T_i)(r_o/r)^2 \} / [K^2 - 1] - (T_o - T_i) / \ln k - T(r)$ <p>(iii) 軸方向応力</p> $\sigma_z = \left( \frac{\alpha E_1}{1-\nu_1} \right) \{ [K^2 T_o - T_i] / (K^2 - 1) - (T_o - T_i) / 2 \ln k - T(r) \}$ <p>ここで、<math>\alpha</math>：被覆管熱膨張率、1/℃ <math>E_1</math>：被覆管ヤング率、kg/mm<sup>2</sup> <math>\nu_1</math>：被覆管ポアソン比</p> <p style="text-align: right;">— MITSUBISHI ATOMIC POWER INDUSTRIES, INC. — ( 21 ) —</p>	<p>2.5.2 熱応力 被覆管内の半径方向温度分布は次式で計算される。</p> $T(r) = \frac{T_o \cdot \ln(r/r_i) + T_i \cdot \ln(r_o/r)}{\ln k}$ <p>但し、<math>K = r_o/r_i</math> ここで、<math>T_i</math>：被覆管内面温度、℃      <math>r_i</math>：被覆管内半径、mm <math>T_o</math>：被覆管外面温度、℃      <math>r_o</math>：被覆管外半径、mm <math>r</math>：被覆管任意半径、mm この温度分布をもとに三軸方向の熱応力<math>\sigma_r</math>、<math>\sigma_\theta</math>、<math>\sigma_z</math>は各々次の円筒の熱応力式で計算される。</p> <p>(i) 半径方向応力</p> $\sigma_r = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \{ [K^2 T_o - T_i] - (T_o - T_i)(r_o/r)^2 \} / [K^2 - 1] - T(r)$ <p>(ii) 接線方向応力</p> $\sigma_\theta = \frac{\alpha E_1}{2(1-\nu_1)} \{ [K^2 T_o - T_i] + (T_o - T_i)(r_o/r)^2 \} / [K^2 - 1] - (T_o - T_i) / \ln k - T(r)$ <p>(iii) 軸方向応力</p> $\sigma_z = \left( \frac{\alpha E_1}{1-\nu_1} \right) \{ [K^2 T_o - T_i] / (K^2 - 1) - (T_o - T_i) / 2 \ln k - T(r) \}$ <p>ここで、<math>\alpha</math>：被覆管熱膨張率、1/℃ <math>E_1</math>：被覆管ヤング率、kg/mm<sup>2</sup> <math>\nu_1</math>：被覆管ポアソン比</p> <p style="text-align: right;">— MITSUBISHI ATOMIC POWER INDUSTRIES, INC. — ( 21 ) —</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: right;"><u>MNF-1001</u></p> <p>三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計</p> <p style="text-align: center;"><u>平成21年6月</u></p> <p>三菱原子燃料株式会社</p>	<p style="text-align: right;">MHI-NES-1021  <u>改1 平成14年 4月</u>  <u>改2 平成14年 7月</u>  <u>改3 平成14年12月</u></p> <p>三菱PWR高燃焼度化ステップ2燃料の機械設計</p> <p style="text-align: center;"><u>平成13年 9月</u></p> <p style="text-align: center;">                      三菱重工業株式会社</p>	<p>既許可の相違による参照する公開文献の相違                      ・泊の方が作成時点で新しい資料を引用しているが内容には相違無し。</p>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>4.1.2 設計基準</p> <p>三菱 PWR 高燃焼度化ステップ2燃料棒設計は、従来の燃料棒の設計と同様に、燃料寿命中、通常運転時および運転時の異常な過渡変化時における燃料健全性の観点から、表4.1.2-1にまとめる5つの基準に基づいている。</p> <p>なお、これらの基準は、原子力安全委員会安全審査指針「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針(平成2年8月30日)」、原子炉安全基準専門部会報告書「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)」、原子炉安全専門審査会内規「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)」等に記載されている考え方に基づいている。</p> <p>(1) 燃料温度</p> <p>ペレットが溶融すると体積が膨張し、被覆管に大きな応力が発生し、また、燃料スタックの寸法不安定性あるいは、FP ガスの過度な放出・移動、さらにはペレットと被覆管の有害な化学反応を引き起こす恐れがある。これらを防ぐため、寿命中の燃料最高温度(中心温度)を燃料の溶融点未満とする。</p> <p>溶融点は、未照射状態における UO<sub>2</sub> ペレットに対して 2800℃、また高濃度ガドリニア入りペレット*<sup>10</sup>では 2700℃である。燃料中心温度の各燃焼度に対する解析上の制限値は、溶融点の燃焼に伴う低下、ならびに計算モデルの不確実性および燃料の製造公差に基づく燃料中心温度の不確実性 220℃を考慮し、以下の通りとする。</p> <p>① UO<sub>2</sub> ペレット 未照射燃料では不確実性 220℃を考慮し、2580℃とする。以降燃焼に伴い 10,000MWd/t あたり 32℃の割合で低下するとする。</p> <p>② ガドリニア入りペレット*<sup>10</sup> 未照射燃料では不確実性 220℃を考慮し、2480℃とする。以降燃焼に伴い 10,000MWd/t あたり 32℃の割合で低下するとする。</p> <p>(2) 燃料棒内圧</p> <p>通常運転時において、寿命初期では内圧は外圧を下回っており、被覆管は内向きのクリープ変形により径が減少してペレットとの接触に到る。その後、寿命中期以降、ペレットより放出された FP ガスの蓄積により内圧が増加し、寿命末期では内圧が外圧を超える可能性がある。このような内圧支配に到った状態では被覆管は外向きのクリープ変形により外径が増加し、一旦接触したペレットと被覆管にギャップが生じる可能性がある。このギャップが開くことによりギャップコンダクタンスが低下して燃料温度が上昇すると、さらに FP ガスが放出されて内圧が上昇し、その結果、さらにギャップが広がるといったいわゆるサーマル</p> <p>*<sup>10</sup>: ガドリニア濃度 10wt%の場合。</p> <p style="text-align: center;">4-17</p>	<p>4.1.2 設計基準</p> <p>三菱 PWR 高燃焼度化ステップ2燃料棒設計は、従来の燃料棒の設計と同様に、燃料寿命中、通常運転時および運転時の異常な過渡変化時における燃料健全性の観点から、表4.1.2-1にまとめる5つの基準に基づいている。</p> <p>なお、これらの基準は、原子力安全委員会安全審査指針「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針(平成2年8月30日)」、原子炉安全基準専門部会報告書「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)」、原子炉安全専門審査会内規「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)」等に記載されている考え方に基づいている。</p> <p>(1) 燃料温度</p> <p>ペレットが溶融すると体積が膨張し、被覆管に大きな応力が発生し、また、燃料スタックの寸法不安定性あるいは、FP ガスの過度な放出・移動、さらにはペレットと被覆管の有害な化学反応を引き起こす恐れがある。これらを防ぐため、寿命中の燃料最高温度(中心温度)を燃料の溶融点未満とする。</p> <p>溶融点は、未照射状態における UO<sub>2</sub> ペレットに対して 2800℃、また高濃度ガドリニア入りペレット*<sup>10</sup>では 2700℃である。燃料中心温度の各燃焼度に対する解析上の制限値は、溶融点の燃焼に伴う低下、ならびに計算モデルの不確実性および燃料の製造公差に基づく燃料中心温度の不確実性 220℃を考慮し、以下の通りとする。</p> <p>① UO<sub>2</sub> ペレット 未照射燃料では不確実性 220℃を考慮し、2580℃とする。以降燃焼に伴い 10,000MWd/t あたり 32℃の割合で低下するとする。</p> <p>② ガドリニア入りペレット*<sup>10</sup> 未照射燃料では不確実性 220℃を考慮し、2480℃とする。以降燃焼に伴い 10,000MWd/t あたり 32℃の割合で低下するとする。</p> <p>(2) 燃料棒内圧</p> <p>通常運転時において、寿命初期では内圧は外圧を下回っており、被覆管は内向きのクリープ変形により径が減少してペレットとの接触に到る。その後、寿命中期以降、ペレットより放出された FP ガスの蓄積により内圧が増加し、寿命末期では内圧が外圧を超える可能性がある。このような内圧支配に到った状態では被覆管は外向きのクリープ変形により外径が増加し、一旦接触したペレットと被覆管にギャップが生じる可能性がある。このギャップが開くことによりギャップコンダクタンスが低下して燃料温度が上昇すると、さらに FP ガスが放出されて内圧が上昇し、その結果、さらにギャップが広がるといったいわゆるサーマル</p> <p>*<sup>10</sup>: ガドリニア濃度 10wt%の場合。</p> <p style="text-align: center;">4-17</p>	



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>フィードバックを起こす可能性がある。このような状態での燃料使用は、燃料温度の過大な上昇を招くこととなり望ましい状況ではない。このサーマルフィードバックを防ぐために、燃料棒内圧は、通常運転時において、被覆管の外向き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設計とする。</p> <p>ここで、燃料棒内圧基準値は、原子炉安全基準専門部会報告書「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について」に記載された方法に基づき、改良被覆管の特性等を適切に評価できる燃料棒設計計算コードを用いて求めており、複数の燃料タイプに対して炉心運用を想定し、さらに評価の不確実性を考慮して求めた具体的判断基準値として、19.7MPaを設定する。</p> <p>(3) 被覆管応力                      内外圧差およびペレットとの接触圧等により生じる被覆管応力を、被覆管の過度な変形を防ぐため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を通して燃料寿命中、被覆材の耐力以下とする。                      MDAおよびZIRLO被覆管の耐力は、ジルカローイ-4の耐力と同等であり、使用温度および高速中性子の照射効果を考慮すると約310N/mm<sup>2</sup>～約590N/mm<sup>2</sup>となる。被覆管応力基準値は、これに基づき設定する。</p> <p>(4) 被覆管歪                      被覆管の過度な変形を防ぐため、被覆管円周方向引張歪の変化量は、各過渡変化に際して1%を超えない設計とする。</p> <p>(5) 周期的な被覆管歪(疲労損傷係数)                      被覆管の累積疲労サイクル数は、設計疲労寿命を超えない設計とする。                      具体的には、燃料寿命中の起動停止や負荷変化により被覆管にかかる応力サイクル数と、それぞれの応力振幅に対応して設計疲労曲線から求まる設計許容繰返し数との比の累積である累積疲労損傷係数が1.0を超えないことを評価する。なお、改良被覆管の疲労強度は、ジルカローイ-4の疲労強度と同等であり、設計疲労曲線としては、従来と同様、Langer and O'Donnell<sup>(20)</sup>の曲線を使用する。</p>	<p>フィードバックを起こす可能性がある。このような状態での燃料使用は、燃料温度の過大な上昇を招くこととなり望ましい状況ではない。このサーマルフィードバックを防ぐために、燃料棒内圧は、通常運転時において、被覆管の外向き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設計とする。</p> <p>ここで、燃料棒内圧基準値は、原子炉安全基準専門部会報告書「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について」に記載された方法に基づき、改良被覆管の特性等を適切に評価できる燃料棒設計計算コードを用いて求めており、複数の燃料タイプに対して炉心運用を想定し、さらに評価の不確実性を考慮して求めた具体的判断基準値として、19.7MPaを設定する。</p> <p>(3) 被覆管応力                      内外圧差およびペレットとの接触圧等により生じる被覆管応力を、被覆管の過度な変形を防ぐため、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時を通して燃料寿命中、被覆材の耐力以下とする。                      MDAおよびZIRLO被覆管の耐力は、ジルカローイ-4の耐力と同等であり、使用温度および高速中性子の照射効果を考慮すると約310N/mm<sup>2</sup>～約590N/mm<sup>2</sup>となる。被覆管応力基準値は、これに基づき設定する。</p> <p>(4) 被覆管歪                      被覆管の過度な変形を防ぐため、被覆管円周方向引張歪の変化量は、各過渡変化に際して1%を超えない設計とする。</p> <p>(5) 周期的な被覆管歪(疲労損傷係数)                      被覆管の累積疲労サイクル数は、設計疲労寿命を超えない設計とする。                      具体的には、燃料寿命中の起動停止や負荷変化により被覆管にかかる応力サイクル数と、それぞれの応力振幅に対応して設計疲労曲線から求まる設計許容繰返し数との比の累積である累積疲労損傷係数が1.0を超えないことを評価する。なお、改良被覆管の疲労強度は、ジルカローイ-4の疲労強度と同等であり、設計疲労曲線としては、従来と同様、Langer and O'Donnell<sup>(20)</sup>の曲線を使用する。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明																																				
	<p style="text-align: center;">表4.1.2-1 燃料棒設計における基本的考慮事項と設計基準</p> <table border="1" data-bbox="973 800 1656 1545"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>基本的考慮事項</th> <th>設計基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(1) 燃料温度</td> <td>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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。</td> <td>UO<sub>2</sub>ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。</td> </tr> <tr> <td>(2) 燃料棒内圧</td> <td>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。</td> <td>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。</td> </tr> <tr> <td>(3) 被覆管応力</td> <td>通常運転時およ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。</td> <td>被覆材の耐力以下であること。</td> </tr> <tr> <td>(4) 被覆管歪</td> <td></td> <td>円周方向引張歪*が1%以下であること。</td> </tr> <tr> <td>(5) 周期的な被覆管歪</td> <td>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。</td> <td>ASME Sec. III の概念による設計疲労寿命以下であること。</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">*：各過渡変化に対する変化量</p>	項目	基本的考慮事項	設計基準	(1) 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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。	UO <sub>2</sub> ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。	(2) 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。	(3) 被覆管応力	通常運転時およ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。	(4) 被覆管歪		円周方向引張歪*が1%以下であること。	(5) 周期的な被覆管歪	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。	<p style="text-align: center;">表4.1.2-1 燃料棒設計における基本的考慮事項と設計基準</p> <table border="1" data-bbox="1733 789 2415 1545"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>基本的考慮事項</th> <th>設計基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(1) 燃料温度</td> <td>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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。</td> <td>UO<sub>2</sub>ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。</td> </tr> <tr> <td>(2) 燃料棒内圧</td> <td>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。</td> <td>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。</td> </tr> <tr> <td>(3) 被覆管応力</td> <td>通常運転時およ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。</td> <td>被覆材の耐力以下であること。</td> </tr> <tr> <td>(4) 被覆管歪</td> <td></td> <td>円周方向引張歪*が1%以下であること。</td> </tr> <tr> <td>(5) 周期的な被覆管歪</td> <td>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。</td> <td>ASME Sec. III の概念による設計疲労寿命以下であること。</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">*：各過渡変化に対する変化量</p>	項目	基本的考慮事項	設計基準	(1) 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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。	UO <sub>2</sub> ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。	(2) 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。	(3) 被覆管応力	通常運転時およ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。	(4) 被覆管歪		円周方向引張歪*が1%以下であること。	(5) 周期的な被覆管歪	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。	
項目	基本的考慮事項	設計基準																																					
(1) 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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。	UO <sub>2</sub> ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。																																					
(2) 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。																																					
(3) 被覆管応力	通常運転時およ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。																																					
(4) 被覆管歪		円周方向引張歪*が1%以下であること。																																					
(5) 周期的な被覆管歪	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。																																					
項目	基本的考慮事項	設計基準																																					
(1) 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) FPガスの過度の放出あるいは移動を防ぐ。 4) 燃料と被覆管の有害な化学反応を防ぐ。	UO <sub>2</sub> ペレットおよびガドリニア入りペレットそれぞれの溶融点未満であること。																																					
(2) 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。																																					
(3) 被覆管応力	通常運転時およ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。																																					
(4) 被覆管歪		円周方向引張歪*が1%以下であること。																																					
(5) 周期的な被覆管歪	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。																																					



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: center;">NFK-8011                      改1 昭和52年6月                      改2 昭和54年11月                      改3 昭和56年1月                      改4 昭和63年3月</p> <p style="text-align: center;">燃料棒性能解析コード                      (FPAC)</p> <p style="text-align: center;">昭和51年8月</p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p style="text-align: center;">NFK-8011                      改1 昭和52年6月                      改2 昭和54年11月                      改3 昭和56年1月                      改4 昭和63年3月</p> <p style="text-align: center;">燃料棒性能解析コード                      (FPAC)</p> <p style="text-align: center;">昭和51年8月</p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>2-5 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒の内圧は内部のガスが理想気体と仮定して次式で計算する。</p> $P = nR / \sum_i (V_i / T_i)$ <p>P : 内圧                      n : ガスのモル数                      R : ガス定数                      V<sub>i</sub> : 各空間体積                      T<sub>i</sub> : 各空間の温度</p> <p>内部ガスとしては、初期射入ガス、核分裂生成ガス、ペレットに吸着されたガス等を考慮する。核分裂生成ガスとしてはXe, Krを考慮している。</p> <p>空間体積としては、プレナム、ペレットと被覆管のギャップ、ディッシュ、チャンファ、トラップ、オープンボアなどが考慮される。</p> <p>2-6 被覆管応力</p> <p>(1) 内外圧差による応力</p> <p>応力は、その主方向が円筒座標の座標軸方向と一致し、(せん断応力は零として計算する。) その方向が変化しないと仮定して計算する。</p> <p>応力の計算は次の2つの場合に分けて行なう。</p> <p>(i) 被覆管がペレットと接触していない時</p> <p>弾性限界内であれば、内外圧のみから次の円筒の式を用いて計算する。</p> $\sigma_\theta = -\frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} + \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ $\sigma_r = \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} + \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ $\sigma_z = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ <p>ここで <math>\sigma_r</math> : 半径方向応力 kg/nd  <math>\sigma_\theta</math> : 円周方向応力 kg/nd  <math>\sigma_z</math> : 軸方向応力 kg/nd                      r<sub>i</sub> : 被覆管内半径 mm</p> <p style="text-align: center;">-26-</p>	<p>2-5 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒の内圧は内部のガスが理想気体と仮定して次式で計算する。</p> $P = nR / \sum_i (V_i / T_i)$ <p>P : 内圧                      n : ガスのモル数                      R : ガス定数                      V<sub>i</sub> : 各空間体積                      T<sub>i</sub> : 各空間の温度</p> <p>内部ガスとしては、初期射入ガス、核分裂生成ガス、ペレットに吸着されたガス等を考慮する。核分裂生成ガスとしてはXe, Krを考慮している。</p> <p>空間体積としては、プレナム、ペレットと被覆管のギャップ、ディッシュ、チャンファ、トラップ、オープンボアなどが考慮される。</p> <p>2-6 被覆管応力</p> <p>(1) 内外圧差による応力</p> <p>応力は、その主方向が円筒座標の座標軸方向と一致し、(せん断応力は零として計算する。) その方向が変化しないと仮定して計算する。</p> <p>応力の計算は次の2つの場合に分けて行なう。</p> <p>(i) 被覆管がペレットと接触していない時</p> <p>弾性限界内であれば、内外圧のみから次の円筒の式を用いて計算する。</p> $\sigma_\theta = -\frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} + \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ $\sigma_r = \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} + \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ $\sigma_z = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$ <p>ここで <math>\sigma_r</math> : 半径方向応力 kg/nd  <math>\sigma_\theta</math> : 円周方向応力 kg/nd  <math>\sigma_z</math> : 軸方向応力 kg/nd                      r<sub>i</sub> : 被覆管内半径 mm</p> <p style="text-align: center;">-26-</p>	



第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: center;"> <math>r_o</math> ; 被覆管外半径 mm  <math>P_o</math> ; 冷却材圧力(外圧) kg/cm<sup>2</sup>  <math>P_i</math> ; 内圧 kg/cm<sup>2</sup> </p> <p>(a) 被覆管がベレットと接触している時</p> <p>付に記した式において内圧にベレットと被覆管の接触圧を加えて計算する。                  接触圧はいわゆる焼きばめの式を用いて計算する。この時、ベレット及び被覆管のヤング率はそれぞれUO<sub>2</sub>及びジルカロイ-4のヤング率を用いる。ただし、ベレットに、並びかえ(リロケーション)による外径の増加分が残っている間はベレットは小さな外力で収縮し、大きな接触圧は生じないとモデル化している。                  応力が弾性限界内であるかは、Von Misesの理論に基づいて判定する。                  弾性限界内でなければPrandl-Reussの式を用いてくり返し計算で応力を求める。</p> <p>(2) 熱 応 力</p> <p>被覆管の内外面に温度差がある場合には、被覆管に熱応力が生ずる。                  本計算コードで使用している基本式は次のとおりである。</p> $\sigma_r = \frac{E\alpha}{r^2(1-\nu)} \left[ - \int_{r_i}^r T(r) r dr + \frac{r^2 - r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ $\sigma_\theta = \frac{E\alpha}{r(1-\nu)} \left[ -T(r)r^2 + \int_{r_i}^r T(r) r dr + \frac{r^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ $\sigma_z = \frac{E\alpha}{1-\nu} \left[ -T(r) + \frac{2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ <p>ここで</p> $T(r) = \frac{T_i - T_o}{\log r_i - \log r_o} \log r + \frac{T_o \log r_i - T_i \log r_o}{\log r_i - \log r_o}$ <p style="text-align: center;">-27-</p>	<p style="text-align: center;"> <math>r_o</math> ; 被覆管外半径 mm  <math>P_o</math> ; 冷却材圧力(外圧) kg/cm<sup>2</sup>  <math>P_i</math> ; 内圧 kg/cm<sup>2</sup> </p> <p>(a) 被覆管がベレットと接触している時</p> <p>付に記した式において内圧にベレットと被覆管の接触圧を加えて計算する。                  接触圧はいわゆる焼きばめの式を用いて計算する。この時、ベレット及び被覆管のヤング率はそれぞれUO<sub>2</sub>及びジルカロイ-4のヤング率を用いる。ただし、ベレットに、並びかえ(リロケーション)による外径の増加分が残っている間はベレットは小さな外力で収縮し、大きな接触圧は生じないとモデル化している。                  応力が弾性限界内であるかは、Von Misesの理論に基づいて判定する。                  弾性限界内でなければPrandl-Reussの式を用いてくり返し計算で応力を求める。</p> <p>(2) 熱 応 力</p> <p>被覆管の内外面に温度差がある場合には、被覆管に熱応力が生ずる。                  本計算コードで使用している基本式は次のとおりである。</p> $\sigma_r = \frac{E\alpha}{r^2(1-\nu)} \left[ - \int_{r_i}^r T(r) r dr + \frac{r^2 - r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ $\sigma_\theta = \frac{E\alpha}{r(1-\nu)} \left[ -T(r)r^2 + \int_{r_i}^r T(r) r dr + \frac{r^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ $\sigma_z = \frac{E\alpha}{1-\nu} \left[ -T(r) + \frac{2}{r_o^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_o} T(r) r dr \right]$ <p>ここで</p> $T(r) = \frac{T_i - T_o}{\log r_i - \log r_o} \log r + \frac{T_o \log r_i - T_i \log r_o}{\log r_i - \log r_o}$ <p style="text-align: center;">-27-</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p> <math>\sigma_r</math> ; 半径方向応力  <math>\sigma_\theta</math> ; 円周方向応力  <math>\sigma_z</math> ; 軸方向応力  <math>r_i</math> ; 被覆管内半径  <math>r_o</math> ; 被覆管外半径  <math>E</math> ; 被覆管のヤング率  <math>\alpha</math> ; 熱膨張係数（被覆管）  <math>\nu</math> ; ポアソン比  <math>T_i</math> ; 被覆管の内面温度  <math>T_o</math> ; 被覆管の外表面温度                 </p>	<p> <math>\sigma_r</math> ; 半径方向応力  <math>\sigma_\theta</math> ; 円周方向応力  <math>\sigma_z</math> ; 軸方向応力  <math>r_i</math> ; 被覆管内半径  <math>r_o</math> ; 被覆管外半径  <math>E</math> ; 被覆管のヤング率  <math>\alpha</math> ; 熱膨張係数（被覆管）  <math>\nu</math> ; ポアソン比  <math>T_i</math> ; 被覆管の内面温度  <math>T_o</math> ; 被覆管の外表面温度                 </p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: center;">NFK-8011</p> <p>改1 昭和52年6月                      改2 昭和54年11月                      改3 昭和56年1月                      改4 昭和63年3月                      改5 平成14年4月                      改6 平成14年8月                      改7 平成14年12月                      改8 平成15年7月                      改9 平成17年11月                      改10 平成21年6月                      改11 平成21年10月</p> <p style="text-align: center;">燃料棒性能解析コード                      (FPAC)</p> <p style="text-align: center;">昭和51年8月</p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p style="text-align: center;">NFK-8011</p> <p>改1 昭和52年6月                      改2 昭和54年11月                      改3 昭和56年1月                      改4 昭和63年3月                      改5 平成14年4月                      改6 平成14年8月                      改7 平成14年12月</p> <p style="text-align: center;">燃料棒性能解析コード                      (FPAC)</p> <p style="text-align: center;">昭和51年8月</p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p>既許可の相違による参照する公開文献の相違                      ・泊の方が作成時点で新しい資料を引用しているが内容には相違無し。</p>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>参考資料2</p> <p>高燃焼度用FPACの適用範囲について</p> <p>高燃焼度用FPACコードは、従来のFPACコード<sup>4)</sup>に改良被覆管等の特性及びペレット照射挙動に関する最近の知見等を反映したものであり、主要な特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペレット照射挙動は、ペレット熱伝導率の燃焼度依存性等の最近の知見を反映したモデルにより評価している。</li> <li>・ 被覆管照射挙動は、各被覆管の特性を反映したモデルにより評価しており、改良被覆管を用いるステップ2燃料に加えジルカロイ-4製被覆管を用いた従来燃料についても評価できる機能を有している。</li> </ul> <p>高燃焼度用FPACの従来燃料への適用性を表1にまとめる。本コードの実証性は、本文中において照射挙動項目毎に計算値と実測値の比較により示している。</p> <p>これらのことから、高燃焼度用FPACコードは、ステップ2燃料の健全性評価に加えて従来燃料の健全性評価にも使用できる。</p>	<p>参考資料2</p> <p>高燃焼度用FPACの適用範囲について</p> <p>高燃焼度用FPACコードは、従来のFPACコード<sup>4)</sup>に改良被覆管等の特性及びペレット照射挙動に関する最近の知見等を反映したものであり、主要な特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペレット照射挙動は、ペレット熱伝導率の燃焼度依存性等の最近の知見を反映したモデルにより評価している。</li> <li>・ 被覆管照射挙動は、各被覆管の特性を反映したモデルにより評価しており、改良被覆管を用いるステップ2燃料に加えジルカロイ-4製被覆管を用いた従来燃料についても評価できる機能を有している。</li> </ul> <p>高燃焼度用FPACの従来燃料への適用性を表1にまとめる。本コードの実証性は、本文中において照射挙動項目毎に計算値と実測値の比較により示している。</p> <p>これらのことから、高燃焼度用FPACコードは、ステップ2燃料の健全性評価に加えて従来燃料の健全性評価にも使用できる。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明																																																																																																								
	<p>表1 高燃焼度用FPACコードの従来燃料への適用性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>計算項目</th> <th>挙動評価モデル</th> <th>高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点</th> <th>従来燃料への適用性評価</th> <th>参照図</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料温度</td> <td>ペレット被覆管キップ温度</td> <td>キップコンダクタンス</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)</td> </tr> <tr> <td>ペレット内温度分布</td> <td>ペレット熱伝導率式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">燃料棒寸法変化</td> <td>ペレットスワッジ</td> <td>固体FPスワッジの燃焼度依存性</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td>ペレットクラッキング</td> <td>ペレットと被覆管接触後のペレット剛性</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>被覆管クランプ変形</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td>第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td>被覆管照射成長</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>従来Snジメチル4は変更無し。</td> <td>第3-7図</td> </tr> <tr> <td>燃料棒内圧</td> <td>FPガス放出</td> <td>FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">被覆管応力</td> <td rowspan="2">内外圧差及び接触圧による応力</td> <td rowspan="2">有限要素法を使用</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">被覆管腐食及び水素吸収</td> <td>被覆管腐食</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td>第3-8図 第3-9図</td> </tr> <tr> <td>水素吸収量</td> <td>被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定</td> <td>従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(参考文献)                  □ 原子燃料工業, "燃料棒性能解析コード (FPAC)", NFK-8011 改 4, 1988</p>	計算項目	挙動評価モデル	高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点	従来燃料への適用性評価	参照図	燃料温度	ペレット被覆管キップ温度	キップコンダクタンス	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)	ペレット内温度分布	ペレット熱伝導率式			燃料棒寸法変化	ペレットスワッジ	固体FPスワッジの燃焼度依存性	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)	ペレットクラッキング	ペレットと被覆管接触後のペレット剛性			被覆管クランプ変形	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-3図 (3/4)	被覆管照射成長	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。	第3-7図	燃料棒内圧	FPガス放出	FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)	被覆管応力	内外圧差及び接触圧による応力	有限要素法を使用					被覆管腐食及び水素吸収	被覆管腐食	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-8図 第3-9図	水素吸収量	被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定	従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。		<p>表1 高燃焼度用FPACコードの従来燃料への適用性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>計算項目</th> <th>挙動評価モデル</th> <th>高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点</th> <th>従来燃料への適用性評価</th> <th>参照図</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料温度</td> <td>ペレット被覆管キップ温度</td> <td>キップコンダクタンス</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)</td> </tr> <tr> <td>ペレット内温度分布</td> <td>ペレット熱伝導率式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">燃料棒寸法変化</td> <td>ペレットスワッジ</td> <td>固体FPスワッジの燃焼度依存性</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td>ペレットクラッキング</td> <td>ペレットと被覆管接触後のペレット剛性</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>被覆管クランプ変形</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td>第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td>被覆管照射成長</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>従来Snジメチル4は変更無し。</td> <td>第3-7図</td> </tr> <tr> <td>燃料棒内圧</td> <td>FPガス放出</td> <td>FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)</td> <td>従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。</td> <td>第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">被覆管応力</td> <td rowspan="2">内外圧差及び接触圧による応力</td> <td rowspan="2">有限要素法を使用</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">被覆管腐食及び水素吸収</td> <td>被覆管腐食</td> <td>被覆管タイプ別に評価式の定数を設定</td> <td>従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td>第3-8図 第3-9図</td> </tr> <tr> <td>水素吸収量</td> <td>被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定</td> <td>従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(参考文献)                  □ 原子燃料工業, "燃料棒性能解析コード (FPAC)", NFK-8011 改 4, 1988</p>	計算項目	挙動評価モデル	高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点	従来燃料への適用性評価	参照図	燃料温度	ペレット被覆管キップ温度	キップコンダクタンス	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)	ペレット内温度分布	ペレット熱伝導率式			燃料棒寸法変化	ペレットスワッジ	固体FPスワッジの燃焼度依存性	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)	ペレットクラッキング	ペレットと被覆管接触後のペレット剛性			被覆管クランプ変形	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-3図 (3/4)	被覆管照射成長	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。	第3-7図	燃料棒内圧	FPガス放出	FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)	被覆管応力	内外圧差及び接触圧による応力	有限要素法を使用					被覆管腐食及び水素吸収	被覆管腐食	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-8図 第3-9図	水素吸収量	被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定	従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。		
計算項目	挙動評価モデル	高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点	従来燃料への適用性評価	参照図																																																																																																							
燃料温度	ペレット被覆管キップ温度	キップコンダクタンス	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)																																																																																																							
	ペレット内温度分布	ペレット熱伝導率式																																																																																																									
燃料棒寸法変化	ペレットスワッジ	固体FPスワッジの燃焼度依存性	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)																																																																																																							
	ペレットクラッキング	ペレットと被覆管接触後のペレット剛性																																																																																																									
	被覆管クランプ変形	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-3図 (3/4)																																																																																																							
	被覆管照射成長	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。	第3-7図																																																																																																							
燃料棒内圧	FPガス放出	FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)																																																																																																							
被覆管応力	内外圧差及び接触圧による応力	有限要素法を使用																																																																																																									
被覆管腐食及び水素吸収	被覆管腐食	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-8図 第3-9図																																																																																																							
	水素吸収量	被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定	従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。																																																																																																								
計算項目	挙動評価モデル	高燃焼度用FPACコードにおける追加・変更点	従来燃料への適用性評価	参照図																																																																																																							
燃料温度	ペレット被覆管キップ温度	キップコンダクタンス	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-2図 (1/3) 第3-2図 (2/3)																																																																																																							
	ペレット内温度分布	ペレット熱伝導率式																																																																																																									
燃料棒寸法変化	ペレットスワッジ	固体FPスワッジの燃焼度依存性	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-6図 (1/2) 第3-3図 (3/4)																																																																																																							
	ペレットクラッキング	ペレットと被覆管接触後のペレット剛性																																																																																																									
	被覆管クランプ変形	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-3図 (3/4)																																																																																																							
	被覆管照射成長	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。	第3-7図																																																																																																							
燃料棒内圧	FPガス放出	FPガス放出評価式(ペレット熱伝導率)	従来燃料のペレット仕様を含む燃料の照射データに対しても実証性が確認できている。	第3-4図 (1/2) 第3-4図 (2/2) 第3-5図 (1/2) 第3-3図 (3/4)																																																																																																							
被覆管応力	内外圧差及び接触圧による応力	有限要素法を使用																																																																																																									
被覆管腐食及び水素吸収	被覆管腐食	被覆管タイプ別に評価式の定数を設定	従来Snジメチル4は変更無し。 低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。	第3-8図 第3-9図																																																																																																							
	水素吸収量	被覆管タイプによらず同一の水素吸収率を設定	従来Snジメチル4低Snジメチル4製被覆管の照射データに対して実証性が確認できている。																																																																																																								

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: right;"><u>NFK-8134</u> 改1 平成18年9月</p> <p style="text-align: center;">原燃工製 PWR ステップ2 燃料の 機械設計について <u>(泊1、2、3号)</u></p> <p style="text-align: center;"><u>平成17年11月</u></p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p style="text-align: right;"><u>NFK-8119</u> 改訂1 平成15年3月</p> <p style="text-align: center;">原燃工製 PWR ステップ2 燃料の 機械設計について <u>(大飯1、2、3、4号)</u></p> <p style="text-align: center;"><u>平成14年8月</u></p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p>既許可の相違による参照する公開文献の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊と大飯の対象物の違いによるタイトルの相違。内容には相違無し。</li> </ul>



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>(2) 燃料棒内圧                      燃料棒内圧に対しては、燃料温度の過大な上昇防止の観点から“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”としており、設計基準である限界内圧以下であることを確認する。                      ここで、限界内圧は高燃焼度用FPACにより評価した値を用いる。限界内圧の評価では高燃焼度用FPACを用いて燃料棒内圧が高くなるような仮想的な計算を行い、図3-4に示すようにペレットと被覆管のギャップが増加し始める時の内圧(18.6MPa[abs])を限界内圧とする。</p> <p>(3) 被覆管応力                      被覆管応力は被覆管の耐力(0.2%オフセット)以下となるように設計する。被覆管応力評価では、内外圧差による応力、ペレット・被覆管の接触応力、熱応力、地震による応力、及び水力振動による応力を考慮する。ここで被覆管の耐力には照射による増加及び温度依存性を考慮している。</p> <p>(4) 被覆管歪                      燃料ペレットのスエリング及び熱膨張により被覆管に引張歪が発生するが、この歪変化量は被覆管の健全性に影響を与えない範囲に保つ必要があることから、設計基準としては、“被覆管の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”としている。</p> <p>(5) 被覆管疲労損傷                      燃料棒は原子炉に装荷されてから取出されるまでの間、出力変動及び圧力変動を受け、これにより繰返し応力が被覆管に加わる。この繰返し応力は、ASME ボイラ及び圧力容器コード第3章(ASME Sec. III)に準拠した方法により評価し、累積疲労サイクル数と設計疲労寿命との比として表される累積疲労損傷係数が1.0を超えないように設計する。</p>	<p>(2) 燃料棒内圧                      燃料棒内圧に対しては、燃料温度の過大な上昇防止の観点から“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”としており、設計基準である限界内圧以下であることを確認する。                      ここで、限界内圧は高燃焼度用FPACにより評価した値を用いる。限界内圧の評価ではFPACを用いて燃料棒内圧が高くなるような仮想的な計算を行い、図3-4に示すようにペレットと被覆管のギャップが増加し始める時の内圧(18.6MPa[abs])を限界内圧とする。</p> <p>(3) 被覆管応力                      被覆管応力は被覆管の耐力(0.2%オフセット)以下となるように設計する。被覆管応力評価では、内外圧差による応力、ペレット・被覆管の接触応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考慮する。ここで被覆管の耐力には照射による増加及び温度依存性を考慮している。</p> <p>(4) 被覆管歪                      燃料ペレットのスエリング及び熱膨張により被覆管に引張歪が発生するが、この歪変化量は被覆管の健全性に影響を与えない範囲に保つ必要があることから、設計基準としては、“被覆管の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”としている。</p> <p>(5) 被覆管疲労損傷                      燃料棒は原子炉に装荷されてから取出されるまでの間、出力変動及び圧力変動を受け、これにより繰返し応力が被覆管に加わる。この繰返し応力は、ASME ボイラ及び圧力容器コード第3章(ASME Sec. III)に準拠した方法により評価し、累積疲労サイクル数と設計疲労寿命との比として表される累積疲労損傷係数が1.0を超えないように設計する。</p>	

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p style="text-align: right;">NFK-8135</p> <p style="text-align: center;">MOX燃料の機械設計について (泊3号)</p> <p style="text-align: center;">平成20年12月</p> <p style="text-align: center;">原子燃料工業株式会社</p>	<p style="text-align: center;">(大飯には左記の資料は無い)</p>	<p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊ではMOX燃料を採用しているが、大飯はMOX燃料を採用していない</li> </ul>

泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>3.3. 燃料棒の設計基準</p> <p>3.3.1. 燃料中心温度</p> <p>燃料中心温度は、ペレットの溶融点未満となるよう設計する。</p> <p>MOX燃料の溶融点は、Pu含有率の増加に伴い低下する。そこでMOX燃料の融点は、PWR炉心での使用を想定し最大Pu含有率13wt%時の融点2730℃とする。また溶融点の燃焼に伴う低下は二酸化ウラン燃料と同じく、32℃/10,000MWd/tとする。<sup>4)</sup>さらに設計では評価モデル及び製造公差に基づく不確実性として220℃を考慮した値を制限値として用いる。この制限値をステップ2二酸化ウラン燃料及びガドリニア入り二酸化ウラン燃料とともに以下に示す。</p> <p>MOX燃料 : 2,510℃                  ステップ2二酸化ウラン燃料 : 2,580℃                  ステップ2ガドリニア入り二酸化ウラン燃料 : 2,480℃</p> <p>3.3.2. 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒内圧は、燃料温度の過大な上昇防止の観点から“通常運転時において被覆管の外向き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”としており、設計基準である限界内圧以下であることを確認する。ここで、限界内圧は高燃焼度用FPACにより評価した値を用いる。限界内圧の評価では高燃焼度用FPACを用いて燃料棒内圧が高くなるような仮想的な計算を行い、図3-2に示すようにペレットと被覆管のギャップが増加し始める時の内圧(18.6MPa[abs])を限界内圧とする。</p> <p>3.3.3. 被覆管応力</p> <p>被覆管応力は、被覆管の耐力(0.2%オフセット)以下となるように設計する。被覆管応力評価では、内外圧差による応力、ペレットと被覆管の接触応力、熱応力、地震による応力及び水力振動による応力を考慮する。ここで、被覆管の耐力は照射による増加及び温度依存性を考慮している。<sup>4)</sup></p> <p>3.3.4. 被覆管歪</p> <p>ペレットのスエリング及び熱膨張により被覆管に引張歪が発生する。この歪変化量は被覆管の健全性に影響を与えない範囲に保つ必要があることから、設計基準としては、“被覆管の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”としている。</p> <p>3.3.5. 被覆管疲労損傷</p> <p>燃料棒は原子炉に装荷されてから取り出されるまでの間、出力変動及び圧力変動を受け、これにより繰り返し応力が被覆管に加わる。この繰り返し応力は、ASME Sec.Ⅲに準拠した方法に</p>		



泊発電所3号炉 DB基準適合性 比較表

実線・・・設計方針又は設備構成等の相違  
 破線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第4条 地震による損傷の防止（別紙5地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持：別添資料）

女川原子力発電所2号炉	泊発電所3号炉	大飯発電所3/4号炉	差異の説明
	<p>より評価し、累積疲労サイクル数と設計疲労寿命との比として表される累積疲労損傷係数が1を超えないように設計する。</p>		