

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|--|----|
| <p>C_2: Loschmid 数 2.687×10^{19} 分子/cm³ (標準状態)</p> <p>生成ガスは、Xe と Kr について計算する。これらに対しては $n=1$ である。 また、関数 K は以下のように表わす。</p> $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ <p>K_1: 粒界に沿った気泡の成長や集積で、オープンポロシティにつながる経路の生成を考慮した温度に依存する拡散項</p> $K_1 = f_1(T)$ <p>K_2: 温度、燃焼度の関数として燃焼度増加による FP ガス放出の増加を表わす拡散項</p> $K_2 = f_2(Bu, T)$ <p>K_3: オープンポロシティが FP ガスの放出経路となることを考慮した拡散項。オープンポロシティは燃焼度により変化するので、初期オープンポロシティの割合と燃焼度の関数としている。</p> $K_3 = f_3(P_{op}, Bu)$ <p>P_{op}: 初期オープンポロシティの割合</p> <p>なお、添付書類一で述べたように、ガドリニア混合二酸化ウランペレットの FP ガス放出特性は二酸化ウランペレットと同等であることから、ガドリニアウランペレットの FP ガス放出モデルは二酸化ウランペレットと同一のモデルとしている。</p> | <p>C_2: Loschmid 数 2.687×10^{19} 分子/cm³ (標準状態)</p> <p>生成ガスは Xe と Kr について計算する。これらに対しては $n=1$ である。 また、関数 K は以下のように表す。</p> $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots \dots \dots (3-34)$ <p>K_1: 粒界に沿った気泡の成長や集積で、オープンポロシティにつながる経路の生成を考慮した温度に依存する拡散項</p> $K_1 = f_1(T)$ <p>K_2: 温度、燃焼度の関数として燃焼度増加による FP ガス放出の増加を表す拡散項</p> $K_2 = f_2(Bu, T)$ <p>K_3: オープンポロシティが FP ガスの放出経路となることを考慮した拡散項。オープンポロシティは燃焼度により変化するので、初期オープンポロシティの割合と燃焼度の関数としている。</p> $K_3 = f_3(P_{op}, Bu)$ <p>P_{op}: 初期オープンポロシティの割合</p> <p>なお、資料 8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の 4.2 項に示したとおり、ガドリニア混合二酸化ウランペレットの FP ガス放出特性は二酸化ウランペレットと同等であることから、ガドリニア混合二酸化ウランペレットの FP ガス放出モデルは二酸化ウランペレットと同一のモデルとしている。</p> | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集集体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集集体) 資料 7 | 備考 |
|---|--|----|
| <p>3.3.6 燃料棒内圧</p> <p>燃料棒の内圧は、燃料棒内部のガスを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>ここで、P: 内圧</p> <p>n: ガスのモル数</p> <p>R: ガス定数</p> <p>V_i: 各空間体積</p> <p>T_i: 各空間の温度</p> <p>i: i 番目の空間</p> <p>内部ガスとしては、初期封入ガス、FP ガス、ペレットに吸着されたガス等を考慮する。</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、クラック、オープンポロシティが考慮される。</p> | <p>(5) 燃料棒の内圧</p> <p>燃料棒の内圧は、燃料棒内部のガスを理想気体と仮定して次式で計算する。</p> $P = nR / \sum_i (V_i / T_i) \dots\dots\dots (3-35)$ <p>ここで、</p> <p>P : 内圧、MPa</p> <p>n : ガスのモル数、mol</p> <p>R : ガス定数 (=8.3144J・mol⁻¹・K⁻¹)</p> <p>V_i : 各空間体積、cm³</p> <p>T_i : 各空間の温度、K</p> <p>i : i 番目の空間</p> <p>内部ガスとしては、初期封入ガス、FP ガス、ペレットに吸着されたガス等を考慮する。</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、クラック及びオープンポロシティが考慮される。</p> | |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|---|---|--|
| <p>3.3.7 被覆管腐食/水素吸収</p> <p>①【被覆管腐食は、EPRIのモデル[29]をベースとした式により計算する。被覆管腐食モデルは、次式で表される。なお、モデル式中の係数は、被覆管タイプによる腐食特性の差を考慮している。</p> <p>【遷移領域前 $(dS^n / dt) = A \exp(-Q_1 / RT)$</p> <p>遷移領域後 $(dS / dt) = B \exp(-Q_2 / RT)$</p> <p>ここで、$S$: 酸化膜厚さ t : 時間 n : 定数 Q_1, Q_2 : 活性化エネルギー R : ガス定数 T : 被覆管と酸化膜との界面温度 A, B : 関数】</p> <p>②【また、被覆管の腐食により発生した水素の一部が酸化膜厚さに応じてある割合で被覆管に取り込まれるとし[22]、被覆管への水素吸収量を評価している。】</p> | <p>第3-10表 腐食評価式⁽³³⁾</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>遷移領域前 $(dS^n / dt) = A \exp(-Q_1 / RT)$</p> <p>遷移領域後 $(dS / dt) = B \exp(-Q_2 / RT)$</p> <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> S : 酸化膜厚さ t : 時間 n : 定数 Q_1, Q_2 : 活性化エネルギー R : ガス定数 T : 被覆管と酸化膜との界面温度 A, B : 関数 </div> <p>3.4 その他の考慮事項</p> <p>(3) 被覆管外面腐食及び水素吸収量評価</p> <p>①【資料8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の5.3項に示したとおり、NDA被覆管の腐食メカニズムはジルカロイ-4被覆管と同様であり、したがって、NDA被覆管の腐食モデル式は第3-10表に示すジルカロイ-4被覆管のモデル式と同様とする。ここでNDA被覆管の腐食特性（原子炉外腐食試験、腐食速度比から低Snジルカロイ-4に対して改良効果約20%⁽²²⁾）を考慮した。】</p> <p>②【ここでは腐食量の予測値に対し、資料8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の5.3項より、被覆管の腐食により発生した水素の一部が酸化膜厚さに応じてある割合で被覆管に取り込まれるとしてNDA被覆管の水素吸収量を計算した。】</p> | <p>① 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.2.2項 表3-16</p> <p>② 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.2.2項</p> |

| <p> 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 </p> | <p> 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 </p> | <p>備考</p> |
|--|---|-----------|
| <p>3.3.8 実証性 高燃焼度用FPACコードの実証に示したデータを第2-2表に示す。</p> <p>(1) 燃料中心温度 第2-7図に燃料中心温度の計算値と実測値との比較の代表例を示すように、燃料寿命を通じて良く一致している。第2-8図にペレットタイプ毎の燃料中心温度の予測性を示すように、ペレットタイプによらず計算値と実測値は良く一致している。これらより、ペレット熱伝導率モデル、ギャップコンダクタンスモデル等の妥当性を確認している。</p> <p>(2) 燃料棒外径 第2-9図に燃料棒外径の計算値と実測値の比較の代表例及び予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、被覆管クリープ、スエリング、焼きしまり、リロケーション等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>(3) FPガス放出率 第2-10図にFPガス放出率の予測性を、第2-11図に燃料棒内圧の予測性を示すように、いずれも計算値と実測値は良く一致していることから、FPガス放出、スエリング等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>(4) ペレット密度 第2-12図にペレット密度（ペレット体積変化）の予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、スエリング、焼きしまり等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>(5) 燃料棒伸び 第2-13図に燃料棒伸びの予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、燃料棒伸びモデルの妥当性を確認している。</p> | <p>(6) 実証性 高燃焼度用FPACコードの実証に示したデータを第3-2表に示す。</p> <p>a. 燃料中心温度 第3-7図に燃料中心温度の計算値と実測値との比較の代表例を示すように、燃料寿命を通じて良く一致している。第3-8図にペレットタイプ毎の燃料中心温度の予測性を示すように、ペレットタイプによらず計算値と実測値は良く一致している。これらより、ペレット熱伝導率モデル、ギャップコンダクタンスモデル等の妥当性を確認している。</p> <p>b. 燃料棒外径 第3-9図に燃料棒外径の計算値と実測値との比較の代表例及び予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、被覆管クリープ、スエリング、焼きしまり、リロケーション等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>c. FPガス放出率 第3-10図にFPガス放出率の予測性を、第3-11図に燃料棒内圧の予測性を示すように、いずれも計算値と実測値は良く一致していることから、FPガス放出、スエリング等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>d. ペレット密度 第3-12図にペレット密度（ペレット体積変化）の予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、スエリング、焼きしまり等に関するモデルの妥当性を確認している。</p> <p>e. 燃料棒の伸び 第3-13図に燃料棒の伸びの予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、燃料棒の伸びモデルの妥当性を確認している。</p> | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|---|---|--|
| <p>①【(6)酸化膜厚さ 第2-14図に酸化膜厚さの予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、被覆管腐食モデルの妥当性を確認している。】</p> <p>②【(7)水素吸収量 第2-15図に被覆管水素吸収量の予測性を示すように、計算値と実測値は良く一致していることから、水素吸収率モデルの妥当性を確認している。なお、被覆管水素吸収量計算値は、酸化膜厚さ測定値と水素吸収率モデルからの算出値である。】</p> <p>③【以上のように高燃焼度用FPACコードは、二酸化ウラン燃料、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料のいずれに対しても、燃料中心温度、燃料棒外径変化、FPガス放出率、燃料棒内圧、及び、ペレット密度に関して妥当な予測性能を有していることを確認している。 また、ジルカロイ-4、低Snジルカロイ-4及びNDAのいずれに対しても、燃料棒伸び、酸化膜厚さ及び水素吸収量に関して妥当な予測性能を有していることを確認している。 このように、高燃焼度用FPACコードによる計算値が総合的に妥当な予測性を示していることを通じて、コードに組み込んでいる種々のモデルの妥当性を確認している。】</p> | <p>3.4 その他の考慮事項</p> <p>①【(3) 被覆管外面腐食及び水素吸収量評価 NDA被覆管の原子炉内腐食量については、実測値と予測値を第3-27図に比較した。第3-27図に示すとおり、被覆管腐食モデルは実測値を適切に予測していることから、高燃焼度用FPACコードによりNDA被覆管の腐食量を適切に評価できる。】</p> <p>②【また、NDA被覆管の原子炉内水素吸収量の実測値と予測値を第3-28図に示す。 第3-28図に示すとおり、水素吸収モデルは実測値を適切に予測していることから、高燃焼度用FPACコードによりNDA被覆管の水素吸収量を適切に評価できる。】</p> <p>3.2.2 解析コードに用いるモデル及び計算方法</p> <p>③【(6) 実証性 以上のように高燃焼度用FPACコードは、二酸化ウラン燃料、ガドリニア入り燃料のいずれに対しても、燃料中心温度、燃料棒外径変化、FPガス放出率、燃料棒内圧及びペレット密度に関して妥当な予測性能を有していることを確認している。 また、ジルカロイ-4、低Snジルカロイ-4及びNDAのいずれに対しても、燃料棒の伸びに関して妥当な予測性能を有していることを確認している。 このように、高燃焼度用FPACコードによる計算値が総合的に妥当な予測性を示していることを通じて、解析コードに組み込んでいる種々のモデルの妥当性を確認している。】</p> | <p>①、②、③ 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.2.2項</p> |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-2表 高燃焼度用FPACの実証データ[1]

| 燃料種別 | 燃料型式 | 本数 | ペレット (初期燃度%T.D.) | 燃料種別 | 燃料種別平均 燃焼度 (%T.D.) | 燃料種別平均 出力燃度 (%T.D.) | 実証項目 | | | | | 備考 | | | |
|-------|--|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----|---|---|---|
| | | | | | | | 燃料中心 燃焼度 | FPガス 抽出率 | ペレット 体積変化 | 燃料種 寸法変化 | 燃焼管理 /本燃焼 | | | | |
| 試験炉 | Halden, Oak Ridge B2, B2 | 17×17 | 16 16 | UO ₂ (90~98) | ジルカローイ-4等 | ~12 ~32 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 国内商業炉 | 伊方1号機, 大飯1号機 大飯2号機 | 14×14/17×17 | 15 6 | UO ₂ (93) | ジルカローイ-4 | ~48 ~25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | BRS, Zorita, Osanec Obrigheim, Graveline | 14×14/15×15 17×17 | 146 35 | UO ₂ (93~98) | ジルカローイ-4 | ~89 ~37 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 試験炉 | Halden, Bilibis-A-0R3 B2, Oairis Siloe, B2 | 16×16/17×17 | 6 4 9 14 3 | UO ₂ (91~97) | ジルカローイ-2 | ~35 ~47 ~81 ~81 ~85 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| 国内商業炉 | 大飯2号機, 大飯3号機 大飯4号機, 高浜3号機 | 17×17 | 19 391 | UO ₂ (96) | ジルカローイ-4 | ~56 ~57 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | McClure 1, Garabit | 15×15/17×17 | 2 115 | UO ₂ (95~97) | ジルカローイ-4 | ~39 ~51 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | BRS, Graveline, St-Laurent | 17×17 | 30 30 | MOX(94~95) | ジルカローイ-1 | ~82 ~27 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |

[注] 本申請における強度計算に使用するモデルの実証においては、MOX ペレットのデータは用いていない。

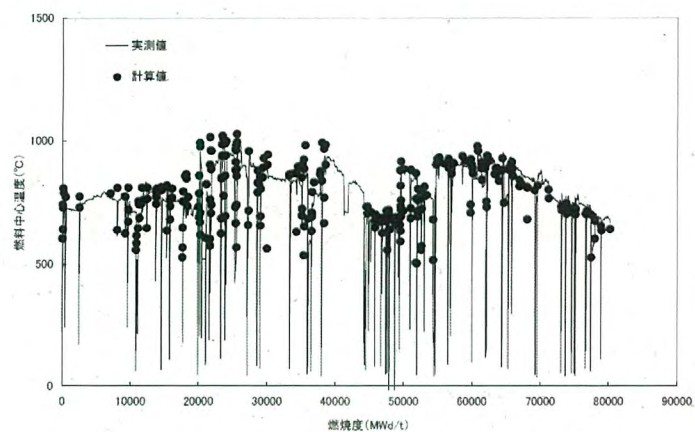
第3-2表 燃料種別コードの実証データ (高燃焼度用FPACコード)

| 燃料種別 | 燃料型式 | 本数 | ペレット (初期燃度%T.D.) | 燃料種別 | 燃料種別平均 燃焼度 (%T.D.) | 燃料種別平均 出力燃度 (%T.D.) | 実証項目 | | | | | 備考 | | | |
|-------|--|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---|-------------|----------------------|--------------|-------------|--------------|----|---|---|---|
| | | | | | | | 燃料中心 燃焼度 | FPガス 抽出率/燃料種 別 | ペレット 体積変化 | 燃料種 寸法変化 | 燃焼管理 /本燃焼 | | | | |
| 試験炉 | Halden, Oak Ridge B2, B2 | 17×17 | 16 1 | UO ₂ (90~98) | ジルカローイ-4等 | ~17,000 ~13,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 国内商業炉 | 伊方1号機, 大飯1号機 大飯2号機 | 14×14/17×17 | 15 6 | UO ₂ (93) | ジルカローイ-4 | ~48,000 ~25,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | BRS, Zorita, Osanec Obrigheim, Graveline | 14×14/15×15 17×17 | 146 35 | UO ₂ (93~98) | ジルカローイ-4 | ~89,000 ~37,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 試験炉 | Halden, Bilibis-A-0R3 B2, Oairis Siloe, B2 | 16×16/17×17 細径 | 6 4 9 14 3 | UO ₂ (91~97) | ジルカローイ-2 | ~87,000 ~47,000 ~81,000 ~81,000 ~85,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| 国内商業炉 | 大飯2号機, 大飯3号機 大飯4号機, 高浜3号機 | 17×17 | 19 391 | MOX(94~96) | ジルカローイ-2 | ~40,000 ~82,000 ~65,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | McClure 1, Garabit | 15×15/17×17 | 2 115 | UO ₂ (95~97) | ジルカローイ-4 | ~39,000 ~51,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 海外商業炉 | BRS, Graveline, St-Laurent | 17×17 | 30 30 | MOX(94~95) | ジルカローイ-1 | ~82,000 ~27,000 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | | ○ | |

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-2

体裁統一に合わせ第2-2表の注釈
を削除したものの、高燃焼度用
FPACコードの実証に使用したデ
ータは変更していない

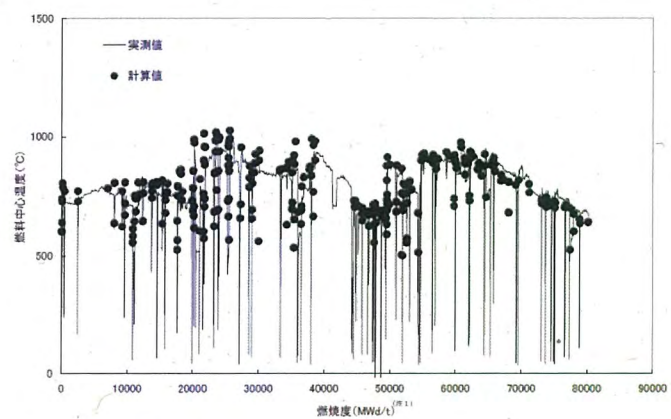
設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二



(注) 燃焼度は燃料棒平均燃焼度

第2-7図 燃料寿命中における燃料中心温度の計算値と実測値との比較の代表例
(IFA596.2 二酸化ウラン燃料棒)

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7



(注1) 燃料棒平均燃焼度

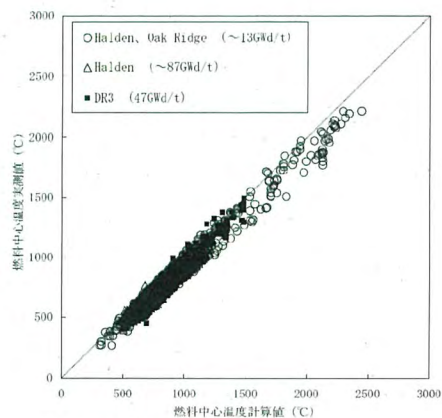
第3-7図 燃料寿命中における燃料中心温度の計算値と実測値との比較の代表例
(IFA596.2 二酸化ウラン燃料棒)

備考

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

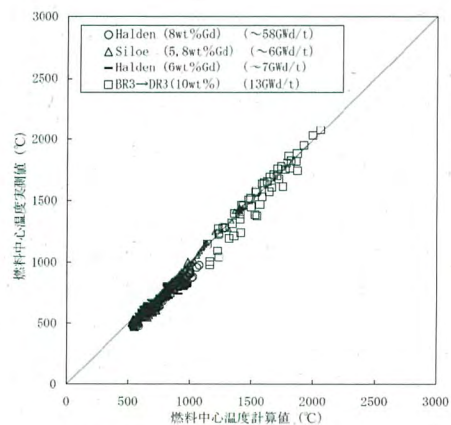
設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考



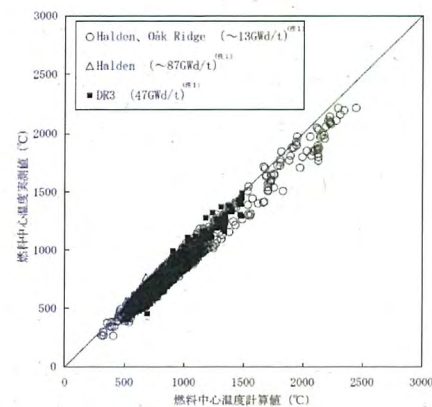
(注) 燃焼度は燃料棒平均燃焼度

第2-8図(1/2) 燃料中心温度の計算値と実測値との比較
(二酸化ウラン燃料)



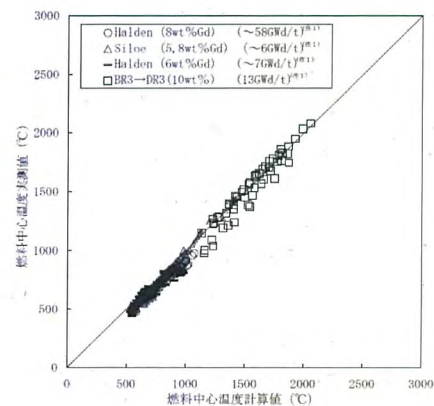
(注) 燃焼度は燃料棒平均燃焼度

第2-8図(2/2) 燃料中心温度の計算値と実測値との比較
(ガドリニア混合二酸化ウラン燃料)



(注1) 燃料棒平均燃焼度

第3-8図 (1) 燃料中心温度の計算値と実測値との比較
(二酸化ウラン燃料)



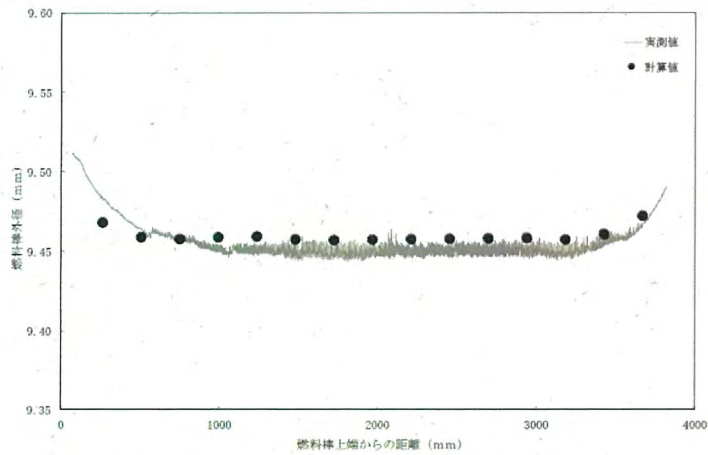
(注1) 燃料棒平均燃焼度

第3-8図 (2) 燃料中心温度の計算値と実測値との比較
(ガドリニア入り燃料)

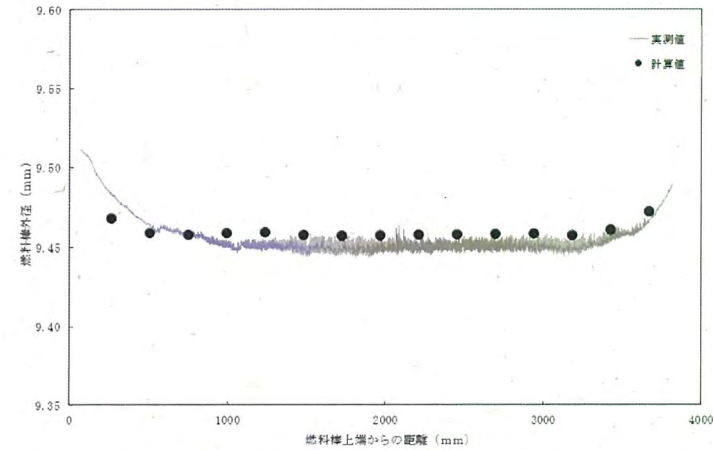
設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

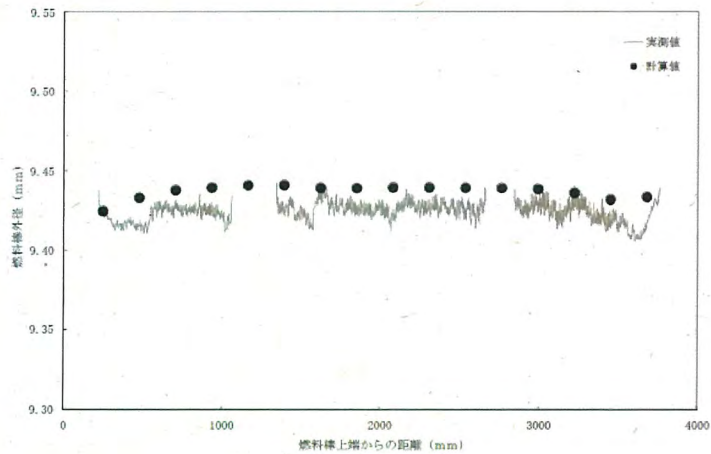
備考



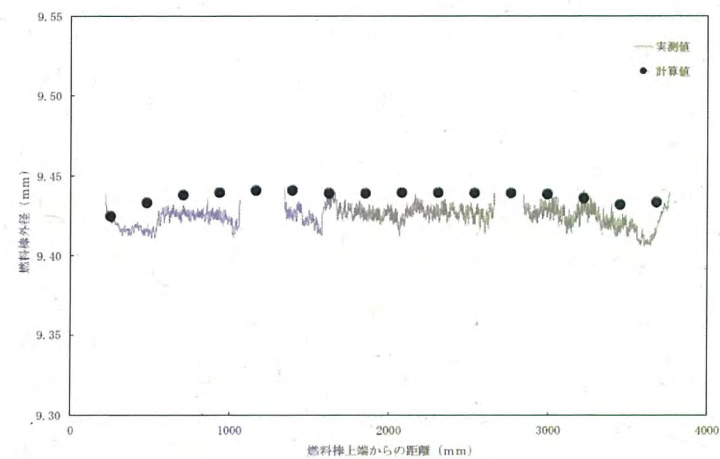
第 2-9 図 (1/3) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較
(高浜 3 号機 二酸化ウラン燃料棒-低 Sn ジルカロイ-4 被覆管)



第 3-9 図 (1) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較
(高浜 3 号機 二酸化ウラン燃料棒-低 Sn ジルカロイ-4 被覆管)

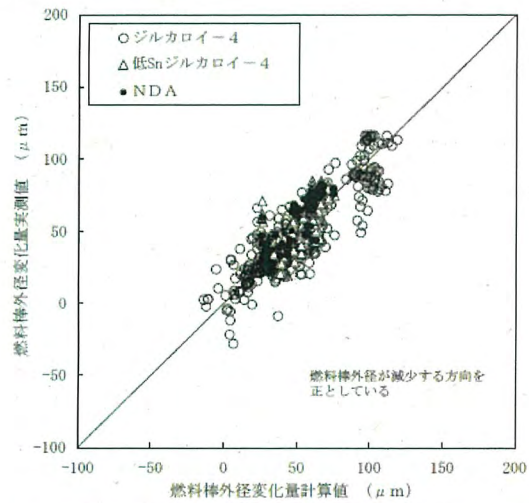


第 2-9 図 (2/3) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較
(McGuire1 号機 ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒-NDA 被覆管)



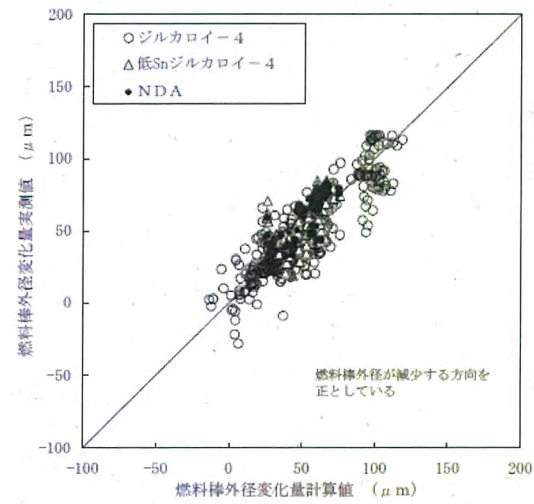
第 3-9 図 (2) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較
(McGuire1 号機 ガドリニア入り燃料棒-NDA 被覆管)

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二



第2-9図 (3/3) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較

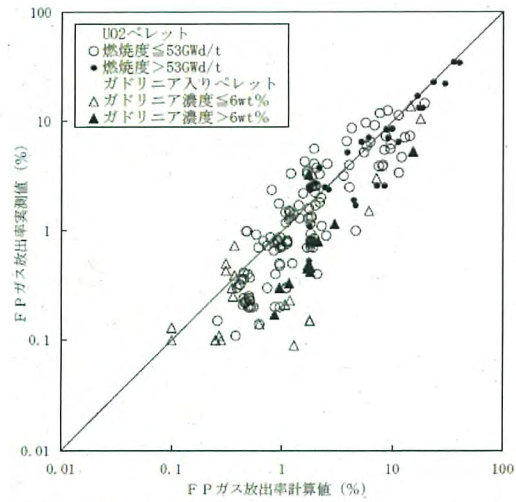
設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7



第3-9図 (3) 燃料棒外径の計算値と実測値との比較

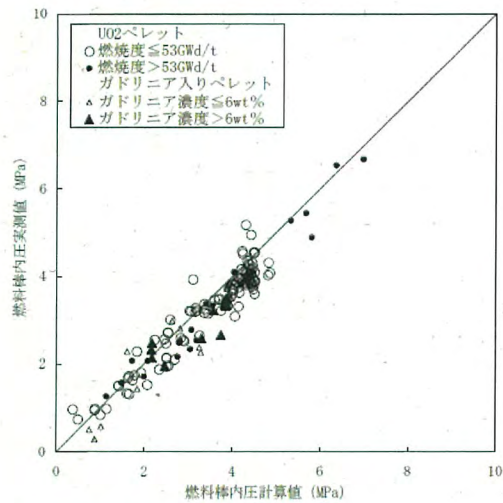
備考

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二



(注) 燃焼度は燃料棒平均燃焼度

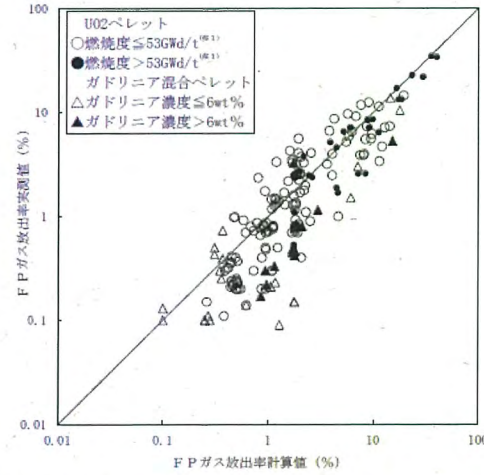
第2-10図 FPガス放出率の計算値と実測値との比較



(注) 燃焼度は燃料棒平均燃焼度

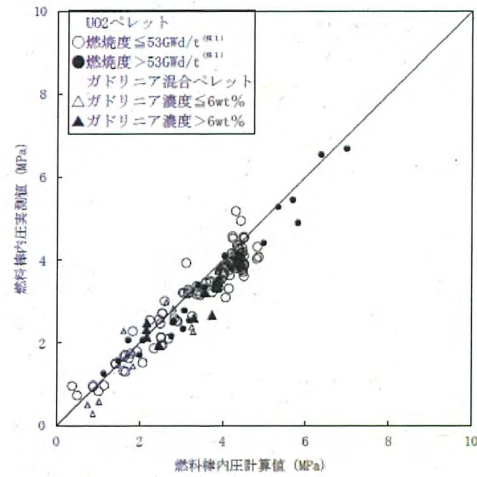
第2-11図 燃料棒内圧の計算値と実測値との比較

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7



(注1) 燃料棒平均燃焼度

第3-10図 FPガス放出率の計算値と実測値との比較



(注1) 燃料棒平均燃焼度

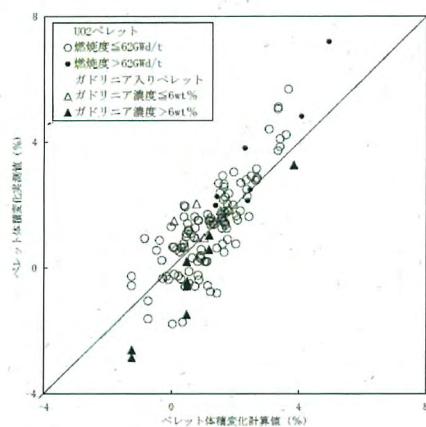
第3-11図 燃料棒内圧の計算値と実測値との比較

備考

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

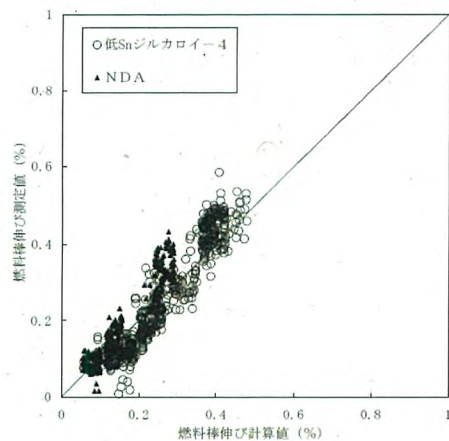
設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

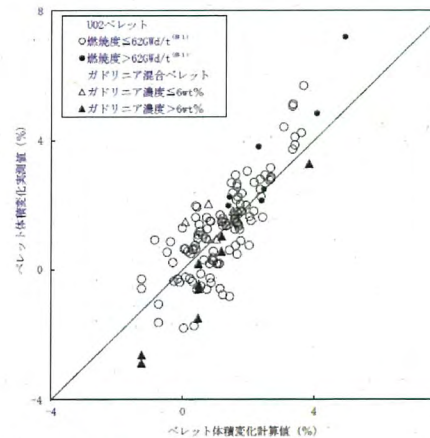


(注) 燃焼度は局所燃焼度

第2-12図 ペレット密度の計算値と実測値との比較

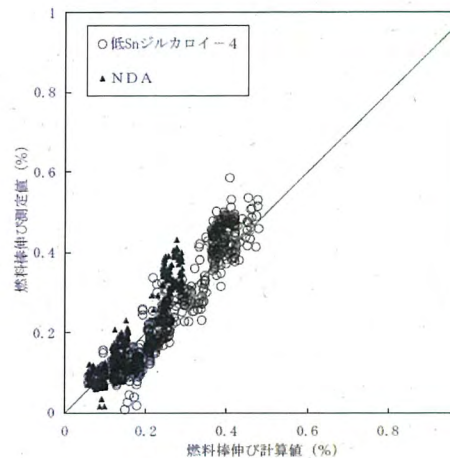


第2-13図 燃料棒伸びの計算値と実測値との比較



(注1) 局所燃焼度

第3-12図 ペレット密度の計算値と実測値との比較

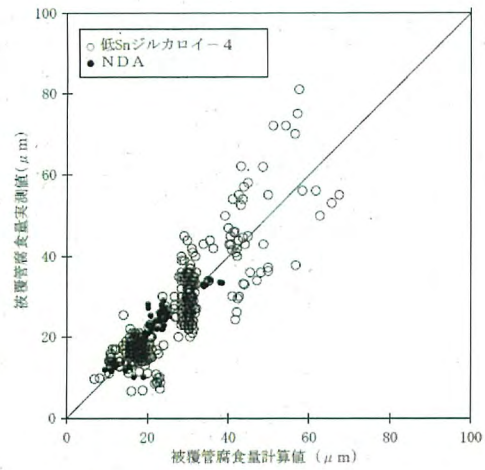


第3-13図 燃料棒の伸びの計算値と実測値との比較

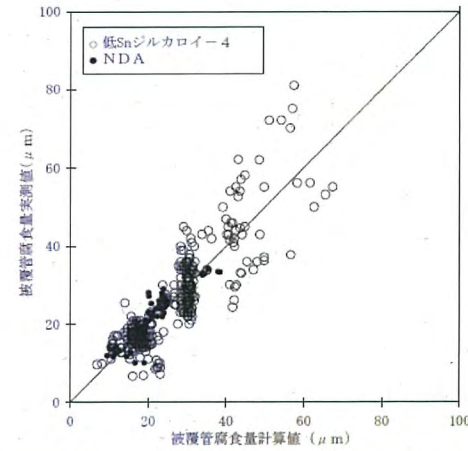
設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

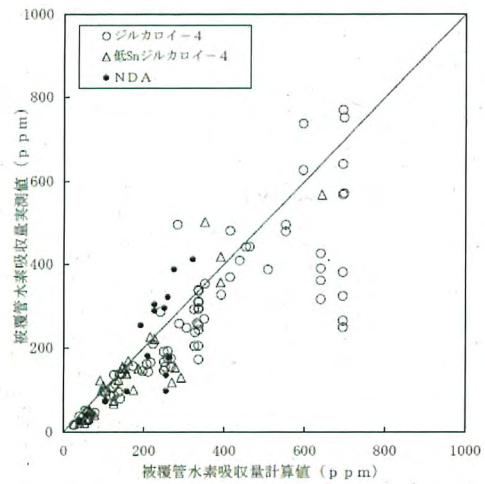
備考



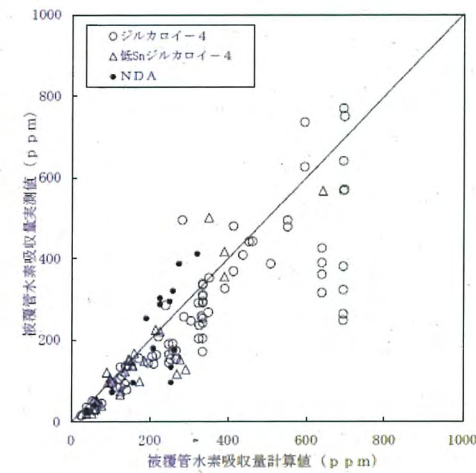
第2-14図 酸化膜厚さの計算値と実測値との比較



第3-27図 被覆管腐食量 (最大酸化膜厚) の実測値と予測値の比較



第2-15図 被覆管水素吸収量の計算値と実測値との比較



第3-28図 被覆管水素吸収量の実測値と予測値の比較

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|--|--|--|----|--------|--|----|--------|--|----|---------------|--|----|---|--|---------|--|--|----------|---|-----|----|-----|--|----|--------|--|----|--------|-----|--------|------|--|-------|-------------|--|------|------|--|--------|---------|--------|------|----------------|--|------|-------|--|------|----------|--|---------|---------|------|---------|----------|---|------|-----|--|--|----|---------|--|----|-------|--|----|---------------|--|----|---|--|---------|--------------------------------------|--|----------|-----------------------------------|-----|----|-----|--|----|--------|--|----|--------|-----|----------|------|--|----------|------|--|-------|-------------|--|------|------|--|------|---------|-----------|------|---------------|--|------|-------|--|------|----------|--|---------|---------|------|---------|----------|--|
| <p>3.4 燃料棒の強度計算結果</p> <p>以下に燃料棒設計計算コードを用いて、伊方発電所第 3 号機取替燃料の性能評価を行った結果を示す。</p> <p>3.4.1 燃料棒の強度計算解析条件</p> <p>伊方発電所第 3 号機の代表的な取替燃料を設計するのに使用した主要なインプットは次のとおりである。</p> <table border="0"> <tr> <td>ペレット</td> <td>濃縮度</td> <td>4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>直径</td> <td>8.19mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>高さ</td> <td>9.2 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>形状</td> <td>ディッシュ、チャンファ付き</td> </tr> <tr> <td></td> <td>密度</td> <td>理論密度の 97% (二酸化ウラン燃料棒) 理論密度の 96% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ガドリニア濃度</td> <td>10.00wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ガドリニウム濃度</td> <td>□ wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒)</td> </tr> <tr> <td>被覆管</td> <td>材質</td> <td>NDA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>内径</td> <td>8.36mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>肉厚</td> <td>0.57mm</td> </tr> <tr> <td>燃料棒</td> <td>プレナム長さ</td> <td>□ mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>初期加圧量</td> <td>□ MPa [abs]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>封入ガス</td> <td>ヘリウム</td> </tr> <tr> <td></td> <td>スタック長さ</td> <td>3,648mm</td> </tr> <tr> <td>冷却材の条件</td> <td>運転圧力</td> <td>15.5 MPa [abs]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>入口温度</td> <td>284°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>入口流量</td> <td>0.28kg/s</td> </tr> <tr> <td></td> <td>熱水力等価直径</td> <td>11.78mm</td> </tr> <tr> <td>出力分布</td> <td>平均線出力密度</td> <td>17.1kW/m</td> </tr> </table> | ペレット | 濃縮度 | 4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | 直径 | 8.19mm | | 高さ | 9.2 mm | | 形状 | ディッシュ、チャンファ付き | | 密度 | 理論密度の 97% (二酸化ウラン燃料棒) 理論密度の 96% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | ガドリニア濃度 | 10.00wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | ガドリニウム濃度 | □ wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | 被覆管 | 材質 | NDA | | 内径 | 8.36mm | | 肉厚 | 0.57mm | 燃料棒 | プレナム長さ | □ mm | | 初期加圧量 | □ MPa [abs] | | 封入ガス | ヘリウム | | スタック長さ | 3,648mm | 冷却材の条件 | 運転圧力 | 15.5 MPa [abs] | | 入口温度 | 284°C | | 入口流量 | 0.28kg/s | | 熱水力等価直径 | 11.78mm | 出力分布 | 平均線出力密度 | 17.1kW/m | <p>3.3 強度評価結果</p> <p>以下に燃料棒解析コードを用いて、燃料集合体の性能評価を行った結果を示す。</p> <p>3.3.1 計算条件</p> <p>今回の燃料集合体の評価に使用した主要なインプットは次のとおりである。</p> <table border="0"> <tr> <td>ペレット</td> <td>濃縮度</td> <td>4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア入り燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>直径</td> <td>8.190mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>長さ</td> <td>9.2mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>形状</td> <td>ディッシュ、チャンファ付き</td> </tr> <tr> <td></td> <td>密度</td> <td>97.0% T.D. (二酸化ウラン燃料棒) 96.0% T.D. (ガドリニア入り燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ガドリニア濃度</td> <td>10.00wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ガドリニウム濃度</td> <td>□ wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒)</td> </tr> <tr> <td>被覆管</td> <td>材質</td> <td>NDA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>内径</td> <td>8.36mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>肉厚</td> <td>0.57mm</td> </tr> <tr> <td>燃料棒</td> <td>上部プレナム長さ</td> <td>□ mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>下部プレナム長さ</td> <td>□ mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>初期加圧量</td> <td>□ MPa [abs]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>封入ガス</td> <td>ヘリウム</td> </tr> <tr> <td></td> <td>有効長さ</td> <td>3,648mm</td> </tr> <tr> <td>1 次冷却材の条件</td> <td>運転圧力</td> <td>15.5MPa [abs]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>入口温度</td> <td>284°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>入口流量</td> <td>0.28kg/s</td> </tr> <tr> <td></td> <td>熱水力等価直径</td> <td>11.78mm</td> </tr> <tr> <td>出力分布</td> <td>平均線出力密度</td> <td>17.1kW/m</td> </tr> </table> | ペレット | 濃縮度 | 4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア入り燃料棒) | | 直径 | 8.190mm | | 長さ | 9.2mm | | 形状 | ディッシュ、チャンファ付き | | 密度 | 97.0% T.D. (二酸化ウラン燃料棒) 96.0% T.D. (ガドリニア入り燃料棒) | | ガドリニア濃度 | 10.00wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒) | | ガドリニウム濃度 | □ wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒) | 被覆管 | 材質 | NDA | | 内径 | 8.36mm | | 肉厚 | 0.57mm | 燃料棒 | 上部プレナム長さ | □ mm | | 下部プレナム長さ | □ mm | | 初期加圧量 | □ MPa [abs] | | 封入ガス | ヘリウム | | 有効長さ | 3,648mm | 1 次冷却材の条件 | 運転圧力 | 15.5MPa [abs] | | 入口温度 | 284°C | | 入口流量 | 0.28kg/s | | 熱水力等価直径 | 11.78mm | 出力分布 | 平均線出力密度 | 17.1kW/m | <p>プレナム長さの計算条件を本文に合わせて分けて記載した表現の詳細化である</p> |
| ペレット | 濃縮度 | 4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 直径 | 8.19mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高さ | 9.2 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 形状 | ディッシュ、チャンファ付き | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 密度 | 理論密度の 97% (二酸化ウラン燃料棒) 理論密度の 96% (ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ガドリニア濃度 | 10.00wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ガドリニウム濃度 | □ wt% (タイプ I 燃料集合体におけるガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 被覆管 | 材質 | NDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 内径 | 8.36mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 肉厚 | 0.57mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃料棒 | プレナム長さ | □ mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 初期加圧量 | □ MPa [abs] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 封入ガス | ヘリウム | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | スタック長さ | 3,648mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 冷却材の条件 | 運転圧力 | 15.5 MPa [abs] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 入口温度 | 284°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 入口流量 | 0.28kg/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 熱水力等価直径 | 11.78mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 出力分布 | 平均線出力密度 | 17.1kW/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ペレット | 濃縮度 | 4.80wt% (二酸化ウラン燃料棒) 4.10wt% (二酸化ウラン燃料棒) 3.20wt% (ガドリニア入り燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 直径 | 8.190mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 長さ | 9.2mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 形状 | ディッシュ、チャンファ付き | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 密度 | 97.0% T.D. (二酸化ウラン燃料棒) 96.0% T.D. (ガドリニア入り燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ガドリニア濃度 | 10.00wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ガドリニウム濃度 | □ wt% (タイプ 3 燃料集合体におけるガドリニア入り燃料棒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 被覆管 | 材質 | NDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 内径 | 8.36mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 肉厚 | 0.57mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃料棒 | 上部プレナム長さ | □ mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 下部プレナム長さ | □ mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 初期加圧量 | □ MPa [abs] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 封入ガス | ヘリウム | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 有効長さ | 3,648mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 次冷却材の条件 | 運転圧力 | 15.5MPa [abs] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 入口温度 | 284°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 入口流量 | 0.28kg/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 熱水力等価直径 | 11.78mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 出力分布 | 平均線出力密度 | 17.1kW/m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

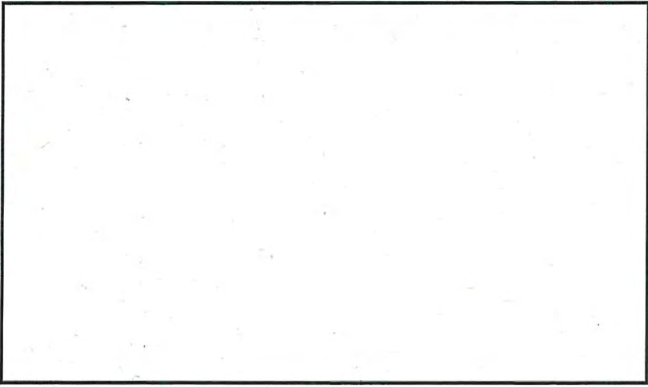
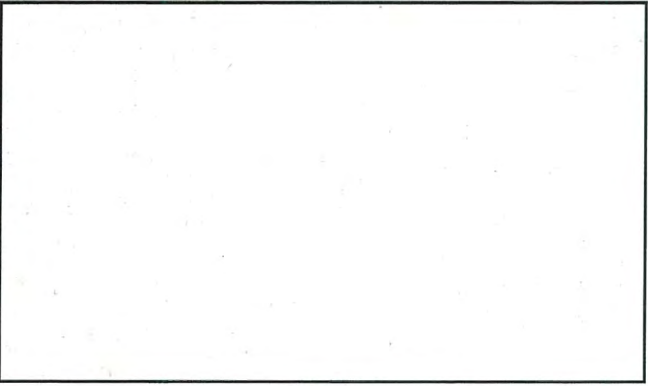


| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|--|---|----|
| <p>強度計算に用いる出力履歴は、実際の取替炉心における出力履歴の多様性を考慮して設定する。評価対象の燃料棒は、代表的な炉心の最大及び最小燃料棒燃焼度となる燃料棒並びに各サイクルで最大及び最小燃料棒平均線出力密度となる燃料棒を対象とする。出力履歴の多様性を考慮するため、対象燃料棒の燃料棒平均線出力密度を一律に嵩上げたうえで、最大燃焼度となる燃料棒の燃料棒平均燃焼度が設計燃焼度(61,000Mwd/t)に達するように照射時間を照射期間にわたって一律に延長する。代表的な炉心としては、二酸化ウラン燃料集合体(濃縮度 4.8wt%)及びガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体が混在した炉心、並びに、二酸化ウラン燃料集合体(濃縮度 4.8wt%)、二酸化ウラン燃料集合体(濃縮度 4.1wt%)及びガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体が混在した炉心を考慮する。また、軸方向出力分布は、ペレット最高燃焼度が設計燃焼度(71,000Mwd/t)に達するように設定する。</p> <p>強度計算に用いた出力履歴を第2-16図に、軸方向出力分布を第2-17図に示す。</p> | <p>強度計算に用いる出力履歴は、実際の取替炉心における出力履歴の多様性を考慮して設定する。評価対象の燃料棒は、代表的な炉心の最大及び最小燃料棒燃焼度となる燃料棒並びに各サイクルで最大及び最小燃料棒平均線出力密度となる燃料棒を対象とする。出力履歴の多様性を考慮するため、対象燃料棒の燃料棒平均線出力密度を一律に嵩上げたうえで、最大燃焼度となる燃料棒の燃料棒平均燃焼度が設計燃焼度(61,000Mwd/t)に達するように照射時間を照射期間にわたって一律に延長する。炉心としては、二酸化ウラン燃料集合体(濃縮度 4.8wt%)、二酸化ウラン燃料集合体(濃縮度 4.1wt%)及びガドリニア入り二酸化ウラン燃料集合体(以下「ガドリニア入り燃料集合体」という。)が混在した炉心を考慮する。また、軸方向出力分布は、ペレット最高燃焼度が設計燃焼度(71,000Mwd/t)に達するように設定する。</p> <p>強度計算に用いた出力履歴を第3-14図に、軸方向出力分布を第3-15図に示す。</p> | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|-----------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <p>第 2-16 図 (1/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">棒出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">棒出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <p>第 3-14 図 (1) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <p>備考</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|-----------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <p>第 2-16 図 (2/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <p>第 3-14 図 (2) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <p>備考</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|-------------------------------------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: small;">燃料棒平均線出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: small;">燃料棒平均線出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <p style="font-size: small; text-align: center;"> 第 2-16 図 (3/6) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒) </p> </div> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: small;">線出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EPPH)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: small;">線出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EPPH)</p> <p style="font-size: small; text-align: center;"> 第 3-14 図 (3) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア入り燃料集合体中の燃料棒) </p> </div> | <p style="font-size: small;">備考</p> |

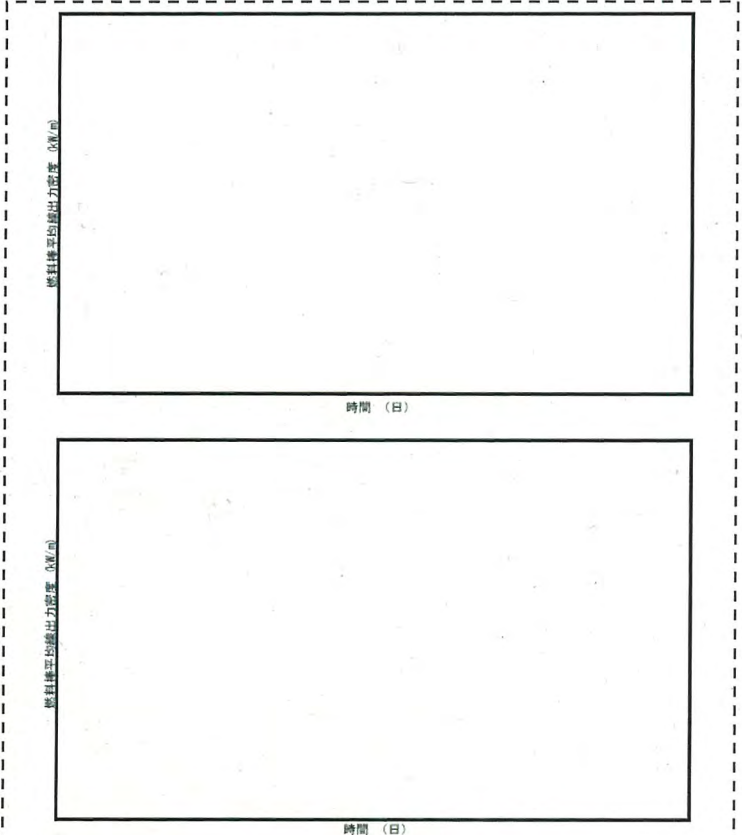
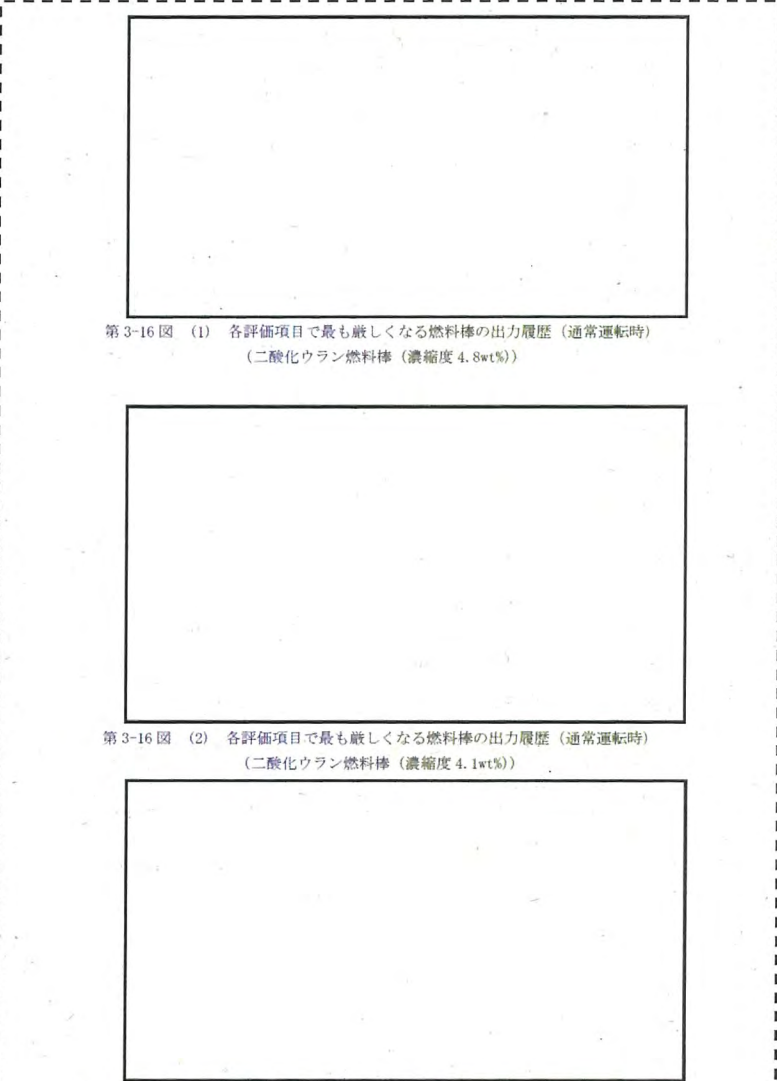
| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|----|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 240px; margin-bottom: 20px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: 8px;">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> <p style="text-align: center; font-size: 8px;">時間 (日)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 240px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: 8px;">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p> <p style="text-align: center; font-size: 8px;">時間 (日)</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px; font-size: 10px;">第 2-16 図 (4/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.1wt%)の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 240px; margin-bottom: 20px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: 8px;">総出力密度 (kW/m)</p> <p style="text-align: center; font-size: 8px;">運転時間 (EFPH)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 240px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%); font-size: 8px;">総出力密度 (kW/m)</p> <p style="text-align: center; font-size: 8px;">運転時間 (EFPH)</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px; font-size: 10px;">第 3-14 図 (4) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | |

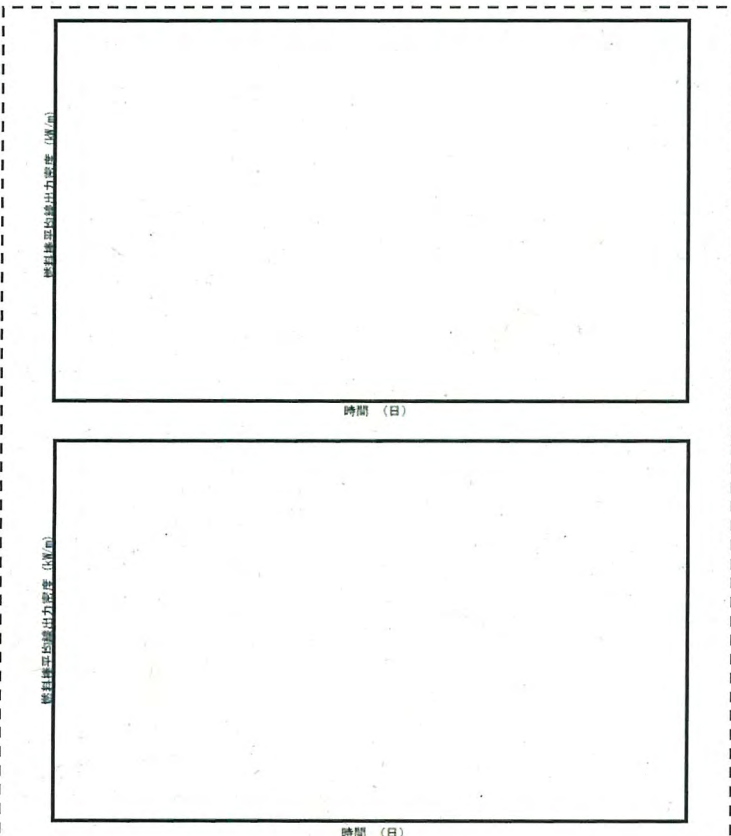
| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|----|
| <div data-bbox="201 252 864 639" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p>  <p style="text-align: center;">時間 (日)</p> </div> <div data-bbox="201 683 864 1070" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒平均出力密度 (kW/m)</p>  <p style="text-align: center;">時間 (日)</p> </div> <div data-bbox="257 1134 790 1193" style="margin-top: 10px;"> <p>第 2-16 図 (5/6) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <div data-bbox="1025 252 1688 639" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">棒出力密度 (kW/m)</p>  <p style="text-align: center;">運転時間 (EFP)</p> </div> <div data-bbox="1025 683 1688 1070" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">棒出力密度 (kW/m)</p>  <p style="text-align: center;">運転時間 (EFP)</p> </div> <div data-bbox="1059 1099 1635 1158" style="margin-top: 10px;"> <p>第 3-14 図 (5) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | |

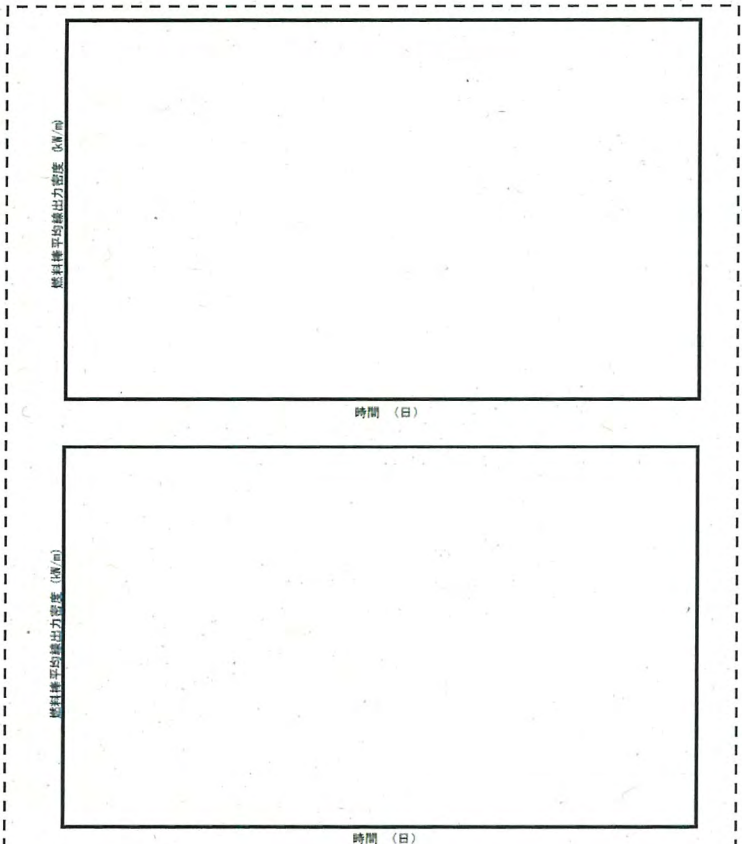
| <p>設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7</p> | <p>備考</p> |
|---|---|-----------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒束の出力履歴 (kW/d)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">燃料棒束の出力履歴 (kW/d)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">時間 (日)</p> <p style="text-align: center;">第 2-16 図 (6/6) ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <div style="width: 100%; height: 150px; border: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">出力密度 (kW/m)</p> </div> <p style="margin-bottom: 10px;">運転時間 (EFPH)</p> <p style="text-align: center;">第 3-14 図 (6) ガドリニア入り燃料棒の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア入り燃料集合体中の燃料棒)</p> </div> | <p>備考</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|----|
| <div data-bbox="174 242 869 662" style="border: 1px solid black; height: 263px; width: 310px; margin-bottom: 10px;"></div> <div data-bbox="488 655 600 676" style="text-align: center; font-size: small;">軸方向位置 (mm)</div> <div data-bbox="228 694 277 719" style="text-align: left;">下部</div> <div data-bbox="808 694 855 719" style="text-align: right;">上部</div> <p data-bbox="165 762 880 825">* ベレット中心温度、被覆管歪、被覆管応力及び被覆管疲労は、上図の局所的に出力を高く設定した箇所において評価する。</p> <p data-bbox="369 906 674 965" style="text-align: center;">第 2-17 図 軸方向出力分布 (燃料棒強度評価に用いた炉心平均)</p> | <div data-bbox="1003 242 1664 646" style="border: 1px solid black; height: 253px; width: 295px; margin-bottom: 10px;"></div> <div data-bbox="1294 644 1406 665" style="text-align: center; font-size: small;">軸方向位置 (mm)</div> <div data-bbox="1059 647 1108 673" style="text-align: left;">下部</div> <div data-bbox="1599 647 1648 673" style="text-align: right;">上部</div> <p data-bbox="1021 683 1695 740">(注 1) 燃料中心温度、被覆管ひずみ、被覆管応力及び被覆管疲労は、上図の局所的に出力を高く設定した箇所において評価する。</p> <p data-bbox="1196 778 1471 804" style="text-align: center;">第 3-15 図 軸方向出力分布図</p> | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|---|--|
| | <p>3.3.2 計算結果</p> <p>①【各評価項目で最も厳しくなる燃料棒の出力履歴（比出力）と】②【内圧履歴をまとめて、】①【第3-16図及び】②【第3-17図に示す。】</p> <p>③【また、被覆管内径とペレット外径の変化について、第3-18図に示す。】</p> <p>④【二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒の中心温度、内圧、応力及びひずみ評価における最も厳しい評価時点の計算結果をそれぞれ第3-3表及び第3-4表に示す。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.2項</p> <p>① 本内容は、設認添付書類二第2-16図で示す出力履歴のうち、設認添付書類二 3.4.3項、3.4.4項、3.4.5項で記載している最も厳しい燃料棒の出力履歴を抽出し今回図として新規に作成したもの</p> <p>② 本内容については設認添付書類二 3.4.4項に記載</p> <p>③ 本内容については設認添付書類二 3.4.3項に記載</p> <p>④ 本内容については、新たに評価したものではなく、設認添付書類二 3.4項の各項目の評価結果だけでなく、その他の項目に対する評価結果も追加して今回表として新規に作成したもの</p> |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|--|--|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (1/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> |  <p>第 3-16 図 (1) 各評価項目で最も厳しくなる燃料棒の出力履歴 (通常運転時) (二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%))</p> <p>第 3-16 図 (2) 各評価項目で最も厳しくなる燃料棒の出力履歴 (通常運転時) (二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%))</p> <p>第 3-16 図 (3) 各評価項目で最も厳しくなる燃料棒の出力履歴 (通常運転時) (ガドリニア入り燃料棒)</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 図3-18</p> <p>本内容は、設認添付書類二第2-16 図で示す出力履歴のうち、設認添 付書類二 3.4.3項、3.4.4項、 3.4.5項で記載している最も厳し い燃料棒の出力履歴を抽出し今 回図として新規に作成したもの</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|-------------|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (2/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | | <p>(同上)</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---------------------------------|-------------|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (3/6) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | | <p>(同上)</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|-------------|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (4/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.1wt%)の出力履歴 (4 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | | <p>(同上)</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|------|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (5/6) 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.1wt%)の出力履歴 (3 サイクル照射される二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | | (同上) |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|-------------|
| <p>(再掲)</p>  <p>第 2-16 図 (6/6) ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の出力履歴 (3 サイクル照射されるガドリニア混合二酸化ウラン燃料集合体中の燃料棒)</p> | | <p>(同上)</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 3-3 表 (1) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の計算結果

| | | 中心温度 | | 内圧 | 応力 | | ひずみ | |
|----------|---------------------|-----------------|--------------|----|-------|--------------|-------|--------------|
| | | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 |
| 局所線出力密度 | kW/m | | | | | | | |
| 被覆管温度 | 表面 | °C | | | | | | |
| | 内面 | °C | | | | | | |
| ペレット温度 | 表面 | °C | | | | | | |
| | 平均 | °C | | | | | | |
| | 中心 | °C | | | | | | |
| 被覆管径 | 外径 | mm | | | | | | |
| | 内径 | mm | | | | | | |
| ペレット直径 | mm | | | | | | | |
| 被覆管応力 | | | | | | | | |
| 円周方向 (内) | $\sigma_{\theta 1}$ | MPa | | | | | | |
| 円周方向 (外) | $\sigma_{\theta 2}$ | MPa | | | | | | |
| 接触圧 | | MPa | | | | | | |
| 直接ギャップ | | mm | | | | | | |
| ボイド量 | | cm ³ | | | | | | |
| ブレナム体積 | | cm ³ | | | | | | |
| クラック体積 | | cm ³ | | | | | | |
| FP ガス放出率 | | % | | | | | | |
| 蓄積ガス量 | | moles | | | | | | |
| 内圧 | | MPa | | | | | | |
| ひずみ | | % | | | | | | |
| 被覆管物性値 | | | | | | | | |
| ・縦弾性係数 | | MPa | | | | | | |
| ・ポアソン比 | | — | | | | | | |
| ・熱膨張率 | | mm/(mm・°C) | | | | | | |

(注 1) ()内は通常運転時からの増分を示す。

第 3-3 表 (2) 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の計算結果

| | | 中心温度 | | 内圧 | 応力 | | ひずみ | |
|----------|---------------------|-----------------|--------------|----|-------|--------------|-------|--------------|
| | | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 |
| 局所線出力密度 | kW/m | | | | | | | |
| 被覆管温度 | 表面 | °C | | | | | | |
| | 内面 | °C | | | | | | |
| ペレット温度 | 表面 | °C | | | | | | |
| | 平均 | °C | | | | | | |
| | 中心 | °C | | | | | | |
| 被覆管径 | 外径 | mm | | | | | | |
| | 内径 | mm | | | | | | |
| ペレット直径 | mm | | | | | | | |
| 被覆管応力 | | | | | | | | |
| 円周方向 (内) | $\sigma_{\theta 1}$ | MPa | | | | | | |
| 円周方向 (外) | $\sigma_{\theta 2}$ | MPa | | | | | | |
| 接触圧 | | MPa | | | | | | |
| 直接ギャップ | | mm | | | | | | |
| ボイド量 | | cm ³ | | | | | | |
| ブレナム体積 | | cm ³ | | | | | | |
| クラック体積 | | cm ³ | | | | | | |
| FP ガス放出率 | | % | | | | | | |
| 蓄積ガス量 | | moles | | | | | | |
| 内圧 | | MPa | | | | | | |
| ひずみ | | % | | | | | | |
| 被覆管物性値 | | | | | | | | |
| ・縦弾性係数 | | MPa | | | | | | |
| ・ポアソン比 | | — | | | | | | |
| ・熱膨張率 | | mm/(mm・°C) | | | | | | |

(注 1) ()内は通常運転時からの増分を示す。

体裁を A 型設認に統一
A 型設認添付書類二 表 3-6

本内容については、新たに評価したのではなく、設認添付書類二 3.4 項の各項目の評価結果だけでなく、その他の項目に対する評価結果も追加して今回表として新規に作成したもの

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 3-4 表 ガドリニア入り燃料棒の計算結果

| | | 中心温度 | | 内圧 | | 応力 | | ひずみ | |
|----------|-----------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 | 通常運転時 | 運転時の異常な過渡変化時 |
| 局所線出力密度 | kW/m | | | | | | | | |
| 被覆管温度 | 表面 | °C | | | | | | | |
| | 内面 | °C | | | | | | | |
| ペレット温度 | 表面 | °C | | | | | | | |
| | 平均 | °C | | | | | | | |
| | 中心 | °C | | | | | | | |
| 被覆管径 | 外径 | mm | | | | | | | |
| | 内径 | mm | | | | | | | |
| ペレット直径 | mm | | | | | | | | |
| 被覆管応力 | | | | | | | | | |
| 内側方向 (内) | σ_{r1} | MPa | | | | | | | |
| 内側方向 (外) | σ_{r2} | MPa | | | | | | | |
| 接触圧 | | MPa | | | | | | | |
| 直径ギャップ | mm | | | | | | | | |
| ボイド量 | cm ³ | | | | | | | | |
| プレンラム体積 | cm ³ | | | | | | | | |
| クラック体積 | cm ³ | | | | | | | | |
| FP ガス放出率 | % | | | | | | | | |
| 蓄積ガス量 | moles | | | | | | | | |
| 内圧 | MPa | | | | | | | | |
| ひずみ | % | | | | | | | | |
| 被覆管物性値 | | | | | | | | | |
| ・縦弾性係数 | MPa | | | | | | | | |
| ・ポアソン比 | | | | | | | | | |
| ・熱膨張率 | mm/(mm・°C) | | | | | | | | |

(注1) ()内は通常運転時からの増分を示す。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-7

本内容については、新たに評価したものではなく、設認添付書類二 3.4項の各項目の評価結果だけでなく、その他の項目に対する評価結果も追加して今回表として新規に作成したもの

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|---|---|--|
| <p>3.4.2 燃料中心温度評価</p> <p>①【二酸化ウラン燃料棒については、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である。ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒については、ガドリニウム同位体の中性子吸収効果が減少する効果により、燃料寿命初期ではなく、燃焼が少し進み、線出力密度が最高となる時期において燃料中心温度が最大となり、かつ制限値に対する余裕が最小となる。】②【なお、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒は、ペレット濃縮度を二酸化ウラン燃料棒より低下させることにより、最大線出力密度が二酸化ウラン燃料棒より低くなるような設計としている。】</p> <p>③【これら評価が最も厳しくなる時点の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中心温度を第2-3表に示す。】④【また、運転時の異常な過渡変化時における燃料中心温度の燃焼度依存性を第2-18図に示す。】⑤【なお、設計基準は添付書類一で述べたように、製造時の誤差、計算モデルの不確定性を考慮して、未照射時の溶融点から220℃の余裕をみている。】⑥【燃料中心温度の不確定性評価項目を第2-4表に示す。】</p> <p>⑦【二酸化ウラン燃料棒、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒ともに、計算モデルの不確定性及び燃料の製造公差、燃焼に伴う溶融点の低下を考慮して求めた設計基準を満足している。】</p> | <p>3.3.3 燃料棒の温度評価結果</p> <p>⑧【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、燃料スタックの不安定化あるいは、FPガスの過度な放出・移動、更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、燃料寿命中の燃料最高温度（燃料中心温度）を燃料の溶融点未満とする。】</p> <p>⑨【溶融点は、未照射状態における二酸化ウランペレットに対して2,800℃、またガドリニア混合二酸化ウランペレットでは2,700℃である。】⑤【燃料中心温度の各燃焼度に対する計算上の制限値は、溶融点の燃焼に伴う低下、並びに計算モデルの不確定性及び燃料中心温度が高くなる方向に影響する主な燃料製造公差に基づく不確定性を基に燃料中心温度の不確定性220℃を考慮し、以下のとおりとする。】</p> <p>⑤【(1) 二酸化ウランペレット 未照射燃料では不確定性220℃を考慮し、】⑨【2,580℃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>⑤【(2) ガドリニア混合二酸化ウランペレット 未照射燃料では不確定性220℃を考慮し、】⑨【2,480℃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>①【二酸化ウランペレット（濃縮度4.8wt%、4.1wt%）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である。】③【この時点の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中心温度を第3-5表に示す。】⑦【同表に示されるように、評価上最も厳しい燃料中心温度でも制限値を十分に下回っている。】④【また、燃料中心最高温度の燃焼度依存性は第3-19図に示すように、】⑦【燃料寿命全般を通して制限値を下回っていることが分かる。】</p> <p>②【ガドリニア混合二酸化ウランペレットについては、濃縮度を二酸化ウランペレットより低下させることにより最大線出力密度が二酸化ウラン燃料より低くなるような設計としている。】①【ガドリニウム同位体の中性子吸収効果が減少する効果を考慮した線出力密度が最高となる時期において燃料中心温度が最大となり、かつ制限値に対する余裕が最小となるが】⑦【第3-5表に示すように制限値を十分に下回っている。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.3項</p> <p>⑥ 体裁統一に合わせ第2-4表の不確定性評価項目を削除したものの、評価に用いる不確定性の合計値220℃は変更していない</p> <p>⑧ 本内容については設認添付書類二 第2-1表に記載</p> <p>⑨ 本内容については設認添付書類一 2.1、2.2項に記載</p> |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-3表 ペレット中心温度

| 燃料の種類 | 条件 (局所線出力密度) | 局所燃焼度 (MWd/t) | 燃料中心温度 (℃) | 判定 | 設計基準 (℃) |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------|----|-------------|
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | 通常運転時 (41.1kW/m) ^{*1} | 0 | 約 1,690 | < | 2,580 |
| | 過渡変化時 (59.1kW/m) ^{*1} | | 約 2,170 | | |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | 通常運転時 (41.1kW/m) ^{*1} | 0 | 約 1,690 | < | 2,580 |
| | 過渡変化時 (59.1kW/m) ^{*1} | | 約 2,170 | | |
| ガドリニア混合 二酸化ウラン燃料棒 | 通常運転時 (31.9kW/m) ^{*1} | 25,000 | 約 1,470 | < | 2,400 |
| | 過渡変化時 (44.3kW/m) ^{*1} | 15,000 | 約 1,900 | < | 2,430 |

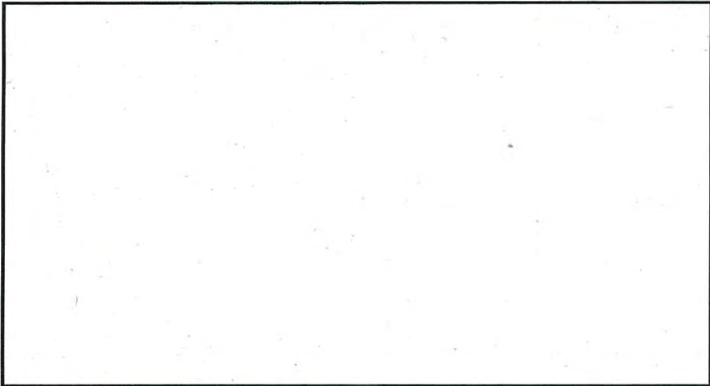
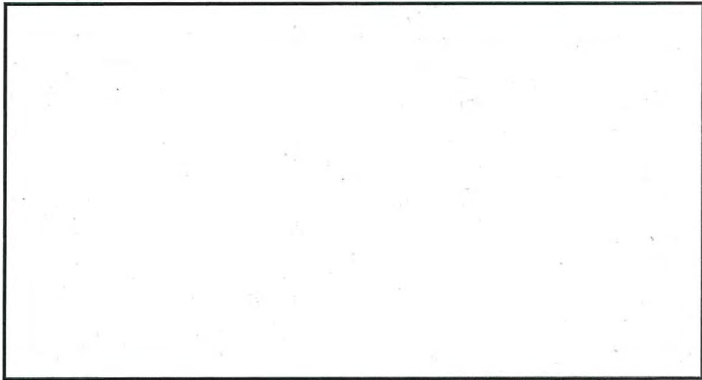
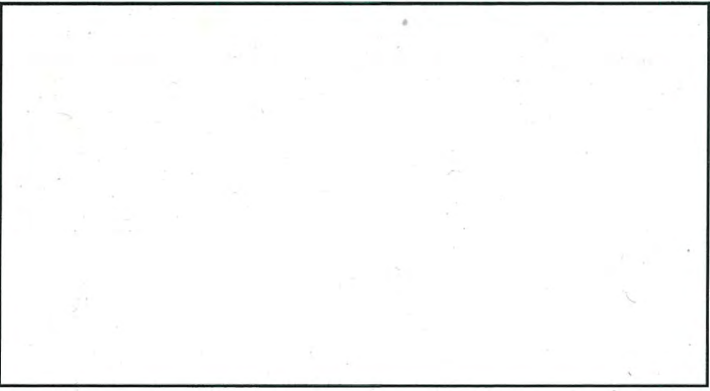
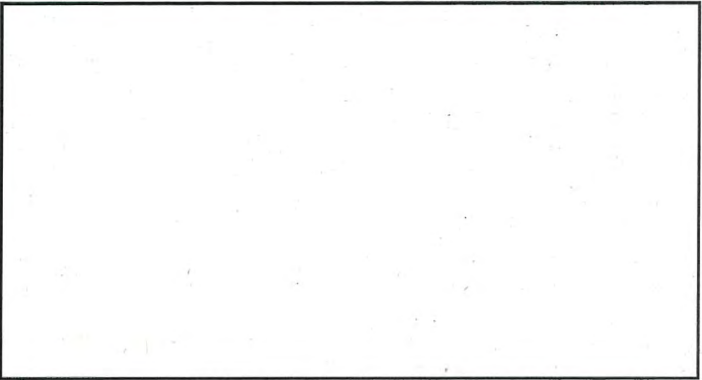
第3-5表 燃料中心温度評価結果

| 種類 | 条件 | 燃焼度 (MWd/t) | 燃料中心温度 (℃) | 判定 | 設計基準 (℃) |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|----|-------------|
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | 通常運転時 (41.1kW/m) | 0 | 約 1,690 | < | 2,580 |
| | 運転時の異常 な過渡変化時 (59.1kW/m) | | 約 2,170 | | |
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | 通常運転時 (41.1kW/m) | 0 | 約 1,690 | < | 2,580 |
| | 運転時の異常 な過渡変化時 (59.1kW/m) | | 約 2,170 | | |
| ガドリニア入り 燃料棒 | 通常運転時 (31.9kW/m) | 25,000 | 約 1,470 | < | 2,400 |
| | 運転時の異常 な過渡変化時 (44.3kW/m) | 15,000 | 約 1,900 | < | 2,430 |

^{*1} 燃料ペレット焼きしまりの効果を含む。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-8
評価で燃料ペレット焼きしまり
を考慮することについては3.2.2
項で記載

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | |
|---|--|-------------|-------------|-----|--|--|-----|--|--|
| <p style="text-align: center;">第 2-4 表 燃料中心温度不確定性評価項目</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 45%;">不確定性項目</th> <th style="width: 50%;">燃料中心温度の不確定性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">モデル</td> <td colspan="2" rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">製造時</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) ペレットの欠けについては、欠けが存在する燃料ペレット-被覆管ギャップ幅が大きくなり、ギャップ熱伝達率が低下し燃料中心温度が上昇することを考慮する。</p> | | 不確定性項目 | 燃料中心温度の不確定性 | モデル | <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> | | 製造時 | | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.3項</p> <p>体裁統一に合わせ第2-4表の不確定性評価項目を削除したものの、評価に用いる不確定性の合計値 220℃は変更していない</p> |
| | 不確定性項目 | 燃料中心温度の不確定性 | | | | | | | |
| モデル | <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> | | | | | | | | |
| 製造時 | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|----|
|  |  | |
| <p>第 2-18 図 (1/2) 運転時の異常な過渡変化時における 二酸化ウラン燃料棒の燃料中心温度の燃焼度依存性</p> | <p>第 3-19 図 (1) 運転時の異常な過渡変化時における二酸化ウラン燃料中心最高温度の 燃焼度依存性</p> | |
|  |  | |
| <p>第 2-18 図 (2/2) 運転時の異常な過渡変化時における ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の燃料中心温度の燃焼度依存性</p> | <p>第 3-19 図 (2) 運転時の異常な過渡変化時におけるガドリニア入り燃料中心最高温度 の燃焼度依存性</p> | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|---|
| <p>3.4.3 被覆管歪評価</p> <p>①【燃料寿命初期においては、燃料棒の内外圧差により被覆管は径方向内向きにクリープ変形（クリープダウン）し、ペレットはスエリングにより外径が増加する。燃焼が進行するとペレットと被覆管の間げき（ギャップ）が減少し、ついには両者の接触が起こり、次第にペレットのスエリングが支配的となり被覆管内径もペレット外径とともに増加していく。代表的な出力履歴に対する径の変化を第2-19図に示す。】</p> <p>②【通常運転時のペレットスエリングによって生ずる被覆管歪は、燃料寿命末期においても小さいものであって、問題とならない。これに対して、運転時の異常な過渡変化時には、ペレットの熱膨張により被覆管引張歪が発生する。このため、ペレットと被覆管の接触後は被覆管歪が大きくなる。】</p> <p>③【二酸化ウラン燃料棒について、運転時の異常な過渡変化における被覆管引張歪の変化量が最も大きくなるのは、濃縮度4.8wt%では [] 燃料棒、濃縮度4.1wt%では [] 燃料棒である。また、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒について、運転時の異常な過渡変化における被覆管引張歪の変化量が最も大きくなるのは、 [] 燃料棒において最大となる。】②【評価結果を第2-5表に示す。いずれも設計基準値より十分小さいので、被覆管の健全性は損なわれない。】</p> | <p>3.3.6 被覆管のひずみ評価結果</p> <p>①【被覆管の内圧は、燃料寿命初期においては1次冷却材運転圧力より低いので、被覆管は運転中、内外圧差による圧縮荷重を受け、ペレットに接触するまでクリープにより徐々に径が減少する。ペレットとの接触は照射の最も進んだ燃料棒の高出力部で生じ、それ以降はペレットのスエリングにより被覆管の径は増加をはじめ、最終的にはスエリングによる膨張速度と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（第3-18図参照）。】</p> <p>②【通常運転時でのペレットのスエリングによる被覆管ひずみの増加は接触してから燃料寿命末期までのひずみ増加率が小さく、このような場合、被覆管は10%以上のひずみに至るまで定常クリープ領域にあり、不安定化を生じない。これに対して、運転時の異常な過渡変化時には、被覆管にはペレットと被覆管の接触後に引張ひずみが発生する。このため、応力評価と同様にペレットと被覆管の接触後引張ひずみは大きくなる。運転時の異常な過渡変化時における被覆管引張ひずみの変化量は、第3-8表】④【及び第3-22図】②【に示すとおり二酸化ウラン燃料棒（濃縮度4.8wt%、4.1wt%）及びガドリニア入り燃料棒ともに設計基準1%以下を満足している。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.6項</p> <p>③ 歪評価で最も厳しくなる燃料棒については第3-16図に記載</p> <p>④ 本内容については新たに評価し直したものではなく、ひずみ評価結果について、第3-8表に加えひずみ履歴として今回新規に追加したもの</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-5 表 被覆管歪評価

| 燃料の種類 | ① | | ① | | 被覆管歪 変化量 (%) | 判定 | 設計 基準値 (%) |
|---------------------------|------------------|------|---------------------------------|--|--------------------|----|------------------|
| | 局所燃焼度 (MWd/t) | 評価時期 | 過渡時の 最大局所 線出力密度 (kW/m) | 過渡時の 最大局所 線出力密度 上昇幅 (kW/m) | | | |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | | | 0.26 | < | 1 |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | | | 0.23 | < | 1 |
| ガドリニア混合 二酸化ウラン燃料棒 | | | | | 0.23 | < | 1 |

第 3-8 表 運転時の異常な過渡変化時の引張ひずみ評価結果

② (単位: %)

| 種類 | 時期 | ひずみ | 設計基準 | 設計比 ^(注1) |
|-------------------------------|----|------|------|---------------------|
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | 0.26 | ≦1 | 0.26 |
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | 0.23 | ≦1 | 0.23 |
| ガドリニア入り 燃料棒 | | 0.23 | ≦1 | 0.23 |

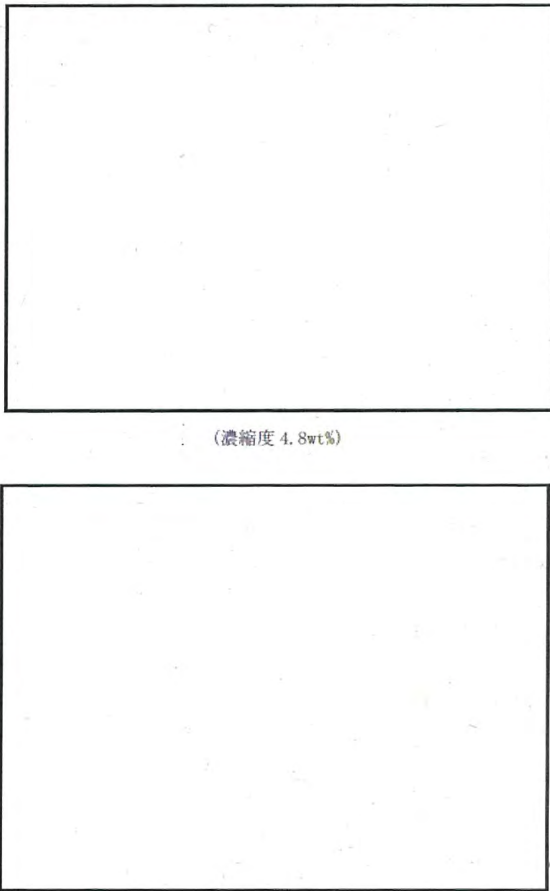
(注1) 設計基準値に対する評価値の比である。

②

体裁を A 型設認に統一
A 型設認添付書類二 表 3-11

①
体裁統一に伴い局所燃焼度、局所
線出力密度及びその上昇幅を削
除したものの、評価結果には変更
はない

②
体裁統一に伴う設計比の追加

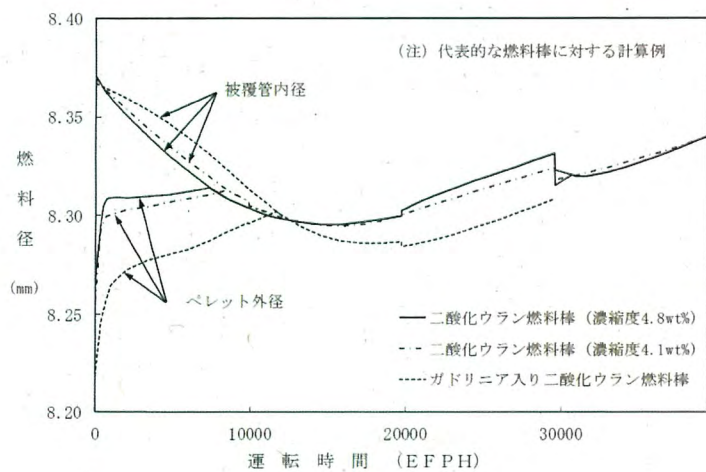
| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---------------------------------|---|---|
| | <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;">  <p style="text-align: center;">(濃縮度 4.8wt%)</p> <p style="text-align: center;">(濃縮度 4.1wt%)</p> <p style="text-align: center;">第 3-22 図 (1) 被覆管のひずみ履歴 (運転時の異常な過渡変化時) (二酸化ウラン燃料棒)</p> </div> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 図3-23</p> <p>本内容については新たに評価し直したのではなく、ひずみ評価結果について、第3-8表に加えひずみ履歴として今回新規に追加したもの</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---------------------------------|---|--|
| | <div data-bbox="1012 247 1657 766" data-label="Image"> <p data-bbox="1064 699 1617 751">第 3-22 図 (2) 被覆管のひずみ履歴 (運転時の異常な過渡変化時) (ガドリニア入り燃料棒)</p> </div> | <p data-bbox="1749 256 2029 309">体裁を A 型設認に統一 A 型設認添付書類二 図 3-23</p> <p data-bbox="1749 344 2072 483">本内容については新たに評価し直したものではなく、ひずみ評価結果について、第 3-8 表に加えひずみ履歴として今回新規に追加したもの</p> |

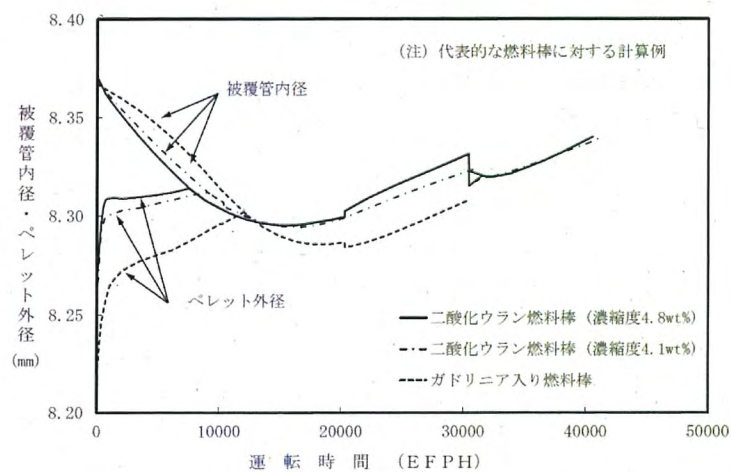
設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考



第 2-19 図 燃料棒径の燃焼による変化



第 3-18 図 被覆管内径及びペレット外径変化

| <p>設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7</p> | <p>備考</p> |
|--|--|---|
| <p>3.4.4 燃料棒内圧評価</p> <p>①【燃料棒の内圧は、製造時に封入したガス (He) 以外に燃焼とともに核分裂生成ガスが蓄積するために増加する。】②【そのため高燃焼度域では内圧が外圧を超える可能性がある。このような状態では被覆管外径が外向きのクリープ変形により増し、いったん接触したペレットと被覆管にギャップが生ずる可能性がある。このギャップよりギャップコンダクタンスが低下し、ペレット中心温度が上昇すると、さらに F P ガスが放出され内圧が上昇し、その結果さらにギャップが広がるといういわゆる “Thermal Feedback” を起こす可能性がある。</p> <p>このような状態での燃料棒使用は、ペレット中心温度の上昇を招くこととなり望ましい状況ではない。】</p> <p>③【この “Thermal Feedback” を避けるために、「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」としている。】④【ペレットと被覆管のギャップが増加しない内圧 (限界内圧) は、高燃焼度用 FPAC コードによるペレットと被覆管ギャップ変化の解析より求めている。解析においては、燃料棒内圧がより厳しくなる条件^{*1}で計算を行い、その結果からギャップが増加する内圧を求める。】</p> <p>内圧の設計基準値は 18.6 MPa [abs] としている。】</p> <p>⑤【また、内圧評価においては、第 2-6 表に示す各不確定性を考慮している。】</p> <p>⑥【最大内圧を示す燃料棒の内圧変化を第 2-20 図に示す。】⑦【内圧は、二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の場合には、燃料棒において、また、二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の場合には、燃料棒において、さらにガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒では、燃料棒において最大となる。】⑧【評価結果を第 2-7 表に、】⑤【評価に考慮している不確定性を第 2-8 表に示すが、】⑧【燃料棒内圧は設計基準値以下である。】</p> <p>④【^{*1} 仮想的に燃料棒内圧が高くなる条件で解析している。</p> <p>^{*2}</p> | <p>3.3.4 燃料棒の内圧評価結果</p> <p>③【燃料棒の内圧評価は、各燃料棒の内圧評価結果を、実炉心において想定される照射条件を基に計算した、ギャップが増加しない限界内圧と比較することで行う。】</p> <p>(1) ギャップ増加限界内圧</p> <p>④【ペレットと被覆管のギャップが増加しない限界内圧は、高燃焼度用 FPAC コードを用いてギャップ変化を計算することにより求める。すなわち、仮想的に初期ヘリウム圧力、FP ガス放出率及び燃料棒出力を順次高くすることにより、内圧を高くした場合の計算を行い、このときペレットと被覆管のギャップ変化を求める。そして、ギャップが最小となる、あるいは、一旦閉じたギャップが開き始める時点を探し、この時点での内圧を限界内圧とする。</p> <p>限界内圧を一般化して求めるために、17 行 17 列型燃料と 14 行 14 列型 (及び 15 行 15 列型) 燃料の両タイプを包絡する限界内圧を求め、更に安全側に限界内圧が低くなる方向に影響する主な燃料製造公差に基づく不確定性及び評価モデルの不確定性を考慮して評価した結果、限界内圧は次のとおりとなった。</p> <p>限界内圧 = 18.6 MPa [abs]</p> <p>この値を判断基準として評価を行う。】</p> <p>(2) 内圧評価</p> <p>①【製造時の燃料棒は、ヘリウムが加圧封入されているが、燃焼による FP ガスの放出等によって、燃料棒内圧は徐々に上昇する。】</p> <p>⑤【最大内圧を示す燃料棒内圧に、燃料棒内圧が高くなる方向に影響する主な燃料製造公差に基づく不確定性及び評価モデルの不確定性を考慮した】⑧【結果を第 3-6 表に示す。同表より、種々の不確定因子を考慮しても、燃料棒の内圧は設計基準を満足している。】</p> <p>⑥【また、その燃料寿命中の内圧変化は第 3-17 図に示したとおりである。】</p> | <p>体裁を A 型設認に統一 A 型設認添付書類二 3.3.4 項</p> <p>② 本内容については第 3-1 表に記載</p> <p>⑤ 体裁統一に合わせて第 2-6 表、第 2-8 表の不確定性評価項目の表記を削除したものの、製造公差及び評価モデルの不確定性は変わらず考慮している</p> <p>⑦ 本内容については第 3-16 図に記載</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------|---------|-----|--|--|-----|--|---|
| <p style="text-align: center;">第 2-6 表 内圧評価の不確定性の算出方法</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 20%;">不確定性項目</th> <th style="width: 75%;">内圧の不確定性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">モデル</td> <td colspan="2" rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">製造時</td> </tr> </tbody> </table> | | 不確定性項目 | 内圧の不確定性 | モデル | | | 製造時 | | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.4項</p> <p>体裁統一に合わせ第2-6表の不確定性評価項目の表記を削除したものの、製造公差及び評価モデルの不確定性は変わらず考慮している</p> |
| | 不確定性項目 | 内圧の不確定性 | | | | | | | |
| モデル | | | | | | | | | |
| 製造時 | | | | | | | | | |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-7 表 燃料棒内圧評価

| 燃料の種類 ① | 燃料棒平均 燃焼度 (MWd/t) | 通常運転時 | 判 定 | 設計基準 値 |
|---------------------------|-------------------------|-------|--------|-----------|
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | 13.2 | < | 18.6 |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | 13.0 | < | |
| ガドリニア混合 二酸化ウラン燃料棒 | | 10.9 | < | |

(単位:MPa [abs])

第 2-8 表 燃料棒内圧の不確定性

| 不確定性項目 ② | 二酸化ウラン燃料棒 | | ガドリニア混合 二酸化ウラン燃料棒 |
|----------|---------------|---------------|----------------------|
| | 濃縮度 4.8wt% | 濃縮度 4.1wt% | |
| | | | |

* 不確定性合計は各不確定性の二乗和平方根

(単位:MPa)

第 3-6 表 燃料棒内圧評価結果 (通常運転時)

(単位:MPa[abs])

| 種類 | 時期 ③ | 内圧 (注1) | | | 設計基準 ④ | 設計比 (注2) |
|-------------------------------|------|---------|------|------|--------|----------|
| | | 最確値 | 不確定性 | 合計 | | |
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | | 13.2 | ≤18.6 | 0.71 |
| 二酸化ウラン 燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | | 13.0 | ≤18.6 | 0.70 |
| ガドリニア入り 燃料棒 | | | | 10.9 | ≤18.6 | 0.59 |

- ③ (注1) 最確値と不確定性を足し合わせ、小数点以下第 1 位に切り上げたものを合計と
している。
- ④ (注2) 設計基準値に対する評価値の比である。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-9

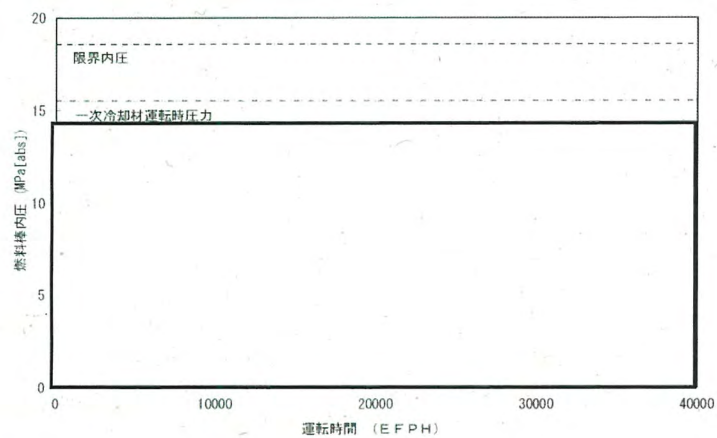
①
体裁統一に伴い燃料棒平均燃焼
度を削除したものの、評価結果に
は変更はない

②
体裁統一に合わせ第2-8表の不確
定性評価項目の表記を削除した
ものの、製造公差及び評価モデル
の不確定性は変わらず考慮して
いる

③
体裁統一に伴い内圧の内訳とし
て最確値を追加したものの、評価
結果には変更はない

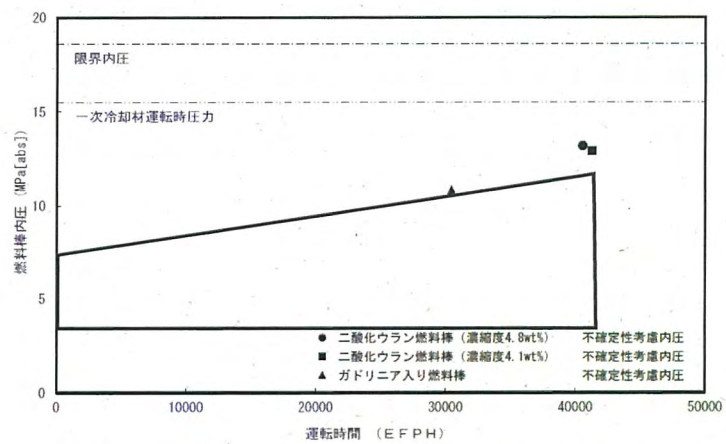
④
体裁統一に伴う設計比の追加

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二



第 2-20 図 燃料棒の内圧の変化

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7



第 3-17 図 内圧評価上で最も厳しくなる燃料棒の内圧履歴 (通常運転時)

備考

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|--|
| <p>3.4.5 被覆管応力評価</p> <p>①【被覆管の応力評価は、体積平均相当応力を被覆管の耐力と比較することで行う。体積平均相当応力とは、被覆管にかかる三軸応力状態を単軸応力に相当させた相当応力 σ_g を体積の重みをつけて平均したものであり、以下の式で表される。</p> $\sigma_g = \frac{\int_{r_i}^{r_o} 2\pi r \cdot \sigma_g \cdot dr}{\int_{r_i}^{r_o} 2\pi r \cdot dr} = \frac{2 \int_{r_i}^{r_o} r \cdot \sigma_g \cdot dr}{r_o^2 - r_i^2}$ <p>また、せん断歪エネルギー節に基づく相当応力は下式で表される。</p> $\sigma_g = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}} \quad]$ | <p>3.3.5 被覆管の応力評価結果</p> <p>①【(2) 応力評価結果</p> <p>被覆管の応力評価は、体積平均相当応力を被覆管の耐力と比較することで行う。体積平均相当応力とは、被覆管にかかる合応力に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。</p> <p>まず、被覆管任意半径 r における相当応力 $\sigma_{eff}(r)$ は以下の式で与えられる。</p> $\sigma_{eff}(r) = \sqrt{\frac{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}} \quad \dots (3-38)$ <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 σ_{eff} を以下の式で求める。</p> $\begin{aligned} & \frac{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_{eff}(r) \, dz \cdot r \, d\theta \cdot dr}{\int_{r_i}^{r_o} \int_0^{2\pi} \int_0^1 dz \cdot r \, d\theta \cdot dr} \quad \dots (3-39) \\ & = \frac{2 \int_{r_i}^{r_o} r \cdot \sigma_{eff}(r) \, dr}{r_o^2 - r_i^2} \end{aligned}$ <p>ここで、r、θ、及び z は円筒座標系の変数であり、それぞれ径方向、円周方向、及び軸方向の座標値を表す。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.5項</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|----|
| <p>また、応力評価では以下の要素を考慮する。</p> <p>(1) 内外圧差による応力 (ペレット-被覆管接触圧も含む)</p> <p>(2) 熱応力</p> <p>(3) 水力振動による応力</p> <p>以下に各項目の計算結果について示す。</p> <p>(1) 内外圧差による応力</p> <p>(a) 高温停止時及び通常運転時 燃料寿命初期はペレットと被覆管が接触していないため外圧の方が大きく被覆管は圧縮応力を受ける。 燃焼が進むと、ペレットのスエリング、被覆管のクリープ変形のためにペレットと被覆管が接触するようになる。このため被覆管には引張応力が働くようになるが、クリープとスエリングがほぼつり合うためこの応力は小さなものである。</p> <p>(b) 過渡変化時 ペレットと被覆管が接触していない燃料寿命初期は過渡変化が発生しても燃料棒の内圧増加による応力の変化があるのみで、その量はわずかである。 一方ペレットと被覆管が接触している燃料寿命末期においては、過渡変化時には内圧の増加のみならず、ペレットの熱膨張による応力が加わることになる。この変化は速いため被覆管のクリープによる応力緩和が生じず、応力は大きなものとなる。</p> | <p>3.3.5 被覆管の応力評価結果</p> <p>(1) 応力評価方法 応力評価では以下の要素を考慮する。</p> <p>a. 内外圧差及び接触圧 (ペレット-被覆管相互作用) による応力</p> <p>b. 熱応力</p> <p>c. 水力振動による応力</p> <p>以下に各項目の計算結果について示す。</p> <p>a. 内外圧差及び接触圧 (ペレット-被覆管相互作用) による応力</p> <p>(a) 高温停止時及び通常運転時 燃料寿命初期はペレットと被覆管が接触していないため外圧の方が大きく被覆管は圧縮応力を受ける。 燃焼が進むと、ペレットのスエリング、被覆管のクリープ変形のためにペレットと被覆管が接触するようになる。このため被覆管には引張応力が働くようになるが、クリープとスエリングがほぼつり合うためこの応力は小さなものである。</p> <p>(b) 運転時の異常な過渡変化時 ペレットと被覆管が接触していない燃料寿命初期は過渡変化が発生しても燃料棒の内圧増加による応力の変化があるのみで、その量はわずかである。 一方ペレットと被覆管が接触している燃料寿命末期においては、運転時の異常な過渡変化時には内圧の増加のみならず、ペレットの熱膨張による応力が加わることになる。この変化は速いため被覆管のクリープによる応力緩和が生じず、応力は大きなものとなる。</p> | 備考 |

| <p>認認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7</p> | <p>備考</p> |
|--|---|-----------|
| <p>(2) 熱応力 熱応力は被覆管の内外面の温度差により発生する。過渡変化時には被覆管温度が増加するため、若干通常運転時よりは大きくなる。</p> <p>(3) 水力振動による応力 水力振動は、冷却材の軸方向流れにより発生する。水力振動による応力は、振動による最大振幅を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力として求める。 燃料棒は各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。燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、中立軸から d/2 の位置の被覆管断面に生ずる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{M \cdot d}{2I} = \pm \frac{24d \cdot E \cdot \delta}{5L^2}$ <p>ここで、</p> <p>M : 最大曲げモーメント $\frac{W \cdot L^2}{8}$ N・mm W : 等分布荷重 $\frac{384E \cdot I \cdot \delta}{5L^4}$ N/mm d : 任意の直径 I : 断面2次モーメント $\frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)$ mm⁴ do : 被覆管外径 9.50mm di : 被覆管内径 8.36mm δ : 最大振幅 (以下のPaidoussisの式より求めた値) <input type="text"/> mm L : スパン長さ <input type="text"/> mm E : ヤング率 <input type="text"/> N/mm²</p> <p>である。 冷却材による振動は、次の Paidoussis の式[30]により計算する。Paidoussis の式は、流体下の棒 (管) の振動振幅の測定値を評価した実験式である。</p> $\frac{\delta}{D} = \alpha^{-4} \left[\frac{\mu^{1.6} \cdot \varepsilon^{1.8} \cdot Re^{0.25}}{1 + \mu^2} \right] \left(\frac{D_h}{D} \right)^{0.4} \left[\frac{\beta^{\frac{2}{3}}}{1 + 4\beta} \right] \times [5 \times 10^{-4} K]$ | <p>b. 熱応力 熱応力は被覆管の内外面の温度差により発生する。運転時の異常な過渡変化時には被覆管温度が上昇するため、若干通常運転時よりは大きくなる。</p> <p>c. 水力振動による応力 水力振動は、1次冷却材の軸方向流れにより発生する。水力振動による応力は、振動による最大振幅を燃料棒の中心部に与えたとき発生する応力として求める。</p> <p>燃料棒は各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。燃料棒の両端を単純支持と仮定すると、中立軸からd/2の位置の被覆管断面に生ずる応力は次式で与えられる。</p> $\sigma_z = \pm \frac{M \cdot d}{2I} = \pm \frac{24d \cdot E \cdot \delta}{5L^2} \dots \dots \dots (3-36)$ <p>ここで、</p> <p>M : 最大曲げモーメント、 $\frac{W \cdot L^2}{8}$ N・mm W : 等分布荷重、 $\frac{384E \cdot I \cdot \delta}{5L^4}$ N/mm d : 任意の直径 I : 断面2次モーメント、 $\frac{\pi}{64}(d_o^4 - d_i^4)$ mm⁴ do : 被覆管外径、9.50mm di : 被覆管内径、8.36mm δ : 最大振幅 (以下のPaidoussisの式より求めた値)、 <input type="text"/> mm L : スパン長さ、 <input type="text"/> mm E : ヤング率、 <input type="text"/> MPa</p> <p>である。 1次冷却材による振動は、次のPaidoussisの式⁽²⁹⁾により計算する。Paidoussisの式は、流体下の棒 (管) の振動振幅の測定値を評価した実験式である。</p> $\frac{\delta}{D} = \alpha^{-4} \left[\frac{\mu^{1.6} \cdot \varepsilon^{1.8} \cdot Re^{0.25}}{1 + \mu^2} \right] \left(\frac{D_h}{D} \right)^{0.4} \left[\frac{\beta^{\frac{2}{3}}}{1 + 4\beta} \right] \times [5 \times 10^{-4} K] \dots \dots (3-37)$ | <p></p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|--|---|
| <p>ここで、</p> <p>D : 被覆管外径 9.50mm</p> <p>δ : 最大振幅</p> <p>D_h : 熱水力等価直径 11.78mm</p> <p>Re : レイノルズ数 = $\frac{D_h \cdot U}{\nu}$</p> <p>μ : $\left[\frac{M}{E \cdot I} \right]^{1/2} U \cdot L$</p> <p>M : 単位長さあたりの流体の質量 $\frac{1}{4} \pi D^2 \rho$ kg/mm</p> <p>E : ヤング率</p> <p>I : 断面 2 次モーメント $1.60 \times 10^6 \text{mm}^4$</p> <p>U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速 $4.75 \times 10^3 \text{mm/s}$</p> <p>L : スパン長さ \square mm</p> <p>β : $\frac{M}{M+m}$</p> <p>m : 単位長さあたりの燃料棒質量</p> <p>ρ : 流体の密度 $\square \text{kg/mm}^3$</p> <p>ν : 動粘性係数</p> <p>ε : $=L/D$</p> <p>α : $\alpha^2 = \left[\frac{(m+M)L^4}{E \cdot I} \right]^{1/2} \cdot \omega$</p> <p>$\omega$: 燃料棒の固有角振動数</p> <p>K : 流れの乱れのレベルを表す因子 (実際の流れでは K=5)</p> <p>である。</p> <p>上式を計算すると、燃料棒の最大振幅は $\delta = \square \text{mm}$ となる。</p> <p>以上から、Paidoussis の式で評価された最大振幅を用いて燃料棒に発生する応力を評価すると、 $\sigma_z = \square \text{N/mm}^2$ (被覆管内面) $\sigma_z = \square \text{N/mm}^2$ (被覆管外面) となる。</p> | <p>ここで、</p> <p>D : 被覆管外径、9.50mm</p> <p>δ : 最大振幅、mm</p> <p>D_h : 熱水力等価直径、11.78mm</p> <p>Re : レイノルズ数、$\frac{D_h \cdot U}{\nu}$</p> <p>μ : $\left[\frac{M}{E \cdot I} \right]^{1/2} U \cdot L$</p> <p>M : 単位長さあたりの流体の質量、$\frac{\pi D^2 \rho}{4} \text{kg/mm}$</p> <p>E : ヤング率、① $\square \text{MPa}$</p> <p>I : 断面 2 次モーメント、$1.60 \times 10^6 \text{mm}^4$</p> <p>U : 燃料棒の軸方向に沿った平均流速、$4.75 \times 10^3 \text{mm/s}$</p> <p>L : スパン長さ、$\square$ mm</p> <p>β : $\frac{M}{M+m}$</p> <p>m : 単位長さあたりの燃料棒質量、① $\square \text{kg/mm}$</p> <p>ρ : 流体の密度、$\square \text{kg/mm}^3$</p> <p>ν : 動粘性係数、① $\square \text{mm}^2/\text{s}$</p> <p>$\varepsilon$: $\frac{L}{D}$</p> <p>α^2 : $\left[\frac{(m+M)L^4}{E \cdot I} \right]^{1/2} \cdot \omega$</p> <p>$\omega$: 燃料棒の固有角振動数、① $\square \text{rad/s}$</p> <p>K : 流れの乱れのレベルを表す因子 (実際の流れでは K=5)</p> <p>である。</p> <p>上式を計算すると、燃料棒の最大振幅は $\delta = \square \text{mm}$ となる。</p> <p>以上から、Paidoussis の式で評価された最大振幅を用いて燃料棒に発生する応力を評価すると、 $\sigma_z = \square \text{MPa}$ (被覆管内面) $\sigma_z = \square \text{MPa}$ (被覆管外面) となる。</p> | <p>① 体裁を A 型設認に統一 A 型設認添付書類二 表 3-3 ヤング率、単位長さあたりの燃料棒質量、動粘性係数、燃料棒の固有各振動数を明確化したもの</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|--|
| <p>(4) 被覆管の応力評価</p> <p>①【二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) の被覆管に生ずる最大応力は、<input type="text"/>燃料棒において過渡変化時に発生する。 また、二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) の被覆管に生ずる最大応力は、<input type="text"/>燃料棒において過渡変化時に発生する。 そして、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の被覆管に生ずる最大応力は、<input type="text"/>燃料棒において過渡変化時に発生する。】</p> <p>②【被覆管応力の評価結果を第 2-9 表に示す。また、二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) に関し第 2-10 表、二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) に関し第 2-11 表、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒に関し第 2-12 表に各応力の内訳を示す。】</p> <p>③【ここで被覆管の耐力は照射により増加することから、被覆管耐力の設計基準値としては、これを考慮したものとしている。また、被覆管耐力の温度依存性も考慮している。[22] 第 2-21 図に各温度に対する耐力を示す。】</p> <p>④【上記計算値は設計基準値より十分小さいので、被覆管の健全性は損なわれない。】</p> | <p>(2) 応力評価結果</p> <p>③【被覆管の材料であるジルコニウム基合金の耐力は、高速中性子照射によって増加するが、比較的短時間の照射で飽和する (資料 8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の 5.2.1 項参照)。したがって、燃料寿命初期は未照射の耐力と、またそれ以外の時点では、照射材の耐力と比較する。ここで、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 (また、耐力基準値は被覆管温度の関数としている) を用いる。照射材の設計基準の求め方を第 3-20 図に示す。】</p> <p>⑤【燃料寿命初期においては、被覆管とペレット間のギャップにより、被覆管には主に内外圧差による応力が発生するが、その値は小さい。燃焼が進むと被覆管は径方向内向きにクリープ変形 (クリープダウン) し、ペレットはスエリングにより外径が増加し、ペレットと被覆管の接触が生じ被覆管応力が大きくなる。通常運転時におけるこのような被覆管とペレットの径変化を第 3-18 図に示す。】</p> <p>⑥【被覆管応力評価では、内外圧差及び接触圧 (ペレット-被覆管相互作用) による応力、熱応力、水力振動による応力を考慮する。】②【発生応力が厳しくなる運転時の異常な過渡変化時における評価結果を第 3-7 表】⑦【及び第 3-21 図に示す。】</p> <p>④【これより二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%、4.1wt%) 及びガドリニア入り燃料棒での被覆管応力はいずれも設計基準を満足している。】</p> | <p>体裁を A 型設認に統一 A 型設認添付書類二 3.3.5 項</p> <p>① 応力評価で最も厳しくなる燃料棒については第 3-16 図に記載</p> <p>⑤ 被覆管とペレットの径変化の説明は設認添付書類二 3.4.3 項に記載</p> <p>⑥ 応力評価で考慮する要素については設認添付書類二 3.4.5 項冒頭に記載</p> <p>⑦ 本内容については新たに評価し直したのではなく、応力評価結果について、第 3-7 表に加え応力履歴として今回新規に追加したものの</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-9 表 被覆管応力評価

| 燃料の種類 | ① | | ① | | 被覆管 温度 (°C) | 被覆管 応力 (N/mm ²) | 判定 | 設計 基準値 (N/mm ²) |
|---------------------------|------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----|-----------------------------------|
| | 局所燃焼度 (MWd/t) | 評価時期 | 過渡時の 最大局所 線出力密度 (kW/m) | 過渡時の 最大局所 線出力密度 (kW/m) | | | | |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | | | | | < | |
| 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | | | | | < | |
| ガドリニア混合 二酸化ウラン燃料棒 | | | | | | | < | |

第 3-7 表 二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒被覆管応力評価結果

(単位: MPa)

| 評価条件 ② | 応力成分 | 運転時の異なる過渡変化時 | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | ガドリニア入り燃料棒 | | |
| 項目 | | σ_x | σ_y | σ_z | σ_x | σ_y | σ_z | σ_x | σ_y | σ_z |
| 1. 内外圧差及び接触圧による応力 | 内面 | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | |
| 2. 熱応力 | 内面 | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | |
| 3. 水力振動による応力 | 内面 | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | |
| 4. 合計応力 ^(注1) 1+2+3 | 内面 | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | |
| 評価時点 | | | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 ^(注1) | | | | | | | | | | |
| 設計基準 (被覆管耐力) | | | | | | | | | | |
| 設計比 ^(注2) | | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |
| 設計比 ^(注2) | | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |

③ (注1) 上段は水力振動による応力を+方向に、下段は-方向にとったものである。

③ (注2) 設計基準 (被覆管耐力) に対する評価値との比である。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 3.3.5項

① 体裁統一に伴い局所燃焼度、局所線出力密度及び被覆管温度を削除したものの、評価結果には変更はない

② 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、合計応力については添付書類二 第2-10表、第2-11表、第2-12表に記載

③ 体裁統一に伴う設計比の追加

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-10表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の被覆管応力評価(過渡変化時)

| 項目 | 応力 | | | 相当応力 |
|-----------------|------------|-----------------|------------|------|
| | σ_r | σ_θ | σ_z | |
| 内外圧差による応力 | 内面 | | | |
| | 外面 | | | |
| 熱応力 | 内面 | | | |
| | 外面 | | | |
| 水力振動による応力 | 内面 | | | |
| | 外面 | | | |
| 応力の合計 | 内面 | | | |
| | 外面 | | | |
| 体積平均相当応力 | | | | |
| ① 局所燃焼度 (MWd/t) | | | | |
| 設計基準値 | | | | |

(注1) 上段: 水力振動による応力は引張方向にとった場合。
下段: 水力振動による応力は圧縮方向にとった場合

(再掲)

第3-7表 二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒被覆管応力評価結果

| 評価条件 | ② 運転時の異常な過渡変化時 | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | ガドリニア入り燃料棒 | | |
| 項目 | 応力成分 | | | | | | | | |
| | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z |
| 1. 内外圧差及び接触圧による応力 | 内面 | | | 外面 | | | | | |
| 2. 熱応力 | 内面 | | | 外面 | | | | | |
| 3. 水力振動による応力 | 内面 | | | 外面 | | | | | |
| 4. 合計応力 (1+2+3) | 内面 | | | 外面 | | | | | |
| 評価時点 | ③ | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 (1+3) | | | | | | | | | |
| 設計基準 (被覆管耐力) | | | | | | | | | |
| 設計比 (1+3) / (1+2) | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |
| | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |

(注1) 上段は水力振動による応力を+方向に、下段は-方向にとったものである。

④ (注2) 設計基準 (被覆管耐力) に対する評価値との比である。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-10

① 体裁統一に伴い局所燃焼度を削除したものの、評価結果には変更はない

② 4.1wt%二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒の評価結果については添付書類二 第2-11表、第2-12表に記載

③ 評価時点については添付書類二 第2-9表に記載

④ 体裁統一に伴う設計比の追加

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-11表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.1wt%)の被覆管応力評価(過渡変化時)

(単位: N/mm²)

| 項目 | | 応力 | | | 相当応力 | | | | |
|-----------------|----|------------|-----------------|------------|------|--|--|--|--|
| | | σ_r | σ_θ | σ_z | | | | | |
| 内外圧差による応力 | 内面 | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | |
| 熱応力 | 内面 | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | |
| 水力振動による応力 | 内面 | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | |
| 応力の合計 | 内面 | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 | | | | | | | | | |
| ① 局所燃焼度 (MWd/t) | | | | | | | | | |
| 設計基準値 | | | | | | | | | |

(注1) 上段: 水力振動による応力は引張方向にとった場合
下段: 水力振動による応力は圧縮方向にとった場合

(再掲)

第3-7表 二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒被覆管応力評価結果

(単位: MPa)

| 評価条件 | ② | 運転時の異常な過渡変化時 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------|--|--|------|--|--|------|--|--|
| | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | ガドリニア入り燃料棒 | | | | | | | | | | | |
| 項目 | 応力成分 | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z | | | | | | | | | |
| 1. 内外圧差及び接触圧による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 熱応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 水力振動による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 合計応力 ^(注1) 1+2+3 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評価時点 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 ^(注1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基準 (被覆管耐力) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計比 ^(注1) (注2) ④ | | | | | | | | | | | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |
| | | | | | | | | | | | 0.57 | | | 0.49 | | | 0.49 | | |

(注1) 上段は水力振動による応力を+方向に、下段は-方向にとったものである。

④ (注2) 設計基準 (被覆管耐力) に対する評価値との比である。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-10

① 体裁統一に伴い局所燃焼度を削除したものの、評価結果には変更はない

② 4.8wt%二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒の評価結果については添付書類二 第2-10表、第2-12表に記載

③ 評価時点については添付書類二 第2-9表に記載

④ 体裁統一に伴う設計比の追加

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-12 表 ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の被覆管応力評価(過渡変化時)

(単位: N/mm²)

| 項目 | 応力 | | | 相当応力 | | |
|---------------|------------|-----------------|------------|------|--|--|
| | σ_r | σ_θ | σ_z | | | |
| 内外圧差による応力 | 内面 | | | | | |
| | 外面 | | | | | |
| 熱応力 | 内面 | | | | | |
| | 外面 | | | | | |
| 水力振動による応力 | 内面 | | | | | |
| | 外面 | | | | | |
| 応力の合計 | 内面 | | | | | |
| | 外面 | | | | | |
| 体積平均相当応力 | | | | | | |
| 局所燃焼度 (MWd/t) | | | | | | |
| 設計基準値 | | | | | | |

(注 1) 上段: 水力振動による応力は引張方向にとった場合
下段: 水力振動による応力は圧縮方向にとった場合

①

(再掲)

第 3-7 表 二酸化ウラン燃料棒及びガドリニア入り燃料棒被覆管応力評価結果

(単位: MPa)

| 評価条件 | 運転時の異常な過渡変化時 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.8wt%) | | | 二酸化ウラン燃料棒 (濃縮度 4.1wt%) | | | ガドリニア入り燃料棒 | | | | | | | | | | |
| 項目 | 応力成分 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z | σ_θ | σ_r | σ_z | | | | | | | | |
| 1. 内外圧差及び接触圧による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 熱応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 水力振動による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 合計応力 ^(a1) 1+2+3 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評価時点 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 ^(a1) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基準 (被覆管耐力) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計比 ^(a1) (a2) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④ | | | 0.57 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | | | | | | | | |

(注 1) 上段は水力振動による応力を+方向に、下段は-方向にとったものである。

④ (注 2) 設計基準 (被覆管耐力) に対する評価値との比である。

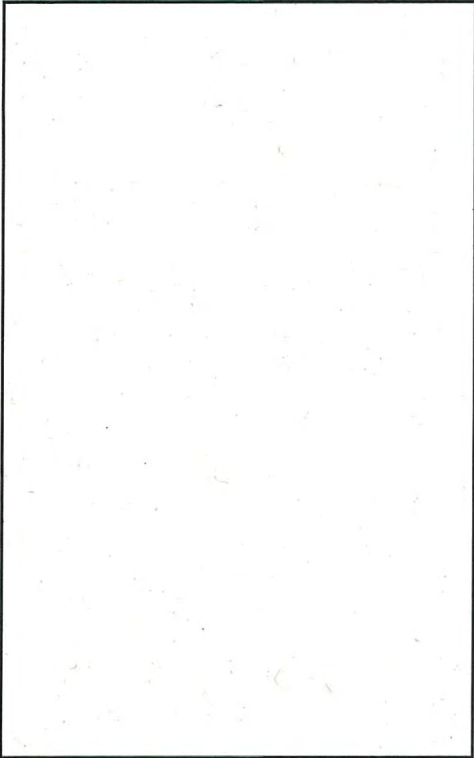

体裁を A 型設認に統一
A 型設認添付書類二 表 3-10

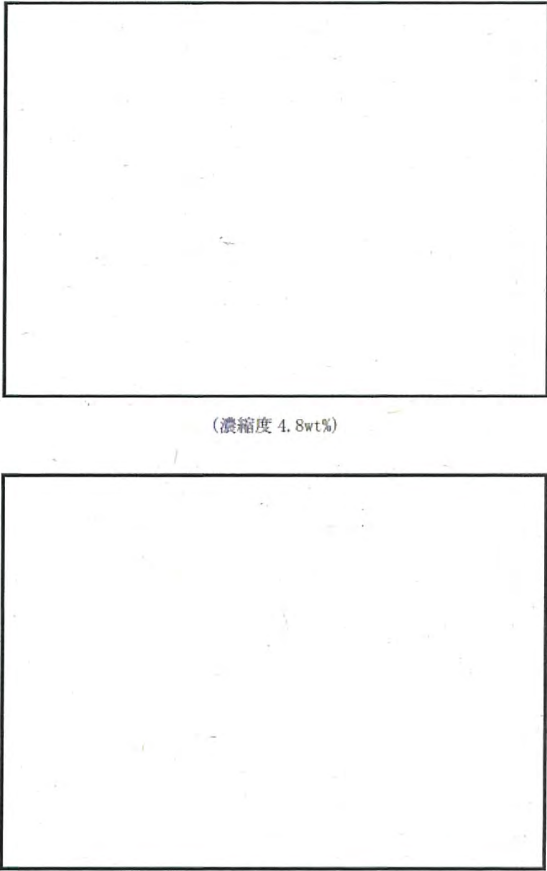
① 体裁統一に伴い局所燃焼度を削除したものの、評価結果には変更はない

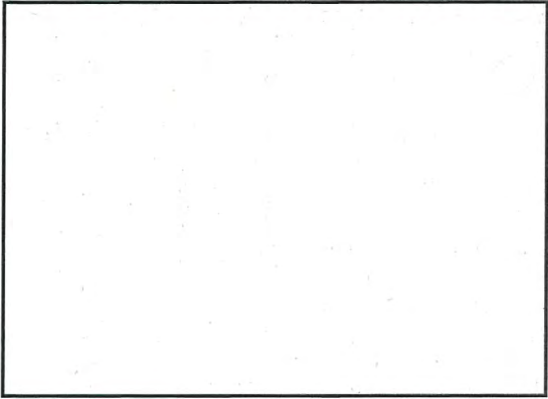
② 二酸化ウラン燃料棒の評価結果については添付書類二 第 2-10 表、第 2-11 表に記載

③ 評価時点については添付書類二 第 2-9 表に記載

④ 体裁統一に伴う設計比の追加

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---|----|
|  <p data-bbox="434 1034 651 1054">第 2-21 図 NDA 被覆管の耐力</p> |  <p data-bbox="1182 1034 1541 1054">第 3-20 図 被覆管の応力評価における設計基準</p> | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|--|---|
| | <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;">  <p style="text-align: center;">(濃縮度 4.8wt%)</p> <p style="text-align: center;">(濃縮度 4.1wt%)</p> <p style="text-align: center;">第3-21図 (1) 被覆管の応力履歴 (運転時の異常な過渡変化時) (二酸化ウラン燃料棒)</p> </div> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 図3-22</p> <p>本内容については新たに評価し直したのではなく、応力評価結果について、第3-7表に加え応力履歴として今回新規に追加したもの</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---------------------------------|--|---|
| | <div data-bbox="1010 244 1704 746" style="border: 1px dashed black; padding: 10px;">  <p data-bbox="1084 675 1630 724" style="text-align: center;">第 3-21 図 (2) 被覆管の応力履歴 (運転時の異常な過渡変化時) (ガドリニア入り燃料棒)</p> </div> | <p data-bbox="1760 252 2078 309">体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 図3-22</p> <p data-bbox="1760 341 2078 485">本内容については新たに評価し直したのではなく、応力評価結果について、第3-7表に加え応力履歴として今回新規に追加したもの</p> |

| <p>設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7</p> | <p>備考</p> |
|---|--|-----------|
| <p>3.4.6 被覆管疲労評価</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、これにより繰返し応力が被覆管に加わる。この繰返し応力は、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わされる累積疲労損傷係数が 1 を超えないことを確認する。</p> <p>(1) 疲労解析条件</p> <p>疲労解析では、繰返し応力の発生原因となる条件の回数を燃料において 14 か月 4 サイクル運転を仮定する。</p> <p>(1.1) 起動・停止</p> <p>起動・停止に応じて被覆管の応力は、冷温停止状態から高温零出力時の値に変化する。</p> <p>起動・停止は 1 サイクル当たり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。応力の変動幅は燃料寿命初期が最も大きいので、燃料寿命中この値が繰返されるものとして評価する。</p> <p>(1.2) 日間負荷変化サイクル</p> <p>通常の日間負荷変化に安全側にすべての高温零出力時と高温全出力時との間の出力変動及び 10% ステップ状態変化と 1 ループにおける起動停止を安全側に考慮し、1 サイクル当たり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。</p> <p>(1.3) その他の過渡変化</p> <p>その他の過渡変化として、高温全出力時からの原子炉トリップ、一次冷却材流量の部分喪失等をまとめて 1 サイクル当たり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。</p> <p>上記(1.1)から(1.3)の過渡変化事象について、燃焼サイクル毎に繰返し応力の振幅を計算する。応力の振幅の算出には、(1.1) 起動・停止については寿命初期における応力評価値を、(1.2) 日間負荷変化サイクル及び(1.3) その他の過渡変化については各サイクル末期の応力評価値を用いる。なお、このとき、被覆管に発生する応力としては、内外差圧による応力 (ペレット-被覆管接触圧も含む) 及び熱応力を考慮している。過渡変化毎に応力の主応力成分 ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) より、それぞれの主応力の差 $\sigma_x - \sigma_y , \sigma_y - \sigma_z , \sigma_z - \sigma_x$ を求め、それぞれの主応力差について、最大値と最小値を求め、(最大値-最小値) / 2 より応力振幅 S_{a1t} を算出する。その上で、3 つの応力振幅 S_{a1t} の中から最大となるものを $\text{MAX } S_{a1t}$ とし、$\text{MAX } S_{a1t}$ に対応する許容許容繰返し数 N を、設計疲労曲線に基づき算出する。</p> <p>各過渡変化のサイクル毎に求めた設計許容繰返し数 N_1, N_2, \dots とそれに対応する応力の繰返し数 n_1, n_2, \dots とから累積疲労損傷係数 $\sum n_i/N_i$ を求める。</p> <p>設計疲労曲線としては、照射したジルカロイ-4 材に関する第 2-22 図に示す Langer and O' Donnell のデータを使用する。[31]</p> | <p>3.3.7 被覆管の疲労評価結果</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、これにより繰返し応力が被覆管に加わる。この繰返し応力は、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 を超えないことを確認する。</p> <p>(1) 疲労解析条件</p> <p>疲労解析では、繰返し応力の発生原因となる条件の回数を燃料において 14 か月 4 サイクル運転を仮定する。</p> <p>a. 起動・停止</p> <p>起動・停止に応じて被覆管の応力は、低温停止状態から高温零出力時の値に変化する。</p> <p>起動・停止は 1 サイクルあたり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。応力の変動幅は燃料寿命初期が最も大きいので、燃料寿命中この値が繰返されるものとして評価する。</p> <p>b. 日間負荷変化サイクル</p> <p>通常の日間負荷変化に安全側にすべての高温零出力時と高温全出力時との間の出力変動及び 10% ステップ状態変化と 1 ループにおける起動停止を安全側に考慮し、1 サイクルあたり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。</p> <p>c. その他の過渡変化</p> <p>その他の過渡変化として、高温全出力時からの原子炉トリップ、1 次冷却材流量の部分喪失等をまとめて 1 サイクルあたり <input type="checkbox"/> 起こるとして評価する。</p> <p>上記 a. から c. の過渡変化事象について、燃焼サイクル毎に繰返し応力の振幅を計算する。応力の振幅の算出には、a. 起動・停止については寿命初期における応力評価値を、b. 日間負荷変化サイクル及び c. その他の過渡変化については各サイクル末期の応力評価値を用いる。なお、このとき、被覆管に発生する応力としては、内外差圧及び接触圧による応力 (ペレット-被覆管相互作用) 及び熱応力を考慮している。過渡変化毎に応力の主応力成分 ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) より、それぞれの主応力の差 $\sigma_x - \sigma_y , \sigma_y - \sigma_z , \sigma_z - \sigma_x$ を求め、それぞれの主応力差について、最大値と最小値を求め、(最大値-最小値) / 2 より応力振幅 S_{a1t} を算出する。その上で、3 つの応力振幅 S_{a1t} の中から最大となるものを $\text{MAX } S_{a1t}$ とし、$\text{MAX } S_{a1t}$ に対応する許容繰返し数 N を、設計疲労曲線に基づき算出する。</p> <p>各過渡変化のサイクル毎に求めた設計許容繰返し数 N_1, N_2, \dots とそれに対応する応力の繰返し数 n_1, n_2, \dots とから累積疲労損傷係数 $\sum n_i/N_i$ を求める。</p> <p>設計疲労曲線としては、照射したジルカロイ-4 に関する第 3-23 図に示す Langer and O' Donnell のデータを使用する⁽³⁰⁾。</p> | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|--|--|--|
| <p>この設計疲労曲線は、実測データに対して試料寸法、表面状況及び環境等の影響及びデータのばらつきを十分補償できるように交番応力値（時間の周期的な関数として変化する応力）についてはファクター2、繰返し数についてはファクター20の安全率をとって作成されたものである。なお、NDA被覆管の設計疲労曲線としてもこの設計曲線が使用できることを確認している。[22]</p> <p>①【(2)疲労解析結果 二酸化ウラン燃料棒（濃縮度 4.8wt%、4.1wt%）及びガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒の疲労評価結果を第 2-13 表、第 2-14 表及び第 2-15 表に示す。】②【応力振幅は最大応力と最小応力の差の 1/2 として定義される。各ケースの許容される繰返し数はこの応力振幅に対応して第 2-22 図の設計疲労曲線より求める。】 ①【これらの結果より、二酸化ウラン燃料棒、ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒ともに累積疲労損傷係数は設計基準値の1よりも十分に小さく、被覆管の疲労破損は起こらない。】</p> | <p>この設計疲労曲線は、実測データに対して試料寸法、表面状況及び環境等の影響及びデータのばらつきを十分補償できるように交番応力値（時間の周期的な関数として変化する応力）についてはファクター2、繰返し数についてはファクター20の安全率をとって作成されたものである。なお、NDA被覆管の設計疲労曲線としてもこの設計曲線が使用できることを確認している⁽²²⁾。</p> <p>①【(2) 疲労解析結果 各事象に対する損傷係数を合計した結果を第3-9表に示すが、二酸化ウラン燃料棒（濃縮度4.8wt%、4.1wt%）及びガドリニア入り燃料棒ともに設計基準100%を満足している。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.3.7項 ② 3.3.7(1)の内容と重複するため 削除</p> |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

① 第2-13表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度4.8wt%)疲労解析結果

| 被覆管 | 状態 | 疲労損傷係数 | 累積疲労損傷係数 | 設計基準値 |
|-----|----------------|--------------------------|----------|-------|
| 内面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.082 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |
| 外面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.035 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |

① 第2-14表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度4.1wt%)疲労解析結果

| 被覆管 | 状態 | 疲労損傷係数 | 累積疲労損傷係数 | 設計基準値 |
|-----|----------------|--------------------------|----------|-------|
| 内面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.041 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |
| 外面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.021 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |

① 第2-15表 ガドリニア混合二酸化ウラン燃料棒疲労解析結果

| 被覆管 | 状態 | 疲労損傷係数 | 累積疲労損傷係数 | 設計基準値 |
|-----|----------------|--------------------------|----------|-------|
| 内面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.030 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |
| 外面 | 低温停止状態 | <input type="checkbox"/> | 0.014 | 1 |
| | 高温零出力時 | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温零出力時(日間負荷変化) | <input type="checkbox"/> | | |
| | 高温全出力時 | <input type="checkbox"/> | | |

第3-9表 被覆管の疲労評価結果

② (単位: %)

| 種類 | 位置 | 累積疲労損傷係数 | 設計基準 | 設計比 ^(注1) |
|----------------------|----|----------|------|---------------------|
| 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度4.8wt%) | 内面 | 8.2 | ≤100 | 0.09 |
| | 外面 | 3.5 | | 0.04 |
| 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度4.1wt%) | 内面 | 4.4 | ≤100 | 0.05 |
| | 外面 | 2.1 | | 0.03 |
| ガドリニア入り燃料棒 | 内面 | 3.0 | ≤100 | 0.03 |
| | 外面 | 1.4 | | 0.02 |

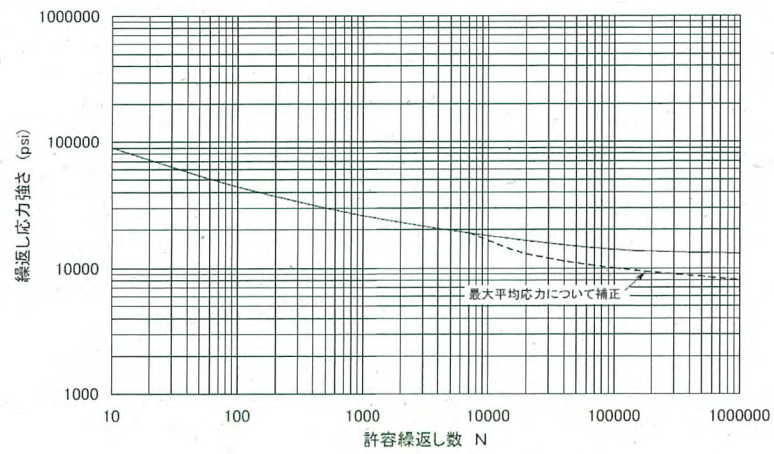
(注1) 設計基準値に対する評価値の比である。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 表3-14

① 体裁統一に伴い状態変化及び疲労損傷係数を削除したものの、評価結果には変更はない

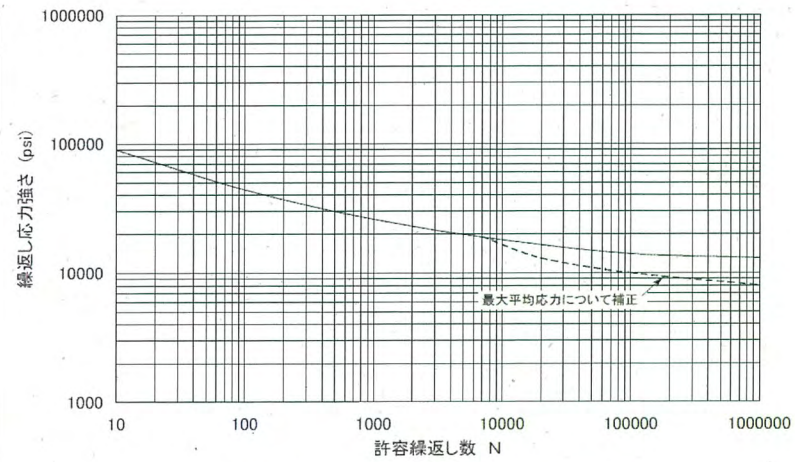
② 体裁統一に伴う設計比の追加

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二



第 2-22 図 NDA 被覆管の設計疲労曲線[31]

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7



第 3-23 図 NDA 被覆管の設計疲労曲線⁽³⁰⁾

備考

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|------------------------------|--|---|
| | <p>3.4 その他の考慮事項</p> <p>① 【(1) 燃料棒曲がり評価】</p> <p>燃料集合体の制御棒案内シンプルは再結晶焼鈍されており、冷間加工応力除去焼鈍された被覆管に比較して照射成長は小さいため、両者の照射成長差により支持格子の燃料棒拘束力が相互に作用し、基本的には燃料棒には圧縮力、制御棒案内シンプルには逆に引張力が作用する。</p> <p>上記圧縮力により燃料棒には曲げモーメントが発生するが、燃料棒の曲がりとは、この曲げモーメントにより燃料棒に発生したクリープ変形が永久変形になったものと初期曲がりを加えたものである。</p> <p>55,000MWd/t先行照射燃料集合体の燃料棒曲がりを48,000MWd/t燃料集合体の実績と併せて第3-24図に示す。55,000MWd/t先行照射燃料集合体の燃料棒曲がりは、NDA被覆管を採用している燃料集合体とジルカロイ-4被覆管を採用している燃料集合体とで同等である。また、燃料棒曲がりは、燃料寿命初期に進行するが、中性子照射に伴う支持格子拘束力の緩和により、燃料寿命末期では飽和傾向にある。</p> <p>第3-24図に示すように、本燃料集合体は過度の燃料棒曲がりは発生しない。したがって、燃料棒曲がりの影響は評価不要である。】</p> <p>② 【(2) トータルギャップ評価】</p> <p>a. 燃料集合体の伸び</p> <p>燃料集合体は、制御棒案内シンプルの照射成長によって伸びる。それとともに、燃料棒と制御棒案内シンプルとの製造方法の違いによる照射成長の差が生じることから、制御棒案内シンプルには燃料棒から支持格子の拘束力に応じた軸方向の引張力が働く。この引張力により、制御棒案内シンプルに発生する照射クリープ伸びが永久変形となることによって、更に燃料集合体の伸びが増加する。したがって、燃料集合体の伸びは炉心板と燃料集合体が干渉しないように制限する必要がある。</p> <p>燃料集合体の伸びについて、実績を第3-25図に示す。55,000MWd/t先行照射燃料集合体の燃料集合体の伸びは、ジルカロイ-4被覆管を採用している燃料集合体よりNDA被覆管を採用している燃料集合体が小さい。また、ジルカロイグリッド燃料集合体 (ジルカロイ-4被覆管) の燃料集合体の伸びは、48,000MWd/t燃料集合体の実績と同等であり、中間部支持格子の差による燃料集合体の伸びへの影響は認められない。したがって、NDA被覆管を採用する本燃料集合体の伸びは、48,000MWd/t燃料集合体のそれよりも小さくなる。</p> <p>設計においては、55,000MWd/tまでの燃料集合体の伸びを考慮しても、上部及び下部炉心板と燃料集合体との軸方向ギャップが閉塞することのないように、製造時の燃料集合体の全長を設定している。ここで、本燃料集合体の伸びは保守的に48,000MWd/t燃料集合体の設計線を用いて評価している。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.4項</p> <p>① 燃料棒曲がり評価の説明は設認添付書類一 5.4.5項に記載</p> <p>② トータルギャップ評価の説明は設認添付書類一 5.4.2項、5.4.3項に記載</p> |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|---|--|
| | <p>① 【b. 燃料棒と上部及び下部ノズルの間隔 燃料棒と上部及び下部ノズルとの間隔の合計（以下「トータルギャップ」という。）は、燃料棒の照射成長による伸びが燃料集合体の伸びよりも大きいため、燃焼とともに減少する。したがって、トータルギャップ減少量は燃料棒とノズルが干渉しないように制限する必要がある。</p> <p>トータルギャップの減少量について、実績を第3-26図に示す。照射成長がジルカロイ-4より小さいNDA被覆管を採用する燃料集合体はジルカロイ-4被覆管を採用する燃料集合体と比べ、トータルギャップの減少量が小さくなることが認められる。</p> <p>設計においては、61,000MWd/t（燃料集合体で55,000MWd/tに相当）までの燃料棒の伸びを考慮してもトータルギャップが閉塞することのないように、製造時の燃料棒と上部ノズルとの軸方向ギャップを設定している。</p> <p>ここで61,000MWd/tまでの燃料棒の伸びは、保守的にジルカロイ-4被覆管の照射成長の実績データに基づき、ばらつきを考慮して設定している。】</p> | <p>① 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.4項</p> <p>トータルギャップ評価の説明は 設認添付書類一 5.4.2項、5.4.3 項に記載</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|---|
| <p>3.5 その他の考慮事項</p> <p>3.5.1 被覆管外面腐食及び水素吸収量評価</p> <p>①【燃料の高燃焼度化に伴って、機械的健全性の観点から、被覆管外面腐食及び被覆管水素吸収量について考慮する必要がある。</p> <p>原子炉内における使用期間中に生じる腐食による被覆管肉厚の最大減肉量及び最大水素吸収量を高燃焼度用FPACコードにより評価した結果、それぞれ約□%、約□ppmとなった。これらは被覆管の機械的健全性の観点から目安としている、減肉量10%以下、水素吸収量800ppm以下を満足している。】</p> | <p>3.2.2 解析コードに用いるモデル及び計算方法</p> <p>①【(3) 被覆管外面腐食及び水素吸収量評価</p> <p>燃料の高燃焼度化に伴って、機械的健全性の観点から、被覆管外面腐食及び被覆管水素吸収量について考慮する必要がある。</p> <p>以上より、原子炉内滞在中に生じる腐食による被覆管肉厚の最大減肉量を高燃焼度用FPACコードにより評価した結果、約□%となり、被覆管の機械的健全性の観点から目安としている10%減肉以下^(注1)である。</p> <p>また、被覆管の最大水素吸収量を高燃焼度用FPACコードにより評価した結果、約□ppmとなり、原子炉外試験及び照射試験により延性が確保されていることが確認できる約800ppm以下である。】</p> <p>②【(注1) Vノッチ疵を有するジルカロイ被覆管の機械特性試験結果に基づき、被覆管肉厚の10%深さ程度までは機械的特性への影響がわずかであることを参考に設定】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.2.2項</p> <p>② 腐食評価の目安についての説明を追加</p> |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|------------------------------|--|--|
| | <p>①【(4) PCI評価 NDA被覆管の出カランプ試験データを第3-29図に示す。被覆管のPCI破損限界は、高燃焼度領域までPCI破損しきい値以上であることが確認でき、NDA被覆管に対して安全側にPCI破損しきい値が適用できる。 PCI破損は、最大線出力密度及び線出力密度変化幅について同時にPCI破損しきい値を超えた場合に起こることが経験的に知られている。 第3-29図に示したとおり、運転時の異常な過渡変化時の出力は、PCI破損しきい値以下であり、PCI破損は発生しない。また、ガドリニア入り燃料棒では出力が高くならないように、濃縮度を低下させているのでPCI破損は生じない。】</p> <p>②【(5) クリープコラプス評価 燃料棒が非加圧又は低加圧でペレットに大きな焼きしまりが生じると、ペレットスタックの一部に軸方向のギャップが生じる可能性がある。その位置で1次冷却材圧力による被覆管の外圧クリープで偏平化し、座屈して破損に至る現象をクリープコラプスという。 初期のPWR燃料で発生したクリープコラプスについては、ヘリウム加圧の採用、ペレットの焼きしまり特性の改善により、現在では発生していない。 高密度ペレットの照射中の焼きしまりは小さいこと、また、ヘリウム加圧を採用していることからクリープコラプスは発生しないと判断できる。】</p> <p>③【(6) フレッシング摩耗評価 フレッシング摩耗は、接触面の周期的相対振動により起こる損傷であるが、燃料集合体でこの現象が起こる可能性があるのは燃料棒と支持格子の接触部であり、摩耗の程度は、燃料棒と支持格子の材料の組み合わせや、支持格子のばね力に依存する。</p> <p>a. 析出硬化型ニッケル基合金製の最上部及び最下部支持格子 析出硬化型ニッケル基合金 (以下「718合金」という。) 製の支持格子ばねは、中性子の照射により応力緩和するが、燃料棒と支持格子が接触していれば、フレッシング摩耗量を十分小さく保てること、実機条件を模擬した原子炉外の流水試験で分かっている。したがって、燃料寿命中燃料棒と支持格子が接触していれば良い。第3-30図⁽³¹⁾⁽³²⁾に支持格子拘束力緩和のデータを示す。これより、支持格子拘束力は燃焼初期に大きく緩和するものの、その後飽和傾向を示し、高燃焼度での支持格子拘束力緩和率は1を超える (非接触となる) ことはないと考えられる。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.4項</p> <p>① PCI評価の説明は設認添付書類一 5.2項に記載</p> <p>② クリープコラプス評価の説明は設認添付書類一 3.1.2項に記載</p> <p>③ フレッシング摩耗評価の説明は設認添付書類一 5.1項に記載</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7. | 備考 |
|---------------------------------|---|---|
| | <p>① 【b. ジルカロイ-4の中間部支持格子 ジルカロイ-4製支持格子の拘束力緩和データを、718合金製支持格子データと併せて第3-30図に示す。同図から、ジルカロイ-4製支持格子の拘束力緩和が大きいことが確認できる。しかし、718合金製支持格子で確認したように、拘束力緩和は燃料寿命末期において飽和することを考えると、ジルカロイ-4製支持格子の場合でも、燃料寿命末期まで支持格子拘束力緩和率が1を超える（非接触となる）ことはないと考えられる。</p> <p>ジルカロイ-4製支持格子についても、718合金製支持格子と同様、燃焼期間中において燃料棒と支持格子ばねの接触が保たれていればフレットング摩耗が生じない。さらに、照射済み燃料に対する照射後燃料棒引抜きにおいて、支持格子拘束力が残存していること、即ち、燃料寿命末期でも支持格子と燃料棒の接触が保たれることを確認している。また、燃料棒には、フレットング摩耗等の外観異常も認められていない。</p> <p>以上述べたように、燃料集合体に用いている718合金製及びジルカロイ-4製支持格子と燃料棒との接触は、燃料寿命末期においても保たれており、フレットング摩耗は十分小さく燃料棒の健全性が損なわれることはない。</p> <p>なお、原子炉外の流水試験結果は、ジルカロイ-4被覆管の結果である。燃料棒及び支持格子の材料特性のうち、フレットング摩耗に最も影響するのは材料の硬度であるが、資料8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の5.4.2項に示すようにジルカロイ-4被覆管とNDA被覆管の硬度は同等であり⁽²²⁾、NDA被覆管のフレットング摩耗はジルカロイ-4被覆管と同等である。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 3.4項</p> <p>① フレットング摩耗評価の説明は設認添付書類一 5.1項に記載</p> |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|--|--|
| | <p>①【(7) 混在炉心における共存性</p> <p>原子炉内に異なる設計の燃料集合体が共存する場合には、構造的差異に起因する影響が考えられることから、以下のとおり、構造的、核的及び熱水力的影響を評価し、それぞれ問題ないことを確認した。</p> <p>a. 構造的共存性</p> <p>本申請の燃料集合体を装荷する原子炉内にはA型燃料集合体（ウラン燃料（従来型及び信頼性向上燃料）及びウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）とB型燃料集合体（ウラン燃料）が共存する。これらは、全長及び断面寸法について差はなく、また、上部及び下部炉心板に取り付けられた燃料案内ピンと嵌合する孔の位置・寸法についても差はない。</p> <p>A型燃料集合体では、支持格子は制御棒案内シムルに固定されているのに対し、B型燃料集合体では、最上部及び最下部の2個の支持格子を除く中間部の支持格子は制御棒案内シムルに固定されておらず、支持格子ばねを介して燃料棒に保持されている。したがって、最上部及び最下部を除く中間部支持格子は、A型燃料集合体では制御棒案内シムル伸びに、B型燃料集合体では燃料棒伸びに依存して移動する。一般に、制御棒案内シムル伸びは燃料棒伸びより小さいため、原子炉内ではA型燃料集合体とB型燃料集合体の支持格子の相対位置が燃焼に伴い変化するが、燃焼期間を通じて互いに重なり合った状態^(注1)にあることを確認している。</p> <p>（注1）中間部支持格子位置ずれは、A型燃料集合体とB型燃料集合体の位置ずれ：最大約□mm、B型燃料集合体同士の位置ずれ：最大約□mmとなる可能性がある。】</p> | <p>① 設工認になったことに伴い、工認参考資料を取り込み（4.1wt%ステップ2燃料工認（平成29年9月29日付け原規規発第1709291号にて認可を受けた工事計画）の補足説明資料 別紙5）</p> |

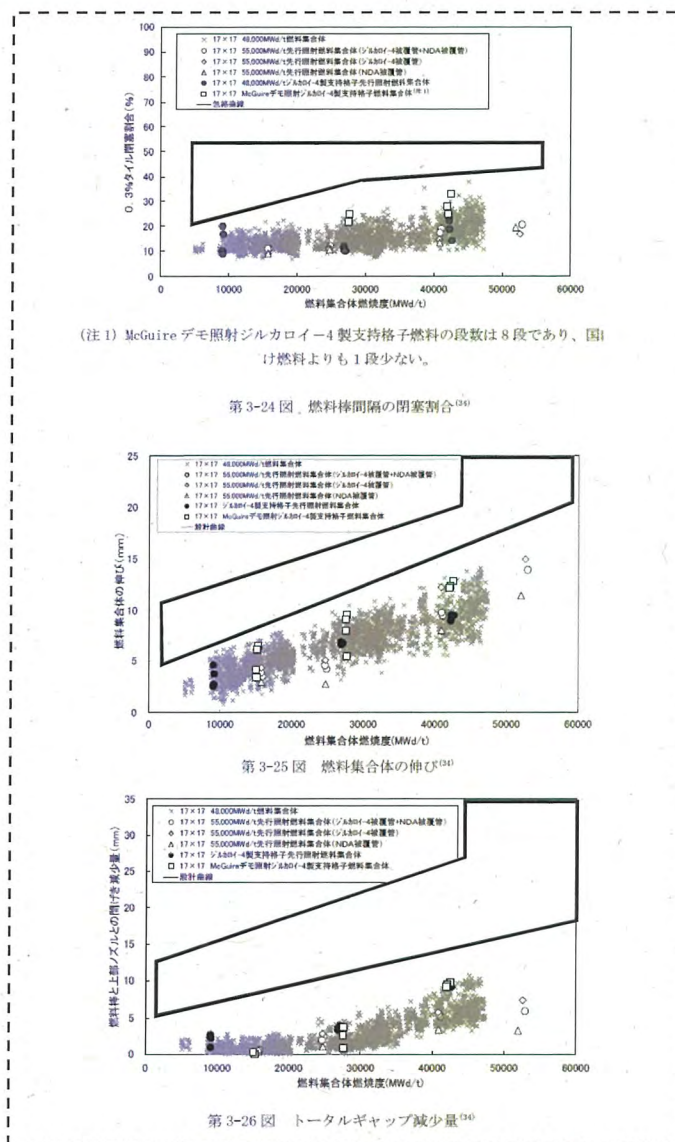
| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---------------------------------|--|---|
| | <p>① 【(a) 燃料棒の流動振動への影響</p> <p>燃料集合体中間部における横流れについては、中間部支持格子の相対位置が燃焼期間を通じて互いに重なり合っており、さらに、中間部支持格子の圧力損失ほどの燃料においても同等であるため影響はわずかであると考えられる。</p> <p>また、最下部支持格子におけるフレットング摩耗により発生した17行17列型A型燃料集合体 (従来型) の漏えいの推定要因として、炉心流速の大きい17行17列型4ループプラントにおいて以下の要因が重畳したものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 燃料集合体内の横流れが、下部炉心板流路孔周縁部の燃料集合体外側で大きめであり、この横流れにより燃料棒の振動が大きくなった可能性 - 圧損や構造が異なる燃料集合体との隣接により、燃料の炉心入口での流量が変化し、燃料棒の振動が大きくなった可能性 - 炉心中央領域の流速が大きい位置に装荷されたことにより、振動が大きくなった可能性 - 照射による支持格子ばね力低下、流体力によるモーメント、燃料棒の曲がりによるモーメント等による燃料棒保持状態の変化 <p>これらの要因が重畳したことでフレットング摩耗が発生したのに対して、本申請の燃料集合体については、炉心入口部の圧力損失差や照射による支持格子ばね力低下、流体力によるモーメント、燃料棒の曲がりによるモーメント等による燃料棒保持状態の変化があったとしても、以下のとおり、問題ないとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> - A型燃料集合体 (信頼性向上燃料)、B型燃料集合体の下部ノズルの流路孔は整流効果のある配置になっていることから、燃料集合体内の流速分布は小さく抑えられる。 - 最下部支持格子の位置は互いに重なり合った状態にあることから、支持格子の位置ずれに起因する横流れは小さい。 - 本申請の燃料集合体を装荷する17行17列型3ループ炉心の流速は、17行17列型4ループ炉心より小さい。 <p>以上のとおり、17行17列型4ループ炉心のA型燃料集合体 (従来型) では、複数の要因が重畳したことによって燃料漏えいが発生したと推定されるが、本申請の燃料集合体を含む混在炉心においては、これらの要因が重畳することはなく、異なる設計の燃料が共存してもフレットング摩耗による燃料漏えいの可能性は小さい。</p> <p>なお、本申請の燃料集合体は、これまでに多数の使用実績があるが、最下部支持格子位置においてフレットング摩耗を起因とする漏えいは発生していない。】</p> | <p>① 設工認になったことに伴い、工認参考資料を取り込み。(4.1wt%ステップ2燃料工認(平成29年9月29日付け原規規発第1709291号にて認可を受けた工事計画)の補足説明資料 別紙5)</p> |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|------------------------------|--|---|
| | <p>① 【(b) 燃料集合体の耐震性への影響】</p> <p>燃料集合体の耐震性への影響については、支持格子の位置ずれによる支持格子の衝撃強度低下を考慮しなければならない。最上部及び最下部の支持格子は地震時には衝撃力が発生せず耐震上問題とならないため、中間部支持格子の位置ずれが問題になる。中間部支持格子位置ずれが最大となるのはB型燃料集合体同士が隣接した場合、<input type="text"/>となり、支持格子に生じる衝撃力は衝撃強度を上回り、支持格子には最大約<input type="text"/>mmの変形が生じるが、基準地震動Ssにおける制御棒挿入時間については、挿入規定時間 (2.5秒) 以内に挿入できることを確認しており支持格子の位置ずれは耐震上の問題とならない。</p> <p>b. 核的共存性</p> <p>燃料有効部分の位置ずれの影響を評価する。A型燃料集合体及びB型燃料集合体の有効部分位置については、燃焼が進行するとA型燃料集合体の燃料棒はオフボトム型であるため上方及び下方へ伸び、B型燃料集合体の燃料棒はオンボトム型であるため上方へ伸び、有効部分の位置ずれ量が変化することになる。</p> <p>異なる設計の燃料集合体間で、燃料有効部の軸方向位置の違いが炉心の反応度、軸方向ピーキング係数へ影響することが考えられる。燃料有効部の軸方向位置の違いがある場合には中性子の漏えいが大きくなることから、反応度は低下する方向に、出力ピーキングは上昇する方向になる。隣接する可能性のある燃料の組み合わせの中ではA型燃料集合体 (信頼性向上燃料) の燃料棒がオンボトムになった状態と仮定した場合のA型燃料集合体 (従来型) との燃料有効部位置の差が最も大きく<input type="text"/>mmである。</p> <p>ここで、この燃料有効部分からずれている箇所は反応度に寄与しないと仮定して評価しても、反応度変化は<input type="text"/>程度の減少であり無視できる。</p> <p>同様に、軸方向出力ピーキングへの影響として、燃料有効部分からずれた箇所は出力発生に寄与せず、また、ずれ部分の軸方向相対出力が、平均出力の100%を発生するものと保守的に評価したとしても、軸方向出力ピーキング変化は約<input type="text"/>%程度の増加であり無視できる。</p> <p>c. 熱水力的共存性</p> <p>燃料の熱水力的性能を示すDNB特性は、型式ごとに熱流動試験を行うことにより十分な性能を有することが確認されている。型式の異なる燃料が隣接する混在炉心においてDNB性能を確認するには、燃料集合体間横流れによる影響を評価する必要がある。</p> <p>燃料集合体の構造上、燃料集合体間横流れに影響を与えるのは、燃料集合体各部での圧力損失差が大きくなる場合や支持格子の位置の差が大きくなって重なりがなくなる場合であるが、燃焼期間を通じて互いに重なり合った状態にあり、支持格子の位置の差に起因する横流れは生じない。</p> <p>また、支持格子の圧力損失係数の差は小さく、この圧力損失差の影響は混在によるDNBペナルティとして評価され、これと燃料棒曲がりによるDNBペナルティを併せて考慮した保守的なDNBRの許容限界値が設定されている。したがって、設計の異なる燃料が隣接した場合においても熱水力設計上問題とならない。】</p> | <p>① 設工認になったことに伴い、工認参考資料を取り込み。(4.1wt%ステップ2燃料工認(平成29年9月29日付け原規規発第1709291号にて認可を受けた工事計画)の補足説明資料 別紙5)</p> |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考



体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二
図3-28、図3-31、図3-32

燃料棒間隔の閉塞割合について
は設認添付書類一 第1-34図に記載

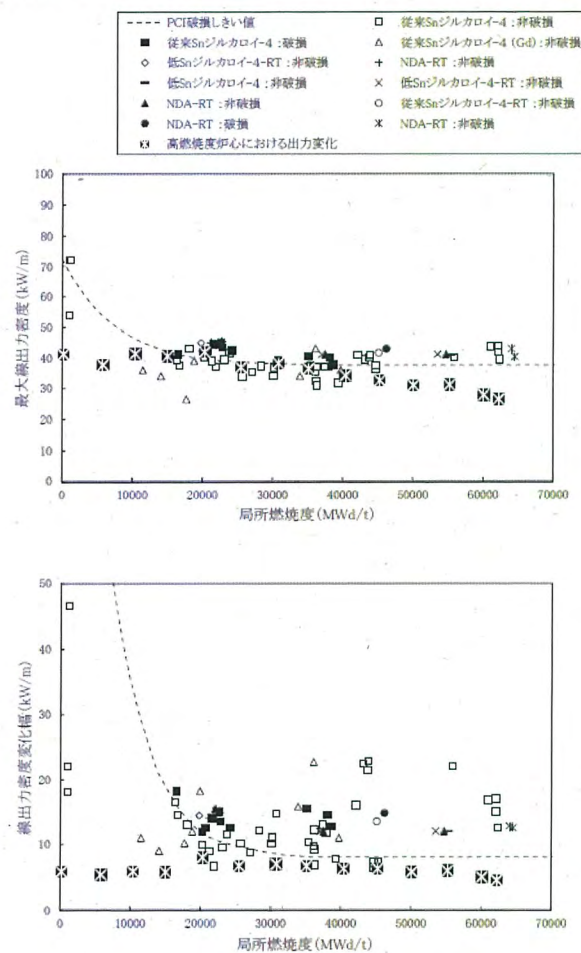
燃焼集合体の伸びについては設
認添付書類一 第1-31図に記載

トータルギャップ減少量について
は設認添付書類一 第1-32図に
記載

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考



第3-29図 (1) 被覆管の出力ランプ試験結果
(最大線出力密度が最大の場合の出力変化)

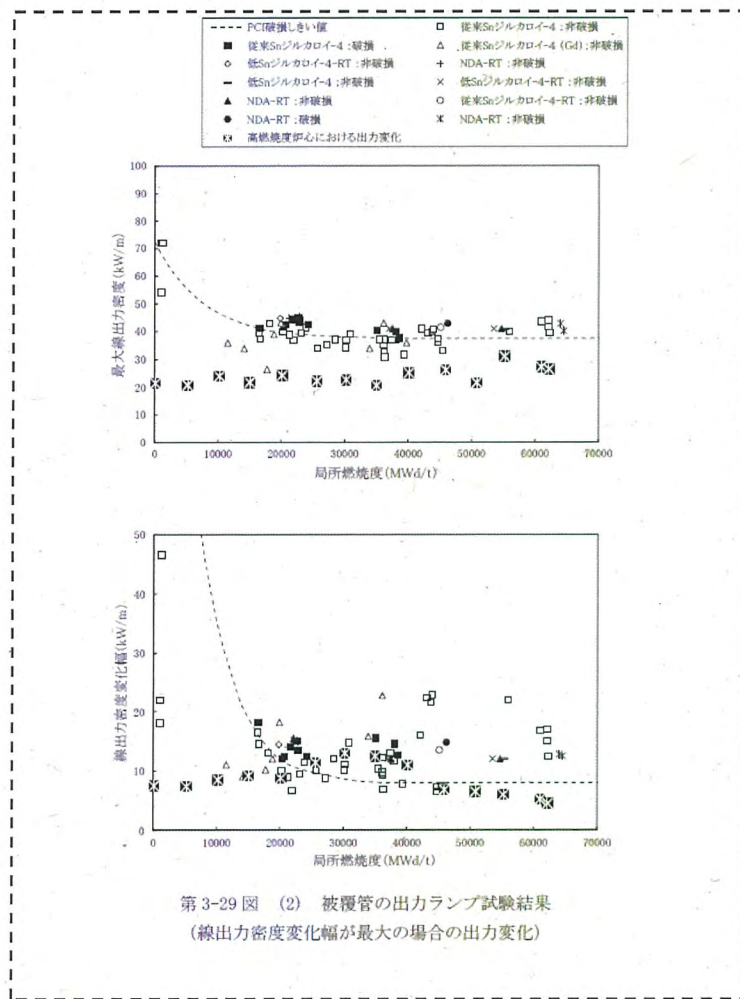
体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 図3-35

本内容については、設認添付書類
一 第1-27図に、高燃焼度炉心に
おいて出力変化させたときのプ
ロットを追加したもの

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考



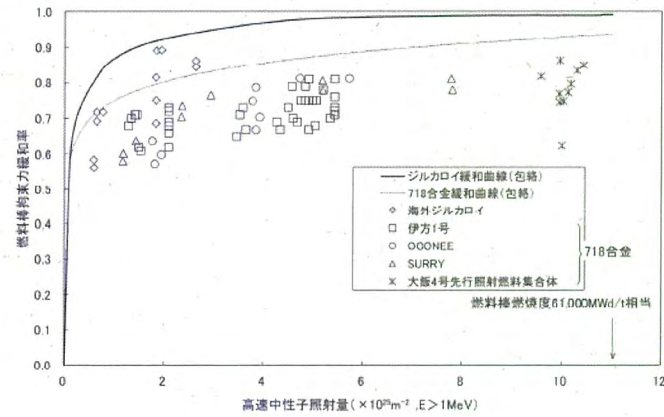
体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 図3-35

本内容については、設認添付書類
一 第1-27図に、高燃焼度炉心
において出力変化させたときのプ
ロットを追加したもの

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考



第3-30図 支持格子拘束力の緩和率実測データ⁽³¹⁾⁽³²⁾

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 図3-27

本内容については添付書類一 第
1-26図に記載

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|--|--------------------------------------|
| <p>4. 燃料集合体の強度計算</p> <p>4.1 燃料集合体の設計基準</p> <p>①【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で確保する。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。このため、下記の方針で燃料集合体を設計する。</p> <p>(1) 輸送及び取扱い時に燃料集合体に加わる荷重を設計上軸方向について6G、また、横方向についても各支持格子部固定の条件で6Gと設定し、構成要素がこの荷重に対して十分な強度を有し、燃料集合体としての機能が保持されるよう設計する。</p> <p>(2) 原子炉内における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加わる荷重に対して、各構成要素がASME Sec. IIIの基準に準拠して十分な強度を有し、その機能が保持されるよう設計する。】</p> <p>②【以上の設計基準設定にあたって考慮すべき基本的項目をまとめると第2-16、第2-17表のようになる。</p> <p>これらの基準は、原子力規制委員会規則「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）」、原子力規制委員会規則「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」、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）」に記載されている考え方に基づいている。】</p> | <p>4. 燃料集合体の強度計算</p> <p>4.1 燃料集合体の設計基準</p> <p>①【燃料集合体は、燃料輸送及び取扱い時並びに運転時に次の基準を満たすように設計し、その構成部品の健全性を確保している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料輸送及び取扱い時の6Gの設計荷重に対して、著しい変形を生じないこと。 ・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において生じる荷重に対する応力は、原則としてASME Sec. IIIに基づいて評価されること。】 <p>②【強度評価の対象となる燃料集合体の構成部品、荷重及び評価基準を第4-1表及び第4-2表に示す。</p> <p>なお、これらの基準は、原子力規制委員会規則「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）」、技術基準規則及び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）」に記載されている考え方に基づいている。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.1項</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|-----------|------------------------------|----------|-------------|-------------------------------------|-----------|------------------------|---------|-------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|---|-------------------------|---------------------|---|-----------------------------|---|-------------------------|--|------|-----|----|--------------------|---------------------|---------------|---------------------------|----------|-------------|-------|--------------------|-----------------------|-------------------|---|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---|---------------------------|-----------|-------------------|---------|-------|----|---|
| <p>第 2-16 表 輸送及び取扱い時の燃料集合体強度評価 軸及び横方向荷重に対する評価 設計荷重=6G</p> <table border="1" data-bbox="161 368 898 863"> <thead> <tr> <th>構成部分</th> <th>① 考慮点</th> <th>材料</th> <th>応力^(注1)</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上部及び下部ノズル</td> <td>アダプタプレート及び下部ノズルプレートの応力評価を行う。</td> <td>ステンレス鋼鋳鋼</td> <td>$P_L + P_b$</td> <td>ASME Sec. III に準拠して設定された Sm の 1.5 倍</td> </tr> <tr> <td>制御棒案内シンプル</td> <td>荷重分布を考慮し、応力評価を行う。 ③</td> <td>ジルカロイ-4</td> <td>P_M</td> <td>ASME Sec. III に準拠して設定された Sm</td> </tr> <tr> <td>② 上部及び下部ノズル-制御棒案内シンプル結合部</td> <td>荷重分布を考慮し、溶接部、結合部にかかる応力評価を行う。</td> <td>ステンレス鋼 ジルカロイ-4</td> <td>-</td> <td>結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。</td> </tr> <tr> <td>支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④</td> <td>荷重分布を考慮し、最上部、最下部支持格子について機械的結合部の強度評価を行う。</td> <td>ジルカロイ-4 ステンレス鋼 718 合金</td> <td>-</td> <td>結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) 応力は以下に示す ASME Sec. III の炉心支持構造物の分類に従った。</p> <p>P_M : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Sm : 設計応力強さ (ASME に従う。ただし、ジルカロイ-4 については、0.2% 耐力の 2/3 あるいは引張強さの 1/3 のいずれか小さい方)</p> | 構成部分 | ① 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 | 上部及び下部ノズル | アダプタプレート及び下部ノズルプレートの応力評価を行う。 | ステンレス鋼鋳鋼 | $P_L + P_b$ | ASME Sec. III に準拠して設定された Sm の 1.5 倍 | 制御棒案内シンプル | 荷重分布を考慮し、応力評価を行う。 ③ | ジルカロイ-4 | P_M | ASME Sec. III に準拠して設定された Sm | ② 上部及び下部ノズル-制御棒案内シンプル結合部 | 荷重分布を考慮し、溶接部、結合部にかかる応力評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 | - | 結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。 | 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④ | 荷重分布を考慮し、最上部、最下部支持格子について機械的結合部の強度評価を行う。 | ジルカロイ-4 ステンレス鋼 718 合金 | - | 結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。 | <p>第 4-1 表 燃料輸送及び取扱い時の燃料集合体の評価項目 (軸方向荷重に対する評価、設計荷重=6G)</p> <table border="1" data-bbox="967 363 1742 858"> <thead> <tr> <th>構成部品</th> <th>考慮点</th> <th>材料</th> <th>応力^(注1)</th> <th>許容値^(注1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>② 上部ノズル、下部ノズル</td> <td>① 上部及び下部ノズルの応力評価を行う。 ③</td> <td>ステンレス鋼鋳鋼</td> <td>$P_1 + P_b$</td> <td>1.5Sm</td> </tr> <tr> <td>上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部</td> <td>荷重分布を考慮し、結合部の強度評価を行う。</td> <td>ステンレス鋼 ジルカロイ-4</td> <td>-</td> <td>結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重</td> </tr> <tr> <td>支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④</td> <td>荷重分布を考慮し、拡管部の強度評価を行う。</td> <td>ステンレス鋼 ジルカロイ-4 718 合金</td> <td>-</td> <td>結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重</td> </tr> <tr> <td>制御棒案内シンプル</td> <td>荷重分布を考慮し、応力評価を行う。</td> <td>ジルカロイ-4</td> <td>P_n</td> <td>Sm</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) 応力は以下に示す ASME Sec. III の炉心支持構造物の分類に従った。</p> <p>P_n : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Sm : 設計応力強さ (ASME に従う。但し、ジルカロイ-4 については、0.2% 耐力の 2/3 あるいは引張強さの 1/3 のいずれか小さい方)</p> | 構成部品 | 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 ^(注1) | ② 上部ノズル、下部ノズル | ① 上部及び下部ノズルの応力評価を行う。 ③ | ステンレス鋼鋳鋼 | $P_1 + P_b$ | 1.5Sm | 上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部 | 荷重分布を考慮し、結合部の強度評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 | - | 結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重 | 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④ | 荷重分布を考慮し、拡管部の強度評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 718 合金 | - | 結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重 | 制御棒案内シンプル | 荷重分布を考慮し、応力評価を行う。 | ジルカロイ-4 | P_n | Sm | <p>体裁を A 型設認に統一 A 型設認添付書類二 4.1 項</p> <p>① 応力発生部位から構成部品名に変更</p> <p>② 評価が厳しい「上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部」のみに変更 補足説明資料 5 第 4-2 図を参照</p> <p>③ 評価が厳しい「結合部」のみに変更 補足説明資料 5 第 4-2 図を参照</p> <p>④ 「最上部、最下部支持格子について機械的結合部」を具体的な表現として「拡管部」に変更 拡管部の評価については補足説明資料 5 添付 2 を参照</p> |
| 構成部分 | ① 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上部及び下部ノズル | アダプタプレート及び下部ノズルプレートの応力評価を行う。 | ステンレス鋼鋳鋼 | $P_L + P_b$ | ASME Sec. III に準拠して設定された Sm の 1.5 倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 制御棒案内シンプル | 荷重分布を考慮し、応力評価を行う。 ③ | ジルカロイ-4 | P_M | ASME Sec. III に準拠して設定された Sm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ② 上部及び下部ノズル-制御棒案内シンプル結合部 | 荷重分布を考慮し、溶接部、結合部にかかる応力評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 | - | 結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④ | 荷重分布を考慮し、最上部、最下部支持格子について機械的結合部の強度評価を行う。 | ジルカロイ-4 ステンレス鋼 718 合金 | - | 結合部の荷重変位曲線の弾性限界を許容値とする。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 構成部品 | 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 ^(注1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ② 上部ノズル、下部ノズル | ① 上部及び下部ノズルの応力評価を行う。 ③ | ステンレス鋼鋳鋼 | $P_1 + P_b$ | 1.5Sm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部 | 荷重分布を考慮し、結合部の強度評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 | - | 結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ④ | 荷重分布を考慮し、拡管部の強度評価を行う。 | ステンレス鋼 ジルカロイ-4 718 合金 | - | 結合部の強度試験に基づく荷重変位曲線の弾性限界荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 制御棒案内シンプル | 荷重分布を考慮し、応力評価を行う。 | ジルカロイ-4 | P_n | Sm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-17表 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における
燃料集合体主要評価項目

第4-2表 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における燃料集合体の評価項目

| 構成部分 | 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 |
|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------------------|---|
| 上部及び下部ノズル | スクラム時の衝撃力 | ステンレス鋼 鋳鋼 | $P_L + P_b$ | ASME Sec. IIIに準拠して 設定された S_m の1.5倍 |
| 上部ノズル 押さえばね | 機械設計流量時 | 718合金 | ② | ・通常運転時は燃料集合体 が浮き上がらないこと。 ・ポンプオーバースピード 時は上部ノズル押さえばねの 健全性が損なわれないこと。 |
| | ポンプオーバースピード時 | | | |
| 制御棒案内 シンプル ① | 熱膨張、照射成長、水力の揚力、浮力、上部ノズル押さえばね力、自重 | ジルカロイ-4 | P_{N1} ^(注2) | ASME Sec. IIIに準拠して 設定された S_m |
| | 制御棒落下時荷重 | | | |

| 構成部品 | 考慮点 | 材料 | 応力 ^(注1) | 許容値 ^(注1) |
|-------------|--------------|----------|-----------------------|---------------------------|
| 上部ノズル、下部ノズル | スクラム時の衝撃力 | ステンレス鋼鋳鋼 | $P_L + P_b$ | 1.5 S_m |
| 制御棒案内シンプル ① | スクラム時の衝撃力 | ジルカロイ-4 | P_L | 1.5 S_m |
| | 運転時荷重 | | P_m ^(注2) | S_m |
| 上部ノズル押さえばね | 機械設計流量時 | 718合金 | ② | 燃料集合体の浮き上がり防止のための必要なばね力 |
| | ポンプオーバースピード時 | | — | 上部ノズル押さえばねの塑性変形が進行しないたわみ量 |

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 4.1項

①
設認では運転時荷重の詳細を記載

②
許容値を定量的な記載に変更したものであり、設計に影響しない

「健全性が損なわれないこと」を具体的な表現に変更したものであり、補足説明資料5 添付4に示す通り、設計に影響しない

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

P_{N1} : 一次一般膜応力

P_L : 一次局部膜応力

P_b : 一次曲げ応力

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

(注2) ASME Sec. III では二次応力まで考慮している。しかし、燃料集合体では以下の理由により考慮していない。

・支持格子と燃料棒がすべることにより、燃料棒と制御棒案内シンプルの熱膨張差、照射成長差を吸収し、しかも燃料棒拘束力は照射により緩和していくこと。

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

P_m : 一次一般膜応力

P_L : 一次局部膜応力

P_b : 一次曲げ応力

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

(注2) ASME Sec. III では二次応力まで考慮している。しかし、燃料集合体では以下の理由により考慮していない。

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

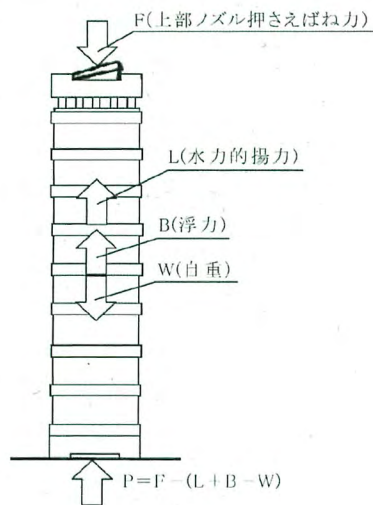
| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|--|---|--|
| <p>4.2 燃料集合体の強度計算方法</p> <p>①【前節で述べた設計基準を、本燃料集合体が満足することを確認するために燃料集合体の強度計算を行う。以下にこれらの評価方法の概要を述べる。</p> <p>また、燃料集合体の強度評価流れ図を第2-23図に示す。</p> <p>燃料集合体の強度評価においては、輸送及び取扱い中に加わる6Gの設計荷重、及び通常運転時並びに運転時の異常な過渡変化時において加わる荷重に対して、各構成要素が著しい変形を生じないための強度を有しており、その機能を保持していることを確認する。</p> <p>燃料集合体の構成部品であるジルカロイ-4及びステンレス鋼は高速中性子照射により強度は増加する (添付書類一の3.3項及び3.8項参照)。また、718合金は高速中性子の照射に伴う強度の大きな変化は認められない。(添付書類一の3.5項参照)。これらにより燃料集合体の健全性評価は、安全側に未照射材の強度を用いる。】</p> <p>4.2.1 輸送及び取扱い時における評価方法</p> <p>②【取扱い時、取扱いクレーンによる荷重はクレーンが燃料集合体を吊り上げた時に上部ノズルに引張荷重が加わり、着底した時に下部ノズルに圧縮荷重が加わる。予想される最大荷重は各種クレーンの特性に依存するが、6Gの荷重は十分安全側の値である。</p> <p>また、輸送時に急停止あるいは急加速により、上部ノズルあるいは下部ノズルを圧縮する方向に荷重が加わる。予想される荷重は、6Gよりも十分低い、さらに輸送容器には加速度計が設けられ実際の荷重がこの設定値以下であることを確認する。</p> <p>以上を考慮して、設計荷重は6Gを想定して評価している。万一6G以上の荷重の指示があった場合は燃料集合体の健全性を確認する。</p> <p>(1) 上部及び下部ノズル</p> <p>上部ノズルは、燃料輸送時及び燃料取扱時で、上述のように荷重の加わり方が異なるため、それぞれの荷重条件を考慮し、有限要素法にて最大応力を評価する。</p> <p>一方、下部ノズルには、燃料輸送時及び燃料取扱時ともに、圧縮荷重が加わるので、その時の最大応力を有限要素法にて評価する。】</p> | <p>4.2 燃料集合体強度評価方法</p> <p>①【4.1項で述べた設計基準に従って強度評価を行う。以下にこれら評価方法の概要を述べる。</p> <p>また第4-1図に燃料集合体強度評価フロー図を示す。</p> <p>燃料集合体の強度評価においては、燃料輸送及び取扱い時に加わる6Gの設計荷重並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において加わる荷重に対して、各構成要素が著しい変形を生じないための強度を有しており、その機能を保持していることを確認する。</p> <p>燃料集合体の構成部品であるジルカロイ-4及びステンレス鋼は高速中性子照射により強度は増加する (資料8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の6.2項及び9.2項参照)。また、718合金は高速中性子照射により耐力は増加し、引張強さはわずかに変化する (資料8「燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐食性その他の性能に関する説明書」の7.2項参照)。これらより燃料集合体の強度評価は、安全側に未照射材の強度を用いる。】</p> <p>③【なお、評価に使用する解析コードは「MSC NASTRAN Ver.70」(以下「NASTRAN」という。)である。評価に用いる解析コードNASTRAN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>4.2.1 燃料輸送及び取扱い時における評価方法</p> <p>②【燃料輸送時に急停止あるいは急加速により、上部ノズルあるいは下部ノズルを圧縮する方向に荷重が加わるが、荷重の大きさは輸送容器に装備されたショック指示計にて監視し、6Gの設計荷重内にあることを確認している。</p> <p>一方、燃料取扱時、取扱クレーンによる荷重はクレーンが燃料集合体を吊り上げたときに上部ノズルに引張荷重が加わり、着底したときに下部ノズルに圧縮荷重が加わるが、荷重の大きさは使用されるクレーンの特性で決まり、3~4G以下である。</p> <p>以上を考慮して、設計荷重は6Gを設定し評価している。但し、6G以上の荷重があった場合には再評価を行う。</p> <p>(1) 上部及び下部ノズルの応力評価</p> <p>上部ノズルは、燃料輸送及び取扱い時で、上述のように荷重の加わり方が異なるため、それぞれの荷重条件を考慮し、有限要素法にて最大応力を】④【NASTRANコードを用いて】②【評価する。</p> <p>一方、下部ノズルには、燃料輸送及び取扱い時ともに、圧縮荷重が加わるので、そのときの最大応力を】④【NASTRANコードを用いて】②【有限要素法にて評価する。】</p> | <p>①、② 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.2項</p> <p>③ 設工認になったことに伴うプログラム概要の追加</p> <p>④ 設工認になったことに伴い解析コード名称を明記</p> |

| <p>設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7</p> | <p>備考</p> |
|--|--|--|
| <p>(2) 制御棒案内シンプル応力 ①【制御棒案内シンプルは、最上部、最下部の支持格子及び上部、下部のノズルと結合しているため、上述のように上部及び下部ノズルに加わる荷重が、ノズル-制御棒案内シンプル結合部及び支持格子-制御棒案内シンプル結合部を介して制御棒案内シンプルに伝わる荷重を考慮して評価する。】</p> <p>(3) ノズル-制御棒案内シンプル結合部 ②【上述のように上部及び下部ノズルと制御棒案内シンプルの結合部に加わる荷重を考慮して発生する応力を評価する。】</p> <p>(4) 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 ③【上述のように最上部、最下部の支持格子と制御棒案内シンプルの結合部に加わる荷重を考慮して、この部分の強度を評価する。】</p> <p>4.2.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における評価方法 ④【通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時には熱膨張、照射成長、水力的揚力、浮力、上部ノズル押さえばね力、自重及びスクラム時の荷重などを考慮して燃料集合体の強度を評価する。第2-24図に通常運転時に作用する荷重を示す。また第2-25図に運転時の異常な過渡変化時に作用する荷重を示す。】</p> <p>(1) 上部及び下部ノズル 運転時の荷重としては、制御棒クラスタ¹⁾がスクラム時に落下して、ダッシュポット²⁾に入るときの荷重(SF)または上部ノズルと衝突するときの荷重(SC)を考える。 上部及び下部ノズルには、制御棒クラスタが温態で流量のない状態で落下するとき最も大きな衝撃力が加わるため、このときに発生する応力を評価する。</p> <p>¹⁾ 1つの制御棒スパイダ及び24本の制御棒から構成された構造物 ²⁾ 制御棒案内シンプルは太径部と細径部を有している。太径部から細径部が変わる部分をダッシュポットと呼び、この部分では制御棒クラスタ落下時に冷却材の抵抗が大きくなり、燃料集合体への衝撃が緩和される。】</p> | <p>(2) 上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部強度評価 ②【上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部に加わる荷重を評価する。】</p> <p>(3) 支持格子-制御棒案内シンプル結合部強度評価 ③【燃料棒と制御棒案内シンプルとの荷重分担を考慮し、支持格子スリーブ拡管部の荷重を】⑤【NASTRANコードを用いて】③【評価する。】</p> <p>(4) 制御棒案内シンプル応力評価 ①【上記と同様に燃料棒と制御棒案内シンプルとの荷重分担を考慮し、制御棒案内シンプルの応力を】⑤【NASTRANコードを用いて】①【評価する。】</p> <p>4.2.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における評価方法 ④【(1) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における応力評価 通常運転時においては、水力的揚力(L)、浮力(B)、ホールドダウン力(F)、自重(W)を考慮して応力評価を行う。第4-2図に通常運転時に作用する荷重を示す。また、運転時の異常な過渡変化時には通常運転時荷重に加えて、スクラムによる荷重を考慮して応力評価を行う。 スクラム時の荷重としては、 a. ダッシュポット部^(注1)に制御棒クラスタ^(注2)が挿入され、落下速度が急激に減速する際の衝撃力(SF) b. 上部ノズルに制御棒クラスタが着底する際の衝撃力(SC) が挙げられる。a. はダッシュポット部よりも下部に対して、b. は上部ノズルより下部に対して荷重が作用する。また、これら2つの荷重は同時に発生しない。 したがって、上部ノズルに対してはb. を、ダッシュポット部及び下部ノズルに対してはa. 又はb. の大きい方を考慮して応力評価を行う。また、上部及び下部ノズルに対する応力評価は】⑤【NASTRANコードを用いて】④【行う。第4-3図に通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作用する荷重を示す。 (注1) 制御棒案内シンプルの下部の径を細くすることによって内部に保有する1次冷却材の抵抗により、制御棒クラスタ落下による燃料集合体への衝撃を減少させる部分 (注2) 1つの制御棒スパイダ及び24本の制御棒から構成された構造物】</p> | <p>①、④ 体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.2項</p> <p>② 評価が厳しい「上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部」のみに変更 補足説明資料5 第4-2図を参照</p> <p>③ 評価が厳しい「支持格子スリーブ拡管部」のみに変更 拡管部の評価については補足説明資料5 添付2を参照</p> <p>⑤ 設工認になったことに伴い解析コード名称を明記</p> |

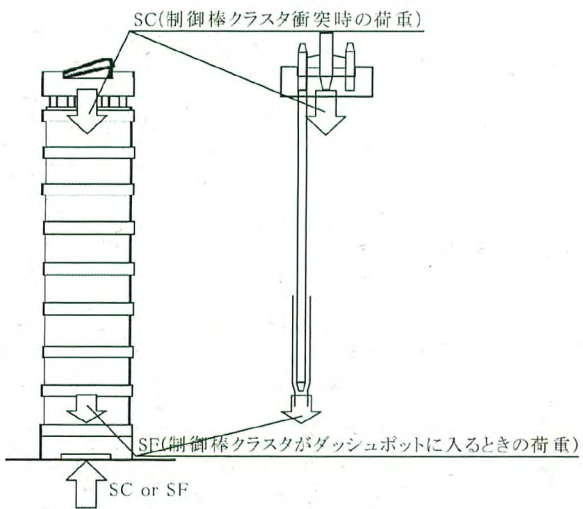
| <p>設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二</p> | <p>設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7</p> | <p>備考</p> |
|---|--|--|
| <p>(2) 上部ノズル押さえばね</p> <p>①【上部ノズル押さえばねは、燃料集合体の照射や熱による膨張を吸収するとともに、一次冷却材による燃料集合体の浮き上がりを防止する働きをする。燃料集合体の浮き上がりは、機械設計流量^①で評価する。</p> <p>通常運転時の燃料集合体浮き上がりの評価は、燃料寿命初期（燃料集合体燃焼度：OMWd/t）で行う。これは、上部ノズル押さえばねのばね力の緩和を考慮しても、燃料集合体が照射成長するため、燃料寿命初期（燃料集合体燃焼度：OMWd/t）での上部ノズル押さえばね力が最も小さいからである。】</p> <p>②【運転時の異常な過渡変化時の現象の一つであるポンプオーバースピード^②時は、<input type="text"/>流量で評価する。】</p> <p>③【^①原子炉一次系内構造物等の機械設計を行うために定められた一次冷却材流量であり、定格条件に対して高い値が設定されている。】</p> <p>②【^②運転時の異常な過渡変化として急激な負荷減少が発生した際に、タービン及び発電機の回転数が増加して一次冷却材ポンプの回転数が増加することにより、冷却材流量が増加する。この現象をポンプオーバースピードと呼ぶ。】</p> <p>(3) 制御棒案内シンプル</p> <p>④【通常運転時には、水力的揚力(L)、浮力(B)、上部ノズル押さえばね力(F)、自重(W)を考慮して評価する。上部ノズル押さえばねによる圧縮荷重及び燃料棒と制御棒案内シンプルの熱膨張差が、燃料棒-支持格子の相互作用を通じて制御棒案内シンプルに加える引張荷重が加わる。しかし、支持格子と燃料棒がすべることにより、燃料棒と制御棒案内シンプルの熱膨張差、照射成長差を吸収し、しかも燃料棒拘束力は照射により緩和していくことから、熱膨張差及び照射成長差による荷重は考慮しない。また、制御棒案内シンプルの両端は上部及び下部ノズルに固定されているため、一次冷却材の流れによる振動振幅はわずかであり、これによる発生応力も極めて小さいことから、水力振動による応力は考慮していない。</p> <p>また、制御棒クラスタが落下する際には制御棒案内シンプルのダッシュポット部に衝撃による圧力(SF)が加わることを考慮して評価する。】</p> <p>⑤【なお、燃料寿命中にスクラムが<input type="text"/>と設定しても累積疲労損傷係数は上部ノズルで<input type="text"/>%、下部ノズルで<input type="text"/>%、制御棒案内シンプルで<input type="text"/>%程度であり、疲労に与える影響は小さい。】</p> | <p>(2) 上部ノズル押さえばねの機能評価</p> <p>①【上部ノズル押さえばねに要求される機能は次のとおりである。</p> <p>a. 機械設計流量に対して、燃料集合体の浮き上がりを防止する。】</p> <p>⑥【b. 運転時の異常な過渡変化時の事象であるポンプオーバースピード^(注3)条件で、上部ノズル押さえばねの塑性変形は進行しない。】</p> <p>①【通常運転時の燃料集合体の評価は、最も条件が厳しい燃料寿命初期において行い、】⑦【浮き上がり方向の荷重としては、水力的揚力及び浮力を、それと反対方向の荷重としては、燃料集合体自重及びばね力を考慮する。】</p> <p>②【運転時の異常な過渡変化時の事象であるポンプオーバースピード条件下では、<input type="text"/>の流量に対し、上部ノズル押さえばねの健全性を評価する。</p> <p>(注3) 運転時の異常な過渡変化として負荷急減が発生した場合、タービン及び発電機の回転数が増加し、それに伴い1次冷却材ポンプの回転数が増加することにより、1次冷却材流量が増加する現象】</p> <p>4.2.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における評価方法</p> <p>⑤【(1) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における応力評価 なお、燃料寿命中にスクラムが<input type="text"/>回と設定しても累積疲労損傷係数は上部ノズルで<input type="text"/>%、下部ノズルで<input type="text"/>%、制御棒案内シンプルで<input type="text"/>%程度であり、疲労に与える影響は小さい。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.2.2項</p> <p>③ 一般的な用語の補足であるため、設工認には記載していない</p> <p>④ 本内容については第4-2表 注2及び4.2.2項(1)に記載</p> <p>⑥ 第4-2表の許容値を追記。補足説明資料5 添付4を参照。</p> <p>⑦ 本内容については設認添付書類二 第2-24図（設工認資料7 第4-2図）に記載</p> |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|------------------------------|-----------------------------|--|
| <p>第2-23図 燃料集合体の解析</p> | <p>第1-1図 燃料集合体強度評価フロー図</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 図4-1</p> <p>制御棒スクラムモデルの評価フローに制御棒案内シムル応力の評価を追記 設認では添付書類二 第2-21表で評価しており、フローを適正化したものである</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

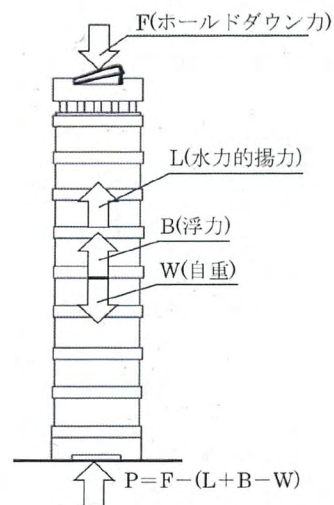


第 2-24 図 通常運転時に作用する荷重

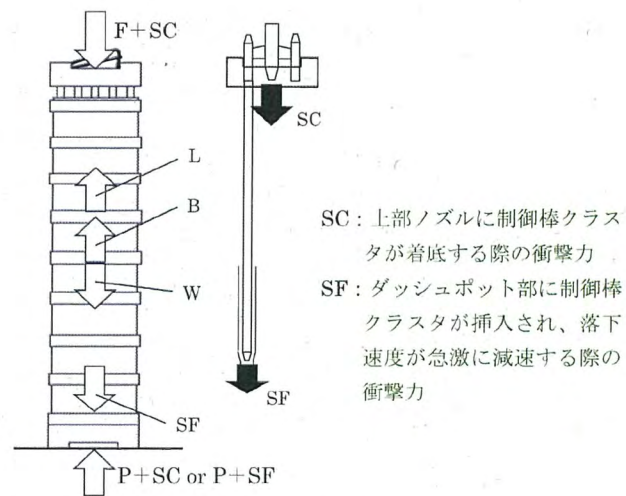


第 2-25 図 異常な過渡変化時に作用する荷重

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7



第 4-2 図 通常運転時荷重



第 4-3 図 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時荷重

備考

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|--|
| <p>4.3 燃料集合体の強度計算結果</p> <p>4.3.1 輸送及び取扱い時における強度評価結果</p> <p>①【(1) 上部及び下部ノズル</p> <p>有限要素法により計算した上部及び下部ノズルに発生する応力を第2-18表に示す。上部ノズルの最大応力は上部プレート部で発生し、下部ノズルの最大応力は下部ノズル外周部で発生するが、発生応力は許容値以下であることから健全性が損なわれることはない。】</p> <p>②【(2) 制御棒案内シンプル応力</p> <p>有限要素法により計算した制御棒案内シンプルに発生する応力を第2-18表に示す。最大応力は上部ノズルと最上部支持格子間の制御棒案内シンプルで発生するが、発生応力は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。】</p> <p>③【(3) ノズル-制御棒案内シンプル結合部</p> <p>上部及び下部ノズルと制御棒案内シンプルの結合は、ネジ構造により行われているため、制御棒案内シンプルと同じ設計荷重が作用する。</p> <p>ここで、結合部であるネジ部の有効断面積は、制御棒案内シンプルの管断面積より大きいため、ネジ部の発生応力は制御棒案内シンプルに発生する応力より小さくなる。</p> <p>従って、ノズル-制御棒案内シンプル結合部は、設計荷重に対する強度評価を行う上で制限因子とならず、健全性が損なわれることはない。</p> <p>(4) 支持格子-制御棒案内シンプル結合部</p> <p>結合部に生じる最大発生荷重を第2-18表に示す。最大荷重は最上部支持格子と制御棒案内シンプルの結合部で発生するが、結合部の発生荷重は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。】</p> <p>④【横方向に6G荷重が作用した場合、各支持格子固定の条件で6Gの荷重に対して被覆管に発生する応力は、約□N/mm²と耐力(約310N/mm²(385℃))に比べて十分小さい。また、支持格子ばねに作用する荷重は約□Nであるのに対し、支持格子のばねの塑性変形が進行する荷重は約□Nであるので、支持格子のばねに永久変形が生じることはなく、保持機能は確保される。】</p> | <p>4.3 強度評価結果</p> <p>4.3.1 燃料輸送及び取扱い時における評価結果</p> <p>①【(1) 上部及び下部ノズルの応力評価</p> <p>第4-3表に上部及び下部ノズルに生じる最大応力と許容応力を示す。上部ノズルの最大応力は上部ノズル外周部で発生し、下部ノズルの最大応力は下部ノズル外周部で発生するが、永久変形は生じない。】</p> <p>③【(2) 上部ノズル-制御棒案内シンプル結合部強度評価</p> <p>上部ノズルと制御棒案内シンプルの結合は、ネジ構造により行われているため、制御棒案内シンプルと同じ設計荷重が作用する。</p> <p>ここで結合部であるネジ部の有効断面積は、制御棒案内シンプルの管断面積より大きいため、ネジ部の発生応力は制御棒案内シンプルに発生する応力より小さくなる。</p> <p>したがって、ノズル-制御棒案内シンプル結合部は、設計荷重に対する強度評価を行う上で制限因子とならず、健全性が損なわれることはない。</p> <p>(3) 支持格子-制御棒案内シンプル結合部強度評価</p> <p>第4-3表に結合部に生じる最大荷重と許容荷重を示す。最大荷重は最上部支持格子の結合部で発生するが、永久変形は生じない。】</p> <p>②【(4) 制御棒案内シンプル応力評価</p> <p>第4-3表に制御棒案内シンプルに生じる最大応力と許容応力を示す。最大応力は上部ノズルと最上部支持格子間の制御棒案内シンプルで発生するが、永久変形は生じない。】</p> <p>④【なお、横方向については各支持格子部固定の条件で6Gの荷重に対して被覆管に発生する応力は、約□MPaと耐力(約310MPa)に比べて十分に小さい。また、支持格子のばねに作用する荷重は約□Nであるのに対し、支持格子のばねの塑性変形が進行する荷重は約□Nであるので、支持格子のばねに永久変形が生じることはなく、保持機能は確保される。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.3.1項</p> |

| <p>設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二</p> | <p>設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7</p> | <p>備考</p> |
|---|---|---|
| <p>4.3.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度評価結果</p> <p>①【(1) 上部及び下部ノズル 運転時の荷重としてスクラム時の衝撃力を考慮し、上部及び下部ノズルに生じる最大応力を第2-19表に示す。この応力は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。】</p> <p>②【(2) 上部ノズル押さえばね 評価の結果を第2-20表に示す。通常運転時において燃料集合体が浮き上がることはない。ポンプオーバースピード時には燃料集合体は浮き上がるが、上部ノズル押さえばねの健全性は損なわれないことを試験により確認している。】</p> <p>③【(3) 制御棒案内シンプル 評価の結果を第2-21表に示す。通常運転時と制御棒クラスタ落下時のいずれの評価条件においても、制御棒案内シンプル太径部及びダッシュポット部に発生する最大応力は許容値以下であることから、健全性が損なわれることはない。】</p> <p>④【また、第2-21表の通常運転時の応力は、地震時応力と組み合わせるための応力として使用する。】</p> | <p>4.3.2 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における評価結果</p> <p>①【(1) 応力評価</p> <p>a. 上部ノズル 運転中の荷重としてスクラム時の衝撃力を考慮し、上部ノズルに生じる最大応力を第4-4表に示す。ここから分かるとおり、最大応力は許容応力よりも小さい。</p> <p>b. 下部ノズル 運転中の荷重としてスクラム時の衝撃力を考慮し、下部ノズルに生じる最大応力を第4-4表に示す。ここから分かるとおり、最大応力は許容応力よりも小さい。】</p> <p>③【c. 制御棒案内シンプル 運転中の制御棒案内シンプルに発生する最も厳しい荷重としてスクラム時の衝撃力を考慮し、ダッシュポット部に生じる最大応力を第4-4表に示す。ここから分かるとおり、最大応力は許容応力よりも小さい。 また、通常運転時の荷重に対する応力を評価した。ダッシュポット部の応力評価結果を第4-4表に示す。ここから分かるとおり、最大応力は許容応力よりも小さい。】 なお、二次応力を考慮しても、制御棒案内シンプルに生じる最大応力は許容応力よりも小さいことを確認している。】</p> <p>②【(2) 上部ノズル押さえばねの機能評価 燃料寿命初期の低温起動時及び高温全出力時の評価結果を第4-5表に示す。それぞれの場合に上部ノズル押さえばねに要求される方に比べ、ばね力はこれよりも大きく、通常運転時における燃料集合体の浮き上がりは防止できる。 また、運転時の異常な過渡変化時の事象であるポンプオーバースピード条件下 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> では、燃料集合体は浮き上がるが、上部ノズル押さえばねの健全性は損なわれないことを試験により確認している。】</p> | <p>体裁をA型設認に統一 A型設認添付書類二 4.3.2項</p> <p>④ 地震時の強度計算に関する説明は資料6に記載</p> |

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

第2-18表 強度評価結果(6G相当荷重)

①

| 構成部分 | 荷重 | 評価値 | 許容値 |
|-------------------|------------------------|--|--|
| 上部ノズル | <input type="text"/> N | <input type="text"/> N/mm ² | <input type="text"/> N/mm ² |
| 下部ノズル | <input type="text"/> N | <input type="text"/> N/mm ² | <input type="text"/> N/mm ² |
| 制御棒案内シンプル | <input type="text"/> N | <input type="text"/> N/mm ² | <input type="text"/> N/mm ² |
| 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 | — | <input type="text"/> N | <input type="text"/> N |

第2-19表 上部及び下部ノズルの応力評価(制御棒落下時)

①

| | 荷重(N) | 最大応力(N/mm ²) | 許容値(N/mm ²) |
|-------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 上部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 下部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

第4-3表 燃料輸送及び取扱い時の荷重における評価結果

② (単位: MPa)

| 構成部品 | 最大応力 | 許容応力 | 設計比 ^(注3) |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 上部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.87 |
| 下部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.83 |
| 支持格子-制御棒案内シンプル結合部 | <input type="text"/> ^(注1) | <input type="text"/> ^(注2) | 0.67 ^(注4) |
| 制御棒案内シンプル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.89 |

- ③
- (注1) 最大荷重(N)
 - (注2) 許容荷重(N)
 - (注3) 許容応力値に対する最大応力値の比である。
 - (注4) 許容荷重値に対する最大荷重値の比である。

第4-4表 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の応力評価結果

②(単位: MPa)

| | 最大応力 | 許容応力 | 設計比 ^(注1) |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|
| 上部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.31 |
| 下部ノズル ^(注2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.15 |
| ④ 制御棒案内シンプル ^(注2) ダッシュポット部 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.48 |
| ④ 制御棒案内シンプル ^(注3) ダッシュポット部 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.14 |

- ②
- (注1) 許容応力値に対する最大応力値の比である。
- ④
- (注2) 制御棒案内シンプルダッシュポット部に制御棒クラスタが挿入され、落下速度が急激に減速する際の衝撃力。
 - (注3) 制御棒案内シンプルに対する通常運転時の応力。

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 4.3項

①
体裁統一に伴い荷重を削除したものの、評価値及び最大応力には変更はない

②
体裁統一に伴う設計比の追加

③
荷重で評価しているものと応力で評価しているものがあるため、注釈で説明

④
制御棒案内シンプルの評価結果については設認添付書類二 第2-21表に記載

設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

第2-20表 上部ノズル押さえばね

(単位:N)

| ① 条件 | 上方向の力 | | 下方向の力 | | ばね力 (e) | 評価 |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|--|
| | 浮き上がり力 (a) | 浮力 (b) | 自重 (c) | ばね力として必要な力 (d)= (a)+(b)-(c) | | |
| 温態全出力時 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 浮き上がらない。 |
| 冷態起動時 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 浮き上がらない。 ② ③ |
| ホーンブオーバースピード時 (温態) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | ばね力として必要な力は、温態全出力時でのばね力 <input type="text"/> より大きいため、浮き上がる。ただし設計弾性限界ばね力以内であり、健全性は損なわれない。 |

② *1:釣り合った状態でのばね力

第2-21表 制御棒案内シンプルの応力評価

| 条件 | 最大応力 (N/mm ²) | 許容値 (N/mm ²) |
|---------|---------------------------|--------------------------|
| 通常運転時 ④ | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 制御棒落下時 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

[]内はダッシュポット部応力

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

第4-5表 上部ノズル押さえばね評価結果

(単位:N)

| | 上部ノズル押さえばねに要求される力 ^(注1) | 上部ノズル押さえばね力 ^② | 評価 | ⑤ ^(注2) 設計比 |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| 低温起動時 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 浮き上がらない。 | 0.58 |
| 高温全出力時 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 浮き上がらない。 ③ | 0.43 |
| ポンプオーバースピード時 (高温) | <input type="text"/> | — | 浮き上がるがばねの塑性変形は進行しない。 | — |

(注1) 水力の揚力+浮力-自重

(注2) 「上部ノズル押さえばね力」に対する「上部ノズル押さえばねに要求される力」の比である。

(再掲)

第4-4表 通常運転時及び運転時の異なる過渡変化時の応力評価結果

⑤ (単位:MPa)

| | 最大応力 | 許容応力 | 設計比 ^(注1) |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|
| ⑥ 上部ノズル | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.31 |
| 下部ノズル ^(注2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.15 |
| 制御棒案内シンプル ^(注2) ダッシュポット部 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.48 |
| ⑤ 制御棒案内シンプル ^(注3) ダッシュポット部 ④ | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 0.14 |

(注1) 許容応力値に対する最大応力値の比である

(注2) 制御棒案内シンプルダッシュポット部に制御棒クラスタが挿入され、落下速度が急激に減速する際の衝撃力。

(注3) 制御棒案内シンプルに対する通常運転時の応力。

備考

体裁をA型設認に統一
A型設認添付書類二 4.3.2項

① 体裁統一に伴いばね力の内訳を削除したものの、ばね力として必要な力には変更はない

② 所定の位置にて発揮するばね力を上部ノズル押さえばね力として記載するようにしたものであり、浮き上がった状態のばね力は「-」としたもの

③ 「健全性が損なわれないこと」を具体的な表現に変更したものであり、補足説明資料5 添付4に示す通り、評価結果は同義であり、設計に影響しない

④ 最大値であるダッシュポット部応力のみ記載

⑤ 体裁統一に伴う設計比の追加

⑥ 上下部ノズルの評価結果については設認添付書類二第2-19表に記載

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| <p>5. 燃料集合体の地震時強度計算</p> <p>5.1 燃料集合体の地震時設計基準</p> <p>①【地震時に燃料集合体に要求される機能は、制御棒の挿入機能を阻害しないこと、崩壊熱除去可能な形状を維持すること及び被覆管の閉じ込め機能を維持することである。このため、下記の方針で燃料集合体を設計する。</p> <p>(1) 制御棒の挿入機能の確保 基準地震動Ss時及び弾性設計用地震動Sd時に制御棒案内シンプルが十分な強度を有し、支持格子の永久変形が制御棒クラスタの挿入性に支障がないよう設計する。</p> <p>(2) 崩壊熱除去可能な形状の維持及び被覆管の閉じ込め機能の維持 基準地震動Ss時及び弾性設計用地震動Sd時に崩壊熱除去可能な形状及び被覆管の閉じ込め機能が維持されるよう設計する。</p> <p>(1)については、制御棒案内シンプルの応力評価及び支持格子の強度評価により確認する。また、(2)については、被覆管の応力評価及び疲労評価により確認する。(1)及び(2)の設計基準設定にあたって考慮すべき基本的項目をまとめると、それぞれ第2-22表及び第2-23表のようになる。</p> <p>これらの基準は、原子力規制委員会規則「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 (平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号)」、原子力規制委員会規則「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則 (平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)」に記載されている考え方に基づいている。</p> <p>なお、燃料集合体の地震時における機能維持に係る評価は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)等に基づき、基準地震動Ss時及び弾性設計用地震動Sd時について行う。ここで、被覆管については基準地震動Ss時の許容値を保守的に弾性設計用地震動Sd時の許容値と同じとし、発生応力が高い基準地震動Ss時についてのみ評価する。支持格子、制御棒案内シンプルについては、基準地震動Ss時及び弾性設計用地震動Sd時について評価し、基準地震動Ssによる評価結果が弾性設計用地震動Sdの許容応力を満足する場合、当該の弾性設計用地震動Sdによる評価を省略する(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-1のとおり)。</p> <p>また、群振動計算においては、照射による耐震性への影響の程度を確認するため、運転中に生じる照射の影響として、以下の影響を考慮する。</p> <p>① 支持格子ばね力緩和 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。</p> <p>② 被覆管及び制御棒案内シンプルの腐食 被覆管及び制御棒案内シンプルは、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。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-22 表 地震時の制御棒挿入性機能の確保

| 設計要求 | 対象部材 | 考慮点 | 材料 | 応力 | 許容値 |
|-----------|---------------|-------------------|---------|--------------|---|
| 制御棒挿入性の確保 | 制御棒案内 シムプル | 設計地震 運転時荷重 | ジルカロイ-4 | P_{01} | 基準地震動 S_s 時: $2/3S_u$ と $2.45m$ の小さい方の値 弾性設計用地震動 S_d 時: S_m の 1.5 倍の値 |
| | | | | $P_{01}+P_0$ | 基準地震動 S_s 時: $2/3S_u$ と $2.45m$ の小さい方の値を 1.5 倍した値 弾性設計用地震動 S_d 時: S_m の 2.25 倍の値 |
| | 支持格子 | 設計地震 支持格子の位置ずれ | ジルカロイ-4 | — | 支持格子に生じる永久変形が制御棒挿入に支障のない範囲であること。 |

P_{01} : 一次一般応力
 P_0 : 一次曲げ応力
 S_u : 設計引張強さ
 S_m : 設計応力強さ

第 2-23 表 地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持及び被覆管の閉じ込め機能の維持

| 設計要求 | 対象部材 | 材料 | 評価項目 | 考慮点 | 許容値・設計基準 |
|------------------------------|------|-----|-------|---|--|
| 崩壊熱除去可能な形状の維持及び被覆管の閉じ込め機能の維持 | 被覆管 | NDA | 被覆管応力 | ・内外圧差による応力 (ベレット-被覆管接触圧も含む) ^{*1} ・熱応力 ^{*1} ・水力振動による応力 ^{*1} ・地震による応力 (基準地震動 S_s 時) | NDA の耐力以下であること。 |
| | | | 被覆管疲労 | ・寿命期間中の累積疲労損傷係数 ^{*1} ・地震による疲労損傷係数 (基準地震動 S_s 時) | 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。 |

*1 「3. 燃料棒の強度計算」において評価された応力又は累積疲労損傷係数

資料6と記載が重複するため削除

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---------------------------------|------------------------------|
| <p>5.2 燃料集合体の地震時強度計算方法</p> <p>①【地震時における強度評価は次のように行う。設計地震として水平地震及び鉛直地震を考慮する。</p> <p>水平地震に対しては、燃料集合体の地震応答計算により、燃料集合体変位及び支持格子の衝撃力、変形量を求める。計算は、原子炉内の燃料集合体群の動的応答を衝突現象も考慮して、燃料集合体に作用する上部及び下部炉心板位置での地震応答加速度を用いた時刻歴法により行う。次に、燃料集合体の水平方向応力解析によって、上記の燃料集合体変位に対して発生する被覆管及び制御棒案内シンプルの応力を求める。</p> <p>鉛直地震に対しては、燃料集合体の地震応答計算により鉛直荷重を求める。次に、燃料集合体の鉛直方向応力解析によって、上記の鉛直荷重に対して発生する被覆管及び制御棒案内シンプルの応力を求める。</p> <p>上記で求められた水平地震時の応力と鉛直地震時の応力を足し合わせることで、地震時の応力とする。このような耐震計算の流れは、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2の実績に基づいている。耐震計算の手順を第2-26図に示す。</p> <p>(1) 水平地震に対する群振動解析モデル及び計算方法</p> <p>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。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。</p> <p>①支持格子ばね力緩和</p> <p>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。</p> <p>②燃料被覆管及び制御棒案内シンプルの腐食</p> <p>燃料被覆管及び制御棒案内シンプルは、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。</p> <p>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。</p> <p>「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」に基づき、原子炉容器に位置する燃料集合体群のうち、最も大きな動的応答が生じると考えられる第2-27図に示されるような燃料集合体の配列体数(N=15体)を有する一列(x-x軸上)にとり、この燃料集合体群が地震により、その配列方向に加振される場合について計算する。</p> <p>計算は、第2-28図に示すモデルについて耐震設計計算コード(AQUARIUS) [32]を用いて行う。計算の概要を第2-29図に示す。</p> <p>炉心バップルと上・下部炉心板は一列の集合体群と冷却水を格納する一つの剛なる閉じた容器(水槽)とみなし、また集合体の上下端は容器にピン支持されているとする。なお、燃料集合体の上下端の支持条件は同一とする。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| <p>①【燃料集合体間での衝突は、支持格子の位置で起ると考えられるため、この点には計算上、支持格子の衝撃挙動に対応したばね定数及びダンピング係数を考慮する。ただし、最上部及び最下部の支持格子は、上部及び下部のノズルに極めて近い位置にあり、衝突を生じ得ないと考えられるので省略している。</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>燃料集合体は上・下支点（上部及び下部炉心板）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燃料集合体間間隔（δ）より大きくなると、まず、炉心バブ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。従って、応答計算は、衝突を考慮した時刻歴応答解析により行う。</p> <p>振動方程式を下記に示す。</p> $M \cdot \ddot{X} + C \cdot \dot{X} + K \cdot X = -M \cdot \ddot{X}_0 + F$ <p>ここで、</p> <p>\ddot{X}_0 : 地震波加速度 X : 節点の相対変位（\cdotは時間微分を表す） F : 衝突力又は支持反力 M : 質量マトリックス K : 剛性マトリックス C : 粘性マトリックス</p> <p>である。</p> <p>\ddot{X}_0は地震波加速度であり、上記方程式を時刻歴計算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。</p> <p>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。</p> <p>なお、K及びCは燃料集合体の変位により変化するものとして扱う。さらに、鉛直加速度に応じたKの低下をコード内部で考慮する。</p> <p>計算においては、地震加速度が計算モデルの上部及び下部より入力され、燃料集合体の振動応答が時刻歴で計算される。</p> <p>なお、地震加速度は、基礎岩盤に入った地震波が、原子炉容器支持構造物、上部及び下部炉心板へと伝播する現象を解析により求めることによって作成されたものである。評価に用いた地震波(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2のとおり)を第2-24表に示す。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|---|----------------------------|------------------------------|
| <p>①【(2) 鉛直地震に対する振動解析モデル及び計算方法</p> <p>計算は、第2-30図に示すモデルについて耐震設計計算コード(AQUARIUS)を用いて行う。主要部材である燃料棒と制御棒案内シンプル(炉内計装用案内シンプル等を含む)を合わせて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。</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。一方、上部ノズルの質点上方のばね要素は、上部ノズル押さえばねを表わすものである。</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> <p>M : 質量マトリックス K : 剛性マトリックス C : 粘性マトリックス \ddot{X}_0 : 地震波加速度 F_L : 上部ノズル押さえばね力</p> <p>である。</p> <p>計算においては、地震加速度が計算モデルの上部及び下部より入力され、燃料集合体の振動応答が時刻歴応答解析により計算される。</p> <p>なお、地震加速度は、基礎岩盤に入った地震波が、原子炉容器支持構造物、上部及び下部炉心板へと伝播する現象を解析により求めることによって作成されたものである。評価に用いた地震波(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2のとおり)を第2-24表に示す。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| <p>①【(3) 応力解析モデル及び計算方法</p> <p>水平方向応力解析モデルを第2-31図に示す。ここで、制御棒案内シンプルと上部ノズル、下部ノズル、上部支持格子及び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、支持格子ばね及びディンプルを模擬している。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。また、制御棒案内シンプルについても同様なモデル化を実施した。ノズル及び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2-32図に示す。ここで、制御棒案内シンプル、上部ノズル、下部ノズル、上部支持格子及び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、支持格子ばね及びディンプルを模擬している。</p> <p>計算においては、水平地震による応力について、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2-31図の水平方向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り求め、さらに、鉛直地震による応力について、第2-32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。解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

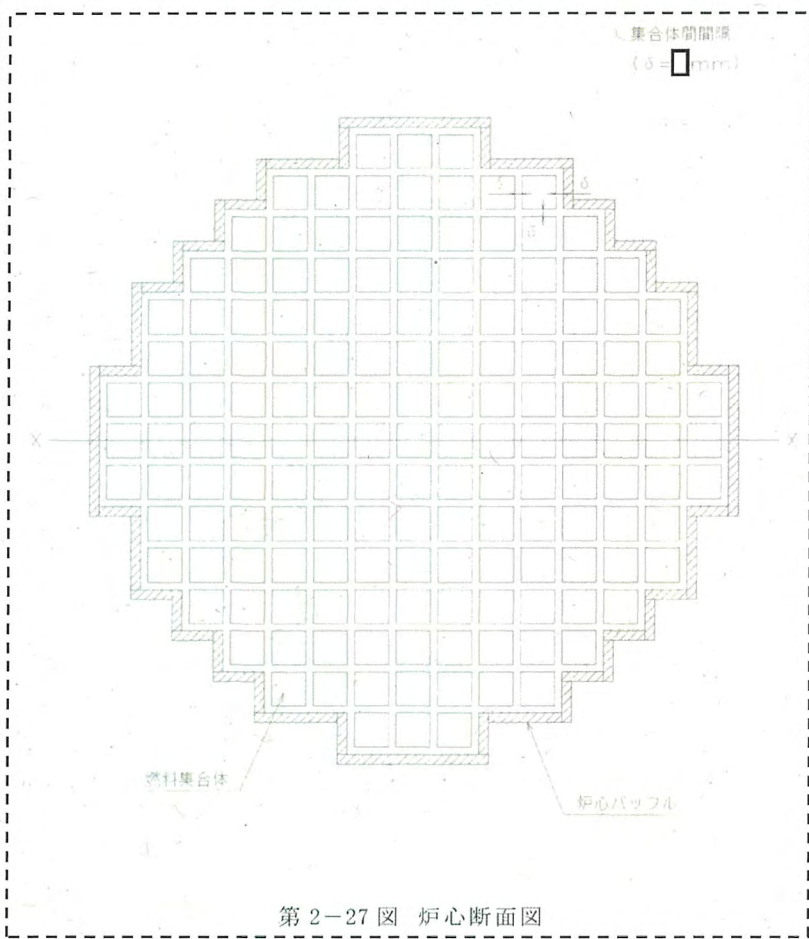
| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|---------------------|----|--------|------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|--------|------|---------------------|--------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|--|------------------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-24 表 評価に用いた地震波</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">分類</th> <th style="width: 45%;">地震波の名称</th> <th style="width: 40%;">方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="14" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Ss 地震波</td> <td style="text-align: center;">Ss-1</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-1</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-2</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-3</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-4</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-5</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-6</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-7</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-2-8</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-3-1</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-3-2EW</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ss-3-2NS</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Sd 地震波</td> <td style="text-align: center;">Sd-1</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Sd-3-1</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Sd-3-2EW</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Sd-3-2NS</td> <td>水平(EW, NS) 鉛直(V)</td> </tr> </tbody> </table> | | 分類 | 地震波の名称 | 方向 | Ss 地震波 | Ss-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-2 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-3 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-4 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-5 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-6 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-7 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-2-8 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-3-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-3-2EW | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Ss-3-2NS | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Sd 地震波 | Sd-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Sd-3-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Sd-3-2EW | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | Sd-3-2NS | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |
| 分類 | 地震波の名称 | 方向 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ss 地震波 | Ss-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-2 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-3 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-4 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-5 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-6 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-7 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-2-8 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-3-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-3-2EW | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ss-3-2NS | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sd 地震波 | Sd-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sd-3-1 | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sd-3-2EW | | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sd-3-2NS | | 水平(EW, NS) 鉛直(V) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|---|----------------------------|------------------------|
| <div data-bbox="134 255 940 1260" style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <pre> graph TD Start[スタート] --> CoreVert[炉心板応答波(鉛直地震力)] Start --> CoreHor[炉心板応答波(水平地震力)] Prop[物性値、初期条件等 (燃料集合体ばね定数等)] --> CoreHor CoreVert --> FuelAss[燃料集合体振動解析] CoreHor --> FuelAss CoreHor --> FuelGrp[燃料集合体群振動解析(注1)] FuelGrp --> MaxDisp[最大変位] FuelGrp --> MaxImpact[最大衝撃力] MaxDisp --> HorSeis[水平方向地震力による ・被覆管応力 ・制御棒案内シフル応力] MaxImpact --> HorSeis MaxImpact --> SupportGrid[・支持格子の健全性] FuelAss --> VertSeis[鉛直方向地震力による ・被覆管応力 ・制御棒案内シフル応力] HorSeis --> Earthquake[地震時応力] VertSeis --> Earthquake </pre> <p>(注1) 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</p> <p>第2-26図 耐震計算の手順</p> </div> | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考



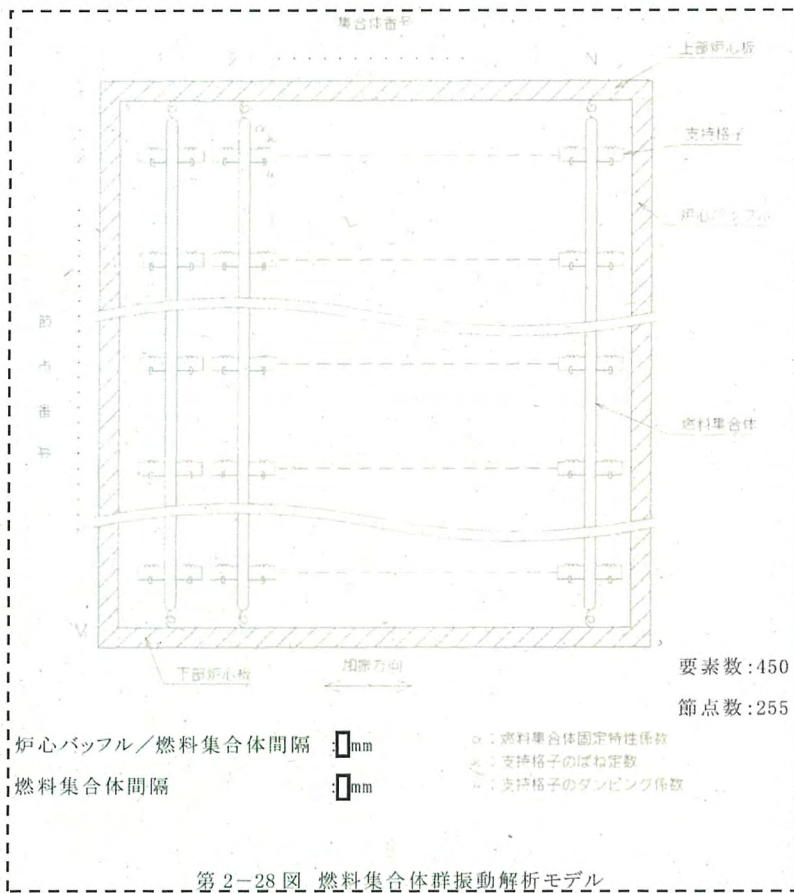
資料6と記載が重複するため削除

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

資料6と記載が重複するため削除

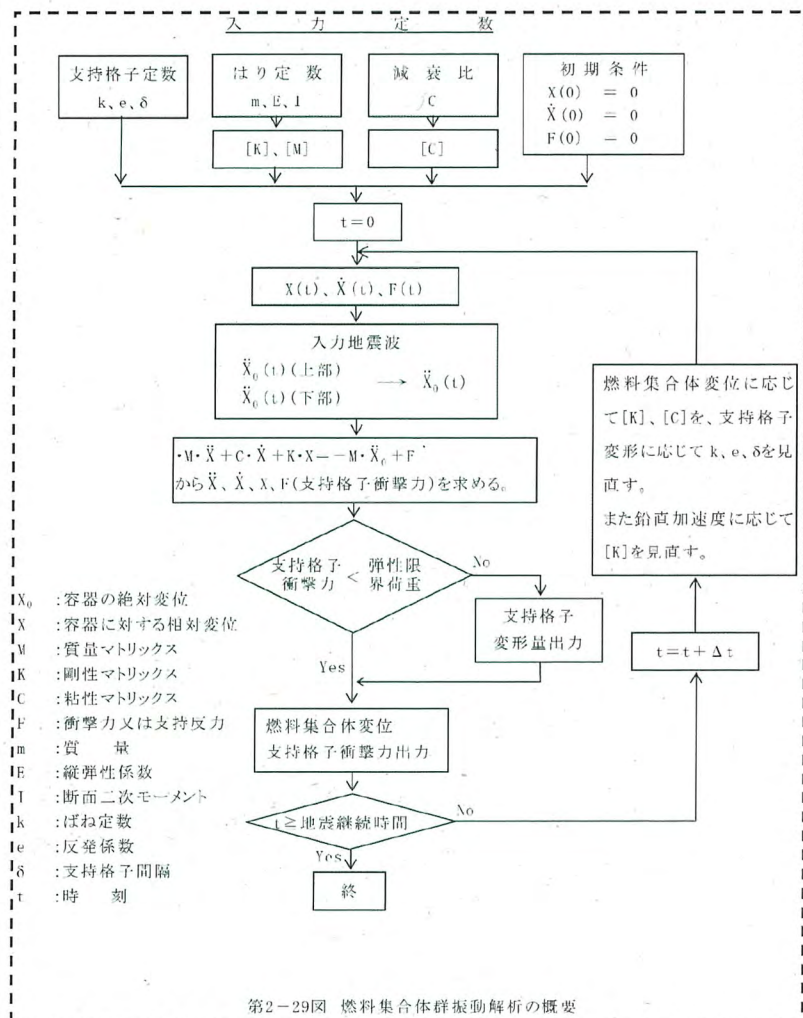


設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7

備考

資料6と記載が重複するため削除



| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---|---------------------------------|-----------------|
|  <p data-bbox="138 1161 674 1193">第 2-30 図 燃料集合体振動解析モデル</p> | | 資料6と記載が重複するため削除 |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|--|----------------------------|------------------------|
| <div data-bbox="145 255 929 1141" style="border: 1px dashed black; height: 555px; width: 350px;"></div> <div data-bbox="241 1209 772 1241" style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>第2-31図 燃料集合体の水平方向応力解析モデル</p> </div> | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---------------------------------|-----------------|
|  <p data-bbox="190 1396 705 1428">第 2-32 図 燃料集合体の鉛直方向応力解析モデル</p> | | 資料6と記載が重複するため削除 |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---------------------------------|------------------------------|
| <p>5.3 燃料集合体の応答解析結果</p> <p>①【(1) 水平方向</p> <p>水平地震に対する燃料集合体群振動解析結果を第2-25表に示す。なお、Ss-2については、Ss-2-1~8のうち最大変位、最大衝撃力それぞれの最も大きい地震波の解析結果を記載している。弾性設計用地震動Sdによる評価については、基準地震動Ssによる評価結果が弾性設計用地震動Sdの許容限界を満足する場合、当該の弾性設計用地震動Sdによる評価を省略することとしている。このため、燃料集合体及び制御棒クラスターの応力評価が省略できるケースは、水平方向の応答解析についても省略している。なお、弾性設計用地震動Sdによる応答解析のうち、未照射条件で応答解析を実施し、照射条件で応答解析を実施していないケースがある。これは、「5.5(1)制御棒案内シンプルの応力評価結果」に示すように、未照射条件では基準地震動Ssによる制御棒案内シンプルの発生応力が弾性設計用地震動Sdの許容応力を満足しなかったものの、照射条件の応力評価では、照射により材料強度が増加する効果を取り入れることにより基準地震動Ssによる発生応力が弾性設計用地震動Sdの許容応力を満足するケースに相当する(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-1のとおり)。</p> <p>(2) 鉛直方向</p> <p>鉛直地震に対する燃料集合体振動解析結果を第2-26表に示す。なお、Ss-2については、Ss-2-1~8のうち最大軸力、最大衝突速度それぞれの最も大きい地震波の解析結果を記載している。弾性設計用地震動Sdによる評価については、基準地震動Ssによる評価結果が弾性設計用地震動Sdの許容限界を満足する場合、当該の弾性設計用地震動Sdによる評価を省略することとしている。このため、燃料集合体の応力評価が省略できるケースは、水平方向の応答解析についても省略している。なお、弾性設計用地震動Sdによる応答解析のうち、未照射条件で応答解析を実施し、照射条件で応答解析を実施していないケースがある。これは、「5.5(1)制御棒案内シンプルの応力評価結果」に示すように、未照射条件では基準地震動Ssによる制御棒案内シンプルの発生応力が弾性設計用地震動Sdの許容応力を満足しなかったものの、照射条件の応力評価では、照射により材料強度が増加する効果を取り入れることにより基準地震動Ssによる発生応力が弾性設計用地震動Sdの許容応力を満足するケースに相当する(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-1のとおり)。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-25 表(1) 燃料集合体群振動計算結果

| 地震動 解析結果 | 単位 | Ss-1 ^(注 3) | | Sd-1 ^{(注 3) (注 4)} | |
|------------------|----|-----------------------|----|-----------------------------|----|
| | | EW | NS | EW | NS |
| 最大変位 | mm | | | | |
| 時刻 | s | | | | |
| 燃料集合体番号 | - | | | | |
| 支持格子番号 | - | | | | |
| (注 1) 最大衝撃力 | N | | | | |
| 時刻 | s | | | | |
| (注 2) 燃料集合体番号 | - | | | | |
| 支持格子番号 | - | | | | |

(注 1) 支持格子の弾性限界荷重は である。

(注 2) B は炉心バップルを示す。

(注 3) () 内は照射の影響を考慮した値を示す。

(注 4) 「-」は Ss による発生応力と弾性設計用の許容応力(Ⅲ、S)との比較を行い、発生応力が許容応力(Ⅲ、S)以下となっているものを示す。

資料6と記載が重複するため削除

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-25 表(2) 燃料集合体群振動計算結果

資料6と記載が重複するため削除

| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-2 ^(注 3) | |
|--------------------|--------|-----------------------|----|
| | | EW | NS |
| 最 大 変 位 | mm | | |
| 時 刻 | s | | |
| 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |
| (注 1) 最 大 衝 撃 力 | N | | |
| 時 刻 | s | | |
| (注 2) 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |

(注 1) 支持格子の弾性限界荷重は である。

(注 2) B は炉心バップルを示す。

(注 3) () 内は照射の影響を考慮した値を示す。

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------|----|-------------------------|----|-------------------------------|--|----|----|----|----|------|----|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|---------|---|--|--|--|--|--------|---|--|--|--|--|----------------|---|--|--|--|--|----|---|--|--|--|--|------------------|---|--|--|--|--|--------|---|--|--|--|--|--|------------------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-25 表(3) 燃料集合体群振動計算結果</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">地震動 解析結果</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">単位</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Ss-3-1^(注 3)</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Sd-3-1^{(注 3) (注 4)}</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">EW</th> <th style="text-align: center;">NS</th> <th style="text-align: center;">EW</th> <th style="text-align: center;">NS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">最大変位</td> <td style="text-align: center;">mm</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">時刻</td> <td style="text-align: center;">s</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">燃料集合体番号</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">支持格子番号</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(注 1) 最大衝撃力</td> <td style="text-align: center;">N</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">時刻</td> <td style="text-align: center;">s</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(注 2) 燃料集合体番号</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">支持格子番号</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) 支持格子の弾性限界荷重は である。</p> <p>(注 2) B は炉心バブルを示す。</p> <p>(注 3) () 内は照射の影響を考慮した値を示す。</p> <p>(注 4) 「-」は Ss による発生応力と弾性設計用の許容応力(Ⅲ,S)との比較を行い、発生応力が許容応力(Ⅲ,S)以下となっているものを示す。</p> | | 地震動 解析結果 | 単位 | Ss-3-1 ^(注 3) | | Sd-3-1 ^{(注 3) (注 4)} | | EW | NS | EW | NS | 最大変位 | mm | | | | | 時刻 | s | | | | | 燃料集合体番号 | - | | | | | 支持格子番号 | - | | | | | (注 1) 最大衝撃力 | N | | | | | 時刻 | s | | | | | (注 2) 燃料集合体番号 | - | | | | | 支持格子番号 | - | | | | | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |
| 地震動 解析結果 | 単位 | | | Ss-3-1 ^(注 3) | | Sd-3-1 ^{(注 3) (注 4)} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | EW | NS | EW | NS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最大変位 | mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 時刻 | s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃料集合体番号 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支持格子番号 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (注 1) 最大衝撃力 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 時刻 | s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (注 2) 燃料集合体番号 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支持格子番号 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-25 表(4) 燃料集合体群振動計算結果

資料6と記載が重複するため削除

| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-3-2(EW) ^(注3) | |
|-------------------|--------|----------------------------|----|
| | | EW | NS |
| 最 大 変 位 | mm | | |
| 時 刻 | s | | |
| 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |
| (注1) 最 大 衝 撃 力 | N | | |
| 時 刻 | s | | |
| (注2) 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |

(注 1) 支持格子の弾性限界荷重は である。

(注 2) B は炉心バップルを示す。

(注 3) () 内は照射の影響を考慮した値を示す。

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-25 表(5) 燃料集合体群振動計算結果

資料6と記載が重複するため削除

| 地震動 解析結果 | 単位 | Ss-3-2(NS) ^(注 3) | |
|------------------|----|-----------------------------|----|
| | | EW | NS |
| 最大変位 | mm | | |
| 時刻 | s | | |
| 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |
| (注 1) 最大衝撃力 | N | | |
| 時刻 | s | | |
| (注 2) 燃料集合体番号 | - | | |
| 支持格子番号 | - | | |

(注 1) 支持格子の弾性限界荷重は である。

(注 2) B は炉心バップルを示す。

(注 3) () 内は照射の影響を考慮した値を示す。

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-26 表(1) 燃料集合体振動計算結果

| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-1 ^(注) |
|-------------|--------|----------------------|
| 最 大 軸 力 | N | <input type="text"/> |
| 時 刻 | s | <input type="text"/> |
| 最大衝突速度 | m/s | <input type="text"/> |
| 時 刻 | s | <input type="text"/> |

(注)()内は照射の影響を考慮した値を示す。

第 2-26 表(2) 燃料集合体振動計算結果

| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-2 ^(注) |
|-------------|--------|----------------------|
| 最 大 軸 力 | N | <input type="text"/> |
| 時 刻 | s | <input type="text"/> |
| 最大衝突速度 | m/s | <input type="text"/> |
| 時 刻 | s | <input type="text"/> |

(注)()内は照射の影響を考慮した値を示す。

資料6と記載が重複するため削除

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------|---|----------------------|----------------------|----|---|----------------------|----------------------|--------|-----|----------------------|----------------------|----|---|----------------------|----------------------|------------------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-26 表(3) 燃料集合体振動計算結果</p> <table border="1" data-bbox="168 343 801 758"> <thead> <tr> <th>地震動 解析結果</th> <th>単 位</th> <th>Ss-3-1^(注 1)</th> <th>Sd-3-1^{(注 1) (注 2)}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大軸力</td> <td>N</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>時刻</td> <td>s</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>最大衝突速度</td> <td>m/s</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>時刻</td> <td>s</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) ()内は照射の影響を考慮した値を示す。 (注 2) 「-」は Ss による発生応力と弾性設計用の許容応力(III,S)との比較を行い、発生応力が許容応力(III,S)以下となっているものを示す。</p> | | 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-3-1 ^(注 1) | Sd-3-1 ^{(注 1) (注 2)} | 最大軸力 | N | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 時刻 | s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 最大衝突速度 | m/s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 時刻 | s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |
| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-3-1 ^(注 1) | Sd-3-1 ^{(注 1) (注 2)} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最大軸力 | N | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 時刻 | s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最大衝突速度 | m/s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 時刻 | s | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二

設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7

備考

第 2-26 表(4) 燃料集合体振動計算結果

| 地震動 解析結果 | 単 位 | Ss-3-2 ^(注) |
|-------------|--------|-----------------------|
| 最大軸力 | N | <input type="text"/> |
| 時刻 | s | <input type="text"/> |
| 最大衝突速度 | m/s | <input type="text"/> |
| 時刻 | s | <input type="text"/> |

(注)()内は照射の影響を考慮した値を示す。

資料6と記載が重複するため削除

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|--|----------------------------|------------------------------|
| <p>5.4 燃料集合体の地震時強度評価方法</p> <p>①【(1) 荷重の組合せ及び許容応力 燃料集合体（制御棒案内シンプル、支持格子、燃料被覆管）の荷重の組合せ及び許容応力状態を第2-27表に示す。また許容応力を第2-28表に示す。 燃料集合体の評価に用いる許容応力のうち、制御棒案内シンプルの評価に用いるものを第2-29表に示す。なお、被覆管の評価に用いるものは「3. 燃料棒の強度計算」で用いたものと同様である。被覆管及び制御棒案内シンプルの照射影響を考慮した許容応力は、照射により材料強度が増加する効果を取り入れる。本手法は平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2において実績のあるものである。</p> <p>(2) 制御棒案内シンプルの応力評価方法 制御棒案内シンプルの応力評価においては、通常運転時応力及び地震時応力を考慮し、これらの合計応力を計算する。応力は最大せん断応力説に基づき計算する。本手法は平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2において実績のあるものである。 通常運転時応力は4.3.2項で評価した結果を使用する。地震時応力における応力解析は5.2項で述べた方法で行う。</p> <p>(3) 支持格子の強度評価方法 燃料集合体の地震応答解析にて得られる支持格子最大衝撃力が、支持格子の弾性限界荷重よりも小さい場合には、支持格子の構造健全性は維持される。最大衝撃力が弾性限界荷重を超える場合には、燃料集合体の地震応答解析により支持格子に発生する衝撃エネルギー又は衝撃荷重に応じた変形量を計算し、支持格子の変形が制御棒クラスタ挿入性に支障のない範囲であることを制御棒クラスタ挿入時間計算を行い確認する。ここで、支持格子変形量は「AQUARIUS」コードにより算出する。本手法は平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-2において実績のあるものである。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| <p>① 【(4) 被覆管の応力評価方法</p> <p>被覆管の応力評価においては、内外圧差による応力 (ペレット-被覆管接触圧も含む)、熱応力、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計算する。</p> <p>内外圧差による応力 (ペレット-被覆管接触圧も含む)、熱応力及び水力振動による応力は 3.4.5 項で評価した結果を使用する。地震時応力の解析は 5.2 項で述べた方法で行う。</p> <p>(5) 被覆管の疲労評価方法</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。また地震によって被覆管には外力が作用し、地震動が継続する間、繰り返し応力が作用する。これらの繰り返し応力は、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わされる累積疲労損傷係数が 1 を超えないことを確認する。</p> <p>寿命期間中の疲労損傷係数[*]は 3.4.6 項で評価した結果を使用する。地震動による疲労損傷係数は次のとおり評価する。地震動によって発生する応力は軸方向成分のみであり、応力振動に対する片振幅は地震による応力の 1/2 となる。繰り返し数は <input type="text"/> 回として評価する。</p> <p>[*]【起動・停止、日間負荷変化サイクル、及びその他の過渡変化による出力変動及び圧力変動に伴って生じる繰り返し応力に対する累積疲労損傷係数】</p> | | <p>① 資料 6 と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------|---|-------|--------------------------|-----|----------|-----|--|-----------------|
| <p style="text-align: center;">第2-27表 荷重の組合せ及び許容応力状態</p> <table border="1" data-bbox="215 331 864 483"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>耐震重要度分類</th> <th>機器等の区分</th> <th>荷重の組合せ^(注2)</th> <th>許容応力状態^(注4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料集合体</td> <td rowspan="2">S</td> <td rowspan="2">-(注1)</td> <td>D+P+M+Sd^(注3)</td> <td>Ⅲ,S</td> </tr> <tr> <td>D+P+M+Ss</td> <td>Ⅳ,S</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) 燃料集合体の許容応力状態及び許容応力を適用する。</p> <p>(注 2) D:死荷重 P:地震と組み合わせべきプラントの運転状態における圧力荷重 M:地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で設備に作用している機械的荷重 Sd:弾性設計用地震動 Sd により定まる地震力 Ss:基準地震動 Ss により定まる地震力</p> <p>(注 3) 燃料集合体については、基準地震動 Ss を用いた評価を実施する。</p> <p>(注 4) Ⅲ,S:JSME S NCI の供用状態 C 相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態 Ⅳ,S:JSME S NCI の供用状態 D 相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態</p> | 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ ^(注2) | 許容応力状態 ^(注4) | 燃料集合体 | S | -(注1) | D+P+M+Sd ^(注3) | Ⅲ,S | D+P+M+Ss | Ⅳ,S | | 資料6と記載が重複するため削除 |
| 機器名称 | 耐震重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ ^(注2) | 許容応力状態 ^(注4) | | | | | | | | | | |
| 燃料集合体 | S | -(注1) | D+P+M+Sd ^(注3) | Ⅲ,S | | | | | | | | | | |
| | | | D+P+M+Ss | Ⅳ,S | | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|--|--------------------------------|-------------|--------------|---------|------------------|---|--------|-----|-------------------|-------------|--|--------------------------------|-----|--|-------------|-------|-----------|--|-------------------------------|-------------------------------|---------|--------|-----|--|--|------------------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-28 表 許容応力</p> <table border="1" data-bbox="152 325 913 614"> <thead> <tr> <th rowspan="2">許容応力状態</th> <th colspan="2">許容限界 (制御棒案内シンプル)</th> <th>許容限界 (支持格子)</th> <th>許容限界 (燃料被覆管)</th> </tr> <tr> <th>一次一般膜応力</th> <th>一次一般膜応力 + 一次曲げ応力</th> <th>-</th> <th>平均引張応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ⅢΔS</td> <td>1.5S_m</td> <td>左欄の 1.5 倍の値</td> <td rowspan="2">支持格子に生じる永久変形が制御棒挿入に支障のない範囲であること。^(注1)</td> <td rowspan="2">(注2)(注3)(注4) S_y</td> </tr> <tr> <td>ⅣΔS</td> <td>2/3S_yと2.4S_mの小さい方</td> <td>左欄の 1.5 倍の値</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 支持格子は組立体であるため、許容限界として材料の物性を用いるのではなく、地震による影響が制御棒挿入性に支障のない範囲であることを許容限界とする。 (注2) せん断ひずみエネルギー説に基づく相当応力に対して評価する。 (注3) 使用温度及び放射線照射の効果を考慮して許容値を設定する。 (注4) 地震動による被覆管への繰り返し応力が、使用期間中の累積疲労損傷係数と合わせて設計疲労寿命以下であることについても確認する。</p> <p style="text-align: center;">第 2-29 表 制御棒案内シンプルの許容応力</p> <p style="text-align: right;">(単位: N/mm²)</p> <table border="1" data-bbox="152 975 898 1114"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材 料 名</th> <th colspan="2">温度条件 (°C)</th> <th>S₀^(注)</th> <th>S_m^(注)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ジルカロイ-4</td> <td>最高使用温度</td> <td>343</td> <td style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) () は照射の影響を考慮した値を示す。</p> | | 許容応力状態 | 許容限界 (制御棒案内シンプル) | | 許容限界 (支持格子) | 許容限界 (燃料被覆管) | 一次一般膜応力 | 一次一般膜応力 + 一次曲げ応力 | - | 平均引張応力 | ⅢΔS | 1.5S _m | 左欄の 1.5 倍の値 | 支持格子に生じる永久変形が制御棒挿入に支障のない範囲であること。 ^(注1) | (注2)(注3)(注4) S _y | ⅣΔS | 2/3S _y と2.4S _m の小さい方 | 左欄の 1.5 倍の値 | 材 料 名 | 温度条件 (°C) | | S ₀ ^(注) | S _m ^(注) | ジルカロイ-4 | 最高使用温度 | 343 | | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |
| 許容応力状態 | 許容限界 (制御棒案内シンプル) | | 許容限界 (支持格子) | 許容限界 (燃料被覆管) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 一次一般膜応力 | 一次一般膜応力 + 一次曲げ応力 | - | 平均引張応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⅢΔS | 1.5S _m | 左欄の 1.5 倍の値 | 支持格子に生じる永久変形が制御棒挿入に支障のない範囲であること。 ^(注1) | (注2)(注3)(注4) S _y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⅣΔS | 2/3S _y と2.4S _m の小さい方 | 左欄の 1.5 倍の値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 材 料 名 | 温度条件 (°C) | | S ₀ ^(注) | S _m ^(注) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ジルカロイ-4 | 最高使用温度 | 343 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|--|----------------------------|------------------------------|
| <p>5.5 燃料集合体の地震時強度評価結果</p> <p>① 【(1) 制御棒案内シンプルの応力評価結果</p> <p>基準地震動Ssに対する応力評価結果を第2-30表に示す。また、弾性設計用地震動Sdに対する応力評価結果を第2-31表に示す。この評価結果は、発生応力の最も大きい地震波の地震時応力を通常運転時応力に加えて評価したものである。なお、基準地震動Ssによる評価結果が弾性設計用地震動Sdの許容限界を満足する場合、当該の弾性設計用地震動Sdによる評価を省略した(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-1のとおり)。</p> <p>発生応力は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。</p> <p>(2) 支持格子の強度評価結果</p> <p>基準地震動Ssに対する評価結果を、第2-32表に示す。</p> <p>支持格子に発生する衝撃力は弾性限界荷重を上回り、燃料集合体の支持格子に最大□mm(照射の影響を考慮した場合は最大□mm)の永久変形を生じる。</p> <p>このときの支持格子の永久変形が制御棒クラスタの挿入性に支障のない範囲であることは、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-4-2のとおり制御棒クラスタの挿入時間が規定時間内であることにより確認されている。</p> <p>(3) 被覆管の応力評価結果</p> <p>基準地震動Ssに対する応力評価結果を第2-33表に示す。なお、基準地震動Ss時の許容値を保守的に弾性設計用地震動Sd時の許容値と同じとし、発生応力が高い基準地震動Ss時についてのみ評価した(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-17-1-1のとおり)。</p> <p>発生応力は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。</p> <p>(4) 被覆管の疲労評価結果</p> <p>基準地震動Ssに対する疲労評価結果を第2-34表に示す。</p> <p>使用期間中の累積疲労損傷係数と足し合わせた結果、設計基準値の1よりも十分に小さく、耐震性を有することを確認した。】</p> | | <p>① 資料6と記載が重複するため削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------------------|--------------------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|----|--|-------|-------|------|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|--|------------------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-30 表 制御棒案内シムプル応力評価結果(Ss 地震時) (単位: N/mm²)</p> <table border="1" data-bbox="152 344 920 608"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">条件</th> <th rowspan="2">運転時応力</th> <th rowspan="2">地震時応力</th> <th rowspan="2">合計応力</th> <th colspan="2">許容値</th> </tr> <tr> <th>IV_AS</th> <th>III_AS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">設計地震</td> <td>Pm</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">158</td> <td style="text-align: center;">118</td> </tr> <tr> <td>Pm+Pb</td> <td style="text-align: center;">237</td> <td style="text-align: center;">177</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) []内はダッシュボット部応力を示す。 (注2) ()内は照射の影響を考慮した値を示す。</p> <p style="text-align: center;">第 2-31 表 制御棒案内シムプル応力評価結果(Sd 地震時) (単位: N/mm²)</p> <table border="1" data-bbox="152 895 920 1066"> <thead> <tr> <th colspan="2">条件</th> <th>運転時応力</th> <th>地震時応力</th> <th>合計応力</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">設計地震</td> <td>Pm</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">118</td> </tr> <tr> <td>Pm+Pb</td> <td style="text-align: center;">177</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) []内はダッシュボット部応力を示す。</p> | | 条件 | | 運転時応力 | 地震時応力 | 合計応力 | 許容値 | | IV _A S | III _A S | 設計地震 | Pm | [] | [] | [] | 158 | 118 | Pm+Pb | 237 | 177 | 条件 | | 運転時応力 | 地震時応力 | 合計応力 | 許容値 | 設計地震 | Pm | [] | [] | [] | 118 | Pm+Pb | 177 | | <p>資料6と記載が重複するため削除</p> |
| 条件 | | | | | | | 運転時応力 | 地震時応力 | 合計応力 | 許容値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | IV _A S | III _A S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計地震 | Pm | [] | [] | [] | 158 | 118 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pm+Pb | | | | 237 | 177 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 条件 | | 運転時応力 | 地震時応力 | 合計応力 | 許容値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計地震 | Pm | [] | [] | [] | 118 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pm+Pb | | | | 177 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------|-------|-----|--------|-----|--|-----------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-32 表 支持格子の強度評価結果 (単位:N)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="text-align: center;">Ss地震時^{(注1)(注2)}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">最大衝撃力</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">弾性限界荷重</td> <td style="text-align: center;">()</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) []内の数値は支持格子変形量を示す。 (注2) ()内の数値は照射の影響を考慮した値を示す。</p> | | Ss地震時 ^{(注1)(注2)} | 最大衝撃力 | [] | 弾性限界荷重 | () | | 資料6と記載が重複するため削除 |
| | Ss地震時 ^{(注1)(注2)} | | | | | | | |
| 最大衝撃力 | [] | | | | | | | |
| 弾性限界荷重 | () | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|------------|--|------|------------|-----------------|------------|-----------|----|-------------|--|--|--|----|-----|----|----|-----------|----|----|---------|----|----|-------|----|----|----------|--|--|--|--|--|---------------|--|-------|--|--|-----------------|
| <p style="text-align: center;">第 2-33 表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の応力評価結果(過渡変化時) (単位: N/mm²)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">項目</th> <th colspan="3">応力</th> <th rowspan="2">相当応力</th> </tr> <tr> <th>σ_r</th> <th>σ_θ</th> <th>σ_z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">内外圧差による応力</td> <td>内面</td> <td colspan="3" rowspan="12" style="text-align: center; vertical-align: middle;">[Data area]</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>外面</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">熱応力</td> <td>内面</td> </tr> <tr> <td>外面</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">水力振動による応力</td> <td>内面</td> </tr> <tr> <td>外面</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地震による応力</td> <td>内面</td> </tr> <tr> <td>外面</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">応力の合計</td> <td>内面</td> </tr> <tr> <td>外面</td> </tr> <tr> <td colspan="2">体積平均相当応力</td> <td colspan="3" rowspan="3"></td> <td rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">局所燃焼度 (MWd/t)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">設計基準値</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注 1) 上段: 水力振動による応力は引張方向にとった場合 下段: 水力振動による応力は圧縮方向にとった場合</p> <p>* 評価が最も厳しくなる燃料種類の結果を記載している。</p> | 項目 | | 応力 | | | 相当応力 | σ_r | σ_θ | σ_z | 内外圧差による応力 | 内面 | [Data area] | | | | 外面 | 熱応力 | 内面 | 外面 | 水力振動による応力 | 内面 | 外面 | 地震による応力 | 内面 | 外面 | 応力の合計 | 内面 | 外面 | 体積平均相当応力 | | | | | | 局所燃焼度 (MWd/t) | | 設計基準値 | | | 資料6と記載が重複するため削除 |
| 項目 | | | 応力 | | | | 相当応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | σ_r | σ_θ | σ_z | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内外圧差による応力 | 内面 | [Data area] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熱応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水力振動による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地震による応力 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 応力の合計 | 内面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 外面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 体積平均相当応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 局所燃焼度 (MWd/t) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基準値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|---|--|-----------------|
| <p data-bbox="219 252 842 280">第2-34表 二酸化ウラン燃料棒(濃縮度 4.8wt%)の疲労評価結果</p> <table border="1" data-bbox="147 325 916 539"> <thead> <tr> <th></th> <th>寿命期間中における累積疲労損傷係数</th> <th>地震による疲労損傷係数</th> <th>合計</th> <th>設計基準値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>被覆管内面</td> <td>0.082</td> <td>0.173</td> <td>0.255</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>被覆管外面</td> <td>0.035</td> <td>0.341</td> <td>0.376</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="152 593 698 619">* 評価が最も厳しくなる燃料種類の結果を記載している。</p> | | 寿命期間中における累積疲労損傷係数 | 地震による疲労損傷係数 | 合計 | 設計基準値 | 被覆管内面 | 0.082 | 0.173 | 0.255 | 1 | 被覆管外面 | 0.035 | 0.341 | 0.376 | 1 | | 資料6と記載が重複するため削除 |
| | 寿命期間中における累積疲労損傷係数 | 地震による疲労損傷係数 | 合計 | 設計基準値 | | | | | | | | | | | | | |
| 被覆管内面 | 0.082 | 0.173 | 0.255 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 被覆管外面 | 0.035 | 0.341 | 0.376 | 1 | | | | | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|--|---|----|
| <p>6. 参考文献</p> <p>[1] 原子燃料工業, “燃料棒性能解析コード (FPAC)”, NFK-8011 改 11, 2009</p> <p>[2] F.W.Dittus and L.M.K.Boelter, University of California Publications in Engineering, J.Nucl.Mater.2, 1930</p> <p>[3] J.R.Thom, W.M.Walker, T.M.Fallon and G.F.S.Reung, Proc.Inst.Mech.Engrs, 1965-1966</p> <p>[4] A.M.Ross and R.L.Stoute, “Heat Transfer Coefficient between UO_2 and Zircaloy-2”, AECL-1552, 1962</p> <p>[5] P.E.MacDonald and L.B.Thompson, “MATPRO-VERSION09 A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior”, TREE-NUREG-1005, 1976</p> <p>[6] IAEA Technical Report Series No.59, “Thermal Conductivity of UO_2”, Vienna, 1966</p> <p>[7] Lyons et al., “UO_2 Powder and Pellet Thermal Conductivity During Irradiation”, GEAP 5100-1, 1966</p> <p>[8] R.N.Duncan, “Rabbit Capsule Irradiation of UO_2”, CVNA-142, 1962</p> <p>[9] J.P.Stra et al., “Thermal Conductivity of UO_2 in Pile”, CEA-R2586, 1967</p> <p>[10] J.Janvier et al., “UO_2 Irradiation Studies”, CEA-R3358, 1967</p> <p>[11] J.Robertson et al., “Temperature Distribution of UO_2 Fuel Elements”, J. Nucl. Mater.7, 1962</p> <p>[12] S.Ishimoto et al., “Effects of Soluble Fission Products on Thermal Conductivities of Nuclear Fuel Pellets”, J.Nucl.Sci.Tech.31, 1994</p> <p>[13] J.A. Christensen, “Stoichiometry Effects in Oxide Nuclear Fuels. I. Power Rating Required for Melting and Oxygen Redistribution in Molten Center UO_{2+x} Fuels”, BNWL-536, 1967</p> <p>[14] 原子燃料工業, “GDLUX コード”, NFK-8070, 1982</p> <p>[15] J.E.Garnier and Stefan Begej, “Ex-Reactoer Determination of Thermal Gap Contact Conductance Between Uranium Dioxide: Zircaloy-4 Interface Stage I: Low Gas Pressure”, NUREG/CR-0330, 1979</p> <p>[16] J.E.Garnier and Stefan Begej, “Ex-Reactoer Determination of Thermal Gap Contact Conductance Between Uranium Dioxide: Zircaloy-4 Interface Stage II: High Gas Pressure”, NUREG/CR-0330, 1979</p> <p>[17] Donald L.Hagman et al., “MATPRO-VERSION11(REVISION2) A Handbook of Materials</p> | <p>5. 参考文献</p> <p>(1) 原子燃料工業, “燃料棒性能解析コード (FPAC)”, NFK-8011 改 11, (2009)</p> <p>(2) F.W. Dittus and L.M.K. Boelter, “Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type”, University of California Publications in Engineering, 2, pp.443-461 (1930)</p> <p>(3) J.R.S. Thom et al., “Boiling in Sub-Cooled Water During Flow Up Heated Tubes or Annuli”, Proc. Instn. Mech. Engrs., 180, Paper 6 (1965-1966)</p> <p>(4) A.M. Ross and R.L. Stoute, “Heat Transfer Coefficient between UO_2 and Zircaloy-2”, AECL-1552 (1962)</p> <p>(5) P.E. MacDonald and L.B. Thompson, “MATPRO: VERSION 09. A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior”, TREE-NUREG-1005 (1976)</p> <p>(6) IAEA, “Thermal Conductivity of Uranium Dioxide”, Technical Reports Series No. 59, Vienna (1966)</p> <p>(7) Lyons et al., “UO_2 Powder and Pellet Thermal Conductivity During Irradiation”, GEAP 5100-1 (1966)</p> <p>(8) R.N. Duncan, “Rabbit Capsule Irradiation of UO_2”, CVNA-142 (1962)</p> <p>(9) J.P. Stora et al., “Thermal Conductivity of Sintered UO_2 under in-Pile Conditions”, CEA-R2586 (1964)</p> <p>(10) J.C. Janvier et al., “Irradiation of UO_2 Sheated in Thick Tubes Effect of Initial Gap”, CEA-R3358 (1967)</p> <p>(11) J. Robertson et al., “Temperature Distribution of UO_2 Fuel Elements”, J. Nucl. Mat., 7, pp.225-262 (1962)</p> <p>(12) S. Ishimoto et al., “Effects of Soluble Fission Products on Thermal Conductivities of Nuclear Fuel Pellets”, J. Nucl. Sci. Tech., 31 (1994)</p> | 備考 |

| 設認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第3号機 B型燃料集合体) 資料7 | 備考 |
|---|--|--|
| <p>Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior", NUREG/CR-0497, TREE-1280, Rev.2, 1981</p> <p>[18] 原子燃料工業, "原燃工PWR高燃焼度先行照射燃料について", NFK-8099, 1994</p> <p>[19] M.Hirai, "Thermal diffusivity of UO_2-Gd_2O_3 pellets", J.Nucl.Mater.173, 1990</p> <p>[20] H.Ikeda et al., "IMPROVEMENT OF THE FPAC", IAEA TCM on Nuclear Fuel Behaviour Modelling at High Burnup and its Experimental Support, Windermere, UK, 2000</p> <p>[21] K.Goto et al., "UPDATE ON THE DEVELOPMENT OF JAPANESE ADVANCED PWR FUELS", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Park City, Utah, 2000</p> <p>[22] 原子燃料工業, "原燃工製 PWR ステップ2 燃料の改良因子について", NFK-8116 改8, 2011</p> <p>[23] R.E.Skavdahl et al., "International Symposium on Plutonium Fuels Technology Nuclear Metallurgy", J.Nucl.Mater.13, 1967</p> <p>[24] M.O.Marlowe, "IN-REACTOR DENSIFICATION BEHAVIOR OF UO_2", NEDO-12440, 1973</p> <p>[25] R ヒル著 塑性学 培風館(1954)</p> <p>[26] E.F.Ibrahim, "An Equation for Creep of Cold Worked Zircaloy Pressure Tube Material", AECL-2528, 1965</p> <p>[27] P.A.Ross-Ross, C.E.L.Hunt, "The In-Reacto Creep of Cold-Worked Zircaloy-2 and Zirconium-2.5wt% Niobium Pressure Tubes", J.Nucl.Mater.26, 1968</p> <p>[28] W.HERING, "THE KWU FISSION GAS RELEASE MODEL FOR LWR FUEL RODS", J.Nucl.Mater.114, 1983</p> <p>[29] A.M.Garde et al., EPRI NP-2789, 1982</p> <p>[30] M.P.Paidoussis, "An Experimental Study of Vibration of Flexible Cylinders Induced by Nominally Axial Flow", Nucl. Sci. and Eng.35 127-138(1969)</p> <p>[31] W.J.O'Donnel and B.F.Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nucl. Sci. and Eng.20, 1964</p> <p>[32] 原子燃料工業, "PWR用燃料耐震設計の概要", NFK-8015 改2, 1987</p> | <p>(13) J.A. Christensen, "Stoichiometry Effects in Oxide Nuclear Fuels. I. Power-Rating Required for Melting and Oxygen Redistribution in Molten Center UO_{2+x} Fuels", BNWL-536 (1967)</p> <p>(14) 原子燃料工業, "GDLUX コード", NFK-8070 (1982)</p> <p>(15) J.E. Garnier and S. Begej, "Ex-Reacto Determination of Thermal Gap and Contact Conductance Between Uranium Dioxide: Zircaloy-4 Interfaces Stage I: Low Gas Pressure", NUREG/CR-0330 (1979)</p> <p>(16) J.E. Garnier and S. Begej, "Ex-Reacto Determination of Thermal Gap Conductance Between Uranium Dioxide: Zircaloy-4 Stage II: High Gas Pressure", NUREG/CR-0330 (1980)</p> <p>(17) D.L. Hargman et al., "MATPRO-VERSION11 (REVISION2) A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior", NUREG/CR-0497, TREE-1280, Rev.2 (1981)</p> <p>(18) 原子燃料工業, "原燃工PWR高燃焼度先行照射燃料について", NFK-8099 (1994)</p> <p>(19) M. Hirai, "Thermal diffusivity of UO_2-Gd_2O_3 pellets", J. Nucl. Mat., 173 (1990)</p> <p>(20) H. Ikeda et al., "IMPROVEMENT OF THE FPAC CODE", IAEA TCM on Nuclear Fuel Behaviour Modelling at High Burnup and its Experimental Support, Windermere, UK (2000)</p> <p>(21) K. Goto et al., "UPDATE ON THE DEVELOPMENT OF JAPANESE ADVANCED PWR FUELS", International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Park City, Utah (2000)</p> <p>(22) 原子燃料工業, "原燃工製 PWR ステップ2 燃料の改良因子について", NFK-8116 改8, (2011)</p> <p>(23) R.E. Skavdahl et al., "U.S. Experience on Irradiation Performance of UO_2-PuO_2 Fast Reactor Fuel", J. Nucl. Mat., 13 (1968)</p> <p>(24) M.O. Marlowe, "IN-REACTOR DENSIFICATION BEHAVIOR OF UO_2", NEDO-12440</p> | <p>設認「5. 燃料集合体の地震時強度計算」の削除に伴い関連する参考文献を削除</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 |
|---------------------------------|---|---|
| | <p>(1973)</p> <p>(25) R ヒル著, “塑性学”, 培風館 (1954)</p> <p>(26) E.F. Ibrahim, “An Equation for Creep of Cold Worked Zircaloy Pressure Tube Material”, AECL-2528 (1965)</p> <p>(27) P.A. Ross-Ross and C.E.L. Hunt, “The In-Reactor Creep of Cold-Worked Zircaloy-2 and Zirconium-2.5wt% Niobium Pressure Tubes”, J. Nucl. Mat., 26 (1968)</p> <p>(28) W. HERING, “THE KWU FISSION GAS RELEASE MODEL FOR LWR FUEL RODS”, J. Nucl. Mat., 114 (1983)</p> <p>(29) M.P. Paidoussis, “An Experimental Study of Vibration of Flexible Cylinders Induced by Nominally Axial Flow”, Nucl. Sci. and Eng., 35, pp.127-138 (1969)</p> <p>(30) W.J. O'Donnell and B.F. Langer, “Fatigue Design Basis for Zircaloy Components”, Nucl. Sci. and Eng., 20 (1964)</p> <p>① (31) W. Arbiter and J.A. Kuszyk, “Surry Unit 2 End of Cycle 5 Onsite Examination of 17×17 Demonstration Fuel Assembly RD-2 After Four Cycles of Exposure”, Volume 1, WCAP-10317 (1984)</p> <p>(32) P.H. Kreyns and M.W. Burkart, “Radiation-enhanced relaxation in Zircaloy-4 and Zr/2.5wt% Nb/0.5wt% Cu alloys”, J. Nucl. Mat., 26, pp. 87-104 (1968)</p> <p>(33) A.M. Garde et al., “Waterside Corrosion of Zircaloy Fuel Rods”, EPRI NP-2789 (1982)</p> <p>① (34) 原子燃料工業, “原燃工製 PWR ステップ 2 燃料集合体の開発”, NFK-8114 改 2 (2003)</p> | <p>① A 型設認統一に伴う参考文献の変更</p> <p>② 参考文献のタイトルの明確化</p> |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|---|---|
| | <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>別紙</p> <p>計算機プログラム（解析コード）の概要</p> </div> | <p>設工認になったことに伴う、プログラム概要の追加</p> <p>設工認の評価で用いた解析コード及びそのバージョンは、設認の評価で用いたものと同一である</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|----|---|---------------|----------|-------------------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------------|----------|-------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|--|
| | <p style="text-align: center;">目 次</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: right;">頁</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. はじめに</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-1</td> </tr> <tr> <td>2. 解析コードの概要</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-2</td> </tr> <tr> <td> 2.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-2</td> </tr> <tr> <td> 2.1.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1 の概要</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-2</td> </tr> <tr> <td> 2.2 MSC NASTRAN Ver. 70</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-3</td> </tr> <tr> <td> 2.2.1 MSC NASTRAN Ver. 70 の概要</td> <td style="text-align: right;">資 7 別紙-3</td> </tr> </tbody> </table> | | 頁 | 1. はじめに | 資 7 別紙-1 | 2. 解析コードの概要 | 資 7 別紙-2 | 2.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1 | 資 7 別紙-2 | 2.1.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1 の概要 | 資 7 別紙-2 | 2.2 MSC NASTRAN Ver. 70 | 資 7 別紙-3 | 2.2.1 MSC NASTRAN Ver. 70 の概要 | 資 7 別紙-3 | <p>設工認になったことに伴う、プログラム概要の追加</p> <p>設工認の評価で用いた解析コード及びそのバージョンは、設認の評価で用いたものと同一である。</p> |
| | 頁 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. はじめに | 資 7 別紙-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 解析コードの概要 | 資 7 別紙-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1 | 資 7 別紙-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.1 高燃焼度用 FPAC Ver. 1 の概要 | 資 7 別紙-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 MSC NASTRAN Ver. 70 | 資 7 別紙-3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2.1 MSC NASTRAN Ver. 70 の概要 | 資 7 別紙-3 | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 添付書類二 | 設工認（伊方発電所第3号機 B型燃料集合体） 資料7 | 備考 |
|-----------------------------|---|---|
| | <p>1. はじめに</p> <p>①【本資料は、資料7「強度に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。】</p> | <p>① 設工認になったことに伴う、プログラム概要の追加</p> <p>設工認の評価で用いた解析コード及びそのバージョンは、設認の評価で用いたものと同一である</p> |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|----|------|------|-----------|------|------------|------|-------|-----------|--------|------|--------------------|--------|---|-------------------------------------|---|---|
| | <p>2. 解析コードの概要</p> <p>2.1 高燃焼度用FPAC Ver.1</p> <p>2.1.1 高燃焼度用FPAC Ver.1の概要</p> <p>対象：燃料集合体</p> <table border="1" data-bbox="965 357 1751 1353"> <thead> <tr> <th data-bbox="965 357 1189 411">項目</th> <th data-bbox="1189 357 1751 411">コード名</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="965 411 1189 448">開発機関</td> <td data-bbox="1189 411 1751 448">高燃焼度用FPAC</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 448 1189 485">開発時期</td> <td data-bbox="1189 448 1751 485">原子燃料工業株式会社</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 485 1189 521">開発時期</td> <td data-bbox="1189 485 1751 521">2002年</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 521 1189 558">使用したバージョン</td> <td data-bbox="1189 521 1751 558">Ver. 1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 558 1189 595">使用目的</td> <td data-bbox="1189 558 1751 595">B型55GWd/t燃料燃料棒強度評価</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 595 1189 754">コードの概要</td> <td data-bbox="1189 595 1751 754"> <p>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挙動を解析するために作成されたコードである。</p> <p>燃料中心温度、燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張ひずみの変化量等の算出が可能である。</p> <p>高燃焼度用FPACコードは、FPACコードの機能を維持しつつ、適用できる燃焼度を伸張するため、高燃焼度まで照射された燃料のデータを追加してモデル化を行うとともに、耐食性改良被覆管に関連するモデルを追加したものである。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 754 1189 1353">検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)</td> <td data-bbox="1189 754 1751 1353"> <p>高燃焼度用 FPAC コードは、燃料棒 (B 型 55GWd/t 燃料) の燃料棒強度評価に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 本解析コードの運用環境について、開発時に想定された要件を満足していることを確認している。 高燃焼度用 FPAC Ver.1 は 55GWd/t ウラン燃料用であり、今回の解析に使用することは妥当である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内外の商業炉・試験炉の照射データ等による結果と高燃焼度用 FPAC コードによる解析結果との比較を行い、改良被覆管特性反映、ペレット熱伝導率式等が検証され、FP ガス放出率・燃料棒内圧等の燃料挙動が概ね一致することを確認している。詳細は、公開文献「燃料棒性能解析コード (FPAC)」(NFK-8011 改 11 平成 21 年 原子燃料工業株式会社) に示されている。また、55GWd/t 燃料導入に係る原子炉設置変更許可申請において、高燃焼度用 FPAC コードの妥当性が確認されている。 今回の設工認申請で行う燃料棒強度評価の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 </td> </tr> </tbody> </table> | 項目 | コード名 | 開発機関 | 高燃焼度用FPAC | 開発時期 | 原子燃料工業株式会社 | 開発時期 | 2002年 | 使用したバージョン | Ver. 1 | 使用目的 | B型55GWd/t燃料燃料棒強度評価 | コードの概要 | <p>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挙動を解析するために作成されたコードである。</p> <p>燃料中心温度、燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張ひずみの変化量等の算出が可能である。</p> <p>高燃焼度用FPACコードは、FPACコードの機能を維持しつつ、適用できる燃焼度を伸張するため、高燃焼度まで照射された燃料のデータを追加してモデル化を行うとともに、耐食性改良被覆管に関連するモデルを追加したものである。</p> | 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation) | <p>高燃焼度用 FPAC コードは、燃料棒 (B 型 55GWd/t 燃料) の燃料棒強度評価に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 本解析コードの運用環境について、開発時に想定された要件を満足していることを確認している。 高燃焼度用 FPAC Ver.1 は 55GWd/t ウラン燃料用であり、今回の解析に使用することは妥当である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内外の商業炉・試験炉の照射データ等による結果と高燃焼度用 FPAC コードによる解析結果との比較を行い、改良被覆管特性反映、ペレット熱伝導率式等が検証され、FP ガス放出率・燃料棒内圧等の燃料挙動が概ね一致することを確認している。詳細は、公開文献「燃料棒性能解析コード (FPAC)」(NFK-8011 改 11 平成 21 年 原子燃料工業株式会社) に示されている。また、55GWd/t 燃料導入に係る原子炉設置変更許可申請において、高燃焼度用 FPAC コードの妥当性が確認されている。 今回の設工認申請で行う燃料棒強度評価の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 | <p>設工認になったことに伴う、プログラム概要の追加</p> <p>設工認の評価で用いた解析コード及びそのバージョンは、設認の評価で用いたものと同じである</p> |
| 項目 | コード名 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 開発機関 | 高燃焼度用FPAC | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 開発時期 | 原子燃料工業株式会社 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 開発時期 | 2002年 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用したバージョン | Ver. 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用目的 | B型55GWd/t燃料燃料棒強度評価 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| コードの概要 | <p>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挙動を解析するために作成されたコードである。</p> <p>燃料中心温度、燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張ひずみの変化量等の算出が可能である。</p> <p>高燃焼度用FPACコードは、FPACコードの機能を維持しつつ、適用できる燃焼度を伸張するため、高燃焼度まで照射された燃料のデータを追加してモデル化を行うとともに、耐食性改良被覆管に関連するモデルを追加したものである。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation) | <p>高燃焼度用 FPAC コードは、燃料棒 (B 型 55GWd/t 燃料) の燃料棒強度評価に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 本解析コードの運用環境について、開発時に想定された要件を満足していることを確認している。 高燃焼度用 FPAC Ver.1 は 55GWd/t ウラン燃料用であり、今回の解析に使用することは妥当である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内外の商業炉・試験炉の照射データ等による結果と高燃焼度用 FPAC コードによる解析結果との比較を行い、改良被覆管特性反映、ペレット熱伝導率式等が検証され、FP ガス放出率・燃料棒内圧等の燃料挙動が概ね一致することを確認している。詳細は、公開文献「燃料棒性能解析コード (FPAC)」(NFK-8011 改 11 平成 21 年 原子燃料工業株式会社) に示されている。また、55GWd/t 燃料導入に係る原子炉設置変更許可申請において、高燃焼度用 FPAC コードの妥当性が確認されている。 今回の設工認申請で行う燃料棒強度評価の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 設認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 添付書類二 | 設工認 (伊方発電所第 3 号機 B 型燃料集合体) 資料 7 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|------|------|---|------|--------------------|-----------|---------|------|--|--------|--|--|--|---|
| | <p>2.2 MSC NASTRAN Ver. 70 2.2.1 MSC NASTRAN Ver. 70 の概要 対象：燃料集合体</p> <table border="1" data-bbox="952 347 1742 1369"> <thead> <tr> <th data-bbox="952 347 1176 403">項目</th> <th data-bbox="1176 347 1742 403">コード名</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="952 403 1176 459">開発機関</td> <td data-bbox="1176 403 1742 459">MSC NASTRAN The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="952 459 1176 491">開発時期</td> <td data-bbox="1176 459 1742 491">1971 年 (一般商業用リリース)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="952 491 1176 523">使用したバージョン</td> <td data-bbox="1176 491 1742 523">Ver. 70</td> </tr> <tr> <td data-bbox="952 523 1176 603">使用目的</td> <td data-bbox="1176 523 1742 603">3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による B 型燃料集合体強度評価</td> </tr> <tr> <td data-bbox="952 603 1176 1090">コードの概要</td> <td data-bbox="1176 603 1742 1090"> <p>有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時 NASA (The National Aeronautics and Space Administration) で行なわれていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN (NASA Structural Analysis Program) と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p> <p>また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="952 1090 1176 1369">検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</td> <td data-bbox="1176 1090 1742 1369"> <p>MSC Nastran Ver. 70 は汎用市販コードであり、燃料集合体の 3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による強度評価に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による応力解析に関する理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 </td> </tr> </tbody> </table> | 項目 | コード名 | 開発機関 | MSC NASTRAN The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation) | 開発時期 | 1971 年 (一般商業用リリース) | 使用したバージョン | Ver. 70 | 使用目的 | 3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による B 型燃料集合体強度評価 | コードの概要 | <p>有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時 NASA (The National Aeronautics and Space Administration) で行なわれていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN (NASA Structural Analysis Program) と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p> <p>また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p> | 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>MSC Nastran Ver. 70 は汎用市販コードであり、燃料集合体の 3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による強度評価に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による応力解析に関する理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 | <p>設工認になったことに伴う、プログラム概要の追加</p> <p>設工認の評価で用いた解析コード及びそのバージョンは、設認の評価で用いたものと同一である</p> |
| 項目 | コード名 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 開発機関 | MSC NASTRAN The MacNeal-Schwendler Corporation (現 MSC Software Corporation) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 開発時期 | 1971 年 (一般商業用リリース) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用したバージョン | Ver. 70 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用目的 | 3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による B 型燃料集合体強度評価 | | | | | | | | | | | | | | | |
| コードの概要 | <p>有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時 NASA (The National Aeronautics and Space Administration) で行なわれていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムは NASTRAN (NASA Structural Analysis Program) と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p> <p>また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation) | <p>MSC Nastran Ver. 70 は汎用市販コードであり、燃料集合体の 3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による強度評価に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法 (ソリッドモデル) 又は 2次元有限要素法 (はり要素) による応力解析に関する理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 | | | | | | | | | | | | | | | |