

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0135 改01
提出年月日	平成29年1月30日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

地震による応力を考慮した燃料被覆管の
応力評価について（耐震）

平成29年1月

東京電力ホールディングス株式会社

地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価について

1. はじめに

燃料被覆管の応力評価に関しては、燃料の健全性を確認する観点から、原子炉設置変更許可申請書添付Ⅷ及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において通常運転時（運転時の異常な過渡変化を含む）に発生する内外圧力差による応力、熱応力などを考慮し、解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また、工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において、崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から、地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。

本資料は、燃料棒健全性評価への地震動の影響について、補足的に説明するものである。

2. 評価方法^[1]

燃料被覆管応力評価は、厚肉円筒式を用いた簡易弾性解析により、せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づき被覆管の相当応力を求め設計比を評価する。応力計算は、燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向（半径方向、円周方向及び軸方向）について解析し、それらより相当応力を評価する。

応力設計比は、燃料棒寸法、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、許容応力などの統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は、製造実績、実機運転データ等を考慮して設定された値を用いる。これらをモンテカルロ法により統計評価を行う。モンテカルロ法による評価では、1回の試行毎に乱数が用いられ、統計的分布に従い設定された入力条件から1つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の95%確率上限値を求める。応力設計比の95%確率上限値が1以下であることで燃料の健全性を確認する。

なお、被覆管温度、燃料棒内圧は燃料棒熱・機械設計解析コードから得られるものであり、他の入力も含めて許認可解析で保守的に設定されたものと同じものを用いる。

3. 評価結果

評価結果（暫定条件による概算値）を添付に示す。許認可で考慮している応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比の増分は最大で0.03であった。地震を考慮しない場合の応力設計比は最大で0.5未満であり、増分を考慮しても十分余裕があることを確認した。

鉛直方向地震動による燃料集合体の浮き上がりについては、ある程度の保守

性を考慮した鉛直方向加速度（2G）においても、浮き上がりの影響が無い（燃料支持金具から外れない）ことが過去の評価により確認されている^[2]。

なお、6号炉と7号炉は概ね同一構造であること及び両炉の燃料集合体は同一設計であることから、7号炉を代表で評価した。

4. 考慮すべき地震動について

JEAG4601・補-1984において、燃料被覆管の耐震評価として崩壊熱の除去が可能な形状の維持が要求されており、1次応力が0.7Su以下となることを確認している。基準地震動Ssによる評価はこのために用いられていることから、燃料被覆管の閉じ込め機能を確認する上で考慮すべき地震動は、地震発生時においても運転が継続される程度の地震動として弾性設計用地震動Sdとする。ただし、Sdを包絡するSsにより便宜上評価を代替した。

添付資料

柏崎刈羽7号炉 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価について

参考文献

- [1] 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承）
- [2] 平成17年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力 その2（BWR制御棒挿入性）に係る報告書（平成18年9月原子力安全基盤機構）

柏崎刈羽7号炉 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価について

通常運転時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。

1. 評価条件

評価条件を次ページに示す。本評価においては、地震による応力設計比への影響量を確認するため、地震による応力を考慮した評価値と考慮しない燃料体設計認可記載値を比較した。

評価方法については、燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）における燃料健全性評価方法と同等である。

地震による応力については、評価条件に示す地震動における燃料集合体の加速度を用いて評価した。

2. 評価結果

燃料被覆管応力の評価結果を次ページ表に示す。燃料体設計認可申請書で考慮している応力に加え地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比の増分は最大でも0.03と地震に対する感度は非常に小さく、応力設計比の最大値は0.45（K7寿命初期1次応力）と1.0に比べ十分小さいことを確認した。

以上

評価条件及び評価結果

燃料タイプ：9×9 燃料（A型）

解析コード：簡易弾性解析コードFURST05（設置許可，設計認可と同じ）

評価部位：スペーサ間，スペーサ部

評価点：燃料寿命初期，中期，末期

考慮する応力：①内外圧力差に基づく応力（一次応力）

②水力振動に基づく応力（一次応力）

③楕円度に基づく応力（一次応力）

④スペーサの接触圧に基づく応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力）

⑤半径方向温度差に基づく熱応力（二次応力）

⑥円周方向温度差に基づく熱応力（二次応力）

地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，最大値を固定値として入力する。

⑦スペーサ間のたわみに基づく応力（一次応力）

⑧チャンネルボックスのたわみに基づく応力（二次応力）

鉛直方向の地震加速度を考慮する場合には，さらに以下の応力を考慮する。

⑨鉛直地震加速度に基づく応力（一次応力）

⑩膨張スプリングの圧縮力に基づく応力（一次応力）

許容応力：一次応力に対して降伏応力（ S_y ）

一次+二次応力に対して引張強さ（ S_u ）

入力値：水平加速度 1.88G（暫定条件による概算値）

鉛直加速度 1.23G（同上）

表 7号炉燃料被覆管応力の評価結果

	スペーサ間（応力設計比）		スペーサ部（応力設計比）		設認応力設計比（過渡圧力時）	設認からの増分最大値
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	一次+二次応力	応力最大設計比	—
寿命初期	0.45	0.39	0.44	0.29	0.42	0.03
寿命中期	0.17	0.24	0.17	0.22	0.21	0.03
寿命末期	0.17	0.20	0.17	0.19	0.18	0.02