

HT-209-1

HTTR 設工認 第 4 回申請(R2.3.30)のコメントに係る回答
(耐震性(波及的影響含む))

令和 2 年 8 月 28 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所

高温ガス炉研究開発センター

高温工学試験研究炉部

第4回申請(R2.3.30)に対する確認事項(No.18 R2/6/18):第4回第1編(耐震性)

各評価対象設備毎に計算値と評価値の比較検討を行っているが、例えば、第2.1表(添1-4-2-7)の外周支持板のように、第3.1表や第3.2表(本-1-19～本-1-24)と名称が異なると、解析方法や許容値の確認が確実に出来ない。名称の関係を説明して下さい。

【回答】

次頁以降において、本文の第3.1表「耐震クラスを変更した建物・構築物及び機器・配管系」、第3.2表「耐震性評価を実施する建物・構築物及び機器・配管系」及び添付書類の表に記載している評価対象設備の名称の関係を示すとともに、評価対象設備の耐震クラス及び既往の設工認と今回申請した設工認の評価手法を示す。なお、本文の第3.1表及び第3.2表に記載の評価対象設備は、設置変更許可申請書の添付書類八の第1.4.1表クラス別施設に記載している。

既往の設工認の評価手法において、当時のAs、Aクラスに対してはS1による動的解析より得られた地震力と層せん断力係数より得られた地震力(静的解析により得られた地震力)のうち大きい方を用いて応力計算を実施するとともに、S2による動的解析より得られた地震力を用いて応力計算を実施した。本表では、静的解析により得られた地震力を用いて応力評価を実施した場合でも、動的解析の手法が分かるように動的解析の手法を記載する。なお、「応力計算」と記載の設備は、定式化された評価式を用いて応力を算出している。「応力解析」と記載の設備は、解析コードを用いて応力を解析している。

本表は、添付書類1-1に記載することとする。

次頁以降の表において、赤字斜体で記載の箇所は、別紙で内容を説明する。

・添付書類 1-3-1～1-3-4「使用済燃料貯蔵プールの耐震性評価」、「原子炉建家天井クレーンの耐震性評価」、「使用済燃料貯蔵建家天井クレーンの耐震性評価」、「基礎版の耐震性評価」

表 1 建物・構築物の耐震性評価

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール	原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール	使用済燃料貯蔵プール	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた地震力を用いて応力計算
B クラス	記載なし	原子炉建家天井クレーン	原子炉建家天井クレーン	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた荷重を用いて応力計算(すべり/浮上り/衝突を含む非線形応答挙動の評価のため)
B クラス	記載なし	使用済燃料貯蔵建家天井クレーン	使用済燃料貯蔵建家天井クレーン	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた荷重を用いて応力計算(すべり/浮上り/衝突を含む非線形応答挙動の評価のため)
B クラス	記載なし	原子炉建家基礎版	原子炉建家基礎版	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた地震力を用いて応力計算

表 2 原子炉本体の評価対象設備

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法		
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認	
S クラス	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	
		スタンドパイプ	原子炉圧力容器のうち、 制御棒スタンドパイプ管台			原子炉圧力容器のうち、 制御棒スタンドパイプ
			圧力容器スカート			
		圧力容器基礎ボルト	圧力容器基礎ボルト			時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力計算
	炉心支持黒鉛構造物 (サポートポストの支持機能)	サポートポスト(支持機能のみ。)	サポートポスト	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を入力値として応力解析	応答倍率法	
	炉心支持鋼構造物(拘束バンドは除く。)	炉心支持板	外周支持板	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法	
			内側中心支持板			
内側周辺支持板						

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	炉心支持鋼構造物(拘束バンドは除く。)	炉心支持格子	円筒胴	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法
			菱形格子状梁		
		炉心拘束機構(拘束バンドを除く。)	レストレイントリング(上 8 段)	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル及び炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法
			バンド支え(下 2 段)		
B クラス	炉心支持鋼構造物の拘束バンド及び炉心支持黒鉛構造物(サポートポストの支持機能を除く。)	固定反射体ブロック	固定反射体ブロック炉心側部	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を入力値として応力解析	応答倍率法
			固定反射体ブロック高温プレナムブロック部		
			固定反射体ブロック最下段		
		高温プレナムブロック	高温プレナムブロックシール用ブロック(中心ブロック)	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を入力値として応力解析	応答倍率法
			高温プレナムブロックシール用ブロック(周辺ブロック)		
			高温プレナムブロックキー結合用ブロック(中心ブロック)		
			高温プレナムブロックキー結合用ブロック(周辺ブロック)		

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	炉心支持鋼構造物の拘束バンド及び炉心支持黒鉛構造物 (サポートポストの支持機能を除く。)	サポートポスト(支持機能を除く。)	サポートポスト	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を入力値として応力解析	応答倍率法
		炉床部断熱層	炉床部断熱層プレナム下部ブロック	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を入力値として応力解析	応答倍率法
			炉床部断熱層炭素ブロック		
	炉床部断熱層下端ブロック				
	炉心拘束機構の拘束バンド	拘束バンド(下2段)引張材(第4層)	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法	
		拘束バンド(下2段)引張材(アタッチメント)			
		拘束バンド(上8段)圧縮材(第3層)			
		拘束バンド(下2段)圧縮材(第4層)			
	炉内構造物(上部遮へい体ブロック、側部遮へい体ブロック)	遮へい体	側部遮へい体ブロック(炉心側部)外枠	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル及び炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法
			側部遮へい体ブロック(最下段)外枠		
側部遮へい体ブロック(最下段)支持脚					
上部遮へい体ブロック					

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス相 当※	記載なし	制御棒案内ブロック	制御棒案内ブロック	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法
B クラス相 当	記載なし	燃料体の黒鉛ブロック	A 型燃料体の黒鉛スリーブ	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法
			31 ピン型燃料体の黒鉛ブロック		
			31 ピン型燃料体の黒鉛ブロックダウエルピン		
	33 ピン型燃料体の黒鉛ブロック	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法		
可動反射体ブロック(燃料領域下部の上段)					
記載なし	可動反射体ブロック	可動反射体ブロック(燃料領域下部の下段)	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力解析	応答倍率法	

※ 制御棒案内ブロックの側面については制御棒の挿入性を確保するため、基準地震動において評価を実施する。

・添付書類 1-4-3「核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性評価」

表 3 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の評価対象設備

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	原子炉建家内の使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック(上蓋を除く。)	原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック(上蓋を除く。)	原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック(上蓋を除く。)	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	応答倍率法
B クラス	記載なし	プール水冷却浄化設備(プール水冷却に関する部分)	プール水冷却器	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
	使用済燃料貯蔵建家内の使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック(上蓋を除く。)	使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック(上蓋を除く。)	使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック(上蓋を除く。)	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	応答倍率法
	記載なし	燃料交換機	燃料交換機		
	記載なし	燃料出入機	燃料出入機		
	記載なし	原子炉建家内附属機器	床上ドアバルブ 1	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて転倒計算	設計当時に静的震度にて評価されており、1/2Sd の動的地震力の方が設計当時の地震力よりも小さいことから評価を省略する。
	記載なし	使用済燃料貯蔵建家内附属機器	床上ドアバルブ 2		
記載なし		移送台車			

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

表 4 原子炉冷却系統施設の評価対象設備

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	原子炉冷却材圧力バウンダリ に属する容器・配管・循環機・ 弁	中間熱交換器	中間熱交換器	スペクトルモーダル法 により得られた荷重を 用いて、容器及び循環 機については応力解 析、配管及び弁につ いては応力計算	スペクトルモーダル法 により得られた荷重を 用いて、容器及び循 環機については応力 解析、配管及び弁に ついては応力計算
		1次加圧水冷却器	1次加圧水冷却器		
		1次ヘリウム循環機	1次ヘリウム循環機		
		1次ヘリウム配管(二重管)	1次ヘリウム配管(二重管)		
		1次ヘリウム主配管(単管)	1次ヘリウム主配管(単管)		
		1次冷却設備の主要弁	1次冷却設備の主要弁		
		補助ヘリウム冷却系(原子 炉冷却材圧力バウンダリに 属するもの)	補助ヘリウム配管		
	補助冷却器				
	補助ヘリウム循環機				
	1次ヘリウム純化設備(原子 炉格納容器内のもの。)、燃料 破損検出装置(原子炉格納 容器内のもの。)、1次ヘリウム サンプリング設備(原子炉格納 容器内のもの。)	原子炉冷却材圧力バウン ダリに接続している配管(原 子炉格納容器内のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリ に接続している配管(原子炉格 納容器内のもの)のうち、 1次ヘリウム純化設備配管、1 次サンプリング設備配管及び 燃料破損検出系配	—	スペクトルモーダル法 により得られた荷重を 用いて応力計算(ク ラス変更のため評価 を実施)
1次ヘリウム純化設備入口フィ ルタ			時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	応答倍率法	
1次ヘリウム純化設備プレチャ コールトラップ					

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	補助冷却設備(原子炉冷却材圧力バウンダリに属するものは除く。)	補助冷却水系	補助ヘリウム冷却系(原子炉冷却材圧力バウンダリ、Cクラスに属するものを除く。)		
			ヘッダと伝熱管管台の接続部	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期解析※
			伝熱管管台と伝熱管の接続部		
			伝熱管		
			補助冷却水循環ポンプ	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
	補助冷却水加圧器				
	補助冷却水系主配管	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期解析※ スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算		
	炉容器冷却設備	炉容器冷却設備(C クラスに属するものは除く。)	冷却器	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
サージタンク					
循環ポンプ					
炉容器冷却水設備主配管			スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期解析※ スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	炉容器冷却設備	炉容器冷却設備(C クラスに属するものは除く。)	炉容器冷却設備水冷管パネル	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた荷重を用いて応力計算(評価の精緻化のため) <i>(応力係数を修正 (1.8→1.33))</i>
	補機冷却水設備	補機冷却水設備(崩壊熱除去の主要設備に係わるもの。)	循環ポンプ	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析*
			冷却塔ファン		
	記載なし	1次ヘリウム純化設備(S、Cクラスに属する設備を除く。)	補機冷却水設備配管	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期解析* スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算
			酸化銅反応筒	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			モレキュラーシーブトラップ		応答倍率法
			冷却器		固有周期解析*
コールドチャコールトラップ	固有周期解析*				
		コールドチャコールトラップ熱交換器		応答倍率法	

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	記載なし	1次ヘリウム純化設備(S、C クラスに属する設備を除く。)	ガス循環機用フィルタ	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	固有周期解析※
			ガス循環機		固有周期解析※
			再生系冷却器		固有周期解析※
			再生系ガス循環機		固有周期解析※
			入口加熱器		応答倍率法
			戻り加熱器		応答倍率法
	再生系加熱器	応答倍率法			
	記載なし	試料採取設備(S、C クラス に属する設備を除く。)	1 次ヘリウムサンプリング設備 圧縮機	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	固有周期解析※

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

表 5 計測制御系統施設の評価対象設備

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	制御棒及び制御棒駆動装置(スクラム機能に関するもの。)	制御棒	制御棒	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力計算	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力計算
	制御棒及び制御棒駆動装置(スクラム機能に関するもの。)、制御棒案内管	制御棒駆動装置	制御棒駆動装置	時刻歴応答解析(炉内構造物モデル)により得られた荷重を用いて応力計算	応答倍率法
	電気計装設備(安全保護系(原子炉の停止系)に関するもの。)	中央制御室の盤	中央制御盤 主盤	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			中央制御盤 副盤		応答倍率法
	隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備、電気計装設備(安全保護系(原子炉の停止系)に関するもの。)	S クラス設備の補助設備となる電気計装設備	所内電源盤	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			安全保護ロジック盤		
			安全保護シーケンス盤		
制御棒スクラム装置盤					
中央制御室外原子炉停止盤					
主冷却設備安全保護系計装盤					
1次冷却材放射能安全保護系計装盤					
制御棒位置計装盤					

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備、電気計装設備(安全保護系(原子炉の停止系)に関するもの。)	S クラス設備の補助設備となる電気計装設備	中性子計装盤	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			補助冷却設備安全保護系計装盤		
			炉容器冷却設備計装盤		
			放射能計装盤		
			安全保護系計器収納盤		
			補助冷却設備計器収納盤		
			1次冷却材・加圧水差圧		
			1次加圧水冷却器加圧水流量		
			原子炉格納容器圧力		
			<i>サービスエリア内圧力</i>		
			<i>戻り加熱器出口圧力</i>		
			<i>スタンドパイプパーシライズ圧力</i>		
			炉心差圧	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			蓄電池架台		
			充電器		
安全保護系用交流無停電電源装置	時刻歴応答解析(原子炉圧力容器モデル)により得られた荷重を用いて応力計算	応答倍率法			
広領域中性子束検出器					
出力領域中性子束検出器	時刻歴応答解析及び静的解析により得られ				

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
				た大きい方の地震力を用いて応力計算	
S クラス	記載なし	放射能検出器容器 (1 次冷却材放射能 検出器容器)	1 次冷却材放射能検出器容器	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
B クラス	後備停止系、後備停止 系案内管	後備停止系駆動装 置	後備停止系駆動装置	時刻歴応答解析(炉 内構造物モデル)により 得られた荷重を用いて 応力計算	応答倍率法
	記載なし	放射能検出器容器 (S クラスを除く。)	液体廃棄物放射能検出器容器 気体廃棄物放射能検出器容器	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析*
	原子炉格納容器バウンダ リに属する配管・弁(1 次 冷却材を含むものを除 く。)及びこれに属する隔 離弁を閉とするのに必要 な電気計装設備	B クラス設備の補助 設備となる電気計装 設備	後備停止系制御装置盤 炉容器冷却水流量 補機冷却水母管戻り流量 補機冷却水冷却塔プール水位 補助冷却水流量 補助冷却水循環ポンプ冷却水流量 補助冷却水加圧器水位	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析*

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁(1 次冷却材を含むものを除く。)及びこれに属する隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備	B クラス設備の補助設備となる電気計装設備	補助冷却水加圧器圧力	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
			戻り加熱器出口流量		
			サービスエリア内圧力		
			戻り加熱器出口圧力		
			スタンドパイプパーズライン圧力		

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

・添付書類 1-4-6「放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性評価」

表 6 放射性廃棄物の廃棄施設の評価対象設備

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	記載なし	気体廃棄物処理系	バッファタンク	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法
			圧縮機		固有周期解析※
			フィルタユニット		
			排風機		
			減衰タンク		応答倍率法
	記載なし	洗浄廃液ドレン系	洗浄廃液ドレン系廃液槽		固有周期解析※
			洗浄廃液ドレン系廃液移送ポンプ		
	記載なし	機器ドレン系	機器ドレン系廃液槽及び床ドレン系廃液槽		固有周期解析※
			機器ドレン系廃液移送ポンプ及び床ドレン系廃液移送ポンプ		
			機器ドレン系ドレンピットポンプ		
			機器ドレン系ドレンピットポンプ(格納容器内)		
			機器ドレン系ドレンピット		
	記載なし	床ドレン系	機器ドレン系廃液槽及び床ドレン系廃液槽		固有周期解析※
			機器ドレン系廃液移送ポンプ及び床ドレン系廃液移送ポンプ		
記載なし	使用済燃料貯蔵建家ドレン系	使用済燃料貯蔵建家ドレン系廃液槽	固有周期解析※		
		使用済燃料貯蔵建家ドレン系廃液移送ポンプ			

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

・添付書類 1-4-7「放射線管理施設の耐震性評価」

表 7 放射線管理施設の評価対象設備

耐震重要度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	記載なし	線量当量率モニタリング設備	事故時ガンマ線エリアモニタ検出器 事故時ガンマ線エリアモニタ前置増幅器	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	応答倍率法

表 8 原子炉格納施設の評価対象設備

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
S クラス	原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁(1 次冷却材を含むもの。)	原子炉格納容器附属設備の 1 次冷却材を内包する配管貫通部	原子炉格納容器貫通部配管 P101 外, P101 内, P107 外, P107 内, P108 外, P108 内, P109 外, P109 内, P113 外, P113 内, P117 外, P117 内, P118 その 1 外, P118 その 1 内, P118 その 2 外, P118 その 2 内, P123 その 1 外, P123 その 1 内, P123 その 2 外, P123 その 2 内, P204 外, P204 内	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	原子炉格納容器、原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁(1 次冷却材を含むものを除く。)及びこれに属する隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備	原子炉格納容器	原子炉格納容器	時刻歴応答解析、スペクトルモーダル法及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	設計当時に静的震度にて評価されており、1/2Sd の動的地震力の方が設計当時の地震力よりも小さいことから評価を省略する。
			原子炉格納容器貫通部配管 P102 外, P102 内, P103 外, P103 内, P104 外, P105 外, P105 内, P106 外, P106 内, P111 外, P111 内, P112 外, P112 内, P114 内, P115 外, P116 外, P119 外, P120 外, P124 外, P125 内, P126 外, P126 内, P127 外, P127 内, P203 外, P206 外 , P207 外, P209 その 1 外, P211 その 2 外 , P212 その 1 外, P212 その 3 外, P213 その 1 外, P213 その 2 外, P215 外,	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	原子炉格納容器、原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁(1 次冷却材を含むものを除く。)及びこれに属する隔離弁を閉とするのに必要な電気計装設備	原子炉格納容器	原子炉格納容器貫通部配管 P125 外, P201 外, P211 その 1 外, <i>P211 その 2 外</i> , P218 外, P219 外, P225 外	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算
			原子炉格納容器貫通部配管 P114 外, P124 内, P202 外, P205 外, P209 その 2 外, P212 その 2 外, P214 外, P216 外, P216 内, P220 外, P220 内, P221 外, D201 外, D202 外, D203 外, D204 外	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期解析※
	原子炉建家サービスエリア※ ¹	サービスエリア	扉	静的解析により得られた地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
	非常用空気浄化設備	非常用空気浄化設備	排気フィルタユニット	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	固有周期解析※
排風機					
主ダクト			定ピッチスパン法 スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	応答倍率法	

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	非常用空気浄化設備	非常用空気浄化設備	排気管	風荷重、静的地震荷重、動的地震(時刻歴応答解析)荷重のうち、最大の荷重により応力計算	固有周期解析※

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

※1 建家であるため添付書類八の第 1.4.1 表クラス別施設に記載なし。

・添付書類 1-4-9「その他試験研究用等原子炉の附属施設の耐震性評価」

表 9 その他試験研究用等原子炉の附属施設の評価対象設

耐震重要度 分類	設備機器			評価手法	
	本文第 3.1 表	本文第 3.2 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認
B クラス	非常用発電機及びその計 装設備	非常用発電機	非常用発電機	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	固有周期解析※
			始動用空気槽		
			主燃料槽		
			燃料小出槽		
			主配管(始動用空気配管)		
	制御用圧縮空気設備	圧縮空気設備	空気圧縮機	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	固有周期解析※
			前置空気ろ過器		
			除湿器		
			後置空気ろ過器		
			制御用主空気貯槽		
制御用空気貯槽					
記載なし	制御棒交換機	制御棒交換機	スペクトルモーダル法 により得られた荷重を 用いて応力計算	応答倍率法	
記載なし	<u>使用済燃料貯蔵建家換気 空調設備の一部</u>	貯蔵セル排気系統フィルタ ユニット	時刻歴応答解析及び 静的解析により得られ た大きい方の地震力を 用いて応力計算	固有周期解析※	
		貯蔵セル排気系統排風機			

※ 固有周期解析により共振しないことを確認。

・添付書類 1-5-1「原子炉建家屋根トラスの波及的影響評価」、「原子炉格納容器の波及的影響評価」、「原子炉建家天井クレーンの波及的影響評価」、
「排気筒の波及的影響評価」、「燃料交換機の波及的影響評価」、「制御棒交換機の波及的影響評価」

表 10 波及的影響評価

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法		備考
	本文第 3.1 表	本文第 3.3 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認	
B クラス	記載なし	原子炉建家屋根トラス	原子炉建家屋根トラス	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた地震力を用いて応力計算	波及的影響評価は、共振のおそれの有無に関わらず、基準地震動を用いて評価する。 波及的影響評価では、耐震重要施設の安全機能を損なわないことを確認する観点から、実挙動評価も実施する。
	記載なし	原子炉格納容器	原子炉格納容器	時刻歴応答解析、スペクトルモーダル法及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析で得られた地震力を用いて応力計算※	
	記載なし	原子炉建家天井クレーン	原子炉建家天井クレーン	時刻歴応答解析及び静的解析により得られた大きい方の地震力を用いて応力計算	時刻歴応答解析により得られた荷重を用いて応力計算。ただし、落下に対する評価は時刻歴応答解析の結果を用いる。	

耐震重要 度分類	設備機器			評価手法		備考
	本文第 3.1 表	本文第 3.3 表	添付書類	既往の設工認	今回申請した設工認	
B クラス	記載なし	排気筒	排気筒	風荷重、静的地震荷重、動的地震(時刻歴応答解析)荷重のうち、最大の荷重により応力計算	時刻歴応答解析によりひずみ及び応力を解析	波及的影響評価は、共振のおそれの有無に関わらず、基準地震動を用いて評価する。 波及的影響評価では、耐震重要施設の安全機能を損なわないことを確認する観点から、実挙動評価も実施する。
	記載なし	燃料交換機	燃料交換機	スペクトルモーダル法により得られた荷重を用いて応力計算	固有周期における床応答スペクトルの加速度による応力計算	
	記載なし	制御棒交換機	制御棒交換機			

※ 既往の設工認の評価結果に足し合わせる。

1. 本文の第 3.2 表に記載もしくは削除する設備

表 3 及び表 10 の「遮へい体」及び「使用済燃料貯蔵建家換気空調設備の一部」は、評価を実施しているため本文の第 3.2 表に記載する。

表 5 の「補助ヘリウム冷却系(原子炉冷却材圧力バウンダリ、C クラスに属するものを除く。)」は、評価を実施していないため、本文の第 3.2 表から削除する。

2. 本文の第 3.1 表、第 3.2 表及び添付書類の設備機器の記載の明確化

表 4 の「原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック(上蓋を除く。)」及び「使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック(上蓋を除く。)」は、部位の明確化のために(上蓋を除く。)を記載する。

3. 応力係数の変更

既往の設工認の炉容器冷却設備の側部パネル水冷管及び除熱量調節パネル水冷管の評価に当たっては、JSME 設計・建設規格に基づき、全評価個所に溶接個所に用いる応力係数 1.8 を適用していた。しかしながら本設工認申請においては、評価個所が溶接個所ではないことが確認できたため、応力係数を JSME 設計・建設規格に基づき「溶接部以外の直管」である、1.33 に修正した。

4. クラス変更する設備

表 6 の「S クラス設備の補助設備となる電気計装設備」に記載している「サービスエリア内圧力」、「戻り加熱器出口圧力」及び「スタンドパイプパーズライン圧力」は、B クラスであるため、同表の「B クラス設備の補助設備となる電気計装設備」に記載する。

5. 評価結果を記載する設備

表 9 の「P206 外」(耐震 B クラス)については、以下のとおり添付書類 1-4-8 で固有周期解析を実施し、共振することから評価を必要とする設備であるが、耐震評価の結果が記載されていない。そのため、評価結果を記載する。なお、本配管は、応答倍率法による評価で許容応力を満足することを確認している。

第 1.2 表 固有周期解析の結果(抜粋)

設備機器		据付場所	固有周期(s)	参考資料
原子炉格納容器 貫通部配管	P206 格納容器外	原子炉建家内	0.067 評価対象	V-1-6

6. 評価手法の適正化

表 9 の「P211 その 2 外」は、応答倍率法及びスペクトルモーダル法の両手法の結果が記載されている。応答倍率法による評価では、評価箇所が 3 箇所あるうち 1 箇所が許容応力を満足していないため、スペクトルモーダル法による評価を実施した。なお、今回申請した設工認では、応答倍率法による評価で許容応力を満足した 1 箇所の評価結果を記載した。

第 4 回申請(R2.3.30)に対する確認事項(No.19 R2/6/18):第 4 回第 1 編(耐震性)

第 4 回申請(R2.3.30)に対する確認事項(No.25,26 R2/7/9):第 4 回第 1 編(耐震性)

制御棒の挿入性については、計算上の応力が許容値以下であることを確認しているが、応力の比較のみで制御棒の挿入性が確保できることを、制御棒の挿入機構から説明して下さい。

また、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」にある確認項目のうち、検討されていない項目があればお教え下さい。(制御棒の挿入性のよう、①考え方と②計算値と評価値が確認できるようにまとめて下さい。)

設置許可の審査において、基準地震動による地震力に対しては、設計基準事故で想定する事象とは別に取り扱い、非常用発電機その他耐震重要度Bクラス以下の安全施設の機能喪失を想定したとしても、炉心に制御棒が挿入され原子炉停止に至り、周辺監視区域境界における実効線量が 5mSv 未満であることを確認している。

本評価の前提条件を担保する観点から、基準地震動時における制御棒の動的挿入性を説明すること。

制御棒が基準地震動による地震力に対して構造健全性を有していること、連結棒の変形、損傷等により制御棒が屈曲し、複数の制御棒要素が挿入経路を閉塞することがないことを説明すること。

【回答】

1. 地震時の制御棒の挿入性の考え方

設計基準事故と地震の重ね合わせとして、設計基準事故と重ね合わせる地震は B クラス地震($1/2S_d$)であり、S クラス地震(S_s)とは重ね合わさない。このため、 $1/2S_d$ に対して、地震が発生している最中でも、制御棒の挿入性に係る設計上の制限値(有効炉心の 80%挿入時間 12 秒)を満足できることを制御棒挿入性試験により確認している。 S_s に対して、炉内構造物の変位が発生することを想定しても、地震終了後に制御棒が挿入できることを静的挿入性試験により確認している。以下に、両者に関する試験の結果を示す。

2. $1/2S_d$ 時の制御棒の挿入性試験

制御棒挿入性試験は、HTTR の炉心のうち制御棒案内ブロック 1 カラムの高温プレナムブロックの上部を模擬して、加振台から吊下げた下部試験容器内に制御棒案内ブロック 1 カラム分を積み上げ、隣接するカラムは側部に設けた衝突板により模擬して実施した。入力波としては、水平方向の正弦波及び S1、S2 地震時及び 1.6S2 地震時(S2 地震時の加速度を 1.6 倍に増幅したもの)の高温プレナムブロック部における応答波を用いた。また、水平方向の 0.5 倍の加速度を有する垂直波の影響も調べた。

2.1 試験結果

制御棒挿入性試験は、実施した全てのケースにおけるスクラム時の挿入時間は、設計上の制限値を満足した¹⁾。試験により得られたスクラム時間を図 1 に示す。

2.2 試験結果と $1/2S_d$ の加速度との関係

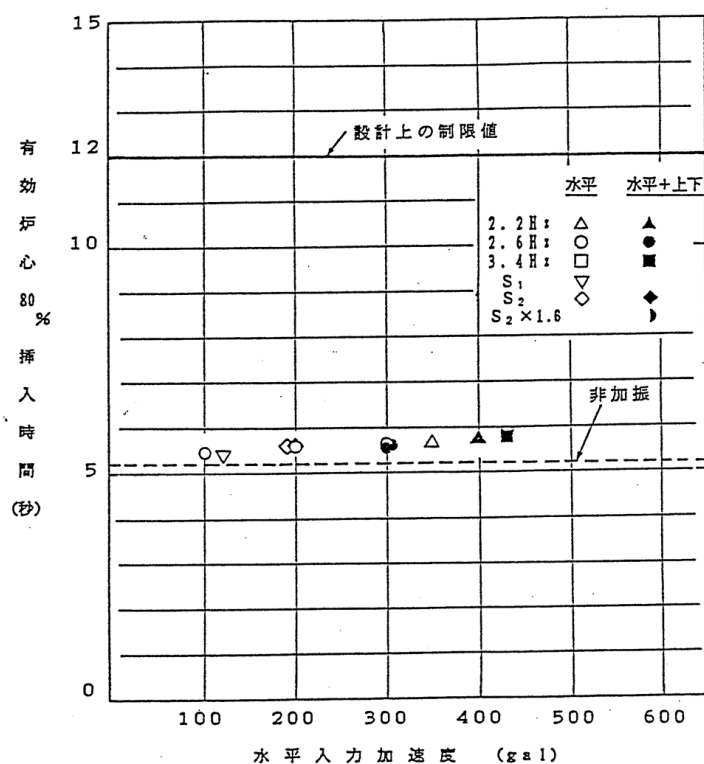
制御棒挿入性試験では、最大水平加速度約 400gal で試験を実施している。1/2Sd の高温プレナムブロック部における応答波の最大水平加速度は約 200gal である。そのため、1/2Sd 時でも設計上の制限値を満足する。

2.3 制御棒挿入孔と制御棒の接触による摩擦力(挿入抗力)に対する考え方

制御棒の挿入を遅延させる要因としては挿入中の制御棒と制御棒案内管との接触によって発生する摩擦力がある。黒鉛と金属材料の摩擦係数は 0.1~0.2 であり¹⁾、金属同士の摩擦係数 0.2~0.4^{2,3)} と比較して小さく、また図 2 に示すようにワイヤロープに吊られ、かつ制御棒挿入孔のギャップが約 10mm ある制御棒は、水平方向に拘束されていないため、接触箇所に対する垂直抗力は小さい。これらの理由により、発電炉と比較して、Ss までの範囲において摩擦力は小さく、制御棒挿入孔と制御棒の接触による挿入の阻害はない。

なお、これまでに実施した制御棒挿入性試験等から、スクラム時の制御棒挿入に要する時間は、制御棒案内ブロックの加速度に比例することが示されている。そこで、図 1 の結果を外挿して、約 Ss 時の加速度(約 670gal)のもとでの制御棒挿入時間は、図 3 に示すように約 6.2 秒と推定される。

実験により検証され⁴⁾、HTTR の炉内構造物の耐震解析に用いている SONATINA-2V による評価では、図 4 に示すように、制御棒案内ブロックの加速度の平均は 1/2Sd から Ss までの範囲において、線形的な比例関係にあり、直線的な外挿による挿入時間の推定は十分可能である。



注) 地震波の水平入力加速度は入力加速度の最大値

図 1 有効炉心 80%挿入時間⁵⁾

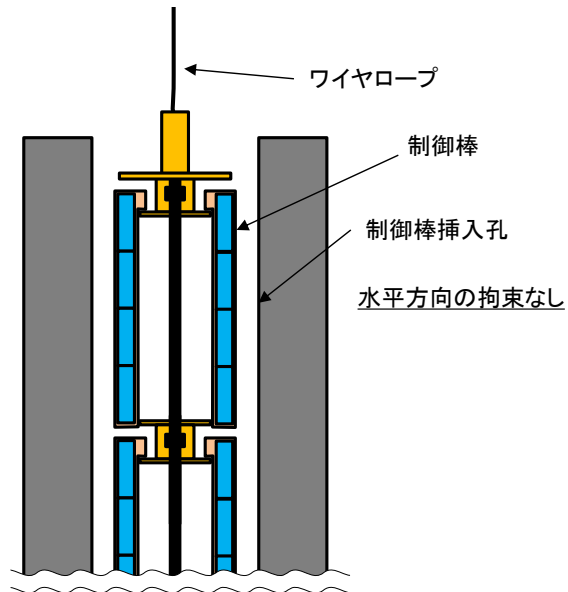


図2 制御棒挿入孔における制御棒の状態

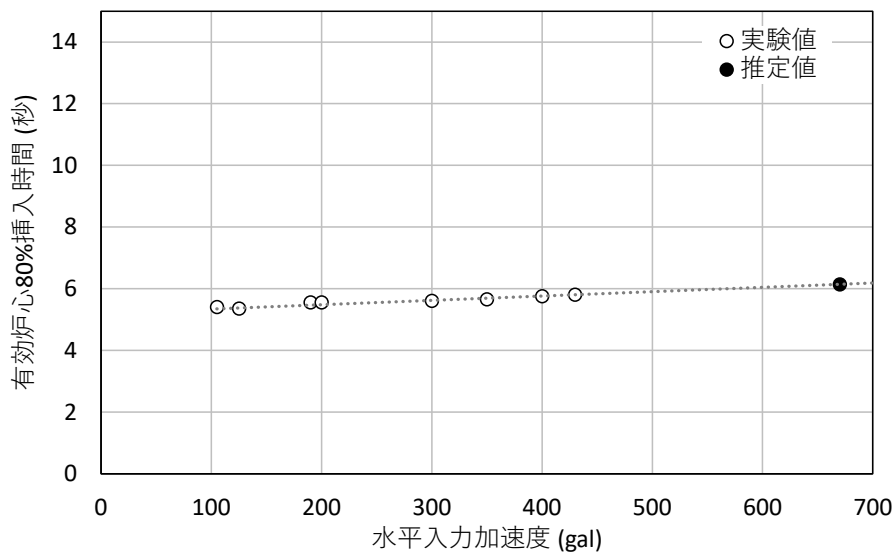


図3 地震時の制御棒挿入時間

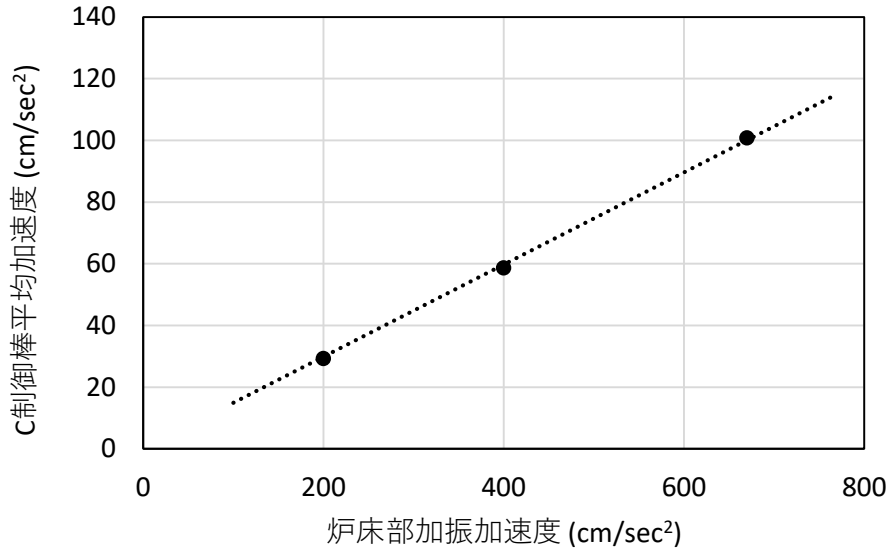


図 4 制御棒案内カラム応答加速度の線形性(SONATINA-2V 解析結果)

3. Ss の終了後の制御棒の静的挿入性について

Ss の終了後の制御棒の静的挿入性に関して、S クラス施設は健全性を維持し B クラス施設は破損することとし、制御棒と制御棒案内ブロックが最も相互作用する幾何学的配置となるように想定した。想定した最大変位量は約 26 mm(固定反射体ブロックが最大変位した値に各カラム間ギャップの積算値を加えた変位量)であり、このときの傾斜角は約 0.046(rad)である。また、静的挿入性試験では、最大挿入傾斜角 0.0877(rad)において、制御棒が挿入されたことを確認している。したがって、Ss の終了後に B クラス施設が破損したときの最大傾斜角を想定しても、制御棒は挿入される。

ここで水平方向の変位量が最大約 26 mmとしている根拠は次のとおりである。燃料体、制御棒案内ブロック及び可動反射体ブロックの各ブロックの周辺(図 5 中●で示す)には約 2mm のギャップがある。また固定反射体ブロックの外側(図 5 中▲で示す)には、レストレイントリングとの間に約 3mm のギャップがある。炉心部には水平方向に 2mm のギャップが 10 か所と 3mm のギャップが 2 か所あることになるため、これらのギャップを一か所に集中させた場合、最大で約 26mm の空隙が生じることとなる。

なお、制御棒の静的挿入性試験については、別紙 1(HT-193-3 まとめ資料(第 4 条:地震)より抜粋)に補足する。

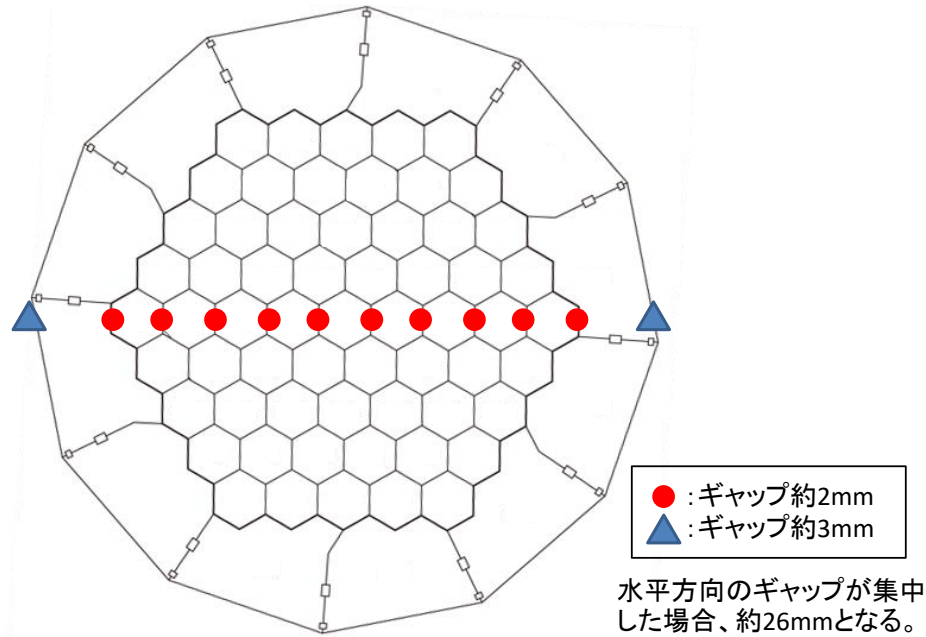
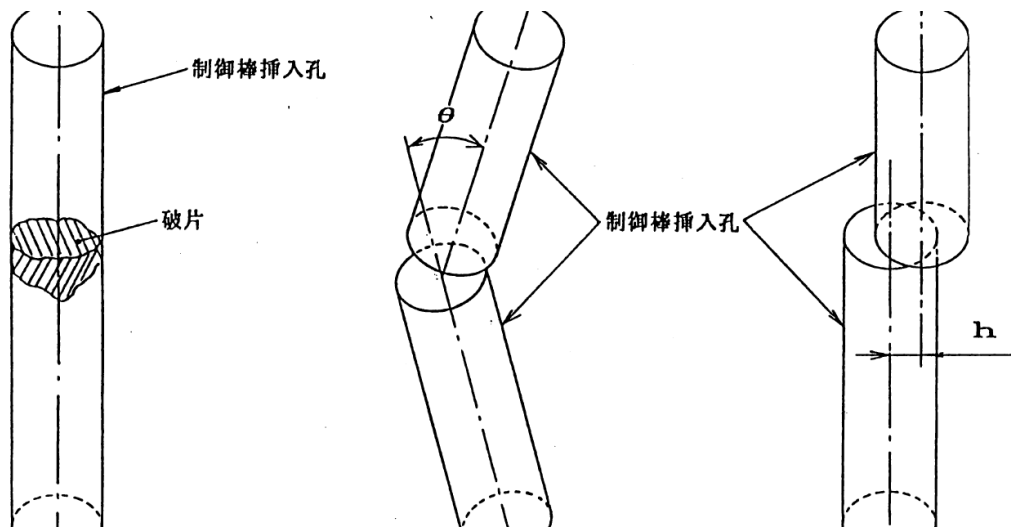


図5 原子炉水平方向ギャップ説明図

4. 制御棒挿入孔の閉塞に対する考え方

重力落下する制御棒と黒鉛製の制御棒案内ブロックの摩擦による挿入の阻害は、2.3 に記したとおり無視できるため、制御棒の挿入を阻害する要因は、①制御棒挿入孔内に黒鉛ブロックの破片等が噛みこむ(閉塞)、②制御棒の可撓性を超える屈曲が制御棒案内ブロックに発生する(屈曲性)、③制御棒案内ブロックの水平方向のズレにより挿入孔が狭まる(不連続性)、3つである(図6)。



①挿入孔閉塞

黒鉛ブロックの破片が制御棒挿入孔を閉塞する。

②挿入孔屈曲

挿入孔傾斜角が制御棒の可撓性を上回る。

③挿入孔不連続

水平方向のズレが制御棒先端と挿入孔のクリアランス以上となる。

図6 制御棒の挿入性が確保できなくなる可能性のある挿入孔の状態

①については、黒鉛ブロックの挿入孔は基準地震動による地震力によって破損しないとの評価を得ていること、また②については拘束バンド等が破損した場合に生じる最大の屈曲性を考慮しても制御棒の可撓性により挿入できるとの評価を、これまでに説明してきている。

③については共振周波数に対しては炉心全体の変位は大きくなるが、ブロック全体が群として振動するため、制御棒案内ブロックは隣り合う単一の黒鉛ブロックと接するため大きな上下で大きな変位は生じないため、挿入性は確保され、閉塞することなく落下する。また共振周波数以外に対しては、図 7 に示すように、各カラムの周辺にある約 2mm のギャップから最大 4mm のズレが生じうるが、制御棒先端にあるショックアブソーバーのもつテーパ構造により、挿入性は確保され、閉塞することなく落下する。

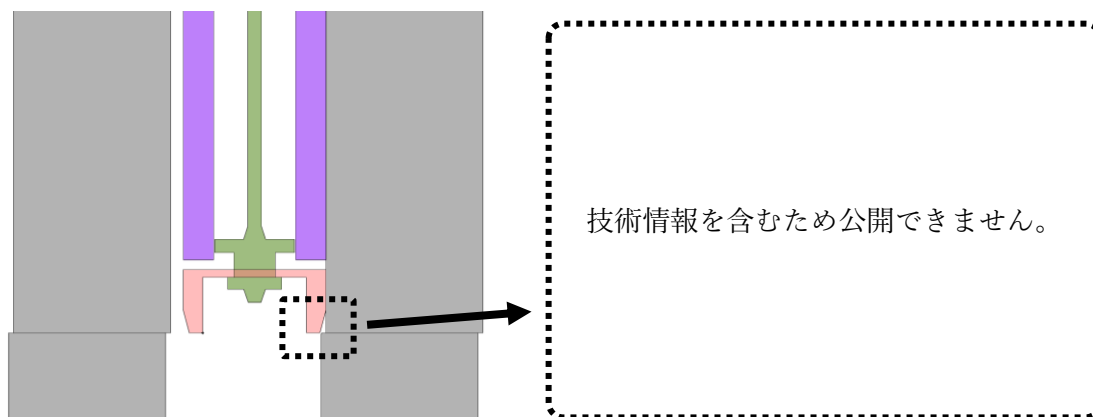


図 7 ブロックの不連続性

以上により、地震によって制御棒は制御棒案内ブロック内で振動するものの、制御棒の可撓性およびテーパ構造等により、挿入性は確保され、閉塞することなく落下する。

- 1) 根本政明; 渡辺真太郎; 川口勝之. 高温ヘリウムガス雰囲気下における接触面のトライボロジー: 第 1 報, 微小繰返しすべり摩擦・摩耗特性. 日本機械学会論文集 C 編, 1991, 57.536: 1352-1357.
- 2) 日本機械学会. 機械工学便覧. A3-32, 1998.
- 3) 小出祐一, et al. 沸騰水型原子炉の地震時制御棒挿入解析モデルの開発. 日本機械学会論文集 C 編, 2011, 77.774: 319-328.
- 4) 幾島毅; 本間敏秋. 794. ブロック型燃料高温ガス炉炉心の地震応答特性.(IV) ブロック型燃料高温ガス炉炉心の地震応答特性.(IV). 日本原子力学会誌, 1985, 27.2: 145-158.
- 5) 「IV-ニ-12 制御棒の耐震計算書」(設計及び工事の方法の認可(第 4 回申請)平成 4 年 9 月 30 日付け 4 安(原規)第 312 号)

制御棒挿入孔の連続性について

制御棒は、炉心構成要素の一部の制御棒案内ブロックの制御棒挿入孔に挿入される(図 1)。HTTR の炉心は、六角柱状の黒鉛ブロック群で構成された積層構造をしている。これら炉心構成要素は、高温プレナムブロックを介して、サポートポストにより支持されている。地震時、サポートポストの支持機能が維持されていれば、制御棒案内ブロック等の炉心構成要素は、高さ方向において元の位置に留まり、制御棒挿入孔が高さ方向で不連続となることはない。そのため、制御棒挿入性上評価すべき問題は、炉心構成要素の水平方向の動きである。

構造上、炉心全ての炉心構成要素の黒鉛ブロックは六角柱状であるとともに、最下段の制御棒案内ブロックは隣接する燃料体ブロックより 10 cm 低くしている。このため、炉心内の黒鉛ブロックは、炉心横断面の方向及び炉心縦断面の方向に拡散するように動く。図 2 に示すように、縦断面においては、①のブロックが変位した場合、隣接するブロックが 10 cm の段差をつけているため上下に広がって動き、また、横断面においては、①のブロックが変位した場合、黒鉛ブロックが六角柱状であるため、左右に動きが広がって動く。

地震時において、最も制御棒の挿入が阻害される事象は、制御棒案内ブロックの水平変位量が最大となった時に、制御棒の挿入孔が屈曲することで、挿入される制御棒要素に抵抗力が働くときである。炉心の振動特性は、横からの地震の入力により炉心全体が振動し、周波数が 2~5Hz の帯域で、制御棒案内ブロック(カラム)や燃料体ブロック(カラム)が一体となって振動する。この時が、制御棒案内ブロックの水平変位量が最大となる。ここで、炉心形状から静的に制御棒案内ブロックの水平変位量が最大になったとしても、制御棒が挿入されることを静的試験により確認している。(別添資料参照)

また、制御棒案内ブロックに作用する地震荷重に対して、制御棒挿入孔が制御棒を挿入できる形状を維持していることのみを確認する。

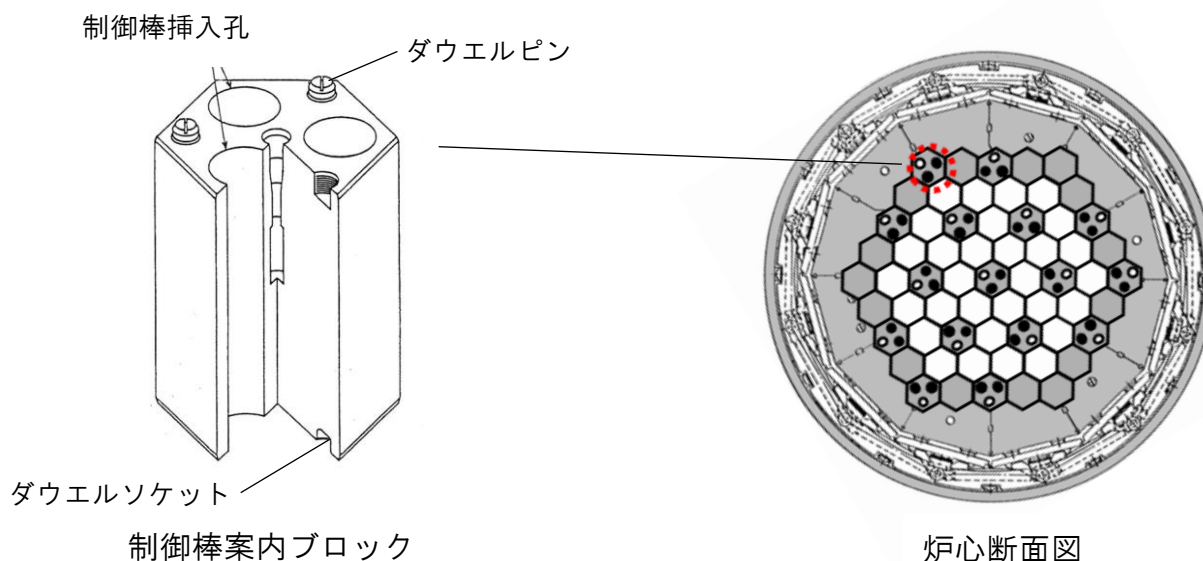


図 1 制御棒案内ブロック及び炉心断面図

あるブロックが水平に動くと、高さ方向及び横方向に広がり、制御棒案内ブロックはその上下左右のブロックと一体となって運動する。制御棒挿入孔は、梁のように連続体として水平方向に運動する。

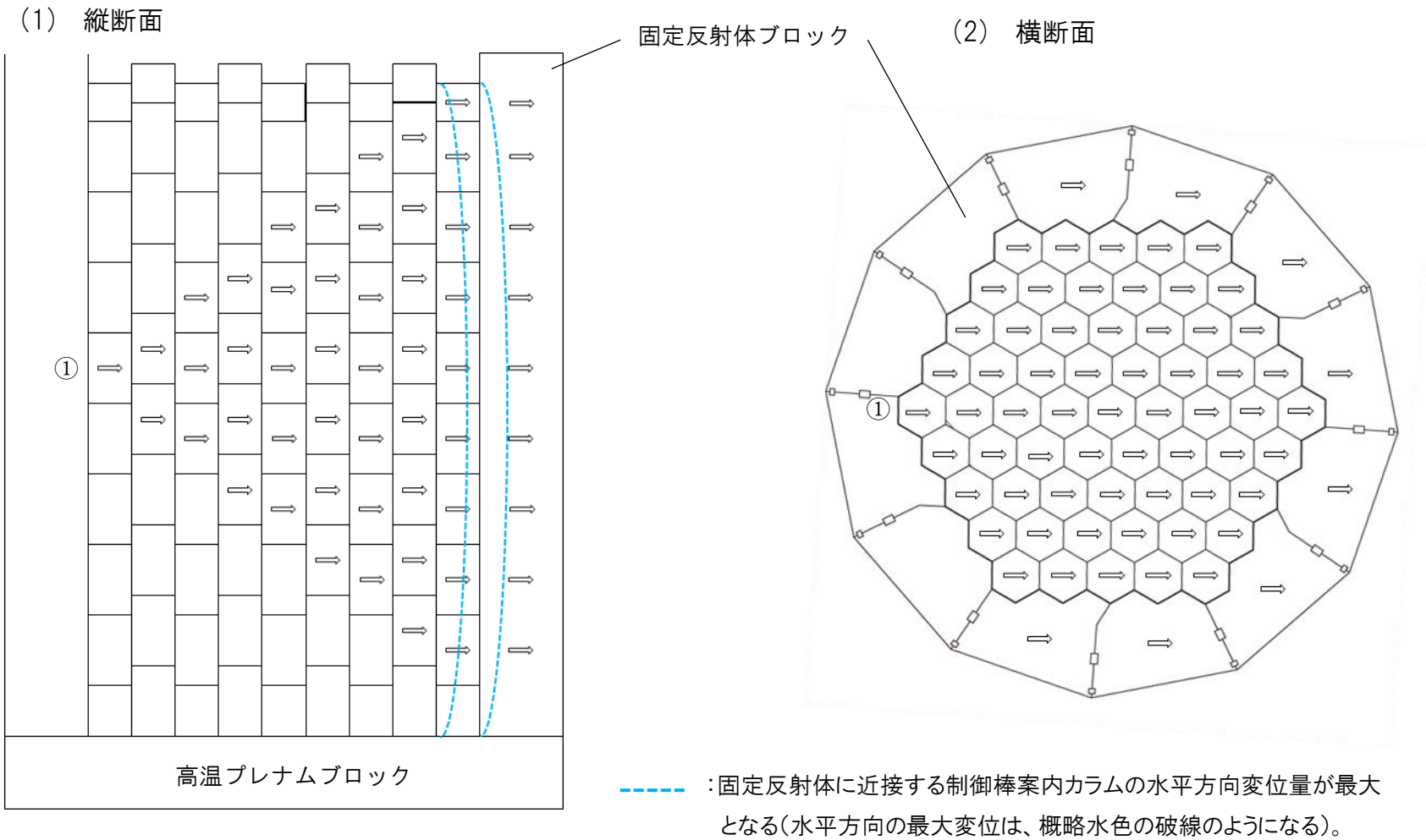


図2 水平方向のブロックの動き

水平方向変位時の制御棒挿入性

制御棒を挿入する際、制御棒挿入孔が弓なりになり変形し、その屈曲点が最も厳しくなる。即ち図1の屈曲角 θ が大きくなる程、制御棒は挿入しづらくなる。

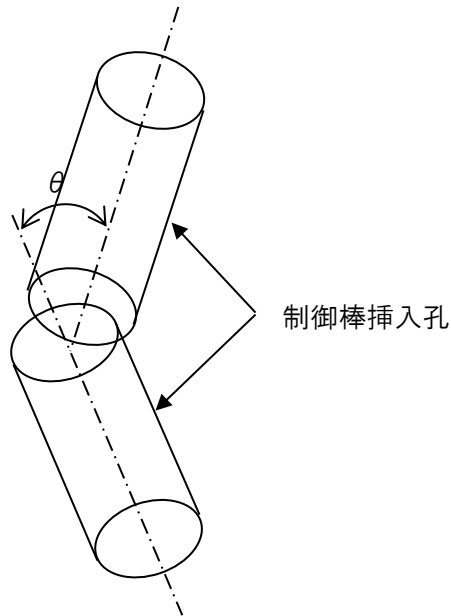


図1 制御棒挿入孔の状態図

屈曲角が物理的に最大となる条件は、拘束バンドが破損し、固定反射体ブロックが最大変位した値に各コラム間ギャップの積算値を加えた時(約 26 mm)である。(図 2)

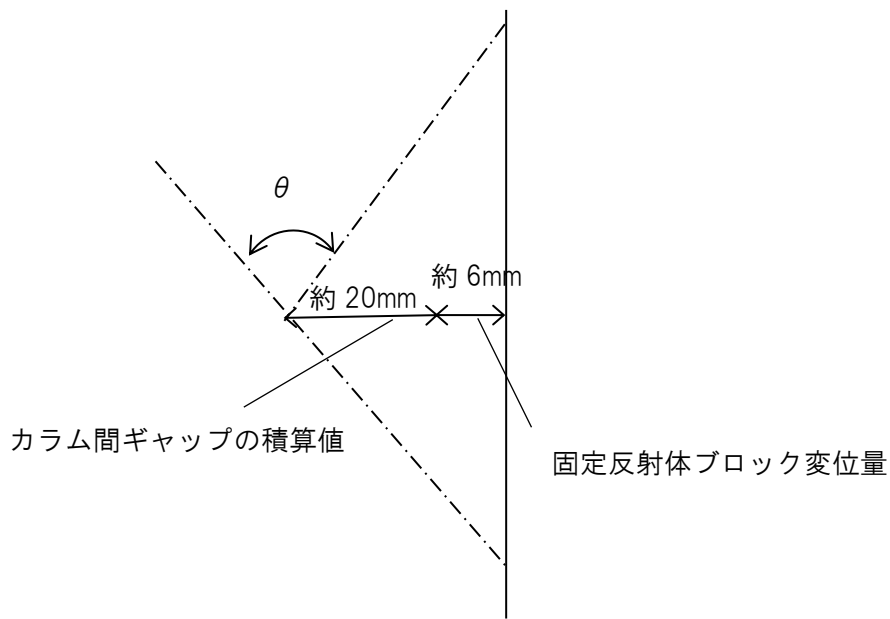


図2 想定される制御棒案内ブロック

$$\theta \cong 4(D_0 - D)/h \text{ (rad)}$$

- ここで、 D_0 : 挿入孔径(=123mm)
 D : 制御棒の最外径(=113mm)
 h : 制御棒要素長(=304mm)
 θ : 限界挿入孔傾斜角(=0.131rad)

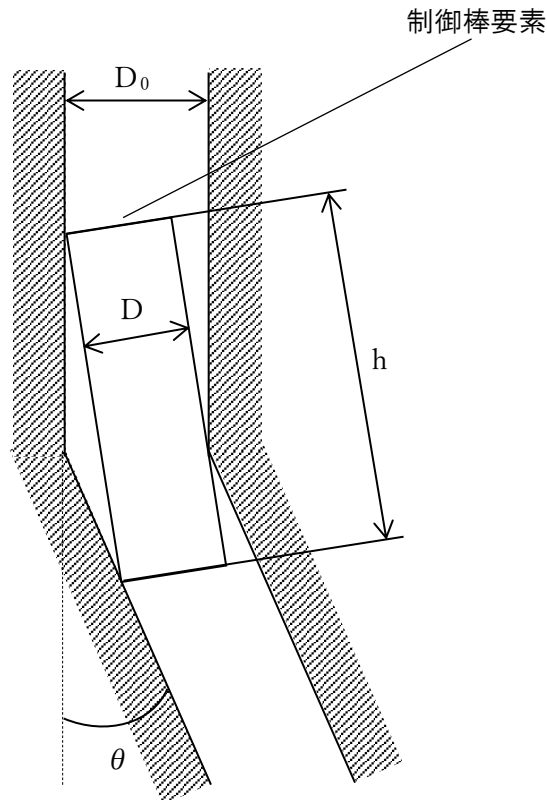


図 3 制御棒要素の限界挿入孔傾斜角

図 3 に幾何学的に制御棒が挿入される限界挿入角(=0.131rad)を示す。また、静的挿入性試験では、最大挿入傾斜角 0.0877(rad)において、制御棒が挿入されたことを確認している。

一方、拘束バンドが破損し、固定反射体ブロックが最大変位した値に各カラム間ギャップの積算値を加えた変位量が約 26 mmの時の傾斜角は約 0.046(rad)である。また、制御棒は 1 本の連結棒に制御棒要素が連結されており、挿入を妨げないよう可撓性を持たせた構造となっている。(図 4、5 参照)

以上のことから、傾斜角約 0.046(rad)は静的試験結果の最大挿入角 0.0877(rad)を下回るため制御棒の挿入性は確保される。

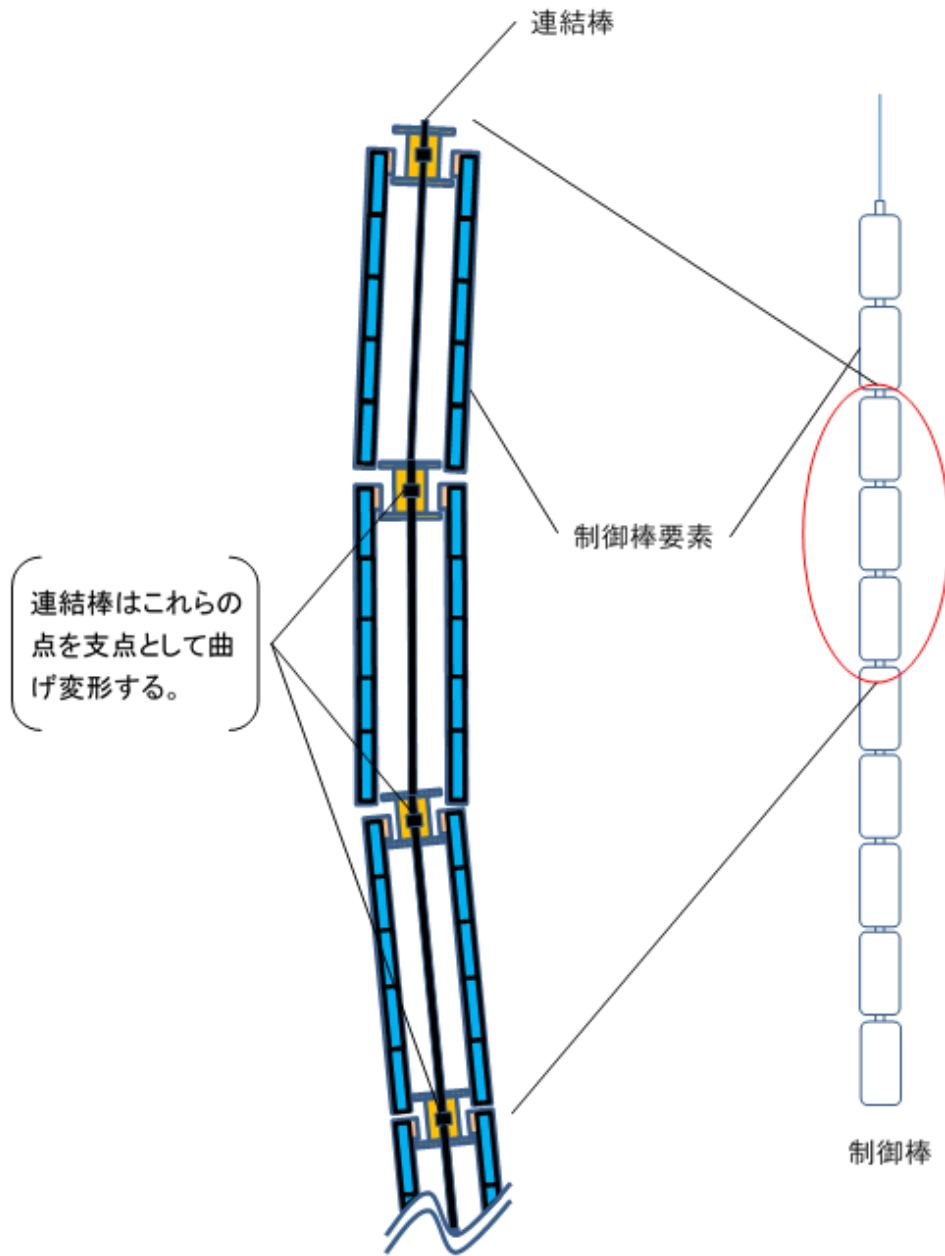


図 4 制御棒変形状況概念図

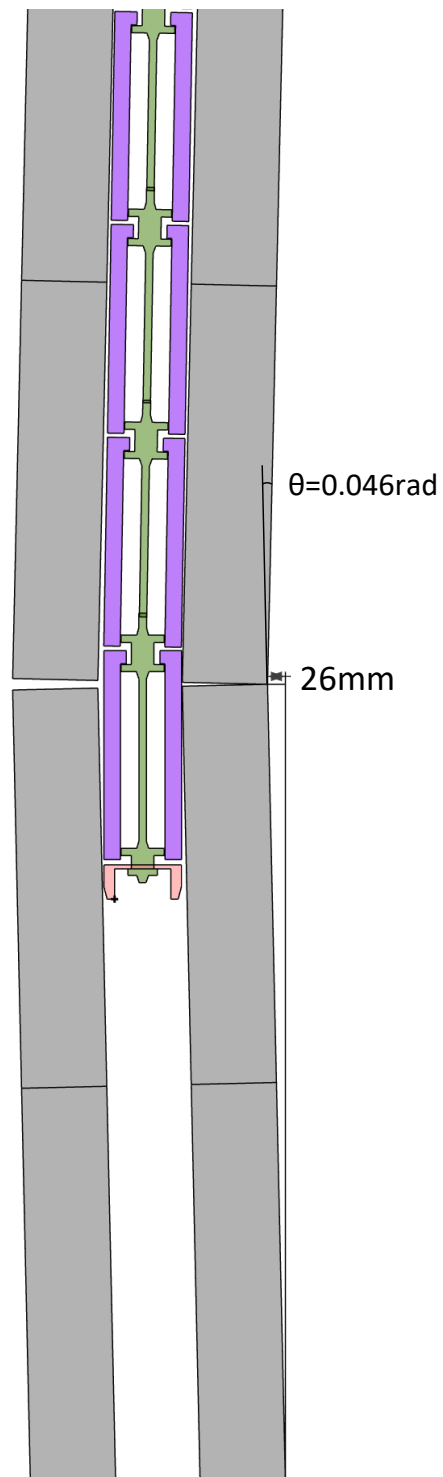


図 5 屈曲率が最大となった時の制御棒挿入孔と制御棒の位置関係