

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 添-2-037-2 改0
提出年月日	2024年1月22日

VI-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書

K6 ① VI-2-6-2-1 R0

2024年1月

東京電力ホールディングス株式会社

VI-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
3. 燃料集合体の地震応答解析	3
4. 制御棒の挿入性試験	4
4.1 試験装置	4
4.2 試験方法	4
4.3 試験結果	4
5. 制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価	10
5.1 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ	10
5.2 燃料集合体の浮上り	10
6. 評価結果	11
7. 引用文献	11

1. 概要

本計算書は、制御棒の耐震性について示すものである。

地震時において制御棒に要求される機能は、制御棒の挿入機能の確保である。

制御棒の挿入機能の確保については、原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）に従って、地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い、基準地震動 S_s に対し制御棒の挿入性が確保されることを確認する。ここで、地震時に制御棒の挿入性を阻害する支配的要因は、燃料集合体の水平方向地震による相対変位であることから、制御棒挿入試験は水平方向地震に対して実施する。また、鉛直方向地震に対してはその影響を評価する。

制御棒の挿入機能確保に必要な形状を維持するための構造部材は、シース、ハンドル、タイロッド、コネクタであり、制御棒挿入性試験により挿入機能が確認される。

なお、ボロンカーバイド型制御棒の運転寿命は、核的寿命及び機械的寿命のうち短い方で規定される。

ボロンカーバイド型制御棒のボロンカーバイド粉末を充てんした中性子吸収棒については、中性子照射によるガス等の発生に伴い中性子吸収棒の内圧が上昇するが、寿命末期において中性子吸収棒の変形は生じない。

以上より、制御棒の寿命中において中性子吸収材によるシースの変形はないことから、制御棒の挿入性に影響を与えることはない。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒は、バイオネットカップリングを介し制御棒駆動機構に結合され、制御棒案内管を通り炉心に挿入される。</p>	<p>十字形制御棒は、ハンドル、コネクタ、タイロッドの溶接により骨組みを形成し、U字に加工したシースの中に中性子吸収棒を組み合わせたブレードを持つ。</p>	

3. 燃料集合体の地震応答解析

燃料集合体の地震応答解析は原子炉压力容器内部構造物の一部として実施されており，詳細はVI-2-3-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」に示す。

計算された燃料集合体の基本ケースの最大応答相対変位は 13.2mm となる。また，燃料集合体の基本ケースの最大応答加速度は，鉛直方向で 10.4m/s^2 となる。

制御棒挿入性の評価においては，基本ケースの最大応答変位及び最大応答加速度に対し，材料物性の不確かさや地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜に対する影響等を考慮した最大相対変位 18.6mm 及び最大鉛直加速度 10.5m/s^2 を用いる。

4. 制御棒の挿入性試験

水平方向地震により燃料集合体に相対変位が生じた状態で制御棒の挿入性が確保されることを確認するため、制御棒の挿入性試験を実施している。試験は 1992 年 9 月に当時の株式会社 東芝にて実施したものである。

4.1 試験装置

試験装置の概要を図 4-1 に示す。

試験装置は炉心を模擬するために、試験容器内に上部格子板、燃料集合体、制御棒案内管を据え付け、下部に制御棒駆動機構ハウジングを接続している。

試験用機器仕様の概要を表 4-1 に示す。

燃料集合体は質量を模擬するため燃料ペレットに鉛を使用している。水圧制御ユニットは、1 体の制御棒駆動機構を駆動させるため、アキュムレータ及び窒素容器の容量は実機より小さくして圧力を調整することで定格状態を模擬している。制御棒及び制御棒駆動機構等の供試体は実機仕様である。

計測装置の概要を図 4-2 に示す。

4.2 試験方法

試験条件を表 4-2 に示す。

図 4-1 に示す試験容器内に 4 体の質量模擬燃料集合体を組み込んで、加振台により試験容器を全体加振し、スクラム試験を実施した。

試験では、図 4-2 に示す計測装置により、燃料集合体相対変位（振幅）及び制御棒の挿入時間を測定した。

4.3 試験結果

図 4-3 に燃料集合体相対変位と 60%及び 100%ストロークスクラム時間の関係を示す。

図 4-3 に示すとおり、燃料集合体相対変位が約 40mm までの範囲においても、60%及び 100%ストロークスクラム時間がそれぞれ 1.44 秒及び 2.80 秒以内であることを確認した。

なお、制御棒挿入試験後において制御棒の外観に有意な変化がないことを確認した。

表 4-1 試験用機器仕様の概要（ボロンカーバイド型制御棒用）

試験用機器	仕様の概要
燃料集合体	質量模擬燃料集合体 (質量模擬のため燃料ペレットに鉛を使用)
制御棒	実機仕様
燃料支持金具	実機仕様
制御棒案内管	実機仕様
制御棒駆動機構	実機仕様
水圧制御ユニット	アキュムレータ容量 : <input data-bbox="948 835 1315 949" type="text"/> 窒素容器容量 : <input data-bbox="948 904 1315 949" type="text"/>
加振台	加 振 力 : <input data-bbox="938 969 1278 1084" type="text"/> 最大加速度 : <input data-bbox="938 1039 1278 1084" type="text"/>

表 4-2 試験条件（ボロンカーバイド型制御棒用）

項目	条件
温度	
圧力	
加振条件	
スクラム開始時の制御棒位置	全引き抜き状態

注記* :

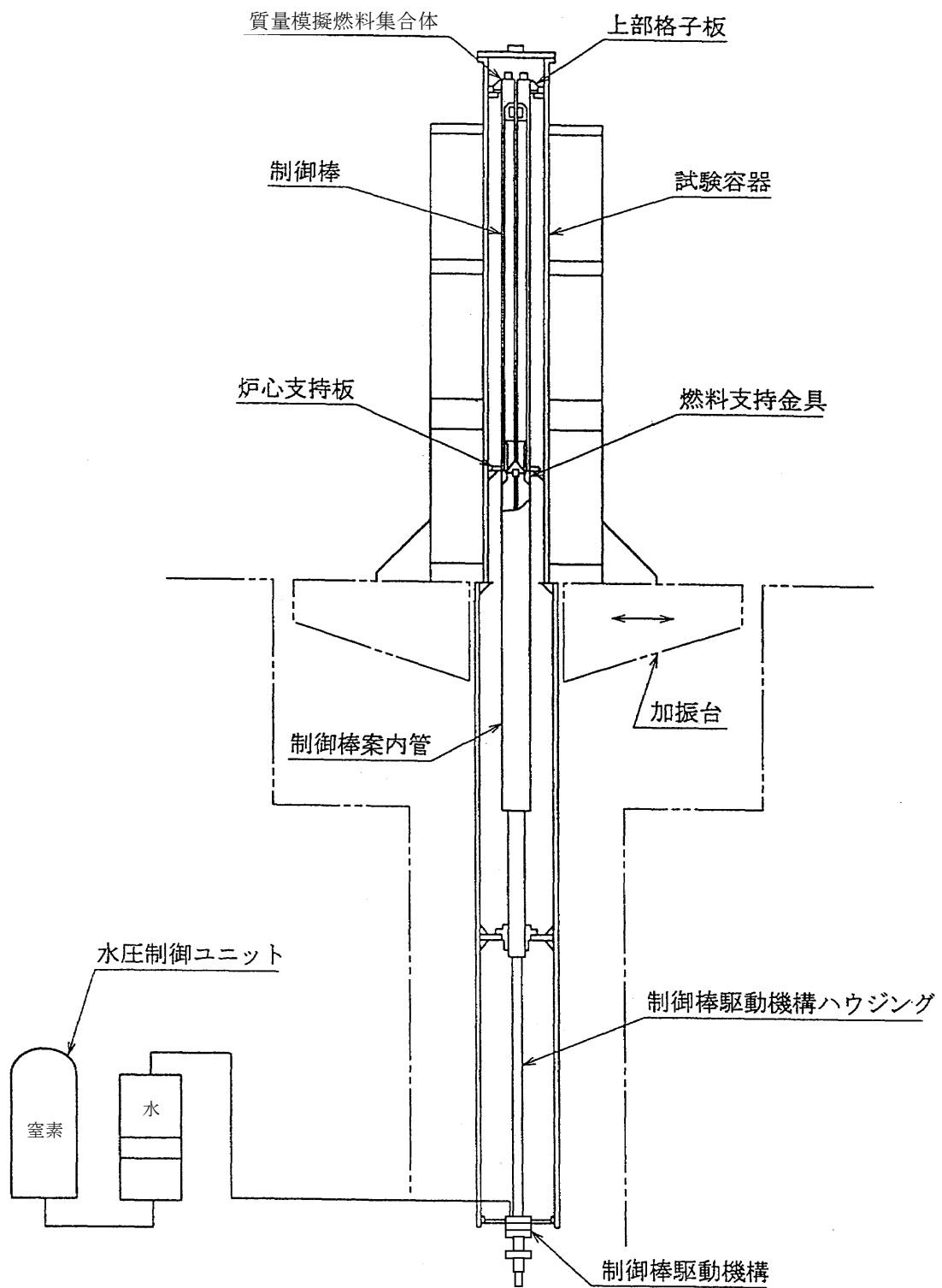


図 4-1 試験装置の概要

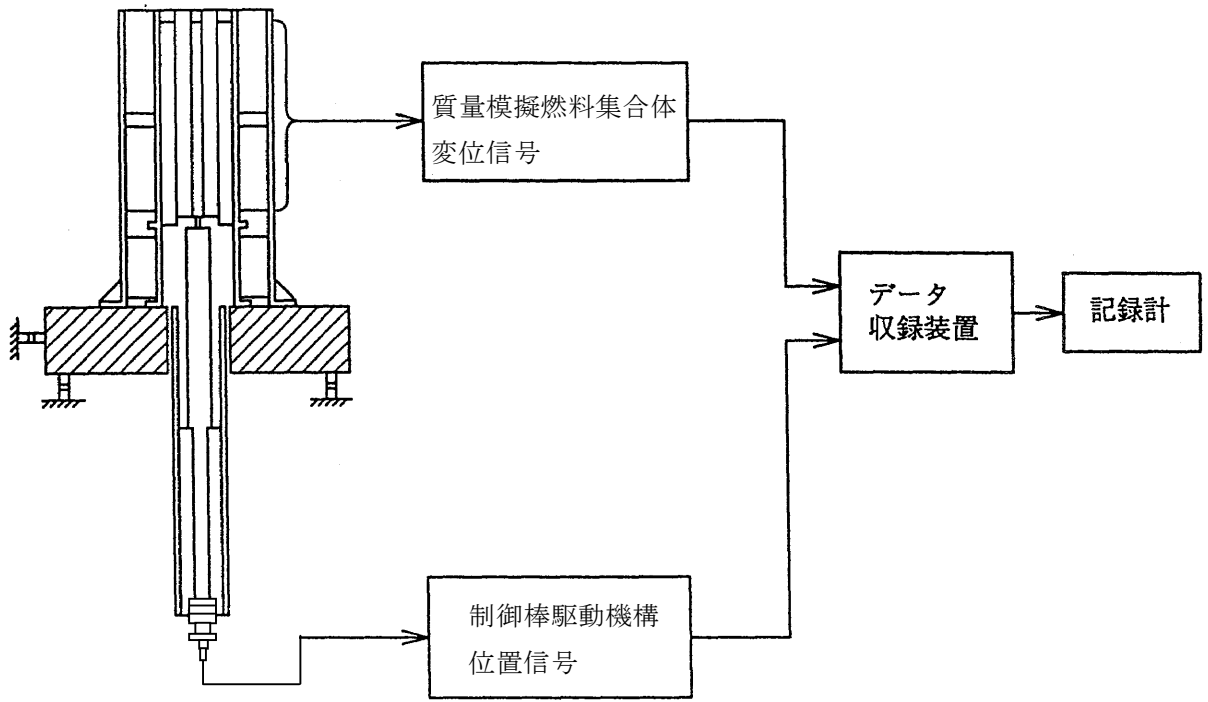


図 4-2 計測装置の概要

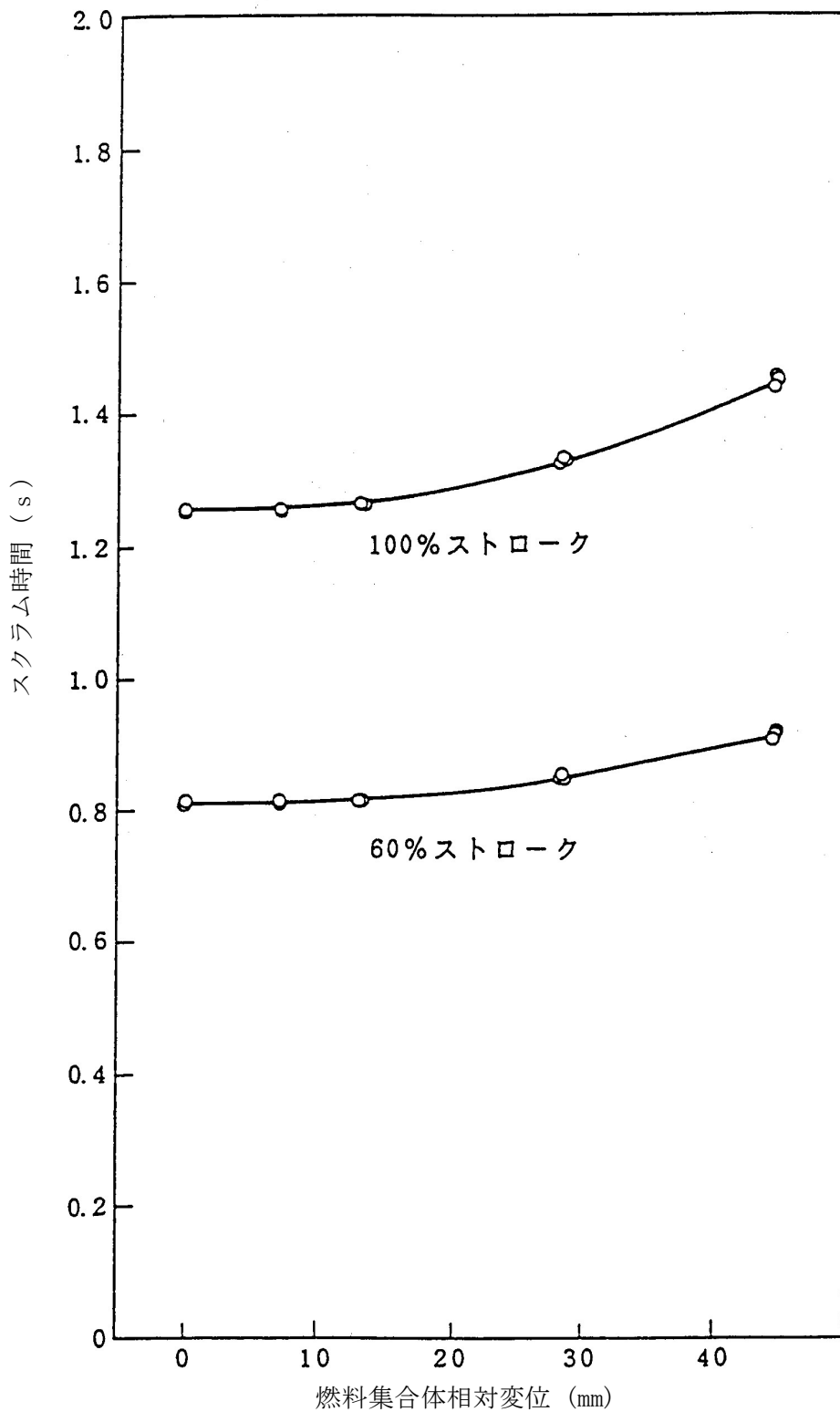


図 4-3 燃料集合体相対変位のスクラム時間に及ぼす影響

(ボロンカーバイド型制御棒)

5. 制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価

鉛直方向地震により制御棒の挿入性に与える影響について、次の観点で評価する。

- (1) 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ
- (2) 燃料集合体の浮上り

5.1 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ

制御棒に作用する荷重について、制御棒に作用する鉛直方向地震力と地震スクラムにより生じるその他の荷重との大小関係を確認し、評価した。

その結果、交番荷重である鉛直地震動の加速度 10.5m/s^2 が、仮に常時制御棒の挿入方向と逆向き（下向き）に作用した場合でも、制御棒の挿入力（上向き）は下向きの力に対して、大きくなっており、鉛直方向の作用荷重による制御棒挿入性への影響はない。

また、鉛直方向の作用荷重は、実際には交番荷重として作用することから、挿入時間の遅れに対する影響は小さく、スクラム目安時間を超えることはない。

5.2 燃料集合体の浮上り

鉛直方向地震による燃料集合体の浮上りによる制御棒挿入性への影響については、引用文献(1)及び(2)で評価している。引用文献に基づいた影響評価により、柏崎刈羽原子力発電所第6号機における鉛直方向地震に対して燃料集合体が燃料支持金具設置深さ 60mm を超えるような浮上りは生じないことを確認した。

また、鉛直方向地震に加えて水平方向地震が作用し、燃料支持金具の面に沿って上方向に移動する事象を想定する場合でも、燃料支持金具からの離脱は生じないことを確認した。

6. 評価結果

燃料集合体の地震応答解析の結果、燃料集合体の最大応答相対変位は 40mm 以下である。

また、制御棒挿入試験の結果より、燃料集合体相対変位が約 40mm までの範囲においても、通常のスクラム仕様値 60%ストローク 1.44 秒以下及び 100%ストローク 2.80 秒以下で挿入できること、並びに、制御棒挿入性試験後、制御棒の外観に有意な変化がないことを確認した。

さらに、鉛直方向地震による制御棒挿入性への影響について、制御棒に作用する荷重、挿入時間遅れ及び燃料集合体の浮上りに対して問題ないことを確認した。

したがって、基準地震動 S_s に対する制御棒の挿入性と健全性は確保される。

7. 引用文献

- (1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 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)
- (2) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 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 3 (総合評価) に係る報告書」(平成 18 年 8 月)