

参考

添付書類4. 制御棒の挿入性に係る説明書(制御棒駆動機構)

令和2年6月19日

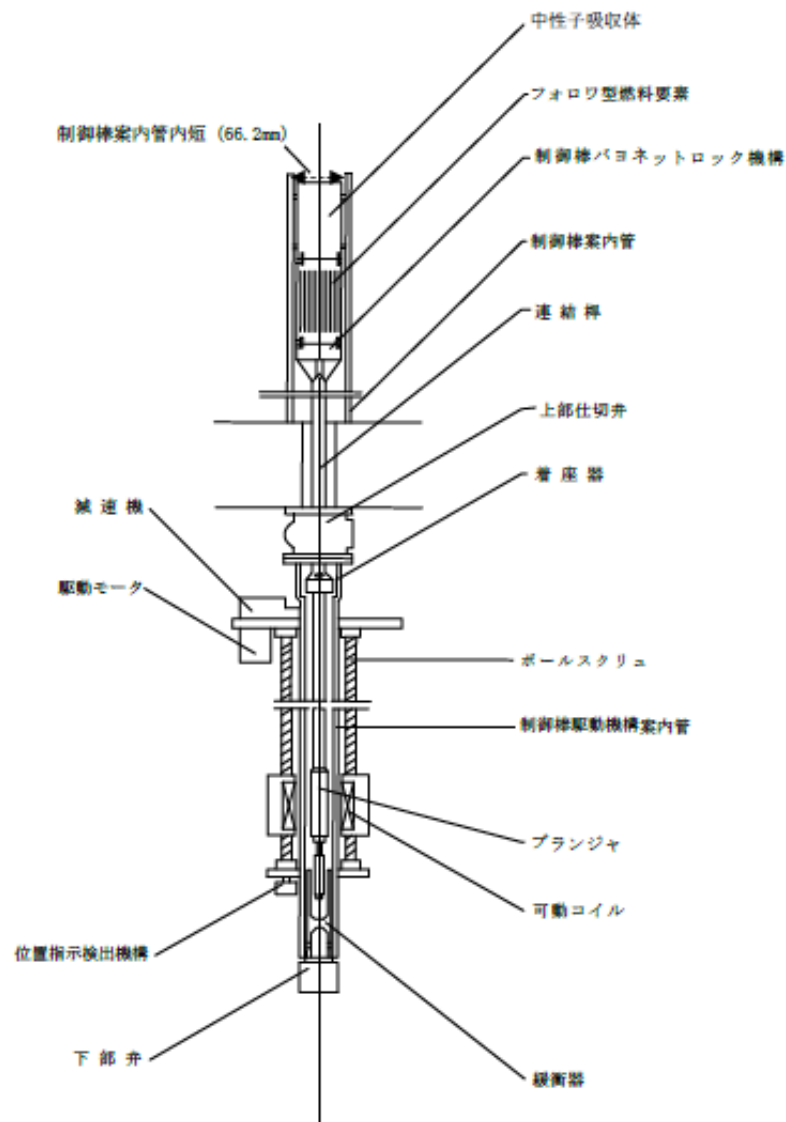
日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所

概要

JRR-3の制御棒系は制御棒系概略図に示すように中性子吸収体、フォロー型燃料要素、制御棒案内管、制御棒駆動機構管内駆動部(制御棒バヨネットロック機構、連結桿、着座器、プランジャ、緩衝器)、制御棒駆動機構管外駆動部(上部仕切弁、減速機、駆動モータ、ボールスクリュ、可動コイル、位置指示検出機構)、制御棒駆動機構案内管、下部弁より構成される。

制御棒(以下「制御棒」という場合は、中性子吸収体、フォロー型燃料要素及び制御棒駆動機構管内駆動部から構成されるものを指す。)挿入性の考え方としては、中性子吸収体及びフォロー型燃料の制御棒案内管に対する挿入性と、制御棒駆動機構管内駆動部の制御棒駆動機構案内管に対する挿入性の2つを確認する必要がある。

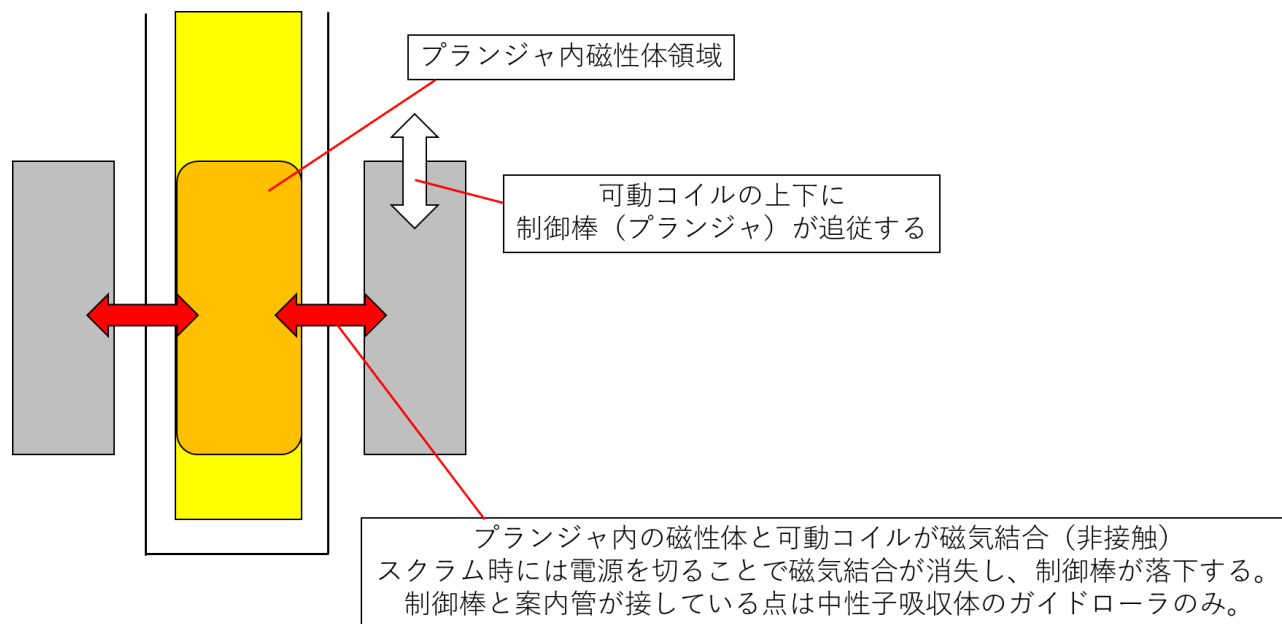
本説明書では、制御棒駆動機構管内駆動部の制御棒駆動機構案内管に対する挿入性について説明する。なお、中性子吸収体及びフォロー型燃料の制御棒案内管に対する挿入性については「JRR-3の変更に係る設計及び工事の方法の認可申請書(その11)」にて説明している。



制御棒系概略図

制御棒の特徴

JRR-3の制御棒は原子炉プール内で水中に浮いた状態で中性子吸収体のガイドローラ及びプランジャと可動コイルの磁気結合によって保持されているため、制御棒案内管及び制御棒駆動機構案内管と剛な支持点を持たない構造となっている。原子炉設置変更許可申請書に記載したとおり、JRR-3の制御棒のスクラム時の駆動方式は、重力による落下方式であり、スクラム信号検知から制御棒が炉心に挿入されるまでの時間は最大1秒である(スクラム時全ストロークの80%挿入時間)。また、スクラム時には可動コイルとプランジャとの磁気結合が切れるため、構造上、一度スクラム信号により挿入された制御棒が、自動で引き抜かれることはない。

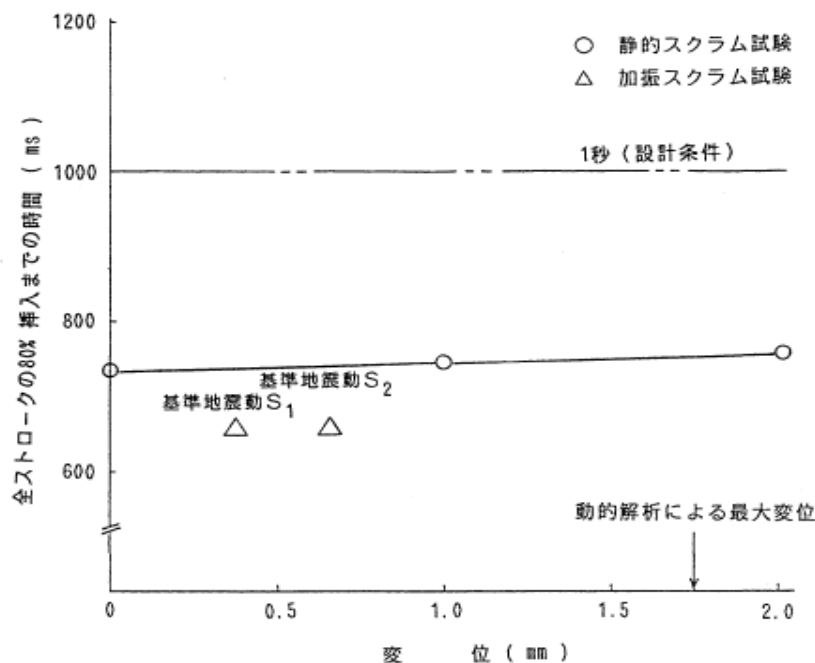


制御棒駆動機構の仕組みイメージ図

制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性の考え方

制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性に関しては、設置時に静的試験及び加振試験を実施しており、制御棒駆動装置の地震による変位が2mmまでは規定時間(スクラム挿入時間1秒以下)を満足することを確認している(下図にスクラム機能試験結果を示す)。

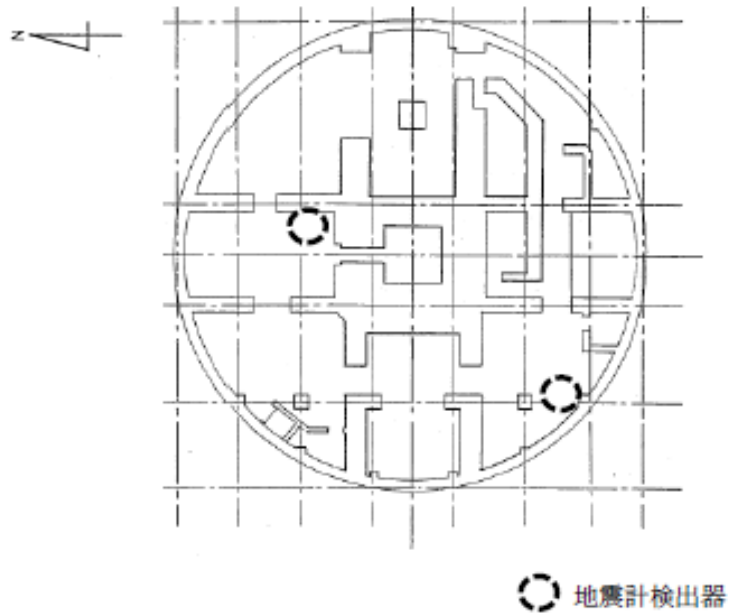
このため、新たに策定した基準地震動による制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の変位(スクラム検知時刻+1秒までについて検討を行う)が2mm以内であれば、挿入性に影響はないことを確認できる。



スクラム機能試験結果

地震計の概要

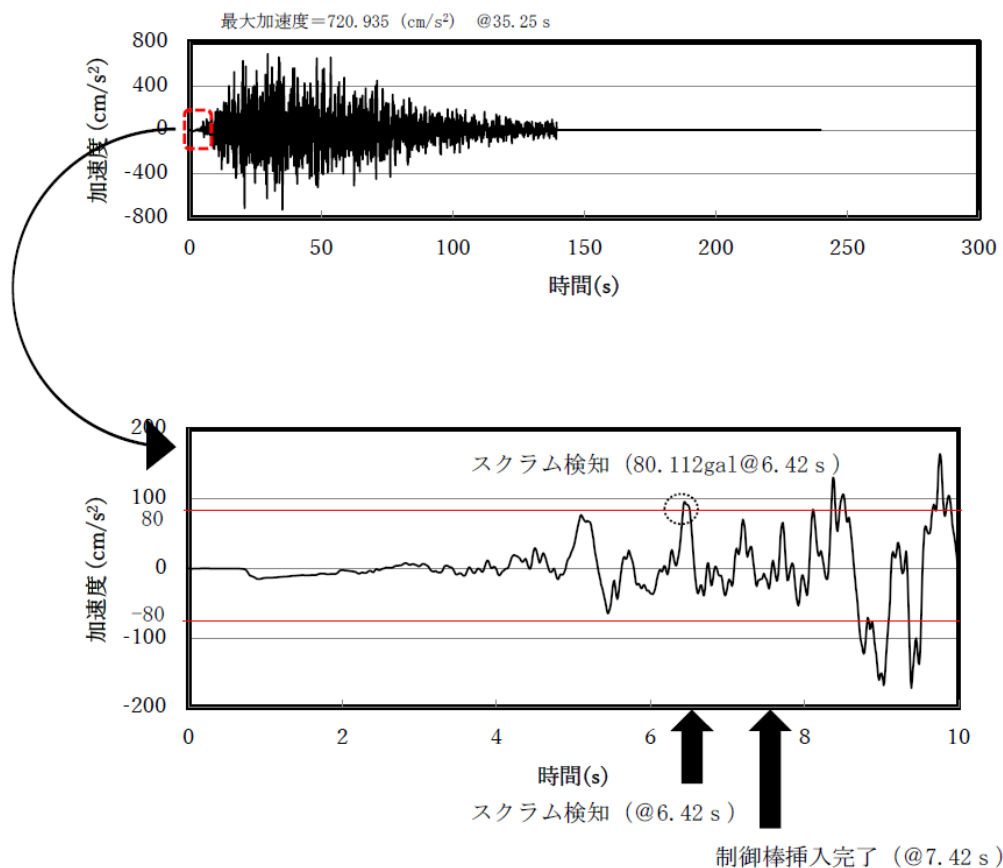
JRR-3においては、地震に対する考慮として、安全保護系に「水平地震動大」及び「鉛直地震動大」を設けている。そのスクラム設定値は水平80gal、鉛直40galである。
次に、地震計検出器について説明する。地震計検出器が設置されている原子炉建家は、直径32.8m、地上高さ21.75m(地上1階)、地下深さ9.95m(地下1階)で上部にドーム形状の鉄骨屋根を持つ円筒形の鉄筋コンクリート造の建家である。以下に示すように、原子炉建家地階(GL-7.3m)の南北にA系検出器、B系検出器と1系統ずつ設けられている。



原子炉建家地階(GL-7.3m)地震計検出器設置場所

制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性を考慮すべき時間

制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性を考慮すべき時間は、地震到達からスクラム検知及び制御棒挿入までの間である。以下に例として原子炉建家地階(GL-7.3m)における基準地震動Ss-D(NS方向)の床応答の時刻歴を示す。この場合は、地震到達から6.42s後に80.112galに達し、原子炉はスクラムする(NS方向のみを考慮した場合)。



制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性を考慮すべき時間

各基準地震動のスクラム検知時刻を以下のスクラム検知時刻一覧表に示す。各地震波の成分(水平2方向及び鉛直方向)のうち、最短のスクラム検知時刻がその地震動におけるスクラム検知時刻となるため、スクラム検知時刻一覧表から各基準地震動に対して、制御棒駆動機構管内駆動部の挿入性を確認すべき時刻の範囲(スクラム検知時刻 + 制御棒挿入時間1秒)は検討範囲一覧表のとおりとなる。

スクラム検知時刻一覧表

地震波	方向	時刻 (秒)	加速度 (gal)
Ss-D	水平 (NS)	6.42	80.112
	水平 (EW)	6.43	90.261
	鉛直	5.23	53.112
Ss-1	水平 (NS)	15.87	82.271
	水平 (EW)	16.29	80.602
	鉛直	13.44	50.457
Ss-2	水平 (NS)	16.29	92.054
	水平 (EW)	18.22	84.365
	鉛直	13.59	42.955
Ss-3	水平 (NS)	15.89	81.790
	水平 (EW)	17.04	86.415
	鉛直	12.53	40.763
Ss-4	水平 (NS)	85.18	81.991
	水平 (EW)	84.70	88.500
	鉛直	79.80	48.778

検討範囲一覧表

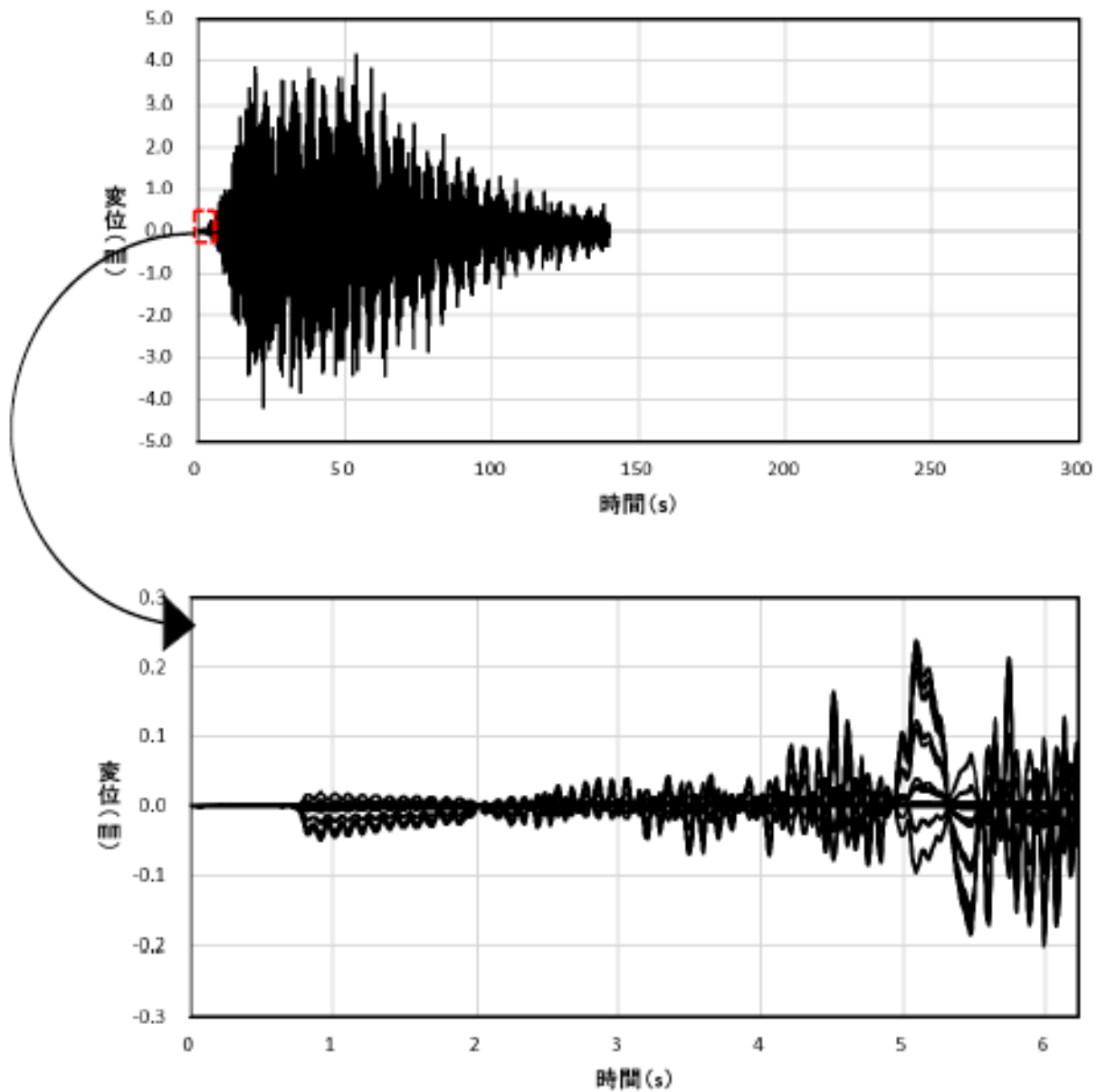
地震波	検討範囲 (秒)
Ss-D	0~6.23
Ss-1	0~14.44
Ss-2	0~14.59
Ss-3	0~13.53
Ss-4	0~80.80

地震時における制御棒駆動機構管内駆動部の挿入機能の検討

地震時における制御棒駆動機構管内駆動部の挿入時間が規定挿入時間以内であることを次の方法で確認する。

- 1) 基準地震動 S_s 時における制御棒駆動装置の地震到達からスクラム検知及び制御棒挿入時間までの最大変位を、多質点系モデルを用いた時刻歴応答解析による動的解析により求める。
- 2) 平成2年の原子炉改造時に実施した制御棒及び制御棒駆動装置の実規模の供試体を用いた、 S_2 地震時の変位を模擬した静的スクラム試験及び基準地震動 S_2 による加振試験を行った結果から、制御棒駆動装置の最大変位が2mm以内であれば、スクラム時間は規定時間の1秒以下を満足する(P3.スクラム試験結果参照)。したがって、1)の結果が2mm以内であることを確認出来れば、制御棒は規定挿入時間内に炉心に挿入される。

次ページに例として、基準地震動 S_s-D 時のX方向の制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の変位の時刻歴を示す。なお、当該時刻歴は制御棒駆動機構評価モデルの質点1～質点15の変位を全て重ねたものである。この場合は、スクラム検知から制御棒の挿入が完了する6.23秒までの間の、制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管のX方向の変位は0.2mm程度となる。

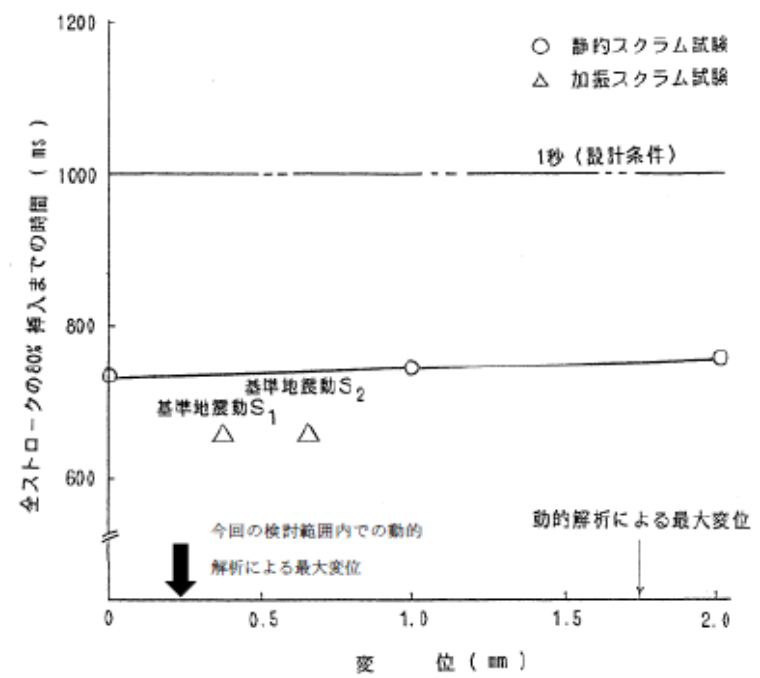


基準地震動S_s-D時のX方向の制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の変位

まとめ

評価結果から、今回新たに策定した基準地震動における制御棒駆動装置の変位は平成2年の原子炉改造時に認可を受けたもの(JRR-3の改造(その5))に比べ、十分小さいことから(下図参照)、基準地震動時においても制御棒駆動機構管内駆動部は制御棒駆動機構案内管に対し、十分な挿入性を有している。

なお、鉛直方向はJRR-3の制御棒が重力落下方式であり、制御棒の挿入性を確認すべき時刻までの間に、鉛直上向きに自重(1G = 980gal)に比べ過度の加速度がかかることがないため、検討から除外する。



スクラム試験結果と今回の動的解析結果の比較