

# 高速増殖原型炉「もんじゅ」用 制御棒駆動機構第2次試作の ナトリウム中試験結果概要

## In-sodium Tests on the Second-step Models of Control Rod Drive Mechanism for Fast Breeder Prototype Reactor "MONJU"

太田 俊朗\*  
Toshiharu Ohta

田中 繁則\*  
Shigenori Tanaka

### 1. まえがき

高速増殖原型炉「もんじゅ」用制御棒駆動機構開発の第1段階として昭和47年度より昭和50年度にわたり、スクラム機能をもつ調整棒駆動機構のフルモックアップが3種試作された。この第1次試作について大気中、水中、ナトリウム中で性能確認試験が行われた。そのうちのナトリウム中試験の結果は本誌No.22に報告されている。

第2段階として、多重防護の意味から機能を分散させると言う方針のもとに制御棒を微調整棒、粗調整棒、安全棒、後備炉停止棒に分け、それぞれの各駆動機構のフルモックアップを試作し試験する計画がたてられた。この第2次試作について試験が実施されて来たが途中調整設計Ⅳにおいて一部変更があり、主炉停止系（微

調整棒、粗調整棒）と後備炉停止系に機能がまとめられることとなり、したがって駆動機構もこの3種類となった。

しかし、フルモックアップの試作は変更前に行われており、それをを用いて大気中、水中、ナトリウム中での性能試験並びに振動試験が行われた。

本報はこの第2段階についての報告であり、試作された微調整棒、安全棒、後備炉停止棒の各駆動装置のフルモックアップを用いての性能試験のうち大洗工学センターにおいて行われたナトリウム中試験の結果を記す。

### 2. 「もんじゅ」における制御棒の種類

第2次試作の試験体は「もんじゅ」調整設計(Ⅲ)以降をベースに設計・製作されている。この段階までに計画されている制御棒の種類・各要求機

\*大洗工学センター高速炉機器開発部機器開発室 (Components Development Section, FBR Systems and Components Division, O-arai Engineering Center)

能・主要目について簡単に述べ、試験体及び試験内容を理解するうえでの一助とした。

2.1 制御棒の種類とその機能

前述のごとく第2次試作当初には制御棒として、微調整棒（FCR）、粗調整棒（CCR）、安全棒（SCR）、後備炉停止棒（BCR）の4種に機能を分担させる計画であった。これら各制御棒に要求される基本機能を表1にまとめた。

2.2 制御棒駆動機構主要目

実際にナトリウム中試験を行った後備炉停止棒、微調整棒、安全棒の3種の制御棒の駆動機構の必要機能と設計条件とを表2、表3に示す。

3. 第2次試作3試験体の構造

制御棒駆動機構の第1次試作として、安全棒と調整棒の両機能を兼ね備えた複合機能を持ったフルモックアップ試験体3種を製作した。これらについて実機条件を模擬した環境下で各種作動試験を行った。

その結果を評価し、機能別に異なった3種類の駆動機構モックアップが第2次試作として製作された。この3種類の試験体は後備炉停止棒駆動機構が三菱原子力工業(株)及び三菱重工業(株)、安全棒駆動機構が東京芝浦電気(株)、微調整棒駆

動機構が(株)日立製作所と3社によって分担製作された。制御棒駆動機構の構造、機構には、諸外図の例に見るごとく、種々の形式のものが考えられるが、「もんじゅ」用として考えているものは、電気機械式のもの主流となっている。基本的な構造は第1次試作と同じく、スクラムは電磁石電流を切ることにより重力により制御棒を落下させ、上下駆動時には、電磁石電流を入れた状態で駆動モータを動かし、モータの回転をボールスクリュウに伝達して上下運動に変換して制御棒を挿入、引抜きする方式をとっているが、詳細には3試験体はそれぞれの機能に応じて種々の構造機構の形式がとられている。例えば保持機構として安全棒駆動機構は電磁石による直接保持を、他2者はリンク機構を介しての間接保持、スクラム落下方式として後備炉停止棒駆動機構は制御棒と延長管分離落下であるが、他2者は制御棒と延長管の1体落下方式を用いている。駆動機構として安全棒駆動機構は1軸ボールネジ駆動方式を、他2者はボールナットスクリュウ2軸懸索駆動を用いている。また、微調整棒駆動機構のみステッピングモータを採用しているが、他は三相誘導モータである。グリッパ機構の爪形式として後備炉停止

表1 各制御棒に要求される基本的機能

機 能 的 特 長	後備炉停止棒	調 整 棒 (CRD)		安 全 棒
	BCR (Back up Control Rod)	FCR (Fine Control Rod)	CCR (Coarse Control Rod)	SCR (Safety Control Rod)
他の制御棒が作動しない時のスクラム機能		出力微調整及びスクラム機能	SCRDの機能あり	スクラム機能あり
		・原子炉の臨界の調整 ・出力レベルの調整 (反応度のこまかな制御を行う)	・長期にわたる反応度の變化の調整や原子炉起動の際の反応度の調整のごとき、大きな反応度の制御	・原子炉を停止し臨界未満状態にすることを目的とする。異常時には急速に挿入される
・出力補償(I) (低温0%出力~30%出力)	—	—	・出力補償(I) (低温0%出力~30%出力)	—
・出力補償(II) (30%出力~100%出力)	—	・出力補償(II) (30%出力~102%出力)	—	—
—	—	—	・燃焼補償	—
—	—	・運転余裕とバイト	—	—
・炉停止余裕	—	—	・炉停止余裕	—
—	—	—	・炉の反応度の誘差の吸収	—

表2 制御棒駆動機構必要機能

	後備炉停止 駆動機構	微調整棒 駆動機構	安全棒 駆動機構
ストローク	1,100mm (燃交時:1150mm)	1,000mm	1,100mm
駆動速度	230mm/min	30~300mm/min 可変	200mm/min
スクラム 特性	100%ストロークまで 1sec以内(マグネット のスクラム遅れ含 む)	偏心量30mm以下の自 由落下、また偏心量 60mm以下の加速落下 にて下記の数値を越 えない事。 ・デラッチ時間: 0.12sec ・0~85%挿入 0.5Gの曲線 ・デラッチ完 100% 挿入:1.3sec	偏心0mmの場合自由 落下で下記の値を越 えないこと。 偏心50mm以下の場合: 加速落下で下記の値 を越えないこと。 ・デラッチ時間: 0.2sec ・0~85%挿入 0.5Gの曲線 ・デラッチ完 100% 挿入:1.3sec
許 偏 心 容 量	ラッチ時:25mm スクラム時:50mm	ラッチ時:25mm スクラム時: 55~60mm 常駆動時:50mm	ラッチ時:25mm スクラム時:50mm

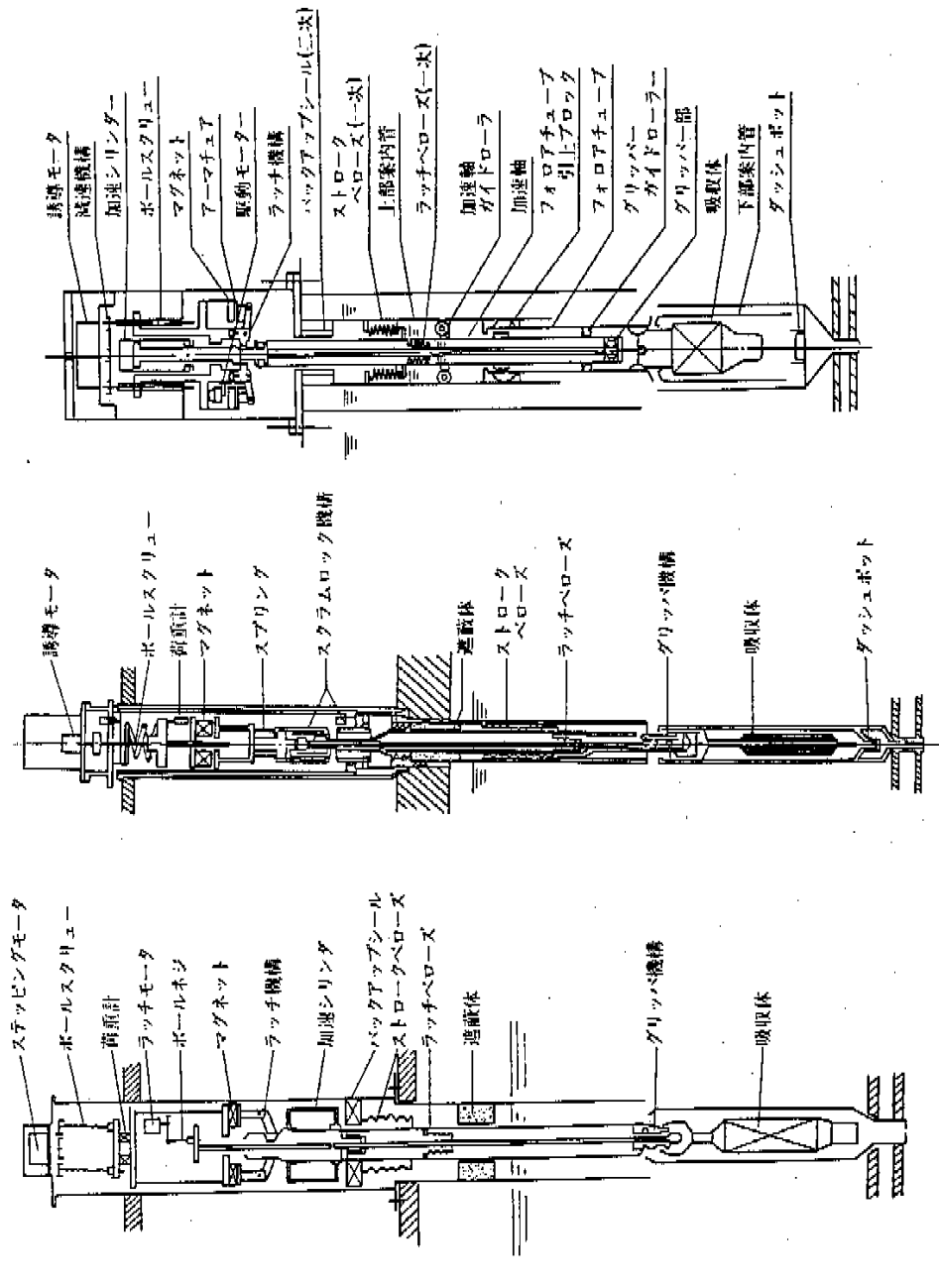
表3 制御棒駆動機構設計条件

		後備炉停止棒駆動機構	微調整棒駆動機構	安全棒駆動機構	備 考
カ バ ー ス 圧 力	設計圧力	1.0kg/cm <sup>2</sup> G	1.0kg/cm <sup>2</sup> G(最高使用圧) 0.6kg/cm <sup>2</sup> G(通常運転時) 0.06kg/cm <sup>2</sup> G(燃料交換時)	0.72kg/cm <sup>2</sup> G	
	運転圧力	0.55±0.05kg/cm <sup>2</sup> G (通常運転時)	同 左	同 左	
		0.01+0.05 -0.005kg/cm <sup>2</sup> G (燃料交換時)	同 左	同 左	
蒸 気 マ シ ン 上 部 温 度	設計温度	60℃	50℃(通常運転時) 60℃(燃料交換時)	70℃	
	運転温度	60℃(通常運転時)	40℃(通常運転時)	40℃(通常運転時)	
		60℃(燃料交換時)	50℃(燃料交換時)	60℃(燃料交換時)	
炉 容 器 内 温 度	設計温度	550℃	同 左	同 左	
	運転温度	—	—	—	
		529℃(通常運転時)	同 左	同 左	
耐 震 ク ラ ス	A <sub>s</sub>	同 左	同 左		
設 計 寿 命	30年 (ただし、制御棒駆動機 構上配管内管、電気品 消耗品除く。)	同 左	同 左		
制 御 棒 配 列 ピ ッチ	305.8mm	同 左	同 左		
制 御 棒 集 合 体 入 口 / 出 口 温 度	397℃/—	397℃/529℃	397℃/—		
冷 却 却 材 量	安全棒、後 備炉停止棒	3kg/S	11kg/S	3kg/S	

棒駆動機構は2本爪板バネ形式を、他は3本爪ピン支持方式をとっている。各試験体の構造を図1及び表4に示す。なお、安全棒駆動機構試験体は本来機能に粗調整棒駆動機能を兼ね備えたものとして設計製作された。

4. 試験装置概要

「もんじゅ」制御棒駆動機構試験装置は各種試験体を取り替えて試験できるようなナトリウムループである。この装置は第1次試作の試験



(C) 後備停止棒駆動機構

(B) 安全棒駆動機構

(A) 粗調整棒駆動機構

図1 「もんじゅ」製作準備設計(1)炉心断面

表4 第2次試作制御棒駆動機構試験体の構造

		後備停止 棒駆動機構	微調整棒 駆動機構	安全棒 駆動機構
形	全長	14,820mm	15,135mm	14,650mm
	据付面上	270φ×4,800mm	298φ×5,595mm	298φ×4,935mm
状	据付面下	165.2φ×10,020mm	160φ×9,540mm	160φ×9,715mm
	主シール	ストロークベローズ グリップベローズ	同左	同左
シール方式	バックアップシール	バックアップシール	* 2	* 1
	保持機構	電磁石によるラッチ リングを介しての保持	同左	電磁石による 直接保持
スクラム式	落下方式	制御棒と 延長管分離落下	制御棒と 延長管1体落下	制御棒と 延長管1体落下
	加速方式	ガス圧加速	同左	同左
緩衝機構		ダッシュラム, ポット上下2ヶ所 (Na中) オイルダンパ (駆動部)	ダッシュラム, ポット上下2ヶ所 (Na中)	ダッシュラム, ポット上下2ヶ所 (Na中)
駆動部	駆動機構	ボールナットスクリウ 2軸熱索駆動	同左	1軸ボールネジ駆動
	駆動モータ	三相誘導モータ	ステッピングモータ	三相誘導モータ
位置検出装置	上下駆動時	シンクロ発信部	同左	同左
	スクラム時	ソードスイッチ	同左	誘導コイルと永久磁石
グリップ機構	着脱機構	バネ力にて作動棒を 上下して着脱	安全棒に同じ	モータ駆動歯車にて作 動棒を上下して、着脱
	爪形式	2本爪板バネ形式	3本爪ピン支持方式	3本爪ピン支持方式

\* 1 バックアップシール無し、ただし、気密構造駆動部ハウジング  
\* 2 バックアップシール及び気密構造駆動部ハウジング

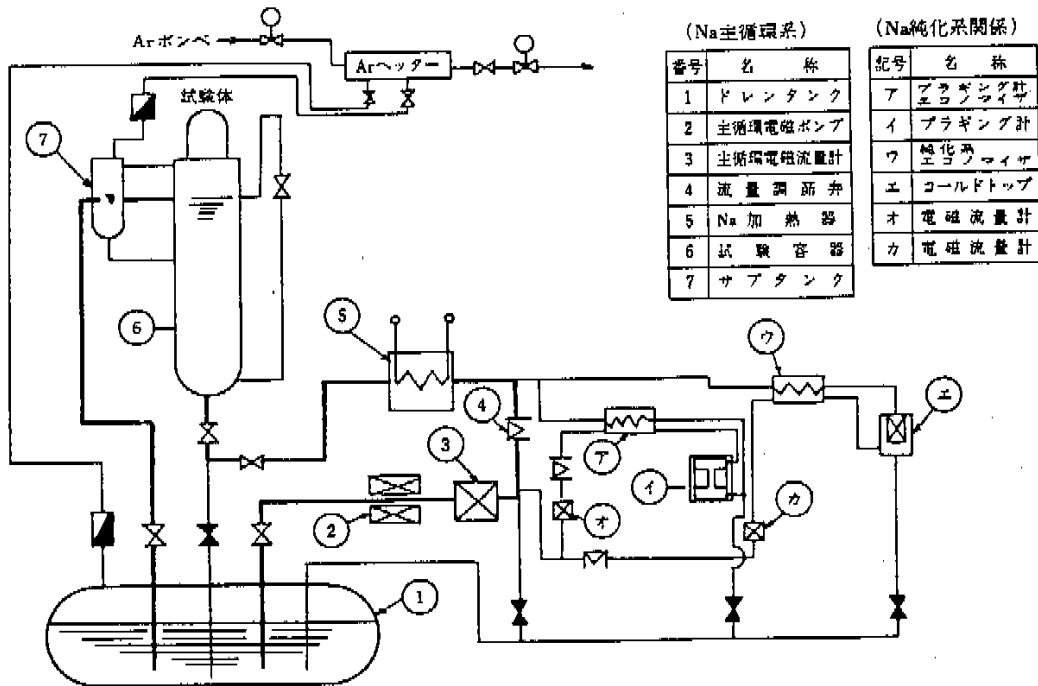


図2 「もんじゅ」制御棒駆動機構試験装置

図3 第二次試作試験実施項目及びスケジュール

	昭和50年	昭和51年	昭和52年	昭和53年	昭和54年	昭和55年	昭和56年	昭和57年
	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11	1 3 5 7 9 11
後駆動 停止棒機構	水中機能試験	ナトリウム中機能 及び長期連続試験	水中振動試験	ナトリウム中 ホールド試験	水中振動試験	水中機能試験		
安全 全機 機構		水中機能試験	ナトリウム中機能 及び長期連続試験	水中振動試験				
微 調整 棒機構					水中機能試験	ナトリウム中機能 及び長期連続試験	水中振動試験	



当時より変わっていないので省略し、フローシートのみを図2に再掲する。(本誌No.22参照)

5. 試験実施項目及びスケジュール

試験体は、製作されるとまず製造メーカー工場内に設置された試験設備にて水中試験が実施され、機能確認と所要の改修が行われ、ナトリウム中試験のためナトリウム機器構造試験室試験装置に持ち込まれた。

制御棒駆動機構第1次試作の各種試験体のナトリウム中試験が昭和50年12月に終わり、それに引き続き第2次試作の各種試験体の各種試験が行われた。その実施項目及びスケジュールの実績を図3に示す。本図にはメーカー工場内で実施された試験についても併記した。第2次試作のナトリウム中試験は、後備炉停止棒、安全棒、調整棒の順序に行われた。調整棒については微調整棒駆動機構モックアップの試験のみが行われた。ナトリウム中で行われた試験項目は次のとおりである。

- (1) スクラム試験：  
所定のスクラム特性を満足することを確認する。
- (2) 燃交時駆動試験：

燃料交換時に要求される駆動延長軸と制御棒の離し及び摺りが確実にできることを確認する。

- (3) 駆動部上下結合切離試験：  
上下結合切離機能を有している安全棒駆動機構と微調整棒駆動機構とについて切離及び結合が確実にできることを確認する。
- (4) マグネット保持力限界試験：  
制御棒を保持する電磁石について所定の保持力限界値を満足することを確認する。
- (5) ホールド試験：  
長時間静止状態に放置した後に作動させてもスクラム等の特性を満足することを確認する。
- (6) シール部リークチェック：  
ペローズシールのバックアップとして設けられてある2次シールからのガス漏洩量をチェックする。
- (7) 常駆動試験：  
通常運転時に要求される駆動特性を満足することを確認する。

6. 試験条件及び試験結果

第2次試作試験体について行われたナトリウ

表5 試験条件

		後備炉停止棒駆動機構	微調整棒駆動機構	安全棒駆動機構
試験条件	ナトリウム温度	250-529°C	200-530°C	210-540°C
	ナトリウム流量	100-220 ℓ/min	100-280 ℓ/min	100-210 ℓ/min
	カバーガス圧	0.55±0.05kg/cm <sup>2</sup>	同左	同左
	偏心量	0-50mm	0-57mm	0-50mm
試験回数	常駆動試験	32回	524回	590回
	燃交時駆動試験	80回	67回	100回
	スクラム試験	2416回	1100回	2600回
	調整駆動試験		17120回	

ム中試験の主要条件及び試験結果について述べる。(表5参照)

6.1 試験条件

カバーガス圧:「もんじゅ」第2次設計では100-300mmAqであったため第1次試作では主として200mmAq前後で試験が行われたが、調整設計(III)で通常運転時5,500±500mmAqと高くなったため、第2次試作では5,500mmAq前後で試験が行われた。

ナトリウム流量:実機設計でのナトリウム流量は、後備炉停止棒及び安全棒が220 ℓ/minで、微調整棒が800 ℓ/minとなっているが本装置の流量限界から最大220 ℓ/minにとどめざる試験が行われた。

偏心量(下部案内管と制御棒各軸心間の相対位置のずれ):最大許容量は後備炉停止機構及び安全棒駆動機構で燃料交換時27.5mm、スクラム時50mm、微調整棒駆動機構で燃料交換時27.5mm、スクラム時55-57mmまで試験された。

ナトリウム温度:通常運転時のナトリウム出口温度/入口温度は、529°C/397°C、燃料交換時のナトリウム出口温度/入口温度は、220°C/180°Cであるが、本試験装置では出口/入口で温度差がつけられないので、200°Cから530°Cまでの各試験条件は均一温度で試験が行われた。

耐久試験回数:各試験体の全試験のスクラム回数は実機での想定回数以上として決められた。

6.2 試験結果とその考察

(1) スクラム試験結果

3試験体(安全棒駆動機構、微調整棒駆動機構、後備炉停止棒駆動機構)はすべて表2のスクラム機能を満足し、実機想定回数以上の試験を行ったがその機能に変化はなく耐久性の十分あることが確認できた。安全棒駆動機構を例にとると図4に示すように所定の加速ガス圧4.55kg/cm<sup>2</sup>Gをかけた場合スクラム時間は十分な余裕がある。極端な場合を想定し加速ガス圧0の試験も行ったがそれでも安全解析値を満足している。

スクラム時間はナトリウム流量、温度にはほとんど左右されず、偏心の影響も小さい。

(2) 燃交時駆動試験結果

燃交時駆動試験で、機能について3体とも満足であった。ただ、微調整棒駆動機構の連続作動試験の初期に、部品損傷による不具合が発生したことがあったが、若干の改修により解決した。

(3) 駆動部上下結合切離試験結果

駆動部上下結合切離機能を有しているのは2次試作では安全棒駆動機構と微調整棒駆動機構であるが、いずれも十分な機能を有していることが確認された。

(4) マグネット保持力限界試験結果

「もんじゅ」製作準備設計(III)によりマグネット機能として(a)マグネットの電圧が定格電圧の迄まで低下した場合でも、その保持能力を有すること、(b)保持力は定格荷重の1.5倍以上のこと、

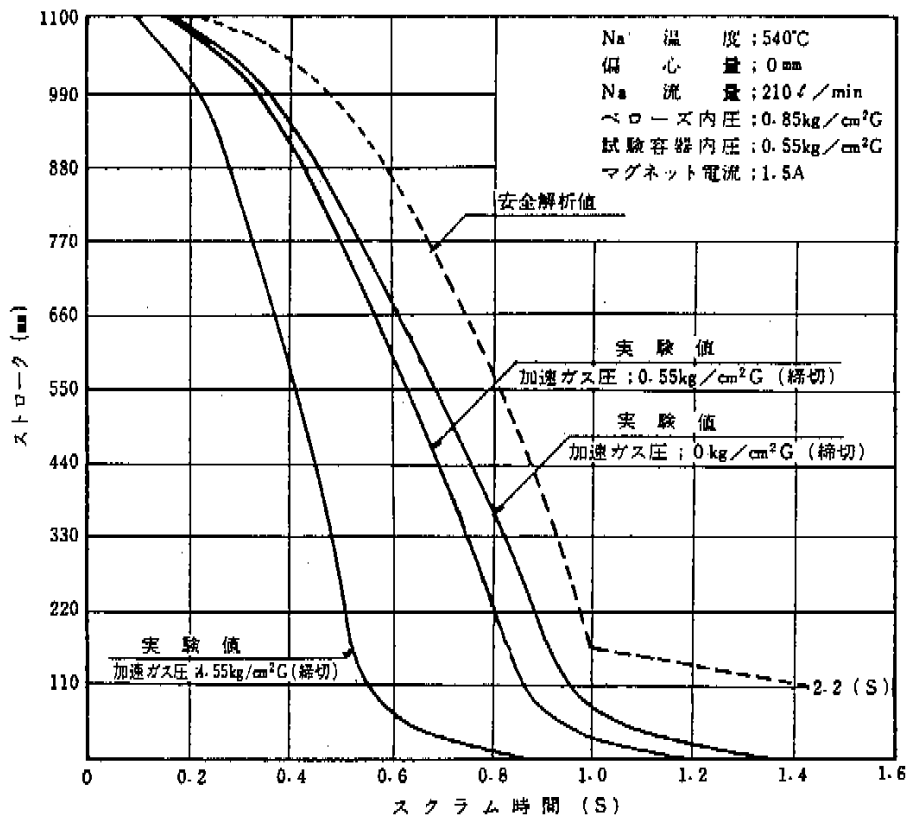


図4 落下曲線の実験値と安全解析値との比較

(c)アタッチ時間は0.12sec以下であることが要求されている。微調整棒駆動機構は(a),(b),(c)を満足した。安全棒駆動機構は(a),(b)は満足したが、(c)については規定値を満足しないケースがあった。後備炉停止機構は(b)を満足したが、(a)について保持力不足、(c)について規定値を満足できないケースがあった。

#### (5) ホールド試験

本試験ではホールド前後にスクラム、常駆動、燃交時駆動試験を実施したが、特にホールド前後における顕著な有意差はみられなかった。また、ホールドによる自己融着もなく良好なものであった。

#### (6) シール部リークチェック

3試験体とも摺動部のシールの漏洩量が規定値をオーバーした。摺動部シールについては別途R&Dを行って要求条件を満足するシールを

開発することとした。

#### (7) 常駆動試験結果

3試験体とも流量、温度による荷重の変化はほとんどみられなかった。偏心をさせると荷重は増加したが試験した最大の偏心値(57mm)においても機能に支障は生じなかった。

微調整棒駆動機構の常駆動試験では駆動モータベアリングの焼損やナトリウム付着による摺動抵抗の増大等を経験したが、原因究明により解決の見通しを得ている。

#### (8) その他の機能

微調整棒駆動機構は他の2試験体の有する機能の他に調整駆動及び追従駆動の機能を兼ね備えている。これらを駆動速度・ストローク及び偏心量をパラメータとして試験を行った結果、何れも満足出来る結果が得られている。

## 7. あとがき

大洗工学センターの「もんじゅ」制御棒駆動機構試験装置において、第1次試作の3体の制御棒駆動機構フルモックアップに引続き、第2次試作の後備炉停止棒、微調整棒、安全棒の3種の駆動機構のフルモックアップのナトリウム中試験を完了した。その結果主要な性能を満足することが実証された。

第6節に示す如く、この試験の段階ですべての機能が満足されたわけではないが、摘出された問題点はすべてその後解決済み、又は解決の見通しがたっている。「もんじゅ」の制御

棒は調整設計Ⅳの段階で後備炉停止棒、粗調整棒、微調整棒の3種に機能が統合されたが、これらの駆動機構のフルモックアップである第3次試作の試験においてすべての機能の最終確認がなされることになっている。

## 8. 謝 辞

最後に、当成果概要を作成するにあたり多大の助言と御助力を提供された高速増殖炉開発本部企画調整室、松本精夫副主任研究員、原型炉建設設計面部、鶴川幸雄研究員及び本試験の遂行に貢献された当時のナトリウム機器構造試験室の諸氏に深く感謝の意を表する。