

高速増殖原型炉「もんじゅ」用制御棒 駆動機構のナトリウム中試験結果概要

石井陽一郎*
村上陽一郎*

1. まえがき

原子炉における制御棒は炉出力の上昇・下降のみならず、炉のスクラムを行う直接安全を司る最重要補機の一つである。軽水炉と異なり、液体金属冷却型高速増殖炉は、温度は高いが、炉内圧が格段に低いため、駆動機構としてはシールを含め本来容易である反面、物性の異なるナトリウムあるいはナトリウムとカバーガス中で使用されるため、共存性、作動やシールなどの機能やその経年変化については十分に確める必要がある。以上の観点から、高速増殖原型炉「もんじゅ」の制御棒駆動機構のR&Dは昭和46年から開始された。「もんじゅ」では粗調整棒9本、微調整棒3本、後備炉停止棒3本、安全棒4本の計19本が予定されている。第一次試作として動燃より「もんじゅ」二次設計にもとづき、安全棒を主体とし微・粗調整棒の試験ができる両者合体型の駆動機構を日立製作所（試験体(1)）、三菱原子力工業および三菱重工（試験体(2)）、東京芝浦電気（試験体(3)）の各社に発注、各社独自の設計で1体ずつ試作され、47～48年に各社で水中試験が行われたあと、解体検査された。ついで48年からはナトリウム中試験として大洗工学センターにて炉内での燃料交換時、および制御棒出入時の把み難し（着脱動作）、出力調整時の上下移動、およびスクラム動作などの機能試験が行われた。さらにそのうちの1体（試験体(2)）について49年以降、長年月を模擬した常駆動12000回、スクラム1400回の耐久試験を行い、50年11月に完了した。この間49年には、試験体(1)について地震条件を織

込んだ水中での限界性能試験が日立製作所で行われている。第二次試作として単体機能の後備炉停止棒、および安全棒駆動機構モックアップがそれぞれ三菱系および東京芝浦電気により試作され、前者については、すでに機能試験および長期連続試験を最近終了した。また、後者は、現在メーカーで水中試験が行われている。なお、調整棒駆動機構については、52年度に設計に入り、当室でのナトリウム中試験は54年度が考えられている。各試験体は、製作後まず製作メーカー工場内に設置された試験設備により水中にて機能を確認し、不具合部があれば所定の改良を施したうえ、大洗工学センターのナトリウム機器構造試験室の第2試験室に設置されている制御棒駆動機構試験装置に据付け、ナトリウム中試験を実施する方式をとっている。今回は、すでに全試験を完了し、それぞれ単独で報告書が出されている第一次試作の3試験体を主体に、大洗で実施されたナトリウム中試験の結果についての比較検討と今後の課題につき述べる。

2. 「もんじゅ」における制御棒の種類と配置

「もんじゅ」調整設計(III)の段階までで計画されている制御棒の種類、本数、各要求機能、主要目について簡単に述べ、試験体およ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、「もんじゅ」では4種19本の制御棒および同駆動機構が設けられる計画であるが、そのそれぞれの本数、炉心における位置関係は図1に示すとおりである。

* ナトリウム技術部 ナトリウム機器構造試験室

また、各制御棒、同駆動機構の用途および要求される基本機能を表1にまとめた。

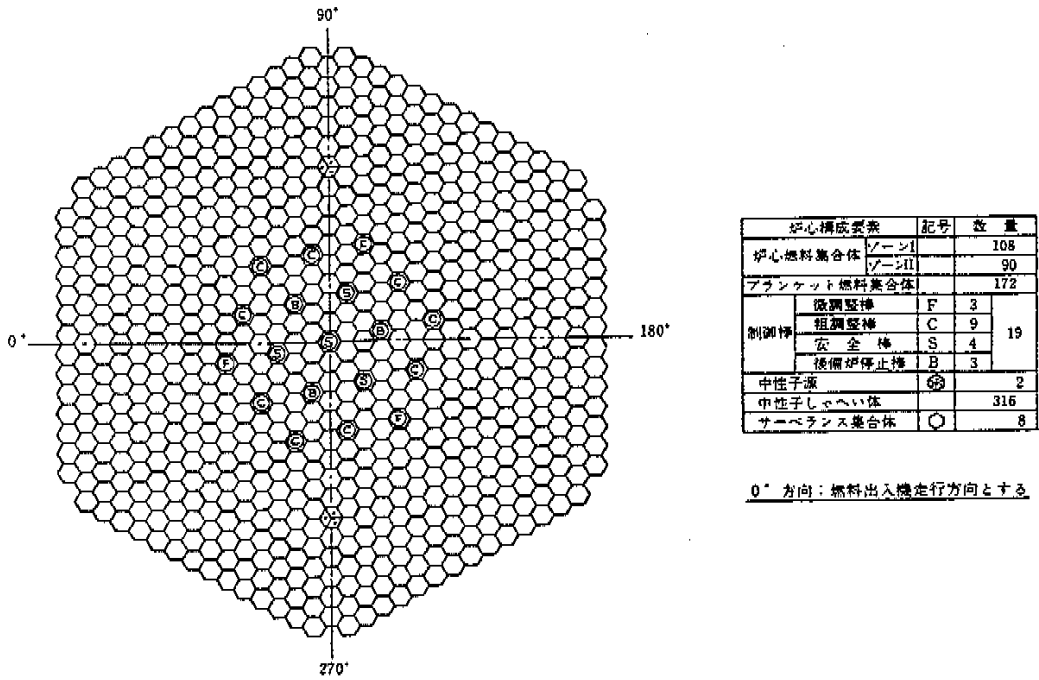


図1 炉心構成配置図

表1 各制御棒駆動機構に要求される基本機能

○……要求される ×……特に要求なし △……要否検討中

項目	安全棒 駆動機構	後備炉停止棒 駆動機構	微調整棒 駆動機構	粗調整棒 駆動機構
制御棒機能	異常時挿入 反応度補償、 停止余裕	温度補償、異常 時挿入反応度補 償、停止余裕、 出力補償	出力補償、 運転余裕	温度補償、燃焼 補償、停止余裕、 反応度誤差
スクラム機能	○	○	○	○
スクラム加速機能	○	○	△	△
調整動作機能	×	×	○	○
制御棒切離 (燃料交換時)	○	○ (スクラム時も要)	○	○
制御棒再結合 (燃料交換後)	○	○ (スクラム後も要)	○	○

2.2 制御棒および同駆動機構主要目 されており、調整設計(III)の内容と異なるところもあるのでは、第二次設計での値を備考欄に示す。
 制御棒および同駆動機構の設計条件、主要目を表2、表3に示す。第一次試作の試験体は、「もんじゅ」第二次設計をベースに設計、製作した。

表2 制御棒駆動機構設計条件

項目	東芝案	日立案	三菱案	備考 (第二次設計時)	
カバリーガス圧力	設計圧力	7,200mmAq	1.0kg/cm ² g 最高使用圧 6000mmAq(通常) 600mmAq(燃交時)	7,200mmAq 100mmAq	
	運転圧力	5,500±500mmAq (通常運転時)	同左	同左	
		+500 100-50mmAq (燃料交換時)	同左	同左	
遮蔽プラグ上面温度	設計温度	70°C	50°C(通常運転時) 60°C(燃料交換時)	同左	
	運転温度	40°C (通常運転時)	約40°C (通常運転時)	同左	
		60°C (燃料交換時)	約50°C (燃料交換時)	同左	
炉容器内温度	設計温度	550°C (通常運転時)	同左	同左	
		未定 (燃料交換時)	—	210°C (燃料交換時)	
	運転温度	529°C (通常運転時)	同左	同左	570°C 540°C
		未定 (燃料交換時)	—	185°C (燃料交換時)	280°C
耐震クラス	As	同左	同左		
設計寿命	30年(目標) ただし電装品、 ペローズ寿命は 別途設定	—	30年(目標) ただし電装品、 消耗部品を除く		
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	入口 397°C 出口 未定	入口 397°C	同左	400°C(安全棒、 後備炉停止棒) 390°C(調整棒)	
冷却材流量	安全棒、後 備炉停止棒	3kg/s	同左	同左	4.4kg/s(安全棒) 3.3kg/s(後備炉 停止棒)
	調整棒	11kg/s	同左	同左	4.3kg/s

表3 制御棒駆動機構機能条件

		東芝案	日立案	三菱案	備考
ストローク	安全棒、後備炉停止棒	1,100mm	1,100mm	1,100mm	・二次設計でも同じ
	調整棒	1,000mm	1,000mm	1,000mm	・二次設計では1,100mm
駆動速度	安全棒後備停止棒	180mm/min (±10%)	180mm/min	200mm/min	・二次設計では180mm/min
	粗調整棒	120/60mm/min (±10%)	120/60mm/min	120/60mm/min	・二次設計ではMax300mm/min (可変)
	微調整棒	30~300mm/min (可変)	max.300mm/min	15~150mm/min	
スクラム特性	安全棒、後備炉停止棒	・ロジック回路動作~アラッチ完: 0.2sec ・0%~85%挿入; 0.5gの曲線 ・アラッチ完~100%挿入; 1.3sec	同左 (ただし、地震力は考慮せず)	東芝案に同じ	・安全余裕検討用地震時にも満足すること ・二次設計では1sec以下
許容偏心量	調整棒	未定	—	—	・二次設計ではスクラムなし
	制御棒時	25mm	25mm	25mm	
	スクラム時	50mm	50mm	50mm	
スクラム方式	安全棒	スクラム加速機構設置	アルゴンガス加速延長管と一体落下	ガス圧加速、延長管と一体落下	
	後備炉停止棒	スクラム加速機構設置、吸収体のみでの落下でスクラムできること	スプリング加速、吸収体のみ落下	ガス圧加速、吸収体のみでもスクラム可	・各案とも代案として流体式を考えている
	微調整棒	—	アルゴンガス加速、延長管と一体落下	加速なし、延長管と一体落下	・二次設計ではスクラムなし
	粗調整棒	—	同上	同上	同上
ベローズ取付位置	ナトリウム中* または 低温アルゴン中	低温アルゴンガス中	ナトリウム中* または 低温アルゴン中	*設計方針としてはナトリウム中を選んでいる	

3. 第一次試作3試験体構造比較

「もんじゅ」を対象とした制御棒駆動機構の実物大モデルによるナトリウム中試験は、昭和48年4月以来当室制御棒駆動機構試験装置にて実施されてきたが、前述のごとく、単体機能の第二次試作の設計、製作に入る前に、安全棒と調整棒の両機能を兼ね備えた第一次試作と呼ばれる複合機能を持った試験体が製作され、実機条件を模擬した環境下で各種動作試験が実施された。

第一次試作では、試験体(1)～試験体(3)の3体の試験体が試作され、試験に供せられた。この3体の仕様は「もんじゅ」第2次設計にもとづいており、試験体(1)は日立、試験体(2)は三菱、試験体(3)は東芝により製作された。制御棒駆動機構の構造、機構には、諸外国の例に見るごとく、種々の形式のものが考えられるが、「もん

じゅ」用として考えられているものは、電気機械式のもの主流となっている。基本的な構造としては、通常時は電磁石により制御棒を保持し、スクラム時は電磁石電流を切ることにより重力により落下する。上下駆動時には、電磁石を入れた状態にて駆動モータを動かし、モータ回転をボールスクリウを通じ上下運動に変換して制御棒を挿入、引抜きをする方式をとっている。第一次試作の試体は上述のごとき基本構造となっているが、その中でも種々の構造機構の形式をとることができる。試作された3試験体は、各種形式の比較試験ができることを考慮して、それぞれ違った構造要求となっている。各試験体の構造比較を図2および表4に示す。これらの試験結果と不具合点を総合評価して、第二次試作の各制御棒駆動機構の形式と要素機器が選定、改良され、設計・製作される。

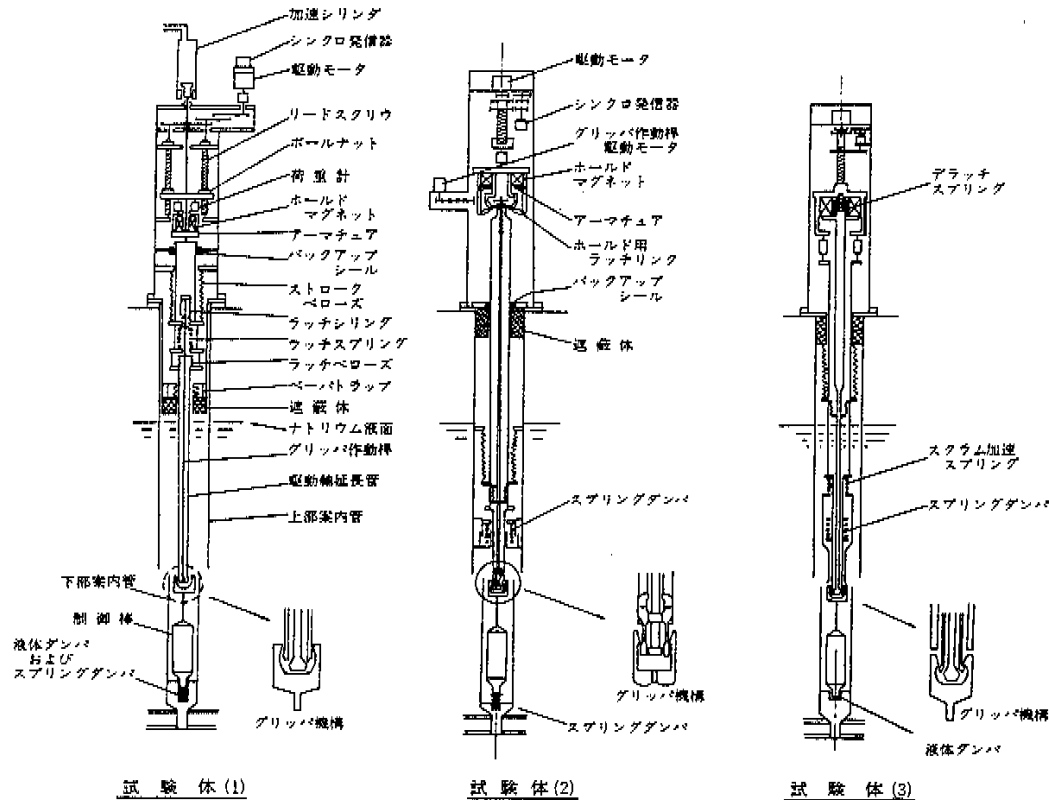


図2 3 試験体構造

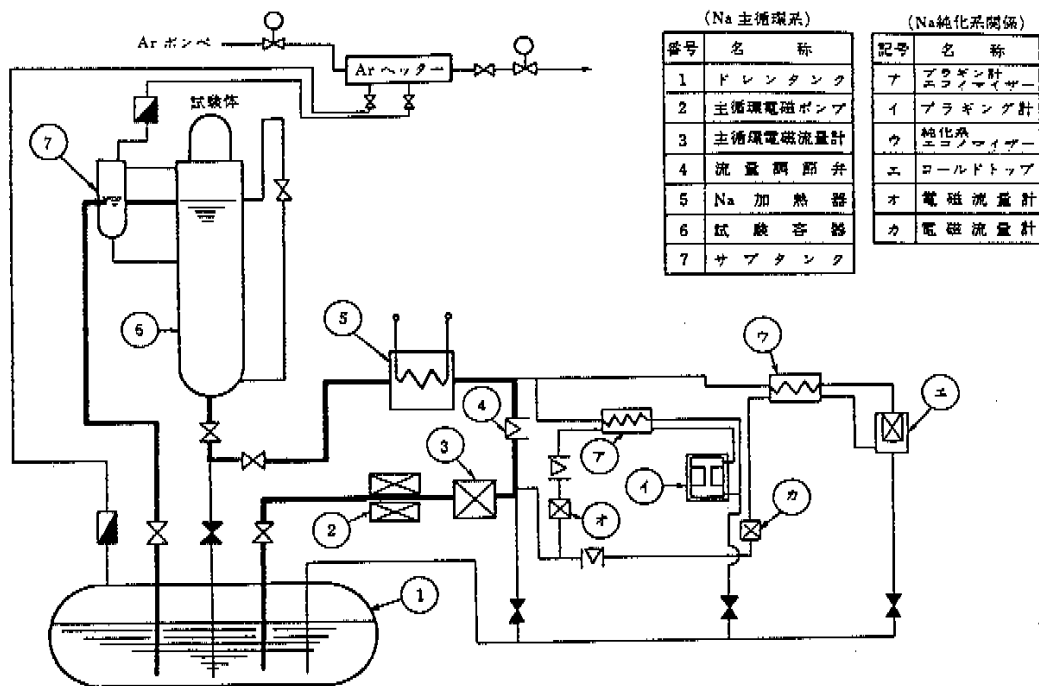
表4 3 試験体構造比較

試験体		試験体 (1)	試験体 (2)	試験体 (3)
項目				
形状	全長	14,205mm	14,485mm	13,676mm
	据付面上	216,3mmO.D.×4,230mmL	220mmO.D.×4,520mmL	216,3mmO.D.×3,711mmL
	据付面下	170mmO.D.×9,975mmL	152mmO.D.×9,965mmL	162mmO.D.×9,965mmL
シール方式	主シール	大小ベローズ (低温Arガス中) 封ベローズベーパーパトラップあり	大小ベローズ (ナトリウム中全液)	大小ベローズ (高温Arガス中) ベーパーパトラップなし
	バックアップシール	ガスシール (V型グランドパッキン) あり	ガスシール (リップ型パッキン) あり	駆動部ハウジングが気密構造
保持機構		電磁石による直接保持	電磁石によるラッチリンクを介しての保持	電磁石による直接保持
スクラム方式	落下方式	制御棒、延長管、加速ピストンが一体落下	制御棒、連結軸が一体落下	制御棒のみが落下
	加速方式	エアシリンダによる空圧加速	自由落下	スプリング加速
スクラム緩衝装置	上部	加速用エアシリンダ背圧	スプリングおよび流体ダンパ	スプリング
	下部	流体ダンパおよびスプリング	スプリング	流体ダンパ
駆動部	駆動機構	2軸ボールナットスクリウ	1軸ボールナットスクリウ	1軸ボールナットスクリウ
	駆動モータ	ステップモータ	プリントモータ	パルスモータ
位置検出器	上下駆動時	シンクロ発信器	シンクロ発信器	シンクロ発信器
	スクラム時	リードスイッチ (20%、90%ストローク)	誘導コイル/永久磁石 (90%、100%ストローク)	誘導コイル/永久磁石 (88%、95%、100%ストローク)
グリップ機構	着脱機構	作動桿をエアシリンダで上下し、着脱	モータ駆動歯車にて作動桿を上下し、着脱	電磁石の励消磁にて作動桿を上下し、着脱
	爪形式	6本爪、板バネ形式	3本爪、ピン支持方式	4本爪、板バネ方式

4. 試験装置概要

「もんじゅ」を対象とした制御棒駆動機構のナトリウム中試験装置は、昭和48年度はじめに当室第2試験室に設置された。本装置は、図3に示すとおり大別してナトリウム循環系、純化系、カバーガス系、ドレン系の4系統からなっ

ている。ナトリウムは、ドレンタンクを含んだ系統で循環され、試験容器内ナトリウム液面を安定させるためサブタンクを置いている。循環流量は最大 220 l/min、ナトリウム温度は最高 540°Cである。純化系は、強制空冷エコノマイザ内蔵型のコールドトラップとオリフィス式空冷型のプラグング計からなり、溶存酸素換算で



(Na主循環系)		(Na純化系関係)	
番号	名称	記号	名称
1	ドレンタンク	ア	エアライン計
2	主循環電磁ポンプ	イ	プラグイン計
3	主循環電磁流量計	ウ	純化系 エレクトロライザー
4	流量調節弁	エ	ロールトップ
5	Na加熱器	オ	電磁流量計
6	試験容器	カ	電磁流量計
7	サブタンク		

図3 制御棒駆動機構ナトリウム中試験装置

10ppm以下のナトリウム純度を保持できるようになっている。カバーガス系は1.0kg/cm²Gまでの加圧と真空引きが可能である。試験装置の外観を写真1に示す。

5. 試験実施項目およびスケジュール

制御棒駆動機構は、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を実施し機能確認と所要の改修を行って、ナトリウム中試験のため当室試験装置に持ち込まれる。

各種試験体による制御棒駆動機構のナトリウム中試験が昭和48年4月以降実施されてきた。その実施項目およびスケジュールの実績を表5に示す。本表には、メーカー工場内で実施された水中試験および今後の実施計画についても併記した。なお、後備炉停止棒駆動機構については、機械式と流体式の2種の試験体が作製され試験中である。

第一次試作のナトリウム中試験は、試験体(1)、試験体(2)、試験体(3)の順序にシリーズに機能試験を主体として実施され、試験体(2)については

その後耐久試験に供された。

6. 試験条件および試験結果

第一次試作3試験体について行ったナトリウム中試験の主要条件、試験回数、および概略試験結果につき述べる。

6.1 試験条件

カバーガス圧は、「もんじゅ」調整設計(III)では運転時5,500±500mmAqと高くなっているが、第2次設計では100~300mmAqであったため、試験時は200mmAq前後に設定されていた。また、試験体(1)の試験の途上、第3次設計にてカバーガス圧が3,000mmAqと変更されたため、表6のごとく2,800mmAq(試験装置の上限が3,000mmAqのため200mmAq余裕をとった)の試験を追加した。ナトリウム流量については、第二次設計では安全棒が67ℓ/min、調整棒が250ℓ/min、調整設計(III)ではそれぞれ210ℓ/min、770ℓ/minと変わってきているが、試験装置の限界よりナトリウム流量は最大220ℓ/minまでにとどめざるを得なかった。偏心量(下部案内管と制御棒各軸心間の

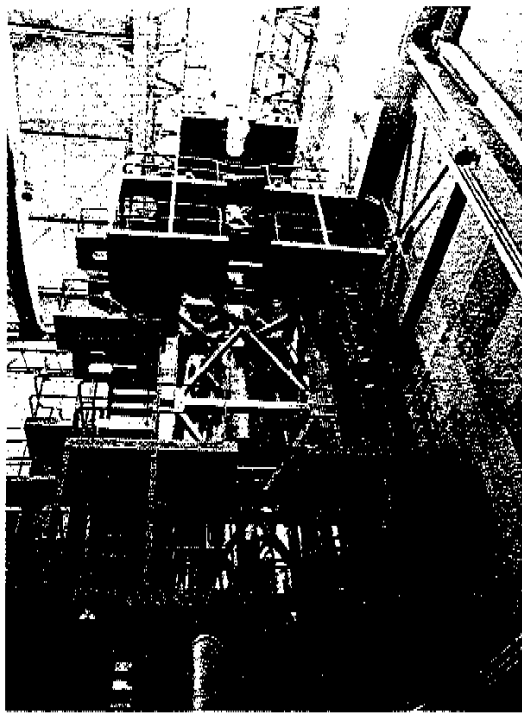


写真1 制御棒駆動機構
ナトリウム中試験装置

相対位置のずれ)は、上下駆動試験および燃料交換モードの試験においては27.5mmまで、スクラム試験時には試験体(1)、(3)では50mmまで、試験体(2)では35mmまで試験された。

試験体(2)の耐久試験の試験回数としては、「もんじゅ」の30年間の設計作動回数の3倍前後の回数を機能試験で実施した回数も含めて達成するということから決められた。

ナトリウム温度は、第二次設計では出口/入口温度は燃料交換時280/220°C、運転時は540/390°Cであるが、この試験装置では出口/入口で温度差を与えられるようにできていないため、250~540°C均一温度で試験がなされた。また、試験体の試験期間およびナトリウム中浸漬期間については、表5を参照されたい。

6.2 試験結果とその考察

3試験体のナトリウム試験結果のうち主要なものは表6のとおりである。試験体(2)については機能試験のあと耐久試験が実施されたが、その結果は本表の最右欄に示されている。これら

の結果より基本的な構造・機構としては性能および耐久性は確認されたが、連続動作試験にて要素機器、部品に不具合が発生しており、耐久試験の重要性がうかがえる。

その他つぎの結果が得られている。

- (1) 調整棒として重要な設定位置停止誤差は、各試験体とも±2mm以内で、所要の精度を満足した。
- (2) 延長管と制御棒が一体落下の試験体(1)、(2)では、連続上下駆動中引抜・挿入荷重は大きく変動しなかったが、制御棒のみ落下の試験体(3)では回数とともに増大するが飽和してゆく傾向が見られる。(図4参照)
- (3) 試験体(3)では偏心量50mmまでスクラム時間は変わらないが、試験体(1)、(2)では偏心量30mm前後より若干増大する傾向が見られた。
- (4) ナトリウム流量の増大とともにスクラム時間は微増の傾向にある。また、ナトリウム温度により浮力の影響が見られたものもあった。いずれも大きな僅意差は認められなかった。
- (5) 程度の差はあるが、いずれの試験体にもリミットスイッチの位置ずれが起っており、その対策につき検討中である。
- (6) 電気および電気機械部で使用条件に対して容量不足のため不具合が発生するケースが二三見受けられたが、純粹に機械的な部品の不具合は比較的少なかった。これより今後特に電気部品につき、使用条件に対して容量の充分大きなものを選定するよう意を配る必要がある。
- (7) 試験体(1)~(3)にてそれぞれ120時間、115時間、160時間の長期吊上げ保持後作動試験を行ったが、スクラム特性をはじめ各種機能にほとんど差は生じなかった。しかし、実機条件を考えさらに長期のホールド試験を行う必要がある。
- (8) スクラムの特性についてナトリウム中試験の結果と水中試験の結果を比較すると、図5に示すごとく途中経過も大差なく、100%スクラム時間も0.08秒前後しか差はなかった。試験体(3)ではその機構上ナトリウム中では途中経過は測定できず水中試験との比較できなかったが、緩衝器突入までの時間、完全スクラ

表 5 試験実施項目およびスケジュール

	昭和 48 年		昭和 49 年		昭和 50 年		昭和 51 年		昭和 52 年		昭和 53 年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
試験体 (1)	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験
	試験体不具合および試験ルール違反による中断											
試験体 (2)	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験
試験体 (3)	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
後備炉停止棒駆動機構 (機械式)	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験
後備炉停止棒駆動機構 (流体式)	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験
安全棒駆動機構	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験	水中試験	ナトリウム試験
	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験	機能試験

注 記

- 水中試験：メーカー工場内試験場にて実施
- ナトリウム試験：PNC大洗工業センターナトリウム機器部第二試験室試験場にて実施

表 6 試験条件および結果概略

試験条件		試験体(1) 機能試験	試験体(2) 機能試験	試験体(3) 機能試験	試験体(2) 耐久試験
ナトリウム温度	250~540°C	250~540°C	250~540°C	250~540°C	540°C
ナトリウム流量	0~220ℓ/min	0~220ℓ/min	0~220ℓ/min	100~220ℓ/min	220ℓ/min
カバークラス圧	200、2800mmHg	200mmHg	200mmHg	200mmHg	200mmHg
偏心量	0~50mm	0~35mm	0~50mm	0~50mm	0mm
駆動試験	9,620	41,166	101,149	128,700 (169,866)*	128,700 (169,866)*
グリッパ着脱	50	18	18	(18)*	(18)*
スクラム試験	500	572	500	500	1,404 (1,976)*
試験結果	<p>(1)所要の各機能（駆動特性、停止位置精度、グリッパ着脱、ファイナ動作など）を満足し、ある程度の耐久性も確認された。</p> <p>(2)ナトリウム流量、温度は各機能に対して大きな影響を与えない。</p> <p>(3)空圧加速の有効性が確認された。</p>				
不具合例	<p>(1)機能試験を含め総計実機寿命の3倍(90年)分相当の回数を達成し、耐久性が確認された。</p> <p>(2)ラッチリンク機構部動作の緩慢化により、スクラム時間が徐々に延びたが、すべて目標の1sec以下であった。</p>				
	<p>(1)所要の各機能（駆動特性、停止位置精度、グリッパ着脱、ファイナ動作など）を満足し、ある程度の耐久性も確認された。</p> <p>(2)ナトリウム流量、温度は各機能に対して大きな影響を与えない。</p> <p>(3)空圧加速の有効性が確認された。</p>				
	<p>グリッパペロースの微少リーク (Heリークで 2×10^{-3} acc/sec) アルカリ腐蝕による → 新製交換 今後ペロースの洗浄、乾燥、検管などを取扱いに注意する。</p>				

〔注〕・印は機能試験と耐久試験の回数を合せたもの。

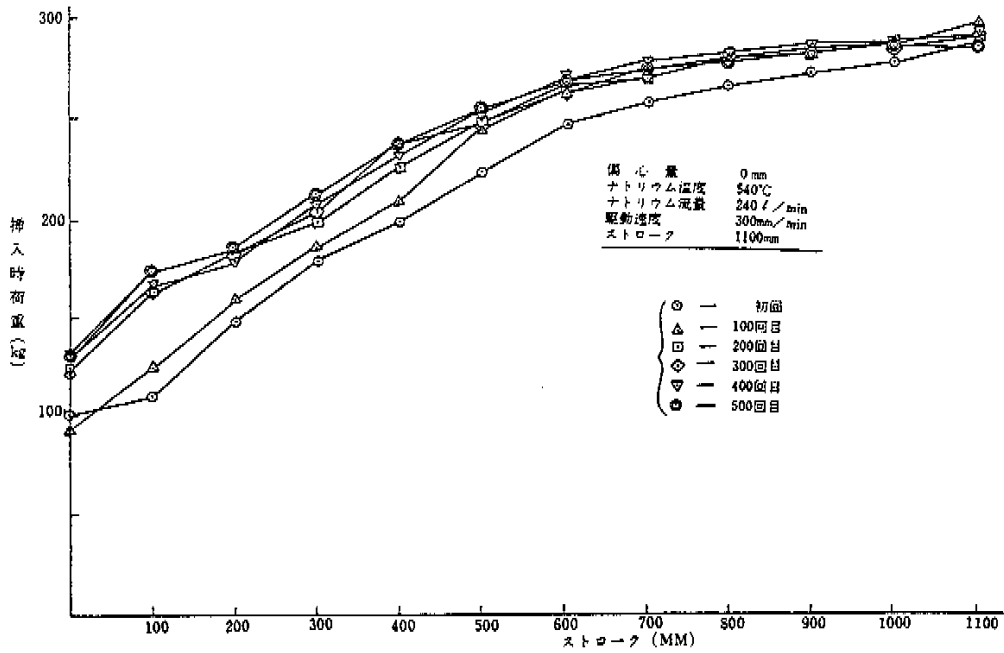


図4 耐久総合試験中の挿入荷重の変化

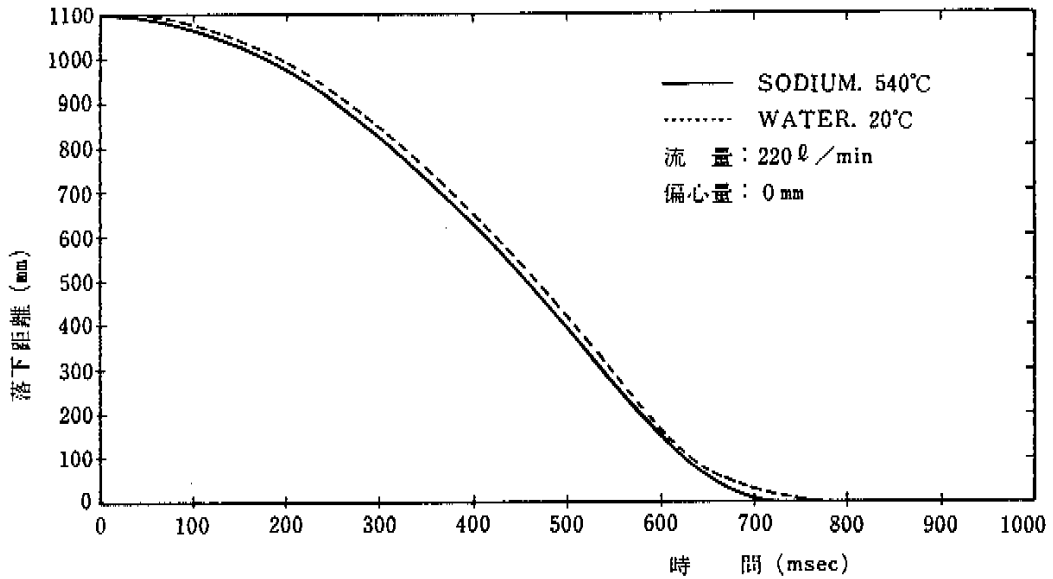


図5 水中およびナトリウム中のスクラム特性曲線比較(試験体(1)の例)

ムまでの時間は約0.04秒前後の小差であった。
 (9) 試験後分解点検の結果各構造体については
 いづれも良好な状態にあり、機能を阻害する
 ような損傷は見受けられず、高温ナトリウム
 中での健全性が確認された。その他一部軽微
 な損傷が見受けられた箇所はあったが、簡単

な逃げ加工により避けられる程度のものであ
 った。スプリングについては数パーセントの
 全長のへたりが見られた。なお、駆動部内の
 摺動材、シール材、電気部品で苛酷過ぎる使
 用により限界に近い状態にある部品が数点あ
 った。これらは、実機では定期的に新品と交

換すべきものである。

7. 3 試験体構造の比較評価

本試験の目的は、高温ナトリウム中における作動機能と耐久性の確認のほかに、機構形式、要素機器形式の違った3種の試験体につき比較評価することであった。この点を中心に、試験結果および各試験体の取扱経験をも踏まえて考察する。なお、表4の項目欄に示す事項がおもな比較評価点となる。

7.1 ベローズ取付位置による相違

ベローズ取付位置としてArガス中の場合は、ベーパーラップが完全なものでないとナトリウム蒸気のベローズ表面付着は免れず、長時間の内には動作部に蒸着し、その機能を阻害する可能性がある。試験体(1)ではラッチロッド部にナトリウム蒸気が附着しラッチ動作が不作動になったと推定される不具合が起っている。これは連続スクラムというベーパーラップに対して苛酷過ぎる条件のため完全にトラップできなかったためと推定される。なお、ベローズ表面へのナトリウム付着量は微量(粉吹き程度)であった。試験体(3)の場合は、小間隙による蒸気のブロックを考えているが、結果としてストロークベローズへの蒸着量は少なかったが、ラッチベローズにはかなり付着し、ベーパーラップの必要性を示している。また、高温Ar中設置はベローズ内での温度分布ができ不均一な伸縮が生ずることが考えられる。ナトリウム蒸気の問題と温度分布の問題を同時に避ける方式として試験体(2)ではナトリウム中ベローズ全没方式を取っている。この方式は腐蝕と強度にさえ耐えれば有望な方式である。一次試作ではこの方式でベローズ微小洩れが検知されたが、長期耐久試験を実施したのがこの方式のみであり、Arガス中設置方式との寿命上の優劣は確認できなかった。第2次試作では、ベローズの強度上の問題も出ている。バルブベローズの破損も必ずしもナトリウム中からでなく、ガス側からも起っている場合もあることからスクラム時の動的挙動をも考慮したベローズの寿命評価法と品質管理法の確立がクローズアップされてきている。

7.2 バックアップシールの有無

ベローズリークが生じた場合のバックアップシールは、現状のものではここで放射化されたArガスを所定の放射線量率以下におさえるには無理がありなお一層のR&Dが必要である。したがって、汚染Arガスのシールは試験体(3)のハウジング密閉型にてすすみ、シールの開発は並行して単体にてすすめて行くべきと考える。本シールがArガスを所要の洩れ量におさえられなくとも、ベローズ破損時ナトリウム蒸気が駆動部ハウジング内に洩れ、駆動機能を損傷することを防ぐためバックアップシールは必要となる。

7.3 保持機構

試験体(1)、(3)の電磁石直接保持に対して試験体(2)ではリンク機構を介して保持力を約倍増している。このため、同一保持力に対して電磁石のアンペアターン数をリンク機構なしの場合より下げられ電磁石を小型化できる利点がある。しかし、リンク部の摩擦力の増大がスクラム時間の増加(図6参照)として出るといった不具合の発生源となったが、これは滑潤剤の塗布、表面処理などで解決できるものである。第2次試作の後備炉停止棒駆動機構では改善され、長期連続試験の間このリンク機構にともなう不具合は生じなかった。

7.4 駆動機構

試験体(1)は2軸駆動、試験体(2)、(3)では単軸駆動となっているが、これは多分に空圧加速のためのガスシリンダの有無がその構造に影響を与えている。2軸駆動の場合は左右軸の回転の同期を取ることが円滑な駆動に重要な問題となる。何かの原因(たとえば、大きな衝撃、ボールナット、軸受などの損傷)でこの同期がくずれると駆動にむらを生じ、場合によっては摺動部のかじりに発展する可能性がある。他方単軸の場合は、この同期の問題がなく有利と考えられる。調整棒のごとく駆動速度と停止位置精度が重要なものは特にこの点に留意する必要がある。第2次試作の安全棒駆動機構では、この点を工夫して、単軸でガス加圧の構造を取っているが、その機能は水中試験で確認されている。

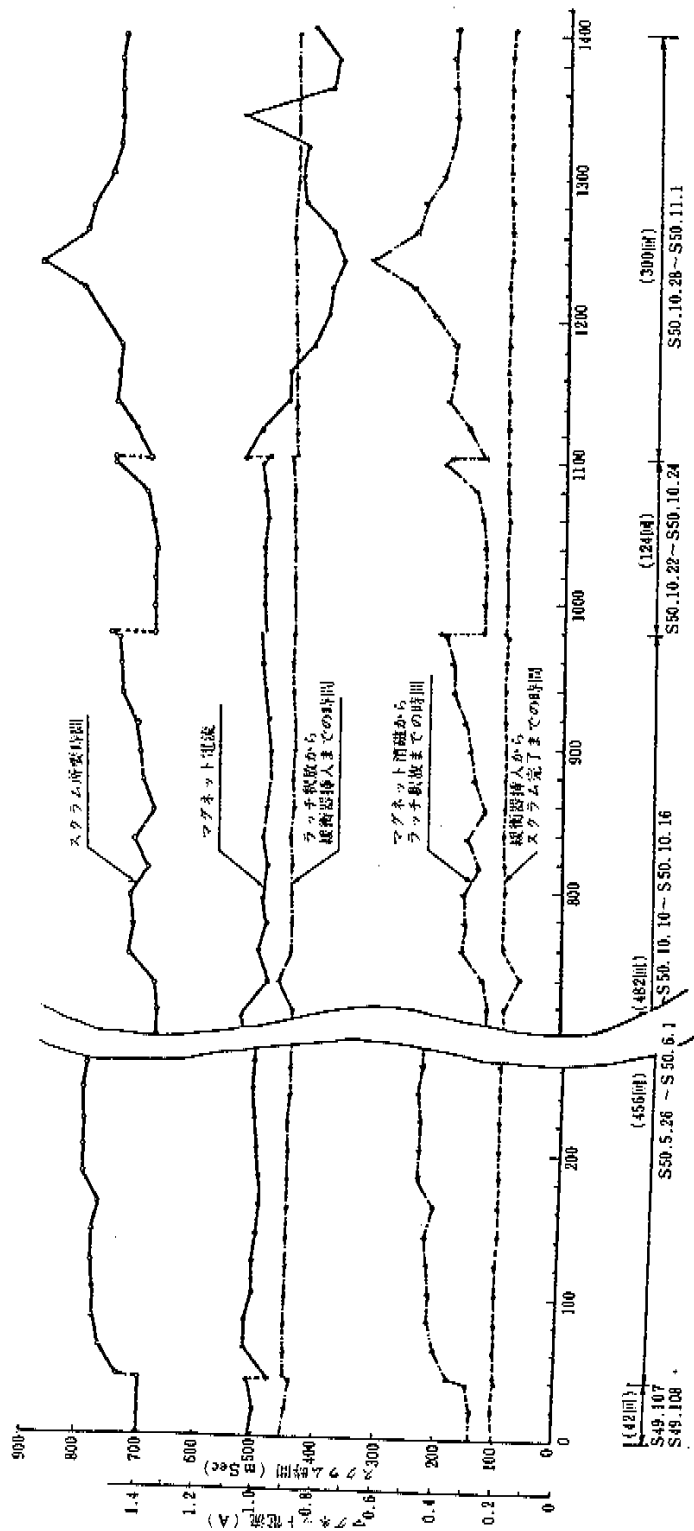


図 6 長期連続試験結果 (試験体 (2)) の例

7.5 グリップ機構

制御棒・延長管一体落下の場合、テラッチ動作は燃料交換時のみで瞬時に行う必要はない。したがって、試験体(1)のガスシリング方式のごとく摺動部のかじりの可能性を内蔵し、バッキンのごとく定期交換の必要な方式は避け、動作速度は遅くとも確実な機構が望ましい。歯車とかネジ駆動の方が確実で保守上も有利である。制御棒把み爪は図2に示すとおり板バネ方式とピン支持方式があるが、ピン支持方式の方が強度、剛性上有利な面がある。第二次試作の後備炉停止棒駆動機構のごとく瞬時に制御棒を解放する方式では、板バネ方式の方が向いている。この場合爪数はできるだけ小数の方が強度上望ましい。後備炉停止棒駆動機構では、2爪方式で支障なく機能を果している。

7.6 保守上の問題

(1) 燃料交換時のスクラムロック機構

試験体(1)、(3)では試験時はマニュアルにてスクラムロックをしているが、実機の放射能雰閉気を考えると、試験体(2)のごとく遠隔によるロック機構が必要である。

(2) 駆動軸/延長管の切離し

実機では駆動部のみの保守にさいし、駆動部のみ取外すことが要請されるので、ハウジング内の駆動軸/延長管の切離しは遠隔にて行えることが必要となる。第二次試作の安全棒駆動機構ではこれが可能な機構となっている。

(3) 全部品のハイジング内収納

上部案内管部を保守する場合、メンテナンスクャスクを用いて本体を引抜く必要が生ずるが、このキャスク装着上駆動部ハウジング側面に突出部を出すことはできない。試験体(2)では応急とのことでテラッチ軸駆動機構が外部に出ている。第2次試作ではすべて駆動部ハウジング内に収納されるよう改良されている。

(4) 部品の共通化、標準部品の使用

基本的な部品はできるだけ共通化を計り、また標準部品を用いて保守部品の種類を少なくすることが望ましい。また、いたずらに新

規開発品を使用せず、機能と耐久性を満たすものがあれば、実績の豊富な正体がわかっている従来品を用いる方がよい。

(5) 構造機構の簡素化と無保守指向

構造機構を簡素化し、少々乱暴に扱っても損傷しない構造とし、できる限り無保守、無調整を指向し、改善して行ふべきである。特に制御棒駆動機構のごとく長尺の部品の多いものを高温ナトリウム中で使用する場合は、耐震上からは難しい点もあるが微少間隙はできるだけ避けガタフリーの構造が望まれる。

8. 第二次試作に反映された事項

第一次試作の3試験体の取扱上の経験、試験の結果確認された事項および不具合点はすべて検討評価され、可能な限りその後の「もんじゅ」調整設計に反映され、したがって第二次試作の設計、製作に反映された。現在ある第二次試作機としては本年3月にナトリウム中試験が終了した後備停止棒駆動機構と4月現在水中試験中の安全棒駆動機構がある。第一次試作の成果と取扱経験が反映されたおもな点につき表7にまとめた。なお、安全棒駆動機構の設計、製作にさいしては、後備炉停止棒駆動機構の試験の中間成果も盛り込まれている。

9. あとがき

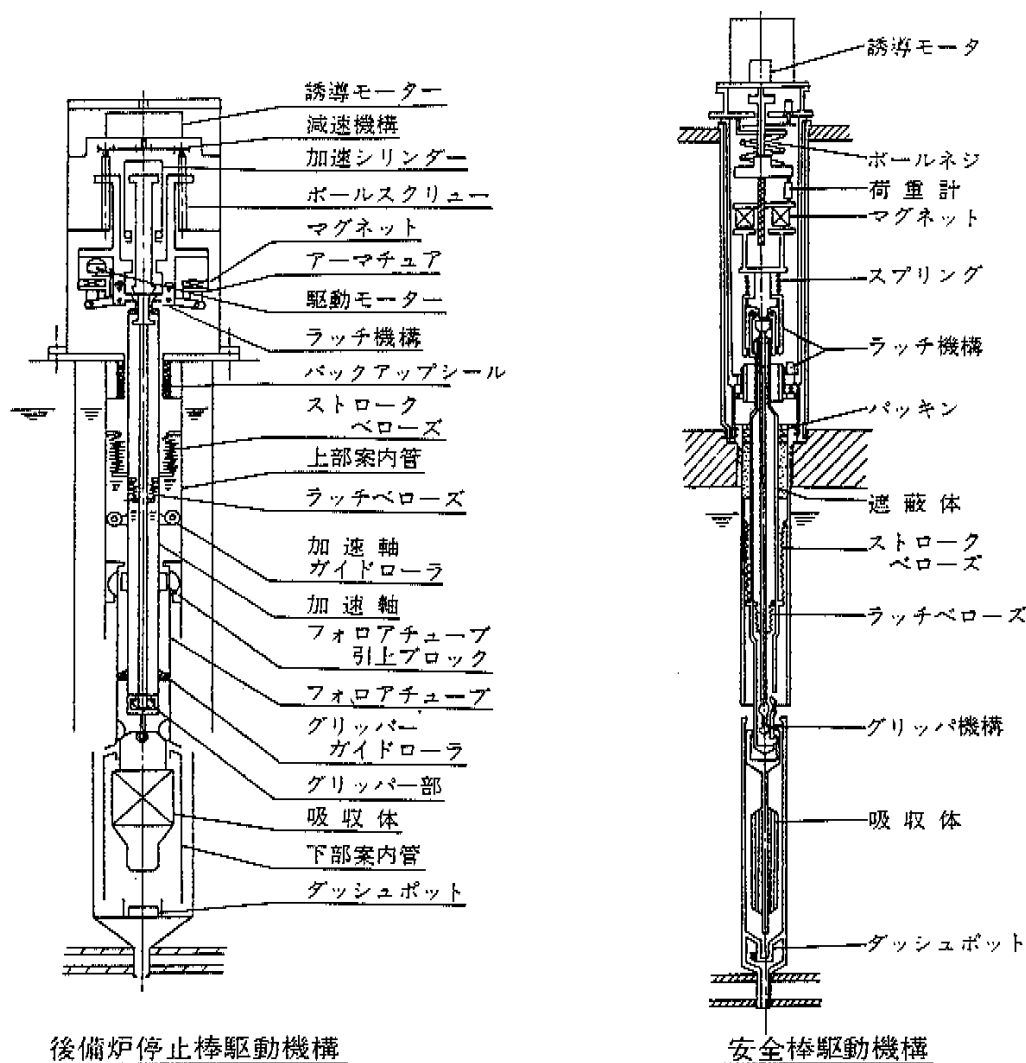
第一次試作の3試験体による試験の結果、実機で遭遇する高温ナトリウム中にて、かかる構造機構の制御棒駆動機構が所要の基本的な機能を満足し、要素部品には一部問題は残しているが長期の耐久性も持つことが確認され、どういふ点が今後の開発のネックとなり、対策を要するかかなり明らかになってきた。かかる成果を背景に単体機能のモックアップである第二次試作へとすすむことができた。第二次試作(後備炉停止棒、および安全棒駆動機構)の設計、製作にあたっては、第一次試作の成果を極力反映し、不具合点は可能な限り対策が取られているが、単なる構造機構の改良、部品の適正選択、設計上の工夫では解決できず、R&Dを要する重要事項も残されている。今後とも第二次試作機で

表7 第二次試作への反映事項

項目	後備炉停止棒駆動機構	安全棒駆動機構
設計・製作	三菱原子力工業㈱ 三菱重工業㈱	東京芝浦電気㈱
構造・機構	図7	図7
駆動モータ	・三相誘導モータ	・三相誘導モータ
加速機構 および 駆動軸形式	・ガスシリンダを駆動部の上部に設け、2軸駆動方式にした。 (試験体(1)の成果)	・ガスシリンダの中央を駆動軸を通し、1軸駆動方式とし、2軸方式における同期の問題を避けている。
駆動軸/延長管 切離し機構	・コッタによる結合。 手作業にて結合、切り離し。	・ラッチモータを用いての遠隔切離し機構を設け、放射能雰囲気での取扱いを考慮している。
コイルケーブル	構造改良による耐久性の向上。 (試験体(2)の不具合改善)	
保持機構	・リンク機構の摺動部潤滑。 ・電磁石を二重コイルとし非常用コイルを設けた。 ・アーマチュアをスプリングで浮かし磁石への密着性を上げた。 (試験体(3)の成果)	・同左
シール機構 (ベローズ)	・ナトリウム中全没とし、ベーパーラップの問題を除いている。(試験体(2)の成果、試験体(1)の不具合対策)。 ・ベローズ内に接点式リーク検出器および熱電対の設置。	・同左 ・ベローズ内に接点式リーク検出器の追加。
制御棒把み 離し機構	・グリッパ作動桿をモータによりネジ駆動し機構全体をハウジング内に収納。 ・同上モータにて遠隔にてスクラムロック可能。 ・スクラム時、制御棒瞬時解放の要求に適した板バネ式把み爪方式採用。(試験体(1)、(3)の成果) ただし、2本爪。	・同左 ただし、機構は異なる。 モータ2個にて駆動。 ・手作業によるスクラムロック機構を施けた。 ・制御棒・延長管一体落下方式で有利なピン支持方式の爪を採用(3本爪)。(試験体(2)の成果) ・制御棒把み位置検出器。 (光電管)設置

の試験成果もつぎの試作機および実機の設計に反映させ、保守をも考慮して改善と簡素化のため努力を続けて行くべきである。今後は、実機

条件を考えて、稼働率も考慮して被爆最小限の保守法、各種検出器などの計装面、照射による材質度化などの問題にも目を移して行く必要が



後備炉停止棒駆動機構

安全棒駆動機構

図7 第二次試作機構造

ある。

なお、制御棒駆動機構のこれら一連の開発と試験は当事業団のFBR本部(原型炉準備室)と大洗工学センターナトリウム技術部(ナトリウム機器構造試験室)および設計、製作メーカーの一体となった努力により着実な成果が得られたものであり、今後とも一層の協力体制を続けて

行くものである。

最後に、本成果概要を作成するにあたり広汎な助言と御助力を下された本社原型炉準備室山崖副主任研究員および総括的にご指導下さったナトリウム技術部齊藤部長ならびに当室飯田前室長代理、CRDグループ員各位に謝意を表す。