U.D.C. 681. 532. 1-523: 621. 039. 562. 24]: 621. 039. 526. 034. 6

高速増殖炉原型炉

Sec. 4

- 26

10-14

17 3

- 3-

10 M

123

5-11

-k

1

- 7

NY Y

×

in 31

and the

r

1.00

4 3

N 100

- 14

de:

10.14

sint Y

1. 9

# 「もんじゅ」用制御棒駆動機構の試作 Development of Control Rod Drive for Fast Breeder Reactor: Monju

The Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC) and five companies in the nuclear development field are now working on the final conceptual design of the Japan Prototype Fast Breeder Reactor, "MONJU."

Under contract with the PNC, Hitachi, Ltd. has completed recently a full mock-up control rod and its drive for MONJU. Being a safety mock-up this is not loaded with boron carbide (B4 C) poison pellets but with a stuffing with equivalent weight. Otherwise, it is made exactly to the real specification. The drive is designed to serve for both safety and regulation. Tests were conducted to check their performance characteristics in the air and under water.

The article deals with the development work for the above.

佐々木正祥*	Masayoshi Sasaki
城土井 崇*	Takashi Jôdôi
田中順一*	Junichi Tanaka
佐藤一夫*	Kazuo Satô

# 1 緒 言

このたび動力炉・核燃料開発事業団からの受注により、ナ により等間隔に保護管中に固定されている。保護管は上部延

ショナル プロジェクトとして開発が進められている高速増殖炉 原型炉「もんじゅ」用の制御棒および制御棒駆動機構を試作 し、一連の開発試験を実施した。試作した制御棒は安全棒で あり、中性子吸収材のボロン カーバイト(B<sub>4</sub>C)の代わりに重 量を模擬するステンレスを充てんした以外は実機どおりであ る。制御棒駆動機構は、調整棒駆動機構の性能を兼ね備えた 安全棒駆動機構であり、本制御棒駆動機構の開発により、実 機の安全棒および調整棒駆動機構を設計製作できるよう計画 された。試作した制御棒および制御棒駆動機構は、実機の使 用条件を近似した水流動条件下において常駆動特性、スクラ ム特性およびその他の項目について性能試験を行なった。以 下に試作制御棒および制御棒駆動機構の仕様、構造ならびに 性能などについて述べる。

# 2 制 御 棒

「もんじゅ」の制御棒には、微調整棒、粗調整棒、安全棒お よび後備炉停止棒の4種類がある。微調整棒は原子炉運転中 に原子炉出力の微細な調整に使用される。粗調整棒は、温度 変化および燃焼の進行に伴う反応度の変化および出力レベル の制御に使用される。安全棒は常時は完全引抜き状態にある が、スクラム(急速そう入)の際余剰反応度を吸収して原子 炉を緊急停止する。また後備炉停止棒は緊急停止用の安全棒 のバック アップとして使用される。本試作開発においては安 全棒を試作試験した。

2.1 仕 様

表1は試作した安全棒の主要諸元を示すものである。

2.2 構造および機能

図1は試作した安全棒の概略を示すものである。

長軸およびソケットを経て制御棒駆動機構に連結され,スク ラムの際は駆動機構部とともに重力ならびに窒素加圧シリン ダにより加速され,炉心内へ急速そう入される。本安全棒は, スクラムの際の急速そう入性をよくするために案内管を設け ない構造となっている。保護管の下部にはダッシュラムが取 り付けられており,駆動機構部と一体としてスクラムする際 ストロークの下端において安全棒の落下エネルギを流体力学 的および弾性的に吸収し緩衝する。ラッパ管の上部には制御 棒交換の際,燃料交換機グリッパにて操作できるつかみ金具 が取り付けられている。ラッパ管の下部には入口ノズルが取 り付けられており,制御棒全体を炉心支持板に自立させてい る。吸収材およびポイズン管が中性子を吸収する際の発熱を 除去する冷却材は,入口ノズルより下部タイプレートを通り, 保護管の中に入り,ポイズン管の外周を冷却しながら上昇し, 上部タイプレートの穴より流出する。

表 I 試作安全棒の主要諸元 中性子吸収材としてのボロン カーバイ ドの代わりに相当重量のステンレス管をポイズン管に装荷してある。ポイズン 管,保護管,ダッシュ ラム上端ハンドリング ヘッドなどは実機どおりである。 Table I The Design Criteria for Safety Rod

摘要	諸元
ポイズン管本数	19本
ポイズン管外径	14.1 mm
ポイズン有効長	900mm
ガスプレナム長さ	310 m m
保護管.外径	85 mm
外形寸法	110.6hex.×4,200 mm
主 要 材 質	SUS 304, 316

5

ポイズン ピンは吸収材の代わりに重量を模擬するステンレ ス管をポイズン管中に密封したものである。19本のポイズン ピンは上部タイ プレート,下部タイ プレートおよびスペーサ

\*日立製作所日立工場

高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用制御棒駆動機構の試作 日立評論 VOL.56 No.5 422

#### 制御棒駆動機構 3

「もんじゅ」の制御棒駆動機構には、使用目的に応じて、微 調整棒駆動機構, 粗調整棒駆動機構, 安全棒駆動機構および 後備炉停止装置の4種類がある。各駆動機構はステップ モー タにより上下動する。安全棒および後備炉停止装置はスクラ ム機能を有する。微, 粗調整棒駆動機構は安全棒駆動機構か らスクラム機構を除いたもので,後備炉停止装置は安全棒駆 動機構と駆動原理の異なったものとされているが現在計画段 階にある。

本試作制御棒駆動機構の特徴は次のとおりである。

(1) ベローズを常温のアルゴン ガスふんい気に設置し、ベロ ーズの耐久性の向上を図っている。

(2) ストローク ベローズには、バック アップ シールを設け、 万一ベローズが破損してもカバーガスが漏えいしないように

110.6×127.6 hex.

してある。バック アップ シールとストローク ベローズ間をア ルゴン ガスで加圧することによりシールの健全性がチェックで きる。

(3) スクラムの際、駆動機構から制御棒を切り離さないこと により、自己融着および再結合の問題を避けるとともに、そ う入の確実性を増している。また制御棒位置の検出が容易に なっている。

0 1

10

10.1

(4) スクラムは電磁石の消勢により行なわれ、ガス圧加速が 行なわれる。ガス圧を加減して加速力を調整することができ る。

(5) スクラムのリンク機構がないので、スクラム開始時間が 短い。また重力だけでもスクラム可能である。

(6) 機構部を可能なかぎりしゃへいプラグ上の常温部に設け, ベーパ トラップによりナトリウム ベーパの上昇を防止し、機 構の信頼性を向上させている。

(7) 駆動電動機としてステップ モータを使用しているため, 調整棒、安全棒を問わずすべての制御棒駆動機構にセット可 能で、将来の計算機制御に備えたものとなっている。

(8) ユニットおよび部品をできるだけ共通化し、開発の容易 さ, 部品の減少, 信頼性の向上および保守点検の容易さを考 慮している。

3.1 仕 様

表2は試作した安全棒駆動機構の主要諸元を示すものであ



る。

### 3.2 構造および機能

図2は試作した安全棒駆動機構の骨組を,図3はその外観 を示すものである。本駆動機構は表3の(1)~(5)ような諸外国 の実例も調査検討のうえ設計製作されている。 駆動機構は、 炉内の長さが約10m, 炉上部が約4mの細長い構造をしてい る。また炉心の遅発中性子の割合が熱中性子炉の場合の半分 以下であるため、スクラム信号が発せられてから1秒以内に スクラムを完了するよう計画されている。

### 3.2.1 駆動部

ステップ モータの回転は減速機で減速され、ボール ナット スクリューにより回転運動が往復に運動変換され、駆動軸が 上下動する。制御棒を一定位置に保持する場合には、 ステッ プ モータを直流励磁すればよく、電磁ブレーキは不要である。

表2 試作安全棒駆動機構の主要諸元 試作安全棒駆動機構は,バ ーニヤ形ステップ モータ,ボール ナット スクリュー駆動方式で,スクラムは 電磁マグネット消勢後、ガス圧加速により行なわれる。

Table 2	The	Design	Criteria	for	Control	Rod	Drive
---------	-----	--------	----------	-----	---------	-----	-------

摘要	諸元
スクラム方式	マグネット消勢後ガス圧加速落下
ストローク	1,100 mm
通常駆動速度	0~300 mm/min
スクラム時急速そう入速度	I,800 mm/min
電動機	バーニヤ形ステップ モータ
位置指示精度	± 1 mm ディジタル
スクラム時間	90%ストローク 0.8s 100%ストローク 1.0s
外形寸法	250 $\phi \times 14,500$ mm
主 要 材 質	SUS 304, 316

ダッシュ ポット 入口ノズル

試作安全棒 試作安全棒は実機どおりのポイズン管(19本)を保護 × 1 管でおおったもので、六角状の下部案内管(ラッパ管)内に収められている。 Fig. I Schematic of a Monju Safety Rod

6

加速シリンダ + シンクロ発信器 コ 4 -ステップ モータ Ser. 73 - 減速機 - 21 -ホールド マグネット 10 -アーマチュア -ボール スクリュー 14. 18 - 上部延長軸 17 4 延長管 a star -ストローク ベローズ in the グリッパ操作機構 · · · · · ラッチ ベローズ 18.3 しゃへいプラグ----上面 -ベーパ トラップ ナトリウム液面 駆動延長軸



高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用制御棒駆動機構の試作 日立評論 VOL.56 No.5 423



図2 安全棒駆動機構図 ステップモータを使用,連続可変速とし, その回転はボール スクリューにより上下動に変換される。スクラムの際にはマ グネット消勢後ガス加速により,駆動部と制御棒が一体となって落下する方式 である。

Fig. 2 Safety Rod Drive Schematic

-4

- M

- 7

14 4

- 34

X

10 × 30

A 4

A.,

100 30

- W

- 54

2.4

Los X

1. 9

- 3N

図3 試作安全棒駆
動機構 本図は安
全棒駆動機構の本体で、
ケーシング内に、ボー
ル スクリューナット機
構、シール部、上部に
はステップ モータ、シ
ンクロ発信器および加
速用シリンダなどを装
備している。
Fig. 3 View of an
Upper Drive Mec-

7

hanism

なおホールド マグネットに吸着されたアーマチュアは上部延 長軸, 延長管および駆動延長軸が一体となって上下駆動する。 ストロークは1,100mmであり安全棒の引抜き時, ポイズン 部下端が150mmだけブランケット内にそう入されるようにな っている。

ボール スクリューは制御棒駆動部を細長い構造とすることが容易であるとともに、研削ねじの使用により高い位置指示

せる方式である。

スクラムのガス圧加速方式は、圧力の調整により、スクラ ム時間をある範囲内で自由に調整できる利点がある。またス クラム加速用ガス圧が失われた場合は、自重のみで落下する が、安全棒単体の重量(約35kg)に比較して落下部分の総重 量(約200kg)が大きいので、重力だけでも十分にスクラムの 目的を達成できることが試験結果により実証された。

精度が得られるので多くの原子炉で採用されている。
3.2.2 スクラム機構
スクラムはホールド マグネットを消勢し、ガス圧加速によ
って行なわれる。駆動部重量およびスクラム加速力などの負
荷を常時電磁マグネットで保持しておき, スクラムの際に励
磁電流をしゃ断して, 重力加速をシリンダのガス圧で助勢さ

スクラム時間の測定は、ホールド スイッチおよび下限リミット スイッチからの信号により、切り離し時間およびスクラム完了時間を個別に測定できるようになっている。スクラム 信号が入ると駆動モータは直ちに制御棒のそう入方向に高速 回転(1,800mm/min)を始め、制御棒下限位置で再びアーマチ ュアをホールドする。 高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用制御棒駆動機構の試作 日立評論 VOL.56 No.5 424

# 表3 高速増殖炉用制御棒駆動機構の例 液体金属冷却高速増殖炉(LMFBR)用制御棒駆動機構の主

要諸元について、アメリカ、イギリス、フランス、西ドイツおよびわが国の実例を示す。

Table 3 Parametric Tabulation of Control Rod Drive for LMFBR

			-						
原子炉名	原子炉出力 (MWt/MWe)	原子炉 /入口出口 温度(℃)	冷却材	原 子 炉 制御方式	原 子 炉 停止方式	運転開始年 (西暦)	C R D 員数	制御要素	
原 型 炉 「もんじゅ」 (日本)	714 / 300	390	Na	吸収体 炉心そう入	安全棒 全そう入	1979(予定)	<ul> <li>微調整棒・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>	B₄C	
E B R — I (アメリカ)	1 / 0.5	230 / 322	NaK	反射体 ブランケット 引抜き	安全棒 安全ブロック カップ 全引抜き	1951	制御棒······4 安全棒······8 安全ブロック·····	天然ウラン 反射体ブロック	
DFR (イギリス)	72	200	NaK	燃料要素引抜 き 一部吸収体 炉心そう入	制御要素 全引抜き (吸収体はそ う入)	1959	(燃料要素) 調整棒6 停止棒4 安全棒2 (吸収体) バックアップ3 計 15	燃料 B₄C	
E B R — II (アメリカ)	62.5	371	Na	燃料要素引抜 き	制御要素 全引抜き	1963	制御棒12 安全棒2 計 14	燃料(濃縮ウラン)	
FERMI (アメリカ)	200 / 65.9	287	Na	吸収体 炉心そう入	安全棒 全そう入	1963	微調整棒」 粗調整棒」 安全棒8 計 10	B₄C	
RAPSODIE (フランス)	24, 48 0	410 / 530	Na	"	制御要素 全そう入	1967	微調整棒······2 粗調整棒······4 計 6	B₄C	
PHENIX (フランス)	625	422	Na	"	制御要素 全そう入	1973	微調整棒 ) 粗調整棒 )	B₄C または Ta	
PFR (イギリス)	600 / 250	400 / 562	Na	"	安全棒 全そう入	1973(予定)	制御棒······5 安全棒·····6 計 II	制御棒Ta 安全棒 ボロン スチール	
SNR 西ドイツ, ベネルックス)	730	377 / 546	Na	"	安全棒 全そう入	1979(予定)	調整棒······12 安全棒······3 後備安全棒······3 計 18	B₄C	



高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用制御棒駆動機構の試作 日立評論 VOL.56 No.5 425

-

100

常駆動方式	スクラム方式	スクラム時 緩 衝 方 式	位置指示方式	シール方式	スクラム 時 間 (s)	常駆動速度 (mm/min)	ストローク (mm)	主要材質
電動機 減速歯車 ボール ナット スクリュー	ホールド マグネッ ト消勢後, 空圧加速	Na中ダッシ ュ ポット, ばね エアダンパ	シンクロ発信 機,リミット スイッチ	往 復 \ ベロ ラッチ \ ーズ グランド パ ッキング (バ ックアップ)	1	微調整棒 0~300 粗調整棒 60,120 安全棒 85,1,800 後備炉停 止棒	1,100	SUS304, SUS316 ベローズSUS347
"	ハイドロリック エ レベータ急速落下	ハイドロリ ック	リミット ス イッチ	炉容器外側に C R D 配置	0.38	制御棒 ~975 安全棒 ″	406	SUS304
電動機 ベベルギヤ 減速歯車 ラック ピニオン	ボールドマグネット 消勢後キヤリア フ レームを急速落下 (駆動部とも落下) バック アップはマ グネット消勢後制御 要素と延長部が一体 落下	Na中ダッシ ュ ポット	サーボ操作電 磁アーマチュ ア,サーチコ イル	S U S 薄膜	~0.5	228(急速引抜き) 4.57(そう入引抜き)	635	ステンレス鋼
電動機 減速歯車 ラック ピニオン	制御棒…ボールド マグネット消勢後, 機構一体落下 安全棒…ボールド マグネット消勢後, 一体空圧助勢落下	オイル ダ ンパ ばね	シンクロ発信 機	ラビリンス ベローズ	0.320	121	356	グリッパ…SUS420硬化 案内スリーブ… " カムステライト6 軸SUS304 ベローズ…SUS347
電動機 減速歯車 ボール ナット スクリュー	電磁クラッチ消勢後, ラッチ機構を経てグ リッパ解放,安全棒 のみがばね加速落下	Na中ダッシ ュ ポット ばね	アナログ表示 器	ベローズ	~0.9	微調整棒 0~254 粗調整棒 10.2 安全棒 40.7 2,540	制御棒… 508 安全棒… 1,370	SUS304 高温,高放射能を受ける 部分・・・・・インコネルX スクラムショックを受け る部分・・・ステライト6 B 肉盛
"	ホールド マグネッ ト消勢後, 自重落下	Na中ダッシ ュポットま たはオイル ダンパ	ポテンショ メータ	ベローズ	0.4 (90%ス トローク)	微調整棒 600 粗調整棒 156 安全棒 6	制御棒… 508 安全棒… 467	ステンレス スライド部ステライト
電動機 減速歯車 ボール ナット スクリューまたは ラック ピニオン					0.6	84	1,000	
電動機 減速歯車 ボール ナット スクリュー	ホールド マグネッ ト消勢後安全棒落下			ゴム製0リン グ アルゴン ガス ブロー		制御棒 41.5 安全棒 95	制御棒… 1,070 安全棒… 1,370	ステンレス鋼
"	ホールド マグネッ ト消勢後	Ar ガス中 ばね	ポテンショ メータ		0.5 (80%ス トローク)	84	1,100	



スクラムのストロークの下端近くでの緩衝作用は,上部機 構内蔵のシリンダのテーパ付きのダッシュ ラムによりガスを 圧縮する空圧緩衝器と下部案内管内のダッシュ ポット, ばね および機構部内のゴム ダンパによって行なわれる。

3.2.3 シール機構

駆動機構には、回転プラグ貫通部、グリッパ駆動機構部お よびストローク部の3個所にシールが設けてある。

回転プラグ貫通部にはしゃへい体の高さ方向の中央部付近 にベーパ トラップを設けてある。駆動機構のストローク ベロ ーズの上端付近からケーシング内にアルゴン ガスを吹き込み 機構内の空げき部には常時下向きのアルゴン ガス流を作り, ナトリウム ベーパを含んだアルゴン ガスが上部の機構内に上 昇しないようにしてある。

グリッパ駆動機構部には溶接ベローズを使用し、グリッパ 駆動軸と駆動延長軸が相対運動できるようにシールしてある。

ストローク部には内部案内機構を有する溶接ベローズを使 用し, 駆動部がケーシングに対し1,100mmのストローク分だ け相対運動できるようにシールしてある。

ストローク ベローズのバック アップとしてグランドパ ッキングを使用し、万一ストローク ベローズが破損してもカバ - ガスが漏えいしないようにしてある。またストローク ベロー ズとグランド パッキング間の空間をアルゴン ガス加圧するこ とにより、ベローズまたはパッキングの漏えいを検出できる。

## 3.2.4 位置検出器



図4 スクラム時間 - 変位特性(水中試験) 水中試験における加速 窒素ガス圧をパラメータとしたスクラム時の,時間‐変位特性の一例で,仕様 値を十分に満足する 0.6秒程度でスクラムを完了している。

24

位置検出器にはシンクロ発信器およびリミット スイッチが ある。ホールドマグネットがアーマチュアを吸着しているか ぎり、制御棒の位置はシンクロ発信器によって検出され、1mm 単位でディジタル表示される。 リミット スイッチには、制御 棒位置、アーマチュア ホールドおよびグリッパ開閉検出用の 3種類がある。

#### 試作制御棒駆動機構の試験結果 4

# 4.1 位置精度

制御棒の位置は減速機を介してステップ モータに取り付け られたシンクロ発信器の信号を受信器側でディジタル化し1 mm単位で表示される。試験の結果、全ストローク1,100mmに 対し±1mmの精度が得られた。

### 4.2 スクラム特性

大気中での駆動性確認後,水中での常駆動,スクラム特性 試験を実施し良好な結果を得た。

スクラム特性は循環水流量,加速ガス圧力および上部案内 管と下部案内管の偏心量をパラメータとし,時間-変位特性, 加速度, エア ダッシュ ポットおよび水中のダッシュ ポット内 圧力,下部案内管入口/ズル部圧力などを測定した。

### 4.2.1 制御棒始動時間

スクラム指令信号がはいってから制御棒が始動するまでの 時間は、電磁マグネットを含めた電気回路の動作時間を含み、 電磁マグネットの励磁電流値および負荷荷重, すなわち加速 ガス圧力によって変わる。図4は電磁マグネット電流 0.6A の場合で、加速ガス圧力0atgの場合約100msであり、加速ガ ス圧力 4 atg では約50ms に短縮された。

# 4.2.2 時間 - 変位特性

10

図4は時間 - 変位特性の一例を示すものである。実験の結 果,循環水流量による,時間-変位特性の変化はほとんど認 められなかった。今後に予定されているナトリウム中試験に おける最大ナトリウム流量3kg/sに相当する循環水流量218 1/minのとき、加速ガス圧力が0atgの場合は、スクラム指令 信号がはいってから90%ストローク(990mm), そう入時間は 0.68秒、スクラム完了時間は0.85秒であった。加速ガス圧力 が4atgの場合は、90%ストロークそう入時間は0.49秒、スク

Fig. 4 Scram Time Characteristics in Water Test

ラム完了時間は0.61秒であった。

以上のようにスクラム特性は、仕様値90%ストロークそう 入時間0.8秒、スクラム完了時間1秒を十分な余裕をもって 達成する値が得られた。

#### 5 結 言

以上述べたように、「もんじゅ」用試作制御棒駆動機構は、 水中特性試験において,「もんじゅ」の仕様を十分に満足する ことが立証された。今後は動力炉・核燃料開発事業団大洗工 学センターの「もんじゅ」用制御棒駆動機構試験装置を用い, 実機を模擬した高温ナトリウム・アルゴンガスふんい気にお いて特性試験および耐久性試験を行ない、その性能を確認す ることになっている。

本制御棒駆動機構の開発にあたって,終始ご指導,ご援助 をいただいた動力炉・核燃料開発事業団の鈴木,中井両氏を はじめ, 高速増殖炉開発担当の各位に心からお礼申し上げる。

# 参考文献

- (1) John G. Yevick, "Fast Reactor Technology Plant Design", MIT(1966)これはFBR システム全体を学ぶのに手頃である。
- (2) E. Hutter and G. Giorgis, "Design and Performance Char-

acteristics of EBR-II Control Rod Drive Mechanisms", ANL-6921 (Aug. 1964) (3) フランス原子力資料研究所,「特集II-1 "高速増殖炉"ラプ ソディ」、フランス原子力(昭39-10) (4) W. Häfele and G. Kasser, "SNR : The German-Benelux Fast Breeder", NUCLEAR NEWS (March, 1972) (5) 羽田幹夫,「制御用機器」, 原子力工業 16, 9, 15 (昭45)