

日立における制御棒駆動機構の開発

Development of Control Rod Drive Mechanism at Hitachi

江 幡 健 夫* 井 上 達 之 助**
Takeo Ebata Tatsunosuke Inoue

内 容 梗 概

日立製作所においては昭和31年原子炉制御棒駆動機構の試作研究を開始して以来、実験炉、試験炉ならびに動力炉用として39基（製作中のものを含む）の駆動機構の製作実績を重ねてきた。ここでは現在までに試作および納入した各種制御棒駆動機構の概要について述べる。

1. 緒 言

制御棒駆動機構は原子炉の出力を制御するもっとも基本的な機器であり、その誤動作は原子炉の暴走に直接つながる可能性をもっているため、高性能とともに高信頼度が要求される。

日立製作所では昭和31年度の原子力平和利用政府補助金をうけ、10 MW 実験炉用計測制御装置を試作、その一部として制御棒駆動機構を製作して以来、今日までに東京大学未臨界実験装置（東大SCA）、日立教育訓練用原子炉（HTR）、日立臨界実験装置（OCF）、原研遮へい研究用原子炉（JRR-4）、京都大学研究用原子炉（KUR）ならびに原研材料試験用原子炉（JMTR）試作用の駆動機構をそれぞれ納入、現在はJMTR用駆動機構を製作中である。このほか日立製作所内においてもこれら製品の技術的裏付けを確立するために実験炉用、試験炉用および動力炉用の駆動機構を製作、研究開発を続けてきている。

本報ではこれら駆動機構の構造および特性について例をあげて説明する。

2. 制御棒駆動機構に要求される機能

制御棒駆動機構は原子炉の平常運転時に要求される機能のほか、緊急事態に炉を急停止する装置としての機能をもあわせて備えなければならない。

2.1 平常運転時に要求される機能

- (1) 制御棒を制御された速度で可逆駆動できること。
- (2) 任意の位置に停止させ、その位置を確実に保持できること。
- (3) 制御棒の位置を常に運転者に指示すること。

2.2 緊急停止（スクラム）時に要求される機能

- (1) スクラム指令が出てから実際に制御棒が炉心にそう入を始めるまでの遅れ時間は極力短いこと—実験炉、試験炉では40 ms以下が望まれる。
- (2) 制御棒の炉心へのそう入はできるだけ早いこと—一般に制御棒そう入加速度の重力加速度に対する比であらわされ、実験炉、試験炉では0.6 g以上が望まれる。
- (3) スクラムが完了して制御棒が停止する際、炉心その他に大きな衝撃を与えないよう緩衝作用を行なわせること。
- (4) スクラムが完了したことをただちに運転者に指示すること。
- (5) スクラム操作駆動源は信頼性の高いものであること。

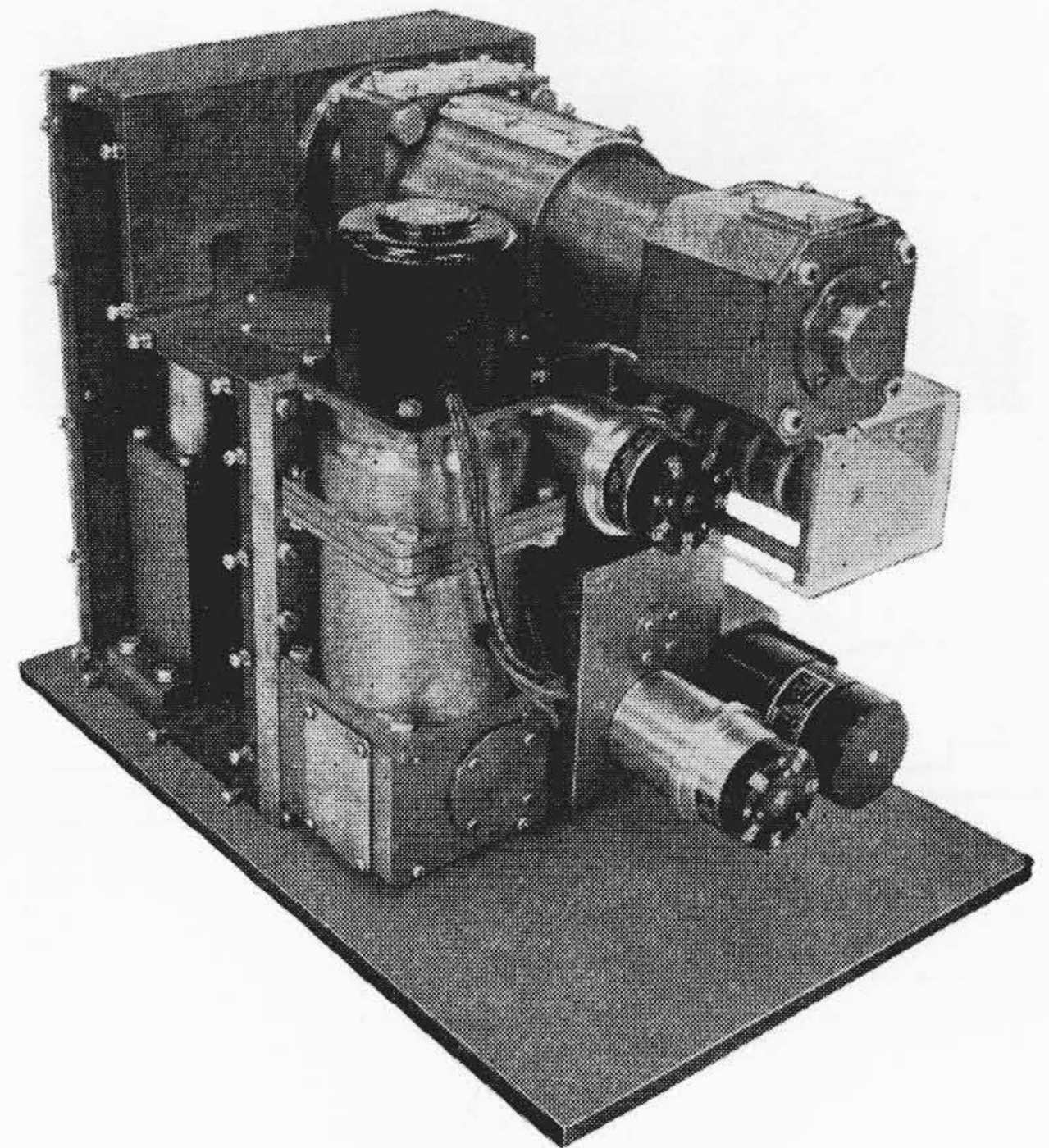
2.3 周 囲 条 件

原子炉の設計いかんにより周囲条件は種々異なるが、下記諸項目に留意する必要がある。

- (1) 制御棒まわりの圧力、温度、流速など。
- (2) 制御棒および駆動機構の炉心に対する相対位置。

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所



第1図 OCF用安全棒駆動機構

- (3) 駆動機構の大きさとして許容される寸法。
- (4) 中性子あるいはガンマ線に対する材料の放射線損傷。
- (5) 放射能を考慮しての保守点検の容易さ。

3. 製作納入した制御棒駆動機構

日立製作所が現在までに製作納入した駆動機構を大別すると、

- (1) ワイヤドラム—電磁クラッチ形駆動機構
- (2) ネジナット—保持電磁石形駆動機構
- (3) リラクタンスモータ—水圧ピストン形駆動機構
- (4) ネジナット—ボールラッチ形駆動機構

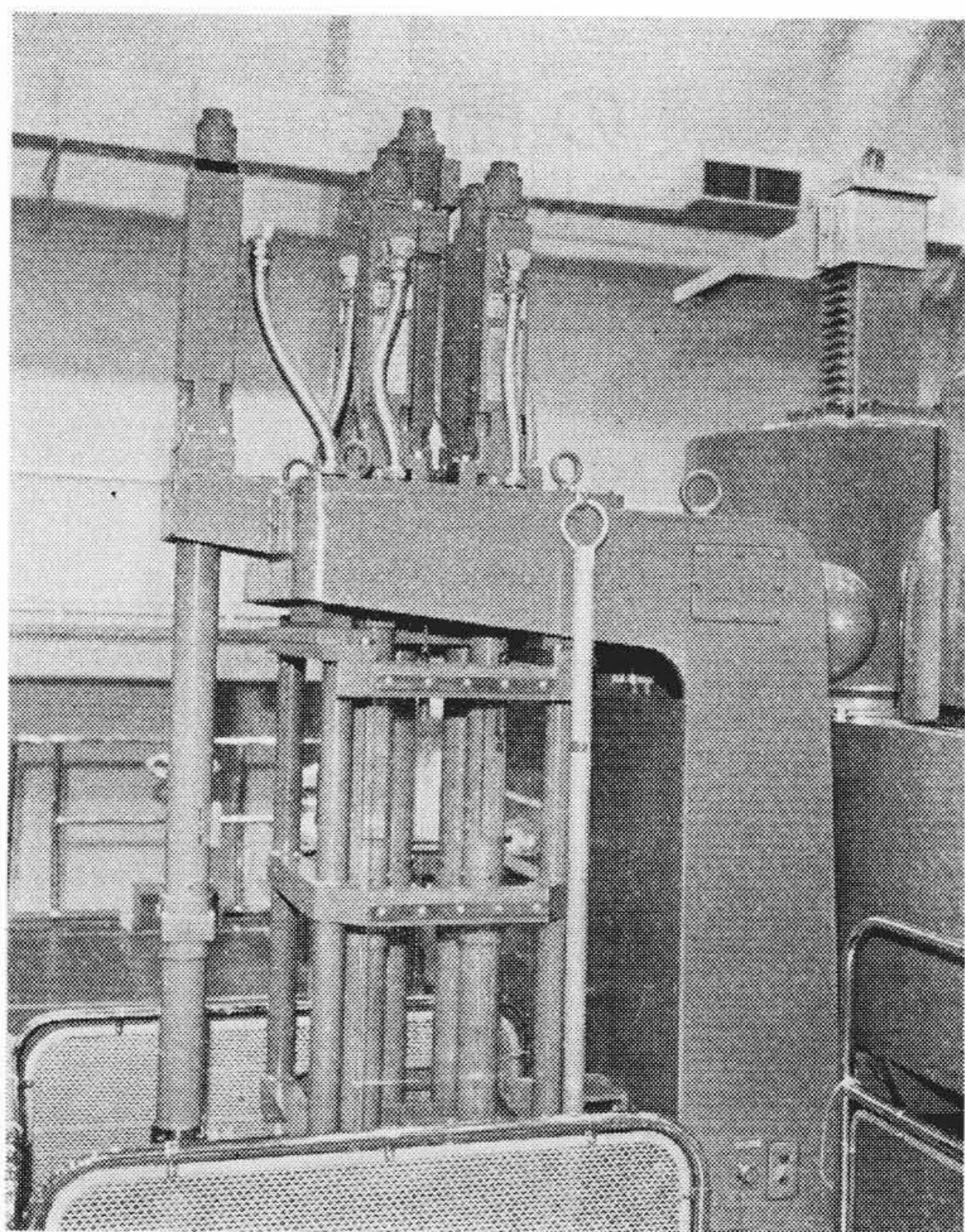
に分類することができる。以下これらの駆動機構について構造、特長ならびに性能について述べることにする。

3.1 ワイヤドラム—電磁クラッチ形駆動機構

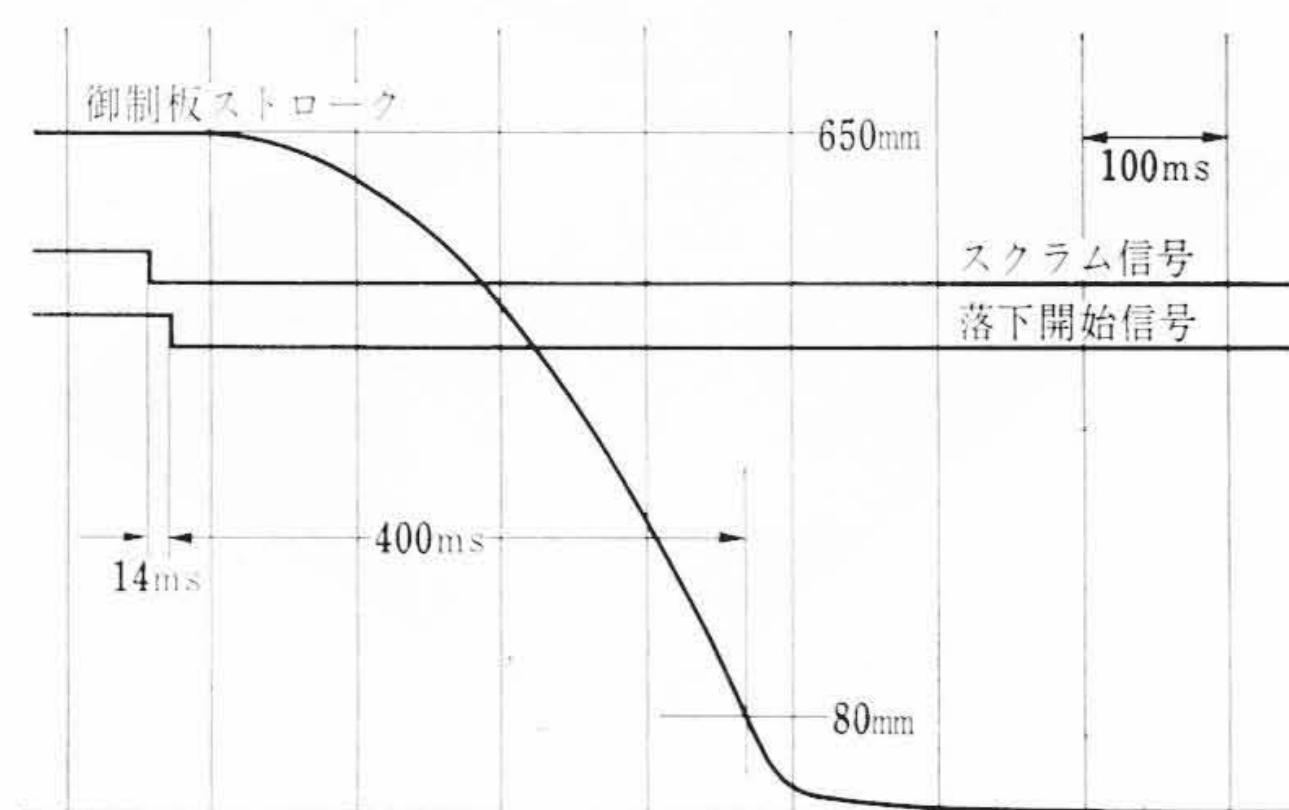
制御棒をステンレス鋼ワイヤでつり下げ、モータで駆動されるドラムに巻き取って常駆動を行ない、スクラム時にはモータとドラムとの間にある電磁クラッチを消磁して、制御棒をその自重により炉心に落下させる構造である。

ワイヤを用いているので、制御棒と駆動機構との相対位置が自由になり、炉心上部にたとえば実験用のスペースをとることが容易になる。また制御棒ストロークが長くても小形の駆動機構にまとめることができる特長を持っている。しかしスクラム動作は制御棒の自重を利用するので、スクラム落下加速度は原理的に1 g以上にならないばかりでなく、巻取りドラムや位置指示用のシンクロ発信機などを駆動させねばならず、スクラム速度をあげるには加速機構を付加する必要がある。

一例として第1図にOCF用の安全棒駆動機構の外観を示す。



第2図 JRR-4用制御棒駆動機構群



第3図 JRR-4制御棒スクラム特性

OCFでは制御棒ストロークが1,500mmであるが、駆動機構は300×450×350mmと小形化され、炉心上部は簡素化されて臨界実験に便利である。上記のスクラム速度をあげるために、この駆動機構では巻取りドラムに加速装置をつけ、またドラムに直結した精位置指示用のシンクロ発信機は機械的に切り離して、スクラム時の負荷とならないような構造としてある。

ワイヤドラム形駆動機構として現在までに製作されたものは上記OCF用のほか東大SCA, HTR, JRR-4後備安全機構など合計12基である。

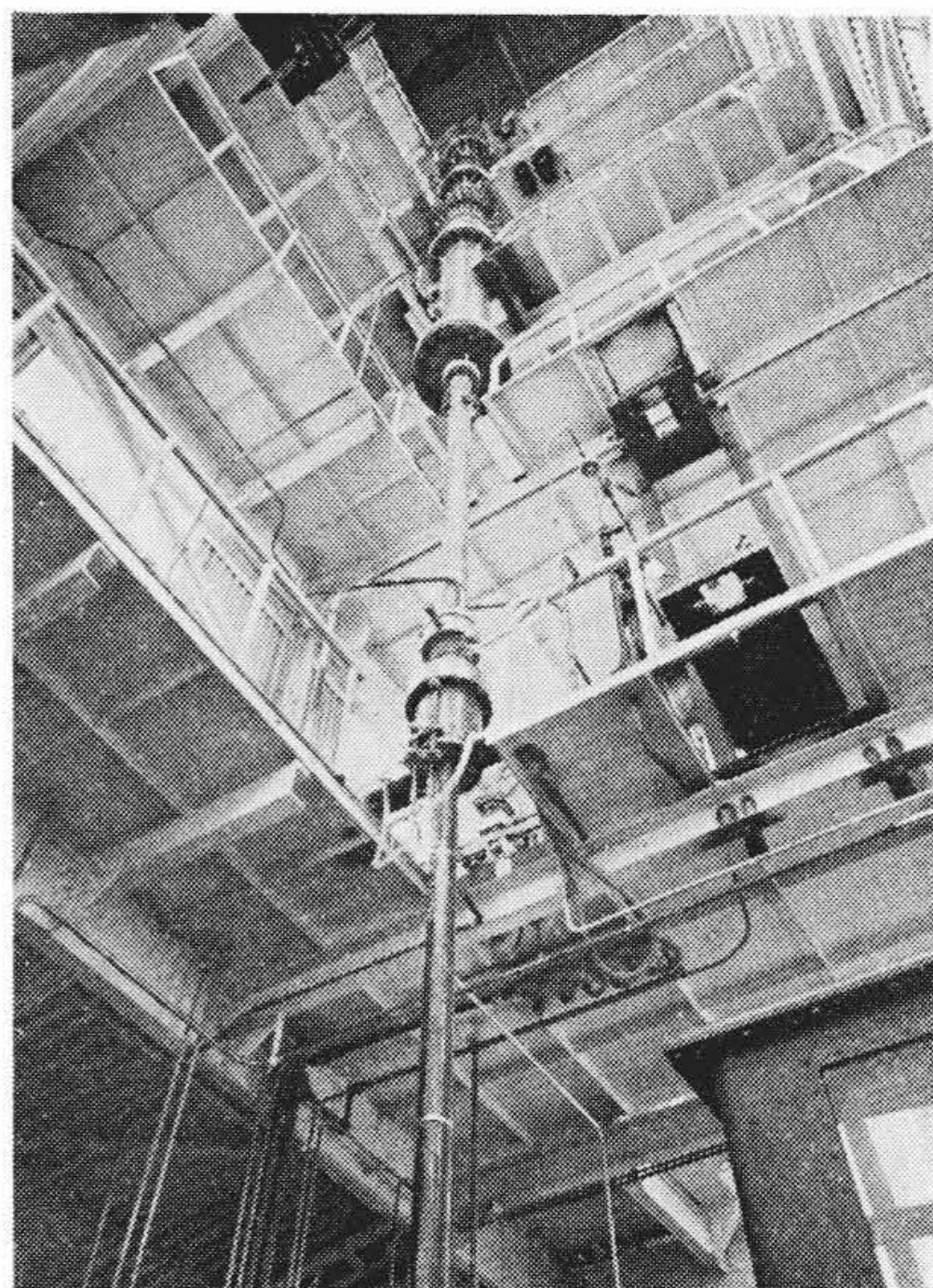
3.2 ネジナット—保持電磁石形駆動機構

制御棒のストロークと同じ長さのネジ部をもった駆動棒をモータで上下に駆動し、その下端に保持電磁石をつけて制御棒を吸着させておき、スクラム時には保持電磁石を消磁して、制御棒を炉心に落下させる構造である。

制御棒と駆動機構とは一直線上にあり、また駆動機構は長尺物となるが、ワイヤの伸びのような心配がなく、スクラム時の落下速度もワイヤドラム形の駆動機構に比べて大きくしやすい。また必要とあれば加速装置をつけることにより、1g以上の加速度を得ることも可能である。設計製作にあたって特に考慮がはらわれた点は、保持電磁石切離し遅れ時間の短縮と、スクラムストローク終端での緩衝機構である。

一例として第2図にJRR-4用の駆動機構群の外観を示す。

頂部のブレーキ付単相モータの回転は、ボールネジナットでストローク650mmの昇降運動に変換される。ボールナットに直結された駆動管の下端には保持電磁石が設けられアマチュアには粗調整安



第4図 BWR用駆動機構

全板など約40kgの荷重がかかっている。位置指示は粗精2組のシンクロ発受信機およびA-D変換器により、アナログおよびデジタル量にて行なうほか、各種のリミットスイッチが設けられている。スクラムは保持電磁石を消磁することによって行なわれ、ストローク終端80mmでは油圧による緩衝作用を行なわせている。

第3図にスクラム特性（工場内試験）の一例を示す。

スクラム指令が出てから制御棒が動き始めるまでの遅れ時間は14ms、緩衝器入口までに要する時間は0.40s、この間の平均落下加速度は0.73gであって、いずれも仕様を十分上まわった良好な特性を示している。

この形式で現在までに製作されたものは、試作10MW炉用、OCF調整棒用、JRR-4調整棒用および安全棒用、KUR用など合計15基である。このうち試作10MW炉用の駆動機構では、スクラム時に空圧による加速を行ない、平均落下加速度を1.12gと早めており、またOCF調整棒ではコードプレート式発信器を制御棒駆動軸に直結して、デジタル位置指示を行なわせている。

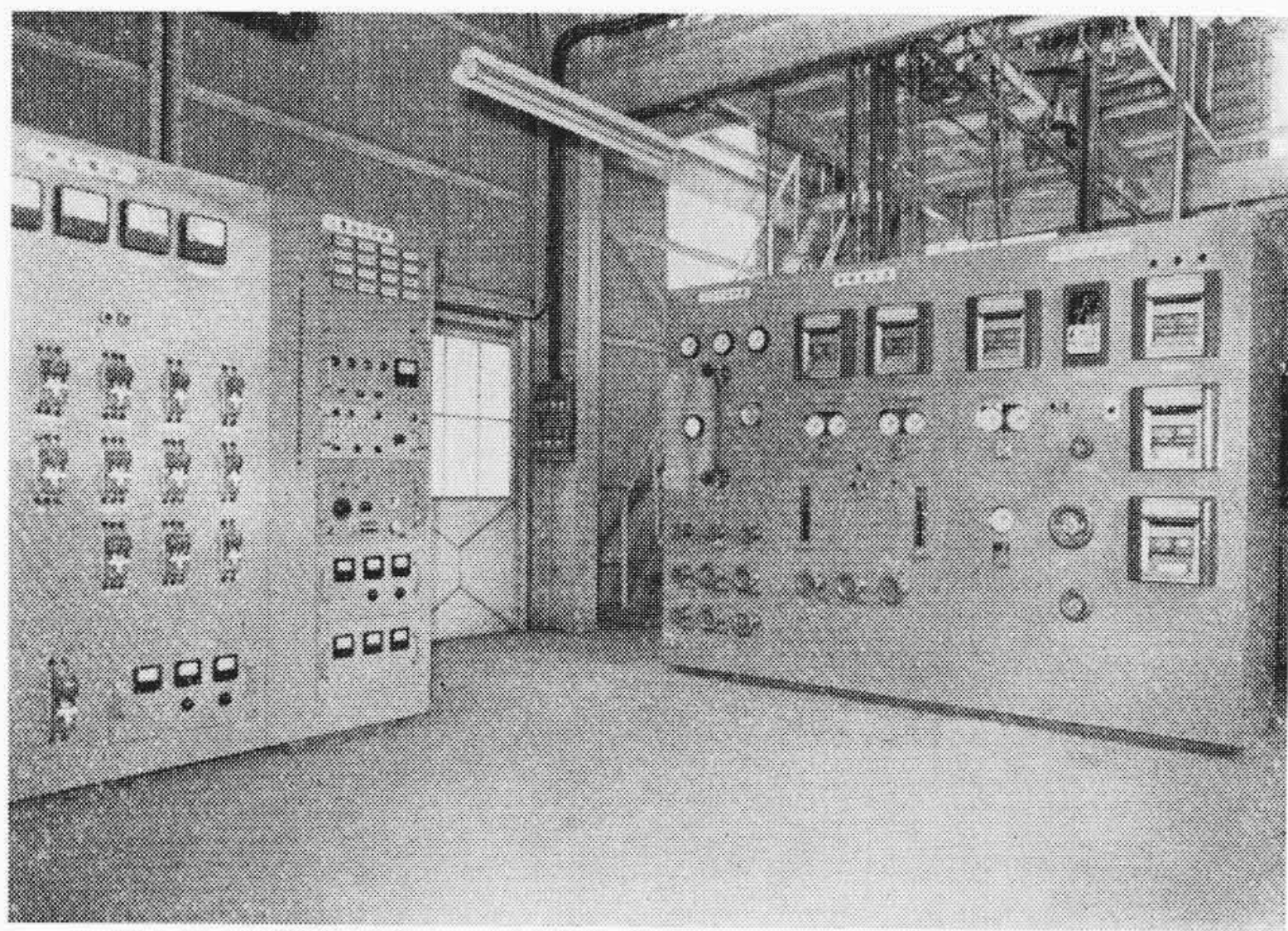
3.3 リラクタンスモーター水圧ピストン形駆動機構

上記はいずれも実験炉を対象とした駆動機構であるが、BWR形動力炉用の駆動機構として試作したのが本形式である。BWRの場合には炉心上部に燃料交換のためのスペースがとれること、ボイドによる中性子束のひずみを矯正できることなどから、原子炉下部に駆動機構を設け、上方にスクラムさせるのが常識となっている。また制御棒は約70kg/cm²の圧力容器を貫通せねばならず、駆動機構に軸封部を設けるか、駆動機構全体を圧力容器内に封入する必要がある。

本試作品は完全無漏えいとするために、いっさいの可動部分を圧力容器内に封入するキャンド形とした。すなわち平常駆動源としては変速が自在で、極低速の回転数が得られ、しかも停止時に保持トルクを出し得る可変周波数駆動のキャンドリラクタンスモータを用い、スクラム駆動源としては高圧水を用いるピストン形式とした。また制御要素の位置指示もキャンド形のシンクロを用いるほか、リミットスイッチも圧力容器外に設けたリードスイッチを、駆動軸に取り付けた永久磁石により作動させる方式としている。

第4図に圧力容器下端に取り付けた状態の駆動機構外観を、第5図に試験装置のパネル外観を示す。

平常駆動源としてリラクタンスモータを用いたので、ブレーキや減速機構が不要となり構造は非常に簡略化されている。電源周波数を0(直流)から2c/sの間で連続的に変更すると、制御要素は連続的にその昇降速度を変化し、調整棒として用いることも可能である。



第5図 駆動機構試験装置

スクラム動作は、ピストン下部にアキュムレータの高圧水を導くとともに、ピストン上部を低圧タンクにつなぎ、自動的に平常駆動時の駆動棒との結合を離して、約 150 kg の制御要素をストローク 2,500 mm 急速上昇させ、ストローク終端では、オリフィスによって緩衝作用を行なわせている。スクラム動作は、万一アキュムレータの高圧水がなくても、炉内圧力によってスクラムすることが可能になっており、またスクラム完了後、制御要素を保持するための後備安全機構として、リラクタンスマータに 15 c/s の電源を投入し、駆動棒を急速そう入させるようにもしている。

平常駆動時の試験としては、静的な特性のみでなく動的な特性をもは握するために、低周波電源装置を含めた駆動系の過渡応答試験および周波数応答試験を行なった。また低周波電源としては、抵抗式のものとインバータ式のものの両者について比較検討を行なった。

スクラム特性の測定は光学的なパルスによったが、ストロークの 10% そう入までの時間は 0.36 s、90% そう入までの時間は 2.32 s、最大速度は 1.4 m/s であった。これらの値は各部の改造によりさらに改善できる見通しを得ている。

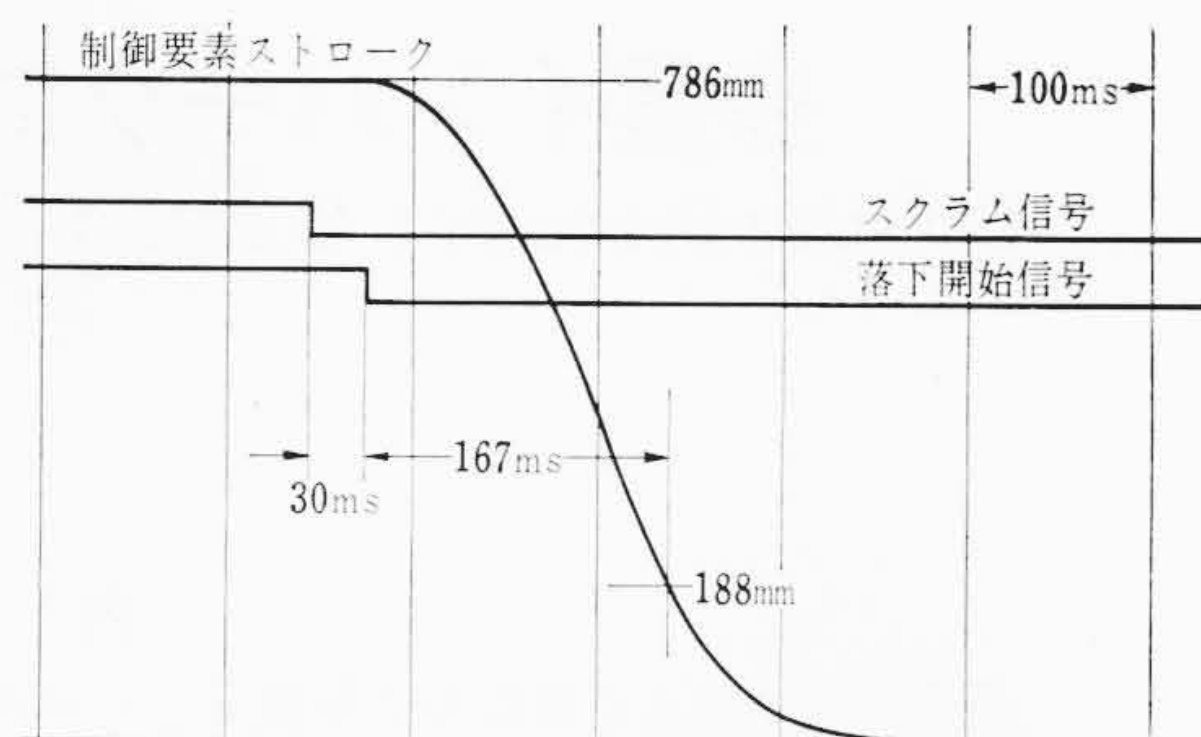
リラクタンスマータ形駆動機構としては、このほか JMTR 駆動機構(第2案)があり、現在までの製作台数は2基である。

3.4 ネジナットボールラッチ形駆動機構

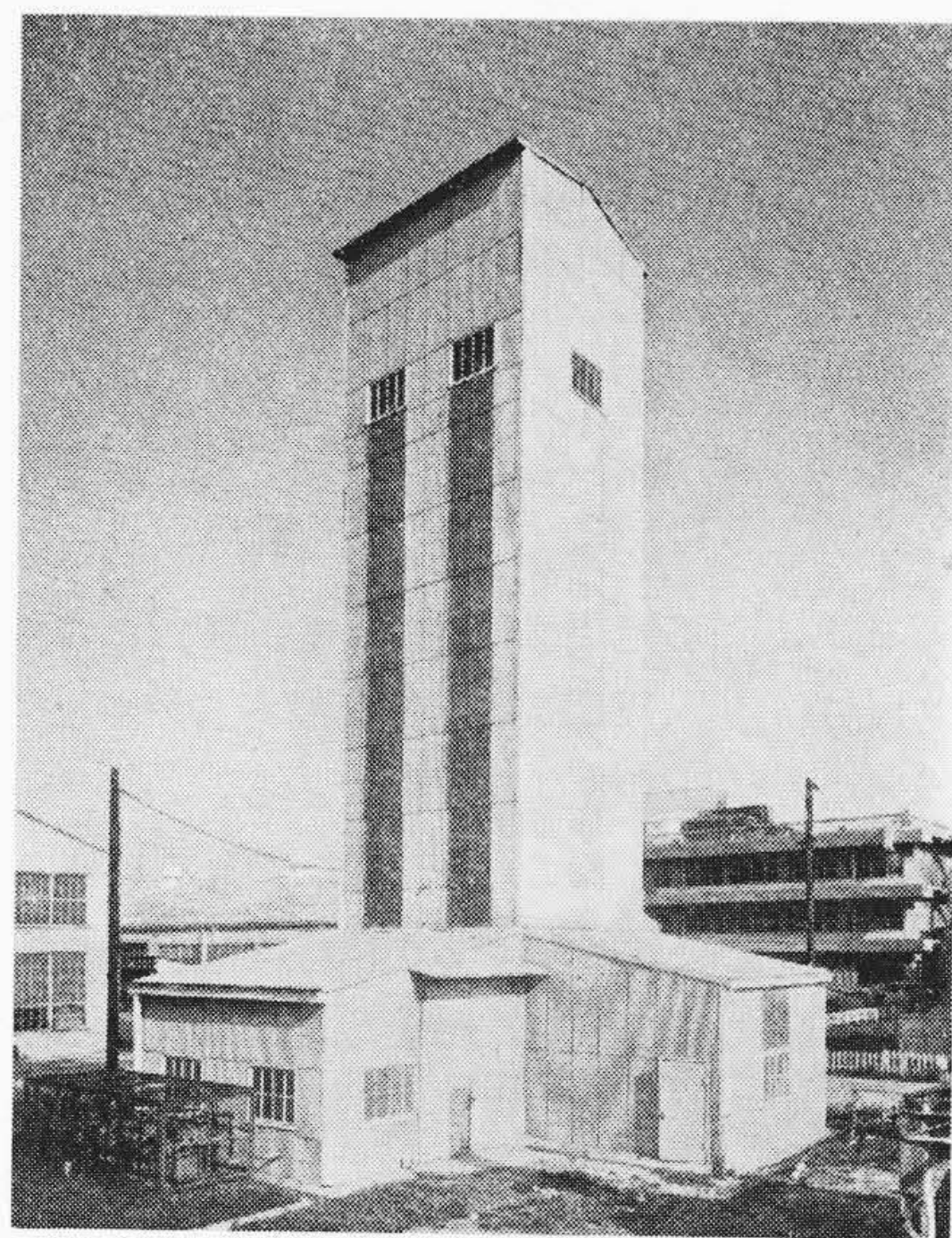
JMTR 用の駆動機構はこれまでの駆動機構と異なり、下記のように特殊な要求がいくつか課せられているので、上述とは異なった形式の駆動機構の開発が必要であった。すなわち

- (1) 1本の制御要素を、安全棒としても微調整棒としても切り換えて使用できるようにし、安全棒としてのストローク 800 mm 中の任意の点を中心として、100~250 mm (可変) を微調整棒としてのストロークにすることができ、これを越えようとするときは電氣的ならびに機械的にその動きをとめること。
- (2) 駆動機構は圧力容器下部に取り付けられるが、制御要素は重力方向にスクラムすること。なお制御要素の燃料体部には流速 10 m/s の冷却水を下向きに流すので、駆動機構はこれに耐えること。
- (3) スクラム時の切離し遅れ時間は 40 ms 以下、平均落下加速度は 1 g 以上、スクラム完了時の衝撃は燃料体部を害しないよう十分小さくすること。

以上の要求を達成するため、駆動部に誘導電動機とサーボモータをそなえて切り換え使用し、さらにリミット装置をそなえて、微調整棒としてのストロークの可変ならびに電氣的、機械的インターロックを行なわせている。スクラム機構の制御要素の自重は約 25 kg



第6図 JMTR 制御要素スクラム特性



第7図 駆動機構試験塔

であるが、水流力および炉内圧がかかるために駆動機構にかかる荷重は 250 kg 以上となるので、保持電磁石とせずボールラッチ形として間接的な切離し機構としている。

スクラム特性の一例を第6図に示す。制御要素が動き始めるまでのスクラム遅れ時間は 30 ms、スクラム速度は水流力をうけるため非常に速く平均落下加速度は 4.4 g、最大速度は 5.6 m/s に達している。緩衝器も良好な特性を示し、最大減速度は 15.8 g であって、仕様値を十分上回る性能を出し得ることが実証された。

以上は封水機構として軸封部をもった JMTR 駆動機構(第1案)であり、目下 JMTR 本体用として9基を準備製作中である。

以上種々の駆動機構について述べたが、これらはいずれも専用の駆動機構試験塔において性能を確認したものである。

第7図は試験塔の外観を示す。

4. 結 言

日立製作所における制御棒駆動機構の開発実績についておもな機構の例をあげて説明した。10 MW 実験炉用制御棒駆動機構の試作より開始した駆動機構の開発は、その後順調に発展し、JRR-4 など六つの原子炉に納入されて稼動を続けている。また動力炉用など今後の需要に対しても、即応できるよう試作研究を行っており、駆動機構の国産化に自信をつけることができた。

制御棒駆動機構は原子力プラントの最重要機器の一つとして、課せられた責務はきわめて大きい。したがって総合的な機能を十分に発揮するため、その基礎となる材料に関する研究、加工法に関する研究ならびに構成機器要素の研究なども含めて、今後さらに研究を続け、性能および信頼性の向上に努力するつもりである。

終わりにこれら駆動機構の設計、製作、試験、納入にあたって、種々ご指導、ご援助を賜った方々に対し厚くお礼申し上げます。