

電磁クラッチモータとその応用について

Magnetic Clutch Motor and Its Application

上 村 民 夫* 増 田 英 昌*

Tamio Kamimura

Hidemasa Masuda

内 容 梗 概

小形部品の自動加工機の駆動用として好適な、電磁石で操作されるクラッチおよびブレーキをモータと一体に構成した電磁クラッチモータを開発したので、その構造、性能などについて述べ、さらに用途・応用例を紹介した。

1. 緒 言

機械工業特に精密機械工業における小形部品加工の自動化のすう勢に伴い、これら自動機の駆動用として急速な起動・停止が可能で高ひん度の使用に耐える小形軽量のモータが要求されるようになった。こうした要求に応じるためわれわれは電磁石によって操作される円板形摩擦クラッチおよびブレーキとモータ本体を一体構成とした電磁クラッチモータの開発研究を行ない、数次の改良を経て実用の段階に達したのでその概要を説明する。

2. 電磁クラッチモータの構造

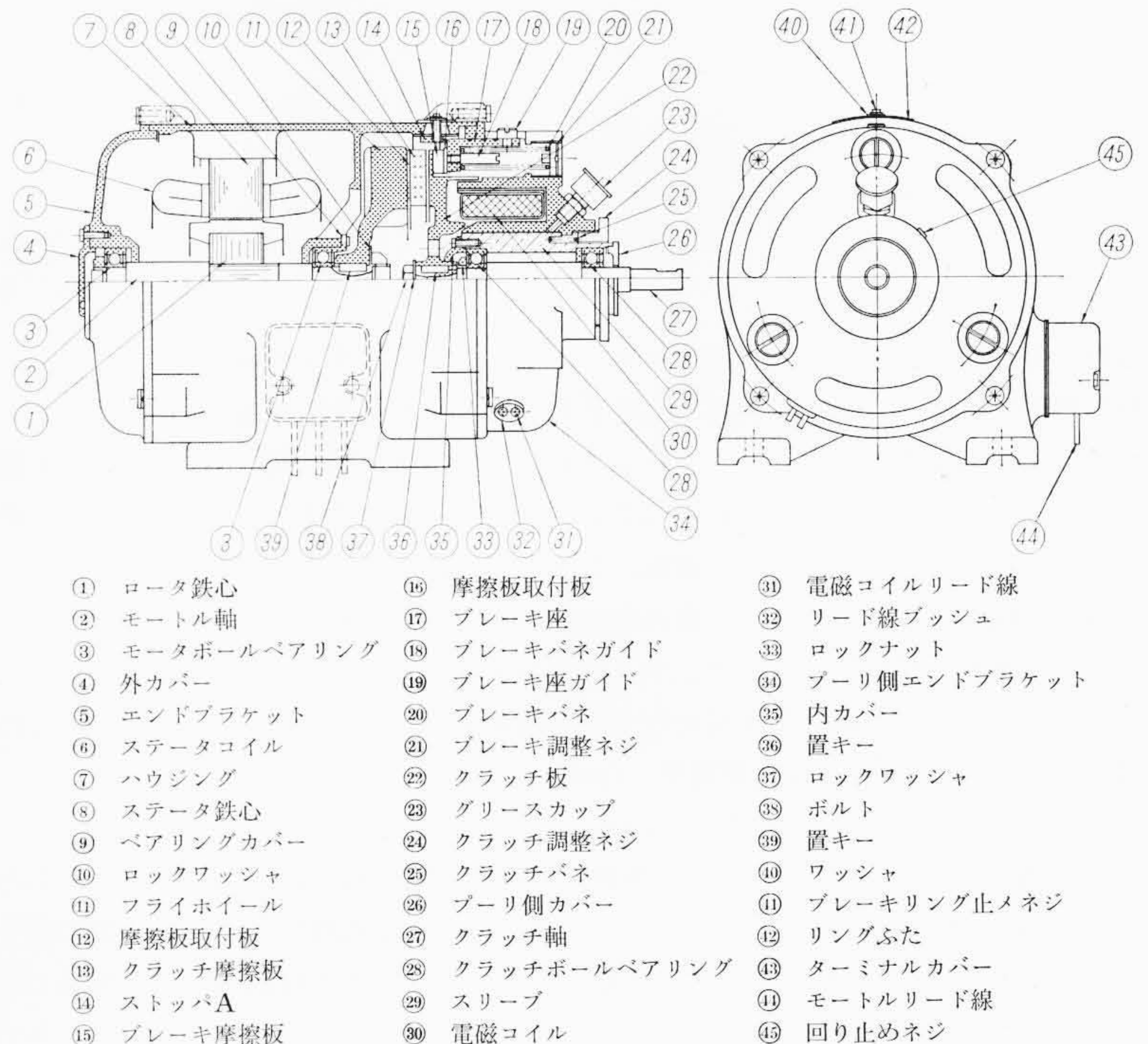
本機は一個の静止形直流電磁石で単板式摩擦クラッチを操作する方式のものである。第1図にその構造を、第2図にその機構を示す。モータ軸とクラッチ軸とは全く別個になっており、これらを一直線上に配置してそれぞれ2個のボールベアリングで支持してある。モータ部分は普通の汎用モータと同じであるが、モータ軸のクラッチ側端部に固定されたフライホイールにはクラッチ摩擦板が取り付けられている。またクラッチ軸のモータ側端部にはクラッチ板が取り付けられており、クラッチ摩擦板と対向して単板式円板クラッチを形成するとともに、反対側はブレーキ座に取り付けられた円環状のブレーキ摩擦板と対向して円板ブレーキを形成している。クラッチ板の内周部には二重の円筒状突出部があり、電磁コイルを支持しているプーリ側エンドブラケットの突出部との間に電磁石の磁路を形成している。したがって電磁コイルを励磁すれば、クラッチ板はブレーキ側に吸引される。ブレーキ座はプーリ側エンドブラケットの内周部を軸方向にしゅう動し回転しないように支持されており、等間隔に配置された3個のブレーキバネによってハウジングに設けられたストップAの位置まで押し出されている。クラッチ軸はボールベアリングを介して、軸方向にしゅう動できるスリーブ内に納められている。スリーブはクラッチバネによりクラッチ側に押し出され、クラッチ板がクラッチ摩擦板に圧着している。なおクラッチバネの強さは調整ネジにより調整可能な構造になっている。負荷との結合は軸のしゅう動を妨げないように、一般にVプーリまたはスライドカップリングが用いられる。

クラッチおよびブレーキ部分の分解写真は第3図に示すとおりである。

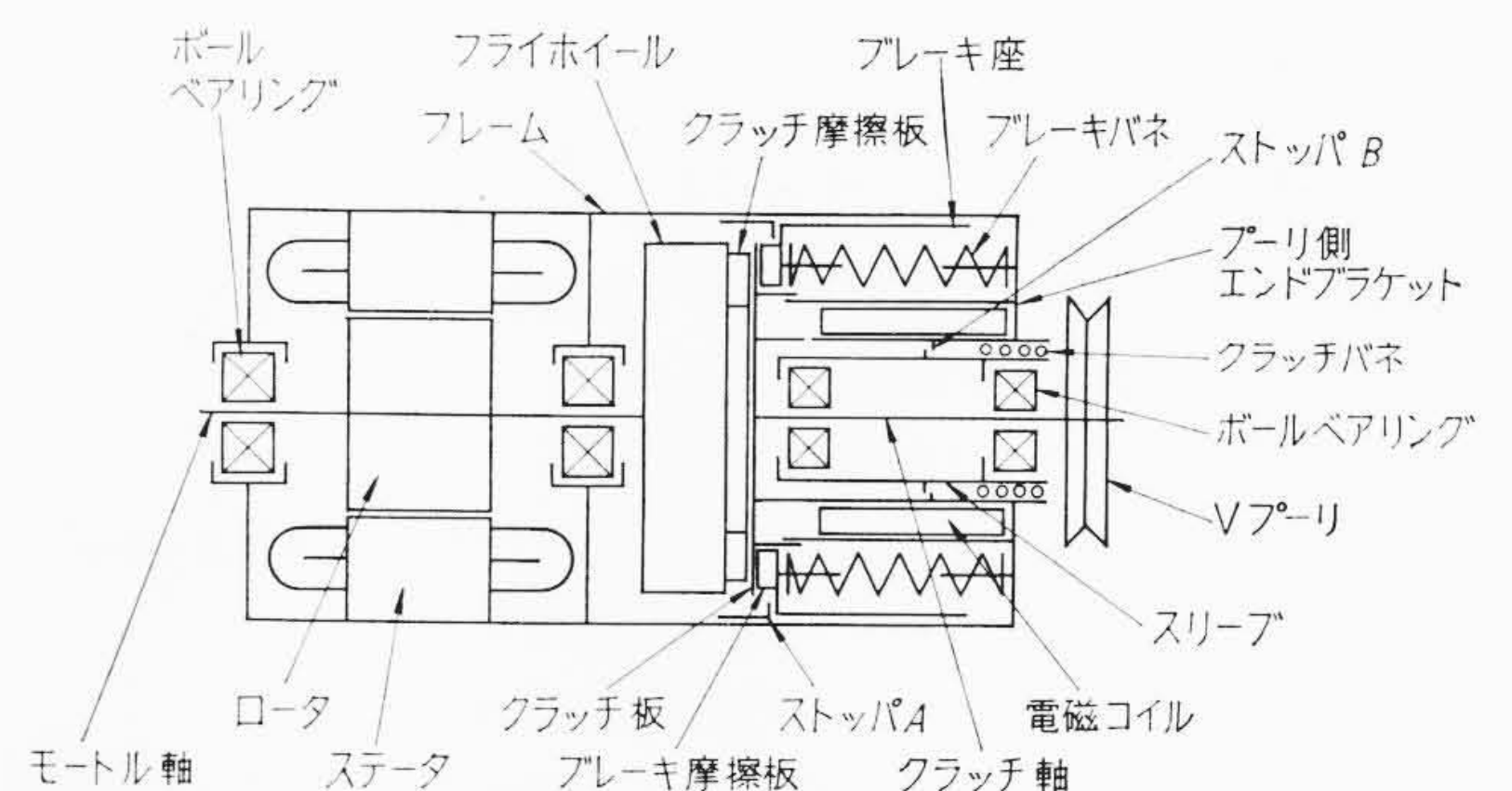
3. 動作原理

電磁コイルの励磁には直流を使用し、一般に200Vの交流電源か

* 日立製作所多賀工場



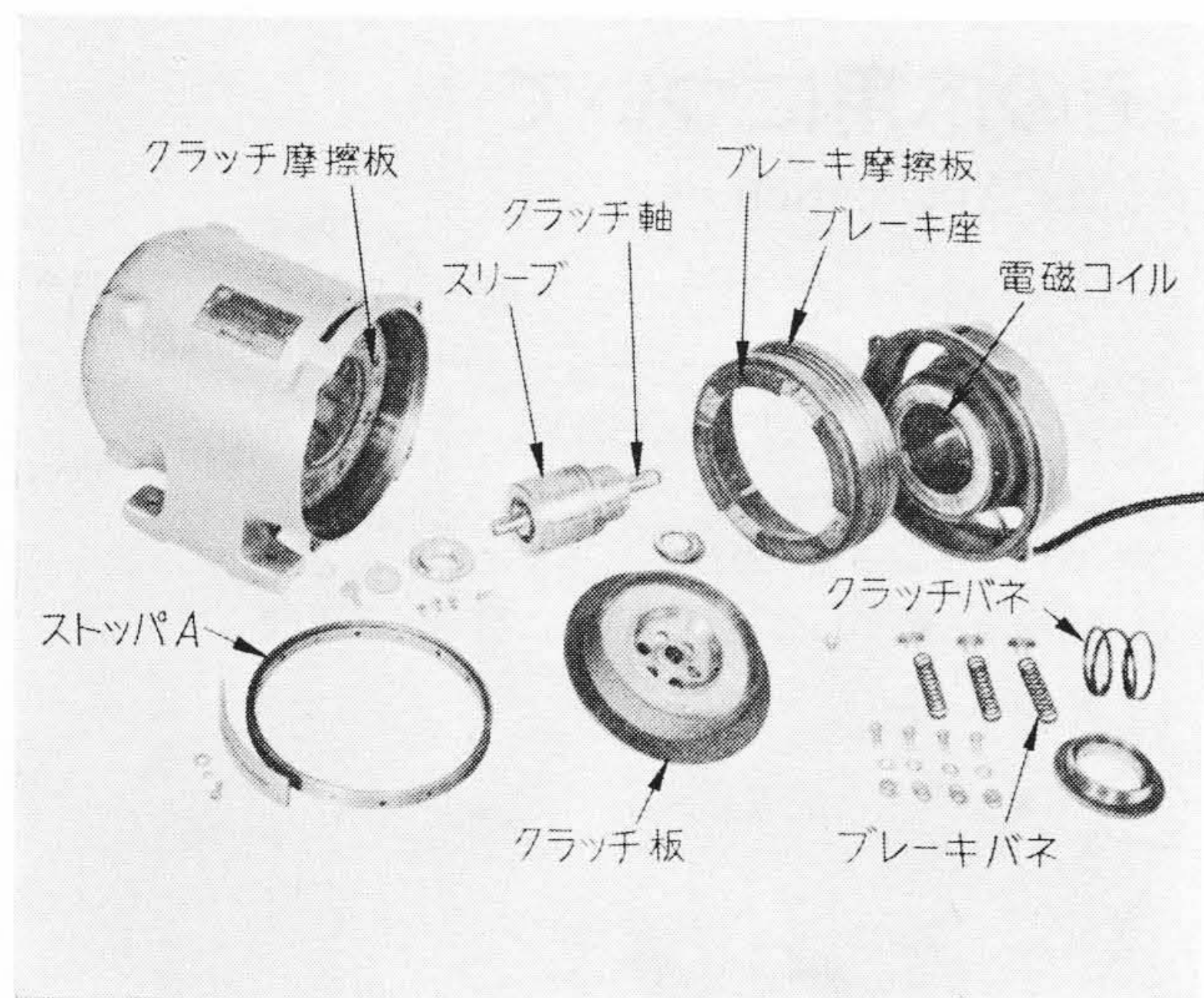
第1図 電磁クラッチモータの構造図



第2図 電磁クラッチモータの機構図

ら整流器を通じて整流し給電する。電磁クラッチモータは後述のように電磁コイルを励磁すればブレーキがかかり、励磁を断つとクラッチがはいる方式であるから、モータのスイッチを入れる前に電磁コイルを必ず励磁しておく必要がある。すなわち、最初に電磁コイルを励磁すればその電磁吸引力により、クラッチ板はクラッチバネを圧縮してブレーキ側に吸引され、クラッチ板がブレーキ摩擦板に圧着されてブレーキが作用した状態となる。ここでモータ側の電源を投入すると、クラッチ軸は回転せずモータのみが無負荷の状態では起動する。

負荷を始動するときには電磁コイルの励磁電流を遮断すれば、電



第3図 主要部の分解写真

磁吸引力は消失してクラッチ板はクラッチバネの力でクラッチ摩擦板に接触し、クラッチ軸が急速に起動する。停止するときには電磁コイルを励磁することにより、クラッチ板は反対にブレーキ側に吸引され、ブレーキ摩擦板に圧着されてクラッチ軸は急停止する。

以上のようにしてモートルは回転したままで、電磁コイルの励磁回路を断続することにより、負荷の急起動・急停止が可能である。

クラッチ軸が起動してから停止するまでの速度変化のようすはクラッチモートル⁽¹⁾の場合と同様になり概略第4図のようになる。

図で N_0 : モートルの無負荷速度 (rpm)

N_L : モートルの負荷速度 (rpm)

t_0 : クラッチ板とクラッチ摩擦板が接触しはじめた時間(s)

t_1 : モートル軸とクラッチ軸とが同じ速度になる時間(s)

t_2 : クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触しはじめた時間(s)

t_3 : クラッチ軸が停止する時間(s)

クラッチ軸の起動は、 t_0 より t_1 に至る一次起動と、 t_1 より速度 N_L に至るまでの二次起動とに分けられる。一次起動時のクラッチ軸の速度は(1)式で表わされる⁽²⁾。

$$N_c = \frac{30}{\pi} \left(\frac{T - T_L}{I_{LC} + I_P + I_{OC}} \right) t = \frac{30(T - T_L)}{\pi I_c} t \dots (1)$$

ここに t : クラッチ板とクラッチ摩擦板が接触しはじめた瞬間からの時間(s)

N_c : クラッチ軸の回転数(rpm)

I_{LC} : クラッチ軸に換算した負荷の慣性能率(kg・m・s²)

I_P : プーリの慣性能率(kg・m・s²)

I_{OC} : クラッチ板の慣性能率(kg・m・s²)

T : クラッチの伝達トルク(kg・m) = $\frac{2}{3} \mu_c P_{C2} \frac{\gamma_2^3 - \gamma_1^3}{\gamma_2^2 - \gamma_1^2}$

ただし μ_c : クラッチ板とクラッチ摩擦板との間の摩擦係数

P_{C2} : クラッチ係合時のクラッチバネ力(kg)

$2\gamma_1$: クラッチ摩擦板の内径(m)

$2\gamma_2$: クラッチ摩擦板の外径(m)

T_L : クラッチ軸に換算した負荷の摩擦トルク(kg・m)

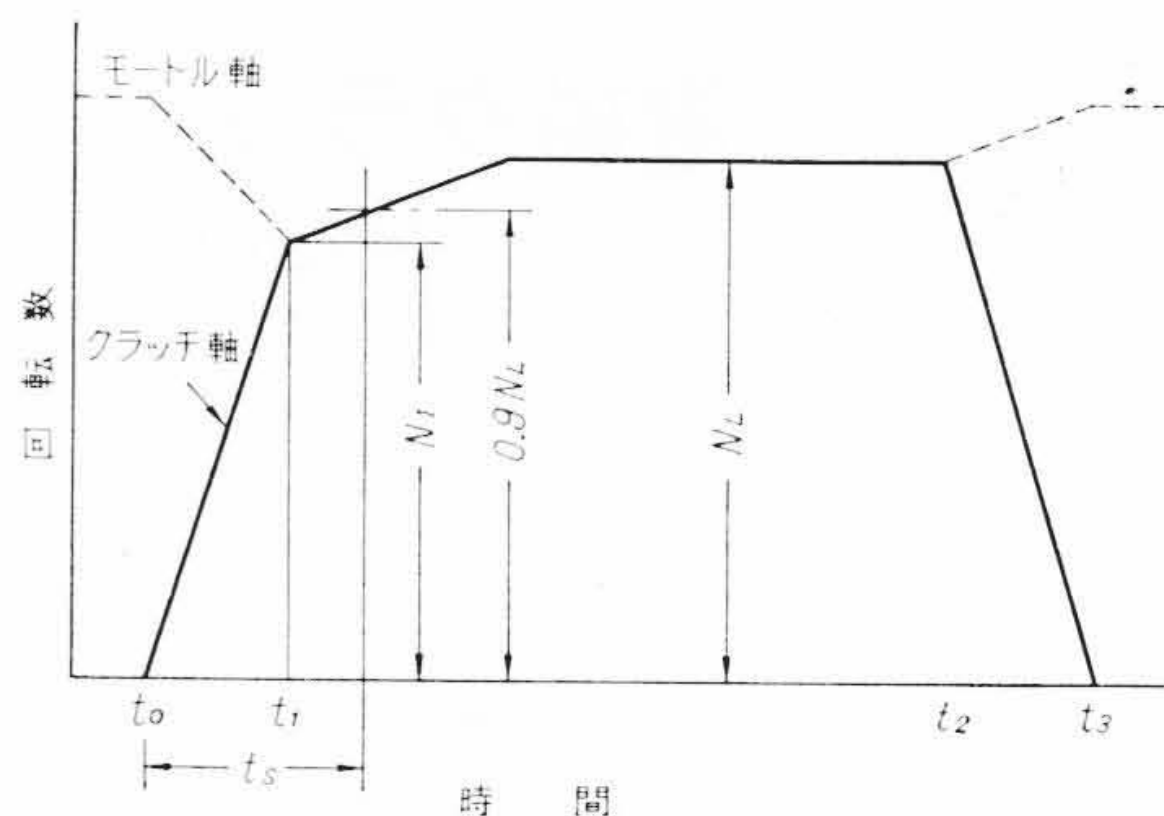
I_c : クラッチ軸にかかる全慣性能率(kg・m・s²)

また一次起動時のモートル軸の速度は近似的に(2)式で表わされる⁽²⁾。

$$N_m = N_0 - \frac{T}{\alpha} \left(1 - e^{-\frac{30\alpha}{\pi I_m} t} \right) \dots (2)$$

ここに N_m : モートル軸の回転数(rpm)

α : $T_m = \alpha(N_0 - N_m)$ とせる場合の定数



第4図 モートル・クラッチ軸の速度変化

ただし T_m : モートルのトルク(kg・m)

二次起動特性は(3)式で表わされる⁽²⁾。

$$N'_m = N_0 - \frac{T_L}{\alpha} + c e^{-\frac{30\alpha}{\pi I} t} \dots (3)$$

ここに N'_m : モートル軸とクラッチ軸とが一体化せる後の両軸の回転数(rpm)

c : 第4図の t_1 , N_1 の値によって定まる定数

I : モートルおよびクラッチ軸の全慣性能率(kg・m・s²)

第4図で t_0 より負荷速度 N_L の90%の速度に達するまでの時間 t_s を起動時間とする。

ブレーキ動作時には、クラッチ軸は(4)式に従って急停止する⁽³⁾。

$$N_c = N_0 - \frac{T_L}{\alpha} - \frac{30(T_b + T_L)}{\pi I_c} t' \dots (4)$$

ここに T_b : ブレーキトルク(kg・m)

t' : クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触し始めた時からの時間(s)

ところがブレーキトルク T_b はクラッチ板とブレーキ摩擦板との間に働く力によって異なってくる。クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触した瞬間の電磁吸引力 P_{m1} とクラッチバネ力 P_{C1} およびブレーキバネ力 P_{b1} との関係は、次の二式のうちのいずれかで表わされる。

$$P_{C1} + P_{b1} < P_{m1} \quad \text{または} \quad P_{C1} + P_{b1} \geq P_{m1}$$

ここに P_{C1} : クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触した時のクラッチバネ力(kg)

P_{b1} : クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触した時のブレーキバネ力(kg)

P_{m1} : クラッチ板がブレーキ摩擦板に接触した時の電磁吸引力(kg)

一般的にはクラッチバネ力、ブレーキバネ力および電磁吸引力を P_{Cx} (kg), P_{bx} (kg), P_{mx} (kg) で表わす(それぞれ電磁石の空けき長に対する変数であり、添字 $x=0$ はストッパB接触時, $x=1$ はブレーキ摩擦板接触時, $x=2$ はクラッチ摩擦板接触時, $x=3$ は電磁吸引力とクラッチバネ力がつり合った場合を表わす)。

(a) $P_{C1} + P_{b1} < P_{m1}$ の場合

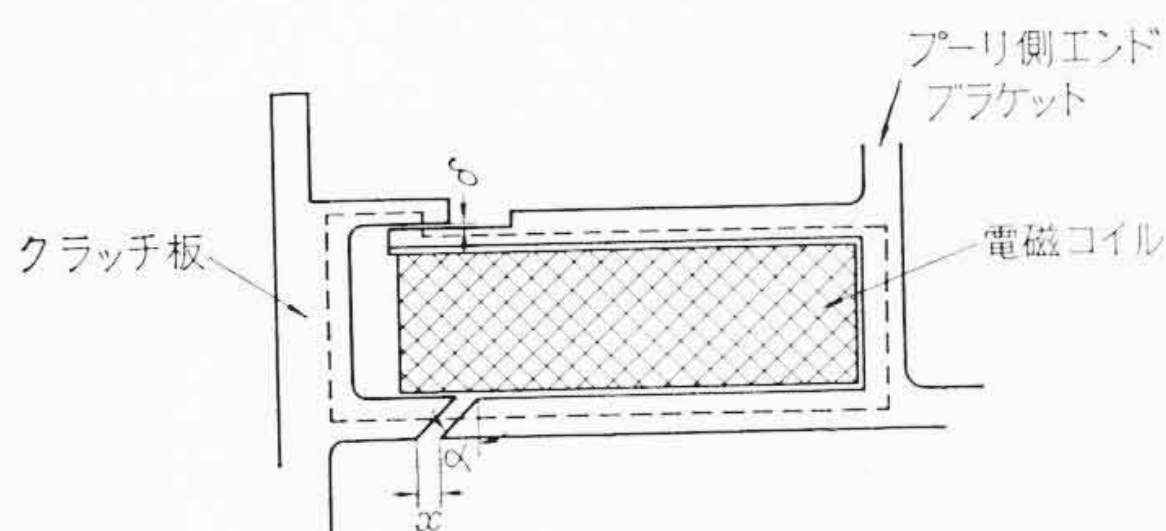
電磁石の吸引力がクラッチバネ力とブレーキバネ力との和より大きいのであるから、クラッチバネおよびブレーキバネは圧縮されて電磁吸引力とバネ力とが等しくなる点あるいはスリーブがストッパBにあたった点で停止する。このときクラッチ板とブレーキ摩擦板との間に作用する力はブレーキバネ力 P_{bx} に等しくなるから、ブレーキトルク T_b は次式で表わされる。

$$T_b = \frac{2}{3} \mu_b P_{bx} \frac{\gamma_4^3 - \gamma_3^3}{\gamma_4^2 - \gamma_3^2}$$

ここに μ_b : クラッチ板とブレーキ摩擦板との間の摩擦係数

$2\gamma_3$: ブレーキ摩擦板の内径(m)

$2\gamma_4$: ブレーキ摩擦板の外径(m)



第5図 電磁石部の断面詳細図

(b) $P_{C1} + P_{b1} \geq P_{m1}$ の場合

クラッチ板とブレーキ摩擦板との間に作用する力は、電磁吸引力 P_{mx} からクラッチバネの力 P_{C1} を差し引いたものとなる。したがってブレーキトルクは次式で表わされる。

$$T_b = \frac{2}{3} \mu_b (P_{m1} - P_{C1}) \frac{r_4^3 - r_3^3}{r_4^2 - r_3^2}$$

電磁石部の実際の形状は第5図に示すとおりであり、しゅう動部の摩擦抵抗を無視すれば電磁吸引力 P_{mx} は次のようになる⁽⁴⁾。

$$P_{mx} = F_1 + F_2 = 0.102 \left(\frac{dW_1}{dx} + \frac{dW_2}{dx} \right)$$

ここに F_1 : 円すい状空げきにおける吸引力(kg) W_1 : 円すい状空げきにおける電磁エネルギー(J) x : 円すい状空げきの軸方向長さ(m) F_2 : 外周部空げき δ における吸引力(kg) W_2 : 外周部空げき δ における電磁エネルギー(J)

ところが外周部空げき δ における吸引力 F_2 は、実用範囲では F_1 に比して小さいのでこれを無視することができる。したがって

$$P_{mx} \doteq 0.102 \frac{dW_1}{dx} = - \frac{0.051}{\cos^2 \alpha} U^2 \frac{\mu S}{x^2}$$

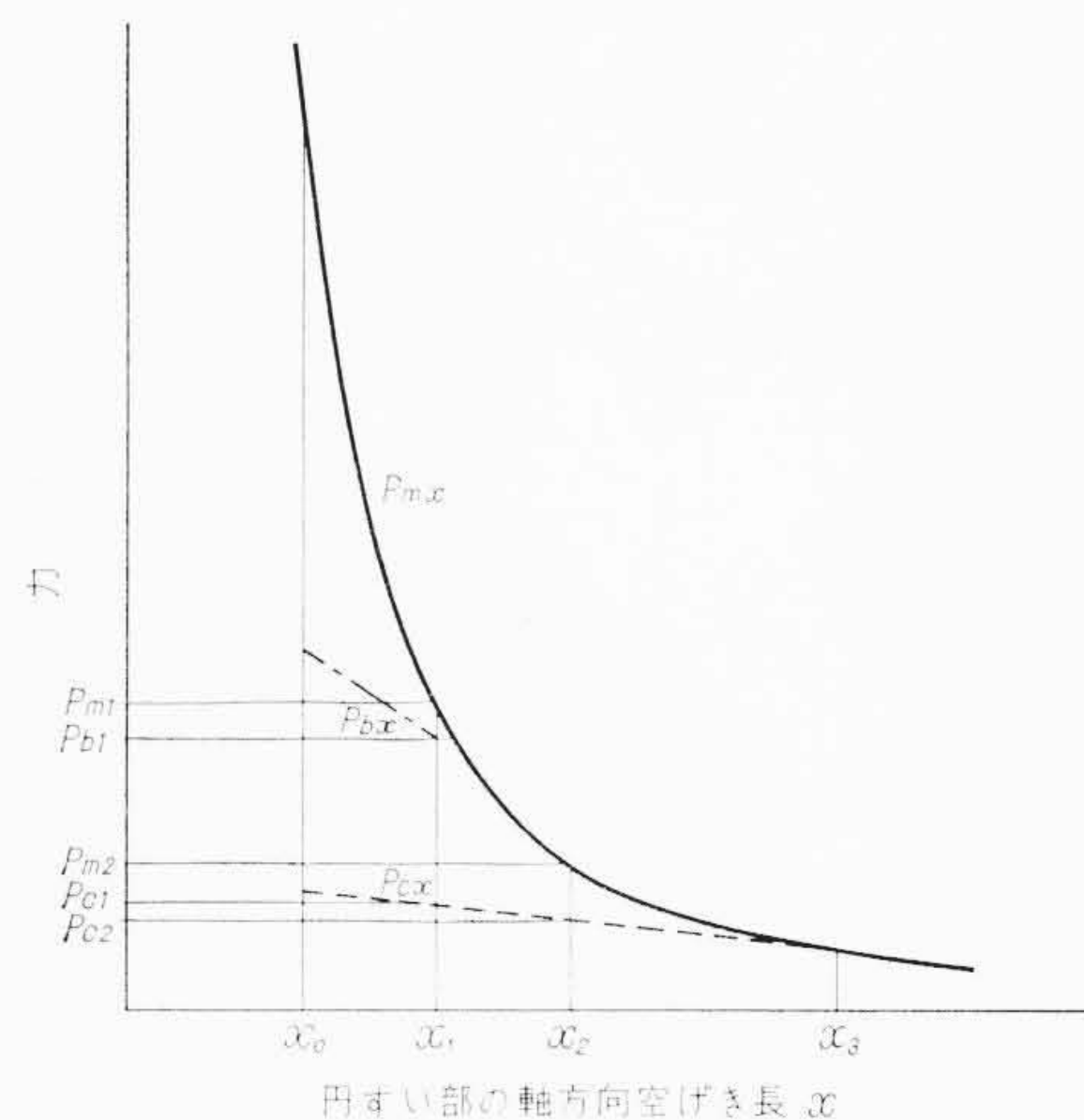
ここに α : 円すいの角度 U : 電磁コイルの励磁アンペアターン μ : 空気の透磁率 S : 円すいの軸と直角方向の断面積(m²)

本モートルの場合には騒音・振動などの問題により直流電磁石を使用しているから、励磁アンペアターンはほぼ一定になる。したがって電磁吸引力は P_{mx} は空げき長 x の自乗に反比例して変わることになる。

以上のようにクラッチの起動特性を支配する三つの要素⁽³⁾,

(1) クラッチ伝達トルク T (2) モートル軸とクラッチ軸との慣性比 I_m/I_c (3) モートルの最大トルク T_m

のうち(1)のクラッチ伝達トルク T は、クラッチバネの推力 P_{C2} が大きいほど大きい、 P_{C2} を電磁石の吸引力 P_{m2} より大きくすれば、電磁コイルを励磁してもブレーキは動作しなくなる。このため確実に動作しすぐれた特性を発揮するためには、クラッチバネの強さ、電磁吸引力およびブレーキバネ強さの三者がバランスよく設計されていなければならない。これを図に表わすと第6図のように電磁吸引力 P_{mx} は空げき x の増加とともに急激に減少する双曲線状、クラッチバネ力 P_{Cx} およびブレーキバネ力 P_{bx} は右下がりの直線状になる。電磁コイルを励磁しないときは、空げき長 x_2 の点でクラッチバネ力 P_{C2} でクラッチがはいっている。電磁コイルを励磁すれば、 $P_{mx} - P_{Cx}$ の力で空げき長 x_1 へ移動し、外部クラッチがブレーキ摩擦板に接触してブレーキがかかる。図では $P_{C1} + P_{b1} > P_{m1}$ であるからストップBに接触する点 x_0 までは移動せず、 P_{m1} 相当のブレーキトルクが働くことになる。クラッチ摩擦板が摩耗してクラッチのはいる点が空げき長 x_3 になると、 P_{mx} と P_{Cx} とが等しくなりクラッチが切れなくなるので、再調整するかあるいはクラッチ摩擦板を交換しなければならない。ブレーキバネ力はブレーキ摩擦板の摩耗と



第6図 電磁吸引力とバネ力との関係

ともに減少し、 $P_{b1} + P_{C1} > P_{m1}$ の条件が変わらぬうちはブレーキトルクは変化しないのでブレーキバネ力を調整する必要はほとんどない。また調整条件によりスリップがストップBに当たる x_{20} の点まで移動してもブレーキ部の受ける力はブレーキバネ力 P_b のみであり、急激に増加せる電磁吸引力はストップB部で受け止められるので、ブレーキ部に大きな力がかかって繰り返し使用により破損する恐れは全くない。

4. 性能および特長

4.1 標準品の仕様

第1表に標準品仕様を示す。電磁コイルの直流電源がない場合にはセレン整流器などにより交流を整流して使用してもよい。

4.2 外観および外形寸法

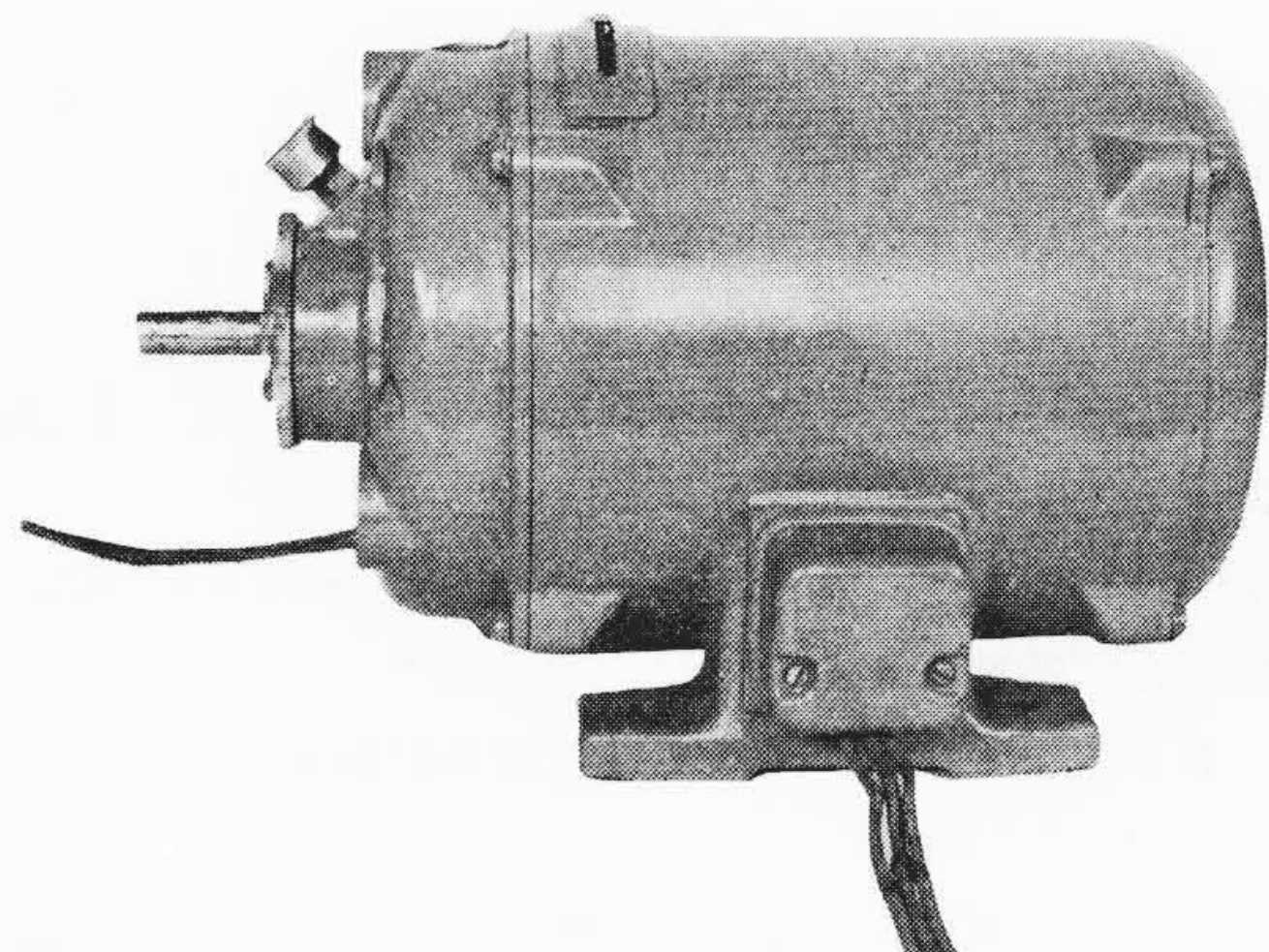
200W と 400W 電磁クラッチモートルの外観および外形寸法は全く同一でありこれらを第7図および第8図に示す。

4.3 性能

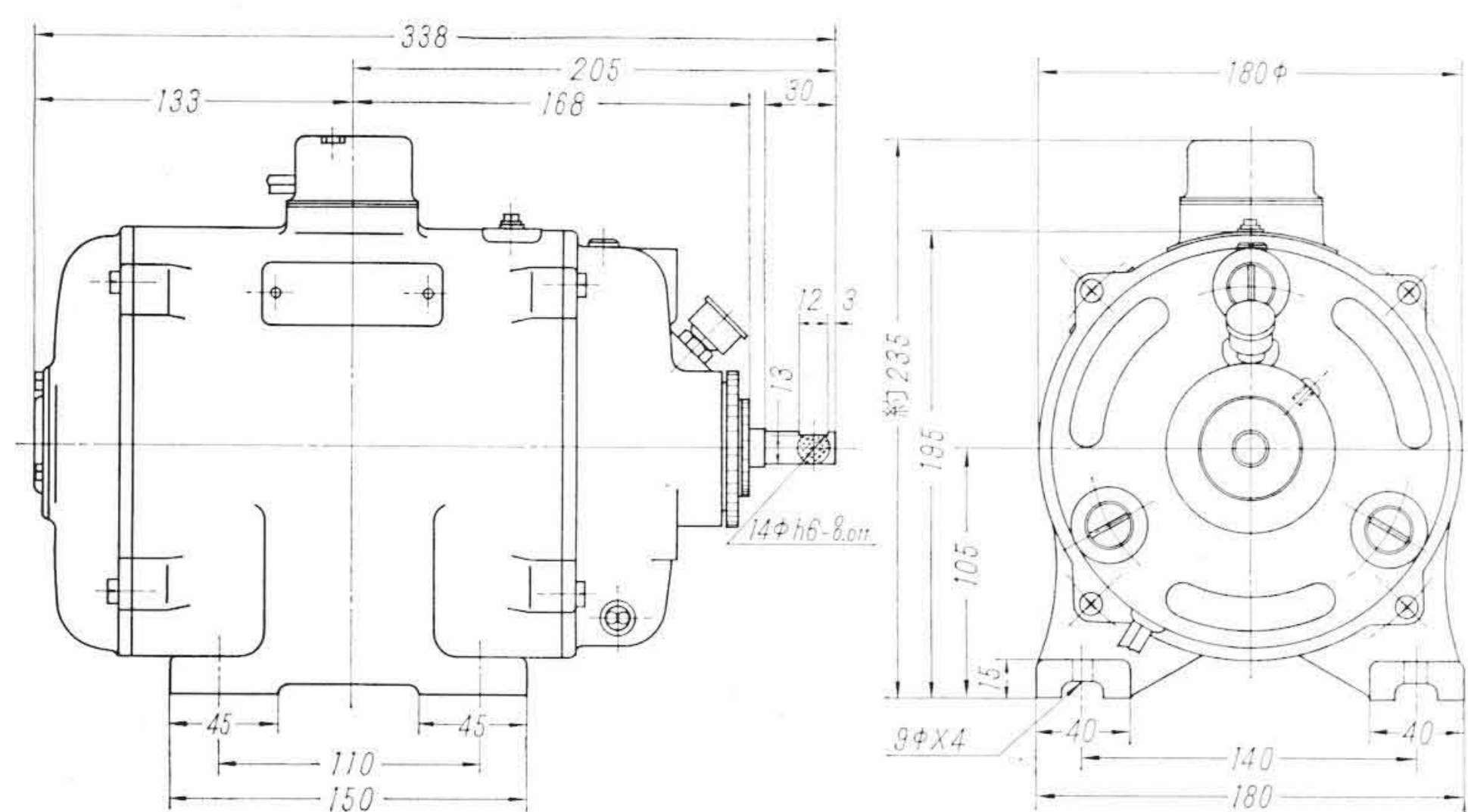
第2表に標準クラッチ特性を示す。ただしクラッチ伝達トルクは使用条件により多少は変更可能であり、ブレーキトルクは標準値の

第1表 電磁クラッチモートル仕様

モートル	出相形定極電周回	力数式格数圧数数	200 W	400 W
			三相 MGCLM-K 連続 2 200 V 50/60 ~ 2,800/3,370 rpm	三相 MGCLM-K 連続 2 200 V 50/60 ~ 2,840/3,410 rpm
電磁コイル	電定	源流格	直 流 0.35 A 連 続	直 流 0.35 A 連 続



第7図 200W, 400W 電磁クラッチモートル外観写真



第8図 200W, 400W 電磁クラッチモートル寸法図

第2表 標準クラッチ特性

項目	200 W 電磁クラッチモートル	400 W 電磁クラッチモートル
電圧 (V)	200	200
周波数 (c/s)	50 60	50 60
クラッチ伝達トルク (kg・m)	約 0.21	約 0.21
クラッチ伝達トルク (%)	300 360	150 180
ブレーキトルク (kg・m)	約 0.26	約 0.26
ブレーキトルク (%)	380 450	190 230
無負荷起動時間 (s)	約 0.4 約 0.5	約 0.3 約 0.4
無負荷ブレーキ時間 (s)	約 0.3 約 0.36	約 0.3 約 0.36

注：(1) 起動時間は定常回転数の90%速度に達するまでの時間である。
 (2) クラッチ伝達トルクとブレーキトルクの%表示のものは、定格トルクに対するものである。

90～120%の範囲に調整可能である。

4.4 特 長

おもなる特長をあげれば次のとおりである。

- (1) 負荷の急起動・急停止ができる。
- (2) 電磁コイルの電流の断続のみによって負荷の運転、停止ができるので、自動運転を容易に行なうことが可能である。
- (3) モートルは常時回転しているので、負荷の断続による電流変化が比較的少なく、モートル自身の起動・停止を行なう場合のように大きな起動電流が繰り返し流れることがない。このためモートルの温度上昇が低く、高ひん度の負荷の起動・停止に耐えることができる。また電源にフリッカなどの悪影響を及ぼすことがない。負荷の慣性能率が小さい場合には5～6秒程度のduty cycleまで可能である。
- (4) クラッチバネあるいはブレーキバネを調整して、クラッチ伝達トルクあるいはブレーキトルクを変えることができる。
- (5) クラッチ摩擦板およびブレーキ摩擦板には摩擦係数が大きく、しかも耐摩耗性のすぐれた特殊材料を使用している。

5. 用途および応用例

5.1 用 途

特性から考察して次のような用途が考えられる。

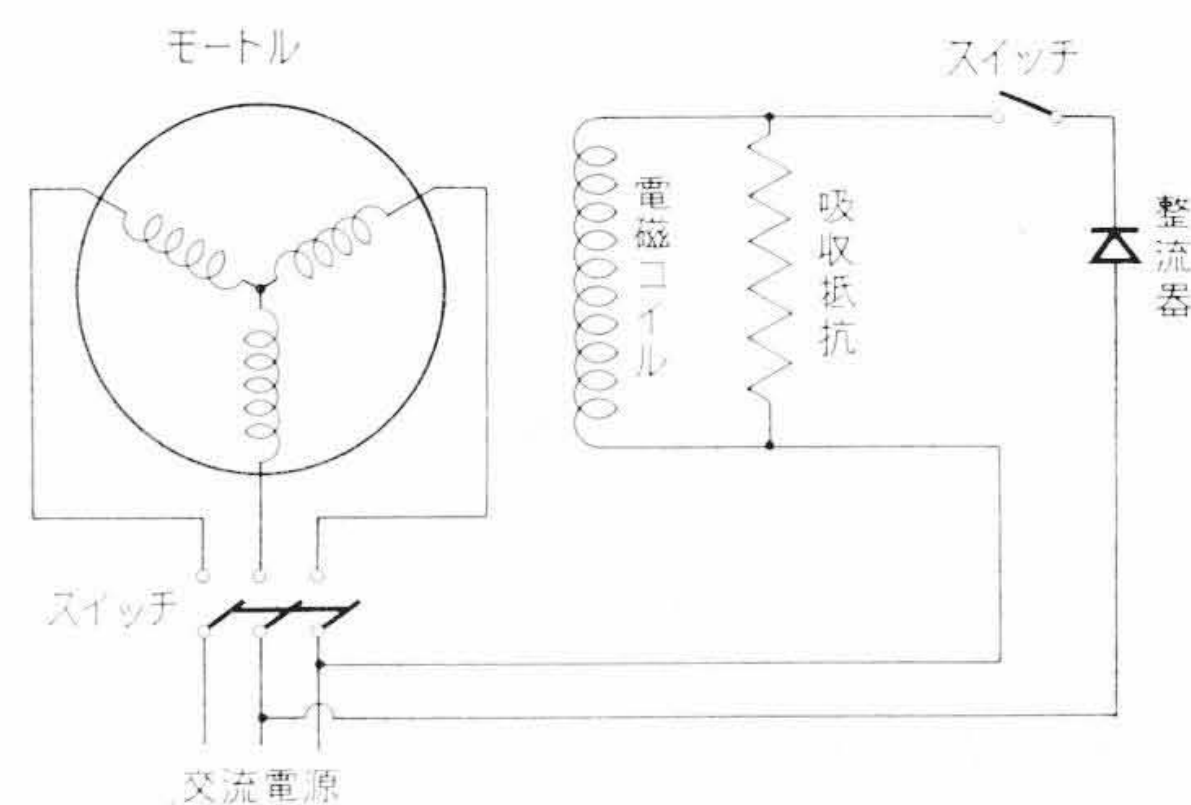
(1) 精密工作機械自動運転用

特にリミットスイッチなどを使用し、切削工程を自動制御する場合に有効である。

(2) クラッチモートルを電磁石で操作するほうが効果的な場合。たとえば特殊工業用ミシン

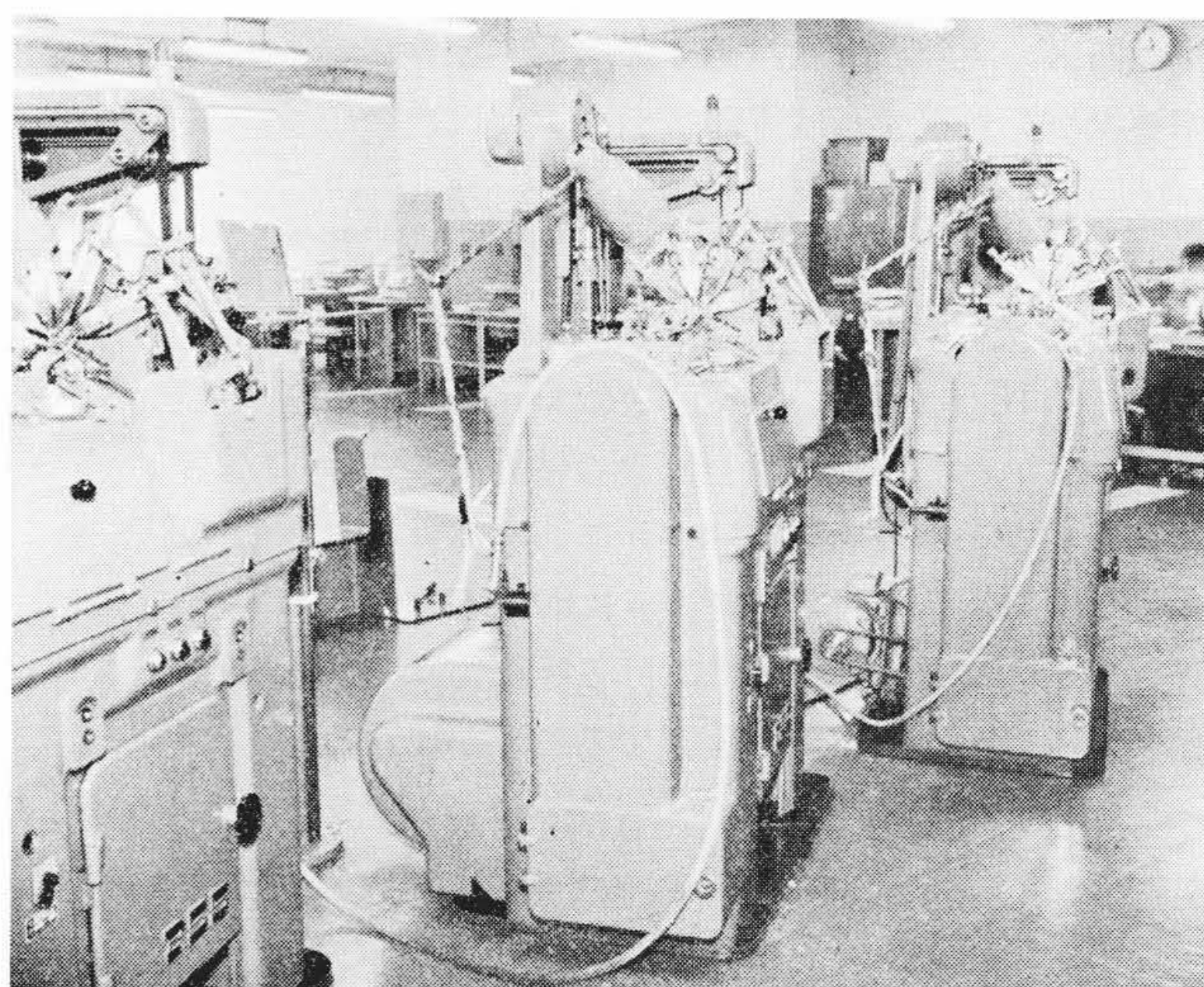
(3) ブレーキモートルでは高ひん度の起動・停止に耐えない場合。

(4) ブレーキモートルなどでは電源フリッカの問題になる場合
 特に同一電源で多数のブレーキモートルが運転される場合には

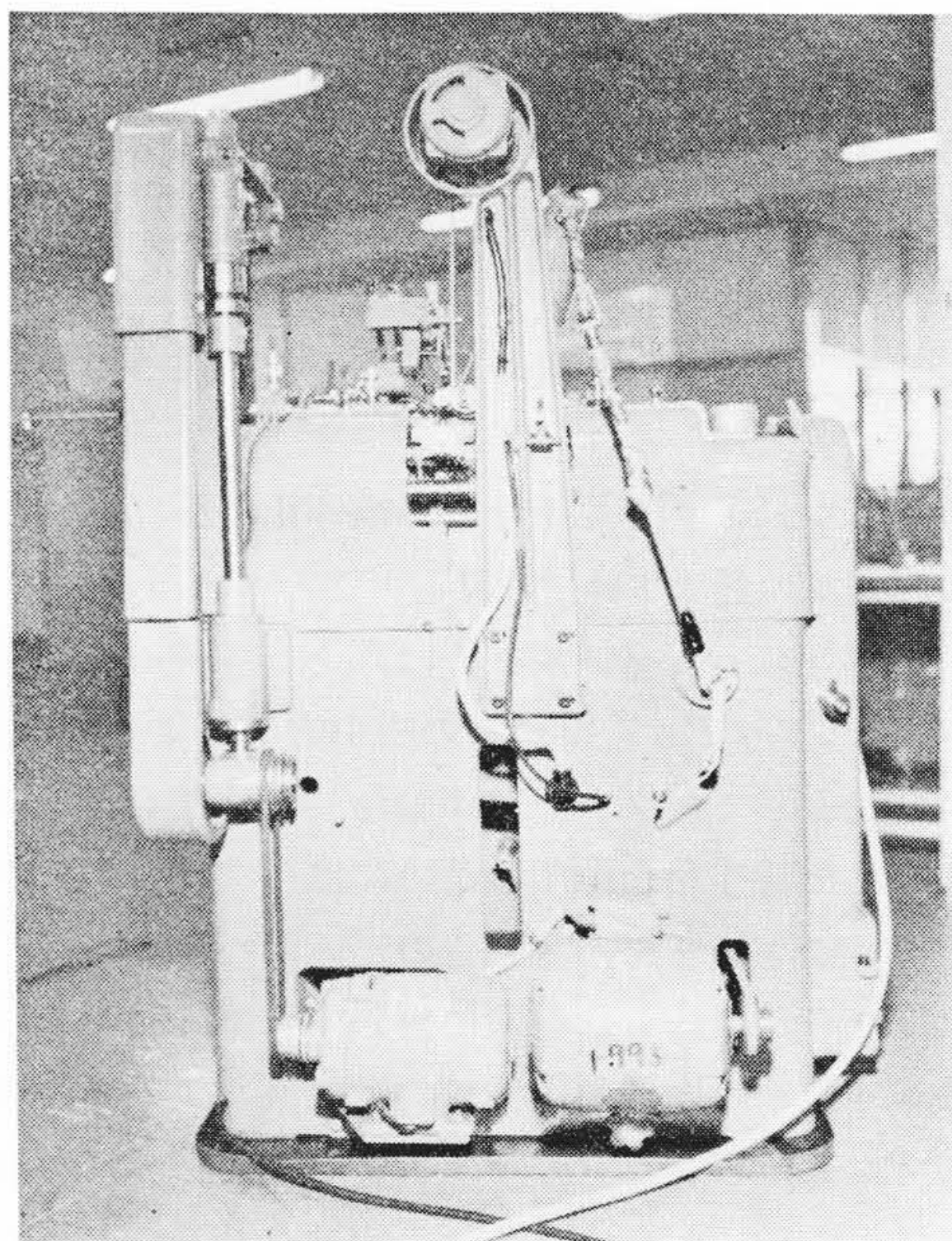


第9図 電磁コイルの接続図

注：本モートルの場合の吸収抵抗は1～3kΩである



第10図 ピニオン加工機の外観写真



第11図 ピニオン加工機の使用状態

フリッカが大きく問題になるが、本モートルを用いればフリッカを防止できる。

5.2 応用上の注意

- (1) クラッチの断続時にクラッチ軸が1～3mm程度移動するから、負荷との連結法はこの移動を妨げないようにしなければならない。

(2) 標準品は軸水平位置で使用するよう設計・製作されている。したがって、これ以外の位置で使用する場合には特別に設計・製作しなければならない。

(3) 電磁コイルに電流が流れているときにブレーキがかかり、電流の切れているときにはクラッチがはいっているのであるから、モートルのみのスイッチを入れると負荷も同時に起動することになる。

(4) 電磁コイルの断路時には、自己誘導により高い電圧が発生し、コイル絶縁を破壊する恐れがあるので、第9図に示すように電磁コイルと並列に吸収抵抗を接続すること。

5.3 応 用 例

本モートルを応用せる一例として、腕時計の部品であるきわめて小さなピニオンを製作する自動機械の主軸駆動用として使用されている例を示す。第10図は機械全体の外観写真であり、左下の部分に手前に見える汎用モートルの奥に第11図の左下に見るように取り付けられており、ベルトにより主軸を駆動している。電磁コイルの励磁電流は電磁スイッチにより開閉され、完全自動運転を行なっている。

いる。

6. 結 言

最近クラッチモートルが縫製工業のみならず、工作機械の分野にも広く使用されるようになってきたが、単一部品を多量生産するのに、短いタクトで同一の duty cycle を繰り返す操作が行なわれる場合が多いので、足踏みまたは手動操作のクラッチモートルを電磁石で操作する方法が能率的であり、次第に普及する傾向が出ている。電磁クラッチモートルはこの方面の需要に最も好適であると考えられるので将来性が期待される。

参 考 文 献

- (1) 上村, 増田: 日立評論 44, 596 (昭 37-4)
- (2) 上村, 増田: 日立評論 44, 597 (昭 37-4)
- (3) 上村, 増田: 日立評論 44, 598 (昭 37-4)
- (4) 石黒敏郎, 坪島茂彦, 宮川澄夫: 交直マグネットの設計と応用 44 (昭-32, オーム社)
- (5) Herbert C, Roters: Electromagnetic Devices 280 (1941)



特 許 の 紹 介



特許第306882号(特公昭37-11616)

佐藤興吾・小林一成

半 導 体 装 置 の 製 法

n^+p 整流接合を有する半導体装置に対し化学的処理を施したり、比較的高い逆方向電圧を印加したりすると、上記 n^+p 整流接合付近の p 型半導体表面部に不安定な n 型逆転層が形成されることは従来よりチャンネル効果としてよく知られている。このチャンネル効果により、整流接合およびその周辺部が不安定な状態となり、比較的低い逆方向電圧で表面破壊を起す。

本発明は上述の n^+p 接合を構成している半導体装置を水素ガス中で熱処理することにより、接合周辺の p 型半導体表面に形成せられた不安定な n 型逆転層を安定で、且つ適当な拡がりおよび厚さをもった n 型逆転層とし、逆耐電圧を著しく向上せしめるものである。

この発明において、熱処理温度として $60\sim 200^\circ\text{C}$ が最適で、その上下の温度では逆耐電圧の低下を生ずるとともに、その他の電気的特性にも大なる変化をあたえる。

本発明の実施例においては Ge npn 合金型 TRS の表面に露出せる整流接合およびその周辺を電気化学的腐蝕法により部分的に除去し、さらに水洗、乾燥した後真空中で 105°C 、8時間熱処理し、さらに水素ガス中で 110°C 、4時間加熱することにより該 TRS の逆耐電圧は水素熱処理前 42V であったものが 150V に改善された。

(志村)

Vol. 24

日 立 造 船 技 報

No. 2

- ・疲れが切欠きじん性に及ぼす影響
- ・熱交換器用管板の強さに及ぼす管穴ピッチの影響
- ・半組立形クランク軸の曲げ強さ(第1報)
- ・流動層における流動化
- ・特殊金属材料に関する研究(第1報)
——超耐塩酸合金——
- ・小形船舶型における模型船と実船との相関関係および推進性能に及ぼすトリムの影響

- ・水門とびら下部形状に関する実験的研究
- ・海水管の防汚方法
- ・原油・重油の放射線しゃへい特性(第1報)
——フリツケ法によるガンマ線量測定法——
- ・ドック中における塗装工程の短縮
- ・日立 B & W ディーゼル機関の歩み

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町60