

誘導電動機の速度制御

Speed Control of Induction Motors

斎藤奎二
Keiji Saito

内容梗概

最近における、各種産業の品質向上、能率化などの要求に応じて誘導電動機の進歩も顕著なものがあるが、その速度制御方式の発展はその応用分野の拡大に大なる貢献をしている。この速度制御方式は千差万別であるが特に磁気増幅器、可飽和リアクトルなどの制御器具を使用した無接点式自動速度制御装置のうち二次液体抵抗器制御方式、電磁接手制御方式、およびトルク重畠方式についてその制御方式の概略について報告する。

1. 緒言

最近、各種産業における生産増強と品質向上、能率化などによる電動力応用分野の発展は顕著なものがある。

これは電動機自体の改良進歩とあいまつて磁気増幅器などの制御器具の進歩発展も預つて力がある。特に誘導電動機は構造簡単、頑丈、安価で直流電動機のように整流の問題がないから信頼度高く、交流電源よりただちに給電できるのでその応用分野も広範囲に及んでいるが、広い速度制御を精度よく行うことはなかなか困難である。しかしながらこれに巧妙なる制御装置を付加することにより、かなり広範囲の安定な速度制御も行いうるようになつた。すなわち、直流機の特性に漸次近づいてきており、直流レオナード方式のように非常に広範囲まで自由に制御できる域には達していないが、ある程度の応用範囲は実用しうるようになった。

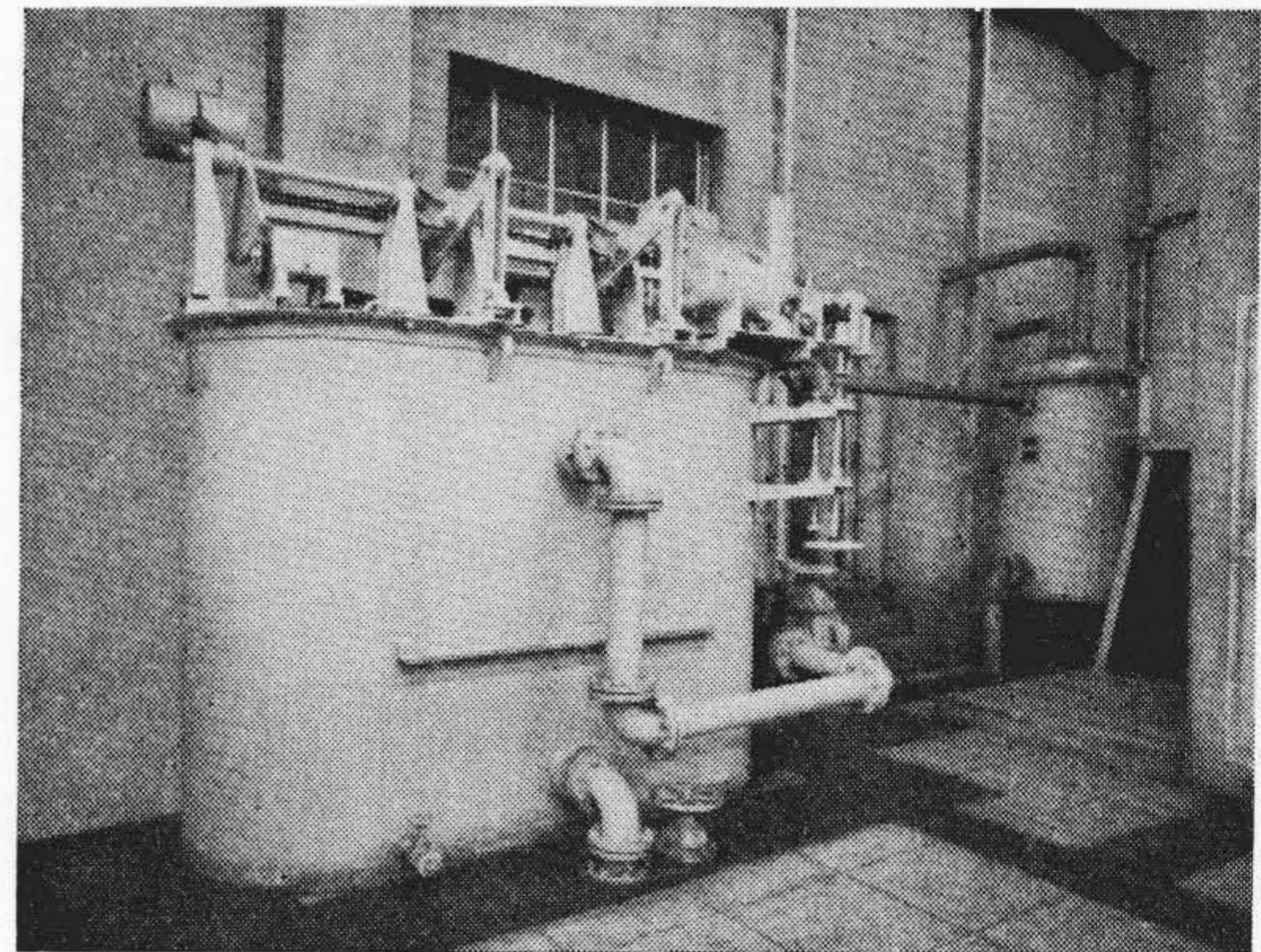
一般に誘導電動機の速度制御方法には多種多様あるが無段速度制御方式としては

- (1) 二次液体抵抗制御
- (2) 電磁接手による制御
- (3) トルク重畠方式
- (4) 二次励磁法
- (5) 可飽和リアクトル制御
- (6) C F 制御⁽¹⁾

などがあげられるが、すべてについて論述することは紙面の都合で許されないので、本稿では(1)～(3)の制御方式についてその概要を述べ、御使用者各位の参考に供したい。

2. 二次液体抵抗器による速度制御

二次抵抗による速度制御は誘導電動機の比例推移を利用する方法で、誘導



第1図 液体抵抗器

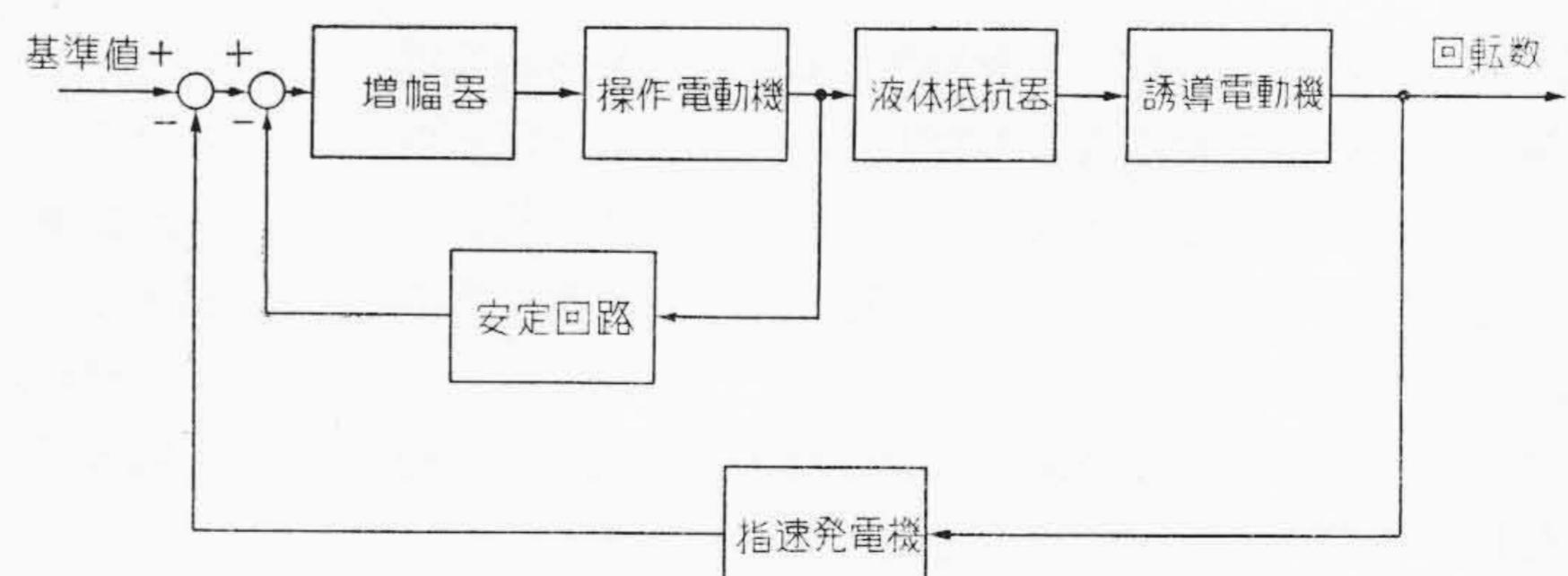
電動機のトルクー速度曲線よりわかるように速度制御の範囲を広くすると低い速度では負荷トルク変動に対する速度変化が大きく、自動速度制御装置を付加しなければ安全な運転はできない。

二次抵抗による速度制御は二次抵抗による損失が大きい欠点はあるが、二次抵抗として液体抵抗器を用いれば無段变速が可能であり、ポンプ、通風機、圧縮機、キルンそのほかその応用は広範囲に及んでいる。

第1図に液体抵抗器の外観写真を示す。

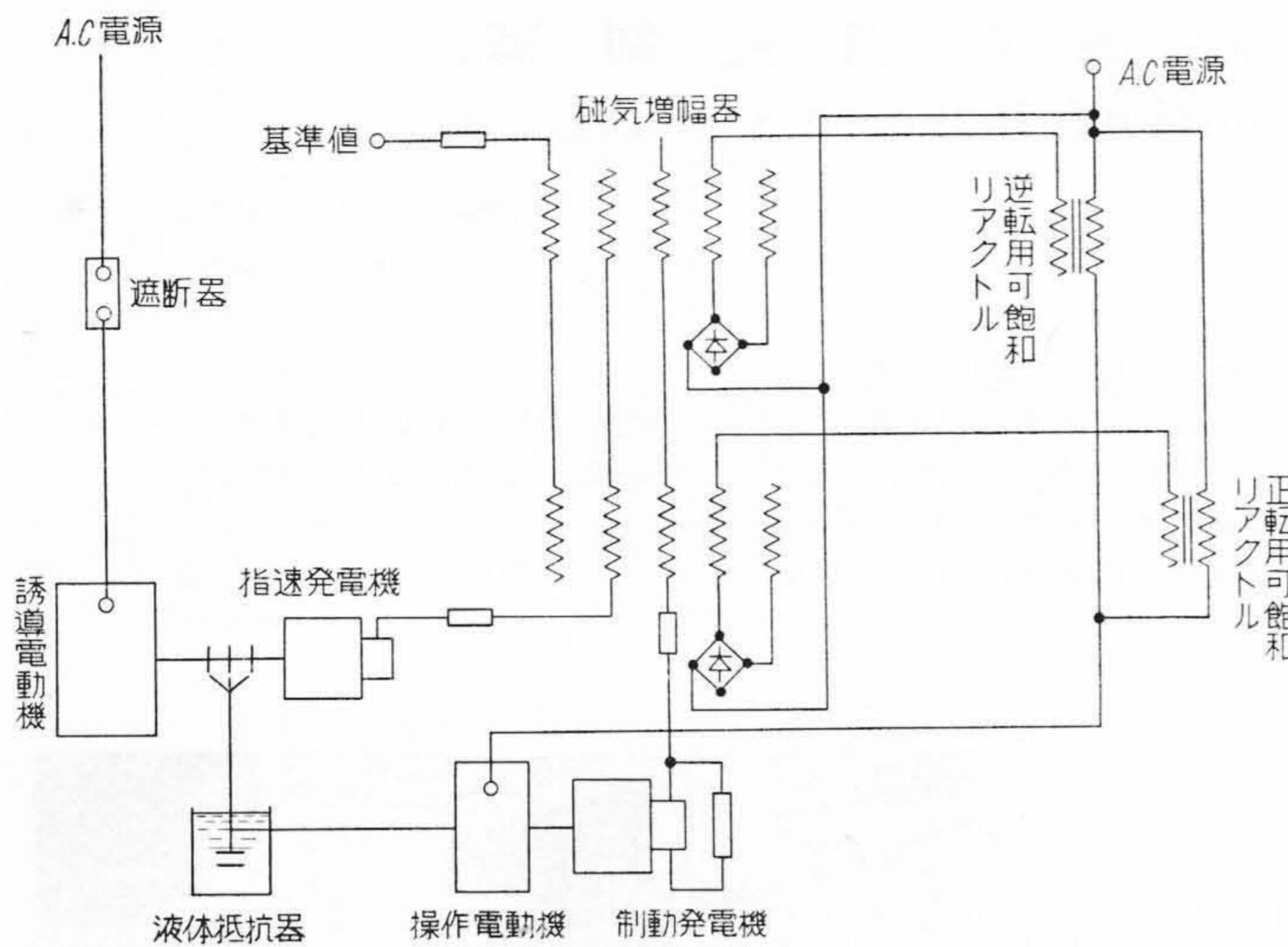
2.1 液体抵抗器による速度制御

誘導電動機の二次抵抗制御による速度制御方式は第2

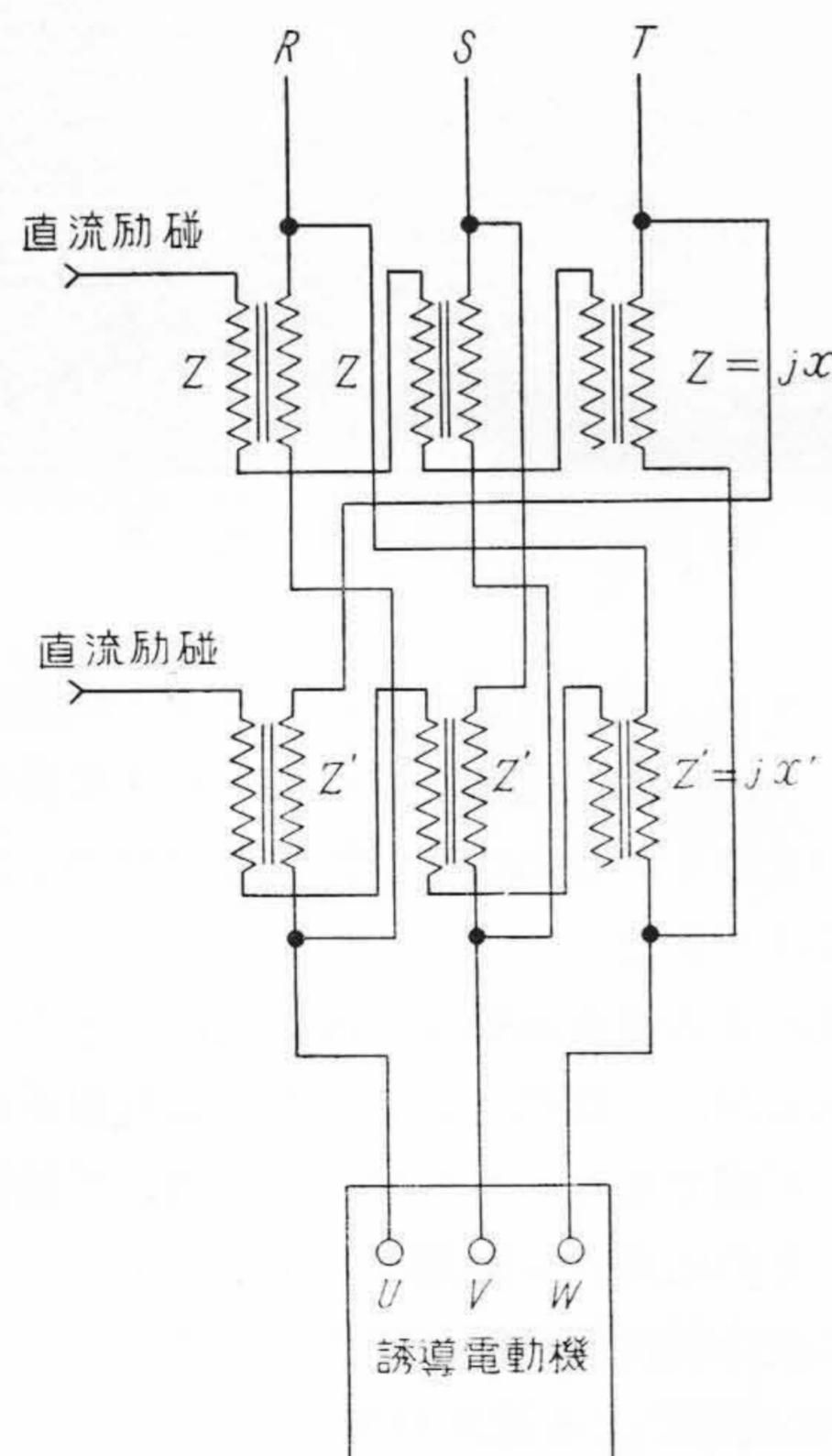


第2図 二次液体抵抗制御による速度制御ブロック線図

* 日立製作所日立工場



第3図 交流操作電動機による速度制御概略結線図



第4図 可飽和リアクトルによる速度制御結線図

図に示したブロック線図で表わされる。すなわち誘導電動機の速度を指速発電機にて検出し、これと基準値との偏差を増幅器に加えて増幅し、その出力で液体抵抗器の操作電動機を動作せしめて、誘導電動機の回転数が基準値に等しくなるように制御する。

この操作電動機に交流電動機を使用するか直流電動機を使用するかにより次に述べるような方法がある。

2.1.1 交流操作電動機による速度制御

第3図は増幅器として磁気増幅器、可飽和リアクトル

を使用し、操作電動機には籠形誘導電動機を使用した方法である。すなわち誘導電動機に指速発電機を連結して速度を検出し、これと基準値とを比較してその差を磁気増幅器で増幅する。磁気増幅器の出力によって、操作電動機回路に挿入された可飽和リアクトルの励磁巻線を励磁し、主電動機速度が基準速度より早いか遅いかにより、操作電動機は正転または逆転して、二次液体抵抗器を制御する。

可飽和リアクトルにより制御される誘導電動機の回転力は第4図のように結線された場合、電動機の正相電流 I_1 、および逆相電流 I_2 は⁽²⁾

$$I_1 = \frac{Vx'/x + x'}{\left(r_1 + \frac{r_2}{s}\right) + j\left(\frac{xx'}{x+x'} + X\right)} \dots \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{a^2 V x/x + x'}{\left(r_1 + \frac{r_2}{2-s}\right) + j\left(\frac{x'x}{x+x'} + X\right)} \dots \quad (2)$$

ただし: $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

X : 誘導電動機の一次リアクタンスおよび二次停止時リアクタンスの和

r_1 : 誘導電動機一次抵抗

s : すべり

r_2 : 一次一相に変換した二次抵抗値 (Ω)

x : 正転用可飽和リアクトルのリアクタンス (Ω)

x' : 逆転用 " "

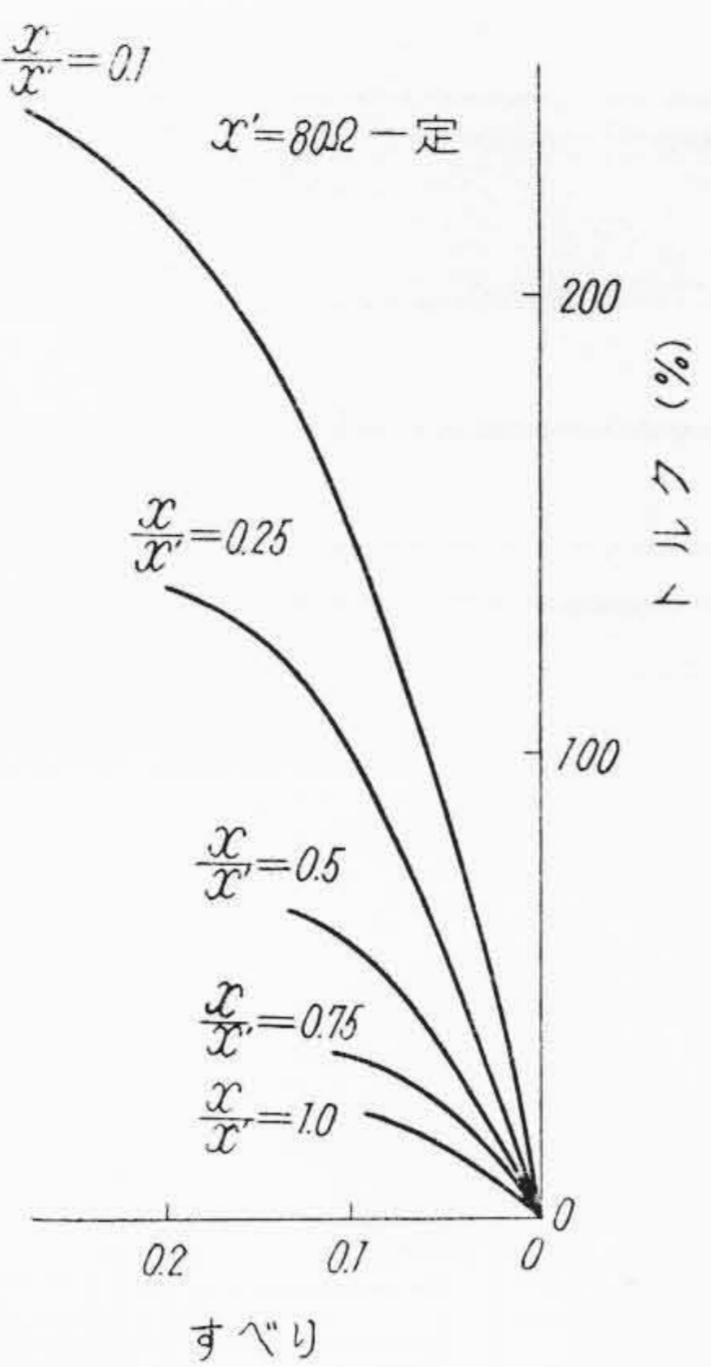
V : 相電圧 (V)

なる式で表わされ、最大正相トルクのすべり s_1 、および最大トルク T_{max} は

$$s_1 = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + \left(\frac{xx'}{x+x'} + X\right)^2}} \dots \quad (3)$$

$$T_{max} = \frac{3V^2x'^2/(x+x')^2}{2\left\{r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{xx'}{x+x'} + X\right)^2}\right\}} \dots \quad (4)$$

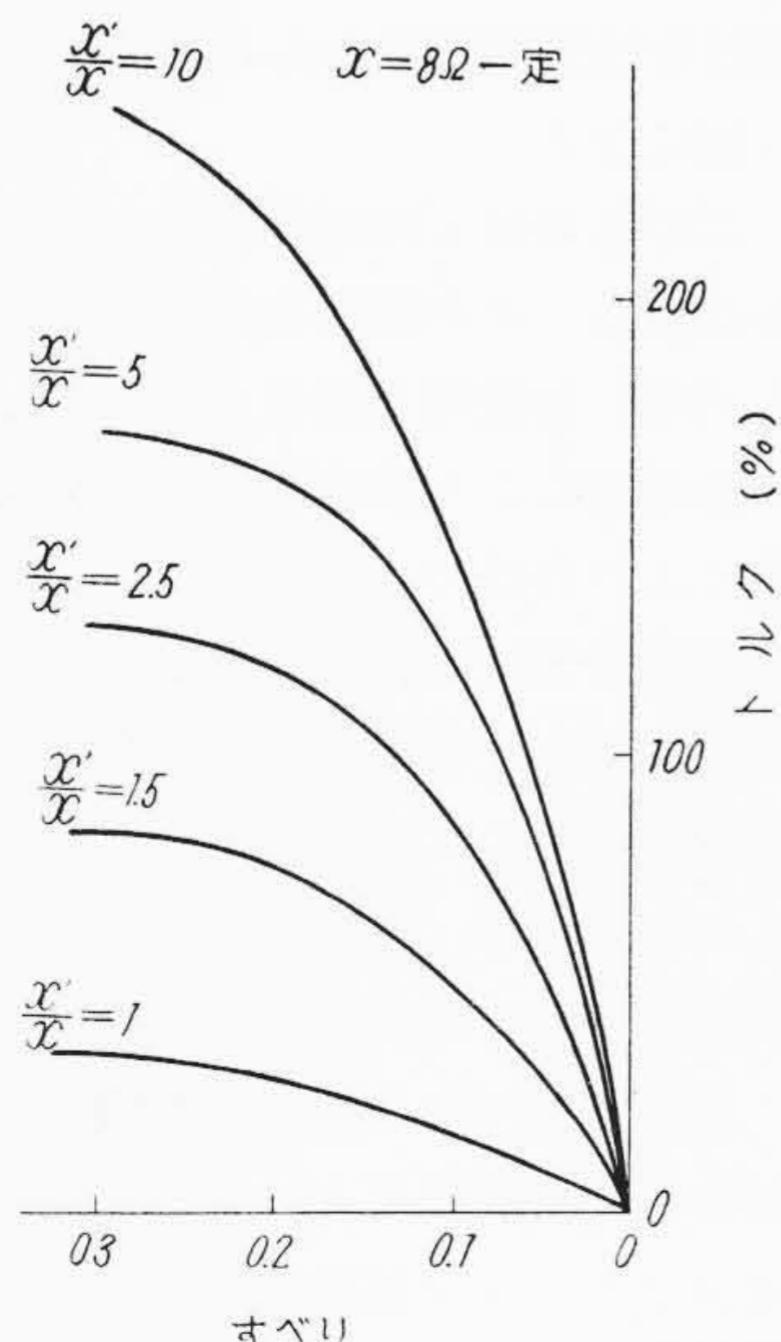
となる。いま $1/2$ HP 三相誘導電動機について計算し、直流励磁を行わない方のリアクタンスを $x' = 80\Omega$ 、励磁せる方を $x = 8\Omega$ とする。 $x' = 80\Omega$ を一定に保ち、 x を 8Ω から 80Ω まで変化せしめたときのトルク曲線を第5図に示す。(3)式より明らかなように x を小さな値から大なる値に変化せしめると T_{max} の位置は s の小さい方に移動する。このことは速度変化範囲の小さいことを意味し、正逆運転には適するが速度制御に

第5図 種々のリアクタンス値に対するトルク特性
 $x < x' = 80\Omega$

は適しない。逆に $x=8\Omega$ を一定に保つて x' を 80Ω から 8Ω に近づける場合のトルク曲線を第6図に示す。この場合 T_{max} の位置は s の大なる方向に移動するので、この方が速度制御に適する。したがつて速度制御を行う場合には x で適當な値を選んで $x' > x$ の範囲で x' を制御すればよい。

このような自動制御装置で常に問題になるのは制御要素の時間おくれによる操作の行きすぎ、すなわち高い精度の制御を行わんとして磁気増幅器や可飽和リアクトルの利得を大とすると、その時間おくれが原因となり乱調を生ずることがある。

この問題は第3

第6図 種々のリアクタンス値に対するトルク特性
 $x' > x = 8\Omega$

図に示したように制動発電機の出力回路を低抵抗で短絡し発電制動作用を付加して安定かつ急速なる制御を行うことによつて解決される⁽³⁾。

本方式を採用した速度制御装置はさきに日本セメント株式会社、磐城セメント株式会社、日立セメント株式会社などに多数納入し好評を博している。第7図に制御装置の写真を示した。

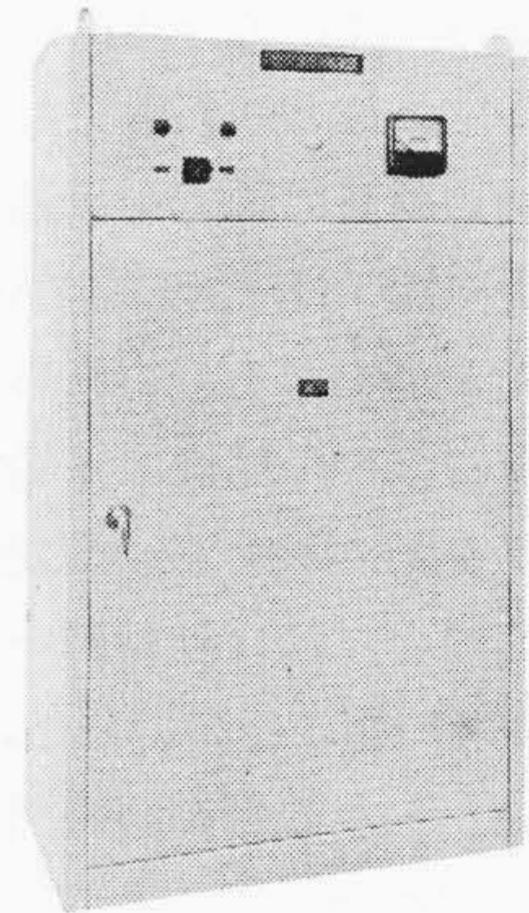
2.1.2 直流操作電動機による速度制御

2.1.1 における可飽和リアクトル、籠形誘導電動機の代りに複直巻線輪を有する直流操作電動機を使用した制御方式である。

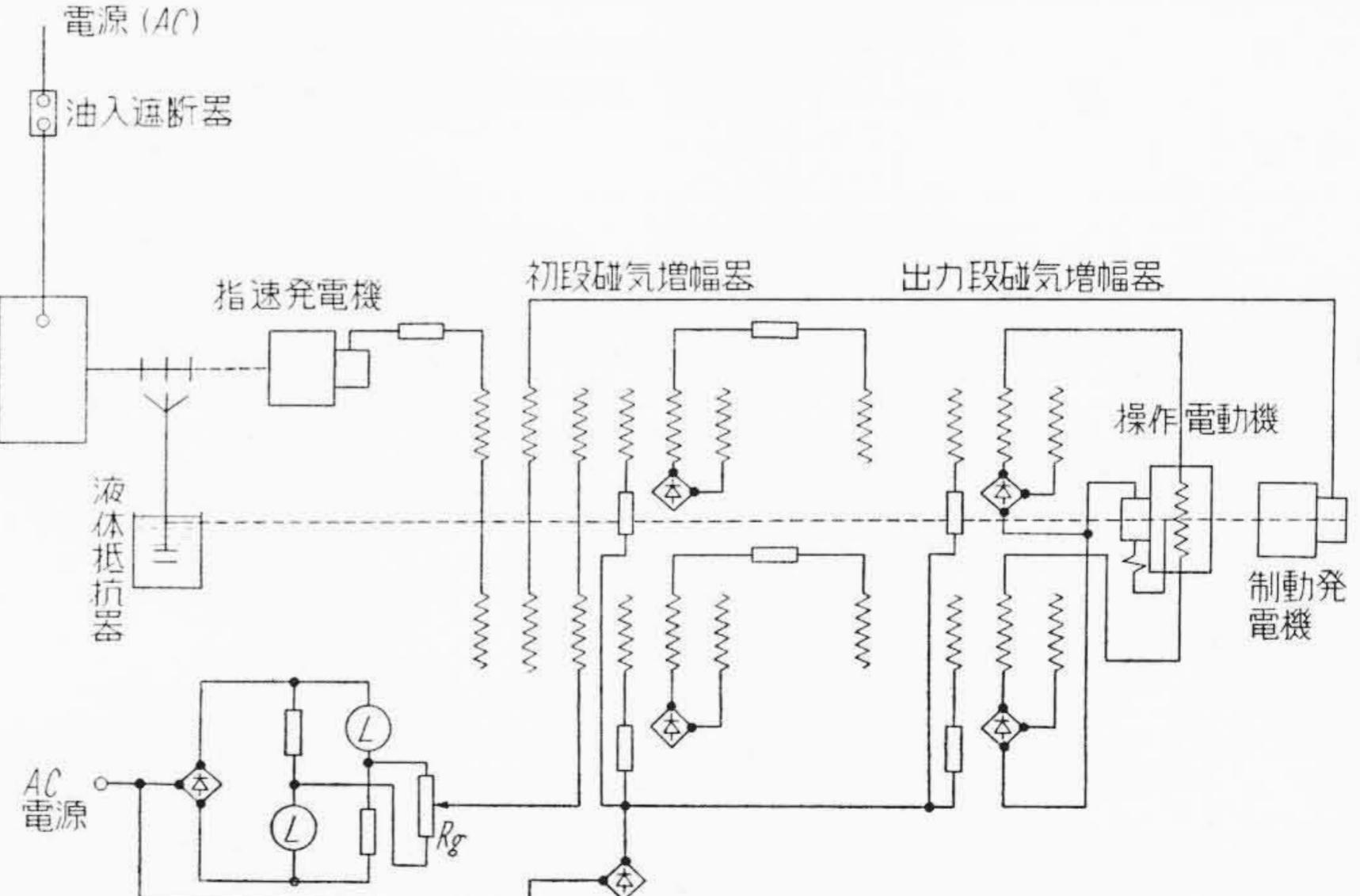
第8図は本方式の概略結線図を示したものである。すなわち、各界磁線輪にはそれぞれ正転用、逆転用の磁気増幅器が接続されている。

したがつて、誘導電動機からの速度指令と基準指令との差の信号の正負に応じて、正転用または逆転用の磁気増幅器が出力電流を流す。この出力により操作電動機は正転または逆転し、水抵抗器の抵抗値を変化させて誘導発動機の速度制御を行う。直巻発動機であるため大なる起動トルクが得られ、すぐれた操作特性が得られる。

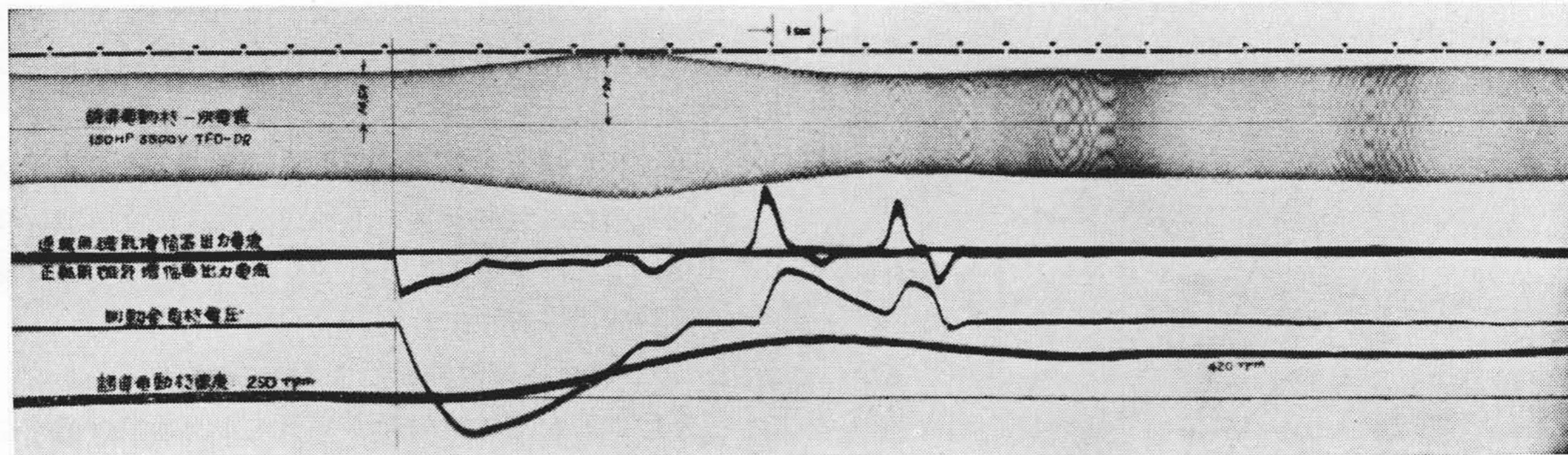
本方式を採用した速度制御装置は日立セメント株式会社にキルン運転用として納入され、好調に運転中である。第9図に速度指令を急変した場合のオシログラムを示した。また本方式を採用し



第7図 自動定速度制御装置の外観



第8図 直流操作電動機による速度制御概略結線図



第9図 オシログラム 日立セメント株式会社納キルン運転用

たポンプの自動運転装置を新潟水道局に納入し好調に試運転を終了した。

3. 電磁接手による制御⁽⁴⁾

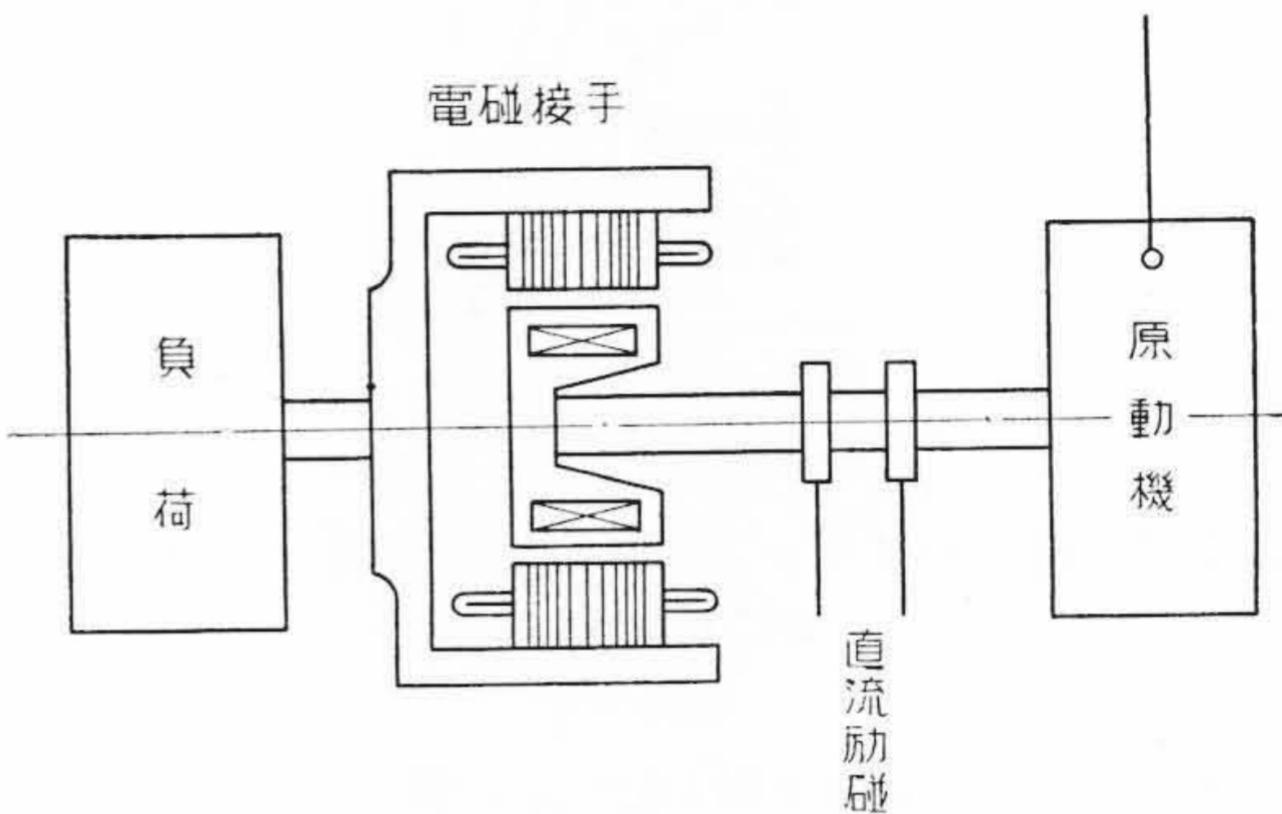
電磁接手は第10図に示したように、一方を凸極、他方を誘導電動機二次側と同一構造に作った互いに回転する機械で、一方を原動機に他方を負荷に連結する。

いまたとえば励磁側を原動機で駆動し、励磁を加えれば他方には誘導作用により電圧を誘起して電流が流れるから、これと回転磁束との間にトルクを発生し二次側が回転し負荷に動力を伝達する。

電磁接手はその二次側の構造によって3種類に分類することができる。これらの関係を第1表に示した。

電磁接手の特性は誘導電動機の特性に類似し、負荷トルク変動に対する速度変動が大きく、一定速度を必要とする場合には自動制御を行わなければならない。

第11図にその応用例としてキルンの自動速度制御に用いたときの制御結線図を示した。すなわち、負荷の速度を指速発電機によつて電圧に変換し、これを基準値と



第10図 電磁接手の原理説明図

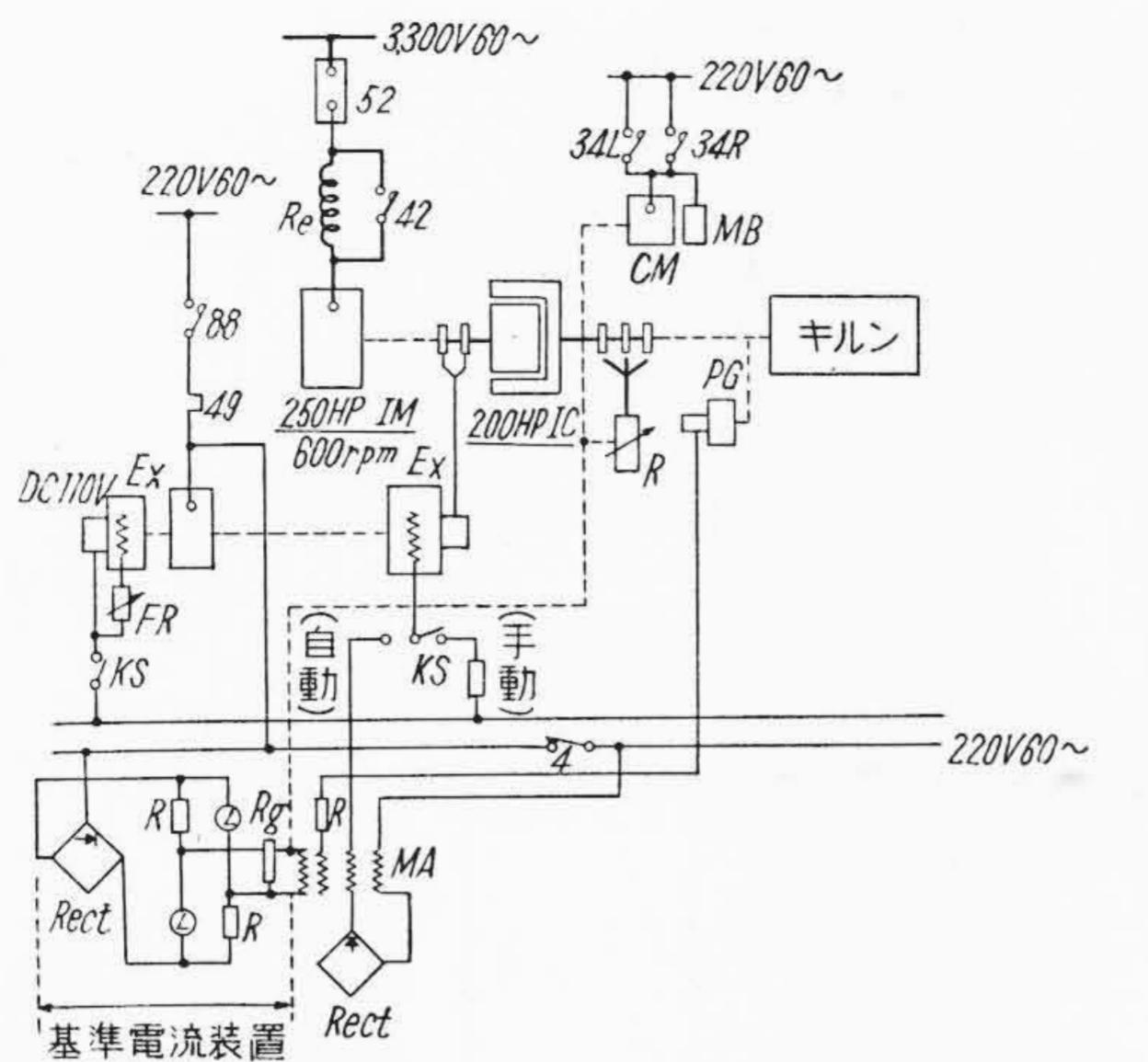
比較する。基準値は第11図中の基準電流装置として示したように非直線要素であるランプと直線要素の純抵抗とをそれぞれ対辯としたブリッジを形成し交流電源よりセレン整流器を通して入力とする。ブリッジのほかの2点より出力をとり負荷に接続する。第12図はこのブリッジの特性を示したもので、ランプの電圧-電流特性は非直線を有するが、ある電圧以上はほぼ直線となる。抵抗値をランプの直線部分と平行になるよう選べば出力電流は交流電源電圧のある範囲ではほぼ一定になる。

この基準値と指速発電機の出力電圧を比較し、その偏差を磁気増幅器により増幅し励磁機を励磁する。電磁接手は励磁機により励磁され励磁電流の大小により負荷の速度を変化せしめる。速度の設定は調整抵抗 R_g により磁気増幅器に入る基準電流値を変え、同時に電磁接手の二次抵抗を変えることにより行うので、磁気増幅器は常に最も良好な状態で動作することができる。

本方式を用いた誘導電動機の速度制御装置は大阪窯業セメント株式会社にセメントキルン駆動用200HP誘導電動機用として2セット、および敦賀セメント株式会社に250HP用として1セッ

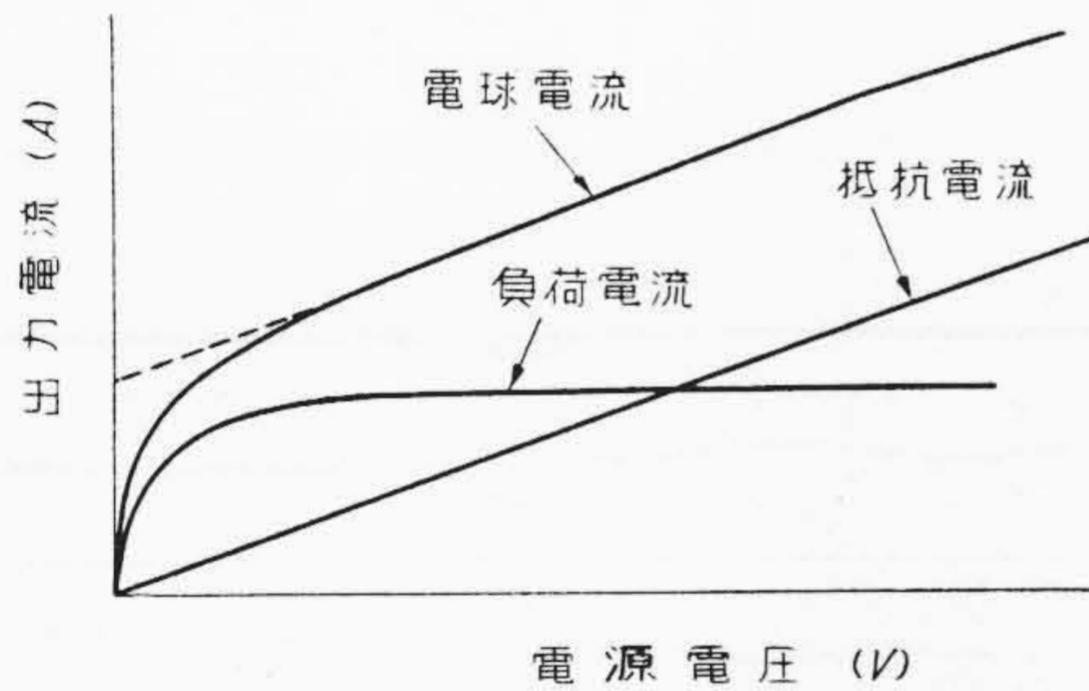
第1表 電 磁 接 手 の 種 類

種類	渦流型	籠形	巻線型
二次構造	継鉄	成層珪素鋼板鉄心に深溝または二重籠形構造の導体。	成層珪素鋼板鉄心に絶縁した巻線をほどこし二次側にも滑動環を有する。
特性			
速度調整範囲	中程度	狭い	広い
備考	構造簡単小容量に適する。 大容量では冷却方法を特別に考慮する必要がある。	回転力変化によるスリップの変動僅少。速度制御範囲が狭いか、まつたく必要ないときに適し、高能率。	二次抵抗調整により安全速度制御範囲広い。冷却の心配ない大容量、速度調整範囲大なるものに適する。



IM: 誘導電動機
I: 電磁接手
PG: 速度検出用発電機
EX: 励磁機
MA: 磁気増幅器
Pect: セレン整流器
L: ランプ
CM: 制御用電動機
MB: 電磁制動機
KS: 叉形開閉器
R: 抵抗器
Rg: 調整抵抗器
Re: 起動リアクタ
FR: 界磁抵抗器
4, 42, 88: 電磁接触器
52: 油入遮断器
49: 温度繼電器

第11図 電磁接手による速度制御概略結線図



第12図 定電流装置特性曲線

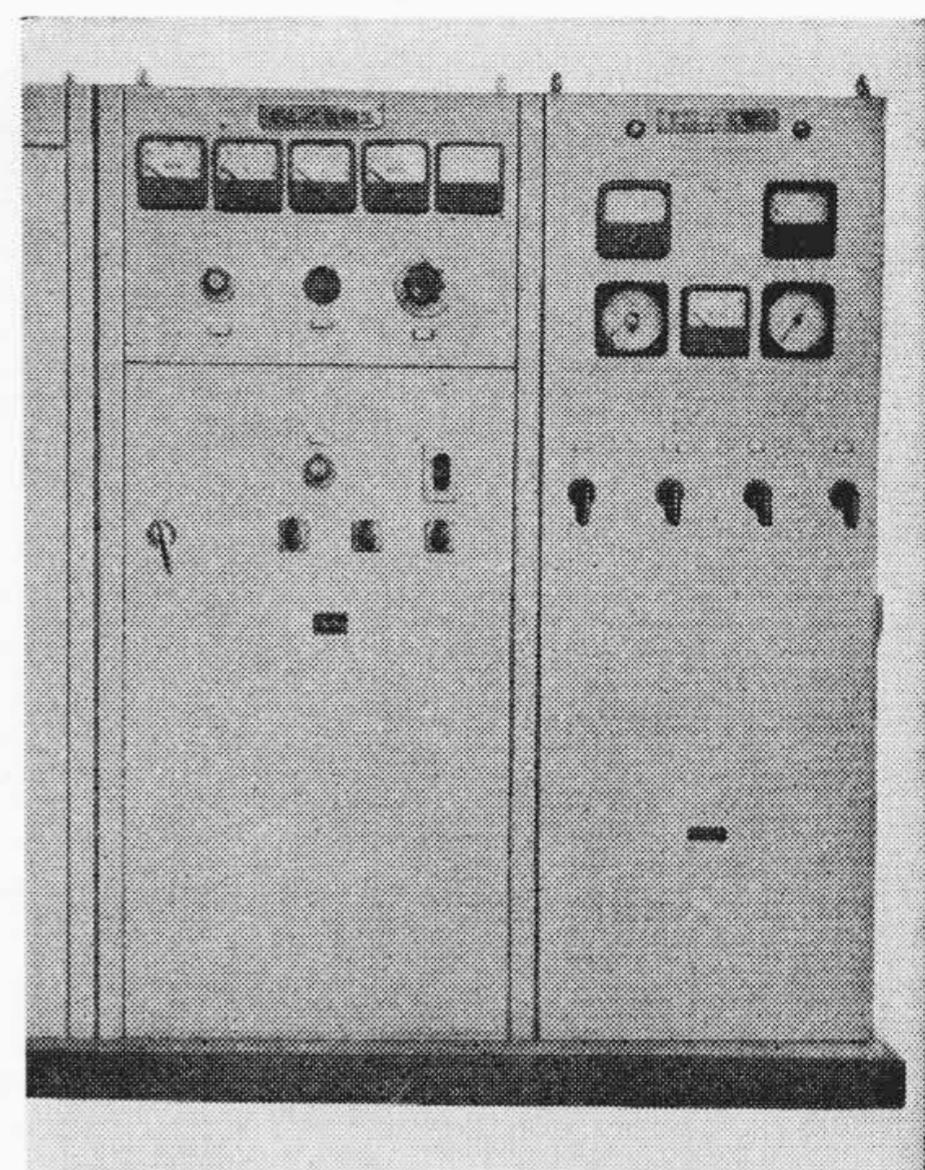
トなどを納入した。これらは現在好調に運転を続けている。第13図はキルン速度制御装置の写真である。

第14図はキルンの自動速度制御に用いた場合のトルク速度特性を示したもので、トルク50~130%の変化に対し速度変化は同期速度に対し±2.5%以下に納まっている。

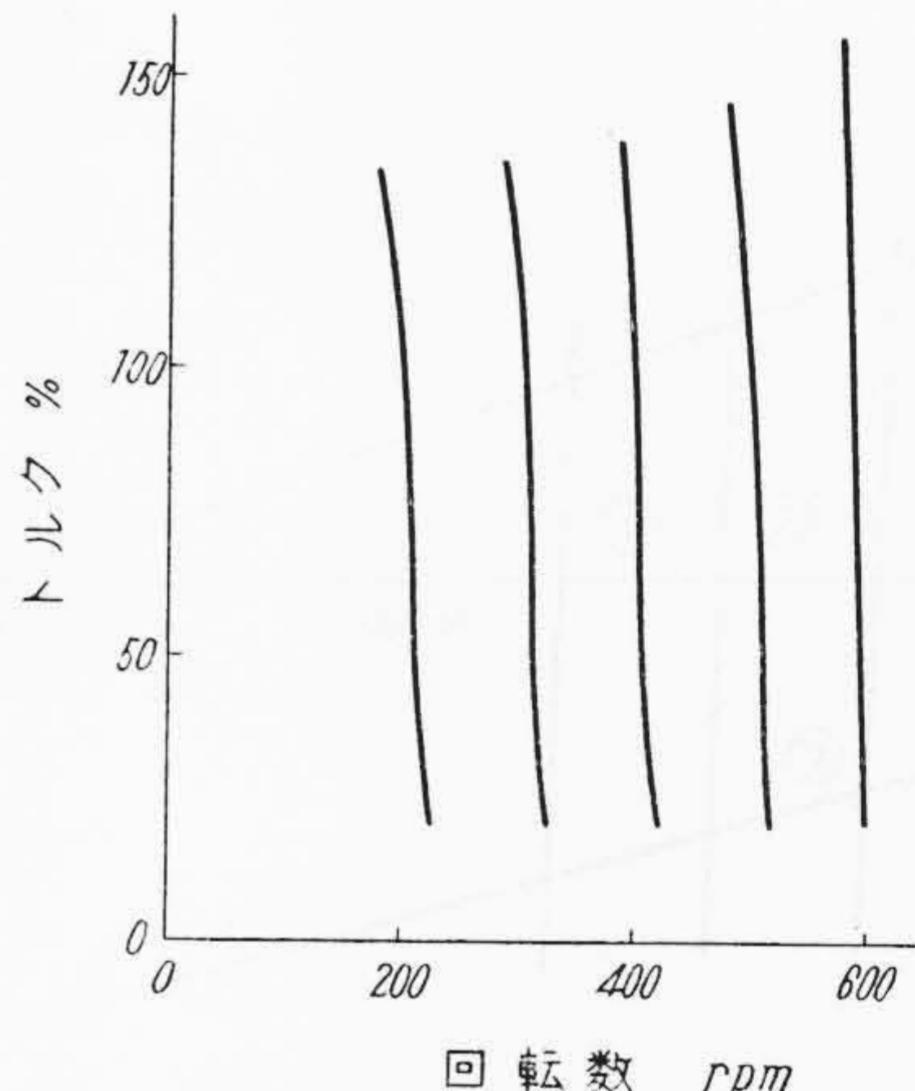
電磁接手はわずかな制御電力で制御でき、無励磁状態では原動機と負荷を切り離せるし、起動の際徐々に励磁を加えることにより円滑に起動できるなどの種々の特長を有しているのでセメント工業、製紙工業、ゴム工業などにおけるその応用範囲の拡大が期待される。

4. トルク重畠方式⁽⁵⁾

二次抵抗制御による誘導電動機の速度制御の範囲は同期速度の40%程度までで、それ以上の低速度では不安



第13図 キルン速度制御装置



第14図 キルン自動制御特性曲線

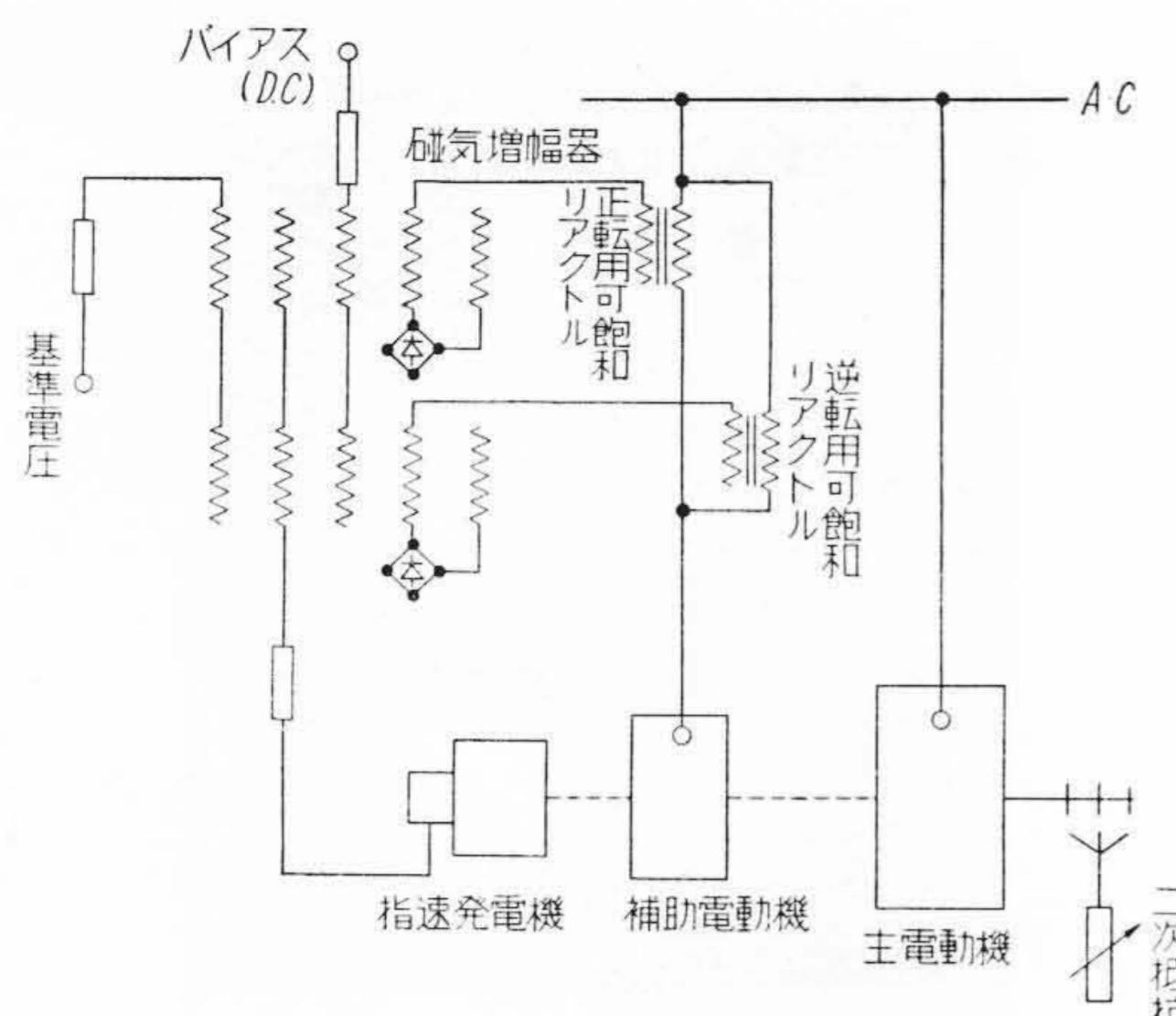
定となるがここに述べるトルク重畠方式を用いることによりワードレオナードに匹敵した広い範囲の制御が可能となる。

第15図はその原理結線図を示したものである。

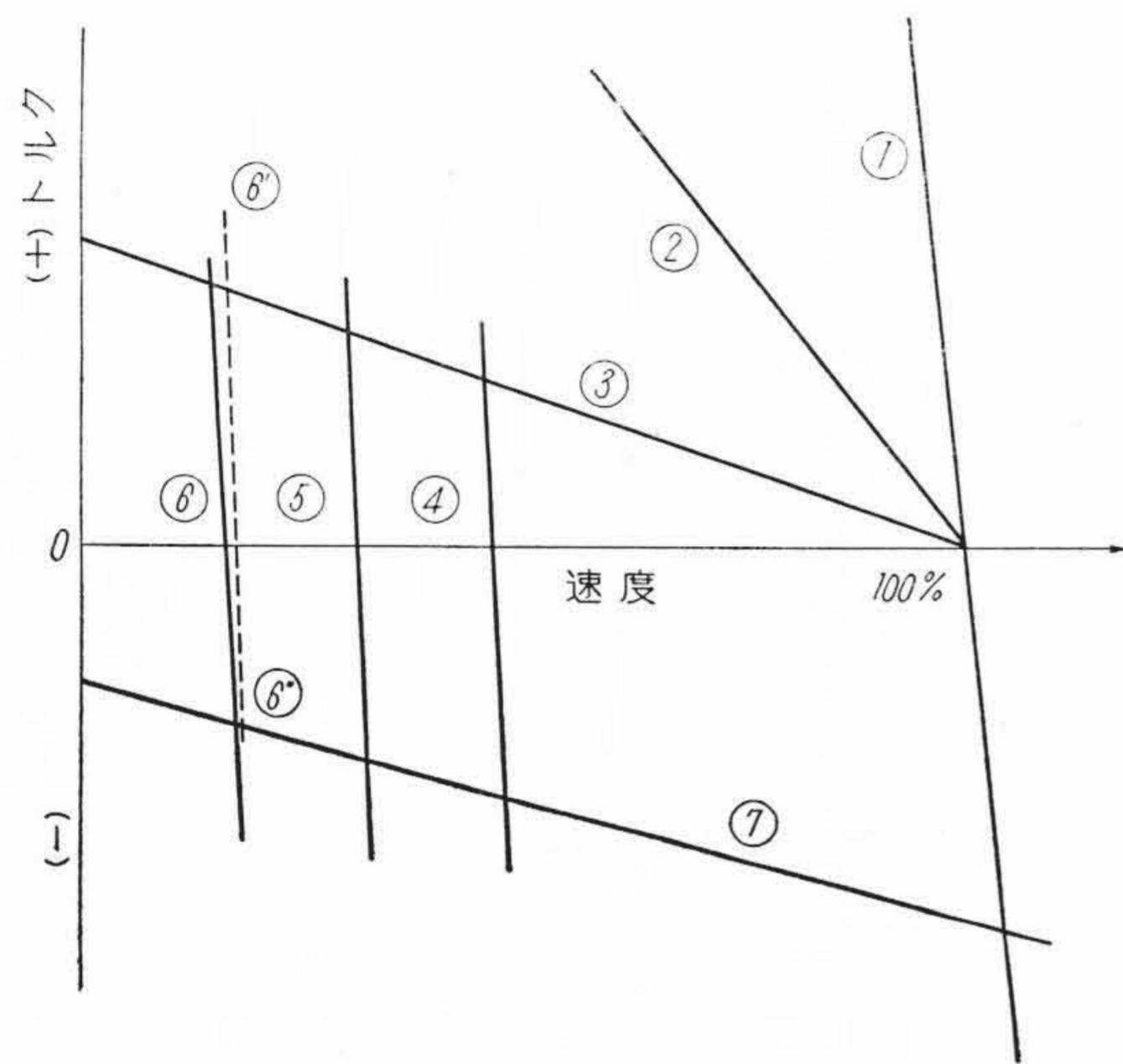
トルク重畠方式による誘導電動機の速度制御は高速の主誘導電動機と低速の補助誘導電動機より構成されている。

主電動機は通常の電動機と同様に接続され、二次抵抗制御で基準トルクを発生せしめる。補助電動機はその発生トルクを主電動機のトルクと重畠し任意の負荷トルクに対して所定の速度を維持するように動作する。

補助電動機は可飽和リアクトルにより制御されるがこの動作は2.1.1にて述べたので省略する。補助電動機は基準電圧の大きさにより第16図に示した④⑤⑥のようなトルク曲線が与えられる。主電動機の正相トルク曲線③または逆相トルク⑦と重畠させれば⑥'⑥''のよ



第 15 図 トルク重畠方式概略結線図



第 16 図 トルク重畠方式によるトルク速度曲線

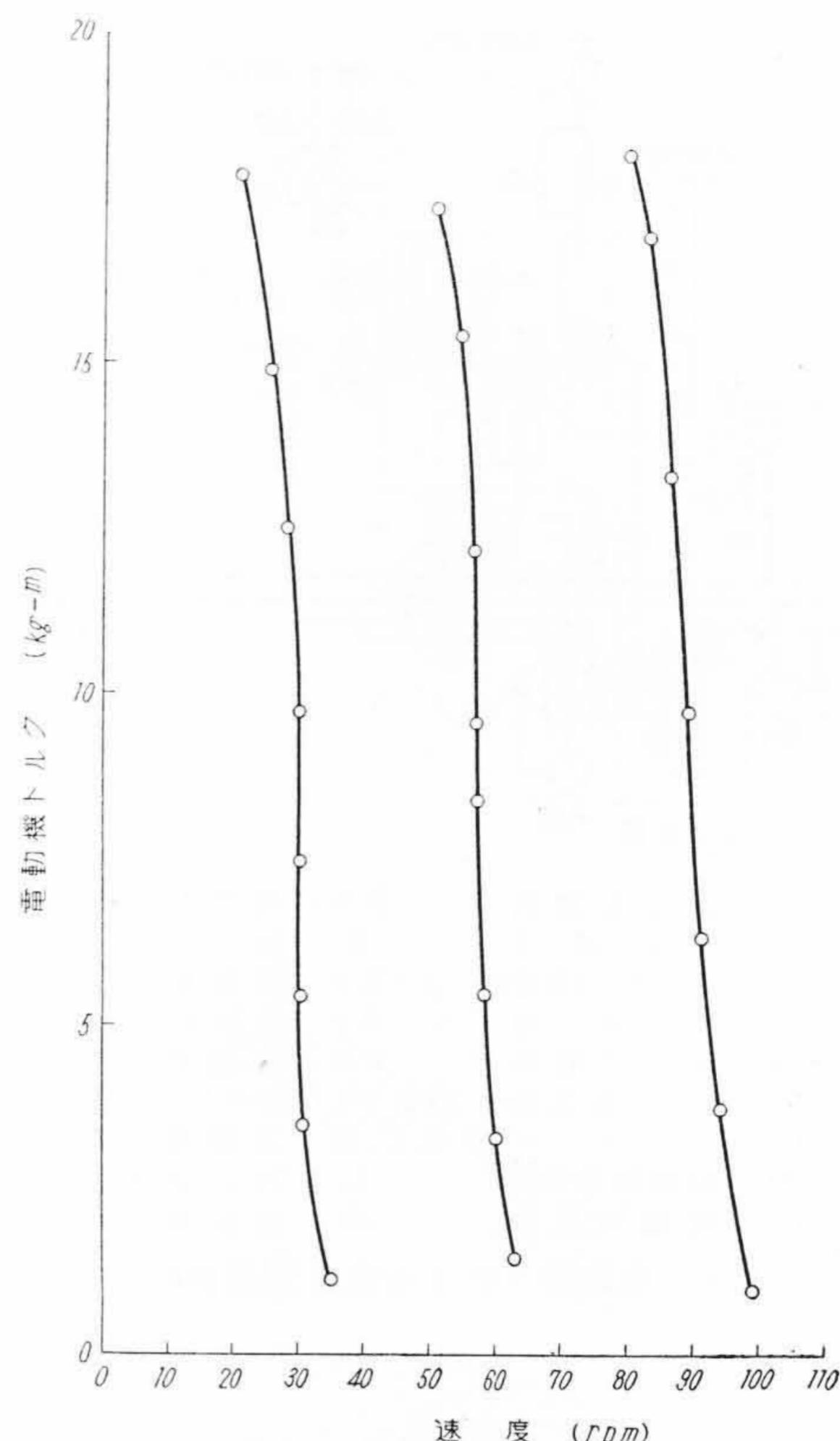
うな特性が得られる。この方式は

- (1) 速度制御範囲が広い。定格速度の $1/10 \sim 1/30$ の低速度まで制御可能でワードレオナードに匹敵した特性が得られる。
- (2) 装置が簡単小型である。主電動機に可飽和リアクトルを入れて制御する方法に比し装置が小型である。
- (3) 接点部分なく保守便利、故障が少ない。

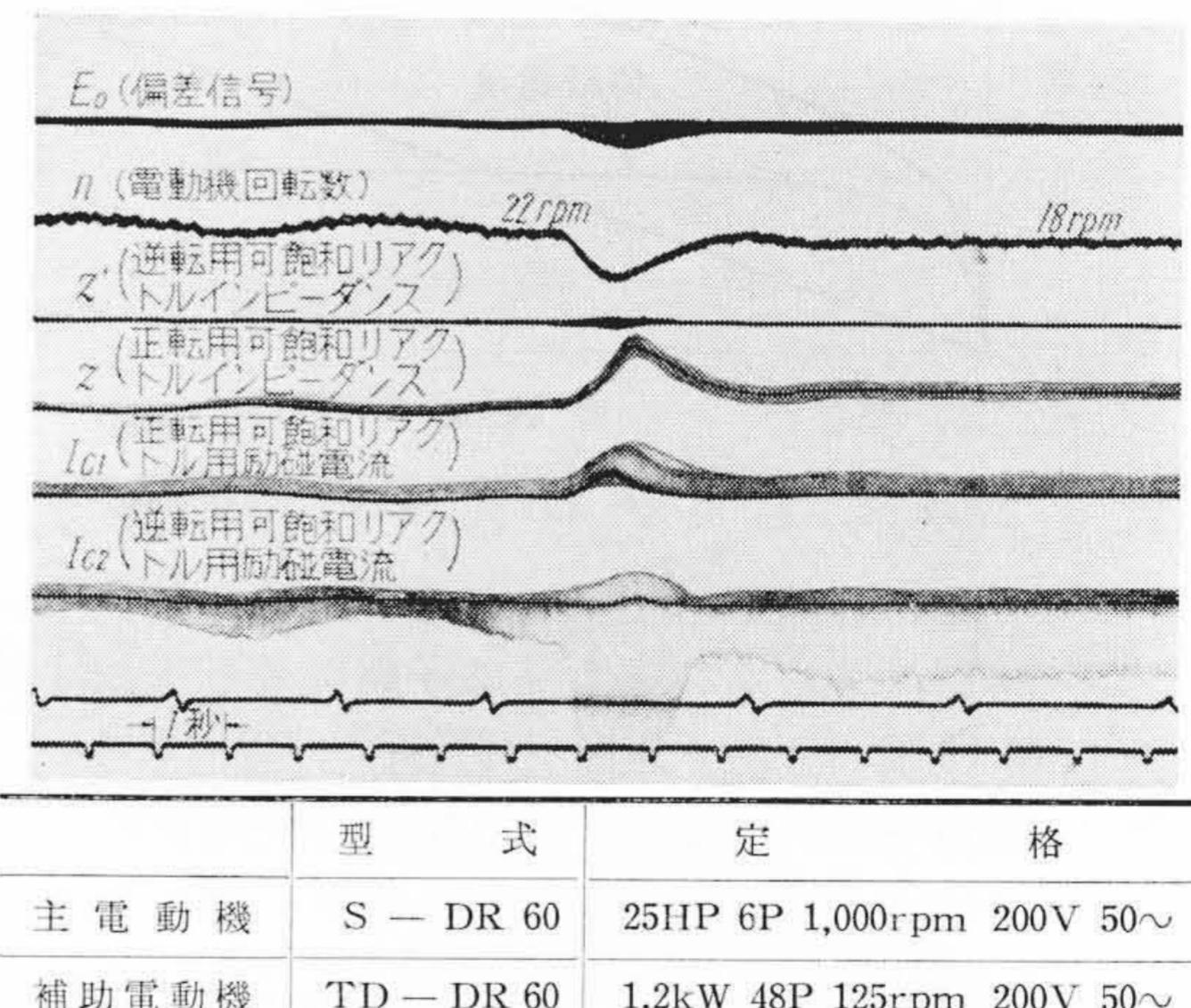
などの特長がある。

第 17 図は主電動機 (10HP) 補助電動機 (2.5HP) の組合わせ結果を示したものである。

また第 18 図は本方式のオシログラムを示したもので主電動機定格回転数 1,000rpm にたいし 22rpm の低速で運転し、60% 負荷を急激に加えた場合で低速においても安定な運転ができることを示している。



第 17 図 トルク重畠方式による速度制御特性曲線



第 18 図 トルク重畠方式のオシログラム

5. 結 言

誘導電動機の速度制御方式は多種多様であり、すべてについて触ることはできなかつたが、最近における制御器具の進歩により開発された三種の代表的制御方式について述べた。二次抵抗による制御方式は広い制御範囲を必要としないときには構造簡単、取り扱い容易であり、電磁接点による方式は液体接点と同様の各種特長に加え精度の高い制御方式で、応用範囲の拡大が期待される。

誘導電動機の速度制御

トルク重畠方式はレオナードにはほぼ匹敵する制御方式として注目に値する。

誘導電動機は直流電動機に比し各種の特長を有しているが将来とも諸産業の発展は誘導電動機に負うところ多いものと考えられる。電動機自体の改良進歩もさることながら速度制御方式の進歩発達はいつそうその応用範囲を広めることが期待される。したがつてこの制御方式にも種々改良を加え使用者各位の御便宜に供することを期している次第である。

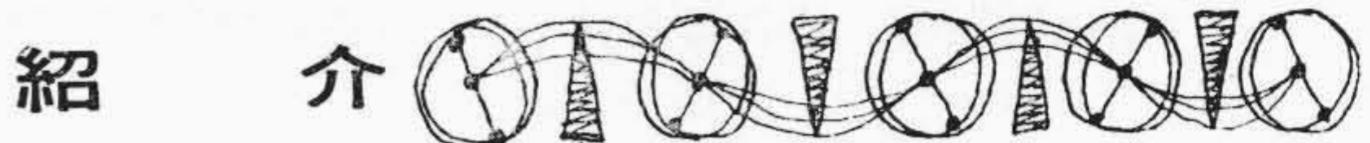


品

終りにあたり、種々御指導を賜つた日立製作所日立工場稻木部長、泉副部長、桜垣課長、藤木主任に厚く感謝する。

参考文献

- (1) 森泉: 日立評論 26, 398 (昭 18-7)
- (2) 桜井: 日立評論 34, 1297 (昭 27-11)
- (3) 泉, 吉岡: 電気三学会第26回連合大会予稿 4-P 52 (昭 27-5)
- (4) 麻生, 藤木: 日立評論 39, 199 (昭 32-2)
- (5) 高木, 桜井: 日立評論 別冊8号 P 95(昭 29-10)



堅型ギヤーモートルおよび 多速度ギヤーモートル

設備近代化の要望にこたえて斯界に活躍する日立ギヤーモートルは、特殊構造の遊星歯車減速装置によつて、きわめてコンパクトな使いやすいギヤーモートルとして好評をうけているが、さらに堅型ギヤーモートルおよび多速度ギヤーモートルを紹介する。

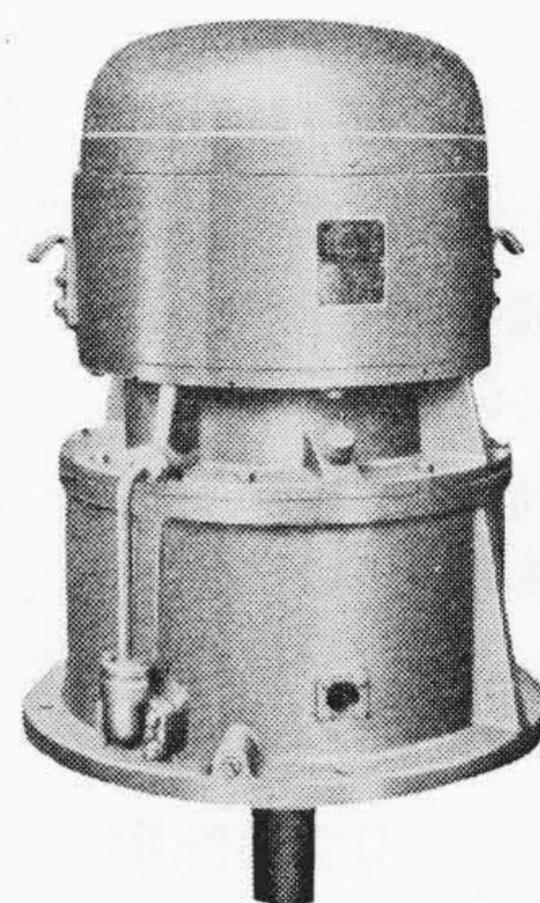
(1) 堅型ギヤーモートル

化学工場における各種液体の攪拌装置やそのほか、コンベアなどで、ギヤーモートルを堅取り付けによつて装置全体が簡単になる場合が多い。これらに日立堅型ギヤーモートルが使われ好評を得ている。このギヤーモートルは、小型軽量で、耐久力が大きく、高い機械効率をもつていて。特に減速比の多いものには、プランジャポンプによる自動給油装置を備える構造となつていてから潤滑が不足する心配がない。減速軸と油槽との境界部にはオイルシールの合理的な使用によつて油の漏洩はまつたくない。

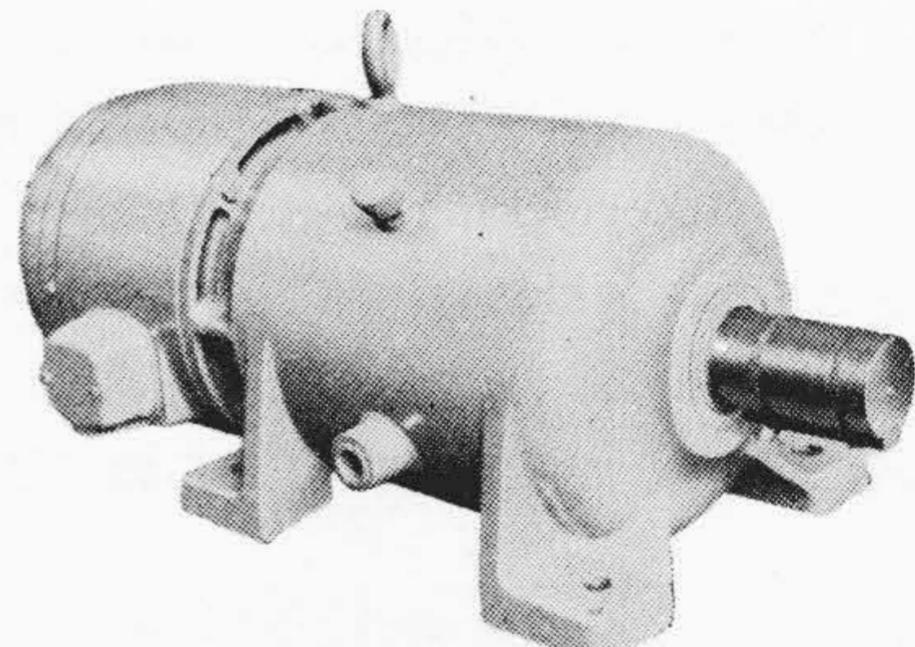
堅型ギヤーモートルの標準仕様は下表のとおりである。

HP	減速軸回転速度(rpm)		機種略号	減速機構	減速比
	50~	60~			
1/2	25	30	SCG	二段单遊量歯車	
1	38	45	CG	減速機構	40:1
2	50	60	SEG		
3	75	90	EG	複式遊量歯車	20:1
5	100	120	GG	減速機構	または 15:1
7.5	150	180	SKG		
10	225	270	KG	一段单遊量歯車	7:1
15	300	360	RG	減速機構	または 5:1

第1図は形式 VTFOG-KK 15 HP 6P 50 rpm 機種略号 15 SEG である。



第1図 型式 VTFOG-KK 15HP 6P 50 rpm 堅型ギヤーモートル



第2図 型式 TFOG-KK 20/10HP, 6/12HP, 30/15 rpm 多速度ギヤーモートル

(2) 多速ギヤーモートル

鉱山における運炭力チップラー、化学工場において液体の粘度によつて攪拌速度を切換えて作業したい場合、あるいはコンベアの速度を変えたい場合など、ギヤーモートルの速度変換の要求が多い、日立の多速度ギヤーモートルは標準形構造の減速装置と極数変換による多速度モートルを組合せて回転速度を 1:2, 1:1.5 または 1:1.5:2 などと 2~4 段の变速を行うもので、これまで多数製作し好評を得ている。出力は回転数に比例したものが多いが、速度にかかわらず出力の一定のものやそのほかの出力比のものも製作している。

第2図は形式 TFOG-KK 20/10 HP 6/12 P 30/15 rpm で回転比 1:2 の多速度ギヤーモートルである。