

# 最近の交流電動機とその応用

高木 正\*      桜井 泰男\*\*

## Recent A.C. Motors and Their Applications

By Tadasu Takagi and Yasuo Sakurai  
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Among widely diversified types of electric motors, the induction motors and the synchronous motors are in the most extensive use because of their simple construction and easy operation. At Hitachi's several laboratories and factories where the electric motors are exclusively turned out, relentless study has been progressing for the development of these most basic prime movers in relation to materials and construction, as well as for finding new fields of motor-applications.

The following pages will enlighten you on how such researching endeavor has been materialized in Hitachi Motors in these postwar years.

### 〔I〕 緒 言

我国における電動機発達の跡を辿つて見るに、なんといつでも最も大きな影響を与えたのは第二次世界大戦である。

国策として材料を極度に制限され大量生産にのみ力が注がれ、その上材料の質は低下し、一方電動機応用方面の開拓もないがしろにされ勝ちであつた。しかるに終戦後経済、産業の復興に伴つて、電動機の需要も漸増し、材料も旧に復するばかりでなく、絶縁材料などは戦前になかつた新しいものができ、応用方面も従来より広範囲に広げられつゝある。一方電動機の構造もそれぞれの用途に適するように改良され、制御器における磁気増幅器、可飽和リアクトルなどの開発に伴つて、交流電動機の使用範囲はますます拡大しつゝある。こゝに最近における交流電動機、特に誘導電動機、同期電動機の趨勢および応用方面の情勢を述べ御使用者各位の参考としたい。

### 〔II〕 概 説

#### (1) 誘導電動機の趨勢

緒言に述べたように戦時中は、材料節約の見地から温度上昇限度を  $10^{\circ}\text{C}$  上げ、周囲温度の基準を  $5^{\circ}\text{C}$  下げ、機械寸法を切詰める方向に向い、いわゆる Z 規格なるものが生れた。戦後は“Z”の名称はなくなつたが材

料の質、量ともに急速に復旧するに到らず規格の内容はそのまゝになつておつた。終戦後5年、ようやく JEC-86 (1950) および JEC-37 (1950) が制定され周囲温度の基準および温度上昇限度が旧に復したのである。この規格改正の特長は温度上昇が旧に戻つたばかりでなく、新に H 種絶縁が追加されたところにある。当時我国に実績は少かつたが H 種絶縁の温度上昇限度は A 種絶縁に対するそれよりも温度計法で  $40^{\circ}\text{C}$ 、抵抗法で  $50^{\circ}\text{C}$  高くとつてある。

一方誘導電動機の特性を保証し、かつ外国に劣らぬ優秀なものとするという見地より、これに関する規格が国家規格として採り上げられ、JIS として制定された。JIS-C-4201, 4202 には一般用誘導電動機の諸特性をも定めてある。米国においては最近 NEMA 規格が改訂されて一般用電動機の寸法標準が小型に移行する趨勢にあり、独逸でも同様の方向を辿つているが、日立製作所においても現在機械を小型軽量にするよう種々の設計改良を施しつゝある。この設計改良が戦時中の寸法切詰と大いに異つている点は、いわゆる Z 規格の行われた当時は材料の質がむしろ低下しつゝあるにもかかわらず、温度上昇を上げ機械の寿命を犠牲にして寸法の切詰をはかつたのに対し、現在行われている設計改良は温度上昇や特性を変えることなく、材料の質や、機械の構造に改良を加えることによつて小型軽量化をはかつていることである。

\* \*\* 日立製作所日立工場

(2) H種絶縁を使用した誘導電動機

日立製作所においては戦後いち早く珪素樹脂絶縁を使用した誘導電動機を試作し、その出力の増加、特性の変化などを比較し<sup>(1)</sup>、かつ八幡製鉄会社納起重機用電動機の特種のものに應用して実効をおさめている。

珪素樹脂絶縁のすぐれている点はすでに知られているように

- (a) 耐熱性がきわめて強く 250°C で 100 時間連続加熱しても変化が認められない。
- (b) 排耐水性が強く吸湿しない。
- (c) 電氣的絶縁性が優秀である。
- (d) 不揮発性で高温でも揮発しない。

などで電気機械としては非常に望ましい材料である。

実験例によれば 15 HP, 6 極, 60 分定格の電動機固定子線輪を珪素樹脂絶縁に巻替えて 22.5 HP, 60 分運転した場合第 1 表および第 2 表のような運転成績を示している。

この表で能率が標準のものに比し悪くなっているのは 15 HP のものをそのまま巻替えたからで、鉄心寸法その他の設計を適正にすればこれよりよい値がえられることは実際の機械についてすでに経験済みである。H種絶縁は溶鋳炉付近で使用される起重機のように、機械の特性上小型であることが要求されしかも周囲温度の高い場所に使用されるものおよび圧延機補機のごとく起動頻度激しく、回転子の GD<sup>2</sup> を小にせねばならぬような用途に好適である。しかし極端に寸法を切詰める際には能率がある程度下ることは、珪素鋼板の特性が現在のものより飛躍的に改良されない限りやむをえないであろう。いずれにしても H種絶縁にして規格温度上昇で設計すれば同一寸法で約 1.5 倍の出力がえられることが第 1 表および第 2 表で示されている。しかしながら電動機の温度上昇を現行よりも 40°C 上げる場合は保守の面から考えて、熱遮蔽その他十分考慮しなければならない。

珪素樹脂は従来の絶縁と異りその作業工程においても特殊の技術が必要であるが、現在ではすでに試作の時期は終り、実機製作の段階になつている。

(3) その他の材料の進歩

珪素樹脂絶縁に飛躍するまでもなく、現在 A種や B種絶縁においても種々新しい材料が使用されまた改良されている。

たとえばビニルフォルマール線の使用は従来の二重綿巻線に比し占積率がよいため機械の大きさを減小させ、また B種絶縁に使用されるガラス巻銅線も初期に製作されたものに比し屈曲性が増し、信頼度を高めている。その他合成樹脂、合成ゴムなどの発達は絶縁材料に大きな変革をもたらしている。

第 1 表 H種絶縁誘導電動機特性  
Table 1. Characteristics of Induction Motors with Class H Insulation

	能率 (%)	力率 (%)	滑り (%)
15.0 HP の場合	93.5	83.5	6.63
22.5 HP の場合	75.5	85.0	13.10

(注) 能率は規約能率, 銅損は 15 HP の場合 75°C, 22.5 の場合 130°C に換算

第 2 表 H種絶縁誘導電動機温度上昇 (°C)  
Table 2. Temperature Rise of Motors with Class H Insulation

	固定子鉄心	固定子巻線	回転子巻線	軸受
15.0 HP 60 分運転	42	48	37	16
22.5 HP 60 分運転	99	113	93	20

また機械的構成部分も溶接技術の発達によつて大型のものはほとんど鉄板構成構造となり軽量にして強固かつ外観も美しいものとなつている。

鑄鉄にしても日立製作所では夙に強靱鑄物の研究を行いきわめて優秀なる性能の強靱鑄物ができるのですでに実際の電動機に広く使用されており、肉厚を小さくて小型軽量化に役立つている。

(4) 材料検査の進歩

最近の材料検査方法の進歩もきわめて著しく、超音波探傷や X線材料検査装置などが完備されておるのでたとえば大容量高速度電動機のシャフトなどもこれにより内部欠陥が徹底的に探究され、良質材料を厳選することができる。

(5) 制御機器の発達

交流電動機は定速度電動機であるため、速度制御を必要としない負荷には最適であり、また 20~30% 程度の速度制御を行うものに対しては二次抵抗制御で簡単に行えるのでほとんどこれによつている状態であるが、これに巧妙な制御装置を併用することによりかなり広範囲にしかも安定な速度制御を行いうるようになった。すなわち漸次直流機の特性に近づいて来ており、直流レオナード方式のように非常に広い範囲に自由に制御できる域には未だ達せられないが、ある程度の応用範囲には実用しうるようになった。

これには磁気増幅器などの進歩が大いに預つて力あるものであるが、これらの機器については本誌の別項を参照され度い。

以下各用途別に特長、性能などを詳述する。

〔III〕 ブロア、ファン、ポンプ用電動機

ブロア、ポンプなどに共通な事項は一般に速度が速く、速度制御範囲が少いことである。定速度の場合には勿論かご形誘導電動機が用いられているが、高速度でかつ慣性の大きい負荷を起動する場合、回転子バーの構造に注意を払わないと使用中にバーが断線する場合がある。負荷の摩擦その他の損失がないものと仮定すると回転体を速度0から  $\omega$  rad/s まで加速する間に回転子バーに生ずる全損失  $W_2$  は

$$W_2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \dots \dots \dots (1)$$

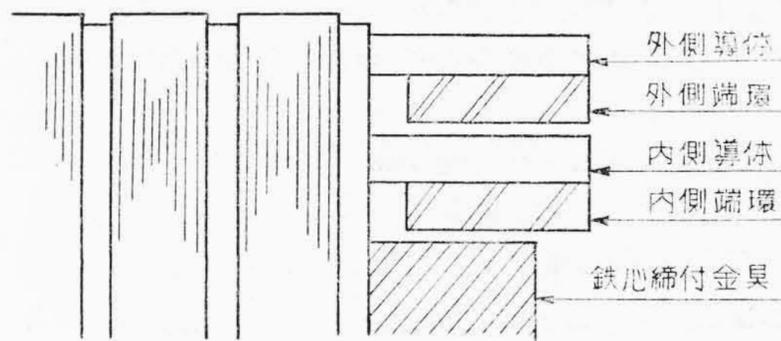
なる関係がある。ここに  $I$  は電動機回転子を含めた慣性能率である。いゝ換えれば二次側に生ずる全損失は回転体のえた回転エネルギーに等しく、一定である。したがって起動トルクの大小は起動時間に関係するだけで二次損失量には関係しない。特殊かご形の場合にはこれだけの損失がバーの上部に集中して生ずるので上下が一体である構造では内部に熱応力を発生する。さらに短絡環は熱膨脹と遠心力とにより外側に伸びるためバーに曲げ応力を生じ、これらの複合応力が起動の度に繰返えされる。日立特殊かご形回転子のバーは第1図に示すように、上部のバーと下部とはおのおの独立した短絡環を設け起動時に膨脹する上部バーは自由に伸びられる構造となっている。また高速大容量の場合には上部短絡環の外側に保護環を入れて保護してある。また温度上昇を低くするために上部バーに抵抗が大きく断面積の大きい、すなわち熱容量の大きいものを用い溝中でガタが生じないように精密寸法をとるなどの考慮を払っている。

ボイラ用給水ポンプのごとく速度制御範囲の割合に広いものには巻線型を使用するが、さらに最近では特殊かご形を用いて中間に流体接手を使用する方式が用いられる場合がある。

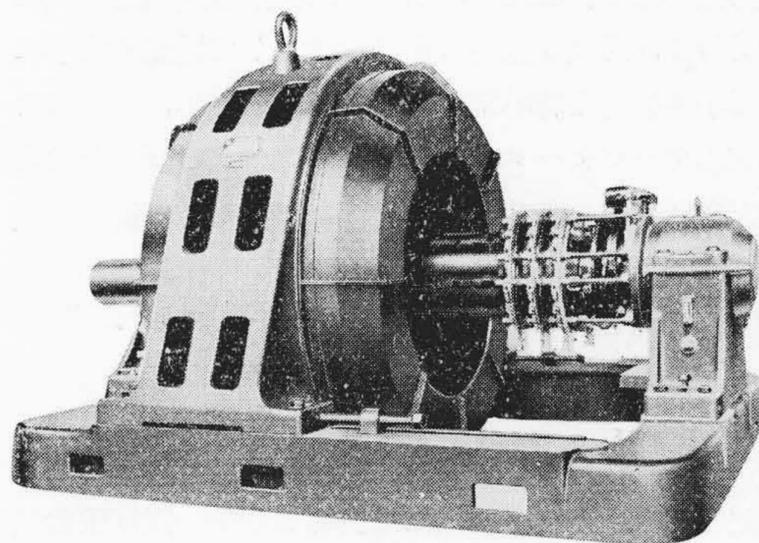
ファンの場合にも速度制御範囲が広範な場合には電動機を二重速度(たとえば6極8極)の特殊かご形としてダンパコントロールの方が効率のよい場合もある<sup>(2)</sup>。炭

砒の通気ファンにおいて数年後坑道が伸びて風圧を増す予定がある場合にも二重速度電動機とした方が電動機の運転効率がよい。第2図に示すものは現在16極で運転し、将来14極に結線変更ができるよう設計されたものである。

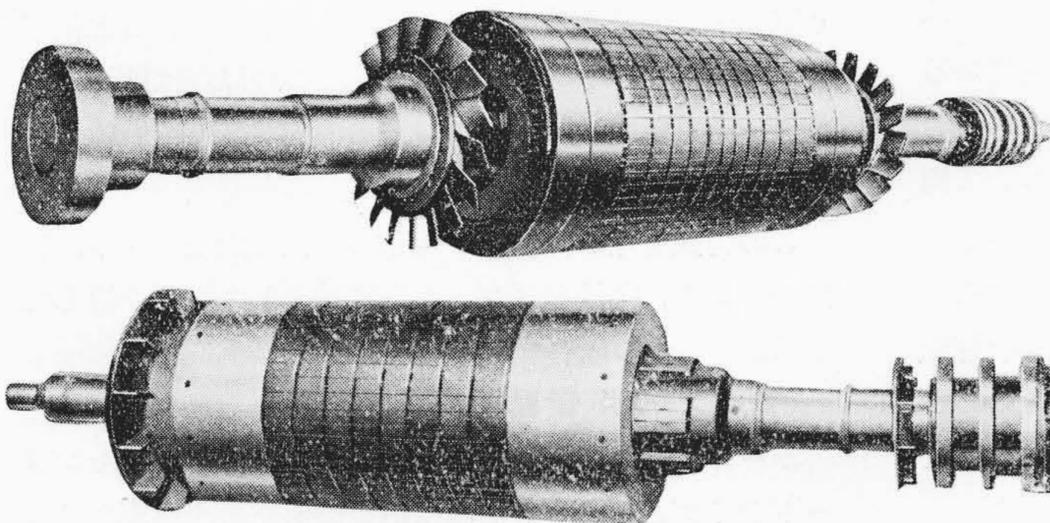
製鉄所高炉ブロアやガス工場、製油工場に用いられる大容量巻線型電動機もその構造が著しく進歩し重量、寸法も軽減されている。これについてはすでに本誌に紹介されているので<sup>(3)</sup>詳述は避けるが著しい変化は回転子に保護環が使用されコンパクトな構造になつてきていることである。第3図(a)(b)はそれぞれ旧型の回転子および保護環を使用した回転子である。



第1図 二重かご形回転子バー構造図  
Fig.1. Construction of Squirrel Cage Rotor Bar

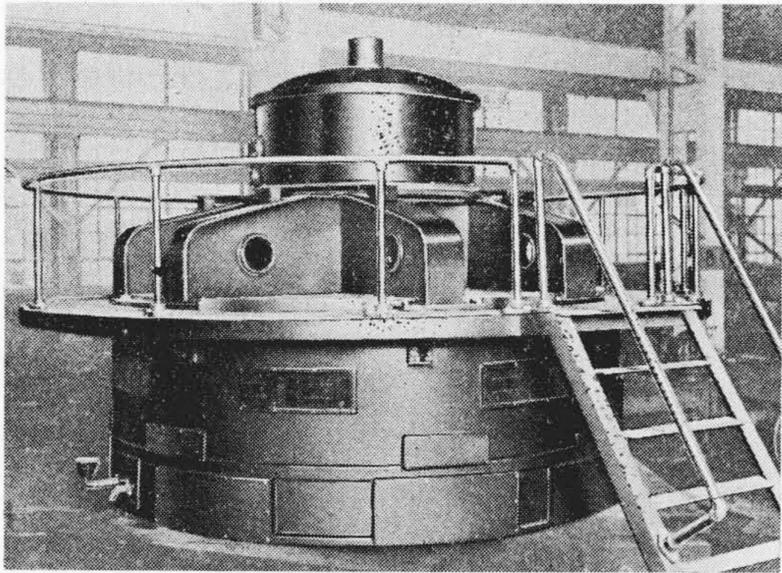


第2図 1,500 HP 14/16極 ファン用誘導電動機  
Fig.2. 1,500 HP 14/16 Pole Induction Motor for Ventilating Fan



第3図(a) 線輪端にバインド線を使用した2極機回転子  
Fig.3.(a) Rotor of 2 Pole Motor with Binding Wire

第3図(b) 線輪端に保護環を使用した2極機回転子  
Fig.3.(b) Rotor of 2 Pole Motor with Protecting Ring



第4図 新井郷川排水機場納  
460 kW 42極 豎型 同期電動機

Fig. 4. 460 kW 42 Pole Vertical Synchronous Motor for Niigō River Pump Station

ポンプ用で低速の場合同期電動機が使われるようになったのも最近の傾向である。これは力率がよいこと、固定子回転子間のギャップが大なるため据付保守上便利なためである。低揚程、大水量の農地灌漑用のポンプとしては運転コストの点から考えても同期電動機が適している。第4図はその例で豎型可変ピッチプロペラポンプに直結されるもので電動機の構造としては豎型水車発電機と同様である。またこのポンプは自動水量調節方式になっており、同期電動機の電流を検知して電流の大小によつて小型制御用誘導電動機を正逆転せしめ、それによつて油圧サーボモータを動かしてプロペラのピッチを可減し、常に一定の負荷になるよう制御する。制御電動機を正逆回転させる原理はセメントキルン用電動機の項に後述する方法と同じである。

#### [IV] 圧縮機用電動機

空気圧縮機、ガス圧縮機には誘導電動機、同期電動機いずれも使用される。回転形圧縮機は速度が速いので誘導電動機を使用することが多いが、往復動圧縮機は速度が遅いため誘導電動機直結にすると力率が悪い。したがつて誘導電動機の場合にはベルト掛とし、直結の場合にはもつぱら同期電動機が使用されている。いずれを用いるかは経済比較によらねばならぬが、300 HP 以上の場合には同期電動機の方が有利である。300 HP について両者を第3表に比較してみた。

すなわち 300 HP ではプーリーを含むと誘導電動機も重量において同程度になるが、保守の容易さおよび運転コストの面を考え合せると同期電動機が有利になるのである。最近の圧縮機用同期電動機の構造その他については省略する<sup>(4)</sup>。

第3表 誘導電動機と同期電動機との差異

Table 3. Difference between Induction Motor and Synchronous Motor

例	300 HP 22 極 同期電動機(直結)	300 HP 10 極 誘導電動機(ベルト掛)
空 隙	大 き い	小 さ い
床 面 積	小 さ い (励磁機は他の場所に設けられる)	プーリーを含むため大きい
能 率	良 い	電動機で 1.5%, ベルト損失で更に 2% 悪い
力 率	100% または進み力率	悪 い
起 動 回 転 力	やや少いが起動には十分	100% 以上
起 動 電 流	—	かご形の場合同期電動機にほぼ同じ
重 量	100% (励磁機セットを含みシャフト軸受含まず)	75% (ただしプーリーを含まず)

#### [V] セメント工場用電動機

セメント工場に使用されるおもなものはキルン用電動機と仕上、原料石炭などのボールミル用電動機である。

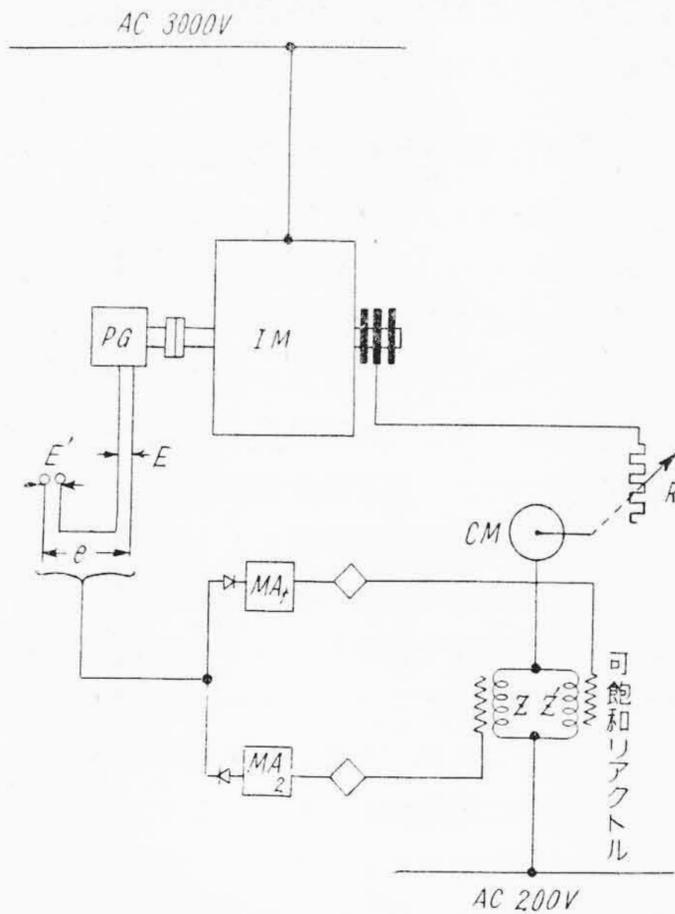
##### (1) キルン用電動機

キルン駆動用としては 100~200 HP 程度のものが多い。速度制御が必要なので巻線型誘導電動機を用いて二次抵抗制御を行う。特に最近、製品の均質化の点より負荷が変動しても速度を一定に保つ要求が生じこれに対してつぎのような方法をとっている。第5図においてキルン駆動用電動機  $IM$  に直流パイロット発電機  $PG$  を直結し二次側は二次抵抗器  $R$  に接続される。 $R$  は制御用小型誘導電動機  $CM$  を正逆回転することにより抵抗値を加減できる。 $PG$  の電圧  $E$  を規準電圧  $E'$  と比較し  $E - E' = e$  が正ならば磁気増幅器  $MA_1$ 、負ならば  $MA_2$  が励磁され、その出力によつてそれぞれ可飽和リアクトルの正転回路  $Z$ 、逆転回路  $Z'$  が励磁されて  $CM$  は正逆転を行い常に  $e = 0$  になるよう、すなわち常に  $IM$  が一定速度になるように保つ。 $CM$  を正逆回転する原理は第6図に示すもので、こゝに  $u, v, w$  は  $CM$  の端子、 $Z, Z'$  は可飽和リアクトルである。今  $Z, Z'$  が励磁されると  $Z$  のリアクタンスは小となり  $Z'$  は大きいので電流は  $Z$  のみを通り  $RST$  に対する相順は  $u \rightarrow v \rightarrow w$  となり正転する。 $Z$  が励磁されずに  $Z'$  が励磁されると相順は  $u \rightarrow w \rightarrow v$  となつて逆転する<sup>(5)</sup>。この原理は前述のポンプ用同期電動機の定電流装置にも用いられているものである。

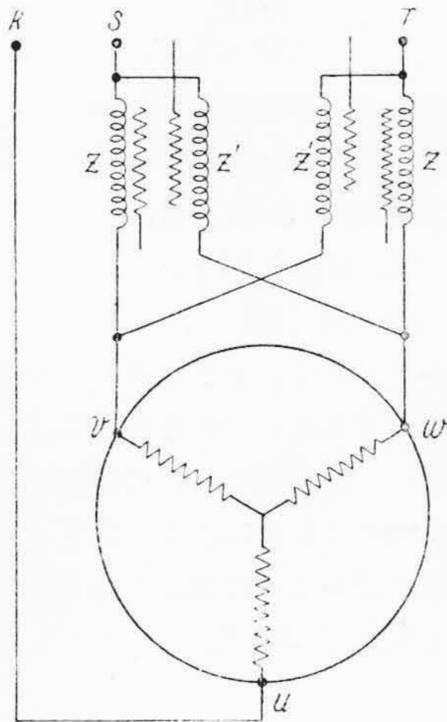
この方式を用いたキルン用電動機は日立セメント、日本セメント、磐城セメント各社に納入して好評を博している。

##### (2) ミル用電動機

ボールミルを駆動する方式にサイドドライブとセンタードライブとがある。前者は電動機直結の小歯車がミル



第5図 誘導電動機定速制御の原理  
Fig.5. Principle of Constant Speed Control of Induction Motor



第6図 可飽和リアクトル制御回路  
Fig.6. Control Circuit with Saturable Reactor

側歯車の側面にあるもので、電動機速度は遅く 125~180 rpm 程度であり、後者は電動機側歯車が中央にあつて、電動機速度は 750 rpm ぐらいのものが用いられる。前者は速度が遅いので誘導電動機では力率が悪くなるため最近ではもっぱら同期電動機が用いられている。

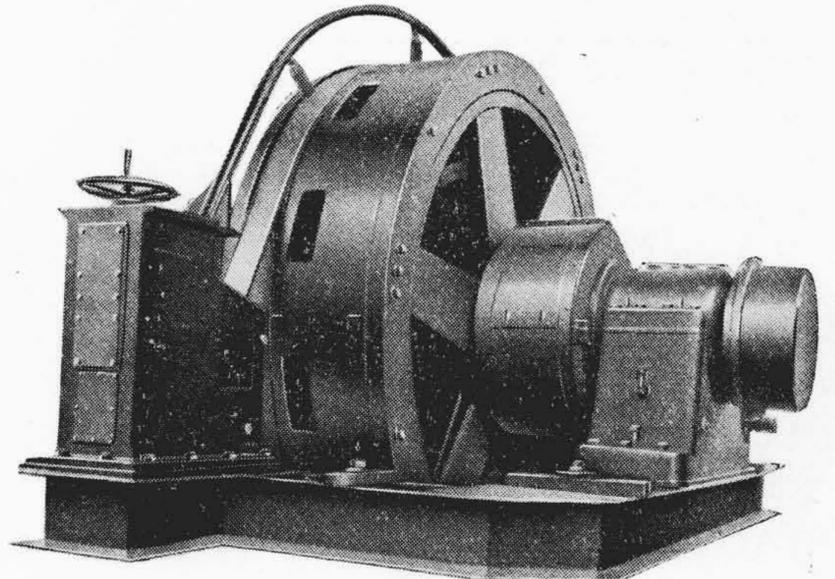
米国規格 NEMA にはボールミル用同期電動機のトルクとして第4表の値を推奨している。

ただしこの表中、牽入トルクは通常の同期電動機に適用されるもので超同期電動機には適用されない。

第4表 ボールミル用同期電動機所要トルク

Table 4. Torque of Synchronous Motor for Cement Ball Mill

用途	起動トルク (%)	牽入トルク (%)	脱出トルク (%)
ボールミル (岩石, 石炭)	150	110	150
ボールミル (鉱石)	175	110	175
微粉炭ミル	150	125	150



第7図 650 HP 32極超同期電動機

Fig.7. 650 HP 32 Pole Super Synchronous Motor

実際には起動トルク 150% 以上必要なことは少く、100~125% 程度で起動しうるものが多い。勿論この数値は電動機出力の余裕のとり方によつて非常に異なる。

サイドドライブに使用する重負荷起動用同期電動機には超同期電動機の他に相巻同期電動機や電磁クラッチ付同期電動機などが用いられたこともあるが、起動特性が良好で起動機構に信頼の置ける点からいつて超同期電動機を奨めたい。相巻同期電動機は凸極型磁極に励磁巻線の他に二相または三相の起動巻線を備えたもので、誘導電動機として起動する際には抵抗起動を行うので起動トルクも大きいですが、ダンパー起動に比べると全速に達した後の二次巻線抵抗が大きく滑りが大きい。第4表に示すようにミルの場合の牽入トルクは 100% 以上を要求されているので、この要求を充すにはどうしても機械が大型になる。また滑りが大きいことは牽入の際の電氣的ショックを大きくする。

電磁クラッチ付同期電動機は本体は通常の軽負荷起動用同期電動機と同様でカップリングを電磁クラッチとし電動機起動後クラッチを励磁し、円板の摩擦を利用して負荷を起動するものである。円板摩擦クラッチは全面にわたつて摩擦圧力が同じであつてもトルクとして利くのは外周の方であるから有効にトルクを出すためにはその直径を大きくせねばならず、逆に小型にするときには面



が通例で、これを負荷に応じて加減するいわゆる滑り調整器が併用される。

圧延機用電動機は 250~300% の最大トルクを要するが、誘導電動機はその性質として負荷がかゝつた場合自然に滑りが増して電流が増し、これに応ずる。しかし同期電動機ではこの性質がないから最初から回転子にこれに応ずるだけの励磁電流を与えておかなければならない。同期電動機の脱出トルク  $P_m(\%)$  は

$$P_m = \frac{i_2}{i_1} \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

で表わされる。こゝに  $i_2$  は与えている励磁電流、 $i_1$  は短絡曲線上定格 kW の電流に相当する励磁電流である。このために同期電動機に大きな過負荷耐量を持たせると、同じ最大トルクをもつた誘導電動機より大型になる。

同期電動機は一定励磁を与えて運転するのが普通であるが、自動制御によつて刻々励磁電流を変化させることもできる。自動力率制御がその一例である<sup>(9)</sup>。圧延機や巻上機のように負荷が変化する場合には一定励磁を与えておくと重負荷のときは力率が悪く軽負荷の場合には進み力率になる。その際負荷に応じて励磁電流を増減してやれば一定力率で運転することができる。これは一方過負荷耐量を刻々変化していることにもなるのである。

上記のように同期電動機は大型になるが、力率のよいこと、特性のよいこと、故障の機会が少いことなどの理由で圧延機にもこれを用いることが考慮されて来た。

### 〔VII〕 圧延機補機用ならびに起重機用電動機

圧延機補機用電動機は起動停止、逆転の頻度が非常に多く、しかも機械的振動の多い場所に使用されるなど、起重機用電動機と使用状態が類似しているのでこゝにまとめて述べる。一般に短時間定格の全閉巻線型電動機が使用されるが上記の条件を考慮して特殊な設計を施してある。起動逆転が多いことは定格電流より大きな電流が流れる時間が多いことを意味する。また停止に逆相制動をかける場合も同様である。したがつて巻線は大電流に対しても電気力で移動することのないよう緊縛しなければならない。これは固定子回転子とも同様であるが、特に回転子はこれに回転方向の慣性力が加わり振動も大きいから特に頑丈に固定しなければならない。また短時間で正、逆転できるように回転子の直径を小さく設計するほか、鉄塵などの多いところに使用される関係上、それらが巻線の絶縁をおびやかすことを防ぎ、あるいは回転子線輪端などに入り込まないような構造にしてある。

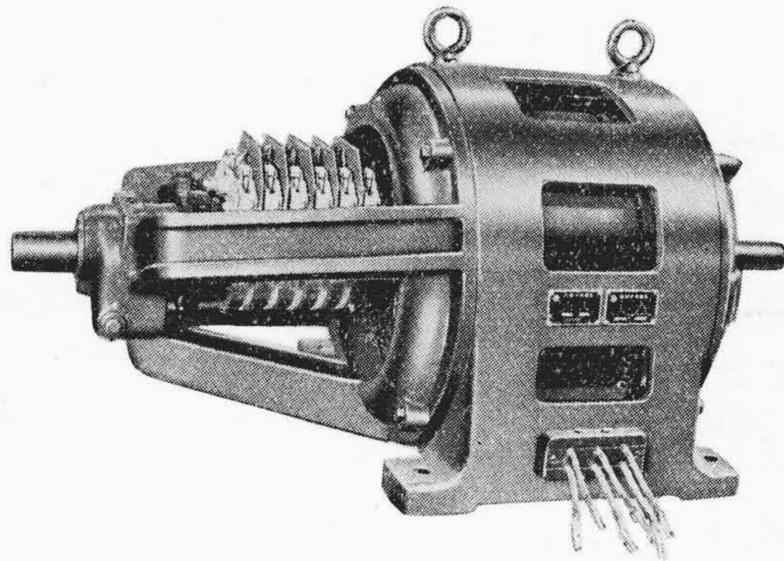
熱鋸機のように起動回数が少く定速で回転している時間が長いものには特殊かご形を使用してもよいが、尖頭負荷が間歇的にかゝる上に (2) 式で説明したように、は

ずみ車効果が効かないから、上記巻線型の場合と同様大電流に対する考慮を払わねばならない。回転子バーの負荷条件は巻線型のそれより苛酷で、前にブローの起動について述べたのと同じ問題がある。しかも通常の起動停止と異り数秒に一回という苛酷なものであるから、バーや短絡環の熱膨脹や収縮に対する考慮はさらに厳重になされねばならない。

### 〔VIII〕 巻上機用ならびにエレベータ用電動機

鉱山の巻上機において堅坑巻上機のように精密着床を必要とするものについては低速の安定制御が必要であるためもつぱら直流レオナード方式が使用されている。エレベータ電動機についても同様のことがいゝえられ客用エレベータについてはほとんど直流が使用され、速度 150 m/mn のものまで製作されている。しかし最近巧妙な制御装置を併用することにより誘導電動機によつてもかなり精密に着床することができるようになり 75 m/mn の中級速度まで用いられている。これは第10図に示すような二重速度電動機を使用するものである。すなわち 6 極と 24 極との二種の巻線を同一溝内に巻込み第11図(次頁参照)に示すように高速側で①②③のごときトルク特性を、低速側で④の特性を持たせ、停止前に低速側に切換える。高速側のトルクと低速側のトルクとを重畳させるとさらに妙味のある速度制御ができる。

今③と④とを加えると④'の特性が生まれ、高速側の逆相制動⑤に④を加えると④'となる。このようにすると低速側電動機トルクは小さくても正負にわたつて広範囲のトルクを蔽うことができる。この場合低速電動機はトルクが小さくて済む上に通常短時間定格でよいからべつに設ける方が全体の  $GD^2$  を小さくすることができて有利である。

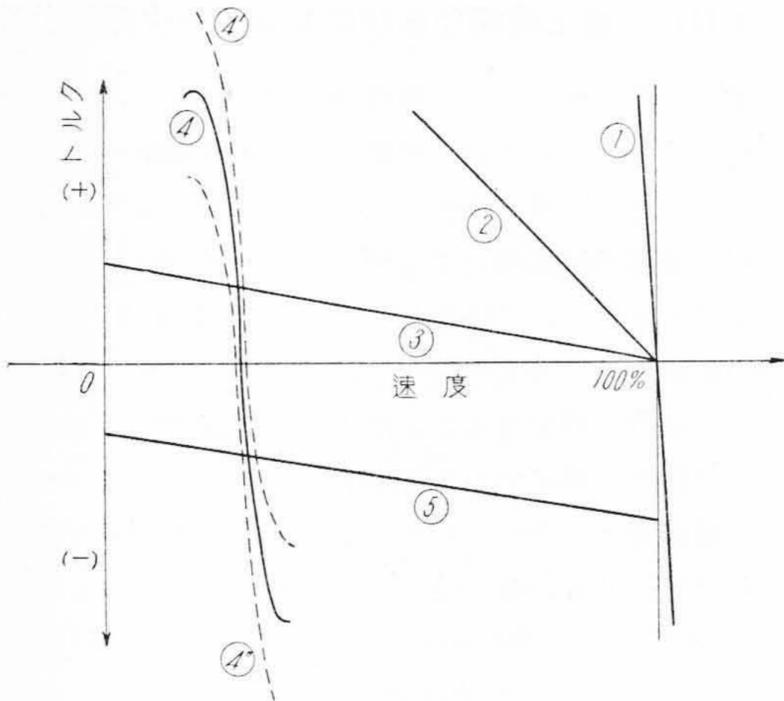


第10図 エレベータ用二速度誘導電動機  
15 HP 6/24 極

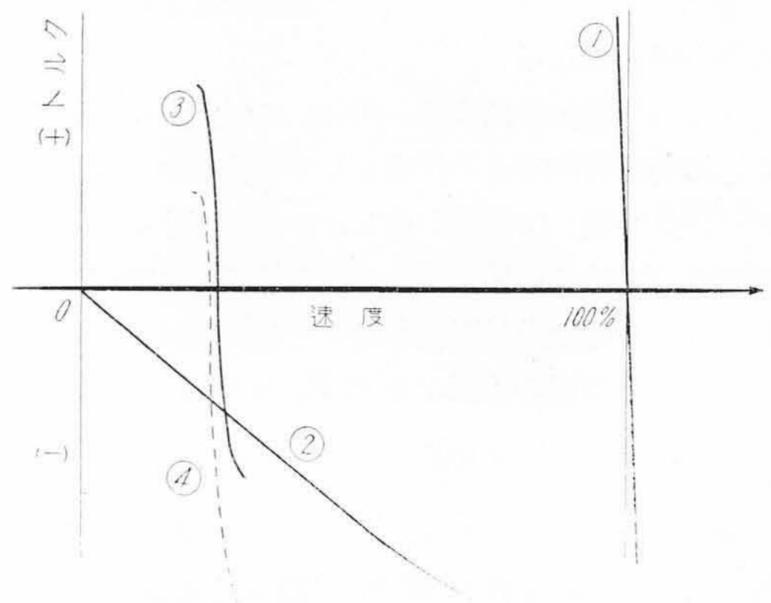
Fig. 10. 2 Speed Induction Motor for Elevator  
15 HP 6/24 Poles

第12図はこれをスキップ巻上機のプログラムに適用する場合を示し、(a)は時間-トルクのプログラム、(b)はトルク曲線上これに対応する点、(c)は速度-時間プログラムである。

これとよく似た例はケーブル起重機に使用され巻下しの場合直流励磁を加えて発電制動を行い停止前にこれに補助電動機のトルクを加えて安定な低速をえるもので、



第11図 二重速度誘導電動機の世界トルク曲線  
Fig.11. Torque-Speed Curve of 2 Speed Induction Motor



第13図 ケーブル起重機用誘導電動機の世界トルク曲線

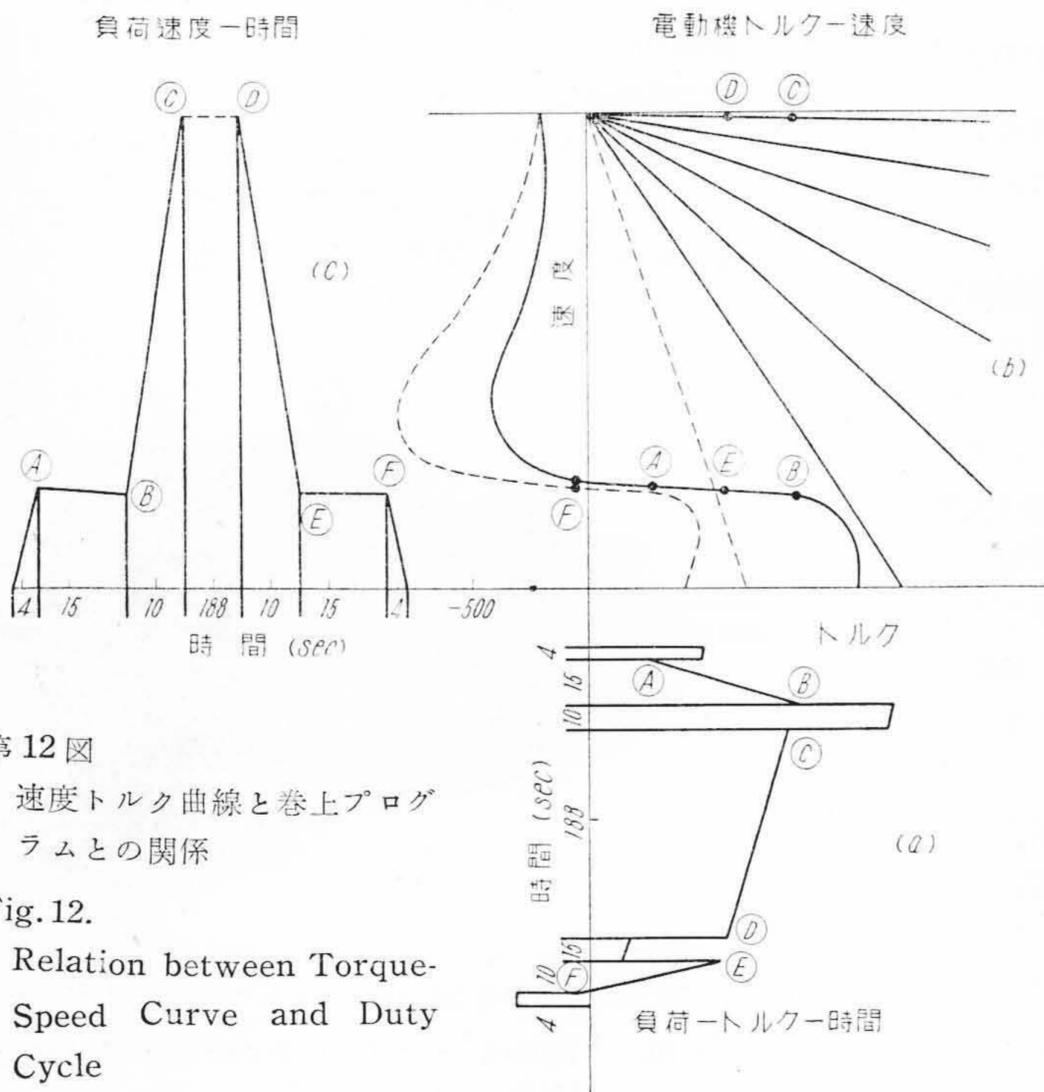
Fig.13. Torque-Speed Curve of Induction Motor for Cable Crane

第13図の①は主電動機トルク、②は発電制動トルク、③は補助電動機トルク、④は②③を重畳してえられたトルクである。第14図はケーブル起重機用誘導電動機(補助電動機付)を示す。

以上のような方法を用いるときは低速側は補助電動機の同期速度で定まつた一定速度のみえられ、それ以下の低速はえられないという欠点がある。この方式にさらに

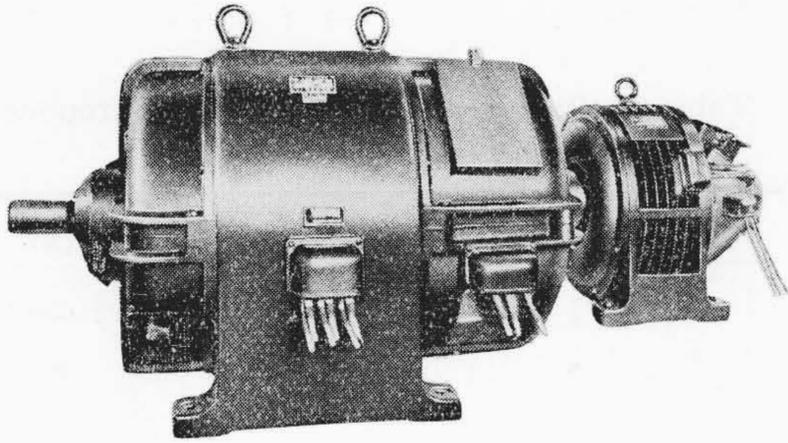
一步を進めて先にキルン用電動機の項で述べたような可飽和リアクトルを用いた制御を行うと速度の制御範囲はさらに広がる。先に述べたのはこれを二次抵抗制御用の制御電動機に用いた例であるが、これと類似の制御を補助電動機に直接加えるのである。今電動機が正転から逆転に移る過程を考えてみる。

第6図における正相リアクトルZの励磁を減じて行くとトルクは第15図のように①②③と連続的に移行して行き、引続いて逆にZ'を励磁して行くと④⑤⑥と逆相トルクが出て来る(この場合電動機回転子は一方向にのみ回転をつづけているものとする)。したがって斜線を施した範囲でリアクトルの励磁によつて自由に速度を変えることができる。これに負荷の変化があつても電動機トルクを速応的に変化して速度を一定に保つような制御を加えれば安定な速度特性がえられる。第16図はその制御原理の説明図でありIM<sub>1</sub>は主電動機、IM<sub>2</sub>は補助電動機、Zは正相用可飽和リアクトル、Z'は逆相用可飽和リアクトル、その他は第5図と同様である。FGの電圧Eを基準電圧E<sub>0</sub>



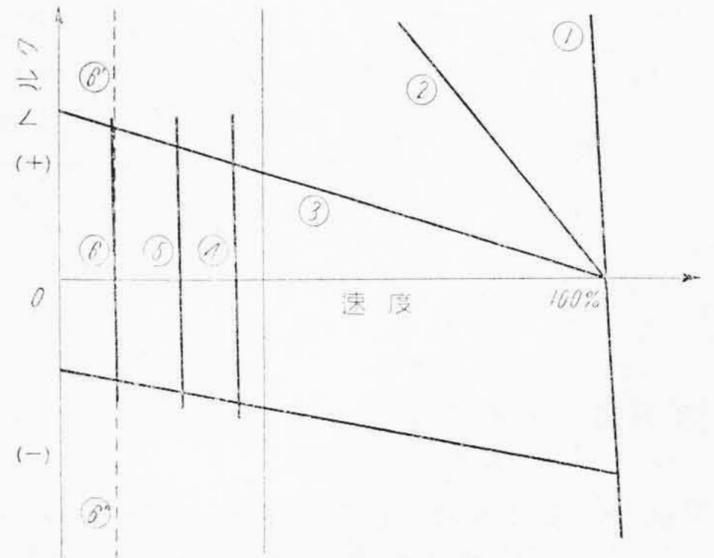
第12図 速度トルク曲線と巻上プログラムとの関係

Fig.12. Relation between Torque-Speed Curve and Duty Cycle



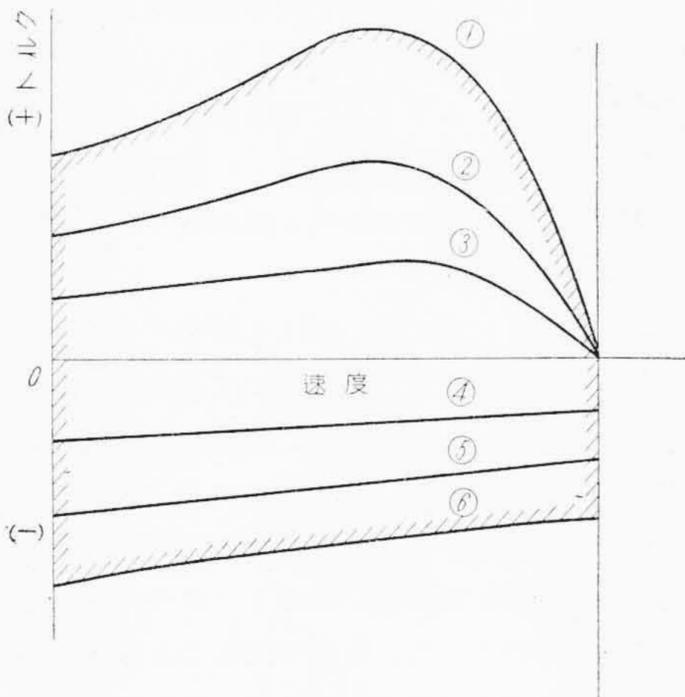
第14図 ケーブル起重機用誘導電動機

Fig.14. Induction Motor for Cable Crane



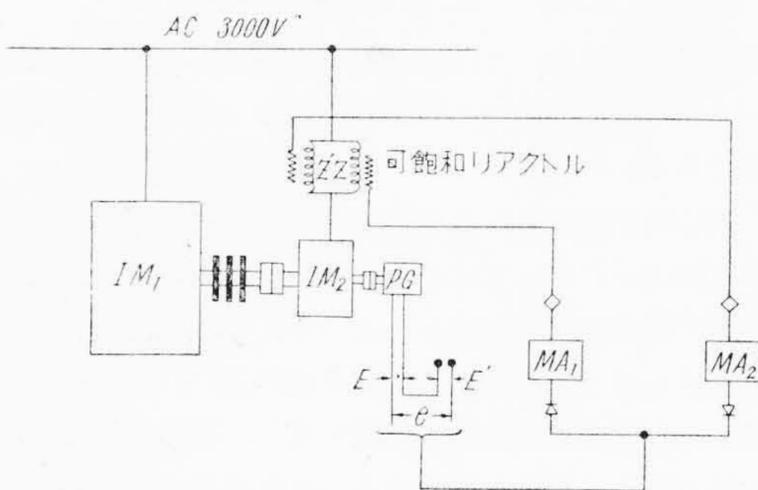
第17図 補助電動機に可飽和リアクトルを用いたトルク速度曲線

Fig.17. Torque-Speed Curve of Main and Auxiliary Motor with the Saturable Reactors



第15図 可飽和リアクトルによる速度制御範囲

Fig.15. Speed Control Range by Saturable Reactor Controlling



第16図 補助電動機に可飽和リアクトルを用いた速度制御の原理

Fig.16. Principle of Speed Control with Auxiliary Motor Applied the Saturable Reactors

と比較して正ならば  $MA_1$ , 逆ならば  $MA_2$  を通してそれぞれ  $ZZ'$  を励磁する。したがって速度は一定に保たれ基準電圧  $E'$  の大きさにしたがって第17図の④⑤⑥のよ

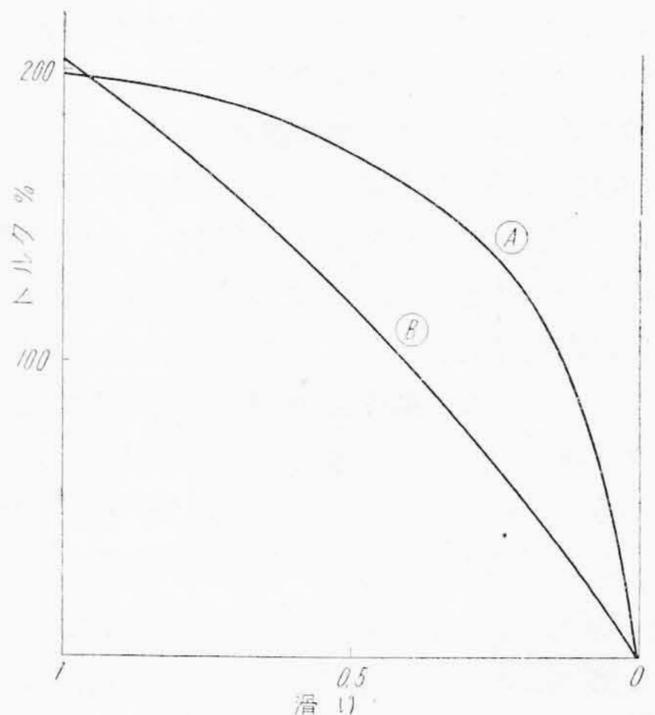
うなトルク曲線がえられる。これに第11図におけると同様主電動機の正相トルク曲線③または逆相⑦と重畳させればそれぞれ⑥⑥'のような特性がえられるのである。

この方法を主機に直接加えてもよいが、リアクトルの容量が大きくなる欠点がある。

以上種々の速度制御方式について述べたが、このように変化の多い速度制御法が最近用いられるようになり、誘導電動機の使用範囲が広げられつつあるのは注目に値することである。

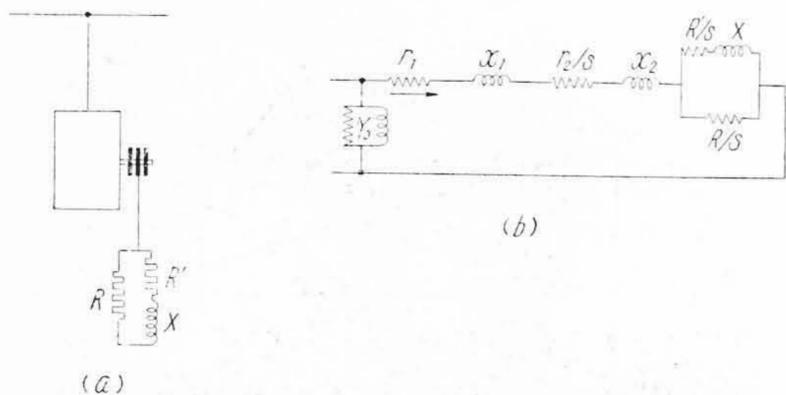
### [IX] 電気ショベル用電動機

前項の種々のトルク特性の他に異色あるものとして電気ショベル用誘導電動機がある。従来ショベルにはエンジンを用いて来たが最近誘導電動機が用いられるように



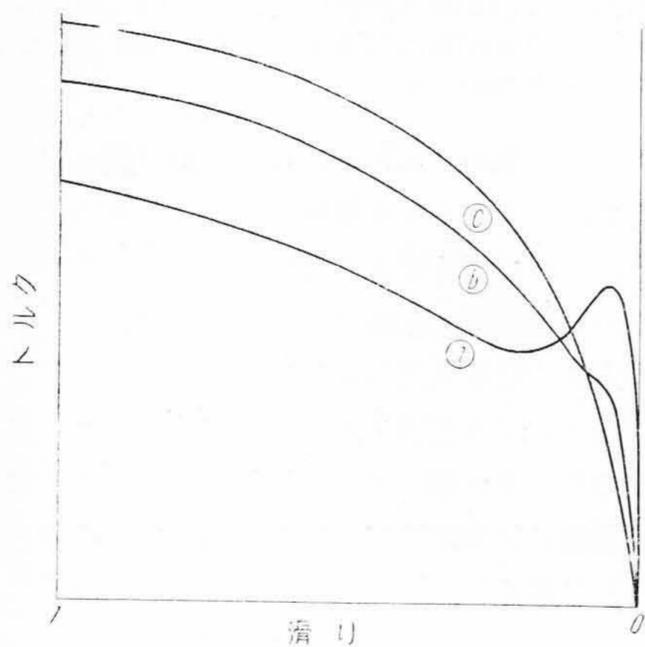
第18図 電気ショベル用電動機のトルク速度曲線

Fig.18. Torque-Speed Curve of Induction Motor for Electric Shovel



第19図 電気ショベル用電動機の結線図ならびに等価回路

Fig.19. Connection Diagram of Induction Motor for Electric Shovel and its Equipment Circuit



第20図 二次に抵抗とリアクタンスを挿入した場合の種々のトルク速度曲線

Fig.20. Torque-Speed Curve with Secondary Resistance and Reactance

なつた。この種用途としては定格トルクにおいては滑りが少く、固い岩石にかゝつて荷が重い場合には無理なく速度が低下するいわゆる垂下特性が望ましいが、単に二次抵抗を入れたのみでは第18図③のごとく、重負荷の場合に速度は落ちるが定格負荷における滑りも低下して面白くない。曲線④は75kW 6極電気ショベル用電動機でえられたトルク曲線である。この特性は第19図(a)に示すように二次側に抵抗とリアクタンスとを並列に入れてえられたものである。第19図(b)はその等価回路で、 $R'$ はリアクトルの内部抵抗を含めた直列抵抗である。この図でわかるように  $S \approx 0$  の付近ではリアクタンスの値が小さいから二次側に  $\frac{RR'}{R+R'}$  なる抵抗を接続したのとほぼ同様の特性が生れる。 $R'$  を入れないかまたは非常に小さいと第20図①②のように思わしくない特性になり、 $R'$  に適正な値を与えると ④ のようになる。 $S=1$  の付近ではリアクタンスの値が大きいためから  $R$  のみを接続したときのトルクの値にほぼ近い値をえることができる。

第5表 パルプグラインダ用同期電動機所要トルク

Table 5. Required Torque of Synchronous Motors for Pulps Grinder

種類	起動トルク (%)	牽入トルク (%)	脱出トルク (%)
マガジン型 パルプグラインダ	50	50	150
ボケツト型 パルプグラインダ	40	30	150

〔X〕 パルプグラインダ用電動機

パルプグラインダは定速回転であり 1,000~2,000 HP という大型のものが多いため同期電動機を使用するのが有利である。米国規格 NEMA にはパルプグラインダ用同期電動機のトルクとして第5表のような値を推奨している。これらの値は圧縮機などに使用されている普通型の同期電動機のトルク特性と同程度であり特殊な電動機を必要としない。

パルプグラインダにおいては木材をグラインダに押しつける圧力を常に適正な値に保つて過負荷にならぬように制御する必要がある。これには機械的電気的両法があるが電気的に行う場合、昔はトルクモータをカウンタウエイトとバランスさせ、主電動機の電流値によつてトルクモータの電圧を加減し、このトルクモータで水圧バルブの開閉を行つていた。現在ではもつと鋭敏に制御するために前述のプロペラポンプのピッチを加減するのと同じ方法も考えられるし、また超同期電動機の制動用サーボリフタの制御と同じ方法も可能である。

〔XI〕 化学工場用電動機

化学工場においては多種類の電動機が使用されるが使用される場所によつて問題になるのは耐薬品性と耐爆の点である。

耐酸性を要求される場所でも種々程度の相異がある。日立製作所においてはこれを甲、乙、丙のほゞ三段階に分けて適当な耐酸処理をしている。甲種は耐酸程度の最も高いもので、保護方式は防水型に近い全閉外扇型を使用し、巻線には勿論耐酸処理を施し、機の内外とも耐酸塗料を塗つて腐蝕を防止する。またファンなど外気に触れて腐蝕しやすいものには薄い鋼板は用いず鋳鉄その他耐蝕性材料を用い、端子は露出しないように裸導電部にはメッキを行う。

乙種は甲種のつぎに位するもので型はやはり全閉外扇型を用いファンは甲種と同じである。また巻線に耐酸処理をして耐酸塗料を塗布する。

丙種は程度の軽いもので型は開放型または閉鎖型を用い耐酸塗料を塗布するものである。

耐アルカリその他の耐薬品性も上記に準じる。なお化学工場においては耐薬品性の必要がなくとも湿気や水滴が多く防水性を要求される場所が多い。滴下する水滴のみであれば防滴型でよいが、苛酷な条件の場合には防水型を使用する。防水型とは屋外で雨天中に運転しても差支えのないもので、全閉外扇型で部品の接合部には嚴重なパッキンを施し、軸の貫通部には水分を切る室を設けて軸間の隙間から水が入らぬような構造にしてある。

水素ガスその他爆発性、引火性のガスの存在する場所で運転するものは防爆構造を必要とする。特に水素ガスの場合には内圧防爆構造とし、常に外部の新鮮な空気を機内に注入して外気より圧力を高くし、水素の侵入を防ぐ。大型ガス圧縮機の同期電動機は室内に水素量の少ない場合が多く、また全閉防爆型にすることも困難なので、常時火花を発生すると考えられる滑動環カバーにのみ内圧構造を施している。

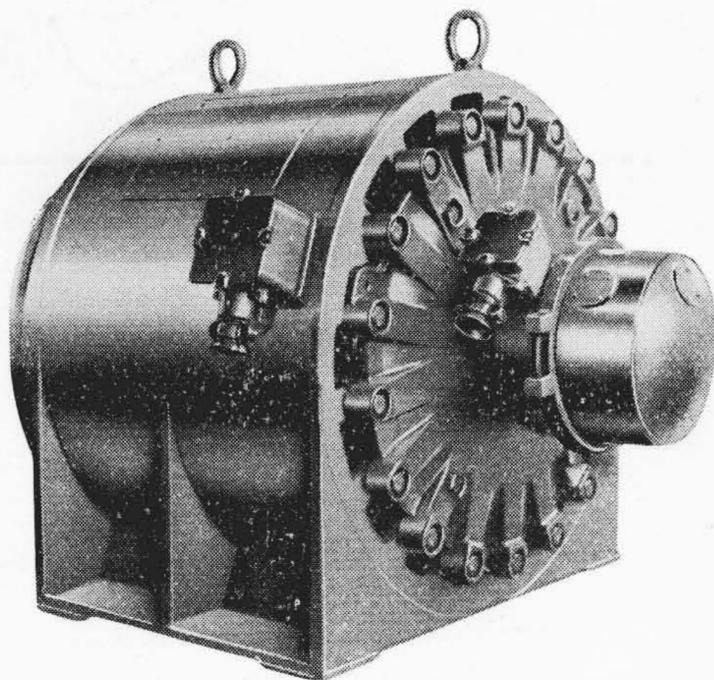
製油工場におけるプロパンガスも最近問題になり出したが、日立製作所ではこれに関する研究を行い、ガスの性質として、爆発圧力はメタンガスよりやや高いが炭坑用耐圧防爆電動機と同じ構造になつておれば圧力にも十分耐え、引火する危険のないことがわかつた<sup>(11)</sup>。なお実際の 250 HP, 150 HP の電動機についてプロパンガス内で爆発させ異常ないことを確めた。

### [XII] 炭坑用防爆電動機

坑気防爆型電気品の防爆構造に関しては、古くから JEC-93 によつて製造されて来たが、戦後 JIS 規格に取上げられ JIS-C-0901 電気機器の防爆構造(炭坑用)ならびに JIS-C-0902 同試験方法が制定せられた。日立製作所においても古くからこの研究に当り種々の論文が発表されているが、その成果として従来困難視されていた大型の耐圧防爆誘導電動機 550HP 12 極巻上機用を製作した<sup>(12)</sup>。このとき大型電動機をガス中で爆発試験を行うる爆発試験装置をも備えた。前章に述べた爆発試験もこの装置によつたものである。最近の日立防爆電動機の構造およびメタンガスの性質の詳細については本誌32巻を参照され度い<sup>(13)</sup>。

### [XIII] 結 言

以上交流電動機の最近における進歩と問題点について



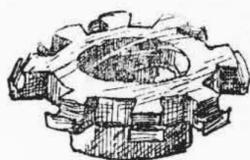
第 21 図 550 HP 12 極 巻上機用耐圧防爆誘導電動機

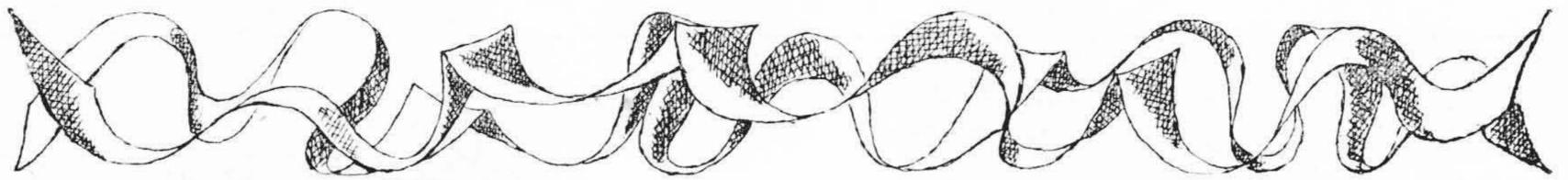
Fig. 21. 550 PH 12 Pole Explosion-Proof Induction Motor for Mine Hoist

概説した。交流電動機はその用途が広く多岐にわたつているので、今迄述べて来た諸問題も各方面のことに触れたつもりであるが、未だこの他にも割愛している事項が多い。電源をえやすく構造も簡単で取扱いやすいので将来とも諸産業の発展は交流電動機に負うところが多いと考える。電動機本体の構造上、特性上の改良もさることながら、制御方式にも種々の改良を加えて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。

#### 参 考 文 献

- (1) 山口： 連合大会論文集 3 8 (昭 26-11)
- (2) 河田, 桜井, 中山： 日立評論別冊 No. 4 67 (昭 28-11)
- (3) 麻生： 日立評論 36 849 (昭 29-6)
- (4) 桜井： 日立評論 別冊 No. 1 39 (昭 27-11)
- (5) 桜井： 日立評論 34 1297. (昭 27-11)
- (6) 特許 第 196852 号
- (7) 山口, 平川： 日立評論 36 601 (昭 29-3)
- (8) 実用新案出願中
- (9) 小林, 桜井, 藤木： 日立評論 34 753 (昭 27-6)
- (10) 益江： 日立評論 34 1467 (昭 27-12)
- (11) 岩淵： 日立評論 35 964 (昭 28-6)
- (12) 山本： 日立評論 34 539 (昭 27-4)
- (13) 山本： 日立評論 32 825 (昭 25-9)





第36巻 日立評論 第11号

- ◎ ストーカーボイラにおけるコールシュートの諸問題...日立製作所・日立研究所 河原誠二
- ◎ 東京電力新川線表示線保護継電器 ..... {東京電力株式会社 高木利夫  
日立製作所・日立国分分工場 石田成勝 藤三
- ◎ 熱量計法による鉄損およびヒステリシス損の測定.....日立製作所・日立研究所 {西片堀木 博三郎  
片木 劍三
- ◎ 東京—赤城山間マイクロ波伝播試験 .....日立製作所・戸塚工場 長浜良三
- ◎ PH-4型電力線搬送電話装置.....日立製作所・戸塚工場 工藤康
- ◎ EH 10形電気機関車.....日立製作所・日立工場 {山崎良夫  
竹村伸義 佐々木 一雄
- ◎ 蓄電池機関車自動充電装置 .....日立製作所・日立国分分工場 池田正一郎
- ◎ 走行車輛の振動解析について.....日立製作所・笠戸工場 {桑江和夫  
左海孝之
- ◎ 斜坑において鉸車センターバッチにかゝる荷重ならびにその強度に関する実験 .....日立製作所・戸畑工場 {岩山熊根 正昭 文久
- ◎ レールボンド用強力半田合金の試作.....日立製作所・日立電線工場 山路賢吉
- ◎ 短尺同軸ケーブルの不均等性測定用パルス試験機.... {茨城大学 本多誠一  
日立製作所・日立電線工場 堀口二三男
- ◎ 鑿岩機用ピストン鋼の焼入性について.....日立製作所・安来工場 {小田柴定雄  
稲中田和朝 雄

東京都千代田区丸の内1ノ4  
(新丸の内ビルディング7階)

日立評論社

誌代 { 1冊分 ¥100 千 12  
6冊分 ¥430 (送料共)  
12冊分 ¥840 (送料共)

「日立評論」綴込みカバー発売

(上製綴込み紐付) 特価1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお預ち致しておりますから、直接下記に御申込み下さい。

日立評論社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地  
(新丸の内ビルディング7階)  
振替口座 東京 71824

