

誘導電動機応用の展望

Views on the Recent Application of Induction Motors

松井茂彦*
Shigehiko Matsui

内容梗概

各種電動機のうち最も広範多量に使用されている誘導電動機について最近の進歩と応用に関して概説した。

1. 緒言

最近の工鉱業を初めとして農業、事務、家庭に至るまで機械化、自動化の発達はまことにめざましい。この原動力としては電力によるものが最も多く、したがって電動機の生産は近年著しい上昇を示している。ことに各種の電動機のうちで誘導電動機は、比較的構造が簡単で、したがって信頼性が高く取り扱いが容易で価格の低廉であること、直接電源に接続できるなどのきわめて有利な点が多いために、最も広く使用され、その大多数を占めている。第1図は各種電動機の最近の生産を示すが、このほかに家庭用電気機器に含まれている小型電動機を合せば誘導電動機の数はいくらも大きくなる。

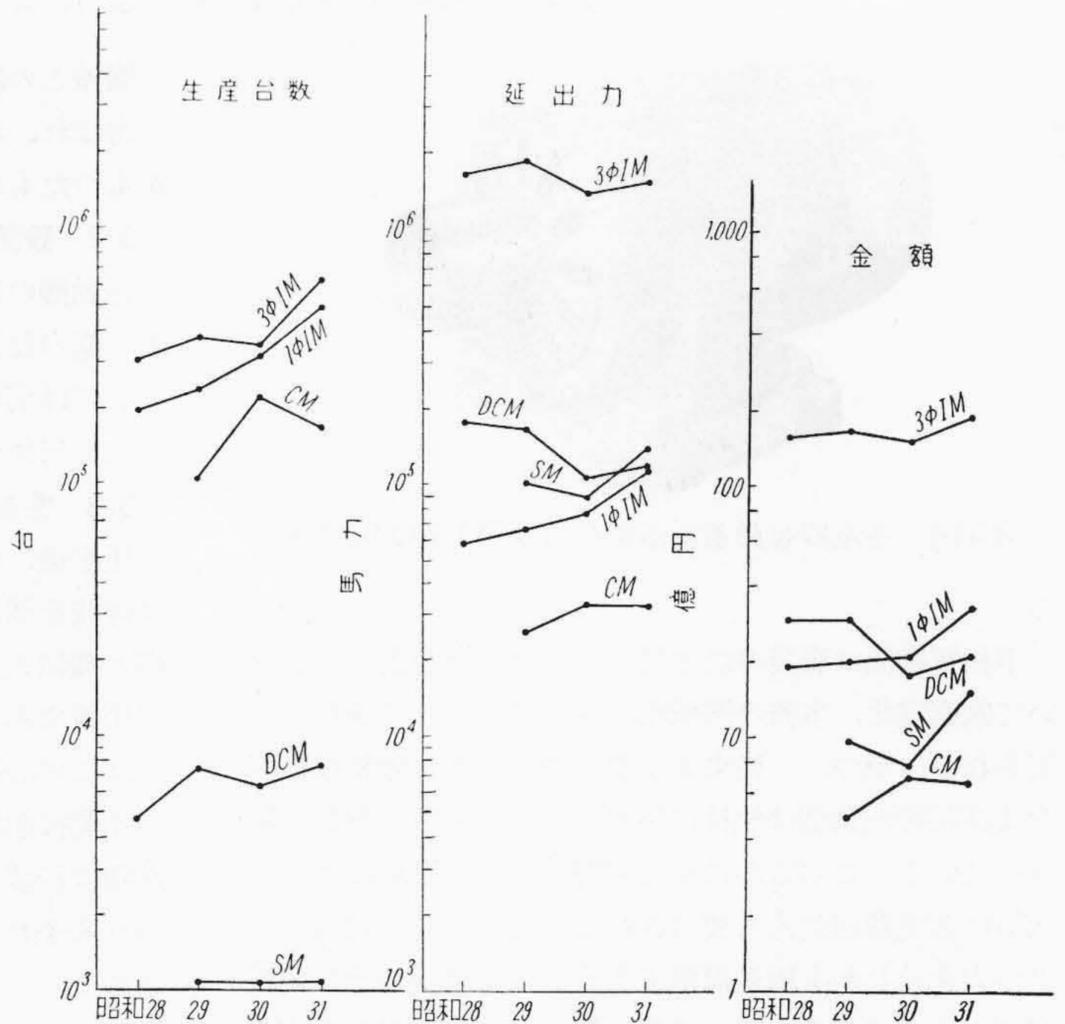
本稿にはこの最も広範に使用されている誘導電動機について、日立製作所における最近の進歩発達、および新しい応用を例にとつて概説する。

2. 汎用電動機

汎用電動機は誘導電動機のうちでも主力をなすものであるから、設計、製作、材料のすべての面から十分に検討し改良されている。たとえば合成樹脂を主体とする絶縁材料の進歩は、絶縁性能と耐熱性の向上により電動機の寿命を延ばし、各種の新しいエナメル線は、従来の油性エナメルに比べて機械的、化学的、熱的、電気的にはるかに強靱であるから綿巻などの補強を要しないので、溝の有効占積率を高めることができ、絶縁性能を高めると同時に電動機の寸法縮減を可能にした。

汎用電動機は、その用途の普遍性から取付寸法を統一して標準化することが望ましく、すでに戦時中に日本電機製造協会協約寸法が制定され、かなり実施普及されていたが、先年米国NEMA電動機標準寸法が改訂され小型化が行われたのに応じて、これに近似な日本電機工業会

* 日立製作所亀戸工場



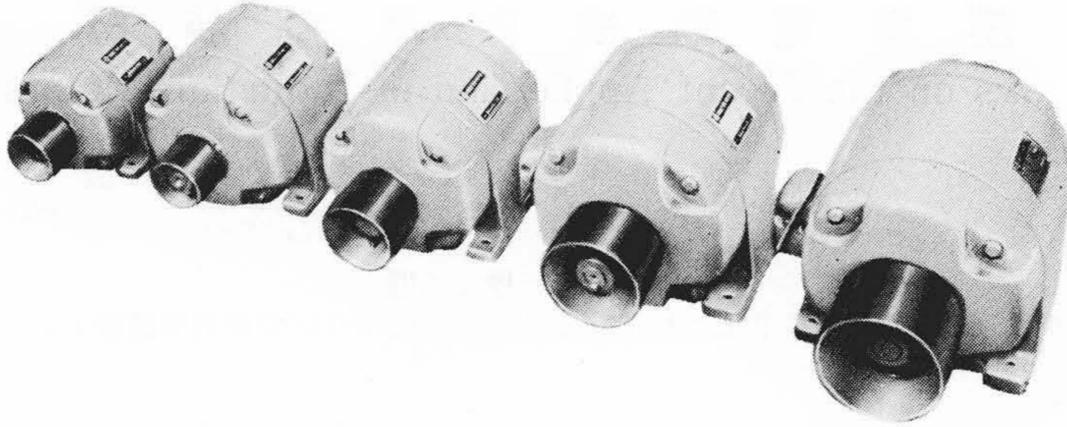
3φIM: 三相誘導電動機, SM: 同期電動機, DCM: 直流電動機
1φIM: 単相誘導電動機, CM: 整流子電動機

第1図 各種電動機生産額 (通産省統計による)

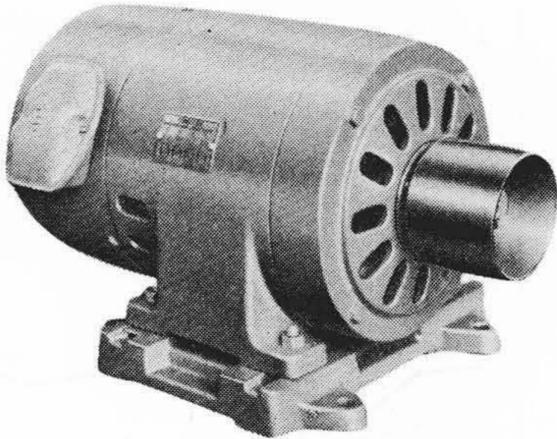
標準JEM1110が昨年決定された。この寸法は戦時規格による電動機に比べてもさらに一段小型になつており、材料、設計の進歩の効果が大きいことを示している。第2図はこの新標準寸法による開放型汎用籠形電動機を示す。

なお構造上の進歩について述べれば、保護方式の改良によりいつそう完全な保護防滴構造となり、設置場所に対する制限もさらに緩和され汎用性が高められた。同時に通風冷却方式も改良されて、温度上昇には十分余裕をもたせてある。軸受は、すでにころがり軸受が一般となつているが、品質の向上と精選とにより騒音の軽減、寿命の安定をもたらした。さらに潤滑剤としてのグリースは、石鹼基、安定剤などの改良により格段の進歩を示し、長期間の補給なしの運転を保証しうるに至つた。

全閉外扇型電動機も次第に需要を増しつつあり、化学工場そのほか塵埃の多い場所にその効果を発揮してい



第2図 標準開放籠形電動機 1/2, 1, 2, 3, 5 HP, 4P



第3図 蓄電器起動蓄電器電動機 TFO-KQ 0.4 kW

る。

単相電動機は戦後の農事用としての大きな需要に引続いて家庭電化、事務の機械化に対してきわめて多量に使用されるに至った。従来より製作されてきた分相起動型および反撓起動型は他社に卒先して小型化され多数生産されている。このほかに交流電解蓄電器の進歩に伴い、次第に蓄電器起動式も使用される傾向にあり、起動トルクが大きくしかも構造簡単であるから将来いつそう使用が増大するであろう⁽¹⁾。さらに運転中にも蓄電器を使用する蓄電器起動蓄電器電動機は、起動特性のみならず運転時の効率、力率を改善し停動トルクをも増加することができる利点がある⁽²⁾。

上述のように汎用電動機の生産台数は膨大となつたので、その生産方式も一新された。すなわち他種機械工業に先んじてトランスファマシンを採用し、加工、検査、さらに組立の一部までも完全に自動化し、各工程を有機的に結合した流れ生産方式により生産性は飛躍的に向上した。さらに品質管理の徹底と相まって品質の向上と均一化に顕著な効果を發揮している。

3. 特殊電動機

誘導電動機はほとんどあらゆる用途に使用されるので、特殊な用途に対しては特性、構造をそれぞれの要求に合致させたものが製作され、その種類はきわめて多い。次にこれらの数例を述べる。

3.1 取付方法による種類

普通の取付法のほかにフランジ型、懸垂型、埋込型な

ど機械との結合に便利でかつ場所をとらぬように考慮して選ばれ、ポンプなどには縦軸で大容量のスラスト軸受をもつたものが製作されている。

3.2 設置場所による構造の種類

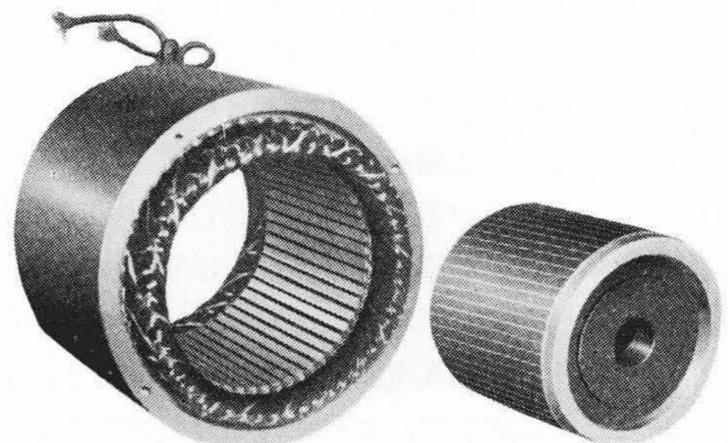
電動機の置かれる場所に対して十分な考慮を必要とし、適当な保護方式を選定しなければならない。これについては別稿「特殊設置条件に対する誘導電動機の構造の二、三について」を参照されたい。

3.3 密封型電動機

圧縮機、ポンプなどで特殊のガス、液体を扱うものには漏洩を極度に避けたいものがある。従来の別個の電動機と機械とを連結したものでは、軸貫通部の漏洩の防止が困難であるが、電動機を機械の内部に一体として納めればこの心配はない。籠形電動機はスリップリングなどの摺動接触部がない最適の電動機である。巻線および絶縁物は浸漬されるガス、液体などにより溶解または腐蝕される恐れのない耐久性の十分高いものを選定して製作される。

3.4 耐熱絶縁電動機

珪素樹脂、弗素樹脂などの耐熱性有機合成材料の出現は電動機の絶縁方式に大きな進歩をもたらし、従来のB種絶縁よりはるかに使用温度の高いH種およびF種の絶縁階級が可能となつた。これを用いれば使用場所の温度が、標準限度40°Cより高い場合にも標準電動機と同一寸法に製作することができ、また常規使用状態では温度上昇を高くして小型軽量にすることができるから、設置場



第4図 密封型電動機 H-K 7.5 HP 6P

所が狭い場合や移動用などに適する。さらに起動、逆転などをひんぱんに行う用途においては、起動、制動時の損失によつて温度上昇が高くなるが、寸法を大きくし巻線の電流密度を下げてかえつて回転子の慣性が大となるため、起動、制動時の損失が増して温度上昇の低下にはあまり有効でない。この場合にはH種絶縁の採用はきわめて有効で、温度上昇を高く許して小型とすれば、起動時損失も減じてかえつて温度上昇を緩和する結果となる。このような理由でモートルローラ、ティルティングテーブルなどの製鋼補機用、起重機用などに多数利用されている。

4. 電動機応用機器

小型の機械では、これを駆動する電動機を機械と一体に構成することにより軸接手、軸受、共通台盤などが省略されるので、重量、寸法ともに著しく縮減され、据付保守もきわめて簡便となる。日立製作所では機械、電機の総合メーカーとして、従来よりこの種の機械の製作を特長としてきたが、最近新しい機種を加えモートルポンプ、モートルブロワ、ギヤモートル、モートルローラ、換気扇、オートクリーナ、サーボリフターなどを多種製作している。

これらのうち、二、三について特長を述べると、モートルローラは製鋼用コンベヤとして使用され起動、逆転をひんぱんに行い苛酷な取り扱いを受けるから、機械的にがんじょうであることはもちろん電動機の絶縁、回転子の構造などに十分考慮が払われている⁽³⁾。

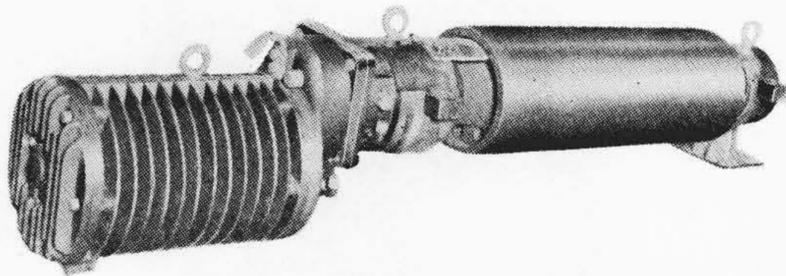
オートクリーナは紡績工場で使用され、精紡機上に敷設されたレール上を自走する送風機で、紡機上および天井に堆積する綿塵を絶えず除去するもので、糸質の向上と工数の低減に効果のあることが実証されたので、紡績工業の合理化のため今後さらに発展するものと思われる。

サーボリフターはブレーキ用、遮断器操作用、そのほか各種制御用に広く用いられてきたが、用途が広まるにしたがつて特性にも種々の要求が出され、急速動作、緩速動作、可変速度型など新しいものが製作されている。

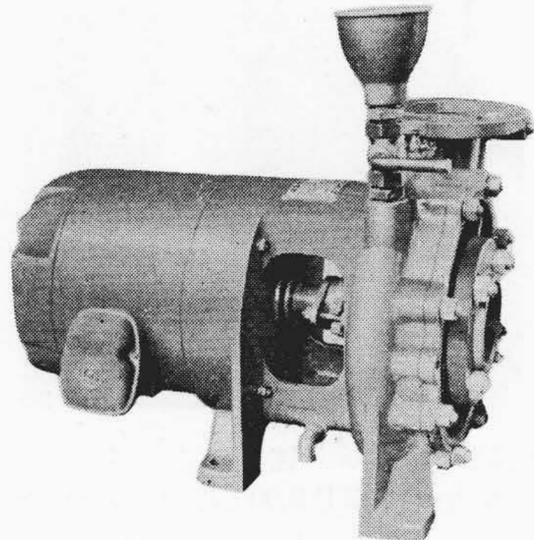
5. 速度制御

誘導電動機は原理的には精密な速度制御に好適な電動機ではないが、その簡単な構造と価格の有利な点から、できるだけこれを活用するために種々な方法が考案されてきた。ことに連続的に広範囲に制御する必要がない場合には誘導電動機で十分満足される。ここには最近の例をあげて説明する。

誘導電動機は速度 n は電源周波数 f 、極数 p とすべり S とで定まり



第5図 モートルローラ (H種絶縁)



第6図 モートルポンプ OV-MH 2 HP



第7図 オートクリーナ

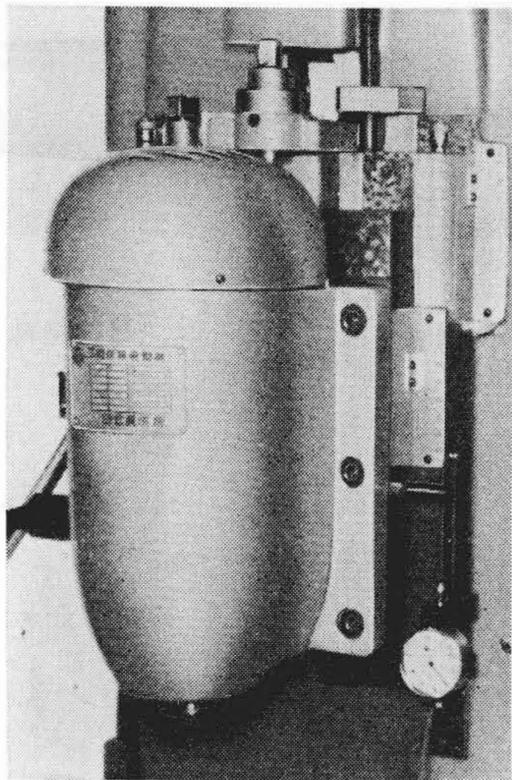
$$n = 120 \frac{f}{p} (1 - S) \text{ rpm}$$

で表わされる。ゆえに速度を変えるためにはこの三つのいずれかを変える必要がある。

5.1 極数を変換する方式

極数を変換することにより階段的ではあるが簡便に速度の変更ができる。特に籠形電動機では一次巻線のみの変換ですむので広く工作機械そのほかにも使用されている。速度の段数は 2, 3, 4 段までが普通実用される範囲で、1:2 の極数比は主として単一卷線式で、そのほかの極数比に対しても単一卷線式が可能の場合があるが、端子数が増加するため一般には二巻線式が用いられる。

巻線形では回転子を単一6相巻線とした 1:2 の極数変換が普通であるが、二巻線式の例としてエレベータ用の 1:4⁽⁴⁾、後述の CF 制御と組合せた揚貨機の 1:3⁽⁵⁾ などがある。



第8図(A) 高速電動機
H-K 1/2 HP 2 P 3,000/4,500/6,000 rpm

また極数の異なる2台の電動機を直結したり、減速機を介して連結し切換えて使用する例もあるが、これも広い意味で極数変換の一種とみなされるであろう。

二つの極数を同時に重畳して所要の速度トルク特性を得ることも行われている⁽⁴⁾。

5.2 周波数を変える方法

このためには可変周波数の電源を必要とするので設備費の点から一般にはあまり用い

第8図(B) 周波数変換機 50, 75, 100~

られないが、3,000 または 3,600 rpm 以上の高速度を必要とする場合には高周波電源を設け、これを可変周波として速度制御が行われる。第8図もこの一例で工作機械用である。

また特定の低速度が得られればよい場合には、電源容量は一定負荷トルクに対して周波数に比例して減少するので比較的小容量であり、鉱山用巻上機において停止位置を正確にするなどの目的に応用され良好な結果を得ている。この場合後述の電圧制御を併用することにより減速トルクを制御して切換時の衝撃を除くことができる⁽⁶⁾。

5.3 すべりを変える方法

電動機の発生するトルクと負荷のトルクとが等しくなる速度で安定な運転をするのであるから、(1)電動機の速度トルク特性を変えるか、(2)負荷のほかに制動トルクを加えることにより平衡するすべりを変えることがで

きる。

5.3.1 電動機の速度トルク特性を変える方法

(1) 電圧制御による方法

電動機のトルクは端子電圧の自乗に比例して変るから電源電圧を誘導電圧調整器などで変えれば良く、別稿に述べられた摺動電圧調整器を用いるのも簡便な方法である。

電圧制御のほかの方法は直列に抵抗またはリアクトルを挿入することであるが、この場合各相に不平衡のインピーダンスを与えれば逆相電流が流れて制動トルクが加わるので大きなトルク変化が得られる。

直列リアクトルとして可飽和リアクトルを用いてその直流励磁を加減すれば、僅少な電流の制御で速度の円滑な調節ができ、かつ無接点式の可逆制御も可能であるから最近自動制御に利用されている⁽⁷⁾。

(2) 二次抵抗による方法

前項の方法は主に籠形電動機に用いられるが、巻線形電動機においては二次抵抗を変えることにより、最大トルクは不変でトルク速度曲線の形を変えることができる。小型の電動機では金属抵抗器が用いられるが、大容量および精密な制御を要する場合は液体抵抗器が用いられ、これを加減するサーボモータを前項の可飽和リアクトルで制御する自動制御方式が行われている。これについては別稿を参照されたい。

5.3.2 制動力を加える方法

(1) 機械的制動法

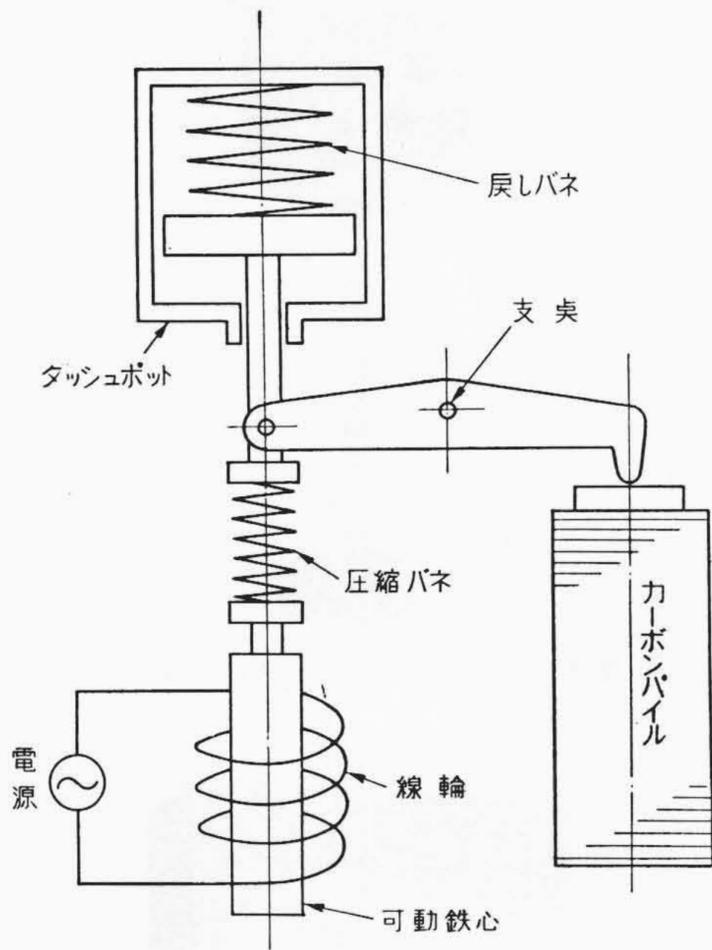
電動機のみでは同期速度以下では制動トルクを発生しないから、起重機の巻下時のように負トルクの負荷に対しては外部から制動トルクを加えなければ低速を得ることができない。機械的に制動を行う方法としてはメカニカルブレーキなどもあるが、日立製作所で従来広く実施してきた方法として電動機二次側に接続したサーボリフターでブレーキを操作させる CF 制御方式があり⁽⁸⁾、天井起重機、斜坑巻などに使用され好結果を得ている。さらにこれを改新したものとしてサーボリフターを特殊電磁石で置き換えた HM 制御方式が考案された。

(2) 電氣的制動方式

負荷が常に負トルクであれば、一次巻線を直流励磁して発電機として制動するいわゆる直流制動で低速が得られるが、負荷トルクが正負に変わる場合には、電動機トルクに制動トルクを重ねる必要がある。制動機としてインダクションブレーキを電動機に連結する方式が起重機に、また交流発電機式制動機を用いたものがケーペ巻に使用されている⁽⁶⁾。

5.4 電磁接手による方法

電磁接手（インダクションカップリング）の構造は誘導電動機の固定子の代りに直流で励磁した磁極を設け、これを回転できるようにしたもので、二次は誘導電動機と同様籠形または巻線型としてある。一次二次の一方を電動機で回転すれば二次には誘導により電流が流れ、トルクが発生する。したがって原理的には誘導電動機と同様で励磁を変えることは誘導電動機の電圧を変えることに相当する。比較的わずかな励磁電力の制御で円滑に速度、トルクを変えられるから近年この応用が盛んになった⁽⁹⁾。



第9図 ショックレススタータ説明図

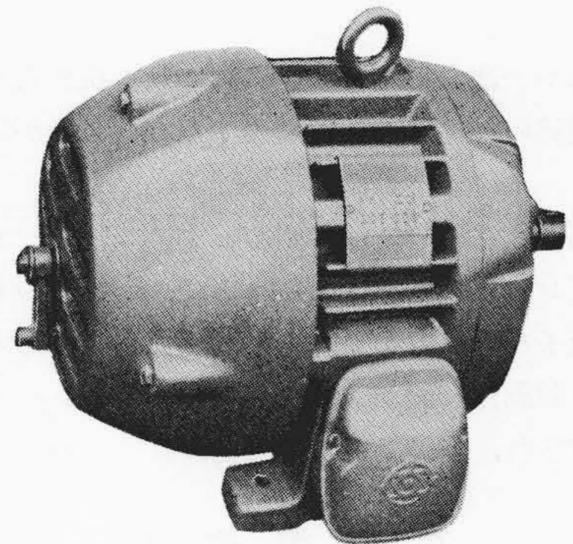
6. 起動および制動

6.1 起 動

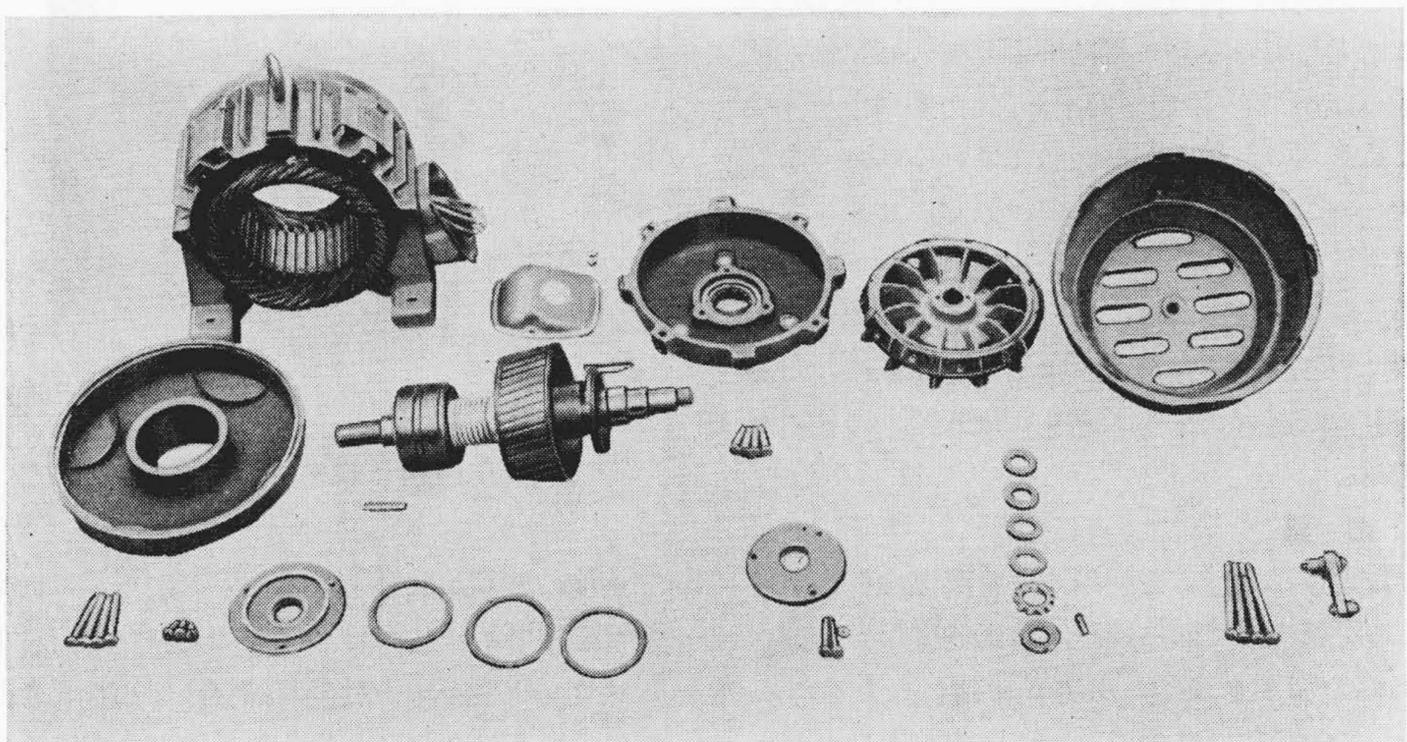
6.1.1 籠形電動機

籠形電動機では電源設備容量の増大とともに次第に大容量のものまで直入れ起動が行われる傾向にある。したがって回転子の構造も特殊籠形として起動電流を下げ、かつ必要な起動トルクを出すように設計されている。高速機で起動に長時間を要するとか、ひんぱんに起動をくり返すなどの条件の悪いときには回転子導体に破損を生じやすいので特に考慮を払って製作されている。

直入れが不可能な場合にはスターデルタ起動器、起動補償器が用いられる。また用途によつては起動トルクを特に下げる要求がある。このためには一相に抵抗またはリアクトルを挿入するいわゆる kusa 起動方式が用いられる。日立製作所ではこの一方式として、紡機起動用に第9図に示すようなダッシュポットをもつ



第10図(A) ブレーキモートル (外観)



第10図(B) ブレーキモートル (分解写真)

た電磁石によりカーボン抵抗器を圧縮し、漸次に抵抗値を減らして起動トルクを増加し、負荷トルクと平衡した瞬時より徐々に起動するようにしたショックレススタータを製作している。

6.1.2 巻線形電動機

起動抵抗器に金属抵抗体を用いるものでは普通タップの数を減らすために不平衡短絡を行つているが、段数があまり少ないとトルク速度曲線に谷ができて円滑な起動が行われない。日立製作所では従来の順次短絡方式から並列切換方式に変えることにより不平衡率を減らし、かつ抵抗体の有効利用により熱容量を増大することが考案された。

6.2 制 動

電氣的制動法としては逆相制動が最も簡便で広く用いられているが、逆転を防止するためにはプラグングリレーを用いて停止の瞬間に電源を切る必要がある。プラグングリレーとしては機械的摩擦を利用したもの、渦電流によるトルクを利用したものなどがある。また極数変換を行つて発電制動を併用すれば制動損失を著しく減少できる。

そのほか一次を单相として二次に高抵抗を入れた单相制動、前述の一次を直流で励磁する直流制動が用いられている。

機械的制動法としてはマグネットブレーキ、サーボリフターブレーキなどが用いられるが、小容量のものには最近回転子を円錐形とし、電動機運転時の軸方向推力を利用して制動体を動かす制動機内蔵型のブレーキモートルが製作され、小型であるので喜ばれている。

7. 制 御 装 置

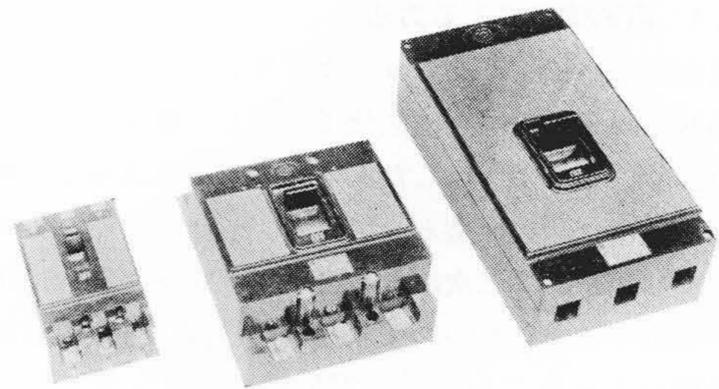
7.1 制御器具

電動機の自動制御、遠方操作に必要な電磁開閉器の需要は急激に増大している。これに即応して遮断特性、閉路電流容量、寿命などの性能を向上し、しかもいつそう小型化された新系列の電磁開閉器が量産されるに至つた。また押ボタンスイッチも多極のもの、表示灯を兼ねたものなどが開発されて装置全体の小型化に貢献している。

配線や器具の短絡保護には従来の双形開閉器と可熔器の組合せに代つて、遮断容量が大きく単相運転になる心配のない気中遮断器（フェーズフリー遮断器）の使用が多くなつている。

7.2 制御盤

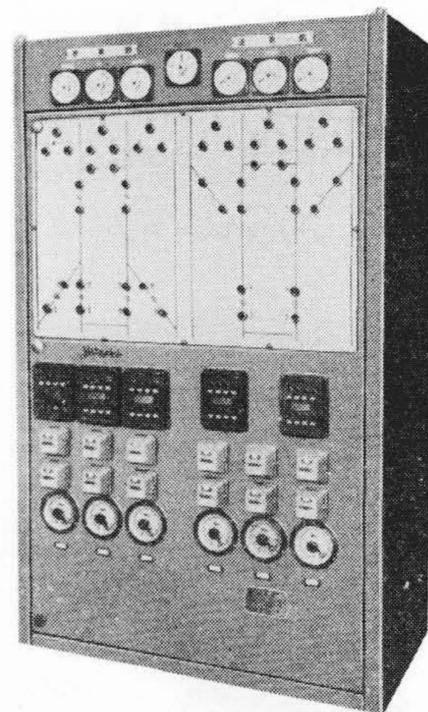
設備が複雑大規模になると使用する電動機の数も多くなり、これらを総括して順序運転、自動制御などを行うための制御盤の需要も多く、次第に複雑となりつつある。したがつてその故障は生産計画に重大な影響を与えるところから、制御装置の信頼性を高めるとともに、保



第11図 フェーズフリー遮断器



第12図 グラフィック操作スタンド



第13図 模 擬 照 光 盤

守点検の難易が問題となる。この観点から従来の盤取付型電磁接触器に代つて、保守に便利な枠取付型（フレームマウント型）が一般の制御盤に使われてきた。また装置の中に塵埃をきらう器具が多くなつているのと、塵埃による器具の動作不良を防ぐため、開放型の盤は少なく

なりほとんどキュービクル型になった。

多数の電動機の制御器を集中管理するため、フェーズフリー遮断器と電磁接触器の組合せからできているコンビネーションスタータを多数集めて集合盤としたコントロールセンターも多くなってきた。

制御装置が複雑化するにつれて、操作も複雑になるため、設備の状況を一目りよう然にし、誤操作を防止する目的で、操作盤の図式化（グラフィックパネル）模擬照光盤を採用する例がふえている。

爆発性ガスを扱う工場では、電気設備に労働省産業安全研究所「工場電気設備防爆指針」を全面的に採用しつつあり、この指針によつた製品がふえている。

8. 結 言

以上汎用および特殊電動機、電動機応用機器および制

御装置の最近の進歩の概要、速度制御の実例について簡単に御紹介したが、誘導電動機の使用は今後もますます増大してゆくものと思われる。日立製作所は常に技術的研鑽を怠らず、いつそう改良進歩に努力を続けてゆく所存である。

参 考 文 献

- (1) 友貞：日立評論 34, 1071 (昭 27-9)
- (2) 友貞：日立評論 38, 563 (昭 31-4)
- (3) 橋本, 山崎, 数藤：日立評論 36, 853 (昭 29-5)
- (4) 高木, 桜井：日立評論 別冊 No. 8, 95 (昭 29)
- (5) 本間, 立石, 橋本, 大和：日立評論 別冊 No. 14, 71 (昭 31)
- (6) 横田, 角田：日立評論 39, 445 (昭 32-4)
- (7) 桜井：日立評論 34, 1297 (昭 27-11)
- (8) 森泉：日立評論 26, 390 (昭 18-7)
- (9) 麻生, 藤木：日立評論 39, 199 (昭 32-2)

製 品 紹 介

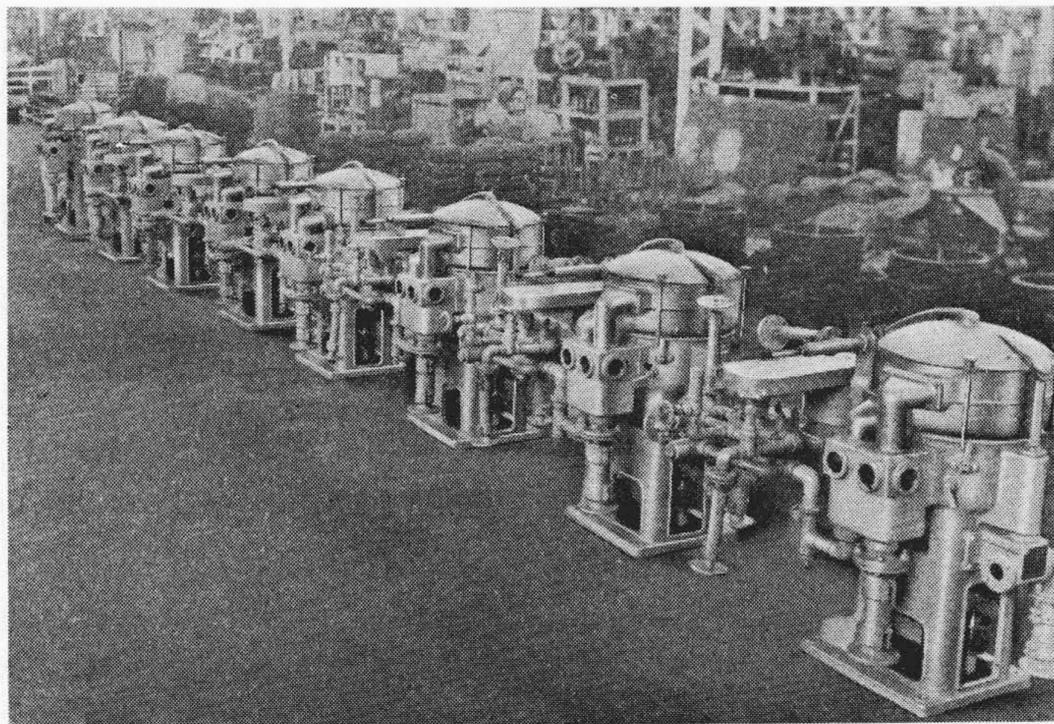
世界最大の船用ディーゼルエンジンに 採用された日立船用遠心清浄機

今回就航した森田汽船スーパータンカ第5雄洋丸には世界最大といわれる 15,000 HP ディーゼルエンジンが初めて装備され、斯界の注目を受けている。

近時の船用ディーゼルエンジンには、燃料としてもつぱら粗悪燃料油（低質重油）が使用されるため、燃料清浄の良否がエンジン性能や寿命に大きな影響を及ぼすの

で燃料清浄に使用される遠心清浄機は特に重視されるようになった。

日立船用 D-F 型遠心清浄機は船用ディーゼルの粗悪燃料油清浄用および潤滑油清浄用として多くの実績を有し、かつ好評を得ているが、上記の 15,000 HP エンジン用にも採用され、好成績で実動している。同船に搭載されているのは、粗悪燃料油清浄用として日立 6DPG-F 型遠心清浄機（粗悪燃料用 FOプユリフアイア、およびクラリフアイア）計6台と、潤滑油清浄用（LOプユリフアイア）として2台の総計8台である。



第1図 日立船用遠心清浄機