

圧延機用電動機の進歩

Recent Development of Motors for Rolling Mill

立 石 貞 夫* 清 水 宏 蔵*
Sadao Tateishi Kôzô Shimizu
馬 場 辰 夫* 実 松 俊 弘*
Tatsuo Baba Toshihiro Sanematsu

要 旨

圧延用大形直流電動機および同期電動機について大容量・高速化の傾向、構造・材料・性能の進歩、さらには新シリーズ補機電動機、永久磁石電動機の開発など最近の技術を紹介した。

1. 緒 言

直流電動機の最近の進歩をみるに、まず大容量化が目だつ。特にホットストリップミル、タンデムコールドミルの単基あるいは全駆動容量、熱間可逆ミルの駆動トルクなどにおける増大の傾向は著しく、まさに10年倍増の勢である。一方、圧延速度の上昇に伴い、また設備費の低減を目的として電動機自体の速度もますます高く選定されるので、上記容量の増大とあいまって電動機の設計、製作にはきわめて高度の技術が必要となってきた。磁界分析、温度上昇、整流特性、各部機械強度などの解析にはすべて大形電子計算機を用いている。

絶縁材料の進歩も顕著で、ポリイミドに代表される一連の耐熱フィルム材料の進出は従来のマイカを主体とした絶縁形態を一変させる情勢にある。絶縁の種類は出力の大小を問わずF種を採用するものが多くなり、大容量機の限界出力の増大や慣性の低減が達せられ、また中小形機における新標準の出現となった。600番にかわる800番、さらに900番の完成はその例である。

電源のサイリスタ化は設備の種類および容量の大小にかかわらずすべてにおよび、これに伴う直流機の問題点ならびにその対策は出尽くした感がある。特に問題となる過渡整流の解析において、電流、磁界、火花を三次元的に測定する無火花帯直視装置の開発活用はきわめて有効であった。積層継鉄の採用も一般化され性能の向上、構造の合理化が盛んに行なわれているが、日立製作所の鎖状ラミネートヨーク構造はこの目的にそって開発されたものである。

悪環境に対応して全閉水冷構造が大形機に採用されるとともに、電気室全体を閉鎖循環通風にするなどの新通風方式も採用されるようになってきた。日立製作所がインド向けに納入した設備はこの方式の例であり、今後必要に応じてわが国でも採用されよう。

永久磁石を回転機に使用する機運も盛んであるが、日立製作所ではホットストリップミルランアウトテーブルに全面的に採用し、従来の他励磁方式に比較して格段に良好な特性を得た。

同期電動機においてもホットストリップミルなどにおける設備容量の増大に伴い単基出力も増大しているが、過渡安定度の解析の精密化、ソリッドポール構造の発展、新絶縁方式の採用、スキンストレス構造の採用など最新の技術の導入により性能、信頼性の向上あるいは軽量小形化は著しいものがある。

以下これら進歩の概要を述べて参考に供したい。

2. 直 流 電 動 機

2.1 大容量高速化

2.1.1 タンデムコールドミル

タンデムコールドミルにおける大容量高速化は著しいものがある。

* 日立製作所日立工場

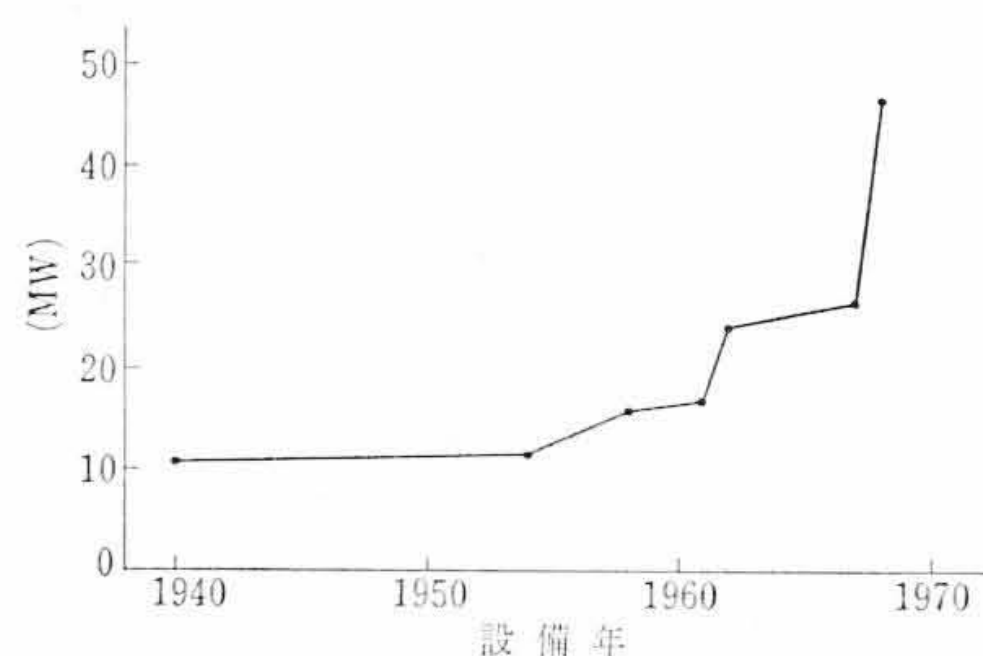


図1 わが国におけるタンデムコールドミル駆動用全電動機容量の推移図

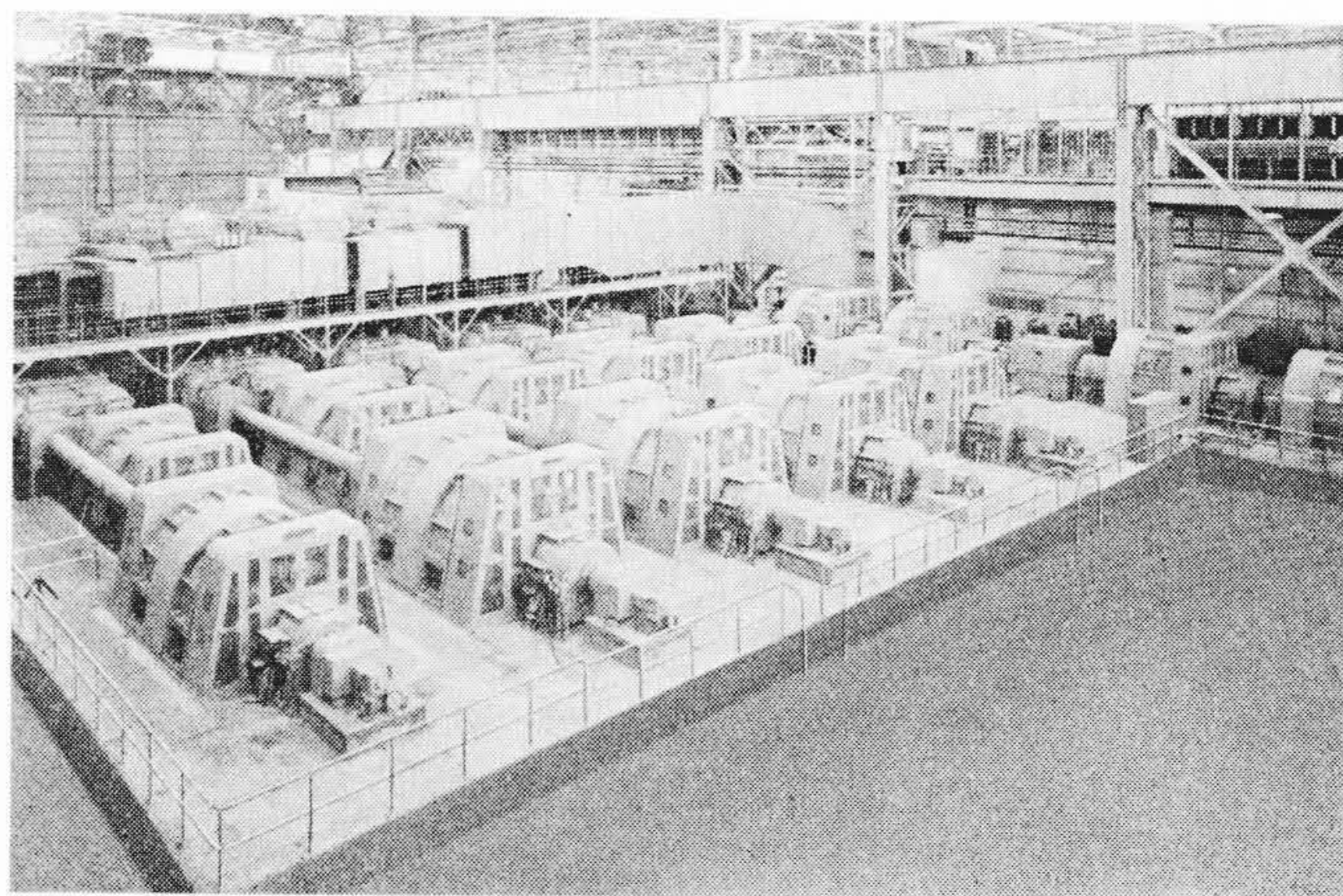


図2 八幡製鉄株式会社君津製鉄所納5タンデムコールドミル用主電動機

表1 八幡製鉄株式会社君津製鉄所納5タンデムコールドミル用電動機仕様

スタンド	電動機出力 (kW)	構 成	電動機回転速度 (rpm)
P. O. R	2—400	2 M	200/840
No. 1	2—2×1,500	DA, TW	175/490
No. 2	2—2×2,125	DA, TW	150/375
No. 3	2—2×2,125	DA, TW	150/375
No. 4	2—2×2,125	DA, TW	150/390
No. 5	2—2×2,125	DA, TW	150/390
T. R	4—1,500	4 M	70/280

2 M: 2電動機 DA: 2重電機子 TW: 双駆動方式

る。わが国における駆動容量の推移は図1に示すとおりであるが、日立製作所が納入し昭和43年3月に運転を開始した八幡製鉄株式会社君津製鉄所納5タンデムコールドミルは電動機合計出力4万7千kWに達し、従来の記録を飛躍的に更新した世界最大のミルとなった。本ミルは電気品、機械品ともに日立製作所で製作し現地据付開始後2.5ヶ月で板通しを行ない、ただちに営業運転を開始したもので、現在順調に稼働中である。図2は主駆動電動機群を示したものである。

電動機の仕様は表1に示すとおりである。ミルの加減速時間を

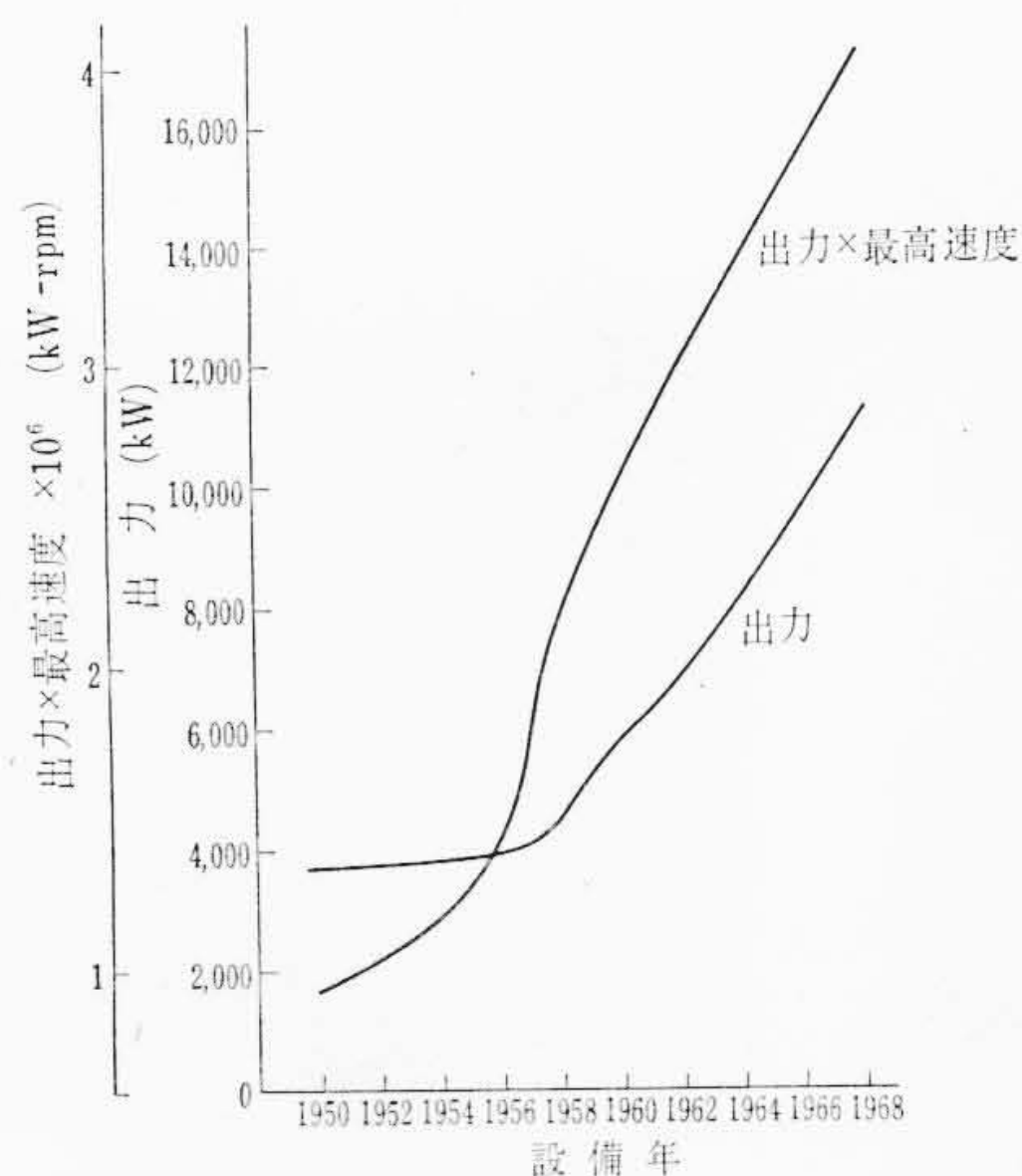


図3 ホットストリップ仕上ミル1スタンドあたりの主電動機の出力および出力×最高速度の推移

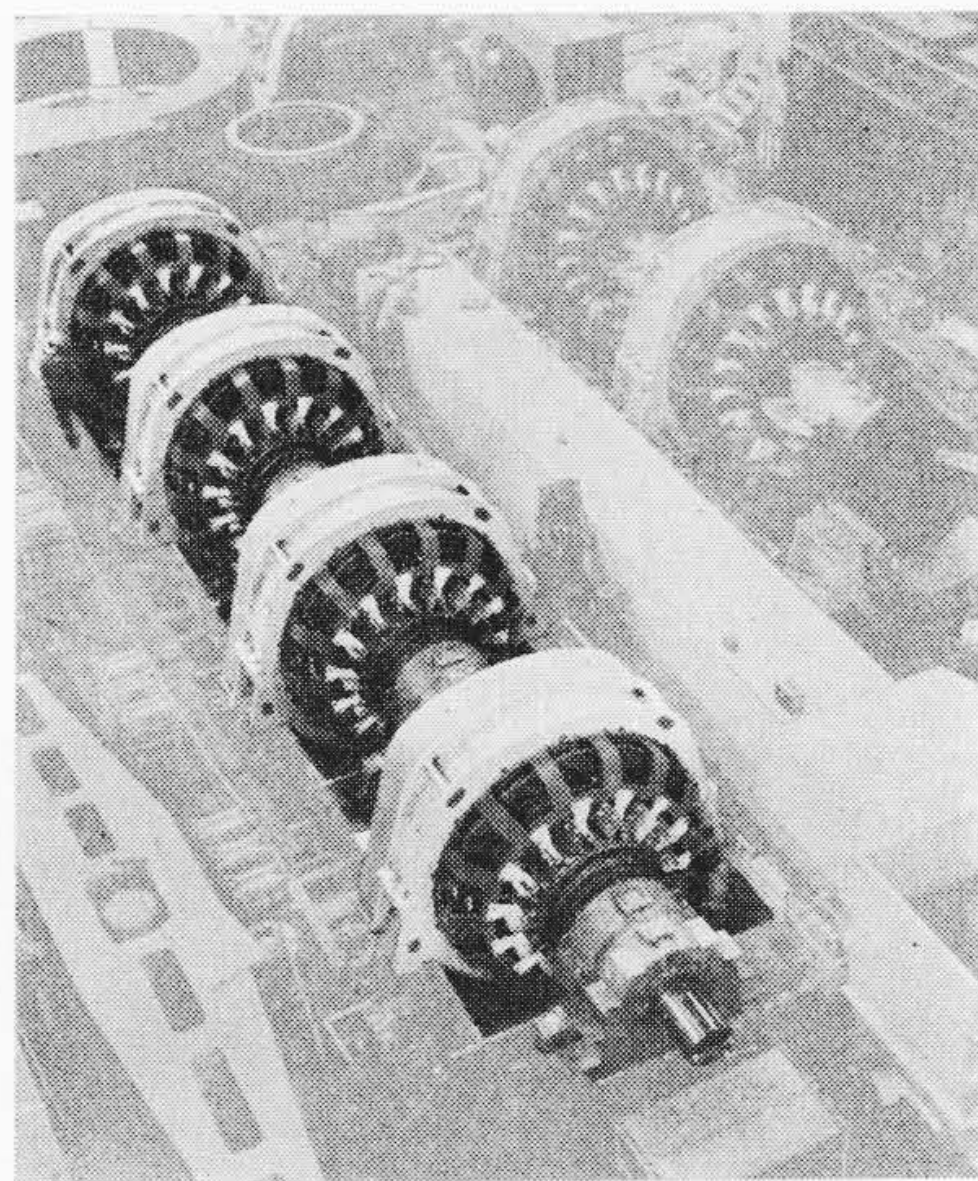


図4 住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納 No.6 仕上スタンド用電動機

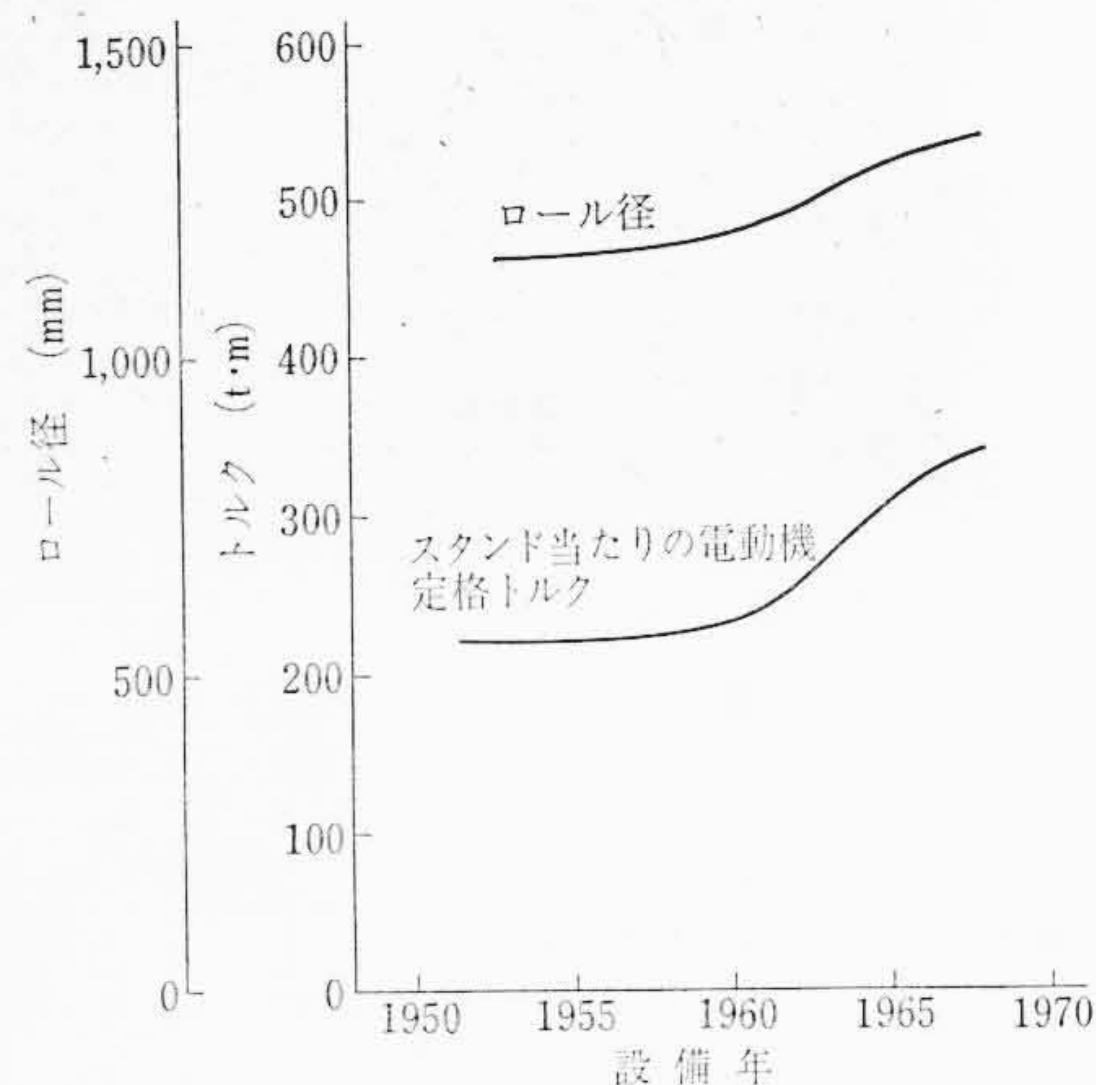


図5 最大級分塊・スラブミルのロール径およびスタンド当たりの電動機トルクの推移

表2 住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納 仕上スタンド電動機仕様

スタンド (No.)	スタンド当たりの電動機出力 (kW)	速 度 (rpm)	出力×最高速度 ($\times 10^6$ kW-rpm)	電 機 子 数
1	8,100	116/290	2.35	3
2	8,100	156/390	3.16	3
3	8,100	156/390	3.16	3
4	8,100	116/290	2.35	3
5	8,100	156/390	3.16	3
6	8,100	200/500	4.05	4
7	6,075	200/500	3.04	3

短縮し生産能率を向上し製品の板厚精度を向上させるためには、電動機のはずみ車効果を減少させることが必要であり、各電動機にはすべてF種絶縁を採用するとともに2重電機子双駆動あるいは2電動機、4電動機とし、コールドストリップミル用としてはじめてのスキンストレス構造シャフトを採用した。

最近ではコールドストリップミルにおいても電源にサイリスタを使用しており、各スタンドの速度制御は従来の電圧制御+IR補償にかわり速度制御+垂下特性制御を行ない、速度制御の精度および速応度が飛躍的に増大しているため、これに応じて電動機のヨークは積層構造となっている。また速応性を向上するため磁束と鎖交する短絡回路を作らないよう細心の注意が払われている。

2.1.2 ホットストリップミル

過去10数年における駆動容量の増大はめざましく、特に1955年ごろから採用された全連続圧延方式による生産能率の向上に伴い仕上ミルおよび粗ミルの全スタンド電動機容量は過去10年でほぼ倍増している。

図3は仕上ミル1スタンドあたりの駆動電動機の最大出力および出力と最高速度の積の推移を示したもので、最近の増加率は著しいものがある。この場合一般に直流機の製作限界は出力と最高速度の積で制限され、また制御性能、クレーン容量などを考慮して最近では仕上ミル駆動電動機の電機子は多重に分割するのが普通となった。

表2は住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納70"ホットストリップミルの仕上スタンド電動機の仕様と電機子分割数を示したものである。

このようにタンデムに直結する電機子数が増えると軸系のねじり振動、各軸受のメタル圧力のバランス、熱のびなどが問題となるが、十分に検討ならびに処置を講じ、日立製作所では全電機子を3種類に統括しておのおのの間で完全に互換性をもたせるとともにダミーシャフトによる応急運転を可能にしている。

軸には厚鋼板をドラム状に曲げ外部にスパイダアームを溶接したスキンストレス構造を採用して重量およびはずみ車効果を低減し、同時に巻線の通風を効果的に行なうようくふうしている。

継鉄には鎖状ラミネートヨークを採用し据付面積の減少、スタンド間点検スペースの拡大、過渡特性の改善を図っている。

2.1.3 熱間可逆ミル

分塊・スラブミルにおいてもインゴット寸法の増大、タンデム圧延の採用などによる生産能率向上に対応して駆動容量は増大の傾向を示している。

図5にはスラブミルロール径および駆動電動機定格トルクを経年の推移に示している。これより出力の増大と対照的に基底速度は従来の40rpm標準から35、30rpmと低くなり、トルクを増大して圧下量を大きくし、かつ加減速時間をつめて生産能率の向上を図る傾向にあることがわかる。

電動機設計の面では従来9,000kW級以上の双駆動設備の標準は2重電機子であったが、F種絶縁の採用、設計技術の進歩により電動機中心間距離の制限、はずみ車効果の低下の問題が解決され単電機子による製作が可能となり、それが今後の標準となるものと考えられる。

2.2 絶 縁

最近の耐熱絶縁材料の開発はめざましいものがあり、特にポリイミド樹脂、芳香族ポリアミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂などが注目の的となっている。これらはいずれもH種の耐熱性を有し、絶縁フィルムとしてあるいはフィルムを電線に巻き付けたフィルム絶縁電線として、またワニスで電線を処理したエナメル線として実用化されている。

この新絶縁材料は従来のマイカとガラスの絶縁に比較して絶縁厚みを約40%に減少することができ、機械の小形化を達成するのに威力を発揮している。

芳香族ポリアミドフィルムであるNOMEXは短繊維と繊維質の結合分子からなり機械的摩耗に対し非常に強く、従来のガラステープの少なくとも5倍以上の耐力を有するため電機子のスロット絶縁に適している。またこれらのフィルム絶縁はダストや有害ガスに対し電線を完全にシールできる特長もあり、絶縁としての均一性も高いので、従来のマイカやガラステープにかわって使用されはじめています。絶縁物の進歩により電動機の絶縁は従来のB種にかわりF種が使用され、機械の小形化と回転子のはずみ車効果の低下を可能としている。JEM-1157(1961)圧延用直流電動機も従来のB種にF種およびH種絶縁を加えた新規定に近く改訂される予定である。

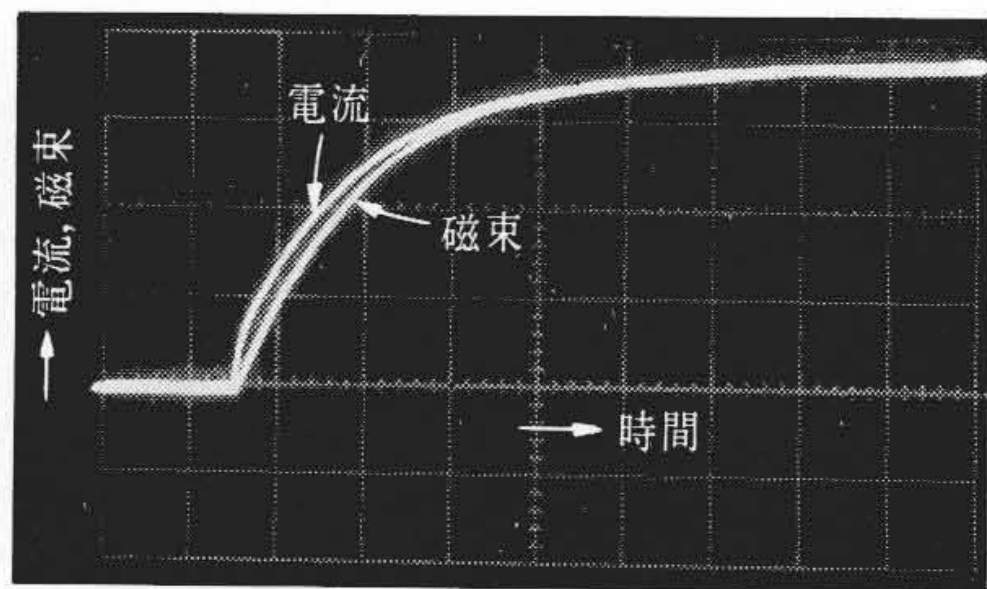


図 6 磁束応答曲線

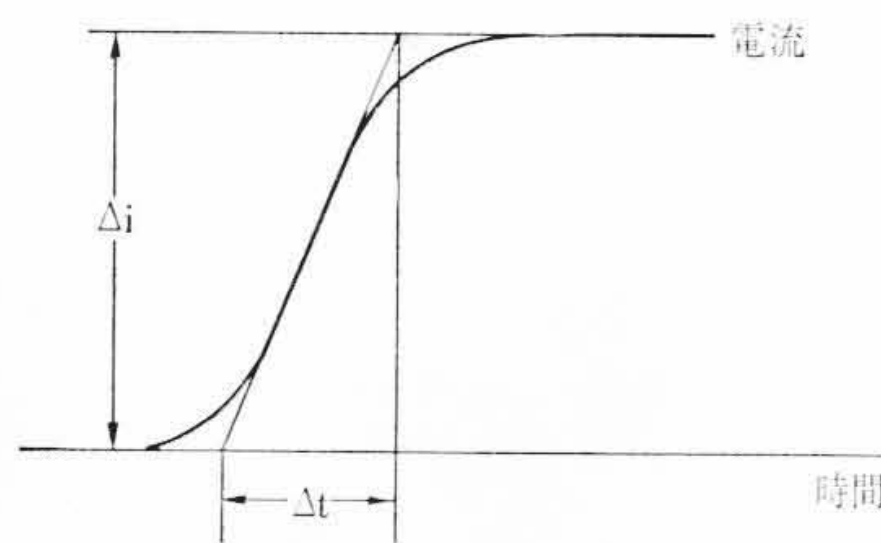


図 8 電流変化曲線

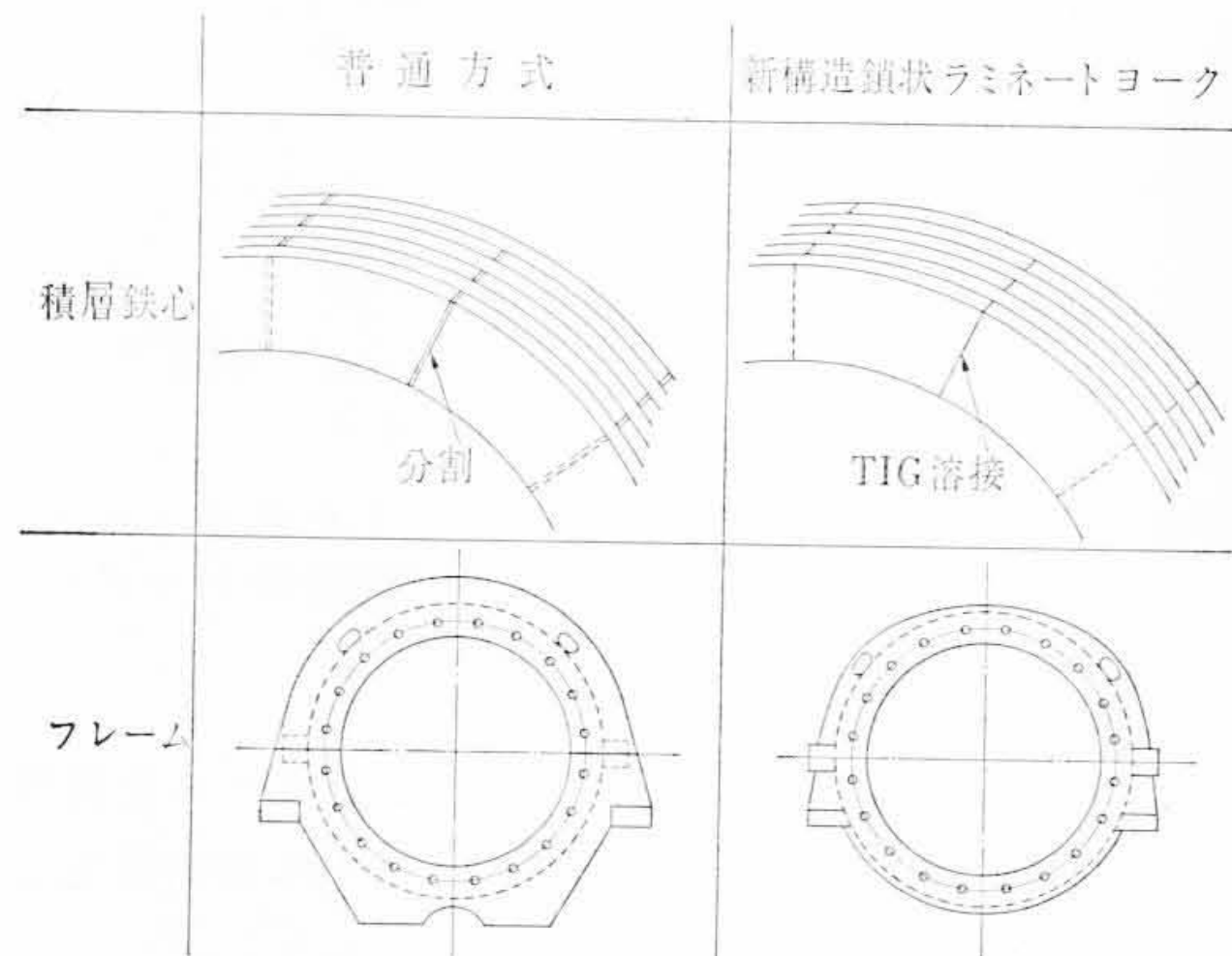


図 7 ラミネートヨーク比較図

表 3 ASA-C 50.4 (1965) 温度上昇限度

アイ テム	機 械 の 部 分	測 定 法	金属圧延用 (右記の 熱間可逆圧延用を除く)						熱間可逆 圧 延 用		
			強制通風形, その他						強制通風形, その他		
			100% 負荷, 連続			125% 2 時間			100% 負荷, 連続		
			B	F	H	B	F	H	B	F	H
(1)	電機子コイル および下記(2)(3)を 除く全コイル	温度計法	40	60	75	55	75	95	50	70	90
		抵抗法	60	90	110	80	110	135	70	100	130
(2)	多層界磁コイル (a) Base Speed to 125% Speed	温度計法	50	70	85	65	85	105	50	70	90
		抵抗法	70	100	120	90	120	145	70	100	130
	(b) Above 125% base speed	温度計法	40	60	75	55	75	95	50	70	90
		抵抗法	60	90	110	80	110	135	70	100	130
(3)	単層露出界磁コイル, 裸コイル	温度計法	50	70	90	65	85	110	60	80	105
		抵抗法	60	90	110	80	110	135	70	100	130
(4)	絶縁に近接する 鉄心および機械構造部	温度計法	40	60	75	55	75	95	50	75	90
(5)	整 流 子	温度計法	55	75	90	65	85	105	65	85	105

(気温 40℃として)

アメリカ規格 ASA-C 50.4 (1965) はすでに F, H 種を含めており温度上昇限度は表 3 のように規定されている。このような温度上昇限度の上昇により電動機回転子のはずみ車効果は大幅に低減できるようになった。

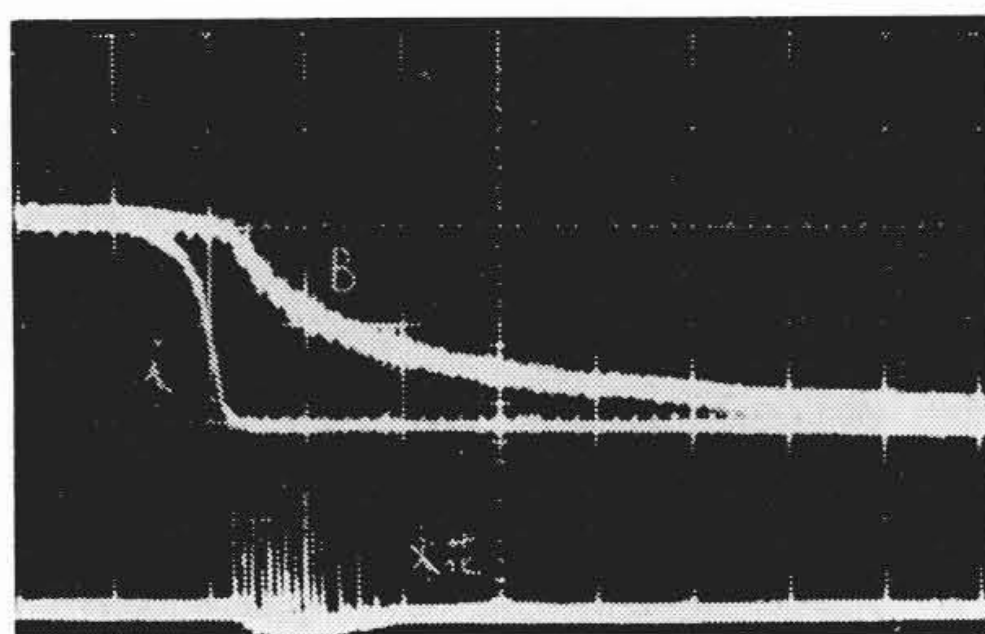
2.3 サイリスタ電源と直流機

サイリスタを電源とする直流機は電源に含まれている脈動に対する定常特性とサイリスタ自身的高速応性による過渡特性を考慮しなければならない。

これらの特性を改善するため特に大形機では、鎖状ラミネートヨーク、絶縁ライナの採用、磁路中の短絡回路の除去などにより、図 6 に示すように励磁電流に対する磁束の遅れを小さく押えた設計が行なわれている。

図 7 は鎖状ラミネートヨークの構造で、セグメント間を TIG (タングステン・イナート・ガス) 溶接することにより磁気特性を向上し、同時に普通構造ではフレームにもたせている剛性を積層部自体にもたせることにより外径寸法の切りつめが達成されている。

サイリスタ電源を用いた高速応制御では、加減速時あるいはインパクト負荷時には電動機の電流は急しゅんに変化するので過渡整流は過酷な条件にさらされる。したがって制御性能から要求される電



(火花が発生しやすい例を示す)

図 9 過渡整流測定オシログラム

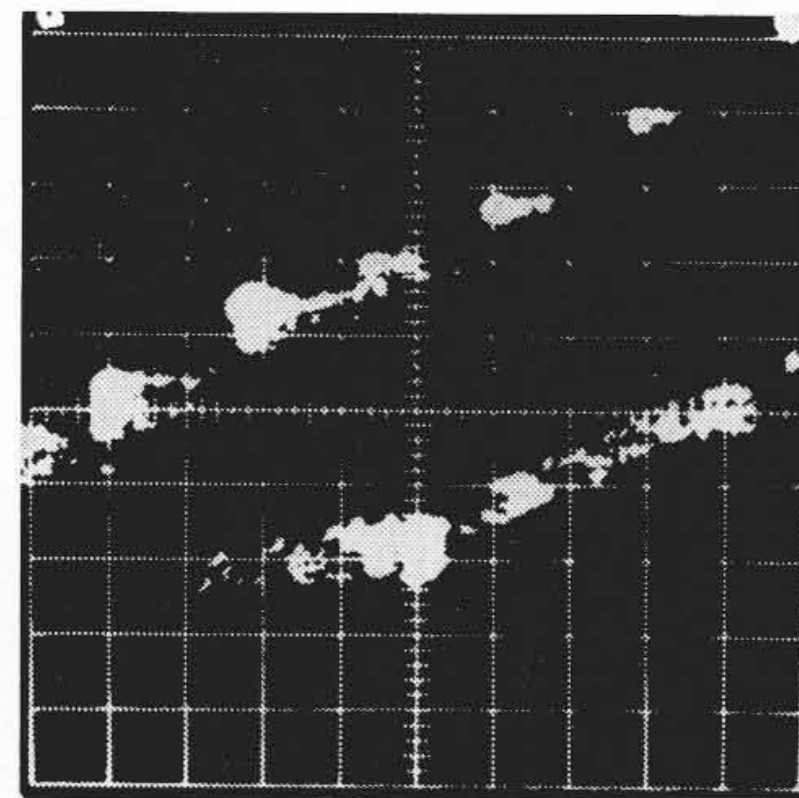


図 10 無火花帯の実測例

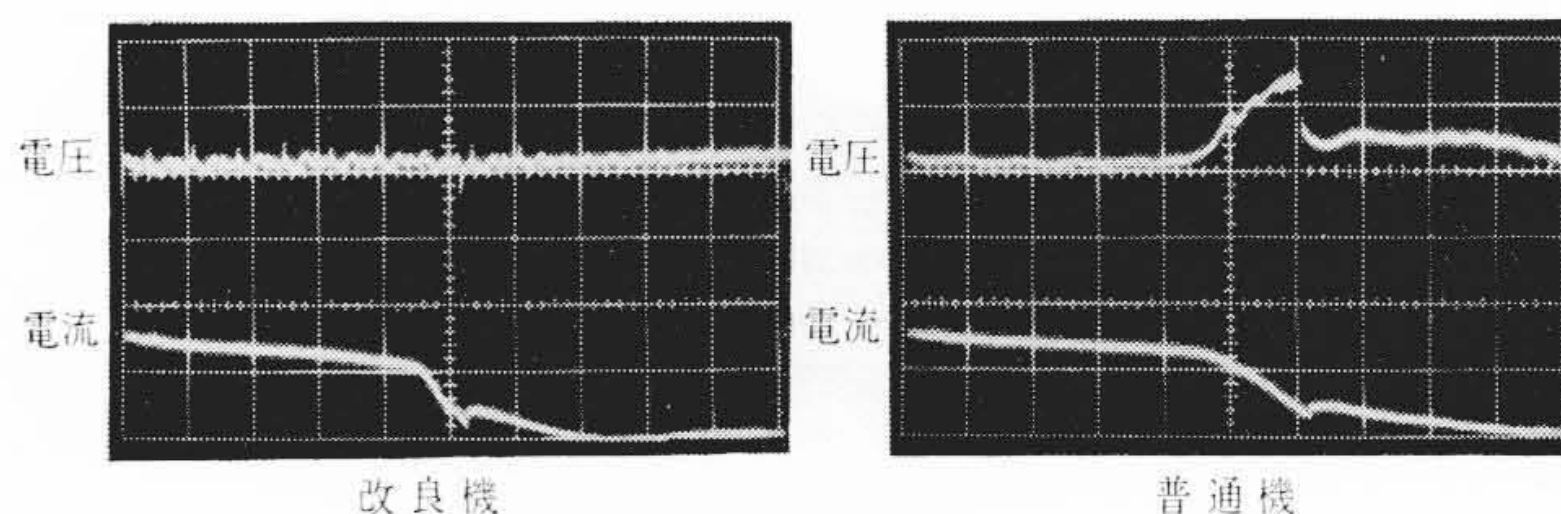


図 11 故障電流遮断時の誘導電圧

流変化に対応した十分な処置を講じた設計を行なっている。

NEMA 規格 MG1-23・83 によれば図 8 に示すような変化する負荷電流に対して次式で計算される K の値を 15 以下としている。

$$K = \frac{(\Delta i / I)^2}{\Delta t}$$

ここに、 Δi : 電流の変化量 (A)

I : 定格負荷電流 (A)

Δt : 電流変化に対する等価時間 (s)

現状では K は上記の数倍というのが普通であり、その条件のもとで工場試験時に火花直視装置⁽¹⁾により図 9 に示すような火花測定が行なわれ性能の確認が行なわれる (図 9 は火花が発生しやすい例を示している)。

負荷電流に脈動電流が含まれると一般に補極磁束が負荷電流より遅れるために無火花帯が狭くなる。磁束遅れを小さく設計した大形直流機ではその差が小さくなるため整流特性が向上する。

図 10 は脈動電源にて運転中の直流機の無火花帯を火花直視装置により輝度変調を行なって測定したものである。

サイリスタ素子の事故、サイリスタ逆変換運転中の電源消失などに際しては高速度遮断器による事故電流遮断が行なわれる。この場合電機子電流の変化率はきわめて大きく、電機子巻線のインダクタンスによる誘導電圧が発生し、整流子片間電圧を高め、フラッシュオーバーに発展することがある。しかるに磁束の応答を十分に早くし、補償巻線の配置を適切にした機械では補極磁束の効果により片間電圧の上昇を小さく押えることができる。図 11 はこれらを比較実測したものである。

界磁励磁電源がサイリスタの場合には界磁巻線の分布静電容量と漏えいインダクタンスによって形成される振動回路にサイリスタ転流時の高周波電圧がかかるため励磁巻線端子付近では巻線間に直流励磁の場合の 10~15 倍の振動電圧がかかる (図 12 参照)。図 13 は数例についての実測値を示した。速応性を早めるため強制励磁する

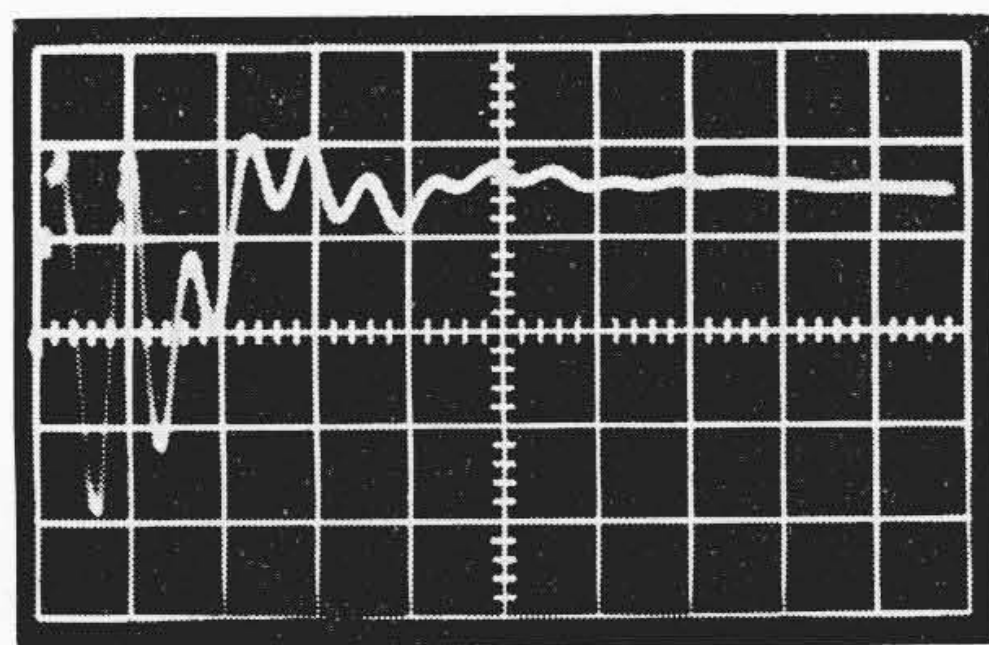


図 12 界磁巻線の振動電圧

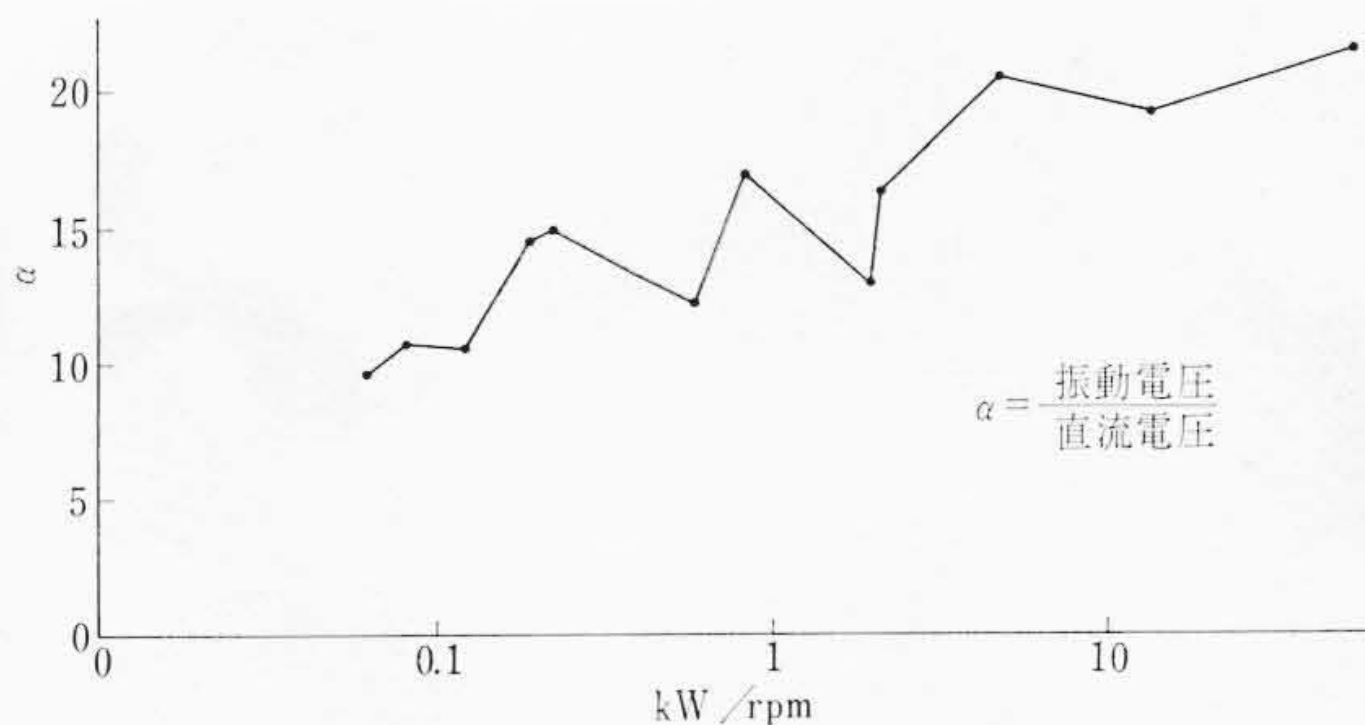


図 13 振動電圧の実測値

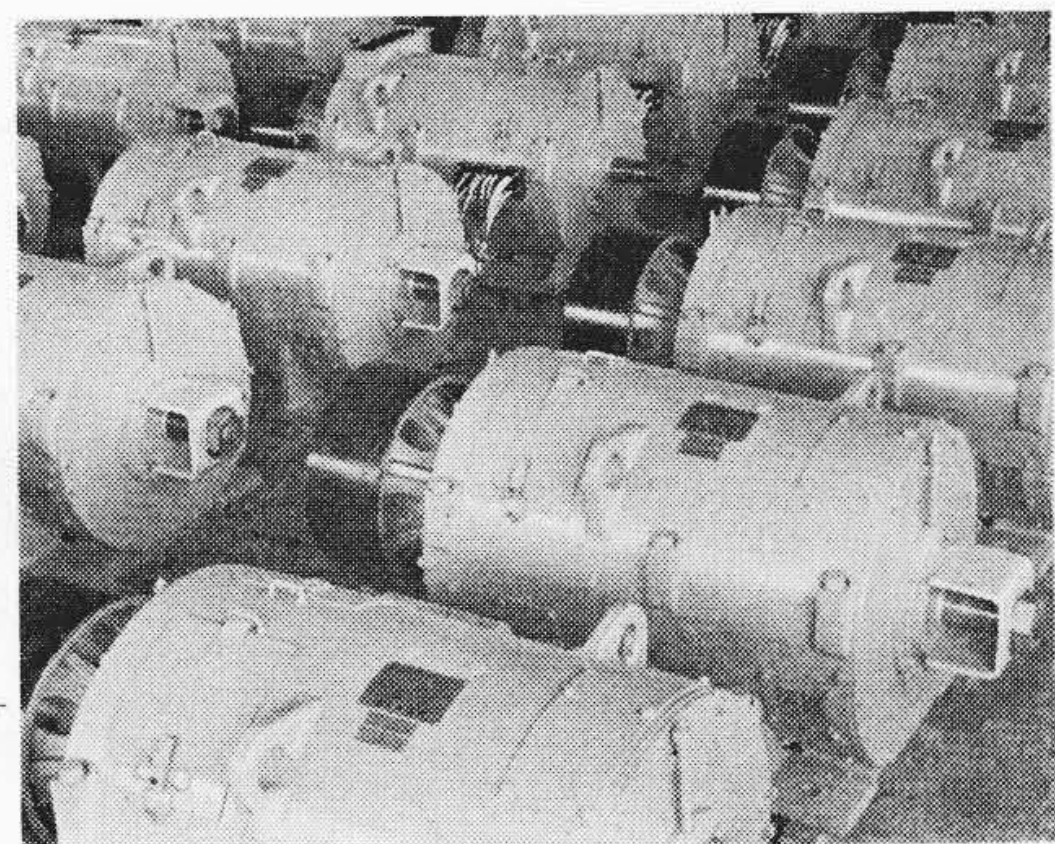


図 16 800 番直流電動機

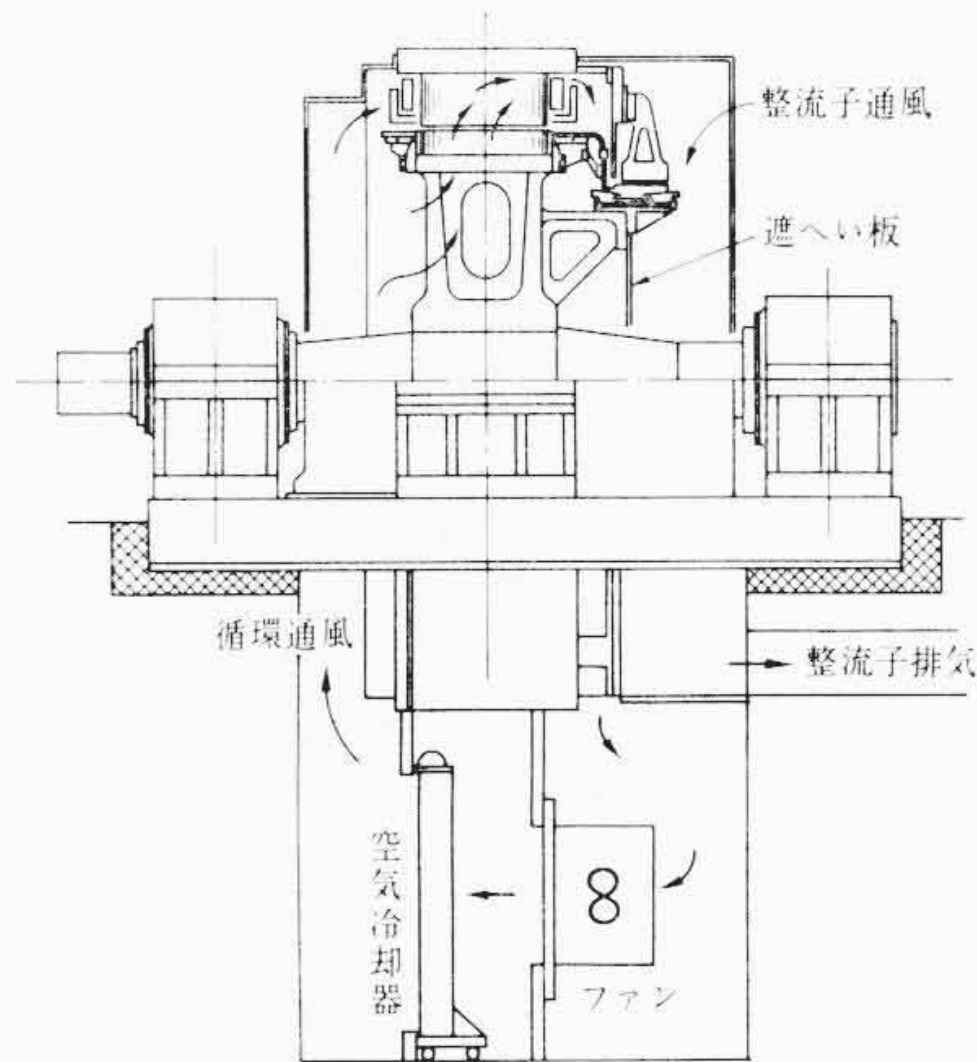


図 14 水冷循環通風

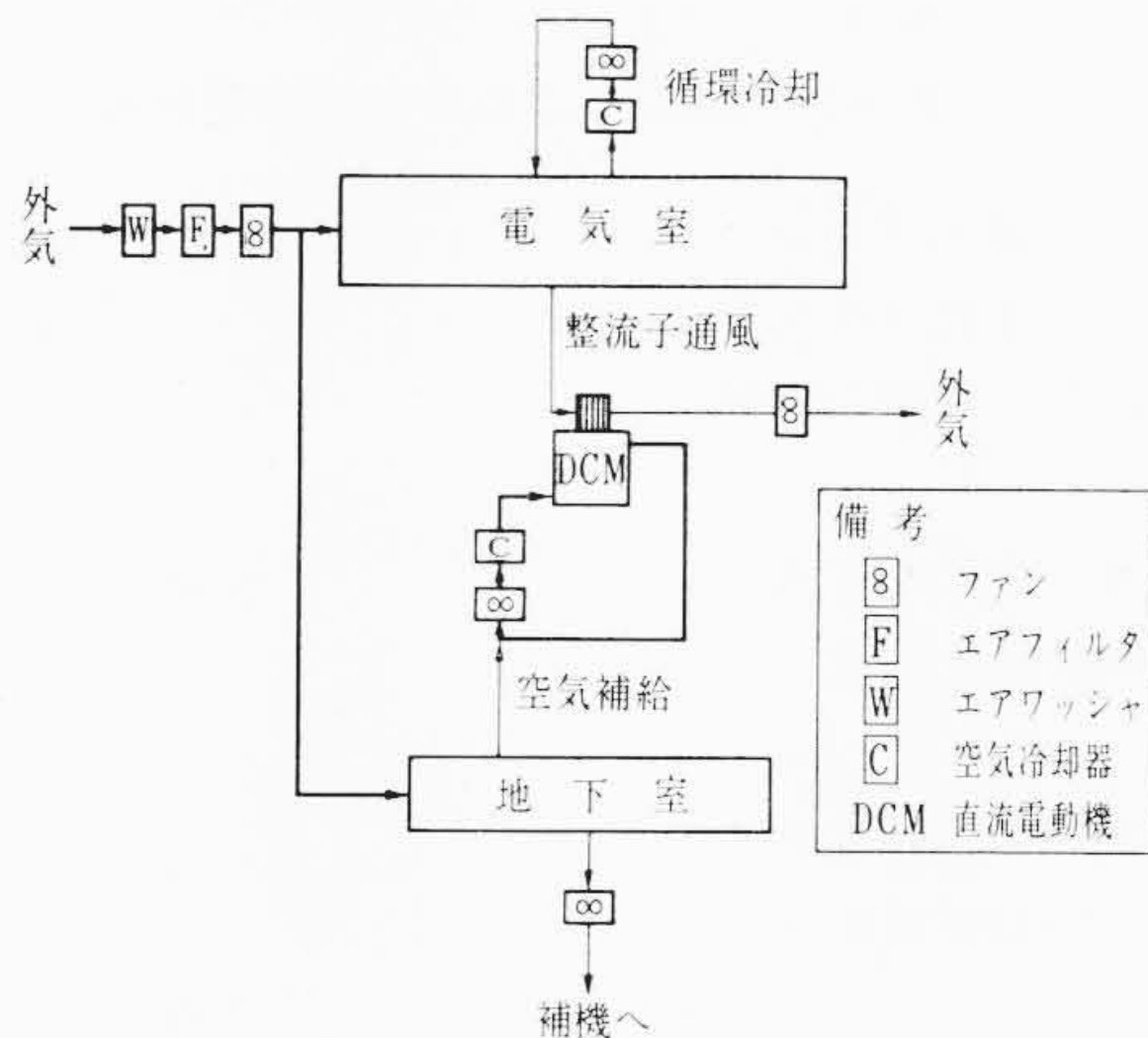


図 15 電気室通風系統図

場合にはこの振動電圧は巻線の層間で 50～100V となるのでこれらの電圧分布を考慮した絶縁が行なわれている。

きわめて早い速応励磁を行なう場合には整流中の電機子コイルに発生する変圧器電圧の値はかなり大きくなって整流を悪化させるので脈流除去フィルタを設けている。

負荷電流の大きさと補極空けきおよび補極鉄心の磁束分布の関係、過負荷時の電機子歯部の磁束分布、主極コイルと補極コイルの磁気結合などは直流機の性能に大きく影響し、高周波を含むサイリスタ電源の場合には重要な問題となる。これらを調べるのに従来は鉄心の磁気飽和を無視し手計算による分析を行なっていたが、最近では電子計算機を使用して磁気飽和を考慮した詳細な磁界分析が行なわれている。

2.4 新しい通風冷却方式

通風冷却も新しい傾向がみられる。その一つは機械自体の全閉水冷方式を大形機に採用する例である。この方式は従来の開放管通風に対して、(1) 外部の高温、多湿、ごみ、悪性ガスなどの影響を受けず機械内部が好条件に保たれる。(2) 長大な風洞(ふうどう)が不要であるなどの利点を有する。他方(1) 機械単体は冷却器付属のため高価となり、冷却器の設置位置、保守について新たな考慮を必要とする。(2) 冷却用水源、配管設備が必要であるなどの短所もある。したがって個々の場所により長短を比較検討して採否を決定しなければならない。

日立製作所がインドのヒンダスタン鉄鋼会社に納入した分塊ミルおよびビレットミル用 4,500 kW 双駆動電動機ほかで採用した水冷方式は図 14 に示すとおりである。この方式を採用したのは電気室への熱放散を防ぐため通風機構は次のとおりである。ファンで送られた空気は冷却器を通して機内へはいり再びファンへ帰り循環する。整流子はこの循環室の外になるように仕切られる。循環系には気圧最低部に空気を補給して漏気を常に外側に向けるようにしてあるので、カーボン粉が循環系内にはいつて堆積し絶縁性能を低下させることはない。冷却器を地下に置いて電動機本体の保守を便にす

るとともに、冷却器の設置位置での保守を容易とするとともに必要に応じて地上に取り出すことも容易なように可搬式としている。

その 2 は電気室の閉鎖循環の例である。図 15 は前記インドへ納入した設備の電気室通風系統を簡略化して示したものである。この設備の計画は、(1) 気温最高 47.2℃ (2) 黄塵(こうじん)あり、という外気条件に対処して行なわれたもので、その概要は次のとおりである。

外気はエアワッシャおよびエアフィルタを通してファンで電気室へ導入され電気室の気圧を高めごみの浸入を防ぐ。エアワッシャは入気を多数のノズルから噴射した霧状の水粒

子で洗浄し、同時に夏季は入気の顕熱を潜熱化して冷却し、さらに冬季乾燥時の加湿という 3 様の目的をもっている。計画および実測性能の集塵効率 99% 以上、加湿効率は 80% 以上で、入気 47.2℃ (湿球 29℃) のときは 33℃ 付近まで冷却される。エアフィルタはワッシャ故障に備えたもので通常運転では不要である。電気室内で発生する熱は、空気冷却器とファンにより閉鎖循環冷却される。

以上はインドという特殊条件の例であるが機械単体の水冷、エアワッシャの活用などは、わが国でも環境に応じて適宜採用した方が得策と考えられる。

2.5 補 機

2.5.1 800 番直流電動機

日立 800 番直流電動機は従来の 600 番にかわる圧延補機およびクレーン用直流電動機の新シリーズである。

圧延補機およびクレーン用直流電動機は過酷な負荷、振動、ダストなどの悪条件で使用されることが多く、これに対し最新の技術を駆使して性能の向上、信頼度の向上、保守、点検の簡易化などに留意している。その特長を要約すること、

- (1) はずみ車効果は従来の 600 番シリーズに比べて同一出力で約 65% なので過渡応答性が早い。
- (2) 絶縁には F 種を採用し、しかも温度上昇を B 種なみに押えてあるので信頼度が高い。
- (3) 内部の部品を含むすべてのねじにはメートルネジ (ISO ネジ) を採用した。
- (4) ユニットクールファンにより強制冷却する場合、ファンを反整流子側にマウントさせるので整流子、ブラシの保守、点検が容易である。
- (5) フレームは厚板を丸く成形して、剛性を高めると同時に磁気特性の均一度を高めている。
- (6) 定圧ばね方式の新形ブラシホルダの採用により、倍電圧制御、弱め界磁制御あるいは過負荷のときでも整流がよい。
- (7) 電機子コイルはコイルを鉄心に納める際、エポキシ樹脂で

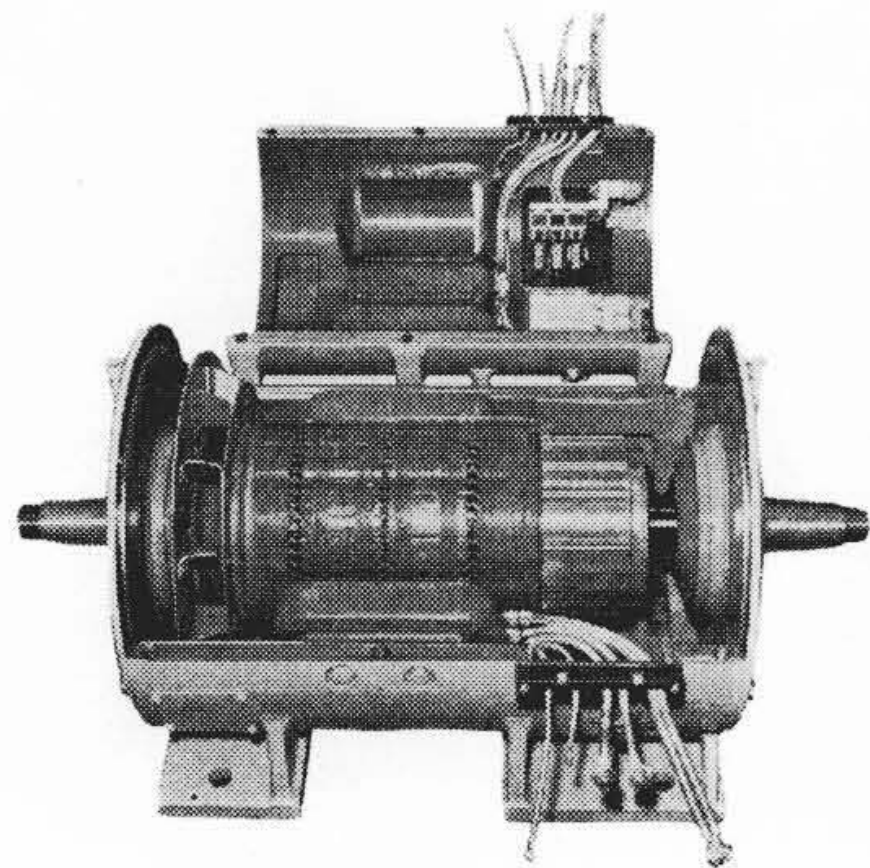


図17 800番直流電動機の内部構造

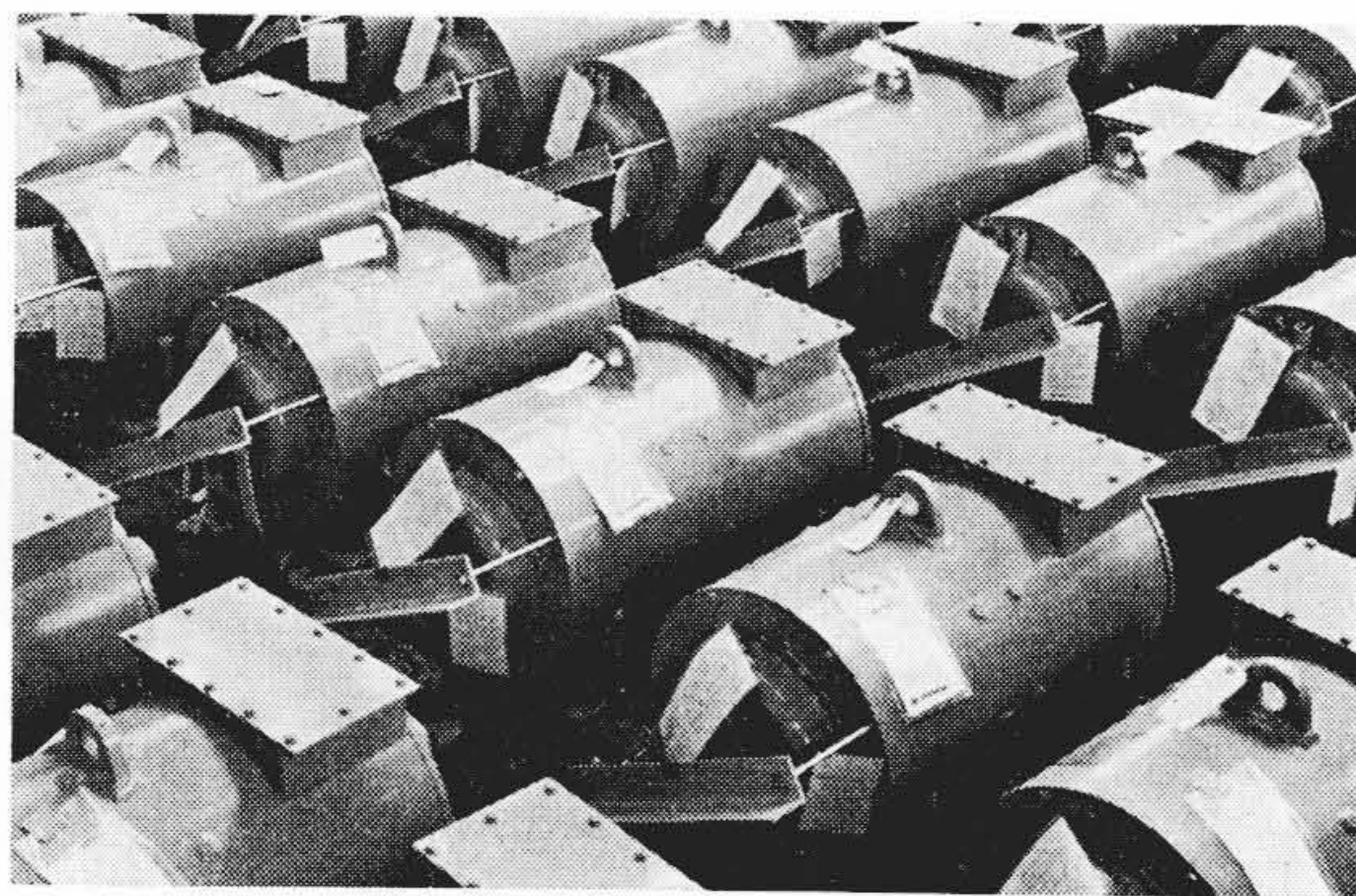


図18 ホットストリップミル
ランアウトテーブル用永久磁石励磁直流電動機

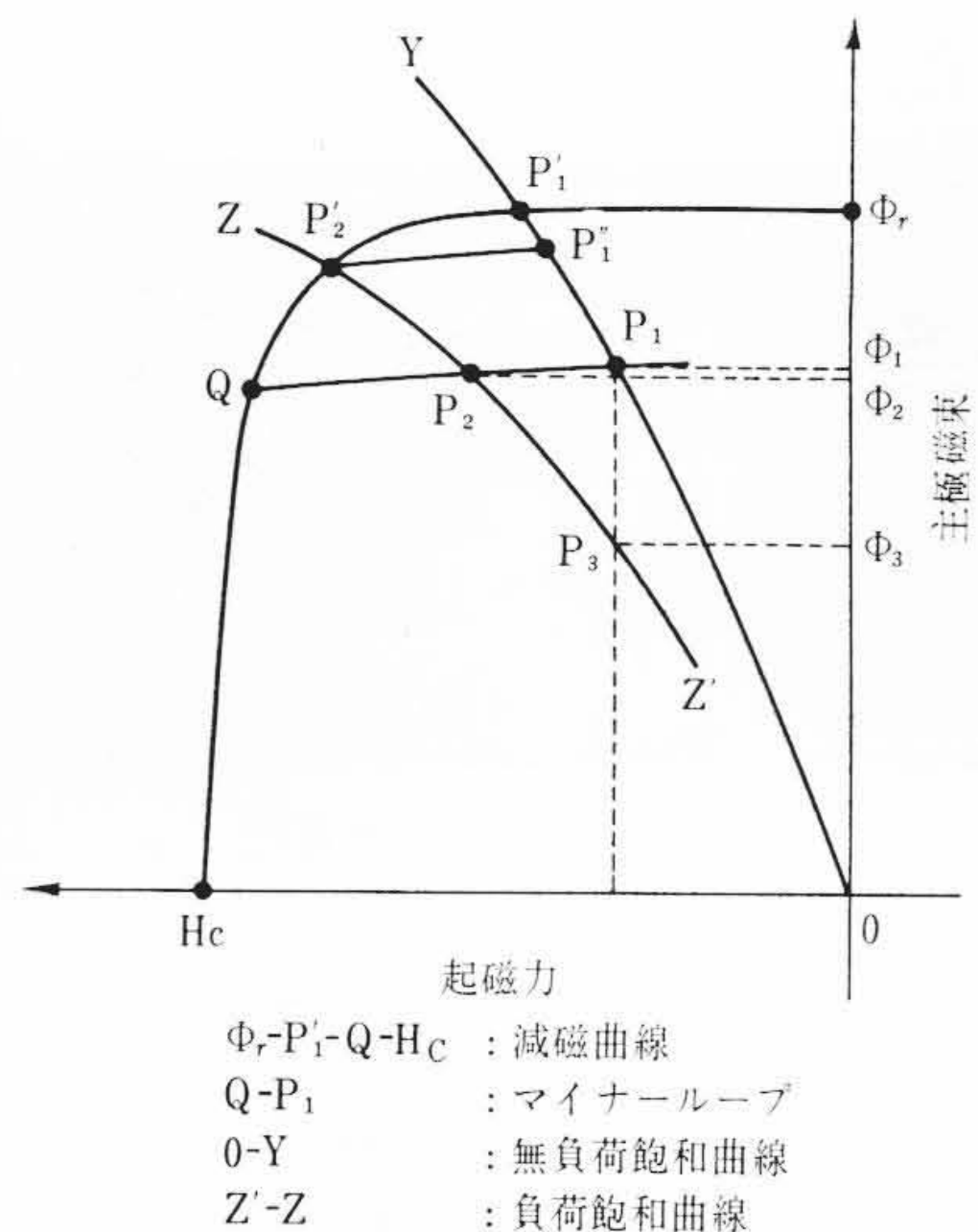


図19 永久磁石励磁直流電動機の動作説明図

コイルと鉄心を一体に固め、さらにエポキシ樹脂を注入することにより、熱放散を向上し、温度上昇を低く抑えた。またコイルの固定には合成樹脂を含浸したガラスバインドを採用し従来の金属バインドに比べ電気的機械的性能を向上した。

(8) 界磁コイルは主極、補極コイルともエポキシ樹脂の注入方式を採用しコイルとコアとを一体に固着して熱放散を向上させた。

(9) 整流の改善により脈動電流を含む整流器電源で加減電圧制御を行なう場合でも、三相グレッツ整流方式では脈動電流抑制用リアクトルをそう入する必要がない。

2.5.2 日立900番直流電動機

800番の出現により従来の600番に比べて性能は大幅に向上したが最近の圧延制御の精密、高速応化に伴い、特に圧下用などにおいて800番をさらにうわまわる高速応性の直流電動機が必要になった。

日立900番直流電動機はこの要望に対し、外形、取付寸法および出力定格を800番直流電動機の規格に合わせ、はずみ車効果を800番の約60%まで低減した新シリーズである。現在までにタンデムコールドミル、ホットストリップミルの圧下用として数10台を製作納入し稼働中である。

本シリーズは電機子外径を極力小さく押えるため、温度上昇、速度特性および整流などが問題となるが絶縁、通風冷却などにくふうをこらし、F種絶縁に対し温度上昇値はB種なみに押え、補償巻線を設けて良好な速度特性をもたせ、積層ヨーク構造を採用して過渡整流の改善を図っている。

2.5.3 永久磁石励磁直流電動機

今回、住友金属工業株式会社鹿島製鉄所に納入したホットストリップミルランアウトテーブル用3.75kW、5kW合計391台には永久磁石励磁方式を採用している。

一般にテーブルロール駆動用電動機は起動時間を短くして速い加減速運転が行なわれ、各テーブル間の揃速制御のため他励磁直流電動機が使用される。他励磁電動機を電圧調整により揃速制御する場合、励磁電源の電圧変動、温度による界磁抵抗の変動などにより主極磁束が変動して速度関係が狂ってしまうことがある。これを永久磁石励磁にすれば他励磁電源が不要のため、その影響を受けず主極磁束の変動がなくなって安定した特性が得られる。従来永久磁石の使用が制御用小形回転機に限られていたのは過負荷時の電機子反作用や機械的振動などにより永久磁石が非可逆減磁を起こしてしまう懸念があったためであるが、今回これらの問題を解決して国内で最初にテーブルロール駆動用永久磁石励磁直流電動機を実用化させた。

図19は永久磁石励磁の原理を示したものである。磁石着磁直後は P'_1 点に相当する磁束が主極にできるが、このままでは電動

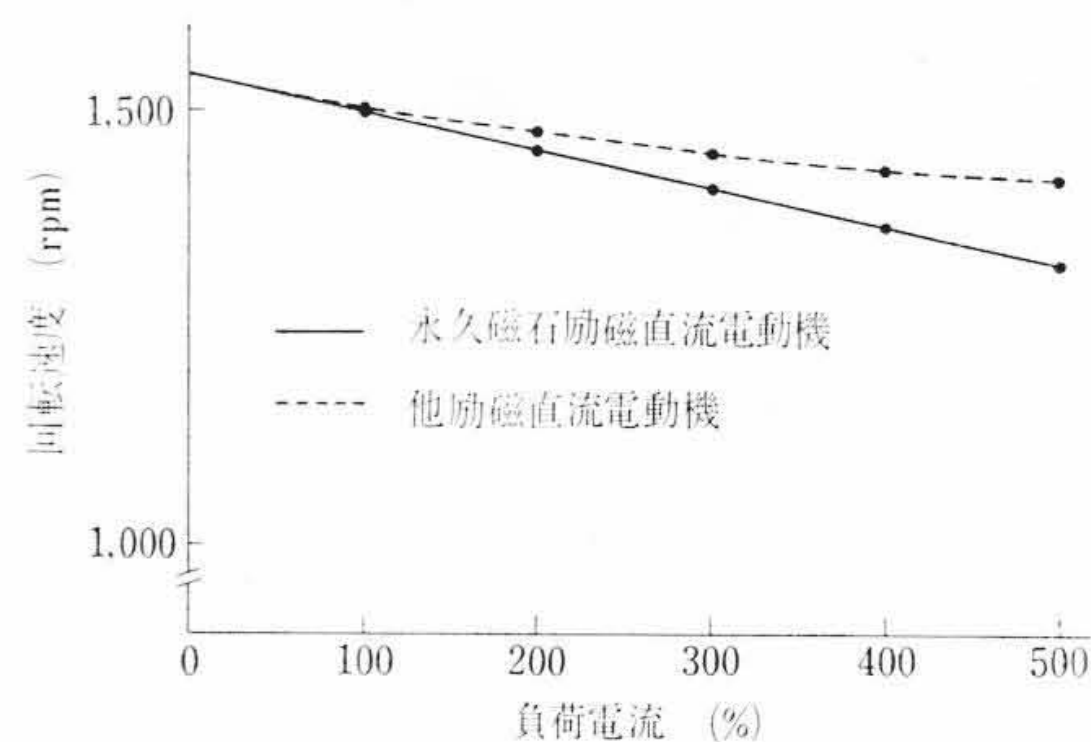


図20 永久磁石励磁直流電動機と他励磁直流電動機の負荷特性

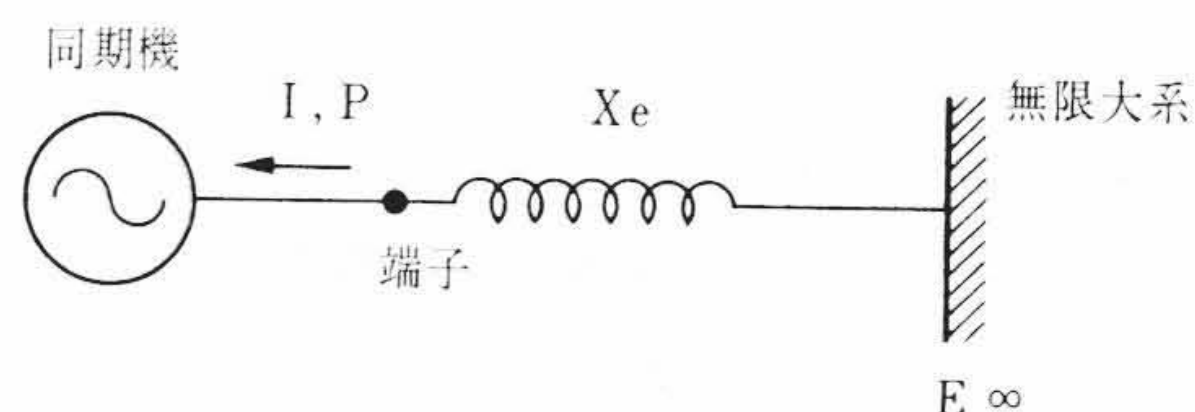


図21 系 統 図

機に負荷がかかったとき P'_1 点は P'_2 点に移動し、再び無負荷になれば最初の P'_1 より磁束が減少した P''_1 点になり速度が上昇してしまう。そこであらかじめQ点まで強制減磁して動作点を $Q \leftrightarrow P_1$ なる可逆マイナーループにもって行けば負荷による減磁は $\Phi_1 - \Phi_2$ できわめて少ない。

一方他励磁電動機は負荷がかかれば動作点は $P_1 \rightarrow P_3$ に移動して主極束の変動は $\Phi_1 - \Phi_3$ となり、永久磁石励磁の場合より大きい。

図20は3.75kW、220/440V、750/1,500rpm、 $T_{max} = 500\%$ における永久磁石励磁と他励磁の特性を実測比較したもので、永久磁石励磁では速度特性の安定度、直線性の点ではるかにすぐれていることを示している。また永久磁石励磁にすれば励磁損失がないので同出力の他励磁形に比べて温度上昇が低くなり特に全閉機に適している。さらに解体組立時の着脱磁および調整は今回開発した自動着減磁装置により容易に行なうことができる。

3. 同期電動機

3.1 圧延用同期電動機に要求される特性

圧延機用の同期電動機として特に考慮すべき点は急しゅん負荷時の特性である。われわれはこのために、同期機の過渡安定度の計算式を確立して、負荷の特性に最も適した電動機的设计を行なっている。計算に用いる系統図は図21に示すものであり、基本となる同期機の運動方程式は

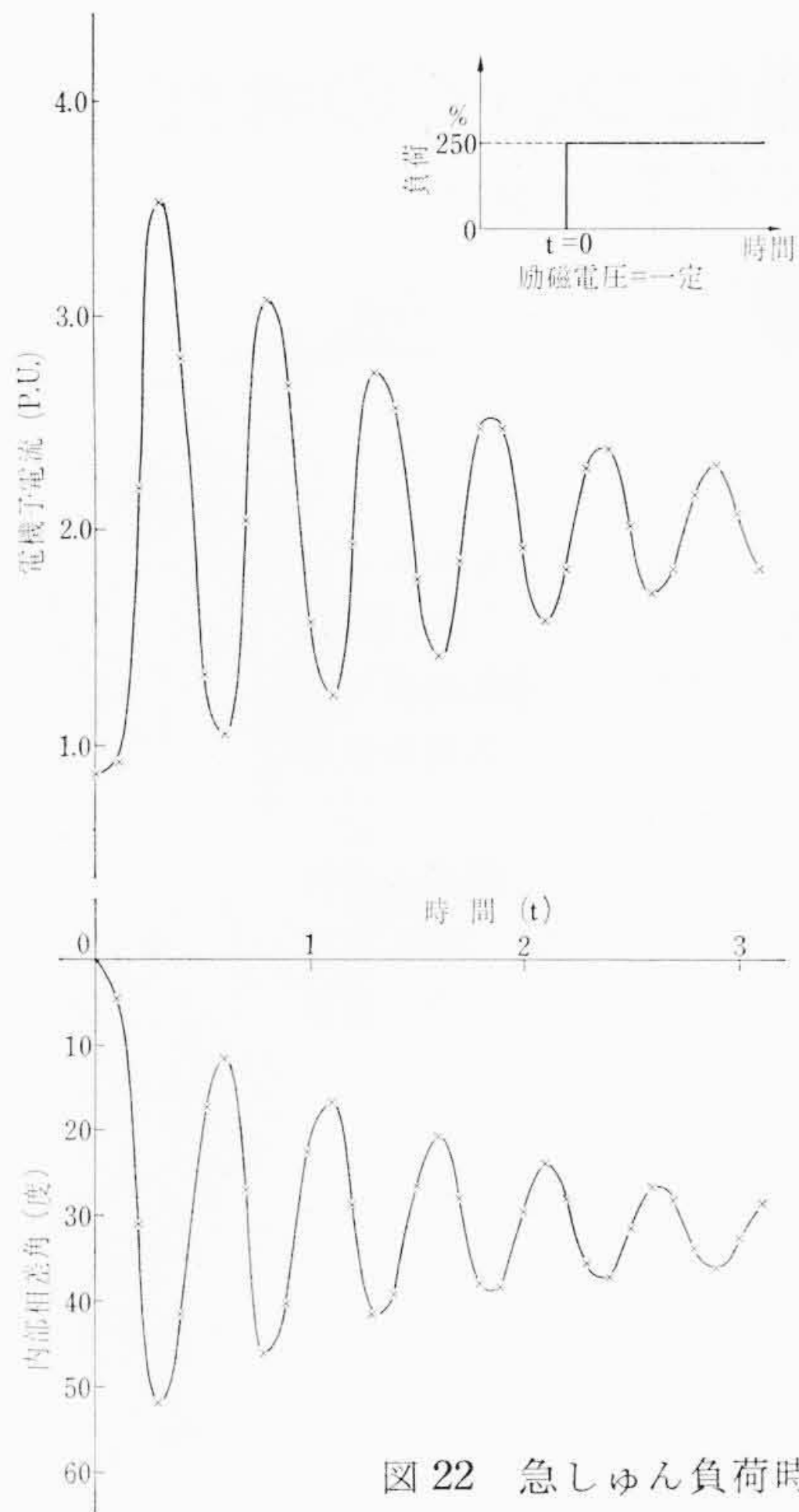


図 22 急しゅん負荷時の電動機特性

$$\frac{H}{\pi f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + P_d \frac{d\delta}{dt} + P = T_m \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 H ：単位慣性定数 $= \frac{1.37 \times GD^2 \times N^2}{kW} \times 10^{-6}$ $\left(\frac{kW \cdot s}{kW} \right)$

- kW ：電動機定格出力 (kW)
- GD^2 ：電動機および負荷の GD^2 (kg-m²)
- N ：電動機定格回転速度 (rpm)
- P_d ：制 動 係 数 (p. u. トルク/rad/s)
- T_m ：軸 ト ル ク (p. u. トルク)
- f ：周 波 数 (Hz)
- δ ：内 部 相 差 角 (rad)
- p ：電動機有効電力 $= \frac{E_q \cdot E_\infty}{X_q + X_e} \sin \delta$ (p. u.)
- X_q ：横軸リアクタンス (p. u.)
- E_q ：横軸リアクタンス背後電圧 (p. u.)
- X_e ：外部リアクタンス E_∞ ：無限大系電圧

となるが、(1)式を、同期機のベクトル図と関連づけて、電子計算機でくり返し計算を行なうことにより、電動機の過渡特性が求められる。図 22 は熱間粗圧延機用同期電動機の急しゅん負荷時の特性の計算値の一例を示したものである。

3.2 ソリッドポール

ソリッドポール形同期電動機は、従来の積層鋼板にダンパーバーを配したものと比較して、熱容量が大きくまたかご形巻線がないので構造が堅ろうである。このため信頼度が高く保守が容易である。図 23 はソリッドポール同期電動機の回転子を示したものである。

起動時の電流トルク特性については、うず電流理論を基礎としてこれを発展させ、ソリッドポールの等価インピーダンスを用いた計算式を確立しており、数値計算には電子計算機を用いている。

最近のミル用ソリッドポール同期電動機としては、本年 6 月工場完成の、住友金属工業株式会社鹿島製鉄所向け、ホットストリップミル粗圧延機駆動用の同期電動機 6 台が特筆される。表 4 はその仕様である。

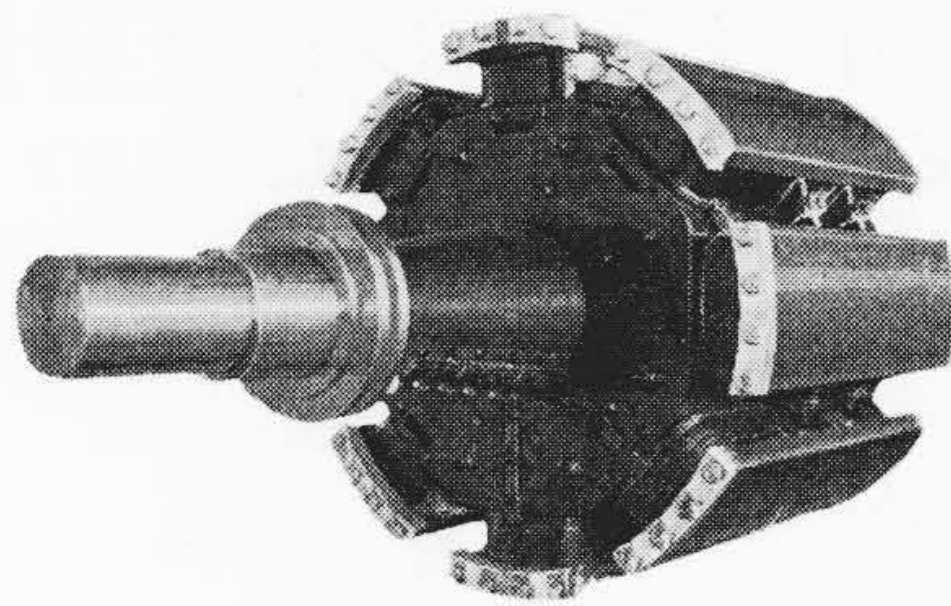


図 23 ソリッドポール同期電動機の回転子

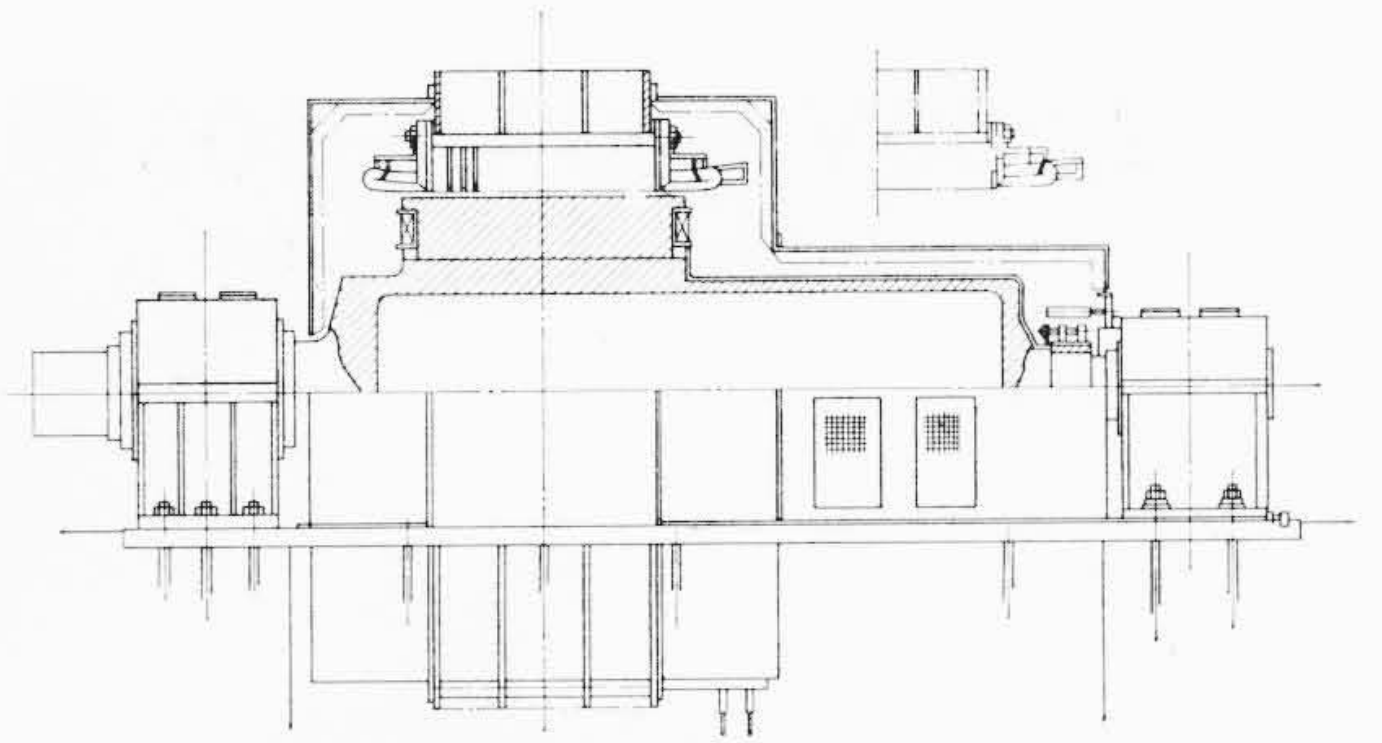


図 24 スキンストレス構造の大容量圧延用同期電動機

表 4 住友金属工業株式会社鹿島製鉄所納
熱間粗圧延機駆動用同期電動機一覧

出 力 (kW)	用 途	台数	形 式	極数	周波数 (Hz)	回転速度 (rpm)	電圧 (V)
1,100	ハーチカルスケール ブレーカー	1	EFFZBLD-RD	12	50	500	3,300
3,500	熱間粗圧延 #1 スタンド	1	EFFZBLD-RD	14	50	429	11,000
4,500	熱間粗圧延 #2 スタンド	1	EFFZBLD-RD	14	50	429	11,000
7,000	熱間粗圧延 #3,4 スタンド	2	EFFZBLD-RD	14	50	429	11,000
8,500	熱間粗圧延 #6 スタンド	1	EFFZBLD-RD	14	50	429	11,000

3.3 エポキシレジンコイル

同期電動機の固定子コイルには、従来不飽和ポリエステルによる絶縁方式の SLS コイルを用いてすぐれた実績を得てきたが、最近新しく開発されたエポキシレジンコイルは、これよりさらにすぐれていることが実験により確認され⁽²⁾すでに実機に適用されている。

エポキシレジンコイルのすぐれている点としては、誘電正接-電圧特性、ヒートサイクル特性、機械的特性などがあげられる。コイルの品質が安定していることも特長の一つである。

特にエポキシレジンコイルでは、品質のバラツキが小さく、絶縁破壊電圧が向上することから、絶縁厚さを薄くし、機械全体を小形することができ、高電圧の機械になるほど、重量低減は大きいものとなる。

また圧延機用電動機においては、急しゅん負荷時コイルに加わる電磁力は大きなものとなるので、コイルとしては、機械的特性のすぐれたエポキシレジンコイルが適するといえる。

3.4 スキンストレス構造の回転子

構造上での顕著な進歩の一つとしては、回転子のスキンストレス構造があげられる。圧延用電動機においては特に、急しゅんなくり返し負荷に対して、いかに機械の各部強度および剛性を平衡のとれた合理的なものとするかが問題となるが、これに答えるのがスキンストレス構造である。図 24 は圧延用同期電動機のスキンストレス構造であり、特にこれを大容量機に適用した場合、効果があることはいうまでもない。この構造は表 4 に掲げた電動機のうち、7,000 kW、8,500 kW に採用され、重量低減の目的を達している。

4. 結 言

ホットストリップミル、タンデムコールドミル、スラブミルなどにおける設備の大容量・高速化に伴う大形直流電動機および同期電動機の単基駆動出力の増大の傾向、およびこれら電動機の構造、通風方式、耐熱絶縁材料の進歩などの新技術による性能、信頼性の向上あるいは軽量小形化などについて述べ、また新しく開発した新シリーズ日立 800 番、900 番および永久磁石励磁直流電動機の構造、性能ならびに特長を紹介した。関係各位のいささかのご参考ともなれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 石川：日立評論 47, 841 (昭 40-5)
- (2) 安芸、松延ほか：日立評論 49, 682 (昭 42-6)