
誘導電動機特集

最近の大形誘導電動機	59
日立 E 種絶縁汎用モートル	67
新しい起動回路方式のコンデンサ電動機	72
ポンプ用誘導電動機	76
誘導電動機の SCR 制御	82
誘導電動機の二次励磁制御	89

最近の大形誘導電動機

Recent Large-Size Induction Motors

桜井 泰男* 麻生 豊* 白木 勇*
Yasuo Sakurai Yutaka Asô Isamu Shiraki

内 容 梗 概

誘導電動機はその用途が広く多岐にわたっているが、さらに新しい速度制御方式の開発とともに、その応用分野はますます拡大の一途をたどりつつある。本稿では誘導電動機の最近における進歩発展と国内外における傾向を説明し、日立製作所における各種標準シリーズの特長を紹介し、関係各位の参考に供するものである。

1. 緒 言

誘導電動機はよく知られているように種々の電動機中、もっとも簡単な原理に基づいており、したがって構造も簡単で、取扱、保守の簡便さから、ほとんどあらゆる産業分野で使用され、重要な役割を果たしている。その形状や応用面であまり改善の余地がないように思われがちな誘導電動機においても、やはり近時の技術革新の一端をになって、各種材料の進歩発展や設計技術の向上により、かなりの改良進歩がなされている。

最近の誘導電動機の改良進歩の特長をあげると次のとおりである。

- (1) 国際標準 IEC 規格の採用
- (2) 各種材料の進歩発展や設計技術の向上による小形軽量化
- (3) 保守、取扱い面での改良、とくに簡易分解形の採用
- (4) 新しい絶縁材料の採用により電気的特性の向上と、これに伴う保護形式の簡易なものへの移行
- (5) 電動機が専用化し、相手機械と一体に組み込まれ、相手機械の特質を電動機側にも利用しうるビルドイン構造の採用
- (6) 巻線形に代わりかご形機の使用範囲の拡大
- (7) 半導体製品のめざましい進歩発展、とくに SCR の出現により誘導電動機の世界制御が見直され、その応用分野の拡大
- (8) 電子計算機の導入による設計計算の精密化と最適設計への応用

以下、誘導電動機の最近における進歩発展と国内外における新しい傾向について述べ、主として日立製作所における、三相大形誘導電動機の各種標準シリーズの特長を簡単に紹介する。

2. 誘導電動機の最近の傾向

2.1 国際標準 IEC 規格推奨寸法の採用

電気機器に関する国際標準 IEC (International Electrotechnical Commission) 規格は世界各国で採用されつつあり、このうち、電動機取付寸法関係の規格は、1959年 IEC-Publication 72-1, "Recommendation for the dimensions and output ratings of electrical machines." として、標準寸法が発表されており、この規格には次のような内容が定められている。

- (1) 出力の標準シリーズ (第1表)
- (2) わく番号およびその取付寸法 (第2表)
- (3) 出力に対応すべきベルト掛用軸端寸法 (直結用は未定)

これら(1)~(3)の組み合わせに関しては、制定当時の各国の国内事情から決定までにはいたらず、各国にその選択の自由がまかされたかたちになっているが、1965年より各国意見をもち寄って検討する予定であり、その規格化は時間の問題である。日本電機工業会

* 日立製作所日立工場

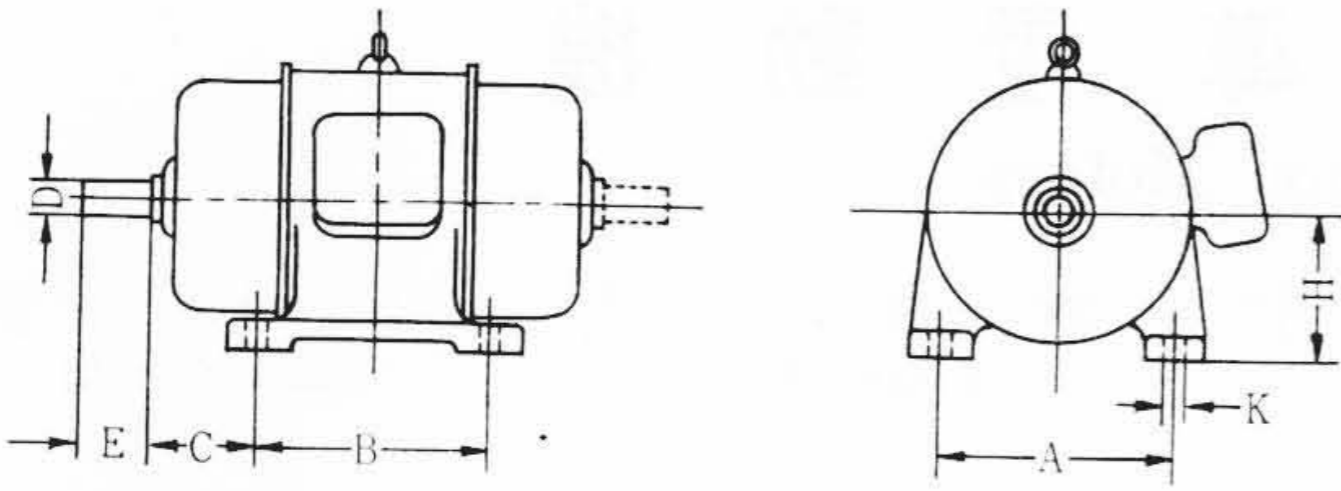
第1表 IEC 標準出力シリーズ

第一標準出力シリーズ		第二標準出力シリーズ (特殊用途用)
kW	h. p.	kW
0.06	1/12	
0.09	1/8	
0.12	1/6	
0.18	1/4	
0.25	1/3	
0.37	1/2	
0.05	3/4	
0.75	1	
1.1	1.5	
1.5	2	
2.2	3	1.8
3.7	5	3
5.5	7.5	4.3
7.5	10	6.3
11	15	10
15	20	13
18.5	25	17
22	30	20
30	40	25
37	50	33
45	60	40
55	75	50
75	100	63
90	125	80
110	150	100
132	175	125
150	200	
160	220	
185	250	
200	270	
220	300	
250	350	

では、近い将来、IEC 規格を全面的に採用することに決定しており、すでに 150 フレーム (4 極 15 kW 相当) までの IEC 規格採用低圧全閉外扇形かご形電動機寸法の規格化を完了、JEM-1180 として、1964 年 8 月に発表された。IEC には、これを日本案として提出することになっており、また現在 225 フレーム (4 極 45 kW 相当) までの追加規定案を審議中である。またこれら寸法を採用する電動機の特性に関しては JIS-C-4210 "低圧三相かご形誘導電動機 (一般用 E 種絶縁)" が 1964 年に制定公布されている。

日立製作所では、各種誘導電動機に全面的に IEC 推奨寸法を採用する方針で、適宜モデルチェンジを実施しつつある。なお、(1) IEC 寸法には 315 フレームまでしか決定されていないので、これを超過するフレームに対しては IEC シリーズを延長した各種寸法を日立製作所にて決定採用している。(2) IEC 寸法には直結用軸端寸法の規定が未定であること、およびベルト掛用軸端寸法については、JEM 軸端寸法を基準とした標準ブリー仕様があり、寸法の異なる IEC 軸端寸法シリーズを今すぐ採用するには時期尚早であることの二点より、軸端寸法のみは従来の JEM 規格寸法を採用している。

第2表 IECわく番寸法



わく番	H	A	B	C	K (最大値)
56	56	90	71	36	5
63	63	100	80	40	7
71	71	112	90	45	7
80	80	125	100	50	9
90 S	90	140	100	56	9
90 L	90	140	125	56	9
100 S	100	160	112	63	12
100 L	100	160	140	63	12
112 S	112	190	114	70	12
112 M	112	190	140	70	12
(112 L)	112	190	159	70	12
132 S	132	216	140	89	12
132 M	132	216	178	89	12
(132 L)	132	216	203	89	12
160 S	160	254	178	108	14
160 M	160	254	210	108	14
160 L	160	254	254	108	14
180 S	180	279	203	121	14
180 M	180	279	241	121	14
180 L	180	279	279	121	14
200 S	200	318	228	133	18
200 M	200	318	267	133	18
200 L	200	318	305	133	18
225 S	225	356	286	149	18
225 M	225	356	311	149	18
(225 L)	225	356	356	149	18
250 S	250	406	311	168	22
250 M	250	406	349	168	22
(250 L)	250	406	406	168	22
280 S	280	457	368	190	22
280 M	280	457	419	190	22
(280 L)	280	457	457	190	22
315 S	315	508	406	216	27
315 M	315	508	457	216	27
(315 L)	315	508	508	216	27

(3) JEM-1180に規定されたもの以外のわく番適用に関しては、現時点における国際水準と同等の適用を行なうて、小形化をはかっている。

すでにモデルチェンジの完成したものに、本誌別稿に紹介されるJEM-1180による低圧全閉外扇形E種小形電動機および低圧開放防滴形E種小形電動機をはじめ、3kV級、簡易分解形新開放防沫NSシリーズ、新標準中容量高圧全閉外扇かご形電動機および、E種絶縁中容量低圧開放防滴形電動機がある。

2.2 電動機の小形軽量化

一般に電動機の小形軽量化の要因をあげると、

- (1) 絶縁材料の耐圧性向上による絶縁層厚みの減少
- (2) 絶縁材料の耐熱性向上による温度上昇限度の上昇
- (3) 通風冷却法の改善
- (4) 構造材料の軽減と、構造の簡易化

などがある。低圧小形機の小形軽量化は鉄板フレームの採用などの構造材の軽減や冷却法改善の工夫にも起因するが、もっとも大きな要因は絶縁材料の進歩であり、たとえばDCCなど横巻絶縁電線からポリエステル銅線などの各種マグネット電線への移行、あるいはきわめて耐圧性のよいポリエチレンテレフタレートフィルム（商品名ルミラー）などの薄い絶縁材料の採用である。

また、耐熱性のよい絶縁材料が各種開発され、従来一般的に使用されていたA種絶縁より、E種またはB種絶縁への移行が行なわれている。前者はヨーロッパにおいて、後者はアメリカにおいて一般

的に採用されている。わが国においても低圧小中容量機にはE種絶縁がしだいに一般的に採用されつつあり、温度上昇限度の上昇による小形軽量化がはかられている。中容量機以上の高圧機ではルミラーフィルムをそのまま採用することは耐コロナ特性の点でできないので、格段の絶縁厚みの低減は行なわれていないが、冷却方法の改良による小形化が行なわれている。

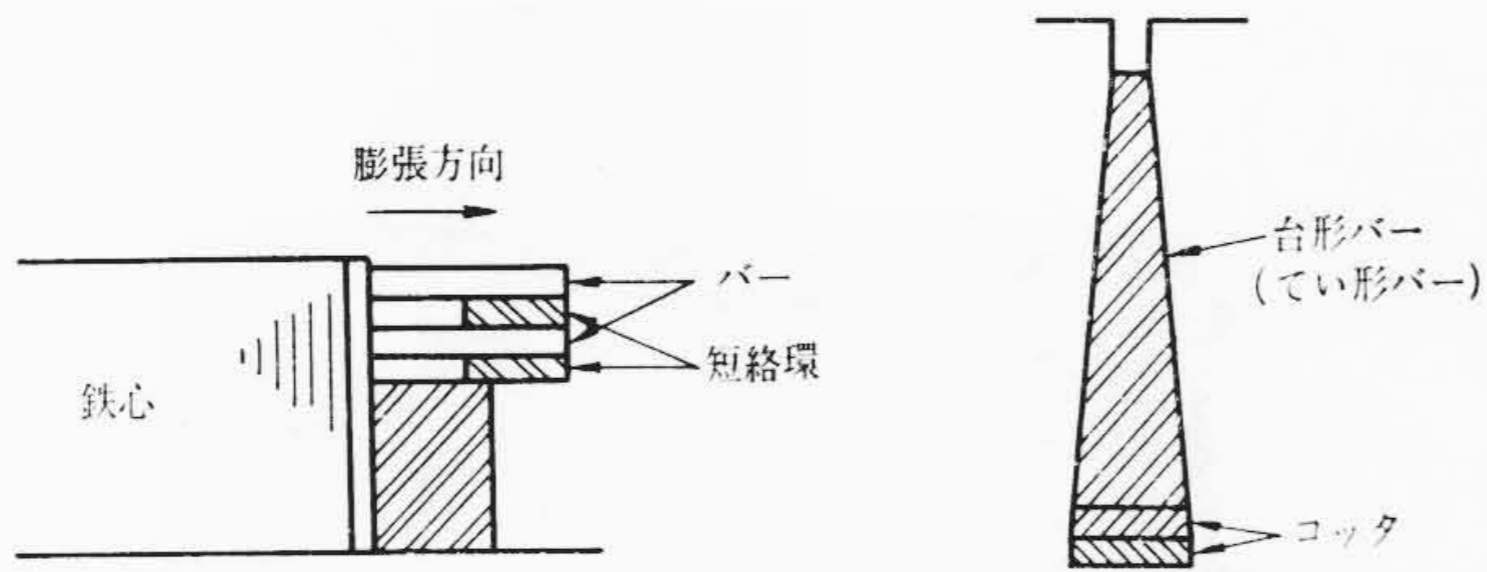
また、F種、H種絶縁の電動機は特殊品であるという概念の時代はすぎ、車両用直流機ではすでに常識化している⁽¹⁶⁾が、誘導電動機としてはまだ一般化されていない。その理由は高温であることが、従来の触手による保守の習慣から敬遠されがちであること、および材料が若干高価である点にある。現在開発されているF種、H種の絶縁材料は、後述するように従来の材料に比べて、電気的特性および信頼性の点で格段にすぐれており、したがって電動機寿命の延長、事故の減少、保守費の低減を合わせ考えれば、絶縁階級上昇による小形軽量化の価値はますます高まってくるものと考えられる。

小形軽量化の要因の(3)として冷却方法の改善があるが、その一例として、開放防滴形電動機の外わくを円筒形から角形へ移行することにより鉛直壁全面を通風口として有効に利用できること、あるいはまたよろいど構造の改良による開放防沫形電動機の小形化などがあげられる。全閉外扇形の小形化についていえば次のようである。従来この形では75kW級までは放熱リブ付方式が採用され、それ以上の大容量機ではパイプ付方式であった。しかしこの方式はパイプを埋込むスペースを余計に取るため外形寸法が非常に大きくなること、内気と外気を隔離するための構造が複雑になる欠点がある。このため再び100~300kW級をリブ付の構造に戻して小形化することが行なわれている。これが可能になった理由は、熱伝導経路についての電子計算機による詳細な検討に基づく放熱効果の向上によるものである。

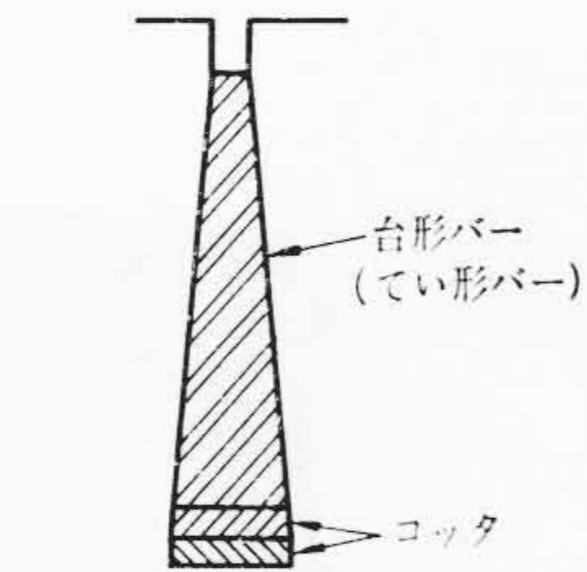
2.3 保護形式の移行と保守取扱面における改良

新しい絶縁材料の耐熱性向上や熱伝導性向上による電動機の小形化については前述したが、これらの材料には耐熱性や電気的特性がきわめてすぐれているうえに耐湿性、耐薬品性などのすぐれているものが多いので、これらの材料を使用したコイルを採用し保護形式の簡易化をはかろうという考え方が生まれてくる。一般に全閉外扇形のような構造複雑で高価な保護方式があえて使用されるのは、外部からの湿気ゴミ劣化を促進するガスや薬品性物質からコイルを守ることであり論をまたないが、コイル自身がこれらに対抗できるよう強化されれば保護構造によってコイルを守る必要はなく、開放防沫形、開放防滴形、さらには開放形と保護形式の簡易化を行なうて、設備の経済化をはかることができるわけで、たとえばシリコンゴム絶縁や、エポキシ樹脂絶縁の採用はこれを可能とした。日立製作所では開放防沫形の屋内、屋外用電動機にシリコンゴム絶縁を採用したものをシリコSおよびシリコAシリーズと称して、限定した使用条件の下で全閉形から開放形への代用を考慮している。

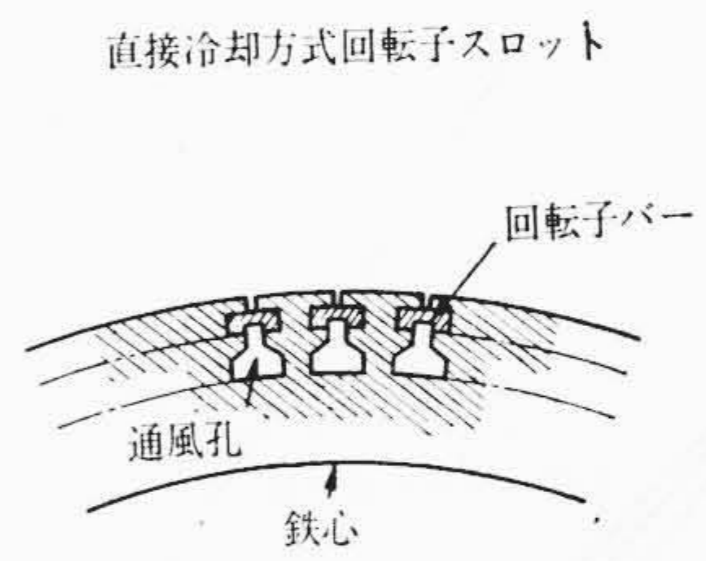
次に保守取扱面における改良として、日立製作所ではいち早く簡易分解形を採用している。保守点検に要する手数を最小限に食せたいという要求が近年ますます強くなっており、これは使用者側として当然の要求である。もちろん保守不要な電動機が理想といえるが、中形機以上の電動機では全閉形は非常に高価になるので開放形が多く使用されるが、開放形である限りある期間における掃除点検は必要になる。またいずれの形でもグリースの補給や軸受の点検はどうしても必要である。これらの要請から簡易分解形の電動機が生まれた。小形機の場合にはそれほどの必要はないが、中形以上の場合には電動機を直結位置においたまま分解点検清掃の可能な構造が採用された。たとえばエンドブラケットや軸受カバーの上下二つ割構造、カートリッジタイプ軸受などがそれである。



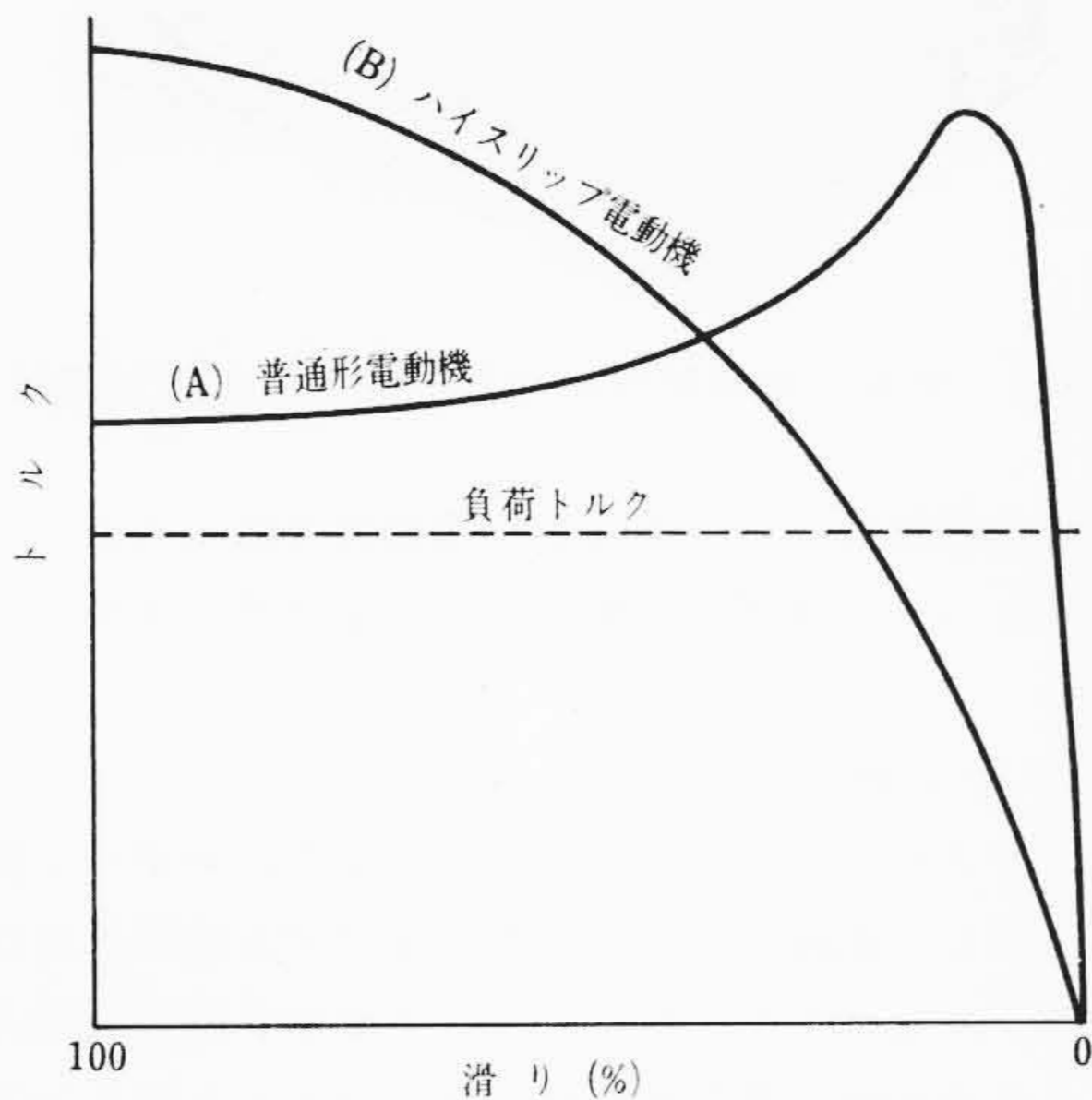
第1図 上下バー独立式のかご形回転子



第2図 コッタ押し上げ式深みぞ断面図



第4図 直接冷却方式回転子スロット



第3図 ハイスリップ電動機のトルク曲線

2.4 電動機の専用化

誘導電動機の駆動相手は実に数多くの種類があり、それに伴って出力と、極数、形式の組合せの種類は数百種にも上っている。したがってどの機械にも使用できる汎用性をもたせることも重要であるが、他方特殊なものは機械と一体化せざるをえないものもある。また一体化により全体がコンパクトにまとまる特長のほかに、その機械の特質を利用して電動機自身をさらに小形化しうるものもある。これらのうち代表的なものについて簡単に述べる。

(1) 冷凍機用密閉形冷媒冷却電動機

ビルディングの冷房や工場の温度調節に使用される冷凍機には、冷媒を圧縮循環するためターボ圧縮機が使用されている。従来は圧縮機と電動機は別々に製作されカップリングで直結されていた。この方式では軸貫通部からの冷媒の漏れは避けがたく、また騒音や据付面積のうえから好ましくなかった。電動機と圧縮機ケーシングを一体として密閉形にまとめればこの問題は解決する。しかしこの場合、電動機には冷媒であるフロンガスが充満することになり、絶縁はガスに侵されないものでなければならず、また金属部分にも特殊な考慮が必要である。一方冷凍機で冷却された冷媒が電動機の鉄心やコイルに触れるので冷却がよく、電動機を小形にできる利点がある。さらに一歩進んで冷凍サイクル中に得られる冷媒液を電動機に導き、コイルや鉄心表面で気化させれば蒸発のせん熱を直接冷却に利用でき、冷却効果は数倍する。この画期的な液冷方式により電動機寸法は再び縮小された。日立製作所では、後述するようにこの方式の標準シリーズを完成しており仕込生産を行なっている。

このほか水中電動機、チューブラ電動機などがあるがこれに関しては別稿「ポンプ用誘導電動機」にて詳述するので省略する。

2.5 かご形機使用範囲の拡大⁽¹¹⁾

かご形機は巻線形に比べ構造簡単であるため、これが使用範囲の拡大は望まれるところである。起動電流が大きいという欠点は、近

時の電源容量増大によりほとんど解消されているため、現在は数千kWのものまでかご形が使用されるようになった。もちろん電動機自身についても回転子バーの構造における改良、たとえば起動時の熱膨張、収縮を無理なく逃げる上下独立式の二重かご形構造(第1図)や、バーを鉄心に押しつけて起動時の熱を鉄心にすみやかに伝導させる方法(第2図)などいくつかの工夫がなされている。またバー材質も強力特殊銅合金が採用されるなど大容量機や高ひん度起動に対応できる改善がなされていることも、かご形機使用範囲の拡大に貢献している。

一方特殊用途において巻線形の分野をかご形に移行させる傾向がある。その一例としてハイスリップかご形電動機⁽¹⁰⁾がある。たとえばクランクプレスのように、はずみ車のエネルギーで仕事をさせる機械がそれで、これらに使用される電動機自身の特性はすべりを大きくして、はずみ車がエネルギーを放出するとき要求される速度垂下特性(第3図)を満足させなければならない。この場合問題は高スリップに伴って発生する二次抵抗損失をいかにうまく発散させ、電動機の温度を上げないようにするかである。この問題を解決するために日立製作所では導体直接冷却方式を開発し、第4図に示すように回転子鉄心みぞはちょうど二重かご形のみぞのような形状をしているが、バーはその一方にしかそう入されておらず、他方の空いたみぞには冷却風が通るようになっている。このような構造により数百kWの大容量機が製作可能となった。

2.6 誘導電動機の世界制御

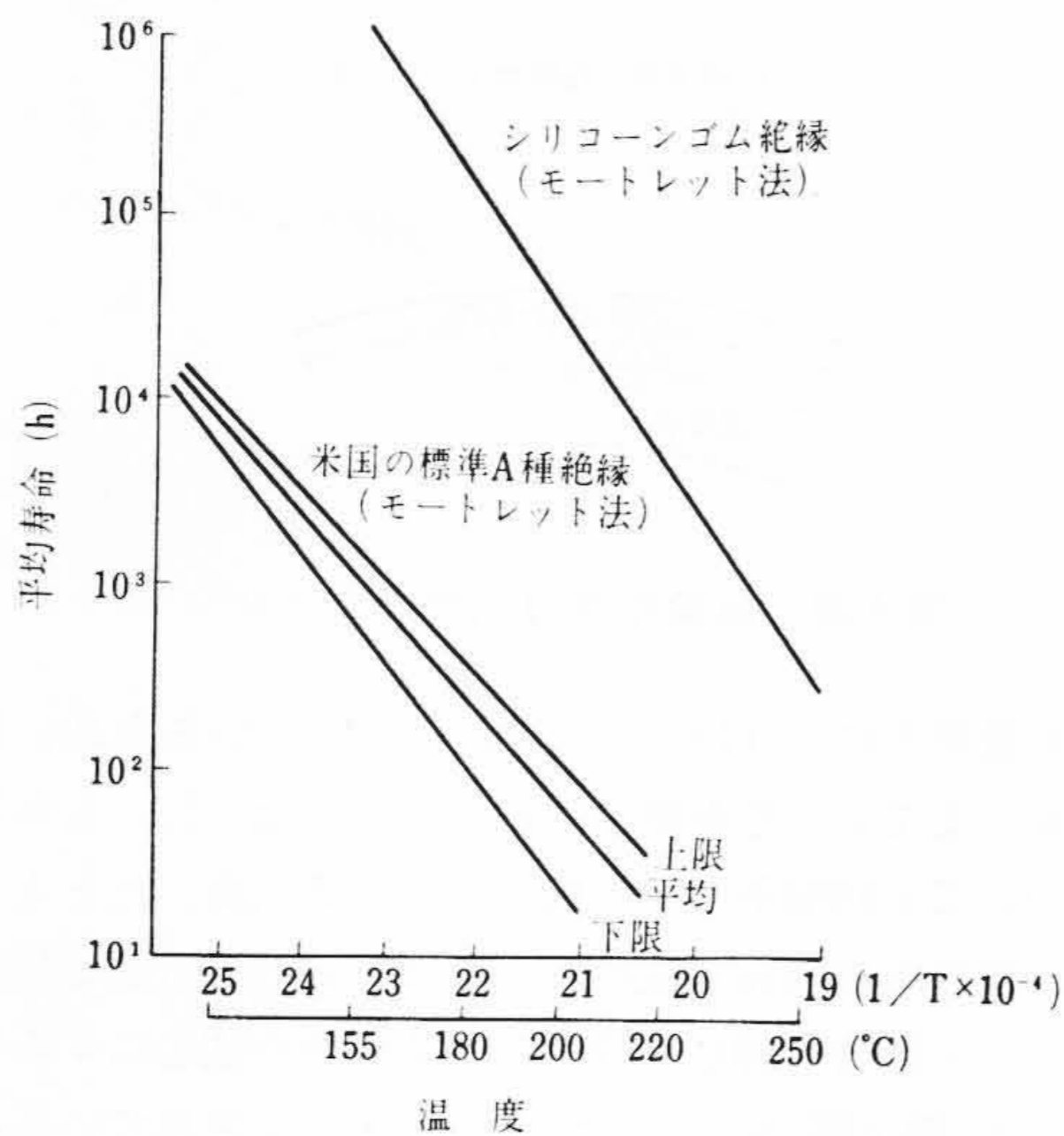
最近の半導体製品のめざましい進歩発展により、特にシリコン整流器や、シリコン制御整流素子(SCR)の出現により、それらが電動機の各種制御分野に広く利用されつつある。日立製作所においては、早くからその重要性に着目し、鋭意研究開発を進め、SCRによる一次電圧制御によるクレーン用電動機の世界制御や、あるいは二次側電圧制御としては、東京都水道局納 6,200 kW クレーマセットをはじめ、MGセルビウスによるもの、SCRセルビウスによるものなど数多くの実績を有している。それらの詳細については別稿に論ぜられるので参照願いたい。

3. 最近の新絶縁方式と誘導電動機への応用

絶縁材料の進歩はまさに日進月歩で、各方面に数多くの新材料が出現しており、その応用も盛んである。ここでは特に代表的な絶縁方式の二、三をあげて説明する。

(1) E種絶縁⁽¹⁸⁾

従来電気機器の許容温度上昇は使用される絶縁材料の耐熱性に依りて、O, A, B, H, Cの5種に分類されていたが、材料の進歩に依りてこれをさらに細分し、Y(従来のO種に相当)、A, E, B, F, H, Cの7種にすることが1957年IECにおいて制定され、わが国においてもこれに準拠して1960年JEC-147“電気機器絶縁の種類”およびJEC-146“回転機の温度上昇限度”が制定されている。これら新絶縁材料の採用により温度上昇限度を上げて小形軽量化をはかることが可能となり、日立製作所では、200kW程度までの低圧機にE種絶縁を採用し、小形軽量化を実施している。



第5図 シリコンゴム絶縁組織のモートルレット法による温度寿命曲線

第3表 各種絶縁の許容最高温度と使用材料

絶縁の種類	許容最高温度 (°C)	使用材料
Y	90	木綿, 絹, 紙などの材料でワニス類を含浸せずまたは油中に浸さないもの
A	105	Y種に同じ, ただしワニス類を含浸し, または油中に浸したもの
E	120	セルローズトリアセテート, ポリエチレンテレフタレートおよびエポキシ樹脂
B	130	マイカ, 石綿, ガラス繊維などを接着材とともに用いて構成されたもの
F	155	B種の材料をシリコンアルキッド樹脂, エポキシ樹脂などの接着材とともに用いて構成されたもの
H	180	B種の材料をシリコン樹脂または同等の性質をもった材料よりなる接着材とともに用いたもの, ゴム状および固体状シリコン樹脂または同等の性質をもった材料を単独に用いた場合も含む
C	180 超過	マイカ, 石綿, 磁器など単独で構成されたもの, または接着材とともに用いたもの

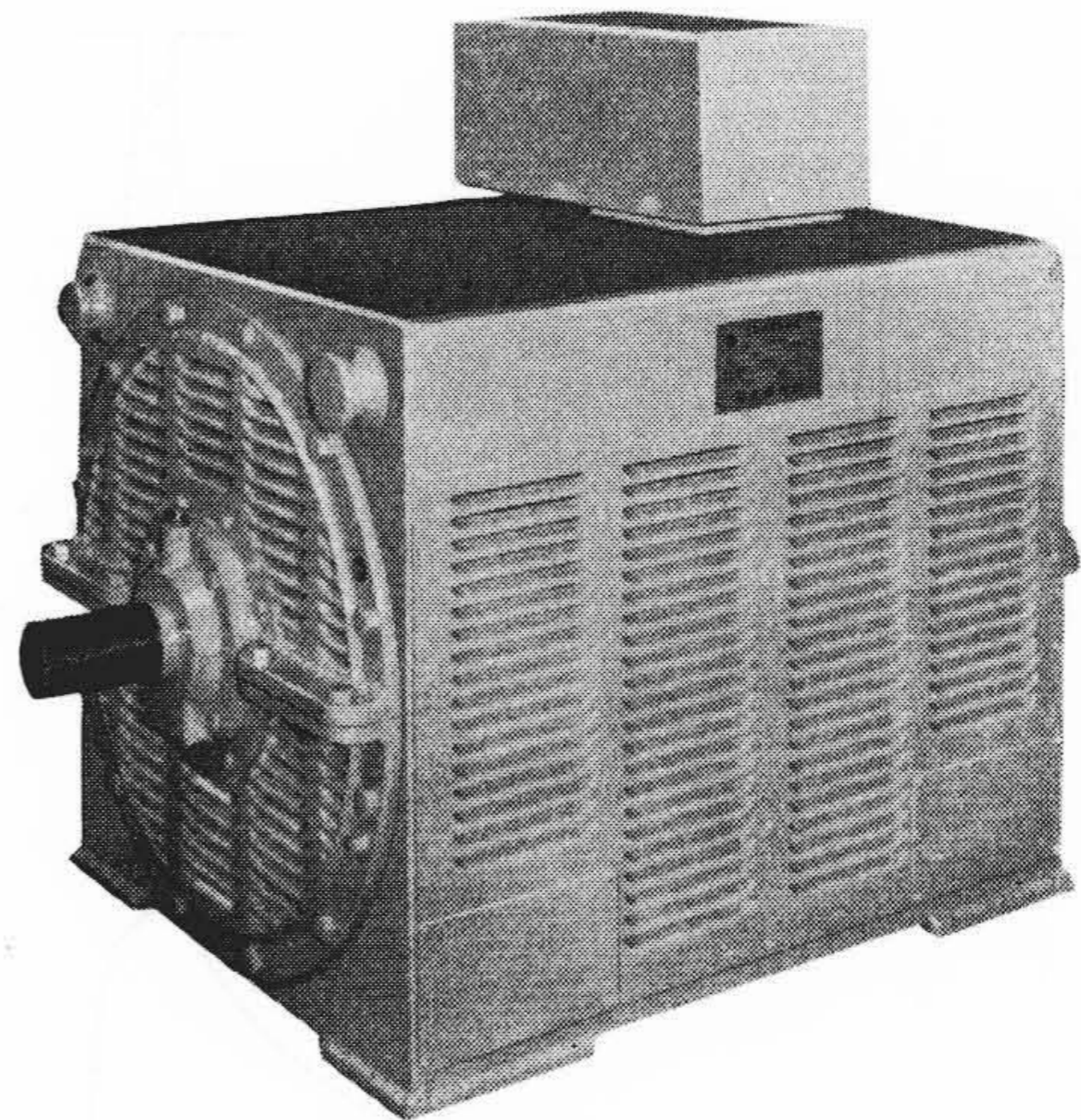
(電動用絶縁としてはA, E, B, F, Hの各種が用いられY, Cは用いられていない)。

E種絶縁は第3表に示すようにA種絶縁に対し最高温度で15°C高く許容されるもので、電線にはポリエステル銅線 (JIS-C-3210) を使用し、コイル絶縁にはポリエチレンテレフタレートフィルム (商品名ルミラー) を使用している。このフィルムは絶縁破壊強度 15 kW/0.1 mm という高度の耐圧特性を有し、熱安定性が良好であり、機械的には強く、しかも耐溶剤、耐薬品性などにすぐれた特性を有しているが、耐コロナ性が劣るため高圧機への適用は問題がある。このためもっぱら低圧機に使用されている。

(2) シリコンゴム絶縁⁽⁵⁾

誘導機の固定子コイルに使用されるときはテープとして用いられる。すなわち片面半硬化のテープを巻きつけ加熱すると自己融着してテープ巻きとして重ね目はなくなり、ちょうど継ぎ目なしのシリコンゴムでおおわれることとなり、外部からの水分そのほかの侵入を完全に防止することができる。またこのシリコンゴムは耐熱性にすぐれており、第5図に示すAIEFによるモートルレット試験による寿命評価によれば、F種またはH種として使用可能である。

このように耐湿性にすぐれているので、常に湿度 100% の場所で使用して問題なく、超耐湿絶縁電動機として数多くの実績を残している。従来耐湿性の点で全閉形が採用されていたものもこの絶縁方式を使用することにより開放形で代用できることがわかっ



第6図 簡易分解形開放防滴Uシリーズ誘導電動機

た。またこの絶縁はゴムであるから柔軟性に富んでおり、かご形機起動のショックや機械的振動にあってもクラックがはいる心配がない。

(3) エポキシ絶縁⁽⁶⁾

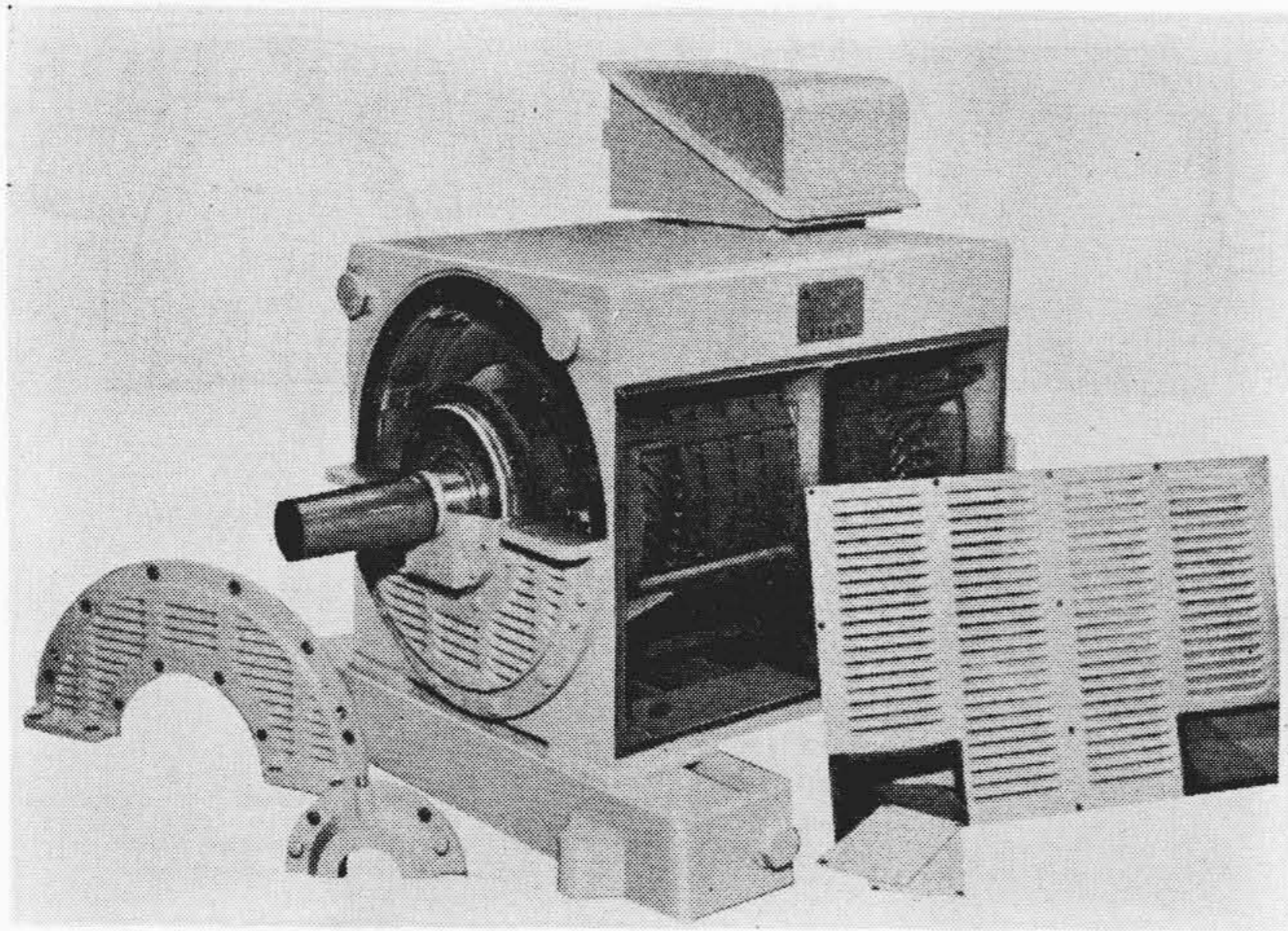
最近大きくクローズアップされているものにエポキシ樹脂を注入または含浸した絶縁がある。これに使用する絶縁基材は通常のマイカ、ガラスなどがあるが、これにエポキシ樹脂を注入硬化することによりきわめて電気的特性のよいコイルとすることができる。とくに無溶剤系エポキシ樹脂を注入する一体絶縁方式は、熱伝導性にすぐれている点と硬化後の機械的強度の大きい点で電動機の小型化と信頼性向上に役だっており、車両用直流機においては、すでに実用量産の域にはいっている⁽¹⁷⁾。またこの絶縁の使用により前述のシリコンゴム絶縁と同様に耐湿性にすぐれているので、全閉形から開放形への保護形式の簡易化も容易になった。エポキシ樹脂は硬化すると非常にかたくなるので 3,000 V 級のコイルのように成形してから鉄心に組み込む作業方式にはまだ問題点が残されており、一般に組み込まれた鉄心とコイルを一体に注入する方式がとられている。この樹脂はポットライフが短く短時間で硬化するので作業性と経済性が問題であるが、各種添加剤の検討によりこの難点は克服されつつあり、日立製作所では 1,400 kW 14 極 514 rpm の回転子に採用した実績がある。現在中形以上の誘導電動機には一般にはまだあまり実用化されていないが、信頼性の著しい向上など各種すぐれた特性をもっているため、しだいに一般化されるものと考えられる。

(4) ポリエステル絶縁

SLS ワニス は数年前日立製作所で開発された無溶剤系の不飽和ポリエステルワニスで、耐電圧、 $\tan \delta$ 、絶縁抵抗などの電気的特性が著しく良好であるほか、熱伝導性もよく、また機械的特性も優秀で強度大であると同時に柔軟性にとんでいて絶縁層が導体の熱膨張、収縮に容易に追随しうるので絶縁層の離脱移動のおそれはまったくない。日立製作所では 6,000 V 級以上の高圧大容量機にこのワニスを採用しており、数多くの実績を有し好評を博している。

(5) ガラスバインド

コイル絶縁材料とは直接関係はないが、最近開発され車両用直流機ではすでに実用量産の域にある⁽¹⁷⁾ところのガラスバインドがある。これは従来のピアノ線や非磁性線などに比較してきわめて強度が高く、また絶縁物であるため渦電流の発生がなく、費用の点でも経済的で、今後広く利用されるものと考えられる。誘導電動機においては 2 極高速大容量機や高周波電源で駆動される超



第7図 Uシリーズ電動機の分解状況

高速電動機⁽⁹⁾のプロテクトリングの代用としての応用が考えられずでにその実績もある。

4. 各種標準シリーズとその特長

以上述べてきた誘導電動機の新しい傾向に対処して、日立製作所では各種の新しい標準シリーズを開発し需要者各位の好評を博している。以下そのうちの代表的シリーズを取り上げその特長について簡単に触れておく。その詳細についてはそれぞれ各参考文献を参照願いたい。

(1) 簡易分解形開放防滴Uシリーズ⁽¹⁾ (EFOU形)

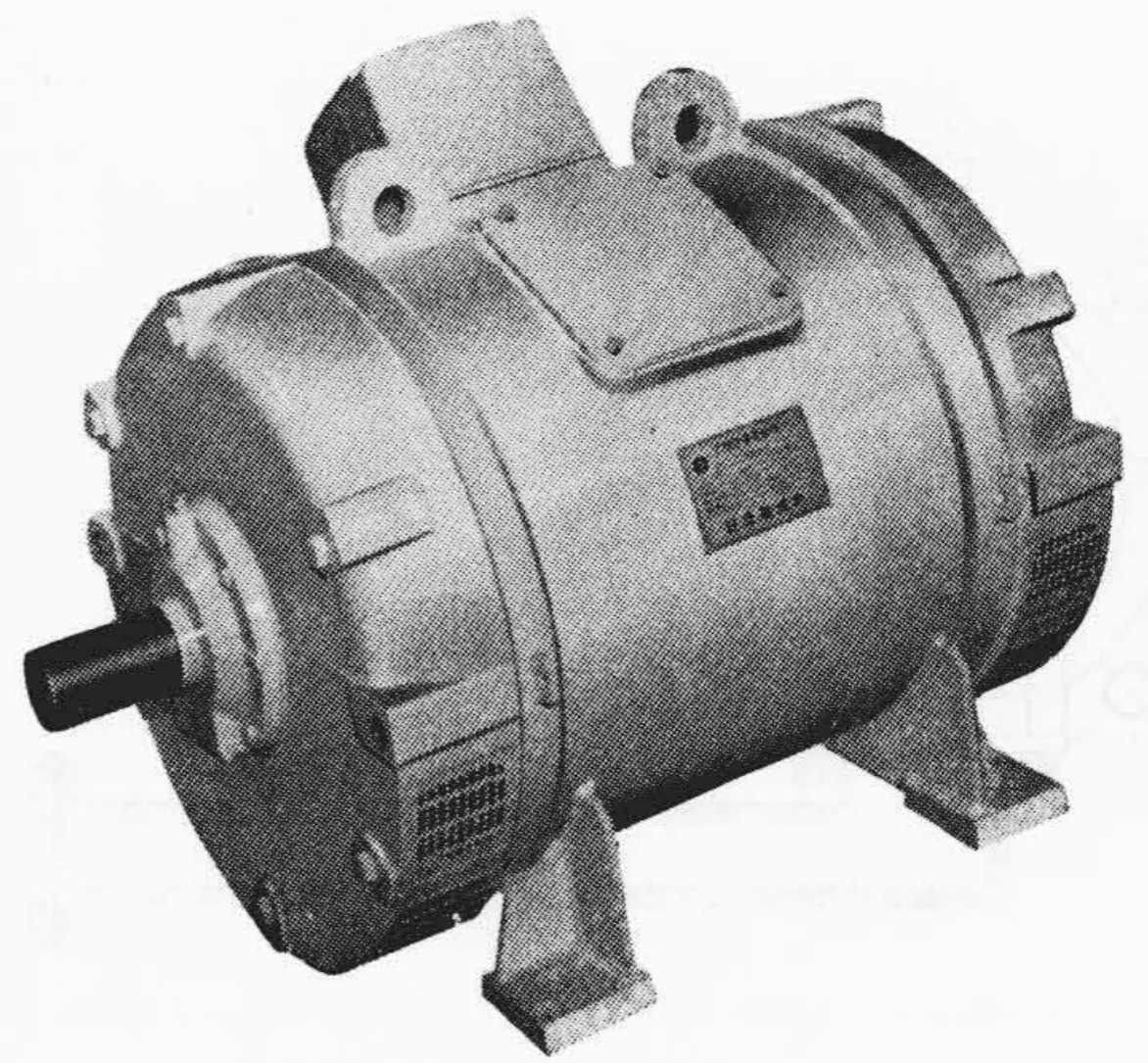
これは1963年に発表しその後各所で好評裡に多数使用されているシリーズで、簡易分解形の構想を最も早く取り入れたものである。取付寸法はJEM-1160“高圧(3kV)三相誘導電動機(一般用)寸法”に準拠しているが、わく番号の適用はJEMより平均2わく番小さいわくを採用しており、小形化をはかっている。Cubic Typeで近代的外観をしており、軸受カバーおよびエンドブラケットの上下二つ割構造、カートリッジタイプ軸受、大きなグリース排出口、両側板の着脱自由など、電動機内部の点検清掃、軸受まわりの保守点検に便利になっている。端子箱は箱内でのケーブル端末処理ができるよう十分なスペースをとってあり、ハウジング上部に取り付けられる。取付座を正方形として電動機の前後左右いずれの方向にも配線できるようにユニバーサルターミナルボックスを備えている。第6図に外観を、第7図にその分解状況を示す。

(2) E種絶縁低圧中容量開放防滴形シリーズ⁽²⁾ (EFOUP形)

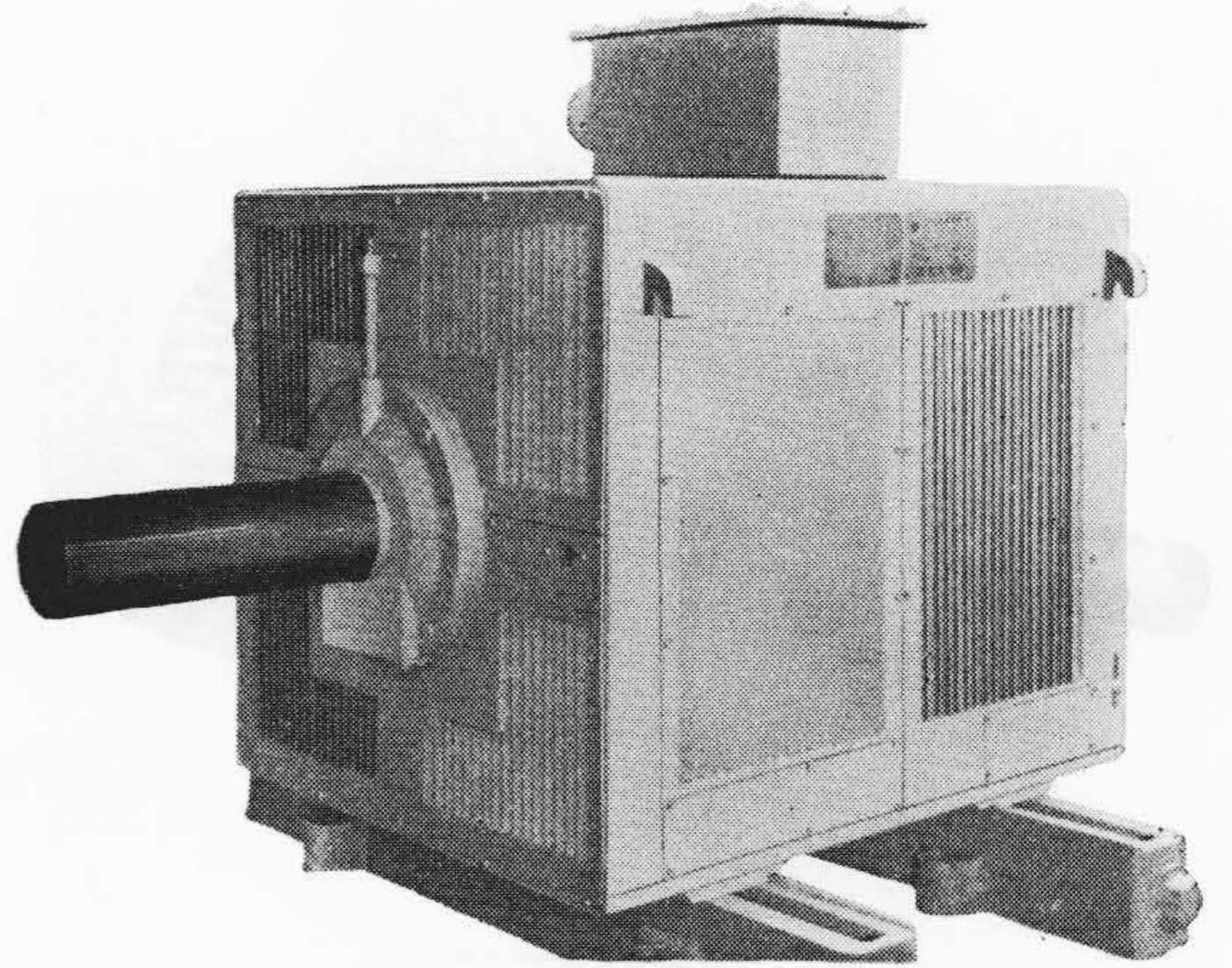
さきに述べたように、電線にはポリエステル銅線を、絶縁素材にはポリエチレンテレフタレートフィルム(商品名ルミラー)を採用したE種絶縁電動機で、“JEM-1110低圧三相かご形誘導電動機(一般用A種)寸法”に比較して同一わく番に約50~60%増の出力の増大が可能である。取付寸法として国際標準IEC推奨寸法を採用している。軸受カバーは上下二つ割構造で、グリース排出口も大きく、保守点検に便利な構造となっている。第8図はその外観を示す。

(3) 簡易分解形新開放防沫NSシリーズ⁽³⁾ (EFOS形)

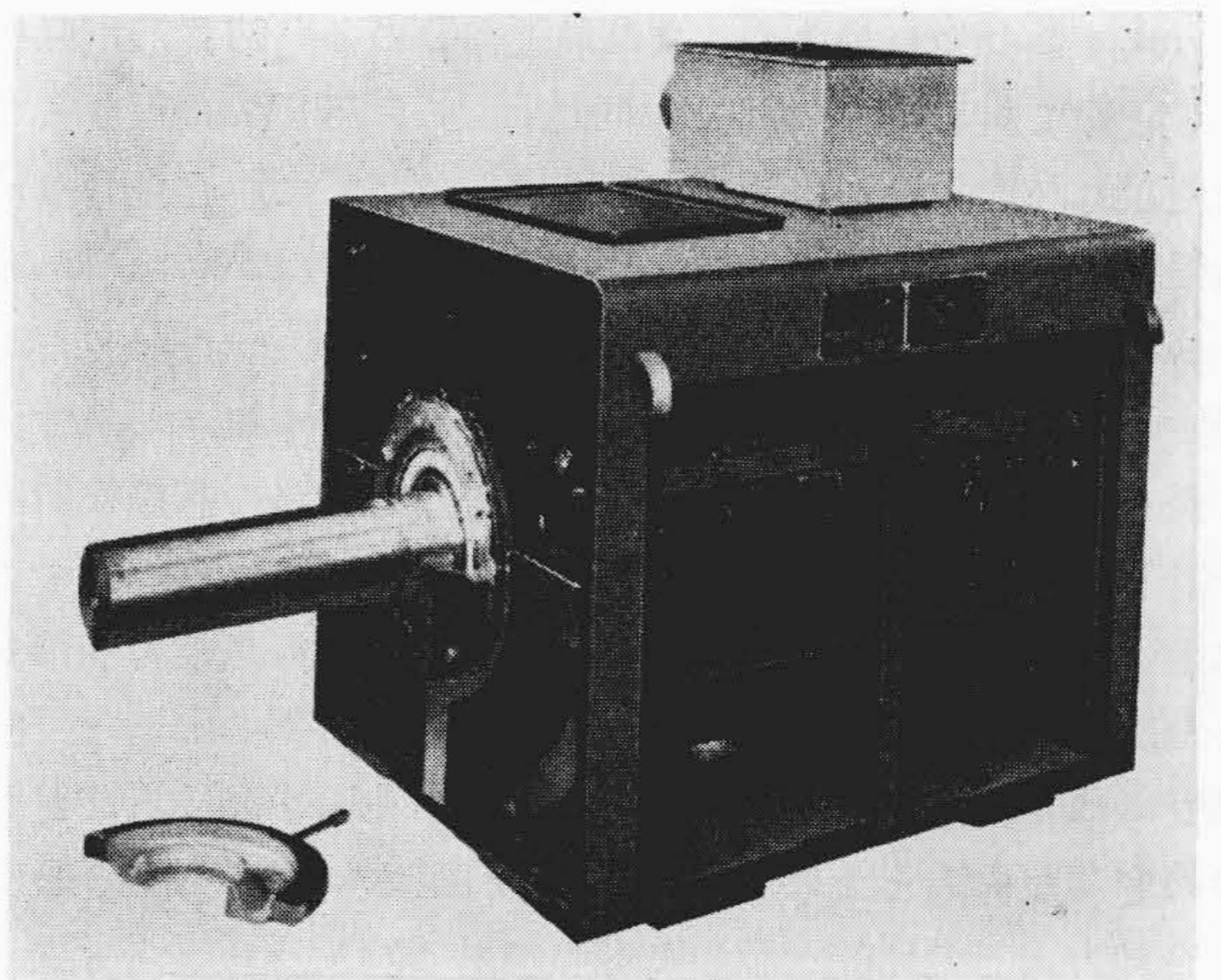
開放防沫形標準シリーズとしては、開放屋外形に近い構造を採用し開放屋外形と開放防沫形を共通設計としたSAシリーズ⁽⁵⁾があるが、これを簡易分解形にモデルチェンジして小形化をはかったものが本シリーズである。本機の特長はくの字形鋼板を縦に配列し鉛直から180度すなわちいずれの方向からの水滴および異物も内部に侵入することのないすぐれた外被構造となっている。簡易分解形に関しては前述のUシリーズと同一思想で設計されてお



第8図 E種絶縁低圧中容量開放防滴形かご形誘導電動機



第9図 簡易分解形新開放防沫NSシリーズ誘導電動機



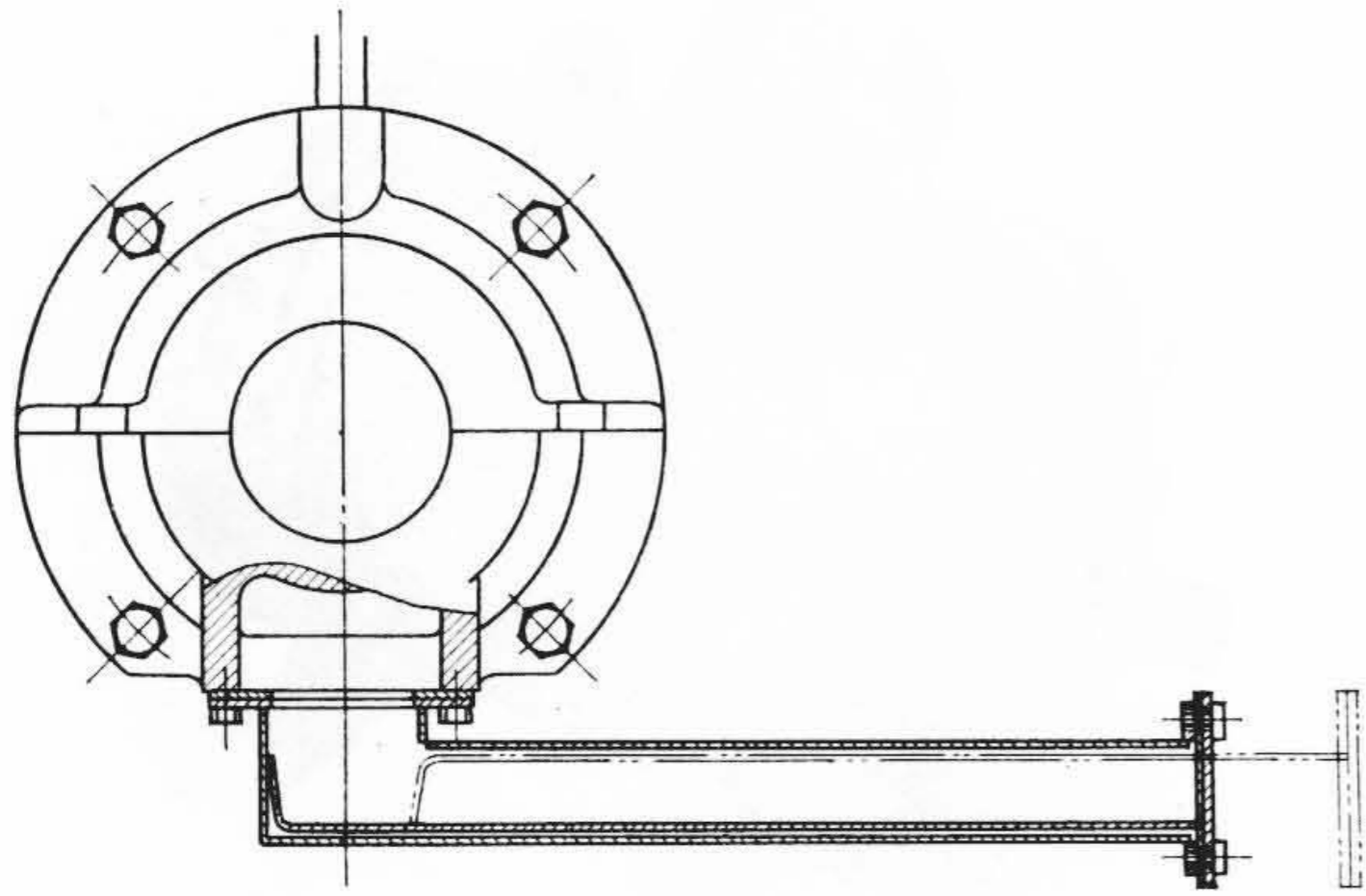
第10図 NSシリーズ電動機の分解状況

り、また取付寸法として国際標準IEC推奨寸法を採用している。冷却効果向上に努力したので適用わく番はJEM-1160に比べ平均2わく番小形となっている。第9図に外観を、第10図にその分解状況を示す。

本機にシリコンゴム絶縁を採用して超耐湿絶縁としたものをシリコSシリーズと呼び、限定された用途には全閉形に代用するものとして推奨している。

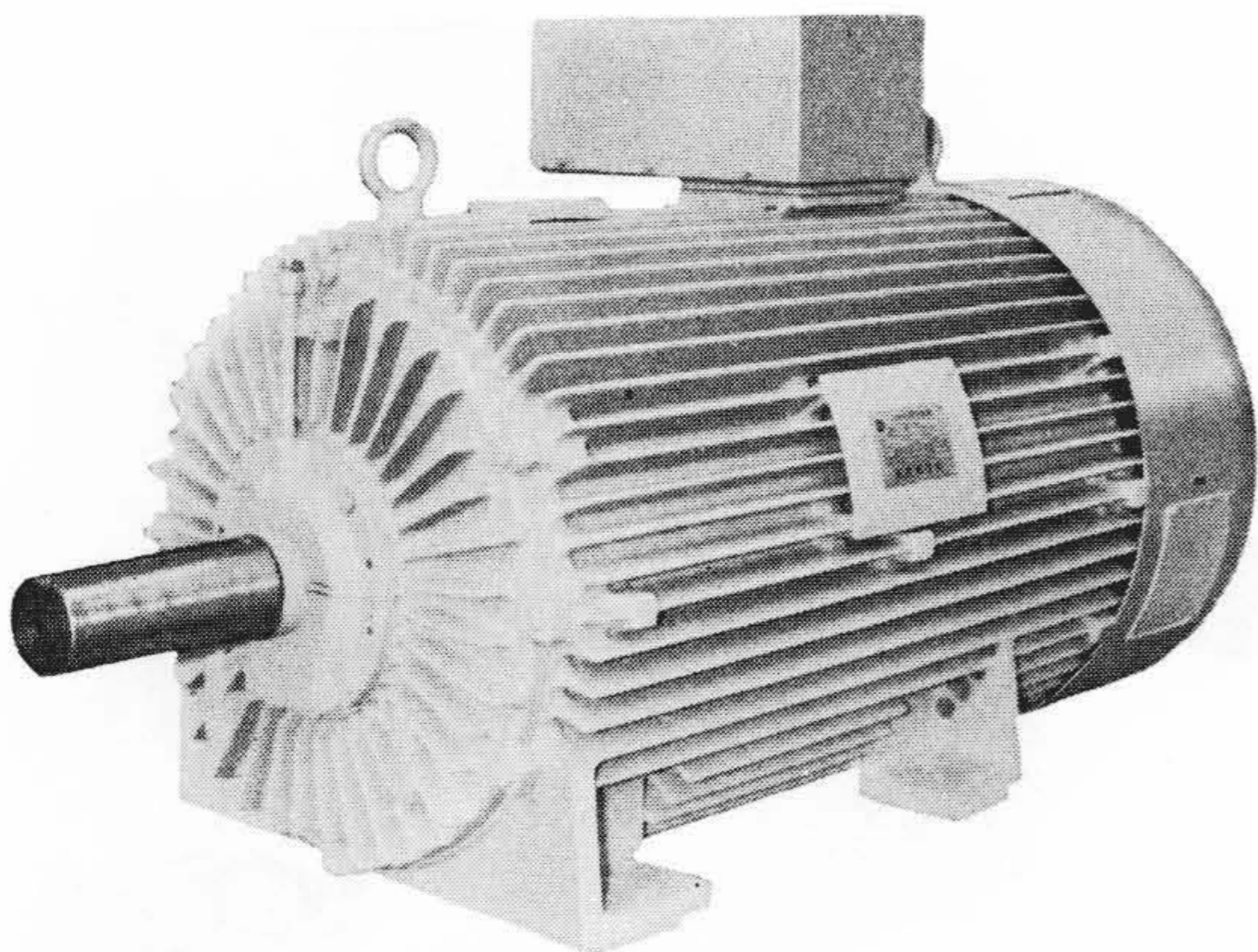
(4) 中容量全閉外扇かご形シリーズ⁽⁴⁾ (TFO-KK形)

現在中容量以上の全閉外扇形電動機にはパイプ冷却方式を採用しているが、固定子鉄心外径と固定子わく外形との比が大きな値となり、外観が大形となっている。小容量に採用しているリブ冷



(劣化グリースの抜き出し装置がついているのでグリースの排出を簡単に行なえる。)

第11図 反負荷側軸受のグリース排出装置



(リブ冷却方式誘導電動機)

第12図 中容量全閉外扇かご形

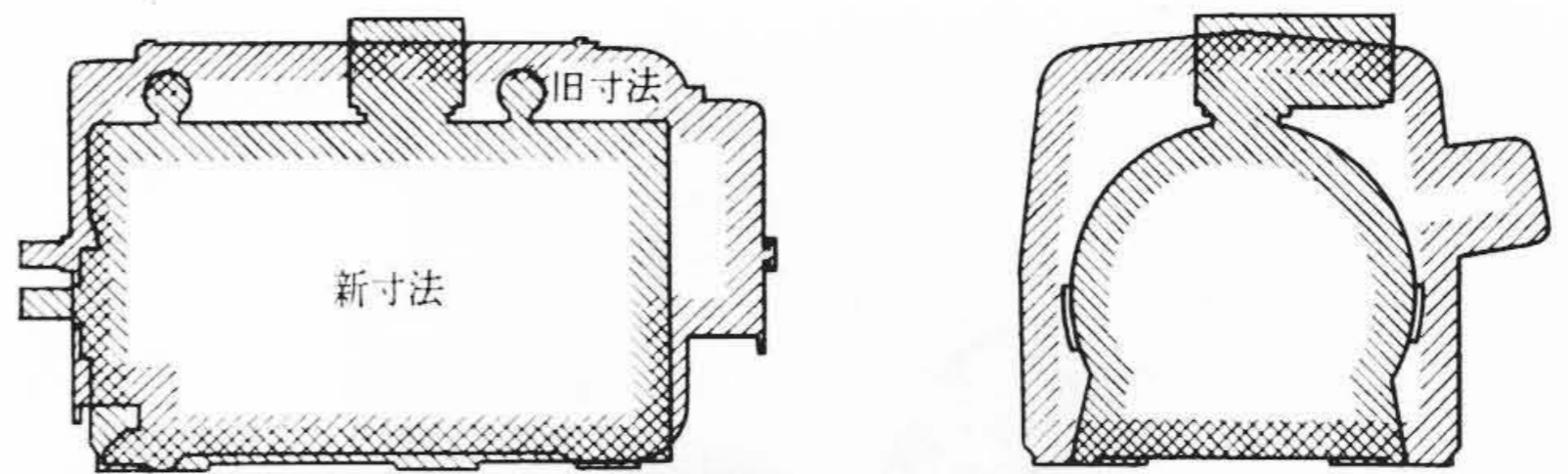
却方式はこの欠点がなく、また最近需要の多い防食形電動機としても好適であるので、従来冷却面積小さく75 kW級程度までしか適用されなかったこのリブ冷却方法を改良して中容量300 kW 4極程度にまで適用範囲を拡大し小形軽量化をはかったのが本シリーズである。取付寸法は国際標準IEC推奨寸法を採用している。固定子わくはリブ付鋳物構造で、外周のリブ本数、形状寸法はわく長を考慮した最適設計としている。伝導回路の詳細検討には電子計算機を応用しきわめて合理的設計となっている。軸受カバーは上下二つ割構造で直結をはずすことなく保守点検可能であり、また、外扇の内側にあってとくにグリース排出の困難な反直結側軸受には特別なグリース排出装置(第11図)を設けるなど保守点検の容易な構造となっている。第12図は外観を、第13図はパイプ冷却方式との比較を示したものである。

全閉外扇形パイプ冷却方式については目下新標準シリーズを計画中であり、近い将来発表できる予定である。

(5) 新開放屋外形Aシリーズ (EFOA形)

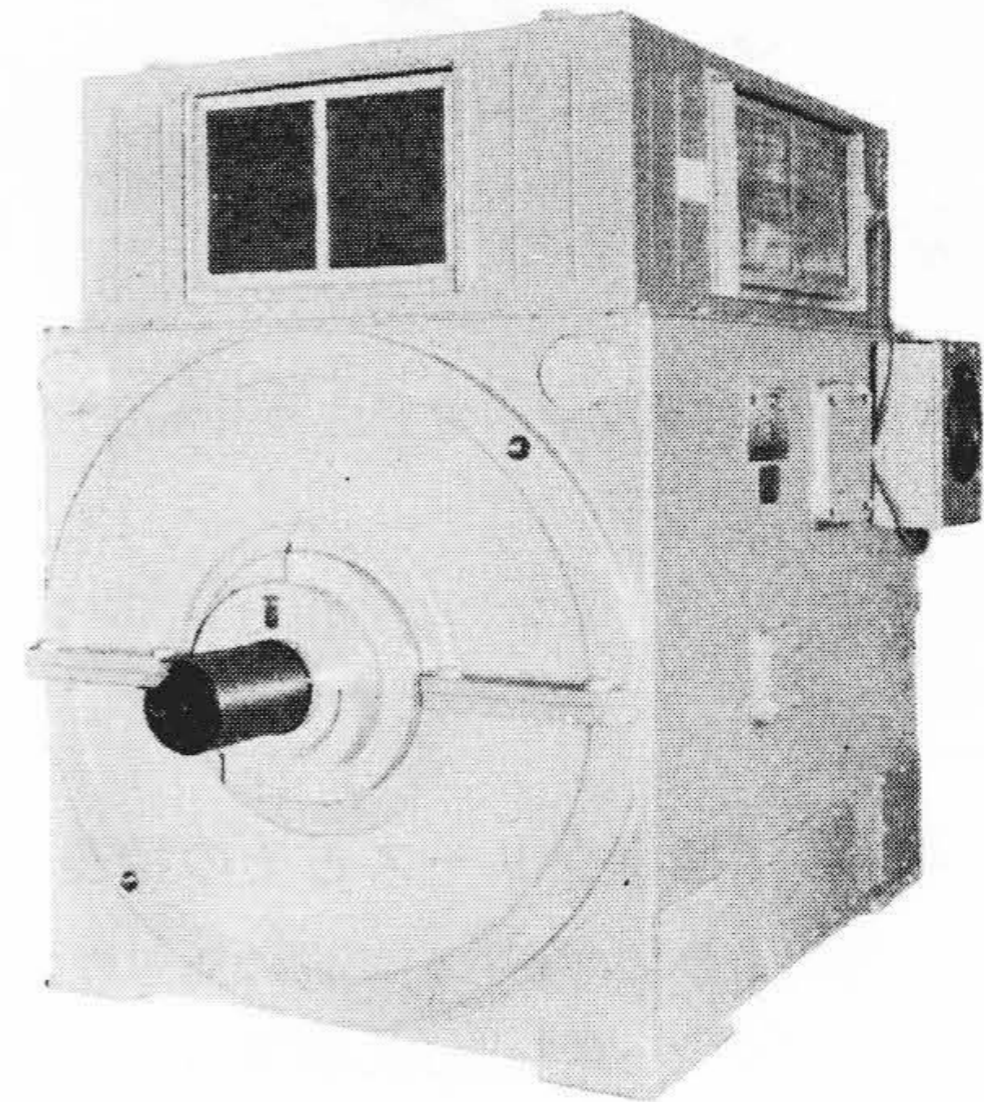
現在開放屋外形の標準シリーズに関しては、屋内用開放防沫形と共通設計としたSAシリーズ⁽⁵⁾を製作してきたが、開放防沫形に関しては(3)に述べた簡易分解形新開放防沫NSシリーズにモデルチェンジを行なった。一方開放屋外形に関しては従来のSAシリーズに外被構造および軸受部水切構造に改良を加え、また取付寸法も国際標準IEC推奨寸法を採用したものである。

電動機上部に設けられた通風箱はNEMA規格のWeather-protected type-IIに定められた特殊な迷路を形成し、入気口の通風速度を低く押え、またフィルタを入れて、水滴や異物の侵入を防止している。この場合フィルタ目詰りによる窒息運転に対しては

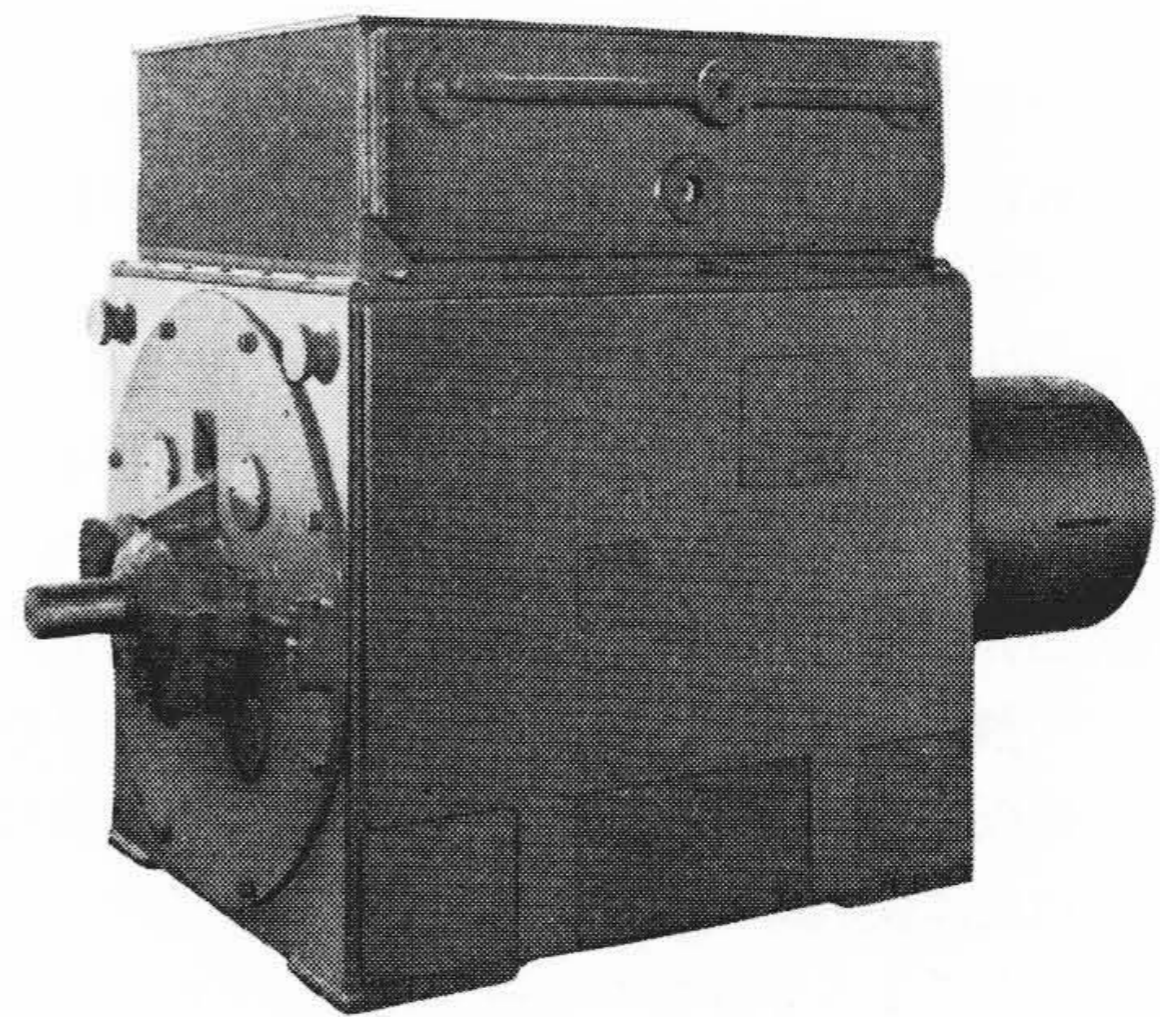


(75 kW 4極電動機の例)

第13図 パイプ付冷却方式(旧)とリブ付冷却方式(新)との寸法比較



第14図 新開放屋外形Aシリーズ誘導電動機



第15図 全閉内冷形低騒音誘導電動機

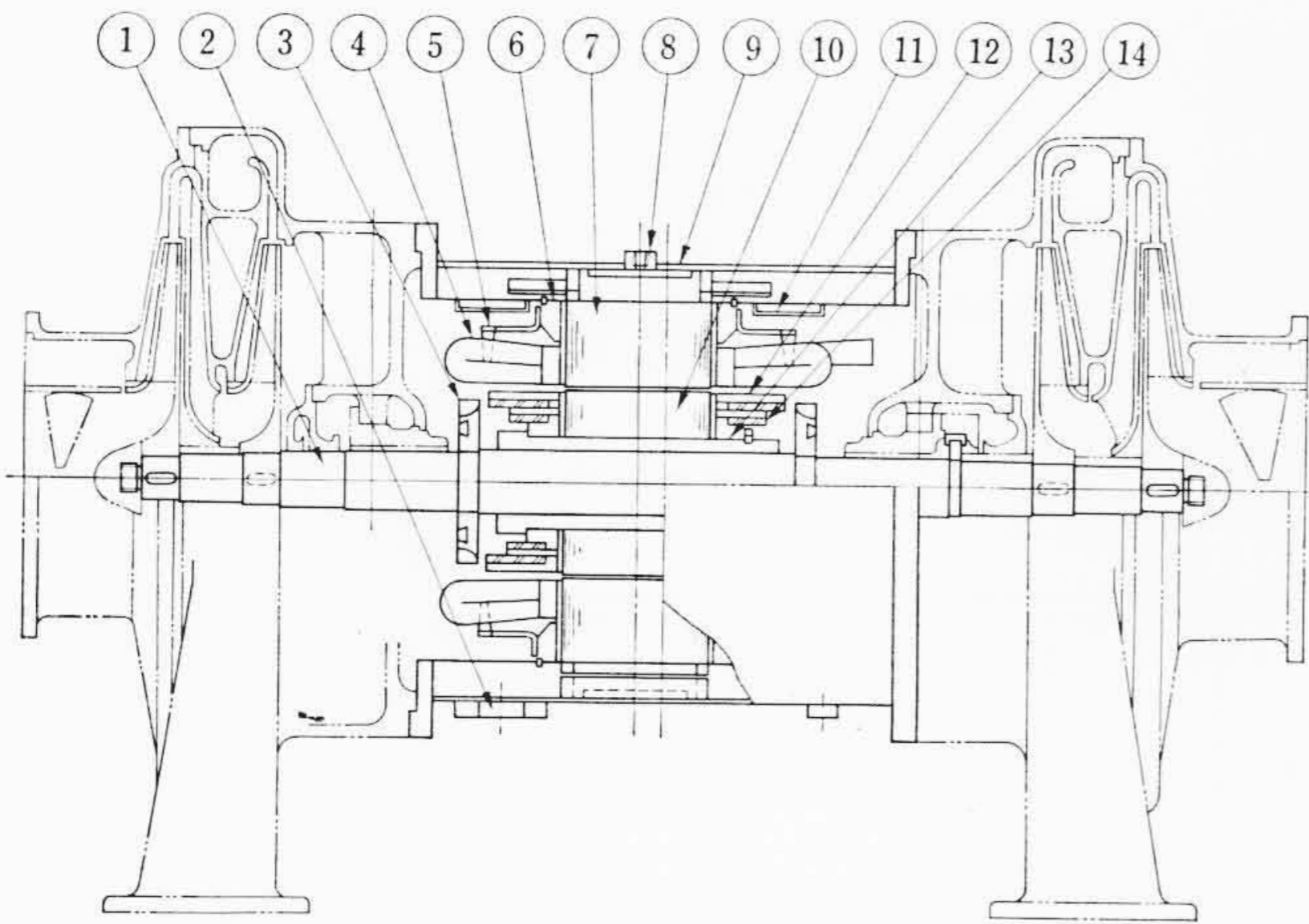
警報接点付温度計を取り付け警報を発するようになっている。エンドブラケットは上下二つ割構造、また軸受はカートリッジタイプで、分解点検が容易である。第14図に外観を示す。

本シリーズにシリコンゴム絶縁を採用し、超耐湿絶縁として、屋外用全閉外扇形の代用として使用可能としたものを、シリコAシリーズと呼ぶ。

以上各標準シリーズを外被保護方式からまとめると第4表となる。なおこのほか、特に低騒音電動機としてサイレンサ構造を電動機上部に取り付けた開放防滴形サイレンサ付電動機および全閉外扇形サイレンサ付電動機がある。さらに低騒音の必要な場合には開放防滴形において電動機上部のサイレンサを水冷クーラにおきかえた全閉内冷形低騒音電動機も製作している。第15図はその外観を示す。

また、工場防爆形⁽¹⁵⁾、および炭坑防燥形誘導電動機、あるいはまたJEM規格による起重機用誘導電動機、およびAISE No. 1A⁽¹⁹⁾準拠新形圧延補機用誘導電動機などの標準品も製作しているが、特殊用途であるためここには触れないこととする。

最後に専用モータの代表的なものとして密閉形冷凍機用誘導電動機について一言する。



項番	品名	項番	品名
1	シャフト	8	冷媒取入口
2	冷媒戻し口	9	ハウジング
3	バランスリング	10	ロータコア
4	ステータコイル	11	蒸発皿
5	ステータコイルササエ	12	ロータバー
6	ステータエンドプレート	13	ロータエンドプレート
7	ステータコア	14	エンドリング

第16図 HCR形密閉ターボ冷凍機用液冷式かご形誘導電動機構造図

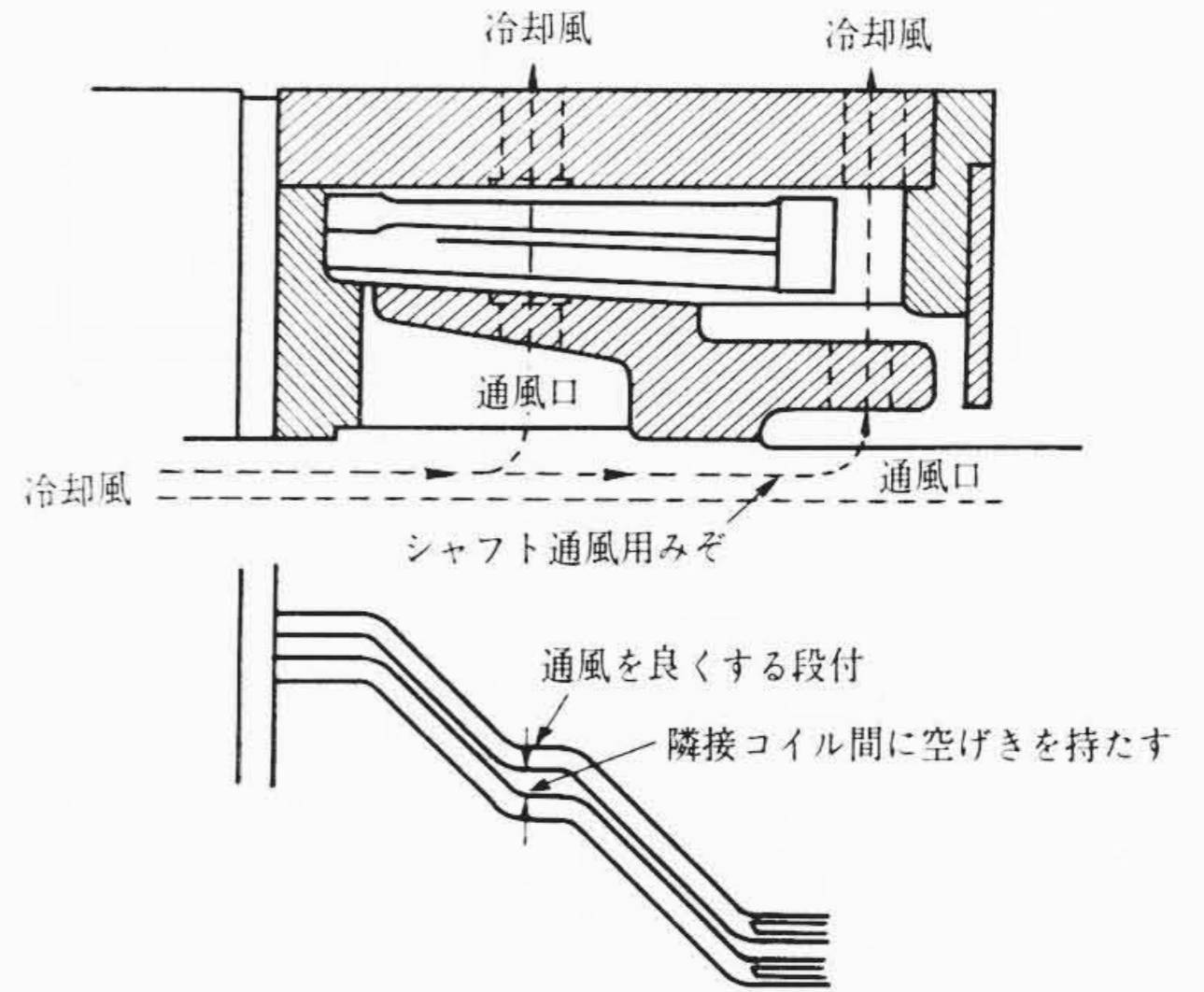
第4表 外被保護方式比較表

	開放形			全閉形 全閉形代用開放形	全閉形 全閉外扇形 TFO
	開放形	開放防沫形 EFOS (簡易分解形NSシリーズ)	開放防滴形 EFOUP EFOU (簡易分解形Uシリーズ)		
屋内設置	開放無保護形 SO	開放防沫形 EFOS (簡易分解形NSシリーズ)	開放防滴形 EFOUP EFOU (簡易分解形Uシリーズ)	シリコンゴム絶縁採用開放防沫形 EFOS (簡易分解形シリコンSシリーズ)	全閉外扇形 TFO
屋外設置	開放屋外形 EFOA (Aシリーズ)			シリコンゴム絶縁採用開放屋外形 EFOA (シリコンAシリーズ)	全閉外扇屋外形 TFOA

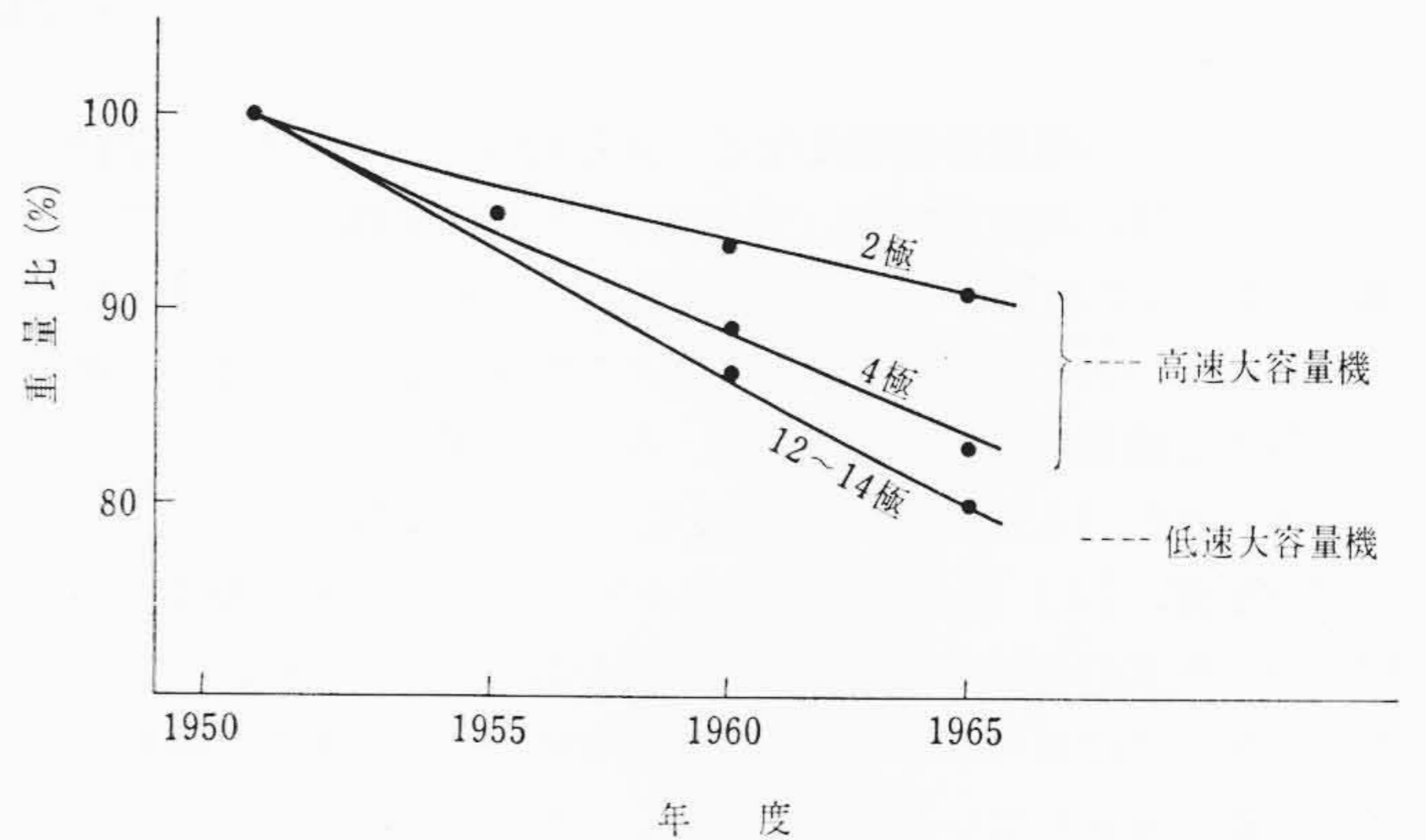
(注) ローマ字は日立形記号, () 内は愛称を示す。

(6) HCR形密閉ターボ冷凍機用液冷式かご形誘導電動機⁽⁸⁾ (TB₀Q形)

従来 60, 80, 100 RT の HCR 形密閉ターボ冷凍機用誘導電動機として、小形で取り替え容易なガス冷式(TFLH形)を採用して好評をえていたが、さらに小形化を目標とした液冷式誘導電動機シリーズの標準化を完成した。これらは冷凍容量でいえば 50~1,250 RT までの 15 機種からなり、電動機容量では 50~560 kW 2 極までの 12 機種からなる (容量の大きい 3 機種は 2 台の電動機を使用)。本機の軸受部分ならびに軸受潤滑系統は冷凍機まとめ工場である日立製作所川崎工場で作製組立てられ、電気一機械を一体化した合理的構造を備え、総合メーカーの威力を発揮している。特長として (1) 電動機冷却方式は冷凍サイクルの一部から導いた冷媒液の気化のせん熱を利用して直接冷却する方式で冷却効果がきわめて良好で電動機の小形化に貢献している。(2) ガス冷却式と異なり、冷却用ファンを必要とせず軸長を短縮できるなど危険速度、振動の点からも有利である。(3) ターミナルボックスは内気の漏れない特殊構造となっており、6 本口出に改良して Y-Δ 起動可能なものとして起動器の費用低減をはかっている。第 16 図は断面構造図を示す。



第17図 回転子線輪端の冷却法



第18図 大容量誘導電動機軽量化の傾向

5. 大容量誘導電動機の軽量化

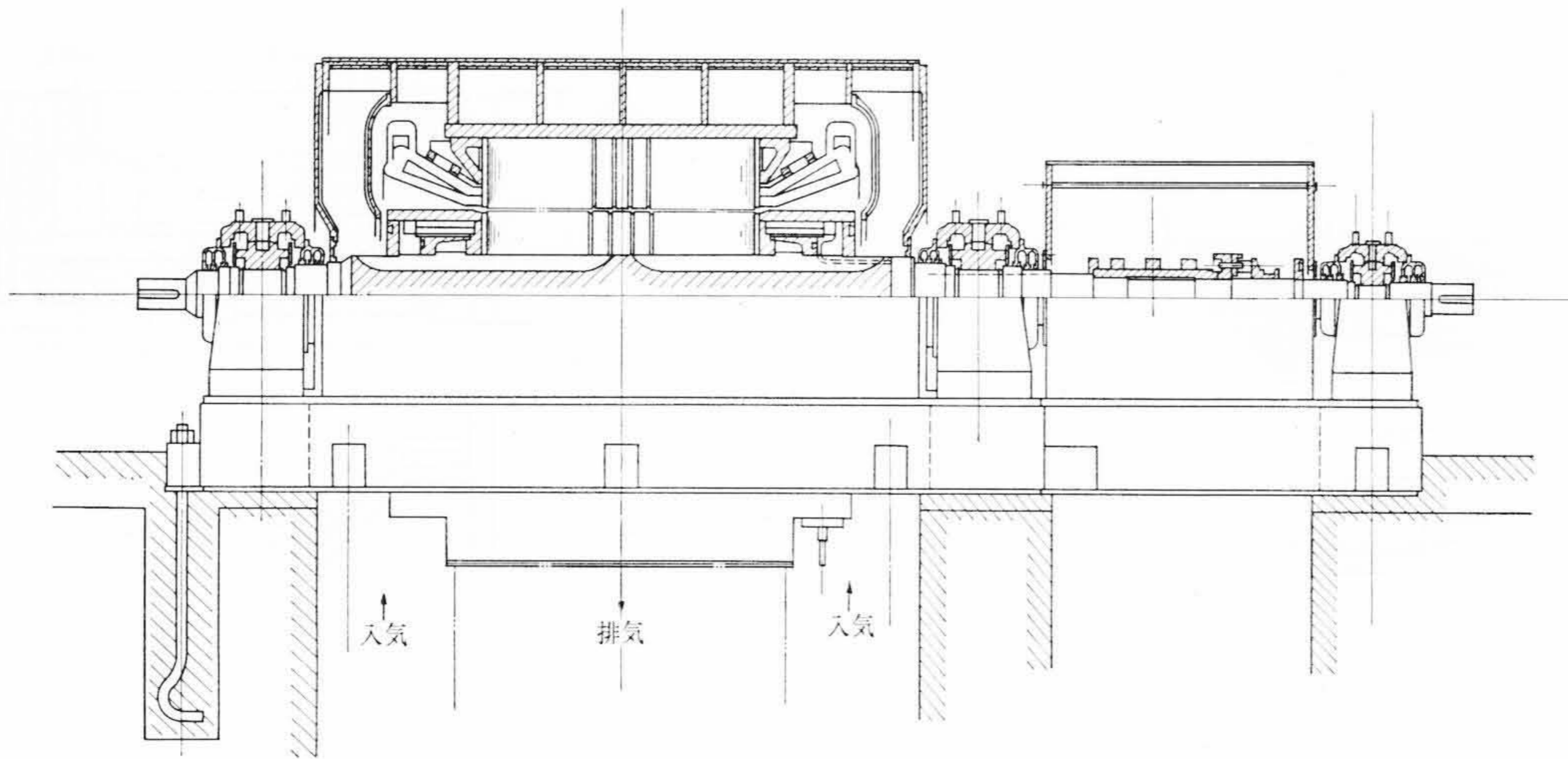
最近の産業のめざましい発達に伴い、設備機械が大形化し、これを駆動する電動機も大容量となり、信頼性の高いものが要求されるに至った。たとえば鉄鋼業や重化学工業における酸素製造装置用ターボ圧縮機駆動用としては高速大容量機⁽¹²⁾が、鉄鋼業における分塊圧延機用イルグナー設備駆動用としては低速大容量機⁽¹³⁾がある。前者に対しては 5,500 kW, 2 極機, 6,100 kW, 2 極機など、後者に対しては 7,000 kW, 12 極機, 8,000 kW, 14 極機など記録的大容量機を製作している。これらの大容量機は機械構造的な問題の占める範囲が比較的大きく、絶縁材料の進歩発達による電気的特性が軽量化におよぼす効果は、小中容量機に比べて少ない。しかし過渡特性、起動特性を含めて各種の電気的特性が電子計算機で解析されて、それぞれの負荷に対する最適設計が可能となるほか以下に述べるような各種の工夫により大容量誘導電動機の軽量化が推進されている。

(1) 通風冷却効果の改善

特に高速機は低速機に比べて回転子が細長く、鉄心中央部まで十分に冷却風を送ることが困難であり、中央部の温度が高くなりがちである。このような大容量機では、設計時点における通風、熱伝導回路における詳細な検討が必要であり、これに電子計算機が使用されている。また冷却効果改善のための方策としては、たとえば第 17 図に示すような回転子線輪端部の冷却方式⁽¹²⁾があり、さらに特に大きな容量のものに対してはいわゆる Multiple Radial 通風方式や、固定子スロットのクサビ下寸法を大きくとり通風面積を増大する方法などが採用されている。

(2) 各部構造の簡易化

シャフトやハウジングなど各部構造メンバーの精密計算には電子計算機が使用されており、それによる再検討と軸受やスリップ



第19図 6,100 kW 2極三相誘導電動機構造図

リング回りの構造の簡略化など、極力簡略化した設計が行なわれている。特に高速機においては振動が大きな問題となるので、第19図に示すようにシャフト中央部を太く、断面係数を大きくしてたわみを小さくし、十分荷重に耐える特殊構造とするほか、振動に関する諸現象の解析を行ない、各部分の構造に工夫がなされている。また(1)シャフト径の決定、(2)軸受数とスリップリングの配置、(3)鉄心中央部でのバランス調整、(4)軸受すき間と油の粘度の適正化など検討の必要がある。特に(1)、(2)の問題に関してはあらかじめ電子計算機を使用して回転数—振動振幅の詳細計算を行ない適正值を決定し合理的な設計を行なっている。

(3) 新材料の開発

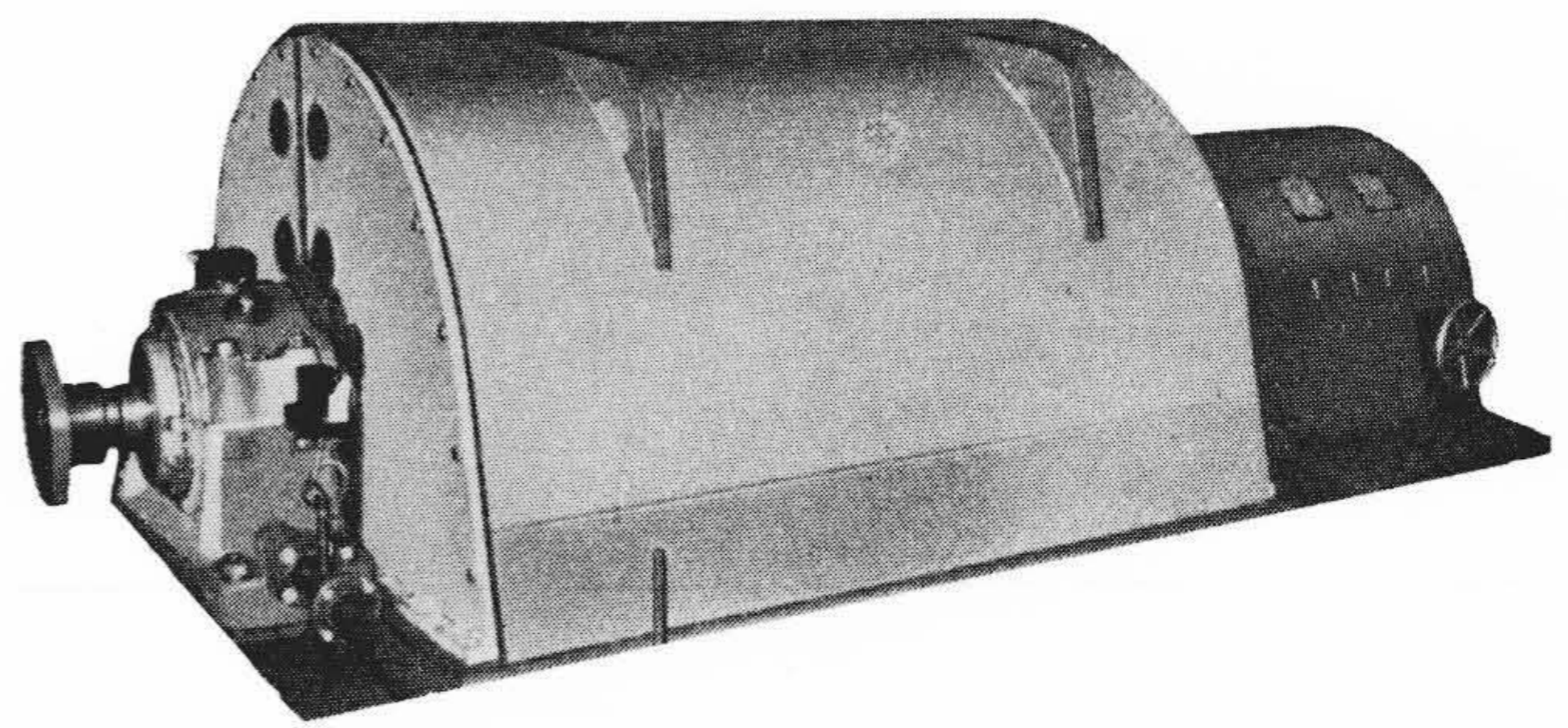
(1) 鉄損の少ない鉄心材料の採用、(2) かご形回転子導体における特殊銅合金の開発使用⁽¹¹⁾、(3) ポリエステルワニスによる固定子コイルの絶縁処理など常に新材料の開発を積極的に導入し軽量化を進めている。

以上のような各要因による軽量化が行なわれてきたわけであるが、これを年度別にその傾向をみると第18図となる。この図は比較のためkW/rpmの類似の機種から換算したもので、1950年を100%として描いてある。

なお第19図および第20図は高速度大容量機の一例として6,000 kW, 6,600 V, 60~, 2 P, 3,600 rpmの三相誘導電動機の構造図と外観を示したものである。

6. 結 言

誘導電動機の最近における進歩と問題点について概説した。誘導電動機はその用途が広く多岐にわたっているが、さらにまた新しい速度制御方式の開発により、その応用分野はますます拡大の一途をたどりつつある。このような情勢において、本文が多少なりとも、使用選定上の参考になれば幸いである。日立製作所においては今後とも、新材料の開発、構造の研究、電子計算機の応用による詳細解析などの面で努力し、よりすぐれた誘導電動機の開発を推進してい



第20図 6,100 kW 2極三相誘導電動機

く所存である。関係各位のいっそうのご支援とご協力をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 今井：日立評論 45, 1423 (昭 38-9)
- (2) 今井：日立評論 47, 1403 (昭 40-8)
- (3) 今井：日立評論 47, 1233 (昭 40-7)
- (4) 今井, 中村：日立評論 47, 1531 (昭 40-9)
- (5) 袴田, 斉藤：日立評論 45, 1611 (昭 38-10)
- (6) 篠田：日立評論 46, 295 (昭 39-2)
- (7) 大和田, 鎌田：日立評論 47, 509 (昭 40-3)
- (8) 今井：日立評論 47, 1536 (昭 40-9)
- (9) 篠田, 長谷川：日立評論 47 (昭 40 掲載予定)
- (10) 篠田：日立評論 46, 940 (昭 39-6)
- (11) 麻生：日立評論 別冊 22, 32 (昭 33-2)
- (12) 伊知地, 広：日立評論 44, 725 (昭 37-5)
- (13) 田附, 桜井ほか：日立評論 41, 393 (昭 34-3)
- (14) 麻生, 広, 白木ほか：日立評論 47, 663 (昭 40-4)
- (15) 松村, 今井：日立評論 45, 1540 (昭 38-9)
- (16) 立川, 有井, 白土：日立評論 別冊 40, 77 (昭 36-4)
- (17) 河井, 三宅ほか：日立評論 46, 856 (昭 39-5)
- (18) 園山, 野崎：日立評論 別冊 22, 19 (昭 33-2)
- (19) AISE, No. 1. A A-C Mill Motor Standards: I & S. Eng. 154 (Dec. 1964)
- (20) 宮入, 小川：日立評論 別冊 31, 29 (昭 34-2)