

新形日立 F 種モートル“ハイパクトシリーズ”(低圧)

New Series of Hitachi Induction Motor with Class F Insulation “HIPACT Series”

浜 野 福 男* 山 岡 正 義*
Fukuo Hamano Masayoshi Yamaoka

要 旨

日立 F 種モートル“ハイパクトシリーズ”の一環として低圧中容量全閉外扇形かご形三相誘導電動機に F 種絶縁を採用し、従来の標準モートル(E 種絶縁)よりも、わく番適用で 2~3 段下、据付面積で約 40 パーセント、重量で約 30 パーセント低減と大幅に小形軽量化した。ハイパクトシリーズは適切な絶縁構成による長寿命、合理的な冷却構造による温度上昇の低減などのほか、軸寸法を従来品と同一にしてあるのでプーリ、カップリングの互換性がある。

1. 緒 言

現在の汎用モートルは、E 種絶縁のモートル(以下 E 種モートルという)であるが、これは 1960 年ドイツにおいて E 種モートルの「わく番に対する出力関係」を規定したドイツ国家規格 DIN-42673 を発表したことにはじまり、そのわく番適用は従来の A 種絶縁のものに比べ著しく小形で経済的なものであった。このことから欧州各国もほとんど同じような規格を制定し、E 種モートルは汎用モートルとして欧州全体に広められていった。

わが国においては欧州で E 種モートルの量産化されている状況より、自由化対策および合理化の必要から E 種モートルの量産を早急に行なわなければならないとの考えに達し、1964 年 E 種モートルの規格 JEM 1180(寸法規格)、JISC 4210(特性規格)が制定され、各社とも汎用モートルを E 種モートルに切替え、現在に至っている。

一方、アメリカにおいても 1964 年に E 種モートルよりもさらに小形化された B 種絶縁モートル(以下 B 種モートルという)を NEMA 規格に制定すべきである旨示唆して、現在、汎用モートルは B 種モートルに切替えられている。

以上述べたようにモートルの小形化は国際的なすう勢であり、特に近年の経済の発展はめざましく、産業機械、設備などに占めるモートルのスペースおよび経済的ウェートは大きく、ますます進むであろう開放経済を考慮した場合、その水準をアメリカの B 種モートルよりも上にもってゆく必要があり、これによって国際競争に打勝つとともに、わが国の経済をますます繁栄に導き、真に需要家各位の要望にこたえるように、今回、中容量全閉外扇形かご形三相誘導電動機に、F 種絶縁を採用した日立 F 種モートル“ハイパクトシリーズ”を開発した。

以下ハイパクトシリーズについて、その概要を報告する。

2. 絶 縁 構 成

従来の F 種絶縁はガラス・マイカを主体に構成したものが多く、これらの絶縁材料はその絶縁皮膜が厚く、かつ機械的にも弱いため作業性が悪いなどの欠点があった。しかし近年の耐熱絶縁材料の発展はめざましく、特にポリアミド・イミド、ポリイミド系の合成樹脂材料が実用化されるようになった。

ハイパクトシリーズではアメリカデュポン社にて開発された高耐熱ナイロンペーパー(以下、商品名 NOMEX という)を用いた新しい F 種絶縁構成を開発してこれを採用している。

2.1 スロットライナ

NOMEX はアミド・イミド系の合成繊維紙で、その一般特性は表 1 に示すとおりである。特に耐熱性にすぐれ 500°C 以上で焦げるが

* 日立製作所習志野工場

表 1 NOMEX の一般特性

項 目	特 性	備 考
絶 縁 抵 抗	$2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$	20°C
絶 縁 耐 力	750 V/mil	AC 50 Hz 直昇圧
誘 電 率	2.95	20°C, 50 Hz
誘 電 損 率	0.006	20°C, 50 Hz
抗 張 力	30 kg/cm	20°C, ロール方向
抗 張 力	18 kg/cm	20°C, 幅方向
伸 び	17%	20°C, ロール方向
比 重	0.94	

表 2 NOMEX の耐薬品性

薬 品	温 度 (°C)	曝 露 時 間	残留抗張力 (%)
70% 硫 酸	21	100 時間	100
70% 硫 酸	95	8 時間	50
70% 硝 酸	21	100 時間	50
10% カ 性 ソ ー ダ	21	100 時間	100
10% カ 性 ソ ー ダ	95	8 時間	50
キ シ レ ン	70	7 日間	97
エチレングリコール	70	7 日間	93
ジメチルフォルムアミド	70	7 日間	93
フ レ オ ン F-11	25	150 日間	100
フ レ オ ン F-11	150	150 日間	95
フ レ オ ン F-12	150	150 日間	100
フ レ オ ン F-22	150	150 日間	80

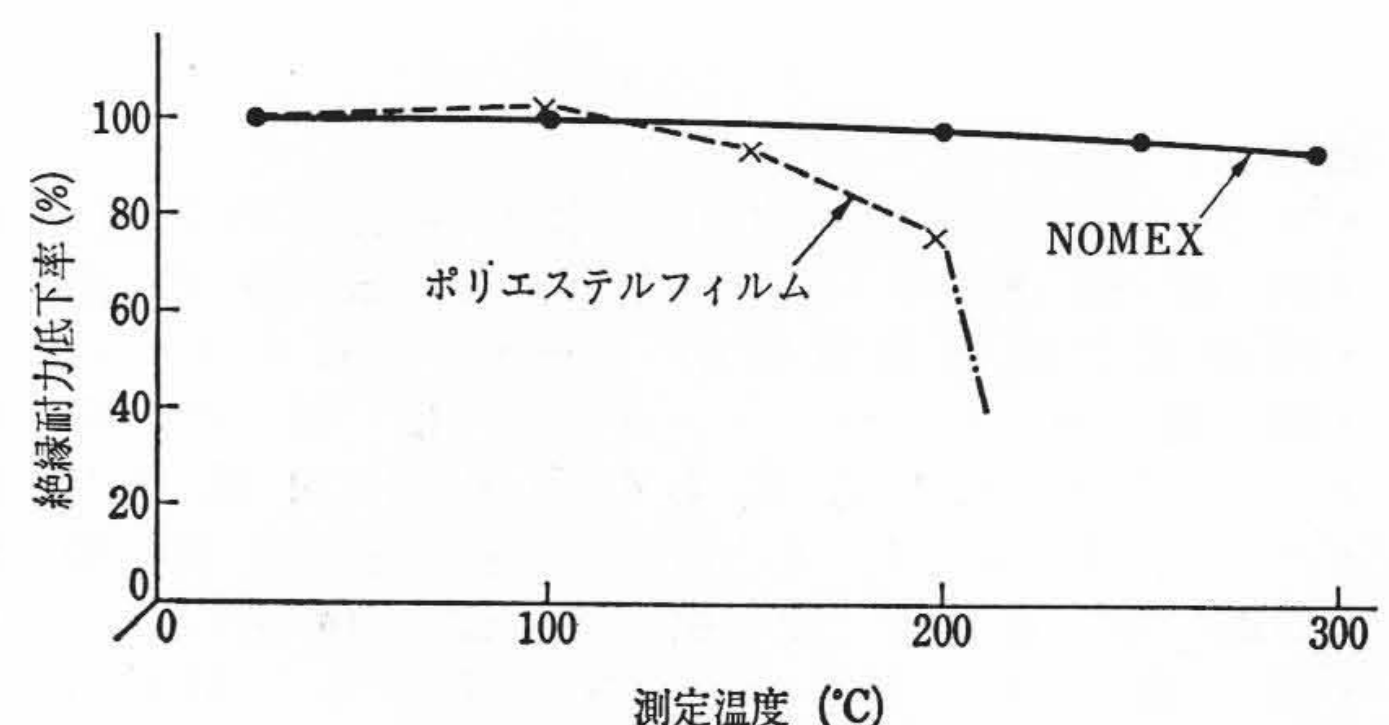


図 1 NOMEX の絶縁耐力の温度特性

溶解せず、絶縁耐力は図 1 に示すとおりで、200°C まで温度変化にかかわらずほとんど一定しており、250°C でもなお常温における値の 95% を有している。そのほか耐湿性、耐薬品性に対しても非常に安定している。NOMEX の耐薬品性は表 2 に示すとおりである。

NOMEX はフィルムではなく不織布のため機械的強度は強いが、絶縁耐力は一般の絶縁材料が単位厚さでいうと、薄いものが強く、厚いものが弱くなっているのに対し、図 2 に示すように密度の関係で逆になっている。したがって絶縁的には厚いものを使用すれば良いわけであるが、厚くなれば作業性が悪くなるので、適当な厚さを

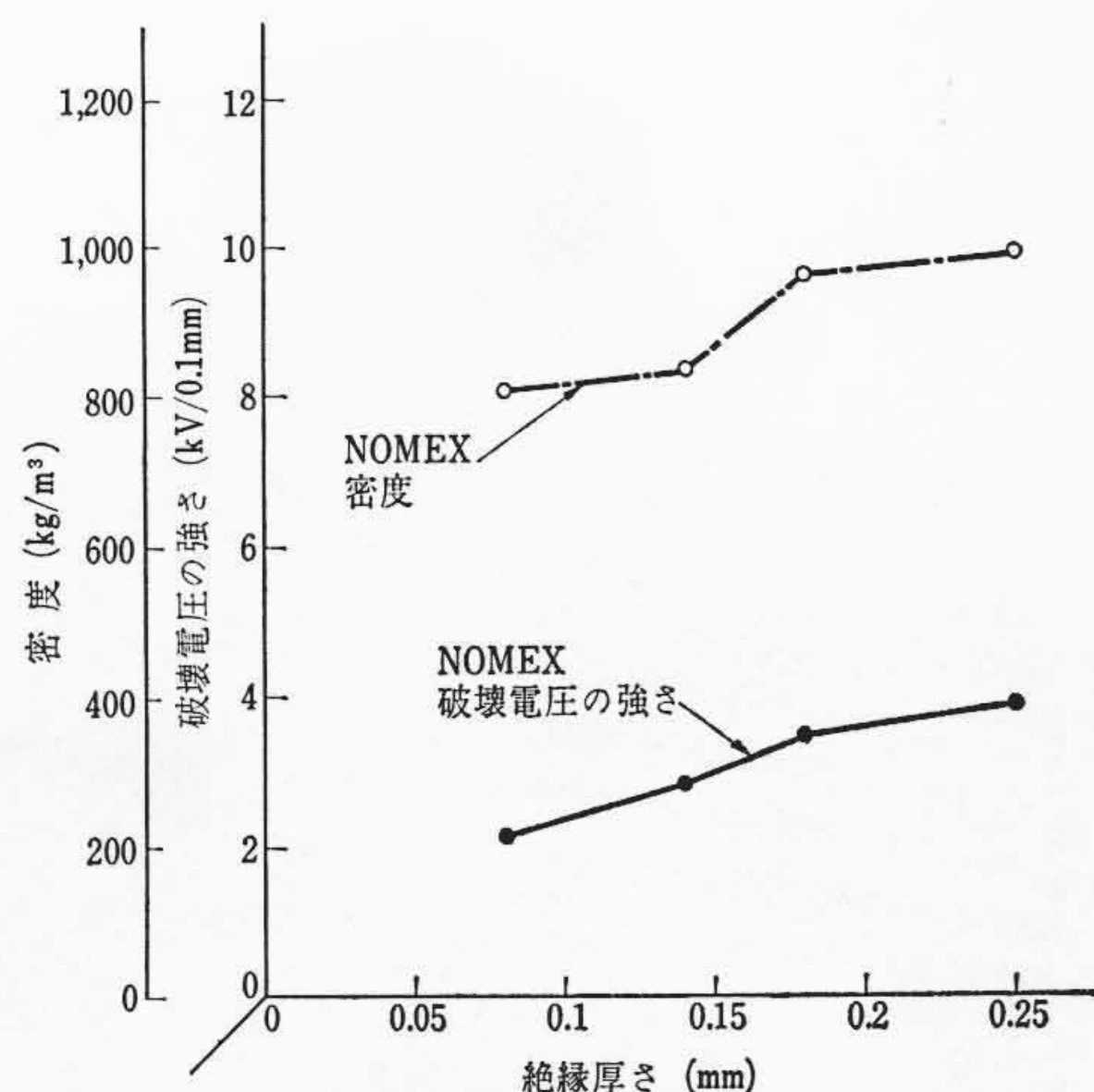


図2 NOMEXの密度と破壊電圧の関係

選定する必要がある。また NOMEX は広面積電極による絶縁耐力の低下および折曲げ部の絶縁耐力の低下(加工劣化)が少ない特長をもっている。

ハイパクトシリーズの絶縁構成は以上のような NOMEX の特長をじゅうぶんに生かし、欠点をカバーするため NOMEX の厚さと、重ね合わせによる破壊電圧および作業性を検討し、絶縁破壊電圧も従来のF種絶縁よりも高く、絶縁厚さもE種絶縁とほとんど同じ程度になっている。

2.2 マグネットワイヤ

すでにポリイミド、ポリアミド・イミド系そのほか各種の耐熱マグネットワイヤが開発されており、従来のガラス巻線(DGC)がエナメル線化されている。

これらの耐熱マグネットワイヤにはそれぞれ特長があるが、ハイパクトシリーズには、すでに多くの使用実績があり、耐熱性、耐水性、耐薬品性とあらゆる面ですぐれているポリアミド・イミド系エナメル線を採用している。

新電線の AIEE No. 57 の試験法による耐熱寿命を従来のポリエステル線と比較して示したのが図3である。

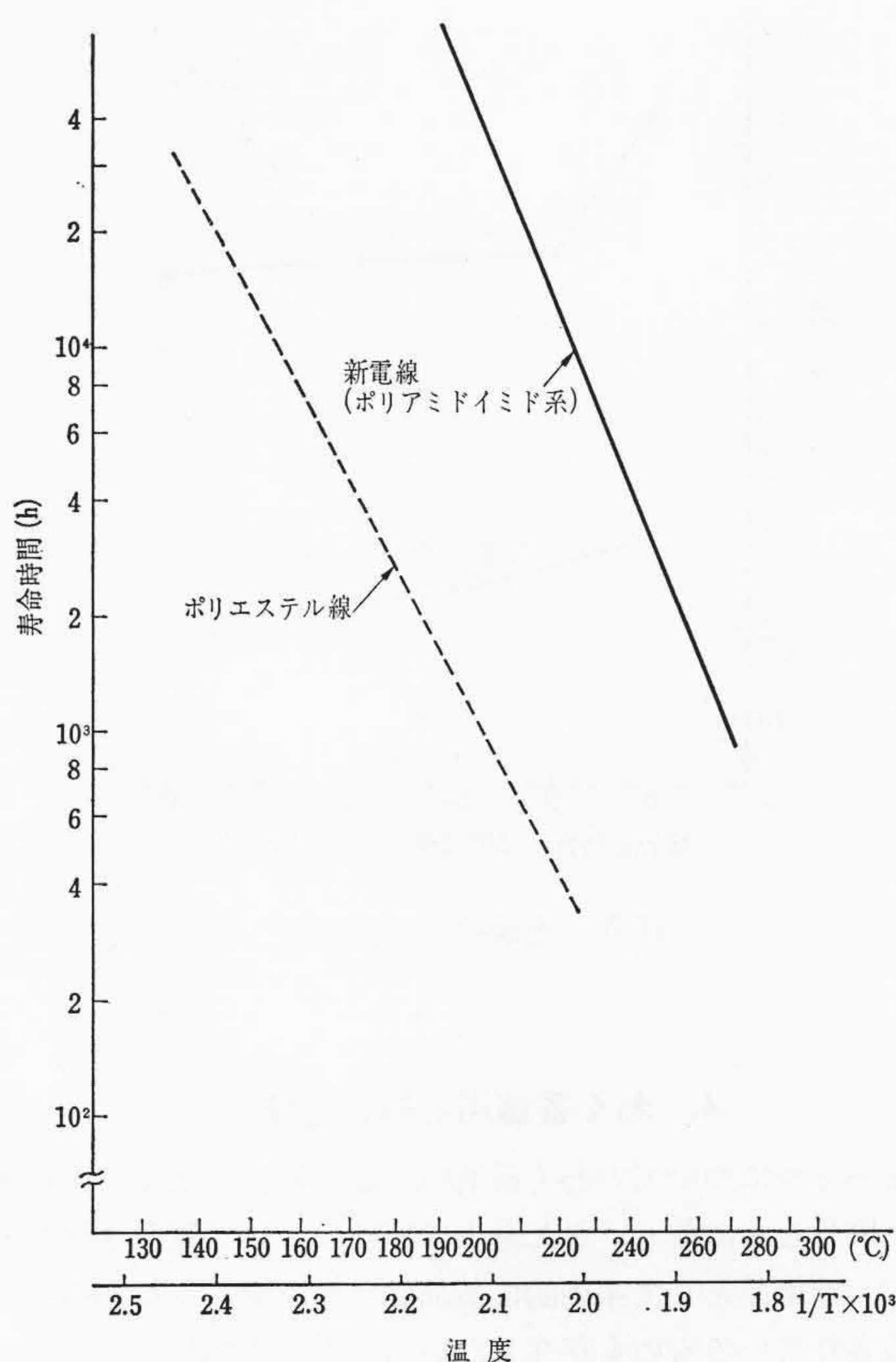


図3 新電線の耐熱寿命

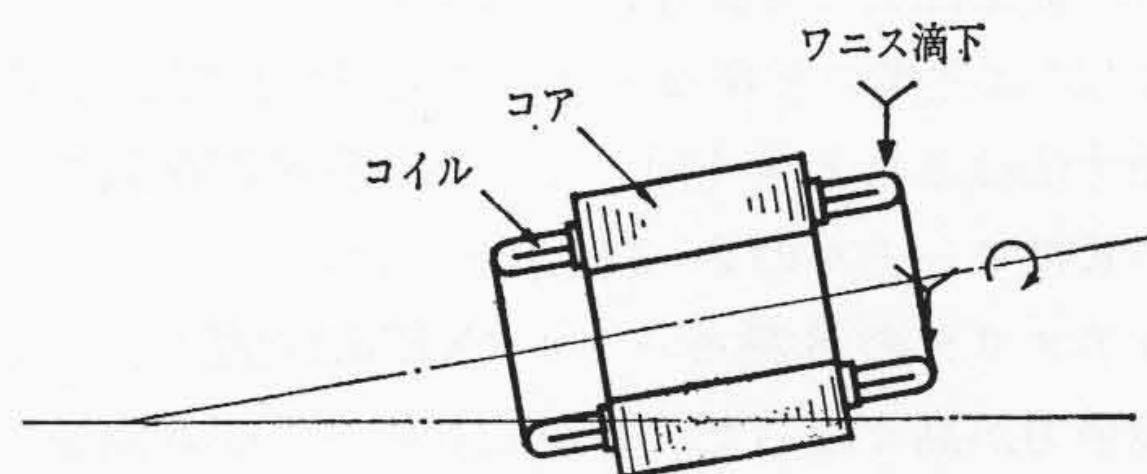


図4 ドリップ処理の概略図

3. 絶縁処理

従来、絶縁処理は浸漬処理法によるのが一般的である。最近小容量品においては、絶縁特性の向上とワニス処理時間の短縮などを目的として、ドリップ処理法が採用されるようになった。ドリップ処理法は短時間で処理できることが大きな特長であるが、このため熱容量の大きな中容量品を処理することには多くの困難があり、実用化されているのは数少ない。ハイパクトシリーズは新しい無溶剤エポキシワニスの開発と、通電加熱方式と熱風を併用した新しいドリップ処理法の開発により、この困難な問題を解決した。これによりハイパクトシリーズは耐湿性、耐薬品性にすぐれ、機械的強度がもっとも強くなっている。

3.1 ドリップ処理法

ドリップ処理法とは、予熱したステータコイルを適度に傾斜し回転しながらポットライフの短いワニスを上部のコイルエンドに連続的に滴下する方法である。ワニスにはコイルの予熱温度で粘度が低下し、流動性を増して、重力と電磁振動および毛細管現象によってコイル全体に含浸される。次にワニスゲル化するまでコイルを水平に回転させたのち、加熱を行ない完全硬化させる方法で、その概略は図4に示すとおりである。

ハイパクトシリーズはコイルおよびコアの加熱に通電加熱のみではじゅうぶんに温度の上昇しない部分に熱風を吹きつける熱風併用

通電加熱方式(特許出願中)を採用している。

ドリップ処理法には次のような特長がある。

- (1) 処理時間がきわめて短い。
- (2) 樹脂のむだがなく、再使用の必要がない。
- (3) 鉄心など余分なところにワニスがかからないので除去作業が不要。
- (4) ワニスの量の制御が可能なので均一な処理ができる。
- (5) スロット内にもじゅうぶんワニス充てんされるので、放熱が良くなるとともに機械的特性が向上する。
- (6) 作業スペースが減少できる(含浸タンク、乾そう炉などが不要)
- (7) ワニス処理の機械化が可能である。

3.2 ドリップ用ワニス

ドリップ用ワニスはドリップ処理法に適合するものでなければならない。

日立製作所ではこれらの適合性をじゅうぶんに検討し、耐熱性、耐湿性、耐薬品性にすぐれた無溶剤エポキシワニスを開発した。無溶剤エポキシワニスを用いてドリップ処理したハイパクトシリーズと、従来品とについて低温くり返し試験(−30℃ 16時間、室温 8時間を1サイクル)における絶縁抵抗の変化を比較すると図5に示すとおりで、ハイパクトシリーズは従来品よりも1けた高くなっている。

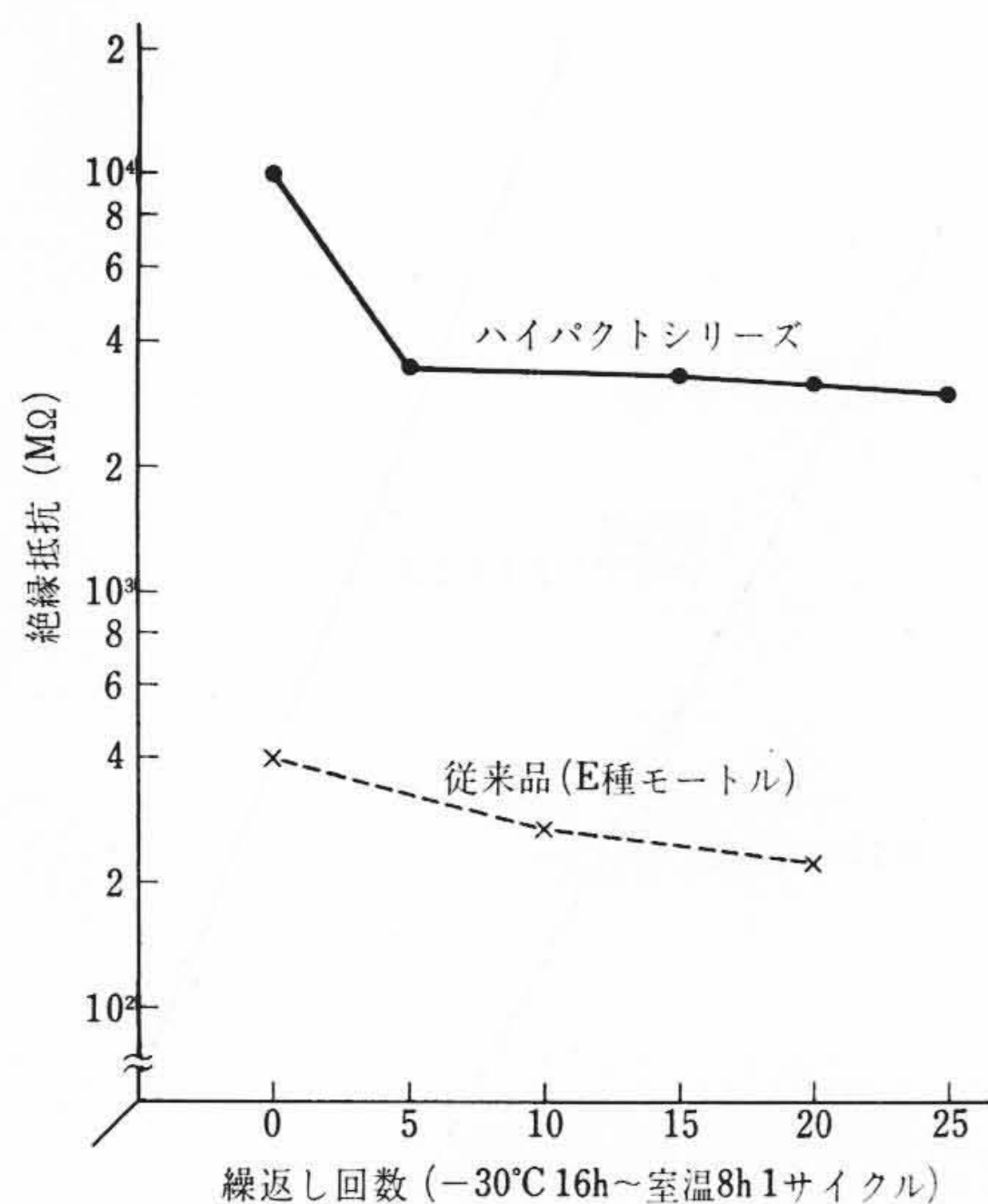


図5 絶縁抵抗の変化

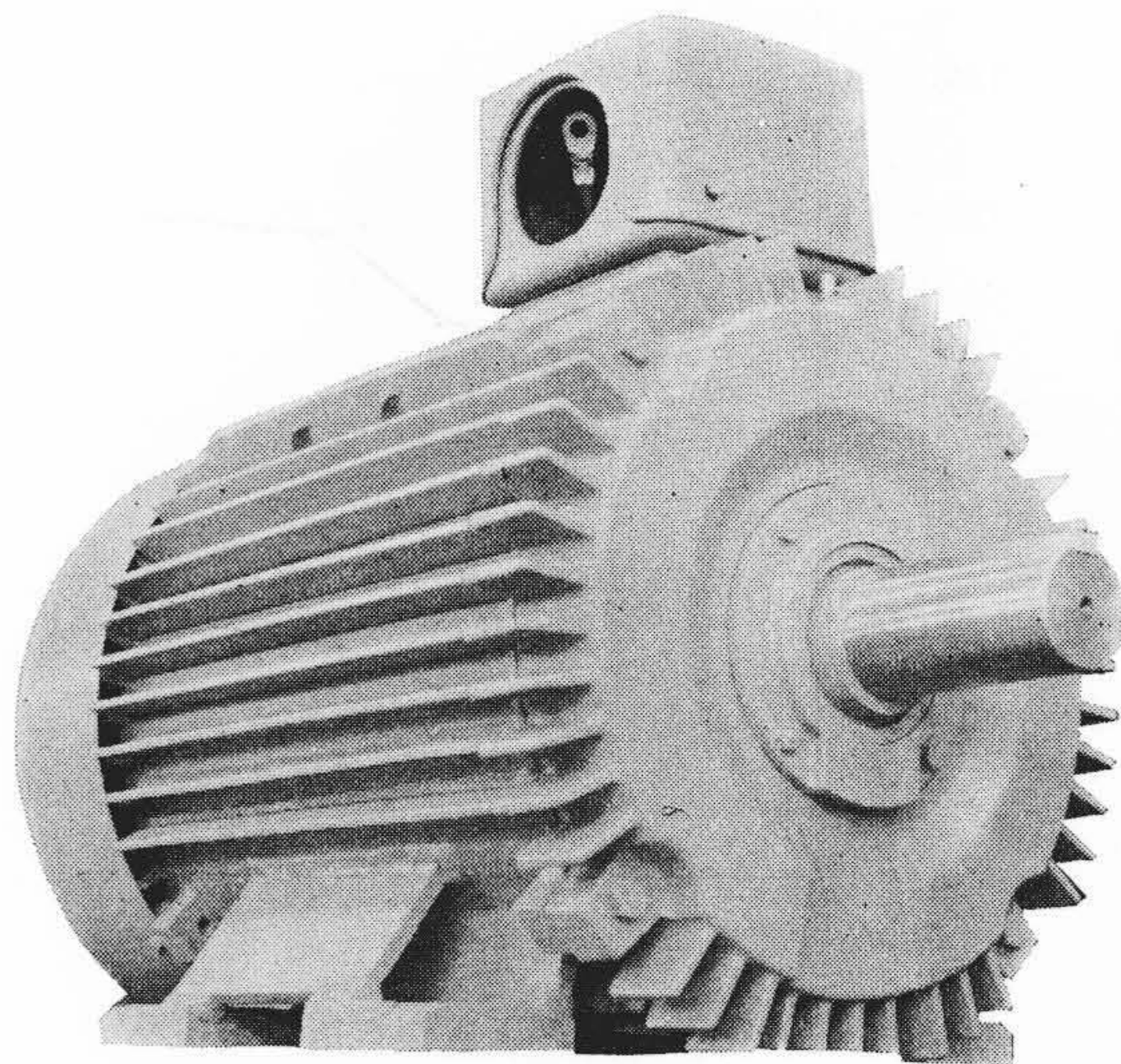


図6 TFO-KK 75kW 4P

4. わく番適用と取付寸法

F種モートルについてのわく番適用および取付寸法に関する規格は国内、国外ともになく、また過去に特殊品として製作された実績はあるが、標準品として系列的に製品化され販売された実績および現在市販されているものも存在しないのが現状である。

ハイパクトシリーズは前述のとおり、新しいF種絶縁構成の開発により、コイルの占有率が高くなり、大幅な小形軽量化が可能であることから、従来品との互換性、国際競争力などの点から検討を行ない、基本的には従来のE種モートルに使用されていたIEC寸法を採用し、軸寸法はこれと全く同一で、わく番適用を表3に示すとおり、従来のE種モートルの2～3段下とした。

これによりアメリカのB種モートル(NEMA規格)よりも小形となり、国際競争力が高くなった。しかし6極および8極品では同じわく番適用のものがあるが、これは従来のE種モートルとハイパクトシリーズの軸寸法を全く同一にしようとするることによるもので、需要家の便宜とわが国の諸事情を考慮した結果、このほうが得策であると判断したためである。

またハイパクトシリーズは、直結用においては補助ベースを用いることにより従来のE種モートルと取付寸法を全く同一にできるようにしてある。

わく番適用を2～3段、従来のE種モートルより下げたことにより、据付ボルトの強度が低下することを防止するため、表4に示すようにボルトサイズを大きくしてある。

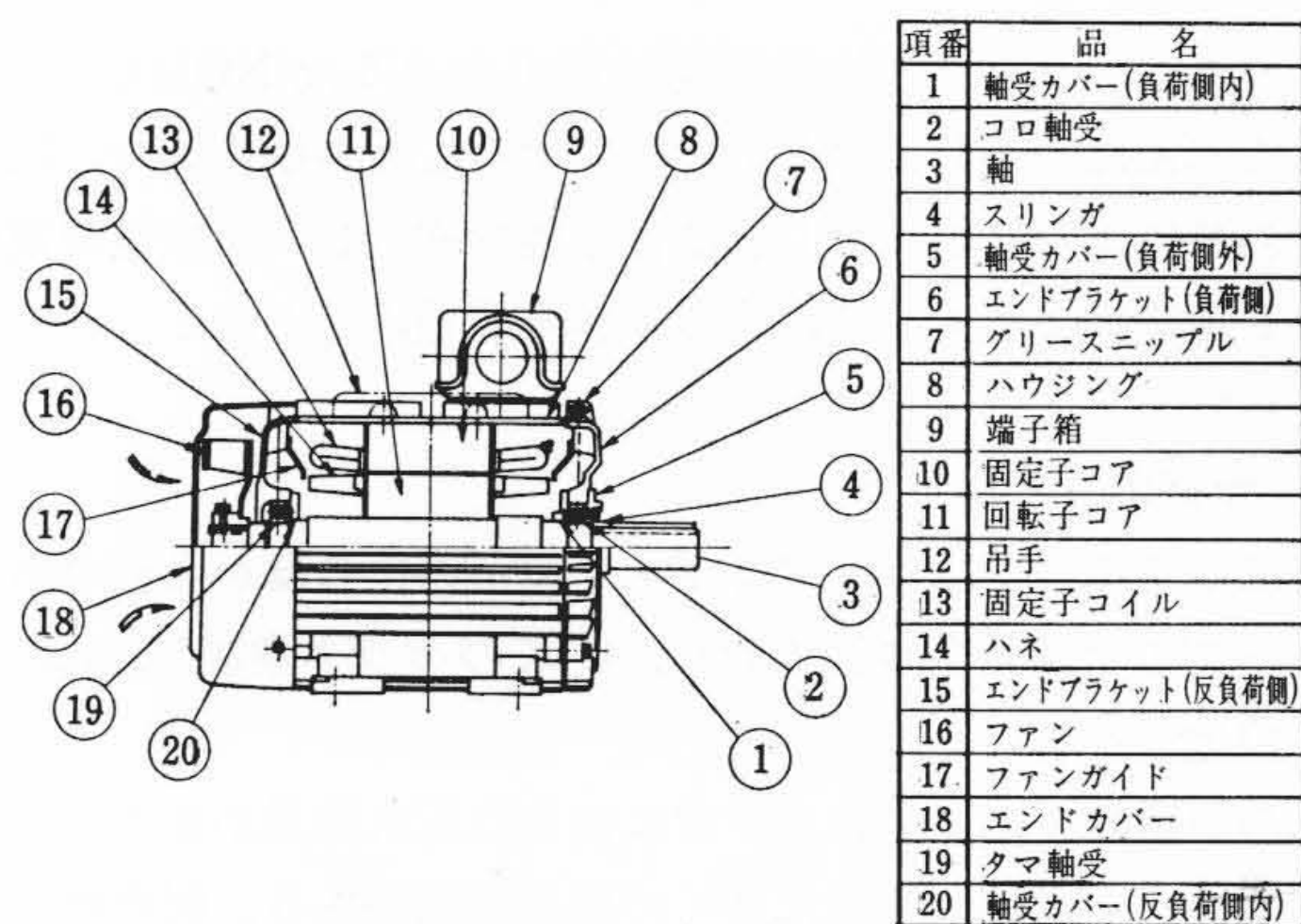


図7 構造図 (TFOR-250)

表4 据付ボルトの比較

わく番	JEM E種		ハイパクトシリーズ		備考
	Z寸法	ボルトサイズ	Z寸法	ボルトサイズ	
250S	24	M20	24	M20	変更なし
250M	24	M20	24	M20	変更なし
280S	24	M20	28	M24	変更 (M20→M24)
280M	24	M20	28	M24	変更 (M20→M24)
315S	28	M24	28	M24	変更なし
315M	28	M24	28	M24	変更なし

注：JEM E種は JEM-1180 (1967) によった。

表3 わく番適用表

わ　　く　　番		適											
---------	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

注(1) JEM E種は JEM-1180 (1967) によった。

(2) NEMA B種は NEMA MG-13-06・a (1968) によった。

5. 構造

外観および構造は図6、7に示すとおりで、端子箱がモートル上部に位置し、外周に放熱リブを有したもので、がんじょうでぎん新な意匠となっている。

5.1 外 観

ハウジングは鋼板製の溶接構造で、外周に放熱リブを設け、放熱効果がじゅうぶん発揮できるよう合理的な設計となっている。端子箱位置をモートル上部にし、電源ケーブルとの接続作業を容易にしている。またハウジングは取付足を中心にして左右対称の寸法になっているのでハウジングを反転することによって、端子箱位置は負荷側を標準としているが反負荷側にすることもできるようになっている。

エンドブラケットは鋳鉄製で、内外周に放熱リブを設けている。内周の放熱リブは回転子ハネの冷却風を有効に生じ、ファンガイドとの関係寸法を合理的な設計にすることにより、放熱効果をじゅうぶんに発揮できるようにしてある。内周の放熱リブがない場合と、ある場合の温度上昇の一例を示せば表5のとおりで、ある場合は温度上昇が大幅に低下している。この合理的な設計により大幅な小形化を可能にした。

5.2 端 子 箱

端子箱は鋼板製のプレス品で、電源ケーブルとの接続作業にじゅうぶんな内容積をもっている。端子箱の寸法は表6に示すとおりである。

表5 エンドブラケット放熱リブの冷却効果

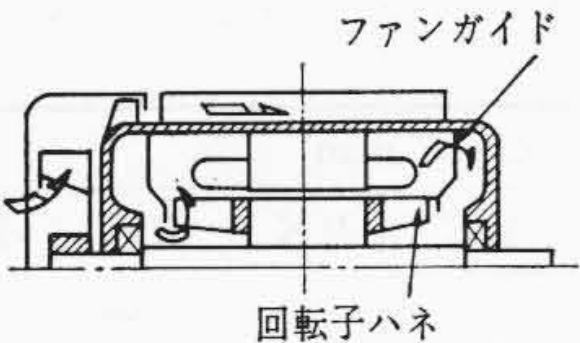
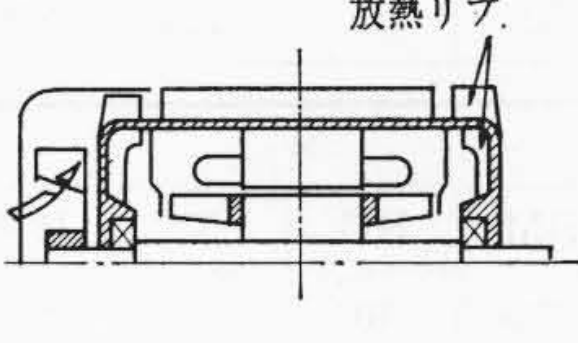
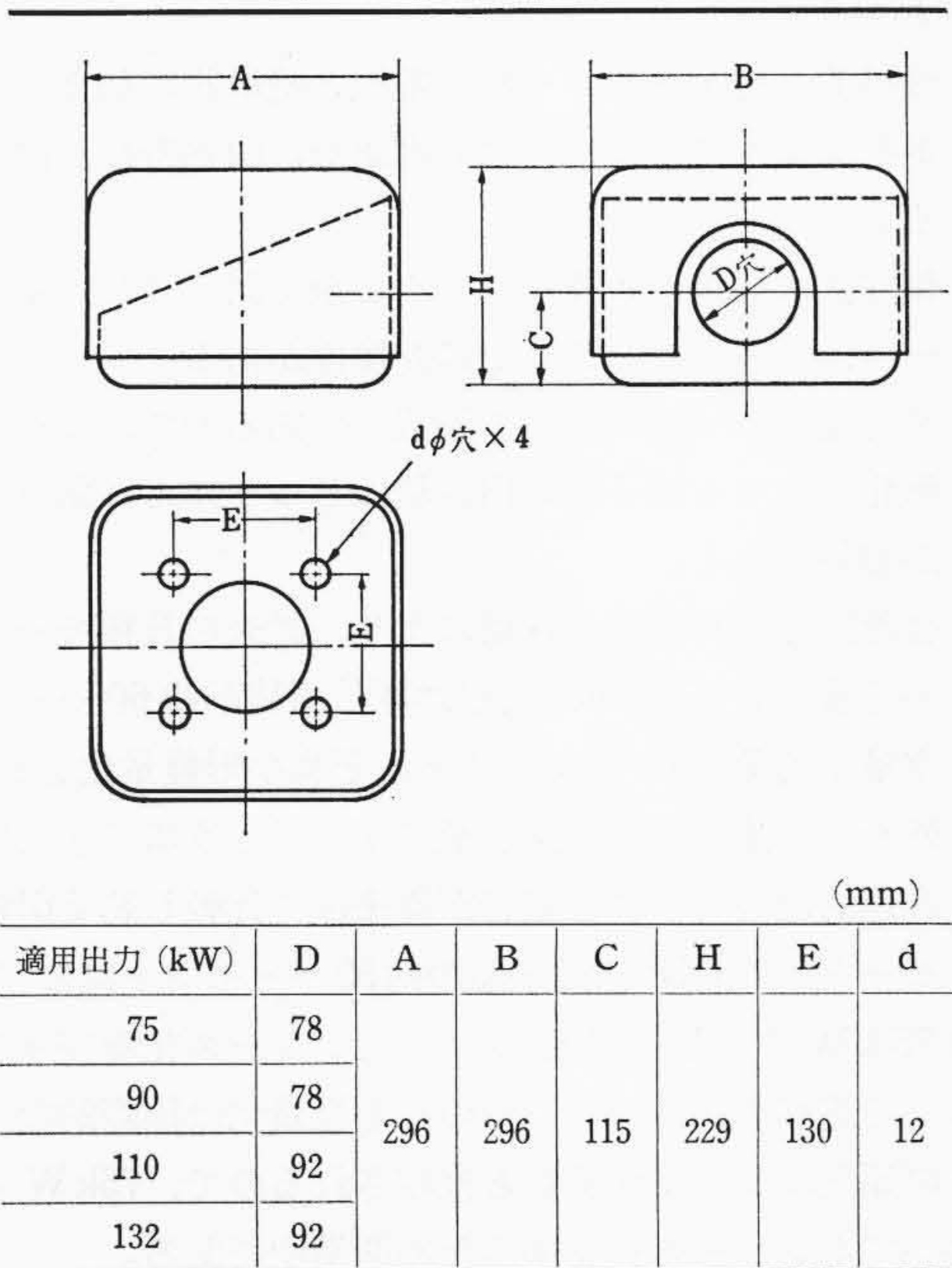
		エンドブラケット放熱リブなし	エンドブラケット放熱リブあり
構造	図		
	温度上昇比		
	コイル	100	80.4
	外わく	100	55.8
	軸 受	100	73.7

表6 端 子 箱 寸 法



端子箱の取付寸法は正方形になっているので、ノック穴方向を東西南北に変更することが簡単にできる。

5.3 軸 受

グリースは従来のリチウム系グリースよりも3倍以上寿命の長い、“日立WR グリース”を採用し、軸受の長寿命化を図っている。軸受には厳選されたころがり軸受を使用し、負荷側軸受には円筒コロ軸受を、反負荷側にはタマ軸受を採用し、2極品を除くわく番280S以下の反負荷軸受にはシールドベアリングを使用し、メンテナンスフリー化を図っている。

6. 特 性

従来のE種モートルに比較し、無負荷電流は若干増加しているが効率、力率、全負荷電流などはほとんど同じである。

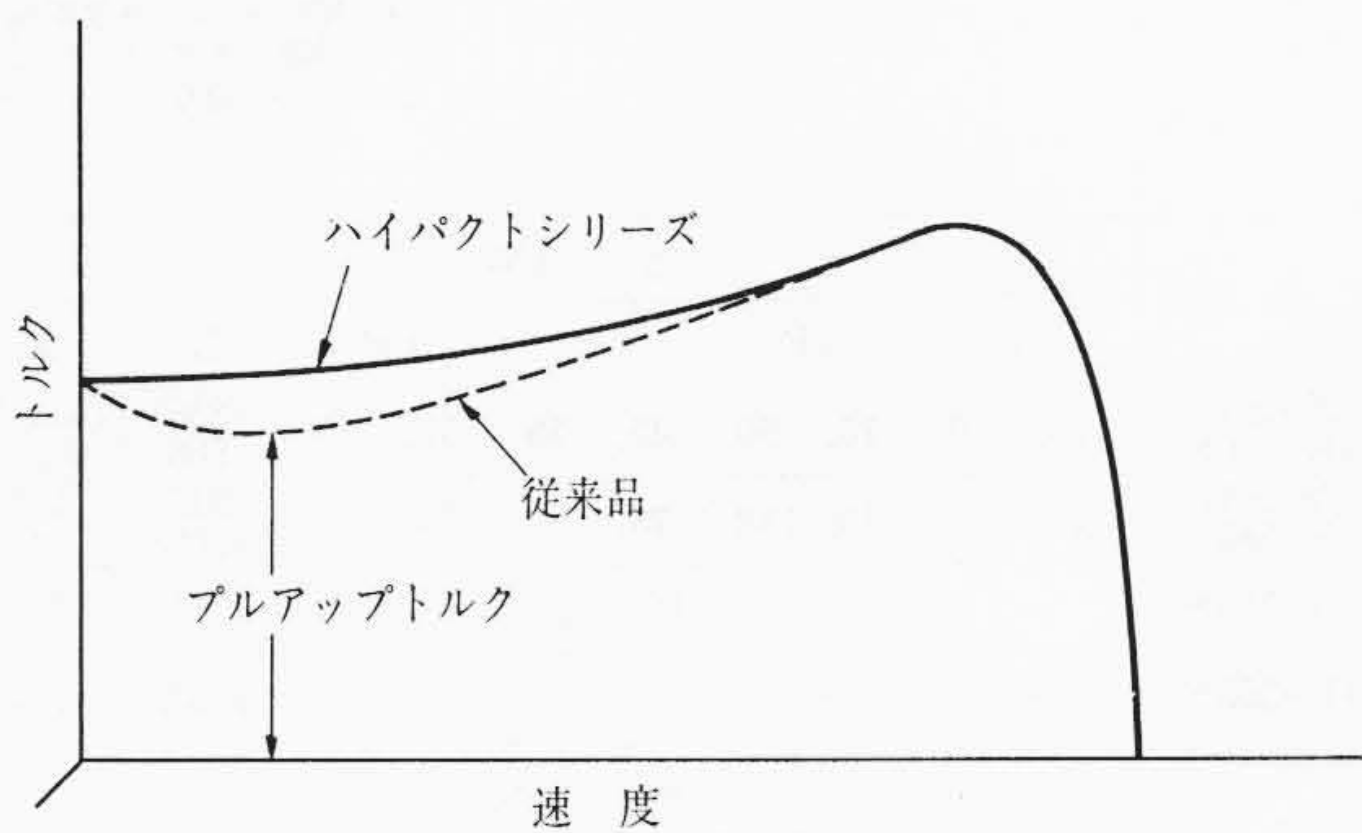


図8 トルク-速度特性比較

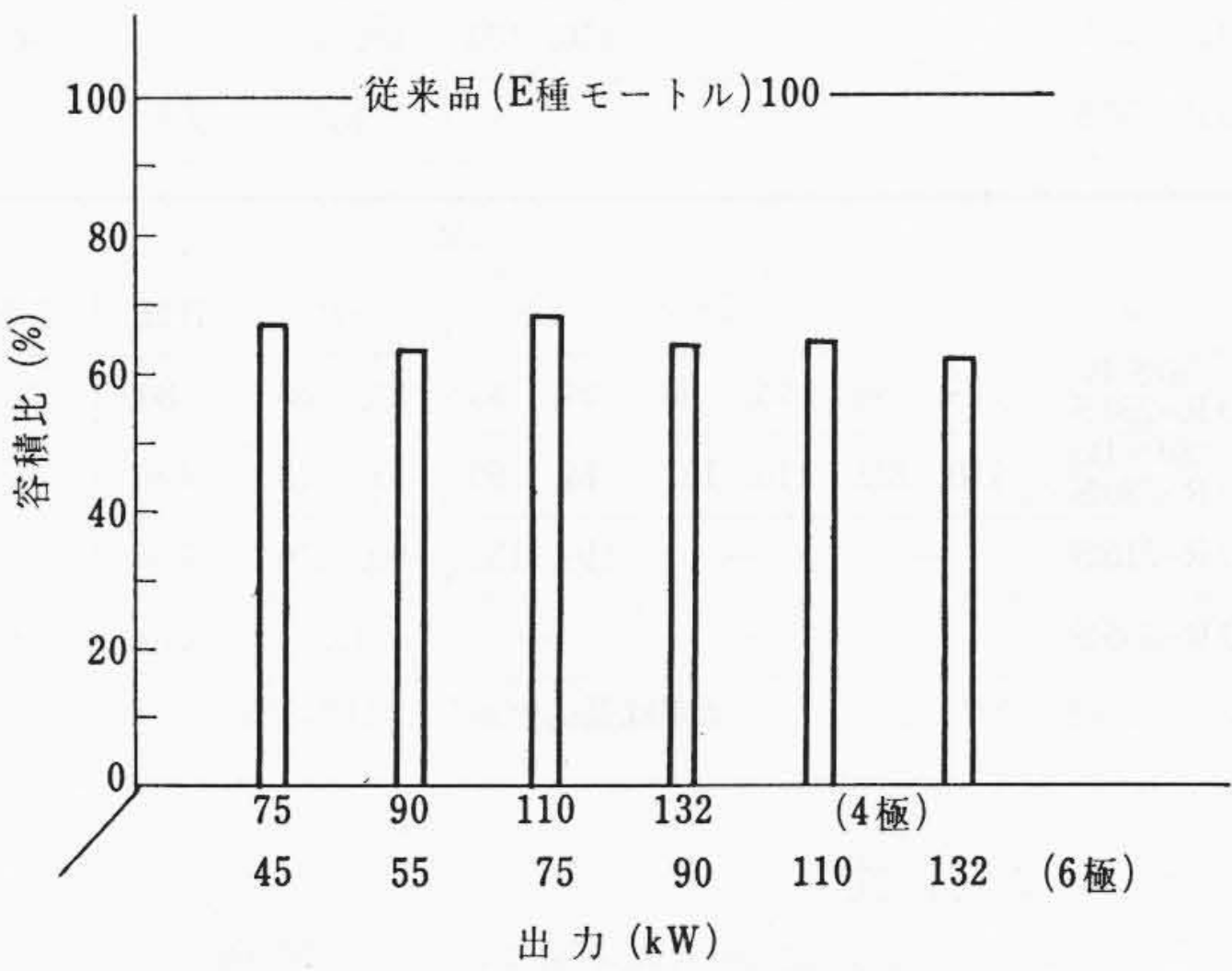


図9 ハイパクトシリーズの容積比

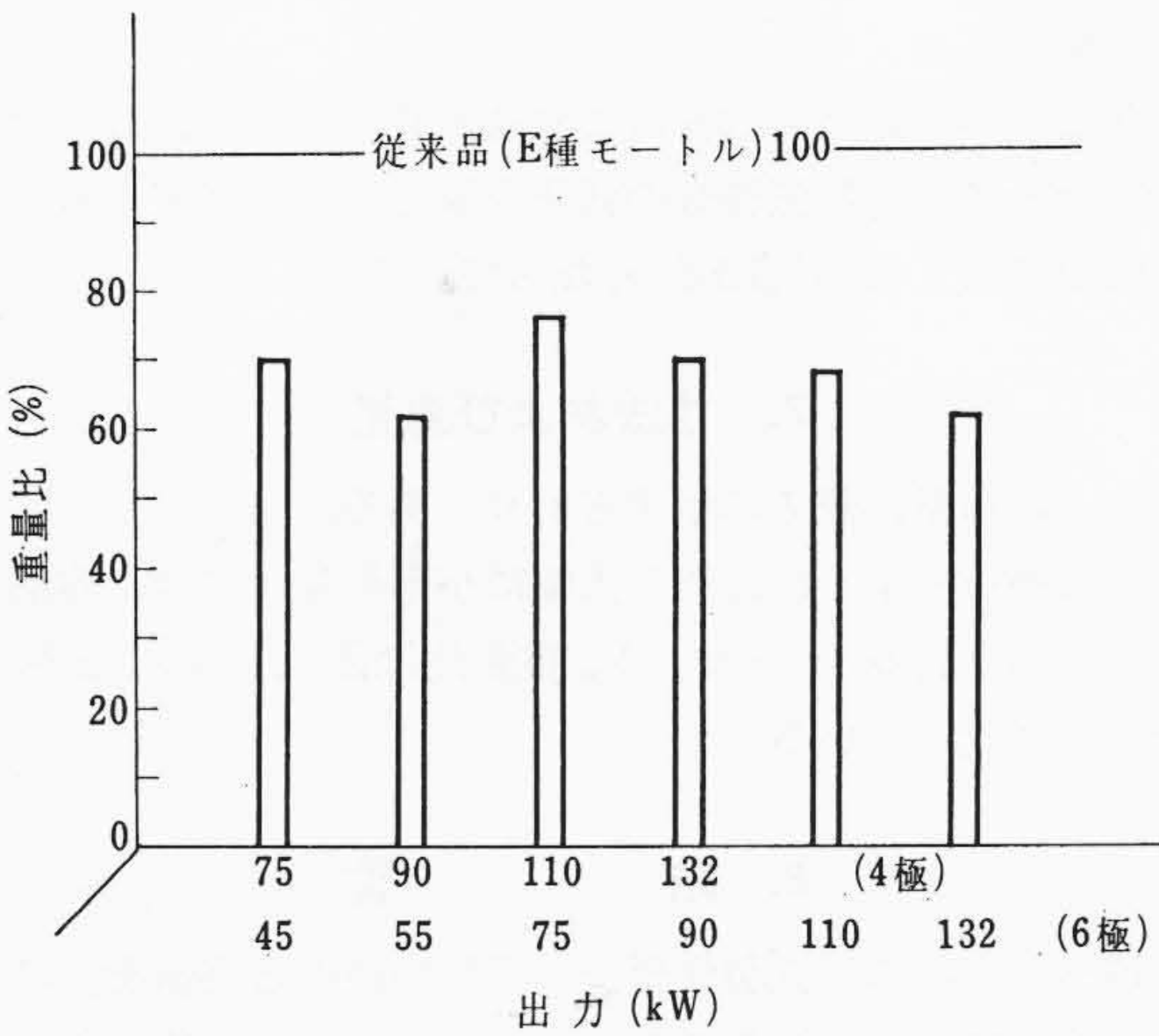
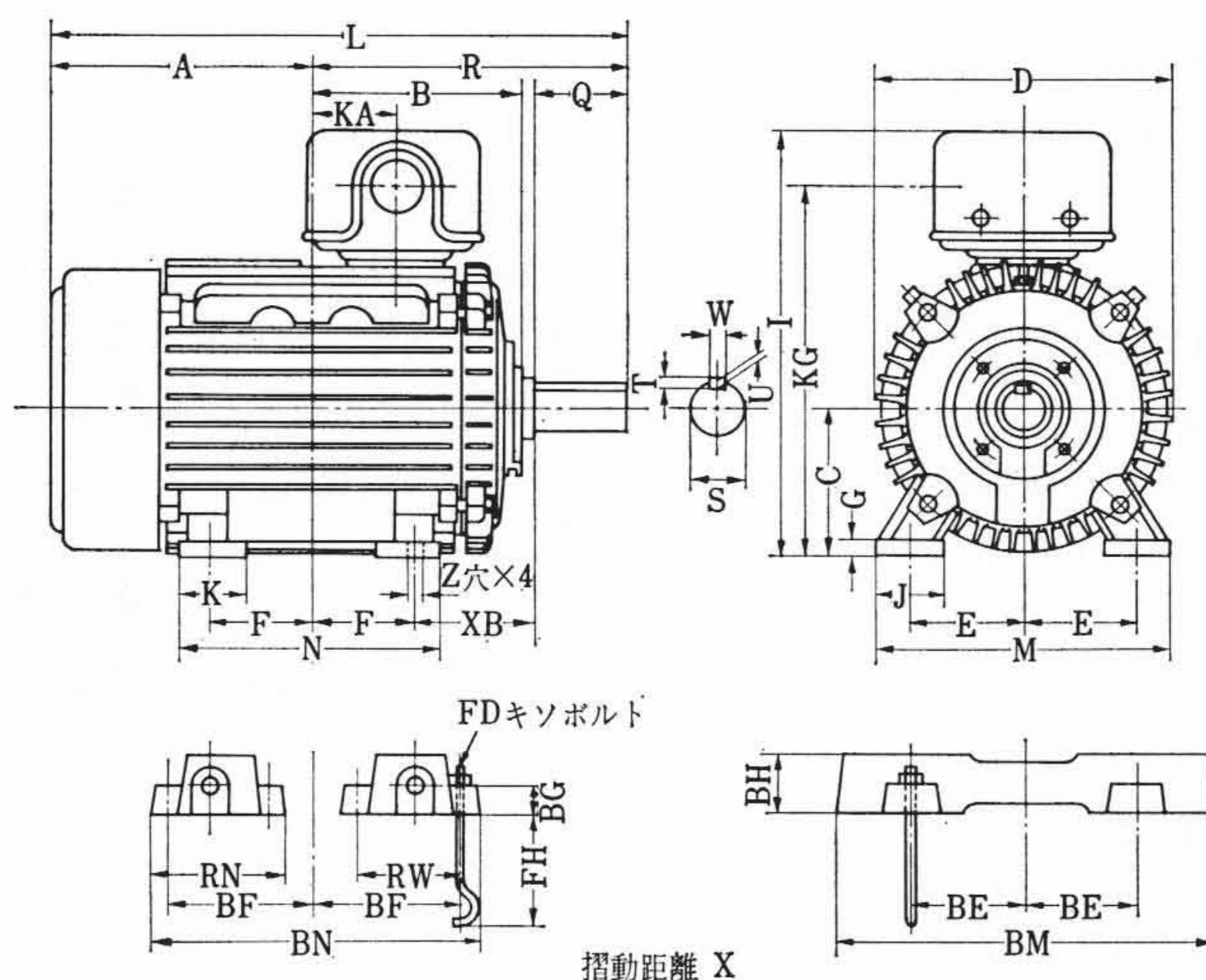


図10 ハイパクトシリーズ容積比

表7 寸法および重量



わく番号	出力 (kW)				モーター寸法 (mm)											
	2P	4P	6P	8P	L	R	A	B	D	K	J	I	KG	KA	C	F
^(250SB) TFOR-250S	75, 90	75, 90	45, 55	37, 45	⁽⁸³⁶⁾ 866	^(433.5) 463.5	402.5	^(314.5) 312.5	515	115	100	734.5	620.5	124.5	250 ⁺⁰ _{-0.5}	155.5
^(280SB) TFOR-280S	110, 132	110, 132	75, 90	55, 75	⁽⁹⁴⁵⁾ 1,005	⁽⁴⁸⁴⁾ 544	461	⁽³⁶⁵⁾ 363	580	140	125	797	683	158	280 ⁺⁰ _{-1.0}	184
TFOR-315S	—	—	110, 132	90, 110	1,115	589	526	408	636	140	125	860	746	203	315 ⁺⁰ _{-1.0}	203
TFOR-355S	—	—	—	132	1,349	714	635	493	724	175	140	947	833	277	355 ⁺⁰ _{-1.0}	250

わく番号	出力 (kW)				モーター寸法 (mm)										
	2P	4P	6P	8P	E	N	M	G	Z	XB	S	W	U	T	Q
^(250SB) TFOR-250S	75, 90	75, 90	45, 55	37, 45	203	385	500	24	24	168	(55m6) 75m6	(15) 20	(5) 7	(10) 13	(110) 140
^(280SB) TFOR-280S	110, 132	110, 132	75, 90	55, 75	228.5	455	560	28	28	190	(55m6) 85m6	(15) 24	(5) 8	(10) 16	(110) 170
TFOR-315S	—	—	110, 132	90, 110	254	490	615	28	28	216	95m6	24	8	16	170
TFOR-355S	—	—	—	132	305	635	700	32	35	254	110m6	28	9	18	210

わく 番 号	出 力 (kW)				ベ ー ス 寸 法 (mm)											重 量 (kg)
	2P	4P	6P	8P	BH	FH	BN	BM	BG	X	BF	BE	RN	RW	FD	裸, 概略
^(250SB) TFOR-250S	75, 90	75, 90	45, 55	37, 45	80	340	491	710	40	150	220.5	225	180	130	M12	460
^(280SB) TFOR-280S	110, 132	110, 132	75, 90	55, 75	100	520	588	910	50	150	264	280	220	160	M16	655
TFOR-315S	—	—	110, 132	90, 110	100	520	626	910	50	200	283	280	220	160	M16	835
FFOR-355S	—	—	—	132	140	660	740	1,250	70	150	340	355	240	180	M16	1,200

注：() 内は 2P 用 太字は見込生産をして即納体制

6.1 トルク特性

回転子のスロット形状に全閉みぞを採用し、最適なスロット数の組合せ、スキュー選定などによりトルク特性を従来品よりも改善している。図8はプルアップトルクの改善の一例を示したものである。

6.2 騒音

小形化と冷却通風路の改善により通風音の低下と、最適なスロット数の組合せにより磁気騒音の低下を図ったので従来のE種モートルに比較して約5 dB騒音が低くなっている。

7. 寸法および重量

寸法および重量は表7に示すとおりである。

従来のE種モートルに比較し大幅に小形軽量化され、容積比は図9に示すとおり約60パーセント、重量比は図10に示すとおり約70パーセントになっている。

8. 結 言

以上述べたように日立製作所では新しい技術と実績を基に研究を重ねるとともに細部にわたる合理的な設計により、次のような特長をもつF種モートル“ハイパクトシリーズ”を開発した。

ハイパクトシリーズの特長

- (1) 機械的、化学的にすぐれた電線と絶縁物に加え、無溶剤エポキシワニスの使用により高耐湿、耐熱寿命が向上している。
- (2) 軸寸法は従来のE種モートルと全く同じにしてあるのでプーリ、カップリングなどに互換性がある。
- (3) 端子箱はモートル上部に設置してあるので、モートルが小形化されても端子箱の内容積はじゅうぶんにあり接続作業が容易である。
- (4) 合理的な冷却方式の採用により、従来のE種モートルよりわく番で2〜3段下になり、据付面積が約60パーセント、重量が約70パーセントにそれぞれ小形軽量化されている。
- (5) 外わくは溶接構造の鋼板製でがんじょうにできている。
- (6) 合理的な設計により騒音が従来品に比較し約5 dB低い。
- (7) モートルのGD²は従来品の約55パーセントになっている。

今回は75 kW 4極相当以上についてシリーズ化を完了したのでこれについて述べたが、モートルの小形軽量化は国際的なすう勢であり、この傾向はますます進むと推定されるので、75 kW 4極相当未満についてもシリーズ化を図るため準備中である。