U.D.C. 621.313.333.1

中容量標準巻線形誘導電動機の小形化とその性能
Minimization in Size and Following Character of the Medium Class Standard Wound Rotor Type Induction Motor

礒　本　正　義*
Masayoshi Isomoto

内　容　梗　概

三相かご形誘導電動機は，すでに日本電機工業会標準規格 JEM 1110 の寸法を採用して，小形化されているが，巻線形誘導電動機についても，この系列に入れて小形化し，さらに性能，特に短絡装置部分の機能を向上して，寿命，信頼度ともに高水準の電動機を完成した。

本文ではその技術的方法と成果について述べる。

1. 緒　　言

三相かご形誘導電動機については，従来の寸法に比べて著しく小形化し，国際競争にも十分耐える新JEM寸法(日本電機工業会標準規格JEM 1110)が制定された。日立製作所ではこの寸法をいち早く採用して，汎用電動機および中容量かご形電動機の小形軽量化を実施し，その斬新な設計は各方面で好評を博している。

その後，さらに電動機の二次回路に抵抗器を接続して，速度制御を必要とする機械，起動時の衝撃をきらう機械，あるいは電源容量の小さい場合などに多数使用されている中容量標準巻線形電動機および中容量一般巻線形電動機をも，新JME寸法の系列に入れて小形軽量化を行い，性能および電動機と二次抵抗器の接続部分である短絡装置部分についても，研究改良を加えたので，以下それら標準品について概略を紹介する。

2. 電動機小形化の要素

電動機のトルク特性や温度特性を低下することなく，小形化するため，主として次の点を考慮した。

a）進歩した新材料の利用

b）冷却方法の進歩

2.1 進歩した新材料の利用

電動機の主要材料としては，ケイ素鋼板，マグネットワイヤおよびスロット絶縁材料がある。

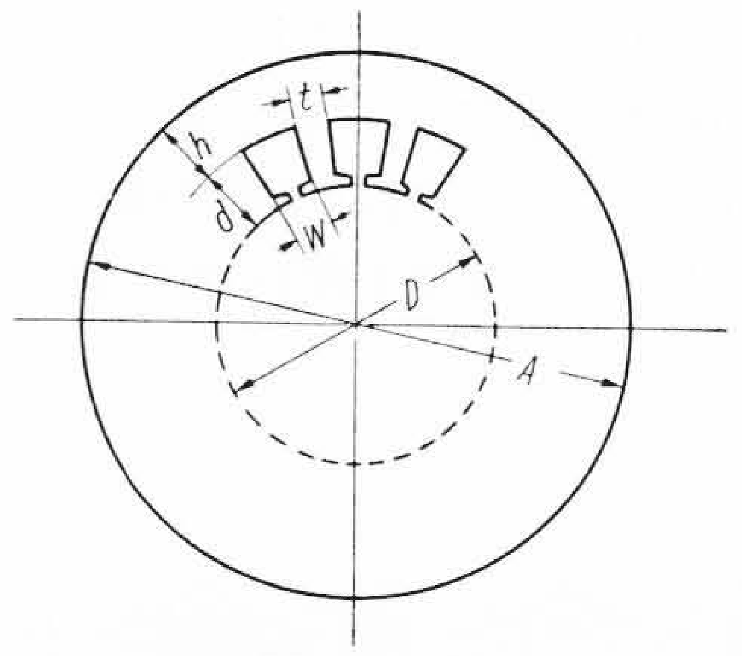
ケイ素鋼板は製造方法の著しい進歩によって，単位重量あたりの鉄損値の低いものが容易に得られるようになり，電動機を小形化しても，鉄損を従来とほとんど変らないようにすることができた。

マグネットワイヤは，従来の二重綿巻線(D.C.C線)に代ってすぐれた性能をもつ新しいエナメル線が次々に開発され，薄い絶縁皮膜にもかかわらず，耐熱劣化性，耐摩耗性および耐薬品性にすぐれたポリエステル線[1](P.E.W線)の採用が可能になった。

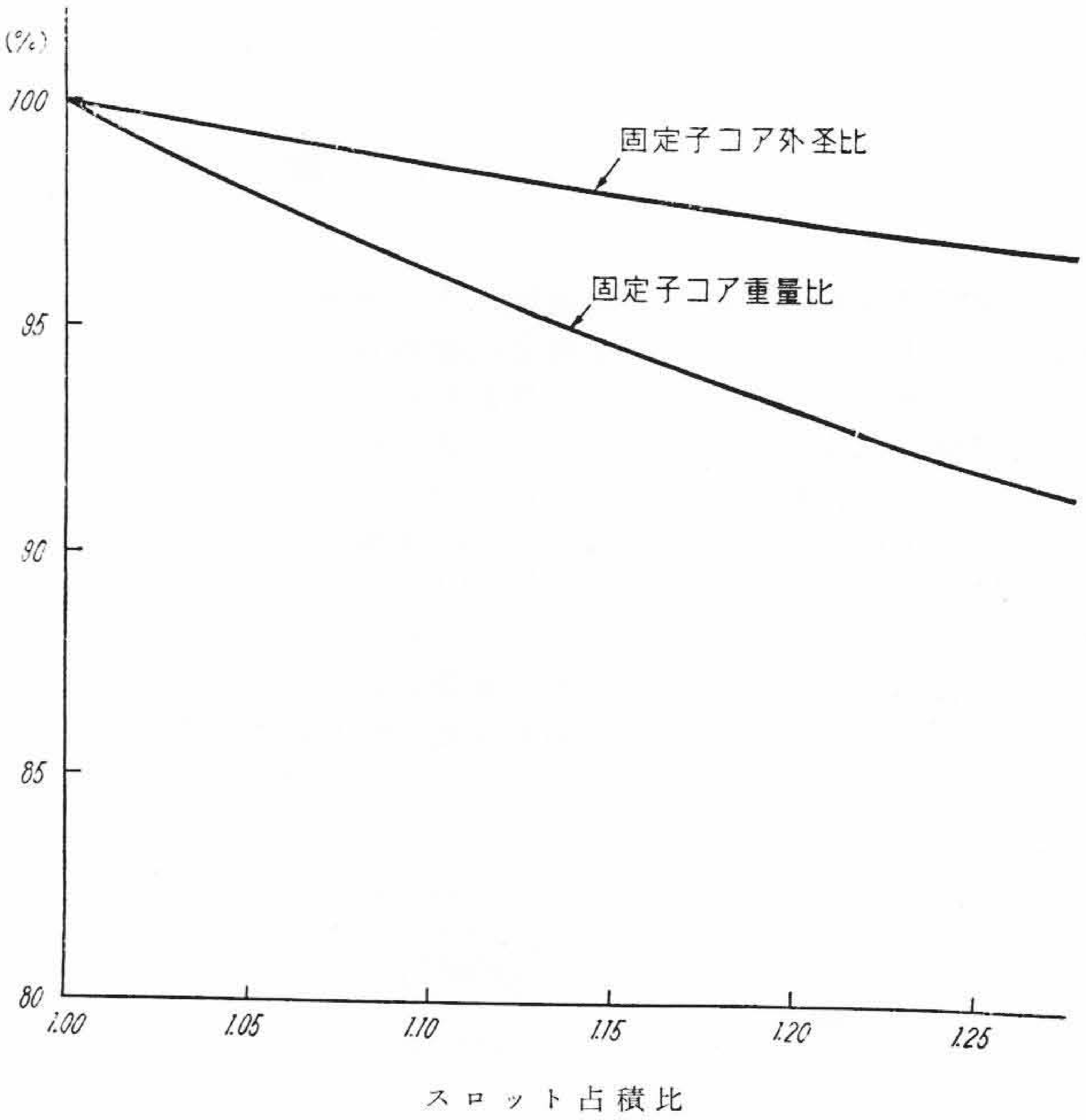
スロット絶縁材料についても，従来のワニスクロスなどに比べて，電気的，機械的性能にすぐれているポリエステルフィルム[1]（マイラー）などを採用して，スロット占積率が向上し，電動機小形化の重要な役割をはたすことができた。

2.2 冷却方法の進歩

電動機の特性を変えないものとして，内部に発生する損失をほぼ同一にして小形化を行う場合，冷却面積および冷却扇の大きさの減少を補うように冷却効果を向上することが必要である。このためには冷却扇より生ずる冷却空気が，有効にコイルを冷却するよう考慮し，また冷却扇も合理的な設計を行うことにより効果をあげた。



第1図　固 定 子 コ ア



第2図　スロット占積率向上の影響

2.3 小形化と特性の関係

進歩した主要材料を使用して，どの程度電動機の小形化ができるかを検討してみる。

一般に電動機の出力は次式で示される。

$$W=K B_0(ac)D^2Ln$$

ここに W: 出　力

K: 常　数

B_0: 空げき磁束密度

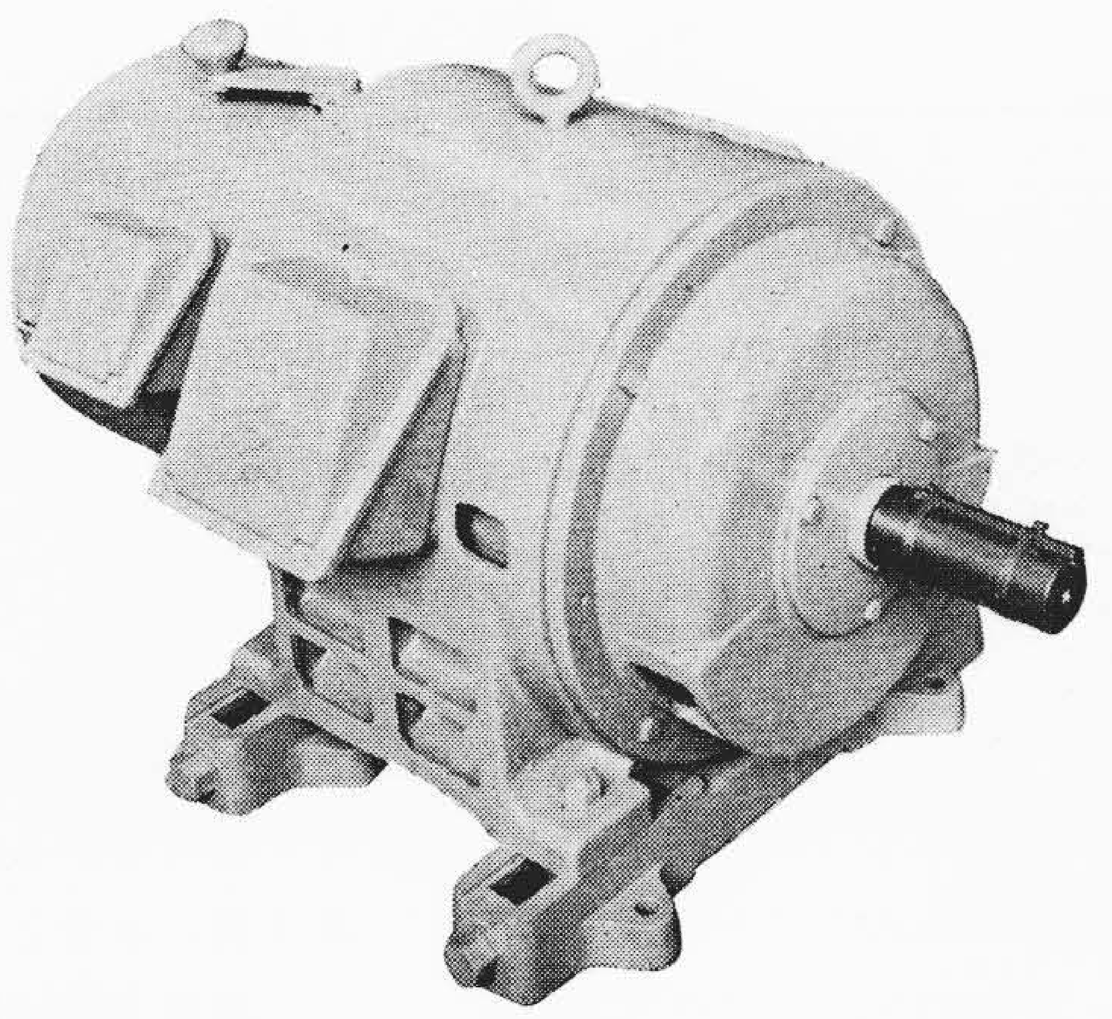
(ac): 空げき円単位長さあたりのアンペヤコンダクタ

D: 空げき円直径

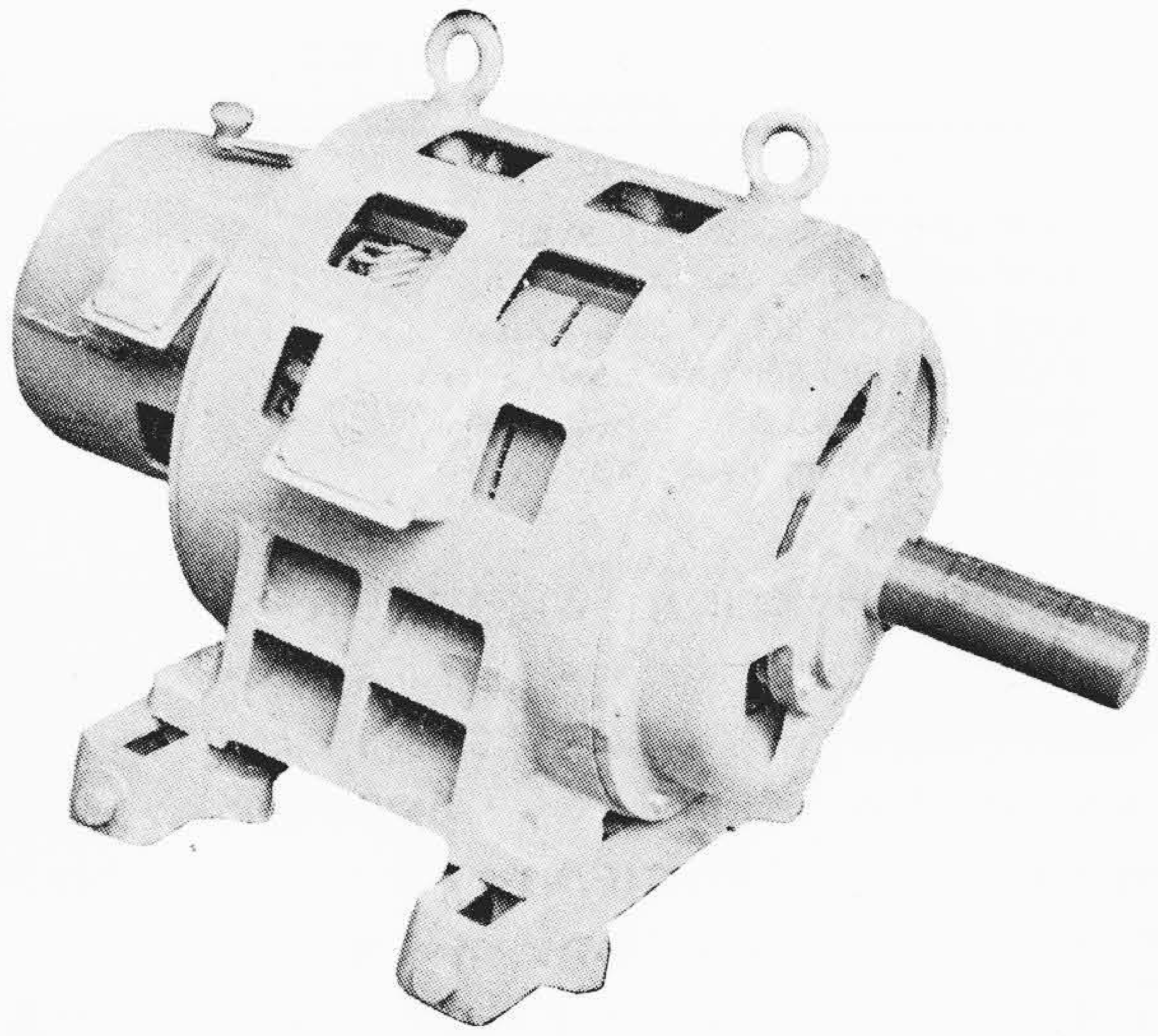
L: 積　厚

n: 回転数

* 日立製作所亀戸工場

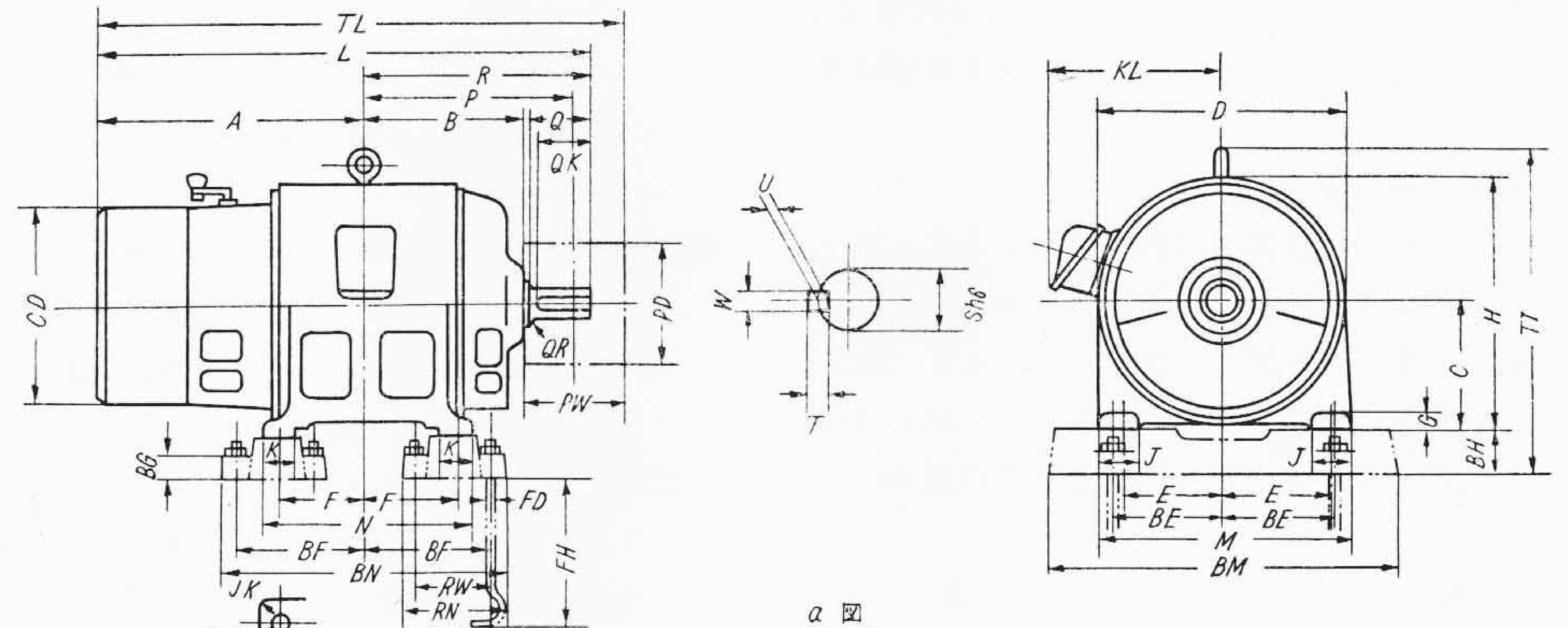


第3図 22 kW EFO-EQ 6極 200/220 V 50/60～

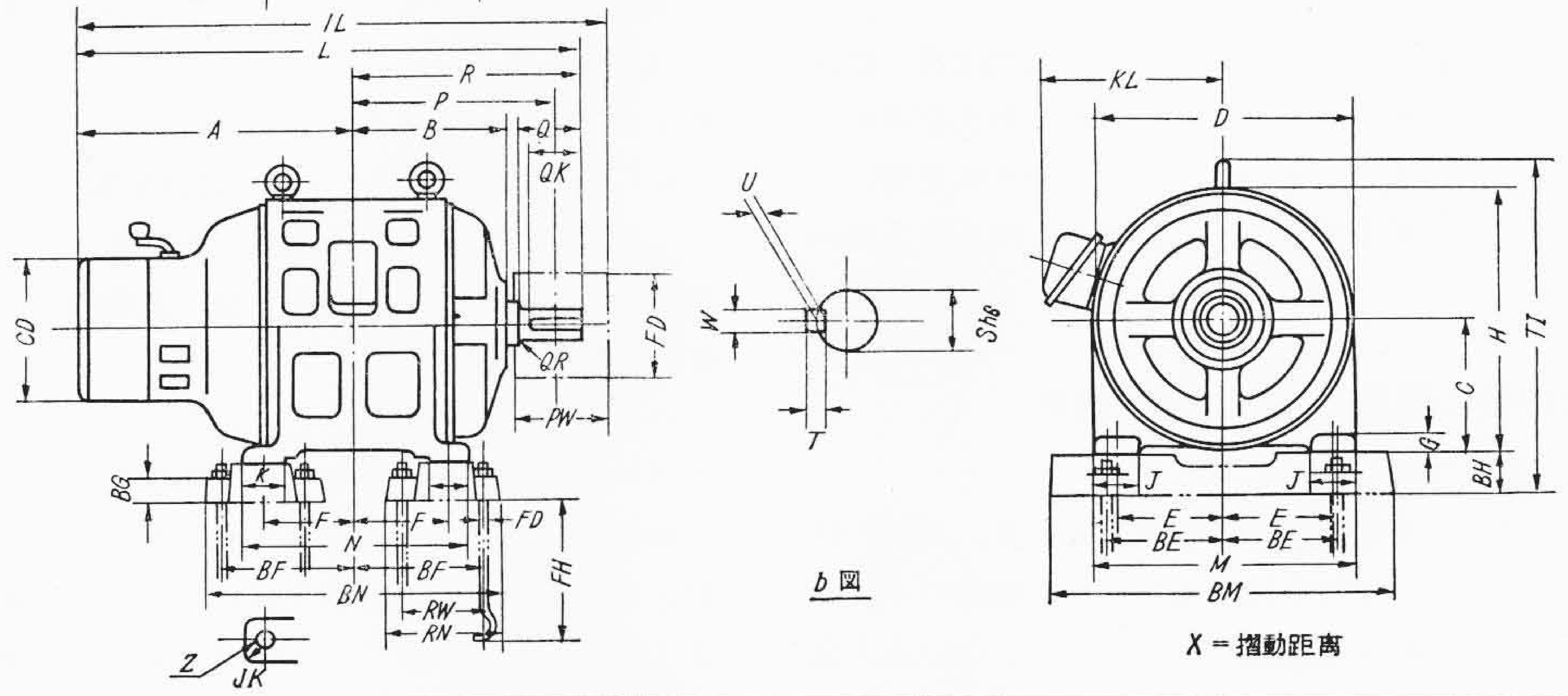


第4図 55 kW SO-CQI 8極 3,000/3,300 V 50/60～

第1表 新 形 電 動 機 寸 法 表



a 図



b 図

X＝摺動距離

出力 形式	示図番号	アイボルト数	寸法 (mm) 電動機 TL	L	R	A	B	P	D	KL	K	J	TI	H	C	F	E	N	M	JK	G	Z	CD	S
15kW EFO-EQ 6極 200/220 50/60	a	1	1,055	950	440	510	285	417.5	450	350	80	100	591	450	225	160	180	380	450	15	30	18	360	55
22kW EFO-EQ 6極 200/220 50/60	a	2	1,190	1,075	520	555	325	482.5	500	370	90	100	656	505	250	180	200	430	500	20	40	22	360	65
37kW EFO-CQI 8極 200/220 50/60	a	2	1,495	1,350	685	665	420	627.5	640	455	110	120	835	645	320	225	250	530	620	20	45	25	450	85
37kW EFO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	a	2	1,495	1,350	685	665	420	627.5	640	455	110	120	835	645	320	225	250	530	620	20	45	25	450	85
55kW SO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	b	2	1,605	1,440	750	690	455	687.5	720	495	120	140	934	725	360	235	280	560	700	20	50	25	450	95
75kW SO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	b	2	1,745	1,525	805	715	510	770	800	535	125	140	1,034	805	400	265	320	620	700	20	60	28	450	95

出力 形式	示図番号	アイボルト数	寸法 (mm) T	U	W	Q	QK	QR	平ベルト車 PD	平ベルト車 PW	ベース BH	FH	BN	BM	BG	X	RW	RN	BF	BE	FD	重量 (kg) (ベルト車ベース不付)
15kW EFO-EQ 6極 200/220 50/60	a	1	10	5	15	140	130	2.5	280	255	70	340	490	580	35	120	120	170	220	180	½″	245
22kW EFO-EQ 6極 200/220 50/60	a	2	12	6	18	180	170	2.5	305	305	80	340	540	710	40	150	130	180	245	225	½″	340
37kW EFO-CQI 8極 200/220 50/60	a	2	16	8	24	250	240	1.5	405	405	100	520	670	910	50	200	160	220	305	280	⅝″	640
37kW EFO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	a	2	16	8	24	250	240	1.5	405	405	100	520	670	910	50	200	160	220	305	280	⅝″	680
55kW SO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	b	2	16	8	24	280	270	1.5	455	455	100	520	690	910	50	200	160	220	315	280	⅝″	890
75kW SO-CQI 8極 3,000/3,300 50/60	b	2	16	8	24	280	270	1.5	510	510	120	510	760	1,060	60	250	170	230	350	320	⅝″	1,000

第2表　新，旧形の容積比
（新形対旧形百分比）

出力形式	容積比（%）
15 kW EFO-EQ 6極 200/220V 50/60～	72
22 kW EFO-EQ 6極 200/220V 50/60～	80
37 kW EFO-CQI 8極 200/220V 50/60～	71
37 kW EFO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	67
55 kW SO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	69
75 kW SO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	73

いま，従来の空げき円直径，各部の磁束密度および電流密度が適当で変更しないものとして，マグネットワイヤ，スロット絶縁材料に新材料を使用して，スロット占積率を向上しただけスロット面積を減少させるため，第1図でスロットの幅W，歯の幅t，継鉄部分の高さh，および空げき円直径Dは変更せず，スロットの深さdと固定子コア外径Aを変更する場合について考える。

いま，スロット占積率の向上によりスロット面積を$\frac{1}{\alpha}$に減少することができるとすれば，スロットの深さは$\frac{d}{\alpha}$にでき，B_0，(ac)，DおよびLを変えることなく，すなわち同一出力で，固定子コアの外径を$D+2(h+d)$より$D+2\left(h+\frac{d}{\alpha}\right)$に減少することができる。

一例として，15 kW 6極でスロット占積率向上の影響を数値計算すると第2図のようになる。

この場合，各部分の磁束密度は変っていないので，コアの外径が小さくなってコア重量が減少しただけ鉄損は減少することになる。

実際にはスロット占積率の向上によって，電流密度を従来と同一としても，スロット面積は従来の80～90%に減少することができ，さらに低鉄損の高級ケイ素鋼板の使用と磁路の改良により鉄心寸法を縮少し，また冷却法も改善するなど，設計技術と材料の進歩が一体となって小形化を実現している。

次に，このようにして小形化した電動機の特性について述べると，効率は前述のように鉄損が減少して向上する。

また，各部分の磁束密度を変えなければ，無負荷電流は歯，継鉄部分の磁路の短縮により多少減少し，力率，最大出力および停動トルクは，スロット漏えいリアクタンスがスロットの深さに比例して小さくなる結果，無効電力が減少するので，いずれも向上する傾向にある。

3. 電動機の構造，寸法および性能

3.1 構　造

電動機は従来よりもすぐれた保護構造を採用している。37kW 以下の EFO 形は第3図のように冷却空気の通風孔を電動機の下部に設け，上部より落ちる水滴が直接電動機内部には侵入しないよう完全な閉鎖防滴構造になっている。

55 kW 以上の SO形は第4図のような開放保護構造であるが，ハウジングの開口面積は極力小さくしてある。

いずれの形も短絡装置部分を着脱の簡単な保護カバーでおおい，保守，点検に便利なようにしてある。

また，軸受はすべて厳選された，ころがり軸受を使用し，潤滑性能と寿命にすぐれた日立モートルグリースで潤滑を行って信頼度を高めている。

3.2 寸　法

電動機の寸法は日本電機工業会標準規格 JEM 1110 に準拠しており，第1表に示すとおりである。

この電動機は従来のものに比べてかなり，小形化されており，従来形を100%とした容積比（電動機の容積を示すファクタとして$C^2\times(L-Q)$で表わした）は第2表に示すように70～80%に減少している。

第3表　新，旧形の特性比較表
（新形対旧形百分比）

出力形式	無負荷電流	全負荷電流	最大出力	最大トルク	温度上昇
15 kW EFO-EQ 6極 200/220V 50/60～	98	96	103	103	86.5
22 kW EFO-EQ 6極 200/220V 50/60～	110	99	106	106	80
37 kW EFO-CQI 8極 200/220V 50/60～	108	97	107	107	87.5
37 kW EFO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	112	99	122	124	98
55 kW SO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	100	96.5	107	106	87.5
75 kW SO-CQI 8極 3,000/3,300V 50/60～	105	96.5	119	121	76

3.3 性　能

電動機の諸特性は日本工業規格 JIS−C 4201, 4202 を十分満足しているが，従来のものと比べると小形軽量化を行っているにもかかわらず各種の技術的改良が効果を表わし，第3表に示すように向上している。すなわち，全負荷電流は1～4%，温度上昇は10～20%低下し，最大出力，停動トルクは5～20%増加している。

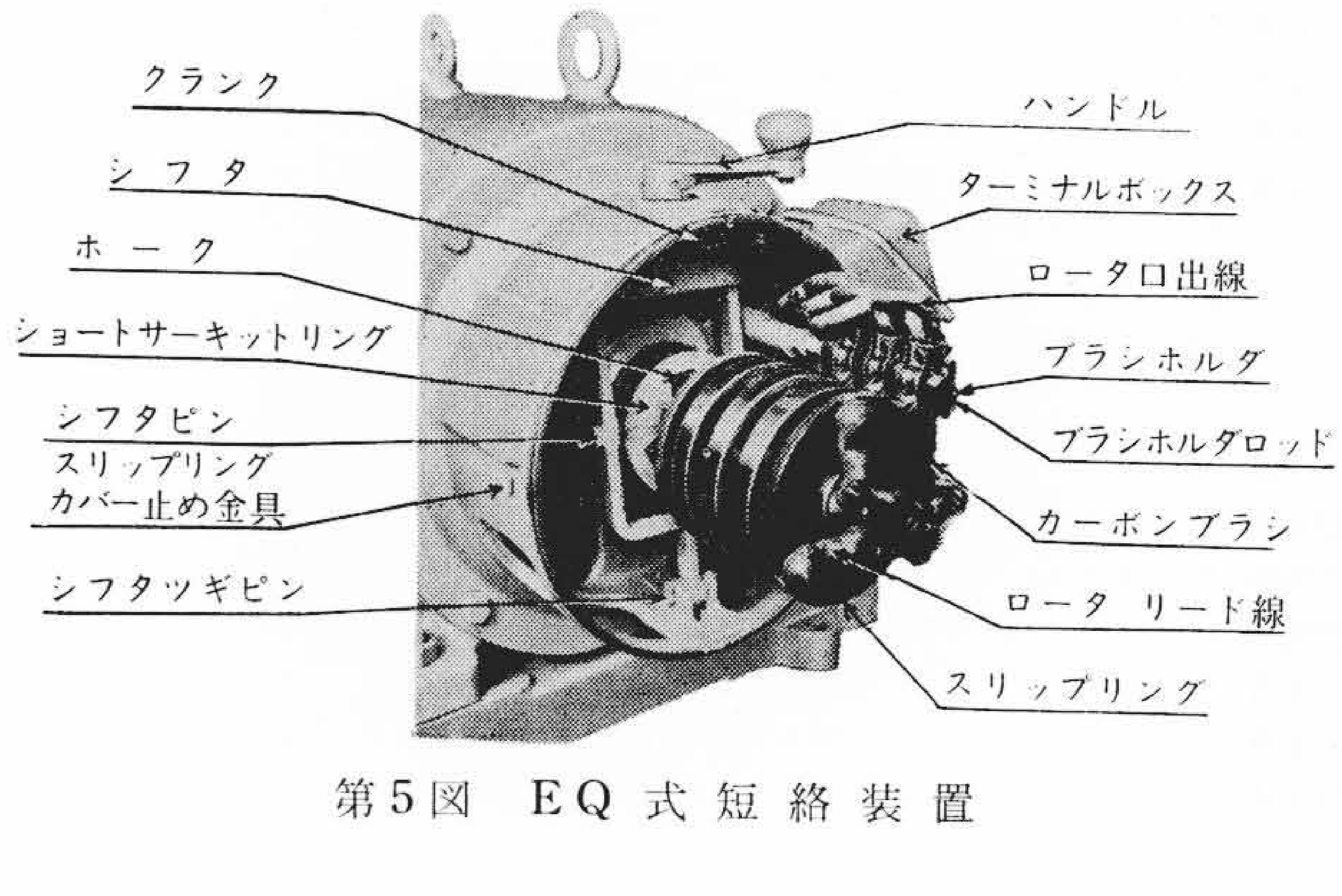
この結果，最大出力は増加し，温度上昇は低下し，さらに使用材料の耐熱性の向上とあいまって，いわゆるさらに無理のきくものとなっている。

4. 短絡装置部分

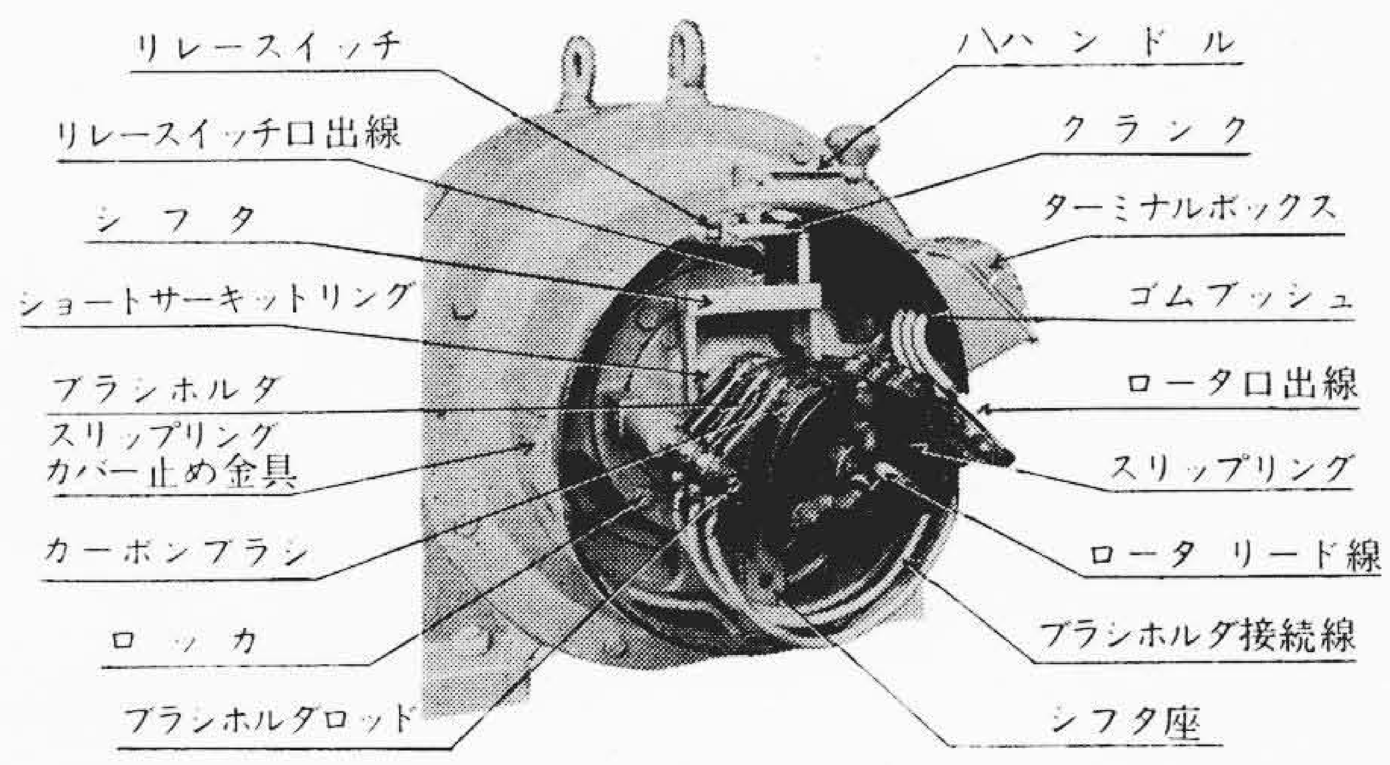
かご形電動機はいったん起動すれば固有の速度—トルク特性にしたがって加速するので，大幅にこれを制御することは困難であるが，巻線形電動機は電動機二次回路に接続する起動抵抗器を調整して，二次回路の抵抗を増減することにより，それに比例したすべりの点にトルク曲線を移動することができ，起動抵抗器の抵抗を適当に選定することによって，起動トルクを停動トルクと同じにしたり，また起動トルクを定格トルクにとどめて起動電流をほぼ定格電流に減少することができる。そのため電動機二次回路と起動抵抗器を接続するスリップリング部分と，電動機が起動完了後二次回路を短絡して電動機固有のトルク特性にする短絡装置部分をもっており，これらは簡単な構造でしかも確実な動作ができて，長時間の使用に十分耐えるような構造にしてある。

4.1 E式スリップリング，短絡装置

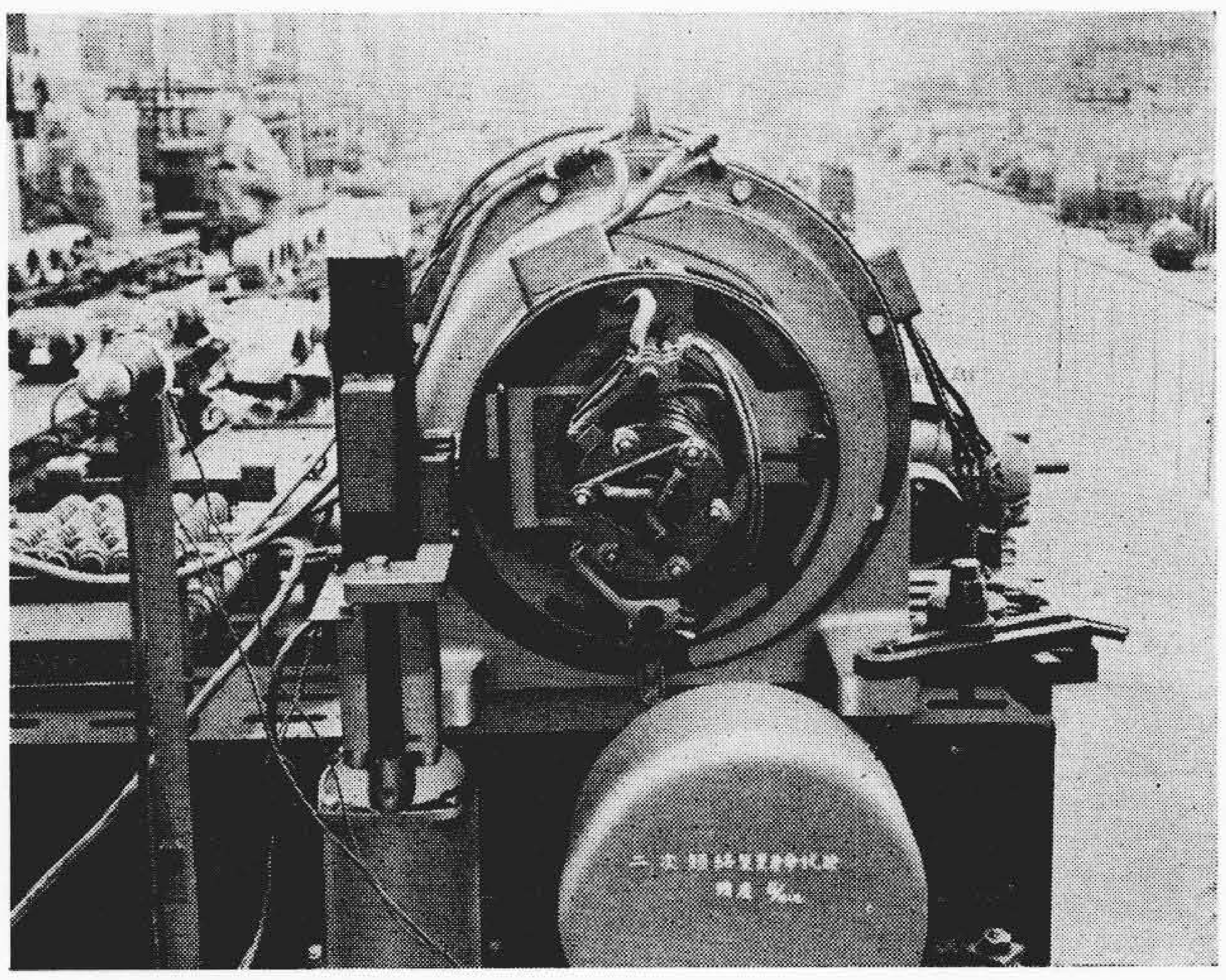
この方式は電動機の回転数上昇に伴い起動抵抗器を順次短絡して最終ノッチまで進め起動完了後，電動機の短絡装置のハンドルを運転側に回すことによってスリップリングを短絡する方式で第5図はこの短絡装置の外観を示している。スリップリングはスリップリングボスに耐熱絶縁物を介して焼ばめされた方式で，過酷な運転にも十分耐えるよう設計されており，カーボンブラシは摩耗量，温度上昇とも少ない金属黒鉛刷子MH33を使用し連続通電運転にも耐えるよう考慮してあるので，起動抵抗器を遠方操作するような場合抵抗器の最終ノッチに短絡容量をもたせれば，電動機の二次回路を短絡しなくても運転でき，またポンプ，ファンなどのように回転数の低下とともにトルクの減少するような負荷には，そのまま任意の速度で使用できるようにしてある。短絡機構も簡単なリンク構造になって



第5図　EQ式短絡装置



第6図　CQI 式短絡装置



第7図　寿命試験装置

いるので操作が軽く，しゅう動金属部分には特殊な耐摩耗材料を使用して摩耗を少なくした。

4.2　CI 式スリップリング，短絡装置

この方式は電動機の起動完了後，短絡装置のハンドルを運転側に回すことによって，スリップリングを短絡し同時にブラシをスリップリングより引揚げてブラシが摩耗しない構造となっている。

また後述の**第8図**でわかるように補助開閉器 (Au. S) の接点は油入遮断器の低電圧引はずし線輪と直列に接続され，電動機の短絡装置のハンドルが起動の位置になければ，補助開閉器 (Au. S) が開いて油入遮断器も開き，主回路が閉路できぬようなインターロック接点をもっており，電動機二次短絡起動による焼損を防止しているほかはE式と同じ構造になっている。

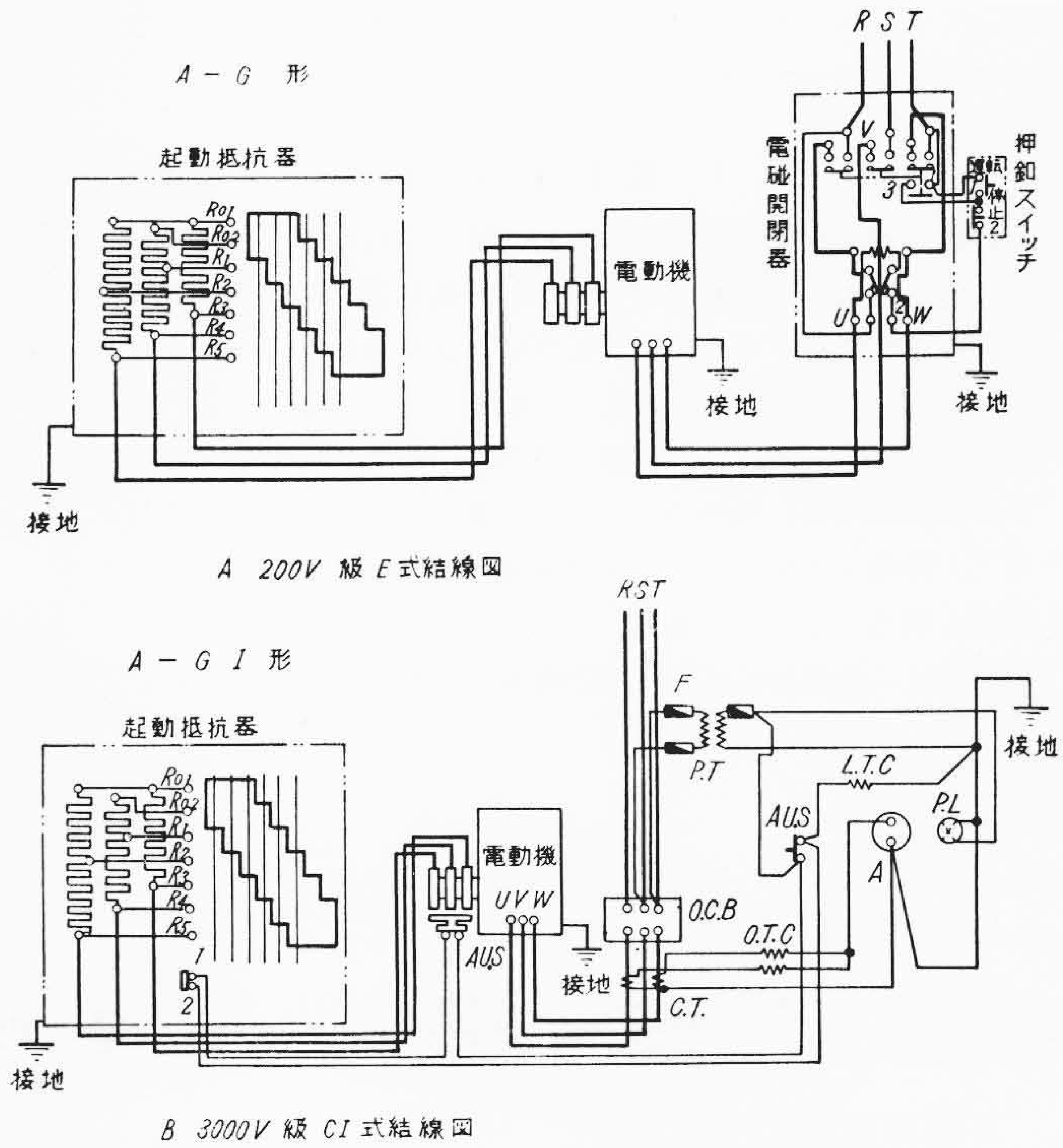
第6図はこの短絡装置の外観を示している。

4.3　スリップリング，短絡装置の寿命

短絡装置は起動，停止のたびに短絡操作を繰り返すので，しゅう動部分の摩耗が少なくなるように材質は特に留意したが，このように設計された部分がどの程度耐えられるか寿命試験を行った。

第7図は試験装置の外観を示している。電動機は二次回路を短絡して無負荷運転を行い，スリップリングに通電して試験を行う場合はブラシ引揚げ装置を除いて，常にブラシはスリップリングに接触するようにしてブラシ—スリップリングへは直接電源より変圧器を介して電圧を印加し，スリップリングが短絡状態で電動機二次電流と同じ値の電流が流れるようにしておく。短絡試験にはタイムスイッチを用い一定間隔ごとに変圧器の一次側に電圧を印加すると同時にサーボリフタを用いて短絡装置を動作させ，コンタクトピースをフォークで短絡するようにして行った。ブラシ引揚装置についてはスリップリングに通電しない状態で同様の試験を行った。

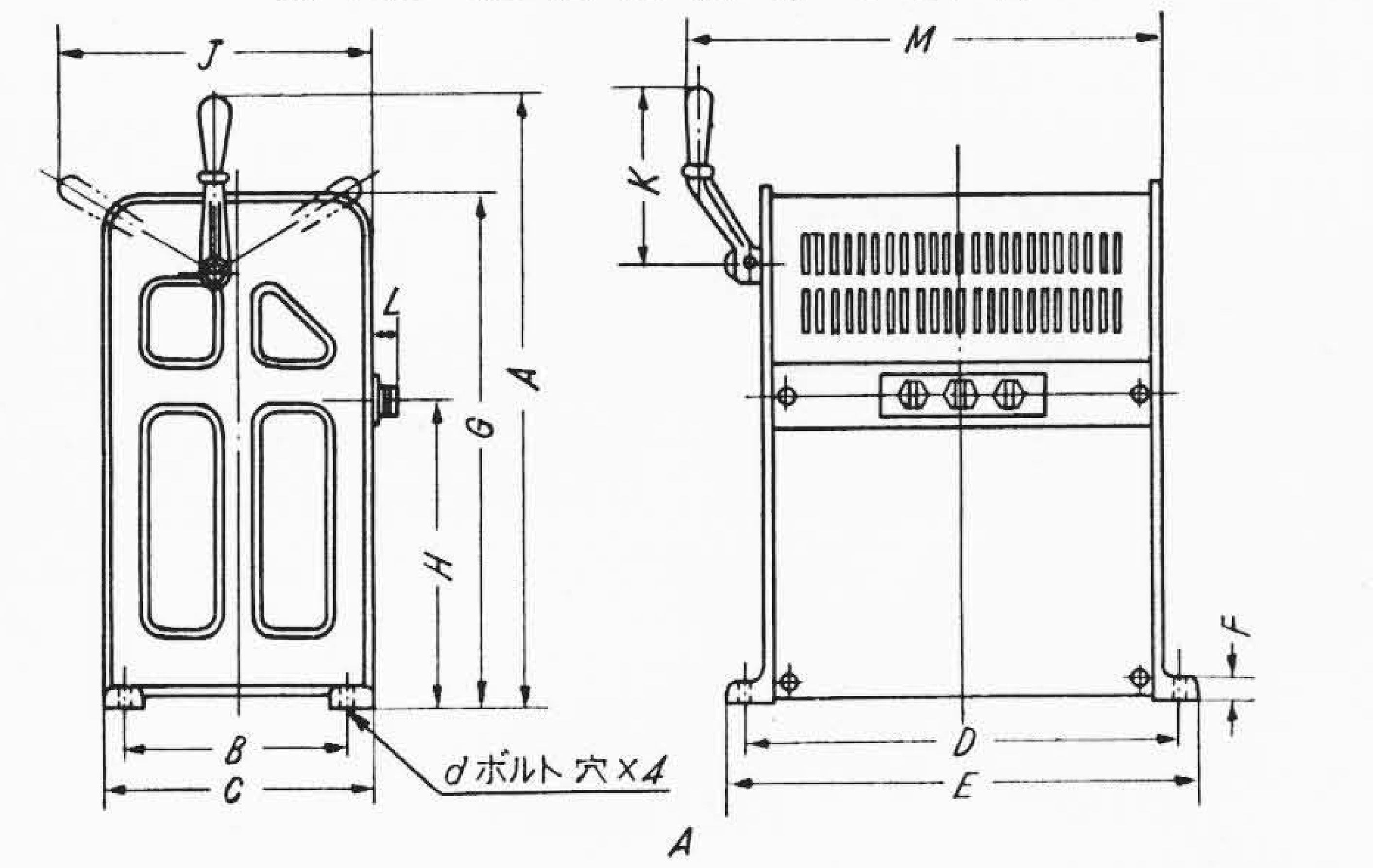
試験結果は，いずれの場合も約拾万回の短絡装置の開閉動作を行ったのちも各しゅう動部分の摩耗はごく軽微で，さらに開閉動作を



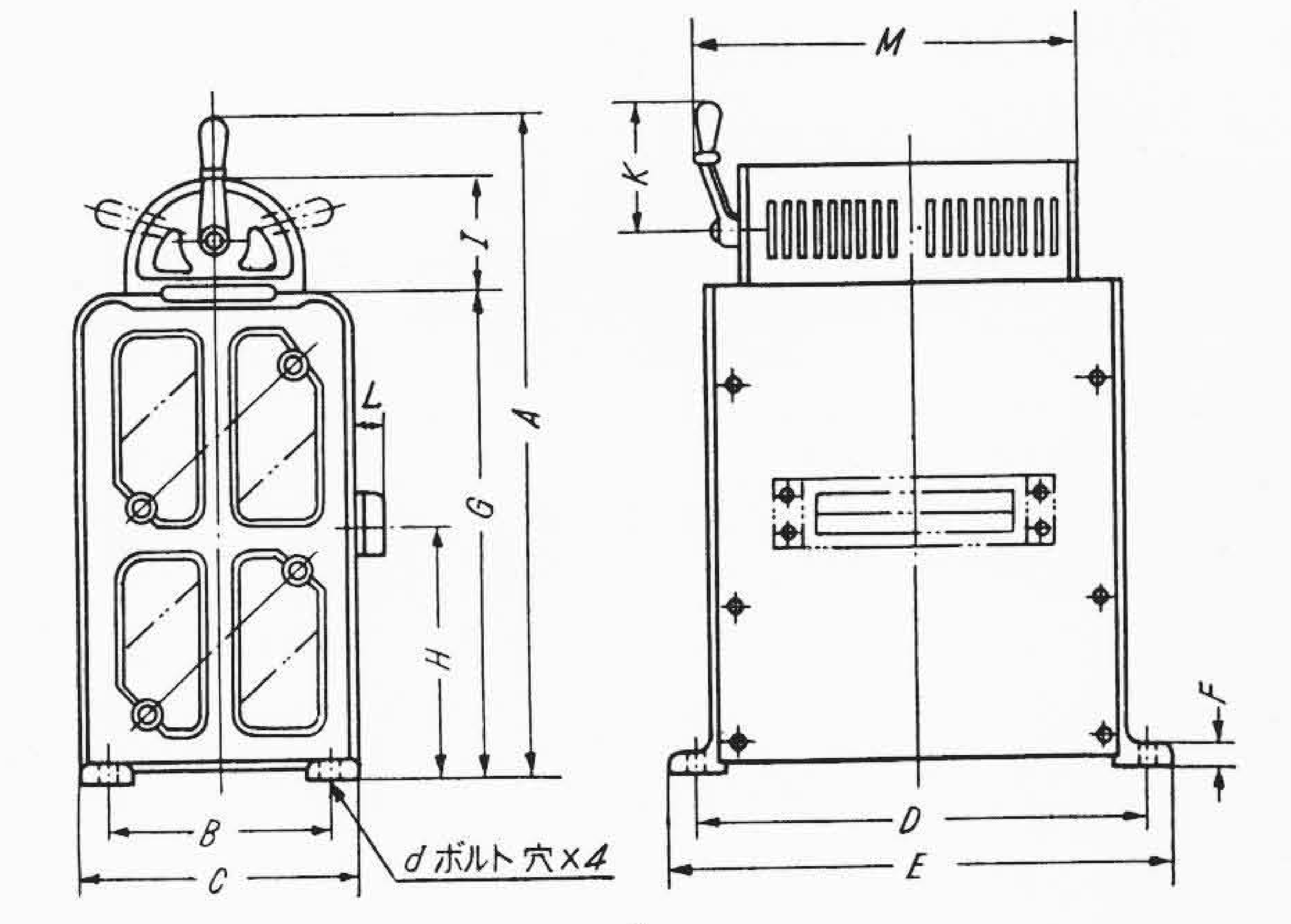
D.C.B：油入遮断器　　L.T.C：低電圧引外線輪
F：ヒューズ　　A：電流計
P.T：電圧変成器　　P.L：パイロットランプ
C.T：変流器　　AU.S：補助開閉器
D.T.C：過電流引外し線輪

第8図　電動機，起動抵抗器および配電盤の結線図の一例

第4表　起動抵抗器寸法表



A



B

使用モートル		形式		寸法 (mm)													
容量(kW)	電圧(V)			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	b
15-22	200	A-G	図A	510	160	200	320	360	15	410	230	—	230	175	20	355	W½
37	200	A-GI	図A	510	160	200	620	660	15	410	230	—	230	175	45	655	W½
37	3,000/3,300	A-GI	図A	510	160	200	620	660	15	410	230	—	230	175	45	655	W½
55-75	3,000/3,300	AG-I	図B	870	295	355	580	640	23	640	380	145	—	160	45	490	W½

継続しても差つかえない状態で，電気的にも機械的にも十分なる信頼度を示すものであった。

5. 起動抵抗器

起動抵抗器は巻線形電動機の起動特性を左右するもので重要なものであるが，本電動機に使用する起動抵抗器は短絡段数を増し，かつ制御器を小形にするため不平衡短絡方式を採用し，しかも起動電流，起動トルクはほぼ定格電流，定格トルクになるよう設計され，特殊鋳鉄製グリッドを堅固に組立てたうえ鉄板で保護してある。

また接触部は日立独特のドラム形で長年月の使用に耐えるばかりでなく，接触子の摩耗したときは取付けを反転して新しい接触をうる便利な構造となっている。

第8図はこの起動抵抗器と電動機および配電盤の結線を示し，第4表は寸法を示す。

6. 結　　言

以上巻線形電動機について，進歩した新材料を活用するとともに設計，製作技術を結集して電動機の品質，寿命を向上し小形軽量化したことがらについて述べたが，電動機に対する要求は年々高度になる傾向があり，また使用材料の進歩発達もとどまるところを知らない状況である。

この間にあってわれわれは今後ますます新材料の合理的使用，冷却法の改善研究を行って電動機の諸特性向上のため努力を重ね，需要家各位のご要望にこたえたいと考えている。

参　考　文　献

(1)　園山，野崎：日立評論別冊 22，19（昭 33-2）

新案の紹介

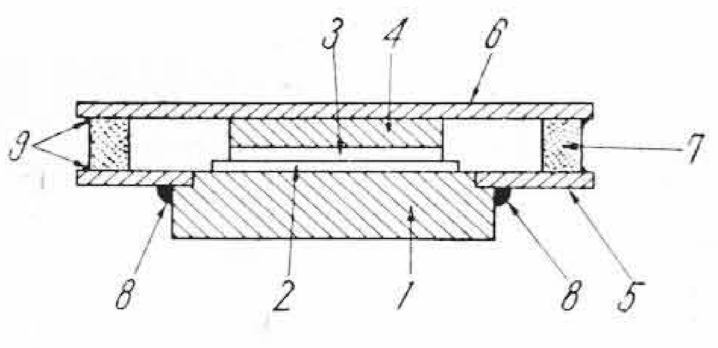
登録新案第518034号

小川卓三・中戸川武

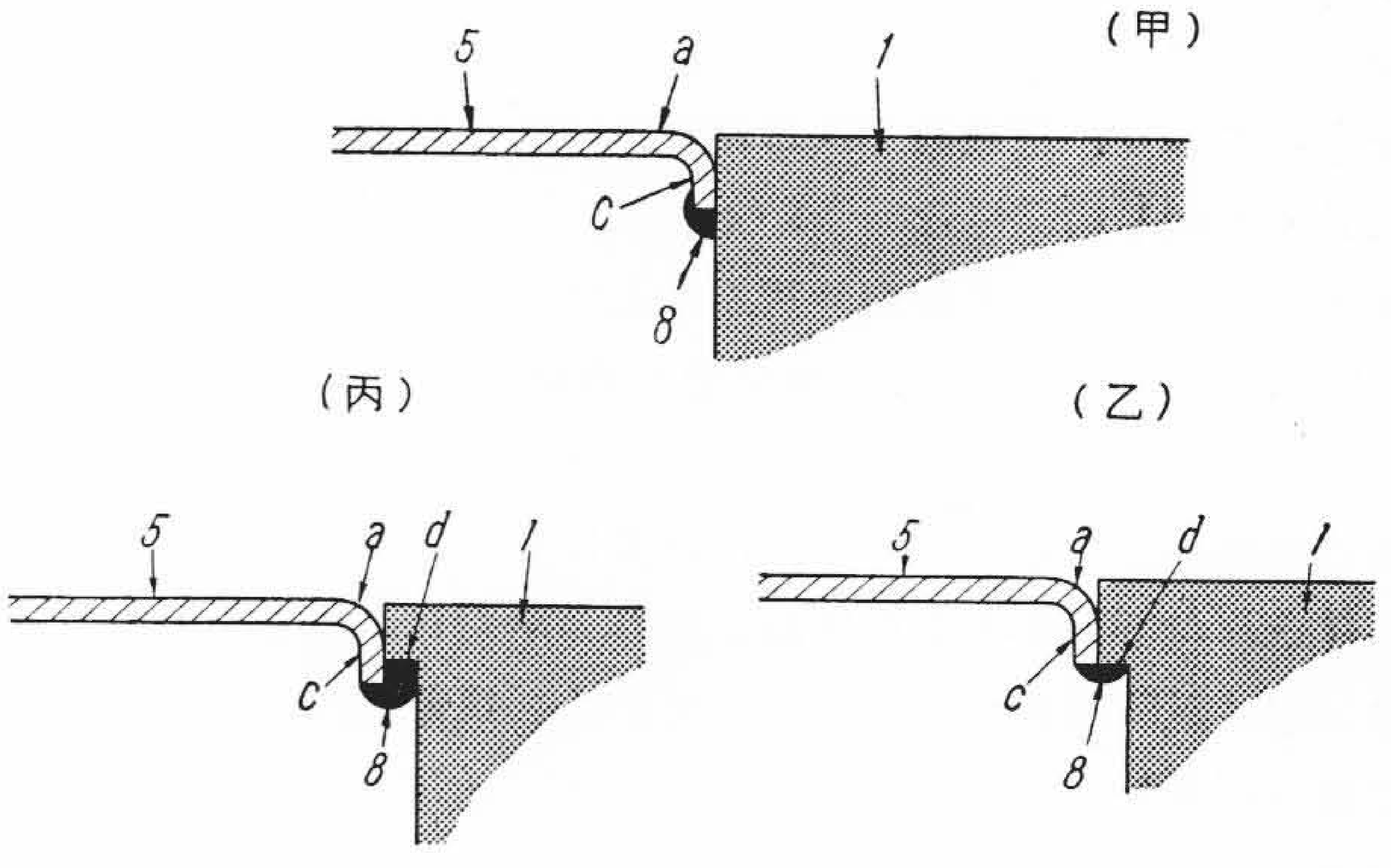
半導体整流器素体

一般にみられる半導体整流器素体を断面にすると**第1図**のとおりである。すなわち1は基礎の銅電極，2はシリコン片，3はアルミニウム，4は上部電極板で互に積重される。5は電極1のつば金，6は蓋板でファーニコよりなり，環状がい子7をはさんで，2，3，4を収納する。はじめ2と3が1上に加熱接着されるが，それより以前に加熱温度の関係から1に対してつば金5が高温でろう着される。それから7か5の周辺にのせられ半田9によって接着される順序となる。ところでこの半田接着であるが，もしも5の面上に少しでも(0.2 mm 以下)凸凹があると7をのせたところに隙間が生ずることになり，封緘作業は困難をきわめるものである。組立作業の順序が上記のとおりであるために，つば金5には8のろう着作業があらかじめ行われる際に銅とファーニコ(5の材質)の熱膨脹の関係から相当のゆがみが生じ，5の表面凹凸は上記の 0.2mm をこえるものが多いのが実状であった。

この考案は8のろう着に際し，つば金5の表面に生ずる凹凸ひずみをなくして組立作業を容易にするもので，**第2図**甲，乙，丙に示すとおりファーニコつば金5の内周aをCのように折り曲げて銅電極の外周にかん合し，両者相互のかん合部分を8に示すようにろう着したものである。図の甲は空気中でバーナーを用いて行う場合に採用され，乙，丙はいくつかのものを炉中(空気または不活性気中)でろう着を行う場合に段部dをろう環をのせる部分として利用するのに便利であり，そこにろう環をのせて炉中で接着を行うのである。このようにすれば，8のろう着に際して高温が与えられてもつば金5に生ずる凹凸ひずみは折曲げCにおいて吸収され，仕上り面のひずみを著しく軽減しうることが認められた。すなわち凹凸ひずみ箇所の数を著しく減じ，かつ凹凸も 0.2mm 以下にすることができ，5と7との密着作業を容易にすることができた。（宮崎）



第 1 図



第 2 図