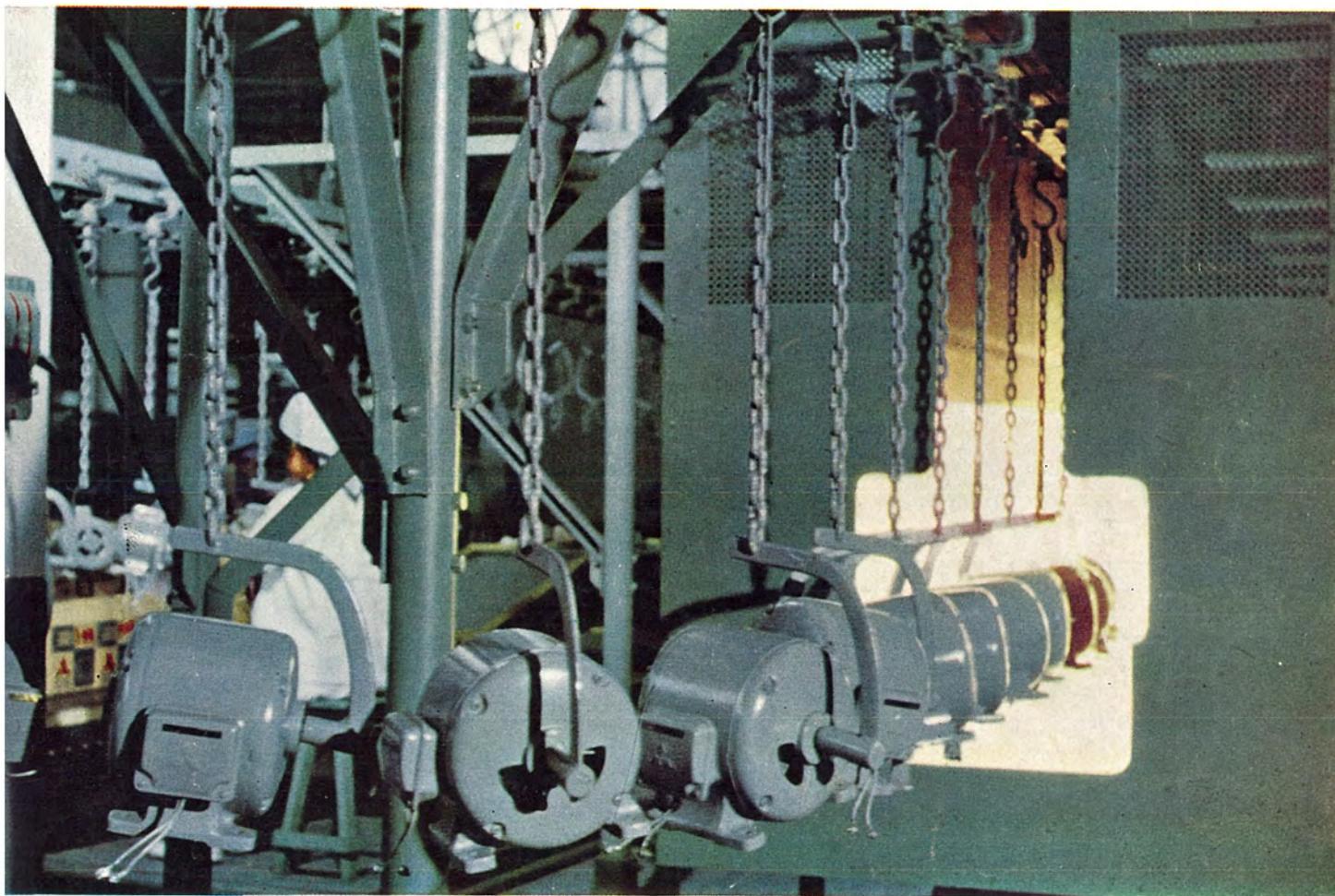


MITSUBISHI DENKI

三菱電機

誘導電動機特集



モートル工場の赤外線乾燥炉

11

VOL 32 1958

新しい分野(IBM)に活躍する

三菱FK形 小形回転機

DC 115V
60 W Motor



DC 115V 400 W
and 200 W Motor



DC 115V
750 W Motor



DC 115 V → DC 42 V
250 W M-G



最近、各所で業務能率向上のため多数の IBM が使用されるようになった。これに三菱 FK 形小形直流機が多く使用され、事務・計算などの自動化に貢献している。FK 形直流機は NEMA 寸法を基準としたもので、IBM 用として最適であるだけでなく、他の用途にも推奨できるものである。

FK 形直流電動機

DC 115 V 60 W 200 W 400 W および
750 W

直流電動発電機

DC 115 V を DC 42 V に変換する出力 250 W の電動発電機であって、FK 形直流電動機と直流発電機とをタンデムに組合わせたものである。

逆用回転変流機

直流を交流に変換する出力 250 VA の逆用回転変流機であって、直流入力 115 V に対し交流出力 115 V を補助機器を用いることなく特殊巻線方式によって得ている。

(特許出願中)

特 長

- スマートでコンパクトな外観
- 完全な保護形式
- 軸受はシールドボールベアリングを使用しているため、長期間の無給油運転が可能
- 電線は PVF 線、絶縁はマイラを使用しているため、絶縁耐力が強く、その寿命が長い
- ブラシ保持器は取扱い簡便で、確実に動作する箱形 (Cartridge type)
- 60 W モータは防振支持形であるから振動絶縁が完全

DC 115 → AC 115
250 VA 逆用回転変流機



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

当社名古屋製作所内に昨春完成した最新式モートル工場の内部です。

この新工場は斯界でも話題のもので小形モートルを専門に生産していますが、この工場の特長はなんといってもコンベヤーシステムで、そのうちトロリーコンベヤは延べ 700 m に達し、これにスラットやベルトコンベヤを合わせると延べ 1,000 m 近くになります。モートルを始めから終りまで全部流れ作業で生産しているわが国で初めてのモートルオートメーション工場であります。

写真は組立試験を終ったモートルが、静電塗装を終り赤外線乾燥炉にはいり美しくお化粧されているところです。

三菱電機株式會社

本社 東京都千代田区丸の内（東京ビル）
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
大船工場 大船工場
世田谷工場 世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市字境橋町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
福山工場 福山市沖野上
中津川工場 岐阜県中津川市駒場
和歌山工場 和歌山市岡町
福岡工場 福岡市今宿青木
静岡工場 静岡市小鹿 110
家庭電器工場 名古屋市東区矢田町
無線機製作所 東京工場
札幌修理工場 札幌市北二条東 12
大阪營業所 大阪市北区堂島北町 8番地 1
(電) 大阪(34) 代表 5251
名古屋營業所 名古屋市中区広小路通
(電) 本局(23) 代表 6231
福岡營業所 福岡市渡辺通リ 2丁目(電気
ビル内)(電) 福岡(2) 代表 6031
札幌營業所 札幌市大通リ西1丁目(大通
ビル)(電) 札幌(2) 代表 7236
仙台營業所 仙台市東一番丁 63
(電) 仙台(2) 代表 6101
富山營業所 富山市安住町 23 の 2
(電) 富山 4692・5273・2550
広島營業所 広島市葵町 6(富国生命ビル)
(電) 中(2) 2211
高松營業所 高松市寿町 1丁目 4(第一生命
ビル)(電) ビル代表 2-5021
直通代表 2-4416
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目(五十鈴
ビル)(電) 小倉(5) 8234

昭和 33 年 第 32 卷 第 11 号

（誘導電動機特集）

目次

卷頭言	常務取締役 弘田実福	3
電動機小形化の問題点と各国の現状	関野 博	4
電動機の容量と電源電圧の問題	宗村 平	20
電力系統における誘導機の過渡現象	馬場準一	24
誘導電動機の起動時における諸問題	甘粕忠男・秋吉俊男・八木 勝	31
誘導電動機の最近の絶縁	伊藤昭八郎	43
誘導電動機の振動と騒音	米野俊彦・鈴木文夫・臼田長一・佐藤良雄	47
電動機の運転と保守	藤原辰二	63
スーパーライン A モートル	関野 博・小野勝啓	75
最近の大形誘導電動機	片山仁八郎・田中義孝・高原洋介	88
単相モートルにおける諸問題	梶谷定之	95
誘導電動機応用品	安松靖彦・中野大典・新良由幸・稻垣武次	107
誘導電動機の制御器	篠崎善助	120

技術解説

火力発電シリーズ：メタルクラッド配電盤(1)	128
電気機器における絶縁方式の進歩(2)	森田義男・原 仁吾 132

W社文献抄訳

F/A 形電動機・レクティフロウ駆動機・液体中で使用する電動機・トランジス タライズされたレーダ指示機	143
--	-----

ニュースフラッシュ

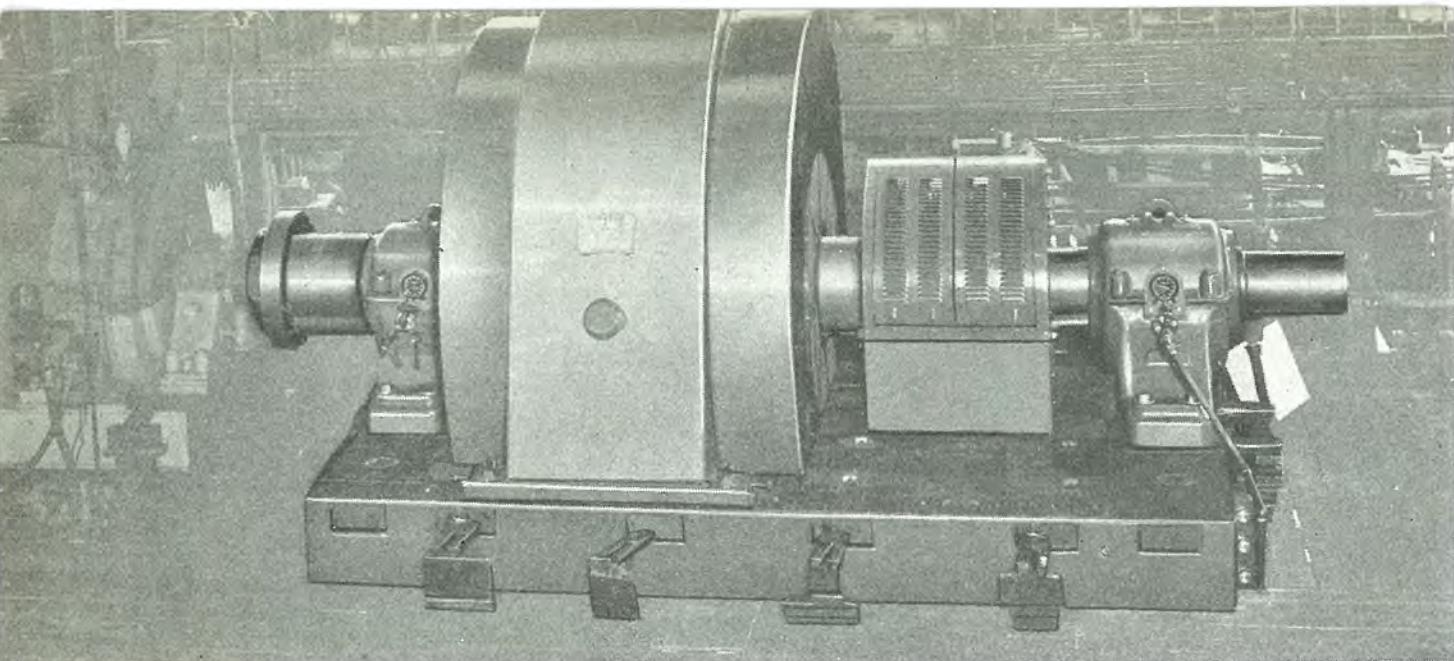
タービン発電機について竣工検査終る・日本最初の大電流用シリコン整流器完成・電源開発田子倉発電所納 300 kV, 12,000 MVA 鋼油タンク形しゃ断器組立・2,000 kVA 外鉄形変圧器の短絡電流による破壊試験・日本で初めての固体用二重収斂質量分析器完成・こわれないがいし	145
--	-----

特許と新案

(新) 電気ストーブ (新) 発熱体	148
--------------------	-----

次号予定

127



組立試験中の 6,700 kW (9,000 HP) 誘導電動機

八幡製鉄納入 6,700 kW (9,000 HP) 誘導電動機

当社が昭和 31 年に八幡製鉄に納入した 6,700 kW (9,000 HP) 誘導電動機は、イルグナ装置用として本邦最大を誇るものである。この電動機の両側には 2,250 kW 直流発電機 4 台、1,250 kW 直流発電機 1 台、GD² 440 TM² の蓄勢輪 1 個が直結され 37 kW (50 HP) の始動装置を備えている。

この電動機のおもな定格および特長は次のとおりである。

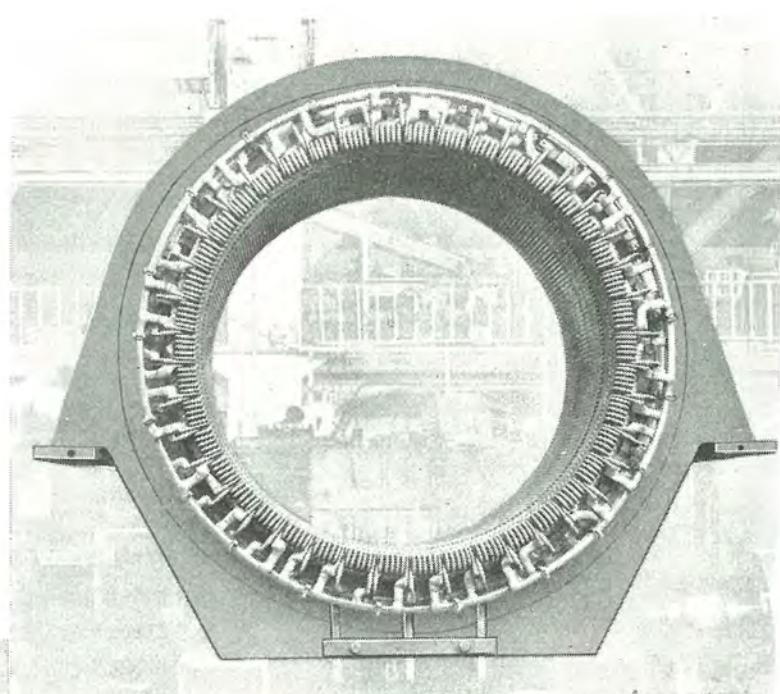
定 格

出力 6,700 kW (9,000 HP), 電圧 6,300 V, 周波数 60 c/s, 極数 14, 回転数 514 rpm

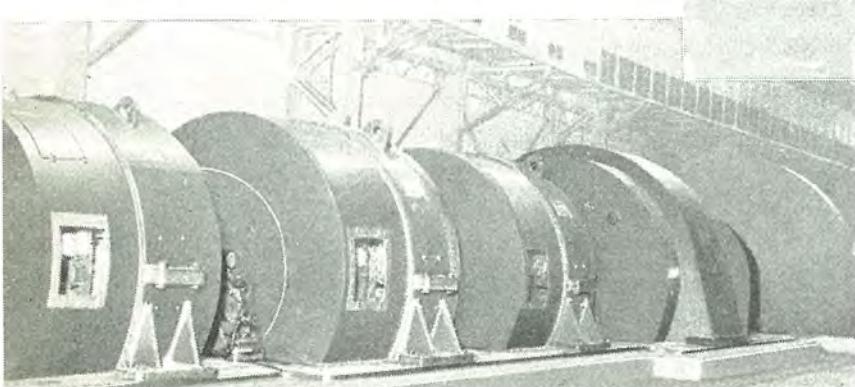
形式 卷線形回転子, ペデスタル軸受付, 閉鎖風道換気他力通風形

特 長

- ①絶縁方式は当社の誇るダイヤラスチック絶縁（完全 B 種）を採用し、しかも定格負荷温度上昇を 50 °C 以内に押えている。
- ②固定子コイルを 1 ターコンコイルとしターン間の信頼度をとくに大きくしている。
- ③固定子鉄心には T 級、回転子にはとくに機械的強度の大きい D 級ケイ素鋼板を厳選の上使用している。
- ④通風方式は電機室入口に自動空気済過装置を設けて空気調節をおこない、室内より吸気して室外に排気するいわゆるダウンドロフト方式を採用している。



固定子組立完了直後の 6,700 kW (9,000 HP) 誘導電動機



運転中のイルグナ電動発電機

卷頭言

常務取締役 弘田実喜



モートルといえば誘導電動機のことであると思われるほど、誘導電動機は一般によく普及した電動機である。その構造が簡単がんじょうで、取扱いが容易、しかも価格は低廉で、今日一般に行渡っている交流配電方式の下ではどこででも使用できる、などの特長をもっているからである。

しかしこの誘導電動機も一朝一夕に完成されたものではなく、長い歴史と多くの先輩学者や技術者の不斷の研究努力の結果である。誘導電動機の原理や初期の形態に関する発明は、1888年ごろイタリーの Galileo Ferraris やハンガリー生れでニューヨーク在住の Nikola Tesla などによって、発表されたといわれている。現在当社が技術提携をしている米国ウエスチングハウス社は、当時いち早くこれの将来性を認めてその特許権を入手し、爾来その研究改良とこれを使用するに都合のよい交流方式の発展に、先頭に立って努力し多大の貢献をなしている。今日の誘導電動機は、容量においては単機数万馬力のものもあり、その内容は材料、設計、工作などあらゆる面で非常な進歩をなし、20年前のものに比べると、外形寸法は半減し、しかも特性はいちじるしく改善されている。

誘導電動機の構成は、大別して導体、磁気鉄板、絶縁、構造材料である。導体に銅を使用することは昔と変りなくほとんど進歩が見られないが、磁気鉄板は導磁率および鉄損の点で非常に改良され、絶縁は合性樹脂系新材料の使用によって、絶縁耐

力と寿命が格段に増大し、構造材料も材質と工作方法の改善によって、材料が節約されしかも強度は増大している。また軸受は密封玉軸受などの新形が考案され、通風冷却方式も大いに研究改善された。かくて最近の誘導電動機は、軽量小形化と同時に品質も改善され、ますます保守に手がいらないようになった。

誘導電動機の唯一の欠点は、定速度電動機であって、速度制御を必要とする特別の場合には、不便なことであった。しかしこの点に関しても、最近は特殊の継手を使用するとか、あるいは特殊の制御方式を採用することによって、ある程度目的が達せられるようになった。

当社は創業とともに誘導電動機の製造を始め、ウエスチングハウス社と技術提携をするや、その先進の技術を導入して優秀な製品の製造に努力してきたのであるが、戦後さらに新しい技術の導入と研究努力によって、前に述べたような世界的に遜色のない優秀な製品を、最新の近代的工場設備と工作法によって、多数生産を続けている。

ここに誘導電動機特集号を発刊して、当社の最近の技術と新製品を紹介し、諸賢のいっそうのご愛用をお願する次第である。なお、いうまでもなく電動機は、各種構成材料の総合製品であるから、ひとり電機製造者だけの努力では、製品の進歩は期待できない。今日の新製品の完成について、材料製造者諸賢のご援助を謝するとともに、今後いっそうのご支援をお願するものである。

電動機小形化の問題点と各国の現状

名古屋製作所 関 野 博*

Problems of Smaller Size Motors and Their Worldwide Status

Nagoya Works Hiroshi SEKINO

Manufactures of motors in Japan have been anxious to know how their products are compared with foreign makes of equal capacity. Through the good office of the government eighty five motors have been imported from Europe and America to make thorough studies on them. The results have disclosed that Japanese motors can be turned into smaller if they are permitted to be the same power factor and temperature as theirs. High efficiency, high power factor and low temperature rise are marked features of Japanese motors, which, however, makes them a little disadvantageous in price competition.

1. まえがき

近ごろ、電動機の宣伝広告のキャッチフレーズに「世界最高水準を行く」とか、「世界水準をぬく」とか、そういう言葉が盛んに使われるようになった。たとえ宣伝文句であるにせよ、まことに強い心臓になったもので、心強いかぎりである。ところで、実際に日本製品が、欧米製品に比べ品質の点で果してどの程度の水準に達しているのか、宣伝文句にいつわりはないものか、知りたいのは需要家の方々ばかりでなく、われわれモータメーカーも同様である。そういう訳でといより、輸出不振のおりから、日本製品の品質、コストが欧米製品のそれらに比較してどの程度の水準にあるのか、電動機の品質標準を規程している JIS 規格の改正は必要かどうか、これらを調査する目的で通産省の援助の下に日本電機工業会では、欧米の汎用誘導電動機 85 台を輸入し、その調査を行った。本文では、日本電機工業会の許しを得て、調査結果の概要を紹介するとともに、今後日本の電動機の進むべき方向について所見の一端を述べることにする。

2. 欧米電動機の調査結果の概要

2.1 調査機関の設置

表 2.1 外国電動機調査機種および調査担当会社

国名	会社名	3/4 1 HP			3/4 5 HP			3/4 15 HP			1/2 1 HP			3/4 3 HP			1/2 3 HP		
		開放形	全閉外扇形	4P	4P	6P	4P	6P	4P	6P	4P	6P	4P	6P	4P	6P	4P	6P	
米国	Westinghouse Electric Corporation	三菱	安川	三菱	安川	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	
	Electro Dynamic D. of G. D. Co.	松下	明電	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	安川	
	General Electric Company	東芝	安川	東芝	安川	安川	東芝	安川	東芝	安川	東芝	安川	東芝	安川	東芝	安川	東芝	安川	
	Allis-Chalmers Manufacturing Co.	日立	富士	神鋼	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
	Fairbanks-Morse Company	神鋼	日立	松下	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	安川	三菱	
	Century Electric Company	富士	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
	Wagner Electric Company	富士	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
英	The English Electric Company	下村	明電	三菱	日立	安川	西芝	日立	安川	西芝	日立	安川	西芝	日立	安川	西芝	日立	安川	
	Brooke Motors Limited	東芝	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
	Metropolitan Vickers E. Co.	富士	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
イタリア	Allgemeine Elektricitäts G.	東芝	日立	富士	三菱	安川	神鋼	東芝	明電	西芝	東芝	明電	東芝	明電	東芝	明電	東芝	明電	
	Siemens-Schuckertwerke A.	富士	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
	Ercole Marelli & Co.	安川	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
スイス	Oerlikon Engineering Co.	西芝	松下	神鋼	東芝	明電	富士	西芝	安川	三菱	富士	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	
	Brown Boveri Company	三菱	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	日立	

欧米電動機の調査機関として、日本電機工業会内に 1955 年 9 月、電動機研究委員会を組織し、調査機種の選定、輸入、調査を行い、1958 年 2 月調査報告書を作成した。

電動機研究委員会の委員ならびに所属会社は次のとおりである。

委員長	高橋 幸人 (明電舎)
副委員長	守田 正 (安川電機)
委員	足立 良夫 (富士電機)
"	関野 博 (三菱電機)
"	西尾 又一 (神鋼電機)
"	松井 康彦 (日立製作所)
"	笠原 昌次 (東京芝浦電気)
"	石塚 資人 (松下電器産業)
"	浅井 光枝 (東洋電機製造)
"	波多野 裕 (西芝電機)
"	相沢 賢太郎 (下村電友会)
幹事	松谷 繁雄 (日本電機工業会)
"	吉田 益三 (日本電機工業会)
顧問	坂上国三郎 (通商産業省重工業局)

1956 年 3 月退任

1956 年 5 月就任

調査機種ならびに調査担当会社名

表 2.1 に示す。

2.2 調査結果の概要

輸入品についての外形寸法ならびに重量の調査結果を表 2.2 から 2.9 に、特性、温度上昇については表 2.10 から 2.17 に示す。

電機工業会の報告書では調査結果の概要について、次のように述べている。

(1) 寸法および重量

米国製品は、1953 年に発表された小形化さ

表 2.2 外国電動機の外形寸法ならびに重量
開放形 1 HP 四極

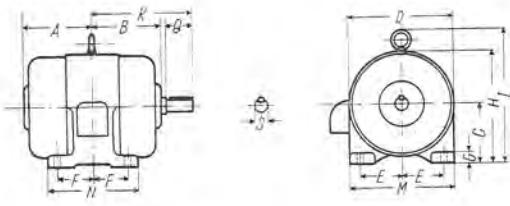


表 2.3 外国電動機の外形寸法ならびに重量
開放形 1 HP 六極

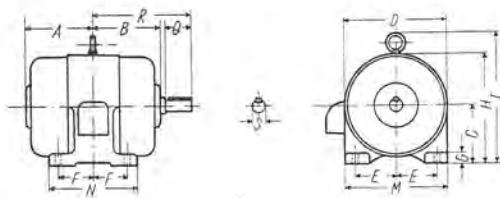


表 2.4 外国電動機の外形寸法ならびに重量
開放形 5 HP 四極

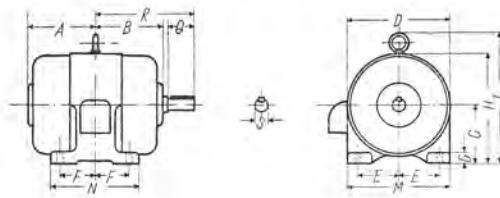


表 2.5 外国電動機の外形寸法ならびに重量
開放形 5 HP 六極

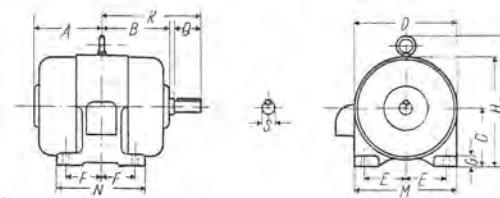


表 2.6 外国電動機の外形寸法ならびに重量
全閉外扇形 5 HP 四極

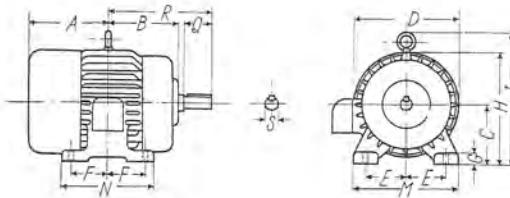


表 2.2 外国電動機の外形寸法ならびに重量 開放形 1 HP 四極																		
単位: mm																		
メーカー名	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	$C^2(R-Q) \times 10^{-3}$	重量 (kg)	適合 機種	
Westing House	8.1/4	127	125.4	114.3	225.4	95.3	57.2	14.3	(227)	225.4	146.1	184.2	22.2	57.2	127.0	1,660	25.6	三相
Electro Dynamic	*	124	121	114	226	96	57	17	276	224	137	185	22.2	57	127.0	1,650	25.3	単相
Allis Chalmers	*	121.8	120.8	114.3	225.4	95.3	57.2	15.9	(228.6)	228.6	158.8	184.1	22.2	57.2	128.9	1,660	27.0	立
Fair Banks	*	124.5	121.0	114	226	95	57	12.7	—	229.5	139.5	185.5	32.2	57.4	128.1	1,670	31.0	神
Century	*	127	184.2	114.3	216	95.3	57.2	7.14	(219)	226.6	146	184.2	22.2	57.2	127.0	1,660	21.0	富士
English Electric	英 (1)	—	—	114.3	254	95.3	57.2	11.11	(228.6)	222.3	146	184.2	22.2	57.2	127.0	1,660	31.5	下
Brook	*	128.5	128.5	123.7	235	101.75	68.3	15	(241)	215.4	168.5	196.5	75.4	60	128.5	1,965	31.0	東芝
A. E. G. (1)	ドイツ	140	113	105	182	80	45	17	(156)	197	130	160	18	30	120.0	1,320	17.7	*
Siemens (1)	*	130	120	108	186	80	55	20	(200)	200	145	170	18	40	130	1,445	16.0	富士
Marelli	イタリア	103	105	95	192	78	61	14	(181)	185	148	169	18	50	110	990	12.7	安川
Oerlikon	スイス	142	149	90	175	70	74	14	(177.5)	172	178	186	16	40	146	1,180	20.3	西芝
B. B. C. (1)	*	130	128	99.7	230	85	42.5	20	(214)	204	114	183	19	50	133	1,310	23.2	三相

※ 表中、数字を括弧してあるものは、アイボルトなしの電動機のため、H寸法を示す

注 (1) 定格出力は 0.8 kW

(2) " 0.8 kW

(3) " 1.5 HP

単位: mm

表 2.3 外国電動機の外形寸法ならびに重量 開放形 1 HP 六極																		
単位: mm																		
メーカー名	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	$C^2(R-Q) \times 10^{-3}$	重量 (kg)	適合 機種	
G. E.	米 (1)	136.5	135.8	114.3	221	95.3	69.9	13.9	(225.5)	221	169.8	197.5	22.2	57.2	149.3	1,835	29	東芝
Electro Dynamic	*	136.5	136.5	114.3	225.4	95.3	69.9	15.9	274.6	222.3	177.8	196.9	22.2	57.1	139.8	1,835	28.6	明電
Allis Chalmers	*	136.5	136.5	114.3	228.6	95.3	69.9	15.9	(223.4)	228.6	184.2	195.9	22.2	57.2	138.7	1,838	32	富士
Century	*	136.5	136.5	114.3	214.3	95.3	69.9	7.14	(211.5)	225.4	171.5	196.9	22.2	57.2	138.7	1,828	24.8	平電
English Electric	英 (1)	142.2	196.9	114.3	254	95.3	69.9	15.1	(228.6)	222.3	171.5	196.9	22.2	57.2	139.7	1,828	33.5	明電
Brook	*	146.5	142.8	123.8	234.9	101.6	76.2	19.0	—	241.3	187.3	209.5	25.4	—	—	—	20.5	日立
A. E. G. (1)	ドイツ	144.5	155.5	106	180	80	55	18	(197)	200	150	177.5	18.0	40	132.5	1,485	20.8	*
Oerlikon (1)	スイス	157	141	107	201	81.5	82	15	(199)	197	198	210	19	50	160	1,832	27	松下

※ 表中、数字を括弧してあるものは、アイボルトなしの電動機のため、H寸法を示す

注 (1) 定格出力は 0.8 kW

(2) " 1.2 HP

単位: mm

表 2.4 外国電動機の外形寸法ならびに重量 開放形 5 HP 四極																		
単位: mm																		
メーカー名	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	$C^2(R-Q) \times 10^{-3}$	重量 (kg)	適合 機種	
Westing House	171.5	169.9	133.4	262.7	108	88.9	15.9	(265.1)	263.5	215.9	254	28.6	76.2	177.8	3.170	51.5	三相	
Electro Dynamic	*	173	173	133.3	—	—	88.9	15.9	307.8	—	225.4	234	28.6	76.2	177.8	3.170	53.8	単相
Allis Chalmers	*	177.8	171.4	133.5	266.7	107.9	88.9	19.05	(285.7)	266.7	228.6	254	28.6	75.2	177.8	3.170	69.5	神
Fair Banks	*	173	173	133.3	260.4	106.4	87.3	15	(282)	261	212	256.8	28.8	77	173.8	3.100	56.5	日立
English Electric	英 (1)	216	176	113	297	108	88.9	12	(313.5)	252	215	255	28.6	76.2	178.8	2,290	62.7	三相
Brook	*	183.5	183.5	158.8	308	120.2	88.9	25.4	(364.4)	311.1	227.8	249.3	31.7	—	—	—	66.7	日立
A. E. G. (1)	ドイツ	186	—	150	267	110	100	23	328	280	260	237	38	60	177	3,990	48	富士
Siemens (1)	*	174	—	132	250	105	85	22	310	295	210	240	25	65	175	3,040	46.5	*
Marelli	イタリア	158	157	132	257	107.5	105	20	(265)	264	246	242	28	75	167	2,900	36.5	松下
Oerlikon	スイス	207	204.5	141.5	272	103.9	20	—	272.5	256	266.5	28	60	205.5	4,130	63.5	神	
B. B. C. (1)	*	166	—	120	275	115	62.5	24	—	270	163	239	28	60	169	2,440	48	富士

※ 表中、数字を括弧してあるものは、アイボルトなしの電動機のため、H寸法を示す

注 (1) 定格出力は 4 kW

(2) " 4 kW

(3) " 7 HP

単位: mm

表 2.5 外国電動機の外形寸法ならびに重量 開放形 5 HP 六極																			
単位: mm																			
メーカー名	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	$C^2(R-Q) \times 10^{-3}$	重量 (kg)	適合 機種		
G. E.	米 (1)	207	207	134.8	316	127	101.8	16.6	(316.7)	317.5	273.1	308	31.9	95.3	212.7	5,360	81	東芝	
Electro Dynamic	*	236	296.3	299.6	158.7	127	104.7	20.6	368.2	314.1	260.3	307.9	34.9	95.2	212.7	5,360	79	安川	
English Electric	英 (1)	236.5	293.5	137.1	114.3	260.7	104.7	18.9	(285.7)	266.7	228.6	254	28.6	75.2	177.8	5,360	99.5	西芝	
Brook	*	181	181	181	315.5	146	95.3	39	373.8	304.8	257.2	308.1	34.9	95.3	212.8	6,230	136.5	西芝	
A. E. G. (1)	ドイツ	194	172	150	266	110	115	26	328	282	287	251	28	60	191	4,300	57	三相	
Oerlikon (1)	スイス	232	237	165	321	130	113	22	337	302	254	280	215	32	80	156	3,710	92.5	東芝

※ 表中、数字を括弧してあるものは、アイボルトなしの電動機のため、H寸法を示す

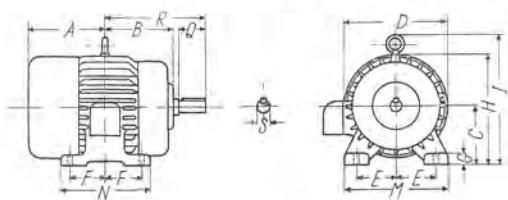
注 (1) 定格出力は 4 kW

(2) " 4 kW

(3) 定格出

表 2.7 外国電動機の外形寸法ならびに重量 全閉外扇形 5 HP 六極

単位: mm

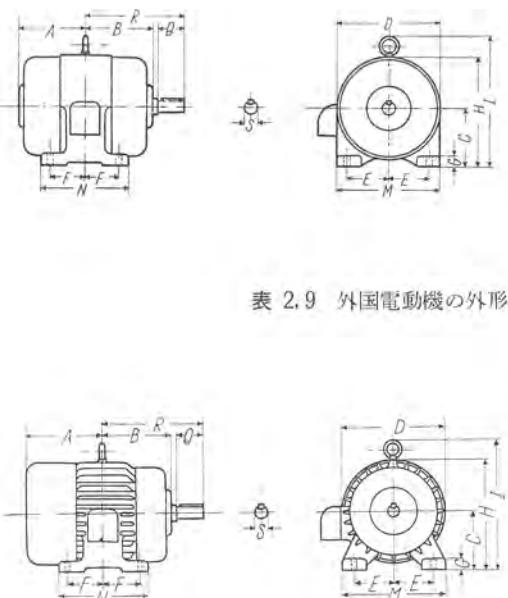


メーカ名	品名	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	C ² (R-Q)	重量 (kg)	調査 会社
Electric Dynamic	米国	276.2	209.56	158.76	317.5	127	104.8	—	377.6	344.3	254	308	34.93	95.25	212.75	5,360	90.5	下村
Allis Chalmers	米国	228.6	307.97	158.75	349.25	127	104.8	—	397.5	260.4	308	284.10	95.25	212.75	5,360	100	明誠	
English Electric	英	257.2	209.5	158.75	312	127	104.8	17.5	352.4	306.4	255.6	311.2	31.75	95.25	215.9	5,430	98	西芝
Brook	米国	275	207	158.75	—	127	104.8	16	390	318	260.35	309	28.5	93	216	5,445	100	明誠
A. E. G. ⁽¹⁾	ドイツ	207.5	173.5	150	—	109.5	114.5	24	—	280	302	249.5	28	60	189.5	4,270	65	神鋼
Oerlikon ⁽²⁾	スイス	232	—	181.5	356	130	113	24	424.5	312	281	313	32	80	233	7,690	104	富士

注 (1) 定格出力は 3.7 kW (2) 定格出力は 5.5 HP

表 2.8 外国電動機の外形寸法ならびに重量 開放形 15 HP 四極および六極

単位: mm

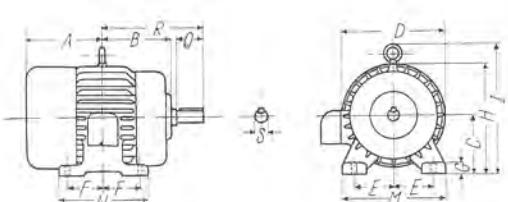


メーカ名	品名	寸数	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	C ² (R-Q)	重量 (kg)	調査 会社
Fair Banks	米国	245	240	177.5	355	140	121	19	400	350	280	267	41.3	124	243	7,600	145	三菱	
Wagner	米国	241	241	177.7	355	139.7	120.6	19.05	410	350	288.5	365	41.25	123.8	241.2	7,600	133	東芝	
English Electric	英	277.8	238	177.8	—	—	—	—	—	292	363.5	41.2	123.8	239.7	7,560	152.2	東芝		
Brook	米国	218	223	215.9	412	177.8	111.1	35.5	478	431.5	285	333	44.44	—	—	—	132.5	三菱	
A. E. G. ⁽¹⁾	ドイツ	213	213	179.6	350	132.5	140.75	33	416	362.8	366.5	318	38	80	238	7,670	123.5	東芝	
Marelli ⁽²⁾	イタリア	212	212	180	350	137.5	112.5	28	397	340	270	323	42	105	220	7,130	110	明誠	
Oerlikon ⁽³⁾	スイス	258.7	255.6	188.9	366.7	150.8	123.8	27	431.8	360.4	311.3	341.3	38.012	80.9	260.1	9,280	137	西芝	
B. B. C.	米国	221	250	169	325	119	132.3	16	390	356	320	334	38	80	254	7,250	105	安川	
Brook	米国	233.4	—	215.6	419	177.8	127	34.9	470	432	311.1	334.9	44.4	112.7	222.2	10,350	172.5	神鋼	
A. E. G. ⁽⁴⁾	ドイツ	240	240	212.73	412	157.16	139.7	30	505	495	377	374	44.45	109	265	11,970	167.5	明誠	
Oerlikon ⁽⁵⁾	スイス	208	272	194.5	416	170	149.5	18	493	411	354	400	42	110	290	10,980	183	安川	

注 (1) 定格出力は 11 kW (2) " 16 HP (3) " 17 HP (4) " 11 kW

表 2.9 外国電動機の外形寸法ならびに重量 全閉外扇形 15 HP 四極および六極

単位: mm



メーカ名	品名	寸数	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	C ² (R-Q)	重量 (kg)	調査 会社
Fair Banks	米国	251	241	177.7	358	139.7	120.6	19.1	401	396	279.4	364.8	41.255	123.8	241	7,600	158	西芝	
Wagner	米国	290	257	177.5	373	140	140	20	425	358	385	385	41.275	122	262	8,250	170	三菱	
English Electric	英	342.9	—	203.2	406.4	153.8	131.8	19.1	476.3	371	327	387.4	41.275	123.8	263.6	10,850	180	富士	
Brook	米国	355.5	286.0	203.1	415.5	158.7	133.3	19	463.5	393.6	339.7	390.5	41.27	152.3	238.2	9,820	190	安川	
A. E. G. ⁽¹⁾	ドイツ	251	210	180	354	132.5	140	30	401	333	365	310	38	80	230	7,450	122.5	西芝	
Marelli ⁽²⁾	イタリア	300	127	180	382.3	136.5	104.8	25.4	412.7	342.8	288.5	335	42	105	230	7,450	154	富士	
Oerlikon ⁽³⁾	スイス	255	250	190	410	150	125	25	450	370	310	335	38	80	255	9,310	176	三菱	
B. B. C. ⁽⁴⁾	米国	250	195	200	390	175	150	32	420	430	360	315	42	110	205	8,200	165	日立	
Brook	米国	374.5	277.5	203.2	415	158.7	152.5	19	461.5	396	378.5	427.5	47.6	142.5	285	11,740	203.2	松下	
A. E. G. ⁽⁵⁾	ドイツ	280	228	210	—	—	140	32	478	—	375	363	45	110	252	11,100	165.8	東芝	
Oerlikon ⁽⁶⁾	スイス	285	215	405	170	141	28	515	410	355	400	42	110	290	134,00	247	日立		

注 定格出力は下記のとおり

- (1) 10 kW (3) 15.5 HP (5) 10 kW
(2) 16 HP (4) 16 HP (6) 16.5 HP

表 2.10 外国電動機の特性 開放形 1 HP 四極

メーカ名	国名	定格出力 (HP)	極数	形 式	名 板	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全負荷特性			起動電流 (A)	起動トルク (%)	最大トルク (%)	温度上昇			調査 会社名				
								スベリ (%)	効率 (%)	力率 (%)				電流 (%)	トルク (%)	フレーム (抵抗値)	鉄心 (抵抗値)	ペアリング (負荷側)	負荷側 (反負荷側)		
JIS (1956)	日本	1	4	開放形		200	50/60	7.5	75.5	以上	3.6	以下	150	—	以下	50	以下	40	以下		
				全閉外扇形		200	50/60	7.5	75.5	以上	3.6	以上	150	—	以上	65	以下	40	以下		
Westing House	米国	1	4	開放形	220-440 V 40.2/3.4-1.7 A	220	50	3.7	71.0	54.3	5.07	22.6	305.5	394	280	40.5	24.0	—	18.5	15.0	三菱
Electro Dynamic	米国	1	4	開放形	220-440 V 4.2/3.6-2.1-1.8 A	220	60	4.0	80.0	68.7	3.51	19.97	267.5	360	271.5	19.5	10.5	—	9.0	8.0	三菱
Allis Chalmers	米国	1	4	開放形	220-440 V 60 c/s 3.54/1.77 A	220	60	4.00	76.0	65.9	3.91	20.3	260	357	264	36.7	14.4	14.1	8.5	—	日立
Fair Banks	米国	1	4	開放形	220-440 V 3.6-1.8 A	220	60	4.0	75.5	3.23	21.3	343	433	304	—	—	—	—	—	16	神鋼
Century	米国	1	4	開放形	208-220/440 V 50/60 c/s 3.7-3.4-1.7 A	208	60	4.53	84.2	77.8	3.18	18.7	263	340	255	21.5	10.0	—	7.5	6.5	富士
				全閉外扇形		220	60	4.50	82.6	73.5	3.25	19.9	299	375	281	22.0	11.5	—	8.5	7.5	富士
						220	50	5.18	79.8	61.3	4.07	21.1	365	410	276	33.0	15.5	—	10.5	9.5	富士
English Electric	英	1	4	開放形	380 V 50 c/s 1.85 A	380	50	6.4	78.7	72.3	1.99	7.58	170	256	188	25.0	17.0	17.0	12.0	16.0	下村
Brook	米国	1	4	開放形	400 V 50 c/s 1.75 A	400	50	5.74	79.2	75.5	1.802	8.49	230	279	203	24.0	10.5	—	3.5	14.0	東芝
A. E. G.	ドイツ	0.8 kW	4	開放形	220-380 V 50 c/s 3.5/2 A	220	60	8.67	78.6	72.8	3.67	13.28	173	229	165	48.2	25.0	—	23.0	14.5	西芝
Siemens	ドイツ	0.8 kW	4	開放形	220-380 V 50 c/s 3.5/2 A	220	60	8.42	80.15	77.6	3.38	11.7	134.5	201	156	—	—	—	20.5	13.5	富士
Marelli	イタリア	1	4	開放形	220-380 V 50 c/s 3.4/2.1-2.2 A	220	60	8.8	76.0	76.8	3.6	13.9	204	232	164	49.0	35.0	—	—	—	富士
						220	60	9.56	74.7	67.8	3.8	11.1	133	194.5	147	51.0	21.5	46.0	17.5	21.5	安川
Oerlikon	スイス	1	4	開放形	220-380 V 50 c/s 3.05/1.75 A	220	60	9.11	79.0	77.0	3.21	9.67	105.2	171.2	143	—	—	—	26.5	14.5	西芝
B. B. C.	スイス	1	4	開放形	220-380 V 50 c/s 5.3-4.6 A	200	50	10.4	7												

表 2.11 外国電動機の特性 開放形 1 HP 六極

メー カ名	国名	定格出力 (HP)	極数	形 式	名 牌	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性			起 動 電 流 (A)	起 動 ル タ (A)	最 大 ル タ (A)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 升 (°C)			調査会社名		
								スベリ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)					温 度 (°C)	上 升 (°C)	ペアリング			
JIS (1956)	日本	1	6	開 放 形		200	50/60	8.0	74.0	73.0	3.7	24	以下	125	150~250	以下	40	以下		
G. E.	米 国	1	6	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 5.2/2.6 3.8/1.9 A	200 220	50 60	7.46 6.1	78.6 77.0	65.2 56.3	4.21 4.51	18.2 17.8	215.5 264	276 334	191 227	41.5 174	26.5 174	14.0 17.0	15.0 11.5	米 芝
Electro Dynamic	米 国	1	6	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 4.4/2.2 3.6/1.8 A	220	50	7.04	81.05	70.8	3.75	13.6	145 181.5	226 276	174 209	29.5 37.0	16.0 18.0	9.5 15.5	11.5 13.0	明 滉
Allis Chalmers	米 国	1	6	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 4.0/2.0 A	220	60	5.69	81.2	64.6	3.72	15.0	181.5	236	209	37.0	20.5	15.5	13.0	富 士
Century	米 国	1	6	開 放 形	208~220/440 V 50/60 c/s 3.4~3.2/1.6 A	220 220 208	50 60 60	5.9 5.7 6.7	78.3 81.2 80.7	67.6 74.0 77.1	3.70 3.26 3.33	17.2 15.24 14.42	287 231 211	348 310 279	229 215 192	45.0 32.0 37.0	22.0 16.0 15.5	26.0 18.0 19.0	16.0 11.0 11.0	下 村
English Electric	英 国	1	6	開 放 形	380 V 50 c/s 2.35 A	380 380	50 60	7.6 6.7	72.3 77.9	60.9 72.7	2.57 2.00	8.43 7.52	189 158	259 234	173 177	45.5 23.5	23.0 13.5	16.0 10.5	19.5 11.0	明 滁
Brook	英 国	1	6	開 放 形	400 V 50 c/s 2 A	400 400	50 60	8.6 8.9	78.0 78.5	71.3 76.5	1.94 1.78	6.68 6.45	142 159	239 207	161 148	34.7 34.7	17.5 17.5	7.5 9.0	日 立	
A. E. G.	ド イ ツ	0.8 kW	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 3.9/2.25 A	200 220 220	50 60 60	10.0 8.5 7.6	75.0 77.8 79.3	75.5 79.8 75.3	4.08 3.72 3.52	15.1 13.7 15.2	239 187 226	273 342 288	165 157.5 196	55.4 57.5 55.4	37.0 37.0 37.0	33.5 33.5 33.5	22.0 22.0 22.0	日 立
Oerlikon	ス イ ス	1.2	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 4.25/2.45 A	220 220	50 60	9.5 9.0	76.0 77.8	73.3 78.9	4.2 3.8	13.9 12.0	168.6 129.0	217.5 181.0	151.5 144.5	49.2 49.2	17.2 17.2	25.0 25.0	11.0 11.0	松 下

表 2.12 外国電動機の特性 開放形 5 HP 四極

メー カ名	国名	定格出力 (HP)	極数	形 式	名 牌	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性			起 動 電 流 (A)	起 動 ル タ (A)	最 大 ル タ (A)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 升 (°C)			調査会社名	
								スベリ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)					温 度 (°C)	上 升 (°C)	ペアリング		
JIS (1956)	日本	5	4	開 放 形		200	50/60	6.0	以上	以上	15	以下	97	150~250	以下	60	以下	40	
Westing House	米 国	5	4	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 13.4/6.7 12.8/6.4 A	220	50	3.9	86.0	79.9	14.27	85.5	241.5	322	250	45.0	24.5	21.0	13.5
Electro Dynamic	米 国	5	4	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 15.7/5.13/6.5 A	220	50	5.5	80.4	73.5	16.35	87.6	423	345	239	71.5	38.0	53.3	42.5
Allis Chalmers	米 国	5	4	開 放 形	220/440 V 60 c/s 13.6 A	220	50	5.66	83.6	75.5	15.7	72.5	186.5	275	214	20.5	18.5	23.0	14.5
Fair Banks	米 国	5	4	開 放 形	220/440 V 60 c/s 14.5/7.3 A	220	50	3.2	84.8	78.9	14.6	96	254.5	393	324	52.1	25	36.5	19.5
English Electric	英 国	5	4	開 放 形	380 V 50 c/s 7.75 A	380 380	50 60	4.3	85.2	84.7	7.85	47.0	224	320	245	37.5	25.5	30.0	18.5
Brook	英 国	5	4	開 放 形	400 V 50 c/s 7.3 A	400 400	50 60	3.33	86.2	85.4	7.32	49.2	352	315	256	42.0	21.0	6.0	23.5
A. E. G.	ド イ ツ	4 kW	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 14.5/18.8 A	220	50	5.9	85.0	84.0	14.7	61.7	134	225	180	47	24.5	23.5	15.5
Siemens	ド イ ツ	4 kW	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 14.5/18.8 A	220	50	5.85	84.7	79.7	15.5	75.0	190	277	210	61.5	34.5	25	18.5
Marelli	イタリア	5	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 14.2/8.2 A	220	50	6.6	81.1	78.5	15.3	76	206	216.5	171.5	72.8	20.5	43.3	17.5
Oerlikon	ス イ ス	5	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 13.6/7.8 A	220	50	5.77	84.6	87.0	13.35	58.8	136	227	184	41	18	30	24
B. B. C.	ス イ ス	7	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 22/19 A	200 230	50 60	6.3	85.5	85	20.8	83.5	144	198	163	61.5	44	20.5	20.5

表 2.13 外国電動機の特性 開放形 5 HP 六極

メー カ名	国名	定格出力 (HP)	極数	形 式	名 牌	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性			起 動 電 流 (A)	起 動 ル タ (A)	最 大 ル タ (A)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 升 (°C)			調査会社名			
								スベリ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)					温 度 (°C)	上 升 (°C)	ペアリング				
JIS (1956)	日本	5	6	開 放 形		200	50/60	6.0	以上	79.5	16	以下	105	150~250	以下	60	以下	40			
G. E.	米 国	5	6	開 放 形	220/440 V 60 c/s 15.2/7.6 A	200 220	50 50	5.48 5.03	83.87 82.05	70.8 69.3	18.1 19.75	66.3 73	216 141	322 252	208						
Electro Dynamic	米 国	5	6	開 放 形	220/440 V 50/60 c/s 16.8/14.7 A	220 220	60 60	5.55 4.32	85.5 86.55	78.55 73.75	15.9 15.3	57 62.7	90 110	196 238	168 201	26.5 20.5	16.0 17.5	6.5 7.5	米 芝		
English Electric	英 国	5	6	開 放 形	380 V 50 c/s 8.3 A	380 380	50 60	5.03 5.24	83.6 88.0	76.4 84.8	8.88 7.79	53.5 46	268 196	236 148	194 148	35.5 164.5	23.5 16.5	12.0 15.0	日 立		
Brook	英 国	5	6	開 放 形	400 V 50 c/s 7.5 A	400 400	50 60	7.64 7.35	83.1 84.2	75.8 82.75	8.58 7.72	31.25 27.2	141 113	220 195	169 159	38.5 35.5	21.0 17.5	7.5 7.5	西 芝		
A. E. G.	ド イ ツ	4 kW	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 15.6/9.0 A	220 220	50 60	7.6	87.0	78.0	16.42	58.75	127.5	208	1.255 (21°C)	66.0	41.0	42.5	31.5	15.0	三 菱
Oerlikon	ス イ ス	5.5	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 16/9.2 A	220 220	50 60	8.17	82.1	82.9	15.82	54.1	123	188	1.04 (75°C)	48	22.5		24.5	11.5	東 芝

表 2.14 外国電動機の特性 全閉外扇形 5 HP 四極

メー カ 名	国 名	定 構 出 力 (HP)	極 数	形 式	名 板	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性				起 動 電 流 (A)	起 動 電 流 (A)	最 大 トルク (%)	温 度 上 升 (°C)			調査 会社名		
								ス & リ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)	電 流 (A)			トルク (%)	出 力 (%)	温 度 (抵抗法) (中央部)	フレーム (抵抗法) (中央部)	温 度 (抵抗法) (中央部)	心	
JIS (1956)	日本	5	4	全閉外扇形		200	50/60	6.0	以上 82.5	以上 81.0	15	以下 97	以上 125	150~ 300	以下 65	以下 55	以下 40	以下 40		
Electro Dynamic	米 国	5	4	全閉外扇形	220/440 V 50 c/s 15.75 A	220	50	4.6	82.2	81.6	14.58	85.8	322	348	241	59.0	36.5	39.0	33.5	明電
Electro Dynamic	米 国	5	4	全閉外扇形	220/440 V 60 c/s 11.65 A 14.7 A	220	60	5.8	82.5	85.5	13.7	76.7	268	312	230	55.5	35.0	36.0	34.0	明電
Fair Banks	米 国	5	4	全閉外扇形	220/440 V 50 c/s 14.47 A	220	50	5.0	79.6	71.3	17.2	102.5	388	424	272					
English Electric	英 国	5	4	全閉外扇形	380 V 50 c/s 7.95 A	380	50	4.25	84.3	82.3	8.12	45.1	208	320	249	56.5	36.5	43.5	33.0	安川
Brook	英 国	5	4	全閉外扇形	400 V 50 c/s 7.1 A	400	50	3.8	84.7	82.3	7.7	41.4	172	294	240	55.0	32.0	31.0	34.0	25.0
A. E. G.	ドイツ	4kW	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 14.58.3 A	220	50	4.6	85.7	84.4	14.5	67.6	134	241	200	66.0	37.5		31.0	25.0
Marelli	イタリア	5.5	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 15.28.8 A	200	50	4.7	86.8	84.5	16.2	94	170	226	190	48.0	21.5		28.5	
Oerlikon	スイス	5.5	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 14.48.3 A	200	50	4.7	86.0	85.6	14.6	66.0	131	235	195	50.0	28.0		19.5	明電
B. B. C.	スイス	6	4	全閉外扇形	200/230 V 50 c/s 18.16 A	200	50	3.86	81.6	84.4	17.5	78.2	126	227	197	50.5	34.0		25.5	東芝

表 2.15 外国電動機の特性 全閉外扇形 5 HP 六極

メー カ 名	国 名	定 構 出 力 (HP)	極 数	形 式	名 板	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性				起 動 電 流 (A)	起 動 電 流 (A)	最 大 トルク (%)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 升 (°C)			調査 会社名	
								ス & リ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)	電 流 (A)			トルク (%)	出 力 (%)	温 度 (抵抗法) (中央部)	フレーム (抵抗法) (中央部)	温 度 (抵抗法) (中央部)	心	
JIS (1956)	日本	5	6	全閉外扇形		200	50/60	6.0	以上 82.0	以上 79.5	16	以下 105	以上 125	150~ 300	以下 65	以下 50	以下 40	以下 40		
Electro Dynamic	米 国	5	6	全閉外扇形	220/440 V 60 c/s 1.47 A	220	50	7.1	75.8	59.3	21.9	89.6	305	378	221	67.5	38.5	43.0	27.5	下村
Allis Chalmers	英 国	5	6	全閉外扇形	220 V 60 c/s 15.4 A	220	50	5.6	85.2	76.5	16.3	61.3	113	219	178	47.5	28.0	26.0	24.0	明電
English Electric	英 国	5	6	全閉外扇形	380 V 50 c/s 8.55 A	380	50	3.93	85.52	75.8	8.75	39.95	129	273	227	48.25	29.5		22.5	西芝
Brook	英 国	5	6	全閉外扇形	400 V 50 c/s 7.5 A	400	50	7.5	82.0	81.8	8.02	34.6	194	256.5	189	41.5	25.5	23.5	23.0	明電
A. E. G.	ドイツ	3.7kW	6	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s	220	50	7.1	83.2	77.2	15.0	57	141	222	172	69	42.5		39.5	神鋼
Oerlikon	スイス	5.5	6	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 15.28.8 A	220	50	5.08	84.2	74.8	17.1	67.2	139	218	185	48	24.5		20.5	富士

表 2.16 外国電動機の特性 開放形 15 HP 四極

メー カ 名	国 名	定 構 出 力 (HP)	極 数	形 式	名 板	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	全 負 荷 特 性				起 動 電 流 (A)	起 動 電 流 (A)	最 大 トルク (%)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 升 (°C)			調査 会社名	
								ス & リ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)	電 流 (A)			トルク (%)	出 力 (%)	温 度 (抵抗法) (中央部)	フレーム (抵抗法) (中央部)	温 度 (抵抗法) (中央部)	心	
JIS (1956)	日本	15	4	開 放 形		200	50/60	5.5 (K1)	以上 85.0 (K1)	以上 83.0 (K1)	43 (K1)	以下 100 (K1)	以上 100 (K1)	150~ 250	以下 60	以下 50	以下 40	以下 40		
						200	50/60	5.5 (K2)	以上 84.5 (K2)	以上 81.5 (K2)	44 (K2)	以下 280 (K2)	以上 150 (K2)	150~ 250	以下 60	以下 50	以下 40	以下 40		
Fair Banks	米 国	15	4	開 放 形	220/440 V 50 c/s 46.23 A	220	60	3.6	89.0	83.2	39.7	148.5	206	286	43.5	26.5		25.5	24.0	
Wagner	米 国	15	4	開 放 形	220/440 V 50 c/s 39.19.5 A	220	60	2.76	90.04	88.0	37.0	150.5	116	193	187					東芝
English Electric	英 国	15	4	開 放 形	380 V 50 c/s 21.7 A	380	50	5.3	86.7	87.1	22.1	103	175	254	205	38.0	25.0		13.5	16.0
Brook	英 国	15	4	開 放 形	400 V 50 c/s 21 A	400	50	3.0	86.5	89.9	20.8	129	210	312	266	40.5	21.5	34.0	6.5	東芝
A. E. G.	ドイツ	11kW	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 38.22.2 A	220	60	4.55	87.92	86.4	38.05	126.7	146	184	162	55.0	25.5		14.5	13.0
Marelli	イタリア	16	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 41.824.2 A	220	50	4.5	87.5	82.5	43.5	106.5	202	175	44.0	20.5	36.0	16.0	18.0	
Oerlikon	スイス	17	4	開 放 形	220/380 V 50 c/s 42.24.5 A	220	60	5.45	87.3	90.3	42.3	150.3	90.5	188	157	41.5	20.0	35.5	18.0	21.0
B. B. C.	スイス	15	4	開 放 形	200/230 V 50 c/s 44-38 A	200	50	3.85	89.7	87.3	41.1	179.5	126	219	192	56.5	28.0	47.0	22.0	16.0
						200	60	4.3	88.8	89.3	40.7	149	102	185	165					安川
JIS (1956)	日本	15	6	開 放 形		200	50/60	5.5 (K1)	以上 85.0 (K1)	以上 81.0 (K1)	45 (K1)	以下 100 (K1)	以上 100 (K1)	150~ 250	以下 60	以下 50	以下 40	以下 40		
						200	50/50	5.5 (K2)	以上 84.0 (K2)	以上 79.0 (K2)	46 (K2)	以下 290 (K2)	以上 150 (K2)	150~ 250	以下 60	以下 50	以下 40	以下 40		
Brook	英 国	15	6	開 放 形	400 V 50 c/s 21 A	400	50	2.84	90.3	82.2	21.8	124.5	202	306	259	56.7	24.5		9.0	9.0
A. E. G.	ドイツ	11kW	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 38.22 A	220	60	3.02	90.4	86.5	20.7	106.5	165	259	227					神鋼
Oerlikon	スイス	15	6	開 放 形	220/380 V 50 c/s 40.23 A	220	60	6.4	85.2	89.0	38.1	133.7	114	191	159	60.0	32.5	48.0	16.0	25.0

表 2.17 外国電動機の特性 全閉外扇形 15 HP 四極

メー カ 名	国 名	定 格 出 力 (HP)	極 数	形 式	名 称	電 壓 (V)	周波数 (c/s)	合 負 荷 特 性				起 動 電 流 (A)	起 動 トルク (%)	最 大 ト ル ク (%)	最 大 出 力 (%)	温 度 上 異 (°C)			
								ス ペ リ (%)	効 率 (%)	力 率 (%)	電 流 (A)					以上 55	以下 40	以下 40	
JIS (1955)	日本	15	4	全閉外扇形		200	50/60	5.5 (K1)	以上 85.5 (K1)	以上 82.0 (K1)	44	以下 100 (K1)	以上 275 (K1)	以下 100 (K1)	以上 300	以下 65	以下 55	以下 40	以下 40
						200	50/60	5.5 (K2)	以上 84.5 (K2)	以上 80.5 (K2)	45	以下 150 (K2)	以上 310 (K2)	以下 150 (K2)	以上 300	以下 65	以下 55	以下 40	以下 40
Fair Banks	米 国	15	4	全閉外扇形	220/440 V 50 c/s 40.8/20.1 A	220	50	2.20	91.6	77.8	39.9	195.6	125	287.5	242	63	32.5	43.5	31.5
Wagner	米 国	15	4	全閉外扇形	220/440 V 50 c/s 39/19.5 A	220	50	3.0	90.6	87.2	37.2	157	133	206	185	52.0	36.0	37.5	32.5
English Electric	英 国	15	4	全閉外扇形	380 V 50 c/s 22.1 A	380	50	2.25	91.3	85.2	21.7	123	186	275	245	49.5	29.0	30.0	富 士
Brook	英 国	15	4	全閉外扇形	400 V 50 c/s 21.0 A	400	50	2.0	88.4	92.8	19.4	120.5	182	311	278	68.5	33.0	50.0	32.0
A. E. G.	ド イ ツ	10 kW	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 35/20 A	220	50	3.13	88.1	85.2	34.9	173	207	252	222	49.5	23	15	西 芝
Marelli	イタリア	16	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 40/25.1 A	220	50	2.6	91.8	87.6	38.5	184	122	256	230	57.5	31.0	31.5	富 士
Oerlikon	ス イ ス	15.5	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 43/25 A	200	50	2.9	89.5	91.0	37.2	201	170.3	267	201	51.0	27.0	27.5	33.5
B. B. C.	ス イ ス	16	4	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 4.6/4 A	200	50	3.0	91.0	90.7	41.8	221	126	263	233	65.5	25.0	49.0	41.0
JIS (1956)	日本	15	6	全閉外扇形		200	50/60	5.5 (K1)	以上 85.0 (K1)	45	以下 275 (K1)	以上 100 (K1)	150~300	以下 65	以下 55	以下 40	以下 40		
						200	50/60	5.5 (K2)	以上 84.0 (K2)	79.5 (K2)	46	以下 305 (K2)	以上 150 (K2)	150~300	以下 65	以下 55	以下 40	以下 40	
Brook	英 国	15	6	全閉外扇形	400 V 50 c/s 21 A	400	50	4.3	88.2	90.7	20.3	108	159.5	276	224	68.0	22.7	43.7	26.0
A. E. G.	ド イ ツ	10 kW	6	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 34.5/20 A	220	50	2.62	88.8	85.2	34.6	200	195	275	252.5	59.5	33.0	34.0	東 洋
Oerlikon	ス イ ス	16.5	6	全閉外扇形	220/380 V 50 c/s 43/25 A	220	50	3.6	87.0	89.0	34.0	172.5	172	264	222	65	23.5	27.0	日 立

れた新 NEMA 寸法によっているので、主要寸法は同じであるが、重量はメーカーにより若干の差がある。

英國製品は、米国製品より一般に寸法も大きく、重量も重いが、最近英國でも新 NEMA 寸法を採用することが決定されたので、寸法、重量とも米国製品と同等になるものと思われる。

歐州製品は、新 NEMA 寸法よりやや小形になっているものもある。とくに、イタリアの Marelli 社の開放形はいちじるしく小形軽量である。

(2) 特性上の問題

a. 効率および力率

効率については、大体 JIS 規格と同等のものと認められる。

力率については JIS 規格を下回るものが多いが、とくに、6 極の 5 HP 以下のものでこの傾向ははなはだしい。また、当然のことながら、50 c/s, 60 c/s 共用品については、50 c/s の力率の低下ははなはだしい。

b. 起動電流と起動トルク

1. 米国製品は、概して起動トルク、起動電流とも大きい。

2. ドイツ、スイス製品は、起動電流も小さいが、起動トルクも比較的小さい。

3. 英国製品は、起動電流、起動トルクとも、米国製品とドイツ、スイス製品の中間程度にあるといえる。

c. 温度上昇

温度上昇はかなり高いものがある。JIS 規格の温度上

昇限度 (A 種絶縁) をこえているものもあるが、これは E 種絶縁を採用しているものと思われる。

d. 梱包

国内梱包と思われるものが多かったが、ほとんど支障なく到着していた。

e. 外観その他

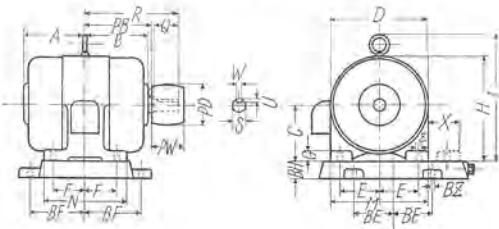
全般的に国内製品に比較して外観、機械加工、塗装など直接性能に影響しない点は製作、工程をできるだけへらしているものが多い。ただし単相電動機は商品的観点を考慮しているためか、塗装の仕上りは三相誘導電動機に比較して美しい。

3. 電動機小形化の趨勢

前節の調査結果からもわかるように、欧米の電動機の寸法が最近急激に小形化してきたことは一つの大きな傾向である。この原因についてはいろいろと考えられるが、設計技術に大きな進歩があったことはもちろんであるが、その根本的原因をなすのはけい素鋼板の品質の改善、電線、絶縁物の飛躍的進歩などをあげることができる。その詳細については別の機会にゆすることとし、ここでは電動機の小形化の現状について報告することにする。

わが国における電動機の寸法標準化の動きは相当古くからあったが、1942 年 (昭和 17 年) に至り、JEM-C4 号小形三相誘導電動機寸法として一応統一寸法がまとまり、実施段階にはいった。たまたま第二次世界大戦に突入し、質より量という時代にはいったため、生産準備にばくだいな費用のかかる寸法切替えの断行には、各メー

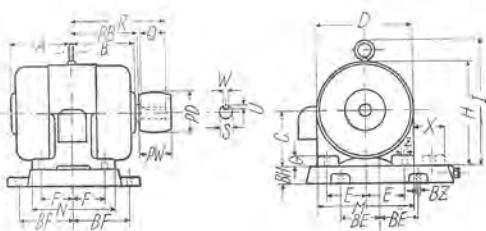
表 3.1 JEM-C 第4号 小形三相誘導電動機寸法
(1942年—昭和17年11月制定)



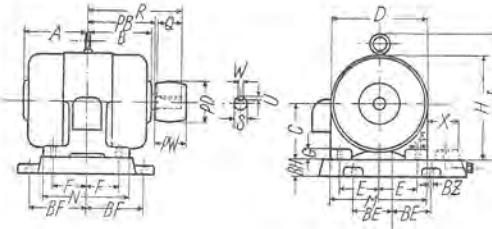
HP 2P 4P 6P	わく番	電動機										一 ス		Y~S		R-Q C ² (R-Q)	×10 ³						
		C	E	F	M	N	R	PB	Z	S	Q	W	U	B	E	F	B	H	B	Z	X	PW	
1/2 1/2	—	A1013	100	80	65	200	170	175	135	11	16	40	5	3	80	105	35	12	49	60	135	1,550	
1 1	1/2	A1214	120	95	70	240	180	190	150	11	12	40	5	3	95	110	40	12	50	60	150	2,160	
2 2	1	A1318	130	105	90	260	220	220	170	11	22	50	7	4	105	130	45	12	60	125	60	170	2,870
3 3	2	A1516	150	120	80	300	210	235	170	15	28	60	7	4	120	130	50	16	70	125	80	175	3,940
5 5	3	A1520	150	120	100	300	250	255	190	15	28	60	7	4	120	150	50	16	70	160	80	195	4,380
7.5 7.5	5	A1720	170	140	100	340	250	290	200	15	35	80	10	4.5	140	150	55	16	80	160	120	210	6,070
10 10	7.5	A1724	170	140	120	340	390	310	220	15	35	80	10	4.5	140	170	55	16	80	180	120	220	6,650
15 15	10	A2024	200	160	120	400	300	340	242.5	18	42	90	12	4.5	160	180	60	19	95	250	135	250	10,000
—	15	A2032	200	160	160	400	380	380	282.5	18	42	90	12	4.5	160	220	60	19	95	250	135	290	11,600

開放形、閉鎖形四極 単位: インチ $\frac{1}{4}$ 换算

表 3.2 新旧 NEMA 主要寸法比較表



H P H P P	わく番	H N E M A 寸法										新 N E M A 寸法										C ² (R-Q) の比
		C	E	F	R-Q	C ² (R-Q)	わく番	C	E	F	R-Q	C ² (R-Q)	新旧									
1 4	203	127	101.6	69.9	149.2	3,410	182	114.3	95.3	57.2	127	1,660	0.69									
2 "	224	139.7	114.3	85.7	174.6	3,410	184	114.3	95.3	69.9	139.7	1,825	0.536									
3 "	225	139.7	114.3	95.3	184.2	3,600	213	133.4	108	69.9	158.8	2,830	0.787									
5 "	254	158.8	127	104.8	212.7	5,370	215	133.4	108	88.9	177.8	3,170	0.59									
7.5 "	284	177.8	139.7	120.7	241.3	7,630	234	158.8	127	104.8	212.7	5,360	0.702									
10 "	324	203.2	158.8	133.4	266.7	11,000	256	158.8	127	127	234.9	5,930	0.538									
15 "	326	203.2	158.8	152.4	285.8	11,800	284	177.8	139.7	120.7	241.3	7,630	0.617									
20 "	364	228.6	177.8	142.9	292.1	15,250	286	177.8	139.7	139.7	260.4	8,240	0.541									
25 "	364	228.6	177.8	142.9	292.1	15,250	324	203.2	158.8	134.4	266.7	9,080	0.596									
30 "	365	228.6	177.8	155.6	304.8	15,950	325	203.2	158.8	152.4	285.7	11,780	0.738									
40 "	404	254	203.2	155.6	323.9	20,900	364	228.6	177.8	142.9	292.1	15,250	0.730									
50 "	405	254	203.2	174.6	342.9	22,100	365	228.6	177.8	155.6	304.8	15,950	0.723									
60 "	444	279.4	228.6	184.2	374.7	29,200	404	254	203.2	155.6	323.9	20,900	0.715									
75 "	445	279.4	228.6	209.6	394.1	30,700	405	254	203.2	174.6	342.9	22,100	0.720									
100 "	504	317.5	254	203.2	419.1	42,200	444	279.4	228.6	184.2	374.7	29,200	0.692									
125 "	505	317.5	254	228.6	444.5	44,800	445	279.4	228.6	209.6	394.1	30,700	0.685									



単位: inch/mm

HP 2P 4P 6P 8P 10P 12P 2P 4P 6P 8P 10P 12P	わく番	電動機										ブリ		ス				R-Q C ² (R-Q)				
		C	E	F	M	N	Q	R	S	U	W	Z	PD	PW	B	E	BF	B	H	B	Z	X
1.5 1 0.75 0.5	1.5 1 0.75 0.5	162	4 1/2 114.3	3 3/4 95.3	2 1/4 57.2	9 228.6	6 1/2 184.2	7 1/4 22.4	3/32 4.8	3/16 10.3	13/32 10.7	3 76.2	3 114.3	4 1/2 114.3	4 1/2 108	4 1/4 38.1	1 1/2 12.7	1/2 76.2	3 24.7	5 1,660	×10 ³	
2 1.5 1 1.5 0.75	2 2 1.5 0.75	184	4 1/2 114.3	3 3/4 95.3	2 3/4 69.9	9 228.6	7 1/2 190.5	2 1/4 57.2	3/32 4.8	3/16 10.3	13/32 10.7	3 75.2	3 114.3	4 1/2 120.7	4 3/4 38.1	1 1/2 12.7	1/2 76.2	3 139.7	1,825	×10 ³		
5 3 2 1.5 1	5 3 2 1.5 1	213	5 1/4 133.4	4 1/4 108	2 3/4 69.9	10 1/2 266.7	7 1/2 190.5	3 76.2	235 10.3	9 1/4 88.9	13/32 10.3	3 1/2 88.9	3 1/2 133.4	5 1/4 120.7	4 3/4 44.5	1 3/4 12.7	3 1/2 44.5	6 1/4 88.9	158.8	2,830		
7.5 5 3 2 1.5 1	7.5 5 3 2 1.5 1	215	5 1/4 133.4	4 1/4 108	3 1/2 88.9	10 1/2 266.7	9 76.2	254 10.3	8/8 10.3	1/4 101.6	13/32 10.3	4 88.9	5 1/4 133.4	5 1/4 120.7	4 3/4 44.5	1 3/4 12.7	3 1/2 44.5	7 88.9	177.8	3,170		
10 7.5 5 3 2 1.5 10	10 7.5 5 3 2 1.5 10	254U	6 1/4 158.8	5 127	4 1/8 317.5	12 1/2 273.1	10 3/4 95.3	3 1/2 308	13/8 34.9	5/32 4	17/32 8	4 101.6	5 1/2 139.7	6 5/8 158.8	5 1/2 168.3	2 50.8	5 1/2 159.8	4 101.6	212.7	5,360		
15 10 7.5 5 3 2 15	15 10 7.5 5 3 2 15	256U	6 1/4 158.8	5 127	4 1/8 317.5	12 1/2 317.5	3 3/4 95.3	330.2 34.9	3/32 4	5/16 8	17/32 13.5	5 127	6 3/4 171.5	6 1/4 158.8	7 1/2 190.5	2 50.8	5 1/2 159.8	4 101.6	234.9	5,930		
20 15 10 7.5	20 15 10 7.5	284U	7 139.7	5 1/2 139.7	4 3/4 120.7	14 355.6	12 7/8 317.5	4 7/8 123.8	14 3/8 365.1	1/4 41.3	3/16 4.8	3/8 9.5	17/32 13.5	6 7/8 195.9	7 177.8	7 1/2 190.5	2 50.8	5 1/2 159.8	4 114.3	241.3	7,630	
25 20 10 5 3 2 20 10	25 20 10 5 3 2 20 10	286U	7 177.8	5 1/2 139.7	4 1/4 139.7	14 355.6	12 3/8 355.6	3 1/2 384.2	4 1/3 41.3	4/8 9.6	9/16 13.5	15/24 152.4	7 247.7	17/32 177.8	8 1/4 209.6	2 50.8	5 1/2 159.8	4 114.3	260.4	8,240		
30 25 15 7.5 5 25	30 25 15 7.5 5 25	324U	8 203.2	6 1/4 158.8	5 1/4 133.4	16 406.4	5 5/8 355.6	16 1/8 424.9	4 7/8 406.4	1/4 47.6	12/16 12.7	6 157.2	9 3/4 171.2	8 474	21/32 203.2	8 212.7	3/4 63.5	1 5/4 19.1	1 5/4 133.4	266.7	11,100	
40 30 20 15 7.5 30	40 30 20 15 7.5 30	326U	8 203.2	6 1/4 158.8	5 1/4 132.4	16 406.4	5 5/8 393.7	16 7/8 428.6	4 7/8 47.6	1/4 6.4	12/16 12.7	7 16.7	17/32 14.2	7 279.4	21/32 203.2	8 235	3/4 63.5	1 5/4 19.1	1 5/4 133.4	285.7	11,780	
50 40 25 20 25 20	50 40 25 20 25 20	361U	9 228.6	7 177.8	5 5/8 142.9	18 457.4	15 1/4 387.4	6 3/8 161.9	17 7/8 454.0	1/4 6.4	12/16 12.7	13 16.7	17/32 177.8	7 279.4	21/32 203.2	8 235	3/4 63.5	1 5/4 19.1	1 5/4 133.4	285.7	11,780	
60 50 30 25 30 25	60 50 30 25 30 25	363U	9 228.6	7 177.8	6 1/8 155.6	18 457.2	16 1/4 412.8	6 3/8 161.9	18 3/8 466.7	2/8 54.0	1/4 6.4	12/16 12.7	13 16.7	17/32 177.8	9 228.6	21/32 203.2	8 244.5	3/4 63.5	1 5/4 19.1	1 5/4 133.4	285.7	11,780
75 60 40 30 40 30	75 60 40 30 40 30	404U	10 254	8 203.2	6 1/8 155.6	20 508	16 1/4 412.8	7 1/8 181.0	19 7/8 504.8	5/16 60.3	5/8 7.9	13/16 15.9	5/16 20.6	13/16 15.9	10 254	21/32 203.2	8 250.8	3/4 63.5	1 5/4 19.1	1 5/4 133.4	285.7	11,780
75 50 40	75 50 40	493U	10 254	8 203.2	6 7/8 174.6																	

かともなかなか踏み切ることができず、当社も終戦後、ようやく切替えに踏み切ったような次第であった。この寸法を表3.1に示す。ところが、そのころにはすでに世界の大勢は、さらに小形化への方向へと動いており、とくに、輸入機械に使用されている西独、あるいはスイスの電動機のごときは、わが国の同一寸法のものの約2倍の出力を持っているというような状態で、日本電機工業会でも、輸出不振という事情もあり、急いで小形化の研究へと踏み切ることになった。一方米国においては、從

来NEMA規格による標準寸法があり各メーカーとも十数年来その寸法によっていた。この寸法はJEM-C4号の寸法と大同小異の寸法であったが、欧州の小形化寸法に刺激されたためか、1954年に至り思い切って小形化した新寸法(30HP以下)が発表された。いわゆる新NEMA寸法と称せられるものである。新旧NEMAの主要寸法の比較を表3.2に示す。容積比で30~40%の小形化ができたことを示している。

1956年に至り、40HP以上125HPまでが追加され、

表3.4 英国B.S.S.三相誘導電動機外形寸法
(B.S. 2083: 1954)

単位: inch/mm

HP				わく番	C	E	F	M	N	Z	R	S	Q	W	T	R-Q	C ² (R-Q)
2P	4P	6P	8P														
1 1/2	1	3/4		B 183	4 1/2 114.3	3 1/2 88.9	2 5/8 66.7	9 228.6	7 1/4 184.2	11.1	7/16 193.7	0.75 19.05	2 1/4 57.2	3/16 4.77	3/16 4.77	5 3/8 136.5	1,785
2	1 1/2	1	1/2	B 203	5 127	4 101.6	2 3/4 69.9	10 254	7 1/2 190.5	11.1	8 1/8 206.4	0.75 19.05	2 1/4 57.2	3/16 4.77	3/16 4.77	5 7/8 149.2	2,410
3	2	1 1/2	3/4	B 204	5 127	4 101.6	3 1/4 82.6	10 254	8 1/2 215.9	11.1	9 3/8 238.1	1.0 25.4	3 76.2	1/4 6.35	1/4 6.35	6 3/8 161.9	2,610
5	3	2	1	B 204	5 127	4 101.6	3 1/4 82.6	10 254	8 1/2 215.9	11.1	9 3/8 238.1	1.0 25.4	3 76.2	1/4 6.35	1/4 6.35	6 3/8 161.9	2,610
7 1/2	5	3	2	B 225	5 1/2 139.7	4 1/2 114.3	3 3/4 95.3	11 279.4	9 1/2 241.3	11.1	7/16 260.4	1.125 28.6	3 3/8 85.7	5/16 7.94	7/32 5.56	6 7/8 174.6	3,410
10	7 1/2	5	3	B 254	6 1/4 158.8	5 127	4 1/8 104.8	12 1/2 317.5	10 3/4 273.1	14.3	12 1/8 308	1.25 28.6	3 3/4 95.3	5/16 7.94	7/32 5.56	8 3/8 212.7	5,360
15	10	7 1/2	5	B 284	7 177.8	5 1/2 139.7	4 3/4 120.7	14 355.6	12 1/2 317.5	14.3	14 3/8 365.1	1.625 41.3	4 7/8 123.8	7/16 11.1	9/32 7.15	9 1/2 241.3	7,620
20	15	10	7 1/2	B 324	8 203.2	6 1/4 158.8	5 1/4 133.4	16 406.4	14 355.6	11/16 375.6	15 3/8 390.5	1.625 41.3	4 7/8 123.8	7/16 11.1	9/32 7.15	10 1/2 266.7	11,000
25	20	15	10	B 326	8 203.2	6 1/4 158.8	6 152.4	16 406.4	15 1/2 393.7	17.5	16 7/8 428.6	1.875 47.6	5 5/8 142.9	1/2 12.7	5/16 7.94	11 1/4 285.8	11,780

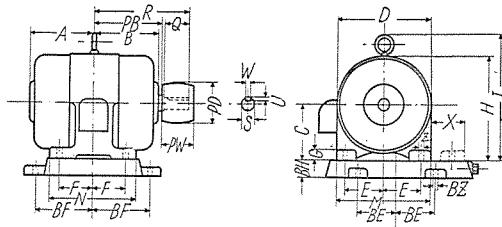


表3.5 JEM 1110 低圧三相カゴ誘導電動機(一般用)寸法
(1956年 制定
(1957年第1回追加, 1958年第2回追加)

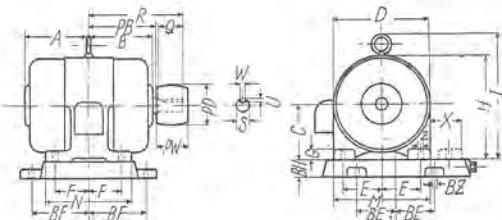
単位: mm

定格出力		わく番号	電動機										ベーベル					平ベルト車		R-Q	C ² (R-Q)									
kW	HP		C	E	F	M	N	R	PB	取付穴径	軸	Z	S	S公差	Q	W	U	B	E	BF	BH	BZ	X	PD	巾	PW				
0.4	—	1/2	—	910	90	70	50	180	130	145	105	9	16	h6	40	5	3	70	90	30	12	40	75	65	105	×10 ³ 850	1,655			
0.75	0.4	1	1/2	1111	115	95	55	230	150	165	125	11	22	h6	40	7	4	95	100	40	12	50	75	65	125	1,855	2,920			
1.5	0.75	2	1	1114	115	95	70	230	180	190	140	11	22	h6	50	7	4	95	115	40	12	50	100	75	140	1,855	3,280			
2.2	1.5	3	2	1314	135	110	70	270	190	220	160	11	28	h6	60	7	4	110	120	45	12	60	125	75	160	2,920	5,505			
3.7	2.2	5	3	1318	135	110	90	270	230	240	180	11	28	h6	60	7	4	110	140	45	12	60	140	100	180	235	6,020			
5.5	3.7	7.5	5	1621	160	125	105	320	270	295	210	15	35	h6	80	10	4.5	125	165	50	16	70	140	125	215	2,920	5,505			
7.5	5.5	10	7.5	1625	160	125	125	320	310	315	230	15	35	h6	80	10	4.5	125	185	50	16	70	180	125	235	3,280	6,020			
11	7.5	15	10	1824	180	140	120	360	310	330	230	15	42	h6	90	12	4.5	140	185	55	16	80	180	150	240	7,780	11,150			
15	11	20	15	1828	180	140	140	360	350	350	250	15	42	h6	90	12	4.5	140	205	55	16	80	230	150	260	8,425	11,150			
22	15	30	20	2027	205	160	135	410	350	370	255	18	48	h6	105	12	4.5	160	210	60	19	100	280	205	265	300	1,655			
30	—	—	—	2031	205	160	155	410	390	390	275	18	48	h6	105	12	4.5	160	230	60	19	100	280	205	285	300	1,655			
30	—	—	—	2232	225	180	160	450	390	440	290	18	55	h6	140	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	15,200		
30	—	—	—	2232S	225	180	160	450	390	390	—	18	55	h6	90	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	15,200		
37	—	—	—	2236	225	180	180	450	430	460	310	18	55	h6	140	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	305	255	320	16,200
37	—	—	—	2236S	225	180	180	450	430	460	—	18	55	h6	90	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	305	255	320	16,200
—	—	—	—	2536	250	200	180	500	430	520	330	22	65	h6	180	18	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	305	255	340	21,250
—	—	—	—	2536S	250	200	180	500	430	430	—	22	55	m6	90	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	305	255	340	21,250
—	—	—	—	2540	250	200	200	500	470	540	350	22	65	h6	180	18	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	355	305	360	22,500
—	—	—	—	2540S	250	200	200	500	470	450	—	22	55	m6	90	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	360	305	360	22,500

備考 1. この寸法は開放形、閉鎖形、全閉外扇形電動機のいずれにも適用する。ただし*印をつけたものは、全閉外扇形には適用しない。

2. C寸法の公差は $+0.5$ mmとする。3. S寸法の公差はJIS B 0401 ハメアイ方式によるh6またはm6とする。4. MおよびNは最大値、Xは最小値を示す。5. この表に使用した寸法記号はJEM 1015 プラケット形横軸回転電動機寸法記号による。6. 口出線は連結側から見て、とくに指定のないかぎり左側に設ける。

表 3.6 ドイツ AEG 社製 Type A 防滴形三相誘導電動機
外形寸法表 (1952 年カタログより)

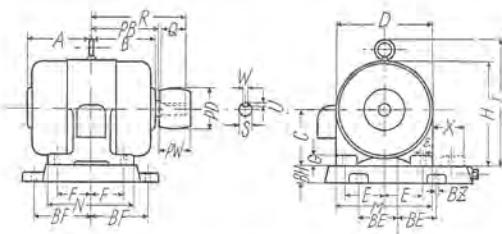


单位：mm

2 P		4 P		6 P		8 P		Type	A	B	C	D	E	F	G	I	M	N	R	S	Q	R-Q	C ² (R-Q)	
H P	kW	H P	kW	H P	kW	H P	kW																	
								A0.55n	130.5	110.5	106	182	80	45	18	197	200	132	157.5	18	40	*127.5	1,430	
2	1.3	1	0.8			0.55		A0.8n	135.5	115.5	106	182	80	45	18	197	200	132	162.5	18	40	*132.5	1,490	
	1.8		1.1	1	0.8		0.45	A1.1n	145.5	125.5	106	182	80	55	18	197	200	152	172.5	18	40	*142.5	1,600	
3	2.5	2	1.5			1.1	1	0.73	A1.5n	162.5	132.5	125	220	95	80	22	279.5	240	210	192.5	22	50	*157.5	2,460
5	3.5	3	2.2	2	1.5			1	A2.2n	170	140	125	220	95	80	22	279.5	240	210	200	22	50	*165	2,580
7.5	4.8		3	3	2.2			1.25	A3n	185	155	125	220	95	95	22	279.5	240	240	215	22	50	*180	2,810
	6.5	5	4		3	2	1.8	A4n	187	157	150	267	110	100	25	328	280	260	235	28	60	*190	4,280	
10	9	7.5	5.5	5	4	3	2.4	A4.5n	202	172	150	267	110	115	25	328	280	290	250	28	60	*205	4,620	
15	12	10	7.5	7.5	5.5	5	3.6	A7.5n	200	200	180	354	132.5	120	30	416	360	325	290	38	80	210	6,800	
20	17.5	15	11	10	7.5	7.5	5	A11n	220	220	180	354	132.5	140	30	416	360	365	310	38	80	230	7,450	
30	24	20	15	15	11	10	7.5	A15n	240	240	212	414	157.5	140	35	488	422	375	375	45	110	265	11,900	
	33	30	22	20	16	15	11	A22n	265	265	212	414	157.5	165	35	488	422	425	400	45	110	290	13,050	

注 * 印のものは、 $A \neq B$ の場合で、 $1/2(A - B)$ の値を加えて修正した。

表 3.7 英国 English Electric 朴製 防滴形三相誘導電動機寸法

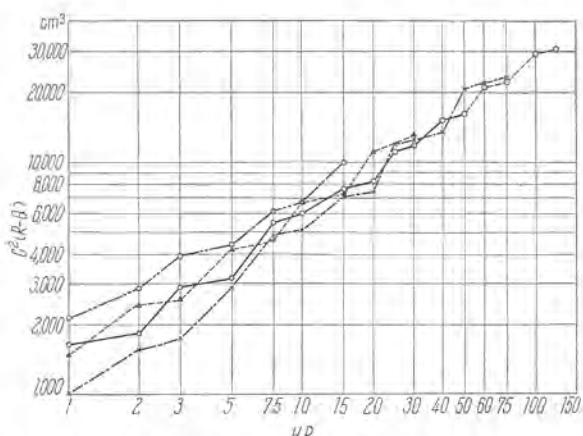


單位：inch/mm

HP				わく番	A	C	D	E	F	G	H	I	M	N	Q	R	S	T	W	Z	R-Q	C ² (R-Q)
2 P	4 P	6 P	8 P																			
1 1/2	1	3/4	1/2	A182	6 3/4 171.5	4 1/2 114.3	10 254	3 3/4 95.3	2 1/4 57.2	7/16 11.1	9 228.6	—	8 3/4 222.3	5 3/4 146.1	2 1/4 57.2	7 1/4 184.2	7/8 22.2	1/4 6.4	1/4 6.4	7/16 11.1	5 127	×10 ³ 1,660
2 3	1 1/2 2	1 1 1/2	3/4	A184	7 1/4 184.2	4 1/2 114.3	10 254	3 3/4 95.3	2 3/4 69.9	7/16 11.1	9 228.6	—	8 3/4 222.3	6 3/4 171.5	2 1/4 57.2	7 3/4 196.9	7/8 22.2	1/4 6.4	1/4 6.4	7/16 11.1	5 1/2 139.7	1,825
5	3	2	1 1 1/2	A213	7 3/4 196.9	5 1/4 133.4	11 3/4 299.5	4 1/4 108	2 3/4 69.9	1/2 12.7	10 1/2 266.7	12 3/8 314.3	10 254	7 177.8	3 76.2	9 1/4 235	1 1/8 28.6	7/32 5.6	5/16 7.9	7/16 11.1	6 1/4 158.8	2,830
7.5	5	3	2	A215	8 1/2 215.9	5 1/4 133.4	11 3/4 299.5	4 1/4 108	3 1/2 88.9	1/2 12.7	10 1/2 266.7	12 3/8 314.3	10 254	8 1/2 215.9	3 76.2	10 254	1 1/8 28.6	7/32 5.6	5/16 7.9	7/16 11.1	7 177.8	3,170
10	7.5	5	3	A254	9 228.6	6 1/4 158.8	14 1/4 362	5 127	4 1/8 104.8	5/8 15.9	12 1/2 317.5	14 7/8 377.8	12 304.8	3 3/4 254	12 1/8 95.3	1 3/8 308	1/4 34.9	3/8 6.4	9/16 6.5	8 3/8 14.3	212.7	5,360
15	10	7.5	5	A256	10 1/8 275.2	6 1/4 158.8	14 1/4 362	5 127	5 127	5/8 15.9	12 1/2 317.5	14 7/8 377.8	12 304.8	11 3/4 298.5	3 3/4 330.2	13 349.2	1 3/8 34.9	1/4 6.4	3/8 9.5	9/16 14.3	234.9	5,390
20	15	10	7 1/2	A284	10 7/8 276.2	7 177.8	15 3/4 400.1	5 1/2 139.7	4 3/4 120.7	11/16 17.5	14 355.6	16 3/8 415.9	13 1/4 336.6	11 1/2 292.1	4 7/8 123.8	14 3/8 365.1	1 5/8 41.3	9/32 7.1	7/16 11.1	9/16 14.3	9 1/2 241.3	7,630
25	20	—	10	A286	11 5/8 295.3	7 177.8	15 3/4 400.1	5 1/2 139.7	5 1/2 139.7	11/16 17.5	14 355.6	16 3/8 415.9	13 1/4 336.6	13 330.2	4 7/8 298.2	14 1/8 41.3	5/8 7.1	9/32 11.1	7/16 14.3	9 1/4 260.4	10 1/4 8,240	

米国では目下この新寸法への切替えが行われている。新NEMA寸法の全容について表3.3に示す。英国ではどうかというと、最近まで大体旧NEMA寸法に近い寸法のもので製作していたようであるが、最近に至り、全面的に新NEMA寸法の採用を決定したようである。表3.4に従来のBS規格寸法を示す。

さて、これらの状勢の中で、わが国の電動機の小形化はどのように進めるべきかについて調査が進められたが結局、日本独自の標準寸法を決めるより国際的寸法を取るべきであり、歐州においてはまだよるべき標準寸法がないので、新 NEMA 寸法がよからうということになって 1956 年（昭和 31 年）、新しい標準寸法として JEM 1110 (30HP 以下) が決定された。この寸法は新 NEMA 寸法そのままでなく、インチを mm に換算した上で丸め、ブーリ、軸端は JIS の関係もあり、独自の寸法となつた。その後、本年にはいってからに 50 HP までが追

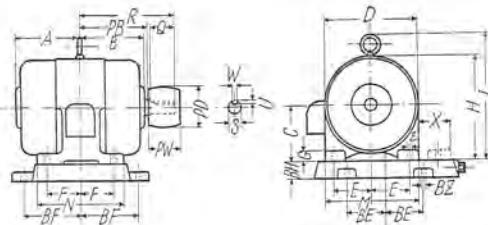


◎ ◎ 日本 JEM, 米国 NEMA, 英国 EE 社 (◎---◎ 米国 NEMA)
 △---△ 独 AEG 社 ◎---◎ 日本旧 JEM ×---× 伊 Marelli 社

図 3.1 各国電動機容積比較曲線（防滴形 4 枚）

Fig. 3.1 Curves comparing the volumes of motors in various countries.

表 3.8 イタリア Marelli 社製防滴形三相誘導電動機寸法



単位: mm

2 P		4 P		6 P		8 P		わく番号	A	C	D	E	F	G	H	I	M	N	Q	R	S	T	W	Z	PD	PWR-Q	C^2 (R-Q)	
HP	kW	HP	kW	HP	kW	HP	kW																					
0.5	0.368	0.315	0.232	0.2	0.147	—	—	AcN 11	94.5	85	169	67.5	52.5	12	—	—	165	129	40	138	14	4	5	8.5	65	50	98	708×10 ³
0.8	0.59	0.5	0.368	0.25	0.184	—	—	AcN 12	98.5	85	169	67.5	56.5	12	—	—	165	137	40	142	14	4	5	8.5	65	50	102	738
1.4	1.03	0.8	0.59	0.5	0.368	—	—	AcN 21	103	95	190	75	58	15	—	—	185	142	50	158	18	5	6	8.5	90	60	108	975
1.8	1.32	1	0.736	—	—	—	—	AcN 22	106	95	190	75	61	15	—	—	185	148	50	161	18	5	6	8.5	90	60	111	1,000
2.5	1.84	1.5	1.1	0.8	0.59	—	—	AcN 23	115.5	95	190	75	70.5	15	—	—	185	167	50	170.5	18	5	6	8.5	90	60	120.5	1,090
3	2.21	2	1.47	1	0.736	0.63	0.463	AcN 31	119.5	112	220	87.5	68.5	15	—	—	215	163	60	186	22	5	6	8.5	110	80	126	1,580
4	2.94	2.5	1.84	1.6	1.18	1	0.736	AcN 32	128	112	220	87.5	77	15	—	—	215	180	60	194.5	22	5	6	8.5	110	80	134.5	1,690
5	3.68	3	2.21	2	1.47	—	—	AcN 33	133	112	220	87.5	82	15	—	—	215	190	60	199.5	22	5	6	8.5	130	80	139.5	1,750
5.6	4.1	4	2.94	2.5	1.84	1.8	1.3	AcN 41	153	132	265	107.5	97	20265	—	—	260	228	75	234	28	6	8	11	160	100	159	2,770
8	5.9	5	3.7	3.55	2.6	2.24	1.6	AcN 42	161	132	265	107.5	105	20265	—	—	260	244	75	242	28	6	8	11	160	100	167	2,910
—	—	6.3	4.65	4	2.94	—	—	AcN 43	161	132	265	107.5	105	20265	—	—	260	244	75	242	28	6	8	11	160	100	167	2,910
10	7.4	8	5.9	5	3.7	3.55	2.6	AcN 51	179.5	160	301	125	87.5	25	—	345	300	215	85	272.5	32	7	10	14	—	120	187.5	4,800
12.5	9.2	10	7.4	7.1	5.25	4.5	5.3	AcN 52	192	160	301	125	100	25	—	345	300	240	85	285	32	7	10	14	—	120	200	5,120
16	11.8	12.5	11.8	10	7.4	5.6	4.1	AcN 61	204.5	180	350	137.5	105	28	—	397	340	255	105	317.5	42	8	14	18	300	150	212.5	6,900
20	14.7	16	11.8	12.5	9.2	8	5.9	AcN 62	212	180	350	137.5	112.5	28	—	397	340	270	105	325	42	8	14	18	300	150	220	7,130
25	18.4	20	14.7	16	11.8	10	7.4	AcN 63	222	180	350	137.5	122.5	28	—	397	340	290	105	335	42	8	14	18	300	150	230	7,450
31.5	23.7	25	18.4	20	14.7	12.5	9.2	AcN 71	253	220	415	162.5	122.5	32	—	478	405	295	110	360	45	8	14	22	335	180	250	12,100
40	29.4	31.5	23.2	25	18.4	16	11.8	AcN 72	265.5	220	415	162.5	135	32	—	478	405	320	110	372.5	45	8	14	22	335	180	262.5	12,700
50	36.8	40	29.4	31.5	23.2	20	14.7	AcN 73	278	220	415	162.5	147.5	32	—	478	405	345	110	385	45	8	14	22	335	180	275	13,300
63	46.3	50	36.8	40	29.4	25	18.4	AcN 81	298	260	497	192.5	140	35	—	567	485	335	145	445	58	10	16	26	—	230	300	20,300
80	58.8	63	46.3	50	36.8	35.5	26.1	AcN 82	318	260	497	192.5	160	35	—	567	485	375	145	465	58	10	16	26	—	230	320	21,600
100	73.6	80	58.8	63	46.3	45	33.1	AcN 83	338	260	497	192.5	180	35	—	567	485	415	145	485	58	10	16	26	—	230	340	23,000

表 3.9 各国電動機の概略容積の比較表

単位: mm

H P	P	日本 JEM			米国 NEMA			英國 English Electric 社			ドイツ AEG 社			イタリア Marelli 社							
		C	R-Q	C^2 (R-Q)	C	R-Q	C^2 (R-Q)	C	R-Q	C^2 (R-Q)	C	R-Q	C^2 (R-Q)	C	R-Q	C^2 (R-Q)					
1/2	4	90	105	850	1	114.3	127	1,660	1	114.3	127	1,600	1	106	132.5	1,490	0.90	95	111	1,000	0.60
1	“	115	125	1,655	1	114.3	139.7	1,825	0.99	114.3	139.7	1,825	0.99	125	157.5	2,460	1.33	112	126	1,580	0.85
2	“	115	140	1,832	1	114.3	159.7	2,830	0.97	133.4	158.8	2,830	0.97	125	165	2,580	0.88	112	139.5	1,750	0.60
3	“	135	160	2,920	1	133.4	158.8	3,170	0.97	133.4	177.8	3,170	0.97	150	190	4,280	1.31	132	167	2,910	0.89
7.5	“	160	215	5,505	1	158.8	212.7	5,360	0.97	158.8	212.7	5,360	0.97	150	205	4,620	0.84	160	187.5	4,800	0.87
10	“	160	235	6,020	1	158.8	234.9	5,930	0.98	158.8	234.9	5,930	0.98	180	210	6,800	1.13	160	200	5,120	0.85
15	“	180	240	7,780	1	177.8	241.3	7,630	0.98	177.8	241.3	7,630	0.98	180	230	7,450	0.96	180	220	7,130	0.92
20	“	180	260	8,425	1	177.8	260.4	8,240	0.98	177.8	260.4	8,240	0.98	212	265	11,900	1.41	180	230	7,450	0.88
25	“	—	—	203.2	266.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	220	250	12,100	—
30	“	205	285	11,980	1	203.2	285.7	11,780	0.99	—	—	—	—	212	290	13,050	1.09	220	262.5	12,700	1.06
40	“	225	300	15,200	1	228.6	292.1	15,250	1	—	—	—	—	—	—	—	—	220	275	13,300	1.88
50	“	225	320	16,200	1	228.6	304.8	15,950	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—	260	300	20,300	1.25
60	“	—	—	—	—	254	323.9	20,900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	260	320	21,600	—
75	“	—	—	—	—	254	342.9	22,100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	260	340	23,000	—
100	“	—	—	—	—	279.4	374.7	29,200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
125	“	—	—	—	—	279.4	394.1	30,700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: C^2 (R-Q) はほぼ容積に比例すると見てよい。

加され、現在わが国の各メーカーともこの寸法への切替えを急いでいる。表 3.5 にその全寸法を示す。なお参考までにカタログで調べたドイツ AEG 社、イタリア Marelli 社、英國 English Electric 社の電動機外形寸法を表 3.6 ~3.8 に示す。表 3.9 および図 3.1 には各国の電動機の概略容積比率を算出した上その比較を示したが、イタリア Marelli 社の寸法が、思い切って小形化されていることがわかる。

4. 日本の電動機の特異性

東海の孤島日本も、最近の交通の極度の発達に伴いつまでも孤星を守っているわけにはいかなくなり、欧米の新しい文化、技術が遠慮なく押し寄せてきて、古いもの、不合理なものは、おしげもなく捨て去られて行く世

の中となった。日本の電動機も国内需要だけを対象としていつまでもその特異性を誇っているわけにも行くまいが、それでも日本独自の事情により、きわめて不経済な、不合理な幾多の束縛にあえいでいるのが現状である。以下それについて概要を述べる。ここで対象としている電動機は、一般用の標準電動機で特殊用途、特殊設計の注文電動機は含まれていない。

4.1 周波数の問題

米国の一州の面積よりも少ないといわれるわが国の電源周波数が 50 c/s と 60 c/s の 2 地域に分かれていることは、日本の知性の低さを示すものであるといったら、いい過ぎかも知れない。しかしこれほどばかげたことはない。電動機の設計は、これら両地域で支障なく使えるように無理な設計を強いられるため相当の資材がむ

だに使われている、資源の乏しい日本でこんなむだ使いが許されてよいものだろうか、いまさら、周波数統一問題かということになるが、何とか解決の道はないものだろうか。

4.2 電圧の問題

これは二つの問題が含まれている。一つは周波数の異なる両地域の基準電圧の問題と、今一つは電圧変動率が大きすぎる点の二つである。現在基準電圧は 50 c/s 地区でも、60 c/s 地区でも三相では 200 V である。電動機の性能からいえば、50 c/s 地区の電圧が 200 V なら、60 c/s 地区の電圧は 220 V が都合がよいのである。それが現在、60 c/s 地区で 200 V のため、種々の問題を起している。第一は 60 c/s 地区で電動機のトルク（回転力）が不足する問題である。これをカバーしようとすると、その電動機は 50 c/s 地区では力率がははだしく低下するという問題が起る。この両者をカバーするためには、鉄心、電線など余分に資材を使わなければならなくなる。せめて 60 c/s 地区の電圧を 50 c/s 地区の電圧より 10% 上げてもらえばこの不利は大分緩和されるはずである。一例を表 4.1～4.2 に示す。

この例は、60 c/s の起動トルクを必要な程度出したため、50 c/s の力率が規格に不合格となった。そのため鉄心積厚さを増して再設計のやむなきに至ったが、同一定格のウェスチングハウス社製品の試験成績はわれわれの製品の成績よりはるかに下回った値であった。参考のため対比させた。温度上昇など十分の余裕があるにかかわらず、資材の余分にいる設計に変更しなければならない現状の不合理について注目していただきたい。かりに 60 c/s の電圧が 220 V であればこののような不合理は解消し、60 c/s の起動トルクは 50 c/s の起動トルクと同じ程度に

表 4.1 JIS 規格特性不合格の一例 5 HP 六極

* 即は不合格特性

閉鎖防滴型 5 HP 六極 (C)					
		試作品	試験値	JIS 規格値	米国 W 社試験値
電周波数	Hz	200 50	200 60	200 50/60	200 50
効率 (%)		88.0 76.8%	88.6 82.8	82.0 以上 79.5 以上	86.7 69.2%
起動電流 (A)		88.8	76.5	105 以下	97.8
起動トルク (%)		230	188	125 以上	205
停動トルク (%)		308	266	—	162
最大出力 (%)		261%	236	250 以下	289
温度上昇 (°C)		—	—	—	239
コイル (抵抗法)		29.0	19.5	60 以下	43.0
鉄心		24.0	17.0	50 以下	34.0

表 4.2 JIS 規格特性不合格の一例 7.5 HP 六極

* 即は不合格特性

閉鎖防滴型 7.5 HP 六極 (K ₂)					
		試作品	試験値	JIS 規格値	米国 W 社試験値
電周波数	Hz	200 50	200 60	200 50/60	200 50
効率 (%)		88.9 77.2%	90.0 82.8	82.0 以上 77.5 以上	87.5 68.3
起動電流 (A)		128.8	109.8	150 以下	152.4%
起動トルク (%)		236	191	150 以下	222
停動トルク (%)		290	253	—	172
最大出力 (%)		250	221	250 以下	302
温度上昇 (°C)		—	—	—	251
コイル (抵抗法)		39.5	30.5	60 以下	36.5
鉄心		30.0	24.0	50 以下	40.5

備考 C: 普通カゴ形 K₂: 特殊カゴ形第2種

なるので全般にトルク特性を下げる余地が生れ、50 c/s の力率は非常に向上していく。

今一つの問題は、わが国の配電網が貧弱なため、電圧の変動が大きいことである。戦前から一般の配電電圧は ±10% の範囲内に保たれなければならないことになっており、JIS その他の電動機の規格では ±10% の電圧の変動があっても運転に支障がないよう要求している。しかし戦後電力不足もあって、農村、都市を問わず電圧事情が極度に悪くなり、10% はおろか 30% 以上の電圧低下する地区さえ出現する状態であった。その後逐年改善されてきたが、まだ決して十分という訳ではない。したがってわれわれメーカーは自衛手段として、相当の電圧の低下があっても電動機の起動トルクが不足しないよう考慮を払わざるを得ない実情にある。このことは結局電動機としては余分の資材を必要とし、特性、なかでも力率の悪化となって現われている。

4.3 規格の問題

諸外国の規格の中で日本の規格のように効率、力率まで定めた規格はまったくない。たとえば米国には ASA の規格 AIEE の規格 NEMA の規格がある。英國には BS 規格、ドイツには DIN あるいは VDE 規格があるが、いずれも効率、力率などの特性まで決めていない。フランス、イタリア、いずれも同様である。日本の JIS が規格の中に特性を規定したのには由来がある。もともと日本の特性規格は電気協会の規格 JEA に端を発している。電気協会の規格はどちらかというと電力会社が主体となって決めた規格で、電力会社はご承知のように公事事業であり、また独占事業である。電力会社の各地の試験所で、電力会社の内規をたてて電動機の特性が気に入らないから使用の許可は出さぬといわれると、使用者も、メーカーも何ともいたし方がなかったのである。それでは困るので、各電力会社の統一した受入れ規格としての JEA 規格ができた。したがって、特性規格に関して電力会社の発言力はきわめて強かった。特性規格が JIS になった現在でもその傾向は尾を引いている。まことにおかしな話ではある。なぜ、日本だけ特性規格を必要とするのであろうか。欧米と同様、特性に関して自由にしては具合が悪いのであろうか。特性規格による制限が前述の周波数、電圧の問題とからみ合って、まことに窮屈な、不自然な設計を強いられている。早急に改善を要する問題点の一つであろう。

4.4 温度上昇の問題

一般に、わが国の電動機使用者達は、電動機の温度に関して必要以上に神経過敏のようである。電動機が熱くなつて困るという苦情をいいながらそれでいて案外温度の測定を行っていない場合が多い。電動機のフレームに手がつけられないからといってそれほど心配する必要はない。たとえばフレームの温度が 70°C にもなるとちょっとさわっていられなくなるが巻線の温度は 90°C 前後と見てよいから、焼損を起すような危険温度ではないのである。このように日本市場では、低い温度上昇の電動機

が喜ばれる結果、時代と逆行して、日本のモータメーカーは必要以上に低い温度上昇の電動機を作ることに浮身をやつすため、世界の情勢に立ちおくれ輸出不振の一因を作っていたといわなければならぬ。とくに最近、新しい耐熱絶縁材料がつぎつぎと登場し、各メーカーともこれらの新しい材料を使用することが一つの傾向となっている現在、電動機の温度の低いことを宣伝材料にしているのは自己矛盾もはなはだしいのではないだろうか。この辺にも、わが国の通弊である合理精神の欠陥が現われているような気がするがどうであろうか。

4.5 その他

その他、日本の電動機の特異性あるいは後進性はまだまだ幾らもある。たとえば西瓜でも買うときのように手でかかえて、同じ値段なら重いほうを選ぶとか、1馬力でも2馬力に使えるような電動機をほしがるとか、農繁期を過ぎるとすっかり手入れして、床の間にでも飾れるようにピカピカとバフかけしたような電動機が喜ばれるとか、およそ時代ばなれした習慣が残っているようである。

5. JIS 電動機規格改正の必要

以上述べたように日本の電動機は、日本独特的伝統と基盤の上に立って発展してきた。しかし海外市場で、諸外国の電動機と競争を争うためには合理化できるものは合理化し、十分の競争力をたくわえる必要があることはもちろんである。ここでは多岐にわたる問題の焦点をしほって、規格改正の必要性と温度上昇限度を高めることの2点について述べることにする。

誘導電動機に関するJISの規格は表5.1に示すとおりである。改正を必要とする事項、新しく設けたほうがよいと思われる事項は数々あるが、問題をさらに特性規格についてだけに限定する。

5.1 規格の簡素化

日本のJIS規格のように形式別、出力別、極数別に細かに特性を規定した規格は、世界でも類を見ない。その由来については前節で述べたが、これらの制限は全廃するか、全廃しないまでも簡素化する必要がある。現在JISで決っている規格値の種類は、全負荷時のすべり、効率、力率、電流、無負荷電流、起動電流の6項目のほかに最大出力、停動トルク、起動トルクなどの制限値がある。米国のNEMA規格では、起動トルク、停動トルク、起動電流の3項目だけで、これで十分なのである。最近、われわれ電機メーカーの主張がようやく認識され、JIS-C4201低圧三相誘導電動機規格では、規格値として効率、力率、起動電流の3項目となり、全負荷電流、

表 5.1 誘導電動機関係 JIS 規格および規格値一覧表

規格番号	規格名称	始動 耐力	温度 上界	走 トルク	停 トルク	最大 出力	起動 電流	全負荷特性			全負荷 電 流	無負荷 電 流
								滑り	効率	力率		
JIS C 4002-1952	電気機器通則	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS C 4201-1956	低圧三相誘導電動機(一般用)	○	○	-	-	○	○	△	○	○	△	△
JIS C 4202-1954	高圧三相誘導電動機(一般用)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
JIS C 4203-1956	単相誘導電動機(一般用)	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	△
JIS C 4204-1954	誘導電動機の起動階級	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS C 4205-1953	輸出三相誘導電動機(一般用)	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-
JIS C 4206-1953	紡織用三相誘導電動機	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
JIS C 4207-1951	三相誘導電動機の特性算定法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS C 4208-1953	輸出紡織用三相カゴ形誘導電動機	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-

備考 ○印は規格値のあるもの △印は参考値のあるもの -印は規格値、参考値のないもの

無負荷電流、全負荷すべりの3項目は参考値となった。最大出力の制限については、起動電流、力率などの制限により十分制限できるから廃止してよいという主張は、電力会社の反対で容れられなかった。JIS-C4202高圧三相誘導電動機規格では、この意見は採用されたが、他の特性値は従来のままとなった。しかし次の改訂の機会にはJIS-C4201と同一歩調がとれるものと予想される。現在JIS規格で採用されている主要規格値の一覧表を表5.1に示す。

5.2 規格値改正の意義

JIS-C4201低圧三相誘導電動機の規格値である効率、力率、起動電流の3項目について、改正の必要があるかどうかという点について次に述べる。諸外国にないこの三つの規格値を今後も存続させる意義については疑問があるが、しいて意義づけるならば、

- 需要者に対し、品質水準の目安を与える。
- メーカーに対しては、品質の標準化を可能ならしめ品質に関する過当競争を排除させる。

c. 品質の標準化により価格に関する過当競争を排除し価格の安定を図ることができる。
しかし、現今の過剰供給状態の国内市場では、これらはいずれも有名無実となっているのではないだろうか。また一方の見方からすれば、現在のような素材そのものの質的変化が大きく動きつつある時代にその影響をもっとも受ける特性値に制限を設けることは、技術の自由な進展を阻害しないだろうか。事実数十年來の規格値による制限により、品質とコストの面で世界の第一線より大きく引きはなされているのではないか。そのような心配もあって日本電機工業会では、欧米の電動機の品質水準の調査を行ったのであるが、結論としては、前述のように効率、起動電流についてはとくに改訂の必要はないが、力率に関してはとくに小形のものについて大巾な改訂の必要を認められたのである。

5.3 力率改訂の提案

小形電動機の力率が欧米のものに比較してはなはだしく高いのは主として電力会社の要請によるものである。つまり同じ電力を送電あるいは配電するにも負荷の力率が高ければ、それだけ配電線の資材が少なくてすむことは明らかで、そのためには電動機の力率の高いことが要請されるのである。その点はわれわれメーカーも同感であるが、問題は電動機の機械寸法を大きくして、力率を高

めるより進相用コンデンサにより力率を高めるのが現在では常識になっているのではないかという点である。すでに現在各電力会社は使用者に対し各電動機ごとに進相用コンデンサの取付を要求され、取付コンデンサの容量基準としては、50%負荷時の力率を85%以上なることを要求し、それらのコンデンサはすべて需要家負担となっている（表5.2～5.5）。ただし50%負荷時の力率を85%以上にするということはいかなる根拠からでたものかはさか過大な要求ではなかろうか。

表5.2 コンデンサ取付容量基準（東京電力-内線規程）

A 単相 100V

出力		取付容量基準(μF)		出力		取付容量基準(μF)	
kW	HP	50c/s	60c/s	kW	HP	50c/s	60c/s
0.1	1/8	30	30	0.6	3/4	75	50
0.2	1/4	50	40	0.75	1	75	50
0.27	1/3	50	40	1.15	1 1/2	100	75
0.4	1/2	50	40				

B 単相 200V

出力		取付容量基準(μF)		出力		取付容量基準(μF)	
kW	HP	50c/s	60c/s	kW	HP	50c/s	60c/s
0.2	1/4	20	20	0.6	3/4	40	30
0.27	1/3	30	20	0.75	1	40	30
0.4	1/2	30	20	1.15	1 1/2	50	40

C 三相 200V

出力		取付容量基準(μF)		出力		取付容量基準(μF)	
kW	HP	50c/s	60c/s	kW	HP	50c/s	60c/s
0.2	1/4	15	10	7.5	10	150	100
0.4	1/2	20	15	10	15	200	150
0.75	1	30	20	15	20	250	200
1		30	20	20	25	300	250
1.5	2	40	30	25	30	400	300
2	3	50	40	30	40	500	400
3		50	40	(40)	(50)	(600)	(500)
4	5	75	50			(60)	(750)
5	7.5	100	75	(50)	(75)	(900)	(750)

表5.3 コンデンサ取付容量基準（中部電力-内外線工事要則）
その1

A 単相 100V

種別	定格出力(kW)	極数	取付容量基準(μF)		種別	定格出力(kW)	極数	取付容量基準(μF)	
			50c/s	60c/s				50c/s	60c/s
分相	0.1		75	70		0.1		75	70
	0.2	4	100	90		0.2	4	100	90
	(0.4)		125	105		0.4		125	105

B 単相 200V

種別	定格出力(kW)	極数	取付容量基準(μF)		種別	定格出力(kW)	極数	取付容量基準(μF)	
			50c/s	60c/s				50c/s	60c/s
分相	0.1		20	20		0.1		20	20
	0.2	4	30	20		0.2	4	30	20
	(0.4)		30	30		0.4		30	30

C 三相 200V

普通カゴ形（開放形、閉鎖形、全閉形（1/2HP以下）全閉外扇形）

定格出力(HP)	極数	取付容量基準(μF)		定格出力(HP)	極数	取付容量基準(μF)	
		50c/s	60c/s			50c/s	60c/s
1/4		15	15	1/4		15	15
1/2		15	15	1/2		15	15
1		15	15	1		20	15
2		20	15	2		30	30
3		20	20	3		30	30
5		30	30	5		45	35
1/2		20	20				
1		30	30	1		50	45
2		45	35	2		70	60
3		55	45	3		90	75
5		75	60	5		115	95

表5.4 コンデンサ取付容量基準（中部電力-内外線工事要則）

その2

特殊カゴ形1種、特殊カゴ形2種、巻線形

種別	定格出力(HP)	取付容量基準(μF)							
		特殊カゴ形 1種				特殊カゴ形 2種			
		開放形	閉鎖形	全閉外扇形	開放形	閉鎖形	全閉外扇形	開放形閉鎖形	全閉外扇形
2	7.5	65	55	75	60				
	10	65	55	85	70				
	15	85	70	100	85				
	20	95	80	110	90				
	25	95	80	120	100				
	30	85	70	115	95				
	40	75	65	115	95				
	50	50	45	95	80				
	7.5	85	70	85	70	110	90	115	95
	10	95	80	105	85	120	100	135	110
4	15	125	105	140	115	165	140	180	150
	20	145	120	165	135	200	170	220	185
	25	160	135	180	150	230	195	250	210
	30	160	135	190	160	245	205	275	215
	40	185	150	215	180	285	235	325	255
	50	185	155	225	190	320	265	350	295
	7.5	120	100	120	100	135	115	145	120
	10	140	115	150	125	170	140	170	160
	15	180	150	195	165	225	190	225	195
	20	200	170	220	185	260	215	275	200
6	25	230	190	250	210	300	250	325	275
	30	245	205	275	230	325	275	355	300
	40	285	235	325	270	400	330	435	360
	50	325	270	350	295	455	380	495	410
	7.5	170	140	175	150	195	160	200	170
	10	205	170	215	180	235	200	245	205
	15	260	220	275	230	305	255	335	280
	20	330	275	345	290	385	320	405	330
	25	370	310	390	325	435	360	460	385
	30	410	340	440	365	495	410	515	430
8	40	510	425	545	455	615	515	655	545
	50	580	485	630	525	730	605	765	635
	7.5	170	140	175	150	195	160	200	170
	10	205	170	215	180	235	200	245	215
	15	260	220	275	230	305	255	335	280
	20	330	275	345	290	385	320	405	330
	25	370	310	390	325	435	360	460	385
	30	410	340	440	365	495	410	515	430
	40	510	425	545	455	615	515	655	545
	50	580	485	630	525	730	605	765	635

表5.5 コンデンサ取付容量基準（関西電力-工事要綱）

A 単相 100V および 200V

電圧(V)	電動機 HP 数(W数)	蓄電器容量(μF)	
		1/4 (200)	15
100	1/2 (400)	50	20
	1 (750)	75	30
電圧(V)	電動機 HP 数(W数)	蓄電器容量(μF)	(kVA)
10	7.5	100	1.51
	10	100	1.51
	15	150	2.26
	20	200	3.02
	25	250	3.78
	30	300	4.53
	40	400	6.03

一方、われわれメーカーとしては、欧米の電動機の力率水準よりはるかに高い水準の電動機を国家規格の制限の下に製作しなければならないことは、国際競争場の不利を招き、輸出不振の一因となりかねない。数%の輸出向を対象として90%以上の国内向の品質を下げるとの不当を唱える向きもあるが、ドイツあるいはスイスの例をとるまでもなく、輸出振興こそわが日本の生きる道であり、数%の輸出量を数十%に引上げることこそわれわれの責務でなくてはならない。国内資源の乏しいわが日本メーカーが銅と鉄を多く必要とする電動機を国内需要層に提出しなければならないとは自己撞</

着もはなはだしいではないか。

なお輸出向を対象として JIS-C 4205 および JIS-C 4208 が設けられ、これらは海外製品との競争を考慮して特性規格値はいっさい省いたものになっているが、実際問題としては国内向製品より特性値を下げたものを出すということ自体の問題および数量の少ない場合には再設計するためのコスト高あるいは納期の点などの考慮から標準生産品の一部変更程度で振り向けることが多い。したがって輸出向規格だけから特性値をぬいても実際上の効果はさして期待できないという点が現状である。

さて具体的に欧米製品と日本製品の力率水準はどのくらいの差があるだろうか。図 5.1 に開放形、四極電動機、図 5.2 に開放形、六極電動機の欧米製品の力率の値と旧 JIS、現行 JIS、改訂案の比較曲線を示す。日本の電動機の力率水準は、同図に示されている現行 JIS 規格値から数%上回ったところと考えていただきたい。日本の電動機の力率水準がいかに欧米の電動機より高いかということがわかつていただけると思う。力率が高いか、低いかということは、起動トルクの大小と密接な関係にあり、各特性を総合して考えていただかなければならぬ。そ

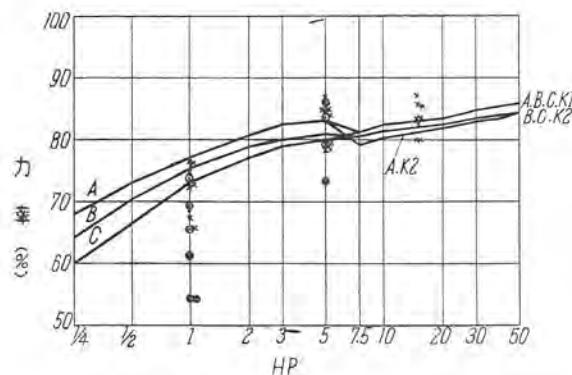


図 5.1 四極力率比較曲線

Fig. 5.1 Power factor comparison curves of 4 pole motors.

参考 A: 旧 JIS B: 現行 JIS C: 改訂案 K1: 特殊カゴ形第 1 種
K2: 特殊カゴ形第 2 種 ×: 50 c/s 値 ●: 60 c/s 値
◎: 50, 60 c/s 共用設計のもの

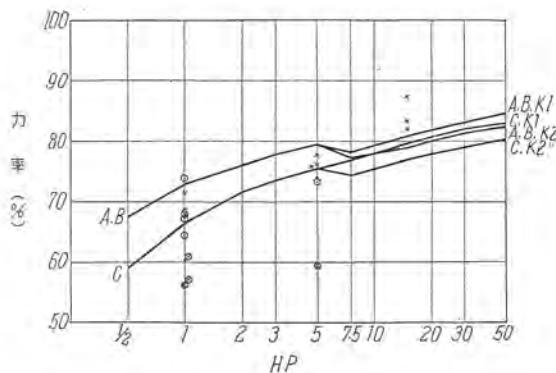


図 5.2 六極力率比較曲線

Fig. 5.2 Power factor comparison curves of 6 pole motors.

参考 A: 旧 JIS B: 現行 JIS C: 改訂案 K1: 特殊カゴ形第 1 種
K2: 特殊カゴ形第 2 種 ×: 50 c/s 値 ●: 60 c/s 値
◎: 50, 60 c/s 共用設計のもの

れらについては前掲の表 2.10~2.17 をご参照願いたい。日本の電動機の特異性は前に述べたように電圧、周波数の組合せの不利、電圧変動率過大の負担、それらをカバーするため起動トルクが大きく、しかも力率が欧米製品より高いという点にある。それでどうして合理的な小型化とコストダウンができるのか、そこに力率改訂の必要性が生えてくるのである。

当社は JIS-C 4201 低圧三相誘導電動機（一般用）の力率改訂に関し電機工業会誘導機委員会へ提案を行い、電機工業会ではこの案をもととし、電力会社の技術連絡会である三電打合会に申し入れを行い、意見の一致を見た上で JIS 委員会に提案することになっている。本誌発行のころにはすでに軌道にのって審議が進められているところと思う。以下この提案の趣旨について若干説明を加えることとする。

この力率緩和の提案はすでに数年前に起され、すでに四極電動機については第 1 次としてこれが受け入れられ、1956 年度の改正規格として発表された。6 極については資料不足の理由で見送りとなり、今日に及んでいる。当時の改訂は従来の規格値が裕度付の標準値であったのを裕度なしの規格値とし、4 極についてはその値よりさらに若干の値を下げたのであるが、現行規格値の算出には下式を用いた。すなわち、

$$pf' = pf - 1/6 (100 - pf)$$

$$pf'' = pf - 1/6 (100 - pf')\alpha$$

ただし pf : 標準値 (JIS 4201-1954)

pf' : 標準値に裕度を適用した値

pf'' : 現行規格値 ただし裕度なし (JIS-C 4201-1956)

α : 表 5.6 および 5.7 に示す。

すなわち旧 JIS から現行 JIS への力率低下分は

$$pf'' - pf' = 7/36 (100 - pf)\alpha$$

表 5.6 四極力率改訂案

形式 開放形および閉鎖形 (5 HP 以下は全閉外扇形を含む)

出力 (HP)	極 数	回転 数	旧 JIS (1954)		現行 JIS (1956)		改 訂 案	
			Pf	Pf'	Pf''	α	Pf'''	α
1/4	4	C	72.5	67.9	64.5	2/3	60.0	1.5
1/2	4	η	77.5	73.2	70.5	2/3	66.5	1.5
1	4	η	80.5	77.3	75.5	2/3	73.0	1.2
2	4	η	83.5	80.8	79.0	2/3	77.0	1.2
3	4	η	85.0	82.5	80.0	2/3	79.0	1.2
5	4	η	85.5	83.1	81.0	2/3	80.0	1.2
7.5	4	K1	84.0	81.1	81.5	0	81.5	0
10	4	η	85.0	82.5	82.5	0	82.5	0
15	4	η	85.5	83.1	83.0	0	83.0	0
20	4	η	86.0	83.7	83.5	0	83.5	0
25	4	η	86.5	84.3	84.0	0	84.0	0
30	4	η	87.0	84.8	84.5	0	84.5	0
40	4	η	87.5	85.4	85.0	0	85.0	0
50	4	η	88.0	86.0	85.5	0	85.5	0
7.5	4	K2	82.5	79.6	80.5	0	80.5	0
10	4	η	83.5	80.8	81.5	0	81.5	0
15	4	η	84.0	81.3	82.0	0	82.0	0
20	4	η	84.5	81.9	82.5	0	82.5	0
25	4	η	85.0	82.5	83.0	0	83.0	0
30	4	η	85.5	83.1	83.5	0	83.5	0
40	4	η	86.0	83.7	84.0	0	84.0	0
50	4	η	86.5	84.3	84.5	0	84.5	0

参考 C : 普通カゴ形
K1: 特殊カゴ形 第 1 種
K2: 特殊カゴ形 第 2 種

表 5.7 六極力率改訂案

形式 開放形および閉鎖形 (5 HP 以下は全閉外扇形も含む)

出力 (HP)	極 数	回 転 子	旧 JIS (1954)		現行 JIS (1956)		改 訂 案	
			Pf	Pf'	Pf''	α	Pf'''	α
1/2	6	C	72.0	67.3	67.5	0	59.0	1.5
1	〃	〃	77.0	73.2	73.0	0	66.5	1.5
2	〃	〃	79.5	76.1	76.0	0	71.5	1.2
3	〃	〃	81.0	77.8	78.0	0	73.5	1.2
5	〃	〃	82.5	79.6	79.5	0	75.5	1.2
7.5	〃	K1	81.5	78.4	78.5	0	77.0	1/3
10	〃	〃	82.5	79.6	79.5	0	78.0	1/3
15	〃	〃	83.5	80.8	81.0	0	79.5	1/3
20	〃	〃	84.5	81.9	82.0	0	80.5	1/3
25	〃	〃	85.0	82.5	82.5	0	81.5	1/3
30	〃	〃	85.5	83.1	83.0	0	82.0	1/3
40	〃	〃	86.0	83.7	84.0	0	82.5	1/3
50	〃	〃	86.5	84.3	84.5	0	83.0	1/3

備考 C: 普通カゴ形
K1: 特殊カゴ形 第1種
K2: 特殊カゴ形 第2種

今回の提案の値が α'' は α の値をさらに修正したもので、それらの比較数値を表5.6および表5.7に、比較曲線を図5.1および図5.2のC曲線として示す。比較曲線には欧米各国の数値を 50 c/s のときの値を \times 印、60 c/s のときの値を \bullet 印としてプロットした。これらの値のうち、50 c/s, 60 c/s 共用設計のものは單一定格のものに比べ 50 c/s の場合の値がかなり低くなっている。これを区別するため、共用設計の 50 c/s 値を \otimes 印、60 c/s 値を \odot 印として表わした。今回の三菱案はこれら單一定格の欧米電動機の力率も考慮し、国際的にはやや高めに提案した。これは現状の急激な変化をさけ、漸進的に改訂を意図したもので、実施結果のいかんによっては将来さらに低下の余地を残しているものである。前述したように力率値の適正值は理論的に求められるものではなく、トルク特性、温度上昇、機械寸法などに関係していることはもちろんである。米国 NEMA 規格ではトルク特性について出力、極数別に詳細に規定しているが、日本ではこの点を考慮して実情からはなれて決められている。トルク特性をしっかりと決めずに力率のみ決めているのは、本末顛倒であるが、いずれ JIS 規格もこの辺まで合理化されなければならないであろう。

6. 温度上昇限度改訂の動き

電動機の寿命、正確にいえば絶縁物の熱に対する寿命

表 6.1 JIS C 4201, 4202 温度上昇限度

電動機の部分	温度計法 (°C)		抵抗法 (°C)	
	全閉形以外	全閉形	全閉形以外	全閉形
固定子巻線	50	55	60	65
カゴ形回転子巻線	制限しない			
巻線形回転子巻線	50	55	60	65
絶縁物に接近せる鉄心その他の部分	50	55	—	—
スリップブリッジ	65	65	—	—
ブラシホルダ・ブラシなど	制限しない			
軸受 (自冷式)	外部より測定するとき 40			

表 6.2 絶縁物の種別と許容温度および温度上昇限度 (JIS)

単位 °C

絶縁物の種別		A	B	H
許容温度		105	130	180
周囲温度		40	40	40
温度上昇限度	全閉形以外	50	70	90
	抵抗法	60	80	110
全閉形	温度計法	55	75	95
	抵抗法	65	85	115

備考 JEC 86-1950 説明書 16A, 503-1 表
JISC 4002 表 1 による

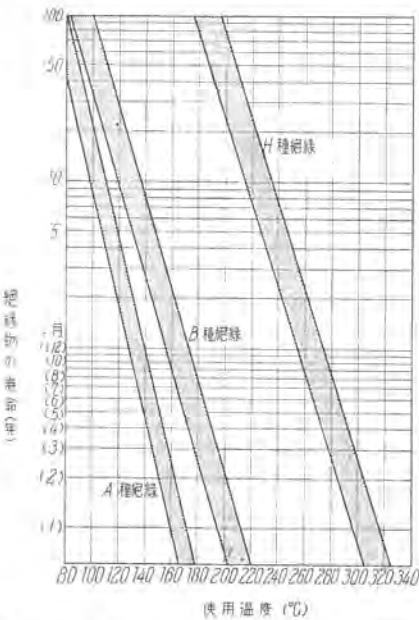


図 6.1 各種絶縁物の使用温度と寿命の関係

Fig. 6.1 Relations between the operation temperature and life of various insulators.

を保証するために、規格では電動機の温度上昇限度を規定している。たとえば JIS-C 4201 あるいは JIS-C 4202 では表 6.1 に示すように規定している。温度上昇限度は絶縁物の種類によって当然異なるべきで、上記の一般用電動機の場合は A 種絶縁物である。各種絶縁物に対する許容温度あるいはそれを使った機器の温度上昇限度は JIS および JEC によると表 6.2 のとおりである。では許された温度いっぱいに連続に使用した場合の絶縁物の寿命はどれくらいかというと、図 6.1 に示されるような範囲にある。一般に絶縁物の寿命については 8 度説というのがあるが、8 度温度が上ると寿命は半減するという説で、これは実験的に一応確かめられている。たとえば A 種絶縁物では規格の許容温度限度は 105°C であるが、この時の寿命は図 6.1 によれば 7 年ないし 10 年くらいである。かりに 7 年とすると、97°C の連続使用では 14 年、89°C では 28 年ということになる。電動機の温度上昇は周囲温度 40°C として規定されているので、わが国のように四季により温度が変化する場合には温度上昇限度いっぱいに使用しても寿命はかなり延長される。たとえば四季の平均温度を計算の便のため、かりに 24°C とすれば、基準温度より 16°C 低いから寿命は 4 倍にのび、28 年となる。上記は 24 時間連続使用の場合で、電動機の使用が 1 日 8 時間、週 1 回休むとすれば、24 ÷ (8 × 6/7) = 3.5 となり寿命はさらにその 3.5 倍程度にの

びる。すなわち寿命は約100年となる。日本の需要家は電動機の温度にあまり神経質過ぎるということは前述したが、以上の計算からも了解していただけるのではないだろうか。電動機の温度は、規格で許された限度いっぱいまで上げて使うのがもっとも経済的であるという考え方で徹していただきたいものである。

ところで次の問題は、一般用電動機の温度上昇限度を現在より高めるべきであるかどうかという点である。というのは、ドイツではすでに温度上昇限度を上げて、その実施にはいっている。すなわちドイツVDE規格530/2.51によれば、巻線の温度上昇限度はA種絶縁では抵抗法で60°Cで同様であるが、新しくAh絶縁(E種絶縁相当)を設けその温度上昇限度は20°C上げて80°C(抵抗法)としている。温度上昇を高くとるということは、機器の小型化を促進し、コストダウンに貢献する。ではなぜこのように温度上昇限度を高めることができるようになってきたかというと、これは一つに最近の絶縁物の進歩、とくに最近の合成化学の進歩によるところが多い。たとえばみぞ絶縁に広く使われ始めているポリエチレンフィルム(デュポン社のマイラなど)あるいは電線用の絶縁エナメルとしては、改良されたPVF、ポリウレタン、ポリエチレンエナメル(たとえばイソネール、アルカネックス、ポンダ)など、一連の新しい耐熱絶縁材料が登場した。これらの材料はいずれも120°Cないし130°Cの温度で連続使用しても従来のA種絶縁材料の寿命、あるいはそれ以上の寿命が認められるようになってきた。国際電気規格として目下世界の協力により整備を急ぎつつあるIEC(International Electrical Committee)では表6.3に示すように新しい合成樹脂絶縁物の耐熱区分を決め、それぞれの絶縁種別に対する機器の温度上昇限度を表6.4に示すように推奨している。現在欧米各国の動きと歩調を合わせ、わが国でも電気学会内

表6.3 各種絶縁に使用しうる絶縁材料表
(IEC Publication 85)

絶縁の種別	絶縁材料	製造の際用いられる接着、含浸あるいは塗布材料	絶縁を完全にするために使用される含浸材料
A	繊、組、再生セルローズセルローズアセテート、ポリアミド繊維、紙および紙製品、プレスボード、堅フィバーボード	な	し
	ワニクロス、ワニスペーパー	乾性、油変性の天然または合成樹脂ワニス	
	積層木板	フェノール樹脂	
	セルローズアセテートフィルム、セルローズアセートブチレートフィルム、ポリエチレン樹脂(フッ素なし)、エナメル線用油性ワニス、エナメル線用ポリアミド樹脂ワニス	な	し
E	ポリクロロブレン(ネオブレン)ニトリルゴム塩化ビニル(可塑剤なし)	な	し
	エナメル線用ビニルホルマール樹脂、ウレタン樹脂、エボキシ樹脂	な	し
	木粉基材の形造物、絶縁離型紙、紙基積層品	メラミン樹脂、フェノール樹脂、フェノール-フルフラ-樹脂	油変性アスファルトおよび合成樹脂ワニス、ポリエチレン樹脂、エボキシ樹脂、その他上級に属するもの
	ポリエチレン樹脂、セルローストリアセテートフィルム、ポリエチレンテレフタレートフィルム、ポリエチレンテレフタレート繊維	な	し
	ワニス合浸ポリエチレンテレフタレート布	油変性アルキッドワニス	

表6.4 絶縁物の種別と許容温度および温度上昇限度

(IEC推奨値)

単位°C

絶縁物の種別	A	E	B	F	H
許容温度	105	120	130	155	180
簡易温度	40	40	40	40	40
温度上昇限度	温度計法	50	65	70	85
限界	抵抗法	60	75	80	100

備考 IEC Publication 34 改訂案および85より抜粋

に専門委員会を設け、IECの線に沿ってその再検討を急いでいる。

戦時中、わが国でもZ規格と称し、温度上昇限度を10°C上げて製作した時代があった。この時代はすべての資材が極度に欠乏していたため、材料の品質がかなり低下していた。それにもかかわらず温度上昇限度を10°C高く上げて資材の節約を図ったのであったが、現在ではすでに昔日の比ではない。材料そのものの品質が非常に高まり、とくに耐熱性については大きな進歩をとげているのである。品質を高めながらコストダウンができるのである。機器を十分小形量化し、国際競争力を持たすために一日も早く温度上昇限度は高められなければならない。すなわち一般用電動機について現在のA種絶縁より新しくE種絶縁(あるいはB種絶縁)の時代へと進展が期待されるのである。

ただ問題は、せっかく規格で温度上昇限度が高められても使用者の方々の理解がないと実施が困難となる。温度さえ低く押さえておけば巻線の事故は起らないとの誤った考え方を一掃しなければならない。巻線の事故は別な要因によって起る場合が多く、温度上昇限度を耐熱性の向上に見合は点まで引上げたからといって巻線の事故が増える訳のものではない。これらの点に關し十分理解していただき、温度上昇限度を高める運動に協力していただきたい。

7. む す び

最初に掲げた「世界最高水準を行く」というキャッチフレーズは果してうそ、いつわりのないものであろうか、という問題に対し、次のようにお答えすることができる。すなわち、効率とか力率が高いこと、温度上昇が低いこと、これが品質が高いという代名詞なら日本の電動機の品質は確かに「世界最高水準を行く」というキャッチフレーズにふさわしい。しかし使用目的に対しむだのない品質のものを最高とするならば、その評価はまたおのずから異なってくるであろう。

本文では日本電機工業会の調査による欧米電動機の品質レベルの一端を紹介し、日本の電動機の進むべき方向について検討した。結論として、

日本の電動機に十分な国際競争力を持たすために次の2点を早急に改善すべきである。

(1) JIS規格における力率を緩和すべきこと。

(2) 温度上昇限度を高めること。

とくにこの問題を推進する上において、電力会社、ならびに電動機使用者各位の理解あるご協力がぜひとも必要であり、今後の指導とご鞭撻をお願いする次第である。

電動機の容量と電源電圧の問題

本社 宗村 平*

Problems on the Capacity and Supply Voltage of Motors

Head Office Taira MUNEMURA

The most commonly used supply voltages to induction motors in Japan are 3,000 V class for high voltage application and 200 V class for low voltage. The line drawn between the high and low voltage is mostly related the output above or below 40 kW (50 HP). With the increase in the capacity of a single motor or total power requirement of plants, the high voltage rating is raised to the extent of 6,000 V or 10,000 V class while the low voltage to 400 V class. Then a question arises how to select the motor voltage. On the other hand electric power companies are gradually changing their distribution voltage from 3,000 V class to 6,000 V class, which also affects a great deal to the selection of motors.

1. まえがき

わが国において、誘導電動機の電源電圧として、昔から広く使用されているのは、高圧 3,000 V 級、低圧 200 V 級である。ただ織維工場では一般に広く、また荷役設備などの一部に、400 V 級あるいは 500 V 級を使用しているものがある。しかし近年、電動機の単機容量の増大や、一工場における電動機の総計容量の増加につれて高圧としては 6,000 V 級または 10,000 V 級、また低圧としては 400 V 級を使用する場合が多くなってきた。それで工場の新設などにあたって、電動機の電源電圧の選定をいかににするかが問題になる場合も多いので、その参考までに、電源電圧の選定にあたって考慮すべき事がらについて述べてみたい。また最近各電力会社が、従来の 3,000 V 級配電を 6,000 V 級配電に格上げ変更することが多いが、このような場合にはいかなる影響があるかも考察したい。

2. 電圧の選定にあたり考慮すべき事項

電動機の電源電圧は、いまでもなく、技術的と経済的との二点から、選定しなければならないが、考慮すべきおもなる事項としては、

- (1) 電動機の単機容量
- (2) 電動機の総計容量
- (3) 電動機の周囲条件
- (4) 電動機の使用条件および制御装置
- (5) 電動機の配置状況および配電方法
- (6) 受電あるいは発電電圧

電動機だけの立場から見れば、電圧の種類はなるべく多くて、各個の電動機に最適の電圧を使用するのが好都合であるが、工場設備、補用品、保修など運営の便宜上から見れば、電圧の種類はなるべく少なくして、統一標準化した方が好都合である。したがって実際には、この両方面から考えた折衷案が採用されることになるのは、やむを得ないことである。前記の項目は、各工場によって事情が相違するので、一般に適用できる簡単な結論を

出すことは困難である。また電動機だけでなく、制御装置や配電装置などについても、検討しなければならない。

前記の各項目について、概略的な事がらを次に述べてみよう。

2.1 電動機の単機容量と電圧

電動機の出力と回転数が同じであれば、理論的には電圧に無関係に必要な銅材の量は一定で、定格電圧の増大につれて、反比例的に細い銅線で、比例的に巻回数の多いコイルを使用すればよい訳である。しかし実際問題としては、小容量の電動機にあまり高い電圧を使用すれば、コイルの導体が非常に細くなるので、コイルの工作上に困難を生じ、導体と絶縁物の断面積の比は小さくなってしまい、スペースファクタがわるくなる。このようなコイルは、いわゆるソフトコイルとなり、機械的強度が弱いので、起動停止などの際の衝撃や、運転中の振動に対して弱い巻線となる不安がある。2 極機などの高速度電動機は、極数の多い低速度電動機に比べて、コイルピッチが大きく、コイルエンドが長いので、巻線の強固さが劣り、起動電流は比較的大きいので、定格電圧が高過ぎる場合の欠点が、一層いちじるしく影響する。

前に述べたように、定格電圧が高くなるにつれて、コイルは導体を細く、巻回数を増さなければならないので、スペースファクタがわるくなり、一般に電圧が高くなると効率や力率が低下する傾向をもっている。また電圧が高くなると、必要な絶縁物の厚さを増さなければならないので、所要の断面積の導体は納まりにくくなり、さらに絶縁距離や空隙も増大しなければならないので、電動機のわく番を上げて、外形寸法を大きくしなければならないのが普通である。

これと反対に、大容量電動機にあまり低い電圧を使用すれば、コイル導体の断面積が大きく、巻回数が減少するので、設計上導体の選定が困難となり、極端な場合には、やはり工作上にも困難を生じ、外形寸法もかえって大きくなる場合もある。また後で述べるように、電圧が低過ぎて電流がいちじるしく大きくなると、制御装置や配電装置の上に、困難な問題が生じてくる。

絶縁耐力試験の点から考察すると、定格電圧を E とすれば、試験電圧は $2E+1,000$ V であるから、定格電圧が 400 V および 3,000 V の場合には、試験電圧はそれぞれ 1,800 V および 7,000 V となり、定格電圧と試験電圧の比は、前者は 4.5 倍後者は 2.3 倍で、絶縁強度の点では、低圧電動機の方が、はるかに余裕が大である。

以上において、電動機の容量と定格電圧との関係を概略述べたが、その程度をもう少しありやすくなるために、300 kW, 50 c/s, 4 P, 1,500 rpm 温度上昇 50°C, 閉鎖防滴巻線形電動機を、定格電圧 400 V (または 200 V) 3,000 V および 6,000 V に設計した場合の、重量、特性、外形寸法などは、表 2.1 および図 2.1 のとおりである。ただし 400 V (または 200 V) および 3,000 V は A 種絶縁であるが、6,000 V は B 種絶縁であるから、A 種絶縁の場合に比べて、効率はいくらか良くなっているが単位重量あたりの価格は高くなっている。

主として電動機の設計、工作、特性など技術的の面から見て、無理のない概略的な、定格電圧に対する電動機容量は、大体次のとおりである。

200 V 級	0.2~100 kW
400 V 級	0.75~200 kW
3,000 V 級	50~3,500 kW
6,000 V 級	300~7,500 kW
10,000 V 級	5,000 kW 以上

表 2.1 閉鎖防滴巻線形誘導電動機電圧別設計比較表
300 kW, 50 c/s, 4 P, 1,500 rpm, 50°C

電圧 (V)	400 (または 200)	3,000	6,000
わく番号	4,576	5,076	5,650
重量 (kg)	2,400	2,750	3,200
効率 (%)	94.0	93.8	92.5
力率 (%)	92.5	92.2	92.3
すべり (%)	1.54	1.19	1.45
全負荷電流 (A)	581 (または 1,162)	67.1	34.2
最大トルク (%)	246	266	244
二次電圧 (V)	657	570	526
二次電流 (A)	273	315	342

400 V (または 200 V) と 3,000 V は A 種絶縁 6,000 V は B 種絶縁

ここにいう無理のない容量とは、設計工作上大した困難がなく、したがってあまり特殊の材料を使用する必要なく、外形寸法も異常に大きくならず、効率力率などの特性もひどくわるくない程度のものである。したがって価格的にも最低とはかぎらないが、いちじるしく高価と

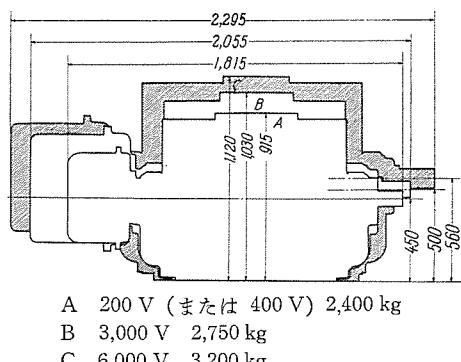


図 2.1 300 kW, 50 c/s, 4 P, 1,500 rpm, 50°C

閉鎖防滴巻線形誘導電動機電圧別寸法比較図
Fig. 2.1 Comparison of dimensions according to voltages of enclosed drip-proof wound rotor induction motors.

はならないものである。もちろんこれらのものは各定格電圧について、その適用範囲の中央部分が有利で、上下の両端になるほど不利である。なお厳密に考えれば回転数、保護構造の形式などによっても加減すべきである。

これらの条件にこだわらず、技術的あるいは経済的不利益を軽視すれば、前記の範囲をこえたものも製作することは可能で、極端にいえばいかなるものも、全然不可能ではないが、かかる電動機を採用することは、不利益であって、賢明ではない。

三菱電機において、各電圧について製作経験のある最小最大の電動機容量は、表 2.2 に示すとおりである。

表 2.2 各電圧における誘導電動機の最小
および最大容量製作例

電圧	最小出力 (kW)	最大出力 (kW)
200 V 級		350
400 V 級	0.4	450
3,000 V 級	15	4,000
6,000 V 級	90	6,750
10,000 V 級	1,500	19,000

2.2 電動機の総計容量と電圧

電動機の単機容量は小でも、総計容量が大で、受電所あるいは変電所からの距離が遠ければ、電動機の電圧を高くした方が、電流が小さくなるので、配電線、制御装置など、価格の点で有利である。

2.3 電動機の周囲条件と電圧

電動機の選定にあたっては、もちろんその周囲条件を考えて、適当な形式の保護構造を採用しなければならないし、その保護構造によっても定格電圧の選定が影響されることは、すでに前に述べたとおりである。しかし電動機の容量や回転数によって、必ずしも希望の保護構造を採用しがたい場合もあり、また周囲の特殊な塵埃、湿気、腐食性ガス、異常温度などの程度によっては、保護構造をもっては十分に保護の目的を達し得ない場合もある。このような場合には、電動機の容量に対して普通の場合より低い電圧を使用して、安全をはかるのが賢明である。

2.4 電動機の使用条件および制御装置と電圧

電動機の使用条件として、起動停止がきわめてまれであるか、あるいは非常にひんぱんであるかによって、電圧の選定を考慮する必要がある。非常にひんぱんに起動停止を行うものは、高圧にすれば制御装置の損耗がはなはだしくて、故障も多く保修がめんどうであるから、相当大容量の電動機でも、なるべく低圧を使用したほうがよい。しかし低圧使用のために、電流が過大になると、制御装置は大形で重くなり、したがって動作が遅鈍で、時には作業能率をわるくし、工場の生産低下の原因ともなるので、おのずから限度がある。また電源の関係から、電動機の容量はあまり大きくないのに、遮断容量の非常に大きい高圧開閉器を必要とするような場合にも、低圧電動機を使用するほうが有利である。起動停止の回数が少ない場合には、制御装置の損耗はあまり問題とならず、高い電圧を使用したほうが有利な場合もある。一般には同種類の制御装置は、低圧用に比べて高圧用は大形で重

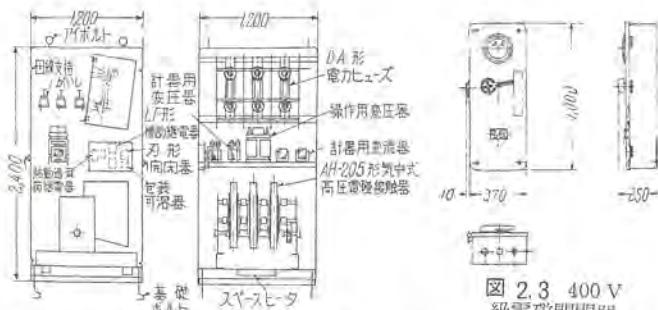


図 2.2 3,000 V 級電磁開閉器、重量 750 kg
Fig. 2.2 3,000 V class magnetic switch.

図 2.3 400 V 級電磁開閉器
重量 57 kg
Fig. 2.3 400 V class magnetic switch.

く、したがって価格もはるかに高いのが普通である。(図 2.2 および図 2.3 参照)

2.5 電動機の配置状況および配電方法と電圧

電動機の数が非常に多い場合には、配電線や配電装置の価格の上から、高い電圧を使用した方が有利な場合が多い。しかし広い敷地内に、工場単位に電動機が群在するような場合には、6,000 V あるいは 10,000 V 級の高圧で敷地内の一次配電を行い、各負荷地点ごとにまとめて、大容量電動機類は一次配電線から直接給電し、中小容量電動機類はいったん変圧器で低圧して給電する方式が、有利でかつ最近よく採用される方法である。

2.6 電動機の定格電圧と受電あるいは発電電圧

理論的には受電あるいは発電電圧のいかんにかかわらず変圧器を用いれば電動機に必要な任意の電圧が得られるはずであるが、変圧器による電力損や設備費などを考慮に入れると、一般にはもっとも簡単で経済的に得られる電圧を利用するのが有利である。しかも前にも述べたとおり一工場における電圧の種類は、あまり多くても困るので、おのずからある程度の制限を受ける訳である。

以上電動機の定格電圧の選定について考慮すべき事項について概略を述べたが、つぎに実際の場合によく遭遇する問題について、もう少し具体的に検討してみよう。

3. 200 V 級と 400 V 級の問題

(1) 電動機の設計、工作、価格などでは、ほとんど相違はない。

(2) 配電線、配電装置などでは、400 V 級が価格の上で有利である。

(3) 開閉器、制御装置などでは、価格の上ではほとんど相違はない。損耗の上では 400 V 級のほうが相当はなはだしく、電磁開閉器を使用したほうがよい。

(4) 故障および事故の発生率は、400 V 級のほうがいくぶん大であろう。このほうからも電磁開閉器の使用は必要である。

要するに、200 V 級と 400 V 級とは、機器の価格は大差なく、配電線と配電装置は電流が小さくなるので、400 V 級が価格上有利な場合が多い。損耗および事故発生率は、400 V 級が幾分大であり、電磁開閉器などを使

用し、遠方制御としたほうがよい。これらから考えて比較的小容量の電動機で、その総計容量も小さい場合には、200 V 級を使用したほうが、種々の点で有利である。しかし電流容量あるいは開閉ひん度などから、制御装置についても、考慮を払う必要がある。現今一般に使用される形式の電磁開閉器その他は、200 V 級と 400 V 級とは同様で、電流容量 300 A 位までは問題が少ないが、600 A 以上になると、動作の遅鈍、損耗などの点からとかく問題が多いようである。

4. 3,000 V 級と 6,000 V 級または 10,000 V 級の問題

(1) 電動機の設計、工作などでは、3,000 V 級よりも 6,000 V 級のほうが、絶縁を一段強化するのが普通であるから、いくぶんめんどうで、価格もそれだけ高価である。

(2) 配電線、配電装置などでは、3,000 V 級よりも 6,000 V 級のほうが、価格上有利な場合が多い。

(3) 開閉器、制御装置などでは、3,000 V 級よりも 6,000 V 級または 10,000 V 級のほうが、損耗はなはだしく、開閉回数の少ない場合にはたいして問題とならないが、ひんぱんな場合には非常に困難な問題である。したがって価格において、3,000 V 級が有利な場合が多い。

(4) 故障および事故発生率は、6,000 V 級または 10,000 V 級のほうがいくぶん大であろう。

要するに、3,000 V 級と 6,000 V 級とは、機器の価格が一般に 6,000 V 級のほうが幾分高価である以外は、200 V 級と 400 V 級との関係と同様であろう。したがって比較的大容量電動機の数が多い場合には、6,000 V 級を採用したほうがよい。開閉器および制御装置の点から見れば、高圧油入遮断器の電流容量が、1,200 A までであれば一般に好都合の場合が多い。開閉ひん度の多い場合には、3,000 V 級を使用したほうがよく、さらに非常にひん度の大なる場合には、低圧 400 V 級を採用したほうがよい。大容量電動機の場合には、10,000 V 級の採用も可能であるが、これはとくに大容量の特殊な場合を考えたほうがよいであろう。

5. 6,000 V 級昇圧受電と電動機

最近各電力会社が、送電線の送電容量の増大を目的として、従来の 3,000 V 級送電線を 6,000 V 級に格上変更する場合が非常に多くなったので、その場合の影響について考察してみよう。

工場新設の場合には、前に述べた技術的および経済的考慮で決定するよりほかない。すなわち 6,000 V の使用が適当な場合はもっとも好都合であるが、低圧を有利とする場合には変圧器を用いて低圧しなければならない。

既設工場の場合には、大変問題である。仮りに 3,000 V で使用していたものを、6,000 V 用に巻替えを行うとすれば、その結果は大体 表 5.1 のとおりになる。すなわち電

表 5.1 3,000 V, 50 c/s, 8 P, 750 rpm, 50°C
閉鎖防滴巻線形誘導電動機
3,000 V 用のものを 6,000 V 用に巻替えの場合の特性表

	出力 (kW)	75	225	375	750
3,000 V の場合	効率 (%)	89.0	92.0	92.5	93.5
	力率 (%)	81.5	85.5	87.5	90.5
	すべり (%)	3.5	2.5	2.5	1.5
	全負荷電流 (A)	20.5	54.5	87.5	168
	最大トルク (%)	220	225	205	230
	二次電圧 (V)	400	660	835	815
	二次電流 (A)	115	210	275	320
6,000 V の場合	出力 (kW)	27	142	242	560
	効率 (%)	79.0	90.5	91.3	92.5
	力率 (%)	53.0	80.0	83.5	89.0
	すべり (%)	1.5	1.5	2.0	1.3
	全負荷電流 (A)	5.1	19.5	31.0	65
	最大トルク (%)	550	310	290	280
	二次電圧 (V)	395	660	830	815
	二次電流 (A)	36	135	180	245

電動機の出力がいちじるしく減少するばかりでなく、効率、力率などの特性もわるくなり、これは小容量の電動機ほどはなはだしい。表 5.1 の例では出力の減少は、750 kW のものは約 25% 減少するが、75 kW のものは 70% も減少することになる。しかも効率はわるくなり、また巻替えには多額の費用を要する。要するに一般的にはこれは実用価値のないもので、6,000 V 用電動機を新規に購入するか、変圧器を購入して 3,000 V に低圧するよりほかはない。6,000 V 用の電動機は外形寸法が大きくなるので、用途によっては電動機だけを取替えるだけでは済まない問題となり、変圧器を設置すればそれだけ電力損の増加となり、いずれにしても使用者として益することはない。

6. 電圧の種類と境界容量の問題

電動機だけの技術的見地からすれば、電圧の種類はなるべく多くして、各電動機それぞれ最適の電圧を使用すればよいが、実際問題としては運営上の見地から、あまり多種類の電圧を使用できないので、一工場において 2 種類か 3 種類くらいが普通である。いうまでもなく電圧の種類が少なければ、境界電圧付近に相当する容量の電動機は、多少の無理と不利益を生ずるのはやむを得ない。

従来は、工場電動機の電源としては、低圧 200 V 級高圧 3,000 V 級が多く、電動機容量の境界としては、40 kW (50 HP) 以上を高圧に、それ未満を低圧とする例がもつとも多かった。近年電動機の単機容量および総計容量の増大のため、低圧 400 V 級、高圧 6,000 V 級を採用する工場も多くなってきた。この場合には低圧と高圧の境界は、用途にもよるが一般的には 300~400 kW 程度に引上げたほうが有利である。また電圧の種類は、少なくてすめば好都合ではあるが、2,000 kW くらいまでの電動機の数が相当に多ければ、6,000 V 級のほかに 3,000 V 級も設けることも、考慮の必要があろう。また 1 kW くらい以下の電動機の数が相当に多ければ、400 V 級のほかに 200 V 級も設けることも、考慮の必要があろう。

電動機は小容量であるにもかかわらず、設置場所の関係で、やむを得ず高圧電源を使用しなければならないような場合には、特殊な小容量の高圧電動機を使用するよりは、専用の変圧器を付属して、低圧の標準電動機を使

用するほうが、むしろ賢明である。この場合には、変圧器は電動機の付属品と見なして、電動機の起動停止を変圧器一次側の開閉器で行ってよい。

7. 経済的考察

本文のはじめに、経済的見地からの検討が必要なことを述べながら、価格については具体的に触れるところがなかったが、これは価格は時日とともに変動し、また市場価格なるものは、そのおりの需給事情の影響を受けて、必ずしもほんとうの製造原価と比例するものとはかぎらないので、具体的数字を掲げることを避けた。しかし次のような事がらから経済的検討のだいたいの判断はつくものと思う。

同機種で同一電圧階級のものならば、その価格はその重量にほぼ比例的で、電圧階級が上れば単位重量あたりの価格は増大する。配電用電線類についても、だいたい同様である。

電動機は、200 V 級と 400 V 級とは、単位重量あたりの価格はだいたい同様で、3,000 V 級のものは相当高価になり、6,000 V 級のものは、さらにはるかに高価となる。制御装置や配電装置についてもだいたい同様と思われるが、3,000 V 級と 6,000 V 級の相違は、電動機に比すればさほど大きくはない。配電用電線類は、200 V 級と 400 V 級とは、単位重量あたりの価格は同様で、3,000 V 級のものは相当高価になり、6,000 V 級のものは、3,000 V 級のものより高いが、その差はたいしたことではない。

8. 各種電圧の実用例

参考までに、最近の工場における実際の例をあげるならば、織維工場の電動機は、7.5 kW 前後の比較的小容量の電動機が大部分であるが、非常に台数が多く、その起動停止のひん度はあまり多くないので、400 V 級を採用して好成績をおさめている。また製鉄工場では、100~150 kW 前後の電動機で、起動停止のひん度の非常にげしいのが多いので、低圧は 400 V を使用して、好結果を得ている。また大容量の圧延電動機では、6,000 V 級または 10,000 V 級を使用するのが多くなった。荷役設備や油田設備では、配電線が比較的長く、電動機の容量は 100~150 kW のもの多く、起動停止のひん度も激しいので、400 V 級を使用している例も多い。機械工場では、比較的小容量の電動機が多く、起動停止のひん度も多いので、200 V 級の使用が多い。

9. む す び

以上電動機の容量と電源電圧の問題について、そのあらましを述べたが、考慮すべき事項が多いので、一般的に適用できる簡単な結論を出すことは困難で、各場合について、具体的に検討するよりほかはない。その場合に本文の内容が多少とも参考となれば幸である。終りに臨み当社長崎製作所誘導電動機設計課長片山氏から資料を頂戴したこと感謝する。

電力系統における誘導機の過渡現象

研究所 馬場 準一*

Transient Phenomena of Induction Machines in Electric Power Systems

Engineering Laboratory Junichi BABA

Use of large induction motors with precise speed control for large capacity wind tunnels or popular installations of induction generators in electric power systems have brought about many problems on their operating characteristics with regard to the transient phenomena. The writer has worked out a fundamental formula to determine the phenomena and analyzed response to load variation, voltage fluctuation and frequency change based on this formula, showing that torque-speed curves of induction machines are governed by their state of acceleration. He also has described methods of analysis and of suppression of self excitation phenomena by using it together with explanation of its application to the calculation of synchronous generator characteristic with loss of field.

1. まえがき

大容量の風洞の精密速度制御における大形誘導電動機の使用あるいは電力系統における誘導発電機の普及など、最近は誘導機の運転特性はその過渡特性をも考慮すべき段階にある。この論文においては、誘導機の過渡状態を記述する基本式に基き、電圧変動、周波数変動に対する誘導機の応答を解析し、故障時の過渡安定度に言及

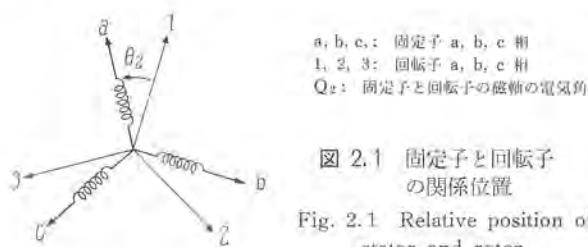


Fig. 2.1 Relative position of stator and rotor.

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} L & M_s & M_s \\ M_s & L & M_s \\ M_s & M_s & L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{pmatrix} \\
 \begin{pmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{pmatrix} + r \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}
 \end{aligned}
 \quad (2.1)$$

E : 固定子端子電圧
 ψ : 固定子鎖交磁束
 I : 固定子電流
 R : 固定子抵抗
 e : 回転子端子電圧
 φ : 回転子鎖交磁束
 i : 回転子電流
 r : 回転子抵抗
 $P = \frac{d}{dt}$

鎖交磁束を電流値の関数で示せば、

$$\begin{pmatrix} m \cos \theta_2 & m \cos \left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) & m \cos \left(\theta_2 - \frac{2\pi}{3} \right) \\ m \cos \left(\theta_2 - \frac{2\pi}{3} \right) & m \cos \theta_2 & m \cos \left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) \\ m \cos \left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) & m \cos \left(\theta_2 - \frac{2\pi}{3} \right) & m \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l & M_R & M_R \\ M_R & l & M_R \\ M_R & M_R & l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}$$

(2.2)

L : 固定子自己インダクタンス l : 回転子自己インダクタンス M_s : 固定子巻線相互インダクタンス
 M_R : 回転子巻線相互インダクタンス m : 固定子、回転子巻線間相互インダクタンスの最大値

つぎに a , b , c に関する量 K_a , K_b , K_c を下記の変換式によって α , β , 0 成分に書き直す。変換式は、

$$\begin{pmatrix} K\alpha \\ K\beta \\ K_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_a \\ K_b \\ K_c \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} K_a \\ K_b \\ K_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_\alpha \\ K_\beta \\ K_0 \end{pmatrix} \quad \dots \quad (2.3)$$

式 (2.3) を用いて式 (2.1), (2.2) を $\alpha, \beta, 0$ に関する量に書き改めると,

$$\begin{bmatrix} E_\alpha \\ E_\beta \\ E_0 \\ e_\alpha \\ e_\beta \\ e_0 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \psi_\alpha \\ \psi_\beta \\ \psi_0 \\ \varphi_\alpha \\ \varphi_\beta \\ \varphi_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_\alpha \\ \psi_\beta \\ \psi_0 \\ \varphi_\alpha \\ \varphi_\beta \\ \varphi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L - M_s & 0 & 0 & \frac{3m}{2} \cos \theta_2 & -\frac{3m}{2} \sin \theta_2 & 0 \\ 0 & L - M_s & 0 & \frac{3m}{2} \sin \theta_2 & \frac{3m}{2} \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & L + 2M_s & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{2}m \cos \theta_2 & \frac{3}{2}m \sin \theta_2 & 0 & l - M_R & 0 & 0 \\ -\frac{3}{2}m \sin \theta_2 & \frac{3}{2}m \cos \theta_2 & 0 & 0 & l - M_R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l + 2M_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (2.5)$$

ここで、下記の変換を施す.

$$\left. \begin{array}{l} E_\alpha + jE_\beta = e_s \\ I_\alpha + jI_\beta = i_s \\ \psi_\alpha + j\psi_\beta = \psi_s \\ L - M_s = L_s \\ \frac{3}{2}m = M \end{array} \quad \begin{array}{l} e_\alpha + je_\beta = e_r \\ i_\alpha + ji_\beta = i_r \\ \varphi_\alpha + j\varphi_\beta = \varphi_r \\ l - M_R = L_r \\ R = r_s, \quad r = r_r \end{array} \right\} \quad (2.6)$$

式 (2.6) の変換によって式 (2.4), (2.5) は零相分はそのまままで、 α, β 成分は

$$\begin{bmatrix} e_s \\ e_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 \\ 0 & r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} + P \begin{bmatrix} \varphi_s \\ \varphi_r \end{bmatrix} \quad \dots \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_s \\ \varphi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & M e^{j\theta_2} \\ M e^{-j\theta_2} & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} \quad \dots \quad (2.8)$$

ここで、さらに次の変換を施す.

$$\left. \begin{array}{l} \begin{bmatrix} K_s \\ K_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j\theta_{10}} & 0 \\ 0 & e^{-j(\theta_{10} - \theta_{20})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_s \\ k_r \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} k_s \\ k_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\theta_{10}} & 0 \\ 0 & e^{j(\theta_{10} - \theta_{20})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_s \\ K_r \end{bmatrix} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (2.9)$$

$\theta_{10} = \omega t$ ω : 電源周波数

$\theta_{20} = (1 - S_0)\omega t$ S_0 : $t = 0$ における誘導機のすべり
しかるべきときは

$$\begin{bmatrix} E_s \\ E_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + (P + j\omega)L_s & (P + j\omega)M e^{j\theta_2} \\ (P + jS_0\omega)M e^{-j\theta_2} & r_r + (P + jS_0\omega)L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_{20}$$

式 (2.10)において $\omega L_s = X_s$, $\omega L_r = X_r$, $\omega M = X_M$ とおき、かつ、時間軸を ω 倍して単位法による時間(たとえば、60 c/s 系では 377 ラジアンが 1 秒に相当する)に変換すれば、

$$\begin{bmatrix} E_s \\ E_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + (P + j)X_s & (P + j)X_M e^{j\theta_2} \\ (P + jS_0)M e^{-j\theta_2} & r_r + (P + jS_0)X_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

式 (2.11) が求むべき基礎方程式であって、 E_s, E_r などとの量との間の関係は変換式 (2.3), (2.6), (2.9) の積によって求められる.

$$\left. \begin{array}{l} K_s = \frac{2}{3}(K_a + K_b e^{j\frac{2}{3}\pi} + K_c e^{-j\frac{2}{3}\pi}) e^{-jt} \text{ 固定子側} \\ K_r = \frac{2}{3}(K_1 + K_2 e^{j\frac{2}{3}\pi} + K_3 e^{-j\frac{2}{3}\pi}) e^{-jS_0 t} \text{ 回転子側} \\ K_0 = \frac{1}{3}(K_a + K_b + K_c) \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

つぎに誘導機のトルクの式を導く。トルクは電磁エネルギーの回転角に対する微分値で与えられるから、

$$\begin{aligned} \text{トルク} \quad T &= -(I_a i_a + I_b i_b + I_c i_c) m \sin \theta_2 \\ &\quad - (I_a i_b + I_b i_c + I_c i_a) m \sin(\theta_2 + \frac{2}{3}\pi) \\ &\quad - (I_a i_c + I_b i_a + I_c i_b) m \sin(\theta_2 - \frac{2}{3}\pi) \quad \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \times &= -\frac{2}{3}M \left[(I_a i_a + I_b i_b + I_c i_c) \sin \theta_2 + (I_a i_b + I_b i_c + I_c i_a) \right. \\ &\quad \left. \sin\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}\right) + (I_a i_c + I_b i_a + I_c i_b) \sin\left(\theta_2 - \frac{2\pi}{3}\right) \right] \quad \dots \quad (2.13) \end{aligned}$$

一方、式 (2.12) の変換式を I_s, I_r に適用すると

$$\begin{aligned} I_s I_r^* e^{-j\Delta\theta_2} &= \frac{4}{9} \left[(I_a i_a + I_b i_b + I_c i_c) e^{-j\theta_2} \right. \\ &\quad \left. + (I_a i_c + I_b i_a + I_c i_b) e^{-j(\theta_2 - \frac{2\pi}{3})} \right. \\ &\quad \left. + (I_a i_b + I_b i_c + I_c i_a) e^{-j(\theta_2 + \frac{2\pi}{3})} \right] \end{aligned}$$

であるから

$$T = -\frac{3}{2}M(jI_s I_r^* e^{-j\Delta\theta_2}) \quad \text{の実部}^* \text{は共軛数を示す。}$$

しかるに、 $\Phi_r = X_M I_s e^{-j\theta_2} + X_r I_r$ であるから

$$\omega T = \left\{ \frac{3}{2}(-j\Phi_r I_r^*) \quad \text{の実部} \right\} \quad \text{同期ワット} \quad (2.14)$$

定格 KVA に相当するトルクを 1.0 per unit とするためには、式 (2.14) の $\frac{2}{3}$ をとればよく、結局同期ワットで表わしたトルクは

$$T = \{-j\Phi_r I_r^*\} \quad \text{の実部 per unit} \quad \dots \quad (2.15)$$

3. 電力動揺の式

いま、系統の基本波分だけについて考えれば、一般に $K_a = K_1 \cos(t + \varphi_1) + K_2 \cos(t + \varphi_2)$

$$K_b = K_1 \cos\left(t + \varphi_1 - \frac{2\pi}{3}\right) + K_2 \cos\left(t + \varphi_2 + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \text{である}$$

$$\left. \begin{array}{l} K_c = K_1 \cos\left(t + \varphi_1 + \frac{2\pi}{3}\right) + K_2 \cos\left(t + \varphi_2 - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \text{(零相分は考えない)} \end{array} \right\} \quad \text{から}$$

これを式 (2.12) に代入することによって

$$K_s = K_1 + K_2^* e^{-j\omega t}, \quad \text{etc.} \quad \dots \quad (3.1)$$

K_1 は正相分、 K_2^* は逆相分を示す。

式 (3.1) を式 (2.11) に代入して

$$\left. \begin{array}{l} E_{s1} = [r_s + (P + j)X_s] I_{s1} + [P + j]X_M e^{j\theta_2} I_{r1} \\ E_{r1} = [P + jS_0]X_M e^{-j\theta_2} I_{s1} + \{r_r + [P + jS_0]X_r\} I_{r1} \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{array}{l} E_{s2} = [r_s + (P + j)X_s] I_{s2} + [P + j]X_M e^{-j\theta_2} I_{r2} \\ E_{r2} = [P + j(2 - S_0)]X_M e^{j\theta_2} I_{s2} + \{r_r + [P + j(2 - S_0)]X_r\} I_{r2} \end{array} \right\}$$

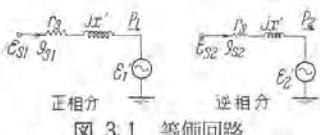


Fig. 3.1 Equivalent circuit.

$$\begin{aligned} \text{いま, } \mathcal{E}_1' &= j \frac{X_M}{X_r} \Phi_{r1} e^{j\theta_2} \\ \Phi_{r1} &= X_M e^{-j\theta_2} I_{s1} + X_r I_{r1} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \text{とおけば,} \\ & \text{計算の結果下記の式をうる.} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} [P + j(s_0 - P(\Delta\theta_2))] \mathcal{E}_1' + \frac{1}{T_0'} \mathcal{E}_1' - j \frac{1}{T_0'} (x - x') I_{s1} \\ = j \frac{X_M}{X_r} \mathcal{E}_{r1} e^{j\theta_2} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \mathcal{E}_{s1} = [r_s + (P + j)x'] I_{s1} + [-jP + 1] \mathcal{E}_1' \\ & \text{ただし, } x = X_s, \quad x' = X_s - \frac{X_M^2}{x_r}, \quad T_0' = \frac{X_r}{r_s} \end{aligned} \right\} (3.4)$$

逆相分に対しても、まったく同様の操作によって、
 $j \frac{X_M}{X_r} \Phi_{r2} e^{-j\theta_2} = \mathcal{E}_2'$ とおくことによって式 (3.4) と同形の式をうる。

$$\begin{aligned} [P + j(2 - s_0) + jP(\Delta\theta_2)] \mathcal{E}_2' + \frac{1}{T_0'} \mathcal{E}_2' - j \frac{1}{T_0'} (x - x') I_{s2} \\ = j \frac{X_M}{X_r} \mathcal{E}_{r2} e^{-j\theta_2} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \mathcal{E}_{s2} = [r_s + (P + j)x'] I_{s2} + [-jP + 1] \mathcal{E}_2' \end{aligned} \right\} (3.5)$$

多くの場合、固定子側の過渡現象を省略してさしつかえないので、式 (3.4), (3.5) はそれぞれつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 + T_0' \frac{d\mathcal{E}_1'}{dt} + j s T_0' \mathcal{E}_1' = j \frac{X_M}{r_s} \mathcal{E}_{r1} e^{j\theta_2} \\ \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{s1} - (r_s + jx) I_{s1}, \quad \mathcal{E}_1' = \mathcal{E}_{s1} - (r_s + jx') I_{s1} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{s1} - (r_s + jx) I_{s1}, \quad \mathcal{E}_1' = \mathcal{E}_{s1} - (r_s + jx') I_{s1} \\ & \mathcal{E}_2 + T_0' \frac{d\mathcal{E}_2'}{dt} + j(2 - s) T_0' \mathcal{E}_2' = j \frac{X_M}{r_s} \mathcal{E}_{r2} e^{-j\theta_2} \end{aligned} \right\} (3.6)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{s2} - (r_s + jx) I_{s2}, \quad \mathcal{E}_2' = \mathcal{E}_{s2} - (r_s + jx') I_{s2} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{s2} - (r_s + jx) I_{s2}, \quad \mathcal{E}_2' = \mathcal{E}_{s2} - (r_s + jx') I_{s2} \end{aligned} \right\} (3.7)$$

ただし、 $s = s_0 - P(\Delta\theta_2)$ = 時刻 t における誘導機のすペリこのときのトルクは式 (2.15) によって

$$T = \{-j\Phi_r I_r\} \text{ の実部}$$

$$\begin{aligned} \Phi_r &= \Phi_{r1} + \Phi_{r2} e^{-j\theta_2} \\ I_r &= I_{r1} + I_{r2} e^{-j\theta_2} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \text{であるから, 周波数 } 2.0 \text{ per unit の脈動分を除き,} \\ & T = \{-j\Phi_{r1} I_{r1} - j\Phi_{r2} I_{r2}\} \text{ の実部で与えられること} \\ & \text{となり, この値は } (\mathcal{E}_1' I_{s1} - \mathcal{E}_2' I_{s2}) \text{ の実部に等しいことが容易に計算できる.} \end{aligned} \right\}$$

$$T = (\mathcal{E}_1' I_{s1} - \mathcal{E}_2' I_{s2}) \text{ の実部} \quad \dots (3.8)$$

こうして、誘導機の等価回路として図 3.1 のものを得る。

4. 誘導機の過渡現象の解析

前章に導いた基本式によって、負荷変動、電圧変動、周波数変動に伴う誘導機の過渡現象を解析する。

4.1 負荷変動

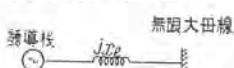


図 4.1 無限大母線に接続された誘導機

Fig. 4.1 Induction machine connected to infinite bus

図 4.1 のように x_e なるリアクタタンスをとおして無限大母線に接続されている誘導電導機を考え、二次励磁電圧 $E_r = 0$, $r_s = 0$ とすれば、基本式より

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 + T_0' \frac{d\mathcal{E}_1'}{dt} + j s T_0' \mathcal{E}_1' = 0 \\ \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{s1} - jx I_{s1}, \quad \mathcal{E}_1' = \mathcal{E}_{s1} - jx' I_{s1} \\ V = \mathcal{E}_{s1} + jx_e I_{s1} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \text{式 (3.2) は正相分,} \\ & \text{式 (3.3) は逆相分に} \\ & \text{関する方程式である.} \end{aligned} \right\} (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_1 + T_0' \frac{d\mathcal{E}_1'}{dt} + j s T_0' \mathcal{E}_1' = 0 \\ \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{s1} - jx I_{s1}, \quad \mathcal{E}_1' = \mathcal{E}_{s1} - jx' I_{s1} \end{aligned} \right\} \dots (4.1)$$

$$V = \mathcal{E}_{s1} + jx_e I_{s1} \quad \dots (4.2)$$

式 (4.1), (4.2) から

$$T_z' \frac{d\mathcal{E}_1'}{dt} + j s T_z' \mathcal{E}_1' + \mathcal{E}_1' = V \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x} \right) \quad \dots (4.3)$$

$$T_z' = T_0' \frac{x_e + x'}{x_e + x}$$

また、誘導機の運動方程式として

$$-4\pi f H \frac{ds}{dt} = T - T_L \quad \dots (4.4)$$

$$T = \left[jV \frac{(V - \mathcal{E}_1')}{x_e + x'} \right] \text{ の実部}$$

H : 誘導機の単位慣性常数

T_L : 負荷トルク, t は単位法による時間

上記の式はベクトル式であるので、これを実数部と虚数部とに分けて考えると、

$$\begin{aligned} V = V + j0 \\ \mathcal{E}_1' = e_{1u}' + j e_{1q}' \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \text{とおいて} \\ & \mathcal{E}_1' = e_{1u}' + j e_{1q}' \end{aligned} \right\} (4.5)$$

$$\begin{aligned} T_z' \frac{de_{1u}'}{dt} - (s T_z') e_{1q}' + e_{1d}' = V \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x} \right) \\ T_z' \frac{de_{1q}'}{dt} + (s T_z') e_{1d}' + e_{1q}' = 0 \\ -M \frac{ds}{dt} = T - T_L, \quad M = 4\pi f H \\ T = \frac{-V e_{1q}'}{x_e + x'} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} & \text{式 (4.6) は図 4.2 に示すようなブロック図で表わされる.} \\ & \text{一例として, } T_z' = 20, \quad x = 4.0, \quad x' = 0.2, \quad x_e = 0 \\ & V \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x} \right) = 1.0 \text{ なる常数の系について, 無負荷から急に } 1.0 \text{ per unit の負荷を印加したときの電力動揺,} \\ & \text{速度変動を図 4.2 のブロック図にしたがって解析した結果は下記のとおりである.} \end{aligned} \right\} (4.6)$$

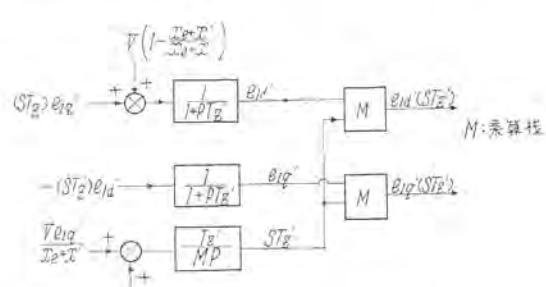


Fig. 4.2 Block diagram of induction machines.

(1) 負荷が印加されると電力動揺が発生し、誘導機の慣性が小さいと電力動揺も大きくなる。いまの例では慣性常数と電力動揺の行き過ぎは図 4.3 のよう $H \geq 4$ であれば行き過ぎ量も 10% 以下である。

(2) 電力動揺の大きさは、印加負荷が 0~1.0 p.u. の間では負荷に正比例する。したがって、負荷変動の解析にあたっては式 (4.6) の変化分だけを考えて線形化された式を用いてよいわけである。すなわち、負荷動揺に対する誘導機の方程式として、

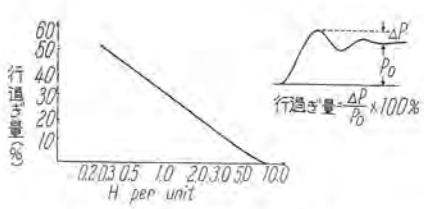


図 4.3 電力動揺と慣性常数
Fig. 4.3 Power swing and inertia constant.

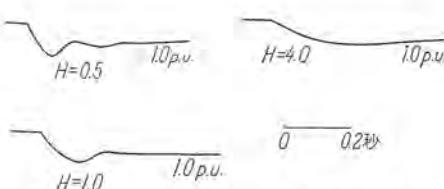


図 4.4 1.0 p.u. の負荷を急に印加したときの電力動揺
Fig. 4.4 Power swing at sudden application of 1.0 p.u. load.

$$\begin{aligned} (PT_z' + 1)\Delta e_{1d}' - (s_0 T_z')\Delta e_{1q}' - T_z' e_{1q0}' \Delta s = 0 \\ (s_0 T_z')\Delta e_{1d}' + (1 + PT_z')\Delta e_{1q}' + T_z' e_{1d0}' \Delta s = 0 \\ -MP(\Delta s) = -\frac{V \Delta e_{1q}'}{x_e + x'} - \Delta T_L \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$e_{1d0}' = \frac{V(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{1 + (s_0 T_z')^2}, \quad e_{1q0}' = \frac{-(s T_z') V(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{1 + (s_0 T_z')^2}$$

$$T_{L0} = \frac{-V e_{1q0}'}{x_e + x'}$$

(3) 線形化された式 (4.7) から、過渡時の応答は

$$\begin{vmatrix} 1 + PT_z' & -a & -T_z' e_{1q0}' \\ a & 1 + PT_z' & T_z' e_{1d0}' \\ 0 & \frac{V}{x_e + x'} & -MP \end{vmatrix} = 0 \quad \text{の根によって定められる。} \quad (4.8)$$

$$a = s_0 T_z'$$

一般に $a^2 \ll 1$ であるから式 (4.8) の行列式は十分近似的に

$$(1 + PT_z') \left\{ (1 + PT_z') MP + \frac{T_z' e_{1d0}' V}{x_e + x'} \right\} = 0 \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

$$e_{1d0}' = \frac{V(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{1 + (s_0 T_z')^2} = V(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}) \quad \text{であるから}$$

これを式 (4.9) に代入して

$$P = -\frac{1}{T_z'}, \quad -\frac{1}{2T_z'} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{T_z'^2} - 4 \frac{V^2}{M(x_e + x')} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right)} \quad (4.10)$$

式 (4.10) によって振動の時定数と周波数とが与えられる。振動を臨界的ならしめるには

$$H \geq \frac{V^2 T_z'^2 \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right)}{\pi f(x_e + x')} \quad \dots \dots \dots (4.11)$$

たとえば、 $x_e = 0$, $x' = 0.2$, $x = 4.0$, $V = 1.05$, $f = 60 \text{ c/s}$, $T_z' = 20$ では $H \geq 11.2$ となる。

4.2 電圧変動

図 4.1 のような誘導機に関して、誘導機の端子電圧が変動したときの特性は、前節の式 (4.3), (4.4) を用いて計算することができる。

まず、系統の電圧が ΔV だけ変動したときの誘導機の出力変動の定常値を求めれば、式 (4.3) から

$$\varepsilon_1' = \frac{V(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{1 + j s T_z'} \quad \text{トルク} \quad T = \frac{V^2(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}) s T_z'}{(1 + s^2 T_z'^2)(x_e + x')}$$

ここで $(s T_z')^2 \ll 1$ であるから

$$\Delta T = \frac{2V_0(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{x_e + x'} (s_0 T_z') \Delta V + \frac{V_0^2(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{x_e + x'} T_z' \Delta s$$

$$= 2T_0 \frac{\Delta V}{V_0} + T_0 \frac{\Delta s}{s} \quad \dots \dots \dots (4.12)$$

負荷 T_L の特性として、負荷が速度の α 乗に比例す

るものとすれば、

$$T_L = T_0(1 - s)^\alpha \quad (4.13)$$

したがって、

$$\Delta T_L = -\frac{T_0 \alpha}{1 - s_0} \Delta s \quad \text{となつ}$$

て、

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{1 - s_0} \frac{2s_0}{1 + \frac{\alpha s_0}{1 - s_0}} \quad \dots \dots \dots$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} \sim -2\alpha s_0 \frac{\Delta V}{V_0} \quad \dots \dots \dots (4.14)$$

たとえば、 $s_0 = 2\%$, $\alpha = 2$ では $\frac{\Delta T}{T_0} = -0.04 \frac{\Delta V}{V_0}$ となつて電圧が 5% 変動すればトルクは 0.2% 変化する。

過渡特性の例としては、端子電圧の急変に伴う速度変動の様相をオシログラム (図 4.5) に示してある。

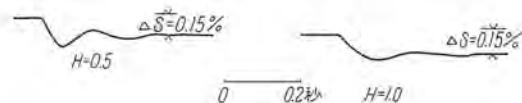


図 4.5 5% の端子電圧変動あるときのすべりの変化
Fig. 4.5 Change of slip when 5% terminal voltage fluctuation occurred.

4.3 周波数変動

図 4.1 のような誘導機に関して、系統の周波数が変動したときの特性を計算してみよう。

(1) 周波数が Δf だけ変動したときの出力変化

単位法による周波数は $f = \frac{d\varphi}{dt}$ [φ は位相角、時間は per unit 法による時間] であるから、周波数が Δf だけ変動するということは、位相が $\Delta\varphi = \int_0^t \Delta f dt$ だけ変化するということにはならない。

Δf が一定であれば、 $\varphi = (\Delta f)t$ であるから、このときの誘導機の方程式は

$$T_z' \frac{d\varepsilon_1'}{dt} + j s T_z' \varepsilon_1' + \varepsilon_1' = V_0 e^{j(\Delta f)t} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) \quad (4.15)$$

$$\text{定常解は } \varepsilon_1' = \frac{V_0 e^{j(\Delta f)t} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right)}{1 + j(s + \Delta f) T_z'} \quad \dots \dots \dots (4.16)$$

したがって

$$\text{トルク} \quad T = \frac{V_0^2 \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) (s + \Delta f) T_z'}{(x_e + x') \{1 + (s + \Delta f)^2 T_z'^2\}} \quad (4.17)$$

$(s + \Delta f)^2 T_z'^2 \ll 1$ として

$$\Delta T = \frac{V_0^2}{x_e + x'} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) (\Delta s + \Delta f) T_z' = T_0 \left(\frac{\Delta f + \Delta s}{s_0}\right) \quad (4.18)$$

したがって、速度の α 乗に比例する軸負荷をもつ誘導機の周波数変動に伴う出力変動は

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{\alpha}{1 - s_0} \frac{\Delta f}{1 + \frac{\alpha s_0}{1 - s_0}} \sim \alpha \Delta f \quad \dots \dots \dots (4.19)$$

たとえば、60 c/s 系統で周波数が 0.1 c/s 変動すれば、 $\alpha = 2$ のときには $\frac{\Delta T}{T_0} = 2 \times \frac{0.1}{60} = 0.33\%$ となる。

(2) 過渡特性の計算

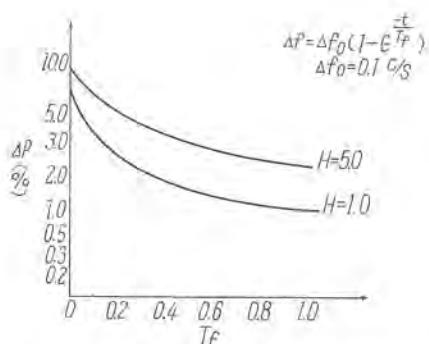


図 4.6 周波数変動にともなう出力変化の最大値
Fig. 4.6 The maximum value of output change accompanying frequency change.

Δf なる周波数変動のあるときの誘導機の方程式は、

$$T_z' \frac{d\epsilon_1'}{dt} + jsT_z' \epsilon_1' + \epsilon_1' = V e^{j\varphi} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) \quad \left. \begin{array}{l} \varphi = \int_0^t \Delta f dt \\ \dots (4.20) \end{array} \right.$$

いま、 $\epsilon_1' = E_1' e^{j\varphi}$ なる変換を施せば、

$$T_z' \frac{dE_1'}{dt} + jsT_z' \left(s + \frac{d\varphi}{dt}\right) E_1' + E_1' = V \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) \quad (4.21)$$

また トルク $T = \left[jV e^{j\varphi} \left(\frac{V e^{j\varphi} - \epsilon_1'}{x_e + x'} \right) \right]$ の実部
 $= \left[jV \left(\frac{V - E'}{x_e + x'} \right) \right]$ の実部

運動方程式は $-4\pi f H \frac{ds}{dt} = T - T_L \quad \dots (4.23)$

式 (4.21)～(4.23) を用いて周波数変動に伴う出力変動を求めた結果をまとめるとつきのとおりである。

a. 周波数変動に対しては慣性の大きいものほど電力動揺は大きい。これは、慣性の大きいものでは、慣性のために系統の周波数動揺に応じて速度を変化できないからである。

b. $T_z' = 20$, $x_e + x' = 0.3$, $x_e + x = 5.1$, $T_{L0} = 1.0$, $\alpha = 2$ なるものに対して種々の H , Δf に対する電力動揺の最大値を示せば図 4.6 のとおりである。電力動揺の最大値 ΔP_{max} は負荷特性 α にほとんど影響されない。

4.4 過渡時のトルク-速度曲線

誘導機の速度の変化が十分おそいときには、誘導機の式は式 (4.3) において、 $\frac{d\epsilon_1'}{dt} = 0$ として、トルクを計算してよく、このときは

$$\text{トルク } T = \frac{V^2}{x_e + x'} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right) \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad \dots (4.24)$$

$$a = ST_z'$$

しかし、速度の変化が十分おそくないときには、誘導

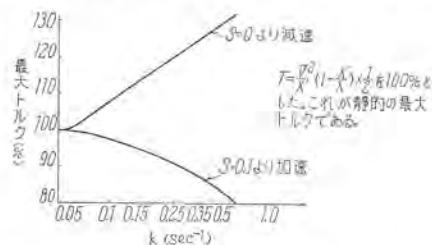


図 4.8 過渡時最大トルク

Fig. 4.8 The maximum torque during transient.

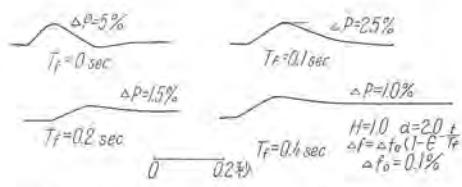


図 4.7 周波数変動にともなう電力動揺

Fig. 4.7 Power swing accompanying frequency change.

機の時定数 T_z' のために、 ϵ_1' は急激な変化はできなから、すばりの大なるところから起動するときは最大トルクは式 (4.24) に示す最大トルクよりも小さく、逆にすばりの小さいところからすばりがふえるときは最大トルクは大きくなることが予想される

る。図 4.8 に $T_z' = 20$ ラジアンなる誘導機について

(1) $s = 0.1$ で平衡状態にあったものを $s = 0.1 - kt$ にしたがって直線的に速度を増したとき

(2) $s = 0$ で平衡状態にあったものを $s = kt$ にしたがって直線的に減速したときの誘導機の最大トルクを示す。

5. 安定度

図 4.1 の回路において三相短絡が発生したときには短絡時間が長いと誘導機はそのすばりが増してついに停止してしまう。たとえば、図 5.1 のような負荷トルクをもつものでは、少なくともすばりが S_e に増すまでに短絡を除去しなければならない。図 5.1 のトルク T_M は誘導機のトルクの静的なものであるから、過渡的には時定数のために短絡除去後にはトルクは T_e まではただちに上昇することがないので、臨界的なすばり S_e は図 5.1 のものよりも小さいことが予想される。とくに誘導機の慣性の少ないときには、すばりが速く上昇するので、図 5.2 に示すように H の大きいところでは安定度は静的な考え方で十分で、 $H \geq 3.0$ ならば 100%以下の誤差におさまる。

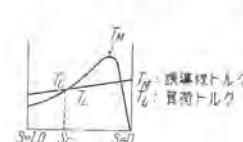


図 5.1 誘導機トルクと負荷トルク

Fig. 5.1 Induction machine vs load torque.

以上の例は一機系のため簡単な例であるが、同期機、誘導機が数多く含まれている系統の安定度の計算のごときは交流計算盤によるのが便利であり、そのときには計算は段々法によつて行われる。そのときの誘導機の等価回路と計算回

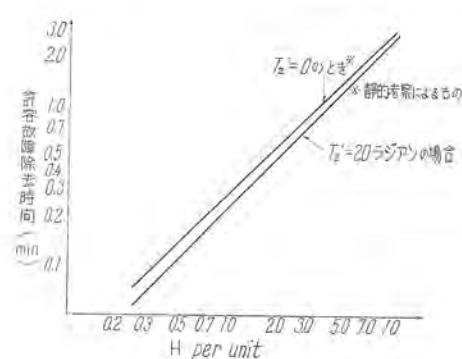


図 5.2 許容故障時間

Fig. 5.2 Permissible fault time.

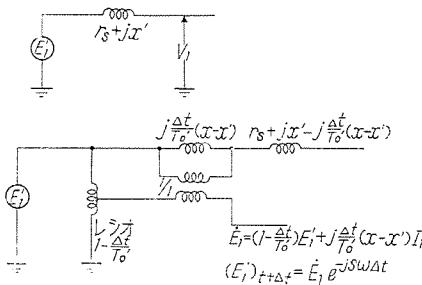


図 5.3 交流計算盤における誘導機等価回路と計算回路

Fig. 5.3 Induction machine equivalent circuit and calculation circuit on AC network calculator.

路は図 5.3 のようである⁽¹⁾。この場合の各段階の時間間隔は下記のような考えにしたがって定めるのがよい。式(4.10)によって、誘導機の電力動揺の周波数 f_{IM} は

$$f_{IM} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{T_z^2} - 4 \frac{V^2}{M(x_e + x')} \left(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x}\right)} \\ \simeq \sqrt{\frac{(1 - \frac{x_e + x'}{x_e + x})}{4\pi f(x_e + x') H}} V \quad \text{per unit} \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

x_e ：誘導機の接続されている母線における系統リアクタンスで、その母線の短絡 MVA から計算される。

$V \simeq 1.0$, $\frac{x_e + x'}{x_e + x} \ll 1$ として f_{IM} を c/s で表わせば

$$f_{IM} = 2 \sqrt{\frac{1}{(x_e + x') H}} \quad \dots \dots \dots 50 \text{ c/s 系統}$$

$$2.18 \sqrt{\frac{1}{(x_e + x') H}} \quad \dots \dots \dots 60 \text{ c/s 系統}$$

たとえば、 $H=2$, $x_e + x' = 0.3$, 60 c/s 系統では $f_{IM} = 2.8 \text{ c/s}$ したがってその半周期は 0.18 秒となる。この場合には段々法の時間間隔としてはこの周期の約 1/10 を選ぶのが普通で $\Delta t = 0.02$ 秒となる。

一般的にいって $\Delta t \simeq \frac{1}{20 f_{IM}}$ 秒 $\dots \dots \dots (5.2)$
と選ぶべきである。

6. 残留電圧⁽²⁾

誘導機が系統より切り離された場合には、誘導機の回転子に鎖交する磁束は急には消滅し得ないので、端子に残留電圧が現われる。とくに、誘導機の端子に力率改善の蓄電器が接続されているときは自己励磁によって残留電圧は相当高い値となる可能性がある。

図 6.1 の回路について残留電圧の大きさを計算して見る。この回路については基本式(3.4)を適用して

$$\begin{aligned} E_s &= [r_s + (P + j)x'] I_s + [-jP + 1] E' \\ T_0' [P + jx] E' + E' - j(x - x') I_s &= 0 \\ (P + j) \frac{E_s}{x_c} &= -I_{s1} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (6.1)$$

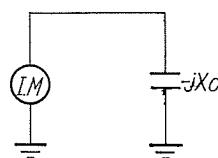


図 6.1 蓄電器を端子に有する誘導機

Fig. 6.1 Induction machine having condenser at its terminal.

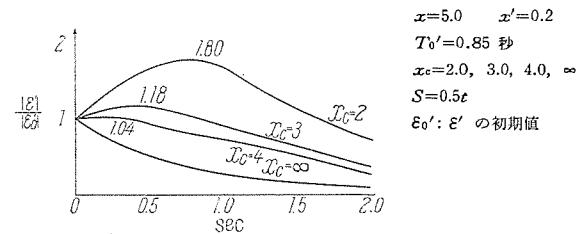


図 6.2 残留電圧
Fig. 6.2 Residual voltage.

$$\left. \begin{aligned} \text{いま, } E_s &= E_s e^{-j \int_0^t s dt} \\ E' &= E' e^{-j \int_0^t s dt} \\ I_s &= I_s e^{-j \int_0^t s dt} \end{aligned} \right\} (6.2) \text{ なる変換を施す}$$

固定子側においては PE_s , $PI_s \ll (1-s)E_s$, $(1-s)I_s$ と考えられるから

$$\left. \begin{aligned} E_s &= [r_s + j(1-s)x'] I_s + (1-s)E' \\ T_0' \frac{dE'}{dt} + E' - j(x - x') I_s &= 0 \\ j(1-s) \frac{E_s}{x_c} &= -I_s \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6.3)$$

$r_s \simeq 0$ として、 E_s , I_s を消去すると、

$$T_0' \frac{dE'}{dt} + \frac{x_c - (1-s)^2 x}{x_c - (1-s)^2 x'} = 0$$

一般に $x_c \gg x'$ であるから

$$T_0' \frac{dE'}{dt} + \left[1 - (1-s)^2 \frac{x}{x_c}\right] E' = 0$$

$$\text{したがって, } E' = E'_0 e^{-\frac{1}{T_0'} \int_0^t \left[1 - (1-s)^2 \frac{x}{x_c}\right] dt} \quad \dots \dots \dots (6.4)$$

$x > x_c$ のときは積分の内部は負となって E' が昇騰する可能性があり、再投入時に異常電流の突入する危険性がある。図 6.2 に代表的な例について E' の時間的変化を示してある。

7. 自己励磁現象

誘導機を含む系統において自己励磁現象が発生すると系統には電源周波数以外の周波数の電流、電圧が現われる。三相平衡状態を考えれば、

$$\left. \begin{aligned} K_a &= k_1 \cos t + \sum k_i \cos \omega_i t \\ K_b &= k_1 \cos(t - 120) + \sum k_i \cos(\omega_i t - 120) \\ K_c &= k_1 \cos(t + 120) + \sum k_i \cos(\omega_i t + 120) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6.5)$$

K は任意の物理量（たとえば電圧、電流、磁束）式(2.12)の変換式によって、

$K_s = (k_1 + \sum k_i e^{j\omega_i t}) e^{-jt}$ となるからこれを基礎式に代入すれば、図 7.1 のような回路に対しては各調波に関してつぎの式をうる。

$$\text{基本波に対しては, } T_0' \frac{d}{dt} [V_s + j\{x' + z_t\} I_s] + [V_s + j\{x + z_t(j)\} I_s]$$

図 7.1 系統に接続された誘導機

Fig. 7.1 Induction machine connected to system.

$$+jsT_0'[V_s+j\{x'+z_T(j)\}I_s]=0 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (6.6)$$

$$I_s = \frac{V_s}{z_L(j)} + \frac{V_s - e_s}{z_s(j)}$$

基本波以外の自由振動に対しては

$$T_0' \frac{d}{dt} [V_i + j\{\omega_i x' + z_T(j\omega_i)\} I_i] + [V_i + j\{\omega_i x + z_T(j\omega_i)\} I_i] = 0$$

$$+ j\{\omega_i - (1-s)\} T_0' [V_i + j\{\omega_i x' + z_T(j\omega_i)\} I_i] = 0$$

$$I_i = \frac{V_i}{z_L(j\omega_i)} + \frac{V_i}{z_s(j\omega_i)} \quad \dots \dots \dots \quad (6.7)$$

したがって V_i に対する式として

$$T_0' \frac{d}{dt} \left[1 + j\{\omega_i x' + z_T(j\omega_i)\} \left(\frac{1}{z_L(j\omega_i)} + \frac{1}{z_s(j\omega_i)} \right) \right] V_i$$

$$+ \left[1 + j\{\omega_i x + z_T(j\omega_i)\} \left(\frac{1}{z_L(j\omega_i)} + \frac{1}{z_s(j\omega_i)} \right) \right] V_i$$

$$+ j\{\omega_i - (1-s)\} T_0' \left[1 + j\{\omega_i x' + z_T(j\omega_i)\} \left(\frac{1}{z_L(j\omega_i)} + \frac{1}{z_s(j\omega_i)} \right) \right] V_i = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (6.8)$$

こうして、 V_i の振動の減衰は

$$\frac{1 + j\{\omega_i x + z_T(j\omega_i)\} \left(\frac{1}{z_L(j\omega_i)} + \frac{1}{z_s(j\omega_i)} \right)}{\left[1 + j\{\omega_i x' + z_T(j\omega_i)\} \left(\frac{1}{z_L(j\omega_i)} + \frac{1}{z_s(j\omega_i)} \right) \right] T_0'} \quad \text{の実部} \quad (6.9)$$

で与えられる。この実部が負であれば振動は減衰するから自己励磁は起らな

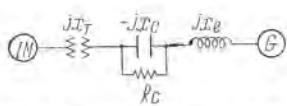


図 7.2 直列蓄電池と誘導機
Fig. 7.2 Series condenser and induction machine.

い。
上に得た結果を図
7.2 のような直列蓄
電器で補償された系
統に適用すると、こ
の系統では

$$z(j\omega_i) = j\omega_i x_T, \quad z_L(j\omega_i) = \infty, \quad z_s(j\omega_i) = j\omega_i x_e + \frac{1}{\frac{1}{R_c} + j\frac{\omega_i}{x_c}}$$

であるから式 (6.9) の実部は

$$\frac{-1 + \omega_i^2 \left(\frac{XX'}{R_c^2} - \frac{X}{x_e} - \frac{X'}{x_e} \right) + \omega_i^4 \frac{X'X}{x_c^2}}{\left(1 - \omega_i^2 \frac{X}{x_e} \right)^2 + \left(\frac{\omega_i X'}{R_c} \right)^2}$$

ただし $X = x_T + x_T + x_e$, $X' = x' + x_T + x_e$ これがいかなる周波数に対しても負であるためには、

$$R_c < \sqrt{X'X} / \left(\sqrt{\frac{X}{X'}} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots \quad (6.10)$$

式 (6.10) の R_c よりも小さい値の抵抗を用いれば自己励磁は防止しうる。

8. 界磁を喪失した同期発電機の特性

誘導機に関する基本式の応用例として同期発電機の界磁喪失現象を考えて見る。界磁回路を開放したような場合には、界磁電流は零となり、制動回路を回転子回路とする誘導機となる。タービン発電機のような非凸極機の界磁開放時の特性は、直軸リアクタンス x_d を励磁インピーダンス x , $x_d - \frac{x_{akd}^2}{x_{kkd}}$ を拘束リアクタンス x' , $\frac{x_{kkd}}{r_{kd}}$ を開路界磁時定数 T_0' とする誘導機で表示することができる。このときの誘導機の内部電圧 E' の初期値 E_0' は

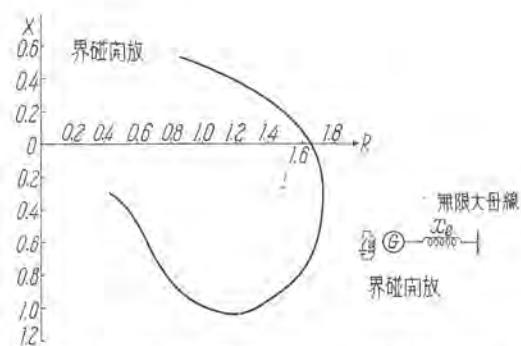


図 8.1 (a) 界磁開放時のインピーダンス軌跡
Fig. 8.1 (a) Impedance locus when field is opened.

$xd = x_d = 1.20$
 $xd' = 0.20, \quad xd'' = x_d'' = 0.10$
 $xd = 0.06, \quad T_0' = 0.033$ 秒
 $T_{0d} = 5.0$ 秒 $H = 5.0$
系統リアクタンス $xe = 0.2$
定格 MVA, 力率 85% lag

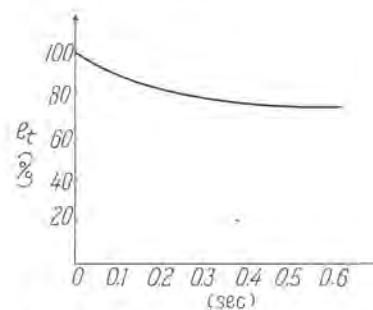


図 8.1 (b) 界磁開放時の電圧降下
Fig. 8.1 (b) Voltage drop when field is opened.

$$E_0' = \frac{x_{akd}}{x_{kkd}} (E_{t0} + jx_e i_{d0}) \quad \dots \dots \dots \quad (7.1)$$

で与えられる。

図 8.1 に代表的な常数を有するタービン発電機について界磁周波時のインピーダンス軌跡、端子電圧の降下を計算した結果を示してある。

9. む す び

誘導機の過渡特性を定める基本式を導き、これを用いて負荷変動、電圧変動、周波数変動に対する応答を解析し、誘導機のトルク-速度曲線は誘導機の加速状態によって左右されることを示し、自己励磁現象の解析法および抑制法について述べた。また、界磁を喪失した同期発電機の特性の計算にも誘導機の基本式が応用できることを示した。

最終に、本文を草するにあたってご指導を賜った横須賀室長に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) Transient Stability studies-I AIEE, Tech. Paper 54-331
- (2) 林: 誘導電動機の残留電圧 電気四学連合大会 昭和33年4月

誘導電動機の起動時における諸問題

長崎製作所 甘粕忠男*・秋吉俊男*
名古屋製作所 八木勝*

Problems on Induction Motors at Starting

Nagasaki Works Tadao AMAKASU・Toshio AKIYOSHI
Nagoya Works Masaru YAGI

Because of their wide range of application induction motors are designed to drive manifold loads. To meet their requirement various construction of squirrel cage type motors and wound rotor type motors are used. Then, a number of problems arise with their operation. Especially problems at starting confront engineers most frequently. If a load has an excessively large inertia, too much heat is generated in the rotor conduction in the course of start with a long starting time. The latest trend of the line start of large capacity motors affects badly on the power source and on other apparatus connected to this source, causing another problem. Further, poor starting due to abnormal torque inherent in their torque characteristic brings questions.

1. まえがき

誘導電動機は、周知のとおり非常に広範囲な用途に使用され、その特性に関しても起動時、運転時について、負荷機械の種類により千差万別の要求がなされている。

したがって電動機の回転子構造も、その負荷機械の特性に応じて、諸種のカゴ形あるいは巻線形が選定されており、またその起動方式に関しても、じか入起動、減電圧起動などが採用され、運転の合理化、電源への影響の緩和などが考慮されている。

とくに起動特性に関しては、紡績工業に見られるように、緩起動や均一な加速特性が望まれたり、遠心分離機、高周波発電機駆動の場合のように、負荷の慣性モーメントが過大であり、起動に長時間を要する場合、あるいは製鉄機械や工作機械に使用されているように、とくに起動、停止のひん度が高い場合などそれぞれその設計には、万全の注意を払わなければならない。

また近年のように、じか入起動の採用が大出力のカゴ形電動機に及ぼされるようになっては、ひとり電動機の起動特性ばかりでなく、その間の電源状況に及ぼす影響まで、あらかじめ考慮をめぐらしておかないと、いかに良好なトルク特性を設定してもその効果少なく、十分その機能を発揮できることになる。

上記のように、負荷と電動機、電源と電動機の相互的な特性上の問題は、あらかじめ負荷の状況を知り、電源の事状を知ることによって、設計された電動機の特性が、支障なく実状に符号しているかどうかを計算によって検討し、その運転状況を予知することができる。

しかし、とくにカゴ形電動機の起動に関しては、トルク発生の要因である磁束波の中に、基本磁束波以外の高調波磁束波が含まれており、これが起動時において発生

する異常音響の原因となり、また速度-トルク曲線に異常なひずみを生じる高調波トルク発生の原因となるのである。これらのために、電動機は異常現象を起し、起動不良としてクレームされることになる。これは重慣性負荷起動の問題や、電源容量の問題とは異なり、電動機特性の固有の問題である。

以下この論文では、幾多の起動時に発生する問題のうち、とくに重慣性負荷を起動する電動機に関する問題、またじか入起動するカゴ形電動機の電源容量に関する問題、さらには電動機固有の異常現象に基く起動不良の問題をとり上げて解説を加えた。

2. 重慣性負荷起動

2.1 重慣性負荷起動の際の諸問題

誘導電動機でファン、プロワ、はすみ車を有する機械など重慣性のものを駆動する時には、それに適するよう、電気的機械的に特別な考慮を払って設計する必要がある。それは重慣性負荷を起動する際に回転子、固定子の温度が相当に高くなり、それにともなって下記の問題がおこってくるためである。

(1) 回転子

カゴ形電動機で回転子が過熱すると次のような損傷を惹起するおそれがある。

a. 回転子バーとエンドリングの熱膨張によって機械的応力が大きくなり、バーやエンドリングに亀裂を生ずる。この場合にバーは膨張が軸方向であるので、温度は割合に高くなってしましつかえない。しかしエンドリングが膨張すると図2.1のとおりバーを外側に押し広げ、バー、エンドリングとともに曲げモーメントが加わり、大きな機械的応力を生じ、永久変形をおこさせたり、破損を生じたりする。それでエンドリングの温度上昇はかな



図 2.1 回転子バー、エンドリングの熱膨張にともなう変形
Fig. 2.1 Deformation of rotor bars and endrings due to thermal expansion.

り低く抑えなければならない。これは起動停止をひんぱんに行う時とくに問題となる。

b. 過熱にともなう回転子鉄心の劣化、鉄心表面のワニスの劣化、あるいは鉄心のゆるみのため鉄心と回転子バーとの間にがたを生じて回転中バーが振動し、その繰返しによって破損に至ることがある。

(2) 固定子

もし回転子よりも先に固定子のほうが許容温度をこえる場合には、

- 固定子コイルの許容値以上の温度上昇によるコイル絶縁材の急激な劣化、破損。
- 固定子コイル温度上昇のための結線部のはんだの溶融。
- 固定子コイルの温度上昇にともない固定子鉄心の劣化、それによる鉄損の増加、力率低下。
- 過熱とは直接関係はないが、大きな起動電流が長時間流れ電源へ悪影響を及ぼす。

普通は固定子よりも回転子によって温度上昇の制限を受け、とくに回転子バーとエンドリングの応力が問題となる。また巻線形電動機では起動電流を低く抑えることができ、起動中に熱が放散していくのであまり問題となることはないので巻線形回転子についてはとり上げなかったが、巻線形回転子でも、固定子の(a)、(b)項と同様な損傷には注意しなければならない。

2.2 電動機の起動時間

電動機と負荷の運動の方程式を作ると

$$T_A = \frac{2\pi}{60} \frac{GD^2}{4g} \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad \text{mkg} \quad (2.1)$$

$$T_A: \text{ 加速トルク} = T_M - T_L \quad \text{mkg}$$

$$T_M: \text{ 電動機発生トルク} \quad \text{mkg}$$

$$T_L: \text{ 負荷所要トルク} \quad \text{mkg}$$

$$GD^2: (\text{電動機} + \text{負荷}) \text{ のはすみ車効果} \quad \text{kg/m}^2$$

$$n: \text{ 回転数} \quad \text{rpm}$$

$$n_0: \text{ 同期回転数} \quad \text{rpm}$$

$$n_F: \text{ 全負荷回転数} \quad \text{rpm}$$

である。電動機の速度が n_1 から n_2 になるに要する時間は式(2.1)から

$$t = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_A} \quad \text{秒} \quad (2.2)$$

このことは図 2.2 の $a-b$ から下の面積を求めて $GD^2/375$ を掛けることを意味する。全負荷回転数になるまでの時間は式(2.2)で $n_1=0$, $n_2=n_F$ とおけば良いのであるが、 $n_2=n_F$ で $1/T_A=\infty$ となるから $n_2=0.98n_F$ ま

での面積を求めれば良い。実用的には平均加速トルク T_A を求めて式(2.2)から

$$t = \frac{GD^2 n_0}{375 T_A} \quad \text{秒} \quad (2.3)$$

としたので大差はない。式(2.3)を書き直すと

$$t = \frac{GD^2 n_0^2}{375 \times 974 \times \text{kW} \times k} \quad (2.4)$$

となる。ただし

$$k = \frac{\text{平均加速トルク}}{\text{全負荷時の電動機トルク}}$$

kW: 電動機出力

である。式(2.4)でわかるとおり、重慣性負荷では GD^2 が大となりこれに比例して起動時間が長くなる。 GD^2 が一定、出力一定ならば起動時間は回転数の 2 乗に比例する。この他、図 2.2 から明らかのように、電動機の速度-トルク曲線、負荷の速度-トルク曲線が k を定めこれが起動時間を左右する。電動機個々の設計内容によっても異なるが 200 HP 以上程度のものであれば、安全な起動時間は 6~20 秒程度である。

2.3 起動時温度上昇

(1) 回転子の温度上昇

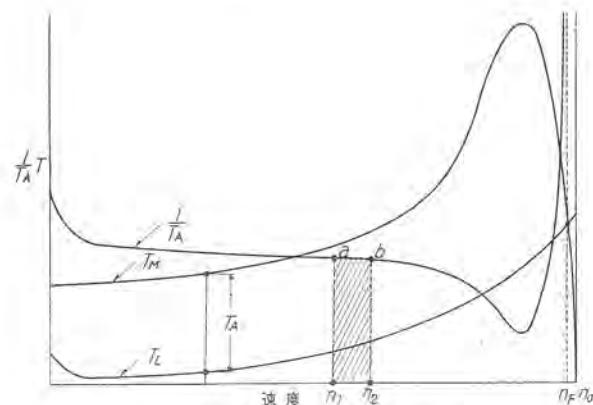


図 2.2 誘導電動機の速度と T_M , T_L , T_A , $1/T_A$ の一例

Fig. 2.2 Example of induction motor speed and T_M , T_L , T_A , $1/T_A$

前述のとおり重慣性負荷を起動する場合の支障はほとんど回転子、固定子の温度上昇によって決まる。

誘導電動機の二次導体に発生する熱量は任意の時間 t_1 と t_2 の間では

$$Q_2 = \int_{t_1}^{t_2} m_1 R_2 I_2^2 dt \quad \text{W-s} \quad (2.5)$$

m_1 : 一次の相数

R_2 : 一次に換算した二次抵抗

I_2 : 一次に換算した二次電流

である。巻線形の電動機を起動する際にはこの損失はほとんどが外部抵抗中に発生するが、カゴ形では全部が回転子内部に発生する。電動機のすべりを s 、一次から二次に伝達する電力を P とすると

$$m_1 R_2 I_2^2 = sP = s \frac{2\pi n_0 g T_M}{60} \quad (2.6)$$

式(2.2)から

$$dt = \frac{2\pi}{60} \frac{GD^2}{4g} \frac{dn}{T_A}$$

$$ds = -\frac{dn}{n_0}$$

であるから、すばり s_1 から s_2 までの間の発熱を ΔQ_2 とすると

$$\Delta Q_2 = \frac{2\pi n_0 g}{60} \int_{s_2}^{s_1} s T_M \frac{2\pi n_0}{60} \cdot \frac{G D^2}{4g} \cdot \frac{ds}{T_A} \\ = \left(\frac{2\pi n_0}{60} \right)^2 \frac{G D^2}{4} \int_{s_2}^{s_1} \frac{T_M}{T_A} s ds \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

となる。

負荷トルク $T_L = 0$ の場合は実際にはないが、実用上 0 とみなしえる場合には、式 (2.7) は $s_2 = 0$, $s_1 = 1$ において

$$Q_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi n_0}{60} \right)^2 \frac{G D^2}{4} \\ = \frac{G D^2 n_0^2}{730} \quad \text{W-s} \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

$$= 3.3 \times 10^{-3} \times G D^2 \times n_0^2 \quad \text{cal}$$

式(2.8) は与えられた $G D^2$ を加速するために回転子に発生する損失は、加速に要する全時間、電動機の出力に無関係に $G D^2$ と回転数だけによって定まることを示す。

負荷トルク T_L の無視できない場合に、 $s = s_1$ から $s = s_2$ までの発熱量を $\Delta Q'_2$ 、この間 T_M は一定、 T_A は一定とすると

$$\Delta Q'_2 = \frac{T_M}{T_A} \Delta Q_2 \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

実際は T_M/T_A は一定でなく、すばりによって変るので全発熱量 Q'_2 を求めるのは複雑となるが、近似的には図2.2 のトルク-速度曲線で速度を数区間に分け、或る速度区間では $T_M/T_A = \text{一定}$ として $\Delta Q'_2$ を求め、 $\sum \Delta Q'_2$ を計算すれば良い。いずれにしてもつねに $Q'_2 > Q_2$ となる。

$T_L \neq 0$ の時電圧を下げて起動すると電圧の 2 乗に比例して電動機発生トルク T_M は減少する、それで $T_M/T_A = T_M/(T_M - T_L)$ に比例して電動機の発熱は増加する。ゆえに重慣性負荷の電動機を減電圧で起動すると、電流は減少するが、発熱量は増大し温度上昇の点から危険である。900HP の電動機を 100% 電圧と、70% 電圧で起動した際の回転子バー、エンドリング、固定子巻線の温度上昇を示したのが図2.3 である。

一般に起動時間は 20 秒以下の短時間であるから、この間の回転子の発熱は全部回転子バーおよびエンドリングに発生し、外部に逃げ出さないものとして計算する。起動中の回転子バーとエンドリングの抵抗の比によって Q'_2 を分けたものを Q_{2b}, Q_{2r} とする。この際起動から全速までの深みぞ効果を考慮に入れなければならないことはもちろんである。バー、エンドリングの温度上昇を T_b, T_r とすると

$$T_b = \frac{Q_{2b}}{\rho_b w_b} \quad \text{°C} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

$$T_r = \frac{Q_{2r}}{\rho_r w_r} \quad \text{°C}$$

ρ_b, ρ_r : バー、エンドリングの比熱 W-s/kg °C

で 銅 $\rho = 390$ W-s/kg °C
黄銅 $\rho = 380$ "

アルミニウム $\rho = 870$ "

w_b, w_r : バー、エンドリングの導体の重量 kg

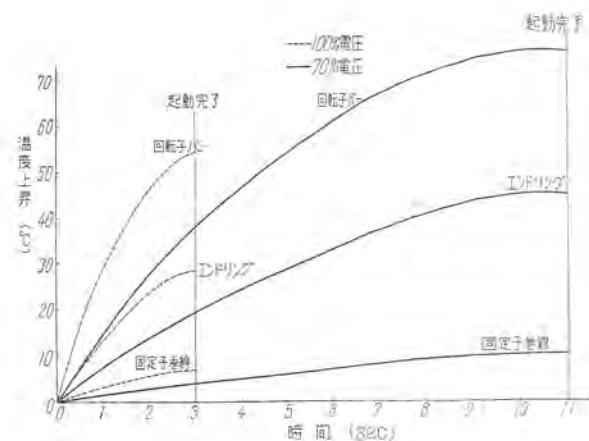


図 2.3 100% 電圧と 70% 電圧時の温度上昇比較

Fig. 2.3 Comparison of temperature rise between periods of 100% voltage and 70% voltage.

実際の起動時の温度上昇は回転子バーから鉄心へ、バーからエンドリングへ、エンドリングから周囲空気への放熱があり、図2.3 に示すように時間の経過につれて回転数が上り、温度上昇はゆるやかになっていく。このため適当な補正係数を掛けて修正しなければならない。

(2) 固定子の温度上昇

固定子巻線中の発生熱量 Q_1 は回転子同様

$$Q_1 = \int_{t_1}^{t_2} m_1 R_1 I_1^2 dt \quad \text{W-s} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

R_1 : 一次抵抗

I_1 : 一次電流

であるが励磁電流を無視すると

$$Q_1 = \frac{R_1}{R_2} Q'_2 \quad \text{W-s} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

となる。

固定子コイルの起動時の温度上昇 T_1 は

$$T_1 = \frac{Q_1}{\rho_1 w_1} \quad \text{W-s/kg °C}$$

ρ_1 : 固定子導体の比熱 W-s/kg °C
 w_1 : 固定子導体の重量 kg

で求まる。実際には固定子鉄心へ熱が逃げるし、抵抗 R_1 は直流抵抗をとっているから回転子と同じく適当な補正係数を乗じなければならない。固定子の場合には直流抵抗と交流抵抗とはあまり差がないから、これに基く誤差も大したことではない。式(2.12)で得られた温度上昇が多少規格値 (A 種絶縁で 105°C, B 種絶縁で 130°C) をこえていても、起動停止のあまりひんぱんでない所に使用されていれば、この温度での運転時間が短いから、これによって絶縁の寿命がいちじるしくそなわれることはない。

(3) 温度上昇と電動機の形式、容量

同一容量の二重カゴ形電動機と深みぞカゴ形電動機とを比較すると、二重カゴ形の方が起動トルクが大きい。それで式(2.9)で T_A が大きく、それだけ発熱量 Q'_2 が減少し、また起動時間も減る。しかし二重カゴ形電動機を起動する際、起動電流の大部分は、外側の回転子バーと

エンドリングが受持つ。一方外側のバー、外側のエンドリング単独の熱容量は、深みぞカゴ形に比して、相当小さいゆえ、二重カゴ形の方がかなり高くなる。この点から普通の設計であれば、重慣性負荷を起動するには深みぞカゴ形を採用するほうが良い。

同一銘板値の A 種絶縁と、B 種絶縁の電動機があって、これで重慣性の負荷を起動する場合を比較する。通常 B 種絶縁の電動機のほうが、同出力の A 種のものよりも全体の寸法が小さい。したがって回転子の寸法、熱容量も減小している。固定子の温度上昇の許容値は、B 種のほうが 20°C 高いが、回転子で温度を抑えられることが大部分であるので、大きい GD^2 を起動する能力は A 種のほうがすぐれていることが多い。B 種絶縁でも A 種並みに温度上昇限度 50°C の電動機が良くあるが、この場合には、A 種と B 種と電動機寸法は同程度であり、A 種がすぐれているとはいえない。起動時の温度上昇が固定子によって制限される時には、B 種絶縁の電動機のほうがもちろん有利である。

式(2.8)、式(2.12)から回転子発熱量 Q_2 は二次抵抗 R_2 に無関係であり、固定子の発熱量 Q_1 を減らそうとすれば R_2 を増せばよい。また R_2 が大きいほど、起動トルクが大きくなっている。 Q'_2 の低下を助け、起動時間を短くする。ゆえに重慣性負荷の電動機では、二次抵抗をできるだけ大きくするほうが有利であるが、二次抵抗を大にするには回転子バー、エンドリングの寸法を小さくしなければならず、熱容量の低下を招き、ひいてはバー、エンドリングの温度が高まり好ましくない。それで重慣性負荷駆動用電動機に対しては、二次導体に抵抗の高い材料を用いなければならないことがある。さらに回転子バーの鉄心外寸法はなるべく曲げ応力を少なくする長さにとったり、温度が上ってもエンドリングの熱膨張、変形を外部から機械的に拘束する構造にしたりして、機械的応力の低減をはかることがある。

NEMA においては、大なる GD^2 を駆動する必要のある $250\sim2,500 \text{ HP}$ 、2~24 極までの標準カゴ形電動機について、安全に起動できる GD^2 の限界値を示した表がある。この表は電動機起動トルクが全負荷トルクの 60% で、負荷特性が速度の 2 乗に比例し、全負荷で 100% トルクになる負荷に適用できる（この負荷特性はファンのようなものにあてはまる）。図 2.4 はこの NEMA の表の、250 HP と 2,500 HP のものについて（負荷 GD^2 ）/（Unit GD^2 ）の値を求め極数を横軸として表わしてみた。なお

$$\text{Unit } GD^2 = \frac{36.5 \times \text{定格 kW}}{\left(\frac{n_0}{100}\right)^2}$$

であり、簡単にいえば全負荷トルクで 1 秒間に起動を完了できる GD^2 をいう。負荷の GD^2 が与えられた場合、その GD^2 を Unit GD^2 で割った値が、図 2.4 の曲線以下になれば十分安全に起動できることを示す。図 2.4 縦軸の数値は時間の Dimension を示すが、起動時間ではない。縦軸（負荷 GD^2 ）/（Unit GD^2 ）の $1/2$ を H

Constant と呼び H の記号で表わすことがある。

2.4 起動のひん度

式(2.7)からわかるとおり逆相制動の際の発熱量は、 $s_1=2, s_2=1$ であるから $3Q_2$ となり、重慣性負荷の電動機で逆相制動をすると非常に温度が上昇する。これはカゴ形だけでなく巻線形についてもいえる。また電動機を、何度も何度も、ひき続いて起動させると、導体の温度が室温まで下る時間がなく、その上に

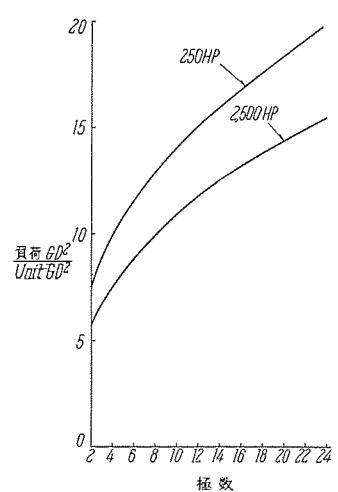


図 2.4 極数と標準電動機で起動可能な GD^2 の関係

Fig. 2.4 Relation between the pole number and GD^2 possible to start.

次の発熱が蓄積されるので電動機の寿命を短縮させることがしばしばおこる。たとえば誘引通風機のような GD^2 の大きいものを起動する際には、電動機導体の温度は、その最高許容値近くまで達し、このような起動のあとに、すぐ引続いて次の起動を行えば、固定子コイルの焼損、回転子導体の破損を招くおそれがある。起動停止のひん度の多い重慣性負荷駆動用の電動機は、あらかじめそれを見込んで十分余裕のある設計にしなければならない。

3. 誘導電動機のじか入起動と電源容量

3.1 誘導電動機のじか入起動

カゴ形誘導電動機の起動方法は、リアクタ起動法、シンシン起動法、Y△起動法など各種の起動方法があるが、じか入起動法がもっとも簡単であり、また付属器具も少なくかつ安価である。しかじか入起動の場合は、カゴ形誘導電動機の特性上、起動の瞬間には、一般に定格電流の 400~650% 程度の起動電流が線路に流れるので（表 3.1 参照）、電動機固定子コイルには大なる機械的ショックを与え、負荷の GD^2 が大きいとき電圧降下が持続すれば、起動時間が一般に長くなるので過熱を生じるなどの悪影響がある。一方電源容量が、誘導電動機の起動 kVA に比し比較的小いときは、発電機および励磁機または変圧器の特性によって相当の電圧降下を生じ、発電機、電動機および制御器などに悪影響をおぼすのであらかじめ吟味しておく必要がある。ことに最近は火力発電所の大容量化にともない、これが補機用カゴ形誘導電動機も

表 3.1 各種カゴ形誘導電動機の起動電流 (JISC 4201 による)

	極数	普通カゴ形 各種形式とも (%)	特殊カゴ形 1 種		特殊カゴ形 2 種	
			開放形 閉鎖形 (%)	全閉外扇形 (%)	開放形 閉鎖形 (%)	全閉外扇形 (%)
起動電流	2	650*	575*	625*	—	—
	4.6	550	475	500	525*	550
	8	500	475	500	525	550

注 * 印の起動電流には +20% の裕度を許容

大容量となり、数千馬力のものまでじか入起動を行うことが実状である。また船舶にも交流化が進展し、交流ウインチのごときは、きわめて起動ひん度が高く、起動のたびごとに同一線路に接続されている電灯のちらつきが問題となりこの点から発電機の容量が左右されるので電灯用電源と舶用補機電動機電源とを別にする考慮も払われている。

3.2 ジカ入起動電流

誘導電動機のじか入起動電流は、系統上の機器および電源容量と密接な関係があるので、あらかじめ起動電流の正確な算定をして置かなければならない。誘導電動機の諸特性の算定には一般に等価回路を用い、試験法も無負荷試験、減電圧拘束試験、抵抗測定を基とし、規格化された円線図法により特性値を算定しこれを試験値としている。これはすべり小なる定格回転数付近の特性に対しては比較的信頼のおけるものであるが、すべり大なるたとえば起動電流、起動トルクなどの決定には不正確である。すなわち規格による起動電流の算定には、減電圧拘束試験の結果からつぎのようにして算定している。全電圧を印加したときの起動電流を I_s 、定格電圧を V_0 、拘束試験時の拘束電圧、電流をそれぞれ V_s' 、 I_s' とすれば

$$I_s = I_s' \times \frac{V_0}{V_s'} \quad (\text{A}) \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

われわれは上記の方法で算定された起動電流が実際の全電圧起動電流よりかなり低くなることを数多く経験しているが、これはつぎの理由によるものである。すなわち起動時には、固定子および回転子導体に大電流が流れ、固定子回転子の漏洩磁束が大となり、これらの磁路が飽和状態となる。磁路の飽和が大きいということは漏洩磁束(漏洩リアクタンス)が磁路の飽和のない場合より小さいことを意味し、回転子拘束インピーダンスは電流の増大とともに減少し、いいかえれば図3.1 のように、拘束電流は、電圧の増大とともに、比例線上よりさらに上方に上ることになり、実際の起動電流は式(3.1) の値よりかなり上まわる訳である。かかる鉄心の飽和を考慮に入れた漏洩リアクタンスの算定は、きわめて困難で漏洩磁路が飽和しないと仮定して計算を行い、すべり大なる範囲で鉄心磁路の飽和を勘定に入れる際は、実測その他により“Saturation Factor”とも称すべき値を見出し利用する方法が行われている。現今のお誘導電動機の

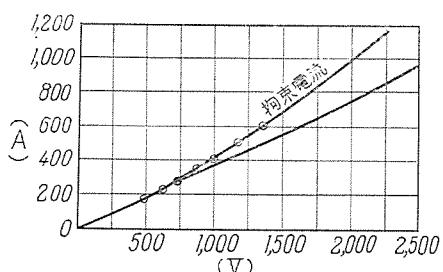


図 3.1 カゴ形 600 HP 6 P 1 M 回転子拘束特性

Fig. 3.1 Locked rotor characteristics of a 600 HP 6 pole motor with squirrel cage rotor.

表 3.2 出力極数と Saturation factor との関係

HP	極 数	Saturation Factor	
		計 算 値	実 測 値
2	4	1.45	1.36
3	"	1.35	1.36
5	"	1.4	1.4
7.5	"	1.49	1.45
7.5	"	1.34	1.32
10	"	1.57	1.52
10	"	1.39	1.28
15	"	1.66	1.57
3	6	1.37	1.33
5	"	1.46	1.36
7.5	"	1.29	1.21
10	"	1.4	1.29
50	"	1.14	1.125
1/2	8	1.36	1.22
15	"	1.12	1.09
500	"	1.16	1.135
800	"	1.41	1.41

Saturation Factor は 1.15~1.3 で、まれにそれ以上のものがあるといわれる。一休漏洩磁路の飽和は主として歯先の部分に生じると考えられてきたが、この仮定によると、固定子回転子側ともに半閉みぞを採用している低電圧小形機のほうが、固定子に開放みぞを有する高電圧大形機より漏洩磁路の飽和が大となる結論になるが、これは実際と異なり、開放みぞの場合もまた半閉みぞの場合と同程度の値になることを経験は示している。

したがって漏洩磁路の飽和は歯先だけに生じるのではなく歯の部分にも生じると考えざるを得ない。経験によると Saturation Factor の大きさは、主としてみぞ数、歯部分の寸法および空隙の長さにより影響され、コイルピッチにはあまり影響されないことがわかっている。このみぞ数が大なる影響をおよぼすのは、みぞ数による高調波磁束が漏洩磁路の飽和に一役を演じていることを示すものと考えられ、Liwschitz および Formhals は固定子回転子のみぞ数による高調波磁束を基として計算された Saturation Factor と実測値との比較を表3.1 のように示している。しかしこの計算とて十分な理論的根拠に乏しいものであることを付言している。ゆえに単なる理論だけでなく、経験に基いた理論を確立し正確な起動電流の算定を行うことが必要であるとともに、減電圧拘束試験より起動電流を算定する不合理な方法をやめて、正確にして実用的な試験規格を確立すべきであろう。

3.3 電源の電圧降下

誘導電動機をじか入起動する際には前述のように大なる起動電流が線路に流れるので、自家用発電所や火力発電所内補助発電所および船舶用交流発電機の場合のように比較的小容量の電源に接続された電動機をじか入起動する際や、大容量火力発電所における給水ポンプ用や誘引通風機用などの大容量の誘導電動機をじか入起動する場合には電圧降下が重大な問題となる。この電圧降下の状況は電動機が直接発電機につながっているときと変圧器につながっているときでは非常に趣が異なってくる。すなわち交流発電機はその特性上瞬時電圧降下は比較的大きいが、自動電圧調整器が必ず付属しており、その自動調整作用によって電流が減少しなくても電圧は 1~2 秒内に定常電圧に復帰する。これに反して変圧器の場合は起動電流が流れている間は電圧は低下したままで起動

完了して電流が減少しなければ電圧は復帰しない。この電圧降下が非常に大きいと、電磁接触器の励磁が喪失し、電圧に敏感な各種繼電器が誤動作したり、起動器の電圧が低下し起動不可能となったり、同一線路に接続された運転中の誘導電動機のトルクが低下し Stall したりして危険があるので最大電圧降下を正確に予測してこの点から電源容量を決定したり、電源が既設の場合は減電圧起動方式を考慮したり、あるいは最悪の場合は巻線形誘導電動機とすることもある。

(1) 電源が交流発電機の場合

発電機端子に低力率 0~40% の負荷が急激に投入された場合、その端子電圧は図 3.2(0 点で印加)のように急速に低下するが、電機子反作用によって低下の度合はゆるやかになる。最初の急速な低下によって電圧調整器が働き、励磁機界磁抵抗を切り離した点で励磁機界磁回路に直流電圧が印加され、この動作により励磁電流は増加を始めその間端子電圧は最低となり降下を停止する。この最大電圧降下は普通 0.5~1.5 秒程度続き最大電圧降下点の付近で数サイクル継続する。t 点より電圧は復帰し始め定常電圧となる。この最大電圧降下が低電圧に付随する種々の現象の判定の基準になるものである。

最大電圧降下の計算については、すでに Harder および Cheek による詳細な論文が発表されている。これによると低力率負荷を突然に印加した場合の電圧時間曲線の最小電圧(最大電圧降下)を求める方程式を導き、実際に最大電圧降下は数個のパラメータで図示できることを述べている。電圧変動に影響を与えるすべての因子とは

- (a) 発電機の過渡リアクタンス X_d'
- (b) 発電機の同期リアクタンス X_d および短絡比
- (c) 発電機開路時常数 T_{d0}'
- (d) 励磁機リスボンス R
- (e) 印加される負荷の特性
- (f) 発電機横軸同期リアクタンス X_d および飽和度 S
- (g) 電圧調整器動作時間 h
- (h) 初負荷の特性

このうちもっとも大なる影響をおよぼすのは (a)~(e) までで他は平均値を用いて実際に誤差は問題にならないことを述べ、最大電圧降下と印加負荷量の関係曲線を $X_d=120\%$ の場合 X_d' , T_{d0}' および R をパラメータとして表わした。すなわち図 3.3(a) のような自励式励磁機の場合の一例は図 3.3(b) のようであり、図 3.4(a) のような他励式励磁機の場合の一例は図 3.4(b) のようであ

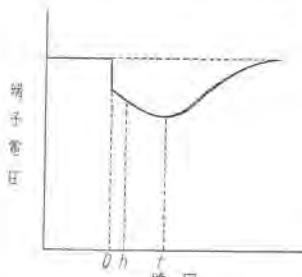


図 3.2 発電機端子電圧降下曲線

Fig. 3.2 Terminal voltage vs time curve after a sudden load application.

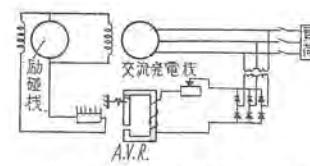


図 3.3(a) 副励磁機をもたず発電機端子電圧の変動を直接に励磁機回路に与える励磁方式

Fig. 3.3(a) Excitation system giving change of generator terminal voltage directly to the exciter circuit without sub-exciter.

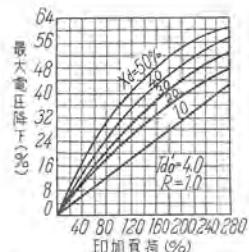


図 3.3(b) 最大電圧降下曲線(自励励磁機)

Fig. 3.3 (b) Max. voltage drop curve.

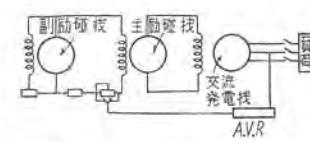


図 3.4(a) 副励磁機を有し発電機端子電圧の変動を副励磁機回路に与える励磁方式

Fig. 3.4(a) Excitation system giving change of generator terminal voltage to sub-exciter circuit.

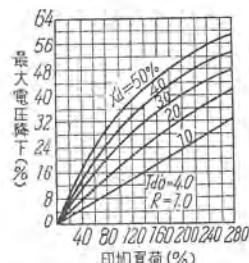


図 3.4(b) 最大電圧降下曲線(他励励磁機)

Fig. 3.4 (b) Max. voltage drop curve.

ある。ここで $X_d=100\sim140\%$ 程度のときは $X_d=120\%$ の曲線を使用して大した誤差はないが、 X_d がこれ以外のときはこの発電機と等価で $X_d=120\%$ であるような発電機 kVA を求め、すべての値をこの定格 kVA を基準に換算して $X_d=120\%$ の曲線を使用する。

例 発電機定格 5,000 kVA, $X_d=150\%$, $X_d'=30\%$, $T_{d0}'=4.0$ 秒, $R=1.0$ の端子電圧降下を 15% におさえじか入起動できる誘導電動機の最大馬力を求める場合、電動機 kVA/HP=0.9, 電動機起動電流=600% とすると

$$\text{Base kVA} = 5,000 \times \frac{120}{150} = 4,000 \text{ kVA}$$

$$X_d' = 30 \times \frac{4,000}{5,000} = 24\%$$

図 3.4(a) の他励式励磁機の場合、15% 電圧降下に相当する印加負荷量は 70% となり

$$\text{起動 kVA} = 4,000 \times 0.7 = 2,800 \text{ kVA}$$

$$\text{ゆえに 電動機定格 kVA} = \frac{2,800}{6} = 466.6 \text{ kVA}$$

$$\text{電動機定格 HP} = \frac{466.6}{0.9} = 520 \text{ HP}$$

図 3.3(a) の自励式励磁機の場合は同様にして

$$\text{起動 kVA} = 4,000 \times 0.6 = 2,400 \text{ kVA}$$

$$\text{電動機定格 HP} = 445 \text{ HP}$$

図 3.3(b), 図 3.4(b) の曲線はいずれも初負荷 0 の場合で、これは一般に初負荷のある場合にも適用されるが、これはつぎの理由によるものである。一般に初負荷は図 3.5 に示すような静負荷(一定インピーダンス負荷)と動負荷(電圧低下につれて負荷電流が増大する、たとえば運転中の誘導電動機)との混合で、前者は図のように電圧降下を減少させ、後者は電圧降下を増大させるから平均として電圧変動に大した影響をおよぼさず、したがつ

て初負荷 0 の場合となんら変わらないという仮定に基くものである。初負荷が動負荷だけの場合（あるいは静負荷）には、したがって補正の必要がある訳である。

また図 3.3 (b), 図 3.4 (b) の曲線はいずれも印加負荷力率 35% で最大電圧降下時まで一定インピーダンスとして計算されたものであるが、図 3.6 に示すように印加負荷の力率は 0~40% までほとんど最大電圧降下におよぼす影響は変化なく、実際上誘導電動機の起動時力率はほとんど 40% 以内にあるので考慮の必要はない。また最大電圧降下までの短時間では電動機起動時インピーダンスは一定と考えてもさしつかえないのでこれも問題はない訳である。

(2) 電源が変圧器の場合

変圧器の電圧変動率は、つぎの式によって表わされる。

$$\text{電圧変動率} = mq_r + nq_x + \{(mq_x - nq_r)^2 / 200\}$$

ただし n = 負荷のリアクタンス率 ($\sin \phi$) %

m = 負荷の力率 ($\cos \phi$) %

q_r = 変圧器の % Resist.

q_x = 変圧器の % React.

3,300/220 V の標準変圧器では

$$q_x = 4\%$$

変圧器容量 (kVA)	10	15	30	50	100	200
%	2.5	2.4	2.0	1.9	1.7	1.4

いま電動機の起動時力率を 40% と仮定して q_r がそれぞれ 3, 2.5, 2, 1.5 の場合の電圧変動率を求めるとき図 3.7 のようになる。つぎに高圧変圧器の q_x は一般に定格電

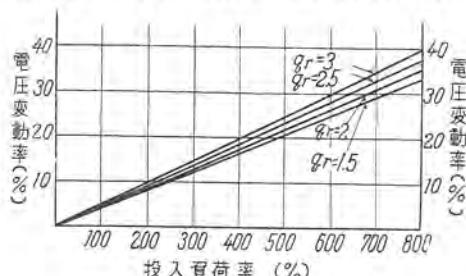


図 3.7 変圧器電圧変動率（標準変圧器のはあい）

Fig. 3.7 Transformer voltage regulation (standard transf.)

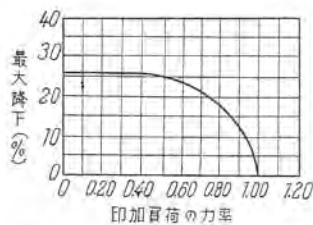


図 3.5 最大電圧降下に対する初期負荷の影響

Fig. 3.5 Effect of initial load max. voltage drop.

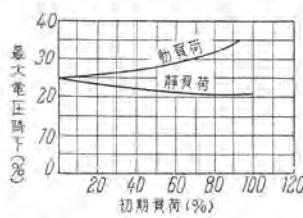
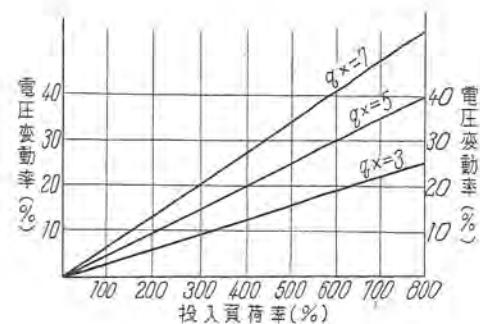


図 3.6 最大電圧降下に対する印加負荷の力率の影響

Fig. 3.6 Effect of applied load power factor on max. voltage drop.



$$\text{電圧変動率} = mq_r + nq_x + \frac{(mq_x - nq_r)^2}{200}$$

$m = \cos \phi = 0.4$ (仮定)

$n = \sin \phi$

q_r = 百分率抵抗降下 (1% 仮定)

q_x = 百分率リアクタンス降下 (3, 5, 7% 仮定)

図 3.8 変圧器電圧変動率 (大形変圧器のはあい)

Fig. 3.8 Transformer voltage regulation (large transf.)

によってつぎのようになると考えられている。

定格電圧 (kV)	200	140~100	70~30	20~10	6~3
%	113	10	7	5	3

いま $q_r = 1\%$

$q_x = 3, 5, 7\%$

電動機の起動時力率 = 40%

と仮定して電圧変動率を求めるとき図 3.8 のようになる。

例 電源変圧器 5,000 kVA 11,000/3,300 V 60 c/s

じか入電動機 1,000 HP 3,300 V 60 c/s 2 極

153 A

起動電流 765 A

変圧器 $q_r = 1.0\%$ $q_x = 5\%$

電動機起動 kVA = 4,380 kVA $m = 0.4$

負荷率 = $4,380/5,000 = 0.875$

図 3.8 より電圧変動率は約 4% となる。

変圧器に初負荷がある場合は、まず初負荷による電圧降下を求め、つぎに起動電流と初負荷のベクトル和の負荷に対する電圧降下を求める。この両者の差が起動電流による電圧降下となる。

3.4 電圧降下の許容範囲

発電機または変圧器と電動機の距離が大きいときは、その間の線路の電圧降下についても注意を要し、これらの諸条件を考慮して電圧降下の許容値を決定しなければならない。規格によると誘導電動機に対して脱出回転力 175% 以上たることが規定されている。突入電流による発電機の電圧降下は短時間であるため電動機に対する影響は、脱出回転力の低下による Stall だけを考慮すればよい。すなわち 20% の電圧降下によってもなお脱出トルクは少くとも $175 \times (0.8)^2 = 112\%$ を有し Stall することはあり得ない。変圧器に接続されている場合は、起動電流が流れている間、電圧降下が接続するので電動機のトルクが減少し、負荷の GD^2 によって起動時間が長くなり固定子コイルの過熱を生じるので注意を要する。つぎに一般管制器具類のうち、電磁接触器など電磁力を用いるものへの影響であるが、これらも 20~30% 程度の電圧降下によってはなんらの悪影響を受けないことが実験的

に確認されている。以上の諸点を考慮すれば、じか入起動時の電圧降下の許容限度は一般に発動機の場合 20% 変圧器の場合 15% 程度とすれば妥当と思われる。

4. 誘導電動機の起動不良とその対策

4.1 起動不良現象の種々の例

(1) 起動時における異常音響の発生

一般に電動機に発生する騒音には、製作の不手ぎわによって構造部分に生じるものと、固定子、回転子のみぞ数組合せ、固定子巻線の分布、回転子棒のスキーなどに起因する高調波磁界の存在によって発生する磁気的なものとがある。前者の製作上の不手ぎわによるものは、冷却扇の風圧の過大や、空隙の不平衡、軸受のがた、回転子棒がみぞに対してゆることなどに起因しているようである。これらは一般には、起動時の異常音として、とくに取上げるまでもないが、耳ざわりとなり問題となるのは、後者の電気的構造によって磁気的に発生するものである。これが単に、電動機がスイッチインされた始動の瞬間に発生する程度であるならば、電動機の運転上その機能をさほど阻害するものではないが、この電動機が設置される場所の周囲騒音や、あるいはその起動のひん度などと関連して考えられた場合、許容できないものとしてクレームされることになる。誘導電動機の利用が盛んになり、今日のように家庭電気機械とともに、一般家庭内に進出してくるようになれば、起動時の異常音はもちろん、運転中の音響に対しても、極力その静粛なることが要望されるゆえんである。またビル建築物中に設置される排水ポンプ用、冷暖房用、エレベータ用などに関しては、一般家庭用に比して、一般に電動機の出力も大きく、建築物中における反響などと合わせ考えられれば、当然問題として取上げられてくる訳である。とくにエレベータ用電動機に関しては、起動、制動、停止のひん度高く、起動音、制動時の切替音などしばしば異常音として問題視されるのである。

一般に起動時の異常音の発生を防止する対策としては、固定子および回転子のみぞ数の組合せを適正にすること、回転子みぞはスキーを施すこと、が行われている。また空隙長を増大して、空隙の磁路バーミアンスを変え、磁束分布を変えることによって、発生する異常音を減少させることもできる場合がある。

(2) うなりや振動を発生して起動しない場合

一般に電動機は、起動時スイッチインされば、ただちに回転を始め、特殊な負荷のものを除いては、瞬間あるいは数秒にして、定常回転数に達するものである。しかし中には、スイッチインしても、あたかも外力によって拘束されているかのように、磁気的なうなり音を発生し、また一般には、振動を伴って回転しないものがある。このような現象が、いわゆるスタンドスチルロッキングと称される現象であって、同期クローリングがすべり 1 のところにおいて生じたと同じ現象である。この現象を発生する速度-トルク曲線を示すと、図 4.1 のようになっ

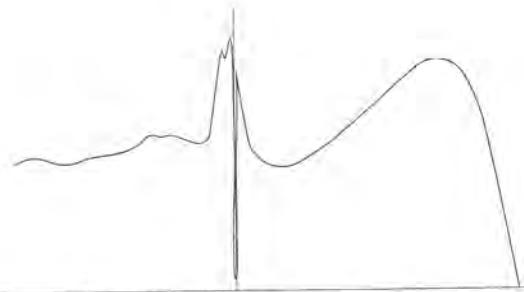


図 4.1 スタンドスチルロッキング
(すべり 1 における同期クローリング)

Fig. 4.1 Stand still locking.

ており、クローリングのために、すべり 1 における電動機の発生するトルクは、極端に低下し、負荷トルクに抗し得ず回転不能に陥ったものであって、明らかに起動不良と称されるものである。工場において、その製品試験のときに容易に発見することができるものである。このような拘束状態を持続すれば、過大な拘束電流によって過熱されるだけでなく、ともに発生する振動によって軸受の損傷、機械構造部分の破損に至る障害などを引き起すことになる。

(3) 起動しても或る一定低速度以上に加速しない場合

この場合は、電動機にスイッチインすれば、一応起動し回転をはじめるが、或る低い回転数までは加速上昇しても、それ以上に速度上昇することなく、そのままその回転数で回転を持続することがある。この現象は、磁束波に含まれる高調波磁束波が高調波トルクを発生し、その影響を受けて、速度-トルク曲線の形状が異常に変形されて、トルクの谷を生じ、たまたまその最低のトルク値がその場合の負荷トルクの値より、小さくなるあるいは等しくなって、いわゆる加速トルクが、マイナスあるいは零になり、その回転数以上に速度上昇しないのである。このような現象を一般に、クローリング現象と称している。クローリング現象には図 4.2 に示すように、或る定まった回転数においてだけ生じる同期クローリングと図 4.3 に示すように、回転数の或る範囲にわたって生じる非同期クローリングとがある。(2) 項に述べた現象は、同期クローリングの一種であり、 $s=1$ において生じた場合

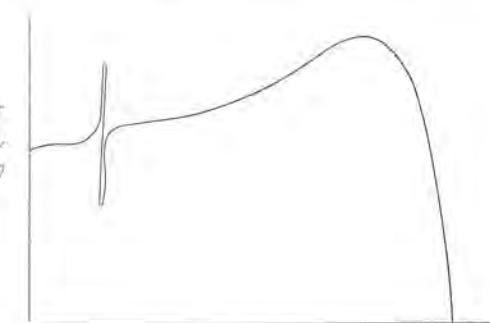


図 4.2 同期クローリング

Fig. 4.2 Synchronous crawling.

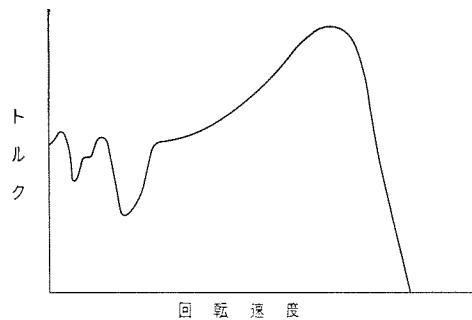


図 4.3 非同期クローリング
Fig. 4.3 An asynchronous crawling.

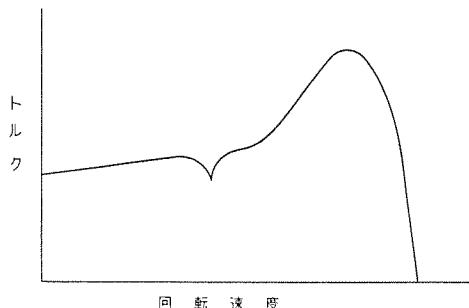


図 4.4 不平衡磁気力による異常トルク
Fig. 4.4 Abnormal torque due to unbalanced magnetic force.

である。

また不平衡磁気力によって発生する振動が、回転子の固有振動数に共振するときは、いちじるしいトルクの低下をきたし、電動機をこの速度で拘束し、それ以上に速度上昇しないことがある。(図 4.4 参照)

カゴ形電動機が、クローリング現象を起こすと、それ以上に速度が上昇しないため、その間過大な電流が持続して流れ、電動機の各部は過熱される。この場合、回転子棒の抵抗が増加し、そのために速度-トルク曲線の形状が変化し、クローリングの死点を脱出して、加速をはじめ、やがて全速に達することがしばしば経験される。しかしこのような現象は、加速するしないにかかわらず、いずれも運転に支障をきたすものであって、起動不良現象として当然解決されなければならない問題である。

(4) 回転子の起動位置によって起動トルクが変動する場合

一般にカゴ形電動機においては、固定子のみぞ数および回転子のみぞ数の組合せ関係によって、回転子の静止位置いかんに従って、空隙磁路のパーミアンスの相違にもとづき、空隙磁束分布が極端に変動し、このため図 4.5 に示すように、その起動トルクの値が波状に変動することがある。この場合、変動する起動トルクの値が図 4.5 に示すように、たまたま波の最低部の値であり、運転される負荷トルクの値が、この値以上であれば、回転子がこの位置より起動を行うことは、当然不可能となり、(2) 項に述べたような、スタンドスチルロッキングの現象が見られる。この場合、回転子の位置が、スイッチインした衝動か、あるいはその他の原因によって多少変化した

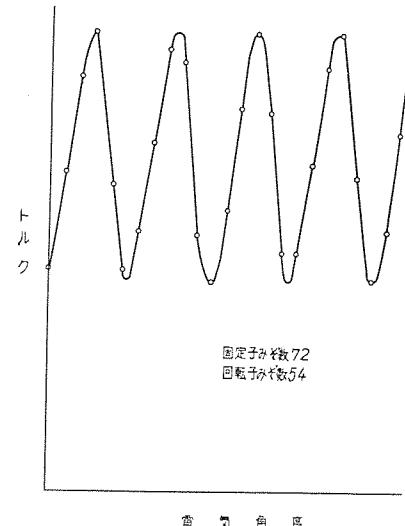


図 4.5 回転子位置によるトルク特性の変化
Fig. 4.5 Change of torque characteristic due to the rotor position.

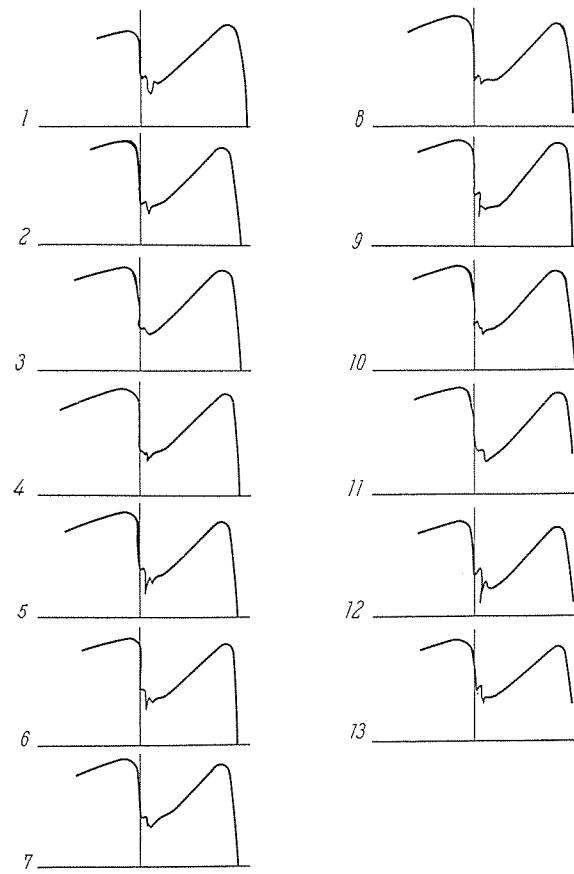


図 4.6 カゴ形回転子における起動時の回転子の位置の変化による速度トルク曲線の比較
Fig. 4.6 Comparison of speed-torque curves due to changes of rotor position at starting of squirrel cage motor.

場合は、負荷トルクの値いかんでは、起動トルクの値が負荷トルクの値より大となり、一見してなんらの支障なく起動することができるようになる。一般にこのような現象は固定子みぞ数と回転子みぞ数との比が、ごく小さい整数比、すなわち 3:2 とか 4:3 といった値となるよ

うな場合には、顕著にあらわれるものである。図4.6には、固定子みぞ数72、回転子みぞ数96のカゴ形回転子の場合の起動時の回転子位置を変化させた場合の、速度-トルク曲線の比較を示している。このような現象は、負荷トルクの値いかんでは、ほとんどその潜在を見逃されることが多い。巻線形の電動機では、そのみぞ数の組合せは、極数、毎極毎相のみぞ数によって、必然的に定まつてくるので、一般に上述のように、そのみぞ数の比は、小さい整数比となることが多くカゴ形電動機の場合と同様に、その二次側回路を短絡して、いわゆるじか入起動を行えば、このような現象を比較的容易に経験することができる。しかし巻線形電動機は、起動時には、当然二次側回路に抵抗が接続されるため、抵抗の有無による速度-トルク曲線の形状は、大巾に異なり、カゴ形電動機において、起動不良現象として取上げられるような問題の起らないのは、当然のことである。

(5) 漂遊負荷損によってトルクの谷間を生じる場合

一般に回転子に漂遊負荷損が存在する場合には、その速度-トルク曲線にトルクの谷間を生ずる。この現象は、高調波によるクローリング現象と、ほぼ同様の現象であって、非同期クローリングによって、或る低速度以上に加速しない場合とまったく同様の現象が見られる。

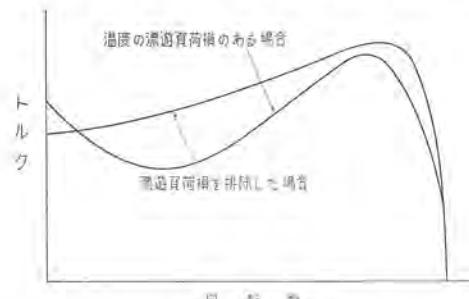


図4.7 漂遊負荷損による異常現象

Fig. 4.7 Abnormal phenomena due to stray load loss.

漂遊負荷損は、積層鉄心の翫曲、積層絶縁の不完全、打抜のひずみ、みぞ内における導体の短絡、などに原因して発生するもので、定量的にあらかじめ予測することは困難であり、電動機設計上しばしば問題になるものである。一般にアルミを強圧して鋳込むアルミダイカスト回転子にこの現象は顕著にあらわれてきて、回転子が完成された後、特殊な処理すなわちエッチングや、シェイビングなどを施すことによって、漂遊負荷損は、いちじるしく減少し、速度-トルク曲線にあらわれていたトルクの谷間も図4.7に示すように改良され、起動異常現象も解決されるのである。

4.2 起動不良現象の対策

上記2項においては、起動不良現象として取上げられる種々の実状を列挙し、とくに起動時の異常音の発生に関しては、適正な巻線分布の選定、固定子および回転子の適正なみぞ数の組合せ、回転子みぞにスキーを施すこと、さらには、空隙長の増大などがその解決対策であることを述べた。

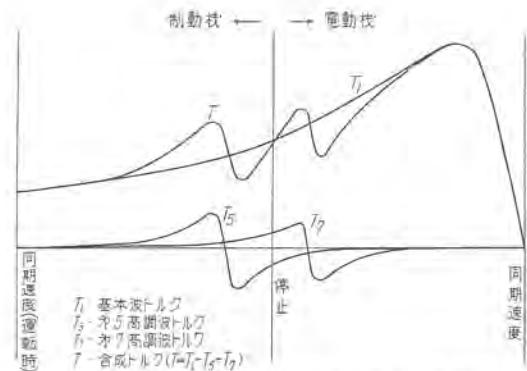


図4.8 基本波トルクと高調波トルクとの重畠

Fig. 4.8 Superposition of fundamental wave and higher harmonic wave.

また漂遊負荷損による速度-トルク曲線の形状の変化に対しては、主としてアルミダイカスト回転子について、そのエッチングやシェイビングを施すことによって、速度-トルク曲線の形状がいちじるしく改良されることを述べた。この項では、主として起動不良現象のうち、クローリング現象に対する対策として、みぞ数組合せ、スキーなどについて述べることにする。

クローリング現象は、先述のようにこれを大別すると、1. 非同期クローリング、2. 同期クローリング、3. 不平衡磁気力による異常現象、と三つの現象に分けて考えられる。これらはいずれも、電動機の空隙内に生じた高調波磁束波による異常な寄生トルクがその原因である。空隙内における高調波磁束波は、固定子、回転子のみぞ開口部によって生じる。空隙内の磁路のペーミアンス変化によって生じるものと、巻線分布に基く起磁力中に含まれるものとが、その発生の主因として考えられる。

これらの原因によって、基本波磁束波のほかに、基本ペーミアンス高調波磁束波、相帶高調波磁束波、固定子みぞ高調波磁束波、回転子みぞ高調波磁束波、など各種の高調波が発生し、これらの高調波はいずれも、低次のものより、順次高次のものが共存するものである。基本波によって発生するトルクに、これら高調波トルクが重畠されるときに、一般にいわれる非同期クローリング現象が発生し、(図4.8)2個の別個の磁界がある一定の回転子速度で、その極数と回転速度が等しくなった時、同期クローリング現象が発生する。したがって上記の各種の高調波が組合されて、或る条件によって同期クローリングが発生する訳で、この条件を求めるることは、なかなか容易な問題ではない。

(1) 固定子、回転子のみぞ数組合せ

みぞ数組合せの問題は、上述のようにそれらの開口部による空隙内磁路のペーミアンス変化によって生じる高調波磁束波をはじめとして、各種の高調波の発生と密接な関係にあるものである。定性的に高調波発生の原因を究明し、クローリング現象発生の条件を求めるとき、必ずこれらの条件の中には、固定子回転子のみぞ数は、その要素としてはいってくるのである。各種の高調波の組合せによって、幾多の条件が求められるのであるが、こ

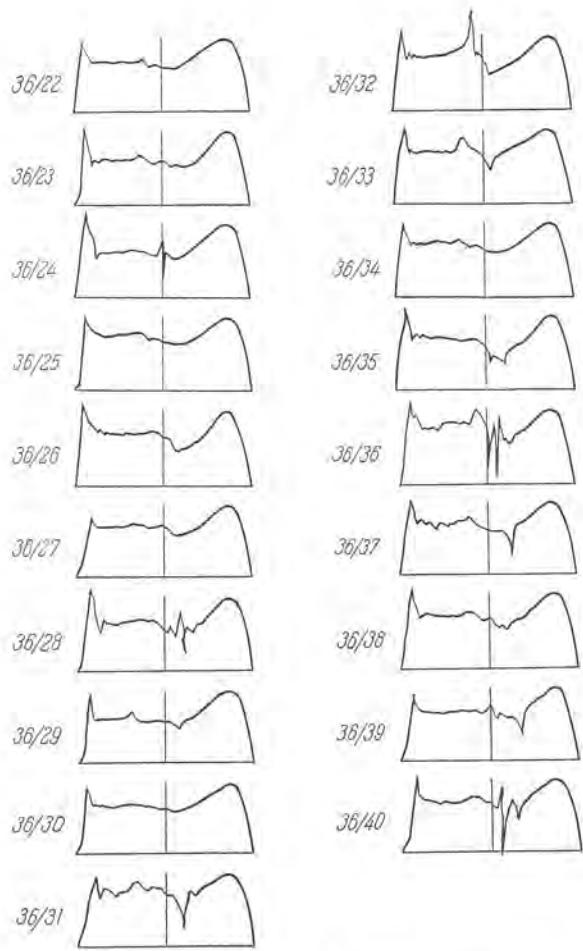


図 4.9 みぞ数組合せと速度トルクの曲線との関係
Fig. 4.9 Relation between slot number combination and speed torque curve.

これらを完全に解析し、みぞ数組合せの条件を確立することは、理論的には可能であるにしても、実際的には不可能に近く、電動機の特性の実用性を考慮して、各種の出力、極数に応じた組合せを実験的に求めることが、むしろ解決の早道であることは論をまたない。しかし小出力の小形電動機であれば、実験的にその結論を出すことは、比較的容易であるが、中形以上の電動機に対して、これらを実験的に求めることは、なかなか容易な問題ではない。したがって従来、この種の問題について、理論的な解析論が幾多発表され、究明されているのである。図 4.9 には、固定子みぞ数 36 に対して、回転子のみぞ数を 22 から 40 まで変えたものを製作し、その速度-回転力特性を示している。

(2) スキュー

誘導電動機の起動時における異常現象、すなわち起動時の磁気音響の発生、クローリング現象などは、いずれも高調波磁束波にその原因があることは、先述したとおりである。

これらの高調波磁束波は、巻線分布を適正にすること、固定子、回転子のみぞ数の組合せを適正にすることによ

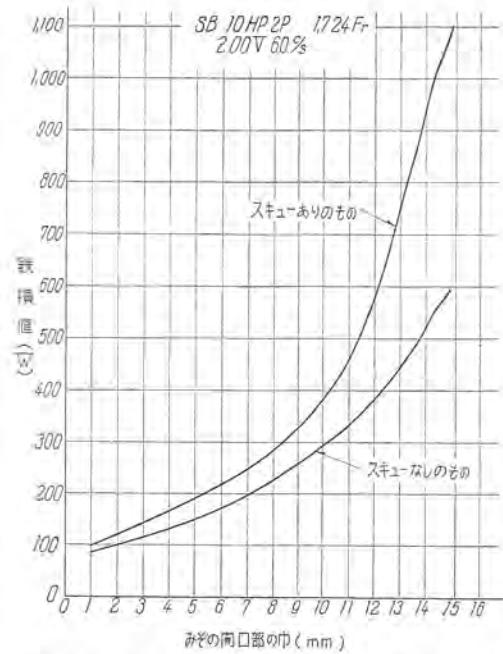


図 4.10 固定子みぞの開口寸法と鉄損との関係
Fig. 4.10 Relation between the dimensions of open slot and iron loss.

って、その一部は解消できるが、さらにこれらによって、解消できない高調波磁束波が存在していることがわかつている。これらの高調波磁束波の次数は、一般に下記の式によって与えられる。すなわち

$$\{(-\text{一極あたりの固定子みぞ数}) \times 2 \pm 1\}$$

これらの高調波磁束波を除去するため、従来スキューが行われている。スキューは一般には、回転子に施されることが多い。スキューは上述の高調波磁束波を除去し、磁気音響、クローリング現象の発生を未然に防止する一方策であるが、スキューの程度、さらにまた、固定子みぞの開口部の寸法いかんによってはその効果あがらず、かえって異常損失の発生を招くことがある。とくに高圧電動機で固定子みぞに、開放形のものが使用されていると、この異常損の発生する傾向は強く、とくに注意を要する。図 4.10 は固定子みぞの開口部の寸法と、損失の関係を示すものである。さらにまたスキューすることによって、漏洩リアクタンスが増加するゆえ、トルクの低下をきたすことになり、とくにトルク特性に関しては、あらかじめスキューリアクタンスを計算して、その良否の確認をしておくことが必要である。

いま例をあげて、スキューについての説明を加えてゆくことにする。もし一極あたりのみぞ数が 9 である場合には上記式によって、第 17 および第 19 高調波は、巻線の分布のいかなる値に対しても、除去することができないものとなる。基本波の磁極数は 4 であれば、第 17 および第 19 高調波の極数はそれぞれ 68 および 76 となる。したがって極対数は 34 および 38 となる。いま回転子の導体の一端を、一つの高調波磁界の N 極の下におき、他端を他の高調波磁界の N 極の下におくとすれば、この高調波磁界による回転子電流は流れない訳である。回転

子のスキーは第17高調波を除去するためには、回転子みぞ数の1/34、第19高調波を除去するためには、回転子みぞ数の1/38にすればよい。もしいま回転子のみぞ数を44とすれば第17高調波を除去するためには $44 \times 1/34 = 1.29$ だけスキーすればよいし、また第19高調波を除去するためには $44 \times 1/38 = 1.16$ だけ回転子みぞ数をスキーすればよいことになる。上記は、高調波を除去するためのもっとも適切なスキーについて、論じたのであるが、これに対して、下記のようにもっとも不具合なスキーもまた存在するのである。

この場合は、回転子導体の一端が一つの高調波のN極の下にあり、他端が他の高調波のS極の下にある場合である。

また上記最悪の場合より、まだ多少ましであるが、あ

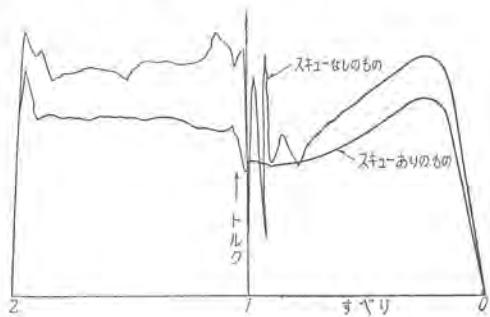


図 4.11 スキーした回転子とスキーなしの回転子との速度トルク曲線の比較

Fig. 4.11 Comparison of speed-torque curves of skewed rotor and skewless rotor.

まり良好とはいえないスキーがある。すなわち上記高調波の1/3の極数の高調波に対する場合である。この条件では、回転子導体の一端はN極の下にきており、他の一端はS極の下にやってくる。しかし一端から1/3の点においては、同じ極性の下にきて回転子導体の2/3に流れる電流を妨げる傾向をもつことになる。

いま固定子内径をDとすれば、固定子みぞ数は36、回転子みぞ数は44であるゆえ、それぞれのピッチは $\pi D/36$ および $\pi D/44$ となる。よって固定子の1みぞピッチは回転子の1みぞピッチに対して $\pi D/36 \div \pi D/44 = 1.222$ となる。したがって両者の平均をとれば

$$(1.29 + 1.16) \div 2 = 1.225$$

となる。よって固定子の1みぞピッチスキーすれば、巻線分布によって除去しにくい、第17および第19高調波はほぼ除去できる訳である。図4.11には、スキーをした回転子と、しない回転子とに関する速度-トルク曲線

の変化状況を示している。

5. む す び

以上、誘導電動機の起動時における問題として、重慣性負荷の起動の問題、じか入起動の場合の電源に及ぼす影響、あるいは電動機それ自体に発生する異常現象などについて、その概要を論じてきたのであるが、広範囲な用途に使用されている誘導電動機に関しては、とうていこの程度の問題を取りあげただけで、そのすべてを論じ尽したとはいえない。

起動停止のひんぱんに繰りかえされる場合の発生熱量に原因する問題、巻線形電動機の起動抵抗の不平衡短絡に原因する問題、あるいは電源電圧の不平衡、波形のひずみが電動機に及ぼす影響、などあれば、さらに幾多の問題を考えられてくる。しかしこれらの問題がいかなる形で電動機の起動に、運転に障害となってあらわれてくるかといえばやはり、重慣性負荷の起動の場合に論じられているように、起動時に発生する熱損失により、熱的にさらには機械的に、その構造体が破損されるという問題となんらかの外部的な原因、たとえば電源電圧の低下などによって発生する電動機のトルクの不足、あるいはトルク特性の異常の問題の二つに集約されてくるのである。したがって電動機の起動時における問題として、その発生ひん度の比較的多い、三つの問題を取あげたことは、一応当を得たものであると考えられる訳である。

電動機の設計に関しては、それらの負荷に対応した、電気的な特性が出ることは、一応肝要な問題ではあるが、さらにその負荷によって決定され、また使用状況によって決定される起動時、運転時の条件に合致した機械的な構造、また電気的にも機械的にも、両者から要求される構造について、あるいはまた外部的な電源の状況によって支配される特性上の問題については、あらかじめ十分な検討を加え、万全の設計を施さなければならぬことを痛感する。

また異常現象にしても、定性的な解析から、さらに測定器や装置の進歩と相まって、定量的な検討を加え得る段階に到達している今日においては、永年の経験とともに、当然これらの異常現象を回避した設計が行われ得るはずである。

誘導電動機の起動時における問題として、その代表的な上記三つの問題をとりあげ、解説を加えたがこの方面に関係ある方々にとって、なんらかの参考となれば筆者などの幸とするところである。

誘導電動機の最近の絶縁

長崎製作所 伊藤昭八郎*

The Latest Insulation of Induction Motors

Nagasaki Works Shohachirō ITŌ

Dialastic insulation (DR-12) has been now applied to induction motors with rated voltages ranging from 600 to 6,600 V. As a result of this new technique, the characteristics of insulation have shown a great improvement. This insulation is a product of polyester resin having the same chemical composition as Diaresin (DR-5) which was made public sometime ago. Diaresin (DR-12) possesses thermosetting and solventless properties. This material is now used for the impregnation of coil insulation with success. Induction motors provided with this new insulation will withstand severe operation under high temperature and high humidity, and also in a dusty, oily environment.

1. まえがき

最近における合成樹脂化学の発展について、各種の合成樹脂が、その特長をいかして電気機器に対する種々の応用が研究され、めざましい発展をなしている。これらの樹脂の特長としてあげられるのは、電気的絶縁性がすぐれているのはもちろんとして、耐熱性において従来の有機材料よりも、高い温度に耐えることが明確になってきたからである。中でも不飽和ポリエステル樹脂は、その化学的構成において、また電気的絶縁性においてすぐれており、従来まで使用されてきたアスファルトコンパウンドの代りに採用し、アスファルトコンパウンドよりもすぐれた絶縁特性を得ることができた。これについては前にダイヤラスチック絶縁（三菱電機 Vol. 30, No. 5 1956）としてターボ発電機、水車発電機用コイルの適用について、発表してあるが、一般回転機へも応用の研究を続け、コイル絶縁の含浸用として、その特長を生かし満足すべき結果を得た。

従来の一般のワニスには、その原料の一部に天然樹脂材料がよく用いられているが、天然樹脂材料は性質に不同が多く、バラツキも広いが、これに対して、合成樹脂の原料による合成は、その品質を均一にする管理が行い



図 1.1 ダイヤレジン

Fig. 1.1 Diaresin.

やすい。したがって製品にも均一性に富んだ安定なものが得られる。

すぐれた絶縁は機械の性能や信頼度を高めるばかりでなく、保守点検の簡便さをも増すものである。以下ダイヤラスチック絶縁 (DR-12) についてその特長および工作について紹介することにする。

2. ダイヤレジン (DR-12)

当社は昭和 29 年以来、ダイヤラスチック絶縁 (DR-5) をウエスチングハウス社との技術提携により、開発してきたもので、高圧大形回転機のコイルの絶縁に用いてきているが、従来まで用いてきたアスファルトコンパウンドの熱可塑性を、レジンの熱硬化性におきかえ、アスファルトの熱可塑性に含まれる電気的および機械的欠陥を一挙に除去し、さらにダイヤレジンが耐熱性、耐薬品性にすぐれているところから、全面的に大形高圧回転機のコイルの絶縁にダイヤレジンを採用し、より信頼性のある絶縁特性を得ることができた。

これに続いて一般回転機に用いたダイヤレジン (DR-12) は、上記 DR-5 と同一系統の合成樹脂であるが DR-5 が高圧大形コイルの処理を目的としているのに対し、DR-12 は、定格電圧 600~6,600 V までの一般回転機のコイルの絶縁処理を目的とし、小形でフルコイルであるところから、巻線作業において機械的歪がコイルに加えられるために、常温において DR-12 が十分に可撓性を有することも特長の一つである。

ダイヤレジン (DR-12) の主体をなすものは不飽和ポリエステルであるが、その化学的構成は前にくわしく発表してあるので、ここでは省略する。

従来の一般回転機のコイルの絶縁処理が、マイカテープあるいはマイカラッパ式の絶縁に、ワニスの含浸または浸漬により行われているが、いずれも従来のワニスは

溶剤を加え、適当な粘度に調整し、よくワニス処理を行えるようにしてあるため、溶剤を揮発させる意味も含めて加熱乾燥および硬化という形で行われている。すなわち十分に内部まで充填するためには粘度を低くし、よく浸透させることを必要とし、また一方ワニスの充填量を多くするためには、なるべく溶剤をなくすというのが一つの課題であった。

したがって十分な皮膜を作るために、あるいは充填するためには、溶剤の揮発をよくする意味で、数回にわたる処理を行っているが、溶剤を含むために、各処理層にはピンホールまたはボイドの発生は避けられず、長年月のうちには、それらをとおして吸湿現象を生じ、あるいは塵埃の侵入により、絶縁抵抗の低下、絶縁物の劣化の促進などが生ずる。したがって高温多湿、塵埃のはなはだしい場所などの苛酷な条件のもとで使用されている機械では、絶えず綿密な点検手入れなどの注意が必要であった。

これに対してダイヤレジン (DR-12) は無溶剤であり硬化前すなわち含浸状態では、十分に低粘度でかつ硬化に際しては共重合という形をとるために、溶剤の揮発などの現象はまったくなく、ピンホールまたはボイドの発生はない。

溶剤を含まないという点では、アスファルトコンパウンドも同じであるが、前にも述べたように熱可塑性であるため、高温で軟化流動するという欠点があり、また問題点も多く、したがって一般回転機にはあまり採用されていない。この軟化流動という点に対しては、ダイヤレジン (DR-12) はサーモセットであるため、高温における軟化流動という恐れはない。

しかしながら、従来の処理方法でも、ワニスに特性のよいものを選び、適切な作業管理により、実用上十分使用に耐えられるものが得られる。しかし環境が電気機器に対して悪条件の場所では、長年月の使用に対して、ワニス処理あるいは含浸だけでは満足のいかない点もあった。

従来のワニスの原料には、天然樹脂もあるが、その多くは酸化重合形の硬化であり、硬化する場合、空気中の酸素を媒介するために、コイル内部または絶縁内部まではいったものは、十分に硬化しないことがある。

またベーカライトワニスのように加熱縮合により硬化するものがあるが、これは水などの二次生成物を出すために、内部にボイドの発生があったりして好ましい効果は得られない。

また以前からアルキッドと称されて、重合形のものがあつて各種変性のアルキッドとしてよく利用されているものがあるが、これらのアルキッドは使用状態で十分な低粘度でなく、溶剤を用いており、また硬化したものもアルキッドだけでは、硬いものでなく、 $\tan \delta$ の大きいことなど、機械的および電気的絶縁性に好ましくない点もあり、充填物として十分に満足のいくものではなかった。

これらの点ダイヤレジンは、硬化前は適度の粘度を有し、含浸モールドを十分に行うことができる。しかも上

表 2.1 ダイヤレジン DR-12 の性質

抗張力 伸び	at at	25°C 25°C	7.0 kg/mm ² 280%
破壊電圧	at at	25°C 100°C	48 kv/mm 40 kv/mm
絶縁間有抵抗	at at	25°C 100°C	100×10 ¹² Ωcm 0.2×10 ¹² Ωcm
吸水率	常温浸漬 1ヶ月 100°C 沸騰水中		0.2% 0.8%

耐薬品性

硫酸 5%	1ヶ月浸漬 〃	色変化し、やや軟化する 異状なし
塩酸 5%	〃	やや軟化し、もろくなる 異状なし
硝酸 5%	〃	ややもろくなる 異状なし
苛性ソーダ 3%	〃	異状なし
アルコール メタノール ベンジル タイコール油	〃 〃 〃 〃	異状なし 〃 膨潤 異状なし

記のよう、溶剤も含まず、二次生成物を出すこともない、ボイドあるいはピンホールの発生なく、そのままの形で硬化させることができる。表 2.1 にダイヤレジン (DR-12) の性質を示す。その特長とするところを簡単にまとめてみると、

(1) 不飽和ポリエスチル樹脂であるので、溶剤含まずしたがって硬化の際、溶剤の揮発による収縮や、ボイドの発生の恐れはない。すなわちソルベントレスワニスといわれるゆえんである。

(2) 加熱硬化性であるため、高温において軟化流動することなく固化したままである。

(3) 弹性に富む。硬化したものは固いゴム状の弾性を有し、レジンと接触している他の物体の熱膨張収縮によく順応するので、亀裂の発生の恐れはない。

(4) 絶縁耐力、絶縁抵抗大である。

(5) 耐吸湿性がすぐれている。内部まで一様に硬化し緻密であるので、湿気を含むことはきわめて少ない。

(6) 化学的に安定である。したがって耐酸、耐アルカリおよび耐油性にすぐれている。

などがあげられる。したがって従来の溶剤を含むワニスという概念を一步すすめ、乾燥が共重合という形で行われ、絶縁内部を十分に充填することができる。

3. ダイヤラスチック絶縁 (DR-12)

レジン (DR-12) とマイカ片の組み合わせでコイルにモールドを行うのであるが、このモールドによってマイカ片のボンドのポリエスチルあるいはポリエスチルビニルとレジンが共重合反応を起し、マイカ片を含めて、混全一体となり、不溶不融の固体絶縁層を形成する。これをダイヤラスチック絶縁 (DR-12) と称している。絶縁内部まで一様にまったく緻密となり、それにより耐電圧は増加し、さらに硬化したレジンが、温度に対して、また化学的にも安定であるため、絶縁は吸湿の恐れや、亀裂の発生がなく、化学薬品にも侵されることのない絶縁層を形成する。しかもダイヤラスチック絶縁が弾性に富むために、長年月の使用による膨張収縮の繰りかえしにもよく順応し、亀裂の生ずる恐れはない。したがって高温多湿の場所や、塵埃のはなはだしい所、また耐油性を必要とする所では理想的であり、苛酷な状態にあっても

十分信頼できる。

図 3.1 はダイヤレジンの硬度の変化を示すもので、或る種のアルキッドを加えることによって、各様のものを得ることができ、広い応用が可能である。

図 3.2 はダイヤレジン (DR-12) の含浸装置で、真空および加圧で、コイルに含浸を行う。図 3.3 は含浸前ににおけるコイルの一例で、図 3.4 はモールドプレス中のコイルを示す。図 3.5 は完成したコイルであるが、ここにモールドプレスという工程に含まれる工数は増加するがこれらは設備の周到な準備によって、連続的に作業を行い、作業時間を短縮することが可能になった。しかもレジンの管理と設備による作業の単純化に伴って、製品の品質をまったく同一レベルに維持することが容易になり

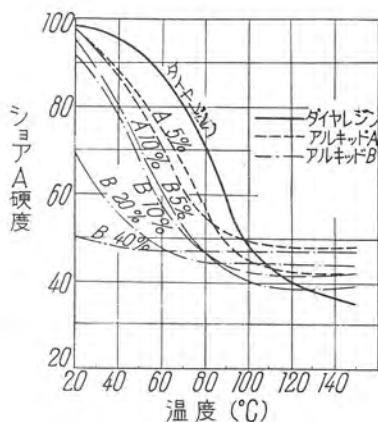


図 3.1 ダイヤレジンの硬度の変化

Fig. 3.1 Changes in hardness of Diaresin.

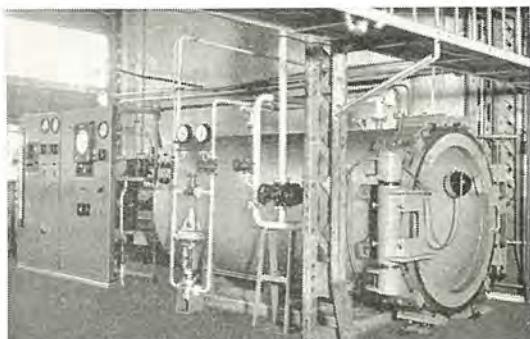


図 3.2 含浸タンク

Fig. 3.2 Impregnation tank.

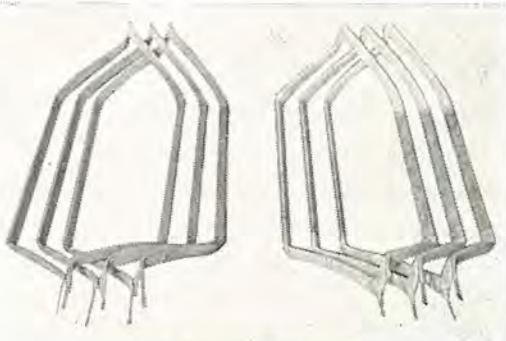


図 3.3 含浸前のコイル

Fig. 3.3 Coil before impregnation.

誘導電動機の最近の絶縁・伊藤



図 3.4 モールド用プレス

Fig. 3.4 Press for molding.

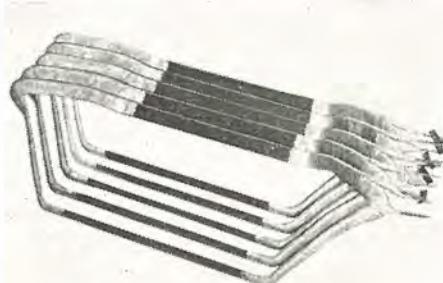


図 3.5 完成したダイヤラスチック絶縁 (DR-12) のコイル

Fig. 3.5 Completed dialastic (DR-12) insulation coil.



図 3.6 吸湿試験状況

Fig. 3.6 Moisture absorption test.

製品のバラツキをなくし、信頼度の高い絶縁を施行できる。

図 3.6 および図 3.7 は、30 kW 3,300 V 四極 60 ハーフト MK 形誘導電動機 4 台に、標準 A 種絶縁 (2 台) 標準 B 種絶縁 (1 台) およびダイヤラスチック絶縁 (DR-12) (1 台) をそれぞれ施し、コア内部にパイプを通し、1 分間約 30 l の水を噴射させ、吸湿試験を行ったもの



図 3.7 吸湿試験状況

Fig. 3.7 Moisture absorption test.

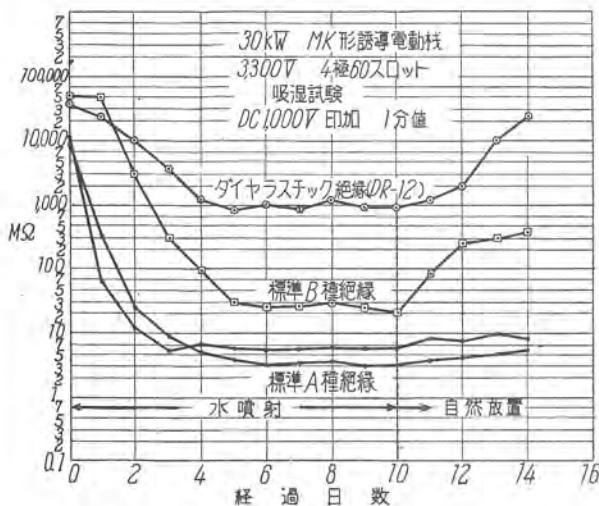


図 3.8 絶縁抵抗の変化

Fig. 3.8 Changes of insulation resistance.



図 3.9 P.I. の変化

Fig. 3.9 Changes of P.I.

で、いずれも苛酷な状態で、10日間ほぼ連続的に水を噴射させ、その後自然放置により、絶縁抵抗の回復状況を調べた。図3.8にその試験結果を示す。図3.9は同じ試験において、成極指数(P.I.)の変化を示したもので、いずれもダイヤラスチック絶縁(DR-12)は他のものよりもすぐれた結果を示している。

これらの結果よりみて、ダイヤラスチック絶縁(DR-12)がまったく表面だけの吸湿であり、したがってわずかの放置で回復も早くまったく信頼のできることを示している。

当所において今までダイヤラスチック絶縁(DR-12)により製作した機種の一覧を表3.1に示す。

4. 他機種への応用

今まで述べた絶縁方式は、主としてコイルだけモー

表 3.1 ダイヤラスチック絶縁(DR-12)による製作機器一覧

注文主	容量	電圧(V)	極数	スロット数	台数	使用先
三菱化成	40 HP	220	2	48	2	給水ポンプ
富士製鉄	800 HP	6,000	14	168	1	スケールブレーカ
新三菱重工	460 HP	3,300/6,600	4	72	1	ターボ冷凍機
東電千葉火力	2,000 HP	4,000	4	96	3	給水ポンプ
中部電力	430 HP	4,000	8	120	5	微粉炭機
三菱化成	50 kW	3,300	2	36	1	灰流しポンプ
九州電力	1,250 HP	3,300	10	120	2	ファン
三菱化成	55 kW	3,300	2	36	1	灰流しポンプ
関西電力	1,250 HP	3,300	10	120	6	ファン
中部電力	900 HP	4,000	8	144	2	ファン
荏原製作所	280 HP	6,600	4	72	2	ターボ冷凍機
九州電力	1,400 HP	3,300	8	144	1	MG セット
荏原(原電向)	2,500 HP	3,300	2	60	1	給水ポンプ
徳山曹連	1,150 HP	3,300	2	60	2	"
中部電力	2,800 HP	4,000	4	96	1	"
"	430 HP	4,000	8	120	8	微粉炭機
関西電力	400 HP	3,300	8	120	6	ファン
九州電力	400 HP	3,300	8	120	2	"
九電刈田	600 HP	3,300	8	120	2	"
中部電力	2,100 HP	4,000	10	180	2	"
大阪ガス	400 HP	3,300	4	72	2	プロパン
関西電力	600 HP	3,300	8	120	6	ファン
九州電力	600 HP	3,300	8	120	2	"
中部電力	900 HP	4,000	8	144	2	"
"	2,100 HP	4,000	10	180	2	"
九州電力	1,250 HP	3,300	10	120	2	"
関西電力	1,250 HP	3,300	10	120	6	"
三菱鉱業	280 kW	3,300	8	120	2	"
三菱化成	850 HP	3,300	4	96	2	ガスコムプレッサ
"	1,400 kW	3,300	4	72	1	プロパン



図 4.1 ダイヤレジン処理したバラ巻 5 HP 固定子

Fig. 4.1 Stator treated with Diaresin.

ルードできるオープンスロットタイプのものであるが、バラ巻の低圧小形の誘導電動機にもダイヤレジン絶縁を行うことができる。図4.1はその一例で5 HP 220 V のモールド状況を示す。この絶縁処理は基本的にPT, CTのダイヤレジン処理(三菱電機 Vol. 31, No. 4 1957)に示される方法により行われるが、レジンの選択にあたっては、回転機に適する考慮が払われている。

この絶縁は非常に満足すべきものであるが、現在の段階においては、この小形バラ巻誘導電動機の適用にあたっては、複雑な工数を経なければならない。

5. む す び

以上ダイヤラスチック絶縁(DR-12)の材料および工作の特質について述べたが、一般回転機へダイヤレジンの適用により、誘導電動機の絶縁工作に新しい特長を備え、一層信頼度を高める成果を期することができる。さらに耐熱性にすぐれたレジンと工作の研究もすすめられており、改めて記す機会もあろう。技術の進歩は一日といえども停滞を許されず、さらに高度の技術の開発に努力を続け、皆様のご期待に添うことを念願するものである。

終りにのぞみ多大のご協力とご尽力をいただいた研究所石黒参事を始め、関係者各位に心から御礼を申し上げる。

誘導電動機の振動と騒音

長崎製作所 米野俊彦*・鈴木文夫**
名古屋製作所 田長一***・佐藤良雄***

Vibration and Noise of Induction Motors

Nagasaki Works Toshihiko MENO・Fumio SUZUKI
Nagoya Works Choichi USUDA・Yoshio SATO

Induction motors, no matter what size they may be, cause vibration and noise, which must be reduced as much as possible for the betterment of daily life of users and environment of factories. The present trend in the production of motors, such as turning them to small size and employing welded construction, changes their rigidity, while the unit output enlarges with the development of general industries. These factors all become unexpected causes of vibration and are drawing keen attention of the manufacturers. The noise chiefly comes from three causes: magnetic noise, air noise and mechanical noise. The vibration is mostly due to constructional faults. When these points are thoroughly studied and properly taken care of, the troubles will be reduced to the minimum.

1. まえがき

誘導電動機の振動と騒音については、小は家庭電化の小形から、事務所・ホテルなどの冷暖房・昇降機の中形一般工業用の大形に至るまでわれわれの日常生活ないし工場環境の改善の意味からも、これを低減することが強く要望されている。

一方電動機は最近の傾向として、小形軽量化され、また溶接構造の採用などにより剛性度が変り、また一般工業の発達に伴って単位出力が大きくなり、思わぬ振動や騒音に遭遇することがある。したがって、われわれ製作者側は日常これらの低減に技術的努力を重ねている次第である。

誘導電動機の騒音発生原因を分類すると

- (1) 磁気騒音
- (2) 風 音
- (3) 機械騒音 とに分けられる。

磁気騒音は多くの場合、みぞ数の組合せ、巻線のピッチ、空隙のアンバランスなどによって生ずる高次高調波の発生が原因で、起動異常現象と大いに関連があり、われわれ多くの実験を継続して研究している。

風音は案外に軽視されがちであるが騒音のレベルとしては非常に大きいもので、とくに二極電動機では発生原因およびその防止対策について研究の余地がある。最近は冷却風の吸入口、排出口に吸音物質を積層したサイレンサなどが用いられることがあるが、それを待たずして冷却効果を下げることなく騒音を減少するよう改善努力されている。

機械的騒音は主としてボール・ベアリングから発生するもので、完全に解決されているとはいえない。ここ数年ベアリング単体での騒音対策の研究もすすみ、非常に

良好なものも製作されるようになったので騒音の点からボール・ベアリングを採用しないというようなことはなくなると思う。

また、誘導電動機の振動については、その製造過程における工作精度を向上し十分管理して、振動を低減するよう努力しているが、すえ付現場で起るすえ付や直結の欠陥による振動の問題も多いので、そのすえ付や直結についての考え方をまとめてみた。

正しい直結（心出しままたはセンターリング）とは、たがいに連結して運転される軸が運転状態において、その連結点で

(1) 軸が同心（円といふ）

(2) 軸の中心線が平行（面といふ）

の状態にすることである。とくに 1,000 rpm 以上で運転する機械では、心出しを入念に行い、円および面は、計器の読みで 2.5/100 mm 以内に調整しなければならない。したがって、ものさしや定本で心出しを行うだけでは不十分で、ダイヤルゲージ、マイクロメータ、1/100 または 1/1,000 勾配ゲージを用いなければ完全な心出しができない。

回転子軸のたわみが大きい場合は、正しい心出しを行うと各軸受は一直線上にくなかつ水平でない。軸が回転

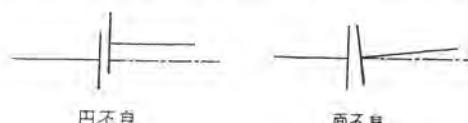


図 1.1



図 1.2 たわみの大きい軸の心出し

Fig. 1.2 Centering of a shaft with large deflection.

しても重力によるたわみは変わらないのでこの状態にすえ付けなければならない。軸頸の径や油膜の厚さが異なったものや、ポール・ペアリングとスリーブペアリングの機械をたがいに直結する場合は運転中の油膜の厚みの差も考慮して、あるいはまた軸受および軸受台の温度差による運転中のセンター・ハイドの差を考慮して、運転時に円および面が一致するように心出しが行う必要がある。

なお、使用機械が振動を発生した場合、その原因を見つける手順を個条書に述べてみた。最後に実用的な振動の許容量について記した。

2. みぞ数組合せによる磁気騒音の発生

磁気騒音は、空隙内高調波磁束によって生ずる半径方向磁気力により、ステータコア、フレームの変形、ロータの磁気振動などから発生する。半径方向磁気力の発生理論についてはすでに発表しているが、ここで簡単に概略を述べ、実験データの解析に役だたせたい。

2.1 半径方向力波の発生

ここでは磁気騒音に大きな影響をあたえる力波だけをとりあげる。

(1) ステータ基本磁束密度 $n_a' = P$ によって生じたロータ電流によりロータみぞ高調波 $ma' = \pm k_{2a}Q_2 + p$ を作る。これとステータみぞ高調波 $n_1' = \pm k_{1a}Q_1 + p$ との組合せにより

$$k = m_a' + n_1' = \pm (k_{2a}Q_2 - k_{1a}Q_1) + 2p$$

$$k = ma' - n_1' = \pm (k_{2a}Q_2 - k_{1a}Q_1)$$

なる力波を作る。

k_{1a}, k_{2a} は整数である

ただし無負荷時には $n_a' = p$ によってあたえられるロータ電流は 0 と考えられるので、これによる力波は無視できる。

(2) ステータみぞ高調波 $n_a' = \pm k_{1a}Q_1 + p$ によりロータ高調波 $ma' = \pm (k_{2a}Q_2 - k_{1a}Q_1) + p$ を生ずる。

これとステータ基本波 $n_b' = p$ と作用して

$$k = m_a' + n_b' = \pm (k_{2a}Q_2 - k_{1a}Q_1) + 2p$$

$$k = m_a' - n_b' = \pm (k_{2a}Q_2 - k_{1a}Q_1)$$

なる力波を作る。

(1) 項と (2) 項は力波の発生原因が異なるが、同じ極数と周波数をもつ力波を作る。

以上はステータとロータのみぞ高調波に原因する力波を考えたもので多くの場合磁気騒音の主原因はみぞ高調波によるものである。

一般に $k_{1a} = k_{2a} = 1$ を考えれば十分であるので

$$k = Q_2 - Q_1 + 2p$$

$$f_k = \left\{ \frac{Q_2(1-s)}{p} + 2 \right\} f \quad \text{となる。}$$

(3) 相帶高調波 $\pm k_m \cdot m_1 p + p$ (k_m は整数) は一般にみぞ高調波に比し磁気騒音にあたえる影響は少ない。

しかし条件によっては k の小さいエネルギーの大きい力波を発生する可能性があるので、十分な検討が必要である。

(4) その他電源周波中の高調波成分、モータの機械

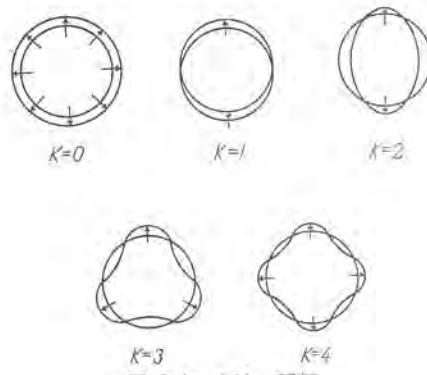


図 2.1 力波の種類

Fig. 2.1 Kinds of force wave.

的不均一、電気的非直線性などにより発生する高調波があると、前記のみぞ高調波、相帶高調波によって生ずる力波の性質をかえてしまうので、十分考慮しなければならない。

(5) 力波の種類

力波の極対数 k の各値に対するステータの変形を図 2.1 に示す。

a. $k=0$ 円周上いちょうに半径方向磁気力をあたえ、ステータコア全体を一度に押し広げたり、縮めようと/orする。この力は時間とともに正弦波的に変化する。

b. $k=1$ 変形でなく直径方向に変位をあたえる。この場合にはステータの変位よりもロータの変位が問題になる。

c. $k=2$ いわゆるだ円ひずみをあたえる。ステータコアの変位にもっとも影響するものである。

d. $k=3, 4, \dots, n$ k の値が増加するとともに変形は多角形的になる。

これらの力は単独ではなく、通常奇数同志、または偶数同志が共存するので、合成された力は、さらに大きくなることが予想される。

(6) 前記の説明に使用した符号

p : 極対数

n' : ステータ高調波の次数(極対数で表わす)

Q_1 : ステータみぞ数 Q_2 : ロータみぞ数

m' : ロータ高調波の次数(極対数で表わす)

k : 力波の極対数 f_k : 力波の周波数 (c/s)

f : 基本周波数 (c/s) m_1 : ステータ相数

2.2 磁気騒音の測定結果

われわれは現在みぞ数組合せによる諸種の現象について研究してきており、その結果の一部は発表しているが、ここではステータみぞ数 24、ロータみぞ数 16~60 の各組合せに対する磁気騒音の測定結果を述べる。さきに述べたようにもっとも簡単な $k_{1a} = k_{2a} = 1$ の場合のみぞ高調波の極対数と周波数を求める表 2.1 のようである。

なおこの実験では、実際には使用されないみぞの組合せもあるが理論的な設計のために実施しているので了解願いたい。

実験はモートルのフレームから 50 cm の距離でフレームに直角にマイクロホンを位置し、ロイトリンガ周波数分析器により騒音の分析を行った。

モートルのベアリングはとくにスリーブベアリングを

表 2.1 みぞ数組合せによる発生力波の極対数と周波数 ($Q_1=24$)

Q_2	k	f_k									
18	2	660	29	9	990	40	30	1320	51	31	1650
"	6	540	"	5	870	"	16	1200	"	27	1530
"	10	420	"	1	750	"	12	1080	"	23	1410
19	1	690	30	10	1020	41	21	1350	52	32	1680
"	5	570	"	6	900	"	17	1230	"	28	1560
"	9	450	"	2	780	"	13	1110	"	24	1440
20	0	720	31	11	1050	42	22	1380	53	33	1710
"	4	600	"	7	930	"	18	1260	"	29	1590
"	8	480	"	3	810	"	14	1140	"	25	1470
21	1	750	32	12	1080	43	23	1410	54	34	1740
"	3	630	"	8	960	"	19	1290	"	30	1590
"	7	510	"	4	840	"	15	1170	"	26	1470
22	2	780	33	13	1110	44	24	1440	55	35	1770
"	2	660	"	9	990	"	20	1320	"	31	1620
"	6	540	"	5	870	"	16	1200	"	27	1500
23	3	810	34	14	1140	45	25	1470	56	36	1800
"	1	690	"	10	1020	"	21	1350	"	32	1650
"	5	570	"	6	900	"	17	1230	"	28	1530
24	4	840	35	15	1170	46	26	1500	57	37	1830
"	0	720	"	11	1050	"	22	1380	"	33	1710
"	4	600	"	7	930	"	18	1260	"	29	1560
25	5	870	36	16	1200	47	27	1530	58	38	1860
"	1	750	"	12	1080	"	23	1410	"	34	1740
"	3	630	"	8	960	"	19	1290	"	30	1620
26	6	900	37	17	1230	48	28	1560	59	39	1890
"	2	780	"	13	1110	"	24	1440	"	35	1770
"	2	660	"	9	990	"	22	1320	"	41	1680
27	7	930	38	18	1260	49	29	1590	60	42	1920
"	3	810	"	14	1140	"	25	1470	"	36	1800
"	1	690	"	10	1020	"	21	1350	"	32	1580
28	8	960	39	19	1290	50	30	1620			
"	4	840	"	15	1170	"	26	1500			
"	0	720	"	11	1050	"	22	1380			

表 2.2 みぞ数組合せによる磁気騒音の合成レベル (単位 ホン) ($Q_1=24$)

Q_2	起動時の磁気騒音	無負荷運転時の磁気騒音	Q_2	起動時の磁気騒音	無負荷運転時の磁気騒音	Q_2	起動時の磁気騒音	無負荷運転時の磁気騒音
18	78	66	34	72	62	50	73	57
(18)	72	60	(34)	54	45	(50)	68	43
19	1	50	35	72	59	51	79	61
(19)	80	45	(35)	55	43	(51)	70	44
20	77	62	36	72	47	52	74	49
(20)	68	43	(36)	57	40	(52)	67	46
21	74	55	37	71	53	53	72	61
(21)	70	41	(37)	65	40	(53)	69	50
22	82	72	38	69	48	54	72	60
(22)	81	63	(38)	66	43	(54)	71	56
23		39	75	52	55	75	45	
(23)		(39)	65	38	(55)	67	40	
24	81	65	40	67	67	56	64	44
(24)	71	52	(40)	56	42	(56)	60	40
25	85	61	41	70	53	57	65	47
(25)		(41)	68	46	(57)			
26	75	62	42	72	58	58	69	64
(26)	65	53	(42)	72	45	(58)	66	41
27	82	62	43	83	72	59	65	51
(27)	76	51	(43)	78	44	(59)		
28	67	60	44		60	66	53	
(28)	63	44	(44)	67	44	(60)	61	55
29	84	56	45	75	54			
(29)	67	43	(45)	66	44			
30	72	55	46	76	55			
(30)	64	47	(46)	75	43			
31	75	57	47	78	50			
(31)	71	51	(47)	75	45			
32	66	45	48	75	58			
(32)	55	40	(48)	71	48			
33	72	56	49	82	65			
(33)	69	43	(49)	70	43			

() 内はスキーした後の測定値である

用いベアリングから発生する騒音は無視できるよう考慮した。

表 2.2 は指示騒音計で測定した総合騒音で、起動時および無負荷運転時に分けて示してある。

起動時の騒音については前述の説明では不十分であるがこの解析は省略し、結果だけを提出しておく。一般に起動時の磁気騒音の大なるものは運転時の磁気騒音を大きく、かつ加速トルクの異常現象を起しているものと考えてよい。

なおこの表にはロータのスキーの効果を明らかにするためスキー後の騒音の値を()内に示してある。

スキーは通常ステータみぞ高調波に対して Q_2/Q_1 士か) ロータ、スロット、ピッチ、スキーを行なうがはなはだ効果的である。

図 2.2~2.7 により詳細にこれを示す。

図 2.8 から 2.17 はロイトリンガ周波数分析器と連動記録計を用いて騒音分析を行った実験データの一部を示したもので表 2.1 に示したみぞ高調波による騒音成分がもっとも顕著で他の成分はほとんど無視しうることがわかる。

図 2.8 は $Q_2=17$ の場合で発生力波とその周波数は

$$k=3 \quad f_k=630 \text{ c/s}$$

$$k=7 \quad f_k=510 \text{ c/s}$$

$$k=11 \quad f_k=390 \text{ c/s}$$
 である。

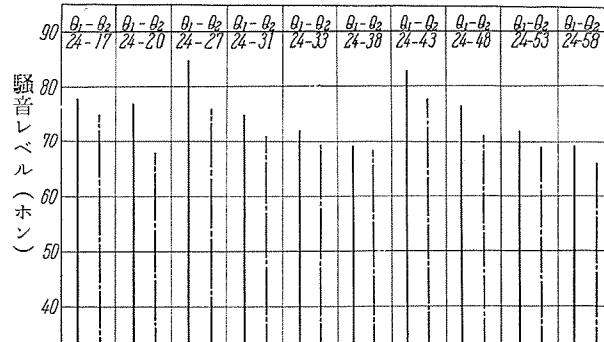


図 2.2 みぞ数組合せによる起動時の騒音
実線スキーなし鎖線スキーあり

Fig. 2.2 Noise at starting due to the combination of slots.

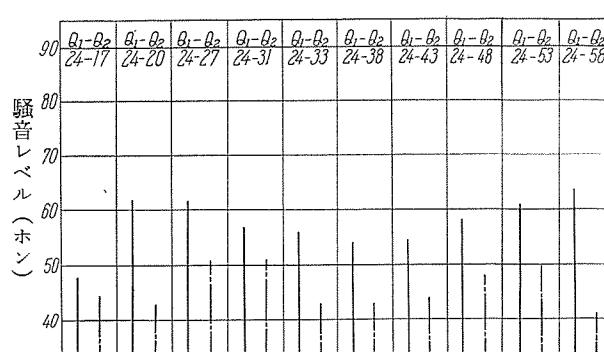


図 2.3 みぞ数組合せによる無負荷運転時の騒音
実線スキーなし鎖線スキーあり

Fig. 2.3 Noise at no load running due to combination of slots.

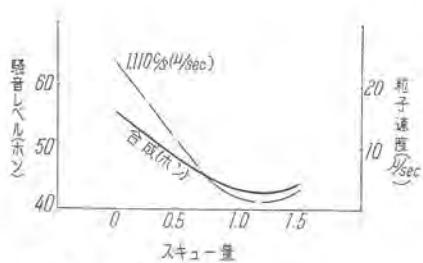


図 2.4 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時のスキー量と騒音
 $Q_2=33$

Fig. 2.4 Skew amount and noise at no load running due to combination of slots.

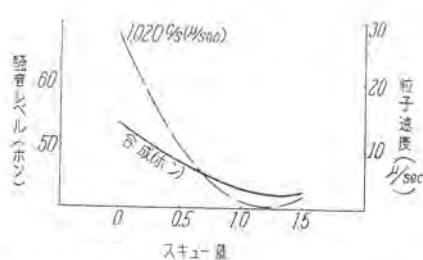


図 2.5 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時のスキー量と騒音
 $Q_2=38$

Fig. 2.5 Skew amount and noise at no load running due to combination of slots.

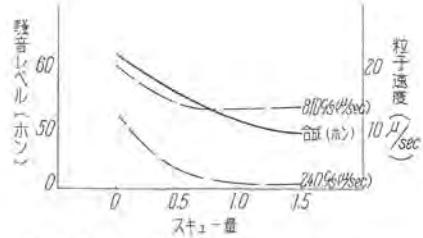


図 2.6 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時のスキー量と騒音
 $Q_2=27$

Fig. 2.6 Skew amount and noise at no load running due to combination of slots.

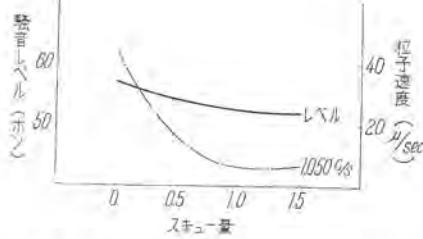


図 2.7 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時のスキー量と騒音
 $Q_2=31$

Fig. 2.7 Skew amount and noise at no load running due to combination of slots.

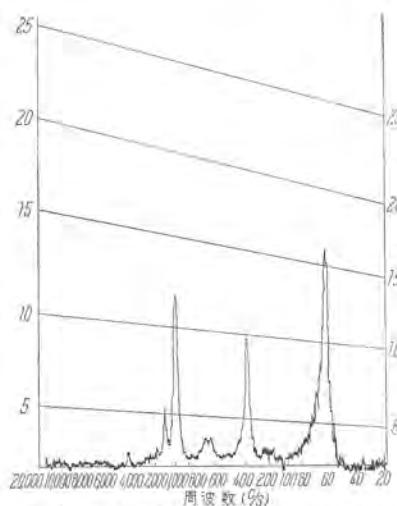


図 2.8 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=17$

Fig. 2.8 When no skew and noise analysis at no load running due to combination of slots.

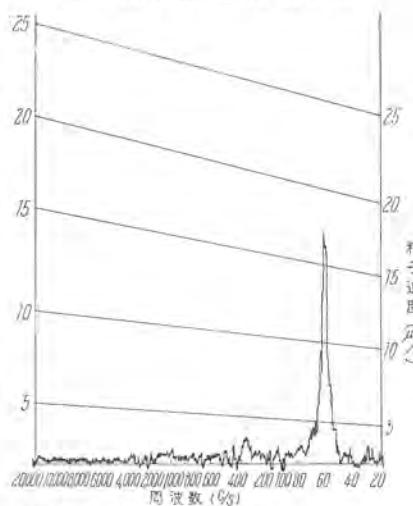


図 2.9 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=17$

Fig. 2.9 When put skew on and noise analysis at no load running due to combination of slots.

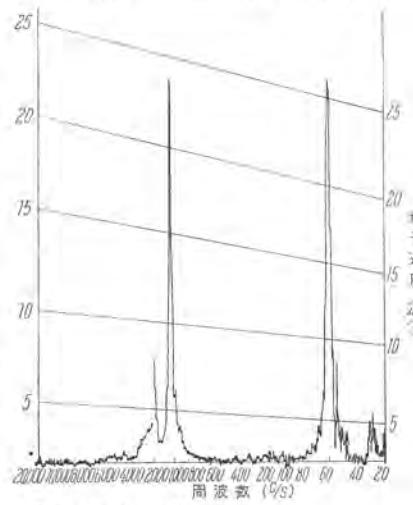


図 2.10 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=33$

Fig. 2.10 When no skew and noise analysis at no load running due to combination of slots.

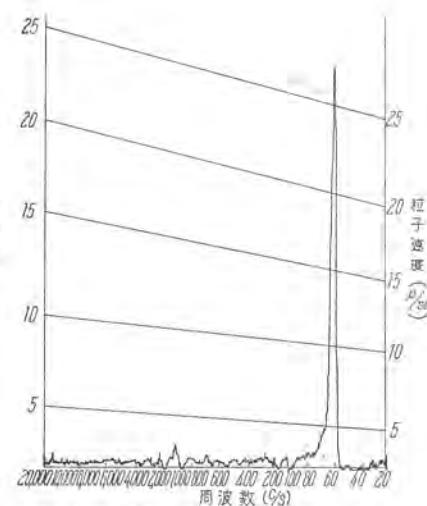


図 2.11 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=33$

Fig. 2.11 When put skew on and noise analysis at no load running due to combination of slots.

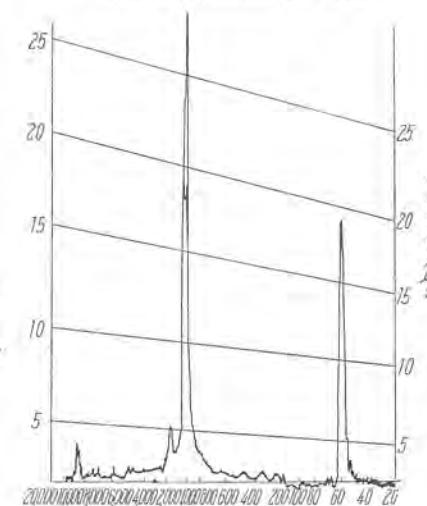


図 2.12 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=38$

Fig. 2.12 When no skew and noise analysis at no load running due to combination of slots.

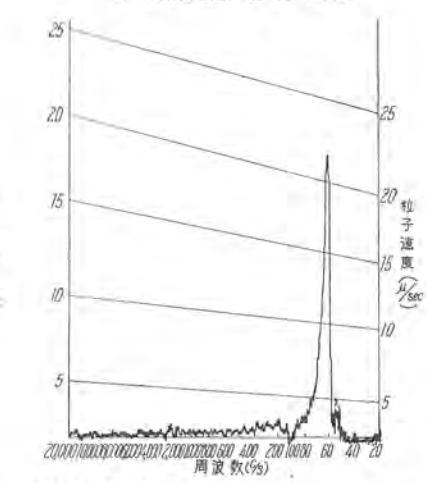


図 2.13 $Q_1=24$ | 組合せによる無負荷運転時の騒音分析
 $Q_2=38$

Fig. 2.13 When put skew on and noise analysis at no load running due to combination of slots.

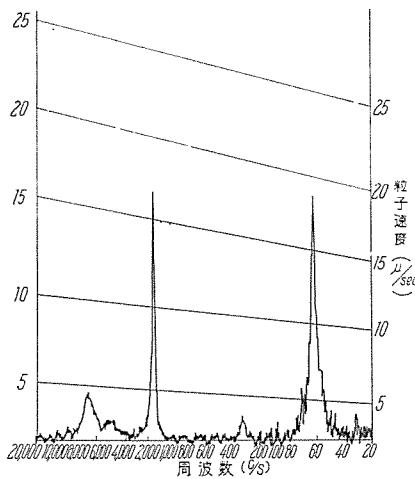


図 2.14 $Q_1=24$ } 組合, スキューなしの場合, 無負荷
運転時の騒音分析

Fig. 2.14 When no skew and noise analysis at no load running due to combination of slots.

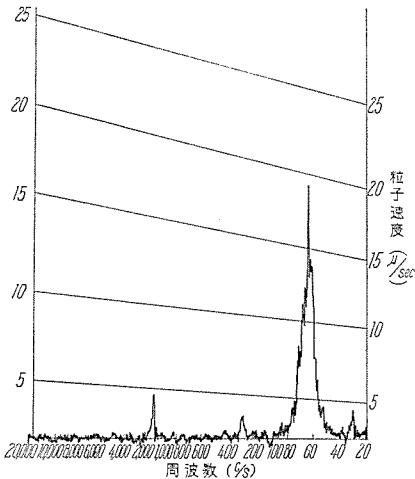


図 2.15 $Q_1=24$ } 組合, スキューをつけた場合, 無負荷
運転時の騒音分析

Fig. 2.15 When put skew on and noise analysis at no load running due to combination of slots.

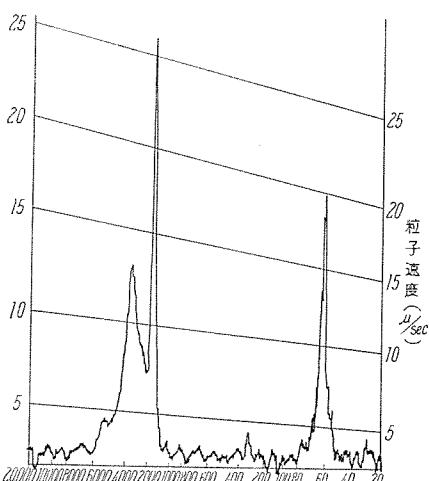


図 2.16 $Q_1=24$ } 組合, スキューなしの場合, 無負荷
運転時の騒音分析

Fig. 2.16 When no skew and noise analysis at no load running due to combination of slots.

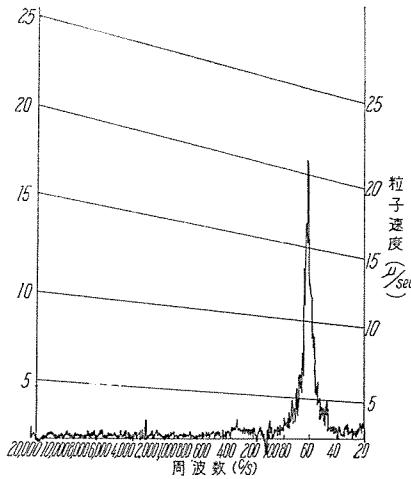


図 2.17 $Q_1=24$ } 組合, スキューをつけた場合, 無負荷
運転時の騒音分析

Fig. 2.17 When put skew on and noise analysis at no load running due to combination of slots.

実測データでは 60 c/s, 390 c/s, 630 c/s, 1,000 c/s の成分がある。図 2.9 は $Q_2=17$ でスキューをした結果で 60 c/s 成分は変化がないが 1,000 c/s および 630 c/s 成分はほとんど消滅し 390 c/s 成分だけがわずかにのこっている。

図 2.10 は $Q_2=33$ の場合で、60 c/s と 1,110 c/s の成分が顕著に示されている。図 2.11 はスキューした場合で 1,110 c/s 成分はほとんど消滅している。

図 2.12 は $Q_2=38$ の場合で 60 c/s と 1,020 c/s 成分とがおもなものである。これも図 2.13 に示すようにスキューすれば高周波成分は消滅する。

図 2.14 は $Q_2=53$ の場合で 60 c/s と 1,710 c/s 成分とが大きい。図 2.15 はスキューした後の結果で 1,710 c/s 成分が非常に少なくなっていることがわかる。

図 2.16 は $Q_2=58$ の場合で 60 c/s と 1,860 c/s 成分とがある。図 2.17 はスキューした結果で高周波成分は消失する。

代表的な例を上記に示したが他の Q_1, Q_2 の組合せでほとんど同様にみぞ高調波による騒音成分を分析することができた。

さらに力波の極対数、周波数と騒音レベルとの関係を見ると力波の極対数が大きくなると周波数が増加してもかえって騒音レベルは減少することが表 2.2 から明らかである。

このことはつぎのように説明される。

騒音のレベル $S = 121 + 20 \log_{10}(2 \cdot d \cdot f)$

d = 振動の振巾, f = 周波数 である。

ところで d は力波の極対数に対し次の関係にある。

$$k=3 \quad d_{k=3} = \frac{1}{4.75} d_{k=2}$$

$$k=4 \quad d_{k=4} = \frac{1}{12.5} d_{k=2}$$

すなわち振巾値は極対数の増加とともに大きく少なく

なる。したがって $k=0 \sim 2$ の力波の発生がもっとも問題になるので、みぞ数組合せに際しては、かかる力波の発生のないよう留意すればよいのである。

3. ボール・ベアリングの騒音と振動

3.1 ベアリング単体の騒音と振動

ボール・ベアリング単体から発生する騒音、振動は転走面の凹凸の衝突による外輪の振動が主成分である。したがって転走面の凹凸が大きいほど、振動の励振力の振巾は増加する。これらのこととは軸受を一つの振動系として考えると概略の解析が可能である。N.T.N 伊藤氏の研究によれば図 3.1 のように

軸方向のばね系 (ばね定数 k_t とする)

外輪の質量 (M)

負荷のばね系 (ばね定数 k_l とする)

多くの場合 $k_t \ll k_l$ であるからこの系の振動数は下記で求められる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_l}{M}}$$

また軸受の内輪と外輪との相対変位 (x) は、スラスト荷重 (L)、ラジアル遊隙 ($2c$)、みぞ半径 (R_R)、軌道直径 ($2R_L$)、玉直径 (d)、玉数 (Z) の関数として取扱うこと

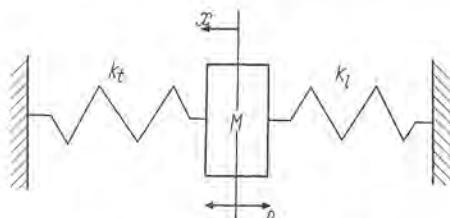


図 3.1 ボール・ベアリングの振動系

Fig. 3.1 Vibration system of ball bearing.

ができる。相対変位 x とスラスト荷重 L とは振巾の少ない範囲では直線的と見なしうるから、

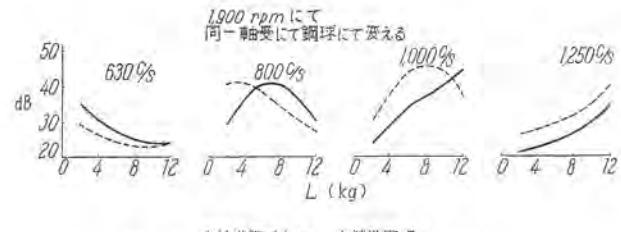
$$k_t = \left(\frac{d_x}{d_L} \right)_{L=L_0} \quad \text{とすることができる。}$$

R_L, R_R, Z, d は一定と考えてよいから、前記のように k_t は、 $L, 2c$ 、すなわちスラスト荷重と、ラジアル遊隙に大きく影響されることがわかる。

図 3.2 はラジアル遊隙をかえた場合に各周波数バンドにおけるスラスト荷重 L に対する振動をとったもので、遊隙が増加すると同一バンドではスラスト荷重の小さいときには最大値がえられる。

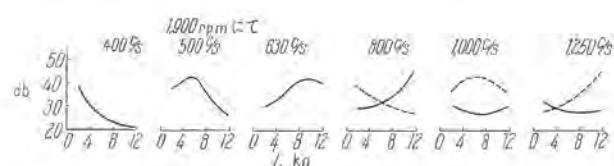
図 3.3 は外輪の質量をかえた場合で、質量が小さくなると同一のスラスト荷重に対し 共振周波数は 1,000 c/s であるが質量を約 4 倍にすると同一のスラスト荷重で共振周波数は 500 c/s になっている。このことは周波数は質量 M の平方根に逆比例することを示している。

また図 3.2 と 3.3 で共通に明らかなることは、スラスト荷重によって各周波数バンドの騒音レベルの変化は各バンドによってことなり、周波数の低いバンドほど、共



実線遊隙 14 μ 点線遊隙 7 μ

Fig. 3.2 Vibration of the outer ring of ball bearing.



実線外輪にリングをめたとき $M=481$ gr
点線外輪にリングをめたとき $M=116$ gr

Fig. 3.3 Vibration of the outer ring of ball bearing.

振するスラスト荷重が小さくなる。このことはスラスト荷重が小さくなると k_t の値が小さくなり、周波数も減少することを示している。

以上述べたようにベアリング単体から発生する振動は転走面が完全に平坦でない以上、避けられないもので超仕上などを行っても凹凸の程度が少なくなり振巾は減少するが、振動の発生を完全に防止することはできない。この発生周波数は 1,000~2,000 c/s 前後であり、ラジアル遊隙、スラスト荷重により相当広い範囲に変化するものである。

なおベアリングの騒音を分析して見るとさきに述べたほかに、3~8 kc の振動成分を認める場合があるが、これらは保持器の固有振動、外輪の弾性振動と考えられる。しかしこれらの説明は前記ほど明確にはできていない。

3.2 モータル組立後のベアリングの騒音と振動

モータルにベアリングを組みこんだ後(3.1)項に述べたベアリングの振動が、そのまま実現されれば、問題は容易であるが、振動系として、ロータのアンバランス、プラケット、ハウジングの剛性、はめ合、などが加わるためさらに複雑になる。それらの要因を個々に考察してみよう。

(1) プラケットの固有振動

プラケットの固有振動数は形状、肉厚、ボルトの締付加減によって変化する。わずかな肉厚の差、ボルトの締付加減によっても 10% くらいは変動することが実験的に確認されている。ベアリングがはねだしい騒音を発している場合にモータルの回転数を約 10% くらい変化させて見て、プラケットの振動もとまり、騒音も発しなくなったとすればプラケットまたはハウジングの共振と考えられる。

またプラケットを取替えたり、ボルトの締付をかえても同一の効果がえられる。

用モートルではペアリングも精密級を用いるがこの場合にはシャフトの横振れも 7μ 以下の精度が要求される。

c. シャフト段落ち高さの適否

シャフトのペアリングあたり高さを適当に選ばないと内輪の傾きを生じたり、ペアリングの引はずしができないようになる。これらを十分考慮して決定しなければならない。

d. ペアリングの押込作業

ペアリングの押込みは正しく軸に直角に内輪を押して一定の圧力で内輪を押すようにする。したがって押込み装置は正しい精度が當時維持できるよう専用のものがのぞましい。設備のないところではハンドプレスを用いたり、ハンマでたたきこんだりするが軸の垂直の維持が困難であり、またシャフトの段落ちに内輪が当ってからさらに押しつけて内輪を傾けてしまうことが往々にしてあるから注意しなければならない。

(3) ハウジングとペアリングのはめあい

ハウジングとペアリング外輪とのはめあい間隙が負または過少なときには分解、組立に際して外輪をこじらせ、外輪みぞの傾斜の原因となり振動を発生する。

またハウジングと外輪との締代はそのままラジアル遊隙の減少になるから、過少遊隙の原因にもなる。

したがってペアリングの騒音、振動を重視する場合にはゆるいはめあいが用いられる。表3.2にはめあい表を示す。

しかし負荷によっては振動や回転荷重が加わる場合があり、振動加速度、回転荷重がペアリングにかかっている静荷重より大きくなると外輪のクリープを起すことがある。すなわちハウジングと外輪との間にすき間がありこれに回転荷重が加わると外輪はハウジングに対し内歯車のような運動を示す。図3.5はその状況を示したものである。したがって外輪の回転は内輪の回転方向と反対でその速度は非常におそい。

回転荷重はモートル単独ではロータのアンバランスによる遠心荷重、空隙のアンバランスによる磁気吸引力の不平衡などによって生ずるがいずれも小さくロータの重量に打ちかつことはまずない。しかし外部か加えられる

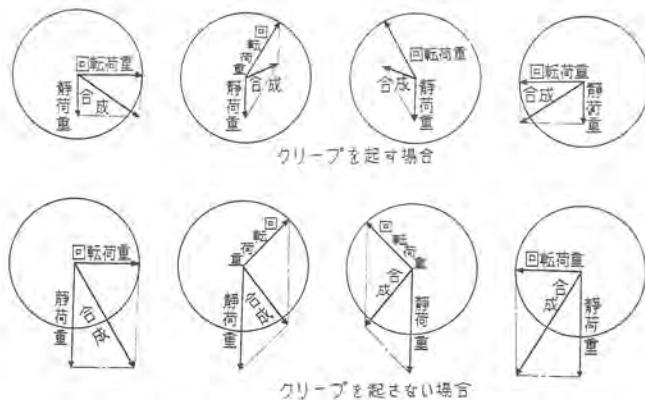


図3.5 ボール・ペアリング外輪のクリープ現象

Fig. 3.5 Creep phenomena of the outer ring of ball bearing.

回転荷重は、直結の心の不一致、機械の動的アンバランスなどによってかなり大きくクリープの原因になる。

回転荷重によるクリープ、トルクは次の式で表わされる。

$$M = P \times \mu \times \frac{D}{2} \text{ (kg-mm)}$$

P ：回転荷重 (kg-mm)

μ ：摩擦係数

D ：外輪の外径 (mm)

またクリープ速度はつぎの式で示される。

$$C_R = R_c \times \frac{C}{O_D} \text{ (rpm)}$$

C_R ：クリープ速度 (rpm)

R_c ：回転荷重の速度 (rpm)

O_D ：ペアリング外輪の外径 (mm)

C ：ハウジングとペアリング外輪のすき間 (mm)

したがって 6205 を例にとれば内輪の回転数が 1,500 rpm のときにはクリープ速度は表3.3のようになる。

用途によってはクリープを発生するほどの回転荷重がかけられない場合があるが、かかる場合には締代をもつたはめあいを用いるか、ラジアル、または、アキシャルにペアリングに予圧を加えて防止しなければならない。

(4) ペアリングのラジアル遊隙

さきにのべた振動の発生理論から考えればラジアル遊隙の過大はのぞましくないが一方遊隙が負、または過少

表3.3 ペアリング外輪のクリープ速度

♯ 6205, 1,500 rpm, $D=52$ mm の場合

ペアリングと ハウジングの隙間 (μ)	1	2	3	4	5
クリープ速度 (rpm)	0.0288	0.0576	0.0865	0.1154	0.1442

になると高周波のきしめ音を発生するだけでなく、内部の温度上昇によってますます遊隙が減少しついには焼付に至ることがある。ペアリングの内、外輪の温度差によるラジアル遊隙の減少は次式で示される。

$$\delta_t = \alpha \cdot A_t \cdot \frac{3D + d}{4}$$

表3.2 ペアリングとハウジングとのはめあい表

径の区分 (mm)	軸受外径寸法 (μ)		ハウジング内径寸法								
	普通級		精密級								
	H5	H6	H7	H5	H6	H7	H5	H6			
二元 以下	上	下	上	下	上	下	上	下			
10	18	0	-8	-2	-6	8	0	11	0	18	0
18	30	0	-9	-2	-7	9	0	13	0	21	0
30	50	0	-11	-2	-8	11	0	16	0	25	0
50	80	0	-13	-3	-10	13	0	19	0	30	0
80	120	0	-15	-4	-12	15	0	22	0	35	0
120	150	0	-20	-5	-15	18	0	25	0	40	0
150	180	0	-25	-6	-18	23	0	32	0	52	0
180	250	0	-30	-7	-22	20	0	29	0	46	0
250	315	0	-33	-8	-28	23	0	32	0	52	0

ただし δ_t : すき間の減少量 (mm)

α : 軸受鋼の線膨張係数 $= 12.5 \times 10^{-6}$

Δ_t : 内輪およびボールと外輪との温度差 (°C)

D : 外輪外径 (mm)

d : 内輪内径 (mm)

たとえば 6307 で $\Delta_t = 10^\circ\text{C}$ のときには

$D = 80 \text{ mm}$ $d = 35 \text{ mm}$ であるゆえ

$$\delta_t = 2.625 \mu \text{ となる。}$$

したがって組立後の遊隙は振動、騒音、焼付などを起さないようにきめられるべきで、これには先に述べた各項の考慮をすべてはらわなければならない。

表 3.4 には JISB1531 の中で一般に用いられるラジアル遊隙表を示したが遊隙はこの中でもっとも適当な範囲を選択して使用することがぞましい。

以上の説明で明らかのようにペアリングの温度上昇が低く、振動、軸振れの高精度を要求される場合にはラジアル遊隙の小さいもの、または、アンギュラ・コンタクトなどが用いられる。

表 3.4 ラジアルボール・ペアリングのラジアル遊隙表 (JISB 1531 より)

呼び内径 d (mm)		ラジアル遊隙 (μ)					
		C ₂		普通		C ₃	
二元	以下	下	上	下	上	下	上
10	10	3	11	6	17	12	21
10	18	3	13	7	22	15	29
18	24	4	15	10	25	19	34
24	30	4	16	10	25	19	34
30	40	4	16	11	25	21	39
40	50	4	16	11	28	24	42
50	65	6	23	16	36	32	52
65	80	6	23	18	38	34	60
80	100	6	26	20	44	39	67
100	120	6	28	23	49	45	75
120	140	6	31	26	56	50	90
140	160	6	31	26	61	55	100
160	180	6	33	28	69	62	111
180	200	6	38	33	79	72	126

一方二極モートルのように転走面の温度が高く遊隙の減少が当初から予想される場合にはとくに遊隙の大きい C₃ 級を用いるとよい。したがってラジアル遊隙はモートルの回転数、要求される振動精度、使用機械との連結状態などによって適当に選定されなければならない。

(5) 予圧

ペアリング外輪にあらかじめスラスト荷重を加えておくことにより外輪の共振周波数を高くして他の振動系統との共振を防止するほか、ボールと転走面との接触角の変化、ボールの弾性変形量の変化を少なくして振動を防止することができる。ただし予圧を過大にすると騒音、発熱、トルクの増加などの現象を表わすから適当な荷重を実験的に決定しなければならない。

予圧を加える方法にはハウジングカバーで締付ける方法、板ばねなどによる方法、ディスタンスピースを用いる方法などがあるが小形モートルでは主として板ばねを用いている。

3.4 ペアリング騒音の測定法と実験例

以上の考察を実験的に確認するため代表的なモートル

誘導電動機の振動と騒音・米野・鈴木・白田・佐藤

の騒音を分析した。

実験を行った防音室は図 3.6 のような構造で、暗騒音を 35 ホン以下に制限できる。

モートルの運転操作および測定はすべて別室にて行い測定条件を安定させた。

測定時のマイクロホンの位置は測定する騒音の性質に応じて変化させているので、測定値をただちに用いることは困難であるが比較は十分できるものと思う。

a. 磁気騒音、モートルフレーム

側面より 50 cm はなれた直角方向。

b. ボール・ペアリング騒音、モートルの反荷側軸を中心より 30 cm はなれた直角方向

c. 風音 モートルのフレーム

側面より 100 cm はなれた直角方向

測定器はロイトリンガ社の周波数分析器を用いた。図 3.6 に示す。

この測定器の性能は

周波数測定範囲 50~10,000 c/s

周波数帯域巾 $\pm 1.5\%$ および $\pm 5\%$ である。

この実験では周波数帯域巾 $\pm 1.5\%$ を用いた。測定単位は媒体 (空気) の粒子速度 (振動速度) でとてあるの

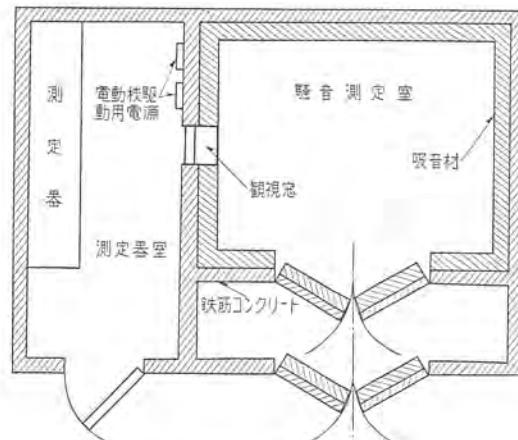


図 3.6 (1) 防音室の概観

Fig. 3.6 (1) Brief view of soundproof room.

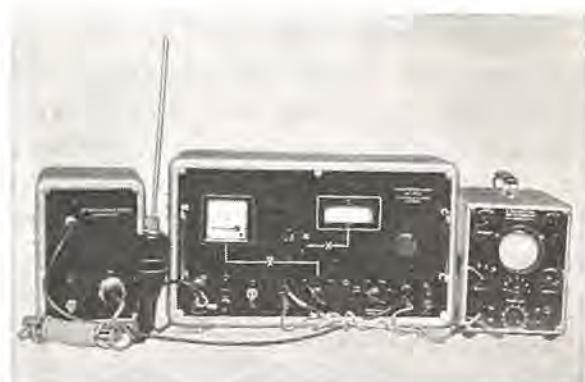


図 3.6 (2) ロイトリンガ騒音分析器

Fig. 3.6 (2) Noise analyzer.

で通常用いられているデシベル(db), またはホン(phon)でなく(μ/sec)が用いられる。

音圧との関係は次式のようである。

$$\text{音圧}(\mu\text{bar}) = 4.2 \times 10^{-3} \times v(\mu/\text{sec})$$

音の強さのレベル 1db との関係は

$$0 \text{ db} = 4.8 \times 10^{-6} \text{ cm/sec} \text{ となる}$$

(1) 測定位置の問題

微妙な騒音を分析するには測定位置が問題である。図 3.7~3.9 はモートルのフレーム, ブラケット, ベアリングのおののから直角方向に 30 cm はなれた位置で測定した騒音分析波形を示したもので、フレームと直角の位置では機械的な騒音は少なく、ほとんど磁気的な騒音をピック・アップしている。またベアリングにもっとも近接した個所では磁気騒音が非常に少なくなっているのでよくベアリングの騒音をピック・アップしていると考えてよいであろう。ブラケットに近接した個所ではほぼ両者の中間と考えてよいであろう。

このことからベアリングの騒音をピック・アップするには、軸方向、ベアリングからほぼ 30 cm はなれた位置にマイクロホンを設置すればよいことがわかる。

(2) 測定条件の問題

すでに報告したようにモートルの騒音、振動を論ずるにはモートルを他の振動系から遮断することが必要である。そのためモートル回転数の 1/4 以下の固有振動数を持つ防振台にて運転しなければならない。また、電源は特別な目的がないかぎり正弦波に近い波形のものであり、三相電源では、各相の不平衡がないことも必須である。

またベアリングの音か、磁気的騒音か判断に苦しむときには電源を切った直後の騒音を測定すればよい。

モートルにハズミ車をつければ電源を切っても惰力回転を相当長く継続しうるから測定には便利である。

(3) 良品と不良品の比較

一般にモートルの騒音は聴覚で判別している。衆知のように人間の耳の感覚は周波数により、同一の音圧でも異なるので、いわゆる騒音計の指示値(ホン、またはデシベル)では感覚とかなり異なったものを示し、また、こまかに分析により音の発生原因、引いては故障の有無を判定することは困難であるからである。

聴感で異常を認めたものは一応なんらかベアリングに欠陥ありと認めてよい。音の高さ、強さによっては欠陥のあり、なしは認めにくい。

異常とは次のような音をいっている。

1. ジー、ジー
2. ガラ、ガラー
3. シャー、シャー

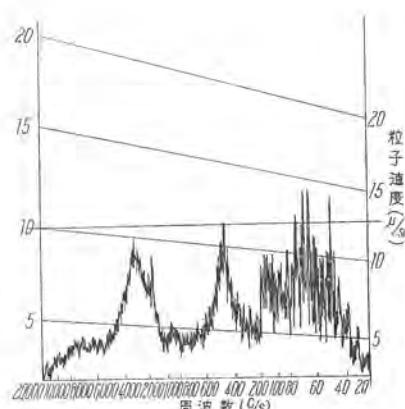


図 3.7 測定位置による騒音分析

Fig. 3.7 Noise analysis due to measurement position.

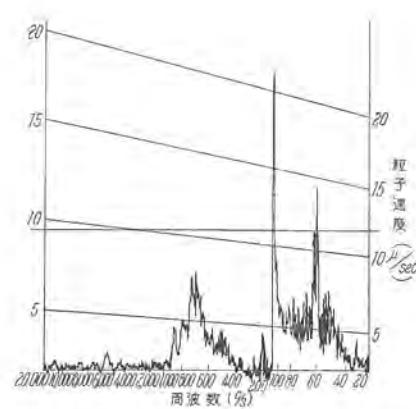


図 3.8 測定位置による騒音分析

Fig. 3.8 Noise analysis due to measurement position.

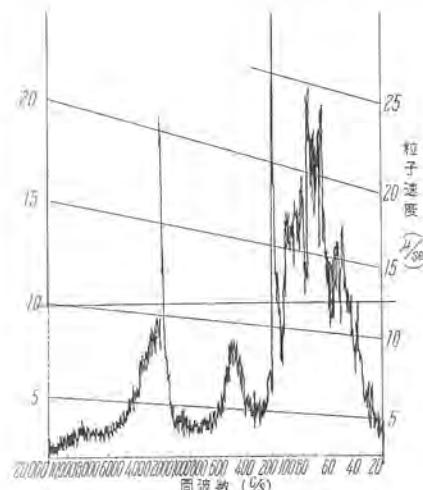


図 3.9 測定位置による騒音分析

Fig. 3.9 Noise analysis due to measurement position.

4. うなり音

図 3.10 に示したのは聴感で良品としたもので約 2,000 c/s 以外大きな成分の高周波はなく、全般に低い音圧を示している。

図 3.11 はいわゆるジー、ジー音であって、一定周期で断続する。先に説明したように転走面の凹凸、みぞの横ぶれが大きい上に、玉に傷があるものと考えられる。

図 3.12 はジー、ジー音のほかにガラガラ音のあるもので、リテナの振動と推定される。

また製造メーカによって多少分析周波数が異なるのは当然で図 3.13, 3.14, 3.15 に示すように 3 社のベアリングを比較すると明らかにその差を認めることができる。

ベアリング外輪の振動を防止するには適当な予圧を軸方向に加えることが有効であることは先に説明したが図 3.16, 3.17 により実験的に確認することができる。

後者は予圧のない場合で低周波の振動を発生しているが前者に示すように適当な予圧を加えることによって振

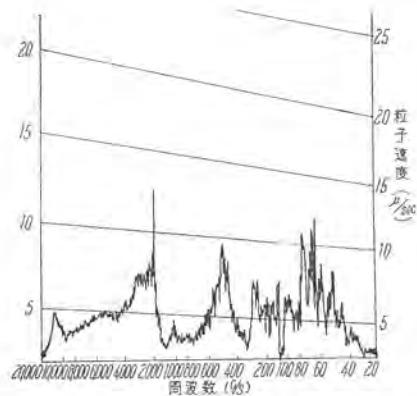


図 3.10 良品ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.10 Example of noise analysis of refined ball bearing.

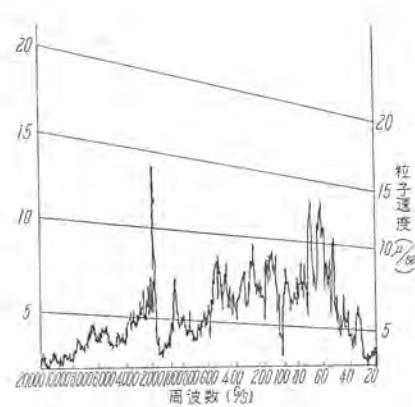


図 3.13 A 社ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.13 Example of noise analysis of A office ball bearing.

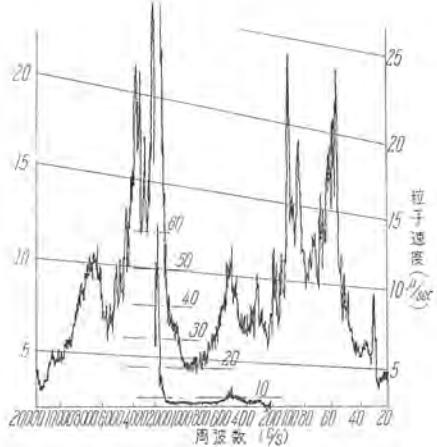


図 3.11 不良品ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.11 Example of noise analysis of ugly ball bearing.

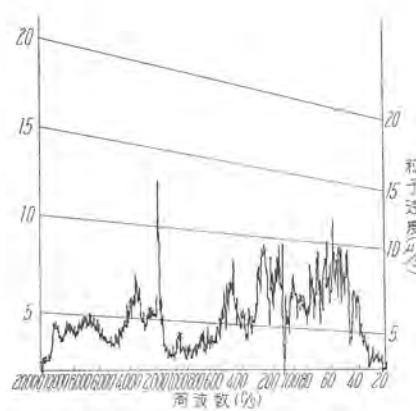


図 3.14 B 社ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.14 Example of noise analysis of B office ball bearing.

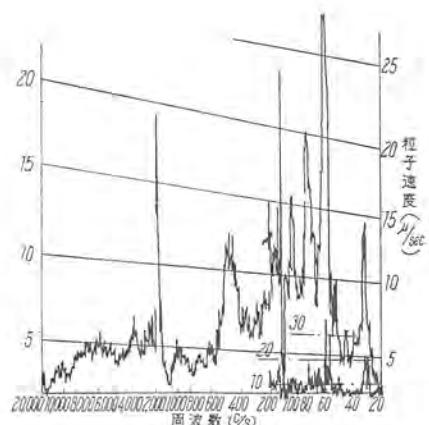


図 3.12 不良品ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.12 Example of noise analysis of ugly ball bearing.

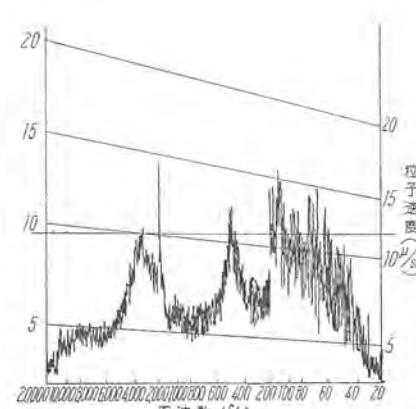


図 3.15 C 社ボール・ベアリングの騒音分析例

Fig. 3.15 Example of noise analysis of C office ball bearing.

動がかなり軽減していることが明らかである。

以上のように指示騒音計によらず周波数分析器を用いれば、騒音原因の解析が可能であることが示された。

4. すえ付に基因する振動

誘導電動機の振動および騒音については 1, 2 項で述べたように各種の原因について、それぞれ実験研究が進められており、振動・騒音の少

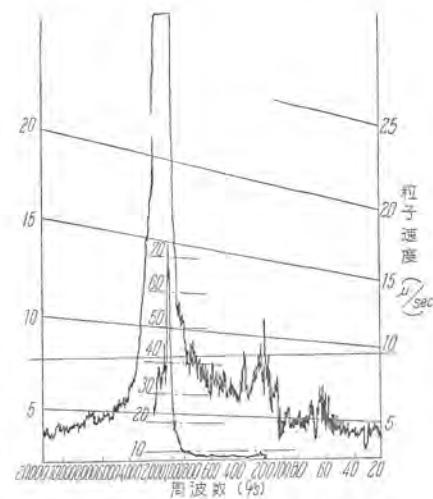


図 3.16 適当な予圧を加えた場合のボール・ベアリングの騒音

Fig. 3.16 Noise of ball bearing when given reserve pressure to proper.

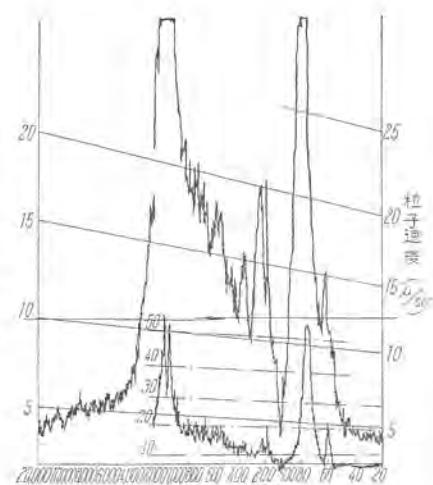


図 3.17 予圧がない場合のボール・ベアリングの騒音

Fig. 3.17 Noise of ball bearing when given no reserve pressure.

ない電動機の製作に努力しているが、電動機を相手機械と直結して使用する場合、そのすえ付状態が適当でないと電動機および相手機械に振動を発生する。すえ付現地で振動が出て調査を依頼されることがあるが、この中の約80%はすえ付や軸接手の不具合によるものである。

したがって、正しいすえ付は直結や軸接手の工作をやることが振動の原因を除去する上にもっとも大切なことであるが、その精度を高めるためにも、必要性を認識する点からも、また振動の原因を調査、診断するためにもすえ付直結や軸接手が不良の場合、どんな現象が起るかを知っておくとよい。

4.1 センターリングまたはカブリング不良による振動

(1) 固定接手の場合

a. 接手の円の振れ（心立てはよいが接手の偏心）

カブリングをつけてから不つりあいによる振動を発生する。なお、カブリングをつけてないでバランスを取るときは、キーみぞの重量に相当する仮重量を忘れてはならない。

1. インロなく偏心のままでボルトで締付けた場合。

$e \cdot W$ なる不つりあいモーメントで振動を発生する (e および W はカブリングの偏心と重量) カブリングをつけてずにバランスを取っていてもカブリングをつけてから不つりあいによる振動を発生する。

(測定法) カブリングの円の振れを測定する。

(対策) カブリングの振れを削正するか、バランスウェイトをつける。

2. インロに振れがあるとき、軸を自由の位置より曲げ、むりにボルトで締付けた場合。

軸頭はみそり運動をして上メタルに強い当りを生じ軸頭も片あたりが考えられて、また軸は彎曲による振れた状態で回るから不つりあいとして振動を発生する。それゆえ直結前個々につりあいがとれていても、直結後振動を生じる。直結後つりあいを取ってもみそり運動による振動はなくなる。

(測定法) インロの振れを測定する。

軸の振れを測定する。

(対策) インロをたたき出して振れを削正するか、削り込みインロをルーズにする。

b. 接手の面の振れ

心立てはよいが、接手が直角でないとき、また直角であ



図 4.1 接手の円の振れ（インロなし）
Fig. 4.1 Deflection of the circle of coupling.

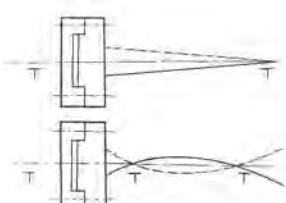


図 4.2 接手の円の振れ（インロあり）
Fig. 4.2 Deflection of the circle of coupling.

っても軸が曲っているときむりにボルトを締付けた場合。

軸心が固有の重心軸より離れ、しかも彎曲による振れた状態で軸とともに回転するから回転子本体に不つりあいがある場合と同様な振動を発生する。

(測定法) カブリングの面の振れを測定する。

(対策) 面の振れを削正するか、カブリング両面に振れている寸法の勾配ライナを入れて彎曲を生じないようにして締付ける。軸が曲っている場合は曲り直しをする。振れがわずかな場合は（2/100 mm 以内）そのまま締付け、生じた不つりあいは直結後ふたたび動つりあいをとると振動は減少できるが、直結の位置を変えればふたたびつりあいを取らなければならない。この場合、軸に応力が生じるが、後で述べる心立不良のときのような繰り返し応力ではない。

c. 円不良の場合（連結点にて軸が同心でない場合）

1. インロがなく偏心のままでボルトで締付けた場合。

この場合クラシック軸のような運動をする。つりあいを取っても軸受のみそり運動はなおらない。メタルの上下に強い当りを生じ、軸頭の片当りとなる。

2. インロに合わせ軸を自由の位置より曲げ、むりにボルトで締付けた場合。

この場合は b. の状態と同様軸心が固有の重心軸より離れ彎曲するが、しかしこの曲りは軸とともに回転しない。すなわち、重力による軸のたわみは軸が回転しても一定方向であると同じで、この場合の曲りも一定方向であるゆえに b. の固定接手の面の振れがある場合のように彎曲が軸とともに回転しないから不つりあいと同じような振動はない。しかし1回転に1回の繰り返し応力が軸に加わることになる。

Fig. 4.4 (a) Case of poor circle.

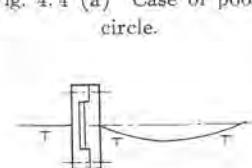


図 4.4 (a) 円不良の場合（インロなし）
Fig. 4.4 (a) Case of poor circle.

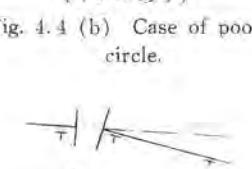


図 4.4 (b) 円不良の場合（インロあり）
Fig. 4.4 (b) Case of poor circle.

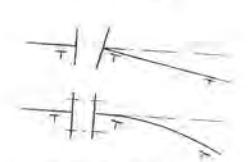


図 4.5 面の不良
Fig. 4.5 Poor surface.

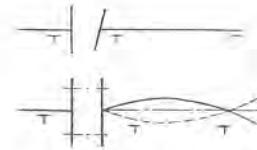


図 4.3 接手の面の振れ
Fig. 4.3 Deflection of the circle of coupling.

4.2 油膜による振動

回転子軸の油膜による振動 (Oil Film Whirling) は、高速機械においてしばしば経験するところである。この油膜振動については、B. L. Newkirk や M. C. Shaw の論文に詳しく述べられているが、

- (1) 軸受荷重が非常に軽くなり、かつ軸受遊隙が過大であるとき。
- (2) 運転速度が危険速度の2~2.5倍の範囲にあるとき。油膜振動が発生しやすいということは、衆知のとおりである。

しかし一般的には、電動機単独で油膜振動が出ることはまれで、多くの場合相手機械との直結不良により、電動機または相手機械の軸受荷重がいちじるしく減少させられて発生することが多い。したがって、相手機械の運転時における温度変化量をよく把握し運転時における心遣いが良好となるように修正された直結を行わなければならない。

また、油膜による振動数は運転速度の1/2より若干少く出る特長があり、他の次調和共振動とは、はっきり区別することができる。

4.3 固定子わくと基礎の不具合による振動

固定子わくの強度が比較的弱い鉄板溶接構造のプラケット形電動機においては、固定子わくを基礎、または相手機械のフレームに締付けるとき、調整敷金の厚みの不同や、基礎の水平度が悪いとき、むりに締付けると、固定子わくのひずみ、プラケットの剛性度が変化により振動を発生することがある。

固定子わくの締付による振動の変化量は、固定子わくの溶接強度、プラケット締付ボルトの締付トルク、軸受とプラケットのはめあい程度などによって大巾に異なる。

630 kW 二極電動機で実験したところによれば、調整敷金を 0.92 mm 不同にした場合、約 2~3 倍の振動変化が表われている。

したがってすえ付に当っては、基礎の水平度、調整敷金にも細心の注意を払わなければならない。

5. 誘導電動機の振動原因を見つける方法

5.1 電動機を単独で運転して振動が出る

- (1) 回転子の不平衡 (2) 空隙の不同
- (3) 磁気中心の不良 (4) 三相電動機の単相運転
- (5) クローリング現象
- (6) 二極電動機の鉄心わく強度不適当
- (7) 固定子、回転子の層短絡、相短絡
- (8) 回転子コイルの抵抗の不均衡
- (9) メタルと軸の当りのこじれ
- (10) メタルの隙間の過大、過少
- (11) カブリングの不均衡 (つりあい調整後取付けたとき)

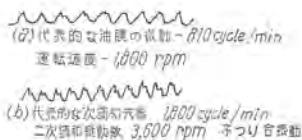


図 4.11 油膜の振動および二次調和共振の代表的な記録
Fig. 4.11 Typical records of the vibration of oil film and secondary harmonic resonance.

- (12) 油止めなどが軸に当る (13) 軸の曲り
- (14) 回転部はめあわせのゆるみ (軸とスパイダ、コアなど)
- (15) 基礎、すえ付不良
- (16) 軸受圧力の過少 (17) 油膜、油圧の変動
- (18) 玉軸受の玉の不良、レースの不良、はめあいの不良
- (19) 軸径のだ円 (20) 軸頸の傷

5.2 直結後無負荷または軽負荷で振動が出る

- (1) 残留不平衡がある (2) 基礎ボルトのゆるみ
- (3) 台床と台板の隙がある (4) 床と共振する
- (5) 直結心出しの不良 (6) 基礎の不同沈下
- (7) 危険速度 (連結した軸系の)
- (8) カブリングの不良、円、面の振れ
- (9) 軸の曲り (10) 相手機械から来る振動
- (11) 推力受による振動

5.3 負荷すれば振動が大きくなる

- (1) かみあい接手のピッチの不同
- (2) かみあい接手のかみあい片、ピンなどに油あかがつまる、ゴムブッシュの劣化
- (3) かみあい接手の心出し不良 (高調波の振動が出る)
- (4) 回転子層短絡、相短絡、不平衡抵抗による磁気的不平衡
- (5) 回転部のはめあいにゆるみがある
- (6) 空隙の不同 (7) 磁気中心の不良

5.4 その他の条件によって変化する振動

- (1) 油止め風止めなどの静止部が運転中軸に当る。(軸が一時的または永久的に曲る)
- (2) 回転子温度上昇による軸曲り (内部心力、回転子コイルやバーの熱膨張)
- (3) 回転子の冷却作用の不均一のための軸曲り (ごみがつまり)
- (4) 軸受温度上昇が一様でないための運転状態での心出しの変化
- (5) 回転子のはめあい部のゆるみ (コイルなどの動く部分がある)
- (6) 高温時停止して回転子上下部の温度差による軸の曲った状態で起動
- (7) ジャーナル部の上下の温度差のあるときの起動
- (8) 温度上昇による軸の遊びで推力受を無理する
- (9) 油温の変化につれて振動が出る
- (10) 油圧が変化して振動が出る
- (11) 軸受温度上昇による軸受部のひずみ

5.5 その他の原因

- (1) メタルホワイトの浮き
- (2) メタルと軸受台の当り不良
- (3) 軸受台の絶縁物の枯れ
- (4) スラストのつばのひずみ
- (5) カブリングと軸とのはめあいが甘い
- (6) 組立時に使用したボルトナットなどを付忘れている

- (7) 塵埃による不つりあい
- (8) 遠心力のため間隔片、コイルなどが動く
- (9) 軸頸の偏心削正
- (10) 冷却風圧による振動と共鳴

6. その他の原因による振動

振動の原因はきわめて多種多様であって、そのすべてについて述べることはできないが、電気的あるいは機械的振動としてもっとも多く発生しやすく、かつ経験するところのものについて簡単に述べる。

6.1 回転子の機械的不平衡による振動

回転子の製作にあたっては、機械加工上の精度、絶縁物の不同、回転子コイルの不同、溶接部分の肉厚などによって回転子の機械的不平衡が生ずる。また運転にあたっては、回転子の熱応力による変形、口出線のゆるみ、バインド線のゆるみ、ファンボスのゆるみなどによって振動を生ずることがある。したがって回転子は静的あるいは動的つりあいをとつて機械的不平衡を修正する。

一般的には週速 1,000~1,500 m/sec 以上は動的つりあいをとり、それ以下は静的つりあいをとれば十分とされているが、最近は振動、騒音がとくにきびしくいわれるようになって、逐次全面的に動的つりあいをとるようになってきた。

二極大形電動機において、危険速度以上で使用する機械では、危険速度通過時の振動が問題になる。図 6.1において、軸中央部の不平衡 W を軸の両端 w_1, w_2 でつりあいをとつても、回転数が変れば W による軸のたわみ量が変るのでつりあいがくずれる。図 6.2において W と同一面につりあいおもり w をつければ、あらゆる回転数にわたってつりあい状態を保つことができる。よってあらゆる回転数にわたって完全なつりあいをとるために、軸中央部につりあいおもりを付加するか、または削り取ることが望ましいが、誘導電動機においては軸中央部にコアがあるため修正がむずかしい。しかし軸中央部に機械的不平衡を残さないようコアの偏心や軸曲りが起らない工作法を行い、かつ十分な動的つりあいをとれば、危険速度通過時の振動を少なくすることができる。

6.2 回転子巻線の不平衡による振動

巻線形誘導電動機の回転子巻線が不平衡結線となつて

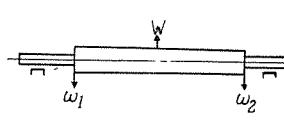


図 6.1 軸の両端で釣合をとつた場合
Fig. 6.1 Case of balance at both ends of the shaft.

いる場合、または外部二次抵抗が不平衡になつている場合には、すべり周波数の 2 倍周波数の振動

が発生する。

空隙の不同的な場合にもこれと同様な振動を発生する。よって、この振動は周波数を測定、分析すれば他の機械的振動と区別することができる。

6.3 固定子巻線の不平衡

による振動

固定子巻線を不平衡結線した場合は、固定子鉄心に電源周波数の 2 倍周波数の振動を発生する。この振動原因是、不平衡電流のために生ずる正相の固定子回転磁界と逆相の回転子電流、または逆相の固定子回転磁界と正相の回転子電流の間に働く振動性トルクによるものと考えられる。この振動は固定子の円周方向のねじり振動となって現われる。

固定子巻線の内部に異常があるか、または結線の間違ひの場合にも発生するが、この固定子巻線の不平衡による振動は、製作時あるいは巻替時に各種電気的試験を行えば、その電気的特性からもその原因が推定されるものである。

6.4 電源電圧の不平衡による振動

電源電圧が不平衡の場合も固定子巻線の不平衡と同様に電源周波数の 2 倍周波数の振動を発生する。この振動は電源電圧の不平衡率が大きいほど当然振動も大きくなるので、振動をとくにきびしく要求する機械においては電源電圧の不平衡率を測定し、検討しておくべきである。

6.5 高調波磁束による振動

固定子および回転子のみぞによる高調波磁束の発生によって、みぞ部分に高調波振動を発生する。この振動は周波数がきわめて高く、振動としてよりも騒音として問題になる。この騒音については、I 項に研究結果を詳述してある。

6.6 空隙の不同による振動

固定子と回転子との間に働く半径方向の磁気吸引力は磁極の極数に関係なく電源周波数の 2 倍周波数の振動を発生する。この振動は極数のいかんにかかわらず発生するわけであるが、一般的には空隙が大きく、軸のたわみの大きい二極機においてとくに顕著に現われる。

また、二極電動機においてうなり振動を発生することがあるがこの振動を分析すると、2 倍周波数振動とすべり周波数の 2 倍周波数振動とが表われる。このすべり周波数の 2 倍周波数振動は、空隙の不同によるもので回転子の機械的不平衡により軸が振れて回転するため、あるいは軸の偏心により、空隙の最小位置がすべり速度の 1 回転に対して 2 回最大磁束密度の位置に来るからである。このすべり周波数の 2 倍周波数振動と電源周波数の 2 倍周波数振動とが重畠されて、上記のうなり振動を発生するものである。

7. 振動の実用的許容範囲

誘導電動機における実用的許容振動の大小は、電動機の出力、回転数、使用条件などによって相違するが、JEM-1020 (1956) “三相誘導電動機試験法” に測定条件およ

表 7.1 JEM 1020 (1956)
振動階級表

振動階級	全振巾
V-10	10 μ 以下
V-15	15 μ 以下
V-30	30 μ 以下

表 7.2 三菱電機
振動階級表

振動階級	全振巾
V-3	3 μ 以下
V-5	5 μ 以下
V-10	10 μ 以下
V-15	15 μ 以下
V-30	30 μ 以下

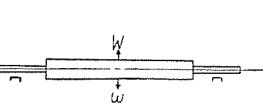


図 6.2 軸の中央で釣合をとつた場合
Fig. 6.2 Case of balance at the center of the shaft.

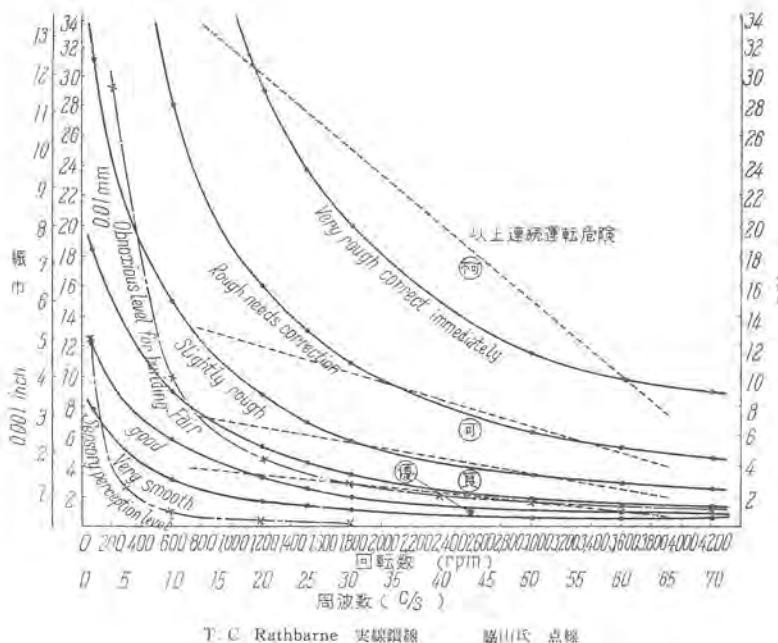


図 7.1 振動許容表
Fig. 7.1 Tolerance chart.

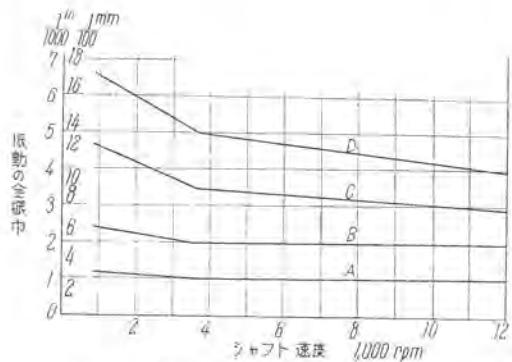


図 7.2 シャフトの上下振動
Fig. 7.2 Vertical vibration of shaft.

注: これらの値はベアリングハウジングやベテスタルのどと静止部分において取られた振動の値に相当するものと考えてはならない。
D: 激しい振動 (短時間の運転に対してのみ許容しうるもの)
C: 不完全 (大抵の場合運転は安全に行われるが早い機会に修正が望ましい)
B: 正常 (受け入れるべきバランス状態)
A: 良好

び測定法が示されている。これによると、振動の大きさにより電動機を次の各級に分類している。

当社では表 7.1 の分類をさらに補足して 5 階級とし、それぞれの使用目的に適合した電動機を製作している。

大・中形電動機を現地にすえ付け、直結して使用する場合、その振動の実用的許容値は、振巾値のみで決められるのではなく、機械や建築物に及ぼす影響によって考慮されなければならない。たとえば、3,600 rpm の機械の 0.025 mm の振動は、機械に対してもまた人体に感ずる度合においても 1,800 rpm の 0.10 mm よりも激しいものである。また 3,600 rpm の振動でも、その振動の波形が正弦波に近いものは、急峻な波形を有するものに比して、感じがはるかにやわらかである。すなわち振動の激しさというものは、その振動の最大加速度によるものである。しかして、この加速度は正弦波振動においては、回転数の自乗に比例する。すなわち 3,600 rpm にて 0.01

mm の振動は 1,800 rpm にて 0.04 mm に相当することとなる。かつまた高速なものほど波形の急峻な場合が起りやすく、そのため人体に感ずる度合に至っては、自乘よりもさらに激しいことが多い。図 6.1 は振動良否判定の規準として推奨されている。

図 6.1 の許容値は、軸受台またはブレケットなどで測定される数値であるが最近大型高速機械に対しては、軸振動を測定できるように、軸振動計を付属させる傾向にある。

軸振動と軸受台振動との比は、軸受台の剛性、油の粘度、軸受温度などによって異なるが、大体において、2~4 倍と見なしてよい。図 5.2 は軸振動を測定する場合の判定の基準となるであろう。

8. む す び

誘導電動機の振動および騒音については、従来からも各種の実験研究が行われてきているが、最近測定器・分析器などに精密優秀なものが入手できるようになって、その分析検討が容易になり、従来容認されていた程度の振動、騒音に対しても根本的に検討を加えられるようになった。

ここに述べたみぞ組合せによる騒音の研究、ボール・ベアリングの騒音についても新たな検討が加えられて設計上、工作上多くの点を改良し従来の電動機に比べるかに振動、騒音の少ないものが製作されるようになった。

たとえば、ブレケットのインロとハウジングを 1 度のチャッキングで同時に加工することによってハウジングの偏心が非常に少なくなったこと、

ステータ鉄心の内径を正にしてフレームのインロを加工することによって、インロと鉄心内径の偏心が非常に少なくなったこと、

ロータのバランスはすべてダイナミックバランスを取るようになったこと、

軸の加工精度が各種の専用機械により向上したこと、などがあげられ、おそらく従来のモートルの加工精度に比べ数段向上していることに気づかれるであろう。

しかし、誘導電動機の振動、騒音の原因は多種多様であり、まだ多くの問題が残されているのでさらに研究を進めてご期待に添いたい。

参 考 文 献

- 1) 関野、白田、梶谷: カゴ形誘導電動機のみぞ組合せとスキューが磁気騒音に及ぼす影響; 「三菱電機」31 (1957) 4, p. 44~48.

電動機の運転と保守

本社 藤原辰二*

Operation and Maintenance of Motors

Head Office Tatsuji FUJIWARA

Induction motors, because of their relatively simple construction and easy operation, can be put to work on a wide variety of assignments both on the land and on the sea. The manufacturers are trying hard to produce the most appropriate patterns depending on the required characteristics or conditions in specifications. The users, on their side, are taking pains in the operation and maintenance on their motors according to the surrounding conditions, the frequency of use, the age of apparatus and other varied factors. For instance, some of them may not need maintenance for a long time to come, whereas some may necessitate monthly or daily inspection. The problems concerning them are worthy of careful studies.

1. まえがき

最近の誘導電動機の用途は非常に広くなり、陸上はもちろん船舶においても動力として広く使用され、重要な役割を果している。構造的に比較的簡単であり、操作上においても複雑でないために、各方面にそれぞれの用途によって発達し、形式においても多種多様である。メーカーは特性上あるいは仕様の条件に応じて、需要者の要求にもっとも適合したものを作ることに苦心をしているが、使用者においても、周囲の環境、使用のひん度、老朽の程度などの条件から、長期にわたり保守不要で使用さしつかえないものから、毎日あるいは毎月の点検保守を要するものなどいろいろに分けられ、合理的な点検保守がなされている。有効適切な点検保守は、事故を未然に防ぎ、あるいは事故を最小限度に止めることになり、生産上の損失や機械の保修費などで経済的にも利益するところが多い。使用者は日常種々の事故に遭遇し、広い経験を持っておられることと思うが、メーカーとしての保守上の注意事項の一端を述べてご参考に供したいと思う。

2. 点検保守はいかにされているか

船とか大工場のように電動機の運転台数が数十台から数百台に及ぶところではとくに重要な大形機をのぞいては、運転員の受持ちは広範囲にわたり常時運転を監視することは困難である。また中央制御方式のところではすべて遠方操作で運転され運転員は計器盤の監視にとどまり事故は標示灯あるいは警報で報知されている。このような組織のところでは、工場別あるいは各セクションごとに、(1) 監視員をおいている(機械および電気の総合知識を必要とする) (2) 監視要則が作成されている(点検要目を指示する) (3) 電動機保守台帳を備えている(事故その他異状事項を記帳し定期手入の資料とする)監視員は、監視要則によって日常巡回点検をする(或る工場では数十台を担当している) 監視品は上記のように要

則によって計画的に行われ、なんらかの異状を発見した場合は保修係に連絡し処置をとっている。またとくに重要な大形機については数台にひとりの運転員が配置され、時間ごとに点検し、運転日誌に要点を記帳しながら監視されている。以上は或る工場の一例であるが最小限度の人員で有効に点検保守を行うためには各種機械の特性をもとにした監視要則によって能率よく行われている。

3. 点検保守の計画

一般汎用電動機から数千馬力の大容量に及ぶものもあり、その仕様によって形式もそれぞれ特長を有し多種類に及んでいる。また間歇的に使用するものから年中無休で運転されるものもあり、したがって長期無給油でさしつかえないものから1ヵ月に1回の補給油を必要とするものなどがある。

前者は特殊の使用条件によるものであり、一般に回転体である以上は軸受の摩耗、潤滑油の消耗、劣化はまぬがれない。また周囲の環境から受ける影響は大であり運転のひん度および周囲の環境、老朽の程度などから保守点検の計画は立てられなければならない。

(1) 間歇的に使用されるもの

工作機械、空気圧縮機、コンベヤなどのようなものは2~3年に1回の分解点検でもさしつかえないであろう。しかし休転が多いことは絶縁抵抗の低下の原因となるので、絶縁抵抗については日常の注意が必要である。

(2) 連続使用されるもの

24時間連続使用されるポンプ、ファンなどのようなものの電動機は年に1~2回の分解点検が必要であろう。しかし、容量、回転数、周囲の環境から経験によって判断しそれほど必要としないものもある。われわれの指針として中形機(約50 HP)以上のもの、または小形機高速のもの(四極、二極)については少なくとも年1回の分解点検、軸受の点検掃除を推奨している。

4. 日常の点検

(1) 音を聞く, (2) 臭気に気をつける, (3) 手触方法で各部の温度に気をつける, (4) 外観から判断する。聴診棒を準備するとよい。電動機の各部に当てて音響を聞くといろいろの複雑な音を聞くことができる。磁気音, 通風音, 機械的摩擦音, またころがり軸受の異状音などが感知できる。電動機が過負荷あるいは通風の防害, その他の事故で過熱した場合, ワニスのこげる特種な臭気を発生するので異状を感知できる。手触法で軸受部, フレームなどの温度を判断する。手のひらの感覚で長くさわっていられない温度であれば 50°C 以上の温度とみてよい。油面計の油が適當か, 油漏れの有無, スリップリング用ブラシの火花はないか, 周囲の環境すなわち通風を妨げられていないか, 水分あるいは油気が吸引されていないか, などを観察する。

5. 毎月の点検

(1) 潤滑油の劣化, グリースの劣化, 消耗, (2) 絶縁抵抗の測定, (3) スリップリングの摩耗, ブラシの摩耗, 短絡装置レバー用ローラの摩耗, 短絡スイッチ部の点検, など分解を要しない外部からできる点検掃除手入を行う。潤滑油は鉛物油が使用されるが使用中たえず金属面に接し, 空気, 濡氣, 熱などの影響を受けて次第に本質に変化を生じ黒褐色となり粘度が増加し粘調となってついに刺激性の悪臭を発生するようになる。この劣化の現象は湿度と時間が大きな因子となるが, 一般に 1 年に 1~2 回は取替えるのが無難である。グリースの劣化は潤滑油の場合と同様に, 濡度, 時間, 金属の摩耗粉や外部から水分や異物の浸入などによるものであるが, 劣化すると透明なグリースも次第に黒味がかった色調を呈し不快な臭をもつようになる。グリースの劣化は休転中にも起るものである。休転中のボールには薄い油膜となって付着しているが, グリース量の少ない部分が空気にふれるために酸化しボールにさびを生じることがある。またグリースが局部的に離漿現象によって油分が分離して石けん分がリテーナなどに固着していることもある。したがって長期休転した場合は一応点検を要しグリースの補給, あるいは取替えを行ってから運転すべきである。

6. 毎年行う点検

一般に重要な連続運転を要する電動機は少なくとも 1 年に 1 回の定期分解手入を予定すべきである。日常の運転で気付いた不良箇所はもちろん, 分解点検で発見された不良部分の補修を行い, つぎの 1 作間の運転に備えなければならない。

(1) 軸受関係

軸受, 油槽, ベアリングハウジングなどのよどれ。

(2) 電動機静止部

固定子鉄心のエヤーダクト, コイルなどに, 塵埃, 油気などの付着, くさびの移動あるいはゆるみ, ライナの移

動, コイルエンド間隔片の脱落あるいはゆるみ, コイルぐり糸のゆるみ, 切断, 変形, 亀裂, コイル絶縁物の劣化状態, 鉄心ダクトピースのゆるみ, 口出線の外傷, 亀裂。

(3) 電動機回転部

パイント線のゆるみ, 移動, はんだ付のはずれ, 絶縁物のはずれ, コイル接続線の遠心力による変形, コイルエンド接続部のはんだ付の状態, スリップリングのゆるみ, 絶縁の状態, コイルリード締付ナットのゆるみ, エンドリングの亀裂, ロータバーの溶接部の亀裂などを入念に点検する。

7. 軸受の点検

筒軸受, 割軸受については油隙を測定する。普通スクリミを使用するが, 割軸受の場合は鉛線を使用してマイクロメータによって測定したほうがよい。

7.1 油隙の目標

一般の電動機は小形機においては, はめあい基準 H_2e_2 中形以上のものでは H_2d_2 を基準としている。とくに大型機または高速機についてはその都度適正な油隙が指示されている。しかしあれわれの一般概念として(軸径 mm \times 1~1.5/1,000) を目標としている。油隙を小さくすれば機械的振動に対しては有利であるが, 高温になり焼付やすい。一般に低速大荷重のものは油隙を大きくして潤滑油粘度の高いものを使用する。高速小荷重のものは油隙を比較的小とし潤滑油は粘度の低いものを選ぶ。油隙の最大許容値についてはよく質問を受けるが, 新製品あるいは修理をした場合は(軸径 mm \times 1.8/1,000) を限度としている。また現地で保守上判断を要する場合は使用中なんら異状のないものであれば(軸径 mm \times 2~2.5/1,000) を限度として修理を勧告している。

7.2 すべり軸受の摩耗

軸受がつねに完全潤滑状態におかれていれば摩耗はほとんど問題にならないはずであるが完全潤滑は理想であって、摩擦面では多かれ少なかれ境界潤滑を伴って摩耗を生じているのである。ことに機械の始動時においては必然的に境界潤滑を伴って摩耗を生じている。また軸の表面仕上精度がわるいと軸受とのなじみがわるく軸受合金の摩耗を招く原因となる。

7.3 すべり軸受のホワイトメタル

一般電動機のすべり軸受にはホワイトメタルが使用されるが, 荷重と速度によってすず台ホワイトメタルと, 鉛台ホワイトメタルが使いわけられている。すず台メタルと鉛台メタルを比較するとつきのようになる。

(1) すず台ホワイトメタル

すずを主成分として, 銅 3~10%, アンチモン 3~15% を含有し堅さが鉛台メタルより大である。したがって重荷重に耐える耐粘性, 韧性が大で破損しにくい, 熱伝導率が大であり高速度機に使用する。すずの量の多いほど熱伝導度が大となり高温度でも性質があまり劣らない。軸に粘着することが少ない。銅, アンチモンを増加すれば堅さは増すがもろくなる。

(2) 鉛台ホワイトメタル

鉛を主成分とするすず5~20%を含有する合金である。軸になじみやすい。摩擦抵抗はすず台メタルより小さい。堅さがやや低い。耐摩耗性はすず台メタルより劣る。韌性、粘性はすず台メタルより小さいので激しい衝撃や振動のあるところには適さない。温度が高くなれば軸に粘着する恐れも多いが安価である。

以上の特性からすず台メタルは高速重荷重機に使用され、価格の点から下メタルにすず台を、上メタルに鉛台を混合して使用する場合もある。一般汎用電動機には鉛台ホワイトメタルが使用されている。

軸受の温度上昇をおこす熱源は軸受と軸との摩擦熱であって、これを少なくするために軸表面の仕上げをよくすることはもちろん同時に軸受とのすり合わせをよく行ってなじみをよくすることである。したがって軸受合金に要求される性質はまず柔かくて塑性の良好なこと、油とのなじみが良好であること、熱の伝導性が良好であることである。ホワイトメタルは多少の摩耗を生じてもなじみ易く焼付をおこさないというきわめて都合のよい材料である。

軸受の接触面はなめらかであり、また平坦でなければならない。機械加工の面はあらくて平坦な面であるが細かい凹凸があっても運転中に細かい凹凸は摩耗によって取去られるが平坦でないものは自然摩耗によっては平坦にならない。われわれがすり合せを行うのは平坦になるようを行うものである。つぎの各項は軸受過熱の原因となる。異状推力(マグネチックセンタ不良、相手方のファン、ポンプなどに押される) (2) すえ付心立の不良 (3) 振動過大 (4) 油止めが当る (5) 油隙不適 (6) 潤滑油の不良 (7) 軸受滑動面の仕上不良 (8) 軸頸の傷、さび (9) オイルリングの作動不良 (10) 軸電流などがある。

8. 玉軸受の点検

運転中軸受に異常があればただちに温度上昇、異音発生、振動増大などになって表われるから正常の運転状況を知つていれば、良、不良の判断はできる。異音についての表現は困難であるが、快適な音のうちによくリテナーの擦音がさえた金属音となって聞くことがある。グリースが不足した場合であってグリースを補給すれば直る場合が多い。玉軸受の過熱焼損の原因は次のとおりである。(1) 異状推力(マグネチックセンタ不良、ロータ軸の熱膨張による推力、相手機械に押されるなど) (2) すえ付心立不良 (3) 振動過大 (4) オイルシールの縮まり過ぎ (5) ハウジングとアウターレースのはめあいの不適 (6) 軸とインナーレースのはめあいがあまい、あるいは縮まり過ぎ (7) グリースの塗過ぎ、不足、劣化、塵埃異物の混入 (8) ハウジング内の塵埃、異物混入 (9) 軸電流などがあげられる。

温度、音響、振動に異常なればグリースの点検を行えばよい。グリースが乳化したり、鉛油分と石けん部が分離していないか、もし不良を認められたら、良質のグリースと取替えなければならない(当社では主としてシェ

ル社のアルバニア2を使用している)。グリース充填については軸受および軸受ハウジングを軽油で清掃して塵埃、異物などの混入しないように十分注意して入替える(玉軸受の取扱については次のボール・ベアリングの組立と分解について述べる)。

9. ボール・ベアリングの組立と分解

9.1 ボール・ベアリングの組立

(1) ボール・ベアリングの洗浄

開放形ボール・ベアリングを使用する場合には、ベアリング・メーカーで処理した防錆油または防錆グリースを完全に洗い落す。洗浄には軽油を用い、ガソリン・シンナなどは使用してはならない。この洗浄では防錆剤に含まれる塵埃も洗い落す役割を考え、使用する軽油はよく済過された清浄なものを用いなければならない。図9.1は当社で用いているボール・ベアリング洗浄装置である。すなわち、ベアリングをターン・テーブルの支持棒にはめこみ、ターン・テーブルをゆっくり回転させながら噴射状の軽油で外輪を回転させ洗浄するものである。しかし現場で実施するにはこのような設備は望めないから簡単に図9.2のような装置を用いる。容器は適当なものでよいからよく洗った上で清浄な軽油を入れ毛ブラッシュでゆっくりまわしながら防錆油および塵埃を洗い落す。毛ブラッシュはつねに新しいものを用い、毛が転走面にはいりこまないように注意しなければならない。

(2) ボール・ベアリングとシャフトのはめあい

ボール・ベアリングとシャフトとのはめあいは一般に表9.1が用いられている。とくに内径の小さいベアリ



図 9.1 ボール・ベアリング洗浄装置
Fig. 9.1 Cleaning device of ball bearings.



図 9.2 ボール・ベアリングの洗浄
Fig. 9.2 Cleaning a ball bearings.

グでははめあい縮しろの過大により内輪みぞの変形、ラジアル遊隙の減少をきたし、騒音、振動の原因になるだけでなく、いちじるしく寿命を短くすることがあるから注意しなければならない。はめあいの方法には下記がある。

表 9.1 ボール・ベアリングとシャフトとのはめあい表

内径区分 (mm)	公差記号	軸径 (μ)	ベアリング内径 (μ)
10~18	j 5	+5 -3	0 -9
18~30	k 5	+11 +2	0 -10
30~50	k 5	+13 +2	0 -12
50~80	k 5	+15 +2	0 -15

- ・焼ばめ法 開放形ボール・ベアリングにだけ適用
- ・圧入法 開放形、密封形、いずれのボール・ベアリングにも適用

a. 焼ばめ法

当社では内径 50 mm 以下のベアリングはほとんど密封形であるので焼ばめ法は中形以上に採用しているだけであるが、ここでは実施例として小形モートルで説明する。設備は図 9.3 に示す程度で十分である。

加熱油には清浄なトランス油を用いる。油はしばしばの使用によりごみ(とくに金属属性のごみは不可)の混入、酸化によりスラッジの発生などがあるから、1 回の使用ごとに油を済過することが望ましい。加熱油槽には一定温度が保たれるように、温度計および自動温度調節器をとりつけ、規定の温度で作業を行う。加熱温度は周囲温度+100°C とする。この温度はベアリングの内輪を膨張させて楽にシャフトにはいる程度にすればよいのであって不當に高くすると、ベアリング材料が鈍り寿命を短くするおそれがある。温度差を 100°C とすれば内径 25 mm のベアリングで公差上の最大の縮しろが予想される場合でも約 10 μ の隙間があるから楽に挿入できるはずである。

図 9.3 の装置を用いて加熱した後、図 9.4 に示すようにベアリングを入れたバスケットを油槽よりとり出し油切りをする。バスケット中のベアリングは外輪の両側をつかんで早くとり出し、ごみのはいらないようにしながら図 9.5 のように静かにシャフトへ挿入する。



図 9.3 ボール・ベアリング焼ばめ装置

Fig. 9.3 Shrink fit arrangement of ball bearings.

この場合“つかみ”はベアリングの両側、対象の位置でシャフトに直角にして、水平のまま、しづかに規定の位置におさめる。もし図 9.5 のような正しい方法でもうまくいかないときには、ベアリングの加熱温度が低いためか、ベアリングのこじれのためか原因をたしかめた上で作業をし直す。

“つかみ”だけうまく挿入できないときには、こじれたままあて金をしてハンマでたたき込むことがあるが好ましいことではない。

ベアリングを挿入し終ったならば図 9.6 のようにふたたびベアリングを軽油でよく洗浄する。

洗浄が終ったならば図 9.7 のようにきれいなヘラでグリースをベアリングの転走面に充填する。

グリースは図 9.5 のように使用しないときは密閉した箱に保管してごみ、水分、などがはいらないようにしておく。グリースが十分転走面に充填されたかどうか確認することは困難であるから、あらかじめ封入量をきめておくと便利である。表 9.2 にベアリング単体に封入すべきグリース量を示す。

ハウジングの空体積が相当にあるときには、ハウジングにもグリースを空体積のほぼ 1/3 充填しておくとよい。



図 9.4 ボール・ベアリング加熱装置

Fig. 9.4 Heating device of ball bearings.



図 9.5 ボール・ベアリング加熱押入方法

Fig. 9.5 Ball bearing heated and pressed in.

Fig. 9.6 Cleaning a ball bearing after shrink-fit.

ただしハウジング内のグリースは潤滑に必要なものでなく、グリースの排出防止と防塵に役立つものであることを知っておかなければならない。

b. 壓入法

圧入にはプレスを用いる方法と、ハンマでたたき込む方法がある。後者は万やむを得ない場合以外用いないほうがよい。

プレスによる圧入法を図9.8, 9.9に示す。図9.8は当社で使用しているベアリング圧入用プレスの外観である。すなわち、ロータをU形ブロックの上にのせ、高さを調整して、両側から同時にベアリングを圧入するものである。ベアリングとシャフトの締しろが過大であるとプレスの圧入圧力は一定であるので圧入不能は締しろ過大として排除しうる。

図9.9はハンド・プレスを用いる場合で図のように十分の注意をして実施すれば図9.8のような設備のない所

でも大過のない作業ができる。

いずれの場合にも押込みは必ず内輪にあて金をするべきであって誤って外輪から押込んではならない。

外輪から押込むと転走面に傷がつき騒音の原因となる。また図9.9の方ではロータをベッドに垂直に立て、ベアリングを垂直にして静かに一定

表 9.2 ラジアル・ボール・ベアリング・グリース充填量

軸受内径 (mm)	グリース充填量 (g)
10	0.2
15	1.0
17	1.3
20	2.0
25	3.5
30	5.5
35	8.0
40	12.0
45	15.0
50	25.0
60	30.0
70	45.0

ただし、軸受箱にもその空体积の約1/3のグリースを封入すること

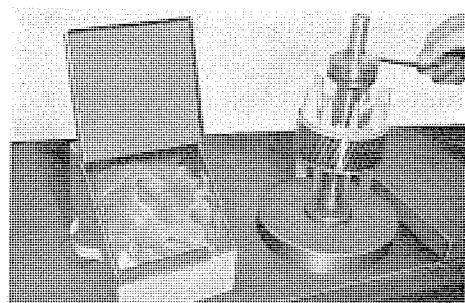


図 9.7 ボール・ベアリング・グリースの充填

Fig. 9.7 Grease filling of ball bearing.

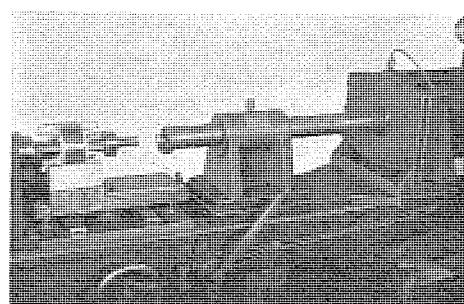


図 9.8 ボール・ベアリング圧入プレス装置

Fig. 9.8 Ball bearing press-in device.

圧力で押込むことが必要である。押込途中障害を感じたならば作業を中止して、原因をたしかめなければならない。

図9.10は設備のない所でよく実施しているたたき込みである。この方法はベアリングに衝撃をあたえ、転走面に傷をつける恐れがあるので好ましくない。

やむをえず実施する場合にはロータを適当な支持台に固定し、ベアリングも軸と直角に入れ、内輪にあて金をして、木ハンマで無理をしないでゆっくりたたき込む。この際、あて金、ハンマなどから塵埃のはいらないよう十分注意しなければならない。

9.2 ボール・ベアリングの取りはずし

(1) プレスによるベアリングの取りはずし

ボール・ベアリングが故障して取替えるときには図9.11のようなプレスを用いることが望ましい。

すなわちロータをベアリング内輪で支持し、軸端から静かに押してベアリングを取りはずす。

この際ロータは手で支持しベアリングが抜けたときにロータが落ちないようにしておく。

この作業で注意しなければならないのは軸を曲げたり、軸端を傷つけたり、または軸の仕上を損傷したりしないようにすることである。

(2) 引抜き工具を用いるベアリングの取りはずし図9.12, 9.13はベアリング引抜き工具を用いる場合である。図のように引抜き爪をベアリングの内輪にかけ、ハンドルを回しながら、ゆっくり抜く。

この場合ベアリングが傾いたまま抜かないようにあらかじめよく引き抜工具をセットしておくことが肝要である。

9.3 グリースの補給

グリースの補給、または取替えに関しては十分な定説がないが一応の目安として図9.14を参考とされたい。

図9.14はベアリングを損傷しない程度の安全なグリースの寿命をとっているので、あるいはこれ以上の時間使

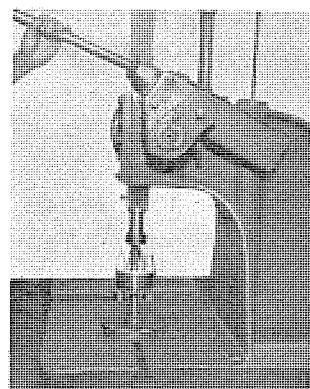


図 9.9 ボール・ベアリングのハンドプレスによる圧入

Fig. 9.9 Pressing in a ball bearing with a hand press.

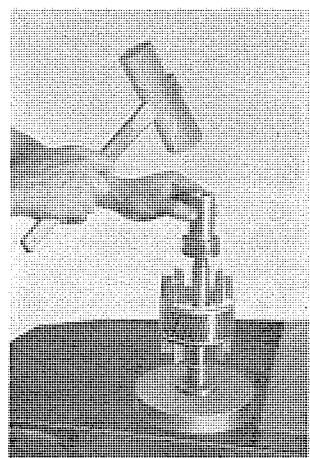


図 9.10 ボール・ベアリングのたたき込みによるはめあい

Fig. 9.10 Fitting a ball bearing with a mallet.

用しても異常がなかった経験を持つ向きもあると思うがこの図表を用いれば非常に安全であるという意味で利用していただきたい。

使用するグリースは一般用としてリチウム・グリース（たとえばシエル社のアルバニア・グリースなど）を用いるとよい。100°C 以上の高温、-20°C 以下の低温に対してはシリコン・グリース（たとえばダウ・コーニング社の DC.44M グリースなど）が適当であるが、潤滑性能が劣ることはあらかじめ知っておかなければならぬ。表 9.3 に各種グリースの性能比較を示したから参考にされたい。

劣化したグリースは完全に洗浄してから新しいグリースを充填することが望ましい。

劣化したグリースが残存していると、新しいグリースの性能が十分発揮できないのである。

しかしながら非常に分解が困難である場合には

図 9.11 ハンドプレスによるボール・ベアリングの取りはずし

Fig. 9.11 Removing a ball bearing with a hand press



図 9.12 引抜き工具を用いたボール・ベアリングの取りはずし

Fig. 9.12 Removing a ball bearing with a draw-out tool.



図 9.13 引抜き工具によるボール・ベアリングの取りはずし

Fig. 9.13 Removing a ball bearing with a draw-out tool.

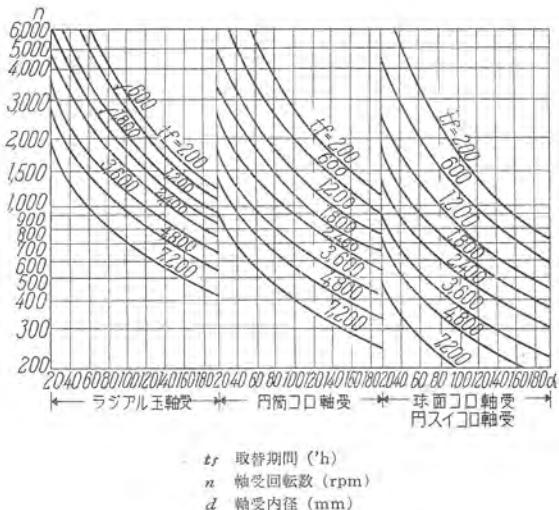


図 9.14 グリースの取替期間
Fig. 9.14 Refilling period of grease.

表 9.3 ベアリング・グリースの性能比較表

（各種で代表となるもの 1 種をとりあげた）

グリース名	境界摩擦係数	油膜強度 (指示圧力) (kg/mm ²)	耐摩耗性 (mm)	Stic-Slip	備考
ミリコン・グリース DC.44M	0.16	5.0	2.29	不良	耐熱、耐寒 耐水、耐候性あり
リチウム・グリース Alvania #2	0.14	6.5	0.59	良	耐水性あり 100°C まで使用可能
ソーダ・グリース SSM-250	0.144	7.0	0.89	普通	耐水性不良 80°C まで使用可能

図 9.15 または図 9.16 のように補給することもやむをえない。すべてのモートルにはグリースの注入口と排出口がつけてあるから図 9.15 のように注入口にグリース・ガンをあて、排出口を開いて、新しいグリースを圧入しながら老化したグリースを排出口から取り出す。

図 9.16 は外側ハウジングカバーをはずし、老化したグリースをヘラでとり出した上で新しいグリースを充填する様子を示したものである。

できうるならば図 9.15 より図 9.16 の方法が望ましい。モートルの分解が容易な場合にはロータをとり出し、図 9.17 に示すように軽油の中で毛ブラッシュを用いて老化したグリースを洗い落す。

しかる後図 9.17 に示した方法で新しいグリースを充填する。

なお当社の密封ベアリングのうち図 9.18 に示したものはクリップシールであるのでグリースが劣化したならば図 9.19 のように分解してグリースを取りかえることが可能である。

しかし密封ベアリングは外からの塵埃の侵入が少なく、グリースの漏洩もわずかであるので開放形に比し、グリースの寿命が数倍以上になる。したがって小形モートルで継続使用であれば約 10 年はグリース取りかえの必要はないと考えてよい。



図 9.15 グリース注入口を用いたグリースの補給

Fig. 9.15 Supplying grease through a grease filling hole.

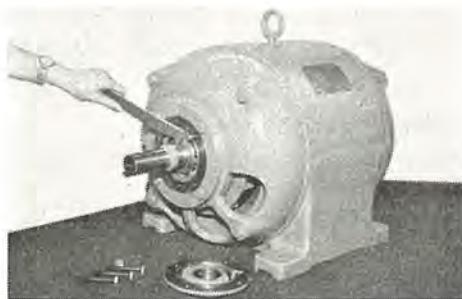


図 9.16 外側ハウジングカバーを取りはずしての
グリースの補給

Fig. 9.16 Removing the housing to supply grease



図 9.17 老化グリースの洗浄、除去

Fig. 9.17 Cleaning and removal of deteriorated grease.



図 9.18 密封ボール・ベアリングの分解要領

Fig. 9.18 Process of disassembling sealed bearing.

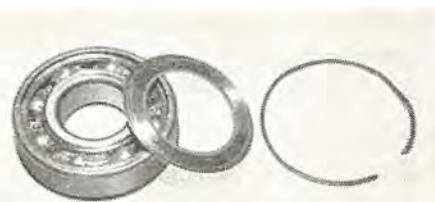


図 9.19 密封ボール・ベアリングの分解状況

Fig. 9.19 Disassembling of sealed bearing.

10. 潤滑油使用指針

油を使用する場合にもっとも注意を要する点は良質で適當な粘度の油を使用することである。良質の油を使用しなければならない高速度機に再生油を使用して失敗した例がよくある。現在では特定のものを除いては国産の一流銘柄のものであれば使用上心配はない。

10.1 油の選択

- (1) 抗酸化性の良いこと
- (2) 防錆性能の良いこと
- (3) 油性の良いこと
- (4) 発泡性の少ないこと
- (5) 残留炭素の少ないこと

10.2 使用の条件

油の粘度を適当に選択するためには、使用温度、回転速度、荷重の程度、などを条件として考えるが、電気機械には、大体つきの表 10.1 が適用できる。

表 10.1

使用温度 (°C)	dn	普通荷重		重荷重
		75,000	110 ダイナモ 140 タービン	
0~60	150,000	150	スピンドル	90 タービン
	300,000	60	スピンドル	150 スピンドル
	450,000	60	スピンドル	60 スピンドル
	75,000	180	タービン	同 左
60~100	150,000	180	タービン	同 左
	300,000	90	タービン 110 ダイナモ	140 タービン 110 ダイナモ
	450,000	90	タービン 150 スピンドル	90 タービン 110 ダイナモ

ただし d =軸径 (mm) n =回転数 (rpm)

上記は玉軸受、平軸受ともに使用できるが、ただし、 dn 75,000 以下の低速の平軸受では 250~650 ジーゼルエンジンオイルのようなきわめて粘度の高い油を条件に応じて選ぶ必要がある。

10.3 齧車関係

極低速の齧車やウォームなどはシリンダにモビールを

表 10.2 齧車関係

ビニオンの回転数	馬力	油	
		5 以下	90 タービン
2,000~5,000	5~20	140 タービン	140 タービン
	20 以上	140 タービン	200 タービン
2,000~1,000	10 以下	140 タービン	140 タービン
	10~50	250 ジーゼルエンジンオイル	250 ジーゼルエンジンオイル
	50 以上	350 "	350 "
1,000~300	20 以下	250	250
	20~75	350	350
	75 以上	450	450

混油して適當な高い粘度の油を使用する必要がある。

10.4 油使用上の注意

新しい機械の場合には油使用初期に機械内部や配管部分のごみやスラジなどにより汚染される恐れが多分にあるので汚染の程度にはとくに注意を払い運転後に油を全部かえる。つぎに1ヶ月後にふたたびかえる、などの注意が必要である。冷凍機のように配管部の長いものにはとくに留意を要する。

11. グリース使用指針

ころがり軸受に使用されるグリースとして要求される性質は次のとおりである。

1. 適当な稠度を有すること。
2. 温度の変化で堅くなりすぎたり溶け出したりしないこと。
3. 使用中磁油と石けんが分離しないこと。
4. ベアリングを腐食しないこと。
5. 機械的攪拌に対して安定なこと。

グリース使用については適當な稠度のものを適當な条件にあわせて使用すべきである。

11.1 種類の選び方

グリースには、カッブグリース、ファイバグリース、リチウムグリース、シリコングリースなどのほかに特定の用途に対しては数十種類のグリースがある。当社では潤滑性能、潤滑寿命、耐水性、耐熱性の諸性質にすぐれているリチウムグリースを使用している。

一般には表11.1のよう選択でよい。

表 11.1

モータの区別	グリースの種類	適用温度(°C)
小形汎用モータ	カッブグリース	50まで
中大形モータ	ファイバグリース	80まで
中大形高速モータ	リチウムグリース	100まで
高、低熱用モータ	シリコングリース	-70~200

11.2 稠度の選び方

各種グリースには柔らかいものと堅いものとがあり、これを稠度番数で区別している。普通もっとも多く使用されるのが250~300番である。われわれは経験の上から次の表11.2のように選んでいる。

表 11.2

温度(°C)	dn	稠度
0~40	80,000まで	300
	80,000以上	250~300
40以上	80,000まで	250~300
	80,000以上	250

ただし d =ベアリングの内径 mm n =軸の回転数 rpm

11.3 使用上の注意

工場ではグリースポケットに入れるグリースの量は約ポケット容積の1/2としている。グリースの量が多いと軸受の温度が上昇する。とくに高速電動機では影響が大きい。グリースの寿命は運転条件によって異なり高速機になるほど寿命が短くなるので、グリースの補給を一定期間に行わなければならない。したがってポケット内の

グリースの量が次第に増して温度が上昇することになる。この場合グリースを減らしてやらなければならない。当社においては年中無休で運転を必要とする電動機については、グリース補給口と排出口を設けてある。また補給期間と補給量を示した銘板を取付である。ころがり軸受の寿命は潤滑グリースの寿命によって左右されるので指定された期間に新しいグリースを補給することはころがり軸受の保守上重要なことである。

11.4 グリースの補給期間と量

グリースも或る期間運転してシヤーを受け温度の変化を与えると劣化するものと考えなければならない。このために dn 値に応じて何時間くらいの運転をしたならば、グリースを補給すべきかを決めたのが14表(SKF)のグラフである。横軸にベアリング内径を取り、縦軸に回転数を取る。この合致点のカーブによって数字を読みこれがグリースを補給するまでの時間を表わす。なお補給量は(SKF)ではごく少量となっているが、われわれの経験ではもとのグリース量の10~20%くらいでよい。

12. スリップリングおよびブラシ

スリップリングおよびブラシの異状磨耗については種々の学説があり、また実際に経験したことがあるが、おののの材質の組合せで最小限度にとどめることが研究されている。しかし一般にブラシの接触不良のため火花によることが多い。原因としてはスリップリング自身に偏心を生じた場合、電動機本体の振動が多い場合、ブラシと保持器箱のすべり作用が悪い場合などであり、接触不良によって火花を発生し一度リング表面に傷がつけば、加速度的にリング表面は荒れ、ブラシは急激に消耗されるものである。スリップリングの振れは工場では3~100 mm以内としている。電動機の二極、四極機ではまず2/100 mm以内の振動であればさしつかえないものとしている。ブラシと箱とのすきは0.05~0.30 mmに指定されているが、金属ブラシの場合温度上昇によって熱膨張も考慮すべきであり、また振動によってブラシの接触面がたたかれて塑型することもある。また箱内のカーボン粉が固化する。箱内面が電食で凹凸を生ずることもある。それぞれの原因を調査して修正を要する。ブラシ圧力は一般に200~250 g/cm²に指定されるが、圧力はブラシおよびリングの温度に影響があり、またブラシの摩耗の点からも最小値に調整したほうがよい。ブラシは消耗品であり、粉末となってスリップリング絶縁物の表面をよごすことはまぬがれない。これが原因で起動のときにリング間にアーキ短絡をおこすこともある。あるいはブラシの摩耗に気付かず接触不良の状態で起動してリング面を焼損することもある。また短絡スイッチの接触不良から局部過熱によって絶縁を焼損することがある。いずれも定期的の点検で注意すべき事項である。

13. 電動機の温度

電動機の温度はコイルの絶縁物によって適當な温度で

制限されている。したがって電動機の出力は温度によって制限をうけると考えてよい。一般に電動機は A 種絶縁および B 種絶縁が使用されている。A 種 105°C, B 種 130°C まではさしつかないのであるが、これは最高温度を表わしている。温度測定は(1)寒暖計による法、(2)コイルの平均温度を計る抵抗法、(3)サーモカップルによる法が使用されている(最高温度部分を計るのに最適であるが特殊電動機にだけ使用され一般には使用していない)が主として(1)(2)の方法が使用される。したがって最高部の温度とはいえないわけである。この点を考慮して JEC の規格では誘導電動機の温度上昇限度を次のとおり規定している(室温は 40°C 以内としてある)

表 13.1 JEC-37 (1950)

項	機械の部分	外被形の種類	A 種絶縁		B 種絶縁	
			温度計法	抵抗法	温度計法	抵抗法
1	固定子巻線	全閉形以外の形 全閉形	50 55	60 65	70 75	80 85
2	絶縁を施した回転子巻線	全閉形以外の形 全閉形	50 55	60 65	70 75	80 85
3	カゴ形巻線	すべての形			制限なし	
4	鉄心、そのほか機械的部品で巻線に近接した部分	全閉形以外の形 全閉形	50 55	— —	70 75	— —
5	整流子またはスリップリング	すべての形	65	—	85	—
6	ブラシ保持器、ブラシなど	すべての形			制限なし	
7	軸受	外部より測定するとき 40°C、メタルに温度計素子を埋入して測定するとき 45°C				

(備考) 1. 全閉形には全閉外断形を含み全閉内冷形を除く。
2. 水冷式、油冷式および全閉内冷形誘導機の温度上昇限度は本表を適用せず、そのつど特別の協定によるものとする。

すなわち A 種 90°C (寒暖計) 100°C (抵抗法)
B 種 110°C (寒暖計) 120°C (抵抗法)

と決められている。

電動機の温度は巻線の銅損、鉄心の鉄損、その他機械的損失による熱量と、通風冷却によって外部に伝導放散する熱量と平衡するまで上昇するものであるから通風については十分注意を要する。とくに塵埃の多い場所で使用される電動機では塵埃の蓄積によって通風孔がふさがり異常温度上昇を起すことがある。

14. 軸受の温度

誘導電動機の軸受温度については前に記載した JEC-37 に指示されている。すなわち外部より測定するとき 40°C メタルに温度計素子を埋入して測定するとき 45°C、外気温度を 40°C としての場合であるから最高許容温度としては 80°C および 85°C となるが、メーカーとしては特殊品以外は温度上昇 30°C 以内に納まるように設計しているのが普通である。一般に軸受の警報接点付温度計ではメタルの場合 70°C、潤滑油の場合 60°C にセットしている。油が高温になることは油の劣化を増進させることになるので一般に 70~80°C を最高とし 50~60°C 以下の温度で使用するのが安全である。

グリースの場合もほぼ同様に考えてよい。グリースの使用温度の限界はそのグリースの滴点の約半分くらいま

でというのが常識である。すなわちカップグリース約 50°C ファイバグリース約 80°C、リチウムグリースは約 100°C とみてよい。

15. 絶縁抵抗とコイルの保守

絶縁抵抗は普通 500 V メガーで 1 分間値で測定されるが電動機の保守で絶縁抵抗を高く保つことはもっとも重要なことである。絶縁抵抗の高いほどコイルが乾燥状態にあることを意味するが必ずしもこれだけで安心というわけではない。しかし接地に対する安心の目安となる。

測定値 $M\Omega$ はいくらあればよいかについては種々の算式で表わされているが、おののの結果は大同小異で定まってはいない。

$$\begin{aligned} \text{JEC} \quad & \frac{V}{(\text{kVA} \text{ または } \text{kW}) + 1000} \quad M\Omega \\ & \frac{V + 1/3 \text{ rpm}}{(\text{kVA} \text{ または } \text{kW}) + 2000} + 0.5 M\Omega \\ \text{NK} \quad & \frac{V}{\frac{\text{kVA}}{100} + 1000} \quad M\Omega \quad \text{などがある。} \end{aligned}$$

工場においては常温において高圧誘導電動機 5 MΩ 以上、低圧電動機 3 MΩ 以上を出荷時の最低目標と決めている。現地においては 1 MΩ 以下の場合乾燥手入を勧告している。絶縁抵抗は温度によっていちじるしく差を生じる。A 種絶縁の場合の特性として温度が 10°C 増せばその値が約 1/2 に減じ、10°C 減少すればその値は約 2 倍に増加するので絶縁抵抗値を検討するためには測定時のコイル温度を記録しなければならない。

絶縁破壊の原因としては、雷、スイッチングサーボ、系統中の事故などによる異常電圧、過熱、油、塵埃の集積、酸、アルカリ、塩分の浸入、吸湿、自然劣化、機械的損傷などがあるが、とくに休転中の吸湿、コイル表面に吸湿性の塵埃、カーボン粉、油気、塩分などの付着が絶縁抵抗を低下させる原因として多い。処置としてはコイル表面の清浄後乾燥すればよいが、さらにコイル表面のワニス処理を併用したほうがよい。また塩分、アルカリなどの浸入したものについては掃除後温水で数回のたきだしを行い乾燥後、ワニス処理を行う。塩分を含んだものは乾燥して一時は絶縁抵抗が上昇しても数日後にふたたび低下する現象があらわれる。またコイル表面の吸湿性塵埃を掃除しただけで絶縁抵抗が上昇したこともある。

15.1 コイルの清掃

洗浄剤には(1)四塩化炭素、(2)トロール、(3)ベンゾール、(4)揮発油などが使用される。四塩化炭素をのぞいては火気に対しては危険であるから十分取扱に注意を要する。掃除要領としては竹べら、木片などで塵埃を落す。上記の洗浄剤をボロ布に浸してよごれを拭き取る。細部についてははけ洗いをする、いずれの洗浄剤も絶縁ワニスを溶解するので手早く拭取る要領でやらなければならない。清掃後自然乾燥 5~6 時間行い、洗浄剤を十分蒸発させて後、熱気乾燥をする、乾燥は絶縁抵抗が上

昇し一定値に達してから約 12 時間乾燥をつづけて変化がなければまず十分乾燥ができたものと考えてよい。乾燥後さらにワニス処理をほどこす場合、当社製品で赤色ワニス処理のものがある。これは下地にサーモセッットワニスを使用したものであり、一般の W10, W20 などのワニスは併用できない。当社研究所から V601 として販売されているワニスを使用しなければならない。一般の黒点ワニス使用のものについては W10 あるいは W20 のワニスを使用してよい。いずれも約 2 倍に薄めて吹付あるいははけ塗をする処置後は自然乾燥 5~6 時間くらいあるいは熱風 90~120°C 以下で 3~5 時間乾燥すればよい。

16. 乾燥方法と一般注意事項

乾燥方法としては真空乾燥がもっとも効果的であるが、一般に現地で行われる方法は、(1) 热風乾燥、(2) 電流乾燥、(3) 電熱あるいは炭火による乾燥、(4) 電球乾燥などが行われている。いずれの場合も被乾燥電動機を開放の状態とする。外側を板、鉄板、キャンバスのようないもので囲い熱の放散を防ぐ。またこの囲いの一方は適当な個所に機器から出る水分を含んだ空気を排出する排気口を設ける。また温度を監視するために熱気の入口、排気の出口、機器の最高温度になる個所に温度測定用寒暖計を取付ける。以上の準備によって乾燥した熱気を囲いのうちに送り機内の湿気を除去するのである。

16.1 一般注意事項

- (1) 局部的加熱にならないように注意をする。
- (2) 湿気を多量に吸収しているとき急速に温度をあげると蒸気圧力で絶縁を破ることがある。
- (3) 導体に電流を通して加熱したほうが内部から温度が上り表面に湿気が凝結しつつ外部に移動するので効果的である。しかし浸水した電動機のように絶縁抵抗がいちじるしく低下したものについては危険である。
- (4) 乾燥には換気が必要である。
- (5) 温度については完全な装臵の乾燥室であれば 110°C まで温度をあげてよいが、応急的な装置の場合安全をみて低目の温度で行う。最高温度は寒暖計で約 80°C サーモカッブルで 90°C で時間をかけて行う。
- (6) 一般に温度一定になるまで 30 分間に 1 回の温度を記録、絶縁抵抗は 2 時間ごとに測定する。絶縁抵抗は吸湿の程度、乾燥温度によって異なるが乾燥直後は次第に低下し、ある時間のち次第に上昇はじめついに一定の値に達するが、一定値に達して後約 12 時間同じ状態で絶縁抵抗が変化しなければまず完了したとみてよい。所要時間は種々の条件で異なるが規定温度になってから 40~100 時間を要する。

16.2 热風乾燥

抵抗器をヒータとして熱風は送風器で押し出す装置のもので 10 kW 程度のものがあれば便利である。温度の調節ができる、空気がよごれない、運搬に便利である、冷却用にも使用できる、など便利であるが温度の調節は風量で行われ、乾燥中送風機が停止すると抵抗体は過熱するので危険であるから、被乾燥機から最小限度 1 m 程度の間隔をおき送風管にはアスベストシートを張付けたほうがよい。熱風の出口の温度を 100°C くらいにおさえ熱風が直接コイルにあたらないように注意する。コイル温度最高 80°C、鉄心の温度 70~80°C におさえて乾燥を行う。

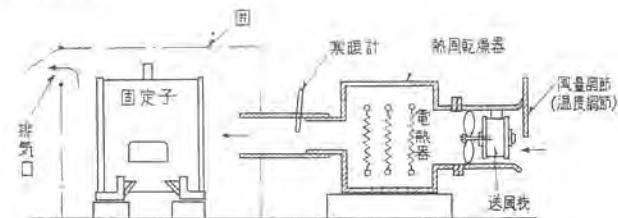


図 16.1 热風乾燥

Fig. 16.1 Hot air drying.

注意 热風乾燥または乾燥室に入れて乾燥する場合、電動機を組立てたままで行なうことがあるが、コイル以外の軸受部も同時に加熱されることとなるので乾燥終了後はかならず潤滑油あるいはグリースを新しいものと取替えなければならない。

16.3 電流乾燥

電動機を組立てたままで短絡電流を流して行なう方法である。巻線形電動機では二次側を短絡する。回転子が回らないようにロックする。規定電流の約 1/2 程度の電流を流す。一般に誘導電動機の短絡電流は 6~8 倍であるから規定電圧の約 1/16 の加電で短絡電流値は規定電流の約 1/2 となる目安である。3,000~3,300 V の高圧電動機であれば約 200 V の電源で使用できるが 440 V あるいは 220 V の低圧電動機では 14 V あるいは 24 V の電源を必要とし誘導電圧調整器が必要である。

16.4 短絡電流乾燥の場合の注意

- (1) 回転子のパインドワイヤがリーケージフラックスによって過熱しはんだを溶解する恐れがある。とくに注意を要する。
- (2) 回転子が回らないように完全にロックする。
- (3) 電動機内部の通風をよくする（全閉形は適用できない）
- (4) 温度計を鉄心、コイル、パインドなどに取付け最高温度 80°C でおさえるがよい。もし温度が上がりすぎる場合は電流を断ち温度の調節を行う。温度が一定となるまで各部の温度に注意をはらい 20~30 分間に 1 回の温度を記録したほうがよい。
- (5) 直流を流して乾燥することもできるが、スイッチを入れる時あるいは切るときの誘導作用で高電圧を誘起するので徐々に電流を増減できる装置が必要である。
- (6) 低圧電動機において所用の電源が得られない場

合は無負荷運転を行えばほぼ目的は達せられる。ただし浸水電動機の場合のようにとくに不安な場合はいざれかの方法で乾燥を行った上、無負荷運転を併用すれば効果的である。

16.5 電熱、炭火乾燥

いずれも直接熱を利用する方法であるが局部的に加熱されるので注意を要する。

とくに熱気が直接あたらぬように遮へい板をつけなければならない。温度調節は電気抵抗器の切替えで行うが、炭火の場合は困難である。一般に火槽に火を起し個数で加減する。温度については最高部 80°C 位におさえるのが安全である。

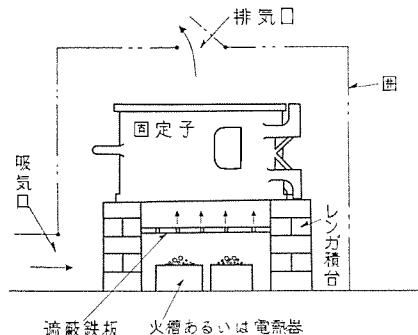


図 16.2 炭火乾燥
Fig. 16.2 Charcoal fire drying.

16.6 電球乾燥

100~300 W の白熱電球を数個使用して小容量の電動機であれば乾燥ができる。電球の配置および個数については効率を考えて決める。比較的安全な乾燥法であり船舶などで行われている。

赤外線電球による乾燥は熱源からの放射熱によって加熱するもので、簡便で高効率のため多く使用されている。装置次第では大形の乾燥室にも使用されるが、現地では主として局部乾燥に使用されている。市販品として 250~500 W のものがある。

16.7 海水ならびにどろ水に浸った場合の応急手当

- (1) まず清水で入念に塵埃、泥土などを洗いおとす。
- (2) 洗浄剤四塩化炭素などを使用してコイル表面の油気を拭取る。
- (3) 機器をタンクに納め清水を入れる。清水は機器を没する程度の量が必要である。
- (4) タンクの水を 80~90°C の温度にあげて水を攪拌する。温度を上げるためにタンクの下に火気を入れるか、蒸気をパイプで吹込む方法をとる。水が循環する装置にすればなおよい。
- (5) 水が規定の温度になったら 3~4 時間して新しい水と取替える。
- (6) 上記の方法を 3~5 回繰り返し塩分の検出を行う。塩分を含まないどろ水だけの場合は煮沸して水が濁らなくなったらそれでよい。まず 2 回くらいでよい。
- (7) 塩分検測ができない場合は余裕をとり 6~8 回

清水を取替えればほとんど完全に塩抜きができる。

- (8) どろ水だけの場合汚損の程度によって (2) 項までとしてもよい。
- (9) 塩抜き後乾燥を行う。乾燥は温度容量によっても異なるが 100°C 前後で 2~7 日間を要する。最後は 4 時間ごとに絶縁抵抗を測定して 12 時間以上安定すればよい。絶縁抵抗は乾燥終了後常温で 1 MΩ 以上であればよい。
- (10) 乾燥終了後規定のワニス処理を行う。ワニス処理後ふたたび乾燥をする。
- (11) 塩分の除去の検査をする。処置終了後数日間(最小限 2 日間) 放置して温度に対する絶縁抵抗の変動状況を調査する。もし急速に低下するようであれば塩分の除去が完全でないことを示している。ふたたび塩出しを行わなければならない。

17. 直結心立て

軸受の寿命を長く保証するためには電動機と駆動される相手機械とを正しく心立てることが必要である。機械メーカーや造船所においてダイヤルインジケータおよびスキミなどを使用して正確な心立てが行われている。機械と共に台板の場合は心立て後電動機と台板の面とに合くぎを入れてあり、修理とかその他の理由で電動機を取りのぞいた場合も合くぎを正しく入れることで心立ては簡単にできるようとしてある。機械メーカーの工場で一応直結運転をなし良好と認められたものが、船あるいは工場の現地にえす付けられてから振動を発生したり軸受が過熱したりの不具合を起すことがある。これらの場合一応心立ての狂いを疑わなければならない。心立ての狂いは台板のすえ付けのひずみによって起ることが多い、メーカーの工場では水平な定盤の上で台板がすえ付けられ心立てが行われたにかかわらず、船あるいは工場現地の基礎の水平が正しく得られなかった場合、あるいはその逆の場合もありうる。また台板自身がひずみを起すこともある。このような場合は現地における再心立てを行うわけである。

心立ては下記のようにして行われる。

まず主体となる相手機械を台板上に水平に正しくすえ付ける。センタハイドについても電動機のセンタハイドを調べ、電動機にライナの敷しろを考えてすえ付けられなければならない。電動機は相手機械の完全なすえ付けが完了して後相手機械のカップリングを基準として心立てを行うのである。正しい心立てとは連結点において、

- (1) 軸が同心であること (カップリングの円が正しいこと)
- (2) 軸の中心線が平行であること (カップリングの面が平行であること)

以上の測定は 1,000 rpm 以上で運転する機械では円と面の狂いが 1/100 mm 程度までに調整することがのぞましい。したがってものさしや定木で心立てを行なうだけでは不十分で、ダイヤルゲージマイクロメータ 1/100 mm

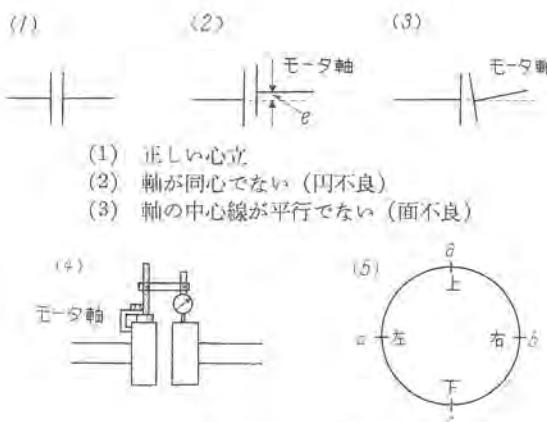


図 17.1 円の測定
Fig. 17.1 Measurement of circle.

または 1/1,000 勾配ゲージを用いなければ完全な心立てはできない。

17.1 円の測定

ダイアルインジケータを電動機のカップリングに取付ける（いずれでもよいが回転しやすいほうに取付けたほうがよい）カップリングの締付位置を示す合マークを合わせる。両カップリングを同じ位置に保って同時に 90 度ずつ回して上、右、下、左の四点のインジケータの読みをとる（5）。その読みを a 、 b 、 c 、 d とする（この読みは両カップリング自身の振れを含んだ円の振れの値で表われる）。

したがって心の狂い（ e ）は次のようになる。

$$e = \frac{a-c}{2} \quad (a > c \text{ の場合計器取付側が低い})$$

左右の心の狂い

$$e = \frac{b-d}{2} \quad (b > d \text{ の場合計器取付側が左寄り})$$

17.2 面の測定

同様にして上、右、下、左 90 度ずつ回して勾配ゲージでカップリングのすきを測定する。

その読みを、 a' 、 b' 、 c' 、 d' とする。面の狂い（ e' ）は次のようになる。

$$e' = a' - c' \quad (a' > c' \text{ の場合上開})$$

$e' = b' - d' \quad (b' > d' \text{ の場合右開})$ を意味する。

このようにしておののの狂いが 1/100 mm 程度になるように調整する。心立てを正確にすると同時に電動機のエンドプレーも加味しても振付ける。また振付後電動機の足を増締して再調査することも必要である。

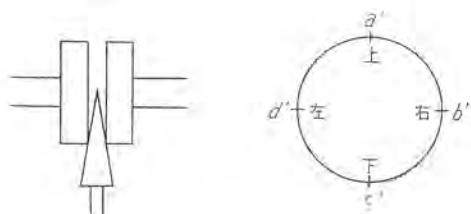


図 17.2 面の測定
Fig. 17.2 Measurement of surface.

一般に特殊電動機をのぞいて推力軸受は使用されていないので用途によって次のようなカップリングが選定されている。

（1）リジット（比較的ショックあるいは推力を受けることの弱い機械）

（2）フレキシブル

ギヤによるもの、ゴムビンによるもの（軸方向の延びに調和を要するもの振動あるいはショックを調和するもの）

皮帶によるもの、薄鉄板によるもの（振動を調和するもの）

ブーリ（適当な回転を必要とするもの、振動またはショックを調和するもの）

減速ギヤ（とくに回転力を要するもの、とくに高速あるいは低速を要するもの）

上記のように使いわけられるが相手機械の構造によって連結の場合おののの注意が必要である。

（1）カップリングの構造

（2）ペアリングの構造（すべり軸受、ころがり軸受、スラスト軸受）

（3）スラストペアリングの有無（相手がポンプあるいはプロワなどのように推力を受けるものについては電動機のエンドプレーに注意を要する）

（4）負荷運転中の軸の延び方向（ポンプ、プロワのように軸長が長いものは電動機の反負荷側に延びてくる）

（5）相互の軸のジャーナルの径がとくに異なるもの

（とくに違う場合たとえば 1:1/2 のような場合あるいはすべり軸受ところがり軸受のおののを直結する場合、いずれもオイルフィルムを考慮して直結すべきである）

（6）相互の軸端のたわみ（ターボ発電機のようにとくに長いものなどたわみを加味した心立てを要す）

（7）軸受台の温度差によって負荷運転中に高さが変るもの（ターボ発電機あるいはガスプロワなどのようなものでは運転中の軸受台の温度差による軸心の変化を加味して心立てを行わなければならない場合がある）

心立てについては以上のような種々の条件のもとにとくに入念に行われる。

18. むすび

保守上的一般事項の一端を列挙したにすぎないが、現地での担当者の方になんらかのご参考になれば幸である。職務上見回り先で点検上の説明をすることがあるが、簡単に実行できない構造のものがときどきある。要するに点検保守の容易に行える構造に改めて行かなければならぬと思う。

なお本文記載の大半は長崎製作所の資料から抜粋したものである。玉軸受の分解組立については名古屋製作所からの資料提供によるものであり、両所関係者のご援助を感謝する次第である。

スーパー ライン A モートル

名古屋製作所 関 野 博*・小 野 勝 啓**

Superline A Motors

Nagoya Works Hiroshi SEKINO・Katsuhira ONO

“Superline A motor” is a general term given to a series of new three phase induction motors built small and light by Mitsubishi. The motors are of dimensions prescribed according to the JEM, and are designed in various types such as horizontal floor mounting and vertical and horizontal flange mounting with varied protective methods. Their pole number ranges from two to twelve. Success in turning them into small size and light weight has come from the progress of materials and the rationalization of design. The most marked is the employment of four way seal ball bearings free from maintenance and repair. Many special treatments, rigid quality control and a number of improvements in manufacturing process are needless to mention.

1. まえがき

米国の電機製造協会 NEMA が、長年使いたれた標準寸法を思い切って小形化し、新 NEMA 寸法として発表したのは、1953年(昭和28年)の秋であったが、1954年(昭和29年)の1月からいっせいに新寸法への生産切替えが開始された。当社は、わが国的新寸法は、新 NEMA 寸法となるべきことを主張し、電機工業会で新 JEM 寸法として決定される前に生産態勢を整え、1955年(昭和30年)6月、米国の生産開始よりわずか一ヵ年半の遅れで、わが国最初の新 NEMA 寸法による新形電動機の生産を開始した。この新しい標準系列の電動機を総称して、スーパー ライン A モートルとよぶことになったが、1956年(昭和31年)3月、電機工業会では新 NEMA 寸法を基礎とした新 JEM 寸法を発表した。この寸法は、インチ寸法をメートル寸法に換算した上端数を丸め、軸

端、ブーリなどは JIS との関係もあり、わが国独自のものとなった。したがって、この新寸法決定以前に生産開始された当社の電動機寸法とは一部相違ができたため、1956年(昭和31年)8月の製品より新 JEM 寸法に合わせるための改訂を行い、現在に至っている。したがって、スーパー ライン A モートル生産開始後約一ヵ年の製品は、以上の理由により異式寸法となり、使用者各位にご迷惑をかけたが、その間の事情ご諒察下され、ごゆうじよ賜わらんことをお願いする次第である。

なお当社は、スーパー ライン A モートル系列の開発、整備にあたり、各フレーム段階について、閉鎖防滴形、全閉外扇形を基本形式とし、横軸および立て軸、各極数について整備完了した上で、つぎのフレームに進むという方法をとったため、完了に多少の時日を要したが、生産開始以来4年目の本年秋に至り、ようやく最終段階である2,000フレームまでの整備を終り、生産態勢にはいった。

スーパー ライン A モートルの設計ならびに製作にあたっては、技術提携関係にある、米国ウエスチングハウス社の技術を逐次取り入れ、品質の向上に多大の成果をおさめつつあるが、とくに最近、全面的に採用を開始した広巾フォアウェイシールボールベアリングは、従来の並巾ゴムシール密封ベアリングの欠点を根本的に改良し



図 1.1 SB-A 形モートル
Fig. 1.1 Type SB-A motor.



図 1.2 SF-A 形モートル
Fig. 1.2 Type SF-A motor.

た新製品で、無保守を標ぼうする密封ボルベアリングの使用範囲を大巾に拡大し、需要家各位のご期待に十分答えるものと確信する。

本文では、スーパーイン A 系列電動機の全容ならびに、従来の製品に比較して、品質の上でとくにすぐれている点などについて紹介する。

2. スーパーライン A モータル系列

前述のように、当社の新形三相誘導電動機スーパーイン A モータル系列は、一般に新 JEM 寸法とよばれている JEM1110 に規定された床取付横軸形の電動機だけでなく、立て軸形および横軸フランジ取付形をも包含しており、さらに極数も、4 極、6 極にとどまらず、2 極から 12 極までの全極数に対する適用わく番も決定され、生産態勢を確立するに至った。これにより 2031 フレーム（30 馬力、4 極）以下の各容量、各極、各形式に關す



図 2.1
SB-A 形 1HP 4P 外観
Fig. 2.1
Type SB-A motor.



図 2.2
SF-A 形 3HP 4P 外観
Fig. 2.2
Type SF-A motor.



図 2.3
SB-V 形 7.5HP 4P 外観
Fig. 2.3 Type SB-V motor.

図 2.4
SF-V 形 3HP 4P 外観
Fig. 2.4 Type SF-V motor.



図 2.5
SB-F 形 1,300F 外観
Fig. 2.5
Type SB-F motor.

る顧客のご要望に対して、同一設計方針のもとに卓越した新形モータルを供給することができるようになった訳である。すなわち、スーパーイン A モータル系列の標準形式は、つぎのとおりである。

正 式 称 呼 当社形名

- (1) 床取付横軸閉鎖防滴形..... SB-A
- (2) 床取付横軸全閉外扇形..... SF-A
- (3) 床取付横軸全閉形..... SE-A
- (4) フランジ取付立て軸閉鎖防滴形..... SB-V
- (5) フランジ取付立て軸全閉外扇形..... SF-V
- (6) フランジ取付立て軸全閉形..... SE-V
- (7) フランジ取付横軸閉鎖防滴形..... SB-F

全閉外扇形および全閉形のフランジ取付横軸形は、立て軸をそのまま流用できるので、ここではとくに新形式としてはとり上げない。(1), (2) の 4 極、6 極ならびに(4)の 4 極、各容量の電動機は仕込生産されている。(1), (2), (4), (5), (7) 各形式の製品写真を図 2.1~2.5 に

表 2.1 各容量、各極数の適用わく番一覧表
(SB-A, SF-A, SB-V, SF-V, SB-F)

馬力 極数	2	4	6	8	10	12
1/2	910	910	1111	1111	1314	1318
1	910	1111	1114	1314	1318	1621
2	1111	1114	1314	1318	1621	1625
3	1114	1314	1318	1621	1625	1828
5	1314	1318	1621	1625	1828	2027
7.5	1318	1621	1625	1824	2027	2031
10	1621	1625	1824	1828	2031	—
15	1625	1824	1828	2031	—	—
20	1824 ※(1828)	1828	2031	—	—	—
25	1828 ※(2027)	2027	—	—	—	—
30	2027 ※(2031)	2031	—	—	—	—

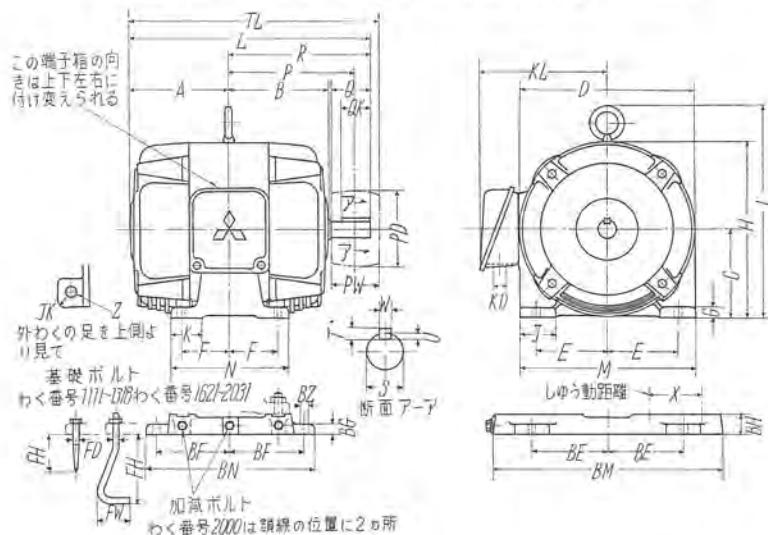
注 ※() は全閉外扇形 (SF-A, SF-V) のわく番号を示す。

示す。

つぎに各容量、各極数の適用わく番を表2.1に、各形式の外形寸法図を表2.2~2.6に示す。ただし表2.1の

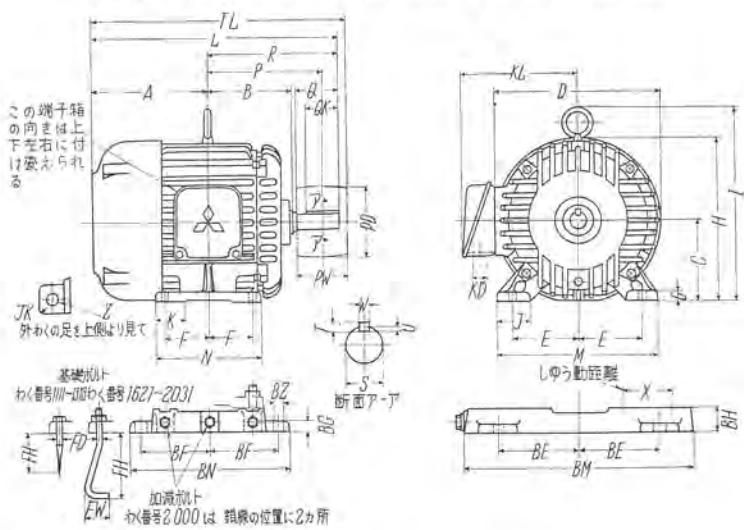
わく番適用表にはSE形は含まない。またSE-A形の外形寸法はSB-A形と同一である。

表2.2 SB-A形 スーパーライン三相誘導電動機
閉鎖防滴形 シールドボールベアリング付 カゴ形回転子 わく番号 910~2000



わく番号	電動機												軸端			ブリッジ			ベース			基盤ボルト																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	KD	KL	L	M	N	Z	Q	QK	R	S	T	U	W	P	PD	PW	TL	BE	BE	BC	BH	BM	BN	BZ	X	FD	FH
910 100 100 90 172 70 50 11 176	-	-40	3	35	25	136	245	180	130	9	40	38	145	16	5	3	5	137.5	75	65	270	70	90	12	30	235	212	12	40	9.5	64	-						
1111 122 122 115 225 95 55 18 227.5	-	-45	5	45	25	165	287	225	150	11	40	25	165	22	7	4	7	157.5	75	65	312	95	100	20	40	295	230	12	50	9.5	56	-						
1114 137 137 115 225 95 70 18 227.5	-	-45	5	45	25	165	327	225	180	11	50	35	190	22	7	4	7	177.5	100	75	362	95	115	20	40	295	260	12	50	9.5	56	-						
1314 150 150 135 260 110 70 20 265	315	50	6	55	25	185	370	260	180	11	60	45	220	28	7	4	7	197.5	125	75	365	110	120	20	45	350	280	12	60	9.5	56	-						
1318 170 170 135 260 110 90 20 265	315	50	6	55	25	185	410	260	220	11	60	45	240	28	7	4	7	230	140	100	450	110	140	20	45	350	320	12	60	9.5	56	-						
1621 205 205 160 310 125 105 22 315	381	65	6	70	35	260	500	310	270	15	80	65	295	35	8	4.5	10	272.5	140	125	540	125	165	25	50	400	370	16	70	13	121	53						
1625 225 225 160 310 125 125 22 315	381	65	6	70	35	260	540	310	210	15	80	65	315	35	8	4.5	10	292.5	160	150	580	125	185	25	50	400	410	16	70	13	121	53						
1821 230 230 180 350 140 120 22 355	421	70	8	70	35	280	560	350	300	15	90	75	330	42	8	4.5	12	305	160	150	610	140	185	25	55	450	410	16	80	13	121	53						
1828 250 250 180 350 140 140 22 355	421	70	8	70	35	290	600	350	240	15	90	75	350	42	8	4.5	12	325	230	150	650	140	205	25	55	450	450	16	80	13	121	53						
2027 255 255 205 400 160 135 25 405	482	90	8	85	35	305	625	410	350	18	105	85	370	48	8	4.5	12	360	280	205	720	160	210	30	60	530	470	19	100	16	146	80						
2031 275 275 205 400 160 155 25 405	482	90	8	85	35	305	665	410	390	18	105	85	390	48	8	4.5	12	380	280	205	760	160	230	30	60	530	510	19	100	16	146	80						

表2.3 SF-A形 スーパーライン三相誘導電動機
全閉外扇形 シールドボールベアリング付 カゴ形回転子 わく番号 910~2000



わく番号	電動機												軸端			ブリッジ			ベース			基盤ボルト																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	KD	KL	L	M	N	Z	Q	QK	R	S	T	U	W	P	PD	PW	TL	BE	BE	BC	BH	BM	BN	BZ	X	FD	FH
910 130 100 90 173 70 50 11 182	-	-40	3	35	25	145	275	180	130	9	40	30	145	16	5	3	5	137.5	75	65	300	70	90	12	30	235	212	12	40	9.5	64	-						
1111 165 122 115 240 95 55 18 235	-	-45	5	45	25	165	330	225	150	11	40	25	165	22	7	4	7	157.5	75	65	355	95	100	20	40	295	230	12	50	9.5	56	-						
1114 180 137 115 240 95 70 18 235	280	45	5	45	25	165	370	225	180	11	50	35	190	22	7	4	7	177.5	100	75	395	95	115	30	40	295	260	12	50	9.5	56	-						
1314 200 153 135 290 110 70 20 280	318	50	6	55	25	185	420	260	180	11	60	45	220	28	7	4	7	197.5	125	75	435	110	120	20	45	350	290	12	60	9.5	56	-						
1318 220 173 135 290 110 80 20 280	318	50	6	55	25	185	460	260	220	11	60	45	240	28	7	4	7	230	140	100	500	110	140	20	45	350	330	12	60	9.5	56	-						
1621 212 160 135 335 125 105 23 327.5	381	65	6	70	35	260	555	310	270	15	80	65	235	35	8	4.5	10	272.5	140	125	595	125	165	25	50	400	370	16	70	13	121	53						
1625 280 232 160 335 125 125 22 327.5	381	65	6	70	35	295	595	310	210	15	80	65	315	35	8	4.5	10	292.5	160	125	635	125	185	25	50	400	410	16	70	13	121	53						
1824 290 237 180 390 140 120 22 375	425	70	8	70	35	280	620	350	300	15	90	75	330	42	8	4.5	12	305	180	150	670	140	180	25	55	450	410	16	80	13	121	53						
1828 310 257 180 390 140 140 22 375	425	70	8	70	35	295	660	350	340	15	90	75	350	42	8	4.5	12	325	230	150	710	140	205	25	55	450	450	16	80	13	121	53						
2027 330 262 205 440 160 155 25 425	484	90	8	85	35	305	700	410	350	18	105	85	370	48	8	4.5	12	360	280	205	720	160	210	30	60	530	470	19	100	16	146	80						
2031 350 282 235 440 160 155 25 425	484	90	8	85	35	305	740	410	390	18	105	85	390	48	8	4.5	12	380	290	205	760	160	230	30	60	530	510	19	100	16	146	80						

表 2.4 SB-V 形 スーパーライン 三相誘導電動機
閉鎖防滴形立形 シールドボールベアリング付 カゴ形回転子
わく番号 910~2000V

わく 番号	電動機												軸端								
	B	D	IE	KD	KL	LA	LB	LC	LE	LG	LH	LL	LZ	LR	LW	Q	QK	S	T	U	W
910V	130	172	—	25	136	130	110	160	3.5	10	42	260	9	48	8	40	30	16	5	3	5
1111V	140	225	—	25	168	165	130	200	3.5	12	45	297	11	48	8	40	25	22	7	4	7
1114V	155	225	—	25	168	165	130	200	3.5	12	45	327	11	58	8	50	35	23	7	4	7
1314V	175	260	391	25	188	215	180	250	4	16	58	360	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1318V	195	260	431	25	188	215	180	250	4	16	59	409	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1621V	225	310	531	35	260	265	230	300	4	20	75	470	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1625V	245	310	571	35	260	265	230	300	4	20	75	510	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1824V	255	350	588	35	280	300	250	350	5	20	85	530	18	95	8	90	75	42	8	4.5	12
1828V	275	350	626	35	280	300	250	350	5	20	85	570	18	98	8	90	75	42	8	4.5	12
2027V	280	400	691	35	305	400	350	450	5	22	93	585	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12
2031V	300	400	691	35	305	400	350	450	5	22	93	625	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12

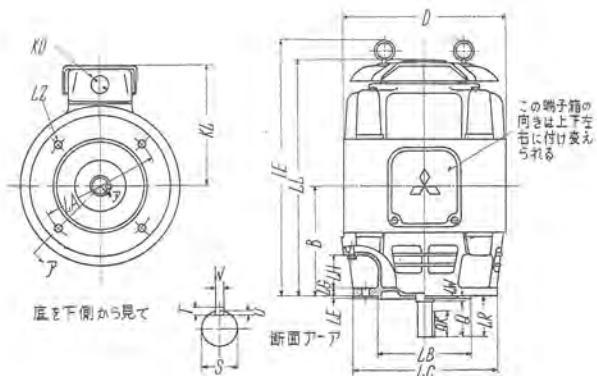


表 2.4 付 図

表 2.5 SF-V 形 スーパーライン 三相誘導電動機
全閉外扇形立形 シールドボールベアリング付 カゴ形回転子
わく番号 910~2000V

わく 番号	電動機												軸端								
	A	B	D	IE	KD	KL	LA	LB	LC	LE	LG	LL	LZ	LR	LW	Q	QK	S	T	U	W
910V	135	130	190	—	25	145	130	110	160	3.5	10	265	9	48	8	40	30	16	5	3	5
1111V	165	140	240	—	25	165	168	130	200	3.5	12	305	11	48	8	40	25	22	7	4	7
1114V	180	155	240	—	25	165	165	130	200	3.5	12	335	11	58	8	50	35	23	7	4	7
1314V	200	175	290	401	25	185	215	180	250	4	16	375	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1318V	220	195	290	441	25	185	215	180	250	4	16	415	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1621V	260	225	356	506	35	260	265	230	300	4	20	485	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1625V	280	245	335	546	35	260	265	230	300	4	20	525	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1824V	290	255	395	591	35	280	300	250	350	5	20	545	18	98	8	90	75	42	8	4.5	12
1828V	310	275	390	631	35	280	300	250	350	5	20	585	18	98	8	90	75	42	8	4.5	12
2027V	330	280	400	668	35	305	400	350	450	5	22	610	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12
2031V	350	300	440	701	35	305	400	350	450	5	22	650	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12

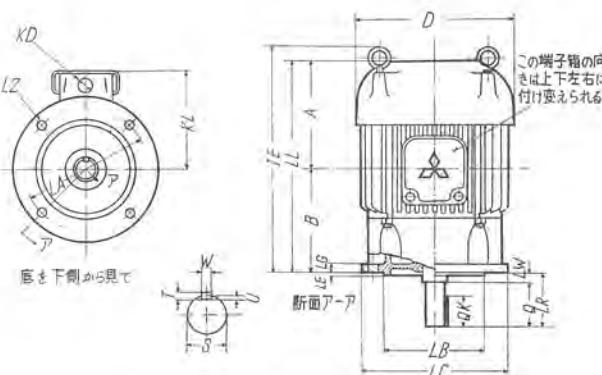


表 2.5 付 図

表 2.6 SB-F 形 スーパーライン 三相誘導電動機
閉鎖防滴形 L-50 フランジ付 シールドボールベアリング付 カゴ形回転子
わく番号 910~2000F

わく 番号	電動機												軸端							
	B	D	IE	KD	KL	LA	LB	LC	LE	LG	LL	LZ	LR	LW	Q	QK	S	T	U	W
910F	130	172	—	25	136	130	110	160	3.5	19	230	9	48	8	40	30	16	5	3	5
1111F	140	225	—	25	165	168	130	200	3.5	12	262	11	48	8	40	25	22	7	4	7
1114F	155	225	—	25	165	165	130	200	3.5	12	292	11	58	8	50	35	23	7	4	7
1314F	175	260	180	25	185	215	180	250	4	16	325	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1318F	195	260	180	25	185	215	180	250	4	16	365	15	68	8	60	45	28	7	4	7
1621F	225	310	221	35	260	265	230	300	4	20	430	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1625F	245	310	221	35	260	265	230	300	4	20	470	15	88	8	80	65	35	8	4.5	10
1824F	255	350	416	35	280	300	250	350	5	20	485	18	98	8	90	75	42	8	4.5	12
1828F	275	350	416	35	280	300	250	350	5	20	522	18	98	8	90	75	42	8	4.5	12
2027F	280	400	477	35	305	400	350	450	5	22	535	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12
2031F	300	400	477	35	305	400	350	450	5	22	576	18	113	8	105	85	48	8	4.5	12

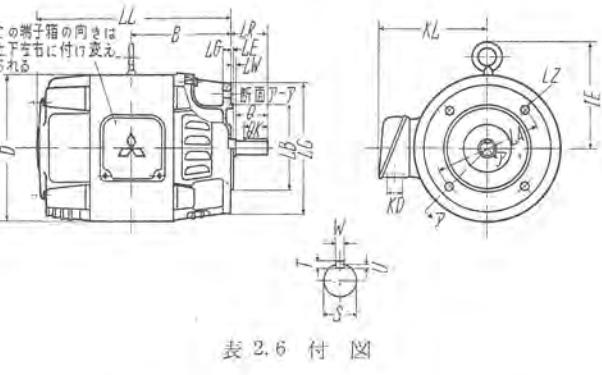


表 2.6 付 図

3. 設計の合理化

いちじるしく小形軽量化されたにもかかわらず、スーパーAラインモータの電気的特性および温度上昇は、JISC4201(1956)一般用低圧三相誘導電動機規格の特性ならびに温度上昇に、十分な余裕をもって合格すると同時に、とくにトルク特性、振動、騒音など、従前の製品よりはるかにすぐれたものとなっている。

小形化してなお特性のすぐれたものを作ることができたのは、使用材料のいちじるしい進歩と、それにもっともよく適合するように設計の合理化がなされたためである。すなわち、そのおもな点をあげると次のとおりである。

(1) みぞ形、固定子鉄心カシメ方式の改善により、有効磁路を増大し、磁気材料と導電材料の配分を適正にしたこと。



図 3.1 新旧モータ比較写真 (1/2 HP 4P)

(左)旧形 (右)新形

Fig. 3.1 Comparison of new and old motor.

(2) 固定子と回転子のみぞ数組合せの研究と実験により異常現象を除去し、トルク特性の向上、磁気騒音の低減を計ったこと。

(3) ダイカスト回転子に各種の特殊処理を施し、その欠陥を完全に除去したこと。

使用材料のいちじるしい進歩の例として図 3.2~3.5

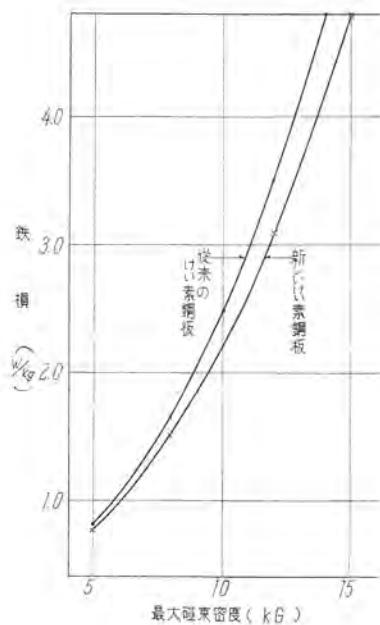


図 3.2
B 級相当新旧けい素鋼板鉄損曲線
Fig. 3.2 Iron loss curves of new and old silicon sheet steel, class B equivalent.

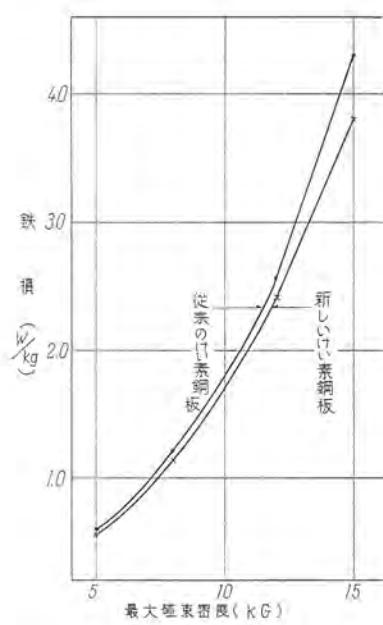


図 3.3
D 級相当新旧けい素鋼板鉄損曲線
Fig. 3.3 Iron loss curves of new and old silicon sheet steel, equivalent to class D.

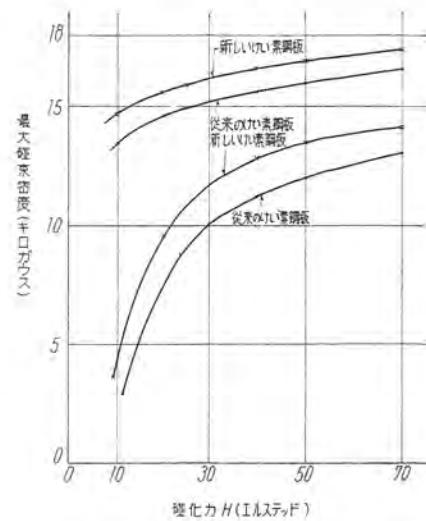


図 3.4
B 級相当新旧けい素鋼板磁化特性曲線
Fig. 3.4 Magnetization characteristic curves of new and old silicon sheet steel, equivalent to class B.

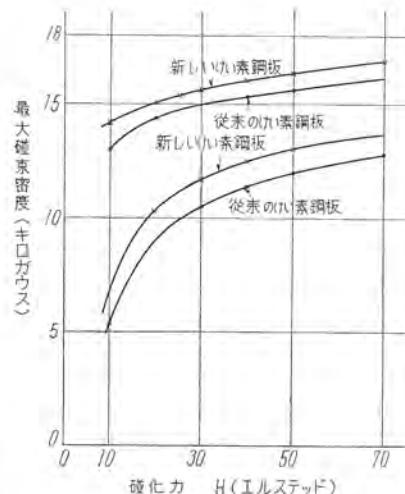


図 3.5
D 級相当新旧けい素鋼板磁化特性曲線
Fig. 3.5 Magnetization characteristic curves of new and old silicon sheet steel, equivalent to class D.

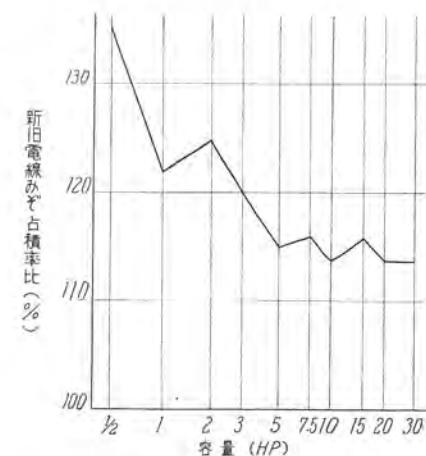


図 3.6
新旧電線みぞ占積率の比較
Fig. 3.6 Comparison of slot space factors of new and old wires.

(注) 新旧電線みぞ占積率比とは、同一みぞに収めることができ、合成樹脂焼付電線と二重綿巻（あるいは二重紙巻電線）との調査比をいう。



図 3.7
新旧固定子鉄心抜型
(左—新形, 右—旧形)

Fig. 3.7 New and old stator core punchings.

みぞ寸法の大巾な縮少は、みぞ絶縁物と導体絶縁の進歩により、導体のみぞ占積率が格段に良好となったこと（図 3.6 参照）、さらに銅と鉄の配分を改善して、従来よりもフラックスマシンの傾向をもたせて銅量を少なくしたことなど、設計の合理化に意を用いた所産である⁽¹⁾。

積層鉄心をカシメた状態は図 3.8 に示され、従来の鉄心背部の中心部でリベットカシメされていたものが、鉄心の外周部で山形のカシメ板を圧入することにより固定する方式に変更されている。この方式の採用により、鉄

心背部の磁路面積は増大し、小形のものでは鉄心外径が5%以上も大きくなつたと同じ効果を得ている。

みぞ形の縮少とカシメ方式の改善により、空隙径を大きくし、さらに歯部の磁路面積を増大させることができた。このようにして新しい鉄心抜型の各部磁路面積が増加している。

ことは明らかであるが、今この増加率を15%とするとができた場合を例にとって考えてみよう。この場合は、鉄心積巾を15%減少しても従来と同一磁路断面をもっているから、導体の断面および巻数を変更しないとすると磁束密度は同じで、励磁電流、鉄損は変らず、力率もほとんど変化しない。鉄心積巾の減少によりコイル巻形は小さくなり、抵抗やリアクタンスは減少する。したがってトルク関係は全面的に増大し、銅損は減少する。ゆえにこの電動機の定格出力を初めの出力より大きくすることができます。今この増加率をかりに5%とすると、15%のけい素鋼板の節約にもかかわらず、出力はかえって5%増すこととなり、結局同一出力の電動機を作る場合には、約20%けい素鋼板を節約して、しかも特性のほとんど変わらない電動機を設計できることが理解されると思う。

ここでは簡単のためにけい素鋼板の節約ということだけを説明したが、導電材料の節約もまたあわせ考えられることは同様にして類推できるであろう。その上けい素鋼板の特性自身が相当顕著に改善されているので(図3.2~3.5参照)，実際のスーパーラインAモータでは、小容量のもので30%以上、中容量のものでも15%程度電気材料を節約して、小形軽量化を達成し、しかも特性は従前のものにすぐるとも劣らないものとすることことができた。

みぞの底部を丸形とすることにより、みぞ絶縁物の損傷を受ける危険は少なくなり、同時に磁路長さの短縮による励磁電流と鉄損の減少を計っている。

図3.7の固定子鉄心と一組になる新旧回転子鉄心抜型を図3.9に示す。旧形は元来銅回転子用として設計されたものであるが、新形は最初からダイカスト回転子とするのに適するように、みぞ形が円滑な丸味を帯びている。

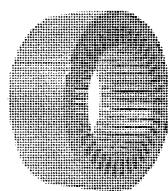


図3.8
カシメ後の固定子鉄心
Fig. 3.8
Stator core after
coating.

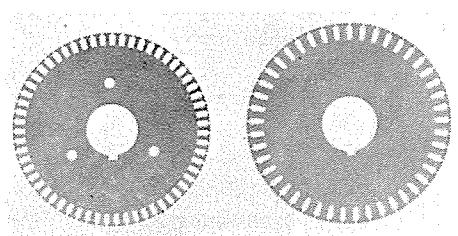


図3.9 新旧回転子鉄心抜板 (左一新形、右一旧形)
Fig. 3.9 New and old rotor core punchings.

表3.1 新旧モータル比較表 (4極)
(旧モータルに対する百分率であらわす)

馬力	1/2	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30
けい素鋼板	80	75	70	80	85	90	90	85	80	90
固定子導体	60	70	70	70	80	85	90	85	75	80
製品重量	75	88	85	80	85	90	90	90	85	85
起動トルク	105	100	110	105	110	105	110	100	105	98
停動トルク	100	102	102	100	100	103	110	105	105	100
最大出力	100	105	100	100	102	105	110	105	102	100

上述のように、フラックススマシンとしたことにより、固定子みぞと同様に回転子みぞ寸法も従来のものより縮少することができ、空隙径の増大により外径の大きくなつたことと相まって、磁路面積は固定子とつり合つた十分な大きさに増大されており、励磁電流の増大を防ぎ、なお内径を十分大きくして、軸の機械的強度に関しても不安がないよう考慮されている。

表3.1に、4極において従来のものを100%とした時の、新旧電動機の主要使用材料の重量比とトルク特性の比較を掲載する。

3.2 みぞ数組合せの選定

固定子と回転子のみぞ数組合せの選定が、その電動機のトルク特性、磁気騒音、磁気振動などに重大な関連をもつてゐることは周知のところであるが、未解決の問題も多く残されている。当社はこの問題についても長年にわたって理論的および実験的研究を続けており、結果の一部はすでに本誌上その他で発表されている⁽²⁾⁽³⁾。

スーパーラインAモータの設計にあたっては、数多くの経験とこれらの研究結果を十分活用して、もっともすぐれたみぞ数組合せを選定している。したがつて後述のダイカスト回転子の特殊処理法と相まって、円滑なトルク特性を有し、静謐な運転ができる製品となった。

トルク特性の研究には、スピードートルク直視装置が非常に大きな役割を果してゐる。図3.10にこの直視装置の外観写真を、図3.11に同一固定子に異なつたみぞ数の回転子を組合せた場合の、良否二つのスピードートルク曲線の例を示す。これらの詳細については別に発表されているので省略する⁽⁴⁾。

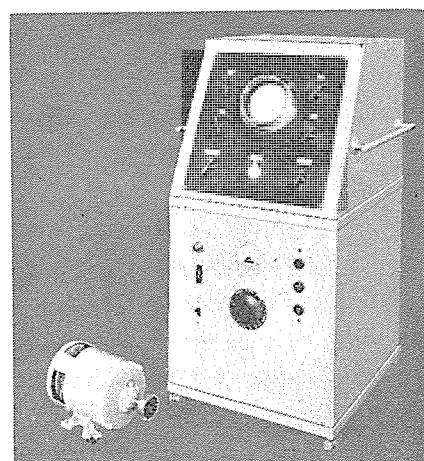
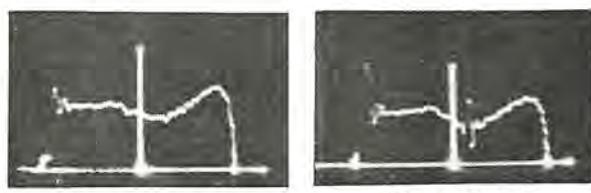


図3.10 スピードートルク直視装置外観
Fig. 3.10 Speed-torque direct viewing device.



(a) 良好的なもの

(b) 不良なもの

図 3.11 直視装置で見たスピードートルク曲線

Fig. 3.11 Speed-torque curves viewed with a direct viewing device.

3.3 ダイカスト回転子

スーパーライン A モートルの回転子は、すべてダイカスト法により、純度の高いアルミニウムを用いて、バー、エンドリング、ファンを一体に強圧铸造している。したがって銅回転子に比べて、軽くても機械的にも熱的にもきわめて安定である。さらに純度の高いアルミを用いているので、化学的におかされる心配もほとんどない。軸と鉄心は焼ばめにより完全に固定されている。図 3.12 に完成したダイカスト回転子の一例を示す。

回転子が完全に一体化されているために、容易にまた精密にダイナミックバランスをとることができ、しかもその後にバーの移動などによりバランスがくずれるような心配が全然ない。

しかしダイカスト回転子にも種々の欠陥のおこる危険がある。すなわち铸造圧力の不足あるいはその他の工作不良によるプローホール、極端な場合はバー切断をおこす。逆に铸造圧力過大によるアルミ流入のための積層鉄心間の絶縁不良およびみぞ内における導体と鉄心の密着によって、有害な多数の網目回路が形成され、漂遊負荷損の増大、トルク特性の低下などをひきおこすことである。



図 3.12 ダイカスト回転子

Fig. 3.12 Die-cast rotor.

これらの欠陥は、アルミの強圧铸造に伴う或る程度必然的な結果といわなければならないが、スーパーライン A モートルでは、つぎに述べるような特殊処理と厳密な試験を施行することにより、欠陥の除去に万全を期しているので、その概要を紹介する。

(1) 不良ダイカスト回転子の検出試験

(2) 漂遊負荷損の減少とトルク特性改善の特殊処理

a. 热的処理

b. 化学的処理

(3) スピードートルク曲線直視試験

不良ダイカスト回転子検出装置は、被試験回転子を駆動する駆動電動機と試験用固定子およびブラウン管より

なっている。試験用固定子は直流により励磁される励磁コイルとそれと適当な角度をもった位置に巻かれた検出コイルよりなり、検出コイルはブラウン管に接続されている。いま、回転子導体が正常であれば、検出コイルの誘起電圧波形も正常であるが、なんらかの欠陥があると波形に異常を生じるので、この状態を駆動速度と同期化させたブラウン管で直視することにより、ただちに不良回転子を検出して除去することができる。図 3.13 にこの装置で見た不良回転子の一例を示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

ダイカスト回転子の熱的処理とは、W 社の特許⁽⁷⁾による方法で、ダイカスト終了後の回転子をふたたび適当な温度まで加熱し、或る時間を経過した後冷却してアルミと鉄心の密着を除く方法で、この際同時に軸の焼ばめ作業を行っている。この処理法により漂遊負荷損の減少す



(a) やや不良なもの

(b) バー断線のもの

図 3.13 検出装置で見たダイカスト回転子

Fig. 3.13 Oscillogram of Die-cast rotor inspected.

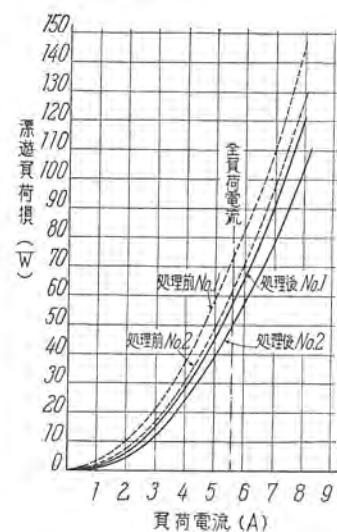


図 3.14

熱的処理による漂遊負荷損の減少
(2 HP 4 P 200 V 60 c/s)

Fig. 3.14 Decrease of stray power loss due to heat treatment.

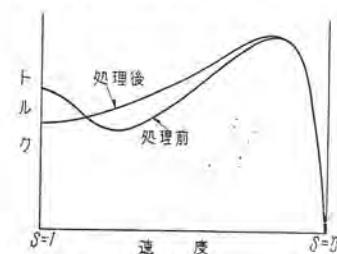


図 3.15 化学的処理によるトルク特性の改善

Fig. 3.15 Improvement of torque characteristic due to chemical treatment.

る状態を図 3.14 に示す。

化学的処理とは、ダイカスト回転子の外径加工終了後、特殊溶液に回転子を浸漬し、熱的処理と同様にアルミと鉄心の接着部を溶融、離脱させて、漂遊負荷損の減少、トルク特性の改善を計るものである。この処理によるトルク特性改善の状態を図 3.15 に示す。

上記のような試験と特殊処理を経たダイカスト回転子は、完成品として組立後、図 3.10 に紹介済のスピードートルク直視装置にかけられ、最後の良否判定をうけ、異常のないことが確認される。この間に精密なダイナミックバランスがとられ、機械的振動を極力小さく抑えることはいうまでもない。

ダイカスト回転子の

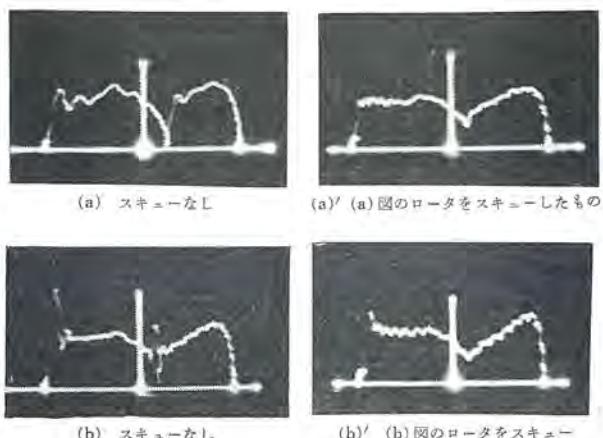


図 3.16 スキューによるトルク特性の改善

Fig. 3.16 Improvement of torque characteristic due to skew.

表 3.2 スキューによる電動機騒音の減少
(1 HP 4P 200 V 60 c/s 固定子みぞ数 24)

回転子 みぞ数	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
スキュー	45.5	44	55	40.5	36.2	47	60.2	52.8	44	48.8	55.8	54.5	44	46.6	50.6	45.7
無	45.5	44	55	40.5	36.2	47	60.2	52.8	44	48.8	55.8	54.5	44	46.6	50.6	45.7
有	37	40	47	35.6	38.7	44.2	45	45	—	40	44	44	40	44.5	43	43

注: スキューの程度は回転子みぞの 1 スロットである。

今一つの利点は、回転子みぞにスキュー(斜みぞ)を施すことが容易なことである。したがってスーパーライン A モートルの回転子はすべて、もっとも適当なスキューが施され、みぞ数組合せの適正と相まってトルク特性は一層改善され、さらに不快な磁気騒音を非常に小さくすることができた。図 3.16 にスキューによるトルク特性改善の例を、表 3.2 に騒音減少の実験結果を示す。

さらに大きな冷却用ファンをエンドリングと一体に鋳造したことは、回転子の熱伝導を良好にし、一般にもっとも温度上昇の大となるエンドリング部分の冷却をよくし、通風効果と冷却効果の改善をあわせ行うことができ、温度上昇の低減を計ることができた。

このように、スーパーライン A モートルの回転子は、欠陥が完全に除去され、しかもダイカスト回転子特有の幾多の長所を発揮するよう考慮されたきわめてすぐれた回転子で、従来往々にして起る危険のあった、バーとエンドリング間の損傷、あるいは鉄心歯部の破損などのような事故を、ほとんど皆無とすることができます。

4. 工 作

スーパーライン A モートルの機械加工法の改善もまた特記すべきものである。

フレームはまず鉄心はめあい部である内周面が加工され、前述の鋼板ストリップによりカシメられた固定子積層鉄心が圧入される。つぎにプラケットとのめあい部が、鉄心内径を規準として仕上加工される。したがってこのめあい部は固定子鉄心内径と完全な同心が保たれ、しかも精密な直角度をもたせることができる。

プラケットの加工法はさらに独特である。すなわち、初めにプラケットの外周を固定して、フレームとのめあい部およびベアリングとのめあい部が荒仕上げされ、引続いて円周上の突起部の加工が行われる。これは捨加工として使用されるもので、その写真を図 4.1 に示す。つぎにこの捨加工部を治具にめあわし、突起面をあてて固定し、フレームとのめあい部とベアリングとのめあい部とを同時に精密加工する。このために、加工時の取付ひずみがおこらず、また直角度も完全にもたせることができる。

フレームとプラケットをこのように機械加工することにより、組立後の回転子は完全に空隙の中心に位置し、ベアリングのコジレがなく、偏心が非常にわずかになることは明らかで、A モートルで空隙測定用の穴を除去したのも、空隙の偏心、不均一に關してなんらの心配がないためである。なお空隙測定穴を設けて、スキミゲージで実測した結果もきわめて満足すべきものであった。

プラケットのベアリングはめあい部は、ベアリング外輪外径と $10 \sim 20 \mu$ 程度の隙間をもったはめあいを選び、ベアリングのコジレをおこさず、異常音響の発生、寿命短縮などの危険を除くよう考慮した。このことはまた、分解、組立作業をきわめて容易にしている。捨加工部もまた、分解の際軽くハンマでたたくのに便利である。

5. 構 造

5.1 すぐれた保護方式



図 5.1 SB-A 形 フレーム

Fig. 5.1 Type SB-A frame.



図 4.1 プラケット突起部の捨加工
Fig. 4.1 Preliminary machining on lugs of bracket.

閉鎖防滴形スーパーライン A モートルのフレームは、図 5.1 に示すように完全な全閉構造の鋳鉄製で、各部の強度には十分の考慮が配られ、苛酷な使用に耐えることができる。プラケットは図 5.2 のように、円周の $1/4$ 部分に相当する底部だけに通風口をもつ鋳鉄製



図 5.2 SB-A 形 プラケット

Fig. 5.2 Type SB-A bracket.

である。したがって防滴形の必要条件である、鉛直面に對し 15 度以内の角度で落下する水滴に対してまったく心配のない構造であるばかりでなく、45 度以内の角度であれば侵入の危険がない。図 5.3 に注水試験の状況を示す。さらに通風口には 12 mm 以下の間隔で、当社独特のガードワイヤをついているので、通風効果をほとんど阻害することなしに危険な異物が侵入したり小動物、たとえばねずみなどの巣となるような危険を防止している。フレームが全閉構造であるので、壁取付、天井取付などの際も、ブラケットを 90 度あるいは 180 度回転させることにより、簡単に床取付の場合と同じ保護方式を完成することができる。図 5.4 に SB-A 形の各取付の状態を示す。

全閉外扇形ならびに全閉形はいずれも、図 5.5, 5.6 のように、フレーム、ブラケットとも完全な全閉構造の鋳鉄製であり、一般にもっとも弱点とされている軸貫通には、図 5.7 のように当社独特の合成ゴム製のフリンジャが軸に押込まれているので、軸を伝わって侵入しようとする水滴、その他の異物を遠心力作用によってはねとばし、密封効果は一段と強化されている。呼吸作用に対する処置としては、ブラケット下部にドレイン抜用のプラグをつけて万全を期している。

端子箱内部の構造は、1300 フレーム (5 HP, 4 P) 以下では図 5.8、1600 フレーム (7.5 HP, 4 P) 以上では図 5.9 のとおりで、1300 フレーム以下の全閉外扇形ならびに全閉形では、図 5.10 のように口出線引出部をゴム



図 5.3
SB-A 形の注水試験
Fig. 5.3
Wet flushover
test on type SB-A
motor.



図 5.4 SB-A 形の各取付状態
Fig. 5.4 Fitting of type SB-A motor.

スーパーライン A モートル・関野・小野



図 5.5
SF-A 形 フレーム
Fig. 5.5
Type SF-A frame.



図 5.6 SF-A 形 ブラケット
Fig. 5.6 Type SF-A bracket.



図 5.7 SF-A 形の軸貫通部とフリンジャ
Fig. 5.7 Shaft penetrating part and fringer.



図 5.8 1,300 フレーム以下の端子箱内部
Fig. 5.8 Interior of terminal box for frames below 1,300.

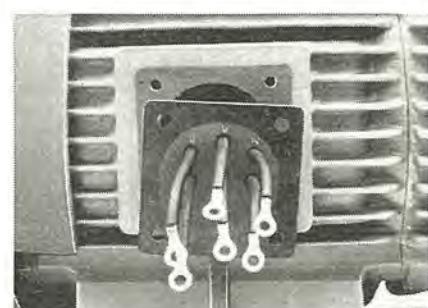


図 5.9 1,600 フレーム以上の端子箱内部
Fig. 5.9 Interior of terminal box for frames above 1,600.



図 5.10 1,300 フレーム以下 SF-A 形の口出線引出部
Fig. 5.10 Lead wire of type SF-A motor.

ブッシュにより密封する方式であり、1600 フレーム以上では端子板が口出線の固定と同時に密封効果をもあわせもった、独特の構造となっている。

5.2 フォアウェイシールボールベアリング

スーパーライン A モートルの軸受には、当初から密封ボールベアリングを採用し、従来の開放形ボールベアリングに比べ、保守の手間が省けるので好評を博してきた。しかし従来のものは封入グリース量が少ないので、電動機の容量が大きくなるにつれて、密封ボールベアリングといつても、ときにはグリースの詰替、補給を必要とする場合がおこってくる。これに対して、当社はボールベアリング製作者の協力をえて、実験研究を続けてきた結果、今回密封ボールベアリングの決定版ともいべき、画期的な新形、フォアウェイシールボールベアリングを完成し、全面的に採用しているので、その独自の構造とすぐれた性能について説明する。

(1) 構造

従来の密封ボールベアリングに比べ、構造上大きく異なる点は、ベアリングの巾寸法を広くして封入グリース量を増大したことと、シール機構を改良しラビンス方式とした点である。しかし巾以外の寸法はまったく同一であるので、従来のベアリングに併用されていた回転シールをとりはずせば、そのままフォアウェイシールボールベアリングに取替えることができる。図 5.11 は新旧ベアリングの装着要領、表 5.1 に寸法比較表を掲

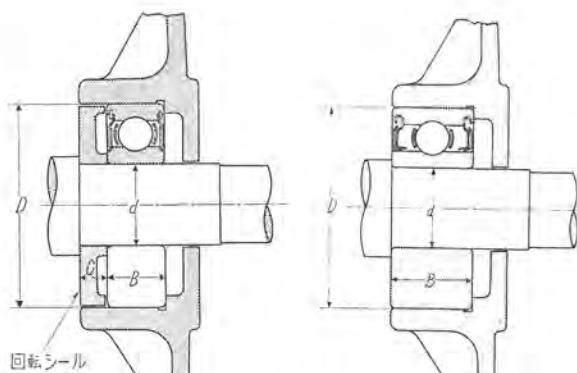


図 5.11 新旧ベアリング装着要領図
Fig. 5.11 Fitting state of new and old bearings

表 5.1 新旧ベアリング寸法比較表

(単位 mm)

内径 d	外径 D	フォアウェイシール ベアリング No.	巾 B	並巾 ボールベアリング ベアリング No.	巾 B	回転シール 巾 C
17	40	63203	17.5	6203	12	5.5
20	52	63304	22.2	6304	15	—
25	62	63305	25.4	6305	17	8.4
30	72	63306	30.2	6306	19	11.2
35	80	63307	34.9	6307	21	—
40	90	63308	36.5	6308	23	13.5
45	100	63309	39.7	6309	25	—
50	110	63310	44.4	6310	27	—
55	120	63311	49.2	6311	29	—

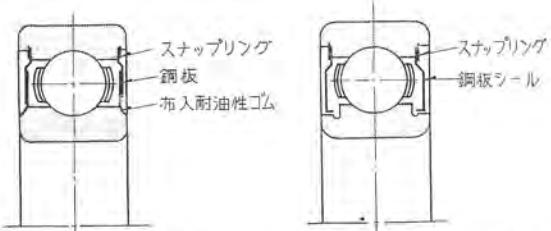


図 5.12 並巾シールドボールベアリング
Fig. 5.12 Sealed ball bearing of ordinary width.

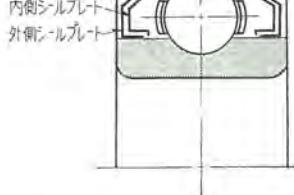


図 5.13
フォアウェイシールボーラーベアリング
Fig. 5.13
Four way seal ball bearing.



図 5.14
新旧密封ベアリングの外観
(左-新形)
(右-旧形)
Fig. 5.14
New and old
sealed bearing.



図 5.15
フォアウェイシールボールベアリング断面写真
Fig. 5.15
Cross section of
four way seal
ball bearing.

内側のシールプレートは外輪に固定された静止シールプレートであり、外側のシールプレートは内輪に固定され、軸とともに回転する回転シールプレートとなっている。静止シールプレートと回転シールプレートの間には、ごく狭い隙間が保たれ、長い完全なラビリンスを形づくっている。新旧ボールベアリングの外観比較写真を図5.14に、新形ベアリングの断面写真を図5.15に示す。

(2) 特長

a. 理想的なラビリンスシール

軸受の寿命を短くするもっとも大きな原因是、外部からの異物の侵入である。これを防ぐために種々のシール方式が考えられたが、数多くの実験研究の結果、摩擦が少なくしかもシール効果の大きい点で、このラビリンスシールがもっともすぐれていることが実証された。その理由はラビリンスを形成する2枚のシールプレートのうち、外側の回転シールプレートは軸とともに回転するため、遠心力により異物が内部に侵入することを防いでいるからである。この作用はフリンジャ効果とよばれており、内外2枚のシールプレートをおくことにより、初めて可能となったことである。フォアウェイシール方式が従来の方式(図5.12(a)のもの)に比べ、どの程度防塵性能がすぐれているかを表5.2に示す。

b. 十分なグリース封入量

すぐれたシール機構を備えていても、封入されたグリースの量が少なすぎると、グリースの老化が早められ、

表5.2 防塵性能試験成績

呼び番号	試料 No.	ラジアル遊隙(μ)		試験時間(h)	備考
		試験前	試験後		
6305	1	12~13	27~29	102	音響大となる
	2	12~14	23	121	"
63305	1	14~15	13~15	278	異状なし
	2	15~17	17~19	"	"
63306	1	14~17	15~16	272	異状なし
	2	—	—	—	—
63308	1	21	20~21	272	異状なし
	2	22	20~22	"	"

備考 防塵性能試験は200ならびに400メッシュの酸化アルミニウムの粉末の中に軸受を露出し、連續運転を行い、異常を生じるまでの時間を測定する。

潤滑性能を失い、ついには軸受の焼損事故を起こす。とくに電動機の容量が大きくなるにつれて、封入グリース量を十分多くする必要がある。そのためフォアウェイシールボールベアリングでは、とくにベアリングの巾を広くして、従来の約倍量のグリースを封入してある。なお使用中に封入されたグリースが漏れるようでは、十分その効果を発揮できないが、フォアウェイシール機構はすぐれたグリース漏洩防止性能を備えているので、封入されたグリースはすべて有効に利用される。図5.16に従来のものと比較したグリース漏洩試験結果を示す。

c. すぐれたグリース

ボールベアリングの潤滑において、すぐれたグリースを選定することはきわめて重要なことであり、とくにグリース封じ切りの場合には一層肝要となってくる。密封形ボールベアリング用グリースとして必要な条件は、潤

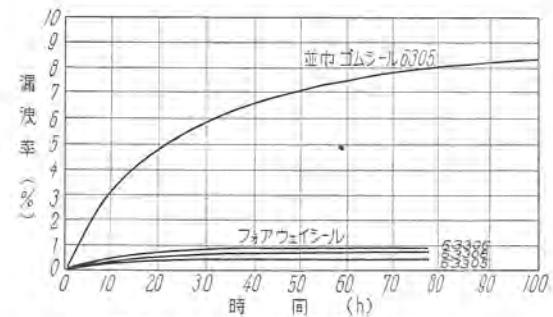


図5.16 グリース漏洩性能比較試験

Fig. 5.16 Comparison test of grease leakage rate.

表5.3 各種グリースの潤滑性および耐水性比較試験

グリース	試験項目	耐水性試験	
		油膜強度(kg/cm²)	気温20°C水中 30°C温水中 6.5分溶解度
国産ソーダグリース	7.0	溶解す	6.5分溶解度
輸入ソーダグリース	7.0	"	7分"
国産リチュームブリース	9.5	変化なし	変化なし
輸入リチュームブリース	6.5	"	"
シリコングリース	4.5	"	"
当社選定リチュームブリース	6.5	"	"

備考 油膜強度は曾田式四球試験器による値。

グリースの潤滑性能は油膜強度の大小により判定される。シリコングリースは他の性能はすぐれているが潤滑性が劣るのが欠点とされる。

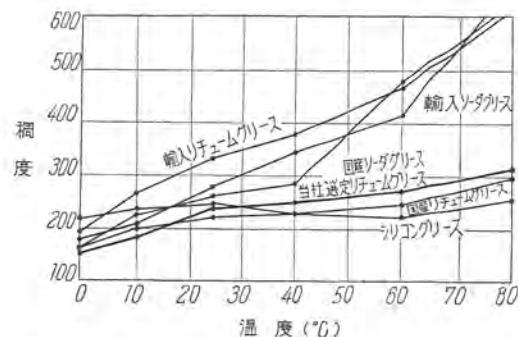


図5.17 各種グリースの温度による稠度変化比較試験

Fig. 5.17 Comparison test of viscosity changes of grease due to temperature.

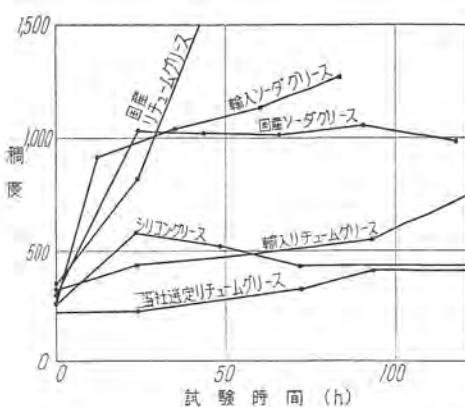


図5.18 各種グリースのローラーテスターによる稠度比較試験

Fig. 5.18 Comparison test of grease viscosity with a roller tester.

滑性はもちろん、耐湿性、耐熱性、耐老化性などがすぐれていることであり、フォアウェイシールボールベアリングに対しては、これら各種の性能がもっともすぐれたグリースが選定されている。表5.3に各種グリースの潤滑性能と耐湿性能の比較、図5.17に耐熱性の比較として温度による稠度変化、図5.18に耐老化性の比較としてローラーテスタによる稠度変化を示す。

d. 保守、手入れの不要なこと

普通の補給形ボールベアリングを装備した100台の電動機のベアリングの保守、手入れのために、1年間に約180時間が必要であるといわれている。しかもグリースガンの整備、適当なグリースの購入、保管、あるいはグリース補給の過不足による事故などを考慮しない場合のことである。これらのめんどうはフォアウェイシールボールベアリングを使用することにより、ほとんど除かれることとなる。とくに、床下、高所あるいは機械に組込まれる場合など、グリースの補給、分解組立がきわめて困難となるので、保守、手入れの不要なフォアウェイシールボールベアリングの効果が發揮される。

e. 長い寿命

ボールベアリングはきわめて精密に、またデリケート



図 5.19 プレロードスプリング

Fig. 5.19 Preload spring.



図 5.20 SF-A 形 ブラケットのバイパス部

Fig. 5.20 Bypass part of type SF-A bracket.

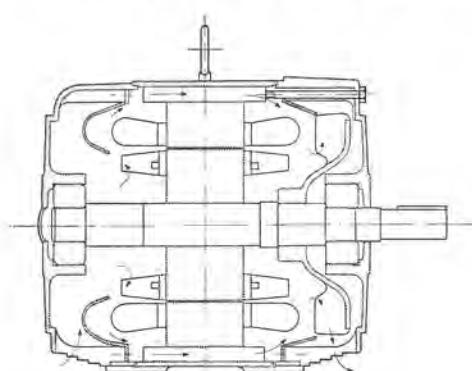


図 5.21 SB-A 形 通風方式説明図

Fig. 5.21

Ventilation system of type SB-A motor.

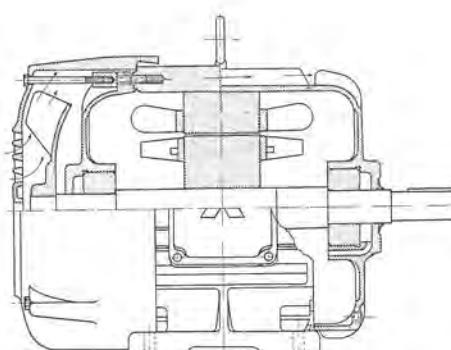


図 5.22 SF-A 形 通風方式説明図

Fig. 5.22

Ventilation system of type SF-A motor.

にできているので、装備、組立、すえ付の良否、あるいは負荷状況、環境、潤滑条件などによって、寿命は大巾に異なってくる。したがってボールベアリングの寿命をあらかじめ推定することは非常に困難であるが、フォアウェイシールボールベアリングは、需要家におけるそれらの影響が、できるだけ少なくなるように考慮が払われているので、従来のボールベアリングに比べ、格段に長い寿命を保つことができる。

5.3 軸受部の構造

軸受部の構造は、すでに図5.11に示したとおりで、ベアリング外輪とハウジングのはめあいは10~20μ程度の隙間をもっていて、コジレを起きないよう考慮されている。また反負荷側のベアリング外輪に接着して、図5.19に示すようなプレロードスプリングを装着して適当な予圧を与える、軸方向の遊びを制限し、さらにベアリングの異常振動を防ぐと同時に、外輪のクリープ現象をも防止している。

全閉外扇形および全閉形では、ベアリングを通じて呼吸作用を行い、グリースを汚損、老化させることがないように、図5.20のようにとくにハウジング部にバイパスを設けるなど、細心の注意が払われている。

5.4 通風構造

閉鎖防滴形の通風は図5.21に示すように軸流方式で、冷却風は回転子バー、エンドリングとともに一体に鋳造されたアルミファンにより、反負荷側ブラケットの下部から吸入され、内部の巻線、鉄心などを十分冷却したのち、負荷側ブラケットの下部から吐出される。電動機の容量、回転数によっては、負荷側にさらに吐出ファンを装着して風量を増し、つねに効果的な冷却を計っているので、小形化されしかも保護方式が強化されたにもかかわらず、温度上昇には十分の余裕をもっている。

全閉外扇形の通風は、図5.22のとおりで、小容量のものを除き、フレーム、ブラケットの表面に多数の放熱ひれを設け、反負荷側の外部ファンにより冷却風を電動機表面に吹きつけると同時に、内部はダイカストファンにより温度の均一化を計り、きわめて有効適切な冷却法となっている。

6. 卷線

スーパーラインAモータの巻線は、最近めざましく進歩した絶縁材料の使用と実験の裏付、すぐれた工作技術の駆使、完全な品質管理の施行によって、一段と信頼度の増したものとなっている。

電線として使用しているPVF線は、すでに1952年ころからSB

形生産の際に、他社に先がけて採用されており、その優秀な諸特性は実証されているが、その後逐次改良を重ね一層信頼度の高いものとなっている。

スロット絶縁としては、初め使用されていたワニスクロスと特殊ファイバ紙のコンビネーションペーパに代って、マイラポリエステルフィルムの使用を決定し、逐次切替えられている。

導体をみぞに収めた後は、当社独特の熱硬化性ワニスにより十分に処理されているので、耐熱、耐湿、耐薬品、機械的強度など、いずれも従来のものより一層改善され、実験電動機の結果から見ても、とくに耐熱寿命は相当増大し、苛酷な使用にも耐えることができる。図 6.1 に巻線終了後の固定子を示す。

巻線の品質管理としては、JIS に規定されている商用周波数の耐圧試験を施行することはもちろんであるが、

この他にとくに巻線絶縁度のプロセス、チェックとして、モータルの生産ラインにサージテストが取り入れられている。このテストは非常に精度がよく、従来の方法では検出できなかった故障も検出できるので、品質向上に大きな役割を果している。図 6.2 にこの装置の外観を、図 6.3 にこの装置にかけた巻線のサージ波形の例を示す。



図 6.1 巷線済固定子

Fig. 6.1
Completely coiled stator.



図 6.2 サージテスター外観
Fig. 6.2 Surge tester.

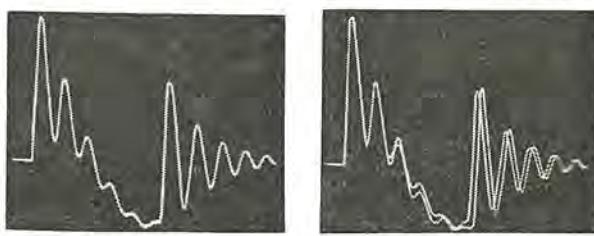


図 6.3 巷線のサージ波形
Fig. 6.3 Surge waveforms of coil.

す⁽⁸⁾。

7. む す び

以上述べたところを要約すれば次のとおりである。

- (1) スーパーライン A モータルにおける小形軽量化は、材料のめざましい進歩と、それに適合する設計の合理化により達成されたもので、あらゆる点で従来のものより一層すぐれた品質のものとなった。
- (2) 種々の新しい加工方法と特殊処理の採用、完全な品質管理の実施により、一層信頼度の高いものとなった。
- (3) 保守、点検の不要な、画期的フォアウェイシールボールベアリングを採用した。
- (4) 各形式、各容量、各極数の新設計系列が完成され、レイアウト、工作法の改善と相まって、量産体制が確立された。

現在、国内市場は、未曾有の設備投資景気の反動として、きわめて深刻な不況に見舞われている。ご承知のように電動機メーカーも、昨年度の生産設備拡張と合理化による生産性向上により、在庫過剰、供給過剰に悩んでいる。今後これらを解決する道は、品質の向上と原価の切下げにより、海外への進出をはかる以外にない。三菱スーパーライン A モータルは、以上述べたような数多くの特長をもった新製品で、国内需要家各位に広くご愛用願えるばかりでなく、海外市場への進出も大いに期待されている。幸い各位のご指導、ご批判を得て、さらに一層の品質改善を達成し、ご期待に沿いたいと念願している。

参 考 文 献

- (1) W 社特許 第 198960 号 「カゴ形回転子」。
- (2) 三菱電機 第 31 卷 第 4 号 関野、白田、梶谷 「カゴ形電動機のみぞ数組合せとスキューベーが磁気騒音に及ぼす影響」。
- (3) 電気四学会連合大会予稿 昭和 32 年 4 月 関野、白田、梶谷 「カゴ形誘導電動機のみぞ数組合せとトルク異常現象」。
- (4) 三菱電機 第 28 卷 第 12 号 白田、梶谷 「速度対トルク曲線直視装置」。
- (5) A. I. E. E. Technical Paper 1948 49~69 頁
L. C. Packer 「Die-cast Rotor for Induction Motors」。
- (6) 三菱電機 第 27 卷 第 8 号 白田、梶谷 「誘導電動機の回転子試験装置」。
- (7) W 社特許 第 190563 号 「誘導電動機回転子の製作法」。
- (8) 三菱電機 第 31 卷 第 5 号 大野、梶谷 「サージテスターによる小形誘導電動機の絶縁試験」。

最 近 の 大 形 誘 導 電 動 機

長崎製作所 片山仁八郎*・田中義孝**・高原洋介**

The Latest Large Induction Motors

Nagasaki Works Nihachiro KATAYAMA・Yoshitaka TANAKA・Yosuke TAKAHARA

The latest industry has turned into so large a scale that associated equipment is also demanded to be of a huge capacity and size. A giant induction motor with a high capacity and high speed is one of answers for need. Mitsubishi once built a 25,000 HP 400 rpm motor during the war and is now building a 24,000 HP 750 rpm wound rotor type motor based on the experience. The manufacture of a high speed giant machine involves a number of new problems which have never come across for small motors. The design, materials and construction must be viewed from an entirely different angle in the past.

1. まえがき

各種工業の規模の拡大に伴い、使用される誘導電動機の単機容量もここ2,3年の間に飛躍的に増大し、今や10,000 HPをこえた大容量機が要求されるようになってきた。誘導電動機は構造が簡単で、がんじょうで、信頼度が高いという点から大容量機には最も適した電動機といえる。大形誘導電動機は主として圧延機、巻上機、ポンプ、送風機用として使用され、とくにポンプ、送風機

用としては高速度の場合が多い。

2. 大形誘導電動機の各部の構造

2.1 固定子部分

(1) 外わく

外わくはすべて鋼板溶接製としている。外わくは電動機内部の保護、冷却風路の構成を行うとともに、電動機全重量の支持、鉄心の締付支持、回転反力の支持を行わなければならない。この点、溶接鋼板製外わくは鉄物外わくに比して、はるかに機械的な信頼度が高い。

(2) 固定子鉄心

固定子鉄心には、0.35 mm または 0.5 mm 厚さの B 級または T 級けい素鋼板を使用する。従来は、定尺(3 × 6 フィート)のものを使用していたが、最近では長尺、たとえばダイライトコア S3, S5 を使用している。これからセグメントを打ち抜いた後、焼鈍を行い、さらに絶縁ワニスの焼付けを行い、鉄損の減小を図っている。

セグメント数は軸電流発生の主因となるので注意して選定しなければならない。セグメント数を n (したがって鉄心の締目数 $2n$) 極数を P とすれば、 $2n/P$ を約分した素分数の分子が奇数となれば、軸電流発生の危険があるので、かかる場合にはセグメント数を適当なものに



図 2.1 ターボ送風機用巻線形誘導電動機

Fig. 2.1 Wound rotor type induction motor for turbo-blower 5,200 HP 3,300 V 60 c/s 2 P 3,600 rpm.



図 2.2 イルグナー用巻線形誘導電動機

Fig. 2.2 Wound rotor type induction motor for Ilgner 9,000 HP 6,300 V 60 c/s 2 P 3,600 rpm.



図 2.3 外わく

Fig. 2.3 Stator frame.

変更したり、セグメントを交互に $1/4$ ズつずらしたいわゆるオフセットセグメントとしたりする。

固定子鉄心には電動機内部の温度分布をできるだけ均一ならしめる目的で多数の通風ダクトを配列するが、鉄心区分、鉄心積厚さは温度上昇推定に基き慎重に決定される。また、通風ダクトは機械的騒音とも密接な関係があるのでその構造、配置などに注意を要する。ことに高速度機においてそうである。

鉄心端部には、非磁性の歯形押えを入れて歯部分を強く押えつけ振動、切損を防止している。

(3) 固定子コイル

誘導電動機の大形化に伴い、その定格電圧は次第に上昇の傾向にあり、コイル絶縁はますます重要となってきた。当社で初めタービン発電機用として開発されたダイヤラスチック絶縁は今や、誘導電動機にも盛んに使用されており、信頼度を第1条件とする大容量機では標準的にダイヤラスチック絶縁を採用している。

誘導電動機用ダイヤラスチック絶縁はコイルがフルコイルであるという点よりタービン発電機用ダイヤラスチック絶縁とはいささか趣を異にしている。しかし、定格電圧 $10,000$ V をこえる場合にはハーフコイルとし、タービン発電機と同様のダイヤラスチック絶縁を施す。(最近の誘導電動機の絶縁の項参照)

誘導電動機用ダイヤラスチック絶縁を図2.4に示す。素線には二重綿巻線または二重ガラス巻線を使用し、成形焼純の後、特殊のレジンボンドを有するマイカラッパおよびマイカテープを巻きマイラテープで締める。ダイヤレジンを真空圧入含浸した後プレスすれば、ダイヤレジン中の触媒の助けによってダイヤレジンならびにレジンボンドは共重合反応を起して内部空隙のない一体の絶縁物に完成される。定格電圧 $6,000$ V 以上の高圧コイルのみぞ部には、半導体ワニスを塗ってコロナ発生を防止している。

電動機の容量が大きくなるほど、導体断面積は大きくなり毎相巻回数は小さくなる。したがって、みぞ内層数をできるだけ減少し層間を十分絶縁し層間短絡を防止する。さらに、表皮効果によるうず電流損を防止するため、みぞ内でねん曲(Transposition)を行い、端部で交互接続を行う。

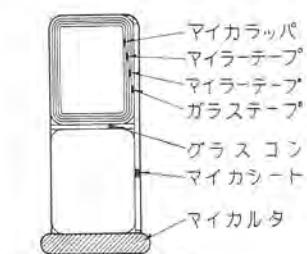


図2.4 誘導電動機用ダイヤラスチック絶縁(みぞ)

Fig. 2.4 Dialastic insulation for induction motor (slot part).

コイル端曲部は通風に十分な間隔を設けて配列し、その長さが最小となるようにし、さらにじか入起動、衝撃過負荷によって大きな電磁力をうけるので適当な間隔片を入れてコイルをしばりさらに絶縁された支持環に堅くしばりつける。

一般に、みぞ内の上コイルと下コイルとの間に

はサーチコイル、またはサーモカップルを挿入して固定子コイルの温度上昇を測定するとともに、自動記録、警報、制御装置の作動を行わせコイルを保護する。

コイルは電動機が稼動している間は乾燥状態に保たれるが、停止すると水分がコイル表面に付着し絶縁物に悪影響を及ぼすので大形機ではスペースヒータを設けたり、単相低電圧による電流乾燥を行う場合が多い。

2.2 回転子部分

(1) 回転子鉄心

回転子鉄心は回転によって大きな遠心力を受けるので高抗張力のけい素鋼板を使用しなければならない。回転子鉄心は1枚の円形抜板が望ましいが国内においては巾 915 mm が限度であり、これ以上の回転子外径においては扇形抜形を使用する。これを回転子スパイダに固定する方法としては、従来はもっぱら抜板に設けたダブルで固定するダブル方式によってきたが、最近の大形機では図2.5のようにピンを用いて組立てるBuilding Pin方式を採用している。

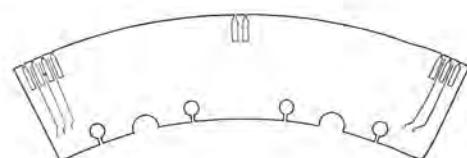


図2.5 Building Pin 方式のセグメントコア
Fig. 2.5 Segment core of Building Pin type.



図2.6 カゴ形回転子(高速度)
Fig. 2.6 Squirrel cage rotor for high speed
900 kW 3,000 V 50 c/s 2P 3,000 rpm.

(2) カゴ形回転子巻線

カゴ形回転子棒の形状、エンドリングの形状は、起動特性、起動時の温度上昇、電源電圧の変動などを考慮の上決定されなければならない。(重慣性負荷起動、じか入起動と電源容量の項参照) 高速度大容量機にあっては、

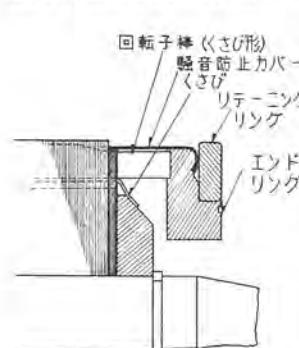


図2.7 カゴ形回転子コイル端部
Fig. 2.7 Coil end of squirrel cage rotor for high speed.

起動特性ならびに機械的強度の面よりくさび形とし、とくに重慣性負荷を起動する必要ある場合には、特殊黄銅棒を使用し、断面積を大きくし熱容量を大きくしている。図2.7に示すように回転子棒底部にはくさびを打ちこんでみぞに堅くフィットさせ回転子棒の振動による切損を防止している。エンドリングと回転子棒と



図 2.8 卷線形回転子（低速度）

Fig. 2.8 Wound rotor for low speed
9,000 HP 6,300 V 60 c/s 514 rpm.



図 2.9 卷線形回転子（高速度）

Fig. 2.9 Wound rotor for high speed
3,500 kW/4,000 kW 6,300 V 50/60 c/s 2P 3,000/3,600 rpm.

の接続には、高周波誘導加熱によるロー付けすなわち Induction brazing を全面的に採用している。エンドリングには非磁性のリテーニングリングを焼ばめし、エンドリングの熱応力と遠心力による変形を防止している。また、回転子棒と固定子コイル端部との間のサイレン作用を防止する目的で、騒音防止カバーを取付けることがある。

（3）卷線形回転子コイル

電動機出力と卷線形回転子コイルの電圧電流との間に次のが成立する。

$$\text{二次電圧 } E_2 = E_1 \frac{k_{p_2} N_2}{k_{p_1} N_1} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

$$\text{二次電流 } I_2 = \frac{(\text{kW Output}) \times 10^3}{\sqrt{3} E_2 (1-S)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

ここで E_1, E_2 = 一次、二次電圧 (V)

I_2 = 二次電流 (A)

k_{p_1}, k_{p_2} = 一次、二次短節巻係数

S = 定格出力におけるすべり

したがって、大容量機にあっては二次電圧、二次電流がともに高くなるのは必然的である。

最近、ダイヤラスチック絶縁が回転子の絶縁にも採用されうるようになったので、機械的、電気的にもきわめて信頼度の高いものが得られるようになった。

回転子コイルは高速度機では重ね巻短節巻、低速度機では波巻全節巻とし、コイル端部をバインド線で堅縛するのが普通であるが大容量高速機では種々不具合を生ずる。すなわちバインド線では、

- (1) バイント線の巻数および層数が増加する。
- (2) したがって、各素線のしまり具合が一様となら

ず、応力分布が不均一となる。

(3) コイルエンド表面がバイント線でおおわれるので冷却作用が不十分となる。

などの不具合を生ずるので、バイント線の代りにリテーニングリングを焼ばめする。リテーニングリング材質は高ニッケル鋼でニッケルクロム鋼第1種に相当した機械的強度を有するものとする。

リテーニングリング方式でも大形機の場合には、二層重ね巻短節巻の代りに単層全節巻とすることがある。この方式の特長は次のとおりである。

- (1) 棒巻としコイルのみぞ部と端部とを分割製作できる。
- (2) みぞの占積率が二層巻よりよくなる。
- (3) コイル端部の構造が堅牢となる。
- (4) リテーニングリング方式と相まってコイル端部の冷却効果が増加する。

つぎに回転子コイル構造において問題となるのは、速度制御の行われる場合、起動に長時間を要する場合である。回転子はすべり周波数で磁界を切るので、バイント線、リテーニングリングは非磁性でなければならない。また、表皮効果によってコイル抵抗が増大し温度上昇の可能性ある場合には、固定子同様 Transposition を行う必要がある。



図 2.10 リテーニングリング方式巻線形回転子コイル端部
Fig. 2.10 Coil end of retaining ring type wound rotor.

（4）集電環部

大容量機の場合には前述のように電圧電流ともに高くなるのでスリップリング間の絶縁、通風冷却が問題となってくる。スリップリングにはニッケルクロム鋼または黄銅鋳物を使用し、図 2.11 に示すようにスパイアルグループならびに通風穴を設けて通風効果を良好にし、リング間の絶縁管には経年変化の少ないものを使用し、バリヤを設けて閃絡を防止している。

回転子コイル間ならびに回転子コイルと集電環とを連絡するつなぎ線はつねに遠心力、および振動をうけるので、絶縁様式、支持方法にはとくに慎重な考慮を要する。

速度制御を行わない場合には、短絡リングを設けるのが普通で、さらにブランシ引揚装置を取付けることが多い。大形誘導電動機の短絡引揚機構には手動式と電動式とがあるがいずれも短絡、ブランシ引揚の動作が確実という点で好評を得ている。

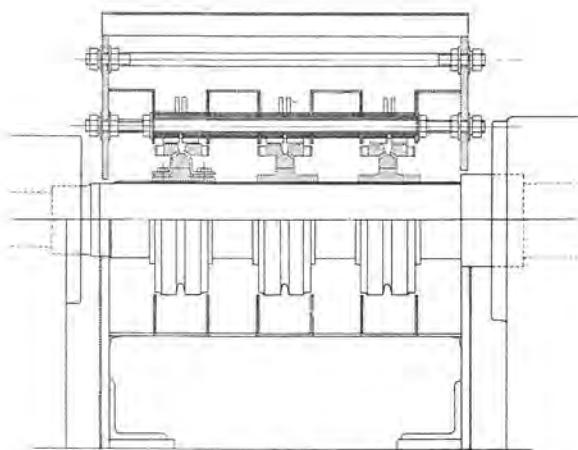


図 2.11 集電環部 (高速度用)
Fig. 2.11 Slip ring for high speed type.

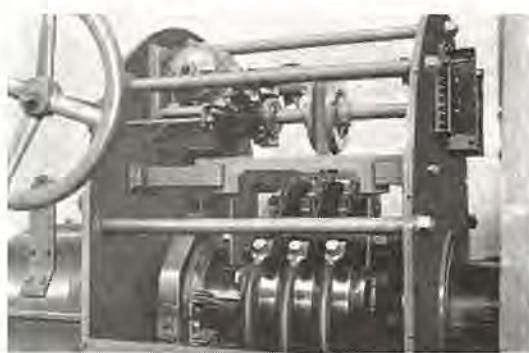


図 2.12 電動ブラシ引揚装置
Fig. 2.12 Brush lifting device.

(5) 軸

軸材としては鍛鋼を使用するのが普通であるが、高速度大容量機では機械的強度のすぐれた特殊鋼を使用する。軸を設計するにあたって問題となるのは軸の強度と、振動である。誘導電動機は他の回転機に比して空隙が小さいので軸のたわみによるトラブルは大きい。また負荷トルクの変動がいちじるしい場合、負荷慣性モーメントの大きい場合などにはいちじるしいねじり応力をうけるのでこの点を十分考慮の上、軸径を決定する必要がある。軸の固有振動数を求める場合には、全回転系について曲げ振動数ならびにねじり振動数を求め、これらの軸の固有振動数が外力振動数と共振しないよう注意しなければならない。

2.3 通風

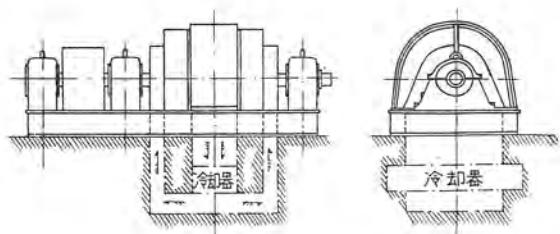
大容量機の内部通風方式としては放射通風式を採用するのが普通であるが、高速機では鉄心が長く、熱損失に対して冷却面積が小さくなる上に軸方向の熱伝導は小であるので輻式放射通風方式とする。

大容量機の外部通風方式は電動機の信頼度という点より一般に次の3種の通風方式が採用される。

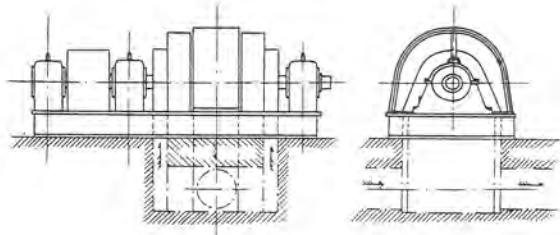
(1) 内気循環形 図 2.13 (1)

(2) 閉鎖通風形 室外吸気室外排気 図 2.13 (2)

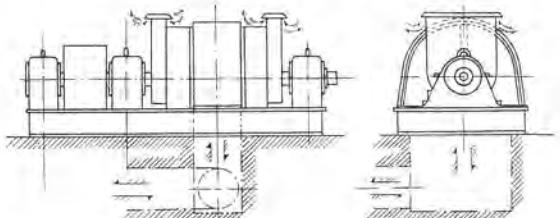
(3) 閉鎖通風形 室内吸気室外排気または室外吸気 室内排気 図 2.13 (3)



(1) 内気循環式



(2) 閉鎖通風形室外吸気室外排気



(3) 閉鎖通風形室内吸気室外排気または室外吸気室内排気
図 2.13 通風方式説明図
Fig. 2.13 Types of ventilation.

内気循環形は図 2.13(1) に示すように基礎内に水冷式空気冷却器を設けこれによって冷却するもので、電動機内の空気は完全に外気より遮断されるので、塵埃の多い場所でもすえ付けることができ、かつ騒音をきわめて小さくできる。また水冷式冷却器の冷却作用は非常に良好でマシンサイズは閉鎖通風形とほとんど同一とすることができます。以上のように内気循環方式はすぐれた特長を有するが冷却水を要するという不便は免れない。冷却器の所要水量は 100 HP あたり毎時 1.5~2 トン程度とみなしてさしつかえない。

閉鎖通風形で図 2.13(2) のように室外吸気、室外排気の場合には保護方式としても比較的高く騒音が小さく、室内温度を高めないという特長を有する。図 2.13(3) の場合には基礎が簡単で経済的には有利となるが、騒音、室内温度上昇は免れない。いずれの場合にも、吸気が清潔でない場合には空気汎過器を設置するのが常識である。

2.4 軸受ならびに潤滑

回転子支持方法としては、2 個または 3 個の鋳鉄製のベデスタイルで支持するのが普通であるが、最近軸長を短くできる、すえ付分解が容易であるなどの特長よりブランケット形が次第に大形のものにも普及されつつある。

軸受潤滑法としては、オイルリング給油法、強制給油法両者の併用が、一般に採用されるが、これらは適宜決定される。

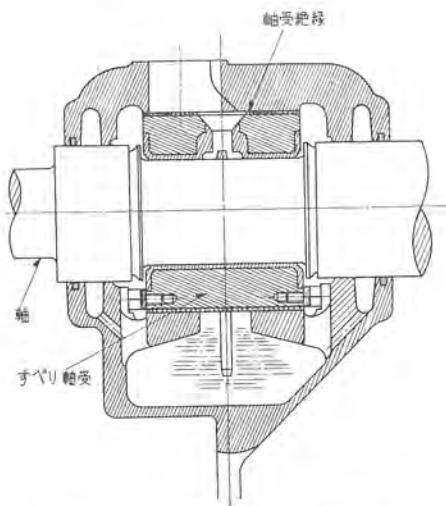


図 2.14 ブラケット形軸電流防止絶縁

Fig. 2.14 Insulation of bearing for the prevention of shaft current (Bracket type).

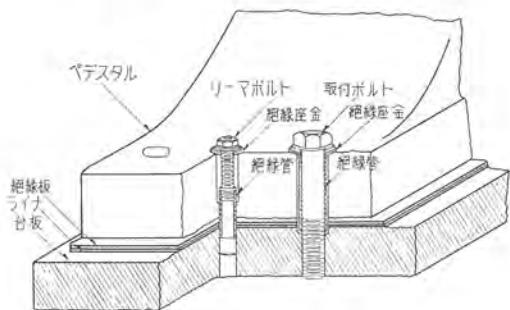


図 2.15 ペデスタル形軸電流防止絶縁

Fig. 2.15 Insulation of bearing for the prevention of shaft current (Pedestal type).

大形誘導電動機ではしばしば軸電流が問題となるので、これが発生の懸念ある場合には軸受絶縁を行う。図 2.14 はブラケット形の場合、図 2.15 はペデスタル形の場合の軸受絶縁を示す。

3. ブラケット形大形誘導電動機

3.1 フレーム、ブラケット

従来のブラケット形のフレームは、ほとんど鉄製であったがこれを溶接構造とし、側板、背板、足部などには十分な強度を持たせており、フレーム両側面下部に通風用排気窓を有している。固定子鉄心はセグメントコアで、従来鉄物フレームにおいてはフレームリブにダブルテールスロットを切り、セグメントコアのダブルテールを基準として、コア積みを行っていたが、丸棒をフレームに取付けたロッド式とし、フレームの機械加工を短縮している。ブラケットは鉄製で、下半部だけの半円形の形状をなし、フレーム両端部に垂直に取付けられ、ベアリングハウジングおよび通風用吸気口を形成している。上半部には種々の形状の鉄板製保護カバーを取付けれる。この半円形の板金製カバーを取はずすことにより、電動機内部の点検ならびに軸受メタルの分解が容易にできる。

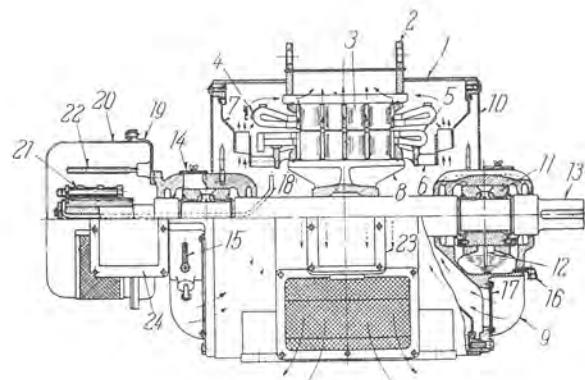


図 3.1 MSB 形三相誘導電動機構造図

Fig. 3.1 The structure of MSB type induction motor.



図 3.2 軸受部 (55690)

Fig. 3.2 Bearing and journal.



図 3.3 MKB 形閉鎖防滴カゴ形誘導電動機

Fig. 3.3 MKB type (squirrel cage) induction motor 225 kW 3,300 V 60 c/s 4 P 1,800 rpm.

3.2 軸受

軸受メタルおよびオイルリングはすべて二つ割りで、軸受メタル外周は全面ブラケットに接触し、放熱冷却作用を増加して、軸受の温度上昇を低下させる。軸受メタル両端部にはワッシャを取り付け、ワッシャを介してブラケットベアリングハウジング部に取付け、マグネットックセンタ調整を要する場合には、両端部のワッシャを増減することにより、簡単に調整ができる。

3.3 通風方式

回転子クランバ、あるいはスパイダに取付けられた冷却ファン、および回転子鉄心に設けられた通風ダクトは、



図 3.4 MSB 形閉鎖管通風
巻線形誘導電動機

Fig. 3.4 MSB type (wound rotor) pipe ventilated induction motor 800 HP
3,300 V 60 c/s 10 P 720 rpm.

4. 特殊形誘導電動機

4.1 冷却管つき全閉外扇形誘導電動機

電動機のすえ付場所に、ほこりや有害なガスが多量に存在する場合には、全閉外扇形電動機が広く使用されていたが、従来の全閉外扇形は大形になると、冷却効果が悪いために次のような欠点があった。

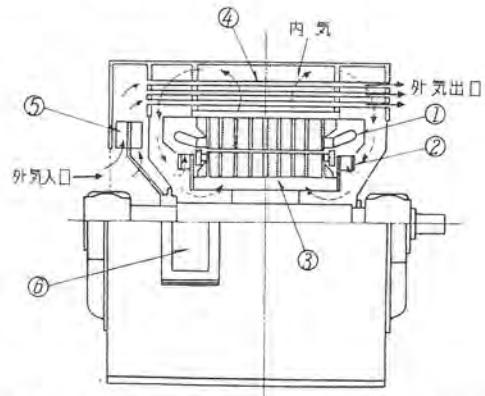


図 4.1 冷却管付 FT 形全閉外扇形電動機通風説明図

Fig. 4.1 Ventilation of FT type totally enclosed fan-cooled motor.

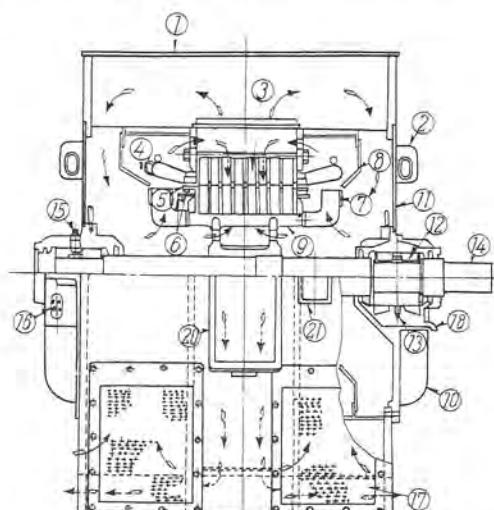


図 4.2 冷却管付全閉
外扇形誘導電動機

Fig. 4.2 Totally enclosed fan cooled motor (equipped with cooler) 200kW 3,000 V 50 c/s 6 P 1,000 rpm.



(1) 外形寸法が大きくなる

(2) 電気的特性が悪い

これらの欠点を除去するために製作されたのが冷却管付外扇形である。構造は図 4.1 に示すようにフレームは鋼板溶接構造で、固定子コア外周部に冷却管を千鳥形に 3~5 層全周に配列する。その材料としては、銅、黄銅、アルミニウム、鉄および不鏽鋼など、電動機の使用される環境に応じて選択使用される。外部冷却空気は外部ファンにより加速され、冷却管内を高速度で流動し、電動機の内部空気は、回転子両端部に設けられた内部ファンおよび、回転子ダクトピースにより固定子鉄心および、コイル端部を通り冷却管の層の間を循環し、管壁を介して熱交換を行い冷却する。従来の外扇形ではフレームにひだを増して冷却効果を増す方法がとられ、300kW 位が製作の限度とされていたがこの形式では 1,000 kW 位以上の外扇形電動機が製作可能になった。また冷却効果が良いために使用される材料が節減され、しかもすぐれた電気的性能を持っている。とくにカゴ形電動機の場合には、他の特性を犠牲にすることなく起動電流を小さくし、しかも十分なトルク特性を持たせることができる。当社では目下、関西電力姫路発電所納入 800 kW 3,300 V 60 c/s 12 極 600 rpm を製作中である。

4.2 屋外形誘導電動機

従来電動機は屋内で使用されるのが普通であったが、近年建設される屋外発電所または半屋外発電所、あるいは化学工場などでこれを屋外に設置することが多くなっ

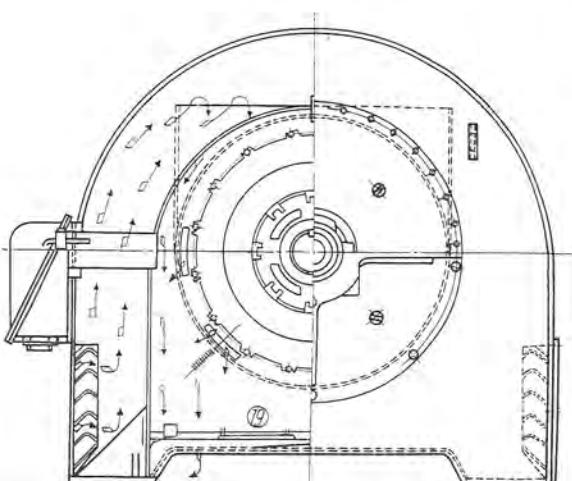


Fig. 4.3 Sectional view of weather-protected squirrel cage type induction motor.

てきた。屋外形としては全閉外扇形、閉鎖形の二種類がある。全閉外扇形は軸受部および端子箱などを一部改造することにより、屋外形になるが、閉鎖形ではまったく新規な構造となる。この項では閉鎖屋外形について述べる。国内では屋外形電動機について規格が制定されていないが、NEMA Motor & Generator Standards MG1-1955 の MG1-1.20H には屋外形電動機について次のように定義されている。

MG1-1.20H

(1) Weather Protected Machine-Type I

Weather Protected Machine-Type I とは冷却通風路を雨雪など空気に混じった微粒子が、巻線部にはいるのをできるだけ少なくするように設計し、さらにその通風口に直径 3/4" 以上の異物が侵入しないように保護したものである。

(2) Weather Protected Machine-Type II

Weather Protected Machine-Type II とは Weather Protected Machine-Type I に定義された外被に加えて出口入口に通風路を設けて、暴風雨によって電動機内に吹きこまれた高速度の空気および、空気に混じった微粒子が電気部分にいたる内部通風路にはいらざに吹き抜けるようにしたものである。電動機巻線部分にいたる標準通路は、少なくとも 3 回以上方向を急変(そのいずれも 90 度以上)するような構造とし、さらに湿気や塵埃が電動機巻線部分にはいる可能性を極力少なくするため、風速 600 ft/min 以下の部分を設けたものである。

当社で製作されている横形の閉鎖屋外形電動機はいずれも Type-II に相当するものである。その構造は図 4.3 に示すようにフレームは鋼板溶接構造で、外被と内被と二重になっている。外被には両側面下部に吸気口を有す。内被の両端下部は半円筒形をなし、フレーム底板との間に空間部があり上部の最上端部に長方形の電動機内部にいたる吸気口を有している。内被中央部下方に排気口があり、軸方向に排出される。外気は外被側面下方部の吸気口より吸入され、外気は外被と内被との間を通して内被の上部まで上昇し、最上部の開口部より電動機内部に吸入される。この間の通風面積は所要冷却風量に対して十分大きくとってあり風速はきわめて小さく、電動



図 4.4 WB 形屋外誘導電動機

Fig. 4.4 WB type (weather protected) induction motor 1,150 HP 4,000 V 50 c/s 8 P 750 rpm.

機内部にいたる間に数回にわたって方向を急変することにより、雨滴および空気に混じった塵埃は効果的に分離される。暴風雨時において外気吸気口より吹き込まれた風は、内被の下方を通り電動機内部に吹き込むことなく反対側に吹きぬける構造となっている。

当社では目下中部電力新名古屋発電所納入の 2,100HP 4,000V 60 c/s 10 P 600 rpm があるが、現在までに製作されたものでは、東京電力千葉発電所納入の 1,150 HP が最大容量であるが、この種形式のものを 60 台以上納入し好結果を得ている。

4.3 スラスト軸受つき立て形誘導電動機

スラスト軸受つき立て形電動機は主として、ポンプ駆動用として使用される。電動機に装備されたスラスト軸受は電動機回転子重量ならびに、ポンプ側スラスト荷重にも十分耐えるものとし、構造の簡易化とスラスト軸受の保守点検を容易ならしめている。ポンプ側スラスト荷重としては 10~40 ton くらいまであるが、スラストベアリングとしてはキングスペリー形スラスト軸受を使用している。スラストベアリングは上部ブラケットに装備し、スラストベアリングの冷却用として軸受外周部油槽内に冷却水管を設け所要の冷却水を通す。発電所においては冷却水は主として海水が使用されるので、冷却水管の材質および冷却水の水速には十分考慮をし、腐食の発生を防止している。上部案内軸受は推力軸受と同一油槽内に設け、下部案内軸受は下部ブラケットに設け、軸受潤滑は油浴式とし必要により冷却水管を設けて冷却する。



図 4.5 スラスト軸受付開放立て形誘導電動機

Fig. 4.5 Vertical induction motor equipped with thrust bearing 350 kW 3,000 V 50 c/s 12 P 500 rpm.

5. む す び

最近の大容量化、高速度化の傾向の強い誘導電動機界には、このほかなお幾多の問題が残されているが、ここにその一端を記して、大方のご参考に供したい、御叱正を賜われば望外の幸である。

単相モートルにおける諸問題

名古屋製作所 梶 谷 定 之*

Problems on Single Phase Motors

Nagoya Works Sadayuki KAJITANI

Single phase motors are now in use everywhere and are popular among laymen who have relatively little knowledge of electricity. Most of home appliances, vastly diffused in the life of people, are provided with single phase machines. They are, however, possessed of delicate nature from the standpoint of both characteristics and construction, which is often forgotten by users. Their torque and starting features, unlike poly phase machines, need attention, otherwise unexpected mishap of burning out them may result in. Mitsubishi motors involve design features taking necessary precaution against these drawbacks.

1. まえがき

単相モートルは家庭用電灯線などの単相電源で運転することができるので電源が手軽に得られるため、家庭用工業用農事用などの各分野にわたって広く使用されている。ところが、このモートルは三相モートルと異なり一つの固定子単相巻線だけでは自己起動することができないので起動のために種々の方法が工夫され、この起動方式によって分相起動形、コンデンサ起動形、反発起動形などの各種の形に分かれそれぞれの特長をもっている。したがって単相モートルの使用にあたっては、単相モートル特有の性質を知り各種それぞれの特長をつかんで、選定と使用法に誤りのないようとくに注意する必要がある。

ここでは、単相モートル特有の問題点をとりあげて説明し、さらにそれらの問題に対し当社の製品にはどのような考慮が払われているかあわせて述べてみたい。

2. 単相モートルの種別

主題の説明にはいる前に、あらかじめ単相モートルの種別とその概略を述べておく。

2.1 分相起動形単相モートル

固定子には主巻線のほかにそれと電気的に直角の位置に起動巻線を設け、二相巻線に近いものとして不完全ながら回転磁界を作らせこれによって起動させるものである。このモートルは起動してからある回転数に達すると起動巻線の助けを借りずとも主巻線だけで運転を続けるものであり、また起動巻線は非常に細い導線で長い間電流を流しておくと焼損するおそれがあるので、起動がすんで全速に近い回転数になれば起動巻線は自動的に切り離される。この切離しのスイッチには多く遠心力スイッチが用いられる。回転子構造はカゴ形である。図2.1にその回路を示す。図2.2は回転数に対するトルク特性を

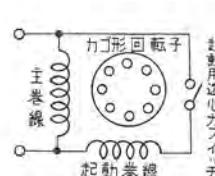


図 2.1 分相起動形単相モートルの回路図

Fig. 2.1 Circuit diagram of split phase start single phase motor.

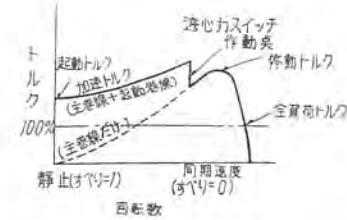


図 2.2 分相起動形単相モートルの回転数対トルク曲線

Fig. 2.2 Rotating speed vs torque curve of split phase start single phase motor



200 W 4 P 100 W 4 P

図 2.3 SP-A 形分相起動形単相モートル 100 V 50/60 c/s
Fig. 2.3 Type SP-A split phase start single phase motor.

示すものである。

この形は、他のコンデンサ起動形、反発起動形に比べ起動トルクが小さく（約150～200%程度）起動電流は多くなる（全負荷電流の約6～7倍）のが欠点であるが、構造が簡単なため保守が容易で価格も低廉という利点をもっている。当社のSP-A形はこの機種になる。

2.2 コンデンサ起動形単相モートル

このモートルは一種の分相起動形であるが起動巻線回路にコンデンサを入れて起動特性をよくしたもので、高い起動トルク（約300%）と少ない起動電流（全負荷電流

の約4~5倍)に大きな特長が見られる。また加速トルクのすぐれていることもこのモータルの大きな利点である。構造は起動用コンデンサをもっている以外分相起動形と同様に簡単であり保守が容易である。この機種はコンデンサ製造技術の進歩に伴い最近非常な勢で普及しつつある。当社のSC-A形はこれにあたる。回路図とトルク特性図は図2.4、図2.5に示す。

なおこのモータルは起動巻線回路にコンデンサを入れたものであるが、起動巻線の仕様は分相起動形のばあいと異なって特別に設計されていることに注意されたい。したがって分相起動形に単に起動用コンデンサを入れたばあいは、より大きな容量のコンデンサを用いない限り本来のコンデンサ起動形と同程度のトルク改善を望むのが無理である。しかしながら起動電流はいちじるしく減

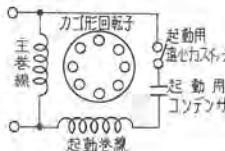


図2.4 コンデンサ起動形単相モータルの回路図
Fig. 2.4 Circuit diagram of condenser start single phase motor.

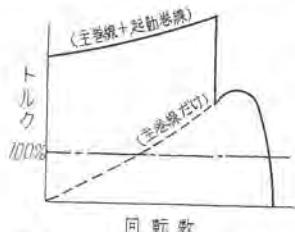
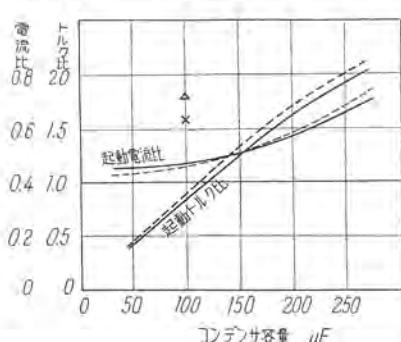


図2.5 コンデンサ起動形単相モータルの回転数対トルク曲線
Fig. 2.5 Rotating speed vs torque curve of condenser start single phase motor.



図2.6 SC-A形コンデンサ起動形単相モータル100 V 50/60 c/s
Fig. 2.6 Type SC-A condenser start single phase motor.



(電流トルクはもとの分相起動形に対する比率で表す) ... 50 c/s
△ 本來のコンデンサ起動形のトルク比 × 本來のコンデンサ起動形の電流比
図2.7 分相起動形に起動用コンデンサを用いたばあいの起動特性の変化

Fig. 2.7 Changes of starting characteristics of split phase motor using starting condenser.

少させることができる。図2.7は100 W 4Pの分相起動形に起動用コンデンサを用いたばあいの特性変化を示す一例である。

この形の変形にコンデンサ起動用コンデンサモータルがある。これは起動用コンデンサのほかに運転用コンデンサを別個に有し、運転のばあいもコンデンサを入れておくもので、運転時の力率がいちじるしく改善されるほか効率、停動トルクの向上がみられる。

回路図は図2.8に示す。トルク特性は図2.5のコンデンサ起動形のばあいとほぼ同形である。当社のSCL形はこれに属しウインデヤ用単相モータル600 W 4Pはその例としてあげられる。

また起動用コンデンサを別個に用いず起動時も運転時も一つのコンデンサをそのまま用いるコンデンサモータルというものがある。起動巻線は運転中も切離さず補助巻線としてあたかも二相モータルのように回転するので、遠心力スイッチなどの自動切離し装置を有しないため構造が簡単な上保守がきわめて容易となる。起動トルクが小さいが(約100%)起動電流が少なく、力率などの運転特性もよくなる。この機種は用途によってはきわめて有効なモータルで将来性がある。図2.9、図2.10はその回路図とトルク特性図である。当社のSL形はこれに属し電動ポンプ用単相モータル100 W 4Pはその代表例である。

2.3 反発起動形単相モータル

回転子は巻線形で整流子、ブラシを備え、起動時は反発モータルとして回転し、全速に近くになると自動短絡装置で整流子を短絡しその後は単相モータル(誘導電動機)と

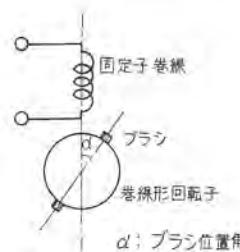


図2.11 反発起動形単相モータルの回路図

Fig. 2.11 Circuit diagram of repulsion start single phase motor.

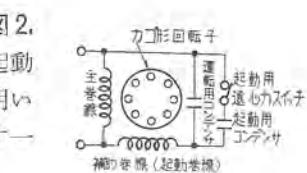


図2.8 コンデンサ起動用コンデンサモータルの回路図

Fig. 2.8 Circuit diagram of condenser start condenser motor.

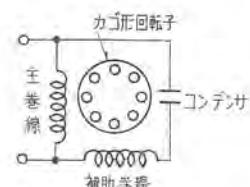


図2.9 コンデンサモータルの回路図

Fig. 2.9 Circuit diagram of condenser motor.

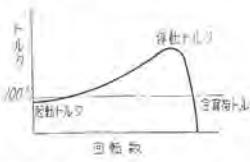


図2.10 コンデンサモータルの回転数対トルク曲線

Fig. 2.10 Rotating speed vs torque curve of condenser motor

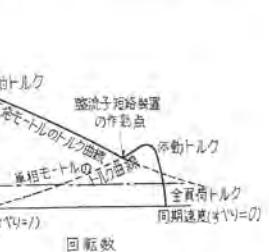


図2.12 反発起動形単相モータルの回転数対トルク曲線

Fig. 2.12 Rotating speed vs torque curve of repulsion start single phase motor.



図 2.13 SI 形反発起動形単相モートル 100/200 V 50/60 c/s
Fig. 2.13 Type S1 repulsion start single phase motor.

して運転する。固定子巻線には単相巻線を施しただけで起動巻線を有していない。このモートルは構造上多少保守がめんどうで価格も高くなるが、起動電流がもっとも少なく(全負荷電流の約3倍)起動トルクがきわめて大きい(約500%)特長があり、農事用その他に古くから愛用されている。回路図とトルク曲線は図2.11、図2.12に示す。この機種には当社のSI形がある。

3. トルク特性上の問題点

モートルはトルク(回転力)を相手側機械に伝えこれらの機械にいろいろの仕事をさせるのが目的であるから、そのトルク特性の優劣はモートルの性能をきめる上に本質的な問題となる。

ところでモートルのトルク特性の優劣は何によってきめられるであろうか。これまで、単に起動トルク値停動トルク値にだけ注目されその高い値をもったモートルがいわゆる“力の強いモートル”として考えられがちであったが、そうしたことが本当に妥当であるかどうか、あらためて考えてみたい。

いま、分相起動形単相モートルを例にとってある負荷に対する起動の状況を考えてみる。分相起動形の回転数

対トルク特性はさきに示したように図3.1で表わされる。このうち運転に使用されるトルク特性の範囲は全負荷トルクを中心とした点線で示される領域でありモートルがある負荷に対して起動し完全な運転状態にはいるにはその間のモートルのトルクがいかなる速度においてもつねに負荷の反抗トルクより上回っていなければならぬ。もし(イ)点のように加速トルクにおいて急激にトルクが低下し負荷の反抗トルクより下回る点があれば、モートルはこの回転数で拘束され運転状態には

いることができずついには巻線の焼損事故を起す。したがってモートルのトルク特性を考えるには、単に起動トルク点と停動トルク点だけでなくその間の各速度にわたって連続的にトルクの状態をよく調べる必要がある。とくに単相モートルでは、前項のトルク曲線に示したように遠心力スイッチ、整流子短絡装置の作動点でトルクが不連続に変化するため一層の注意を必要とする。また図3.1の(イ)点に示したように加速の途中でトルクが急激に降下することは、トルク異常現象またはクローリング現象と称し実際に起り得る現象であり、とりわけ単相モートルでは発生しやすい現象であるから十分な考慮を払わなければならない。さらに単相モートルのうちでも分相起動形、コンデンサ起動形、反発起動形などの種別により起動後のトルク変化すなわち加速トルクの状態が異なることは前項で図示したとおりであり、また同じ機種で同じ起動トルク同じ停動トルク値を有していても加速トルクの優劣が図3.2のようにトルク特性上大きな差異となって表われることも重視されなければならない。

以上のようにモートルのトルク特性については、単に起動トルク値、停動トルク値を追うだけでなくつねにあらゆる回転数に対する全体のトルク値に視野を広げ、起動トルク値、停動トルク値の増大とともにその間の加速トルク特性の向上を忘れることができない。

当社では他社にさきがけて“モートルのトルク曲線直視装置”を完成し、それによって従来では困難とされていたモートルの全回転数に対するトルク特性をたやすく実測できるようになったので、この問題の研究は大いに進みいちじるしくトルク特性を向上させることができた。

以下項を追って具体的に説明する。

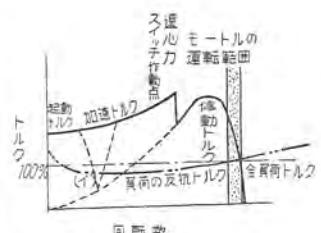


図 3.1 負荷反抗トルクとモートルトルクの関係図
Fig. 3.1 Relative diagram of load counter torque and motor torque.

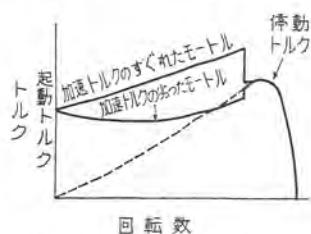


図 3.2 分相起動形単相モートルにおける加速トルク特性の差異
Fig. 3.2 Changes of speed torque characteristics of split phase start single phase motor.

3.1 遠心力スイッチまたは整流子短絡環の作動回転数

図3.3は分相起動形の場合、起動巻線を切離す遠心力スイッチの作動回転数によってトルク特性がどのように変るかを示す。(イ)はトルク特性から考えればもっとも理想的な場合であり、(ロ)は早く動作した場合で(イ)に比べて T_1 トルクをそこなっている。(ハ)は遅く動作したばあいで T_2 トルクをそこなうとともに運転中にも遠心力スイッチが働かず起動巻線が切離されないという危険も生じてくる。

コシデンサ起動形についてもほぼこれと同じことがいえる。

つぎに反発起動形について考えると、図3.4のようになる。(イ)は理想的に動作した場合、(ロ)は早く動作した場合、(ハ)は遅く動作した場合で動作回転数が適切でないといかにトルクをそこなうかがわかる。

このように遠心力スイッチまたは整流子短絡環の理想的な作動回転数は移り変る二つのトルク曲線を明確につかめばいたって容易に定まるわけであるが、実際はわが国の周波数が50c/s、60c/s共存であり、電圧降下の問題もあわせて考慮しなければならないので一筋縄では行かない。電圧降下に対する問題は項を改めて説明するが、いま二つの周波数における差異を分相起動形を例に述べる。

図3.5のトルク曲線では、50c/sにおける遠心力スイッチの動作回転数は1,100~1,200 rpmが理想的であり、60c/sでは1,400~1,500 rpmが理想的である。ところが50c/sで最適な遠心力スイッチの動作点は60c/sでは早過ぎるためその点でいちじるしくトルクをそこない、60c/sで最適な遠心力スイッチの動作点を選べば50c/sで遅過ぎ運転中にも作動しないという危険がある。したがって両サイクル用では両者をともに理想状態におくことが不可能となるた

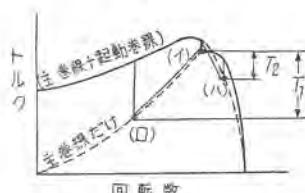


図3.3 分相起動形単相モーターの遠心力スイッチ作動回転数とトルク特性の関係

Fig. 3.3 Relation between operating speed and torque characteristic of centrifugal switch of split phase start single phase motor.

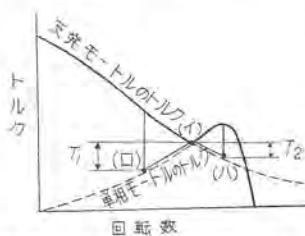


図3.4 反発起動形単相モーターの整流子短絡環作動回転数とトルク特性の関係

Fig. 3.4 Relation between operating speed of commutator short circuitor and torque characteristic of repulsion start single phase motor.

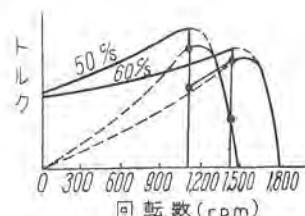


図3.5 50,60c/s共用における分相起動形単相モーターの遠心力スイッチの作動回転数とトルク特性の関係

Fig. 3.5 Relation between operating speed of centrifugal switch and torque characteristic of split phase start single phase motor for 50/60 cycles.

めできるだけ理想に近い状態にする適当な値をその間に選ぶということになる。

以上のように遠心力スイッチ、整流子短絡環の作動回転数はトルク特性に重大な影響を与えるもので当社ではその作動回転数の設定にとくに注意するとともにそのバランスを極力小さくするよう厳重な管理を行っている。

3.2 トルク異常現象

モートルが加速の途中で急激にトルク降下をきたす現象はクローリング現象といつてすでに知られているところである。これは空隙磁束中に含まれる高調波成分によって生ずる高調波トルクに起因するものであり、三相モートルについてはこれまでしばしば研究結果が発表されている。単相モートルについてはとくにとり上げて論じられたものが少ないのであるが、三相モートルにおけるよりもっと低次の第三高調波成分から発生の原因を有しているのでその危険はより強く、とくに分相起動形では注意しなければならない問題である。この現象の防止には、三相モートルと同様固定子対回転子みぞ数組合せに留意することがもとより重要であるが、単相モートルではとくに巻線配置に対する適切な考慮が望まれる。固定子巻線による高調波成分を抑えるには正弦波巻線を施すことが理想的であるが、実際問題として有限小数個のみぞについて完全に実施することは困難であり、またみぞ占率、有効巻線係数、巻線作業の問題などを考えれば設計的にも工作的にも得策でない。トルク特性をそこなわざ磁音振動などの悪影響を及ぼさないかぎりにおいては、ある程度の高調波成分もさしつかえないから、正弦波巻線の考えをもとにもっと実用的な巻線配置を施すことができる。

巻線配置により基本波磁束中にどの程度の高調波成分を有するかは次式より求めることができる。

主巻線による磁束密度

$$b_x = \frac{0.4I_s W}{2pg} \sum_{n_1=1}^{\infty} \frac{1}{n_1} (K)_{n_1} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \cos \left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x \mp wt \right)$$

第 n_1 高調波成分について考えれば

$$b_{n_1 x} = B_{n_1} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \cos \left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x \mp wt \right) \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{ただし } B_{n_1} = \frac{0.4I_s W}{2pg} \frac{1}{n_1} (K)_{n_1}$$

起動巻線による磁束

$$b_{n_1' x} = \frac{0.4I_s W'}{2pg} \sum_{n_1=1}^{\infty} \frac{1}{n_1} (K)_{n_1'} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \cos \left[\left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x \mp wt \right) + \left(\frac{n_1 \pi}{2} \mp \varphi \right) \right]$$

第 n_1 高調波成分は

$$b_{n_1 x'} = B_{n_1'} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \cos \left[\left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x \mp wt \right) + \left(\frac{n_1 \pi}{2} \mp \varphi \right) \right] \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\text{ただし } B_{n_1'} = \frac{0.4I_s W'}{2pg} \frac{1}{n_1} (K)_{n_1'}$$

主巻線と起動巻線による第 n_1 高調波の合成空隙磁束密度は

正回転の成分

$$[b_{n_1 x}]_{\text{forward}} = -\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 + 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \sin \left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x - wt - \psi \right) \quad (3.3)$$

ただし

$$\begin{aligned} \psi &= \sin^{-1} \frac{\left(B_{n_1} \sin \frac{n_1 \pi}{2} + B_{n_1'} \sin \varphi \right)}{\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 + 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2}} \\ &= \cos^{-1} \frac{B_{n_1'} \cos \varphi}{\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 + 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2}} \end{aligned}$$

負回転の成分

$$[b_{n_1 x}]_{\text{backward}} = -\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 - 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2} \sin \left(\frac{n_1 \pi}{\tau} x + wt - \xi \right) \quad (3.4)$$

ただし

$$\begin{aligned} \xi &= \sin^{-1} \frac{\left[B_{n_1} \sin \frac{n_1 \pi}{2} - B_{n_1'} \sin \varphi \right]}{\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 - 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2}} \\ &= \cos^{-1} \frac{B_{n_1'} \cos \varphi}{\sqrt{B_{n_1}^2 + B_{n_1'}^2 - 2B_{n_1}B_{n_1'} \sin \varphi} \sin \frac{n_1 \pi}{2}} \end{aligned}$$

さて式(3.1), (3.2)中の $\frac{1}{n_1}(K)_{n_1}$, $\frac{1}{n_1}(K)_{n_1'}$ は巻線係数と称されるもので基本波に対する各高調波成分はこの値によって定まつてくる。

単相モータでは各みぞの導体数は通常異なるのでこれらを $w_1, w_2, w_3, \dots, w_{q-1}$ とし每極のみぞ数 $q = \frac{N}{2P}$ とすれば

$$\begin{aligned} (K)_{n_1} &\doteq \frac{\left(w_1 \sin \frac{\pi}{q} n_1 + w_2 \sin 2\frac{\pi}{q} n_1 + \dots \right)}{W} \\ &\quad + w_{q-1} \sin \frac{(q-1)\pi}{q} n_1 \sin n_1 \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (3.5)$$

より求めることができる。

上式中に用いられた記号は

b_x : 固定子巻線による

空隙上の x 点における磁束密度

B_{n_1} : 固定子巻線による

第 n_1 高調波の空隙最大磁束密度

n_1 : 固定子起磁力に基く空隙磁束中の高調波次数

g : 空隙数 p : 極対数 τ : 極間隔

I : 工業用電流 (m : 主巻線 s : 起動巻線)

W : 固定子巻線直列導体数

q : 每極のみぞ数

w_r : 第 r 番目みぞ内導体数

N : 固定子みぞ数

φ : 起動巻線電流の主巻線電流に対する進み角

高調波磁束による高調波トルクの影響を考えるには二次側回転子のみぞ数、スキューブの状態をもちろん無視することができないのであるが、第3, 第5, 第7など比較的低次の高調波成分については通常その磁束中の高調波成分をそのまま高調波トルク成分に結びつけて考えてもさしつかえない。

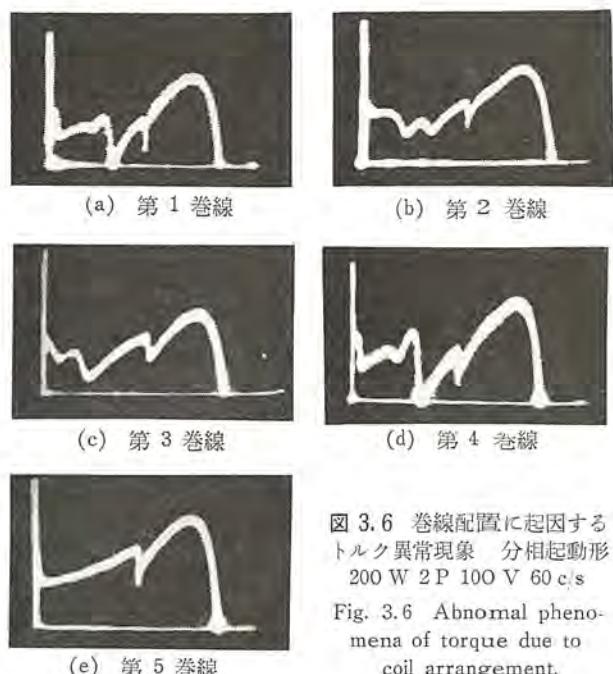


図 3.6 巻線配置に起因するトルク異常現象 分相起動形 200 W 2 P 100 V 60 c/s

Fig. 3.6 Abnormal phenomena of torque due to coil arrangement.

表 3.1 各巻線による磁束密度中の高調波成分
それぞれの基本波に対する高調波成分を % で示す

巻線の種類	起動巻線				主巻線			
	第 3	第 5	第 7	第 9	第 3	第 5	第 7	第 9
第 1 巻線	22.8	4.3	2.35	3.15	0	4.3	2.35	0
第 2 巻線	11.3	4.3	2.35	1.56	0	4.3	2.35	0
第 3 巻線	0	4.3	2.35	0	0	4.3	2.35	0
第 4 巻線	11.3	4.3	2.35	1.56	11.3	4.3	2.35	1.56
第 5 巻線	0.52	0.41	0.45	0.72	0.63	0.41	0.42	0.60

つぎに示すものは、われわれが行った実験結果の一例で 200 W, 2 P 分相起動形の同一モータに巻線配置だけを変えてトルク異常現象の状態を調べたものである。

表 3.1 は 5 種類の巻線における高調波成分を上述の式より算定したものであり、図 3.6 はそのトルク特性を直視装置で実測した結果を示している。第 1, 第 4 巻線では同期速度の約 1/3 を少しこえた速度でいちじるしくトルク降下の現象を示し第 3 高調波の影響が強く表われている。第 3 巻線は第 5, 第 7 高調波の影響が表われているが、第 3 高調波の影響がみられない。第 5 巻線は各高調波成分を極力小さくした巻線で、遠心力スイッチの動作点を除いてきわめてなめらかなトルク曲線を示している。これらの結果は、表 3.1 の理論結果とも一致するものである。

固定子巻線による高調波磁束成分は上式で示したように巻線中の電流量に比例するから、電流量の少ないコンデンサ起動形の起動巻線では高調波成分の許容量をもっと多くとることができる。

以上のように当社の単相モータにはトルク異常現象に対しても特別な処置が施されているからこれによって起動上の障害を与えることはないものと確信している。

3.3 加速トルク特性

遠心力スイッチまたは短絡環の作動回転数を適切にしトルク異常現象を防止し加速時のトルク低下を防ぐとともに進んで加速トルクの向上を図ることはゆるがせにで

きない。

この加速トルクの問題を反発起動形について考えてみる。反発起動形のトルクは起動後次第に下降していく。これは反発モートル特有の性質でやむを得ないところであるがこの下降の傾向をできるだけ抑制することが望ましく、図3.7のA曲線とB曲線ではその最小トルク値にTだけの差異が表われてくることに注目されたい。

各回転数に対する反発トルクは次の理論式から得られる。

$$\tau = \frac{X_d^2}{R_R^2 + X_R^2} \{ X_R \cos \alpha - R_R (1-S) \sin \alpha \} \sin \alpha I_s^2 \quad (3.6)$$

$$\dot{I}_s = \frac{\dot{E}}{R_S + \frac{X_d^2 \cos \alpha \{ R_R \cos \alpha + (1-S) X_R \sin \alpha \}}{R_R^2 + X_R^2}} + j \frac{X_d^2 \cos \alpha \{ R_R (1-S) \sin \alpha - X_R \cos \alpha \}}{R_R^2 + X_R^2} \quad (3.7)$$

R_S : 固定子巻線抵抗

X_S : 固定子巻線リアクタンス

R_R : 回転子巻線抵抗

X_R : 回転子巻線リアクタンス

X_d : 固定子巻線と回転子巻線の相互リアクタンス

α : 整流子面上の中性点からのブラシの位置角

S : すべり

上式のように各回転数に対する反発トルク（すなわち加速トルク）の値は上記のようなモートル定数とブラシ位置角の関数であるが、この中でもブラシ位置角の影響は軽視できない。200 W, 4 P における検討結果の一例を示せば次のようになる。

図3.8はブラシの位置角による反発トルクの変化を式(3.6), (3.7)より理論的に求めたものでこの場合は 7

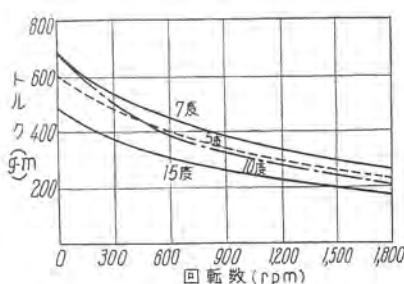


図 3.8 ブラシの位置角による反発トルクの変化
(200 W 4 P 100 V 60 c/s の結果)

Fig. 3.8 Changes of repulsion torque due to position angles of brushes of repulsion start single-phase motor.

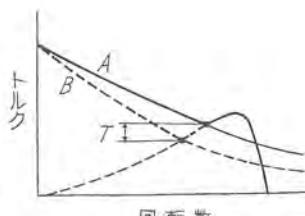
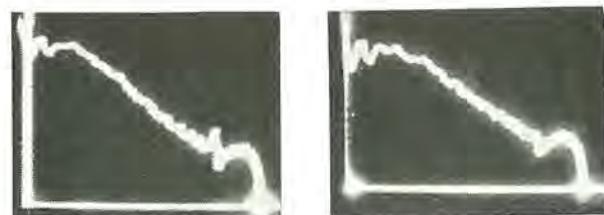


図 3.7 反発起動形単相モートルにおける反発トルクの優劣と最小トルク値の関係

Fig. 3.7 Relation between the quality of repulsion torque and minimum torque of repulsion start single phase motor.



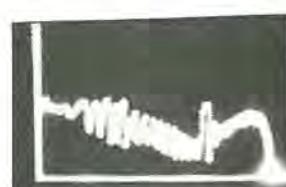
(a) ブラシ位置角 7.5 度



(b) ブラシ位置角 8.5 度



(c) ブラシ位置角 10 度



(d) ブラシ位置角 12 度

図 3.9 反発起動形単相モートルにおけるブラシの位置角によるトルク特性の変化 200 W 4 P 100 V 60 c/s

Fig. 3.9 Changes of torque characteristic due to position angles of brushes of repulsion start single phase motor



(a) ブラシが二つ以上の整流子片にまたがらないように先端の厚さを挟くしたもの



(b) 起動的にブラシが二つの整流子片にまたがっているもの

図 3.10 反発起動形単相モートルのトルク特性、整流子面におけるブラシの接触状態により起動トルクに変化のあることを示す 200 W 4 P 100 V 60 c/s

Fig. 3.10 Torque characteristic of repulsion start type, contact state of brushes on commutator surface affecting the changes of starting torque.

度がもっともよく 15 度の場合の約 40% 増となっている。

図 3.9 の 4 枚の写真は同一モートルについてブラシの位置角を変えた場合のトルク特性の変化を直視装置で実測したものである。

なお反発起動形の反発トルク特性についてはブラシの整流子面における接触状況を無視して考えることはできない。これはブラシが 2 個以上の整流子片にまたがって接触した場合、この整流子片と回転子巻線の一部を通して短絡コイルを作りこれが制動コイルの役目を果すためで、とくに起動時はブラシの接触状況によって起動トルク値に相当な変動 (±10% 程度) を生ずる。図 3.10 はこの実験結果を示す。反発起動形ではこれは避けられない現象であるが、写真のトルク曲線からわかるようにすでに十分な起動トルクを有するモートルではこの変動はトルク特性に本質的な影響をもたらすわけではなく起動ト

トルク値の細かい値にとらわれ過ぎることは決して賢明でない。

つぎに分相起動形、コンデンサ起動形について考える。起動巻線が切離されるまでの加速中のトルク特性は次式で与えられる。

$$\tau = \{ (I_M^2 + a I_A^2) (R_{2f} - R_{2b}) + 2 I_M I_A a (R_{2f} + R_{2b}) \sin \alpha \} \quad \dots \dots \dots \quad (3.8)$$

(同期ワット)

起動時は $R_{2f} = R_{2b} = R_2$ 、ゆえ

$$T_s = 4 I_M I_A a R_2 \sin \alpha \quad \dots \dots \dots \quad (3.9)$$

となる。

I_M ：主巻線電流

I_A ：起動巻線電流

α ：主巻線電流に対する起動巻線電流の進み位相角

a ：主巻線に対する起動巻線の有効巻数比

R_{2f} ：正相分二次等価抵抗

R_{2b} ：逆相分二次等価抵抗

いま分相起動形について加速トルクの変化の状況を簡単に説明すると、起動時は第1項は0で第2項だけが値を有し式(3.9)となり、起動後は次第に第1項が増加し第2項は減少し、ある回転数に至るとついには起動巻線電流 I_A が主巻線電流 I_M より逆に遅れ電流となるため $\sin \alpha$ は負号となり第2項は制動トルクとして働く。したがって加速トルクの変化については起動巻線電流と主巻線電流の位相関係が重要な意義をもつもので、そのため主巻線に対する起動巻線の巻数比、抵抗比、そして回転子二次抵抗などを適切に選ばなければならない。

分相起動形、コンデンサ起動形の加速トルクでさらに忘れられない問題に回転子の漂遊損によるトルクの損失がある。これは図3.11のように加速トルク中にトルクのたるみを作るものである。この改善には回転子の化学的または熱的方法による特殊処理がきわめて有効であるが、適切な回転子みぞ数とスキー空隙長の選定もおろそかにできない。

一般に加速トルクの算定は複雑な要素が多いため理論的に正しく求めるのがむずかしく今後の研究に待つべきところが多いのであるが、われわれは加速トルクがトルク特性の向上にしめる役割の重大さをよくわきまえ起動トルク、停動トルクの増強とともに、以上のように加速トルクの向上に努力を重ねている。

3.4 電圧降下がトルク特性に及ぼす影響

単相モータは一般に起動電流が大きく、そのほとんどが 100 V 電灯線で用いられるので配電線による電圧降下の問題はゆるがせにできない。分相起動形について回



図 3.11 分相起動形単相モータにおける回転子の漂遊損によるトルク損失

Fig. 3.11 Loss due to stray load loss of rotor of split phase start single phase motor.

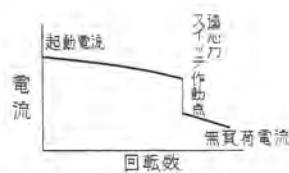


図 3.12 分相起動形単相モータの回転数対電流曲線

Fig. 3.12 Rotating speed vs current curve of split

start phase start single phase motor.

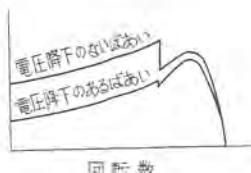


図 3.13 分相起動形単相モータにおける電圧降下とトルク特性

Fig. 3.13 Voltage drop and torque characteristic of split start phase start single phase motor.

転数に対する電流変化の状態を調べてみると図3.12のようになり起動から遠心力スイッチが作動するまではかなりの電流が流れる。したがって図3.13のように電圧降下の影響はその間で強く表われ分相起動形の弱点である起動トルク、加速トルクを一層貧弱なものとするので注意しなければならない。

コンデンサ起動形も分相起動形とほぼ同じ傾向をたどるが起動電流は少ないのでトルクへの影響も比較的少なく、また起動トルク、加速トルクがもともと豊かであるからそれほど問題にならない。この場合は遠心力スイッチの作動点が主としてトルク特性上の弱点となる。

反発起動形では図3.14に示すように整流子短絡環が作動し反発モータから単相モータに移り変わると同時に起動電流よりも大きな突入電流が流れる。したがってその点でもっともはなはだしく電圧降下の影響をうけるのでこの場合は整流子短絡環の作動点についてもう一度吟味する必要がある。図3.15に示すようにこの時は電圧降下の影響で反発モータのトルク曲線と単相モータのトルク曲線の交点は N だけ高速側にずれる。短絡環の作動点の再調整によりトルクの減少を T_2 にとどめることができるのであるが、そのままの時は T_1 そこなうことになる。このように反発起動形単相モータのトルク特性上もっとも弱点と見られる短絡環作動点でいちじるしくトルクをそこなうことはきわめて痛いことで、事実このモータでは電圧降下の際の起動困難のほとんどがこの点で起っている。一般に電圧降下に耐えるといわれる反発起動形についても電圧降下は禁物である。もし電圧降下を見越して短絡環の作動回転数を N だけ高

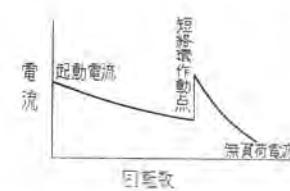


図 3.14 反発起動形単相モータの回転数対電流特性曲線

Fig. 3.14 Rotating speed vs current curve of repulsion start single phase motor.

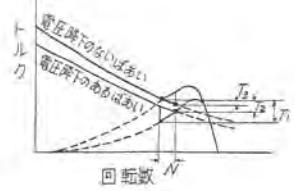


図 3.15 反発起動形単相モータにおける電圧降下とトルク特性

Fig. 3.15 Voltage drop and torque characteristic of repulsion start single phase motor.

速にずらせた時はトルクの減少を T_s にとどめることができるが、電圧正規のばあいには図に示されるように T_s だけトルクを失うことになる。したがって整流子短絡環の作動回転数をきめる際にはどの程度の電圧降下までを保証するかが重要な要素になるが、みだりに電圧降下に対する意識を強くして正常のトルクをそこなうことも顧みなければならない。

また電圧降下の生ずる所でトルク特性を考えるときにはトルクの大きさだけでなく必ず電流の大きさもあわせて考えなければならない。つきの2種のモートルを例にとって電圧降下の状態によりその起動トルクの優劣がどのように変ってくるかを調べることは興味深いことである。定格電圧100Vで電圧降下がない時にA、B2種

	起動トルク (%)	起動電流 (%)
A	200	30
B	180	26

の分相起動形モートル(200W 4Pに相当する)の起動トルクと起動電流は次のとおりであるとする。これを長い配電線に結んで電圧降下を与えた時配電線の抵抗によって起動トルクの大きさがどのように変るかを示す。簡単のために配電線は抵抗分だけとし、モートルの起動時におけるインピーダンスは抵抗分とリアクタンスが等しいとする。結果は図3.16の

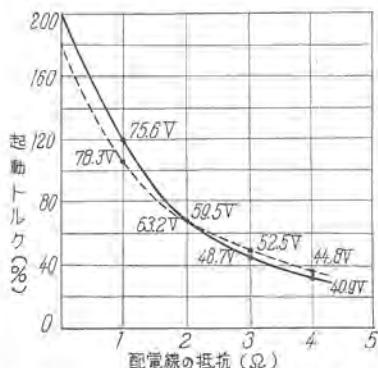


図3.16 配電線による電圧降下と起動トルクの変動

Fig. 3.16 Changes of starting torque due to voltage fluctuation of distribution line.

ようになり約2ΩまではAモートルの起動トルクがBモートルより上回っているが、それよりも抵抗の大きな配電線では逆にBモートルの起動トルクが優位にたつ。

このようにトルクの比較において、異常な電源状態における判定は必ずしも正常に近い電源状態での判定に合致するものではないということは、一考すべき問題である。この結果でもっとも注意しなければならないのは、電圧降下によるトルク低下がいかにははだしいかということである。このばあいは1Ωの配線ではモートルの端子電圧が75~78Vに下りトルクは約40~50%の減になり、2Ωではもとのトルクの半分以下になってしまふ。

したがってモートルの使用にあたっては配電線による電圧降下を極力少なくするとともに、電圧降下が相当見込まれるところではたとえ起動時の負荷の反抗トルクが小さくても反発起動形、コンデンサ起動形またはコンデ

ンサモートルなど起動電流の少ないモートルをとくに選ぶべきである。

3.5 トルク特性の合理化

以上単相モートルのトルク特性上とくに注意すべき点をのべた。要するにトルク特性を考えるには起動時から同期速度に至る全領域のトルク値に連続的に着目すべきであって一部のトルク値だけにとらわれてはならない。

たとえば高い起動トルクを有する反発起動形、コンデンサ起動形も停動トルクが貧弱ではその高い起動トルクを十分生かして使用することができないし、せっかく高い起動トルクと停動トルクを誇っていても加速の途中に低いトルク点を生じてはそれらの高いトルクもむだとなる。

モートルのトルクはある負荷の反抗トルクに対して使用するあらゆる速度範囲にわたって必要な量が十分確保され、しかも他の条件を犠牲にして不必要なほど余分な値を有している点のないように設計されることが望ましく、いわゆる各点で“むり”がなく“むだ”がなくバランスのとれたトルク特性こそ合理的ですぐれたトルク特性ということができよう。

当社の単相モートルのトルク特性の設計にあたってはつねにこの考えのもとに各機種それぞれもっとも合理的ですぐれたトルク特性となるように配慮されている。

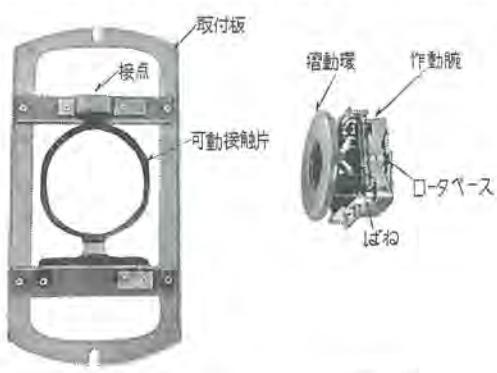
また需要家の方々には、単相モートルの使用にあたって各機種それぞれのトルク特性を十分お考えいただき機種の選定を誤らないようにするとともに、できるだけ正常な電源状態で使用することがモートルをもっとも生かして使う道であることをあらためてお考えいただきたい。

4. 構造上の問題点

絶縁方式、軸受、通風その他三相モートルと共通の問題はここでは省略し、単相モートル独特の起動装置、遠心力スイッチ、起動用コンデンサ、整流子短絡装置などについて述べる。

4.1 起動用遠心力スイッチ

起動用遠心力スイッチは分相起動形コンデンサ起動形にあってはモートルの生命ともいべきもので、この故障は起動時の障害となるだけでなくモートルの焼損にま



固定部分 可動部分

図4.1 起動用遠心力スイッチ

Fig. 4.1 Centrifugal starting switch.

で至るものである。遠心力スイッチに要求されることは(1)作動が確実なこと(2)寿命が長いこと(3)構造が簡単で保守点検が容易なこと、などである。

当社の遠心力スイッチは独特的の設計により製作されているもので、図4.1のように接点を主とする固定部分と所定の回転数で接点を開閉させる役目をもった可動部分に分かれている。可動部分は作動腕の遠心力をを利用して摺動環を軸方向に移動しこれによって接点を開閉させるもので、機構的に無理がなく設計されており、ばね、フェノールレジン製摺動環はとくに厳選され、さらに組立後も厳重な検査に合格したものだけを使用しているから作動は確実である。また部品についても、接点は銀を使用し、可動金属部分は黄銅にニッケルメッキを施し、ばねにも十分な防錆処理を施すなど細い点にまで考慮を払っているので、寿命の長いことは苛酷な寿命試験において10万回の起動停止を行った後も何ら異常が認められなかったという結果からもわかる。また取付位置はモータの反負荷側にあって点検に便ならしめるとともに、モータの分解組立の際にも遠心力スイッチを取りはずす必要がなく、その可動部は軸につけたままで行われるため作業が容易な上つねに遠心力スイッチの精度を保持することができる。

4.2 起動用電解コンデンサ

最近の起動用電解コンデンサの製造技術の向上はめざましく、これがコンデンサ起動形単相モータの発達をうながしたともいえる。

単相モータの起動用電解コンデンサを使用する上で検討すべき事項をあげれば、

(1)構造 (2)静電容量 (3)力率 (4)温度特性 (5)絶縁抵抗と絶縁耐力 (6)耐湿性 (7)耐過電圧性 (8)寿命などである。これらに対し当社ではいずれも厳重な試験を行いすぐれた品質を確保している。この項ではとくに重視される寿命について述べておく。

コンデンサの破壊の原因には、純電気的、電気—熱的、熱的、経年劣化があげられる。純電気的とは化成皮膜が純電気的に絶縁破壊を起すもので印加電圧が化成電圧より高い場合に起る。化成は定格交流電圧(実効値)の約2倍の直流で行われるから交流電圧では定格電圧の140~150%が限界と考えられる。電気—熱的破壊は連続通電または断続通電の際に電気的原因が発熱または電解を誘発し劣化するもので、約80°Cを限界としてそれ以上の温度に達すれば劣化は急激に進む。熱的破壊は通電しなくとも高温中に放置されると急激に劣化し破壊に至る現象であり、モータにコンデンサをとりつけるときはその周囲温度に注意しなければならない。経年劣化は常温で長期間放置されると自然劣化をきたすもので、完全に劣化していない場合は再化成により特性を回復し得る。電解コンデンサは適当な条件で使用されたほうが同一温度条件で放置されるよりむしろ劣化に対する特性がよい。最近の電解コンデンサについて行った断続通電と連続通電による寿命試験結果は次のよう十分信頼で

きるものである。周囲温度60°C 2秒通電28秒休止を1サイクルとして断続通電を行ったところ8万回の後もほとんど劣化が見られなかった。連続通電では容量と定格電圧の差によって若干の差異があるが、劣化までは約15~20分、破壊に至るにはなおそれ以上の長い時間がかかり、したがってこの時間ではむしろモータの巻線のほうが損傷するおそれがあり、起動用コンデンサとしては十分な性能をもったものと考えられる。

4.3 整流子と整流子短絡装置、ブラシとブラシ保持器

反発起動形におけるこれらの部品は、分相起動形、コンデンサ起動形における遠心力スイッチと同様きわめて重要な部分を占める。

整流子は通常電気硬銅の整流子片と絶縁マイカをフェノールレジンでかためて形成されるが、電気的性能はもちろん機械的な強度は十分信頼のにおけるものでなければならない。整流子短絡装置の不完全なものは、運転中の二次抵抗の増大となり効率の低下停動トルクの減少をきたすとともにとくにははだしいものは局部的な発熱、アーケによる接触面の荒れを生じついにはモータとしての機能を停止させるに至る。ブラシは導電率、抗張力硬度、寸法精度など電気的、機械的、物理的性質のすぐれたものを選ぶべきである。ブラシの摩耗は、その材質形状、電流密度、整流子の回転速度、整流子面の状態などで左右されるが、とくに電流密度が高い状態では摩耗が激しく起動停止のひんぱんぱい起動時間の長いばいあいは摩耗量が多い。ブラシ保持器は取りつけが簡単で左右両回転に対してもつねに正しいブラシ位置を保持で



図4.2 整流子短絡環
Fig. 4.2 Commutator short-circuitor.



図4.3 SI-A形750W 4Pにおける寿命試験後の整流子・短絡環接触面の荒れはほとんど見られない
Fig. 4.3 Commutator after life test of type SI-A 750 W motor.

きるとともにブラシの摩耗に対してもつねに適当な接触圧を保つ構造のものでなければならない。

当社の反発起動形単相モートルに使用されているこれらの部品は長い経験とたえざる研究結果により設計製作されており十分信頼のおけるものである。図4.2は整流子短絡環を示す。しかも回転子二次回路の適切な設計は、短絡環が作動する前の反発モートルのばあいも、作動後の単相モートルのばあいも整流子、整流子短絡環の電圧、電流にむりがない。このためSI-A形750W4Pについてはこれらを相当小形化したにもかかわらず、寿命試験の結果では整流子および短絡環の荒れの点で同出力の大形整流子短絡環をもった別のモートルよりもむしろ好成績をあげている。図4.3はその結果を示す。

5. 用途上の問題点

単相モートルは汎用モートルのほかに家庭電気器具用などの専用モートルに盛んに使用されているので、用途上から見えたこれらのモートルの特長を当社製品を中心として簡単に説明する。

5.1 電気冷蔵庫用

完全な密封式のモートルである。その内部は冷媒であるフレオングスと冷凍機油で満たされているので、電線は耐フレオングス性のある特殊電線を用い、巻線の絶縁処理けい素鋼板の絶縁皮膜処理についてもその残滓により毛細管をつまらせるおそれのないものを選んでいる。とくに製造工程では、清浄と防錆に特別な処置が講ぜられる。当社はコンデンサ起動形を採用し、起動特性を良くするとともに起動電流を減少し電灯のフリッカを防いでいる。音響と振動は極力少なくしなければならないのでモートルの取付方法が工夫されるとともに、モートル自身も設計上は固定子と回転子のみぞ数組合わせ、回転子のみぞの形状、スキューリー量、空隙長などを、工作上は加工精度、回転子のバランスなどに十分な考慮が払われている。なおこのモートルは密封式のため遠心力スイッチを用いず電流リレーによって起動巻線回路を自動的に切り離している。このモートルには100W4P、125W4Pがある。



噴流式、うずまき式用
分相起動形 100W 4P
コンデンサ起動形 100W 4P

図 5.1 電気洗濯機用モートル

Fig. 5.1 Washing machine motor.

冷蔵庫用モートルと同類にワインデヤ用モートルがある。このモートルは600W4Pであるが、家庭用電灯線でも使用されるため起動電流は33A以下という制限がある。この制限においては、通常のコンデンサ起動形では400W4Pが限度とされていたが、当社のこのモートルには特別な起動方式が採用されているので十分なトルクをもっている。起動電流は制限値よりもかなり低い。そのためこのワインデヤは冷凍機のすぐれた性能とともに冷却能力が一段とまさっている。

5.2 電気洗濯機用

洗濯方式により負荷トルクが異なるのでそれに応じた機種を選ばなければならない。当社は攪拌式にはコンデンサ起動形を、噴流式、うず巻式には分相起動形を採用している。いずれも100W4Pでトルクには十分な余裕をもっており、すぐれた洗濯機構と相まって洗濯能力が大きい。

このモートルも音響、振動に関しては細心の注意をもって製作され厳重な検査が行われている。また、軸受にはボールベアリングを採用し、グリースも耐水性のあるリチウム系の良質のものを使用しているので保守が容易であり寿命も長い。

5.3 電動ポンプ用

ポンプの種類によってモートルの種別を定めるべきであるが、当社は200W4Pにコンデンサ起動形、100W4Pにコンデンサモートルを採用している。いずれも起動電流が少ないため頻繁な起動停止に耐え電灯へのフリッカも少ない。構造と材料の選定にはとくに耐湿、防水



図 5.2 電動ポンプ用モートル SL形
100W 4P コンデンサモートル

Fig. 5.2 Electric pump motor.

性が考慮されており、軸材にはステンレス鋼を用いている。ポンプモートルは冬季における凍結、砂などの異物のポンプ室への侵入、異常な電圧降下などによりモートルが拘束または過負荷状態となりそのため焼損事故を起すことが多いのであるが、当社のポンプ用モートルには焼損防止装置“オートカット”がとりつけられているので完全に焼損が防止されている。

6. 焼損防止対策（オートカット付単相モートル）

モートルは過負荷または拘束状態では過大な電流が流れるので、いつまでもこの状態が続いたり繰返されたりすると焼損することがある。焼損はモートルの事故のう



図 6.1 (a) SP-AT形オートカット付分相起動形単相モーター

Fig. 6.1 (a) Type SP-AT single phase motor with autocut.



図 6.1 (b) SC-AT形オートカット付コンデンサ起動形単相モーター

Fig. 6.1 (b) Type SC-AT single phase motor with autocut.

図 6.2 オートカットの構造

Fig. 6.2 Construction of autocut.

接点: 開 モーターが加熱したばあい、バイメタルは反転し接点が閉いて電流を遮断する

接点: 閉 モーターが冷却したばあい、自動的にふたたび反転し接点が閉じる

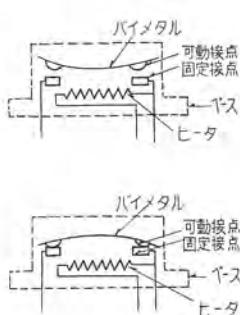


図 6.3 オートカットの接続図

Fig. 6.3 Connection diagram of autocut.

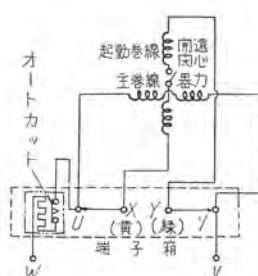


図 6.4 オートカットを取りつけた端子箱内部

Fig. 6.4 Interior of terminal box with autocut.

ちでももっとも致命的であるばかりでなく累を他に及ぼす危険もあってとくに注意すべきものであるが、単相モーターは三相モーターに比べ巻線の仕様や回路の関係からはるかにこの事故を起しやすくその完全な解決はいつそう強く望まれていた。

最近当社で完成したオートカット付単相モーターは完全な焼損防止装置を備えたモーターであり、この懸案を一挙に解決するものとして好評を博している。オートカット付分相起動形 SP-AT、オートカット付コンデンサ起動形 SC-AT、おのの 100W 4P、200W 4P を標準モーターとして製作している。この焼損防止装置付単相モーターはもちろん汎用モーターとしてはニューフェイスであるが、当社ではすでに電動ポンプ用モーターに使用してすばらしい成果をあげており、また実験結果の裏付からも自信をもっておすすめできるものである。以下このモーターについて構造、作動特性、特長、などを述べる。

6.1 オートカットの構造

オートカットは起動困難あるいは過負荷などのためモーターが異常に過熱されたばあい、すみやかにモーターを電源から切り離し焼損から保護する役目をもった熱働保護装置である。オートカットは図 6.2 のようにバイメタル、接点、ヒータが一つのベースのなかに組込まれているが、この円盤状のバイメタルはモーターの電流によるヒータからの加熱によってもモーターのコイルあるいは鉄心の温度上昇による加熱のいずれによっても作動するようになっているので作動はまったく確実である。

6.2 オートカットの接続

図 6.3 のようにオートカットは主巻線と起動巻線の両方がつねに保護されるよう両巻線への共通回路に接続されている。モーターの回転方向の変更はオートカットなしのモーターと同様両巻線の端子 U, V, X, Y を用いて行うが左右いずれの回転方向に接続されてもオートカットは両巻線への共通回路に接続されるようになっている。電源への接続は別個に設けた V, W の口出線端子を使用する。図 6.4 はオートカットを取りつけた端子箱内部を示す。オートカットは端子箱の中でモーターわくの中にも埋込み式にとりつけてある。

6.3 オートカットの作動特性

分相起動形、コンデンサ起動形単相モーターにおける焼損事故のほとんどは、起動困難の際モーターが拘束あるいは完全にスピードアップしないでいつまでも起動巻線回路を切り離すことができないために焼損するという現象である。そこで分相起動形単相モーターを例にとってこのばあいオートカットがいかにモーターを保護するかを説明する。

いま 100W 4P の分相起動形単相モーターを定格電圧で通電したまま拘束し巻線の温度上昇を調べると図 6.5 に示すようになる。モーターの巻線に使用される PVF 線は約 180°C で溶着するゆえこのばあい起動巻線は約 15 秒で危険状態となる。分相起動形単相モーターでは起

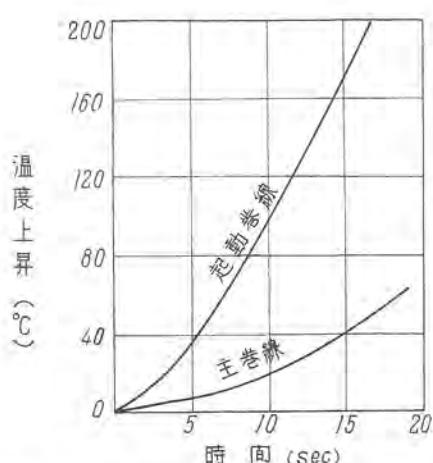


図 6.5 拘束状態にある分相起動形単相モータの温度上昇 (100 V 50 c/s 周囲温度 15°C)

Fig. 6.5 Temperature rise of split phase start motor in locked up state.

動巻線の焼損がいかに短時間で起るものかよくわかる。これに対しオートカットを付けたばあいは次のようになる。図 6.6 はオートカット付分相起動形単相モータを定格電圧で拘束しオートカットを連続作動させたときのモータ各部の温度が時間とともにどのように変化するかを示す。この時はねに起動巻線の温度がもっとも高くなる。オートカットなしでモータをこの状態に放置すれば、起動巻線の温度は点線で示すように急激に上昇したまち焼損してしまうが、このばあいはオートカットの働きにより巻線が危険温度に達する前に接点を開いて電流を遮断するから温度が次第に降下する。そして十分冷却された状態になるとふたたび接点が閉じ電流が

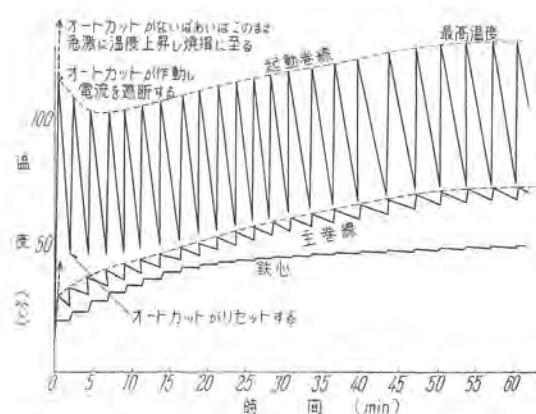


図 6.6 オートカット付分相起動形単相モータ定格電圧で拘束したばあいの各部の温度を示す

Fig. 6.6 Temperature of various parts of split phase start single phase motor with autocut which is locked up at rated voltage.

投入される。電流が流れ始めるとふたたび温度が上り始めるが、かららず危険温度に達する前に電流が遮断されふたたび冷却するという動作を繰返す。この状態がいつまでも続くと各部の最高温度は図のように次第に上昇するがやがて飽和し最後はかららず一定温度に落ちつく。この温度はもちろん焼損に対して十分安全であるよう調整されている。図ではモートル拘束後約 1 時間までの状態を示しているが、このように飽和状態に達したのちは何時間あるいは何日間たってもまったく同じ状態であり焼損の危険はまったくない。

以上は分相起動形について説明したがコンデンサ起動形も作動は同じである。ただしこのばあいは起動巻線の最高温度はかなり低くむしろ主巻線より低くなる。

また運転中の異常な過負荷における保護についてもオートカットの作動特性は上記とほとんど変りがない。

7. む す び

単相モータは広い用途にわたって使用され一般によくなじまれたモータであるが、その反面、特性、構造に微妙な性質をもっていることは忘られがちである。

ここでは単相モータの特有の問題として、トルク特性上、構造上、用途上の各問題点と焼損事故の問題を取り上げて説明し、これらに対して当社の製品にはどのような考慮が払われているかを述べた。

すなわち、トルク特性上とくに注意すべきものとして遠心力スイッチおよび整流子短絡環の作動回転数の選定トルク異常現象、加速トルクの状態、電圧降下の影響などをあげ、すぐれたトルク特性を作るには単に強い起動トルク、停動トルク値を有するだけでなく上記のことをもひっくるめて静止から同期速度までの全領域におけるトルク特性の合理化が大切であると強調した。また構造上の問題としては、単相モータに特有な起動装置について説明し、用途上の問題では電気冷蔵庫、電気洗濯機、電動ポンプなどの各用途に応じてモータにどのような考慮が払われているかを述べた。焼損事故は単相モータの事故の中でももっとも重大な問題であるが、当社ではこの対策にとくに意を用いオートカット付単相モータを完成した。このモータはこの文で述べたように経済的で取扱がきわめて簡単な上焼損防止の効果が完全であり、今後の発展が大いに期待できる。

以上のように当社では単相モータの諸問題に対してはそれぞれ十分な対策を立て、つねに品質奉仕の精神をもってその性能の向上に努力を続いているのである。

需要家の方々には、これを機会に単相モータに、より一層の理解をもってご愛用いただければ誠に幸と存する次第である。

誘導電動機応用品

福岡工場

安松靖彦*・中野大典*

長崎製作所

新良由幸**

名古屋製作所

稻垣武次**

Application of Induction Motor

Fukuoka Factory
Nagasaki Works
Nagoya Works

Yasuhiko YASUMATSU・Daisuke NAKANO
Yuko SHINRYO
Takeji INAGAKI

With the enlargement of the spheres of application and also increase in the demands, induction motors have been making steady steps toward the improvement in the design. The old practice of making a combination of apparatus from the standard products on hand for a certain application does no longer serve the purpose. A new design to suit the particular use is seriously taken up, resulting in a great advantage to the installation, operation and maintenance. Herein are introduced, as these achievements, geared motors, type AS-motors—those with magnetic couplings, motors with disc type magnetic brakes and clutch motors.

I. まえがき

誘導電動機の応用の分野がますます拡大され、その需用量も増加してきたので、従来は標準機器の組合せで間に合わせていたところも、それにもっとも適した特殊形を考案して製作されるようになった。そのためコンパクトとなり、すえ付、使用、保守などいろいろの点で、非常に好都合になった。ここではこれらに属する減速電動機、電磁カプリング付電動機(ASモータ)、円板形電磁ブレーキ付電動機、およびクラッチモータを紹介する。

II. 減速電動機

設備の合理化が近代産業の最大要素となっている今日設備機械の簡素化、あるいは自動化に減速電動機の果している役割は大きなものがあり、さらにその用途はますます拡大の傾向にある。

低速を必要とする機械において減速電動機は他の原動機に比較して、

- (1) 設備が簡単で費用が安い。
 - (2) 据付面積が少なくてすみ、せまい場所でも自由に使用できる。
 - (3) 運転が簡単、確実である。
 - (4) 効率が高い。
 - (5) 寿命が長く、維持費が少なくてすむ。
- など、多くの特長を持っている。

当社減速電動機は、昭和初期から製作をはじめ、この間逐次、機種の増加をはかるかたわら、種々改良を加えてきたが、近代産業の要求に合致させるため最近大巾に改良を加え新しいシリーズを完成した。高度の技術と豊富な経験をいかした当社減速電動機は、優秀な性能と、

安定した品質により広い分野に活躍している。以下その概要を述べ参考に供したい。

1. 標準表および形式

(1) 表1.1の標準表に記載しているように標準の減速比の範囲は、1:230より約1:2まであり、電動機の極数は4,6および8極を標準としている。

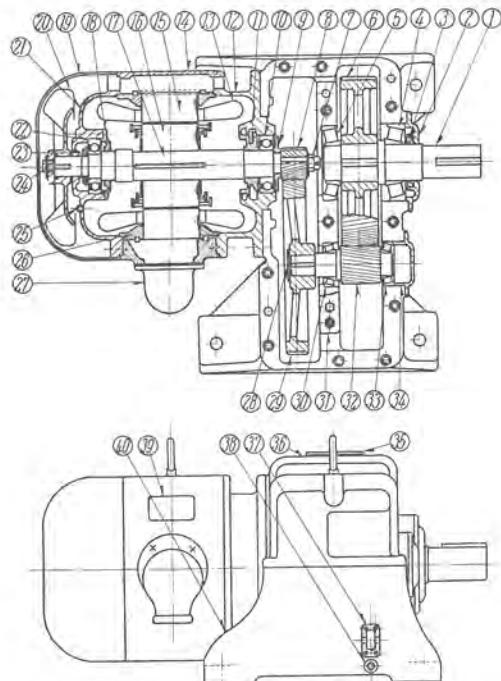
(2) 電動機部分と減速機部分は容量と減速比により組合せを合理的にかえている。

(3) 電動機部分と減速機部分の組合せで減速電動機の形名を構成している。すなわち、頭のGMは減速電動機を表示し、中間の数字で電動機出力を馬力表示で、末尾の2ケタ目(三段減速では2ケタ目および3ケタ目)で減速比の範囲を、1ケタ目で減速機部分の大きさを表示している。したがって末尾の記号が同じであれば減速機部分の大きさ、すなわちすえ付寸法は変わらない。

(4) 表1.1の三段減速は最近シリーズを確立し追加したものである。この機種の構造は二段減速のE形に

表1.1 減速電動機標準表 (GM-NE形、E形、K形、N形)

種類	NE形(超低速形)				E形(低速形)				K形(中速形)N形(高速形)																	
	三段減速		二段減速		三段減速		二段減速		三段減速		二段減速															
高速段数	B	6	4	4	8	6	6	4	4	4	4	4														
低速段数	31	42	63	83	15	20	30	45	75	100	200	300														
四段段数	37	5	75	112	18	24	36	56	80	120	240	360														
減速比	230	230	230	156	48	48	32	32	192	145	72	48														
馬力	1/2	GM-1/2P GM-1/2N GM-1/2E GM-1/2K GM-1/2F GM-1/2H GM-1/2G GM-1/2J GM-1/2L GM-1/2M GM-1/2I GM-1/2G	1	GM-1P GM-1N GM-1E GM-1K GM-1F GM-1H GM-1G GM-1J GM-1L GM-1M GM-1I GM-1G	2	GM-2P GM-2N GM-2E GM-2K GM-2F GM-2H GM-2G GM-2J GM-2L GM-2M GM-2I GM-2G	3	GM-3P GM-3N GM-3E GM-3K GM-3F GM-3H GM-3G GM-3J GM-3L GM-3M GM-3I GM-3G	5	GM-5P GM-5N GM-5E GM-5K GM-5F GM-5H GM-5G GM-5J GM-5L GM-5M GM-5I GM-5G	7.5	GM-7.5P GM-7.5N GM-7.5E GM-7.5K GM-7.5F GM-7.5H GM-7.5G GM-7.5J GM-7.5L GM-7.5M GM-7.5I GM-7.5G	10	GM-10P GM-10N GM-10E GM-10K GM-10F GM-10H GM-10G GM-10J GM-10L GM-10M GM-10I GM-10G	15	GM-15P GM-15N GM-15E GM-15K GM-15F GM-15H GM-15G GM-15J GM-15L GM-15M GM-15I GM-15G	20	GM-20P GM-20N GM-20E GM-20K GM-20F GM-20H GM-20G GM-20J GM-20L GM-20M GM-20I GM-20G	25	GM-25P GM-25N GM-25E GM-25K GM-25F GM-25H GM-25G GM-25J GM-25L GM-25M GM-25I GM-25G	30	GM-30P GM-30N GM-30E GM-30K GM-30F GM-30H GM-30G GM-30J GM-30L GM-30M GM-30I GM-30G	40	GM-40P GM-40N GM-40E GM-40K GM-40F GM-40H GM-40G GM-40J GM-40L GM-40M GM-40I GM-40G	50	GM-50P GM-50N GM-50E GM-50K GM-50F GM-50H GM-50G GM-50J GM-50L GM-50M GM-50I GM-50G



品番	名 称	品番	名 称	品番	名 称
1	減速軸	14	ステータフレーム	28	押エ金
2	Gハウジングカバー(その1)	15	固定子	29	第2歯車
3	オイルシール	16	回転子	30	Bペアリング
4	Eペアリング	17	電動機軸	31	軸受押エ
5	Dペアリング	18	Fハウジングカバー	32	第3歯車
6	第4歯車	19	Fエンドカバー	33	Cペアリング
7	補付ナット(その2)	20	外扇フラン	34	Gハウジングカバー(その2)
8	第1歯車	21	Fプラケット	35	給油口蓋
9	油止メ	22	Fペアリング	36	上部ギヤケース
10	Aペアリング	23	補付ナット(その1)	37	油面計
11	油切リ	24	ファン止ボルト	38	排油プラグ
12	Lプラケット	25	空隙測定プラグ	39	銘板(本体)
13	固定子コイル	26	ステータクラシバ	40	下部ギヤケース
		27	ケーブルヘッド		

図 1.1 GM-E 形減速電動機構造図

Fig. 1.1 Construction of type GM-E geared motor.

さらに一段歯車を追加したもので(図2.7参照), 形名の末尾の2ケタの記号はこれに使用したE形の減速機部分を表示する。

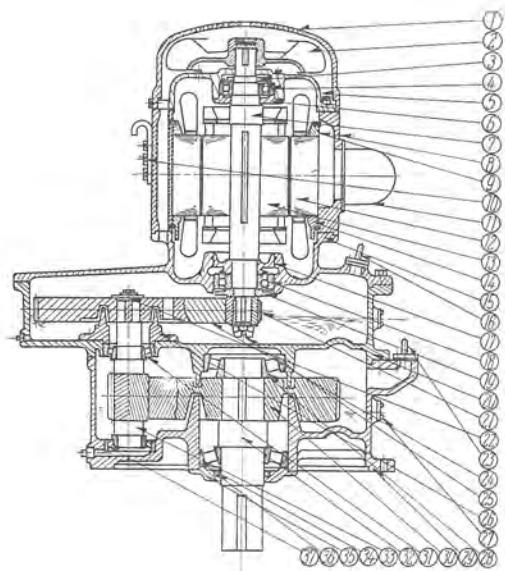
たとえば, NEP は EP 形とすれば寸法は同じである。

(5) この表の形名は横形の非防爆減速電動機の場合である。耐圧防爆形の形名は, EKX, KLX と X を付す。立て形においてもこの表を適用する。形名は, ENV, KNV あるいは ENVX, KNVX と V を付す。

2. 種類

2.1 容量別

表1.1 の標準表に表示しているとおり, 電動機部分は 1/2 HP 4P から 50 HP 6P までを標準としているが, ほかに記録品として横形では 60 HP 4P, GM-60-EW, 立て形では 65 HP 4P, GM-65-EVV および 100 HP



品番	名 称	品番	名 称	品番	名 称
1	Fエンドカバー	14	ステータクラシバ(その2)	26	Gハウジングカバー(その2)
2	外扇フラン	15	Lプラケット	27	油面計
3	補付用ナット(その1)	16	カバー(その1)	28	Dペアリング
4	Fペアリング	17	油切リ	29	下部ギヤケース
5	Fプラケット	18	Aペアリング	30	第4歯車
6	Fハウジングカバー	19	油止メ	31	Bペアリング
7	電動機軸	20	上部ギヤケース	32	減速軸
8	ステータフレーム	21	第一歯車	33	第三歯車
9	ステータクラシバ	22	押エ金	34	Eペアリング
10	つり手	23	カバー(その2)	35	Gハウジングカバー(その1)
11	ケーブルヘッド	24	第二歯車	36	オイルシール
12	固定子	25	補付用ナット(その2)	37	Cペアリング
13	回転子				

図 1.2 GM-EV 形減速電動機構造図

Fig. 1.2 Construction of type GM-EV geared motor.



図 1.3 GM-3-EK 形

Fig. 1.3 Type GM-3-EK geared motor.



図 1.4 GM-15-KN 形

Fig. 1.4 Type GM-15-KN geared motor.

4P, GM-100-KZZV (KZZ 形は KV 形の 3 段階上のもの) など多数製作納入した。

2.2 減速軸の方向別

減速軸が水平方向に出ている横形と垂直に出ている立て形とを標準に製作している。取付は床取付が標準であるが壁取付および天井取付のものも製作している。

2.3 保護構造別

標準は非防爆形および防爆形であるが防食形、防滴形、防水形および屋外形も多く製作実績を有している。防

爆形は炭坑防爆(JIS C 0901) および工場防爆の耐圧防爆形で、工場防爆では発火度 C、爆発等級 1 級のものを標準としている。発火度 D および爆発等級 2 級のものは必要あれば製作するが爆発等級 3 級のものについては目下研究中である。

2.4 電動機の形式別

電動機は全閉外扇形カゴ形回転子交流三相誘導電動機で連続定格、じか入起動式を標準としているが全閉形、巻線形回転子、短時間定格、 $Y\Delta$ 起動式、電磁ブレーキ付および極数変換で二段ないし数段の変速可能にしたも



図 2.1 船舶用 GM-7½-NL
Fig. 2.1 Type GM-7½-NL marine use geared motor.



図 2.2 耐圧防爆形 GM-7½-EMX
Fig. 2.2 Type GM-7½-EMX explosionproof geared motor.



図 2.3 耐圧防爆形屋外形 GM-1-EGX スライドベース付
Fig. 2.3 Type GM-1-EGX explosionproof outdoor geared motor with a slide base.



図 2.4 耐酸形 GM-15-EN
Fig. 2.4 Type GM-15-EN acidresisting geared motor.



図 2.5 GM-15-ENV形
Fig. 2.5 Type GM-15-ENV geared motor.



図 2.6 GM-100-KZZV形
Fig. 2.6 Type GM-100-KZZV geared motor.



図 2.7 全閉形 GM-7½-NER
凹板形電磁ブレーキ付
Fig. 2.7 Type GM-7½-NER totally enclosed geared motor with disk type magnetic brake.

のなど多数製作している。絶縁は A 種が標準であるが B 種および H 種のものも製作している。また紡績機械用として直流電動機と組合わせた減速電動機も多数納入している。

2.5 その他の

表 1.1 に表示している減速電動機のほかにとくに使用状態の苛酷な鉱山の坑内用原動機として、FX 形を製作している(図 2.9 参照)。電動機出力は 20, 30 および 40 HP を標準としている。

また減速電動機の減速部分だけを独立させ、減速機として使用することも可能である(図 2.8 参照)。AS モータと組合わせて無段变速を可能にした減速機も多数製作納入している。

3. 当社減速電動機の特長

(1) 2 項で説明したように電動機部分と減速機部分との組合せが合理的である。またある程度この組合せを自由に選択できるので、とくに機械的強度の必要なところ、あるいは電動機の使用状態が苛酷な用途などその目的に合致した減速電動機を使用できる。

(2) ギヤケースは上下ふたつ割構造であるから、つぎのような利点がある。

- 歯車および軸受の保守点検が非常に便利である。とくに負荷に連結したまま内部の点検および部品の取替えができる。
- 構造上重い部品集団を同時に

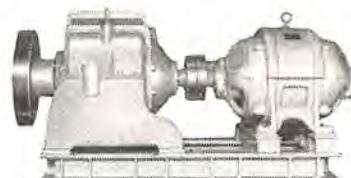


図 2.8 60 HP EZ 形 減速機
Fig. 2.8 Type EZ 60 HP geared motor.



図 2.9 耐圧防爆形 GM-40-FX
Fig. 2.9 Type GM-40-FX pressure resisting explosionproof geared motor.

ひきだす分解、組立作業がなく、順次に分解、組立をすればよいので、時間が早いだけでなく特別の道具だけの必要もない。

(3) 電動機はフランジ形でロード側ブラケットを有し、単独に完全組立を終ったものをギヤケースに取付ける構造であるから次のような利点がある。

- a. 電動機だけの単独運転ができる。
- b. 電動機をはずしたとき、電動機は完全に組立った状態なのでコイル、鉄心および軸受の露出がなく外傷をうけることがない。

(4) 減速歯車方式には種々のものがあるが、外接歯車方式の単純一段ないし三段減速を採用しているので次のような利点がある。

- a. 構造がもっとも簡単で、部品取替えが容易である。
- b. 高能率である。
- c. 部品および機工数が少なく、したがって割安である。

(5) 歯車の歯形ははすば転位歯形を採用しているからかみ合いで円滑で騒音、振動がなく寿命が長い。

(6) 電動機の軸受には密封玉軸受を使用しているので保守が簡単である。

4. 歯 車

減速電動機の生命が歯車の良否に左右されるといつても良いほど、歯車は大きな役割をもっているが、当社の減速電動機においては下記のような考慮が払われている。

(1) 歯車の歯形としては従来は低歯が多かったのであるが材質の向上、熱処理技術の向上などで最近は歯の折損事故はほとんどなく、歯の損傷といえば歯の摩耗を意味するほどになった。したがって歯の摩耗を最小限に抑えるため、20度並歯によるはすば転位歯車方式を採用し同時にかみ合歯数の増大をはかっている。すなわち第一段歯車（三段減速では第一段および第二段歯車）ではつねに3枚ないし4枚、第二段歯車（三段減速では第三段歯車）においては2枚ないし3枚の歯をかみ合いで参加させている。また適量の±歯形転位を行うことにより、かみ合いで始めおよび終り付近のすべり接触を大巾に抑制し、純ころがり接触に近いものにしている。

(2) 歯車の材質はビニオンには高周波焼入特性の良いクロームモリブデン鋼を使い、ギヤには特別に調質したクロームモリブデン鋼、炭素鋼および鉄鋼を歯車の大きさにより使いわけている。

(3) 歯車の硬度の決定は耐摩耗性の観点から歯車の材質、熱処理方法および相手歯車の硬度などによって決められるべきである。当社では種々実験を繰返したのちビニオンを高周波焼入でショア硬度65度±3度に表面硬化をなし、ギヤのほうはショア硬度40度±3度に調質したものを使用している。

(4) 歯車加工の優劣は歯車の寿命および最近とくに問題になっている騒音に大きな影響をあたえるので歯車の諸誤差を最小限度に抑えるため、まず Gould & Eber-

hardt および Ravid Brown などの優秀な歯切盤の設置と、この歯切盤および歯切カッタの定期精密検査を行ない、これの精度を保持するとともに、正確なプランクを正しく取付けて加工している。

5. そ の 他

5.1 電動機

電動機の特性はすべて JIS C 4201 低圧三相誘導電動機に準拠しているが、長年の設計および工作上の経験に基く三菱モータル独特の特性をつねに發揮している。起動回転力は、用途上150%以上を確保しているが、とくに大型の防爆形減速電動機は200%以上のものを標準として製作している。

最近の傾向として、B種絶縁のものおよび化学、石油工場向けの防爆形減速電動機の需要の増加が目だっている。

5.2 軸受

電動機部分の軸受には密封玉軸受を使用し構造の簡素化と保守の簡便をはかっている。構造は図5.1に示すように中の封入グリースの取替えが可能になっていている。封入グリースはリチウムベースの多用途グリースである。最近高速回転する玉軸受の騒音が問題になっているが、当社減速電動機には用途、潤滑方式および取付け方法に合致したラジアル遊隙、その他を有する玉軸受を使用し騒音の絶無を期している。

減速機部分には主として小形で強力な円錐コロ軸受を使用している。

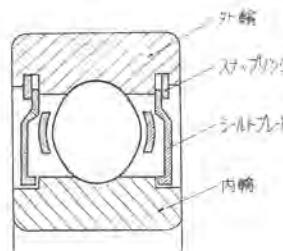


図 5.1 密封玉軸受
Fig. 5.1 Enclosed ball bearing.

5.3 潤滑

電動機部分および立て形の減速軸の各2個の軸受はグリース潤滑で、他の軸受および歯車はすべてギヤケース内の油による飛沫潤滑である。立て形では一段目と二段目は別個の油槽から成り立っている。

5.4 油漏れ防止対策

油漏れで一番問題になるのはギヤケース内の油が電動機内部へ漏出することであるが、当社減速電動機においては特別の油切り装置を施しているので、その心配なく使用できる。また減速軸貫通部にはオイルシールを使用しているので外部への油漏れもない。

以上当社新形減速電動機について、その特色なり内容の概略を述べてきたが、今後ますます拡大する用途と大型化に対処するためさらに技術の向上と研究のための努力を続けている。

III. 電磁カプリング付電動機 (AS モータ)

最近のめざましい自動制御の普及発展にともない電動力応用面において精密な速度制御を要求される機会がきわめて多くなった。ここに述べる AS モータは中小容量の用途に対して手軽でしかも精密な速度制御の一方式を提供するためのものであり、うず電流つき手(AS カブリング)とカゴ形誘導電動機とを一体にしたものである。(AS は Adjustable Speed の略である)

われわれは昭和 29 年からその製作を開始し、すでに製作納入台数は 100 台をこえ、今後ますますこの種の機械の需要は増加する傾向にあるので、その原理・構造および応用面における種々の方式などについて概略の説明をおこなう。

1. 電気つき手全般

電気つき手はその使用目的にしたがって種々の原理・形式のものがあるが大体つきの5種類に分類されている。

- (1) 誘導つぎ手 (Induction Coupling)
 - a. 船舶推進形 (Ship Propulsion type)
 - b. うず電流形 (Eddy current type)
 - (2) 同期つぎ手 (Synchronous Coupling)
 - (3) ヒステリシスつぎ手 (Hysteresis Coupling)
 - (4) 電磁摩擦つぎ手 (Magnetic Friction Coupling)
 - (5) 磁気粒子つぎ手 (Magnetic Particle Coupling)

これらのうち速度制御の目的に使用されるのは主としてうず電流形誘導つき手と磁気粒子つき手であり、われわれの AS モータは前者を使用するものである。



図 1.1 1.5 kW 1,600 rpm AS モータ
Fig. 1.1 1.5 kW 1,600 rpm AS motor

2. うず雷流つぎ手の原理

誘導つき手の原理は、定性的には電機子を定常的に短絡した同期発電機とまったく相等しく、うす電流つき手のばあいは短絡された電機子が単なる鉄塊でできている点が異なるだけである。したがってそのトルクの伝達機構も同期発電機と同様にして説明できる。

ここで注意すべきことは、速度制御と発生損失との関係であり、誘導電動機の二次抵抗制御のばあいと同様なすべり損失を発生することである。

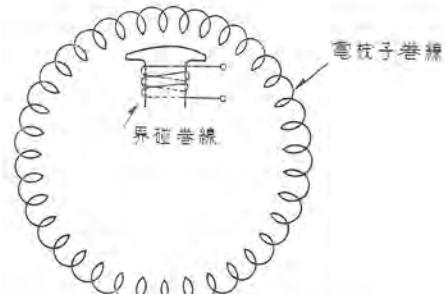


図 2.1 AS カプリングの原理図

Fig. 2.1 The fundamental truth circuit of AS coupling.

いま図2.1のように電機子巻線と界磁巻線とが存在し、両方とも同心的に独立して回転できるように組立てられているものと仮定する(これがASカブリングの原理的構造である). この界磁巻線を直流励磁し機械的に回転させると電機子巻線はこれと同方向に回転する. このばあい界磁巻線の回転速度を同期速度 ω_s (rad/sec) とし、それに対する電機子のすべりを S (per unit), 伝達トルクを T (newton-m) とすれば明らかに次の関係が成立つ.

$$P_i = T \omega_i \quad \forall i \in \mathbb{N} \quad (2.1)$$

ただし P_i は界磁巻線を回転させるための機械的入力である。したがって電機子側からの出力は

$$P_0 = T \omega_s (1 - S) \quad \forall s \in \mathbb{R} \quad (2, 2)$$

これらの差は電機子巻線内の損失であり

$$\text{Loss} = P_i - P_0 = T \omega_s S \quad \forall \omega_s \geq 0 \quad (2.3)$$

$$\text{ゆえに } T = \frac{\text{Loss}}{\omega_s S} \quad \text{newton-m}$$

またはトルクを同期ワットであらわして

すなわち AS カプリングを用いて速度制御するばあい式(2.3)であらわされる損失を電機子巻線内に発生する. また逆につぎ手の伝達トルクを求めるには与えられた界磁電流と仮定したすべり S に対する電機子内の損失を求めればよい. しかしうず電流つぎ手のばあいは電機子が鉄塊であり, 電機子内の発生損失はうず電流損失でその計算はきわめて複雑な問題を含むのでここには省略する.

このようにして伝達されるトルクは図2.2に示すように高抵抗カゴ形誘導電動機の電圧制御に似たトルク速度

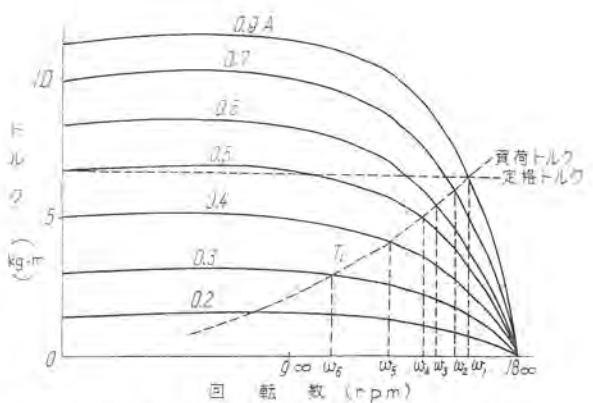


図 2.2 AS モータのトルク速度曲線 (15 HP 1,600 rpm)

Fig. 2.2 Speed torque of AS motor.

曲線をえがく。図にみるように伝達トルクは界磁電流にしたがって変化するので、いま負荷のトルク曲線を図の T_L とすれば界磁電流を変化することによって伝達トルク曲線と負荷トルク曲線との交点としての負荷の速度は $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$ のように変化する。これがうず電流つき手を使用する速度制御の原理である。

3. AS カプリングの構造

AS カブリングの主要部分は図 3.1 に示すドラム（電機子）とポール（界磁）である。ポールは簡易化された突極構造であり、軸と同心的なただ 1 個の環状界磁コイルを磁化特性のすぐれた特殊鍛銅製の磁極がとり巻いている。またドラムは外周に多数の冷却フィンをもった特殊鍛銅または特殊銅板製の円筒であり、短い空隙を介してポールの外側に配置される。



図 3.1 AS カプリングのドラム(左)とボール(右)

Fig. 3.1 Drum of AS coupling and pole.



図 3.2 7.5 HP 1,600 rpm AS モータ

Fig. 3.2 7.5 HP 1,600 rpm AS motor.

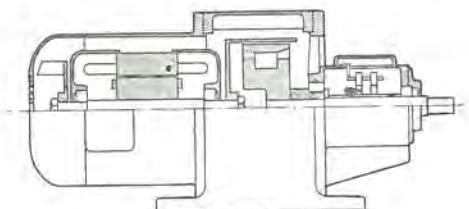


図 3.3 AS モータの断面図

Fig. 3.3 Cross section of AS motor.



図 3.4 分解された AS モータ

Fig. 3-4 AS motor disassembled.

図3.3はASモータの断面を示すもので、ドラムは電動機の軸上に直結しポール側を出力軸としている。ドラム内には前項式(2.3)に与えたすべり損失が発生し、定トルク負荷のばいすべりが大きく(負荷の速度が小さく)なるにしたがって増加するので、冷却フィンをもったドラムは回転数が一定の電動機軸に直結するほうが負荷の速度に関係なく大きな冷却効果が維持できて有利であり、またこのほうが全体の構造も簡単になる。

軸受は保守の容易なシールドボールベアリングを使用している。ドラム、ポールとも独立して回転するために、全体として4個の軸受が必要であるが、ベアリングの信頼度を高めるためにドラム側の軸(入力軸)とポール側の軸(出力軸)とは機械的に完全に独立した構造とし、ベアリングの内外輪がともに回転するような特殊な使用法は避けている。またポール側の2個のベアリング間の軸上には直流励磁に必要な2個のスリップリングおよびブラシを備えこの部分は密閉構造として塵埃その他によるスリップリング部分の事故を防止している。また空隙の不平衡に起因する磁気吸引力により振動、変形および強大な軸受荷重のかかることを防止するため軸径およびベアリング寸法は十分大きく選定してある。

4. AS カプリングの冷却方式

AS カプリングのドラム内には式(2.3)に示したすべり損失が発生し、ポール内には界磁電流による銅損が発生するが、界磁電流損失はきわめて小さく大体定格出力の 1% 以内である。ドラム内のうず電流損失は

$$\text{Loss} = T'S$$

であるから、これは負荷のトルク特性に関係する。いま負荷トルクがすべりに関係なく一定とすれば、この損失は単にすべりに比例する。またたとえばポンプのように負荷トルクが速度の自乗に比例するばあいには

となり、これらを図示すれば図4.1のようになる。またASカプリングの効率は負荷のトルク特性には関係なく大体 $(1-S)$ なる直線に近い。

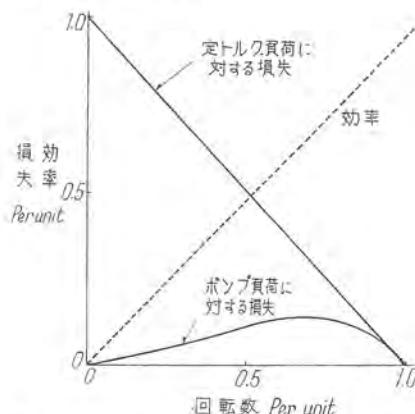


図 4.1 AS カプリングのすべり損失と効率

損失は定格出力に対する per unit

回転数は同期速度に対する per unit

Fig. 4.1 Slip loss and efficiency of AS coupling.

図から明らかなようにポンプのような負荷のばあいには損失はあらゆる速度範囲にわたって定格出力の 15 % をこえないのに反し、定トルク負荷のばあいは低速になるにしたがって定格出力に近い損失を発生する。ゆえに AS カプリングの冷却方式は負荷のトルク特性に支配される。われわれの標準の AS モータは定トルク特性の負荷に対し定格速度の 1/10 の低速において連続運転ができるよう設計されている。このため定格出力に近い損失を処理する必要があるので一般に AS カプリングを全閉構造とすることはできない。

つぎに高速大容量機になると冷却はさらに困難になる。AS カプリングに対してもふつうの回転機械と同様に出力 P_0 と主要寸法との間に次の関係が成り立つ。

$$P_0 = k_1 D^2 l n$$

(記号説明: k_1, k_2, \dots = 定数, D = 空隙直径,
 l = 空隙の軸方向有効長さ, n = 回転数)

したがって定トルク負荷に対するすべり損失は

$$\text{Loss} = k_a P_0 S = k_1 k_a D^2 \ln S$$

一方冷却面積は大体空隙面積に比例すると考えることができるのであるから

$$A = k_3 D l$$

したがって損失密度は

$$\sigma = \frac{\text{Loss}}{A} = \frac{k_1 k_2 D^2 \ln S}{k_3 D t} = k_4 D n S \quad \dots \dots \dots \quad (4.2)$$

すなわち高速大容量機になるほど損失密度が大きく冷却が困難になる。大体の基準として定格出力 20 kW 定格回転数 1,600 rpm, 最低回転数 160 rpm 程度のものが空気冷却方式で製作できる上限であり、損失密度がこれ以上になるものは水冷式として冷却を強化する必要がある。われわれはすでに 50 HP 1,600 rpm のものを水冷式で製作して満足な結果をえており、200 HP 程度のものまで製作できる準備が整っている。図 4.2 は水冷式 AS カプリングの断面図を示す。冷却水はドラムの内径空隙部分に直接導入するので冷却効率はきわめて大きい。

界磁コイルはうすい金属ケース内に収め耐湿特性のきわめて優秀なダイヤラスチック絶縁がほどこしてある。また軸受部分の水防にはとくに留意してあり、試験の結果きわめて満足な結果が得られている。

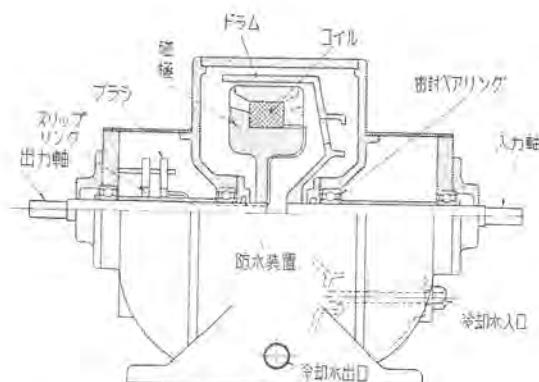


図 4.2 木造式 AS カブリングの断面図

Fig. 4.2 Cross section of water cooled AS coupling.

前に空冷式のものは一般に全閉構造にはできないことを述べたが、周囲条件がとくに悪いばあいには小容量のものでも水冷式とすることができる。

5. AS ブレーキ

前項まで述べた AS カブリングのボルト側かドーム側のいずれか一方を固定すればそのままブレーキとして使用できることは明らかであり、このようなブレーキを AS ブレーキと呼んでいる。しかしこのブレーキは零速度ではトルクを発生しないので純粋な制動の目的にはあまり使用されない。あくまで速度制御の目的に使用されるものである。この点については次項に述べる。

AS ブレーキは小容量のものではポールを固定して、ドラムを回転させる方式とする。このようにすれば直流励磁用のスリップリングが不要であり、ドラムが回転するので冷却効果が大きい。図 5.1 はこのばあいの断面図を示す。

大容量になり水冷式とする必要のあるばあいはドラム側を固定し、ドラムを中空としてその内部に冷却水を導入するほうが構造的に簡単である。図5.2はこのばあいの断面図を示す。

AS ブレーキを使用する速度制御法は AS カプリングだけでは得られない特長があり、今後ますます需要の増加する傾向がある。

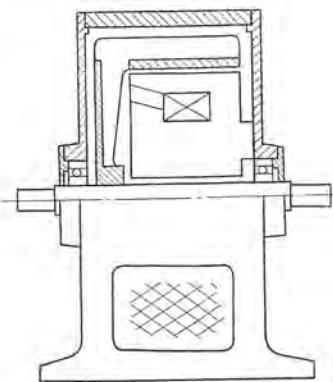


図 5.1 空冷式 AS ブレーキ断面図

Fig. 5.1 Cross section of air cooled AS brake.

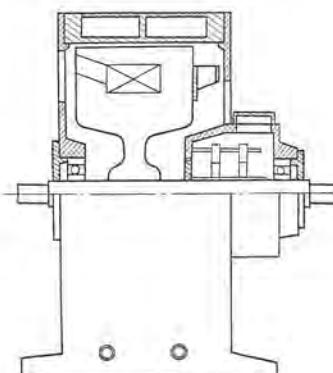


図 5.2 水冷式 AS ブレーキ断面図

Fig. 5.2 Cross section of water cooled AS brake.

6. 速度の自動制御

6.1 AS モータのばあい

AS モータは一方向のトルクだけをもつ負荷に対して適用できるものであり、無負荷においては速度制御できない。速度の自動制御の原理は図 6.1 に示すとおりであり、設定部 R (たとえばポテンショメータ) の基準電圧と、検出部 D (たとえば指速発電機) の出力電圧との差を増巾部 A において増巾し、その誤差が小さくなるように AS カプリングの励磁電流を加減する。このように自動制御したばあいのトルク速度特性は図 6.2 のようになる。図において速度変動率 γ を次のように定義する。

ただし Δn は直結する電動機の同期速度に対する per unit, ΔT は定格トルクに対する per unit の値とする。

自動制御したばあいの速度変動率は、増巾部 A の増巾率によって支配される。すなわち磁気増巾器を使用するばあいは変動率 5% 以下、サイラトロンを使用するばあいは 2% 以下が標準である。

われわれは磁気増巾器方式を標準としている。この方式の特長は磁気増巾器の寿命は半永久的であり、振動その他の機械的外力などに対してとくに信頼度が高いこと

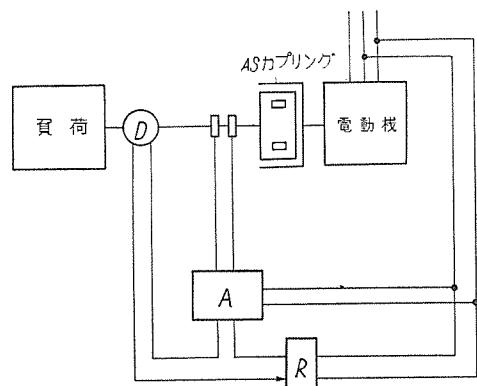


図 6.1 AS モータの自動速度制御原理図
 D: 検出部 (指速発電機)
 A: 増幅部 R: 設定部

Fig. 6.1 Schematic diagram of automatic speed control of AS motor.

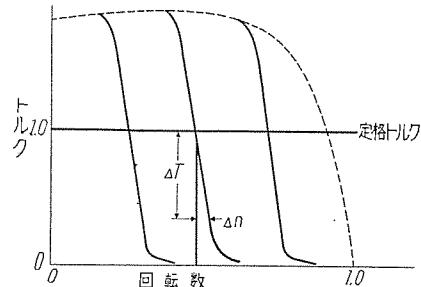


図 6.2 自動制御した場合のトルク速度曲線

$$\text{速度変動率 } \gamma = \frac{\Delta n}{\Delta T}$$

Δn : 同期速度に対する per unit
 ΔT : 定格トルクに対する per unit

Fig. 6.2 Torque speed curve when automatically controlled.

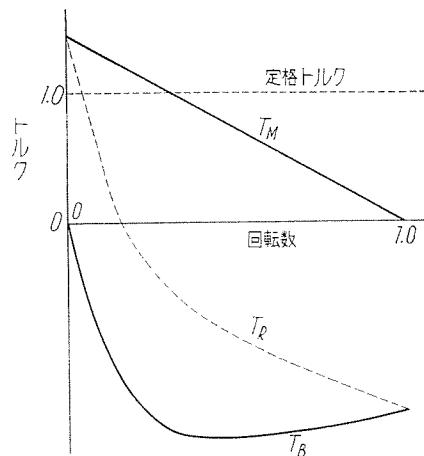


図 6.3 AS ブレーキを使用したばいの速度制御原理
Fig. 6.3 Speed control curve when AS brake is in use.

である。サイラトロン方式はとくに速度変動率を小さくする必要のあるばあいに使用している。

6.2 AS ブレーキを使用するばあい

AS ブレーキを使用する速度制御は正逆両方向のトルクをもった用途に対して適用できる点が AS モータに対して大きな特長である。またとくに精密な微速を必要とするばあいに有利である。

AS ブレーキを使用するばあいは直結する電動機は巻線形電動機とする。図 6.3 で T_M を電動機トルク、 T_B をブレーキトルクとすればこれらの合成トルクは T_R となり無負荷においても安定な低速がえられる。もちろん AS ブレーキの励磁電流を自動制御すればさらに変動率の小さい速度制御が可能である。

また巻線形電動機のかわりに AS モータを使用し, AS カプリングと AS ブレーキとを併用するばあいもある。このばあいの制御原理は巻線形電動機使用のばあいとまったく同一であり, AS カプリングと AS ブレーキを一体に組立てることによってきわめてコンパクトなセットとすることができます。

7. AS カプリシング, AS ブレーキの応用

前項までに述べた点から明らかなように、AS カプリング、AS ブレーキはきわめて広範な用途に対して有利に適用することができる。すなわち次のような条件を必要とする用途に対して有利である。

(1) 速方制御を必要とするばあい

コンベア、ファン、ポンプその他の一定方向のトルクだけをもつ負荷に対しては AS モータにより精密な速度制御がえられる。また巻上機その他の 2 方向のトルクをもつ負荷に対しては AS ブレーキ方式により安定な低速運転ができる。

AS カプリング, AS ブレーキは前述のように励磁入力がきわめて小さいので自動制御, 遠隔操作に対してよく適している.

(2) 重慣性負荷の起動停止を必要とするばあい

カゴ形電動機は回転子の熱容量が小さいので重慣性負

荷の起動をくり返すことは損傷の原因となりやすいが、AS カプリングは熱容量が大きいので重慣性負荷を楽に起動できる。また直結するカゴ形電動機は AS カプリングの励磁を切離しておくことによって無負荷で起動できる。

(3) ひんぱんな起動停止を必要とするばあい

(2) 項と同一理由により電動機をつねに運転状態においてAS カプリングの励磁の on, off のみで起動停止できるので、きわめてひんぱんな起動停止に対して有利に使用できる。

(4) 緩起動を必要とするばあい

AS カプリングのトルクは励磁電流により自由に制御できるので起動時の加速度を制御し理想的な緩起動ができる。

(5) トルク制御を必要とするばあい

製線機、製紙機などのように張力制御を必要とするばあい、励磁電流の制御によってトルクが自由に制御できるので精密な張力制御が可能である。ただしこのばあい速度制御用発電機のかわりに適当な張力検出装置が必要である。

(6) ねじり振動を防止する必要のあるばあい

往復動機関のように軸に有害なねじり振動があり、これを他の機械に伝達することを防止する必要のあるばあいには AS カプリングを中間に設置することが有効である。AS カプリングはこのようなねじり振動の伝達を防止するに有効な制動トルクをもつものである。

以上われわれが自動速度制御機器の一環として製作している AS モータおよび AS ブレーキについて概略説明した。しかしこれらは中小容量機に対して適用すべきで大容量機に対しては、たとえばリアクタ制御方式あるいは適当な二次励磁方式などが有利になるばあいが多いことに注意しなければならない。

AS モータおよび AS ブレーキを使用するばあいには特定の用途に対してその長所欠点を十分検討し、長所を活用することがもっとも重要である。しかしこれらは多くの長所をもっているので今後ますますその用途は開けてくるものと思われる。

IV. 円板形電磁ブレーキ付電動機

電動力応用の分野の発展に伴い、ひんぱんな急停止、重い負荷に耐える動作確実なブレーキ付電動機が要望されている。

電動機の急速停止は機械的には手動、油圧または電磁力を利用した摩擦ブレーキ、電気的には発電制動、回生制動、ブレーキングなどが採用されているが、電磁力を利用した電磁ブレーキはもっとも簡単で、確実に制動する方法の一つである。

電磁ブレーキには、バンド形、シュー形、円板形があり、従来シュー形電磁ブレーキが多く用いられていたが

構造上取付けに場所を要した。これに対し円板形電磁ブレーキは小形でまとまりがよく、電動機本体に直結でき、全体を小形軽量にすることができるため、広く使用されるようになった。

当所では、円板形電磁ブレーキとして AD 形交流電磁ブレーキ、DD 形直流電磁ブレーキを製作している。いずれもブレーキ付電動機として、工作機械、その他急停止をひんぱんにくり返す用途に多数製作納入し好評を得ているので、とくに円板形電磁ブレーキについて述べる。

1. 円板形電磁ブレーキの特長

- (1) 電動機と一体に組込まれるから全体に小形であり、機械に取付けて、空間が有効に利用できる。
- (2) 回転部分のハズミ車効果が少なく、制動トルクが大きい。
- (3) 制動部分は露出せず、全閉形か防滴形とすることができる。
- (4) 機械的にがん丈で、確実な制動ができる。
- (5) 調整が容易であり、保守が簡単である。
- (6) 横形、立て形、いずれにも使用できる。

2. AD-B 形円板形交流電磁ブレーキ

AD 形交流電磁ブレーキはホイスト用として数年来製作してきたが、近年電動機の小形化によりさらに高性能のものが要求され、新たな構造の下に AD-B 形電磁ブレーキが製作されるに至った。

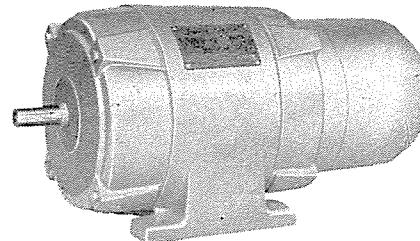


図 2.1 SB-A 形電動機 2 HP 4 P $\frac{1}{2}$ 1114 Fr
AD-1B 形円板形交流電磁ブレーキ付

Fig. 2.1 Type SB-A motor with type AD-1B disc type AC magnetic brake.

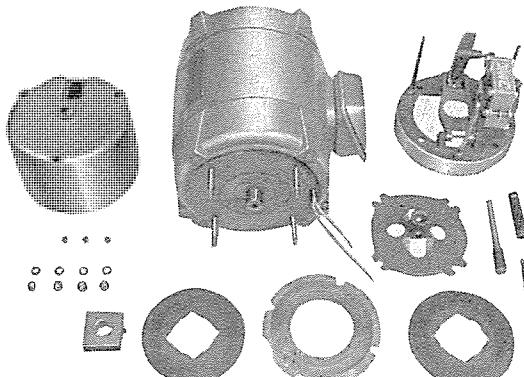


図 2.2 AD-1B 形円板形交流電磁ブレーキ内部構造

Fig. 2.2 Type AD-1B disc type AC magnetic brake internal construction.



図 2.3 SB-V 形電動機
2 HP 4 P # 1114 Fr
AD-1B 形円板形交流
電磁ブレーキ付

Fig. 2.3 Type SB-V
motor with type AD-1B disc
type AC magnetic brake.

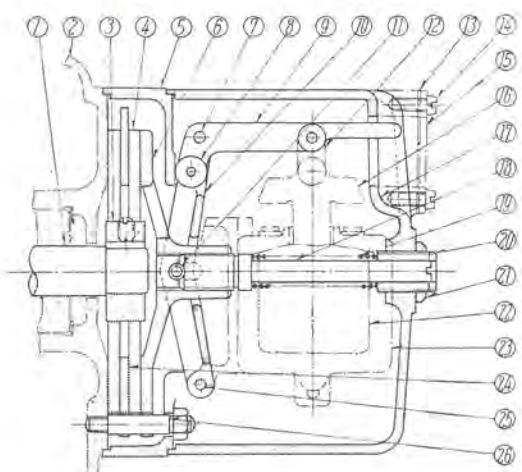


図 2.4 AD-B 形円板形交流電磁ブレーキ断面図
Fig. 2.4 Cross section of type AD-B disc type
AC magnetic brake.

AD-B 形円板形交流電磁ブレーキは 5HP 以下の小形電動機に使用される。

図 2.1 は外観、図 2.2 は内部構造を示し、図 2.3 は立て形電動機に直結されたものであり、図 2.4 は断面図である。

2.1 構造上の特長

- (1) 小形軽量化された電動機（新 JEM JEM1100）に合わせ、製作された電磁ブレーキで、小形でしかも強力である。
- (2) ブレーキライニングの摩耗したときの調整と、制動トルクの調整が同一箇所の外部からできるため、調整作業が非常にやりやすい。
- (3) ブレーキライニングの摩耗状態が手動開放レバーの位置により外部から簡単に調べることができるため、ブレーキの作動を絶えず最良の状態に保つことができる。

(4) 外部から手動開放ができる。

(5) 特殊材料の回転円板。

従来円板ブレーキにおける回転円板には鋼板焼入品が多く使用されていた。これは薄物のため、加工後のひずみが残りブレーキ開放時にライニングと触れ合って回転し、ライニングの摩耗を早め、制動能力を減じていた。またこのため、回転中の騒音も高かった。

本機では、ブレーキ板を鋳鉄製とし、回転円板を石綿真鍮線の織物に熱硬化性合成樹脂を浸漬させ、加圧加熱成形したアスベストウーブンライニングを使用した。これは機械的強度強く、熱劣化の少ないもので、加工後のひずみも少なく、回転中の騒音が非常に少ない。

(6) 電磁ブレーキ電源用口出線は電動機内部で結線するため、特別の物以外は必要がない。

2.2 構造および動作

ブランジャ形電磁石の電磁力によりリンク機構を介してブレーキライニングから圧力板を開放し、またスプリングによって圧力板をブレーキライニングに圧着させ、制動する機構である。図 2.4 により動作機構を示せば、

(1) 電動機電源と並列に接続されている電磁コイル②は電源を入れるとブランジャ⑩を吸引する。レバー⑨はピンA⑦を支点としてブランジャ⑩とともにけん引されるが、ボールベアリング⑧がブレーキ座に当るため、ピンAは右に移動する。ピンAにより連絡されているレバー⑩とテコ⑪はピンB⑫を支点として右方に移動する。テコに固定されたピンB⑪はスプリング⑯の力に抗して、ロッドを右に押す。圧力板はねじ込みになっているので、ロッドとともに右に移動する。このため、ブレーキライニング④は圧力板から開放されて制動トルクは零になり、軸とともに自由に回転できる状態となる。

(2) つぎに電動機電源を切った場合、電磁コイルは消磁され、ブランジャの吸引力はなくなり、スプリングの力に抗していたピンB⑪の変位もなくなり、圧力板⑥はスプリングの力で左方へ押され、ブレーキライニング④にスプリング圧力を加え、制動トルクを発生する。

2.3 ブレーキ調整と手動開放装置

(1) 制動トルクの調整

制動トルクは圧力板の圧力、すなわちスプリング⑯の力により変化する。このため、調整ナット⑯によりスプリングの圧縮長さを加減して行う。

(2) ブレーキライニングの摩耗調整

ブレーキライニングの摩耗は、レバー⑨の先端位置が上に変位するので簡単にわかる。この場合、摩耗分を調整するには、ロッド⑯の先端切込みをドライバで反時計方向に回転させ、圧力板の位置を変化させ、調整する。

(3) ブレーキの手動開放

ブレーキを手動開放するには、レバー⑨を下方に押せばよい。全閉構造のものでは、全閉カバーをはずして行う。

2.4 仕様と定格

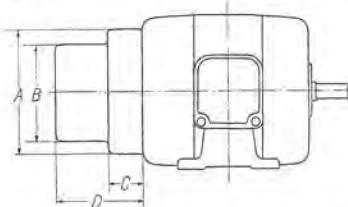
AD-B 形円板形交流電磁ブレーキは普通 1HP から 5

HP の電動機に使用せられ、1HP 以下の小出力の電動機には別に AD-A 形として 3 種ある。またブレーキの定格は大体電動機の定格と合致させるのが通常である。表 2.1 は仕様、外形寸法一覧表で、DD 形電磁ブレーキを含めてある。

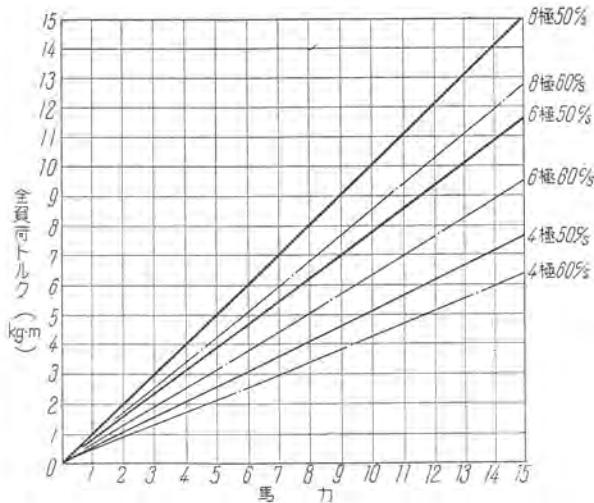
2.5 適用

電磁ブレーキを電動機に適用する場合、通常制動トルクと、電動機全負荷トルクとの比較により決定される。この場合、相手機械の負荷、慣性モーメントの大きさで

表 2.1 円板形電磁
ブレーキ仕様、外
形寸法一覧表



励磁	仕 様		外 形 尺 法				重 量 kg
	形 名	定 格	A	B	C	D	
交 流	AD-0.7 A	連続	0.1	126	—	136	—
	AD-0.8 A	"	0.3	150	—	128	—
	AD-0.9 A	"	0.4	150	—	128	—
	AD-1 B	"	0.8	180	—	164	—
	AD-2 B	"	1.6	180	—	164	—
	AD-3 B	"	2.2	240	—	210	—
	AD-4 B	"	4.4	240	—	210	—
直 流	DD-3	"	6	300	275	80	140
	DD-4	"	9	300	275	80	150
	DD-5	"	12	300	275	80	160



〔注〕全負荷トルクの電動機回転数はすべり 5% として算出した。

図 2.5 三相誘導電動機の全負荷トルク

Fig. 2.5 Full load torque of 3 phase induction motor.

表 2.2 誘導電動機に対する円板形電磁ブレーキの適用表

出力	4 極		6 極		8 極	
	80%	150%	80%	150%	80%	150%
50W	AD-0.7 A					
100 "	"	"	"	"	AD-0.8 A	AD-0.8 A
200 "	AD-0.8 A	AD-0.8 A	AD-0.8 A	"	AD-0.8 A	AD-0.8 A
400 "	"	AD-0.9 A	AD-0.9 A	AD-1 B	AD-0.9 A	AD-1 B
3/4 HP	AD-0.9 A	AD-1 B	AD-1 B	AD-2 B	AD-1 B	AD-2 B
1 "	"	"	"	"	"	"
2 "	AD-1 B	AD-2 B	AD-3 B	AD-4 B	AD-3 B	AD-4 B
3 "	AD-3 B	AD-3 B	"	AD-4 B	AD-4 B	DD-3
5 "	AD-3 B	AD-4 B	AD-4 B	DD-3	AD-3	DD-4
7.5 HP	DD-3	DD-3	DD-3	DD-4	DD-3	DD-5
10 "	DD-3	DD-4	DD-3	DD-5	DD-4	DD-5
15 "	DD-3	DD-5	DD-4	DD-5	DD-5	DD-5

備考 * 全負荷トルクに対する制動トルクの百分率を示す。

誘導電動機応用品・安松・中野・新良・稻垣

異なるが、大体制動トルクは全負荷トルクの 100% 前後で 80~150% が普通である。

図 2.5 は電動機全負荷トルクを示し、表 2.2 は電動機に対する電磁ブレーキの適用表である。

2.6 動作試験

実用試験は試作完了後 10 万回の動作試験を行い、制動能力、温度上昇、アスベストライニングの摩耗など、従来のものに見ない高性能を確認した。アスベストライニングの摩耗は実用試験結果より、250 万回動作で 1mm 程度と推定される。またブレーキ最低動作電圧は定格電圧の 85% を保証するのが通常であるが、試験の結果、75% 電圧でも定格制動トルクでの使用が可能であった。

3. DD 形円板形直流電磁ブレーキ

DD 形円板形直流電磁ブレーキは、7.5HP 以上の中形電動機に使用されるもので、交流電動機に使用しても付属のセレン整流器により別個の直流電源を必要とせず、電動機と同一電源で使用できる。直流励磁は交流特有の振動音なく静肅で、強力な制動を行うことができる。



図 3.1 SB-A 形電動機 10 HP 4 P № 1625 Fr
DD-5 形円板形直流電磁ブレーキ付

Fig. 3.1 Type SB-A motor with type DD-5 disc type DC magnetic brake.

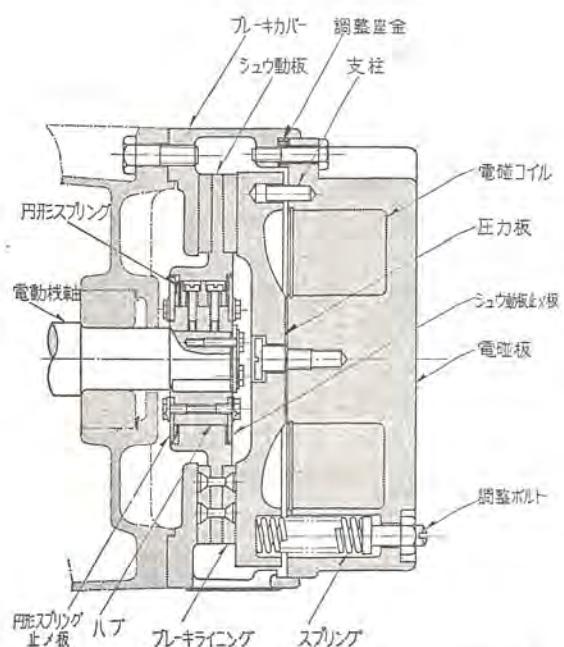


図 3.2 DD 形円板形直流電磁ブレーキ断面図

Fig. 3.2 Cross section of type DD disc type DC magnetic brake.

図3.1 は外観を、図3.2 は断面図を示す。

3.1 構 造

ブレーキライニング(アスペストウープライニング)を両側に張りつけたしゅう動板と、これを押えて制動する圧力板、スプリング、電磁石を形成する電磁板、これに収納されている電磁コイルからなっている。

3.2 動 作

(1) 電動機に電源を入れると、これに並列に接続されているブレーキ回路のセレン整流器によって整流された直流が電磁コイルを励磁し、電磁板は電磁石となって圧力板を吸引する。

(2) 圧力板はスプリングの力に抗して電磁板に吸引されるので、ブレーキライニングをゆるめ、制動トルク零になり、ブレーキライニングは電動機軸とともに回転する。

(3) しゅう動板は円形スプリングにより右側に押されているので、圧力板の圧力がなくなれば、しゅう動板止め板に当るまで変化する。このとき、ブレーキライニングの両側が同じ間隔になり、運転中にブレーキライニングが圧力板とブレーキカバーに接触しないため、静かな運転ができる。したがってライニングの摩耗が少ない。

(4) 電動機電源を切れば、同時にブレーキ回路の電源が切り離され、電磁コイルは消磁され、電磁板の吸引力はなくなり、圧力板のスプリング圧力で、ブレーキライニングを圧して、制動トルクを発生する。

3.3 ブレーキの調整

(1) 制動トルクの調整

制動トルクは圧力板の圧力によって変化するため、調整ボルトを回転させ、スプリングの圧縮長さを加減して行う。

(2) ライニングの摩耗調整

ブレーキライニングが摩耗すれば圧力板と電磁板のギャップが大きくなり、電磁力に影響する。このギャップ調整は電磁板の取付ボルトに入れられた調整ザガネの数を変えて調整する。

3.4 仕様および適用

仕様、外形寸法および適用については表2.1, 2.2に示す。

以上述べたように、円板形電磁ブレーキを直結した電動機は、外形が小さくまとまり、場所をとらないので相手機械との調和がよいこと、電磁ブレーキ構造は直結される電動機の外被構造に合わせ、全閉、防水、防滴形とすることができるため、各種用途に使用できる。最近は円板形電磁ブレーキ付電動機の需要が非常に多く、とくに電動機専用の分野の拡大とともに中形電動機の円板形電磁ブレーキの要望も多くなり、工作機械、産業機械はもとより、あらゆる用途に広く利用されるようになった。ここに当社円板形電磁ブレーキ付電動機をご紹介し、ご批判とご指導を仰ぐ次第である。

V. クラッチモートル

クラッチモートルは単相または、三相誘導電動機にクラッチ機構を組ませたもので、代表的用途は工業用ミシンの駆動用である。

従来、縫製工場における工業用ミシンの多くは集団運転であったが、近年、設備の合理化、コストの軽減、商品価値の向上を目標に、これらは漸次単独運転方式に改善されつつある。

一方、工業用ミシンの発達は従来のミシンに比べ、縫調子、回転数についてもはるかに高性能、高速度のものが完成され、これを駆動するクラッチモートルも、それに応じた性能のものが必要になり、ミシンの単独運転化高速化につれて、その重要性はますます加わっている。

当社では、十数年来クラッチモートルの生産を続けてきたが、新たな構想のもとに、SN形クラッチモートルを製作し、好評を得ているのでこの機の概要について述べる。

1. クラッチモートルの具備すべき条件

工業用ミシンの運転は、非常にひんぱんな起動停止の繰返しで、これを駆動するクラッチモートルは、つきの諸点が要求される。

(1) 急速起動および急速停止を確実に行うこと。



図2.1 SN形閉鎖防滴形分相起動クラッチモートル
200W 4P

Fig. 2.1 Type SN enclosed drip-proof split phase start clutch motor.

(2) 振動、騒音が少なく、静謐な運転ができ、操作が楽なこと。

(3) ひんぱんな起動停止をするので、クラッチ、ブレーキ機構は十分に耐久性があること。などであるが、ミシンの高速度化、高能率化とともに、とくに起動、停止特性についての要求度が高まっている。

2. 構 造

SN形クラッチモートルは、分相起動単相電動機、または、三相誘導電動機に円板形クラッチ、ブレーキを組合せたもので、標準機種は200W四極(三相と単相)、400W二極(三相)の3種があり、図2.1は外観を、図2.2断面構造を示したものである。

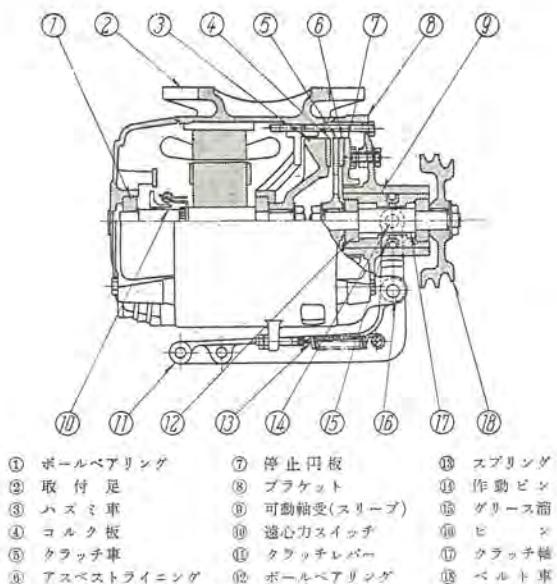


図 2.2 SN 形クラッチモータ構造図

Fig. 2.2 Type SN clutch motor construction.

構造は、電動機部分とクラッチ機構はおののおの独立した形態の組合せであり、分解組立整備が簡単にできる構造になっている。電動機とクラッチ部分にはおのの2個の密封ボールベアリングが使用してある。電動機軸端には、ファン兼用のはずみ車が付き、クラッチ軸にはクラッチ車とベルト車が付き、可動軸受により支持され、クラッチレバーにより軸方向に移動できる構造である。

3. 特 長

3.1 急速起動と急速停止

負荷に急速起動を与える、急速停止をさせるについて、とくに考慮した構造になっている。すなわち、電動機軸に GD^2 の大きなはずみ車をつけ、クラッチ側はとくに GD^2 の小さくなるような構造とし、ベルト車は軽金属合金製で軸はめあい部は鉄鉄の鉄込みブッシュとして、反復動作に耐える構造となっている。

3.2 給油不要の密封ボールベアリング

軸受はすべて完全な密封ボールベアリングを使用してあるため、異物の侵入や油漏れがない。またグリースはとくに精選された耐老化性のすぐれたリチューム系グリースを封入密封してあるので潤滑剤が不適当であったり、過不足がなく、無給油のまま長い寿命が保たれる。

3.3 耐久性のあるクラッチ機構

クラッチおよび制動機構は、クラッチ装置として好ましいスリーブ(可動軸受)を介して制御される。このスリーブはクラッチレバーで操作した場合、こじれがなく動きがスムーズであるようにガイド面を長くし、とくに精密加工がしてある。またガイド面の潤滑はグリース潤滑となっている。これは従来の油潤滑に比べ油の必要がなく、油の流出による縫製品の汚損がなくなる。すなわちガイド面には斜みぞが切られ、グリースだめからのグリース補給により円滑な作動が行われる。

誘導電動機応用品・安松・中野・新良・稻垣

クラッチライニングは摩擦係数大きく、可撓性のあるコルク板の使用で急速始動が確実である。またブレーキライニングは石綿黄銅線織物に熱硬化性合成樹脂で加工成形したアスベストウーブンライニングで、機械的強度はきわめて強い。

3.4 静かな運転

回転部分は、十分にバランスがとってあり、クラッチ機構の入念な機械加工、合理的な構造材料により、この部分から発する騒音はきわめて少なく、静かな運転を行うことができる。

3.5 調整、分解整備が容易

クラッチとブレーキライニングのギャップ調整およびクラッチレバーのストロークは止めじをゆるめ、停止円板を回転させて行う。また電動機部分、クラッチ部分は、ユニット化してあるので、分解、整備補修が簡単にできる。

4. 仕様、ミシンとクラッチモータとの関係

仕様、定格について表4.1に示す。

当社におけるミシンとクラッチモータとの関係は表4.2に示す。

表 4.1 標 準 仕 様

電動機種	形式 記号	定格出力		極数	定格	電圧 (V)	周波数 (c/s)	回転数 (rpm)	重量 (kg)
		W	HP						
分相起動 單相電動機	SN-1	200	1/4	4	連続	100	50/60	1,425/1,720	19
三相誘導 電動機	SN-3	200	1/4	4	連続	200	50/60	1,380/1,660	17.5
		※400	1/2	3	連続	200	50/60	2,870/3,400	△22.5

※ 400W 2極のばいにはベルト調整台が付く。

△ ベルト調整台を含めた重量を示す。

表 4.2 ミシンとクラッチモータの関係

ミシン			電動機種		
機種	形名	形式	電動機種	形名	出力 (W)
職業用	TA-1	本継	単相コンデンサ電動機		100 2
標準工業用	DB-3	本継	分相起動 単相電動機	SN-1	200 4
高高速工業用	DB-7	本継	三相誘導電動機	SN-3	400 2
高速度工業用	USD-2	半自動給油			
		自動給油	三相誘導電動機	SN-3	400 2

通常準高速工業用ミシン(4,000針/分)以上のものにはVベルト(エンドレスベルト)が使用されるため、これを駆動するクラッチモータには、ベルト張力調整装置の必要がある。このため、400W 2極のクラッチモータにはベルト調整台が付属する。また必要があればその他の機種にも取付けられる。この場合、取付け方法は変わらない。

以上SNクラッチモータの概要を紹介したが、このモータは、従来のクラッチモータの欠陥を種々検討し、新たに完成されたもので、各種工業用ミシンの性能を十分発揮させ、生産能率向上に十分貢献できるものと期待される。なお今後とも各位のご指導、ご鞭撻によりよりいっそう完全な製品としたいと念願している。

誘導電動機の制御器

名古屋製作所 篠 崎 善 助*

Controllers of Induction Motors

Nagoya Works Zensuke SHINOZAKI

In using induction motors as a motive power for varied industries it is of prime importance to select motors. However, the application of motors alone answers purpose very little, and their control equipment play a vital part to bring the matter to success. Recently demands for motors from the viewpoint of application are becoming complicated and diversified. To meet them, the control equipment has made a marked advance to contribute to the elevation of the motor efficacy. It is no exaggeration to say that success of motor application lies in the quality of the controllers.

1. まえがき

誘導電動機を各種産業の原動力として使用するにあたって電動機の選定がまず重要であるが、一般に電動機だけで完全に活用できる場合は少なく、その制御方式を決定してこれに必要な設備をしなければならない。近時電動機の利用面からの要求が種々雑多な高度のものとなり、これらの要求を満すために制御装置の発達もめざましく、電動力の質の向上に寄与しているが、電動力応用の成否は制御装置の優劣にかかっているといつても過言ではない。

制御装置の受持つ主要な目的は下記のとおりである。

1. 電動機の起動、停止、正転逆転を任意に行うこと
2. 電動機起動時の電流、トルクの制御
3. 電動機停止時の制動
4. 電動機の回転速度およびトルクの調整
5. 電動機の負荷の制限、故障の防止

これらの機能を行うために起動器や制御器が用いられ、またこれらの器具に組合わせて電動機の負荷制限および故障防止のために保護装置が設けられる。本文では誘導電動機の制御装置についての基本的組合せと当社標準制御器の紹介とその選定について説明する。

2. 誘導電動機の起動

誘導電動機には単相電動機と三相電動機があり、また回転子の構造によりカゴ形と巻線形とがある。三相誘導電動機では構造が簡単で保守の容易なカゴ形誘導電動機が多く用いられ、このカゴ形電動機の起動には次のような方法がある。

2.1 カゴ形三相誘導電動機の起動

この電動機の起動には電源容量、負荷の種類などにより全電圧起動と減圧起動とがある。すなわち起動電流の制限と必要な起動トルクとによって起動方法がきまる。

(1) 全電圧起動

電動機を直接電源に接続し、全電圧で起動する方法で

じか入起動またはラインスタートと呼び、起動方法のうちで一番簡単な方法である。自家用工作物あるいは一般工場設備などの場合は電源の許せる範囲で相当大容量の電動機までじか入起動が行われるが、電力会社との小口契約の場合は規則によって普通カゴ形で 5HP 以下、特殊カゴ形では 10HP 以下に適用される。じか入起動の場合の起動電流は全負荷電流の 450~600% である。

(2) スターデルタ起動

起動電流を制限するもっとも簡単な減圧起動法の一種で最初は一次巻線をスターに接続して起動し、ほぼ全速に達したときデルタに接続する方法で、普通カゴ形 7.5 HP 以上の電動機や、電源容量が小さく起動電流を制限する必要のあるときに用いられる。この起動法では起動時の線電流も起動トルクも全電圧起動のときの 1/3 に減少する。

(3) 起動補償器による起動

単巻変圧器により減圧して起動し、のち全電圧に切り替える方法で、比較的大容量の電動機の起動に用いられる。この方法は同一起動入力に対して起動電流や起動時の損失が少ない特長がある。特性はトルクも起動電流もスターデルタ起動と同様であるが電圧の加減ができる。誘導電動機の起動用単巻変圧器の標準タップは定格電圧の 50, 65, 80% である。

(4) リアクトル起動

この方法は起動時に一次側回路に直列にリアクトルを入れ電動機にかかる電圧を低めて起動し、加速後に短絡する方法で (2)(3) の方法では全電圧に切り替えるとき電動機が電源から切り離されるため電流の突入が生じるが、この方法では起動が進むにつれて電動機の端子電圧が上昇し、最後にリアクトルを短絡するので電流の突入がなく起動が円滑である。しかし起動トルクが起動電流の割合に小さい、この起動方法の一種でリアクトルを一相に挿入して電動機にかかる電圧を不平衡にして起動するいわゆるクザ起動が紡績方面でさかんに用いられている。

(5) 抵抗起動

リアクトルの代りに抵抗を用いる方法で、その特性もほとんど同様であるが起動時の力率がよくなる点がちがっている。

2.2 卷線形三相誘導電動機の起動

卷線形誘導電動機の二次回路に起動抵抗を接続して起動し、加速とともに抵抗値をだんだんに減じ、最後に短絡する方法で、起動電流を制限し起動トルクを適当に加減して起動できる。起動電流は全負荷電流の 100~150% とし、このときの起動トルクは全負荷トルクの 100%~150% である。

3. 誘導電動機の速度制御

一般に誘導電動機は負荷が変化しても速度はほとんど一定で運転しており、速度制御には特別の工夫が必要で、端子に不平衡電圧を加えるとか、特殊の機器と組合せて速度制御を行なうか、または電動機の極数を変換して多段速度の制御が行われる。極数変換の方法には同一巻線を異なった極数に切り替えるか(4 極から 8 極へ)、異なる巻線を同一鉄心に独立して巻くか(4 極から 6 極へ)、これらの組合せによる方法があり、普通二段、三段、四段速度の電動機が用いられる。カゴ形では固定子巻線だけの切り替えでよいが、巻線形では固定子と回転子の両方の切り替えが必要でごく特別の場合に用いられる。

卷線形誘導電動機では 2.2 で述べたように回転子回路に直列に抵抗を接続して速度制御ができるが、その速度制御範囲は負荷のいかんに関係し、軽負荷では安定した広範囲の速度制御ができない。

特殊制御方式の最近の代表的例としてリアクトル方式がある。この方式は誘導電動機の一次側に直流励磁可飽和リアクトルを接続し、リアクトルのリアクタンスを連続的に変化することにより、誘導電動機の端子に印加される電圧を減少させたり不平衡とすることにより、同期速度以下の速度制御を行うもので、バイロット発電機および増圧装置と組合わせることにより、主回路の切替えを行わず、連続的にきわめて安定した速度制御を行うことができる。

リアクトル制御の基本回路としては、ブリッジ・リアクトル回路、移相リアクトル回路、および直列リアクトル回路の 3 方式があり用途に応じそれぞれ使用される。(詳細は“三菱電機”第 29 卷第 9 号および第 32 卷第 8 号参照)

4. 三菱標準制御器の選定

前節で誘導電動機の起動および制御についてきわめて簡単に述べたが実際の器具を回路に配置する場合の標準的

な組合せを当社の標準制御器に例をとって示す。一般

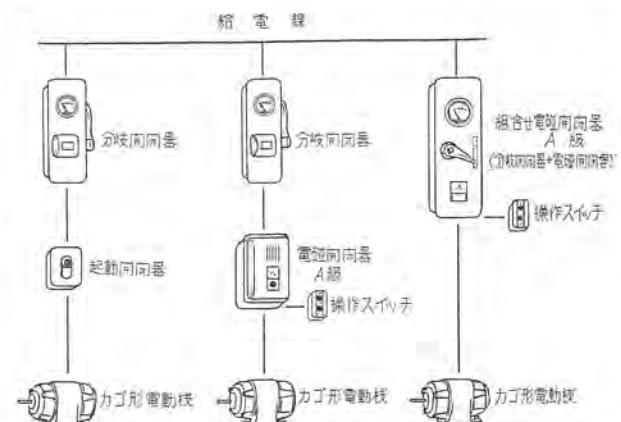


図 4.1 誘導電動機回路の基本的構成(カゴ形、じか入起動)

Fig. 4.1 Fundamental composition of induction motor circuit (squirrel cage line start).

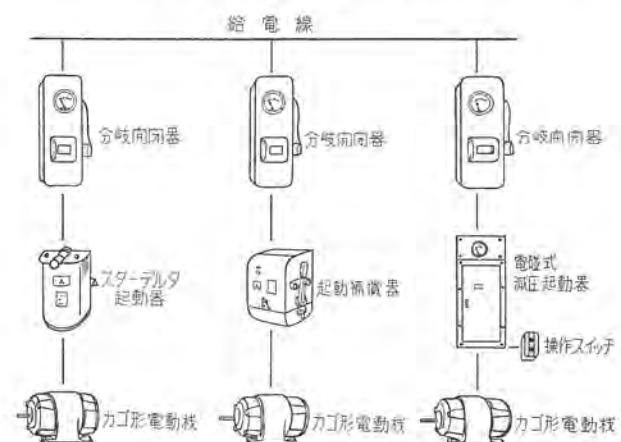


図 4.2 誘導電動機回路の基本的構成(カゴ形、減圧起動)

Fig. 4.2 Fundamental composition of induction motor circuit (squirrel cage reduced voltage start).

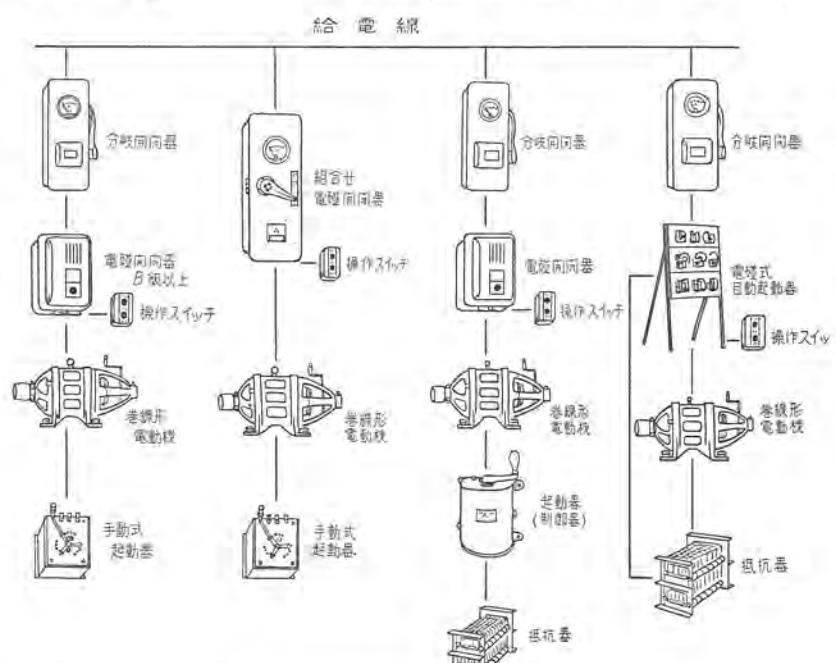


図 4.3 誘導電動機回路の基本的構成(巻線形)

Fig. 4.3 Fundamental composition of induction motor circuit (wound rotor type).

に起動器や制御器はその用い方によって手動操作、電磁操作あるいは電動操作とに分けられる。これらはその要求に応じそれぞれの標準制御器が準備されている。そして電源から電動機に至る電路の基本的構成は電動機の形式により図4.1、4.2および図4.3に示すとおりである。これらの図から電動機を運転する場合の基本的要素は分岐回路の断路器と短絡保護装置、電動機の制御器と過負荷保護装置であることがわかる。電動機の制御器と過負荷保護装置とは一つの制御器箱内に納められることが多い。その一例は電磁開閉器である。また分岐回路の断路器と短絡保護装置も同様一つの箱に納められ分岐開閉器としてヒューズ付ナイフスイッチやノーヒューズ遮断器、電力ヒューズが用いられる。またこれらの四つの機能をもつ装置を一つの箱に納めたコンビネーション・ラインスターがすえ付の簡単な点で多く用いられるようになった。以下当社の標準制御器の個々について簡単に説明する。

4.1 分岐開閉器

(1) LK 形箱開閉器

電動機回路の分岐点に設ける断路器とヒューズを組合せた分岐開閉器で JIS-C8326 金属箱開閉器に準拠したもので、ヒューズは JIS-C8314 簡形ヒューズによっており、開閉機構とふたとの間に機械的連動装置をもつけ危険防止を計っている。小容量の電動機では分岐開閉器と起動器とを兼用することができるので箱開閉器を電動機のじか入起動器として用いる場合は JIS 規格の第2種を使用する必要があり、この場合箱開閉器の容量表示は適用できる電動機の最大馬力をもって表示することになっており、LK 形箱開閉器の形記号と容量との関係は本文末尾の表4.1に示すとおりである。

じか入起動器として LK 形箱開閉器を使用するときのヒューズの選定は起動電流によって溶断しないよう電動機全負荷電流の 200~300% を標準としているが、このヒューズでは電動機の過負荷保護ができないし、また低電圧保護もできない。図4.4に LK-1 形の外観を示す。

(2) NF-1, NF-W 形ノーヒューズ遮断器

JISC-8370による NF 形ノーヒューズ遮断器を鉄箱に入れた閉鎖形、防水形の遮断器で、電動機回路の保安器具とし使用される。熱動総電器と電磁吸引はずし装置とをもち共通引はずし機構により3極同時に遮断するので単相運転が防げる。この遮断器には低電圧引はずし装置をもうけることができ、また遠方操作の必要なときには電動操作式のものがある。図4.5に NF-1 形ノーヒューズ遮断器を示す。



図 4.4 LK-11 形開閉器箱
Fig. 4.4 Type LK-11 switch box.

4.2 じか入起動器

(1) ES 形、EK 形

電磁開閉器

じか入起動器として用いられる電磁開閉器は JIS-C8325 に準拠した A 級のもので、電磁接触器と過電流総電器との組合せである。標準は閉鎖形でその他の保護構造のものも作られる。押しボタンスイッチのような操作スイッチによって遠



図 4.5 NF-1 形ノーヒューズ遮断器
Fig. 4.5 Type NF-1 nofuse breaker.

方操作ができるのが特長で、押しボタン自戻のものもある。その他表示灯、電流計なども付けられる。図4.6は ES-15 形、図4.7 は EK-35 形電磁開閉器である。起動停止をひんぱんにくり返すものや、インチングを行うものは接点の寿命を考えて通常使用の場合よりも使用馬力を低くすることが必要で、また数日ないし数カ月も連続通電するものでは接点の変化などを考えてやはり適用馬力を低くするのが賢明である。一般に開閉器の定格は電流をもって表示するが、じか入起動用の電磁開閉器では JIS 規格により適用しうる電動機の最大容量で表示する。すなわち何アンペアの電磁開閉器とはいわず、何馬力用の電磁開閉器といい、これを定格容量と呼ぶ。操作電磁石の吸引力は電圧と周波数との変化によって影響されるが交流用の操作コイルの保証吸引電圧は定格周波数において定格電圧の 85% である。熱動総電器の動作特性は JIS 規格に準じ起動時における運転不能と運転時の過負荷保護の両面から規定されている。



図 4.6 ES-15 形電磁開閉器
Fig. 4.6 Type ES-15 magnetic switch.



図 4.7 EK-35 形電磁開閉器
Fig. 4.7 Type EK-35 magnetic switch.

(2) ED 形コンビネーションライнстータ (組合わせ電磁開閉器)

ED 形コンビネーションライнстータは分岐開閉器としての NF 形ノーヒューズ遮断器と EK 形電磁開閉器とを同一鉄箱内に納めたもので ED-10 形から ED-14 形まで作られる。電流計付が標準で図 4.8 に ED-10 形を示す。

以上の電磁開閉器および組合わせ電磁開閉器には各種各定格とも可逆形のものも作られており、形記号は EK-2X35 形のように 2X をもって表わす。

(3) LH 形コンビネーションライнстータ

LH 形コンビネーションライнстータは遮断能力の大きい電力ヒューズと高圧油入電磁接触器あるいは高圧気中電磁接触器とを組合せ、同一キュービクル内に収めた高圧キュービクル配電盤で、単基にして十分の短絡保護能力と過負荷保護能力を兼ね備えたもので、従来の油入遮断器とライнстータを組合せたものに比べて経済的である。電動機の過負荷保護および拘束時における巻線の過熱に対しては熱動継電器または誘導形継電器によりつねに正しい保護がおこなわれる。

電磁接触器は、定格電圧 3,450 V、定格電流 200 A、遮断容量 3,450 V において気中式 (AH-205 形) のものは 30 MVA、油入式 (FN-205OH 形) のものは 10 MVA、いずれも投入容量 2,000 A である。

短絡保護として設けられている電力ヒューズは BA-200C 形で遮断容量は 3,450 V において約 100 MVA、さらに必要の場合 BA-400C 形を使用すれば約 180 MVA



図 4.8 ED-10 形コンビネーションライнстータ

Fig. 4.8 Type ED-10 combination starter.

を有する。図 4.9、図 4.10 は LH-332P 形を示す。この形は気中式電磁接触器のもので、ほかに油入式の LH-312P 形がある。

4.3 減圧起動器

(1) YB 形、YC 形スターデルタ起動器

YB 形、YC 形は付表に示すように各種がありそれぞれ電動機の出力と保護構造によって使い分けられる。いずれもドラム形のスイッチで、コンタクトピースは硬引銅でドラムに取り付けられ、フィンガ接触子はカマボコ形の銅片で燐青銅片に固定し適当な接触圧力をもっており、外部操作ハンドルによってスター、デルタ切り替えができる。YB 形を図 4.11 に、YC 形を図 4.12 に示す。

スターデルタ起動器は単に接続の切り替えを行うだけで保安装置を持たないから電源側に保護装置のある電磁開閉器を併用する必要がある。また遠方操作によるスター・デルタ起動には電磁接触器とタイムリレーの組合せまたは電流リレーとの組合せによる特殊起動器がある。

(2) AW 形、AF 形起動補償器

AW-2 形、AW-3 形起動補償器は低圧カゴ形誘導電動機 (600V まで) に、AF-102 形は高圧電動機用である。図 4.13 は AW-2 形の外観を示し、その内容は単巻変圧器 (V 接続)、切替開閉器、過電流継電器、低電圧引はずし装置とからなり外部ハンドルによって起動運転の切り替えを行うが、連動機構によりかならず一度起動位置へ入れなければ運転側に動かすことのできないよう、また起動から運転へ移る動作が緩慢なときには運転へはいらないようインターロックしてある。

AF-102 形は図 4.14 にその外観を示し、単巻変圧器



図 4.11 YB-12 形スターデルタ起動器

Fig. 4.11 Type YB-12 star-delta starter.



図 4.12 YC-12 形スターデルタ起動器

Fig. 4.12 Type YC-12 star-delta starter.



図 4.9 LH-332P 形コンビネーションライнстータ

Fig. 4.9 Type LM-332P combination starter.

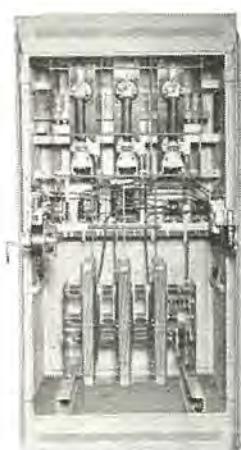


図 4.10 LH-332P 形コンビネーションライнстータ

Fig. 4.10 Type LM-332P combination starter.

(三相)および切替開閉器を油中に納めたもので、過負荷继電器、低電圧引はずしコイルなどの保護装置をもたないから図 4.15 に示す LM 形配電箱を電源開閉器として併用しなければならない。

(3) 電磁式減圧起動器

単巻変圧器を配電盤の裏面にとりつけ切替形の電磁接触器により、限時リレーまたは限流リレーの動作によって起動から運転までの過程を 1 個の押しボタソスイッチの操作だけで行うものである。一般にこの起動器では受注の都度仕様が決まるので取付器具の標準化が困難で特殊手配としているが図 4.16 に示すものは箱入としたものの一例である。

4.4 卷線形誘導電動機用起動器および制御器

(1) WS 形起動器

卷線形誘導電動機の起動専用で、起動のさい電動機の二次側に抵抗を挿入して起動電流の制限と起動トルクの増大とをはかる目的で使用され、開放形、閉鎖形、油入形などがある。いずれも大理石板上の固定接触子を円形に配置しその上に可動接触子が滑動接触して抵抗を短絡する構造で、抵抗体は特殊鋳鉄のグリッド抵抗で器内に納めている。電動機のすえ付位置の関係で二次短絡装置が電動機に取りつけられない場合には起動器に短絡装置を取りつけることができる。また一次側開閉器と連動するには補助接触子が設けられる。図 4.17 は WS-1 形起動器である。

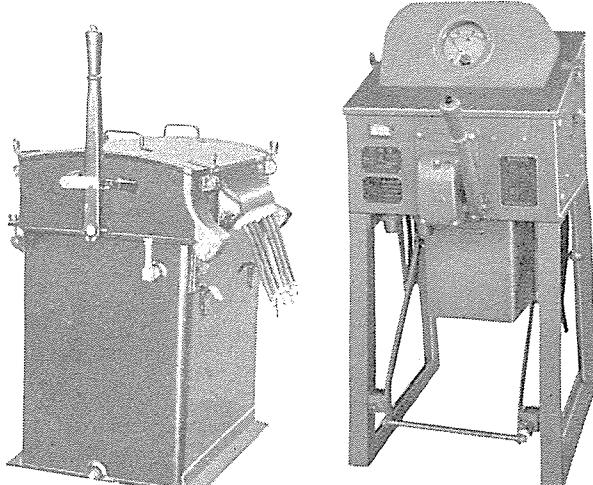


図 4.14 AF-102 形起動補償器

Fig. 4.14 Type AF-102 starting compensator.

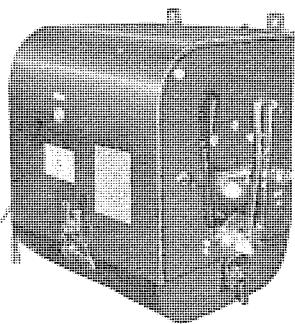


図 4.13 AW-2 形起動補償器

Fig. 4.13 Type AW-2 starting compensator.

(2) F 形起動器

(制御器)

卷線形電動機の二次側に挿入した抵抗を加減して、電動機の起動と速度制御とを行う場合に使用する。立置形で壁にとりつけることもできるドラム形の制御器である。接触子はドロップホージした硬銅でひんぱんな使用に耐え、圧力の調整が容易にでき取り替えが簡単である。非可逆形には F-2 形と F-3 形とがあり、可逆形には一次電源の切替部分を設け、F-11 形、F-12A 形、F-13A 形などがあり旧国鉄標準によるノッチ数をもち、起重機の制御用として用いられる。それぞれの適用馬力は表 4.2 に示してある。図 4.18 は F-2 形起動器を示す。

(3) C 形起動器

(制御器)

前項(2)の F 形起動器(制御器)と同様卷線形電動機の起動および速度制御用である。多数のカム形接触器を回転軸にとりつけた可調整カムにより機械的に開閉させる制御器である。理想的な回転接触をおこなうから、高頻度の使用に対してもきわめて信頼度の高いものである。接触片の定格電流は 125A, 250A および 500A の 3 種がある。

操作方式の差異、電流容量のいかんにより、20 種の標準が設定されているが、手動式はノッチ数 13 を標準と

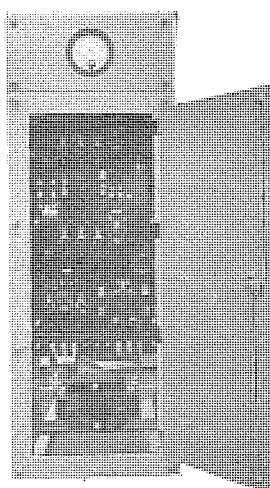


図 4.16 起動補償器電磁式

Fig. 4.16 Starting compensator magnetic type.

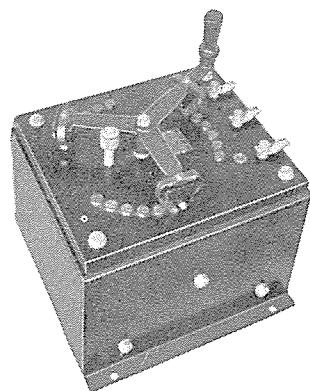
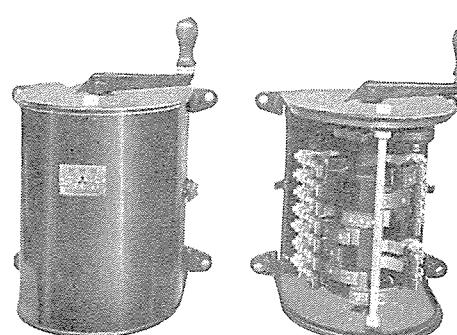


図 4.17 WS-1 形起動器

Fig. 4.17 Type WS-1 starter.

図 4.18 F-2 形起動器

Fig. 4.18 Type F-2 starter.



し、電動操作式の速度制御用はノッチ数 13, 23, 30 を標準とし、速度調整範囲が広いか狭いかにより、いずれを適用するかが定まる。たとえば 50% 程度の速度制御のときはノッチ数 23 が適当である。起動専用のものはノッチ数 10 および 13 の 2 種が標準であり最終ノッチの接触片を並列にして電流密度を 2 倍としてある。

図 4.19, 4.20 は C-201-30 形カム形制御器を示す。

(4) GS形, GB形抵抗器

F形制御器またはC形起動器(制御器)と組み合わせて使用する起動(制御)抵抗器で特殊鋳鉄製のグリッド抵抗



図 4.19 C-201-30 形
力△形制御器内部

Fig. 4.19 Type C-201
-30 cam type controller interior.



図 4.20 C-201-30 形
カム形制御器

Fig. 4.20 Type C-201-30 cam type controller.



図 4.21 GB 形 抵抗器
Fig. 4.21 Type GB resistor.

体を鉄板フレームに所要の抵抗値に組んだもので、開放形が標準であるが、防滴形、油入形としても使用され、GS形は前項の WS 形起動器の抵抗エレメントとして使用する。JEM 標準によって、起動電流値と使用率によってその必要容量が与えられる。抵抗器の温度上昇は JEM 標準により 350°C まで許されるが、使用場所の条件によってその値を任意に選ぶことができる。このような場合は発注にさいしとくに指定していただく必要がある。図 4.21 は GB 形抵抗器である。

(5) 自動起動器

卷線形電動機の自動起動器には開放形、閉鎖形などがありその都度指定によって製作するもので、一次側の電源投入用接触器と、二次側に挿入する抵抗の短絡用電磁接触器とによって二次抵抗を自動的に順次短絡することにより電動機を起動する装置である。二次抵抗の短絡には限流式と限時式とがあり、ノッチ数、タップの出し方などは電動機の容量と用途によって決定する。また起動器の箱内に短絡保護装置や過電流保護装置をいっしょに設けるのが普通である。

(6) その他の制御器

以上は当社標準制御器の一部についてのごくあらましの説明であるが、その他の標準

表 4.1 カゴ形誘導電動機の制御装置一覧表

制御方式	形式記号および品名	定格容量			構造の概要	おもな用途	備考
		電圧(V)	電流(A)	出力(kW)			
じ	LK-1E, 11E 開閉器箱	200	30	3.7 (5HP)	1. 鉄箱入付 2. 壁取付 3. 手動操作 4. ナイフスイッチ形十筒形ヒューズ	一般用 (開閉ひんぱんでないところに使用) ヒューズのみ 300A	
	LK-2E, 12E	200	60	7.5 (10")			
	LK-3E, 13E	200	100	15 (20")			
	LK-4E, 14E	200	200	25 (30")			
	LK-4.5E, 14.5E	200	300				
	LK-51A, 61A	400/550	30	5.5/7.5 (7.5/10")	5. カバー、インターロック機構付 (ただしE符付のもの)		
	LK-52A, 62A	400/550	60	11/15 (15/20")	6. 形番10台のもの電流計付		
	LK-53A, 63A	400/550	100	22/30 (30/40")	7. 規格: JIS C 8326(ただしE符付で200A以下)種別2種		
	LK-53.4A, 63.4A	400/550	200	37/37 (50/50")	同上で油入形		
	LK-151, 162	400/550	30 60	5.5/11 (7.5/15")			
か	E S-10 電磁開閉器	200		0.2~2.2 (1/4~3HP)	1. 鉄箱入閉鎖形	一般用 (開閉ひんぱん、遠方制御用)	
	E K-15	200/400~550		3.7/5.5 (5/7.5")	2. 壁取付		
	E K-25	200/400~550		5.5/7.5 (7.5/10")	3. 電磁操作(自動ならびに遠方操作)		
	E K-55	200/400~550		11/19 (15/25")			
	E K-105	200/400~550		22/37 (30/50")	4. 規格: JIS C 8325 (A級1号1種...ただしE SおよびEK形のみ)		
	E K-155	200/400~550		37/75 (50/100")			
	E C-205	200/400~550		55/75 (75/100")			
	E C-305	200/400~550		75/110 (100/150")			
人	E D-10	200/550	電流計 30	3.7/5.5 (5.75HP)	1. 鉄箱入付 2. 壁取付	一般用 回路保護装置付 電磁開閉器 (コシビネーションラインスター)	NF-50+EKO-15+AA NF-50+EKO-25+AA NF-100+EKO-55+AA NF-225+EKO-105+AA NF-225+EKO-155+AA
	E D-11	200/550	# 30	5.5/7.5 (7.5/10")	3. 回路保護装置(NF形ノーヒューズシヤ断器)とEKO形電磁開閉器との組合せ使用		
	E D-12	200/550	# 60	11/19 (15/25")	4. 表示灯C.T.なども取りつけることができる		
	E D-13	200/550	# 100	22/37 (30/50")			
	E D-14	200/550	# 200	37/75 (50/100")			
	LM-112B 配電箱	200	200	37 (50HP)	1. 床すえ形油入		
	LM-112B	3,450	200	110 (150")	2. 手動操作		
	LM-113	3,450	200	110 (150")			LM-112Bに電圧計付
起動	H S 高圧電動機盤	3,450	200	450 (600HP)	1. すばえ付、自立鋼板製 2. 手動操作	機械用、化学工場	
	L Y-15C 油入開閉器	400/550	15	2.2 (3HP)	1. 壁取付またはつり下取付		
	L Y-30C	400/550	30	3.7 (5")	2. 手動操作またはテコ操作		
	L Y-115A	400/550	15	2.2 (3")	3. ドラム形開閉器		
動	L Y-130A	400/550	30	3.7 (5")			
	L B-1,2 足踏式スイッチ	600	30	2.2 (3HP)	足踏式		
					踏機用	-1. 左踏手、-2. 右踏手	

表 4.2 卷線形誘導電動機の制御装置一覧表

制御方式	形式記号および品名	定格容量			構造の概要	おもな用途	備考
		電圧(V)	電流(A)	出力(kW)			
起動	WS-1 起動器	75	150	30 (40HP)	床すえ置、開放形、手動操作、抵抗器自藏	一般用	抵抗器を別に設ける
	WS-2 "			37 (50")			
	WS-11 "			30 (40")			
	WS-12 "			37 (50")			
	WS-101			37 (50")			
	F-2 制御器			120			
	F-3 "			200			
	WS-102			75 (100")			
	WS-103			150 (200")			
	WS-104			220 (300")			
制速非可調速度	F-2 制御器	75	150	40	立置壁取付、手動操作、ノッチ数13、非可逆	一般用	"
	F-3 "			75 (100HP)			
速可逆度ならびに制御に	F-11A※ "	50	15	15 (20HP)	立置壁取付、手動操作、ノッチ数7	一般用および起重機用	"
	F-11 "			15 (20")			
	F-12A "			20			
	F-13A "			40			
	A-11 可逆制御器			50 (15")			
	A-12 "			22 (30")			
	A-13 "			30 (40")			
一 次 操 作	LK-1E, 11E 開閉器箱	200	30	5.5 (7.5HP)	表 20-1 に同じ	一般用	保護装置付 ヒューズ 300A
	LK-2E, 12E "			11 (15")			
	LK-3E, 13E "			19 (25")			
	LK-4E, 14E "			37 (50")			
	LK-45E, 14.5E "			55 (75")			
	LK-51A, 61A "			30 (7.5(10HP)/11(15"))			
	LK-52A, 62A "			60 (19(25")/22(30"))			
	LK-53A, 63A "			100 (37(50")/45(60"))			
	LK-53.4A, 63.4A "			200 (45(60")/55(75"))			
	LM-2B 配電箱			10~40 (15~50HP)			
開閉器	LM-102B "	200~400	200	30~200(30~300")	床すえ置、油入	一般用	保護装置付 ヒューズ 300A
	LM-103B "			30~200(30~300")			
	H.S 高圧配電盤			450 (600")			
操作	EK-15 電磁開閉器	200/400~550		3.7(5HP)/5.5(7.5HP)	表 20-1 に同じ		
	EK-25 "			5.5(7.5")/(7.5(10"))			
	EK-55 "			11(15")/19(25")			
	EK-105 "			22(30")/37(50")			
	EK-155 "			37(50")/75(100")			
	N 電磁接触器各種				抵抗短絡用		
抵抗器	GS-211 グリッフ抵抗器			15		速度制御用 (クレーンその他一般用)	F-11, 11A
	GB-321 "			50			
	GB-231 "			40			
	GB-221 "			30			
逆制御	LB 逆転切替器	500	15	3.7 (5HP)	壁取付、防塵、鍵操作	錠防横「カード」逆転用	通電中の操作不可
	LX-11 可逆スイッチ	200	30	3.7 (5HP)	壁取付、防塵、手動またはローブ操作	一般用	
	LX-12 "	200	60	7.5 (10")	壁取付、防塵、手動またはローブ操作		
	LX-31 "	200	30	3.7 (5")	壁取付、防塵、手動またはローブ操作		
	LX-41 "	200	30	3.7 (5")	壁取付、防塵、手動またはローブ操作	特殊用	
	LX-51 "	200	30	3.7 (5")	壁取付、防塵、手動またはローブ操作		
	LX-61 "	200	30	3.7 (5")	壁取付、防塵、手動またはローブ操作		
	LX-111 "	200/500	30	3.7/5.5 (5.7.5")	壁取付、油入、手動またはローブ操作	防爆、化学工場、鉱山その他爆発性ガスの発生する場所	
	LX-112 "	200/500	60	7.5/11 (10.15")			
	LD-11 "	200	50	11 (15HP)	壁取付、防塵、手動	一般用	
制電	LD-12 "	200	75	15 (20")	" " "		
	LD-111 "	200/400~550	50	11/15 (15/20")	" 油入, "	防爆、化学工場、鉱山その他爆発性ガスの発生する場所	
	LD-112 "	200/400~550	75	15/19 (20/25")	" "		
	EK-2×15 電磁開閉器	200/400~550		3.7/5.5 (7.5/10HP)	1. 壁取付	一般用	
	EK-2×25 "	200/400~550		5.5/7.5 (7.5/10")	2. 鉄箱入、閉鎖形		
制御	EK-2×55 "	200/400~550		7.5/19 (10/25")			
	EK-2×105 "	200/400~550		22/37 (30/50")			
	EK-2×155 "	200/400~550		37/75 (50/100")			
	ED-2×10 "	200/400~550	電流計 30	3.7/5.5 (5/7.5HP)	壁取付、防塵、電流計付	一般用	NF-50, EKO-15
	ED-2×11 "	200/400~550	" 30	5.5/7.5 (7.5/10")			NF-50, EKO-25
制御	ED-2×12 "	200/400~550	" 60	11/19 (15/25")			NF-100, EKO-55
	ED-2×13 "	200/400~550	" 100	22/37 (30/50")			NF-225, EKO-105
	ED-2×14 "	200/400~550	" 200	37/75 (50/100")			NF-225, EKO-155
	N-2×15 電磁接触器	200/400~550	15	3.7/5.5 (5/7.5HP)		一般制御盤用	
	N-2×25 "	200/400~550	25	5.5/7.5 (7.5/10")			
	N-2×55 "	200/400~550	50	7.5/19 (10/25")			
	N-2×105 "	200/400~550	100	22/37 (30/50")			
	N-2×155 "	200/400~550	150	37/75 (50/100")			

制御方式	形式記号および品名	定格容量			構造の概要	おもな用途	備考
		電圧(V)	電流(A)	出力(kW)			
減圧起動	YB-11 スターデルタ起動器	200	30	5.5~7.5 (7.5~10HP)	壁取付, 手動操作	一般用	●
	YB-12 "	200	60	11 (15")	壁取付, 油入, 手動操作		
	YB-111 "	200/400~550	30	7.5/11 (10/15)	壁取付, 手動操作	一般用	●
	YB-112 "	200/400~550	60	11/15 (15/20)	壁取付, 手動操作		
	YC-12 "	200	75	15~19 (20~25HP)	壁取付, 手動操作	一般用	●
	YC-112 "	500	75	15~19 (20~25")	壁取付, 手動操作		
	YW-2 "	500	125	22~37 (30~50HP)	壁取付, 手動操作	一般用	●
	電磁制御装置	各種	各種	各種	遠方制御		
	AW-2 起動補償器	200, 400, 500	37	(50HP)	壁取付, 防爆, 手動操作	中容量電動機の減圧起動用	●
	AW-12 "	200, 400, 500	37	(50")	AW-2 に電流計付		
起動用巻き圧器	AW-3 "	200, 400, 500	75	(100")	AW-2 の油入		
	AW-13 "	200, 400, 500	75	(100")	AW-3 に電流計付		
	AF-102 "	3,300		75 (100")	床すえ置, 油入, 手動操作 過電流遮電器, 低電圧開放なし	●	●
	電磁制御装置	各種	各種	各種			
	PH-21S, 21D 極数変換器	200	30	3.7 (5HP)	壁取付, 防爆, 手動操作, ドラム形, 三段変速	Sは單一電動機巻線 Dは二重電動機巻線 30台は第一, 二重の組合せ	●
速度制御	PH-22S, 22D "	200	60	7.5 (10")	同上 三段変速		
	PH-31, 32 "	200	30, 60	3.7, 11 (5, 15")	壁取付, 油入, 手動操作, ドラム形, 三段変速		
	PH-121S, 121D "	400/500	30	5.5 (7.5")	同上 三段変速		
	PH-122D, 122D "	400/500	60	1.1 (1.5")	壁取付, 油入, 手動操作, ドラム形, 三段変速		
	PH-131, 132 "	400/500	30, 60	5.5, 11 (7.5, 15")	同上 三段変速		
	CP-102S, 102D "	200	75	7.5 (10HP)	壁取付, 防爆, 手動操作, ドラム形, 二段変速		
	CP-112S, 112D "	400~500	75	15 (20")	同上 二段変速		
	CP-202D "	200	50	7.5 (10")	手動操作, 二段変速	一般用	●
	CP-212D "	400~500	50	7.5 (10")	手動操作, 三段変速		
	CP-203 "	200/400~550	50	7.5 (10")	手動操作, 四段変速		
	CP-204 "	200/400~550	50	7.5 (10")	手動操作, 三段変速		
制御	CP-302S, 302D "	200/400~550	125	37 (50")	手動操作, 二段変速	●	●
	CP-303 "	200/400~550	125	37 (50")	手動操作, 三段変速		
	CP-304 "	200/400~550	125	37 (50")	手動操作, 四段変速		
	CP-402S, 402D "	200/400~550	250	75 (100")	手動操作, 二段変速		
	CP-403 "	200/400~550	250	75 (100")	手動操作, 三段変速		
	CP-404 "	200/400~550	250	75 (100")	手動操作, 四段変速		
	電磁制御装置	各種	各種	各種			
	電磁制御装置	各種	各種	各種			
	電磁制御装置	各種	各種	各種			

器具としては、切替開閉器、極数変換開閉器などがあり、それぞれ用途と電動機容量に応じて選定される。紙面の都合で各機器について十分説明することができなかったが、本文で述べた各機器の形記号、容量、構造のあらまし、おもな用途などは表4.1 および表4.2 に示してあるから参考にしていただきたい。

5. む す び

当社標準制御器の一端について、きわめて簡単に紹介したが、これらの標準品の大部分は仕込生産されるもの

で、顧客の要求に応じて製作する特殊構造や組合せの制御装置にはこれら標準品を構成する標準部品をもってそれぞれの要求をみたすものが作られ短納期の製作も可能である。しかし最近は非常に特殊の要求が多く、可飽和リニアトル、磁気増巾器などを組合せた特殊制御装置の需要が増加してきた。しかし誘導電動機の制御装置としての基本的機能は本文に述べた要素が満たされてこそ完全なものとなりうる。いかなる場合にも完全な機器、十分な保護を目標として制御器の選定が行われることが必要である。

次号予定

三菱電機 Vol. 32 No. 12

圧延機用電機品特筆

- 日亜製鋼(株)興工場熱間連続圧延機用電機品
- 冷間連続圧延機用電機品
- 連続酸洗設備用電機品
- 連続剪断設備用電機品
- 連続電気メッキ装置
- 調質圧延用電機品
- アルミ箔圧延機用電機品
- 東北バルブ向抄紙機電機品
- 300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器
- DXM 形開放ドロップアウトカットアウト
- 新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用
- 12 相ブリッジ結線方式の主回路ならびに回路現象
- ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置
- 小容量自励交流発電機
- 油入変圧器保護用衝撃圧力继電器
- 技術解説: 火力発電シリーズ



メタルクラッド配電盤 (1)

1. まえがき

火力発電所は小は 1,000 kVA 程度より大は 20 万 kVA 程度あるいはそれ以上にも及ぶ傾向にあり、また外部電源との接続、汽缶の種類とその組合せ、調相機運転、地理的条件その他により、配電盤も経済的要求と考え合わせてその形式を選定しなければならない。一般に配電盤は、電気機器、電力回路などを常時監視して、これらを確実に制御し、かつ異常状態においては迅速にしかも適切にこれらを保護するために必要な計器、遮断器その他の器具類を集中装備するもので、メタルクラッド配電盤もこのうちの一種である。しかしメタルクラッド配電盤は、その定義上から次の事項を満足するものでなければならない。

すなわち、NEMA によればメタルクラッドスイッチギヤとは、主回路遮断器（開閉器）と主回路に関連する、その他の器具たとえば計器用変成器、母線、接続導体などすべて金属箱に納めたもので、これら変成器、母線、接続導体などは、それぞれ接地された別々の金属性区画に入れられたものである。したがってこれらの条件を完備するものでなければメタルクラッドスイッチギヤとはいがたいのである。しかして遮断器は水平あるいは垂直移動機構を備え、これを移動する時、自動的に主回路を開閉する断路機構を設け、かつ移動機構遮断器操作機構などには主回路の正しい運用、取扱者の安全な操作に対し完全な連動装置を設けたものである。さらに母線、接続線など主回路は完全に絶縁物でおおわれ、露出部がないものである。單に一部を備えたものはトラック形あるいはキュービクル (Metal Enclosed Switchgear or Cubicle) と称し区別される。この章においてはメタルクラッド配電盤とその選択適用について主として述べてみたいと思う。

2. メタルクラッド配電盤の種類

メタルクラッド配電盤は、メタルクラッドスイッチギヤとそれに必要な配電盤とをまとめたもので、遮断器の移動機構が水平なるか垂直なるかによって次の 2 種に分けられる。

2.1 垂直引出形 (Vertical Draw out type)

垂直引出形メタルクラッド配電盤は、遮断器本体を上下に移動する装置を備え、これを持上げた時遮断器端子が固定子端子に嵌合して主回路断路部を閉じる構造になっている。この移動装置は小容量の軽い遮断器では、カム機構を手動操作するようになっており、大容量の重い遮断器では、ねじ機構を手動あるいは小形電動機により操作するようになっている。配電盤の外観、構造は、閉鎖形あるいは二重形配電盤と大差はない。

遮断器その他の点検、手入れの場合は、遮断器本体を下方に移動して主回路を開閉し、別の引出装置によって盤外に取り出し得るようになっている。遮断器本体の上下移動あるいは盤の

前面扉の開閉などは遮断器主接触の開路の場合に限ってだけ可能である。その他運転および操作の確実、安全に対するすべての電気的、機械的連鎖機構を設けてある。三菱電機の WF 形および WB 形油入遮断器メタルクラッド配電盤はこの種に属するものである。図 2.1 は WB 形油入遮断器メタルクラッド配電盤において遮断器を前面盤外に引出した場合を示し、図 2.2 は WF 形および WB 形の配置図、図 2.3 は一次断路部を示す。

2.2 水平引出形 (Horizontal Draw out type)

水平引出形メタルクラッド配電盤は遮断器本体を前後に移動



図 2.1 WB 形油入遮断器メタルクラッド配電盤

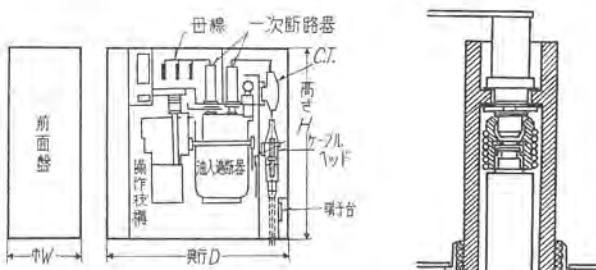


図 2.2 WF 形および WB 形メタルクラッド配電盤

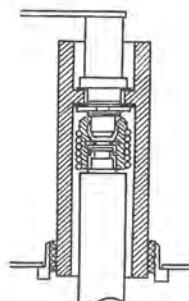


図 2.3 一次断路部

する機構を備え、前方に引き出した位置では遮断器回路が開放され、これを後方に押し入れた場合、遮断器端子が固定子端子に嵌合して主回路断路部を閉じる構造である。装置の運転および操作に対して必要な電気的および機械的連鎖機構は垂直引出形と同様である。三菱電機の A 形 B 形および C 形油入遮断器メタルクラッド配電盤や WD, WH 形気中遮断器メタルクラッド配電盤はこの種に属する。図 2.4 は WH 形メタルクラッド配電盤の配置を示す。

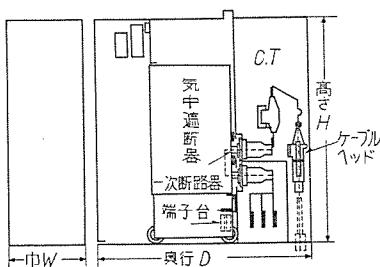


図2.4 WH形メタルクラッド配電盤

3. 各種配電盤の選択基準

メタルクラッド配電盤の種類を選択する前に、一般の各種配電盤の選択基準をどこに置いたらよいかを考察して見る必要がある。現今製作されている配電盤の形式を大別すると次のように分類することができる。

- (1) 開放形配電盤 (Open type Switchboard)
- (2) 閉鎖形配電盤 (Enclosed type Switchboard)
 - a. キューピカル形配電盤 (Cubicle type Switchboard)
 - b. 箱形配電盤 (Dual type Switchboard)
 - c. 二重形配電盤 (Duplex type Switchboard)
- (3) 机形制御盤 (Desk type Controlboard)
- (4) 制御机付配電盤 (ベンチボード) (Benchboard)
 - a. 開放形ベンチボード (Open type Benchboard)
 - b. 箱形ベンチボード (Dual type Benchboard)
 - c. 二重形ベンチボード (Duplex type Benchboard)
- (5) トラック形配電盤 (Truck type Switchboard)
- (6) メタルクラッド形配電盤 (Metalclad Switchboard)
 - a. 垂直引出形油入遮断器メタルクラッド配電盤
 - b. 水平引出形油入遮断器メタルクラッド配電盤
 - c. 水平引出形気中遮断器メタルクラッド配電盤
- (7) 屋外用スイッチハウス (Switch House)
- (8) 簡易変電所配電盤 (Unit Substation Switchboard)

上記各種配電盤のいずれの形式を採用するかは、下記の諸条件を比較検討して決定する必要がある。

(1) 運転および操作の確実安全のこと

複雑な運転を必要とする大容量発電所ではとくに慎重に検討しなければならない。連動機構を備えていない直立盤は最も簡単廉価であるが、誤操作の危険率が大きく主回路が露出していると外部からの不慮の障害も皆無とはいえない。万一1個所の故障の場合、故障の範囲を局限しうるものであることが望ましい。

(2) 主回路の重要性、複雑性に適合すること

制御すべき主回路および機器が重要なもので、複雑な計量ならびに制御を必要とし、したがってそれに関連する計器、繼電器その他の器具が非常に多い場合は簡単な直立盤1面にはすべての機器を取付けることが困難で計器盤、制御盤、繼電器盤を別々とする必要があって適当なベンチボードあるいは類似な配電盤を使用する必要が起ってくる。

(3) 監視制御の便利なこと

大容量発電所で複雑な制御の必要な場合は、すべての重要

配電盤を総合監視し、手近に迅速適切な制御を必要とするため監視、操作に便利なベンチボードあるいは類似な配電盤を使用する必要がある。

(4) 防塵耐久性であること

配電盤を設置する場所の特殊性を十分考慮する必要がある。塵埃の多い場所、蠍、その他の障害を予想される場所に設置する場合は、開放形を避けねばならない。湿気の多い場所有害ガスの発生のおそれある場所に使用するものは、絶縁その他の劣化に十分の注意を払わなければならない。

(5) 保守点検の便利なこと

(6) 外観、体裁の良いこと

配電盤は実用的に完全な機能を発揮するだけでなく、その外観、体裁が設置場所に適合するものであることが望ましく、とくに操作者に対し、安全感、快感を与えるものが良い。

(7) 床面積が少なく全般的寸法が可及的小さいこと

(8) 総合設備費が低廉であること

以上の諸条件はさらに細部にわたって検討する必要があり、また個々の施設に対し具体的に検討しなければ容易に利害得失を比較できないが、一例を表3.1および表3.2に示す。

これを要するに、以上を総合して考えられることは、開放形

表3.1 配電盤比較表（主回路器具は含まず）

配電盤の種類	開放形	箱形	二重形	机形制御盤と二重形	二重形ベンチボード
運転の確実、安全性	D	B	B	B	B
操作の確実、安全性	D	C	C	B	B
重要回路への適合性	D	D	C	A	A
監視、制御の難易	D	D	D	B	B
保守点検の難易	A	B	B	C	C
防塵、耐久性	D	B	B	B	B
外観、体裁の良否	D	B	B	B	B
床面積、外形寸法	B	B	C	D	D
価格	A	B	C	D	D

備考 最適のものより A, B, C, D とす。

表3.2 配電盤比較表（主回路器具を含む）

配電盤の種類	開放形	キューピカル形	トラック形	メタルクラッド形	メタルクラッド形油入遮断器
運転の確実、安全性	D	C	C	A	A
操作の確実、安全性	D	D	B	B	B
重要回路への適合性	D	B	B	A	A
災害の極限化	D	C	C	A	A
保守点検の難易	B	B	B	C	C
防塵、耐久性	D	C	C	A	A
外観、体裁の良否	D	B	B	B	C
床面積、外形寸法	D	D	D	B	B
設備品	B	C	C	D	D

備考 最適のものより A, B, C, D とす。

直立盤は価格は低廉であるが、技術的にはほとんどすべての点において他の配電盤に劣るから、比較的重要度の低い小容量の簡単な配電盤にだけ適用すべきで、災害の未然防止、操作の安全を考えれば、開放形以外の高級配電盤を推奨すべきである。米国における最近の標準配電盤は、ほとんど閉鎖形かあるいはメタルクラッド形となっている。

技術解説

大容量の重要発電所の配電盤や複雑な制御を必要とする自動制御配電盤は、いわゆるベンチボード形配電盤とメタルクラッドスイッチギヤを併用すべきで、中容量で比較的制御が簡単で配電盤の数も少ない場合には、閉鎖形配電盤とメタルクラッドスイッチギヤを併用するのが得策である。

4. メタルクラッド配電盤と遮断器

メタルクラッド配電盤には、遮断器すなわち油入遮断器を使用するか、あるいは気中遮断器を入れるかによって種類を異にしている。表4.1は三菱電機の標準を分類して示したものである。

遮断器を入れないで他の器具、たとえば計器用変成器、断路

表4.1 メタルクラッド配電盤の遮断器による分類

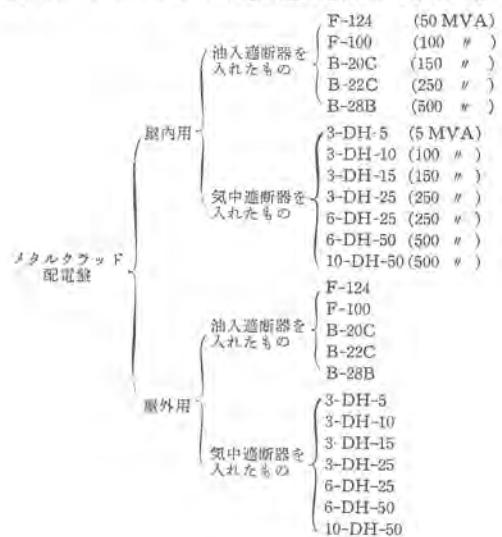


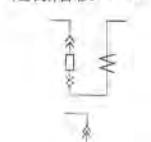
表4.2 メタルクラッド標準表

絶縁階級 6 kV 結線

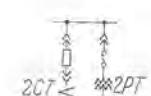
形名 外形寸法

F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100
3-DH-5	510×2300×1950
3-DH-15	660×2300×1950
3-DH-15 (2000A)	910×2300×1950 (2000A)
3-DH-25	910×2300×2350
6-DH-50	910×2420×2350
F-124	510×2300×1450
F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100
3-DH-15	660×2300×1950
3-DH-15 (2000A)	910×2300×1950 (2000A)
F-124	810×2300×1700
F-100	810×2300×1700
B-20C	810×2300×1800
B-22C	810×2300×1800
B-28B	810×2300×2100
3-DH-5	810×2300×1950
3-DH-15	810×2300×1950
3-DH-25	810×2300×2750
6-DH-50	810×2420×2350

絶縁階級 6 kV



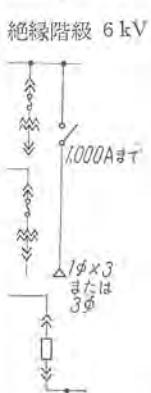
3-DH-15	660×2300×1950
3-DH-25	910×2300×2350
6-DH-50	910×2420×2350
F-124	510×2300×1450
F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100



F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100
3-DH-15	660×2300×1950

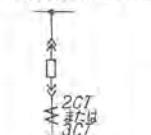


3-DH-15	660×2300×1950
3-DH-25	910×2300×2350
6-DH-50	910×2420×2350
F-124	510×2300×1450
F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100

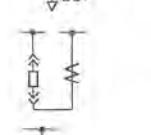


F-100	610×2300×1700
B-20C	710×2300×1800
B-22C	710×2300×1800
B-28B	910×2300×2100
3-DH-5	510×2300×1950
3-DH-15	660×2300×1950
3-DH-25	910×2300×2350
6-DH-50	910×2420×2350

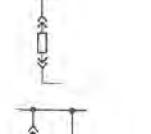
絶縁階級 10 kV



10-DH-50	910×2500×2350
10-DH-50	910×2500×2350
B-28B	910×2300×2100



10-DH-50	910×2500×2350
B-28B	910×2300×2100
10-DH-50	910×2500×2750



B-28B	910×2300×2100
10-DH-50	910×2500×2750
B-28B	910×2300×2100

技術解説

器、断路形可溶器、サージアブソーバ、スタチックデスチャーダなどを入れたメタルクラッド配電盤もあるが、これらはメタルクラッド配電盤と並び、その補助盤的な性質より、各遮断器を入れたメタルクラッドと外形を合わず関係上各種の雑用盤として、客先の要求に応じ各種各様のものが製作される。

つぎに三菱電機として標準形、あるいは準標準形なるものの各ユニットの単線結線図を示すと表4.2のとおりで、このユニットだけを組合わせて一つの変電所なり、あるいはその他の制御装置を構成するようにすれば、設計はわずかになり設計期間を短縮することができる。

またここに注意を要すべきことは、異種類の遮断器を同列に並べることである。各種類に応じて内部の構造ならびに外形寸法がちがっているから、特別なものを除く以外はなるべく避けた方が良い。もしその必要がある時でも、なるべく同種類のもの同士を集めるよう心懸くべきである。（ただし3DH-5と3DH-10, 3DH-15とは同一とみなしてもさしつかえない。）

5. 屋外形メタルクラッド配電盤

中低圧配電盤では、一般的に屋外使用に適する構造のものがあり、設計も年ごとに進歩して、今日では多くの近代的発電所で採用され、信頼できるものとなっている。

屋外形中低圧配電盤は屋内形と同じ支持わくの構造である。防雨のため天井には傾斜をつけた屋根を張り、また配電盤の上部の空気の循環が円滑となるようにスペースをとってある。メータ、器具および制御装置は、前部ドアの内側の盤面に並んでいる。磁気遮断器は部屋の後部より取はずしできるようになっている。

屋外形の低圧引出形配電盤は、屋内形を Weather proof のエンクロージュアの中に入れたものである。保守点検に便利なように、エンクロージュアの前部に通路のスペースをとってある。気中遮断器はエンクロージュアから取はずさないままで、引出し、押込みができる。小形の可動つり上装置がついていて操作に便利である。

メタルクラッドおよび引出形配電盤には、軟ゴムのガスケットをつけた Weather proof のドアがついている。

低圧のものでは、通風用の空気はドアのルーバよりはいり、中圧のものでは床面の穴よりはいる。いずれの場合にも、銅ウールフィルタ (Copper wool filter) で塵埃の侵入を防いでいる。天井の「ひさし」の下にスクリーンをつけた窓があって、空気はここよりエンクロージュアの外に出る。ユニットの

下部には Underseal を塗布し湿気による破損を防いでいる。内部照明装置および出口が設けてある。

エンクロージュア内部の温度を外気より数度高くして、湿気の凝結を最小に止めるために、このユニットにはスペースヒータをつけるのが標準である。ヒータは普通手動操作であって、装置の全湿度には大きな影響を及ぼさないから、常時つけ放しとしてもさしつかえない。

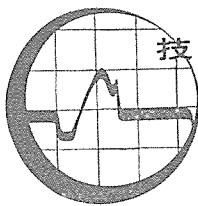
屋外形配電盤のエンクロージュアの内部の温度が過熱しても大抵の場合は問題にならない。周囲温度、太陽の直射、風速および通風の効果などについては十分検討されなければならない。たとえば、周囲温度と太陽直射の悪条件が重なった場合には、定格電流値を減らさなければならないことが起きてくる。しかし配電盤では回路が全負荷定格の状態になることはきわめてまれであるから、上記のように定格電流値を減さなければならない状態となるのは、ごくわずかの回路だけである。もしこのようなことが起るとすれば、それは補助変圧器の二次側の遮断器であろう。この場合、強制通風またはこれに代る適当な改造を行えば解決できる問題である。

屋外形の励磁回路用配電盤はキューピクルで、電圧調整器、界磁遮断器および励磁機界磁調整装置を収納し、全般的には上記の屋外形低圧引出形配電盤と同じ設計になっている。しかし、電圧調整器キューピクルや、界磁調整器キューピクル内部は熱損失が大であるため、過度の温度上昇を防ぐための強制通風が必要である。各コンパートメントには所要風量を出し得るファンを2台設置し、普通はこの2台のファンが同時に連続運転するようにしておく、すなわちもしそのうちの1台が何かの原因で故障しても、警報が出て、運転員がこれを修理するか、新品と取替えを行ふ間、他の1台のファンが所要の全風量を供給できるから不都合がない。

6. むすび

配電盤は全変電設備の中核であり、神経系であるからその良否と選択は変電所の運転能率に大きな影響を与えることはもちろんである。メタルクラッド配電盤はレイロール形がほとんど影をひそめ、今日ではもっぱらこの章で述べたような箱形に進化し、しかも屋外形は建屋の節減と保守の面からその需要が非常に多くなってきた。正しい運用と、取扱者の安全を期し、外観も整然としているので、近代火力発電所には、ほとんど使用されるようになってきた。今後さらに躍進するものと期待される。

（本社電力技術部長 中野光雄）



電気機器における絶縁方式の進歩 (2)

研究所 森 田 義 男*・原 仁 吾**

5. 変圧器の絶縁

5.1 変圧器の一般趨勢

変圧器の絶縁構成に際しては、変圧器が運転中に受ける開閉サージや雷による衝撃電圧などに耐えることはもちろん、運転中に受ける温度上昇、輸送中や短絡等に受ける機械的衝撃などを考慮して材料の選択、絶縁の配置などが考えられる。

最近電力用変圧器の容量はいちじるしく増大し、米国ではすでに 380 MVA の大容量変圧器が運転中で、当社においても 260 MVA の変圧器がすでに完成され（中東京変電所）さらに 312 MVA の変圧器が（電発、南川越変電所）製作されている。また超高压送電系の採用により変圧器の定格電圧は高くなり、ソビエトでは 420 kV 変圧器がまた、スエーデン、フランスなどでは 380 kV 変圧器がすでに使用されており、米国でも 330 kV 変圧器が運転中である。わが国でも 275 kV の変圧器はすでに旧間に属するようになり、さらに 380 kV 用が検討されている。一方このようないかだ形変圧器の組立輸送には非常な关心が寄せられ、各製造者の異常な努力によりわが国でもフォームフィット変圧器や特別三相式などの採用によって 300 MVA 級までの大容量変圧器も組立輸送ができるようになった。

このように高電圧、大容量にしてしかも組立輸送の可能な変圧器はけい素鋼板の改良、衝撃電圧特性の研究による絶縁構成の合理化、巻線絶縁の処理法の改善、新しい絶縁材料の開発やその劣化防止法の研究などの結果出現したもので、ここ数年間に過去の変圧器の姿を一新されるまでに至っている。また屋内用変圧器には不燃性合成絶縁油使用の変圧器や乾式変圧器が新しく登場して、燃えない変圧器として広く普及している。

以下最近の変圧器について絶縁面からながめた 2、3 の問題点に触れて見たい。

5.2 変圧器絶縁の問題点

(1) 絶縁の基準

変圧器は運転中、平常の線路電圧、系統の故障時に発生する一時的過電圧、開閉サージおよび雷による衝撃電圧をうける。電力系統においては衝撃電圧は避雷器によって低減されているが、個々の場合の条件に応じて変圧器の絶縁強度をいちいち変えることは設計標準化の見地から望ましくない。したがって適当な間隔をおいて適当な絶縁階級を設け各階級に対応して避雷器の制限電圧、線路および機器の保有すべき絶縁度が決められている。変圧器はこの決められた絶縁レベルに耐えるよう設計されている。

わが国の送電系統は従来抵抗接地やアクトル接地方式が採用されていたが、新北陸幹線に始めて直接接地方式が採用された。中性点を直接接地にすれば避雷器の制限電圧を低下させ得るので、これと協調して変圧器の絶縁階級を下げることができ、わが国の超高压送電系に接続されている変圧器はすべて 1 段下の絶縁階級を用いたいわゆる低減絶縁が採用されている。

表 5.1 はわが国における基準絶縁強度 (BIL) で⁽⁴⁸⁾ 140 kV 以上に低減絶縁を認めている。直接接地が標準方式である米国においては 92 kV 以上に低減絶縁を認めており、ドイツでは 125 kV 以上に採用している。なお米国では現在の基準絶縁強度をさらに 1 段下げることについて研究が行われている。⁽⁴⁹⁾

(2) 電位分布

衝撃電圧に対する絶縁設計のうちで最も重要な問題は衝撃波に対する電位分布である。変圧器端子に進行波が到達すれば一部は反射し、一部は巻線内に侵入し、内部電位振動を生ずる。この場合変圧器巻線は単位長さごとに分布された L を有し、さ

表 5.1 基準絶縁強度

最高回路電圧 (kV)	衝撃試験電圧 (kV)		商用周波試験電圧 (kV)	
	非有効接地	有効接地	非有効接地	有効接地
11.5	90		25	
23	150		50	
34.5	200		70	
46	250		90	
57.5	300		120	
69	350		140	
80.5	400		160	
115	550		230	
161	750	650	320	275
195	900	750	390	320
230	1050	900	460	390
287		1050		460

らに鉄心、外箱、他巻線などに対して対地分布静電容量 C_g を有する。また巻線各相互間すなわちコイル間、ターン間に分布直列静電容量 C_c をもつから、その等価回路は図 5.1 で示される。商用周波やおそい定常的電位変化に対しては C_g や C_c の影響はきわめて少なく、巻線内電位分布はもっぱら L だけによって決定されるが、波頭の急峻な衝撃電圧に対しては、その電位分布は C_g や C_c によって決定される。

今巻線の一端から E なる波高値のく形波が侵入し、他端接地されている場合の巻線の各点の電位 e は、接地点から測った巻線の長さを x (全長を 1 とする) とすれば、

$$e = E \frac{\sin h \alpha x}{\sin h \alpha} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし $\alpha = \sqrt{C_g/C_c}$

となり、これを曲線で示せば図 5.2 のようになる。すなわち対地容量 C_g にくらべ巻線間の直列分布容量 C_c が大きいほど電位分布は直線となる。この初期電位分布は時間とともに変移しついには巻線の抵抗およびインダクタンスで定まる定常電位分布

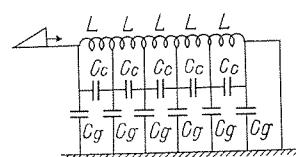


図 5.1 変圧器巻線の等価回路

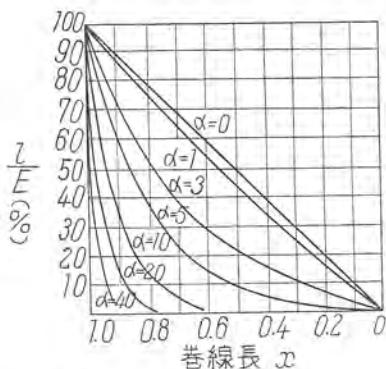


図 5.2 初期電位分布（一端接地）

布になるが、初期電位分布より定常電位分布に移る間に巻線の固有周波数により巻線各部の電位が振動する、そこで初期電位分布が定常電位分布に近いほど振動は少くなり巻線各部に生ずる異常電圧は小さくなる。

変圧器絶縁においてはこのような理由から C_d にくらべ C_c をできるだけ大きくなるような絶縁配置が考えられ、また適当な遮蔽板を挿入して電位分布を改善している。外鉄形変圧器と内鉄形変圧器は図 5.3 に示すように巻線配置が本質的に異なっている。外鉄形ではコイルの数が少なく、かつ各コイルの対向面積を大きくとりうるので C_c が C_d に比べて大きく α の値は 0.5~1.5 程度にできるが、さらに線路端コイルの外側に端子と同電位の静電遮蔽板を配置して線路付近の電圧分布を制御し、ほぼ直線的な電位分布となるようにしておる、いわゆるサージブルーフ変圧器と称されている。⁽⁵⁰⁾ この静電板はさらに侵

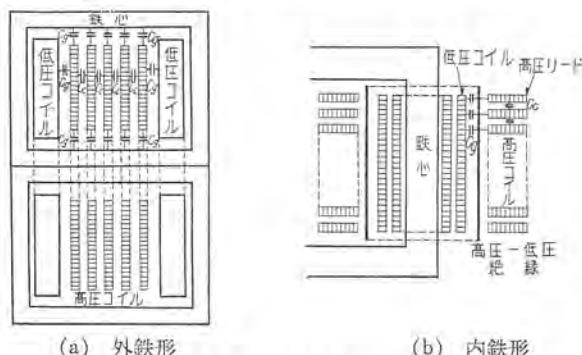


図 5.3 変圧器巻線の配置図

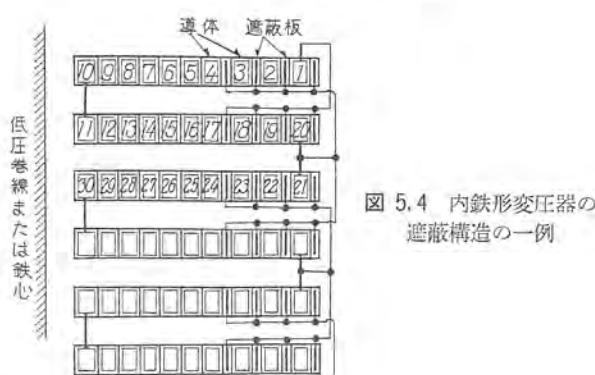


図 5.4 内鉄形変圧器の遮蔽構造の一例

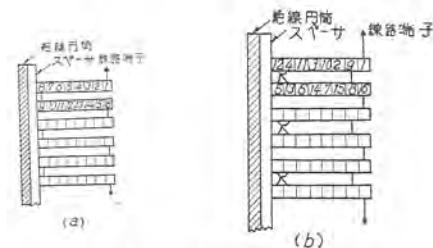


図 5.5 高直列容量巻線法説明図

入衝撃波の急峻波頭を緩和させる上にも有効である。内鉄形変圧器で四板状コイルを用いたものでは α が 10~20 で外鉄形にくらべるかに大きく、したがって衝撃電圧特性が悪いため遮蔽板を設けて特性を改善したり、円筒形コイルを用い（図 5.9 参照）これに遮蔽板を付加したりして α を 1 に近づけるようにコイル配置が考えられている。⁽⁵¹⁾ 円板状コイルの巻回間に遮蔽板を巻込んで α を改善した内鉄形変圧器の一例を図 5.4 に示す。この形では α が 1.5~2 程度になっている。⁽⁵²⁾ また円板状コイルで図 5.5 (b) のようなコイル配置をとることによって直列静電容量を増大させ初期電位分布を直線にする方法も採用されている。⁽⁵³⁾ 図 5.5 (a) は普通のコイル配置である。

(3) 絶縁配置

衝撃電圧による絶縁破壊と商用周波による絶縁破壊とは、その特性が非常に異なっており、衝撃電圧に対する沿面絶縁耐力は商用周波電圧にくらべていちじるしく低いので、変圧器絶縁においては最大の衝撃絶縁耐力を得るため、絶縁物の配置は電界に対して直角、すなわち等電位面に沿って配置し、破壊は必ずしも固体絶縁物を貫通破壊するのでなければ起り得ない構造となっている。図 5.7 に示す外鉄形サージブルーフ変圧器の絶縁断面図からも分るとおり、コイルの内面および外面の全周は山形およびみぞ形の絶縁物でかこまれ露出部がないように完全に包まれている。内鉄形変圧器においても同じような基本原則にのっとって絶縁配置が考えられている。図 5.6 はその一例である。

外鉄形変圧器におけるコイルの構造は図 5.7 に示すとおり、

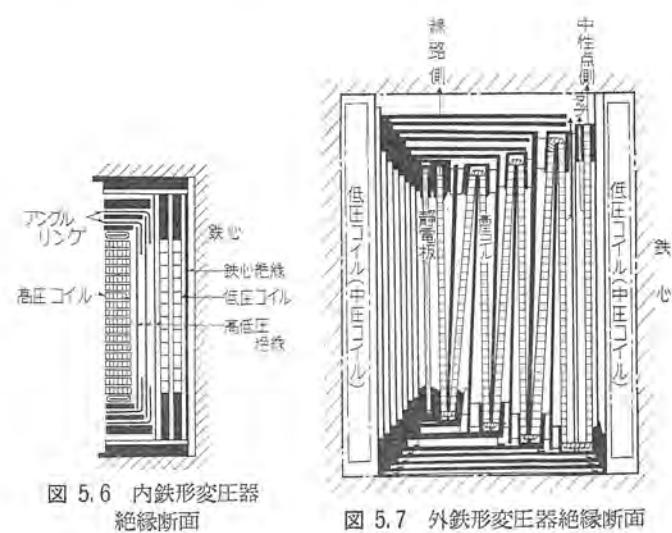
図 5.6 内鉄形変圧器
絶縁断面

図 5.7 外鉄形変圧器絶縁断面

技術解説

第2, 第4のコイルは傾斜させてある。これは隣接コイルと同電位にある側の絶縁距離は接近させ、隣接コイル間に最大の電圧のかかる側のコイル間隔を広くとり合理的な絶縁配置を施したもので、これによって従来弱点であったコイルのつなぎ線における問題も解決されている。

(4) 段絶縁

中性点が直接接地された変圧器では線路端から中性点に至るに従い次第に絶縁を低下させたいわゆる段絶縁を施すことができる。段絶縁変圧器は初期電位分布が直線的であることが必要なことはいうまでもない。わが国では関西電力枚方変電所の変圧器に始めてこの段絶縁が採用され、⁽⁶⁴⁾その後の超高压変圧器はすべてこの段絶縁が採用されている。図5.7に示した外鉄形変圧器の絶縁断面は段絶縁を施したものの一例で、高圧コイル線路端に近いほどその形状が小さくなっている。鉄心との主絶縁距離が大きくなっている。図5.8はそのコイル配置を示す図である。なお中性点側の絶縁は10~30kV級の絶縁が施されている。その他の構造は普通の全絶縁方式とまったく同一で、容易に段絶縁構造を実施できることは外鉄形変圧器の特長である。内鉄形変圧器で段絶縁をする場合には普通同心配置にした円筒状コイルを用いる。図5.9は内鉄形段絶縁変圧器の絶縁配置を示す説明図である。中性点が高抵抗接地あるいはリアクトル接地方式のものに中性点絶縁だけを線路端の $1/\sqrt{3}$ 程度に低下させた絶縁方式を中性点絶縁低下変圧器と称し、わが国では昭和24年ころから製作されている。⁽⁶⁵⁾これは段絶縁とは異なり、高圧コイルの構造は普通の全絶縁方式とまったく同一で、ただ中性点の絶縁だけを低下させたもので、 $1/\sqrt{3}$ レベルの中性点用避雷器を共用することにより満足に運転させている。段絶縁変圧器や中性点絶縁低下変圧器の交流耐圧試験は中性点の絶縁が低下してあるため普通の加圧試験はできないので、誘導試験またはこれと組合せによって試験し、線路側端子の電圧が表5.1に示した値になるようにする。

(5) 絶縁材料

普通の油入変圧器の主絶縁はプレスボードと変圧器油であるが、いずれもわずかの吸温によって絶縁耐力がいちじるしく低下するので、変圧器は組立後十分な真空乾燥を行い脱気した絶縁油を注入する。プレスボードおよび変圧器油については絶えず研究がなされており品質が改良されている。絶縁油の劣化に関する研究も盛んで、また窒素封入や変圧器油に酸化防止剤を添加して絶縁油の劣化を防止する方法がとられている。窒素封入変圧器はすでに耳新しきことではなくなったが、酸化防



図5.8 段絶縁のコイル配置の一例 (外鉄形)

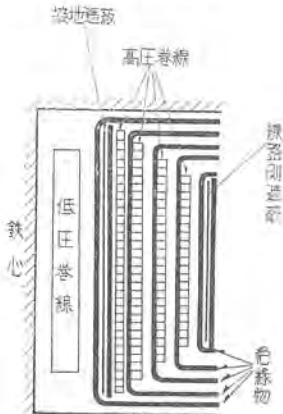


図5.9 内鉄形段絶縁変圧器のコイル配置

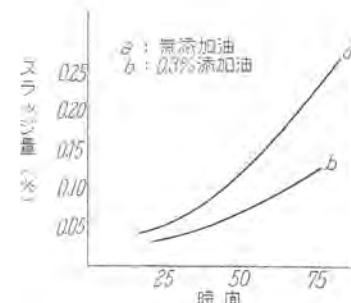


図5.10 酸化防止剤の影響

止剤(D. B. P. C)を変圧器に添加する方式は米国においてはすでに実用されており、米国における配電用変圧器の大半は酸化防止剤入り変圧器油が用いられている。図5.10は酸化防止剤を添加した絶縁油と無添加油を130°Cにおいて安定度試験を行った結果の一例である。

5.3 不燃性油変圧器

従来の鉛油に代る不燃性合成絶縁油は欧米においてはすでに30年の歴史をもち、一例を米国にとどめても合成油入り変圧器の製作実績は1千万kVAを突破したといわれている。わが国においても研究は各社とも戦前から行なわれてきただが何分原材料の高価と入手難のため、さらには戦争による悪条件も加わって中断されていた。しかし戦後ビル、劇場、坑内などの電力需要が増大し変圧器の火災、爆発の防止に対する要求が増し、一方不燃油が国産化されるによよんでここ2、3年来急速に実用されるに至った。

現在用いられている不燃油は3塩化ベンゾールと5塩化ジフェニールを主体としたもので、アルクロール、ピラノール、イナーティン、クロフェン、シバノール、ダイヤクロー

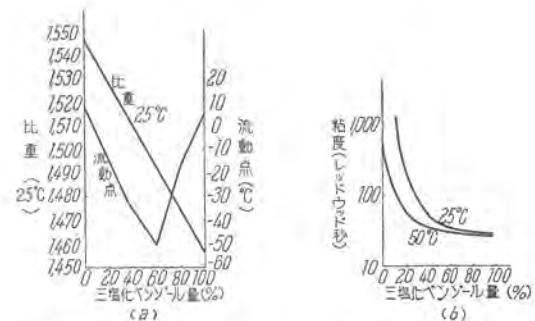


図5.11 5塩化ジフェニールと3塩化ベンゾールの混合変化による物理的性質

表5.2 アスカレルと鉛油の特性比較表

特性	種類	変圧器用アスカレル	鉛油(JIS-C-2320)
比重(g/cm ³) 15°C	1.56	0.92	
粘度(レッドウッド秒) 20°C	83	96以下(30°C)	
32(75°C)		39以下(75°C)	
流动点	-32°C以下	-27.5°C以下	
引火点	なし	135°C	
酸価(mg/KOH/gr)	0.014以下	0.02以下	
耐電率100°C	4.0	(2.3)	
絶縁耐力(60c's, 2.5mm)	45kV	35kV	

技術解説

ルなどの商品名で呼ばれている。一般にこの種の合成油をアスカレルと総称するが、油ならびに分解生成物が難燃かつ非爆発性、化学的に安定で熱劣化あるいは酸化せず誘電率が大きく破壊電圧も高いことが特長である。変圧器用に用いられる不燃油は普通粘稠の5塩化または6塩化ジフェニールに粘度の低い3塩化ベンゾールを適量混入し、従来の鉛油と同程度の粘度と流动点をもたせている。一例として5塩化ジフェニールに3塩化ベンゾールを混合した場合の粘度や流动点の変化の状況を図5.11に示す。また表5.2は変圧器用アスカレルと鉛油の特性比較表である。⁽⁵⁶⁾熱伝導率や膨張係数なども鉛油とほとんど大差がないので変圧器としての構造や大きさには大きな差異はない。しかしアスカレルは有機物に対する溶解力が強いので、副材料として用いられる積層板、ワニス類、接着剤、パッキング材料、防錆塗料などはアスカレルに溶解されることのない特殊な材料が選定して用いられる。またアスカレルには塩化水素反応抑制用の添加剤を加えたものが普通用いられている。⁽⁵⁷⁾

不燃油の誘電率は鉛油の約2倍で、プレスボードのそれに近いので交流破壊に対しては鉛油より好条件であるが、一方不燃油含浸プレスボードの衝撃比は鉛油含浸プレスボードより低く、しかも衝撃電圧試験の現行規定は鉛油入りと同じであるから衝撃電圧に対する絶縁を強化するのが普通である。25φの平板電極(直角edge)を用い1/32"厚さの油浸プレスボードの破壊電圧特性を図5.12に示す。⁽⁵⁸⁾

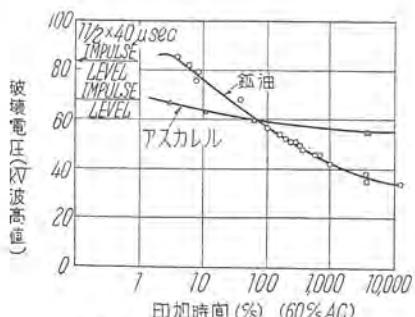


図 5.12 油浸プレスボードの
破壊電圧—時間曲線

5.4 乾式変圧器

変圧器の不燃化、非爆発性の要求に応じて不燃油変圧器とともに製作されているものに乾式変圧器がある。耐熱、耐湿にすぐれた絶縁材料の発達により米国では1940年ころより実用され15kV、数千kVAのものまで製作されている。わが国でも昭和29年ころからシリコーン絶縁乾式変圧器が完全に実用の段階にはいり現在までに30kV級も含めて数百台、30万kVAが製作されている。乾式変圧器に使用される絶縁物はA種、B種、H種などいろいろあるが、耐熱、耐湿にすぐれたシリコーンワニスを使用したH種絶縁が最も良く、現用の乾式変圧器は大部分がシリコーン絶縁によるものである。表5.3はA種およびH種乾式変圧器の使用材料を比較したもので、図5.13は乾式変圧器の内部構造の一例を示したものである。

絶縁構造上油入変圧器と異なるおもな点は空気絶縁が介在するため衝撃電圧に対する強度が低く、衝撃比は鉛油入りの2.0

表 5.3 A種 H種変圧器使用材料の比較

部分名称	A種	H種
導体	クラフト紙または縞巻銅線	二重ガラス巻銅線またはマイカ、ガラステープ巻銅線
心型	フラポートまたはマイカルタ	ガラスマイカルタチューブまたはマイカルガラスクロス
層間絶縁	フラポートまたはクラフト紙	マイカガラスクロスまたはタインチーラー(アスペクト製品)
間隔片	フラポート	磁粉製品、ガラスマイカルタ板、マイカ
絶縁板	フラポートまたはマイカルタ	マイカまたはガラスマイカルタ
ワニス	普通ワニス	シリコーンワニス (米国ダウ、コーニング社 DC 994 DC 997, DC 1089, DC 2704, DC 2105, DC 400, XR 100 等)

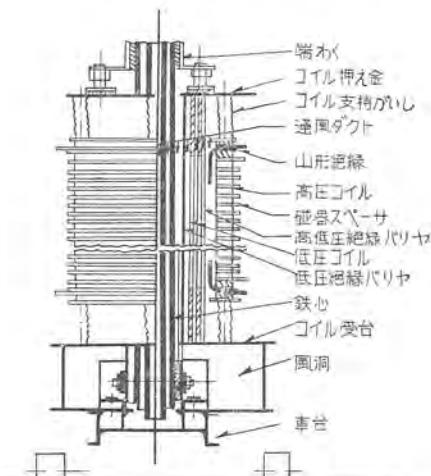


図 5.13 乾式変圧器の内部構造

~2.4に対しH種絶縁では1.1~1.5である。またコロナに対する考慮も必要である。絶縁構造は貫通耐電圧よりも衝撃電圧に対する沿面放電距離を重視した絶縁構造がとられている。このような理由からある程度大容量の方が経済的となり使用電圧も米国においては15kVまででわが国でも22kV程度までが最も多く、まれに30kVのものが製作されている。また使用場所も直接雷電圧が侵入せず単に開閉サージによる異常電圧だけを考えれば良いような場所、すなわち市街地や坑内などのケーブルによって配電される場所に用いるのが普通である。このような条件を考慮して衝撃電圧試験電圧は油入変圧器よりも低くわが国では表5.4のようなJEM案が決められている。

冷却効果の大きい絶縁油を使用しないため、冷却に関しては構造的に種々の考慮を払い、局部過熱を避け、しかも小形化が

表 5.4 乾式変圧器の試験電圧

絶縁階級(号)	商用周波(kV)	衝撃電圧(全波)(kV)
3	10 (10)	25 (45)
6	15 (15)	35 (60)
10	25 (25)	55 (90)
12	30 (—)	65 (—)
15	38 (—)	80 (—)
20	50 (50)	95 (150)
30	70 (70)	130 (200)

※()内は油入変圧器

技術解説

考えられているが、⁽⁵⁵⁾ 耐熱性の大きい H 種絶縁の採用により鉛油入りよりも小形軽量にすることもできる。絶縁材料の耐熱性の区分としていわゆる A, B, H 種などの呼称が古くから用いられており、新しい材料の開発により、とくに機器の温度区分の上で検討が行われていたが、従来各国の規格中とくに低かったわが国の H 種の温度上昇規程を 140°C に引き上げることとなった。表 5.5 は各国規程の比較を示したものである。

表 5.5 現行規格の温度上昇区分（乾式変圧器）

規格種別	NEMA (1954)	JEC (1951)	VDE (1954)	JEM-R (1957)
A 種	55 (105)	55 (105)	60 (105)	55 (105)
B 種	80 (150)	75 (130)	85 (130)	75 (130)
H 種	150 (220)	120 (180)	135 (180)	140 (200)

※ 表中の () 内は最高許容温度 $^{\circ}\text{C}$

5.5 ガス絶縁変圧器

気体の放電あるいは絶縁破壊に関する基礎的研究は古くから行われておらず、特殊な条件のもとでは、ある種のハロゲン化ガスの絶縁耐力は液体や固体絶縁物よりもすぐれていることは良く知られている。わが国でも高圧コンデンサ、ケーブル、遮断器などにはすでに空気、窒素その他のガスが絶縁物として実用されているが、最近六氟化硫黄 (SF_6) フレオンなどすぐれた特性をもつ気体の開発により変圧器への応用が考えられ、すでに米国では SF_6 を用いた 138 kV ガス絶縁変流器⁽⁶⁰⁾ および 69 kV , $2,000\text{ kVA}$ の電力用変圧器が 1956 年に製作され、⁽⁶¹⁾ さらに 69 kV $9,375\text{ kVA}$, 46 kV $75,000\text{ kVA}$ などが製作されている。図 5.14 にその構造の一例を示す。

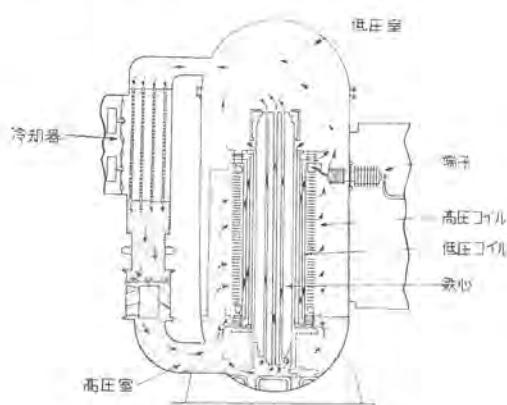


図 5.14 ガス絶縁変圧器の構造

気体の絶縁破壊電圧については、平等電界におけるバッシェンの法則、不均一電界における破壊特性、電極の材料、極性などいろいろの問題があり、これらの問題を各種のガスの場合について研究した結果は数多く発表されているが、⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾⁽⁶⁴⁾ etc. 図 5.15~5.17 に代表的な 2,3 の例を示す。図 5.15 は平等電界における SF_6 の破壊電圧、図 5.17 は針対平板電極による N_2 ガスの放電電圧また図 5.17 は各種ガスの比較を示すものである。

SF_6 は絶縁耐力が N_2 の 2.5~2.8 倍で沸点が低く化学的に安定で無臭であり人畜に無害である。また空気に比べ比重が約

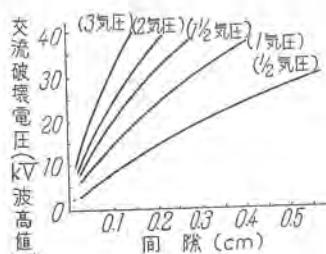


図 5.15 SF_6 の破壊電圧

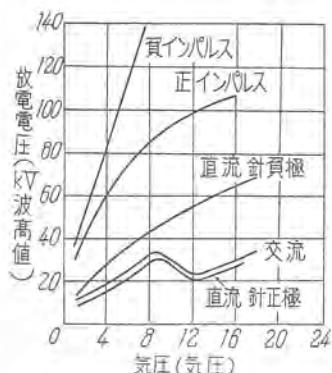


図 5.16 針—平板による N_2 の破壊電圧特性

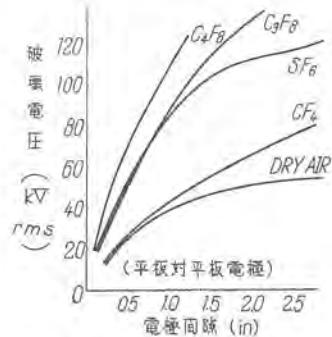


図 5.17 種々のガスの破壊電圧

5 倍、比熱が約 7 割であるから計 3 倍以上の冷却効率を有することになり、従来の乾式変圧器より大分きりつめた設計が可能となる。

SF_6 のほか C_3F_8 , C_4F_8 のような弗素化合物も実用性あるものとして注目され、また空気や窒素のような普通の気体に上述のようなハロゲン化ガスの混合体を使用することも研究されており、たとえば CCl_2F_2 (F-12) と N_2 との混合気体の実用化などが考えられている。適当な混合気体は絶縁強度を改善することができ、また不均一電界における絶縁特性を改良できる。

気体絶縁実用化の要は信頼のある絶縁性と能率のよい冷却効果をいかに実際の機器製作に実現するかということにならうが、今後の絶縁技術にとって一つの研究課題である。

6. 電力用コンデンサの問題

クラフト紙またはティッシュ紙とアルミ箔を巻き込んだコンデンサ素体を真空乾燥し、これに絶縁油を真空含浸した現用の電力用コンデンサは、絶縁構造的には古くから用いられているものと大差ないが、主要絶縁材料である絶縁紙および絶縁油の品質向上、乾燥技術や絶縁油含浸技術の発達、真空密封技術の発達などに加えて油浸紙の誘電特性、絶縁破壊機構、絶縁紙の密度や気密度および含浸油の粘度と破壊電圧との関係などが明らかにされるに従い、⁽⁶⁵⁾ 現在の電力用コンデンサは過去のものと比べその特性はいちじるしく改善されている。

含浸絶縁油は良質の鉛油が用いられてきたが、最近 5 塩化ジフェニールを用いた不燃性コンデンサが製作されている。⁽⁵⁶⁾ 5 塩化ジフェニールは誘電率は鉛油の約 2 倍で、絶縁耐力が高く、化学的に安定でかつ難燃性であることが特長で、誘電率が大きいので同一出力のコンデンサについては容積が約 2/3 となり、したがって据付面積も少なくてすむ利点がある。ただ現在わが国においては 5 塩化ジフェニールが鉛油より価格が高いため、

幾分高価となる。また5塩化ジフェニールは鉛油に比較して粘度が高いので冷却の面から考えると、大容量のものは経済的に不利となる。したがって小容量のものを多数並列に接続して用いる方がとられている。米国においては15 kVAまたは25 kVAのものが標準となっており、このようにユニット式コンデンサの採用によってジフェニールの使用量を減少しかつ工程を標準化し、鉛油含浸のものよりかえって割安となっており、米国における最近の電力用コンデンサはほとんどが5塩化または3塩化ジフェニール含浸コンデンサが用いられている。5塩化ジフェニールは商用周波数で0°C付近に異常分散点があり、5塩化ジフェニール含浸コンデンサは図6.1に示すように0°C付近で $\tan \delta$ が異常に増大し、また0°C以下で静電容量が減少する。運転中においては温度が0°C以下になっても $\tan \delta$ による損失が増大して温度を高めるので問題はないが、-10°C以下でコンデンサを投入する場合には注意を要する。わが国ではこのような厳寒地はあまり多くないが、このような所では投入に際しコンデンサを予熱する装置が必要となる。5塩化ジフェニールに比べて3塩化ジフェニールは商用周波での異常分散点が-20°C付近にあるので、上述のような寒冷地における注意が約-30°C以下の場合に限られる。この理由で米国において

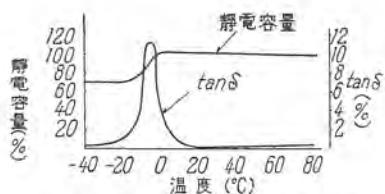


図6.1 5塩化ジフェニール含浸コンデンサの温度特性

では5塩化ジフェニールよりも3塩化ジフェニールが多く用いられている。

送配電系統の力率改善や電圧調整用としてのコンデンサの使用は、従来並列コンデンサが多く、ごく一部に直列コンデンサが使用されてきたが、1950年スエーデンにおいて220 kV用直列コンデンサが運転にはいり、続いて1951年米国において230 kV用が実施されるに至って超高压送電線への直列コンデンサの適用が大きくクローズアップされてきた。わが国においても九州電力においてすでに220 kV直列コンデンサが使用されている。

直列コンデンサは並列コンデンサと絶縁設計上幾分異なる。すなわち並列コンデンサの使用電圧は定格電圧のある範囲内においてほぼ一定した値で、したがって誘電体のうける電位傾度は現在のプラクチスでは普通10~13 kV/mmの範囲で使用されることになる。これに対して直列コンデンサでは、この使用電圧は線路電流すなわちコンデンサ電流とコンデンサのリアクタンスによって決定されるので負荷の変動すなわち線路電流の変動によって異なる。また線路の短絡故障その他の異常現象によって生ずる過電圧を受けることも考えなければならない。

一方コンデンサの設計において容積すなわち所要材料は絶縁厚さの2乗に比例するから、上述のような過電圧に長時間耐え

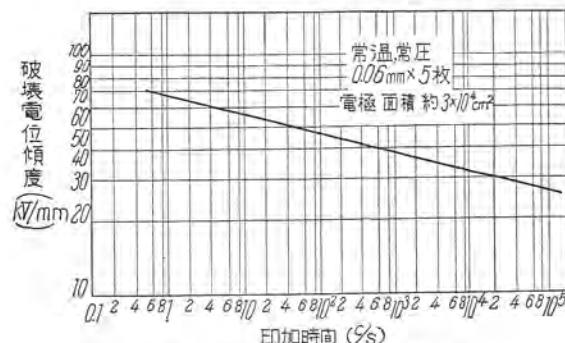


図6.2 油浸紙の破壊電圧-時間曲線

るような設計をすることは経済上きわめて不利である。したがって設計にあたっては予想される種々の異常電圧の性質、すなわち過電圧とその継続時間を明らかにするとともに、そのコンデンサに許容される短時間過電圧特性を求め、保護間隙の放電電圧との協調を考えて必要な絶縁厚さを選定することが必要である。このような見地から絶縁強度のV-t特性を調べることは絶縁設計上重要なこととなる。図6.2は油浸紙のV-t特性の一例である。⁽⁶⁰⁾ 現在のコンデンサは1秒以内においてはその定格電圧の4~4.5倍の過電圧に十分耐えることができる。保護間隙の放電開始電圧はスエーデンの380 kV系統に用いられているものは定格電圧の3.5~3.7倍にとられている。保護間隙は3点間隙が用いられているが、米国においては空気吹付形保護間隙を使用し、故障電流が定常電流の2倍以下の電流となったときに消弧し、できるだけ早くコンデンサを再投入するようしている。

7. 乾式変成器の絶縁

7.1 変成器の絶縁事情

6 kVまたは10 kV級以上の計器用変成器には古くから油入式が用いられているが、吸湿によって絶縁材料、絶縁油が劣化して絶縁耐力を低下することがもっとも問題とされ、最近では通気構造から油密封式、窒素ガスを封入するガス密封式(タンク形、またはがいし形構造)が採用されている。また不燃性油による変成器が実用され⁽⁶¹⁾、SF₆によるガス絶縁方式⁽⁶²⁾が研究されている点は変圧器の事情と同様である。

可燃性である油をなくすことは古くから考えられ、1924年にFischerが発表した磁器による乾式絶縁方式は、図7.4(c)のような糸まき状の磁器フランジ内に円筒巻線を入れ、これを磁器製容器に収めたものであった。これを織につないで、60, 100 kVなどの乾式も作られたが戦争により中絶した。⁽⁶³⁾

一方10 kV級以下では普通のワニスまたはコンパウンド含浸による乾式またはコンパウンド充填方式が長く用いられてきたが、油入式に比し絶縁性、耐久性が劣るものがあり、とくに屋外用としては不利である。

これらの方の耐久性の改善や絶縁工作の改良を計って多くの努力が続けられたが、低圧成形樹脂の発達とともにこの問題が解決した。1948年には米国G.E.社はブチルモールド絶縁の変成器を実用に供し、⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁵⁾ 続いて1955年にはAllis Chalmers社のエポキシモールド形⁽⁷¹⁾ W社のシリコーンモール

技術解説

ド⁽⁷²⁾ などが紹介され、わが国でも最近 3 年位の間にポリエスチルモールド、ブチルモールドによる乾式変成器が大いに発達した。⁽⁷⁴⁾

7.2 乾式変成器

(1) コンパウンド方式

従来用いられている低圧屋内用乾式変成器は前述のように開放形と密閉形があり、前者はアスアルト系ワニスで処理をしたクレープ紙、ワニスケムブリック、プレスボード紙マイカシートなどで絶縁を構成し、ワニスまたはコンパウンドで含浸したもので、後者は油入式と同様の外箱にコンパウンドを充填したものである。⁽⁷³⁾ 密閉形になって故障率は減少しました油入式に比べ小形軽量で取扱は便であるが耐湿性に劣り寿命が短かい。またこの乾式絶縁の組織や工作を簡単にし、外箱と一体の絶縁をする研究が多年に渡って行われ、以下のモールド、キャスト形の変成器が出現している。

(2) ブチルゴムモールド方式

ブチルゴム (GR-1) は今次大戦中アメリカで開発された合成ゴムの一種である。ブチルゴムはポリイソブチレンとイソブレンの共重合物であり、ポリイソブチレンは炭素および水素が化学的に安定な結合をしているゴム状物質であるが、通常の合成ゴムのように加硫することができない。これにイソブレン 1 ~3% を添加することによって加硫することができ、天然ゴムよりすぐれた物理化学的特性を保つことができる。

特性としては伸び 600~700%，抗張力 50 kg/cm² 程度で強靭で耐摩耗性、機械的ショックに強い。また化学的に安定で耐寒性にすぐれ、耐候性、耐湿性、耐酸耐アルカリ性も良好である。電気的性質は固有抵抗 $10^{15} \Omega \text{ cm}$ 以上で、絶縁耐力 25 kV/mm $\tan \delta$ 0.3~0.8%，耐弧性 130 秒、 ε 2.5~3.5 などであり、広い湿度、温度範囲に対して変化の少ない良好な電気的特性を有している。表面閃絡に対する抵抗性も大で、表面に炭化物を生じにくい。

成形法は図 7.4 (a) のよう鉄心の上に二次巻線を巻き、その回りに二次巻線を捲入するが、この一次巻線は別に絶縁せず一次二次間にゴムのはいる余裕を残してこれを適当な金型に入れてブチルゴムを圧入する。その後加硫を行い型から取り出して完成する。⁽⁷⁵⁾

したがって従来の乾式のように一次巻線の絶縁に用いた繊維質材料のテーピングがはぶけ巻線工作が簡単となり、また絶縁強度が増大する。

ブチルゴム絶縁は金属との接着もよく膨張収縮に対してなじみがよいので亀裂を生じることがなく、注入を適当に行えば組織内にボイドを生じない均一なモールドができる。多くのモールド樹脂中変成器応用にすぐれた特性を有していると見られている。

この方式は、1948 年に G. E. 社で完成されたもので、現在 G. E. 社では屋内用 (600~15,000 V) および屋外用 (600~5,000 V) として推賞しており、またノントラッキングブチルゴム HY-Bute/60 を用いた 15,000 V 変成器が屋外用としてすぐれた特性をもつていてことを発表している。⁽⁶⁹⁾ 表 7.1 はこれを 5,000 V 級 CT に応用して加速試験 [海水の 4 倍濃縮状態 (10% NaCl + 1.2% MgCl) 噴霧—5,000 V 印加くりかえし]

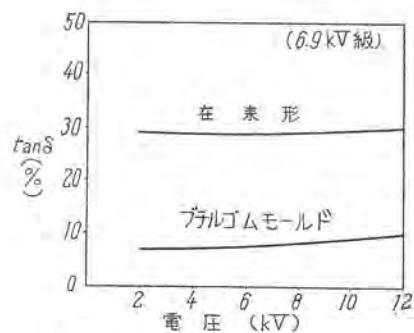


図 7.1 従来の乾式変流器とブチルゴムモールド変流器の $\tan \delta$ 特性

表 7.1 Hy-Bute/60 の 5,000 V 変流器の塩水噴霧試験 (海水 4 倍濃縮状態 ……10% NaCl + 1.2% MgCl)

変流器	試験数	試験時間 (hr)	結果
磁器がい管 5,000 V 級	3	80 以下	ひどくかけ
15,000 V 級	3	500 以下	“
普通のブチル 5,000 V C.T.	6	110 以下	炭化 track 及び破壊
Hy-Bute/60 C.T.	7	1,200 以上	no tracking

を行った結果である。また日本でも 1956 年には 10 kV 級以下のものにブチルゴムを応用した報告がある。⁽⁷⁶⁾ 図 7.1 は在来の乾式開放形と比較した特性の一例である。

(3) ポリエスチルモールド方式

低圧モールド用樹脂としてポリエスチルがすぐれていることは周知のことである。変圧器に注型する場合は一般的乾式変成器のように一次、二次、対地に対する絶縁距離の保持を絶縁紙、ガラス織維などのような織維質材料で行った後、適当なスペーサーを用いて金型に入れ、真空充填に準ずる方式により注型を行い加熱硬化させる。ポリエスチルは裸銅や硫黄などによって硬化が阻害されるので注意を要する。また収縮率が比較的大きく熱伝導率が小さいので、クラックがはいりやすく、この点をカバーするために充填剤として石英粉、ガラス粒などが用いられている。当社では数年前からダイヤレジン含浸方式による 6 kV 10 kV 級およびがい管と併用して、23 kV 級までの各種の変成器を製作し⁽⁷⁷⁾ 好評を博している。ダイヤレジンには数種のタイプがあるが変成器に用いるものは DR-FF と DR-CC との 2 種類を用いる。含浸方式としては図 7.4 (b) のように、まず鉄心、コイルをクレープ紙で絶縁し所要の形状にした後、一面だけ開けて DR-CC (高粘度) をキャビングする。この開放面から DR-FF (低粘度) を真空含浸後窒素ガスで加圧注入し、その後開放面をふたたび DR-CC で塗布するという方法をとっている。使用電線も特殊のエナメル線を用いて電気的特性はもちろんのこと、熱的、機械的、耐薬品特性にも高性能を保持している。

完成品について行った特性の一例をあげると図 7.2, 7.3 のように吸湿特性、温度特性とともに従来のものより格段の相異を示している。またこの方式とモールド式とを比較して次のような特長をあげることができる。

- 成形金型がいらないので低原価となる。
- 製作工程に成形金型から生じる制限を受けないからより

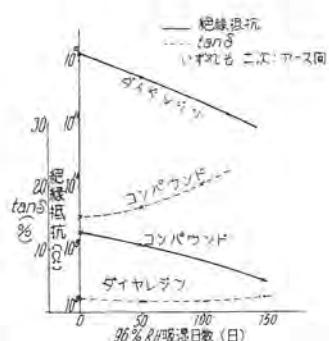
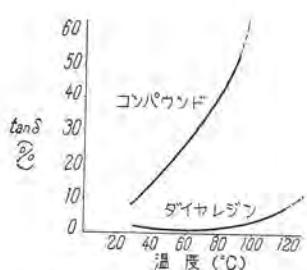
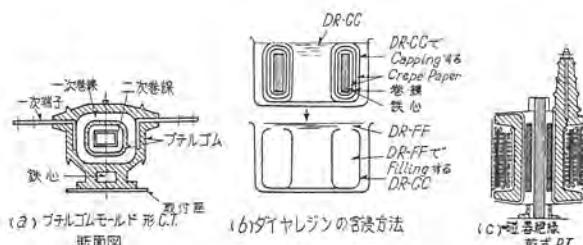
図 7.2 コンパウンド形とダイヤレジン形との $\tan \delta$ 特性図 7.3 ダイヤレジン変流器の $\tan \delta$ の温度特性

図 7.4 乾式変成器の絶縁構造

量産ができる。

c. 成形金型が不要であるから自由に設計できる。
なおモルード式とこの方式の両者併用も行われている。

(4) エボキシ樹脂モールド方式

ポリエスチル樹脂には見られない多くの特長をもつエボキシ樹脂を変成器に応用したものが、1955年 Allis-Chalmers から発表⁽⁷¹⁾されている。エボキシ樹脂の特長を列挙してみると、

- ポリエスチル樹脂のように酸素や銅系金属によって反応に疎害を受けない。
- 硬化時の収縮は 2% 程度で注型樹脂中もっとも少ない内部ひずみの発生が少ない。
- 耐水、耐候性大でとくにアルカリに強い。
- 接着力が強大である。

欠点としては

- 値段がかなり高い。
- 一般に粘度が高く、工作上難点がある。
- 誘電特性の温度変化が大きい。

などである。

Allis-Chalmers における Data の一例を述べると、600 V 級の変流器で 200% 負荷を約 2 年間行ってもとくに変化がみられなかった。なお 130°C で 1,500 時間老化を行ったが異常がなく、また -30°C+75°C の冷熱試験を、1,008 時間行ったがいちじるしい特性変化のなかったことを報告している。わが国でもエボキシの応用は現在各社で研究中である。

(5) シリコーンゴム応用変成器

1955 年 W 社ではシリコーンゴムモールド式の 5,000 V 級変成器の外観を発表⁽⁷²⁾している。小形軽量で電気特性、耐摩耗性にとく取扱いに便で屋外条件でも劣化しないことを述べているがその後の発展は不明であった。その後上記のものと同一方式ではないが小形乾式変成器応用に次のようなものが発表されている。⁽⁷³⁾ ここでは航空機の電気系統用 400 サイクル電力用変成器に応用したもので、この種の変成器は内部発生熱量のため高温で運転されることになり（最小 500 時間）200°C~275°C の巻線温度になる。周囲温度は 160~200°C になる。このような機器の一つの解決法としてシリコーンゴムバウンドを用い、巻線のマグネットワイヤサイズを小さくし、寸法および重量減少は約 50% になっている。この重量減少は航空機用としてとくに望ましいことである。

使用材料には内部層間絶縁にクインテラアスペストシートをマグネットワイヤにシリコーン変成のポリエスチル・アマイド・エナメル線を用いており、テープ材はガラステープ、シリコーンゴム含浸テープである。組立後シリコーンワニスとアスペスト繊維を混合したペーストで変成器側面をバテぬりし、110°C × 1 時間、続いて 200°C × 5 時間加熱硬化させる。その後グリースや異物をソルベントで除き金属部とシリコーンゴムの接着促進用のプライマ（tetra-n-butyl titanate……無水ヘキサン溶液）をかける。キャッピング用のシリコーンゴムに浸漬し、60°C で乾燥して 160°C で半硬化する。冷却後 2 回目の浸漬をする。さらに 60°C で予備加熱して、15 分間 5 mm Hg 真空加熱後、予備真空した含浸用ワニスを槽に導入して 15 分間 5 mm Hg に保持し、あらかじめテフロンテープを用いて側面に設けた含浸孔からワニスを含浸させる。さらに 30 分真空後第 2 回の含浸をする。この含浸ワニスの半硬化冷却後、余分のワニスをソルベントでこすっておとし、第 3 回目のキャッピングをする。200°C で完全に硬化する。この方法でボイドのない 1/16" 厚のシリコーンゴム外被ができる。これに用いるキャッピング用シリコーンゴムは高粘度、低粘度のシリコーンゴムの混合（ジメチルシリコーンポリマー+シリカ+加硫剤）でソルベントレスで粘度が低い。また含浸用のソルベントレスシリコーンワニスは熱硬化する高反応低粘度のシリコーン（最終硬化の際にシリコーンと結合するビニル基をもったシリコーンポリマー）で粘度 380 C.P.S.（室温）、含浸用として好適で韌性に富みボイドやクラックを生じない。以上的方法で製作した変成器を加熱劣化、熱衝撃、吸湿噴霧試験の順に試験した結果を示すと、

- 第 1 群は加熱劣化試験（160°C 気中で負荷をかけ、500 時間連続）を行った。巻線温度は 200~250°C の範囲で肉眼的な欠陥なく、続いてその他の試験を行った。
- 第 2 群は加熱劣化試験をしないで他の試験を行い、その

技術解説

表 7.2 試験結果

試験項目	平均絶縁抵抗 MΩ	
	第1群	第2群
加熱 160°C 総時間 200~250°C ×500 時間	欠陥なし	no heat
試験回数 3 回 +85°C -55°C	125,000 200,000	400 150
吸湿 98% ×10 日 98% ×15 日	750 200	20,000 15,000
噴霧試験 50 Hz	200	30,000

後第1群と同様500時間加熱した。外被にクラックなくまた電気的破壊も生じない。

- c. 1,500 V 過電圧試験……全部電気破壊せず、100 MΩ 以上で良好である。
d. その他多くの変圧器を作り運転試験+上記の試験を行なう一部は完全破壊まで加熱した。250°C で 1,000 時間試験してもなんら欠陥が見られない。

以上によってこのようなシリコーンコンパウンドによる方式が高温運転にすぐれていることを指摘している。表 7.2 はこれらの試験結果を示したものである。

以上概説した乾式変成器は主として屋内用の 10 kV 級以下であるが、特殊のものはがいしを併用するなどによってかなりの高圧のものに応用されている。また特殊ブチル、シリコーンゴム応用例のように屋外用としても今後の研究が行われることと考えられる。

8. 絶縁材料の耐熱区分

8.1 電気機器と絶縁材料の耐熱区分

電気機器の定格を決定する基礎となっている機器の温度上昇の一般規格には絶縁材料の耐熱区分が設けられており、たとえば、JIS 4002 のように材料の A, B 種は明らかに機器の温度区分に対応させている。この種の絶縁材料の規定は AIEE No. 1, B. S. 2757, V. D. E/0530, I. E. C. Pub. 85 などに定められている。

この絶縁材料の耐熱区分は AIEE No. 1 の初期には A (有機材……90°C) B (少量の有機を含む 125°C) C (無機質未定) のような簡単なものであったが、その後 1925 年版では A 種を O と A とに区分し、それぞれ 90°C, 105°C とした。1947 年にはシリコーン樹脂に対して 180°C の H 種が設けられたが有機樹脂が多数出現しはじめた当時の状況にてらして具体例を明示している。表 8.1 はこれを示したものである。

表 8.1 AIEE Standard No. 1 (1947) による分類

種別	材 料	最高温度(°C)
O	木綿、綿、紙またはそれと類似の有機材料で含浸または油浸しないもの	90
A	ワニス含浸または油浸した木綿、綿、紙またはその類似物、フェノール樹脂成形または積層品、セルローズアセテート、セルローズ誘導体エナメル線用エナメル	105
B	マイカ、石綿、ガラス繊維などの無機材料と少量の接着剤との組合せ	130
H	シリコーン樹脂処理の無機材料、シリコーン樹脂、シリコーンゴムなど	180
	生マイカ、石綿、磁器などの無機材料	—

表 8.2 付録に示された IEC (1957) の分類⁽³⁾

区分	(1) (2)	(3)	(4)	(5)
				絶縁を完全にするために使用する含浸材料
Y	主	綿、綿、再生繊維、サクサン繊維素、ボリアミド繊維、紙および紙製品、ブレスボート、堅フライバ、木、アセリン樹脂、尿素樹脂	なし	用いない
	補助	アクリル樹脂、ポリエチレン、ポリスチレン……軟化点によっては 90°C 以下になる、塩化ビニル(可塑剤あり、なし)天然ゴム	なし	用いない
A	主	綿、綿、再生繊維、サクサン繊維素、ボリアミド繊維、紙および紙製品、ブレスボート、堅フライバ、木……含浸または油浸	油性または油変性合成樹脂ワニス	油性ワニス、セラック、コーパル、その他天然樹脂繊維素エステルおよびエーテルの液または脂溶液、その他上級に属するもの、絶縁油および合成絶縁
	補助	ワニスクロス(綿、綿、再生繊維、サクサン繊維素、ボリアミド繊維)ワニスベーパー	フェノール樹脂	フェノール樹脂
E	主	木基材積層品	なし	上記のものおよび上級に属するもの
	補助	サクサン繊維素フィルム、サクサンブチル繊維素フィルム、ボリエステル樹脂(フィラーナシ)エナメル線用油性ワニス、エナメル線用ボリアミド樹脂ワニス	なし	油性、アスファルトおよび合成樹脂ワニス、ボリエステル樹脂、エボキシ樹脂、その他上級に属するもの
B	主	エナメル線用ビニルホルマール、ウレタン、エボキシ樹脂	なし	油性、アスファルトおよび合成樹脂ワニス
	補助	木粉基材形造物 綿紙、紙基材積層品	メラミン、フェノールクレゾール樹脂、フェノールフルフラール樹脂	メラミン、フェノールクレゾール樹脂、フェノールフルフラール樹脂
F	主	ボリエスチル樹脂、セルローストリアセテートフィルム、ボリエチレンテレフレートフィルムおよび繊維	なし	油性アルキドワニス
	補助	ボリエチレンテレフレート基材、ワニスクロス	油変性アルキドワニス	油性、アスファルト、合成樹脂ワニス、ボリエスチル樹脂エボキシ樹脂(荷重の機械的力を受ける場合は上記のものは不適当で非変性フェノリックレジンを用いる)その他上級に属するもの
H	主	ガラス繊維、アスベスト	なし	熱安定性良好なアルキド、エボキシ、ボリエスチルおよびボリウレタン樹脂、シリコーンアルキド樹脂およびシリコーンフェノリック樹脂その他上級に属するもの
	補助	ワニスガラスクロスおよびアスベストマーカ製品(支持材料のあるものないもの)	アルキド、エボキシ、ボリエスチル、ボリウレタン樹脂で耐熱性のよいもの、シリコーンアルキド樹脂	適当なシリコーン樹脂
C	主	ガラス布基材、アスベスト基材積層品、鉛質基材形造品	セラック、アスファルトあるいは瀝青質、油変性、合成樹脂ワニス、アルキド樹脂、ボリエスチル、エボキシ樹脂	本区分に属する上記のものおよび上級に属するもの
	補助	鉛質基材形造品	メラミン樹脂 フェノール樹脂	メラミン樹脂 フェノール樹脂
	Kel F		ボリエスチル樹脂	
			なし	
F	主	ガラス繊維、アスベスト	なし	熱安定性良好なアルキド、エボキシ、ボリエスチルおよびボリウレタン樹脂、シリコーンアルキド樹脂およびシリコーンフェノリック樹脂その他上級に属するもの
	補助	ワニスガラスクロスおよびアスベストマーカ製品(支持材料のあるものないもの)	アルキド、エボキシ、ボリエスチル、ボリウレタン樹脂で耐熱性のよいもの、シリコーンアルキド樹脂	適当なシリコーン樹脂
H	主	ガラス繊維、アスベスト	なし	ガラス、セメントのような無機接着剤
	補助	ワニスガラスクロスおよびアスベストマーカ製品(支持材料のあるものないもの)	適当なシリコーン樹脂およびシリコーンゴム	熱安定性よいシリコーン(225°C まで)
C	主	マイカ、陶磁器、ガラス、石英	なし	ガラス、セメントのような無機接着剤
	補助	ワニス、ガラス布、アスベスト、マイカ製品	適当なシリコーン樹脂	熱安定性よいシリコーン(ただし 225°C)
		テフロン (250°C まで)	なし	

注: 分類の本文例

区分 A……適当に含浸塗布または油浸された木綿、綿、紙およびその類似品、その他の経験の試験によってこの温度の使用に耐えることが確認された材料またはそれらの組合せ。
区分 E……試験または試験によってこの温度で使用に耐えることが確認された材料または組合せ (A 種よりも 15°C 耐熱性の高いもの)。

技術解説

表 8.3 絶縁材料の温度区分 (AIEE No. 1 1957)

温度区分	いずれを呼称するも可
90 (°C)	O (種)
105	A
130	B
155	F
180	H
220	—
Over 220	C

国際的には 1927 年にこのような区分が認められ、その後 AIEE に準じた規格を採用したが、1952 年にはスイスから E. F を新たに設けることと化学的組成で分類することが提案された。これに対しては米国から機能的な試験法を定めて分類することが提案されたが、最終的には Y(90°C), A(105°C), E(120°C), B(130°C), F(155°C), H(180°C), C(180°C 以上) の 7 区分とし各種別の定義を広義に解釈できるようにした IEC-2C (Central Office) 3 が採択された。⁽⁷⁸⁾ たとえば F 種絶縁とはマイカ、ガラス繊維アスペストおよびその類似物を適當な材料で接着したもの、その他経験または試験によってこの温度で使用に耐えることが確認された材料またはその組合せ (B 種より 25°C 高い耐熱性をもつもの) となっている。

表 8.2 は最近の IEC Pub. 85 (1957) に記載された付表を示して参考としたものである。また米国でも從来の AIEE の一般規格では定義や評価方法が不十分であったとして全面的に改訂が討議されていた。⁽⁷⁹⁾ すでに B 種については新しい合成エナメルが 130°C に耐えることが試験で示され、1954 年暫定的に B 種の定義を変更して無機物でなくとも B 種の温度で使用し合うことを証明したものを認容しているが、A, B, C のような文字で絶縁の区分を行わないで使用可能温度で区分する方向が示されていた。1957 年にはこの考え方による表 8.3 のような新しい区分の仕方を発表している。⁽⁸⁰⁾ これによると從来の区分にさらに 155°C に (F 種) を加え、180°C 区分 (H 種) 以上にさらに 220°C 区分 (温度区分呼称だけ) が設けられている。C 種は JEC の 180°C 以上に対して 220°C 以上となっている。材料試験に強調する必要のある原理や多くの因子については AIEE No. 1 D に詳細に発表されており、化学組成でなく妥当な試験に基いて耐熱区分を確立せんとする米国の考え方を示している。わが国でも IEC とほぼ同様な B. S. 2757 を参照して検討した材料区分表を付表に設ける JEC. 86 電気機器一般規格の改訂が進行している。

8.2 絶縁材料の熱区分の問題点

個々の材料をどの区分に入れるかという問題はきわめてむずかしい問題で IEC でも最も多く議論される点である。経験年数の長い材料については從来の経験、実績から容易に種別が決定できるから問題はない。

新しい材料を分類する場合どんな試験を行えばよいかを明らかにしておく必要があるが前述の IEC の規格案では、“新しい材料の種別をきめるには種別がわかっている材料と新しい材料とを同じ実用に近い条件のもとで使用した場合の特性の変化で比較するかまたは実用と同様な条件の試験装置を用い使用時と密接な関連のある尺度をもってきめるべきである。”となっている。

絶縁材料が実際の機器に用いられる場合、單一材料で構成されることはほとんどなく個々の材料の耐熱性がそのまま絶縁組織あるいは機器の耐熱性を意味しない。また個々の材料や組織の果す役割はそれぞれ異なっており、単純にはその機能を定めがたい。機器中の組織は加熱とともに振動、熱ストレスなどをうけ劣化を促進する。組織中に含まれた材料の熱劣化は外層のものよりもかなり進行がおくれる。⁽⁸¹⁾ 等々問題を複雑にする多くの因子を含んでいる。したがって前述のように機能的な試験を行う必要が強調され多くの組織について試験が行われている。しかしこれらは特定の組織の評価があって、このようなデータから直接には材料の耐熱区分の問題は解くことはできない。すなわち材料評価の問題と組織の評価の問題は区別して行う必要があり、このような考え方から米国でも二つのグループに分れて研究が進められている。

以上のことからも考えられるように絶縁材料個々については必要な特性に関する温度限界を知るとともに絶縁組織の一部として実用される場合の熱劣化によって物理的、電気的にどのような影響をうけるかを知ることは大切である。これが明らかになると種々の材料を含む組織の機能評価はより大きな意味をもつことになるだろうし、この両者があいまって現在の耐熱区分の問題の解決に向うであろうと信じられる。またこのような試験は加速試験の形をとらざるを得ないが、このデータは実用に近い温度で行う長期試験で補追される必要がある。⁽⁸²⁾ このことは実際には使用経験に富んだ材料や組織との比較の形で行われることも含んでいると考えられる。要するにその絶縁材料が機器で示すはずの機能を評価するという考慮のもとで試験され区分されなければならないということである。多くの新しい材料が機器に組合せられる場合、その組合せや使用条件が区々であるため、評価方法の確立にはその材料の使い方や条件を標準化してその標準化したモデル試験法で評価しなければならない。このような試験法が標準機器の許容温度限界を定めるものであればさらに理想的である。

8.3 絶縁材料、組織の耐熱性評価試験法

以上のような考え方のもとで米国ではエナメル線の耐熱評価試験法 (AIEE No. 57) バラ巻機械の絶縁組織の評価試験法 (AIEE No. 1C) 乾式変圧器試験法⁽⁸³⁾ などが定められ、IEC にも提案されている。AIEE No. 1C について略述すると、

(1) 試料: モートレット (モーデルモータ) と製品の両者を使用する。図 8.1 はこの外観を示している。層間絶縁によって相互に絶縁された 2 組の巻線が擬似スロットに収められている。これには対地絶縁が施されていて実用機器と類似

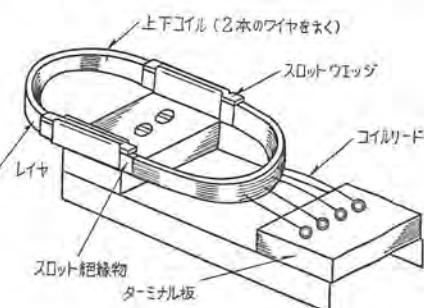


図 8.1 モートレット法組立図

技術解説

の絶縁組織を構成する。線間絶縁を試験するため2本のエナメル線を並列に巻いている。

(2) 促進試験方法: 加熱振動吸湿を1サイクルとする。表8.4は1サイクルの加熱時間である。機械振動は小形モーターの場合は正逆転を行うがモートレットの場合は60c/s、振巾8 mil (1.5 g)で1時間振動させる。

(3) 判定尺度: 各サイクルの加熱振動の終りに表8.5の電圧を1分印加し、また吸湿後に15分(湿度槽中で)印加し破壊の有無を調べる。

試料の数は1温度10個を用い少なくとも3温度で行う必要があり、また正確な評価をするには熱風循環炉を用い、最低試験温度の試験が必要であると考えている。このような方法によって新材料、新組織の破壊サイクル数と旧材料のそれとの比は新旧材料あるいは組織の寿命比の大略値を与えることができる。図8.2はこれによって行われた試験結果⁽⁸⁵⁾と実際の小形モーターで行われた正逆転による寿命試験結果の一例⁽⁸⁴⁾を比較しているが、かなり類似の値を示している。

米国では成形コイルについても同様の規格を準備しており、このような試験法と材料の試験法の両者の併用によって材料をモーターに使用した場合の寿命をかなりの程度まで推定できると考えられる。またこのような方法は新しい絶縁組織の研究に有力な武器を与えるものと考えられる。

表8.4 1サイクルあたり加熱時間

試験温度 °C	最高温度(連続実用)			備考
	105°C A種	130°C B種	180°C H種	
300±5	no test	〃	2日	○1週5日を実働として湿気バクロが周囲にくるようにしてある。また10°半減則を規準としている。
280±3	〃	〃	8	
260±3	〃	〃	28	
240±3	〃	〃	49	
200±3	〃	2日		○炉の温度は均一でないから試片の近くで測ること。
180±3	2日	8		
160±2	8	28		
140±2	28	48		
125±2	48	no test		

表8.5 劣化検出電圧

実用ライン電圧 (予想されるもの) rms V	チエック電圧 rms V/60 c/s		
	大地	巻線間	導体間
250 V それ以下	300	300	60
440 または 550	600	600	120

付記: 以上は主として最近3年間(32年末現在、その後一部補追)に発表されたおもな文献を参考として電気機器の絶縁方式の進歩の大略を示そうと試みたが、広範囲に渡るためと筆者などの不勉強のため、不十分な点が多いことをおわびするとともに、これらの文献の筆者に感謝の意を表する。

なお、この稿を書くにあたり終始ご指導ご鞭撻を贈わったもと旧電気第一研究室長、横須賀参事、材料研究室長、山森参事、化学第一研究室長、石黒参事に感謝の意を表するとともに、文献調査や整理に援助された材料研究室坂田桂三君に感謝する。

参考文献(続)

- (48) 送電電圧特別委員会報告書(1955-8)
(49) P. L. Bellaschi: Power Apparatus & System, No. 26, p. 1007 (1956-11)

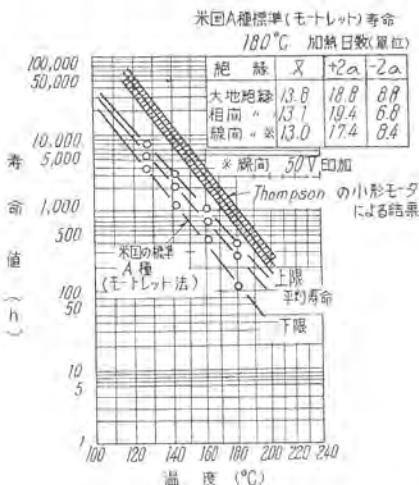


図8.2 米国A種標準(モートレット)寿命
180°C 加熱日数(単位)

- (50) 木村、横須賀: 電学論, 1, p. 39 (1940)
(51) 山本: 電学誌, Vol. 75, p. 1081 (1955-9)
(52) 首藤: 日立評論, 別冊, No. 7, p. 15 (1954)
(53) 三菱電機型錄
(54) 田宮、村上: 三菱電機, Vol. 26 p. 203 (1952-5)
(55) 木村、村上、堀: 電工論, Vol. 1 p. 33 (1949)
(56) 南角、神谷: 三菱電機, Vol. 30 p. 188 (1956-3)
(57) 白井、原: 電学聯大, No. 169 (1956)
(58) T. W. Dakin: AIEE Trans., Vol. 71, pt. I, p. 321 (1952-11)
(59) 萩野、神谷: 三菱電機, Vol. 32, p. 553 (1958-5)
(60) G. Camilli: Power Apparatus & System, No. 17, p. 100 (1955-4)
(61) G. Camilli: G. E. Review, Vol. 59 p. 41 (1956-5~7)
(62) J. M. Meek, J. D. Craggs: Electrical Breakdown of Gases (Book)
(63) Trump: E. E., Vol. 69, p. 961 (1950-11)
(64) F. H. Cohen: P.I.E.E., Vol. 103, pt. -A, p. 57 (1956-2)
(65) 坂本、吉田: 電学誌, Vol. 75, p. 514 (1955-5)
(66) 大島、吉田: 電学論大 No. 160 (1954)
(67) 森本: 東芝レビュー Vol. 10 p. 563-568 (1956-5)
(68) F. Ranpach: E.T.Z.-A, 77. Jahrg., H-6, S-174-177 (1956-3)
(69) R. A. Pfuntner, R. S. Norman, B. W. Wilterdink: AIEE. Trans., 55-715
(70) 上野、森本、市来崎: 東芝レビュー Vol. 10 p. 806-811 (1956-7)
(71) W. C. Farnath, G. Gallousis: AIEE. Trans., 55-34
(72) W. H. 社: Electrical World, Vol. 143, No. 4, p. 247 (1955)
(73) 池田: 計器用変成器(電気書院刊)
(74) 池田: 電学誌, Vol. 77, p. 69~75 (1957-7)
(75) 横沢、大野: 三菱電機, Vol. 13, p. 262 (1957-4)
(76) F. T. Parr: S.P.E. Journal (130th National Meeting of A.C.S.) (1957-8)
(77) C. P. Steinmetz, B. G. Lamme: AIEE, Trans., Vol. 32, Part I, p. 79 (1913)
(78) 中島、森田: 電学専門委提出資料 OD214 (高分子材料の劣化、コロナ社刊 p. 282~295) (集録)
(79) AIEE, Comite: E. E. Vol. 74, p. 934~935 (1955-11)
(80) AIEE, Standard No. 2 (1957), No. 1 D (1957)
(81) G. L. Moses: AIEE trans., Vol 71, Part III, p. 681~684 (1952-18)
(82) L. C. Whitman, A. L. Scheideler: AIEE. Trans., Vol. 75, Part III, p. 102 (1956-4)
(83) AIEE, Comite Report: AIEE Trans., Vol. 74, p. 971 (1955-11)
(84) K. N. Marthes: AIEE. Trans., Vol. 71 part III p. 254~261 (1952-1)
(85) T. J. Gair: AIEE. Trans., Vol. 73, Part III-B, p. 1703 (1955-2)

F/A 形電動機

W. H. Morse: F/A Motor (Westinghouse Engineer Vol. 18, No. 4, July, 1958, p. 112-115)

F/A (Fully Accessible) 電動機は固定子鉄心部分と外被とを分離できるように設計したものである。従来電動機外被は固定子の一部として溶接または鋳造されてきたが、F/A 電動機では、外被はベースにボルトで取付けただけで、保守点検のため、容易に固定子部分を露出させることができる。250 HP から 7,000 HP までの横形カゴ形、巻線形電動機および同期電動機が、五つの外被形式すなわち防滴形、屋外形、他力通風形、全閉外扇形、冷却器付全閉内気循環形を用いて設計されている。さらにわく番の数を減少し、従来の 15 個のわく番を一つのわく番にまとめ各保護形式ごとに 6 個のわく番を設け全体で 30 個のわく番とした。わく番の数の減少により、大形電動機の標準化が行われさらに客先による外形寸法決定の容易化、反復製作による品質改善、各部品のストックによる修理の迅速化、製作工程の改善、納期短縮が期待できる。

容易な点検

最近の大形電動機の外被は次第に厳重となる傾向にある。このため外被は複雑となり、点検は電動機端部のみに制約される。F/A 電動機では、外被を取りはずしするようにしたため固定子全体の点検が可能となった。コイル、鉄心の端部の点検には



図 1 F/A 形電動機

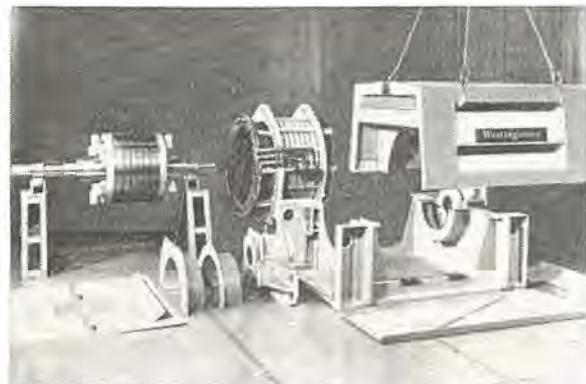


図 2 F/A 形電動機分解図

端板を取りはずせばよく、さらに固定子全体の点検には 4 本のボルトを抜いて外被を除けばよい。また回転子を取り除いた後、特殊構造のジョイント部分より 4 本のボルトを抜けば固定子部分のみを取り出すことができる。ベースを基礎に取り付けたまま、各部品を簡単に分解、組立することができる。

品質改善

固定子部分を分離できるようにしたため、保守が便利になったのはもちろんであるがこれ以外に電動機の品質改善にも大いに役立った。すなわち、大形プラケット形電動機の製作において問題となるのはプラケットの取付けである。従来は空隙を均一に保つためには、外わく、プラケットに慎重な機械加工を施した後ボルト締めによって組立てていたので分解、組立に手間がかかった。F/A 電動機では、プラケットとベースはプランジャーによって結合され、また組立に際し固定子を調整できるので、回転子を正確な位置に支持することができる。

すえ付

端子箱がなく電動機内の側面に十分なスペースを設けてあり、結線に際しては側板を取りはずせばよい。リードを上方より導く必要がある場合には普通の端子箱を取り付ける必要がある。外被取りはずしのために、電動機上方には最小 14 in の空間が必要である。

近年大形誘導電動機の騒音の低下が問題となってきたが、F/A 形は固定子と外被とが分離できるから振動騒音の伝播が少なく、さらにすえ付後にも騒音レベルの低下を図ることができる。F/A 防滴形の変形として消音器を取り付けた無騒音形があげられる。

(長崎製作所 高原洋介訳)

レクティフロウ駆動機

W. R. Harding: Rectiflow Drive (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 4, July, 1958, p. 120-122)

Rectiflow drive は巻線形誘導電動機、直流電動機および半導体整流器を組合せた新しい交流駆動方式であり、最高速度から 30% 速度までの広い範囲で連続的に効率のよい制御を行うことができる。この方式の概要は図 1 に示すとおり同一軸に結合された巻線形誘導電動機および直流電動機と、誘導電動機の二次電力を整流して直流電動機の電機子に直流電力を供給する半導体整流器、および直流電動機の励磁回路より成っており、この直流電動機の界磁を変化させることによって大巾な速度制御を行うことができる。

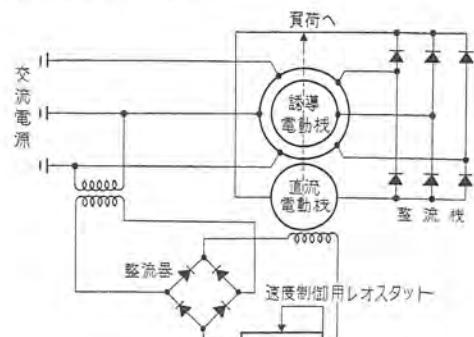


図 1 Rectiflow drive 結線図

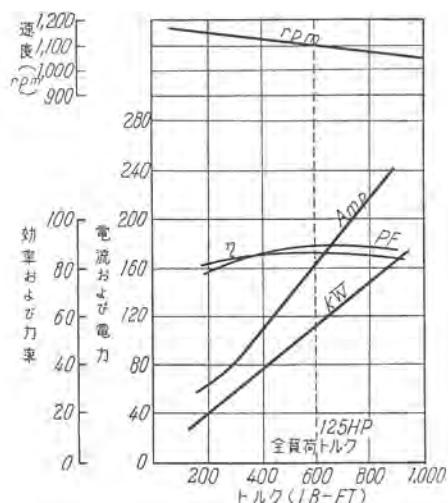


図 2 125 馬力 Rectiflow drive の効率
力率、速度、電流、電力曲線

Rectiflow drive の誘導電動機は一般の巻線形誘導電動機とほぼ同様に動作するが、それに反して直流電動機からは独特的な特性が得られる。その動作を略述すると以下のようである。最高速度以外で運転されているときには、誘導電動機の二次電圧は半導体整流器によって整流され、直流電動機の逆起電力に打ち勝って誘導電動機二次回路および直流電動機電機子回路に電流を流し、両者は負荷トルクを分担して回転する。運転中に直流機の励磁を減らすと逆起電力が減じてより多くの電流が流れ、過分なトルクを生じて回転部を加速するのであるが、速度が増すにつれて交流電動機の二次電圧は減じ、逆に直流電動機の逆起電力は増して電流は次第に減り、この電流が負荷トルクを生じるに必要な電流に達した点で加速は終り、この速度が新しい運転速度となる。励磁を零にすると Rectiflow drive は最高速度で運転する。

この方式の特長は以下に述べるとおりである。

- (1) 標準の電圧および周波数でいかなるものにも用いられる。
- (2) 最高過負荷電流は誘導電動機によって制限される。
- (3) 大巾な速度範囲で効率のよい連続制御ができる。
(図 2 参照)
- (4) 機械的出力の一部が誘導電動機から与えられるため、半導体整流器の定格は小さくてすむ。
- (5) 誘導電動機によって整流器の過負荷、開閉サージなどが保護される。
- (6) 標準の交流起動器を用いることができる。
- (7) 柔軟性が大きい。
- (8) 直流電動機の界磁電流を調整して速度を制御できるため磁気増巾器や電子管を用いて制御することができる。

(伊丹製作所 細野 勇訳)
(長崎製作所 中野久夫訳)

液体中で使用する電動機

What's New: Submerged Motors (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 4, July, 1958, p. 126)

液体中に沈めて使用する電動機に関する設計上の問題点は、事実上すでに解決されている。しかし、液体が、高オクタンの飛行機燃料の場合や、種々の温度条件、あるいは、種々の圧力の下で使用する電動機に関しては、新たな別の分野についての研究が必要になってくる。

この写真は、W 社の液体中で使用する電動機の試験装置の中へ、電動機をポンプと組合わせて入れるところを示している。このタンクの上部は、165 ガロンの高オクタン飛行機燃料を充満させてあり、その中で、高空、高温、低温など、それぞれ実際と類似の条件の下に、電動機の運転状態が、研究調査できるようになっている

(名古屋製作所 酒向 濑訳)



液体中で使用する電動機

トランジスタライズされたレーダ指示機

What's New: Transistorized Radar Indicator (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 4, July, 1958, p. 127)

米海軍向けに捜索レーダ用リピータとして、トランジスタ化された指示機が開発された。AN/SPA-25 (XN-1) と命名され、ノーフォーク号にすえ付けられて試験されている。

電源部は自藏しており、1 台あたりトランジスタは 57 個で、真空管は CRT を除き 3 本より使用していない。なお、磁気増巾器を 7 個内蔵している。大きさは高さ 17 インチ、巾 18 インチ、奥行 28 インチ、装備容積は 5 立方フィート、重量 180 ポンド、で装備容積は従来の指示機の 1/2 以下となった。また、消費電力は、従来のものが約 1 kW であるのに対して、236 W である。

ソルダーディップした印刷配線板を使用し、これを、コネクタによるプラグイン方式として、保守に便利なように上部および、両側面に集めてある。距離範囲は、4~300 カイリまで連続可変リングマーカは、1, 2, 5, 10, 25, 50 カイリで、可変レンジストローブ、と時分割の電子カーソルを持っている。

カーソルの確度 2 度、スイープの直線性は 1% である。
(無線機製作所 橋本俊弥訳)

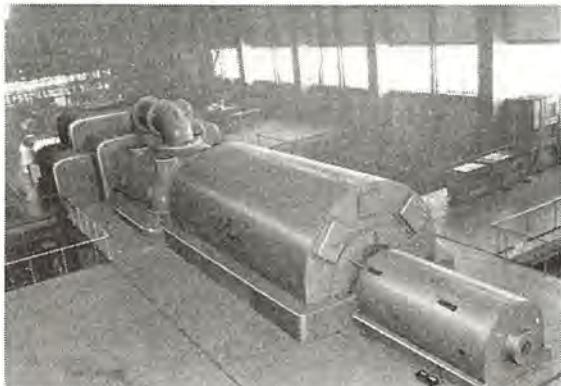


■ タービン発電機について竣工検査終る

中国電力新宇部火力発電所1号機、四国電力松山火力発電所1号機がおのの8月、9月に竣工検査を終り営業運転にはいった。タービン定格は、それぞれ 75,000 kW, 102 kg/cm²g, 538°C, 再熱 538°C, 66,000 kW, 88 kg/cm²g, 510°C である。発電機はいずれも普通構造形水素冷却機で Hand book type である。すなわち定格は前者が 88,236 kVA, 75,000 kW, 0.85 pf, 3,600 rpm, 15 psig, 後者が 81,176 kVA, 66,000 kW, 0.85 pf, 3,600 rpm, 15 psig である。

これら発電機は最新形のもので、固定子コイルのダイヤレジン絶縁、固定子鉄心の弾性ささえ装置、含銀回転子銅体などの技術を取り入れてある。新宇部機は発電機を冷却するガス冷却器用水の 75% に復水を用いてプラント効率の向上を計った点が特色である。松山機は低短絡比の機械で重量軽減を計った点、完全屋外発電機である点が特色である。

なおいずれの発電機も磁気増巾器形自動電圧調整器を用いたが優秀なる結果を得た。今後大形機にはこの方式が標準となるであろう。また新宇部、松山発電所の2号機をそれぞれ製作中



新宇部発電所に設置された 75,000 kW タービン発電機



松山発電所全景

であるが、松山機はタービン定格 75,000 kW となる点が異なる。



松山発電所に設置された 66,000 kW タービン発電機

■ 日本最初の大電流用シリコン整流器完成

シリコン整流器は本年始め三菱化成に第1号を納め、その後調に運転を続けているが、このたび住友化学岡山工場向けの食塩電解用シリコン整流器が完成したので、10月15日関係者約150名を招待して伊丹製作所で展示会を行った。この整流器は能率と保守の簡易化の2点が特長であり、将来この種業界での利用が注目されているものである。

主要機器の種類と定格

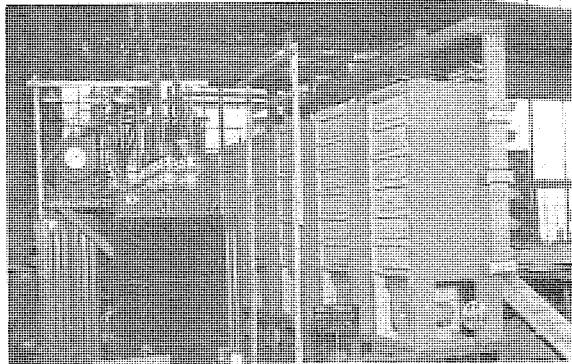
1. 3.3 kV 受電, 60 c/s, 500 kVA 誘導電圧調整器 1 台
2. 2,000 kVA 油入自冷式変圧器 1 台
3. 120 V, 14 kA, 1,680 kW 風冷式シリコン整流器 1 台
4. 冷却装置 1 式
5. 速応ヒューズ, サージ吸収装置 1 式
6. 定電流装置 1 式
7. 故障表示装置 1 式

特長

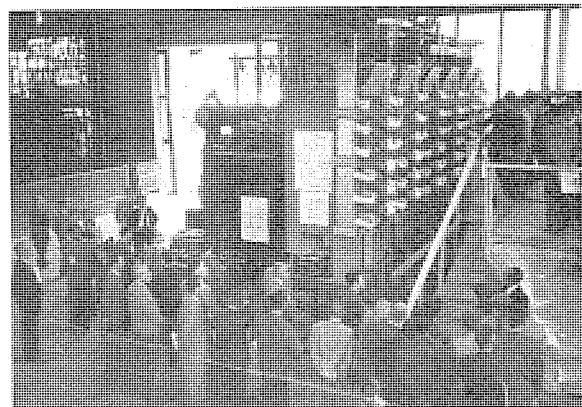
1. 三相全波整流回路で直列シリコンダイオード1個より構成された風冷式シリコン整流器である。
2. シリコンダイオード8個を1群としてひきだし形箱(トレ

→) に納め、負荷状況のまま取替えうる方式にした。

3. 自動定電流制御方式とした。



試験中のシリコン整流器および同用変圧器
定格出力 120 V, 14,000 A, 1,680 kW



シリコン整流器展示会風景

■ 電源開発田子倉発電所納 300kV, 12,000MVA
節油タンク形しゃ断器組立

当社は目下電源開発田子倉発電所納の7台の節油タンク形しゃ断器を製作中であるが、このほど最初の2台の工場組立が完了し、形式試験の一部として、充電電流しゃ断試験と短絡電流しゃ断試験をおこなった。

充電電流しゃ断は運転電圧の130%以上の電圧上昇があつたばいを考慮、最高390kV相当まで試験されたが、完全に無再点弧、無再発弧しゃ断でき、再点弧を発生しうる電圧はなおるかに高いことがわかった。

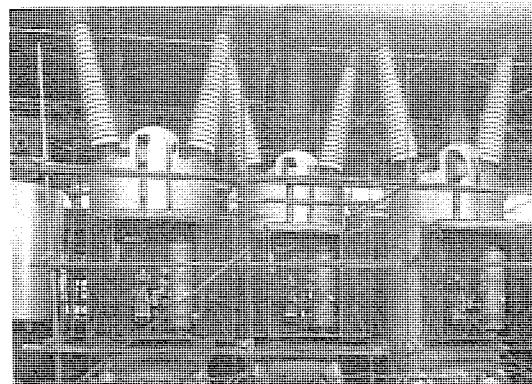
短絡電流しゃ断は単相、1/2相の試験のほかに、一点切による特殊試験もおこない、すべて再投人責務によって試験した。しゃ断時間は小電流より大電流に至るまで、ほとんど一定で、引はずし電流を下げる目的で入れてある、補助繼電器の時間を含み、最大しゃ断時間3.2サイクルであった。このしゃ断器は50c/s系に使用されるものであるが、設備の都合上これらの試

験は60c/sによって試験されたので、この成績は補助繼電器の動作時間を入れても、3サイクルしゃ断の可能なことを示している。

このしゃ断器のおもな定格値と数値はつぎのごとくである。

定格電圧	300 kV (287.5 kV)
絶縁階級	200号
定格電流	1,200 A
定格しゃ断容量	12,000 MVA
定格しゃ断時間	3サイクル
定格周波数	50c/s
動作責務	0—0.32秒—CO—1分—CO
重量(油なし)	29,100 kg
油量	33,000 l

なおひき続いて、他の形式試験がおこなわれつつあり、これらの結果については、近く本誌上に発表される予定である。



300 kV, 12,000 MVA 節油タンク形しゃ断器

■ 2,000 kVA 外鉄形変圧器の短絡電流による破壊試験

関西電力および東大、電力中央研究所のご協力により、遊休になつた関西電力の当社製 2,000 kVA 外鉄形変圧器を供試品にして、短絡時に発生する電磁機械力による変圧器の機械的強度試験を、第1回目33年5月9~10日、第2回目を6月6~7日に実施した。試験は定格電流の約19倍(短絡瞬間の最大約34倍)の短絡電流を第1回目は13回、第2回目は8回流した。

供試変圧器は、単相 2,000 kVA 一次電圧 75-72-69-66-63-60-57-54 kV 二次電圧 22-11 kV 60c/s 外鉄形油入自冷式で昭和11年(第1回目)および5年(第2回目)製の旧形の製品である。

第1回の試験ではついに絶縁破壊までいたらず解体したが、コイルは相当に変形をきたしており、インピーダンス、静電容量の顕著な変化と符号する。2回目は最後に絶縁破壊をきたし、解体結果、コイル群のズレが生じこのため破壊したことがわかったが、いずれも現行の設計では構造上起り得ぬ変形であり、老旧変圧器にしては予想外に強いことから、外鉄形変圧器が機械的にもはなはだ強固であることを実証した。

なおこの試験で、ブックホルツ繼電器、差動繼電器、SP形

瞬時圧力遮断器の保護性能の試験を兼行したが、SP リレーが非常によい成績を示した。

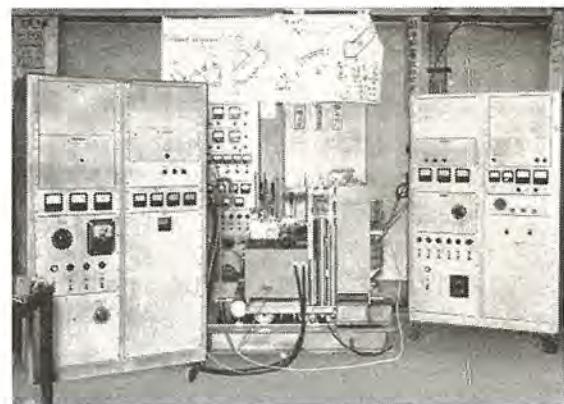
この試験は引続いて 3 回目が行われる予定である。



試験の状況

ニュース フラッシュ

分解能 最高 約 3,000
分析可能範囲 $m\text{e}=1\sim 580$
テストの結果は初期の目的が達せられ、p. p. m. のけたの微量成分の検出が可能であることがわかった。



固体用二重収斂形質量分析器

■ 日本で初めての固体用二重収斂質量分析器完成

原子炉用材料や半導体その他最近新しく発達してきた金属材料は、高純度の必要なことが多く、その微量不純物の分析に対する要求が高まっている。この要求に応じる装置の一つとして、当社では固体用二重収斂質量分析器を完成した。これは、この種の分析器としては、わが国最初のもので、このほど京都大学に納入された。

本機のイオン源は高周波スパーク形を用い、収斂方式は Mattauch 形で、イオン検出には乾板を使用する。すなわち、試料は高周波スパークでイオン化され、加速された後エネルギー選択を受け、磁場にはいって曲げられる。そして磁場出口の一線上に方向および速度収斂（すなわち二重収斂）されて、乾板上に質量スペクトルとして検出されるわけである。このために、すべての元素を、数回の露出により、高い感度で検出することができる。

この分析器の仕様はつぎのとおりである。

エネルギー選択器半径	150 mm
磁場	半径 50~150 mm 強さ 最高 20,000 ガウス
排気部	油拡散ポンプ 3 台 水銀ブースタポンプ 2 台 油回転ポンプ 1 台
電源部	スパーク電源 20 kV, 1 Mc イオン加速電源 最高 36 kV (DC) エネルギー選択器電源 最高 ± 3 kV (DC) 励磁電源 0~175 mA その他イオン検出器、真空計回路

■ こわれないがいし

ポリエチレン樹脂あるいはエポキシ樹脂によるガラス繊維補強形や注型形の電気部品が種々考えられている。当社では最近耐爆形避雷器の容器を開発した。

本器は、こわれやすく、寸法精度が出しにくい磁器に代り、軽くてこわれにくくしかも作りやすい新がいしである。

成形技術の向上と原価低減によって用途をさらに拡大している。

	磁器	樹脂
圧縮強度 (kg/cm^2)	4,500~5,000	2,500~15,000
引張強度 (kg/cm^2)	240~520	300~1,500
抗折力 (kg/cm^2)	400~900	600~2,000
衝撃強度 ($\text{kg}\text{cm}/\text{cm}^2$)	1.9~2.1	6~70
吸水量 (24 時間) (%)	0	0.2



外観

電気ストーブ

ボビン状の発熱体を反射板に平行に取付ける形の電気ストーブにおいては、反射板上に定着された一对のクリップ金具に上記発熱体の両端キャップ端子を挿着するようになっていて、発熱体の断線時における取替えならびに組立時において、これを簡単に着脱できる。

この考案は、反射板に直立状態に取付けられたいわゆる直立形発熱体の場合にも、上記横形のものと同様にその発熱体を簡単に上記反射板に着脱できるように構成したもので、これによって発熱体の断線時における取替えはもちろんのことその製作、組立を容易にできるようにしたものである。

すなわち図に示すように、外周にらせん状に発熱線(1)を巻いた巻心がい管(2)の頂部、ならびに底部開口を金属キャップ(3)と、底部に環状の段部(4)と上記発熱線の接続端子ボルト(5)、(5)を備えた耐熱絶縁基台(6)とでそれぞれ封塞し、これらキャップと基台を通しボルト(7)で一体に締付けて発熱体(8)を構成し、一方ストーブの反射板(9)には、上記発熱体の基台(6)に設けた段部(4)を嵌合する円形の開口(10)を、また上記反射板(9)を収納支持するストーブ外板(11)に反射板(9)と空所(12)を離してわん状突出部(13)を設け、この突出部には上記開口(10)と対向位置に開口(14)と、これを封塞するふた板(15)、およびこのふた板に挿着された袋ナット(16)をそれぞれ設け、上記発熱体の基台(6)の段部(4)を上記開口(10)に嵌合し、この開口より突出する上記発熱体の通しボルト(7)の突出端(17)を上記袋ナット(16)に螺合させて上記発熱体(8)を取付け、上記端子ボルト(5)、(5)には上記空所(12)より導入したリード線(18)

考案者 増谷良久・高橋正農

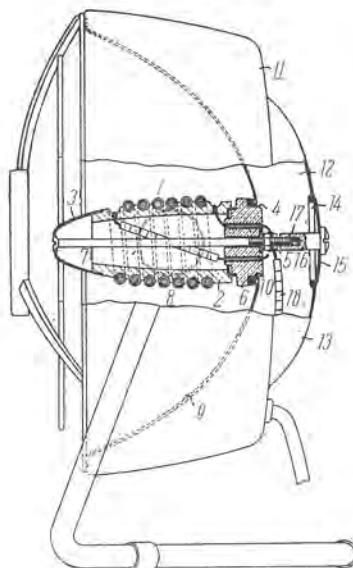


図 1

を接続したものである。

したがって袋ナット(16)をはずしリード線(18)と端子ボルト(5)の接続をはずすときは、発熱体(8)は組立てられたまま簡単に着脱できるものである。(実用新案登録第469430号)

(長谷川記)

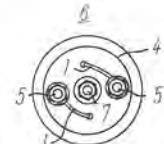


図 2

発 熱 体

考案者 飯田幸雄

耐熱絶縁板上に、抵抗線を露出するように巻かれたいわゆる露出形の発熱体は、熱の発散が良く被加熱体を急速に温度上昇させることができるが抵抗線の断線時には、この抵抗線に巻もどりを生じこれによって、接地あるいは短絡事故を起す欠点があり、また一方この抵抗線上を他の耐熱絶縁板でおおう密閉形のものでは、以上のような断線時の抵抗線の巻もどりがなくこれによる事故発生は防止できるが、被加熱体を急速に温度上昇させることは望み得ない欠点がある。

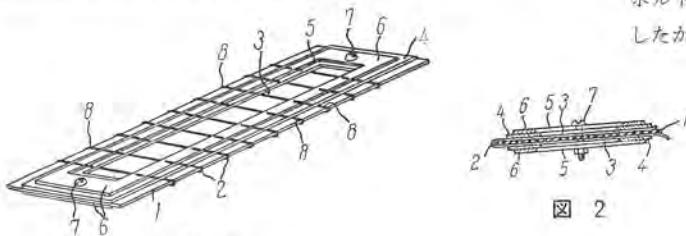


図 1

図 2

この考案は、被加熱体を急速に温度上昇させることができるとともに、抵抗線の断線時にも巻もどりを生じない発熱体を得るように考案したもので、図に示すようにたとえばマイカ製の短冊形耐熱絶縁板(1)に、抵抗線(2)を巻きこの抵抗線の上に、上記絶縁板(1)より巾が狭く中央部にく形の開口(3)をもったマイカ製短冊形の耐熱絶縁板(4)を重合し、必要に応じその上にさらに上記絶縁板(4)と同一形状で中央部にく形の開口(5)をもった金属補強板(6)を重ね、これらをボルト(7)で一体に締付けて発熱体を構成したものである。

したがって上記抵抗線(2)の各部分は、上記絶縁板(4)によって押えられ断線時においてもこれが巻もどることなく、また抵抗線(2)は上記絶縁板(4)に設けた中央部開口(3)と、その巻回端部(8)において露出しているので、これによって被加熱体を急速に温度上昇させることもできる。

(実用新案登録第473664号) (長谷川記)

三菱 ED形電磁開閉器

特長

- 電動機の起動、停止ならびに過負荷保護を電磁開閉器で、回路の短絡保護をノーヒューズシャ断器で行う。
- 今までの器具に比べ取付面積をいちじるしく節約できる。
- シャ断器の状態（入、切およびトリップ）は、操作ハンドルの位置で示される。
- シャ断器は入でフタを開くことができなく、切で開くことのできる安全装置付である。

三菱電機が最高の品質を誇るNF形ノーヒューズシャ断器とEKO形電磁開閉器を組合せ一つの箱に納めたもので、カゴ形誘導電動機のジカ入レ起動器や、巻線形誘導電動機の一次側開閉器として使用される。



備考：

- 電流計は電動機最大使用kW(HP)のものを示す。
- 電磁開閉器の過電流继電器は「自動リセット」式である。
- 電磁開閉器は操作スイッチで遠方操作する。
- 特殊形として、電源表示灯、運転信号灯、操作用押しボタンスイッチ、計器用変流器または電磁開閉器を可逆式としたもの、あるいは箱の保護構造を防塵形、防まつ形としたものも製作できる。

ED形電磁開閉器標準表

形式 記号	取付器具			定格容量		ノーヒューズシャ断器のシャ断容量(A)	
	ノーヒューズ シャ断器 (フレームサイズ)	電磁開閉器 (JIS A-1-A)	電流計 (A)	200~ 220V	400~ 550V	AC 250V	AC 600V
ED-11	NF-50	EKO-35	30	7.5 kW (10HP)	11 kW (15HP)	JIS 規格 5,000	NEMA 規格 2,500 5,000
ED-12	NF-100	EKO-55	60	11 kW (15HP)	19 kW (25HP)	10,000	15,000
ED-13	NF-225	EKO-105	100	22 kW (30HP)	37 kW (50HP)	10,000	15,000
ED-14	NF-225	EKO-155	200	37 kW (50HP)	75 kW (100HP)	10,000	15,000

昭和33年11月25日印刷 昭和33年11月30日発行

「禁無断転載」 定価1部 金100円(送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保謙	常任委員	宗村	平
副委員長	石川辰雄	委員	村屋	二
常任委員	浅井徳次郎	精	藤原	和
"	荒井潔	貞	立	彦
"	安藤安二郎	芳	竹	一
"	木村武雄	真	津	隆
"	小堀富次郎	又	内	一
"	高井得一郎		村	隆
"	中野光雄		尾	一
"	馬場文雄	幹	上	郎
"	松田新市	事	村	明
"	山田栄一	井	八	

(以上 50 音順)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内2丁目3番地	市村宗明
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	大日本印刷株式会社
印刷者	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	長久保慶一
発行所	三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部	電話和田倉(20)1631
		日本出版協会会員番号 213013
発売元	東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店	電話(29)0915・0916 振替東京 20018