

ターボ冷凍機用三相誘導電動機

Three-Phase Induction Motors for Centrifugal Refrigerating Machines

今 井 利 秀*
Toshihide Imai

内 容 梗 概

最近の空気調和の普及には目ざましいものがあり、冷凍冷房装置および空気調和装置の生産額は急速な伸びを示している。本文ではこれら空気調和に使用される日立ターボ冷凍機用各種形式および駆動用三相誘導電動機の構造、特長を詳述し、おおかたのご参考に供したいと考える次第である。

1. 緒 言

日立ターボ冷凍機は遠心力圧縮機を使用した冷凍機で、冷房装置、温湿度調整装置として適しており、ビルディング、劇場、電話局、病院、工場などに広く利用されている。また日立ターボ冷凍機は冷房用ばかりでなくヒートポンプ方式による暖房、加熱装置としても利用できるものでその需要はますます増大している。

日立製作所では 40 RT から 1,250 RT までの範囲を合理的に容量分割し、巻線形誘導電動機を使用した開放形ターボ冷凍機 (RF-1～10 までの 10 機種) および 2 極かご形誘導電動機を圧縮機に内蔵した密閉形ターボ冷凍機 (HCR-1～4 および HCR-11～21 の 15 機種) を標準シリーズとして製作している。

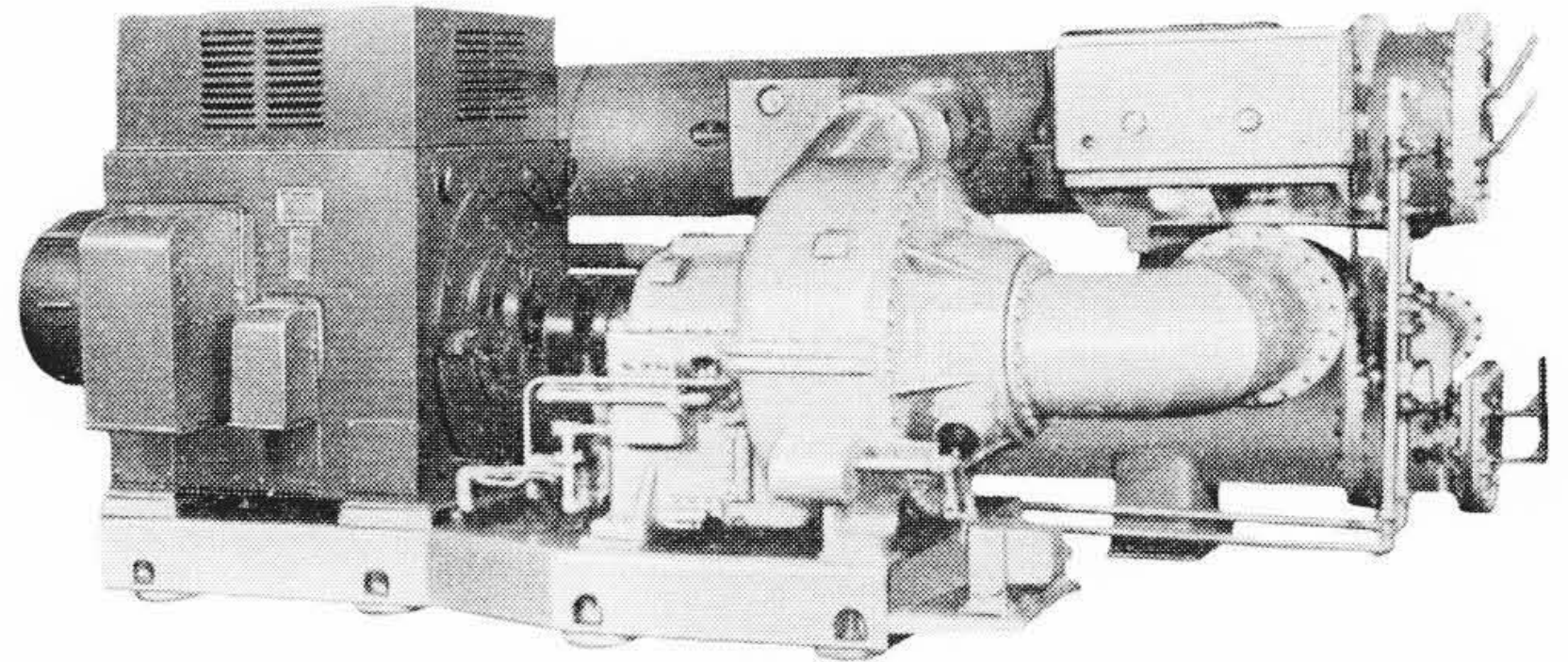
このほか 50 RT については高速密閉形 (HTA 形) を製作している。この冷凍機は 300 c/s の別設置電源により 18,000 rpm の高速度にて運転するもので、圧縮機と電動機全体の容積は同容量の HCR 形に比べ 1/10 で、据付面積の大幅な縮小がはかられている。

本稿では HCR 形および RF 形ターボ冷凍機に使用される最新の各種誘導電動機についてのみ説明し、HTA 形については別の機会にゆずることとする。なおあわせて標準仕様を紹介しご参考に供したい。

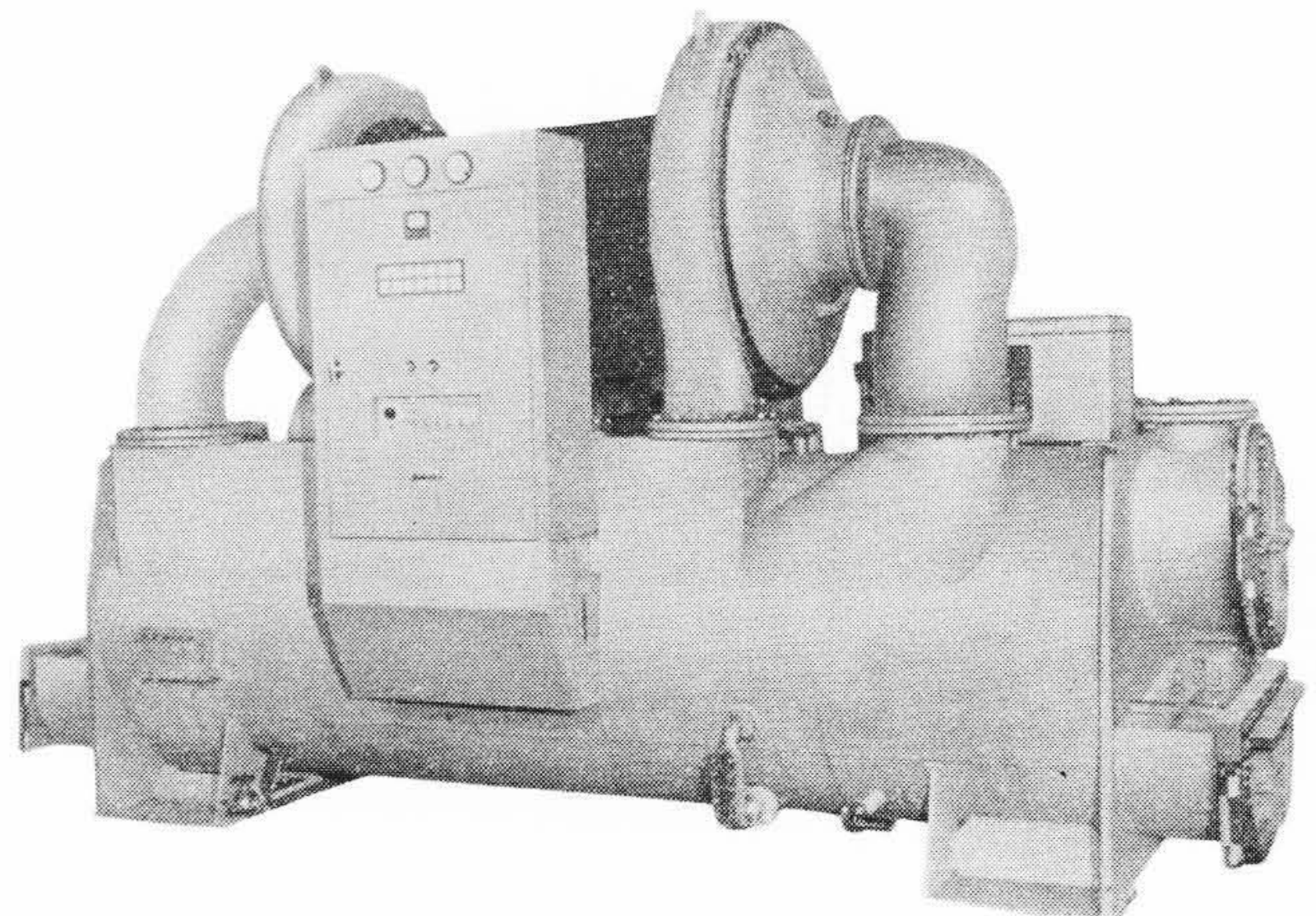
2. ターボ冷凍機標準仕様

ターボ冷凍機には第 1 図に示すようにターボ圧縮機と誘導電動機が共通台上でカップリングにより直結されている開放形 (RF 形) と第 2 図に示すようにターボ圧縮機のインペラを誘導電動機軸にオーバハングし、圧縮機および電動機を一体とした全密閉形 (HCR 形) とがある。このうち HCR 形は RF 形のようにメカニカルシールを使用する必要がないので、軸封部の寿命や故障に意を払うこともない。また電動機を冷媒液による直接冷却として全密閉化することにより据付面積を小さくするとともに保守点検がきわめて簡単化されるすぐれた利点をもっているため、この HCR 形を日立製作所の標準として製作し、HCR 形が採用できない場合にのみ RF 形を採用願うようにしている。

HCR 形ターボ冷凍機の詳細は後述するが、かご形回転子式 2 極誘導電動機を使用し、3,000 rpm または 3,600 rpm にて運転する。標準起動方式としては 3 kV 級以下は Y- Δ 起動、6 kV 級には起動補償器を使用して起動電流を約 200% におさえている。電源容量が小さく 200% 程度の起動電流でもさしつかえる場合には起動電流を 100% 以下におさえることのできる巻線形回転子式電動機を採用し RF 形ターボ冷凍機とする。しかし保守点検の面より考えると無保守に近い HCR 形が理想的であり、新しく設置する場合などは多少電源容量を大きくする費用をかけても HCR 形を採用するのが好ましく、またその方向に向かいつつあるのが現状である。この傾向はタ



第 1 図 開放形 (RF 形) ターボ冷凍機



第 2 図 密閉形 (HCR 形) ターボ冷凍機

ーボ冷凍機の発展の歴史が RF 形より HCR 形に移行しつつあることより考えても当然のことといえよう。

第 1, 2 表に HCR 形および RF 形ターボ冷凍機の標準仕様を示す。冷凍容量、電動機容量および各部主要寸法は全面的に JIS Z 8601 標準数を採用し、徹底的な標準化をはかっている。

3. ターボ冷凍機用電動機標準仕様

3.1 出 力

出力の標準シリーズとしては国際標準 IEC (International Electrotechnical Commission) の Publication 72-1 “Recommendation for the Dimensions and Output Ratings of Electrical Motors” に推奨値があり、一例を示すと 55, 75, 90, 110, 132, ……と規定されている。IEC は今後、全面的に JIS, JEM に採用されるものであるが次に示す理由から冷凍機用標準 kW として採用しなかった。すなわち冷凍容量に標準数 R 10 系列を採用しているため必要電動機出力は第 1, 2 表に示すごとく R 40 系列が最適の出力シリーズとなるので、冷凍機用専用シリーズという見地からあえて IEC 推奨値としなかったものである。

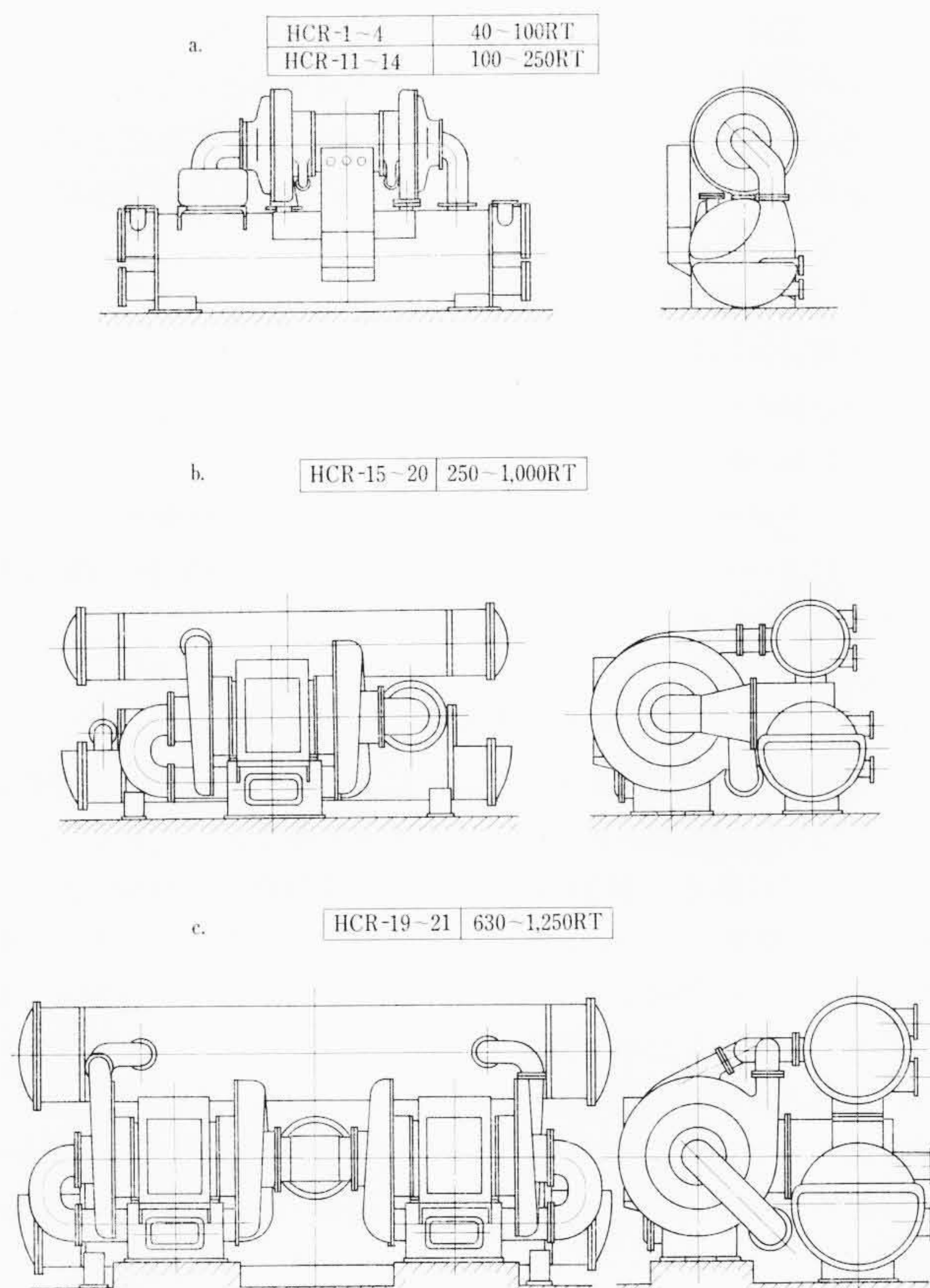
* 日立製作所日立工場

第1表 HCR形ターボ冷凍機標準仕様一覧表

名 称	冷凍容量 (RT)	冷水出口 温 (℃)	冷水流量 (m ³ /h)	冷 却 水 入 口 温 度 (℃)	冷 却 水 流 量 (m ³ /h)	電 動 機 (kW)
HCR 1	50	5.0	37.5	32.0	42.5	50
HCR 2	63	5.0	47.5	32.0	53.5	60
HCR 3	80	5.0	60	32.0	68	75
HCR 4	100	5.0	75	32.0	85	95
HCR 11	125	5.0	76	32.0	97	120
HCR 12	160	5.0	97	32.0	124	150
HCR 13	200	5.0	121	32.0	155	190
HCR 14	250	5.0	152	32.0	194	235
HCR 15	315	5.0	190	32.0	238	300
HCR 16	400	5.0	242	32.0	302	375
HCR 17	500	5.0	303	32.0	378	450
HCR 18	630	5.0	381	32.0	476	560
HCR 19	800	5.0	480	32.0	600	375×2
HCR 20	1,000	5.0	600	32.0	750	450×2
HCR 21	1,250	5.0	750	32.0	940	560×2

第2表 RF形ターボ冷凍機標準仕様一覧表

名 称	冷凍容量 (R.T)	冷水出口 温 (℃)	冷水流量 (m ³ /h)	冷 却 水 入 口 温 度 (℃)	冷 却 水 流 量 (m ³ /h)	電 動 機 (kW)
RF-1	125	5.0	76	32.0	95	120
RF-2	160	5.0	97	32.0	121	150
RF-3	200	5.0	121	32.0	151	190
RF-4	250	5.0	152	32.0	190	235
RF-5	315	5.0	190	32.0	238	300
RF-6	400	5.0	242	32.0	302	375
RF-7	500	5.0	303	32.0	378	450
RF-8	630	5.0	381	32.0	476	560
RF-9	800	5.0	480	32.0	600	710
RF-10	1,000	5.0	600	32.0	750	900



第3図 HCR形ターボ冷凍機標準構造一覧表

3.2 電 圧

電圧区分としては400V級、3kV級、6kV級いずれにても製作する。ただし採用kW範囲としては製作上および配線費用などの点よ

第3表 推奨電圧区分

電 圧	出力範囲(kW)	範囲外製作例
400V 級	300kW まで	HCR形 510kW
3kV 級	60kW 以上	
6kV 級	120kW 以上	HCR形 75kW

り第3表に示す区分を標準として推奨する。

標準電圧としてはターボ冷凍機が主としてビル、劇場などに設置されるので地域により受電電圧が10%程度異なる場合もあることを考慮してたとえば3kV級では3,000V 50c/s、3,300V 50c/s、3,300V 60c/sの3重定格に応じようよう設計している(400V級、6kV級においても同じである)。

従来日本における高圧配電線路の電圧として3kV級を一般に採用していたが、近年の急激な国民経済の発展と工業生産の拡大とによって電力需要の伸長は驚くべきものがあり、これに対処して昭和30年ごろより配電電圧の6kV昇圧が逐次実施されてきた。さらに国家経済の見地よりこれを強力に推進するため昭和34年10月公益事業局より配電電圧の6kV昇圧計画実施要領が示され、計画的昇圧工事と適正な需要家補償が実施されるに及び大幅な昇圧化が進められている。この受配電方式の推移の影響を受けて定格電圧に6kV級が採用される度合が増加しつつあり、6kV級にて製作するに不適な低出力機では3kV級にかわって400V級が採用されるようになってきている。

3.3 電動機の保護方式

ターボ冷凍機が主として環境衛生の面より騒音、振動が問題となるビル、劇場などに設備されることは前にも述べたとおりで騒音が極力小さいこと、振動が小さいことが要求される。といって電動機の騒音の大きさは、騒音協調の面からターボ冷凍機およびその周囲に散在する騒音源に照らし合わせて決定すべきであり、他の騒音源との協調のうえに決めなければ必要以上に高価な電動機を使用することになる。日立製作所ではターボ冷凍機製作工場と十分協議および調査を行ない低騒音を主眼に以下に述べてあるような(第6章参照)無響室を設け徹底した考慮を払っている。

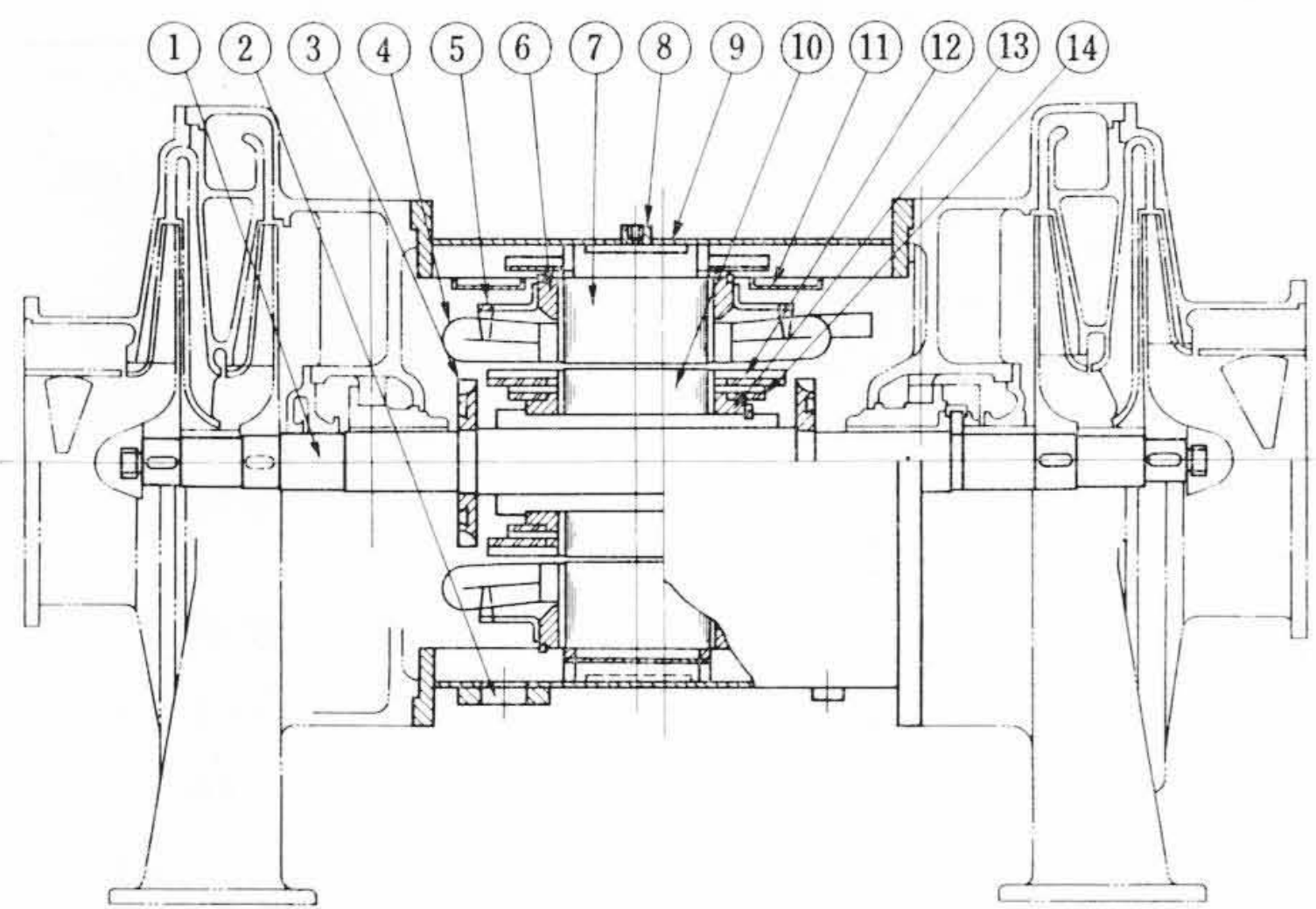
電動機の保護方式にはこれらを考慮し、RF形の標準として開放防滴形サイレンサ付(形式EF(O)UN-DQ)および全閉内冷形(形式TF(O)W-DQ)を製作する。全閉内冷形は排気が室温を上昇させることが好ましくない場所に適しており、また、この構造では通風音が外部に出てこないの開放防滴形サイレンサ付よりも低騒音に製作できる。HCR形には全密閉構造冷媒液冷却方式(形式TB₀Q-KK)を採用するので特に消音のための考慮は払わなくても低騒音に製作可能である。

3.4 回転子形式およびその起動方式

HCR形では電動機とターボ圧縮機が一体となるためかご形回転子を使用する。かご形電動機は起動時に600%程度の起動電流が流れるため、3kV級以下ではY-Δ起動方式、6kV級では起動補償器による減電圧起動方式を採用し、起動電流を200%程度におさえている。この場合起動トルクも1/3となるが十分起動可能である。

RF形はHCR形が採用できない場合、すなわち電源容量が小さく大きな起動電流が流れるとかなりの電圧降下を生じ、その電源に接続されている電気設備に悪影響を及ぼす場合に採用し巻線形回転子式として、起動電流を100%以下におさえている。

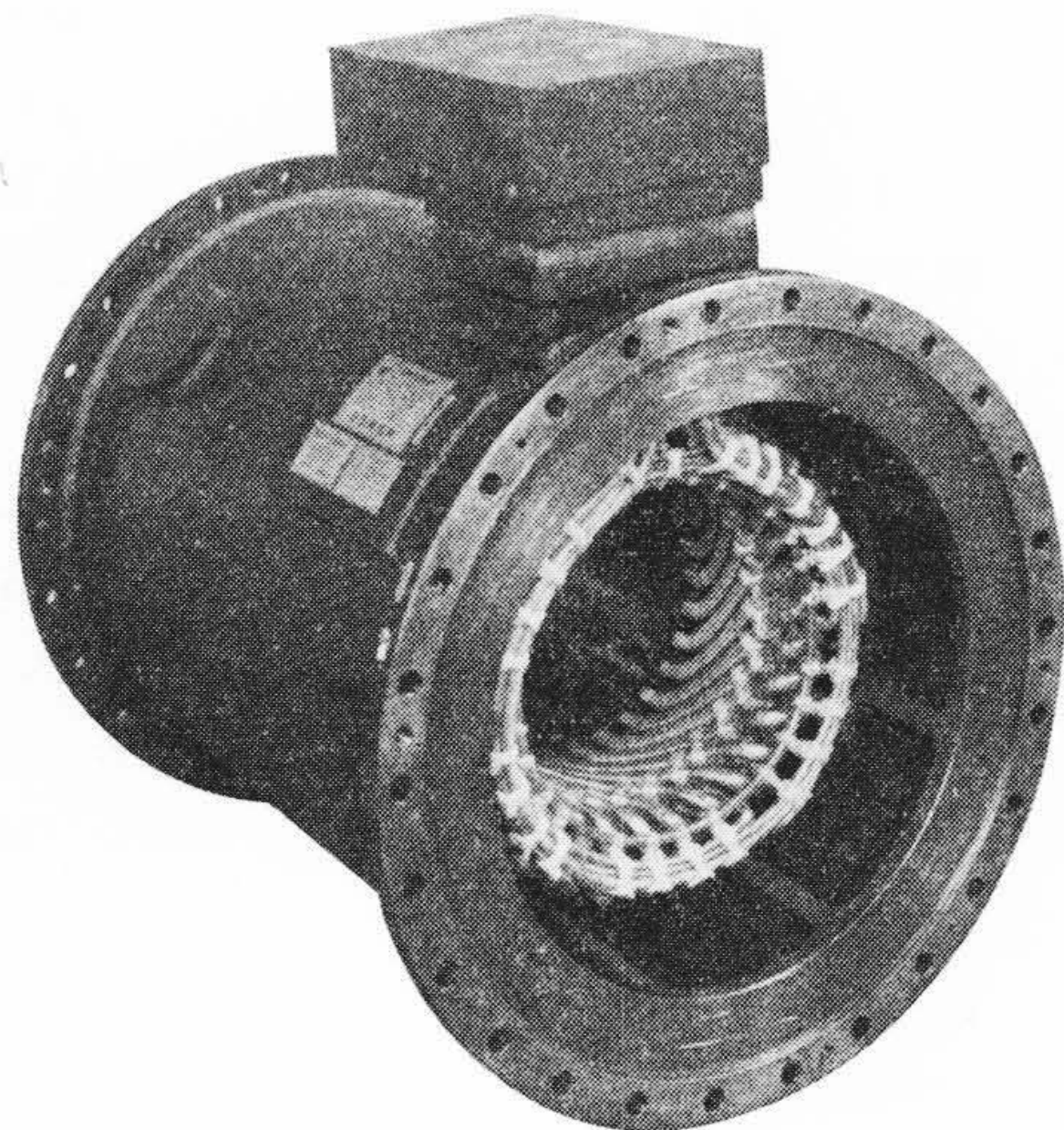
ターボ冷凍機は速度制御を必要とせず、起動トルクも30%程度で十分でありGD²も非常に小さいにもかかわらず従来巻線形回転子が多く採用されてきたのは電圧降下の悪影響を防止する目的のためだけであり、もしその必要がなければ巻線形回転子とすべき理由は



(形式 TB₀Q-KK, HCR-1~4, HCR-11~14 の標準構造)

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

第4図 HCR形ターボ冷凍機用電動機構造図



第5図 HCR形ターボ冷凍機用電動機固定子

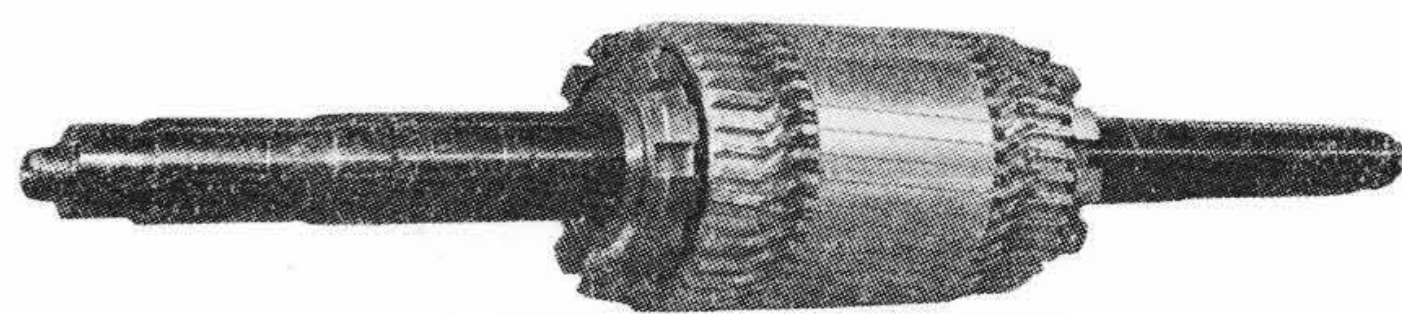
何一つない。日立製作所としては、多少電源設備に費用をかけても無保守に近いかご形回転子式 HCR 形ターボ冷凍機を採用するよう重ねて推奨するものであり、近い将来巻線形回転子の要求は少なくなると確信している。

4. HCR 形ターボ冷凍機用電動機

HCR 形ターボ冷凍機は電動機の軸に2個または4個のインペラをオーバハングして一体として全密閉形としたもので振動、騒音が小さくコンパクトな理想的構造である。全密閉で低騒音とするには回転子をスクューして起磁力の高調波を除くとともに、固定子わくからの磁気音に多少の考慮をはらって設計するだけで十分である。

4.1 冷却方式

冷却方式としては冷凍サイクルの一部から導いた冷媒液による直接冷却方式を採用している。直接冷却方式はわが国では初めて日立製作所が採用したもので、第4図は電動機の内部構造を示したものである。冷媒液は冷媒取入口よりはいって固定子鉄心背面に設けられた液だめに充満されるとともに一部は固定子巻線上方に設けた蒸発皿に適量流し込み気化潜熱により電動機内部を冷却する。冷却を終わり気化された冷媒ガスは電動機下部に設けた冷媒戻し口より電動機外部に導かれ冷凍サイクルに戻って液化する。本方式はきわめて冷却効果が高く、従来の冷媒ガスによる冷却方式に比べ大幅に小



第6図 HCR形ターボ冷凍機用電動機回転子

形軽量化されている。

4.2 各部構造

電動機構成部分のうち、軸受部分は HCR-1~4, HCR-11~14 において第4図に示すように圧縮機ケーシングと一体として製作することにより軸方向寸法的大幅な縮小が可能であり、電気、機械の総合メーカーとしての面目をいかんなく発揮した構造を備えている。

4.2.1 固定子

第5図に固定子外観を示す。外わくには鋼板溶接構造を採用し、軽量かつ十分な機械強度をもたせており、厳重な水圧試験、リーク試験によって密閉構造を満足することを確認している。固定子巻線には素線に特殊処理を施したガラス線を使用、マイカを主体として日立製作所で開発した耐冷媒B種絶縁を採用しているので長期間冷媒にさらされてもなんら支障をきたさない。

4.2.2 回転子

2重かご形回転子を採用し、上側バーに高抵抗の特殊銅合金を使用して起動電力を極力おさえ、下側バーに電気銅を使用して運転中の損失をできるだけ小さくするように設計している。第6図はその外観を示したものである。

4.2.3 保護装置

冷媒液による直接冷却方式は冷却効果が非常に高いので一般品に比較し電流密度を相当高く設計している。したがって、もしなんらかの原因により冷媒液が電動機に供給されなくなると短時間に過熱し事故に至るおそれがある。その対策として固定子巻線端部に高感度の検温部を装置し温度 120℃ 以上になれば短時間に電源を遮断する保護装置を設けている。

4.2.4 端子部分

端子部分は内気漏れの発生しやすい唯一の部分であるので慎重な寿命試験の結果、がい子製特殊構造を採用している。

4.3 電動機寸法

第4表に電動機部分の寸法例を示す。HCR 形は標準品として仕込生産されているのでわく番号は 95 kW 以下は 3 kV 級、120 kW 以上は 6 kV 級を対象として決定している。

5. RF 形ターボ冷凍機用電動機

RF 形ターボ冷凍機は増速ギヤを介してターボ圧縮機を駆動する構造であるので電動機回転数は自由に選定することができる。日立製作所としては騒音、振動などの点より4極機 1,500 rpm または 1,800 rpm を標準として採用する。増速機構は増速ギヤをターボ圧縮機ケーシングに内蔵しているのでギヤの騒音は非常に小さい。また電動機を4極としたので軸封装置にメカニカルシールを採用でき冷媒の漏れはほとんど認められないすぐれた特性をもっている。

電動機としては低騒音が必要であるので、開放防滴形サイレンサ付(形式 EF(O)UN-DQ)または全閉内冷形(形式 TF(O)W-DQ)を標準としている。

5.1 開放防滴形サイレンサ付電動機

第7図に外観を、第8図に構造を示す。サイレンサには吸音材を使用した風路わん曲形を採用している。

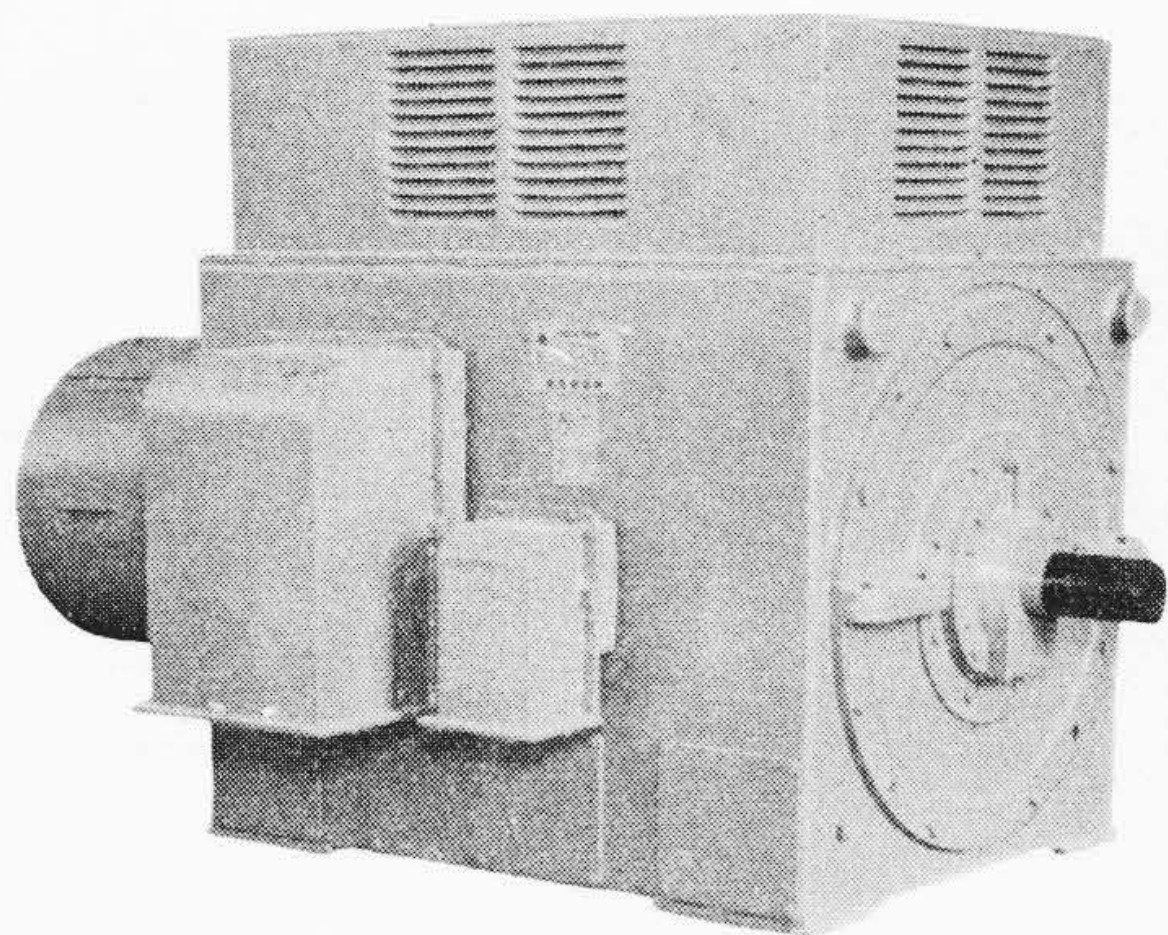
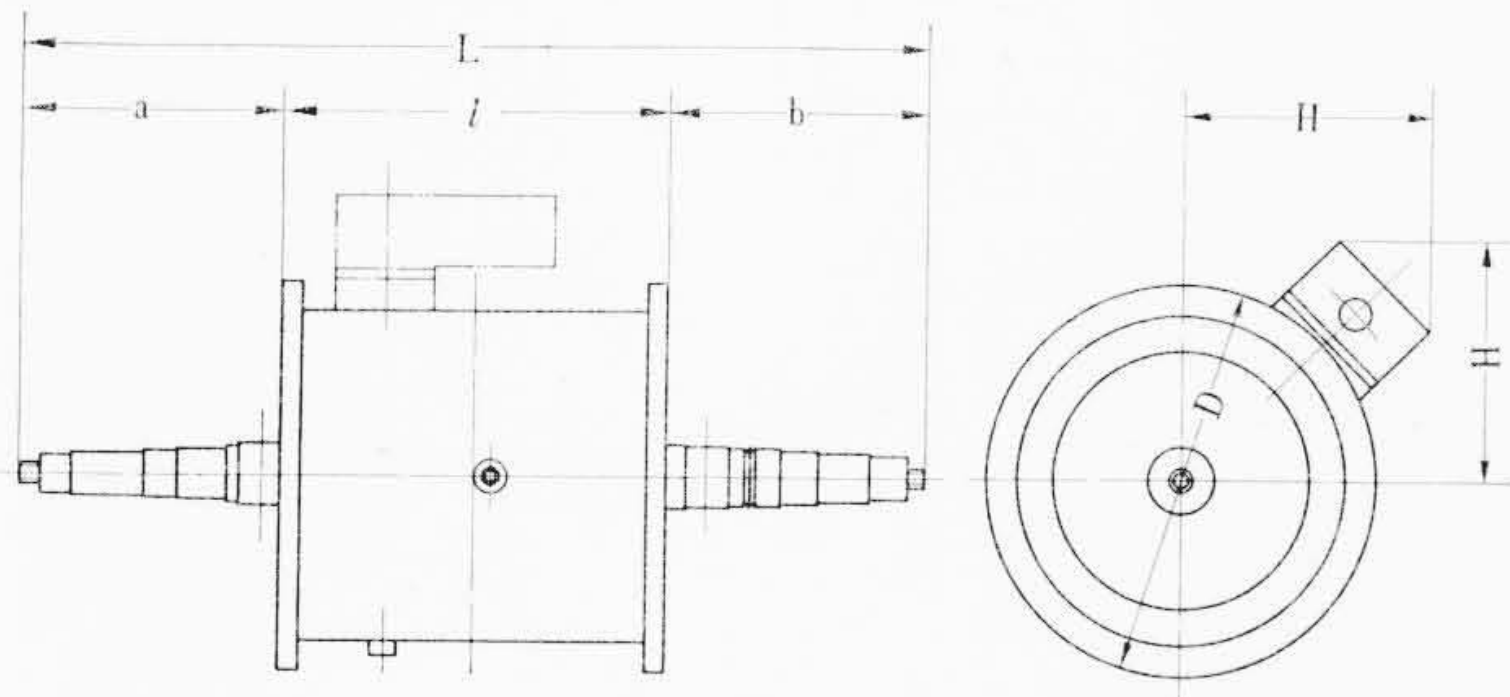
5.1.1 通風方式

通風方式としては複流式を採用して冷却扇騒音を極力小さくし、電動機上部に設けたサイレンサを通じて入排気を行なってい

第4表 HCR形ターボ冷凍機用電動機の電動機部寸法

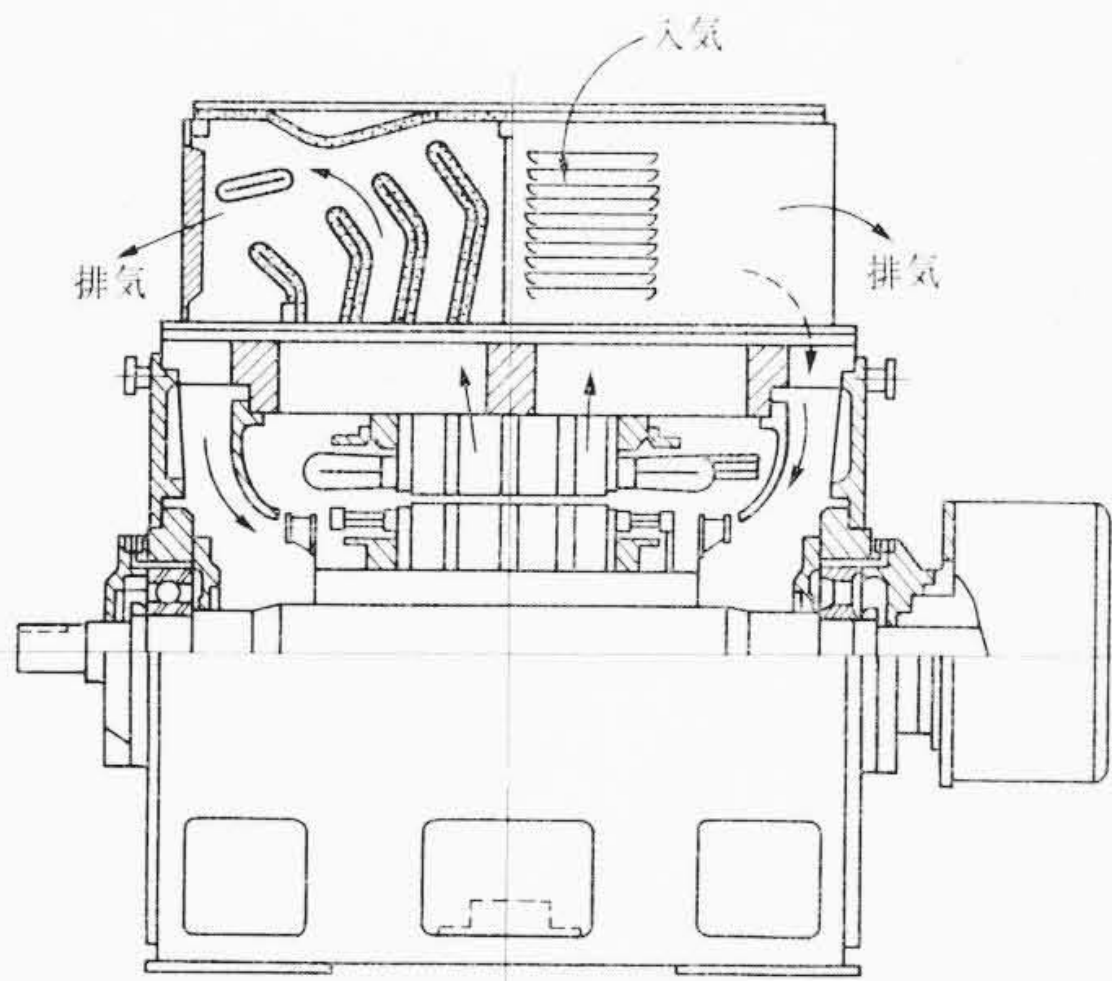
(単位 mm)

IM出力 kW	D	l	a	b	L	H	使用冷凍機	適用電圧
50, 60	630	600	440	425	1,465	430	HCR-1, 2	400V, 3kV級
75, 95	630	670	470	455	1,595	430	HCR-3, 4	400V, 3kV級
120, 150	710	800	440	415	1,655	455	HCR-11, 12	400V, 3kV, 6kV級
190, 235	750	900	480	455	1,835	470	HCR-13, 14	400V, 3kV, 6kV級



(形式 EFOUN-DQ)

第7図 開放防滴形サイレンサ付電動機



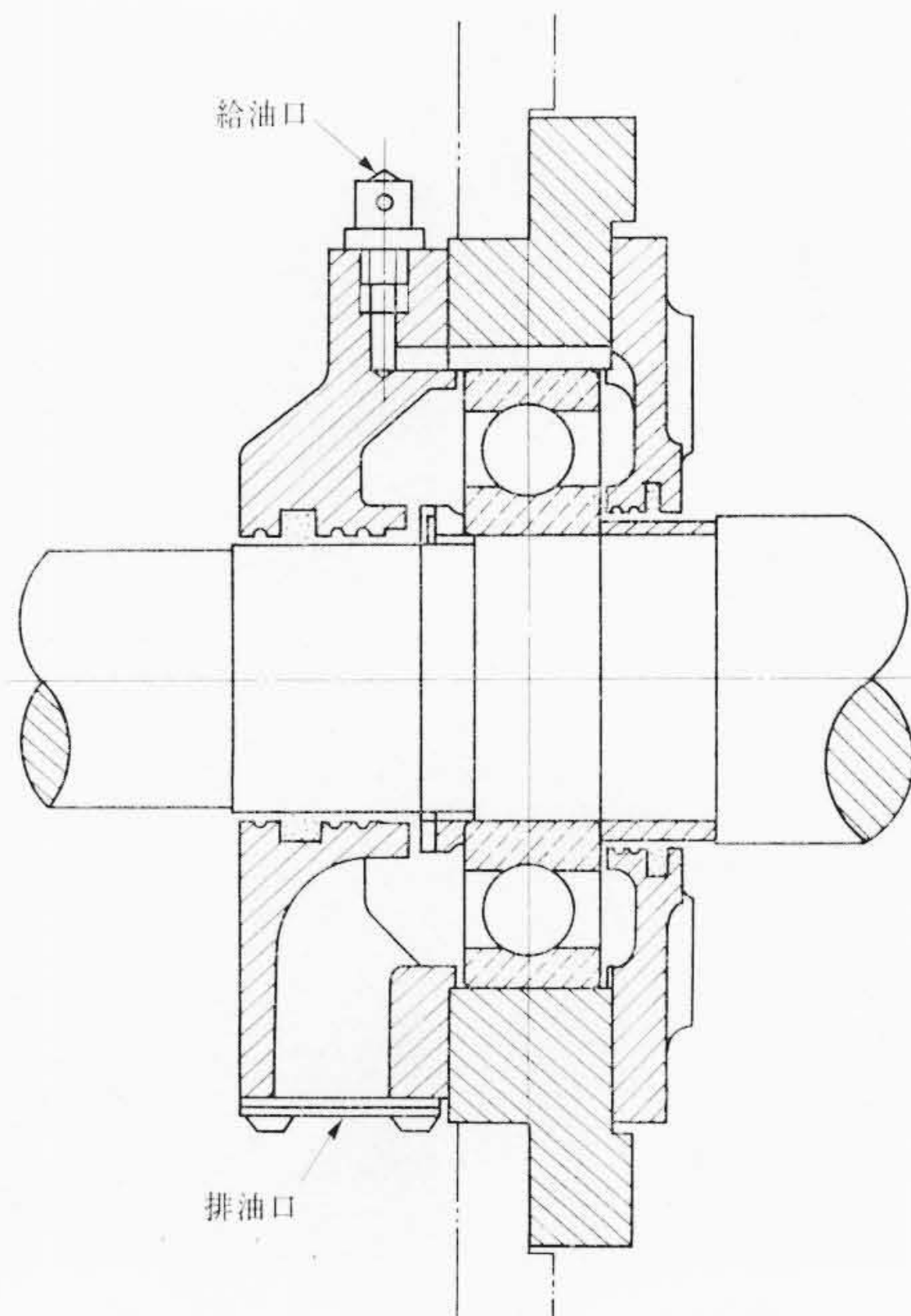
第8図 開放防滴形サイレンサ付電動機構造図

る。サイレンサは軸方向に大きく3分割されており中央部は排気，両側は入気の通路となっている。両側入気口よりいはいった冷却空気は迷路を通過してエンドブラケット上部に達し電動機内部にはいる。一部は扇により巻線端部を冷却して固定子背面へ，他は鉄心に適当個設けたダクトにより，鉄心および鉄心中巻線の発生熱をうばって固定子背面で合流する。さらにサイレンサにはいり迷路を通過して軸方向に排気する。この構造は通路を通る人に直接熱い排気がかからないよう考慮したものである。

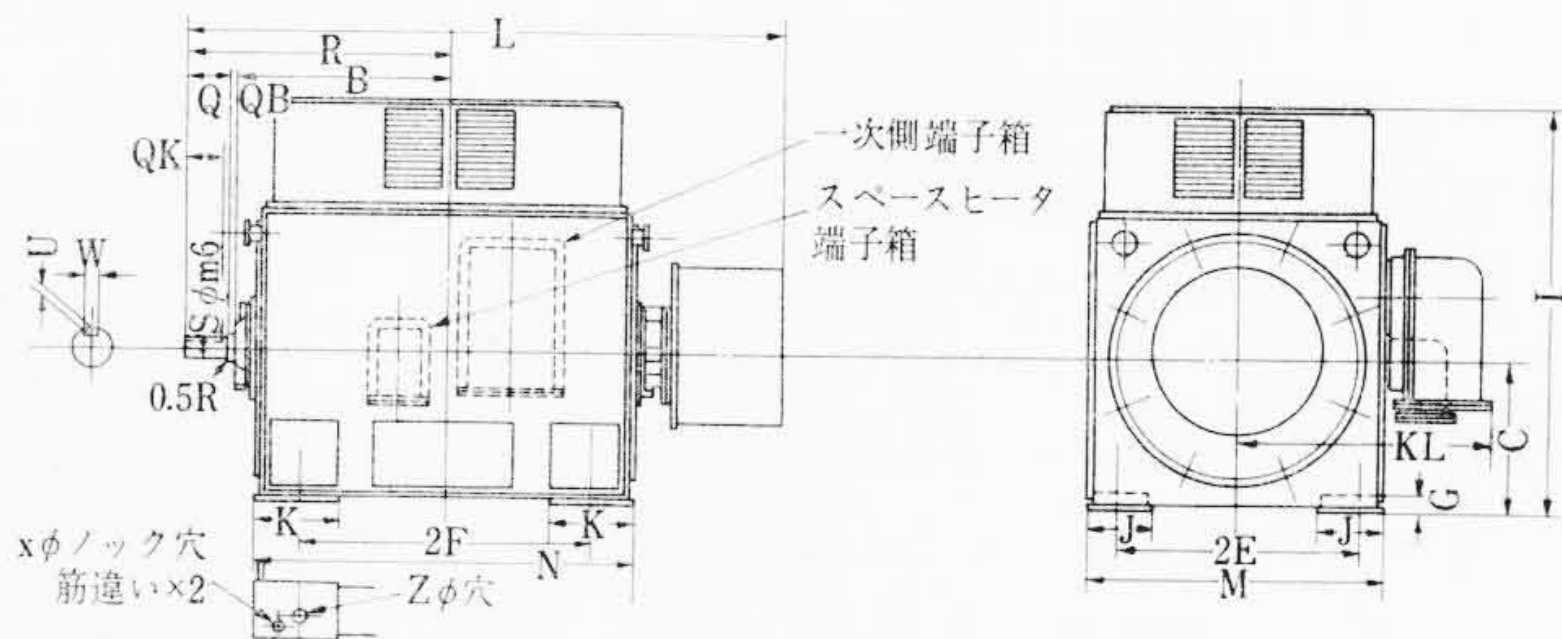
5.1.2 各部構造

(1) 固定子

外わくは容量の大小にかかわらず Cubic Type で，軽量かつがんじょうな鋼板溶接構造としてある。なおわく番 75100 (300 kW 相当) 以上では外わく側面よりの磁気騒音が問題となってくるので側面を2重壁とし吸音材をはりつけ防音している。鉄心にはハイライトコアを採用，一般品に比べ磁束密度を



第9図 カートリッジ形軸受構造図



第5表 開放防滴形サイレンサ付電動機寸法表

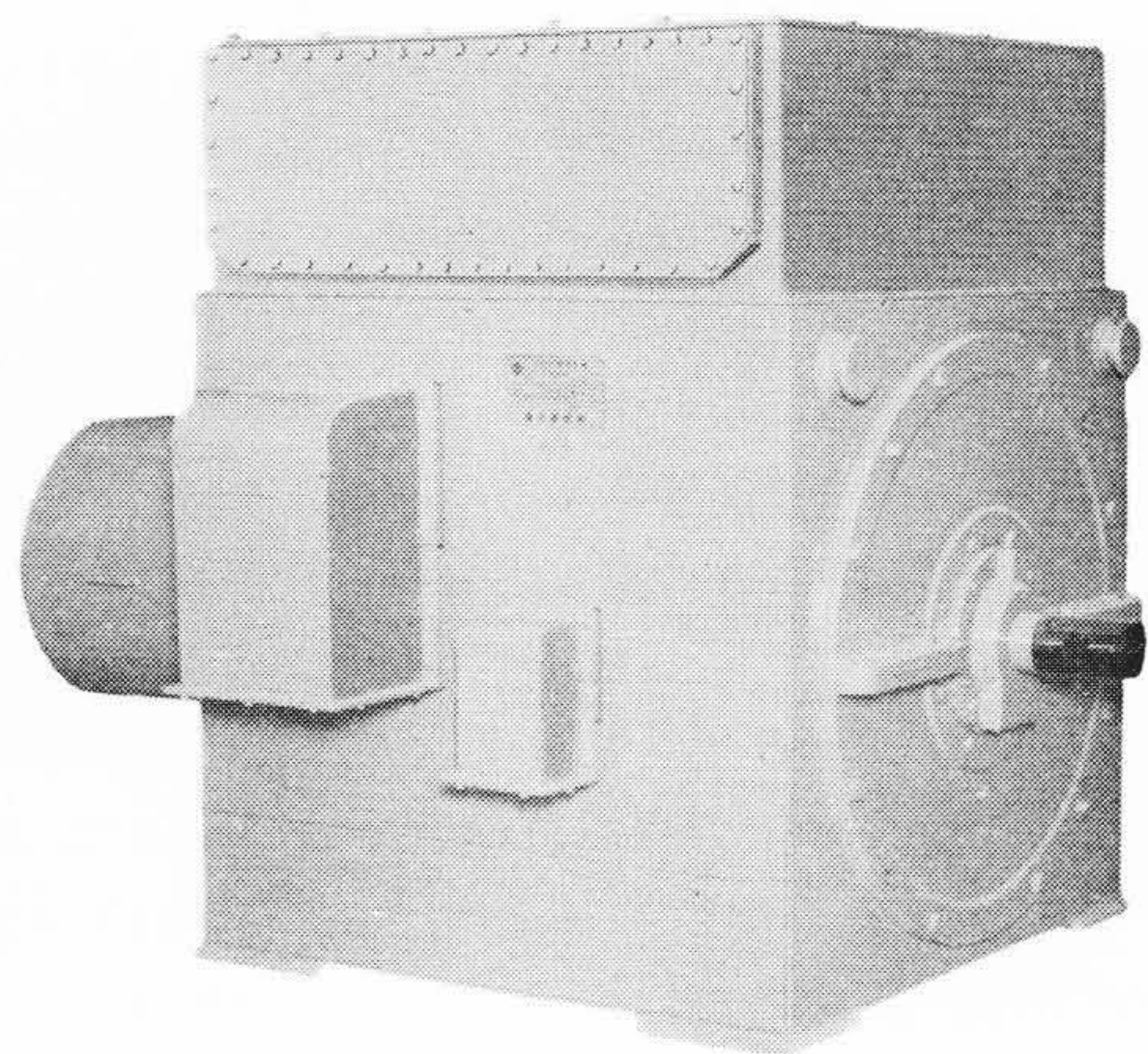
共通仕様 3kV級 50/60 c/s 4極

形式 EFOUN-DQ

A種絶縁

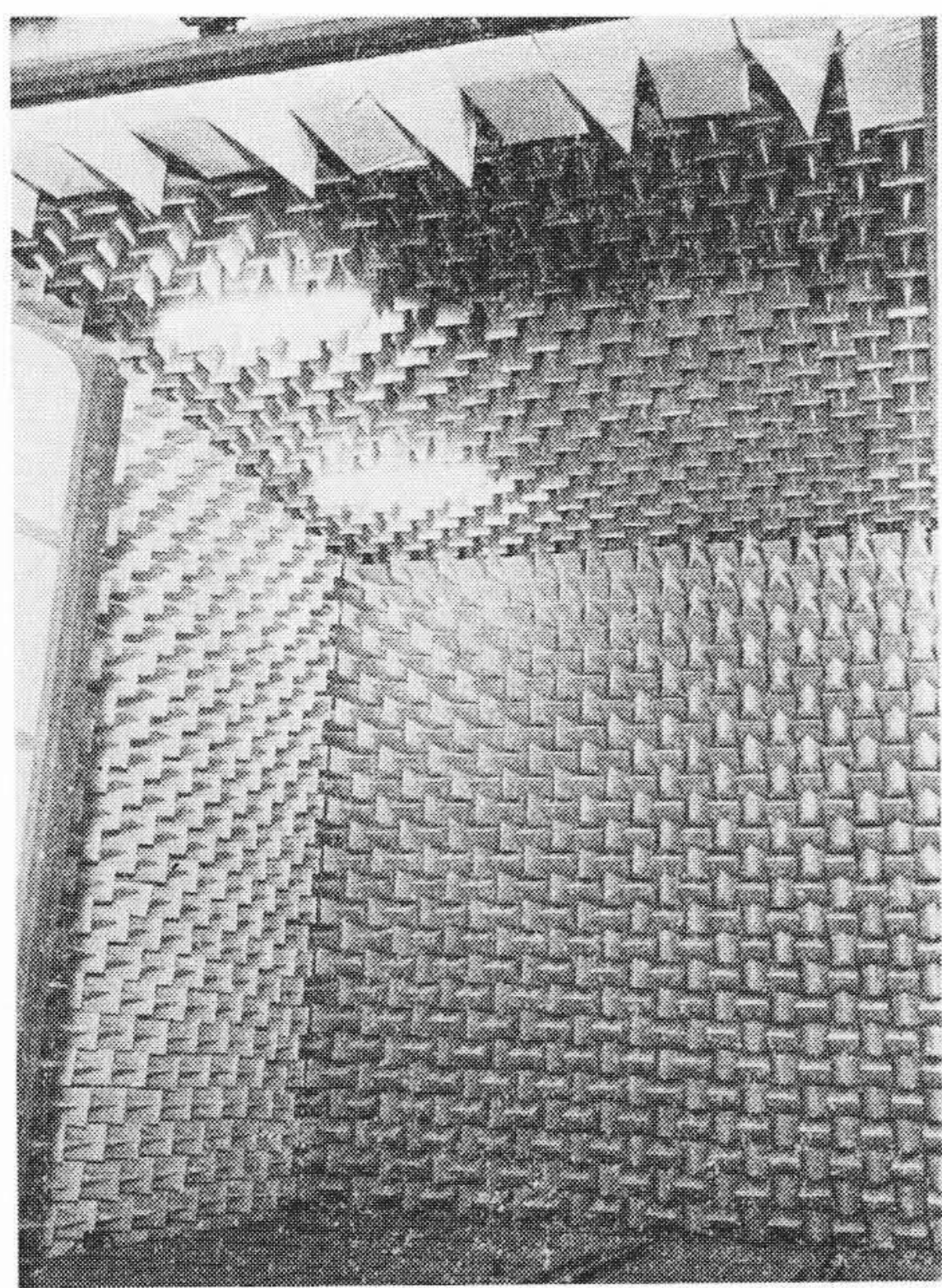
KW	L	R	B	C	2E	2F	J	K	M	N	G	S	Q	QK	W	U	QB	I	Z	X	KL	使用軸受 1)
120	1,630	670	520	375	600	710	150	212	730	925	44	75	120	100	20	7	30	1,015	20.5	8	650	6316CM NU316CM
150	1,720	710	570	375	600	800	150	230	730	1,030	44	75	120	100	20	7	20	1,015	20.5	8	650	6316CM NU316CM
190	1,730	670	520	450	710	710	180	212	875	925	50	75	120	100	20	7	30	1,225	24	12	725	6316CM NU316CM
235	1,820	710	570	450	710	800	180	230	875	1,030	50	75	120	100	20	7	20	1,225	24	12	725	6316CM NU316CM
300	1,860	750	572	500	850	750	200	250	1,060	1,030	55	85	140	125	24	8	38	1,360	31	12	780	6318CM NU318CM
375	1,970	800	632	500	850	850	200	265	1,060	1,150	55	85	140	125	24	8	28	1,360	31	12	780	6318CM NU318CM
450	2,000	825	634	560	950	850	200	265	1,150	1,150	55	95	160	140	24	8	31	1,500	31	12	830	6320CM NU320CM

(注) 1) 上段は負荷側，下段は反負荷側を示す。



(形式 TFOW-DQ)

第10図 全閉内冷形電動機



第11図 無響音室内部

小さく設計し音源の減少をはかっている。固定子巻線にはA種またはB種絶縁を採用し、シーズンオフ中の長期停止中でもメグが低くならないよう耐湿処理を厳重に施している。なお地下室などの悪条件の場合を考慮してスペースヒータを標準として設備することになっている。

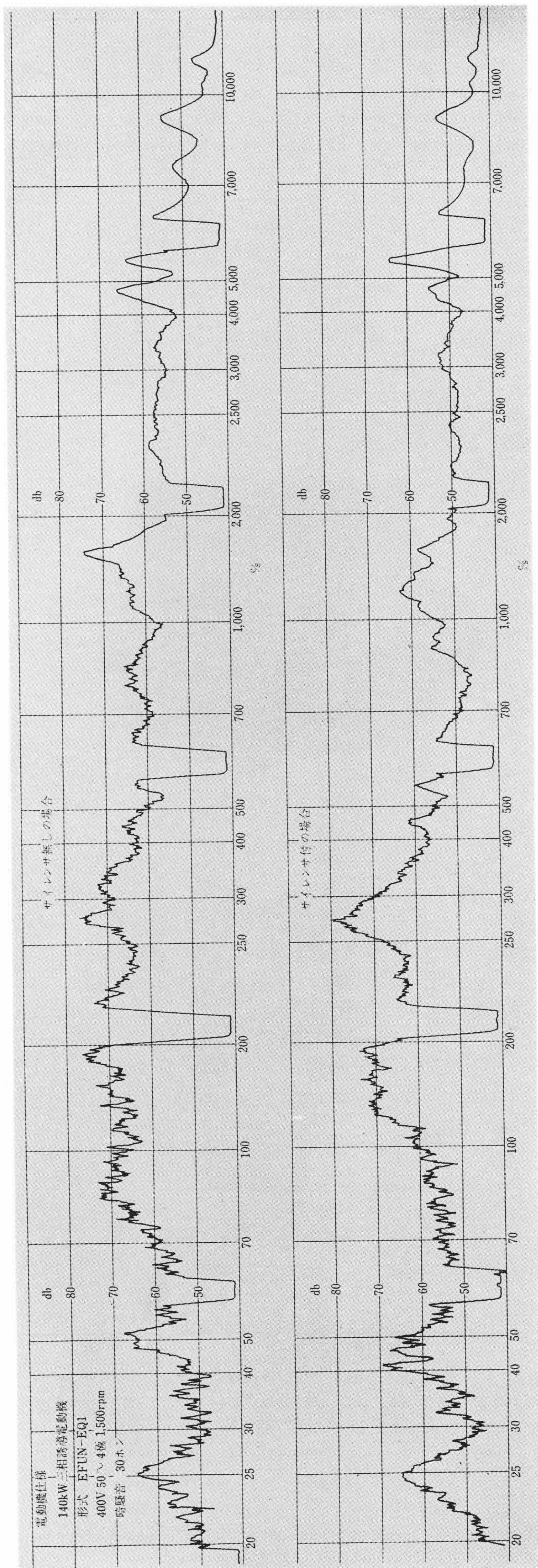
(2) 回転子

回転子巻線はパーコイルを特殊ハンダにより強固に溶接するとともにスキューすることにより高調波起磁力を除くよう考慮しており、耐湿処理を厳重に施すことは固定子巻線と同じである。

(3) 軸受部分

第2表のRF-8まではころがり軸受を標準として採用している。軸受には第9図に示すようなカートリッジ構造を採用しているので電動機分解のたびごとにエンドブラケットとのはめあいがあまくなることがない。軸受は直結側ボールベアリング、反直結側ローラベアリングとして運転中の温度上昇による軸の熱膨張を逃がっている。なお中容量以上には軸電流防止のため軸受部を絶縁する。

エンドブラケットは軸を含む水平面で二分割することにより負荷との連結を分解することなく上部エンドブラケットを取り



第12図 騒音分析の一例

はずし電動機の内部点検を簡単に行なうことができる。

ベアリングカバーも軸を含む水平面で二分割され、直結を分解せずにベアリングカバーを取りはずしベアリングを点検することができる。(実用新案出願中)

5.1.3 電動機寸法

第5表に電動機寸法例を示す。軸端寸法以外の取付け寸法には全面的に標準数を採用している。

5.2 全閉内冷形電動機

全閉内冷形電動機は前述開放防滴形サイレンサ付電動機のサイレンサ部分を冷却器に置きかえたもので、第10図に外観を示す。全閉内冷形は通風騒音がないので騒音値としては大容量まで低騒音におさえることが可能であるほか熱風を室内に排気することなく、したがって狭い地下室など通気の悪い場所に据え付けられる冷凍機用電動機として最適の構造である。

6. 無 響 音 室

無響音室は騒音研究になくってはならない設備である。たとえば電動機騒音を研究する場合電動機から出る音そのものを取り出す必要

があるが電動機の周囲にほかの音源あるいは構造物があればその反射音が電動機の音と重なってしまい電動機の発生音そのものを取り出すことができない。すなわち測定しようとする音源以外の音源がない空間が必要である。これらの条件を満足するのが無響音室で、第11図は日立製作所の無響音室を示したものである。

日立製作所の無響音室はわが国最大の空間と設備をもっている。この無響音室において日夜電動機騒音の研究と消音装置の研究改良に努力しているのである。第12図は140 kW 冷凍機用開放防滴形サイレンサ付電動機につきサイレンサ付の場合と無い場合につき騒音の周波数分析を行なった結果を示したものである。

7. 結 言

以上空気調和装置に使用される日立ターボ冷凍機の標準仕様、構造ならびにそれに使用される誘導電動機の外被構造、特長につき説明したが、本稿が需要家のご参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 関川ほか2名：日立評論 別冊 38, 31 (昭 35-2)



特許第436418号

特 許 の 紹 介



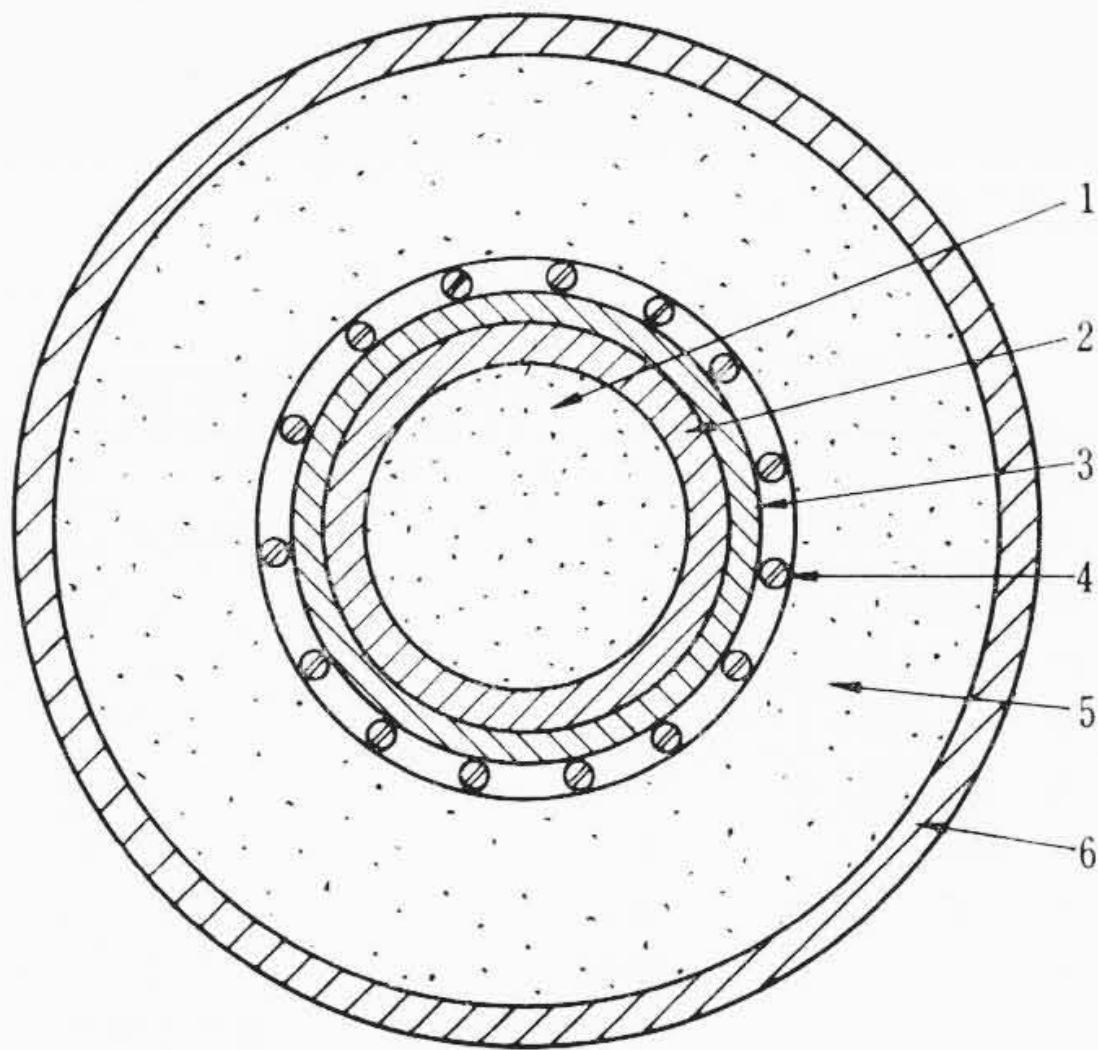
岡本邦彦・遠藤輝雄

遅 延 線

一般に、遅延線は磁性、または非磁性体上にコイルを形成し、その周上に上部導体を設けて構成されるが、その遅延時間は第2図曲線イに示すように、高周波帯域において減少する。この現象は遅延ひずみを意味する。この原因は周波数が高くなると、密巻きしたコイルの隣接コイル間に位相差を生じ、磁束が互いに打ち消し合うためである。そしてコイルの内心の透磁率と、コイルの外部の透磁率とが等しいときは曲線イとなる。

この発明の要旨は、遅延線の外部にも磁性体層を設けて、コイルの外部の透磁率を、コイルの内心の透磁率と等しいか、またはそれ以上の値となるように構成したことを特長とする。

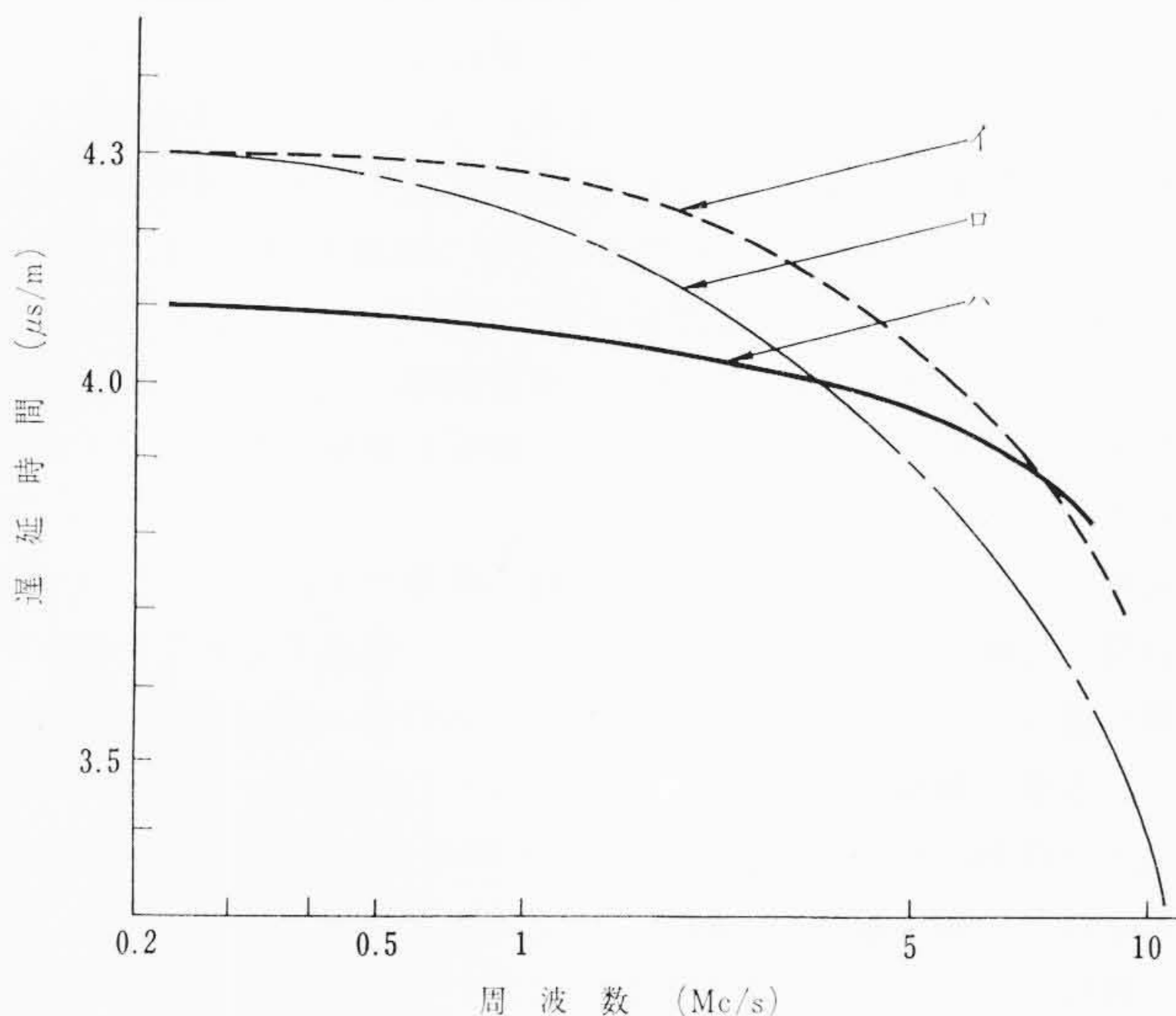
第1図により、この発明の実施例を説明すると、透磁率 $\mu=6$ の磁性心体1上に、コイル2を形成し、その周上に絶縁体3を介在させて外部導体4を設け、さらにその周上に透磁率 $\mu=8$ の磁性体層5を設け、最外周に銅テープ巻きによるしゃへい層6を設けて遅延線を構成する。



第1図

遅延ひずみを小さくするには、磁性体層5を理論的に無限遠まで設けることが必要であるが、このようにすることは経済的実用的に不可能であるため、この発明においては、磁性心体1の径の2~4倍程度に選定し、その周上にしゃへい層6を設けていることにより、磁性体層5が無限遠まで存在する場合のひずみ特性よりも、すぐれた特性を得るように構成している。

この発明によると、コイル2より生ずる磁束がしゃへい層6を切ってインダクタンスが減少するとき、波長の長いほど量が多いから、しゃへい層6の存在によるインダクタンスの減少は、周波数に反比例した特性を示すようになり、全体としてこれらが相互に補償し合って、第2図曲線ハに示すように、広帯域にわたって一定した遅延特性を有する遅延線を提供することができる。(斎藤)



第2図