

空気調和装置に使用される冷凍機の選定

How to Select Types of Refrigerating Machine for Air Conditioning

関 川 務* 佐 野 甚 一* 広 豊**
Tsutomu Sekigawa Jin'ichi Sano Yutaka Hiro

内 容 梗 概

わが国における戦後の空気調和の普及にはまことに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についてみても、最近5年間に約2倍という急速な伸びを示している。

空気調和装置のうち、セントラル式空気調和装置に使用される冷凍機の選定については種々の条件があり、一義的に結論を出すことは困難であるが、ここでは選定の条件として考えられる項目について検討を加え、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

空気調和とは、一言にしていえば、所定の場所の空気を使用目的に最も適した状態に保持するように、空気の温度、湿度、気流分布を調整し、さらに空気中の有害ガス、じんあいなどを除いて清浄にすることであるが、その使用目的により、人間にたいする保健、衛生あるいは快感上の必要のためにおこなわれる快感空調、および機械、化学製品にたいする物理的、化学的、電気的あるいは生化学的の必要によりおこなわれる産業空調とに大別される。

前者は在室者が気持良く活動できるように室内の空気状態を調整することであり、後者は製品の品質の向上、あるいは保存を目的とし、生産設備や貯蔵設備の空気状態を調整するものである。

いずれも原理的に異なる点はないが、今回の比較は主として前者の目的に使用される場合を取り上げた。これはビル付帯設備としての空気調和装置は、快感空調に使用されるのが大部分であるためである。

また、いわゆるセントラル式にも、単一ダクト方式、二重ダクト方式、あるいはファンコイルユニット方式など種々の方式があるが、ここでは、これらについての比較は行わない。

セントラル式は、事務所、ホテル、病院、学校、アパート、あるいは百貨店のごとき多層多室建築、あるいは劇場、映画館、およびスタジオなどの興業建築に多く用いられるもので、比較的大容量の冷凍機が使用される。これに相当する冷凍機は、HMC冷凍機とターボ冷凍機である。

現在、HMC冷凍機は15 kW から125 kW 程度まで、またターボ冷凍機は50 kW から750 kW 程度まで製作されており、両機種に共通な使用範囲がかなり広範囲にわたっている。

以下、HMC冷凍機とターボ冷凍機について比較を行い、選定の条件を述べることにする。

2. 構造および性能の比較

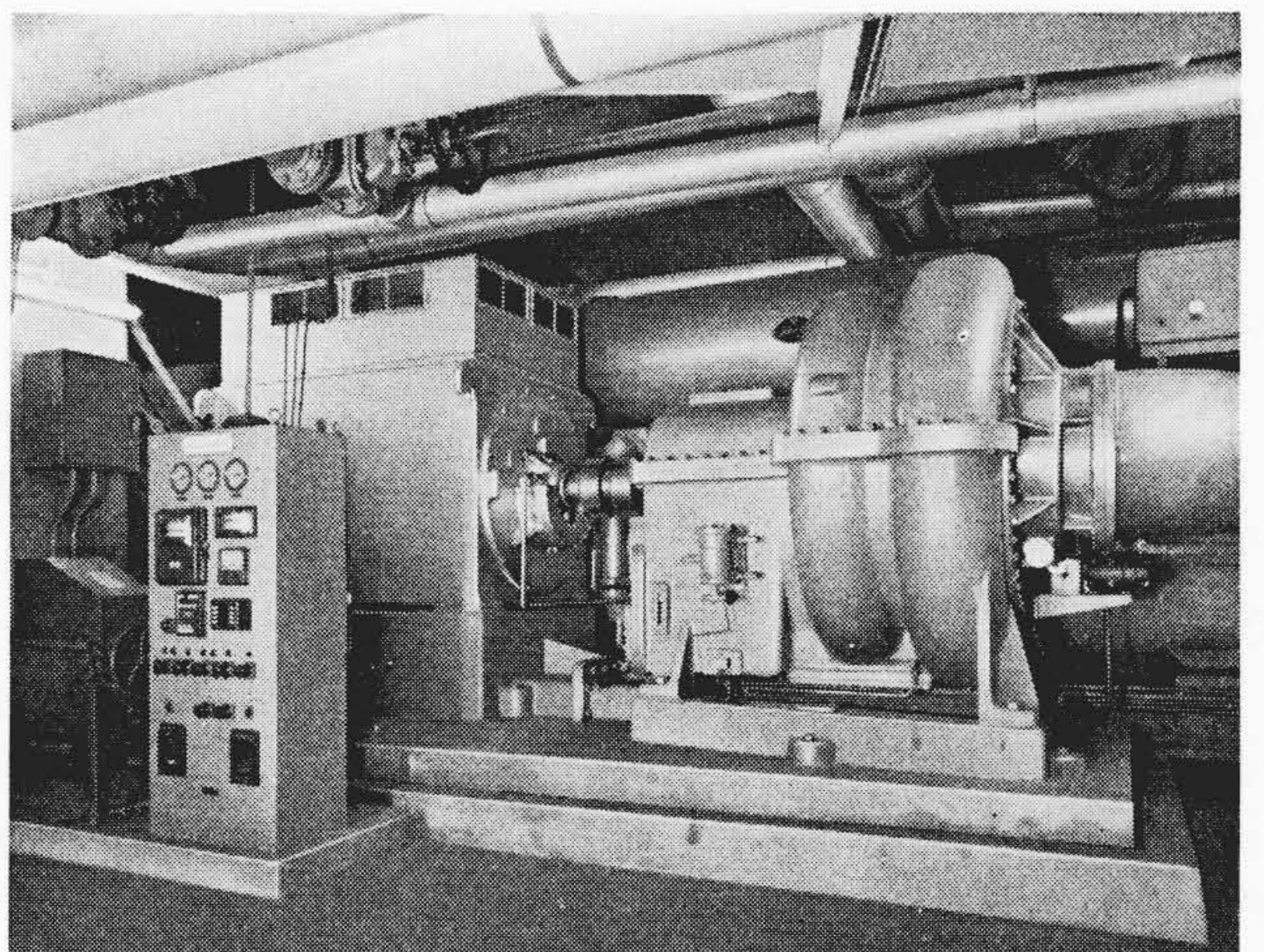
冷凍機には圧縮式、吸収式、蒸気噴射式などの種類があるが、わが国では一般に圧縮式が使用されている。このHMC冷凍機およびターボ冷凍機はともに圧縮式冷凍機であり、ただその圧縮機の形式が異なるだけのものである。

すなわち、ターボ冷凍機は遠心圧縮機を使用し、冷媒にはR-11、R-113などを使用している。これにたいし、HMC冷凍機は往復動圧縮機を使用し、冷媒にはR-12、R-22などを一般に用いている。

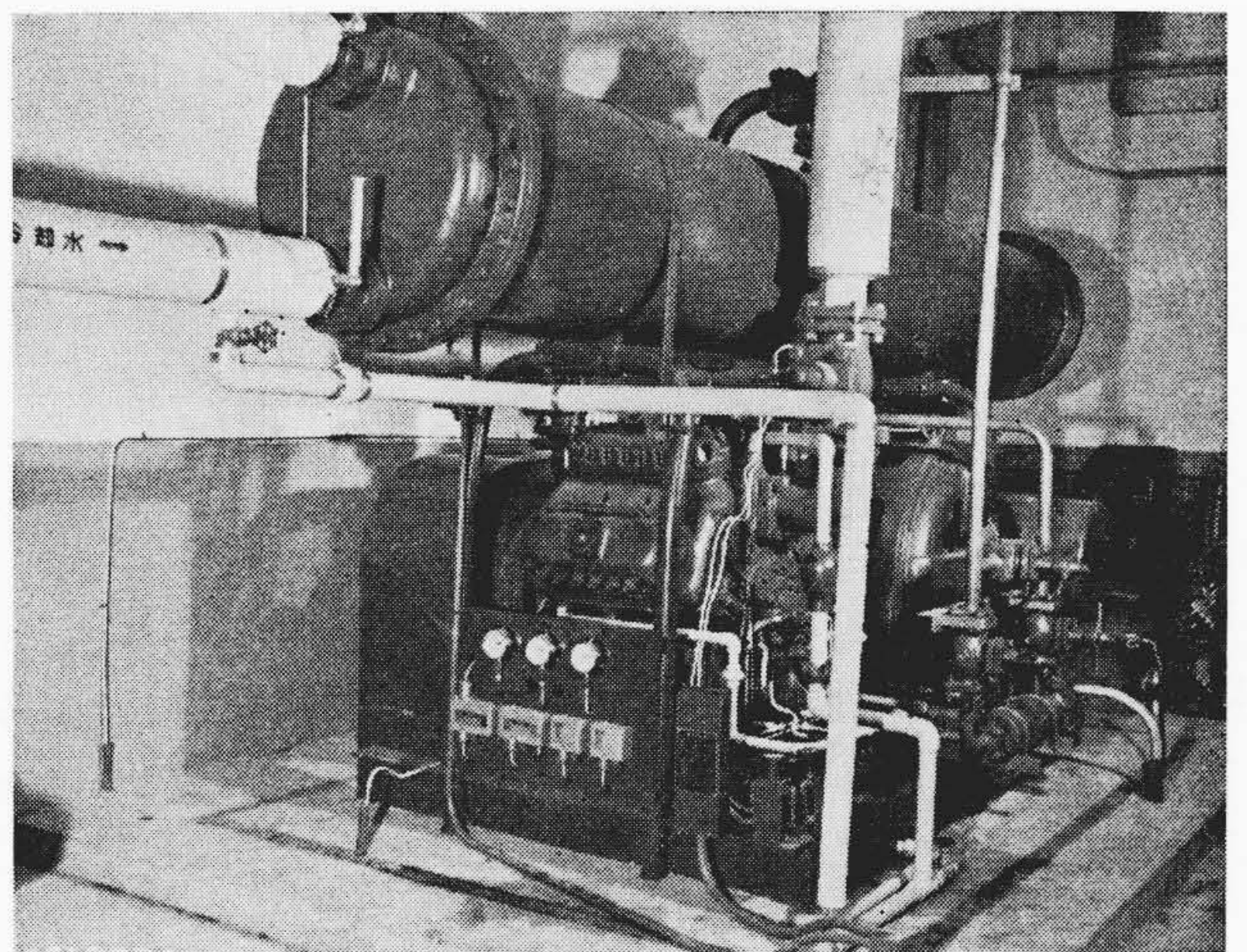
したがって、その構造および性能にはそれぞれ特長がある。

* 日立製作所川崎工場

** 日立製作所日立工場



第1図 空気調和用 800R T ターボ冷凍機



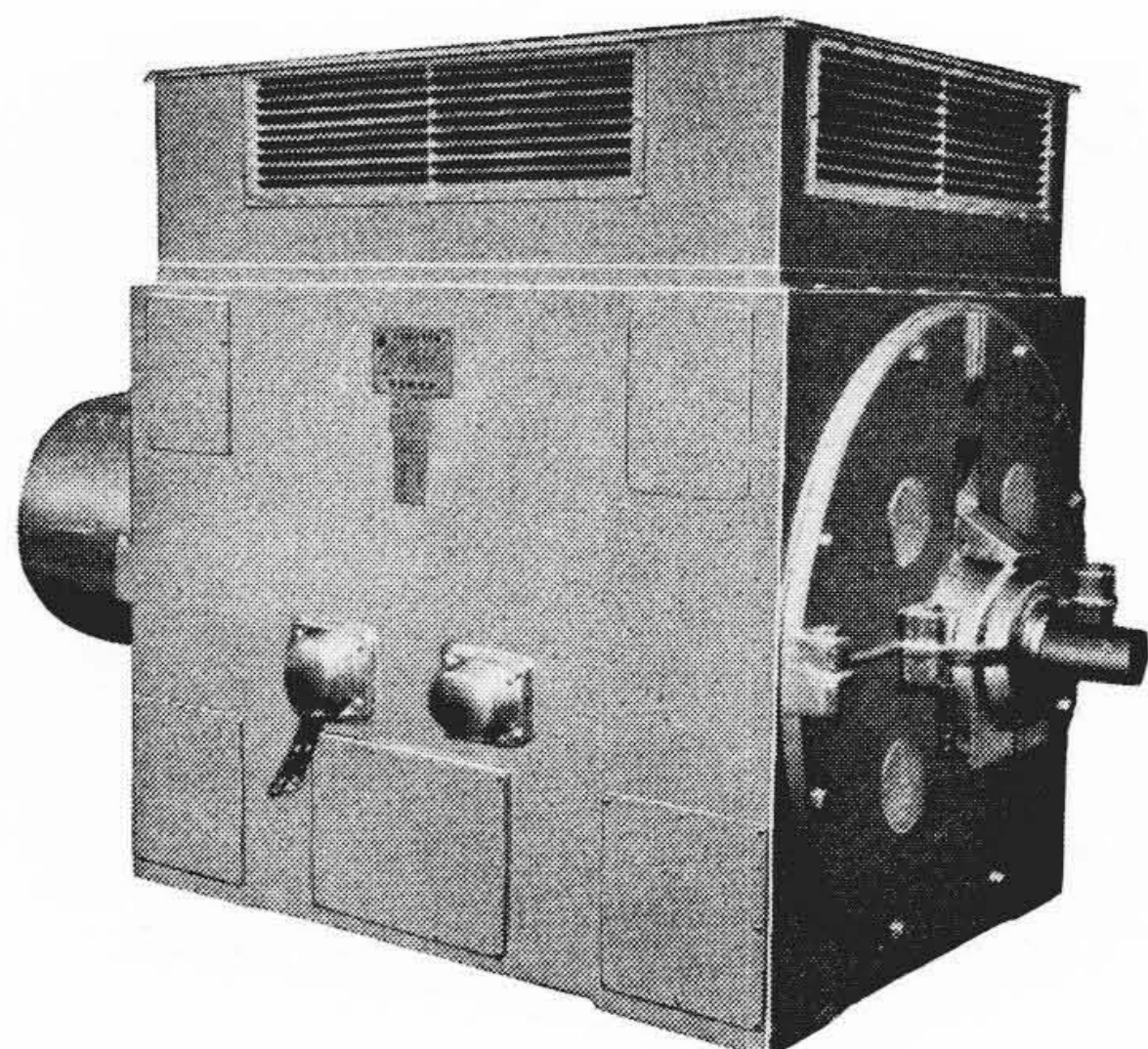
第2図 空気調和用 60R T HMC 冷凍機

2.1 構 造

日立製作所で製作しているターボ冷凍機用圧縮機は、増速歯車を圧縮機ケーシングに内蔵せしめた、日立独特のいわゆるギヤ内蔵形であるので、ケーシングを貫く軸が1,500 rpm、あるいは1,800 rpmの低速回転軸になるため、軸封装置にメカニカルシールを採用でき、冷媒の漏えいはほとんど認められない。

また、騒音のもととなる増速歯車がかっちりした圧縮機ケーシングに納められているので、騒音も非常に少ない。

一方HMC冷凍機も、アンローダにより広範囲な容量制御が可能であり、この機構をそのままスターティングアンローダに使用して、



第 3 図 EF-EQI 190 kW サイレンサ付誘導電動機

軽負荷起動をも可能としている。

また、シリンダ配列を合理的に行っているので、全体としてコンパクトにまとまっており、かつ運動部分の動的、静的バランスが完全にとれているので振動も少ない。

また、機械部分についてのみならず、電気品についても、冷凍機の使用目的および使用状態も最も適したものを製作するごとく、機械および電気部門の連絡を密にし、絶えまない研究を行っている。

その一例として、冷凍機に使用される電動機について述べると下記のとおりである。

冷凍機駆動用電動機は次のように大別されるが主として誘導電動機が用いられる。

(1) ターボ冷凍機用

(i) 閉鎖通風形サイレンサ付巻線形 (形式 EF-EQI)

(ii) 全閉内冷形冷却部付巻線形 (形式 EFUW-EQI)

(2) HMC 冷凍機用

(i) 開放形二重カゴ形 (形式 SO-KK)

(ii) 開放形巻線形 (形式 SO-CYI)

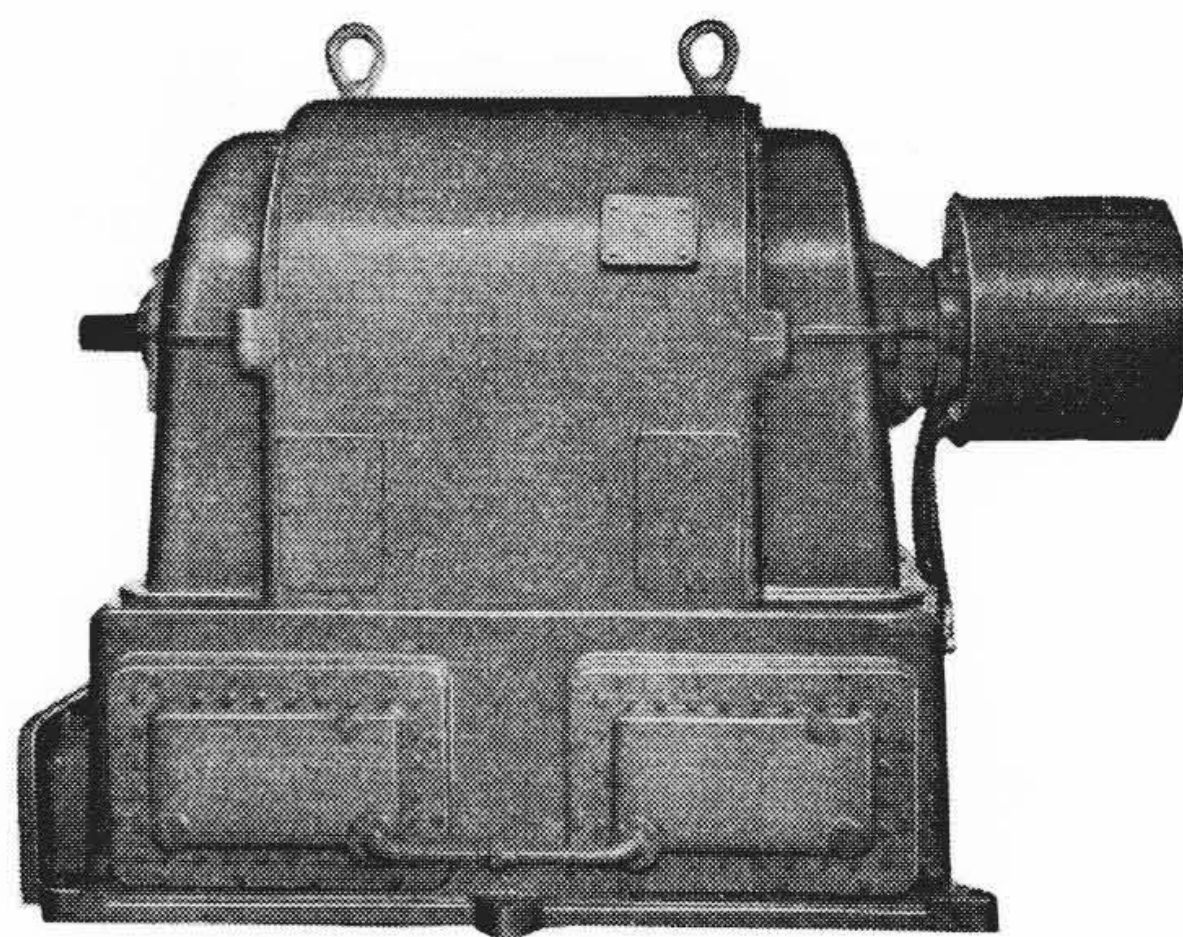
(iii) 開放形同期電動機 (形式 SB-RD)

(1) ターボ冷凍機用電動機

ターボ冷凍機がビルディングの冷房用に使われる際にはその地下室などに設置される場合が大部分であって、建屋の関係から機械室は狭隘なものとなる。したがって電動機も小形軽量でかつ静粛な運転を要求されるので低騒音で振動の少ないものでなければならぬ。通例 4 極機が用いられ、歯車で増速して運転されるが電動機が高速機であるので騒音の点で閉鎖形あるいは全閉形が使用される。

ビルディング冷房は季節的に使用されることが多く、シーズンオフで電動機運転休止中に気温の変化や地下室の高湿度によって水分が電動機内部に凝結付着して絶縁耐力低下をきたす恐れがある。したがって、スペースヒータを付属せしめて運転休止中にこれに通電し、内部温度を周囲温度より高く保って水分の凝結を防ぎ絶縁耐力の低下を防止している。なおスペースヒータは電動機運転休止中連続通電すると各部が適当な温度に保たれるよう考慮されており、局部加熱したりまた絶縁物に悪影響を与えたりしない。

ターボ冷凍機は大容量のものが多いため起動時電源に及ぼす影響の少ない巻線形誘導電動機が用いられ、二次抵抗器により起動する。また冷凍機容量の自動制御に二次抵抗制御による速度制御を行う場合もある。



第 4 図 EFUW-EQI 150 kW クーラ付全閉形誘導電動機

(i) 閉鎖通風形サイレンサ付巻線形誘導電動機

(形式 EF-EQI)

この形の電動機は内部構造に十分注意をはらって製作され騒音をできるだけ小さくするため通風ファンを特殊な形状とし、また固定子・回転子の溝数を考慮して磁束分布を適正なものとしている。これらの方法により騒音源を極力減少させるとともに強力なサイレンサ（消音器）を設けて通風騒音の大部分を打消している。その結果この形の電動機の騒音は 85 ホン以下である。一方各部に合理的な設計を行い、回転子バランスも入念にとって振動の少ない電動機となっている。ただ冷却風は機械室内に吐出されるので、機械室の換気には十分な考慮を払う必要がある。

(ii) 全閉内冷形冷却部付巻線形誘導電動機

(形式 EFUW-EQI)

水冷クーラを内蔵した電動機であって冷却風がまったく機外に出ないので通風騒音は問題とならず、非常に低騒音の電動機である。また暖められた電動機の排気が室内に放出されることがないのでビルディングの地下室のような狭い機械室に設置された場合でも室内の温度を上昇させることがない特長をもっている。ただしこの形の電動機には冷却水を必要とし、また前記閉鎖通風形サイレンサ付電動機よりは大型となる。

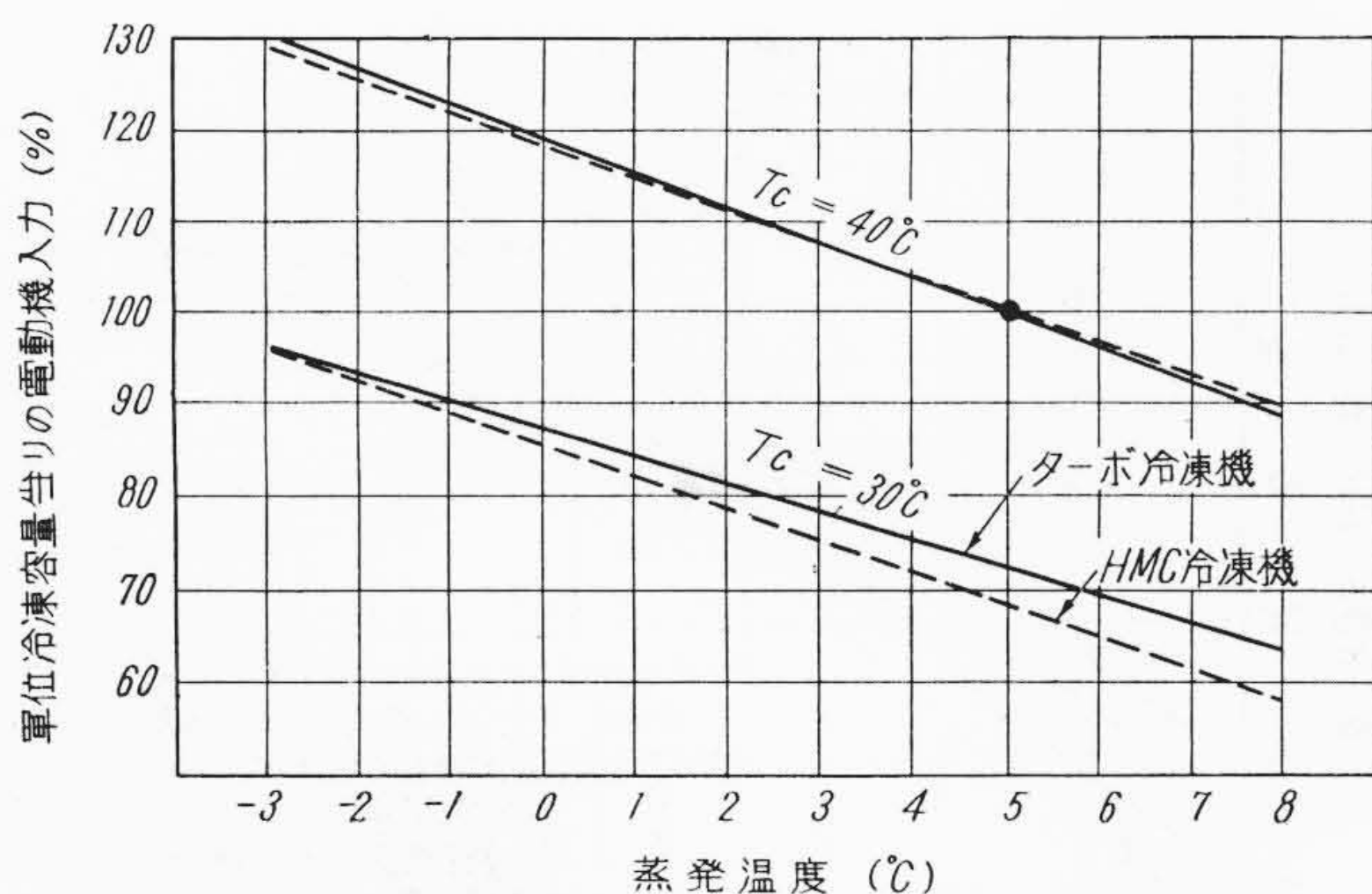
(2) HMC 冷凍機用電動機

HMC 冷凍機はターボ冷凍機に比べて小容量であり回転数も低い。したがって電動機も低速ですみ開放形機でも十分静粛な運転が可能であるので開放形電動機が使用される。この形の電動機はきわめて小形軽量かつ取り扱が容易で保守点検も便利である。最近 HMC 冷凍機が自動運転されることが多いがこれに対しても強度そのほか十分考慮して製作されている。

一般に小容量冷凍機用としてはかご形誘導電動機が用いられ V ベルト駆動により運転される。容量の大きなものに対しては巻線形誘導電動機を用い直結運転を行う。またごくまれには同期電動機により直結運転を行うこともある。巻線形誘導電動機を用いる場合は起動 kVA は比較的小さくて済むが、かご形の場合電源に余裕がない時には起動電流を制限するため起動補償器あるいは起動リアクトルによって起動する必要がある。

2.2 圧 力

同一の温度条件であっても、使用する冷媒によって圧力が異なってくるのは当然であるが、ターボ冷凍機に使用している R-11、または R-113 は低圧冷媒で、蒸発圧力と凝縮圧力との差も少ない。凝縮圧力は通常 $1 \text{ kg/cm}^2 \text{g}$ 以下であるので、高圧ガス取締法の対称にならず、運転者には冷凍機主任技術者の資格を必要としない。このことは取扱い上安全であることを示すことはもちろん、たとえば、ボイラーマンを夏季にはそのまま冷凍機の運転者として使用するこ



第 5 図 蒸発温度と単位冷凍容量当りの電動機入力との関係

ともできるわけであり、有利な条件となる。

これに対し、HMC冷凍機においては、冷媒にR-12、R-22などを使用しているの、凝縮圧力は8~15 kg/cm²gの高圧になり、高圧ガス取締法の対称になることはもちろん、取扱いにも十分な注意を必要とする。

2.3 凝縮温度および蒸発温度

冷凍サイクルにおいて、凝縮温度はできるだけ低く、また蒸発温度はできるだけ高く計画することは、単位冷凍トン当りの電力消費量を節減するために必要なことである。

このうち、凝縮温度は凝縮器冷却水の条件によって決まってくるもので、冷凍機の機種によっては変らないものと考えて差つかえない。

一方、蒸発温度は、空気調和装置に直膨式を採用するか、間接式を採用するかでかなり変ってくる。

すなわち、空気を直接冷媒で冷却する直膨式は、冷媒によりまず冷水を冷却し、その冷水によって空気を冷却する間接式に比べて蒸発温度を4ないし5°C高くとることができる。

しかしこの直膨式は蒸発器の構造上よりして、ターボ冷凍機の場合には採用不可能であり、一般には主として冷凍容量の少ないHMC冷凍機の場合に使用されている。したがって蒸発温度を高くして電力消費量を節減するという場合には、直膨式のHMC冷凍機の使用が有利になる場合もある。

さらに、この方式を採用すれば、水冷却器が不要となるから、設備費もそれだけ少なくてすむという利点がある。

つぎに凝縮温度および蒸発温度に大幅な変化がある場合には、ターボ冷凍機はその特性上使用できないから、HMC冷凍機を採用したほうが良い。

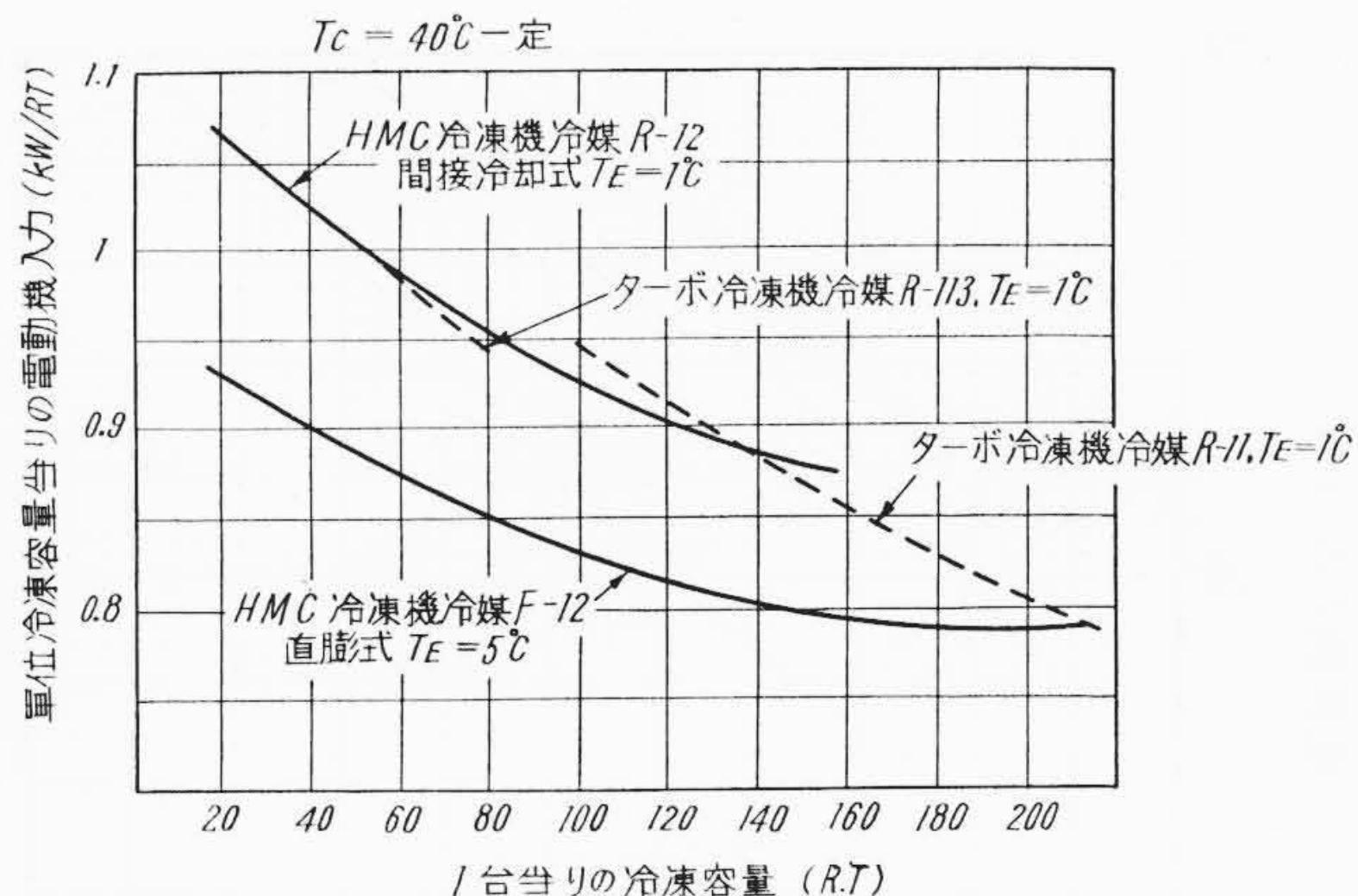
第5図は、凝縮温度40°Cおよび30°Cの場合について、蒸発温度を変えて計画したときに電動機入力の変化する様子を示した一例である。図をみてわかるとおり、蒸発温度が上昇すれば、単位冷媒容量当りの入力馬力は減少する。また、同一蒸発温度に対しては凝縮温度の低いほうが入力馬力は少なくてすむ。

2.4 効 率

空気調和用冷凍機において、羽根車2段以上のターボ冷凍機には液分離器が使用される。液分離器を設けることにより、冷凍サイクルの冷凍効果を増し、効率を高くすることができる。

その割合は圧力比によって異なるが、本器の設置により単位冷凍トン当りの電力消費量を5ないし7%節減することができるのでこれは2段以上のターボ冷凍機の利点である。単段ターボ冷凍機およびHMC冷凍機では液分離器を設けることができない。

冷凍機の運転経費のうち大きな部分を占めているのが電力料金で



第 6 図 単位冷凍容量当りの電動機入力と冷凍機の大きさとの関係

ある。電力消費量は凝縮温度および蒸発温度によって大幅に変化するが、さらに機種と冷凍容量によってもかなり変ってくる。

一般的な傾向としては単位機器容量が大きくなるにしたがって単位冷凍トン当りの電動機入力は減少する。また、ターボ冷凍機はHMC冷凍機より大容量の範囲において有利であるといえる。

第6図は、冷凍機の機種および単位機器容量と電動機入力との関係を示した一例である。

図をみてわかるように、直膨式が可能ならばHMC冷凍機は約200 RTまでターボ冷凍機と十分対抗できるし、間接式を採用した場合、R-113を冷媒としたターボ冷凍機は50 RT程度の小容量までHMC冷凍機に十分対抗できる。

しかしながら、これは単に全負荷の状態において比較したものであり、実際には、負荷の変動に応じて容量を制御しながら運転されるわけであるから、容量制御の状態における冷凍機の効率が問題になってくる。

第7図はターボ冷凍機およびHMC冷凍機の容量制御特性の一例で、ターボ冷凍機はベーンコントロールによる容量制御を、またHMC冷凍機はアンロードによる3段階の容量制御を行っている。

この図から明らかなように、部分負荷で使用する時間が長いものにおいては、ターボ冷凍機を使用したほうが有利である。

電力料金は、機種選定の重要な基準となるものであるから、第6図および第7図により十分な比較を行った上で判定をくだす必要がある。

もちろん、空気調和装置に使用されるポンプ、送風機などの機器の電力消費量についても合わせ考慮する必要がある。

2.5 据 付 面 積

機械室はその建物の本来の目的に使用できないスペースであるから、できるだけ小さいことが望ましいのは当然である。

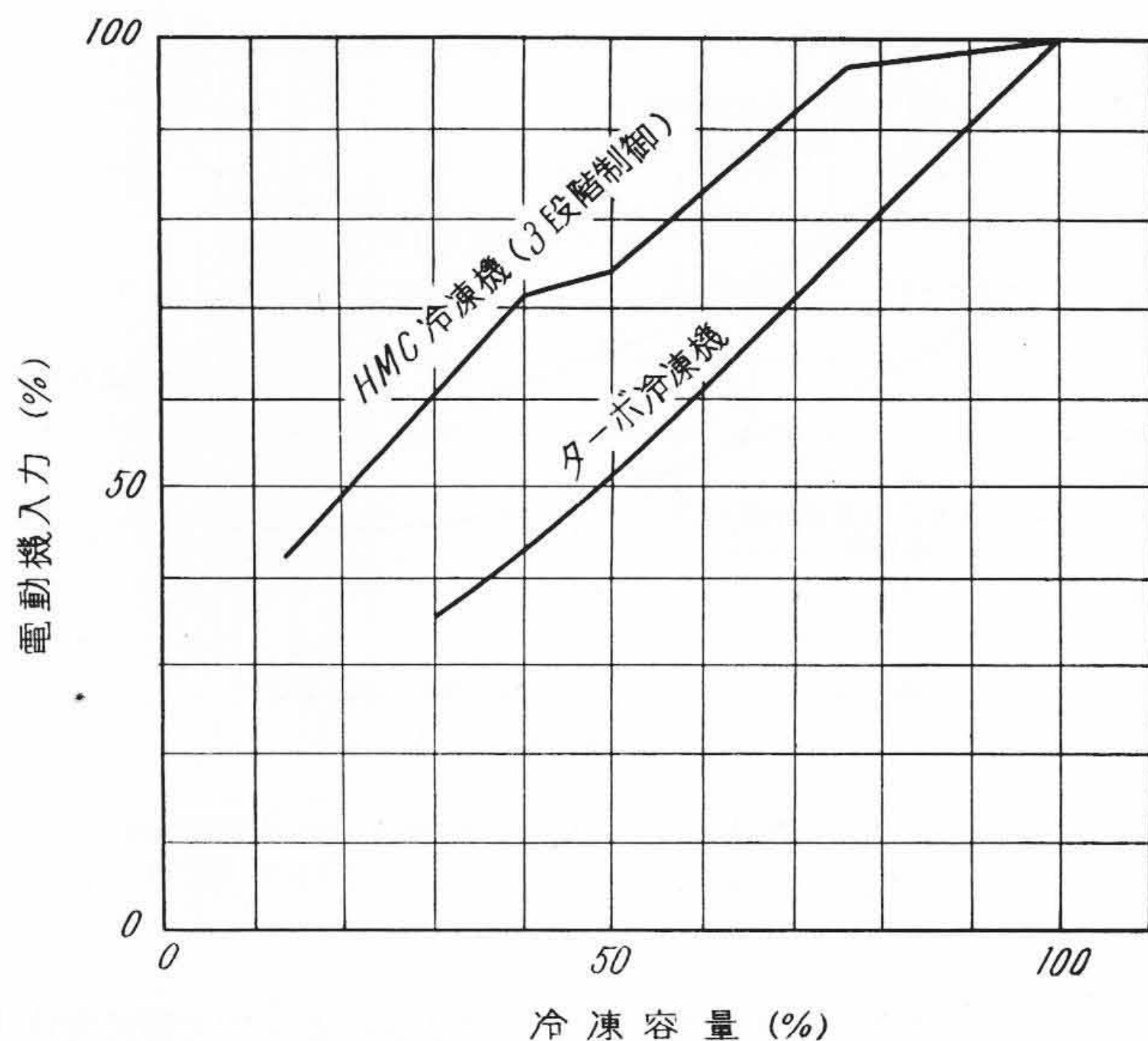
したがって、冷凍機の据付面積の大小は機種の選定にあたっての一つの条件となってくる。

HMC冷凍機の圧縮機、凝縮器および蒸発器は、個々の寸法のみを考えればターボ冷凍機と大差ないが、冷凍サイクルとしてまとめた場合、配管などの関係で占有面積はターボ冷凍機よりわずかに大きくなる。さらに容量が大きくなって圧縮機を2台以上使用する場合にはその差はいっそう増大する。

しかしながら、直膨式を採用した場合には、水冷却器が不要となるから、ターボ冷凍機より小さい据付面積でよく、また各機器を建屋に合わせて適当に配置できるという利点もある。

2.6 騒音および振動

これらは、機種選定の決定的条件にはならないが、一般的には、



第 7 図 容量制御を行った場合の冷凍容量と電動機入力との関係

騒音はHMC冷凍機のほうが低く、振動はターボ冷凍機のほうが少ない。

2.7 部品の寿命

摺動部分の少ない回転機械であるターボ冷凍機のほうが部品の寿命の長いことは当然である。

HMC冷凍機における吸込みおよび吐出弁、シリンダ、ピストン、ピストンリング、ピストンピン、コネクティングロッドメタル、クランクシャフト、主軸受などの多くの摺動部分については、材質ならびに表面処理の改善により寿命が延びているが、ターボ冷凍機に比べて補修費が若干多くなることはどうしても避けられない。

2.8 運転および取扱いの難易

一般には、ターボ冷凍機は、HMC冷凍機に比べて運転および取扱いが容易である。さらに高圧ガス取締法の対称とならないので人件費も安く上るはずである。

しかし、自動運転装置を完備しさえすれば、運転上は両者の間にさほどの差異は認められない。

3. 施設費

機種選定に当たってまず第一に検討しなくてはならないのは施設費である。

第 8 図は両機種の施設費を比較した一例で、凝縮温度が 40°C 、蒸発温度が 1°C (間接冷却の場合) のときには約 110 RT で両者の値が一致し、また HMC 冷凍機のみ直膨式で蒸発温度が 5°C になった場合には約 130 RT で両者の値が一致することを示している。さらに凝縮温度が 30°C になると、両者の値が一致する冷凍容量は上の値より約 15RT 大きくなることもわかる。

4. 総運転経費

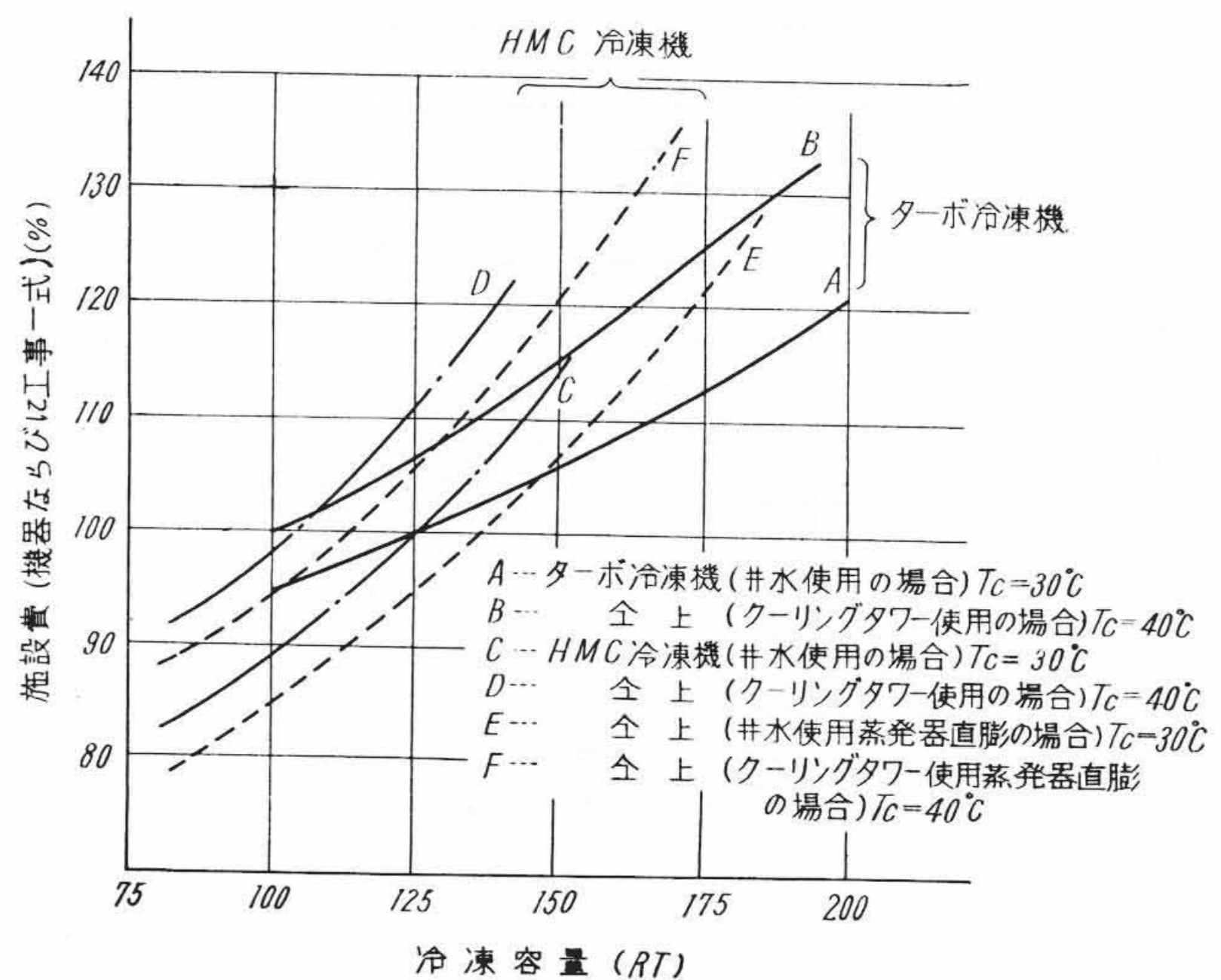
冷凍機の機種を選定するにあたっては、施設費の少ないことは当然必要であるが、運転経費、償却費および補修費を基として算出した年間の総運転経費が小さいことをも重要な条件としなくてはならない。以下、順次そのおのおのについて検討を加えてみる。

4.1 運転経費

運転経費の内訳は

動力費

冷媒ならびに潤滑油の補給費



第 8 図 ターボ冷凍機と HMC 冷凍機の価格比較の一例

第 1 表 冷媒ならびに潤滑油の補給量の一例

冷凍容量 (RT)	ターボ冷凍機		HMC 冷凍機	
	冷媒 (kg/年)	潤滑油 (l/年)	冷媒 (kg/年)	潤滑油 (l/年)
75	60	108	55	108
100	65	108	60	164
150	80	126	70	164
200	90	126	80	320

人件費

固定資産税および諸雑費

に大別することができる。

(1) 動力費

年間の動力消費量は前述のごとくにして求められるが、これに基づいて電力料金を計算し、これに年間の契約料金を加算したのが動力費である。これには当然空気調和装置に使用される送風機、ポンプなどの電力料金も加算する必要がある。

(2) 冷媒ならびに潤滑油の補給費

オイルシール方式の軸封装置を採用したターボ冷凍機においては冷媒の溶けこんだ潤滑油が大気に触れるため、この部分からの冷媒のろうえいは避けられず、一般に冷媒の損耗はHMC冷凍機に比べて多く、これがターボ冷凍機の欠点の一つと考えられている。

しかしながら、日立製作所において製作しているギヤ内蔵形ターボ冷凍機においてはケーシングを貫通する軸が低速のため、軸封装置にHMC冷凍機と同一形式のメカニカルシールを採用できるので、両者の冷媒損耗はほとんど変わらないものとなっている。

潤滑油の補給は、HMC冷凍機のほうが若干多くなっているが、単価が安いので全体に及ぼす影響はわずかである。

冷媒ならびに潤滑油の補給量は、種々の要素によって異なってくるもので、一概に定めることは困難であるが、第 1 表に補給量の目安を示した。運転経費の概略の比較にはこの程度の値で考えれば十分であろう。

(3) 人件費および諸雑費

これらの費用はターボ冷凍機のほうが若干安くなることは十分に考えられるが、いずれにしても大差がないので、比較の対称から省いても差つかえない。

(4) 固定資産税

冷凍機を使用する業種によって異なるが、一般には未償却資産

第 2 表 維持費の一例 (k¥/年)

冷凍容量 (RT)	ターボ冷凍機	HMC 冷凍機
75	44	50
100	45	69
150	48	82
200	50	120

に対して年 1.4% である。

4.2 償却費

ターボ冷凍機または HMC 冷凍機の施設費をそれぞれ求めて、この施設費を年間に償却する値を償却費とする。空調用としての冷凍機の耐用年数は普通の場合 20 年であるから、年に 10.9% (定率) または 5.0% (定額) と定められており、一般には定率のほうがいわれている。

4.3 補修費

前述のように、施設費の償却年限は 20 年であるから、20 年間に冷凍機の補修に要する費用の総額を推定し、これを 20 で割った値を年間の冷凍機の補修費とする。補修費の推定は、なかなか困難な問題であり、確定的な値を示すことはできないが、第 2 表にその値の標準の一例を示す。

以上述べたように、機種選択の条件としては、下記の項目があげられる。

- (1) 施設費の安いこと。
- (2) 運転経費、償却費および補修費を基にして算出した年間の総運転経費の少ないこと。

(3) 2 台以上の冷凍機を使用する場合は、運転管理の面から機種の統一をはかること。将来増設する計画のある場合には、増設後のことも考慮にいれて選定すること。

(4) 将来、その冷凍機を蒸発温度の低いほかの用途に転用する計画のあるときなどは HMC 冷凍機を採用すること。

(5) 機械室内に冷凍機および空気調和装置が十分に納まるかどうか良く検討すること。

(3) 乃至 (5) はごく特殊な条件であり、一般には (1) および (2) を主体として考えれば良い。

5. 結 言

以上、空気調和装置に使用される冷凍機の選定を行うさいに条件として考えられる各項目について簡単な説明を行った。

設備費については、機械の設置条件その他により異なってくるので一般的な比較を行うことは困難であるが、100 RT 以上のものではターボ冷凍機を使用したほうが有利と考えられる。

日立製作所は、小は家庭電気冷蔵庫から、大は 750 kW のターボ冷凍機まで、あらゆる用途、あらゆる容量の冷凍機を製作している。

空調用冷凍機についても、ターボ冷凍機、HMC 冷凍機ともに豊富な経験と、すぐれた技術を有しているから、かならず使用条件にもっとも適したものを推薦し、かつ製作しうると確信している。

また、電気品についても、電機部門と機械部門の連絡を密にし、冷凍機にもっとも適したものを使用するよう総合メーカーの妙味を遺憾なく発揮して改良に努力している。

新しいビルディング

——日立製品の活躍するビル——

富山県立中央病院

