

家庭用冷蔵庫の性能について

楠 本 陽 一 郎*

Refrigerants of Household Refrigerators

By Yōichiro Kusumoto
Tochigi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The most popular refrigerants for small capacity automatic refrigerators, including the ones for household service, are Freon-12 (CF_2Cl_2) and Methyl Chloride (CH_3Cl). And the former is exclusively used in the U.S.A., while in Japan the latter is preferably adopted.

Through a series of experiments the writer has theoretically ascertained the much better refrigerating effect of the former and described in this paper his observations in detail.

[I] 緒 言

自動運転の小型冷凍機の冷媒にはフロン-12 (CF_2Cl_2) とメチルクロライド (CH_3Cl) とが多く使用されている。ところが家庭用電気冷蔵庫の密閉型圧縮機の冷凍サイクルに米国では総てフロン-12 を使用し、我国に於ては主にメチルクロライドを使用している。理論上は小型の冷蔵庫用冷媒としてはフロン-12 がメチルクロライドに比較して遙かに優秀な性能を有しているのであるが、我国に於ては純度の高いフロン-12 が生産され難いことと、亦一方ごく最近まで米国特許を侵害する恐れがあつた為にこれを採用するのに躊躇させられた。

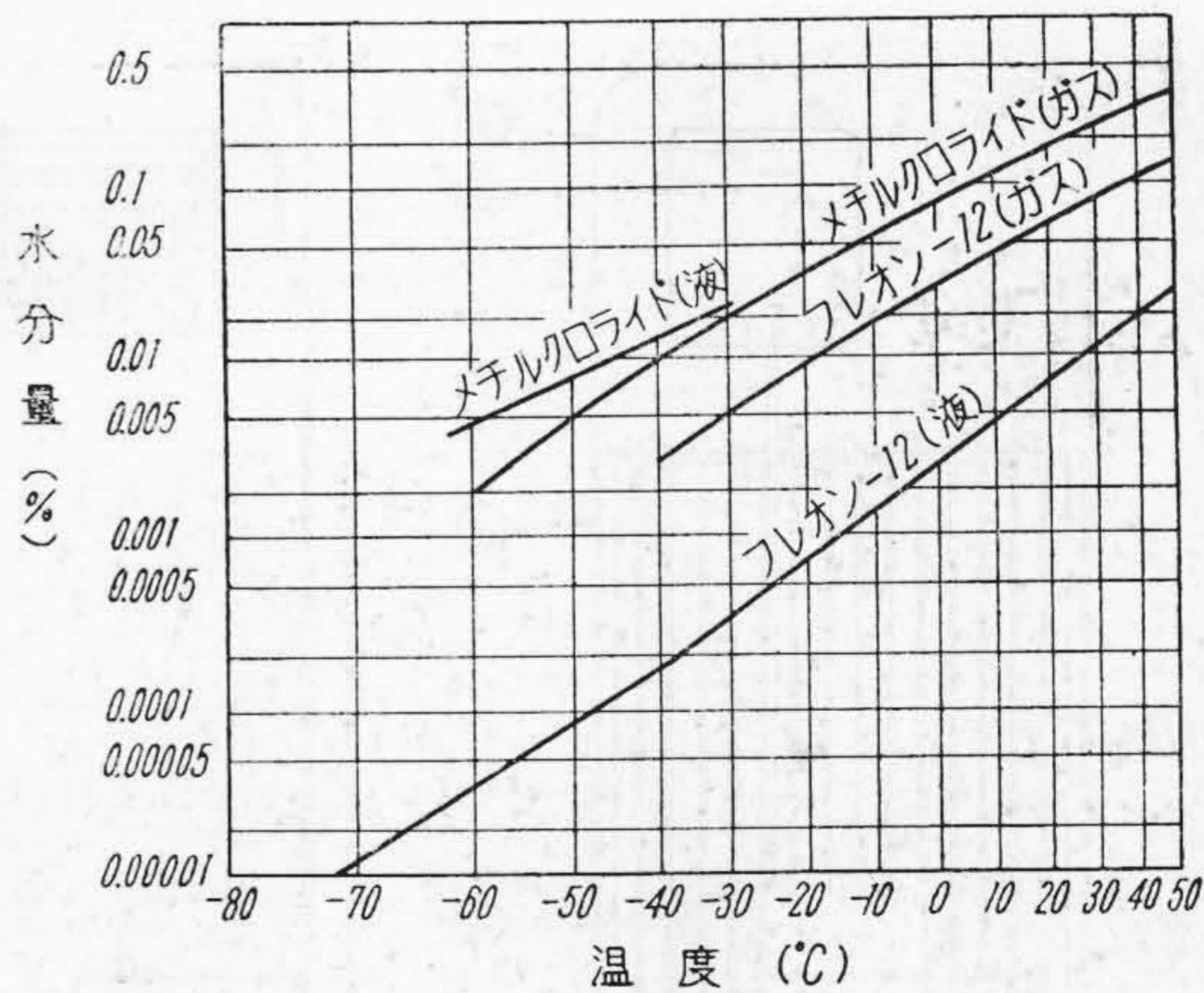
冷媒が水分を溶解する特性は第1図⁽¹⁾に示す如くであり、フロン-12 はメチルクロライドに較べ溶解水量が極めて少く、これが為フロン-12 を採用する冷凍サイクルでは冷媒封入前に冷凍サイクルから水分を十分に除去する為特別の注意を払はねばならないし、又水分の含有量の極く少いフロン-12 を使用することが是非共必要になる。

出力の小さい電動機で所定の庫内容積を冷却し、電力消費量の少い能率のよい冷蔵庫を製作するには冷媒としてフロン-12 が遙に優秀であることを詳述したい。

[II] 密閉型冷凍サイクル

使用した圧縮機の仕様は次記の通りである。

型 式	FH ₁ -CL
気筒数	1
気筒径	28 mm
衝 程	17 mm
回転数	1,430 r. p. m. (50 ω) 1,720 r. p. m. (60 ω)
ピストン押しのけ量	0.9 m ³ /hr (50 ω) 1.08 m ³ /hr (60 ω)
電動機	100 W 分相起動式 (圧縮機と直結)



第1図 冷媒の水分溶解度及び蒸気相中の最大水分量
Fig. 1. Solubility of Water in Various Refrigerants and Maximum Water Content of Gaseous State of Refrigerants

* 日立製作所栃木工場

尚、本冷凍サイクルの特異な点をあげれば次の如くである。

1. 全密閉である。

圧縮機の構造は第2図に示す如く電動機軸と圧縮機のクランク軸とは直結して垂直に設置し、これを密閉筐に収めて全体をコンパクトに造つてある。且つ圧縮機、凝縮器、キャピラリーチューブ及び蒸発器の接続はすべて蠟付けを行い、冷凍サイクルとしても全密閉になつている。

2. 凝縮器は自然通風冷却のプレート型である。

凝縮器は冷蔵庫の背部に置かれ、そのパイプは鉄板で包んであつて、放熱の特性がよい。第3図は密閉型冷凍

サイクルの系統を示す略図であつて、凝縮器の構造も示してある。

3. 冷媒制御装置はキャピラリーチューブである。

従来使用されていた膨脹弁及びフロートバルブは簡単なキャピラリーチューブ（毛細管）に置き換えられた。

4. 電動機の巻線は日立 VF 線を使用してある。

第2図に示す如く電動機はガス状冷媒と冷凍機油の中に設置され運転するので巻線には冷媒にも冷凍機油にも侵されない日立 VF 線が使用してある。

5. 好条件の運転を考慮されてある。

圧縮機の起動時に吐出圧力（以下 P_a と略す）と吸込圧力（以下 P_s と略す）にあまり圧力の差がないことが望ましい。これは電動機の起動回転力が小さい為この圧力の差があまり大きいと起動しない。冷蔵庫は前記の如く自動運転をするが運転時間と停止時間との比は無負荷に於て 1:3 であり、これを時間で示すと大体5分運転して15分停止するように調整してある。その15分の間に出来るだけ早く P_a と P_s の圧力差が無くなることが望ましい。その為には出来るだけキャピラリーチューブの径が大きく、その長さが短いこと（即ち流量の大きいこと）が望ましいのである。後で詳しく述べるがフロン-12はこの条件を最もよく満している。

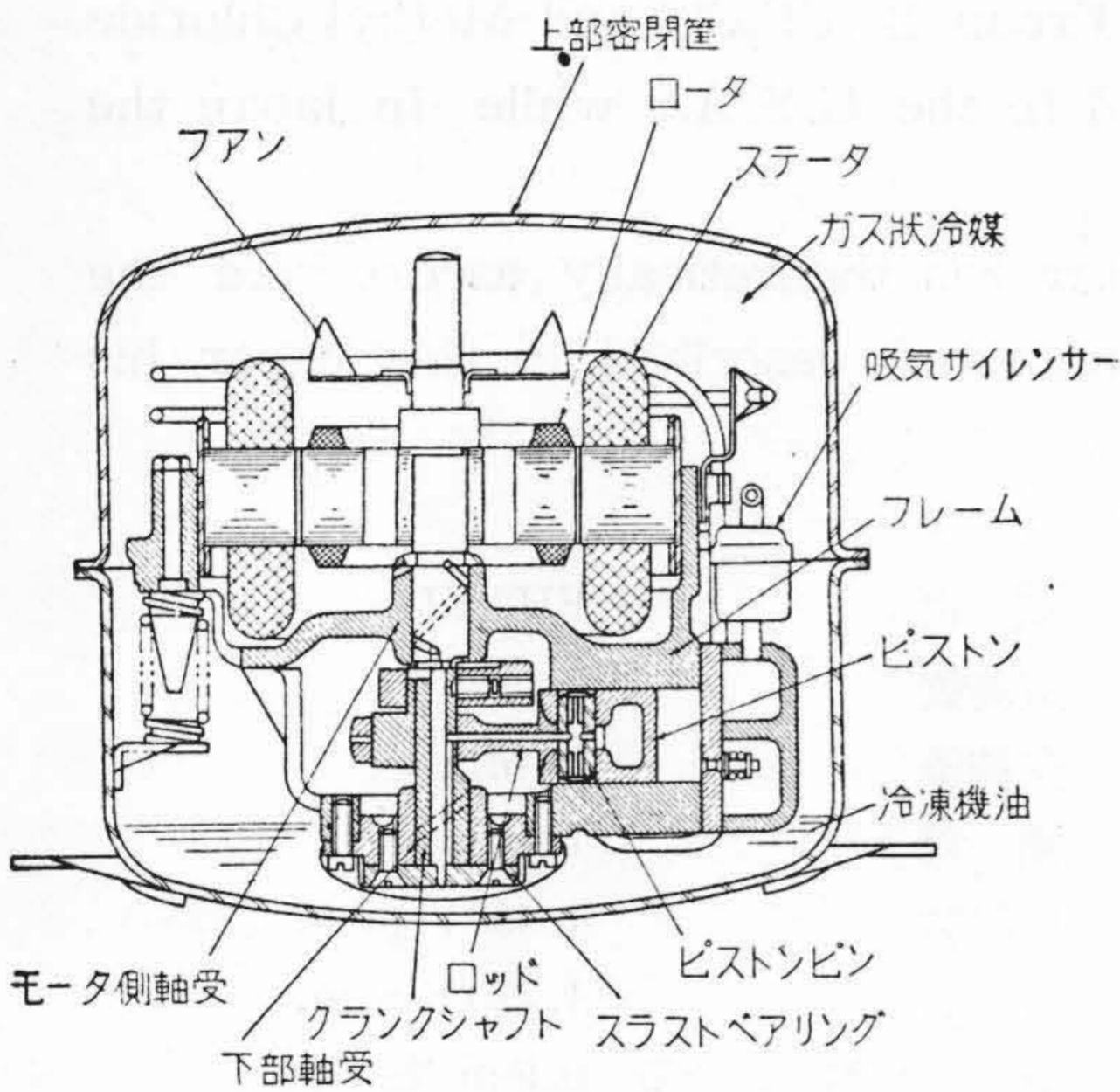
【III】 冷媒の特性の比較

冷媒としてのフロン-12とメチルクロライドとの特性を調べる為、凝縮温度を 34°C 蒸発温度を -20°C として両者を比較して見る。

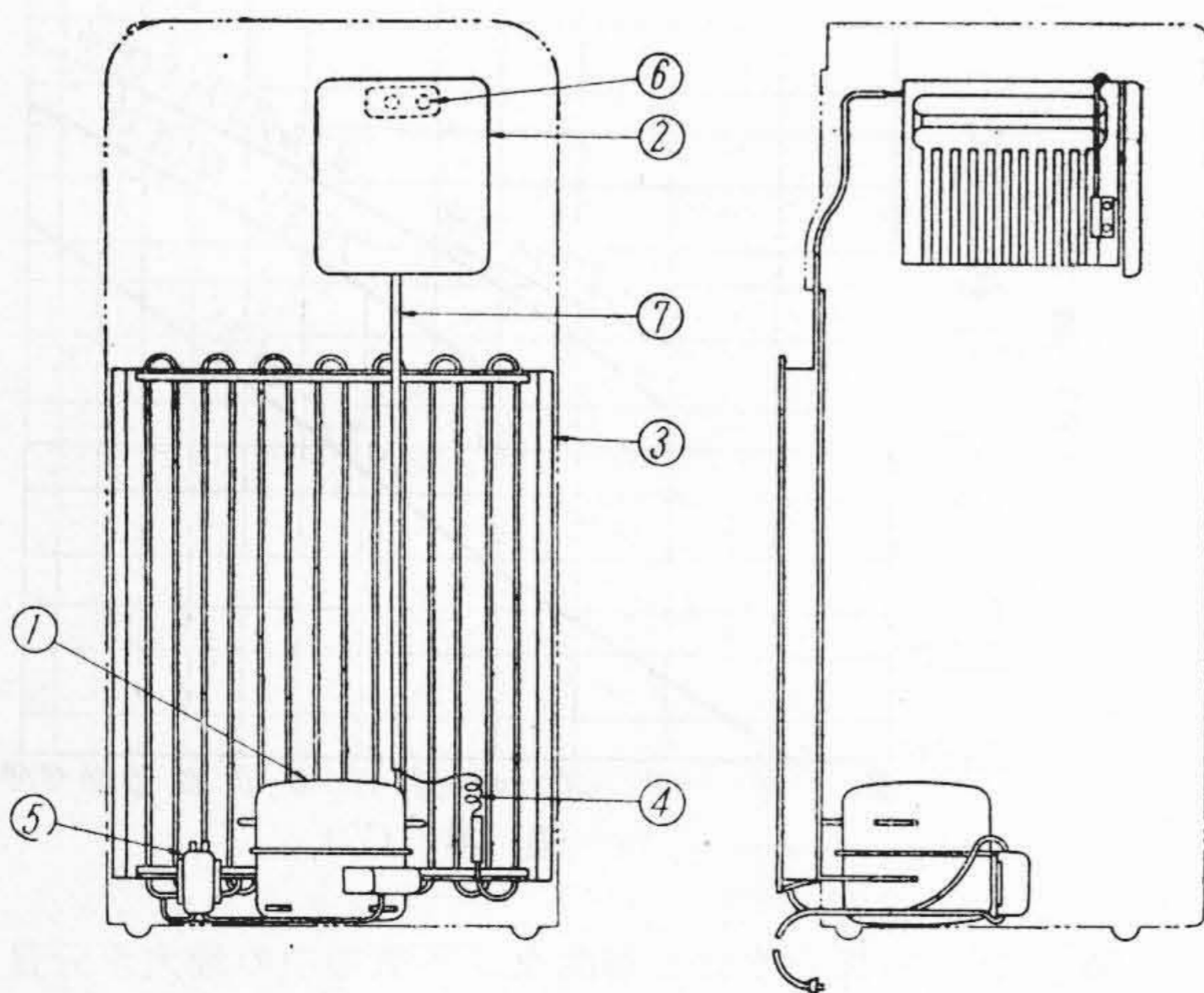
第4図及び第5図に記入してある四角形の線図は各冷媒の使用状態に於けるサイクルを示し、そのエンタルピーの差は各冷媒 1 kg の冷凍容量を表示する。

メチルクロライドのエンタルピーの差（第4図）はフロン-12のそれ（第5図）の約3倍（ $78/25 \div 3$ ）であるが、その比容積も約3倍（ $0.35/0.11 \div 3$ ）である。従つて同一容量のピストン押し量の圧縮機を使用した時の冷凍容量は略々同一になる。（第1表参照）

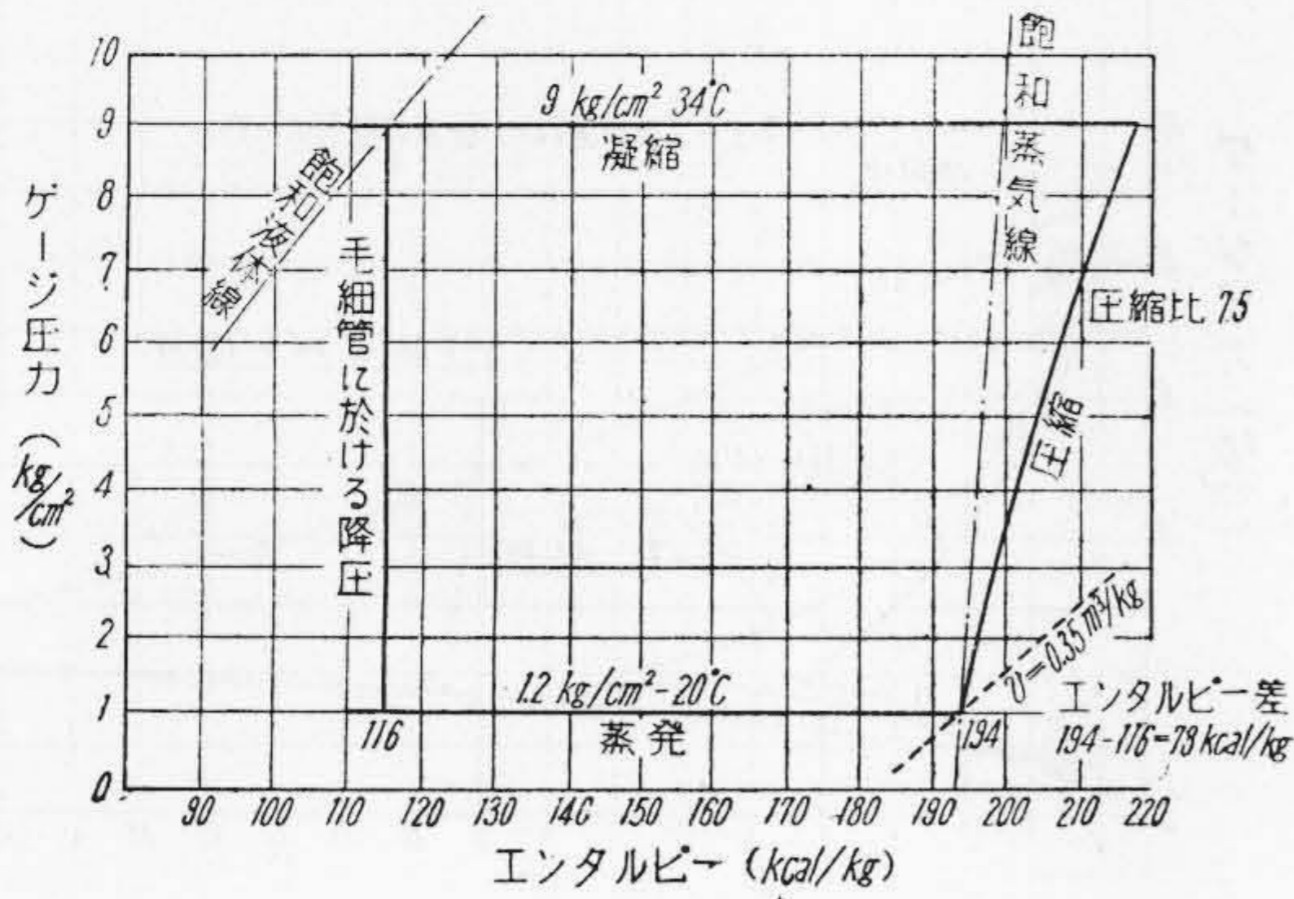
圧縮比ではフロン-12の方が6.25でメチルクロライドの7.5より少く、フロン-12の方が有利である。



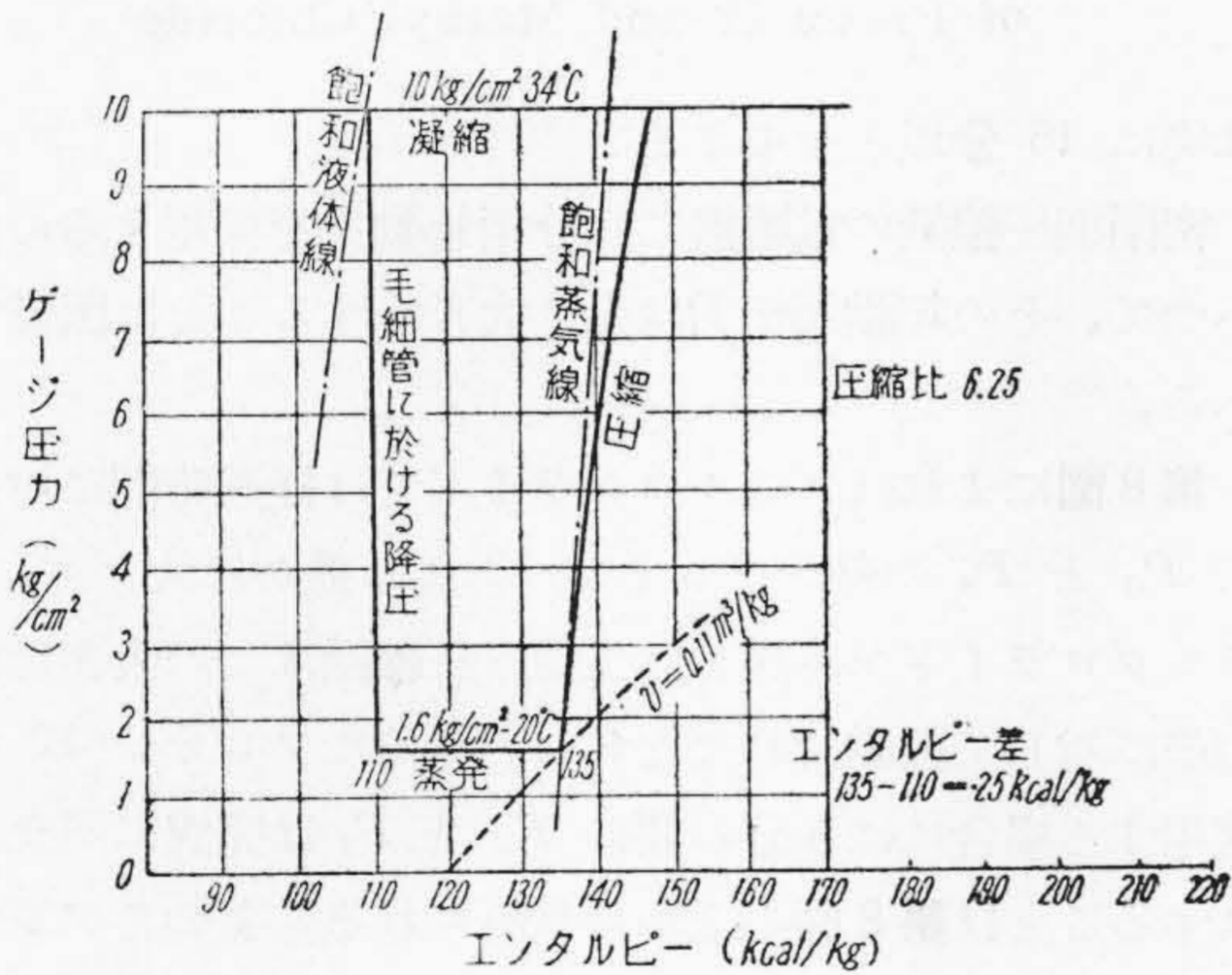
第2図 密閉型圧縮機断面図
Fig. 2. Sectional View of Hermetic Compressor



第3図 冷蔵庫冷凍サイクルの配置図
Fig. 3. Schematic Arrangement of Refrigerator



第4図 メチルクロライドの圧力エンタルピー線図
Fig. 4. Pressure-Enthalpy Diagram of Methyl Chloride



第5図 フレオン-12の圧力エンタルピー線図
Fig. 5. Pressure-Enthalpy Diagram of Freon-12

第1表 フレオン-12とメチルクロライドの特性比較表

Table 1. Comparative Characteristics of Freon-12 and Methyl Chloride

項目	冷媒の種類	
	フレオン-12	メチルクロライド
冷媒 1kg の冷凍容量の比	1	3
冷媒循環量の比	3	1
冷凍能力	3	3

[IV] キャピラリーチューブの流量

冷凍サイクルに於てキャピラリーチューブの中を冷媒は始め液状になつて流通する。同一の冷凍容量に対してフレオン-12はメチルクロライドの3倍の重量を通過させねばならぬことは前述の通りである。これがためメチルクロライドを通すキャピラリーチューブに比較してフ

レオン-12を通すキャピラリーチューブの断面積は約3倍の面積を要する。毛細管の内径が異なる二つの管を用いる場合には両管の水力平均深さ(hydraulic mean depth)が異なるから単位長さを通過する圧力降下が異なる。両冷媒が毛細管に出入する圧力差はフレオン-12の方がやや高いが大差はない。この圧力差を生ずる為の毛細管の全長は管径の大小によつて異なるはづである。

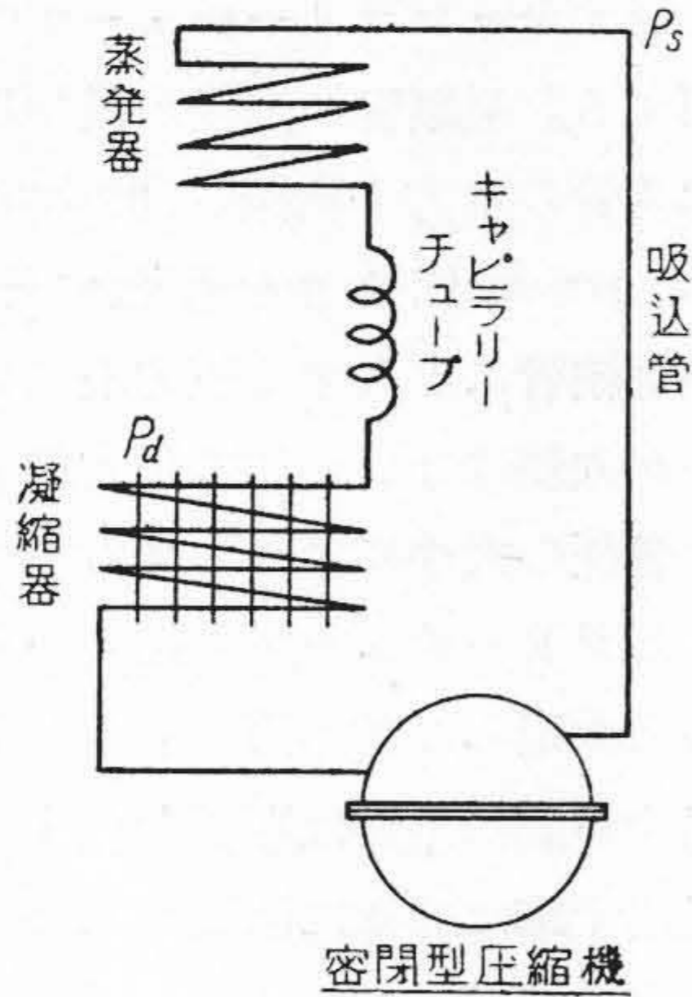
以上はキャピラリーチューブの始めから終りまで冷媒が液状であると仮定した考え方であるがキャピラリーチューブを流通する間に冷媒は順次気化するから計算式で管の長さを見出す事は非常に困難であつて普通実験によつて決定する方法を取つている。

最近の米国の文献⁽²⁾によれば多くの複雑な計算に基いて種々の図表を作成し、キャピラリーチューブの大略の内径及び長さを見出す方法も考えられている。実験によれば第4図及び第5図の圧力差に対してキャピラリーチューブの径及び長さはフレオン-12の場合には内径0.8mmで長さ約4mとなる。メチルクロライドの場合には内径0.55mmで長さ約2mとなる。この両方のキャピラリーチューブの流量には実際にどれだけの差があるかを以下説明することにする。

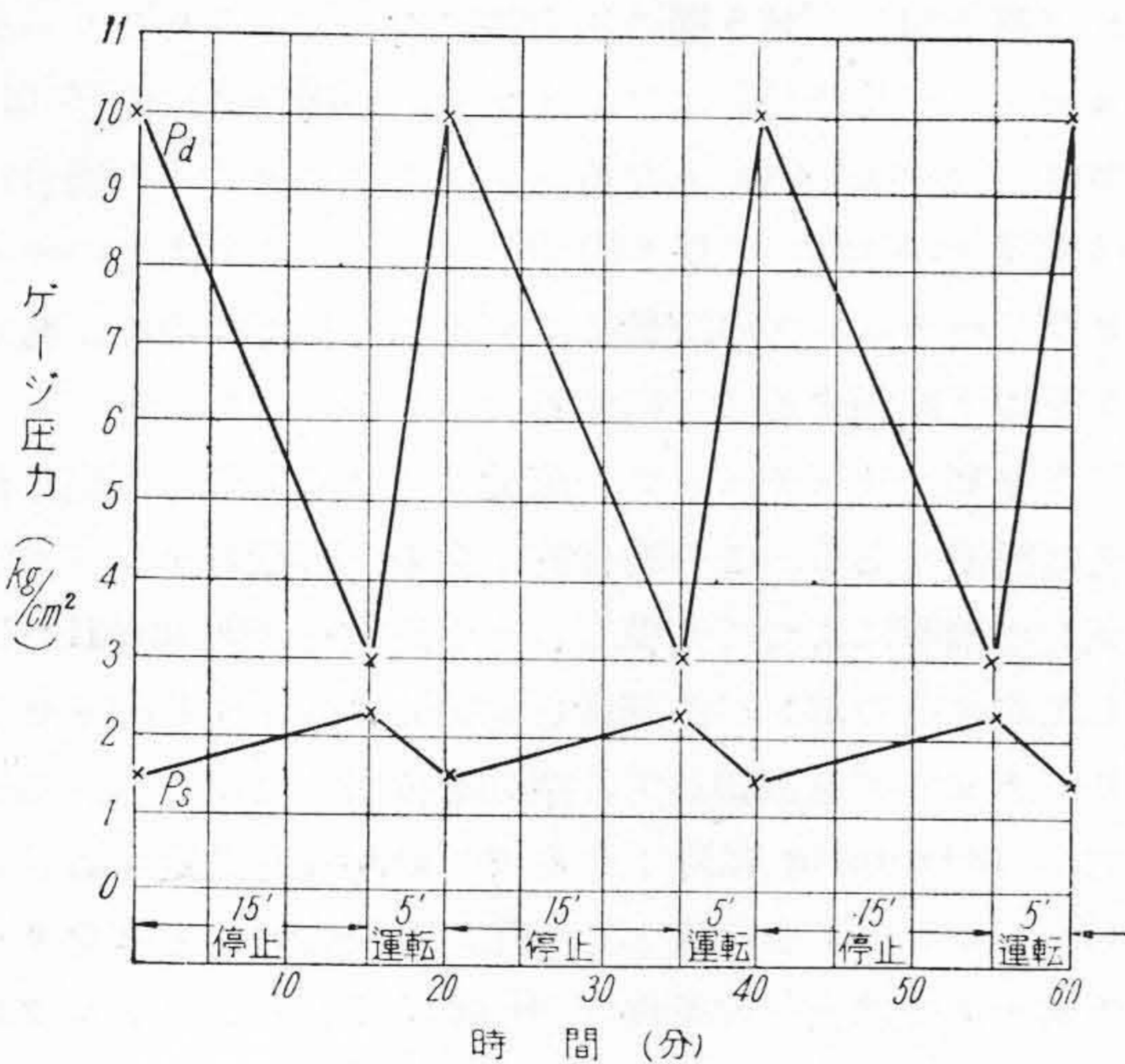
キャピラリーチューブの流量は空気によつて測定を行えば簡便である。この場合約1立の内容積のポンペに空気を圧縮機によつて充填し、その圧力を600mmHgにしておきそのポンペに流量を測定しようとするキャピラリーチューブを連結して、空気を放出させポンペ内の圧力が420mmHgに降下するまでの時間を測定する。即ちフレオン-12を冷媒として用いた場合のキャピラリーチューブでは上記の条件で41sec.であり、メチルクロライドの場合のキャピラリーチューブでは89sec.を要する。

[V] P_a と P_s がバランスするのに要する時間

第6図(次頁参照)は冷凍サイクルの略図である。冷蔵庫は温度調節器により自動的に庫内温度を調節し、庫内の温度に応じて圧縮機の起動及び停止を行い、実際使用する場合に於ける運転時と停止時間の比は1:3であることは前に述べた通りである。この運転時と停止時に於ける P_a と P_s との関係は第7図(次頁参照)に示す如くである。図に示す如く圧縮機の停止中には P_a は降り P_s は昇る。反対に圧縮機の運転中には P_a は昇り P_s は降つて蒸発器の温度が下る。この温度降下が一定の限度に達すれば温度調節器が作動して圧縮機の運転を停止する。圧縮機が運転を停止している間に凝縮器に凝縮した液化冷媒はキャピラリーチューブを通つて蒸発器へ流



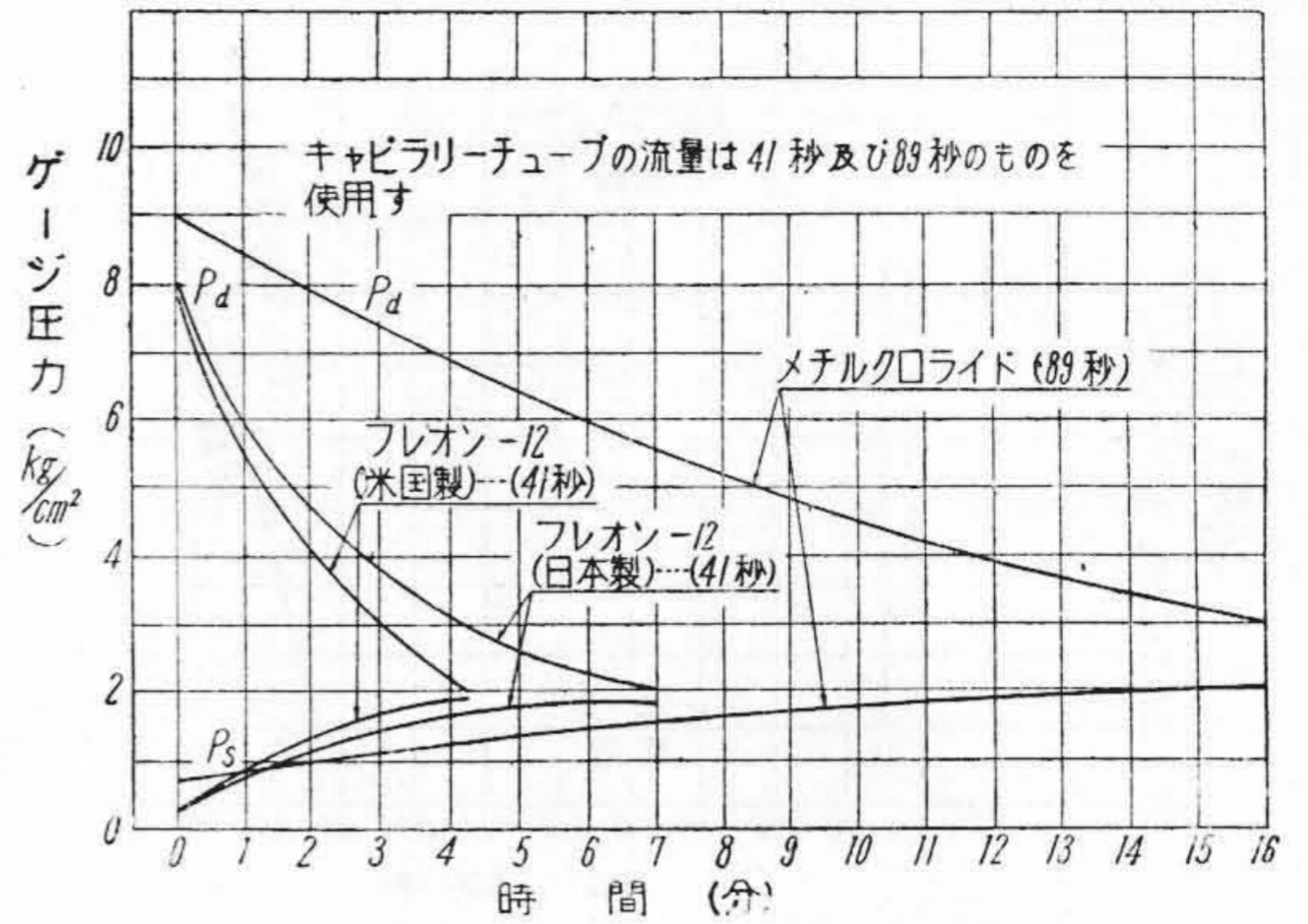
第6図 冷凍サイクル略図
Fig. 6. Schematic Arrangement of Mechanical Sealed Unit



第7図 冷蔵庫の運転及び停止時に於ける吐出圧力 P_d と吸入圧力 P_s の変化特性
Fig. 7. Characteristics of Discharge Pressure P_d and Suction Pressure P_s at Refrigerator is Operating and Off Cycles

れる。その間に P_d と P_s の間の圧力差は漸減し、冷蔵庫内の温度は次第に上昇する。温度上昇が一定の限度に達すれば温度調節器が作動して圧縮機が再び運転を開始し P_d と P_s との開きが漸次に大きくなる。前章に於て述べた空気により測定して時間がそれぞれ 41 sec. 及び 89 sec. の2本のキャピラリーチューブを用いて実験したところ $P_d=8\text{kg/cm}^2$ 附近 $P_s=0.2\text{kg/cm}^2$ 附近から時間の経過に伴って P_d が降り P_s が昇つて両圧力が一致する迄に要する時間は第8図に図示する如く大きな相違がある。

即ちフレオン-12 の場合には約4分であり、(但し日本製フレオン-12 では約7分)メチルクロライドの場合に



第8図 フレオン-12 とメチルクロライドの吐出圧力 P_d と吸入圧力 P_s が平衡状態に達する時間
Fig. 8. Balancing Characteristics of Discharge Pressure P_d and Suction Pressure P_s of Freon-12 and Methyl Chloride

は実に 15 分以上を要する。

密閉型圧縮機の電動機には分相起動式を採用するのであつて、その起動回転力は余り大きくすることは困難である。

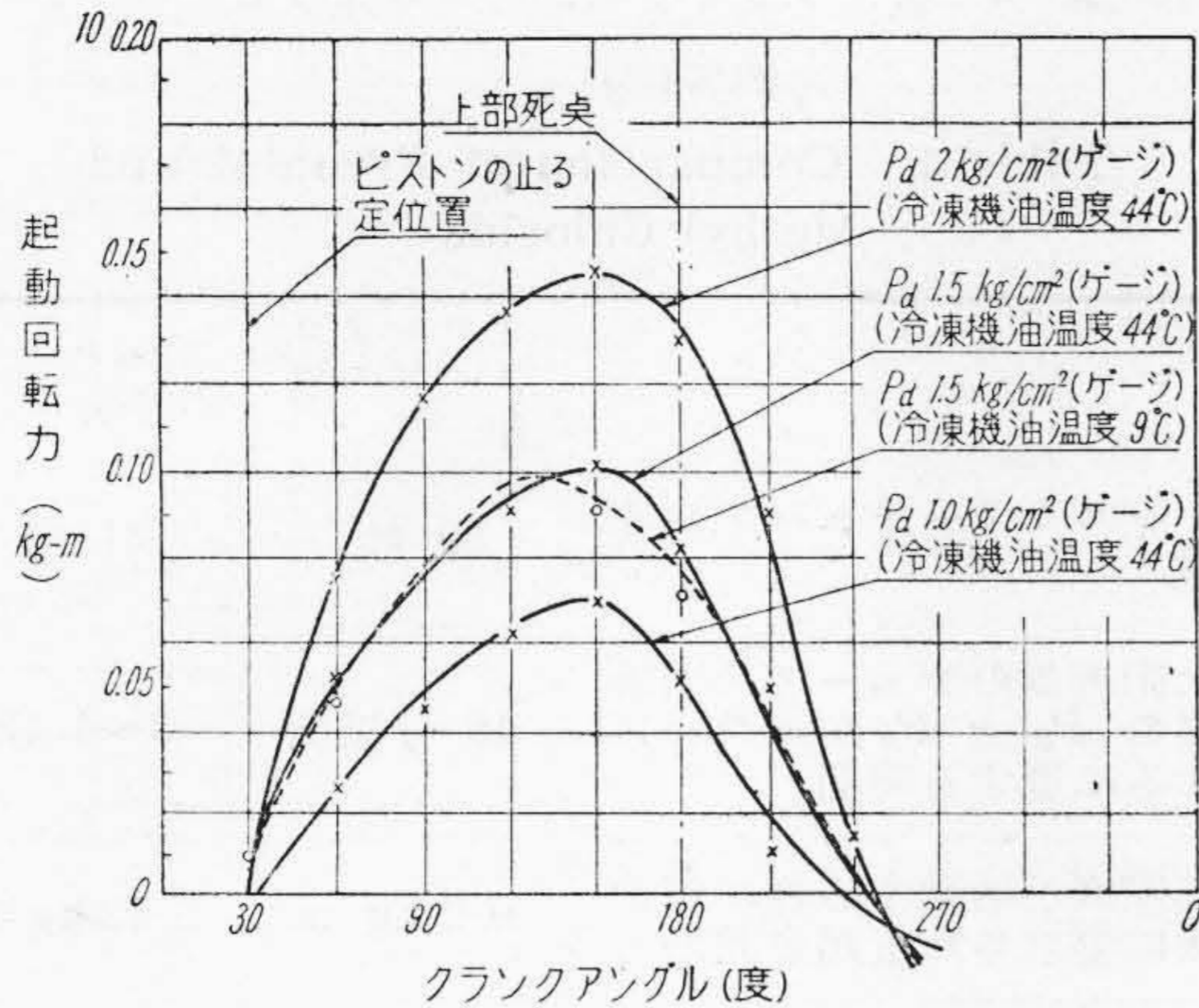
第8図によればメチルクロライドでは経過時間に対して P_d と P_s の差がフレオン-12 より遙かに大きく、メチルクロライドを冷媒として使う圧縮機はこの大きな圧力差に対して起動せねばならぬ。然るにフレオン-12 を使用する場合には5分以内に P_d と P_s は完全にバランスすることは第8図の上から判断される。よつてフレオン-12 を冷媒として使用する場合には P_d と P_s との差が無くなつてからピストンは少しも圧力を受けないで始動することが出来、起動回転力は極小で電動機が回り出す。

従つてこの種冷媒を採用すれば電動機の容量はごく小さくてすむこととなり運転中の電力消費量も少くなる。

第8図に於て米国製フレオン-12 と日本製フレオン-12 の P_d と P_s のバランスに要する時間に大きな差があるので質量分析計により測定しその結果冷媒の気相及び液相中には第3表⁽³⁾の如き不純物が混入していることを確めた。炭酸ガス(CO_2)及び窒素(N_2)等はいづれも非凝縮ガス(Non condensing gas)でこれ等が混入していると P_d も高くなり、凝縮器の容量もそれだけ大きくし

第2表 フレオン-12 の分析
Table 2. Analysis of Freon-12

試料	CCl_2F_2	CO_2	N_2	CClF_3	CCl_3F
気相	98.5 %	<0.1 %	1.1 %	0.4 %	—
液相	93.8 %	—	0.7 %	—	0.5 %



第 9 図 圧縮機のクランクアングルの各位置に於て始動するのに必要な起動回転力

Fig. 9. Starting Torque of Various Crank Angle of Compressor

なければならない。

[VI] 圧縮機が起動に要する起動回転力

本圧縮機が P_a と P_s に圧力差がある場合ピストンのクランクアングルの各位置に於て起動するのに必要な起動回転力の測定をを行い、各アングルに於ける回転力をプロットしたものが第 9 図である。

本測定には P_a と P_s の圧力差は空気によつて与え $P_s = 0 \text{ kg/cm}^2$ (ゲージ圧力) として P_a を 1 kg/cm^2 , 1.5 kg/cm^2 及び 2 kg/cm^2 の 3 階段に就いて行つた。

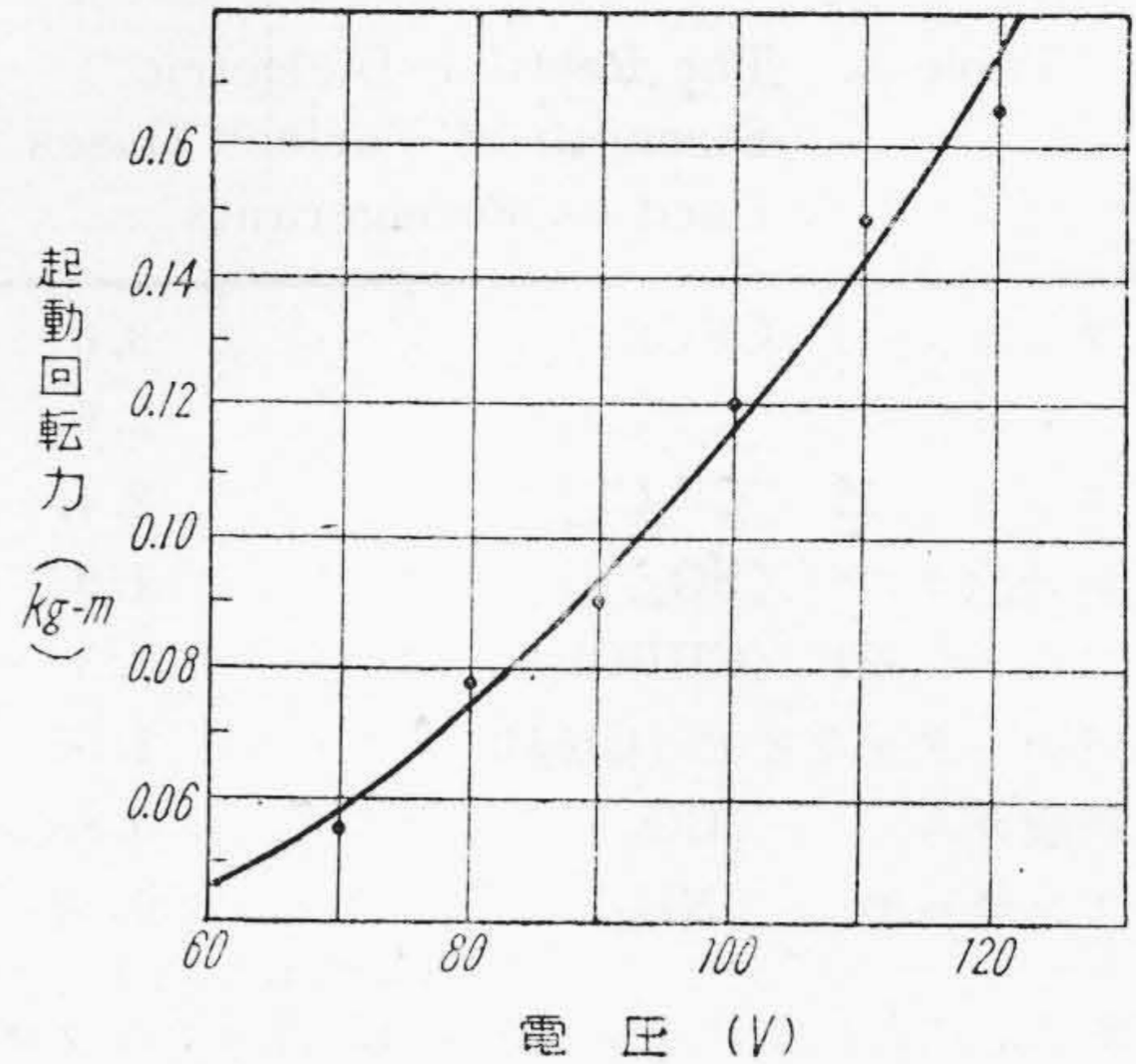
圧縮機の下部には 150 番冷凍機油が封入してありこの油は温度によりその粘度が変化する。

この粘度の濃淡は起動回転力に影響があると想像されるので、圧力差が 1.5 kg/cm^2 の場合に限り油の温度が 9°C の場合と 44°C の場合の両方について測定値をえがいてある。第 9 図の起動回転力の測定方法は第 2 図に於て密閉筐の上部を取除いて電動機のローターのシャフト(ファンの上)に直径 20 cm の円板を水平に取付け、その円板に紐を巻き付け、これをスプリングバランスによつて引張つて始動に要する力を測定し、この力に上記円板の半径を剰じて、第 9 図にプロットした。

次に第 10 図はこの圧縮機に直結してある 100 W 分相起動式電動機の 50 \sim に於ける起動特性を示している。

即ち図で電圧が 80 V に降下した場合でも、その起動回転力は 0.073 kg-m ありこれは第 9 図に於て圧力差が 1 kg/cm^2 ある場合に始動に要する起動回転力が 0.07 kg-m であるから、この場合起動可能であることが判る。

電圧が定格の 100 V の場合には電動機の起動回転力は



第 10 図 密閉型圧縮機用 100 W 分相起動式電動機の起動特性

Fig. 10. Starting Torque Characteristics of 100 W Split-Phase Start Induction Motor of Hermetic Compressor on 50 Cycles

第 10 図によつて 0.12 kg-m あり、この場合には第 9 図に於て圧力差が 1.5 kg/cm^2 あつても起動可能であることが判る。

圧力差が 2 kg/cm^2 ある時に必要な回転力は 0.145 kg-m であり、起動不可能のように思われるが、実際は圧縮機が停止する時には必ずある定位置にピストンが来て停止することを実験の結果確めた。

その位置は下部死点から約 30 度進んだ位置(即ちクランクアングル 30 度)であり、この位置から始動すると慣性が利用出来て 2 kg/cm^2 圧力差があつても大体起動可能である。

第 8 図に於て P_a と P_s の圧力差が 2 kg/cm^2 迄に減少する時間はフレオン-12 では僅か 2.5 分しか必要とせず(日本製フレオン-12 は約 3.5 分)メチルクロライドの場合には 12 分を要する。この為メチルクロライドの密閉型圧縮機では 3.5 分位の停止時間の後に始動させる為にはそれだけ大きな出力の電動機が必要になつて来る。

メチルクロライドを冷媒とした密閉型冷凍サイクルの場合の電動機の起動回転力は 0.2 kg-m (即ち電動機としての出力は 125 W 以上となる)を要した。

[VII] ガス状冷媒の絶縁耐力の比較

密閉型圧縮機は第 2 図の如くガス状の冷媒と冷凍機油の中に収められているために、冷媒自身の絶縁耐力の高いことが望ましい。

第 3 表⁽⁴⁾はガス状に於ける各種冷媒の絶縁耐力の比較

第 3 表 ガス状冷媒の絶縁耐力比較値
Table 3. The Relative Dielectric Strength of Various Gases Used as Refrigerants

フレオン-11 (CFC ₁₁)	3.0
フレオン-113 (C ₂ F ₃ Cl ₃)	2.6
フレオン-12 (CF ₂ Cl ₂)	2.4
亜硫酸ガス (SO ₂)	1.9
フレオン-21 (CHFCl ₂)	1.3
メチルクロライド (CH ₃ Cl)	1.06
炭酸ガス (CO ₂)	0.88
アンモニヤ (NH ₃)	0.82

値である。これによればフレオン-12 はメチルクロライドの2倍以上の値を有する。

古い密閉型冷凍サイクルには冷媒として亜硫酸ガスが多く使用されたが、これは絶縁耐力の値が比較的高いことがその一因である。

[VIII] 結 言

以上小型の密閉冷凍サイクルに於て冷媒としてフレオン-12 とメチルクロライドを使用する場合の比較を論じた。第4表はこれを要約したものである。

理論的にも実験的にもフレオン-12 の優秀なことが立証されるが [V] に於ても説明したように小型の密閉型冷凍サイクルに採用するフレオン-12 では水分の少いことは勿論必要であるが、その他にフレオン-11, フレオン-13, 窒素及び炭酸ガス等の不純物の少いことが是非とも必要である。

摺筆するに当り御指導を賜った伊達工場長、栗本設計課長、中研神原博士及び実験に協力された上杉主任に深謝の意を表する次第である。

第 4 表 フレオン-12 とメチルクロライドの比較要約表

Table 4. Comparison of Freon-12 and Methyl Chloride

	メチルクロライドの場合	フレオン-12の場合
キャピラリーチューブの流量	89 秒	41 秒
上記流量のチューブで両冷媒の P_d と P_s がバランスするに要する時間	15 分以上	3~4 分
圧縮機が始動する為に電動機に要求される起動回転力	0.2 kg-m	0.12 kg-m
起 動 電 流	28 A	17 A
電 動 機 出 力	125 W	100 W
ガス状冷媒の絶縁耐力 (比較値)	1.06	2.4
許容される水分含有量	0.02% 以下	0.005% 以下

参 考 文 献

- (1) Walter O. Walker : Moisture and Drying Methods, ANSUL NEWS No. 3
- (2) Neil E. Hopkins : Rating the Restrictor Tube. Method of Determining Flow Capacities for Freon-12 and Freon-22 Refrigerating Engineering November, 1951 p 1, 087-p 1, 095
- (3) 神原 ; 日立評論 Vol. 33 No. 12. 1951 1067 頁—1074 頁
- (4) ASRE Data Book 1940 p. 106

日立の気体機

EB-70 型 電 気 冷 蔵 庫
Type EB-70 Electric Refrigerator

