

冷蔵庫用冷凍サイクルの適性冷媒封入量

Of the Quantity of Refrigerant to be Enclosed in Small Refrigeration System

佐藤 彰 也* 阿部 順 常*
Shōya Satō Yoritsune Abe

内 容 梗 概

本研究は冷蔵庫用冷凍サイクルの冷却性能に影響を及ぼす冷媒封入量について検討したものである。

冷媒封入量はそれが多すぎる場合にはリキッドバックという現象を起し、蒸発器にたまっている液冷媒は完全には蒸発しきれず、液状冷媒のまま圧縮機へ戻り、またそれが少なすぎる場合には蒸発器の全面が有効に使用されないという現象を起し、どちらの場合も冷蔵庫の性能上あまり好ましいことではない。したがって冷凍サイクルにおいてはそれに適した冷媒量を封入しなければならない。

しかるに冷蔵庫などにおいては、最適冷媒封入量は蒸発器および凝縮器の内容積、圧縮機チャンバ内容積、冷凍機油量、各部温度、圧力など種々の要素の組み合わせにより決定され、現在までのところ理論的に最適量を求めることが困難であった。

本報告はこの冷媒封入量を理論的に探求し、理論的に求めた冷媒封入量と実験的に求めた冷媒封入量とを比較検討したものである。

1. 緒 言

冷凍サイクルの冷却性能は圧縮機の性能、断熱材の断熱性能、蒸発器や凝縮器の性能などにより決定されるが、そのほかにサイクル内への冷媒の封入量の多少によっても影響を受ける。すなわち冷媒封入量が少なすぎると冷媒が蒸発器全面に行き渡らないで、蒸発器の一部分が冷却されなくなり、蒸発器の平均熱貫流率が悪くなる。したがって庫内の冷え方も悪くなる。逆に冷媒封入量が多すぎると冷媒は蒸発器内で完全に蒸発しきれずに吸込パイプを通して液状冷媒が圧縮機側に戻ってくる。この場合には吸込圧力が高くなり、蒸発器全体の温度が上昇してやはり庫内の冷え方は悪くなる。以上のように冷媒封入量は一つの冷凍サイクルについては一定の幅を持った最適値を有するのである。

ところが冷蔵庫など(第1図)の小形冷凍サイクルにおいては、一般に受液器などの特別な部品を備えておらず、蒸発器の出口部分の内容積を若干大きくしている程度であり、最適冷媒封入量はかなり狭い範囲に限られてしまう。しかるにこの最適量は蒸発器や凝縮器の内容積はもちろん、チャンバ内容積やチャンバ内に封入されている冷凍機油、さらには各部の温度や圧力など種々の要素に関係があり、計算により決定することは困難であった。

本報告では冷凍サイクルを三つの部分(圧縮機部分、凝縮器部分および蒸発器部分)にわけ、各部分においてその内部に存在する冷媒量を理論的に探求し、計算により最適量を求めようとするものである。

2. 理 論

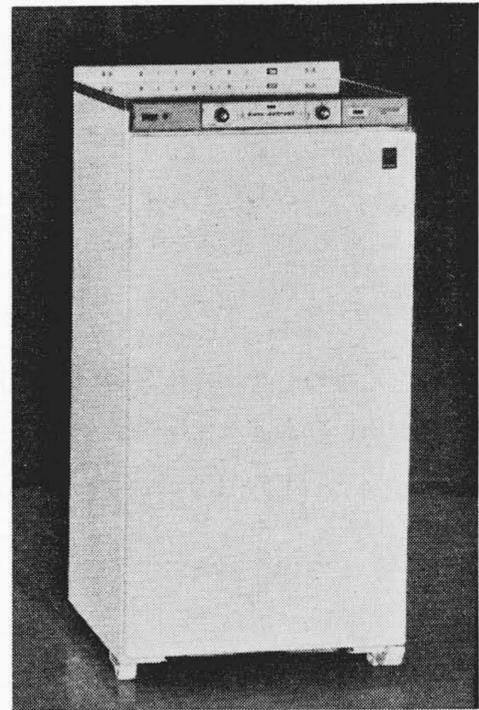
冷蔵庫の冷凍サイクルは第2図に示すとおりであり、圧縮機から排出されるガス状の冷媒は凝縮器で凝縮液化し、キャピラリ(減圧機構)を通して蒸発器へはいり、ここで蒸発しガス状態になって再び圧縮機へ戻る。冷媒はチャンバにはいつている部分、凝縮器にはいつている部分、蒸発器にはいつている部分の三つに分かれて存在していると考えてよい。

冷媒封入量を決定するには、この三つの部分にはいつている冷媒量を求めればよい。

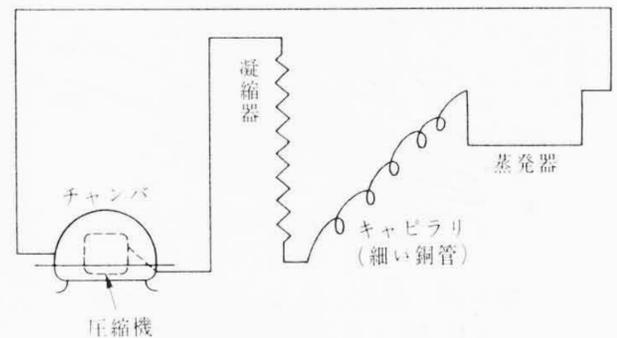
2.1 チャンバ内に存在する冷媒量

チャンバの内部には第3図に示すようにモータ、圧縮機および冷

* 日立製作所栃木工場



第1図 日立製作所製小形冷蔵庫



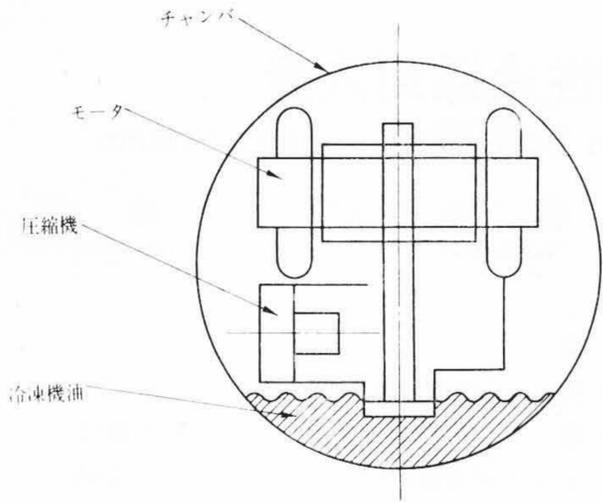
第2図 冷凍サイクル図

凍機油が存在する。冷媒はこの冷凍機油に溶け込む性質がある。したがってチャンバ内に存在する冷媒量はチャンバ空間にあるガス状冷媒と冷凍機油中に溶け込んでいる冷媒を加えたものになる。

チャンバ空間のガス状冷媒の量は、チャンバ空間の体積にガス状冷媒の比重を掛け合わせればよいわけであるが、冷凍機油の占める体積が油中に溶けた冷媒量により変化するので、冷凍機油の体積を V_g とすれば次のように表わすことができる。

$$\omega_{D1} = \gamma_D (V_D - V_m - V_g) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 ω_{D1} : チャンバ空間の冷媒量 (g)



第3図 チャンバ内部図

- γ_p : チャンバ内のガス状冷媒の比重 (g/cc)
- V_p : チャンバ内容積 (cc)
- V_m : モータ, 圧縮機などの体積 (cc)
- V_g : 冷凍機油の体積(冷媒を溶かした状態) (cc)

冷媒の冷凍機油に対する溶解度は次の式で表わされる。

$$\eta = \frac{\omega_{p2}}{G + \omega_{p2}} \dots\dots\dots (2)$$

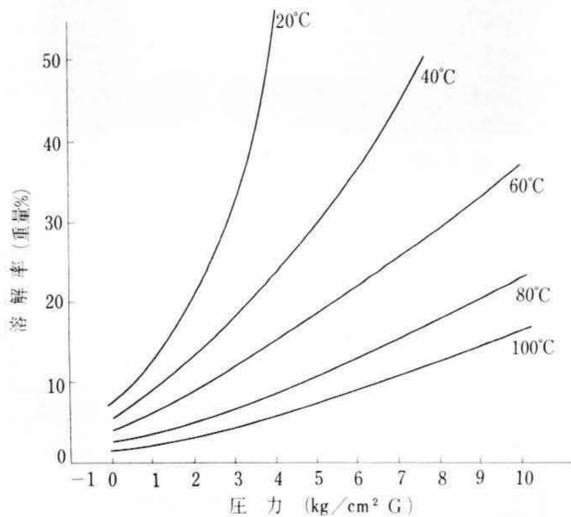
- ただし, ω_{p2} : 冷凍機油に溶け込んでいる冷媒量 (g)
- η : 冷媒の冷凍機油に対する溶解度(第4図参照)⁽¹⁾
- G : 冷凍機油の重量 (g)

また油と冷媒が混合しているときの比重を γ_m とすれば, (1) 式の V_g は次の式によって求めることができる。

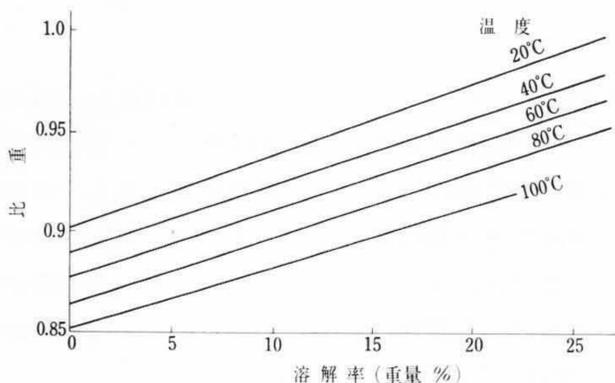
$$V_g = \frac{G + \omega_{p2}}{\gamma_m} = \frac{G}{\gamma_m(1-\eta)} \dots\dots\dots (3)$$

- ただし, γ_m : 油と冷媒の混合物の比重(第5図参照)⁽²⁾ (g/cc)
- したがってチャンバ内に存在する全冷媒量 ω_p は,

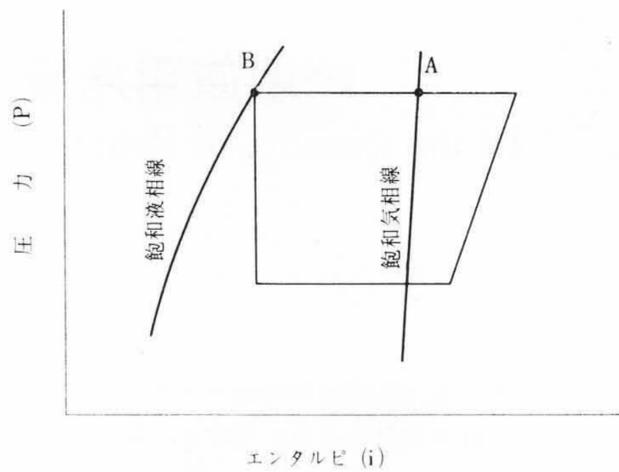
$$\omega_p = \omega_{p1} + \omega_{p2} = \gamma_p \cdot \left\{ V_p - V_m - \frac{G}{\gamma_m(1-\eta)} \right\} + \frac{\eta \cdot G}{1-\eta} \dots\dots\dots (4)$$



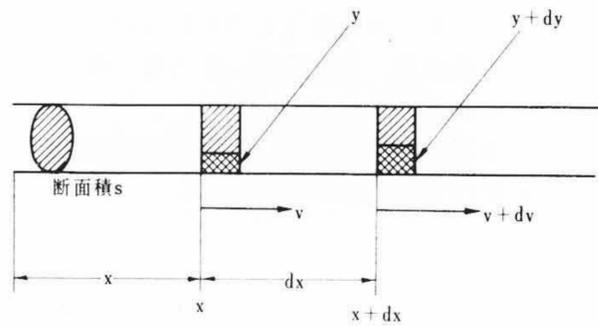
第4図 温度—圧力—溶解率曲線 (R-12と特150#冷凍機油)



第5図 温度—比重—溶解率曲線 (冷媒 R-12と特150#冷凍機油の混合)



第6図 モリエル線図



第7図 凝縮器パイプ内諸量

2.2 凝縮器内に存在する冷媒量

凝縮器内では冷媒は入口でガス状であり出口で液状である。ここでは計算を簡単にするために, 次の仮定を置く。

- (1) 凝縮器入口では冷媒は飽和気相線上の状態にあり, 液化が始まる直前である(第6図A点)。
- (2) 凝縮器出口では冷媒は飽和液相線上の状態にあり, 液化がちょうど終わったところである(第6図B点)。
- (3) 凝縮器の全面において熱伝達率は一定である。

以上の仮定を置くと凝縮器内部に存在する冷媒量は次のように計算される。

まず諸量を次のように定める(第7図参照)。

- S : パイプ断面積
- L : パイプの全長
- v : 冷媒の流速
- x : パイプ入口からの距離
- y : ガス部と液部の体積比率(液の比率)
- γ_{c1} : ガスの比重
- γ_{c2} : 液の比重
- W : 凝縮器内の冷媒循環量(重量)
- J : ガスが液化するためのエンタルピー

(a) 冷媒循環量(重量)はどこでも一定であるから,

$$S \cdot v \cdot \{y \cdot \gamma_{c2} + (1-y) \cdot \gamma_{c1}\} = W = S \cdot (v+dv) \cdot \{(y+dy) \cdot \gamma_{c2} + (1-y-dy) \cdot \gamma_{c1}\} \dots (5)$$

(b) 凝縮器全面から放散する熱量はどこでも均一であるとすれば,

$$\frac{J \cdot W}{L} = \frac{J \cdot \{S \cdot (v+dv) \cdot (y+dy) \cdot \gamma_{c2} - S \cdot v \cdot y \cdot \gamma_{c2}\}}{dx} \dots\dots\dots (6)$$

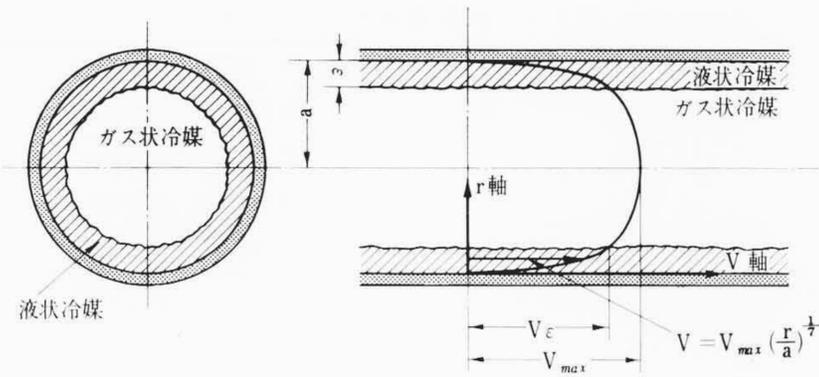
ここで $\gamma_{c1}/\gamma_{c2} = m$ とすると(5)式は

$$-v \cdot dy \cdot (1-m) = dv \cdot \{y \cdot (1-m) + m\} \dots\dots\dots (7)$$

(7)式を解いて, 境界条件 $y=0$ のとき $v = W/S \cdot \gamma_{c1}$ を入れると

$$v = \frac{W}{S \cdot \gamma_{c2} \cdot \{m + (1-m) \cdot y\}} \dots\dots\dots (8)$$

また(6)式および(8)式より



第8図 管内流速分布

$$\frac{W}{S \cdot \gamma_{c2} \cdot L} \cdot dx = v \cdot dy + y \cdot dv$$

$$= \frac{W \cdot m}{S \cdot \gamma_{c2} \cdot \{m + (1-m) \cdot y\}^2} \cdot dy \dots \dots (9)$$

(9)式を解いて、境界条件 $x=0$ のとき $y=0$ を入れると

$$y = \frac{m \cdot x}{L - (1-m) \cdot x} \dots \dots \dots (10)$$

(c) 以上で凝縮器パイプ内における液冷媒の分布がわかったわけであるが、実際の場合には第8図のように管壁から凝縮されるので液冷媒は管壁近くに集まることになる。この場合には管壁の抵抗により、液冷媒の流速はガス冷媒の流速より遅くなる。したがって液比率 y は実際には(10)式よりも大きくなる。このような場合の正確な計算はかなりむずかしいが、近似的には次のように考えられる。

凝縮器管内における冷媒の流動は乱流であると考えられるので第8図より、液状冷媒の平均流速 \bar{v} は、

$$\bar{v} = \frac{1}{\pi a^2 - \pi (a-\epsilon)^2} \int_0^\epsilon 2\pi (a-r) v dr$$

$$= \frac{7}{4} \frac{a - \frac{14}{15} \epsilon}{2a - \epsilon} v_\epsilon \doteq \frac{7}{8} v_\epsilon \dots \dots \dots (11)$$

全体の平均も同様の計算により $\bar{v}_{全} = \frac{7}{8} \cdot v_{max}$ となるから、液冷媒の流速の減少割合は次のようになる。

$$\frac{\bar{v}}{\bar{v}_{全}} = \frac{v_\epsilon}{v_{max}} = \left(\frac{\epsilon}{a}\right)^{1/2} \dots \dots \dots (12)$$

(d) 液比率 y の増加量

同一量の液循環があって液流速が遅くなれば、壁面の液状冷媒の厚さは増加しなければならない。ここで

$$\bar{v} \times \epsilon = \text{一定}$$

と仮定して液状冷媒の厚さを修正すると、(12)式を考慮して

$$v_{max} \cdot \epsilon = v_\epsilon' \cdot \epsilon'$$

$$\therefore \epsilon' = a^{1/2} \cdot \epsilon^{3/2} \dots \dots \dots (13)$$

ただし、 ϵ' : 液冷媒の流速がおそくなっているときの液冷媒の厚さ

ϵ : 液冷媒とガス冷媒の流速が等しいときの液冷媒厚さ

a : パイプの半径

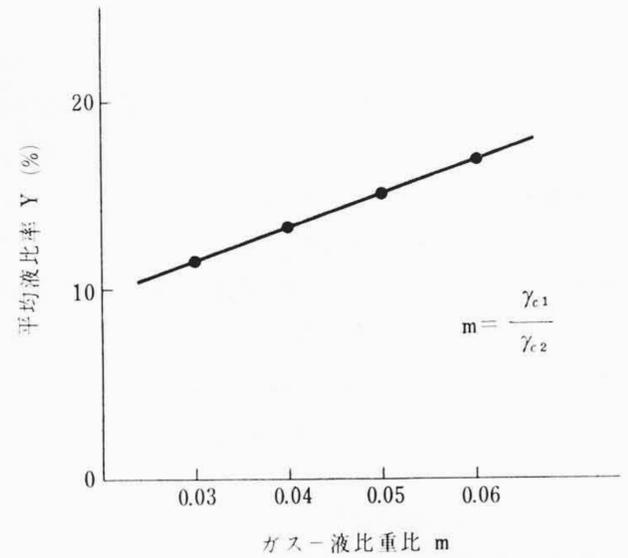
また液比率 y と ϵ との間には次の関係がある。

$$y = \frac{\pi a^2 - \pi (a-\epsilon)^2}{\pi a^2} = \frac{2a\epsilon - \epsilon^2}{a^2} \dots \dots \dots (14)$$

$$y' = \frac{2a\epsilon' - \epsilon'^2}{a^2} \dots \dots \dots (15)$$

ただし、 y' : 修正した液比率

(e) 以上の(10), (13), (14), (15)式よりパイプの全長にわたって液比率 y' の平均を作図により求めると第9図のようにな



第9図 平均液比率 Y

る。この図を用いれば凝縮器内の冷媒存在量は次のように表わされる。

$$\omega_{c2} = V_{c2} \cdot \{Y \cdot \gamma_{c2} + (1-Y) \cdot \gamma_{c1}\} \dots \dots \dots (16)$$

ただし、 ω_{c2} : 凝縮器内のガス液混合冷媒部分の冷媒存在量

V_{c2} : 凝縮器内のガス液混合冷媒部分の内容積

Y : 平均の液比率(体積比率)

実際にはパイプが水平であれば第8図のように液冷媒の厚さは均一にはならず、下方に厚く上方に薄くなる。また液冷媒とガス冷媒の物性値が異なるので、管内の流速分布は第8図とは若干異なり、液とガスの流速の差はさらに大きくなる。これについては実験により確かめねばならない。

(f) 凝縮器内の全冷媒存在量は次のように表わされる。

$$\omega_c = V_{c1} \cdot \gamma_{c1} + V_{c2} \cdot \{Y \cdot \gamma_{c2} + (1-Y) \cdot \gamma_{c1}\} + V_{c3} \cdot \gamma_{c2} + \omega_d \dots \dots \dots (17)$$

ただし、 ω_c : 凝縮器内の全冷媒存在量

V_{c1} : 凝縮器内のガス部の内容積

V_{c3} : 凝縮器内の液部の内容積

ω_d : ドライヤ部分の冷媒存在量

2.3 蒸発器内に存在する冷媒量

蒸発器においては2.2項の凝縮器の場合とは逆に入口でガス液混合状態、出口でガス状態となって冷媒は通過するのであるが、冷蔵庫においては蒸発器の一部の内容積をやや大きくし、アキュムレータの役割をさせているので2.2項の理論はあてはまらない。しかし蒸発器を細い通路を通るパス部分と太い通路のアキュムレータ部分とに分け、そのおのおのにおいて液冷媒の比率がどのくらいになるかを実験により明白にすれば、いかなるパス形状の蒸発器でも計算で冷媒存在量を求めることができる。

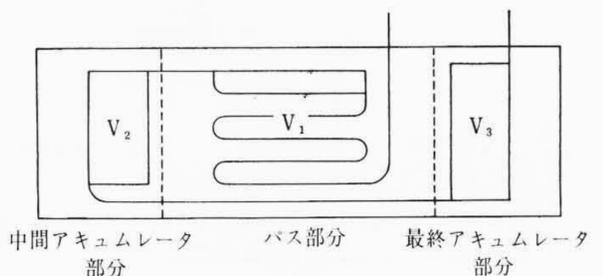
たとえば第10図のような冷媒通路を持つ蒸発器における冷媒存在量は次のように計算される。

(1) パス部分では、液とガスが混合して流れるので液の体積率

を k_1 とすれば、そこに存在する冷媒量は、

$$k_1 \cdot V_{e1} \cdot \gamma_{e2} + (1-k_1) \cdot V_{e1} \cdot \gamma_{e1} \dots \dots \dots (18)$$

(図は展開図であり、実際には点線部で垂直に曲がっている。)



第10図 本供試品蒸発器のパス

ただし、 γ_{e1} : 蒸発器内の冷媒ガスの比重

γ_{e2} : 蒸発器内の冷媒液の比重

(2) 中間アキュムレータ部分では、液状冷媒がかなりの量、たまっているが、その状態の液の体積率を k_2 とすれば、そこに存在する冷媒量は、

$$k_2 \cdot V_{e2} \cdot \gamma_{e2} + (1-k_2) \cdot V_{e2} \cdot \gamma_{e1} \dots\dots\dots (19)$$

(3) 最低必要冷媒量は(18)+(19)式より少し大きければよい。

$$\omega_{e1} > k_1 V_{e1} \gamma_{e2} + (1-k_1) V_{e1} \gamma_{e1} + k_2 V_{e2} \gamma_{e2} + (1-k_2) V_{e2} \gamma_{e1} \dots\dots\dots (20)$$

(4) 最終アキュムレータ部分も(2)項と同様に次のように表わされる。

$$k_2 V_{e3} \gamma_{e2} + (1-k_2) V_{e3} \gamma_{e1} \dots\dots\dots (21)$$

(5) 冷媒量の最大限は(18)+(19)+(21)式より少し小さければよい。

$$\omega_{e2} < k_1 V_{e1} \gamma_{e2} + (1-k_1) V_{e1} \gamma_{e1} + k_2 V_{e2} \gamma_{e2} + (1-k_2) V_{e2} \gamma_{e1} + k_2 V_{e3} \gamma_{e2} + (1-k_2) V_{e3} \gamma_{e1} \dots\dots\dots (22)$$

(6) 蒸発器では一般に γ_{e1}/γ_{e2} は 0.01 以下であるので、ガス部分の項を省略すれば、冷媒存在量は次の範囲で示される。

$$(k_1 V_{e1} + k_2 V_{e2}) \gamma_{e2} < \omega_e < (k_1 V_{e1} + k_2 V_{e2} + k_2 V_{e3}) \gamma_{e2} \dots\dots\dots (23)$$

3. 実 験

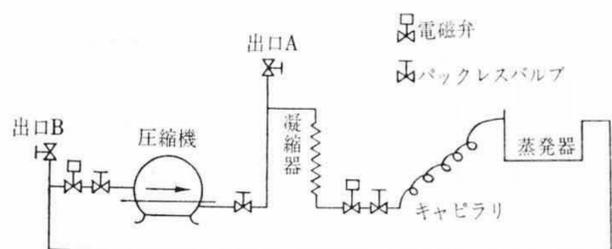
3.1 実験項目

本研究においては次の実験を行なった。

- (1) 冷凍サイクル内における冷媒の分布状態すなわち冷凍サイクルをチャンバ部分、凝縮器部分、蒸発器部分の三つに分け、そのおのにおに冷媒がどのように分配されているかを調べる。
- (2) 凝縮器のパイプ径とその内部の冷媒存在量の関係を調査する。
- (3) 蒸発器のパス断面積、パス形状、アキュムレータなどと、その内部の冷媒存在量の関係を調査する(係数 k_1, k_2 を求めるための実験)。

3.2 実験装置および方法

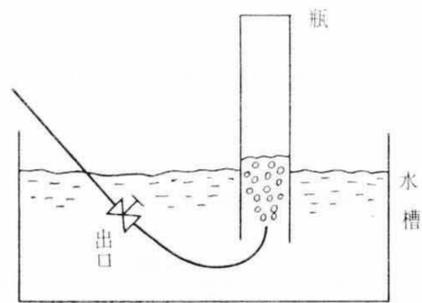
- (1) 冷凍サイクル内の冷媒分布状態について
 - (a) 冷凍サイクルを三つの部分(蒸発器部分、凝縮器部分、チャンバ部分)に分け、そのおのにおに冷媒がどれだけ封入されているかを測定した。
 - (b) 実験サイクルは第11図のとおりであり、冷蔵庫のサイクルの途中に電磁弁およびバックレスバルブを取り付け、各部分に冷媒取出口を設けた。なお供試冷凍サイクルは第1表に示すとおりである。
 - (c) サイクルに一定量の冷媒を封入し、安定するまで運転する。
 - (d) 安定状態に達したら、電磁弁と冷蔵庫を同時に切り、バックレスバルブを閉め、続いて出口AおよびBを開け、第12図のようにそこから出てくる冷媒を水中に立てた瓶に回収して各出口から出た冷媒量を求める。
 - (e) 各部に存在する冷媒の量は次式により算出する。



第11図 実験サイクル

第1表 供試冷凍サイクル仕様

| | |
|-----------------|------------------|
| 蒸 発 器 | 内 容 積 169 cc |
| 凝 縮 器 | 内 容 積 190 cc |
| 圧 縮 機 チ ャ ン バ | 内 容 積 6,710 cc |
| | 油 封 入 量 1,500 cc |
| 正 規 の 冷 媒 封 入 量 | 230 g (R-12) |



第12図 冷媒量測定方法

(i) 凝縮器(蒸発器)部分に存在する冷媒量

$$\left. \begin{aligned} W_c &= V_c \cdot \gamma_c + V_c' \cdot \gamma_c' \\ (W_e &= V_e \gamma_e + V_e' \gamma_e') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

ただし、 $W_c (W_e)$: 凝縮器(蒸発器)部分の冷媒量 (g)

$V_c (V_e)$: 出口A(B)から出てきた冷媒量 (cc)

$\gamma_c (\gamma_e)$: 出てきた冷媒の比重 (g/cc)

$V_c' (V_e')$: 凝縮器(蒸発器)の内容積 (cc)

$\gamma_c' (\gamma_e')$: 凝縮器(蒸発器)に残っている冷媒の比重 (g/cc)

(ii) チャンバ部分に存在する冷媒量

$$W_p = W - W_c - W_e \dots\dots\dots (25)$$

ただし、 W_p : チャンバ部分に存在する冷媒量 (g)

W : 冷媒の全封入量 (g)

(2) 凝縮器内の冷媒量について

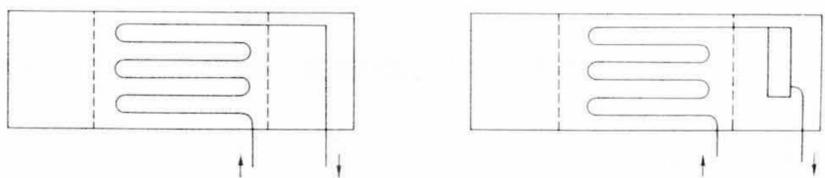
凝縮器のパイプ内径と冷媒存在量の関係を調べ、(17)式における液比率 Y を求めるためパイプ内径 3.16, 4.95, 6.0 ϕ のものについてその冷媒存在量を調べた。

実験方法は 3.2 (1) の場合と同様である。

(3) 蒸発器の形状と冷媒存在量の関係

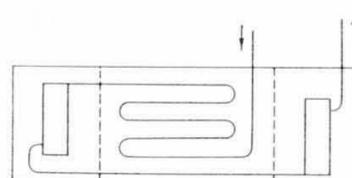
理論の項で用いた k_1 と k_2 を求めるために次の実験を行なった。

- (a) 蒸発器の底面にパイプを取り付け、アキュムレータのないパスのみの場合(第13図(a))。この場合にはパイプ内径の影響も調査するためパイプ内径 3.36, 4.95, 6.0 ϕ のものについて実験を行なった。
- (b) アキュムレータが一つ付いた場合の冷媒存在量(第13図



(a) パス部の検討

(b) 最終アキュムレータ部の検討



(c) 中間アキュムレータ部の検討

図は蒸発器の展開図で、実際には点線部で垂直に曲がっている。

第13図 蒸発器の検討

(b))。

(c) アキュムレータが二つ付いた場合の冷媒存在量(第13図(c))。

以上の各場合について、最適冷媒存在量を求めるわけであるが、最適値は次のようにして求める。

(a) 任意の量の冷媒をサイクルに封入し、冷蔵庫を運転する。

(b) 3.2(1)項と同様の方法により、蒸発器内部に存在する冷媒量を測定する。

(c) 蒸発器中間温度、出口温度、圧縮機吸込パイプ温度などを測る。

(d) 冷媒の封入量をいろいろ変え、吸込パイプ温度が急激に降下する直前(本研究では15°C以下に下がったとき)の封入量を多い方の限界とし、また蒸発器出口温度がかなり降下して、蒸発器中間温度があまり上昇しない程度の封入量を少ない方の限界として冷媒封入量の最適値を決定する。

4. 結果および検討

(1) 凝縮器に関する検討

凝縮器パイプの内径を3.16, 4.95, 6.0φと変えて冷媒存在量を調査したが、その結果は第2表のとおりである。

第2表より凝縮器入口の冷媒の状態は液化が始まる直前であり、凝縮器出口の冷媒の状態は液化が終わった直後であることがわかるので(17)式より理論的存在量を求めた。その結果は第3表のとおりであり凝縮器パイプの径が小さい範囲では実験値とほぼ一致している。したがってパイプ内径が5mm以下であれば(17)式で凝縮器内

第2表 実験用凝縮器の冷媒存在量

| パイプ内径 (φ) | 冷媒存在量 (g) | 凝縮器入口温度 (°C) | 凝縮器出口温度 (°C) | 吐出圧力 (ゲージ圧) (kg/cm ²) | 吸込圧力 (ゲージ圧) (kg/cm ²) | 凝縮器部分内容積 (cc) |
|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 3.16 | 18.6 | 43.3 | 41.7 | 9.6 | 0.22 | 76.9 |
| 4.95 | 39.1 | 43.0 | 40.5 | 9.4 | 0.14 | 162.7 |
| 6.0 | 59.5 | 43.0 | 42.0 | 9.6 | 0.20 | 220.3 |

第3表 凝縮器内冷媒存在量の理論値と実験値の比較

| パイプ内径 (φ) | 冷 媒 存 在 量 | |
|-----------|-----------|-----------|
| | 理 論 値 (g) | 実 験 値 (g) |
| 3.16 | 17.1 | 18.6 |
| 4.95 | 36.2 | 39.1 |
| 6.0 | 49.0 | 59.5 |

第4表 実験用蒸発器の冷媒存在量(パスのみの場合)

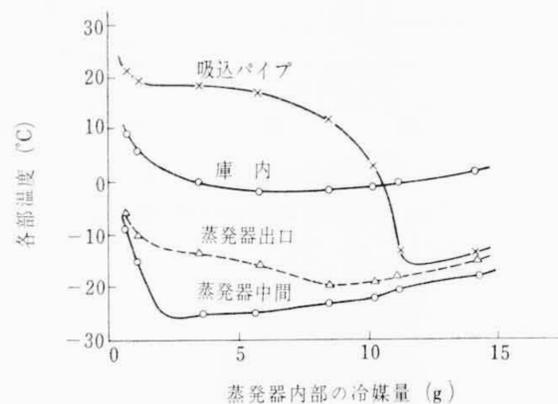
| パイプ内径 | 冷媒存在量 (g) | エバポ中間温度 (°C) | エバポ出口温度 (°C) | 吸込パイプ温度 (°C) | 庫内温度 (°C) | 吐出圧力 (kg/cm ² ・G) | 吸込圧力 (kg/cm ² ・G) |
|------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 6φ 内容積 57.5cc | 0.7 | -9.0 | -6.0 | 21.0 | 9.0 | 8.6 | -0.18 |
| | 1.1 | -15.0 | -10.5 | 19.4 | 5.6 | 8.7 | -0.14 |
| | 3.5 | -25.0 | -14.0 | 18.5 | 0 | 9.0 | -0.05 |
| | 5.8 | -25.0 | -16.0 | 17.0 | -1.8 | 9.1 | -0.01 |
| | 8.5 | -23.2 | -20.0 | 11.5 | -1.5 | 9.5 | 0.05 |
| | 10.2 | -22.5 | -19.0 | 3.0 | -1.0 | 9.7 | 0.12 |
| 4.95φ 内容積 32.2cc | 11.1 | -20.5 | -18.0 | -14.0 | 0 | 10.0 | 0.24 |
| | 14.1 | -18.0 | -14.5 | -13.5 | 1.5 | 10.6 | 0.38 |
| | 0.3 | -8.0 | -5.0 | 23.5 | 8.2 | 8.7 | -0.17 |
| | 0.8 | -13.5 | -10.8 | 20.6 | 3.2 | 8.7 | -0.12 |
| | 2.7 | -23.6 | -16.0 | 19.0 | -0.5 | 9.1 | -0.04 |
| | 4.4 | -23.2 | -18.0 | 18.5 | -0.9 | 9.2 | -0.03 |
| 3.36φ 内容積 15.9cc | 4.7 | -23.0 | -18.5 | 16.0 | -1.2 | 9.4 | 0.02 |
| | 5.9 | -22.1 | -18.6 | 12.3 | -1.0 | 9.5 | 0.07 |
| | 9.1 | -18.8 | -15.5 | -14.0 | 1.0 | 10.0 | 0.26 |
| | 11.3 | -13.0 | -10.0 | -10.0 | 5.0 | 11.5 | 0.65 |
| | 0.4 | -5.0 | -4.1 | 23.0 | 9.0 | 8.7 | -0.16 |
| | 1.7 | -24.7 | -21.5 | 17.8 | -0.5 | 9.2 | -0.03 |

冷媒量を求めてもよい。

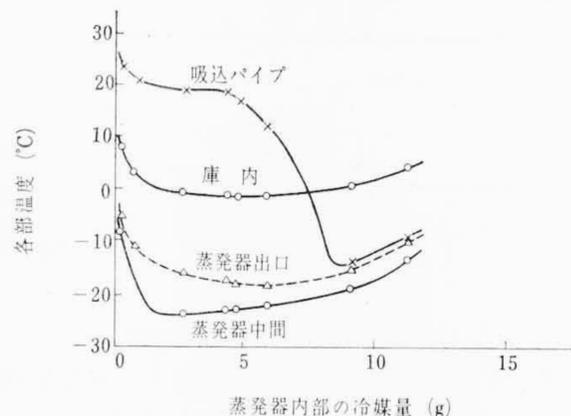
(2) 蒸発器に関する検討

まず(23)式のk₁を求めるため、パイプを用いてパスを形成した蒸発器を作り、最適冷媒量を調査したがその結果は第4表および第14図のとおりである。

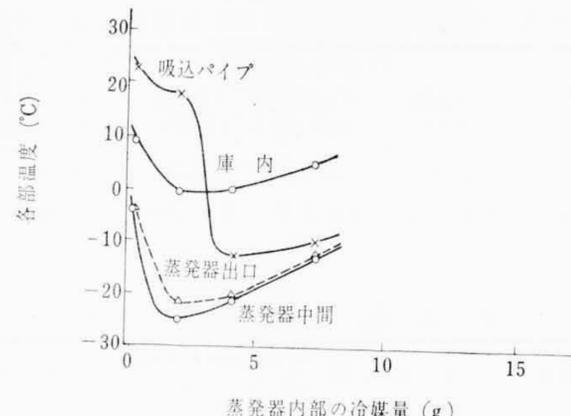
次に(23)式のk₂を求めるため、アキュムレータを取り付けて最適冷媒量を調査したがその結果は第5表および第15図のとおりで



(a) パスパイプ内径6φの場合



(b) パスパイプ内径4.95φの場合



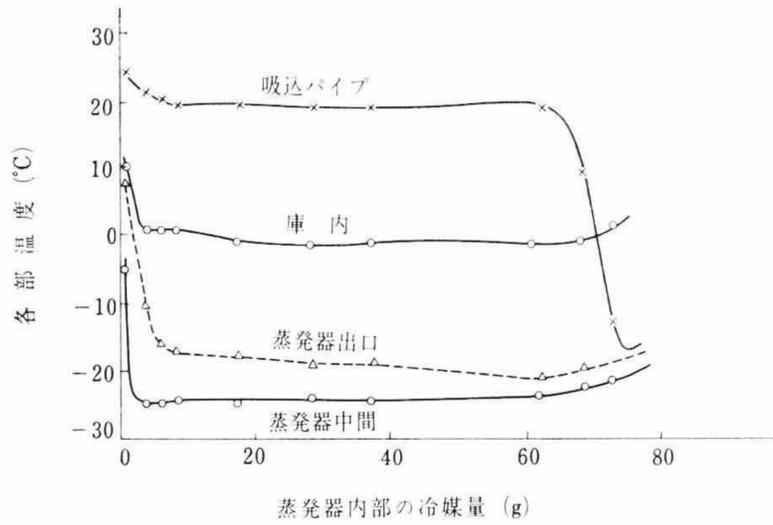
(c) パスパイプ内径3.36φの場合

第14図 実験用蒸発器の冷媒存在量と各部温度の関係 (パスのみの場合)

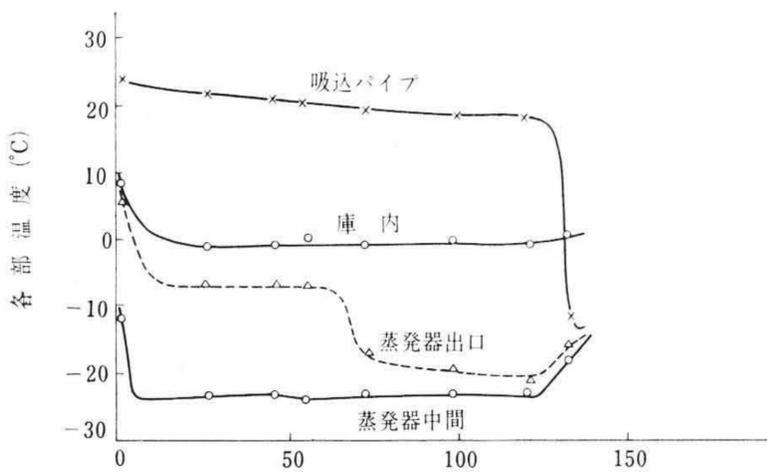
第5表 実験用蒸発器の冷媒存在量

(アキュムレータの付いた場合 パスパイプ内径は4.95φである 室温30°C)

| アキュムレータ数 (内容積) | 冷媒存在量 (g) | エバポ中間温度 (°C) | エバポ出口温度 (°C) | 吸込パイプ温度 (°C) | 庫内温度 (°C) | 吐出圧力 (kg/cm ² ・G) | 吸込圧力 (kg/cm ² ・G) |
|----------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 1個 (85.5cc) | 0.4 | -5.0 | 7.8 | 24.0 | 10.0 | 8.5 | -0.21 |
| | 3.8 | -25.0 | -10.0 | 21.0 | 0.5 | 9.4 | 0 |
| | 6.0 | -25.0 | -16.0 | 20.0 | 0.5 | 9.2 | -0.03 |
| | 8.4 | -24.0 | -17.0 | 19.6 | 0.6 | 9.5 | 0.02 |
| | 17.5 | -24.5 | -18.2 | 19.3 | -1.0 | 9.5 | 0.02 |
| | 28.3 | -24.0 | -19.0 | 19.0 | -1.4 | 9.4 | 0.02 |
| アキュムレータ部は50cc | 37.3 | -24.5 | -18.5 | 19.2 | -0.9 | 9.4 | 0.04 |
| | 62.4 | -23.7 | -21.0 | 19.0 | -1.1 | 9.4 | 0.15 |
| | 68.5 | -22.0 | -19.5 | 10.0 | -1.2 | 10.0 | 0.05 |
| | 73.0 | -21.4 | -14.0 | -12.5 | 1.5 | 11.0 | 0.34 |
| | 0.6 | -12.0 | 6.5 | 24.0 | 8.5 | 9.0 | -0.12 |
| | 26.7 | -23.5 | -7.0 | 21.5 | -1.2 | 9.7 | 0.05 |
| 2個 (140.9cc) | 46.9 | -23.0 | -7.0 | 21.0 | -1.0 | 9.7 | 0.05 |
| | 56.2 | -24.0 | -7.0 | 20.2 | 0 | 9.7 | 0.04 |
| | 74.1 | -23.0 | -17.0 | 19.0 | -1.0 | 9.8 | 0.03 |
| | 100.2 | -23.2 | -20.0 | 18.0 | -0.7 | 9.3 | 0.02 |
| | 121.7 | -23.0 | -21.5 | 18.0 | -1.0 | 9.5 | 0.05 |
| | 133.4 | -18.0 | -16.0 | -12.0 | 0.5 | 10.8 | 0.26 |



(a) アキュムレータが1個の場合



(b) アキュムレータが2個の場合

第15図 実験用蒸発器の冷媒存在量と各部温度の関係 (アキュムレータの付いた場合)

第6表 実験用蒸発器内における最適冷媒存在量

| 種 類 | バス部のみの場合 | | | アキュムレータの付いた場合 | |
|----------|-----------|--------------|--------------|---------------|------------|
| | バス内径 (6φ) | バス内径 (4.95φ) | バス内径 (3.36φ) | アキュムレータ 1個 | アキュムレータ 2個 |
| 内容積 (cc) | 57.5 | 32.2 | 15.9 | 85.5 | 140.9 |
| 冷媒量 (g) | 6.0~7.0 | 3.8~5.2 | 2.0~2.6 | 5~67 | 70~130 |

第7表 k_1, k_2 の 値

| 実験用蒸発器 | k_1, k_2 の 別 | バスパイプの内径 (φ) | k_1 または k_2 の 値 |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|
| バス部のみの場合 | k_1 | 3.36 | 0.09~0.11 |
| | | 4.95 | 0.08~0.11 |
| | | 6.0 | 0.07~0.08 |
| アキュムレータが1つついた場合 | k_2 | 4.95 | 0.84 |
| | | アキュムレータが2つついた場合 | 4.95 |

ある。

以上の結果より、各場合の最適冷媒量は第6表に示すとおりである。

第6表より(23)式を用いて k_1, k_2 を求めると、まずアキュムレータを付けない場合は $V_{e2} = V_{e3} = 0$ となるから k_1 が明らかになる。次にアキュムレータが一つの場合は $V_{e2} = 0$ となるから k_2 が明らかとなる。さらにアキュムレータが二つの場合も(23)式より k_2 を求めることができる。以上で求めた k_1, k_2 の値は第7表のとおりである。

第7表より $k_1 = 0.1, k_2 = 0.84$ と考えてよい。

(3) 冷媒封入量を求める式

前項までの結果をまとめると、冷媒封入量の計算式は次のようになる。

$$\omega = \omega_p + \omega_c + \omega_e \dots\dots\dots (26)$$

ただし、 ω : 冷媒封入量 (g)

ω_p : チャンバ部分の冷媒量 (g)

ω_c : 凝縮器部分の冷媒量 (g)

ω_e : 蒸発器部分の冷媒量 (g)

$$\omega_p = \gamma_p \cdot \left\{ V_p - V_m - \frac{G}{\gamma_m \cdot (1-\gamma)} \right\} + \frac{\gamma \cdot G}{1-\gamma} \dots\dots\dots (27)$$

ただし、 γ_p : チャンバ内のガス状冷媒の比重 (g/cc)

V_p : チャンバ内容積 (cc)

V_m : モータ, 圧縮機などの体積 (cc)

G : 冷凍機油の重量 (g)

γ_m : 油と冷媒の混合物の比重(第5図参照) (g/cc)

γ : 冷媒の油に対する溶解度(第4図参照)

$$\omega_c = V_{c1} \gamma_{c1} + V_{c2} \{ Y \gamma_{c2} + (1-Y) \gamma_{c1} \} + V_{c3} \gamma_{c2} + \omega_d \dots (28)$$

ただし、 V_{c1} : 凝縮器内のガス部の内容積 (cc)

V_{c2} : 凝縮器内のガス液混合部の内容積 (cc)

V_{c3} : 凝縮器内の液部の内容積 (cc)

γ_{c1} : 凝縮器内のガス状冷媒の比重 (g/cc)

γ_{c2} : 凝縮器内の液状冷媒の比重 (g/cc)

Y : 液比率(体積比率)(第9図参照)

ω_d : ドライヤ部分の冷媒量 (g)

$$(k_1 V_{e1} + k_2 V_{e2}) \gamma_{e2} < \omega_e < (k_1 V_{e1} + k_2 V_{e2} + k_2 V_{e3}) \gamma_{e2} \dots\dots\dots (29)$$

ただし、 V_{e1} : 蒸発器バス部分の内容積 (cc)

V_{e2} : 蒸発器中間アキュムレータ部分の内容積 (cc)

V_{e3} : 蒸発器最終位置アキュムレータ部分の内容積(cc)

γ_{e2} : 蒸発器内の液状冷媒の比重 (g/cc)

$k_1 = 0.10$ バス部分の液比率

$k_2 = 0.84$ アキュムレータ部分の液比率

(4) 実際の冷蔵庫における冷媒分布状態

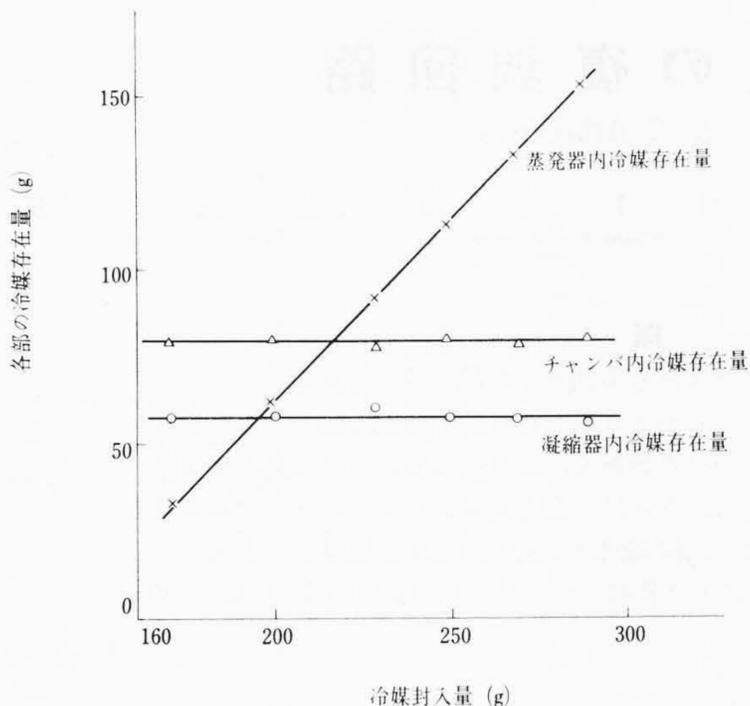
冷凍サイクル内への冷媒封入量を170~290gと変えて各部にたまっている冷媒量を調査したが、その結果は第8表のとおりである。

第8表より各部にたまっている冷媒量を図に示すと第16図のよ

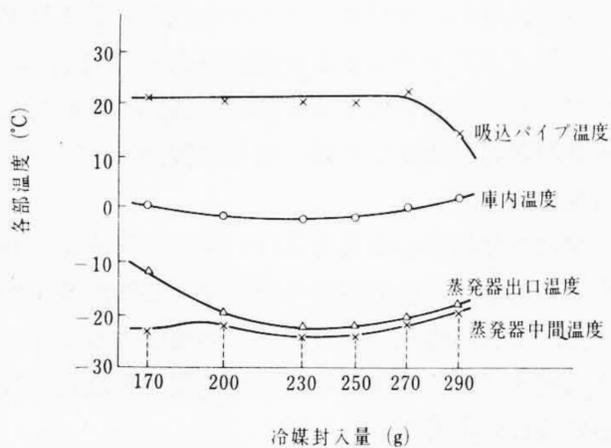
第8表 供試冷蔵庫サイクル内各部の冷媒存在量 (室温 30°C)

| 冷媒封入量 (g) | 170 | 200 | 230 | 250 | 270 | 290 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V_c (cc) | 12,100 | 12,250 | 12,600 | 12,050 | 12,150 | 11,800 |
| V_e (cc) | 6,700 | 12,650 | 18,700 | 23,150 | 27,450 | 32,450 |
| V_e, V_c 測定時冷媒温度 (°C) | 28.0 | 26.5 | 27.5 | 27.0 | 28.0 | 28.5 |
| V_c 測定時凝縮器温度 (°C) | 31.5 | 31.5 | 32.0 | 30.5 | 31.0 | 32.5 |
| V_e 測定時蒸発器温度 (°C) | 17.0 | 21.5 | 20.0 | 21.5 | 25.5 | 26.5 |
| 庫内温度 (°C) | 1.0 | -1.0 | -1.4 | -1.0 | 1.0 | 2.5 |
| 蒸発器中間温度 (°C) | -23.0 | -22.0 | -24.0 | -24.0 | -21.0 | -19.0 |
| 蒸発器出口温度 (°C) | -12.0 | -20.0 | -22.0 | -22.0 | -22.0 | -18.0 |
| 凝縮器入口温度 (°C) | 38.5 | 38.5 | 39.5 | 43.5 | 39.2 | 42.2 |
| 凝縮器出口温度 (°C) | 38.0 | 37.5 | 38.5 | 43.0 | 38.7 | 41.0 |
| Sパイプ温度 (°C) | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 23.0 | 15.0 |
| チャンバ頭温度 (°C) | 63.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 62.0 | 66.0 |
| 吐出圧力 (kg/cm ² g) | 9.0 | 9.0 | 9.1 | 9.2 | 9.4 | 10.2 |
| 吸込圧力 (kg/cm ² g) | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.5 |
| 入 力 (W) | 98 | 97 | 99 | 100 | 103 | 105 |
| W_c (g) | 56.7 | 57.5 | 59.7 | 56.5 | 57.0 | 55.2 |
| W_e (g) | 32.7 | 61.2 | 91.3 | 111.8 | 132.4 | 152.8 |
| W_p (g) | 78.3 | 79.0 | 76.7 | 79.4 | 78.3 | 79.7 |

注: (1) ドライヤは凝縮器部分に含めた。
(2) W_c の計算においては出口A部分に液冷媒がたまっており、その量2.3gを差し引いてある。



第16図 各部の冷媒存在量



第17図 冷媒封入量と各部温度の関係

うになる。またその場合の蒸発器中間温度、蒸発器出口温度、吸込パイプ温度、庫内温度などは第17図のとおりである。

第15～16図より本供試品における冷媒封入量の適性値は200～270gであり、この範囲における各部の冷媒存在量はチャンバ部分79g、凝縮器部分57g、蒸発器部分64～134gである。

(5) 理論値と実験値の比較

前項(4)で実験した冷蔵庫(日立製作所製)における諸量は第9表のとおりである。

第9表 供試冷蔵庫の諸量

| 分類 | 記号 | 数量 | 備考 |
|--------|---------------|-------------|--|
| チャンバ部分 | γ_p | 0.0050 g/cc | 圧力 1.2 kg/cm ² abs, 温度 70°C |
| | $V_p - V_m$ | 6,710 cc | |
| | η | 0.037 | 圧力 1.2 kg/cm ² abs, 温度 70°C |
| | γ_m | 0.88 g/cc | 温度 70°C, $\eta=0.037$ |
| | G | 1,350 g | 油封入量 1,500 cc, 封入時の比重 0.9 g/cc |
| 凝縮器部分 | V_{c1} | 10 cc | |
| | V_{c2} | 180 cc | |
| | V_{c3} | 0 cc | |
| | γ_{c1} | 0.053 g/cc | 40°Cの飽和ガス |
| | γ_{c2} | 1.254 g/cc | 40°Cの飽和液 |
| | Y | 0.138 | $m=0.042$ |
| | ω_d | 17.8 g | |
| 蒸発器部分 | V_{e1} | 65 cc | |
| | V_{e2} | 45 cc | |
| | V_{e3} | 59 cc | |
| | γ_{e2} | 1.47 g/cc | -25°Cの飽和液 |

第10表 計算値と実験値の比較

| 分類 | 計算値 (g) | 実験値 (g) |
|--------|-------------|---------|
| チャンバ部分 | 77.5 | 79 |
| 凝縮器部分 | 57.7 | 57 |
| 蒸発器部分 | 65.1～138.0 | 64～134 |
| 合計 | 200.3～273.2 | 200～270 |

第9表より理論式を用いて冷媒封入量を計算すると第10表のようになり、実験値とほぼ一致している。

5. 結 言

冷蔵庫用の冷凍サイクルをチャンバ部分、凝縮器部分、蒸発器部分の三つに分け、冷蔵庫の運転状態においてこれらの各部に存在する冷媒量を理論的に検討し、所要の冷媒封入量を求める式を得た((26)～(29)式)。

以上の式を用いて日立製小形冷蔵庫の運転状態における冷媒の所要存在量を計算し、その結果と実験結果から得た値を比較し、両者がほぼ一致することを知った。

参 考 文 献

- (1), (2) 中山, 斎藤, 柴田, 清水, 小松: 潤滑 8, 33～34 (昭38-2)