

# 冷蔵庫の全自動霜取方式

## Full Automatic Defrosting System of Household Refrigerators

本田 寿一\* 横田 宣彦\*  
 Iuichi Honda Nobuhiko Yokota

### 内 容 梗 概

冷蔵庫の冷却器に生成する霜はしばしば霜取りを行なって、熱交換効率の減退を防ぐ必要があり、このために各種の霜取り方法が考案実施されている。これらの霜取り方法はいずれも霜取りの開始、融解水の排棄などめんどろな人為的操作が必要であり、取扱上の不便のために人為的操作を要しない全自動化方式が望まれていた。本文は自動化するための要素を取り上げ比較検討して、全自動霜取方式付フロスタスタ冷蔵庫を完成した経緯について述べたものである。

### 1. 緒 言

冷蔵庫ではドアの開閉によって庫内空気が外気と一部置換するので、湿度の高い外気中の水分が冷却器に霜となって生成する。わが国では夏期の湿度は第1表に示すように相当高湿度であり、諸外国に比べ霜の生成も多量である。さらに水分を含む食品からも水分の放出があるので、冷却器に霜が多量に生成することが観測されている。

冷却器に生成した霜は、1 mm 以下の薄層の場合には冷却器対庫内空気の熱伝達係数に多少の良結果をもたらすが、それ以上になると霜自身の断熱性が増して熱伝達係数の低下をきたし、5~6 mm に達すると、あらかじめ設定した冷却器の設計値を下回って庫内温度の保持が困難になるばかりでなく、温度調節器の誤動作などを生じやすくなる。そこで普通、冷却器に霜厚限度指標を設けて霜厚が指標に達すると霜取りを行なうようすすめている。

この場合使用者が人為的な操作——たとえば操作ボタンを押して除霜しその融解水を排棄する——を行なうことになるが、夏期の高湿な外気条件でドアの開閉回数 100 回/日、ドア開閉による庫内空気の置換率 80%、霜のカサ比重 0.5g/cc として、100 l 級冷蔵庫の霜厚指標到達日数を概算すると約 3 日くらいとなり、夏期における操作としてはなかなか煩雑である。しかも霜厚指標に達した霜の融解水は普通 500 g くらいあり、これの廃却もはなはだ厄介である。そこで

#### 霜の融解法

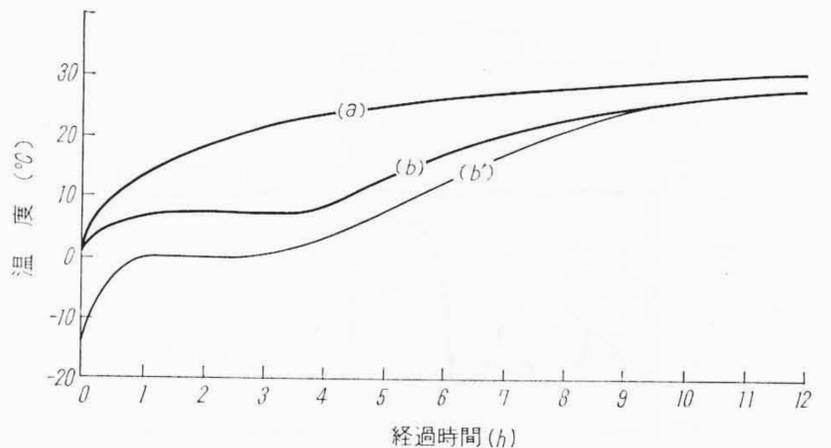
#### 霜取時期の自動化

#### 融解水の廃却を煩わさず霧散蒸発せしめる方法

など一連の考究を行なった。本報告はその大要と日立製作所で製作したフロスタスタ冷蔵庫の概要について述べるものである。

### 2. 霜の融解方法

冷却器に生成した霜は普通の冷蔵庫の使用状態では、摂氏マイナス20度くらいになっているので、これを融解するためには前記100 l 級冷蔵庫の霜付量 500 g を基準にとると、顕熱、潜熱合わせて大略 50 キロカロリーの熱量を必要とする。この熱量は冷蔵庫の庫内温度



第1図 霜の有無による冷蔵庫の温度上昇 (貯蔵物なし室温 30°C)

を貯蔵適温限度(普通摂氏 10 度)以下に保ちながら加える必要があり、次のような方式がある。

- オフ・サイクル式
- ホットガス・バイパス式
- ヒータ加熱式

#### (1) オフ・サイクル式

冷凍装置の運転を停止し冷蔵庫の断熱壁を貫流する熱量によって霜を融解し、霜の融解熱によって庫内温度を貯蔵適温限度に押さえるようにする方式である。

一般に冷却器に霜がほとんど生成していない状態で冷凍装置を停止した場合の庫内温度の上昇は、第1図(a)曲線に示すような指数曲線となる。貯蔵物がある場合にはこの曲線のこう配がゆるやかになり極限值への到達時間が延びる。ところが冷却器に霜の付着があると 0°C の霜が 0°C の水になるとき潜熱を必要とするので(b)曲線のような変則な温度上昇曲線となる。これは細線で示した冷却器の温度上昇曲線(b')と対比して見ると首肯できることである。

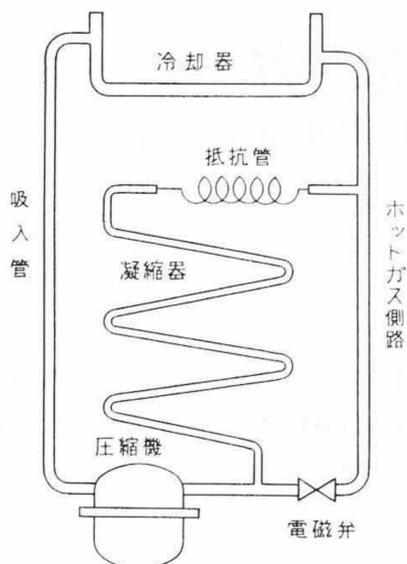
オフサイクル式はこの性質を利用して効果的な霜取りを行なうもので、霜の融解に時間を要するが冷凍装置の運転によって蓄積された冷却源として霜の融解熱を再使用するので経済的であり、

第1表 国内各地7月の平均気温および湿度

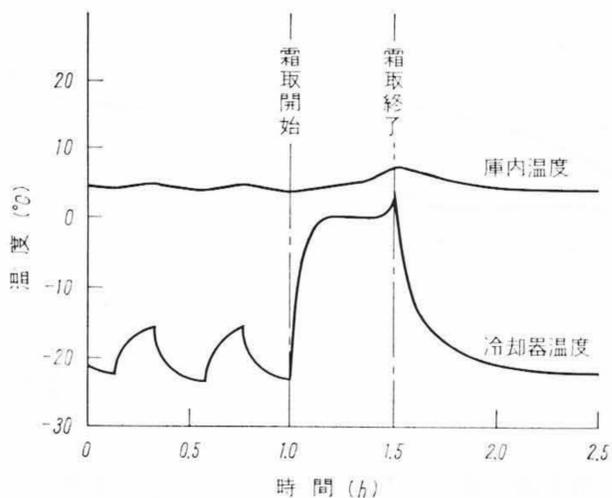
(気温 °C/湿度 %) (気象庁調)

年 度	地 区	札 幌	仙 台	東 京	金 沢	名 古 屋	大 阪	徳 島	広 島	福 岡	鹿 児 島
昭 34		20.1/80	22.6/83	26.1/79	25.0/82	26.4/79	27.6/74	26.6/84	25.9/84	27.0/80	27.3/83
昭 35		20.0/79	22.8/84	25.8/76	24.6/80	26.6/75	27.5/73	26.8/82	21.6/81	27.8/74	27.9/77
昭 36		21.6/79	24.4/84	27.4/74	26.9/78	27.1/78	28.1/73	27.1/83	27.1/80	28.3/74	28.4/78
昭 37		20.1/81	22.2/89	25.1/82	25.5/80	25.5/83	26.8/74	—	25.7/83	26.7/81	27.1/81

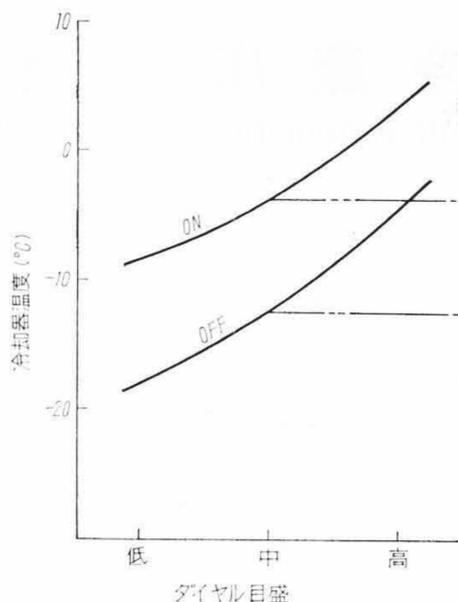
\* 日立製作所栃木工場



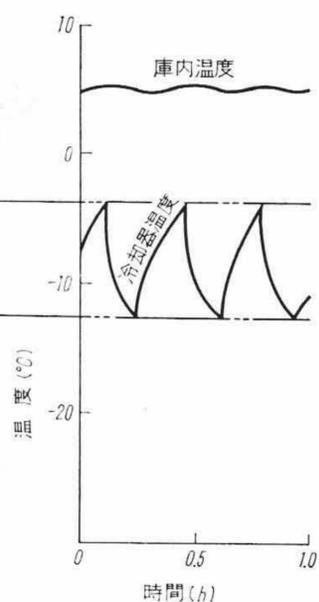
第 2 図 ホットガス式管路図



第 3 図 ホットガス式霜取の経時温度変化



第 4 図 ON, OFF 温度曲線



第 5 図 ON, OFF 温度曲線

所があるが、あまり発熱量を大にすると前述のように融解しきれない氷塊の処置に困却する。

実際には本方式単独で使用する例は少なく補助的に使用し、霜が融解しにくい冷却器部分または融解水排水口の氷結防止用として、数ワット程度の絶縁被覆した電熱線が用いられている。特に後述する常時霜取形式のものではこの方式を使用している。

### 3. 霜取時期の自動化

冷却器の温度は摂氏マイナス 20 度近くになっており、高湿空気が対流循環によって冷却器に触れるとき霜が徐々に生成するので冷却器に生成する霜はちょうど酷寒地における新雪のように針状フレークをなしている。したがって目視的な霜厚測定以外に霜厚を測ることはむずかしく、従来も霜厚指標と対比してその厚さを見ていた。最近光電装置を備えて霜の投影する陰影を検出する方式が提案されているが、実用化にはいたっていない。

そこで霜取時期を自動化するには直接霜厚を検知するよりも、霜の生成が経時的であること、ドアの開閉数に関係することなどを利用して間接的に霜の生成を予知して霜取時期を決める方法がとられており、次のような方法が考えられる。

- 冷凍装置の間欠運転ごとに行なうもの
- 冷凍装置の一定延べ運転時間ごとに行なうもの
- ドア開閉の一定回数ごとに行なうもの
- 周期時間ごとに行なうもの

#### (1) 間欠運転ごとに行なうもの

冷蔵庫では冷凍装置の冷却能力を通常多少過大に設計して、製氷を行なうとき負荷に対して余裕をもたせてあるので、庫内温度を適当な値に調節するには冷却器温度を検出して装置の ON, OFF を行なう温度調節器を備えている。通常温度調節器は第 4 図に示すような ON, OFF 温度曲線で作動する特性をもっているため、これを冷却器に取り付けて冷蔵庫を運転させた場合には、第 5 図に示すように冷却器温度が変化し、これによって図のように庫内温度を制御している。

霜取りを間欠運転で行なう方式では、この温度調節器の特性を第 6 図のように設定し、ON 温度は 0°C 以上の霜が融解しきる温度に一定に保ち、OFF 温度のみをダイヤル目盛に対してこう配を設けるのである。このようにするとダイヤル目盛に応じて庫内温度を制御できると同時に、間欠運転ごとに運転中に生成した霜を融解しさせることができる。この方式を常時霜取方式と名づけているが、その運転時の制御状態を第 7 図に示す。

さきに述べたようにこの方式では冷却器温度が OFF から ON

欧米では Power Saving 方式として賞用されている。

後述するように家庭では夜間の就寝時に霜取りを行なう機会が多いので、除霜に要する時間が若干長くてもさほど苦にならないはずである。

#### (2) ホットガス・バイパス式

第 2 図に示すように圧縮機吐出部に電磁弁を備えた側路を設け、霜取りを行なうときには電磁弁を開いて熱いガスを側路を通して冷却器に流し込み霜を融解するものである。この方式は比較的速く霜を融解できるので古くから用いられている<sup>(1)</sup>。

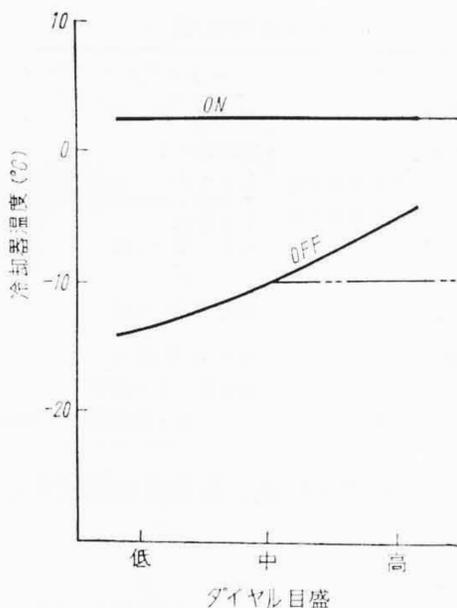
またこの方式はいわゆる急速霜取と称されているが家庭用冷蔵庫の冷却時の入力電力量はおおよそ 0.1 kW 程度であり、圧縮仕事量を考慮してもその熱出力はたかだか 100 kcal/h 程度しか利用できないので、前記 500 g の霜を融解するには 30 分以上は要するものである。この方式を用いた霜取り中の冷蔵庫の冷却器温度、庫内温度の経時変化の一例を示したのが第 3 図である。

冷却器を加熱するこのような方式は次に述べるヒータ加熱式と同様に、加熱が霜の結氷面の内側から始まるので霜氷が融解せずに脱落する場合があります、霜取り効果は上がるが霜の除去が適切でないと冷凍運転に復帰後氷塊の始末に困ることがあり、せいぜい 2~3 mm の霜厚で霜取りが開始されるように霜取時期を自動化した装置を併用することが望ましい。

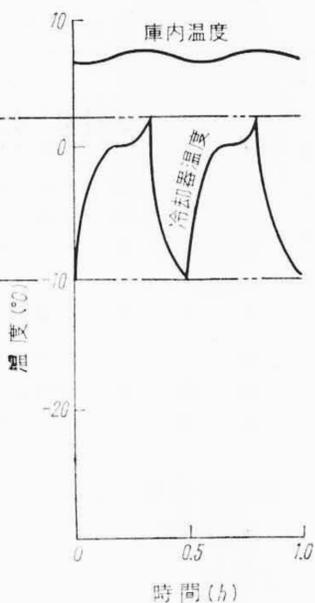
本方式では冷却力の蓄積として生じた霜を加熱して融解するので、前記オフ・サイクル式に比べて、熱を利用しない損、加熱する損、もとに戻す冷却の損などの損失をまねくが、短時間で処理できる利点から営業用などに適している。

#### (3) ヒータ加熱式

冷却器に電熱線を沿わせておいて、霜取の際に通電して加熱する方式である。ホットガス式に比し発熱量が任意に撰択できる長



第6図 ON, OFF 温度曲線



第7図 ON, OFF 温度曲線

になるまでに時間を要すると適当な庫内温度を得にくいから、この経過時間を少なくするためにヒータによる加熱を補助的に用いる場合が多い。この方式は常に霜がついてはとれることをくり返すので、霜による冷却上の悪影響は皆無となる利点を有するが、家庭用の冷蔵庫では庫内空気の対流方式が自然対流式であるので庫内温度を0°C近くの低目に設定することが困難。

ドアの開閉がひん繁なときは庫内温度が高めになる。

温度調節器のダイヤル目盛に対する庫内温度変化の割合が小さい。

冷却器を別設した2温度式冷蔵庫でないと氷の製造ができない。

などの欠点がある。

(2) 一定延べ運転時間ごとに行なうもの

冷凍装置の運転時間を積算して、積算合計が一定時間に達すると霜取りを行なうようにするものである。冷凍装置の電動機と並列に同期電動機を備えたタイマを設ければ、あらかじめ設定した時間に霜取りを行なわせることができる。この回路の一例を第8図に示す。

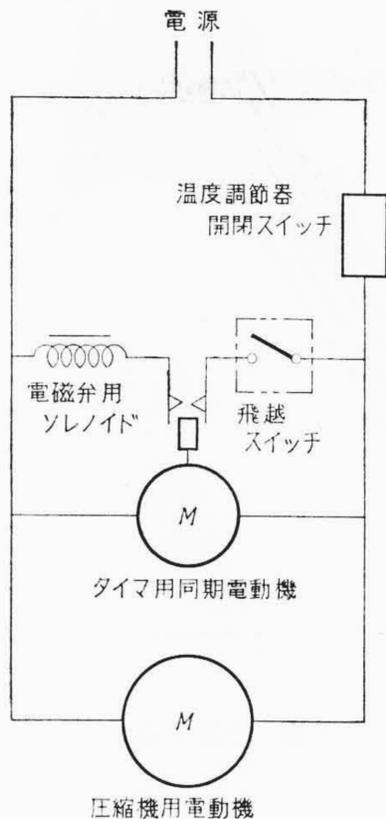
夏期の冷凍装置の運転率が50%で、冬期の運転率が10%であるような冷蔵庫では、この積算タイマの積算時間を12時間に設定しておけば、夏期には1日1回、冬期には5日に1回作動することになる。しかも

夏期一周期の霜融解時間=冬期一周期の霜融解時間  
なるように霜取り方式および周期を選定しておけば、同一タイマで霜取開始のみならず霜取完了も行なわせることが可能である。しかし一見合理的に見えるこの方式も、積算時間が固定しているから、気温の変化で運転率が変化したり、温度調節器の目盛によっても運転率が変わるので、使用者にはいつ霜取りが開始されるか不明である。したがって冷却器を利用する製氷、冷凍に対する保証がなく、普通第8図の一例のように霜取開始を飛び越し中止させる飛越スイッチを設けてある。この飛越スイッチも乱用すると霜が多量に付着して、タイマで決められた融解所要時間では除去できない霜付量となり、かえって不便なことになる。

(3) ドア開閉の一定回数ごとに行なうもの

ドアの開閉回数を機械的に積算して一定回数(普通50ないし100回)ごとに霜取りを開始するようにする方式である。霜取りの完了を検知して復帰せしめるのは別設の温度検知器によって行なわれる。

この方式では使用者がドアの開閉数を記憶しておくことは困難であるから、上述の(2)項と同じく霜取開始時期が不明であり飛



第8図 タイマ用同期電動機を用いた霜取り回路

越スイッチを設けて霜取りを延期する必要がある。この場合霜の融解時間を一定としていないから多量に霜が付着しても霜取りに支障はきたさない。しかしドアの開閉によって霜取りを開始するひん度が高いことになり、したがって短時間に霜取りを完了する必要があるからホットガス式またはヒータ加熱式以外の方式を使うことができない。霜取り完了は温度検知器によって行なわれるので夏冬の気温変化、運転率などと無関係に霜取りを完了することができるが、夏冬に関係なく作動を開始する煩わしさは避けられない。

(4) 周期時間ごとに行なうもの  
同期電動機を用いたタイマを設け、普通24時間ごとに霜取りを行なわせるようにしたものである。

一日に一回定時刻に霜取りが開始するので、使用者があらかじめその時期を予知でき計画的に取り扱える利点がある。また霜取所要時間もタイマであらかじめ設定しておくことが可能であり、かつ一日一回の定時刻も使用者が容易に調節変更できるようにしくむことが容易であるから、前記諸方式にくらべ自由度は高い。

しかし冷凍食品などの貯蔵を一日以上行なう場合は、やはり霜取りを中止する飛越スイッチを備える必要があり、このために生ずる霜付量の増大に対し処理できるようにしておかねばならない。

後述するように霜取りは夜間就寝中に実施する機会が多いからこの時刻を利用するようにすれば、霜の融解方法は必ずしも短時間で処理できるものでなくてもよく、使用の実態に応じて選択することができる。

アメリカの消費者調査の機関誌であるConsumer Reports誌<sup>(2)</sup>ではこの方式を推奨している。

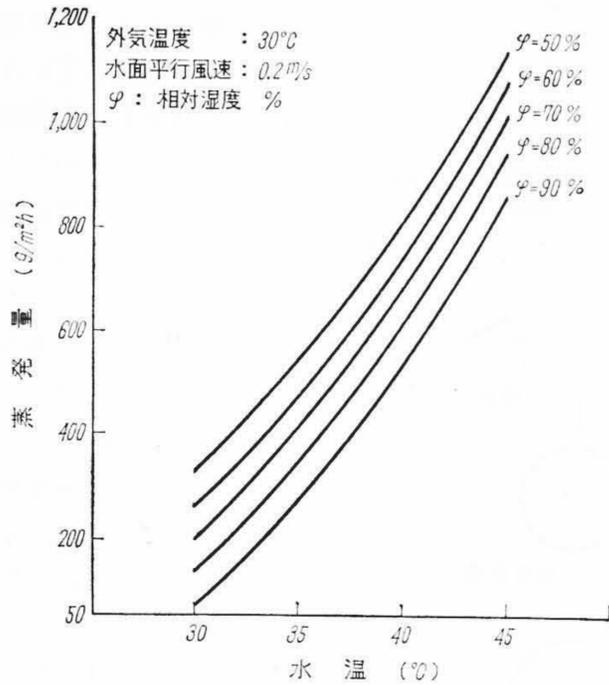
4. 融解水の排水蒸発

霜取時期を自動化する方法は前述のように夏期1日1回の霜取りを想定しているから、霜の融解水を人為的に捨てることなく蒸発して消失せしめるには、1日の融解水量を標準に考えればよい。水を蒸発乾枯せしめるには蒸発の潜熱の供給が必要であるが、冷凍装置の凝縮器および圧縮機外被からは霜を生成させた熱量をはるかに上回る熱量が放出されているから、この一部を利用すれば十分である。

沸騰していない自由水面からの水の蒸発量に関しては各種の実験式が提案<sup>(3)</sup>されているが、ソビエト資料による式によれば

$$W = \frac{C(P_v - P_a)}{B}$$

ここに W: 水の蒸発量 (kg/m<sup>2</sup>h)  
B: 大気圧 (atm)  
P<sub>v</sub>: 水温に等しい飽和空気の蒸気圧 (mmHg)  
P<sub>a</sub>: 空気中の蒸気圧 (mmHg)  
C: 空気が水面に平行に流れ風速 w=1~7 m/s, 水温 60°C 以下の場合次式で与えられる係数  
C=0.0178+0.0152 w



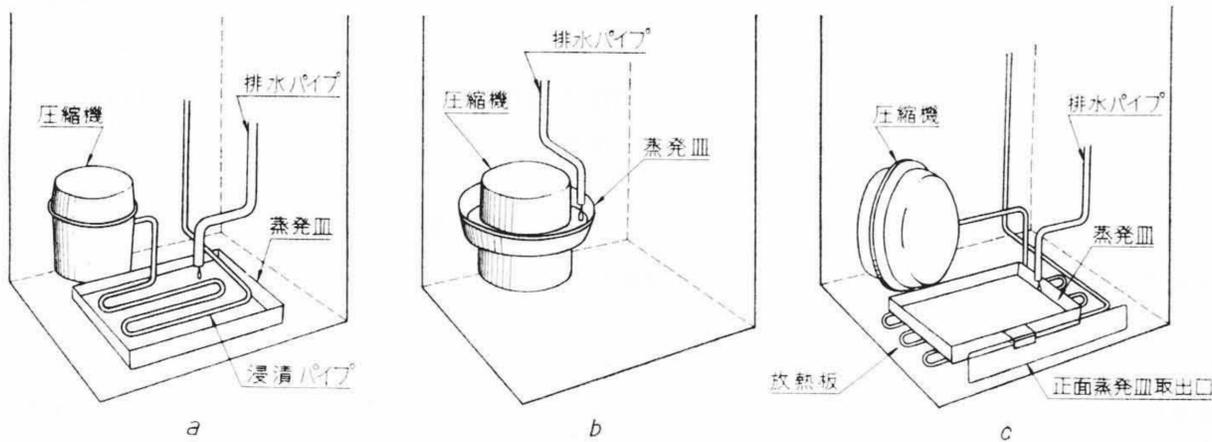
第9図 湿度をパラメータとして計算した夏季の水温と蒸発量との関係

上式より夏期における蒸発量を水温に対し、湿度をパラメータとして計算した結果を第9図に示す。

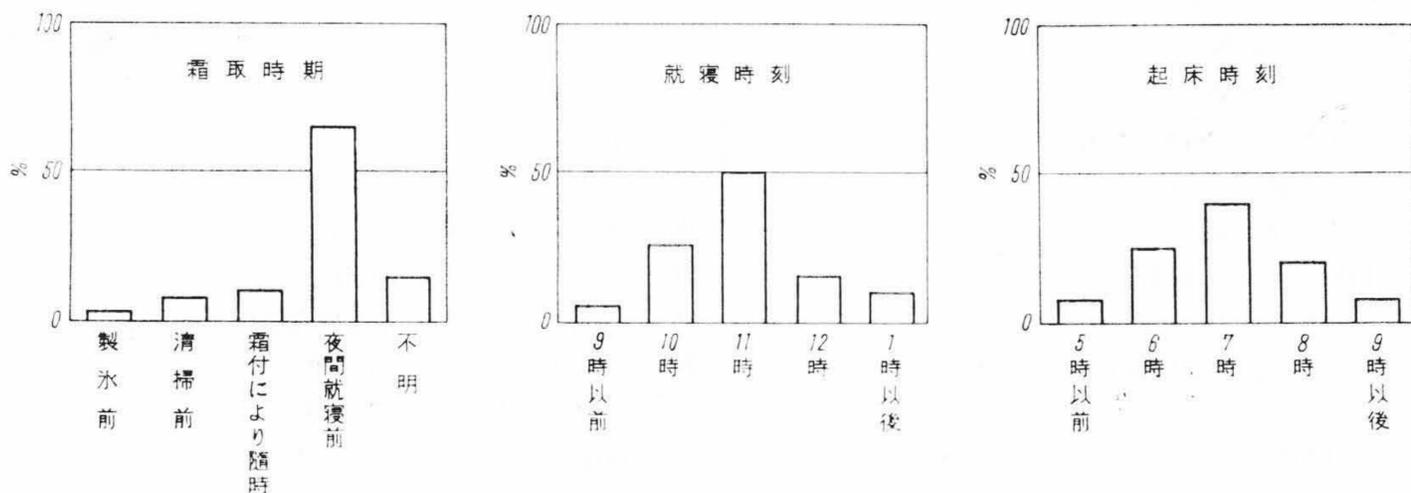
第9図より夏期の高湿時においても水温を室温より5ないし10°C高くなるようにしておけば、冷蔵庫下部の機械室内に設けうる蒸発皿の蒸発面積が0.1 m<sup>2</sup>以下でも、1日500g以上の水分の蒸発が可能である。

融解水は庫内から排水パイプを通して冷蔵庫下部の機械室内に導かれ、そこに設けた蒸発皿に貯えられるが、この蒸発皿の加温方法には

- 圧縮機吐出部の高温パイプを水中に浸漬する方法 (第10図a)
- 圧縮機外被に蒸発皿をかぶせ圧縮機の放熱量を利用する方法 (第10図b)



第10図 蒸発皿の加温方法



第11図 霜取時期の実態調査結果

第2表 フロストマスタ冷蔵庫仕様

霜の融解		オフ・サイクル	ホットガス・バイパス
霜取時期	形式 装置 開始時 終了時 所要時間 飛越スイッチ その他	周期時間 24時間タイマ 午前1時ただし変更調整可能 午前4時ただし変更調整可能 3時間 付 手動霜取可能	周期時間 24時間タイマ 午前1時ただし変更調整可能 午前1時30分ただし変更調整可能 0.5時間 付 手動霜取可能
排水蒸発	形式 放蒸板 蒸発皿	放熱板載置式 凝縮器パイプ成形 アルミ製・蒸発面積 0.07m <sup>2</sup>	放熱板載置式 凝縮器パイプ成形 アルミ製・蒸発面積 0.07m <sup>2</sup>

圧縮機吐出部の高温パイプで放熱機を形成し蒸発皿を載置する方法 (第10図c)

などがある。

いずれにしても蒸発皿は湿潤、乾枯をくり返し、しかも外気に開放されているのでほこりが付着しやすく、ほこりが付着すると加温の効率が低下するので、加温の熱交換能を十分に余裕あるものとすると同時に、取りはずし清掃が容易にできる構造が望ましい。

### 5. フロストマスタ冷蔵庫

冷蔵庫の霜取方式を自動化して使用者に便ならしめるには、前述の方法を巧みに組み合わせて使用者が煩雑な取り扱いに、苦勞することなく使用できることが必要である。

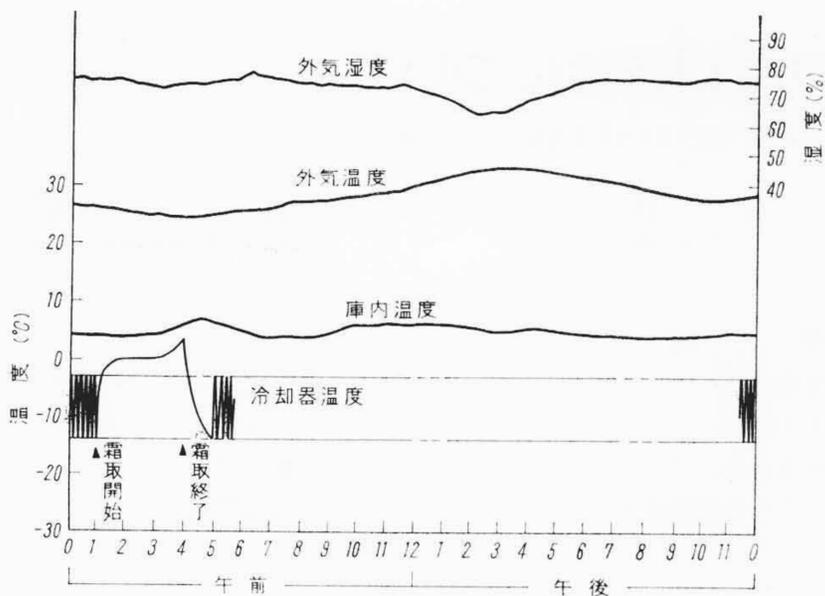
そこで筆者らは冷蔵庫使用者に対する実態調査を行ない、従来の冷蔵庫の霜取りがどのように行なわれているかを調べてみた。第11図はその結果をグラフに表わしたもので、これによると夜間就寝前に霜取りを実施する事例が多いことがわかり、就寝時間も午前零時以前が大部分である。また起床時間も午前5時以降が多いので霜取りに利用できる時間は4ないし5時間である。しかもこの時間中冷蔵庫の取り扱いを全く行なわない使用者にとっては無考慮の時間である。

そこで霜の融解法としては前記オフ・サイクル式を採用しても就寝中に霜取りを完了せしめることは容易であり、いずれの方法も採用できる。フロストマスタ冷蔵庫では1日以上冷凍食品の冷蔵も可能なように飛越スイッチを設け霜付量が過大になった場合でも押ボタンで霜を融解させるようにしたので、家庭用としてはオフ・サイクル式を、営業用としてはホットガス式を採用し第2表のような仕様の2種類を製作して検討を行なった。

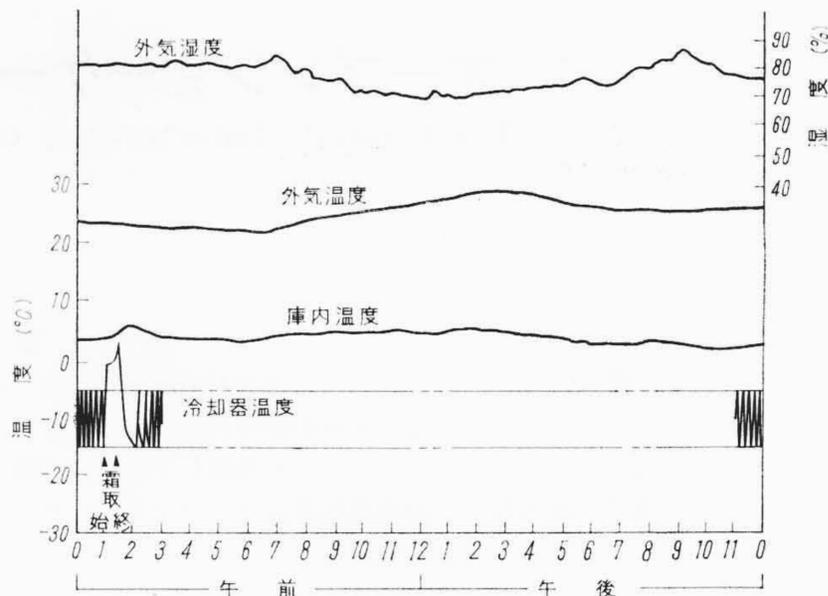
24時間タイマによる霜取開始時期は午前1時に設定し、オフサイクル式、

ホットガス式の融解所要時間は各種の外気温度に対して多くの実験結果と年間を通じての実用実験によって、オフサイクル式は3時間、ホットガス式は0.5時間とした。供試機に記録計を付して測定した夏期、冬期のそれぞれの方式による測定結果の一例を第12図ないし第15図に示す。

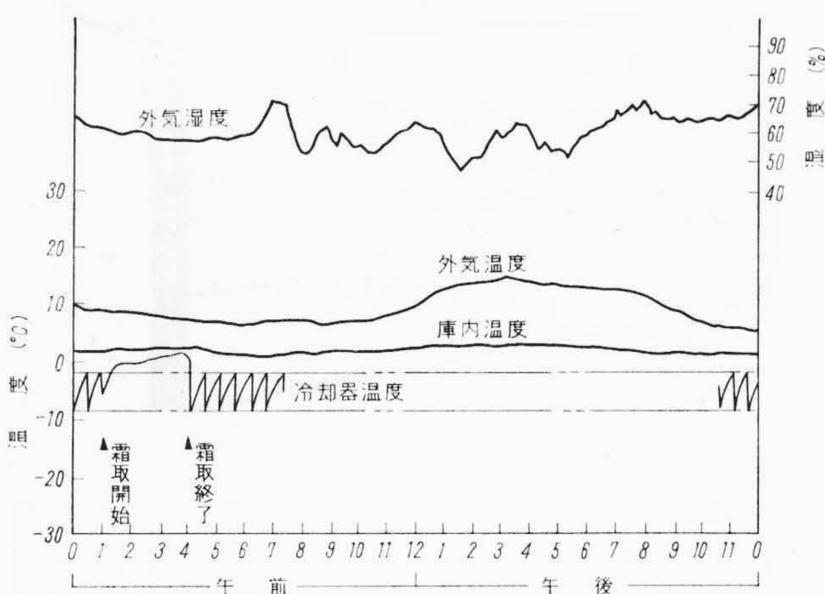
本結果の庫内温度の測



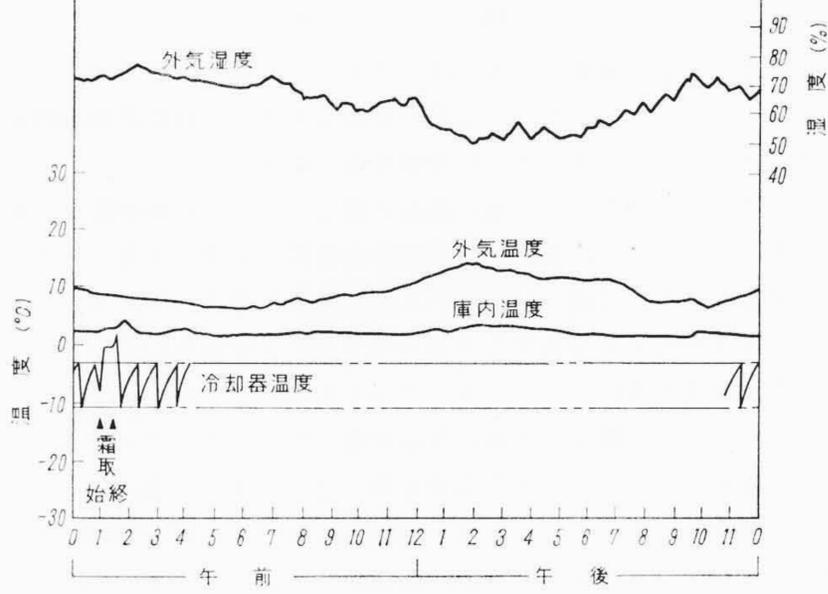
第12図 オフ・サイクル式夏期(7月)の一例



第14図 ホットガス式夏期(7月)の一例



第13図 オフ・サイクル式冬期(1月)の一例



第15図 ホットガス式冬期(1月)の一例

定は測定点に定熱容量の質量を付して実際の食品温度に近似した値が得られる測定方法を採用してあるので微細な温度変動は平均値として記録されている。

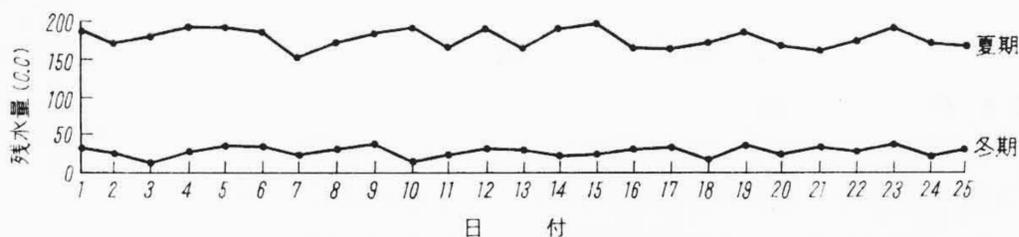
これによって両方式とも夏期、冬期の年間を通じて貯蔵適温限度内で効果的な霜取りが行なわれており、使用者の体験記録からも全くそれと気づかれることなく霜取りが行なわれたことが判明した。

融解水の蒸発方法は圧縮機吐出部の高温パイプを蛇行(だこう)させた水平放熱板上に、アルミ製の蒸発皿を載置して冷蔵庫正面のドア側から自由に取出しができるようにした。そして前記実用実験期間中の午前10時にその残水量を秤量した。その結果を第16図に示す。これによれば夏期、冬期を通じて良好な結果が得られていることがわかる。なおこの蒸発皿は2ないし3箇月経過するとほこりや油脂類で相当に汚れ、加温効果が減退するばかりでなく油脂類が水面に浮遊して、蒸発を阻害する場合がある。したがって蒸発皿は容易に取り出せる構造でなければならぬとともに、使用に当たっては2ないし3箇月に1回は清掃することが必要である。

かくしてフロスタマスタ冷蔵庫は従来の冷蔵庫に比べ、その取り扱いが至便であり、実用上の検討の結果もその便利さを裏づけることができた。

### 6. 結 言

冷蔵庫の冷却器に生成する霜の融解法、霜取時期の自動化、融解水の排水蒸発についての考察を行ない検討した結果、家庭用としてオフ・サイクル式を、営業用としてはホットガス式をそれぞれ採用して、フロスタマスタ冷蔵庫を完成することができた。



第16図 夏期(7月)、冬期(1月)の蒸発皿残水量(午前10時測定)

ここで考えねばならぬことは、冷蔵庫のように家庭で使われる不特定多数の利用者を対象とする製品では、その多種多様な使用条件を的確には握って設計することが困難なために、往々にして理論や実験の展開に際し、事実を反した前提で進みがちになるおそれがあることである。一例を融解水の排水蒸発装置にとると、清水の蒸発量を対象として、油脂類が浮遊して蒸発量が半減するという事実を忘れがちになるものである。そして実際の検討を等閑にすると、実用試験の段階で思わぬ失敗をすることがある。これは逆に実用試験の必要な所似であるが、事実を抽象する際には特に注意して慎重を期し、十分な確認検討を経なければならぬということである。この点筆者らは長期間にわたる多種の実験結果を基として、研究部門の協力を得て使用条件を適正に設定することができた。さらにこれにより開発したフロスタマスタ冷蔵庫を実際の条件で試験し十分満足すべき結果が得られた。この冷蔵庫こそ使用者の要望にこたえるものと確信している。

### 参 考 文 献

- (1) C. F. Alsing: Ref. Eng., 60, 485 (May, 1952)
- (2) : Consumer Reports., 25, 456 (Sept. 1960)
- (3) 井上: 空気調和・衛生工学, 36, 144 (昭37-1)