

## 2扉ホワイトフリーザー形冷凍冷蔵庫の開発

Development of Two-door Refrigerator-freezer with White-freezer

松村 帝男\* 松居 潔史\*  
Kimio Matsumura Kiyoshi Matsui

### 要 旨

食生活の合理化に伴って、冷蔵庫、特に冷凍室の利用度が増加してきた。これに対処して断熱材にウレタンフォームを利用して冷凍室容積を大幅に増大するとともに冷凍室を独立させて2扉(とびら)化し、また1個のファン、冷却器および温度調節器で、2室を確実に制御できる強制対流冷却方式の冷凍冷蔵庫を開発した。同時にウレタンフォームの一体発泡(はっぼう)技術を利用して、全く溶接部のない断熱箱体構造を開発し、生産性の向上に寄与した。

### 1. 緒 言

冷蔵庫は普及率がすでに90%を越え、買換需要が総需要の中で大きな比率を占めるようになった。この間冷蔵庫は、食生活の合理化に伴って、年々冷蔵容積の大形化が進められてきた。特に、近年冷凍食品の普及および自家冷凍の普及により、冷凍室の利用度が急速に増加し、冷凍室の大形化が強く要望されるようになった。このため冷凍室を冷蔵室から独立させた2扉冷凍冷蔵庫が発売されるようになったが、冷凍室は冷蔵室に比べて、操作性、取扱性の面で煩わしさを有している。すなわち、従来の金属板冷却器を冷凍室内に露出させた、いわゆる自然対流式の冷却方式を採用した冷蔵庫にあっては、冷凍食品を貯蔵した状態で霜取りを行なうことができない。したがって冷凍室の継続利用はもちろん、自動運転を継続することができない。また食品が冷却器から直接熱伝導により冷却される結果、食品自体にも霜が付着し、食品と冷却器あるいは食品と食品とが氷結しハク離が困難となる。これら冷凍室の問題を解決する手段として、冷凍室から冷却器を隔離し、ファンにより冷凍室の冷却を行なう、いわゆる強制対流式の冷却方式が知られている。冷凍食品の広く普及しているアメリカにおいては、冷凍室の機能はきわめて重要であり、このため2扉冷蔵庫の大部分<sup>(4)</sup>が、冷却器の霜取りおよび冷凍室の霜付きの心配のない上記強制対流形の冷却方式を採用している。

本年、日立製作所においては、1個の冷却器およびファンで冷凍室と冷蔵室を冷却する強制対流冷却方式(以下、ホワイトフリーザー形冷却方式と称す)を有する2扉の冷凍冷蔵庫(R-6160F形およびR-6180F形冷蔵庫)を発売した。この冷蔵庫は、冷凍室および冷蔵室の温度を、1個の温度調節器がすべて自動的に調節するとともに、広範囲の外気温度において、冷凍室温度は常に $-18^{\circ}\text{C}$ 以下に保持され、British Standardに規定するスリースター(※※※)性能をじゅうぶんに満足するものである。もちろん冷却器の霜取りは、冷凍室に食品を貯蔵したまま、自動的に行なわれる。

またこの冷蔵庫は、断熱材にウレタンフォームを採用することにより、従来と同一据付面積でありながら大形の冷凍室、冷蔵室を有している。それと同時にその箱体には、ウレタンフォームの接着力を利用して、生産性の向上を図った新しい構造を採用し、全く溶接部を有していない。

以下、本冷蔵庫の開発経過および性能の概要について述べる。

### 2. 箱 体 構 造

従来冷蔵庫の箱体は、門形に曲げた外板に背面板、前板などを溶接により固定し、それ自体で冷蔵庫の強度を保つ外箱に、断熱材、

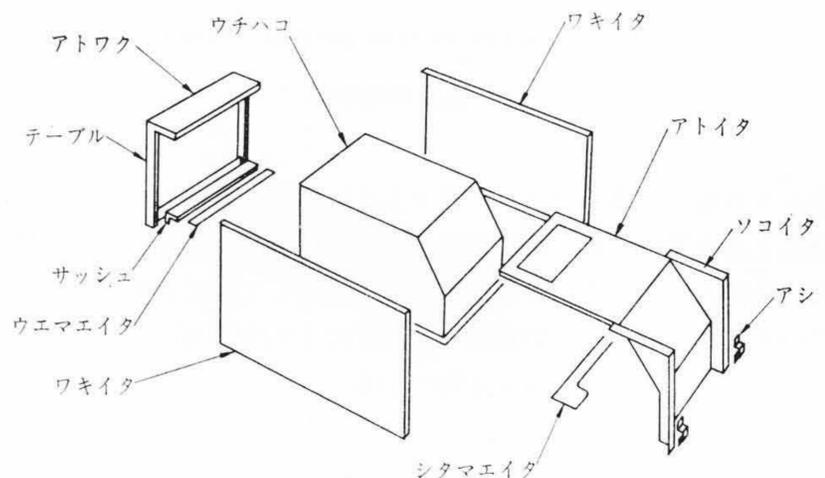


図1 箱体構成部品図

内箱を組み合わせて完成されていた。この溶接には、大形の専用溶接機が用いられ生産性を上げているが、反面、同一生産ラインにおいて、多機種を生産するうえの障害となっていた。

そこで、ウレタンフォームの一体発泡技術を利用して、専用溶接機を使用することなく効率よく生産できる新しい箱体構造の開発を図った。開発にあたっては、溶接部をなくするという大前提のもとに、下記のような方針に従い、具体的構造を開発した。

- (1) 従来、完成された箱体の上に別体として取り付けられていたテーブルを、箱体の天井面として利用できる構造であること。
- (2) 内箱と外箱の接合構造は、外箱構成部品を直接内箱フランジに接続して、ウレタンフォームで結合するものとし、従来必要とした各種取付部品が削減できる構造であること。
- (3) 圧縮機収納部(機械室)周囲にもウレタンフォームを発泡させ、従来、溶接取付けを必要とした外箱用のL形補強部材を削除した構造であること。
- (4) 箱体はウレタンフォームを注入発泡して、各種部材を固着する構造とするが、発泡前の組立状態、いわゆる仮組状態においても、各種ハンドリングに耐え得る強度を有する構造であること。
- (5) 箱体は溶接なしに組み立てられたものであるため、その仕上がり寸法は発泡用雇の寸法に左右される。したがって雇に組み込まれた仮組の箱体は、ウレタンフォームの発泡圧力によって一様に雇面になじむ構造であること。

以上述べたような箱体構造の開発方針を前提として決定した箱体の基本的構成は図1に示すとおりである。

すなわち真空成形された内箱の前面フランジに、直接ウエマエイタ・シタマエイタおよび左右ワキイタが弾性的に係合する。この構造は、発泡時の圧力によりワキイタが発泡雇面まで移動することを可能にする。機械室の天井面となるソコイタは、その左右両端がワキイタ下端までワキイタと一定間隔をおいて平行に延長しており、

\* 日立製作所栃木工場

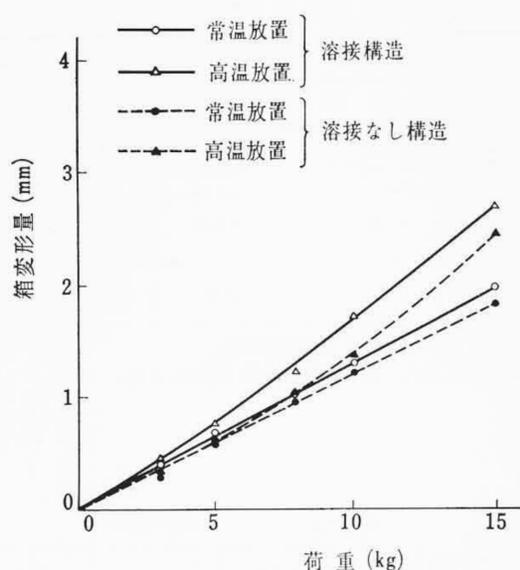


図2 扉荷重に伴う箱体変形量

門形をなしている。このソコイタとワキイタの間隙(かんげき)には、ウレタンホームが充てんされて、機械室部の補強部材が削除できる。アトイタは、左右両端に折曲げ部を有し、ワキイタの曲げ部にそう入され、自由支持されている。この構造により発泡圧でワキイタが移動してもアトイタに変形が生ずることはなくなる。テーブルとワキイタの上端およびウエマエイタとの間には、上下方向にそう入されるみぞを有するサッシュを介在させることにより、テーブルは発泡時履面にならうまで移動することが可能となる。

以上のように内箱を基準に組み立てられた箱体は、アトイタが上面になるようにしてウレタン原液が注入されて完成する。

このような構造にすることにより、製罐(かん)工程は従来の55%となり、専用機械を使用することなく生産性を上げることができる。

### 3. 箱体の試験

前述のような構造で仮組された箱体は、発泡前のハンドリングを想定して自動搬送機にて移動し、コンベヤ上をすべらせて、その強度が実用に耐えるものであることを確認した。ウレタンホームにより固着した箱体について次のような各種の試験を行ない、その実用強度を溶接構造のものと比較検討した。

#### 3.1 破壊強度試験

倉庫における積上げ強度を調査するための垂直積圧試験、扉荷重に対する箱体の変形を調査するための上下対りょう圧縮試験、箱体を構成する各部品の接合部の強度を調査するための衝撃試験、加振動試験およびテーブル強度試験などを行ない、箱体の破壊限界強度を検討した結果、新しい箱体構造は溶接構造と同等以上の強度を示した。

#### 3.2 環境試験

冷蔵庫を各種の温度、湿度条件の中に放置し、その前後の強度を比較調査する冷熱試験、高温放置試験および高湿試験を行なった結果はいずれも試験前後において大きな差異はなく、種々の環境条件にじゅうぶん耐えるものであった。

#### 3.3 実用強度試験

ウレタンホームを発泡した箱体に冷凍サイクル、扉などを取り付けた状態において、輸送時、据付時および使用中のハンドリングを想定した包装強度試験ならびに扉開閉試験を行ない、いずれも実用に耐えるものであることを確認した。さらに扉荷重に対する箱体の変形を調査する箱体強度試験<sup>(2)</sup>を行ない、扉荷重を変化させた場合の箱体のねじれを連続的に測定した。その結果は図2に示すように、溶接構造に比べて、今回開発した箱体構造は、常温放置、高温放置いずれの場合にも、変形量の少ないことがわかった。

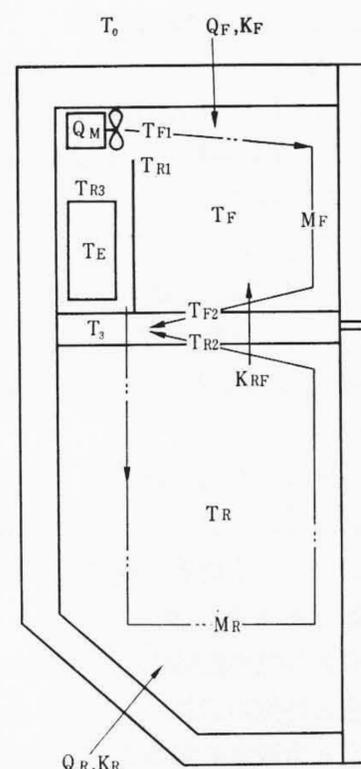


図3 熱平衡説明図

## 4. 冷凍サイクル、制御方式の決定

### 4.1 冷気循環経路

冷却器の霜取りを自動化し、冷凍室内の霜付きをなくするためには、冷凍室内から冷却器を隔離し、ファンにより冷凍室の空気を冷却器と熱交換させて冷却することが必要である。冷凍室を独立させ、2扉とした冷蔵庫においては、中央の断熱仕切り壁を空気の通路として有効に利用することができる。そこで冷却器および送風用ファンを冷凍室背部に隔離して設置し、仕切り壁から冷却器下方に吸い込まれた空気を、冷却器と熱交換したのち、ファンによりそれぞれ冷凍室、冷蔵室に分割送風し、それぞれの室を冷却したのち、仕切り壁を経て混合し、冷却器に戻るような冷気循環経路を定めた。このようにして2室は、1個の冷却器、ファンで同時に冷却することができる。

### 4.2 冷凍サイクル、循環風量の決定

以上のような冷気循環経路を有する冷蔵庫の熱平衡状態は、図3のように表わすことができる。

ここで、

- $K_F$ : 冷凍室と外気間の熱貫流係数 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $K_R$ : 冷蔵室と外気間の熱貫流係数 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $K_{RF}$ : 冷凍室と冷蔵室間の熱貫流係数 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $Q_F$ : 外気より冷凍室へ侵入する熱量 (kcal/h)
- $Q_R$ : 外気より冷蔵室へ侵入する熱量 (kcal/h)
- $Q_M$ : 冷却器室において循環空気と与えられる熱量 (kcal/h)
- $T_F$ : 冷凍室温度 (°C)
- $T_{F1}$ : 冷凍室吐出口空気温度 (°C)
- $T_{F2}$ : 冷凍室吸入口空気温度 (°C)
- $T_R$ : 冷蔵室温度 (°C)
- $T_{R1}$ : 冷蔵室吐出口空気温度 (°C)
- $T_{R2}$ : 冷蔵室吸入口空気温度 (°C)
- $T_{R3}$ : 冷却器通過直後の空気温度 (°C)
- $T_E$ : 冷却器表面温度 (°C)
- $T_3$ : 冷凍室と冷蔵室を循環してきた混合空気の温度 (°C)
- $M_R$ : 冷蔵室の循環風量 (m<sup>3</sup>/h)
- $M_F$ : 冷凍室の循環風量 (m<sup>3</sup>/h)
- $T_0$ : 外気温度 (°C)

これより熱平衡状態では次式が成立する。

$$Q = Q_R + Q_F + Q_M \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_R = K_R A_R (T_0 - T_R) - K_{RF} A_{RF} (T_R - T_F) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_F = K_F A_F (T_0 - T_F) + K_{RF} A_{RF} (T_R - T_F) \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_R = M_R \gamma C_P (T_{R2} - T_{R1}) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_F = M_F \gamma C_P (T_{F2} - T_{F1}) \dots\dots\dots (5)$$

$$T_3 = (M_R T_{R2} + M_F T_{F2}) / (M_R + M_F) \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_M = (M_R + M_F) \gamma C_P (T_{F1} - T_{R3}) \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = \alpha S (T_3 - T_{R3}) / [\log_e \{ (T_3 - T_E) / (T_{R3} - T_E) \}] \dots\dots (8)$$

ここに、

- $\gamma$ : 冷却器出口の空気の比重量 (kg/m<sup>3</sup>)
- $C_P$ : 冷却器出口の空気の定圧比熱 (kcal/kg°C)
- $\alpha$ : 冷却器表面の平均熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $S$ : 冷却器伝熱面積 (m<sup>2</sup>)
- $A_R$ : 冷蔵室と外気の伝熱面の面積 (m<sup>2</sup>)
- $A_F$ : 冷凍室と外気の伝熱面の面積 (m<sup>2</sup>)
- $A_{RF}$ : 冷凍室と冷蔵室の間の伝熱面の面積 (m<sup>2</sup>)

一方、冷凍サイクルにおいては次の式が成立する。

$$Q = G (i_2 - i_1) \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_C = G (i_3 - i_1) \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_C = K_S \cdot S_C (T_C - T_0) \dots\dots\dots (11)$$

$$G = V_{ih} \cdot \eta / v \dots\dots\dots (12)$$

ここに、

- $Q$ : 冷凍能力 (kcal/h)
- $Q_C$ : 凝縮器の放熱量 (kcal/h)
- $K_C$ : 凝縮器の熱貫流係数 (kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $S_C$ : 凝縮器伝熱面積 (m<sup>2</sup>)
- $G$ : 冷媒循環量 (kg/h)
- $i_1$ : 冷却器入口の冷媒のエンタルピー (kcal/kg)
- $i_2$ : 冷却器出口の冷媒のエンタルピー (kcal/kg)
- $i_3$ : 凝縮器入口の冷媒のエンタルピー (kcal/kg)
- $V_{ih}$ : 圧縮機の理論押除量 (m<sup>3</sup>/h)
- $\eta$ : 圧縮機の容積効率
- $v$ : 圧縮機吸込口の冷媒の比体積 (m<sup>3</sup>/kg)
- $T_C$ : 凝縮器表面温度 (°C)

以上の式を用いて冷却器伝熱面積、凝縮器伝熱面積、全循環風量および冷蔵室の循環風量比と冷却性能の関係を求めた。そして、断熱材にウレタンフォームを使用した冷凍室 23 l、冷蔵室 118 l を有する冷蔵庫の各室を、所定温度に保つための冷凍サイクルの仕様を決定した。

### 4.3 制御方式の決定

1個の冷却器とファンを有し、前述のような冷気循環経路を有する冷蔵庫の冷凍室と冷蔵室は、中央の断熱仕切り壁内で互に通じ合っている。このような2室をそれぞれ一定温度に保つための最も簡単な制御方法は、あらかじめ両室への冷気配分比を計算によって定め、熱負荷の大きい冷蔵室に設置した1個の温度調節器により、圧縮機およびファンの運転を制御する方法である。この方式の実用性を調査するため、各室にそれぞれ温度調節器を設ける方式と、本方式を有する2扉冷蔵庫のモデルを作成し、応答性が劣るとされる冷凍室の扉のみをひん繁に開閉し、両室の温度が二つの方式によってどのように異なるかを比較調査した。その結果は表1に示すとおり、冷凍室のみに著しい熱負荷変動が生じた場合において、冷蔵室に設けた温度調節器は迅速に応答し、両室を1個の温度調節器で制御する方式でも、良好な温度特性を得ることができた。

そのほか、冷凍室の使用状況に応じて消費電力を節約できるようにするための「\*\*\*」、切替スイッチに加え、製氷ならびに自家

表1 冷凍室扉開閉に伴う冷凍室負荷の温度変動

	温度調節器 1個		温度調節器 2個	
	試験前	試験中	試験前	試験中
冷却器温度 (°C)	-15.7/ -27.0	-14.0/ -25.7	-13.0/ -37.5	-13.0/ -36.5
冷凍室負荷温度 (°C)	-19.0	-15.0	-18.3	-14.2
冷蔵室温度 (°C)	2.0	2.0	2.0	2.0

注：扉開閉条件 5分に1回、10秒間開放  
冷凍室負荷 A S A B.38.2-1956 規定による。

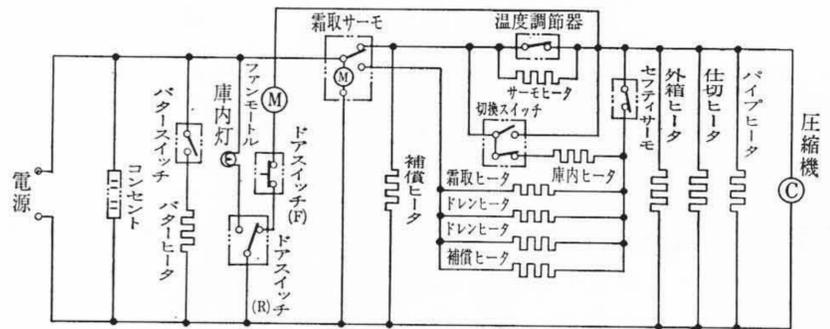


図4 制御回路図

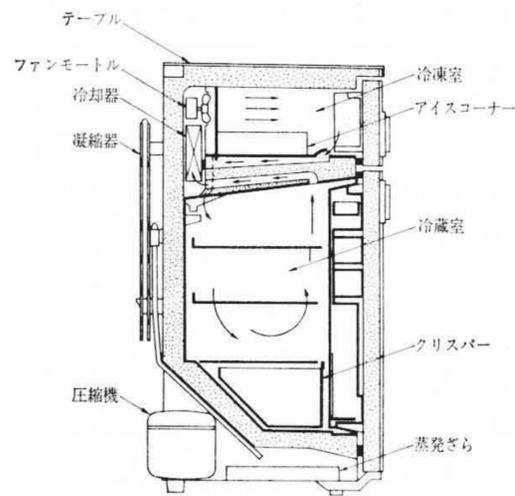


図5 縦断面図

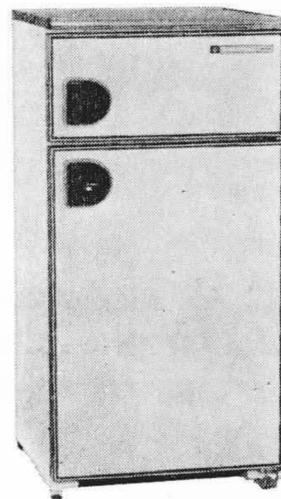


図6 外観図

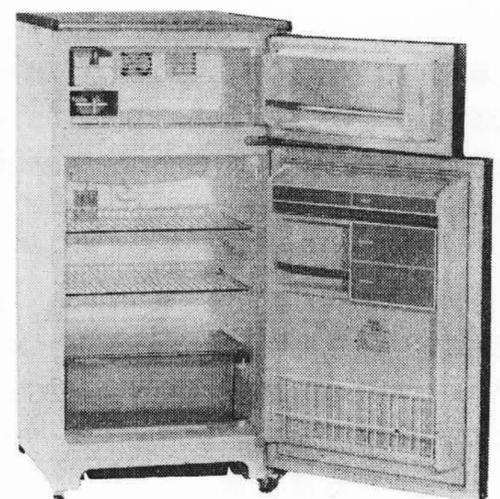


図7 内観図

冷凍などの際に、冷凍能力を最大にすることのできる切替位置を設けて、冷凍室利用の便を図った。

図4はこのようにして定めた冷蔵庫の制御回路を示したものである。また図5は本冷蔵庫の縦断面図、図6,7は同じく冷蔵庫の外観、内観写真を示したものである。

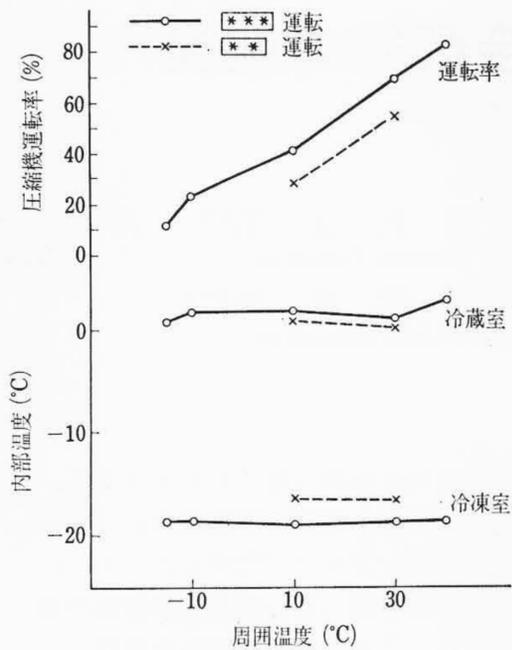


図8 周囲温度変化に伴う温度特性

### 5. 性能試験

種々の外気温度において、切換スイッチを [\*\*\*]、[\*\*] と切り換え、温度調節器による自動運転を行なった場合の性能特性は図8に示すとおりである。この結果は、広範囲の外気温度において [\*\*\*] 運転で冷凍室は  $-18^{\circ}\text{C}$  以下に保持され、British Standard に規定するスリースター性能をじゅうぶんに満足するものである。また冷蔵室温度は、 $10^{\circ}\text{C}$  と  $30^{\circ}\text{C}$  では  $10^{\circ}\text{C}$  のほうが高くなる傾向にあり、実用温度範囲において、理想的な温度特性を有している。

上記試験により扉閉鎖中の無負荷温度特性は、きわめてすぐれていることが判明したが、2扉冷蔵庫は、両室の扉開閉が種々の割合で組み合わせられて使用される。このような実用状態を想定し、冷却器に多量の霜が付着して冷却能力が低下する高温高湿の条件下で、冷凍室と冷蔵室の扉をそれぞれ一定の割合で開閉し、その間の負荷の温度変動を調査した。その結果は表2に示すように、扉開閉中のアイスクリームの最高温度は  $-15.5^{\circ}\text{C}$ 、冷蔵室の温度は  $4^{\circ}\text{C}$  であり、実用上もすぐれた温度特性を有することが確認された。

以上、無負荷試験ならびに負荷試験の結果、本冷蔵庫のような制御回路を用いることにより、1個のファン、1個の温度調節器で隔離された2室を、それぞれ異なった温度に自動制御できることが確認された。なお高湿条件下における扉開閉試験を、長時間にわたり継続したのちにおいても、従来の自然対流形の冷却方式にみられるような冷凍室内の霜付きおよび冷凍室負荷の霜付きは全く見られな

表2 高湿扉開閉試験

	扉開閉前	扉開閉中
アイスクリーム温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	-18.2	-15.5
冷蔵室温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	0.5	4.0

かった。これにより冷蔵室はもちろん、冷凍室も完全な自動運転を継続することができ、冷凍室利用に適した冷蔵庫であることが立証された。

2扉式冷蔵庫は、一般的に1扉式に比べて冷凍室が大形化しており、その結果、冷凍室内には食品が2段積みあるいは3段積みされることが多く、冷凍室負荷の温度分布のよいことが要求される。このため冷凍室にアイスクリームを2段に積み重ねて、上下の温度差を自然対流式のものと比較した。その結果、自然対流式の場合には下段の負荷は、直接冷却器の影響を受けて低温に保たれるが、2段目の負荷は下段に比べて2度高い温度を示した。一方、ホワイトフリーザー方式にあっては、上下の温度差はほとんどなく、大形冷凍室を有する冷蔵庫に適した冷却方式であることが確認された。

### 6. 結 言

以上の結果をまとめる次のようになる。

- (1) ウレタンホームの一体発泡技術を最大限に利用して、溶接作業がなく、製罐工程が大幅に削減できる新しい箱体構造を開発した。
- (2) ウレタンホーム利用の箱体の開発に伴って断熱壁を薄壁化し、従来と同等の外法寸法で内容積が、冷凍室60%、冷蔵室10%、全体で16%大きい2扉ホワイトフリーザー式冷凍冷蔵庫を完成した。
- (3) 1個の冷却器、ファンおよび温度調節器で、2扉冷蔵庫の隔離された2室を、種々の負荷条件に対して確実に制御できる制御構造を開発した。
- (4) 開発した2扉ホワイトフリーザー式冷凍冷蔵庫は、外気温度  $-15^{\circ}\text{C}$  から  $40^{\circ}\text{C}$  の範囲において、スリースター性能を満足する温度特性を有する。
- (5) ホワイトフリーザー形の冷却方式は、冷凍室内の温度分布がよく、高温状態における扉開閉においても冷凍室および食品に霜の付着はなく、大形冷凍室を有する2扉冷凍冷蔵庫に適した冷却方式であることを確認した。

### 参 考 文 献

- (1) Merchandising Week, 15 (May. 1970)
- (2) A. Staebler: ASHRAE. Journal, 63 (June. 1965)