

R-4130 形 冷凍冷蔵庫の性能

Characteristics of Model R-4130 Hitachi Refrigerater-freezer

藤 橋 保 二* 藤 沼 善 三 郎*
Yasuji Fujihashi Zenzaburô Fujinuma

要 旨

冷凍室と冷蔵室を1個の蒸発器で同時に冷却する1圧縮機—1蒸発器方式の冷蔵庫は、冷凍室に冷凍食品を保存するときに蒸発器の霜取りを中止しなければならない。またその霜取りを長期間中止すると多量の霜が蒸発器に付着して冷蔵室の冷却能力が劣化していくという問題がある。

そこで昭和44年度発売の日立冷蔵庫には、冷凍室と冷蔵室におのおの専用の蒸発器を設けた1圧縮機—2蒸発器方式を採用し、冷蔵室蒸発器の霜取りは冷凍室蒸発器に関係なく行なうことにより冷凍食品を常時スリースター(−18°C以下)の性能で長期保存が可能な全自動スリースター冷凍冷蔵庫を発売した。

本文はこの冷凍冷蔵庫の開発の過程ならびにその主要性能について述べたものである。

1. 緒 言

昭和43年度に発売したR-135形冷蔵庫は、冷蔵室温度を直接感知するサーモレダを備え、全自動スリースター冷蔵庫として好評を得た。しかしこのR-135形冷蔵庫は、1個の蒸発器で冷凍室と冷蔵室を同時に冷却する方式であるため、冷凍食品を冷凍室に保存するときには、冷凍ボタンを〔冷凍中〕に切り換えて霜取りを中止しなければならない。またその霜取りを長期間中止したときは、多量の霜が蒸発器に付着して冷蔵室の冷却能力が劣化していくので霜取りを実施しなければならないという問題があった。

そこで昭和44年度発売のR-4130形冷蔵庫には、冷凍室と冷蔵室おのおのに専用の蒸発器を設けて冷却する方式を採用し、冷蔵室蒸発器の霜取りは冷凍室蒸発器に関係なく行なえるとともに、前述した冷蔵室蒸発器の霜付きによる冷蔵室への冷却能力の劣化を改善した。また温度制御方式にはR-135形冷蔵庫に採用したサーモレダを内蔵した本格的な全自動スリースター冷凍冷蔵庫を完成した。

本冷凍冷蔵庫は、種類の違った食品をそれぞれの味を生かして冷やしわけのできる“3室独立冷却”，夏場に強いハイスピード冷却の“サーモレダ”ならびに洗練された“ニューキュービックデザイン”を備えた最高級の冷凍冷蔵庫として好評を得ている。

2. 3室独立冷却方式の検討

2.1 目標性能

図1および図2はR-4130形冷凍冷蔵庫の外観および内観を示したものであるが、その目標性能は次のように設定されている。

- (1) 冷凍室に冷凍食品を保存していても、冷蔵室蒸発器(以下これをR.EVと略称する)の霜取りを定時タイマーによって毎夜半行なうこと。
- (2) 冷蔵室の温度はR-135形冷蔵庫と同様、外気温度の変動にかかわらず一定の温度(2°C)を維持できること。
- (3) 連続運転した場合、R-135形冷蔵庫と同等の冷力性能を有すること。
- (4) ISOならびにBSに規定された試験を行なった場合、冷凍室はその最高性能であるスリースター(−18°C以下)の性能を有すること。またツースター(−12°C以下)の性能に切り換える経済運転のスイッチを設けること。

すなわち、冷凍食品の保存をいっさい無操作で行なえる性能を有し、さらにR-135形冷蔵庫と同等の性能を維持するもので、以下

* 日立製作所栃木工場

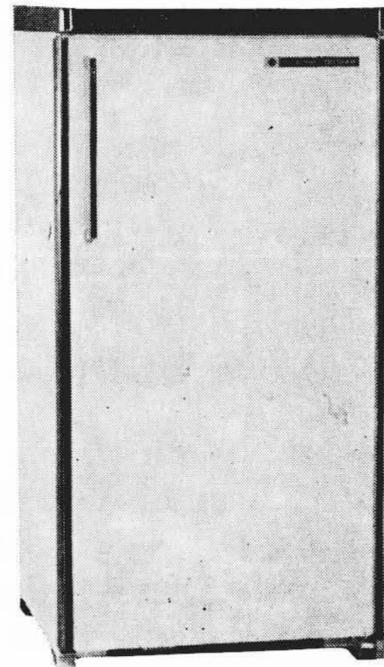


図1 R-4130形冷凍冷蔵庫

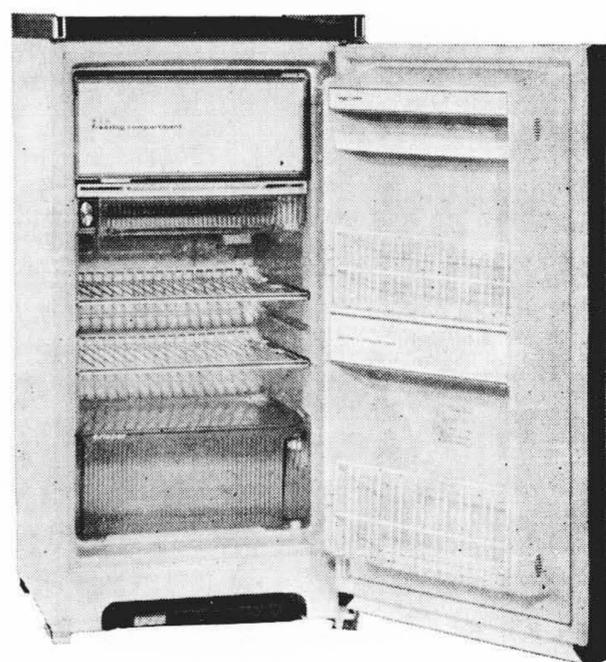


図2 R-4130形冷凍冷蔵庫の内観

これについて詳述する。

2.2 断続運転ならびに霜取り時の理論的解析

1EV方式では前述したように、冷凍食品を保存した場合には霜取りを中止しなければならないが、2EV方式とすることで冷凍室蒸発器(以下これをF.EVと略称する)に関係なくR.EVの霜取り

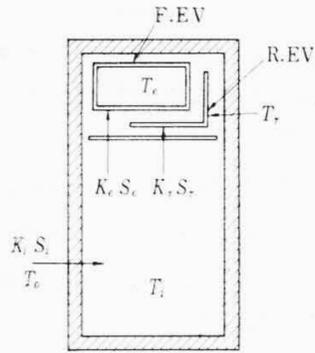


図3 熱移動説明図

を行なうことが可能である。したがって本冷凍冷蔵庫は R.EV から F.EV へと直列に接続する冷凍サイクルを採用することにし、毎夜半に R.EV の霜取りを行なった際、冷凍食品の保存に影響のないよう冷凍室の F.EV は高密度の発泡ポリスチレン樹脂で外周面を断熱し、R.EV の霜取りは蒸発器の内部のパスにヒータを内蔵したインヒータによる強制霜取方式を採用することにした。

次に 1COMP-2EV 方式の断続運転性能、R.EV への霜付量と除霜時間ならびにインヒータの容量などを、冷凍室の温度を考慮した理論計算で求めることにする。

(1) 断続運転性能

計算におけるおもな仮定

- (i) 圧縮機が運転するとすぐ蒸発器内で冷媒の蒸発が始まり冷凍能力を発生、また圧縮機が停止するとすぐに蒸発器内で冷媒の蒸発が止まり冷凍能力が無くなるものとする。
- (ii) 各部の温度(蒸発器, 冷蔵室, ヒータ類)は均一に冷却および加熱されるものとする。
- (iii) 圧縮機の運転中すなわち冷却中の R.EV と F.EV の温度は、熱容量や圧力損失などにより一定の温度差 ΔT_e をもって低下する。
- (iv) 圧縮機が停止すると直ちに R.EV 内の液冷媒がなくなるものとする。したがってそれぞれの蒸発器の熱容量に見合っ、別々に温度上昇する。
- (v) 各部の温度は、それぞれの熱容量の比により合成された値となる。

(a) 冷却運転中の熱平衡方程式

図3は冷凍冷蔵庫の熱移動説明図で、これより熱平衡状態は次の3元連立微分方程式により、F.EV の温度 T_e 、R.EV の温度 T_r 、冷蔵室の温度 T_i の冷却曲線が求められる。

$$Q_e - K_e S_e (T_i - T_e) - K_r S_r (T_i - T_r) = -C_e \frac{dT_e}{dt} - C_r \frac{dT_r}{dt} \quad (1)$$

$$T_r = T_e + \Delta T_e \quad (2)$$

$$K_e S_e (T_i - T_e) + K_r S_r (T_i - T_r) - K_i S_i (T_o - T_i) = -C_i \frac{dT_i}{dt} \quad (3)$$

ここに

- $K_e S_e$: F.EV と冷蔵室間の熱貫流係数 (kcal/h°C)
- $K_r S_r$: R.EV と冷蔵室間の熱貫流係数 (kcal/h°C)
- $K_i S_i$: 冷蔵室と外気間の熱貫流係数 (kcal/h°C)
- C_e : F.EV の熱容量 (kcal/°C)
- C_r : R.EV の熱容量 (kcal/°C)
- C_i : 冷蔵室の熱容量 (kcal/°C)
- T_e : F.EV の温度 (°C)
- T_r : R.EV の温度 (°C)
- T_i : 冷蔵室の温度 (°C)

- T_o : 外気温度 (°C)
- ΔT_e : 熱容量や配管の圧力損失などによって決まる T_e と T_r との温度差 (deg)
- t : 時間 (h)
- Q_e : 冷凍容量(次の連立方程式により求められる) (kcal/h)

$$\left. \begin{aligned} Q_e &= G(i_2 - i_1) \\ Q_c &= G(i_3 - i_1) \\ Q_c &= K_c S_c (T_c - T_o) \\ G &= V \cdot \eta / \nu \\ \eta &= 0.92 - (0.034 - 0.0058 P_s) P_d / P_s \\ P_s &= f_{m1} (T_c - 2) \\ P_d &= f_{m2} (T_c + 1) \\ i_1 &= f_{m3} (T_c + 1) \\ \nu &= f_{m3} (P_s \cdot T_s) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

ここに

- G : 冷媒循環量 (kg/h)
- i_2 : F.EV 出口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)
- i_3 : 凝縮器入口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)
- i_1 : 凝縮器出口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)
- Q_c : 凝縮器の放熱量 (kcal/h)
- $K_c S_c$: 凝縮器と外気との間の熱貫流係数 (kcal/h°C)
- V : 圧縮機の理論押除量 (m³/h)
- η : 圧縮機の容積効率
- ν : 圧縮機内の吸込冷媒の比体積 (m³/kg)
- P_s : 吸込圧力 (kg/cm² abs)
- P_d : 吐出圧力 (kg/cm² abs)
- T_c : 凝縮器温度 (°C)
- f_{m1}, f_{m2}, f_{m3} : モリエル線図の関数

(b) 停止中の熱平衡方程式

次の3元連立微分方程式が成立し、各部温度 T_e 、 T_r 、 T_i の上昇曲線が求められる。

$$K_e S_e (T_i - T_e) = C_e \frac{dT_e}{dt} \quad (5)$$

$$K_r S_r (T_i - T_r) = C_r \frac{dT_r}{dt} \quad (6)$$

$$K_i S_i (T_o - T_i) - K_e S_e (T_i - T_e) - K_r S_r (T_i - T_r) + W_i = C_i \frac{dT_i}{dt} \quad (7)$$

ここに W_i : 庫内ヒータの容量 (kcal/h)

(2) 除霜性能

除霜の過程は、(i) R.EV 温度が 0°C まで上昇する過程、(ii) R.EV に付着している霜が融解する過程、(iii) 霜の融解が終了し R.EV 温度が 0°C 以上に上昇し、復帰温度に達するまでの過程、とに分けて考えることができる。

(a) 上昇過程

R.EV 温度が 0°C まで上昇する過程と 0°C から復帰温度まで上昇する過程は、次の3元連立微分方程式を解くことによって得られる。

$$K_e S_e (T_i - T_e) = C_e \frac{dT_e}{dt} \quad (8)$$

$$K_r S_r (T_i - T_r) + W_r = C_r \frac{dT_r}{dt} \quad (9)$$

$$K_i S_i (T_o - T_i) - K_e S_e (T_i - T_e) - K_r S_r (T_i - T_r) = C_i \frac{dT_i}{dt} \quad (10)$$

ここに W_r : R.EV の除霜用ヒータ容量 (kcal/h)

(b) 融解過程

霜の融解過程は次の3元連立微分方程式を解くことにより、 T_o 、 T_i 温度の上昇曲線と、霜の融解量の増加曲線が得られる。

$$K_e S_e (T_i - T_e) = C_e \frac{dT_e}{dt} \dots\dots\dots (11)$$

$$K_r S_r T_i + W_r = q \frac{dm}{dt} \dots\dots\dots (12)$$

$$K_i S_i (T_o - T_i) - K_e S_e (T_i - T_e) - K_r S_r T_i = C_i \frac{dT_i}{dt} \dots\dots\dots (13)$$

ここに q : 霜の融解潜熱 (kcal/kg)
 m : 融解される霜の量 (kg)

以上の各方程式についての計算を次の順序にしたがって行なった。まず冷力性能を求め、次に断続性能を5サイクル計算後除霜性能を計算し、除霜が終了したならば再び断続性能を3サイクル計算する。

なお計算においては、除霜前の R.EV の熱容量 C_r および熱貫流係数 $K_r S_r$ 、 $K_e S_e$ は霜付量によって変化することを実験によって求め、次のように設定された。

$$\begin{aligned} C_r' &= C_r + 0.487 m \\ K_e S_e' &= K_e S_e \\ K_r S_r' &= K_r S_r \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 0 \leq m < 0.05 \text{ kg} \\ \begin{aligned} K_e S_e' &= K_e S_e (1.05 - m) \\ K_r S_r' &= K_r S_r (1.05 - m) \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 0.05 \leq m < 0.4 \text{ kg} \dots\dots\dots (14)$$

ここに C_r' : 霜の熱容量も考慮した R.EV の熱容量 (kcal/°C)

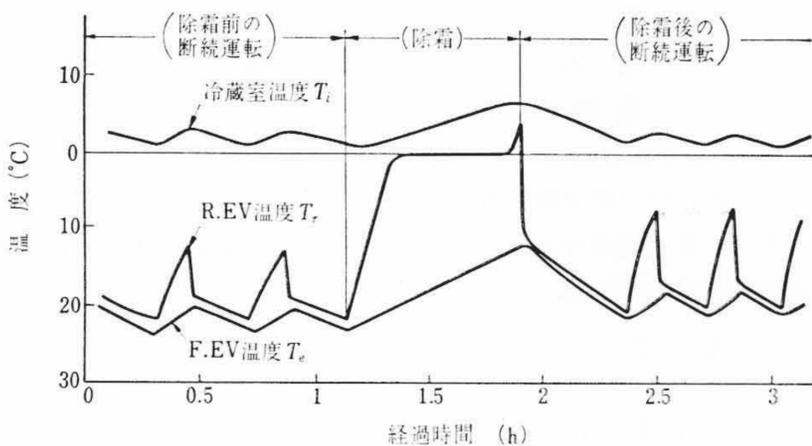


図4 断続運転および除霜時の計算による曲線

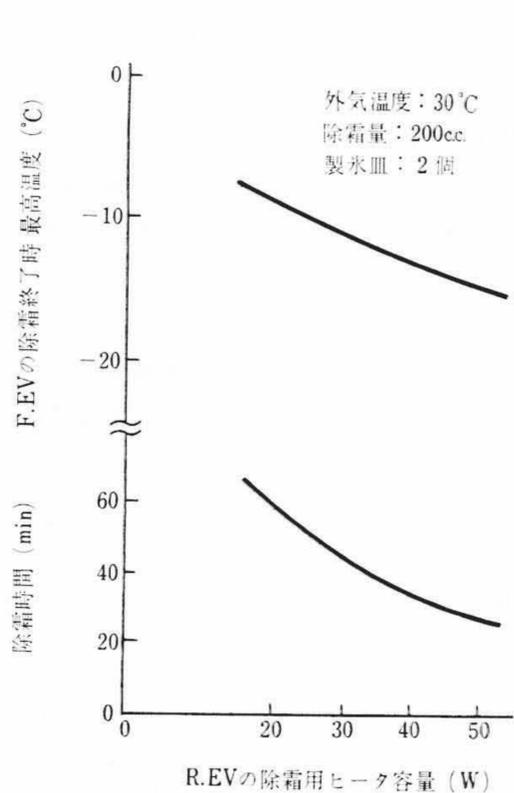


図5 除霜用ヒータ容量と除霜性能の関係

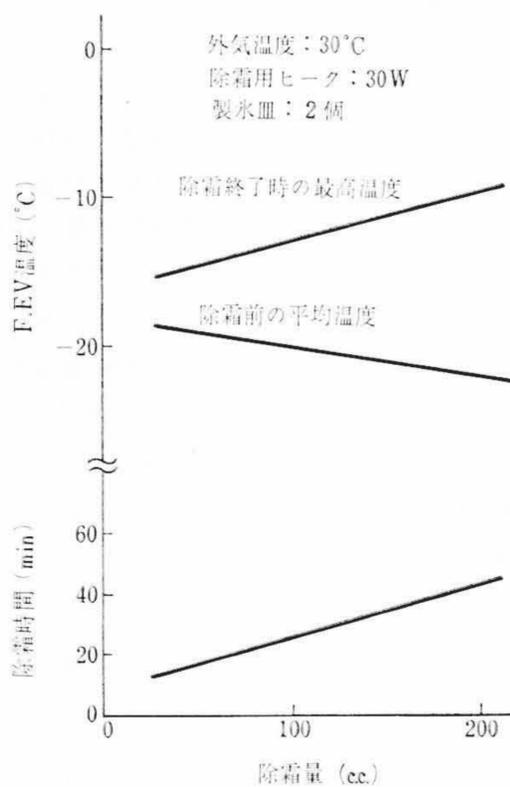


図6 除霜量と除霜性能の関係

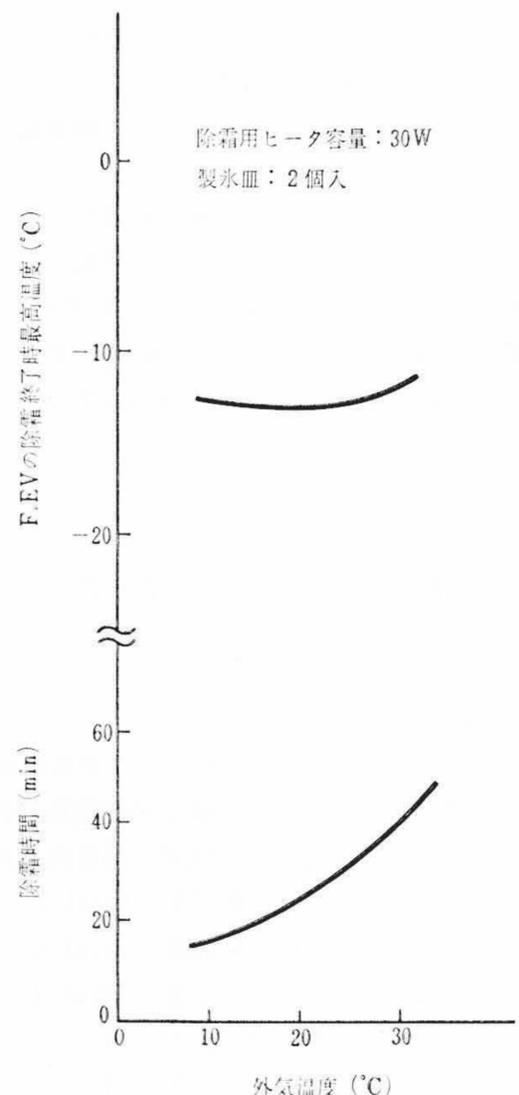


図7 外気温度と除霜性能の関係

m : 霜付量 (kg)
 $K_e S_e'$: 霜付量による対流の変化を考慮した $K_e S_e$
 $K_r S_r'$: 霜付量による対流の変化を考慮した $K_r S_r$

(3) 計算結果

冷凍室に製氷皿を2個 (250 cc×2=500 cc) 入れ、R.EV の除霜用ヒータ容量 W_r を30 W、庫内ヒータ容量 W_i を20 W に仮定したとき、外気温度 $T_o=30^\circ\text{C}$ における霜付量200 cc のときの断続運転ならびに除霜時の温度変化を求めたものを図4に示す。

図4より明らかなように、2EV方式によって断続運転ならびに除霜中にも冷凍室を低温度に維持できることが確認できた。

(a) R.EV の除霜用ヒータ容量と除霜性能との関係

一般に冷蔵庫の実用状態における霜付量を各種の実験によって求めると約200 cc 前後である。そこで外気温度 30°C 、霜付量200 cc における除霜用ヒータ容量 W_r と F.EV の除霜終了時最高温度ならびに除霜時間との関係を求めたものが図5である。除霜用ヒータの容量を増すと除霜時間が短縮されて F.EV の温度上昇が少なくなることがわかる。しかし容量を増すと R.EV を均一に除霜できないことがあり、これを考慮すると30 W が適当である。

(b) 除霜量と除霜性能との関係

R.EV の除霜用ヒータ容量を30 W として除霜量を変化させ、除霜時間と R.EV の除霜終了時最高温度との関係を求めたものが図6である。霜付量すなわち除霜量が多くなると除霜時間が長くなり、F.EV の除霜中の温度上昇幅も増すことがわかる。しかし霜付量が多くなると R.EV と冷蔵室間の熱貫流係数 $K_r S_r$ が小さくなり、冷蔵室温度を感知して温度制御しているサーモレスタとの関係から運転率が自動的に増し、除霜前の F.EV の平均温度が低くなっている。したがって除霜量が100 cc から200 cc に増加しても、F.EV の除霜終了時最高温度は2度弱程度しか変化しないことがわかった。

表1 R-4130 形冷凍冷蔵庫の仕様

| 項 目 | 仕 様 |
|---------|--|
| キャビネット | 外 法 寸 法 高 1,038×幅 505×奥行 604 (ハンドル含) 内 法 寸 法 高 806×幅 380×奥行 438 mm (最深部448) 内 容 積 総内容積 122, 有効内容積 112 l テ ー ブ ル 塩 ビ 鋼 板 あ と わ く 電 源 ス イ ッ チ (※※) ※※※ 切 換 付, F6E 形 ド ア 開 閉 機 構 温 度 調 節 器, コ ン セ ン ト 2 個 付 ハ ン ド ル 式 (マ グ ネ ッ ト パ ッ キ ン グ) |
| 冷凍サイクル | 圧 縮 機 密 閉 形 2 極 電 動 直 結 式 凝 縮 器 ワ イ ヤ 形 (自 然 通 風 式) 冷 凍 室 蒸 発 器 アル ミ ロール ボ ン ド, 全 開 口 字 形 冷 蔵 室 蒸 発 器 アル ミ ロール ボ ン ド, L 字 形 温 度 調 節 器 F16 形 除 霜 { 冷 凍 室 F6E 形 冷 蔵 室 TD10 形 冷 蔵 室 用 ヒ ー タ アル ミ プ レ ー ト 形 |
| 付属機能 | 排 水 蒸 発 装 置 付 製 水 皿 2 個 付 低 温 室 透 明 全 幅 引 出 式 た な 網 3 段 (上 2 段 可 変 式) 野 菜 容 器 透 明 回 転 式 卵 ケ ー ス 14 個 入 キ ャ ン デ ー ケ ー ス 付 パ タ ー コ ン デ ン シ ョ ナ ー 2 段 切 換 式 チ ー ズ ケ ー ス 付 セ ル フ タ ー ン バ ス ケ ッ ト 2 段 |
| 製 品 重 量 | 53 kg |

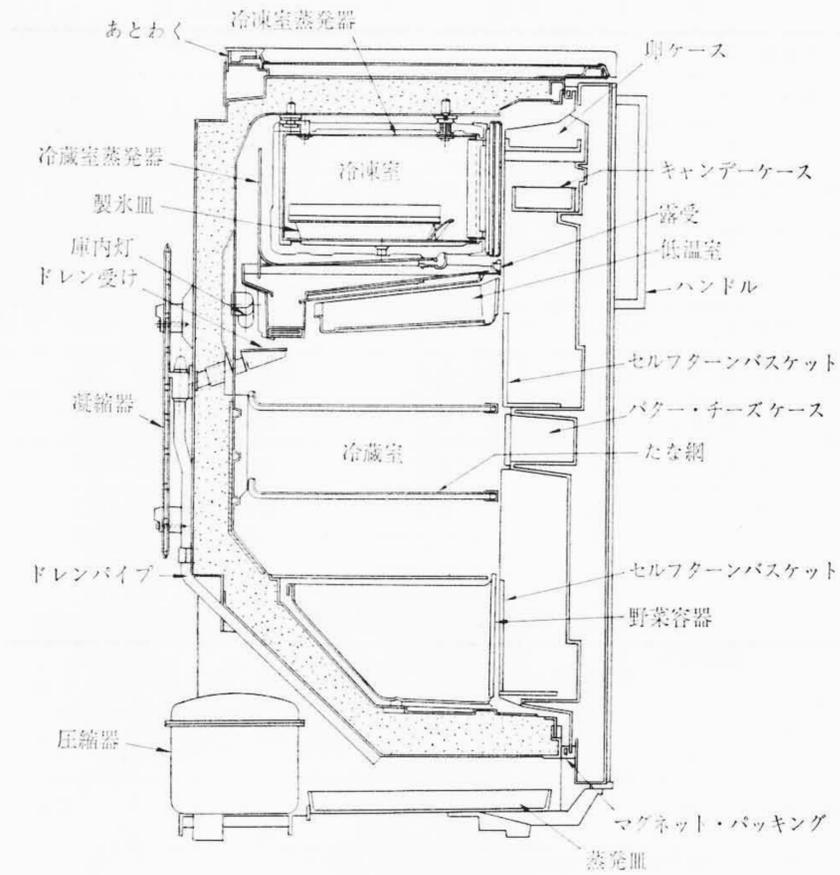


図8 R-4130 形冷凍冷蔵庫の縦断面図

表2 冷力試験結果 (外気温度 30℃)

| | R-4130 形冷蔵庫 | R-135 形冷蔵庫 |
|-------------|-------------|------------|
| 冷凍室蒸発器 (°C) | -27.2 | -24.5 |
| 冷凍室 (°C) | -24.1 | -21.3 |
| 冷蔵室 (°C) | -7.5 | -7.4 |

(c) 外気温度と除霜性能との関係

外気温度が低くなると一般に霜付量は少なくなるので、外気温度が 30, 20, 10℃ と変わるにしたがって霜付量を 200, 100, 50 cc と変化させて組み合わせ、算出したものが図7である。図より外気温度が変化しても、F.EV の除霜終了時最高温度はほとんど変化せず、常時低温度を維持できることが確認できた。

以上の本冷凍サイクルに関する理論的解析結果に基づき、決定した構造について次に述べる。

3. 構 造

3.1 仕 様

R-4130 形冷凍冷蔵庫のキャビネット、冷凍サイクル、付属機能などの詳細仕様は表1に示すとおりである。また図8は縦断面の構造を示したものである。図より明らかなように冷凍室は専用の冷却器で強力に冷却され、冷蔵室は冷凍室上部に対流を考慮して設けた空間によりR.EV の垂直部を有効に利用して均一に冷却される。また低温室は R.EV の水平部真下に設けられた専用の冷却器で強力に冷却されるという新しい3室独立冷却方式である。

3.2 電 気 回 路

図9が R-4130 形冷凍冷蔵庫の主要電気回路図である。圧縮機の運転制御を行なうのが F16 形温度調節器 (温度の感知部分をコイル状設計とした高感度のサーモレーダ)、冷蔵室の R.EV の除霜制御を行なうのが定時タイマーを内蔵した TD10 形温度調節器、冷凍室の F.EV を除霜するのが手動によって開始する F6E 形温度調節器である。

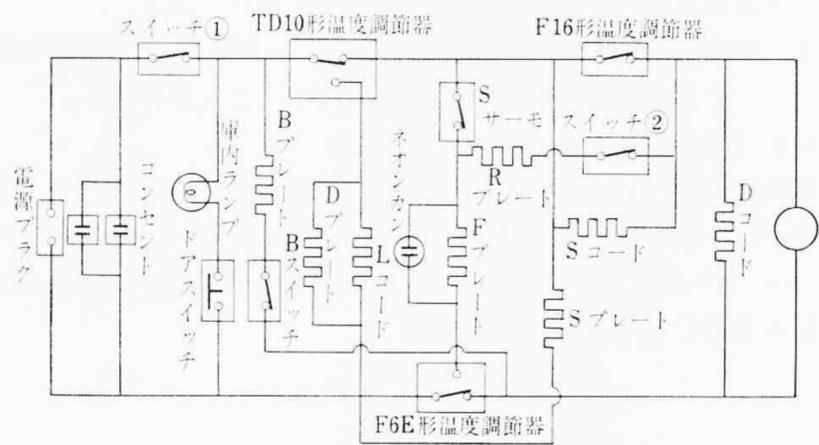


図9 R-4130 形冷凍冷蔵庫の電気回路図

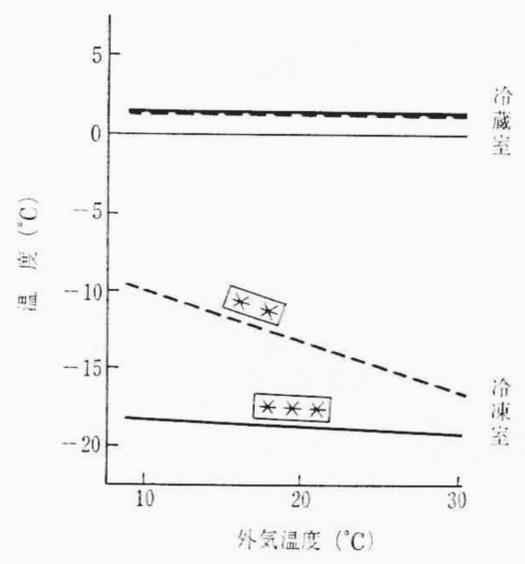


図10 断続試験結果

4. 性 能 試 験

4.1 冷 力 性 能

外気温度 30℃ における冷力試験を行ない、昨年度の R-135 形冷蔵庫と比較したのが表2である。冷蔵室の到達温度は目標性能値を満足していると同時に、冷凍室の到達温度は 2EV 方式によって R-135 形冷蔵庫より約 3.0 度低下し、性能が一段と向上している。

4.2 断 続 性 能

図10の試験結果より目標性能に設定した外気温度の変化にかか

表3 ISOに準拠したスターマーク試験結果

| 外気温度(°C) | | 16 | | 32 | |
|-----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| 切換スイッチ | | ** | *** | ** | *** |
| 冷凍室 負荷 | T ₁ (°C) | -14.5 | -18.7 | -19.4 | -20.2 |
| | T ₂ (°C) | -15.5 | -19.5 | -20.3 | -21.5 |
| | T ₃ (°C) | -14.8 | -18.7 | -19.4 | -20.2 |
| | T ₄ (°C) | -15.8 | -19.8 | -20.7 | -21.8 |
| | 平均(°C) | -15.2 | -19.2 | -20.0 | -20.9 |
| 冷蔵室 | T ₅ (°C) | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.0 |
| | T ₆ (°C) | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0 |
| | T ₇ (°C) | 0.1 | 0.3 | 0.1 | -0.1 |
| | 平均(°C) | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |

表4 R.EV除霜試験結果(外気温度30°C湿度85%)

| 測定項目 | 安定時 | ドア開閉 50回後 | ドア開閉 100回後 | ドア閉 2h後 | 霜取り 終了時 |
|-----------------|-------|--------------|---------------|------------|------------|
| アイスクリーム (°C) | -19.0 | -19.8 | -20.5 | -23.2 | -14.7 |
| 冷蔵室(°C) | 1.2 | 6.0 | 8.3 | 2.0 | 6.0 |

(注) 冷凍室内負荷:アイスクリーム ¥20.- 2個入

ならず冷蔵室の温度は一定という項を満足し良好である。

また冷凍室の温度は***運転のとき、-18°C以下の温度を得ることができ、常時冷凍食品を長期保存できることがわかる。

4.3 ISOに準拠したスターマーク試験

試験結果は表3に示すとおり外気温度16, 32°Cにおいて、冷蔵室温度が約0°Cのとき冷凍室内の模擬負荷温度は、切換スイッチの**で-12°C以下、***で-18°C以下の性能を有し、目標性能値を満足している。

4.4 冷蔵室用蒸発器(R.EV)の除霜試験

本冷凍冷蔵庫は緒言において記述したように、冷凍室に冷凍食品を保存していても、R.EVの除霜を毎夜半1回行なえる冷蔵庫の完成にあった。したがって次の条件で試験を行なった。「冷凍室にアイスクリーム(¥20,- 2個)を保存した比較的軽負荷(冷凍室内の負荷が小さいほど温度条件は過酷である)の状態、実用に近いドア開閉試験を行なったのち、R.EVを除霜しアイスクリームの温度を調べる」試験の結果は表4のように、冷凍室内が軽負荷の条件であっても、本冷凍冷蔵庫はサーモレーダの働きにより安定時より実用状態のほうが冷凍室温度は低下するという特性を有するため、除霜終了時のアイスクリーム温度は問題ないことが確認された。

5. 結 言

以上によりR-4130形冷凍冷蔵庫の性能についてまとめると、

- (1) 冷凍サイクルを1COMP-2EV方式として冷凍室、冷蔵室に専用の蒸発器を設け、さらに冷凍室用蒸発器の外周面を高密度の発泡ポリスチレン樹脂で断熱したことにより、冷凍室に冷凍食品を保存したまま冷蔵室用蒸発器の除霜を行なうことができる。
- (2) サーモレーダ方式の温度調節器を採用しているため、外気温度の変化にかかわらず常時冷蔵室の温度は一定であり、かつ冷凍食品を保存したまま冷蔵室用蒸発器の霜取りができる。
- (3) 2EV方式の採用で断続運転における冷凍室の温度を、従来のR-135形冷蔵庫よりさらに2~3度低下させることができ、常時スリースターの性能を保持することができる。

参 考 文 献

- (1) 藤橋, 藤沼, 笹本: 日立評論 50, 557 (昭43-6)

Vol. 51 日立評論 No. 8

目 次

■論 文

- ・油中水滴形作動油の特性
- ・日立デジタルスイッチの基本的性能
- ・小形制御用計算機HIDIC100システム
- ・高圧架空配電線保護制御方式
- ・3電気方式EF81形交直流電気機関車
- ・塵埃の固定とその化学成分の分析方法
- ・Model 037 アンブルチェッカーの開発
- ・小形製氷機の性能

- ・超臨界圧UPボイラ
- ・高油圧パイプ形OFケーブルの凍結工法

■最近の車両制御特集

- ・新幹線試験電車の電気ブレーキ
- ・チョップ式電車が発生する電車線の高調波電流
- ・サイリスタ式回生ブレーキ付交流電気機関車の制御
- ・電気車両補助電源用高圧インバータ
- ・最近の自動運転装置
- ・空気ブレーキを用いた粘着促進装置“HIRAD”の開発

発行所 日立評論社

取次店 株式会社オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
郵便番号 100
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京20018番