

家庭用冷凍冷蔵庫

Household Refrigerator-Freezer

Comparison was made between the two-door frost-free refrigerator-freezer and the two-door natural convection refrigerator-freezer in construction, function and power consumption. The frost-free type is so constructed as to facilitate the handling of foods in the freezer compartment, and the freezer is kept at low temperatures even during defrosting so that the frozen in the freezer compartment can be stored for a long period. Concerning the power consumption, the natural convection type is more economical. But, the two-thermostat control system frost-free type consumes less power than the 1-thermostat control system frost-free type.

梅沢敏美* *Toshimi Umezawa*末永宣芳* *Nobuyoshi Suenaga*

1 緒言

コールドチェーンの端末機器として家庭における電気冷蔵庫と電気冷凍庫がある。これらはコールドチェーンの発展に欠かせないものであるというより、これら機器の普及がコールドチェーンの発展を促してきたといえる。わが国の家庭用コールドチェーン機器としての主流は電気冷蔵庫であり、中でも冷凍食品を保存するための冷凍室を独立して備える2ドア冷凍冷蔵庫で有効内容積が170 l前後のものが主力機器になっている。

また、庫内の冷却方式には霜なし式と直冷式とがあるが、最近では冷凍食品の保存にすぐれた機能を発揮する霜なし式の需要が増加している。アメリカにおいては、昭和47年の冷蔵庫の需要のうちで霜なし式が67.5%を占め、わが国でも主要メーカーの昭和49年度製品中の58.3%の機種数が霜なし式である。

そこで、2ドア霜なし式冷凍冷蔵庫を中心として、その構造および機能を紹介し将来の方向を考察する。

2 冷凍冷蔵庫の形態

電気冷蔵庫の形態には1ドア式と2ドア式とがあり、2ドア式にはトップマウント形とボトムマウント形およびサイドバイサイド形がある。

図1はわが国における電気冷蔵庫の内容積の需要推移を示すものであるが、冷蔵庫の需要はこの数年間に急速に大形化しており、現在では170 l前後のものが主流になっている。この原因の一つに冷凍食品の普及に対処するための冷凍室の大形化があげられ、冷凍冷蔵庫の形態も従来の1ドア式に代わり使い勝手がすぐれた2ドア式のトップマウント形が需要の約8割を占めている。サイドバイサイド形は比較的内容積が大きく、冷凍室の占める割合が大きな冷凍冷蔵庫に採用される形態で、大形化の一つの形態として今後ある程度増加していくものと推定される。ボトムマウント形は冷凍室が冷蔵庫の下側にあり、使い勝手が悪いので現在はほとんど採用されていない。図2はトップマウント形、図3はサイドバイサイド形の冷凍冷蔵庫を示すものである。

3 庫内冷却方式

冷凍冷蔵庫の庫内冷却方式には霜なし式と直冷式がある。

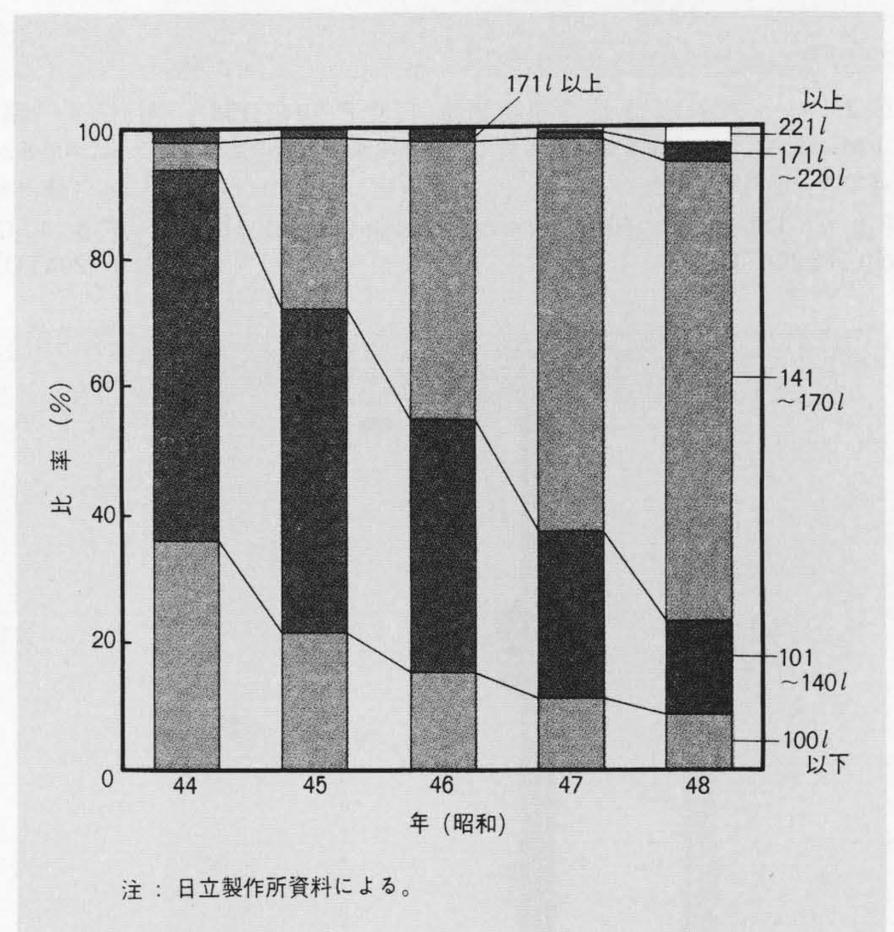


図1 内容積の需要推移 冷蔵庫の需要は年々大形化しており、現在では170 l前後のものが主力機種になっている。

Fig. 1 Demand Transition of Volume

霜なし式は冷却器が専用の収納室に設置されていて、ファンで冷気を庫内に強制的に循環させて冷却する方式である。図4は2ドア霜なし式冷凍冷蔵庫の構造例であるが、フィンチューブ形の冷却器が冷凍室の裏側に設置されており、冷却器で冷却された冷気はファンにより矢印で示すように冷凍室および冷蔵室を循環して冷却する。

霜なし式の冷凍室は、直冷式のように直接食品を冷却器に接して冷却しないため、直冷式に比べて冷凍室食品の冷却速度が遅くなる。そこで、冷凍室の一部を仕切って、ここに多量の冷気を集中し冷却速度を速くした急冷室を設けている。

庫内空気には水分が含まれているが、この水分は冷却器に

*日立製作所栃木工場

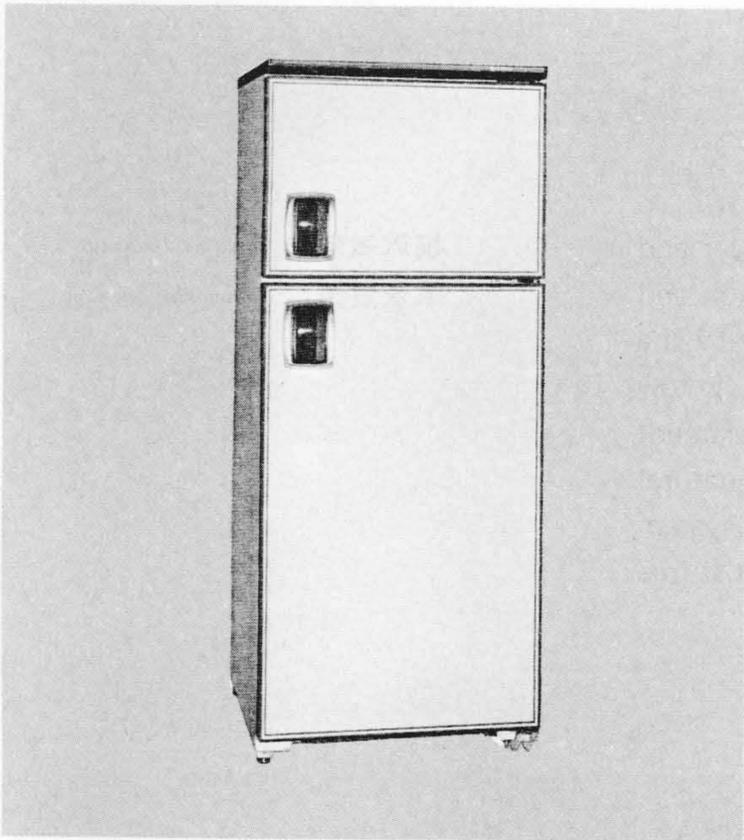


図2 トップマウント形冷凍冷蔵庫(日立 R-204TD形)
上部に独立した冷凍室を備えたもので、現在冷凍冷蔵庫の主流を占めている形態である。

Fig. 2 Top-mount Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-204TD)

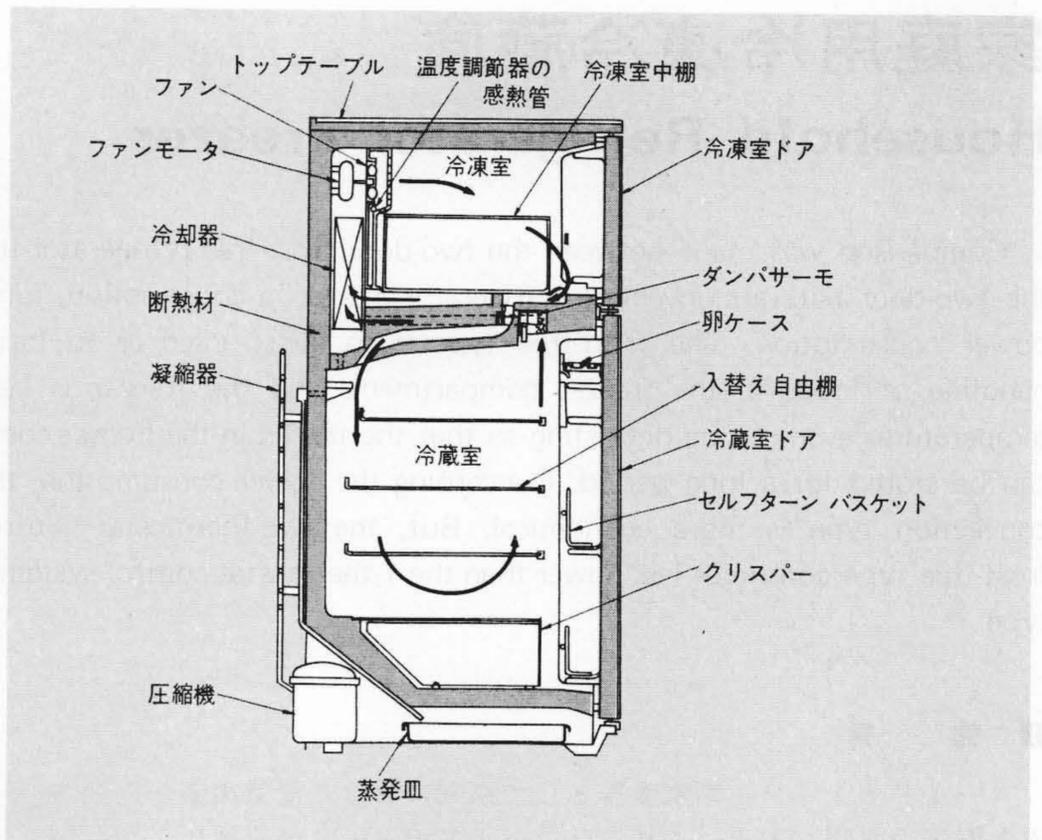


図4 霜なし式冷凍冷蔵庫の構造(日立 R-204TD形) 冷凍室奥の専用の収納室に冷却器が収納され、ファンで冷気を冷凍室と冷蔵庫に送る。冷気は矢印で示すように循環して庫内を冷却する。

Fig. 4 Construction of Frost-free Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-204TD)

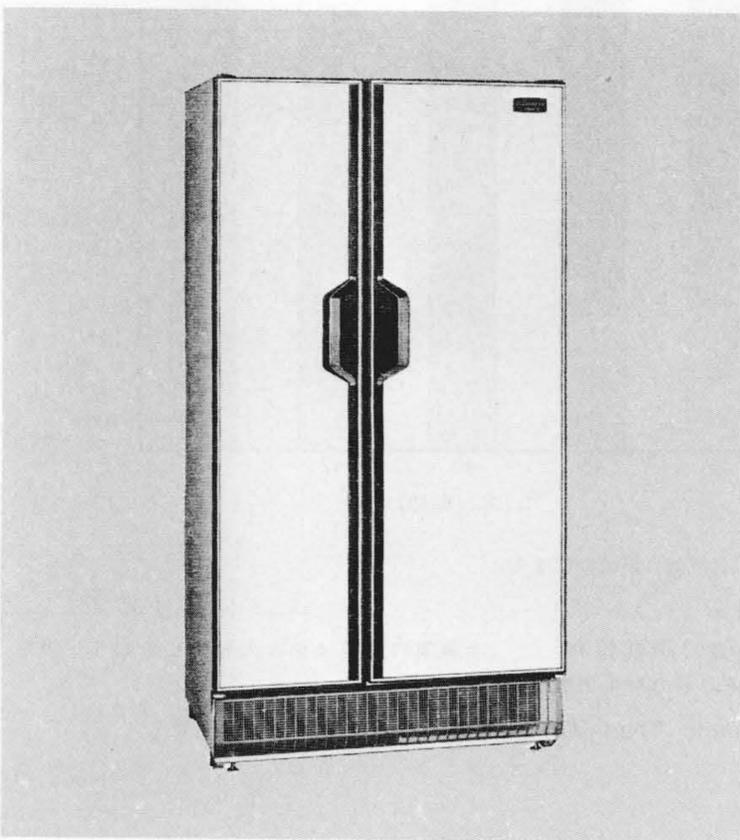


図3 サイドバイサイド形冷凍冷蔵庫(日立R-468B形)
横に独立した冷凍室を備えたもので、比較的大形で冷凍室が大きなものに採用されている形態である。

Fig. 3 Side-by-side Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-468B)

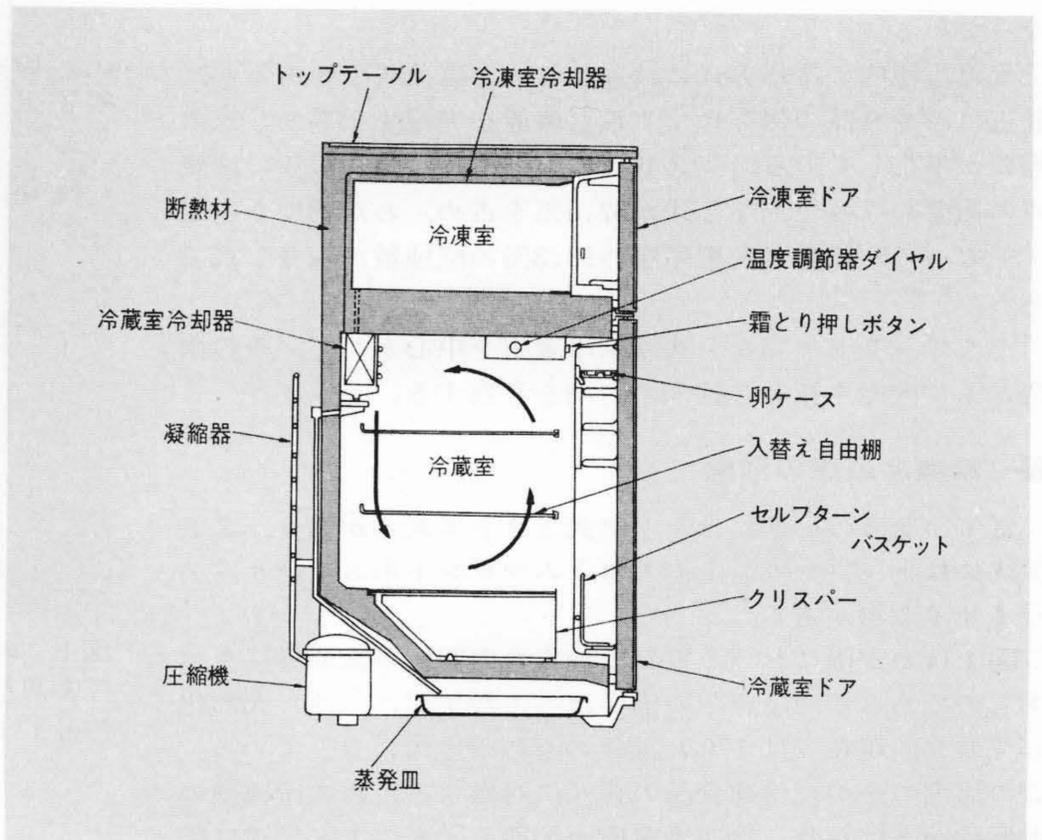


図5 直冷式冷凍冷蔵庫の構造(日立R-177W形) 冷凍室の壁面を冷却器が兼ねており、冷蔵庫には別個の冷却器が設置され自然対流により庫内が冷却される。

Fig. 5 Construction of Natural Convictional Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-177W)

よって凝縮され、これに霜となって付着する。霜なし式の場合、冷却器は冷凍室から隔離されているので冷凍室内には霜がつかず、保存されている冷凍食品は霜によるくっつきがなく取扱いが容易で使い勝手がよい。

図5は2ドア直冷式冷凍冷蔵庫の構造例を示すものである。冷凍室には箱形の冷却器が使用され、冷蔵庫にはフィンチューブ形の冷却器が使用されていて庫内は冷気の流れによる

り冷却される。直冷式の冷凍室は壁面が冷却器で構成されているので霜が付き、保存されている冷凍食品が壁面にくっついたり、あるいは冷凍食品にも霜がつくので食品どうしがくっつき取扱いが悪く、使い勝手が悪い。図6は2ドア霜なし式冷凍冷蔵庫の内観を、図7は2ドア直冷式冷凍冷蔵庫の内観をそれぞれ示すものである。

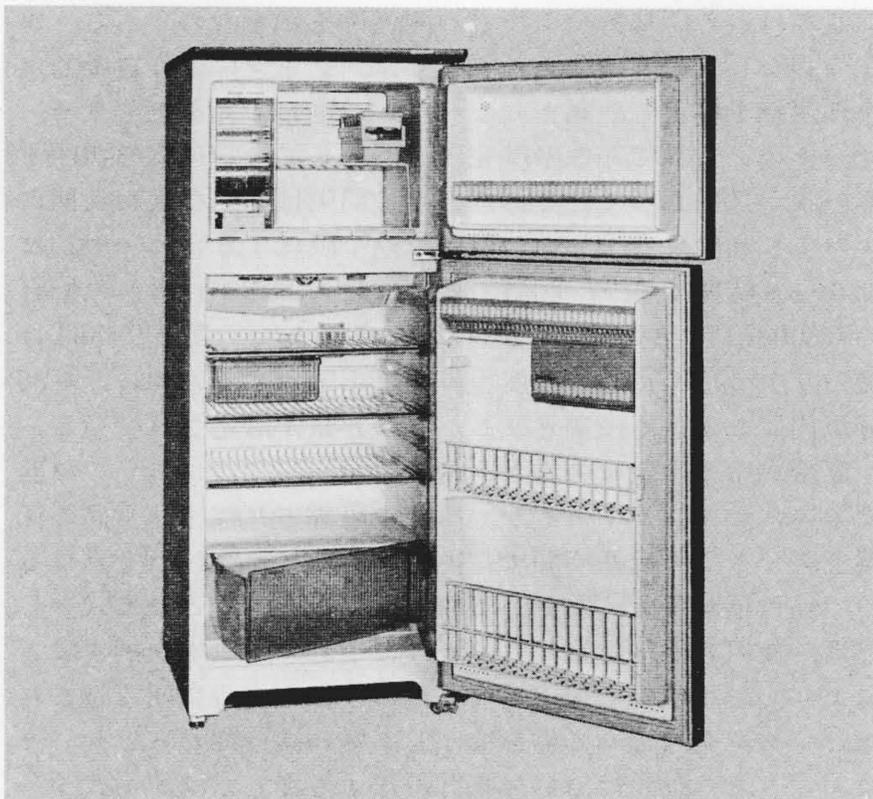


図6 2ドア霜なし式冷凍冷蔵庫(日立 R-204TD形) 冷却器を専用の収納室に収納し、ファンで冷気を冷凍室および冷蔵室に送って冷却する。
Fig. 6 Two-door Frost-free Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-204TD)

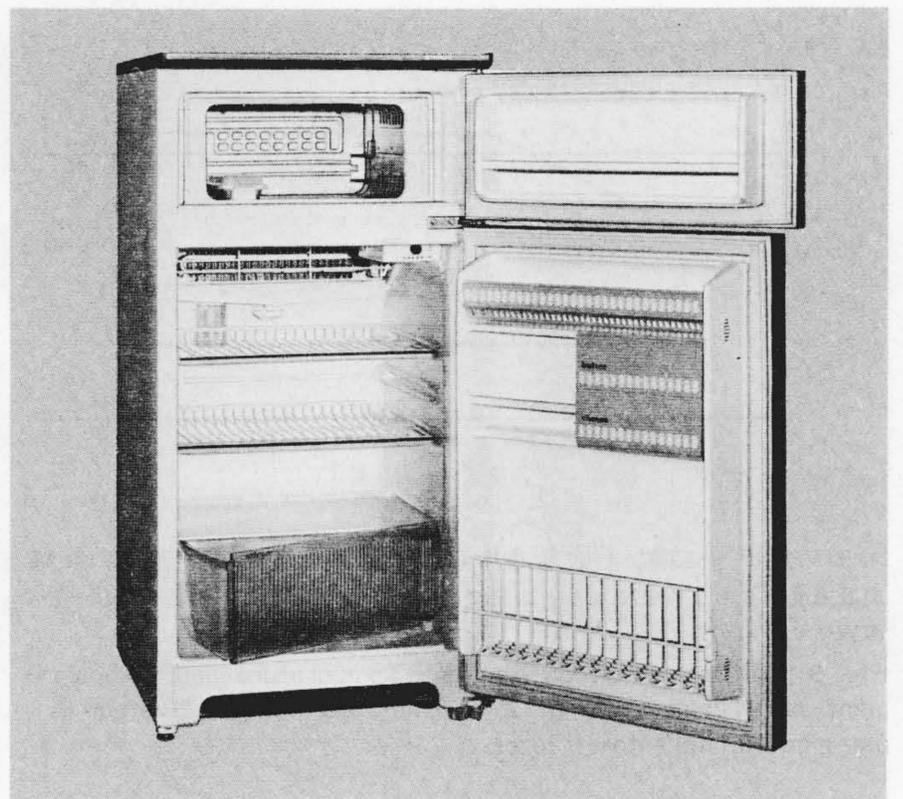


図7 2ドア直冷式冷凍冷蔵庫(日立 R-177W形) 冷凍室および冷蔵室にそれぞれ専用の冷却器を備え、自然対流で冷却する。
Fig. 7 Two-door Natural Convective Refrigerator-freezer (Model Hitachi R-177W)

4 庫内温度調節方式

2ドア冷凍冷蔵庫の庫内温度調節方式には、1個の温度調節器を用いた1サーモ方式と2個の温度調節器を用いた2サーモ方式とがある。

直冷式および従来の霜なし式は1サーモ方式である。この方式は1個の温度調節器で冷凍室と冷蔵室の温度を調節するので、冷凍室温度を周囲温度の変化にかかわらず冷凍食品を長期間保存するのに適した -18°C 程度に保とうとすると、冷蔵室は周囲温度が低くなるに従って必要以上に冷却され、冬季は 0°C 以下になり食品が凍結する問題がある。この問題を解決するために、圧縮機の運転停止時に通電することにより周囲温度がさがるに従って発熱時間が増加する20~30W程度の冷え過ぎ防止ヒータを冷蔵室に設置している。冷却する一方では加熱するというエネルギーの使い方は省エネルギーの観点から改良されねばならない。

冷蔵室にダンパサーモを設置した2サーモ方式は冷凍室と冷蔵室の温度調節が容易にできるとともに、冷え過ぎ防止ヒータを必要としないので運転経費が節約できる利点があるため、最近の霜なし式に広く採用されるようになった。この方式は冷凍室の温度を感知して動作する冷凍室温度調節器で、圧縮機およびファン運転を制御する一方、ダンパサーモで冷蔵室へ送る冷気量を自動的に調節する方式である。図8はダンパサーモの構造例を示すものである。ダンパサーモは、冷蔵室温度の変化により感熱管中の冷媒の圧力が変化してベローズを伸縮させ、これが押し棒を作動させダンパの開度を細い線で示すように調節し、冷蔵室に送る冷気量を調節する。また、ダイヤルを回すことによりダンパの作動する温度を変えることができる。太い矢印は冷気の流れを示すものである。

図9は、2サーモ方式を採用した霜なし式冷凍冷蔵庫の周囲温度の変化に対する冷凍室および冷蔵室の温度の変化状態を示すものである。冷凍室および冷蔵室の温度は、周囲温度

が 30°C から 5°C まではほぼ一定であるが、周囲温度が 5°C 以下になると冷蔵室温度が低下しはじめ、 2°C 程度になると 0°C になる。これはダンパサーモのダンパが全閉して、冷蔵室への冷気の送風がなくなっても冷凍室への熱貫流により冷却されるためである。

図10は栃木市郊外における一般家庭で冬季の一日における外気温度の変化と、それに伴う台所温度ならびにその台所で使用されている2サーモ霜なし式冷凍冷蔵庫の冷蔵室温度を測定した結果を示すものである。図10により、冬季、外気温度が短時間 -6°C まで低下しても家屋の保温特性により台所

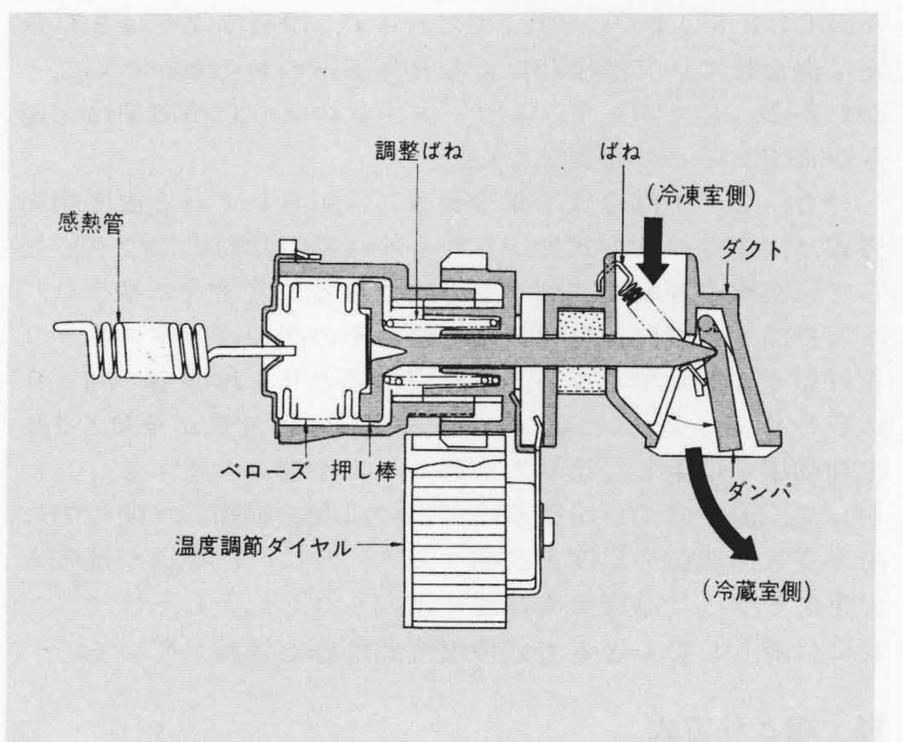


図8 ダンパサーモの構造 感熱管で感知した冷蔵室の温度をベローズの圧力に変え、押し棒を通じてダンパの開度を変え、冷蔵室に送られる冷気量を調節する。
Fig. 8 Construction of Damper Thermostat

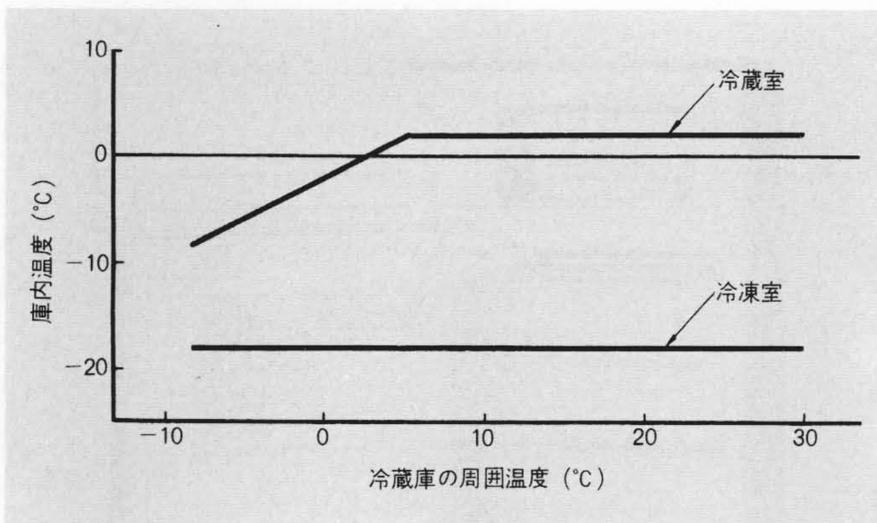


図9 2サーモ霜なし式冷凍冷蔵庫の周囲温度と庫内温度の関係
周囲温度が5°Cより低くなると冷蔵室温度が下がりはじめ、約2°Cになると冷蔵室は0°Cになる。

Fig. 9 Relation between Ambient Temperature and Compartment Air Temperature of 2 Thermostats Control System Frost-free Refrigerator-freezer

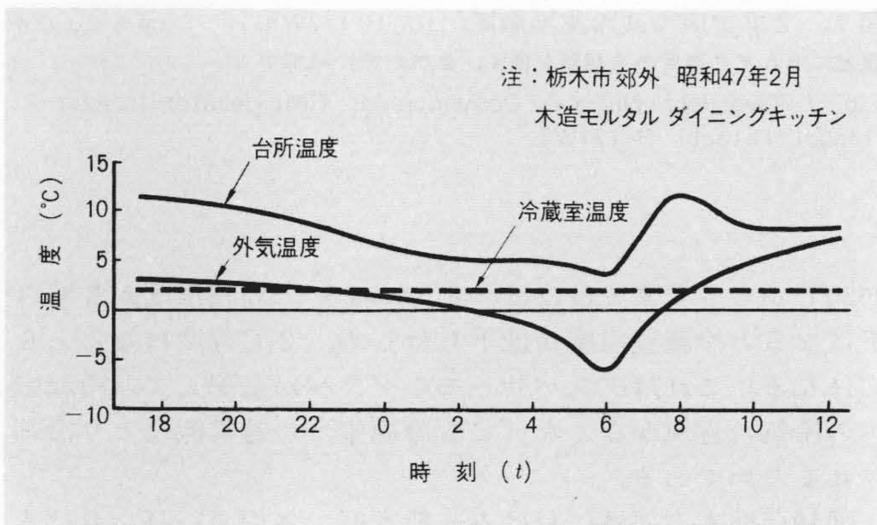


図10 外気温度と台所温度の変化(冬季) 外気温度が一時的に-6°Cになっても台所温度は3.5°Cまでしか下がらず、2サーモ方式のダンパサーモで温度調節される冷蔵室の温度は2°Cで一定である。

Fig. 10 Change of Outdoor Temperature and Kitchen Temperature

の温度は3.5°Cまでしか低下しておらず、冷蔵室温度は2°C一定に保たれていて過冷却による食品凍結のおそれがないことがわかる。したがって、1サーモ方式のように冷蔵室冷え過ぎ防止用ヒータの必要がない。

一方、2ドア直冷式冷凍冷蔵庫に採用されている温度調節方式は、1サーモ方式で、しかも冷蔵室冷却器の温度を感知して圧縮機の運転を制御する方式である。直冷式の場合は、冷凍食品を長期間保存するためにはその間の冷凍室の霜とりを行なうことができない。冷蔵室の霜とりを冷凍室の霜とりに合わせて行なうことは、冷蔵室冷却器の霜付量が多量となり冷却効率が低下して冷却力が悪くなる不都合を生ずる。したがって、直冷式では冷蔵室冷却器の温度を感知して間接的に冷凍室と冷蔵室の温度を調節すると同時に、圧縮機が運転を停止するごとに冷蔵室冷却器の温度を0°C以上に上げて、これに付着した霜をとる方式の温度調節器を採用している。

5 霜とり方式

霜なし式冷凍冷蔵庫には熱交換特性がすぐれたフィンチューブ形の冷却器が使用されているが、フィン間に霜詰まりが生ずると熱交換性能が著しく低下するので、霜詰まりが生ずる前に早めに霜とりをする必要がある。図11は霜なし式の冷

却器霜付量と冷却器熱交換率の関係例を示すものである。現在の霜なし式冷凍冷蔵庫の霜とりは、タイマにより自動的に冷却運転を停止し、霜とりヒータに通電して霜を融解させ、サーモスタットで霜の融解完了を感知して冷却運転を再開する方式が採用されている。霜とりの間隔は過酷な使用状態においても霜による冷却力の低下を最小限にするため一般的には6~8時間であり、図11の例では最大に霜が付着した場合でも300ccになると霜とりが行なわれる。また、霜とり時間は霜とり中の冷凍食品の温度上昇を最小限にするために、約30分以内になるように霜とりヒータの容量が設定されている。

直冷式冷凍冷蔵庫の霜とりは、冷蔵室冷却器については前項で述べたとおりであるが、冷凍室の霜とりは冷凍食品の保存上、できるだけ長期間冷却運転を行なった後に行なわれるので霜付量が多く、霜とり時間が長くなる。霜とり方式としては、使用者が霜付量の程度をみて手動スイッチを押すことにより、冷却運転を停止させ、代わりに冷却器に組み込まれたヒータを発熱させて霜を溶かし、霜が溶け終わるとサーモスタットで自動的に冷却運転に復帰する押しボタン方式が一般に広く採用されている。この方式では霜とり中の冷凍室温度が0°C以上になるのでこのとき冷凍食品の保存は中断される。

図12は霜なし式と直冷式の霜とり中における庫内温度の変化状態を示すものである。霜なし式の冷凍室に保存されている冷凍食品の温度は、霜とり中でもほとんど上がらないので冷凍食品の長期保存が可能である。

6 ホームフリージング

直冷式でホームフリージングをする場合、冷却器に直接食品を接した場合は霜なし式よりも速く食品を凍結させることができる。しかし、冷凍室の空間に食品を置いた場合は、霜なし式より著しく遅くなる。

図13は、ハンバーグを600gホームフリージングした場合の一例を霜なし式の場合と直冷式の場合とを比較して示したものである。凍結に要する時間は、霜なし式は2.1~2.4時間と

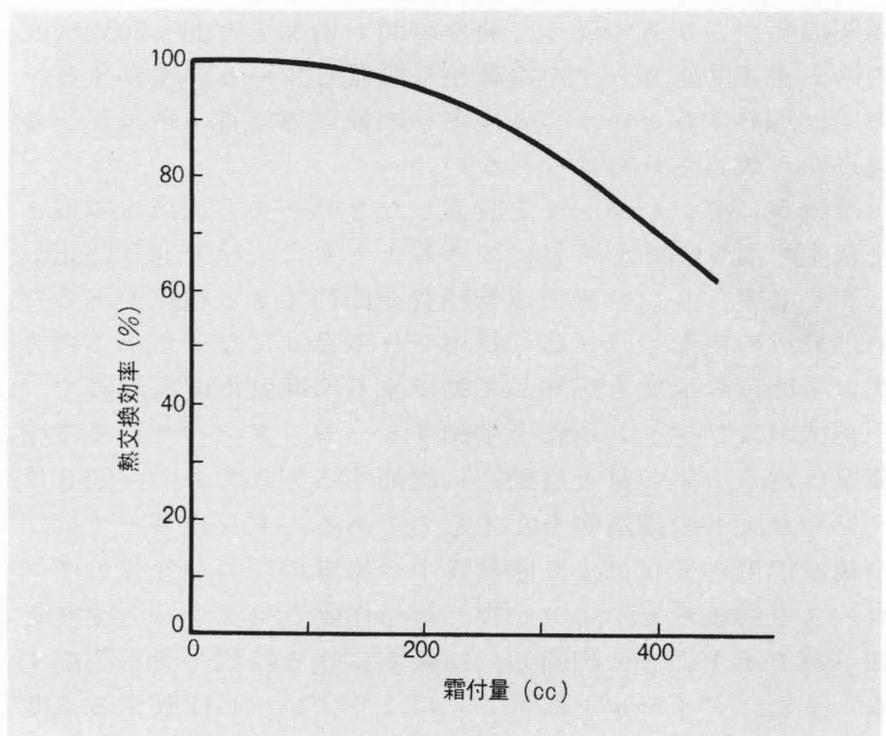


図11 霜付量と熱交換効率の関係 フィンチューブ形冷却器に霜がつくと著しく熱交換率が低下するので早めに霜とりを行なう必要がある。
Fig. 11 Relation between Frost Quantity and Heat Exchange Efficiency

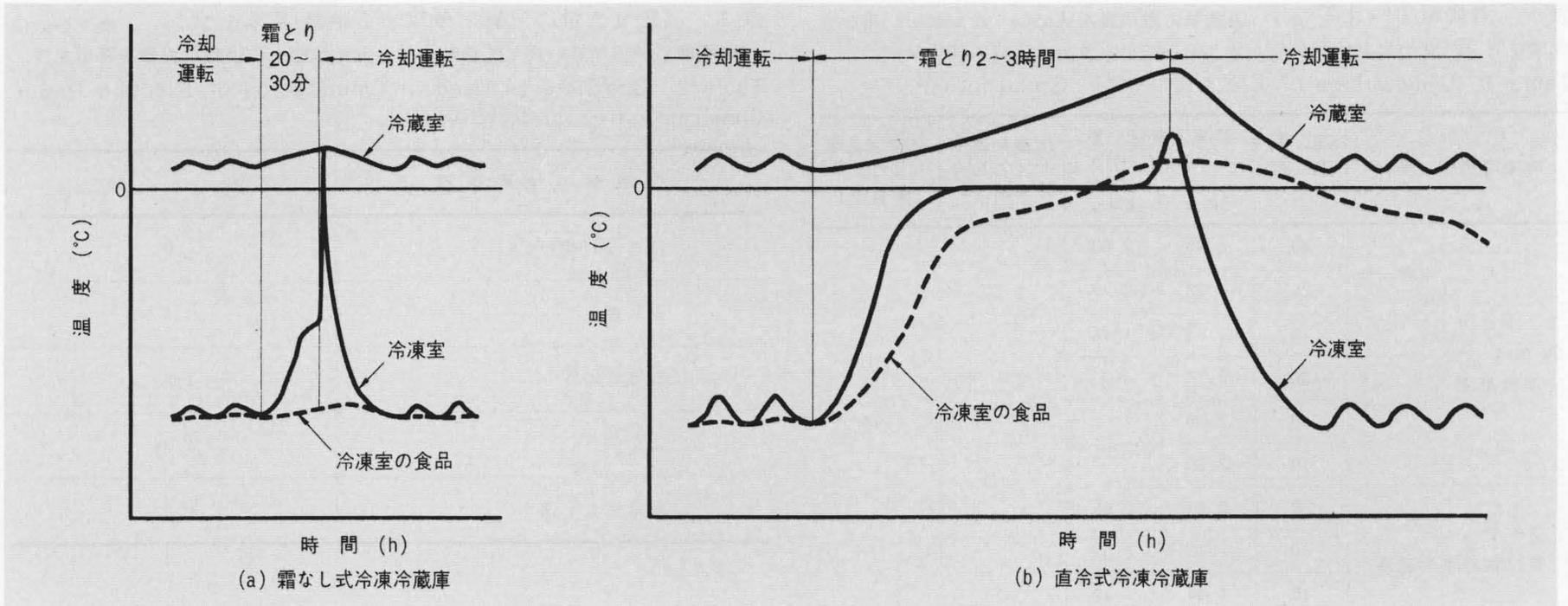


図12 冷凍冷蔵庫の運転時および霜とり時の庫内温度 霜なし式では冷却器が専用の場所に収納されているので、霜とりも短時間で行なわれるので冷凍食品の温度が上がらず、冷凍食品を長期間保存できる。直冷式では冷却器が冷凍室になり、霜とり時間も長いので、霜とり中は冷凍食品の温度が上がり、冷凍食品の長期保存ができない。

Fig. 12 Inner Temperature During Operating and Defrosting of Refrigerator-freezer

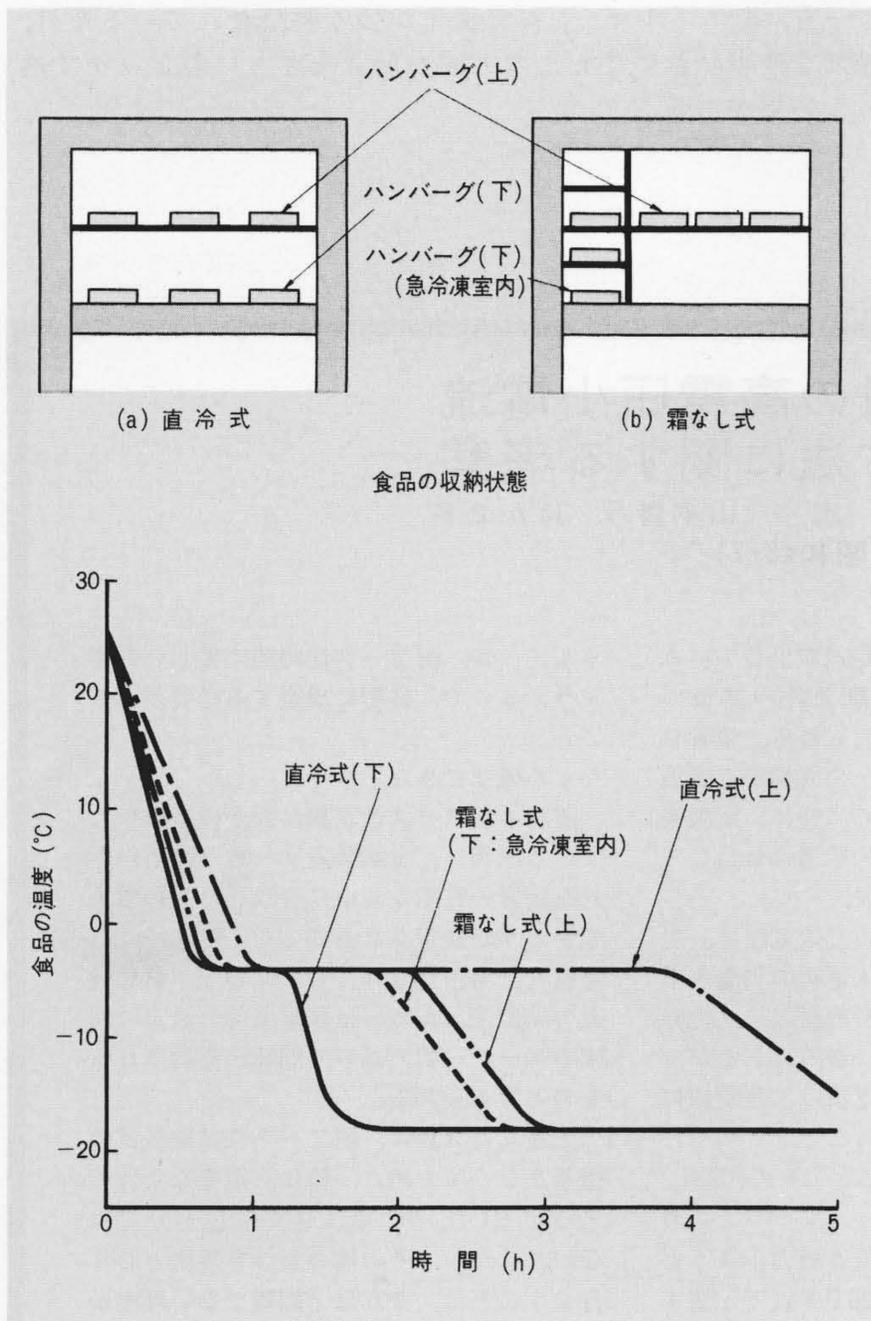


図13 ホームフリージング中の食品の温度変化 霜なし式の場合は食品の置き場所による食品温度の変化に差がないが、直冷式の場合は冷却器に接する食品温度は霜なし式より速く低下、接しない食品は霜なし式よりはるかに遅く低下する。

Fig. 13 Change of Food Temperature Through Freezing

食品の置き場所による差が少ないが、直冷式は1.4～4.5時間と食品の置き場所によって大きな差がある。

冷凍食品の品質は食品の生鮮度が同じであるならば、凍結速度によって左右される。食品が凍結される過程で品質に最も影響を与える温度帯は、最大氷結晶生成帯と呼ばれ、ほとんどの食品の場合 $-1 \sim -5^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。食品が凍結される時には、表面から順次内部に向かって凍結されていくが、 -5°C の温度帯が食品の中を進む速さを凍結速度といい、これが速いものほど品質のよい冷凍食品が得られる。凍結速度が $5 \sim 20\text{cm/h}$ 以上のときは急速凍結、 $1 \sim 5\text{cm/h}$ のときは中速凍結、 $0.1 \sim 1\text{cm/h}$ のときは緩慢凍結という。

図13の例で凍結速度を計算すると、霜なし式、直冷式のいずれでも $0.5 \sim 1\text{cm/h}$ で緩慢凍結であり、冷凍食品の品質には大差がないといえる。

7 運転経費

霜なし式はファンで冷気を強制循環するので、庫内空気と内箱の間の熱伝達率が直冷式の自然対流の場合より大きくなるため、外気からの熱の侵入が多くなり、消費電力量が多くなる。また、ファンモータを使用するのでこれによる消費電力量も増す。2サーモ方式の場合には1サーモ方式の霜なし式や直冷式のように冷蔵室過冷却防止用のヒータを必要としないのでこの分は節約できる。

アメリカでは電気冷蔵庫の消費電力量を測定する基準の一つとしてAHMA(Association of Home Appliance Manufacturers)が定めた基準があるが、この基準に準じて基準消費電力量を170 l程度の冷凍冷蔵庫について測定した結果は表1に示すとおりである。同表の値は「ほとんど冷蔵庫を使用しない(ドアを開閉しない)状態」の場合の電力量で実際に使用する場合は、その使用の度合により霜なし式の場合は表2に示す係数を乗じて1日あたりの消費電力量が求められる。

実際に使用した冷凍冷蔵庫は内容積あるいは断熱材の厚さ、さらに露付防止用ヒータなど若干の違いがあり、同一条件での比較とはいえないが、2サーモ方式の霜なし式の消費電力

表1 消費電力の比較 消費電力量は直冷式のほうが少ない。霜なし式ではダンパサーモを使用した2サーモ方式が1サーモ方式より少ない。

Table 1 Comparison of Electric Power Consumption

冷凍冷蔵庫の種類	周囲温度(°C)	基準消費電力量(kWh/d)		冷蔵室温度(°C) (無負荷)	冷凍室温度(°C) (実負荷)	
		50Hz	60Hz			
2ドア霜なし式冷凍冷蔵庫	2サーモ方式	30	2.98	2.80	2~3	-18
		20	2.28	2.17		
		10	1.84	1.78		
	1サーモ方式	30	3.58	—		
		20	2.90	—		
		10	2.39	—		
2ドア直冷式冷凍冷蔵庫	30	2.23	2.65			
	20	1.73	2.07			
	10	1.44	1.72			

表2 消費電力量の計算に使用する係数(霜なし式) 表1の数値に冷蔵庫の使用状態に応じて係数を掛け実用状態での消費電力量を算出する。

Table 2 Coefficients Used in Calculation of Electric Power Consumption(Frost-free type)

冷蔵庫の使用状態	係数
ほとんど使わない	1.0
少し使う	1.1
普通に使う	1.2
よく使う	1.35
非常によく使う	1.5

8 結 言

生活様式の多様化, 食生活の向上により電気冷蔵庫は今後さらに大形化され, 冷凍室の役割もさらに重要になると考えられる。また, 冷凍食品の普及は冷凍食品の保存およびその取扱い性にすぐれた機能を発揮する霜なし式冷凍冷蔵庫の需要を増加させていくものと考えられる。

一方, 省エネルギー, 省資源化が強く要請されている今日, 電気冷蔵庫においてもこの方面の研究をさらに急ピッチで進める必要がある。

量は1サーモ方式の霜なし式より20%少ない。

最近のエネルギー不足に伴う節電化の要求は, 電気冷蔵庫の場合にも例外ではなく, ダンパサーモにより節電化が一步進められている。また, 外気の湿気が通常るときには, 露付防止ヒータの通電を停止する節約回路が採用されており, 消費電力量を約5%節約できるが, 今後ともさらに省エネルギー化の研究を進める必要がある。



固体電気絶縁材料の高電圧小電流耐アーク性試験方法に関する考察

日立化成工業株式会社 杉江 忠・山本喜万 ほか2名
電気学会論文誌 93-A, 7 (昭和48-7)

アメリカのテレビ火災事故に関連して, これに使用する固体絶縁材料の耐アーク性が重要視されつつある。特に, 火災の発生源になりやすい電源スイッチ材料に対しては, 難燃性で, かつ, 耐アーク性時間が180秒以上というUL (Underwriters' Laboratories, Inc.) のきびしい材料認定基準が設けられた。このように, 耐アーク性秒数が商取引の基準に用いられることになってから, わが国の電気絶縁材料メーカーおよびユーザー各社で測定した, 同一種類の材料の耐アーク性時間が一致しないという事実が明らかになり, 業界で大きな問題になっている。耐アーク性試験方法は, ASTM (American Society for Testing and Materials) 規格を基礎に, わが国での審議を経て, JEC-149, JIS K6911として規格化され, 試験装置が違ってなるべく同結果が得られるように配慮されている。しかし, 上述したように, 現実には, 試験装置の間にはかなりの機差が生じていることか

ら, 市販の試験装置に性能差が生じているか, あるいは試験者の試験条件の調整に微妙な差があるものと考えられる。筆者らは, 電気絶縁材料メーカーの立場から機差の原因を明らかにするため, 特に, 試験装置の調整に関連する電氣的要因に着目して検討を行なった。その結果,
(1) リークエッジトランスの二次電圧は, 規定どおりであっても, 二次電流の調整が不正確であると, 同種の材料の耐アーク性時間に, 大差が生ずる原因になる。したがって, アーク放電中の二次電流は, 規定値に正しく調整する必要があること。
(2) 高周波電流が重畳するとアークが乱れ, 機差の原因となる。リークエッジトランスの二次側回路の浮遊静電容量を極力小さくすることが必要であり, 約20PF以下が望ましいこと。
(3) ASTM規格に基づいて製作した試験装置のアークエネルギー値が, 同規格表示値と一致しない結果になったが, アークエ

ネルギーは, 耐アーク性時間に著しい影響を与えるので, 厳密に規定する必要があること。

などを確認できた。

現状の耐アーク性試験装置が機差を生じている原因は, 試験装置メーカーで製作された装置の性能が規格に合致したものであるかどうか検定されることなく, ユーザーに渡り, 実用化されている問題と, 試験装置の調整法, あるいは試験条件の設定に関するユーザー間の違いの問題に集約されるものと考えられる。

上述した3点は, 耐アーク性試験装置の機差をなくすために, 特に, 重要な条件であるが, それだけでは必ずしも十分ではない。しかし, その他の条件を規格どおり行なうことは, それほど困難でない理由から, 上記の3点に留意することにより現在問題になっている機差は, ほとんど解決できる見通しを得た。