

調湿形冷蔵庫の諸特性

Characteristics of "Moisture Controlled Type" Refrigerator

阿部 順 常*
Yoritsune Abe

名古屋 純也*
Yoshinari Nagoya

五十川 元*
Hajime Ikagawa

要 旨

現在一般に普及している冷蔵庫では、大なり小なり庫内の水分を吸収する性格を持っているので、低湿度で保存する食品にとっては好都合であったが、冷蔵庫が大形化して野菜・果物などを大量に購入し、長期間貯蔵するようになると、食品の乾燥を防ぐために冷蔵室内全体を高湿度とする必要が生じてくる。本文は、以上の観点から大形冷蔵庫の冷蔵室内を従来のものよりも高湿度とし、さらに湿度の調節も行なえるようにした調湿形冷蔵庫の構造および性能について述べたものである。

1. 緒 言

冷蔵庫の機能・構造は、年々改良されて現在では冷蔵室内を1年中自動的に一定温度に保つことができ、さらに冷凍室内に冷凍食品を入れたままでも除霜を行なうことができるようにまでなった。このような冷蔵庫でも、まだ冷蔵室内の湿度保持がなされる構造にまではいたっていない。

食品乾燥防止策として、現在では食品をプラスチックフィルムなどで包装して貯蔵したり、あるいは冷蔵室内にクリスパなどの密閉に近い容器を設け、この中に食品を入れているが、食品の包装に手間どったり、あるいはクリスパなどの内容積が小さいので多くの食品を入れることができないなど、食品乾燥防止策としては完璧(べき)とはいえない。

冷蔵庫の大形化は年々その歩みを速めつつあり、遠からず200 l 近辺まで中心が移行すると予想されるが、大形化に伴う収納量の増大、貯蔵日数の長期化を考えると、この食品乾燥防止策の要求はますます高くなっていく。

調湿形冷蔵庫は、これらの諸点を解決するために冷蔵室内を高湿度に保ち、食品の乾燥速度を従来の冷蔵庫よりもはるかに小さくした高級・高性能冷蔵庫である。さらに、単に冷蔵室内の湿度を高くしただけのものは、乾燥させたい食品を入れることができないので、今回開発した調湿形冷蔵庫には調湿機構を設けて、従来の強制対流形冷蔵庫としても使用できるようにした。

なお、図1はR-5190FM形調湿形冷蔵庫の外観、図2は内観である。

2. 調湿形冷蔵庫の原理

2.1 乾 燥 理 論

物体表面の水蒸気圧がふん囲気の水蒸気圧よりも高いと物体表面から水分が蒸発あるいは昇華する。それに伴い表面の水分の減少が物体内部からの水分の拡散によって補充されることによって物体は乾燥していく。

このときの物体表面からの水分の蒸発速度は、(1)式によって与えられる。

$$w = H(p_s - p_0) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 w : 水分蒸発速度 ($\text{g/cm}^2\text{s}$)

H : 物質移動係数 ($\text{g/cm}^2\text{s mmHg}$)

p_s : 物体表面の水蒸気圧 (mmHg)

p_0 : ふん囲気の水蒸気圧 (mmHg)

(1)式において、 H は風速などに影響されるが、同じ冷蔵庫の中では一定であるとする、物体の乾燥速度は p_0 と p_s によって決定される。

* 日立製作所栃木工場

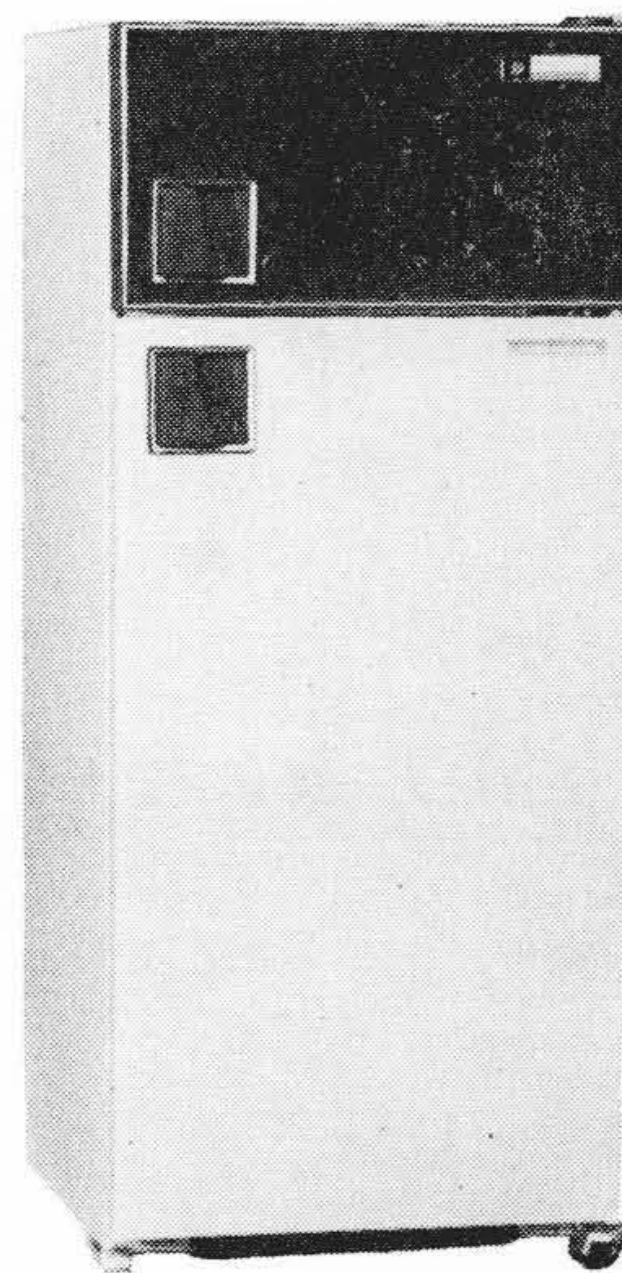


図1 R-5190FM 形
調湿形冷蔵庫

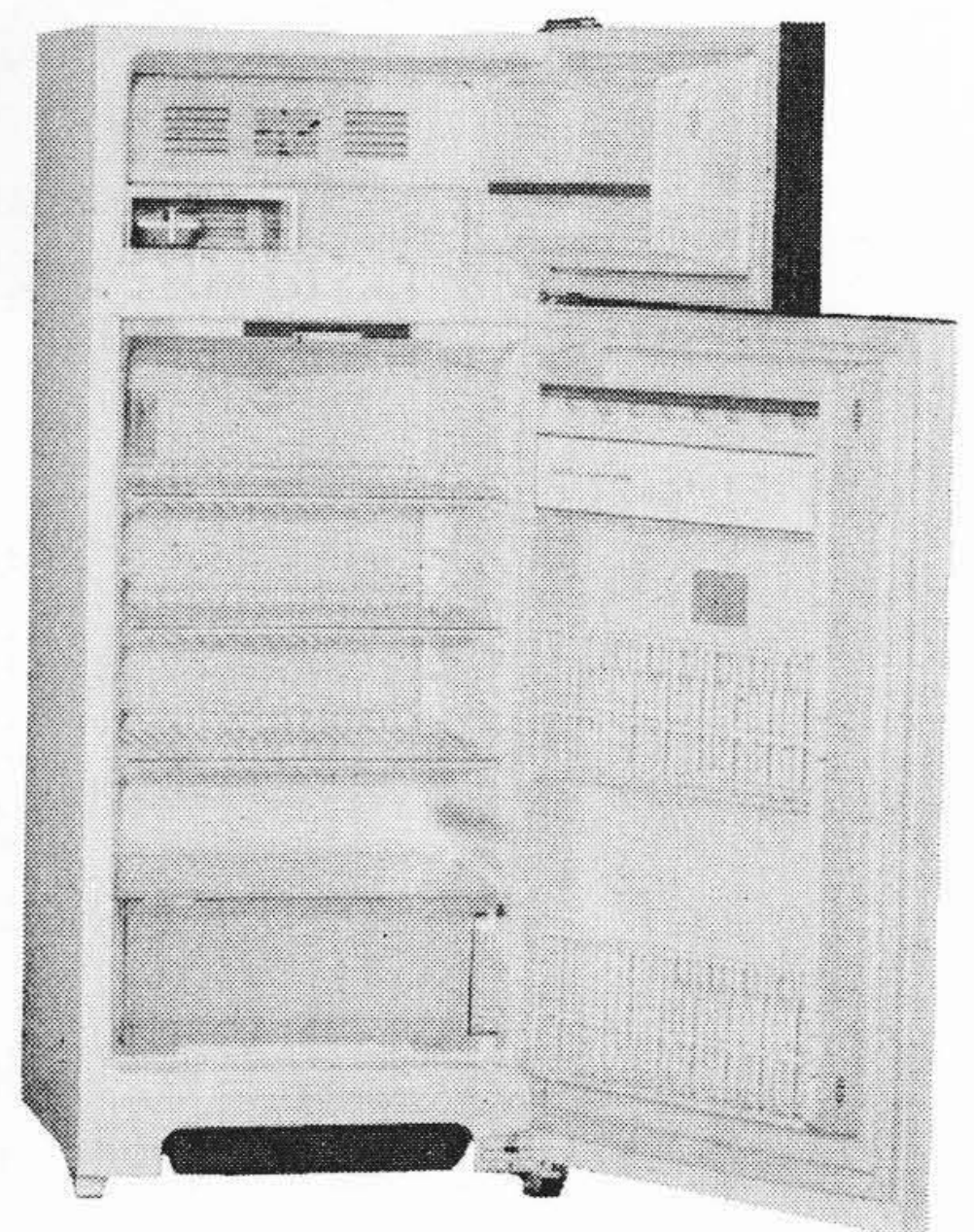


図2 内 観

これより、食品の乾燥を防止するためには、 $p_s - p_0$ を小さくするようにふん囲気の相対湿度を高めること、および p_s の値を小さくするように食品を低温にて保存することが必要となる。

2.2 方 式

普通の冷蔵庫では、冷蔵室内の空気がその露点温度よりも低い温度の冷却器と接触して熱交換し冷力を得ているため、熱交換の際に、熱量とともに空気中の水分が霜として冷却器に奪われる。ここで、冷却器の吸収する熱量を、外部から断熱材を通して冷蔵室内に侵入する熱量と平衡させれば冷蔵室内を一定温度にすることができる。これに対し、庫内空気の水分は、冷蔵室が密閉容器となっていて外部からの水分の補給が断たれているので、減少するのみであり、最終的には、冷却器表面温度における空気の飽和絶対湿度まで低下する。

熱交換の際に、冷却器に奪われる水分量は、冷却器と空気との温度差があまり大きくない範囲においては(2)式にて表わされ、また顕熱伝熱量は(3)式にて表わされる。

$$W = \frac{\alpha A}{C_p} (X_a - X_s) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \alpha A (T_a - T_s) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 W : 冷却器に奪われる水分量 (kg/h)

X_a : 庫内空気の絶対湿度 (kg/kg')

X_s : 冷却器表面温度における飽和絶対湿度 (kg/kg')

Q : 伝 熱 量 (kcal/h)

T_a : 庫内空気温度 ($^{\circ}\text{C}$)

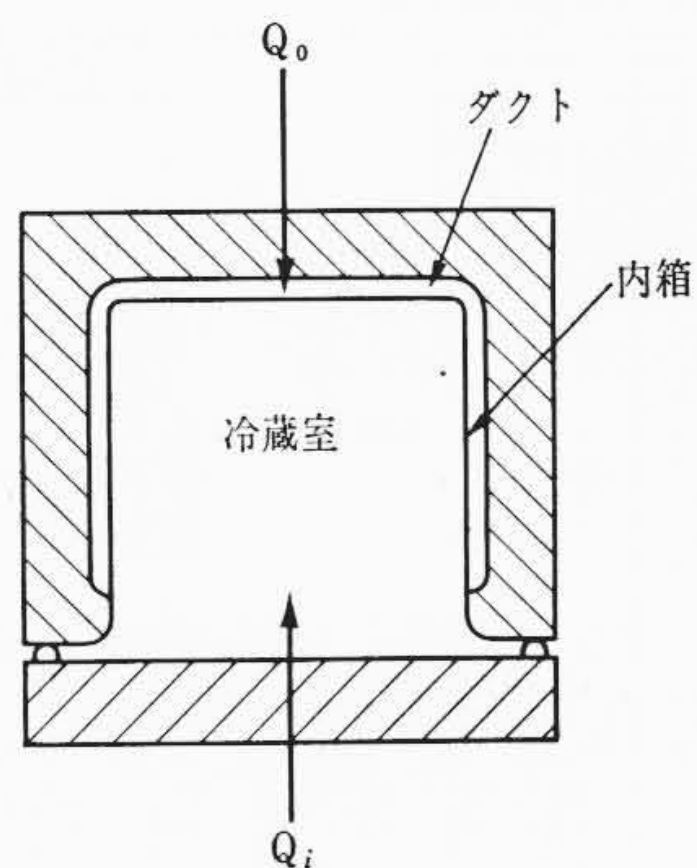


図3 冷蔵庫への侵入熱量

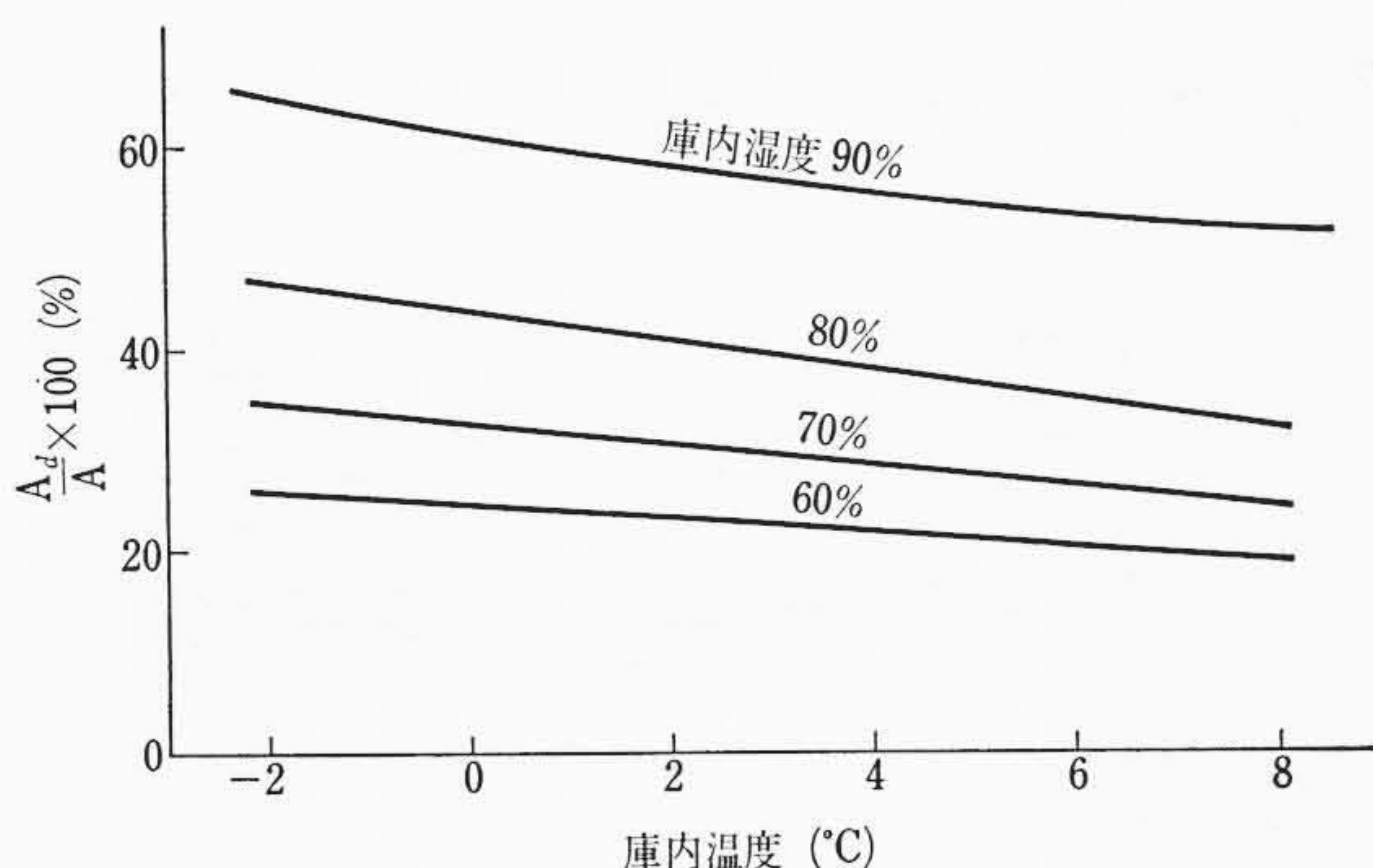


図4 ダクト部の必要表面積

T_s : 冷却器表面温度 (°C)

α : 冷却器表面の熱伝達率 (kcal/m²h°C)

C_p : 空気比熱 (kcal/kg°C)

(2)式において、 W をゼロとするには $X_a = X_s$, つまり庫内空気の絶対湿度と冷却器の表面温度における飽和絶対湿度が等しくなるように冷却器表面温度を庫内空気の露点温度以上に保てばよい。しかしながら、このようにすると冷却器温度を従来のものよりも 20 deg 以上も高くしなければならず、(3)式よりあきらかなようにじゅうぶんな冷力を得ることができなくなる。冷却器の温度を高くしてもなおじゅうぶんな冷力を得るためには、冷却器の表面積 A を大きくする必要がある。

今回開発した調湿形冷蔵庫では、冷蔵室のスチロール樹脂製内箱の外側に冷気の流れるダクトを設けて内箱表面を冷却器として使用することにより冷却器の表面積を大きくした。

この方式の利点をあげると次のとおりである。

- (1) 冷凍サイクルは、従来の強制対流形と同じでよい。
- (2) 冷蔵室外側に設けられたダクトにはいる風量と、直接庫内にはいる風量との比を変えることにより確実に湿度の調節を行なうことができる。
- (3) 水分保持形であり、外部から水分を与える必要がないので、この方式による冷却損失はなく、さらに霜付量の増加もないので除霜も従来どおりでよい。

2.3 冷却器表面積

従来の冷蔵庫では、庫外より庫内に侵入した熱量を庫内に置かれた冷却器が吸収して冷却を行っていた。これに対し、調湿形冷蔵庫では図3に示すように庫内冷却器が壁にはめ込まれているのと同様となるので、庫内への侵入熱量は庫外から直接ダクト内冷気に吸収される熱量 Q_0 と、ダクトのない部分から庫内に侵入する熱量 Q_i とに大別できる。さらに、ダクトのない部分から庫内に侵入した熱量は、すべてダクトの庫内側表面より吸収されなければならない。したがって、ダクト部の表面積をどのくらいにすべきかは上記侵入

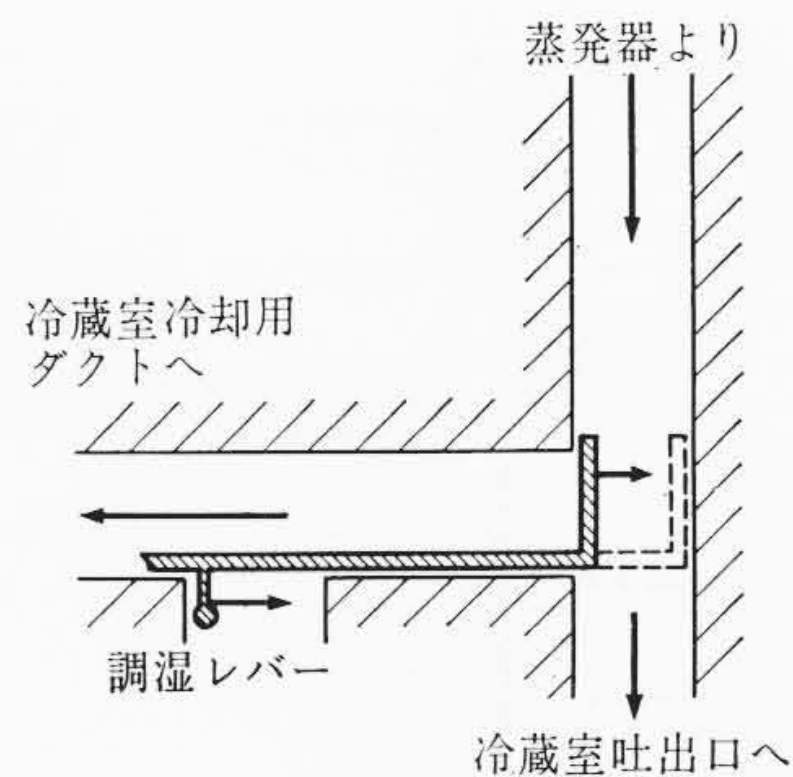


図5 調湿機構の原理

熱量 Q_i とダクト庫内側表面の吸収熱量 Q_i' との平衡点より求めなければならない。 Q_i および Q_i' は、それぞれ(4)式、(5)式にて表わされる。

$$Q_i = K(A - A_d)(T_0 - T_r) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_i' = \alpha_d A_d (T_r - T_r') \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Q_i : 直接庫内に侵入する熱量 (kcal/h)

Q_i' : ダクト庫内側表面の吸収熱量 (kcal/h)

A : 冷蔵室全表面積 (m²)

A_d : ダクト部表面積 (m²)

K : 冷蔵室のダクトのない部分の熱貫流率 (kcal/m²h°C)

α_d : ダクト表面の熱伝達率 (kcal/m²h°C)

T_0 : 外気温度 (°C)

T_r : 庫内温度 (°C)

T_r' : ダクト表面温度(庫内の湿度を低下させないために庫内の露点温度以上) (°C)

平衡状態においては、 $Q_i = Q_i'$ となるので、(4)式、(5)式より(6)式が導かれる。

$$\frac{A_d}{A} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_d}{K} \cdot \frac{T_r - T_r'}{T_0 - T_r}} \dots\dots\dots (6)$$

調湿形冷蔵庫の K を使用して、 A_d/A を求めたのが図4である。図4より庫内温度 2°C、相対湿度 80% を得るには、ダクト部の表面積を冷蔵室全表面積の約 40% とする必要がある。

以上の結果より、今回の調湿形冷蔵庫では、ダクト部の表面積を冷蔵室全表面積の約 40% とした。

3. 構造

3.1 調湿機構

調湿機構は、図5に示すようにスライド式ダンパを用いて、冷蔵室および冷蔵室冷却用ダクトに流れる風量を連続的に変化させることができるようにしたものである。

調湿レバーを右側にセットすると、蒸発器よりの冷気は冷蔵室外側のダクトにはいり、冷蔵室内は冷蔵室内箱の外側から冷却され高湿運転となる。これに対し、調湿レバーを左側にセットすると蒸発器よりの湿度の低い冷気は直接冷蔵室内に吐き出されて、従来の強制対流形冷蔵庫として使用できる。

3.2 通風経路

R-5190FM 形調湿形冷蔵庫の構造は、図6に示すとおりである。図6にて高湿運転と低湿運転の場合の冷気の流れを説明すると次のようになる。

- (1) 高湿運転時の冷気経路(図6において破線)

ファンにて化粧カバー内に吐き出された冷気の大部分は冷凍室内に吐き出され、一部が化粧カバー内のダクトから中仕切り内に

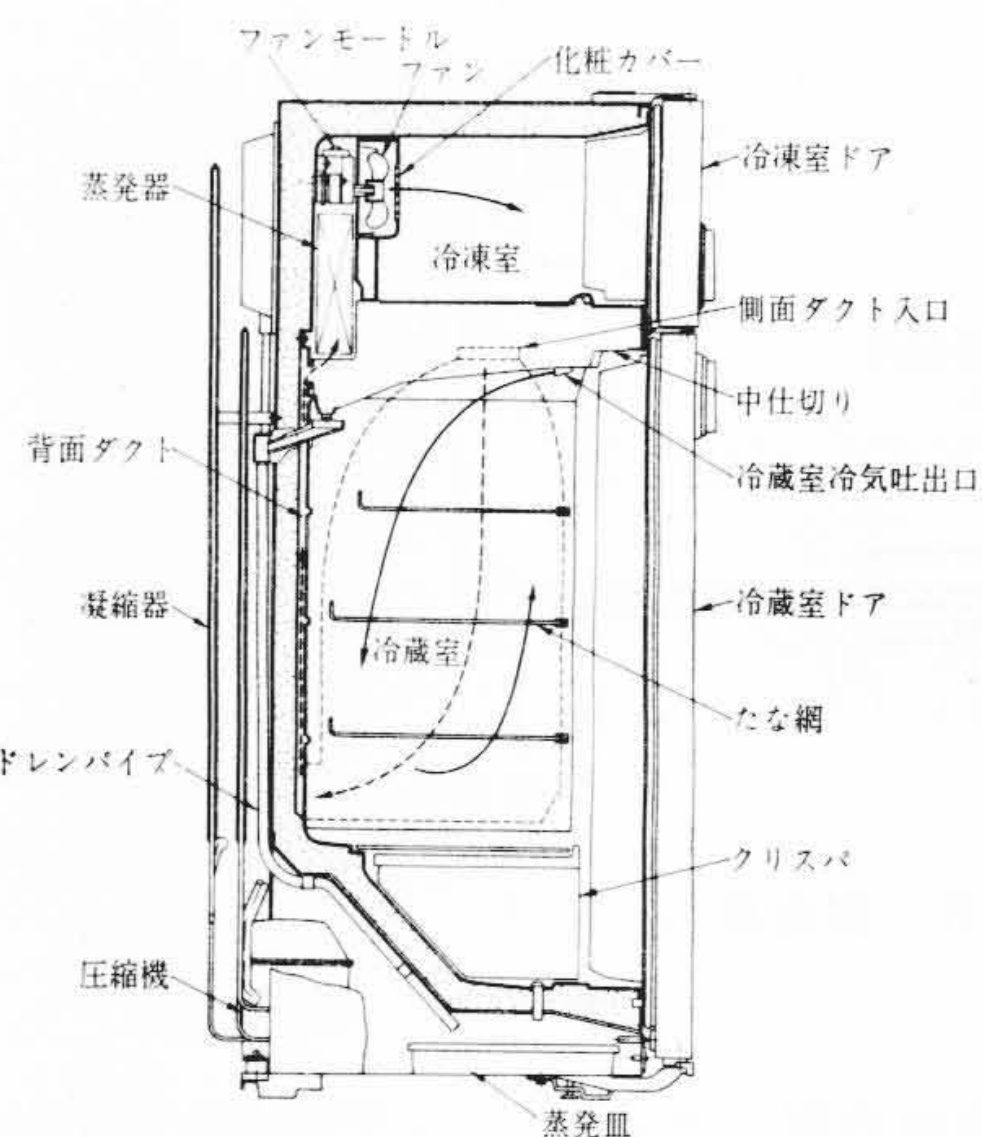


図6 R-5190FM 形調湿形冷蔵庫の縦断面図

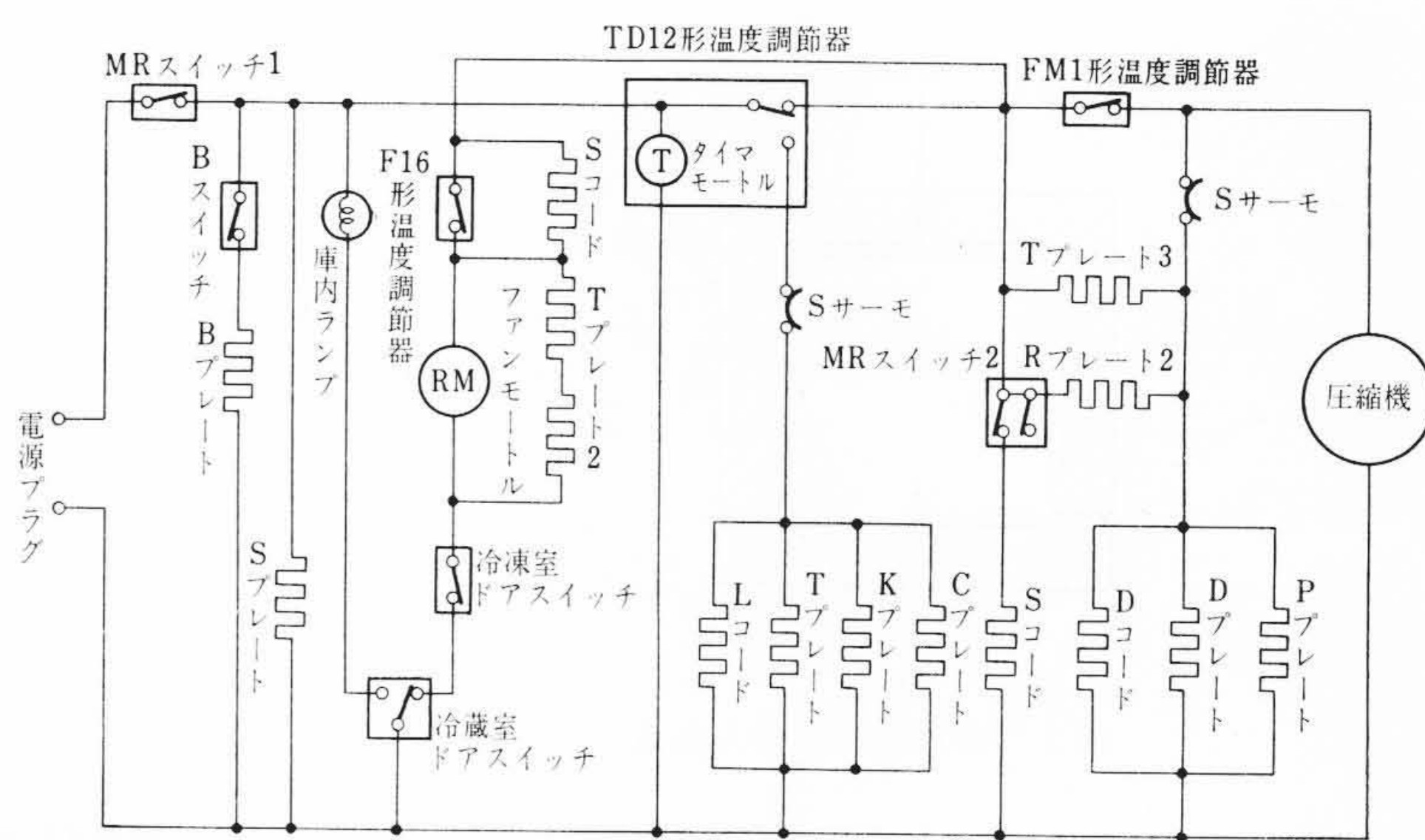


図7 R-5190FM 形調湿形冷蔵庫の電気回路図

表1 R-5190FM 形調湿形冷蔵庫の仕様

項	目	仕	様
そとのり寸法	高さ 1,323×幅 545×奥行 648 (ハンドルを含む)		669 mm
総内容積	185 l		
有効内容積	170 l (冷凍室 31 l, 冷蔵室 139 l)		
外箱	高級仕上鋼板アクリル樹脂焼付塗装		
内箱	ハインパクトスチロール		
断熱材	硬質ウレタンフォーム		
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	
	蒸発器	フィンチューブ形, ファン強制通風式	
	温度調節器	FM1形 (冷凍室) F16形 (冷蔵室)	
付属機能	除霜	TD12形, 全自動ヒータ強制式	
	排水蒸発装置	強制蒸発式	
	たな網	4段 (3段入替え可能)	
	野菜容器	透明回転式	
	卵棚 (だな)	16個用	
	バターケース	コンディショナー付	
製品重量	チーズケース	付	
	セルフターン	2段	
	バスケット	レバー式製氷皿2個, 貯氷箱1個	
製品重量		68 kg	

表2 冷力試験結果 (外気温度 30℃)

	高湿ノッチ	低湿ノッチ
蒸発器温度 ℃	-28.0	-26.4
冷凍室温度 ℃	-24.0	-22.7
冷蔵室温度 ℃	-5.7	-11.5

はいり、前述の調湿ダンパへと導かれる。ここで冷気は二つの流れに分流されて、それぞれ左右側面ダクトにはいる。左右側面ダクトを通過する間に冷蔵室内を冷却した冷気は、背面ダクトへと回り、ここで左右の流れが合流し、冷却を続けながら背面ダクト上部のダクト出口より蒸発器にもどる。

(2) 低湿運転時の冷気経路 (図6において実線)

冷気は高湿運転と同様に調湿ダンパまで流れ、ここから冷蔵室上部に設けられた吐出口より冷蔵室内に吐き出される。冷蔵室内の冷却を終了した空気は吸込口より蒸発器に吸い込まれる。

3.3 電気回路

調湿形冷蔵庫の主要電気回路は、図7に示すとおりである。冷蔵室温度は、F16形温度調節器にて冷気強制対流用ファンモーターを断続させて制御し、冷凍室温度はFM1形温度調節器にて圧縮機を断続させて制御する。

なお、R-5190FM 形調湿形冷蔵庫の主要仕様は表1に記すとお

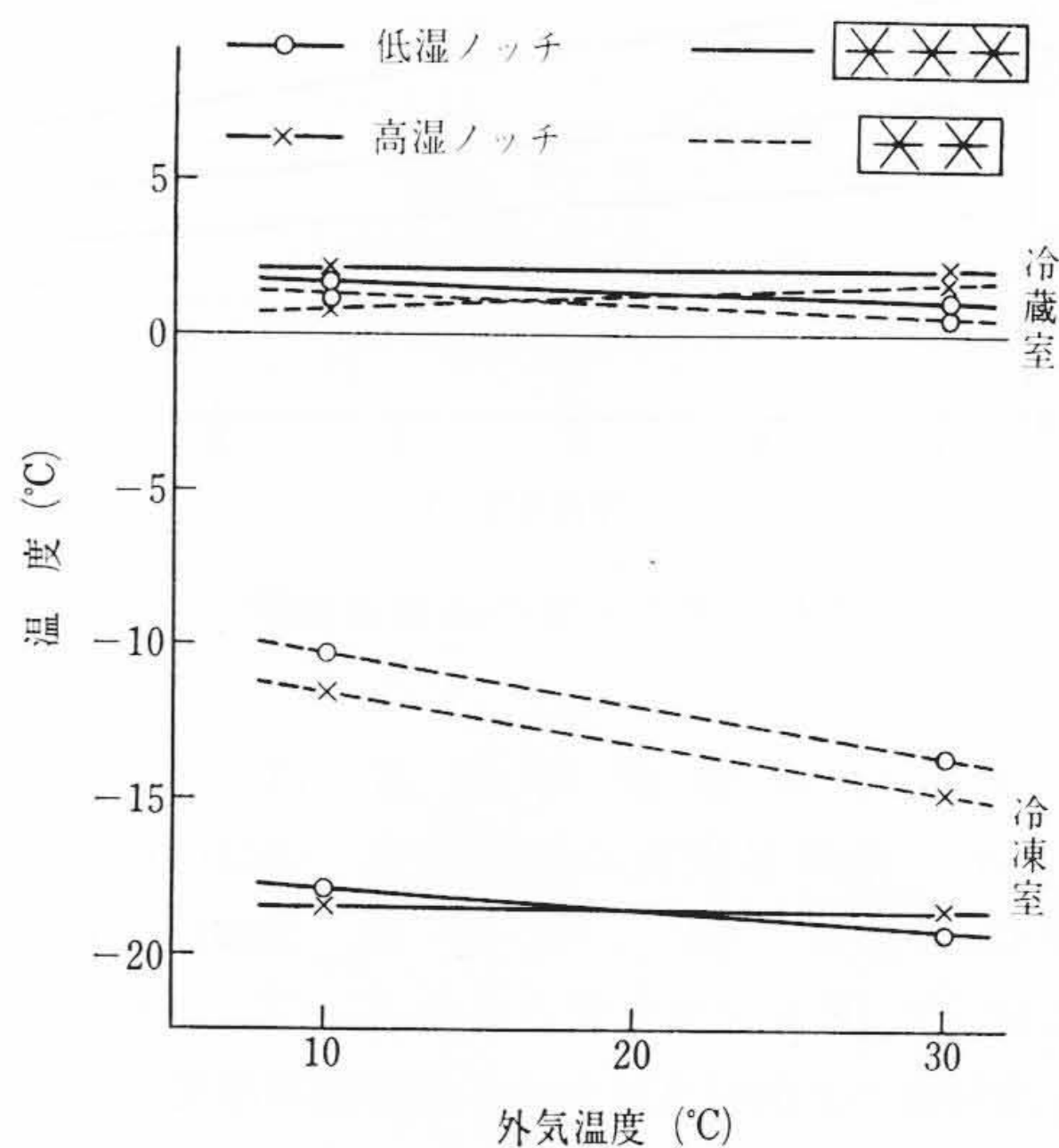


図8 断続試験結果

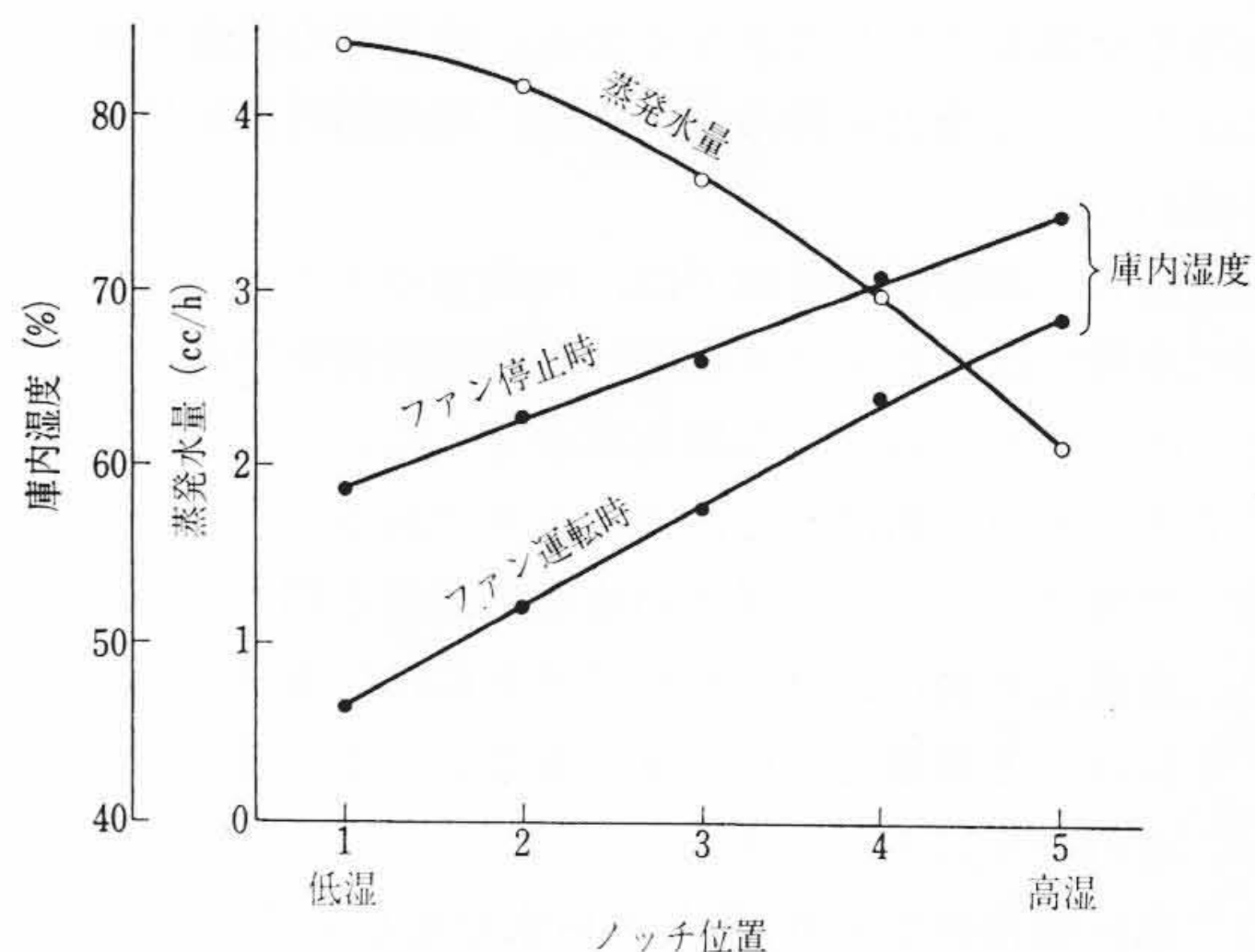


図9 模擬負荷による調湿性能

りである。

4. 性能

4.1 冷力、断続性能

(1) 冷力性能

外気温度 30℃における冷力性能は、表2に記すとおりであり、高湿運転、低湿運転ともにじゅうぶんであった。

(2) 断続性能

断続性能は、図8に示すように高湿運転、低湿運転ともに冷蔵

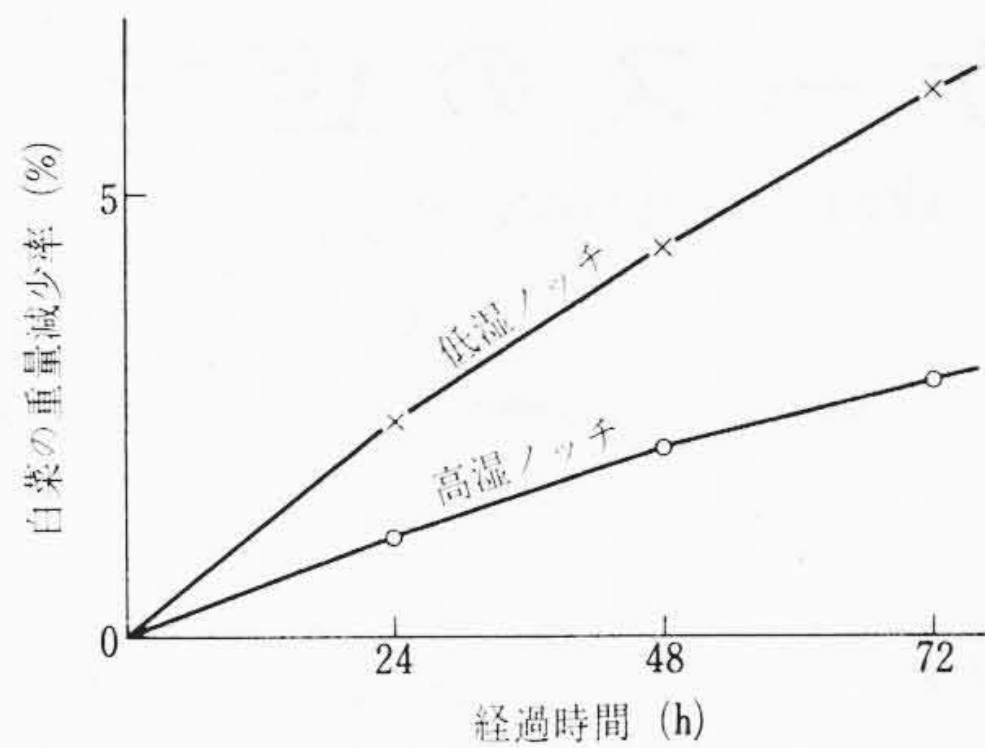


図10 実負荷高湿性能

室温度が外気温度の変化にかかわらず一定であり、全自動を満足している。

4.2 調湿、高湿性能

(1) 模擬負荷調湿性能

冷蔵庫の高湿運転時における保湿性および低湿運転時における乾燥度を調べるために、冷蔵庫内に水皿を入れ、一定時間断続運転後の蒸発水量および庫内湿度を比較したのが図9である。高湿ノッチと低湿ノッチとで、蒸発水量で約2倍、庫内湿度で20%以上差をつけることができた。

(2) 実負荷性能

乾燥度を比較する負荷として白菜を使用し、白菜の重量減少率と冷蔵時間の関係を表わしたのが図10である。重量減少率は(7)式にて求められる。

$$\text{重量減少率} = \frac{\text{初期重量} - \text{日数経過後重量}}{\text{初期重量}} \times 100 \dots (7)$$

図より明らかなように、高湿ノッチにおける白菜重量減少率は、低湿ノッチにおける白菜重量減少率よりもはるかに小さく、良好な高湿性能を得ることができた。

また、このときの高湿ノッチ時の庫内湿度は、85%と低湿ノッチ時の庫内湿度に対して20%庫内湿度を高めることができた。

(3) 食品乾燥試験結果

実際の使用状態として、冷蔵庫内に白菜、大根、ハム、豆腐を入れ、常温(約20℃)にて5日間運転したのちの食品乾燥度は図11に示すとおりであった。

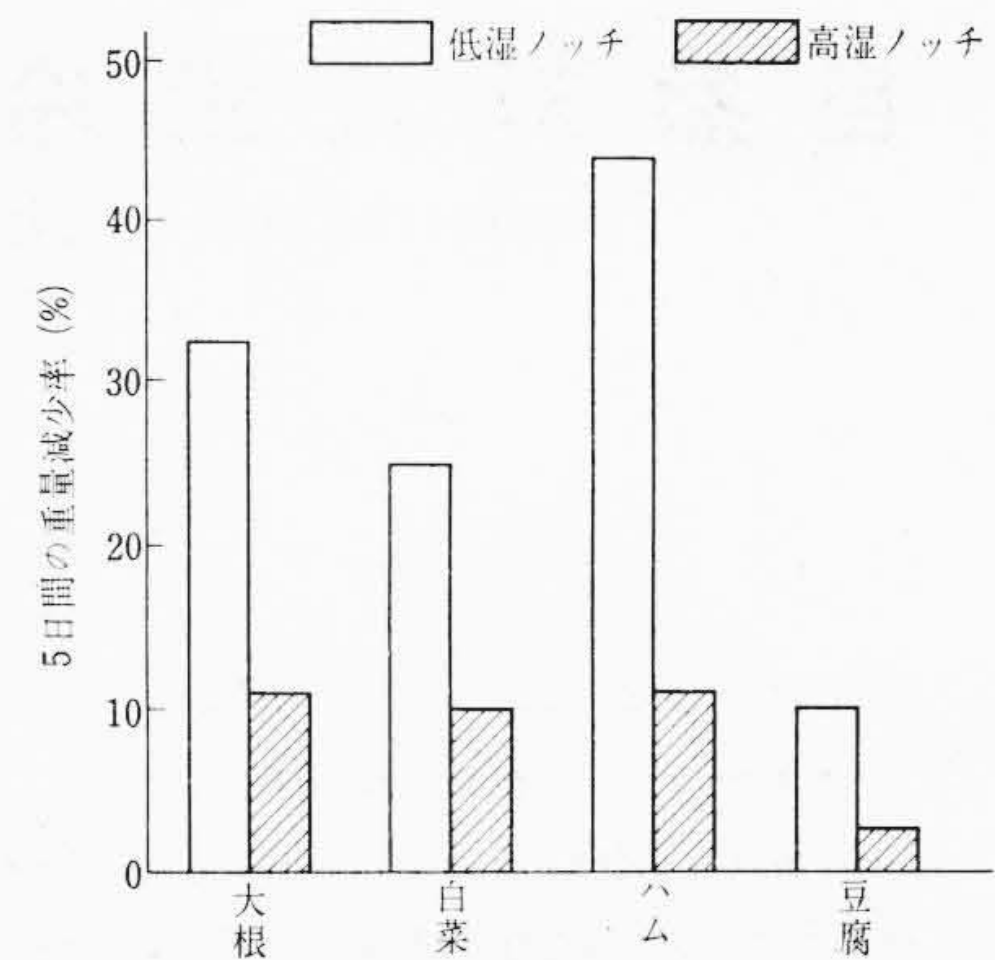


図11 冷蔵食品5日間の乾燥度合い

いずれの食品も高湿ノッチと低湿ノッチとで乾燥度合いに大きな差を生じ、性能の優秀さを確めることができた。

5. 結 言

以上食品乾燥防止を目的として、冷蔵庫内を高湿度に保つことができ、かつ湿度の調節も行なえる調湿形冷蔵庫について述べたが、要約すると次のようになる。

- (1) 今回開発した調湿形冷蔵庫では、冷凍サイクルが従来の強制対流形と変わりなく、また調湿を性能良く、しかも簡単に行なえるダクト通風冷却方式を採用した。これは冷蔵庫内箱外側に冷却ダクトを設けて冷蔵庫内を間接的に冷却する方式である。
- (2) 冷蔵庫冷却ダクト部の表面積は、庫内温度2℃で庫内相対湿度80%以上を得るために、冷蔵庫全表面積の約40%とした。
- (3) 調湿形冷蔵庫の調湿性能は、図9に示すように高湿ノッチから低湿ノッチまで相対湿度差20%を連続的に変化させることができた。また、実負荷試験においても負荷の重量減少率を低湿ノッチ時の半分以下、庫内相対湿度では20%高めることができた。
- (4) 今回開発した調湿形冷蔵庫は、昭和45年度製品R-5190FM形調湿形冷蔵庫として発売されている。

Vol. 31

日 立 造 船 技 報

No. 1

目 次

■ 論 文

- 電子計算機によるタンカーの横強度計算
- 大形タンカーの横けたウェブの座屈強度(その2)

- 噴流層の内部に生ずる気柱の大きさと粒子層高
- 消耗ノズル・エレクトロスラグ溶接の当板材について
- 加工法の異なる平歯車の強さについての一実験

………本誌に関する照会は下記に願います………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町60 郵便番号554