

R-125 形日立冷蔵庫の冷却特性

Refrigerating Characteristics of Model R-125 Hitachi Refrigerator

藤橋保二*
Yasuji Fujihashi

藤沼善三郎*
Zenzaburô Fujinuma

石川文男*
Fumio Ishikawa

要 旨

冷凍食品の著しい発達に伴い、家庭においてこれを長期間保存できる高性能の冷凍室を備えた冷蔵庫の需要が高まってきたが、このような情勢に対処するため、日立製作所ではさきに R-110K 形冷蔵庫を完成し、スリースター冷蔵庫として好評を博した。

今回さらに貯蔵室の冷却性能を一段と向上せしめ、夏季などにも強力な冷却力を発揮できる R-125 形冷蔵庫を完成し、昭和42年度製品として発売した。本文はこの冷蔵庫の冷却特性について述べたものである。

1. 緒 言

最近、科学技術庁など関係各方面の努力によってコールドチェーンの育成がさかんに進められているが、これに伴って冷凍食品の需要は今後いっそうの伸びが期待される。こうした情勢の中で、日立製作所が昭和41年度に発売した R-110K 形冷蔵庫は、優秀なスリースターの特性をかわれて好評を博したが、一方牛乳、コーラ、ジュース、ビール、麦茶など、いわゆる清涼飲料水の消費量も急激に増加する傾向にあり、これら両者の問題を解決するためには、低温度の冷凍室(フリーザ)を備えると同時に、貯蔵室の冷却性能も一段と向上した冷蔵庫が望まれる。

このような観点にたって、42年度製品として新たに開発されたものが R-125 形冷蔵庫で、洗練された“雪木立デザイン”、一操作で冷気を切り換えることができる“冷氣3段切換ボタン”、高性能フリーザの目じるしである“スリースター”、その他使いやすい機能を豊富に備えており、性能、機能ともに最高級の冷蔵庫である。

本報告は冷蔵庫の性能に密接な関係をもつ、蒸発器と貯蔵室間の熱貫流係数に焦点を合わせ、冷蔵庫の冷却特性を明らかにするとともに、R-125 形冷蔵庫の主要性能について述べたものである。

2. 研究方針

2.1 目標性能

R-125 形冷蔵庫の設計を進めるにあたり、次の4項目を目標性能に設定した。

(1) 最近冷蔵庫の使用ひん度が増加してきているので、外気温度 30°C において連続運転した場合の貯蔵室到達温度を、R-110K 形冷蔵庫よりいっそう低下させる。

(2) 外気温度 32°C および 16°C において貯蔵室温度を 0°C にした場合、冷凍室内負荷温度を -18°C 以下とする。すなわち British Standard 3739: 1964 のスリースター ******* の性能を確保する。

(3) 夏季などにドア開閉をひん繁に行なっても、貯蔵食品に対して十分な冷却力を発揮できる〔強冷〕ボタンを設ける。

(4) 外気温度 30°C において、従来のダイヤルノッチに対する貯蔵室温度をさらに低下させる。

すなわち冷却方式は R-110K 形冷蔵庫と同一方式を採用し、さらに貯蔵室の冷却力を増加しようとするもので、以下これについて詳述する。

2.2 冷力と熱貫流係数の検討

一般に冷蔵庫が熱平衡状態にあるときには、次の関係式が成立することが知られている。

* 日立製作所栃木工場

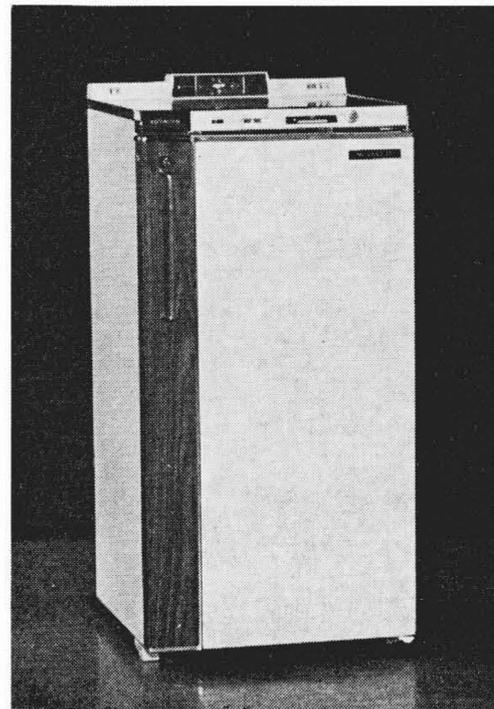


図1 R-125 形日立冷蔵庫

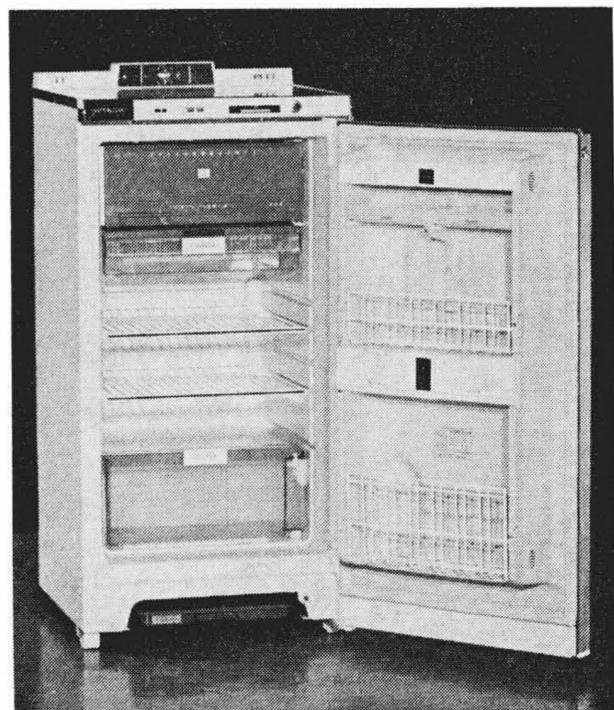


図2 R-125 形日立冷蔵庫(内観)

$$K_1(t_r - t_e) = K_2(t_0 - t_r) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 K_1 : 蒸発器と貯蔵室との間の熱貫流係数 [kcal/h°C]

K_2 : 貯蔵室と外気との間の熱貫流係数 [kcal/h°C]

t_r : 貯蔵室温度 [°C]

t_e : 蒸発器温度 [°C]

t_0 : 外気温度 [°C]

(1)式より

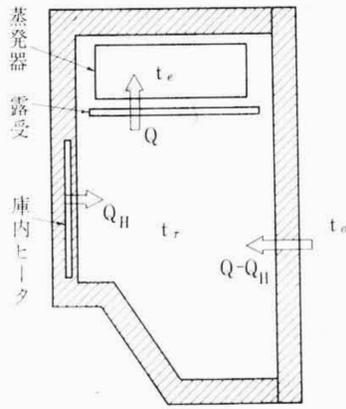


図3 熱平衡状態の説明図

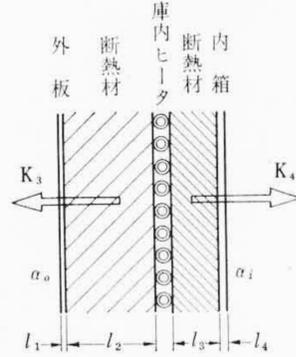


図4 庫内ヒータ部の断面図

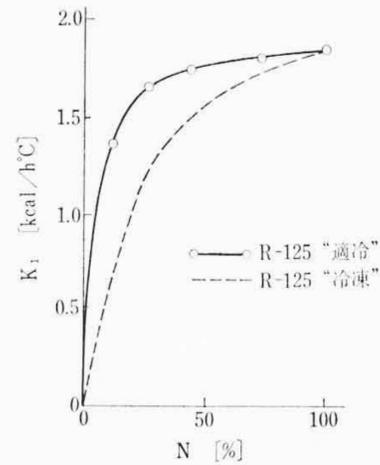


図5 運転率Nに対する熱貫流係数K₁

$$t_r = \frac{K_1}{K_1 + K_2} t_e + \frac{K_2}{K_1 + K_2} t_0 \quad (2)$$

目標性能の第1項を満足させるため、R-110K形冷蔵庫の冷却性能よりさらに1度低下させるとし、(2)式に数値を代入してK₁を求めるとK₁=1.84 kcal/h°C (ただしt_r=-7.0°C, t₀=30°Cのとき)となり、熱貫流係数K₁をこの値にすればよいことがわかる。このK₁は蒸発器と貯蔵室との間に設けてある露受と内箱背面との間げきによって調節することができるから、貯蔵室内の対流も考え合わせて露受を設計した。

2.3 運転率と熱貫流係数の検討

前述したR-125形冷蔵庫の熱貫流係数K₁=1.84 kcal/h°Cは圧縮機が連続運転したときの値であり、断続運転時には当然K₁の値が変化する。すなわち、庫内ヒータに通電しない場合の熱平衡式は(2)式で表わされるが、庫内ヒータに通電(圧縮機が停止したときのみ)される場合は次のように考えられる。図3は冷蔵庫の熱平衡状態を示すが、これより次式が成立する。

$$Q = K_1(t_r - t_e) = K_2(t_0 - t_r) + Q_H \quad (3)$$

ここで、Q: 冷凍容量 [kcal/h]

Q_H: 庫内ヒータによる庫内への侵入熱量 [kcal/h]

(3)式より

$$t_r = \frac{K_1}{K_1 + K_2} t_e + \frac{K_2}{K_1 + K_2} t_0 + \frac{Q_H}{K_1 + K_2} \quad (4)$$

ここで図4を用いて庫内ヒータが発生する熱量について考察してみる。まず庫内ヒータを無限平板の一部とみなし、発生熱は断熱層内に蓄積されることなく、すべてヒータ面に直角方向に流れるものと仮定すると庫外側、庫内側の熱貫流係数K₃, K₄はそれぞれ(5), (6)式のようになる。

$$K_3 = S / \left(\frac{1}{\alpha_o} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} \right) \quad (5)$$

$$K_4 = S / \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{l_4}{\lambda_4} \right) \quad (6)$$

ここで、l_n: 各材料の厚み [m]

λ_n: 各材料の熱伝導率 [kcal/mh°C]

S: 庫内ヒータ表面積(片側) [m²]

α_o: 外板表面の熱伝達率 [kcal/m²h°C]

α_i: 内箱表面の熱伝達率 [kcal/m²h°C]

庫内ヒータの発生する全熱量のうち、庫内側にはいつてくる割合を庫内への有効放熱係数Aとおくと、次式が成立する。

$$A = \frac{K_4(t_h - t_r)}{K_3(t_h - t_0) + K_4(t_h - t_r)} \quad (7)$$

ここで、t_h: 庫内ヒータの平均温度 [°C]

(7)式に(5), (6)式を代入、l_n, λ_n, α_o, α_iに数値を代入して整理すると

$$A = \frac{1}{1 + \frac{0.681(t_h - t_0)}{1.695(t_h - t_r)}}$$

となる。

したがって貯蔵室内に侵入してくる熱量Q_Hと、庫内ヒータ容量W₀との関係は次のようになる。

$$Q_H = 0.86 W_0 A (1 - N/100)$$

$$= \frac{0.86}{1 + \frac{0.681(t_h - t_0)}{1.695(t_h - t_r)}} W_0 (1 - N/100) \quad (8)$$

(8)式を(4)式に代入して

$$t_r = \frac{K_1}{K_1 + K_2} t_e + \frac{K_2}{K_1 + K_2} t_0 + \frac{0.86}{K_1 + K_2} \cdot \frac{W_0(1 - N/100)}{1 + \frac{0.681(t_h - t_0)}{1.695(t_h - t_r)}} \quad (9)$$

ここで熱貫流係数K₁の値は運転率Nが減少すると、それに伴って減少するが、このK₁とNの関係を調べたものが図5であり、庫内ヒータに通電した状態のK₁は、通電しない場合に比較して運転率の減少とともに大きく変化することがわかる。なお図5においてR-125形冷蔵庫の[冷凍]曲線はR-110K形冷蔵庫より推定したものである。

2.4 BS試験による庫内ヒータ容量の決定

BS試験においては冷凍室内に8個の模擬負荷を投入し、模擬負荷4点の温度を測定するが、その模擬負荷温度t_fと蒸発器温度t_eおよび冷凍室空間温度t_cの間には、理論的に次式が成立する。

$$t_f = 0.4 t_e + 0.6 t_c + 0.8 \quad (10)$$

またt_eとt_cの関係は実験によって

$$t_c = 0.906 t_e + 1.8 \quad (11)$$

であるから、(10), (11)式より次式が成立する。

$$t_f = 0.944 t_e + 1.88 \quad (12)$$

ここでBS試験のスリースター条件は冷凍室内の負荷温度t_fが-18°Cとなることであるから、(12)式にt_f=-18°Cを代入して

$$t_e = -21.05^\circ\text{C}$$

を得る。

すなわち蒸発器温度t_eが-21.05°Cであるならば、そのときの冷凍室内負荷温度t_fは-18°Cとなる。しかし外気温度に関係なく一定の蒸発器温度を得るには、運転率との関係を調べる必要がある。その関係を実験的に求めたものが図6である。図6よりBS試験における外気温度32°C, 16°Cで蒸発器温度が-21.05°Cとなるための運転率Nを求めてみると

$$R\ T\ 32^\circ\text{C}: \quad N = 75\%$$

$$R\ T\ 16^\circ\text{C}: \quad N = 37\% \quad \text{となる。}$$

R-125形冷蔵庫はR-110K形冷蔵庫と同様、庫内ヒータを内箱背面に取り付ける構造のものであるが、この庫内ヒータの平均温度

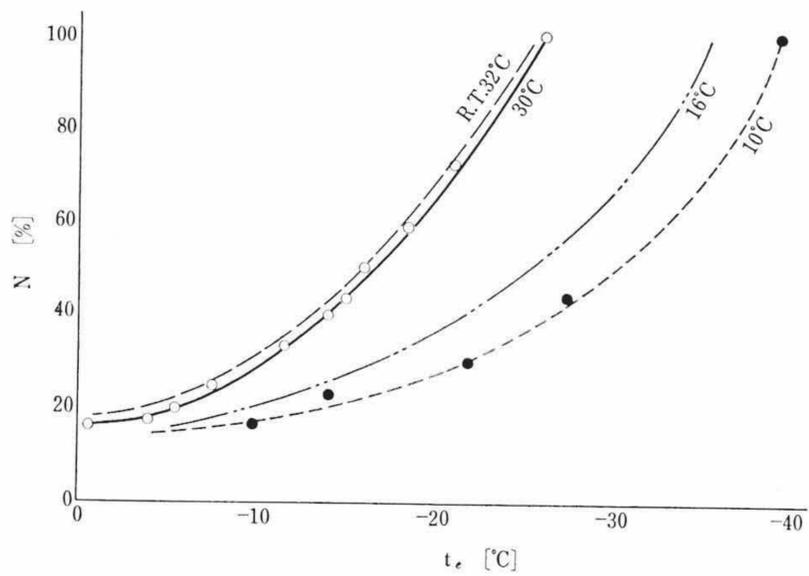


図6 運転率Nと蒸発器表面温度teとの関係

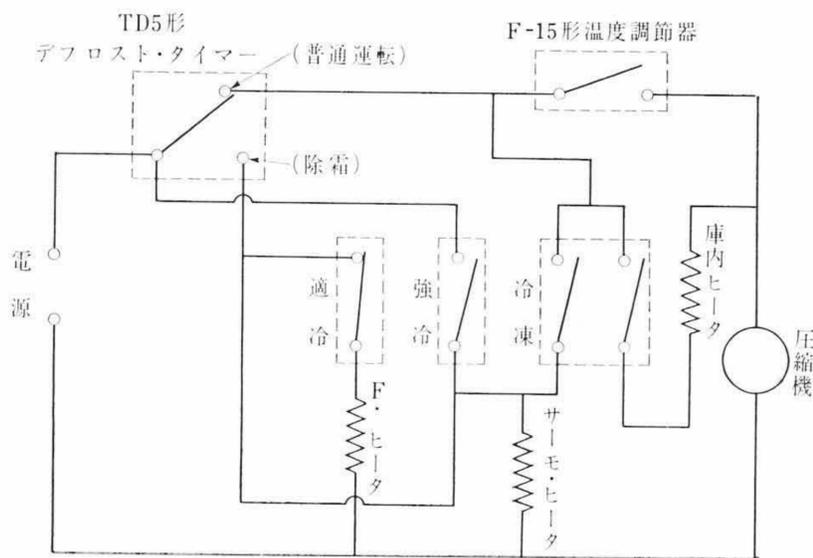


図7 電気回路図

thは運転率Nによって変化し、次のような関係がある。

$$t_h = 0.7(100 - N) \dots\dots\dots (13)$$

(ただし 20 < N < 70 のとき)

また前述の貯蔵室温度trとBSに規定された貯蔵室平均温度tmとの間には次式が実験的に成立する。

$$t_m = t_r + 1.5 \dots\dots\dots (14)$$

以上で庫内ヒータに通電された場合の各関係式が求まったので、熱平衡式を用いてR-125形冷蔵庫の庫内ヒータ容量の算出を行なってみる。本冷蔵庫のような冷却方式を有する冷蔵庫において、貯蔵室と冷凍室の温度差は外気温度が高くなるほど大きくなる。したがって外気温度16°Cにおいてスリースターの性能を確保しているならば、外気温度32°Cでは必ずスリースターの性能を確保できる。

そこでR-125形冷蔵庫が外気温度16°Cにおいてスリースターの性能を確保するためには、庫内ヒータの容量はいくらであればよいかを求めてみると

t0=16°C, tr=-18°C, te=-21.05°C, N=37%, th=44.4°C, K1=1.42, K2=1.0 kcal/h°C, A=0.796, tm=0°Cであるからこれらを(9)式に代入すると

$$W_0 = 23.6 \text{ [watt]}$$

を得る。

したがって庫内ヒータは、製作上の公差を考慮して25.0 wattと決定した。

また庫内ヒータが25 wattで外気温度32°Cのとき、貯蔵室平均温度tmを0°Cとし、冷凍室内負荷温度trは何度になるかを求めてみると、-19.82°Cとなり、十分にスリースターの条件を満足することがわかる。

以上の計算結果をまとめたものが表1である。

表1 R-125形冷蔵庫のBS試験

	外気温度 [°C]	貯蔵室温度 [°C]	*冷凍室温度 [°C]	運転率 (%)
計算値	32	0	-19.82	75
	16	0	-18.26	37

* 負荷温度を示す。

表2 R-125形冷蔵庫仕様

項目	仕様	
キャビネット	外法寸法	高さ1,067mm, 幅500mm, 奥行632mm(ハンドル含む)
	内法寸法	高さ770mm, 幅380mm, 奥行440mm(最深部)
	内容積	総110 l, 有効105 l
	外箱	高級仕上鋼板, 白色アクリル樹脂焼付塗装
	内箱	合成樹脂板真空成形加工
	ドア	雪木立デザイン, ハンドル式
テーブル	高級メラミン化粧板(ヒッター)	
冷凍サイクル	圧縮機	密閉形2極電動直結式
	圧縮機入力	50/60 c/s, 100/105 W
	蒸発器	全幅口字形
	除霜装置	定時タイマー式(オフサイクル)
付属品	自動蒸発装置	付
	低温容器	透明全幅引出式
	棚網	3段(上2段可変式)
	野菜容器	透明万能クリスパー
	卵ケース	収容能力 13個
	バターケース	回転式, 温度調節3段切換式
	チーズケース	回転式
	セルフターンバスケット	2 段
	製氷皿	2個(カバー付)
	その他	庫内灯, 鍵付
製品重量	49 kg	
電気用品形式認可番号	▽91-1876	

3. 構造

3.1 仕様

前述のような経過によりR-125形冷蔵庫の性能が決定された。表2は構造を含めた仕様を示したものである。

3.2 電気回路

一般に冷蔵庫の実用状態では、1日に何回となくドアの開閉操作を行なうため、貯蔵室温度が徐々に上昇するが、従来この対策として、ダイヤル・ノッチを高ノッチ側に進める方法がとられていた。しかし現在の外気温度ならばどの程度進めてよいのか、またドアの開閉回数の減少した時期に、どの程度ダイヤル・ノッチを戻したらよいかなど、使用者の判断しかねる問題があった。したがってダイヤル・ノッチを動かさずに、貯蔵室温度を適切な温度まで低下させ、ドア開閉による貯蔵室温度の上昇を補償できるならば理想的であるといえる。

R-125形冷蔵庫は、このドア開閉による貯蔵室温度の上昇度合を少なくするため、ドア開閉回数、ドア開閉ピッチ、貯蔵食品の量などから考慮して、[適冷]、[冷凍]ボタンにおける貯蔵室温度よりさらに3~5度程度低下できる[強冷]ボタンを設けることにした。

図7はR-125形冷蔵庫の電気回路図で、図から明らかなように[冷凍]ではF-15形温度調節器の感熱管部に取り付けられたサーモヒータに連続通電するので、運転時間が増して蒸発器温度を低下させ、またこの蒸発器温度の低下による貯蔵室温度の低下を補償する庫内ヒータに通電される。この庫内ヒータはF-15形温度調節器と

表3 冷力試験 [RT30°C]

	R-125 形 冷 蔵 庫	R-110K 形 冷 蔵 庫
蒸発器中間 [°C]	-27.2	-27.2
冷凍室 [°C]	-22.9	-21.8
貯蔵室 [°C]	-7.0	-6.0

表4 BS に準拠した試験

	RT [°C]	RT [°C]	
		32	16
冷凍室内負荷 [°C]	t_{f1}	-19.0	-18.0
	t_{f2}	-19.9	-19.3
	t_{f3}	-20.0	-19.4
	t_{f4}	-18.9	-18.2
	t_f	-19.5	-18.7
貯蔵室 [°C]	t_{r1}	0.0	0.0
	t_{r2}	0.0	0.0
	t_{r3}	0.5	0.0
	t_m	0.2	0.0

並列に結線されているので、温度調節器の OFF 時間、すなわち圧縮機の停止時間のみ通電され、外気温度の高い夏季には少なく、逆に冬季には多く通電される。したがって外気温度の変化をとらえて、自動的に貯蔵室温度を適温に補償することができる。

また新設した日立独自の [強冷] ボタンでは、サーモ・ヒータにのみ連続通電して蒸発器温度を低下させるので、[適冷]、[冷凍] に比較して貯蔵室温度を一段と低下させることができる。

4. 性能試験

4.1 冷力性能

研究方針においてすでに述べたように、R-125 形冷蔵庫を連続運転したときの貯蔵室到達温度を R-110K 形冷蔵庫よりさらに 1 度低下させると設定したわけであるが、外気温度 30°C において行なった冷力試験で R-110K 形冷蔵庫と比較したのが表 3 である。これより R-125 形冷蔵庫は、R-110K 形冷蔵庫より夏季における冷却能力に一段と余裕のあることがわかる。

4.2 断続性能

R-125 形冷蔵庫は押ボタンスイッチ [適冷]、[強冷]、[冷凍] によって断続運転の性能が異なるが、これらの性能を外気温度 30°C について図示したものが図 8 である。[冷凍] では [適冷] の状態に比較して冷凍室の温度が約 5 度低下し、また [強冷] においては、貯蔵室温度を [適冷] に比べ 3~5 度低下させることができ、その効果が著しい。

4.3 BS 試験

BS に準拠した模擬負荷 8 個を冷凍室内に入れ、貯蔵室平均温度 t_m をほぼ 0°C にしたときの模擬負荷 4 点の温度 t_f を測定した結果が表 4 である。外気温度 16°C、32°C いずれにおいても貯蔵室温度が 0°C のとき -18°C 以下となり、BS の最高性能であるスリースターを満足している。

4.4 強冷ボタンによる冷却性能

前述したように [強冷] ボタンはドア開閉などによる貯蔵室温度の上昇が著しいときに使用するものであるが、実際の使用状態に近い

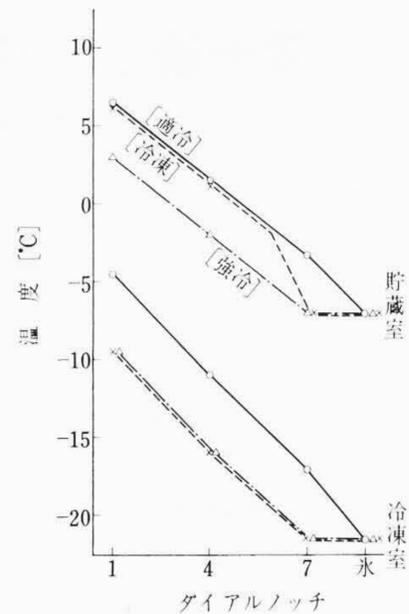


図8 断続試験 [RT30°C]

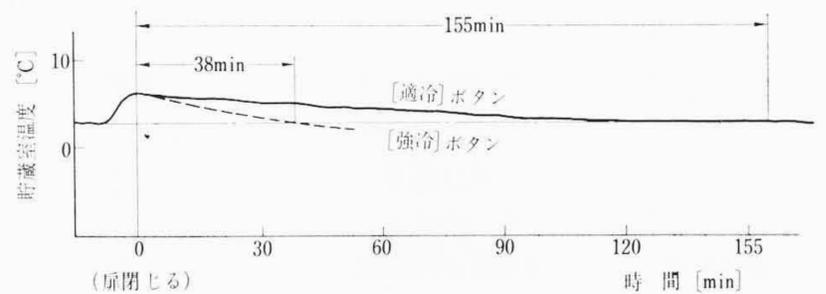


図9 [強冷]ボタンによる冷却試験

姿で試験を行ない性能を確認したものが図 9 である。

すなわち R-125 形冷蔵庫を外気温度 30°C で、適温メータどおりにダイヤル・ノッチを合わせて運転し、[適冷]の状態に安定させた後、ドアを開放して貯蔵室温度を上昇せしめ、その後ドアを閉じて [適冷]のまま運転を続けた場合と、[強冷]に切り換えた場合との貯蔵室温度の上がり方を比較したものである。貯蔵室温度がドア開放前の温度に回復するに要した時間は、[強冷]では [適冷]に比較してわずか 1/4 の 38 分を要するだけである。したがってドア開閉のひん繁なときにも、貯蔵室温度の上昇をすばやく適温に戻す効果のあることがわかる。

5. 結 言

以上により R-125 形冷蔵庫の性能をまとめてみると、

- (1) 冷力試験における貯蔵室到達温度は、R-110K 形冷蔵庫よりさらに低下し、冷却能力に余裕がある。
- (2) BS の最高性能であるスリースターを満足している。
- (3) 夏季など外気温度が高いとき、またドア開閉がひん繁なときに起こる貯蔵室温度の上昇を [強冷] ボタンの新設によって改善した。
- (4) [適冷]、[冷凍] ボタンに [強冷] ボタンを追加して、冷気 3 段切換とし、三つのボタンによって三つの冷気が思いのままに操作できる新機構とした。

参 考 文 献

- (1) BS 3739 (1964)
- (2) 鈴木、藤沼：日立評論 48, 951 (昭 41-8)