

ルームクーラの使用状態と冷房性能の理論検討

Studies on the Cooling Characteristics of Window-type Air Conditioner Under Various Conditions

細 田 泰 生* 阿 部 順 常*
Taisei Hosoda Yoritsune Abe

要 旨

本報告はルームクーラを実際の家屋に取り付けて冷房運転をする際、取り付ける部屋の種類、内部にいる人の数、直射日光の有無、戸外の気温や湿度の変化により室内温度がどのように変化するかを電子計算機を用いて理論的に解析する方法について述べたものである。

1. 緒 言

ある冷房しようとする部屋に最も適したルームクーラを選定する場合、通常ある標準条件を設定して簡単な計算により所要冷房能力を決定し、その冷房能力を有するルームクーラを購入する。

しかし実際の使用状態においては先の標準条件と異なる場合が多々あるので、標準条件と異なった条件で運転した場合どのような結果になるかを知っておく必要がある。今回は部屋の種類、居住人員、ふく射熱、外気温湿度を種々変えた場合の室内温度、室内湿度、冷房能力、除湿量などを電子計算機によって簡単に求める方法の検討を行なうことにした。

一般にルームクーラの特性を考える場合には二つの考え方がある。一つは室外と室内の温湿度条件を決めた場合にそのルームクーラの冷房能力はどのくらいかということであり、もう一つは室外のみの温湿度条件を決めた場合にある部屋に取り付けただけで冷房されるかということである。前者の場合はその解析は簡単であり、本紙45巻8号⁽¹⁾の解析法を参考にすれば容易に解決することができる。しかし後者の場合は理論式が複雑になって普通の方法では簡単に計算することが困難であり、これまで理論解析がなされていなかった。今回われわれは電子計算機を用いることによって初めてこの解析を可能とした。

本文は日立製 RA-188 形ルームクーラ（出力 600 W、冷房能力 1,600/1,800 kcal/h、図1および表1参照）を 50 c/s の電源で主として 10 畳の広さの洋室に取り付けた場合の特性について理論と実験の比較を行なったものである。

2. ルームクーラの構造

ルームクーラの主要部分は図2のように圧縮機、凝縮器、蒸発器、キャピラリチューブ、ならびにファンおよびファンモータより成る。図3に示すモリエル線図により冷房原理を説明すると、圧縮機で高温高压に圧縮された冷媒ガスは凝縮器に流れてゆき、ここで外気からファンにより送られてきた空気によって冷却される。凝縮器入口では状態1であった冷媒は温度降下してすぐ状態1'まで冷却され、ここからは等温度のままで液化が始まり凝縮器出口において全部液化が終了し2の状態となり、キャピラリチューブにはいる。キャピラリチューブを通る間に冷媒は減圧されて3の状態で蒸発器にはいり、ここで等温度のまま蒸発して室内からファンによって送られてきた空気を冷却し、全部ガス状態となった4'の状態から若干スーパーヒートした4の状態まで暖められて蒸発器を出る。次いで圧縮機にはいると冷媒はさらにスーパーヒートされ4'の状態でシリンダ内に吸い込まれ、断熱圧縮されて1'の状態となりそこから凝縮器入口

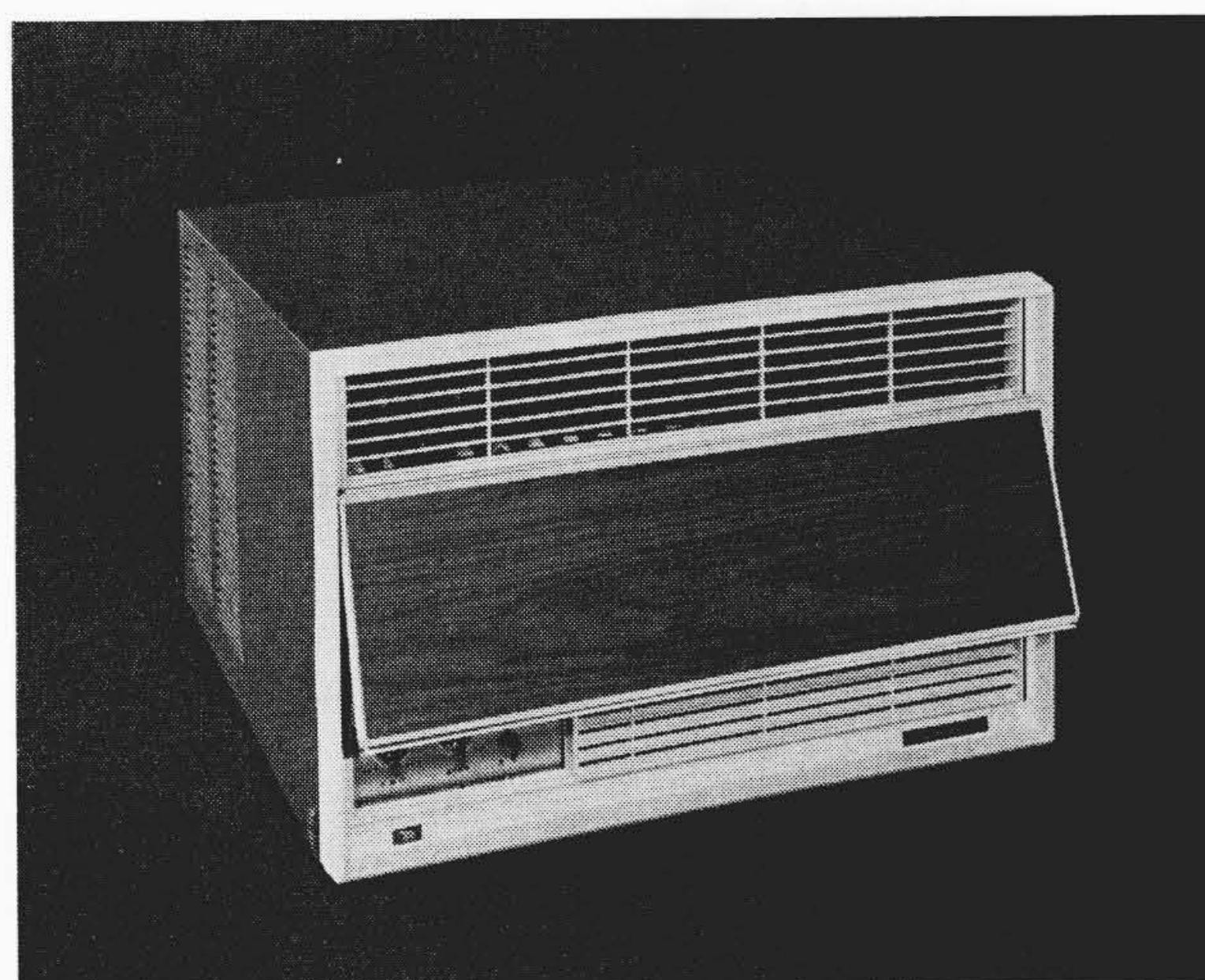


図1 ルームクーラ (RA-188)

表1 ルームクーラ仕様

形 式	クールウッド 1800 (RA-188)
冷 房 能 力 (50/60 c/s)	1,600/1,800 kcal/h (6~8 畳用)
空 気 循 環 量 (50/60 c/s)	420/480 m ³ /h
圧 縮 機 出 力	600 W
総 合 入 力 (50/60 c/s)	800/980 W
風量変換装置	4 段 切 換
製 品 寸 法	高 37 cm×幅 61 cm×奥 55.5 cm
製 品 重 量	50 kg

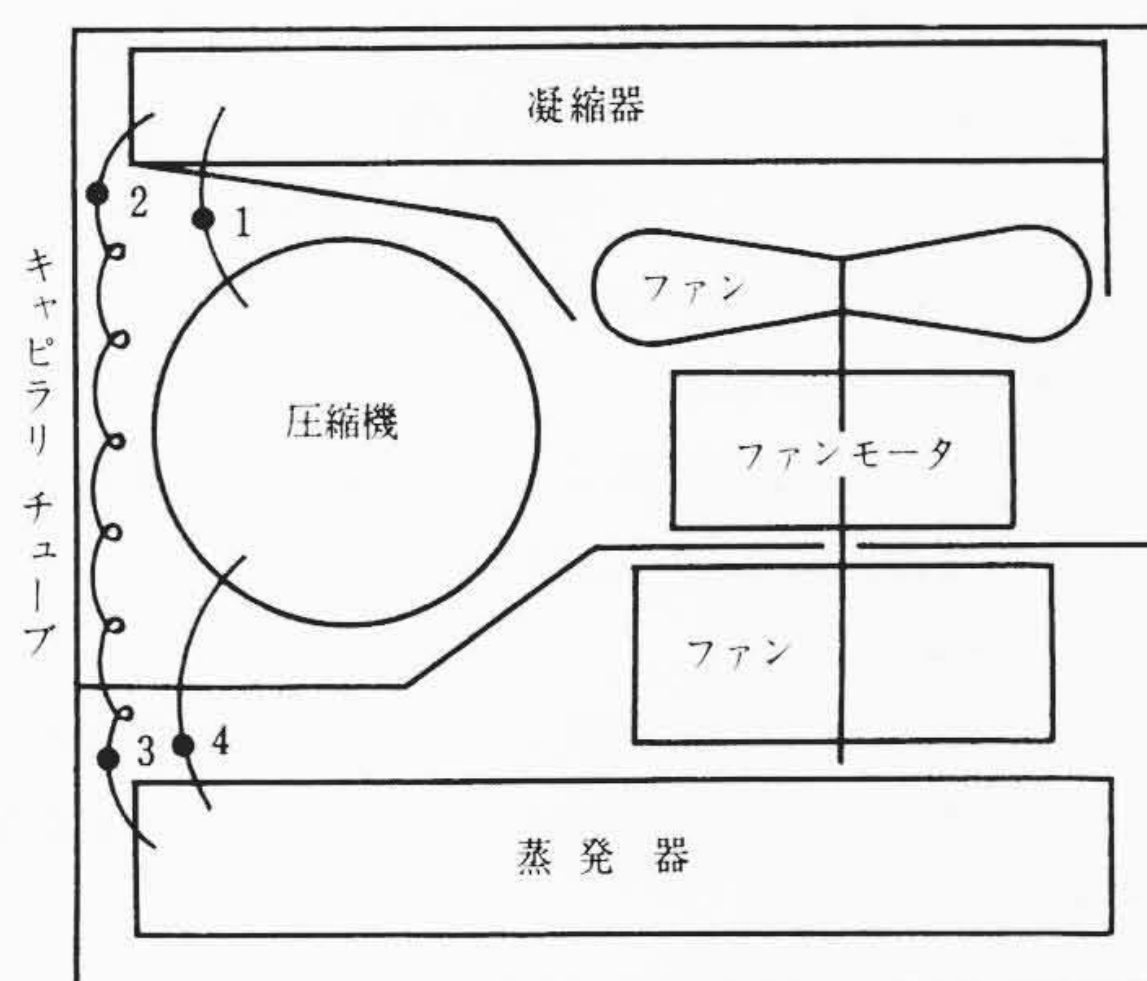


図2 ルームクーラの構造説明用略図

へ到達するまでに若干冷却されて1の状態まで戻り、以下同様な繰り返しにより連続冷房が行なわれる。

* 日立製作所栃木工場

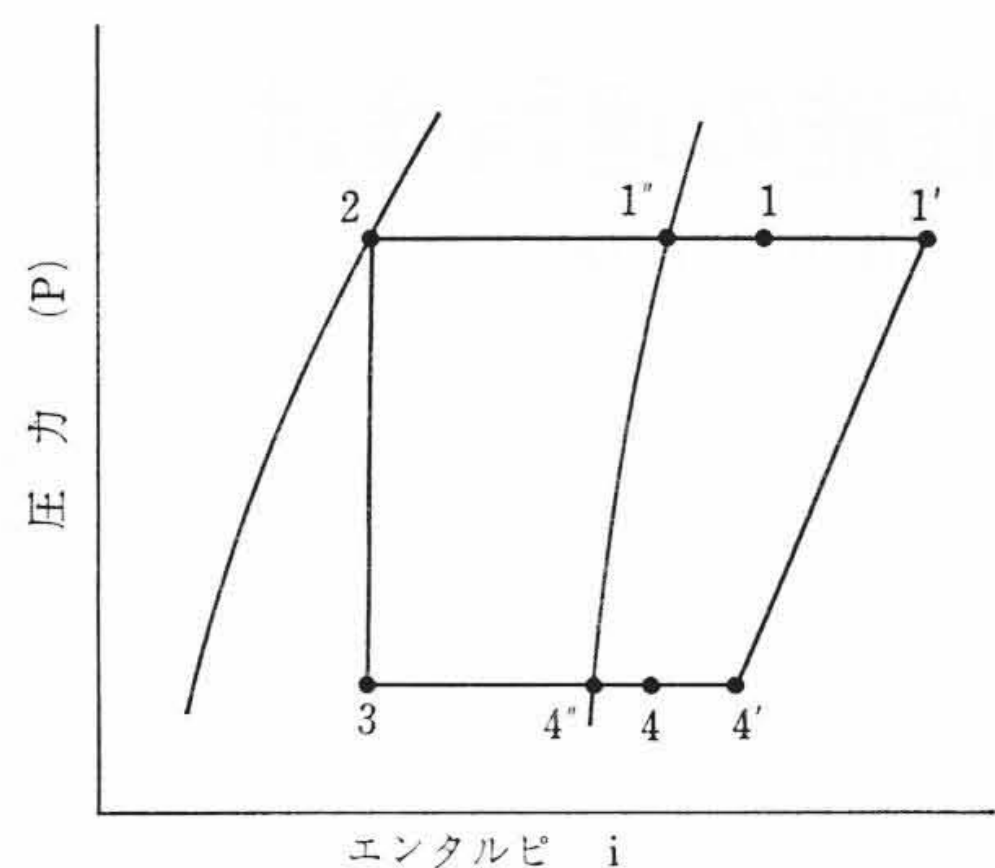


図3 モリエル線図

3. 理 論

3.1 蒸発器の熱平衡式

蒸発器では表面温度を T_e (°C) とすると冷房顕熱 Q_1 (kcal/h) は対数平均温度差を用いて次のように表わされる。

$$Q_1 = K_e \cdot S_e \cdot \frac{T_i' - T_i''}{\log \frac{T_i' - T_e}{T_i'' - T_e}} \quad (1)$$

ここに, K_e : 蒸発器表面の平均熱伝達率 (kcal/m²h°C)

S_e : 蒸発器の伝熱表面積 (m²)

T_i' : 蒸発器側の吸込空気温度 (°C)

T_i'' : 蒸発器側の吐出空気温度 (°C)

また蒸発器側のファン風量を V_e (m³/h) とすると, この空気は冷房顕熱 Q_1 により(2)式のように冷却される。

$$Q_1 = V_e \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_i' - T_i'') \quad (2)$$

ここに, γ : 空気の比重 (kg/m³)

C_p : 空気の比熱 (kcal/kg°C)

(1)式と(2)式より次の(2)'式が得られる。

$$Q_1 = V_e \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_i' - T_e) \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{K_e \cdot S_e}{V_e \cdot \gamma \cdot C_p} \right) \right\} \quad (2)'$$

次に室内の絶対湿度を x_i (kg/kg) とし, 蒸発器表面平均温度 T_{ef} (°C) における飽和絶対湿度を x_{ef} (kg/kg) とすると, 冷房潜熱 Q_2 (kcal/h) は次のように表わされる⁽²⁾。

$$Q_2 = L \cdot (i_v - i_l) \quad (3)$$

$$L = V_e \cdot \gamma \cdot (x_i - x_{ef}) \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{K_e \cdot S_e}{V_e \cdot \gamma \cdot C_p} \right) \right\} \quad (4)$$

ここに, i_v : 冷却空気中の水蒸気エンタルピ (kcal/kg)

i_l : 凝縮した水のエンタルピ (kcal/kg)

L : 凝縮した水の量 (kg/h)

V_e : 蒸発器側のファン風量 (m³/h)

全冷房能力 Q_{all} (kcal/h) は(5)式のようになる。

$$Q_{all} = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

また冷凍サイクル内の冷媒循環量を G_r (kg/h) とすると全冷房能力はモリエル線図より次のように表わされる。

$$Q_{all} = G_r \cdot (i_4 - i_3) \quad (6)$$

ここに, i_3 : 蒸発器入口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)

i_4 : 蒸発器出口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)

3.2 凝縮器の熱平衡式

蒸発器の場合と同様に凝縮器の放熱量 Q_3 (kcal/h) は次の(7)式および(8)式のように表わされる。

$$Q_3 = K_c \cdot S_c \cdot \frac{T_o'' - T_o'}{\log \frac{T_c - T_o'}{T_c - T_o''}} \quad (7)$$

$$Q_3 = V_c \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_o'' - T_o') \quad (8)$$

ここに, K_c : 凝縮器表面の平均熱伝達率 (kcal/m²h°C)

S_c : 凝縮器の伝熱表面積 (m²)

T_o' : 凝縮器側の吸込空気温度 (°C)

T_o'' : 凝縮器側の吐出空気温度 (°C)

V_c : 凝縮器側のファン風量 (m³/h)

(7)式と(8)式から次の(8)'式が得られる。

$$Q_3 = V_c \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_c - T_o') \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{K_c \cdot S_c}{V_c \cdot \gamma \cdot C_p} \right) \right\} \quad (8)'$$

一方, 冷凍サイクルが放出する熱量は

$$Q_3 = G_r \cdot (i_1 - i_2) \quad (9)$$

ここに, i_1 : 凝縮器入口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)

i_2 : 凝縮器出口の冷媒のエンタルピ (kcal/kg)

3.3 圧縮機の関係式

圧縮機の冷媒循環量は次のように表わされる。

$$G_r = \frac{V_{all}}{v} \eta \quad (10)$$

ここに, V_{all} : 圧縮機の理論押除量 (m³/h)

v : シリンダへの吸込ガス冷媒の比体積 (m³/kg)

η : 圧縮機の容積効率

圧縮機の容積効率は吸込圧力, 温度および吐出圧力によって変化する。このうちで特に影響の大きいのは (吐出圧力/吸込圧力) = 圧縮比 (ε) である。ここで検討しているルームクーラ用圧縮機の容積効率は次のようなものである。

$$\eta = 1.0 - a \cdot \varepsilon \quad (11)$$

ここに, ε : 圧縮比 = P_d / P_s

P_d : 吐出圧力 (kg/cm² abs)

P_s : 吸込圧力 (kg/cm² abs)

a : 吸込圧力により若干変化し, 本供試圧縮機では $a = a_1 + a_2 \cdot P_s$ と表わされた (a_1, a_2 は常数)。

また吸込温度の影響はほとんど無かった。

3.4 取り付けの部屋の熱平衡式

冷房顕熱 Q_1 は次のような熱量と平衡する。

$$Q_1 = K_r \cdot S_r \cdot (T_o - T_i) + V_r \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) + W_i \quad (12)$$

ここに, K_r : 部屋と戸外の間の熱貫流率 (ただしすきま風により侵入する分を除く) (kcal/m²h°C)

S_r : 部屋の熱漏えい面積 (m²)

T_o : 戸外の気温 (°C)

T_i : 室内の温度 (°C)

V_r : すきま風などの戸外よりの侵入空気量 (m³/h)

W_i : 室内の発生熱量 (電熱器具使用, 日光によるふく射熱, 人間の顕熱など) (kcal/h)

(2)'式と(12)式より室内温度 T_i は(12)'式のように表わされる。

$$T_i = \frac{(K_r \cdot S_r + V_r \cdot \gamma \cdot C_p) T_o + W_i + V_e \cdot \gamma \cdot C_p \cdot (T_e + \Delta T_i)}{K_r \cdot S_r + V_r \cdot \gamma \cdot C_p + V_e \cdot \gamma \cdot C_p \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{K_e \cdot S_e}{V_e \cdot \gamma \cdot C_p} \right) \right\}} \quad (12)'$$

また蒸発器により除湿される水量 L は次の発生水量と平衡する。

$$L = V_r \cdot \gamma \cdot (x_o - x_i) + y_i \quad (13)$$

ここに, x_o : 戸外の絶対湿度 (kg/kg)

x_i : 室内の絶対湿度 (kg/kg)

y_i : 室内の発生水蒸気量 (湯沸器使用, 人間の発生水蒸気など) (kg/h)

(4)式と(13)式より室内湿度 x_i は次の(13)' 式のように表わされる。

$$x_i = \frac{V_r \cdot \gamma \cdot x_o + y_i + V_e \cdot \gamma \cdot x_{ef} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{K_e \cdot S_e}{V_e \cdot \gamma \cdot C_p}\right) \right\}}{V_r \cdot \gamma + V_e \cdot \gamma \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{K_e \cdot S_e}{V_e \cdot \gamma \cdot C_p}\right) \right\}} \quad \dots\dots\dots (13)'$$

3.5 モリエル線図で示される関係式

(1) 温度と圧力の関係 (冷媒 R-22 について)⁽³⁾

$$\log_{10} P'_{s,d} = 25.1285 - \frac{1638.82}{T'_{e,c} + 273.16} - 8.1418 \log_{10} (T'_{e,c} + 273.16) + 0.0051838 (T'_{e,c} + 273.16) \dots (14)$$

ここに, P'_s : 蒸発圧力 (kg/cm² abs)

P'_d : 凝縮圧力 (kg/cm² abs)

T'_e : 蒸発温度 (°C)

T'_c : 凝縮温度 (°C)

(2) 比体積と温度, 圧力の関係 (冷媒 R-22 について)⁽³⁾

$$v = 0.0009802 \left(\frac{T_o + T_s + 273.16}{P_s} \right) - \frac{0.0753}{\left(\frac{T_o + T_s + 273.16}{100} \right)^{2.5}} - \frac{0.2P_s}{\left(\frac{T_o + T_s + 273.16}{100} \right)^8} \dots\dots\dots (15)$$

ここに, T_s : 吸込ガス冷媒の戸外気温よりの温度上昇値 (°C)

(3) 飽和液エンタルピと温度の関係 (R-22 について)⁽³⁾

$$i_2 = 100 + 0.2819 T'_c + 0.000392 T'^2_c \dots\dots\dots (16)$$

3.6 湿度関係の関係式

(1) 飽和絶対湿度と温度の関係

$$X_{ef} = 0.00384 e^{0.0677 T_{ef}} \dots\dots\dots (17)$$

ここに, T_{ef} : 蒸発器表面平均温度 (°C)

(適用範囲 $+2^\circ\text{C} < T_{ef} < +20^\circ\text{C}$, 誤差 $\pm 1\%$ 以下)

(2) 水蒸気および水のエンタルピと温度の関係⁽⁴⁾

$$i_v = 597.3 + 0.441 T_i \dots\dots\dots (18)$$

$$i_l = T_i \dots\dots\dots (19)$$

3.7 補正式

各部の温度, 圧力などは熱抵抗, 圧力損失その他により若干のズレを生ずるので次式で補正する。

$$\left. \begin{aligned} T'_e &= T_e - \Delta T_e \\ T'_c &= T_c + \Delta T_c \\ P_s &= P'_s - \Delta P_s \\ P_d &= P'_d + \Delta P_d \\ T'_i &= T_i - \Delta T_i \\ T'_o &= T_o + \Delta T_o \\ T_{ef} &= T_e + \Delta T_f \\ i_3 &= i_2 - \Delta i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

3.8 計算手順

以上で関係式は 28 個あり, 未知数は $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{all}, L, T_e, T'_e, T_c, T'_c, T_i, T'_i, T''_i, T'_o, T''_o, T_{ef}, P_s, P'_s, P_d, P'_d, x_i, x_{ef}, G_r, \eta, v, i_2, i_3, i_v, i_l$ の 28 個であるので, ルームクーラの各部の性能 $K_e, S_e, V_e, K_c, S_c, V_c, T_s, V_{all}, i_1, i_4$ と各部のズレ $\Delta T, \Delta P, \Delta i$ 類および部屋の条件 K_r, S_r, V_r, W_i, y_i と戸外の条件などの $T_o, x_o, (\gamma, C_p)$ を決定すれば, これらを連立させて個々の値 (Q_{all}, L, T_i など) を求めることができる。なお計算に際しては, これらの方程式に指数関数が含まれているので仮定修正の方法を用いた。

その手順を図 4 のフローチャートに示す。

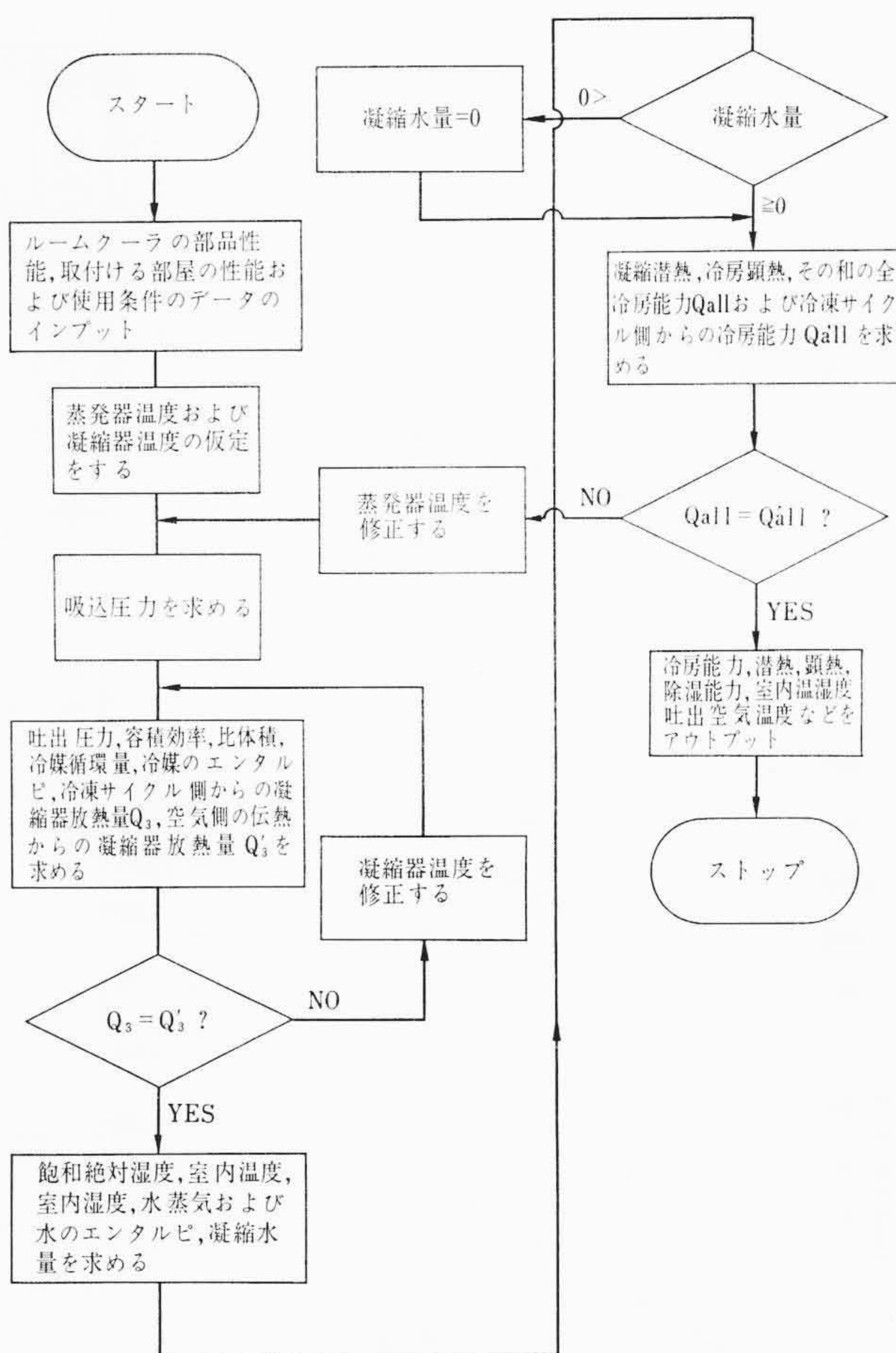


図 4 ルームクーラと部屋の熱平衡計算フローチャート

表 2 在室者の発生する熱量および蒸発する水分の量

状 態	全 発 生 熱 量 (蒸発水分の熱量を含む)	蒸発する水分の量 (室温 27°C のとき)
静かに座す	83 kcal/h・人	66 g/h・人
座して静かな仕事をする	101	90
静かに歩く(銀行)	126	132
軽い作業(工場)	188	230
普通のダンス(ダンスホール)	214	264

4. 計算結果

以上述べてきた方法により種々の使用条件における室内温湿度やルームクーラの性能を計算した。

二, 三の計算例を示すと次のようになる。

4.1 在室人員の影響

人間の発生する熱量はその状態により大きく変化する。その一例を示すと表 2 のようである⁽⁵⁾。

ここでは一般家庭の状態として全発生熱量 100 kcal/h 人, 蒸発水分 86 g/h 人 (50 kcal/h 人相当) を採用して計算した一例を示したものである (図 5)。

なお計算は表 1 のルームクーラを洋室 10 畳に取り付けて, 戸外の気温 35°C, 湿度 40% における場合のものである (図中○印は実験値)。

4.2 電熱器具使用の影響

- (1) 20 W 蛍光灯 2 本とテレビ (150 W) を付けている場合
- (2) 400 W アイロンを使用している場合
- (3) 600 W 電気コンロを使用している場合
- (4) 600 W 電気コンロで湯を沸かしている場合 (1/2 潜熱)

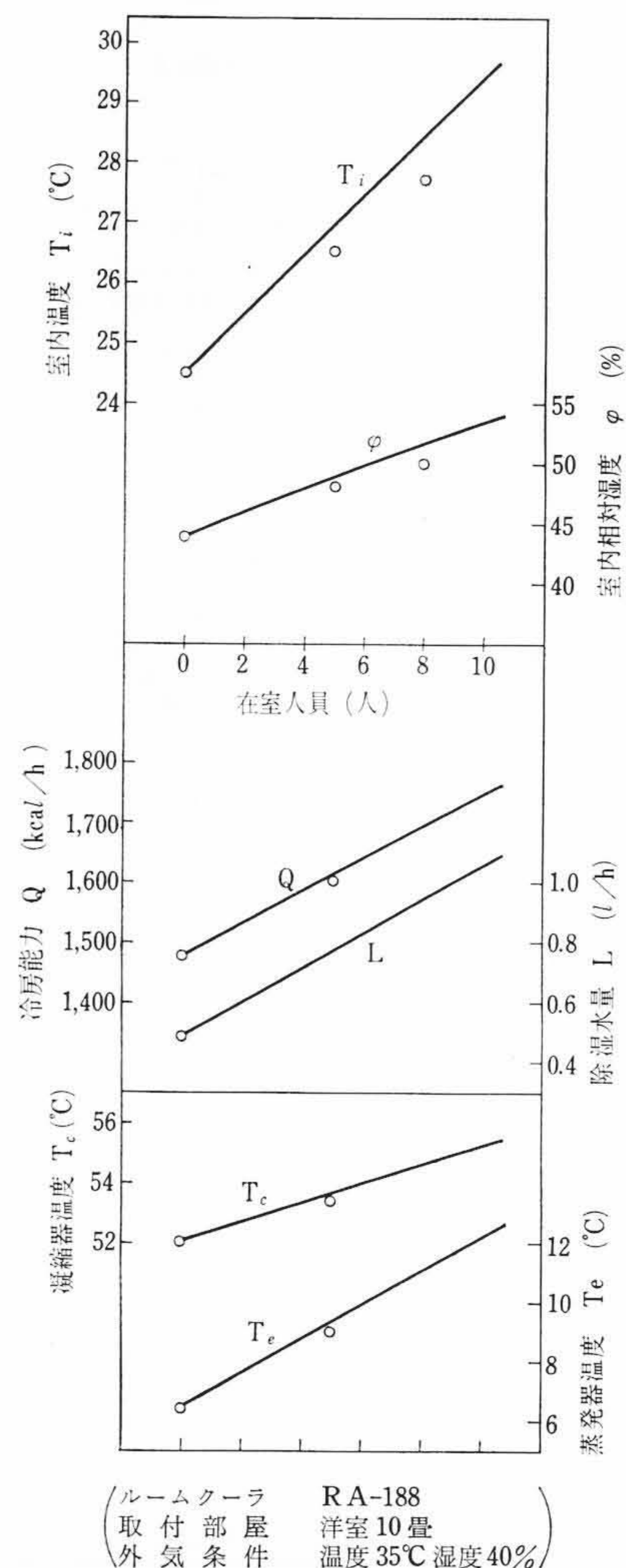


図5 在室人員の影響による各性能の変化

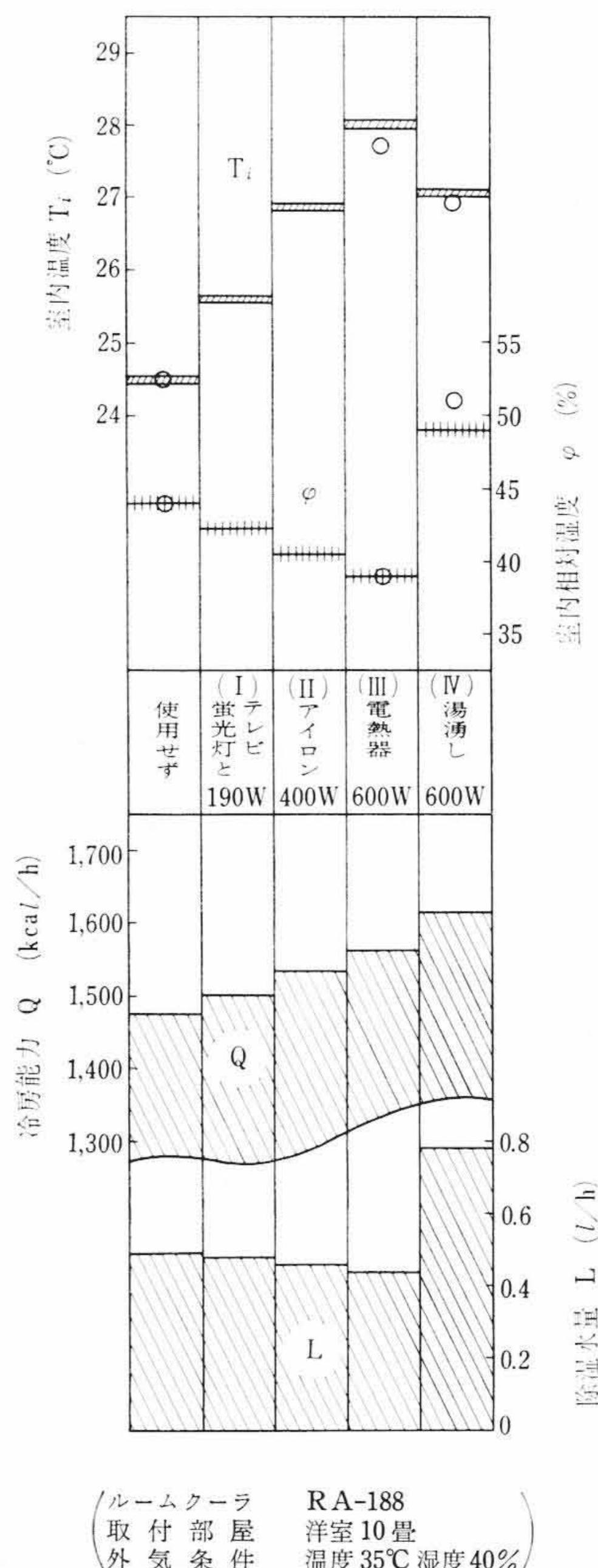


図6 電熱器具の使用による各性能の変化

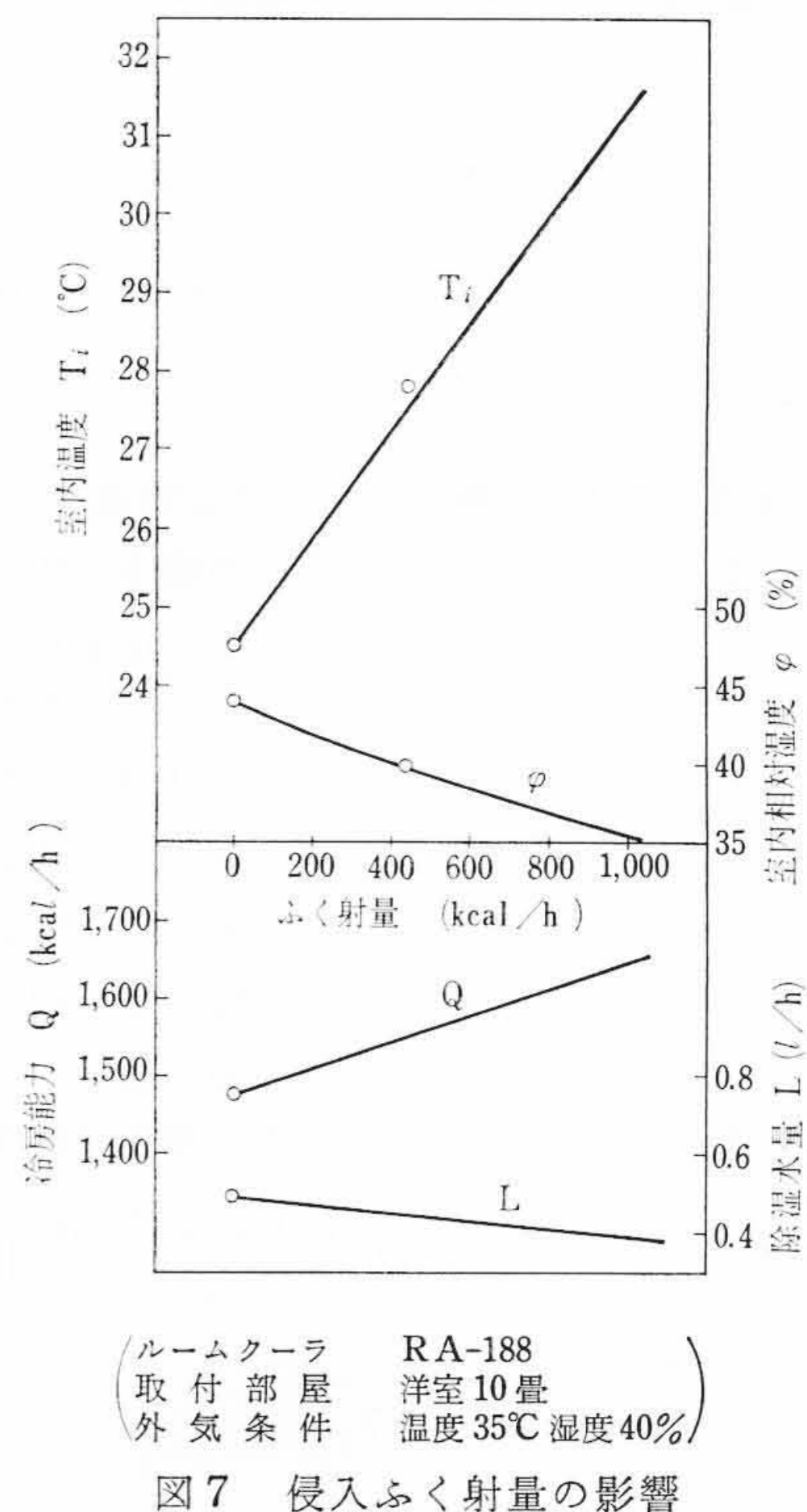


図7 侵入ふく射量の影響

の4状態について図6に示した。

4.3 窓からのふく射侵入の影響

日光が直接窓から侵入した場合の各値への影響を示したのが図7である。

4.4 戸外の温湿度の影響

戸外の温度を30~40°C, 湿度を20~80%に変化させた場合の計算結果は図8のようである(○印および×印は実験値)。

4.5 取り付ける部屋との関係

取り付ける部屋を洋室10畳から8畳および6畳と狭くした場合の計算結果を図9に示す。また和室のように洋室よりも換気率の大きい部屋についても同時に示す。

なお以上の計算結果はほんの一例であり、ルームクーラの機種、使用条件、外気条件、取り付ける部屋の条件によりその冷房特性は千変万化するが、上記以外の場合でも希望の条件値をデータとしてそう入すれば電子計算機によりいつでも所望の結果が得られる。

5. 結 言

(1) ルームクーラを冷房すべき部屋に取り付けて連続運転した場合その部屋が何度まで冷房され湿度は何%になり、そのとき

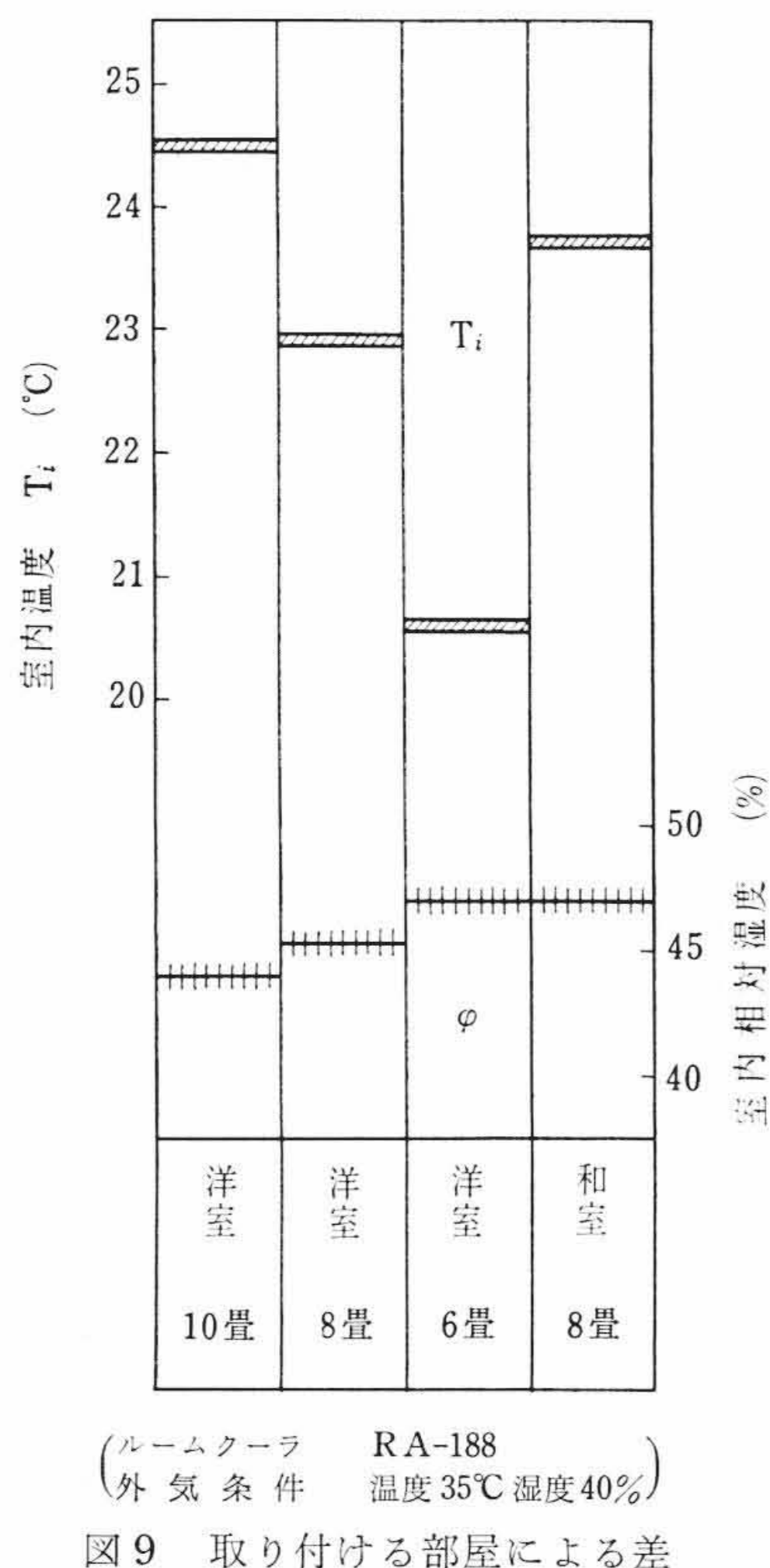


図9 取り付ける部屋による差

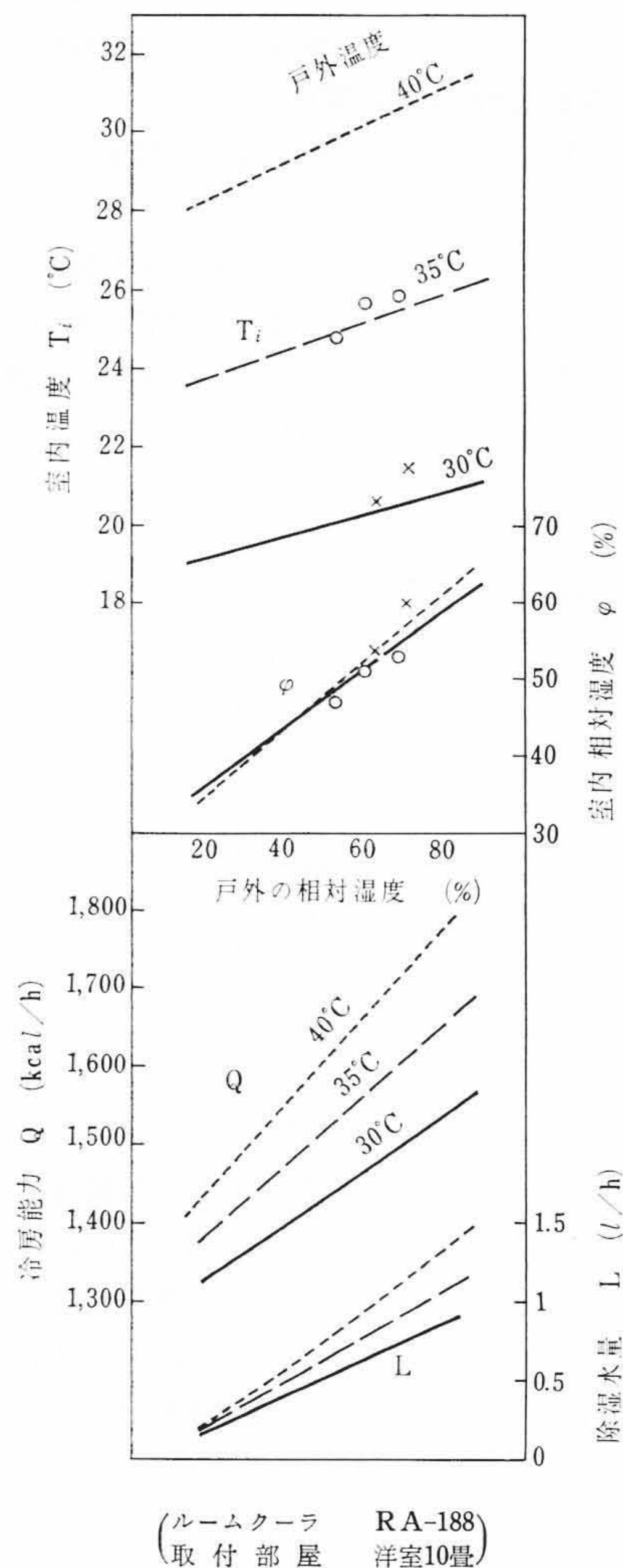


図8 戸外の温湿度変化による室内温湿度の変化および冷房性能変化

のルームクーラの冷房能力，除湿能力，吐出冷却空気温度，蒸発器温度，凝縮器温度がどのようになるかを個々の部品の熱平衡式および部屋特性，戸外の条件などを連立させて（1～20式），電子計算機で解くことができる（図4）。

（2）上の方式を用いて種々の使用状態におけるルームクーラおよび部屋特性を計算し，その二，三の例を示したのが図5～図9である。これらの計算結果は実際の試験結果とよく一致した。

参考文献

- （1） 細田，阿部： 日立評論 45，1316（昭38-8）
- （2） 沢田，小川，埋橋： 日立評論 45，975（昭38-6）
- （3） 日本冷凍協会： 冷凍空調便覧 I，108～111（昭38版）
- （4） 空気調和衛生工学会： 空気調和衛生工学便覧上，111（昭39版）
- （5） 内田： 空気調整の基本計画 102（昭32-8）



特許の紹介



特許第481618号（特公昭41-8089号）

三木 義 照

保 護 継 電 装 置

この発明はトランジスタなどを利用したエレクトロニクスリレー，特に直接位相比較方式の保護継電装置の改良に関するもので，オーバリーチに対する新規な解決方法を提供するものである。

図1は直接位相比較方式の基本的な構成を示すブロック図で保護すべき送電線の電圧 $\dot{V}$ ，電流 $\dot{I}$ は測定回路1により目的に好都合な電圧 $\dot{V}_1$ ， $\dot{V}_2$ に変換される。たとえばリアクタンスリレーであれば

$$\dot{V}_1 = Z_1 \cdot \dot{I} e^{j(\varphi + \pi/2)}$$

$$\dot{V}_2 = K_1 |\dot{V}| + Z_2 \cdot \dot{I} e^{j(\varphi + \pi/2)}$$

ここで， K_1 ， Z_1 ， Z_2 ： 定 数

φ ： $\dot{V}$ に対する $\dot{I}$ の遅れ角

これをたとえば零スライス法で方形波に変換する整形回路2，3により方形波に変換したうえ比較回路4に導入する。比較回路は $\dot{V}_1$ ， $\dot{V}_2$ がともに正（負）である期間出力を生ずるゆえこれを積分回路5で積分し，その出力レベルをレベル判定回路6で判定する。この判定レベルは $\dot{V}_1$ ， $\dot{V}_2$ が所定の関係にあるたとえば $\dot{V}_1$ ， $\dot{V}_2$ の重なり角が $\pi/2$ 以上あるときの出力に設定される。

かくして送電線の故障時に得られる電圧，電流から故障点が保護範囲内にあるや否やを判定するわけであるが，保護継電装置であるからその判断は正確であることを要求されるわけであるが，従来故障条件によってはしばしば数10%のオーバリーチをして，いたずらに停電区域を増大せしめていることがあった。

従来この原因は故障発生時の過渡期に故障電流に含まれる直流分

に起因するものと考えられていたのであるが，発明者はオーバリーチの現象がこれだけで十分説明できないことからこの原因が他にもあると考え研究した結果電圧の変化により二次的に生ずる直流分によってオーバリーチが生ずることをつきとめた。すなわち図2は図1の測定回路の一例であるが，この回路において故障発生に応じて $\dot{V}_{ab}$ が変化するが， $\dot{V}_{ab}$ 自体に直流分が含まれていなくても， $\dot{V}_{ab}$ が変化することによって変成器 T_1 の出力に直流分が二次的に発生し，このため $\dot{V}_2$ にひずみが生じオーバリーチすることをつきとめたのである。

したがってこの直流分をできるだけ早い時期に消滅させることができればこのオーバリーチは小さいものとなるわけであり，この点に着目してこの発明は電圧変成器の一次巻線の抵抗とインダクタンスの比を 10^{-3} 以下にしてオーバリーチを低減することを提案するものである。この発明はオーバリーチが電圧によっても発生するというを明らかにしたうえできわめて有用なものであり，変成器を使用して電圧入力を導入する保護継電装置にすべて採用される。（福島）

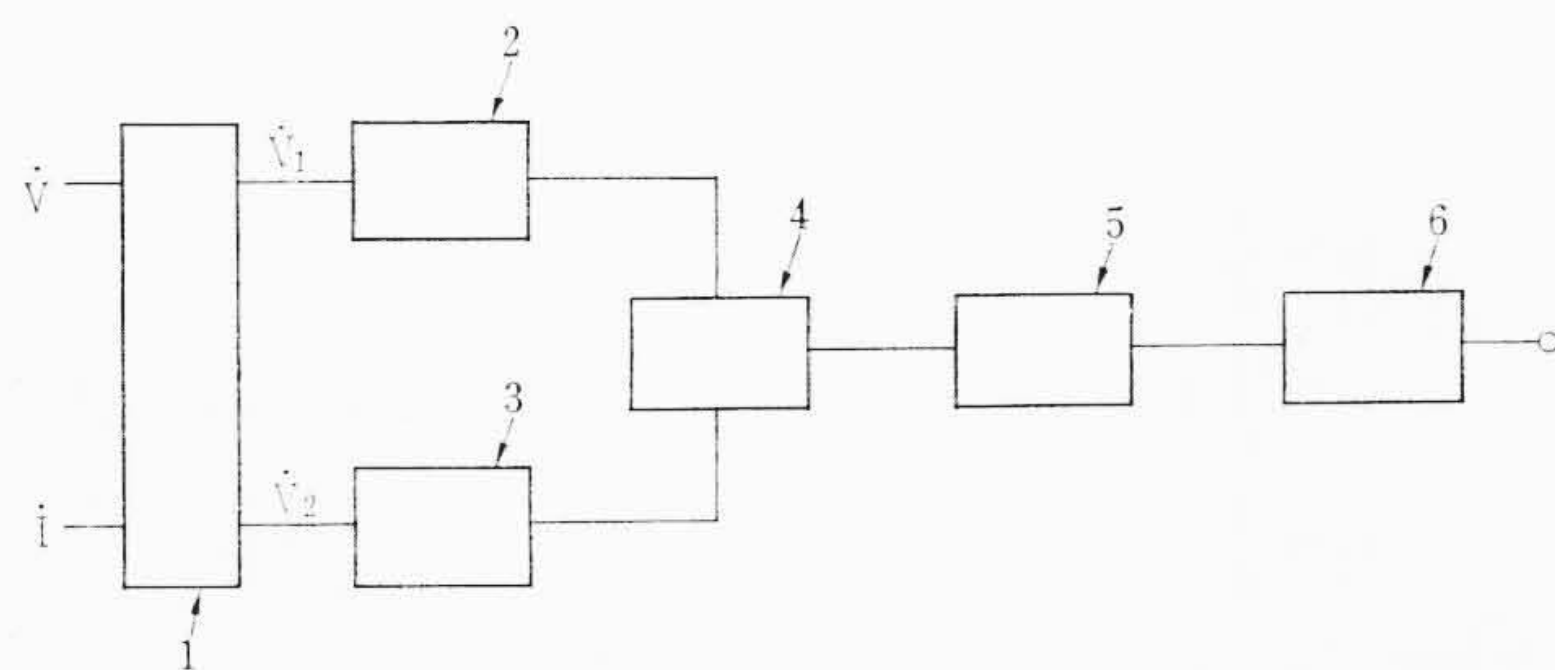


図 1

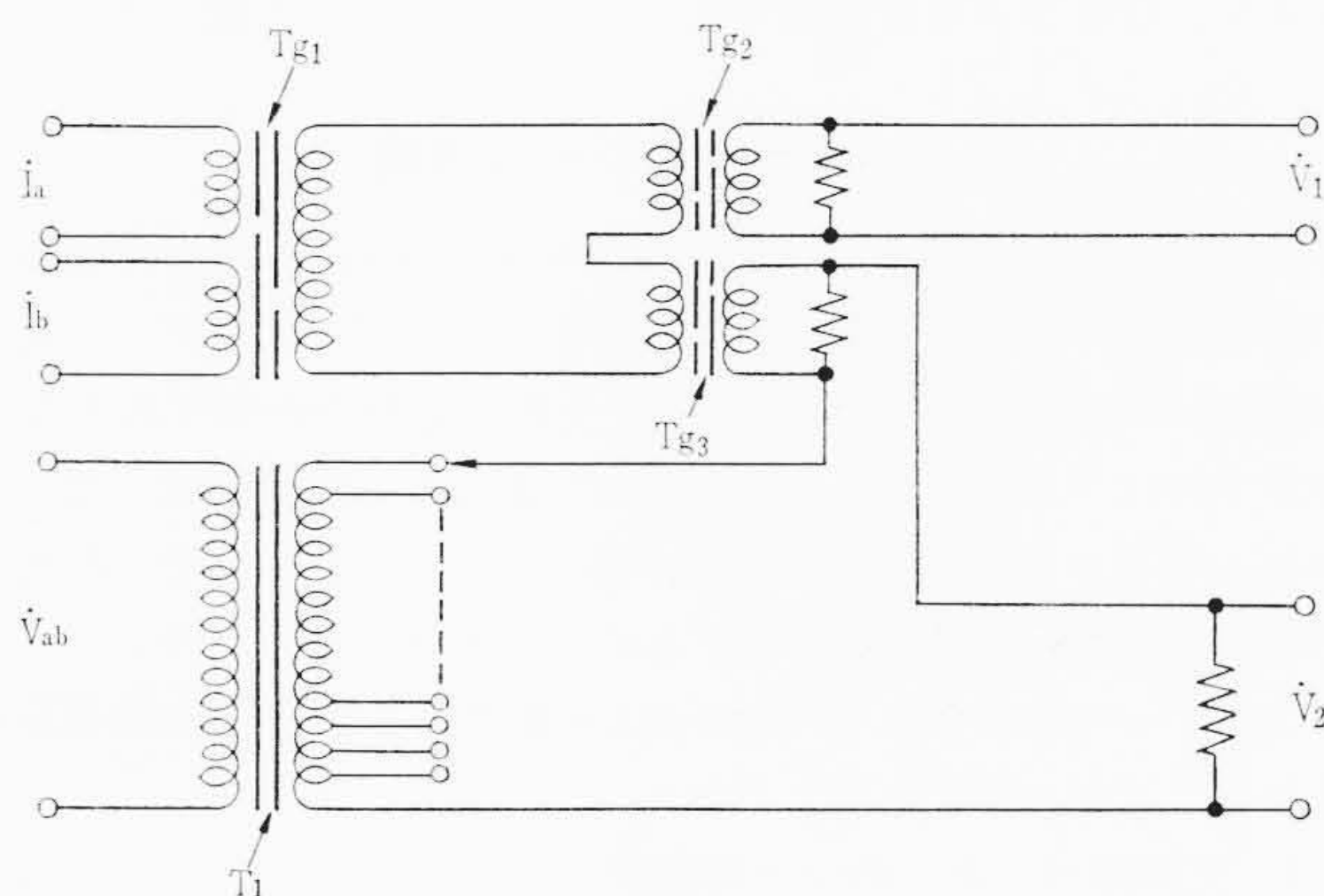


図 2