

# 全方向微風速計とその応用について

勝 田 高 司 ・ 後 藤 滋

## ま え が き

室内気流の特性を検べるには比較的低風速を対象とした風速計が要求される。このためには風車風速計やピトー管等では不適であって<sup>(1)</sup>、従来一般にカタ寒暖計が使用されてきた。筆者らはかねてカタ寒暖計の改良を試み、電気的測温による遠隔測定<sup>(2)</sup>（風速の読みとりはカタ寒暖計の場合と同様）のものから直立式<sup>(3)</sup>の型まで試作してきた。一方室内気流についてみると、一般に主気流と誘導気流とがあって、これらが室内各所において種々方向の複雑した気動をなしている。それ故風向もとらえ難く、また変動もするので、これらの風速を知るには方向特性の均一な風速計が便利である。この種の一つに感風エレメントの球型のものが考えられる<sup>(4)</sup>。筆者らの試みてきたものもまたこれであって、エレメントとしてガラス球（中に油封入）から金属中空球のものを使用した。しかしこれらによると工作上よりどうしてもかなりの熱容量のものとなり、直立式の場合には指示の遅れが大きく、測定に時間を要するものである。ここで述べるのはこれらの点を考慮し、さらに多少の改良をした3感風エレメント型交流式の風速計である。これによって測定時間の短縮、さらに多点同時測定が可能となった。

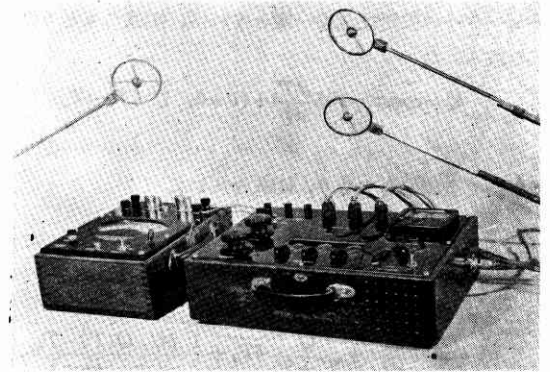
### 1. 全方向微風速計

室内気流の測定を対象とする場合には次のような諸事項が要求される。

- (1) 低風速を対象とし、測定域 0.05~5 m/s が得られること、
- (2) 全方向性であること、（方向特性の均一）、
- (3) 風速直示、連続記録のできること、
- (4) 多点観測、記録のできること、
- (5) 気温測定、記録をも可能なこと、
- (6) 携帯、取扱いに便なこと、

本微風速計においては、以上の大概を満足するよう、次のような構造をとった。すなわち、カタ寒暖計の性質と熱線計の方法とを組合わせ、熱線の代りに感風エレメントに熱球（金属中空球傍熱型）を用いたものである。風速による熱球エレメントの冷却力を球エレメントの温度と気温との差として取り出すため、サーミスターによる気温補償回路を通して球エレメントの測温がなされた。

計器は3エレメント部、3エレメントの制御をする制御箱および指示計よりなり、指示計には交流自動平衡電橋（抵抗比率計）を使用し、電源には交流 100Vのみ用意すればよいようにした。



第 1 図

### 2. 微風速計の原理

感風エレメントが加熱されているとき、エレメントと周囲気流との間の熱平衡式は次のように表わされる。すなわち、供給熱量はエレメントの蓄熱量と放熱量との和に等しいから、

$$Q = \frac{RI^2}{4.2} = m \cdot S \frac{dT_s}{dt} + K(T_s - T_a) \dots (1)$$

ただし、 $Q$  = 供給熱量 [cal/sec],  $R$  = エレメントヒーターの電気抵抗 [ohm],  $I$  = ヒーターの加熱電流 [amp],  $m$  = エレメントの質量 [gr],  $S$  = エレメントの比熱 [cal/gr°C],  $T_s$  = 球エレメントの表面温度 [°C],  $T_a$  = 周囲気流の温度 [°C],  $t$  = 時間 [sec],  $K$  = 熱伝達量 [cal/sec°C].

L. V. King<sup>(5)</sup> によれば熱線計の場合、 $K$  は次のようである。

$$K = f(U) = a + b\sqrt{U} \dots (2)$$

ただし、 $U$  = 風速 [m/s],  $a, b$  は 常数で [cal/sec°C] および [cal/°C sec<sup>3/2</sup>m<sup>3/2</sup>].

この関係は筆者らの従来の熱線カタ寒暖計においてもよく一致していた<sup>(2)</sup>。

次に一定風速  $U$  のもとで、定常状態にあっては、

$$\frac{dT_s}{dt} = 0 \text{ であるから(1)式に(2)式を代入して}$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= (a + b\sqrt{U})(T_s - T_a), \\ \text{または} \quad \frac{Q}{T_s - T_a} &= a + b\sqrt{U}. \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

よって  $Q$  を一定とすれば指示計に  $(T_s - T_a)$  を指示させることにより風速を直ちに読みとることができる。本計器におけるキャリブレーションもこの原理によったものである。

さらに風速変動に対する指度変動の特性についてみよう。(3)式において  $U \rightarrow 0$  に extrapolate したときの  $T_s$  を  $T_0$  とすると (実際には外部風速が 0 に近づいたとき自然対流によって  $T_s$  は  $T_0$  とならず幾分低くなる)

$$Q = a(T_0 - T_a) \dots\dots\dots(4)$$

風速  $U$  のまわりにおける風速変動を  $\delta U$ , 指度の変動を (この場合, 指度は温度指示であるから)  $\delta T_s$  とし, 傍熱ヒーターの供給熱量を一定とすれば, (1)式にもどり(2)式を代入した

$$Q = \text{const.} = mS \frac{dT_s}{dt} + (a + b\sqrt{U})(T_s - T_a) \dots\dots\dots(5)$$

において全微分をつくり, (4)式を用いて

$$0 = mS \frac{d\delta T_s}{dt} + (a + b\sqrt{U}) \delta T_s + \frac{b\delta U}{2\sqrt{U}}(T_s - T_a) \\ = mS \frac{d\delta T_s}{dt} + \frac{Q}{T_s - T_a} \delta T_s + \frac{1}{2U} \delta U \cdot \frac{Q(T_0 - T_s)}{T_0 - T_a} \\ \therefore \delta T_s + \frac{mS(T_s - T_a)}{Q} \cdot \frac{d\delta T_s}{dt} \\ = -\frac{1}{2} \frac{\delta U}{U} \cdot \frac{(T_s - T_a)(T_0 - T_s)}{T_0 - T_a} \dots\dots(6)$$

いま  $\delta U$  およびこれに対応する  $\delta T_s$  を週期変動とし

$$\left. \begin{aligned} \delta U &= u \cdot e^{i\omega t} \\ \delta T_s &= \tau \cdot e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

とおけば

$$\tau(1 + i\omega/\omega^*) = -\frac{1}{2} \frac{u}{U} \cdot \frac{(T_s - T_a)(T_0 - T_s)}{T_0 - T_a} \dots\dots\dots(8)$$

ただし  $\omega^* = \frac{Q}{(T_s - T_a) mS}$

よって温度変動の振巾  $\tau$  は

$$\tau = -\frac{1}{2} \frac{u}{U} \cdot \frac{(T_s - T_a)(T_0 - T_s)}{T_0 - T_a} \cdot \frac{1}{1 + i\omega/\omega^*} \dots\dots\dots(9)$$

によって得られる。それ故  $f = \omega/2\pi$  なる周波数の風速変動に対して, 振巾は完全追従の場合の

$$1/\sqrt{1 + (\omega/\omega^*)^2}$$

となり, 位相の遅れは

$$\tan^{-1}(\omega/\omega^*)$$

となる。ここに

$$1/\omega^* \equiv M' = \frac{m \cdot S}{Q} (T_s - T_a) = \frac{mS \cdot 4.2}{RI^2} (T_s - T_a) \dots\dots\dots[\text{sec}]$$

は熱線における熱慣性の常数  $M^{(6)}$  と同型である。

$mS$  として球殻のそれで代表し, 黄銅の密度 = 8.4 [g/cm<sup>3</sup>], 比熱 = 0.092 [cal/gr°C] とするとき,  $mS = 0.804$  [cal/°C] である。 $T_s - T_a$  を実験より求めて (ただし  $T_s$  については球殻温度を近似的に表面温度と見做す) 計算を行えば,  $U = 0.5$  および 1.5m/S 附近における各種周期の風速変動に対する指度変動の振巾率および位相の遅れは第 1 表のようになる。

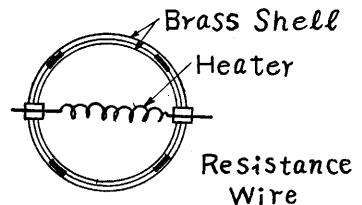
第 1 表

周期 1/f	U=0.5m/S 付近		U=1.5m/S 付近	
	振巾率	位相の遅れ	振巾率	位相の遅れ
30秒	0.051	87.1°	0.074	85.8°
1分	0.102	84.2	0.145	81.7
2"	0.201	78.4	0.282	73.5
5"	0.46	62.8	0.59	53.7
10"	0.71	44.3	0.83	34.3
15"	0.84	33.0	0.91	24.3
20"	0.90	26.0	0.95	18.7
30"	0.95	18.0	0.98	12.8

これより指度には周期 1 分以下の細かい変動はほとんど表われず, 十分に追隨するのは 10~15 分以上の長周期の変動に対してのみであり, 一般には数分間の平均風速を表わしていることになる。

3. 微風速計の構造

(1) 感風エレメント 第 2 図に示すように外径約 20 mm の黄銅球殻よりなり, 中に小さいヒーターを封じ込み, また球殻温度を測定するための抵抗線が 2 重球殻の間に挟まれている。ヒーターは

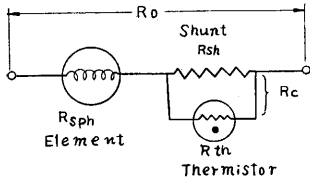


第 2 図

約 10Ω のマンガン線で 3 個のエレメントにつき均一に作製する (測風精度より ±2.5% 以上, ここでは ±1.0% の精度にて作製した)。抵抗線は約 60Ω 銅線 (SWG 48#) で, 内球殻の外面に方向性を考慮して 3 次元的に浅い溝を切りそこに巻き込んだ。巻き上り精度は測温精度より ±1.0% を目標とした。球表面温度の代りに球殻内部の温度を使用している (黄銅の熱伝導率は高いのでその差はわずかである) こととなるが(3)式の関係は満足された (第 14 図参照)。測温抵抗線に銅線を使用したのは同一素材より作られた線については温度特性が均一であるのと, 高温で使用しないこと (気温より 15°C 以内の上昇に止める), また温度係数が直線的でありさらに安価であることによる。球殻の外径は内球 20.0mm, 外球 21.5mm, 肉厚は共に 0.4mm である。また外球の表

面を金鍍金して外部の放射とくに比較的低温放射 (3000 °K以下) の影響をさげるようにした。

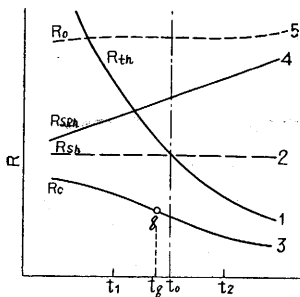
(2) 温度補償 第3図に示すようなサーミスター回路



第 3 図

による温度補償を行った。球元素およびサーミスターが同一温度にあるとき、球元素の測温抵抗値を  $R_{sph}$ 、サーミスターおよび

シャントの抵抗を  $R_{th}$  及び  $R_{sh}$  とし合成抵抗を  $R_c$  とすれば、 $R_c$  と  $R_{sph}$  との温度変化が相殺して全抵抗  $R_0$  をほとんど一定にすることができる (第4図参照)。



第 4 図

すなわち、 $R_{sph}$  および  $R_c$  の温度係数を  $\alpha$  および  $-\beta$  とするとき

$$R_{sph}(T) = R_{sph}(0)(1 + \alpha T),$$

$$R_c(T) = R_c(0)(1 - \beta T), \dots (10)$$

温度補償条件としては

$$\alpha \cdot R_{sph}(0) = \beta \cdot R_c(0) = K \dots (11)$$

(ただし  $R_0(0)$  は  $R_c$  の直線部から  $T \rightarrow 0$  に extrapolate したときの値を考える) であれば

$$R_0 = R_{sph}(T_a) + R_c(T_a) = R_{sph}(0) + R_c(0) = \text{const.} \dots (12)$$

また元素が加熱されているとき

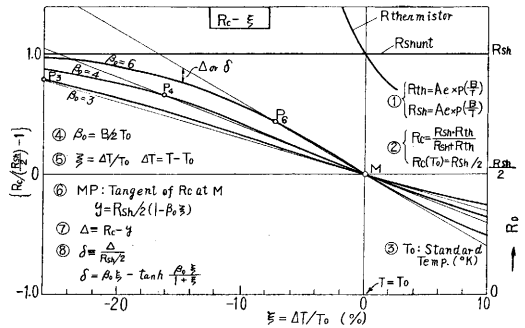
$$R = R_{sph}(T_s) + R_c(T_a) = R_{sph}(0) + R_c(0) + K(T_s - T_a).$$

$$\therefore \Delta R = R - R_0 = K(T_s - T_a). \dots (13)$$

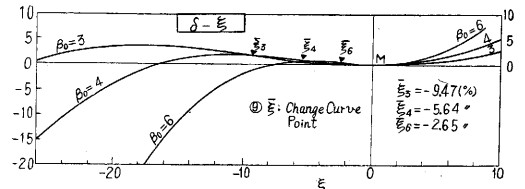
よって  $\Delta R$  を取り出せば常に球元素と気温との差を読むことができる。

元素抵抗  $R_{sph}$  に対して所望の温度域において補償するようなサーミスター回路の選定法は次のようである。補償回路抵抗  $R_c$  の直線性は第5, 6 図に示すように  $\beta_0 = B/2T_0$  により、したがってサーミスターの常数  $B$  および補償域を代表する基準温度  $T_0$  によって異なる。すなわち補償域を広くするには  $\beta_0$  の小さいものを必要とする。次に補償域を所望の温度域に合わせるには、その中心温度に補償特性の変曲点  $\xi$  がくるようにする。ここに  $\xi$  は基準温度  $T_0$  を原点とした(無次元)座標  $\xi = (T - T_0)/T_0$  を表わす。

いま補償温度域を  $10^\circ \sim 50^\circ \text{C}$  を目標とすると、 $40^\circ \text{C}$  補償範囲に対し  $\beta_0 = 4$  を必要とする。(第6図より  $\beta_0 = 4$  の最大利用範囲は  $\xi = 13\%$ ,  $T_0 = 320^\circ \text{K}$  として補償



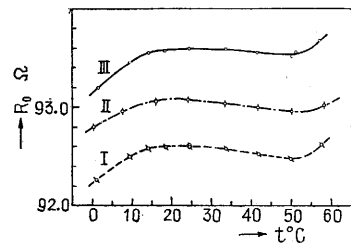
第 5 図



第 6 図

範囲は  $42^\circ \text{C}$  となる) この場合変曲点  $\xi_4$  は  $-5.64\%$  であるから中心温度  $30^\circ \text{C}$  ( $303^\circ \text{K}$ ) に対し、 $T_0 = 303 / (1 - 0.056) = 321^\circ \text{K}$  ( $48^\circ \text{C}$ ) とすればよい。

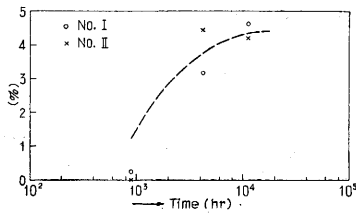
さて  $R_{sph}$  の温度勾配  $dR_{sph}/dT = \alpha \cdot R_{sph}(0) = 0.25$  ( $\Omega/^\circ \text{C}$ ) とすれば、 $R_c$  のそれ  $-\beta R_c(0) = \alpha_c R_c(T_0) = -0.25$  になるようにする。 $R_{th} = A \exp(B/T)$  の  $T_0$  における温度係数  $\alpha_{th} = -B/T_0^2$ ,  $R_c$  のそれ  $\alpha_c = \alpha_{th}/2$  であるから、 $\alpha_c \cdot R_c(T_0) = -B/2T_0^2 \cdot R_{th}(T_0)/2 = -0.25$  なるよう  $R_{th}(T_0)$  および  $R_{sh}$  を選べばほぼ所定の条件が満たされる。さらに実際には  $R_{sh}$  を加減して完全に満足させることができる。よって  $\beta_0 = 4$ ,  $T_0 = 321^\circ \text{K}$  より  $B = 2568$ ,  $R_{th}(48^\circ \text{C}) \approx 40 \Omega$  程度のサーミスターを選び  $40 \Omega$  のマンガニン・シャントを入れればよい。さらに検定の上シャント抵抗を多少変更して完全補償させることができる。使用に供したものは  $B = 2520$ ,  $R_{th}(49^\circ \text{C}) = 39.7 \Omega$ ,  $R_{sh} = 41.3 \Omega$ ,  $B = 2412$ ,  $R_{th}(50^\circ \text{C}) = 40.4 \Omega$ ,  $R_{sh} = 42.0$  などである。その特性を第7図に示す。なお



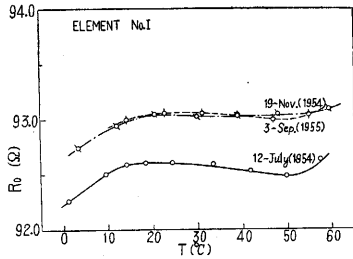
第 7 図

サーミスターのエイジングとそれにとまなり補償特性の変化を第8図および第9図に示す。

(3) 気温測定 補償回路のみを取り出せば負の温度特性をもった抵抗温度計として使用することができる。すなわち指度の振れ  $\Delta x' \propto \Delta R_c(T_a) = -K \cdot \Delta T_a$ , 基準温



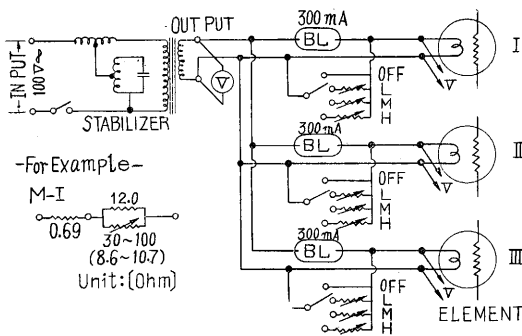
第 8 図



第 9 図

度において指針を調節しておけば、振れ  $\Delta x' \propto \Delta T_a$  より温度  $T_a$  を読むことができる。

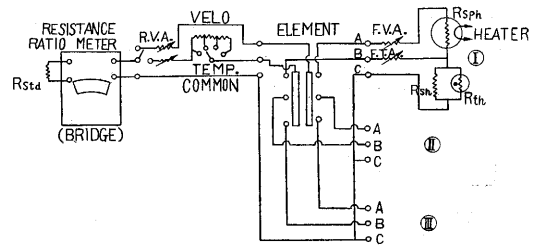
(4) エレメントの加熱 封入されたマンガニヒーターはほとんど抵抗が変わらないから、これに一定電流を通せば常に一定電力を供給することができる。一定電流の供給には安定管を使用し、風速の大小によって加熱量を H. M. L の 3 段階に切換えるようにした。供給電流はそれぞれ H: 225, M: 150, L: 75mA 前後である。3 個の感風エレメントに対し共通のキャリブレーションをするため、細部にわたり各エレメントは均一に作られるが、最終的目盛調節として加熱量の加減により一致させる。そのため予め実験室において電流調節可能なよう各段階につきそれぞれ  $\pm 5\%$  の電流変化のできるよう回路を構成した (第 10 図参照)。電源には交流 100V を使



第 10 図

用し、電圧安定装置を経て約 10V で回路に供給されている。

(5) 測定回路および指示計 第 11 図に示すように 3 個のエレメントを切換えによって共通の指示計に指示させる。指示計には測温抵抗を知る抵抗比率計 (交流電子管式自動平衡ブリッジ) を使用した。比率計は標準および未知の 2 組の端子をもつ一種の電橋である。前者に



第 11 図

標準抵抗  $R_{std}$  を後者に  $R$  を接続するとき  $R/R_{std}$  の比率を 1 を中心として前後  $\pm a\%$  の間で指示する。

$$\text{比率指数} : x \equiv 1 + \Delta x = R/R_{std} \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{指数の振れ} : \Delta x = \Delta R/R_{std} = (R - R_{std})/R_{std} \dots\dots\dots (15)$$

測温抵抗  $R$  の温度変化  $\Delta T$  に対する抵抗変化を  $\Delta R$ 、温度係数を  $\alpha$  とすると

$$\Delta R = R(0) \cdot \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots (16)$$

$$\begin{aligned} \text{指数の振れ} : \Delta x &= \Delta R/R_{std} \\ &= R(0) \cdot \alpha \cdot \Delta T / R_{std} = C \cdot \Delta T \dots\dots (17) \end{aligned}$$

すなわち温度変化に比例し、なおその  $1^\circ\text{C}$  当りの振れの大きさは  $R_{std}$  により任意にきめられる。

(a) 風速測定 加熱しないときの零調整位置  $x_0$  からの振れを  $\Delta x$  とすると

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{\Delta R_{sph}(T_s) + \Delta R_{cbr}(T_a)}{R_{std}} \\ &= \frac{\Delta R}{R_{std}} = \left( \frac{K}{R_{std}} \right) (T_s - T_a) \rightarrow U \dots\dots (18) \end{aligned}$$

(b) 気温測定 一定温度の指数の位置  $x_0'$  をきめ調整をすれば、任意温度に対する指数の振れ  $\Delta x'$  は

$$\Delta x' = \frac{\Delta R_c(T_a)}{R_{std}} = - \frac{K}{R_{std}} \cdot \Delta T_a \rightarrow T_a \dots\dots (19)$$

本計器においては各部を次のように決めた。

- (i)  $R_{std} = 100 \Omega$ .
- (ii)  $\Delta x = \pm 3\%$  (full scale 6%) を  $24^\circ\text{C}$  目盛とする。

$$\therefore \Delta x / \Delta T = 1/4 \text{ } (\% / ^\circ\text{C}).$$

$$\text{また } 100 \Omega \times 0.06 = 6 \Omega$$

$$\text{より } \Delta R_x / \Delta T = 6/24 = 0.25 \text{ } (\Omega / ^\circ\text{C}). \dots\dots (20)$$

(iii)  $R_{sph}(0)$  は

$$\frac{dR_{sph}}{dT} = \alpha \cdot R_{sph}(0) = 0.25 \dots\dots\dots (21)$$

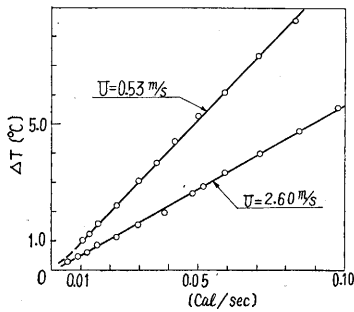
$$\therefore R_{sph}(0) = 0.25/\alpha.$$

使用銅線の  $\alpha = 0.4213$  ゆえ、 $R_{sph}(0) = 59.34 \Omega$  を目標とした。

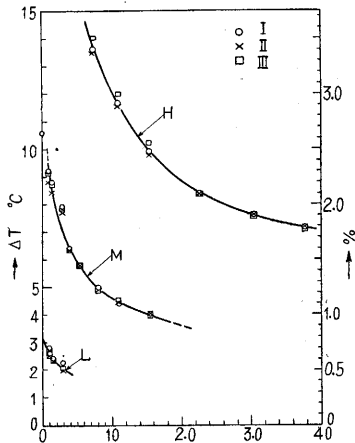
#### 4. 微風測計の諸特性

(1) (3)式の成立を検べる意味で、まず一定風速中における  $\Delta T = (T_s - T_a) \sim Q$  の直線性を検討した。第 12 図にみられるよう  $Q$  の小さいところでわずかにカーブしているが大略の部分についてはよく直線性を示している。

(2) キャリブレーションとして  $U \sim \Delta T$  の関係を求めた。(第 13 図参照)。これによって指数より直接風速を

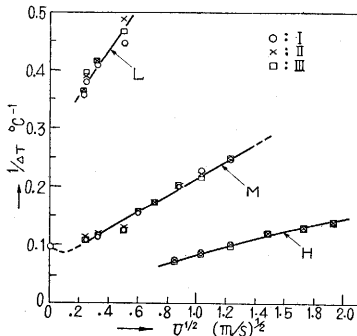


第 12 図



第 13 図

にもとづいて  $U^{1/2} \sim 1/T$  関係の直線性が成立している

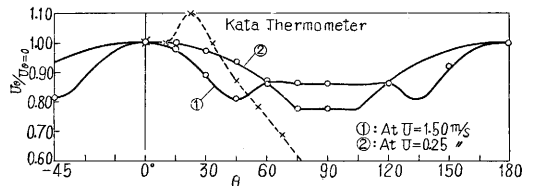


第 14 図

(4) 方向性, 方向に対する特性が均一になるよう感風エレメントを球型としたのであるが, 実際には支持棒, リードなどの影響により, 均一にはならない。棒は気流方向に影響を与え, リードはそれを通しての伝熱損失があるため風向による異差を生ずる。しかし従来の熱線やカタ寒暖計<sup>(7)</sup>の方向特性に比べれば, その変化率は $1/2$ 以下と云えよう。棒のなす面の法線と風向とのなす角を  $\theta$  とするとき  $\theta = 0^\circ$  のときの読みに対する各方向での読みの比を表わせば第 15 図のようになる。

求めることができ, また指示計を風速目盛にすれば直読できる。風速 1 m/s 以上ではヒーターの H を使用し以下では M を使用するのが測定精度上好ましい。L は自己対流をより少なくしているからきわめて微風 (0.15 m/s 程度以下) の場合にのみ適する。3 個のエレメントについてこの風速の範囲程度では, 約 10% 以下の誤差であってよく一致している。

(3) (3)式  $K = a + b\sqrt{U}$  の関係はエレメントが球状の場合にも適用されるといえる。

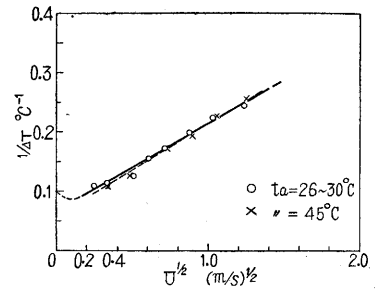


第 15 図

(5) 温度特性 使用に先だち, その気温中で零調整 (ヒーターを入れないで) をして測定にかかれれば, 始めの気温  $\pm 10^\circ\text{C}$  の変化に対しても測温誤差  $0.2^\circ\text{C}$  をほとんど超えることがない。(第 7 および 9 図参照) したがって温度特性は調整をする限り問題とならない。しかし物理的意味における常数  $a$  および  $b$  の変化が考えられるので  $T_a = 28^\circ\text{C}$  と  $45^\circ\text{C}$  附近における特性の比較を試みた。第 16 図にこれを示す。  $a, b$  共に多少の変化があるようであるが正確なところは判然としない。

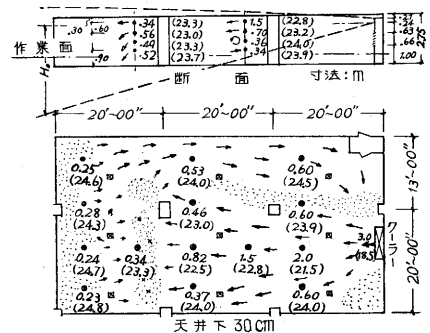
5. 計器の 応用

この種計器の 応用には主として屋内気流分布, 給排気口附近における気流特性の研究などがある。これらに関する 2, 3 の例を挙げる。

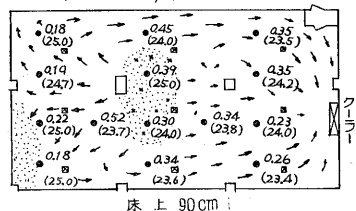


第 16 図

(1) 側面給気口による室内気流分布 単一の室においてユニットクーラーを 1 台設置した場合の室内気流分布の 1 例を第 17 図に示す。ただし, クーラーの能力は 8 冷凍 屯, 給気量 2.200 CFM (実測値)。別に天井給気口 9 ケを有している。

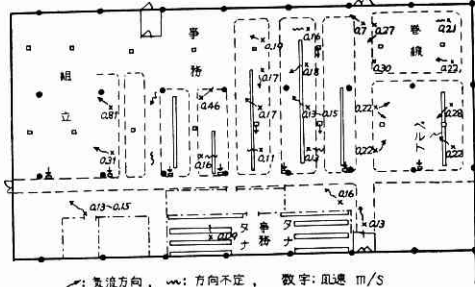


(2) 天井給気口のみによる屋内気流分布  $18^\circ \times 34.5^\circ$  天井高 14' の作



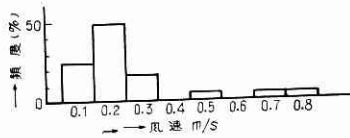
第 17 図

場業で天井給気口  $6K \times 4.5K$  間隔に 16 ケ配置した場合の場内気流分布を第 18 図に示す。風速範囲は 0.09~

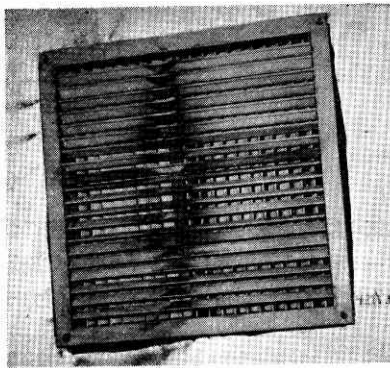


第 18 図

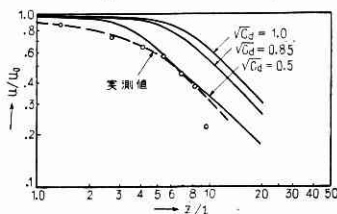
0.81m/s で、0.2m/s 前後が最も多いが、0.7~0.8m/s の強すぎることを生じている。風速の頻度分布を第 19 図に示す吹出口は第 20 図のような  $L=35\text{cm}$  角で各



第 19 図



第 20 図



第 21 図



第 22 図

(3) 吹出気流 上記のような給気口問題に対しては吹出気流の到達距離が取扱われる。(2)例の天井給気口の場合の給気口中心軸上における風速変化を 1 例として示せば第 21 図のようである。ただしペインを垂直に開いた場合で吹出口風速を  $u_0$  とする。理論値<sup>(8)</sup>に比してやや小さいようである。

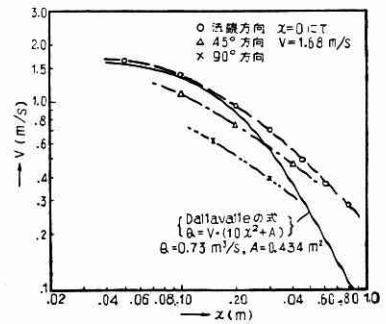
$C_d$  は縮流係数である。

(4) 排気口。50.5cm x 86cm 排気口による吸込気流の状態を

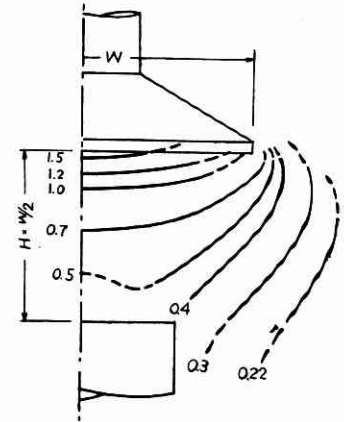
第 22 図に示す。また距離による風速変化を理論値<sup>(9)</sup>と比較すれば第 23 図のようである。

(5) キャノピーフードにおける等速線の実測例を第 24 図に示す。ただし、フードの直径  $W=90\text{cm}$ 、作業台の径 50cm において、フード開口面の作業台面よりの距離  $H=w/2$  の場合である。排気量より求めた開口面平均風速を基準 1.0 とする。

(1955. 9. 9)



第 23 図



第 24 図

付記 本計器作製にあたっては当所江口彦助教授の御助力いただいたことを記して謝意を表する。

文 献

- (1) 風車風速計では普通 1.5m/s、特殊型で 18cm/s まで測定できるが、\* それ以下の風速では精度悪く、あるいは停止してしまう。ゼト一管ではチャトツ等の微圧計を使用すれば測定できるが、実験室的であって実用に向かない。また両者とも風向に一致させる点、微気流になるほど困難である。
- \* Ower, E.: The Measurement of Air Flow, (1949) p.149/151
- (2) 勝田, 勝野: 熱線カタ風速計の考案, 建築学会研究報告, No. 5, (1950-1). 勝田, 後藤: 熱線カタ風速計の特性, (室内風速に関する研究 (1)), 同上 No. 15, (1951-11.) p.183/186.
- (3) 勝田, 橋, 江口, 後藤: 全方向微風計の試作 (1), 生産研究 vol 5, No. 3, (1953-3) p. 19/20.
- (4) この例としては, Gilman, S. F., Straub, H. E., Hershey, A. E.: Room Air Distribution Research for Year/Room Air Conditioning, Part I., H. P. A. C. vol. 25, No.4, (1953-4) p. 122/124. Welman, W. L., Lovelock, J. E.: An Ionization Anemometer with Omnidirectional Response., J.I.H.V.E. vol. 22, (1955-2) p. 421/434.
- (5) King, L. V.: Phil. Trans. Roy. Soc., London. A 214, (1914) p. 373.
- (6) Dryden, H. L., Kueth, A. M.: The Measurement of Fluctuations of Air Speed by The Hot-Wire Anemometer., N. A. C. A. Tech. Rep. No. 320 (1929)
- (7) 一樹: 建築物の通風に関する模型実験, 建築学会論文集 No. 31, (1944-7), p. 43.
- (8) Elrod, H. G.: Computation Charts and Theory for Rectangular and Circular Jets., H. P. A. C. vol. 26, No. 3 (1954-3) p. 149/155.
- (9) Brandt, A. D.: Industrial Health Engineering, (1947) p. 79.