HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	温熱環境の試作測器
Author(s)	射場本, 勘市郎; 西, 安信
Citation	衛生工学, 9, 33-39
Issue Date	1964-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36164
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_33-40.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

温熱環境の試作測器

射場本　勘市郎＊
西　　安　信＊＊

（昭和３８年１２月１７日受理）

Several Improvement in Measuring Instrument for Thermal Environment.

Kanichiro IBAMOTO
Yasunobu NISHI

The authors made two new type measuring instruments for thermal environment, shown in Fig. 3, Fig. 6.,
These instruments give Dry Bulb and Wet Bulb Temperature, Mean Panel Temperature and Wind-Speed. Using together with WARMTH DIAGRAM we can synthetically evaluate the thermal conditions.

Nowadays general measurering instruments and technique have made remarkable progress, but in the field of the environmental engineering many measuring instruments are not complete yet in their accuracy.
For instance usual anemometers for lower velocity, such as Kata thermometer, hot wire and thermistor anemometer are based on Newton's Law of Cooling, so if Mean Panel-Temperature is not equal to Atmospheric Temperature(D. B. T), the measured value is not accurate.

But our method is able to eliminate these errors.
We found that, in the case of the first type instrument, using Heated-Globe, Globe and Dry Bulb Thermometers, Equations (2), (6) are given, and in the case of the second one, using Wet-Globe, Globe, Dry Bulb and Wet Bulb-Thermometers, Equations(2), (19) are given in the same way.

As a result, we easily get corrected Mean Panel Temperature and Wind-Speed.

＊衛生設備工学講座教授
＊＊大学院修士課程学生

1 緒　言

温熱環境の計測に当つて最も必要なことは、人体からの放熱に関与するすべての因子を総合的に評価することである。このためには人体の発熱機構を完全にシミュレートすることが必要であり、人体の温熱に対する生理現象さえ完全に解明されていない現状では完全さを求めるのはむずかしい。

しかし筆者はすでにモデル化した環境についての温熱を評価する手段として温感線図[1)]を完成している。

問題を環境の温熱性を規定する因子の計測に限つても従来用いられてきた計測器は対象とする環境によつては大きな誤差を生じることがある。

我々はこの点の改良も合せて、気温、気流、平均パネル温、気温の四因子を直ちに読み取り可能な二種類の環境計測器を試作した。

この計測値を基に温感線図を索けばその環境の温熱性を評価することができ、更に環境条件の改善へと寄与することができる。

2 問題の背景

室内の気流のような微風速を測定するには、簡便なものとしてカタ寒暖計、また電気的な計器として熱線風速計や、サーミスター風速計がある。しかしこれらの計器は(1)式に示すように壁温について考慮していないニュートンの冷却則を基にして風速を算出するので、一般にあるような気温と壁温の異る環境では測定値に歪を生じてくる。

$$H=\alpha(T_1-T_a)\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

H：放熱量　〔$Kcal/m^2h$〕

α：全熱伝達率〔$Kcal/m^2hC$〕

T_1：放熱体温度〔℃〕

T_a：気　温　〔℃〕

またグローブ温度計を用いて測定する平均パネル温は、盛夏や厳寒期において、また特殊な温熱環境、たとえば製鉄、鋳造、製氷室などで非常に大きな意味をもつが、その評価が確立されていないことや測定の不便さのため、その重要さに反してほとんど測られていないのが現状のようである。

グローブ温度計の示度と平均パネル温には次の関係がある。

$$T_P=T_g+\frac{\alpha_c}{\alpha_r}(T_g-T_a)\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

T_P：平均パネル温　〔℃〕

T_g：グローブ温度計の示度〔℃〕

α_c：対流熱伝達率　〔$Kcal/m^2hC$〕

α_r：ふく射熱伝達率　〔$Kcal/m^2hC$〕

上式の関係よりT_Pを求める際にα_cが未知であり別に風速を測定する必要がある。*しかし前述の風速計により風速を求める限りは、それらが$T_P=T_a$という前提のもとに成立つているので矛盾を生じる。

筆者らは次節に述べるように同一の形状、寸法をもつた一対のグローブ温度計および熱グローブ温度計（または湿グローブ温度計）の示度より正確な気流と平均パネル温を測定する計器を試作した。

＊対流熱伝達率と風速の間には無次元化された次の関係があり、α_c と風速 v は容易に読みかえができる。

$$Nu = m R_e^n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

(3)より

$$\alpha_c = m \frac{\lambda}{\nu^n} \cdot D^{n-1} v^n \cdots\cdots(4)$$

Nu	：ヌッセルト数	〔－〕
R_e	：レイノルズ数	〔－〕
m, n	：定　数	〔－〕
λ	：熱伝導率	〔Kcal/mhC〕
ν	：動粘性係数	〔m^2/S〕
D	：放熱体の代表寸法	〔m〕
v	：風　速	〔m/S〕

常温の空気流における α_c と v の関係は Fig. 1 に示す。

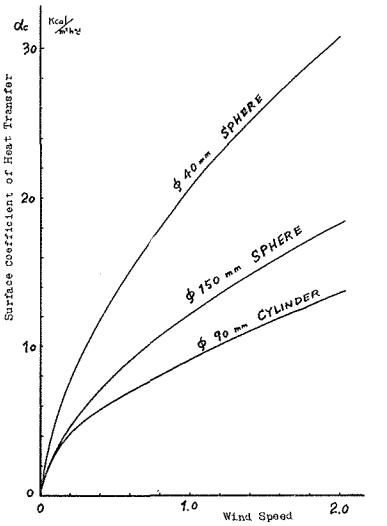


Fig.1. 対流熱伝達率と風速の関係

3 試作 I 型

人体からの放熱のうち湿性によるものの割合を 1/4 と固定して乾性放熱についてのみ考えると、外部より温感を規定するのは、気温、気流、平均パネル温、作業量、着衣量、などである。この試作I型は気温、気流、平均パネル温及び気湿を測定するもので、この測定値と温感線図を合せて用いれば、いろいろな状態における人間の温感を直ちに評価することができる。

前述のニュートンの冷却則に原因して生ずる気流および平均パネル温の歪は次の方法で解消される。

一定の発熱を保つ熱グローブ温度計からの放熱は次式で示される。

$$H_{Hg} = \alpha_r (T_{Hg} - T_P) + \alpha_c \times (T_{Hg} - T_a) \cdots\cdots(5)$$

ただし　H_{Hg}：熱グローブ温度計の放熱量 〔Kcal/m^2h〕

T_{Hg}：熱グローブ温度計の示度　〔C〕

またこの熱グローブ温度計と同一形状、寸法のグローブ温度計が気温と平衡にある時には(5)式で $H_{Hg}=0$, T_{Hg} を T_g と書き換え前出(2)式が成立つ。

(2)式および(5)式より T_P を消去すれば次の関係が導かれる。

$$\frac{\alpha_c}{\alpha_r}=\frac{T_g-(T_{Hg}-H_{Hg}/\alpha_r)}{T_{Hg}-T_g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

(2)、(6)式の関係を作用温度線図上で示せばFig.2の様になる。図上で求められた $\tan\theta$ は気流の大きさを求めたことに他ならない。このようにして求められた、気流および平均パネル温はニュートンの冷却則に基く諸計器の持つ歪を完全に取り除いている。

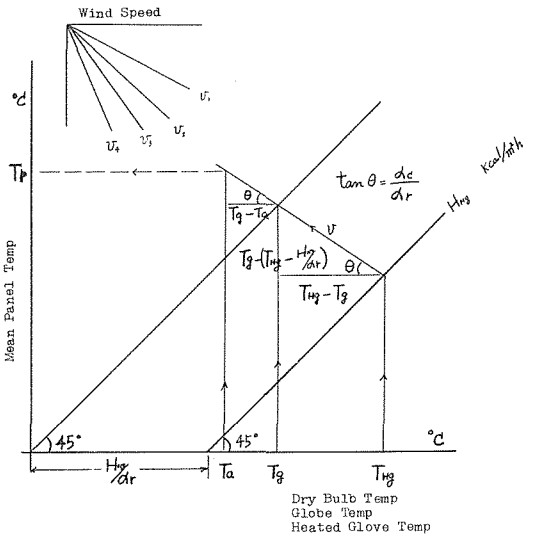
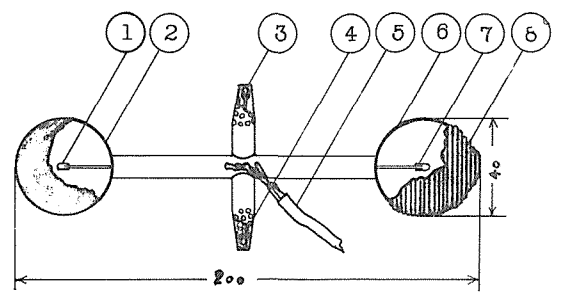


Fig.2, 試作Ⅰ型における平均パネル温と気流の図示解法



1 サーミスター Thermistor
2 グローブ温度計 Globe Thermometer
3 乾球温度計 Dry Bulb Thermometer
4 湿球温度計 Wet Bulb Thermometer
5 リードワイヤー Lead Wire
6 熱グローブ温度計 Heated Globe Thermometer
7 サーミスター Thermistor
8 マンガニン線 Manganin Wire

Fig.3, 試作Ⅰ型測温部

一般に用いられているグローブ温度計は直径が15cmのつや消し黒塗のものであるが、α_c の値にさえ気をつければ大きさは任意でよく、携行に便利で、応答の早い小型のものが便利である。我々はFig 3 に示す様に直径4cmのピンポン球を利用して一対の熱グローブおよびグローブ温度計を作りその中間に乾球、湿球温度計を配した。温度の検出にはサーミスターを用い、ブリッジの不平衡電流をμAメーターにて読み取る様にした。

熱グローブ温度計に一定の発熱を保たせるために球面にマンガニン線(18Ω/m)を密に巻き送電した。このヒーター電源はD. C およびA. Cを共用としフィールドワークにも便なるようにした。

4 試作Ⅱ型

Ⅰ型が乾性放熱のみを取扱つたのに比べⅡ型は湿性放熱をも考慮している。

表面が湿つた物体からの放熱は次式で示される。

$$H_{Wg}=\alpha_r(T_{Wg}-T_P)+\alpha_c(T_{Wg}-T_a)+\beta(f_{Wg}-f_a) \cdots\cdots (7)$$

ただし H_{Wg} : 湿つた物体の放熱量 〔Kcal/m²h〕

T_{Wg} : 湿つた物体の温度 〔℃〕

β ：蒸発に伴う熱伝達率 〔$\mathrm{Kcal}/m^2h\cdot mmH_g$〕

f_{Wg}：物体表面の水蒸気分圧〔mmH_g〕

f_a ：空気中の水蒸気分圧 〔mmH_g〕

ここでf_{Wa}，f_aを具体化するため湿り空気線図を略化して次の関係を求めた。

飽和蒸気圧曲線をある温度範囲に限れば、直線で近似することが可能である。Fig. 4のように原点加算が不要でかつ常温の10℃～25℃を一定勾配m_0をもつ直線で近似できる。するとf_{Wg}，f_aは次式で示すことができる。

$$f_{Wg} = \varphi_{Wg}\ m_0\ T_a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$f_a = \varphi_a\ m_0\ T_g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

ただし φ_{Wg} ：物体表面の相対湿度

φ_a ：周囲空気の相対湿度

また対流熱伝達とのアナロジーよりβを対流熱伝達率α_cにある定数を乗じたものとすれば $\beta = k\ \alpha_c$ ……(10)

(7)式は書き換えられて

$$H_{Wg} = \alpha_r\ (T_{Wg} - T_P) + \alpha_c (T_{Wg} - T_a) + k\ \alpha_c (\varphi_{Wg}\ m_0\ T_{Wg} - \varphi_a\ m_0\ T_a) \quad \cdots\cdots (11)$$

さらにT'_aなる仮想気温を導入すれば

$$H_{Wg} = (\alpha_r + \alpha'_c)\left(T_{Wg} - \frac{\alpha_r\ T_P + \alpha'_c\ T'_a}{\alpha_r + \alpha'_c}\right) \quad \cdots\cdots (12)$$

ただし $\alpha'_c = \alpha_c (1 + k\ \varphi_{Wg}\ m_0)$ … (13)

$$T'_a = \frac{1 + k\ \varphi_a\ m_0}{1 + k\ \varphi_{Wg}\ m_0} \cdot T_a \quad \cdots\cdots (14)$$

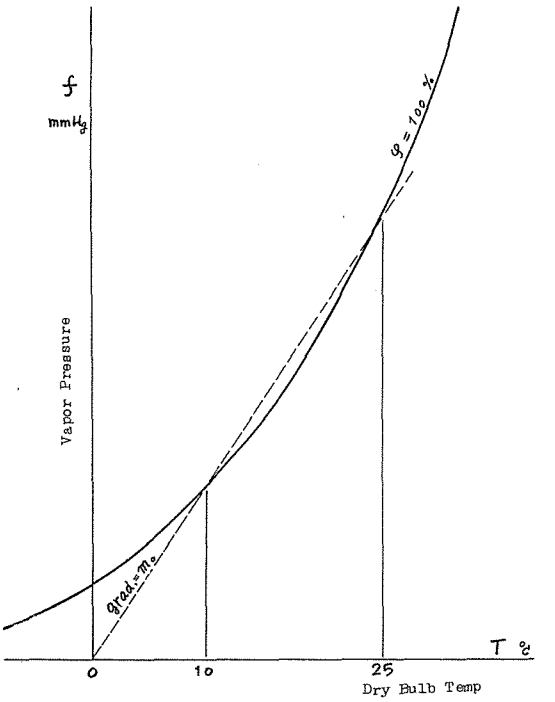


Fig.4. 湿り空気線図の略化

もし物体が発熱していなければ $H_{Wg} = 0$とおき(6)式と同型の次式が得られる。

$$\frac{\alpha_c'}{\alpha_r} = \frac{T_P - T_{Wg}}{T_{Wg} - T'_a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

ここで乾球および湿球温度計の示度より相対湿度を算出するSprungの式は次のように示される。

$$f_a = E' - \frac{1}{2}\ (T_a - T_W)\ P/_{755} \quad \cdots\cdots\cdots (16)$$

ただし E′ ： 湿球に対する飽和水蒸気圧 〔mmH_g〕

P ： 気 圧 〔mmH_g〕

(16)式に$f_a = \varphi_a\ m_0\ T_a$，$E' = 1 \times m_0\ T_W$，$P/_{755} \fallingdotseq 1$を代入して整理すれば

$$T_W = \frac{1 + 2\ \varphi_a\ m_0}{1 + 2\ m_0} \cdot T_a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

また(14)式の仮想気温T'_aにおいて物体表面の相対湿度が100%すなわち$\varphi_{Wg} = 1$を考え、さら

に定数kに実数値$k=2$〔$^{\circ C}/_{mm Hg}$〕を代入すれば次式を得る。

$$T'_a = \frac{1+2\varphi a m_o}{1+2m_o} \cdot Ta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (18)$$

結局、物体表面の$\varphi_{Wg}=100\%$のときに限って$T'_a=T_W$という関係が導かれたので(15)式は書き換えられ次式を得る。

$$\frac{\alpha_c'}{\alpha_r} = \frac{2.5\alpha_c}{\alpha_r} = \frac{T_P - T_{Wg}}{T_{Wg} - T_W} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (19)$$

ただし(13)式にて$m_o=0.75$〔$^{mm Hg}/_{C}$〕を代入した。

さきにグローブ温度計と気温の間には(2)式が成立しているので、ここで得られた(19)式と合せて図示すれば Fig. 5. のようになる。これより直ちにT_Pおよび、風速が算出される。

またこのα'_cの採用により蒸汗を加味した温感線図へ発展させることができる。ただし皮膚面や衣面のφ_{Wg}の動向については充分のデーターがなく現状では$\varphi_{Wg}=\varphi_a$とでもおくしか方法がない。

この原理を用いて作つた試作Ⅱ型は Fig. 6. に示す様に円筒の両側にグローブ温度計及び湿グローブ温度計を、中心部に乾湿球温度計を配してある。これは熱源が不要で、温度測定には$^1/_5$℃目盛の水銀温度計を用いる。

両グローブ温度計は対称の位置にあるので周囲壁体のふく射効果を均等にするため 2 r. P. m の回転台にのせて測定を行う。

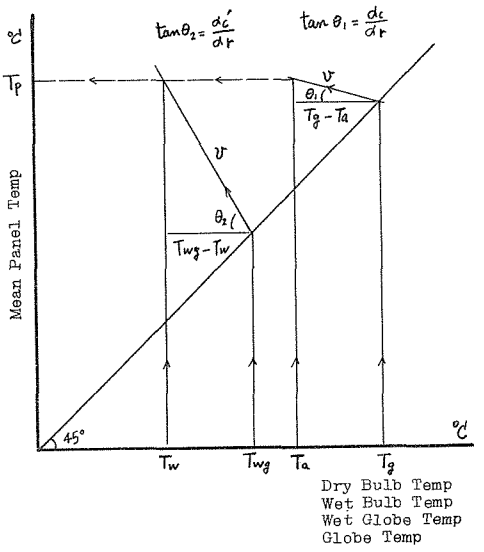


Fig.5. 試作Ⅱ型における平均パネル温、気流の図示解法

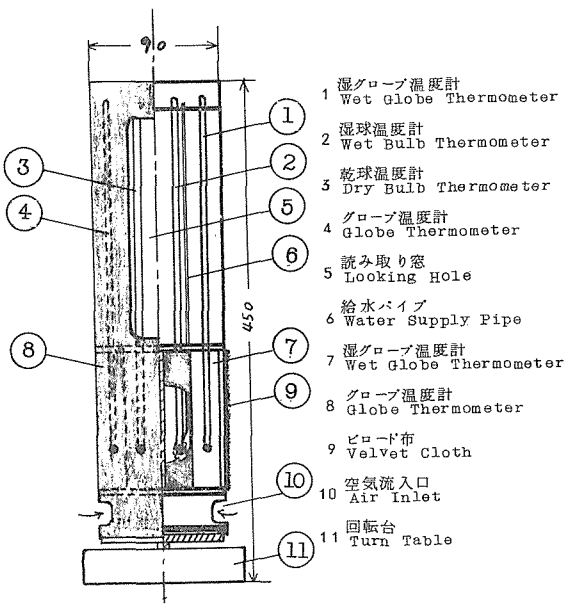


Fig.6. 試作Ⅱ型構造図

あ と が き

一般に温熱環境の計測といえば、気温と相対湿度の測定しか行われず、これと同等、もしくはそれ以上の意味をもつ気流や平均パネル温の計測はあまり行われていないのが現状のようである。

これは計測器に原因する不便さや、計測値算出の煩雑さ、さらには計測値の総合評価法に原因があるためと思われる。

筆者はすでに温熱環境を評価する方法として温感線図を発表しているが、今回開発した計器を用いて求めた気温、平均パネル温、気流を基に温感線図を索けばその環境の温熱性を直ちに判断することができる。

また従来の微風速計がニュートンの冷却則を基としていたために生ずる問題も合せて解決することができた。

文　　献

1) 射場本勘市郎：　温感についての工学的研究とその暖冷房への応用　　昭　31