一般報文

(平成5年3月17日受理)

サーマルマネキンによる基礎着衣熱抵抗の測定法比較

お茶の水女子大学生生活科学部 田辺 新一・長谷部ヤエ・西村 美加

Comparison of Calculation Methods for Basic Clothing Insulation with a Thermal Manikin

Shin-ichi Tanabe, Yae Hasebe, and Mika Nishimura

Department of Human Environmental Engineering, Ochanomizu University

2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112 Japan

Abstract : A comparative analysis is presented on the three conventional methods and our new one for evaluating the basic thermal insulation of clothing. A thermal manikin regulated at constant temperature over all parts was seated on a chair and, in the steady state, the environmental temperature, the amount of heat which the manikin lost, and the local skin temperature at nineteen points were measured for various clothing ensembles covering the body. From the data obtained were estimated the thermal insulation only by the skin when the manikin was unclothed and that by the total when clothed; based on these the basic thermal insulation of each clothing was evaluated by the current methods as well as ours and the results were compared. An investigation also on the role of the insulation by the outer clothing surface revealed that, if it was neglected, greater errors might be caused in estimating the basic thermal insulation of clothing.

(Received March 17, 1993)

1. はじめに

熱的快適性を考える際に、着衣量は主要要素の1つとして知られている。温熱環境における、人間の生理的・心理的反応の定量化の試みは、従来より多数行われ、着衣の熱的快適性に与える影響も明らかに成りつつある。その一例として、空気温度、放射温度、気流、湿度、着衣量、活動量の6つの温熱要素の複合評価を行うPMV(予測平均温冷感申告)[1]やSET*(新標準有効温度)[2]などが提案されている。これらの指標を算出する場合に着衣量は基礎着衣熱抵抗値(I_{cl})として考慮されている。

着衣熱抵抗は、皮膚表面から着衣外表面までの基礎着衣熱抵抗(I_{cl})や、皮膚から環境までの全着衣熱抵抗(I_t)等として表現されているが、これらの中でも基礎着衣熱抵抗(I_{cl})は、環境に依存する着衣外表面から環境までの熱抵抗を分離して取扱えるため温熱環境指標の計算に多く用いられている。

基礎着衣熱抵抗を簡便に求めるには、様々な衣服組合せの着衣熱抵抗を示した図表や衣服の総重量から推定

する方法[3]、単品衣服の着衣熱抵抗を足し合わせることでより組合せ衣服の着衣熱抵抗を求める方法[4,5]等がある。しかし、より精度良く求める場合には、サーマルマネキンを用いて測定することにより算出が行われる。日本においては、着衣熱抵抗の測定の他、被覆面積や衣服間隙、重ね着との関係[6,7]等についても詳細な研究が行われている。

本研究では、椅座位サーマルマネキンを用い、各種組合せのヒータ温度、作用温度にてサーマルマネキンの熱損失、皮膚温度の測定を行い、裸体時皮膚表面熱抵抗(I_{so})、全着衣熱抵抗(I_t)を算出した。さらに、裸体時皮膚表面熱抵抗(I_{so})、全着衣熱抵抗(I_t)より数種の方法で基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を算出し、暴露作用温度、ヒータ温度の与える影響について検討した。また、基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を求める際に問題となる着衣外表面熱抵抗(I_{so}/f_{cl})の求め方について比較、検討した。

通常、着衣量は立位で測定されるが一般的な被験者実験や日常生活でのオフィスワークが椅座位であることを考え、本研究では椅座位で測定を行った。

2. 各作用温度条件下における熱損失の測定

2.1 サーマルマネキン

図1に測定に使用したサーマルマネキン(茶子)を示す。本サーマルマネキンは、アルミ鑄造製で、各シェルの内表面に巻かれたニクロム線により加熱を行う。パーソナルコンピュータを用いて、PID制御(積分比例制御)を行い、サーマルマネキンの各部ヒータ温度が一定になるようにした。サーマルマネキンのシステム構成を図2に示す。また、サーマルマネキンの分割部位と表面積を表1に示す。マネキンは互いに断熱された19部位に分割されている。制御のため各部位内表面にサーミスター温度計が取り付けられている。マネキンは体表面積を変化させずに関節部(腹部及び腰部-大腿間、大腿-膝間、下腿-足間)の回転により立位、椅座位、膝伸ばし床座位姿勢等をとることができる。また、表面は人体とほぼ同色に艶消し塗装(5 YR6/4)されている。

2.2 実験条件

実験は1992年3～4月にお茶の水女子大学人間環境制御室において行われた。環境制御室(島津 SHC - 060)は床全面吹き出し、天井全面吹き込みの人工気候室で、上下温度分布のない均質な環境を作ることができる。加えて、内壁内側に約10 cm 空気層を設けることにより平均放射温度と空気温度が等しくなるように工夫されている。表2に実験を行った設定ヒータ温度、作用温度の組合わせを示す。表3にその他の実験条件を示す。各着衣ごとに表2に示したヒータ温度、作用温度の組み合わせ24条件下で実験を行った。表4に実験に用いた着衣の諸元を示す。着衣条件として、マネキンの皮膚温度と着衣

Fig. 1 Thermal manikin.

Fig. 2 Diagram of thermal manikin.

Table 1 Name and Surface Area of Each Body Part of Manikin

Name of Body Part	Area (m ²)	Name of Body Part	Area (m ²)
Head	0.126	R. Thigh	0.112
Chest	0.142	L. Thigh	0.108
Back	0.139	R. Knee	0.023
Abdomen	0.074	L. Knee	0.023
Buttock	0.127	R. Leg	0.097
R. Upper-Arm	0.060	L. Leg	0.095
L. Upper-Arm	0.062	R. Foot	0.064
R. Fore-Arm	0.038	L. Foot	0.063
L. Fore-Arm	0.036		
R. Hand	0.028		
L. Hand	0.031	Whole Body	1.445

R : right, L : left

Table 2 Experimental Combination of Heater and Operative (environmental) Temperatures

Operative Temperature (°C)	Heater Temperature (°C)			
	27	29	31	34
16	+			
18	+	+		
20	+	+	+	+
22	+	+	+	+
24	+	+	+	+
26	+	+	+	+
28		+	+	+
30			+	+

+ : combination tested.

Table 3 Other Experimental Conditions

Clothing Style	Nude, Summer, Medium, Winter
Relative Humidity	50%
Relative Air Velocity	0.13 m/s
Posture	Seated on a chair

Table 4 Composition of Clothing Ensembles

Summer	Short-Sleeve Blouse, Skirt, Vest (100% Polyester) Bra, Panties, Pantyhose
Medium	Long-Sleeve Blouse, Skirt, Jacket (100% Polyester) Cardigan (100% Wool) Bra, Panties, Pantyhose
Winter	Ski-Jacket, Salopet (100% Polyester Outer-surface, Stuffing 100% Nylon Inner-surface) Long-Sleeve Shirt, Socks (100% Cotton) Cardigan, Tights (100% Wool) Bra, Panties, Pantyhose

Table 5 Regression Coefficients of Heat Loss against Operative Temperature at Heater Temperatures 27, 29, 31, and 34 °C

	Nude		Summer		Medium		Winter	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
27	-8.50	249.2	-5.68	157.4	-4.91	134.7	-4.42	117.2
29	-8.87	258.1	-6.06	178.1	-4.50	133.7	-4.10	118.4
31	-8.72	270.2	-5.97	186.6	-4.96	154.9	-3.61	112.7
34	-8.87	299.5	-6.41	216.4	-4.59	159.1	-4.33	143.6

$$Q_t = a \cdot t_0 + b \text{ (W/m}^2\text{)}$$

a and *b*: Regression coefficients

外表面温度との差が小さくなる着衣量の少ない夏服(以下, 夏服(Summer)と呼ぶ)と, 差がより大きいと思われる着衣量の多い冬服(以下, 冬服(Winter)と呼ぶ), そして, その中間の合服(以下, 合服(Medium)と呼ぶ)の3種類とした。また, 裸体による計測も行った。座面及び背面が藤で編まれたメッシュ状の椅子(図1)を用い, サーマルマネキンは背もたれに寄りかかることなく座らされた。マネキンの全重量は約36.8 kgで, その内, 座面にかかる重量は約32.3 kgであった。このマネキン重量は実際の身体に近いものと考えられる。しかし, 着衣熱抵抗に座面の接触面積が影響を及ぼすと考えられるので, 今後詳細な検討を行う余地があるように思われる。

2.3 実験手順

各実験開始後, 少なくとも60分以上, サーマルマネキンを各作用温度条件下に曝露した。サーマルマネキンは各部位同一のヒータ温度となるように制御された。作用温度とマネキンからの熱損失が定常状態であることを確認した後, 作用温度, マネキンからの熱損失とマネキンの皮膚温度を測定した。測定の5分間平均値を解析用に用いた。測定は1分間に20回行われるので, 5分間平均値は100回の瞬時計測値の平均となる。室内の空気温度に分布は見られなかった。そこで, 作用温度は室内の中

央(床上160 cm)に吊るしたグローブ温度計により測定した。平均放射温度は空気温度に等しかった。皮膚温度は, 19分割部位の各々1点を, 銅-コンスタンタン熱電対を用いて測定した。サーマルマネキンのヒータ温度は内表面の1点の温度で制御されているが, マネキンシールのアルミの熱伝導性が高いので皮膚表面の温度分布は均一になるものと本研究では考えた。しかし, 今後サーマルマネキンの構造を考えた上で, 同一部位における不均一接触などが熱流や皮膚温度に与える影響については考慮する必要があると思われる。各部位熱損失と皮膚温度の体表面積重み付け平均を算出し, それぞれ全身熱損失と平均皮膚温度と呼ぶこととした。

2.4 実験結果

作用温度に対する全身熱損失の直線回帰係数を表5に示す。作用温度に対する各部位, 及び全身熱損失の回帰の結果, R^2 係数は全ての条件においてほぼ1となり, よい直線関係を示した。

3. 全着衣熱抵抗(I_t)について

3.1 着衣を通しての顕熱移動

全着衣熱抵抗(I_t), 裸体時皮膚表面熱抵抗(I_{a_s}), 基礎着衣熱抵抗(I_{cl})は式1~4により算出される。ヒー

Fig. 3 Sensible heat transfer through clothing, from the skin surface to the environment. Right Figure shows the case of nude.

タ、皮膚表面、着衣、環境の間の熱移動及び、熱抵抗を図3に示す。基礎着衣熱抵抗(I_{cl})は一般にはクロ値と呼ばれており皮膚表面から着衣外面までの熱抵抗を示す。今回実験に用いたような、シェル内表面加熱型のサーマルマネキンでは、ヒータ温度を基準とすると式1の後半に示したような関係も成立する。

式4は、McCulloughら[4]による実験式である。

$$I_t = (t_s - t_o) / 0.155Q_t \quad (1)$$

$$= (t_h - t_o) / 0.155Q_t - I_s \text{ (着衣時)}$$

$$I_a = (t_s - t_o) / 0.155Q_a \text{ (裸体時)} \quad (2)$$

$$I_{cl} = I_t - I_a / f_{cl} \quad (3)$$

$$f_{cl} = 1 + 0.3I_{cl} \quad (4)$$

I_a : 裸体時皮膚表面熱抵抗, 裸体時体表面積に対する皮膚表面から環境までの熱抵抗(clo)

I_{cl} : 基礎着衣熱抵抗(basic clothing insulation), クロ値, 皮膚表面から着衣外面までの熱抵抗(clo)

I_s : マネキンシェル熱抵抗, ヒータから皮膚表面までの熱抵抗(clo)

I_t : 全着衣熱抵抗, 皮膚表面から環境までの熱抵抗(clo)

Q_a : 裸体時の全身熱損失(W/m²)

Q_t : 着衣時の全身熱損失(W/m²)

f_{cl} : 着衣面積比(着衣時の全表面積/体表面積)

t_h : ヒータ温度(°C)

t_o : 作用温度(°C)

t_s : 平均皮膚温度(°C)

3.2 全着衣熱抵抗(I_t)と裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)

図4に平均皮膚温度と作用温度との差($t_s - t_o$)に対す

Fig. 4 Thermal insulation I_a only by the unclothed skin and the total insulation I_t by the skin and clothing, their dependency on the mean skin temperature subtracted by the environmental one. In the case of winter clothing, for the regression to be analyzed more precisely, two groups of data additionally obtained at heater temperatures 36 and 37 °C were included in the analysis; the former group was obtained under environments of 20, 24, 26, 28, and 30 °C and the latter under 14, 16, 18, 20, 22, and 24 °C.

る、裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)と着衣条件ごとの全着衣熱抵抗(I_t)の測定値と回帰曲線を示す。着衣量の多い冬服において、平均皮膚温度と作用温度との差が約3 °C以下になると I_t が増加している。着衣量の多い状態における全着衣熱抵抗を求めるときには皮膚表面温度と作用温度との十分な温度差を取るほうが安定した結果が得られることがわかる。このような着衣量の多い被服は、一般に低温環境下において着用されるので皮膚温度と作用温度との十分な温度差を取って測定することは、実際の使用条件にも合っていると考えられる。温度差が大きくなるほど煙突効果により全着衣熱抵抗(I_t)は減少すると考えられるが、平均皮膚温度と作用温度との差が3 °C以上のときには煙突効果による影響は本研究の条件においては見られなかった。

平均皮膚温度と作用温度との差の1 °Cの増加に対して、 I_a の変化量は約-0.01 cloであった。この値はSeppänenら[10]における I_a の変化量とほぼ一致した。また、Seppänenらが環境温度一定でサーマルマネキンの皮膚温度を変化させたのに対して、本研究では更に環境温度(作用温度)を変化させた場合も含んでいる。裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)は平均皮膚温度(t_s)と作用温度(t_o)との差によりわずかながら変化している。これは、サーマルマネキンがほぼ静穏気流下に曝露されているこ

とによる自然対流のためと考えられる。

4. 基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) の算出方法について

3.2 までに全着衣熱抵抗 (I_t) の結果を示した。基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) はこれらのデータにもとづき算出を行う。しかし、サーマルマネキンを用いた基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) の算出には着衣外表面の熱抵抗 (I_a/f_{cl}) の算出方法の違いから種々の方法がある。ここでは、これらの方法について述べることにする。4.2 に示したヒータ温度一定方法は今回新たに提案したものである。説明中に用いたデータは、2. で示した実験結果から得られたものである。

4.1 三平, 花田[8]による方法

三平, 花田は平均皮膚温度 33°C 一定制御のサーマルマネキンによりヌード, 及び, 着衣条件ごとに数種の環境温度における測定結果を環境温度と熱損失の関係として, 図5のように図示した。これにより, Gagge らの定義[9]にもとづき熱損失が 44.2 W/m^2 のときの環境温度を求め, 式1, 2に代入し, I_t, I_a を算出する。この方法では, ヌード, 着衣条件ごとに最低2回の測定を行い周囲温度と熱損失の回帰直線を求める必要がある。また, 多数回の測定結果によって回帰直線を求めれば更に精度の良い結果が得られると考えられる。測定の際には均一な環境条件が必要と思われるが, 三平・花田はその必要性には言及していない。本研究の実験は平均皮膚温度一定制御で行われていないので, 図5は, 本研究により得られたデータを用いた推定値を示している。

4.2 ヒータ温度一定方法(田辺・西村の方法)

本実験で用いたサーマルマネキン(茶子)はヒータ温度一定制御を行っているので, 平均皮膚温度を 33°C 一定にするには, ヒータ温度の設定を試行錯誤して決めなければならない。これは, シェル内表面発熱方式のサーマルマネキンでは大変煩雑な作業である。そこで, サーマルマネキンの構造上, 皮膚温度より一定に保ち易いヒータ温度の一定制御とし, 図6に示したように, 全身熱損失と平均皮膚温度の作用温度に対する回帰直線を同時に用い, 算出する方法を提案した。本方法は, 温熱的に均一な環境の人工気候室内で測定を行う。図6には, 平均皮膚温度が $32\text{--}34^\circ\text{C}$ となるヒータ温度 34°C のときの本実験のデータを示している。ある着衣条件に関して熱損失が 44.2 W/m^2 となる時の作用温度を求め, その後, 作用温度と平均皮膚温度の回帰直線より, 先の作用温度のときの平均皮膚温度を求める。それらより, 全着衣熱抵抗 (I_t), 裸体時皮膚表面熱抵抗 (I_a) を算出し, 基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) を求める。

Fig. 5 Relationship between the operative (environmental) temperature and heat loss from the thermal manikin for different clothing ensembles the mean skin temperature was fixed at 33°C according to Gagge's original definition of clo-value. (Mihira and Hanada's Method).

Fig. 6 Relationship among the operative temperature, heat loss from the manikin, and mean skin temperature for different clothing ensembles. Regression lines were obtained for the case where the heater temperature was 34°C . (Tanabe and Nishimura's Method)

4.3 Seppänenによる方法

Seppänenら[10]による方法では, あらかじめサーマルマネキンの平均皮膚温度から作用温度を引いた値を横軸として I_a をプロットする(図7)。この横軸を着衣外表面から環境温度を引いた値とみなし, 式5と図7により収斂値としての着衣外表面熱抵抗を求める。

$$\begin{aligned}
 t_{cl} - t_{a1} &= 0.155 Q_t \frac{I_{a1}}{f_{cl}} \\
 &= (t_s - t_o) \frac{I_{a1}}{f_{cl} I_t} \quad \dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

I_{a1} : 作用温度における裸体時 I_a の初期値 (clo)

t_{a1} : 作用温度の初期値 (°C)

t_{cl} : 着衣外表面温度 (°C)

図7には、ヒータ温度34°Cのときの本実験の平均皮膚温度と作用温度との差に対する I_a の回帰直線を示した。

4.4 簡易法

人工気候室内で同一の作用温度において裸体、着衣条件ごとに全身熱損失と平均皮膚温度の測定を行い、 I_t と I_a を求める。この方法では、実際には着衣外表面の温度は皮膚温度より低いことを考慮せず、着衣条件と同じヒータ温度の裸体時サーマルマネキンから I_a を算出する。

5. 基礎着衣熱抵抗算出方法の比較

5.1 基礎着衣熱抵抗値の比較

4種の方法により得られた裸体時皮膚表面熱抵抗 (I_a)、全着衣熱抵抗 (I_t)、基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) を表6

Fig. 7 Relationship between the mean skin temperature subtracted by operative temperature ($t_s - t_o$) and the thermal resistance at the nude skin surface (I_a). Regression line was obtained for the case where the heater temperature was 34°C (Seppänen's Method).

に示す。

三平・花田の方法については、本実験では平均皮膚温度を一定とした時の熱損失の変化を測定していないので、表5に示した作用温度と全身熱損失の回帰式、及び、作用温度と平均皮膚温度の回帰式より、ヒータから皮膚表面までの熱抵抗 (I_s) を一定とし図5に示した直線を算出した。サーマルマネキンの内表面から皮膚表面までは、アルミの熱伝導により熱移動が行われるので、温度条件による変化はほとんどないと考えられる。

田辺・西村の方法については、ヒータ温度33°Cの時のデータを用いて図6に示した方法より得られた値を示した。

Seppänenの方法については、図7を使用して算出した I_{cl} を示した。 I_{a1} は測定誤差を減らすために、回帰した後の作用温度22°Cでの I_a を用いた。 I_t についても同様である。

簡易法については、平均皮膚温度と作用温度との差の大きい作用温度22°Cと平均皮膚温度と作用温度との差の小さい28°Cの場合について示した。

どの服においても三平・花田の方法、田辺・西村の方法及びSeppänenの方法では、ほぼ等しい全着衣熱抵抗 (I_t)、基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) が得られた。

裸体時皮膚表面熱抵抗 (I_a) は、三平・花田の方法では0.71 clo、田辺・西村の方法では0.74 clo、簡易法(22°C)では0.72 clo、簡易法(28°C)では0.74 cloであり、どの算出方法によってもほぼ等しい値となった。

全着衣熱抵抗 (I_t) は、冬服における簡易法(28°C)での1.77 cloを除き、着衣条件ごとにほぼ等しい値となった。冬服においては、他の着衣条件と比較して全着衣熱抵抗 (I_t) が大きいので、温度差の大小の熱抵抗に対する影響が他の着衣条件よりも大きいと考えられる。簡易法(28°C)では平均皮膚温度と作用温度との差が6°C前後であったので、熱抵抗が他の方法の値より大きくなった

Table 6 Comparing Clo-values Evaluated by Four Current Methods

(unit: clo)

Method		Mihira · Hanada[8]	Tanabe · Nishimura	Seppänen [10]	Simple (22 ℃) (28 ℃)	
Clothing style						
Nude	I_a	0.71	0.74	—	0.72	0.74
Summer	I_t	1.01	1.03	1.01	1.03	1.04
	I_{cl}	0.37	0.36	0.34	0.39	0.38
Medium	I_t	1.32	1.31	1.32	1.33	1.30
	I_{cl}	0.75	0.69	0.72	0.74	0.69
Winter	I_t	1.61	1.62	1.61	1.65	1.77
	I_{cl}	1.07	1.06	1.05	1.11	1.23

Fig. 8 Relationship between the basic clothing insulation (I_{cl}) and the mean skin temperature subtracted by operative temperature ($t_s - t_o$).

と考えられる。

基礎着衣熱抵抗(I_{cl})は、夏服においてはどの算出方法によってもほぼ等しく、合服においてもほぼ等しく、冬服においては簡易法(28℃)の値が1.23 clo となり他の値と比較して0.1 clo 以上大きい。これは全着衣熱抵抗(I_t)の値が他の値に比べて大きいためである。

4 種の方法を算出方法の簡易さと合わせて比較する。三平・花田の方法は、着衣外表面温度が皮膚温度より低いことを考慮しているが、皮膚温度を制御する困難さがある。Seppänenらの方法は I_{cl} を算出する手段について述べたものであり、全着衣熱抵抗(I_t)と裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)は簡易法と同じ算出方法で求められる。簡易法は、測定方法が簡易な利点はあるが、着衣外表面温度が低いことを考慮しておらず、平均皮膚温度と作用温度との差が小さい場合には、精度に疑問がもたれる。今回提案した田辺・西村の方法により、内部ヒータ制御方式のサーマルマネキンを使用して比較的簡易に且つ精度良い基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の測定が可能であると思われる。

5.2 簡易法による温度差の影響

図8に全実験条件における、簡易法により算出した基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を平均皮膚温度と作用温度との差($t_s - t_o$)に対して示す。図4において裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)の傾きが0に近いので、図8の簡易法により算出された基礎着衣熱抵抗(I_{cl})は、図4における全熱抵抗(I_t)と同様の傾向を示した。

夏服、合服において、平均皮膚温度と作用温度との差($t_s - t_o$)に対してほぼ一定の基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を示したが、冬服においては、多少のばらつきが見られ、温度差が少ないほど熱抵抗が大きくなる傾向を示した。

6. 着衣外表面熱抵抗について

サーマルマネキンによる着衣熱抵抗の測定法を規格化した米国の工業規格 (ASTM F1291)[11]においては、全着衣熱抵抗(I_t)についての記述はあるが、基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の算出法に関しては記述を避けている。これは、着衣外表面熱抵抗の測定が困難なためと考えられる。

一方、着衣熱抵抗の表現方法に関して、次のような考え方もある。着衣熱抵抗は実際に衣服を身体に着用するときに、環境の影響を受けているので、全着衣熱抵抗(I_t)から、環境の変数と考えられる着衣外表面熱抵抗を減じた基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を着衣固有の熱抵抗(着衣量)とするのではなく、環境の影響を含む全着衣熱抵抗(I_t)をそのまま着衣量として用いればいいのではないか、という考え方である。

しかし、温熱環境指標計算に用いられる場合のように、着衣量を衣服組合わせ固有のものと考えた方が計算上都合がよい場合もある。これは、計算に用いる衣服・環境条件下で毎着衣熱抵抗を測定することは事実上不可能であるからである。

上述した、基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を求める際には、着衣外表面熱抵抗(I_a/f_{cl})の取扱いが問題となる。3.2に示したように、裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)と同様に着衣外表面熱抵抗(I_a/f_{cl})も、本研究におけるような静穏気流下では平均皮膚温度と作用温度との差の影響をわずしか受けにくいことが推測されるので、そのような状態の I_{cl} を基準値とし、気流等の条件による着衣外表面熱抵抗を考慮すれば、毎回異なる条件下でサーマルマネキンを用いて基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の測定を行う必要がなくなり、ある気流条件における基礎着衣熱抵抗(I_{cl})が明らかとなるときには、精度の良い基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の推定が容易になるのではないかとと思われる。その場合、提供される基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の測定値には、測定されたときの平均皮膚温度、作用温度、気流等の条件を明記することが必要であると考えられる。特に、裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)は、測定室内の環境条件を表すためには重要である。着衣外表面は金属表面とは異なるので、着衣外表面熱抵抗は着衣外表面の状態(毛羽立ち等)の影響を受ける。また、気流のある条件下ではSeppänenら[10]、笹原と田村[12]などの研究にみられるように、気流は着衣を透過し、必ずしも全ての熱移動が着衣外表面で行われるわけではない。着衣外表面熱抵抗としてのどの範囲まで裸体時皮膚表面熱抵抗(I_a)を用いることが可能であるかに関しては、今後更に検討する必要があるように思われる。

本実験では、ヒータ温度は各部位均一とした。部位ごとに設定値を変化させた場合の着衣熱抵抗の変化に関しては、今後の課題としたい。

7. 結 論

①椅座位のサーマルマネキンを用いて、裸体時と3種の着衣、4種のヒータ温度、ヒータ温度に対し各々6種の作用温度の組み合わせ条件下で着衣熱抵抗を算出した。

②基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の算出法として、田辺・西村の方法を提案した。

③基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を算出するための4種の方法について比較検討した。平均皮膚温度と作用温度との差が小さい場合には、算出した基礎着衣熱抵抗(I_{cl})の精度に疑問がもたれることが示された。

④着衣外表面熱抵抗について考察を行った。

本研究の一部は、平成4年度繊維学会年次大会研究発表会、平成4年6月、(東京)で発表した。

謝 辞

サーマルマネキンの製作、マネキン制御ソフトの開発に御協力いただいた(株)松本繊維科学研究所、松本健次様、松下精工(株)の皆様に記して感謝いたします。

文 献

1. P. O. Fanger, "Thermal Comfort", Copenhagen (1970).
2. A. P. Gagge, J. A. J. Stolwijk, and Y. Nishi, *ASHRAE Transaction*, **70** [1], 274 (1971).
3. ASHRAE, *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, (1989).
4. E. A. McCullough, B. W. Jones, and J. Huck, *ASHRAE Transaction*, **91**, 29 (1985).
5. B. W. Olesen, *ASHRAE Transaction*, **91** [2], 478 (1985).
6. 岩崎房子, 田村照子, 文化女子大紀要, **16**, 231 (1985).
7. 笠原さつき, 岩崎房子, 田村照子, 文化女子大紀要, **19**, 9 (1988).
8. K. Mihira, K. Hanada, 日本衣服学会誌, **34** [2], 52 (1991).
9. A. P. Gagge, Burton, and Bazett, *SCIENCE*, **7**, 428 (1941).
10. O. Seppänen, P. E. McNall, D. M. Munson, and C. H. Sprague, *ASHRAE Transaction*, 120 (1972).
11. *Annual Book of ASTM Standards*, **1507**, 807 (1991).
12. 笠原さつき, 田村照子, 文化女子大紀要, **22**, 93 (1991).