

サーマルマネキンによる被服の熱抵抗に関する研究 (第1報)

—温風循環方式サーマルマネキンの構造と特性—

田村 照子* 岩崎 房子**

Studies on Thermal Resistance of Clothing by Thermal Manikin (Part I)

— Structure and Heat Characteristics of Air-Circulating Type Thermal Manikin —

Teruko Tamura Fusako Iwasaki

I 緒 言

被服の熱抵抗を物理的に評価する方法としては、従来、冷却法¹⁾、恒温法²⁾、クロメータ法³⁾、サーモインテグレータ法⁴⁾、円筒法⁵⁾、平板熱伝導法⁶⁾、等、様々な方法が考案されている。これらはいずれも、対象とする試料片で、平板、斜平板または円筒状の発熱体表面を被覆し、その被服材料としての熱抵抗又は保温率を測定するものである。一方、着衣状態における被服全体の熱抵抗は、被服材料のそればかりではなく、被服の形態や着衣状態によって、さらに、着衣基体である人体の表面形状や放熱面の方向、皮膚温の分布等によって大きく左右される。被服衛生学分野では、通常、これら要因の総合評価法として、人体に実物被服を着用せしめ、その皮膚温、衣内温、その他生理・心理反応を測定する、いわゆる人体着用実験が行われてきた。しかし、この方法におけるセンサー、即ち人体

は、性差、年齢差、体形差、生理的個人差による極めて大きな変異を示し、必ずしも精度が良くないばかりか、馴化や疲労により生理的にも不安定で長時間の測定に耐えないという問題を抱えている。そこで、人体に代るセンサーとして、人体に近似した形状と熱特性を有する測定器が必要となり、考案されたのが、サーマルマネキンである。被服研究を目的としたサーマルマネキンは、第二次世界大戦中の軍服研究の為にアメリカで開発され⁶⁾、その後イギリス⁷⁾、ドイツ⁸⁾各国で研究が進められた。我国では、神戸大学⁹⁾、製品科学研究所¹⁰⁾、大阪市立大学¹¹⁾に続き、本学被服衛生学研究室に昭和56年に設置されたものが4機目であり、従来の3機とは若干異った制御機構を有している。

本研究は、このサーマルマネキンを用いて、被覆面積、被服下空気層(ゆとり)、開口、着衣枚数、被服材料等の各要因と、被服の熱抵抗との関係を探り、今後の被服設計の基礎としようとするものである。

第1報では、まず、本学サーマルマネキンの構造と特性について述べたい。

* 本学助教授 被服衛生学

**本学講師 被服衛生学

II 本学サーマルマネキンの構造と制御方式

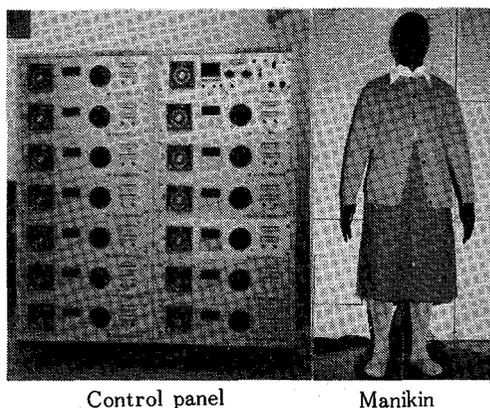
本学サーマルマネキンは、Fig. 1 が示す通り、マネキン本体、制御装置、測定及び演算装置の三部より構成されている。これらの設計製造は主として昭和電工 K. K. によったが、マネキン本体の形状及び分割部位、制御温度の精度の決定、及び、本体の石膏型原型の作製については、著者らが担当した。

マネキン本体は、熱伝導率 $270 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ のアルミニウム合金で鑄造されたもので、厚さは平均 5 mm 、表面には放射率約 0.9 の黒色塗料が塗布されている。Fig. 2 にその製作過程を示す。外形は、 20 才日本人女子の標準寸法に近似した被検者 2 名の体表石膏形から合成され、完成マネキンの外表寸法は、Table 1 に示す通り、胴囲寸法がやや大きいことを除いて、ほぼ標準値となった。

マネキンは、Fig. 3 が示すように、頭部、胸部、背部、腹部、腰部、左・右上腕部、左・右前腕と手部、左・右大腿部、左・右下腿と足部の計 13 パーツに分割され、各パーツ間は熱伝導率の小さいベークライトの断熱板によって仕切られている。各パーツの内部には、 $100 \text{ V}75\text{W}$ のニクロム線ヒータ、マイクロファン、 100Ω 白金測温抵抗体から成るマイクロファンカートリッ

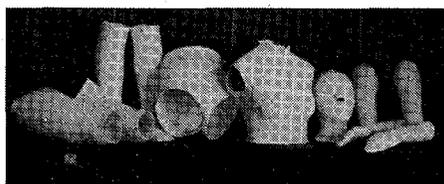
Table 1 Comparison of body size between of the manikin and of standard Japanese young women

	Manikin	Woman(20 yrs.)
Stature	154.7 cm	154.6 cm
Waist H.	94.8	94.1
Bust G.	81.0	81.8
Waist G.	64.0	60.9
Hip G.	87.7	88.9
Max. thigh G.	51.3	51.4
Max. upperarm G.	25.5	25.2
Shoulder W.	38.0	38.9



Measuring and computing system

Fig. 1 Total system of the thermal manikin



Gypsum replica obtained from two subject's in standard body size



Basic model made of gypsum



Leg and foot part made of alloyed aluminum



Finished manikin's body

Fig. 2 Producing process for the manikin's body

ジが組み込まれている。ヒータから発生される熱は、マイクロファンで各パーツの内部空気を強制対流させることによって、各パーツ内部及び表面を均一にかつ独立に加温する。この温風循環方式によるマネキンの加温方法は、基本的にはアメリカNASAの宇宙服研究用マネキン

ン¹²⁾の構造に準拠したものであり、その制御方法もNASAマネキンと同様、定温度制御と定入力制御の二方式が可能である。

定温度制御とは、各パーツ内部の白金測温抵抗体の検出温度をほぼ一定の水準に保つよう、ON-OFF制御によって電力が供給されるもので、対象被服着用時の消費電力量、或は、別途マネキン表面に貼付した熱流センサーによって測定された熱流量によって、被服の熱抵抗を算出する方法である。

定入力制御とは、マネキン表面から常に一定の放熱がなされるべく、入力電力量を定め、対象被服着用時のマネキン表面温度を、別途マネキン表面に貼付したサーミスタ温度計で測定して、被服の熱抵抗を算出する方法である。定温度・定入力制御共に、着衣の熱抵抗(clo値)は次式により求める。

$$R_N = (T_{SN} - T_{AN}) / 0.18Q_N, \text{ (clo)}$$

$$R_{CL} = (T_{SCL} - T_{ACL}) / 0.18Q_N \text{ (clo)}$$

$$R_{CLO} = \Delta R = R_{CL} - R_N \text{ (clo)}$$

R_N : 裸状時空気の熱抵抗, R_{CL} : 着衣時熱抵

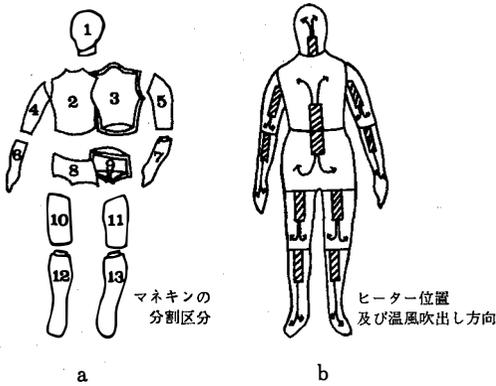


Fig. 3 a. Divisions of the manikin's body
b. Position and direction of each micro-heater fan

Table 2 Characteristics of the thermal manikin

Body part	Women	Manikin				
	Skin temperature °C	Surface temperature °C	Inner temperature °C	Heat supply kcal/m ² ·hr	Surface area m ²	Percentage of surface area %
head	34.7	34.4	35.3	37.63	0.124	8.74
chest	34.1	34.1	38.0	36.63	0.126	8.88
back	33.3	33.4	35.8	38.53	0.120	8.44
abdomen	33.8	33.8	37.6	37.78	0.128	9.03
buttock	32.2	32.6	34.4	41.73	0.116	8.18
upperarm (R)	32.7	32.9	34.8	26.23	0.058	4.07
(L)	32.7	32.8	34.8	19.54	0.057	4.05
forearm (R)	32.7	32.5	34.9	32.92	0.073	5.14
(L)	32.7	32.5	33.8	30.77	0.071	4.99
thigh (R)	32.3	32.5	35.8	27.91	0.128	9.04
(L)	32.3	32.4	35.8	28.16	0.127	8.95
leg (R)	32.0	32.0	36.0	37.79	0.146	10.29
(L)	32.0	32.0	34.9	37.29	0.145	10.24
Mean (weighted)	32.8	32.9	—	34.44	—	—
Whole body	—	—	—	—	1.419	100

抗, R_{CLo} : 被服のみの熱抵抗, T_s : 表面温,
 T_A : 気温, N : 裸状を表わす添字, CL : 着衣
 を表わす添字

III マネキンの基準表面温度及び 供給熱量の設定

マネキン各パーツの基準表面温度, または,
 基準供給熱量の分布を如何に設定すべきか, こ
 れは, 快適被服の原点をどこに取るかというこ
 としてある。快適状態にある生体の皮膚温分布は
 必ずしも1パターンではないと考えられるが,
 今回は, Herrington⁹⁾や三平¹¹⁾と同様, 均質温熱
 環境すなわち裸体時の快適状態における生体皮
 膚温分布に, その基準を定めることとした。
 Table 2は, 27名の成人女子の温熱的中立環境
 (暑くも寒くもない環境), 即ち28°C, 50%RH,
 不感気流下での裸状時皮膚温分布の平均値, 及
 び, これを基準として設定したマネキンの各
 パーツ表面温度, 同内部温度, 各パーツ供給熱
 量, マネキン表面積をまとめたものである。Fig.
 4に, 典型的な快適皮膚温パターンを示した生
 体のサーモグラム合成図¹³⁾を, Fig. 5に, マネ
 キン表面のサーモグラム合成図を示した。マネ
 キン表面温は, 生体の皮膚温と平均値的には一
 致しているものの, 分布はまったく相違してい
 ることは言うまでもない。マネキンの各パーツ
 内温度むらは, 気温28°Cでは±0.5°C, 10°C下
 でも±1.0°C以内に調整されている。それでもむ
 らを免れ得ない為, 定入力制御時の表面温測定
 に当っては, Fig. 5に縦線で示した平均温出現
 域内の一点を測定点として定め, この点におけ
 る温度をそのパーツ表面温とした。

Table 2に示すように, マネキンの供給熱量
 は結果として, 全身で34.4 Kcal/m²・hrとな
 った。これは, 成人女子の標準的な安静時代謝
 41.6 Kcal/m²・hr から, 発汗又は不感蒸泄による
 湿性放熱量約20%を差引いた乾性放熱量に相当
 する。またこの結果から裸状時の熱抵抗を求め
 ると(Fig. 6), 全身で0.16°C/Kcal/m²・hrとな
 り, Gagge¹⁴⁾の求めた空気の熱抵抗0.14°C/
 Kcal/m²・hrと近似した値となった。マネキン

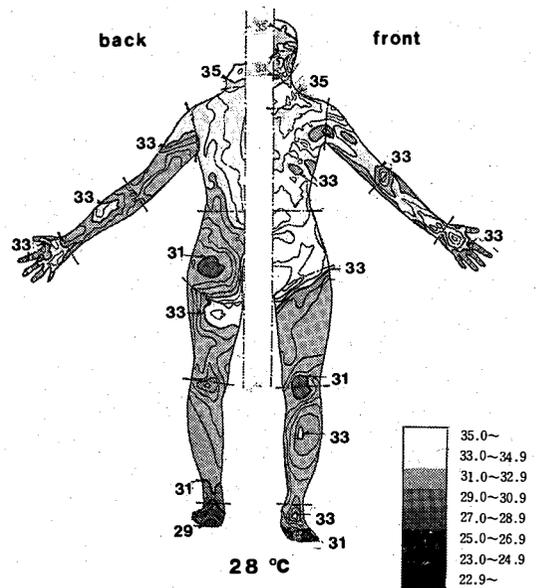


Fig. 4 A typical heat map of the human body surface

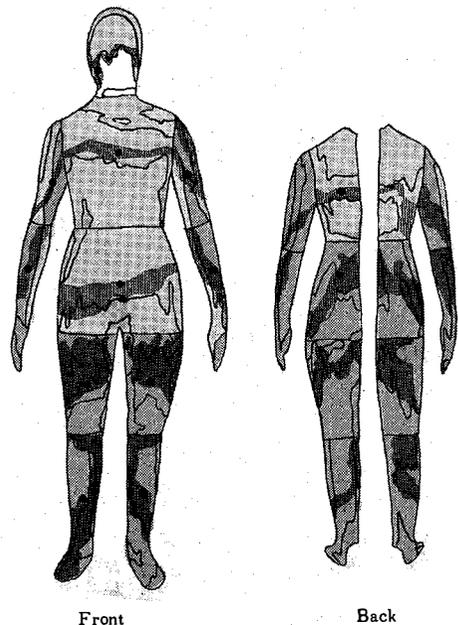


Fig. 5 Heat map of the thermal manikin's body surface

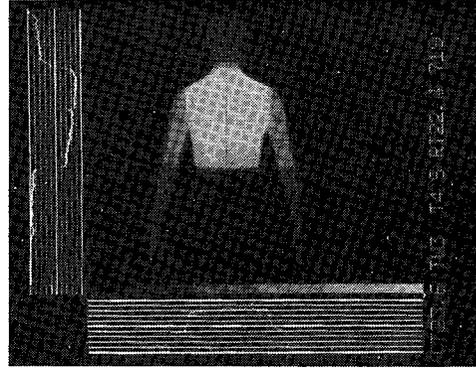
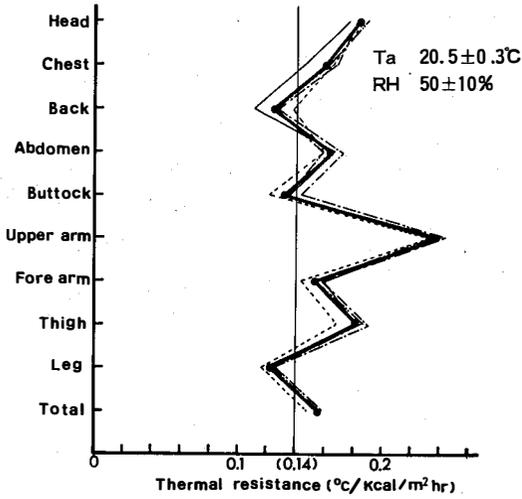


Fig. 7 Effect of heating of the breast on the other parts

Fig. 6 Total and partial thermal resistance of the thermal manikin in nude

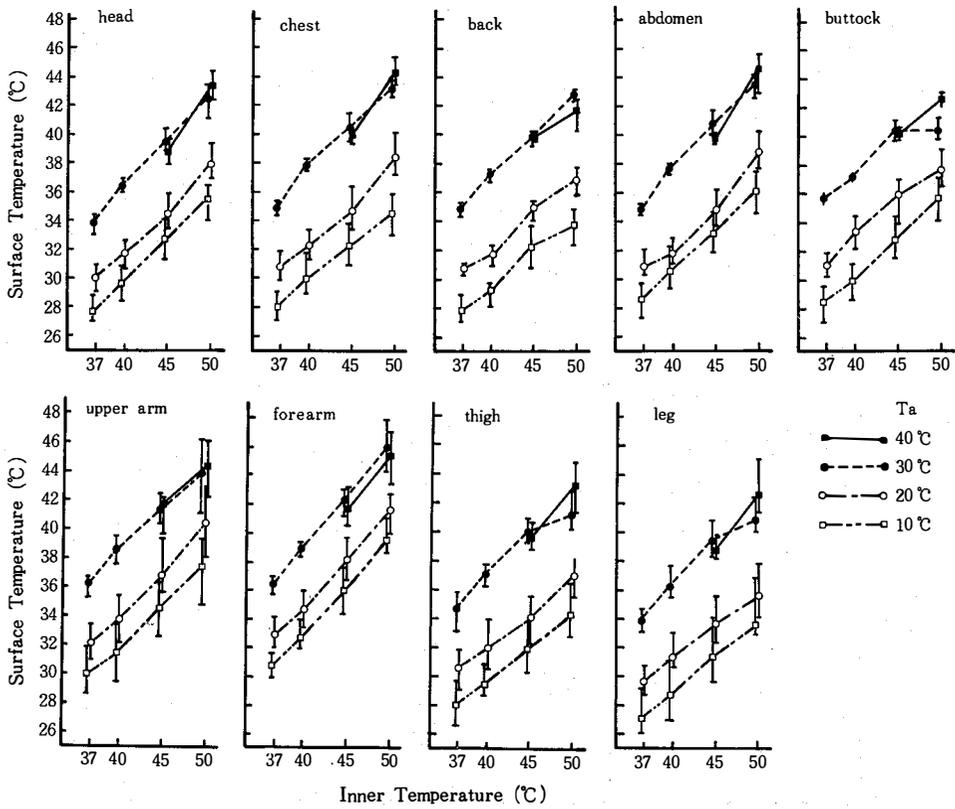


Fig. 8 Relationship between surface and inner temperature of the thermal manikin

の形態及び熱特性が全身的には良く生体をシミュレートしていると考えられる。一方、局所の供給熱量 (Table 2) 及び局所熱抵抗 (Fig. 6) をみると、部位間にかかなりの差が認められる。これらのむらは、人体の形状や放熱方向等によるものと考えられるが、さらに、各パーツ単独に熱供給してみると、Fig. 7 の如く周辺への熱の波及が観察される。各パーツは、断熱性素材

のベークライトで仕切られているものの、完全な断熱材ではあり得ないこと、また、パーツ間の連結ボルトには力学的強度の上から鉄が使用され、小体積であっても熱を伝えやすいことが予測される。設定温度の異なる部位が隣接している状態では、この種の熱移動も供給熱量むらの一因をなすと考えられるが、その定量予測は困難であり、かつその改良も技術的に難しい。

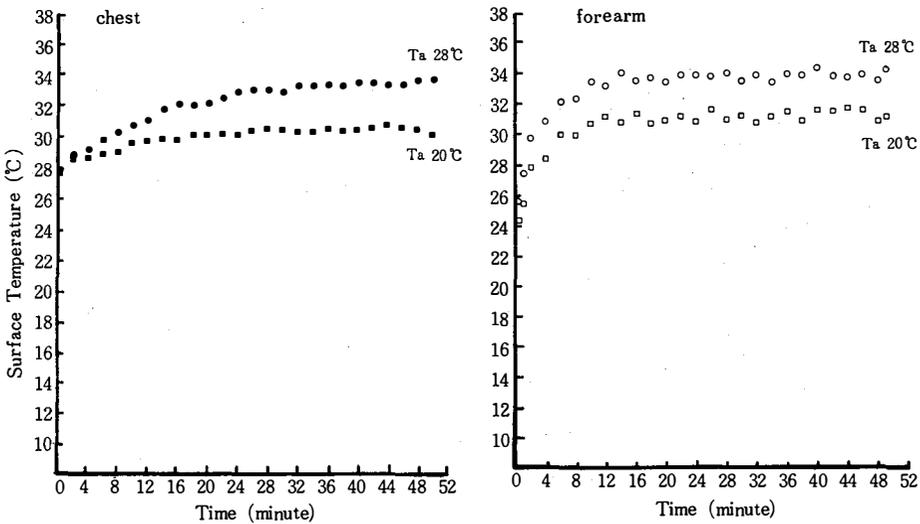


Fig. 9 Changes of surface temperature of the thermal manikin after power input (in a case of control of constant inner temperature)

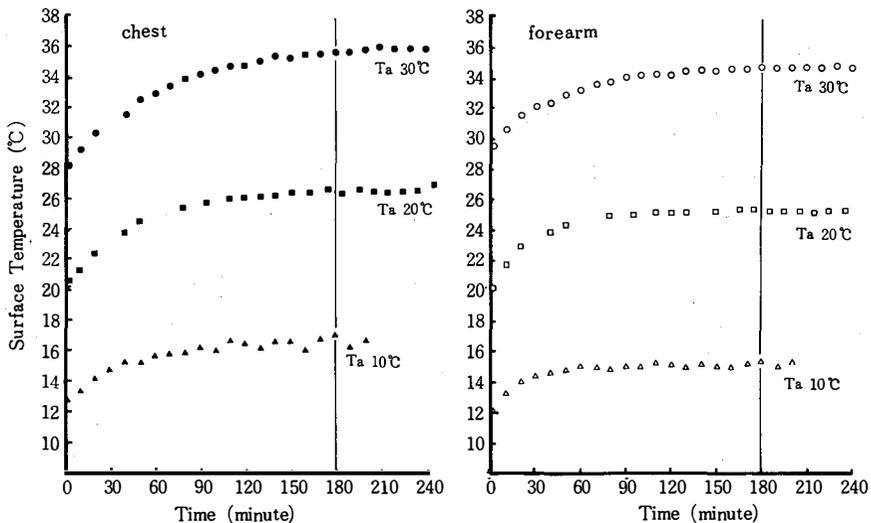


Fig. 10 Changes of surface temperature of the thermal manikin after power input (in a case of control of constant power)

残念ながら生体の局所別放熱量が測定不可能な現時点においては、この妥当性を検討するよりどころがない。この点は今後の検討課題としたい。なお、これらの結果は Fig. 6 の各線が示すように極めて高い再現性を示した。

IV 測定条件の検討

1) 定温度制御

Fig. 8 は、異った気温で定温度制御した場合の内部設定温と表面実測温との関係を表わしている。これに基づき任意の気温下で任意の表面温を得る為の内部設定温をセットすることができる。Fig. 9 は、気温 28℃ 及び 20℃、湿度 50% RH の環境条件下で入力後定常状態に達するまでの表面温度の経時変化を示している。部位により差がみられるが、いずれの部位も約 30 分で定常に達し、ON-OFF による表面温度の変動幅は $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、ON-OFF 頻度は 6 回/hr~10 回/hr である。ただし、同様の条件下で防寒服を着装させた場合、放熱抑制の為 ON-OFF 回数が 1~2 回/hr と減少することも観察された。以上の結果に基づき、定温度制御による測定条件、測定上の留意点をまとめると次の通りである。

- (1) 環境は、20℃、50%RH、不感気流とする。ただし、ON-OFF 回数が少ない場合はさらに低温環境下で行う。
- (2) 内部設定温は、Fig. 8 に基づき、気温 28℃ 下で前述の基準表面温度が得られるようにセットする。
- (3) マネキンに着衣させ、入力後少くとも 30 分以上経過した後測定に入る。測定時間は 30 分間とし、その間 3 回以上の ON-OFF の繰り返しを確認する。ON-OFF が 3 回未満の場合は測定時間を延長し、消費電力量 $\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ を求める。

2) 定入力制御

Fig. 10 は、異った環境下で定入力制御した場合の入力後表面温度の経時変化を示している。

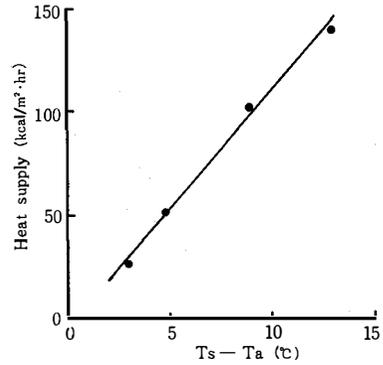


Fig. 11 Relationship between $(T_s - T_a)$ and heat supply

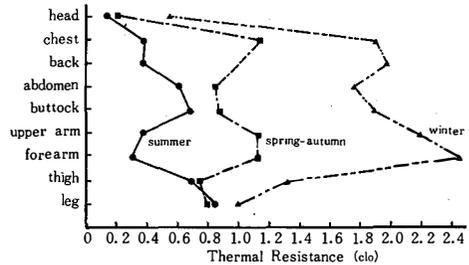


Fig. 12 Profiles of partial thermal resistance in men's typical four season wears

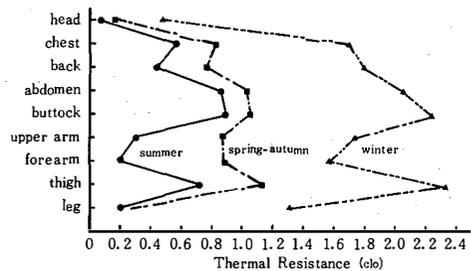


Fig. 13 Profiles of partial thermal resistance in women's four seasons wears

定温度制御に比較して、定常に達するまでに時間を要するが、定常状態における表面温の安定性は高く、10℃の低温環境において室温の ON-OFF の影響が認められる程度である。Fig. 11 は、供給熱量を変化させ、又は室温を変化させた場合の結果であるが、供給熱量と表面温・外気温間の差との関係は直線的であり、その勾配で表わされる熱伝達係数は、供給熱量又は室温

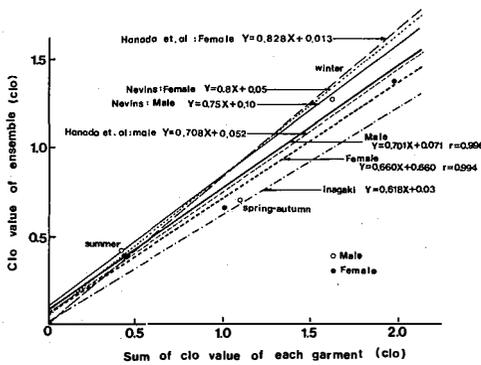


Fig. 14 Comparison of the clo-values obtained in the present study with those obtained in the other studies

の変化によらずほぼ一定であることが分る。以上の結果に基づき、定入力制御による測定条件をまとめると次のようである。

- (1) 環境は、20℃、50%RH、不感気流を原則とする。気温の測定は、天井から糸を垂下し、これにサーミスタを取り付け、マネキン表面温度測定部位毎に、その近傍(水平位で約7~10 cmの距離)の温度を測定する。
- (2) マネキン表面温度は、原則として各パーツ1点とし、Fig. 5の縦線部内の1点にサーミスタを貼布し測定する。
- (3) 測定は、マネキンに着衣させ、入力後150分目より開始し、以後30分間5分毎に記録したものを平均する。
- (4) 供給熱量は、基準供給熱量をそのままセットする。

V 実測例

Fig. 12, 13 に本サーマルマネキンによる実測例として、男女大学生標準的着衣の熱抵抗(clo値)の部位別プロフィールを示す。この着衣は、昭和58年著者らが全国の男女大学生5,028名を対象に調査した結果抽出されたものである。四季の変化に応じた着衣の各身体部位別熱抵抗の特徴が示されている。男子夏、春秋、冬服の全

clo値は、0.42, 0.70, 1.29, 女子のそれは、0.39, 0.66, 1.38となったが、これを Nevins, 花田, 稲垣等の結果と照合すると、Fig. 14 が示すように、各研究者提案の予測式の中に入り、本サーマルマネキンによる着衣の熱抵抗予測の妥当性が示された。

VI 結 語

以上、本学サーマルマネキンの構造と使用上の諸特性について検討し、その概要を把握することができた。サーマルマネキンは、被服衛生学分野における教育・研究用の測定器として、極めて有効であることが明らかとなった。今後これを用いて、様々な被服条件の熱特性について実験・データを積み重ね、より効果的な保温・放熱被服の在り方を追求してゆきたい。また、着心地や快適性と深い関わりを持つ、人体からの水分蒸発(発汗や不感蒸泄)、即ち湿性放熱と乾性放熱の同時測定も興味深く、発汗マネキンへの加工、改良についても今後の課題としたい。

最後に、サーマルマネキンの本学への設置は、元文化女子大学被服衛生学教授、渡辺ミチ先生の御尽力によるものである。先生のご懇篤なご指導と、この研究の途をお開き下さったご厚情に対し、著者らは深い感謝の意を表すものである。また、実験にご協力いただいた本学卒業生西岡縁氏に対し、厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) JIS, 1079
- 2) JIS, 1079
- 3) 入鹿山勝郎: 国民衛生 12, 1285 (1935)
- 4) 渡辺ミチ: 衣服衛生と着装, 同文書院 (1978)
- 5) 真島正市・松川哲哉: 被服材料学・機構学 (1961)
- 6) Herrington, L. P.: J. Heat Transfer, 81, 187 (1959)
- 7) Kerslake, D. Mck. and J. M. Clifford: Flying Personal Res. Comm., (1965)
- 8) Mecheels, J.: Melliand Textilberichte, 10, 1215 (1971)
- 9) 稲垣和子: 神戸大医学部紀要, 40, 157 (1979)
- 10) 三平和雄, 他: 製科研究成果発表会 (1975)

- 11) 三平和雄：第1回人間-熱環境系シンポジウム報告集（1977）
- 12) Gabron, F. and J. Mc Cullough : Contr. No. NAS 9-3554 (1966)
- 13) 田村照子：お茶の水医学雑誌, 31, 225 (1983)
- 14) Gagge, A. P. et al : Science, 428, 94 (1941)