(平成6年9月14日受理)

着衣時の皮膚露出部の熱伝達への端部開口部の効果 —模擬皮膚による検討—

文化女子大学 薩本 弥生・石川 欣造
お茶の水女子大学 長谷部ヤエ・今村 寿子
桐蔭学園横浜大学 竹内 正顯

Effect of Clothing Opening on Heat Transfer of Exposed Skin Measurements by Simulated Skin

Yayoi Satsumoto^{*1}, Yae Hasebe^{*2}, Masaaki Takeuchi^{*3}, Hisako Imamura^{*2}, and Kinzo Ishikawa^{*1}

^{*1} Faculty of Home Economics, Bunka Women's University, Shibuya-ku Tokyo, 151 Japan

^{*2} Department of Human Environmental Engineering, Ochanomizu University, 2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku Tokyo, 112 Japan

^{*3} Faculty of Engineering, Toin University of Yokohama, Midori-ku, Yokohama, 225 Japan

Abstract: It was revealed by experiments using a thermal manikin that the openings of a clothing affects the heat transfer from an exposed skin part of a human body as well as that from a skin portion covered with clothes. Contrary to the covered skin part, the heat transfer coefficient was larger when an opening was closed than when one was open, for both of the upper and lower openings. Because the effect of convection on the heat transfer of the exposed body was considered, isotherms were visualized on a hot-plate-skin-model by means of the Mach-Zehnder interferometry. When cold air outside flows into the boundary layer around the exposed skin, the temperature gradient becomes narrower compared with that without air inflow. The results verified that cold air outside flowed into the boundary layer around the exposed skin in the case where the openings were closed. Only the air near the exposed skin was heated locally, which caused a decrease in the air density; therefore cold air outside flowed into this layer. On the contrary, in case where the upper opening was open, warm air which was heated by the covered portion flows upwards and heated the cold air around the exposed part. These are the reasons for the fact that the heat transfer coefficient of the exposed skin without opening was larger than that with opening.

(Received September 14, 1994)

1. 諸 言

ヒトは被服を着ることによって体からの放熱量を調節し、体温を保持して快適感を得る。快適な被服内気候を形成するためには、保温性に十分考慮しなければならない。よって被服素材材料を選択する場合、被服材料の熱伝達率、厚さ、通気性などの物性値を尺度として保温性を評価してから選択することは重要である。しかし、同様の材料を用いても、被服の構成、着装の仕方などの着衣の構成要因によって体からの放熱量は著しく左右され、その効果は被服材料のもつ物性値の効果と同様、時にはそれ以上に大きいといえる。被服内の熱移動に関係する

着衣の構成要因として定量できるものには、被服下の間隙によってつくられる空気層、開口状態などが考えられる。

本研究の目的を述べるに当たって着衣の熱伝達に対する被服下の空気層や開口部の効果に関して従来の研究ですでに明らかになっている点を以下にまとめる。

従来の研究において被服下の空気層が被服の熱抵抗を左右するという見解のものには以下のような報告がある。

渡辺ら〔1〕は発熱平板を用いた実験を行い、被服下の空気層の厚さにより熱抵抗値の極大値が存在し、その極大値の空気層の厚さは布地の通気性によって変化することを明らかにしている。この実験は熱移動方向を人体に

垂直な方向の一次元に仮定した考察に基づいている。

以下の研究では熱移動の方向として人体に垂直な方向だけでなく平行な方向も考慮されている。また、被服下空気層の効果に加え着衣の開口部の効果も注目されている。入鹿山〔2〕の実験では発熱円筒に試験布を密着して巻き付けた場合よりゆとりをもって巻き付けた方が熱抵抗が大きくなることが明らかにされた。また、FonsecaとBreckenridge〔3〕もシリンダーモデルで空気層と熱通過率の関係を空気層の大きさ、織物の種類、風速の変化から考察している。これらの実験は被服内微環境全体での平均値による包括的な保温性の評価である。

これらに対し秋ら〔4〕は換気の観点から開口部に注目し実験および数値解析を行っている。包括的議論にとどまらず被服内微気候の空間的、時間的変化を明らかにしている。被服内微気候に対して被服下の空気層の厚さが10 mm以下では効果があるがそれ以上ではほとんど影響がないことに言及している。

以上のように従来の研究で皮膚が被服に覆われた部分の熱伝達に対する着衣の開口状態および空気層の厚さの影響についてはかなり詳細に検討がなされている。しかし、皮膚が露出した部分の熱伝達については言及していない。露出部分も皮膚からの放熱の影響で皮膚表面に外界の気候とは異なる微気候を形成している。この部分も着衣の温熱的快適性に影響すると考えられるがこれまでこの部分に注目して研究の対象にした例は著者ら〔5, 6〕の他には見られなかった。

そこで本研究では着衣の上下端部の開口状態や被服下空気層の厚さが皮膚が露出した部分の熱伝達へどのように影響するかについて検討した。被服内微気候において対流が熱伝達に影響することを前報〔7〕で明らかにした。そこで皮膚が露出した部分の熱伝達に影響する露出部皮膚近傍における空気の流れ現象を解明するためマッハツェンダ干渉法を用いて空気層の等温線のプロファイルを可視化した。

2. 実 験

本研究ではサーマルマネキンを用い実験により着衣の上下端部の開口状態や被服下空気層の厚さが皮膚が露出した部分の熱伝達へどのように影響するか検討した。

2.1 実験条件

実験は温度 26 ± 0.5 °C、湿度 $30 \pm 10\%$ RH に保った恒温の実験室で行った。環境の風速はほとんど無風状態に保った。

マネキンは熱伝導率の大きなアルミ素材で作られているため部位間の温度差が生じにくい。着装の変化による熱移動の部位間の温度差を評価するのは難しいので熱流

計(MF-6, 英弘精機, $40 \times 20 \times 1.7$ mm, 感度約 0.010 mV/W・m⁻²)を用いて局所的にマネキンの放熱量を測定する手法を長谷部と竹内が提案した〔5〕。そこで今回の実験でも熱流計を用いた。この熱流計は厚さが比較的薄く、メッシュ不織布粘着性包帯で密着させたため空気の対流に与える影響は無視できる。

マネキンの皮膚温、環境温など温度測定には全て銅-コンスタンタン熱電対を用いた。検出端から500 mmは素線直径0.1 mmの細線を用いその先からデータロガーまでは強度が勝る素線直径0.23 mmの補償導線を用いた。素線直径0.1 mmの場合、測温部に張り付ける必要長さは10~15 mmであるので15 mm以上皮膚に沿わせるよう注意した。熱電対は測温点と密着し易いように厚さが薄いテープが良い。測定面と張付け材の放射率が異なると放射による誤差が生じるので皮膚と放射率があまり変わらないと思われるサージカルテープ(紙とみなし放射率を調べた〔8〕)でとめた。

図1に示すように放熱量と温度の測定箇所は体表面に並行な熱移動を見るために、前正中線上に上部は頸付け根線から50 mm下を最上点とし40 mm間隔で3点(No. 1~No. 3)、下部は恥骨相当部位から50 mm上の点を最下点とし、やはり40 mm間隔で3点(上からNo. 4~No. 6)を取った。着衣時にNo. 1とNo. 6の位置のみ皮膚が露出している。また、熱流量や皮膚温の測定箇所と同じ高さの6点で環境温を測定した。

また、開口部付近において予想される対流をとらえることを目的として風速計(カノマックス24-6121)を上下開口部付近に設置した(図1参照)。

Fig. 1 Sketchy diagram of measured points on the trunk of a thermal manikin.

2.2 被服構成と着装状態

本研究では被服下のわずかな間隙量の変化を問題とするので間隙の設定し易い薄地の素材で通気性の異なる綿ブロードとさらしの2種の被服素材を実験に供した。薩本〔6〕が強制対流がない場合には被服の熱伝達に対する被服を通しての浸透効果よりも開口部からの浸透効果が大きいことを明らかにしたが今回の再実験で通気性の効果が見られないことが確かめられた。よってさらしの実験結果についてのみ述べる。

実験被服は、衿ぐりがスクエアネックの長袖ブラウスをマネキン形状に合わせて製図し、ゆとり量を変えて作製した。

本研究の目的の一つは、胸部から腹部にかけての体表面に並行な熱移動をみることである。そこで被服形状は対流を妨げないように胴囲上に切り替えの縫い目がないプリンセスラインのデザインにし胸部から腹部にかけて

Fig. 2 Various situations of clothing opening.

発泡スチロールで作製したスペーサを用い一定の間隙を設けた。スペーサは胸部から腹部にかけて前正中線を中心に左右対称になるよう両面テープで貼付した（図1参照）。間隙量は0, 5, 10, 20, 30 mmの5種類である。

また、同時に発泡スチロールを用いて上下開口部の開閉を行った。以後開閉状態については開放をO (open), 閉鎖をC (Closed) とし、例えば上端開放、下端閉鎖をOCとする。図2のように上下の開口状態はOO, OC, CO, CCの4種類のバリエーションとなる。

2.3 実験手順

まずサーマルマネキンを各分割部位の表面皮膚温が実際の人間の快適な皮膚温（約34℃）になるように温度制御した。平衡になるまでに3時間費やした。始めにスード状態で30分間測定し、着衣状態（間隙量と開口部の開口状態）を変え1条件につき30分間ずつ測定し繰り返しを2回行った。終わり10分間のデータが比較的安定しているので、環境温 T_e 、マネキンの皮膚温 T_w 、放熱量 q_w の経時平均値を用いて熱通過率 h_c を算出した。なお、蛍光灯による放射の影響を避けるため測定中実験室内は消灯した。

3. 実験結果

3.1 開口部の皮膚露出部の放熱量への効果

上下各開口部付近の放熱量を開口状態毎に図3に示す。間隙に関しては開口部の皮膚露出部の放熱量への効果が表れた間隙量5 mm および10 mm の場合についてのみ

Fig. 3 Effect of clothing opening on the heat flux of covered and exposed skin parts.

Solid lines show covered part, opening condition and size of space.

Fig. 4 Effect of clothing opening on the heat transfer coefficient of the exposed skin parts.

a) Upper opening, b) Lower opening.

示した。

図より間隙10 mmの場合、各開口部が閉鎖の時には露出部の放熱量は開放時より明らかに増加していることがわかる。間隙5 mmの場合、下部開口部でのみ同様の傾向がみられた。この傾向は間隙10 mmにおいて上部開口部の方が下部開口部よりも顕著である。露出部における開放、閉鎖の放熱量の差は上部では間隙10 mm、下部では間隙5 mmおよび10 mmで見られた。

3.2 開口部の皮膚露出部の熱通過率への効果

露出部における熱通過率を着衣端部の開口状態をパラメータに図4-a) (上部露出部)、図4-b) (下部露出部)に示す。上部露出部 (No. 1) でも下部露出部 (No. 6) でも各々の開口部閉鎖時に開放時よりも熱通過率が大きくなった。被覆部では開口部開放時の方が熱通過率が大きくなるので開口部の熱通過率への効果が露出部では被覆部と逆の傾向である。開口部開放時より閉

Fig. 5 Comparison of the heat transfer coefficients of the exposed skin part and covered one.

a) In case where the upper opening was open.

b) In case where the upper opening was closed.

鎖時の熱通過率が大きくなるのは放熱量の差を反映して上部では間隙10 mm、下部では間隙5 mmおよび10 mmであった。

3.3 皮膚被覆部と皮膚露出部の熱通過率の比較

上部露出部 (No. 1) と上部被覆部 (No. 2) の熱通過率を上部開口部開口状態毎に別の図にまとめた。開放時を図5-a)に閉鎖時を図5-b)に示す。皮膚の被覆部と露出部の熱通過率の差は開放時よりも閉鎖時の方が顕著である。下部開口部では上部ほど露出部と被覆部のはっきりとした差は表れなかった。

図6に参考のため、より単純な幾何形状のアルミ発熱平板モデルによる実験結果を示す。上部開口部付近の露出部 (No. 1) と被覆部 (No. 2) の熱通過率の差を縦軸に取った。結果は上部閉鎖 (CC, CO)、上部開放・下部閉鎖 (OC), 上下とも開放 (OO) の3つの傾向に

Fig. 6 Effect of clothing opening on the difference between the heat transfer coefficients of the exposed skin part and covered one.

Fig. 7 Air flow velocity around the upper and lower openings.

ははっきり分かれた。この順に露出部と被覆部の熱通過率の差が大きくなっている。

3.4 上下の皮膚露出部に生じる対流速と開口状態の関係

図7に上下皮膚露出部 (No. 1, No. 6) の風速と間隙の関係を開口状態の上下とも開放のOOと上下とも閉鎖のCCの場合について示す。

間隙 5 mm, 10 mm では上下の風速の差は大きい間隙 20 mm, 30 mm になると上下の風速の差が小さくなり下部でも風速が大きくなった。このことは間隙 20 mm, 30 mm で煙突効果が生じていることを示す。開口状態 CO と OC の場合は CC と同様の傾向で煙突効果はみられない。

Fig. 8 Illustration of the heat flux around the exposed skin portion near the opening.

4. 考 察

図8に上下開口部とも開口状態の効果が見られた間隙 10 mm の場合の熱移動の概念図を露出部の放熱量、熱通過率の実験結果と共に示す。実験により上下開口部とも開口部を閉鎖すると開放した場合よりも放熱量および熱通過率が大きくなる場合がみられた。また、開口部閉鎖による熱通過率の増加は下部よりも上部において顕著であった。熱の流れについて考えると長谷部と竹内〔5〕が示したように、開口部閉鎖時には被覆部で放熱が阻害される分、熱流は伝導によりマネキンの内側を通して露出部にでてくると考えられる。放熱量の増加だけ考えれば皮膚の熱伝導率が高いため起きる現象が原因と考えられる。そこでマネキンの皮膚素材であるアルミより熱伝導率が小さく人間の脂肪と同じくらいの熱伝導率 (0.21 W/(m·K)) であるアクリル模擬皮膚の発熱平板で実験を行ったところアルミの結果と同様に開口部閉鎖により露出部の熱通過率が増加した。よって原因はマネキンの皮膚の熱伝導率が高いためとは言えない。また、放熱量だけでなく、熱通過率に差が表れるということは皮膚表面より外側の環境の問題である。対流と輻射の影響が考えられるが輻射に関する実験条件は統一されているので露出部付近の空気の流れの影響が考えられる。

上記のような開口部の皮膚露出部の熱通過率への効果

Fig. 9 Schematic diagram of the model skin made from a hot plate, which simulates a human skin.

Fig. 10 Layout of a Mach-Zehnder interferometer.

は上下とも間隙 5 mm か 10 mm で現れていて 20 mm 以上では効果がみられない。しかし、流れについて検討した上下の皮膚露出部の風速を比較した結果では間隙 20 mm 以上でしか開口状態による流れの効果が捉えられなかった。もっと精密な流れの把握が必要である。秋ら〔4〕の論文で対流が衣服内微気候に最も大きく影響を与える間隙が 10 mm 付近に存在することに言及しているが本実験の結果はそれを支持する。

5. マッハツェンダ干渉法による開口部付近の流れの可視化

熱通過率の増減に流れが直接影響しているか確かめるためにマネキンよりも幾何形状の単純な垂直発熱平板モデル（アルミ模擬皮膚）を用いてマッハツェンダ干渉法により開口部付近の流れの可視化実験を行った。

Fig. 11 Schematic diagram of interference fringes around an exposed skin part near the opening.

5.1 実験条件

実験に用いた布素材はマネキン実験と同じさらしを用い 10 mm × 75 mm × 300 mm の大きさの木枠に貼った。着装状態の模式図を図 9 に示す。皮膚は上下に露出部があり部分的に被服で被覆されている。供給熱量 240 W/m² で平衡になるまで放置した後、間隙 10 mm, 20 mm と 30 mm の場合について実験を行った。モデルと試料との間隙は発泡スチロール製のスペーサで設定した。後で述べる干渉法の光路を妨げないようにスペーサは木枠の 4 隅のみに設けた。上下の開口部各々開放または閉鎖の開口状態の組み合わせで全部で 4 つのバリエーションについて実験を行った。後で述べる干渉縞の解析で皮膚表面の温度境界層の温度分布を求めるために熱電対を模擬皮膚上、環境に代表で一点ずつ設置した。また、干渉縞の最も環境寄りの位置でも像を見ながら熱電対で温度 T_p を測定した。

5.2 実験装置

マッハツェンダ干渉法により露出部の皮膚近傍の等温線を可視化した。実験装置の概略を図 10 に示す。He-Ne レーザ点光源をビームエキスパンダで広げコリメータレンズで平行光にしてからハーフミラーで反射光と透過光の 2 つの光に分ける。一方を可視化を行う皮膚近傍の空気に通す。もう片方は参照光路でレーザ光の場合何も置かない。皮膚面近傍では皮膚からの発熱により密度差が生じているので他方との間に光路差が生じる。よって、再び集光すると両者の間で干渉縞ができる。これが等温線である。等温線が混んでいるところは外部の冷たい空気の流れ込みがあり、間隔が広いところはそのような流れ込みがないと考えられる。以上のようにして表れた像をビデオ撮影して後の解析に用いた。

5.3 干渉縞の解析法

マッハツェンダ干渉法により得られた干渉縞から皮膚

に垂直な方向の温度境界層の分布を算出する手順を示す。本実験の場合の干渉縞を模式的に図11に示し具体的に説明する。各干渉縞間の光路差は1波長となるが、連続した縞模様の両端である、模擬皮膚と1番目の干渉縞間および最も環境よりの干渉縞と環境との間は光路差は1波長に満たない。ここで、最も環境側の干渉縞の温度 T_p は実験時に干渉縞の像を見ながら熱電対で実測し既知である。模擬皮膚と1番目の干渉縞との温度差 T_1 は別途求める必要がある。まずその前に干渉縞1本あたり、すなわち1波長分の温度差 ΔT_d を求める方法を以下に示す。

空気のような気体を光が通過するときの屈折率 n は1に近く気体の密度との間に式1のようなグラッドストーンの式が成り立つ[9]。

$$n = 1 + \kappa \rho \quad (1)$$

n : 屈折率 (—)

κ : グラッドストーン・デール定数 (空気中で波長 644 nm の光線の場合で $0.2255 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{kg})$)

ρ : 気体の密度 (kg/m^3)

式1より温度による気体の屈折率の変化 Δn は近似的に式2のように導かれる。

$$\Delta n = -\kappa \rho_s (T_e - T) / T_m \quad (2)$$

ここで

Δn : 屈折率の変化 (—)

ρ_s : 基準密度 (空気の場合 $1.176 \text{ (kg/m}^3)$)

T_e : 環境温度 (K)

T : 実験空間の任意の位置の温度 (K)

T_m : 膜温度 $(T_w + T_e) / 2 \text{ (K)}$

また、屈折率の変化 Δn は干渉縞次数 N 、光の波長 λ 、光の通過距離 d と式3の関係にある[10]。

$$\Delta n = \lambda (2N - 1) / (2d) \quad (3)$$

式2, 3より式4が導かれる。

$$\Delta T = T_e - T = -T_m \lambda (2N - 1) / (\kappa \rho_s 2d) \quad (4)$$

式4の N に任意の整数 $2k + 1$ および $2k$ を代入しその差をとると干渉縞1本あたりの温度差 ΔT_d が算出される。

皮膚と1本目の縞の温度差 ΔT_1 は式5で求められる。像でみる干渉縞の本数は密度変化が激しい模擬皮膚近傍で重なっている可能性があり正確な本数 z を数えることが困難である。熱電対で実測した T_p と模擬皮膚温 T_s との温度差 ΔT_t を干渉縞1本あたりの温度差 ΔT_d で割った整数部に1足したのが干渉縞の本数 z である。本実験では4本であった。

$$\Delta T_1 = \Delta T_t - (z - 1) \cdot \Delta T_d \quad (5)$$

以上より温度分布が決定する。

一方、皮膚と各干渉縞の位置関係はビデオ撮影した撮

Fig. 12 Visualized isotherm of the thermal boundary layer around an exposed skin; the effect of air flow on the heat transfer of an exposed skin part can be seen.

像を写真に撮りノギスで測定して相対長さを求め、像に映った開口部の寸法から絶対長さに換算した。

6. 結果および考察

上部開口部付近の露出部において4つの開口部開口状態の各々について開口部の開口状態の露出部の熱伝達への効果がみられた間隙10 mm の場合の実験結果を図12に示す。図9で上下開口部付近に丸印を施したところが可視化した領域である。

下部開口部の開口状態にかかわらず上部開口部が閉鎖の時の方が開放時よりも等温線の間隔が顕著に狭い。熱電対で求めた皮膚温とマッハツェンダ干渉法で求めた等温線の間隔から皮膚面の温度境界層の温度分布を求め図13に示した。上部開口部閉鎖時が開放時よりも温度勾配が急で温度境界層が薄い。

概念図を用いて空気の流れについて考察する(図14参照)。上部開口部については開口部開放時には前報[7]で明らかにしたように被覆部において間隙内の空気はヒータの熱により暖められ熱からエンタルピー輸送量へのエネルギー変換が起き温度上昇し、流れの下流へ移動する。下流で熱平衡に達した空気はもはやエネルギー変換なしに流れに乗りそのまま上部露出部まで上昇する。これに

Fig. 13 Temperature profile of the thermal boundary layer around an exposed skin part.

Fig. 14 Schematic air flow around an exposed skin part near the opening.

対し閉鎖時にはそのような下方からの流れはなく、ヒータ付近の空気のみが局所的に暖められるので、その分露出部付近には外部からの冷たい空気が流れ込む。この冷たい空気が放熱の原動力となっていると考えられる。下部開口部では皮膚面（垂直壁周り）においては開口状態による等温線の差はあまり見られなかった。下部開口部についても同様の事がいえるが暖められた空気が上方へ移動するという性質上、開口部閉鎖時の露出部での放熱

の増加は上部開口部ほど顕著ではないと思われる。

可視化の結果、熱通過率を大きくした原因は環境の冷たい空気の流れ込みであることが明らかになった。本実験の結果は着衣の衿部分では特に開口状態が熱伝達に影響することを示唆する。3. 3に示したように被覆部と露出部の熱通過率の差はヒトにとって熱ストレスと感じられることもあるだろう。

7. 結 論

本研究では強制対流のない環境下での立位の人体を想定し、着衣の構成要因として上下開口部開口状態と被服下間隙量を選び、着衣開口部の開口状態が皮膚が露出した部分の熱伝達へどのように影響するか、その影響の仕方が間隙によりどのように変化するか、また上下開口部の影響の仕方に違いがあるかどうかを検討することを目的とした。そこで開口状態と間隙量を変えサーマルマネキンを用いた実験を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 被服素材の通気性の熱通過率へ及ぼす影響は強制対流がない本研究の環境ではみられない程小さかった。
- (2) 皮膚が露出した部分では被覆部とは逆に上下開口部とも開口部が閉鎖されている時に開放されている時よりも熱通過率が大きくなった。この原因は直接的には開口部閉鎖時の露出部での放熱量の増加である。本実験の実験の結果、上部露出部では間隙10 mmの時、下部露出部では間隙5 mm, 10 mmの時に開放時と閉鎖時の熱通過率の差が極大となった。

開口部を閉鎖した場合に開放した場合よりも皮膚露出部の熱通過率が大きくなった原因として開口部付近の流れの効果が予想されたためマッハツェンダ干渉法を用いて露出部の流れの可視化実験を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- (3) マッハツェンダ干渉法により露出部の皮膚近傍の等温線を可視化した結果、上部開口部付近の露出部の放熱量、ひいては熱通過率が開口部閉鎖時に開放時より大きくなった原因は環境の冷たい空気の流れ込みであることが明らかになった。

以上、着装要因及び被服素材の物性値が皮膚露出部の熱伝達におよぼす効果について検討を行ってきた。従来、被覆した部分の熱伝達についての研究は多くみられるが露出部の熱伝達への効果を検討したものは少ない。しかし、本研究の結果より立位の人体において着衣開口部の開口状態が被覆部のみでなく露出部の熱伝達にも影響することが明らかになった。対流の生じ方には、開口部の状態や被服下空気層などの着装要因が影響し、特に開口部開口状態では衿にあたる上部開口部の開口状態の与え

る影響が裾にあたる下部開口部の開口状態の与える影響よりも大きかった。よって衿の開口状態の違いは着心地にかなり影響すると考えられる。露出部についての温熱的評価も被覆部と共に温熱的快適性に関連して重要であると思われる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、マッハツェンダ干渉法の実験についてご指導頂いた東京工業大学工学部機械知能システム学科の山田純先生に深謝する。また、本研究の遂行に際し協力をいただいた熊懷理恵子氏（当時お茶の水女子大学家政学部被服学科4年生）に感謝の意を表す。付記：本研究の一部は平成5年度繊維学会年次大会研究発表会（平成5年6月、東京）、第13回繊維関連7学会連合研究発表会（平成5年11月、大阪）で発表した。また、平成6年度繊維学会創立50周年記念繊維の科学と技術に関する国際シンポジウム ISF'94（平成6年10月、横浜）で発表した。

文 献

1. 渡辺ミチ, 茂木朋子, 家政誌, **5**, 416 (1954).
2. 入鹿山勝郎, 国民衛生, **12**, 1285 (1935).
3. G. F. Fonseca and J. R. Breckenridge, *Text. Res. J.*, **25**, 95 (1965).
4. 秋 美先, 加藤豊文, 鎌田佳伸, 中島利誠, 繊維学誌, **50**, 298 (1994).
5. 長谷部ヤエ, 竹内正顯, 繊維学誌, **46**, 199 (1990).
6. Y. Satsumoto, *Doctoral thesis*, Bunka Women's University (1992).
7. 薩本弥生, 竹内正顯, 長谷部ヤエ, 石川欣造, 繊維学誌, **46**, 206 (1990).
8. 日本機械学会, 「改訂第4版 伝熱工学資料」, p.185 (1989).
9. 流れの可視化学会, 「新版 流れの可視化ハンドブック」, p.294 (1989).
10. 流れの可視化学会, 「新版 流れの可視化ハンドブック」, p.323 (1989).