

衣服材料の水分・熱のトランスポート特性

——衣服内気候シミュレーション装置試作——

京都工芸繊維大学 内 山 生

(共同研究者) 同 土 田 和 義

The Transport Properties of Moisture and Heat through Clothing —On the Trial Manufacture of the Simulator to Analyze the Microclimate within Clothing—

by

Sei Uchiyama, Kazuyoshi Tsuchida

Department of Textile Engineering,

Kyoto Institute

of Industrial Arts and Textile Fibers.

ABSTRACT

Wear comfort is an important factor of the textile design. The microclimate within clothing (temperature and relative humidity between skin and clothing) is one of the most important factors for wear comfort. Many factors of clothing properties, physiology and environment conditions are related to the microclimate within clothing.

We have been developing the simulator of microclimate within clothing to analyze the transport mechanism of moisture and heat through clothing materials. This simulator is able to measure their properties at the same time under the artificial conditions of the temperature and relative humidity.

The experimental results of men's socks are summarized as follows;

1) Field tests and data from simulator are good correlation regarding residual sweat content in socks.

2) The residual sweat content of the samples and the humidity within clothing from simulator were related to the comfort sensations in field tests.

要 旨

衣服の快・不快に関わる着用感は、皮膚と衣服の間に形成される微少空間の温度と湿度とに密接な関係がある。この衣服内気候は、衣服の用途ごとに、環境—衣服—人体の系において把握され適正値に設定されるべきである。しかしながら、まだ満足すべき測定装置がなく、衣服設計の盲点になっていた。

本研究はこの点に着目し、衣服内気候に関与する条件が任意に選択でき、しかも、温度・湿度が、同時に過渡領域も含めて、測定できる装置を試作した。ついで、本装置の性能を、市販ソックスを対象試料として検討した。

結果を要約すると、以下ようになる。

1) 目的どおり、かなり広般な領域にわたって、衣服内気候が設定できることが確かめられた。そして、着用による発汗量と、本装置による発汗対応量としての試料含水量とはよく一致した。

2) 本装置で得られる温度・湿度データと試料のソフトネス（圧縮率）とで、着用感が説明できることが明らかとなった。

1. 緒 言

快適性は、繊維製品を設計するうえで最も重要な事項の1つである。ところが、一口に快適性といっても、そこに含まれる内容は複雑である。

快適性には諸説があるが、要約してみると¹⁾、快適性は、衣服が使用される環境および人体の活動状況、衣服および布の諸特性が関与し、その関与の仕方が用途ごとに、しかも個々人の官能フィルターにかけられて判断されるものといっていよう。

快適性を衣服材料という立場からみると、風合い、運動機能性、人体拘束性、生理学的特性、産

熱と発汗による環境との調節などが問題にされる。

このうち、重要であるにもかかわらず解明が遅れているのは、環境—衣服—人体の系の中における、水分と熱のトランスポート特性である。

人間は、環境や活動状況に応じた衣服を着用することによって、衣服のまわりに快適な人工気候（衣服内気候という）を作るのである。

快適と感じる衣服内の温度や湿度の範囲はそれほど広くはなく、また、温湿度が急激に変化すると不快感を感じるなどが知られている。

衣服は、環境と人体との間の水分、熱、空気の移動速度を制御する手段としての役割を果たさねばならない。

このとき、平衡状態だけを論じるのではなく、過渡状態のトランスポート特性としてもとらえる必要がある。

ここで取り扱うのは、温度差から生じる熱交換と水蒸気圧力差に支配されるエネルギー交換であり、両者は相互作用があり、分離しては考えられない。

水分と熱に関連する衣服材料の計測法は数多くある¹⁾。しかしながら、その大部分は1つの特性を個々に取り上げ、しかも、定常状態を測定するものである。また、計測のしやすさに重点をおくため、着用の状態や条件とは必ずしも一致していない。したがって、数多くの計測法による特性値を並べてみても、衣服の快適性と結びつけて論じることが難しい場合が多い。

そこで、衣服が実際に使用される状態を再現させて、衣服内気候が測定できるシミュレーション装置が望まれる。すでに報告例もある^{2~7)}が、これらのシミュレーション装置は、(i) 不感蒸泄（気相/水蒸気）、発汗（液相/水）の状態を両方とも測定、(ii) 水蒸気や水を模擬皮膚面上に均一に吐出、(iii) 水分や熱に関する衣服内気候の特性

を同時に測定、(二) 過渡状態の測定などの点が満足するものとはいいい難い。

筆者らは、新たに衣服内気候シミュレーション装置の製作を試みた。

さらに、本衣服内気候シミュレーション装置による測定結果と、前報で報告した⁸⁾ ビジネスソックスの着用テスト結果との対応をとって、本装置による結果の持つ意味を明らかにした。

2. 結果と考察

I. 衣服内気候シミュレーション装置の試作

1) 衣服内気候とシミュレーション装置の 具備すべき条件

着用感と衣服内気候については、①衣服内温度・湿度が急上昇するとむれを感じる^{7,9)}、②衣服内温度・湿度が高いと暑熱感が大きい¹⁰⁾、③運動後の衣服表面温度の低下が小さいほど冷え感は小さい¹⁾、などが報告されている。

衣服内気候は、環境—衣服—人体の系の中における水分と熱のトランスポート特性を反映して形成されるもので、複雑な現象である。

図1に、人体の活動状態の推移と発汗の状態の変化、衣服内温度・湿度、衣服層内の水分（気相）量および水（液相）量、それらに伴う着用感の変化との関連を模式的に示した。

また、温度差から生じる熱交換と、水蒸気圧力

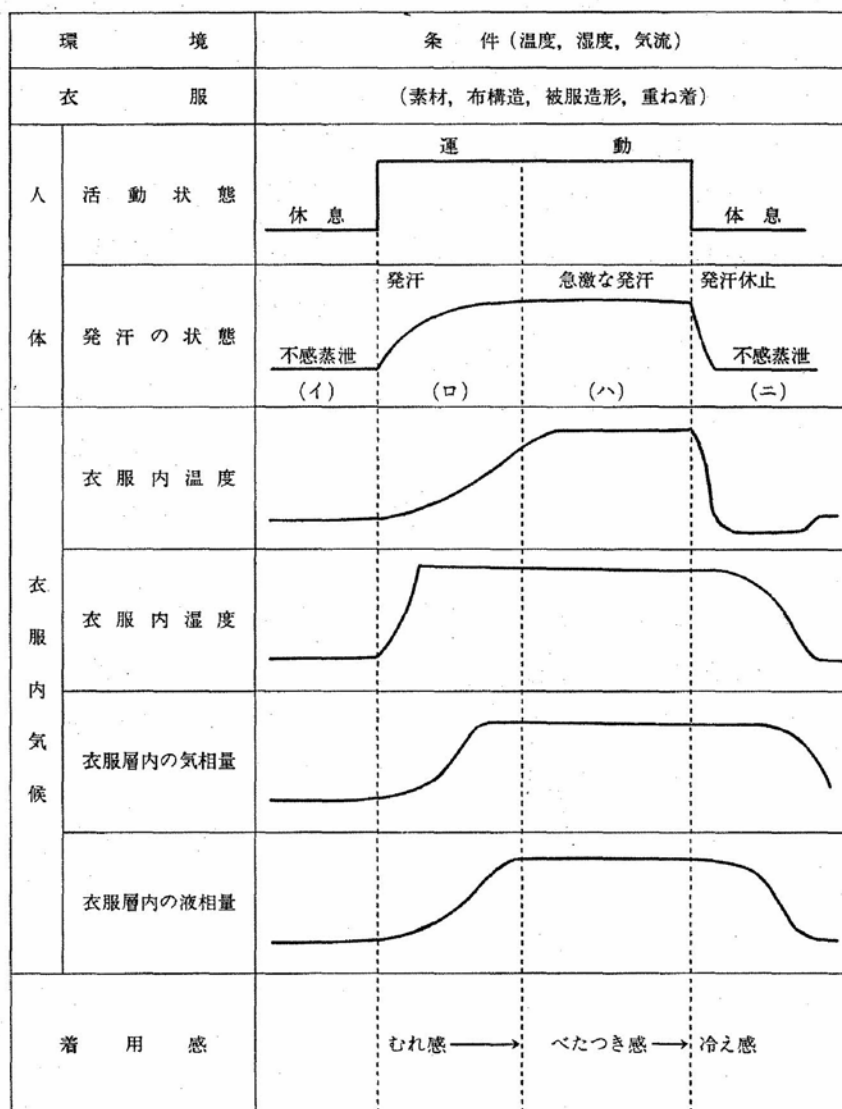


図1 人体の活動状態と衣服内気候、着用感との関連

差に支配されるエネルギー交換によって、衣服内気候が形成される状態を模式的に図2に示した。

人体の活動が休息状態から運動状態に移ると、発汗の状態は、不感蒸泄のみの状態から発汗を伴うようになり、さらに運動を続けると、発汗量は非常に増加する。運動から休息状態に移ると、発汗はやがて止まり、再び不感蒸泄のみの状態になる。

その間、図2に示したように、衣服—環境の間で人体から放散される水分・水や熱の授受が行われ、皮膚と衣服との間（衣服内気候）の温度・湿度および衣服内層の気相量・液相量は、図1のように変化するものと考える。

衣服内気候シミュレーション装置は、図1、図2に示した内容が適確に測定できるものでなくてはならない。

表1に、衣服内気候シミュレーション装置が具備すべき条件と、すでに報告されているシミュレーション装置の状況および、本報告で述べる試作品のねらいを示した。

特に工夫を要する点は次のとおりである。

a) 不感蒸泄

従来の模擬皮膚には、焼結ステンレス、孔あき銅板になめし皮をおったもの、ガラスフィルターを使ったものがあるが、これらでは、①水蒸気

を通すための孔の径や間隔を小さくできないため、水蒸気を模擬皮膚面上に均一に吐出できず、模擬皮膚面上の湿度が均一でない、②皮膚の熱伝導率 ($0.18 \text{ cal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$)¹³⁾ と異なるために、水蒸気が模擬皮膚面上で液化され、逆に模擬皮膚面上に入るなどの欠点がある。

不感蒸泄のための模擬皮膚は、①疎水性で、②水の径より小さい微細孔が多数あり、③熱伝導率が皮膚に近似しており、④薄いものが望まれる。

b) 急激な発汗および発汗休止

従来のものは機械加工技術の制限から、模擬皮膚板の水を出す孔は小さくできないうえに、円柱状の孔であるため、①汗の形状や大きさが再現できない、②水の吐出を止めると逆流するなどの欠点がある。

急激な発汗、発汗休止の状態を作るには、①水を吐出する孔の形状を工夫し、表面張力を利用し、②水の吐出量を大きく変えられるようにし、③孔の径を極力小さくするなどが必要である。

c) 衣服内温湿度を同時にしかも過渡状態を検出

従来のものは、①センサーなど計測技術が未発達で、サーミスターを使った温度の検出くらいしかできない、②計測器が安定状態になるのに長時間を要する、③定常状態での測定しかできないな

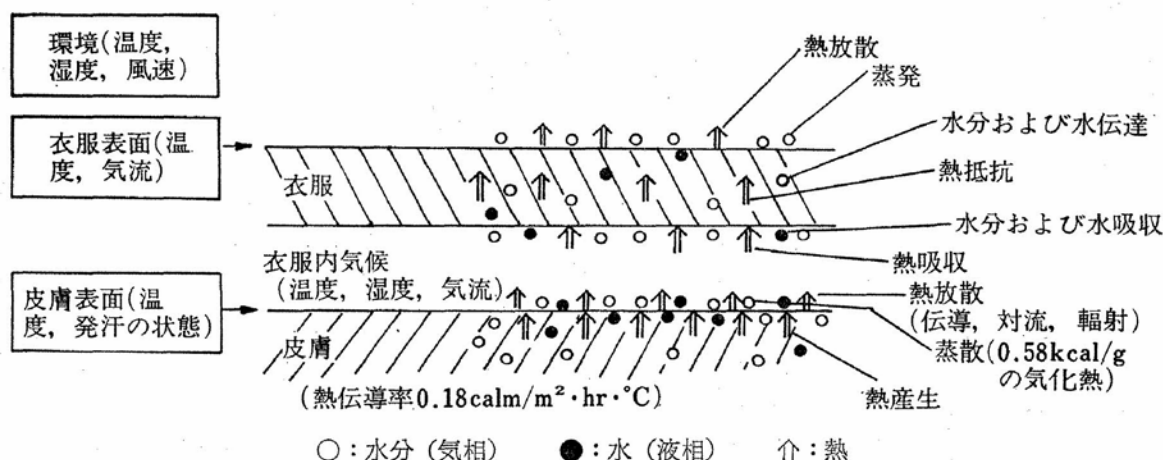


図2 衣服内気候のモデル (衣服が1枚の場合)。

表1 衣服内気候シミュレーション装置として具備すべき機能

機 能		従来のシミュレーション装置 (数字は文献No.)						試作装置 のねらい
		2)	3)	4)	5)	6)	7)	
外環境条件部	温 度		○			○	○	○
	湿 度		○			○	○	○
	気 流		○				○	○
	雨, 輻射熱などの特殊環境							
人体条件部	模 擬 皮 膚 温	○	○	○	○	○	○	○
	不 感 蒸 泄 状 態		○	○	○	○	○	○
	発 汗 状 態	○						○
	発 汗 休 止 状 態							○
	不 感 蒸 泄, 発 汗 量							○
衣服内気候部	熱 産 生							
	温 度 検 出				○	○		○
	湿 度 検 出						○	○
	気 流 速 度 検 出							
	熱 流 量 検 出		○					○
	衣服の水分含有率	○	○					○
	衣服の表面温度			○				
	衣服表面の気流速度							
	過 疾 状 態 を 測 定						○	○
	定 常 状 態 を 測 定	○	○	○	○	○		○

どの欠点がある。

衣服内温度と湿度とを同時に過渡状態で測定するには、①微空間での測定を精度良く行え、応答時間・安定時間が速い温湿度センサーを使い、②衣服内気候部（微空間）へのセンサーの取り付け方を工夫するなどが望まれる。

d) 衣服内水分の測定

従来の試料の重量変化から水分率を算出する方法は、①誤差が入りやすい、②安定状態でしか測定できないなどの欠点を有する。電気伝導度で測定する方法も、計測器の制約のため、測定可能範囲が狭い欠点があった。

衣服の水分の測定には、①電氣的に検出する方法で、②測定範囲が広い、③どのような素材でも測定できるなどが必要である。

2) 衣服内気候シミュレーション装置

試作した衣服内気候シミュレーション装置を図3に示す。

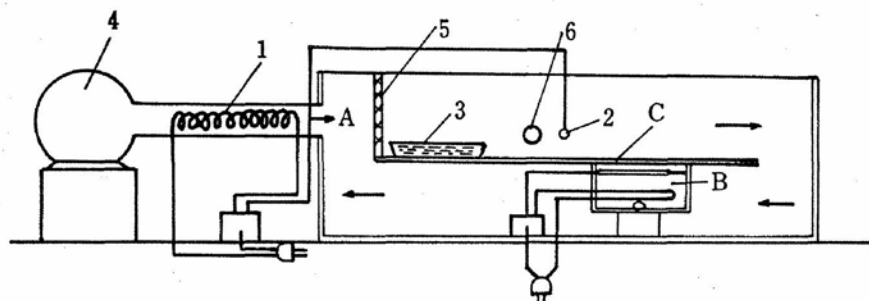
本装置は、温度・湿度・気流などの外部の環境条件を調節する風洞部(A)、模擬皮膚表面の条件を制御する人体条件部(B)、および模擬皮膚と試料（衣服）とで形成される衣服内気候(C)からなる。

図4、図5、は、人体条件部(B)および衣服内気候部(C)の拡大詳細図で、図4は発汗状態が不感蒸泄～発汗の場合、図5は急激な発汗、発汗休止の場合である。

(A) 風 洞 部

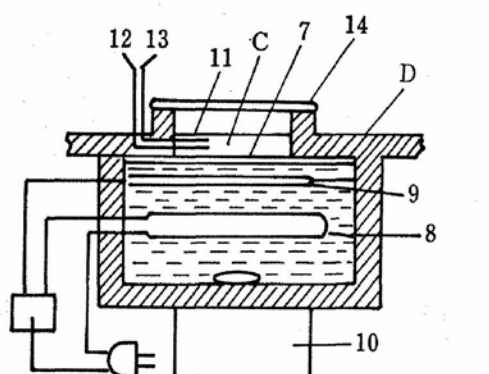
温度；送風機4に組み込んだヒータ1とサーモスタットスにより、40°Cまで測定可能。装置を低温室に入れば、低温下での測定も可能。±0.5°Cの範囲で測れる。

湿度；調湿液3で調湿することにより、40%



A : 風洞 B : 人体条件部 C : 衣服内気候部

図3 試作した衣服内気候シミュレーション装置



C : 衣服内気候部 D : ヒートボックス

図4 ヒートボックスおよび衣服内気候部
—不感蒸泄～発汗の場合—

RH から97% RH まで変更可能. $\pm 2\%$ RH の精度.

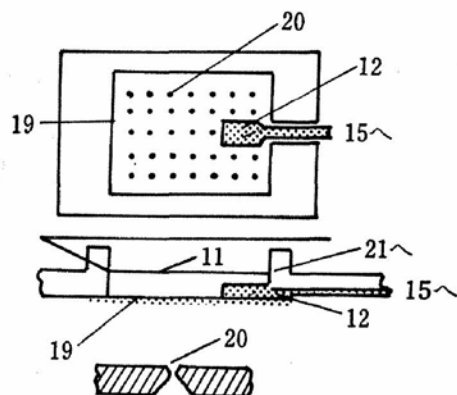
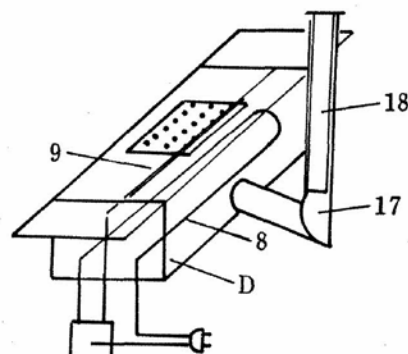
風速; 送風機 4, 整流器 5 による気流を風速計 6 で検知する. 送風機 4 の風量を調節することにより, 0 から 2m/sec まで変更可能.

これらの条件を組み合わせることにより, 寒冷環境から暑熱環境まで種々な環境条件が形成でき, 衣服の用途に応じた環境条件での測定が可能となる.

(B) 人体条件部

i) 不感蒸泄～発汗の場合

模擬皮膚; ボックス D の上面に模擬皮膚 7 を展



D : ヒートボックス

図5 ヒートボックスおよび衣服内気候部
—急速発汗, 発汗休止の場合—

張固定する. 模擬皮膚には, 0.0015インチと薄く, 疎水性で, 0.2μ 以下の微小孔が90億個/in² 以上ある多孔質フィルム (四フッ化エチレン樹脂) を用いた. これにより, 水蒸気の吐出が均一にできる.

模擬皮膚表面の温度; 模擬皮膚面直下のボックス D 内の水の温度分布を均一にするため, 10でかくはんしながら, ヒータ 8 で加熱し, サーモスタット 9 でコントロールすることにより 3.7°C まで変更可能である.

水分蒸発量；温度一定で水分蒸発量のみを変更することは、實際上非常に難しい。模擬皮膚温度を変えると、水分蒸発量（成人体表面積 1.6m^2 ，1時間当りに換算）は、 33°C では $150\text{g}/1.6\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ， 36°C では $210\text{g}/1.6\text{m}^2\cdot\text{hr}$ となる。これは、それぞれ歩行時，ランニング時の発汗量に相当し、実際に即したものになっている。

運動時には皮膚温も上昇するので、上記の範囲ならびに模擬皮膚温を変え、水分蒸発量を変更してもよいと考えた。

ii) 急激な発汗，発汗休止の場合

模擬皮膚；図5のような孔形状20の孔（径：模擬皮膚面上で $0.3\text{mm}\phi$ ，下面で $0.6\text{mm}\phi$ ）を $4\text{個}/\text{cm}^2$ あけた厚さ 0.6mm の真ちゅう板19を模擬皮膚とし、ボックスDの上面に固定した。この模擬皮膚面に出てくる水滴の形は、実際の人体の汗の形状・大きさに類似しており、発汗休止の場合、逆流を防げる。

模擬皮膚表面温度；不感蒸泄～発汗の場合と同様な方法で、 37°C まで変更可能である。

水の吐出量；ポンプ17内のピストン18によって、ボックス内の水を押出し、吐出量を変える。発汗休止の場合はピストン18を止める。ボックスの容積に比べてポンプの径が小さいので、水の吐出量は広い範囲で変えることができる。水の吐出量は $140\text{g}/1.6\text{m}^2\cdot\text{hr}$ から $900\text{g}/1.6\text{m}^2\cdot\text{hr}$ まで制御できる。バドミントンのような激しい運動時の発汗量は、 $430\text{g}/1.6\text{m}^2\cdot\text{hr}$ といわれている^{12,13)}。

(C) 衣服内気候部

i) 不感蒸泄～発汗の場合

模擬皮膚7から 6mm 離れた上面に、衣服に相当する試料（有効面積 $7\times 10\text{cm}^2$ ）11を置いた。この 6mm の空間が衣服内気候部であり、実際に衣服を着た場合のゆとり量に相当し、衣

服内気候を検出するためのセンサーを入れるためにも必要な空間でもある。

この空間部に、昭和電工製熱流計センサー（タイプ HFM—EM—R）12および日本工学製湿度センサー13を組み込み、温度・湿度・熱流量を同時に、経時的過渡状態も含めて検出する。温度応答速度 0.5sec ，湿度 1sec である。

ii) 急激な発汗，発汗休止の場合

模擬皮膚19から 2mm (2mm 以下であれば、吐出した水滴が試料に接触する。) 離れた上面に、衣服に相当する試料（有効面積 $7\times 10\text{cm}^2$ ）11を置く。

模擬皮膚19と試料11との空間（衣服内気候部C）に、昭和電工製熱流計センサー（タイプ HFM—EM—R）12を組み込み、衣服内温度を検出する。

さらに、試料11に川口電機製超絶縁計C（タイプ VE—30）21の端子を接続し、電気抵抗値を検出し、衣服層内の水分率に換算する。

これらの測定値は、同時に過渡状態も含めて検出できる。

3) 測定方法

衣服内気候 シミュレーション装置の測定条件は、用途ごとに衣服が使われる環境、人体の活動状態、着装状態などを考慮して決定する。風洞部の温度・湿度・風速などは、環境条件に合わせて決定し、模擬皮膚の温度、発汗の状態、水蒸気量、吐水量などは、人体の活動条件に合うように決める。

試料は、ポリエステル板わく（厚さ 0.5mm ）にあらかじめ展張固定し、さらに試料の吸湿による垂れ下がりを防ぐため、ポリエステルフィラメント糸を張り、模擬皮膚7，19の上面に取りつけておく。重ね着の状態で測定する場合は、試料の上に、さらに重ね着をする試料を重ねて取り付ける。

試料を取り付けた衣服内気候部をボックスDの上に置いた直後から、衣服内の温度・湿度および衣服層内の水分率を同時に、経時的に変化を測定する。

1) 衣服内の温度の測定範囲は、 0°C から 40°C までである。

2) 衣服内の湿度の測定範囲は、40% RH から 90% RH までである。

3) 衣服層内の水分率は、素材によって違うが、最大70%まで測定できる。

4) 測定結果と解析方法

本シミュレーション装置によって得られる測定結果を図6、図7に示す。

図6は、図4の装置を用いて行なった不感蒸泄～発汗が連続的に起こる場合である。

縦軸は、衣服内の温度・湿度である。横軸は時間で、初期の過渡特性を明らかにするため対数目盛にした。

図6から、湿度上昇速度定数(%RH)、温度上昇速度定数($^{\circ}\text{C}$)、快適温度到達時間(分)、快適温度維持時間(分)、平衡温度($^{\circ}\text{C}$)、平衡湿度(%RH)、経過時間ごとの温度($^{\circ}\text{C}$)、湿度(%RH)のデータが得られる。また、試料および模擬皮膚上の残留水分量(汗量に相当)が別に得られる。

湿度上昇速度定数および温度上昇速度定数は、本シミュレーション装置の測定条件によって実測すると、2段階あるいは3段階の上昇挙動を示す。

湿度上昇速度定数を図6のように H_1 、 H_2 、 H_3 、温度上昇速度定数を T_1 、 T_2 、 T_3 とする。

図7は、図5の装置を用いた急激な発汗、発汗休止の場合である。

縦軸は、衣服内の温度、衣服層内の水分率である。横軸は前記と同様、時間軸である。

図7から、温度上昇速度定数($^{\circ}\text{C}$)、衣服層内水分率上昇速度定数(%), 快適温度到達時間

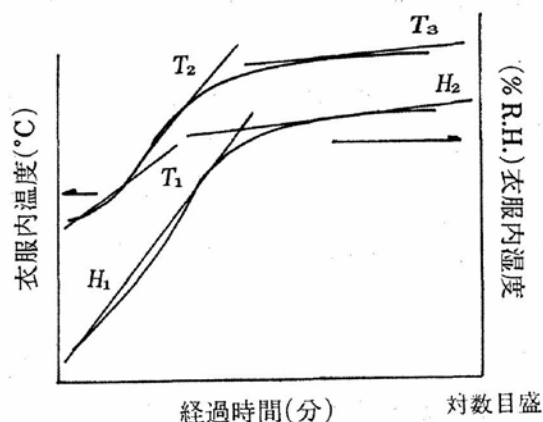


図6 不感蒸泄～発汗の場合の測定結果例

(分)、快適温度維持時間(分)、平衡温度($^{\circ}\text{C}$)、平衡衣服層内水分率(%), 経過時間ごとの温度($^{\circ}\text{C}$)、衣服層内水分率(%)のデータが得られる。

衣服層内水分率上昇速度定数および温度上昇速度定数は、実測すると、2段階あるいは3段階の上昇挙動を示す。

衣服層内水分率上昇速度定数を図7のように R_1 、 R_2 、 R_3 、温度上昇速度定数を S_1 、 S_2 、 S_3 とする。

図1の発汗の状態に示した(i) (不感蒸泄)は、図6の H_1 、 T_1 に、(ii) (発汗)は H_2 、 $T_2 \sim T_3$ に、(iii) (急激な発汗)は、図7の $R_1 \sim R_2$ 、 $T_4 \sim$ 平衡に、(iv) (発汗休止)は、 R_3 、 S_3 に、注目すればよいものと思われる。

これらを適宜パラメータとして、衣服内気候を解析することにより、衣服の水分と熱のトランス

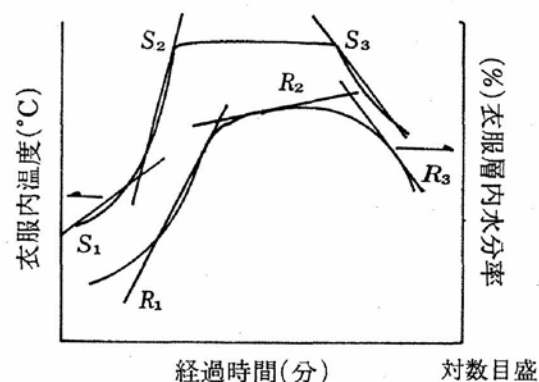


図7 急激な発汗、発汗休止の場合の結果例

ポート特性の解明が可能になり、着用感との対応がとれるものと期待される。

たとえば、人体実験の結果によれば、むれ感、暑熱感、衣服内の温湿感が急上昇すると起こるといわれている⁷⁾が、これは、温度上昇速度定数 T 、湿度上昇速度定数 H との関連で議論できるであろう。

また、人間が快適と感じるのは、いろいろな気候の中で、温度 $32\pm1^{\circ}\text{C}$ のとき¹⁴⁾といわれているが、これは、快適温度到達時間および快適温度維持時間で議論できよう。

一方、触感覚は、皮膚および衣服の残留汗量とも関連がある⁷⁾との報告もあるが、これは残留水分量で議論できるだろう。

用途ごとに環境条件、人体の活動が異なり、したがって発汗の状態が違ふ。

表2に、用途ごとに衣服内気候シミュレーション装置で使用する発汗状態をまとめた。

次に、本装置による結果の持つ意味を実証するため、本装置による測定結果と着用テストの結果との対応を検討した。着用テスト結果について

は、すでに前報⁸⁾で報告している。

II. 衣服内気候シミュレーション装置による解析

1) 試料

実験には、前報⁸⁾と同じビジネスソックスを用いた。試料の詳細を表3に示す。

2) 衣服内気候シミュレーション装置による結果と着用テスト結果との対応

a) 測定条件

衣服内気候シミュレーション装置の測定条件は次のようにした。

i) 風洞内の環境条件；着用テスト時の平均環境条件に合わせ、温度 27°C 、湿度71% RH、気流無風（実測 0.1m/sec ）とした。

ii) 模擬皮膚の条件；環境温度 27°C 時の足部の皮膚表面温度が 33°C とした。このとき、模擬皮膚から出る水蒸気量は、成人の体表面積である 1.6m^2 当り 150g/hr に相当し、これは着用テスト時の発汗量（平均 140g ）とほぼ一致している。

表2 衣服内気候シミュレーション装置の用途別測定状態

用 途	主に使用 する季節	環 境	人 体 の 活 動 状 態	発汗の状態	シミュレーション 装置の発汗状態
肌 靴 着 下	年 中	暑 熱 高 寒 湿 冷	休息～歩行	発 汗 不 感 蒸 泄	不感蒸泄～普通発汗
ス ポ ー ツ ウ ェ ア ス ポ ー ツ ソ ッ ク ス	年 中		激しい運動	非常な発汗	急 速 発 汗 発 汗 休 止
ね ま き ふ と ん 類	年 中	暑 熱 高 寒 湿 冷	就 寝	発 汗 不 感 蒸 泄	不感蒸泄～普通発汗
中 衣 (シャツ, ブラウス)	春, 夏, 秋	暑 熱	休息～歩行	発 汗	不感蒸泄～普通発汗
外 衣 (スーツ, ワンピース)	冬, 春, 秋	寒 冷	休息～歩行	不 感 蒸 泄	不感蒸泄～普通発汗
外 衣 (コート, セータ)	冬				

表3 試 料

試料 記号	素 材	組 織	目 付 (g/m ²)	糸 の 種 類
A	ウール	平 編	202	紡績糸
B	ウール	平 編	194	紡績糸
C	綿	平 編	117	紡績糸
D	ナイロン	平 編	60	フィラメント糸
E	ナイロン	あ ぜ 編	173	フィラメント糸
F	吸汗性ナイロン	平 編	47	フィラメント糸
G	絹	平 編	119	連続糸
H	ポリエステル/ウール (70/30) うら:ナイロン	平 編	179	紡績糸 フィラメント糸

注) サイズはいずれも 24~26cm

iii) 着装状態; 図8に示す。

模擬皮膚上 6mm の空間をおいて試料(ソックス 7×10cm²)を置き, さらに, その上に接触して綿100% 重布のスニカを置いた。

iv) 測定項目; 衣服内の温度・湿度, 熱流量を同時に, 着用テストと同じ1時間の間経時的に測定した。また, 1時間後の試料(ソックス), スニカおよび模擬皮膚上に残留していた水分量も測定した。

b) 測定結果の解析

表4に示す衣服内気候シミュレーション装置による試料(ソックス)の残留水分量(1時間後)と, 着用テストでのソックスの残留汗量(1時間後)とは, 図9に示すように, 高度な相関関係にある。

これは, 衣服内気候シミュレーション装置の模

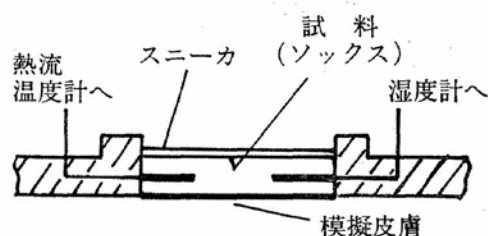


図8 試料の着装状態
(衣服内気候シミュレーション装置)

擬皮膚の条件が, 実際の着用時の人体の皮膚の条件とほぼ合っていることを示しているといえる。

図10に, 衣服内気候シミュレーション装置による衣服内の温・湿度の上昇挙動を示す。

衣服内の温度は3段階, 湿度は2段階の上昇過程を経る。

衣服内の温度上昇速度定数 T (初期: T_1 , 中期: T_2 , 平衡付近: T_3), 湿度上昇速度定数 H (初期: H_1 , 平衡付近: H_2), 各経過時間の湿度 (0.1分後, 1分後, 10分後, 60分後), 平衡温度, 平衡湿度到達時間および残留水分量 (模擬皮膚上, ソックス, スニカ, ソックスの残留水分量/厚さ) をパラメータとして選択した。

全試料のデータを表4に示す。

それらのパラメータ同志の相関関係と, パラメータと着用感との相関関係を図11に示す。

官能量である着用感は, 前報⁸⁾の着用テスト結果を用いた。

パラメータ間では, ソックスの残留水分量 (厚さ当り), 模擬皮膚上の残留水分量, 湿度上昇速度定数, 衣服内湿度は, 4者間それぞれに正の高い相関関係がある。

すなわち, ソックスの残留水分量 (厚さ当り)

が多いほど、模擬皮膚上の残留水分量が多く、衣服内の湿度の上昇が速く、湿度は0.1分後、1分後、10分後、60分後のいずれも高い(0.1分後、1分後、10分後、60分後の衣服内湿度は互いに相関が高いが、初期の挙動が大切だとの考え⁶⁾から、0.1分後で代表させる.)。

これらのパラメータと、着用テストによる水分と熱のトランスポート特性に関する官能量との関係を見ると、

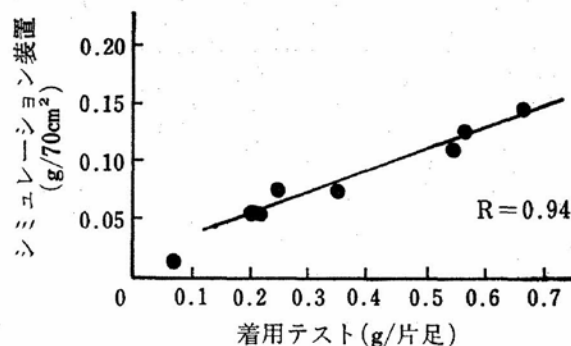


図9 シミュレーション装置によるソックス残留水分量と着用テストのソックス残留汗量の比較

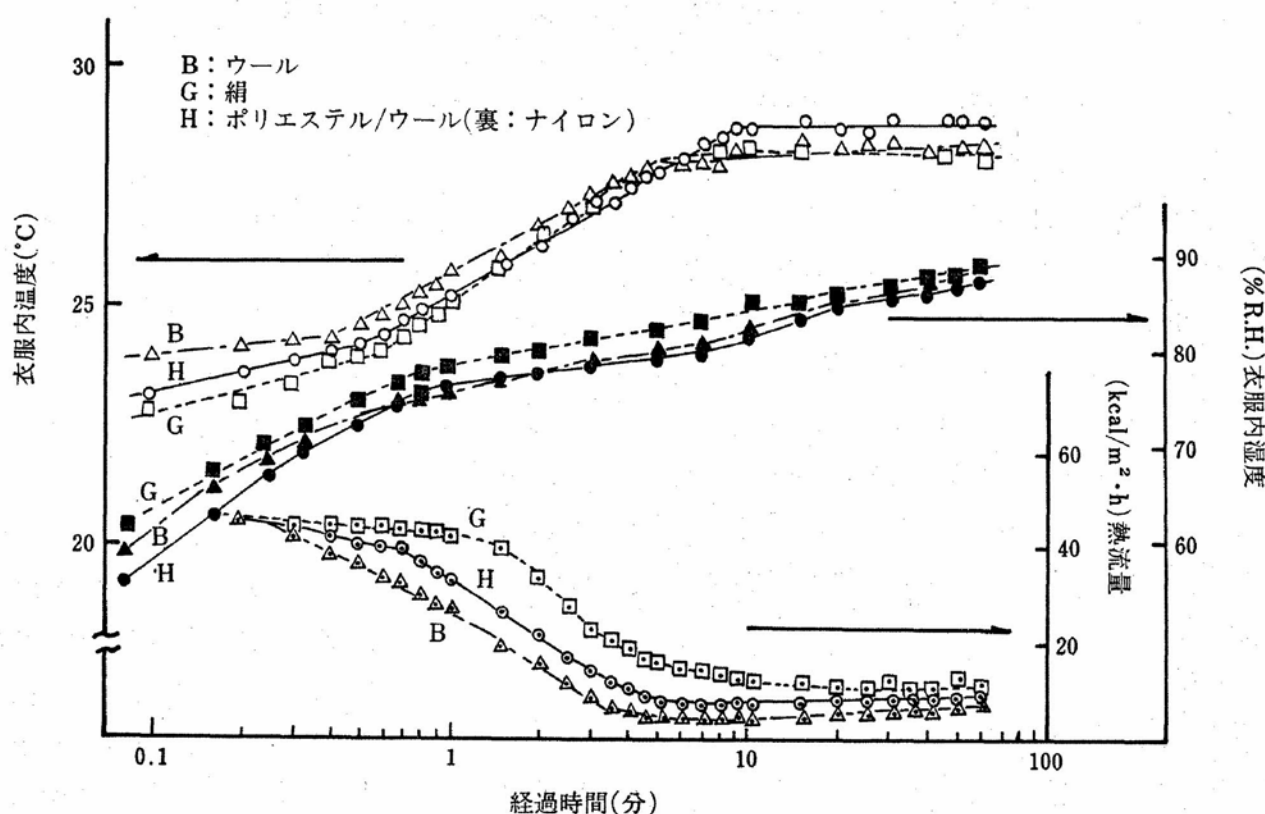


図10 時間経過に伴う衣服内気候の変化 (衣服内気候シミュレーション装置)

1) 衣服内気候シミュレーション装置による衣服内湿度(0.1分後)が高いほど、むれやすく、じめじめし、暑苦しく感じる。

2) 模擬皮膚上の残留水分量が多いほど、冷たく感じる。

3) ソックスの残留水分量(厚さ当り)が多いほど、じめじめし、冷たく感じる。

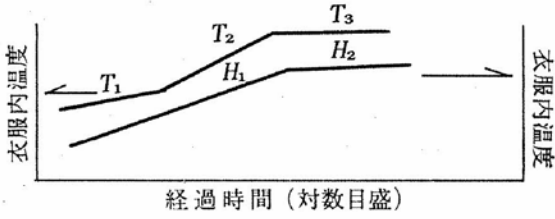
これらの総合されたものとして、ソックスの残留水分量(厚さ当り)と衣服内湿度(0.1分後)

を、水分と熱のトランスポート特性に関するパラメータの代表値にして、官能値である快適性を論ずればよいといえる。

このことは、着用テストにおいて残留汗量と暑苦しい、冷たいとの相関係数が高いという結果や、衣服内湿度が高いと暑熱感が大きい¹⁰⁾、衣服内の温湿度が急上昇するとむれ感を感じる⁷⁾という、従来の人体実験の結果ともよく一致する。

着用テストの結果から、ソックスの快適性は、

表4 衣服内気候シミュレーション装置による実験結果

試料記号		A	B	C	D	F	G	H
素 材		ウール	ウール	綿	ナイロン	吸汗性 ナイロン	絹	ポリエステル/ウール (うら：ナイロン)
温度上昇速度定数	T_1	0.9	0.7	1.2	1.3	0.9	1.6	1.5
	T_2	4.8	3.5	3.7	3.5	4.4	4.8	3.8
	T_3	0.9	0.4	0.4	0.5	0.8	0.4	0.3
平 衡 温 度 (°C)		29.0	28.7	29.2	29.1	29.0	28.6	29.3
平衡温度到達時間 (分)		20	15	45	15	20	25	35
湿度上昇速度定数	H_1	14	14	15	13	22	16	20
	H_2	4	6	6	8	7	6	5
0.1分経過後の湿度 (% RH)		62.0	60.5	63.0	62.0	60.0	63.0	58.0
1分経過後の湿度 (% RH)		77.0	75.5	77.5	74.0	77.5	78.0	76.5
10分経過後の湿度 (% RH)		80.0	81.5	83.0	85.0	85.0	85.0	81.0
60分経過後の湿度 (% RH)		88.0	90.0	90.0	90.0	90.0	89.0	87.5
残 留 水 分 量	模 擬 皮 膚 上 (mg)	1.4	0.6	1.3	2.9	2.5	3.2	1.9
	ソ ッ ク ス (mg)	128.8	142.0	85.3	55.6	55.6	112.6	72.6
	ス ニ ー カ (mg)	80.6	55.1	73.8	114.8	117.8	84.3	108.8
	ト ー タ ル (mg)	210.8	197.7	160.5	173.3	175.9	200.1	183.3
	ソックス/厚さ (mg/mm)	128.8	93.4	127.3	264.8	264.8	274.6	64.2
								

水分と熱のトランスポート特性に関する要因と、触感（風合い）に関する要因とからなることがわかった。

このうち、触感（風合い）に関しては、官能値と物性値との関係について、かつて検討された結果¹⁵⁾と被験者との面接から、柔らかい、フィットするに対応する物性値として圧縮率をとった。

なお、図11に示したように、滑らかな（↔ざらざらした）は、衣服内湿度や模擬皮膚上の残留水

分量と相関がある。これは、汗量が多く、衣服内湿度が高いほど触感が悪くなるという人体実験の結果⁷⁾とも一致する。

ソックスの残留水分量（厚さ当り）と衣服内湿度（0.1分後）とは相関が高いが、図6で明らかのように、ソックスの残留水分量（厚さ当り）を中心に考えると、説明しやすい。

そこで、水分と熱のトランスポート特性に関するものとしては、衣服内気候シミュレーション装

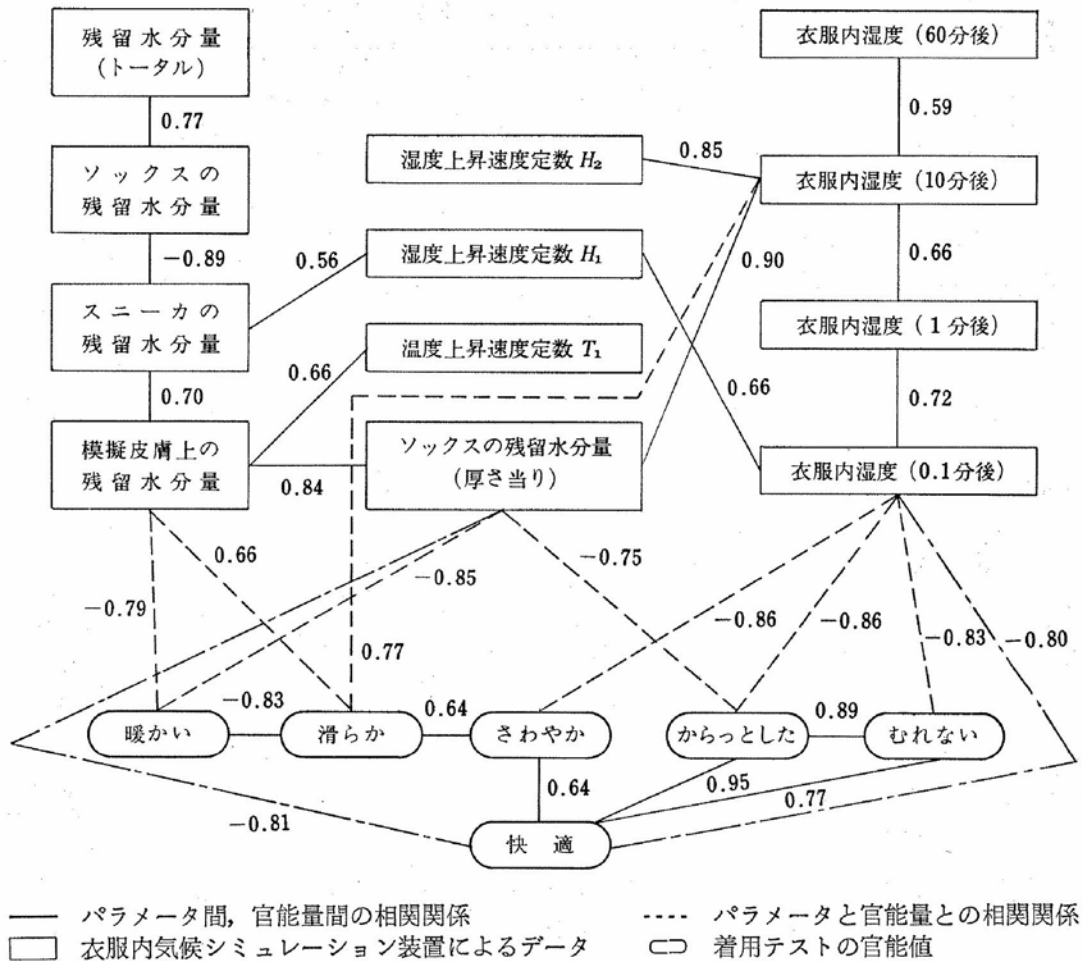


図11 衣服内気候シミュレーション装置によるパラメータの相関関係と着用感 (水分と熱のトランスポート特性に関連するもののみ) との関連性

置からのソックスの残留水分量 (厚さ当り) を用いた。

着用テストにおけるソックスの快適性 Y' は、

$$Y' = -2.011A_1 + 1.240A_2 \quad \dots\dots(1)$$

(目的関数, 説明変数とも基準化)

ここで、

Y' : 快適である (官能量)

A_1 : ソックスの残留水分量 (厚さ当り) mg/mm

A_2 : 圧縮率

この重回帰式の重相関係数は 0.944, 寄与率は 98.8%

であらわされる。

3) 従来の計測法と衣服内気候シミュレーション装置による結果との対比

着用感と関係があると一般にいられている物性

値を測定した結果について、前報⁸⁾で詳細に報告した。

その結果の概要を表 5 に示す。

従来の物性値で着用感 (快適性) をあらわすには、

- 1) あらかじめ着用テストを実施しておき、着用感の内容を明らかにする。
- 2) 着用感の内容に基づいた物性値の選択をする (解析者の経験, 勘, センスに依存するところが大きい)。
- 3) 物性値相互の相関関係や因子分析による類似性から必要な因子を絞る。という手順が必要である。

しかしながら、このような手順を経て、多変量解析のような統計的手法により、着用感 (快適

表5 着用感に関する物性値の測定結果

測定項目 試料記号	A	B	C	D	E	F	G	H	測定法・条件
組 織	平 編	平 編	平 編	平 編	あぜ編	平 編	平 編	平 編	
混 紡 率 (%)	ウール 100	ウール 100	綿 100	ナイロン 100	ナイロン 100	吸 汗 性 ナイロン 100	絹 100	ポリエステル/ウール 70/30 うら：ナイロン	
目 付 け (g/m ²)	202	194	117	60	173	47	119	179	
厚 さ (mm)	1.00	1.52	0.67	0.21	2.26	0.21	0.41	1.13	*1 (1g/cm ² 荷重下)
圧 縮 率 (%)	44.9	59.6	45.7	25.0	47.0	22.2	22.1	52.4	*1 (1g/cm ² →100g/cm ²)
保 温 率 (%)	70.1	69.4	62.3	41.1	70.2	44.7	57.3	72.4	JIS L-1018 B法
透 湿 率 3時間後 (%)	42.3	41.0	50.8	66.2	58.6	69.0	51.4	51.1	蒸発カップ法
19時間後	60.3	55.1	64.1	71.0	66.6	77.8	64.6	56.1	20°C, 65% R.H.
吸 湿 量 12秒後 (mg/cm ²)	0.03	0.03	0.01	0.09	0.00	0.01	0.01	0.01	27°C, 71% R.H.
1分後	0.08	0.08	0.03	0.09	0.06	0.06	0.07	0.12	↓ 27°C, 97% R.H.
10分後	0.38	0.32	0.20	0.31	0.28	0.26	0.24	0.38	非接着型ストレーンゲージ法
30分後	0.58	0.59	0.40	0.37	0.41	0.33	0.38	0.45	表面：不透湿性フィルムで閉鎖
1時間後	0.82	0.95	0.56	0.38	0.62	0.38	0.51	0.53	
放 湿 量 12秒後 (mg/cm ²)	0.03	0.01	0.05	0.03	0.02	0.05	0.04	0.02	27°C, 97% R.H.
1分後	0.10	0.14	0.11	0.14	0.15	0.14	0.10	0.09	↓ 27°C, 71% R.H.
10分後	0.54	0.69	0.77	0.40	0.58	0.35	0.42	0.42	非接着型ストレーンゲージ法
30分後	0.90	1.32	1.22	0.40	0.63	0.39	0.71	0.73	裏面：不透湿性フィルムで閉鎖
1時間後	1.19	1.57	1.38	0.40	0.70	0.40	0.86	0.76	
乾 燥 性 12分後	15.7	18.1	15.2	3.8	20.7	3.2	16.3	11.8	20°C, 65% R.H. で調湿
30分後	13.7	16.0	12.9	2.3	19.1	2.1	14.0	9.9	↓ 27°C の水中に2時間浸漬
含 水 量 1時間後 (mg/cm ²)	10.8	13.0	9.8	1.5	16.3	1.4	10.7	7.0	↓ 脱水30秒
2時間後	5.8	7.3	4.9	1.2	10.7	1.1	5.9	2.9	↓ 20°C, 65% R.H. に放置
吸 水 量 20秒後 (ml/6cmφ)	0.02	0.02	0.53	0.05	0.01	0.06	0.05	0.01	ラローズ法
1分後	0.03	0.03	0.56	0.08	0.01	0.12	0.27	0.02	
2分後	0.04	0.05	0.57	0.15	0.02	0.18	0.47	0.03	
7分後	0.07	0.07	0.59	0.22	0.03	0.26	0.56	0.04	

* 1: 松尾らの方法⁷⁾

性)が,ある物性値であらわし得たとしても,その物性値は,着用条件と一致しないある特定の条件下で測定されたものであり,各物性値間の因果関係が不明である.

したがって,着用感を構成する内容の物理的な意味は不明のままに終わってしまう.また,重要な因子が抜けているかも知れない.従来の計測法は,衣服材料を評価するという立場で決められており,着用される環境条件や人体の活動条件と必ずしも合致しない.したがって,前報⁸⁾で得られた快適性と物性値との関係式のように,物性値で着用感(快適性)をあらわし得ても,快適性との一致を示す寄与率は86%と限界がある.

水分と熱のトランスポート特性は,互いに独立ではなく,それぞれ他方をパラメータとしながら挙動する.衣服内気候シミュレーション装置では,それらが同時に起こっている状態で実験できるため,図11に示したように,パラメータ同志の意味,着用感との因果関係が容易に類推でき,着用感の物理的な意味がはっきりわかる.

水分と熱のトランスポート特性として,衣服内気候シミュレーション装置による実験結果から,1~2のパラメータと風合いに関するパラメータを用いることにより,(1)式のように,着用感を簡単にあらわすことができる.

(1)式の寄与率は99%と高く,信頼性も高い.

なお,風合いに関するパラメータは,これまでの研究成果により,着用感の内容がわかれば,対応する物性値は容易に選択できる.

従来の計測法が無意味かということ,そうではなく,衣服内気候シミュレーション装置による結果を介して考えると,その意味がはっきりしてくる.

水分と熱のトランスポート特性に関連する着用感が良かったソックス(試料H),悪かったもの(試料G),その中間のもの(試料B)について,

衣服内気候シミュレーション装置による結果(図10)と前報⁸⁾の従来の物性値(表5)との対応を考察する.

1) 試料Hは,初期の吸湿量が1分後0.12mg/cm²,10分後0.38mg/cm²と多いが,透湿率(3時間後)51%,乾湿性(1.2分後)12mg/cm²と高いため,衣服内の湿度の上昇が遅く,衣服内の湿度は最も低いレベルを保ち,ソックスの残留水分量(厚さ当り)が最も少ない.また,保温率が72%と高いため,衣服内の温度の上昇が早く,平衡温度も29.3°Cと最も高い.

2) 試料Gは,吸水量(7分後)0.56ml/6cm²と綿100%並みに多く,吸湿量(1時間後)も,0.5mg/cm²とH並みに多いが,乾燥性(12分後)が16.3mg/cm²と低いため,ソックスの残留水分量(厚さ当り)274.6mg/mmと最も多くなり,衣服内の湿度の上昇が早く,衣服内の湿度も高いレベルを保つ.また,保温率が57%と低いため,衣服内の温度の上昇が遅い.

3) 試料Bは,保温率69%とHと同程度に高いが,乾燥性(12分後)18.1mg/cm²と低いため,放湿量(1時間後)1.57mg/cm²と多いが,気化熱が奪われ,衣服内の温度は,Gと同程度の温度28.7°Cで平衡状態に達するものと思われる.

このように,衣服内気候シミュレーション装置からの結果は,従来の個々の物性値からも意味がはっきりわかる.

3. 結 語

むれ感,べとつき感,冷え感であらわされる着用感は,皮膚と衣服との間の温度・湿度で示される衣服内気候が最も重要である.

衣服内気候は,衣服の水分と熱のトランスポート特性を反映するものであるが,用途に応じた環境—衣服—人体の系の中で把握し,かつ過渡現象としてとらえる必要がある.

衣服内気候が測定できる満足すべき装置がなかったため、種々な環境条件・衣服の状態および皮膚の条件下で衣服内の温度・湿度が同時に測定でき、かつ経時的な変化が求められる衣服内気候シミュレーション装置を試作した。

本装置は、

(1) 模擬皮膚に発水性多孔質フィルムを使うことにより、水蒸気を模擬皮膚面上に均一に吐出できる。

(2) 模擬皮膚に特殊な孔形状の微小孔をあけた真ちゅう板を使うことにより、実際の汗の形、大きさに類似した水滴が出せ、急激な発汗および発汗を休止した状態での測定ができる。

(3) 応答性がよく、安定時間がはやく、6mm幅の空間に取り付けができるセンサーを使うことにより、衣服内の温度・湿度を同時に、しかも過渡状態の測定ができる。

(4) 衣服層内の水分率が測定できる。

などの特長を有している。

本衣服気候内シミュレーション装置による結果と、実際に着用した結果との対応を、市販ビジネスソックスを用いて検討した。

衣服内気候シミュレーション装置の実験条件を、着用テスト時の平均環境条件、皮膚の条件および着装状態に合わせて設定した。

その結果、衣服内気候シミュレーション装置によるソックスの残留水分量は、着用テストでのソックスの残留汗量と高度な相関関係があり、本衣服内気候シミュレーション装置の模擬皮膚の条件が、実際着用時の人体皮膚の条件とほぼ合っていることを示している。

衣服内気候シミュレーション装置によるソックスの残留水分量（厚さ当り）、模擬皮膚上の残留水分量、湿度上昇速度定数および衣服内の湿度は、4者間それぞれに正の高い相関関係にある。

したがって、官能量との関連が大きいソックスの残留水分量（厚さ当り）と衣服内湿度（0.1分後）および触感に関する圧縮率で着用感を十分に説明できる。

従来の計測法では、それぞれの着用感に及ぼす寄与が不明確であったが、衣服内気候シミュレーション装置によるパラメータを介すると、その意義がよく理解されることがわかった。

文 献

- 1) 原田, 土田; 繊維誌, **22**, 406 (1981)
- 2) F.W. Behmann; *Mell. Textilber.*, **39**, 786 (1958), **40**, 1209 (1959)
- 3) J.H. Mecheels; *Mell. Textilber.*, **52**, 628 (1971)
- 4) J.D. Hardy ら; *Text. Res. J.*, **23**, 1 (1953)
- 5) A.H. Woodcock; *Text. Res. J.*, **32**, 628 (1962)
- 6) 尾崎; 第2回人間—熱環境系シンポジウム要旨集, P81 (1978) 東京
- 7) 諸岡, 丹羽; 家政誌, **30**, 320, 328 (1979)
- 8) 内山, 土田; デザントスポーツ科学, Vol. 2
- 9) 内藤, 中島, 松川; 家政誌, **27**, 441 (1976)
- 10) 三好, 増田, 家原; 家政誌, **30**, 312 (1979)
- 11) W. Koner; *Chemiefasern*, **31**, 112 (1981)
- 12) 水梨; 繊維誌, **14**, 456 (1973)
- 13) 久野; 汗の話 (1963) 光生館
- 14) 日本人間工学会衣服部会; 被服と人体, P74, P180 (1981) 日本出版サービス
- 15) 松尾, 原田, 斎藤; 繊維誌, **24**, T58, T126 (1971)