技術報告

衣服材料の水分と熱の移動特性

(第4報) 環境条件, 着装状態および発汗状態が衣服内気候に及ぼす影響

会 員 土 田 和 義*
 “ 原 田 隆 司*
 “ 大 島 浩**
 “ 内 山 生**

1. 緒 言

第1報¹⁾で衣服内気候シミュレーション装置について, 第2報²⁾, 第3報³⁾で本装置による結果と着用感との対応がよいことを述べた。本報では, 従来の計測法やフィールドテストではできなかった環境条件や着装状態や発汗状態が衣服内気候に及ぼす影響をシミュレートする。

同じ衣服材料でも用途によって, 使用される環境条件も人体の運動量も着装状態も異なる。これに関連する従来の報告をまとめてみると,

- (1) 環境条件: 吸湿速度は有風時の方が無風時より早い⁴⁾。透湿抵抗は有風時に減少する⁵⁾。衣服内湿度の上昇は有風時に遅れる⁶⁾。皮膚温, 衣服内温度は季節により異なる⁷⁾。
- (2) 着装状態: 熱遮断効果は重ね着により増大する⁸⁾。重ね着したときのエネルギー消費量は重ね着をしない(重量は同じ)ときより16%少ない⁹⁾。同じ運動量でも, 発汗量は衣服により異なる¹⁰⁾。

ことが明らかにされ, 同じ人体の運動量でも, 繊維素材, 布構造のほか, 環境条件や着装状態などによって, 水分と熱の移動特性が変化することをうかがわせている。

しかしながら, 従来の報告例では, 実際の衣服の着装状態に即した測定ができないため, 環境条件や着装状態

The Transfer Properties of Moisture and Heat through Clothing Materials.

Part 4: Influences of Environmental Conditions, Wearing Patterns and Sweating State on the Microclimate within Clothing.

By Kazuyoshi Tsuchida*, Takashi Harada*, Hiroshi Oshima** and Sei Uchiyama**

*Katata Research Center, Toyobo Co., Ltd., Otsu, Shiga.

**Department of Textile Engineering, Kyoto University of Industrial Arts and Textile Fibers, Matsugasaki, Kyoto.

A simulation test has been conducted of influences of environmental conditions and wearing patterns on the microclimate within clothing. The experimental results of men's socks, underwears and sweat shirts are summarized as follows:

(1) The rise of the temperature and relative humidity within men's socks decreases with increasing wind velocity ranging from 0.1 to 0.5 m/sec.

(2) A wear of an outerwear garment of polyester fibers onto an underwear, the cloth which tends to retain the residual water depends on the environmental conditions. Under the cold environment, the outerwear cloth much retains the water than underwear cloth does. Under cold environment, *vice versa*.

(3) The temperature with clothing rises more rapidly if the pile fabrics such as a sweat shirt is worn in such a manner that the piled face is placed onto the simulated skin.

(Received April 6, 1982)

による水分と熱の移動特性への影響の解明が不十分である。

2. 結果と考察

2.1 環境条件の影響

a. 気温の影響

第2報²⁾で用いた市販ビジネスソックス綿100%(試料記号C)について, 外界気温が衣服内気候に及ぼす影響を検討した。第1報¹⁾で述べた衣服内気候シミュレ

図1 試料(ソックス)の着装状態(衣服内気候シミュレーション装置による)

*K. Tsuchida, T. Harada, Members. 東洋紡 繊維研究所

**H. Oshima, S. Uchiyama, Members. 京都工芸繊維大学 繊維学部

ション装置の測定条件は次のようにした。

- (1) 着装状態：図1に示す。模擬皮膚上6 mmの空間
をおいて試料をおき、さらにその上に接触させて、
綿100%重布のスニカを置いた。
- (2) 模擬皮膚の条件：模擬皮膚は33℃、このとき、模擬
皮膚から出る水蒸気量は150 g/1.6 m²・hrであ
る。
- (3) 風洞内の環境条件：共通条件は湿度64% RH、無風
状態（実側0.1 m/sec）とし、温度を30℃と27℃
とに変化させた。

結果を図2に示す。衣服内温・湿度の上昇とも、気温
30℃の方がはよい。

衣服内温度については試料（ソックス）の表面温度が
あらかじめ環境温度によりコンディショニングされてい
るので、環境温度の高い方が高いレベルを示す。

衣服内湿度は、気温30℃の方が初期（3 min ぐら
いまで）は温度の違いによる水蒸気圧差が小さいので上昇
速度が遅いが、試料の残留水分量（気温30℃：100.7
mg/70 cm²，27℃：85.3 mg/70 cm²）で示されるように

図2 ソックスの環境温度(27℃と30℃)の影響

試料の水分量が多く飽和状態になるのはやく、飽和状
態以降、湿度が急上昇するために逆転している。

このように、わずか3℃の気温の違いでも、衣服内気
候（特に湿度）に影響を及ぼす。

b. 寒冷環境下と暑熱環境下の比較

市販肌着3種(表1)について、衣服内気候シミュレ
ーション装置の測定条件を次のようにし、寒冷環境と暑熱

表1 肌着の衣服内気候シミュレーション装置による結果

試料明細		試 料 記 号			1	2	3	
		素 材		綿/ナイロン(80%/20%) (綿/ナイロン/綿 3層構造)	ウ ー ル (起毛品)	表：ナイロン 裏： 綿		
				組 織			フライス	スムース
		目 付 け	g/㎡	209	327	170		
		厚み(荷重 1g/㎠下)	mm	1.22	1.85	1.14		
環境条件	重ね着の種類 (上衣)	ダウン ジャケット	快適温度 (32±1℃)	到達時間 min	34	136	18	
				維持時間 min	146以上	44以上	42	
寒冷環境 4.5 ^{+1.0} _{-0.5} ℃ 85±5%RH 気流0.1m/sec		3 hr 後の 残留水分量 (/70㎠)	模擬皮膚上	g	0.53	0.46	0.32	
			試料(肌着)	g	0.00	0.17	0.00	
			タウンジャケット	g	0.41	0.47	0.18	
			合 計	g	0.94	1.10	0.50	
			衣服内温度	1 hr 後	℃	29.4	30.8	29.2
		ポリエステル織物	3 hr 後の 残留水分量 (/70㎠)	3 hr 後	℃	31.0	32.0	30.0
				模擬皮膚上	g	0.61	0.48	0.65
				試料(肌着)	g	0.12	0.51	0.35
				ポリエステル織物	g	0.83	0.78	0.83
				合 計	g	1.56	1.77	1.83
暑熱環境 30±0.5℃ 65±2%RH 気流0.1m/sec	ポリエステル織物	衣服内温度	1 hr 後	℃	31.7	33.7	31.7	
			快適温度到達時間	min	10	4	50	
		1 hr 後の 残留水分量 (/70㎠)	模擬皮膚上	g	0.20	0.12	0.23	
			試料(肌着)	g	0.13	0.65	0.28	
			ポリエステル織物	g	0.22	0.10	0.16	
			合 計	g	0.55	0.87	0.67

図3 試料(肌着)の着装状態
(衣服内気候シミュレーション装置)

環境の衣服内気候に及ぼす影響を検討した。

- (1) 着装状態：図3に示す。模擬皮膚上に6 mmの空間をおいて試料(肌着)をおき、その上に外衣としてポリエステル100%繊維物を置いた。
- (2) 模擬皮膚の条件：模擬皮膚温度は36℃、このとき、模擬皮膚から出る水蒸気量は $210 \text{ g}/1.6 \text{ m}^2 \cdot \text{hr}$ で、これは、ランニングなどの運動をしたときの発汗量に相当する。
- (3) 風洞内の環境条件：寒冷環境は4.5℃, 85% RH (2月の京都地方の日中の平均気象条件)、暑熱環境は30℃, 65% RH (8月の京都地方の日中の平均気象条件)とした。

図4 肌着の寒冷環境下と暑熱環境下の比較
(いずれもポリエステル繊維物を上衣として着装)

環境湿度が85% RHと65% RHであるので、衣服内湿度は測定せず、残留水分量で検討した。衣服内温度の上昇挙動を図4に、残留水分量を表1に示す。

試料(肌着)の種類によっても衣服内温度の上昇挙動

は異なるが、これについては2.2 a. で詳しく述べる。いずれも衣服内温度の上昇は、寒冷環境下では遅く、暑熱環境下では早い。残留水分量は、寒冷環境下では外衣のポリエステル100%繊維物に多く、濡れた状態であるのに対し、暑熱環境下では試料(肌着)に多い。模擬皮膚上は差がない。

暑熱環境下での残留水分量は肌着と外衣と外部環境との温度差が小さいので、水分は気相状のまま透湿するが、ポリエステル繊維物の吸湿性が低いために肌着に気相状の水分が多くなったものと考えられる。

試料の残留水分量が多いと、じめじめする感じがし、暑く感じるという第2報²⁾、第3報³⁾の結果から、暑熱環境下では湿潤感、暑熱感を感じるのがはやいと予想される。例えば、ウール100%起毛品(試料記号2)は、寒冷環境下では、衣服内温度の上昇(1 hr後30.8℃)がはやく、模擬皮膚上の残留水分量が $0.16 \text{ g}/1.6 \text{ m}^2 \cdot \text{hr}$ と少ない。これは通常いわれている保温性がよく、冷感感は少ないということと合致する。しかし、ウール100%起毛品を暑熱環境下で使うと、衣服内温度は非常にはやく上昇し快適温度域へ4 minで到達するが、その維持時間が22 minと短い。したがって暑熱感(暑くさ)を感じるのがはやいと予想される。

このように、同じ試料でも、使われ方によっては、環境条件などにより、適・不適がある。

c. 気流の影響

2.1 a. の場合と試料(ソックス)、着装状態および模擬皮膚の条件が同じで、風洞内の環境条件を30℃, 64% RHとし、無風時(実測0.1 m/sec)と有風時(実測0.5 m/sec)との衣服内気候を比較した。

図5 ソックスの気流(0.1m/sec と0.5m/sec)の影響

結果を図5に示す。有風時は無風時に比べて、衣服内温度・湿度の上昇が遅い。したがって、有風時の方が汗をかいても快適であると感じる時間が長いことになる。

この理由は、風によりソックスの上に装着しているスニーカー外表面上の絶縁層厚さが小さくなり、ソックスと

皮膚との間の衣服内温度が低くなるとともに、無風時に比べ吸湿性、放湿性、透湿性が大きくなり⁶⁾、水分はやくソックスを介して、スニーカー表面から外部環境に放出され衣服内湿度の上昇が遅くなったものと考えられる。これは有風時の残留水分量がソックス87.4 mg/70 cm²、スニーカー70.2 mg/70 cm²と無風時(ソックス100.7 mg/70 cm²、スニーカー93.5 mg/70 cm²)に比べ少ないことから裏付けされる。

2.2 着装状態の影響

a. 重ね着の影響

2.1 b. と同じ3種の市販肌着(表1)を用いて、風洞内の環境条件を4.5℃, 85% RH(寒冷環境)とし、2.1 b. の場合と同じ模擬皮膚の条件で、図3のように上衣としてポリエステル織物を重ね着した場合と、一般に保温性、吸放湿性がよいといわれているダウンジャケット(厚みはポリエステル織物と同じ3 g/cm²荷重下で3.28 mm)を重ね着した場合の衣服内気候を比較した。

図6 肌着の重ね着(ダウンジャケットとポリエステル織物)の影響

結果を表1および図6に示す。

寒冷環境条件であるので、衣服内温度に着目して検討した。ダウンジャケットを重ね着した場合は、衣服内温度の上昇挙動はつぎの3つのタイプに分かれる。①ウール100%(試料記号2)のように、快適温度域到達時間が136 minと長いタイプ、②ナイロン(裏:綿)(試料記号3)のように、快適温度域到達時間が18 minと短い、維持時間も42 minと短いタイプ、③綿80%/ナイ

ロン20%(綿/ナイロン/綿の3層構造)(試料記号1)のように、快適温度域到達時間が34 minと短く、維持時間が146 min以上と長いタイプである。

これに対して、ポリエステル織物を重ね着した場合は、ダウンジャケットを重ね着した場合と違った挙動を示す。ナイロン(裏:綿)(試料記号3)と綿80%/ナイロン20%(試料記号1)は快適温度域到達時間が3 hr以上と長い。ウール100%(試料記号2)は、ダウンジャケットを重ね着した場合とほぼ同じ温度上昇挙動を示す。

この理由は、ダウンジャケットを重ね着した場合、試料(肌着)の、残留水分量がナイロン(裏:綿)と綿80%/ナイロン20%は0であるのに対して、ウール100%は0.17 g/70 cm²と水分を保つ。この水分が熱貫流抵抗を低くし衣服内温度の上昇を阻害し、結果としてダウンジャケットと比べ保温性の低いポリエステル織物を重ね着した場合と同じになったものと思われる。

b. 着用の仕方の影響

地糸がポリエステルで片面にポリエステル50%/綿50%, 30/1 sのパイルがあるトレーナを用い、パイル面を内側(模擬皮膚側)にした場合と、外側(環境側)にした場合とを例とし、着用の仕方の違いによる衣服内気候の変化を検討した。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。

- (1) 模擬皮膚の条件: 模擬皮膚温度は34℃, このとき、模擬皮膚から出る水分蒸発量は170 g/1.6 m²・hrである。
- (2) 風洞内の環境条件: 温度20℃, 湿度65% RH, 無風状態(実測0.1 m/sec)である。

図7 トレーナの着用の仕方の影響

結果を図7に示す。トレーナは、通常、起毛面やパイル面を内側(皮膚側)に向けて着用する。パイル面を内側(模擬皮膚側)にした場合の衣服内湿度の上昇は外側(外部環境側)にした場合よりはよい。

衣服内温度は、パイル面を内側(模擬皮膚側)にすると、初期は高いが、30 min以降は逆に低くなる。

衣服内湿度の上昇挙動は、パイル面が模擬皮膚側に向いていると、模擬皮膚から出る水分をパイル部に保つため、衣服内湿度の上昇はよくなる。逆に、パイル面が

外部環境側に向いていると、パイル部の表面積が大きい
ため、吸湿した水分を放散させ、衣服内湿度の上昇を遅
くするためと考えられる。

衣服内温度の上昇挙動は、パイル面を内側（模擬皮膚
側）にしたとき、パイル部に水分がたまるまでは、パイル
部の空気含有により温度を高くたもつが、パイル部に水
分がたまり始めると、水分のため温度の上昇を遅くする
ものと考ええる。

従来の計測法では、表裏で形状の違う布などで、この
ような着用の仕方を考慮した測定はできないが、本衣服
内気候シミュレーション装置では、容易に測定ができる。

2.3 発汗状態の影響

綿100%肌着（30/1s 使い、フライス）を試料とし、
第1報¹⁾で述べた急激な発汗および発汗休止の場合の衣
服内気候シミュレーション装置で、測定条件を次のよう
にし、急激に汗をかいたり、運動をやめ発汗が止まった
場合をシミュレートしたときの衣服内気候の変化を検討
した。

- (1) 模擬皮膚の条件：模擬皮膚直下の水の温度36℃、バ
ドミントンのような激しい運動時の発汗量が430
g/1.6 m²・hrである¹¹⁾ことから水の吐出量は430
g/1.6 m²・hrとした。測定開始10 min まで水を
吐出し、その後吐出をやめた。
- (2) 風洞内の環境条件：温度30℃、湿度65% RH、無風
状態（実測0.1 m/sec）とした。

図8 急激な発汗、発汗休止の場合の衣服内気候の変化

結果を図8に示す。参考のため、同じ模擬皮膚温、環境
条件で行った不感蒸泄から発汗の場合の衣服内温度の上
昇挙動を併記する。

衣服内温度は、不感蒸泄から発汗の場合とは違い、急
激に上昇し0.7 min 後にはほぼ平衡状態に達する。衣服
層内水分率は、水を吐出している間上昇を続け、10 min
後には約40%のレベルに達する。測定開始10 min 後に
水の吐出をやめると、衣服層内水分率は徐々に減少する
のに対して、衣服内温度は急激に下がる。この衣服内温
度の低下が、実際着用時には冷え感として感じるものと

予想される。

衣服内温度が低下する理由は、衣服層内の水（液相）
が蒸発するとき、衣服内の熱を気化熱（0.58 kcal/g）
としてうばうためと考える。

3. 結 語

第1報で述べた衣服内気候シミュレーション装置を用
い、環境条件や着装状態が衣服内気候に及ぼす影響につ
いて検討した。

環境条件では、①環境温度の3℃程度の差でも、衣服
内温度と湿度の挙動は異なる。衣服内温度は経過全時間
を通して、環境温度が高いほど高いレベルを示し、衣服
内湿度は経過時間の中で逆転する。衣服内湿度に関し
ては試料によって挙動が異なると思われる。②有風時と
無風時では、有風時の方が、衣服内温度・湿度の上昇速
度が遅い。③肌着の上にポリエステル100%織物を外衣
として着装した場合、残留水分量は、寒冷環境下ではポ
リエステル100%織物に多く、暑熱環境下では肌着に多
い。

着装状態では、①トレーナなどのパイル面がある試料
では、パイル面を模擬皮膚側に向けて置く方が、衣服内
湿度の上昇がはやい。②肌着に重ねてダウン ジャケッ
ト、ポリエステル100%織物を着装した場合、衣服内温
度の上昇はダウン ジャケットを重ねた方がはやい。

発汗状態では、①急激に発汗（水の吐出量430 g/1.6
m²・hr）とすると、衣服内温度は急上昇し、0.7 min で
平衡状態に達する。②水の吐出（発汗）を止めると、衣
服内温度は急激に低下する。などがわかった。

これらのことは、同じ試料でも、環境条件、着装状態
および発汗状態などにより、水分と熱の移動特性が異な
ることを示している。本衣服内気候シミュレーション装
置でこれらの条件を考慮し測定することにより、用途や
使われ方に応じた素材、布構造、重ね着の種類を選択で
きるとともに、適正な着用の仕方も工夫することができる。

文 献

- 1) 原田，土田，内山；繊維誌，**35**，P203（1982）
- 2) 内山，土田，原田；繊維誌，**35**，P210（1982）
- 3) 原田，土田，中田；繊維誌，**35**，P247（1982）
- 4) 塩見，丹羽，古里；家政誌，**29**，175（1978）
- 5) 内藤，中島；消費科学会誌，**21**，183（1980）
- 6) 諸岡，丹羽；家政誌，**30**，320，328（1979）
- 7) 森瀬，石橋，柿添；家政誌，**26**，586（1975）
- 8) 花田；消費科学会誌，**20**，273，305（1979）
- 9) A. Teitlebäum；J. Appl. Physiol.，**32**，743（1972）
- 10) 登倉；消費科学会誌，**21**，421（1980）
- 11) 久野；汗の話（1963）光生館

（昭和57年4月6日受理）