

吸水性付与加工によるポリエステル織物の熱移動特性と着用感の変化

著者	松平 光男, 上田 博之
雑誌名	金沢大学教育学部紀要.自然科学編
巻	44
ページ	39-44
発行年	1995-02-28
URL	http://hdl.handle.net/2297/492

吸水性付与加工によるポリエステル織物の熱移動特性と着用感の変化

松平 光男・上田 博之*

Changes in Heat Transport Properties and Clothing Comfort of Polyester Fabric by a Resin Finish for Improving Moisture and Water Absorption.

Mitsuo MATSUDAIRA and Hiroyuki UEDA

ABSTRACT

A property test and a clothing test were made to investigate the changes of heat transport properties by a resin finish for improving moisture and water absorption and the effect of the finish on clothing comfort of human beings. We compared three samples of fabric (S [2], S [3], C). S [2] is polyester fabric finished with 2% of additional mass of resin, S [3] 3% of it and C unfinished.

No significant difference for the heat transfer properties and thermal insulation was found among them. The q -max values of the finished samples with 92%rh were significantly larger than that of the unfinished one. Air resistance increased with the addition of mass of resin. Water regain tended to be larger in the finished samples than in the unfinished, even with small water contents.

Thermoregulatory responses and clothing comfort of three women (20yr) wearing two kinds of blouses in the same shape made of C and S [3], were examined in ambient temperature ranging from 25 to 38°C for 20 min. Immediately after subjects put on the blouses, their ratings centered on "neutral" in scales of thermal sensation, "not at all" in scales of sense of sultriness, and "comfortable" in scales of comfort sensation. In accordance with the lapse of time after ambient temperature change, ratings respectively changed toward "very hot", "very much" and "uncomfortable". The changes in the rating values were more remarkable in the case of S [3]. The temperature on the back tended to be higher in the finished than in the unfinished at the beginning of the ambient temperature rise. The local sweat rate on the back as well as temperature and humidity of clothing microclimate with the finished was larger than with the unfinished.

The improvement in moisture and water absorption by finishing was recognized in the property test, and finishing also brought about lowering of air permeability. The lowering may lead to greater heat strain such as sweating and thermal discomfort observed in the clothing test. Therefore, more development in the methods of finishing are necessary to improve moisture absorption without lowering air permeability.

I 緒言

ポリエステル織物はWash and Wear性や寸法安定性などに優れるため、日常着として広く用いられている。しかし、天然繊維に比べて吸湿・吸水性に劣るため暑熱環境下の衣服の着用感、特に快適性に影響を及ぼすことが報告されている^{1,2)}。また、吸湿・吸水性は、帯電性やSR性にも関わるため、改良すべき重要な性質と考えられている。合成繊維に対する吸湿・吸水性の付与は、後加工による繊維表面の親水化、ポリマー自体の親水化、繊維自身の多孔質化などの方法がある。このうち、後加工による方法は、ポリエステル、ナイロン、アクリルなどいずれの合成繊維に対しても活発に行われている。しかし、それらの改善がヒトの着用感や体温調節反応にどの程度影響するかについては、詳細に検討されていない。

そこで、本研究では、ポリエステル織物に対する後加工による熱移動特性の変化や着用感への影響について検討した。すなわち、ポリエステル織物を用いて衣服の快適性に関わると考えられる布の保温性、熱伝導率、 q_{max} 、通気性、吸水性および吸湿性の後加工による変化を測定し、さらに安静状態の環境温度上昇時における着用感を後加工により吸水・吸湿性を改善した布から作製したブラウスを用いた着用実験で調査した。

II 方法

1 試料

試料として婦人用薄手布の中からブラウス用として製造された無柄で白色の新合織ポリエステルデシン織物を選んだ。試料の詳細をTable 1に示す。実験に用いた試料は、仕上げ行程において親水性物質の架橋性被膜を形成させたもので、繊維重量に対する親水性物質の付着量が2% (S [2] とする) と3% (S [3] とする) のものおよび対照として未加工 (C とする) のものである。

Table 1 Details of fabric samples

Weight(g/m ²)		111.2
Thickness*(mm)		0.25
Density(/m)	Warp	3700
	Weft	3300
Counts(tex)	Warp	6.7(60d/48f)
	Weft	16.7(150d/96f)
Twist(/m)	Warp	0
	Weft	1800

* Thickness is measured at the pressure 49 Pa

2 試料の熱物性値

各試料の保温性、熱伝導率、 q_{max} ^{3,4)}、通気性、吸水性および吸湿性をそれぞれ測定した。保温性の測定は、10cmX10cmの熱板上に試料布をおき、熱板から試料布を通して放熱することによる熱損失量を測定した^{3,4)}。このとき、試料の保温率 α (%)は次式で与えられる。

$$\alpha = \{(W_0 - W) / W_0\} \times 100$$

ただし、 W_0 は試料のない状態での熱損失(J/s/m²)、 W は試料をおいた状態での熱損失(J/s/m²)である。

この測定には、乾燥した状態の皮膚をモデル化したDry法と、発汗により湿った状態の皮膚をモデル化したWet法がある。さらに、両者とも、皮膚が直接布に接触している場合を想定したContact法と皮膚と布の間に空間がある場合を想定したSpace法がある。したがって、それぞれを組み合わせたDry Contact, Wet Contact, Dry Space, Wet Space法が考えられる。本実験ではこれら4つの方法で検討した。

熱伝導率は、定温の水を流すことにより熱容量を無限大にした銅板と温度を制御できる銅板(各5cmX5cm)の間に試料布をはさみ、2つの銅板の温度差(10K)を一定に保つための熱流量(J/s)を測定する^{3,4)}。この時、布にかかる銅板の圧力は0.59kPaである。熱伝導率 k (J/s/m/K)は次式で与えられる。

$$k = W \cdot D / A \cdot \Delta T$$

ただし、 W は銅板の温度を一定に制御するために必要な熱流量(J/s), D は布の厚み(m), A は熱板の面積(m^2), ΔT は温度差(K)である。各試料は相対湿度(%rh)を飽和塩により17, 31, 42, 53, 69, 76および92%rhに調節された各デシケーター内で48hour以上調湿された後、すばやく測定が行われた。

q_{max} は布に接触した時の温冷感に関係する量として選んだ。これは、一定の熱容量をもつ30℃の銅板の片面に室温(20℃)で上記各湿度に調湿した各試料布を接触させ、その直後の短時間内に銅板から布へ移動する熱流束の最大値(J/s/ m^2)を測定する。銅板の大きさは3cmx3cm, 測定時に布にかかる圧力は $9.8 \times 10^2 N/m^2$ である。熱伝導率の測定と同様に各試料の水分率を変化させて、 q_{max} の測定を行った。

通気性は、試料布を通して一定の空気量を吸引・放出した際の圧力差から通気抵抗を求めた⁹⁾。通気抵抗 $R(Pa \cdot s/m)$ は、次式により与えられる。

$$R = \Delta P / V$$

ただし、 ΔP は試料表裏の圧力差(Pa), V は単位面積当たりの通気量(m/s)である。保温性、熱伝導率および q_{max} の測定はThermo Labo II, 通気性は通気度試験機(KESF-8-API) [カトーテック(株)製]を用いて、温度 $20 \pm 0.5^\circ C$, 湿度 $65 \pm 5\%rh$ の室内で行った。

吸水性は、バイレック法により垂直につるした試験片の下端を蒸留水中につけて、10分後に水の上昇した高さを測定した。

吸湿性は20cmX20cm試料布を上述の相対湿度の異なるデシケーターで48時間調湿し、その重量と絶乾時の重量から算出した水分率で示した。水分率(%)は、次式により与えられる。
 $Water\ Contents = (W - W_{Dry}) / W_{Dry} \times 100$
 ただし、 W は調湿した試料布の重量, W_{Dry} は絶乾時の試料布の重量である。

なお、同一試料について熱伝導率および吸水性の測定繰り返し数は3回、他は5回とし、結果はそれらの平均値で示された。

3 着用テスト

被験者は標準的な体型の健康な女子学生3名〔年齢20歳, 平均身長(標準偏差)163.3(2.5)cm, 平均体重(標準偏差)52.8(2.0)kg〕であった。着衣条件は上記加工により吸湿・吸水性付与加工をした布(S [3])および未加工(C)のポリエステル織物から作製した同型のブラウスで、各被験者は日を変えて同じ時間帯に各ブラウスを着用して実験を行った。なお、ショートパンツと下着は同一のものを着用した。各被験者は25℃, 50%rhの室内で快適と感じる衣服を着用して30分間椅座安静を保持した後、各種測定装置の装着と実験着の着用を行った。さらに、安静状態を保持しながら10分後から20分間かけて環境温度を38℃まで上昇させた(Fig. 1)。その間、温冷感を9段階尺度、蒸れ感を4段階尺度、快適感を7段階尺度で5分ごとに聞き取り調査するとともに、口内温、皮膚温〔背部(Tback), 上腕部(Tarm), 大腿部(Tthigh)]および背部における衣服内温湿度を1分毎に、また背部における局所発汗量を換気法により連続的に測定した。各部位の皮膚温の測定値から平均皮膚温(T_{sk})を次式により算出した。

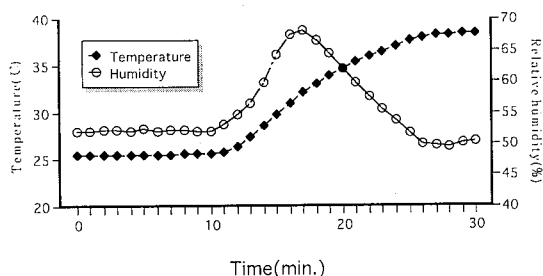


Fig. 1 Changes of ambient temperature and relative humidity.

$$T_{sk} = 0.43 \times T_{Back} + 0.25 \times T_{Arm} + 0.32 \times T_{Thigh}$$

なお、測定結果は3名の平均値と標準偏差で示された。

III 結果

1 試料の熱的性質

Table 2. Thermal insulation, air permeability and water absorption of finished(S[2],S[3])and unfinished(C) fabrics

	Thermal insulation value(%)				Air permeability $\times 10^2(\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m})$	Water absorption (cm)
	Dry contact	Dry space	Wet contact	Wet space		
C	8.2 ± 3.3	46.3 ± 4.6	13.5 ± 2.9	45.1 ± 2.5	50.2 ± 0.9	4.9 ± 0.4
S[2]	9.3 ± 1.2	46.7 ± 1.8	12.1 ± 1.0	48.8 ± 2.2	72.8 ± 3.0^c	7.7 ± 1.3^c
S[3]	12.1 ± 3.5	46.3 ± 1.2	12.2 ± 1.4	48.8 ± 2.3	$80.5 \pm 1.4^{c, S[2]}$	7.2 ± 0.9^c

Values are mean \pm S.D. ^c $P < 0.05$ from C; ^{S[2]} $P < 0.05$ from S[2]

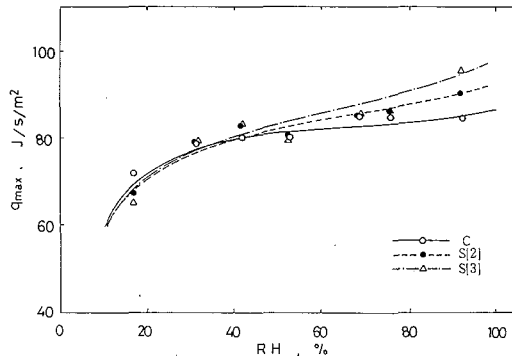


Fig. 2 Relationship between relative humidity and q_{max} .

未加工布 (C), 親水性物質の付着量2% (S [2]) および3% (S [3]) の加工布の各試料で得られた保温性 (%) を Table 2 に示す。Dry Contact法では, S [3] がCおよびS [2] に比べて高い保温性を示す傾向はあったが, ばらつきが大きいため有意な差は認められなかった。Dry Space法およびWet Contact法では3種の試料間に差は認められなかった。Wet Space法では, Cに比べてS [2] およびS [3] が高い傾向を示すものの有意差は認められなかった。

いずれの試料も相対湿度による熱伝導率の変化はほとんどみられなかった。いずれの相対湿度においてもCで $5.68 \times 10^{-2} \sim 5.97 \times 10^{-2}$, S [2] で $5.61 \times 10^{-2} \sim 5.89 \times 10^{-2}$, S [3] で $5.75 \times 10^{-2} \sim 5.98 \times 10^{-2}$ (J/s/m/K) となり, C, S [2] およびS [3] の試料間の差異は認められな

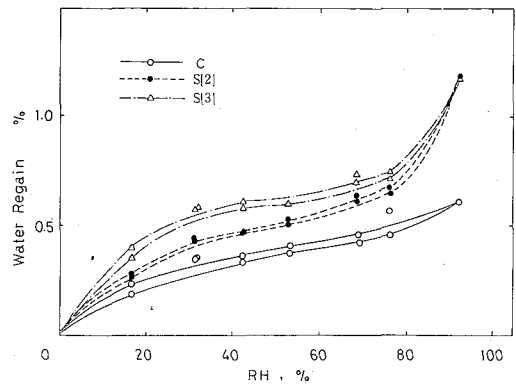


Fig. 3 Relationship between relative humidity and water regain.

かった。

q_{max} の測定結果をFig.2に示す。いずれの試料も相対湿度が高くなるにしたがって q_{max} の値は大きくなる傾向がみられた。92%rhではCよりS [2] さらにS [3] が有意に大きかった ($P < 0.05$)。

通気抵抗は, Table 2に示すように, Cが最も小さく, S[2], S[3]が順次大きくなり ($P < 0.01$), 加工の有無および親水性物質の付着量による有意差が認められた。

吸水性は, Cに比べてS [2] およびS [3] が有意に大きく, 加工の有無による有意差が認められたが, 親水性物質の付着量による差は認められなかった (Table 2)。

吸湿性の測定結果をFig.3に示す。いずれの試料も水分率は相対湿度が高くなるにつれて増

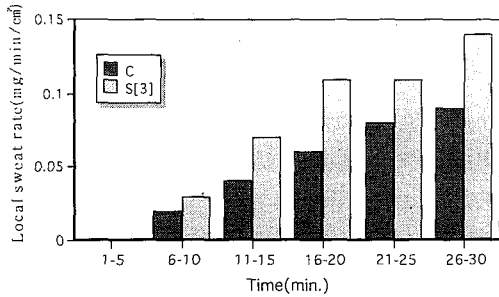


Fig. 4 Local sweat rate on the back for every 5min.

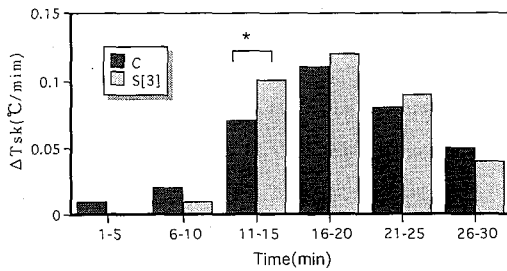


Fig. 5 Degrees of skin temperature rise on the back for every 5min.

加した。湿度の上昇にしたがってCに比べてS [2], S [2] に比べてS [3] の水分率が高くなる傾向を示した。92%rhでCに比べてS [2] およびS [3] の水分率が有意に大きかったが(P < 0.05), S [2] とS [3] に差は認められなかった。

2 着用実験

各被験者の実験中の平均口内温 (S [3] : 36.9 ± 0.1 , C : 36.9 ± 0.2) には衣服条件間に有意な差は認められなかった。背部, 上腕部, 大腿部の皮膚温は環境温度に伴って上昇したが, 平均皮膚温の実験実施中の平均値 (S [3] :

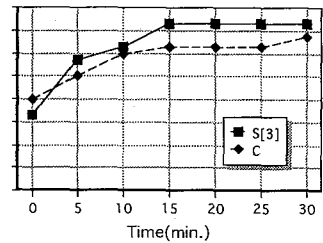
Table 3 Changes of mean skin temperature, skin temperature, temperature and relative humidity of clothing microclimate on the back

	T _{sk}	T _{back}	T _m	RH _m
C	1.8 ± 0.4	1.6 ± 0.4	4.6 ± 0.9	21.0 ± 7.5
S[3]	1.9 ± 0.3	1.8 ± 0.1	5.1 ± 0.8	26.5 ± 10.2

Values are mean \pm S.D. T_{sk}, mean skin temperature; T_{back}, skin temperature on the back; T_m, temperature of microclimate; RH_m, relative humidity of microclimate.

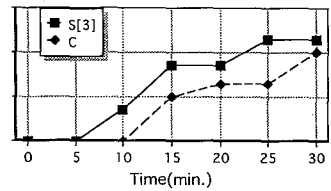
Thermal sensation

very hot
hot
warm
slightly warm
neutral
slightly cool
cool
cold
very cold



Sense of sultriness

very much
much
a little
not at all



Comfort sensation

very comfortable
comfortable
slightly comfortable
neutral
slightly uncomfortable
uncomfortable
very uncomfortable

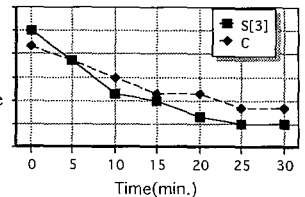


Fig. 6 Changes of thermal sensation, sense of sultriness and comfort sensation.

35.0 \pm 0.1, C : 35.0 \pm 0.4) には衣服条件間に有意な差は認められなかった。Fig. 4 に背部における5分毎の局所発汗量を示す。環境温度上昇中の局所発汗量は1名の被験者でほとんど衣服条件間差がみられなかったが, 2名ではCに比べてS [3] の方が多かった。平均皮膚温および背部皮膚温にみられる環境温度上昇開始から実験終了までの変化の程度にも条件間差は認められなかったが (Table 3), 上昇前半ではS [3] の方が高い傾向だった。Fig. 5 に背部における5分毎の皮膚温上昇度を示す。環境温度上昇初期の11~15分の背部皮膚温にみられる上昇度はCに比べてS [3] が有意に大きかった (P < 0.05)。衣服内温度の上昇 はいずれの被験者もCに比べてS [3] の方が大きい傾向であり, 衣服内湿度の上昇も, 局所発汗量と対応し, S [3] の方が大きい傾向であった (Table 3)。

実験中の温冷感, 蒸れ感, 快適感の変化を

Fig. 6 に示す。いずれの衣服も着用直後は、温冷感は「中性」または「やや涼しい」、蒸れ感は「全く蒸れない」、快適感は「快適」または「やや快適」であり、時間経過とともにそれぞれ「非常に暑い」、「蒸れる」、「不快」へ順次変化していった。25℃環境下では温冷感に一定の差はみられなかったが、環境温度上昇後、いずれの被験者もCに比べてS [3] 着用時により暑い申告を行った。蒸れ感も、環境温度上昇中の10~25分にCに比べてS [3] 着用時に強い蒸れ感をもつ傾向がみられた。快適感にみられる衣服条件間の差は小さいが、環境温度上昇後半にはCに比べてS [3] 着用時に不快である傾向がみられた。また、いずれの感覚段階においても実験開始から終了までの各段階の変化は、Cに比べてS [3] の方が大きい傾向であった。

IV 考察

本研究において、ポリエステル織物の後加工による吸湿性および吸水性の改善がみられたものの、通気性にも影響することが認められた。極めて低湿な環境下を除けば加工により吸湿性は改善され、親水性物質の付着量が吸湿性の改善に反映される可能性が示唆された。さらに、80%rh以上の高湿環境下で加工の効果は大きくなるが親水性物質の付着量の影響はほとんどみられなくなることが明らかにされた。また、吸水性においても、親水性物質の付着量の影響はみられなかったが、加工による改善は明らかにされた。しかし、加工布の通気抵抗の増大から、後加工による通気性の低下が示唆された。これは、通気抵抗の増大が親水性物質の付着量と対応することから親水性物質の付着による気孔率の減少に起因すると推測される。一般に通気性は保温性に影響すると考えられるが、本実験ではその傾向がみられなかった。これは、本実験の保温性の測定が微風下で行われたことにくわえて本実験に用いたポリエステル織物の保温性の絶対値がきわめて小さいことにより、それらの差を明らかにできなかったものと考えられ

る。また、吸湿・吸水性の相違が布の熱移動特性に与える影響は大きい⁶⁾が、本実験における加工による影響は、90%rh以上の q_{max} にみられるにとどまった。これは、加工により吸湿性は増大したが、それによる水分量の増加が極めて少ないためと考えられる。

上記物性を備えた布から作製したブラウスの着用実験では、25℃環境下での着用直後の温冷感には衣服の影響が認められなかった。この時の衣服内湿度は35~40%rhで、物性試験の同様の状況下で素材布の q_{max} に差が認められないことと一致した。環境温度上昇に伴って加工布より作製した衣服の方がより「暑い」、より「蒸れる」を申告した。通気性の劣る加工布は未加工布に比べて環境温度の上昇に伴い、まず、衣服内温度が大きく上昇する。これにより皮膚温の上昇がより促進され、発汗量が増大する傾向だった。さらに、増大された発汗量は衣服内湿度を上昇させ、着用感にも差を生じることがうかがわれた。本実験での最大発汗速度は0.2mg/cm²/min.、衣服内湿度の最大値は約75%rhであったことから、皮膚-衣服-環境間の液相での水分移動はほとんどなかったと推察される。以上のことから、試料の熱的物性実験においてポリエステル織物の後加工による吸湿・吸水性の改善は認められた。しかし、水分移動が主として気相で行われた着用実験では、通気性の低下が体温調節反応や着用感からみた生体負担度を増大する傾向がみられた。そのため、今後、この点の改善に向けた加工方法の検討が必要であると考えられる。

文献

- 1) 諸岡晴美, 丹羽雅子: 家政学雑誌, 30, 328-335 (1979)
- 2) 三井紀子, 酒井豊子, 中島利誠: 日生氣誌, 23(1), 35-42 (1986)
- 3) 川端季雄: 織機誌, 37, T130 (1984)
- 4) 松平光男: 家政学雑誌, 39, 987-994 (1988)
- 5) 川端季雄: 織機誌, 40, T59 (1987)
- 6) 妹尾順子, 米田守宏, 丹羽雅子: 家政学雑誌, 36, 251-260 (1985)