

スポーツウェアとしての羊毛製品の 放湿性について

京都工芸繊維大学 松本 喜代一
(共同研究者) 同 清造 剛
同 堤 直人

On the Drying Characteristics of Wool Fabrics as Sport-wear

by

Kiyoichi Matsumoto,
Tsuyoshi Kiyotsukuri and Naoto Tsutsumi
Faculty of Textile Science, Kyoto Institute of Technology

ABSTRACT

Relationship between drying characteristics and heap or blend ratio of wool/cotton as well as degree of modification of wool was examined at a given temperature of 40°C, near bodies temperature, for plain weave fabrics. The drying rate was measured by using an apparatus designed in our laboratory.

The drying characteristics of wool fabrics significantly differs from that of cotton fabrics, which affects the drying characteristics of wool/cotton combinations. The scale on wool fiber was also affects remarkably on the drying characteristics.

From the results of this studies, a guide will be given for wearing more comfortably the sport-wear made by wool.

要 旨

平織物の羊毛と木綿について、重ね合わせ、混紡率ならびに改質羊毛と乾燥特性との関係を、体

温近傍の 40°C で検討した。乾燥速度は、われわれの研究室で設計した装置を用いて測定した。

羊毛織物の乾燥特性は、木綿のそれと重要な相違があり、羊毛と木綿の組み合わせの乾燥特性に

影響を与える。羊毛繊維のスケールもまた、乾燥特性に著しい影響を与える。

本研究の結果から、羊毛製スポーツウェアをより一層快適に着用するための指針が与えられた。

1. 緒 言

現在、スポーツウェア用新素材開発に関連して「繊維素材の機能性を天然繊維に学ぶ」ことの重要性が再認識されている。羊毛は、表面がはっ水性でありながら抱水性であり¹⁰⁾、湿潤熱⁹⁾を発生し、保温性に優れているなど、他の繊維に見られない特異な挙動を示す。これは、発汗による吸湿が問題となるスポーツウェア用素材として、特に注目される点である。しかし、これらの羊毛の吸湿における長所は、逆に放湿しにくいといわれている原因となろう。

羊毛繊維の形態上の特徴は、表層が鱗片状になっていることと、細かい波形の巻縮をもっていることである。一方、羊毛の水に対する特徴は、吸湿性が比較的大きいことと、特有の湿潤熱を発生することである。羊毛繊維の表層のスケール（クチクル）は、はっ水性であるが、内部の繊維本体であるコルテックスが親水性であるために吸湿性や吸水性が大きくなる。羊毛に収着された水は、ケラチン分子に対して膨潤剤ないし可塑剂的働きをする。従って、羊毛繊維は、全繊維中で吸湿性が最も大きく、標準状態（20°C、65% RH）で13～17%の水分を含み、飽和水蒸気中では33～35%^{1,2)}にも達する。これは、木綿繊維の標準時の7.0～8.5%、飽和水蒸気中での25～28%^{1,2)}と比べてかなり大きい。しかし、われわれが羊毛製の肌着を使用したときには、たとえ水分を含んでも木綿ほどの濡れた感じがしないことを経験している。

一方、羊毛特有の湿潤熱⁹⁾については、水浸しになった原毛倉庫が中に入れられないほど熱気に包まれたという話があるように、湿潤時にかなりの発

熱を伴う。これは、湿潤によって羊毛成分に存在する種々の化学的官能基に水分子が強固に固定されたときに発生する吸着熱が放出されるためであり、羊毛 1kg が 18°C、45% RH の状態から 5°C、95% RH の状態に置かれると、総発熱量は実に 10万 cal におよぶと概算され、これは人体 1 時間のエネルギー代謝熱量に相当するという⁹⁾。羊毛が防寒用被服材料に適しているという理由は、ここにもある。

羊毛は、上述のように、木綿よりも吸湿性が大きく、低湿度でも乾きにくい。通常、人体表面から発散される水蒸気は約 15g/m²・h で、過激な運動をしたときや高温多湿の環境下にいるときには著しく発汗し、約 100g/m²・h に達すると見積られている⁴⁾。発汗が被服中の水分拡散能以上になると、液体状態の水が皮膚表面に付着し、不快感を与える。このとき、被服、ことに肌着はその構成繊維素材の吸水性や布地組織に依存する繊維間の毛細管現象によって水を吸収し、体温や外気環境によって漸次放湿して、人体の保健衛生の立場から好ましい役割を果す。ただし、既報⁵⁾で報告したように、汗成分や皮脂などの蓄積は、放湿・乾燥に際して顕著に障害となる。

本研究の目的は、このような羊毛および羊毛—木綿混紡からなるスポーツウェアの吸湿—放湿性について繊維表面構造と関連づけて検討し、快適性に優れた羊毛製スポーツウェアの利点を明確にすることである。

2. 実験方法

2.1 試 料

本研究では、新生羊毛 100% を中心に、抱水性に直接関係する鱗片表皮層のスケールを部分的に削除した羊毛、および羊毛と木綿との混紡からなる糸密度、目付けの大略同じような布を、いずれも平織物として供試した。供試した布の特性を表 1 に示す。乾燥実験における試験布のみかけの表

表1 Characteristics of samples.

Fiber content		Yarn density (line/cm)		Dry weight (g/m ²)	Fabric structure
Wool (%)	Cotton (%)	Warp	Weft		
100	0	24	24	88	plain weave
77	23	22	22	102	plain weave
67	33	24	20	81	plain weave
17	83	30	30	100	plain weave
0	100	28	28	94	plain weave

面積は、試料寸法 10cm×10cm の表裏を合算して求めた。

2.2 スケールの部分的削除法

羊毛繊維の分解を避け、表層のスケールを部分的に削除するために、試料に対して10%の塩化シアヌリルを少量のアルコールに溶解後、約100倍容の水を加えて処理液として室温で約1時間弱処理した。それを水洗後、残留塩素除去のために2g/lの亜硫酸水素ナトリウム水溶液で処理した。強処理の場合には、処理時間を約2時間行った。スケールの部分的削除の状態は、光学顕微鏡で確認した。

2.3 測定用試料の調製

乾燥特性測定用試料は、十分に水中に浸漬した後、含水率約200%になるように、マンゲルで圧搾して測定に供した。

2.4 乾燥実験条件

一般に、被乾燥物中の水は、一定温度で一定蒸気圧を示す。それゆえ、その乾燥速度は、被乾燥物に接する空気の温度、湿度、圧力、気流の方向と速度などの外部条件、ならびに被乾燥物の大きさ、形状、成分、水の結合状態、含有水分、平衡水分などの内部条件に依存する。

本研究では、種々の布に収着した水の脱着に関する比較検討を単純化するために、無風状態下での熱板の赤外線加熱による熱放射方式によって、体温近傍の40°Cに乾燥条件を限定した。

2.5 測定装置

乾燥実験には、われわれが設計した全自動乾燥特性測定装置⁵⁻⁷⁾を用いた。その要図は既報⁵⁾に示したので、ここでは省略する。温度調節は、試料の温度むらをなくすために設置した曲面加熱板の加熱用赤外線ランプの電圧自動調節によって行った。一方、湿度調節は、20°C、65%RHの恒温恒湿実験室内で行うことによって、試料からの水分蒸発に伴う湿度変化を、大実験室の大容積中で無視できるとした。なお、本実験では乾燥特性値の差をより明瞭にするために、測定装置の空気孔を開放して、若干の自然対流を行った。

2.6 乾燥速度の測定

湿潤した試験布をクリップわくで拵げて、測定装置内に吊り下げ、乾燥中の試料の重量変化をストレンゲージに連結した自動表示盤で観測しながら、その経時変化を測定温度とともに正確に自記記録して、絶乾試料を基準にして含水率と乾燥速度を算出した。試料の絶乾重量は、JIS-L1096にしたがって、105±5°Cで乾燥し、電子天秤を用いて計測した。

2.7 乾燥特性値の意味と算出法

一般に、繊維の水分は、乾燥初期には繊維表面に存在する付着水分が比較的早く、一定速度R_cで恒率乾燥される。そして、乾燥が進行して水分が限界含水率W_c以下になると、繊維内部の収着水分のうちの毛管水である繊維内を乾燥表面に向って流れる索状水¹¹⁾の拡散速度が低下して、乾

乾燥速度は第1段階の一定比率で減少する。さらに乾燥が進行して、毛管水のうちの繊維に強く分子状に吸着されて部分的に残存する懸吊水¹¹⁾がその場で蒸発し、その発生蒸気が繊維内を拡散して乾燥表面に至り、外気中へ散逸する第2段階の乾燥速度は、第1段階よりも遅い一定比率で減少する。この第1段と第2段との減率乾燥期間の転移点における速度を R_t で表わし、そのときの含水率をわれわれは転移含水率 W_t と呼んでいる^{6,7)}。そしてさらに、乾燥が続き、減率乾燥期間を過ぎると、やがて乾燥速度が零に達して平衡含水率 W_e となり、事実上、乾燥は終了する。これ以下の水分は、繊維内部の化学的結合水分のみが微量残存して、除去されにくい。

既報^{6,7)}のように、湿潤した多くの繊維及び繊維製品の減率乾燥速度～時間曲線はすべて上に凸の曲線を描き、これを乾燥速度～含水率の対数のグラフにプロットすると、3本に折れた直線関係となる。この屈曲点から上記した3種の含水率 (W_c , W_t , W_e) を容易に求めることができる^{6,7)}。

3. 結果と考察

3.1 羊毛の放湿性 (乾燥)

水で湿潤した羊毛平織物の乾燥速度～対数含水率の関係を、比較のための木綿織物のそれとともに、図1に示す。 R_c は、布の種類に関係しな

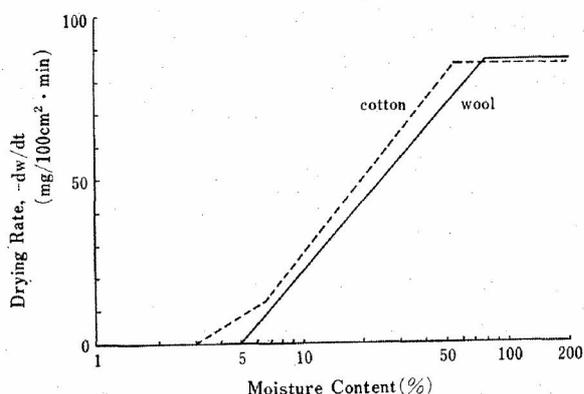


図1 Relation between drying rate and logarithmic moisture content at 40°C for the plain weave fabrics of wool and cotton.

い⁸⁾。しかし、 W_c は、羊毛と木綿との間に明瞭な相違が認められ、羊毛のほうが表面付着水の脱離が早い。これは、両者の間に糸密度および目付けに大きな差異がなく、繊維の密度 (羊毛1.32, 木綿1.54) に差があるとはいえ、真の表面積の相違によるよりも、両繊維表面の水に対する親和性 (羊毛のはっ水性¹⁰⁾と木綿の親水性) の相違を反映していると考えられる。

次に、両繊維の減率乾燥期間中の乾燥速度と含水率の関係は、著しく異なる。すなわち、木綿については、第1段と第2段の2種の減率乾燥期間が現われるのに対して、羊毛については、1種の減率乾燥期間のみで、 W_t が見られない。また、 W_e の値は羊毛の約5%に対して木綿は約3%と若干異なる。この値は、標準状態 (20°C, 65% RH) での水分率の差と相関している。

3.2 羊毛布地の重ね合わせ

羊毛布地の2枚あるいは3枚を細い木綿縫糸で縫い重ね合わせた場合の乾燥速度と対数含水率の関係グラフを図2に示し、この乾燥特性値を布地枚数に対してプロットして図3に示す。

羊毛布地の重ね合わせ枚数の増加に伴い、 R_c は若干低下する。恒率乾燥期間において、所定の温度・湿度・表面積のもとでは水の蒸発速度は一定であり、 R_c は次式で表わされる⁹⁾。

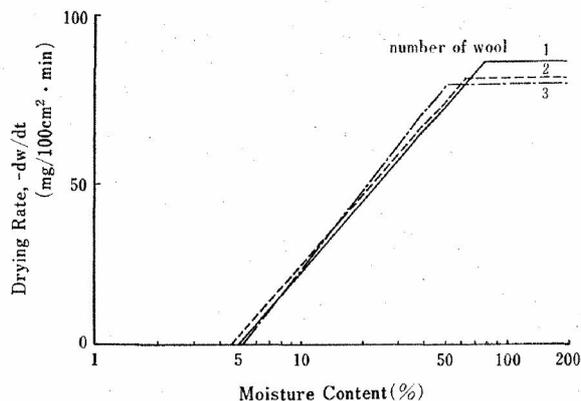


図2 Relation between drying rate and logarithmic moisture content at 40°C for the heaped plain weave fabrics of wool.

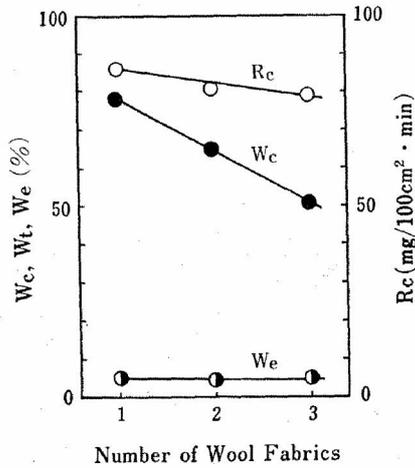


図3 Change in three drying characteristics, i.e., the critical (W_c), transitional (W_t) and equilibrium (W_e) moisture contents for the heaped plain weave fabrics of wool.

$$R_c = -dW/dt = k \cdot A(H_s - H)/M$$

ここで、 W は試料の含水率 [g/g(dry goods)], t は乾燥時間 [min], k は蒸発係数 [g/cm²·min], H_s , H はそれぞれ試料表面の温度 θ [°C] における空気の飽和湿度と空気本体の湿度 [g/g (dry air)], M は絶乾試料の質量 [g], および A は試料の乾燥表面積 [cm²]. 従って、重ね合わせにより R_c が低下するのは、試料厚さの増加, すなわち, M の増加による.

次に、重ね合わせによって W_c もまた直線的に低下している. これは、試料の厚化によって試料内の繊維表面の水分が乾燥布表面へ拡散するのにより長時間を要し、そのために布の表面と内部とで乾燥状態の差が顕著になり、表面の布の乾燥がより進行して W_c が小さくなると考えられる. また、図4に示したように、重ね合わせ枚数ごとの乾燥中の試料の重量損失挙動においても著しい相違がみられる. これは、われわれが日常に経験している厚地布ほど乾燥しにくいことにほかならない.

W_e は、前述したように、構成繊維と水分との化学結合によるゆえに、布地の重ね合わせ枚数、すなわち布地の厚さには無関係である.

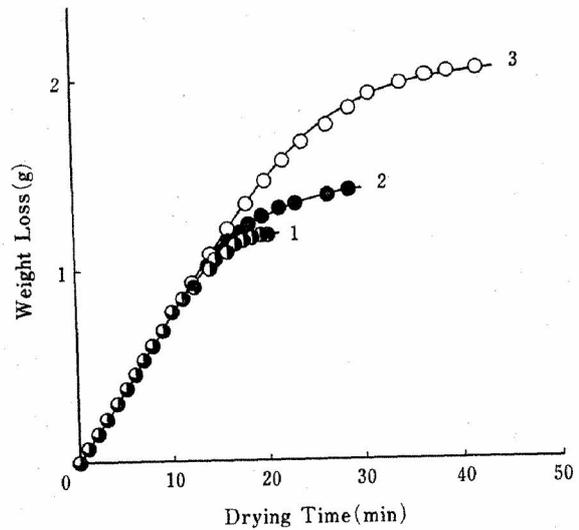


図4 Relation between time and weight loss of samples during at 40°C. The samples used are single and 2 or 3 heaped wool fabrics.

3.3 羊毛と木綿布地の重ね合わせ

羊毛布地の重ね合わせと同様に、細い木綿縫糸で、羊毛と木綿布地のいずれかを外側にして合計3枚を縫い重ね合わせた場合の乾燥速度～対数含水率のグラフを図5に示す.

この場合には、外側の繊維の種類による差異が認められ、外側が木綿のほうが羊毛の場合よりも R_c が大きく、また W_c が低くなっており、表面がより乾きやすいことを示す.

次に、外側が羊毛の場合には、図1に示した羊毛100%のときと同様に、 W_t が認められず、外

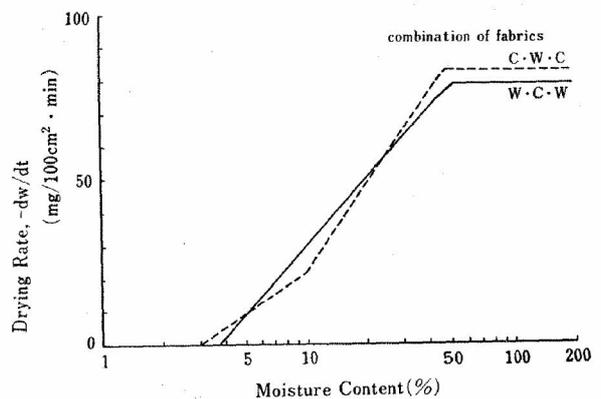


図5 Relation between drying rate and logarithmic moisture content at 40°C for the heaped plain weave fabrics of wool and cotton.

側が木綿の場合には木綿 100% のときよりも若干増大する。この場合には、重ね合わせの中央部にある羊毛の抱水性の影響が現われていると考えられる。

W_e については、羊毛と木綿の中間の値をとり、枚数の多いほうの繊維の W_e に近くなることから、両繊維の構成比に依存していると考えられる。

3. 4 羊毛と木綿の混紡布地

羊毛と木綿の混紡平織物 3 種の乾燥速度～対数含水率の関係を図 6 に示し、それらの乾燥特性値

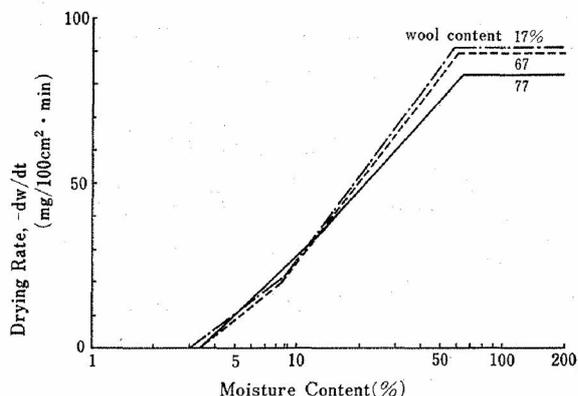


図 6 Relation between drying rate and logarithmic moisture content at 40°C for the blended plain weave fabrics of wool and cotton.

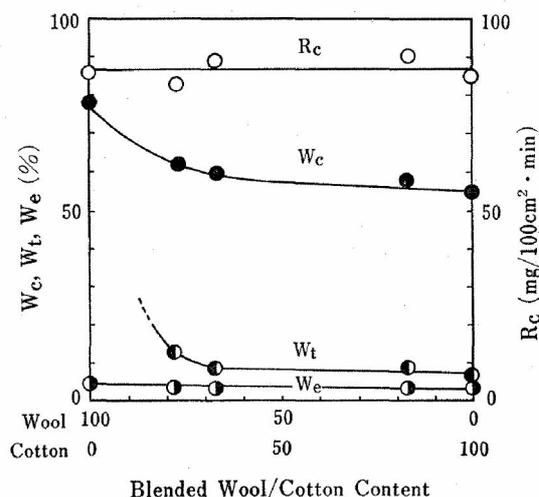


図 7 Change in three drying characteristics, i.e., the critical (W_c), transitional (W_t) and equilibrium (W_e) moisture contents for the blended plain weave fabrics of wool and cotton.

を、羊毛 100% および木綿 100% の平織物のそれらとともに図 7 に示す。

供試した混紡と単一の布地の R_c は、それらの糸密度と目付けが大略同じで、表面付着水の蒸発速度が大略等しくなるゆえ、若干のバラツキがあるけれどもほぼ等しく約 $87.1 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2 \cdot \text{min}$ である。しかし、 W_c は羊毛の混紡率が減少するに伴い、かなり低下して、親水性の大きい木綿の値に近づく。しかし、直線的な変化をしていない点が注目される。この変化の傾向は、混紡率に対する W_t についてのほうが著しい。羊毛 100% で認められなかった W_t は、羊毛 77% 混紡のときに現われ、羊毛 67% 以下のときにはほぼ木綿 100% の値に近づく。この W_c と W_t が混紡率に対して直線的に変化せず、木綿の特性が強く表われることから、羊毛のはっ水性に対してよりも木綿の親水性のほうが放湿挙動には著しく強く影響することが判明した。

なお、 W_e は、羊毛と木綿の混紡率に対して直線的に変化しており、単純に両者の化学結合の差異に基づいて決まることを示唆している。

3. 5 表層スケールを削除処理した羊毛布地

羊毛繊維の表面構造に対する表面付着水と内部収着水の脱着性の関連性を、主として羊毛表層のスケールを部分的に削除して検討した。未処理、弱処理および強処理した 3 種の羊毛布地の乾燥速

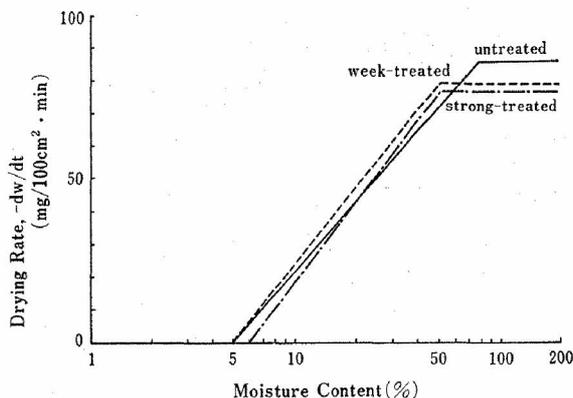


図 8 Relation between drying rate and logarithmic moisture content at 40°C for the scale treated wool fabrics.

度～対数含水率のグラフを図8に示す。

スケールの削除処理によって、 R_c と W_c は顕著に減少している。スケールの部分的削除によって、はっ水性の表面は減少し、親水性の内部のコルテックスが露出して、その結果、処理羊毛は表面水分量がより多くなり、かつ、水分は親水基によってより拘束されている。これらのことが R_c と W_c の減少の原因と考えられよう。

なお、 W_c は、強処理によってわずかに増大しているが、これははっ水性のスケールの減少に起因していよう。従って、スケールが削除されるほど長期にわたって羊毛布地を使用することは、力学的性質の低下のみならず、乾燥挙動の方面からも望ましくないことが示唆される。

4. 結 語

表面がはっ水性であるのに抱水性であり、湿潤熱を発生し、保温性に優れているなどの特異な挙動を示す羊毛、および羊毛—木綿混紡からなるスポーツウェアの吸湿—放湿性について、体温近傍の40°Cでの乾燥特性の解析によって繊維表面構造とも関連づけて検討した。

この乾燥特性の解析結果から、羊毛布地では他の繊維で観察される W_t が認められなかったことは特記すべきことである。次に、羊毛布地と木綿布地の重ね合わせと混紡布地とで乾燥特性に相違

がみられた。この挙動は、羊毛の湿潤熱などの特異な性質と相関性があると考えられ、今後さらに検討したい。さらに、スケール削除処理の結果から、新しい羊毛を用いる重要性が示唆された。

以上の本研究によって、羊毛製スポーツウェアをより一層快適に着用するための指針が与えられた。

文 献

- 1) 繊維学会編；「繊維便覧」加工編，p. 1025 (昭44, 丸善)
- 2) 前田弘邦ら；「繊維」p. 91 (昭59, 東京電機大学出版局)
- 3) 近土隆；繊維機械学会誌，38：P. 32 (1985)
- 4) 内海直志，宇野虹児；「現代被服整理学」p. 2 (1980, 化学同人)
- 5) 清造剛，松本喜代一；デサントスポーツ科学，6：204 (1985)
- 6) 内海暢生，清造剛，松本喜代一；京都工芸繊維大学アパレル科学研究成果概要，2：1 (1982)
- 7) 松本喜代一，清造剛，内海暢生，内海直志；繊維機械学会誌 (投稿中)
- 8) L. Fourt, A.M. Sookne, D. Frishman, M. Harris; *Text. Res. J.*, 21：26 (1951)
- 9) J.H. Perry; "Chemical Engineer's Hand Book", 4th ed., 15：1 (1963)
- 10) 宮本武明，坂部寛；染色工業，32：523 (1984)
- 11) 化学工学協会編；「化学工学便覧」改訂3版，p. 643 (昭43, 丸善)