

衣素材摩擦が皮膚表面形状に及ぼす影響

—湿潤と試料組成による検討—

Study of Changes in Skin Surface Contours by Friction and Moisture, Using Two Knit Fabrics with Different Composition

松井 有子* 佐藤 真理子**

Yuko Matsui, Mariko Sato

要旨

衣素材摩擦が皮膚表面の微細な形状に及ぼす影響について明らかにすべく、摩擦負荷装置を用い、綿とポリエステル製の2種の編物で、湿潤時と非湿潤時の皮膚を摩擦し、レプリカ解析を行った。被験者は健康肌の若年女性11名、測定部位は前腕内側、湿潤状態の設定には高湿環境ボックスを用いた。摩擦前後の皮膚レプリカを採取し、走査型共焦点レーザー顕微鏡を用いて、表面粗さパラメータを算出した。皮溝・皮丘間距離の最大値を表す粗さパラメータSRzにより検討した結果、綿では、湿潤と非湿潤どちらの条件においても、摩擦後にSRzは増加し、湿潤時の増加が大であった。ポリエステルでは、湿潤と非湿潤の差は小さく、どちらもSRzの若干の減少傾向が示された。綿はポリエステルに比し、平均摩擦係数の変動MMDと剛軟度の値が大で、ざらざらして剛軟度の大きい素材ほど、摩擦後、皮膚表面の凹凸が大きくなる傾向が明らかとなった。吸水性の高い綿では、湿潤時SRzが非湿潤時より増加し、湿潤時の綿摩擦により皮膚の凹凸が大きくなる様子が示されたが、物性変化との明らかな関係性は見出されなかった。

●キーワード：皮膚摩擦 (skin friction) / 皮膚レプリカ (skin replica) / 粗さパラメータ (roughness parameters)

I. 緒言

衣服による皮膚障害の原因は、化学的刺激と物理的刺激に分類され、後者の一つである衣服の摩擦は、日常の様々な状況で起こり得る。衣服の摩擦による不快について、定期的な運動を行っている若年男子100名、若年女子102名を対象とした調査結果では、約4割に不快の申告がみられた^{1,2)}。その際、皮膚の湿潤を伴う夏季の発汗時に不快を訴える率が高かった²⁾。

湿潤時における衣服の摩擦に関しては、皮膚側の要因として、角層水分量が増加すると滑りにくくなる^{3,4)}ことが、布地側の要因として、湿潤により摩擦係数の増加することが⁵⁾報告されている。また、皮膚と布を湿潤させ摩擦することにより、皮膚水分蒸散量が増加するとの報告もある⁶⁾。

著者らは、スポーツウェアの摩擦が皮膚表面形状に及ぼす影響について、発汗の生じない条件で、皮膚表面粗さパラメータによる検討を行ってきた⁷⁾。

本研究では、湿潤時と非湿潤時の皮膚を、摩擦負荷装置により2種の衣素材で摩擦し、レプリカ法を用いて、皮膚表面形状の微細な変化を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者と測定部位

被験者は健康肌の若年女性11名（年齢 21.8 ± 0.9 歳、身長 158.6 ± 6.0 cm、体重 49.1 ± 5.7 kg）である。健康肌の判定には勝村の肌分類を用いた⁸⁾。着用条件は半袖Tシャツと長ズボン（約0.6clo）であった。測定部位は前腕内側とし、被験者に剃刀とボディローションを事前に配布、実験前日、実験実施の24時間以上前に、当該部位の剃毛を行わせた。

2. 湿潤方法の検討

湿潤状態の設定として、従来の研究では、足浴で被験者の発汗を促す方法⁹⁾、試料布を湿潤させる方法¹⁰⁾、あるいは微小なチャンバーを上腕に設置し、吸水ポリマーによりチャンバー内の湿度をコントロールする方法⁶⁾、等が行われてきた。本研究では、被験者の負担を軽減し、また摩擦に必要な皮膚面積を考慮して、湿潤方法の検討を行った。測定部位を蒸留水に直接浸漬させる方法(A)と、水蒸気を発生させた高湿環境下で湿潤させる方法(B)の2条件を比較した。Bで用いた高湿環境ボックスの構造を図1に示す。高湿環境ボックスは、

22cm × 35cm × 50cm のプラスチック製で、内部に、水蒸気発生装置と湿度計測装置を設置した。

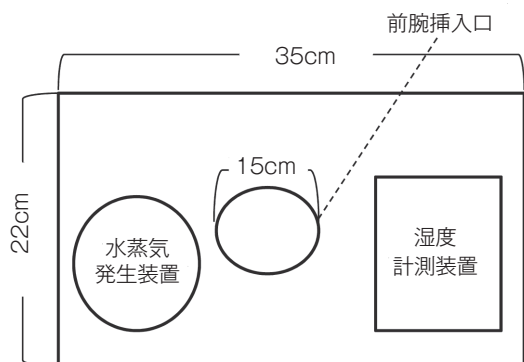


図1 高湿環境ボックス

測定部位を前腕内側とし、A、B 各々の湿潤条件に15分間暴露させた後、その直後と5分後の皮膚水分量を皮膚性状計測器 Corneometer CM825 (Courage+Khazaka 社製) にて測定し、皮膚の湿潤状態を確認した。その結果、A では湿潤直後に比し5分後の値が約50%減少したのに対し、B では5分後も値が変わらず、皮膚摩擦とその後の皮膚表面形状計測に必要な時間、湿潤状態を保つことが可能であった。そこで、本実験では、B の高湿環境ボックスによる湿潤法を用いることとした。

3. 摩擦負荷方法

摩擦負荷には、図2に示す摩擦負荷装置を用いた。本装置は、摩擦負荷を行う本体部、一定圧で摩擦を行うための受圧センサと圧測定装置 (エイエムアイ・テクノ社製)、圧力をモニターするデータロガーから構成される⁹⁾。本体部には、受圧センサと試料布の間にスポンジを入れ、取り付けられた試料布が身体の凸凹に沿うような摩擦を可能にした。

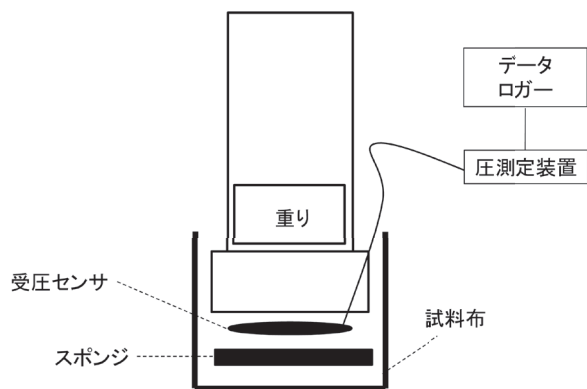


図2 摩擦負荷装置

4. 試料布と摩擦条件

試料布には、綿とポリエステル⁹⁾の2種、どちらも編物を用いた。表1に諸元を示す。摩擦圧力は、日常動作の衣服圧を目安に15hPaとし⁹⁾、摩擦速度60bpm、摩擦回数10回で、前腕内側への摩擦を行った。

表1 試料布の諸元

	綿	ポリエステル
糸密度 (in) ウェール	46	67
糸密度 (in) コース	38	55
重量 (g/cm ²)	4.07	5.65
厚さ (mm)	0.49	0.58
平面重 (g/m ²)	181	251
見かけの比重	0.37	0.44
含気率 (%)	76.54	68.39

5. 皮膚表面形状の評価

皮膚表面形状における衣素材摩擦の影響について検討するにあたり、皮膚レプリカ法を採用した。先行研究に倣い、シリコン系樹脂レプリカキット REPLIFLOTM (CuDERM 社製) を使用し、測定部位の皮膚レプリカを採取した¹¹⁾。採取したレプリカの微細な変化を走査型共焦点レーザー顕微鏡 OLS-3100 (オリンパス株式会社製) により解析した。皮膚レプリカの輝度画像から、ノイズ除去、曲面の傾き補正を行い、得られた三次元画像において表面粗さパラメータを算出した。JIS B0601:2001 (ISO4287:1997)¹²⁾ に基づき、図3に示す5つの線粗さパラメータを算出した後、レプリカ観察時の左右方向を0度とし、0、45、90、135度の4方向の線

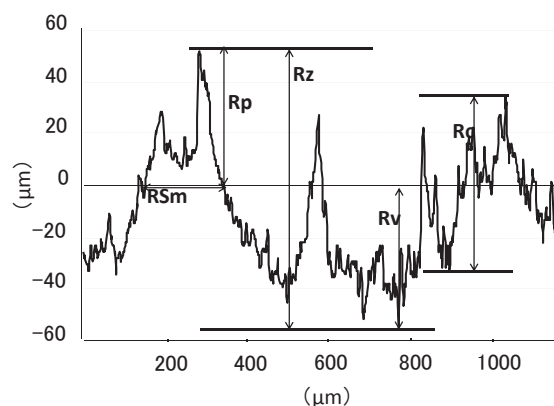


図3 線粗さプロファイル

試料表面凹凸の高さ方向の評価パラメータである最大山高さ: Rp, 最大谷深さ: Rv, 最大山谷距離: Rz, 平均山谷距離: Rc, および、横方向の評価パラメータである平均凹凸間距離: RSm

粗さパラメータを平均し、面粗さパラメータを算出した。本報では、面粗さパラメータの一つであるSRz（最大山谷距離）による評価を行った。

6. 試料布の物性

布地の力学特性として、KES-SE 摩擦感テスター（カトーテック社製）による摩擦係数、カンチレバー法による剛軟度の測定、水分特性として、吸水性をバイレック法により測定した。

7. 実験手順

被験者は、温度 25℃・湿度 33% RH 環境下で安静後、座位で、摩擦前の皮膚レプリカ採取を行った。その後、25℃・87% RH の高湿環境ボックスに前腕を 15 分間暴露させ、皮膚を湿潤させた後、直径 8cm の試料布を設置した摩擦負荷装置で摩擦を行った（図 4）。摩擦後、再び皮膚レプリカ採取と皮膚水分量の測定を行った。皮膚を湿潤させない場合は、高湿環境ボックスに前腕を入れずに同じ工程を実施した。



図 4 実験風景

8. 統計的手法

湿潤時と非湿潤時の皮膚水分量について、両側 t 検定による比較を行った。摩擦前後の皮膚粗さパラメータ変化率における、摩擦条件（湿潤の有無及び試料組成）の及ぼす影響については、二元配置分散分析による検討を行った。なお、危険率 5% 未満で有意差ありとした。

9. 倫理的配慮

実験実施にあたっては、被験者に研究の趣旨、研究協力への任意性等を十分説明し、同意を得て実施した。なお、本研究は本学研究倫理委員会の承認を得て行った。

III. 結果及び考察

表 2 に、湿潤時と非湿潤時の皮膚水分量測定結果を示す。t 検定の結果、危険率 5% で湿潤時の値が有意に大であり、皮膚が十分に湿潤した状態で摩擦を行ったと確認された。

表 2 前腕内側の皮膚水分量

		(A.U.)
湿潤	53.65±13.60	□ *
非湿潤	44.31±12.05	

前腕内側における摩擦前の皮膚粗さパラメータ SRz は、 $183.41 \pm 28.72 \mu\text{m}$ （被験者 11 名の平均値）で、ばらつきの大きい結果であった。被験者各々の皮膚表面形状の個人差に左右されることなく、摩擦における、湿潤の有無及び試料組成の影響を明らかにするため、摩擦前の SRz に対する摩擦後の変化率を算出した。図 5 に SRz 変化率を示す。綿では、湿潤時・非湿潤時のどちらにおいても、摩擦により SRz が増加し、特に湿潤時の変化率は大きかった。ポリエステルでは、湿潤時・非湿潤時の差は小さく、どちらの条件においても若干の値の減少傾向が示された。二元配置分散分析により、試料組成において有意差が得られ、綿はポリエステルに比し、摩擦後の SRz 変化率が危険率 5% で有意に大であった。SRz は皮膚粗さパラメータにおける最大山谷距離、即ち、皮溝・皮丘間距離の最大値を表している。綿での摩擦時、摩擦後の皮膚の凹凸が、有意に大きくなると示された。

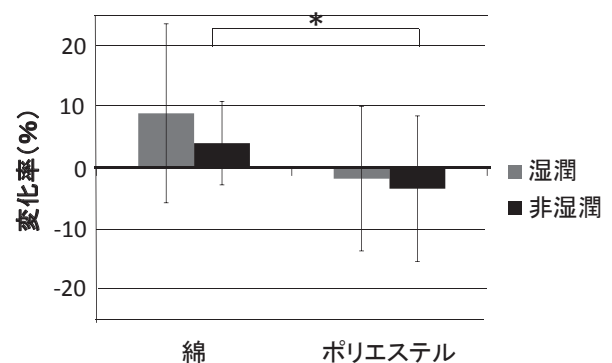


図 5 摩擦前後の皮膚粗さパラメータ SRz 変化率

試料布の力学特性を図 6, 7 に示す。平均摩擦係数の変動 MMD では、綿がポリエステルに比べ、よこのみ

値大 (図 6), 剛軟度では綿の値が顕かに大であった (図 7). 即ち, 本研究で使用した試料布では, 綿がポリエステルに比し, ざらざらして剛軟度が大きい素材であった. 著者らはこれまで, 摩擦圧力は一定でないものの, 腕振り運動による上腕内側への衣素材摩擦において, ざらざらして剛軟度が大きい布地ほど, 摩擦後の皮膚ダメージが大きく, 皮膚表面の凸凹が大となることを報告した⁷⁾. 圧力を一定にして摩擦を行った本研究結果は, これを裏付けるもので, 平均摩擦係数の変動 MMD と剛軟度の大きな素材による摩擦が, 皮膚表面の凸凹を大きくする傾向が明らかとなった.

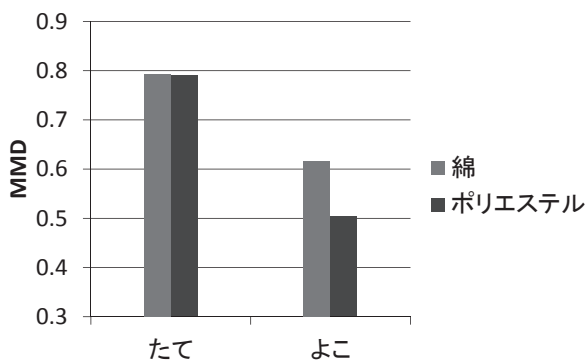


図 6 平均摩擦係数の変動 (MMD)

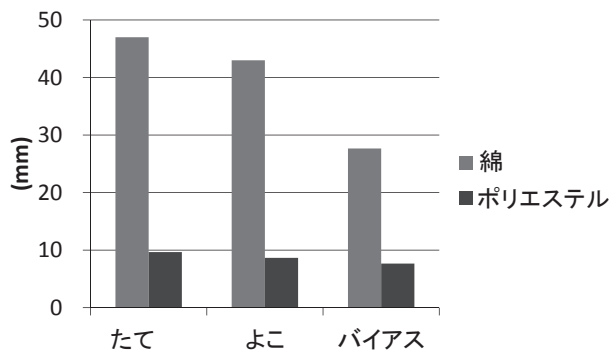


図 7 剛軟度

試料布の吸水性測定結果を図 8 に示す. 本研究で使用した綿は十分に吸水し, ポリエステルはほとんど吸水しなかった. 吸水前後の綿布の力学特性の変化を図 9, 10 に示す. 平均摩擦係数の変動 MMD は増加傾向 (図 9), 剛軟度は減少傾向を示した (図 10). 上述の, 綿摩擦後の SRz 変化率が, 湿潤時により大きかった結果について, 湿潤に伴い綿繊維が膨潤, 強度が増大したため, 摩擦後の皮膚の凹凸が大きくなったと考えたが, 本研究の物性測定項目では, SRz 変化率との明らかな関係性は見出されなかった.

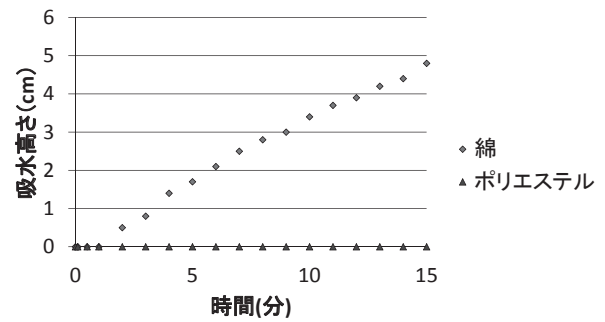


図 8 吸水性測定結果

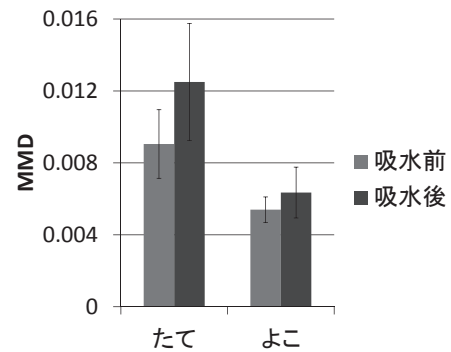


図 9 吸水前後の綿布の平均摩擦係数の変動 (MMD) 比較

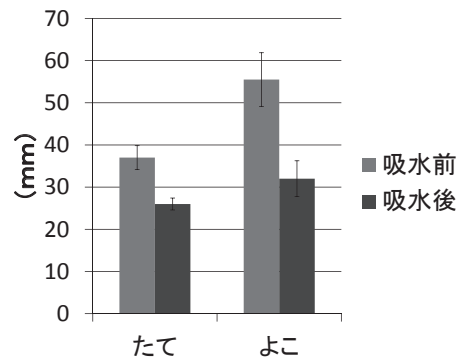


図 10 吸水前後の綿布の剛軟度比較

IV. 結言

衣素材摩擦による皮膚表面の微細な変化を明らかにするため, 摩擦負荷装置で前腕内側を摩擦し, レプリカ法を用いて皮膚表面形状解析を行った. 摩擦条件は, 綿とポリエステルの 2 種の編物, 及び湿潤時と非湿潤時の皮膚とした. 摩擦前後の皮膚レプリカを採取し, 皮溝・皮丘間距離の最大値を表す粗さパラメータ SRz により検討した結果, 綿では摩擦後, SRz が増加, ポリエステルでは若干減少した. 物性試験において, 綿はポリエステルに比し, 平均摩擦係数の変動 MMD と剛軟度の値が大きかった. ざらざらして剛軟度大の素材ほど, 摩擦後, 皮膚表面の凹凸が大きくなる傾向が示された. 湿潤と非湿潤の比較では, 吸水性の高い綿で, 湿潤時 SRz がより増加し, 吸水しないポリエステルで両者に差はなかつ

た。綿摩擦の際、湿潤時に皮膚の凹凸がより大きくなったが、湿潤に伴う物性変化との明らかな関係性は見出せず、摩擦条件の再考、物性測定項目を増やす等、検討を要する。衣素材摩擦による皮膚表面形状変化の機構解明へ向け、今後、布地に付着したタンパク質定量等の展開をはかる。

謝辞

摩擦負荷装置の開発に際し、ご指導を賜りました本学名誉教授田村照子先生に深謝致します。実験にご協力いただきました本学卒業生笠間理子さんに感謝致します。

文献

- 1) 佐藤真理子, 田村照子. スポーツウェアのトライボロジー. トライボロジスト, 58(1)10-16, 2013.
- 2) 徐賢敏, 佐藤真理子, 田村照子, 松井有子, 井川正治. スポーツウェアによる皮膚摩擦の実態と摩擦条件が皮膚表面微細三次元構造に及ぼす影響. 繊維製品消費科学, 58(10)53-61, 2017.
- 3) Satoshi KONDO. The Friction Properties between Fabrics and the Human Skin. Part1: Factors of Human Skin Characteristics Affecting the Frictional Properties between Fabrics and the Human Skin. 繊維製品消費科学, 43(4)36-47, 2002.
- 4) Satoshi KONDO. The Friction Properties between Fabrics and the Human Skin. Part2: Influences of Stratum Corneum Water Content, Hardness of skin, Friction Pressure, and Friction Speed on Frictional Properties. 繊維製品消費科学, 43(5)41-57, 2002.
- 5) 城島栄一郎, 村井みさと, 山本牧子. 布地の摩擦に及ぼす水分の影響. 実践女子大学 生活科学部紀要 42, 11-17, 2005.
- 6) 出口潤子, 五十嵐亮介, 加々良靖之, 金谷薫, 河合淳, 神田和三, 北尾朱美, 柴田英夫, 滝澤清, 西川哲二, 福田稔, 宮崎仁, 宮澤清. 繊維の乾燥・湿潤状態における特性と皮膚刺激性—皮膚表面の相対湿度が皮膚刺激性に与える影響—. 繊維製品消費科学, 49(10)65-72, 2008.
- 7) 佐藤真理子, 須田理恵, 飯塚貴江, 松井有子, 田村照子. スポーツウェアによる摩擦が皮膚表面形状に及ぼす影響. 繊維学会予稿集, 66(1)292, 2011
- 8) 勝村芳雄. 低刺激性・低アレルギー化粧品の研究開発の現状と課題. FRAGRANCE JOURNAL, 22(8)25-34, 1994.
- 9) 松井有子. 衣服による摩擦が皮膚表面微細三次元構造に及ぼす影響—走査型共焦点レーザー顕微鏡を用いて—, 文化女子大学大学院修士論文, 2009
- 10) 松井有子, 平川野莉, 佐藤真理子. 湿潤布の摩擦が皮膚表面形状におよぼす影響. 繊維学会予稿集, 72(1), 1P143, 2017.
- 11) 朴暲熙, 田村照子. 共焦点レーザー顕微鏡による皮膚表面形状の分析—発汗による湿潤の影響—. 繊維製品消費科学, 51(4)86-93, 2010.
- 12) JIS B0601: 2001 (ISO 4287 : 1997), Surface texture: Profile method (Surface Metrology Guide).