

スポーツウエアにおけるトライボロジー

Tribology in Sportswear

東北大 (正) *西 駿明 (正) 山口 健

Toshiaki Nishi, Takeshi Yamaguchi

Tohoku University

1. 緒言

多くのスポーツシーンでは発汗によりウエアが肌に張り付き、着用者に不快感を与えることが懸念される。そのため、濡れても付着力が増加しないテキスタイルの開発が望まれるが、現状濡れたテキスタイルのタック性制御技術は確立されていない。本講演では、テキスタイルのタック性に及ぼす表面形状と濡れ性の影響の解明に基づく、濡れたテキスタイルのタック性設計指針に関する研究を紹介する¹⁾。

2. 実験方法

2.1 テキスタイル試験片

Table 1¹⁾に本研究で用いたテキスタイル試験片の画像と表面高さ分布 (キーエンス社製ワンショット 3D 形状測定機 VR-5200 により測定) を示す。縦および横方向がそれぞれ縦糸 (Warp) と横糸 (Weft) の方向を示す。すべてのテキスタイル試験片は、強度、速乾性、形状保持性に優れることからスポーツウエアに広く用いられるポリエステルで構成されており、各テキスタイル試験片はそれぞれ異なる編み構造を有する。また、テキスタイル試験片 D と E は撥水性が高い特徴を有する。本研究では、Table 1 記載の表面高さ分布に基づき、テキスタイル試験片が相手材 (皮膚もしくは人工皮膚) と接触することが見込まれるテキスタイル試験片表面凸部の面積比に着目した。一例としてテキスタイル試験片 B の表面高さ分布から算出した負荷曲線を Fig. 1 に示す。本研究では、負荷曲線の上位 30% に相当する面積比を負荷面積率 $\Phi_{0.3}$ と定義した。また、水濡れ時のタック性には水の分布が寄与することが想定されるため、接触界面での水の分布を光学的に定量化した。Figure 2¹⁾に実験装置の模式図を示す。測定前に水中にて 10 秒間静置した各テキスタイル試験片をガラス板上のシリコンゴムシート (1 mm × 60 mm × 60 mm, アズワン株式会社製 GSSC4000-1T) に自重のみで接触させた。青色 LED 光源 (CCS 株式会社製 LFFV3-70BL-RA(A)) から青色光を接触界面に入射し、ハーフミラーを介して反射光をピクセルサイズ $49 \mu\text{m} \times 49 \mu\text{m}$, フレームレート 100 fps の CCD カメラ (ジェテクト株式会社製 HAS-L1) にて観察した。屈折率の差異により、シリコンゴムと水の接触部では低輝度となるため、Lazy Snapping アルゴリズム²⁾での 2 値化処理により、水の投影面積 A_w を算出した。

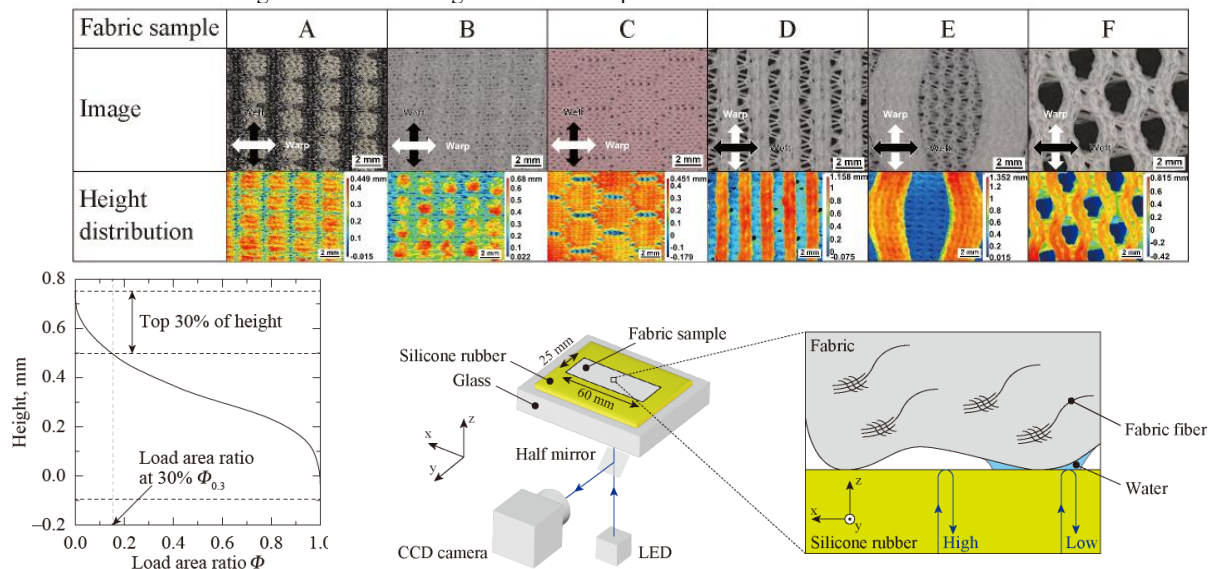
Table 1 Surface and height distribution images of fabric samples A–F¹⁾

Fig. 1 Load area ratio at 30% $\Phi_{0.3}$ definition¹⁾ Fig. 2 Schematic view of experimental system for measuring area of water film A_w ¹⁾

2.2 タック性評価

Figure 3¹⁾にタック性評価の装置概略図を示す。人工皮膚 (60 mm × 60 mm, 株式会社トリニティラボ製スキンテクスチャーモデル) に、各テキスタイル試験片 (60 mm (縦糸方向) × 25 mm (横糸方向)) を接触させ、垂直方向に 20.0 mm/s にて 40.0 mm はく離した際の付着力 F_{AS} を測定した。テキスタイル試験片 A–C では、乾燥状態、部分濡れ状態 (水 300 μL 滴下)、完全濡れ状態 (水中 10 秒間浸漬) の 3 水準にて F_{AS} を測定し、テキスタイル試験片 D–F では、完全濡れ状態でのみ F を測定した。サンプリング数は 5 回とした。

3. 結果および考察

Figure 4¹⁾に各テキスタイル試験片での F_{AS} 測定結果を示す。テキスタイル試験片 A–C では、含水量の増加に伴い

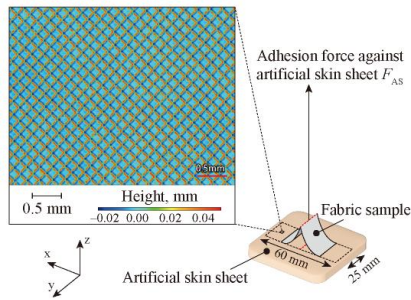


Fig. 3 Schematic view of adhesion separation test against artificial skin sheet¹⁾

F_{AS} は増加したことがわかる。また、完全濡れ状態でのテキスタイル試験片 E および F は、乾燥時のテキスタイル試験片 A–C よりも低い F_{AS} を示した。

Figure 5¹⁾に完全濡れ時における F_{AS} と A_w の関係を示す。テキスタイル試験片 A–E においては、 F_{AS} と A_w は正の相関を示した。一般に 2 面間が水滴にて架橋されるとメニスカスが形成されることで負圧が発生する。この負圧の絶対値はメニスカスの断面積とメニスカスの高さ h の逆数に比例する³⁾。Table 1 からわかるようにテキスタイル試験片 F の場合、1–2 mm の貫通穴を有するため、 h が他のテキスタイル試験片よりも大きかったことで F_{AS} が小さかったと考えられる。つまり、より広範囲の接触界面がより薄い水膜で満たされると、 F_{AS} が増加すると考えられる。

Figure 6¹⁾に A_w に及ぼす接触角 θ と $\Phi_{0.3}$ の影響を示す。撥水性である $\theta > 90^\circ$ の場合には A_w が小さかったことより、疎水性であることで水膜形成が阻害されたと考えられる。また、 θ と $\Phi_{0.3}$ がほぼ同一であるテキスタイル試験片 A–C では、 A_w と $\Phi_{0.3}$ が正の相関を示したことより、水膜が形成された場合、凸部の面積比が大きいかほど水が薄膜化し、接触界面が水で満たされたことが示唆される。

以上の実験結果より、Fig. 7¹⁾に示すように濡れたテキスタイルのタック性は θ , h , $\Phi_{0.3}$ により決定されることが示唆される。

4. 結言

テキスタイルは含水量の増加に伴い付着力が増加し、その増加量はテキスタイルの濡れ性、表面高さ分布に依存することが明らかとなった。具体的には、テキスタイルが疎水性の場合、接触界面に形成される水膜厚さが大きい場合ならびに水膜の投影面積が小さい場合において、付着力が小さいことがわかった。

参考文献

- 1) T. Nishi, A. Matsumura, M. Koshida, T. Matsumoto, T. Yamaguchi, Influences of Wettability and Geometry on Adhesion Force between Sportswear Fabric and Human/artificial Skin, Tribology Online, 18, 6 (2023) 353–364.
- 2) Li Y, Sun J, Tang CK, Shum HY, Lazy snapping, ACM Transactions on Graphics; 23, 3 (2004) 303.
- 3) P. G. De Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Qu'ér'e, Special interfaces. Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves, New York: Springer (2004) 215.

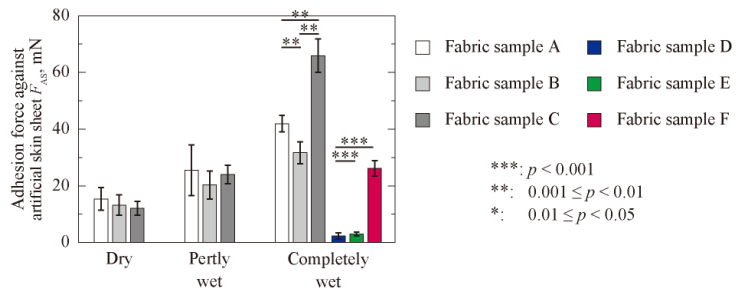


Fig. 4 Comparison of adhesion force against artificial skin sheet F for fabric samples A–F¹⁾

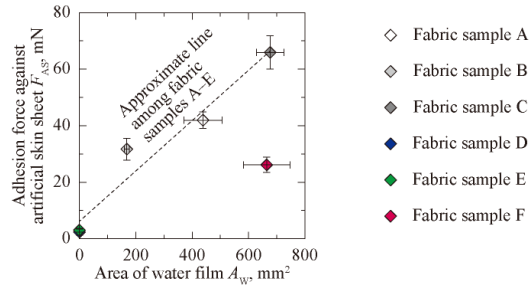


Fig. 5 Relationship between adhesion force against artificial skin sheet F and area of water film A_w for a completely wet condition¹⁾

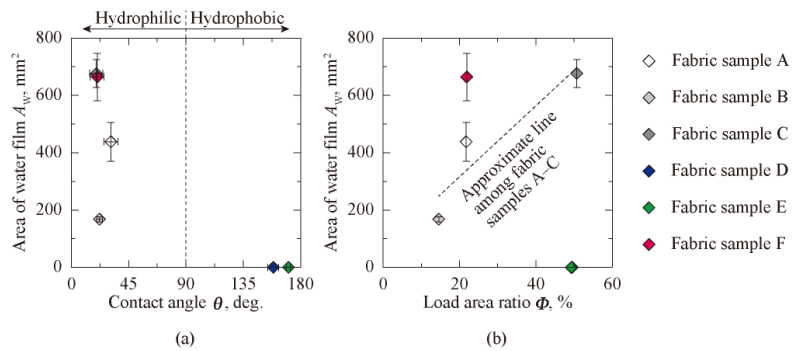


Fig. 6 Area of water A_w versus (a) contact angle θ and (b) load area ratio $\Phi_{0.3}$ ¹⁾

Class	I	II	III
Fabric sample	D & E	F	A, B & C
Contact angle θ	High (Hydrophobic)	Low (Hydrophilic)	
Meniscus height h	High		Low
Load area ratio at 30% $\Phi_{0.3}$	Low		High
Schematic view of contact condition between fabric and skin			
Stickiness	Very low	Low	High

Fig. 7 Classification chart of fabric samples with respect to contact angle θ , meniscus height h , load area ratio at 30% $\Phi_{0.3}$, schematic cross-sectional view of contact condition, and stickiness for completely wet condition¹⁾