

国産シルクとスーパー繊維を交織した新規清涼衣料の開発

Development of cooling clothing made from a combination of domestically produced silk and super fiber (Ultra high molecular weight polyethylene)

材料技術部 繊維・高分子科 東瀬慎 中村和由 中島孝明 小林慶祐 伊藤哲司 長澤浩

絹-PEの交織織物の緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係等を明らかにし、疑似的な砧打ちの再現と定量化を進めた。また福島ゆかりの蚕品種である「青熟×支122号交雑種F1」¹⁾をブランド化するため、トレーサビリティの確立とサプライチェーン構築計画の策定に取り組んだ。

Key words: 目寄せ・スリップ、青熟×支122号交雑種F1

1. 緒言

衣料分野では、近年、社会問題化している熱中症対策に有効な、吸湿性と放熱性（接触冷感性）を備えた新しい清涼衣料が求められている。本研究では、吸湿性に優れた絹素材と、高い放熱性を持つスーパー繊維を組み合わせ、砧打ちという古来の技術を応用した加工技術により、新しい清涼衣料の開発を進めている。令和5年度は製織上の課題である図1に示す目寄せ・スリップの機構を解明し、意匠性と機能性の発現条件の関係等を検討した。その上で開発した絹-PEの交織織物の製品試作と福島ゆかりの蚕品種による絹織物の新用途を創出するためのサプライチェーン構築計画の策定に取り組んだ。

目標A: 疑似的な砧打ちの再現と定量化の検討

- ①緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係
- ②緯糸密度と経糸開口間隔（緯糸露出割合）の関係
- ③緯糸密度と接触冷感Q-max値の関係
- ④緯糸露出割合（経糸開口間隔）と接触冷感の関係

目標B: 絹-PEの交織織物の製品試作

目標C: 青熟×支122号の交雑種F1のサプライチェーンの構築

2. 試験方法

本研究では、砧打ちにより意図的に絹糸をPE糸方向へ滑らせ、図1に示す局所的に経糸を高密度化した箇所が、不可逆的にこれ以上の目寄せ・スリップ²⁾が発生しないことに着目している。また図2に示す織物を指で扱ったときに発生する静摩擦力と動摩擦力による糸の滑り（スティック・スリップ挙動）を、絹-PE交織織物の目寄せ・スリップ防止（以下SS加工と呼ぶ）の課題解決に活用する。砧打ちは、作業者の経験値や熟練度に左右され、安定して織物加工を行うことが困難であり、また過剰な物理的外力により製品にダメージが発生し、製品価値の低下につながる恐れがある。そ

事業名「受託研究事業」

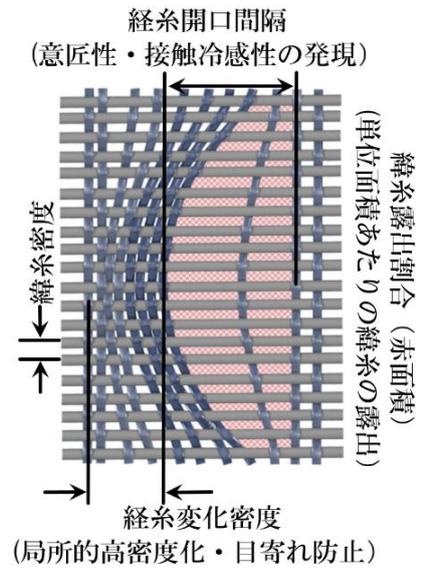


図1 局所的経糸の高密度化

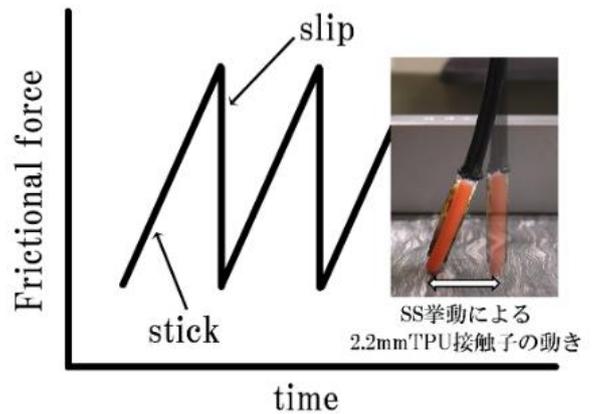


図2 スティック・スリップ挙動 (SS加工)

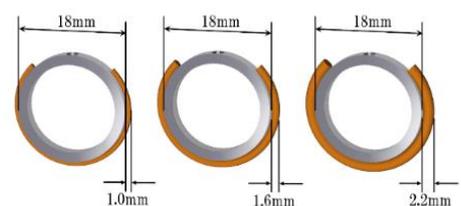


図3 TPU摩擦子の提案 (左から1mm、1.6mm、2.2mm)

ここで、新たに図3に示す TPU（熱可塑性ポリウレタン）コードを金属に固定した、リング状の摩擦子を提案し、絹-PE 交織織物を無作為に叩く方法から、緯糸に沿って意図的に SS 加工を行うことで、砧打ち加工の再現と定量化を検討した。

2. 1. 原料

織物経糸：生糸 21 中

織物緯糸：超高分子量ポリエチレン 50D、100D

2. 2. 織物設計

絹-PE 交織織物の設計条件は表 1 のとおり

2. 3. 試験条件(緯糸引抜荷重)

JIS L1096 滑脱抵抗力 B 法糸引抜き法をベースに、絹-PE 交織織物の 40[mm]×190[mm]の試験布を緯方向に 5 枚採取し、長さ方向に端から 20[mm]の位置、及びその点から 150[mm]の位置に緯糸 2 本を残し、他方はそれ以外すべてを切断した試験片を作製した。次に標準状態(20[°C]、RH65[%])の環境下で引張試験機((株)島津製作所製 AGX-20kN)に、つかみ間隔を 100[mm]として試験片を取り付け、引張速度 25[mm/min]で引き抜いた際の緯糸引抜荷重[N]を 5 回測定し、その平均値を求めた。

2. 4. 試験条件(緯糸露出割合)

砧打ちの再現と定量化を検討するため、JIS L0849 摩擦堅ろう度試験をベースに、絹-PE 交織織物の試験布(PE 織度 50 [D]、緯糸密度 19、22、25、28、30、31[n/cm]、220×30[mm])を緯方向に各 1 枚採取した。

次に学振形摩擦試験機 II 形((株)東洋精機製)の摩擦子を図 3 に示す直径 2.2mm の TPU (熱可塑性ポリウレタン) コードを直径 18mm の金属製リングに固定した摩擦子に変更し、試験荷重を 1176[mN]に調整した上で、標準状態(20[°C]、RH65[%])の環境下で湿潤させた試験布上を摩擦子が 100 回(30 往復/min)往復運動した際の経糸開口間隔の面積を測定し、下記の方法から緯糸露出割合を算出した。計算方法は予め染色された試験布に対し、画像処理ソフト(Adobe 製 Photoshop)を用いてレベル補正、二階調化、諧調の反転を行い、処理画像の黒色(緯糸)の占めるピクセル数の割合を下式より緯糸露出割合として算出した。

緯糸露出割合[%] = 黒色ピクセル[数] / 全ピクセル[数] × 100

2. 5. 試験条件(接触冷感 Q-max 値)

標準状態(20[°C]、RH65[%])の環境下で、絹-PE 交織

表 1 絹-PE 交織織物の設計条件

	各種試験布				
	経糸総本数	3778	本	整形長	20
織上幅	68	cm		71.4	cm
経糸密度	56	n/cm	緯糸密度	19~31	n/cm
箆密度	100	羽/鯨	総羽数	1889	羽/鯨
箆通幅	71.4	cm	引込耳	4	本
一羽引込	2	本	片耳糸数	48	本
経糸本数	3682	本			
経糸織縮率	10	%	緯糸縮率	5	%
綜統枚数	4	枚			
経糸	生糸		緯糸	PE加工糸	
	21	D		50or100	D

織物の試験布(150×150[mm])の試験片を 5 枚採取し、JIS L1927 接触冷感性試験に準拠した接触冷感試験機((株)Profid 製 THERMOFEEL)内の室温に調温された下熱板の上に試験布を静置し、室温より 20 [°C]高い温度(ΔT=20[°C])に設定されたセンサー部を試験布に圧力 1.02[kPa]で接触させた際の熱流束の極大値[W/cm²]を 5 回計測しその平均値を算出した。

3. 結果と考察

3. 1. 疑似的な砧打ちの再現と定量化の検討

3. 1. 1. 緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係

JIS L1096 滑脱抵抗力 B 法の糸引抜き法をベースに、緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係を図 4 に示す。緯糸密度が密になるほど、交差点の拘束力が増し、経糸の滑りが制限される。また SS 加工後の経糸柄のサイズ(経糸開口間隔)は小さくなるものの、織物表面には均一な経糸柄が発現し易くなる。逆に緯糸密度が粗になるほど、交差点の拘束力が減少し経糸が滑り易くなり、経糸柄のサイズ(経糸開口間隔)は大きく、不均一な経糸柄が織物全体に発生し易くなると推察される。

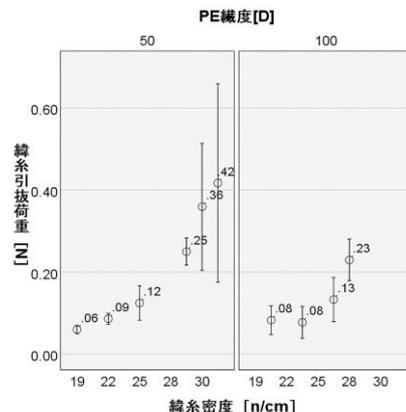


図 4 緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係

3. 1. 2. 緯糸密度と経糸開口間隔 (緯糸露出割合) の関係

JIS L0849 摩擦堅ろう度試験をベースに、TPU 摩擦子を所定の条件で往復運動させた際の絹-PE 交織織物の緯糸露出割合を算出し、疑似的な砧打ちの再現が可能か検討した。図5に示す緯糸密度の粗密に対して、緯糸露出割合は約 3~35[%]の変動を示した。TPU 摩擦子を、経糸方向に摩擦(図5 下線)するよりも、緯糸方向に摩擦(図5 上線)した方が、より大きな緯糸露出割合を示す傾向が示された。ただし、TPU 摩擦子を緯糸方向に摩擦した場合には、経糸に対する摩擦抵抗が過剰となり、地糸切れや毛羽立ちが発生し易く、絹-PE 交織織物に深刻なダメージを与える恐れがある。

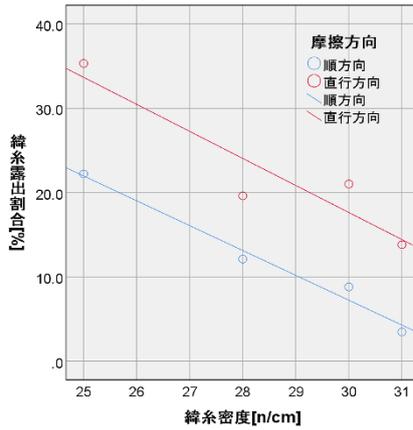


図5 TPU 摩擦子による緯糸密度と緯糸露出割合の関係

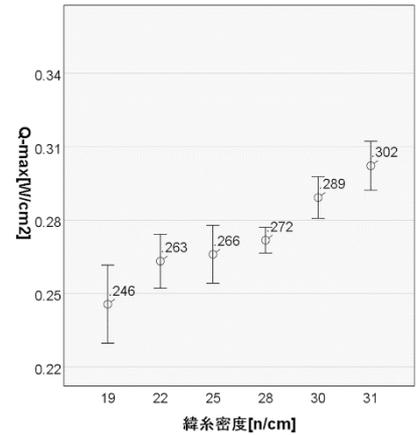


図6 緯糸密度と接触冷感 Q-max 値の関係 (PE 織度 50D)

3. 1. 3. 緯糸密度と接触冷感 Q-max 値の関係

接触冷感 Q-max 値の高い織物は、特に夏場の衣料として体温の排熱性(熱伝導性)に優れ、また空冷による体表面の冷却効果や水分の蒸発に有効であることが知られている。

JIS L1927 に準拠した接触冷感試験機を使い接触冷感 Q-max 値を測定した。SS 加工後の絹-PE 交織織物の緯糸密度と接触冷感 Q-max 値の関係を図6に示す。緯糸密度の増加に伴い接触冷感 Q-max 値は増加傾向にある。これは絹-PE 交織織物の測定機に接触している単位面積当たりの緯糸重量(PE)が増えることで熱容量と伝導量が増加し、緯糸密度の粗密により約2割の Q-max 値の変動を示したと考える。

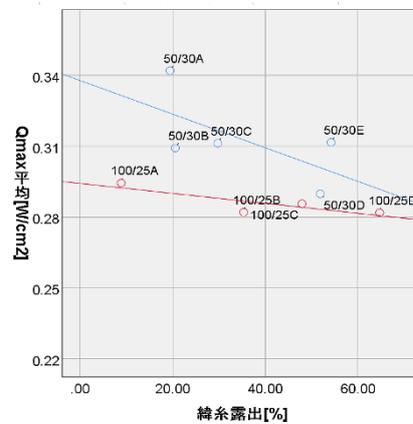


図7 緯糸露出割合と接触冷感性の関係

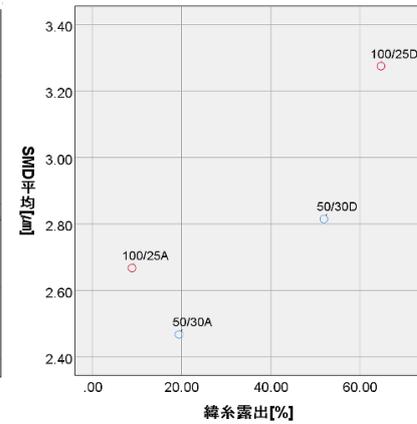


図8 緯糸露出割合と表面粗さ (SMD 平均) の関係

表2 PE 織度と緯糸露出割合

緯糸露出割合 [%]			
PE織度50 [D]		PE織度100 [D]	
A	19.4	A	8.9
B	20.6	B	35.3
C	29.8	C	47.9
D	51.9	D	64.7
E	54.2		

3. 1. 4. 緯糸露出割合 (経糸開口間隔) と接触冷感の関係

緯糸露出割合と接触冷感の関係を図7に示す。緯糸露出割合と Q-max 値には弱い負の相関がある。絹-PE 交織織物の経糸は緯糸を中心にクリンプしており、織物表面では経糸が緯糸を被覆した状態にあるため、緯糸露出割合が増加することで Q-max 値の増加が期待されたが、結果は SS 加工前の試験布 (50/30A、100/25A) が最も高い値を示した。

(表記例: PE 織度[D]/緯糸密度[n/cm]+英字記号(緯糸露出割合を示す文字)の意味は表2のとおり)

次に緯糸露出割合 [%] と表面粗さ (SMD 平均) の関係を図8に示す。緯糸露出割合の増加に伴い、表面粗さ (SMD 平均) も増加することでセンサー表面との接触面積が減少し、Q-max 平均が低下を示すと考えられる。

このことは、図9の表面粗さ (SMD 平均) と Q-max 平均の結果からも裏付けされ、SS 加工により経糸が局部的に高密度化し緯糸露出割合が増加する一方で、織物

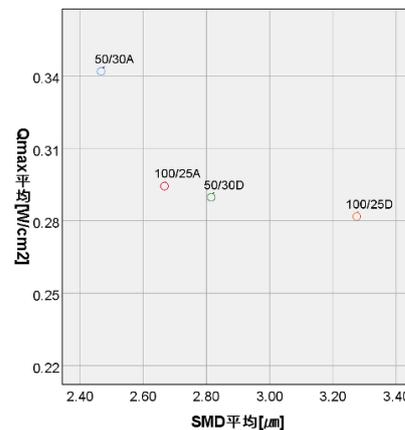


図9 表面粗さ (SMD 平均) と Q-max 平均の関係



図 1 1 清涼衣料の製品試作
(ワンピース、100/25D)

図 1 0 砧打ちによる清涼衣料の試作
(冷感スカーフ、左上：50/30D、左下：100/25D)

表面の粗さの増加し、センサー表面との接触面積を減少させ Q_{max} 平均が低下していると推察される。今後は、現在の織物表裏に経糸と緯糸が均等に配置する平組織に対して、意匠性に関わる表面に経糸が多く配列し、また接触冷感に関わる裏面に緯糸が顕在化できるよう織物組織(緯 1/2 綾組織へ)の検討が必要である。

3. 2. 絹-PE の交織織物の製品試作

本研究で開発した絹-PE 交織織物(50/30D、100/25D)を使い、図 1 0 に示す冷感スカーフと図 1 1 に示すワンピースの製品試作を行った。

3. 3. 青熟×支 122 号の交雑種 F1 のサプライチェーンの構築

R06 年度に向けた下記の研究実施体制を整備し、図 12 に示す国産シルク(青熟×支 122 号の F1 蚕品種)による清涼衣料(絹-PE の交織織物)のトレーサビリティ確立と、R07 年度以降の生産へ向けたサプライチェーンと製造プロセスの構築計画を策定した。

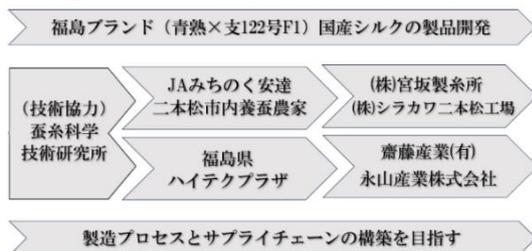


図 1 2 製品化へ向けたトレーサビリティの確立とサプライチェーンの構築計画

3. 4. 今後の課題

令和 5 年度の研究成果(TPU 摩擦子による SS 加工の妥当性)において、自動化に不可欠な新たな検証項目(摩擦速度、巻取速度、湿潤環境等)を追加し、従来の手作業(砧打ち)を精度良く定量化できるパラメータの算出と製造プロセスの効率化を目指すことが、重要な課題である。

また、令和 5 年度に策定した国産シルク(青熟×支 122 号の F1 蚕品種)のサプライチェーンを普及拡大するためには、生産と製造に関わる体制を整備する必要があり、さらに、絹-PE 交織織物の設計、製造、販売に必要な、シルク特有の布の風合いと静的・動的ドレープ性の知見を再構築し、天然素材としての優れた機能性と審美性を客観的に評価することが求められている。

4. 結言

- ① 絹-PE の交織織物の緯糸密度と緯糸引抜荷重の関係等を明らかにし、疑似的な砧打ちの再現と定量化を進めた。
- ② 福島ゆかりの蚕品種である「青熟×支 122 号交雑種 F1」をブランド化するため、トレーサビリティの確立とサプライチェーン構築計画の策定に取り組んだ。

参考文献

- 1) 井上 真理(2021). 接触冷温感の客観的評価としての最大熱流束値(q_{max})の標準化, 77. 456-459.
- 2) 西松 豊典(1995). 繊維製品評価における感性情報の定量化について, 51. 641-645
- 3) 清水, 関口, 林(1988). 絹織物の接触感と接触状態, 57. 519-527
- 4) 今井, 米田, 丹羽(1987). 接触冷温感の評価のための官能試験, 28. 414-422
- 5) 菅沼, 久野(1988). 摩擦堅牢度試験に及ぼす荷重の影響 繊維学会誌, 44, 212-215.
- 6) 通商産業検査所金沢支所(1987). 織物の目寄せ試験方法の制定について 繊維製品消費科学誌, 28, 454-459.
- 7) 菅沼(2010). 摩擦堅牢度に及ぼす添付白布の摩擦係数の影響 繊維学会誌, 66, 194-198.
- 8) 古川, 山崎(1981). 薄地織物の目寄せ, 縫目スリップの評価 繊維機械学会誌, 34, 90-94.
- 9) 潮田, 中島(1995). むれ感覚に及ぼす天然繊維布の影響, 36. 44-52

用語解説

- 1) 青熟×支 122 号交雑種 F1
福島由来の国産シルクの原種(青熟)と同じく福島由来の中国種(支 122 号)を一代交雑種させたオリジナル蚕品種
- 2) 目寄せ・スリップ
織物の経糸緯糸(交差点)で発生する組織の変形や崩れ現象