

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
石井瑞樹 大竹翔太 遠藤悠都

新規清涼衣料に用いる絹-PE 開発繊維の開発において、疑似的な砧打ちの再現に必要な加工条件の選定、開発繊維の光学特性、ドレープ性、機能性の評価、サプライチェーンの構築に取り組んだ。

Key words: 目寄れ・スリップ^{注1)}、青熟×支 122 号交雑種 F1^{注2)}

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、吸湿性に優れる絹素材と、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 6 年度は、手作業で行っている砧加工を自動化（機械化）するための加工条件の選定、開発した繊維の審美性を定量化するためのドレープ性および光学特性評価、夏用衣料素材としての機能性評価、ふくしまゆかりの蚕品種（青熟×支 122 号 F1）に関わるサプライチェーンの構築に取り組んだ。

特にドレープ性について、従来の JIS に準拠した静的ドレープ試験だけでなく、側面から繊維のドレープ形状に着目した評価方法を新たに検討した。

2. 研究目的と目標値

本研究における目的と目標は表 1 のとおりである。

表 1 研究目的と目標値

	目的	目標
①	疑似的な砧打ちの再現と自動化	・ダウンサイズの試験治具を作成し、砧打ちを再現できる加工条件を検証。
②	絹-PE 開発繊維のドレープ性と光学特性評価	・審美性に影響する絹-PE 繊維のドレープ性、光学特性を明らかにする。 ・夏用衣料素材に必要な機能性（接触冷感性 $Q_{\max}$ 、吸水速乾性）の検証。
③	ふくしまゆかりの蚕品種（青熟×支 122 号 F1）によるサプライチェーンの確立	ふくしまゆかりの蚕品種のサプライチェーンを確立し、新しい福島ブランド絹製品として普及拡大を目指す。

3. 実験

3. 1. 開発繊維および比較繊維の概要

絹-PE 交織繊維（開発繊維）のドレープ性や機能性を評価するため、表 2 に示す開発繊維と比較繊維の物性および機能性評価を行った。

表 2 開発繊維と比較繊維の仕様

	素材	目付 (g/m^2)	織密度 (本/cm)		織度 (D)		組織
			タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	
開発 繊維	絹-PE100	45.4	56	30	21 (絹)	100 (PE)	平
	絹-PE50	28.4	59.3	29.3	21 (絹)	50 (PE)	
比較 繊維	絹	59.2	55.9	40.4	36	63	
	PE	156	21	17.3	209	210	
	PET	63.2	39.7	32.4	79	78	
	レーヨン	79.0	37.6	22.8	113	111	

3. 2. 実験機器

本研究で使用した評価機器は、表 3 のとおりである。

表 3 使用機器一覧

機器	型式	使用目的
変角色差計	DDC-3000 (日本電色工業 (株))	光学特性評価
純曲げ試験機	KES-FB2 (カトーテック (株))	繊維の曲げ特性評価
接触冷感試験機	PF-QMM-01 ((株)Profid)	接触冷感値 ($Q_{\max}$) 評価
繊維速乾性測定器	ProDry (James Heal)	繊維の吸水速乾性評価

3. 3. 実験方法

3. 3. 1. SS 加工試験の概要

3. 3. 1. 1. SS 加工用摩擦治具の試作

絹-PE 繊維を使用しランダムな柄模様を表現するためには、スティック・スリップ挙動^{注3)}を応用し、摩擦子で経糸の絹を滑らせ、加工する必要がある。



図 1 試作した摩擦治具

ある。昨年度の研究成果¹⁾により、TPU（熱可塑性ポリウレタン）コードを金属に固定した、リング状の摩擦子により SS 加工を再現できることが分かった。

今年度さらに連続的に SS 加工を行うため、図 1 の摩擦治具を試作し、検証を進めた。

3. 3. 1. 2. 砧打ち (SS 加工) 試験方法

現在手作業で行っている砧加工 (SS 加工) を再現できるか検証するため、図 2 の加工試験を行った。加工条件については、①摩擦荷重、②摩擦距離、③摩擦回数に着目し、行った。

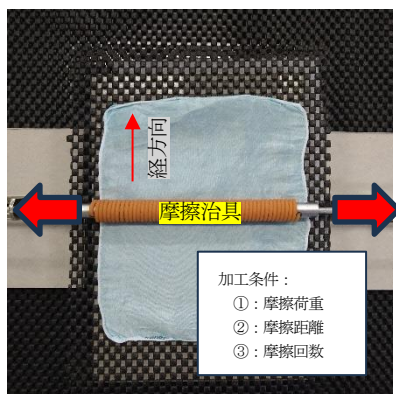


図 2 SS 加工試験概要

評価について

は、加工試験後の織物表面 (50[mm]×10[mm]) の PE 露出面積を求めるため、画像処理ソフト (Adobe 製 Photoshop) を使用した。露出面積を色調補正、色域指定により計算し、下記の式で織物中を占める PE 露出割合を求めた。

PE 露出割合 (%) =

PE 露出面積(pixel)/画像全体(pixel)

3. 3. 2. ドレープ性試験方法

3. 3. 2. 1 静的ドレープ性試験方法

図 3 の JIS L 1096 8.21.7 G (ドレープ係数法) に準拠し、ドレープ係数とノード数を測定した。ドレープ係数は、下記の式により計算される。今回投影面積は、画像処理ソフト (imageJ) により計算した。織物を 4 回測定し、その平均値を求めた。一般にドレープ係数が低い、ノード数は多いほどドレープ性は良好とされている。

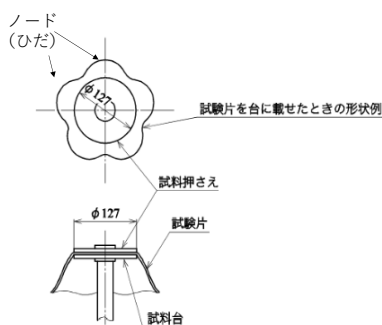


図 3 静的ドレープ性試験の概要²⁾

ドレープ係数 = $(Ad - S1) / (S2 - S1)$

Ad: 織物が垂下したときの上方から投影面積

S1: 試験片面積、S2: 織物面積

3. 3. 2. 2 側面ドレープ性試験方法

従来の織物上部から観察するドレープ性試験だけでは、交織織物のドレープ性を評価するには不十分だと

考え、側面からのドレープ形状に着目した検証を行った (図 4)。

検証方法としては、試料台表面の水平面を基準として、水平保持経長、水平保持緯長、水平面に対するノード角度を測定した。経方向、緯方向それぞれ 3 回の平均値を求めた。



図 4 側面ドレープ性試験方法

3. 3. 2. 3. 曲げ剛性試験方法

ドレープ性試験結果と織物の曲げ剛性との関係を検証するため、純曲げ試験機を使用し、織物の経方向および緯方向の曲げ剛性を測定した。測定条件は、標準測定を 2 回測定し、その平均値を求めた。

3. 3. 3. 光学特性試験方法

3. 3. 3. 1. 変角色差計試験方法

変角色差計を使用し、表 2 に示す織物に対し、測定条件として、受光部: $\phi 10$ [mm]、受光角: -70° ~ 70° 、あおり角: -70° ~ 70° 、測定波長: 400 [nm] ~ 700 [nm] で反射量測定を行った (図 5)。

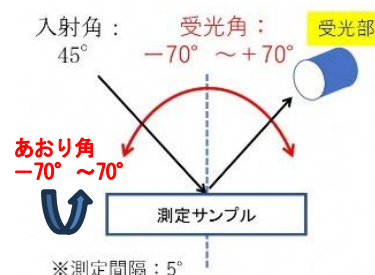


図 5 変角色差計の概要

入射光に対して、反射光を広範囲で測定できるため、人が光沢として認識している光学特性に近い条件で評価できる。

3. 3. 4. 機能性試験方法

3. 3. 4. 1. 接触冷感性 (Q-max) 試験方法

接触冷感試験機を使用 (図 6) し、 $\Delta T = 20$ [$^\circ\text{C}$] (BT = 40 [$^\circ\text{C}$]、T = 20 [$^\circ\text{C}$]) で測定を行った。5 回測定し、その平均値を求めた。

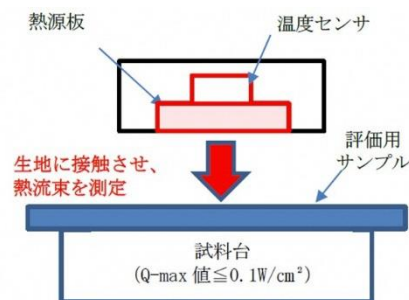


図 6 Q-max の測定概要

3. 3. 4. 2. 吸水速乾性試験方法

AATCC 試験法 201 (図 7) に準拠し、37[°C]のホットプレート上、風速 1.5[m/s]の条件で水 0.2[mL]を織物に吸水させて乾燥するまでの織物表面の温度変化を測定し、下記の式を用いて、乾燥速度を算出する。2 回測定、その平均値を求めた。

$$\text{乾燥速度}[\text{mL/h}] = \text{水量}[\text{mL}] / \text{乾燥時間}[\text{h}]$$

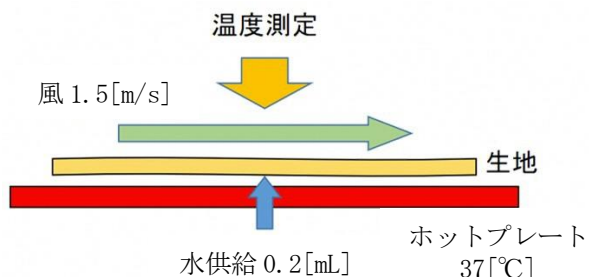


図 7 吸水速乾性の測定方法

4. 結果と考察

4. 1. 疑似的な砑打ちの再現と自動化

4. 1. 1. 摩擦治具による SS 加工試験結果

加工条件（摩擦荷重、摩擦距離、摩擦回数）を変えて、緯糸 (PE) の露出割合を比較した。その結果を、図 8 と図 9 に示す。

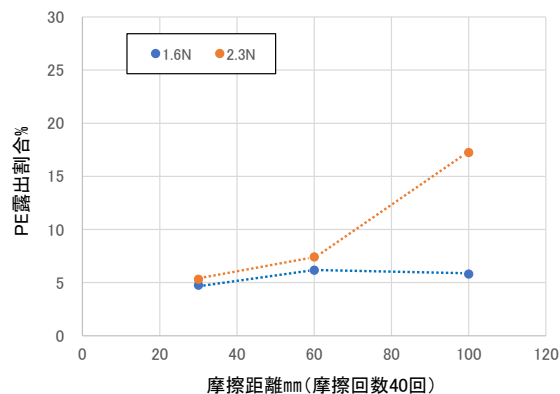


図 8 摩擦距離と PE 露出割合の関係

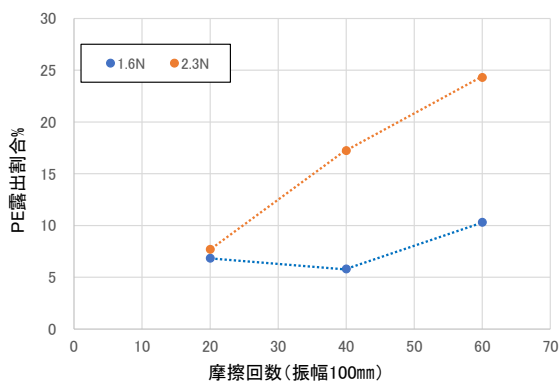


図 9 摩擦回数と PE 露出割合の関係

摩擦回数を一定として、摩擦距離と PE 露出割合 (図 8) を比較すると、1.6[N] では摩擦距離を変えても露出割合の変化は見られないが、2.3[N] では 100[mm] で露出面積が大幅に増加を示した。次に、摩擦距離を一定して摩擦回数を変えた場合 (図 9)、2.3[N] のほうが PE 露出割合の増加が大きいことが分かった。

今後は、砑打ちの自動化のため、織物の巻取速度との検証を進めていく予定である。

なお本技術は、絹-PE 交織織物を製織後、SS 加工により、意匠性と機能性（接触冷感性、軽量性）を発現できる加工技術として、特許申請済みである。

4. 2. 開発織物のドレープ性と光学特性評価

4. 2. 1. 開発織物のドレープ性の評価

4. 2. 1. 1. 静的ドレープ性の評価

静的ドレープ性 (JIS L 1096 8.21.7 G) として、ドレープ係数とノード数を比較した (図 10)。

ノード数について、約 5 ± 0.5 で織物間の変化は小さい。一方で、ドレープ係数を比較すると開発織物は、絹-PE50 : 0.28、絹-PE100 : 0.48。特に絹-PE50 は、比較織物と比べてドレープ係数が低く、ドレープ性は良好であった。この理由を検証するため、ドレープ形状および、織物の曲げ剛性の比較を進めた。

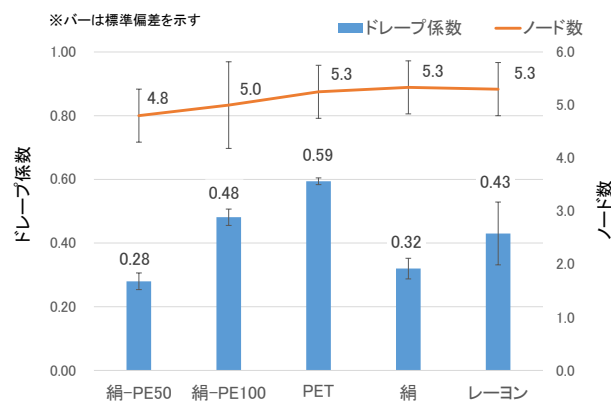


図 10 ドレープ係数とノード数の測定結果

4. 2. 1. 2. 織物のドレープ形状について

織物のドレープ形状 (図 11) について比較した。

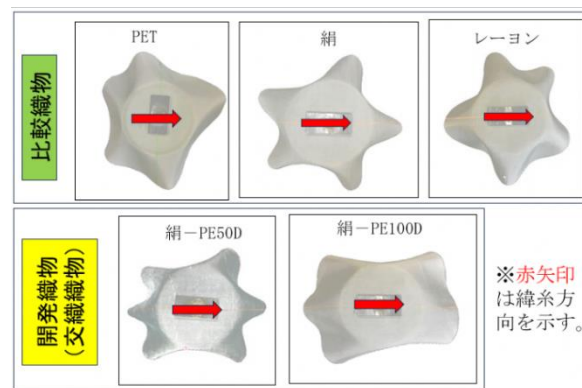


図 11 織物におけるドレープ形状の違い

静的ドレープを評価する鉛直方向からのドレープ形状および投影面積を図 1 1 に示す。その結果、ノード数については開発織物と比較織物の間に大差はないものの、ドレープ形状の経・緯方向のバランスに大きな違いが見られた。

ドレープ係数が小さい絹 (0.32) や絹-PE50 (0.28) と比べて、ドレープ係数が大きい PET (0.59) や絹-PE100 (0.48) は地の目に対し、緯方向に広がるドレープ形状を示した。開発織物は経方向と緯方向の糸打ち込み密度がほぼ同じ数値であるが、絹-PE100 は絹-PE50 と比べて、緯糸方向の垂れ下がりが小さく、緯糸の織度の影響(絹-PE100 : 100[D]、絹-PE50 : 50[D])が考えられる。

4. 2. 1. 3. 織物の曲げ剛性について

開発織物と比較織物のドレープ形状(投影面積の経・緯方向)の違いを検証するため、KES による純曲げ測定(KES-FB2 カトーテック(株))を行い、織物の曲げ剛性を測定した結果を図 1 2 に示す。測定条件は標準測定で行い、2 回の平均値を求めた。

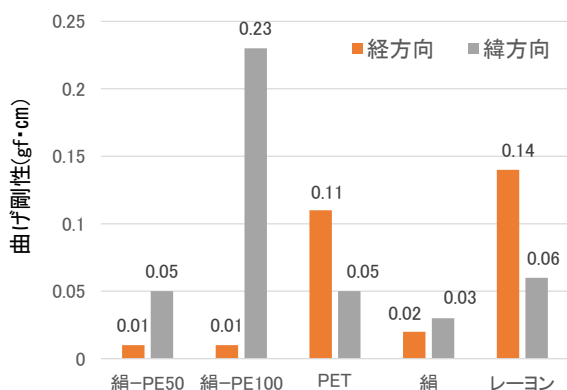


図 1 2 曲げ剛性の測定結果

図 1 2 より、比較織物の、PET とレーヨンは経糸と緯糸の織度に変化はないが、経糸密度が大きいため、経方向の曲げ剛性が高い。

また、2 種類の開発織物の曲げ剛性は経方向で同じ数値であるのに対して、緯方向は絹-PE100 のほうが、4 倍以上高い。この緯方向の曲げ剛性の高さ(織物の変形しにくさ)が、緯糸方向に広がったドレープ形状として表れたと考えられる。

以上の結果から、従来の鉛直方向からの評価だけでは、製品のシルエットに影響するドレープ形状の検証には不十分だと考え、側面方向からのドレープ形状の評価を新たに追加し、測定を行った。

4. 2. 1. 4. 側面ドレープ性試験方法

側面方向からのドレープ性試験結果を表 4 に示す。

表 4 側面ドレープ性試験結果

	水平保持長(mm)		ノード傾斜角(°)		曲げ強度(gf·cm)	
	経長	緯長	経糸	緯糸	経方向	緯方向
絹-PE50	11.0	12.1	45.8	36.7	0.01	0.05
絹-PE100	10.7	11.1	31.4	21.2	0.01	0.23
絹	10.5	11.1	46.9	42.9	0.02	0.03
PET	10.9	11.9	21.3	36.5	0.11	0.05
レーヨン	10.2	11.4	31.3	34.8	0.14	0.06

表 4 より、水平保持長については織物間で変化が小さいのに対して、ノード傾斜角については、織物間および経・緯方向で違いが見られた。

次にノード傾斜角度と曲げ剛性の関係を図 1 3 に示す。曲げ剛性が上昇とともに、ノード傾斜角が低下する傾向にある。

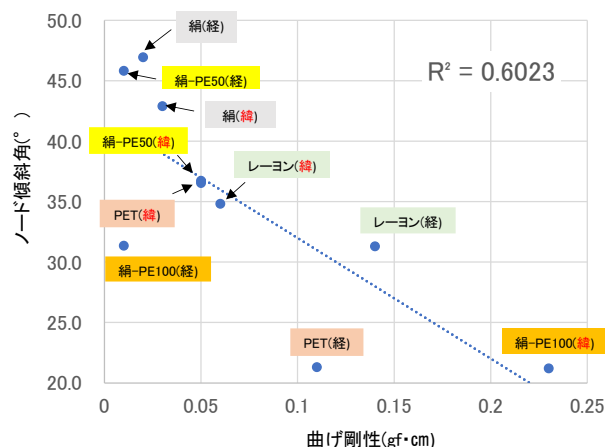


図 1 3 ノード傾斜角と曲げ剛性の関係

以上のことから、交織織物(開発織物)のドレープ性を評価するためには、従来のドレープ係数の測定だけでなく、側面方向からのドレープ形状の評価を組み合わせるなど複合的に評価することが重要であると考えられる。

また一般に絹織物はだれやすいと言われているが、絹-PE100 を使用し、昨年度試作したワンピースはだれがなく、製品のシルエットが良好であった。このことから、絹-PE100 は緯方向の曲げ剛性が大きく、変形しにくいため、製品のシルエットを保持する面で有効であると考えている。

4. 2. 2. 開発織物の光学特性の評価

4. 2. 2. 1. 変角色差計測定 (絹、PE)

変角色差計を使用し、素材別の反射光量を測定した。

図 1 4 に示す絹は、図 1 5 に示す PE と比べて最大反射量は低い、経緯方向で異方性がなく、受光角および反射角に対して広範囲に反射が見られる。受光角 45[°] で反射する正反射光^{注4)}だけでなく、反射角に依存しない拡散反射光^{注5)}が多いと考えられる。

この光学特性が絹特有の優美な光沢感として、認知されていると考えられる。

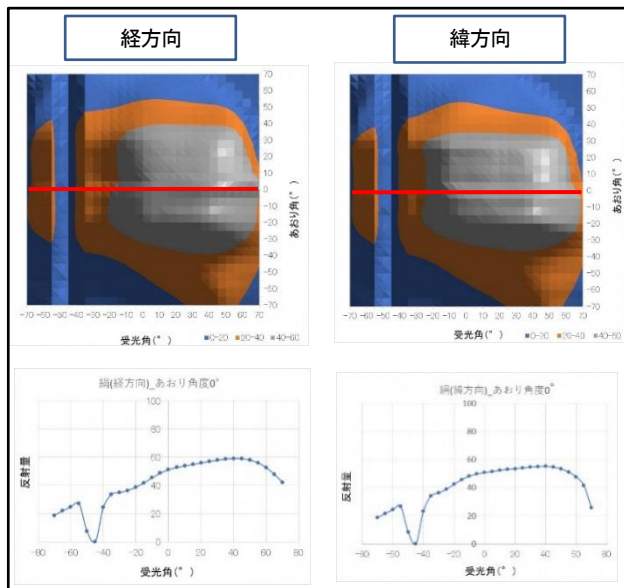


図 1 4 光学特性の比較（絹）

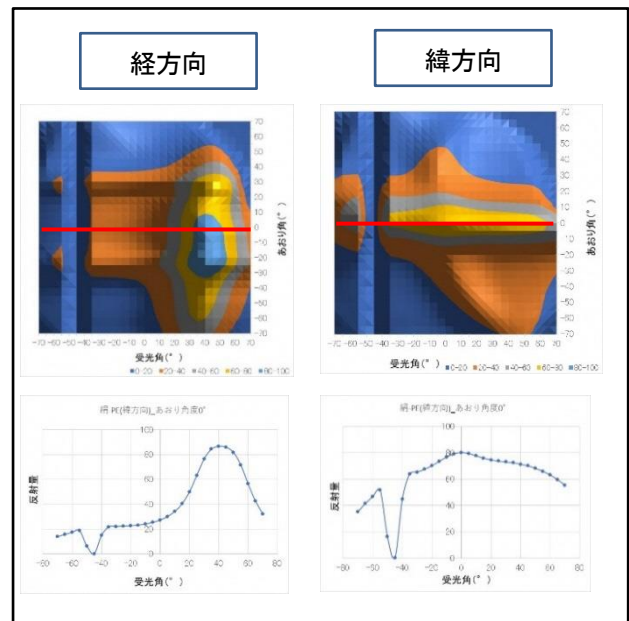


図 1 6 光学特性の比較（絹-PE100）

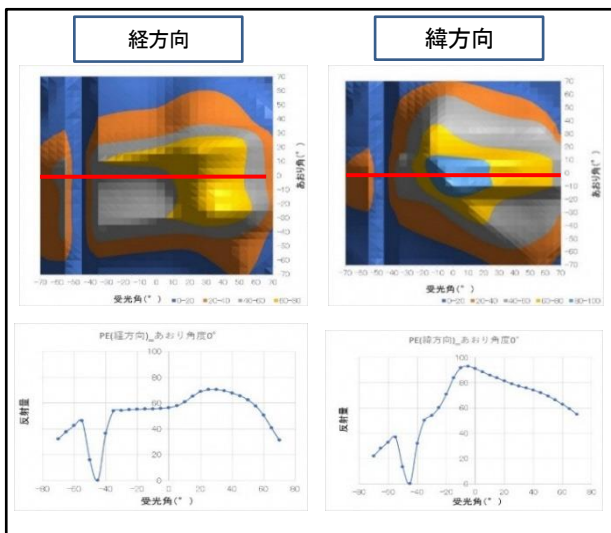


図 1 5 光学特性の比較（PE）

4. 2. 2. 2. 変角色差計測定（開発織物）

次に開発織物（絹-PE100）を測定し、絹およびPE単体との比較を行った。

図 1 6 に示す絹-PE100 の光学特性は、図 1 4 に示す絹や図 1 5 に示すPE と比較して、経・緯糸方向で光学特性が大きく異なっている。また経方向でみると正反射光に関わる反射角 45°]の反射量が大きい一方で、反射角が 45°]から遠ざかるにつれて反射量は低下し、拡散反射光が減少している。

この理由は緯糸の PE 繊維が経糸の絹糸よりも約 5 倍太く、また PE のほうが光を反射しやすいことから、緯糸 (PE 繊維) の光学特性が交織織物全体の光学特性に影響したと考えられる。

4. 3. 開発織物の機能性評価

4. 3. 1. 開発織物の接触冷感性 (Q-max)

先行研究²⁾より Q-max 値は、目付と正の相関があることが分かっている。そこですべての織物を $50\text{g}/\text{m}^2$ 当たりの Q-max 値に換算し比較した (図 1 7)。

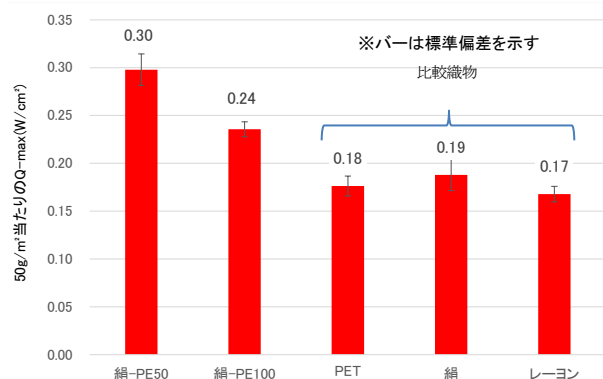


図 1 7 Q-max 値測定結果

図 1 7 より、比較織物と比べて、開発織物は Q-max 値が高い。熱拡散性の高い PE を交織することによって、Q-max 値が向上し、夏用衣料に必要なとされる接触冷感性が期待できる。

開発織物同士を比較すると、絹-PE50 のほうが高い結果を示した。この理由は、絹-PE50 の経糸と緯糸の織度差は約 2.5 倍で、絹-PE100 よりも織度差が小さいこと等も影響が考えられ、織物表面の粗さ測定などの検証が必要である。

4. 3. 2. 開発織物の吸水速乾性

図18の結果から、吸水性の高い天然繊維よりも、吸水性の低い合繊繊維が、吸水速乾性が高い傾向を示した。開発織物の絹-PE100(3.46)はPETよりも高い吸水速乾性を示したが、絹-PE50はより低い結果となった。単純に絹とPEの割合だけでなく、開発織物の水分の拡散性が吸水速乾性の結果に影響を与えている可能性がある。

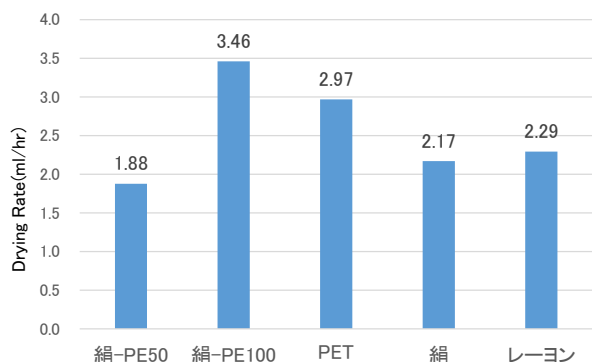


図18 吸水速乾性測定結果

以上の結果より、開発織物の特徴としては、ドレープ性の評価結果より絹-PE50は柔軟な織物、絹-PE100は、形態保持性が高い。光学特性の評価結果より、正反射がより強く、光沢感が向上。機能性の評価結果より、夏用衣料に必要な機能性を保持した織物であると考えられる。

4. 4. ふくしまゆかりの蚕品種（青熟×支122号F1）によるサプライチェーンの確立

4. 4. 1. ふくしまゆかりの蚕品種の製造

表5に示す令和5年度に構築したサプライチェーンを基に、ふくしまゆかりの蚕品種「青熟×支122号F1」の製造を進めた。

表5 蚕品種製造フロー

工程	関係企業・機関	日時
交配	蚕糸科学技術研究所	令和6年2月～3月
産卵	富田蚕種製造所	令和6年3月～4月
給桑・除沙	JAみちのく安達（稚蚕飼育所）	令和6年4月～5月
収穫	二本松市養蚕農家	令和6年5月
製糸加工	(株)宮坂製糸所	令和6年6月

製糸加工（(株)宮坂製糸場）以外は県内の関係企業および機関によって、製造することができた。ただし、産卵（蚕種製造所）および収穫（養蚕農家）に関わる工程では高齢者や後継者不足が問題となっており、蚕糸・絹業に関わる人材の確保が今後重要な課題になると考えられる。

4. 4. 2. サプライチェーンの拡大に向けた県内市町村のニーズ調査

蚕糸絹業が盛んである県北地域の市町村との連携を

進めるため、ニーズ調査（図19）を進めた。



図19 地域商品の開発スキーム

これまでに養蚕に関わり長い歴史のある伊達市の商工観光課担当者、県内ニット企業、ハイクプラザの担当者で意見交換（図19）を行い、本研究成果と、伊達市の地場産業であるニット製品や、果樹選定枝を原料とした天然染色等を組み合わせた地域商品の開発を進めている。

5. 結言

吸湿性に優れる絹素材と、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た。その結果は下記のとおりである。

- ・砧打ちの自動化に必要な条件を求めるため、摩擦治具を試作しSS加工に必要な加工条件とPEの露出面積の関係を検証した。
- ・開発織物のドレープ性は、絹-PE50は従来の絹羽二重と同等のドレープ性を持つ一方で、絹-PE100は緯方向に高い剛性があり、製品のシルエットを保持する面で有効である。
- ・開発織物の光学特性は、絹羽二重とは異なり正反射光が強く、光沢感をより強まっている。
- ・機能性評価結果より絹-PE100は、夏用衣料に必要な吸水速乾性とQ-maxを有している。
- ・サプライチェーンの構築については、県内繊維関係企業（ニット関係）、県内市町村、ハイクプラザが連携し、新たな地域商品の開発および販路開拓を目指している。

参考文献

- 1) 東瀬慎, 中村和由他. 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. 令和5年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2024.
- 2) 中村和由, 東瀬慎. 接触冷感性と快適性に優れた多層横編地の開発. 令和2年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2021.

用語解説

- 注1) 福島由来の国産シルクの前種（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
- 注2) 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
- 注3) 接触する二物体が滑るとき、連続的ななめらかな滑りにならず、滑りと固着が交互に起きる間欠運動
- 注4) 入射角と等しい角度で反射する光
- 注5) 反射角に依存せずに様々な角度に反射する光