

平成31年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「防縮性と抗ピリング性をあわせもつウールによる  
縫い目のないインナー製品の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 東北経済産業局  
補助事業者 佐藤繊維株式会社  
公益財団法人山形県産業技術振興機構

# 目 次

## 第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標……………3
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）……………5
- 1-3 成果概要……………7
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口……………8

## 第2章 本論

- 2-1 スケールを保持した防縮ウール糸の開発
  - 2-1-1 コーマ処理による紡績糸の高品質化……………9
  - 2-1-2 編成及び染色に対応した撚糸条件の確立……………11
  - 2-1-3 チーズ染色機によるノンプレス染色加工の研究……………12
- 2-2 防縮・抗ピリング無縫製インナー製品の開発
  - 2-2-1 防縮性と風合いを両立させる整理加工の研究……………15
  - 2-2-2 酸化還元ウールの構造解析と特性評価……………17
  - 2-2-3 無縫製インナーの企画とパターンの研究……………23

## 第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果……………24
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開……………24

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

通常、ウールの含水率は約15%であるが、含水率が20%を超えるとウールの表皮細胞（キューティクルまたはスケール）が起き上がり、水蒸気として外部に排出し水分率を低下しようとする性質がある。このため、湿潤下におけるウールは、逆方向におけるスケール同士の摩擦係数が増加し、不可逆的な絡み合いによってフェルト化が生じることで収縮に至る。このことが、ウール製品を家庭用洗濯機で取扱うことを困難にしている。

また、ウール製品には、生地表面の毛羽が引き出され、周りの繊維と絡み合うことにより、ピリング（毛玉が生じた状態）が起きる特徴がある。ピリングは、先述の洗濯収縮に対し、乾燥下の絡み合いで生じる現象であり、ウール製品がタンブル乾燥を困難とする要因になっている。

ウール製品に防縮性を付与するには、塩化シアヌールなどの塩素剤で表皮のスケールを溶解して除去し、摩擦係数異方性を低下する方法がある。また、この方法で塩素処理後にポリアミド樹脂を被覆させることで高い防縮性が発現する。しかし、この方法ではスケールを除去してしまうため、スポーツ衣料に求められる撥水性が失われたり、高級婦人服に求められる風合いが低下したりして、本来天然ウールの持っている特性が損なわれている。さらに、抗ピリング性が低いため毛玉が発生し、外観の印象が悪くなったり、インナーウェアの素材としても着用性や快適性に劣ることになってしまう。

そこで、本事業では、製品価格が1万円以内となるよう、課題「スケールを保持した防縮ウール糸の開発」、「防縮と抗ピリング無縫製インナー製品の開発」を設定し、酸化還元ウールを用い、紡績工程、染色工程、編成工程の低コスト化の技術開発に取り組んだ。

#### （1）スケールを保持した防縮ウール糸の開発

- ① コーマ処理による紡績糸の高品質化
- ② 編成及び染色に対応した撚糸条件の確立
- ③ チーズ染色機によるノンプレス染色加工の研究

表1 品質項目と基準値

工程	品質項目	基準値
紡績工程	U%むら	14%以下
	番手変動率	3%以内
	番手開差率	1.5%以内
	引張強さ	270 cN 以上
編成工程	斜行	5度以下
	染色堅ろう度(耐光)	4級以上
染色工程	染色堅ろう度(摩擦)	3-4級以上
	染色堅ろう度(洗濯)	3-4級以上
	染色堅ろう度(汗)	3-4級以上
	外観	色斑がないこと

表2 技術項目と技術的目標値

技術項目	技術的目標値
トップの歩留り	95%以上
糸切れ数(1000SH 当たり)	17本以下
紡績稼働率(前紡から撚糸迄)	90 kg/日
染色量(1ロット)	10 kg 以上

## (2) 防縮・抗ピリング無縫製インナー製品の開発

- ① 防縮性と風合いを両立させる整理加工の研究
- ② 酸化還元ウールの構造解析と特性評価
- ③ 無縫製インナーの企画とパターンの研究

表3 品質項目と基準値

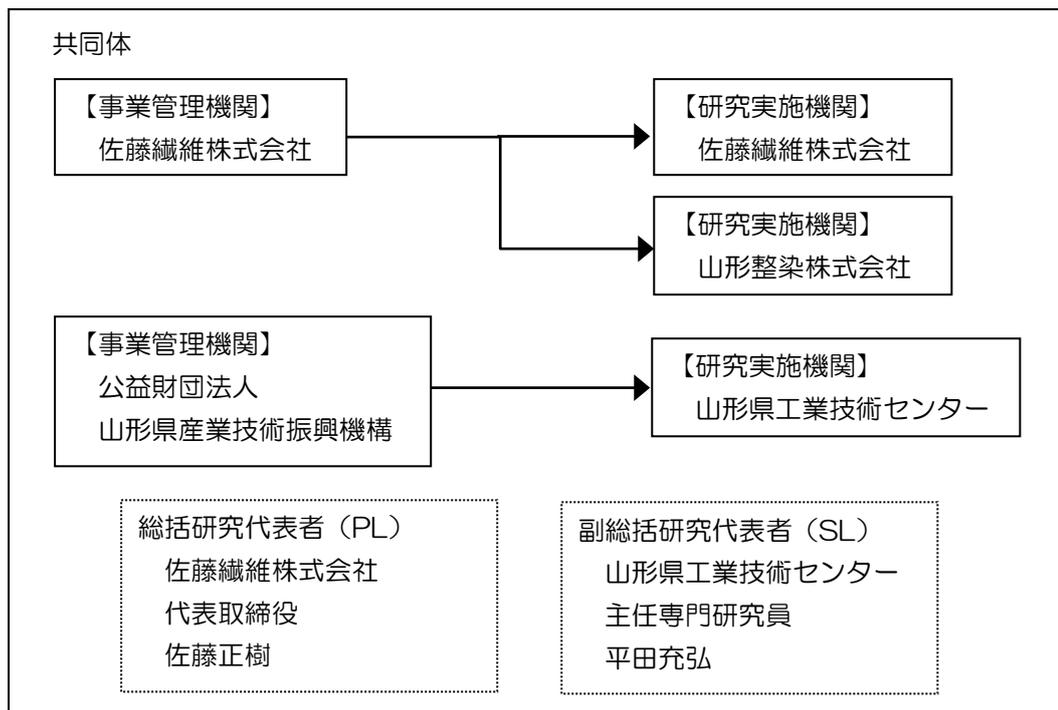
工程	品質項目	基準値
編成工程	可編成	無傷で5枚
	破裂強さ	325 kPa 以上
整理工程	ピリング	3.5級以上
	フェルト寸法変化率	面積-8% 以下

表4 技術項目と技術的目標値

技術項目	技術的目標値
編成稼働率(1台当たり)	8着/日以上
インナー製品試作	5点以上
展示会出品	1回以上

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織・管理体制



<p>【アドバイザー】 株式会社アダストリア、株式会社パル、株式会社ゴールドウィン 国立大学法人山形大学、株式会社山形銀行、高橋技術士事務所、安部技術士事務所</p>
---

### (2) 研究者氏名、協力者

#### 【事業管理機関】 佐藤繊維株式会社

氏 名	所属部署・役職
古城 信一	経営企画室長

#### 【事業管理機関】 公益財団法人山形県産業技術振興機構

氏 名	所属部署・役職
五十嵐 直子	振興部プロジェクト推進課 課長代理
土屋 皓司	振興部プロジェクト推進課 主任

【間接補助事業者】佐藤繊維株式会社

氏名	所属部署・役職
佐藤 正樹	代表取締役
加藤 金栄	取締役 紡績部長
相馬 克哉	取締役 三泉工場長
大瀧 隆志	三泉副工場長
齊藤 愛	二ツト部 営業課長
水口 和洋	紡績部 課長補佐
浅沼 隆吾	二ツト部 編立課長補佐
五十嵐 健太	外販部 輸出課長補佐

【間接補助事業者】山形整染株式会社

氏名	所属部署・役職
村岡 昇	取締役 工場長
角川 映司	試験室課長
白田 直樹	営業課長
兼子 祐子	試験室課
斉藤 仁	生産加工課
加藤 千尋	試験室課

【間接補助事業者】山形県工業技術センター

氏名	所属部署・役職
中野 哲	化学材料表面技術部長
飛塚 幸喜	食品醸造技術部長
佐竹 康史	置賜試験場 特産技術部長
藤野 知樹	化学材料表面技術部 開発研究専門員
平田 充弘	化学材料表面技術部 主任専門研究員
城 祥子	食品醸造技術部 専門研究員
数馬 杏子	置賜試験場 特産技術部 研究員
千葉 一生	化学材料表面技術部 研究員

【アドバイザー】

氏名	所属部署・役職
浅井 英成	株式会社アダストリア 上席執行役員 コーポレートデザイン室長
尾上 滋	株式会社バル 業務改革推進室
森 光	株式会社ゴールドウィン 執行役員 ザ・ノース・フェース事業部長
久松 徳郎	株式会社山形銀行 営業支援部 技術支援アドバイザー
長岡 大志	株式会社山形銀行 寒河江中央支店 法人課
栗山 卓	国立大学法人山形大学 大学院有機材料システム研究科 教授
高橋 光雄	高橋技術士事務所 所長
安部 正毅	安部技術士事務所 所長

## 1-3 成果概要

課題「スケールを保持した防縮ウール系の開発」、「防縮と抗ピリング無縫製インナー製品の開発」に対し、さらにそれぞれ3つの小課題を設定して取り組んだ。

### (1) スケールを保持した防縮ウール系の開発

#### ① コーマ処理による紡績系の高品質化

酸化還元ウールの紡績加工において生産性を向上するには、精紡工程で発生する毛羽脱落量の低減が課題とされた。酸化還元ウールのコーマ処理を行い、紡績試験を繰り返した。前紡工程のボビナー4 錘とハイスピードフィニッシャー機 280 錘で比較を行った結果、ハイスピードフィニッシャーの紡績稼働率が 10 倍以上大きかった。酸化処理ウール 30kg を用い、ハイスピードフィニッシャーで量産性を検討した結果、トップ歩留 96%、紡績稼働率 90kg/日となり、目標を達成できた。

#### ② 編成及び染色に対応した撚糸条件の確立

酸化還元ウールの紡績では、精紡後のワインダー（巻返し）工程で糸切れ数が多いことが課題であった。撚糸工程については、蒸気蒸し加工条件の適正化に取り組んだ。ワインダーの糸切れ数が低減となる下撚り数を求めた後、上撚り数を適正にした結果、スワッチ斜行が 3 度、糸切れ率が 15 本/1000SH となり、目標を達成できた。

#### ③ チーズ染色機によるノンプレス染色加工の研究

染色工程では、コスト削減と生産性を向上させるため、噴射式総染色機からチーズ染色機への切替えに取り組んだ。ピーカー試験で均染剤の添加を検討し、染色斑の低減となる条件を選定した。その条件の下、酸化還元ウール系 30kg をチーズ染色機でノンプレス加工を行った結果、チーズ系の内外の色差はほとんどなかった。赤、黒、青、オフホワイトの 4 色で染色加工した結果、染色堅牢度は 3-4 級以上となり、目標値を達成できた。

### (2) 防縮・抗ピリング無縫製インナー製品の開発

#### ① 防縮性と風合いを両立させる整理加工の研究

編成加工では、静電気発生による巻き付き、編成汚染の課題に対し、洗浄条件、編成条件を検討した結果、無傷で 30 着を編成することができた。また、編地目面の改善に向け、ワインダー

のオイリング条件を検討した。ワッシャー条件の改良では、樹脂加工剤を選定することで寸法変化面積が0.4%まで向上した。さらに、編地処理を行うことで、ピリングが4.5級まで向上した。

## ② 酸化還元ウールの構造解析と特性評価

酸化還元ウール、塩素処理ウール、未処理ウールの評価を11項目（赤外分光分析、電子顕微鏡観察、摩擦係数、ゼータ電位測定、システイン酸含有量の測定、機械的特性（見掛密度、繊維直径、見掛ヤング率）、保温率の測定、吸湿除放性、撥水性、吸水性・乾燥性、抗菌性）取り組んだ。

## ③ 無縫製インナー製品の企画とパターンの研究

編成工程では、一部に縫製が必要なことが課題であったが、ホールガーメント横編機を導入し、編成パターンの開発に取り組むことで、試作品5点を作製することができた。さらに、酸化処理ウールのTシャツを赤色15着、黒色15着作製し、モニタリング調査を行った。30名の調査結果は、寸法変化率の平均は巾が-4.5%、丈が-1.2%であった。また、7名で官能評価を行い、平均嗜好度を求めた結果、「やわらかい」が0.6と高く、「ちくちくする」が-0.6、「ざらざらした」が-0.7と低くなった。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

佐藤繊維株式会社

経営企画室長 古城 信一

〒 山形県寒河江市元町1-19-1

TEL 0237-86-3134 FAX 0237-86-7716

E-mail kogimail@mmy.ne.jp

## 第2章 本論

### 2-1 スケールを保持した防縮ウール系の開発

#### 2-1-1 コーマ処理による紡績系の高品質化

紡績原料である酸化還元ウールについて、コーマ処理の有無で比較を行った。

表5 コーマ処理による紡績原料の特性比較

評価項目		コーマ処理なし	コーマ処理あり
平均繊維直径 <sup>a</sup>		19.55 $\mu$ m	19.67 $\mu$ m
平均繊維長 <sup>b</sup>	HAUTEUR	80.2 mm 43.2%*	84.8 mm 40.0%*
	短繊維含有率 (30 mm以下)	8.3%	5.1%
	BARBE	95.2 mm 32.7%*	98.3 mm 32.4%*
ネップ数 <sup>c</sup>		2/50 g	0/50 g
油脂分 <sup>d</sup>		0.74%	0.61%
フェルトボール <sup>e</sup>	直径	3.18 cm	3.05 cm
	密度	0.06 g/cm <sup>3</sup>	0.07 g/cm <sup>3</sup>

<sup>a</sup>JIS L 1081 D法 (OFDA)、<sup>b</sup>JIS L 1081 A法 (アルメータ)、<sup>c</sup>JIS L 1081

<sup>d</sup>JIS L 1081、<sup>e</sup>IWTO-20 アーヘンフェルトボール試験機 ジエチルエーテル抽出

平均繊維直径は公称繊維度(19.5  $\mu$ m)とおおよそ一致した。Barbe 値の平均繊維長は、95~98mmでコーマ処理による差はなかった。Hauter 法による 30mm 以下の割合は、コーマ処理を 2 回行うことで、5.1%に低減できた。これは、ネップ数もコーマ処理によって 2/50g から 0/50g に低減していることから、夾雑物や短繊維が除去されていることが伺える。フェルトボールによる直径は 3.00~3.18cm、密度は 0.07g/cm<sup>3</sup>であり、防縮性を有していることが認められた。

コーマ処理の有無による前紡工程の比較を検討するため、まず、コーマ処理なしのトップ 27.2kg を Z500/m にて 1/48 系に紡績加工することで、26kg を製造した(歩留り 95.6%)。

表6 コーマ処理なしの紡績加工と特性評価

工程	ゲレン		ドラフト		ダブリング	ゲージ	U%	
	設計値	実測値	設計値	実測値				
HM	32g/m	32 g/m	8.5 8.5	1.195	—	14	40	3.18%
HL	24 g/m	26 g/m	8	8.0	6	32	—	1.96%
HG	18 g/m	19 g/m	8	8.9	6	32	—	2.11%
BG	4.5 g/m	4.5 g/m	8	8.5	2	32	—	2.49%
HR	2.3 g/m	2.1 g/m	8	8.6	4	32	—	2.34%
HF	0.33 g/m	—	13.5	—	2	—	—	—
精紡	0.02 g/m	—	16.0	—	1	—	—	—

次に、コーマ処理したトップ 31.6kg で、Z500/m にて 1/48 糸の紡績加工を行い、28.8kg を製造した(歩留り 91.2%)。

表7 コーマ処理ありの紡績加工と特性評価

工程	ゲレン		ドラフト		ダブリ ング	ゲー ジ	U%	速度
	設計値	実測値	設計値	実測値				
HM	32.0	31.9	8.75 1.195	8.75 1.195	14	40	2.69%	55m/min
HL	24.0	25.5	8	8.6	6	32	2.09%	80m/min
HG	18.0	18.4	8	8.6	6	32	2.15%	70m/min
BG	4.50	4.55	8	8.5	2	32	2.75%	70m/min
HR	2.25	2.20	8	8.2	4	32	3.55%	70m/min
HF	0.333	0.328	13.5	13.68	2	—	4.66%	120m/min
精紡	0.0208	—	16.0	—	1	—	—	17m/min



ミキサー(HM)



レベラー(HL)



ハイスピードギル(HG)



バイコイラー(BG)



レデューサー(HR)



ハイスピードフィニッシャー(HF)

図1 前紡工程の各機器と外観

ゲレンやドラフトの実測値は、コーマ処理の有無によらず、設計通りであった。工程前半の MG、HL、BG、HR (図1) では毛羽脱落も目立たなかった。一方、最終工程の HF は、毛羽発生量が大きく、U%むらも、4.66%と高かった。

HF 工程で発生した毛屑は、繊維長 1mm 以下であったが（図2）、原料トップにも含まれていたことから（図3）、機械的破断により、毛羽が発生した可能性は低いと結論付けた。

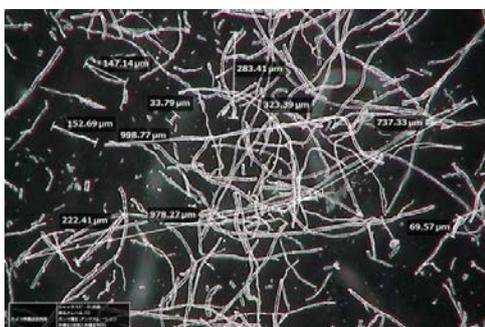


図2 HF 工程で発生した毛屑

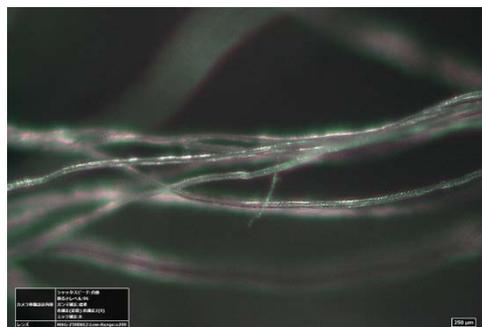


図3 トップに含まれる毛羽

リング精紡後の 1/48 系は、コーマ処理の有無によらず、U%むらは 14%以下であったが、コーマ処理によって不良数が 1 割以下に低減した。一方、コーマ処理によって、最小破断強度が 22.98 gF とコーマ処理なしの半分以下になっていることから、糸切れなどにつながる懸念された。

表8 コーマ処理の有無による精紡工程の比較検討

	コーマなし	コーマあり
糸むら CV%	16.31%	16.60%
不良数	848.6	68.7
平均破断強度	84.86 gF	63.73 gF
変動率	13.1%	30.9%
最小破断強度	58.00 gF	22.98 gF
破断伸度	4.38%	2.35%

## 2-1-2 編成及び染色に対応した撚糸条件の確立

1/48系を用いて糸蒸し加工を行い、撚り戻り試験器でスナール指数を測定し、撚り固定の適正条件を探索した。

表9 セット温度、時間による1/48系の内外層でのスナール指数(Kr値)

	60℃			70℃			80℃		
	内層	中層	外層	内層	中層	外層	内層	中層	外層
なし	4.1	4.2	4.1	—	—	—	—	—	—
10分	2.8	2.8	2.0	2.5	2.5	1.1	2.5	2.4	0.7
30分	2.3	2.3	1.0	1.4	2.1	0.3	1.8	1.0	0.3
40分	2.3	1.7	0.5	1.7	1.1	0.8	1.7	0.8	0.8
50分	2.1	1.1	1.1	1.6	1.1	0.6	1.2	0.6	0.9
60分	2.3	1.5	0.9	1.8	1.1	0.8	1.2	1.2	1.1

内層の Kr（クリンゲルファクトメーター）値は、中層や外層に比べ低下に時間がかかったが、紙製の糸管が吸収した水分が影響している可能性がある。セットした 1/48 糸を筒編機で 11G 編地を作製し、ウェスケーター試験機を用いプログラム 4G で洗濯試験した結果、セット温度、時間が大きくなるにつれ、斜行が低下する傾向にあった。また、セット加工した糸の強伸度について、25 回測定時の強度の最小値を求めたところ、加工温度が大きいほど小さくなる傾向があった。このことから、酸化還元ウールは、高温セットで損傷を受ける可能性がある。

表10 双糸または3子糸の特性

メートル番手 n=5	3/51.2 Cv 1.0%	2/62.9 Cv 0.7%	3/47.1
より数 n=30	S 166.7/m	S 324.7/m	S 161.5/m
U%むら	8.06%	10.75%	—
強伸度 n=50	強力 270 cN 伸度 3.78%	強力 171.6 cN 伸度 4.36%	強力 270 cN 伸度 5.2%

### 2-1-3 チーズ染色機によるノンプレス染色加工の研究

酸化還元ウール3/48糸を用いたチーズ染色機による染色加工では、染色不良率の低減を目的に、ノンプレス加工により、液流方向を内側から外側（イン→アウト）の一方向と、外側から内側への双方向（イン↔アウト）で検討を行った。また、比較として噴射式総染色機とチーズ染色機によるプレス加工も実施した。

- (1) 噴射式総染色機 2kg
- (2) チーズ染色機 プレス加工 3kg
- (3) チーズ染色機 ノンプレス加工（送液：イン→アウトの片方向）3kg
- (4) チーズ染色機 ノンプレス加工（送液：イン→アウト5分、アウト→イン3分の双方向）3kg

染色堅ろう度は、噴射式総染機よりチーズ染色機で実施した方が、汗や摩擦に対する堅ろう度が半級程度高い傾向があった。プレス、ノンプレス加工は、摩擦に対する堅ろう度の結果が異なり、双方向によりノンプレス加工で染色した堅ろう度が最も高かった（表11）。

表 1 1 各種条件で染色した生地 of 染色堅ろう度

		チーズ染色機			噴射式総染色機
		プレス加工	ノンプレス加工		
			一方向 (イン→アウト)	双方向 (イン↔アウト)	
耐光 <sup>a</sup>	変退色	4級以上	4級以上	4級以上	4級以上
	変退色	4-5級	4-5級	4-5級	4-5級
洗濯 <sup>b</sup>	汚染(毛)	4級	4級	4級	4級
	汚染(汗)	4-5級	4級	4級	4級
汗(酸性) <sup>c</sup>	変退色	4-5級	4-5級	4-5級	4-5級
	汚染(毛)	4級	4級	4-5級	3-4級
	汚染(汗)	4-5級	4-5級	4-5級	4級
汗(アルカリ) <sup>c</sup>	変退色	4-5級	4-5級	4-5級	4-5級
	汚染(毛)	4級	4級	4-5級	3-4級
	汚染(汗)	4級	4級	4-5級	4級
摩擦(乾燥) <sup>d</sup>	汚染	3級	4級	4-5級	3-4級
摩擦(湿潤) <sup>d</sup>	汚染	3-4級	2-3級	4級	3-4級

<sup>a</sup> JIS L 0842 第5露光法、<sup>b</sup> ISO105-CO1、<sup>c</sup> ISO105-E04、<sup>d</sup> JIS L 0849

チーズ染色機で加工したチーズ系の内側と外側の色差は、プレス加工に対しノンプレス加工が低減した。ノンプレス加工の一方向（イン→アウト）と双方向（イン↔アウト）の色差は同じだった（表 1 2）。

表 1 2 各種チーズ染色機で加工したチーズ系の内側と外側の色差

	ノンプレス加工		プレス加工
	一方向 (イン→アウト)	双方向 (イン↔アウト)	
色差 $\Delta E_{ab}$	0.37	0.38	1.14

チーズ染色機による双方向の送液によるノンプレス加工を、4条件（染色なし、含金染料、反応染料赤、反応染料青）で、酸化還元ウール3/48糸20kgを用いて取り組んだ（図 4、5）。

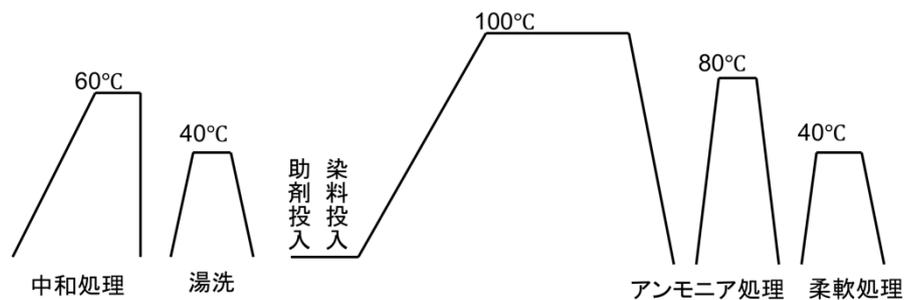


図4 反応染料による染色経路



図5 反応染料による染色風景

計器法による染色堅ろう度の判定では、白生地等級が視感法より半級程度低くなる傾向にあったが、黄変が認められた耐光以外は、概ね基準以上であった。

表13 各種条件で染色した生地染色堅ろう度

		未染色	含金染料	反応染料 (赤色)	反応染料 (青色)
耐光 <sup>a</sup>	変退色	2級	4級以上	4級以上	4級以上
	変退色	3級	5級	4級	4.5級
洗濯 <sup>b</sup>	汚染(毛)	4-5級	4-5級	4-5級	4級
	汚染(綿)	3-4級	4級	4級	4級
汗(酸) <sup>c</sup>	変退色	4級	4.5級	4.5級	4級
	汚染(毛)	4-5級	4級	4級	4級
	汚染(綿)	4-5級	4級	4級	4級
汗(別カ) <sup>c</sup>	変退色	4級	5級	4.5級	4.5級
	汚染(毛)	4-5級	4級	4級	4級
	汚染(綿)	4-5級	4級	4級	4-5級
摩擦(乾) <sup>d</sup>	汚染	4-5級	4級	3-4級	4級
摩擦(湿) <sup>d</sup>	汚染	4-5級	4級	4級	4級

<sup>a</sup> ISO 105-B02、<sup>b</sup> ISO 105-C10<sup>c</sup> ISO 105-E04、<sup>d</sup> ISO-X12

## 2-2 防縮・抗ピリング無縫製インナー製品の開発

### 2-2-1 防縮性と風合いを両立させる整理加工の研究

防縮性や抗ピル性の向上に向け、染色条件の異なる生地に対し、加工剤の種類を変えて整理加工に取り組んだ。加工なしの染色生地は、フェルト寸法変化面積が-10%以上だったが、加工剤Aで整理加工を行うことで、フェルト寸法変化面積が2%以内に収束した。

表14 未染色生地への後加工と抗ピル性および防縮性

評価項目		加工剤A	加工剤B	加工なし
ピリング <sup>a</sup>		3.5級 ピルの脱落あり	3.5級 ピルの脱落あり	4級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 <sup>b</sup>	たて	-6.3%	-7.6%	-6.9%
	よこ	1.3%	0.3%	-2.2%
フェルト寸法変化 <sup>c</sup>	たて	0.3%	1.0%	3.3%
	よこ	-0.5%	-2.2%	-2.8%
	面積	-0.2%	-1.2%	0.4%
合計寸法変化率 <sup>d</sup>	たて	-6.0%	-6.6%	-3.9%
	よこ	0.8%	-10.9%	-5.0%

<sup>a</sup>ISO 12945-1

<sup>b</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回

<sup>c</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

<sup>d</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回+ (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

表15 含金染料で染色した生地への後加工と抗ピル性および防縮性

評価項目		加工剤A	加工剤B	樹脂なし
ピリング <sup>a</sup>		4級 ピルの脱落あり	4級 ピルの脱落あり	4級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 <sup>b</sup>	たて	-4.7%	-5.7%	-5.1%
	よこ	1.3%	-1.4%	-1.9%
フェルト寸法変化 <sup>c</sup>	たて	-1.5%	-2.3%	-5.5%
	よこ	0.4%	-6.4%	-7.6%
	面積	-1.1%	-8.6%	-12.6%
合計寸法変化率 <sup>d</sup>	たて	-6.1%	-7.9%	-10.3%
	よこ	1.7%	-7.7%	-9.3%

<sup>a</sup>ISO 12945-1

<sup>b</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回

<sup>c</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

<sup>d</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回+ (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

表16 赤色の反応染料で染色した生地への後加工と抗ピル性および防縮性

評価項目		加工剤A	加工剤B	樹脂なし
ピリング <sup>a</sup>		2.5級 ピルの脱落あり	3級 ピルの脱落あり	3級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 <sup>b</sup>	たて	-6.1%	-5.8%	-7.8%
	よこ	-0.3%	0%	-0.7%
フェルト寸法変化 <sup>c</sup>	たて	-0.1%	-3.5%	-6.1%
	よこ	-1.2%	-8.5%	-11.5%
	面積	-1.3%	-11.7%	-16.9%
合計寸法変化率 <sup>d</sup>	たて	-6.2%	-9.1%	-13.4%
	よこ	-1.4%	-8.6%	-12.2%

<sup>a</sup>ISO 12945-1

<sup>b</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回

<sup>c</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

<sup>d</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回+ (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

表17 青色の反応染料で染色した生地への後加工と抗ピル性および防縮性

評価項目		加工剤A	加工剤B	樹脂なし
ピリング <sup>a</sup>		2.5級 ピルの脱落あり	3.5級 ピルの脱落あり	2.5級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 <sup>b</sup>	たて	-4.1%	-6.4%	-6.7%
	よこ	-1.9%	0.7%	0.9%
フェルト寸法変化 <sup>c</sup>	たて	0.1%	-5.6%	-7.7%
	よこ	-0.1%	-6.2%	-11.6%
	面積	0%	-11.5%	-18.5%
合計寸法変化率 <sup>d</sup>	たて	-4.0%	-11.7%	-14.0%
	よこ	-2.2%	-5.7%	-10.9%

<sup>a</sup>ISO 12945-1

<sup>b</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回

<sup>c</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

<sup>d</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回+ (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

抗ピル性の向上に向け、仕上加工を検討した。青色の反応染料で染色加工した生地に整理仕上加工を行った結果、ピリングが4.5級、フェルト寸法変化面積0.8%になった。

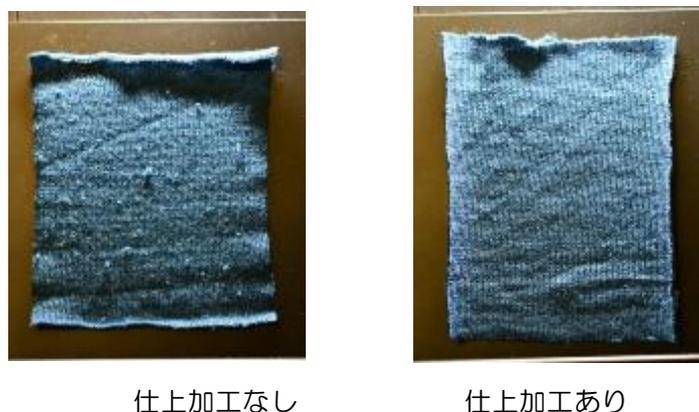


図6 仕上加工の有無とピリング試験後の編地外観

表18 各種条件で染色した生地の染色堅ろう度

評価項目		仕上加工あり	仕上加工なし
ピリング <sup>a</sup>		4.5級 ピルの脱落あり	2.5級 ピルの脱落あり
緩和寸法変化率 <sup>b</sup>	たて	-9.3%	-4.1%
	よこ	0.9%	-2.5%
フェルト寸法変化 <sup>c</sup>	たて	-2.8%	-3.9%
	よこ	2.1%	-2.5%
	面積	-0.8%	-1.5%
合計寸法変化率 <sup>d</sup>	たて	-11.8%	-7.8%
	よこ	3.0%	-0.1%

<sup>a</sup>ISO 12945-1

<sup>b</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回

<sup>c</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

<sup>d</sup>ISO 6330 A形基準洗濯機 洗濯方法 4G×1回+タンブル乾燥1回+ (4N×1回+タンブル乾燥1回) ×5回

## 2-2-2 酸化還元ウールの構造解析と特性評価

酸化還元ウールの特性を調べるため、11項目（赤外分光分析、電子顕微鏡観察、摩擦係数測定、ゼータ電位測定、システイン酸含有量の測定、機械的特性評価、保温率測定、吸湿徐放性の評価、撥水性の評価、吸水性の評価、抗菌性の評価）で検討を行った。

### (1) 赤外分光分析

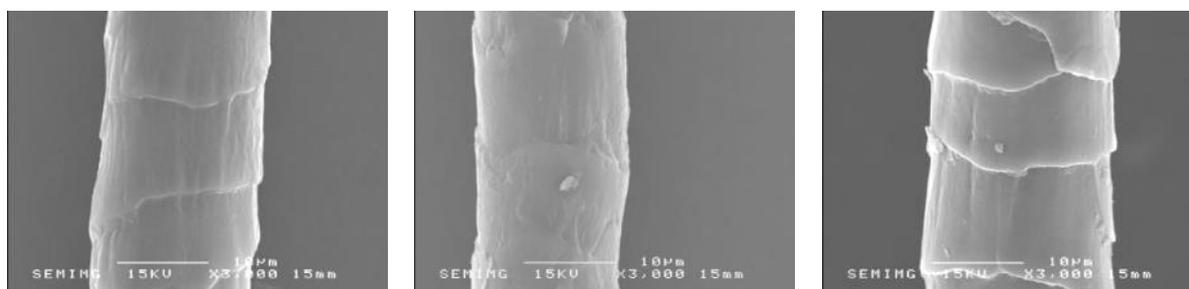
赤外分光分析は、ウール側面をATR法で測定した。シスチンモノオキシド、シスチンジオキシド、システイン酸に対応する、それぞれ $1078\text{cm}^{-1}$ 、 $1120\text{cm}^{-1}$ 、 $1040\text{cm}^{-1}$ の吸光度を $1015\text{cm}^{-1}$ の吸光度で除して比較した。未改質ウールではシスチンモノオキシドの割合が大きいのに対し、酸化還元ウールはシステイン酸の割合が大きいことがわかる。

表19 各種ウールのシスチン帰属領域における赤外吸光度比

シスチンの酸化と構造	吸光度比	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未改質ウール
Cy-SO-S-Cy	Abs. $1078\text{cm}^{-1}$ /Abs. $1015\text{cm}^{-1}$	31.5	19.8	20.8
Cy-SO <sub>2</sub> -S-Cy	Abs. $1120\text{cm}^{-1}$ /Abs. $1015\text{cm}^{-1}$	26.9	17.7	18.5
Cy-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Abs. $1040\text{cm}^{-1}$ /Abs. $1015\text{cm}^{-1}$	35.9	21.2	16.5

### (2) 電子顕微鏡観察

ウール側面の観察は、日本電子株式会社製、電界放出形電子顕微鏡(FE-SEM) JSM-6301Fにて4nmにて白金蒸着後、加速電圧15kVにて観察を行った。酸化還元ウールの側面は、表面の収縮や損傷があるが、スケールの保持が確認された。



酸化還元ウール

塩素処理ウール

未改質ウール

図7 各種ウール側面の電子顕微鏡写真

### (3) 摩擦係数測定

ウール単繊維の摩擦係数の測定は、一般財団法人カケンテストセンターに依頼した。F/Fは繊維同士の摩擦係数、F/Mは摩擦子に金属を用いた場合の摩擦係数を示し、順方向と逆方向の差の絶対値をD.F.E.とした。F/FにおけるD.F.E.は未処理ウール、酸化還元処理ウール、塩素処理ウールの順に大きくなり、表皮スケール量に依存することが確認された。一方、F/MにおけるD.F.E.は、塩素

処理ウール、酸化還元ウール、未処理ウールの順に大きくなる結果となった。スケール除去された塩素処理ウールが大きくなったのは、F/Mの摩擦係数が接触面積に依存したためと考察した。

表20 各種ウール側面の摩擦係数の異方性

評価項目	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
静摩擦係数(F/F)	0.112	0.037	0.196
動摩擦係数(F/F)	0.065	0.024	0.133
D.F.E. <sup>a</sup>			
静摩擦係数(F/M)	0.026	0.029	0.016
動摩擦係数(F/M)	0.029	0.039	0.025

<sup>a</sup>JIS L 1095 Differential Frictional Effect | $\mu_A$ 方向 -  $\mu_B$ 方向|

#### (4) ゼータ電位測定

ウール表面のゼータ電位は、大塚電子(株)製ゼータ電位・粒径測定システムELS-Z2を用いて測定した。ウールは、ジエチルエーテルで洗浄した。泳動液には、10 mM塩化ナトリウム溶液にモニター粒子を数滴加えて用いた。等電点は、未処理ウール、酸化処理ウール、塩素処理ウールの順に大きくなり、染色時のpH調整と対応することが確認された。

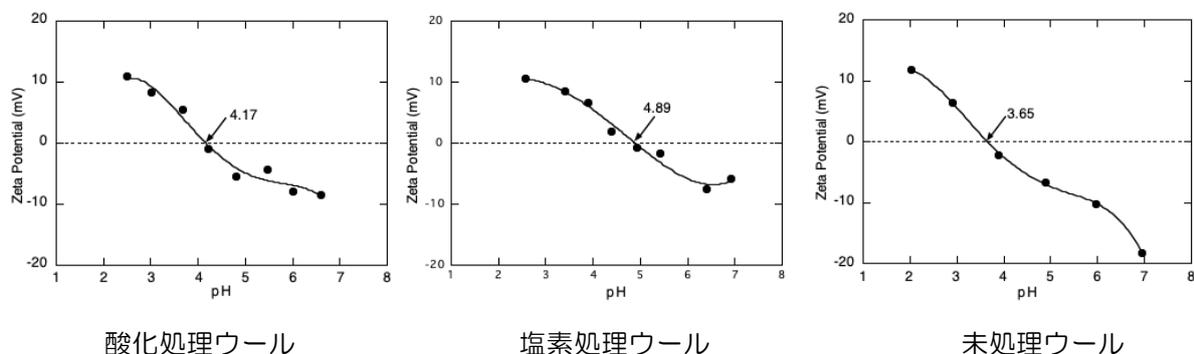


図8 泳動液の pH と各種ウール表面のゼータ電位の変化

#### (5) シス테인酸含有量の測定

シス테인酸含有量は、キャピラリー電気泳動法による測定を大塚電子株式会社に依頼した。各種ウールのシスチン・シス테인含有率に大きな差は認められなかったが、酸化還元ウールのシス테인酸含有量は未処理ウールの約10倍であり、赤外分光分析の結果と一致した。

表21 シスチン・システイン酸含有率とシステイン酸含有量

	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
シスチン・システイン含有率 <sup>a</sup>	5.10%	6.07%	4.77%
システイン酸含有量 <sup>b</sup>	890mg/L	435mg/L	81mg/L

<sup>a</sup>JIS L 1081 比色A法、<sup>b</sup>泳動液AFQ118、印加電圧25kV、検出波長230nm

#### (6) 機械的特性評価

機械的特性は、密度勾配管法により見掛密度、振動法により繊維直径、引張試験から得られる初期引張抵抗度と密度から見掛ヤング率を求めた。ウール3種の密度は、おおよそ一致した。塩素処理ウールの繊度、見掛ヤング率は、他と比べて比較的大きかった。酸化還元ウールの破断伸度、破断強度は最小であり、抗ピル性との相関が認められた。

表22 各種ウールの機械的特性

	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
密度 <sup>a</sup>	1.316	1.311	1.308
繊度 <sup>b</sup>	4.13dtex	4.41dtex	4.09dtex
破断伸度 <sup>c</sup>	34.5%	38.9%	38.2%
破断強度 <sup>c</sup>	4.85cN	5.76cN	5.49cN
見掛ヤング率 <sup>c</sup>	448N/mm <sup>2</sup>	501N/mm <sup>2</sup>	436N/mm <sup>2</sup>

<sup>a</sup>JIS L 1015 密度勾配管法、<sup>b</sup>JIS L 1015 振動法

<sup>c</sup>JIS L 1015 引張速度20mm/min、掴み間隔20mm、試験数100回

#### (7) 保温率測定

保温性は、カトーテック株式会社製、精密迅速熱物性測定装置（KES F7-II型）を用い測定した。風速0.3m/sの放熱量から算出した未処理ウールと酸化還元ウールの保温率は、おおよそ一致した。

表23 酸化還元および未処理ウールの保温率

評価項目	酸化還元ウール	未改質ウール
保温率	59.8%	59.9%

### (8) 吸湿徐放性の評価

短期吸放湿性は、32℃90%RHで30分放置後、32℃40%RHで30分放置を2回繰り返す試験を一般財団法人カケンテストセンターへ依頼した。結果は、酸化還元ウールと塩素処理ウールの吸湿量と放湿率は同じで、未処理ウールとも大きな差はなかった。等温水蒸気吸着曲線測定も同様に依頼して行ったが、吸着温度20℃にて相対湿度0%RHから90%RH付近への吸着方向を定容法で求めた吸湿率は、塩素処理ウール、酸化処理ウール、未処理ウールの順に大きくなり、スケール保持の状態と合っていた。

表24 各種ウールの短期吸放湿性、吸着等温線測定

評価項目	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
吸湿量 <sup>a</sup>	82.47mg/g	82.47mg/g	83.01mg/g
放湿率 <sup>b</sup>	90.67%	90.67%	88.14%
吸湿率	21.56%	20.66%	23.64%

<sup>a</sup> 吸湿量 (mg/g) =  $\{(W_{a2} - W_0) \times 1000\} / W_0$

<sup>b</sup> 放湿率 (%) =  $\{(W_{a2} - W_{d2}) / (W_{a2} - W_0)\} / 100$

### (9) 撥水性の評価

撥水性は一般財団法人カケンテストセンターへ依頼して行った。酸化還元および塩素処理ウールの吸水率、漏水量が未処理ウールに比べ大きいのが、はっ水度に差はなかった。

表25 各種ウール生地シャワー試験による撥水性

評価項目	酸化処理ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
吸水量 <sup>a</sup>	1.95g	1.95g	1.26g
吸水率 <sup>a</sup>	48.3%	48.5%	26.6%
はっ水度 <sup>a</sup>	1級	1級	1級
漏水量 <sup>a</sup>	330mL	320mL	264mL

<sup>a</sup> JIS L 1092 雨試験 (シャワー試験) A法 降水量200mL/2.5分、降雨時間10分間

### (10) 吸水性の評価

各種ウールの吸水性は、試験片が水滴を吸収し湿潤状態に至るまでの時間を測定した。塩素処理ウールが約4秒だったのに対し、酸化還元ウールは15分以上、未処理ウールは約3時間要し、明確な違いを確認できた。一方、乾燥は、吸水後、自然乾燥によって恒量になるまでの時間を測定したが、酸化還元ウール、塩素処理ウールの乾燥時間が未処理ウールに比べ短くなった。

表26 各種ウールの吸水性、乾燥性

評価項目	酸化還元ウール	塩素処理ウール	未処理ウール
吸水性 <sup>a</sup>	16分38秒	3.8秒	170分
乾燥性 <sup>b</sup>	6時間	6時間	9時間

<sup>a</sup>JIS L 1907 滴下法、<sup>b</sup>JIS L 1096

### (11) 抗菌性の評価

抗菌試験は、JIS L 1902に準じ、黄色ブドウ球菌を菌株に用い、ハロー法で24時間、定性試験を行った。3検体の平均によるハロー幅は、酸化還元ウールが1.0mm、未処理ウールが0.2mmとなり、塩素処理ウールはハローが無かった。また、培地状態は酸化還元ウールに乱れを確認できたが、塩素処理ウールと未処理ウールには乱れがなかった。

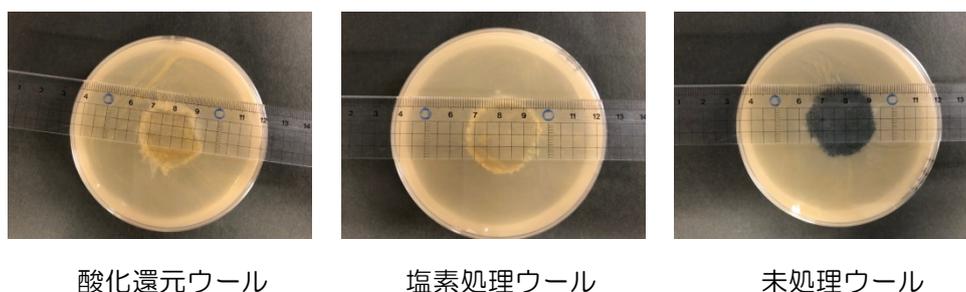


図9 ハロー試験後の各種ウールの外観写真

菌液吸収法により黄色ブドウ球菌を菌株に用いて24時間培養を行い、混釈平板培養法により菌体数を求めた。未処理ウールを対照試料として算出した抗菌活性値は、酸化還元ウールが2.0、塩素処理ウールが0.4となり、酸化還元ウールは抗菌性の基準以上であった。

抗菌防臭性は、抗菌活性値2.2以上が基準とされるが、ガスクロマトグラフィー機器にてインドールを標準試料に分析を行った。吸着量から求めた臭気減少率は、未処理ウールが71%、酸化処理ウールが47%、塩素処理ウールが37%であった。

表27 抗菌活性値と臭気減少率

	抗菌活性値	臭気減少率
酸化還元ウール	2.0	47%
塩素処理ウール	0.4	37%
未処理ウール	—	71%

### 2-2-3 無縫製インナー製品の企画とパターンの研究

試作品は、佐藤繊維株式会社の紳士用ブランド 991®の防縮シリーズ RaYS の半袖を元に、度目の調整、身頃の脇部への透かし柄の導入などシルエットパターンを作成し、株式会社島精機製作所製 ホールガーメント横編機にて完全一体成型品として、赤色 15 着、黒色 15 着作製した。関係者 30 名に 1 ヶ月間、着用試験を行った結果、着用前後の平均寸法変化は、巾-4.5%、丈-1.2%だった。



試作品（赤）



試作品（黒）

図10 試作品

また、酸化還元ウールと塩素処理ウールの試作品を作成し、7名の被験者に対し、一対比較法による5段階、8項目による官能評価試験を実施した。酸化処理ウールは、塩素処理ウールに対し、「やわらかい」が大きく、「ちくちくする」、「堅い」が小さい傾向にあった。

表28 酸化還元および塩素処理ウール製品の一対比較法による平均嗜好度

嗜好	酸化処理ウール	塩素処理ウール
暖かい	0.3	-0.3
やわらかい	0.6	-0.6
軽い	0.3	-0.3
ちくちくする	-0.6	0.6
滑らか	-0.3	0.3
堅い	-0.7	0.7
ざらざらした	0.8	-0.8

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

「第1章1-3成果概要」の通り、各課題の目標についてすべて達成することができた。

開発された製品は、塩素剤や樹脂コーティングを使わない酸化還元処理のウールを採用した洗えるニットのインナーである。天然ウールの機能性（撥水性、保湿性、温度調節、抗菌・防臭性）や風合い、柔らかさに優れており、防縮・抗ピリング性を併せ持っているため、家庭で洗濯が可能で、環境に優しい製品である。

### 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

今後の課題としては、2つ挙げられる。第1に、コストの問題である。店頭価格として1万円を切るようにするためには、原料、染料、助剤等のコストに加えて、各工程の生産効率を上げていかなければならない。引き続き、コストを精査・積算し、目標価格まで引き下げる対策を練る必要がある。第2には、品質を維持しながらスケールアップした場合の設備の問題である。量産体制に入った場合、紡績、染色、編成の各工程でバランスよくサプライチェーンをつなげていくためには、一部古い設備の更新を検討する必要がある。

事業化については、佐藤繊維株式会社の自社ブランドとして販売することが一番近道であるが、大手アパレルからOEM生産の引き合いもある。「メイドインジャパン」に拘って作られ、感性豊かな本物志向の顧客をターゲットとして、日常着に加えてアウトドア、スポーツシーンでの着用も想定している。今後、佐藤繊維株式会社が毎年出展している国内外の展示会等（NY、パリ、フィレンツェ、上海、東京・大阪はシーズン毎に開催）において、自社ブランドとOEMの両面で販路拡大を図っていく。店舗に加えて、オンラインショップによる販売にも注力していく予定である。

このたびの新型コロナウイルス感染症拡大は、アパレル業界に甚大な影響を及ぼしており、既にマーケットの縮小を招いている。本事業化も大きな影響を受けることが予想されるが、付加価値を提案し少しでも進展させていきたい。

令和2年2月27日、本事業の成果物として特許「表皮特性を改良した羊毛及びこれを用いて形成した糸並びに繊維製品」（特願2020-031547）を出願した。