

ISSN 1342-7709

研 究 報 告

第55号
令和5年度

Reports of Technical Support Center for Textiles Industries

No.55
2023

兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター
〒677-0054 兵庫県西脇市野村町1790-496
TEL(0795)22-2041 FAX(0795)22-3671

Hyogo Prefectural Institute of Technology,
Technical Support Center for Textiles Industries
1790-496,Nomura,Nishiwaki,Hyogo,Japan 〒677-0054

目 次

1. 廃棄綿糸を活用したナノセルロースの作製およびその特性評価に関する研究
「技術改善研究」
新田恭平, 佐伯靖、東山幸央, 中野恵之, 藤田浩行, 平瀬龍二, 長谷朝博 1
2. 色分別アップサイクル糸の播州織への適用検討
「重点領域研究推進事業」
東山幸央, 藤田浩行, 中野恵之, 新田恭平, 佐伯靖 9
3. パイナップル葉繊維の可紡性向上と機能性評価に関する研究
「経常研究」
藤田浩行 14
4. 生地の花粉対策加工評価法の開発
「経常研究」
中野恵之 18

廃棄綿糸を活用したナノセルロースの作製およびその特性評価に関する研究

新田恭平, 佐伯靖, 東山幸央, 中野恵之, 藤田浩行, 平瀬龍二^{※1}, 長谷朝博^{※2}

要旨 播州織産地で排出される繊維屑の再利用方法として、廃棄綿糸のナノファイバー化に着目した。本研究では、廃棄綿糸由来のセルロースナノファイバー(CNF)の作製とゴム材料との複合化を検討した。裁断と酵素処理を施した廃棄綿糸を機械的に解繊することで、ナノ繊維化することができた。作製したCNFを天然ゴムに添加し、複合化させゴム物性を評価した結果、CNFを添加していない天然ゴムよりも物性値が向上していることを確認した。引張強度測定の結果から、補強効果はパルプ由来のCNFの極短繊維長グレードに相当すると見積もられた。しかし、廃棄綿糸に含まれている合成繊維がCNFと凝集している様子が観察されたことから、その凝集塊がCNFの材料への分散性や補強効果などを阻害していることが示唆された。

1 目 的

兵庫県内でも持続可能な開発目標(SDGs)を意識した取り組みに挑戦する中小企業が増加している。播州織産地(西脇市)では、生地を織る織機から排出される捨て耳糸や整経時の残糸がある(図1)。2022年度の繊維屑の廃棄量は、生産量約13,000千 m^2 のため、繊維廃材が数~十数トン/年の排出量であると推定される。そこで、繊維廃材のリサイクルの1つとして、廃棄綿糸のナノファイバー化に着目した。植物由来のナノ繊維であるセルロースナノファイバー(CNF)は、高いアスペクト比や比表面積、セルロース由来の化学的安定性や生分解性、低熱膨張性などの機能性を有していることから、高機能なバイオマス素材として注目されており多くの産業分野で社会実装に向けた研究開発が進められている。

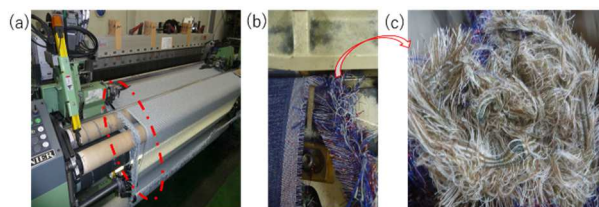


図1 製織工程で排出される糸の例

(a) 製織工程 (b) 織布から切り離される耳糸
(c) 回収した耳糸

本研究では、廃棄綿糸からCNFの作製を試みた。廃棄綿糸のナノファイバー化は、原料の裁断とセルラーゼ酵素による処理を行った後、ナノファイバー化工程として、ディスクミルによる機械的解繊処理を行った。作製したナノファイバーのゴム材料(天然ゴム: NR)への添加効果を調べ、その優位性を評価した。本研究で得られた成果は将来的に県内地場産業でのCNFの活用を目指すための基礎データとして蓄積する。

2 実験方法

2.1 原料について

CNFの原料となる廃棄綿糸は、播州織産地(西脇市)から排出された繊維屑であり、綿繊維の他に合成繊維(主にポリエステル糸)が含まれている。今回、廃棄綿糸由来のCNFとの比較のため、合成繊維を含んでいない染色綿糸由来のCNFや繊維長の異なる3種のパルプ由来の市販CNF(BiNF_i-s, 株式会社スギノマシン製の標準繊維(WFo-10005, 重合度600程度)、極短繊維(FMa-10005, 重合度200程度)、極長繊維(IMa-10005, 重合度800程度))を用いた。また、本研究で使った廃棄綿糸は、合成繊維糸の混入率を把握するために、繊維混用率試験法(JIS L 1030-2)を参考に合成繊維の混入率を調べた。廃棄綿糸約5.1 kgから約0.50 gを無作為に8箇所から採取し乾燥させた。この試料を約60°Cの70%硫酸15 mLに3分間

※1 材料・分析技術部

※2 国立研究開発法人産業技術総合研究所

浸け試験管内で攪拌した。繊維と硫酸の混合液をガラス濾過器で濾過した。残留繊維を水10 mL×2回、1%アンモニア水10 mL×2回洗浄し、最後に水洗して乾燥させた。赤外分光光度計(FT-IR, iS10, サーマフィッシャーサイエンティフィック株式会社)のATR法による測定結果から、残留繊維にセルロース由来のスペクトルが検出されていないことを確認した。試験前後の重量変化量から合成繊維の混入率を算出した結果、混入率は約40%であった。

2.2 廃棄綿糸の前処理および解繊処理

2.2.1 原料の裁断

撚りのある長い糸である原料は解繊装置に絡まることで、解繊の阻害や装置の破損に繋がるため、ナノファイバー化工程の前に、ハサミによる裁断を行い、繊維長を2 cm以下にした。

2.2.2 セルラーゼ酵素による前処理の検討

綿糸を脆化させ解繊効率を向上させる目的で、セルロースの酵素加水分解を行った。酸性のセルラーゼ酵素とpH調整剤は、洛東化成工業株式会社のエンチロン CM-40L (トリコデルマ種酵素)とブライト BAFCONCを使用した。裁断した廃棄綿糸80 gを水2000 mLに入れ、酵素溶液50 mL、pH調整剤10 mLを添加し、50°C、pH4.5下でシェーカーにより所定時間振とうした。処理終了後は80°Cで20分以上加熱し酵素を失活させた。75メッシュのふるいを用いて処理後の試料を濾過し、10分間水洗した後に残留物を回収、乾燥した。形態観察は、走査型電子顕微鏡(SEM, SU3500, 株式会社日立ハイテク)により、加速電圧15 kVの条件で行った。

2.2.3 ディスクミルによる廃棄綿糸CNFの作製

酵素処理後の試料ディスクミル(スーパーマスコロイダー, MKCA6-2, 増幸産業株式会社)による機械的解繊を行った(図2 (a))。廃棄綿糸約60 gに水2000 mLを加えてパワーミキサーで数分間かき混ぜ、懸濁液を調製した。無気孔砥石は、深溝タイプと標準タイプを適宜使用した。砥石間の初期のクリアランスを7000 μmとし、回転速度1800 rpmで解繊した。懸濁液の粘性状態に合わせてクリアランスを狭めていき、300 μmまでを予



図2 ディスクミルによる機械的解繊の様子。(a) 使用したディスクミル (b) 装置への懸濁液の投入 (c) スラリー状となった試料

備解繊とした。クリアランス300 μmからは段階的(20 μm毎)に狭めていき、回転砥石に通した。最終的に140 μmを通過するまで処理し、スラリー状となった水分散液を得た(図2 (b), (c))。スラリー状試料の固形分率をハロゲン水分計(HX204, メトラー・トレド株式会社)で測定した。(以下、廃棄綿糸由来CNFを「廃綿CNF」、染色綿糸由来CNFを「綿糸CNF」とし、試料名は、例として、酵素の処理時間が短い方の廃綿CNFは「廃綿CNF-1」と略称する。)

2.3 作製した廃棄綿糸CNFの特性評価

2.3.1 廃棄綿糸CNFに含まれる合成繊維混入率の算出

スラリー状試料に含まれている微量の合成繊維の混入率を調べるため、2.1に記載した処理法では、綿繊維と合成繊維の両方を溶解させてしまう懸念があった。そのため、1,1,1,3,3,3-ヘキサフルオロ-2-プロパノール(HFIP)を用いて合成繊維(ポリエステル)を選択的に溶解させて除去した。スラリー状試料40 mLを回転速度6000 rpm×20分で遠心分離した。沈殿物にメタノールを加えて溶媒置換した。この操作を3回行った後、試料を乾燥させた。乾燥試料を乳鉢で砕き、HFIP 75mLを用いて、70°C×3時間でソックスレー抽出した。FT-IRのATR法による測定でポリエステル由来のスペクトルが検出されていないことを確認し、試験前後の重量変化量から、合成繊維の混入率を算出した。(式1)

合成繊維混入率 [%] = $(W_0 - W_1) / W_0 \times 100 \cdots$ (式1)

W_0 : 処理前の重量 [g]

W_1 : 残留物の重量 [g]

2.3.2 超高分解能走査型電子顕微鏡によるCNFの形態観察

CNFの形態観察を行うために、分散媒である

水をアルコールに置換し凍結乾燥試料を調製した。水分散試料を遠沈管に移し、20°C下、回転速度9000 rpm×10分で遠心分離機(Model 7000, 久保田商事株式会社)にかけた。上澄み液を除去し、*tert*-ブチルアルコール(*t*-BuOH)を注いで沈殿を激しく混ぜて再分散させた。*t*-BuOHの凍結を防止しながら、この操作を5回繰り返した。*t*-BuOH分散液を一晩冷蔵庫で静置した。凍結した試料を凍結乾燥機(FDU-2100, 東京理科器械株式会社)にかけ、1週間以上乾燥させた。調製した試料をオスミウムコーター(Neoc-Pro, メイワフォース株式会社)により膜厚3 nmとなるようにオスミウム酸染色を施した。形態観察は、電界放出形走査電子顕微鏡(FE-SEM, SU9000, 株式会社日立ハイテク)により、加速電圧1 kVの条件で行った。

2.3.3 ガス吸着によるCNFの比表面積測定

凍結乾燥したCNFの比表面積は、ガス吸着方式比表面積計(BELSORP-max, マイクロトラック・ベル株式会社)を用いて測定した。乾燥させた比表面積測定用のサンプル管に約0.20 gの乾燥CNFを入れ、液体窒素を満たした装置に設置して-196°C下で窒素ガスの吸脱着により等温線を測定した。得られたBrunauer-Emmett-Teller (BET)プロットから比表面積を求めた。

2.3.4 CNFの結晶化度の測定

凍結乾燥したCNF約0.15 gを0.02 MPaでタブレット形状に成型した。X線構造回折装置(RINT TTR3, 株式会社リガク)により、管電圧50 kV、管電流300 mA、 $2\theta=2\text{--}60^\circ$ の条件でX線回折法による結晶化度の測定を行った。得られた(110)のX線回折ピークの強度比から結晶化度を算出した(式2)。²⁾

$$\text{結晶化度 [\%]} = B/A \times \alpha \times 100 \cdots (\text{式2})$$

A : $\bar{1}\bar{1}0$ の強度

B : $\bar{1}\bar{1}0$ の強度 - 非晶の強度

α : 装置に依存する補正值(使用した装置の場合は1とした。)

2.4 CNF/NR複合材料の評価

2.4.1 配向異方性のないCNF/NR複合材料の作製

CNFをハイアンモニア処理NRラテックス(固

形分濃度: 約62%)に投入し、自転公転ミキサー(ARE-310, 株式会社シンキー)で回転速度2000 rpm×5分で攪拌し、均一に混合させた。40°Cで4日以上乾燥させ、NR重量100 phrに対してCNFを5 phr配合したマスターバッチ(MB)を作製した(廃綿CNFの場合は混入している合成繊維を含んで5 phrとした)。バンバリー形ブレードを装着した小型密閉式混練機(ラボプラスミル, 3S500, 株式会社東洋精機製作所)により、50°Cで回転速度60 rpmでMBを素練りした。その後、同条件で表1に示す配合剤を混練した後、本練りを10分間行い、CNF配合未加硫ゴムを作製した。このゴムを15 cm×15 cmの専用金型に入れ、熱プレス機により150°C×10 MPa×8分の条件で加硫し、2 mm厚のCNF/NRシート試料を作製した。

表1 ゴム配合表

試薬	配合量 [phr]
NRラテックス	100.00
CNF	5.00
酸化亜鉛	6.00
硫黄	3.50
ステアリン酸	0.50
加硫促進剤	0.70

2.4.2 CNF/NR複合材料の硬度測定

作製したゴム試料を6 mm厚に積層させ、デュロメータ硬さ計(タイプA, 株式会社テクロック)を用いてゴム硬度を測定した(JIS K 6253に準拠)。

2.4.3 CNF/NR複合材料の耐摩耗試験

作製したゴム試料を穴あけポンチで打ち抜き、ディスク形状の試料片を作製した。DIN摩耗試験装置(QC-618A, コムテック株式会社)により、試料片を専用サンドペーパーで摩耗した(JIS K 6264準拠)。試験前後のゴム試料の重量から摩耗量を算出した(式3)。

$$\Delta V = (\Delta G \times 200) / (D \times \Delta S) \cdots (\text{式3})$$

ΔV : 摩耗量 [mm³]

ΔG : 試験片摩耗重量 ($G_0 - G_1$) [g]

D: 試験片比重 [mg/mm³]

ΔS : 標準試験片の摩耗重量 [g]

2.4.4 配向異方性のあるCNF/NR複合材料の作製

2.4.1を参考にCNF/NRのMBを作製した。NRにCNFを添加した際、CNFの異方性を制御するためにゴムの練り工程で、ゴム用二本ロール機(φ6×15テストロール機、関西ロール株式会社)を使用し、CNFの配向性を付与したゴム試料を作製した。なお、NRへのCNFの配合量を5 phrとした(廃綿CNFの場合は混入している合成繊維を含んで5 phrとなる)。NRと加硫剤の種類と配合量は表1のとおりである。混練方法は、50°Cのロールにゴムを巻き付け切り返しながらかMBを素練りした。次に酸化亜鉛とステアリン酸を投入し、混練後、硫黄と加硫促進剤を投入して混練した。本練りとして丸め通しや三角折り通しなどを数分間行い、2 mm厚のCNF/NRのシート状試料を作製した。未加硫ゴム試料の適切な加硫時間を調べるために、加硫判定機(キュラストメーター7型 TYPE R, JSRトレーディング株式会社)による評価を150°Cで行った。加硫は、ゴム試料を15 cm×15 cmの専用金型に入れ、熱プレス機(圧縮成形機 NF-50, 神藤金属工業所株式会社)により150°C×10 MPa、測定した加硫時間で加硫し、CNF配向性を付与した2 mm厚のCNF/NRシート試料を作製した。

2.4.5 CNF/NR複合材料の引張強度測定

2 mm厚のゴム試料から、試験片打抜刃(ダンベル状3号形)を用いて、引張方向が列理、反列理方向になるように試験片を打ち抜いた。精密万能試験機(AG-20kNXDplus型, 株式会社島津製作所)を用いて、室温下500 mm/minの引張速度で、引張試験を実施した。(JIS K 6251に準拠)。

3 結果と考察

3.1 機械的解繊処理法によるCNFの作製

綿花を原料としてナノファイバー化を行う場合でも酸やアルカリを用いた前処理が検討されている。³⁾ 本研究では、ディスクミルによる解繊を効率よく行うために、繊維の裁断と酵素処理を行った。

前処理前後の外観画像およびSEM像を図3に示す。酵素処理した綿糸の外観には毛羽立ちが目立ち、繊維表面をSEM観察すると亀裂のような痕跡が確認されたことからセルロースの分解

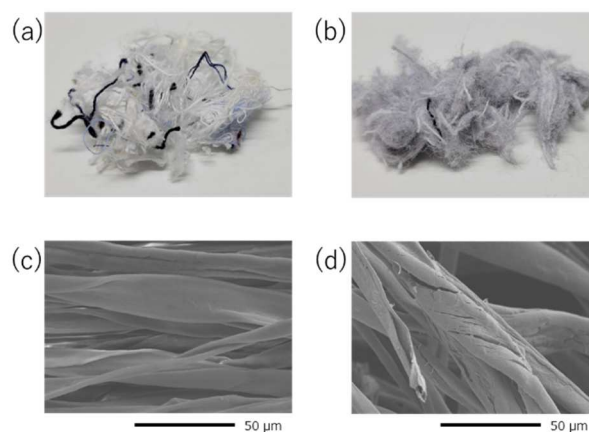


図3 原料の前処理法の検討における外観像およびSEM像。(a) 裁断した試料の外観 (b) 酵素処理後の試料の外観 (c) 処理前の綿糸の表面形態 (d) 酵素処理した綿糸の表面形態 (SEM像のスケールバー: 50 μm)

表2 作製したCNFスラリーの評価結果

サンプル	原料	酵素処理時間	水分量計測定 固形分率 [wt%]	合成繊維 混入率 [%]
廃綿CNF-1	廃棄綿糸	18 hr	1.19	22.7
廃綿CNF-2	廃棄綿糸	96 hr	1.62	36.4
綿糸CNF-1	染色綿糸	3 hr	1.55	-
綿糸CNF-2	染色綿糸	72 hr	1.04	-

が進行していると推察する(図3 (b), (d))。

ディスクミルによる解繊処理では、2種類の砥石を使い分け、ナノファイバー化を行った。また、試料は撚りのかかった廃棄綿糸であるため、砥石間への凝集物の詰まりや回転軸への絡まりが発生したが、最終的にスラリー状の試料を得た。表2に水分計によりスラリー中の水分量を測定し、固形分量を調べた結果を示す。解繊前の水懸濁液の濃度は約3 wt%であったが、処理中に解繊できなかった繊維体を都度除去したため、処理後のスラリー中の廃綿CNFおよび綿糸CNFの固形分率は、1—2 wt%であった。また、廃綿CNFスラリー中に含まれている合成繊維の量を調べた結果、その合成繊維の混入率は20—40%程度であった。酵素による前処理時間が長い場合、低分子量体へ分解されるセルロースの量も多くなるため、作製した廃綿CNF中の合成繊維の混入率も大きくなったと推察する。

3.2 作製したCNFの特性評価

作製したCNFスラリーの分散媒を水から*t*-BuOHに置換し凍結乾燥することで、乾燥時の織

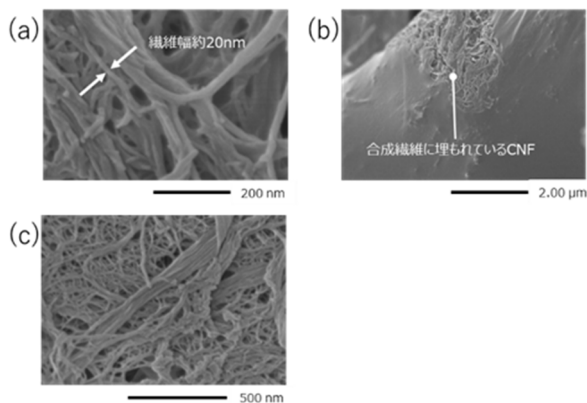


図4 ディスクミルで作製したアルコール置換CNFのFE-SEM観察像
(a) 廃綿CNF (b) 合成繊維に包埋した状態のCNF (c) 綿糸CNF (FE-SEM像のスケールバー: (a) 200 nm (b) 2.00 μm (c) 500 nm)

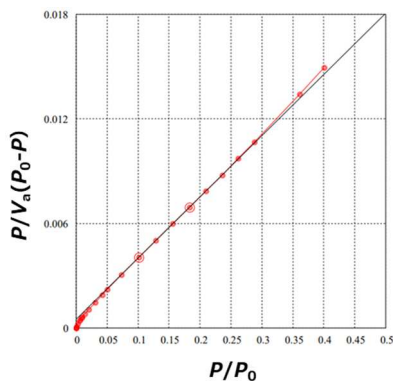


図5 廃綿CNF-1の比表面積測定結果

維同士の凝集が抑制され、繊維一本一本が解れた状態の乾燥比表面積などを調べ、廃綿CNFと綿糸CNFの差異について考察した。

FE-SEMによる形態観察画像を図5に示す。廃綿CNF、綿糸CNFともに、スケールバーでの比較から繊維幅が約20 nm以上、繊維長が500 nm以上の繊維構造を形成していることが確認された(図4 (a), (c))。図4 (c)の綿糸CNFでは、ナノ繊維体のみが観察されたが、廃綿CNFでは合成繊維が混入しているため、樹脂片の他に樹脂に埋入したCNFも観察された(図4 (b))。解繊工程で、ディスクの摩擦熱により合成繊維(ポリエステル)がガラス転移温度を超えて軟化し、CNFを取り込んだ凝集体を形成していると考えられる。

窒素ガスを利用したBET法によって比表面積を求めた結果、廃綿CNFでは、95—122 m²/g程度、綿糸CNFでは175—206 m²/g程度であった(図5、表3)。ウォータージェット法で作製されたパルプ由

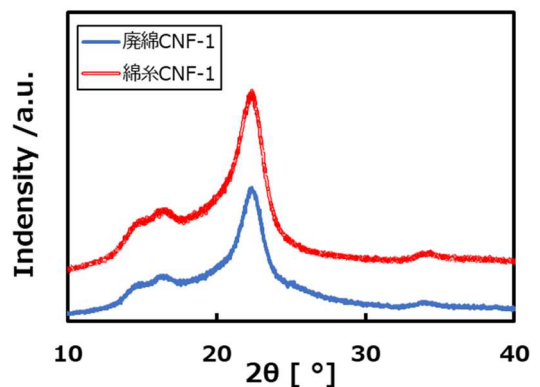


図6 廃綿CNFおよび綿糸CNFの回折パターン

表3 作製したCNFの特性評価結果

サンプル	BET法	XRD
	比表面積 [m ² /g]	結晶度 [%]
廃綿CNF-1	122	72.5
廃綿CNF-2	95	73.8
綿糸CNF-1	175	85.5
綿糸CNF-2	206	86.0

来CNFの比表面積が120—150 m²/gであることから、ほぼ同等の比表面積をもつCNFが作製できたと推察する。⁵⁾ 廃綿CNF中の20—40%は合成繊維であるが、綿糸CNFの比表面積は廃綿CNFの1.4倍以上高くなった。廃綿CNFの比表面積の低下の原因は、図4 (b)でも観察されたように合成繊維とCNFとの凝集体の形成に起因していると考えられる。さらに酵素処理の時間が長くなると、セルロースの分解が進行するため合成繊維の含有率が高く、廃綿CNFの比表面積も小さくなる傾向にあった。図6に廃綿CNFと綿糸CNFのX線回折パターンを示す。セルロースの回折ピークはそれぞれ15°、16°、23°付近にあり、(110)、(110)、(200)からの回折ピークと考えられる。XRDで得られたピーク強度から求めたCNFの結晶化度は、廃綿CNFは、約73%、綿糸CNFは85%程度であった(表3)。綿糸CNFには合成繊維が存在していないため、その結果高い値となったと考える。

3.3 CNF/NR複合材料の評価

3.3.1 異方性のないCNF/NR複合材料の評価

ラボプラストミルを用い、NR量100 phrに対して作製したCNFが5 phrとなるように添加し、熱プレス機でCNF/NR複合材料を作製した。そのため、繊維系フィラーであるCNFの配向性はランダムとなる。ゴムの硬度測定の結果を図7および

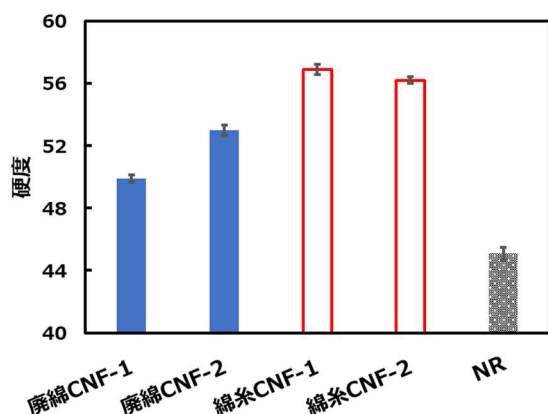


図7 CNF/NR複合材料の硬度試験結果

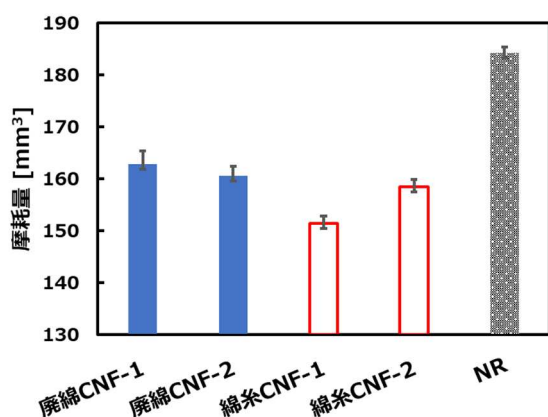


図8 CNF/NR複合材料の耐摩耗性試験結果

表4に示す。廃綿CNF-1および廃綿CNF-2を添加したNRの硬度は50および52であった。綿糸CNF-1および綿糸CNF-2を添加したNRは、57および56であり、コントロールのNRは45であった。CNFの添加に起因し、ゴム硬度の向上が確認されたが、廃綿CNF/NRの方が綿糸CNF/NRより硬度が低くなった。この結果については、廃綿CNF中の20—40%は廃棄綿糸であり、図4(b)のように合成繊維とCNFの凝集体も存在している。また、添加されているCNFの配合量は実質的に3—4 phr程度であると見積もることができる。よって、ゴムの硬度に影響を及ぼしているのは、合成繊維よりもCNFの方が支配的であったと推察される。また、酵素処理時間による物性差をみると、処理時間の短いCNFの方が、繊維長の長いCNFの量も多いと考えられるため、補強効果が高くなった。廃綿CNF/NRでは合成繊維の影響により、その傾向がみられなかったが、綿糸CNF/NRでは相関性のある結果となった。

耐摩耗性の評価結果を図8および表4に示す。コントロールであるNRの摩耗量が184 mm³であ

ったのに対し、廃綿CNF-1,-2を添加したNRでは、それぞれ163 mm³と161 mm³であり、綿糸CNF-1,-2を添加したNRはそれぞれ151 mm³と158 mm³であった。つまり、CNFを添加したNRでは、摩耗量が減少していることから、NRの耐摩耗性が向上していることが確認された。廃綿CNF/NRの耐摩耗性は、綿糸CNF/NRよりも小さくなった。先述のとおり、廃綿CNFには合成繊維が含まれているため、ゴム硬度の測定結果と同様に、耐摩耗性は合成繊維に起因したのではなく、CNFによる影響だと考えられる。

3.3.2 配向異方性のあるCNF/NR複合材料の評価

種々の引張物性値を表4に示す。CNFを添加することで引張挙動の変化が顕著にあらわれた。CNFを二本ロールの流れ方向の列理とその直角

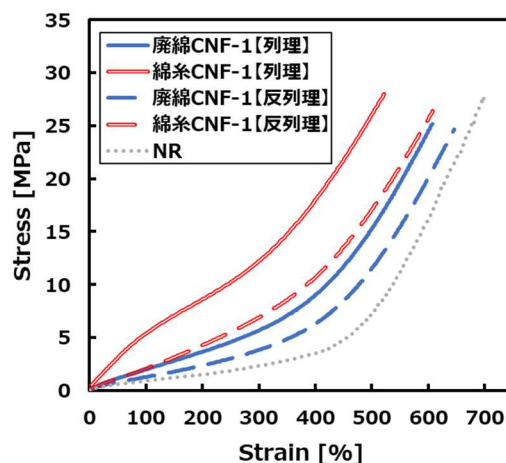


図9 CNFが列理および反列理に配向したCNF/NR複合材料の応力-ひずみ曲線

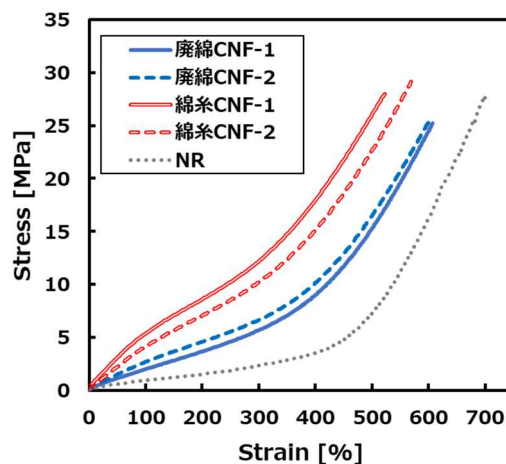


図10 酵素処理時間の異なるCNF/NR複合材料の応力-ひずみ曲線(列理)

表4 CNF/NR複合材料の物性評価結果

サンプル名	ゴム硬度試験		耐摩耗性試験		引張強度試験【列理】		引張強度試験【反列理】	
	Hs (A)	摩耗量 [mm ³]	最大応力 [MPa]	破断点ひずみ [%]	最大応力 [MPa]	破断点ひずみ [%]		
廃綿CNF-1	49.9	162.8	25.2	606.6	25.0	646.2		
廃綿CNF-2	52.3	160.5	25.6	607.7	27.0	653.7		
綿糸CNF-1	56.9	151.4	28.1	545.8	26.4	606.6		
綿糸CNF-2	56.2	158.4	29.1	567.6	28.2	626.6		
市販CNF標準	-	-	28.7	568.3	-	-		
市販CNF極短	-	-	29.1	567.6	-	-		
市販CNF極長	-	-	28.1	543.2	-	-		
NR	45.1	184.2	28.0	699.6	-	-		

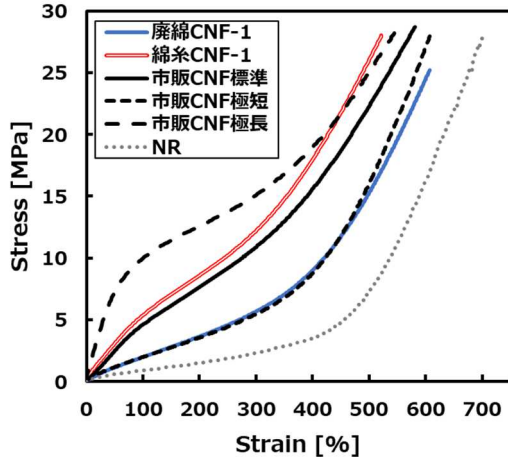


図11 繊維長の異なるCNF/NR複合材料の応力-ひずみ曲線(列理)

方向の反列理に配向させたNRの応力-ひずみ曲線の一部を図9に示す。コントロールであるNRと比較した結果、CNFを添加することで、それぞれのひずみ領域における引張応力は大きくなり、破断伸びは小さくなる傾向がみられた。破断伸びは、コントロールであるNRは約700%であったが、廃綿CNF-1, -2のNRでは列理で約610%、反列理で約650%であった。綿糸-1, -2のNRでは列理で約550%および約570%で、反列理で約610%および約630%であった。廃綿CNFを添加したNRでは異方性の差が小さく現れた。一方、綿糸CNFを添加したNRでは、その異方性の差が顕著であった。廃綿CNFと綿糸CNFでは、NRへ分散しているCNFの状態やフィラーとしての形態が異なることが示唆された。廃綿CNFは、通常のCNFだけでなく、図4(b)で観察されたように合成繊維とCNFの凝集体が存在しているため、応力-ひずみ曲線に影響を与えていると考えられる。

図10に酵素処理時間の異なるCNFを添加したNRの応力-ひずみ曲線を示す。上述の通り、廃綿CNFの破断伸びはいずれも約550%で差はほとんどみられなかった。合成繊維による影響である

と考えられる。綿糸CNF-1, -2を添加したNRの破断伸びは、約550%と約570%程度であった。綿糸CNF/NRの破断伸びの差異については、酵素分解によりCNFの繊維長が異なっていると推察され、その影響がゴムの引張物性に影響していると考ええる。これまでのCNF特性評価結果やゴム物性評価結果とも相関性のある結果となった。

図11に繊維長の異なるCNF/NR複合材料の応力-ひずみ曲線を示す。それぞれの破断伸びは、市販CNF標準、極短では約570%、極長では約540%であった。NRと比較して、廃綿CNFを添加した試料以外は引張強さが大きくなった。それぞれ挙動を比較すると、廃綿CNF-1を添加したNRは補強効果が小さく、ひずみ領域における引張応力は市販CNFの極短繊維長に相当であると推察する。綿糸CNF-1を添加したNRは市販CNFの標準繊維長よりやや優位となる補強効果が確認された。ゴム硬度や耐摩耗試験の結果と同様に、廃綿CNFより綿糸CNFの方が、ゴムへの補強効果が良好であった。

4 結 論

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ・酵素による前処理と機械的解繊法により、廃棄綿糸からCNFを作製することができた。
- ・特に綿糸CNFをNRに添加することで、種々の物性値の向上が確認された。
- ・酵素処理の時間と、CNFの特性およびCNF/NR複合材料物性との相関性は明確にできなかった。

廃棄綿糸からCNFを作製し、その基本特性およびゴム材料用フィラーとしての評価を行った。廃綿CNFを綿糸CNFや市販CNFと比較した結果、基本特性では明確な優位差は確認できなかった。複合材料評価では、廃綿CNFの方が物性値は低くなった。廃棄綿糸に含まれている合成繊維の影響によるものだと推察される。今後、合成繊維

の除去方法や高効率な解繊のために処理方法を改良する必要がある。

謝辞

本研究成果の一部は、国立研究開発法人産業技術総合研究所における地域産業活性化人材育成事業により得られたものです。関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 林尊治助, 山田拓司, 木村規矩也, 渡辺貞良, 日本化学会誌, 10, 1967 (1974)
- 2) https://unit.aist.go.jp/ischem/ischem-clm/technical_point/technical_point18.html
- 3) W. Chen, K. Abe, K. Uetani, H. Yu, Y. Liu, and H. Yano., Cellulose, 21, 1517 (2014)
- 4) 林徳子, 森林科学, 81, 11 (2017)
- 5) <https://www.sugino.com/site/biomass-nanofiber/lineup.html>

色分別アップサイクル糸の播州織への適用検討

東山幸央，藤田浩行，中野恵之，新田恭平，佐伯 靖

要旨 廃棄衣料由来の再生糸（反毛紡績糸）について、強伸度・撚り数・糸むらなどの特性評価を行い、バージンの綿糸と比較して糸むらが大きく、毛羽が長いことが明らかとなった。また、再生糸を緯糸に用いて試織を行い、三原組織およびジャカード柄の織物を試織した。その際、再生糸に由来する製織工程での問題点は発生せず、バージンの綿糸と同様に緯糸として使用可能であることが明らかとなった。

1 目 的

ファッション産業は、石油産業に次いで環境負荷が大きい産業との指摘があり¹⁾、従来の大量生産→大量消費→大量廃棄の直線型経済（リニアエコノミー）から、資源の循環利用を掲げた循環型経済（サーキュラーエコノミー）への転換が必須かつ急務である。

また経済産業省は、令和4年5月に繊維技術ロードマップをとりまとめ、個別技術のロードマップとして「繊維 to 繊維リサイクル技術の実用化」を挙げている²⁾。このうち、一般的なエステル綿混の紡績糸の繊維 to 繊維リサイクルは、2040年以降のターゲットに指定されており、技術的難度が高い。

株式会社 colourloop（京都市）では、廃棄衣料のリサイクルについて、廃棄衣料の色で分別してから反毛・再紡績することで糸としてリサイクルする技術を確立し（色分別アップサイクル糸）、フェルトやレザー用途に展開している。今回、織物への展開を目指す上で、廃棄衣料由来の再生糸（色分別アップサイクル糸）の製織に係る糸特性（強伸度・撚り数・糸むら）測定と、緯糸に用いた生地を試織による製品の試作を目的とした。

2 実験方法

2.1 色分別アップサイクル糸（再生糸）の作製と糸特性評価

色分別アップサイクル糸（再生糸）は、番手が

12番双糸、12番単糸、24番双糸、24番単糸の4種類とした。故繊維（反毛繊維）と通常綿もしくは超長綿を30/70もしくは50/50で混綿して紡績、合計10種類の再生糸を作製した。

糸特性評価は、強伸度測定、撚り数測定、糸むら測定を行った。

強伸度測定は、AUTODYNE300（MESDAN製）を用いて、試験長50cm、試験回数100回で実施した。撚り数測定は、ZWEIGLE TWIST TESTER 5（USTER製）を用いて、試験長50cm、試験回数10回で実施した。

糸むら測定は、USTER TESTER 6（USTER製）を用いて、試験長1000m、試験回数2回で実施した。

また、比較対象として弊所在庫糸で番手の近いものを選定し、同様の糸評価を行った。

2.2 試織と製品試作

10種類の再生糸を緯糸に用いて、三原組織（平織・2/2綾織・緯8枚朱子織）およびジャカード織の試織を行った。織機はZAX9100Professionalエアジェット（津田駒工業製）、開口装置はLX1602ジャカード（ストーブリ製）を用いた。経糸は綿80/2、経糸密度は100本/インチとした。緯糸密度は、30本/インチ（12番双糸：6番相当）、42本/インチ（12番単糸、24番双糸：12番相当）、60本/インチ（24番単糸：24番相当）とした。

製品試作として、24番単糸の再生糸を用いた

平織およびジャカード柄の生地を用いて、カッターシャツを作製した。

3 結果と考察

3.1 色分別アップサイクル糸（再生糸）の作製と糸特性評価

作製した色分別アップサイクル糸（再生糸）および、比較対照の在庫糸の糸情報を表1に示す。No.1～No.2は故繊維に通常綿を混綿し、No.3～No.10は超長綿を混綿した。

番手の近い在庫糸として、6番単糸、10番単糸、16番単糸、20番単糸、30番単糸、30番双糸を選定した（No.11～No.16）。

No.1～10の再生糸の糸特性評価結果を表2に、No.11～No.16の在庫糸の糸特性評価を表3に示す。

なお、強伸度と糸むらについては、USTERデータベース（USTER STATISTICS 2018）にて解析を行い、データベース内における上位何%の結果となるのかを色と共に表示した。青が強いほど上位（強度が高い・伸度が大きい・糸むらが小さい・毛羽が短い・バラツキが小さい）、赤が強いほど下位（強度が低い・伸度が小さい・糸むらが大きい・毛羽が長い・バラツキが大きい）となる。

No.1～No.10の再生糸においては、全体的に強度が小さめ、伸度が大きめ、糸むらが大きめ、シン（Thin：基準太さよりも50%以上細い箇所）・シック（Thick：基準太さよりも50%以上太い箇所）・ネップ（Nep：基準太さよりも200%以上太い箇所）が多め、毛羽が長く毛羽長さのバラツキも大きい傾向が見られた。また撚係数は、標準の4.0に対して4.5～4.9と、やや強撚となった。糸強力確保のために、撚りをきつめにしていると考えられる。故繊維の混率を30→50とすることで、強度の低下、糸むらの増加、シン・シック・ネップの増加、毛羽の増加が見られた。

No.11～No.16の在庫糸においては、強度が小さい傾向が見られ、ほぼ全て下位95%以下となった。長期在庫の影響と考えられる。但しこれらの在庫糸は、これまで試織で緯糸に用いた際に、緯糸切れ等のトラブルは全く発生していない。よって、強度においては、データベース上で下位95%以下となっても、製織に問題ないレベルの

強度は有していると思われる。

No.1～No.10の再生糸において、ほぼ全て糸むら・シン・シック・ネップ・ヘアリネス（毛羽）が下位の結果となったが、これは反毛→再紡績した糸の特性であり、糸の品質として劣るのではなく、スラブ糸やネップ糸のような特性を持つ糸である、と解釈するのが適当であると考えられる。また、強度も在庫糸の同番手相当以上であるため、緯糸に用いて試織するのに問題は無いと思われる。

今回の再生糸は、廃棄衣料より青系のものを分別して反毛再紡績したものであり、色調の微妙に異なる青色の繊維が混ぜ合わされているため、霜降り調の外観を持った糸となった。

3.2 製織検討

No.1～No.10の再生糸それぞれについて、平織・2/2綾織・緯8枚朱子織の3原組織で試織を行い、計30種類の生地を試織した。No.8の再生糸（24番単糸、超長綿50/故繊維50）を用いた試織生地を図1に示す。霜降り調の外観を持つ生地となった。その際、再生糸に起因する緯入れミス頻発などのトラブルは発生しなかった。

また、滋賀県立大学の学生がデザインした意匠図案を用いたジャカード柄の試織も行った。No.7およびNo.8の再生糸を用い、グランド部分は平織、柄部分は8枚緯朱子織とした（図2）。

その他、製品試作（カッターシャツ）を行った。生地はNo.7とNo.8の平織とジャガード柄を用いた（図3）。

本研究内容は、一般社団法人日本繊維機械学会の第76回年次大会にて口頭発表及びポスター発表³⁾を行った（図4）。

4 結論

色分別アップサイクル糸（再生糸）の糸特性は、毛羽が長い+糸むらが大きく、スラブ糸に近い特性であり、独特の霜降り調の外観である。この糸を用いた三原組織およびジャカード柄での試織に成功した。再生糸由来の製織工程でのトラブルも発生しなかった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、株式会社 colourloop の内丸もと子氏、滋賀県立大学の森下あおい教授、院生の坂上晴穂氏に深く感謝申し上げます。

- 2) 繊維技術ロードマップ, 経済産業省, 28 (2022)
- 3) 東山幸央, 繊維機械学会第 76 回年次大会予稿集 B1-03, P2-10 (2023)

参考文献

- 1) 令和 2 年度製造基盤技術実態等調査 (繊維産業のサステナビリティに関する調査) 報告書, 株式会社矢野経済研究所, 5 (2021)

表 1 作製した再生糸 (No. 1-10) および比較対照の在庫糸 (No. 11-16)

No.	単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
再生糸or通常糸	-	再生糸						通常糸					
糸の太さ	-	12番単糸						12番双糸		24番単糸		24番双糸	
単糸換算番手	Ne	12						6		24		12	
混率	通常綿	%	70	50	-	-	-	-	-	-	-	-	
	超長綿	%	-	-	70	50	70	50	70	50	70	50	
	故繊維	%	30	50	30	50	30	50	30	50	30	50	

No.	単位	11	12	13	14	15	16
再生糸or通常糸	-	通常糸					
糸の太さ	-	6番単糸	10番単糸	16番単糸	20番単糸	30番単糸	30番双糸
単糸換算番手	Ne	6	10	16	20	30	15
混率	通常綿	%	-	-	-	-	-
	超長綿	%	-	-	-	-	-
	故繊維	%	-	-	-	-	-

表 2 再生糸の糸特性評価結果

No.	単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
再生糸or通常糸	-	再生糸						通常糸					
糸の太さ	-	12番単糸						12番双糸		24番単糸		24番双糸	
単糸換算番手	Ne	12						6		24		12	
混率	通常綿	%	70	50	-	-	-	-	-	-	-	-	
	超長綿	%	-	-	70	50	70	50	70	50	70	50	
	故繊維	%	30	50	30	50	30	50	30	50	30	50	
下燃り	燃数	T/inch	17.0	16.9	16.8	16.7	15.8	15.8	22.4	23.0	22.8	22.4	
	燃係数	-	4.9	4.9	4.9	4.8	4.6	4.5	4.6	4.7	4.7	4.6	
上燃り	燃数	T/inch	-	-	-	-	8.2	8.4	-	-	8.2	8.2	
	燃係数	-	-	-	-	3.4	3.4	-	-	2.4	2.4		
強度	平均	cN	731	625	882	704	1797	1492	417	329	841	667	
	USTER STATICS 上位%		50-95	>95	5-50	>95	5-50	50-95	<5	>95	5-50	>95	
	変動係数CV	%	8.3	8.6	5.9	7.3	5.0	5.2	11.4	8.9	5.9	7.6	
	USTER STATICS 上位%		50-75	50-75	<5	25-50	<5	<5	>95	50-75	<5	25-50	
	最小値	cN	584	466	745	578	1537	1350	314	259	694	553	
伸度	平均	%	7.96	7.59	8.17	7.6	7.83	7.56	6.7	6.49	6.93	6.47	
	USTER STATICS 上位%		<5	<5	<5	<5	5-25	5-25	5-25	5-25	5-25	25-50	
	変動係数CV	%	6.1	6.6	5.2	6.1	3.9	3.7	7.8	7.2	4.6	5.5	
	USTER STATICS 上位%		25-50	25-50	5-25	25-50	<5	<5	25-50	25-50	<5	<5	
	最小値	%	6.36	6.36	7.24	6.48	7.00	6.80	5.18	5.38	6.03	5.42	
糸むら	むらU	%	13.2	16.2	12.0	15.7	8.7	11.6	16.8	21.9	11.4	15.3	
	質量変動係数CVm	%	17	21.2	15.6	20.7	11.1	14.8	22.1	29.1	14.7	20	
	USTER STATICS 上位%		94	>95	77	>95	14	81	>95	>95	62	>95	
	Thin-50%	/km	12	137	2	40	0	0	176	1095	0	29	
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	47	>95	<5	<5	>95	>95	<5	>95	
	Thick+50%	/km	409	1276	370	1352	22	205	1668	3838	291	1183	
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	>95	>95	37	>95	>95	>95	>95	>95	
	Nep+200%	/km	345	1210	471	1681	45	170	1968	4740	325	1088	
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95	
	ヘアリネスH	-	10.1	10.3	8.4	9.5	10.1	10.8	6.4	7.3	8.2	9	
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	84	>95	76	85	79	>95	79	94	
	標準偏差sh	-	2.8	3.3	2.5	3.1	2.8	3.3	2.1	2.7	2.3	2.8	
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	>95	>95	93	>95	>95	>95	94	>95	
S3u	/100m	11819	11247	8333	8925	5840	6501	6025	6376	4495	5063		
USTER STATICS 上位%		>95	>95	87	93	32	42	77	82	28	40		

表3 在庫糸の糸特性評価結果

No.	単位	11	12	13	14	15	16	
再生糸or通常糸	—	通常糸						
糸の太さ	—	6番単糸	10番単糸	16番単糸	20番単糸	30番単糸	30番双糸	
単糸換算番手	Ne	6	10	16	20	30	15	
混率	通常綿	%	—	—	—	—	—	
	超長綿	%	—	—	—	—	—	
	故繊維	%	—	—	—	—	—	
下撚り	撚数	T/inch	10.8	15.0	15.9	9.3	26.6	19.4
	撚係数	—	4.4	4.7	4.0	2.1	4.8	3.5
上撚り	撚数	T/inch	—	—	—	—	—	14.2
	撚係数	—	—	—	—	—	—	3.7
強度	平均	cN	1175	617	546	396	265	447
	USTER STATICS 上位%		>95	>95	50-95	>95	>95	>95
	変動係数CV	%	5.3	9.2	7.3	6.5	8.5	5.7
	USTER STATICS 上位%		<5	75-95	25-50	<5	25-50	<5
	最小値	cN	1015	474	417	334	202	388
伸度	平均	%	9.95	7.37	7.52	6.19	6.31	4.64
	USTER STATICS 上位%		<5	5-25	<5	25-50	5-25	>95
	変動係数CV	%	3.8	5.8	4.6	7.4	6.6	5.9
	USTER STATICS 上位%		<5	5-25	<5	25-50	5-25	5-25
	最小値	%	8.72	6.51	6.57	5.07	5.21	3.90
糸むら	むらU	%	9.1	12.5	11.6	9.4	24.1	7.6
	異種変動係数Cvm	%	11.4	15.7	14.7	11.9	31.3	9.6
	USTER STATICS 上位%		20	82	54	<5	>95	<5
	Thin-50%	/km	0	13	1	0	1568	0
	USTER STATICS 上位%		<5	>95	<5	<5	>95	<5
	Thick+50%	/km	1	126	137	8	2256	1
	USTER STATICS 上位%		<5	83	68	<5	>95	<5
	Nep+200%	/km	4	324	104	19	521	3
	USTER STATICS 上位%		9	>95	55	<5	67	<5
	ヘアリネスH	—	8.7	6.6	7.9	4.1	5.6	7.7
	USTER STATICS 上位%		50	28	88	<5	68	82
	標準偏差sh	—	2.4	1.9	2.1	1	2.1	1.8
USTER STATICS 上位%		66	55	89	<5	>95	69	
S3u	/100m	4520	2595	7633	201	5041	4552	
USTER STATICS 上位%		7	<5	87	<5	68	37	

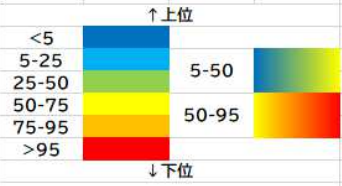


図1 試織生地・三原組織 (No. 8 : 24 番単糸、超長綿 50/故繊維 50)

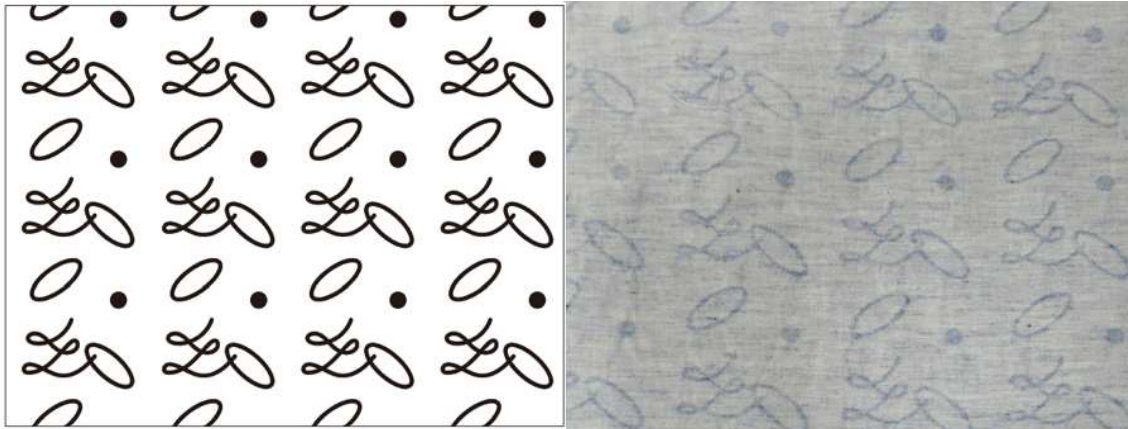


図2 意匠図案および試織生地・ジャカード柄
(No.7 : 24 番単糸、超長綿 70/故繊維 30)



図3 カッターシャツ試作

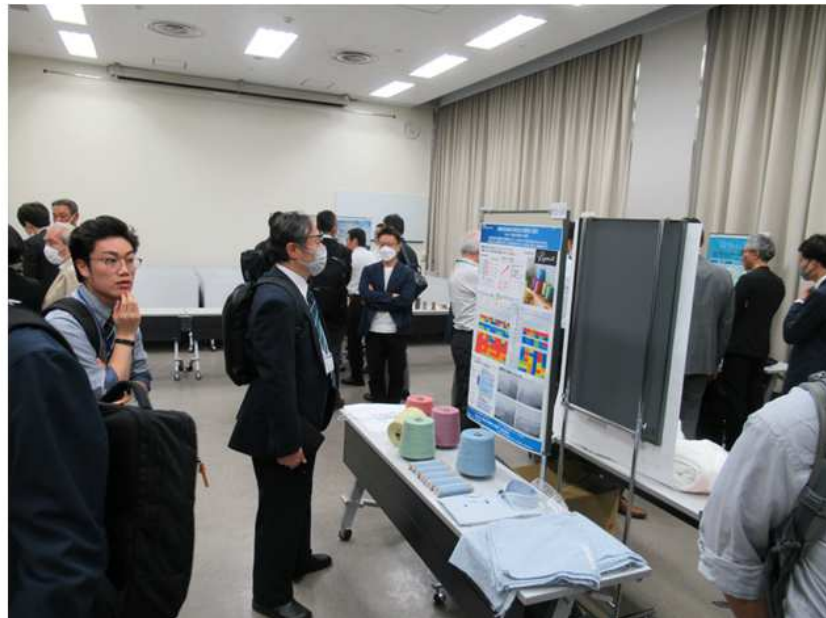


図4 学会発表(繊維機械学会第76回年次大会)

パイナップル葉繊維の可紡性向上と機能性評価に関する研究

藤田浩行

要旨 パイナップル葉繊維の混紡率向上や細番手の紡績を実現するため、可紡性向上を試みた。具体的には15%NaOH水溶液で処理することにより、大きく捲縮性を付与することができた。また、酵素処理と併用することで捲縮性だけでなく、分繊化をさらに向上することができた。

上記で処理したパイナップル葉繊維と綿繊維との混紡糸を試作し、よこ糸として織物を試織した。試織織物の接触冷感および熱伝導率を評価したところ、綿100%の織物と比較すると、パイナップル葉繊維を混紡することで、わずかであるが接触冷感および熱伝導率の向上が見られた。

1 緒言

これまでの研究においてパイナップル葉から取り出した葉脈繊維を用いて衣料に利用可能な紡績糸開発を目指し、繊維の分繊化に取り組んだ¹⁾。その中で、太く硬いパイナップル葉繊維への酵素処理や脱リグニン処理の併用による分繊化技術を開発することができた。また、分繊化したパイナップル葉繊維と綿繊維の混紡糸を試作した。

しかし、試作した紡績糸は、パイナップル葉繊維の混紡率が低い、細番手の紡績が困難などの課題があり、さらなる可紡性（紡績性）向上が必要である。

そこで、本研究ではパイナップル葉繊維のさらなる可紡性向上のため、捲縮性の付与や分繊化の効率性などについて検討した。また、機能性評価として、捲縮性を付与したパイナップル葉繊維と綿繊維からなる試作混紡糸をよこ糸とした織物を試織し、綿糸からなる織物と熱特性である接触冷感や熱伝導率を比較したので報告する。

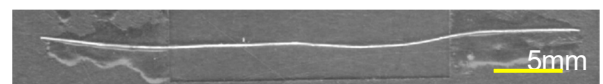
2 実験方法と結果

2.1 パイナップル葉繊維の高濃度アルカリ処理

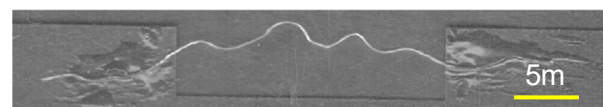
パイナップル葉繊維は剛直で綿繊維のような天然の撚りもないため、可紡性の低い繊維素材である。分繊化により可紡性向上は期待できるが、目標とする紡績糸作製には不十分と思われる。

一方、綿繊維の高濃度アルカリ処理は、セルロースの結晶構造の変化や結晶化度を低下させることが

知られている。そこで、パイナップル葉繊維について同様の処理を実施し、その変化について明らかにした。パイナップル葉粗繊維を、20°C、15%水酸化ナトリウム溶液に10分間浸漬した前後の外観を図1に示す。その結果、高濃度アルカリ処理により、真っ直ぐな粗繊維が曲がりうねった形態へ変化していることがわかる。この形態変化は“捲縮”といい、可紡性向上のための繊維の形態変化である。



(a) 未処理



(b) アルカリ処理

図1 高濃度アルカリ処理によるパイナップル葉繊維の形態変化

2.2 パイナップル葉繊維の酵素処理後の高濃度アルカリ処理

セルラーゼ酵素処理は、太い粗繊維を分繊させる効果があったが、酵素処理後に同様の高濃度アルカリ処理を実施した。図2はアルカリ処理のみ、図3はセルラーゼ酵素処理後にアルカリ処理したパイナップル葉粗繊維の電子顕微鏡写真である。アルカリ処理のみでも繊維の曲げ変形が見られるが、酵素処理後は分繊した細い繊維および太

い繊維とも大きく曲げ変形していることがわかる。また、分繊化の向上効果もあった。

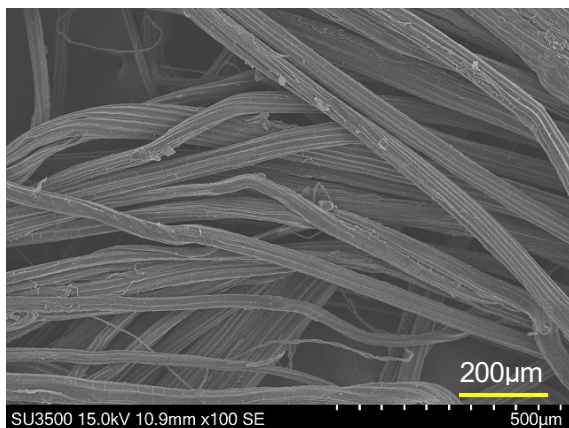


図2 アルカリ処理したパイナップル葉繊維

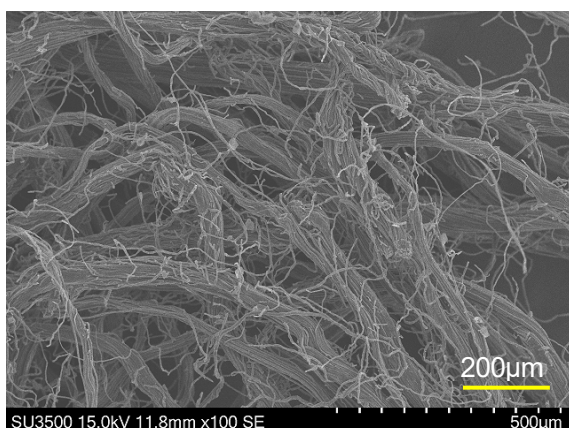


図3 セルラーゼ酵素処理後にアルカリ処理したパイナップル葉繊維

2.3 捲縮性の評価

捲縮に伴う形態変化をJIS L1015（化学繊維ステープル試験方法）に準拠して評価した。長さ20mmの試料を最大荷重（=4.41mN×テックス）まで1mm/minで引っ張り、原点へ戻し一定時間保持

後、再度引っ張った際の変位量等を測定することで、捲縮率および残留捲縮率を式(1),(2)により算出した。その結果、表1のとおり、捲縮性は、酵素処理では向上しないが、高濃度アルカリ処理を実施することで、捲縮率は大幅に向上することがわかった。

$$\text{捲縮率 (\%)} = (L_{\max} - L_0) / L_{\max} \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{残留捲縮率 (\%)} = (L_{\max} - L_{00}) / L_{\max} \times 100 \quad \text{----- (2)}$$

L_0 : 初荷重 (=0.18mN×テックス) 時の変位

L_{\max} : 最大荷重時の変位

L_{00} : 2サイクル引っ張り時の初荷重時の変位

表1 処理条件の異なるパイナップル葉繊維の捲縮性

	捲縮率 (%)	残留捲縮率 (%)
未処理繊維	1.623	1.441
セルラーゼ酵素処理	1.883	1.581
アルカリ処理	3.634	2.787
セルラーゼ酵素処理 →アルカリ処理	3.097	2.561

2.4 捲縮性付与したパイナップル葉繊維と綿繊維からなる紡績糸の試作

図3のとおりセルラーゼ酵素処理後に高濃度アルカリ処理すると、分繊化と捲縮性が付与されることがわかった。そこで処理したパイナップル葉繊維と綿繊維から紡績糸を試作した。その結果、18.5番手と23番手の混紡糸を得ることができた。なお、両者とも単糸であり、パイナップル葉繊維の混紡率は約50%である。

図4は試作した23番手の混紡糸の電子顕微鏡写真である。比較試料として、図5に未処理のパイナップル葉繊維と綿繊維と混紡した30番手の試作糸を、図6に綿100%の30番手単糸を示す。

図5のとおり、未処理の場合パイナップル葉繊維は分繊化されず、綿繊維よりも4～5倍程度太いまま綿繊維と混紡されていることがわかる。また、硬いために綿繊維と絡まない箇所も多く見られ、パイナップル葉繊維の混紡率を高めることは困難である。

一方、図4は、綿繊維よりも太いパイナップル

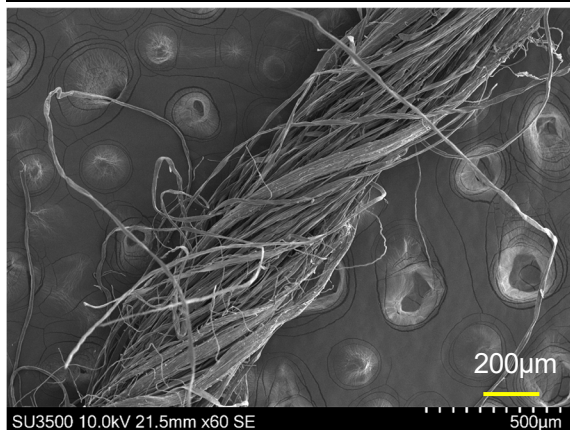
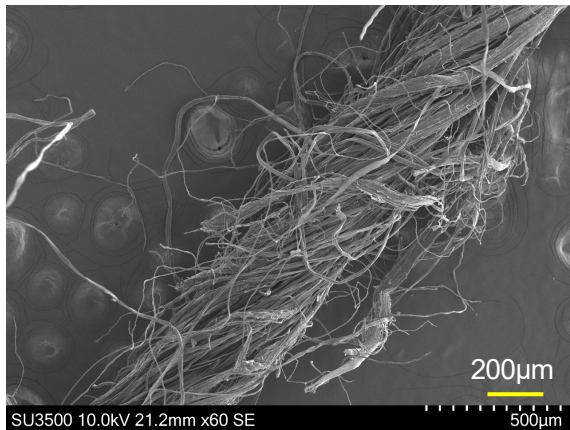


図4 処理繊維と綿繊維からなる試作糸

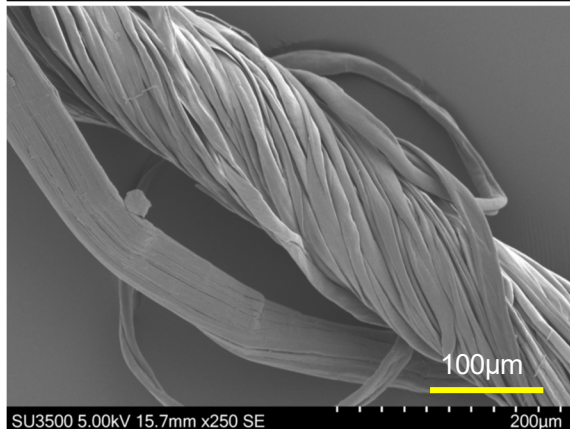
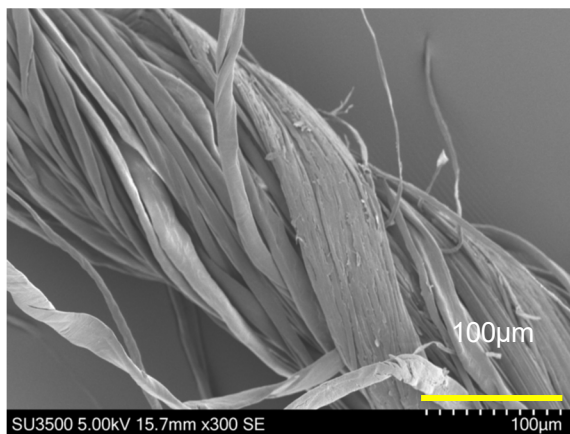


図5 未処理繊維と綿繊維からなる試作糸

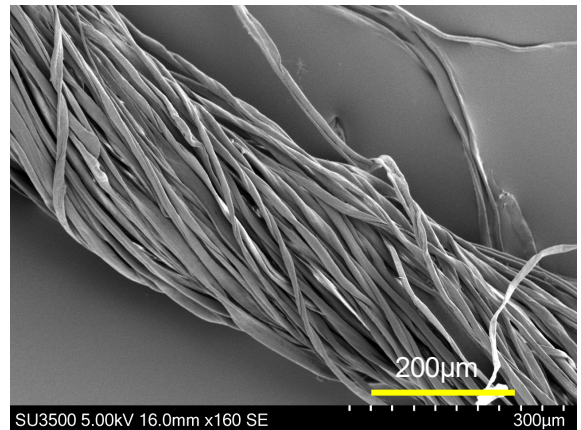


図6 綿100%繊維からなる糸

葉繊維も確認できるが、分繊化され非常に細い繊維も多く確認できる。

2.5 試作糸を用いた織物試織

処理繊維からなる試作糸を用いてエアージェット織機で織物を試織した。たて糸は、80番手双糸の綿糸で、織密度は100本/inchとした。

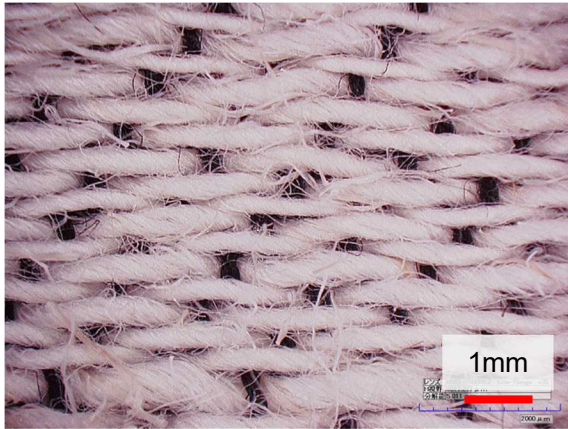
よこ糸は、処理繊維と綿繊維の18.5番手の混紡糸であり、比較として20番手の綿糸も使用した。なお、両者とも72本/inchの密度で打ち込んだ(表2)。織組織はよこ糸が表面に多く浮くよう、12枚のよこ朱子組織とした。図7に試織した生地の外観を示す。

表2 試織した織物規格

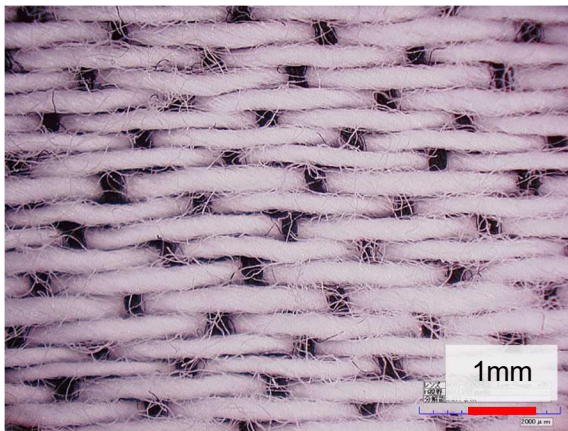
	パイナップル葉繊維／綿混紡織物		綿織物	
	太さ	密度 (本/inch)	太さ	密度 (本/inch)
たて糸	80/2 ^s	100	80/2 ^s	100
よこ糸	18.5 ^s	72	20 ^s	72

2.6 試織織物の接触冷感と熱伝導率

試織した生地について、熱特性である、接触冷感および熱伝導率の測定を実施した。接触冷感とは人が生地に触れたときに感じる冷感であり、人体から生地への熱の移動速度が速いほど強く感じることは知られている。この評価に、精密迅速熱物性測定装置 (KES-F7型;カトーテック(株)製) を用いて、生地の熱吸収速度の最大値 Q_{max} を測定した。20°C, 65%RHの雰囲気中で24時間調整した織物試料に40°Cの熱板を接触させて計測した。なお、計測は



(a)パイナップル葉繊維／綿混紡織物



(b)綿織物

図7 試織織物の外観

12カ所測定した。

図8に計測時間と熱吸収速度との関係についての代表例を示す。熱板に蓄えられた熱は、織物との接触に伴い急激に熱移動が進み、熱吸収速度は急激に上昇する。その後、熱吸収の進行で両者の温度差が小さくなり、熱吸収速度も低下していく。 $Q\text{-max}$ は、図8におけるピーク値である。

熱伝導率の測定は、迅速熱伝導率計（QTM-500型；京都電子工業株式会社製）を用い、うす膜試料測定を実施した。この測定方法は熱伝導率が既知の材料の上に試料を1枚置き、その上にプローブを置いて測定する方法である。測定は7回実施した。

表3に接触冷感および熱伝導率の平均値を示す。その結果、接触冷感および熱伝導率ともわずかであるが、パイナップル葉繊維の混紡糸を使用した織物の方が綿100%の織物より大きくなった。パイナップル葉繊維は、葉脈繊維であるため靱皮繊維である麻繊維同様、繊維自身の熱伝導率が高いと考えられるため、その影響により綿100%よりも大きな数値を示したと考えられる。

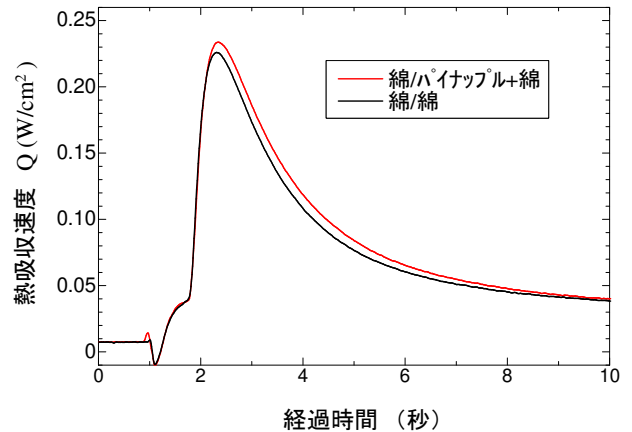


図8 熱吸収速度の変化

表3 試作織物の接触冷感 $Q\text{-max}$ と熱伝導率の測定結果

	パイナップル葉繊維／綿混紡織物	綿織物
$Q\text{-max}$ (W/cm^2)	0.234	0.226
熱伝導率 (W/mK)	0.0705	0.0687

3 結 言

パイナップル葉繊維の混紡率向上や細番手の紡績を実現するため、可紡性向上を試みた。具体的には15%NaOH水溶液で処理することにより、大きく捲縮性を付与することができた。また、酵素処理と併用することで捲縮性だけでなく、分繊化をさらに向上することができた。

上記で処理したパイナップル葉繊維と綿繊維との混紡糸を試作し、よこ糸として織物を試織した。試織織物の接触冷感および熱伝導率を評価したところ、綿100%の織物と比較すると、パイナップル葉繊維を混紡することで、わずかであるが接触冷感および熱伝導率の向上が見られた。

参 考 文 献

- 1) 藤田浩行, 藤井透, 長谷場映可, 宇田悦子, “パイナップル葉繊維の分繊化”, 日本繊維機械学会第75回年次大会研究発表論文集, pp44-45(2022)

謝 辞

本研究の遂行にあたり、(株)フードリボンの関係者に深く感謝申し上げます。

生地の花粉対策加工評価法の開発

中野 恵之

要旨 近年、コロナウイルス感染における飛沫¹⁾や花粉、ハウスダスト等によるアレルギーなど空気中における微細物質が様々な問題を起こしている。そこで、花粉対策に着目し、生地からの石松子の脱落をパーティクルカウンターで計測して花粉加工の有無で異なる数値が得られる評価法を検討^{2,3)}した。将来的には花粉対策加工における品質管理や商品開発への提案に役立てることを目的とする。

本年度は、花粉対策加工評価法開発として生地からの石松子の脱落をパーティクルカウンターで計測し生地の違いで異なる数値が得られる評価法を確立した。

1 目的

生地からの石松子の脱落を大気中の微粉末の大きさと量を計測するパーティクルカウンターで求め花粉加工の有無で異なる数値が得られる評価法を検討する。装置の構成や与える衝撃方法の検討を進め安定した数値が得られる測定方法を確立を目指す。

将来的には花粉対策加工における品質管理や商品開発への提案に役立てることを目的とする。

2 実験方法

2.1 疑似花粉について

図1に実験に用いた疑似花粉の電子顕微鏡写真を示す。疑似花粉1個の大きさとしては直径 $20\mu\text{m}$ ほどであるが、その表面には、より小さな球状物も確認できた。大きな球状物はすぐに落下するが、この小さな球状物が空中に浮遊しアレルギーを起こしている可能性もあると思われた。

図2に疑似花粉の光散乱粒度測定による個数表示の結果を示す。電子顕微鏡観察では直径 $20\mu\text{m}$ ほどの疑似花粉が確認されたが、個数表示による粒度分布測定においては、 $1\sim 10\mu\text{m}$ の範囲で多く測定された。この結果から疑似花粉には多くの微小粉体が含まれていることがわかった。

2.2 疑似花粉の生地への付着方法

図3に生地試料の作成方法を示す。試験生地の縦横方向に $1.98\times 10^{-4}\text{N}$ の張力を与えた状態で、3Dプリンターで作成した内径6cmの円枠に試

験生地を接着して固定した。

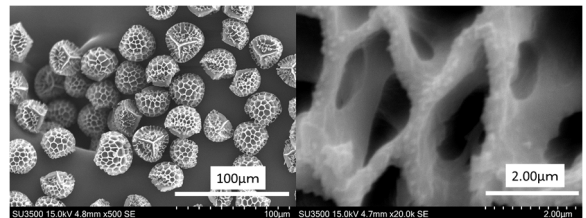


図1 疑似花粉の電子顕微鏡写真

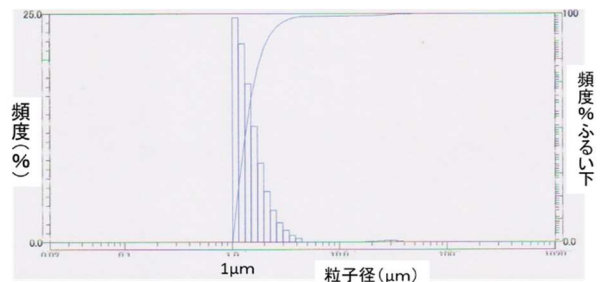


図2 疑似花粉の光散乱粒度測定結果
(個数表示)

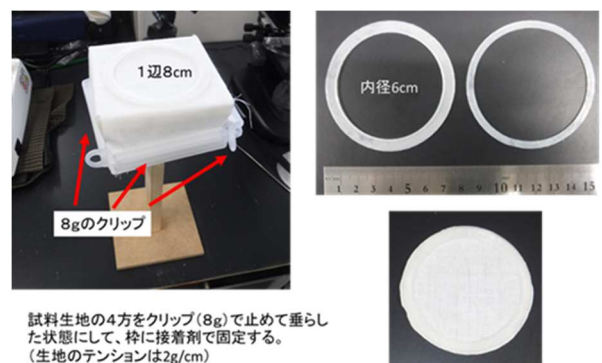


図3 生地試料の作成方法

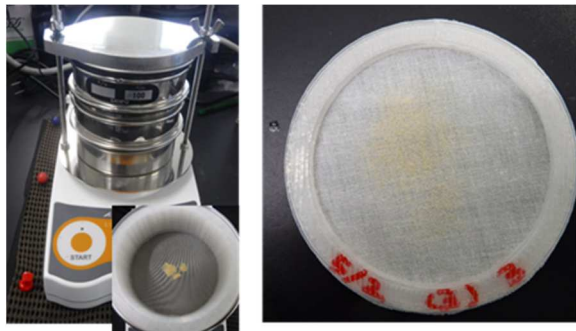


図4 生地への疑似花粉付与方法

図4に生地への疑似花粉付与方法を示す。疑似花粉の生地への付着は、ミニふるい振とう機（MVS-1 アズワン）を用い、回転数2500rpm、高さ2cm、使用振るい100 μ m、疑似花粉量0.01g、作動時間10分で調整した。黄色部が疑似花粉を表すが、広がっていることを確認した。

2.3 花粉対策評価法装置の概要

図5及び図6に花粉対策評価法装置の概要と写真を示す。フィルター装置等を稼働させて、装置周辺はクリーンな状態にした。試験試料上部の筒の横に風速計を取り付け疑似花粉を付けた生地を下向きにセットし、ステンレス丸棒（直径4mm、長さ284mm、重量27.54g）を高さ10cmから試料中央に落下させた。内部の風速を試験生地付近にて0.01m/sに調整し試験を実施した。脱落する粒子の計測は、パーティクルカウンターを用いて粒径0.3~10 μ m範囲における各値1分間の積算にて計測した。

3 結果と考察

3.1 花粉対策評価法装置測定結果

図7に白布の疑似花粉を付着させた試料の測定値から、ブランク生地の測定値を引いた値と打撃回数との関係を示す。10回打撃を加えると脱落値が少なく状態となることが推測できた。図8に10回の打撃の総脱落数に対する各打撃時までの付着率（%）を示す。各測定サイズにおいて疑似花粉の脱落状況が推測できた。

3.2 異なる生地の疑似花粉脱落性評価

図9に試験生地6種における10 μ m計測時の打撃10回計測総量に対する各回における付着率と打撃回数の関係を示す。疑似花粉の脱落程度を比較することとしたが、グラフが下に位置す

るほど脱落が早いと考えられ、この結果からオックスが他の生地と比較して、疑似花粉を脱落しやすいことが推測できた。

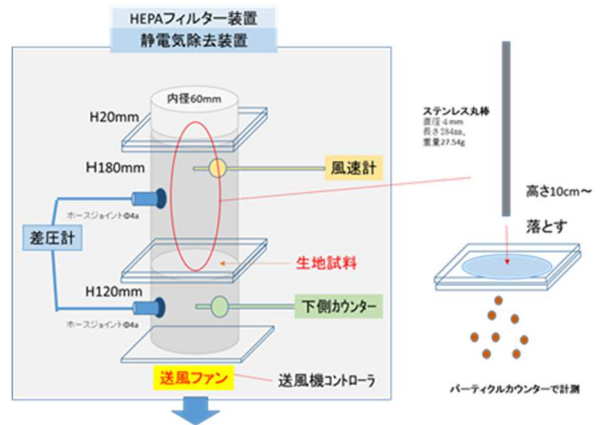


図5 花粉対策評価システムの概要

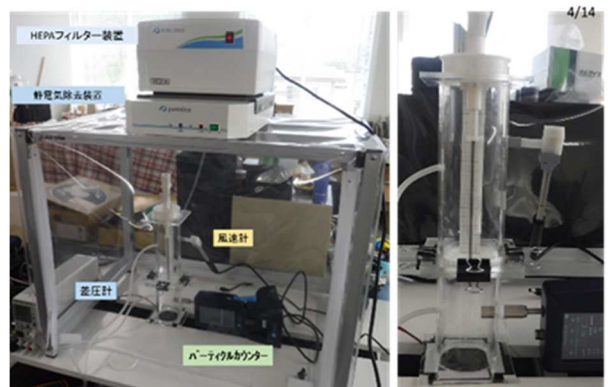


図6 花粉対策評価装置の写真

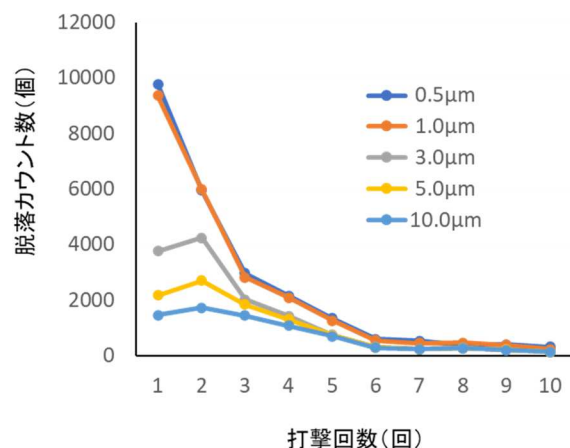


図7 疑似花粉を付着させた試料の測定値から、ブランク生地の測定値を引いた値と打撃回数と関係

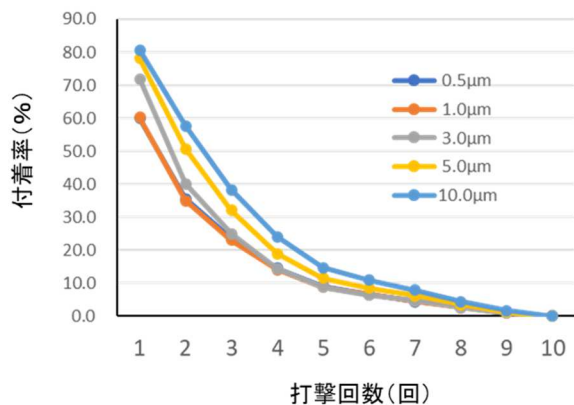


図8 10回の打撃の総脱落数に対する各打撃時までの付着率

図10に白布における各粒径測定時の打撃10回計測総量に対する各回における付着率と打撃回数との関係を示す。各粒子計において10μm測定時と同様にオックスが他の生地と比較して、疑似花粉を脱落しやすいことが推測できた。

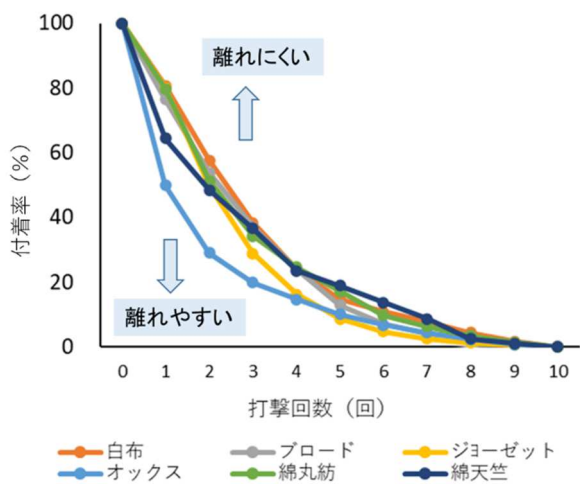


図9 粒径10μm計測時の打撃10回計測総量に対する各回における付着率

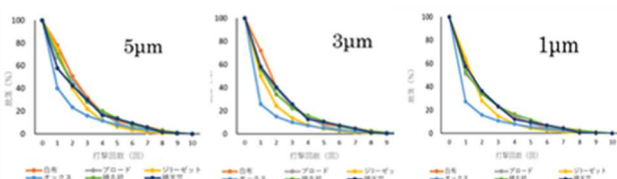


図10 各粒径測定時の打撃10回計測総量に対する各回における付着率

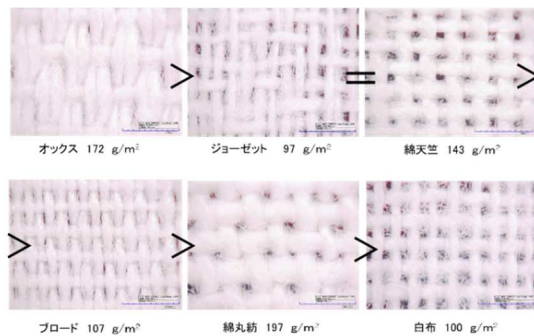


図11 生地試料の光学顕微鏡写真

図11に疑似花粉が脱落しやすいと計測された順の生地試料の光学顕微鏡写真を示す。生地における糸間の隙間が少ない生地ほど疑似花粉が脱落しやすいと推測された。本年度の目標である生地からの石松子の脱落をパーティクルカウンターで計測し花粉加工の有無で異なる数値が得られる評価法を確立することについて、生地の違いで異なる数値が得られる評価法の確立は完了した。今後は計測結果と生地状態との相関性を考察する。

4 結論

花粉対策加工評価法開発として生地からの石松子の脱落をパーティクルカウンターで計測し生地の違いで異なる数値が得られる評価法を検討した結果、打撃10回の打撃の総脱落数に対する各打撃時までの脱落率 (%) において各測定サイズにの疑似花粉の脱落状況が測定できた。その結果、生地試料の光学顕微鏡写真から生地における糸間の隙間が少ないオックス生地が他の生地と比較して疑似花粉を脱落しやすいことが推測できた。

参考文献

- 1) 中野恵之, 繊維学会予稿集, Vol. 76, No. 2, (秋季研究発表会) 2C10 (2021)
- 2) 中野恵之, 繊維学会予稿集, Vol. 77, No. 2, (秋季研究発表会) 1E08 (2022)
- 3) 中野恵之, 繊維学会予稿集, Vol. 78, No. 2, (秋季研究発表会) 2J08 (2023)

謝辞

本研究の遂行にあたり、京都工芸繊維大学、佐久間 淳教授、及び繊維科学センターの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

研究報告既刊一覧

No. 1	(1965年 8月)	No. 28	(1996年10月)
No. 2	(1966年 5月)	No. 29	(1997年10月)
No. 3	(1997年 6月)	No. 30	(1998年11月)
No. 4	(1968年 8月)	No. 31	(2000年 1月)
No. 5	(1969年 8月)	No. 32	(2001年 1月)
No. 6	(1970年 8月)	No. 33	(2002年 2月)
No. 7	(1971年 6月)	No. 34	(2003年 3月)
No. 8	(1972年)	No. 35	(2004年 3月)
No. 9	(1973年)	No. 36	(2004年11月)
No. 10	(1974年)	No. 37	(2005年11月)
No. 11	(1975年)	No. 38	(2006年11月)
No. 12	(1976年)	No. 39	(2007年11月)
No. 13	(1977年)	No. 40	(2008年11月)
No. 14	(1978年10月)	No. 41	(2009年12月)
No. 15	(1979年10月)	No. 42	(2011年 3月)
No. 16	(1980年10月)	No. 43	(2012年 3月)
No. 17	(1981年10月)	No. 44	(2013年 2月)
No. 18	(1982年10月)	No. 45	(2014年 3月)
No. 19	(1983年10月)	No. 46	(2014年12月)
No. 20	(1984年10月)	No. 47	(2015年12月)
No. 21	(1985年10月)	No. 48	(2017年 2月)
No. 22	(1986年10月)	No. 49	(2018年 3月)
No. 23	(1987年10月)	No. 50	(2019年 3月)
No. 24	(1988年10月)	No. 51	(2020年 2月)
No. 25	(1989年10月)	No. 52	(2021年 3月)
No. 26	(1990年10月)	No. 53	(2022年 3月)
No. 27	(1995年10月)	No. 54	(2023年 2月)

研究報告(第55号)

令和6年2月1日発行

編集 兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター

発行 〒677-0054 兵庫県西脇市野村町1790-496

TEL (0795)22-2041 FAX (0795)22-3671
