

靴下残糸に新たな価値を —産官学連携による資源循環の試み—

村田 浩子¹⁾, 砂山 七郎²⁾, 小松 智菜美¹⁾, 豊田 純菜³⁾,
平田 晴輝⁴⁾, 山口 桃穂⁴⁾, 中出 華奈子⁴⁾, 後久 まどか⁴⁾

¹⁾ 畿央大学健康科学部人間環境デザイン学科

²⁾ 畿央大学健康科学部

³⁾ 畿央大学健康科学部人間環境デザイン学科 2022年度卒業

⁴⁾ 畿央大学健康科学部人間環境デザイン学科 2023年度卒業

(〒635-0832 奈良県北葛城郡広陵町馬見中4-2-2)

Adding new value to socks leftover yarn - An attempt at resource recycling through industry-government-academia collaboration-

Hiroko MURATA¹⁾, Shichiro SUNAYAMA²⁾, Chinami KOMATSU¹⁾,
Jyunna TOYODA³⁾, Haruki HIRATA⁴⁾, Momoho YAMAGUCHI⁴⁾,
Kanao NAKADE⁴⁾, Madoka GOKYU⁴⁾

¹⁾ Department of Environmental Design, Faculty of Health Sciences, Kio University

²⁾ Faculty of Health Sciences, Kio University

³⁾ Graduated 2022, Department of Environmental Design, Faculty of Health Sciences, Kio University

⁴⁾ Graduated 2023, Department of Environmental Design, Faculty of Health Sciences, Kio University

(4-2-2 Umami-naka, Koryo-cho, Kitakatsuragi-gun, Nara 635-0832, Japan)

要約 村田ゼミでは、広陵町、広陵町靴下組合などと連携して「靴下残糸に新たな価値を」創出する研究を進めている。業界では、廃棄物を反毛などの処理をして再利用する方法や、化学的処理をして得られる「再生糸」などの開発研究が進められている。本研究では、廃棄された残糸から新たな製品を創出する過程にエネルギー消費を伴わない方法、撚糸や機織りなどを手作業と道具を用いて研究した。多種多色の残糸を利用したチェック柄のワンピース、天然素材の風合いを生かしたラグ、複数の色糸を黒染めし汎用性の高いスーツを開発した。従来のリサイクル技術とは異なる視点から、資源循環システムを構築し、地域の持続可能な発展に貢献する提案ができた。

Keywords：靴下残糸，産官学連携，繊維リサイクル，アパレル製品，ギャッペ

はじめに

畿央大学が立地する広陵町は2019年、内閣府から「SDGs 未来都市」の認定を受け、「産官学連携による安全・安心で住み続けたいなるまちづくり」に取り組んでいる。同時に、広陵町と周辺の中和地域は、靴下の生産量が全国の6割を占める有数の産地でもある。

本学健康科学部人間環境デザイン学科村田ゼミでは、2014年から広陵町地域振興部、同町靴下組合、同町商工会と連携した靴下産業振興事業に参画してきた。「広陵町かぐや姫まつり」では、靴下のデザインコンテストやファッションショーのプロデュースなど

を手掛けた。

2022年以降、靴下メーカーから産業廃棄物として処理されてきた靴下生産の残糸（歩留まりロス）に着目し、その削減を課題として、残糸を再利用した織物やニットの衣料品、インテリア用品などを制作し、地域住民と協働して廃棄物に新たな価値を生み出す開発研究に取り組んでいる。

1. 研究の背景

繊維産業から排出される廃棄物「故繊維」には、生産された衣料品が消費者に届けられ、着用後に手放さ

れた「ほろ」の「一般廃棄物」と、工場の生産工程で発生する「繊維くず」の「産業廃棄物」がある。

前者の「一般廃棄物」とされた衣類の量は73.1万トンで、衣類の国内供給量79.8万トンの約9割が使用後に手放されている。このうち47万トン(64%)が焼却、埋め立てなどで処理され、リユースされた量は13.3万トン(18%)、リサイクルが12.7万トン(17%)である¹⁾。他方、後者の「産業廃棄物」のうち繊維工業の事業所から排出されている量は73.7万トンである²⁾。

こうした「繊維くず」や「ほろ」の削減への取組に、リユースやリペアによる衣料品の着回しのほか、これらを資源として循環させ、新しい価値を創造する繊維製品のサーキュラーエコノミーの実現を目指す水平リサイクル技術「繊維 to 繊維」の研究が進められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「繊維くず」のひとつである「靴下の残糸」を活用し、エネルギー消費を抑えながら、新たな繊維製品の創出を可能とする手法を開発し、成果を地域に還元することで、環境問題の課題解決と人々のライフスタイルの変革、持続可能な地域社会形成への一方策を示すことである。生産から消費にかかわる人々が資源循環を意識し、商品の持つ本来の価値を無駄にすることなく活用できる、開発・生産・消費の仕組みづくりの追求に貢献する。

3. 先行研究

繊維リサイクル技術はこれまで、化学繊維企業などでポリエステルなど単一繊維素材を対象に開発されてきた。しかし近年、回収される「故繊維」の多くが、消費者のニーズの多様化、求められる機能性の拡大などの要因から、複数の繊維素材を用いた混紡品が多く見られ、染色などの加工や添加剤の配合もさまざまである。このため、故繊維の回収・分離・分別と新商品開発に、紡績企業や合繊企業、染色加工業などの業界が協調してこれらの課題に取り組んでいる。

紡績企業のクラボウでは、繊維のアップサイクルのプラットフォーム「L∞plus (ループラス)」を構築している。一例として、奈良県靴下工業協同組合から回収した靴下の端材を、クラボウの工場で開繊・反毛し、アップサイクルした紡績糸を生産、これを奈良産地に供給し、靴下組合のメンバーが製品化に利用している。

木村ら(2024)は、学術研究者と企業の製造技術者、デザイナーなどと協働して廃棄衣料由来の再生糸の開

発と普及をめざす12のプロジェクト研究を進めている³⁾。井上(2023)は、再生糸から新しい製品を制作する研究に「学会の総力で新しい繊維産業分野の創出」を図るとして、開発した繊維品の品質表示や物性、風合い等の品質評価基準の標準化などの課題に挑んでいる。たとえば、風合い客観評価システム(KES)を活用して、再生糸から製織された織物の風合いの特徴を捉え、「再生糸から作られたからこそその面白み、醸し出される良さが楽しめる」ことをアピールし、消費者に訴求する方法を研究している⁴⁾。

最近では、異業種企業が、これまで再繊維化が困難だったストレッチ素材や強撚糸織物などの解繊技術を開発し、衣類のリサイクルソリューション提供に参入している⁵⁾。故繊維を原料とした繊維製品における資源循環システム構築の技術開発や需要開拓の研究は、繊維産業・企業活動の目指すべき方向を示唆している。

本研究では、資源循環システムを手作業と道具を用いて構築することを試みた。靴下製造企業から回収した残糸の素材混率や番手は多種にわたるが、手作業で分別し、糸の合・撚糸、さらに織編、縫製工程を経て製品制作を行う。制作工程でのエネルギー消費やCO₂の排出がゼロもしくは少なく、一般の人々でも容易にできる廃棄物再利用方法を提案する。この試みが繊維リサイクルに対する環境教育、環境価値を見直す機会となり、残糸を排出する企業や住民に受け入れられ実用化されることを目指している。

4. 研究方法

広陵町靴下組合に加入する靴下製造企業から回収した残糸を素材として、①経糸、緯糸の色の組み合わせをデザインした格子柄を、高機で生地を織り、衣服に仕上げる。その衣服が品質に問題がないことを確認し、糸色の活用方法として提案する。②足元に彩をあたえる「ラグ(ギャッペ)」を制作し、そのプロセスから誰もが容易に操作できる手織り機を活用したインテリア製品を提案する。③複数の色の残糸を汎用性が高い単色(黒)に染め直し、カジュアルからフォーマルまで、アパレル製品の用途拡大の可能性を探究する。

5. 研究結果および考察

5-1. ワンピース(秋冬物)の制作と考察

制作に用いる糸は、靴下生産時の余り糸であるため、糸の番手、素材や混率、残量にばらつきがあり、同じ糸で作品を制作するには糸量に不足をきたす。この点

に着目しツイード調のワンピースの制作を試みた。ツイードは、何色もの糸を使って織り上げるので、糸の組み合わせや織りのパターンによって、多種多様にデザインできる。

(1) 糸つくりとデザイン柄の決定

使用したい色糸を選び、生地に強度と適度な風合いを出すための撚本数が4本、糸の形状が安定する撚回数が10cm間10回が最適であることを確認し、必要な糸量を算出した。撚り合わせたそれぞれの糸を木枠に巻き、撚り止め（セット）をするために蒸し器で30分蒸した。（表1）

表1. ワンピース制作に使用した糸

| 素材 | アクリルバルキー綿混 | | アクリルリング糸 | メランジスラブ糸 |
|-----|------------|-------|-------------|----------|
| カラー | 紺 | 黒×紺 | 赤 | 水色 |
| 混率 | A70・C30 | | A55・N30・W15 | C100 |
| 撚本数 | 4 | 黒3×紺1 | 4 | 4 |
| 撚回数 | 10cm/10回 | | | |

注：混率表示 A=アクリル、C=綿、N=ナイロン、W=ウール

アクリル高率混の糸を使用することから、秋冬物のワンピースを制作することとし、色糸の総量を考慮しながら平織で表現可能なチェック柄を20サンプル作成し検討した。デザイン決定の要素として、流行りすたりのない長く楽しめるオーソドックスなスタイルとした。図1は検討した20柄の一部の例であり、図2は決定した柄である。

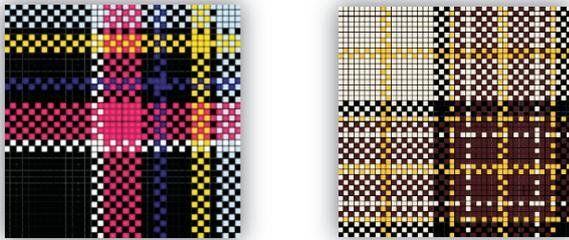


図1. 準備段階で検討した柄サンプル

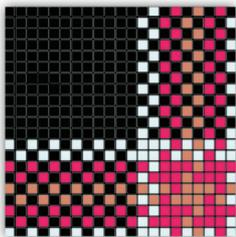


図2. 決定した柄

(2) 機織り

シーチング生地でワンピースを試作し、高機織り機での制作に必要な布量を織幅40cm、長さ14mと算出し

て、経糸14mを整経台でとる。5羽を使用1cmあたり5本を通す。経糸本数を200本/40cmとし、糸に毛羽立ちがあるため幅広の箆（おさ）を使用し、2枚綜統で織りあげた。

(3) 縫製

織幅が40cmになるため、型紙の作成と型紙の配置に工夫が必要であった。生地裏に接着芯を貼り、前身頃にプリンセスラインの切り替えを入れ2つのパートに分割し縫製した（図3）。



図3. 制作したワンピース

(4) 考察

本作品は、靴下生産時に余った糸をユニークなファッションアイテムの一つであるワンピースドレスに利活用するものであった。大学に設置されている40cm巾の着物生地を織る高機織り機で生地制作を行った。市販されている110cm巾の生地のように前身頃を輪で取ることが出来ないが、パターンメイキングの工夫と生地上での型紙配置をすることで、機能性、審美性を十分満足させるものになった。また品質についても市販のものと比較しても強度、摩耗性、着心地等に問題は見られなかった。原糸そのものの品質が維持されていた。

5-2. インテリアファブリック「ラグ（ギャッペ）」の制作と考察

ギャッペは、イランの遊牧民族によって織られたウール100%の手織り絨毯で、毛足が長く、ざっくりと粗めに織られているのを特長とし、世界無形文化遺産にも登録されている。

ラグ制作に用いる残糸は、素足に心地よい触感を与える素材を選ぶことが求められた。同時に、誰もが比較的簡単にラグ制作を楽しめる技法を選定することや、持続可能なデザインを取り入れることに工夫した。横35cm×縦90cmサイズのラグ2枚を制作し、組み合わせる形を変えられるように設計した。

(1) 糸の選択と準備工程

ラグ制作のテーマは「自然への感謝」である。このテーマに沿って肌触りの良い綿、絹、麻、ウールなど天然繊維の残糸を採用し、カラー、長さ、太さ、材質を考慮し抽出した。ラグを制作するには不向きな細番手の糸が多く、均一な太さで製織するための最適本数を調整、複数本を合糸し撚り機で撚りをかけた。残糸の種別、撚り本数等は表2の通りである。

表2. ラグ制作に使用した糸

| カラー | 水色 | 白 | 生成 | 緑 | グレー | ベージュ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----|------|
| 素材 | 綿スラブ | 綿100% | ガラボウ糸 | シルク・綿 | リネン | ウール毡 |
| 番手 | 3.5/1 | 3/1 | 不均一 | 1/3 | 1/5 | 1/5 |
| 撚本数 | 9本 | 5本 | 6本 | 5本 | 10本 | 7本 |
| 撚回数 | 10回 | 7回 | 7回 | 7回 | 10回 | 7回 |

注：番手 3/1などは綿番手、1/3などは毛番手を表す。撚り回数は10cm当たりの回数である。

(2) デザイン柄の決定

数種類の糸で直線的な横柄を表現し、その中にギャッペの模様として使用される「花」「X」を織り込み（図4）、自然への感謝、家族の健康や幸せがずっと続くことへの願いを込めた。残糸が価値あるものとして多くの人に再活用してもらえることの意味も付している。



花：自然に感謝する心 Xマーク：ずっと続く未来
図4. ギャッペに織り込んだデザイン柄

(3) 製織

織りにはアッシュフォード社の手織り機を使用した。必要な経糸は4m×100本で、これを整経台で準備し、次に箆に通した。緯糸は全て6cmの長さにカットし、ペルシャ絨毯製作に使われるトルコ結びの技法を採用することで、柄を立体的に見せるためにトルコ結びと平織りを横一列ずつ交互に行った。トルコ結びでは、2本の経糸に外側から糸を通し、緯糸の端を経糸の間から引き抜き、しっかりと結びつけた（図5）。仕上げに、ラグのふちに紐とスナップを縫い付け（図6）、

装着の仕方を変えることで、用途や気分によって縦長にも横長に形を変えて使用できるようにした（図7）。



図5. トルコ結びの方法



図6. 仕上げ スナップ付け



図7. ギャッペ完成作品

(4) 考察

ペルシャの伝統的なギャッペからヒントを得て、残糸の中でも天然繊維を使ってファブリック製品のラグを制作した。廃棄される素材を有効利用するという点だけでなく、住空間を豊かに彩る手段としても効果的であることが明らかとなった。

家庭での使用を考慮し、ラグは足元に敷くものとして、特に素足で触れる際の柔らかい質感が求められる。本制作では、適切な糸を選択したことで、使用時の肌触りが良く、機能的かつ装飾的なラグへと変わることになった。

さらに、トルコ結びを取り入れた織り方は、初心者でも容易に挑戦できるほど単純であるため、卓上織機と残糸を使い、基本的な指導だけで誰もが作業に取り組むことが可能である。ギャッペの名は英語の「garbage」（ゴミ）からも派生しているが、このペルシャ絨毯の伝統工芸が地域の楽しみとしてだけでなく、環境と経済の持続可能性を支援する可能性がある。

5-3. 多様な色糸を単色（黒）に染め直したアパレル製品の制作と考察

靴下生産後に発生する多種多様な色糸を、汎用性の高い単色（黒）に染め直すことを試みた。通常、様々な色の残糸を組み合わせたカラフルなアパレル製品を制作することも出来るが、これは特定の用途に限られがちで汎用性に欠ける。本研究では、複数の色糸を黒に染めることにより、汎用性を高め、カジュアルからフォーマルまで幅広いアイテムへの再利用を可能にすることを目指した。

(1) 糸および染料の選定

靴下企業から譲り受けた残糸の中から、残量が比較的多い綿・アクリル混紡糸の3種類の色糸を研究材料とし、黒色に染めることとした。ただ、異種の繊維を混紡した繊維材料の染色は、染料と繊維の組合せにより染色条件や染着性が異なるため困難である。このため、染料は日本産業規格「染色物の染料部属判定方法 (JISL1065)」を参考に組み合わせを検討し、綿素材に染料の中でも日光、塩素、洗濯に堅牢で色落ちの少ないバット染料（スレン染料）、アクリル素材には色相が非常に鮮明に表れる塩基性染料（カチオン）を採用した^{8) 9)} (表3)。表4には一般的な染色に用いられる染料の分類と、適応した繊維素材を示す。

表3. 黒染めに使用した素材と主な染料の分類

| | |
|------------|---|
| 黒染めに使用した素材 | 綿アクリル混紡糸、綿50%・アクリル50%、綿番手 32/2 カラー：赤・青・黄緑の3色 |
|------------|---|

| 染料の分類 | 綿 | アクリル |
|--------------|---------|------|
| バット染料(スレン染料) | ◎ 染着 | △ 汚染 |
| 塩基性染料(カチオン) | ○ 汚染(小) | ◎ 染着 |

出所：鐵野ほか(2002)『複合素材の染色技術に関する研究』pp1(表：下)、(独)製品評価技術基盤機構化学物質管理センター(2019)『身の回りの製品に含まれる化学物質シリーズ

表4. 一般的な染色に用いられる染料の分類と適応した繊維素材

| 染料の分類 | 適応した繊維素材 |
|--------------|--------------------------|
| 直接染料 | 綿などのセルロース系繊維(絹・麻・レーヨンなど) |
| バット染料(スレン染料) | 綿・レーヨン・キュプラ |
| 塩基性染料(カチオン) | アクリル |
| 酸性染料 | 毛・絹・ナイロン |
| 分散染料 | ポリエステル・アセテート |
| 反応染料 | 綿などのセルロース系繊維、毛・絹等の動物繊維 |

6-家庭用衣料品』pp8-9をもとに作成

(2) 複数の色糸を黒に染め変えるまでの軌跡

素材を一定温度の染浴（染料＋水＋助剤）の中に入れると、染浴の染料が浴中を移動して繊維表面に吸着し、内部へ拡散、定着させ染色が完了する。実験では第一に、①綿アクリル混紡糸（赤・青・黄緑）を黒のカチオン染料のみで染色・洗浄、②スレン染料のみで染色・洗浄した「一浴染め」で2種類の染色を行った。結果は、表3にもあるように染料の吸着度合が素材によって異なるため、一浴での染色は他素材への汚染な

どから困難であった。このため、第二に、混紡素材を素材ごとに染色浴を変えて染める「二浴染め」の方法を用いて、スレン染料で綿を染色・洗浄ののち、カチオン染料でアクリルを染色、洗浄を行い、その逆となるアクリルから綿の順に染色し観察した結果、一浴染めより黒の濃度が濃くなったが、黒を「深みのある黒」にするまでには至らなかった。

試行錯誤の後、二浴染めで素材の元色である赤、青、黄緑にそれぞれの補色で染色した後に黒で染色した。染色の手順は以下の通りである。

- ① カチオン染料の染色浴で、赤の糸を補色の青に、青の糸を赤に、黄緑の糸を青にそれぞれ染色、放冷・洗浄する→3種の染糸を黒のカチオン染料で染める。
- ② ①のカチオン染料で染めた糸をスレン染料の染色浴で、赤色の糸を補色の緑に、青色の糸を赤に、黄緑の糸を濃青に染色、放冷・洗浄する→染糸を黒のカチオン染料で染める。
- ③ ②の黒染糸に樹脂加工を施し、乾燥、完成させる。

(3) 黒染めの評価

分光測色計CM-700d（コニカミノルタ株式会社）を使用し黒染めした残糸の測色を行った。図8は、赤、青、黄緑の糸とそれぞれの糸を黒染めした後のL*値の結果である。L*値は色の明るさを表す数値で、値が小さいほど明度が低く黒に近いことを表し、黒染めを完了した3色全ての糸の明度が下がる結果となった。

また0からの絶対値が小さいほど黒色に近いとされるa*b*の値が、黒染めした糸では元の色糸よりも小さい値を示し、このことから黒染めした糸がより黒に近い色を示していることが明らかになった（図9）。

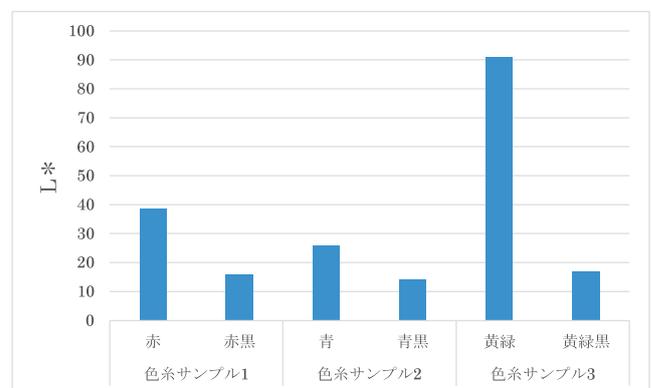


図8. 染めた糸のL*明度

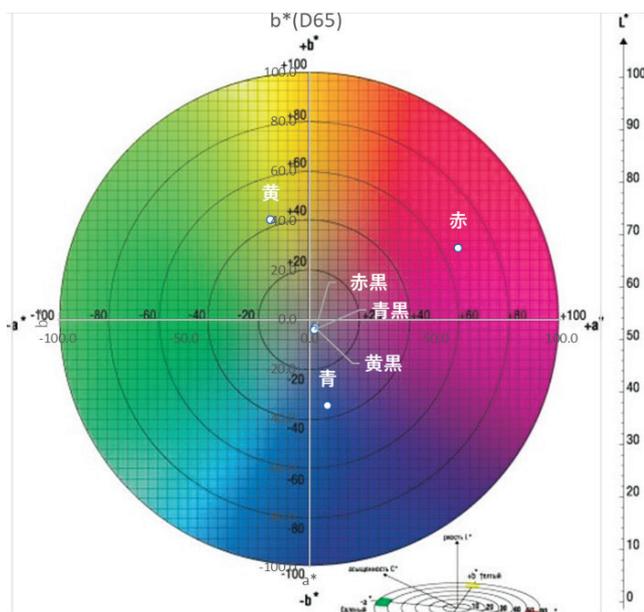


図9. 染めた糸のL*a*b*色空間色度図

(4) ジャケット・パンツのセットアップ作品の制作

経糸、緯糸とも4本の糸を引き揃え10cmあたり10回の撚りをかけ蒸し器で蒸気を当て撚り留めを行った。生地巾40cm、長さ19mと算出して、経糸19mを整経台でとる。機織りは、箆は5羽を使用し、1cmあたり5本を通す。経糸本数を200本/40cmとし、2枚綜統で19mの生地を織りあげた。縫製は、前述のワンピースの縫製と同様に織幅が40cmになるため、ジャケットは前身頃を2分割にし、袖は2枚袖にするなど、型紙の配置等を工夫し、パンツについても、布幅の不足分をデザインで補った(図10)。



図10. 制作したセットアップスーツ

(5) 考察

多色の混紡糸を黒色に染め上げることで、多様なアイテムへの再利用の可能を見出した。染色プロセスでは、使用する染料や水を最小限にすることや環境への負荷にも配慮しつつ行った。染色の評価では、黒色に近い色彩と明度を実現することが出来た。

6. 結論

本研究では、靴下企業が生産過程で発生し廃棄物として扱われてきた残糸に着目し効果的に活用する方法について研究を行った。その成果は以下のようにまとめることができる。

第一に、ワンピースの制作では、多彩な色と質感の異なる残糸を経糸、緯糸に使用し、チェック柄特有の多色使いの格子柄を生み出した。本来なら廃棄される素材から高品質の衣服を生産できることを実証した。

第二に、伝統的なペルシャ絨毯の技法を応用したラグの制作は、靴下用の天然素材をラグに利用することで、素材本来の快適性の追求と持続可能な環境への配慮という課題の両立が図られ、インテリア用途拡大への新たな可能性を拓いた。

第三は、多色の混紡糸を単色(黒)に染め変え、アパレル製品を制作した提案は、素材の汎用性を高め、多方面への再利用を可能にした。

広陵町役場、広陵町靴下組合の協力を得て、廃棄される繊維素材を手作業と道具を用いて製品の制作を実践してきた。これにより、エネルギー消費を抑えながら、新たな繊維製品の創出が可能となり、成果を地域に還元することで企業活動、環境問題の課題解決と地域社会の持続可能な発展に貢献する提案ができた。

今後、本研究の成果を基礎に地域住民を対象に、残糸を活用した「ワークショップ」を企画・開催することで、地域の企業から排出される残糸に対する意識の啓蒙、残糸の活用によるものづくりの楽しさの提案および環境問題への関心喚起をすすめていきたい。本研究が、研究段階で終了するのではなく、実用化に向けて、地域の人々による残糸から新商品を生み出す「作り手」と、商品の「使い手」をつなぐ「靴下をまるごと楽しむ」仕組み作りが必要となる。地場産業・靴下の魅力を発信することで、「靴下の町、広陵町」の域内にとどまらず、他地域をも包摂した活性化につなげるのが可能となるが、その具体化が課題として残されている。

7. 謝辞

本研究実施に当たり、ご協力いただいた広陵町地域振興部、広陵町靴下組合、広陵町商工会、株式会社田中直染料店鹿児島様、黒染め糸の測色についてご教示いただきました李先生に心よりお礼申し上げます。

【参考文献および資料】

- 1) 矢野経済研究所：環境省令和4年度循環型ファッションの推進方策に関する調査業務 -マテリアルフロー：case26.pdf (env.go.jp) 2024年6月8日閲覧
- 2) 環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課：産業廃棄物排出・処理状況調査報告書－令和3年度速報値：https://www.env.go.jp/content/000123320.pdf 2024年6月10日閲覧
- 3) 木村照夫：「繊維製品の循環をめざして」 令和5年度『京の知恵』新価値創造講演会（京都工芸繊維大学繊維科学センター、(地独)京都市産業技術研究所共催）での木村照夫の講演を聴講（2024年3月15日）
- 4) 井上真理：「混紡品のマテリアルリサイクルの技術開発状況について」 第8回産業構造審議会製造産業分科会繊維産業小委員会（2023年12月25日）での井上の資料.6
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/textile_industry/pdf/008_05_00.pdf 2024年6月30日閲覧
- 5) セイコーエプソン社プレスリリース：「ドライファイバーテクノロジーを応用した繊維再生の新技術開発」（2024年2月15日付）
- 6) ロウェナ・ハート：アッシュフォード・リジッドヘドル織の本、Ashford Handicrafts、東京 p 36 - 43 (2002)
- 7) 岸田幸吉：ウィービングノート織物と組織・織の計画・織と道具、美術出版社、東京、p 120 - 130 (1978)
- 8) (独) 製品評価技術基盤機構化学物質管理センター：身の回りの製品に含まれる化学物質シリーズ6家庭用衣料品、(独) 製品評価技術基盤機構化学物質管理センター、東京、p 8 - 9 (2019)
- 9) 蟻野禎三、杉本太ら：複合素材の染色技術に関する研究、兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター研究報告第34号：4, 2002
- 10) 青柳太陽：工芸のための染色の科学、理工学舎、東京、p 17 - 26 (1994)