

持続可能な繊維産業を目指した 繊維の染色技術の新展開

■研究者のプロフィール

福井大学 学術研究院工学系部門
繊維先端工学講座
教授・博士（工学）

ひろがき かずまさ
廣垣 和正

TEL：0776-27-8631

E-mail：hirogaki@u-fukui.ac.jp

URL：http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/indphy/hirogaki



研究シーズの概要

はじめに

繊維製品の染色には、大量のエネルギーと水、種々の薬剤が使用されている。特に水の使用量は膨大で、世界で年間に5.8兆リットル^[1]もの水資源を消費し、廃水は全工業の20%^[2]にも及ぶ。また、繊維製品の廃棄が世界的な社会問題となり、繊維材料の資源循環が求められているが、製品からの染料の除去がボトルネックで、リサイクルが進まない状況にあり、日本だけでも年間に51.2万トン^[3]の衣服が廃棄されている。世界の繊維製品の消費量は、地球人口の増大と共に年々増加しており、近い将来、環境負荷が過多になり、自由に色がついた衣服を着られなくなるかもしれない。この問題を解決するために、われわれは染色媒体である水を超臨界二酸化炭素に置き換えた「**超臨界流体染色**」（図1）を研究している。

超臨界流体染色・加工技術

超臨界流体は、液体に近い密度を持ち物質を溶解できる一方で、気体に近い低粘度や高拡散性を持

ち、物質輸送媒体として優れているため、CO₂の超臨界流体（超臨界CO₂、以下「scCO₂」）を媒体として、ポリエステル（PET）繊維の染色において水の代わりに用いられる（図1）。染料をscCO₂に溶解した中で繊維に染料を吸尽させると、PET繊維は疎水性の繊維であるため、疎水性のscCO₂中でCO₂分子の収着により膨潤して可塑化する。これにより染料が繊維の中に容易に運び込まれ、従来の水系染色と比べて短時間で染色される。scCO₂に溶解した染料と繊維に吸着した染料の間には分配の法則が成り立ち、染料の繊維への分配係数が大きく高濃度に染色されることとなる。染色後、scCO₂を染色機から放出すると、圧力の低下によりscCO₂は気体となり、溶解していた染料が分離される。CO₂を圧縮して回収すると、再び次の染色工程に用いることが可能となり、scCO₂による循環システムが機能する。この「超臨界流体染色」技術は、水を使わないので染色後の乾燥工程が不要であり、乾燥に要するエネルギーの削減、さらに染色廃液の処理にかかるエネルギーの削減にもつながる（さまざまな計算があるが

水・化学薬品を使わず省エネルギーな革新的染色法

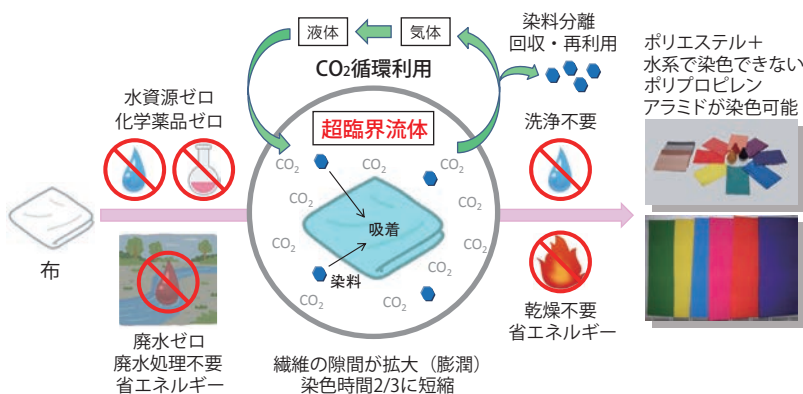


図1 超臨界流体染色の概要

40～60%程度の削減)。また、われわれはPET繊維の他に、綿繊維の染色に対して反応分散染料を用いた超臨界流体染色を試みてきた。染料は、繊維内へ反応を伴いながら拡散するため染めムラが問題となる。染料の反応性基の反応性や、添加する有機塩基の強度や塩基性サイト周りの立体障害を調整することで、染めムラが低減できた。さらに、超臨界流体染色は、水を使った染色では不可能な「ポリプロピレン繊維」の染色が可能となる。scCO₂中で大きく膨潤した繊維に対して、染料にアルキル鎖など疎水性官能基を導入し

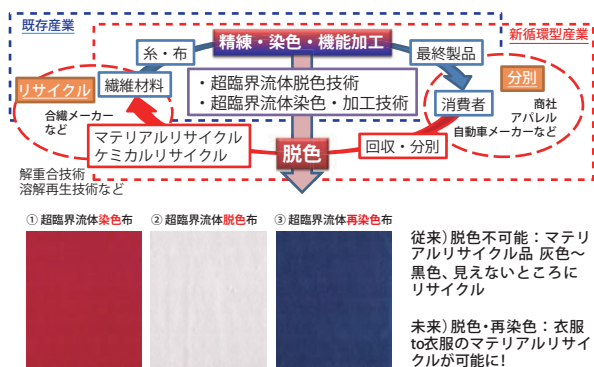
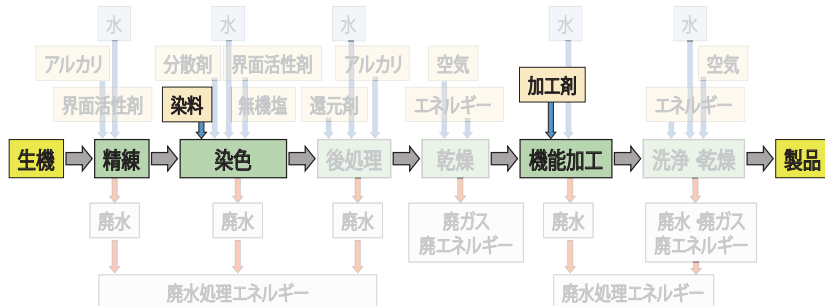


図2 超臨界流体染色・超臨界流体脱色による繊維産業の環境負荷低減・資源循環への貢献

て親和性を高めることで、高い染色堅牢度を保ちながら濃色に染色することにも成功した。

超臨界流体は、条件を変えると性質が変わる特徴を持つ。染色では染料が scCO_2 と比べて繊維と仲がよい状態を作り出すことで、 scCO_2 に溶けた染料が繊維に吸着される。これとは逆に、条件を変えて性質を調整し、染料が繊維より scCO_2 と仲がよい状態にすると、繊維内にある染料が scCO_2 に溶け出すため、脱色が容易になる(図2)。繊維材料の資源循環が求められているが、染色された衣服のリサイク



水・化学薬品を使わず、廃液も出ない。
エネルギー多消費の乾燥工程もない(エネルギー使用量58%削減)。

図3 水を用いる染色整理工程(薄く標記)に比べ、超臨界二酸化炭素を用いて工程を大幅に削減、エネルギー使用量を半減

- 参考文献 [1] RSC, Chemistry World, 4 December (2013)
[2] 繊維学会誌 77, 3 (2021)
[3] 環境省「令和2年度ファッションと環境に関する調査業務」

研究キーワード

- ◎ 超臨界流体
- ◎ 繊維
- ◎ 染色
- ◎ 脱色
- ◎ リサイクル
- ◎ 資源循環

利用が見込まれる分野

- ◎ 染色整理業
- ◎ 繊維・樹脂製品のリサイクル
- ◎ アパレル
- ◎ 産業資材用繊維

産業界へのメッセージ

繊維製品の製造では、原料調達と染色のエネルギー消費が大きいと言われています。繊維を廃棄するとこれらのエネルギーが失われてしまいます。脱色による繊維の資源循環への貢献と、染色の省エネ化を通して、超臨界流体技術が繊維産業のサステナビリティを支える技術のひとつになるよう研究を進めています。普及のため、産業界の皆さまからのご支援をお待ちしております。

産学連携をお考えの方は上記または次の担当部署までお問い合わせください。

- ◎北陸経済研究所 地域開発調査部 前田 TEL: 076-433-1134
- ◎北陸銀行 法人ソリューション部 地域創生室 水上 TEL: 076-423-7180

今後の展望

当研究室では、超臨界流体染色のメカニズムの解明に始まり、水を用いた染色で着色が不可能だったポリプロピレン繊維や、超臨界流体染色が不可能とされた親水性の綿繊維の染色に対して、染料開発から染色プロセスまでを研究してきた。これらの成果を礎に、2022年からNEDO先導研究プログラム「無水・ CO_2 無排出染色加工技術の開発」を2年間実施し、世界初となる精練から染色、機能加工までの繊維加工の全工程を scCO_2 により行うプロセスの開発に成功した(図3)。さらに、2023年から2年間実施されたJST COI-NEXT地域共創分野育成型に参加し、脱色を中心とした循環型繊維産業に関わり、人の行動変容による繊維産地ビジョンの構築にも貢献している。この成果を、2025年大阪・関西万博で文部科学省の「わたしとみらい、つながるサイエンス展」に展示した。現在は、超臨界流体染色および、超臨界流体脱色による染色産業の環境負荷低減と、繊維の資源循環の社会実装を目指して、さらに研究を進めている。