

氏 名	アボ クリステアーナ AGBO CHRISTIANA
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 1 1 9 3 号
学位授与の日付	令和 7 年 3 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	Supercritical CO ₂ Dyeing of Cotton with Laccic Acid and its Improvement on Dyeability (ラクカイ酸を用いた綿の超臨界 CO ₂ 染色とその染色性の改善)
審 査 委 員	(主査)教授 奥 林 里子 教授 山 田 和志 准教授 安永 秀計

論文内容の要旨

数十年にわたり繊維業界において主流であった従来の染色法は、大量の水とエネルギーを必要とし環境に深刻なダメージを与えてきた。環境負荷の低い持続可能な染色法が模索される中、水の代替媒体として超臨界二酸化炭素 (scCO₂) を使用する染色技術が実用化されたが、scCO₂ の性質からその対象は合成繊維に限られている。本論文では、天然繊維の中で最も消費量が多い綿繊維の、天然染料の一つであるラッカイン酸 (ラック染料) による scCO₂ 染色に焦点を当て、前処理を含む染色パラメータを最適化することで、染色性の向上と高い堅牢度を実現するとともに課題を明らかにし、産業応用の可能性を探ることを目的としている。本論文は 6 章から成り、各章の要旨は次の通りである。

第 1 章では、綿、ラック染料、超臨界二酸化炭素染色の原理について概説し、本研究の背景、課題、目的や意義について述べている。

第 2 章では、水系染色、溶媒染色、超臨界染色のプロセスや装置を概説し、論文課題に関連する既存の文献を包括的に紹介、これまでの知見の隔たりを特定して、研究の理論的枠組みを構築している。

第 3 章では、綿布のラック染料による染色について、従来の水系と超臨界二酸化炭素染色を比較し、染料濃度、染色温度と時間、媒染剤の添加や種類と膨潤剤が染色性に及ぼす影響のほか、染色堅牢度や綿布の機械的強度に及ぼす媒染剤の影響について報告している。

第 4 章では、第 3 章で染色性の向上を確認したポリエチレングリコールの添加方法を改良し、媒染剤との併用における、染料濃度や染色温度、時間などの染色性への依存性について述べている。また、染色綿布の耐光堅牢度や、FT-IR 分析による媒染剤の残存、光学顕微鏡による繊維内部の染色性についても報告している。

第 5 章では、ポリエチレングリコールの代わりにキトサンで前処理した綿布について、超臨界二酸化炭素中でのラック染料による染色性を報告している。さらに、第 3 章で色濃度を最も向上させた媒染剤、酢酸アルミニウムの添加効果についても検討し、その結果を報告している。

第 6 章では、本研究で得られた知見を総括し、これら成果が天然繊維の超臨界二酸化炭素染色

の分野においてどのように貢献したかを述べ、今後の展開と課題について言及している。

論文審査の結果の要旨

二酸化炭素を有効利用する超臨界二酸化炭素 (scCO₂) 染色は、カーボンリサイクルの観点からだけでなく、乾燥工程の省略によるエネルギー削減や排水処理が不要など、低環境負荷な技術として注目されるものの、媒体である scCO₂ の極性が低いことから、親水性の天然繊維の染色については研究例が少ない。

本論文では、綿布帛のラック染料による scCO₂ 染色を検討し、染色性および染色堅牢度が従来の水系より高いこと、水系で媒染剤として用いられる酢酸アルミを添加することで、色濃度と堅牢度が向上することを報告している。さらに、ポリエチレングリコール (PEG) で綿布を前処理すると、2 倍以上の色濃度が得られるだけでなく、染色時にベンズアミドを添加することで、さらに 50% 程度の染色性向上を確認している。PEG とベンズアミドによる高い染色性については、染色繊維断面の顕微鏡観察や FT-IR 分析、堅牢度の結果より、繊維内部に浸透した PEG によって綿が膨潤し、ラック染料とベンズアミドの綿内部への拡散を促進、水素結合や π - π 相互作用により PEG-ベンズアミド-染料が安定化するメカニズムを提唱している。次に、ベンズアミドの効果から、アミノ基を有する天然材料としてキトサンで前処理した綿を、酢酸アルミとともに scCO₂ 染色し、PEG とベンズアミドを用いた染色と同等の染色性と染色堅牢度を得ている。これにより、持続可能な材料を用いた持続可能な染色が実現し、産業界における持続可能な技術拡大の可能性が示唆された。

以上の結果から、本論文の内容は十分な新規性と学術的及び工業的価値があると認められ、本論文が博士論文の水準を満たしていると判断された。

本論文の基礎となった学術論文 2 報を以下に示す。いずれもレフリー制度の確立した学術誌に掲載されており、2 報ともに申請者が筆頭著者である。いずれの論文も二重投稿等の研究者倫理に反するような不正行為がないことを確認した。

(学術論文)

1. “Investigation and optimization of Supercritical CO₂ dyeing of cotton with Laccaic acid for sustainable textile production with improved fastness”, Christiana Agbo, Satoko Okubayashi, *The Journal of The Textile Institute*, published online (2024), doi.org/10.1080/00405000.2024.2418547.
2. “Exploring the dyeability and sustainability of lac dye on cotton: a comparative analysis between water and supercritical CO₂ dyeing”, Christiana Agbo, Satoko Okubayashi, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **37**(3), 480-494 (2025), doi.org/10.1108/IJCST-05-2024-0113.