

博士論文審査の結果の要旨

氏名	KHATRI MUZAMIL
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 750 号
論文題目	Study on eco-friendly and energy-efficient treatments of nanofibers for advanced textile applications (環境にやさしいかつ優れたエネルギー効率を持つ先端テキスタイル用ナノファイバーに関する研究)
論文審査委員	主査 玉田 靖 金 翼水 金 慶孝 荒木 潤 山下 義裕 (福井大学) Wei Kai (蘇州大学)

(博士論文審査の結果の要旨)

本論文では、高度なナノ材料への吸着によって染料や重金属などの廃棄物を削減することに焦点を当てている。生分解性のあるセルロースや Zein などを染色する技術を研究および改善結果をまとめたものである。

第 1 章では、ナノテクノロジー、エレクトロスピニング、超音波処理、深共晶溶媒システム、ドープ染色などの研究に使用される技術の紹介を含む、論文集の概要や処理の影響パラメーター、エレクトロスピニングされたナノファイバーのアプリケーションの一般的な説明をしている。

第 2 章では、セルロースナノファイバーの美的特性の改善について超音波バッチ式染色法や排気染色を行い、染色温度、染色時間、染料濃度、および耐変色性を検査したことについて論じている。その結果、超音波エネルギーが染料を急速に凝集させることにより、優れた色収率と大幅に改善された耐変色性を示した。それにより、セルロースナノファイバーの新規の大量生産方法を保証する可能性がある点で意義がある。

第 3 章では、耐変色性の問題を解決することについて論じている。セルロースナノファイバーの着色に、耐変色性を高めるために 2 種類のバット染料を選択し、バット染料を使用してセルロースナノファイバーを染色するためにいくつかの染色パラメーターを最適化した。建染染料を使用して染色すると、結晶化度が向上したことが確認できた。得られた結果から RCNF 用の建染染料が高度なアパレル用途に安全に適している可能性がある。

第 4 章では、室温での酸性染料を用いたシルクフィブロインナノファイバーの超音波染色に成功した。染色効率および電気代や熱エネルギーの節約を可能にした。また、従来の染色法と比較して、色の収量特性が向上し、染料の流出が減少する可能性があることを明らかにした。染色された SFNF は滑らかな形態を示し、SFNF の染色における収縮の問題は超音波エネルギーを使用することによって解決されたことについて論じている。

第 5 章では、光応答性色素を組み込んだポリウレタンナノファイバーを電界紡糸法で作製したことについて論じている。作製されたポリウレタンナノファイバーに紫外線と可視光を交互に照射することで光スイッチングが可能であることを確認した。この結果より、スマートアパレルへの適用が明らかになった。また、PS および PU マトリックスでインドール化合物を使用することにより、ナノファイバーの平均繊維直径が増加した。Ind-PU ENM は、より優れた色収率を示し、複数回使用される可能性があることについて論じている。ENM のこのような用途に関する報告はほとんどなく、両方のタイプの感光性 ENM の脱色速度が遅れる疎水性高分子ナノファイバーの用途が繊維用途で検討されたのはこれが初である点で意義がある。

第 6 章では、DES-Zein を用いてゼインナノファイバーを電界紡糸法で初めて作製に成功した。DES-Zein ナノファイバーの表面には、杉の葉の形態と-NH 及び-OH が豊富に存在することからより高い吸収率を示した。これにより、超親水性が必要な場所での使用が可能になった。また、ポリマー溶液の再利用性の制限やスピナレットの目詰まりを改善している。したがって、環境及び生物医学的用途に適用できる可能性がある。

本論文では、作製したナノファイバーがアパレル産業だけではなく、様々な分野への応用が可能になる。また、研究結果を通して工学および学術的な意義を有している。よって、学位論文の審査基準に合致するものと判断する。上記を総合的に考慮して、本論文は学位論文として十分に認められるものと判断した。

(公表主要論文名)

- (1) Muzamil Khatri, Farooq Ahmed, Abdul Wahab Jatoi, Rasool Bux Mahar, Zeeshan Khatri and Ick Soo Kim
“Ultrasonic Dyeing of cellulose nanofiber”
Ultrasonics sonochemistry, 31, 350~354, (2016-07)
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.020>
- (2) Farooq Ahmed, Alvira Ayoub Arbab, Abdul Wahab Jatoi, Muzamil Khatri, Najma Memon, Zeeshan Khatri and Ick Soo Kim
“Ultrasonic-assisted deacetylation of cellulose acetate nanofibers: A rapid method to produce cellulose nanofibers”
Ultrasonics sonochemistry, 36, 319~325, (2017-05)
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.013>
- (3) Muzamil Khatri, Farooq Ahmed, Irfan Shaikh, Phan Duy Nam, Qamar Khan, Zeeshan Khatri, Hoik Lee and Ick Soo Kim
“Dyeing and characterization of regenerated cellulose nanofibers with vat dyes”
Carbohydrate Polymers, 174, 443~449, (2017-10)
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.125>
- (4) Zeeshan Khatri, Farooq Ahmed, Awais Khatri, Muzamil Khatri, Umair Ahmed Qureshi and Ick Soo Kim
“Screen-printed electrospun cellulose nanofibers using reactive dyes”
Cellulose, 24, 4561~4568, (2017-10)
<https://doi.org/10.1007/s10570-017-1428-1>
- (5) Umair Ahmed Qureshi, Zeeshan Khatri, Farooq Ahmed, Abdul Sameeu Ibupoto, Muzamil Khatri, Faraz Khan Mahar, Rafi Zaman Brohi and Ick Soo Kim
“Highly efficient and robust electrospun nanofibers for selective removal of acid dye”
Journal of Molecular Liquids, 244, 478~488, (2017,10)
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.08.129>
- (6) Mujahid Mehdi, Faraz Khan Mahar, Umair Ahmed Qureshi, Muzamil Khatri, Zeeshan Khatri, Farooq Ahmed, Ick Soo Kim
“Preparation of colored recycled polyethylene terephthalate nanofibers from waste bottles: Physicochemical studies”
Advances in Polymer Technology, 37 (8), 2820~2827 (2018-12)
<https://doi.org/10.1002/adv.21954>
- (7) Muzamil Khatri, Nadir Hussain, Sofia El-Ghazali, Takayuki Yamamoto, Shunichi Kobayashi, Zeeshan Khatri, Farooq Ahmed, and Ick Soo Kim
“Ultrasonic-assisted dyeing of silk fibroin nanofibers: an energy-efficient coloration at room temperature”
Applied Nanoscience, 10 (3), 917~930, (2020-03)
<https://doi.org/10.1007/s13204-019-01191-2>
- (8) Muzamil Khatri, Farooq Ahmed, Shamshad Ali, Mujahid Mehdi, Sana Ullah, Phan Duy-Nam, Zeeshan Khatri and Ick Soo Kim
“Photosensitive nanofibers for data recording and erasing”
The Journal of the Textile Institute, 1754~2340, (2020-05),

<https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1761681>

- (9) Muzamil Khatri, Zeeshan Khatri, Sofia El-Ghazali, Nadir Hussain, Umair Ahmed Qureshi, Shunichi Kobayashi, Farooq Ahmed and Ick Soo Kim
"Zein nanofibers via deep eutectic solvent electrospinning: tunable morphology with super hydrophilic properties"
Scientific Reports, 10(1), 1~11 (2020-09)
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-72337-4>