博 士 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名	HASHMI MOTAHIRA
学位名	博士（　工学　）
学位番号	甲　第 764 号
論文題目	Potential applications of advance functional polymeric nanofibers in biomedical and environmental engineering(優れた機能性を備えた高分子ナノファイバーの医療用・環境工学への応用の可能性に関する研究)
論文審査委員	主査　金　翼水 金　慶孝 後藤　康夫 Wei　Kai (蘇州大学)

（博士論文審査の結果の要旨）

本論文は主に，抗菌性のあるナノファイバーの開発および機能評価を行ったものである．

第 1 章では，過去の例から電界紡糸ナノファイバーが従来よりも高い抗菌性を持つことについて述べている．また，この結果から，電界紡糸ナノファイバーが，創傷被覆材やドラッグデリバリーシステム，マスクフィルタなど幅広い分野での応用に適していることを示している．

第 2 章では，ポリアクリロニトリル（PAN）と酸化銅（CuO）を組み合わせたナノファイバーの抗菌ブレスマスクフィルタへの応用の可能性について論じている．作製されたナノファイバーについて通気性試験を行った結果，CuO ナノ粒子の添加が通気性の向上をもたらしたことを示している．またディスク拡散法を用いた抗菌試験でも良好な結果が得られたことや，その他の試験結果から，抗菌ブレスマスク用途として優れていることを示唆した．

第 3 章では，ゴーヤの抽出物であるモモルディカ・チャランティア（MC）と生体適合性ポリマーであるポリビニルアルコール（PVA）を組み合わせた抗菌性ナノファイバーの作製および機能評価について論じている．抗菌試験を行った結果，MC の添加量が増加するに応じて優れた抗菌特性が得られたことを示している．また，細胞毒性試験からは，MC を加えることによって細胞が増加していることを結論付けている．加えて，形態学的観点から 40%の MC を担持させたナノファイバーを推奨している．これらの結果から，MC 抽出物が創傷被覆材の材料として適していることを明らかにした．

第 4 章では，PAN ナノファイバーマット上に銀スルファジアジン（AgSD）を浸漬法により自己合成させる方法について述べ，抗菌性や機械的特性を従来の方法で作製された PAN/AgSD ナノファイバーとの比較を行っている．抗菌試験では浸漬法により作製された PAN/AgSD ナノファイバーが従来のナノファイバーに比べて優れているという結果を示した．また XPS 分析では，浸漬法により作製されたナノファイバーにおいて，AgSD に由来する銀（Ag）と硫黄（S）のピーク強度が従来のナノファイバーよりも高いという結果が得られた．この結果から，より多くの AgSD が添加できていることを示し，抗菌試験に影響を与えていることについても論じている．加えて引張試験を行った結果，浸漬法により作製されたナノファイバーが優れた機械的安定性を持つことを明らかにした．以上の結果から浸漬法により作製された PAN/AgSD ナノファイバーマットが従来のものよりも優れていることを示した点は学術的な意義がある．

第 5 章では，親水性ポリマーであるカルボキシメチルセルロース（CMC），PVA およびポリビニルピロリドン（PVP）を混合させて作製されたナノファイバーについて評価し，ポリマーの最適な濃度比を示している．親水性試験では，CMC を付加することで親水性が増加することを示し，CMC の担持によって，疎水性材料に親水性を付与できる可能性について示唆している．また，SEM による形態観察では，12wt％の PVP を含んだナノファイバーが非常に均一で滑らかな形態を持つことを明らかにした．

本論文は，医療分野への応用が期待できる複数のナノファイバーを作製し，評価を行っている．いずれもの論文も新規性のある研究であり，学術的な意義を有している．中でも浸漬法によりナノファイバーへ AgSD の添加を成功させたことに加え，それが従来のものに比べ，様々な点で優れていることを示したことは，他の研究者だけでなく，産業界にも貢献できる成果である．以上の事から，本論文は学位論文として十分に認められるものであると判断した．

（公表主要論文名）

1. **<u>Hashmi, M.</u>;** Ullah, S.; Kim, I. S.
Copper Oxide (CuO) Loaded Polyacrylonitrile (PAN) Nanofiber Membranes for Antimicrobial Breath Mask Applications.
Curr. Res. Biotechnol. 2019, 1, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2019.07.001.

2. **Hashmi, M**.; Ullah, S.; Kim, I. S.
Electrospun Momordica Charantia Incorporated Polyvinyl Alcohol (PVA) Nanofibers for Antibacterial Applications.
Mater. Today Commun. 2020, 101161.
https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101161.

3. **Hashmi, M.;** Ullah, S.; Ullah, A.; Akmal, M.; Saito, Y.; Hussain, N.; Ren, X.; Kim, I. S.
Optimized loading of Carboxymethyl Cellulose
(CMC) in Tri-component Electrospun Nanofibers having uniform morphology.
Polymers, 2020, 12, 2524; doi:10.3390/polym12112524

4. Ullah, S.; **Hashmi, M.;** Kharaghani, D.; Khan, M. Q.; Saito, Y.; Yamamoto, T.; Lee, J.; Kim, I. S.
Antibacterial Properties of in Situ and Surface Functionalized Impregnation of Silver Sulfadiazine in Polyacrylonitrile Nanofiber Mats.
Int. J. Nanomedicine 2019, 14, 2693–2703. https://doi.org/10.2147/IJN.S197665.

5. Ullah, S.; **Hashmi, M.;** Hussain, N.; Ullah, A.; Sarwar, M.N.; Saito, Y.; Kim, S.H.; Kim, I.S
Stabilized Nanofibers of Polyvinyl Alcohol (PVA) Crosslinked by Unique Method for Efficient Removal of Heavy Metal Ions.
J. Water Process Eng. 2020, 33 (December 2019), 101111. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101111.