

## 博士論文審査の結果の要旨

氏名	KHARAGHANI DAVOOD
学位名	博士（工学）
学位番号	甲第 722 号
論文題目	Study on biocompatible nanocomposites and nanofibers (生体適合性ナノ複合材料およびナノファイバーに関する研究)
論文審査委員	主査 金 翼水 森川 英明 金 慶孝 夏木 俊明 Wei Kai (蘇州大学)

(博士論文審査の結果の要旨)

本論文はエレクトロスピニング法を用いて作製したナノファイバーに、抗菌作用がある AgNPs(銀ナノ粒子)を添加する、生体適合性複合材料を使用するなどの様々な試みを行い、創傷被覆材や人工角膜などの医療分野に用いることのできる、生体適合性を持つ新たな材料の開発およびその特性を調べたものである。

第 1 章では、エレクトロスピニング法の概要、AgNPs, CuNPs が持つ抗菌活性、薬物送達システム(DDS)や組織工学などに代表される医療分野に生体適合性を持つナノファイバーを用いることの利点を他学術論文のデータを踏まえてまとめている。

第 2 章では、AgNPs を PVA ナノファイバーに効率的に付加する方法について、3 種の方法で AgNPs を付加し評価を行っている。作製したナノファイバーの AgNPs 添加量、AgNPs のサイズ、化学構造、水中での AgNPs の放出量を調べた結果、Method3 で作成した試料が最も優れた AgNPs 含有量及び水中放出挙動を示した。

第 3 章では、マスク、手袋、創傷被覆材などの医療分野で用いることのできる洗浄可能で抗菌作用の持った PAN/AgNPs ナノファイバーの作成を行った。本実験で、ナノファイバーを層状に重ね作製した PVA/AgNPs ナノファイバー複合膜は、AgNPs の水中放出を抑制するだけでなく、細菌や塵からの保護という点でも優れた性能が見られ、新規性が認められる。また作製した試料は 72 時間水に含侵した後も、大きく変わらない力学特性及び抗菌活性が確認できた。

第 4 章では、PAN/AgNPs ナノファイバーを材料とする抗菌フィルターの作製を行った。試料作成において、AgNPs を PAN ナノファイバーに湿潤法によって付加し、作製した試料の AgNPs 水中放出挙動は PAN ナノファイバーへの AgNPs 合成時の湿潤時間によって制御できることが確認できた。

第 5 章では、抗菌活性及び創傷治癒を促進する能力を持つ創傷被覆材の作製を目的として、PVA/Cs コアシェルナノファイバーに AgNPs, CuNPs を付加した材料を用いて実験を行った。また、本実験では効率の良い薬物送達のためにコアシェル構造のナノファイバーを作製した。結果、得られた試料は従来の方法と比べ良好な薬物送達機能及び生体適合性を示した。この試みは構造の視点から創傷被覆材としての性能の向上を図った点で、新規性が認められ評価が高い。

第 6 章では、CuNPs を PVA コンタクトレンズに組み込むことが可能か、ナノ粒子の組み込みが PVA の材料特性にどのように影響するか、及び得られるコンタクトレンズの抗菌特性を調べた。結果、得られた試料は、良好な抗菌活性があり、レンズは哺乳類細胞に対し生体適合性が見られ、レンズの変色は見られなかった。レンズ内の CuNPs 濃度の最適化、及びレンズへの CuNPs 組み込みによる機械的特性の変化を調べるには、さらなる研究が必要であるといえる。

第 7 章では、水溶性および有機溶媒可溶性の薬物に基づく二重薬物送達システムを持つ創傷被覆材の設計を行った。作製した PVA/PAN コアシェルナノファイバーは優れた二重薬物送達機能を示した。この試みは様々な薬物に応用することができ、創傷被覆材における複数の薬物送達に対して新たな可能性を示した。

第 8 章では、角膜組織工学用途の足場に用いることのできる、HEC/PVA/GR ナノファイバー

を作製した。作製した試料の含水量は、人間の角膜に近く、適切な引張強度を持っていた。また、試料には毒性がなく、生体適合性も確認できた。

第2章から第7章は海外ジャーナルに承認され、提出された別刷で内容が確認できるが、第8章はまだ公表論文になっていないため、論文内容全てが公表論文に基づいて作成されていない。本論文は、医療分野に応用してできるナノファイバーを金属ナノ粒子の添加、コアシェル構造の設計など新規性ある様々な技術を用いて、生体適合性を評価した点でも、学術的価値を示している。よって、本論文は学位論文として十分に認められるものと判断する。

(公表主要論文名)

1. Davood Kharaghani, Hoik Lee, Takahiro Ishikawa, Tomoki Nagaishi, Seong Hun Kim, Ick Soo Kim

Comparison of fabrication methods for the effective loading of Ag onto PVA nanofibers  
Textile Research Journal, 89 (2018), pp. 625-634

2. Muhammad Qamar Khan, Davood Kharaghani, Nazish Nishat, Amir Shahzad, Tanveer Hussain, Zeeshan Khatri, Chunhong Zhu, Ick Soo Kim

Preparation and characterizations of multifunctional PVA/ZnO nanofibers composite membranes for surgical gown application  
Journal of Materials Research and Technology, 8 (2018), pp. 1328-1334

3. Davood Kharaghani, Yun Kee Jo, Muhammad Qamar Khan, Yeonsu Jeong, Hyung Joon Cha, Ick Soo Kim

Electrospun antibacterial polyacrylonitrile nanofiber membranes functionalized with silver nanoparticles by a facile wetting method  
European Polymer Journal, 108 (2018), pp. 69-75.

4. Davood Kharaghani, Muhammad Qamar Khan, Yasushi Tamada, Hiroshi Ogasawara, Yuma Inoue, Yusuke Saito, Motahira Hashmi, Ick Soo Kim

Fabrication of electrospun antibacterial PVA/Cs nanofibers loaded with CuNPs and AgNPs by an in-situ method  
Polymer Testing, 72 (2018), pp. 315-321

5. Davood Kharaghani, Debarun Dutta, Parastoo Gitigard, Yasushi Tamada, Anna Katagiri, Duy-Nam Phan, Mark DP Willcox, Ick Soo Kim

Development of antibacterial contact lenses containing metallic nanoparticles  
Polymer Testing, 79 (2019), 106034.

6. Davood Kharaghani, Parastoo Gitigard, Hijiri Ohtani, Kyu Oh Kim, Sana Ullah, Yusuke Saito, Muhammad Qamar Khan, Ick Soo Kim

Design and characterization of dual drug delivery based on in-situ assembled PVA/PAN core-shell nanofibers for wound dressing application  
Scientific reports, 9 (2019), pp. 1-11