

補助事業番号 2025M-378

補助事業名 2025年度 神経再生技術のための電気・機械刺激用銀ナノワイヤ/PDMS電極の開発 補助事業

補助事業者名 信州大学繊維学部 機械・ロボット学科 中楯浩康

1 研究の概要

本研究では、銀ナノワイヤ(AgNWs)と柔軟材料PDMSを組み合わせた「柔らかく伸縮可能な電極」を開発し、神経細胞へ電気刺激と機械刺激を同時に与えることができる細胞培養システムの構築を行った。

近年、脳や脊髄、末梢神経の損傷に対する再生医療への期待が高まっている。しかし、神経細胞を効率的に成長・誘導するためには、細胞へ適切な刺激を与える技術が必要である。本研究では、従来の硬い金属電極とは異なり、細胞や生体組織に近い柔軟性を持つAgNWs/PDMS電極を作製し、細胞培養チャンバーと一体化した。

2 研究の目的と背景

近年、交通事故、スポーツ外傷、脳・脊髄損傷などによる神経損傷に対して、再生医療技術への期待が高まっている。しかし、中枢神経系は損傷後の再生能力が低く、機能回復が難しいことが大きな課題となっている。そのため、神経細胞の成長や神経突起伸長を制御する新しい刺激技術の開発が求められている。

これまで、神経細胞の制御には薬剤や成長因子などの化学的手法が多く用いられてきたが、近年では電気刺激や機械刺激などの「物理刺激」によって細胞機能を調節できる可能性が注目されている。特に、電気刺激は神経細胞の分化や神経突起伸長を促進する可能性が報告されており、再生医療分野への応用が期待されている。

一方で、従来の金属電極は硬く、伸縮性が低いため、柔らかい細胞培養環境や生体組織との適合性に課題があった。そこで本研究では、柔軟性と導電性を両立する銀ナノワイヤ(AgNWs)とPDMSを用いて、柔らかく伸縮可能な電極を開発し、細胞培養チャンバーと一体化することを目的とした。

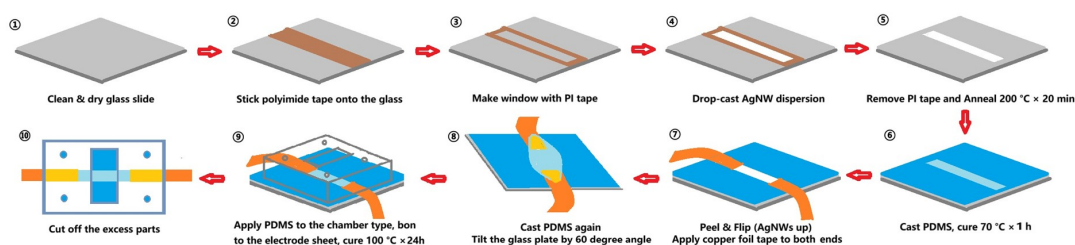
さらに、本研究では、神経系モデル細胞に対して電気刺激と機械刺激を同時に与えることができる培養プラットフォームの構築を目指した。これにより、神経細胞の成長や機能制御メカニズムの解明を進め、将来的な神経再生医療技術への応用につなげることを目的としている。

3 研究内容

(1) 銀ナノワイヤ/PDMS電極の開発 (<https://fiber.shinshu-u.ac.jp/biomech.lab/research.html>)

本研究では、柔軟性と導電性を兼ね備えた細胞刺激用電極として、銀ナノワイヤ(AgNWs)とPDMSを組み合わせた柔軟電極の開発を行った。

まず、ガラス基板上へ銀ナノワイヤ分散液を滴下・乾燥させ、AgNWネットワークを形成した。その後、熱アニール処理を行うことで、銀ナノワイヤ同士の接合抵抗を低減し、高導電性化を図った。さらに、形成したAgNW層をPDMSで封止することで、柔軟性を有するAgNWs/PDMS電極を作製した。作製した電極については、抵抗値測定や繰返し伸展試験を実施し、導電性および耐久性を評価した。その結果、熱アニール処理によって電極抵抗が大きく低下し、高い導電性を示すことを確認した。また、繰返し伸展後においても導電性を維持できることから、柔軟・伸縮環境下で使用可能な電極構造であることが示された。



銀ナノワイヤ/PDMS電極および培養チャンバーの作成プロセス

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発したAgNWs/PDMS柔軟電極は、神経細胞へ電気刺激と機械刺激を同時に与えることができる特徴を有しており、将来的には神経再生医療分野への応用が期待される。例えば、脳・脊髄損傷や末梢神経損傷後の神経再生促進、神経機能回復支援、リハビリテーション技術への展開が考えられる。

また、本研究で得られた柔軟導電材料技術は、生体にやさしく変形に追従可能な特徴を持つため、ウェアラブル生体計測デバイスや柔軟センサ、バイオエレクトロニクス機器などへの応用も期待される。さらに、細胞培養と電気刺激を組み合わせた本研究の技術は、再生医療用細胞製造や創薬研究における細胞機能評価プラットフォームとしても活用可能である。

今後は、細胞応答評価や刺激条件最適化を進めることで、より高機能な神経再生デバイスの実現を目指し、医療・福祉分野への社会実装につなげていきたい。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまで、頭部外傷や神経損傷に関するバイオメカニクス研究を中心に、神経細胞へ加わる力学刺激と細胞損傷・機能変化の関係について研究を行ってきた。特に、培養神経細胞に対する引張刺激実験や、頭部衝突再現解析を用いた外傷性脳損傷研究を通じて、神経細胞が物理刺激に応答するメカニズム解明を進めてきた。

一方で近年では、細胞損傷評価だけでなく、「物理刺激を積極的に利用して細胞機能を制御する技術」へ研究を発展させている。本研究は、これまで蓄積してきた神経細胞力学刺激研究の知見を基盤として、電気刺激と機械刺激を組み合わせた神経再生技術へ展開する位置づけにある。

また、本研究では、材料工学、電気工学、細胞生物学を融合した柔軟バイオエレクトロニクス技術を導入することで、従来の外傷バイオメカニクス研究をさらに発展させ、将来的な再生医療応用を目指す新しい研究領域への展開を進めている。

さらに、本研究は学生教育とも連携して実施しており、デバイス作製、細胞培養、電場解析などを通じて、学際的研究人材育成にもつながる研究として位置づけられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

なし

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 信州大学繊維学部(シンシュウダイガクセンイガクブ)

住 所： 〒386-8567

長野県上田市常田 3-15-1

担 当 者： 准教授 中楯浩康(ナカダテヒロミチ)

担 当 部 署： 機械・ロボット学科(キカイ・ロボットガクカ)

E - m a i l: nakadate@shinshu-u.ac.jp

U R L: <https://fiber.shinshu-u.ac.jp/biomech.lab/>