

# 研究助成研究成果報告書

令和 6 年 9 月 3 日

公益財団法人江野科学振興財団  
理事長 江野 眞 一 郎 殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名

梁 曉斌



記

## 1. 研究課題名

和 文 原子間力顕微鏡を用いた伸縮性導電性材料のナノ導電性とナノ変形挙動の可視化
英 文 Visualization of nanoconductivity and nanodeformation behavior of stretchable conductive materials using atomic force microscopy

## 2. 申請者名(代表研究者)

氏 名 梁 曉斌	ローマ字表記 Liang Xiaobin
所属大学・機関名 東京工業大学	英訳表記 Tokyo Institute of Technology
学部・部課名 物質理工学院応用化学系	英訳表記 School of Materials and Chemical Technology Department of Chemical Science and Engineering
役職名 准教授	英訳表記 Associate Professor

## 3. 共同研究者 (下段 英訳表記)

氏 名	所属機関名・学部名・役職
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)

#### 4. 英文抄録（300 語以内）

The development of wearable and robotic sensors has created a strong demand for materials that are both highly stretchable and electrically conductive. Achieving this requires materials with a balance of excellent mechanical properties and stable electrical conductivity. Traditional methods involve embedding metal wires in elastic polymers, but these often face limitations in durability and stability due to the fragile interface between metal and polymer materials under large deformations. Recent efforts have focused on next-generation conductive materials that can withstand significant stretching. One approach involves incorporating conductive structures into stretchable polymers, such as organic conductors, but these are still at an early stage. A more practical strategy is to use conductive nanofillers that form networks, balancing conductivity and mechanical stretchability. The type and dispersion of these nanofillers affect not only the electrical properties but also the mechanical response. However, the nanomechanical mechanisms governing these properties during deformation are still not well understood. For example, carbon nanotube (CNT)/PDMS films show a hysteresis effect in electrical resistance during strain, stabilizing after unloading. To better understand these behaviors, it is essential to visualize both nano-deformation and nanoscale conductivity simultaneously. While many studies have examined the bulk properties, direct observation of nanoscale mechanisms has been limited due to the challenges of accessing such fine details. There is a pressing need for experimental techniques that enable the measurement of deformation behavior and in-situ conductivity at the nanoscale. This study proposes a new method that integrates a custom deformation device into a conductive atomic force microscopy (C-AFM) system. This setup will allow for direct visualization of nano-deformation and electrical properties under controlled deformation conditions, providing insights into the nano-mechanics of conductive and mechanical properties in stretchable materials. This approach could significantly advance the understanding of nanoscale behaviors in next-generation electronic materials.

#### 5. 研究目的

ウェアラブルやロボットセンサーなどの伸縮可能な電子デバイスの開発により、導電機能をもつ大変形できる材料が強く求められる。このような伸縮性導電性材料には、優れた機械的特性と安定の電気伝導性の両立が必要である。従来の電子デバイスは、導電性かつ大変形を実現するため、金属ワイヤーを大変形できるゴムのような弾性体に包埋することが多いである。しかし、金属と高分子材料の界面が壊れやすく、材料の耐久性や大変形時の安定性には深刻な制限をもたらす。近年、次世代に向けの大変形できる導電性材料の開発が盛んに行われる。例えば、導電性のもつ化学構造を大変形できる高分子へ導入するという有機導体が研究され、有望な実験結果が得られ、但し開発の初期段階にある現状である。一方、より現実的な開発手法として、既知の導電性ナノフィラーを活用し、ナノフィラーネットワークを形成することで、材料の導電性と大変形できる物性を両立することを実現できる。そのナノフィラーの種類や分散形態が、材料の導電機能性だけでなく、機械的な応答にも大きな影響を与える。特に、変形中に材料の導電性と機械物性のナノメカニズムが色々な不明がある。例えば、カーボンナノチューブ（CNT）/PDMS フィルムの電気抵抗は歪みにより増え、除荷後にほぼ一定になるというヒステリシス現象が挙げる。そのような現象の解明のためには、伸縮性導電性材料のナノ変形挙動とナノ導電性を同時に可視化することが重要な課題である。したがって、本提案では、独自の変形器具をコンダクティブ原子間力顕微鏡(C-AFM)装置に組み込み、変形を制御した状態でナノ変形とナノ導電性などの物性情報を直接に可視化する手法の確立を目指す。それによって伸縮性導電性材料の導電機能性や力学物性のナノメカニズムの解明に寄与したいと考えている。ナノスケール可視化技術を次世代のサイエンスの重要課題として踏み込ませることが期待できる。

## 6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。(冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください)

## 7.今後の研究の見通し

今後の研究では、本手法をベースにして、伸縮性導電体のナノスケールでの導電ネットワークの挙動とその変形応答を詳細に解明することが期待される。特に、異なる環境条件(温度、湿度、化学環境など)での導電性と力学特性の変化を追跡することで、材料の長期的安定性とその環境応答メカニズムを明らかにすることが重要である。また、AFM技術の多モジュール化を進めることで、多機能材料の特性評価手法をより効果的に統合し、新しい理論モデルの構築に寄与する可能性がある。これにより、伸縮性導電体の設計と最適化に向けた新たな指針を提供し、次世代の高性能材料の開発に向けた基盤を築くことが期待される。

## 8.本助成金による主な発表論文、著書名

- (1) X. Liang, H Liu, S Fujinami, M Ito, K Nakajima, *ACS nano*, 18, Issue 4, 3438-3446, 2024.
- (2) X. Liang, T. Kojima, M. Ito, N. Amino, H. Liu, M. Koishi, K. Nakajima, *ACS Appl. Mater. Interf.*, Vol.15, Issue 9, 12414–12422, 2023.

[注1] 本報告書は、助成金を受けた翌年9月末までに必ず提出してください。

[注2] (お願い)印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。<E-Mail: enozaidan@kokoku-intech.com>

[注3] この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。