

ミノムシが産生する高強度繊維と導電性高分子を組み合わせた 新規複合繊維材料を開発

クモやミノムシなどの昆虫は、天然のシルク繊維を産生します。これまで、このような天然由来のシルク繊維の中では、クモの糸が最も強度が高いとされてきました。しかし近年、ミノムシのミノを構成する糸やこれを枝から支える糸が、弾性率・破断強度・機械的強度のすべてにおいて、クモの糸を上回ることが分かっています。一方、導電性高分子の一つとして電池用電極や導電性インクなどに用いられるポリアニリンは、原料が安価で簡便に合成できるという特徴がありますが、それ自体には光学活性はなく、また、液体に溶解させたり熱加工することは困難です。

本研究では、ミノムシの糸と導電性高分子のポリアニリンを組み合わせ、両方の特徴を併せもつ複合繊維を合成しました。この繊維は、繊維長軸方向に沿って異方性のある電気伝導性をもち、同時に、柔軟性と光ファイバーとしての性質を示しました。さらに、これが繊維状の電気化学トランジスタとして応用できることを見いだしました。また、緑色レーザーを繊維の長軸方向に沿って照射したところ、この複合繊維がレーザーを伝搬する光ファイバーとしての機能をもつことも分かりました。このように、天然由来のシルク繊維と導電性高分子を組み合わせることにより、新しい複合繊維材料の開発に成功しました。

研究代表者

筑波大学数理物質系

後藤 博正 准教授

研究の背景

ミノムシが産生する糸はタンパク質からなる天然のシルク繊維で、分子レベルではらせん構造を形成する光学活性な物質です。近年、天然由来のシルク繊維としては、弾性率・破断強度・機械的強度などにおいて、これまで最強とされていたクモの糸を上回ることが分かっています。一方、導電性高分子の一つとして電池用電極や導電性インクなどに用いられるポリアニリンは、原料が安価で簡単に合成できるという特徴がありますが、それ自体には光学活性はなく、液体に溶解させたり熱加工したりできないため、応用範囲を広げるためには、他の材料との複合化が必要になります。そこで本研究では、ミノムシが産生する糸と導電性高分子ポリアニリンを組み合わせることにより、ポリアニリンにミノムシの糸がもつ性質を付与させるだけでなく、光学的にも活性な繊維材料を作ることを試みました。

研究内容と成果

ミノムシの糸を水中に浸し、その水中でポリアニリンを合成しました。非常に単純な方法ですが、アニリンが酸化剤によってポリアニリンに変化する過程で、水素結合により、ミノムシの糸の表面にポリアニリンが吸着した複合繊維が生成します。これを水洗浄、乾燥して顕微鏡観察すると、ミノムシの糸の表面にポリアニリンがコートされていることが確認できました（図1左）。また、繊維がランダムに絡まった部分の走査型電子顕微鏡観察では、繊維一本一本がはっきりと見られました（図1右）。

この複合繊維は、ミノムシの糸がもつ強度と、ポリアニリンがもつ電気伝導性や磁性を併せもつと考えられます。得られた複合繊維の電気伝導性を調べたところ、電気伝導性は通常のパリアニリンと同程度でしたが、繊維方向に異方性がありました。また、繊維断面中央部から緑色レーザーを照射すると、繊維に沿ってレーザー光が進み、光ファイバーのような光導波路としての性質をもつことが分かりました（図2）。さらに、この複合繊維を用いた電気化学トランジスタ^{注1)}を作成し、これに電圧を加えると、電圧上昇に伴い、電極間の電流が大きくなったことから、これが、電圧により電流を制御できる繊維型トランジスタとして応用できることが明らかになりました。電子スピン共鳴および超伝導量子干渉計による磁気測定からは、「パウリの常磁性（温度変化によらず一定の磁化率をもつ現象）」と呼ばれる、導電性高分子に典型的な性質を示すことが確認されました。

今後の展開

今後、この導電性複合繊維を用いて、布やケーブルを作成する予定です。これにより、十分な力学的強度と、導電性や静電防止機能をもつシートやワイヤーの開発につながると期待されます。将来的には、この複合繊維を細い分子ケーブルとして活用することで、神経をモデルにした信号伝達の可能性も考えられます。

参考図

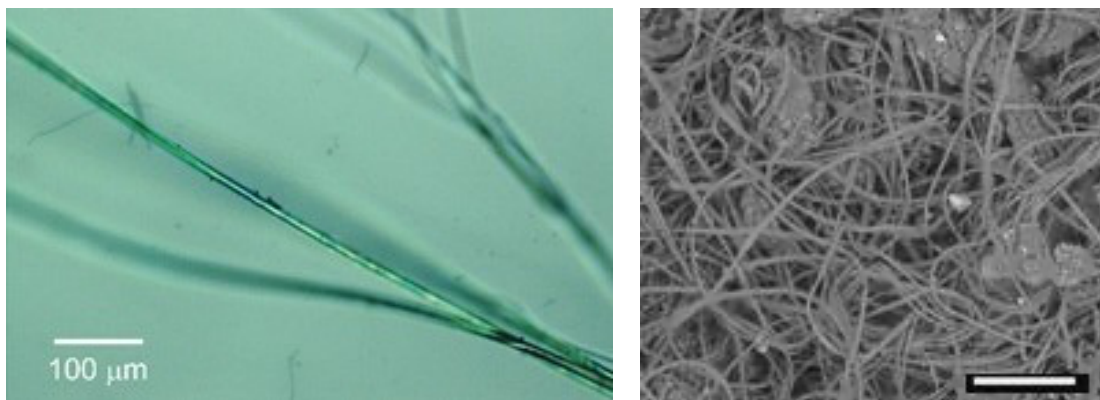


図1 本研究で合成したミノムシの糸とポリアニリンの複合繊維（スケールバーは100 μm）

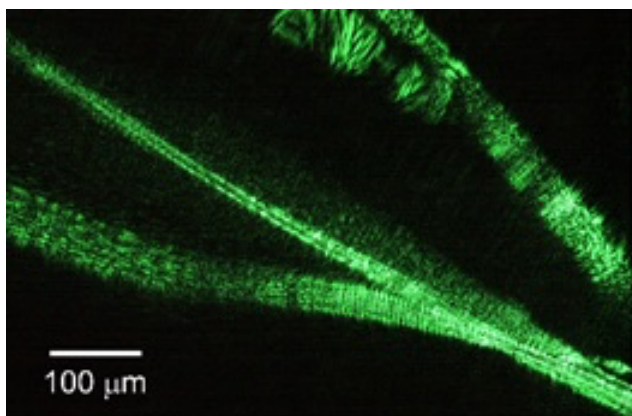


図2 緑色レーザーを伝搬する複合繊維

用語解説

注1) 電気化学トランジスタ

導電性高分子に対して電気化学的な酸化還元を行うことにより、導電性高分子の導電状態を制御するデバイス。印加電圧により、電流を制御することができる。

研究資金

本研究は、科研費（No. 20K05626）の研究プロジェクトの一環として実施されました。

掲載論文

- 【題名】 Preparation of Bagworm silk/polyaniline Composite
(ミノムシシルク/ポリアニリンコンポジットの作成)
- 【著者名】 Kyoka Komaba, Hiromasa Goto
- 【掲載誌】 Journal of Applied Polymer Science
- 【掲載日】 2021年10月19日
- 【DOI】 10.1002/app.51791

問合わせ先

【研究に関すること】

後藤 博正 (ごとう ひろまさ)

筑波大学数理物質系物質工学域 准教授

URL: http://www2.ims.tsukuba.ac.jp/~gotosh_lab/

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp