

2023年7月19日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

カーボンナノチューブとセルロースナノファイバーから 高強度導電性複合繊維を開発

【発表のポイント】

- 単層カーボンナノチューブ^(注1)とセルロースナノファイバー^(注2)の複合化に成功しました。
- 交流電場と流動場を組み合わせた独自の繊維配向法を用いて、セルロース繊維に高い導電性を付与しました。
- 50%という高いカーボンナノチューブの含有量でも複合繊維の高強度・高靱性化に成功しました。
- 従来の水分センサーに対して約 5 倍の検出感度を実現し、高強度・軽量、低環境負荷というセルロースの特性を生かした超高感度水分センサーや新たなエレクトロデバイス、エレクトロニクス材料への応用が期待されます。

【概要】

木材繊維を機械的・化学的にナノオーダーまで解きほぐすことのできるセルロースナノファイバー(CNF)は、直径数 10 nm 程度の高結晶性の超微細繊維であり、次世代のバイオマス素材として注目を集めています。このセルロースナノファイバーを再合成することにより、セルロース本来の有する優れた材料特性を有するセルロース繊維を創製する研究が世界的に進められています。

東北大学流体科学研究所の高奈秀匡教授は、米国ワシントン大学(ワシントン州シアトル)の Anthony B. Dichiara(アンソニー B. ディキアラ)准教授との国際共同研究により、セルロースナノファイバーに高導電性を有する単層カーボンナノチューブを混合することで、新たな導電性複合セルロース繊維の開発に成功しました。従来技術では、カーボンナノチューブ(CNT)の含有により、ナノセルロースファイバー間の結合が阻害され、複合繊維強度が低下することが課題となっておりました。本研究においては、電場と流れ場による独自の繊維配向制御法により、50%という高いカーボンナノチューブ含有量においても材料強度を低下させることなく、導電性セルロース複合繊維を創製することに成功しました。

本成果は、2023年7月12日(現地時間)に米国化学会が発刊する ACS Applied Materials & Interfaces に掲載され、本誌の Supplementary Cover に選出されました。

【詳細な説明】

研究の背景

木材繊維を機械的・化学的にナノオーダーまで解きほぐすことのできるセルロースナノファイバー(CNF)は、直径数 10 nm 程度の高結晶性の超微細繊維であり、次世代のバイオマス素材として世界的な注目を集めています。化石資源の少ない日本において、豊富に存在する森林資源から得られる CNF を有効活用し、付加価値の高い新素材を創製することは極めて重要な技術課題です。近年、このセルロース繊維にカーボンナノチューブを複合化することによる、導電性セルロース複合繊維の開発が世界的に進められており、注目を集めています。導電性を向上させるためには、カーボンナノチューブの含有量を増やすことが必要ですが、カーボンナノチューブにより、セルロースナノファイバー間の結合が弱められるため、材料強度が著しく低下することが問題となっておりました。

今回の取り組み

今回、高奈秀匡教授らの研究グループは、界面活性剤や化学薬品を用いずに単層カーボンナノチューブとセルロースナノファイバーの安定分散媒を得ることに成功しました。このとき、セルロースナノファイバーがカーボンナノチューブに巻き付いており、これにより高い安定分散性が得られることが分かりました(図 1)。さらに、電場と流れ場による独自の配向制御法により、機能性複合繊維の高強度化に成功しました。従来、カーボンナノチューブを混合することで、セルロースナノファイバー間の結合強度が低下するため、材料強度が低下することが知られています。

このような課題に対し、本技術では、流れ場と電場を用いて配向制御することにより、50%という非常に高いカーボンナノチューブ含有量においても、材料強度を低下させることなく、機能性複合繊維を創製することが可能となります(図 2)。本技術により創製した複合繊維の強度は、従来技術よりも高強度・高靱性であり、最も優れた材料特性を示します(図 3)。また本技術においては、電場により、カーボンナノチューブがクラスター化するため、より高い導電率を有する機能性複合繊維を得られることが明らかとなりました(図 4)。これにより、セルロースを利用した従来の高感度水分センサーに対して約 8 倍の検出感度を実現することに成功しました。

今後の展開

本成果は、高強度・軽量、低環境負荷というセルロースの特性を生かした超高感度水分センサーや柔軟性を有する新たなエレクトロデバイス、エレクトロニクス材料への応用が期待されます。

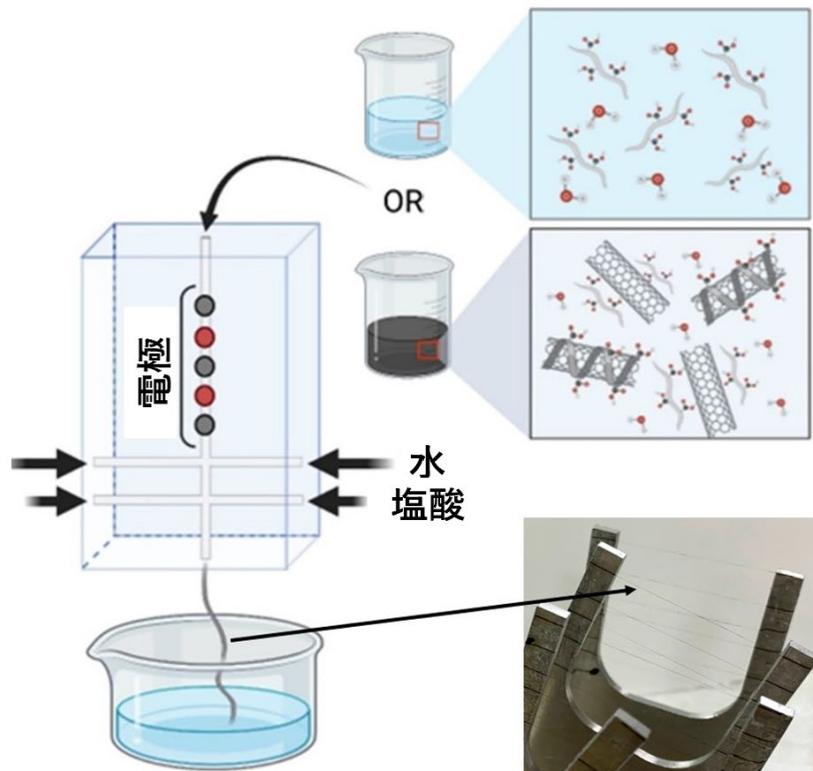


図 1. 交流電場と流れ場によりセルロースナノファイバーとカーボンナノチューブからなる微細繊維を軸方向に配向させることで、高強度導電性複合繊維を創製。

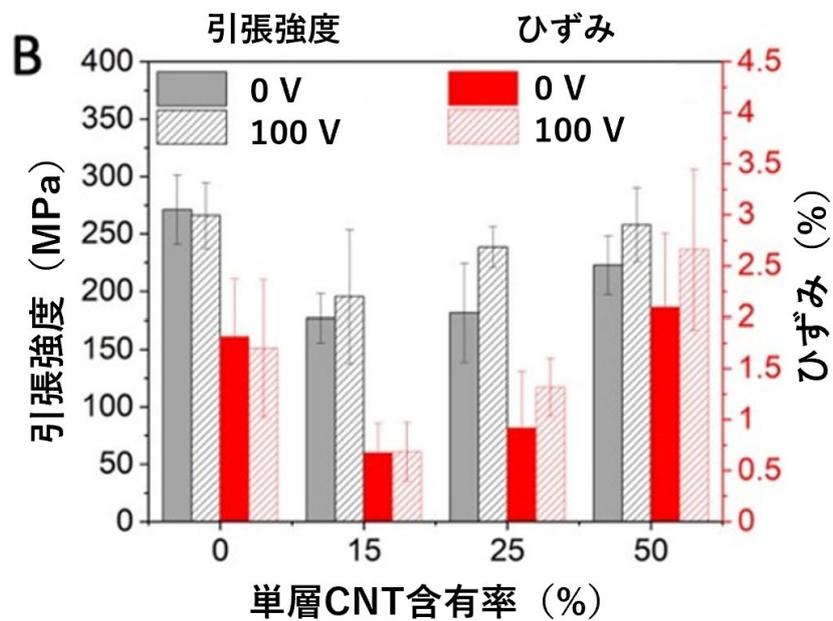


図 2. 交流電場を印加することでカーボンナノチューブ複合セルロース繊維が高強度化。

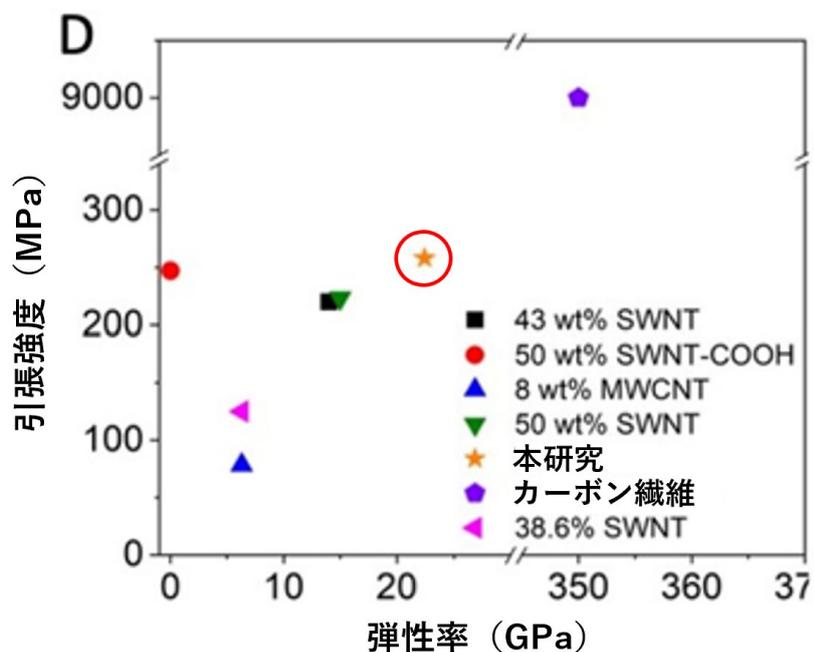


図 3. 本技術により創製したカーボンナノチューブ複合セルロース繊維の材料特性の位置づけ(従来法との比較)。従来法と比較して高い引張強度と弾性率を同時に得ることに成功。

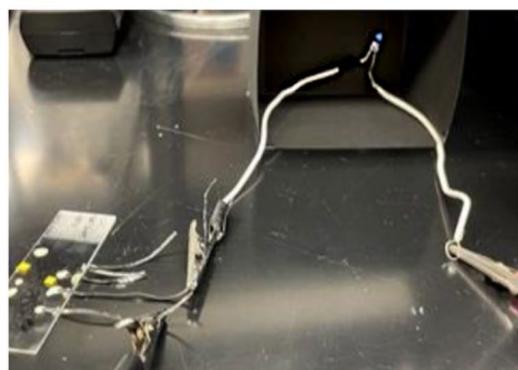
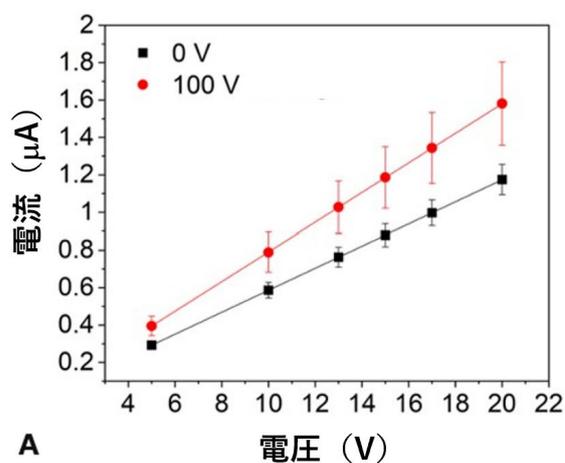


図 4. カーボンナノチューブ複合セルロース繊維の電流—電圧特性(カーボンナノチューブ含有率 50%)。100 V を印加して繊維を創製することで、より導電率が向上。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 JP22H01393 および JSPS Core-to-Core プログラム JPJSCCA20210005, 流体科学研究所公募共同研究の助成を受けて遂行されまし

た。

【用語説明】

注1. 単層カーボンナノチューブ:

単層のグラフェン(ハニカム構造の炭素原子から成るシート状物質)から構成される継ぎ目のない円筒状物質。高い導電性を有し, 軽量でありながら高強度, 高熱伝導性といった優れた機械的特性を有する。

注2. TEMPO 酸化セルロースナノファイバー:

TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl radical) 触媒酸化により得られたセルロースナノファイバー。ファイバー間の高密度の電荷反発と浸透圧効果により、ナノファイバー化が可能となる。

【論文情報】

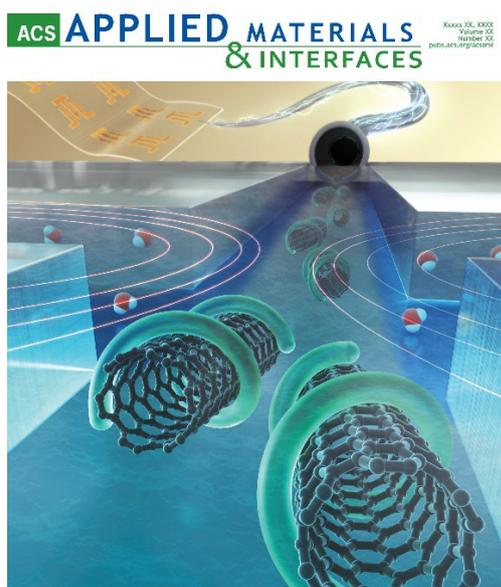
タイトル :Dynamic Assembly of Strong and Conductive Carbon Nanotube/Nanocellulose Composite Filaments and Their Application in Resistive Liquid Sensing

著者 : Heather Wise, Hidemasa Takana, and Anthony B. Dichiara*

掲載誌 :ACS Applied Materials & Interfaces (2023)

DOI: 10.1021/acscami.3c03906

URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscami.3c03906>



【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学流体科学研究所

教授 高奈秀匡

TEL: 022-217-5223

E-mail: takana@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学流体科学研究所

広報戦略室

TEL: 022-217-5873

E-mail: ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp