

〈一般研究課題〉 軽量・伸縮・導電性を持つ繊維材料の開発と
着心地の良いヘルスケア衣類への展開
助成研究者 名古屋工業大学 岸 直希



軽量・伸縮・導電性を持つ繊維材料の開発と 着心地の良いヘルスケア衣類への展開

岸 直希
(名古屋工業大学)

Fabrication of lightweight, stretchable and conductive fiber
materials and their application for comfortable health care clothing

Naoki Kishi
(Nagoya Institute of Technology)

Abstract :

We report on fiber materials used in wearable device systems that are worn on the body and collect biological information for use in health care. Assuming the integration of wearable devices into clothing, we have developed a conductive fiber material that is lightweight, stretchable, and comfortable to wear, especially for use in electrodes. It is a composite fiber material composed of single-wall carbon nanotubes, which are lightweight materials, and fluororubber. The conductivity of the composite fiber material depends on the characteristics of single-wall carbon nanotubes, and the elasticity depends on the characteristics of fluororubber. In this report, we report on the production of composite fiber materials by the wet spinning method.

1. はじめに

身体に身につけ生体情報を収集するウェアラブルデバイスが注目されている。ウェアラブルデバイスにより得られた生体情報から健康状態を把握することにより、病気を未然に防ぐことも期待でき、今後さらなる普及が予想されている。ウェアラブルデバイスの形態としては、身体に直接貼り付けるタイプや衣類と一体化したものなどがある。いずれも素子の特性はもちろんのこと、軽量性、柔軟性、伸縮性や身につけていることを感じさせない付け心地の良さが求められる。またこの要件は素子、システムを構成する材料にも同様に求められる。本研究では、衣類との一体化をした

ウェアラブルデバイスに用いる繊維材料として、特に配線や電極として用いることを想定し、軽量・伸縮かつ導電性を持つ繊維材料の開発を行った。一般的に配線や電極に用いる材料としては金属材料が用いられるが、我々のグループでは導電材料として軽量性、柔軟性が高くかつ繰り返しの折り曲げに耐える単層カーボンナノチューブを用いている。さらに繊維の伸縮性を高めるため、高伸縮なフッ素ゴムと複合し、導電性を単層カーボンナノチューブにより、伸縮性をフッ素ゴムにより発現するフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合導電繊維の開発を行っている[1]。本報告では湿式紡糸法によるフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合導電繊維の作製検討として、フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合溶液の吐出速度依存性について報告する。

2. 実験方法

フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブからなる複合導電繊維の作製方法として湿式紡糸法を用いた。単層カーボンナノチューブとフッ素ゴムを含む混合溶液を作製し湿式紡糸の原料溶液として用いた。単層カーボンナノチューブを有機溶媒に超音波処理により分散し単層カーボンナノチューブ分散液を作製した。同種類の有機溶媒にフッ素ゴムを溶解しフッ素ゴム溶液を作製し、単層カーボンナノチューブ分散液との混合を行い、フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ混合溶液とした。シリンジポンプを用いフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ混合溶液を、ターンテーブルにて回転する凝固液内に一定速度で吐出した。凝固液内でフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ溶液から溶液内に含まれる有機溶媒が溶出し、繊維状のフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合材料が連続的に作製できる。図1に湿式紡糸装置の構成(図1(a))と凝固液内に吐出された繊維状のフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合材料(図1(b))を示す。凝固液から繊維状の試料を取り出し加熱乾燥することによりフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維を得た。本研究では特に凝固液の液流速さに対するフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ溶液の吐出速度依存性に着目しフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維の作製を行った。得られたフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維の評価として、SEMによる表面観察、四端子法による電気抵抗測定、引張試験機を用いた応力-歪み特性の評価を行った。

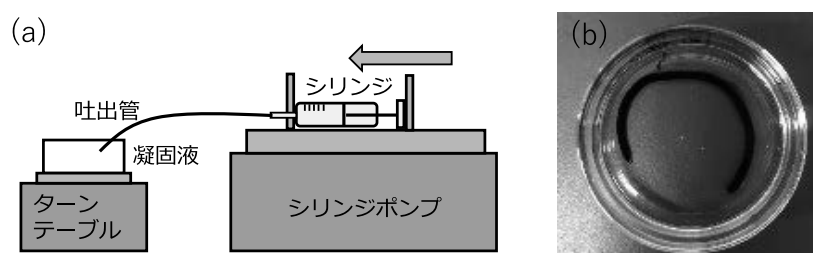


図1 (a) 湿式紡糸装置の構成図、
(b)凝固液内に吐出された繊維状のフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合材料

3. 実験結果

フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維の表面をSEMにより観察した。図2(a)に繊維材料の側面のSEM像を示す。表面の平坦性は高くなく大きくうねった表面となっているが、細長く白いコントラストを確認することができる。これは複合繊維材料に含まれる単層カーボンナノ

チューブと思われる。一般的に単層カーボンナノチューブは凝集性が強く、分散液においてまた複合材料とした場合においても凝集体を形成しやすいことが知られている。しかしながら、本研究においては単層カーボンナノチューブの分散条件の検討を行い良好な分散状態を実現し、また図2(a)の通り複合材料中においても単層カーボンナノチューブの凝集が少なく比較的均一に単層カーボンナノチューブが分布していることが確認できる。図2(b)に複合繊維の断面(切断面)のSEM像を示す。形状としては楕円形の繊維が得られていることが分かる。凝固液内に吐出する吐出管の断面は円形であるが、得られた繊維の断面は楕円となった。これは凝固液中での凝固過程、また凝固液から取り出した後の乾燥過程において、フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合材料中に含まれていた溶媒が取り除かれ繊維が形成されるため、吐出管の形状である円形から楕円へと変形したと考えられる。また図2(a)から切断面において繊維内部に空洞が生じていることも確認できる。これも溶媒が取り除かれる過程において形成されたものと思われる。導電繊維の機械特性および電気特性を高めるためには空洞を減らすことが必要であり、今後更なる紡糸条件の検討が必要である。

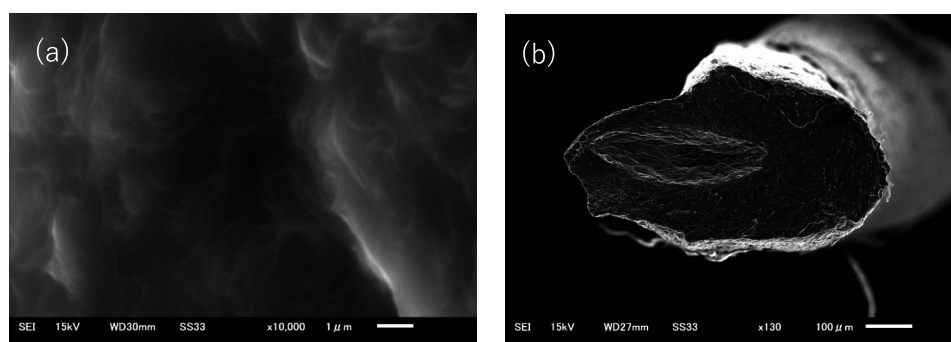


図2 フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維材料の(a)側面、(b)断面のSEM像

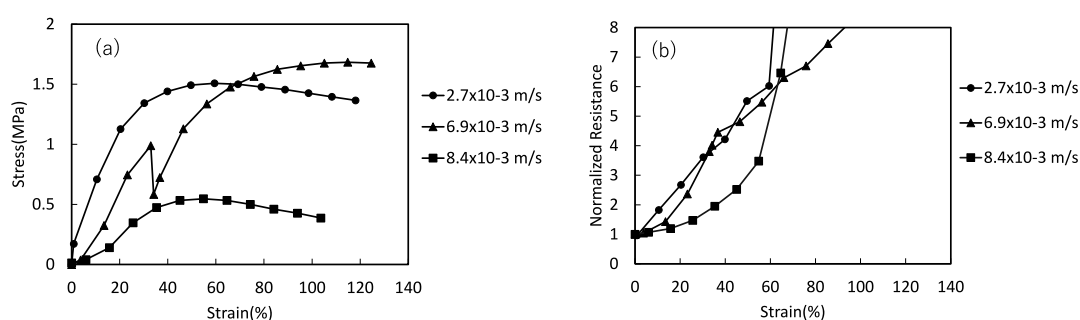


図3 フッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維材料の
(a)応力-歪み特性、(b)規格化した電気抵抗-歪み特性

作製したフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ複合繊維の機械特性評価として引っ張り試験機による応力-歪み特性の評価を行った(図3(a))。複合繊維の作製においては、凝固液の液流速さを $6.9 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ で一定として、それに対する吐出管から出るフッ素ゴム/単層カーボンナノチューブ溶液の吐出速さを $2.7 \times 10^{-3} \sim 8.4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ とし比較した。図3(a)に示す通り応力-歪み曲線は吐出速度により大きく変わり、複合繊維の機械特性が吐出速さに依存することが分かった。ヤング率は吐出速度が早い方が小さくなり、引っ張りによる変形をしやすい繊維は吐出速度の早い $8.4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ となった。最大応力を示すときの引張歪みについては吐出速度が凝固液の液流速さと同じ場合に最

も大きな値が得られた。次に図3(a)の引張試験と同時に繊維の電気抵抗を測定した結果を図3(b)に示す。応力-歪み特性と比べると吐出速さに対する依存性は小さく、どの条件においても引張歪みが大きくなるに従い、電気抵抗が上昇することが分かる。これは複合繊維の電気伝導は複合繊維内の単層カーボンナノチューブの接触により生じるが、引っ張り歪みにより単層カーボンナノチューブ同士の接触が減り、電気抵抗が上昇したと考えられる。吐出速さについては $8.4 \times 10^{-3} \text{m/s}$ と早いものが最も引っ張り歪みに対する変化が小さいが、しかしながら導電繊維を健康管理用のウェアラブルデバイスの配線、電極として用いるには上昇が大きく、今後更なる検討が必要である。

参考文献

1. 神、数藤、曾我、岸、“湿式紡糸法により作製したフッ素ゴム/カーボンナノチューブ単繊維の電氣的・機械的評価” 第68回 応用物理学会春季学術講演会、2021年3月