

氏名（本籍・生年月日）	三浦 宏 明（神奈川県・昭和 46 年 6 月 29 日）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲 第 6 2 3 号
学位授与の日付	平成 2 7 年 3 月 2 0 日
学位授与の要件	信州大学学位規程第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	導電性高分子繊維の高強度化とその応用に関する研究
論文審査委員	主査 教授 木村 睦 教授 村上 泰 教授 上條 正義 准教授 平田 雄一 教授 植野 彰規（東京電機大学）

論 文 内 容 の 要 旨

家庭や自動車等の車両のキャビン内にセンサーを設置し、生体情報を取得、健康・長寿社会の一助とする社会像が、近年取りまとめられ報告されている。

繊維材料は柔軟で一次元で構成されるが、二次元または三次元の織布、不織布等のネットワークを構成することも可能で、人体に近い位置にある着衣や、車両における表皮材料としての配設も可能である。このような繊維材料を導電性の材料で構成することで、人に近接した電子機器のプラットフォームを構成できると我々は、考えている。

一次元の導電性繊維に、微細化された電子デバイスが埋め込まれている場合には、センシング、アクチュエート等の機能を有することができる。さらに、多機能なウェアラブルシステムとして、織り、編み、および結び等の加工を従来の繊維加工技術により行うことで、織物をプラットフォームとした各機能性繊維を構成要素とした機能性織物デバイスを構成することができる。

これらの機能性織物デバイスは、健康状態を監視し、異常がある場合には検知・報知したり、光、振動、温度差等を変換し、エネルギーを生成することもできる。

導電性繊維として、繊維への金属メッキ、金属ナノ粒子やカーボンナノチューブ等の導電性材料をコーティングする方法等、様々な方法が検討されているが、繊維表面上に導電性薄層の積層するには工程が増えるため、紡糸コストが純増になる。また、金属材料は比重が大きく、脆いという欠点を有している。

有機高分子の電子導電性が発見されて以来、有機太陽電池のための構成要素として、プリンタブルな電子回路、有機発光ダイオード、アクチュエーター、エレクトロクロミズム、スーパーキャパシタ、及びバイオセンサーへの応用が検討されてきた。

その中でも、ポリアニリン（PAn）およびポリ-3,4-エチレンジオキシチオフェン：ポリスチレンスルホネート（PEDOT：PSS）などの有機導電性高分子を繊維化する検討が行われている。これらの高分子から作られた導電繊維は金属・無機材料を使用しない織物デバイスを実現するために作製されてきた。

ポリアニリン繊維はその導電性を維持するために酸性環境を必要とするが、PEDOT：PSS 繊維は、良好な熱安定性、および環境安定性を示す。

奥崎らは、約 $10\mu\text{m}$ の直径を有する PEDOT：PSS 繊維をシンプルな湿式紡糸法により連続作製することに成功した。近年、Razal と Wallace らは、PEDOT：PSS とポリエチレンオキシド（PEO）とを混合しワンステップで繊維化する湿式紡糸法を報告した。これらのアプローチでは、PEDOT：PSS の分散媒は水で、コロイド粒子を凝集させるためにアセトンまたはイソプロパノールで脱水を行っており、紡糸工程としては繊維形成/凝固の速度が非常に遅く、得られた PEDOT：PSS 繊維も、内部細孔の形成が見られ、機械的特性が不十分であった。

本研究の目的は、PEDOT：PSS 繊維を導電率を落とさずに高強度化を実現すること、得られたブレンド繊維を織布化し機能性織物デバイスの実現性を検証すること、得られたブレンド繊維

のアクチュエート性能を検証し機能性繊維デバイスの実現性を検証すること、車両用シートヒーターとして従来より格段に早く暖まるシートヒーターの実現性を検証すること、その織布が車両用表皮材料としての強度を満たすことを検証すること、にある。

第一章では、PEDOT : PSS 繊維の導電率を落とさずに高強度化するために、PVA との混合溶液からの安定した紡糸可能範囲を確認し、得られたブレンド繊維の破断強度、導電率の評価を行い、手織り機により織布化可能な導電性高分子繊維が得られることを見いだせた。

第二章では、導電率と強度が向上した PEDOT:PSS/PVA ブレンド繊維を織布化し、心電図電極として用い、柔軟な織布電極から心電図の検出が可能なことを検証し、実際に医療機器とシンクロした心電図 R 波を検出できることを示した。

第三章では、得られた PEDOT:PSS/PVA ブレンド繊維に通電することで、繰り返し変形できるアクチュエータとしての応答性を確認し、空气中で電圧に応じて繰り返し作動することを確認できた。

第四章では、PEDOT : PSS/PVA 繊維を織布化し、車両用のシートヒーターとして応用することにより、従来のシートヒーターの約半分の時間で、目標温度に到達できることを確認した。また、PEDOT : PSS/PVA 繊維用いた織布が車両用布地としての強度を持つことを JIS L 1096 に準じた試験を行い、検証した。シートヒーターをして、これまでに市販されているものと比較し、約半分の時間で目標温度に到達できることが確認できた。また、布地としての強度も、従来の車両用シート表皮材と同等の性能を持つことが示せた。

これらのことから、本研究で作製した導電性高分子繊維は、拡張性のある統合されたウェアラブルエレクトロニクスを実現するためのプラットフォームになることが示せたと考える。今後は、導電性高分子繊維に機能層を堆積することにより、発光ダイオード、太陽電池、センサーなどの光ファイバデバイスの製造を目指し、織物内への繊維デバイスの統合により、将来的に新しいライフスタイルを提供することを目指す。