センサになる衣服への挑戦

Development of Sensor fabric for Wearable Electronic Devices

執筆者プロフィール

高松 誠一

Seiichi TAKAMATSU

■2009年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了

■主として行っている業務・研究

・導電性ポリマを用いたメートル級面積デバイスの製造技術開発

■所属学会および主な活動

電気学会

■勤務先

(独)産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター 研究員

(〒305-8564 茨城県つくば市並木1-2-1/

E-mail: seiichi-takamatsu@aist.go.jp)

図1 衣服にセンサや電子デバイスを組み込んだ場合のアプリケーション

図2 布状圧力センサの構造と原理

1. はじめに

衣服は、人がいつも身に着けるため最も身近な製品である。そのため、センサを実装して人の健康状態を管理したり、スポーツの運動効果をモニタリングする場合に、衣服はとても適した素材である。また、上着やズボンなどにキーボードやディスプレイなどを組み込むことで現在の携帯電話よりも自然な形の情報端末であるウェアラブルコンピュータなどを実現することもできる。このように、衣服にセンサや電子デバイスを埋め込むことは、人の最も近くで人を支える新しいヘルスケアシステムや情報ツールの実現に重要な技術である(図1)。

しかしながら、現在のセンサや電子

デバイスを製造するプロセスは固いシリコンやガラスの上に作る技術であり、布のような柔らかい材料上に作るには新しい製造技術の開発が必要である。布の上に電子デバイスを製造する技術開発の一つの取り組みとして、糸の上に電子デバイスを連続的に形成し、製織することで布を作る方法について紹介する。とくに、布状圧力センサの製造プロセスの開発とその特性について述べる。同様の製造プロセスで試作したさまざまな布状デバイスについても紹介する。

2. 布状圧力センサの構造

図2(a)に布状圧力センサの構造を示す。センサは、導電層、絶縁層を

塗布した糸を縦糸、横糸に一定間隔おきに織り込んだものである。糸としては、やわらかく織りやすい485 μ mのナイロン糸を用いた。導電性材料としては、導電性ポリマボリスチレンジオキシチオフェン(PEDOT:PSS)を用いた。絶縁層としては、フッ素樹脂であるCytopを用いた。加工された糸は、2cmおきに織り込まれており、糸同士が交差した部分がセンサとなっている。

図2(b)に示すように、押された力による糸同士の接触面積が増加し、キャパシタンス変化が増加する。圧力検出原理は、このキャパシタンスの変化である。

図3 布状デバイスの製造プロセス

図5 製織した布状圧力センサをヘルメット上に配置した写真と圧力を加えた場合のセンサの出力

図4 布状圧力センサの特性評価セットアップと圧力を加えたときの静電容量の変化

図6 開発したプロセスを用いたさまざまな布状デバイスの試作例

3. 製造プロセスの開発

提案する製造方法は、図3に示すように、糸の上に電子機能を持つようにデバイスを形成し、製作した糸状デバイスを製織するというプロセスである。圧力センサの場合には、ダイコーティングによる導電層 PEDOT:PSS と絶縁膜の糸上への成膜と平織りによる製織からなる。ダイコーティングは、図3(a)のようにノズルの部分で、電子機能材料を溶かした溶液を連続的に糸上に付ける方法である。従来から、光ファイバの保護層を連続的に成膜する方法として使われており、低コストで長尺のデバイス製作に適した方法である。実際のダイコーティングシステムは、図3の写真に示すように、糸の巻き出し、巻き取り機とコーティングノズルであるダイスと乾燥用のヒータからなる。膜厚は、ダイスのノズルと糸の間のギャップを変えることで調整することが可能である。導電性ポリマの膜厚を 100~1200nm の間で調整する場合には、ノズルと糸の間を 20~100 μ m 程度変化させることで可能であった。製作した糸は、図3(b)に示すように、縦、横に等間隔で織りこむ平織りという織り方で製織し、シート化した。

4. 布状圧力センサの動作

製作したセンサの特性評価セットアップを図4(a)に示す。交叉する2本の電極付きの糸にインピーダンスアナライザをつなぎ、フォースゲージにより押す。図4(b)に示すように、糸を押したときのキャパシタンスが増加することがわかる。図5に 12 $\times$ 12本の電極付きの糸を入れたセンサアレイとその押したときの出力を示す。センサは布であるため、従来の固いセンサでは難しかったヘルメットのような球面上にも配置が可能である(図5(a))。このようにセンサが変形した状態でも、図5(b)のように、圧力の計測が可能で、押した部分を検出できることがわかる。

5. さまざまな布状デバイスへの展開

前項までのように、糸の上に電子デバイスを形成し、織り込むことで布状デバイスを製造できることを紹介した。この方法を応用することで、図6に示すように布状キーボードや大面積なタッチセンサやLEDを組み込んだ服などさまざまな布状デバイスを実現することができる。布状のキーボードは、糸上に電極を形成し製織し、電極を組み込みマイコンに付属した静電容

量計に接続したものである。糸と人間の指の間の静電容量を計測し、人が押した場所を検出して、対応した文字を入力している。同様のセンサを自動織機で織ることにより、3m $\times$ 1.2mというメートル級の面積で製造することも可能である。また、糸上に電子デバイスを実装し製織する技術も開発した。図6のLED服に示すように、糸上にLEDを連続的に実装・製織し、照明機能を持つ服を製作することも可能である。

6. おわりに

糸の上に電子デバイスを形成し、製織するという製造プロセスにより、布状圧力センサやキーボード、大面積なタッチセンサやLED服を試作してきた。衣服は、人に最も近いところにあるため、センサや電子デバイスを組み込むことで人の健康やコミュニケーションを支えるシステムが実現可能である。本項で紹介した製造プロセスは、これらさまざまな機能を持つ衣服の実現を支える基盤技術になることが期待される。

謝辞 本製造プロセスは、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO) BEANS プロジェクトの成果として得られたものである。