

ストレッチャブル配線

環境・エネルギー研究所 小 椋 真 悟¹・半 村 哲²・吉 野 雄 信³・末 益 龍 夫⁴
藤倉ゴム工業株式会社 馬 淵 陽 士⁵・高 橋 慶 吾⁵・藤 田 知 正⁶
藤倉化成株式会社 渡 邊 聡⁷

Stretchable Wiring

S. Ogura, T. Hanmura, T. Yoshino, T. Suemasu, Y. Mabuchi, K. Takahashi, T. Fujita,
and S. Watanabe

ウェアラブル機器の普及により配線に伸縮性が求められている。このニーズにこたえるべくフジクラグループではストレッチャブル配線の開発に取り組んでいる。われわれが開発したストレッチャブル配線は人体表面で発生する最大伸び率 50 % においても破断せず導通を維持する電気特性を有しており、人が着用する配線として用いることが可能となっている。

The recent progress of wearable electronic devices opens a novel demand of stretchability in the electronic wiring. In this context, we, Fujikura Group, have been developing the stretchable electronic wiring. Our developed stretchable wiring is applicable for the wearable devices, since it keeps conductivity even under the 50 % strain which corresponds to the maximum strain arises on a human skin.

1. ま え が き

電子機器の進化にともない、これらの機器に用いられる配線の多様化が進んでいる。過去には携帯機器の分野において、曲がる、柔らかい、薄いなどの特徴を持ったフレキシブルプリント配線板が実用化されてきた。近年、情報通信およびヘルスケア用の端末としてウェアラブル機器が 1 つの市場を形成している¹⁾。人体に装着もしくは着用するウェアラブル機器では、従来の携帯機器で求められていた小型、軽量、低消費電力といった機能に加えて、デザイン性²⁾ や着用時の違和感の軽減が商品の差別化につながると言われており、そのために配線自身に伸縮性を持たせることが重要になってきた³⁾。

フジクラグループではこのような市場動向をふまえて、次世代の配線として人の動きに追従するための柔らかさと伸縮性を持つ新しい配線部材「ストレッチャブル配線」の開発に取り組んでいる。本稿ではストレッチャブル配線のコンセプトと開発状況について紹介する。

2. ストレッチャブル配線のコンセプト

2. 1 ストレッチャブル配線の使用形態

ストレッチャブル配線の使用形態を、人体表面に貼り付けてバイタルサインを取得するウェアラブルセンサを例にあげて示す。図 1 (a) は、センサと機器本体を別々に身体に装着する分離型のウェアラブルセンサの例である。この例では、ストレッチャブル配線はセンサと任意箇所装着される機器本体とを接続する目的で使用されるが、ストレッチャブル配線を使用することによってセンサと本体の設置箇所を自由に選ぶことが可能になる。また、図 1 (b) は、エラストマや織物などの伸縮する基板に、電極とセンサ、メインユニットといったモジュール

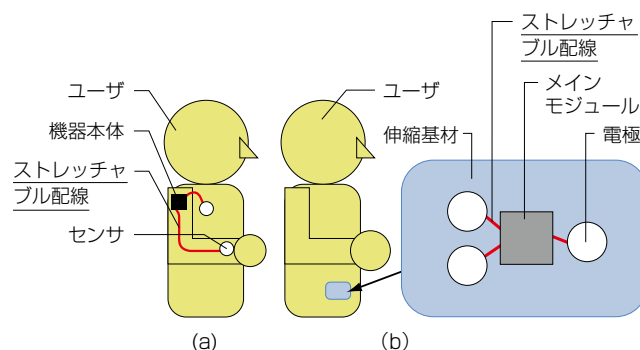


図 1 使用形態

Fig. 1. Application concepts.

1 プリントデバイス研究部
2 プリントデバイス研究部主席研究員 (博士 (理学))
3 プリントデバイス研究部グループ長 (博士 (理学))
4 プリントデバイス研究部部長
5 技術製造本部技術統括部技術開発グループ
6 技術製造本部技術統括部技術開発グループ グループリーダー (博士 (工学))
7 電子材料事業部技術部部長

ルを搭載した一体型のウェアラブルセンサの一例である。各モジュール間をストレッチャブル配線で接続することにより、基板を人体に装着する際や、人体が運動する際の基板の伸びに配線が追従し、モジュール間の電気的な接続が維持される。

2. 2 特性

人体に着用するストレッチャブル配線には、配線としての電気的な機能に加えて、少なくとも以下のような機械的機能が求められる。

- ・人体の動きに追従すること（伸縮すること）
- ・着用者が違和感を感じないこと（柔らかいこと）

まず、ストレッチャブル配線が人体の動きに追従するためには、配線が人体表面と同等以上に伸びることが必要である。表 1 に、人体の代表的な部位で発生する皮膚の伸び率を示す。この値は、繊維業界や服飾業界にて調査されている人体表面の伸び率を参考にした^{4), 5)}。人体表面はいずれの関節においても少なくとも 10 % 以上伸び、特にひざの屈伸運動では最大の 50 % の伸びが発生する。ストレッチャブル配線はこの伸び率 50 % にても機能しなければならないため、ストレッチャブル配線に求められる伸び率は 60 % とした。

また、着用者が違和感を感じないようにするためには、ストレッチャブル配線が着用部位の動きに追従する際に、配線が伸びることを着用者に意識させないことが必要である。そのためには配線を伸ばすために必要な力を、人が違和感を感じる閾値以下にすることが求められる。この閾値は身体部位によって異なるが、平均値として 50 mm 幅の着用物を目的量伸ばすのに必要な伸長力は 1.8 kgf であると調べられている^{4) 5)}。よってストレッチャブル配線には、最大 50 % の伸びが発生した際の伸長力を上記閾値以下に抑制できる柔らかさが求められる。

一方、電気的な特性に関しては、50 % の伸長時に導電性が維持されることが最低限の要件となる。しかしながら伸長時に抵抗値が変化すると、ストレッチャブル配線で接続している素子の動作に影響がでることから、できるだけ抵抗値が変化しないことが求められる。このことは繰り返し伸縮に対する耐久性としても同様である。また安全面からの要求は多岐にわたり、少なくとも人体との絶縁を十分に確保する必要がある。これら電気的、機械的に必要な特性をふまえて、われわれはストレッチャブル配線に求められる特性を表 2 のように設定した。その他にも、人への非侵襲性の確保も大きな課題としてあげられる。

表1 人体表面の伸び率
Table 1. Body surface elongation.

部位	伸び率 (%)
肘	17
腰	21
肩	36
膝	51

2. 3 配線を伸縮させるための技術

配線を伸縮させるための技術には、いくつかの方式が提案されている^{6) 7) 8) 9)}。一例として、導電繊維を基材に編み込んだ繊維配線や、金属導体を基材上に蛇行形状でパターンニングした金属配線があげられる。これに対し、われわれは、導電性粒子をエラストマと混合した、ゴムのように柔らかいストレッチャブル導体を用いてストレッチャブル配線の開発を行っている。ストレッチャブル導体は配線が伸びるために必要な力が小さいため着用者の違和感を軽減できる。さらに、他の方式のように導体を曲げながら配置する必要がなく、接続対象間に最短距離で配置できるため、配線抵抗を小さくできる。配線を形成する基材には、ゴムシートや織物など従来の配線部材には用いられることのなかった柔らかく伸縮する素材を組み合わせる。ストレッチャブル導体は印刷によって基材上に直接形成が可能のため、基材の材質を選ばないことも特徴である。

3. ストレッチャブル配線の開発状況

以下にストレッチャブル配線の開発状況の一例を紹介する。図 2 及び表 3 に、試作したストレッチャブル配線の構造図と寸法をそれぞれ示す。この試作では、エラストマ基材に銀粒子とエラストマからなるストレッチャブル導体を印刷し、さらにオーバコートを形成した。

表2 要求特性
Table 2. Required characteristics.

項目	値
ヤング率 (MPa)	< 3
伸び率 (%)	< 60
配線抵抗 (Ω/cm)	< 0.1
配線抵抗変化率 (%)	< 5
絶縁抵抗 (M Ω)	> 100

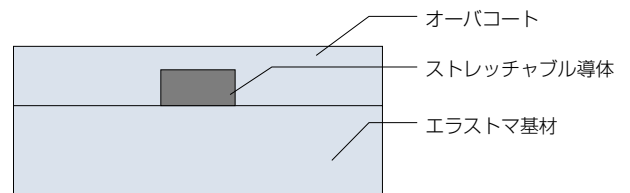


図2 試作したストレッチャブル配線の断面模式図
Fig. 2. Schematic structure of the fabricated stretchable wiring.

表3 試作したストレッチャブル配線の寸法
Table 3. Dimensions of the fabricated stretchable wiring.

構成	厚さ (mm)	幅 (mm)
エラストマ基材	0.3	5
ストレッチャブル導体	0.15	
オーバコート	0.27	

作製したストレッチャブル配線は、図3に示したとおり、基材の伸長に追従して導体も伸長することができた。さらにこのストレッチャブル配線を人体表面に貼り付け、実際に人の動きに追従できることと、このとき各層間に剥離や断線が起こらないことを確認した。

図4は未伸長時の配線長が50mmのストレッチャブル配線を配線長さ方向に一軸伸長し、その際の配線抵抗値の変化を測定した結果である。試作したストレッチャブル配線は100%の伸長時にも破断や断線を起こすことなく、抵抗値は変動幅2Ω程度と良好な結果を示した。この抵抗値を未伸長時の配線長を基準として単位長さあたりに換算すると、伸長率0~60%間において $0.2\ \Omega/\text{cm}+80\%$ であった。

以上、開発品は表2に示した要求される伸び率60%を確保できた。したがって本稿冒頭で述べたウェアラブル機器のデザイン性の向上、および着用時の違和感の軽減にも貢献すると考えている。しかし、その配線抵抗と配線抵抗変化率については表2に示した $0.1\ \Omega/\text{cm}\pm 5\%$ にはいたらず、今後の改良が必要である。一方、ウェアラブルセンサのなかでも心電、筋電、脳波など生体起電力を取得する用途においては、測定機の入力インピーダンスが大きい¹⁰⁾ため配線への電氣的な要求が少なく、開発品はこれらの用途に対しては比較的容易に展開が可能と考えている。

4. む す び

ストレッチャブル配線は伸縮する機能を持った新しい配線部材である。本稿ではウェアラブル機器への配線としての適用について述べたが、そのほかにもロボット、医療機器、介護機器、福祉機器の市場への展開が可能である。また、三次元的な立体曲面を持つ機器への表面配線としても使用できると考えている。フジクラグループでは、お客様の価値創造と社会への貢献を目指し、引き続きストレッチャブル配線の実用化に向けた開発を進める。

参 考 文 献

- 1) ウェアラブルデバイス市場に関する調査結果, 株式会社矢野経済研究所, pp.369, 2014
- 2) 平成26年度版 情報通信白書, 総務省, pp.457, 2014
- 3) 技術戦略マップ2010, 経済産業省, pp.25, 2010
- 4) 荒谷善夫ほか:「ストレッチ性素材」, 繊維と工業, 第40号, pp.318-321, 1984
- 5) 川村博司:「衣服の快適性とストレッチ素材」, テキスタイル&ファッション誌, Vol9, No1, 1992
- 6) E.R.Post et al.: “E-broidery: Design and fabrication of

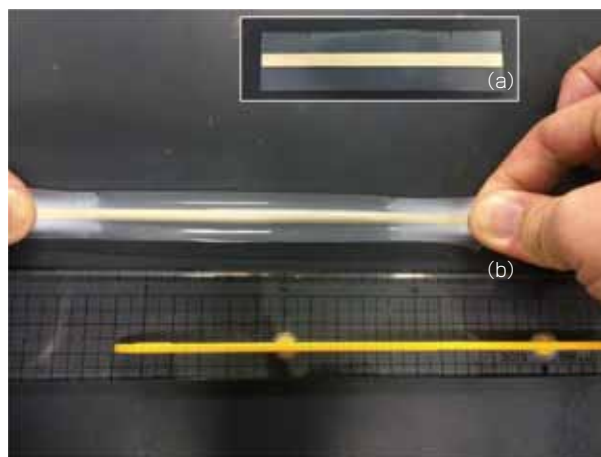


図3 試作したストレッチャブル配線の写真
Fig. 3. Appearance of the stretchable wiring under (a) 0% stretch, (b) 100% stretch.

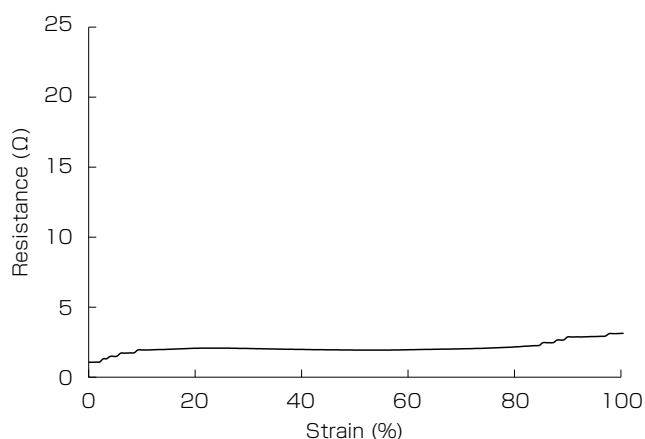


図4 抵抗値変化
Fig. 4. Change of resistance under strain.

textile-based computing”, IBM Systems Journal, Vol39, No3, 4, pp.840-860, 2000

- 7) Sekitani, et al.: “Stretchable active matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductor”, Nature Materials, Vol8, pp.494-499, 2009
- 8) Inoue, et al.: “Development of Super-Flexible Wires Using Conductive Adhesives for Artificial Skin Applications of Robots and Related Equipments”, IEEE International Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, pp.90-95, 2005
- 9) Darren S. Gray, et al.: “High-Conductivity Elastomeric Electronics”, Advanced Materials, Vol16, No5, pp.393-397, 2004
- 10) 新ME機器ハンドブック, コロナ社, pp.491, 2008