

# 生体組織の変形情報に基づく意図した関節の動作量推定手法の構築

Estimation of the intended joint angle using deformation of the biological tissue

2161006



研究代表者	大阪大学 機能創成専攻生体工学領域	准教授	小林 洋
共同研究者	早稲田大学 高等研究所	講師	藤枝 俊 宣

## [研究の目的]

近年、超高齢化により、人の機能を支援する装着型ロボットへの期待が高まっている。装着型ロボットは操作者の生体信号に基づき操作されるため、生体信号からより精確に動作意図を抽出することで、操作者の動作意図に調和し身体の一部として操作可能な人間調和型ロボットが必要とされている。装着型ロボットは人が生来持つ機能を支援し増幅する、もしくは事故などにより失った身体機能を補填することを目的としているため、高齢者や障害者の支援のみならず健常者のアシストを目指し多く研究開発が行われている。

装着者の意図通りに装着型ロボットを操作するためには、操作のための入力信号の一つである生体信号から動作意図を精確に抽出する必要がある。従来広く使用されている生体信号である表面筋電位などの電気信号に対し、解析方法の工夫による情報抽出により高精度の動作パターン識別が実現されているが、いずれも電気的なノイズを多く含むため、筋肉の連続的な収縮状態変化の推定が困難である。

本研究では、操作者が意図通りに動作量を操作可能な装着型ロボット実現を目指し、人の皮膚表面に密着可能な生体適合型センサを用い、機械的な生体組織の変形情報に基づく意図した

関節の動作量推定手法の構築を目的とする。特に、本研究では、筋肉の収縮状態を推定可能な生体組織の変形情報を計測するための生体適合型センサの開発、生体組織の変形情報に基づく関節動作量推定アルゴリズムの構築に取り組んだ。

## [研究の内容、成果]

本研究において開発する生体適合型センサは、生体組織表面形状に対し高密着性・追従性を有する導電性高分子を使用し、動作時に皮膚表面に生じるひずみを特定するものである。また、動作量推定アルゴリズムは、関節動作に応じた皮膚表面形状変化を計測することにより事前に推定アルゴリズムのパラメータを決定し、関節動作量の推定を行うものである。

### 1. 生体適合型センサ

共同研究者らはこれまでに生体組織変形情報(ひずみ)を計測可能な導電性超薄膜の開発を行ってきた。膜厚数十～数百 [nm] に対し巨大なサイズアスペクト比 ( $>10^6$ ) を有する高分子超薄膜(以下、ナノシート)は高い柔軟性と生体組織に対する密着性を示す。そこで、ナノシートの表面にインクジェット印刷にて電子回路を描画することで、皮膚の微細な凹凸構造

に追従しながら、運動時の皮膚の微小変形をシートの変形による抵抗値の変化として計測が可能になる。Polystyrene-block-polybutadiene-block-polystyrene (SBS) からなるナノシート (膜厚: 321 [nm]) をロール・ツー・ロール方式によるグラビア印刷法にて PET フィルム上に製膜した。次に、インクジェットプリンタ (DMP-2831, Fujifilm) にて導電性高分子 poly(styrenesulfonate) (PEDOT: PSS) (Heraeus, Clevios™P Jet 700) を SBS ナノシートの表面に印刷し、センサとなる配線 (幅 1[mm], 長さ 5[cm], 配線抵抗 1.08[kΩ/cm]) を作製した (図 1)。この PEDOT: PSS 配線の両端 1 [cm] に Au ナノインク (コロイダル・インク, ドライキュア Au-J 0410B) を重ね刷りすることで、測定用導線に接続した。作製したナノシート型ひずみセンサに関して、1 軸性ひずみに対する材料力学特性 (応力-ひずみ曲線) およびセンサ部の抵抗値の変化を評価した。引張試験機を用いて 1 軸性ひずみを与えた際の応力ひずみ線図を図 2 に示す。ひずみが 2% 以内の

初期ひずみの区間では、弾性変形を示す線形関係が得られ、2~5% の区間で塑性変形を示した。

次に、作製した生体適合型ひずみセンサを前腕皮膚表面に貼付し、実際に関節動作を行っている際に皮膚表面上に生じるひずみを計測した (図 3(a))。手関節角度を水平にした 0[°] の状態と 60[°] まで伸展した状態の 2 条件で抵抗値を計測した結果、水平状態に対し手関節を伸展した際に抵抗値が大きくなった (図 3(b))。したがって、手関節を 60[°] まで伸展した場合の皮膚表面に生じるひずみは 2% 以内であることがわかった。同時に、開発した生体適合型ひずみセンサを用いて皮膚表面に生じるひずみを計測可能であることを示した。

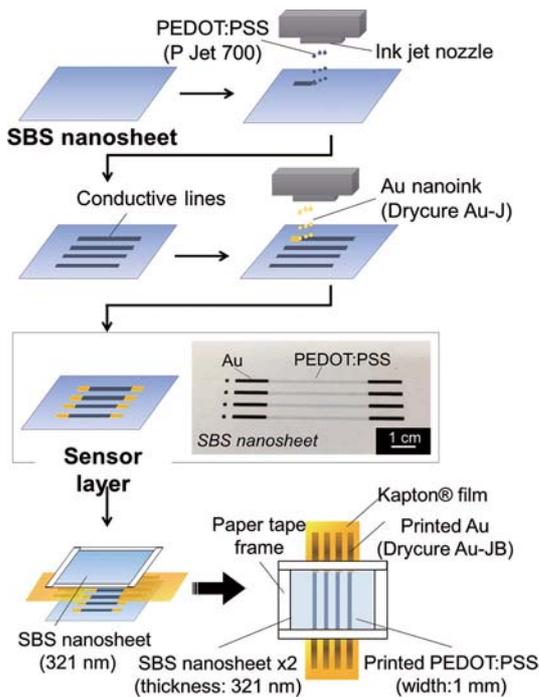


図 1 生体適合型センサ作製手順

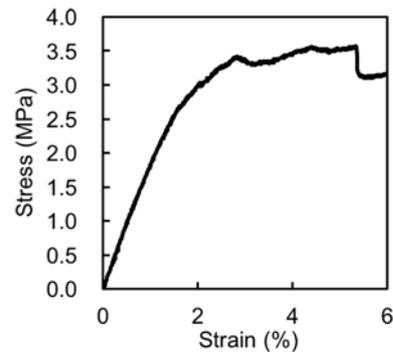


図 2 1 軸性ひずみに対する応力ひずみ線図

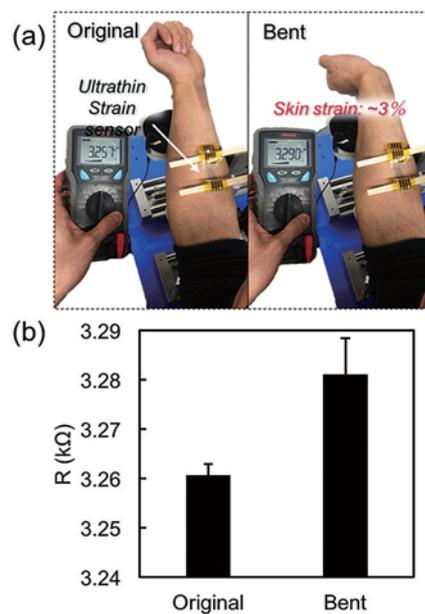


図 3 手関節伸展動作に対する皮膚表面上の生体適合型ひずみセンサの抵抗値変化

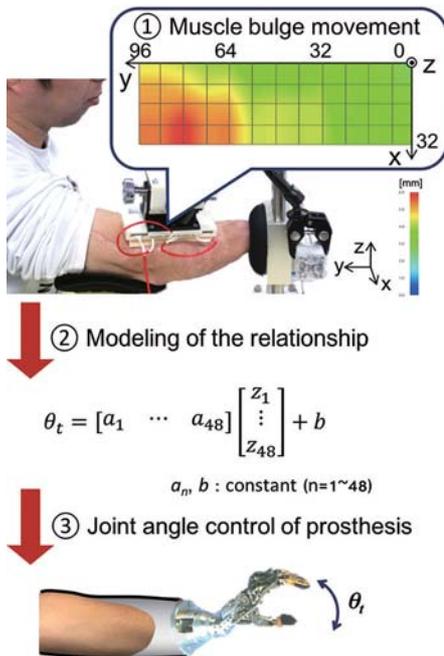


図4 筋隆起位置情報を用いた関節動作量推定アルゴリズム

## 2. 関節動作量推定アルゴリズム

皮膚表面の筋隆起位置情報に基づく関節角度推定手法を構築し、実際に電動義手関節角度を制御するアルゴリズムを開発した(図4)。

対象とする動作は、同様に手関節を  $0[^\circ]$  から  $60[^\circ]$  まで屈曲・伸展する動作とした。筋隆起位置の計測には市販の接触センサ(ショックキューブ, Touchence)を3個使用した筋隆起計測デバイスを作製し使用した。デバイスから計測される皮膚表面上48点における皮膚の隆起と手関節角度を同時に計測し、計測した両者の値に対し線形重回帰分析を用いることで手関節角度推定式を算出した(図5(a))。事前に算出した角度推定式のパラメータを使用し、計測した筋隆起位置情報に対しリアルタイムの電動義手の角度制御を実現した(図5(b))。

### [今後の研究の方向, 課題]

今後は、開発した生体適合型ひずみセンサと筋隆起計測デバイスを併用することで、複合動作を行った際の多自由度の動作量推定を可能とするアルゴリズムとして改良を行う。また、本

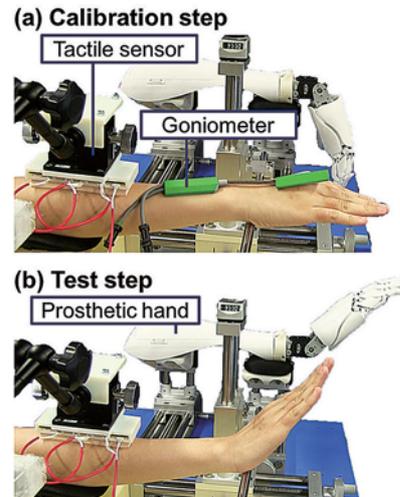


図5 皮膚表面の筋隆起を用いた動力義手関節角度の制御

研究により、それぞれのセンサを皮膚表面上に配置する位置によって計測・推定精度が異なるという課題が明らかになった。したがって、超音波画像やMRIなどの医用画像に基づき、解剖学的にセンサの設置位置を検討することで、関節角度の制御精度向上を目指す。これらの技術を用いることにより、電動義手を始めとする装着型ロボットの分野において、操作者の動作意図に調和し身体の一部として操作可能な人間調和型ロボットシステムの完成を目指す。

### [成果の発表, 論文等]

#### 1. 論文

- [1] Yuma Tetsu, Kento Yamagishi, Akira Kato, Yuya Matsumoto, Mariko Tsukune, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, Shinji Takeoka, Toshinori Fujie: "Ultrathin Epidermal Strain Sensor Based on an Elastomer Nanosheet with an Inkjet-printed Conductive Polymer", Applied Physics Express (in press)
- [2] 鉄祐磨, 山岸健人, 加藤陽, 小林洋, 菅野重樹, 武岡真司, 藤枝俊宣: "皮膚の微細な変形の測定に向けた超薄膜ひずみセンサの開発", 第64回応用物理学会春季学術講演会(2017)
- [3] Akira Kato, Yuya Matsumoto, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, Shigeki Sugano: "Joint Angle Estimation using the Distribution of the Muscle Bulge on the Forearm Skin Surface of an Upper Limb Amputee", IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics (SMC 2016), pp.

- 001490-001495(2016)
- [4] Akira Kato, Yuya Matsumoto, Yo Kobayashi, Shigeki Sugano, Masakatsu G. Fujie: "Wrist Joint Angle Estimation by Means of Muscle Bulge based on Deformation of the Forearm Skin Surface", World Automation Congress (WAC), pp.1-6 (2016)
- [5] 鉄祐磨, 山岸健人, 加藤陽, 小林洋, 藤江正克, 武岡真司, 藤枝俊宣: "皮膚表面形状変化の計測に向けた超薄膜ひずみセンサの開発", 第65回高分子
- 討論会 (2016)
- [6] 加藤陽, 松本侑也, 小林洋, 藤江正克, 菅野重樹: "筋隆起形状変化に基づく手関節角度推定に対する角度変化幅の影響", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 (2016)
2. 特許出願
- [1] 藤江正克, 小林洋, 加藤陽, 松本侑也, 築根まり子, 武岡真司, 藤枝俊宣, 山岸健人, 鉄祐磨: "ロボット制御装置", 学校法人早稲田大学, 特願 2015-234149, 2015年11月30日