

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

Continuous Joint Angle Estimation based
on Skin Deformation for Prosthesis Control

義肢制御のための
皮膚変形に基づく関節角度の連続量推定

申請者

加藤	陽
Akira	KATO

総合機械工学専攻 知能機械学研究

2019年2月

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す。

- ・ 2018年10月30日 副査説明会 1
- ・ 2018年11月 1日 副査説明会 2
- ・ 2018年11月 5日 副査説明会 3
- ・ 2018年11月22日 予備審査会
- ・ 2018年12月 6日 教室受理決定
- ・ 2018年12月20日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2019年 1月 9日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施
実体情報学博士プログラム修了要件は、専攻審査の合格と
プログラム QE3 の合格である。QE3 は現在審査中。
- ・ 2019年 1月24日 博士論文読み合わせ会
- ・ 2019年 1月24日 公聴会
- ・ 2019年 2月 6日 審査分科会
- ・ 2019年 2月25日 研究科運営委員会

(2) 論文背景・内容・評価

人の持つ身体機能の補填や拡張を行うサイボーグ技術は、センサ、アクチュエータ、コンピュータなどの小型化・高機能化に伴い近年著しい発展を遂げている。中でも失った身体の機能を補綴する義肢技術の機能向上は目覚ましく、2016年には世界で初めて動力付きの車椅子や義手・義足を用いた競技会として Cybathlon がスイスにて開催されるなど、世界的な関心も高まっている。一方で、義肢技術の中でも特に電動義手の普及率は国内外ともに低く、開発された技術を日常生活の中で使用しているユーザはごく僅かである。国外においては、多自由度電動義手の販売や侵襲性の高い手術により、神経と接続可能な義手の開発が行われている。国内においては約 40 年前に早稲田大学で開発された WIME hand 以降、商品化された電動義手は無いに等しかったが、近年の 3D プリンタ技術の性能向上により、低価格の国産義手が販売され始めた。これにより、今まで電動義手を手に入れることができなかったユーザに対する障壁は低くなった。しかし、ハードウェアとして自由度や出力が高機能化する一方、それらの機能をうまく使いこなすために必要な訓練の増加や残存した関節による代償動作が問題となっている。現在市販されている電動義手は、動作をオンオフもしくはパターンとして出力するものがほとんどであり、人が有する動作の連続性を再現できていない。連続的な動作を出力するためには、入力信号として人から計測する生体信号に対し、精確に動作意図を抽出する処理技術が必要である。

このような背景のもと、本論文では、従来用いられてきた生体信号とは異なる方法により筋活動を計測することで、意図する動作の量を連続的に推定する手法を提案している。特に、本論文では体外の皮膚変形が体内の筋活動量を表現可能であるとの仮説を立て、連続的な関節動作に対する皮膚変形という現象を生体信号処理の観点から検討している。具体的には a) 医用画像による体内の筋変形量の解析、b) 関節角度に応じた皮膚変形の計測・処理手法の検討、c) 連続的な関節角度推定手法の有用性検証、を実施している。それぞれの評価実験の結果、1 自由度の関節動作に対する主働筋の生体内における形態的变化として、筋厚が関節角度に応じて変化することを明らかにし、皮膚表面における筋変形の計測に適した位置を解剖学的な特徴量に基づいて決定している。皮膚変形の計測により、前腕切断者/非切断者のどちらにおいても意図する関節角度に応じて皮膚が変形することを確認し、それらが線形モデルとして表現可能であることを示している。得られたモデルを電動義手の手関節角度制御に適用した結果、義手を装着した非切断者において切断者の残存関節の 1 つに当たる肩関節のトルクが減少することを明らかにし、手関節角度の連続量推定手法による義手使用時の代償動作低減を実現している。

以上要するに、本論文は新たな生体信号として皮膚変形に着目し、義肢の関節角度を連続的に推定する手法における入力信号としての利用を提案したものである。この研究成果は、意図通りに操作可能な電動義手の実現により訓練や利用の負担を減らし、切断者の **Quality of Life** 向上に貢献するだけでなく、非侵襲な方法で筋活動を推定する技術が重要となる医療福祉現場における筋肉の評価手法を発展させる可能性を有している。さらに、近年ニーズが拡大している人間と機械をつなぐ **Human-Machine-Interface** を意図通りに操作するためのロボット制御技術および生体信号処理技術への応用・発展に大きく貢献するものである。よって、本論文は博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2019年2月

審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

早稲田大学教授 医学博士（東京女子医科大学）、
工学博士（早稲田大学） 梅津 光生

早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 岩田 浩康

早稲田大学名誉教授 博士（工学）早稲田大学 藤江 正克
