

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06079

研究課題名（和文）力触覚代替と動作代行を実現する足部装着型小型インターフェースの開発

研究課題名（英文）Development of a foot-mounted compact interface realizing motion substitution and haptic replacement

研究代表者

野崎 貴裕（Nozaki, Takahiro）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・講師

研究者番号：20734479

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,800,000円

研究成果の概要（和文）：人間は力触覚によって力加減を調節し柔軟に作業をこなしている。しかし、義手等の既存の動作支援装置では力触覚が感じられず、接触対象物を破壊する危険がある。本研究では小型アクチュエータを搭載した足部インターフェースを開発し、従来は得ることのできなかった義手の力触覚を、健全な身体部位である足部に代替させることに成功した。これにより、力強さと繊細さを兼ね備え、かつ、環境適応性の高い動作を実現することが可能となり、事故や疾患等により失われた身体機能を支援することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では事故や疾患等により失われた力触覚を自らの健全な身体部位である足部によって代替させる。これは力強さと繊細さを兼ね備え、かつ、環境適応性の高い動作を人工的に実現するアプローチであり、新たな人間支援の形態を提供する。また、代替される力触覚に加工を施すことでパワーアシストなどの実現も可能であり、作業支援などによる産業界への波及効果も期待される。さらに、開発した足部装着型の力触覚供給装置は義手への応用のみならず、着座姿勢における作業に幅広く展開可能なデバイスであることから、次世代のキーインタフェースとなることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Human beings utilize the tactile sensation to adjust the force applied to a target object and perform tasks adaptively. However, when using an existing motion support devices such as a prosthetic hand, users cannot feel the tactile sensation. Therefore, there is a risk of damaging the contact object. In this research, we developed a foot interface equipped with a small actuator and succeeded in substituting the tactile sensation of the artificial hand with the foot, which is a healthy body part. As a result, it becomes possible to realize motions that are powerful, delicate, and highly adaptable to the environment. This makes it possible to support the physical functions lost due to accidents or diseases.

研究分野：モーションコントロール

キーワード：インピーダンス 動作分解 力触覚代替 動作代行 遠隔操作 ロボット 制御 電子機器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間は力触覚によって力加減を調節し多様な作業を柔軟にこなしている。しかし、義手等の既存の動作支援装置を使用する場合には、力触覚を知覚することができないため、接触対象物を破壊する危険がある。力強さと繊細さ、しなやかさを兼ね備えた人間の動作、ひいては、それを可能にする力触覚をいかにして人工実現するかが、人間動作を支援するシステムの実用化における隘路である。

研究代表者は、事故や疾患等により喪失した身体部位と自らの健全な身体部位に構造の異なる2台の装置を装着することで失った力触覚知覚機能を代替するとともに、抽出された力触覚情報を瞬時に分解・再現することで電動義手など自動機械に動作を代行させ、運動機能の人工的補完が可能になるのではとの着想に至り、研究活動スタート支援においてそのプロトタイプ開発に成功した。本研究は、上記の成果を進展させ、足部装着型に特化した高性能インターフェースを開発し、実用化レベルへと昇華させるものである。

2. 研究の目的

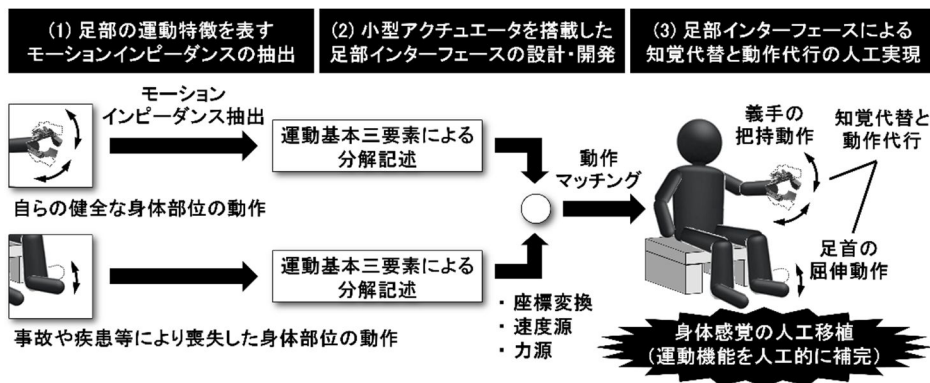


図1 本研究の概要

本研究では小型アクチュエータを搭載した足部インターフェースを開発し、知覚代替および動作代行の人工実現を達成する(図1参照)。特に、日常生活を送る上で欠かすことのできない把持動作・摂食動作に焦点をあて研究を進める。事故や疾患、加齢等により手の機能を失い、義手による生活を余儀なくされるケースがあとを絶たないが、従来の義手は単に人間の手の外観を再現したものや他の身体部位の動きをワイヤで伝えるものであった。これらは力触覚が感じられないため、把持対象物を破壊したり作業中に手を放したりといった危険性が高い。また、筋電義手は筋電の強さにより開状態と閉状態の二種類の指令を判定するものであり、把持力の調整が困難である。さらに、筋電測定時の雑音も問題とされており、今もなお多くの課題が残る。

本研究では従来は得ることのできなかった義手の力触覚を、健全な身体部位である足部に代替させ、身体機能を補完、力強さと繊細さを兼ね備え、かつ、環境適応性の高い動作を実現することを目的とする(図2参照)。

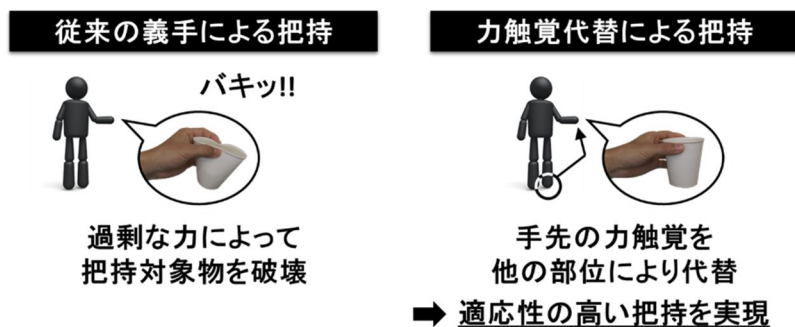


図2 力触覚代替による把持支援

3. 研究の方法

本研究目的を確実に達成するため、研究期間全体を三つの小期間に分割するとともに各期間に小目的を設定し研究を遂行する。

第一期(H28.4-H29.3)では足部動作における基本三要素を導出するため、(1)足部の運動特徴を表すモーションインピーダンスの抽出に取り組む。第二期(H29.4-H30.9)では(2)小型アクチュエータを搭載した足部インターフェースの設計・開発に着手する。第三期(H30.10-H32.3)では(3)足部インターフェースによる知覚代替と動作代行の人工実現を推進する。

(1) 足部の運動特徴を表すモーションインピーダンスの抽出

上肢における運動機能を人工的に補完する場合、最も有力な力触覚供給部位の一つが足部である。したがって、義手や摂食支援装置に力触覚受給機能を付与する場合には、供給側と受給側の動きが大きく異なるため供給側の力触覚を受給側に適切に写像し、動作を対応付ける必要がある。

(2) 小型アクチュエータを搭載した足部インターフェースの設計・開発

本研究では足部に力触覚供給装置を設置する。この際に問題となるのがアクチュエータの小型化である。日常生活におけるモビリティ（移動性）を妨げることなく、また使用者に外観的負担を与えることなく足部に力触覚供給装置を設置するには、厚さ2.5 cm、出力10 N程度の小型高出力アクチュエータが必要となる。さらに、鋭敏な力触覚情報を取り扱うため、高い応答性とバックドライバビリティ（逆可動性）が必須である。すでに、ある程度のモータの選定は完了しており、これに改良を施すことで本小目的を達成する見通しである。

(3) 足部インターフェースによる知覚代替と動作代行の人工実現

実際に人間の動作支援を行う場合には、装置の重量配分や可動範囲、脱着方法等に関する検討が必要である。本研究では実機を製作するとともに、実際に上肢欠損者の協力のもとと検証を行い、理論展開にとどまることなく実用化に向けて取り組む。

4. 研究成果

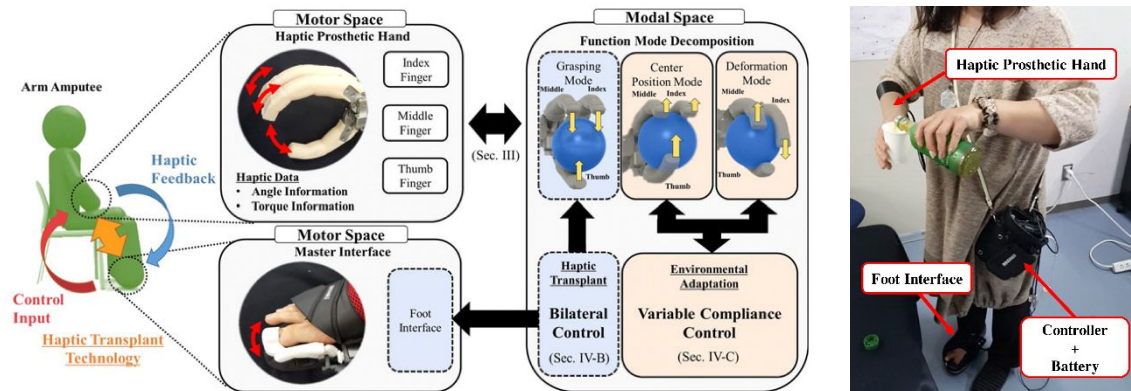


図3 足部インターフェースの装着方法と制御構造

本研究では小型高出力のブラシレス DC モータに力触覚代替と動作代行の機能を実装した。また、本ブラシレス DC モータを義手の開閉動作と連携させ、靴内部に設置した。足部インターフェースの装着方法と制御構造を図3に示す。これにより、当初の研究目的を達成し、従来は得ることのできなかつた義手の力触覚を、健全な身体部位である足部に代替させ、身体機能を補完するとともに、力強さと繊細さを兼ね備え、かつ、環境適応性の高い動作を人工的に実現することに成功した。本成果の特徴は小型のデバイスが靴内部に設置されている点にある。足部は知覚機能が鋭敏であることに加え、靴内部での動きは外部から視認されづらいため、使用者は周囲の視線を気にすることなく義手の操作を行うことが可能とある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sugimoto Tomoya, Nozaki Takahiro, Murakami Toshiyuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Multilevel Inverter Topology Using Current Path Change for Zero Current Switching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 250 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejjia.8.250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nozaki Takahiro, Hangai Satoshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Telexistence and Real Haptics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 668 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7210/jrsj.36.668	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akutsu Shuhei, Sekiguchi Hiromu, Nozaki Takahiro, Murakami Toshiyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Position and Torque Sensorless Motion Transmission Using Voltage Compensation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 150 - 157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejjia.7.150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Satoshi Fukushima, Hiromu Sekiguchi, Yuki Saito, Wataru Iida, Takahiro Nozaki, and Kouhei Ohnishi	4. 巻 65
2. 論文標題 Artificial Replacement of Human Sensation Using Haptic Transplant Technology	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 3985 - 3994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2758757	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saito Yuki, Nakai Kazuma, Sekiguchi Hiromu, Fukushima Satoshi, Nozaki Takahiro, Ohnishi Kouhei	4. 巻 137
2. 論文標題 接点切替によるインピーダンス変動を用いたブラシ付きDCモータのセンサレス角度推定法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 827 - 836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejias.137.827	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Takahiro Nakagawa, Tomoya Sugimoto, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Selective Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling by Using Variable Impedance Circuit
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoya Sugimoto, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Multilevel Inverter Topology for Switching Loss Reduction
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masashi Fukui, Shuhei Akutsu, Toshiaki Okano, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Design of Iterative Learning Control for Force Control Considering Environmental Impedance
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhei Akutsu, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Position and Torque Sensorless Motion Transmission Using Parameter Identification Based on Least Mean Squares Method
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhei Akutsu, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Sensorless Bilateral Control Using Hall ICs
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuhei Akutsu, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Design of Bilateral Control Based on Equivalent Circuit Model
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Hangai and Takahiro Nozaki
2. 発表標題 Automatically-tuned Damping Injection for Stable Bilateral Control under Time Delay
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuheii Kimura, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Haptic Transmission under Time Delay by Using Estimated Environmental Impedance
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Sugihara, Takahiro Nozaki, Toshiyuki Murakami, Tomoya Sugimoto, and Satoshi Hangai
2. 発表標題 Variable Reduction Ratio Mechanism Using Flow Path Change
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuheii Akutsu, Hiromu Sekiguchi, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Position and Torque Sensorless Motion Transmission for Haptic Teleoperation Using Two Types of Voltage Compensation
3. 学会等名 IEEE 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nakagawa, Koichi Furusato, Takahiro Nozaki, Toshiyuki Murakami, and Takehiro Imura
2. 発表標題 Selective Wireless Power Transfer for Multiple Receivers by Using Magnetic Resonance Coupling
3. 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoya Sugimoto, Takahiro Nozaki, Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Multilevel Inverter Topology Using Current Path Change for Zero Current Switching
3. 学会等名 The 4th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野崎貴裕
2. 発表標題 汎用ロボットアームによるカップスタック動作の実現
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuheii Akutsu, Hiromu Sekiguchi, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Position and Torque Sensorless Transmission Using Voltage Compensation
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Fukushima, Takahiro Nozaki, and Kouhei Ohnishi
2. 発表標題 Development of haptic prosthetic hand for realization of intuitive operation
3. 学会等名 The 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Emre Sariyildiz, Takahiro Nozaki, Haoyong Yu, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Robust Force Control of Series Elastic Actuators using Sliding Mode Control and Disturbance Observer
3. 学会等名 The 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Emre Sariyildiz, Takahiro Nozaki, Haoyong Yu, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 A Robust State-Space Controller Design for Multi-Mass Resonant Systems
3. 学会等名 The 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 野崎 貴裕, 福島 聡, 村上 俊之
2. 発表標題 力触覚移植技術を用いた汎用人工手の開発 人に優しいモータ駆動技術の新展開
3. 学会等名 LIFE2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 野崎 貴裕, 福島 聡, 斉藤 佑貴, 飯田 亘, 村上 俊之
2. 発表標題 力触覚を有する7自由度汎用人工手の開発
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 福島 聡, 野崎 貴裕, 関口 弘武, 飯田 亘, 大西 公平
2. 発表標題 ハプティック義手安全性向上のためのトルク制約制御
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 野崎 貴裕, 中井 一真, 村上 俊之
2. 発表標題 慣性負荷を用いたブラシレス DC モータの精密センサレス制御および給茶装置の開発
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中井 一真, 野崎 貴裕, 村上 俊之
2. 発表標題 周期慣性負荷を用いた逆起電力定数変動にロバストなセンサレス制御の指令値追従性能に関する検証
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Emre Sariyildiz, Haoyong Yu, Takahiro Nozaki, and Toshiyuki Murakami
2. 発表標題 Robust Vibration Control of Two-Mass Resonant Systems in State Space
3. 学会等名 The 14th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takahiro Nozaki, Toshiyuki Murakami, Tomoyuki Shimono, Kouhei Ohnishi, and Roberto Oboe
2. 発表標題 Development of Meal Assistance Device for Patients with Spinal Cord Injury
3. 学会等名 The 14th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 野崎 貴裕, 福島 聡
2. 発表標題 生活支援デバイスの開発と力触覚の重要性
3. 学会等名 第7回全国電動義手研究会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科野崎研究室 http://www.fha.sd.keio.ac.jp/jp/nozaki/nozaki.html

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考