

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 4 月 13 日現在

機関番号：32612

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889030

研究課題名(和文) モーションインピーダンスによる動作分解に基づく力触覚代替と動作代行の実現

研究課題名(英文) Realization of motion substitution and haptic replacement based on elemental separation of motion impedance

研究代表者

野崎 貴裕 (Nozaki, Takahiro)

慶應義塾大学・理工学部・助教

研究者番号：20734479

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：肢体不自由者へのインタビュー調査を実施し、力触覚供給装置および力触覚受給装置の要件や基本構成を決定した。また、これにより、力触覚供給側の身体部位と力触覚受給側の身体部位とでは関節の可動範囲や力触覚に対する鋭敏さが異なることが明らかとなった。したがって、異なる身体運動を関連付ける方法や、接触の際の力触覚を拡大し伝達する手法についての研究に取り組んだ。これら知見を活かした実機を製作し、臨床の現場において実証実験をおこなった。簡易上肢機能検査 Simple Test for Evaluating Hand Function (STEF) による上肢機能の測定を実施し、本装置の有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The requirements and the basic structure of the supplying device and the receiving device of haptic sensation were determined through interviews to physically handicapped persons. Then, to solve the difference of movable range and sensitivity, a method for connecting the haptic sensation was studied. Finally, an actual equipment was developed by using the above obtained knowledge. Substantiative experiments were conducted by using the actual equipment. By measurements using Simple Test for Evaluating Hand Function (STEF), the usefulness of the developed device was verified.

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

## 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で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。

近年の研究により多くの運動が座標変換・速度源・力源の基本三要素で構成されていることが明らかとなった。特に人間のような動作の実現には力源の活用が肝要であるが、既存の自動装置は力源由来の環境適応性が欠落している点に致命的欠陥をもつ。世界最先端の技術が集結する米国国防総省主催の競技大会においても力源の利用は見受けられない。また、国際市場では速度源の働きを抑制することで精密さと引き換えに汎用性を高める取り組みも散見されるが、これは粗雑な動作の実現に終始している。上述のように、力源の活用は世界的に研究が開始されたばかりであり、運動の基本三要素をどのように組み合わせるか、その設計論は未だ確立されていない。

研究代表者は、日本学術振興会特別研究員(DC1)として人間動作の研究に取り組んできた(文献 : Takahiro Nozaki, Takahiro Mizoguchi, Yuki Saito, Daisuke Yashiro, and Kouhei Ohnishi, "Recognition of Grasping Motion Based on Modal Space Haptic Information Using DP Pattern-Matching Algorithm," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 9, No. 4, pp. 2043-2051, 2013.)。その中で、赤・緑・青の三原色の混合比を変化させることであらゆる色が作り出されるのと同様、運動基本三要素の混合比を変化させることであらゆる動作が作り出されるのではとの考えに至り、人の接触動作をモーションインピーダンスによって基本三要素に分解記述し、また再現するという手法を開発した(文献 : Takahiro Nozaki, Takahiro Mizoguchi, and Kouhei Ohnishi, "Motion Expression by Elemental Separation of Haptic Information," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 61, No. 11, pp. 6192-6201, 2014.)。一方で、研究代表者は、構造の異なる二種類のロボット間における高精度な力触覚伝達実現のための制御方式を明らかにしてきており(文献 :

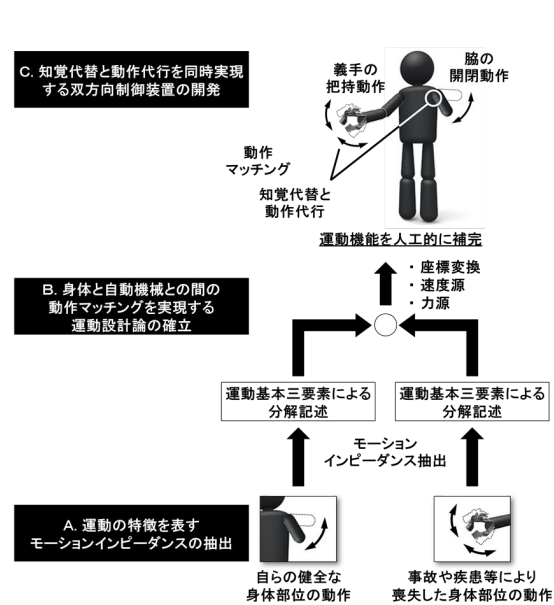


図1 研究概要

Takahiro Nozaki, Takahiro Mizoguchi, and Kouhei Ohnishi, "Decoupling Strategy for Position and Force Control Based on Modal Space Disturbance Observer," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 61, No. 2, pp. 1022-1032, 2014.)。上記研究を推進する中で、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った。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は喪失した身体部位の力触覚知覚機能を他の部位で代替するとともに、力触覚情報に基づき電動義手などの自動機械に動作を代行させ、肢体不自由者の動作支援を実現することである(図1参照)。本研究では特に、日常生活を送る上で欠かすことのできない把持動作に焦点をあてる。事故や疾患等により手を失い、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手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を判断するものであり、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、多くの課題が残る。

本研究期間では従来は得ることのできなかった義手の力触覚を、他方の脇等の健全な身体部位に代替させ、身体機能を補完、力強さと繊細さを兼ね備え、かつ、環境適応性の高い把持動作を実現する。

### 3. 研究の方法

二年間の研究期間を三つの小期間に分割。各期間に小目的（A. 運動の特徴を表すモーションインピーダンスの抽出、B. 身体と自動機械との間の動作マッチングを実現する運動設計論の確立、C. 知覚代替と動作代行を同時実現する双方向制御装置の開発）を設定し研究を遂行する。

第一期(H26.8-H27.3)では人間の動作から基本三要素を導出するためA. 運動の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。力触覚供給装置と力触覚受給装置により構成される動作支援システムに同定信号を付加することで基本三要素により記述される力触覚の抽出を行う。研究代表者の従来研究（文献 ）では人間のモーションインピーダンス同定のため正弦波信号を印加していた。しかし、同定信号次第では動作支援システムの力触覚代替性能を著しく低下させてしまうため、その解析と選定が重要である。正弦波信号は特定の周波数領域における力触覚代替性能を大きく低下させてしまうことから、遠隔操作の透明性を低下させない同定信号の選定に取り組む。また、デバイスの共振周波数と人間の感覚特性を考慮したフィルタリングについても検討する。さらに、フィルタの設計を工夫するとともに、同定信号を有効活用し、力触覚の増幅について検討をおこなう。

第二期(H27.4-H27.11)ではB. 身体と自動機械との間の動作マッチングを実現する運動設計論の確立に着手する。本研究では脇に力触覚供給装置を装着し、義手に力触覚受給装置を装着する。したがって、供給側と受給側の動きが大きく異なることから、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。研究代表者は主成分分析を用いて異構造装置間の力触覚伝達に成功した経験がある（文献：Takahiro Nozaki, Takahiro Mizoguchi, Yuki Saito, Tomohiro Nakano, and Kouhei Ohnishi, “Bilateral Control Method Based on Transformation Matrix Relating Motion Features and Tool Coordinates”, *IEEJ Journal Industrial Applications*, Vol. 2, No. 1, pp. 67-73, 2013.）。しかし、主成分分析

は直交座標系の抽出には適しているものの、斜交する座標系や非線形な座標系に適用することができない。本研究では多変量解析の手法である独立主成分分析および多様体学習の導入を検討し、上記主成分分析の課題を克服する。

第三期(H27.12-H28.3)ではC. 知覚代替と動作代行を同時実現する双方向制御装置の開発を推進する。実際に人間の動作支援を行う場合には、装置の重量配分や稼働範囲、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し、臨床の現場に投入する。また、研究協力者である理学療法士の指導と助力を受け、理論展開にとどまることなく実用化に向けての見通しをつける。万全を期すため、人工的剛性付加手法への切り替えや複数材料の同時検証といった安全策を講じる。また、効率的な研究推進のため、各分野の専門家である研究協力者より、適宜、進捗状況や研究開発に関する客観的助言を得る。

### 4. 研究成果

肢体不自由者へのインタビュー調査を実施し、力触覚供給装置および力触覚受給装置の要件や基本構成を決定した。また、これにより、力触覚供給側の身体部位と力触覚受給側の身体部位とでは関節の可動範囲や力触覚に対する鋭敏さが異なることが明らかとなった。したがって、異なる身体運動を関連付ける方法や、接触の際の力触覚を拡大し伝達する手法についての研究に取り組んだ。これら知見を活かした実機を製作し、臨床の現場において実証実験をおこなった。簡易上肢機能検査 Simple Test for Evaluating Hand Function (STEF)による上肢機能の測定を実施し、本装置の有用性を確認した。

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

[1] 野崎貴裕：“ハプティクスの普及に向けた多軸独立駆動のための電源供給装置,” 平成27年電気学会産業応用部門大会, 2015年9月3日, 大分大学旦野原キャンパス(大分県・大分市)。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.fha.sd.keio.ac.jp/jp/nozaki/  
nozaki.html](http://www.fha.sd.keio.ac.jp/jp/nozaki/nozaki.html)

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

野崎 貴裕（NOZAKI, Takahiro）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・助教

研究者番号：20734479