

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289054

研究課題名(和文) 神経生理的親和性向上技術による恒常的身体拡張技術に関する研究開発

研究課題名(英文) Body augmentation interface using electrostimulation for motion control

研究代表者

長谷川 泰久 (Hasegawa, Yasuhisa)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70303675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、足位置を制御すると同時に脚の状態について擬似的に体性感覚フィードバックを行うことで、神経生理的な親和性が向上し、恒常的に身体拡張を行うことを目的とする。そこで、求心性神経経路の補償の1つとして、アレイ電極を用いた状態提示インターフェースを提案する。提示する情報として、関節角度の状態フィードバックと、運動誤差フィードバックを検討し、股関節角度の提示するアレイ電極の仕様、さらに、股関節のみならず、膝関節角度を含む2関節角度を同時に提示した場合の提示角度精度、対麻痺患者を模擬した2足歩行ロボットを用いた歩行操作実験を行い、電気刺激による求心性神経経路の補償の可能性を評価した。

研究成果の概要(英文)：Even through lower limb paralysis patients wear the powerful exoskeleton for their mobility, it is still hard for them to enjoy the normal life because of weak of human afferent pathway. During walking they have to always check the state of their lower limbs by visual sense which is dangerous on the street. They feel stress because the exoskeleton has not been considered as their own legs. It is essential not only to compensate the human efferent pathway by wearing exoskeleton, but also to develop a somatosensory feedback device to compensate the human afferent pathway. This study developed an interface device for the somatosensory feedback as well as a robot joint control. This device is composed of an angle input interface, a 2-link manipulator and an arrayed electric stimulation device. The angle input interface is used to control the 2-link manipulator to compensate the human efferent pathway.

研究分野：ロボット工学

キーワード：インタフェース 電気刺激 アレイ電極 ロボット 運動制御

1. 研究開始当初の背景

近年、動作支援のための外骨格ロボットを装着することで、対麻痺患者のような身体障害者の歩行が可能となっている。対麻痺患者は、筋を動かすために必要な遠心性神経経路を失っているため、外骨格ロボットがその遠心性神経経路の補償し、モータのトルクを発生させることで、脚のスイングや歩幅といった脚の動作を支援している。すなわち、外骨格スーツは人の筋機能を代替することで歩行を実現している。しかし、大きく分けて2つ課題が存在する。1つ目は、患者の運動意思と脚動作の支援の非同期であり、患者の運動意思と外骨格ロボットの実際の支援の時間的・空間的な差異を修正する機構が必要である。2つ目は、重度の対麻痺患者は脚の求心性神経経路も失っており、自分の脚の位置を把握するために必要な位置覚や、足裏の接地を把握するために必要な触覚のような体性感覚フィードバックが弱く実際の脚の状態を知覚することが困難である。脚の状態を確認するためには、下を向いて目視により下肢を確認しなければならない。目視で下肢を確認しながらの歩行では、健常者のような自然な歩行は難しいことが推測される。この問題を解決するためには、外骨格ロボットが遠心性の運動機能の補償を行なっているように、求心性神経経路に対しても補償を行なうための視覚以外のインターフェースが必要となる。

2. 研究の目的

本研究では自分の足のように麻痺足位置が制御でき、かつ足の状態について擬似的に体性感覚フィードバックを行うことで、神経生理的な親和性が向上し、恒常的に身体拡張を行うことを目的とする。そこで、求心性神経経路の補償の1つとして、アレイ電極を用いた状態提示インターフェースを提案する。提示する関節角度は、両脚の股関節角度の相対角度とし、電気刺激部位は、デバイス小型化のため中指にのみ行う。この股関節角度の提示するためのアレイ電極の仕様、さらに、股関節のみならず、膝関節角度を含む2関節角度を同時に提示した場合の提示角度精度、対麻痺患者を模擬した2足歩行ロボットを用いた歩行操作実験を行い、電気刺激による求心性神経経路の補償の可能性を評価する。

3. 研究の方法

(1) アレイ電極による状態フィードバック

本研究では、小型で拡張性があり、かつ健常者のような歩行制御を目的としたアレイ電極による関節角度提示インターフェースを提案する。電気刺激における2点弁別実験により、指の末節・中節・基節の3つの部位で弁別可能な電極間距離を測定し、最も空間分解能が良い末節において3.46[mm]以上の電極間距離があれば弁別できることがわかった。この結果に基づき、隣接した電極間距離が、3.59[mm]以上ある10点と22点の電極をもつ2種類のアレイ電極を設計・開発した

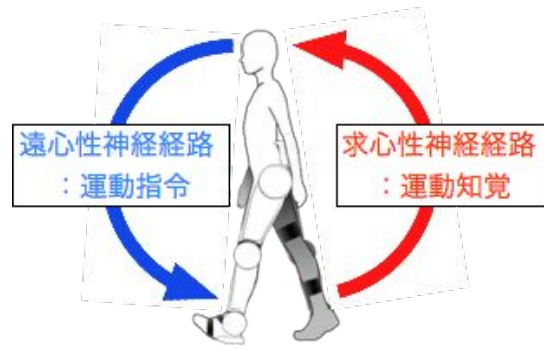


図1 インターフェースによる遠心性および求心性神経経路の補完による恒常的身体拡張

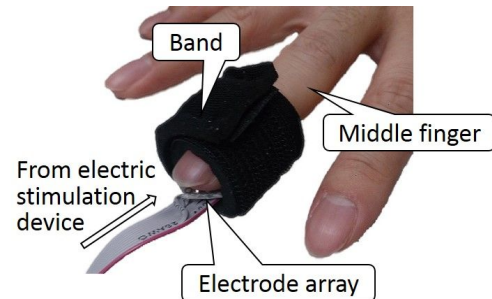
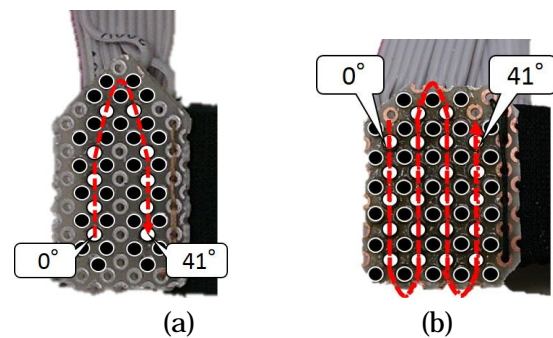


図2 アレイ電極と装着の様子 (a)刺激点10点、接地点30点、(b)刺激点22点、接地点33点、(下図) 中指への装着の様子

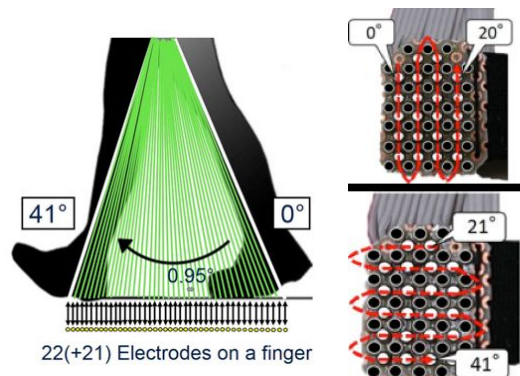


図3 2種類のパターンの投影：0度から20度の間は「W」型パターン、21度から41度の間は「L」型パターンにて関節角度を提示

離が、3.59[mm]以上ある10点と22点の電極をもつ2種類のアレイ電極を設計・開発した

(図2)。これらのアレイ電極を使った刺激

方法を3種類(刺激点:10,22,43)設定し(図3) 各々の方法における関節角度提示の精度を確かめるために操作インタフェースを用いて仮想脚の関節角度制御実験を行なった。

(2) アレイ電極による運動誤差フィードバック

視覚に頼ることなく2関節を制御してマニピュレータ先端位置(足位置)を把握できる擬似体性感覚フィードバックデバイスを目指し、指の関節角度により2関節マニピュレータ(図4)を制御し、外乱などの要因による運動特性の変化をフィードバックにより知覚できるデバイスを提案する。自身の指の関節角度を制御に用いることで指先位置からマニピュレータ先端位置を推測することが可能となり、指先位置とマニピュレータ先端位置に誤差が生じた場合には、電気刺激により運動誤差をフィードバックすることでマニピュレータ先端位置の推定し修正できる。また、運動誤差の差分情報から運動特性変化を知覚できることが期待される。もし運動特性の変化が知覚できれば、自らの運動指令に応じたフィードバックを予想し、その予想されたフィードバックとの違いを感じているため、新しい efference copy が生成されたと言える。

操作インターフェースを左手示指に装着した時の外観を図7に示す。インターフェース内部にポテンショメータが取り付けられており、示指のMP関節,PIP関節の角度を計測する。指の関節角度を入力としてマニピュレータを制御する。取得したMP関節角度を第1関節の目標角度、PIP関節角度を第2関節の目標角度としてPD制御を行う。運動誤差フィードバックに用いる電極は、指の末節と基節の腹側背側の両方に装着する。末節の刺激箇所1点と強い電気刺激が与えられる刺激箇所4点で、背側では弱い刺激箇所1点と強い刺激箇所2点で構成されている。また、基節に装着する電極は腹側と背側共に弱い刺激箇所1点と強い刺激箇所4点で構成されている。電極中心間距離は2点弁別距離に基づき、末節の腹側で6mm、背側で7mm、基節の腹側、背側共に9mmとした。第1関節とMP関節の角度誤差は基節に装着した電極へ提示し、第2関節とPIP関節の角度誤差は末節に装着した電極へ電気刺激を与えることで提示する。誤差が小さい場合には、弱い電気刺激が与えられ、誤差が大きくなると強い電気刺激を与えることで角度誤差の大きさを提示する。また、刺激箇所は指の位置を基準としてマニピュレータが存在する方向の電極に電気刺激が与えられることでマニピュレータの位置を認識することが可能である。

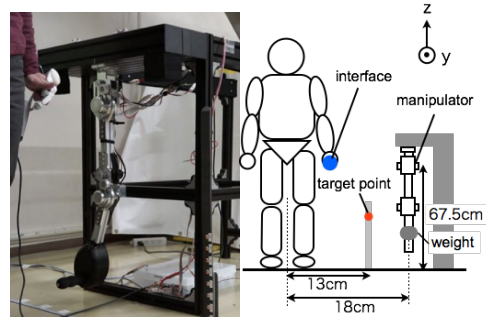


図4 2関節マニピュレータと操作インタフェース

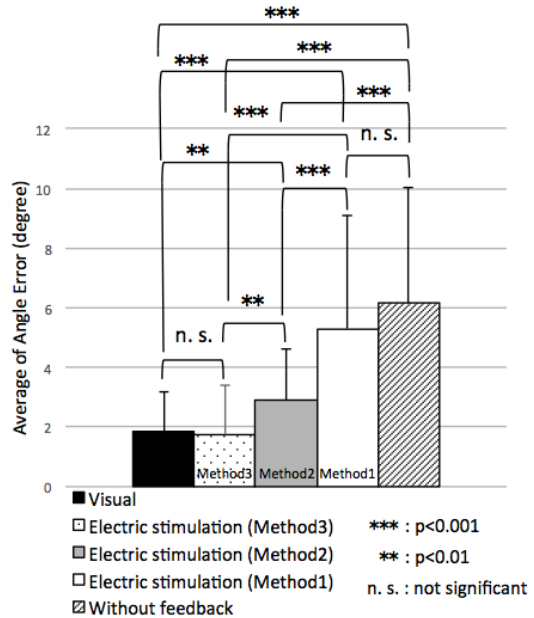


図5 関節角度提示精度の比較

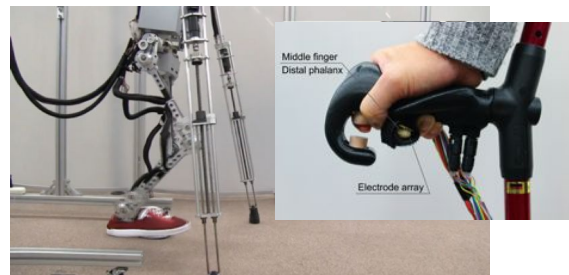


図6 操作インタフェースによる2足歩行ロボットの操作



図7 指先歩幅制御による歩行実験

4. 研究成果

(1) アレイ電極による状態フィードバック実験の結果、43の刺激点がある刺激方法において、視覚による下肢の確認と同等の関節角度提示精度があることがわかった(図5)。

さらに、PAW センサを用いて指先の力に応じた関節トルクがロボットの股関節に発生する操作インターフェースを開発した(図6)。この操作インターフェースにおいて、提案した関節角度提示インターフェースを同等な精度で使用可能なことを確かめるために、同様な手順で仮想脚の関節角度制御実験を行なった(図7)。その結果、人の神経構造に近いトルク操作法は、関節角度のフィードバックがない場合において他の操作法と比較したとき2倍以上の角度誤差が生じるほど困難であったが、提案したアレイ電極の関節角度提示インターフェースを用いて他の操作手法と比較したとき、角度制御の精度が有意に悪化することはなかった。

以上のことから、健常者のような歩行制御を模擬した脚の操作インターフェースで仮想脚を操作し、小型なアレイ電極による関節角度提示インターフェースで指の末節1箇所関節角度のフィードバックを与えた時、視覚で仮想脚を確認したときと有意な差がない精度で相対股関節角度を制御が可能であった。

(2) アレイ電極による運動誤差フィードバック

電気刺激を用いた運動誤差フィードバックの有意性を検証するため、外乱としてマニピュレータにおもりを装着させた上でリーチング実験を行った結果、運動誤差フィードバックにより運動特性変化を知覚でき、また、知覚精度の向上を確認することを確認した(図8)。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計33件)

Xufeng Wang, Mengze Li, Yasuhisa Hasegawa, Electric Stimulation Feedback System for Lower Limb Exoskeleton, - Evaluation of Reaction Time to Abnormal Situation of Lower Limb -, International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2016), Nagoya, Nov. 28 2016.

Zhaofan Yuan, Mengze Li, Yasuhisa Hasegawa, Electric Stimulation and Gait Control for Assisting Paraplegic Walk, 第34回日本ロボット学会学術講演会, 山形, 2016年9月7日.

Yasuhisa Hasegawa, Takashi Hoshino, Atsushi Tsukahara, Wearable assistive device for physical load reduction of caregiver-adaptive to caregiver's motion during transferring support, World Automation Congress (WAC 2016), Puerto

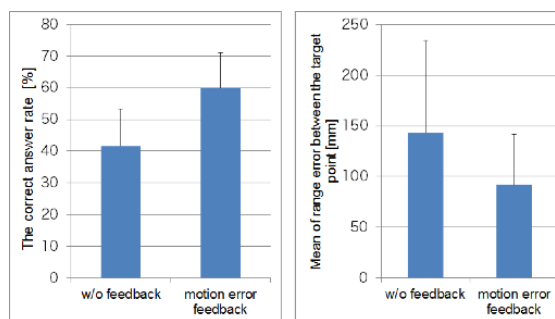


図8 運動誤差フィードバックによる異常知覚精度の向上と指先位置精度の向上

Rico, Jul. 31 2016.

久保田直樹, 長谷川泰久, 並列バネによる走行時の立脚期における脚部負荷軽減, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 横浜, 2016年6月8日.

長谷川泰久, 星野崇, 移乗支援装置の後方転倒防止機能及び体重免荷効果の確認, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 名古屋, 2015年12月14日.

Kentaro Suzuki, Yasuhisa Hasegawa, Japanese syllabary identification using myoelectric potential of neck muscles, International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2015), pp.195-196, Nagoya, Nov. 23 2015.

Osamu Asai, Yasuhisa Hasegawa, Wearable input device by fingertip motion, International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS 2015), pp.197-198, Nagoya, Nov. 23 2015.

Yasuhisa Hasegawa, Keisuke Nakayama, Kohei Ozawa, Mengze Li, Electric Stimulation Feedback for Gait Control of Walking Robot, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS2015), pp.14-19, Hamburg, Sep. 28 2015.

大原崇義, 長谷川泰久, 電気刺激を用いた位置覚提示における随意運動の貢献, ロボット学会学術講演会 (RSJ 2015), 東京, 2015年9月3日.

久保田直樹, 長谷川泰久, 生体電位と加速度に基づいた走行状態の推定手法, ロボット学会学術講演会 (RSJ2015), 東京, 2015年9月3日.

Yasuhisa Hasegawa, Takeshi Suzuki, Thin and Active Fixture to Hold Finger for Easy Attachment and Comfort of Grasping Support Exoskeleton, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2015), pp.4973-4978, Seattle, May 26 2015.

長谷川泰久, 小澤剛平, 大原崇義, 小型化アレイ電極を用いた電気刺激による股関節角度提示インターフェース, ロボティ

- クス・メカトロニクス講演会, 京都, 2015年5月17日.
- 長谷川泰久, 浅井修, 指先動作による装着型入力装置, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 京都, 2015年5月17日.
- 長谷川泰久, 久保田直樹, 生体電位による支援装置の制御方法の設計および走行支援装置への適応, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 京都, 2015年5月17日.
- 長谷川泰久, 鈴木健太郎, 頸部電位を用いた五十音の識別手法の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 京都, 2015年5月17日.
- Yasuhisa Hasegawa, Kohei Ozawa, Pseudo-somatosensory Feedback about Joint's Angle, IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2014), pp.644-649, Tokyo, Dec. 13 2014.
- Yasuhisa Hasegawa, Keisuke Nakayama, Gait Control of Powered Exoskeleton with Finger-mounted Walk Controller for Paraplegic Patient, International Symposium on Micro-Nano mechatronics and Human Science (MHS2014), pp.309-311, Nagoya, Nov. 9 2014.
- Yasuhisa Hasegawa, Takashi Hoshino, Wearable Assistive Device for Lower Limbs of Caregiver on Transferring Support, International Symposium on Micro-Nano mechatronics and Human Science (MHS 2014), pp.314-315, Nagoya, Nov. 9 2014.
- Yasuhisa Hasegawa, Junichi Muto, Force Range Extension and High Force Accuracy with Pinching Support Device by Presenting Haptic Sense Based on Fingertip Sensitivity, International Symposium on Micro-Nano mechatronics and Human Science (MHS2014), pp.317-319, Nagoya, Nov. 9 2014.
- Yasuhisa Hasegawa, Satoshi Shimada, Kiyoshi Eguchi, Development of Wrist Support Mechanism for Muscle Weakness Person to Work on Desk Work, International Symposium on Micro-Nano mechatronics and Human Science (MHS2014), pp.320-322, Nagoya, Nov. 9 2014.
- 21 Yasuhisa Hasegawa, Takaaki Hasegawa, Kiyoshi Eguchi, Pneumatic Tubular Body Fixture for Wearable Assistive Device -Analysis and Design of Active Cuff to Hold Upper Limb-, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2014), pp.2140-2145, Chicago, Sept. 14 2014.
- 22 長谷川泰久, 久保田直樹, 小倉慶一, 外骨格型走行支援装置のための走行状態推定に基づく支持脚支援機構の開発, 日本ロボット学会学術講演会(RSJ2014), 福岡, 2014年9月4日.
- 23 Yasuhisa Hasegawa, Keisuke Nakayama, Finger-mounted walk controller of powered exoskeleton for paraplegic patient's walk, World Automation Congress (WAC2014), Hawaii, Aug. 3 2014.
- 24 Yasuhisa Hasegawa, Tomoaki Kikai, Kiyoshi Eguchi, Satoshi Shimada, Exoskeletal Meal Assistance System (EMAS III) for Progressive Muscle Dystrophy Patient, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2014), pp.279-284, Besançon, Jul. 8 2014.
- 25 Yasuhisa Hasegawa, Ojiro Kitamura, Advantage of variable stiffness of human fingers for key insertion task, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2014), pp.1230-1235, Besançon, Jul. 8 2014
- 26 長谷川泰久, 中山恵介, 指操作型インタフェースによる歩行支援ロボットの歩行操作, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 富山, 2014年5月25日.
- 27 長谷川泰久, 島田智, 江口清, 筋力低下者の上肢および手首支援機構の研究開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 富山, 2014年5月25日.
- 28 長谷川泰久, 長谷川誉晃, 島田智, 江口清, 上肢支援機器の装着性向上を目的としたアクティブカフの基本性能評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 富山, 2014年5月25日.
- 29 長谷川泰久, 鈴木豪志, 長谷川誉晃, 把持支援機器の容易な着脱を目的とした薄型能動装着機構の提案, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 神戸, 2013年12月18日.
- 30 長谷川泰久, 佐々木元樹, 小澤剛平, 電気刺激を用いた擬似体性感覚フィードバックによる股関節角度提示, 日本機械学会年次大会, 岡山, 2013年9月8日.
- 31 長谷川泰久, 長谷川誉晃, 上肢支援機器の装着性を向上させるアクティブカフの設計, 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2013), 東京, 2013年9月4日.
- 32 長谷川泰久, 武藤淳一, 外骨格型把持力支援システム使用時における指先力精度の優位性, ロボティクス・メカトロニクス講演会, つくば, 2013年5月22日.
- 33 長谷川泰久, 北村央士朗, 岩城匡広, 物体把持作業における指先可変剛性の有用性評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会, つくば, 2013年5月22日.
6. 研究組織
- (1)研究代表者
長谷川 泰久 (HASEGAWA Yasuhisa)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70303675
- (2)連携研究者

江口 清 (EGUCHI Kiyoshi)
筑波大学 大学院医学研究科・准教授
研究者番号：00213538