

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 3 日現在

機関番号：94301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26540109

研究課題名(和文)人に無い人工肢への身体感覚転移と操作

研究課題名(英文)Body ownership transfer to artificial limb

研究代表者

西尾 修一(Nishio, Shuichi)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80418532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：この研究の最終的な目的は、人に人工肢を追加し、本来の四肢と併せ、自由に操れるようにすることである。本申請ではその最初として、人工肢に対する身体感覚転移(BOT)錯覚の発生を試みた。人工肢のオーギュメントドリアリティ(AR)による実装を行い、これを用いて人工物へのBOTの検証と、その操作方法の検討を行った。その結果、BOTは人の形状をした実在する物体に対して最も強く生じるものの、CGや人以外の形状のものに対しても生じること、現実世界の物体とのインタラクション(干渉)が生じることで、BOTの強度が上昇することがわかった。

研究成果の概要(英文)：The final goal of this research is to extend human ability so that one can perform control of additional artificial arms. In this study, we tried to generate body ownership transfer (BOT) to artificial limbs. We implemented an artificial limb using augmented reality (AR) system and performed experiments. As a result, we found that BOT occurred to AR limbs as well and interaction with real-world objects enhances BOT.

研究分野：ロボティクス

キーワード：身体感覚転移 拡張肢

### 1. 研究開始当初の背景

近年の義手の進歩は著しく、筋電位などで短期間の訓練で意図どおりに動かせるようになってきた。これらは人の四肢への既存の運動指令を利用し、例えば切断部位への筋電位で動作する。しかし、感覚や空間認識能力など、生来の手との差異もあり、未解決の課題は多い。

一方、人の身体所有感の性質が、ゴムの腕を自らの腕と感じるラバーハンド錯覚などを通じて研究されてきた。申請者らは遠隔操作アンドロイドロボットを用い、操作者が遠隔地のロボットを自らの一部と感じる身体感覚転移(BoT) 錯覚を発見し(西尾他,2008; 渡辺,西尾他,2011)、これが体性感覚や触覚が無くとも操作意図と視覚フィードバックのみで生じること(Alimardani, Nishio et al.,2013)、対話状況やタスク種別など高次要因に影響されること(Nishio et al.,2013)などを明らかにしてきた。

また、人が有さない、3 本目の腕やしっぽへの身体所有感の研究も始まっている(Guterstam,2011;Steptoe,2013)が、その原理の解明や自由な操作には至っていない。

### 2. 研究の目的

この研究の最終的な目的は、人に人工肢を追加し、本来の四肢と併せ、自由に操れるようにすることである。本申請ではその最初として、人工肢に対する BoT 錯覚の発生を試みる。また、BoT による操作性への効果を検証する。これまでの申請者の研究成果から、BoT の発生には1) 運動意図(の効果予測)とフィードバックが一致すること、2) 単なる運動では無く高次のゴールがあること、が重要である。即ち、対象部位を動かそうと思い、動く様子を感じると共に、それが現実の他者や物体に影響を及ぼす様子を感じることで、人工肢を身体の一部と感じるようになることを考える。

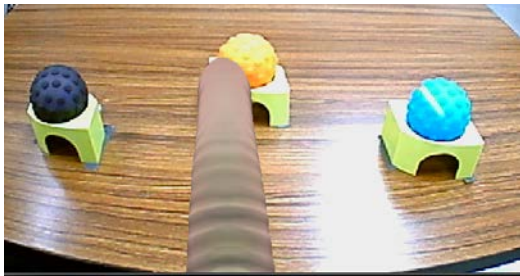
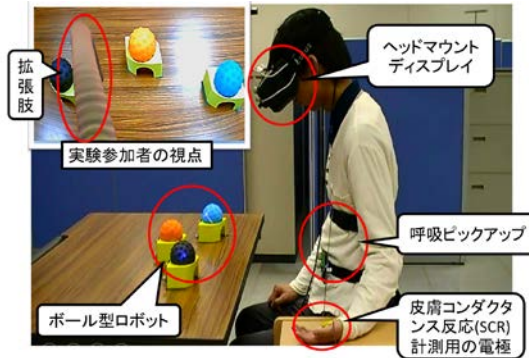
人工肢の研究は義肢に関するものが殆どであり、近年これに、利用者の身体能力の拡大やリハビリテーション用途のための外骨格型ロボットの研究が加わった。いずれも人が備える、生来の四肢に対する制御機構を利用して人工肢の操作を行うものである。本研究は遠隔操作ロボットの研究から得られた新たな知見を用いて、健常者に対して人工肢の操作と身体所有感を実現しようとするものであり、これまで試みられたことのない、新しいアプローチである。本研究により人が人工肢を操作し、また所有感を感じることができるようになれば、義肢や複雑な機器の遠隔操作の研究開発にあらたな方法論を提供できる。また新たなユーザインタフェース研究分野の確立、身体所有感などの人の基本的なメカニズムの研究など、さまざまな研究分野に波及する効果が期待できる。

### 3. 研究の方法

これまでの人工肢や遠隔機器の操作に関する研究は、人が生まれつき有する神経や筋肉、感覚器などをいかに人工機器に適合させるかに焦点を置いていた。人の運動指令や感覚は脳を中継点としているので、脳との信号のやり取りの再現を、筋電位の読み出し、神経への信号接続、遠隔地の触覚の再生、などの方法で実現する、いわば神経接続の復元と延長である。本申請では、このような復元や延長ではなく、錯覚を利用したアプローチを取る。ここで利用する身体感覚転移の錯覚は、人に酷似した遠隔操作アンドロイドロボットを用いて申請者らにより初めて発見された現象である。また、類似の現象であり、近年盛んに研究が行われているラバーハンド錯覚は、人がどのように自らの身体を認識しているのかを探る上では重要な「ツール」であり、非常に興味深い現象である。しかし、本人の身体と人工物との間に同じ触覚刺激を同時に与える必要があること、双方に与える刺激の同時性にきわめて敏感であるなど、基礎研究のツールとしては有用であっても、幻肢の治療などを除いて、実用性はほとんど無いと思われる。これに対し、身体感覚転移の錯覚は操作運動とそのフィードバックに基づくものであり、外部機器の操作を考える上で大きな効果が期待できる。

### 4. 研究成果

初年度は、1) 人工肢のオーギュメントドリアリティ(AR)による実装、2) 人工肢の生理情報による制御、および3) 人工物への身体感覚転移(BOT)の検証、の3項目を実施した。当初計画では最初に簡易ロボットを作成し、これを用いて実験を行う予定であったが、ロボットの形状や自由度、人への装着部位などの選択肢が多く、ロボットを実装しつつ最適なものを試すことが困難であることがわかったため、まずARによる検証を行うこととした。そのため、ヘッドマウントディスプレイ上に人工肢をリアルタイムで表示するシステムを作成した。この際、ロボットとの比較も行えるよう、ロボットと同じインタフェースで制御可能なものとしている。また2) 人工肢の生理情報による制御として、AR人工肢を呼吸ピックアップ、筋電計測による信号処理を通じて制御する仕組みを開発した。これと並行して、3) 人工物への身体感覚転移(BOT)の検証として、どのような人工物に対してBOTが生じやすいか、物体形状やCGによる影響があるかの検証を行った。これらの結果から、BOTは人の形状をした実在する物体に対して最も強く生じるものの、CGや人以外の形状のものに対しても生じうること、特に対象が制御可能なきに生じやすいことがわかった。また、CGを使う場合でも、現実世界の物体とのインタラクション(干渉)が生じることで、BOTの強度が上昇する可能性がある。そのため、二年目はARシステムによる人工肢を用いて、実際の物体の動作に干



図：実験の様子と、ARによる人工肢

渉した際の影響を計測する実験を行った。

二年目は、昨年度開発した AR システムによる人工肢を用いて、(1)人工肢により現実世界の物体に干渉する効果と、(2)使用頻度の低い筋肉による操作の効果について、人工肢への身体感覚転移 (BOT) の効果の観点から検証した。

まず(1)の現実世界物体への干渉については、人工肢を腹部運動により操作する際に、ARによる人工肢の動きと同期して、ロボットボールを動かすことで実現し、このボールが動く場合・動かない場合とで人工肢をどの程度自らの一部と感じるかを評価した。加えて、人工肢の操作性を恣意的に操作することで、操作性と併せた効果を検証した。その結果、拡張肢の操作性が良く、また拡張肢によってボールが操作できる場合に、拡張肢を自分の一部と感じる度合いが高まることが確かめられた。

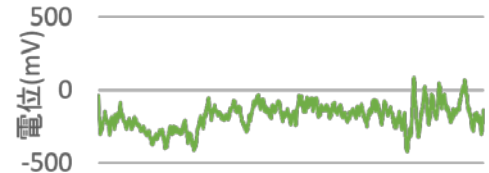
ただし、この際の主観評価は全般的に低かった。この原因として操作動作を拡張肢の操作よりも腹部を動かしている感覚が強いためではないかと考えた。腹部の運動は呼吸時などに、意識して動かすことも多く、意識的に操作する性能は高いものの、別用途にも使われるため、運動時に拡張肢へ意識を向けることが難しいのではないかと考えられる。その場合、通常ほとんど使用されず、運動と体の部位との結びつきの弱い筋肉であれば、この問題を解消できる可能性がある。

そのため、次に筋耳介筋を用いた操作を試みた。ただし、耳介筋は通常使われない筋肉であるため、恣意的に動かすことが可能な人は多くない。そのため、まず耳介筋を動かすトレーニング方法を開発し、被験者にはこのトレーニングを受けてもらった後に、人工肢の操作と評価を実施した。結果として、被験

後耳介筋の反応(練習前)



後耳介筋の反応(練習後)



図：練習による耳介筋の反応の違い

者のうち耳介筋を使用できなかった9名中6名が訓練を通じて、実験に必要な操作を行うことができた。ただし、耳介筋を通じた操作においても、BOT に関しては良好な結果を得ることはできなかった。これは操作にのみ注意が集中したためと考えられるため、今後、長期的な操作訓練などを検討していく。

#### 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 3 件)

1. 大久保正隆, 西尾修一, 石黒浩, "遠隔操作ロボットへの身体感覚転移における実体の有無と見かけの影響", 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 九州産業大学(福岡), pp. RSJ2014AC1B2-02, 2014.

2. Maryam Alimardani, Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, "BCI-teleoperated androids; A study of embodiment and its effect on motor imagery learning", In Workshop "Quo Vadis Robotics & Intelligent Systems" in IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems 2015, Bratislava, Slovakia, 2015.

3. 大久保正隆, 西尾修一, 石黒浩, "腹部運動で操作可能な仮想肢への身体感覚の拡張", 2016 年度人工知能学会全国大会 (第 30 回) (JSAI2016), 北九州市(福岡), pp. 1G3-1, 2016.

[図書] (計 1 件)

1. 西尾修一, "アンドロイドへの身体感覚転移とニューロフィードバック", Chapter

*in* ロボットと共生する社会脳 ―― 神経  
社会ロボット学, 新曜社, no. 第9巻, pp.  
175-208, 2016, doi:ISBN  
978-4-7885-1456-0.

[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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西尾 修一 (NISHIO, Shuichi)

国際電気通信基礎技術研究所・石黒浩特別  
研究所・主幹研究員

研究者番号 : 80418532