

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04187

研究課題名（和文）ロボティクス・ハプティクス技術に立脚したヒトの自他認識操作技術の創成

研究課題名（英文）Creation of Novel Technology for Manipulation of Self-Other Recognition Built on Robotics and Haptics

研究代表者

原 正之（Hara, Masayuki）

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00596497

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ロボティクス・ハプティクス技術に立脚してヒトの身体認知を「賢く騙す」ための基盤技術の創出を行い、その技術の適用により身体を通じた自他認識操作メカニズムの解明を試みた。具体的には、アクティブセルフタッチ技術などを基礎とした実験システムをいくつか開発してその有効性を確認するとともに、心理学行動実験や認知神経科学実験などを通してヒトの身体認知および自他認識操作に関わる新たな知見を得た。また本研究で得られた知見が、精神神経疾患や神経変性疾患などでしばしば報告される幻覚体験（例えば、実体的意識性など）の発生メカニズムの解明にも貢献できる可能性があることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボティクス技術やハプティクス技術をヒトの身体認知や自他認識操作に利用することは、世界でも類を見ない新しい試みであり、学術的意義は高いと言える。また、アクティブセルフタッチ技術などを利用した実験システムを複数開発してヒトの身体認知や自他認識の実験的操作を可能にしたことにより、身体認知研究や身体錯覚研究などにおいてパラダイムシフトをもたらすことができたものとする。さらに、本研究で開発した技術や得られた知見の適用範囲は認知科学分野にとどまらず、例えば身体認知や自他認識に問題のある疾患の早期発見などにも貢献できる可能性を秘めているものとする。

研究成果の概要（英文）：In the present research project, we have developed novel technologies based on robotics and haptics to "smartly confuse" human body perception, and have tried to reveal underlying mechanism for experimentally manipulating human self-other distinction through our bodies. In details, several studies demonstrated that our new experimental systems using active self-touch etc. allowed to experimentally manipulate human self-other distinction as well as body perception, indicating important findings for revealing their underlying mechanism. Additionally, our studies suggested that the developed systems are useful to study the generating mechanisms of hallucinatory experiences, such as presence hallucination, which have been often reported by the patients with psychiatry and neurodegenerative diseases.

研究分野：コグネティクス

キーワード：コグネティクス ロボティクス・ハプティクス 身体的自己意識 身体所有感 運動主体感

1. 研究開始当初の背景

「自分の身体は自分のモノである」という感覚(身体所有感: sense of body ownership)や「自分の身体の動きは自分がつくりだしている」という感覚(運動主体感: sense of agency)は当たり前感覚であり(Gallagher, 2000), 日常生活においてあまり意識されることはないが, その感覚に対して疑問を抱くことはない. しかしながら, 精神神経疾患患者や脳機能に傷害を持つ患者などでは, その当たり前感覚が失われる場合がある. 例えば, 慢性疼痛では「患肢が自分の身体の一部ではないように感じる」などと報告されることがあり(Bailey et al., 2013), 大脳皮質基底核変性症などではエイリアンハンド症候群, すなわち「手が自分の意思に反して勝手に動いてあたかも他人の手であるかのように感じられる」体験がしばしば報告される(Hassan & Josephs, 2016). また身体認知・身体錯覚研究の報告から, 同期した視触覚刺激などの適用により健常者においても身体認知・自己認識を実験的に操作することも可能である. 例えば, ラバーハンド錯覚(Botvinick & Chohen, 1998)などの身体錯覚が起きるとヒトの身体所有感は外部オブジェクト(人工身体や仮想身体)に転移し, 自分の身体ではない「モノ」があたかも身体の一部であるかのように知覚されるようになる. 近年, これらの身体認知の知見は様々な分野で取り入れられつつあり, 工学技術を絶妙に組み込むことでさらなる可能性と展開を生み出せるものと期待される.

2. 研究の目的

本研究課題では, ロボティクス, ハプティクス, バーチャルリアリティ(VR)技術の適用により健常者の身体認知・自他認識を簡便に操作するための基盤技術の創出を目的とする. 例えば, 自己映像のみならず生身ですら自分の身体ではないように体験させられる技術を開発することが最終的な目標の一つとなる. また, 開発したシステムを用いた心理学行動実験や認知神経科学実験(脳機能計測実験)により, ヒトの身体所有感転移や自他認識操作の主要因および基本メカニズムを理解し, 「身体所有感が失われた身体部位はヒトにとって何になるのか?」という学術的な問いへの答えに一步でも多く近づくことに挑戦する. 本研究課題を推進することで, ヒトの身体認知・自他認識研究の底上げを図るとともに, 最終的には医療・健康/福祉, 産業, 娯楽などの分野で適用可能なヒトの身体認知特性を利用した感性認知支援システムの創出に対して重要な知見を得ることを目指す.

3. 研究の方法

本研究課題では, 工学技術に立脚してヒトの身体認知・自他認識の実験的操作を可能にする新しいシステムを開発することに主眼を置き, その応用も含めての下記の3つの研究課題をコグネティクス(Cognetics: Rognini & Blanke, 2016)と呼ばれる認知科学×工学の学際的研究手法に基づき推進した.

(1) 課題1: 身体認知・自他認識の疑似的操作を可能にするシステム開発

ヒトの内部モデルにおいて, 工学技術を用いて感覚運動システムに介入することで, ヒトの身体認知・自他認識に様々な変容をもたらすことを考える(図1). 具体的には, アクティブセルフタッチ技術, すなわちロボティクス・ハプティクス技術の適用により自分の身体と人工/仮想身体を同期/非同期でセルフタッチできるようにした技術(Hara et al., 2015)を基礎としてVR技術なども取り入れ, 疑似的に変容させた感覚フィードバックを用いてヒトの身体認知および自他認識に矛盾を与えるシステムを設計・開発する. また, 試作したシステムについて基本性能評価なども行う.

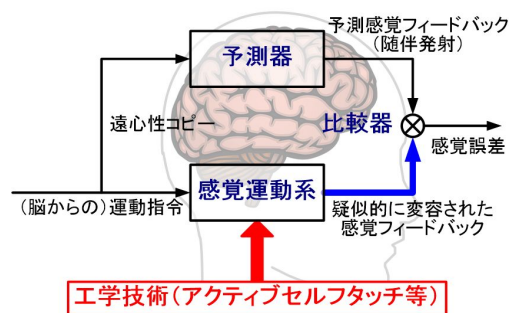


図1. 研究手法: 工学技術を活用した感覚運動システムへの実験的介入

(2) 課題2: 試作システムを用いた心理学行動実験と認知神経科学実験

身体錯覚パラダイムなどを参考に, 課題1で試作したシステムを用いてヒトを対象とした心理学行動実験・認知神経科学実験を計画して実施する. これにより, 試作システムの身体認知・自他認識操作に対する有効性を確認するとともに, 新たな知見を得る.

(3) 課題3: 身体所有感や運動主体感の強化/改善システムの検討・試作

身体所有感や運動主体感に関わる過去の知見に課題1と課題2で新たに得られる知見を加えて, ヒトの身体認知を「賢く騙す」ための新たなシステムの設計・試作を行うとともに, そのアプリケーションについて検討を行う.

#### 4. 研究成果

(1) フォロワロボットとして3自由度パラレルリンクロボットを組み込んだアクティブセルフタッチシステムや仮想ハンドを用いたVR身体認知(身体所有感と運動主体感)操作システム(図2)などを試作した。また心理学行動実験により、これらのシステムを用いてラバーハンド錯覚やフルボディ錯覚などの身体錯覚を引き起こせることを確認した。

(2) 身体錯覚(特にラバーハンド錯覚)実験において、人工/仮想身体の見え方が身体所有感や自他認識に及ぼす影響について検証した。実験の結果、外部オブジェクトに外見的不一致や空間的不一致がある場合でも、視覚情報に不鮮明さを与えることや周辺視によって曖昧化させることで、その違いがある程度許容されて身体の一部と認識される傾向があることを示唆した。

(3) 実環境と仮想環境の両方に同様のラバーハンド錯覚実験環境を構築し、ラバーハンド錯覚パラダイムを用いた心理学行動実験および認知神経科学実験を実施した。実験の結果、2つの環境における人工/仮想身体に対する主観的な体験は同じでも、脳内では異なる処理が行われていた可能性が示唆された。

(4) 自他認識の変容や「存在の感覚(felling of a presence: FoP)」を強く引き起こすことを目的として、新たな力フィードバック方法について検討した。具体的には、仮想コンプライアンス空間(ハプティックデバイスから力フィードバックを受けない領域)を利用した仮想ロープを導入して力覚的介入を離散的に行う手法を提案し、その基本性能について評価を行った(図3)。また、提案手法を既存の実験システムに適用してパイロット実験を行った結果、提案手法がFoPの実験的誘起や自他認識操作に対して有効であることが示唆された。

(5) スイス連邦工科大学ローザンヌ校(EPFL)の認知神経科学研究グループとの国際共同研究により、FoPや受動錯覚を引き起こすためのウェアラブル触覚提示装置の開発を行った。また、開発したシステムを用いて、ヒトの背中における触刺激弁別能力について明らかにした。

#### <引用文献>

S. Gallagher, "Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science," *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14-21, 2000.

J. Bailey, S. Nelson, J. Lewis, and C. S. McCabe, "Imaging and Clinical Evidence of Sensorimotor Problems in CRPS: Utilizing Novel Treatment Approaches," *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, Vol. 8, pp. 564-575, 2013.

A. Hassan and K. A. Josephs, "Alien Hand Syndrome," *Current Neurology and Neuroscience Reports*, Vol. 16, No. 73, 2016.

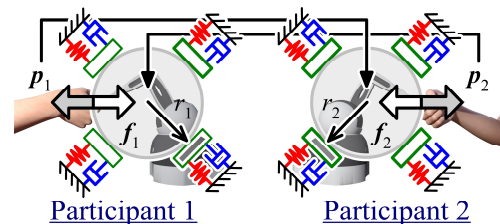
M. Botvinick and J. Cohen, "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," *Nature*, Vol. 391, pp. 756, 1998.

G. Rognini and O. Blanke, "Cognetics: Robotic Interfaces for the Conscious Mind," *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 20, No. 3, pp. 162-164, 2016.

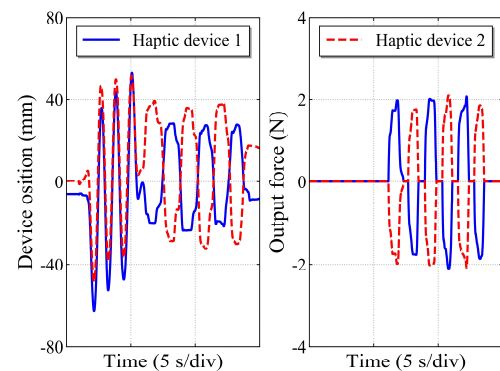
M. Hara, H. Nabae, A. Yamamoto, and T. Higuchi, "A Novel Rubber Hand Illusion Paradigm Allowing Active Self-Touch with Variable Force Feedback Controlled by a Haptic Device," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 46, No. 1, pp. 78-87, 2015.



図2. 仮想ハンドを用いたVR身体認知操作システムの開発



(a) 仮想ロープの構成方法



(b) 仮想ロープによる力提示

図3. コンプライアンス空間を用いた仮想ロープの提案

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 A. Fadaei Jouybari, M. Franza, O. A. Kanappe, M. Hara, and O. Blanke	4. 巻 239
2. 論文標題 Tactile spatial discrimination on the torso using vibrotactile and force stimulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 3175-3188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-021-06181-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 M. Hara, T. Funabashi, M. Miki, and H. Nabae	4. 巻 77
2. 論文標題 Application of mass micromanipulations to submillimeter-scale particles in multiple containers on a laterally oscillated stage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechatronics	6. 最初と最後の頁 102602-102602
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mechatronics.2021.102602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 M. Hara, N. Kanayama, O. Blanke, and R. Salomon	4. 巻 14
2. 論文標題 Modulation of Bodily Self-Consciousness by Self and External Touch	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 615-625
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TOH.2021.3067651	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Kitamura, S. Sakaino, M. Hara, and T. Tsuji	4. 巻 10
2. 論文標題 Bilateral Control of Human Upper Limbs Using Functional Electrical Stimulation Based on Dynamic Model Approximation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 443-456
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejjia.20009551	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 N. Kanayama, M. Hara, and K. Kimura	4. 巻 11
2. 論文標題 Virtual reality alters cortical oscillations related to visuo-tactile integration during rubber hand illusion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 116562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-80807-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Hasegawa, S. Okamoto, K. Itoh, M. Hara, N. Kanayama, and Y. Yamada	4. 巻 2
2. 論文標題 Self-Body Recognition through a Mirror: Easing Spatial-Consistency Requirements for Rubber Hand Illusion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Psych	6. 最初と最後の頁 114-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/psych2020011	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 T. Kitamura, S. Sakaino, M. Hara, and T. Tsuji
2. 発表標題 Bilateral Control of Human Upper Limbs Using Functional Electrical Stimulation Based on Dynamic Model Approximation
3. 学会等名 The 8th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hara, N. Kanayama, O. Blanke, and R. Salomon
2. 発表標題 Modulation of Bodily Self-Consciousness by Self and External Touch
3. 学会等名 IEEE World Haptics Conference 2021 (WHC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守下奈那, 金山範明, 三木将仁, 原正之
2. 発表標題 アクティブセルフタッチを用いた実体的意識性に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会第17回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤誠, 金山範明, 三木将仁, 原正之
2. 発表標題 自他認識操作のためのリーダフォロシステムの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原正之, 國松勇希, 三木将仁
2. 発表標題 実験的なFoP誘起のための新しいロボットシステムの開発
3. 学会等名 第21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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國松勇希, 原正之, 岡本正吾, 金山範明, 三木将仁
2. 発表標題 周辺視がラバーハンド錯覚に与える影響
3. 学会等名 第20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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊碧, 大鶴直史, 菅田陽怜, 三木将仁, 原正之
2. 発表標題 MEG対応ハプティックデバイスの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	高崎 正也  (Takasaki Masaya)  (10333486)	埼玉大学・理工学研究科・教授   (12401)	
研究分担者	境野 翔  (Sakaino Sho)  (70610898)	筑波大学・システム情報系・准教授   (12102)	
研究分担者	金山 範明  (Kanayama Noriaki)  (90719543)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員   (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------