

令和 4 年 9 月 9 日現在

機関番号： 12401
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間： 2018～2021
課題番号： 17KK0003
研究課題名（和文）ロボティクス・ハプティクス技術を用いたヒトの身体所有感操作とコグネティクス研究

研究課題名（英文）Cognetics Studies: Manipulation of Human Body Ownership Using Robotics and Haptics Technologies

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） 11,400,000円
渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、認知神経科学研究に対してブレイクスルーを与えることを目的として、ヒトの身体認知（特に身体所有感）を実験的に操作するための基盤技術の開発を行った。具体的には、ロボットによる刺激提示とハプティックデバイスによる触力覚フィードバックにより、能動的な自己触刺激中に視聴覚に加えて触力覚や固有感覚、運動感覚などを含めた感覚運動刺激の制御を可能にする実験システムを開発するとともに、身体錯覚や実体的意識性の研究などに応用した研究成果でいくつかの国際共著論文を公表した。さらには、本研究課題を発展させた新規プロジェクトの立案や予備実験の実施なども行い、国際共同研究体制の強化も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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実験的に操作するための基盤技術の開発を行い、身体錯覚を実験的かつシステムティックに引き起こせることや実体的意識性や思考吹入の研究にも活用できることなどを明らかにした。これらの国際共同研究の成果は、Science Translational Medicineなどのインパクトの高い国際学術雑誌で公表しており、学術的に高い評価を得ることができたと言える。また、得られた研究成果を基礎として在外研究中に新規プロジェクトについての議論なども行い、本研究課題を通してスイスの認知神経科学者との国際共同研究基盤を強化することができた。

研究成果の概要（英文）：In the proposed research project, a novel technology for experimentally manipulating human body perception, in particular, sense of body ownership has been developed by using robotics and haptics technologies, aiming at providing a breakthrough to cognitive neuroscience studies. Specifically, several experimental systems that produce specific sensorimotor stimulation involving tactile, proprioceptive, and motor signals as well as visual and auditory signals have been developed and applied to cognitive neuroscience studies on, for instance, bodily illusions and presence hallucination (PH). Using the research findings, we have published several international joint papers in international scientific journals with high impacts and citations. Additionally, we have launched several new projects related to, for instance, the PH based on the present research project and tightened our future international collaboration related to cognetics.

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 身体認知 身体錯覚 実体的意識性

1. 研究開始当初の背景

日常生活において、ヒトは自分の身体を前意識的に認識しており、「自分の身体（あるいは身体部位）は自分に属している」という感覚を疑うことはない。このような感覚は身体所有感（sense of body ownership）と呼ばれ（Gallagher, 2000）、通常はロバストな感覚であるが、高次脳機能障害や精神・神経疾患などでは低下することがある。例えば、離人症では自己（または心）と身体の分離体験が引き起こされ（Simeon et al., 2003）、慢性疼痛では患肢が「かなり腫れている」あるいは「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る（Bailey et al., 2013）。このような感覚・体験に関連して、近年の実験心理学や認知神経科学研究の貢献により、健常者でも身体という物理的制約を超えて外界の対象を疑似的に自分の身体（あるいは身体の一部）として認知させることができるようになりつつある。例えば、ラバーハンド錯覚（rubber hand illusion）と呼ばれる現象では、衝立などで隠された研究参加者の手と目の前に置かれたゴム製の手が絵筆などで同時に刺激されると、ゴム手上で触刺激が知覚されるようになる（Botvinick & Cohen, 1998）。また、ヘッドマウントディスプレイ上に研究参加者の背中を提示し、映像の身体に視覚的に与える触刺激と研究参加者の身体に物理的に与える触刺激を同期させると、脳機能に障害のある患者や瀕死/瞑想中などの特殊な状態にある者で報告される体外離脱体験に似たフルボディ錯覚（full body illusion）を、健常者にも実験的に体験させることができる（Ehrsson, 2007; Lengenhagger et al., 2007）。これらの報告から、脳の中では「自己」と「他者/外界」との境界は意外に曖昧なものであり、外界からの適切な入力により身体所有感を変化させることは可能であると考えられる。しかしながら、身体から意識を乖離させる、あるいは外界の対象を自己の身体として認知させるメカニズムについては未だ完全には解明されたとは言えず、その知見の応用も限定的である。したがって、ヒトの身体所有感操作メカニズムの全容解明やその知見の社会応用には、身体認知を精確かつシステムティックに操作することを可能にする技術や実験システムの開発が重要となる。

2. 研究の目的

本研究課題では、工学研究者（研究代表者）と認知神経科学者（海外共同研究者）との連携を密にして、コグネティクス（Cognetics: Rognini & Blanke, 2016）と呼ばれる新しい考えを取り入れながら、基課題（若手研究（A）: 26700027）の研究をさらに加速・発展させることを目指す。具体的には、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研究に能動的自己触刺激（アクティブセルフタッチ）を導入し、視聴覚に加えて触力覚、固有感覚、運動感覚などを含めた感覚運動刺激を精確かつシステムティックに制御する基盤技術を開発する。さらに、その技術を基盤として新規開発する実験システムを用いて、ヒトの身体認知研究にブレークスルーを与えることを目的とした。

3. 研究の方法

コグネティクスは、海外共同研究者の Olaf Blanke 教授らが提案した認知神経科学×工学の学際的研究推進方法であり、認知科学/認知神経科学の研究課題に対して、新しい工学技術を研究してこれまでにないアプローチを可能にし、その技術・アプローチにより得られる知見を基礎として、次の新しい仮説・研究課題を設定するあるいは新技術の創出を行うものである。

本研究課題では、10年以上の国際共同研究実績がある研究代表者と海外共同研究者が新技術の創出・実験システムの開発と心理学行動実験・認知神経科学実験をそれぞれ担当し、コグネティクスの研究サイクルを循環させて、認知神経科学および工学の両分野に貢献することを計画した（図1）。これまでの国際共同研究ではプロジェクトを立案した後は、埼玉大学とスイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）で各々の研究を独自に推進し、時折、対面や遠隔で技術提供や情報共有、議論などを行っていたが、情報共有には一定の遅れがあり、また実験システムにトラブル等があった場合に即座に対応することができなかつたため、実験の実施が長期保留となることもあった。そこで、本研究課題では研究代表者が EPFL に長期滞在し、現地の海外共同研究者およびその研究グループと直接議論・意見交換を行いつつ、実験システムの管理や操作、改善などを行うことで基課題の研究を加速・発展させることを試みた。

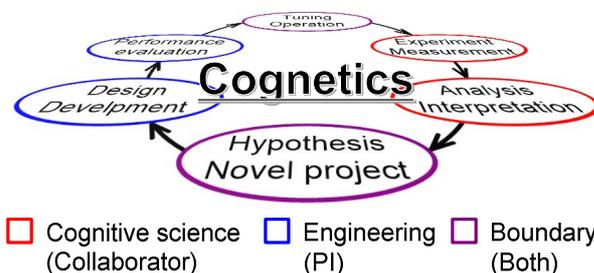


図1. コグネティクスを基礎とした研究推進

4. 研究成果

本研究課題では、主として精神・神経疾患やパーキンソン病などで報告される「誰もいない空間で誰かの存在を知覚する」体験、すなわち実体的意識性（presence hallucination: PH）の発生メカニズムの解明に焦点を当てた国際共同研究を推進した。具体的には、まず基課題において研究代表者が開発したフルボディ錯覚研究用アクティブセルフタッチシステム（Hara et al., 2014）を PH 研究に対応させることから始めた。その実験システムを用いて目隠しされた研究参加者の背中に能動的自己触刺激を非同期で与えることで、感覚運動刺激に矛盾（すなわち、

触力覚、固有感覚、運動感覚における感覚運動矛盾)を作り出し(Blanke et al., 2014), PHの誘発実験(図2)を行った。その結果,パーキンソン病患者が日常生活で経験するPHと同等の体験を開発した実験システムで作り出せることを確認し,またロボットが創り出す感覚運動矛盾に対して高い感度を示すパーキンソン病患者のサブグループを特定することに成功した。さらには, MRI対応化した実験システムを用いることでPH体験に関わる重要な前頭-側頭ネットワークの特定も行った。

PHの研究用に開発した実験システムは,統合失調症などで度々報告される思考障害の1つである思考吹入(thought insertion),すなわち「自分の考えが外部から吹き込まれたものである」という体験に関する研究にも適用した。ロボットによる感覚運動刺激によって研究参加者の身体認知を変化させつつ,自分自身または他人に起因する精神状態のソース・モニタリングを示唆する認知課題を実施した結果(図3),感覚運動矛盾を引き起こす条件では自己生成の思考と他者生成の思考の区別が低下することを実験的に明らかにした。この実験結果から,開発したPH実験システムの適用により,健常者において思考吹入の行動的・主観的メカニズムを調査することが可能であることが示唆された。

さらに,スイスでの在外研究中にEPFLの博士学生の指導を行う機会があり,PHを実験的に誘発させるための新しい実験システムの設計・開発にも携わった。従来のPH実験システムでは,研究参加者の背中への触刺激をフォロワロボット(3自由度ロボット)によって与えていたため,PH実験中の研究参加者の位置・行動はフォロワロボットの可動域内に制限されていた。そこで,複数のソレノイドによる接触刺激を導入することでPH実験システムのウェアラブル化を行い,研究参加者の行動制限を緩和することにも成功した。この博士学生とは,帰国後もオンラインミーティングなどで繰り返し指導・議論を行っており,2021年度には博士号を取得している。在外研究中に現地の研究者と有意義な議論・意見交換を行い,国際共同研究の加速・発展を実現できただけでなく,海外の博士学生を指導して博士号の取得までをサポートしたことは,研究代表者にとって非常に貴重な経験となった。

本研究課題終了後もコグネティクスに関わる国際共同研究を継続的に行うために,海外共同研究者との議論をもとに,PHを複数人で実験的に引き起こす方法の考案や力覚提示機能を搭載したMRI対応ロボットシステムの開発構想なども行った。さらには,XR技術や内受容感覚操作などの新たな要素を加えたヒトの身体認知操作/変容システムの試作なども行い,海外共同研究者との国際共同研究体制の強化を行うことができた。



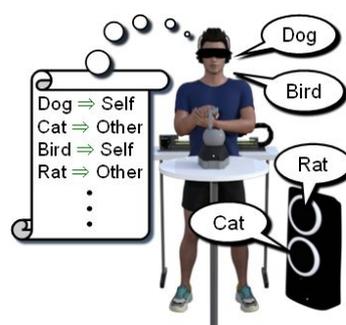
Behavior experiment

(a) 実環境下



fMRI measurement

(b) MRI 環境下



Cognitive & PH tasks

図2. ロボットによる感覚運動刺激を用いた PH 実験

図3. 思考吹入の実験的操作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 F. Bernasconi, E. Blondiaux, J. Potheegadoo, G. Stripeikyte, J. Pagonabarraga, H. Bejr-Kasem, M. Bassolino, M. Akselrod, S. Matinez-Horta, F. Sampedro, M. Hara, J. Horvath, M. Franza, S. Konik, M. Bereau, J. A. Ghika, P. R. Burkhard, D. Van De Ville, N. Faivre, G. Rognini, P. Krack, J. Kulisevsky, and O. Blanke	4. 巻 13
2. 論文標題 Robot-induced hallucinations in Parkinson's disease depend on altered sensorimotor processing in fronto-temporal network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Translational Medicine	6. 最初と最後の頁 eabc8362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/scitranslmed.abc8362	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 原正之	4. 巻 40
2. 論文標題 異なる立場で経験したスイスでのコグネティクス研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌95	6. 最初と最後の頁 95-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.95	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 M. Hara, O. Blanke, and N. Kanayama	4. 巻 1
2. 論文標題 Feeling of a presence and anomalous body perception	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Body Schema and Body Image: New Directions	6. 最初と最後の頁 316-327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/oso/9780198851721.003.0019	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 E. Blondiaux, G. Stripeikyte, G. Rognini, M. Akselrod, J. Potheegadoo, P. Progin, K. Do, P. Conus, P. Hagmann, M. Hara, N. Faivre, D. Van de Ville, and O. Blanke	4. 巻 46
2. 論文標題 S143. NEURAL MECHANISMS OF ROBOT-INDUCED HALLUCINATIONS IN HEALTHY PARTICIPANTS AND SYMPTOMATIC HALLUCINATIONS OF NEUROLOGICAL AND PSYCHIATRIC ORIGIN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Schizophrenia Bulletin	6. 最初と最後の頁 S90-S91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/schbul/sbaa031.209	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 A. Serino, P. Pozeg, F. Bernasconi, M. Solca, M. Hara, P. Progin, G. Stripeikyte, H. Dhanis, R. Salomon, H. Bleuler, G. Rognini, and O. Blanke	4. 巻 24
2. 論文標題 Thought consciousness and source monitoring depend on robotically controlled sensorimotor conflicts and illusory states	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 101955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2020.101955	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 N. Kanayama, M. Hara, J. Watanabe, R. Kitada, M. Sakamoto, and S. Yamawaki	4. 巻 327
2. 論文標題 Controlled emotional tactile stimulation during functional magnetic resonance imaging and electroencephalography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Neuroscience Methods	6. 最初と最後の頁 108393 - 108393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jneumeth.2019.108393	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 M. Tashiro, H. Sugata, T. Ikeda, K. Matsushita, M. Hara, K. Kawakami, K. Kawakami and M. Fujiki	4. 巻 e01262
2. 論文標題 Effect of individual food preferences on oscillatory brain activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Brain and Behavior	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/brb3.1262	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. Sugata, K. Yagi, S. Yazawa, Y. Nagase, K. Tsuruta, T. Ikeda, K. Matsushita, M. Hara, K. Kawakami, and K. Kawakami	4. 巻 391
2. 論文標題 Modulation of Capacity for Motor Learning by Transcranial Alternating Current Stimulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 131-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroscience.2018.09.013	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 原正之, 三木将仁, 金山範明
2. 発表標題 実体的意識性的実験的誘起のための新しい力提示手法の提案
3. 学会等名 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 田代尚千恵, 蔭山健介, 三木将仁, 菅田陽怜, 高崎正也, 原正之
2. 発表標題 メカトロニクス技術を用いた摂食嚥下状態の定量的計測に関する研究
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2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Fadaei Jouybari, G. Rognini, M. Hara, H. Bleuler, and O. Blanke
2. 発表標題 Torso-mounted Vibrotactile Interface to Experimentally Induce Illusory Own-body Perceptions
3. 学会等名 019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Kanayama, M. Hara, J. Watanabe, R. Kitada, M. Sakamoto, and S. Yamawaki
2. 発表標題 Emotional tactile stimulation device for non-invasive neuroimaging
3. 学会等名 Neuroscience 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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, 高崎正也, 水野毅
2. 発表標題 視線操作による周辺視の度合いがラバーハンド錯覚に及ぼす影響
3. 学会等名 第19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 2018年

1. 発表者名 原正之
2. 発表標題 周辺視がラバーハンド錯覚を強くする？
3. 学会等名 第3回基礎理学療法学 夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原正之, 浅見弘太郎, 金山範明, 石野裕二, 山口大介, 高崎正也, 水野毅
2. 発表標題 ロボティクス・ハプティクス技術を用いたSelf-Ticklingに関する研究
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原正之, 岡本正吾, 伊藤謙, 金山範明, 高崎正也
2. 発表標題 視線操作がラバーハンド錯覚に及ぼす影響
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2018
4. 発表年 2018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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ブランケ オラフ (Blanke Olaf)	スイス連邦工科大学ローザンヌ校・Brain Mind Institute・教授	

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		
スイス	スイス連邦工科大学ローザンヌ校		