

コグネティクス：工学と認知神経科学のインタラクション

Cognetics: Interdisciplinary Collaborations between Engineering and Cognitive Neuroscience

原 正之*¹

Masayuki Hara

*¹埼玉大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

Cognetics is a keyword meaning a new interdisciplinary field between engineering and cognitive neuroscience. The main objective of cognetics is to advance cognitive neuroscience studies especially related to human body perception and bodily self-consciousness using novel approaches enabled by the application of engineering technologies, and to utilize the new findings to design and develop novel robots and interfaces. Now, the author attempts to accelerate this new field from a viewpoint of engineering, collaborating with cognitive neuroscientists, brain scientists, and physical therapists. The present paper introduces a novel approach using robotics, haptics, and virtual reality technologies to experimentally manipulate sense of agency and haptic perception as well as sense of body ownership. Further, this paper shows how the proposed approach could contribute to the studies on body ownership.

1. はじめに

コグネティクス (Cognetics) は、身体認知研究において世界的権威の1人である Olaf Blanke 教授 (スイス連邦工科大学ローザンヌ校) の研究グループによって昨年の3月に Trends in Cognitive Sciences で提案・発表されたキーワードである [Rognini 2016]。認知神経科学分野におけるヒトの身体的自己意識 (bodily self-consciousness) や身体錯覚 (bodily illusion)、感覚運動 (sensorimotor) などの研究に工学技術を活用し、その主要因や基本メカニズムをこれまでにない観点から解明することを試みるとともに、得られる知見をロボットやインタフェースの設計・開発に応用をすることを考える新しい学際的学術分野である。現在、著者はコグネティクス研究を加速すべく工学面から様々なアプローチを考案しており、提唱者である Olaf Blanke 教授らとともに国際的共同研究を推進している。

これまでの研究では、ヒトの身体所有感 (sense of body ownership) の操作や身体錯覚の誘起・制御などに主眼を置き、ロボティクス、ハプティクス、バーチャルリアリティ技術を適用した実験用プラットフォームの開発を行い、ヒトの身体認知研究に対してこれまでにないアプローチを提案・実現することを試みてきた。本稿では、これらの工学技術により実現した手法について説明するとともに、その適用により新たに得られたコグネティクス研究の成果についていくつか紹介する。

2. アクティブセルフタッチの提案

身体所有感とは、「自分の身体あるいは身体部位は自分のものである」という感覚・意識のことであり、自己位置感覚 (sense of self-location) や一人称視点 (first person perspective) と同様にヒトの身体的自己意識を論ずる上で重要な要因の1つである。非常にロバストな感覚であるが、近年の認知神経科学研究により刺激やトリックなどで実験的に身体所有感を操作することが可能になりつつある。例えば、図1(a)に示すように、隠された研究参加者の身体と眼前に置かれた人工身体の両方に視覚情報と同期した触刺激を与えて、身体所有感を人

連絡先: 原正之, 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, TEL: 048-858-3453, FAX: 048-856-2577, masayuki@mech.saitama-u.ac.jp

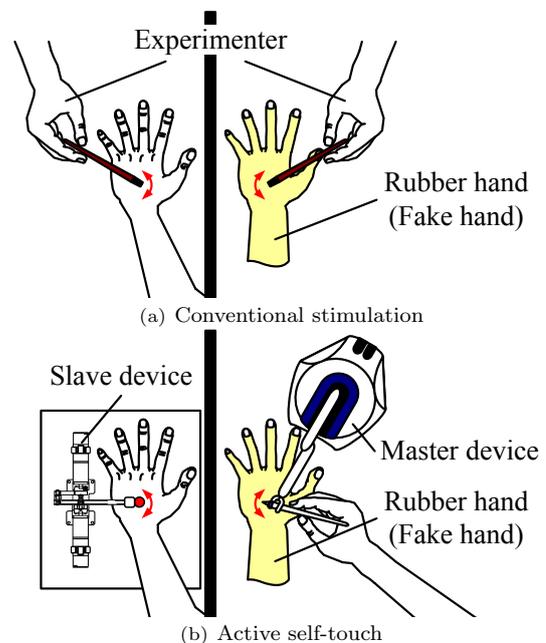


図1: Visuo-tactile stimulation to manipulate the sense of body ownership

工身体に転移させる方法 (visuo-tactile stimulation) がある。Botvinick と Cohen がこの手法によって身体錯覚の1つである Rubber Hand Illusion (RHI) [Botvinick 1998] の誘起に成功して以来、視触覚刺激は身体所有感を操作する最も一般的な方法として数多くの研究で使われている。

これに対して、これまでの研究ではアクティブセルフタッチ (active self-touch) という工学技術を活用した新しい手法を提案してきた [Hara 2015a]。アクティブセルフタッチでは、図1(b)に示すように、マスタスレーブシステムとハプティクス技術の使用により、研究参加者自身が自分の意志で人工/仮想身体にタッチすることが可能であり、研究参加者の身体には同じあるいは異なる強度の刺激を同期/非同期で与えることがで

Active self-touch

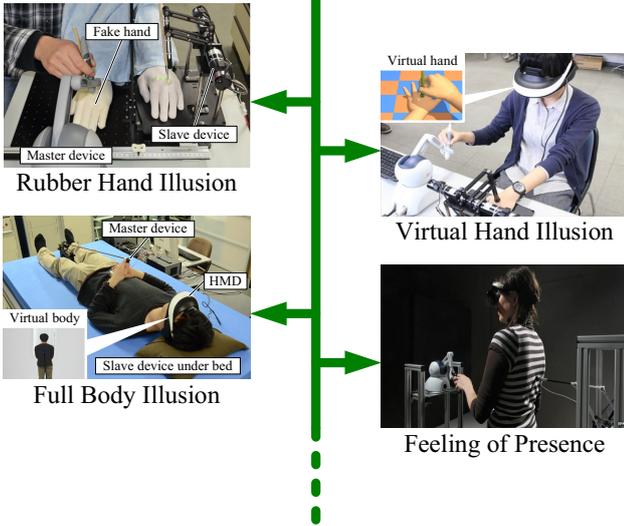


図 2: Application of active self-touch to studies on human bodily illusions

きる。したがって、研究参加者自身が刺激提示を管理することになり、従来手法では検証することが困難であった行動主体感 (sense of agency) や触知覚との関係にまで議論を拡大することができる。また、ロボティクス技術の適用により空間的・時間的分解能に優れた刺激提示が可能であり、各種センシング技術はミリ秒単位で客観的な行動データの取得を可能にする。

図 2 に示すように、これまでに様々な身体錯覚研究においてアクティブセルフタッチを適用し、ヒトの身体認知に関わる新たな知見を得ることを試みてきた。次節では、これまでに開発してきた実験用プラットフォームおよびアクティブセルフタッチを用いた最近の研究成果について簡単に紹介する。

3. アクティブセルフタッチを利用したヒトの身体認知研究

3.1 Rubber Hand Illusion 研究への応用

まず、人工身体に対してセルフタッチの錯覚 (sense of illusory self-touch) を引き起こす実験、すなわち体性感覚における RHI (somatic version of RHI) 実験 [Ehrsson 2005][White 2005] にアクティブセルフタッチを組み込むことから始め [Hara 2011], 従来の RHI 実験 [Botvinick 1998] や Virtual Hand Illusion 実験 [Raz 2008] などを通して、アクティブセルフタッチの身体所有感操作に対する有効性について検証した。結果、アクティブセルフタッチでもこれらの身体錯覚を研究参加者に体験させることが可能であることを確認した [Hara 2015a][Hara 2015b]。

第 2 節で述べたように、アクティブセルフタッチではロボティクス技術により身体に与える刺激強度と仮想身体からフィードバックされる刺激強度を様々な操作することができる。そこで、アクティブセルフタッチ中に仮想身体からの力覚フィードバックを様々な変化させる RHI 実験を行った結果、タッピング動作においてタッチが動的に行われる場合に力覚フィードバックの錯覚に対する影響は小さく、逆に静的に行われる場合には顕著になることを示唆した [Hara 2015a]。また、行動主体感と



図 3: 3T and 7T MRI environments (MAGNETOM Trio 3T and MAGNETOM 7T, Siemens)

の関係についての検討も行っており、行動主体感の増加に伴い錯覚の体験も強くなることを明らかにした [Hara 2015b]。さらには、アクティブセルフタッチを用いることで従来手法に比べて RHI を早く引き起こすことができることを実証した。

3.2 Full Body Illusion 研究への応用

Full Body Illusion (FBI) は、精神疾患や脳機能に障害を持つ患者でしばしば報告される体外離脱体験 (out of body experience) を健常者で再現した身体錯覚である。一般的には、立位 [Lenggenhager 2007] あるいは座位 [Ehrsson 2007] にある研究参加者に、背後あるいは前方から撮影した自身の身体をヘッドマウントディスプレイ (HMD) を介して提示し、背中や胸腹部などに棒などで触刺激を与えて引き起こす。触刺激の視覚情報と実際に身体に与えられる触刺激のタイミングを同期させると、HMD 内の仮想身体において身体化が起こり、さらには自己位置感覚も前方へとドリフトすることが報告されている。これまでの研究では、アクティブセルフタッチ可能な 2 自由度の実験用プラットフォームを開発し、仰臥位の研究参加者に FBI を体験させることに成功している [Hara 2014]。

また、開発した実験用プラットフォームには超音波モータや光学式力センサなどを用いており、MRI 対応の設計となっている。スイス (ローザンヌ) の Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) や Center for Biomedical Imaging (CIBM) にある MRI 施設で、ファントムと Echo Planar Imaging を用いて fMRI 対応実験 (駆動実験やノイズ評価など) を行った結果、3T や 7T といった高磁場環境 (図 3) でも開発した実験用プラットフォームを運用できることを確認した。この実験用プラットフォームは、現在、スイス連邦工科大学ローザンヌ校において、FBI と脳機能・脳活動との関係を明らかにすべく、fMRI を用いた身体認知研究で使用されている。

3.3 Feeling of Presence 研究への応用

誰も居ない空間で誰かが近くにいるという奇妙な感覚、すなわち Feeling of Presence (FoP) は一般的にオカルト現象や超常現象の類として扱われる。しかしながら、この感覚も精神疾患や脳機能に障害を持つ患者でしばしば報告され、健常者においても精神的・身体的に極限状態では報告されることがある。例えば、登山家の Reinhold Messner が視界が悪い中、極度の疲労と酸素不足でヒマラヤ山脈を下山している時に、登山パーティ以外の第三者 (third man) の存在を感じたというのは有名な話である [Geiger 2009]。したがって、FoP は脳機能や認知機能に関わる現象であると考えられるが、FoP がどのようなメカニズムで誘発されるかはまだ明確には解明されていない。

FoP の基本メカニズムを解明するために、まず MRI を用いて神経学的欠損を持ちかつ FoP を報告する患者で脳の障害解析を行うことから始めた。障害解析の結果、FoP を報告する患者では、側頭頭頂皮質 (temporoparietal cortex) や島皮質

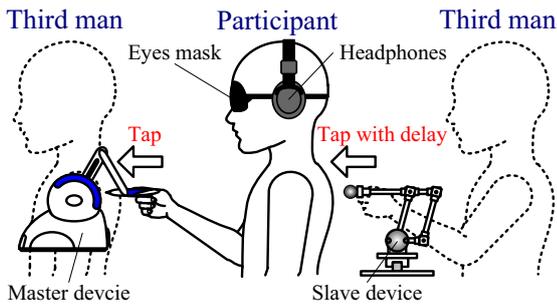


図 4: Robotically induced FoP in healthy people

(insular), 特に前頭頭頂皮質 (frontoparietal cortex) に, すなわち自他認識や感覚運動などに関わる脳部位に皮質障害があることを確認した [Blanke 2014]. この知見から, アクティブセルフタッチを利用してこれらの感覚に矛盾を引き起こせば, FoP を実験的に健常者にも体験させることができると考えた. そこで, 新たに作製した実験用プラットフォームを用いて, 研究参加者以外に誰も居ない空間でマスタデバイスを前方に, スレーブデバイスを背後に配置して, 視覚および聴覚情報を遮断した状態で自身の背中に対してアクティブセルフタッチを行わせる実験を実施した (図 4). 結果, マスタデバイスとスレーブデバイスが同期して動く場合にはセルフタッチの錯覚が報告され, 一方, スレーブデバイスの動作を 500 ミリ秒遅らせるると FoP が報告されるようになった [Blanke 2014]. また, 非同期条件の実験では誰も居ない空間であるにも関わらず, 研究参加者は平均で 2 人, 最大で 4 人の気配を感じたと報告しており, 中にはこの奇妙な感覚に恐怖して実験の中止を申し出る者もいた. この研究により, FoP が自他認識や感覚運動と密接な関わりがあることを示唆した.

4. まとめ

本稿では, コグネティクスという新しい学際的学術分野について述べ, アクティブセルフタッチという工学技術を活用した身体所有感操作に対する新たな手法を用いた最近の研究成果について紹介した. 現在, コグネティクスでは工学と認知神経科学の間の学際研究に主眼が置かれているが, 実験心理学や脳神経科学, 基礎理療学などといった分野とも連携することが可能であり, 今後さらに拡大・発展していくものと考えられる. また, コグネティクス研究で得られるヒトの身体認知・身体錯覚に関わる新たな知見は, 感性認知支援を可能とする新しいアプリケーションの作成に活用できる可能性があり, 将来的に QOL (quality of life) の向上につながるものと期待できる.

5. 謝辞

本研究は, 独立行政法人日本学術振興会科学研究費若手研究 (B) (23700246) ならびに若手研究 (A) (26700027) の援助を受けて行われたものである. ここに感謝の意を表す.

参考文献

[Rognini 2016] Rognini, G. and Blanke, O.: Cognetics: Robotic Interfaces for the Conscious Mind, *Trends in Cognitive Sciences*, vol.20, no.3, pp.16–164, (2016).

[Botvinick 1998] Botvinick, M. and Cohen, J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, *Nature*, vol. 391, pp. 756, (1998).

[Ehrsson 2005] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., and Passingham, R. E.: Touching a rubber hand: feeling of body-ownership is associated with activity in multisensory brain areas, *Journal of Neuroscience*, vol.25, pp.10564–10573 (2005).

[White 2005] White, R.C., Davies, A. M. A., Halleen, T. J., and Davies, M.: Tactile expectations and the perception of self-touch: an investigation using the rubber hand paradigm, *Consciousness and Cognition*, vol.19, pp.505–519 (2011).

[Hara 2011] Hara, M., Rognini, G., Evans, N., Blanke, O., Yamamoto, A., Bleuler, H., and Higuchi, T.: A Novel Approach to the Manipulation of Body-Parts Ownership Using a Bilateral Master-Slave System, *Proceedings of 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.4664–4469 (2011).

[Raz 2008] Raz, L., Weiss, P. L., and Reiner, M.: The Virtual Hand Illusion and Body Ownership, *Haptics: Perception, Devices and Scenarios*, vol.5024, pp.367–372 (2008).

[Hara 2015a] Hara, M., Nabae, N., Yamamoto, A., and Higuchi, T.: 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).

[Hara 2015b] Hara, M., Pozeg, P., Rognini, G., Higuchi, T., Fukuhara, K., Yamamoto, A., Higuchi, T., Blanke, O., and Salomon, R.: Voluntary self-touch increases body ownership, *Frontiers in Psychology*, vol. 6 (Article 1509), pp. 1–12 (2015).

[Lenggenhager 2007] Lenggenhager, B., Tadi, T., and Blanke, O.: Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness, *Science*, vol. 317, no. 5841, pp. 1096–1099 (2007).

[Ehrsson 2007] Ehrsson, H. H.: The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences, *Science*, vol. 317, no. 5841, pp. 1048 (2007).

[Hara 2014] Hara, M., Salomon, R., van der Zwaag, W., Kober, T., Rognini, G., Nabae, H., Yamamoto, A., Blanke, O., and Higuchi, T.: A novel manipulation method of human body ownership using an fMRI-compatible masterslave system, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 235, pp. 25–34 (2014).

[Geiger 2009] Geiger, J.: *The Third Man Factor: Surviving the Impossible* (2009) (New York: Weinstein Books).

[Blanke 2014] Blanke, O., Pozeg, P., Hara, M., Heydrich, L., Serino, A., Yamamoto, A., Higuchi, T., Salomon, R., Seeck, M., Landis, T., Arzy, S., Herbelin, B., Bleuler, H., and Rognini, G.: Neurological and robot-controlled induction of an apparition, *Current Biology*, vol. 24, pp. 2681–2686 (2014).