

自己接触錯覚の原理を用いた 指が伸縮する感覚を誘起する装置の考案

小鷹 研理^{1,a)} 石原 由貴¹ 森 光洋²

概要：近年、同期的な感覚刺激を呈示することによって、自己の身体像を変調させる試みがひろく行われているが、それらの錯覚誘導プロセスは基本的に離散的であり、身体像が拡大したり縮小したりするような動的な過程そのものを明示的に呈示するものではない。本論文では、自己接触錯覚の誘導スキーマに加え、固有感覚と視覚情報を同期することで、特定の指が連続的に伸縮するような感覚を誘起するシステムを考案したので報告する。

Study on Sense Induction of Extending or Retracting a Finger based on Self-touch Illusion's Principle and Visuo-proprioception Correlations

KODAKA KENRI^{1,a)} ISHIHARA YUKI¹ MORI KOYO²

Abstract: Many studies have attempted to distort a body-image by simultaneous stimulation with multiple modalities. Conventional process of the illusion induction has been discrete, i.e., the subjects could not be strongly aware of a dynamic process of changing a specific body image. This paper reports a novel system to induce a subjective feeling of extending or retracting a finger with visuo-proprioception correlations in addition to self-touch illusion's principle.

1. 背景

近年、人々のコミュニケーションの比重はメディア空間における SNS に大きく移行しており、それらは PC やモバイルデバイスの操作を通して享受されている。しばしば指摘されることとして、メディア空間上のコミュニケーションは、身体を介した現実空間の対面的な状況では考慮されてしかるべき基本的なモラルが欠落しており、結果的に暴力的な言葉が飛び交う様相を呈している。今後、SNS の場は、HMD 等を介したより現実に近い空間へと移行することが予想される。このとき、メディア空間における社会性を設計するうえで、メディア空間における一つ一つの選択が、ユーザ自身の身体的行為に由来するものと意識させることは、重要な指針となる。従って、メディア空間の中にユーザの疑似身体を自然なかたちで（文字通り、それが自分自身

の身体であると錯覚させるように）投影する工学的技術は、今後、極めて重要な意味を持つ。

こうした工学的応用を実現するうえで、身体所有感 (body ownership) や身体像 (body image = 身体に対する主観的なイメージ) の可塑性を巡る近年の脳科学周辺の発見は、非常に示唆に富むものである。これらの研究によると、通常、我々は自分自身の身体そのものを所有しているという感覚 (所有感) を有するが、実はこの関係は自明ではなく、種々の感覚刺激を同期させることで、身体像は現実の身体から遊離し、人形や映像内のアバター等に対しても身体所有感が投射される。これらの錯覚を誘起するうえでの共通の枠組みは、1) 視界から隠された身体部位への触覚刺激・2) 対応する疑似身体に対する接触動作を示す視覚刺激・3) 1・2の同期であり、これは 1998 年に発表された Rubber hand illusion (以下 RHI, [1]) の誘導スキーマに従うものである。このとき、疑似身体の射程は、手などの特定の身体部位のみを切り出したものだけでなく、身体全体を扱うも

¹ 名古屋市立大学芸術工学研究科

Nagoya, 464-0083, Japan

² 名古屋市立大学芸術工学部

a) kenri@sda.nagoya-cu.ac.jp

の*1 へと、その適用範囲を広げている。また、擬似身体の形態も、マネキンのみならず、他人の身体 [3]・身体の三次元 CG モデル [4] など多岐にわたる。

RHI の誘導スキーマは、「メディア空間内部の第二の身体」に向けた身体所有感の投射を促進するものである。工学的応用の観点からは、この「第二の身体」の設計は、メディアの特性を最大限活用するべく、よりプログラマブルであることが望ましい。例えば、主観レベルで身体サイズが拡大・縮小したり、手足の長さを伸縮させることができれば、新しいメディア空間における行動の自由度は大きく広がるだろう。実際、Ehrsson らは、RHI の誘導スキーマを全身に適用することで、実際の身体サイズと比して巨大な人形や著しく小さな人形に対する身体像が形成されることを示した [5]。さらに、Ramachandran らは、前腕部分の極端に長い人形を擬似身体として RHI を誘発した場合でも身体像の投射が生じることを示した [6]。以上の研究は、身体像が有している身体サイズに関する可塑性を裏付けるものとして、重要な知見を提供している。他方、これらの研究の実験の設計に注目すると、呈示される擬似身体のサイズは（その大小に関わらず）あらかじめ固定されており、身体像が拡大したり縮小したりするような動的な過程そのものを、体験者は明示的に感じることはできない。

我々の研究グループは、「身体像の動的な変化」に焦点を当て、我々の脳が有している身体像のより短いタームでの可塑性の特性を探ることを目指している。本論文では、特に、RHI の誘導スキーマに従って、特定の指が連続的に伸縮するような感覚を誘起するシステムを考案する。

2. システムの設計

本研究で構築するシステムでは、身体像の変容を促すうえでの根幹となる具体的な錯覚誘導スキーマとして、2005 年に Ehrsson らによって発表された、RHI の変形版である Self-touch illusion（自己接触錯覚）[7] を誘発する際に使われている方式を適用する。

2.1 自己接触錯覚

RHI における視覚の影響度は絶大であるが、自己接触錯覚の研究が示しているように、視覚が遮断された条件であっても、身体像の変容は十分に生じ得る。我々が既に考案している自己接触錯覚の誘起装置では、図 1 に示すように、二対の振動モータと接触センサをマイコン（Arduino）を介して接続することで、眼を閉じた被験者が右手の人差し指で rubber finger を押すと同時に、右手の人差し指の腹の接触面と左手の人差し指の爪の部分に振動刺激を与える。このとき、我々の環境では、約 20%の被験者が、左右の手が互いに引き合い、右手が左手の人差し指に直接に触れている

*1 RHI と区別して Full body illusion と呼ばれることもあるが、その錯覚の誘起スキーマは RHI と基本的に同様である [2]。

ような強烈な錯覚を覚える [8]（このときの身体像の移動量は、手を交差することによって格段に増大することもわかっている）。

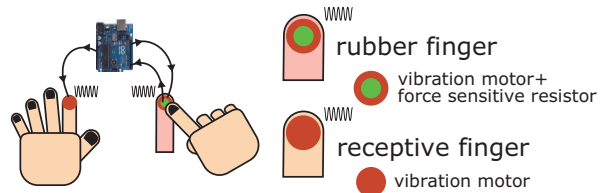


図 1 STI induction system's overview

自己接触錯覚は、左右の指や手のそれぞれが（物理的な空隙にも関わらず）結合しているような身体像を与える。ひとたび、このような新たな身体像が受け入れられると、擬似身体と身体との空間的關係に変化がない限り、その身体像の空間的位置やサイズが大きく変質することはない。その意味で、錯覚の獲得プロセスは極めて離散的なものであることに注意が必要である。

2.2 システムの概要

本研究では、自己接触錯覚の誘導スキーマをベースとして、身体像を連続的に変容させる感覚を誘起するシステムを新たに考案する。図 2 に、システムの概要を示す。

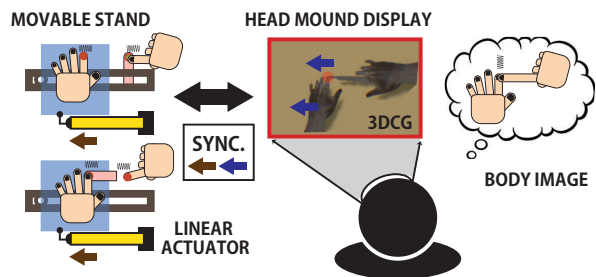


図 2 Proposed system overview

まず、第一の仕組みとして、一方の手を可動台に添え、その位置を、可動台に接続されたリニアアクチュエータによって制御することによって、手の物理的位置そのものを機械的に変化させる機構を導入する。可動台の上に添えられる手は、図に示すように、触る側の指（Administrating finger）と触られる側の指（Receptive finger）の二通りが想定される。可動台に置かれた一方の手のみが移動している状況で、両手が相互に結合している自己接触像を維持するためには、（主観的な）結合部に隣接する各部の身体像に関する空間的矛盾を逐一補償する必要性が生じる。この補償の方略としては、もう一方の本来静止している手に関して、（1）「手を全体として（移動する結合部へと）追従させる」あるいは（2）「振動に関係している指のみを追従させる」の二つを適用することが有効であると考えられる（実際には、こ

れら二つの補償パターンを混合するかたちで新たな自己接触像が形成されると考えられる)。本研究では、とりわけ(2)の主観的イメージを選択的に誘起するために、第二の仕組みとして、HMDを介して、特定の指が伸縮する3DCGアニメーションを、リニアアクチュエータの位置の変化と同期してユーザに呈示する。この同期によって、主観的に自己接触の感覚を得ているにも関わらず、一方の手の位置感覚のみが変化しているという不協和を、もう一方の手の指に関する身体像の変容というかたちで解消することが可能となると考えられる。

2.3 実装

実装の詳細について述べる。なお、二対の振動モータと圧力センサを使って自己接触錯覚を誘起する部分の実装については、前年度の同会議で報告したため省略する[9]。以下では、リニアアクチュエータとHMD内の映像を同期させる部分の実装について解説する。

リニアアクチュエータとして、前後16cmの範囲での伸縮が可能なFirgelli製のL16シリーズを使用した。これらの動きは、Arduinoを仲介させることで、PC側のアプリケーションProcessingから、ほとんど遅延なく制御される。さらに、L16に内蔵のポテンシオメータから、アクチュエータの位置情報をArduinoが受信し、OSC(Open Sound Control)通信によって、3Dコンテンツ制御用のアプリケーションであるUnityにリアルタイムで送信する。Unityでは、主に指のCGモデルの動きを扱う。この中で、一方の手のいずれかの指の第一関節から先端のみが伸縮するアニメーションを作成した。Unityがアクチュエータの位置情報をリアルタイムにモニタすることによって、指のCGモデルの伸縮の度合いとリニアアクチュエータの動きとを同期させることができる。また、Unity内の映像は、視野角110度を有するVRヘッドセットであるOculus Rift内のディスプレイに投影される。よく知られているように、Oculus Riftには加速度センサが内蔵されており、装着したユーザの頭の位置・回転に対して、CG空間上の視点をリアルタイムに追従させることが可能である。

3. 考察 – 本システムの可能性 –

1998年に発表されたRHIのオリジナルの誘導スキーマは、ラバーハンドに触れる<視覚>刺激と視界から隠された実際の手への<触覚>刺激を同期する視覚間の同期によるものであったが[1]、その後、RHIと類似した効果を生むには、種々の感覚を(時間的・空間的に)同期することそのものが重要であり、同期のモダリティとしては、<視覚>と<触覚>の組み合わせ以外でも種々のバリエーションが存在することがわかった。例えば、自己接触錯覚は、そもそも目を閉じた状態で生じるものであり、触る手の側の<触覚>と、触られる側の<触覚>という二種類の触覚の

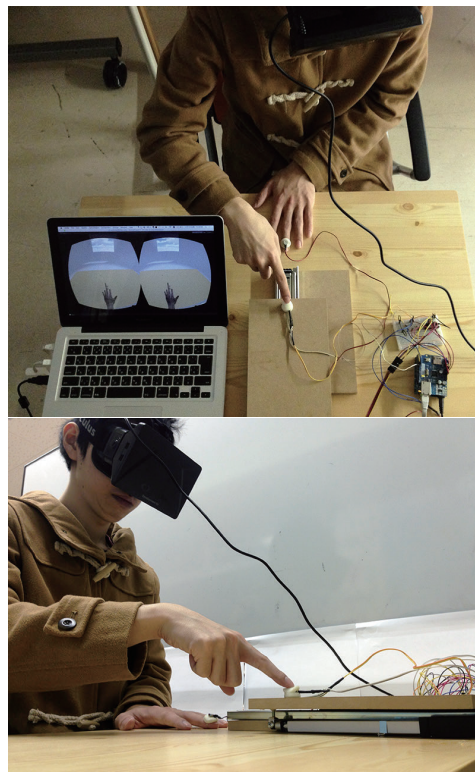


図3 Appearance of actual implementation

時間的同期が本質的な役割を果たしている[7]。データグローブ等を用いて、手の<運動感覚>と<視覚>刺激を同期させてRHIを誘導する研究も、近年多く発表されるようになってきている[10][11]。さらに、より最近になって、心拍情報といった<内受容感覚>(interoception)と<視覚>情報の同期によって、RHIの効果が高まること[12]、あるいは、<聴覚>情報とRHIの<視触覚>情報を同期することで、手のマテリアルに関する感覚を変質させること等[13]、興味深い報告が相次いでいる。

翻って、本システムは、自己接触錯覚を誘起する触覚間同期に加えて、HMD内のCGアニメーションのタイムフレームをリニアアクチュエータの位置変化に合わせることで、<固有感覚>(proprioception)と<視覚>との同期を新たに採用している。<固有感覚>は、骨格筋や関節包、皮膚に存在する感覚受容器などによって得られる感覚であり、主に(目を閉じていても感じられるような)身体各部の位置に関する情報を与えることができる。主観的に感じられる<固有感覚>が変容する現象は、もともとproprioceptive driftと呼ばれており、RHIや自己接触錯覚における他の感覚間同期の副作用として頻りに観察されてきたものである。本システムでは、<固有感覚>に対して(体験者の運動感覚の伴わないかたちで)明示的な変化を与え、視覚情報と同期させることによる副作用として、関連する身体像の変容を促進しようとする試みである。この意味で、本システムは、従来の関連研究と比較して特徴的な内部構成を持つ

ており、身体像の形成における〈固有感覚〉の役割を探るうえでの貢献が期待される。

今後は、本システムを使って、どのような要因が身体像の伸縮感覚の強度にクリティカルに影響するかについて検証する。例えば、図2で示したように、本システムは、触る指 (Adminstrating finger) と触られる指 (Receptive finger) を相互に入れ替えることで、二種類の構成をとることができる。これらを比較することで、触る側の指と触られる側のどちらの指が、より強い伸縮イメージを生みやすいかを検討することは興味深い。さらに、錯覚を誘起するうえでの時間的なプロセスをどのように構成するかという点も非常に興味深い問題である。例えば、リニアアクチュエータが動作する前段階で、あらかじめ安定した自己接触錯覚のイメージを十分に確立しておくことは、その後の、動的な伸縮イメージを安定的に形成するうえでの、重要な前提条件となるかもしれない。また、リニアアクチュエータが動作するタイミングを被験者が十分に意識できるようにすること、例えば、被験者の〈運動感覚〉と身体像の伸縮に関わるイベントとの間に、何らかの因果性を導入することもまた、錯覚に対してポジティブに作用すると考えられる。

以上の要素を考慮した実験系を設計することは、今後の重要な課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 25540090 の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- [2] Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews. Neuroscience*, 13(8), 556–71.
- [3] Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PloS One*, 3(12), e3832.
- [4] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First person experience of body transfer in virtual reality. *PloS One*, 5(5), e10564.
- [5] Van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: the size of one’s own body determines the perceived size of the world. *PloS One*, 6(5), e20195.
- [6] Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 270(1523), 1499–506.
- [7] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of neuroscience*, 25(45), 10564–73.
- [8] Kodaka, K., & Ishihara, Y. (2014). Crossed hands strengthen and diversify proprioceptive drift in the self-touch illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- [9] 小鷹研理, 石原由貴, 「仮想的な身体イメージの獲得を「学習」するための装置 —ラバーハンドを介してもう一方

の手に触れる方法 —」, 情報処理学会シンポジウム・インタラクション 2014, B2-6, インタラクティブ発表, 2014年2月

- [10] Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PloS One*, 5(4), e10381.
- [11] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own: A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 40.
- [12] Suzuki, K., Garfinkel, S. N., Critchley, H. D., & Seth, A. K. (2013). Multisensory integration across exteroceptive and interoceptive domains modulates self-experience in the rubber-hand illusion. *Neuropsychologia*, 51(13), 2909–17.
- [13] Senna, I., Maravita, A., Bolognini, N., & Parise, C. V. (2014). The Marble-Hand Illusion. *PloS One*, 9(3), e91688.