

XRAYSCOPE

今井健人^{†1} 小鷹研理^{†1}

本稿では、自分自身の手の表面を透視し、身体内部のオブジェクトに直接アクセスする感覚を誘発するインタラクティブ装置「XRAYSCOPE」の報告を行う。本装置は、心理学において幻肢痛を緩和させる装置として提案された Mirror Visual Feedback の鏡をハーフミラーに置き換え、鏡面奥側に一方の手を添えた状態で、鏡面手前側において、ペンなどの棒状のオブジェクトを透過した手の像と自身の鏡像が重なるような位置に適切に配置する。こうしたレイアウトにおいて、鏡面奥側に常時光を当てた状態で、鏡面手前側の体験者の保持する擬似照射デバイスにより、オブジェクトの各部に照射する光量を調整する。この手法により、擬似照射デバイスを通して自分の手を透かし、身体内部のオブジェクトを覗きみているような感覚（透視感覚）を生み出すことに成功した。また、このシステムを展示で公開し、アンケート調査を行ったところ、143 人の体験者のうち 80% が、自身の手を透視しているような感覚を強く感じると報告した。

1. イントロダクション

近年の実験心理分野における、身体所有感に関する研究では、被験者の手への触覚刺激と同時に、何も存在しない空間に視覚刺激を与えることで、「透明な身体」を所有している感覚を与えることや [1] [2]、被験者の手足の動きに対して、空の手袋と靴下の動きを同期させると、「透明な身体」に対する所有感が生じることが報告されている [3]。こうした報告は、現実には存在し得ない透明化した身体のイメージを、認識レベルでは比較的容易に想像可能であることを示唆するものである。自身の透明化した身体を認知させる技術は、身体表現の自由度を高めるエンターテインメントの分野のみならず、近年の実験心理研究が示すように、（主観的な痛みを軽減するような）身体表象に関わる神経ネットワークの再組織化にも有効である [4][5]。こうした分野への応用を想定し、透明化に対するより強力なリアリティーを獲得するには、体験者の主体性を反映させることが重要であると考えられる。

本研究では、こうした背景を踏まえて、体験者の意図した場所を狙って、自分自身の身体の一部を透明化する、全く新たな透視システムの設計を行うものである（図 1）。

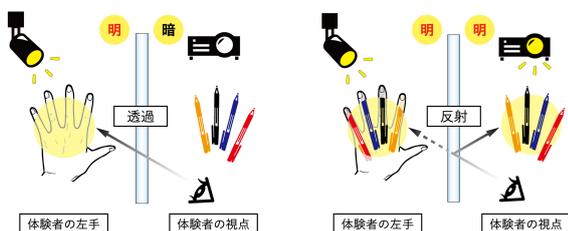


図 1 XRAYSCOPE の基本原理

本稿で発表するシステムは、昨年の「Best Illusion of the Year Contest 2020」において発表した同名の錯覚 XRAYSCOPE を下敷きとしている。以下では、特に区別する必要がある場合、このバージョンを XRAYSCOPE (BI) と表記する。この錯覚は、Mirror Visual Feedback [4] のシステムにおける鏡を

ハーフミラーに置き換え、恣意的な左右の明暗差によって透過と反射を切り替えるシンプルな装置によって誘導される。具体的には、鏡面奥側に一方の手を添えた状態で、鏡面手前側において、ペンなどの棒状のオブジェクトを、透過した自身の手の像とオブジェクトの鏡像が重なるような位置に適切に配置する。こうしたレイアウトにおいて、鏡面奥側の光量に対して、鏡面手前側の光量を 20% 程度にすると、鏡面手前側から奥側を覗く形で、ちょうど自身の手を透かしてオブジェクトを見ているような視覚像が得られる（図 2 は光量を、鏡面奥側：鏡面手前側 = 5:1 として、左手と骨の模型を配置した際のハーフミラー越しの手のイメージである）。



図 2 骨模型を用いた XRAYSCOPE

このような透過と反射の二つの作用を有するハーフミラーの特性を活用し、鏡面奥側に常時光を当てた状態で、体験者の保持するスマートフォンのライトを、オブジェクトの各部に照射することで、自分の手を透かし、身体内部のオブジェクトを覗きみているような感覚（透視感覚）を生み出すことに成功した（図 3）。

XRAYSCOPE (BI) において、採用しているスマートフォンのライトで照射を行う手法は、システムのコストを抑えるうえでは非常に有用である一方で、照射領域や調光の制御が困難である。本研究では、こうした問題を解決するために、照射区間や光量をプログラムで制御し、より自由度

^{†1} 名古屋市立大学
Nagoya City University

の高いインタラクションシステムを開発したので報告する。



図 3 スマートフォンによる XRAYSCOPE

2. インタラクションデザイン

XRAYSCOPE においても、ハーフミラーで切り分けられた左右の明暗差で、透過と反射を切り替える点については XRAYSCOPE (BI) と同様である。ただ、オブジェクト側の半空間への照射の手法のみが異なる。具体的には、オブジェクトへの照射は、卓上プロジェクター (Xperia Touch (SONY)) を光源として行う。照射位置は、体験者が保持するペン型の擬似照射デバイス (本システムでは市販のハンダゴテを使用している) によって特定する。この擬似照射デバイスには、Arduino と VIVE Tracker (HTC) が外付けされており、Arduino により、ハンダゴテに内蔵されたボタンによる ON と OFF が取得できるうえ、Tracker により、デバイスの実空間における空間情報がリアルタイムに取得される。これらの情報をもとに、Unity と Processing によって、デバイスの (仮想的な) 延長線と机面が交わる点が、卓上プロジェクターによる円形の映像によって追従されていく (図 4)。

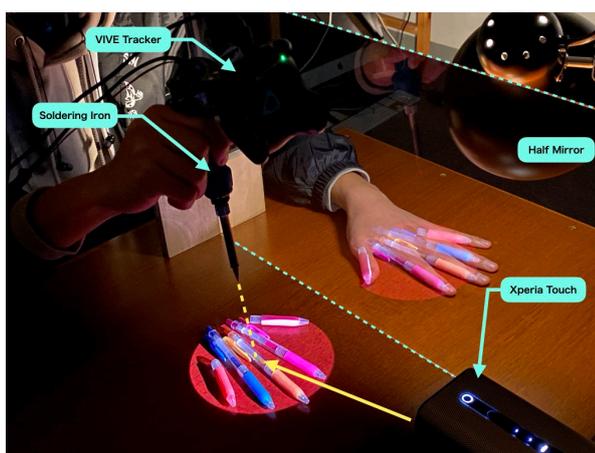


図 4 XRAYSCOPE 装置

この機構によって、あたかも、体験者は、ハンダゴテの先端から光が照射されているような感覚を得ることになる。さらに、擬似照射デバイスと机面との距離に応じて、照射半径のサイズ、および光量を変化させることによって、不

透明状態と完全な透明状態との両極を、段階的に往復する。すなわち、体験者は、デバイスの先端をオブジェクトに近づけたり、逆に遠ざけることによって、意図的に透視領域や透視の強度を調整することが可能である。加えて、はんだごての鋭い先端で、光源を遮らずにオブジェクトを直接に「つつく」ことによって、自分自身の半透明化した身体表面を貫通し、身体内部のオブジェクトに触覚的にアクセスしているような感覚を得ることも可能である。

3. 展示での反応

擬似照射デバイスを用いた「XRAYSCOPE」は、2020 年 11 月末に開催した研究室展示会で初めて公開された。多くの体験者は、自身の手の表面を透かして身体内部を見たり、つついたりすることで、「気持ち悪い」や「やばい」など声を震わせて感想を述べており、展示空間は、笑い声や興奮した声で溢れ返るものとなった。一方で、中には擬似照射デバイスを使用するかたちでの体験よりも、見ている方がより錯覚を感じるという感想も得られた。

展示では、ボールペンやスティック型のスナック菓子 (じゃがりこ) など、順次いくつかのオブジェクトを用いた体験をした後、「自身の身体内部を見ているような感覚 (透視感覚)」の問いに対して、-3~+3 の 7 段階評価で答える簡易的なアンケートを体験者 143 人に行った。その結果、80%の体験者が「強く感じる (2)」または「大変強く感じる (3)」という回答をし、また、「どちらでもない (0)」以下の評価をした人は 10 人にも満たない結果となった (図 5)。以上の結果は、XRAYSCOPE が透視感覚を誘導する上で、極めて個人差の少ないシステムであることを示している。

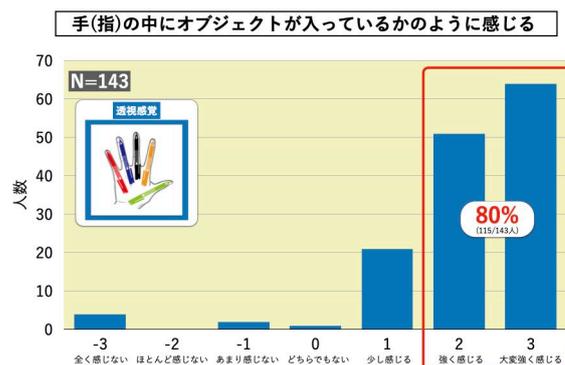


図 5 アンケート結果

特筆すべき点として、XRAYSCOPE の体験時に「ゾワゾワする」や「くすぐったい」など、体験者の手を直接触っていないにも関わらず、触覚に似た感覚が喚起されることも確認された。実験心理の過去研究では、視覚刺激のみで触覚が誘導される事例が報告されており [6][7]、加えて、XRAYSCOPE 環境においても、骨模型に対する視覚刺激のみで触覚刺激を誘発することも確認できたことから [8]、本

システムは、認知システムに普遍的に内在している視触覚に関わる共感覚性を増強しているものと考えられる。また、左手中指の打撲による行為障害を持つ体験者より、体験後のアンケートの自由記述欄に、「痛みが少し和らぎ動かしやすくなった」等の、使用時に限定した時間における痛みの緩和を指摘するコメントを得た。これは、身体変形錯覚などで報告されている事例[5] と共通しており、リハビリなどの医療分野への応用可能性を強く示唆するものである。

参考文献

- 1) Guterstam, A., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2013). The invisible hand illusion: multisensory integration leads to the embodiment of a discrete volume of empty space. *Journal of cognitive neuroscience*, 25(7), 1078-1099.
- 2) Guterstam, A., Zeberg, H., Özçiftci, V. M., & Ehrsson, H. H. (2016). The magnetic touch illusion: A perceptual correlate of visuo-tactile integration in peripersonal space. *Cognition*, 155.
- 3) Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M., & Kitazaki, M. (2018). Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity. *Scientific reports*, 8(1), 1-8.
- 4) Ramachandran, V. S., & Altschuler, E. L. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(7), 1693-1710.
- 5) Preston, C., & Newport, R. (2011). Analgesic effects of multisensory illusions in osteoarthritis. *Rheumatology*, 50(12), 2314-2315.
- 6) Durgin, F. H., Evans, L., Dunphy, N., Klostermann, S., & Simmons, K. (2007). Rubber hands feel the touch of light. *Psychological Science*, 18(2), 152-157.
- 7) Davies, A. M. A., & White, R. C. (2013). A sensational illusion: vision-touch synaesthesia and the rubber hand paradigm. *Cortex*, 49(3), 806-818.
- 8) 今井健人, 佐藤優太郎, 小鷹研理: XRAYSCOPE -ハーフミラーを用いた MVF による身体の透視及び透触視, 日本認知科学会第 38 回大会, 北星学園大学, 2021.9 (発表予定)