



デジタル空間における複数人触覚インタラクションに向けた 間主観性デザインの基礎検討 ～他者の身体への視覚的介入～

Preliminary Study on Intersubjectivity Design for Multi-Person Tactile Interaction in Digital Spaces
～Visual Intervention in Others' Bodies～

森田迅亮¹⁾, タナーパーソン¹⁾, 梅原路旦¹⁾, 脇坂崇平¹⁾, 南澤孝太¹⁾, 堀江新¹⁾

Jinsuke MORITA, Tanner PERSON, Rodan UMEHARA, Sohei WAKISAKA and Kouta MINAMIZAWA,
Arata HORIE

1) 慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, jinsuke.morita,
tannerperson, umehara.ab, a.horie, wakisaka, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 現実空間において対象物を通じて触覚のやり取りを行う際、人は他者の意図や感覚を的確に読み取ることができる。一方で、デジタルな空間においては他者の感覚を保証する物理的な制約が存在しないため、他者の感覚状態を推定することは困難である。そこで本研究では複数の主体が XR 空間で触覚インタラクションを行う際の体験設計として間主観性デザインを提案し、それを適用した体験の基礎的な検討を行う。特に、相手の身体上に視覚的な表現を加えることによって自己が物体から受ける感覚が変化するかを評価する。

キーワード: 触覚, 複数人触覚レンダリング, 拡張・複合現実, 間主観性

1. はじめに

デジタルな空間において身体性を伴うインタラクションが行われる時代が到来しつつある。例えば触覚提示技術はデジタルな空間を通じて触覚を得ることができる技術として発展し、XR における体験に身体性を生み出すものとして期待されている。このようなデジタルな空間における体験については主に主観体験を中心に研究が進められている。

現実空間で行われるような複数人での触覚インタラクションでは、主観的な体験だけではなく、相手側がどのように感じているのかを含めた間主観的な感覚の絡み合いによって円滑なやり取りが行われる。間主観性は 20 世紀初頭、フッサールの現象学で提示された主観性の新しい概念であり、主観性が単独ではなく、相互に機能を交錯させ共同的に働くという考え方である [1]。例えば、人は家具などの大きなものを複数人で運ぶ時、身体を通じて相手の意図を理解することで自分の進行方向や持ち方を変えたりすることができる。これは、相手側がどのように感じているのかを触覚を通じて理解することによって、次の動作を計画・実行し、その循環を生み出すことができるためである。この伝達を支えるのは物理法則の一貫性であり、物体を介していても力を加えれば相手に伝わり、力を感じれば相手からのものであることが自明となっている。

デジタル空間における複数人触覚インタラクションは必

ずしも成立するとは限らない。これは、デジタルな空間における体験においては物理的な制約による一貫性が担保されていないことや、物理挙動に応じた皮膚感覚を正確に再現する触覚ディスプレイが実現されていないことに起因する [4]。したがって複数人の触覚インタラクションをデジタル空間において実現するためには、間主観性の理解に基づき、デジタル空間に適したアプローチが必要である。堀江らが提案した Seeing is Feeling [2] や村田らが提案した DynamicDerm [5] は、デジタルな空間を通じて主体が知覚する触覚をデバイスや衣服の変形により観察者に伝達するものであるが、設計可能な視覚表現は限定的である。

そこで本研究はデジタルな空間における複数人での触覚インタラクション時の相手の身体表象に着目し、視覚的な効果を介入させることによる間主観性デザインを検討する。間主観性デザインは、主観経験を相互に伝達可能にすることによる円滑な身体性コミュニケーションを目指すものである。デジタルな空間における双方向の感覚情報伝達に適用することによって、現実空間で行われるような複数人での身体性を通じた円滑なコミュニケーションを実現できる可能性がある。本稿では MR 空間におけるバーチャルな物体を通じた触覚インタラクションを想定し、相手の身体に感覚状態を示す視覚効果を重畳する。この視覚効果を通じて、インタラクション全体のコンテキストに変化が生じる

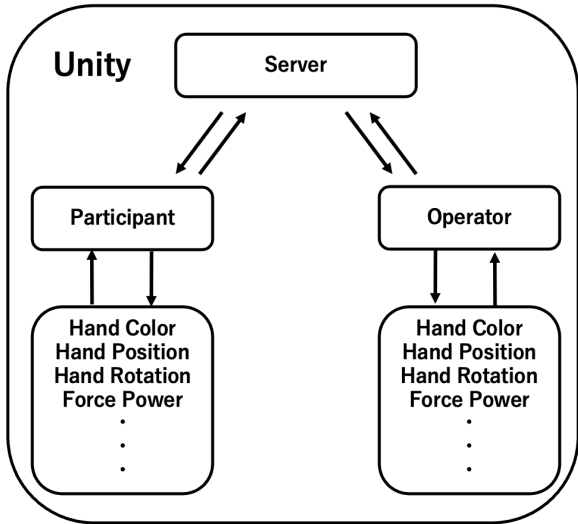


図 1: システム図

可能性について検討するための実験を行う。

2. 提案手法およびシステム構成

本研究では視覚的支持を取り入れることで、複数人触覚インタラクションにおける情報伝達を支援する手法を提案する。具体的には、ユーザー A および B が VR オブジェクトに触れた時、ユーザー A からユーザー B に VR オブジェクトを通じて伝達される触覚をユーザー B の身体上に視覚的に表現する。これにユーザー A はユーザー B に伝達される触覚情報を確認することができ、ユーザー A とユーザー B の感覚的合意を促す。

本稿では複数人 MR 触覚インタラクション時における視覚補助環境を開発した。図 1 にシステム図を示す。実験時には 2 台の PC を用いて実験を行い、データの同期を行う。また、今回複数人環境の構築にあたって、マルチプレイソリューションの一つである Normcore¹を用いてデータのネットワーク同期等を行う。

3. 実験

3.1 実験の目的

本実験は、VR オブジェクトを介した触覚インタラクションにおいて、相手の身体への視覚的效果によってインタラクションの解釈が変化する可能性を検討することを目的としている。最も直接的な手法として、相手がどのように感じていると推定するかを回答するような実験手法が考えられるが、実験の目的を知ることによるバイアスが生じる可能性が高い。そこで、本稿ではこのバイアスを避けるために、相手に力を及ぼした、相手から力を及ぼされたという自己側での感覚の変化を問うこととした。

3.2 実験条件

本実験には 3 つの視覚的な提示手法を条件として実験を実施した。各条件時における実験では被験者と実験者は同

じ現実座標上に同じ VR オブジェクトがあることを確認したら、その VR オブジェクトに手を当ててもらい、押し込む動作をしてもらう。その後各条件ごとに異なる実験を実施する。以下に各条件を記す。

図 2 に条件 1 の略図を示す。本条件では手を VR オブジェクトに押し込んだ量に応じて単色の応力線が表示される。

図 3 に条件 2 の略図を示す。本条件では手を VR オブジェクトに押し込んだ量に応じて手の色が図 4 に示す通りに変化する。

図 5 に実験の略図を示す。本条件では手を VR オブジェクトに押し込んだ量に応じて手の色と応力線が条件 2 と同様に化する。

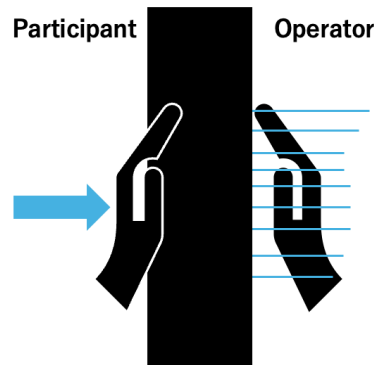


図 2: 条件 1: 応力線による視覚表現

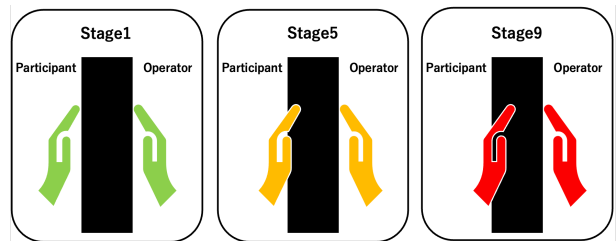


図 3: 条件 2: 手のグラデーション変化による視覚表現

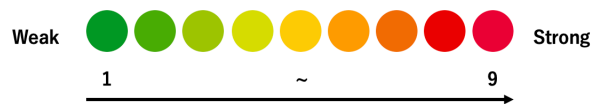


図 4: 色による強さの指標

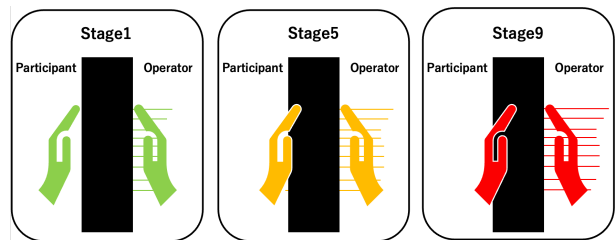


図 5: 条件 3: 応力線および手のグラデーション変化による視覚表現

¹<https://normcore.io/>

3.3 実験手順

本実験では P1～P3 の 3 人の被験者が参加した。参加者は HMD(Meta Quest 3, Meta) を装着し、3 種類の条件のもと実験を体験してもらった。実験時のイメージを図 6 に示す。参加者は目の前に表示された VR オブジェクトに触れるよう指示された。オペレータは参加者と同時に VR オブジェクトに触れ、その際に参加者に提示する映像としてオペレータの身体側に視覚表現を提示した。また、視覚表現提示後、被験者は条件 1～3 に対して、オペレータに力を加えている感覚であったのか、それとも加えられている感覚になったのかをそれぞれ回答した。またその回答を元に、力を加えたもしくは加えられた感の強かった条件の順番述べる半構造化インタビューを実施した。

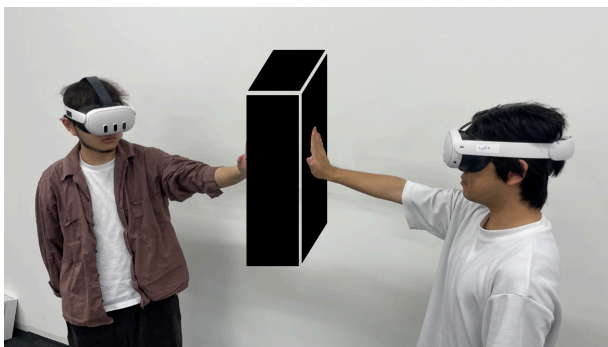


図 6: 実験イメージ

3.4 実験結果

実験条件 1 における実験では全ての被験者から「自分の力が前に伸びている感覚があることから力を加えている感覚がある」といったコメントが得られた。

条件 2 における実験では被験者 P2 と P3 がオペレータ側から力を加えられたと回答していた。その際、P2 からは「VR オブジェクトを押すと自分が色を変えたのではなく相手に変えられたという感覚になった」、P3 からは「ゼリーに手を押し当てて、押し返される感じがした」といったコメントが得られた。

また、条件 3 における実験では被験者 P2 と P3 がオペレータ側に力を加えた感じがしたと回答した。その際、P2 からは「自分の手の動きに合わせて線が変化する矢印が押している感覚を強くさせた。色だけによる押した感覚はなかった、ただ、矢印の方は色に応じて実際に力む、指に力が入った」、P3 からは「矢印のことが見える前まではオペレータから力を加えられていると感じたが、線を認識したら力を加えている感じがした」というコメントが得られた。一方、P1 からは「加えられている感覚になったが、バネのような反発感がある感じがした。押したら強くなるようなイメージ」といったコメントが得られた。

また最終的に、オペレータ側へ力を加えた力の感覚の大きさの順位づけを行ってもらったところ、P1 は条件 1、条件 2、条件 3 となり、P2 は条件 3、条件 1、条件 2 となり、P3 は条件 1、条件 3、条件 2 の順番となった。

4. 考察

実験の結果から、複数人触覚インタラクションのコンテキストは相手の身体の視覚表象に介入することによって変化する可能性があるといえる。実験条件 1 の時における結果から単色の応力線による提示手法は被験者が力を加えたと知覚しやすい傾向にあることがわかった。一方で、実験条件 2 の色のみ変わる場合では被験者が力を加えられたという感覚が報告されている。これらの結果から、視覚表象によって力のやり取りの方向づけが可能であるということが示唆される。

本稿の実験では相手の身体への視覚表現について検討を行ったが、その視覚表現のバリエーションや、自己の身体への視覚表現については今後検証が必要である。例えば、押した際の応力線の方向に応じて、力を加える、加えられるの感覚が変化する可能性がある。さらに、自己の身体への視覚表現によって、Pseudo Haptics [3] のような効果が得られる可能性がある。これらの視覚表現の設計は、自己と他者それぞれに対して独立に設計することが可能であり、得られる効果が明らかになることで複数人触覚インタラクションの設計可能性が開けると考えられる。

5. おわりに

本研究では、複数人触覚インタラクションに向けて、間主観性のデザインを取り入れた視覚的介入手法を提案した。実験において、互いに VR オブジェクトに触れている状況において、相手の身体に視覚表現を適用することによって自己が力を加える感覚・加えられる感覚に影響があるかの初期検討を行った。その結果、特定の条件において加えた・加えられたの感覚に偏りが生じる可能性が示唆された。今後は、実験結果を元に、より相手に及ぼす力の表示方法の最適化を目指すほか、条件において得られる効果をより詳細に確かめる。また、実際に触覚デバイスと組み合わせ、複数人触覚インタラクション環境を構築する予定である。

参考文献

- [1] Alessandro Duranti. Husserl, intersubjectivity and anthropology. *Anthropological theory*, 10(1-2):16–35, 2010.
- [2] Arata Horie, Ryo Murata, Zendai Kashino, and Masahiko Inami. Seeing is feeling: A novel haptic display for wearer-observer mutual haptic understanding. In *SIGGRAPH Asia 2022 Emerging Technologies*, pages 1–2. 2022.
- [3] Anatole Lécuyer. Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18(1):39–53, 2009.
- [4] Guillaume Millet, Sinan Haliyo, Stéphane Regnier, and Vincent Hayward. The ultimate haptic device: First step. In *World Haptics 2009-Third Joint Euro-Haptics conference and Symposium on Haptic Inter-*

faces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pages 273–278. IEEE, 2009.

- [5] Ryo Murata, Arata Horie, and Masahiko Inami. Dynamic derm: Body surface deformation display for

real-world embodied interactions. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2023*, pages 267–277, 2023.