



トレイグジスタンスの研究 (第 90 報)

—三人称視点で観察される自己身体への接触が自己の定位 に与える影響の検証—

山崎 喬輔¹⁾²⁾, 井上 康之¹⁾, サライジ ムハマドヤメン³⁾, 加藤 史洋¹⁾, 舘 暉¹⁾

1) 東京大学 高齢社会総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

2) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒277-9561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

3) 慶応義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒223-8526 神奈川県港北区日吉 4-1-1)

概要: 本稿では, 三人称視点から見る自分自身への接触が自己の定位に与える影響を検証するためのシステムを構築した. 被験者の背後に置かれた代理ロボットのカメラを介して見る自身の背中をロボットの手で触ることによって, 他者への接触を模擬した自己接触が可能になると考えられる. 本システムでは, 被験者の腕と手の動きを物理的なロボットではなく CG ロボットで再現し, 被験者視点の映像中に重畳する. 映像中の自身の背中に触ることによる背中への感触は, 振動で疑似的に提示する. 視覚・触覚の提示内容を変動させることで, 自己定位に与える影響を調べられることを期待する.

キーワード: テレイグジスタンス, 自己定位, 自己接触, 身体所有感

1. はじめに

1.1 背景

近年の VR の普及により, テレイグジスタンス[1]環境が実装しやすくなり, 今まで困難だった検証が実行可能になってきている. テレイグジスタンスに必要な高い臨場感や存在感は, どのようにして与えることができるかを検討し解明することは, 今後のテレイグジスタンスの発展のうえで必要不可欠である. そのためには, 人間の身体的な知覚, 感覚の特性を知ることが重要であり, 後述するように, 既に視覚のみを対象とした実験では興味深い結果が多く得られている. 今後は視覚のみならず身体全体を対象とした時の知覚の変化を知ることが重要になる.

1.2 自己の定位

同期した視覚的および触覚の手がかりは, ラバーハンド錯覚 (RHI) [2]や体外離脱体験 (OBE) [3]にみられるような, 自己定位の遷移を引き起こすことができる.

RHI では, 被験者が非自己のラバーハンドを注視した状態で, 本当の手とラバーハンドに同期した視触覚刺激を与えると, ラバーハンドが触れられた箇所へ身体所有感が生じ, ラバーハンドがあたかも自分の手のような感覚が生じる. 加えて, ラバーハンドが触れられた箇所方向への自己受容感覚のドリフトが起こる. また, このような身体所有感のシフトは自身の動きを反映する VR 空間内の対象に

も起こり得ることがわかっている[4], この場合はシフト対象が手の形状に似ていなくても知覚のシフトが起こることも報告されている[5].

OBE は RHI とは対照的に, 被験者への接触を被験者自身が三人称視点で観察できる時, 体全体の定位がその三人称視点へシフトすることが知られている.

この両者はいずれも外的な刺激であり, 被験者にとっては受動的刺激である. テレイグジスタンスでは遠隔地での作業も目的としているので, 能動的な刺激が自己の定位に与える影響も詳細に知る必要がある.

2. 関連研究

2.1 接触による自己定位の変化

古川ら[6]は, 触覚が自己の定位に与える影響を調べるため, 被験者が持つ棒の動きと同期したもう一本の棒を被験者の背後に置き, 自分で自分を突くという疑似的な自己接触環境で実験を行った. 被験者は HMD を介して, 自身後方にあるステレオカメラの映像を見ていて, 被験者が持つ棒を動かすとそのカメラの前にある棒も同期して動くことから, 被験者は体外離脱的な体験をする. そこで, 棒を突いたときの自分の手への反力, および棒の接触による背中への刺激があるかないかで, 被験者自身がどこにいるように感じるかを評価した. 結果, 被験者に提示される刺激が受動的か能動的かで自己定位の場所が変わることがわ

かった。手への反力があり、背中への刺激がない場合、棒への行為主体感も相まってそれは能動的な刺激と解釈され、自己の定位は本来いる場所より後方へシフトする。逆に、背中のみへの刺激は定位を前方へシフトする傾向にある。しかし、同実験では刺激を手および背中に与えない場合、後ろへシフトするとの報告があったり、手と背中両方への刺激提示では前にシフトしたりと、自己定位と触覚、視覚の関係は詳細に明らかになっていない。さらに、棒による刺激であったことから被験者の身体所有感についての言及はなされていない。前述のように、トレイグジスタンスはマスタスレーブロボットによる遠隔作業をも目的としているので、遠隔空間での身体所有感も重要な要素になる。したがって、今回の結果が実用的なトレイグジスタンス環境にそのまま適用できるかを結論付けるには、比較的被験者の自由度が高い検証が必要である。

2.2 自己接触による身体所有感の変化

原ら[7]は、VR空間上にある仮想的な手を能動的に触れることができるシステムを構築し実験した。結果、能動的な自己接触は、他動的な接触や RHI に比べてより強い自己所有感を得られることがわかった。これは、受動的な視覚および触覚の多感覚統合が自己所有感を強めるという以前の知見を拡張するものであり、身体の自己定位における能動的な自己接触の重要性を示した。

井上ら[8]は、VR空間上で、被験者の動きを反映するアバターロボットと鏡を用いて、一人称視点による自己接触が身体所有感にどのような影響を与えるかを調べた。結果、映像の遅延による身体所有感の低下は認められたが、自己接触の有無による身体所有感の差異は認められなかった。ユーザが想起するロボットの質感と自身の肌の質感の違いや映像中で指が腕に食い込んでしまうなどの物理的に不自然なイベントが所有感の低減につながった場合も考えられる。

3. 提案システム

3.1 目的

本研究はトレイグジスタンスに関する知見を得るための研究であるので、本実験はトレイグジスタンス環境を模擬した環境で行う。被験者の自己の定位に焦点を当て、能動的な自己接触が自己の定位にどのような影響を与えるかを実験で調べる。本実験では、被験者に与える行動自由度を大きくすることで、トレイグジスタンス環境により近づける。古川[6]らは、固定されたステレオカメラの映像を使用していたため、視覚の整合性の保つために被験者は動くことができなかった。

一方で、本実験で使用するステレオカメラは6 DOFのロボットに搭載されているので被験者の動きに頭と胴のそれぞれ3自由度が確保されている。また、提示刺激に関しても、提示箇所が一点のみだった古本らの実験に対して、本実験では提示範囲を一定の面積内としている。被験者が

見る映像中に関しても、被験者の腕、手指の動きと同期したCGロボットがあることから身体所有感も考慮することができる。これらのことから、本実験は古川らの実験に比べて被験者に与えられている裁量権が大きい。したがって、被験者の運動意図、身体所有感や行動主体感が自己定位に大きく関与すると考えられるので、トレイグジスタンスに関する実用的な知見が得られることを期待する。

3.2 システム概略

図1にシステムの概略図を示す。提案システムは映像系、力提示系、センサ系で構成される。被験者の背後にある6 DOF ロボットのカメラ映像を、被験者が装着しているヘッドマウントディスプレイ (HMD) に伝送することで被験者の視点のみが移される。そこで、被験者は前に見える自分の背中に触れるという試行を複数パターンで行う。その際、被験者の上半身の動きをセンシングし、被験者が見る映像内にその動きと同期したCGの上半身ロボットを重畳させる (図7参照)。

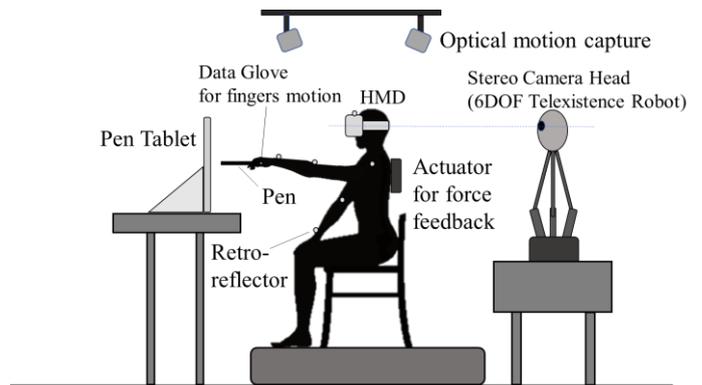


図1 システム概略図

3.3 センサ系

被験者の腕を含む上半身は光学式モーションキャプチャ「Optitrack」、手のキャプチャについては、それぞれの手に16個のIMUセンサを搭載したデータグローブ「IGS-Cobra Grove」(図2)を用いた。また、被験者の接触イベントを検知するのはペンタブレット「Intuos Pro, wacom」を使用した。



図2 手指運動計測グローブ

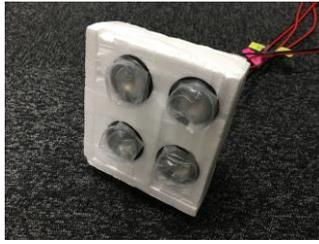


図 3 スピーカアレイ

3.4 力提示系

被験者への力提示には4つのスピーカ (AURA SOUND, NSW1-205-8A) を2×2にアレイ化したものを用いる。

(図3参照) オーディオインターフェース (RORAND, OCTACAPTURE UA-1010) を用いてパソコンから4chの独立信号を出力し、オーディオアンプ (S.M.S.L, SA60) を介してスピーカを駆動する。

3.5 映像系

被験者がHMDを介して見る映像空間は、ゲームエンジン「Unity」で開発する。これはHMD「Oculus Rift CV1」もサポートしていて、各セクションの統合が容易である。

6 DOF ロボットに搭載されたステレオカメラの映像はHMDに伝送する。図4は使用した6 DOF ロボット (Telbee, RT CORPORATION) である。頭部の3自由度 (roll:±51.6deg, pitch:-40~60deg, yaw:±100deg) と、デルタ機構を用いた腰部の3自由度 (上下:20cm, 前後:40cm, 左右:35cm) の計6自由度であり、HMDの位置トラッカで得られるHMDの位置、姿勢情報をもとに制御している。図5は、ロボットが被験者の姿勢を反映している様子である。ステレオカメラには、「OVRIVISION PRO」(解像度:960×950(片目), フレームレート:60FPS, 視野角:H100, V98(度))を用いた。また、その映像内にはセンサ系で取得した被験者上半身の動きと同期したCGロボットを重畳する。用いるCGロボット(図6参照)は胴部に6自由度、頭部に3自由度、腕部に7自由度、手度は両手で32自由度あり、人間と同等の姿勢をとることができる。上述したセンサから得られた被験者の各部位の位置情報や角度情報をもとに井上らが構築したロボットシミュレーションシステム[9]を用いて動かす。図7は被験者がHMDを介して見る映像であり、被験者の動きの同期した腕があることがわかる。



図 4 6DOF テレイグジスタンスロボット

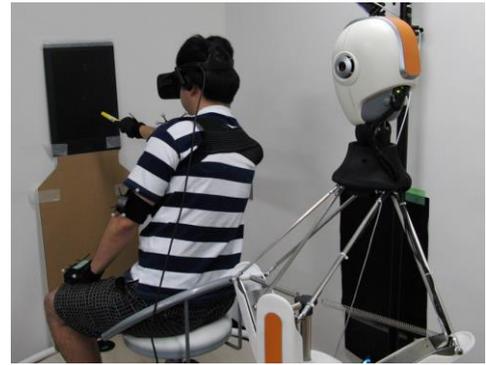


図 5 被験者の姿勢を反映している様子

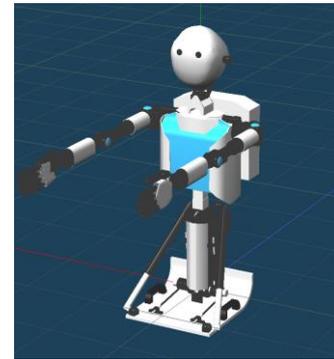


図 6 代理CGロボット



図 7 被験者視点の映像

4. 提案手法

4.1 実験設定

4.1.1 刺激パターン

本実験は、古川ら[5]の実験手法に則る。すなわち提示する触覚刺激を能動的か受動的かの二通りで分け、さらにその触覚刺激を被験者に提示するかしないかの二通りに分け、合計4つの刺激提示パターン (RA, NA, RP, NP) を定義する (図8参照)。そして同じ態同士を除いた計4つの組み合わせの状態をつくり、それぞれの状態で被験者の自己定位がどのように変化するかを調べる。

図8中の赤い三角印は、触覚をフィードバックする位置を示している。RAの場合、被験者がペンでペンタブに触れた時の手への反力を触覚フィードバックとしている。RPの場合は、被験者の背中に取り付けられている2×2のスピーカアレイの振動により触覚を提示する。RAとRPを

組み合わせた状態（以下 RARP；他の状態についても同様に略記）では、ペンがペンタブに触れた位置、圧力情報をもとにスピーカの振動振幅や各スピーカのゲインを変更する。NARP では VR 空間側のペン先の位置をもとに各スピーカのゲインを決定する。

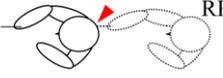
	Response	No Response
Active	 <p>RA</p> <p>Participants feel a force feedback as though they struck an object with the stick.</p>	 <p>NA</p> <p>Participants do not feel any responses even though they stretch their arm.</p>
Passive	 <p>RP</p> <p>Participants feel a force feedback as though someone struck their back with the stick.</p>	 <p>NP</p> <p>Participants do not feel any responses on their back even though they stretch their arm.</p>

図 8 四つの刺激パターン

4.1.2 テレイグジスタンス環境

被験者は、実験中は HMD を介して、被験者背後にあるテレイグジスタンスロボットに搭載されたステレオカメラ映像をリアルタイムで見る。この時、被験者はそのカメラ映像を図 6 の代理ロボットの一人称視点で見ている、かつ被験者自身の上半身（頭、胴、腕、手指）の動きと代理ロボットの動きが同期しているため、ロボットに自己を投射できる。この状態で被験者は映像中の自身の背中とインタラクションすることから、テレイグジスタンスに必要な三要件（3D Space, Self-Projection, Real-time Interaction）[1] を達成しているため、テレイグジスタンス環境が構築されているといえる。

4.2 手法

本実験では NANP を基準状態として、他の三つの状態へ移行することで被験者の自己定位の変化を調べることとする。

被験者は、図 9 のような試行を 1 試行とし、この試行を規定回数行う。1 試行での初期状態はすべて NANP、目標状態は 4 つの状態のうちからランダムで選ぶ。試行後は各被験者に主観的な評価を得るためにインタビューを行う。

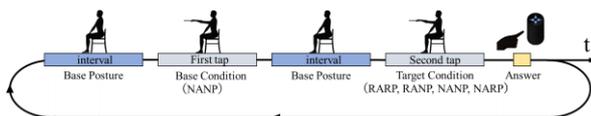


図 9 Experimental sequence in a trial

5. 今後の展望

本稿では、テレイグジスタンス環境において、三人称視点からの自己接触が自己の定位に与える影響を調べるための実験システムを提案した。今後はシステムを構築し、実験の健全性、妥当性を確認したのちに実験を行っていく。

謝辞 本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（ACCEL）「触原色に立脚した身体性メディア技術の基盤構築と応用展開」の支援によって行われた。

参考文献

- [1] Susumu Tachi, *Telexistence* (2nd Edition). World Scientific, 2015
- [2] J. C. Matthew Botvinick, “Rubber hands “feel” touch that eyes see,” *Nature*, no. 6669, p. 756, 1998.
- [3] H. H. Ehrsson, “The experimental induction of out-of-body experiences,” *Science*, vol. 317, no. 5841, p. 1048, 2007
- [4] Sanchez-Vives, Maria V., Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco, Mel Slater: Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations, *PloS one*, Vol.5, No.4, e10381 (2010).
- [5] Ma Ke. and Hommel Bernhard: The role of agency for perceived ownership in the virtual hand illusion, *Conscious. Cogn.*, Vol.36, pp. 277-288 (2015).
- [6] Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi, Voluntary Self-tapping Induces Self-localization Shift, *Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) 2014*, Edinburgh, Scotland, UK, pp.1075-1082 (2014)
- [7] Masayuki Hara, Polona Pozeg, Giulio Rognini, Takahiro Higuchi, Kazunobu Fukuhara, Akio Yamamoto, Toshio Higuchi, Olaf Blanke, and Roy Salomon. Voluntary self-touch increases body ownership. *Frontiers in Psychology*, 6:1509, 2015
- [8] Yasuyuki Inoue, Fumihiro Kato, MHD Yamen Saraiji, Charith Fernando, Susumu Tachi: Observation of Mirror Reflection and Voluntary Self-Touch Enhance Self-Recognition for a Telexistence Robot, *Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2017*, Los Angeles, California, pp.345–346 (2017)
- [9] 井上康之, サライジムハマドヤメン, フェルナンドチャリス, 加藤史洋, 山崎喬輔, 田島優輝, 館暲: テレイグジスタンスの研究 (第 8 9 報) —テレイグジスタンスのためのロボットシミュレーションシステム—, 第 2 2 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017