

2021 年度 修士論文

Social VR における

お互いの気配を認知できる UI の提案

提出日： 2022 年 1 月 24 日

指導： 山名 早人 教授

研究指導名：並列・分散アーキテクチャ 研究

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 情報理工・情報通信専攻
学籍番号：5120F047-0

田中 聖也

概 要

近年, Virtual Reality(VR)において, 初対面のプレイヤー同士が VR 空間内に用意された部屋で出会い, 交流することができる Social VR が注目を集めている. しかし, Social VR ではプレイヤーと他のプレイヤーはお互いを認知しにくく交流しにくいという問題がある. そこで本研究では, プレイヤーの存在を認知させる非言語コミュニケーション方法としてボディタッチに焦点を当て, プレイヤーが遠くにいる他のプレイヤーにボディタッチできるようにし, 交流の意志を伝えやすい UI を提案する. 評価実験では, 本稿で提案する UI が交流しやすい UI であるかを評価するために, VR 空間内に二人のプレイヤーがいる仮想的な部屋を用意し, 一方のプレイヤーがもう一方のプレイヤーに自分の存在を認知させて近づくというタスクを行ない, 交流に伴う恐怖感や抵抗感を問うアンケートを行う. 提案手法とプレイヤーの気配を伝える既存の UI を比較し, 本稿で提案するシステムの有用性を評価した. 評価の結果, 提案手法は遠くから静止している相手の体をたたくという操作を行う時, 人とのつながりをより感じるということがわかった. しかし, この時に相手が動いている場合は人とのつながりを感じる事が確認できなかった. また, 自身が動いている場合, 従来の視覚等では相手の交流意図を知ることが難しいが, 提案手法は, 動いている場合に相手の交流意図を恐怖感なく感じる事ができた. 一方で, 自身が動いていない場合は, 提案手法よりも従来手法の方が相手の交流意図を感じやすいことが分かった. これは, 提案手法においてボディタッチを行なうまで足音が聞こえないことが原因だと考えられる.

目次

第1章	はじめに.....	1
第2章	関連研究.....	3
2.1	視線の再現によって気配を強める方法.....	3
2.2	触覚の再現によって気配を強める方法.....	4
2.3	まとめ.....	5
第3章	気配を認知できる UI の提案.....	6
3.1	提案手法の内容.....	6
3.2	提案手法のインプリメント.....	7
第4章	評価実験.....	9
4.1	実験環境.....	9
4.2	概要.....	9
4.3	評価指標.....	14
第5章	評価結果と考察.....	15
5.1	被験者の属性.....	15
5.2	実験パターン.....	15
5.3	受動的プレイヤーが動かない場合の結果.....	16
5.3.1	被験者が受動的プレイヤーを担当する場合.....	16
5.3.2	被験者が能動的プレイヤーを担当する場合.....	18
5.4	受動的プレイヤーが動き回る場合の結果.....	20
5.4.1	被験者が受動的プレイヤーを担当する場合.....	20
5.4.2	被験者が能動的プレイヤーを担当する場合.....	23
5.5	人の存在を感じる点に対する自由回答の結果.....	25
第6章	おわりに.....	28
	参考文献	30
	研究業績	32
	付録	33

第1章 はじめに

近年, Virtual Reality(VR)は医療やエンターテインメント, コミュニケーションツールなど, 様々な分野で利用されており, VR 技術の応用範囲は広がりを見せている. VR 技術を用いた具体的な製品やサービスとしては, MindMotion¹という VR 技術を用いたリハビリテーションや, Playstation VR² という没入感のあるゲーム体験を提供するハードウェアなどが挙げられる. また, VR 技術により仮想空間を介して対面でコミュニケーションができる Social VR と呼ばれるサービスも登場し始めており, 現在では具体的な Social VR サービスとして, VR Chat³, Altspace VR⁴が提供されている. Social VR では VR 空間内でアバターと呼ばれるプレイヤーの代わりとなる仮想のキャラクターを用いてプレイヤー同士が対面で交流を行うことができるため, Social VR は新たなコミュニケーションツールとして注目されている. 一方で, 日常生活では動きによる振動や足音などの小さな音によって人の気配を感じ, 手を振るジェスチャーや様々なリアクションを行うことで交流の意志を他者に伝えることができる. しかし, 一般消費者向け VR 機器が提供する感覚刺激は Head Mounted Display (HMD)による視覚刺激や 2ch ヘッドフォンの聴覚刺激, コントローラの振動による触覚刺激の3つの刺激に限定され, Social VR 内で気配を感じる手がかりが少なく視覚に大きく依存しているため, 他者の気配を感じづらく交流の意志を伝えづらいという問題がある.

VR 技術は現実世界の刺激を減らし仮想世界の刺激を増やすヘッドマウントディスプレイ(HMD)や, ユーザの動きを捉えるトラッカーと正確な知覚フィードバックを提供する感覚刺激装置 によって構成される [1]. Social VR を含め, VR の分野ではプレイヤーが他のプレイヤーの存在を意識する際に Presence という感覚が生み出されるとされている. Presence とは, VR 技術によって提供される仮想世界に対するプレイヤーの行動と, プレイヤーの行動に伴う知覚フィードバックによって誘発される, 仮想世界の中に存在しているという感覚である [1]. 本稿では, 気配を他のプレイヤーに対して Presence を感じている状態だと定義する. Presence は, 主に HMD が伝える仮想世界の感覚的な刺激と, 主にトラッカーと感覚刺激装置が反映する VR 空間内の行動のいずれかに没入するときプレイヤーを感じるものであり, 感覚的な没入感が高いほど VR 空間に存在するという感覚が得られる [1]. したがって, Social VR において没入感を崩さずにプレイヤーに他のプレイヤーの気配を認知させるためには, HMD による感覚的な刺激とトラッカーによる VR 空間への能動的な関わりの 2 つの観点から, 自然に他のプレイヤーの気配を意識させる方法を考える必要がある.

¹ MindMotion – Neurorehabilitation across the continuum of care, <https://www.mindmaze.com/mindmotion/>

² PlayStation VR | PlayStation, <https://www.playstation.com/ja-jp/explore/playstation-vr/>

³ VRChat, <https://hello.vrchat.com/>

⁴ AltspaceVR: Home – AltspaceVR, <https://altvr.com/>

また、VR空間でプレイヤーが現実のように他のプレイヤーの気配を感じることができるようにするためには、視覚刺激だけでなく他の感覚刺激も組み合わせて、小さな足音や動きに伴う振動といった他のプレイヤーの気配につながる手がかりを増やすことが重要になると考えられる。加えて、プレイヤーが他のプレイヤーに交流の意志を伝えることができるようにするためには、ジェスチャーによる非言語的なコミュニケーションを現実に近い形で再現することが考えられる。

VR空間で他のプレイヤーの気配を強める方法として主に2つが提案されている。1つ目は視覚刺激を活用する手法 [2]であり、2つ目は触覚刺激を活用する手法 [3] [4]である。

視覚刺激を活用して視線のやり取りを再現する研究では、エージェントという実際のプレイヤーではないがVR空間内で人間のように振る舞う存在が用いられる。プレイヤーがエージェントをより人間らしく感じるように、アイトラッカーを用いてプレイヤーがどのように視線を送るかによってエージェントの反応を変えることで現実のような視線のやり取りによるコミュニケーションを再現する。

触覚刺激を活用して手が何かに触れる感覚を再現する研究では、触覚を刺激する手袋を用意するもの [3]や手の感触を再現した手の模型を用意するもの [4]がある。ボディタッチやハイタッチといったジェスチャーを行う際に触覚を上手く刺激することで手を用いたコミュニケーションを再現する。

以上の研究では、非言語的コミュニケーションをより現実近づけることで、VR空間内においてもプレイヤー同士の自然な交流が可能になったが、プレイヤーはお互いが見えて手が届く範囲でしか現実のようなコミュニケーションを体験することができないという問題がある。

そこで、本稿では上記の問題に対してVR空間内でお互いが目を合わせていなくてもプレイヤーが遠くから相手に交流の意志を伝えることができるユーザーインターフェース(UI)を提案する。具体的には、プレイヤーが遠くから他のプレイヤーの体を叩くジェスチャーを行ない、お互いの気配が立体音響で感じられるようにすることで相手に交流の意志を伝え、お互いの気配を感じることができるようになることを目指す。

以下、第2章で関連研究を述べる。次に、第3章で提案手法を述べる。そして第4章では、評価実験の概要と評価実験の結果を示す。最後に、第5章でまとめを示す。

第2章 関連研究

本章では、VR空間で交流の意志を伝える非言語コミュニケーションを利用して他のプレイヤーの気配（Presence）を強める既存研究について説明する。

2.1 視線の再現によって気配を強める方法

Vidalらは2015年にアイトラッキングを用いて視線を再現することでプレイヤーがスクリーンディスプレイ上でプレイヤー自身とエージェントとの視線のやり取りにさらに没入することを示した [5]。

Vidalらの研究 [5]を受けて、Kevinら [2]は、2018年にプレイヤーがVR空間において目の前のエージェントのPresenceを感じないという問題に対して、アイトラッカーを用いて視線を再現しプレイヤーの視線に応じたエージェントの反応が有効であるかについての検証を行った。

プレイヤーの視線を利用したインタラクションでは、アイトラッカーやHMDの向きによりプレイヤーの視線を検出し、プレイヤーの視線の先（エージェントの顔や物体）とプレイヤーの視線の向け方（瞬間的か、あるいは、継続的か）のパターンによってエージェントはプレイヤーへの反応を変える。プレイヤーの視線へのエージェントの反応をシミュレートすることで、プレイヤーとエージェント間のインタラクションの没入感を高め、エージェントのPresenceを意識させる。

評価実験では、エージェントとプレイヤーにそれぞれ教師役と生徒役の役割を持たせ、生徒役であるプレイヤーが教師役であるエージェントに相談を行うという状況を再現したVRコンテンツを体験する。Summer Lesson⁵などのVRゲームで使用されている、従来のHMDの向きを利用したインタラクションと、Kevinらが提案するアイトラッカーを利用したインタラクションそれぞれにおいてVRコンテンツを体験した後、Presenceや安心感、話が聞けたかといったエージェントへの印象に関する5項目(Social Presence, Rapport, Engagement, Social Attraction, Perception of Story)について、9段階リッカート尺度のアンケートを行い、評価を実施した。評価の結果、HMDの向きを視線とする従来の手法と比較して、提案手法は5項目全てにおいて高い得点を獲得し、ユーザエクスペリエンスの向上が示された。一方で、Presenceに近い項目であるSocial Presenceに関しては従来の手法と提案手法の間で有意差を確認することができず、提案手法がPresenceに有効であるかどうかについては示されなかった。なお、Social Presenceとは、仮想環境において他者が

⁵ Bandai Namco Entertainment. 2016. Summer Lesson. <http://summer-lesson.bn-ent.net/>

自分と共に存在することを感ずる能力である [6].

2.2 触覚の再現によって気配を強める方法

既存研究では触覚を再現し仮想空間内でボディタッチできるようにすることで他のプレイヤーの気配を強めることができる可能性が示されている。Giannopoulos ら [7]は、2008年に仮想環境を他のプレイヤーと共有する共有仮想環境(SVE)内で社会的相互作用の感覚を作り出す際に触覚フィードバックを用いた時の効果を検証した。その結果、触覚刺激を伴うコミュニケーションの手段として触覚フィードバックを用いることで他のプレイヤーの Presence を高めることができることを示している [7]。また、Sallnäs ら [8]は、2010年に仮想環境内で 2 人の間で物体を受け渡す際の触覚フィードバックの効果を検証した。その結果、触覚フィードバックによって他のプレイヤーの Presence を高めることができることを示している [8]。Sykownik ら [9]は、2020年に親密さの違いにおける仮想空間内のボディタッチの効果を検証した。その結果、ボディタッチは親密さの違いによって他のプレイヤーの Presence を有意に高めることを示すことはできなかったが、ボディタッチに伴う個人の快適さについて幸福と安心感と正の関連があることを示した [9]。

Fermoselle [3]らは、2020年に VR 空間でのコミュニケーションの体験を向上させ、ユーザ同士で社会的なインタラクションができるように、触覚デバイスを導入した共有型のマルチモーダル VR コミュニケーションフレームワークを提案し、システムの有用性を検証した。提案されたシステムでは、振動によって触覚を再現する手袋を導入することで、ユーザ同士のハイタッチや書類の手渡しといった触覚的なインタラクションに関するシミュレートを行う。システム評価では、VR に触覚が導入されることの重要性や、導入後の VR 体験の質の向上に関する評価を含めた、システムの品質や有効性、受容性についてのユーザアンケートを実施した。ユーザアンケートの結果、提案されたシステムは全体的に肯定的な評価が得られ、触覚でインタラクションをシミュレートする機能がビデオやオーディオ、トラッキングといったモダリティの中で最も好ましいものと評価された。

Hoppe ら [4]は、2020年に、エージェントの交流をより人間のものと意識させるためにソーシャルタッチを提案し、ソーシャルタッチがプレイヤーの知覚に与える影響を検証した。ソーシャルタッチはマイダス効果 [10]と呼ばれる心理経済学の現象を利用したものであり、感情や意図を伝える「体にタッチすることによる触覚の刺激」を示す。ソーシャルタッチによって、プレイヤーとエージェントの間で触覚によって物理的なインタラクションを行い、プレイヤーやエージェントの感情や意図を伝える。Hoppe らは、プレイヤーに与える触覚として、VR 空間のエージェントの動きと手動で同期する人の手の感触を再現した人工手の刺激を用いている。実験では VR 空間内でアバターかエージェントのどちらかがプレイヤーの肩をたたき、プレイヤーはアバターなのか、あるいは、エージェントなの

かを識別するタスクが設定された。評価では、4項目(Co-Presence, Embarrassment, Likeability, Perceived agency)について、7段階リッカート尺度を用いたアンケートが行われた。アンケートの結果、ソーシャルタッチがエージェントの人間らしさを意識させるものであるということが示された。

2.3 まとめ

本章では既存研究として VR 空間で他のプレイヤーの気配を強める研究やエージェントをより人間らしいふるまいにする研究について紹介した。既存研究の提案手法では、視線のやり取りやボディタッチといった非言語的コミュニケーションをより現実に近づけることでプレイヤーが VR 空間内でより自然に交流することができる。

Kevin らの手法 [2]でアイトラッカーを用いて視線を Social VR で再現する場合、相手がどこに視線を向けているかを把握するためお互いが目を合わせていなければならない、初対面の人に後ろから声をかけるといった場面では初対面の人が人の気配もないのに突然誰かから話しかけられ恐怖を感じる可能性がある。また、Fermoselle らの手法 [3]や Hoppe らの手法 [4]では VR 空間で近くにいる人に対するボディタッチを再現するが、初対面の人と交流をする場面ではプレイヤーと初対面の方は初め離れているため初対面の人に対してボディタッチを行なうことができないという問題がある。

第3章 気配を認知できる UI の提案

3.1 提案手法の内容

既存研究では視線の再現や触覚刺激によるボディタッチの再現でプレイヤーが交流するとき、他のプレイヤーの存在をより意識することができる。しかし、プレイヤーが初対面の人と交流するとき物理的に手が届く範囲よりも遠くから交流の意志を伝えなければならず、初対面の人と誰かと交流しているところにプレイヤーが交流の意志を伝えるとき初対面の人にはプレイヤーに目を合わせていないため、既存研究の手法は初対面の人の交流に不向きである。

本章では VR 空間内で初対面の人と交流しやすくするために、お互いが目を合わせていなくてもプレイヤーが遠くから相手に交流の意志を伝えることができる UI を提案する。VR 空間内でプレイヤーが体を叩くジェスチャーを行ない、遠くから他のプレイヤーにボディタッチできるようにし、ボディタッチした後お互いの気配が立体音響で感じられるようにすることで相手に交流の意志を伝え、お互いの気配を感じることができるようにすることを目指す。

図 3.1 過程 1 のようにプレイヤーが視界内にいる他のプレイヤーに対して交流の意志を伝える場合を考える。プレイヤーは図 3.1 過程 1 のように VR 空間内の自分の仮想的な手を視界内の任意の場所に飛ばし他のプレイヤーにボディタッチすることができる。ボディタッチしたときお互いがコントローラの振動と効果音を感じ、遠くからでも相手に交流の意志を伝えることができるようにする。そしてプレイヤーが他のプレイヤーにボディタッチした後、図 3.1 過程 2 のようにお互いの足音が立体音響で聞こえるようになり、お互いがお互いの存在を認知するとともに、足音を手がかりに会うことができる。

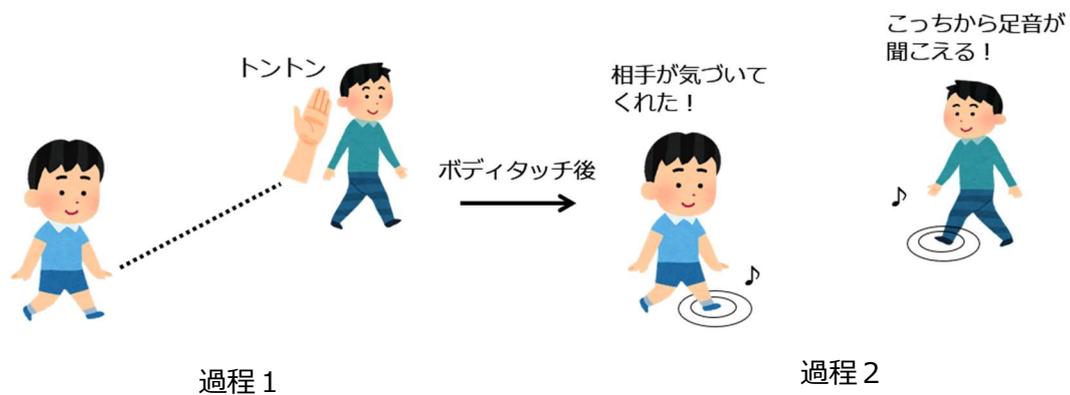


図 3.1 提案手法を用いたときの交流の流れ

VR 空間内で交流するときの UI について、本稿の提案手法と従来手法の違いを表 3.1 に示す。

表 3.1 提案手法と従来手法の違い

	提案手法	従来手法	
	遠くからボディタッチし足音が立体音響で聞こえる	視線を再現する [2]	ボディタッチを再現する [3] [4]
主な感覚刺激	聴覚・触覚	視覚	触覚
交流の充実度	◎	○	◎
交流できる範囲	◎	○	△

交流の充実度 ◎：人と接している感覚が得られる ○：安心感がある

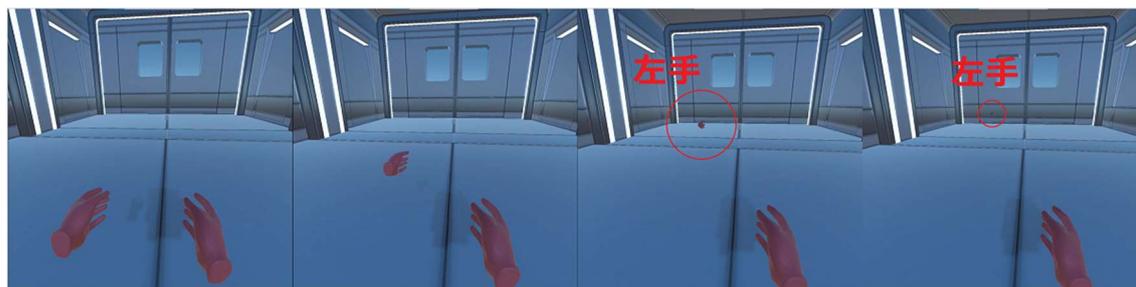
交流できる範囲 ◎：視界内 ○：視界内かつ視線をお互いに合わせているとき △：物理的に手が届く範囲

3.2 提案手法のインプリメント

提案手法のインプリメントにあたり、提案システムを構築するために開発環境として 3D アプリケーションを作ることができる Unity(version 2020.3.25f1)を用いた。そして提案システムが複数のプレイヤーに対応するようにマルチプレイヤーフレームワークである

PUN2(version 2.40)を用いた。また、VR 空間内でプレイヤーが遠くから他のプレイヤーにボディタッチできるように VR フレームワークでありコントローラの入出力を扱うことができる Oculus Integration(version 35.0)を用いて、コントローラのトリガーボタンの入力を取得した。そして取得された値を用いて VR 空間内の手の位置を変化させることで、図 3.2 のようにトリガーボタンの押し込み具合により VR 空間内の手がプレイヤーの正面の方向に飛んで行くことができるようにした。これによりプレイヤーはトリガーボタンを用いることで他のプレイヤーに遠くからボディタッチすることができる。なお、プレイヤーには当たり判定が設定されており、プレイヤーの手が体に触れるときコントローラが振動するようにしボディタッチの触感を再現している。

ボディタッチ後、立体音響で足音を繰り返し再生する。このとき立体音響を実現するために Oculus Integration 内の Oculus Spatializer を用いてモノラル音源の足音を立体音響で聞こえるように変換した。ボディタッチされたプレイヤーの位置から足音を立体音響で再生しており、ボディタッチしたプレイヤーは足音をもとにボディタッチされたプレイヤーに近づくことができる。



トリガーボタンを押しこんでいく

図 3.2 手の位置を固定したときの手がトリガーボタンで移動する過程

第4章 評価実験

本章では相手に交流の意志を伝えお互いの気配を感じることができるようになったかを検証する評価実験と評価指標を説明する。

4.1 実験環境

実験機材ではスタンドアロン型の VR デバイスである Oculus Quest2 を用いた。そのため被験者は Oculus Quest2 を外部のデバイスに接続しなくても回転いすに座り自由に周囲を見渡すことができる。また、VR 空間内の移動方法について、被験者は左手用コントローラのアナログスティックを用いて入力した方向に移動する。VR 空間内の方向転換について、被験者は回転いすの回転によって自分の向きを変える。

4.2 概要

本実験では、能動的プレイヤーと受動的プレイヤーの2名が必要となる。この内、片方を筆者が担当しもう片方を被験者に担当してもらい、被験者は最終的に両方の役割を体験する。以下では筆者を実験者と表現する。

ここで、タスクの内容の説明にあたり以下の用語を次のように定義する。

- ・ 能動的プレイヤー：交流しにいく役割を持つプレイヤーである。
- ・ 受動的プレイヤー：交流を待つ役割を持つプレイヤーである。
- ・ 実験者：実験に参加するプレイヤー2人のうちの1人でありアンケートによる評価を行なわない。実験内で能動的プレイヤーにも受動的プレイヤーにもなるプレイヤーである。
- ・ 被験者：実験に参加するプレイヤー2人のうちの1人でありアンケートによる評価を行なう。実験内で能動的プレイヤーにも受動的プレイヤーにもなるプレイヤーである。

実験者と被験者は図 4.1 のような実験フィールドで交流しにいく役割と交流を待つ役割に分かれて交流するタスクを行なう。このとき被験者は交流を待つ側の行動(動かずに周囲を観察する、VR 空間を歩き回る)と用いる UI(提案手法、ベースラインで用いられる UI)を変えながら VR 空間内でタスクを以下の手順で繰り返し行なうことになる。表 4.1 にタスクの手順ごとの実験者と被験者の能動的プレイヤーと受動的プレイヤーの割り当てを示す。

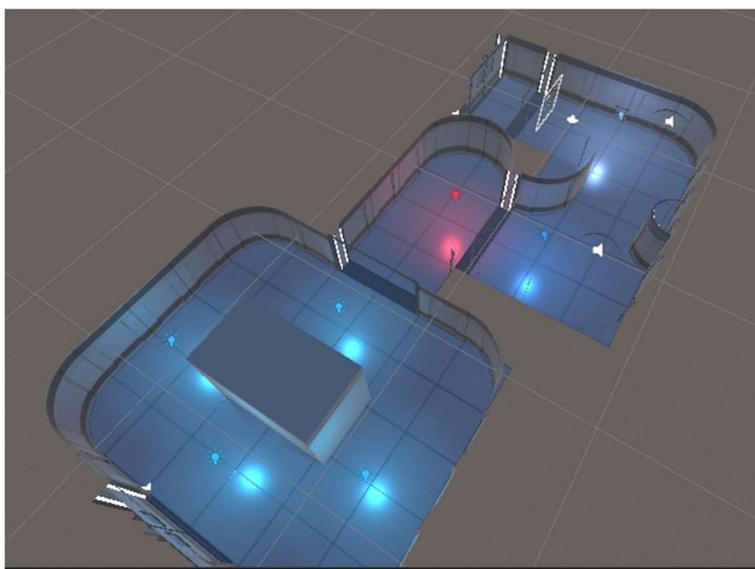


図 4.1 実験フィールド

タスクの内容：

1. 実験者を能動的プレイヤー，被験者を受動的プレイヤーとする．各プレイヤーは図 4.2 で示される位置に配置される．能動的プレイヤーは与えられた状況下(受動的プレイヤーが動かずに周囲を観察する，または受動的プレイヤーが VR 空間を歩き回る)で与えられた UI(提案手法や表 4.2 に示すベースライン手法の 1 種類)を活用して受動的プレイヤーに自分の存在を気づかせ手を用いたジェスチャーを行なうことで交流の意志を伝えようとする．
2. 被験者は交流の印象や気配の感じ方に関するアンケートに答える．
3. 実験者と被験者は手順 1 において役割を交代する．具体的には被験者を能動的プレイヤー，実験者を受動的プレイヤーとして再度 2 人で交流し，被験者は手順 2 で用いたアンケートに答える．

表 4.1 タスクの各手順ごとの実験者と被験者の役割の対応

	実験者	被験者
タスク手順 1	能動的プレイヤー	受動的プレイヤー
タスク手順 3	受動的プレイヤー	能動的プレイヤー

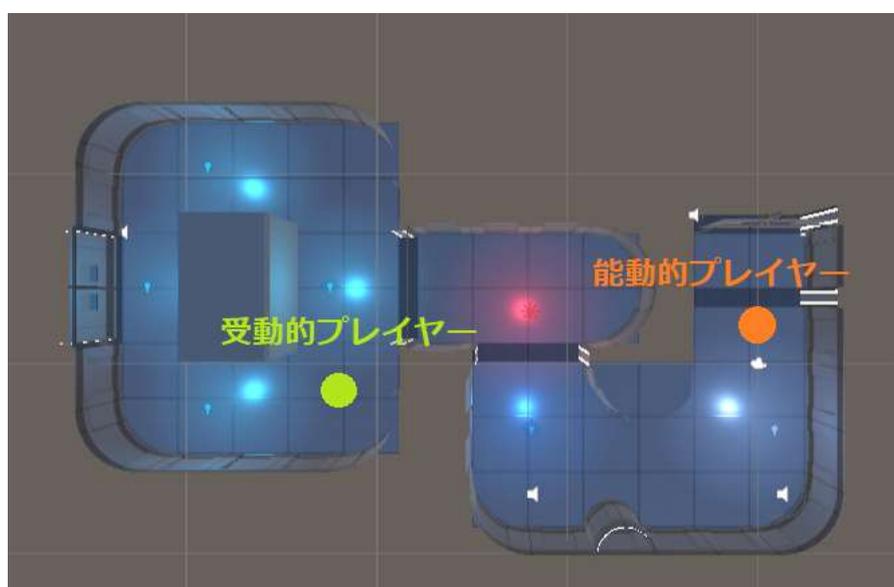


図 4.2 実験フィールド内の各プレイヤーの初期位置

表 4.2 提案手法とベースライン UI の特徴

気配の伝え方		主に視覚を使う	聴覚刺激	触覚刺激
提案手法	遠くからボディタッチを行なうと立体音響の足音が聞こえるようになる	×	○	○
	コントローラの移動で相手の体に近づいて VR 空間上で表現された手を用いてボディタッチを行なう	×	×	○
ベースライン	立体音響で足音が聞こえる	×	○	×
	全体マップから相手に信号を送る	○	○	×
	相手の視界内に入る	○	×	×

○：当てはまる ×：当てはまらない

具体的な実験の手順を以下に示す。なお、受動的プレイヤーは「動かずに周囲を観察する場合」と「VR空間内を動き回る」場合があるため、以下の2パターンで実験を実施する。

<実験1>受動的なプレイヤーは動かずに周囲を観察するという状況の中で

1. 実験者と被験者は提案手法の UI を用いてタスクの手順1, 2, 3を行なう。
2. 実験者と被験者はベースラインの UI (表 4.2) の内, 1種類を用いてタスクの手順1, 2, 3を行なう。

を行なう。

<実験2>受動的プレイヤーは VR 空間内を動き回るという状況の中で

1. 実験者と被験者は提案手法の UI を用いてタスクの手順1, 2, 3を行なう。
2. 実験者と被験者はベースラインの UI (表 4.2) の内, 1種類を用いてタスクの手順1, 2, 3を行なう。

を行なう。

被験者は最後に実験全体を通して人の存在を感じる点を自由に回答する。

なお、動かずに周囲を観察しているという状況は付近の物体を観察するために動かずに見ることに集中している場面を想定しており、VR空間を歩き回るといった状況はVR空間を見て楽しむ場面を想定している。また、実際の実験では体験するUIの順序による影響を考慮しベースラインのUIを先に行う実験を提案手法のUIを先に行う実験とほぼ同数になるように実施した。

被験者は実験1、実験2でそれぞれ能動的プレイヤーと受動的プレイヤーの2つの役割を必ず体験することになるため、実験1または実験2を完了するとき提案手法のUIを計2回体験し、ベースラインのUI(表4.2)の内1種類を計2回体験する。そのため、被験者は本実験で提案手法を計4回体験しベースラインのUI(表4.2)の内1種類を計4回体験する。なお、ベースラインのUI(表4.2)の内1種類は被験者ごとに割り当てられる。

表4.2で示されるベースラインのUIの内全体マップを用いるUIでは、自分と相手の位置が全体マップに表示されており、プレイヤーはコントローラのボタンを押すことで相手に通知音をモノラルで鳴らし自分の存在を相手に知らせる。

評価実験の際に被験者への説明の流れを以下に示す。

実験開始時の説明

本実験の説明をします。本日はこの実験フィールド(図4.1の画像を見せる)上で私とあなた2人で交流をしてもらい実験を行ないます。2人はそれぞれ交流する側と交流を待つ側の役割に分かれて手のジェスチャーを用いて交流します。交流するにあたって、相手に自分の存在を知らせる方法として2つの方法を体験してもらいます。1つ目は左手を投げて相手の体に触るとお互いの足音が立体音響で聞こえる方法です。(ここでコントローラの持ち方を実際に手にもって説明する)左手のコントローラの人差し指にあたるボタンを押すことで左手が投げられます。ボタンの押し込み具合によって左手を投げる距離が変わってきます。実験開始前に左手を投げる動作の確認の時間をとります。

2つ目は(ベースラインの説明)

ボディタッチの場合：相手に近づいてVR空間内で手で触って知らせる方法になります。触ったときコントローラが振動します。

立体音響の場合：お互いの足音が立体音響で聞こえる方法になります。

全体マップの場合：全体マップが表示されていて、マップが表示されているときにこのボタンを押して通知音で相手に知らせる方法になります。このボタンを押すことでマップの表示・非表示を切り替えます。

視界内に入る場合：相手の視界内に入ることで自分の存在を相手に知らせる方法になります。

実験1開始時の受動プレイヤーの状況の説明

今回、交流を待つ側(受動プレイヤー)は周囲を見渡しながらか交流を待ってもらいます。周囲を見渡すときは回転いすで回ってください。

実験2開始時の受動プレイヤーの状況の説明

今回は先ほどの実験(実験1)と基本的に同じように交流してもらいますが、先ほどの実験と違う点としては交流を待つ側が部屋内を探索してもらうというものになります。

4.3 評価指標

評価のために4段階リッカート尺度のアンケートを用いる。アンケートの項目に対して、1.全く同意しない、2.やや同意しない、3.やや同意する、4.とても同意する

の4段階で評価する。アンケートの項目は表4.3の通りである。項目はKortらのアンケート[11]をもとに設定され、本実験の設定に合うようにいくつかの項目が削除され恐怖感や抵抗感を問う項目が追加された。

表 4.3 アンケート項目一覧

分類	項目
Empathy(E)	他の人とのつながりを感じた
Negative feelings(NF)	私は相手を見無視する傾向があった
	相手が私を見無視する傾向があった
	相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった
	相手の存在に対して抵抗感をもった
Behavioral Engagement(BE)	私の行動は相手の行動に依存していた
	他者の行動は、私の行動に依存していた
	他の人の行動が私の行動に影響した
	私の行動が相手の行動に影響を与えた
	相手は私に注目していた
	私は相手に注目していた
	自分の意図が相手に伝わった
	相手の意図が私に伝わった

第5章 評価結果と考察

本章では評価結果を示し，評価結果に対する考察を行う．

5.1 被験者の属性

被験者は計 19 人(男性 10 人，女性 9 人)であり，19 人中 7 人の被験者が VR を体験したことがあった．

5.2 実験パターン

19 人の被験者は全員，提案手法を体験するが，体験したベースラインの UI (表 4.2) は被験者によって異なる．提案手法を体験する順序を踏まえた被験者に割り当てられるベースライン手法の UI の実験数を表 5.1 に示す．また，実験パターンと各節の対応を表 5.2 に示す．

表 5.1 提案手法の実施順序に対するの被験者へのベースライン UI の割当

ベースラインの UI の 種類 提案手法の実施順序	物理的ボディタッチ	足音通知	全体マップ通知	視界内出現	実験人数合計
ベースラインの UI を先に行った	2 人	3 人	2 人	3 人	10 人
提案手法の UI を先に行った	3 人	2 人	2 人	2 人	9 人
実験人数合計	5 人	5 人	4 人	5 人	19 人

表 5.2 実験パターンと各節の対応

被験者の役割 状況	受動的プレイヤーが動かない	受動的プレイヤーが動き回る
被験者が受動的プレイヤーを担当する	5.3.1 節	5.4.1 節
被験者が能動的プレイヤーを担当する	5.3.2 節	5.4.2 節

5.3 受動的プレイヤーが動かない場合の結果

5.3.1 被験者が受動的プレイヤーを担当する場合

受動的プレイヤーが動かずに周囲を観察するという状況下で、実験者（筆者）が能動的プレイヤーを担当し被験者が受動的プレイヤーを担当したとき、アンケート各項目に対する被験者の評価値の平均値と標準偏差を表 5.3 に示し、提案手法とベースライン手法の評価値の箱ひげ図を図 5.1 に示す。このときアンケート各項目に対する提案手法の分布とベースライン手法の分布の間でそれぞれ対応のある t 検定を行なったときの検定統計量と p 値を表 5.4 に示す。なお、被験者は受動的プレイヤーを演じており行動しないことが求められているため、被験者自身の行動に関するアンケート項目は評価対象外であり灰色の網掛で示す。

表 5.4 の統計的有意差がある項目で示されるように、受動的プレイヤーが動かずに周囲を観察するという状況下で、受動的プレイヤーは以下のことを感じる。

- ・ ベースラインが用いられることで他の人のつながりをより感じる。
- ・ ベースラインが用いられることで相手の意図が私に伝わったと感じる。

以上のことから、交流を動かずに待っている状況下では周囲を観察しているプレイヤーは提案手法を用いて交流されることによって他の人のつながりを感じにくく交流する意図を感じにくいことが分かる。

表 5.3 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の平均値と標準偏差

項目	提案手法		ベースライン手法	
	平均値[—]	標準偏差[—]	平均値[—]	標準偏差[—]
他の人とのつながりを感じた	2.789	1.032	3.105	0.875
私は相手を無視する傾向があった	1.263	0.562	1.368	0.684
相手が私を無視する傾向があった	1.158	0.501	1.105	0.315
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	1.579	0.902	1.474	0.772
相手の存在に対して抵抗感をもった	1.474	0.697	1.474	0.841
私の行動は相手の行動に依存していた	2.632	1.212	2.526	1.124
他者の行動は、私の行動に依存していた	1.737	0.872	1.474	0.772
他の人の行動が私の行動に影響した	2.684	0.946	2.947	1.079
私の行動が相手の行動に影響を与えた	2.263	1.098	1.737	0.991
相手は私に注目していた	3.579	0.607	3.632	0.597
私は相手に注目していた	3.368	0.684	3.316	0.749
自分の意図が相手に伝わった	3.053	0.780	2.842	1.068
相手の意図が私に伝わった	2.842	0.834	3.211	0.713

表 5.4 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の間の t 検定結果

項目	検定統計量[—]	p 値[—]	有意差があるか (有意水準 0.05)
他の人とのつながりを感じた	2.364	0.030	○
私は相手を無視する傾向があった	0.809	0.429	×
相手が私を無視する傾向があった	0.369	0.716	×
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	0.383	0.706	×
相手の存在に対して抵抗感をもった	0.000	1.000	×
私の行動は相手の行動に依存していた	0.438	0.667	×
他者の行動は、私の行動に依存していた	1.157	0.262	×
他の人の行動が私の行動に影響した	1.045	0.310	×
私の行動が相手の行動に影響を与えた	2.137	0.047	○
相手は私に注目していた	0.369	0.716	×
私は相手に注目していた	0.252	0.804	×
自分の意図が相手に伝わった	1.000	0.331	×
相手の意図が私に伝わった	2.111	0.049	○

○：有意差がある ×：有意差があるとはいえない

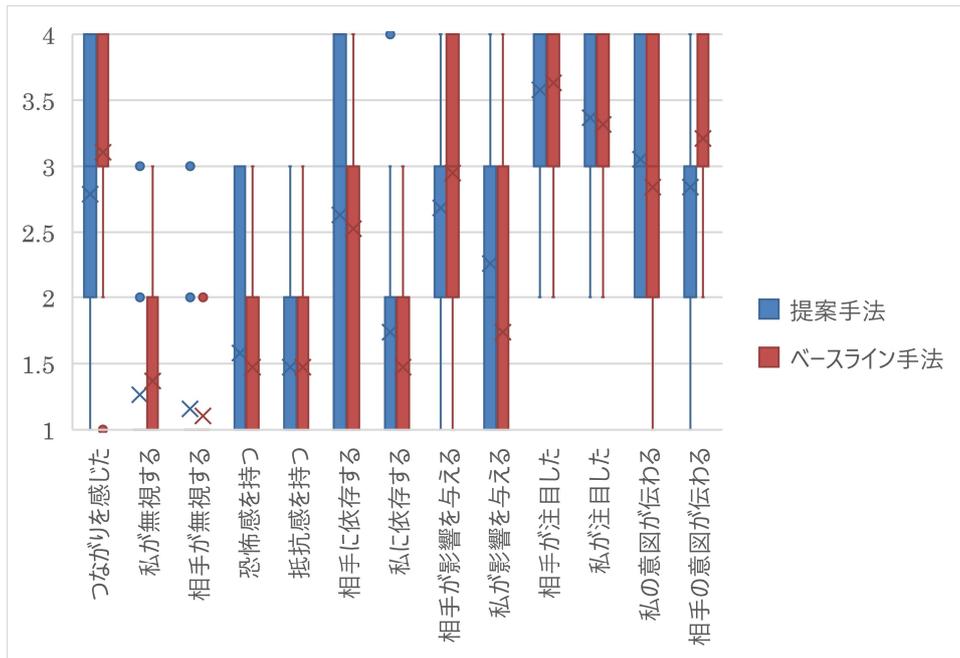


図 5.1 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の箱ひげ図

5.3.2 被験者が能動的プレイヤーを担当する場合

受動的プレイヤーが動かずに周囲を観察するという状況下で、実験者（筆者）が受動的プレイヤーを担当し被験者が能動的プレイヤーを担当したとき、アンケート各項目に対する被験者の評価値の平均値と標準偏差を表 5.5 に示し、提案手法とベースライン手法の評価値の箱ひげ図を図 5.2 に示す。このときアンケート各項目に対する提案手法の分布とベースライン手法の分布の間でそれぞれ対応のある t 検定を行なったときの検定統計量と p 値を表 5.6 に示す。

表 5.6 の統計的有意差がある項目で示されるように、受動的プレイヤーが動かずに周囲を観察するという状況下で、能動的プレイヤーは以下のことを感じる。

- ・ 提案手法を用いることで他の人のつながりをより感じる。

以上のことから、交流しようと思うプレイヤーが動かずに待っている状況下では、能動的プレイヤー（交流しに行くプレイヤー）は提案手法を用いて交流しようと思うプレイヤーに交流することで人の気配を感じたとき人のつながりを感じやすくなることが分かる。

表 5.5 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の平均値と標準偏差

項目	提案手法		ベースライン手法	
	平均値[—]	標準偏差[—]	平均値[—]	標準偏差[—]
他の人とのつながりを感じた	3.211	0.855	2.895	0.809
私は相手を無視する傾向があった	1.263	0.562	1.263	0.562
相手が私を無視する傾向があった	1.211	0.535	1.211	0.419
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	1.316	0.671	1.368	0.684
相手の存在に対して抵抗感をもった	1.316	0.671	1.211	0.535
私の行動は相手の行動に依存していた	2.211	1.134	1.895	1.197
他者の行動は、私の行動に依存していた	2.211	1.084	2.263	1.098
他の人の行動が私の行動に影響した	2.263	0.933	1.789	0.918
私の行動が相手の行動に影響を与えた	2.632	1.065	2.632	0.955
相手は私に注目していた	3.368	0.684	3.053	0.911
私は相手に注目していた	3.684	0.478	3.579	0.692
自分の意図が相手に伝わった	3.368	0.761	3.526	0.612
相手の意図が私に伝わった	3.158	0.765	2.895	1.100

表 5.6 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の間の t 検定結果

項目	検定統計量[—]	p 値[—]	有意差があるか (有意水準 0.05)
他の人とのつながりを感じた	2.364	0.030	○
私は相手を無視する傾向があった	0.000	1.000	×
相手が私を無視する傾向があった	0.000	.1.000	×
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	0.438	0.667	×
相手の存在に対して抵抗感をもった	1.455	0.163	×
私の行動は相手の行動に依存していた	1.189	0.250	×
他者の行動は、私の行動に依存していた	0.271	0.790	×
他の人の行動が私の行動に影響した	2.024	0.058	×
私の行動が相手の行動に影響を与えた	0.000	1.000	×
相手は私に注目していた	1.837	0.083	×
私は相手に注目していた	0.622	0.542	×
自分の意図が相手に伝わった	1.372	0.187	×
相手の意図が私に伝わった	1.097	0.287	×

○：有意差がある ×：有意差があるとはいえない

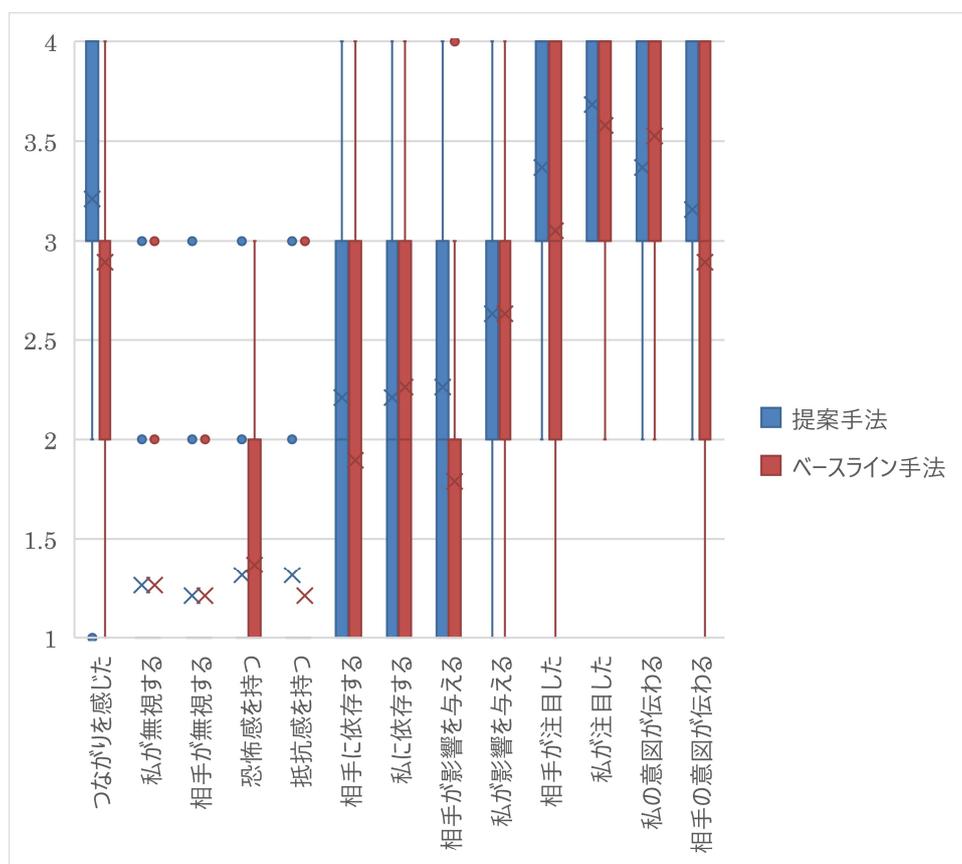


図 5.2 受動的プレイヤーが動かない状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の箱ひげ図

5.4 受動的プレイヤーが動き回る場合の結果

5.4.1 被験者が受動的プレイヤーを担当する場合

受動的プレイヤーが VR 空間内を動き回るという状況下で、実験者（筆者）が能動的プレイヤーを担当し被験者が受動的プレイヤーを担当したとき、アンケート各項目に対する被験者の評価値の平均値と標準偏差を表 5.7 に示し、提案手法とベースライン手法の評価値の箱ひげ図を図 5.3 に示す。このときアンケート各項目に対する提案手法の分布とベースライン手法の分布の間でそれぞれ対応のある t 検定を行なったときの検定統計量と p 値を表 5.8 に示す。

表 5.8 の統計的有意差がある項目で示されるように、受動的プレイヤーが VR 空間内を動き回るという状況下で、受動的プレイヤーは以下のことを感じる。

- ・ 提案手法を用いることで相手の存在に気づいたとき恐怖感を持ちにくい。

- ・ 提案手法を用いることで相手の意図が自分に伝わったように感じやすくなる。

以上のことから、交流を待つプレイヤーが VR 空間内を動き回る状況下では、交流を待つプレイヤーは提案手法を用いて交流されるとき恐怖感を持ちにくく相手の交流する意図を把握しやすくなる事が分かる。

表 5.7 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法の評価値の平均値と標準偏差

項目	提案手法		ベースライン手法	
	平均値[—]	標準偏差[—]	平均値[—]	標準偏差[—]
他の人とのつながりを感じた	2.632	1.012	3.000	1.000
私は相手を無視する傾向があった	2.000	1.054	1.684	1.003
相手が私を無視する傾向があった	1.263	0.562	1.211	0.535
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	1.263	0.452	1.632	0.831
相手の存在に対して抵抗感をもった	1.105	0.315	1.368	0.597
私の行動は相手の行動に依存していた	2.263	1.046	2.000	1.054
他者の行動は、私の行動に依存していた	2.474	1.020	2.158	1.068
他の人の行動が私の行動に影響した	2.421	1.071	2.421	0.902
私の行動が相手の行動に影響を与えた	2.632	1.212	2.474	1.020
相手は私に注目していた	3.684	0.478	3.632	0.597
私は相手に注目していた	2.842	0.688	2.895	0.994
自分の意図が相手に伝わった	2.842	0.834	2.684	0.946
相手の意図が私に伝わった	3.421	0.838	3.158	0.834

表 5.8 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法の評価値の間の t 検定結果

項目	検定統計量[—]	p 値[—]	有意差があるか (有意水準 0.05)
他の人とのつながりを感じた	1.933	0.069	×
私は相手を無視する傾向があった	1.372	0.187	×
相手が私を無視する傾向があった	0.369	0.716	×
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	2.111	0.049	○
相手の存在に対して抵抗感をもった	2.041	0.056	×
私の行動は相手の行動に依存していた	1.097	0.287	×
他者の行動は、私の行動に依存していた	1.102	0.285	×
他の人の行動が私の行動に影響した	0.000	1.000	×
私の行動が相手の行動に影響を与えた	0.678	0.506	×
相手は私に注目していた	0.369	0.716	×
私は相手に注目していた	0.252	0.804	×
自分の意図が相手に伝わった	0.900	0.380	×
相手の意図が私に伝わった	2.535	0.021	○

○：有意差がある ×：有意差があるとはいえない

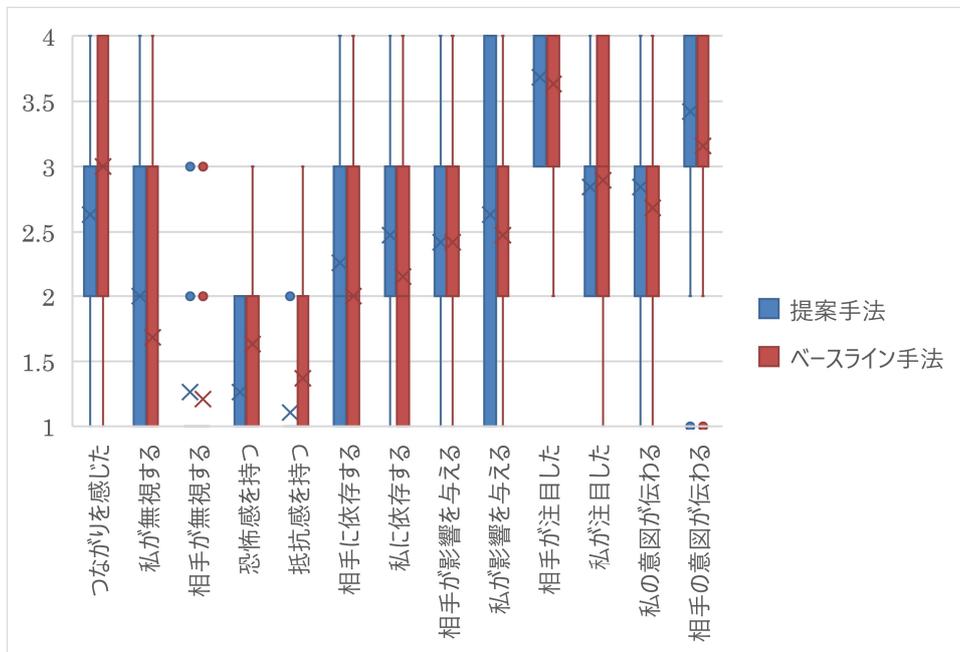


図 5.3 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する受動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法の評価値の箱ひげ図

5.4.2 被験者が能動的プレイヤーを担当する場合

受動的プレイヤーが VR 空間内を動き回るという状況下で、実験者（筆者）が受動的プレイヤーを担当し被験者が能動的プレイヤーを担当したとき、アンケート各項目に対する被験者の評価値の平均値と標準偏差を表 5.9 に示し、提案手法とベースライン手法の評価値の箱ひげ図を図 5.4 に示す。このときアンケート各項目に対する提案手法の分布とベースライン手法の分布の間でそれぞれ対応のある t 検定を行なったときの検定統計量と p 値を表 5.10 に示す。

表 5.10 に統計的有意差がある項目が存在しないことから、交流しようと思うプレイヤーが VR 空間内を動き回るという状況下では、能動的プレイヤー（交流しに行くプレイヤー）は提案手法を用いてもベースライン手法を用いても気配の感じ方に違いを見いだせないことが分かる。

表 5.9 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法の評価値の平均値と標準偏差

項目	提案手法		ベースライン手法	
	平均値[—]	標準偏差[—]	平均値[—]	標準偏差[—]
他の人とのつながりを感じた	3.000	0.882	2.895	0.809
私は相手を無視する傾向があった	1.158	0.375	1.316	0.671
相手が私を無視する傾向があった	1.789	1.084	1.895	0.937
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	1.316	0.671	1.053	0.229
相手の存在に対して抵抗感をもった	1.053	0.229	1.053	0.229
私の行動は相手の行動に依存していた	2.737	1.098	2.789	1.134
他者の行動は、私の行動に依存していた	2.000	1.054	1.579	0.692
他の人の行動が私の行動に影響した	2.526	1.172	2.789	1.182
私の行動が相手の行動に影響を与えた	2.368	0.895	2.421	0.902
相手は私に注目していた	2.789	0.918	2.947	0.970
私は相手に注目していた	3.684	0.582	3.789	0.419
自分の意図が相手に伝わった	3.211	0.976	3.263	0.872
相手の意図が私に伝わった	3.263	0.872	3.316	0.671

表 5.10 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法の評価値の t 検定結果

項目	検定統計量[—]	p 値[—]	有意差があるか (有意水準 0.05)
他の人とのつながりを感じた	0.438	0.667	×
私は相手を無視する傾向があった	1.372	0.187	×
相手が私を無視する傾向があった	0.490	0.630	×
相手の存在に気づいたとき恐怖感をもった	1.756	0.096	×
相手の存在に対して抵抗感をもった	0.000	1.000	×
私の行動は相手の行動に依存していた	0.236	0.816	×
他者の行動は、私の行動に依存していた	1.714	0.104	×
他の人の行動が私の行動に影響した	1.045	0.310	×
私の行動が相手の行動に影響を与えた	0.236	0.816	×
相手は私に注目していた	0.825	0.420	×
私は相手に注目していた	1.000	0.331	×
自分の意図が相手に伝わった	0.294	0.772	×
相手の意図が私に伝わった	0.294	0.772	×

○ : 有意差がある × : 有意差があるとはいえない

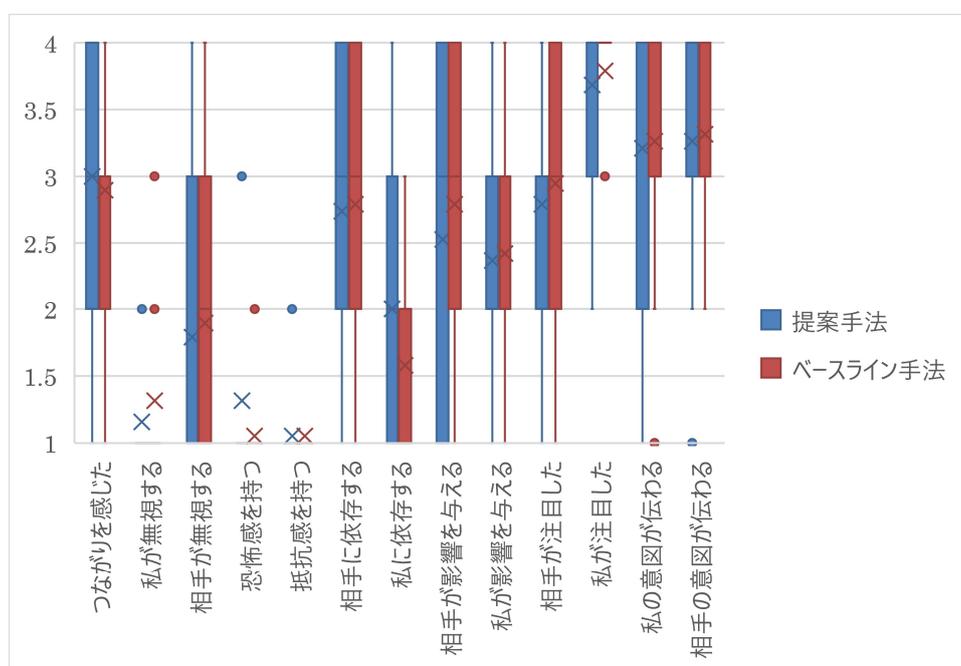


図 5.4 受動的プレイヤーが動き回る状況下の各項目に対する能動的プレイヤーの提案手法評価値とベースライン手法評価値の箱ひげ図

5.5 人の存在を感じる点に対する自由回答の結果

実験全体を通して人の存在を感じる点について自由回答を分類した結果を図 5.5 に示す。自由回答した被験者数は計 13 人であり、13 人は人の存在を感じる点を複数指摘した。そのうち 1 人は「よくわからなかった」と回答したため図 5.5 の結果に反映していない。

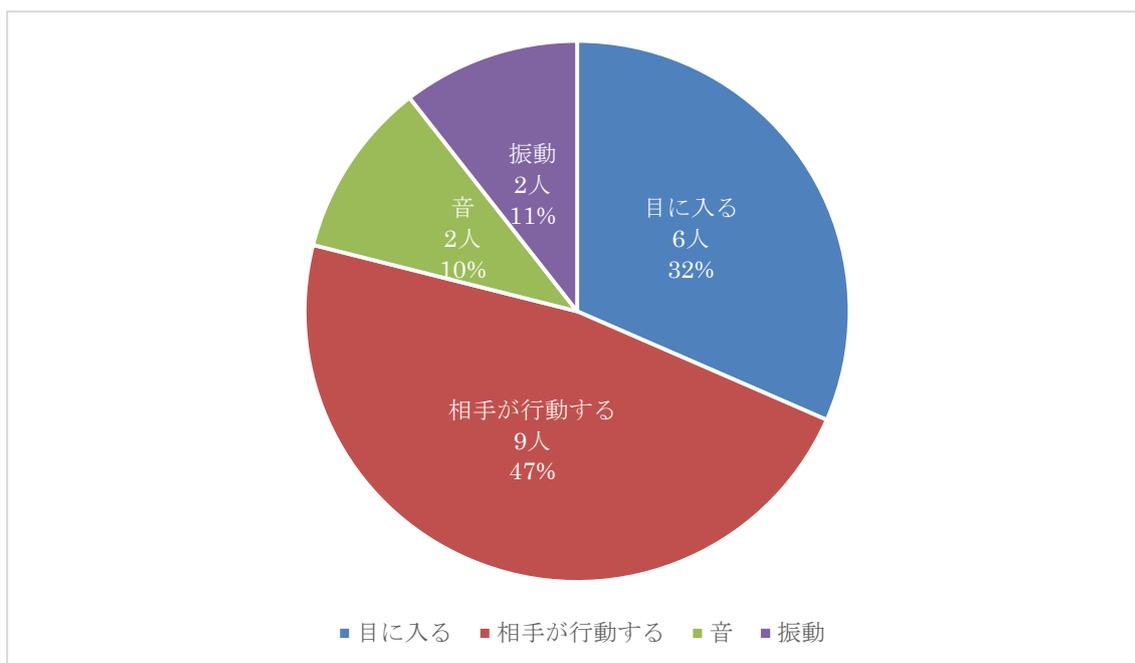


図 5.5 人の存在を感じる点に対する自由回答の分類別割合
以上の結果をまとめると、表 5.11 のようになる。

表 5.11 各実験パターンにおける有意差が確認されたアンケートの評価対象項目

被験者の役割 \ 状況	受動的プレイヤーが動かない	受動的プレイヤーが動き回る
被験者が受動的プレイヤーを担当する	<ul style="list-style-type: none"> ・ つながりを感じた (提案手法<ベースライン手法) ・ 相手の意図が伝わる (提案手法<ベースライン手法) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 恐怖感を持つ (提案手法<ベースライン手法) ・ 相手の意図が伝わる (提案手法>ベースライン手法)
被験者が能動的プレイヤーを担当する	<ul style="list-style-type: none"> ・ つながりを感じた (提案手法>ベースライン手法) 	なし

受動的プレイヤーが動かずに待っている状況下では、

- ・ 被験者が能動的プレイヤーであるとき提案手法を用いて交流することで人の気配を感じたとき人のつながりを感じやすくなる。
- ・ 被験者が受動的プレイヤーであるとき提案手法を用いて交流されることで他の人のつながりを感じにくく交流する意図を感じにくくなる。

ことがわかった。また、受動的プレイヤーが VR 空間内を動き回る状況下では、

- ・ 被験者が能動的プレイヤーであるとき提案手法を用いてもベースライン手法を用いても気配の感じ方に違いを見いだせない。
- ・ 被験者が受動的プレイヤーであるとき提案手法を用いて交流されるとき恐怖感を持ちにくく相手の交流する意図を把握しやすくなる。

ことが分かった。よって、受動的プレイヤーが動いていないとき、能動的プレイヤーは提案手法を用いることで人のつながりを感じる一方で受動的プレイヤーは提案手法に対してベースラインと比較して人のつながりを感じにくく交流の意図を感じにくい。また、受動的プレイヤーが動いているとき、受動的プレイヤーはベースラインと比較して提案手法に対して恐怖せずに交流の意図を把握しやすくなる。

提案手法を用いることで、ベースライン手法と比較したとき受動的プレイヤーが動かずに待っている状況下で被験者が受動的プレイヤーであるとき被験者が他の人のつながりを感じにくく交流する意図を感じにくくなる原因として、提案手法においてボディタッチを行なうまで足音が聞こえないことが考えられる。提案手法ではボディタッチを行なわない限り足音は聞こえない一方で、従来手法では足音がずっと聞こえたままであり受動的プレイヤーは近づいてくる足音を感じることができる。そのため、ボディタッチを行なわなく

でも相手が目に入ったときお互いの足音がずっと聞こえるようにすることが今後の課題である。

また、提案手法を改善する可能性として UI の視覚的な工夫がある。図 5.5 で示されるように人の存在を感じる点の計 79%がプレイヤーが目に入ることやプレイヤーが行動しているのを見ることであり、提案手法を用いた時の受動的プレイヤーの UI では受動的プレイヤーは振動と音の刺激しか感じない。そのため、能動的プレイヤーに対して興味を持たせるような視覚的な工夫を受動的プレイヤーの UI に行なうことが今後の課題である。

また、被験者が能動的プレイヤーであるとき提案手法は相手が動いていないときに有効である一方で、相手が動いているとき被験者が提案手法を用いてもベースライン手法を用いても気配の感じ方に違いを見いだせなかった。その原因として、相手が動いているときに手を遠くに移動させてボディタッチを行なうことがうまく機能しなかったことが考えられる。受動的プレイヤーが動き回る状況では手を移動させてボディタッチを行なう場合、トリガーボタンの押し込み具合を調整しながらコントローラによって自分自身を移動させて動いている相手の体に手を当てる必要があり操作として難しい。そのため、手を移動させてボディタッチを行なう前に受動的プレイヤーが能動的プレイヤーを見つけてしまい、提案手法がうまく機能しなかった可能性がある。そのため、能動的プレイヤーの UI において相手が動いているときでも能動的プレイヤーが的確にボディタッチできるように能動的プレイヤーの UI を改造するということが今後の課題である。

第6章 おわりに

VR空間でコミュニケーションできる Social VR ではプレイヤーと他のプレイヤーはお互いを認知しにくく交流しにくいという問題がある。本研究では、プレイヤーの存在を認知させる非言語コミュニケーション方法としてボディタッチに焦点を当て、プレイヤーが遠くにいる他のプレイヤーにボディタッチできるようにし、交流の意志を伝えやすい UI を提案した。評価実験では、本研究で提案する UI が交流しやすい UI であるかを評価するために、VR空間内に二人のプレイヤーがいる仮想的な部屋を用意し、一方のプレイヤーがもう一方のプレイヤーに自分の存在を認知させて近づくというタスクを行ない、交流に伴う恐怖感や抵抗感を問うアンケートを行う。提案手法とプレイヤーの気配を伝える既存の UI を比較し、本稿で提案するシステムの有用性を評価した。評価の結果、提案手法は遠くから静止している相手の体をたたくという操作を行う時、人とのつながりをより感じるということがわかった。しかし、この時に相手が動いている場合は人とのつながりを感じる事が確認できなかった。また、自身が動いている場合、従来の視覚等では相手の交流意図を知ることが難しいが、提案手法は、動いている場合に相手の交流意図を恐怖感なく感じる事ができた。一方で、自身が動いていない場合は、提案手法よりも従来手法の方が相手の交流意図を感じやすいことが分かった。これは、提案手法においてボディタッチを行なうまで足音が聞こえないことが原因だと考えられる。また、評価実験結果から

- ・ 相手が目に入ったときお互いの足音がずっと聞こえるようにする。
- ・ 能動的プレイヤーに対して興味を持たせるような視覚的な工夫を受動的プレイヤーの UI に行なう。
- ・ 能動的プレイヤーの UI において相手が動いているときでも能動的プレイヤーが的確にボディタッチできるように能動的プレイヤーの UI を改造することが今後の課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くのご指導を頂いた山名早人教授に厚く御礼申し上げます。また，研究に関して親身に相談に乗ってくださった山名研究室の IUI 班の皆さまや様々な意見や助言を下された山名研究室のその他の班の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] C. Coelho, J. Tichon, T. J. Hine, G. Wallis and G. Riva, "Media Presence and Inner Presence: The Sense of Presence in Virtual Reality Technologies," *Communication to Presence: Cognition, Emotions and Culture towards the Ultimate Communicative Experience*, pp. 25-45, 2006.
- [2] S. Kevin, Y. S. Pai and K. Kunze, "Virtual Gaze : Exploring use of Gaze as Rich Interaction Method with Virtual Agent in Interactive Virtual Reality Content," *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, no. 130, pp. 1-2, 2018.
- [3] L. Fermoselle, S. Gunkel, F. t. Haar, S. Dijkstra-Soudarissanane, A. Toet, O. Niamut and N. v. d. Stap, "Let's Get in Touch! Adding Haptics to Social VR," *ACM International Conference on Interactive Media Experiences(IMX '20)*, pp. 174-179, 2020.
- [4] M. Hoppe, B. Rossmly, D. P. Neumann, S. Streuber, A. Schmidt and T.-K. Machulla, "A Human Touch: Social Touch Increases the Perceived Human-likeness of Agents in Virtual Reality," *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-11, 2020.
- [5] M. Vidal, R. Bismuth, A. Bulling and H. Gellersen, "The Royal Corgi: Exploring Social Gaze Interaction for Immersive Gameplay," *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, p. 115–124, 2015.
- [6] A. Brondi, L. Alem, G. Avveduto, C. Faita, M. Carrozzino, F. Tecchia and M. Bergamasco, "Evaluating the impact of highly immersive technologies and natural interaction on player engagement and flow experience in games," *International Conference on Entertainment Computing*, p. 169–181, 2015.
- [7] E. Giannopoulos, V. Eslava, M. Oyarzabal, T. Hierro, L. González, M. Ferre and M. Slater, "The Effect of Haptic Feedback on Basic Social Interaction within Shared Virtual Environments," *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp. 301-307, 2008.
- [8] E.-L. Sallnäs, "Haptic feedback increases perceived social presence," *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, p. 178–185, 2010.

- [9] P. Sykownik , M. Masuch, “The Experience of Social Touch in Multi-User Virtual Reality,” *26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '20)*, p. 1-11, 2020.
- [10] A. H. Crusco and C. G. Wetzel, "The Midas Touch: The Effects of Interpersonal Touch on Restaurant Tipping," *Personality and Social Psychology Bulletin*, vol. 10, no. 4, pp. 512-517, 1984.
- [11] D. Kort, Y. AW, W. A, IJsselsteijn , K. Poels, “Digital games as social presence technology: Development of the Social Presence in Gaming Questionnaire (SPGQ),” *Proceedings of PRESENCE*, pp. 1-9, 2007.

研究業績

1. 田中聖也, 工藤雅士, 山名早人, ”Social VR におけるお互いの気配を認知できる UI の提案”, DEIM Forum 2022 論文集, 2022. (発表予定)
2. 田中 聖也, 工藤 雅士, 山名 早人, “Social VR における存在を知覚させるシステムの検討”, DEIM Forum 2021 論文集, G21-2, 2021.
3. 岡田一洸, 工藤雅士, 三浦将人, 田中聖也, 山名早人, “幾何証明問題の解答に対する自動部分点付与の検討”, DEIM Forum 2021 論文集, C33-5, 2021. (共著)

付録

- 実験データ(アンケートの評価値)

表 A 実験データの変数の説明

	変数の説明
ID	被験者に割り振られた ID(0-18)
Method	どの UI を用いたか。0=提案手法, 1=視界内に入る, 2=足音が聞こえる, 3=相手に近づいて手を用いでボディタッチする, 4=全体マップで通知音を送る
PMisAhead	ベースライン手法よりも先に提案手法を実験したか? 0=ベースライン手法が先, 1=提案手法が先
つながりを感じた	アンケートの項目の評価値.
私が無視する	アンケートの項目の評価値.
相手が無視する	アンケートの項目の評価値.
恐怖感を持つ	アンケートの項目の評価値.
抵抗感を持つ	アンケートの項目の評価値.
相手に依存する	アンケートの項目の評価値.
私に依存する	アンケートの項目の評価値.
相手が影響を与える	アンケートの項目の評価値.
私が影響を与える	アンケートの項目の評価値.
相手が注目した	アンケートの項目の評価値.
私が注目した	アンケートの項目の評価値.
私の意図が伝わる	アンケートの項目の評価値.
相手の意図が伝わる	アンケートの項目の評価値.

表 B 受動的プレイヤーが動かないとき被験者が受動的プレイヤーであるときの提案手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	2	3	2	1	3	2	3	3	4	4	3	3	1	4	4	1	4	3
私が無視する	1	2	1	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
相手が無視する	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
恐怖感を持つ	3	1	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1	3	1	3	1	1	1	1
抵抗感を持つ	2	1	1	2	2	3	1	1	1	2	1	1	2	1	3	1	1	1	1
相手に依存する	2	1	1	2	4	3	3	3	1	4	1	4	4	1	4	3	4	3	2
私に依存する	2	1	1	2	2	2	3	2	1	1	1	1	4	1	3	2	1	1	2
相手が影響を与える	3	2	3	1	2	3	3	2	1	3	1	4	3	3	4	3	4	3	3
私が影響を与える	4	2	3	2	3	3	4	2	1	1	1	1	4	3	3	2	1	1	2
相手が注目した	3	2	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3
私が注目した	3	3	3	3	2	4	3	4	3	4	3	3	4	2	4	4	4	4	4
私の意図が伝わる	2	2	3	3	3	4	4	4	3	2	3	3	4	3	4	3	4	2	2
相手の意図が伝わる	3	1	3	2	3	4	3	2	3	2	4	3	4	3	3	2	4	2	3

表 C 受動的プレイヤーが動かないとき被験者が受動的プレイヤーであるときのベースライン手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Method	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	3	3	3	2	3	2	4	3	3	4	4	4	1	4	4	2	4	3
私が無視する	1	1	1	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
相手が無視する	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
恐怖感を持つ	2	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	1	1
抵抗感を持つ	2	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1
相手に依存する	2	3	1	4	3	3	1	3	2	2	1	3	4	1	4	3	4	3	1
私に依存する	3	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1
相手が影響を与える	3	3	3	4	4	3	3	3	1	2	1	4	4	2	4	3	4	4	1
私が影響を与える	2	4	3	1	2	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	2	1	1	1
相手が注目した	4	4	3	4	4	4	3	4	4	2	4	3	4	3	4	4	4	4	3
私が注目した	4	4	3	4	2	4	3	4	3	2	4	3	4	3	4	4	3	2	3
私の意図が伝わる	4	3	3	1	3	4	4	4	3	2	3	3	4	3	4	2	2	1	1
相手の意図が伝わる	4	3	3	3	3	4	2	4	3	2	4	3	4	3	4	2	4	3	3

表 D 受動的プレイヤーが動かないとき被験者が能動的プレイヤーであるときの提案手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	3	3	3	2	4	3	4	3	2	4	4	4	1	3	4	4	4	3
私が無視する	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1
相手が無視する	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
恐怖感を持つ	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	1	1
抵抗感を持つ	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	1	1
相手に依存する	2	3	1	4	1	2	1	2	1	3	1	3	4	1	3	4	1	2	3
私に依存する	2	2	1	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	1	4	1	4	1	2
相手が影響を与える	3	2	3	3	1	2	2	2	1	3	1	3	4	3	1	3	1	2	3
私が影響を与える	3	3	3	3	2	3	4	2	1	1	1	3	4	3	4	3	4	1	2
相手が注目した	4	3	4	3	3	4	2	4	3	3	4	3	4	2	3	4	4	3	4
私が注目した	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4
私の意図が伝わる	4	3	4	2	4	4	4	4	3	2	4	3	4	3	4	3	4	3	2
相手の意図が伝わる	3	2	4	3	4	4	2	2	3	2	4	3	4	3	4	3	4	3	3

表 E 受動的プレイヤーが動かないとき被験者が能動的プレイヤーであるときのベースライン手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Method	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	3	3	3	2	3	3	4	3	2	4	4	3	1	2	3	2	4	3
私が無視する	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
相手が無視する	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
恐怖感を持つ	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	3	1	2	1	1
抵抗感を持つ	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
相手に依存する	1	4	1	4	1	2	1	3	3	1	1	2	4	1	3	1	1	1	1
私に依存する	2	2	1	2	3	3	3	1	2	1	1	4	2	1	4	1	4	3	3
相手が影響を与える	2	2	3	3	2	2	1	3	2	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1
私が影響を与える	3	3	4	2	3	3	3	3	1	1	1	2	2	3	4	2	4	3	3
相手が注目した	4	2	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	1	2	4	2	2	3
私が注目した	4	4	4	2	4	4	3	4	4	2	4	3	4	3	4	4	4	4	3
私の意図が伝わる	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	2	4	4	3
相手の意図が伝わる	4	2	4	2	4	4	2	4	3	2	4	3	4	3	4	2	1	2	1

表 F 受動的プレイヤーが動き回るとき被験者が受動的プレイヤーであるときの提案手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	3	3	3	2	2	1	4	2	1	4	2	3	2	3	3	1	4	4
私が無視する	1	1	3	1	4	3	2	3	1	1	2	1	3	1	4	2	2	1	2
相手が無視する	1	1	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
恐怖感を持つ	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1
抵抗感を持つ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
相手に依存する	1	3	3	1	3	2	2	1	3	3	1	1	1	3	2	2	4	4	3
私に依存する	3	4	3	3	2	3	3	3	1	1	1	2	3	4	4	2	1	2	2
相手が影響を与える	2	4	2	2	4	3	2	1	3	1	1	1	4	3	2	2	4	2	3
私が影響を与える	3	4	3	4	3	3	2	4	1	1	1	1	4	4	4	3	1	2	2
相手が注目した	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4
私が注目した	3	3	3	4	2	3	2	4	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	4
私の意図が伝わる	3	3	3	3	4	3	2	4	2	2	3	3	2	3	4	3	4	1	2
相手の意図が伝わる	4	4	3	4	4	4	4	4	3	2	4	3	4	3	4	3	4	1	3

表 G 受動的プレイヤーが動き回るとき被験者が受動的プレイヤーであるときのベースライン手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Method	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	2	4	3	4	2	3	2	4	3	3	3	3	4	1	4	3	1	4	4
私が無視する	3	1	3	1	4	2	1	1	1	1	1	1	2	1	3	1	1	3	1
相手が無視する	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
恐怖感を持つ	2	1	1	3	1	2	3	1	1	3	1	1	2	1	3	1	2	1	1
抵抗感を持つ	1	1	1	2	1	3	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1
相手に依存する	1	4	1	1	2	3	2	1	2	1	1	1	2	1	3	3	4	3	2
私に依存する	3	3	3	2	1	2	2	1	1	1	2	1	4	1	4	2	4	2	2
相手が影響を与える	1	4	2	2	3	3	3	3	2	1	2	1	2	2	2	3	3	4	3
私が影響を与える	2	3	3	3	2	4	3	2	1	1	1	1	4	2	4	3	3	2	3
相手が注目した	4	4	4	3	3	4	2	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4
私が注目した	2	4	3	4	1	3	2	4	4	3	2	3	3	3	2	3	4	1	4
私の意図が伝わる	2	3	3	1	4	3	3	4	3	2	2	3	2	2	4	2	4	1	3
相手の意図が伝わる	3	3	3	4	4	4	3	4	3	2	3	3	4	3	4	2	4	1	3

表 H 受動的プレイヤーが動き回るとき被験者が能動的プレイヤーであるときの提案手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	3	3	3	2	3	3	2	4	4	1	4	2	4	3	2	3	3	4	4
私が無視する	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
相手が無視する	1	2	1	3	2	1	3	1	1	1	1	3	1	1	4	1	1	4	2
恐怖感を持つ	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1
抵抗感を持つ	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
相手に依存する	3	4	3	3	3	4	2	1	1	1	1	2	4	3	4	3	3	4	3
私に依存する	2	3	2	2	2	1	3	1	3	1	1	2	1	4	1	1	4	1	3
相手が影響を与える	3	4	1	3	2	2	3	1	1	1	1	2	4	4	4	2	3	4	3
私が影響を与える	2	3	2	3	2	2	3	1	3	1	1	2	2	4	3	2	4	2	3
相手が注目した	2	3	3	2	3	2	2	4	3	3	4	3	3	4	1	3	3	1	4
私が注目した	4	4	4	4	3	3	4	4	4	2	4	4	4	3	4	3	4	4	4
私の意図が伝わる	3	4	3	2	4	4	3	4	4	3	4	2	4	4	4	2	4	1	2
相手の意図が伝わる	3	3	3	4	4	4	2	4	3	3	4	2	4	4	4	3	4	1	3

表 I 受動的プレイヤーが動き回るとき被験者が能動的プレイヤーであるときのベースライン手法の評価値

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Method	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
PMisAhead	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
つながりを感じた	2	3	3	4	2	2	3	4	3	3	3	3	3	3	2	3	1	4	4
私が無視する	2	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1
相手が無視する	2	2	3	2	3	2	3	1	1	1	2	1	2	1	4	1	1	3	1
恐怖感を持つ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
抵抗感を持つ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
相手に依存する	2	3	3	4	2	4	1	3	1	1	2	4	4	3	4	2	4	4	2
私に依存する	1	2	2	1	2	1	2	1	3	1	1	1	2	2	1	3	1	1	2
相手が影響を与える	3	4	3	4	2	1	1	2	1	1	3	4	4	3	4	3	4	4	2
私が影響を与える	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2	1	2	3	3	4	4	1	2
相手が注目した	2	2	3	3	4	4	2	4	3	2	3	3	2	4	2	4	4	1	4
私が注目した	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4
私の意図が伝わる	4	3	3	3	4	4	3	4	4	2	3	3	4	3	4	2	4	1	4
相手の意図が伝わる	3	3	3	3	4	4	3	4	3	2	3	3	4	4	4	2	4	3	4

- 実験データ(実験全体を通して、人の存在を感じさせる点はどこだったかという問いに対する被験者の自由回答一覧)
 - ・ 視覚で気付いたら、人の存在を感じる
 - ・ 手が動いている点。視界に相手が入っていない状態で振動があった点
 - ・ こちらが手を振った際に、手を振り返す等のリアクションをくれた点。またアバターの首の動きがあり、様々な場所を見回している動きが見てとれた点。
 - ・ 手の動き、振り方。相手に気づいた瞬間の「あ、いた」のような顔と手の動き。
 - ・ 首(顔)の動き方、手の振り方
 - ・ 相手のゴーグルの顔や、コントローラーの手。現実の人間にはありえない赤色だったが、1対1であれば人として認識できた。
 - ・ ジェスチャーがあったとき。または、相手が振り返ってこちらを見たときに人の存在を感じた。

- ・ 足音が大きくなるとその方向に人がいる、と感ずることができました。また、顔(目)がこちらをむいていると見ている、と感ずられ、人の存在を感ずました。
 - ・ 相手を見つけた時、手を振って振り返してくれた時、衝突した時
 - ・ アバターの手の動き
 - ・ よくわからなかった。
 - ・ 視覚と足音
 - ・ 相手がうごいている、こちらをむいているところ
- 実験で用いたアバター

筆者と被験者には図 A のようなロボットのアバターを用いた。筆者と被験者との区別のためにアバター全体の色を変えて実験を行なった(筆者：赤色のアバター，被験者：青色のアバター)。図 A 中のロボットの頭の動きは HMD の動きに同期し，ロボットの両手の動きは両手で持つコントローラーの動きに同期する。

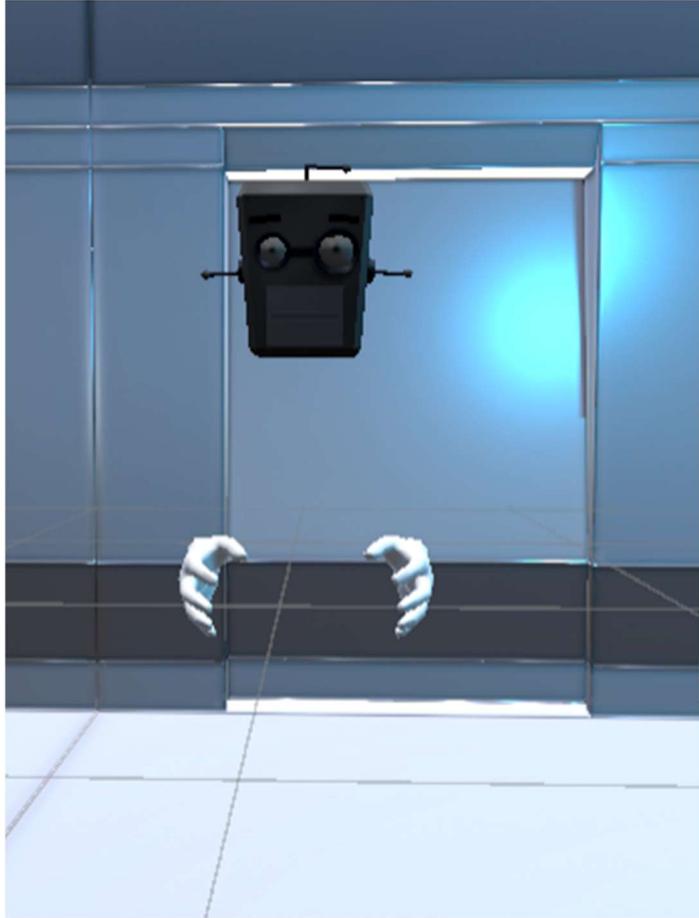


図 A 実験で用いたアバターの外見