

実世界を理解するピアエージェントが孤独感と社会的存在感に与える影響の検証

The Impact of a Contextually Aware Peer Agent on Users' Loneliness and Sense of Presence

鈴木 隼¹ 角 薫¹

SUZUKI Shun¹, SUMI Kaoru¹

¹ 公立はこだて未来大学

¹ Future University Hakodate

Abstract: This study investigates how a context-aware peer agent in mixed reality influences users' loneliness and sense of presence. We hypothesized that environmental awareness and avatar embodiment would enhance social presence and reduce state loneliness. To test this, we developed the Context-Aware MR Peer Agent System, implemented on Meta Quest 3, which integrates passthrough video, speech, and user-state cues with a multimodal large language model to generate dialogue and nonverbal behaviors. A 2 × 2 within-subject experiment with 28 university students manipulated environmental awareness of the physical room and avatar embodiment, resulting in four conditions. After each 10-minute conversation, participants completed the Temple Presence Inventory and the Momentary Loneliness Scale; after all conditions, they completed the System Usability Scale. Data was analyzed using repeated-measures ANOVA, paired-samples t-tests, and repeated-measures correlation. Results showed that avatar embodiment significantly increased social presence across subscales and reduced state loneliness. Environmental awareness improved spatial presence and was perceived as intended but had limited effects on loneliness and social presence, with no clear interaction effect. Social presence demonstrated a moderate negative correlation with state loneliness. These findings indicate that embodiment is a primary driver of socially present companionship in mixed reality, while environmental awareness mainly enhances interaction coherence. The results provide design implications for developing context-aware, socially present AI agents to mitigate loneliness.

1. はじめに

少子高齢化や都市部への人口集中に伴い、家庭や地域社会におけるつながりの希薄化が進み、孤独・孤立は重要な社会課題として注目されている。内閣府の全国調査では、多くの人々が何らかの孤独感を経験しており、特に20～30歳代の若年層において孤独感が相対的に高い傾向が示されている(内閣府孤独・孤立対策推進室, 2025) [14]。進学や就職などのライフイベントに伴う生活環境や人間関係の変化は、大学生を含む若年層が孤独感を抱えやすい要因となり得る。孤独は心理的・身体的健康にも影響を及ぼすことが指摘されている(Hawkley & Cacioppo, 2010) [5]。

このような社会的背景のもと、AIエージェントやデジタルコンパニオンへの期待が高まっている。近

年、大規模言語モデル(Large Language Models, LLM)の発展により、自然で柔軟な対話が可能となり、対話エージェントは教育、医療、メンタルヘルス支援など多様な分野で活用され始めている。特に孤独感の軽減や心理的支援を目的としたAIコンパニオンは、人と継続的に対話し、感情的な支えを提供する存在として注目されている。

しかしながら、従来の対話エージェントの多くは音声やテキストによる対話に限定され、ユーザが置かれている現実環境や身体的な状況を十分に理解していない。そのため、対話内容が状況と乖離する場合があります。ユーザは相手が「そこにいる」と感じにくい。このような実在感の欠如は、社会的存在感の形成を妨げ、孤独感の軽減効果を十分に発揮できない要因となる可能性がある。

一方、複合現実(Mixed Reality, MR)技術は、現実

空間に仮想エージェントを重畳し、ユーザと同じ空間を共有するような体験を提供できる。さらに、視線、ジェスチャー、身体動作といった非言語の手がかりを統合することで、共同注意や社会的相互行為を支援し、社会的存在感を高める可能性がある。

近年、文脈を理解する LLM ベースの NPC がユーザ体験に影響を与える可能性も示されている (Csepregi, 2023 [2] ; Radež & Bohak, 2024 [12])。さらに、MR 環境における 3D 仮想エージェントが、実環境情報を活用した対話を実現する試みも報告されている (Xu et al., 2024) [13]。

しかし、実世界の文脈理解とアバターによる身体性を統合した MR 対話エージェントが、社会的存在感と孤独感にどのような影響を及ぼすかを実証的に検証した研究は、いまだ限定的である。特に、環境理解と身体性を独立した要因として操作し、それぞれの効果と相互作用を検討した研究は少ない。

本研究の目的は、ユーザの現実空間を理解し、その状況に寄り添って振る舞うピアエージェントを複合現実環境上に構築し、孤独感および社会的存在感に与える影響を定量的に検証することである。本研究では、ユーザの周囲の物体や状況、姿勢や行動を把握し、会話や振る舞いに反映する環境理解と、アバターの外見、身振り、視線、指差しなどの非言語的表現を通じて社会的手がかりを提示する身体性の 2 要因に着目する。

2. 関連研究

本章では、本研究の背景となる先行研究を整理する。AI エージェントによる孤独感低減、身体性が社会的存在感に与える影響、および文脈理解に基づく対話エージェントに関する研究を概観し、これらの知見の限界を踏まえて本研究の位置づけを明確にする。

2.1 AI エージェントと孤独感低減

孤独感の軽減という観点では、AI エージェントの有効性を扱う研究が増えている。孤独の概念や測定方法についても検討が進められている [4]。De Freitas et al. (2025) [3] は、AI コンパニオンとの会話が孤独感を低減しうることを示した。特に、AI コンパニオンとの会話が孤独感を低減し、その効果が動画視聴といった他の活動より大きく、対人交流と同程度である可能性を報告している。また、1 週間にわたり孤独感低減が一貫して生じること、単なる応答性能だけでなく、ユーザが自分の話を聞いてもらえたと感じることが孤独感低減を説明する重要な要因であることを示している。

また、Merrill et al. (2022) [10] は、身体を持たな

い AI コンパニオンにおいても社会的存在感が高いほど、孤独な人に対する推奨意向や有用性の評価が高まることを示し、孤独な個人を対象とした支援を想定する際に、社会的存在感が設計上の重要な要因となりうることを示唆した。

また、孤独感の低減はエージェントの情動的・対人的な振る舞いに左右されることも示されている。Loveys et al. (2021) [9] は、女性のデジタルヒューマンの情動表出を操作し、情動表出の違いが孤独感、知覚された支援、親密さなどに影響しうることを報告した。ただし、効果は一様ではなく、参加者属性によって差が生じうる点も示されている。

これらの研究は、AI エージェントにおいて相手がこれらの研究は、AI エージェントにおいて相手が社会的な存在として感じられることや感情的な手がかりが孤独感と関連しうることを示しており、本研究が身体性と社会的存在感に着目する理論的基盤となる。なお、孤独の理論的整理については Hawkey & Cacioppo (2010) [5] が包括的レビューを行っている。

2.2 身体性と社会的存在感

AR 領域では、エージェントの視覚的身体や社会的行動が社会的存在感や信頼、関与に影響することが報告されている。Kim et al. (2018) [6] は、AR 上の知的エージェントについて、視覚的身体の有無や社会的行動を操作し、Temple Presence Inventory に基づく社会的存在感などを比較した。その結果、視覚的身体や自然な社会的行動を備えた条件ほど、社会的存在感、社会的豊かさ、関与が高くなる傾向が示された。社会的存在感の概念は Lombard & Ditton (1997) [7] により体系化されており、その測定尺度として Temple Presence Inventory が提案されている [8]。

この知見は、身体性は、視覚的・非言語的の手がかりを通じて相手をそこにいる他者として知覚させ、社会的存在感に関わる可能性を示唆している。一方で、身体性の提示が社会的存在感に及ぼす効果に焦点を当ており、実世界の環境文脈の理解や言及が、社会的存在感や孤独感にどのように作用するかを同時に検討する枠組みは限定的である。本研究はこの点に着目し、身体性と環境理解の統合的効果を検証する。

2.3 文脈理解に基づく対話エージェント

AI エージェントが周囲の状況を参照して応答する研究は、ゲームや MR サービス領域で検討されてきた。Csepregi (2023) [2] は、ゲーム内の文脈を反映する LLM ベースの NPC (Non-Player Character) を

導入し、プレイヤーのエンゲージメントに関する評価が向上する可能性を報告した。Radež & Bohak (2024) [12] は、パノラマ画像とセマンティックセグメンテーションを用いて周囲のオブジェクトや空間的關係を推定し、NPC が会話に反映する手法を提案した。

MR の実環境を対象とした研究としては、Xu et al. (2024) [13] が、金融店舗での接客を想定し、MR とビジョン・ランゲージ・モデルを組み合わせた 3D バーチャルエージェントを開発し、顧客の動きや周囲の状況を踏まえた対話を実現している。なお、MR の理論的基盤については Milgram & Kishino (1994) [11] が整理している。

これらは文脈を理解した会話がユーザ体験の質に影響しうることを示す一方、ユーザの実空間を参照しつつ、社会的存在感と孤独感という心理指標の両面から効果を検証した研究はまだ限定的である。

2.4 本研究の位置づけ

以上の関連研究は、AI エージェントが孤独感に影響しうること [3, 9, 10]、身体性や社会的行動が社会的存在感を高めうること [6, 7, 8]、文脈理解に基づく対話は体験の向上に寄与しうること [2, 12, 13] を示している。しかし、実世界の文脈の理解と、アバターによる身体性を要因として切り分け、MR 上の対話体験が社会的存在感と状態孤独感に与える影響を同時に検証した実証研究は限定的である。

本研究は、環境理解と身体性を独立に操作可能な MR 上で動作する AI エージェントを構築し、被験者内 2 要因 2 水準計画により、社会的存在感と状態孤独感への寄与を定量的に検証する点に新規性と学術的意義がある。

3. 実世界を理解する MR ピアエージェント対話システム

本章では、本研究の中核となる実世界を理解する MR ピアエージェント対話システムについて述べる。本システムは、環境理解と身体性を統合した対話を実現し、社会的存在感および孤独感への影響を検証するために設計・実装したものである。

3.1 システム概要

本研究の目的は、ユーザの現実空間を理解し、その状況に寄り添うように振る舞うピアエージェントを MR 環境上に構築し、孤独感と社会的存在感に与える影響を検証することである。そのために本システムは、ユーザが見ている現実空間の状況とユーザ

の状態を対話内容に反映できるよう、パススルー映像、音声、ユーザ状態を統合する対話システムを作成する。

具体的には、ユーザの現実空間の文脈を会話に反映し、AI エージェントの外見、身振り、頭部の向き、姿勢を用い、社会的手がかりを増やして対話の実在感を高める。そして、実験で操作可能な要因として、環境理解と身体性を分離し、組合せ可能な構成とする。これにより、環境理解および身体性の有無が、社会的存在感と孤独感に及ぼす影響を検証できる。

また AI エージェントは空間的臨場感、社会的手がかり、ジェスチャー、共同注意といった、非言語的かつインタラクティブな要素が強化されるように開発した。頭部の向きや姿勢の変化、指差しなどの非言語的手がかりが発話内容を補強することを目指す。これにより、ユーザが相手の意図を把握しやすい状態を作る。

ユーザは Meta Quest 3 を装着し、自分の部屋に友人が遊びに来たという設定で対話を行う。システムは現実空間にアバターを重ねて表示し、同一空間を共有するかのような形で音声による雑談を行う。対話中、ユーザの発話や周囲の物体や状況に応じて AI エージェントがそれに言及し、必要に応じて身振りや指差しを伴う振る舞いを示す。ユーザは会話を行いながら現実の環境をそのまま活用できる状況を想定し、MR ならではの現実空間に寄り添う対話体験を提供する。

ユーザは着席や起立、周辺物体への注意、移動などの行為を自由に行う。AI エージェントはそれらの変化を取り込み、場の状態に即した応答と振る舞いを返すことで、対話が現実空間の文脈に即して進行する。

3.2 システム構成

本節では、システム構成を概観し、ハードウェア、ソフトウェア、実行環境、外部サービスの順に述べる。システムの実行環境と主要構成を表 1 にまとめる。

3.2.1 ハードウェア構成

本システムは Meta Quest 3 (Meta Horizon OS 83.1034) を用いた。ヘッドセットのパススルー映像と深度情報を利用し、現実空間の物体の位置とユーザの位置を取得する。音声入力には内蔵マイクで行い、応答音声はヘッドセットのスピーカーで提示する。ハンドトラッキングを用いて指差し方向を算出し、AI エージェントの共同注意や指差し動作に利用する。ユーザの位置は頭部の HMD の位置から取得し、アバターの向きや距離判定に用いる。

表 1 システム実行環境と主要構成

区分	内容
ハードウェア	Meta Quest 3
OS	Meta Horizon OS v83.1034
ネットワーク	無線 LAN
開発環境	Unity 6000.0.64f1
ライブラリ	Meta XR SDK 83.0.1 / OpenXR 1.16.1 / Meta OpenXR 2.4.0 / Animation Rigging 1.4.0 / Navigation 2.0.9 / uLipSync 3.1.4
外部サービス	Gemini Live API / Gemini API generateContent
使用モデル	gemini-2.5-flash-native-audio-preview-12-2025 / gemini-2.5-flash-lite

3.2.2 ソフトウェア構成

開発には Unity 6000.0.64f1 を用いた。MR を含む XR 基盤として Meta XR SDK 83.0.1, OpenXR 1.16.1, Meta OpenXR 2.4.0 を使用した。アバターの身体表現には Animation Rigging 1.4.0, 移動制御には Navigation 2.0.9, リップシンクには uLipSync 3.1.4 を用いた。

3.2.3 外部サービス連携

本研究では、マルチモーダル大規模言語モデルとして Gemini を用いた。

対話は Gemini Live API を WebSocket 経由で利用し、音声対話と関数呼び出しを行った。モデルは gemini-2.5-flash-native-audio-preview-12-2025 を使用した。音声は双方向のストリーミングとして送受信し、応答の生成と関数呼び出しを用いたアバターの動作制御を行う。物体検出は Gemini API の generateContent で行い、検出モデルは gemini-2.5-flash-lite を使用した。検出結果は画像内のバウンディングボックスとして取得し、3次元座標の位置特定に用いる。

3.3 システム処理フロー

本システムは、入力・処理・出力からなる処理の流れに基づき対話を実現する。ユーザの音声や環境情報を取り込み、Gemini が音声応答と関数呼び出しを生成し、Unity 側でアバターの動作と音声の再生を行う。

3.3.1 入力処理

入力は主に音声、映像、ユーザ状態の3種類である。音声はユーザの発話をマイクで取得し、対話モデルへストリーミングで送信する。Meta Quest 3 のパススルー映像のフレームを送信し、現実空間の文脈をモデルが参照できるようにする。ユーザの状況として、ユーザの頭部位置、ハンドトラッキングに基づく指差し先の3次元座標、さらに着席や起立の

状態とユーザとアバター間距離を取得する。頭部位置や指差し情報は、モデルが必要に応じて関数呼び出しで要求した際に座標として返す。着席や起立や距離の変化はユーザメッセージとして自動的に入力に追加し、応答生成を開始させる。

3.3.2 対話生成処理

処理は Gemini による音声応答の生成である。モデルは入力された音声・映像と会話履歴をもとに、次の音声応答と必要な関数呼び出しを決定する。関数呼び出しは Unity 側で受け取り、アバターの身振り、移動、指差し、物体検出などの処理を実行する。環境中の対象を検出する際は、パススルー画像を入力として Gemini に問い合わせ、得られた検出結果から実空間の位置を算出する。処理結果は関数呼び出しの応答としてモデルに返送され、発話内容や関数呼び出しに利用される。

3.3.3 出力処理

出力は音声と身体表現から成る。Gemini が生成した音声応答はストリーミングで再生され、アバターのリップシンクと連動する。さらに、関数呼び出しによって身振り、指差し、移動、着席、起立などの身体表現が実行される。

3.4 対話モジュール

本節では、Gemini Live API を用いた音声対話の構成と、ターン管理、システムプロンプトについて述べる。

3.4.1 音声対話

音声対話は Gemini Live API を WebSocket で接続し、双方向のストリーミングとして実装した。使用した対話モデルは gemini-2.5-flash-native-audio-preview-12-2025 である。入力はヘッドセット内蔵マイクの音声を 16 kHz, 16 bit の PCM に変換し、50 ms 単位で連続送信する。出力は Gemini が生成した 24 kHz の PCM 音声を受信し、Unity の AudioSource で再生する。受信音声はバッファに蓄えながら連続再生し、リップシンクと同期させてアバターの発話と一致するように提示する。使用する音声は Kore とし、発話言語はシステムプロンプトにより日本語に制御する。

3.4.2 ターン管理

対話の進行は、Gemini から送られるターン完了通知に基づいて管理する。モデルの応答の生成が完了した時点でユーザの発話待ち状態に入り、沈黙が 15 秒継続した場合に空のユーザメッセージを送信して

次の応答生成を開始させる。ユーザの発話が検出された時点では沈黙計測を停止し、応答生成が完了して再び待ち状態に入った時点で計測を再開する。これにより、沈黙が長引いた場合でも、会話の進行が滞らないようにした。

また、Gemini Live API は音声アクティビティ検出によりユーザの割り込み発話を検出できる。割り込みが検出されると生成中の出力は破棄され、中断通知が送られ、保留中の関数呼び出しも破棄される。本システムでは中断通知を受けた時点で音声再生バッファをクリアにすることで、中断後の応答音声再生が再生されることを防ぐ。

3.4.3 システムプロンプト設計

Gemini には、日常的な雑談を自然に続けるためのシステムプロンプトを与えた。ペルソナは同年代の友人として設定し、丁寧すぎない柔らかな話し方を用いるように指示した。会話方針として、ユーザが話しやすいよう共感的に受け止め、短い応答でテンポを保ち、発話の最後は質問で終わることを指示する。

また、会話を締めくくる定型句は避け、ユーザの反応に応じて話題を柔軟に切り替える。現実空間の状況に言及し、必要に応じて共同注意として同じ対象への指差しや頭部の向きを伴うことで、現実空間の文脈を活かした対話が成立するように指示した。

3.4.4 関数呼び出し機構

本システムでは、対話モデルが音声応答に加えて利用可能な関数を呼び出し、Unity 側で情報の取得およびアバター動作を実行する。関数は、指差し座標、物体検出といった環境理解に関わる情報の取得と、会話ジェスチャーや着席、起立といった身体表現に関わる動作制御から構成される。

関数の定義は、セッション開始時に送信するメッセージに含め、モデルに対して利用可能な関数名と入出力を提示する。条件の違いによる、環境理解の有無および身体性の有無に応じて、メッセージに含める関数定義を切り替え、条件で許可された機能のみをモデルが呼び出せるようにした。

3.5 環境理解機能

本研究では、現実空間の情報を取得し、対話内容やアバターの振る舞いに反映する機能を環境理解と呼ぶ。環境理解は、パススルー画像を対話モデルに入力して室内の状況を会話に反映させる画像参照と、指差し位置、着席と起立などのユーザ状態の理解と、参照対象の 3 次元位置を特定する参照対象の位置特定から構成される。参照対象の位置特定は、指差し

や移動などに利用する。

本節では、パススルー画像を活用した画像参照、ユーザ状態の取得、物体検出による参照対象の位置特定、ハンドトラッキングによる指差し位置の特定を述べる。

3.5.1 パススルー映像の送信

画像参照では、パススルー映像のフレームを Gemini に送信する。映像は Meta の PassthroughCameraAccess から取得し、JPEG に変換して 1 秒間隔で送信する。

送信時には Gemini Live API のメディア解像度設定に従い、MEDIA_RESOLUTION_LOW を用いた。これにより、Gemini はユーザが見ている現実空間の文脈を参照でき、パススルー映像に写っている、周囲の物体や状況に即した発話を生成できる。

映像の送信は実験条件に応じて有効化し、画像参照の有無を切り替える。

3.5.2 ユーザ状態の取得

ユーザの姿勢と距離は HMD のトラッキング情報から取得した値に基づいて判定する。本項では、ユーザ位置、指差し、姿勢、距離の取得方法を述べる。

ユーザ位置

ユーザの位置は頭部の HMD の位置から取得し、関数呼び出しに対する応答として Gemini へ返す。

指差し位置

ユーザの指差し位置はハンドトラッキングから算出する。人差し指の先端と第二関節の位置を用いて指差し方向のレイを生成し、Meta の EnvironmentRaycastManager による環境レイキャストによって指差し先の実環境との交点を求め、3 次元座標を取得する。最大レイ距離は 5 m とした。

左右の手は独立に判定し、有効な手が一方のみの場合はその手を採用する。両手が有効な場合は、ユーザ位置からの距離が大きい指差し点を採用した。取得した座標は関数呼び出しに対する応答として Gemini に返し、会話内容に応じた移動や指差しの関数呼び出しに利用する。指差し先が得られない場合は座標を返さず、その座標に基づく動作を行わない。

姿勢の検知

着席と起立の検知は頭部高さの変化を用いる。実験開始時に参加者ごとに着席時と起立時の高さを計測し、両者の中間値を境界として状態を分類する。また、境界付近では姿勢の揺れやトラッキングの誤差により状態が頻繁に切り替わりやすい。そこで境界の前後に 0.05 m のヒステリシスを設け、境界を一定量以上越えた場合にのみ状態を更新することで、チャタリングを抑制した。着席した時点で「[システ

ム] ユーザが座りました」, 起立した時点で「[システム] ユーザが立ちました」を送信し, モデルの応答生成を開始する。

ユーザとアバターの距離検知

ユーザとアバターの距離は両者の水平距離から算出し, 近距離・中距離・遠距離の状態に分類する。近距離 0.8 m, 遠距離 3.0 m と設定し, 0.15 m のヒステリシスを設けて状態の切替を安定化した。これらの閾値は, 実験室環境で本システムを使用し対話相手が近いと感じられる距離と, 室内で相手が離れていると感じられる距離を基準に経験的に設定した。

また, 距離は境界付近で状態が揺れやすいため, 境界付近の揺れによるチャタリングを抑え, 状態遷移が安定したタイミングでのみ更新されるようにした。距離が近距離の閾値以下に入った時点で「[システム] ユーザとの距離が近いです。」, 遠距離の閾値以上に入った時点で「[システム] ユーザとの距離が遠いです。」を送信し, モデルの応答生成を開始する。

3.5.3 参照対象の位置推定

参照対象の位置の特定のため, 物体検出に Gemini API の `generateContent` を用いる。検出モデルは `gemini-2.5-flash-lite` である。パススルー画像に対して対象物の名称を指定して問い合わせ, 検出結果は JSON 形式で返される。

物体検出結果は, 画像サイズに対する相対座標で表されたバウンディングボックスとして得られる。座標系は画像左上を原点とするため, Unity のビューポート座標系の左下原点に変換したうえで, 領域の中心を算出する。PassthroughCameraAccess を用いて撮影時のカメラ姿勢から対応するレイを生成し, EnvironmentRaycastManager による環境レイキャストで現実空間との交点を求める。これにより, 画像上の 2 次元の検出結果を現実空間の 3 次元の座標へと変換する。レイキャストに失敗した候補は除外する。

3.5.4 環境理解に基づく動作制御

環境理解では, ユーザ位置, 指差し座標, 参照対象の位置を関数呼び出しで呼び出せるようにして, 呼び出されたタイミングで Gemini に返す。関数の出力は 3 次元座標の検出座標のリストであり, 指差しや移動などの身体表現に関わる関数呼び出しの引数として用いる。

3.6 身体性提示機能

本節では, アバターの構成, 身体表現の生成, Gemini の関数呼び出しによる動作制御について述べる。

3.6.1 アバター構成

アバターは Unity-chan の Humanoid モデルを用い, MR 空間に重ねて表示する。Unity-chan は公式配布ページから入手したバージョン 1.4.0 を使用し, オクルージョン対応のマテリアルに変更した。Animator を用いて会話用アニメーションや姿勢遷移を制御し, 音声再生に合わせて uLipSync によるリップシンクを行う。uLipSync は 3.1.4 を使用した。これにより, 音声と口の動きが一致した発話表現を行う。

アニメーションは会話用のジェスチャー, 移動, 方向転換, 着席など複数の状態から構成し, これらは Mixamo で配布されるアニメーションを用いた。

各アニメーションは Animator のパラメータによって遷移させる。

Unity の Animation Rigging を用いて頭部の向きの調整や腕の指差し姿勢を補助し, アニメーションのみでは表現できない方向性や位置合わせを補完する。頭部の向きの調整には Multi-Aim Constraint を用い, 指差しには Two-Bone IK を用いる。アバターの表示は条件に応じて有無を切り替えられる。Animation Rigging は 1.4.0 を使用した。

3.6.2 非言語的身体表現

アバターの身体表現は会話ジェスチャー, 頭部の向き, 方向転換, 指差し, 移動, 着席と起立を統合して構成する。

会話ジェスチャー

会話ジェスチャーは短い身振りを表すアニメーションとして用意し, 会話内容に応じて再生する。挨拶, うなずき, 喜び, 会話, 感謝などのアニメーションを用意した。アニメーション名に基づき Animator の整数パラメータで再生 ID を指定し, トリガにより該当ジェスチャーを再生する。

会話アニメーションの例を図 1 に示す。

頭部の向き

頭部の向きは通常ユーザ方向へ追従し, 移動中は進行方向へ向ける。着席, 起立, 移動, 指差しの一連の動作中は, ユーザ方向へ追従は行わない。向きの制御は Animation Rigging の Multi-Aim Constraint を用いる。

方向転換

方向転換は方向転換アニメーションと実回転を同期させて行う。関数呼び出しによる指定座標への方向転換に加え, ユーザが正面から 70 度以上外れた場合は自動的にユーザ方向へ向き直し, 対話相手としてユーザに向き合った姿勢を保つ。自動でのユーザ方向への方向転換は, 着席, 起立, 移動, 指差しの一連の動作中は行わない。



図 1 会話ジェスチャーの例



図 2 指差しの様子



図 3 移動中の様子



図 4 着席中の様子

指差し

指差しは、アバターの IK 制御により腕の向きと指先の位置を調整して実現する。指差しの様子を図 2 に示す。指差しは指定座標が、アバターの正面方向から 80 度までの場合は行い、それ以上の場合は指差しを行わない。指先の向きは頭部位置を基準に対象方向ベクトルを算出し一致させた。指差し時間は 5 秒とし、指差しを行う手はアニメーションパラメータで切り替え可能とした。動作の制約として、着席中は方向転換および移動を行わない。

移動

移動は NavMeshAgent で経路を計算し、移動開始前に進行方向への方向転換を行う。移動中はアニメーションのブレンドツリーに速度を入力し、前後左右の歩行を表現する。目的地に到達すると移動を停止する。移動中の様子を図 3 に示す。

着席と起立

着席と起立の動作を実装した。椅子の位置と向きを示す基準点と立ち位置の基準点は実験環境に事前に手動で配置する。着席では椅子の基準点の手前の位置へ移動し、目的地到達後に椅子の向きへ方向転換して座りアニメーションへ遷移する。着席中は NavMeshAgent を無効化し、アニメーションの Root

Motion を用いて身体を移動させる。座面位置は Match Target で補正し、椅子の基準点が示す座面高さと同じ向きに一致するよう調整する。起立では立ち上がりアニメーションの進行に合わせて Match Target で元の立ち位置へ復帰させ、終了後に NavMeshAgent を再有効化する。立ち上がりアニメーション終了後、立ち位置の基準点へ移動し、立ち位置を統一する。着席中の様子を図 4 に示す。

3.6.3 動作制御機構

身体表現は Gemini の関数呼び出しで制御する。会話内容に応じた身振りはアニメーション名を指定して再生し、着席・起立は専用の関数で開始する。対象座標への方向転換、移動、指差しは座標入力に関数として実装し、環境理解の結果やユーザ指差し座標を用いて動作させる。

関数呼び出しは Unity 側で受信し、会話ジェスチャー、方向転換、移動、指差し、着席、起立といった動作を実行する。実行結果は応答として Gemini に返され、以降の応答生成に利用される。これにより、対話モデルは入力された会話内容と周囲の環境、ユーザ状態に基づき、必要な動作を選択し、音声応答と整合した身体表現を行う関数を呼び出せる。

表 2 に、身体表現に関わる関数呼び出しと動作の

表 2 身体表現に関わる関数と入出力

機能	関数名	入力	出力
会話ジェスチャーの再生	animate_avatar	animation _name	成功/失敗 メッセージ
指定方向への転向	turn_to_direction	x, y, z	成功/失敗 メッセージ
指定座標への移動	move_to_coordinates	x, y, z	成功/失敗 メッセージ
指定座標の指差し	point_at	x, y, z	成功/失敗 メッセージ
着席動作の開始	sit_on_chair	なし	成功/失敗 メッセージ
起立動作の開始	stand_up_from_chair	なし	成功/失敗 メッセージ

表 3 条件別に有効化された身体表現機能

関数名	音声	音声+ 環境	アバター	アバター+ 環境
animate_avatar	×	×	○	○
sit_on_chair	×	×	○	○
stand_up_from_chair	×	×	○	○
turn_to_direction	×	×	×	○
move_to_coordinates	×	×	×	○
point_at	×	×	×	○

対応を示す。表 3 に条件別に許可した身体表現に関わる関数を示す。

3.7 共同注意支援機能

共同注意は、ユーザと AI エージェントが同じ対象に注意を向けていることを可視化するための振る舞いである。現実空間の物体に言及する際に頭部の向きと指差しを組み合わせ、注意の向きを明確に示す。これにより、発話内容と身体動作が連動し、注意している対象を明確に示せるようにする。共同注意の様子を図 2 に示す。

共同注意の目的は、指示語が多い雑談において参照対象を明確にし、ユーザが AI エージェントの意図を理解しやすい状態を作ることである。指差しと身体の向きの変化を併用することで、言語だけでは伝わりにくい注意方向を補完する。

共同注意はシステムプロンプトに規定し、AI エージェントが現実空間の物体に言及する場合は発話の前に参照対象の位置特定関数を実行し、指差しの関数呼び出しを行うよう指示している。

3.8 外部制御機構

実験の開始や終了、条件の切り替えを円滑に行うため、外部制御用のネットワーク通信モジュールを実装した。外部 PC から同一ネットワーク経由で TCP 通信を行い、JSON 形式の要求を送信することで、対話セッションの接続と切断、マイクと映像送信の有効化、条件の切り替えを実行できるようにした。

4. 実験

本章では、第 3 章で述べた実世界を理解する MR ピアエージェント対話システムを用いて実施した実験について述べる。本実験は、環境理解および身体性が社会的存在感と孤独感に与える影響を検証することを目的として設計した。

4.1 目的と仮説

本実験の目的は、実世界の文脈を理解して振る舞うピアエージェントが、ユーザの孤独感と社会的存在感に与える影響を定量的に検証することである。第 3 章で示したシステムは、環境理解と身体性の二つの要因を独立に操作できる構成であり、これらの要因が対話体験の社会的存在感と孤独感に及ぼす効果を明らかにする。具体的には、環境理解と身体性の有無を組み合わせた条件間で主観評価を比較し、どの要因が社会的存在感の向上に寄与し、それが孤独感の低減とどのように関係するかを検討する。

本研究では以下の仮説を設定した。

- H1**：環境理解を備えた AI エージェントは、備えないエージェントと比較して社会的存在感を高める。
- H2**：身体性を備えた AI エージェントは、備えないエージェントと比較して社会的存在感を高める。
- H3**：環境理解と身体性が同時に備わる条件では、両者の交互作用により社会的存在感が相乗的に高まる。
- H4**：社会的存在感が高い条件ほど、ユーザの孤独感は低い。

4.2 実験デザイン

本実験は、環境理解の有無と身体性の有無を独立に操作する 2 要因 2 水準の被験者内計画とする。参加者は 4 条件すべてを体験し、各条件の会話体験の直後に主観評価を実施する。条件ごとの会話時間は約 10 分とし、全体の所要時間は約 1 時間半である。

4.2.1 条件構成

本研究では、環境理解と身体性の有無を組み合わせた 4 条件を設定した。

表 4 条件構成と機能対応

機能	音声	音声+環境	アバター	アバター+環境
アバター表示	×	×	○	○
画像参照	×	○	×	○
着席・起立の検知	×	○	×	○
ユーザとの距離の検知	×	×	×	○
共同注意	×	×	×	○
指差し対象への移動	×	×	×	○

表 5 条件提示順と割り当て

順序	1回目	2回目	3回目	4回目
順序 1	音声	音声+環境	アバター+環境	アバター+環境
順序 2	音声+環境	アバター	音声	アバター+環境
順序 3	アバター	アバター+環境	音声+環境	音声
順序 4	アバター+環境	音声	アバター	音声+環境

- **音声のみ条件**：音声のみの対話を行い、アバター表示および環境理解は行わない。
- **音声+環境理解条件**：音声対話に環境理解を加え、画像参照により室内状況を会話に反映し、着席・起立の変化を検知して発話に反映する。
- **アバター条件**：アバターを表示し身体性を提示するが、環境理解は行わない。
- **アバター+環境理解条件**：アバター表示と環境理解の両方を有し、画像参照およびユーザ状態の理解に加え、参照対象の位置推定を用いた指差しや移動を行い、共同注意を提示する。

表 4 に、各条件で有効化された機能を示す。

4.2.2 条件提示順

条件提示順による順序効果を抑制するため、ラテン方格に基づき 4 通りの提示順を用意した。各参加者には順序 1 から順序 4 のいずれかを割り当て、提示順が均等になるように割り付けた。各順序の条件提示列を表 5 に示す。

4.3 参加者

本実験には、公立はこだて未来大学の学生が参加した。本節では、参加者の募集方法および属性につ

表 6 参加者属性と事前特性の記述統計

変数	カテゴリ	値
参加者数		$N = 28$
年齢		$M = 20.64, SD = 1.75,$ $range = 18-24$
性別	男性	19 (67.9)
	女性	9 (32.1)
学年	B1	10 (35.7)
	B2	1 (3.6)
	B3	10 (35.7)
	B4	4 (14.3)
	M1	2 (7.1)
	M2	1 (3.6)
住居形態	一人暮らし	20 (71.4)
	寮・シェアハウス	4 (14.3)
	実家	3 (10.7)
	同棲	1 (3.6)
MR/VR ヘッドセット 使用頻度	使用なし	12 (42.9)
	1 から 2 回程度	8 (28.6)
	月に数回	6 (21.4)
	週に 1 回以上	2 (7.1)
対話エージェント 利用頻度	使用なし	4 (14.3)
	1 から 2 回程度	6 (21.4)
	月に数回	7 (25.0)
	週に 1 回以上	11 (39.3)

注) B1-B4 は学部 1 年から 4 年 (Undergraduate), M1-M2 は修士課程 1 年および 2 年 (Master's) を示す。

いて述べる。

4.3.1 募集方法

参加者は学内メールにより募集した。参加に先立ち、同意書を用いて研究内容を説明し、研究参加への同意を得た。

4.3.2 参加者属性と事前特性

参加者は 28 名 (男性 19 名, 女性 9 名) であった。参加者の属性および事前特性の記述統計を表 6 に示す。

4.4 手続き

本節では、実験の手続きおよび評価方法について述べる。実世界を理解して振る舞うピアエージェントの効果を定量的に検証するため、アンケートによる主観評価を用いた。評価は実験前、各条件体験直後、実験後の 3 段階で実施した。

4.4.1 実験前

実験前アンケートでは、参加者属性および事前特性を把握した。属性として年齢、性別、学年、住居形態を尋ねた。特性として、対人交流の状況、MR・VR ヘッドセットの使用経験、対話エージェントの利用経験を尋ねた。

加えて、特性的孤独感を把握するため、日本語版 UCLA 孤独感尺度第3版短縮版 [15] を用いた。本尺度は6項目、4件法で構成される。孤独を表す3項目を逆転項目として扱い、回答値を5から減じた値に変換した。逆転項目は「独りぼっちだと感じる」、「他人から孤立していると感じる」、「まわりに人はいるけれど、心は通っていないと感じる」である。6項目の平均値を尺度得点とし、得点が高いほど特性孤独感が高いことを表す。

4.4.2 各条件後

各条件の会話終了直後に、各条件後アンケートを実施し、当該条件における体験を評価させた。各条件後アンケートは、社会的存在感、状態孤独感、操作要因の知覚と体験評価、自由記述から構成した。

臨場感の測定には、Temple Presence Inventory [8] に基づき、空間的臨場感、没入、社会的豊かさ、ならびに社会的存在感の下位尺度であるメディア内行為者としての社会的存在感、受動的社会的存在感、能動的社会的存在感に関する項目を用いた。本研究では、原著の質問項目を日本語に翻訳して用い、各項目は7件法で回答させ、各下位尺度ごとに項目平均を算出した。

状態孤独感の測定には、Momentary Loneliness Scale [4] を参照した。原著の尺度は全12項目で構成され、各項目は0-100の視覚的アナログ尺度で回答される。本研究では、原著の質問項目を日本語に翻訳して用い、実験の回答形式に合わせて各項目を10件法で回答させた。つながりを表す5項目を逆転項目として扱い、回答値を11から減じた値に変換した。逆転項目は「私は周りの人たちと気持ちを通じ合っていると感じる」、「私は友人グループの一員だと感じる」、「私は周りの人に受け入れられていると感じる」、「私は周りの人たちと親しいつながりを感じる」、「私には話を聞いてくれる人がいると感じる」である。12項目の平均値を尺度得点とし、得点が高いほど会話中の状態孤独感が高いことを表す。

また、条件操作の成立を確認し結果解釈を補助するため、環境への言及がなされていたか、行動や状況に合った応答であったか、身体が存在や動きが知覚されたか、共同注意が成立したと感じたかといった操作要因の知覚に関する項目を設けた。さらに、親しみやすさ、共感、話しやすさ、自然さ、楽しさ、

見られていることに対する不快感、技術的問題の認知など、体験品質に関する項目も設けた。自由記述では、印象に残った点や違和感、良かった点、改善点を記述させた。

4.4.3 実験後

実験後アンケートでは、システム全体の使いやすさおよび総合評価を評価させた。

使いやすさの測定には、System Usability Scale (SUS) [1] を用いた。本尺度は10項目、5件法で構成され、原著の質問項目を日本語に翻訳して用いた。奇数項目は回答値から1を減じ、偶数項目は5から回答値を減じて合計し、2.5を乗じて0から100に換算した。得点が高いほど、使いやすさが高いことを表す。

あわせて4条件のうち最も良かった条件と日常生活で使いたい条件を選択させ、7件法で日常生活での利用意図と一人で過ごす時間が長い状況における有用性を尋ね、その理由を自由記述で尋ねた。

4.5 実験環境

実験は大学内の実験室で実施した。参加者が日常的生活空間を想定しやすいよう、一人暮らしの部屋を模した環境を構築した。机、椅子、書籍、小物、パソコン、テレビを配置し、参加者が着席して会話できる環境を整えた。パソコンにはWebブラウザ (Chrome) を表示し、テレビは音を出さず映像のみを表示した。雑談の話題をまとめた紙と、条件ごとに利用できるAIエージェントの機能を示した紙を机上に配置した。

実験にはMeta Quest 3を使用した。外部サービスとの通信には無線LANを用い、アンケート回答は実験室内のパソコンで行った。

4.6 実験手順

本節では、実験の進行手順について述べる。全体の所要時間は約1時間半である。実験は事前説明と準備、4条件の会話体験、各条件後アンケート、実験後アンケートの順で進行した。

4.6.1 事前

まず、参加者に実験内容、所要時間を説明した。次に、同意書を提示し、同意を得た上で、被験者IDを割り当てた。その後、実験室のパソコンを用いて実験前アンケートに回答させた。

続いて、実験室は参加者の自室という設定を提示し、実験中は書籍の閲覧、パソコンによる閲覧、テレビの視聴が可能であることを伝えた。そして、机上の小物や家具の向きなどを参加者が好みに合わせ

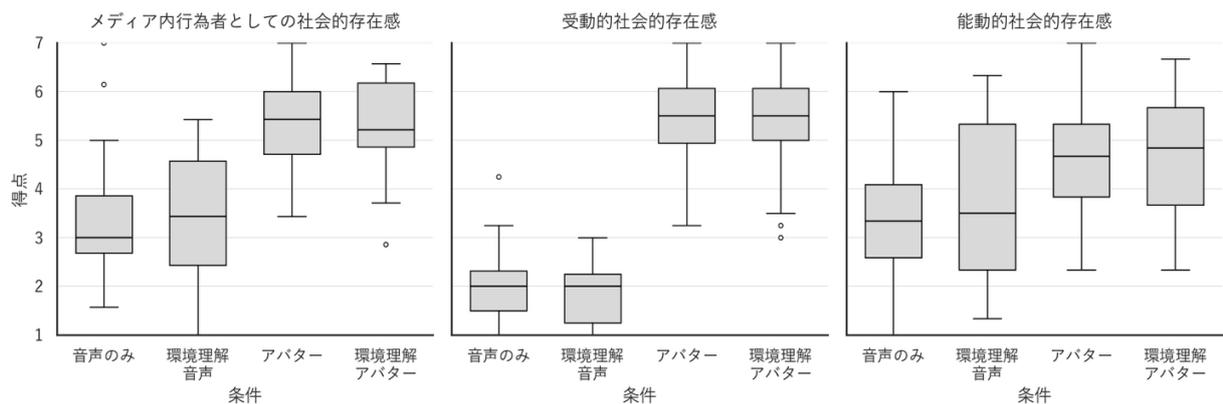


図 5 社会的存在感の各下位尺度得点の条件別箱

て調整できる時間を設けた。

その後、ヘッドセットの装着方法、瞳孔間距離と音量の調整方法を説明し、ヘッドセットを装着させた。装着後、対話は自室に友人が来訪したという設定で行うこと、会話内容は日常の雑談で良いこと、話題に困った場合は話題リストを参照してよいこと、沈黙しても問題ないことを伝えた。会話中の座る位置の変更や室内移動は自由であることを説明した。そして、体調不良が生じた場合はただちに中止できることを伝えた。また、会話は4回実施し、各回の所要時間は約10分であることを説明した。

4.6.2 体験中

参加者は割り付けられた提示順に従い4条件の会話体験を実施した。各回の開始前にヘッドセットを装着させ、当該条件で利用できる機能を説明した。そして、自分の部屋に友人が遊びに来たという設定で、雑談を行うよう指示し、会話を開始した。

会話の開始と終了は、実験者が別室からネットワーク経由で操作した。会話中は実験室には参加者のみがいた。

参加者は10分間にわたりAIエージェントと会話した。各条件の体験終了後、参加者はヘッドセットを外し、直前の体験に関する各条件後アンケートに回答した。

4.6.3 事後

4条件の体験終了後に実験後アンケートに回答させた。アンケート回答後、実験を終了した。参加者は実験終了後に目的を説明され、質疑応答の機会を与えられた。

5. 結果

本章では、第4章で述べた実験により得られたデータの分析結果を示す。まず、分析対象データの概要を述べた後、主要評価指標である社会的存在感および状態孤独感の結果を報告する。続いて、これらの結果を補足する補助評価指標、実験後アンケートの結果、質的データの分析結果を示し、最後に特性孤独感との関連を検討する。

5.1 分析対象データ

本研究では、実験前アンケート、各条件後アンケート、実験後アンケートの回答データを分析対象とした。参加者は28名であり、全員が4条件を体験した。各条件後アンケートの回答数は条件ごとに28件であり、4条件の合計は112件である。

各条件後アンケートの回答には、条件ラベルを付与するため実験管理シートを用いた。実験管理シートには、各参加者IDと条件提示順が記録されている。各条件後アンケートの回答について、実験管理シートに記録された提示順と回答の実施順を照合することで、回答が該当する条件を特定した。条件は、音声、音声+環境、アバター、アバター+環境の4条件とした(それぞれ「音声のみ」「環境理解付き音声」「アバター」「環境理解付きアバター」に対応する)。

本研究は環境理解の有無と身体性の有無を独立に操作する2要因2水準の被験者内計画である。以降の分析では、上記4条件を環境理解(なし/あり)と身体性(なし/あり)の2要因に展開して扱った。各条件後アンケートは、参加者ごとに各条件の回答を1件として集計した。実験前アンケートと実験後アンケートは、参加者ごとに1件の回答として集計

した。

得点の算出に必要な項目に欠損はなかったため、除外は行わなかった。得点化は 4.4 節に示した手順に従った。実験前アンケートからは特性孤独感得点を作成した。各条件後アンケートからは、Temple Presence Inventory に基づく下位尺度得点（空間的臨場感、没入、社会的豊かさ、メディア内行為者としての社会的存在感、受動的社会的存在感、能動的社会的存在感）および Momentary Loneliness Scale に基づく状態孤独感得点を作成した。実験後アンケートからは、System Usability Scale に基づく使いやすさ得点を作成した。条件操作の知覚と体験品質に関する単項目は、回答値をそのまま用いた。

5.2 主要評価指標

本節では、本研究の主要評価指標である社会的存在感および状態孤独感の分析結果を示す。まず社会的存在感の結果を報告し、続いて状態孤独感の結果を示す。さらに、両指標の関連を検討する。

5.2.1 社会的存在感

本節では、各条件後アンケートに基づき、社会的存在感の分析結果を示す。社会的存在感は、対話相手をそこにいる他者として感じる程度を表す指標であり、本研究においては身体性および環境理解が対話体験の社会的側面に与える影響を検討するための主要な評価指標である。

記述統計

条件別分布は図 5 に示す。全体として、身体性ありのアバター条件および環境理解付きアバター条件は、身体性なしの音声のみ条件および環境理解付き音声条件よりも社会的存在感が高い傾向を示した。一方で、環境理解の有無に対応する音声のみ条件と環境理解付き音声条件、アバター条件と環境理解付きアバター条件の差は小さかった。社会的存在感の各下位尺度はいずれも、身体性あり条件で高く、環境理解の有無による差は相対的に小さかった。

要因効果

環境理解の有無と身体性の有無を要因とする 2 要因 2 水準の反復測定分散分析を、各下位尺度得点に対して実施した。メディア内行為者としての社会的存在感、受動的社会的存在感、能動的社会的存在感のすべてにおいて、身体性の主効果が有意であった。環境理解の主効果と交互作用はいずれも有意ではなかった。

条件間比較

条件間の差を確認するため、音声のみ条件、環境理解付き音声条件、アバター条件、環境理解付きアバター条件の 6 組に対して対応のある t 検定を実施した。多重比較の補正には Holm 法を用い、表 7 の p は補正後の値を示す。

メディア内行為者としての社会的存在感では、アバター条件および環境理解付きアバター条件は音声のみ条件および環境理解付き音声条件より高かった。一方、音声のみ条件と環境理解付き音声条件、アバター条件と環境理解付きアバター条件の差は有意ではなかった。

受動的社会的存在感でも同様に、アバター条件および環境理解付きアバター条件は音声のみ条件および環境理解付き音声条件より高く、音声のみ条件と環境理解付き音声条件、アバター条件と環境理解付きアバター条件の差は有意ではなかった。能動的社会的存在感では、環境理解付きアバター条件は音声のみ条件および環境理解付き音声条件より高く、アバター条件は音声のみ条件より高かったが、環境理解付き音声条件とアバター条件およびアバター条件と環境理解付きアバター条件の差は有意ではなかった。社会的存在感の各下位尺度はいずれも身体性の付与によって上昇し、環境理解の付与による一貫した上昇は確認されなかった。

5.2.2 状態孤独感

本節では、各条件後アンケートに基づき、状態孤独感の分析結果を示す。状態孤独感は、会話中に感じた一時的な孤独の程度を表す指標であり、本研究では身体性および環境理解が孤独感の低減に与える影響を検討するための主要評価指標として用いた。

記述統計

条件別分布を図 6 に示す。音声のみ条件と環境理解付き音声条件ではアバター条件と環境理解付きアバター条件より状態孤独感が高く、身体性ありの条件で得点が低い傾向を示した。

要因効果

環境理解の有無と身体性の有無を要因とする 2 要因 2 水準の反復測定分散分析を、状態孤独感得点に対して実施した。結果を表 8 に示す。身体性の主効果が有意であり、身体性ありの条件で状態孤独感が低かった。すなわち、環境理解の有無にかかわらず、身体性の付与が会話中の状態孤独感の低減に寄与する傾向が示された。一方で、環境理解の追加や交互作用による追加的な低減効果は確認されなかった。環境理解の主効果と交互作用はいずれも有意ではなかった。

表 7 社会的存在感下位尺度の条件間多重比較

尺度	比較条件	t (27)	p	d _z
メディア内行為者としての社会的存在感	音声のみ - 環境理解付き音声	-0.22	1.000	-0.04
	音声のみ - アバター	-8.77	<.001***	-1.66
	音声のみ - 環境理解付きアバター	-7.05	<.001***	-1.33
	環境理解付き音声 - アバター	-6.52	<.001***	-1.23
	環境理解付き音声 - 環境理解付きアバター	-6.52	<.001***	-1.23
	アバター - 環境理解付きアバター	0.03	.1000	0.01
	受動的社会的存在感	音声のみ - 環境理解付き音声	0.94	.713
音声のみ - アバター		-	<.001***	-2.77
音声のみ - 環境理解付きアバター		14.68	<.001***	-2.87
環境理解付き音声 - アバター		15.20	<.001***	-2.91
環境理解付き音声 - 環境理解付きアバター		15.56	<.001***	-2.94
アバター - 環境理解付きアバター		0.23	.820	0.04
能動的社会的存在感		音声のみ - 環境理解付き音声	-1.58	.250
	音声のみ - アバター	-3.69	.005**	-0.70
	音声のみ - 環境理解付きアバター	-4.16	.002**	-0.79
	環境理解付き音声 - アバター	-2.33	.082	-0.44
	環境理解付き音声 - 環境理解付きアバター	-2.80	.038*	-0.53
	アバター - 環境理解付きアバター	-0.65	.519	-0.12

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

条件間比較

条件間の差を確認するため、音声のみ条件、環境理解付き音声条件、アバター条件、環境理解付きアバター条件の6組に対して対応のある t 検定を実施した。多重比較の補正には Holm 法を用い、表 9 の p は補正後の値を示す。

音声のみ条件はアバター条件および環境理解付きアバター条件より状態孤独感が高かった。環境理解

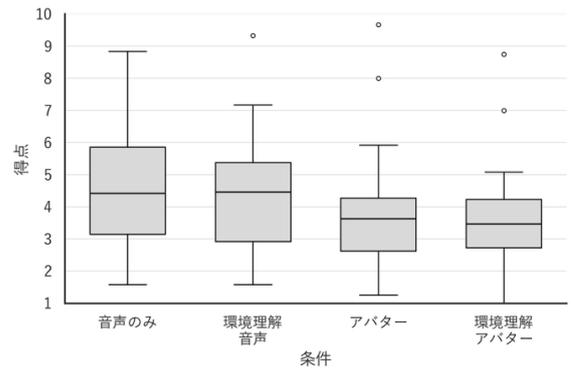


図 6 状態孤独感得点の条件別分布 (箱ひげ図)

表 8 状態孤独感得点の反復測定分散分析結果

尺度	効果	F (1, 27)	p	η p ²
状態孤独感	環境理解	2.59	.119	.09
	身体性	10.63	.003	.28
	交互作用	0.52	.478	.02

付き音声条件は環境理解付きアバター条件より状態孤独感が高かった。一方、音声のみ条件と環境理解付き音声条件、環境理解付き音声条件とアバター条件、アバター条件と環境理解付きアバター条件の差は有意ではなかった。状態孤独感身体性の付与によって低下し、環境理解の付与による一貫した低下は確認されなかった。

5.2.3 社会的存在感と状態孤独感の関連

社会的存在感と状態孤独感の関連を検討するため、メディア内行為者としての社会的存在感、受動的社会的存在感、能動的社会的存在感の各下位尺度の単純平均を社会的存在感の合成得点として算出し、状態孤独感得点との関係を図 7 に示す。社会的存在感の合成得点は状態孤独感と中程度に負に関連した。反復測定相関は参加者内の変動に着目するため、参加者間の平均差の影響を抑えたうえで、ある参加者が別条件でより高い社会的存在感を感じたときに、その参加者の状態孤独感がより低くなる傾向を表す。したがって図 7 は、社会的存在感が高まる方向の変化と、状態孤独感が低下する方向の変化が同時に生じやすいことを示唆する。ただし、これは相関に基づくものであり、因果関係を直接示すものではない。各下位尺度別でも同様に負の関連がみられた。

5.3 補助評価指標

本節では、主要評価指標である社会的存在感と状

表 9 状態孤独感得点の条件間多重比較結果

比較	$t(27)$	p	d_z
音声のみ - 環境理解付き音声	1.59	.248	0.30
音声のみ - アバター	2.90	.037*	0.55
音声のみ - 環境理解付きアバター	3.10	.027*	0.59
環境理解付き音声 - アバター	2.26	.095	0.43
環境理解付き音声 - 環境理解付きアバター	2.76	.041*	0.52
アバター - 環境理解付きアバター	0.79	.434	0.15

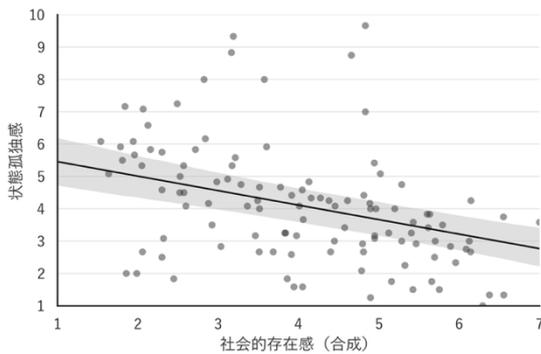


図 7 社会的存在感（合成得点）と状態孤独感の関係。実線は反復測定相関に基づく回帰直線，帯は95%信頼区間を示す。

状態孤独感を補足するため、各条件後アンケートで取得した補助評価指標の結果を示す。

5.3.1 臨場感関連指標

空間的臨場感、没入、社会的豊かさの条件別分布表は図8に示す。全体として、身体性ありのアバター条件および環境理解付きアバター条件は、身体性なしの音声のみ条件および環境理解付き音声条件より高い傾向を示した。空間的臨場感は、身体性に加えて環境理解ありの条件で高い傾向がみられた。身体性の有無によって3尺度が一貫して変化しており、空間的臨場感では環境理解が上乘せ効果として働く可能性が示唆される。没入と社会的豊かさは環境理解の有無による差が小さい一方、空間的臨場感では環境理解あり条件のほうが相対的に高く、環境理解の寄与が主に場にいる感覚に表れやすいことが読み取れる。

反復測定分散分析の結果、空間的臨場感では、環境理解の主効果と身体性主効果が有意であった。没入と社会的豊かさでは、身体性主効果が有意であり、環境理解の主効果と交互作用はいずれも有意

ではなかった。すなわち、環境理解はその場にいる感覚を補助する一方で、没入や社会的豊かさには明確な寄与が確認されなかった。一方、身体性は体験全体の臨場感を強く規定する主要因であることが示唆される。

5.3.2 条件操作の知覚

条件操作の成立を確認するため、環境への言及、目の前の状況との一致、行動や注意を理解されている感覚、身体性の存在の意識、身振り表情の自然さ、共同注意に関する単項目を分析した。条件別分布は図9に示す。環境への言及、目の前の状況との一致、行動や注意を理解されている感覚は環境理解付き音声条件および環境理解付きアバター条件で高く、身体性の存在の意識と身振り表情の自然さはアバター条件および環境理解付きアバター条件で高かった。共同注意は環境理解付きアバター条件で最も高かった。これらの傾向は、環境理解と身体性の操作が参加者に概ね意図どおり知覚されていたことを示す。

反復測定分散分析の結果、環境への言及、目の前の状況との一致、行動や注意を理解されている感覚では、環境理解の主効果が有意であり、環境理解ありの条件で得点が高かった。身体性の存在の意識と身振り表情の自然さでは、身体性主効果が有意であり、身体性ありの条件で得点が高かった。共同注意では、環境理解と身体性主効果がいずれも有意であった。交互作用はいずれの項目でも有意ではなかった。環境理解と身体性がそれぞれ想定した知覚項目を選択的に押し上げており、条件操作が狙いどおり参加者に知覚されていたことを統計的に裏付ける。

5.3.3 体験品質と否定的体験

体験品質に関する項目として、親しみやすさ、寄り添い、自己開示、話し相手感、再利用意図、孤独時の有用性、楽しさ、自然さを集計した。あわせて、否定的体験として、不快感、気分の悪さや酔い、技術的な問題を集計した。体験品質の多くの項目は身体性あり条件で高い傾向を示し、否定的体験は全体として低い水準であった。一方、技術的な問題は全条件で中程度の値を示した。身体性あり条件では体験品質が総じて高く技術的な問題が低い一方で、環境理解あり条件では自然さが高い反面、不快感がやや高い傾向が読み取れる。

反復測定分散分析の結果を表10に示す。身体性が体験品質の複数側面を一貫して高める一方、環境理解は自然さを高めつつ不快感をわずかに高めうることを示している。体験品質に関しては、話し相手感、自己開示、再利用意図、孤独時の有用性、楽しさにおいて身体性主効果が有意であり、身体性あ

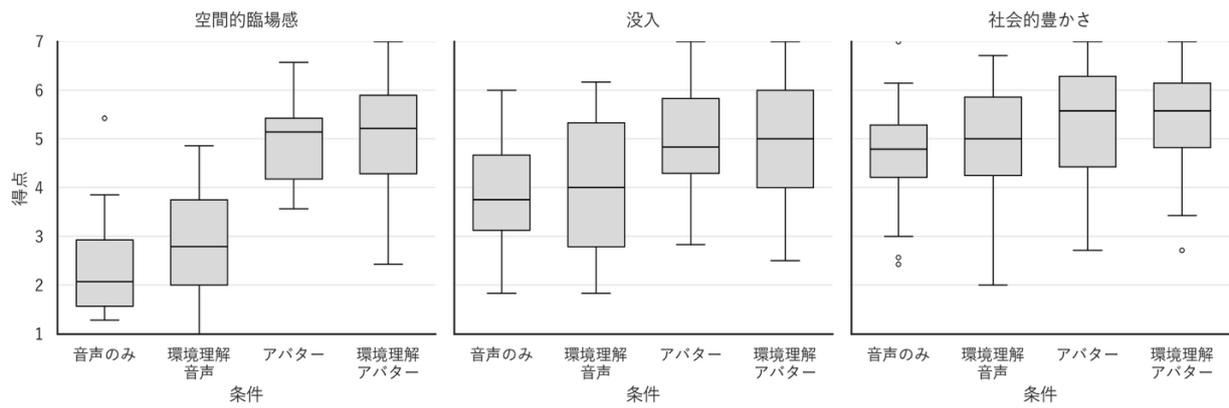


図 8 臨場感関連指標（空間的臨場感，没入，社会的豊かさ）の条件別分布

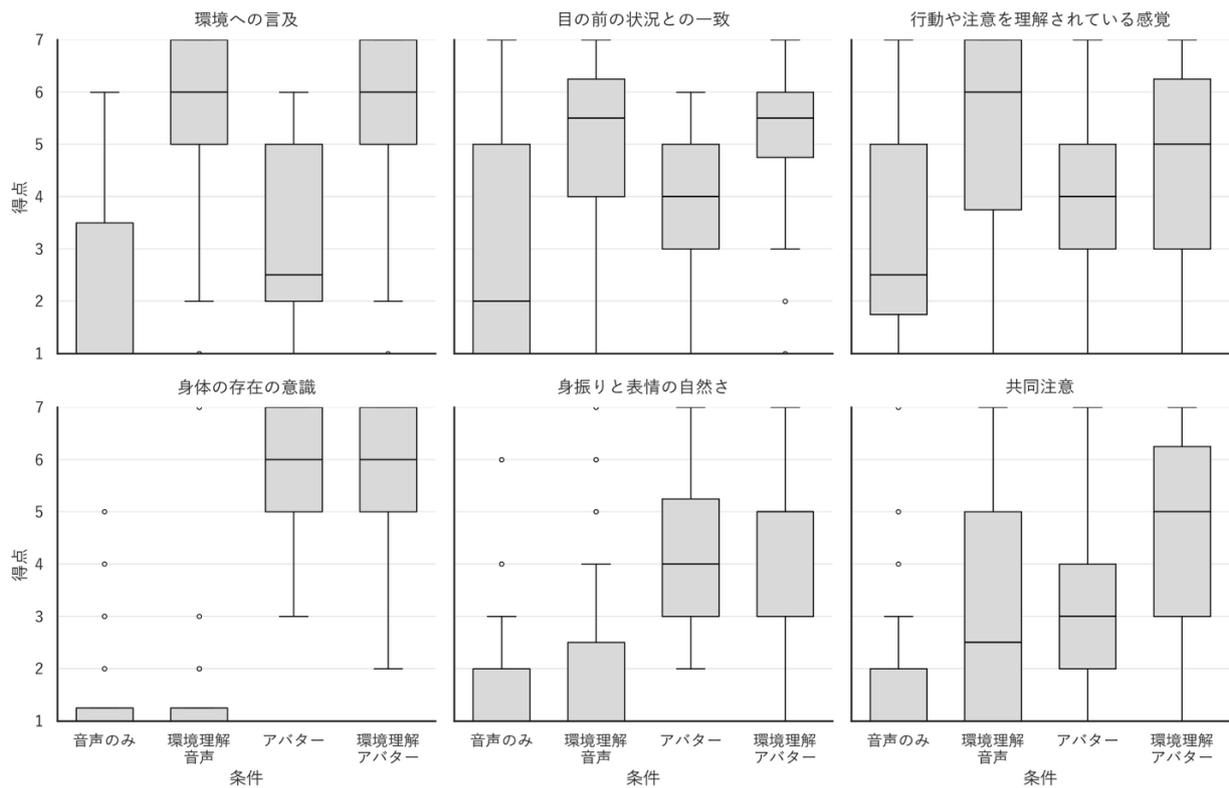


図 9 条件操作の知覚に関する指標の条件別分布

表 10 体験品質および否定的体験の反復測定分散分析結果

尺度	効果	F(1,27)	p	η^2
親しみやすさ	環境理解	4.31	.047*	.14
	身体性	6.95	.014*	.20
	交互作用	7.18	.012*	.21
寄り添い	環境理解	2.24	.146	.08
	身体性	2.50	.125	.08
	交互作用	1.21	.282	.04
自己開示	環境理解	2.43	.130	.08
	身体性	5.16	.031*	.16
	交互作用	0.67	.421	.02
話し相手感	環境理解	0.28	.599	.01
	身体性	11.91	.002**	.31
	交互作用	0.58	.452	.02
再利用意図	環境理解	0.64	.429	.02
	身体性	5.15	.031*	.16
	交互作用	1.25	.273	.04
孤独時の有用性	環境理解	0.49	.491	.02
	身体性	5.28	.030*	.16
	交互作用	3.27	.082	.11
楽しさ	環境理解	3.19	.085	.11
	身体性	8.95	.006**	.25
	交互作用	0.06	.803	.00
自然さ	環境理解	5.93	.022*	.18
	身体性	0.87	.359	.03
	交互作用	0.11	.747	.00
不快感	環境理解	10.35	.003**	.28
	身体性	0.04	.851	.00
	交互作用	0.07	.787	.00
気分の悪さや酔い	環境理解	0.02	.892	.00
	身体性	0.41	.525	.02
	交互作用	3.08	.091	.10
技術的な問題	環境理解	0.32	.578	.01
	身体性	6.56	.016*	.20
	交互作用	0.24	.628	.01

り条件で得点が高かった。自然さは環境理解の主効果が有意であり、環境理解あり条件で得点が高かった。親しみやすさでは、環境理解と身体性の主効果に加えて交互作用が有意であり、身体性なし条件では環境理解の付与により親しみやすさが高まる一方、身体性あり条件では環境理解の有無による差が小さかった。否定的体験に関しては、不快感で環境理解の主効果が有意であり、環境理解あり条件で不快感が高かった。ただし平均値は全条件で低く、強い不

快感は一般的ではなかった。技術的な問題は身体性の主効果が有意であり、身体性あり条件で得点が低かった。気分の悪さは有意な効果を示さなかった。以上より、補助評価指標においても、身体性は複数の体験品質項目の向上と関連していた。一方、環境理解は環境関連の知覚項目の上昇をもたらし、自然さの向上とも関連したが、不快感がわずかに高まる傾向も示した。

5.4 実験後アンケート

本節では、実験後アンケートに基づき、システム全体の使いやすさおよび利用意図に関する結果を示す。これらの指標は、対話体験の主観的評価を補足し、本システムの実用可能性および日常利用への受容性を検討するために用いた。

5.4.1 使いやすさ

平均得点は $M=73.21, SD=16.14$ であり、参加者は概ね本システムを使いやすいと評価した。

5.4.2 利用意図

日常生活での利用意図と、一人で過ごす時間が長い状況における有用性を尋ねる項目の記述統計を表 11 に示す。両項目とも平均が 7 件法の中間値である 4 を上回り、日常利用および一人で過ごす時間が長い状況での支援への期待が比較的高いことが示された。

5.4.3 最良条件と利用希望条件

4 つの会話体験のうち最も良かった条件と、日常生活で実際に使えるなら最も使ってみたく感じた条件の選択結果を表 12 に示す。最も良かった条件の選択では環境理解付きアバター条件が最も多く、

次いで環境理解付き音声条件であった。利用希望条件の選択でも環境理解付きアバター条件が最も多く、次いで環境理解付き音声条件であった。この傾向は、身体性に加えて環境理解を備える構成が、総合的な好ましさと日常利用意図の双方で支持されやすい可能性を示唆する。

5.5 質的結果

本節では、自由記述および会話ログの分析結果を示す。これらの質的データは、主観評価では捉えきれない体験の具体的な様相や参加者の認知・感情の変化を把握し、主要評価指標の結果の解釈を補足することを目的として分析したものである。

5.5.1 自由記述

自由記述は内容に基づき分類を行い、大まかな傾

表 11 利用意図に関する項目の記述統計量

項目	M	SD	range
日常生活で利用できるなら,使ってみたいと思う	5.25	1.53	2-7
一人で過ごす時間が長いとき,いと助かると思う	5.61	1.55	2-7

表 12 最も好まれた条件および利用希望条件の選択数

条件	最も好まれた条件 n (%)	利用したい条件 n (%)
音声のみ	2 (7.1%)	3 (10.7%)
環境理解付き音声	6 (21.4%)	7 (25.0%)
アバター	5 (17.9%)	4 (14.3%)
環境理解付きアバター	15 (53.6%)	14 (50.0%)

注: N = 28. 各参加者は1条件のみ選択.

向を整理した。自由記述では、応答の遅れ、会話の途切れ、音声認識の誤りなど、技術的問題に関する指摘が多かった。肯定的意見として、話しやすさ、話題の提示、親しみやすさに関する記述が見られ、改善の提案として、相づちや間の調整、視線や身ぶりの自然さを向上させる提案が挙げられた。

加えて、条件によって参加者が着目した点は異なっていた。音声のみ条件では、相手の所在が把握しにくいことや発話開始が突然に感じられることが語られ、対面に近い会話の枠組みを作りにくい様子が示された。環境理解付き音声条件では、目の前の状況を理解されている驚きや身近さが述べられた一方で、発話内容を拾いすぎるといった負担の指摘も見られた。アバター条件では、姿があることで話しやすく視線を合わせやすいという記述が見られた。環境理解付きアバター条件では、隣に座って同じ対象を見ながら会話できたことに触れる記述が見られ、社会的存在感が高いことが示された一方で、指差しのずれなど動作と発話の整合性に関する違和感も挙げられた。

5.5.2 会話内容

会話ログを用いて、条件ごとの会話進行を確認した。

音声のみ条件では、課題の進捗や気分に関するやり取りがあり、話題の起点はユーザの自己報告であった。エージェントの発話は共感と質問の反復が主

であった。

環境理解付き音声条件では、課題に関する対話の途中で、部屋のライト、モニター、カメラなど視界内の対象に言及し、その参照を起点に話題を展開した。環境に基づく話題が増え、話題が気分や調子から現実の環境へ拡張していた。

アバター条件では、ユーザの着席提案に対してエージェントが着席で応答し、着席後の雑談へ移行する流れが確認された。ユーザの姿勢の変化が会話のきっかけとして機能し、話題はゲーム、趣味、学業へと展開した。

環境理解付きアバター条件では、環境への言及と身体動作が同時に現れた。会話冒頭で室内の壁面や物体に言及し、その後ユーザの座位変化に合わせて姿勢を変えて雑談を継続していた。

5.6 特性孤独感との関連

特性孤独感と状態孤独感および社会的存在感の各下位尺度の関連を条件ごとに Pearson の積率相関係数を算出し、多重比較の補正には Holm 法を用いた。

音声のみ条件および環境理解付き音声条件では、特性孤独感と状態孤独感の間に有意な正の相関が認められた。この結果は、普段孤独を感じやすい参加者ほど、実験中にも孤独感を感じやすいことを示す。一方、アバター条件および環境理解付きアバター条件では、この相関は有意ではなかった。このことは、アバターの存在が特性孤独感の影響を緩和する可能性を示唆する。なお、特性孤独感と社会的存在感の各下位尺度との関連は、いずれの条件においても有意ではなかった。

6. 考察

6.1 結果の要約と仮説の検証

本研究から得られた結論は、MR 上で動作する AI エージェントに身体性を付与すると、ユーザは相手を社会的な対話相手として知覚しやすくなり、その結果として会話中の状態孤独感が低下しやすいという点である。すなわち、本研究で観測された状態孤独感の低下は、単なる会話内容の適切さだけでなく、相手がある場に存在し、やり取りが成立しているという知覚が強まったことを通じて生じた可能性を示唆する。

本章で報告した結果を総合すると、第一に、社会的存在感の各下位尺度において身体性の主効果が有意であり、身体性あり条件は一貫して高い社会的存在感を示した。これは、アバターの外見および視線、姿勢、身振りといった非言語的手がかりが、対話相

手を「そこにいる他者」として成立させる中核的要因として機能したことを示す。第二に、状態孤独感 は身体性あり条件で有意に低下した。この結果は、短時間の体験であっても、身体性が付与されることで一人で過ごしている状況が相手と過ごしている状況として再解釈され、その場のつながり感の不足が弱まった可能性を示唆する。第三に、社会的存在感と状態孤独感の間には中程度の負の関連が認められ、同一参加者内において社会的存在感が高い条件ほど状態孤独感が低くなる傾向が確認された。

一方で、環境理解は操作要因として参加者に明確に知覚され、空間的臨場感や自然さ、共同注意の成立感覚といった体験特性には有意に寄与したものの、社会的存在感および状態孤独感の主要指標に対して一貫した主効果は示さなかった。この結果は、発話が目の前の状況に合っていると感じられることと、相手を実在する対話相手として感じられることが必ずしも同一ではない可能性を示唆する。すなわち、環境理解は社会的存在感を直接高める要因というより、場への結び付きや応答の妥当性を高める補助的要因として作用した可能性がある。

以上を第4章4.1.2項で設定した仮説に照らすと、H2(身体性を備えたAIエージェントは、備えないエージェントと比較して社会的存在感を高める)は支持された。一方、H1(環境理解を備えたAIエージェントは社会的存在感を高める)およびH3(環境理解と身体性の交互作用により社会的存在感が相乗的に高まる)は支持されなかった。さらに、社会的存在感が高い条件ほど孤独感が低いという負の関連が確認されたことから、H4(社会的存在感が高い条件ほど、ユーザの孤独感は低い)も支持された。

以上より、本研究では、社会的存在感および状態孤独感の改善に対しては身体性が主要因として機能し、環境理解は体験の自然さや場への結び付きといった側面を通じて補助的に影響することが示唆される。この知見は、MR環境における対話エージェント設計において、環境理解の高度化に先立ち、対話相手の存在を知覚させる身体的手がかりの整備が重要であることを示すものである。

6.2 身体性が社会的存在感と状態孤独感に与えた影響

本研究では、身体性を備えたAIエージェントが社会的存在感の各下位尺度において一貫して高い得点を示し、さらに状態孤独感の有意な低下と関連していた。この結果は、身体性が対話相手を「そこにいる他者」として成立させる中核的手がかりとして機能した可能性を示唆する。

Temple Presence Inventoryにおける社会的存在感の各下位尺度は、メディア内の相手を社会的な存在として知覚し、相互行為が成立していると感じられるかを問う構成となっている(Lombard et al., 2009)。身体性あり条件では、アバターの外見に加えて、リップシンク、頭部の向き、視線、身振り、姿勢といった非言語的手がかりが継続的に提示された。これらの情報は、音声のみ条件で不足しやすい社会的手がかりを補完し、相手の所在や注意の向きを知覚可能にすることで、対面に近い相互行為の枠組みを形成したと考えられる。

特に受動的社会的存在感で身体性の効果が大きかった点は、AIエージェントが観察可能な存在として成立し、参加者が相手の振る舞いを視覚的に捉えられることが存在感の評価を大きく押し上げた可能性を示す。また、能動的社会的存在感においても主効果が認められたことから、身体性は相手を知覚させるだけでなく、参加者側の働きかけや関与を促進し、双方向的なやり取りの感覚を強めた側面も考えられる。

自由記述でも、アバターがいることで話しやすかった、目線を合わせやすかったといった肯定的な記述が見られた一方、音声のみ条件では相手の所在が分からず話しづらい、発話開始が突然に感じられるといった指摘があった。これらは、身体性が対話相手の位置や向きに関する手がかりを提供し、会話のターン取りや沈黙の解釈を支援することで、相互行為の自然さを高めた可能性を補助的に支持する。

さらに、体験品質に関する分析においても、話し相手感、自己開示、再利用意図、孤独時の有用性、楽しさといった複数の項目で身体性の主効果が認められた。これらの結果は、身体性が単に存在感を高めるだけでなく、会話体験を関係のかつ意味のある交流として評価させる方向に働いた可能性を示す。すなわち、身体性の付与により、参加者は一人でシステムを操作している状況ではなく、他者と同じ空間を共有しながら過ごしている状況として体験を再解釈したと考えられる。

このような再解釈は、Momentary Loneliness Scaleが捉える「その場のつながり感の不足」の低減と整合的である。社会的存在感の合成得点と状態孤独感の間に負の関連が認められたことは、身体性によって対話相手の実在感が高まるほど、参加者がその場で感じる孤独感が弱まる傾向を示唆する。したがって、本研究の範囲では、身体性は社会的存在感の向上を通じて状態孤独感の低減に寄与する主要因として機能した可能性が高い。

以上の結果は、孤独感の軽減を目的としたMR対話エージェントの設計において、環境理解などの高

度な文脈処理に先立ち、対話相手がそこに存在するという知覚を成立させる身体性の確保が重要な設計要件となり得ることを示唆する。

6.3 環境理解の効果が主要指標で明確に

ならなかった理由

環境理解は操作要因として明確に知覚されていたにもかかわらず、社会的存在感と状態孤独感には一貫した主効果を示さなかった。この結果は、発話はその場に合っていると感じられることと、相手を実在する対話相手として感じられることが必ずしも一致しないことを示唆する。本研究の環境理解は、パスルー映像やユーザ状態に基づく言及によって、目の前の状況との一致や自然さを高めた一方で、社会的存在感尺度が主に捉える「相手がそこにおいて相互にやり取りしている感覚」の上昇には直結しにくかった可能性がある。Lombard ら (2009) は、社会的存在感を、相手が観察可能な存在として成立している感覚や、相互行為が成立している感覚として捉えている。

また、身体性あり条件では、外見、視線方向、身振り、姿勢、リップシンクなどの非言語的な社会的手がかりが継続的に提示され、相手がそこにいるという感覚を支える主要な情報が既に十分に与えられていたと考えられる。この場合、環境理解は会話の妥当性や場の整合を補強する方向には働くが、社会的存在感得点をさらに押し上げる余地は小さくなり得る。加えて本研究では、環境理解が主として発話として提示され、物体検出の成否や応答遅延の影響も受けるため、ユーザの直前の行動や注目対象に対して即時に結び付いた応答として知覚されない場面が生じた可能性がある。このことが、主要指標で環境理解の主効果が現れにくかった要因となり得る。

さらに、本研究では環境理解の付与により自然さが上昇した一方、不快感も上昇しており、環境理解がもたらす肯定的な効果と否定的な効果が同時に生じた可能性がある。環境理解あり条件では周囲の状況への言及が増えるため、参加者によっては見られている感覚やプライバシーに関する懸念が生じうる。この場合、環境理解は状況に合っているという評価を高めても、社会的存在感を安定して押し上げるには至らず、主要指標では効果が小さく見えた可能性がある。したがって環境理解は、社会的存在感を直接高める要因というより、場の整合性や対話の妥当性を支える要因として位置づけるのが適切である。

以上より、環境理解は社会的存在感や孤独感の主要指標よりも、空間的臨場感、自然さ、および状況理解の知覚を通じて体験特性に影響したと考えられ

る。

6.4 共同注意と「文脈理解+身体性」の位置づけ

本研究では、条件操作の知覚項目において、共同注意の得点が環境理解付きアバター条件で最も高かった。この結果は、環境理解と身体性が同時に備わることで、ユーザとエージェントが同一の対象や状況に注意を向けているという感覚が強まりやすいことを示唆する。一方で、主要評価指標である社会的存在感および状態孤独感では、環境理解と身体性の交互作用は有意ではなかった。このことは、共同注意の成立感覚が、社会的存在感の単純な上昇としてではなく、対話体験の質的側面に影響した可能性を示す。

自由記述では、環境理解付きアバター条件において、「隣に座って同じ対象を見ながら会話できた」「一緒に画面を見ている感じがした」といった記述が見られた。これらは、共同注意が単に対象への言及があるという認知的理解にとどまらず、共に場面を共有しているという関係的な体験として知覚された可能性を示している。すなわち、共同注意は社会的存在感の量的な強さを直接押し上げるというより、対話を「共有された経験」として構造化する役割を果たしたと解釈できる。

一方で、自由記述には指差しのずれや動作と発話の不一致に関する違和感も報告されており、共同注意の成立には動作の精度やタイミングの整合性が重要であることが示唆される。共同注意が成立しない、あるいは不自然に感じられる場合には、むしろ違和感を生み、体験品質の低下につながる可能性がある。この点は、主要指標において交互作用が現れなかった一因として、共同注意の精度が十分でなかった可能性を示唆する。

以上より、本研究の結果は、環境理解と身体性の組み合わせが共同注意の成立感覚を高め、対話体験を共有的な活動として再構成する可能性を示す。共同注意は社会的存在感の単純な強化とは異なる次元で対話体験の質を規定する要因であり、MR 環境におけるピアエージェント設計において重要な設計要素となり得る。

6.5 社会的存在感と状態孤独感の関係

本研究では、社会的存在感の合成得点と状態孤独感の間に中程度の負の関連が認められた。反復測定相関は、同一参加者内で条件間の変動に着目する分析であり、参加者間の平均差の影響を除いたうえで、ある参加者が別条件でより高い社会的存在感を感じ

たときに、その参加者の状態孤独感がより低くなる傾向を示す。この結果は、対話相手をそこにいる他者として感じる程度が高まるほど、会話中のつながり感の不足が弱まり、一時的な孤独感が低下しやすいことを示唆する。

この関係は、本研究において観測された身体性の効果を理解する上で重要な手がかりとなる。身体性あり条件では社会的存在感が一貫して高く、同時に状態孤独感が低かった。したがって、身体性が孤独感を直接低減したというよりも、身体性が社会的存在感を高め、その結果として孤独感が低下した可能性が考えられる。すなわち、社会的存在感は、身体性と孤独感低減の関係を媒介する心理的要因として機能している可能性がある。

ただし、本研究の分析は相関に基づくものであり、因果関係を直接示すものではない。社会的存在感が高まることで孤独感が低下するのか、孤独感が低い状態で相手を社会的に知覚しやすくなるのか、あるいは両者が相互に影響し合うのかについては、本研究のデータのみからは結論づけることはできない。今後は、会話中の時間的変化を追跡する分析や媒介分析を用いることで、社会的存在感と孤独感の関係の方向性をより精緻に検討する必要がある。

6.6 個人差としての特性孤独感の示唆

本研究では、特性孤独感と状態孤独感の関連が条件によって異なる傾向が認められた。音声のみ条件および環境理解付き音声条件では、特性孤独感と状態孤独感の間に有意な正の関連が認められ、普段孤独を感じやすい参加者ほど、会話中にも孤独感を感じやすい傾向が示された。一方、アバター条件および環境理解付きアバター条件では、この関連は有意ではなかった。

この結果は、身体性を備えたエージェントが、特性孤独感という個人差の影響を状況的に緩和する可能性を示唆する。すなわち、アバターが存在することで、対話相手をそこにいる他者として知覚しやすくなり、普段の孤独傾向にかかわらず、会話場面におけるつながり感を一定程度補償できた可能性がある。この解釈は、身体性が社会的存在感を高めるといふ本研究の主要結果とも整合的であり、身体性が孤独感の低減に寄与する心理的経路の一端を示すものと考えられる。

また、この知見は、MR 対話エージェントが個人差に応じた支援を提供し得る可能性を示す点で重要である。特に、孤独感を感じやすい個人に対して、身体性を備えたエージェントが状況依存的な社会的支援として機能しうることは、孤独感軽減を目的としたピアエージェント設計において示唆的である。

ただし、本研究は参加者数が限られており、条件ごとの相関分析には統計的検出力の制約がある。また、短時間の実験体験に基づく結果であるため、継続的な利用場面において同様の傾向が維持されるかどうかは明らかではない。今後は、より多様な参加者を対象とした検証や長期的な介入研究を通じて、身体性が個人差に及ぼす緩衝効果の再現性と持続性を検討する必要がある。

6.7 実用可能性と導入時の設計トレードオフ

本研究では、システム全体の使いやすさは概ね良好に評価され、利用意図も中程度以上であったことから、MR 上で動作するピアエージェントは日常生活における対話支援として一定の受容可能性を有することが示唆された。また、最も良かった条件および利用希望条件の選択では環境理解付きアバター条件が最多であり、身体性に加えて環境理解を備えた構成が、総合的な好ましさと実利用への期待の双方において支持されやすい可能性が示された。

一方で、体験品質の評価では技術的な問題が全条件で中程度に認知され、自由記述においても応答遅延、会話の途切れ、音声認識誤りなどが指摘された。これらの要因は、会話のテンポや発話の切り替えの自然さを損ない、相互行為の円滑さを低下させることで、社会的存在感や自然さの評価を弱める可能性がある。また、環境理解の付与は自然さを高める一方で、不快感をわずかに高める傾向も見られ、周囲の状況への言及が参加者に見られている感覚やプライバシーへの懸念を生じさせた可能性がある。このことは、環境理解の導入において利便性と心理的負担のバランスを慎重に設計する必要があることを示している。

さらに、身体性は社会的存在感を直接高めるだけでなく、対話の遅延や途切れを相手の反応の間として解釈させることで、技術的問題に対する否定的評価を緩和する可能性がある。このことは、身体性が体験品質を支える緩衝的な役割も担うことを示唆する。すなわち、視覚的に相手が存在することで、遅延や不完全な応答が単なるシステム不具合ではなく、相手の反応のタイミングとして理解されやすくなり、対話体験全体の自然さが維持される可能性がある。

以上より、MR 対話エージェントの実用化に向けては、身体性を基盤として社会的存在感と体験品質を支える設計を優先しつつ、環境理解の提示頻度やタイミング、参照範囲を調整することで、不快感や過剰な監視感を抑制することが重要である。特に、遅延の低減、発話の途切れの抑制、音声認識の安定

化といった基盤的な技術改善に加え、指差しや視線方向などの非言語表現の精度向上は、体験価値を左右する重要な設計要素となる。これらの設計上のトレードオフを適切に調整することが、孤独感の軽減に資するピアエージェントの社会実装に向けた鍵となる。

6.8 限界

本研究にはいくつかの制約がある。第一に、参加者が同一大学の学生に限られており、年齢層や生活環境が比較的均質である点である。このため、本研究の結果を異なる年齢層や文化的背景を持つ集団へ一般化するには慎重な検討が必要である。

第二に、本研究は短時間の実験的体験に基づいており、日常生活における長期的な利用状況とは条件が異なる。孤独感の低減効果や社会的存在感の変化が継続的な利用においてどのように推移するかは、本研究の範囲では明らかにできていない。

第三に、会話内容は主として雑談に限定されており、共同作業や視聴共有など、環境理解や共同注意の効果がより顕在化する可能性のあるタスクは十分に検討されていない。このことが、環境理解の主効果が主要指標において明確に現れなかった一因である可能性がある。

第四に、環境理解および身体性の操作はそれぞれ一つの実装形態に限定されており、環境言及の頻度や精度、視線や身振りの表現範囲などの操作強度を段階的に検討していない。そのため、両要因の最適な組み合わせや閾値については今後の検討が必要である。

最後に、本研究は主観評価指標を中心に分析しており、会話行動の詳細な分析や生理指標などの客観的指標は導入していない。これらを併用することで、対話体験の変化をより多面的に捉えることが可能になると考えられる。

これらの制約を踏まえ、本研究の知見は探索的な結果として位置づけられ、今後の拡張的検証を通じてその一般性と適用範囲を明確化する必要がある。

6.9 今後の課題

本研究の結果を踏まえ、今後の課題として以下の点が挙げられる。

第一に、長期的な利用状況における効果の検証である。日常生活の中で継続的に利用した場合に、社会的存在感や孤独感がどのように変化するかを縦断的に検討する必要がある。

第二に、タスクの多様化による効果の比較である。雑談に加えて、共同作業、視聴共有、学習支援などのタスクを設定し、環境理解や共同注意がどのよう

な状況で有効に機能するかを明らかにすることが求められる。

第三に、環境理解および身体性の提示方法の精緻化である。環境言及の頻度やタイミングの最適化、視線や身振りの精度向上、指差しや共同注意の同期性の改善などにより、違和感の低減と体験品質の向上を図る必要がある。また、環境情報の取得範囲や参照頻度を利用者が制御できる設計は、不快感やプライバシーへの懸念を軽減する上で重要である。

第四に、個人差を考慮した適応的な対話設計の検討である。特性孤独感や社交性などの個人特性に応じて、身体性や環境理解の提示方法を調整することで、より効果的な支援が可能になると考えられる。

最後に、主観指標に加えて行動指標や生理指標を組み合わせた多面的評価の導入である。視線行動、会話のターン構造、心拍変動などを併用することで、社会的存在感や孤独感の変化をより精緻に捉えることが期待される。

6.10 まとめ

本研究では、実世界の文脈を理解して振る舞う MR ピアエージェントにおいて、環境理解と身体性が対話体験に与える影響を、被験者内の 2 要因 2 水準計画により検証した。その結果、身体性の付与は社会的存在感を高め、会話中の状態孤独感を低減する主要因として機能することが示された。一方で、環境理解は主要指標に対する直接的な効果は限定的であったものの、空間的臨場感や自然さ、状況理解の知覚を通じて体験品質を補助的に高める役割を果たしていた。

さらに、同一参加者内で社会的存在感が高い条件ほど状態孤独感が低くなる傾向が確認され、対話相手をそこにいる他者として知覚することが、一時的な孤独感の低減と関連する可能性が示唆された。

以上の知見は、孤独感軽減を目的とした MR 対話エージェントの設計において、まず身体性を安定して提示し、相手の存在を知覚できる基盤を確立したうえで、環境理解を補助的に活用することの有効性を示すものである。本研究は、環境理解と身体性の寄与を独立に切り分けて検証した点に学術的意義があり、MR 対話エージェント研究における設計要因の整理に貢献するとともに、今後の適応的かつ文脈感応的なピアエージェント設計に向けた基盤的知見を提供する。

7. まとめ

本研究では、ユーザの現実空間を理解し、その状況に寄り添うように振る舞う MR ピアエージェント

を構築し、環境理解と身体性が対話体験に与える影響を検証した。Meta Quest 3 を用いた MR 環境上において、ユーザの周囲環境や状態に基づく発話生成と、アバターによる非言語的表現を組み合わせた対話システムを実装し、環境理解の有無と身体性の有無を独立に操作する 2 要因 2 水準の被験者内計画により評価を行った。

その結果、身体性の付与は社会的存在感の各下位尺度を一貫して高め、会話中の状態孤独感を有意に低減する主要因として機能することが示された。また、同一参加者内において、社会的存在感が高い条件ほど状態孤独感が低くなる傾向が確認され、対話相手をそこにいる他者として知覚することが、一時的な孤独感の軽減と関連する可能性が示唆された。

一方で、環境理解は社会的存在感および状態孤独感といった主要指標に対する直接的な効果は限定的であったが、環境への言及や状況との一致の知覚を通じて、空間的臨場感や自然さなどの体験特性を高める役割を果たしていた。このことは、環境理解の価値が、相手の存在感そのものを強めるというよりも、対話がその場に即しているという感覚や、場への結び付きの強化として知覚され得ることを示唆する。

以上より、孤独感軽減を目的とした MR 対話エージェントの設計においては、まず身体性を安定して提示し、相手の所在や視線、姿勢といった社会的手がかりを通じて「相手がそこにいる」という知覚を成立させることが重要である。そのうえで、環境理解を補助的に活用することで、対話の妥当性や場への没入感を高め、体験全体の質を向上させることが期待される。

本研究は、環境理解と身体性を独立に操作可能な構成を実装し、被験者内の 2 要因 2 水準計画により両要因の寄与を切り分けて検証した点に学術的意義がある。これにより、MR 対話エージェントにおける設計要因の役割分担を明確化し、社会的存在感の向上と孤独感の軽減に資する設計指針の基礎を示した。今後は、長期的利用や多様なタスク設定、個人差に応じた適応的制御を通じて、文脈感応的かつ持続的な支援を実現するピアエージェントの開発へと発展させていくことが求められる。

謝辞

本実験にご協力いただいた参加者の皆さまに、心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.
- [2] Csepregi, L. M. (2023). The effect of context-aware llm-based npc conversations on player engagement in role-playing video games. Unpublished manuscript, 2.
- [3] De Freitas, J., Oğuz-Uğuralp, Z., Uğuralp, A. K., & Puntoni, S. (2025). AI companions reduce loneliness. *Journal of Consumer Research*, ucaf040.
- [4] Halvorson, M. A., & Kuczynski, A. M. (2024). Measuring loneliness in everyday life. *Translational Issues in Psychological Science*, 10(3), 331.
- [5] Hawkey, L. C., & Cacioppo, J. T. (2010). Loneliness matters: A theoretical and empirical review of consequences and mechanisms. *Annals of behavioral medicine*, 40(2), 218-227.
- [6] Kim, K., Boelling, L., Haesler, S., Bailenson, J., Bruder, G., & Welch, G. F. (2018, October). Does a digital assistant need a body? The influence of visual embodiment and social behavior on the perception of intelligent virtual agents in AR. In *2018 IEEE international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)* (pp. 105-114). IEEE.
- [7] Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of computer-mediated communication*, 3(2), JCMC321.
- [8] Lombard, M., Ditton, T. B., & Weinstein, L. (2009, November). Measuring presence: the temple presence inventory. In *Proceedings of the 12th annual international workshop on presence* (pp. 1-15).
- [9] Loveys, K., Sagar, M., Zhang, X., Fricchione, G., & Broadbent, E. (2021). Effects of emotional expressiveness of a female digital human on loneliness, stress, perceived support, and closeness across genders: randomized controlled trial. *Journal of medical Internet research*, 23(11), e30624.
- [1 0] Merrill Jr., K., Kim, J., & Collins, C. (2022). AI companions for lonely individuals and the role of social presence. *Communication Research Reports*, 39(2), 93-103.
- [1 1] Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- [1 2] Radež, G., & Bohak, C. (2024). Integrating Environmental Awareness Into NPCs: Contextual Conversational Interaction in Games.
- [1 3] Xu, C., Chen, M., Deshpande, P., Azanli, E., Yang, R., & Ligman, J. (2024, October). Enabling Data-Driven and Empathetic Interactions: A Context-Aware 3D Virtual Agent in Mixed Reality for Enhanced Financial Customer

Experience. In 2024 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct) (pp. 186-192). IEEE.

[14] 内閣府孤独・孤立対策推進室. (2025 年 4 月). 人々のつながりに関する基礎調査 (令和 6 年) 調査報告書 . 内閣府 .

https://www.cao.go.jp/kodoku_koritsu/torikumi/zenkokuhousa/r6/pdf/tyosakekka_gaiyo.pdf

[15] 豊島彩, & 佐藤真一. (2021). 日本語版 UCLA 孤独感尺度 短縮版の開発 多世代での使用に向けて. 老年臨床心理学研究, 2, 19-26.