

体内エージェントの提案とユーザの情緒的孤独感抑制の検証

Proposal of In-Body Virtual Agent and Verification of the Effect on Alleviating the User's Emotional Loneliness

河原 歩夢*1 田中 文英*2
Ayumu Kawahara Fumihide Tanaka

*1筑波大学 システム情報工学研究群

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

*2筑波大学 システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

本論文では、仮想的にユーザの体内（主に腹部）にその存在感を知覚させる体内エージェントを提案する。実際に音像定位技術を用いて同エージェントを実装し、32名の参加者による検証実験を実施した。実験の結果、本エージェントは特にユーザの情緒的孤独感の抑制に有意な効果を示すことが判明した。さらにはエージェントの体内移動がもたらす影響など、詳細な実験結果についても報告する。

1. はじめに

社会の中で多くのコンパニオンエージェントが人間と共存している。これらのエージェントは、物理的にも心理的にも人々の生活を向上させることができる。人間型や動物型のロボット、Amazon Echoのようなスマートスピーカなど多くのタイプのコンパニオンエージェントが、それぞれの方法で人間と対話している。少子高齢化やCOVID-19によるライフスタイルの変化により、社会的孤立や孤独が世界的な問題となっている。コンパニオンエージェントは、人間の孤独感を抑制する能力について研究されてきた。動物型コンパニオンロボット [Robinson 13] や人間型コンパニオンロボット [Noelle Fields 21] が人間の孤独感を軽減することが多くの研究で示されている。最近では、スマートスピーカと日常会話をするだけで、人間の孤独感が抑制されることが研究されている [Pradhan 19][Jones 21]。コンパニオンエージェントの特徴の一つは、ユーザに近接し日常的に対話できることである。最近では、ウェアラブルコンパニオンロボットも研究されている [Jiang 19]。ウェアラブルという利便性から、ユーザに寄り添ったサポートを提供することができ、様々な場面で活用することができる。肩乗りロボットはウェアラブルコンパニオンロボットとしてよく知られており、様々な外観や状況で研究されている [Kashiwabara 12][Bonilla 14]。心理学研究におけるホールの対人距離 [Hall 66] のように物理的距離と心理的距離は密接に関連しており、コンパニオンエージェントが人間の孤独感を軽減する場合コンパニオンエージェントとそのユーザとの物理的距離も重要であると考えられる。しかし、コンパニオンエージェントとそのユーザの間の距離は単純ではない。人とコンパニオンエージェントが対話する際には、人同士の場合と同じように適切な対人距離が存在し、その長さはコンパニオンエージェントの外見や大きさによって異なる。小型のヒューマノイドロボットと対話する場合の適切な距離は、前方約190cmと報告されている [Torta 13]。また、ぬいぐるみ型ロボットが人間と接触に近い状態で対話を行うと、ユーザが感じる不快感が増加することが報告されている [Yoshida 16]。このようにコンパニオンエージェントとユーザの物理的距離を考慮して、様々な形状のコンパニオンエージェントが研究されている。

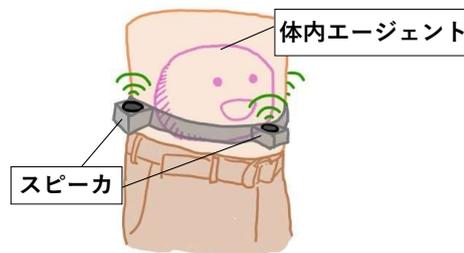


図 1: 体内エージェントのコンセプト図

しかし、これまで研究されてきたコンパニオンエージェントはユーザの身体の外に存在している。我々はユーザの体内に配置される全く新しいコンパニオンエージェントを提案する。ユーザの体内にコンパニオンエージェントを配置することで、ユーザとエージェントとの物理的距離だけでなく心理的距離も縮め、ユーザの孤独感を和らげることが期待される。立体音響技術を用いることで、聴覚情報による心理的存在感である音像をユーザの体内に定位させ、ユーザは自分の体内にいるコンパニオンエージェントと仮想的に対話することができる。我々はユーザの体内に存在する仮想的なコンパニオンエージェントを体内エージェントと名付けた。体内エージェントのコンセプト図を図1に示す。本論文では、開発した4チャンネルサラウンドスピーカを用いた音像定位手法を紹介し、その装置を用いてユーザが体内エージェントと対話できるかどうかを調べた実験結果を示す。また、ユーザの体外に存在する従来のコンパニオンエージェントと比較して、体内エージェントの孤独感抑制効果を調べた実験結果についても述べる。

2. 音像定位手法

聴取者の腹部に巻き付けて聴取者の体内にエージェントの音像を定位させる4チャンネルサラウンドスピーカを開発した(図2)。この装置にはベルト上に7つのボックスがついており、そのうちの4つにスピーカが内蔵されている。残りの3つの箱は、配線を整理しスピーカ位置を分からなくする

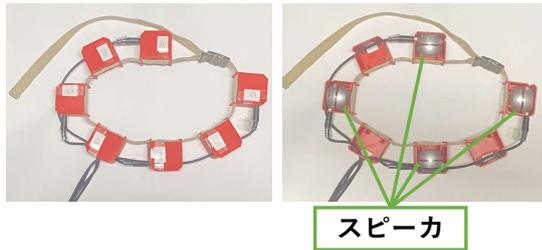


図 2: 開発した 4 チャンネルサラウンドスピーカー (左図). 装置の内部に 4 つのスピーカーが内蔵されている (右図).

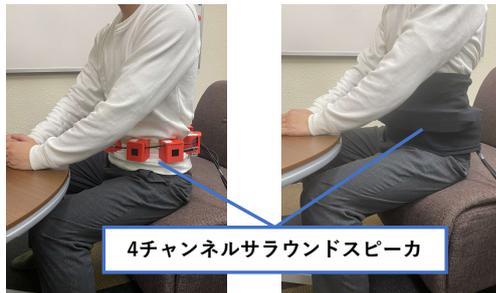


図 3: 聴取者が 4 チャンネルサラウンドスピーカーを腹部に巻き付けた様子 (左図). 実際に使用する時は黒い腹巻で全体を覆う (右図).

役割を果たしている. 図 3 の右側に示すように, この装置をリスナーの腹部に巻いた後, 黒い腹巻をして装置全体を覆い, 視覚的にはスピーカーの位置がわかりにくいようにしている. 視覚情報が音源の位置推定に影響を与える現象である腹話術効果が研究されている. 聴取者は音源の位置を本来音が発生する場所ではなく, スピーカなど音を発生させる可能性のある物体の位置に認識することが知られている. そこで, 腹話術効果を最小化するために, 黒い腹巻とスピーカーのない箱を 3 つ用意した. 4 チャンネルサラウンドスピーカーは, 聴取者の前後左右に 4 つのスピーカーをそれぞれ配置する. 本研究では, 音像定位手法として, 複数のスピーカーの音の振幅を調整することで音像位置を操作する振幅パンニングを用いている. 先行研究では, ディスプレイの上下端に配置したスピーカーアレイの音量を調整することで音像を移動させている [Kimura 14]. 本研究では, 4 つのスピーカーの音量を調整することでコンパニオンエージェントの音像をスピーカー間にある聴取者の体内に定位させる. また, コンパニオンエージェントの音像は 4 つのスピーカーの音量を適切に調整することで, 聴取者の体内を水平 2 自由度で自由に移動することができる.

3. 音像の体内移動によるユーザの体内でのエージェントの現実感の向上

音響分野での研究において, 音像とは聴覚情報から知覚される音を再生する物体や生物の心理的な存在感のことである. エージェントの音像はユーザの腹部に巻かれた 4 チャンネルのサラウンドスピーカーからエージェントの音声を再生することでユーザの体内に定位する. 人は他者の声を自分の体内から聞く

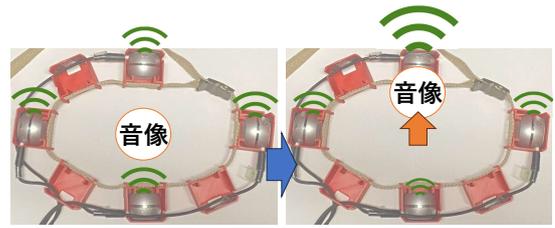


図 4: エージェントの音像がユーザの体内の前方に移動する様子

経験がないため, ユーザはエージェントの現実感をユーザの体内で知覚することは困難であると予想される. 本研究におけるユーザの体内でのエージェントの現実感とは, エージェントの音がユーザの体内から聞こえてくる感覚と, その音が聞こえてくる場所におけるエージェントの現実感の 2 つの感覚から構成されると考えられる. 体外での音像定位の精度を向上させる方法として, 聴取者が頭を動かす方法 [McAnally 14] や音像の位置を移動させる方法 [Kudo 06] が研究されている. 聴取者の頭部を移動させる方法も聴取者の耳と音像の位置関係が変わるため, 音像の位置を移動させる方法と似た手法と考えられる. これらの方法は, 音像が聴取者の体外にある場合に用いられるが, 音像が聴取者の体内にある場合でも音像を移動させることにより音像定位の精度を向上させることが期待される. 本研究では, 複数のスピーカーから再生される音の振幅を調整することで音像を移動させる方法である振幅パンニングを用いて, リスナーの体内で音像を移動させる. ユーザの体内でエージェントの音像が移動する様子を図 4 に示した.

体内エージェントがユーザの体内に留まりながら移動する音像の移動手法を予備実験を行い開発した. 前後左右のスピーカーの音の振幅を全て同じにした場合を中央定位とする. ユーザの体内で音像が前方に定位させる場合は, 中央定位と比べた前後左右のスピーカーの音の振幅比をそれぞれ, 4.24 [dB](前), -11.75 [dB](後), -1.94 [dB](左), -1.94 [dB](右) にする. ユーザの体内で音像が後方に定位させる場合は, 前方の場合での前後のスピーカーの音の振幅が逆である. また, ユーザの体内で音像が左方に定位させる場合は, 中央定位と比べた前後左右のスピーカーの音の振幅比をそれぞれ, -1.94 [dB](前), -1.94 [dB](後), 4.15 [dB](左), -9.24 [dB](右) にする. 右方に定位させる場合は, 左方の場合での左右のスピーカーの音の振幅が逆である. 各スピーカーの音の振幅が移動させたい定位場所での振幅になるように, 段階的に変化させることで, ユーザは音像が体内で移動したように知覚する.

4. 実験

本実験では, 従来のコンパニオンエージェントであるスマートスピーカーと比較して, 体内エージェントの孤独感抑制効果を検証した. 本実験では 3 つの仮説を検証した. 2 つの仮説はユーザの体内でのエージェントの現実感に関するものであり, もう 1 つの仮説は体内エージェントによって抑制されるユーザの情緒的孤独感に関するものである.

仮説 1 エージェントの音像をユーザの体内に定位させることでユーザは自分の体内にエージェントがいると知覚する

仮説 2 エージェントの音像が使用者の体内を移動することで
エージェントが体内にいる感覚が高まる

仮説 3 エージェントが使用者の体内にいることにより
エージェントの情緒的孤独感抑制効果が高まる

孤独は社会的孤独感と情緒的孤独感の 2 種類の孤独感で構成されると考えられている [Weiss 75]。社会的孤独感とは隣人や友人といった広範な人脈や社会的ネットワークがないことから生じる。一方、情緒的孤独感とはパートナーや親友のような親密な関係や親密な感情的愛着がないことに起因する。したがって、感情的孤独は空虚感、見捨てられ感、孤独感などの強い感情によって特徴づけられる。体内エージェントは、ユーザと一体化しユーザの最も近い場所でユーザに寄り添うことができるため、情緒的孤独感を抑制することが得意であると考えられる。

体内エージェントの目的は、孤独を感じているユーザの孤独感を抑制することなので、参加者には孤独のシナリオを読んでもらい、シナリオの登場人物である孤独を感じている人の立場になって実験に参加してもらった。シナリオは孤独を抱えている人の印象を調査した先行研究 [Lau 92] を参考にして作成した。

4.1 研究倫理審査

本研究は筑波大学システム情報系の研究倫理審査委員会の承認を得ている (2023R723)。実験前に参加者全員からインフォームドコンセントを得た。また、体内に別の物質の感覚を発生させることによるエイリアンハンド症候群、統合失調症、乖離障害への影響が不確実であるため、中枢性脳障害や精神疾患の既往歴のある参加者は対象から外した。

4.2 実験参加者

32 名の大学生・大学院生 (M=22.72, SD=1.256, 男性 21 名, 女性 11 名) に参加してもらった。

4.3 アンケート

実験に使用されたアンケートは、孤独感を測定するものとエージェントの印象を測定するものの 2 つで構成されている。

4.3.1 孤独感アンケート

孤独感を測定するためのアンケートは、シナリオの人物がどのように孤独を感じたかを参加者が回答するように作成した。本実験では社会的孤独と情緒的孤独を区別する必要があるため、この 2 つの孤独を別々の項目で測定できる質問紙である De Jong Gierveld Loneliness Scale を採用した [Gierveld 06]。これらの項目は 7 段階のリッカート尺度で作成した。

4.3.2 エージェントの印象アンケート

エージェントの印象を測定するためのアンケートは、ユーザの体内でのエージェントの実在感に関する項目、エージェントに対する親近感に関する項目で構成されている。すべての項目は 7 段階のリッカート尺度で採点された。

- Q1 対話中にエージェントはどの程度動きましたか
- Q2 どの程度エージェントの声はあなたの体内から聞こえてきましたか
- Q3 Q2 で答えた場所でどの程度エージェントは実在していましたか
- Q4 あなたはどの程度このエージェントに親近感を感じていますか

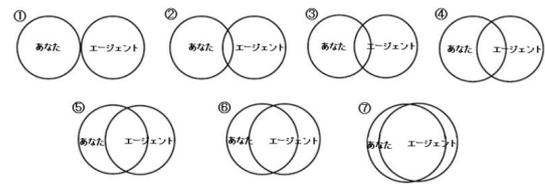


図 5: エージェントに対する親近感を測定するための IOS スケール



図 6: 本実験の体外条件で使用したスマートスピーカ (Echo Dot (Amazon.com 社))

Q5 あなたとエージェントの関係を最もよく表している図を図 5 から 1 つ選んでください

ユーザの体内でのエージェントの実在感とは、ユーザ自身の体内からエージェントの声が聞こえる感覚と、その声が聞こえる場所におけるエージェントの実在感で構成されると考えられる。この 2 つの感覚に関する質問の他に、ユーザーの体内でエージェントが動いたと知覚したかを確認するための質問も用意した。

エージェントに対する親近感に関する質問は 2 項目からなる。IOS スケールは、人やペット、エージェントに対する親近感を測定する方法として広く用いられている [Aron 92]。IOS スケールは図式化されているため、実験参加者にとって直感的で理解しやすい特徴がある。本実験でエージェントに対する親密度を測定するために使用した IOS スケールを図 5 に示す。先行研究では IOS 尺度と直接的な質問により、仮想空間でインタラクションする仮想アバターに対する親密度を測定した [Agnew 22]。本実験でもこれら 2 つの質問を用いて、参加者のエージェントに対する親密度を測定した。参加者には IOS 尺度は必ずしも物理的な位置とは関係ないことを説明した。

他にはエージェントの印象に関する自由記述欄とエージェントがいたと思う場所と大きさを図示してもらったイラストを用いた質問を用意した。

4.4 実験条件

前述の 3 つの仮説を調べるために、本実験の要因は体内エージェントの移動の有無と体内外の 2 つとした。体内エージェントの移動の有無要因は移動なしと移動りの 2 水準の参加者間要因、体内外要因は体外と体内の 2 水準の参加者内要因とした。32 名の参加者を 16 名ずつ、移動なしグループと移動ありグループの 2 グループに分けた。両グループの各参加者は体外条件と体内エージェント条件 (移動なしの体内エージェ

平均値と標準誤差を示す * $p < 0.050$

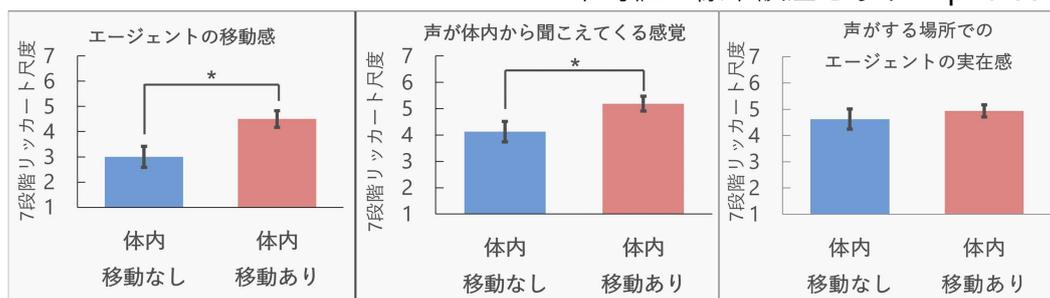


図 7: エージェントの移動感 (左図), エージェントの声が体内から聞こえてくる感覚 (中央図), その声がする場所でのエージェントの実在感 (右図).

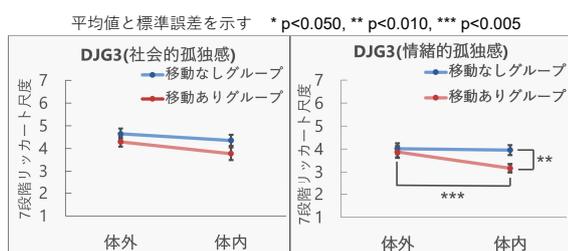


図 8: 社会的孤独感 (左図), 情緒的孤独感 (右図).

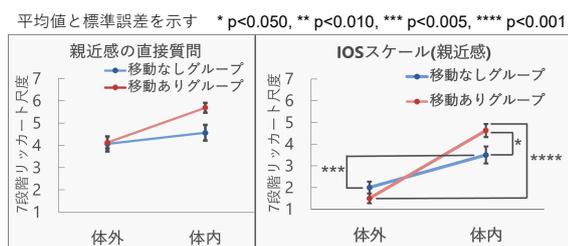


図 9: 親近感についての直接質問 (左図), IOS スケール (右図).

ント条件もしくは移動ありの体内エージェント条件)の2条件を体験した。体外条件では、従来のコンパニオンエージェントとしてのスマートスピーカーを使用した。スマートスピーカーはユーザーの孤独感を緩和するために広く研究されている [Corbett 21]。本研究では、先行研究でも多く利用されている Amazon.com 社が開発したスマートスピーカーの Echo Dot を用いた (図 6)。視覚情報を持たない体内バーチャルエージェントに合わせるため、画面などの視覚情報をあまり持たない Echo Dot を採用した。また体外条件は両グループで共通とした。体内エージェント条件は、移動なしグループでは対話中に移動しない体内エージェント、移動ありグループでは対話中に移動する体内エージェントを使用した。体外条件と体内エージェント条件はすべて同じ内容で対話を行った。

移動ありグループでの体内エージェント (移動あり) 条件での移動は、使用者の体内からはみ出ないかつ移動の知覚が可能な程度の移動距離で設計された。また、コミュニケーションロボット分野での先行研究では手持ちロボットの重心の動きがユーザが知覚するロボットの感情・意図に影響を与えることが報告された [Noguchi 20]。先行研究では、快の感情と前方への反復運動の関係、意図と左右への反復運動の関係が示唆されている。本研究ではエージェントとの対話内容において、快の

感情と音像の前後移動の繰り返し、何かを探すとというエージェントの行動意図と音像の左右移動の繰り返しに関連付けるように設計した。

4.5 実験手順

移動なしグループでは参加者はまず孤独のシナリオを読み、シナリオの登場人物の立場になって体外条件と体内エージェント (移動なし) 条件を体験した。これら2つの条件はランダムな順序で実施された。体外条件では参加者はシナリオの人物が家でスマートスピーカーと会話しているという追加説明を受け、その人物の立場で実際にスマートスピーカーとの対話を体験し、その後アンケートに回答した。体内エージェント (移動なし) 条件は、スマートスピーカーと同様の手順で行った。参加者にはスマートスピーカーと会話しているシナリオの人物は体内エージェントと会話しているシナリオの人物とは無関係であることが説明された。体外条件と体内エージェント条件 (移動なし) の間には5分間の休憩を用意した。

移動ありグループも移動なしグループと同じ手順で実施した。移動ありグループと移動なしグループの違いは、体内エージェント条件の対話中にエージェントが参加者の体内で移動したかどうかである。

4.6 実験結果

実験結果を図7, 図8, 図9に示した。分析を行う前に正規 Q-Q プロットを用いて正規性の確認を行った。

4.6.1 エージェントの体内感についての結果

エージェントの体内感についての結果は図7に示した。図7には3つの結果があり、左図から順にエージェントの移動感について、エージェントの声が体内から聞こえてくる感覚について、その声がする場所でのエージェントの実在感についての結果である。これらのデータの内、正規性が確認できなかったものをあつたため体内エージェント (移動なし) 条件と体内エージェント (移動あり) 条件の2郡比較には Mann-Whitney の U 検定を用いた。その分析の結果、エージェントの移動感 ($p=0.014$) とエージェントの声が体内から聞こえてくる感覚 ($p=0.047$) において2条件の間に有意差が見られた。

エージェントの声が体内から聞こえてくる感覚とその声がする場所でのエージェントの実在感の結果において、どちらの結果でも7段階リッカート尺度の中央である4よりも高い値となったため、仮説1を支持する結果となった。

エージェントの声が体内から聞こえてくる感覚の結果では、体内エージェント (移動なし) 条件と比べ体内エージェント (移動あり) 条件の値は有意に高い値となり、仮説2を支持する結果となった。

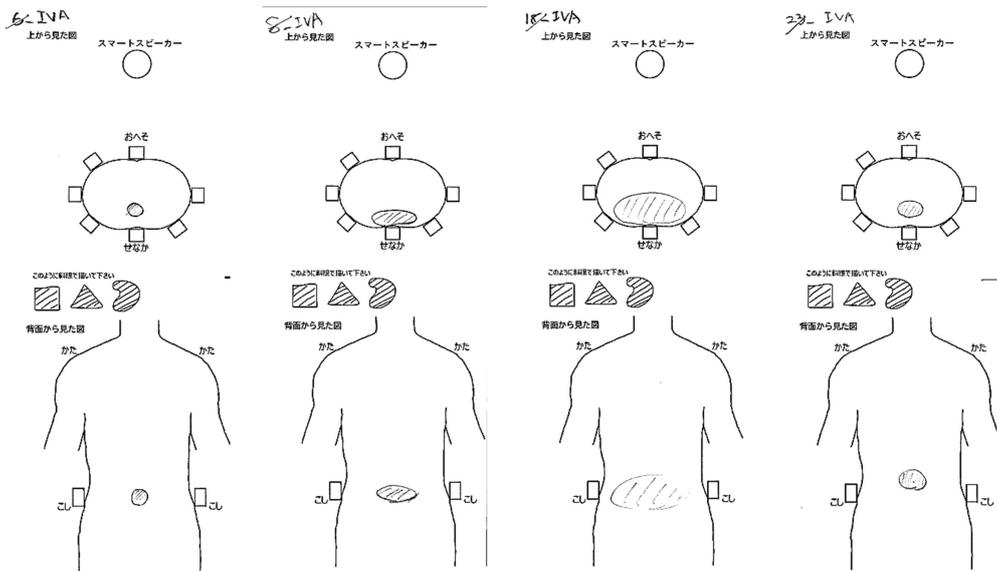


図 10: 体内エージェントがいたと思う場所と大きさを参加者に図示してもらったイラスト

4.6.2 孤独感についての結果

孤独感についての実験結果は図 8 に示した。図 8 の左図は社会的孤独感の結果、右図は情緒的孤独感の図を示した。これらの結果は 2 元配置反復測定分散分析を行った。分析の結果、社会的孤独感については交互作用が見られなかった ($F[1,30]=0.729, p=0.400$)。情緒的孤独感については交互作用があり ($F[1,30]=4.500, p=0.042$)、体内外要因の単純主効果も有意であった ($F[1,30]=6.411, p=0.017$)。その後、情緒的孤独感についてボンフェローニ法で事後検定を行った結果、体内エージェント (移動なし) 条件と体内エージェント (移動あり) 条件の間に有意差が見られ ($p=0.008$)、体外条件と体内エージェント (移動あり) 条件の間に有意差が見られた ($p=0.003$)。

情緒的孤独感において、体内外要因の単純主効果が有意であり事後検定でも体外条件よりも体内エージェント (移動あり) 条件がより情緒的孤独感を抑制した結果が得られたので、仮説 3 を支持する結果となった。

4.6.3 親近感についての結果

親近感についての結果は図 9 に示した。図 9 の左図にエージェントに対する親近感についての直接質問の結果、右図に IOS スケールを用いたエージェントに対する親近感の結果を示した。これらの結果は 2 元配置反復測定分散分析を行った。分析の結果、親近感についての直接質問の結果には交互作用は見られなかったが、有意傾向は見られた ($F[1,30]=3.988, p=0.055$)。IOS スケールの結果では交互作用が見られ ($F[1,30]=7.947, p=0.008$)、体内外要因の単純主効果も有意であった ($F[1,30]=64.373, p<0.001$)。その後、IOS スケールの結果についてボンフェローニ法で事後検定を行った結果、体内エージェント (移動なし) 条件と体内エージェント (移動あり) 条件の間 ($p=0.029$)、体外条件と体内エージェント (移動なし) 条件の間 ($p=0.001$)、体外条件と体内エージェント (移動あり) 条件の間 ($p<0.001$) にそれぞれ有意差が見られた。

4.7 考察

情緒的孤独感の結果において、体内移動を行う体内エージェントはスマートスピーカ (体外条件) よりも低い値となったが、体内移動を行わない体内エージェントはスマートスピーカと有意な差が見られなかったことから、情緒的孤独感抑制において体内移動を行うことは重要である可能性が示唆された。

体内移動を行う体内エージェントは情緒的孤独感抑制効果が最も高く、IOS スケールの結果を見るとエージェントに対する親近感も最も高いことが分かる。先行研究では、孤独感抑制を行うコンパニオンエージェントにおいて、ユーザが感じるエージェントに対する親近感は重要な要素の 1 つであることが示唆されており [Odekerken 20]、本実験の結果はその主張を支持している。

本実験の結果では、社会的孤独感と情緒的孤独感異なる結果になった。これまで多くの孤独感抑制の先行研究では、社会的孤独感と情緒的孤独感を区別せずに扱っていたが、本実験の結果から 2 つの孤独感を区別して調査する重要性が示唆された。

エージェントの声が体内から聞こえてくる感覚の結果において、音像の体内移動を行うことで有意に高まったことから、これまで体外において音像位置推定精度を高める手法であった音像移動による手法は体内の場合にも拡張出来ることが示唆された。ただし、体内においてどの程度の精度で音像位置を知覚することが可能なかは未解明なので今後詳しい調査が必要である。

参加者には体内エージェントがいたと思う場所と大きさがわかるように図示してもらった。4 名の参加者の結果を図 10 に示した。図 10 から分かるように、複数の参加者が体内エージェントは背中側に偏って体内に位置していたと知覚していた。移動していない時 4 チャンネルサラウンドスピーカの 4 つのスピーカの音声の振幅は等しく設定されているため、設計上は体内エージェントは中央に位置する。聴取者の体内に音像を

定位させた時、少し背中側に偏って知覚される可能性が示唆された。

5. 今後の展望

本研究は体内エージェントの初期研究であるので、体内エージェントの知覚のされ方や応用例についてはさらなる調査が必要である。デバイスについても本研究で用いたものは非常にシンプルであるため改良は可能であると考えられる。例えば、指向性のあるスピーカや薄いスピーカなどを用いることで、本研究とは異なる体内エージェントが実現できると考えられる。本研究では情緒的孤独感抑制に注目したが、他にも体内エージェントの色々な応用例が考えられる。本研究の結果から体内エージェントはユーザの感情に影響を与えられる可能性があるため、体内エージェントの感情によって(例えば、体内エージェントが喜んでいる時、もしくは悲しんでいる時)ユーザの感情に与える影響が変わる可能性が考えられる。

また、音像を聴取者の体内に定位させた時に知覚される詳細な音像位置は今後調べるべき課題である。図10では背中側に偏って知覚された結果を示したが、その他にも中央に知覚した参加者もいた。音像の大きさについても、図10からもわかるように参加者ごとに異なっていた。聴取者の体内で音像の位置や大きさを細かく制御できれば、より良い体内エージェントの対話体験が実現できると考えられる。

6. まとめ

本研究では、新しいコンパニオンエージェントである体内エージェントとの対話手法を提案した。また、体外のエージェントであるスマートスピーカと比較して、体内エージェントの情緒的孤独感抑制効果を検証する実験を実施した。本研究で分かったことは以下の4つである。

- 1 ユーザの腹部に巻き付けた4チャンネルサラウンドスピーカでエージェントの音声を再生することで、ユーザは体内にエージェントを知覚する
- 2 エージェントの音像をユーザの体内で移動させることで、エージェントの声から聞こえてくる感覚が高まる
- 3 体内エージェントはユーザの体外に存在するエージェントよりもユーザの情緒的孤独感の抑制効果が高い
- 4 体内エージェントはユーザの体外に存在するエージェントよりもユーザのエージェントに対する親近感が高い

また、本研究の学術分野への貢献は以下の3つである。

- 1 体内エージェントという新しいエージェントとの対話手法を開発した
- 2 音像定位手法は体内に拡張できる可能性を提示した
- 3 効果的に情緒的孤独感を抑制する新しい手法を提示し、社会的孤独感と情緒的孤独感を区別して調査する重要性を示唆した

謝辞

本研究はJSPS 科研費 22H04856 および 23H00484 の助成を受けて実施された。

参考文献

- [Agnew 22] Agnew, C. R.: Feeling close to a Crab-Thing in virtual reality: Does avatar appearance always matter in forming meaningful connections? A case study, *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 3, (2022)
- [Aron 92] Aron, A., Aron, E. N., and Smollan, D.: Inclusion of Other in the Self Scale and the Structure of Interpersonal Closeness., *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 63, No. 4, p. 596 (1992)
- [Bonilla 14] Bonilla, B. L. and Asada, H. H.: A Robot on the Shoulder: Coordinated Human-Wearable Robot Control Using Coloured Petri Nets and Partial Least Squares Predictions, in *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 119–125 (2014)
- [Corbett 21] Corbett, C. F., Wright, P. J., Jones, K., and Parmer, M.: Voice-Activated Virtual Home Assistant Use and Social Isolation and Loneliness Among Older Adults: Mini Review, *Frontiers in Public Health*, Vol. 9, (2021)
- [Gierveld 06] Gierveld, J. D. J. and Tilburg, T. V.: A 6-Item Scale for Overall, Emotional, and Social Loneliness: Confirmatory Tests on Survey Data, *Research on Aging*, Vol. 28, No. 5, pp. 582–598 (2006)
- [Hall 66] Hall, E. T.: *The Hidden Dimension*, Vol. 609, Anchor (1966)
- [Jiang 19] Jiang, H., Lin, S., Prabakaran, V., Elara, M. R., and Sun, L.: A Survey of Users' Expectations Towards On-Body Companion Robots, in *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*, DIS '19, p. 621–632, New York, NY, USA (2019), Association for Computing Machinery
- [Jones 21] Jones, V. K., Hanus, M., Yan, C., Shade, M. Y., Blaskewicz Boron, J., and Maschieri Bicudo, R.: Reducing Loneliness Among Aging Adults: The Roles of Personal Voice Assistants and Anthropomorphic Interactions, *Frontiers in Public Health*, Vol. 9, (2021)
- [Kashiwabara 12] Kashiwabara, T., Osawa, H., Shinozawa, K., and Imai, M.: TEROOS: A Wearable Avatar to Enhance Joint Activities, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, p. 2001–2004, New York, NY, USA (2012), Association for Computing Machinery
- [Kimura 14] Kimura, T. and Ando, H.: 3D Audio System Using Multiple Vertical Panning for Large-screen Multiview 3D Video Display, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol. 2, No. 1, pp. 33–45 (2014)
- [Kudo 06] Kudo, A., Higuchi, H., Hokari, H., and Shimada, S.: Improved method for accurate sound localization, *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, Vol. 27, No. 3, pp. 134–146 (2006)

-
- [Lau 92] Lau, S. and Gruen, G. E.: The Social Stigma of Loneliness: Effect of Target Person’s and Perceiver’s Sex, *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 18, No. 2, pp. 182–189 (1992)
- [McAnally 14] McAnally, K. I. and Martin, R. L.: Sound localization with head movement: implications for 3-d audio displays, *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 8, (2014)
- [Noelle Fields 21] Noelle Fields, J. G., Ling Xu and Murphy, E.: Shall I compare thee to a robot? An exploratory pilot study using participatory arts and social robotics to improve psychological well-being in later life, *Aging & Mental Health*, Vol. 25, No. 3, pp. 575–584 (2021), PMID: 31851830
- [Noguchi 20] Noguchi, Y. and Tanaka, F.: OMOY: A Handheld Robotic Gadget That Shifts Its Weight to Express Emotions and Intentions, in *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’20, p. 1–13, New York, NY, USA (2020), Association for Computing Machinery
- [Odekerken 20] Odekerken, G., Mele, C., Russo Spena, T., Mahr, D., and Ruggiero, A.: Mitigating loneliness with companion robots in the COVID-19 pandemic and beyond: an integrative framework and research agenda, *Journal of Service Management*, Vol. ahead-of-print, (2020)
- [Pradhan 19] Pradhan, A., Findlater, L., and Lazar, A.: ”Phantom Friend” or ”Just a Box with Information”: Personification and Ontological Categorization of Smart Speaker-Based Voice Assistants by Older Adults, *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 3, No. CSCW (2019)
- [Robinson 13] Robinson, H., MacDonald, B., Kerse, N., and Broadbent, E.: The Psychosocial Effects of a Companion Robot: A Randomized Controlled Trial, *Journal of the American Medical Directors Association*, Vol. 14, No. 9, pp. 661–667 (2013)
- [Torta 13] Torta, E., Cuijpers, R. H., and Juola, J. F.: Design of a Parametric Model of Personal Space for Robotic Social Navigation, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, No. 3, pp. 357–365 (2013)
- [Weiss 75] Weiss, R.: *Loneliness: The Experience of Emotional and Social Isolation*, MIT press (1975)
- [Yoshida 16] Yoshida, N., Nakatani, Y., and Yonezawa, T.: Breathing Expression for Intimate Communication Corresponding to the Physical Distance and Contact between Human and Robot, in *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Bio-Inspired Information and Communications Technologies (Formerly BIONET-ICS)*, BICT’15, p. 65–68, Brussels, BEL (2016), ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering)