

遠距離コミュニケーションのための ディスプレイ越しの体性感覚に関する検証

佐藤 優^{1,a)} 糸数 神楽^{2,b)} 玉城 絵美^{2,3,c)}

概要：遠距離恋愛では、恋人と互いの存在感を共有するコミュニケーションが乏しい。しかし、コンピュータを用いたコミュニケーションでは「視覚」と「体性感覚」の2つの違和感が生じる。本研究は、この2つの違和感を少なくすることを研究目的とする。先行研究で提案した「Unity-Warmth」システムは、「視覚のサイズ比率」、「位置覚の整合性」、および「温冷覚」の調整を通じて遠距離コミュニケーションにおける「存在感」の強調に成功したが、「違和感に関する主観的な評価」と「情動変化」に有意な差は見られなかった。そこで本研究では、Unity-Warmthによる「視聴覚的な存在感」と「温冷覚と位置覚による存在感」に「提示温度の制御」と「触覚の提示」を加えることで、遠隔コミュニケーションの違和感を一層軽減することを目指した。2つの違和感への効果を実験した結果、触覚のみを提示した場合よりも、温冷覚のみを提示した場合の方が、「違和感に関する主観的な評価」、「情動変化」、および「存在感」の各項目で高い評価を得た。また、触覚と温冷覚を組み合わせ提示した場合には、これらの項目の評価が最も高くなった。これらの結果は、複数の感覚提示の組み合わせが遠隔コミュニケーションにおける違和感の軽減に寄与することを示唆している。

1. 背景と目的

遠距離恋愛では、恋人と互いの存在感を共有するコミュニケーションが乏しい。本研究ではコンピュータを用いて、そのコミュニケーションを豊かにしたい。しかしながら、コンピュータを用いたコミュニケーションでは2つの違和感が生じる。

コンピュータを介して見る対面のユーザーの視覚的なサイズ比率（見かけの大きさ）は、現実世界で見る対面のユーザーの視覚的なサイズ比率とは異なる。この違いは、ユーザーに視覚の違和感を与えている。また、ディスプレイやデバイスに触って行うコミュニケーションは、指先への抵抗覚提示がある点は良いが、「位置覚の整合性」がとれないか、「温冷覚」の提示がないため、体性感の違和感を発生させている。

そこで、コンピュータを介したコミュニケーションにおける「視覚」と「体性感覚」の2つの違和感を少なくすることを本研究の目的とする。

2. 基礎概念および関連研究

2.1 人間の感覚の種類

人間の感覚は、主に「特殊感覚」、「体性感覚」と「内臓感覚」の3つが存在する。

特殊感覚には、視覚、聴覚、味覚、嗅覚、平衡感覚がある。

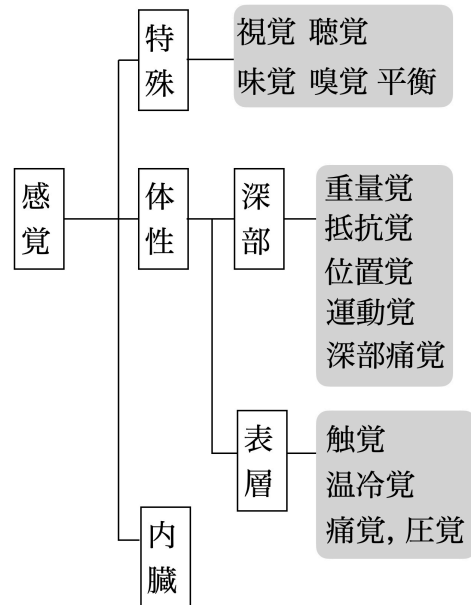


図1 感覚の種類 [1]

¹ 琉球大学大学院 理工学研究科 工学専攻 知能情報プログラム

² 琉球大学 工学部 知能情報コース

³ H2L 株式会社

a) k228588@ie.u-ryukyu.ac.jp

b) e195709@ie.u-ryukyu.ac.jp

c) hoimei@acm.org

体性感覚には、大きく分けて皮膚感覚と深部感覚（固有感覚）がある。この二つは、情報を受け取る受容器の深さで分けられている。

皮膚感覚は、表層から真皮にかけての体の表面上に近い受容器を経由して得られる感覚である。皮膚感覚には、手が触った物体の表層上のテクスチャや形状を知覚するための触覚や圧覚、物体の温冷を知覚する温覚と冷覚、表層上のみの痛みや強い温覚や冷覚を知覚する痛覚がある。

深部感覚（固有感覚）は、関節、筋肉や腱に内在する受容器を経由して得られる感覚である。深部感覚には、関節と体の位置と運動を知覚する位置覚と運動覚、関節と体の位置と運動に加えて筋肉の伸縮と張力を知覚する抵抗覚と重量覚、深部の痛みを知覚する痛覚がある [1]。

2.2 3つの存在感

我々はコミュニケーション時に、「視聴覚的な存在感」、「環境物体が人の作用により変化する存在感」、「体性感覚による存在感」という3つの存在感から、人間の存在感を感じ取っている。次節より、この3つの存在感に分けて関連研究を紹介する。

2.3 コンピュータを用いた存在感を伴うコミュニケーションの現状

2.3.1 環境物体が人の作用により変化する存在感

遠隔地に設置されたランプやゴミ箱などの日用品の状態を相互に同期させることで、仮想的な同居感覚を提供するシステム“SyncDecor”を提案した研究 [2] では、相手とつながり感を保ちたいという強いモチベーションをお互いに持っている遠距離恋愛中のカップルに対して、従来のウェアネス共有システムのように弱いつながり感を共有するだけでなく、両者の生活空間での行為自体が相互に影響を与えあうような、比較的強いつながり感を提供した。このシステムは受動的なコミュニケーションにおいて十分である一方、能動的に存在感を伴うコミュニケーションを取ることが出来ない。

2.3.2 体性感覚による存在感

ロボットハンドによる遠隔握手によって、映像と音声でのコミュニケーションが可能なビデオ会議において遠隔接触が有効に働くかの解明を行った研究 [3] では、対話相手の身体の代替であるデバイスとユーザの接触が、対話相手側でも同時に起こる双方向の遠隔接触が高いソーシャルテレプレゼンスを生み出し、相手に親近感を与えることが可能であることが示されている。しかし、ロボットハンドとディスプレイを用いていることから、入出力の位置情報と視覚的なフィードバックの位置情報の整合性が取れていない。

2.3.3 視聴覚的な存在感

株式会社カプコンは『囚われのバルマ』という、「ガラス



図 2 「Unity-Warmth」コンセプトイメージ

越しの体感恋愛アドベンチャー」をコンセプトとした女性向けアドベンチャーゲームを開発している [4]。このゲームでは、スマートフォンの画面を面会室のガラスに見立てることで、ディスプレイ越しでの自然なスキンシップを実現している。しかし、画面が小さいことから実在感が得にくいこと、キャラクターの反応に反してタッチパネルは冷たい感触がすることから「温冷覚」がなく違和感を感じることを、手を合わせるシーンにおいて手の部分を触れてもそれ以外でもキャラクターの反応は変わらないことから「位置覚」がなく違和感を感じることを、といったデメリットも存在している。

2.4 3つの存在感を満たすコミュニケーション手法

コンピュータを用いた存在感を伴うコミュニケーションの現状より、現実世界と比較した場合の「視覚のサイズ比率」、「位置覚の整合性」と「温冷覚」の違いによって、違和感が生じているのではないかと考えられる。そこで先行研究では、人の上半身が等身大投影可能なサイズのタッチパネルディスプレイを用いて片方のユーザがディスプレイに接触している位置を検出し、もう片方のユーザのディスプレイに対して適切な位置に温冷を提示するシステム「Unity-Warmth」を提案した [5]。システムのコンセプトイメージを図 2 に示す。

「提示される人物のサイズ比率」と「ディスプレイ越しの温冷覚の提示の有無」による、2つの違和感への効果を実験した。その結果、「存在感」に対して6項目中5項目で有意な差が得られた。しかし、「違和感に関する主観的な評価」と「情動変化」に有意な差は得られなかった。その理由として、実験時の被験者の組み合わせに問題があったことが考えられる。また、違和感を解消しきれない原因として、次の2点が考えられる。1点目は温度制御が実装されておらず、適切な温度提示が出来ていなかったことである。Unity-Warmthは温感提示部に触れている間、ヒーターに電力を供給し続けるため、必要以上に高い温度が提示されていた可能性がある。2点目は提示する感覚が不足していることである。我々はお互いに触れた時、温冷覚、位置覚や抵抗覚の他に、触覚や圧覚を感じる。Unity-Warmthではこれらの感覚を提示出来ていないことから、違和感を解消しきれなかった可能性がある。

2.5 本研究の仮説

提案しているシステム「Unity-Warmth」では、現実世界と比較した場合の「提示温度」と「触覚」の違いが違和感の一因となっていると推測される。そこで、Unity-Warmthによって提示される「視聴覚的な存在感」と「温冷覚と位置覚による存在感」に、「提示温度の制御」と「触覚の提示」を加えることで、遠隔でのコミュニケーションの違和感をより減らせるのではないかと考える。

3. 提案手法

3.1 概要

先行研究で提案した「Unity-Warmth」システムはデバイスに触れている間は常にヒーターを駆動しているため、温度が上昇し続けてしまうという問題がある。また、同じ遠隔コミュニケーションデバイスとしてのロボットアームの場合、実際の人間の表面温度よりも高めに提示した方が良いということが分かっている。そこで、Unity-Warmthの温感提示に温度制御を追加し、平面上に投影された人体に対して、より人間らしい温度を提示する。

また、Unity-Warmthには視覚、温冷覚、位置覚の違和感を減らす工夫はあるが、相手に触った時の「触覚」は提示出来ていない。この触覚の欠如が、コンピュータを用いた遠隔コミュニケーションにおける違和感を解消しきれていない一つの要因になっていると考えられる。そこで、視覚、温冷覚、位置覚の違和感を減らす工夫に加えて、「触覚」を提示することで、相手に触った瞬間の違和感を低減する。これら2点の改善により、提案システム「Unity-Warmth」を使用した遠距離コミュニケーションにおける違和感を軽減に繋げる。

3.2 システム構成

3.2.1 温度制御の導入による適切な表面温度の提示

Unity-Warmthの温感提示システムに温度制御を導入する。この制御は制御回路内のArduinoに組み込まれる制御プログラムを用いて、任意の目標温度を設定することを可能にする。提示する温度は、先行研究のロボットハンド [6] で有効であった 40°C とする。目標温度へ制御するための制御値の算出方法としては、オーバーシュートが少なく、結果が安定するPID制御器を用いることとする。さらに、この制御器の計算結果をもとにヒーターの駆動制御を行うために、高い制御性を誇るPWM制御を採用する。

本提案手法のシステム構成を図3に示す。

提案しているシステムをベースとして、温度提示部の透明ヒーター部分に温度センサ(超薄型サーミスタ 103JT-050)を取り付ける。また、ヒーターの制御にはリレーの代わりにソリッドステートリレー(FOTEK SSR-25DA)を採用する。温度センサとソリッドステートリレーの入力端子は、それぞれArduinoに接続される。Arduinoによってヒ-

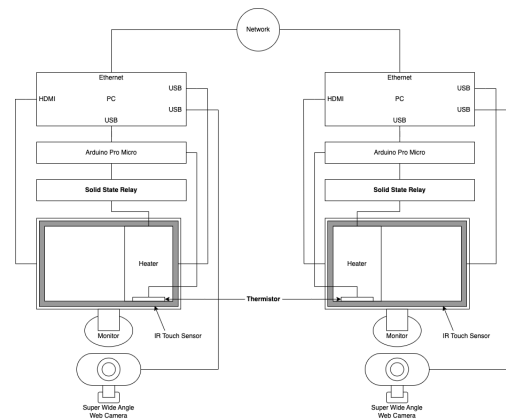


図3 温度制御を追加したシステム構成

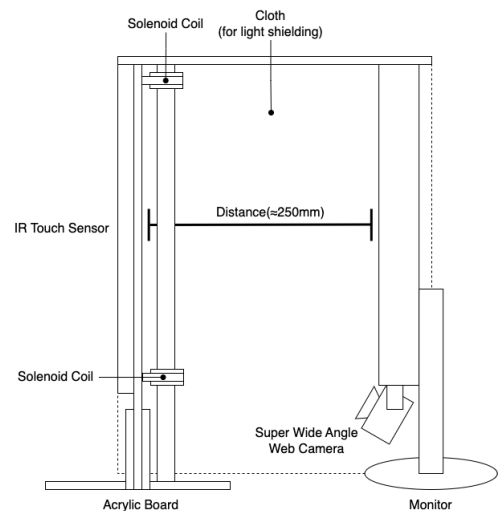


図4 触覚提示を組み込んだシステム側面の概要図

ターが目標温度を維持するように制御を行い、適切な温度を提示する。

3.2.2 振動子による触覚提示

「触覚」を提示する機構として、ソレノイドコイルを採用する。温感提示部に触れた際にソレノイドコイルを駆動させることで、対話相手が手に触れてきた時の触覚を提示する。

システムを側面から見た概要図を図4に示す。

温感提示部の四隅にソレノイドコイル(ZHO-0420S-05A4.5)を取り付ける。温感提示部に触るとソレノイドコイルが稼働し、触れた感覚を提示する。

前節の改善を含めたシステム全体を図5に示す。

4. 実験

4.1 概要

振動による触覚の提示の有無によるユーザの感じ方の変化をアンケートにより調査し、その結果を分析する。

具体的には、提案システム「Unity-Warmth」を使用せずに通常のビデオ会議システムを使用した場合、Unity-Warmthを用いて触覚のみを提示した場合、温冷覚のみを提示した

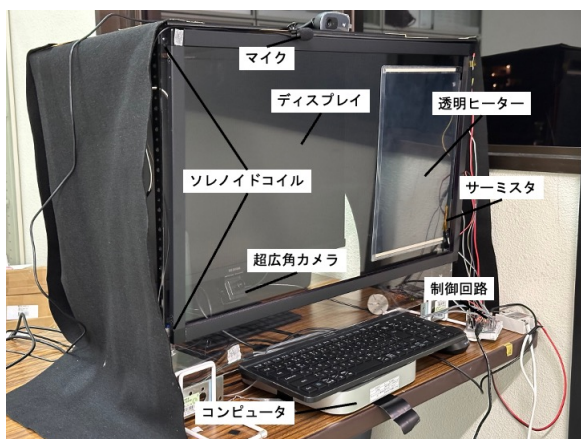


図 5 システム全体図

場合、触覚と温冷覚の両方を提示した場合の4条件で、提示する感覚の種類によってユーザの感じ方に変化がどうかをアンケートで調査し、その結果を分析する。

4.2 実験手法

複数の視点から違和感に関連する「主観」、「ユーザの情動変化」と「存在感」の3つについて分析する。本実験は被験者内計画によって行う。3つの分析のために、先行研究と同じ3つのアンケートを用意した。アンケートは、Visual Analog Scale(VAS)で実施し、通常のビデオ会議システムを使用した場合、Unity-Warmthを用いて触覚のみを提示した場合、温冷覚のみを提示した場合、触覚と温冷覚の両方を提示した場合の4条件で各アンケート項目の回答結果を平均値で比較する。

4.3 タスク

統制された実験を行うため、被験者の間でディスプレイに向ける注意の度合いやそのディスプレイを介して行うインタラクションに違いがないようにすべきである。また、システムへの接触による温冷覚や触覚提示の有効性を検証するため、手が触れ合うことを確認するタスクを設定する必要がある。この条件を満たすため、被験者には次の2つのタスクを行ってもらおう。1つ目に、対話相手との関係性作り、及び自然な会話を行なってもらう為に、挨拶や自己紹介を含めた雑談を行う。2つ目に、被験者の一方が感覚提示部に触れた状態でもう一方の被験者が感覚提示部に触れたり、ハイタッチを行いながら会話することで、手と手が触れ合う感覚を体験する。

タスクは4条件全てで共通とし、違いはそれぞれの条件での感覚提示の有無のみである。視覚と聴覚のみしか提示できない通常のビデオ会議システムを使用する場合は、システムに触れずにコミュニケーションを行うものとする。

4.4 実験環境

各デバイスを設置し、被験者は椅子に座った状態でコ



図 6 実験の様子

ミュニケーションを行う。実験の様子を図6に示す。カメラの画角の違いから、通常のビデオ会議システムでの対話時には顔の全体が映るようにディスプレイからある程度の距離を取って座り、提案システムを使用しての対話時には温感提示部になるべく近づくように指示する。

4.5 アンケート

「主観」の評価には、先行研究[5]で作成した、コンピュータを介したコミュニケーションにおける違和感に関する主観的な評価をするためにアンケートを使用する。

「ユーザの情動変化」の評価には、SAM(Self-Assessment Manikin)[7]を用いる。SAMでは、情動価、覚醒度の2因子から構成され、それぞれ快・不快状態、興奮・リラックス状態を9段階で評価することが可能である。被験者には情動価は中央を、覚醒度は右端を標準状態として記入するように指示する。

「存在感」の評価には、IPQ(Igroup Presence Questionnaire)[8]を用いる。IPQでは、総合的な臨場感、仮想空間に対する臨場感、外界への意識、現実感の4つの因子から構成され、それぞれ得点化される。本実験では、実験に適さないもしくは日本語化した際に他の質問と同義である質問項目を除き、さらにその中から存在感のみの6項目を採用する。

4.6 被験者

本実験では、提示する温度によってコンピュータを介したコミュニケーションの違和感に変化が生じるかのみを確認するため、被験者間の関係性は特に考慮しないこととする。著者と被験者、若しくは被験者同士で実験を行い、1回の実験で被験者が回答したアンケートを1サンプルとして取り扱う。被験者同士での実験の場合、被験者の組み合わせを変えた場合は別の試行とする。

5. 結果と考察

5.1 概要

本実験では、4つのサンプルを用いて、各質問項目のアンケート結果の平均値を比較する。

結果は箱ひげ図によって示す。箱ひげ図の中央の太線はデータの中央値(メディアン)を示す。箱の最上端は第3四分位数、箱の最下端は第1四分位数をあらわす。また、上

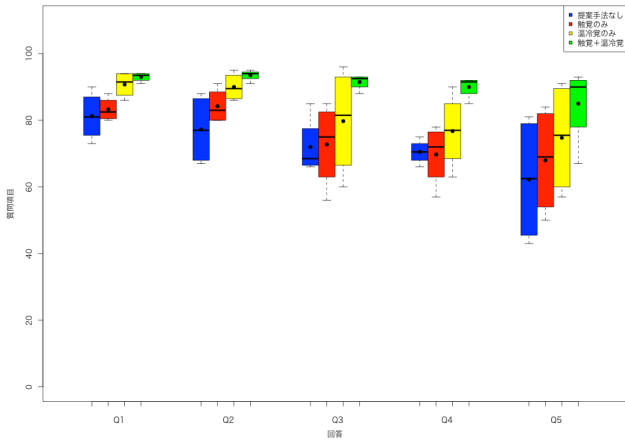


図 7 違和感に関する主観的な評価のアンケート結果

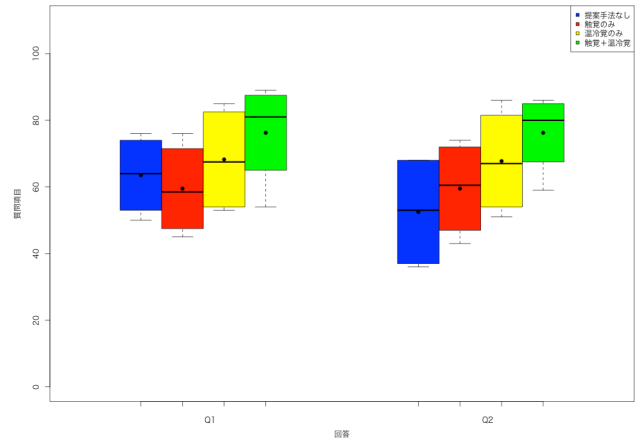


図 8 情動変化のアンケート結果

側のひげおよび下側のひげは (第 1 四分位数-1.5*(第 3 四分位数-第 1 四分位数)) 以上 (第 3 四分位数+1.5*(第 3 四分位数-第 1 四分位数)) 以下の範囲で、それぞれ最も大きいデータ点および最も小さいデータ点を指す。丸は平均値を表している。

5.2 結果

5.2.1 違和感に関する主観的な評価

違和感に関する主観的な評価の 5 つの質問項目「Q1: 遠隔地で話している人は、人間ではないかもしれないと感じましたか?」「Q2: 遠隔地で話している人は、本人ではないかもしれないと感じましたか?」「Q3: 遠隔地で話している人は、同じ時間を過ごしていないかもしれないと感じましたか?」「Q4: 遠隔地で話している人は、私の話を耳を傾けていないかもしれないと感じましたか?」「Q5: 遠隔地で話している人は、私に好意がないかもしれないと感じましたか?」に対する結果を図 7 示す。Q5 の尺度は他の質問と逆であるため、高い数値が良い結果を示すように反転している。

5.2.2 情動変化

情動変化の 2 つの質問項目に対する結果を図 8 示す。Q1 は情動値、Q2 は覚醒度を評価する。

5.2.3 存在感

存在感の 6 つの質問項目「Q1: 対話者が『隣にいる』という感覚がありました。」「Q2: 対話者の隣に私が存在していると感じませんでした。」「Q3: 対話者と一緒に行動している感覚がありました。」「Q4: 対話者と同じ空間に存在していると感じました。」「Q5: 対話者がどれだけリアルに感じられましたか?」「Q6: 遠距離コミュニケーションでの対話体験は、現実世界での対話体験とどの程度一致していましたか?」に対する結果を図 9 示す。Q2 と Q5 の尺度は他の質問と逆であるため、高い数値が良い結果を示すように反転している。

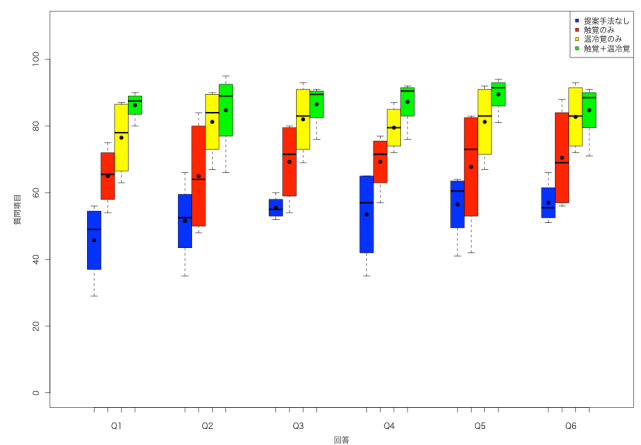


図 9 存在感のアンケート結果

5.3 考察

5.3.1 違和感に関する主観的な評価

本研究の結果は、主観的な違和感に関する評価において、いくつかの重要な発見を示している。特に、質問項目 Q4 において、「触覚のみ」の条件が「触覚および温冷覚の提示なし」の条件より若干高い平均値を示したが、この結果は、他の全ての質問項目において観察される傾向とは異なる。一般的には、「触覚および温冷覚の提示なし」、「触覚のみ」、「温冷覚のみ」、そして「触覚と温冷覚の両方を提示」という順序で、平均値が順に向上している。これらの結果は、振動による触覚の提示よりも、温冷覚の提示が遠距離コミュニケーションにおける主観的な違和感の改善に有効であることを示唆している。さらに、触覚と温冷覚の両方を併用することで、各感覚を単独で提示するよりも主観的な違和感をより効果的に軽減できることが明らかになった。これは、提示される感覚の多様性が、遠隔地の対話相手に対する情報量の増加に寄与し、その結果、相手に対する人間味の感覚を強化し、違和感を減少させる要因となっている可能性がある。

5.3.2 情動変化

情動変化に関する評価では、Q1 において「触覚のみ」

の条件が「触覚および温冷覚の提示なし」の条件を若干上回る結果が見られたが、他の全ての質問項目では先述の主観的な違和感の評価と同様の傾向が確認された。具体的には、「触覚および温冷覚の提示なし」から「触覚と温冷覚の両方を提示」へと進むにつれて、平均値が順次向上している。このことから、触覚のみの提示よりも温冷覚の提示の方が、遠距離コミュニケーションにおける情動値の向上に寄与することが示唆される。また、触覚と温冷覚を組み合わせた提示は、それぞれの感覚を単独で提示するよりも、より高い情動値の向上をもたらすことが確認された。これは、提示される感覚の多様性が遠隔地の対話相手に対する情報量を増加させ、遠距離コミュニケーションにおけるインタラクション時の情動変化を引き起こす要因となっていると考えられる。

5.3.3 存在感

存在感に関する評価では、全ての質問項目において、「触覚および温冷覚の提示なし」から「触覚と温冷覚の両方を提示」へと順に平均値が向上する傾向が見られた。この結果は、振動による触覚のみの提示よりも温冷覚の提示の方が、遠距離コミュニケーションにおける対話相手の存在感を向上させる効果があることを示している。また、触覚と温冷覚を併用することで、それぞれの感覚を単体で提示するよりも対話相手の存在感を高める効果があることが明らかになった。これは、提示する感覚の増加が遠隔地の対話相手に対する情報量の増加に寄与し、遠距離コミュニケーションにおけるインタラクション中により強い存在感を感じさせることができると考えられる。

6. まとめと今後の展望

6.1 まとめ

本研究では、先行研究で提案した遠距離コミュニケーションシステム「Unity-Warmth」における「視聴覚的な存在感」と「温冷覚と位置覚による存在感」の提示に加えて、「提示温度の制御」と「触覚の提示」を組み込むことで、遠隔コミュニケーションにおける「存在感」の強調と「違和感に関する主観的な評価」および「情動変化」の改善を目指した。

本研究の改良点は二つある。第一に、温感提示に温度制御を追加し、平面上に投影された人体に対してよりリアルな感覚を感じられる温度を提示すること。第二に、視覚、温冷覚、位置覚における違和感を軽減するための工夫に加え、「触覚」の提示を組み込むことである。

実験結果は、触覚のみを提示した場合よりも、温冷覚のみを提示した場合の方が「違和感に関する主観的な評価」、「情動変化」、および「存在感」の各項目において高い評価を得たことを示している。さらに、触覚と温冷覚の両方を組み合わせた場合、これらの評価が最も高くなることが明らかになった。これは、システムによる複数の感覚提示が、

遠隔コミュニケーションにおける違和感をより効果的に軽減することを示唆している。

結論として、本研究は遠距離コミュニケーションの体験を改善するための新たな方法論を提案し、実証した。特に、複数の感覚提示を組み合わせることにより、より人間味のあるインタラクションが可能になり、遠隔コミュニケーションにおける違和感の軽減に寄与することが確認された。

6.2 今後の展望

今回の実験ではサンプル数が4と限られており、平均値に基づく比較から分析を行った。今後はサンプル数を増やし、統計的な比較を行う計画である。また、心拍数などの定量的な評価指標を用いて、感情反応の測定を行う。

提示温度の最適化に関しては、より人間らしさを感じさせる温度の特定を目指し、平面上に投影された人体に最適な体温の提示を追求する。

更には、本研究の背景である遠距離恋愛中のカップルに、本提案システムを実際に長期間使用してもらい、本提案システムによって遠距離コミュニケーションがどの程度豊かになったかを調査したい。同時に、「祖父母と孫」のように、遠方在住の為に対面でのコミュニケーションが乏しい人間や、「芸能人とそのファン」といった、実際に会って触れ合うことが難しい相手とのコミュニケーションへの有用性も検討していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 玉城絵美. 新しいヒューマンコンピュータインタラクションの教科書：基礎から実践まで. 講談社, 2023.
- [2] 辻田眸, 塚田浩二, 椎尾一郎. 遠距離恋愛者間のコミュニケーションを支援する日用品“SyncDecor”の提案. コンピュータソフトウェア, Vol. 26, No. 1, pp. 1.25–1.37, 2009.
- [3] 田中一品, 和田侑也, 中西英之. 遠隔握手：ビデオ会議と触覚提示デバイスの一体化によるソーシャルテレプレゼンスの強化. 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 4, pp. 1228–1236, apr 2015.
- [4] CAPCOM：囚われのパルマ 公式サイト. <https://www.capcom.co.jp/palm/>. (Accessed on 10/26/2021).
- [5] Suguru Sato, Kagura Itokazu, Yuhei Akamine, Yui Kita, and Emi Tamaki. Unity-warmth: Positional and thermal sensation presentation system through a display. *ACHI 2022, The Fifteenth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, pp. 78–87, June 2022.
- [6] 和田侑也, 田中一品, 中西英之. 握力・体温・感触を伝える遠隔握手用ロボットハンド. 情報処理学会 インタラクション, 2012.
- [7] Margaret M Bradley and Peter J Lang. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, Vol. 25, No. 1, pp. 49–59, 1994.
- [8] igroup presence questionnaire (IPQ) overview — igroup.org – project consortium. <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>. (Accessed on 10/26/2021).