

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

ぬいぐるみ型ロボットを用いた
通話インタフェースにおける
温度変化を用いた感情伝達のための基礎的調査

下田 康太

指導教員 川口 一画，志築 文太郎

2023年2月

概要

オンライン通信および技術の発展に伴い、遠隔地にいる人と一緒にいるような感覚を与えるロボットである、テレプレゼンスロボットの研究が盛んに行われている。遠隔地にいる人と一緒にいるような感覚を増加させるには、ジェスチャなどの非言語情報を伝達することが重要である。従来の手法は、視線またはジェスチャといった意識的な非言語情報を伝達することに焦点を当てているものが多く、無意識的な非言語情報を伝達するテレプレゼンスロボットの研究は十分にされていない。そこで本研究では、無意識的な非言語情報である感情を伝達することに焦点を当てる。

加えて、我々はロボットセラピーにも注目しており、ロボットセラピーの知見から、ぬいぐるみや動物の見た目のロボットを用いることで、ユーザに対してポジティブな影響を与えることが出来ると考えている。そのため、本研究ではぬいぐるみの見た目をしたロボットを用いる。

本研究では、ぬいぐるみ型ロボットにジェスチャ提示機能に加えて、温度提示機能を付与するシステムを提案する。通話相手の感情に応じで温度を伝達することで、通話相手の感情をより伝達させることができると考え、調査を行った。実験のアンケート結果では、温度提示を行うことで社会的存在感が増すことがわかったが、温度提示を行わない場合と比較して、楽しさおよび感情伝達の知覚には差が見られなかった。

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的とアプローチ	2
1.3 貢献	2
1.4 本論文の構成	2
第2章 関連研究	3
2.1 テレプレゼンスロボット	3
2.2 非言語情報の伝達	3
2.3 ぬいぐるみ型ロボット	4
2.4 温度伝達を用いたコミュニケーション	4
第3章 提案システムの設計	5
3.1 ハードウェア設計	5
3.2 ソフトウェア設計	7
第4章 実験	8
4.1 仮説	8
4.2 実験設計	8
4.2.1 実験条件	8
4.2.2 実験タスク	9
4.2.3 実験参加者	12
4.3 評価項目	12
4.3.1 Technology Acceptance Model (TAM)	13
4.3.2 感情伝達の知覚	13
4.3.3 半構造化インタビュー	13
4.4 結果および考察	14
4.4.1 Technology Acceptance Model (TAM)	14
4.4.1.1 使用する際の楽しさの知覚	14
4.4.1.2 通話の際の社会的存在の有無	15
4.4.2 感情伝達の知覚	15
4.4.3 半構造化インタビュー	15

4.5	実験結果に対する考察のまとめ	16
第 5 章	本研究の制約，今後の課題および展望	18
5.1	実験環境による制約	18
5.2	今後の展望	18
第 6 章	結論	19
	謝辞	20
	参考文献	21

目 次

3.1	ぬいぐるみに内蔵する筐体.	6
3.2	ぬいぐるみ型テレプレゼンスロボットの正面. ペルチェ素子のモジュールおよびサーボモータを内蔵している.	6
4.1	実験の様子	11
4.2	使用する際の楽しさの知覚のアンケート結果	14
4.3	通話の際の社会的存在の有無のアンケート結果	15
4.4	感情伝達の知覚のアンケート結果	16

第1章 序論

本研究では、ぬいぐるみ型ロボットを用いた通話インタフェースにおける、温度変化を用いた感情伝達のための基礎的調査を行った。本章では、まず研究の背景として音声通話およびビデオ通話の代替として研究されていたテレプレゼンスロボット、およびロボットのデザイン、ロボットの癒し効果を説明する。次に本研究の目的とアプローチ、本研究の貢献、および本論文の構成を示す。

1.1 背景

近年、オンライン通信および技術の発展に伴い、音声通話およびビデオ通話の代替として、遠隔地にいる人と一緒にいるような感覚を与えるロボットである、テレプレゼンスロボットの研究が盛んに行われている。例として OriHime[1] や MORK[2], temi[3] などが製品化されており、これらはオンライン教育およびオンライン会議、介護、受付案内などの場面で用いられている。このようなテレプレゼンスロボットではユーザの身振り手振り、および視線の向きといった非言語情報を伝達することができ、対面で行うような密度が高いコミュニケーションを行うことができる。

また、テレプレゼンスロボットなどのロボットは、人が愛着を持ち、好感を抱くようなデザインとなっているようなものが多く、人や動物の見た目を模したものも存在する。例えば テレノイド [4] は人を模した見た目のテレプレゼンスロボットである。これは抱きしめやすい形をしており、ユーザがハグおよび対話をすることでテレノイドに表情を感じるようになったり、人間の存在感を感じたりするようにデザインされている。また、LOVOT[5] は動物のような見た目をしたペット型ロボットである。LOVOT は本体が柔らかくあたたかいため、ユーザが抱きしめたり、ふれあったりした際にぬくもりを感じ、癒されるという効果がある。

LOVOT のように、ロボットにはユーザを癒す効果があるものが存在する。そのようなロボットを用いてユーザを精神的に癒す心理療法をロボット・セラピーと呼ぶ。これは、動物とのふれあいを通して精神的な安らぎを与えるアニマル・セラピーの代替となる心理療法である。浜田ら [6] はロボット・セラピーにおける、感情表出および会話の増加、笑顔の増加といった、アニマル・セラピーと同様の心理的効果、および社会的効果を確認した。

既存のぬいぐるみ型ロボットでは、非言語情報としてジェスチャを伝達するぬいぐるみ型ロボット [7] が多く、体温および脈拍、感情といった無意識の非言語情報を伝達するものはほとんどない。

本研究では、音声通話の代替として、テレプレゼンスロボットを用いた通話に着目し、ロ

ボット・セラピーの観点から通話インタフェースとしてぬいぐるみ型ロボットを用いる。また、非言語情報としてジェスチャの伝達を行い、そしてぬいぐるみ型ロボットに温度提示機能を付与し、温度提示を行うことで感情を伝達する手法を提案する。

1.2 目的とアプローチ

本研究の目的は、ぬいぐるみ型テレプレゼンスロボットに温度提示機能を付与した場合の効果を検証することである。そのためのアプローチとして、うなずき動作および温度提示が可能なぬいぐるみ型ロボットを実装し、評価実験により本システムを使用した際の楽しさの知覚、および社会的存在感の有無、感情伝達の知覚についての効果を検証する。

1.3 貢献

本研究の貢献は以下の通りである。

- テレプレゼンスロボットにおいて、温度を提示することによって感情の伝達を行うシステムを考案した。
- 実験により実装したシステムの効果を検証した。これにより温かい温度を提示することでポジティブな感情をより伝達させることができることがわかった。

1.4 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第1章においては、本研究の背景、目的とアプローチおよび貢献を示した。第2章においては、本研究に関連する研究を示し、本研究の位置付けを示す。第3章においては、本研究の提案システムの設計および本研究のシステム構成を示す。第4章においては、本研究を評価するために行った実験内容、結果および考察を示す。第5章においては、本研究の制約、今後の課題および展望を示す。第6章においては、本研究の結論を示す。

第2章 関連研究

本章では、まずテレプレゼンスロボットに関する関連研究を述べ、その後非言語情報の伝達およびぬいぐるみ型ロボット、温度伝達を用いたコミュニケーションに関する関連研究を述べる。

2.1 テレプレゼンスロボット

テレプレゼンスロボットとは、遠隔地にいる人と一緒にいるような感覚を与えるロボットのことである。様々な遠隔操作ロボットが提案されており、ビデオ会議を目的とした、ディスプレイを搭載した自動走行可能な2輪ロボットでは、ユーザがロボットを操作して移動させることで遠隔地にいるユーザとコミュニケーションを行うことが出来る [8][9]。

また、人型のテレプレゼンスロボットには、首および口の身体動作の伝達を行うロボット [10] や、2体の人形型ロボットの腕の動きを同期させ、遠隔地にいる子供の遊びを支援するロボットがある [11]。

テレプレゼンスロボットはオンライン会議および通話、遊びなどのコミュニケーションを行うことを目的としているものが多く存在する。本研究においても、通話を伴うコミュニケーションを目的としてテレプレゼンスロボットを用いる。

2.2 非言語情報の伝達

非言語情報には視線、身振り手振りといった意識的な非言語情報と、体温および脈拍、感情といった無意識的な非言語情報が存在する。

意識的な非言語情報を伝達する研究は、テレプレゼンスロボットの項で述べた関連研究に加えて、ヘッドマウントディスプレイなどを用いて顔の向き、および身体の向き、ジェスチャを伝達するロボット [7] など、多く存在する。

無意識的な非言語情報を伝達する研究では、人間の心拍を表現するロボットハンドについての研究がある [12]。これは、遠隔地にいるユーザがロボットハンドを介して握手を行う際に、心拍を伝達するという研究で、心拍を伝達して握手を行うことで遠隔地の相手の存在感を高めることができる。

ジェスチャなどの意識的な非言語情報を伝達するものと比較して、無意識的な非言語情報を伝達する研究はあまりされておらず、さらなる研究の余地があると考えられる。

2.3 むいぐるみ型ロボット

むいぐるみ型ロボットを用いた関連研究としては、RobotPHONE[13] が挙げられる。これはむいぐるみ型の通話インタフェースを用いた研究であり、遠隔地間のユーザが持っている互いのロボットの形および動きがリアルタイムに同期されることでジェスチャを行う。

電話における受話器がむいぐるみ型ロボットとなっている研究 [14] では、リスなどの小動物を模したインタラクティブな小型通話ロボットが、首を振るなどの動作で着信をユーザに知らせる。首の動作によって着信を知らせる手法は従来の電話による着信よりも抵抗がすくないことがわかった。

また、むいぐるみ型ロボットを用いた通話インタフェースのように、コミュニケーションメディアが通話相手の外見と大きく異なっている際、通話相手が初対面の場合、通話相手の人格の認識に歪みが発生してしまうことも知られている [15]。むいぐるみ型ロボットを用いて通話を行う際には、その点に注意する必要がある。

本研究では、RobotPHONE を参考に、むいぐるみ型ロボットを用いた通話インタフェースに新たに温度提示機能を付与する。

2.4 温度伝達を用いたコミュニケーション

温度伝達を用いてコミュニケーションを行う研究としては、木村らが提案した Ther:com[16] が挙げられる。これは、通信ゲームにおいて温度および表情アイコンを伝達することで、遠隔地間におけるコミュニケーションの支援を行うことを目的とした研究である。ゲームパッドのボタンを押すことで、ユーザが自身の知覚している感情を通信相手へ温度および表情アイコンとして伝達することができ、温度刺激を付与することで通信相手の存在を身近に感じたり、ゲームの楽しさや盛り上がりにも貢献することがわかった。

また、田口 [17] は対人コミュニケーションの支援のために温度メディアを用いた研究を行った。これはデバイスに加えた圧力を温度に変換して伝達するモデルや、ユーザ間の皮膚温の差を伝達するモデルの開発を行ったものである。

本研究では、通話においてユーザの無意識的な感情を温度に変換して伝達する手法に着目する。

第3章 提案システムの設計

本章では、本研究の提案システムの設計について述べる。なお、本研究の最終的な目的はぬいぐるみ型ロボットを用いた通話システムの構築であるが、本論文では温度提示機能の有無の効果を検証するプロトタイプとして、あらかじめ記録した動作・発話・温度提示を再生するシステムを実装した。実装したシステムのハードウェア設計およびソフトウェア設計について述べる。

3.1 ハードウェア設計

本システムのハードウェア構成の概要を図3.1左に示す。サーボモータを用いて1自由度の頭部の動作を提示しており、ぬいぐるみの胴体内にサーボモータを設置し、ワイヤを介してぬいぐるみ頭部の顎下を引っ張ることによってうなずき動作を提示している。サーボモータは近藤科学株式会社の KRS-3301 ICS[18] を用いた。

また、温度提示にはペルチェ素子を用いており、PID 制御により温度を調整する制御基板と、ペルチェ素子およびヒートシンク、放熱ファンから構成されるモジュールを2台使用している。制御基板に搭載されている2つのボタンを操作することでペルチェ素子の設定温度を変更できる。ペルチェ素子の制御基板は CNET LIMITED 社の MK-515-BUILT[19]、ペルチェ素子およびヒートシンク、放熱ファンから構成されるモジュールは CNET LIMITED 社の MSC-111[20] を用いた。

3D プリンタにより2つの温度提示モジュールおよびサーボモータを保持する筐体を作した。筐体のまわりには筐体内へぬいぐるみの綿などが侵入することを防ぐため、EVA スポンジシートを貼付した(図3.1右)。筐体にぬいぐるみをかぶせたものが図3.2である。実際に使用する際にはぬいぐるみの胴体を把持して使用することを想定しているため、ペルチェ素子をぬいぐるみの胴体の側面に配置し、ユーザが温度提示を知覚できるようにしている。ぬいぐるみは市販のぬいぐるみ(ライオン)[21]を用いており、全高は約42cmである。

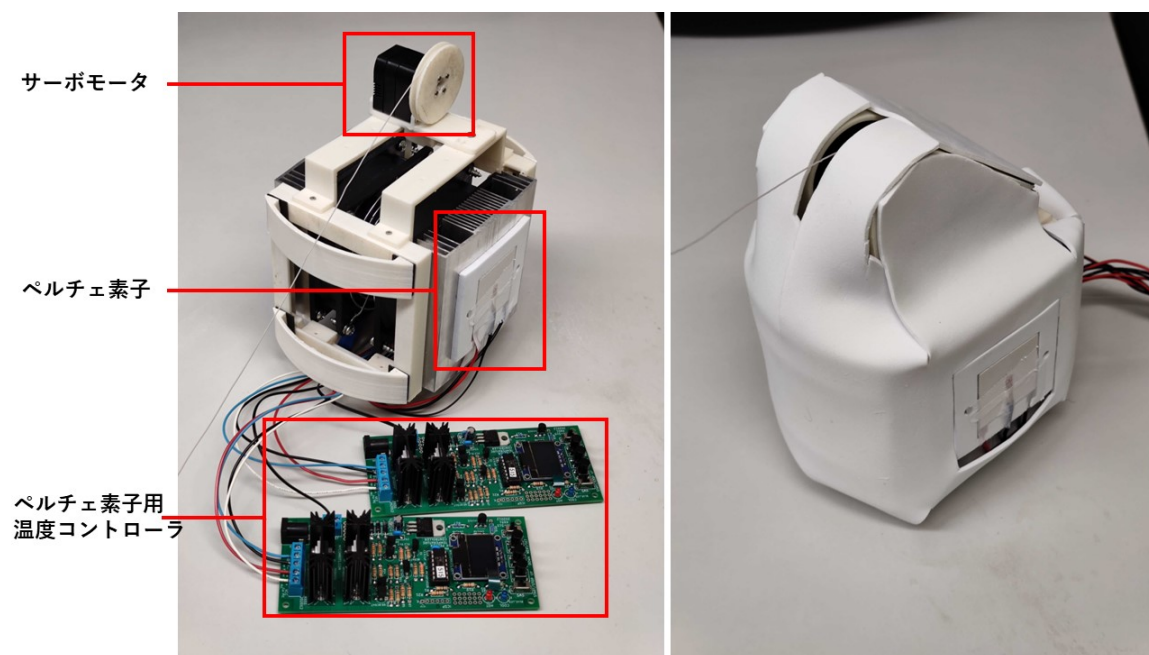


図 3.1: むいぐるみに内蔵する筐体.



図 3.2: むいぐるみ型テレプレゼンスロボットの正面. ペルチェ素子のモジュールおよびサーボモータを内蔵している.

3.2 ソフトウェア設計

ロボットの動作および発話を制御するため、Python を用いて制御ソフトウェアを実装した。発話内容に合わせてサーボモータが動き、うなずき動作を行うために、このソフトウェアを用いて発話内容の再生、サーボモータの角度およびタイミングの制御を行っている。

ソフトウェアはPCで実行し、USBを通してサーボモータとシリアル通信を行っている。また、ユーザはヘッドセットを用いて、ソフトウェアによって再生される発話内容を聴くように設計した。

第4章 実験

本研究における提案手法は、ぬいぐるみ型テレプレゼンスロボットに温度提示機能を付与することである。提案手法の効果を明らかにするために、実装したシステムを用いた実験室実験を行った。本章では、実験にあたって設定した仮説およびその仮説を検証するために実施した実験の内容についての説明を行う。その後、実験の結果を述べ、考察を行う。

4.1 仮説

評価にあたっては、提案手法の効果として以下の3つの仮説を設定した

- H1. 使用する際の楽しさが向上する。
- H2. 通話の際の社会的存在感が増す。
- H3. 通話相手のポジティブな感情を明確に知覚する。

提案手法である温度提示機能の付与では、通話相手の感情を温度として提示する。本研究では、通話相手のポジティブな感情を温かい温度として提示することで、ユーザが通話相手の感情をより明確に知覚することができ、その結果本システムを使用して通話する際の楽しさの向上および社会的存在感の増加につながると考える。ここで、社会的存在感とは「媒介しているコミュニケーションにおいて相手を『現実目目の前にいる』と感じられる程度」[22]のことであり、テレプレゼンスロボットにおいて遠隔地にいる人と一緒にいる感覚をどれだけ感じる事が出来るかについての指標としている。

4.2 実験設計

4.2.1 実験条件

設定した仮説についての検証を行うため、実験条件はC1: 温度提示あり, C2: 温度提示なしの2条件とした。どちらの条件においても、ロボットはうなずき動作を行っており、温度提示あり条件では実験タスク中、ロボット内部のペルチェ素子を発熱させ、温度提示なし条件ではペルチェ素子の発熱を行わない。

特に、温度提示あり条件で用いているペルチェ素子の温度制御システムは設定温度から最大で $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の揺れがあった。発熱を伴う条件であるため、火傷および火事などのリスク、お

よび筐体を覆っている EVA スポンジシートの耐熱温度が 80 °Cであることを考慮しペルチェ素子の温度は 49 °Cに設定した。この温度は、ぬいぐるみの生地越しに触った際に、人肌より少し温かく感じるよう設定したものである。また、実験時にはペルチェ素子の温度をモニタリングしていたほか、実験参加者には、温度提示条件の際に、異常な熱さを感じたらすぐにぬいぐるみから手を離すように指示した。

4.2.2 実験タスク

実際にテレプレゼンスロボットとして使用する場面を想定し、恋人または友人といった仲の良い関係の2人が会話を行っているような内容とした。また、本実験ではポジティブな感情に注目しているため、発話内容はポジティブなものとしている。

実際に使用する際は遠隔2地点にそれぞれシステムを配置し双方向で利用する想定だが、今回は会話の内容を統一した状態で温度提示の有無のみを比較するため、あらかじめ記録した音声・動作を提示した。提示した2種類の音声スクリプト (S1, S2) を表 4.1 に示す。

実験の様子を図 4.1 に示す。実験参加者はシステムが提示する、頭部動作および温度提示を含む一連の発話を確認した上で、システムに関するアンケートに回答した。

実験参加者には、温度提示を知覚できるようにペルチェ素子が埋め込まれているぬいぐるみの側面を持つように指示した。また、ぬいぐるみのうなずき動作を正面から見るように、ぬいぐるみを傾けて持ちぬいぐるみと目を合わせるようにも指示した。加えて、温度提示モジュールおよびサーボモータの動作音、周囲の環境音が評価に及ぼす影響を少なくするため、実験参加者が音声を聴く際にはヘッドセットを用いた。

表 4.1: 音声スクリプト

No.	スクリプト
S1	もしもし、佐藤だけど今週の土曜の昼空いてる？ 良さげなラーメン屋見つけてさ、食べ行きたいんだけど行かない？ 田中と山下も誘ってて、田中はくるって。 なんか、白湯が有名なところしくて、結構混むらしいから開凸で行こうよ。 あ、あとそうちょっとついでに聞いてほしいんだけど、この前恋人にさ、 誕プレでコートもらって、コート欲しいなどは思ってたんだけど、 別になんも言ってくなくて、なのほしいものくれたのすごくない!？ 我ながら結構似合ってるからこんどそれ着てって自慢するわ、 惚気るから楽しみにしてて。それだけ。 ラーメンの件考えといて～またね～
S2	もしもし、佐藤だけど今週の日曜空いてる？ 前から気になってた映画の公開日なんだけどさ、観に行かない？ 星空(仮名)っていう映画なんだけど、ミュージカル系の映画でさ、興味ある？ 劇中歌がかなり良いらしいから気になってるんだよね～ あ、あとそうちょっとついでに聞いてほしいんだけど、正月実家帰ったときにさ、 兄夫婦と姪っ子2人も遊びに来てて、1か月の赤ちゃんも2歳の子なんだけど めっちゃ可愛くて、でもなんか近づいただけで超警戒されて、 抱っこさせてもらったんだけど、なんか案の定ギャン泣きされて、 動画とってあるから今度見せるね、それだけ。 映画の件考えといて～またね～



図 4.1: 実験の様子

4.2.3 実験参加者

実験は参加者内配置によって行い、実験参加者は両条件において実験タスクを実施した。実験参加者は4名であり、それぞれ P1: 男性 24 歳, P2: 男性 23 歳, P3: 男性 22 歳, P4: 男性 23 歳である。参加者は全員実験者と同じ研究室に所属する筑波大学の大学生または大学院生であり、実験の所要時間は 30 分以内であった。

本実験は参加者内配置で行っているため、実験の条件の順序による影響があると考えられる。そのため、音声スクリプト S1,S2 および実験条件 C1,C2 においてカウンターバランスをとることで順序効果の相殺を行っている。実験参加者ごとの実験順序を表 4.2 に示す。

表 4.2: 実験順序

実験参加者	1 回目		2 回目	
	音声スクリプト	条件	音声スクリプト	条件
P1	S1	C1	S2	C2
P2	S1	C2	S2	C1
P3	S2	C1	S1	C2
P3	S2	C2	S1	C1

4.3 評価項目

本実験において、仮説を検証するために3つの評価項目を設定した。各評価項目は順番に H1, H2, H3 を検証するための項目である。

- 使用する際の楽しさの知覚
- 通話の際の社会的存在感の有無
- 感情伝達の知覚

評価にあたっては、使用する際の楽しさの知覚および通話の際の社会的存在感の有無、感情伝達の知覚の評価を行うためにアンケートを実施した。また、全体を通し意見を求めるために半構造化インタビューを行った。アンケートおよび半構造化インタビューは Google form を用いて回収した。実験に用いた質問項目を表 4.3 に示す。

表 4.3: 質問項目の内容

No.	質問項目
1	このシステムを介して話しかけられるのは楽しい
2	このシステムは楽しいと思う
3	このシステムに魅力を感じる
4	このシステムはつまらない
5	このシステムを介して話しているとき、本物の人と話しているように感じた
6	このシステムを介して対話相手は私に注目しているように感じた
7	このシステムを介した対話相手は本当の人間ではないとしばしば思う
8	同じ部屋の中で実際に対話相手が目の前にいる感じがした
9	このシステムは感情を持っているように感じた
10	相手の感情を感じ取ることが得意だ
11	このシステムを介して相手の感情を感じ取ることができた

4.3.1 Technology Acceptance Model (TAM)

Technology Acceptance Model (TAM) は Davis ら [23] によって提案された心理尺度であり、情報技術がユーザに受け入れられる・拒否される要因を予測することを目的として提案された。本実験では Heerink ら [24] が提案した、TAM を改良した心理尺度の「Social Presence」および「Perceived Enjoyment」の 2 項目を参考に質問項目を設定した。表 4.3 における No.1-4 が使用する際の楽しさの知覚 (Perceived Enjoyment) についての質問項目であり、No.5-9 が通話の際の社会的存在感の有無 (Social Presence) についての質問項目である。

4.3.2 感情伝達の知覚

感情伝達に関する質問項目は通話相手の感情をどの程度知覚するか出来るかを評価するために設定した。表 4.3 における No.10,11 が感情伝達に関する質問項目である。No.10 はユーザがどれだけ感情の知覚を得意としているかを評価するために設定した。また、No.11 においてどれだけ通話相手の感情を知覚できたかを評価するために設定した。

4.3.3 半構造化インタビュー

半構造化インタビューとは、質問する内容をあらかじめ定めておき、得られた回答から話を広げてさらに質問する形式のインタビューである。あらかじめ定められた質問および質問の意図を表 4.4 に示す。

表 4.4: 半構造化インタビューの内容. 質問内容および質問の意図を示す

質問内容	質問の意図
本システムの良かった点・悪かった点を教えてください	システム全体での良い点・改善点を得るため
ぬいぐるみが温かくなることについて、意見・感想があれば教えてください	ユーザが温度提示されることをどのように感じるか知るため
その他、意見・感想があれば教えてください	実験における参加者の意見・感想を得るため

4.4 結果および考察

本節では、実験の各評価項目についての結果を示し、考察を行う。また、本実験では実験参加者が十分ではなかったことから統計的な議論は行わない。

4.4.1 Technology Acceptance Model (TAM)

4.4.1.1 使用する際の楽しさの知覚

アンケート結果のデータの平均を棒グラフにしたものを図 4.2 に示す。それぞれの平均値から、温度提示あり、温度提示なしの条件において、使用する際の楽しさの知覚についての差はほとんどないと考えられる。

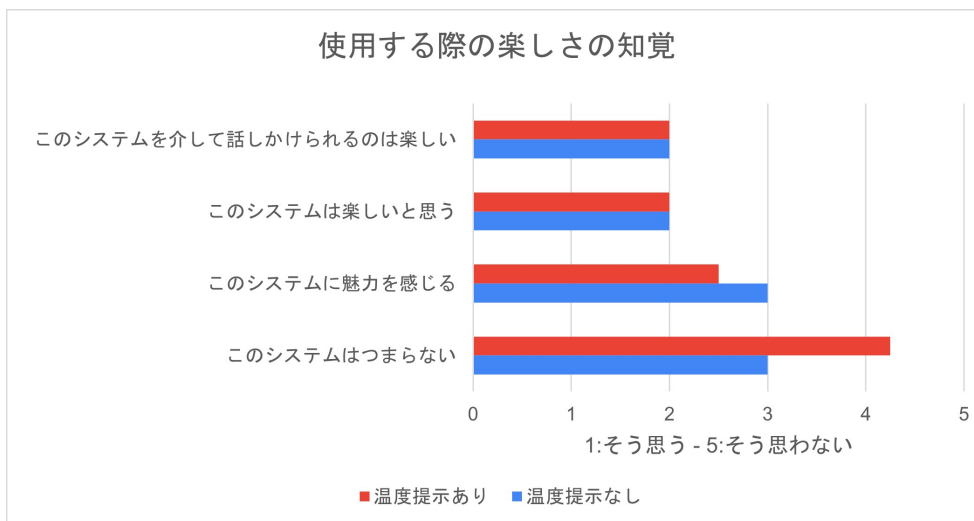


図 4.2: 使用する際の楽しさの知覚のアンケート結果

4.4.1.2 通話の際の社会的存在の有無

アンケート結果のデータの平均を棒グラフにしたものを図 4.2 に示す。それぞれの平均値から、温度提示あり、温度提示なしの条件において、温度提示ありの条件のほうが、より通話の際に社会的存在感が増すと考えられる。温度提示ありの条件では、ペルチェ素子を 49℃ に設定し発熱を行っていたため、ぬいぐるみ型ロボットにぬくもりを感じ、社会的存在感が増したのではないかと考える。

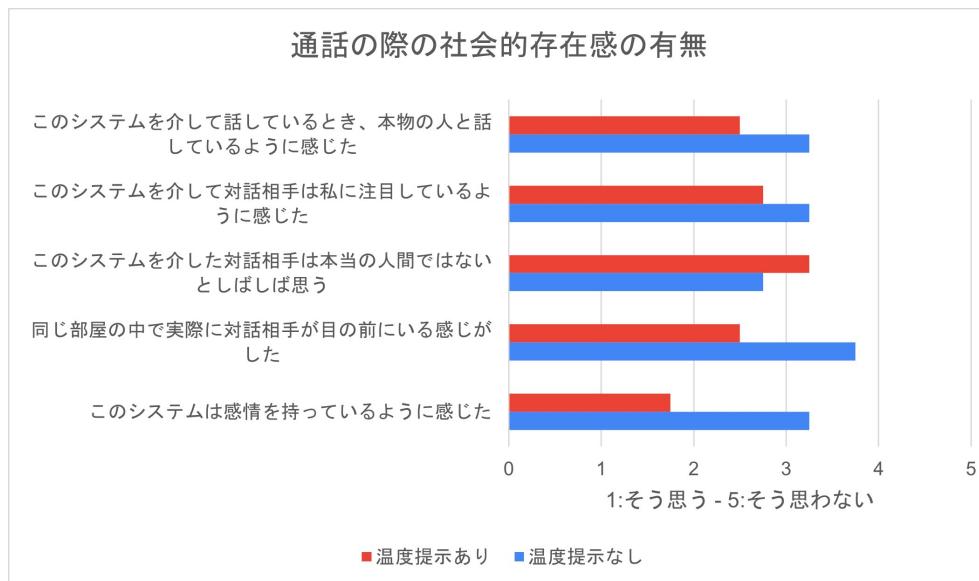


図 4.3: 通話の際の社会的存在の有無のアンケート結果

4.4.2 感情伝達の知覚

アンケート結果のデータの平均を棒グラフにしたものを図 4.2 に示す。それぞれの平均値から、温度提示あり、温度提示なしの条件において、温度提示ありの条件のほうが、より通話相手の感情を伝達することができる可能性があると考えられる。しかし、実験参加者が十分ではなかったため統計的に有意差があるかどうかは判断できない。

4.4.3 半構造化インタビュー

本システムについて、ぬいぐるみ型ロボットがうなずき動作を行うことに関して、「うごくので相槌しているのかなという気分になった」(P1)、「頭が動くことによって、話しかけられている感じはした」(P3)のように、ぬいぐるみ型ロボットが相槌をしながら話しているように感じた人がいた。また、首が動くことが楽しいと答えた人もいた。

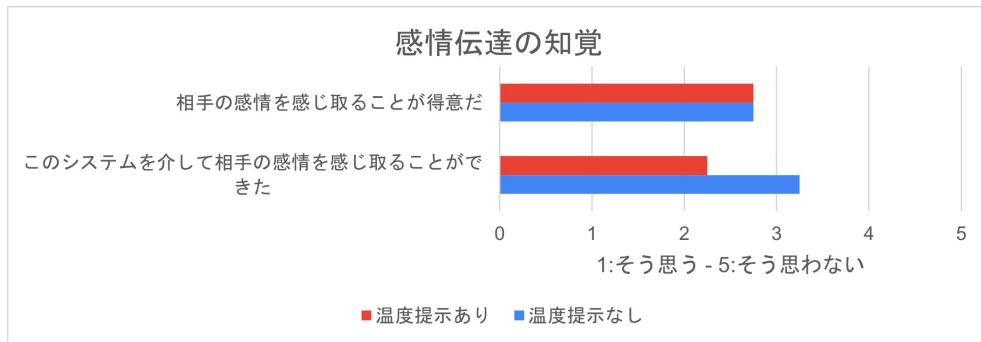


図 4.4: 感情伝達の知覚のアンケート結果

一方で「首がどのタイミングで反応するかわからなかった」(P1),「首が動いてるのが何を表しているかわからなかった. うなずきな気がするが, 会話の文脈とすこしずれたタイミングで動くからすこしもどかしい気持ちになった.」(P2)のように, 首の動きのタイミングに違和感を感じる人もいた. 本実験では, むいぐるみ型ロボットから通話相手が一方的に話しかける会話となっていたため, 通話相手がうなずき動作を行う明確なタイミングが無く, そのため, うなずき動作が何を意味しているのか疑問に思う参加者がいたのだと考える.

うなずき動作を効果的なタイミングで行うことが出来れば, 相槌および首肯のような意味のある動作として知覚され, むいぐるみ型ロボットを使用する際により効果的な通話を行うことができるのではないかと考える.

また, 温度提示を行うことに関しては, 「体温くらいの暖かさで何か会話にぬくもりを感じた気がする」(P1), 「無機質なもののから, 温かみがあることによって感情があるかのように感じた」(P2), 「むいぐるみが温かいと安心感が増す気がする」(P3), 「何もないよりかは相手の温かみ, 存在を感じたと思う」(P4)のように実験参加者全員から会話において温もりまたは安心感を感じるという回答を得た. むいぐるみ型ロボットの発熱を行うことによって, 温もり, 安心感が向上すると考えられるため, ポジティブな会話内容においてむいぐるみ型ロボットを発熱させることで, ポジティブな感情をより伝達させることが出来ると考える.

一方で, 本実験では火傷および火事などのリスクを考慮し, ユーザが温かいと感じる程度の温度にペルチェ素子を設定した. そのため, 「もう少しむいぐるみが温かくなると違いがより感じられてよかったと思う」(P4)のように, 温度提示あり条件と温度提示なし条件において温度の差を小さいと感じた人もいた. 温度提示をしていなくても, むいぐるみを把持していることで熱を持ってしまい, 温度提示あり条件との差を小さく感じてしまったのだと考える.

4.5 実験結果に対する考察のまとめ

本研究では, 以下の3点の仮説を設定し, 検証を行った.

- H1. 使用する際の楽しさが向上する.

- H2. 通話の際の社会的存在感が増す.
- H3. 通話相手のポジティブな感情を明確に知覚する.

H1 に関して、温度提示あり条件と温度提示なし条件の間に差はないと考えられる. そのため, H1 の仮説は支持されなかったと考える.

H2 に関して、温度提示あり条件の方が温度提示なし条件より社会的存在感が増すと考えられる. そのため, H2 の仮説は支持されたと考える.

H3 に関して、温度提示あり条件の方が温度提示なし条件より感情伝達を行うことができる可能性があると考えられたが、統計的な議論をおこなってないため、今後さらなる調査を行う必要があると考える. そのため, H3 の仮説は支持されたとは言えない.

第5章 本研究の制約，今後の課題および展望

5.1 実験環境による制約

本研究における実験では，実験設計上の制約により，対話の内容および温度提示機能が制限されていた．実験環境においては，実験参加者は会話において聴くのみであったこと，温度提示あり条件において温度設定が会話を通して一定であったことと本研究の最終的な目的である通話システムとは異なった条件となっており，本研究における評価項目について，評価が異なる可能性が考えられる．

今後は本システムの改良を行い，よりインタラクティブな場面における実験を行い，本研究における仮説について統計的な分析および評価を行うことが課題である．

5.2 今後の展望

実験環境による制約で述べた通り，本研究の実験で用いたシステムは通話インタフェースではなかった．今後は通話インタフェースシステムの実装を完了させ，通話を行った実験室実験を実施し，再び本研究の仮説について評価を行う．

また，半構造化インタビューの結果から，温かい温度を提示することでポジティブな感情をより伝達することが出来ると考えられた．今後，冷たい温度を提示することでネガティブな感情をより伝達させることが出来るのかを検証する．加えて，提示する温度について，ユーザが知覚しやすく，火傷等のリスクも少ない，より良い温度をポジティブな感情およびネガティブな感情それぞれについて調査を行う．

第6章 結論

ぬいぐるみ型ロボットにジェスチャ提示機能に加えて、温度提示機能を付与するシステムを提案した。提案手法を用いた実験により、以下の結果が得られた。

- 温度提示の条件に関して、システムを使用する際の楽しさの知覚に差はなかった。
- 温度提示あり条件では、社会的存在感が増した。
- 温度提示の条件に関して、感情伝達の知覚に差はなかった。

これらの結果により、温度提示を行うことで、ぬいぐるみ型ロボットを用いた通話インタフェースにおける社会的存在感が増すことがわかった。また、本研究の実験で用いたシステムは対話の内容および温度提示機能が制限されていたため、今後は通話インタフェースの実装を完了させ、通話インタフェースを用いた評価実験を行っていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり，川口一画先生，志築文太郎先生，高橋伸先生には多大なご意見とご指導をいただきました。こころから感謝申し上げます。特に，川口一画先生には，研究の進め方，論文執筆をはじめとした研究の基礎をご指導いただきました。さらに，研究や論文執筆において多大なるご心配をおかけしました。また，研究の相談や研究生活に関して多くのお力添えをいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

インタラクティブプログラミング研究室の同輩，先輩方には研究生活においてお世話になりました。また，COMMUNICATION チームの皆様にはチームゼミや研究生活におけるご意見やご助言といった研究に関する多くの支援をいただきました。深く感謝します。

最後に，学生生活においてお世話になった皆様，そして，私の学生生活を支えていただいた家族，友人に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] OryLab Inc. Orihime. <https://orihime.orylab.com/>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
- [2] 株式会社インディ・アソシエイツ. Mork. <https://morkrobot.com/>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
- [3] temi USA inc. temi. <https://www.robotemi.jp/>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
- [4] Telenoid Healthcare Company. テレノイド. <https://telenoid.co.jp/>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
- [5] GROOVE X, Inc. Lovot. <https://lovot.life/>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
- [6] 浜田利満, 横山章光, 柴田崇徳. ロボット・セラピーの展開. 計測と制御, Vol. 42, No. 9, pp. 756–762, 2003.
- [7] Mose Sakashita, Tatsuya Minagawa, Amy Koike, Ippei Suzuki, Keisuke Kawahara, and Yoichi Ochiai. You as a puppet: Evaluation of telepresence user interface for puppetry. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, pp. 217–228, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [8] Andriana Boudouraki, Stuart Reeves, Joel E Fischer, and Sean Rintel. Mediated visits: Longitudinal domestic dwelling with mobile robotic telepresence. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [9] Irene Rae, Leila Takayama, and Bilge Mutlu. In-body experiences: Embodiment, control, and trust in robot-mediated communication. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1921–1930, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [10] 中西英之, 石黒浩. 実体で身体動作を提示するロボット会議によるソーシャルテレプレゼンスの強化. インタラクション 2013, Vol. 1, pp. 125–132, 2013.
- [11] Leonardo Bonanni, Cati Vaucelle, Jeff Lieberman, and Orit Zuckerman. Playpals: Tangible interfaces for remote communication and play. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human*

- Factors in Computing Systems*, CHI EA '06, pp. 574–579, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery.
- [12] Yoshiaki Taminami, Sho Yokota, Akihiro Matsumoto, Daisuke Chugo, and Hiroshi Hashimoto. Effects of the heartbeat expression to remote presence by shaking hands with a remote-controlled robot hand and review of its parameters. In *2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 444–448, 2020.
 - [13] Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, and Susumu Tachi. Robotphone: Rui for interpersonal communication. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, pp. 277–278, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.
 - [14] Stefan Marti and Chris Schmandt. Physical embodiments for mobile communication agents. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, pp. 231–240, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
 - [15] Kaiko Kuwamura, Takashi Minato, Shuichi Nishio, and Hiroshi Ishiguro. Personality distortion in communication through teleoperated robots. In *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 49–54, 2012.
 - [16] 木村鷹, 伊藤淳子, 宗森純. 温度刺激と表情アイコンによるリッチな遠隔地コミュニケーション支援システム「ther:com」の開発. 情報処理学会研究報告 2015-GN-93(4), pp. 1–8, 2015.
 - [17] 田口聖久. 対人コミュニケーションのための温度を互いに伝えるメディアの研究. 卒業論文, 2010, 筑波大学.
 - [18] Kondo Kagaku co.,ltd. Krs-3301 ics. <https://kondo-robot.com/product/krs-3301-ics>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
 - [19] マイコンキットドットコム. Mk-515-built. <https://www.mycomkits.com/SHOP/MK-515-BUILT.html>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
 - [20] マイコンキットドットコム. Msc-111. <https://www.mycomkits.com/SHOP/MSK-111.html>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
 - [21] 3COINS. めいぐるみ(ライオン). <https://www.palcloset.jp/display/item/2221-CN1-000000/?cl=01&b=3coins&ss=>, 2023. (Accessed on 02/01/2023).
 - [22] Charlotte N. Gunawardena and Frank J. Zittle. Social presence as a predictor of satisfaction within a computer - mediated conferencing environment. *American Journal of Distance Education*, Vol. 11, No. 3, pp. 8–26, 1997.

- [23] Fred D. Davis. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, Vol. 13, No. 3, pp. 319–340, 1989.
- [24] Marcel Heerink, B. Kroese, Vanessa Evers, and Bob Wielinga. Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: the almere model. *I. J. Social Robotics*, Vol. 2, pp. 361–375, 2010.