

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

視線情報を用いたアウェアネスの提示による
遠隔対話の生起支援

田之頭 吾音

指導教員 川口 一画, 志築 文太郎

2021年 2月

概要

遠隔地間においては、対面状況と比較して対話が生起しにくい。特に、時間、議題、および参加者などの条件があらかじめ決まっておらず、偶発的に発生すると言われるインフォーマルコミュニケーションの支援システムは少ない。インフォーマルコミュニケーションのような時間や議題が決まっていない対話が開始されるためには、「相手に話しかける」という行為の負担を軽減する必要がある。対面状況においては、人間は非言語情報を含む互いの様子を細かく伝え合うことによりタイミングを計り、相手の作業を妨げずに対話を開始できる。そこで本研究では、遠隔地間において互いの様子を伝達し合い、話しかける行為の負担を軽減する。そのためのアプローチとして、人間同士の対話の開始場面に関する社会学的知見に基づき、対面状況において人間同士が対話を開始する際に交わされる動きを遠隔地間において再現する。具体的には、話し手は相手に視線を送ることにより相手の注意を引き、相互注視を対話開始の合図とする。この動きを再現するために、ユーザの視線を検出し、遠隔地間において物理的なアバタを介して視線情報を伝達し合う。そして、アバタを介して相互注視が成立した場合、音声通話を接続する。本研究では、提案手法を用いて視線を提示することによる効果を検証するための実験を行った。

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 アウェアネス提示システム	2
1.3 目的とアプローチ	2
1.4 貢献	4
1.5 本論文の構成	4
第2章 関連研究	5
2.1 対話の開始に関する社会学的知見	5
2.1.1 対話の開始における非言語情報の役割	5
2.1.2 対話の開始におけるインタラクションの具体例	6
2.1.3 対話の開始におけるインタラクションのまとめ	6
2.2 応答可否のみを提示するアウェアネス提示	6
2.3 非言語情報を用いて細かな相手の状態を提示するアウェアネス提示	7
第3章 提案手法の設計	8
第4章 システム構成	10
4.1 ハードウェア設計	10
4.2 ソフトウェア構成	12
4.2.1 SkyWay 制御プログラム	12
4.2.2 アバタ制御プログラム	14
4.2.3 プログラム間の通信の流れ	14
4.3 インタラクションデザイン	15
第5章 実験	20
5.1 仮説	20
5.2 実験設計	21
5.2.1 実験条件	21
5.2.2 実験タスク	22
5.2.3 実験参加者	24
5.3 評価項目	24
5.3.1 心理的負担に関連する印象評価	25

5.3.2	話しかけようとした回数	26
5.3.3	話しかけようとするまでにかかる時間	27
5.3.4	システムの操作性の評価	27
5.4	結果および考察	28
5.4.1	心理的負担に関連する印象評価	28
	Presence-In-Absence に関する結果および考察	28
	Feeling Obligated に関する結果および考察	29
	Unmet Expectations に関する結果および考察	30
5.4.2	話しかけた回数	30
5.4.3	話しかけようとするまでの時間	31
5.4.4	システムの操作性の評価	32
5.5	実験結果に対する考察のまとめ	33
第 6 章	本研究の制約および今後の課題	35
6.1	実験環境による制約	35
6.2	視線認識精度および習熟度	35
6.3	相互注視と判断する時間	36
6.4	サーボモータ動作時のノイズによる影響	36
6.5	複数人による遠隔対話への対応	36
6.6	受け手側の細かなアウェアネス提示	37
第 7 章	おわりに	38
	謝辞	39
	参考文献	40
	著者論文リスト	43
付 録 A	物理アバタのモデル設計図	44
A.1	物理アバタ三面図	45

目 次

1.1	本研究にて実装した物理的なアバタ. 視線情報の検出および表現が可能である. 遠隔地間における2人のユーザの元に1台ずつ配置することにより視線情報を伝達し合う. アバタを介して相互注視が成立した場合, 音声通話を接続する.	3
1.2	提案システムを注視する様子. 遠隔地にいる相手がアバタの方に視線を送ると, アバタがユーザの方に視線を送る. アバタから送られた視線に対しユーザが視線を返すと, アバタを介して相互注視が行われる.	3
3.1	相互注視が行われている様子. 話し手が送った視線(話し手側赤線)をアバタにより表現(受け手側赤線)し, 受け手が視線を返した場合(受け手側青線), アバタを介して相互注視が成立し(話し手側青線), 音声通話が接続される.	9
4.1	システム構成. 視線の検出および提示が可能なアバタおよび制御用PCから構成される. 本システムを遠隔地間に1台ずつ配置し, SkyWay 制御プログラムを介して接続する.	10
4.2	ハードウェア構成. HVC-P2により視線検出を行う. Arduino Uno によって制御される2つのサーボモータおよびフルカラーLEDにより遠隔ユーザの視線提示を行う. 音声通話のために小型スピーカを搭載している.	11
4.3	視線提示を行うアバタ内部の構成. [a]: アバタ内部の3Dモデル. 2つのサーボモータを用いることにより pan-tilt 各1自由度の動作が可能である. 水平方向に回転するテーブル状のパーツの上に, 垂直方向に回転する目のパーツを取り付けている. [b]: アバタ頭部の内側. 3Dプリンタにて作製した目のパーツにフルカラーLEDを埋め込むことにより, 半透明素材の頭部表面に目を提示する.	12
4.4	遠隔ユーザとの接続を行うためのwebインタフェース. 自分のPeerIDを作成したのち, 相手側のPeerIDを指定して画面下部のStartを押すことで接続が行われる. 画面上部の各ボタンにて通話接続, 切断などを行うことができる.	13

4.5	プログラム間の通信の流れ. HVC-P2 から検出された視線情報をアバタ制御プログラムにより取得し, WebSocket 通信を用いて SkyWay 制御プログラムへ送信する. SkyWay 制御プログラムにより遠隔ユーザと視線情報の送受信を行い, 相互注視が成立した場合, 音声通話を接続する. 同時に, ユーザの呼びかけ検出および通話終了判定のための音声検出も行う. また, 遠隔ユーザの視線表現のためにアバタ制御プログラムへ遠隔ユーザの視線情報を送信する. アバタ制御プログラムは Arduino Uno とシリアル通信を行い, 遠隔ユーザの視線情報に応じて 2 つのサーボモータおよびフルカラー LED の制御を行う. . .	15
4.6	話し手がアバタの方に視線を送る. ここで, 話し手は応答を求める度合いに応じて視線を送る長さを変え, 最も強く応答を求める際には呼びかけを行う. .	17
4.7	話し手の視線の送り方に応じて, 受け手側のアバタが受け手に視線を送る. 話し手が呼びかけを行った場合, 目が点滅する.	17
4.8	話し手が送った視線に対して, 受け手が応答可能であれば視線を返す. 応答不可能であれば視線を返さない.	18
4.9	受け手が視線を返した場合, 話し手側のアバタが話し手に視線を送る. . . .	18
4.10	アバタを介して相互注視が成立すると, 音声通話が接続される. 音声通話接続時はアバタの目が緑色に変化する.	19
4.11	視線情報による目の色の変化. 通常時は赤色に発光しており, 相手のみが視線を送っている際には黄色に発光し, 相互注視が成立し音声通話が接続されている間は緑色に発光する.	19
5.1	ライト提示条件における発光の様子. 通常時, ライトは赤色に発光しており, 相手からの音声通話要求を受け取ると黄色に変化する. 音声通話中は緑色に発光する.	21
5.2	ライト提示条件の web インタフェース. 話し手は話しかけようとする際に, Call Request ボタンを押すことにより, 音声通話要求を送信する. Cancel ボタンを押すことにより, 音声通話要求を取り消すことができる. 受け手は話し手からの音声通話要求に対し, Call Request ボタンを押すことにより応答する. . .	22
5.3	実験環境. 参加者の左手側約 45 度方向にアバタを配置した. 参加者がアバタに視線を送る際, 明確に視線を移動させる必要を生じさせ, 誤入力を防止した.	24
5.4	アンケート結果. 各尺度における実験条件ごとの参加者のスコアの平均値. * がついているものは $p < 0.05$ であった尺度である. エラーバーにて標準誤差を示す.	28
5.5	各条件における話しかけた回数の平均値. エラーバーは標準誤差を示す. . .	31
5.6	各条件における話しかけようとするまでの時間の平均値. エラーバーは標準誤差を示す.	32
5.7	各条件における SUS スコアの平均値. エラーバーは標準誤差を示す.	33

表 目 次

4.1	話し手の行動に応じた話し手の意図. 話し手は応答を求める度合いが強い場合, 長い時間アバタに視線を送る. 最も強く応答を求める際には呼びかけを行う.	16
5.1	資料作成タスクにて用いたタスクリストの内容. web ブラウザ, テキストエディタソフト, 表計算ソフト, メールアプリを用いる内容とした. なお, タスクリストの中には質問を誘発する内容のタスクが含まれている (指定された Web ページにアクセスできないもの, 明らかに計算式またはグラフ間違っているもの).	23
5.2	本実験にて用いた心理的負担に関連する印象評価におけるアンケートの質問項目. 質問項目 1~3 は Presence-In-Absence に関する質問, 4~7 は Feeling Obligated に関する質問, 8~11 は Unmet Expectaiton に関する質問である. それぞれ 7 段階のリッカートスケールにおいて回答させた.	26
5.3	本実験にて用いた SUS に関するアンケートの質問項目. それぞれ 5 段階のリッカートスケールによって回答させた.	27

第1章 序論

本研究では、視線情報を用いたアウェアネス提示により遠隔対話の生起支援を行うシステムを提案する。本章では、まず本研究の背景として遠隔コミュニケーションにおける課題、および遠隔コミュニケーションにおけるアウェアネス提示システムを説明する。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、遠隔コミュニケーションを支援するためのシステムが多く普及している。例として、Zoom [ZVC] や Microsoft Teams [Mic] といったシステムが挙げられる。これらのシステムが主に支援するコミュニケーション形態は、日時、議題、および参加者などの条件があらかじめ決まっているフォーマルコミュニケーション [DL83] である。

これに対し、日時、議題、および参加者などの条件があらかじめ決まっておらず、偶発的に発生するコミュニケーション形態は、インフォーマルコミュニケーション [DL83] と呼ばれる。例として、オフィスにおいてコーヒー休憩中に同僚と交わされる対話や、デスク周辺において作業中に交わされる何気ない対話が挙げられる。Egido [Egi88] が、「重要な情報のやりとりは、会議室の外において交わされる非公式なお喋りによって行われており、それにより実際の決定がなされている」と述べていることからわかるように、インフォーマルコミュニケーションは重要な役割を果たしていると言われている [KLS82, WFDJ94]。しかしながら、遠隔地間においてはインフォーマルコミュニケーションは生起されにくい [広明 94]。フォーマルコミュニケーションにおいては、時間や議題があらかじめ決まっているため、参加者同士のコミュニケーションが成立するまでの過程を支援する必要がない。一方、インフォーマルコミュニケーションは時間や議題があらかじめ決まっていないため、生起するためにはコミュニケーション行為に要する心理的負担を減らすことにより、話しかけやすくする必要がある。[木村 07]。また、遠隔地間における対話を開始するためには、通信アドレスの検索または入力などの作業が必要となり、話しかける行為の気軽さの喪失およびアドレスの誤入力の発生といった問題が生じる [広明 94]。このような問題に対し、コミュニケーションシステムを用いて話しかける際の操作性を向上させることにより、コミュニケーション行為の作業負担を軽減できると考えられる。これらをまとめると、遠隔地間においてインフォーマルコミュニケーションのような何気ない対話が開始されるためには、「相手に話しかける」というコミュニケーション行為の負担を軽減する必要がある。そのために、話しかける際に相手の応答可否を知ることは重要であり、相手が応答可能と分かれば話しかけやすくなると考えら

れる．そこで本研究においては，アウェアネス提示システムに着目した．

1.2 アウェアネス提示システム

アウェアネスとは，Dourish ら [DB92] により「自分自身の活動の背景となる他者の活動の理解」と定義されている．遠隔地間においてアウェアネスを提示することにより，自分が話しかけようとしている相手が自分に対してどれだけ興味を示しているか，相手が対話に応答できるか，といった情報を知ることができる．本研究においては，対話の開始に関わる相手の活動を示すためにアウェアネスを提示する．

これまで，アウェアネスを用いることにより，相手の応答可否をあらかじめ提示するシステムが提案されてきた．葛岡ら [KG99] は，物理的な人形の動作を用いて相手の対話への応答可否をあらかじめ提示するアウェアネス提示システムを提案した．このシステムを用いることにより，話しかける際にあらかじめ相手の応答可否を知ることができる．

一方で，対面状況においては相手の応答可否だけでなく，互いの状態（作業にどの程度集中しているか等）をより細かく伝え合うことによりタイミングを計り，相手の作業を妨げずに対話を開始できる．そこで本研究では，既存システムのように相手の応答可否のみを提示するだけでなく，より細かな状態を相互に伝達可能なシステムを提案する．

1.3 目的とアプローチ

本研究では，遠隔地間において応答可否のみでなく，細かな状態を相互に伝達し合う．これにより，対面状況のように，対話を開始するタイミングを計り，相手の作業を妨げる心配をせずに話しかけることが可能になるため，話しかける行為に対する心理的負担を軽減できると考えられる．また，コミュニケーションシステムの操作性を向上させることにより，話しかける行為に対する作業負担を軽減できると考えられる．以上のように，話しかける行為の心理的負担および作業負担を軽減することにより，コミュニケーション行為の負担を軽減することを目的とする．これにより，インフォーマルコミュニケーションのような時間および議題が決まっていない対話が開始しやすくなると考えられる．

このような目的に対するアプローチとして，本研究では対面状況における人間同士の対話の開始場面であるイニシエーショントークに関する社会学的知見に基づき，遠隔地間における対話の生起を支援する．イニシエーショントークに関する社会学的知見によると，対面状況における対話の開始場面において，視線のやり取りが重要な役割を果たしており，特に相互注視は対話開始の合図になる．この知見に基づき，本研究では遠隔地間において互いの視線情報を物理的なアバタを介して伝達し合い，相互注視が成立した場合に音声通話を開始するシステムを提案する（図 1.1，図 1.2）．なおシステムを設計する上では，対面状況においてオフィス内の隣接したデスクの人同士が 1 対 1 で対話する場面を想定し，それを遠隔地間において再現するシステム構成とした．



図 1.1: 本研究にて実装した物理的なアバタ. 視線情報の検出および表現が可能である. 遠隔地間における2人のユーザの元に1台ずつ配置することにより視線情報を伝達し合う. アバタを介して相互注視が成立した場合, 音声通話を接続する.



図 1.2: 提案システムを注視する様子. 遠隔地にいる相手がアバタの方に視線を送ると, アバタがユーザの方に視線を送る. アバタから送られた視線に対しユーザが視線を返すと, アバタを介して相互注視が行われる.

1.4 貢献

本研究の貢献は以下の通りである。

- 対面状況における対話の開始に関する社会学的知見に基づき，遠隔地間において対話を開始するためのインタラクションデザインを考案した。
- 考案したインタラクションデザインを実現するためのシステムを実装した。
- 実験により実装したシステムの効果を検証した。これにより相手に話しかけるというコミュニケーション行為の負担を軽減することに有効であることがわかった。

1.5 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，本研究における提案手法の設計を示す。第4章においては，本研究のシステム構成を示す。第5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6章においては，本研究の制約および今後の課題を示す。第7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、まず対面状況における人間同士の対話の開始に関する社会学的知見を説明する。その後、遠隔コミュニケーションにおいて応答可否のみを伝達するアウェアネス提示の関連研究、および非言語情報を用いて細かな相手の状況を伝達するアウェアネス提示の関連研究を述べる。

2.1 対話の開始に関する社会学的知見

本研究では、対面状況において人間同士が対話を開始する際に交わされるやりとりを遠隔地間において再現する。そのために、対面状況における人間同士の対話の開始場面であるイニシエーショントークに関する社会学的知見に着目した。

2.1.1 対話の開始における非言語情報の役割

対話の開始における非言語情報の役割を調査した研究がある。非言語情報とは、人間のコミュニケーションにおいて言葉の持つ意味情報以外の全ての情報のことを指し、対話の開始において重要な役割を果たす。例として、視線情報や体の向きおよび姿勢などが挙げられる。以下、対話の開始場面において話しかけようとする側の人間を話し手、話しかけられる側の人間を受け手とする。

Kendon [Ken90] は人間が対話を開始する際の人間同士のインタラクションについてまとめた。人間同士が対話を開始する際、話し手は話しかけようとする前にまず受け手の応答可否を知るために受け手の方を見て様子を確認する。具体的には、どれだけ忙しそうか、どれだけ作業に集中しているかなどを確認することにより、受け手がどれだけ話を受け取ることが可能かを評価する。そして話し手は喉を鳴らす、体を動かす、相手の名前を呼ぶなどの行為によって受け手の注意を引こうとする。これに対し受け手が応答可能である場合、互いに対話を行うという了解のもと、体を向け合い視線を交換する。そして最終的には相互注視をきっかけに対話を開始する。

Heath ら [HC86] は人間同士が対話を開始する際の非言語情報の働きに焦点を当て、身振り、手振り、および体の動きが対話の開始に関してどのような役割を果たすかを調査した。例として、医療相談の場面において、医師および患者間でのインタラクションが開始する際に、視線のやり取りが相手の行動を喚起および促進させ、インタラクションの開始および進行に影響を与えることを明らかにした。

2.1.2 対話の開始におけるインタラクションの具体例

Salvadori [Sal16] はオフィスにおいて人間が対話を開始する際の人間同士のインタラクションの観察を行った。Salvadori [Sal16] によれば、人間同士が対話を開始する前に、まず話し手は受け手の方を見て、どれだけ話を受け取ることが可能かを評価する。そして話し手は、作業を中断する、体を受け手の方向に向ける、受け手の方に視線を送るなどの行為により、受け手の注意を引こうとする。ここで、話し手は応答を求める度合いに応じて注意を引く強さを変える。例として、応答を求める度合いが弱い場合、体を小さく動かす、短く視線を送るなどの動きをする。それに対し応答を求める度合いが強い場合、受け手の方に体を乗り出す、呼びかけるなどの動きをする。そして話し手の注意を引く行動に対し、受け手が応答可能である場合、体に向ける、視線を送るなどの行為を返すことにより応答可能であることを示す。例として、話し手の呼びかけに対し受け手の回答があった場合、対応可能であることを強く示すことができる [Sch09]。そして受け手が応答可能であることが示された場合、相互注視を行い対話へと移行する。

2.1.3 対話の開始におけるインタラクションのまとめ

これらの研究からわかるように、対話の開始において非言語情報は重要な役割を果たしている。その中でも特に視線情報は重要な役割を果たしており、相互注視は対話の開始の合図となっている。

本研究では、遠隔地間において視線情報を伝達し合い、視線のやり取りによって対話の開始に至るインタラクションを再現することを目指す。さらに、視線情報を伝達する際に視線を送る時間の長さに応じて応答を求める度合いを表現する。また、強く応答を求める場合に限り、視線情報に加えて音声情報を伝達することにより、応答を求める度合いの幅を広げる。

2.2 応答可否のみを提示するアウェアネス提示

遠隔地間において対話を開始するためには、まず相手が対話をできるかを知る必要がある。そこで、アウェアネス提示によりあらかじめ相手の応答可否を伝達する手法がある。Kuzuoka ら [KG99] は、人形を用いて、応答可能な状態であればユーザの方に人形を振り向かせ、応答不可能な状態であれば人形の背を向けることによりアウェアネスを提示するシステムを提案した。Greenberg [Gre96] は、複数人によって構成されるコミュニティ内において、各ユーザの在または不在をアイコンによって提示するシステムを提案した。

これらのアウェアネス提示手法により、相手の応答可否をあらかじめ知ることができるようになる。しかしながら、2.1 節で述べたように、対面状況においてはこれらシステムのように応答可否を伝えるのみでなく、互いの状態をより細かく伝え合い、対話を開始するタイミングを調整している。すなわち、対面状況のように対話を開始するためには、非言語情報を含む、より細かな相手の状態を伝え合う必要がある。そこで本研究では、アウェアネスとして視線を提示することにより、細かな相手の状態を伝え合うことを可能にする。

2.3 非言語情報を用いて細かな相手の状態を提示するアウェアネス提示

遠隔地間において非言語情報を伝達することは重要であると言われている [SSV⁺13]. 2.2 節で述べたように、対面状況のように互いの状態を細かく伝え合い対話を開始するためには、非言語情報を含むアウェアネスを提示する必要がある。

児玉ら [児玉18] は、テレワークにおいてインフォーマルコミュニケーションを誘発するために在宅作業をする人の映像とメインオフィスの映像を伝達し合うシステムを提案した。このシステムでは、メインオフィスにおいて在宅作業者が映されたディスプレイの前を人が通ると、その人の方向にディスプレイの向きを変えることにより注意を引く。そしてメインオフィスの人がディスプレイに近づき視線を送ると、在宅作業者に通知が送られ、ディスプレイを介して相互注視を行うことによりビデオ通話が開始する。

Roussel ら [REH04] は常時接続型のビデオメディアスペースを配置するシステムを提案した。このシステムは常にビデオ通話が接続された空間を配置するものであり、アウェアネスとして非言語情報を含む相手の様子を提示し続けられる。

Dou ら [DSF⁺12] は、部屋全体の映像を伝達することのできるインフォーマルテレプレゼンスシステムを提案した。このシステムは、相手の部屋全体をパノラマビューにより映し出すことにより、対話の際にアイコンタクトができない問題を解決できる。

これらのシステムは相手の応答可否だけでなく、対面状況において対話を開始する際に必要となる互いの細かな状態を含むアウェアネスを提示することを可能にする。しかしながら、これらの細かなアウェアネスを提示できるシステムは、ビデオを用いてアウェアネスを提示する必要がある。ビデオを接続する必要がある場合、プライバシーの問題および使用場面の制限といった問題が発生する [NGB06, NGB03]. これに対し本研究では、物理的なアバタを用いて視線を提示することにより、ビデオを用いることなく、対面状況において伝達される細かなアウェアネスを提示する。

第3章 提案手法の設計

本章では、本研究の提案手法の設計を述べる。本研究の提案手法は、2.1 節において述べたイニシエーショントークに関する知見に基づき、対面状況において対話を開始する際に交わされるやりとりを遠隔地間において再現する手法である。

提案手法の設計指針は以下の通りである。

- イニシエーショントークに関する知見に基づき、話し手による受け手の注意を引くための視線情報を受け手側へ伝達する。
- 伝達された話し手の視線情報に対する受け手の応答（視線を返す、もしくは返さない）を話し手側へ伝達する。
- 双方が視線を送り合い、相互注視が成立した場合、音声通話を開始する。

これらの設計指針に基づき、提案手法では遠隔地間に視線の検出および表現が可能である物理的なアバタをそれぞれ1台ずつ配置することにより、視線情報を伝達し合う。また、話し手は視線を送る時間の長さによって応答を求める度合いを表現する。そして相互注視が成立した場合、音声通話が接続される。実際にアバタを介した相互注視が行われている様子を図3.1に示す。

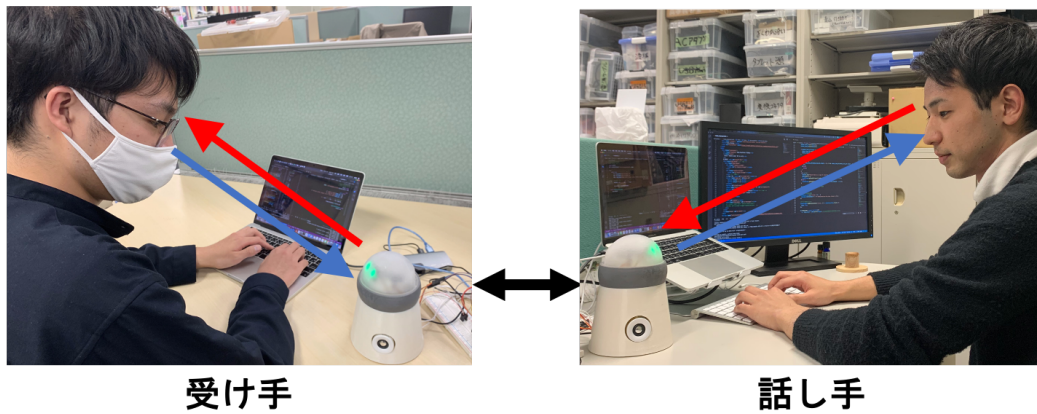


図 3.1: 相互注視が行われている様子. 話し手が送った視線（話し手側赤線）をアバタにより表現（受け手側赤線）し、受け手が視線を返した場合（受け手側青線）、アバタを介して相互注視が成立し（話し手側青線）、音声通話が接続される.

第4章 システム構成

提案手法の実現のために、視線の検出および提示が可能である物理的なアバタを作製した。本研究のシステム構成を図 4.1 に示す。本章では、本システムのハードウェア設計、ソフトウェア設計およびインタラクションデザインについて述べる。

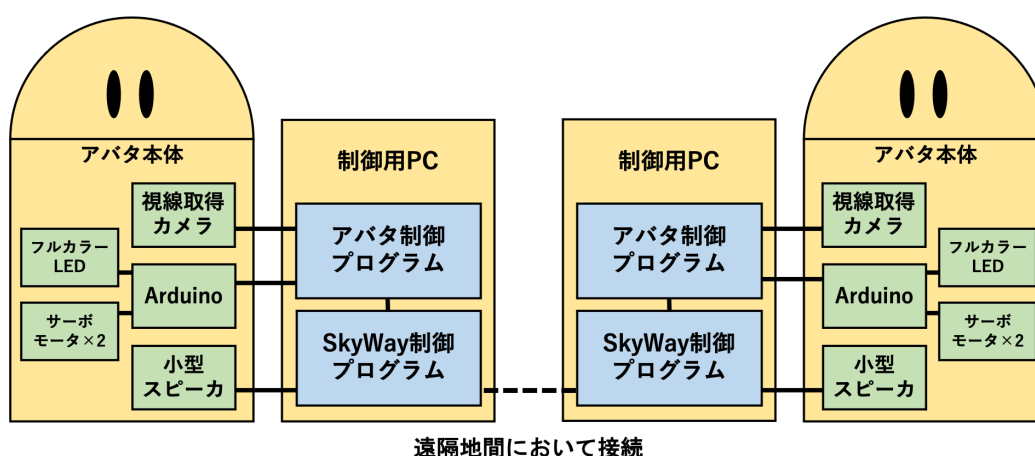


図 4.1: システム構成。視線の検出および提示が可能なアバタおよび制御用 PC から構成される。本システムを遠隔地間に 1 台ずつ配置し、SkyWay 制御プログラムを介して接続する。

4.1 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 4.2 に示す。本システムにおいて、ユーザの視線検出には、OMRON 社の HVC-P2（広角検出タイプ）[Corb] を用いた。HVC-P2 は基板に接続されたカメラを用いて、顔、視線の検出および角度推定が可能である。水平方向の検出画角はおよそ 90 度であり、垂直方向の検出画角はおよそ 75 度である。また、視線方向および顔方向の角度について、ユーザがカメラに正対し直視している時の角度を 0 度として、水平方向に ± 30 度、垂直方向に ± 20 度の範囲にて検出が可能である。HVC-P2 は制御用 PC によって制御され、検出された視線方向および顔方向の値のみを数値情報としてアバタへ送信する。

視線の提示には 2 つのサーボモータおよびフルカラー LED を使用し、Arduino UNO により制御を行った。2 つのサーボモータにより、pan-tilt 各 1 自由度の動作が可能である。また、

フルカラー LED を用いることによりアバタの目を表現した。視線提示のためのアバタ内部の構成を図 4.3 に示す。

アバタ本体を介してそのまま音声通話を行うために、アバタに小型スピーカを搭載している。小型スピーカは MAG-LAB 社の VS-E100 [ML] を用いた。

アバタ筐体は 3D プリンタによって作製し、全高は約 180 mm とした。頭部は半透明素材により作製しており、内部のフルカラー LED の発光が透過し、頭部表面に目を提示できる。

以上で述べた設計のシステムを遠隔地間にそれぞれ 1 台ずつ配置するために 2 台作製し、遠隔地間における視線情報の伝達を可能にした。

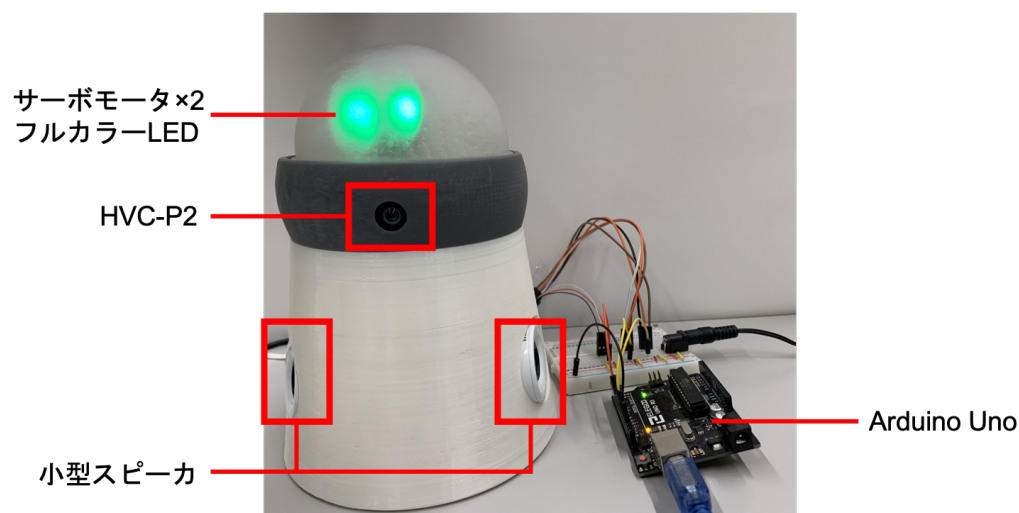


図 4.2: ハードウェア構成。HVC-P2 により視線検出を行う。Arduino Uno によって制御される 2 つのサーボモータおよびフルカラー LED により遠隔ユーザの視線提示を行う。音声通話のために小型スピーカを搭載している。

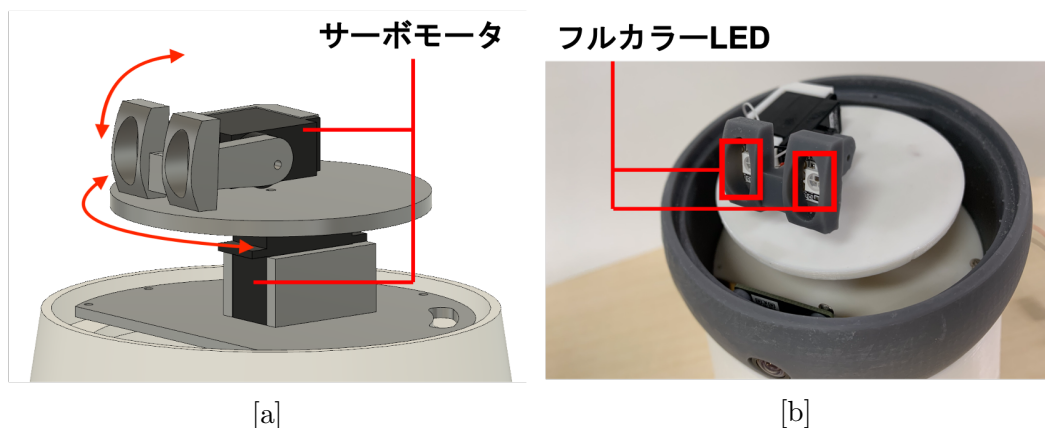


図 4.3: 視線提示を行うアバタ内部の構成. [a]: アバタ内部の 3D モデル. 2つのサーボモータを用いることにより pan-tilt 各 1 自由度の動作が可能である. 水平方向に回転するテーブル状のパーツの上に, 垂直方向に回転する目のパーツを取り付けている. [b]: アバタ頭部の内側. 3D プリンタにて作製した目のパーツにフルカラー LED を埋め込むことにより, 半透明素材の頭部表面に目を提示する.

4.2 ソフトウェア構成

本研究ではアバタの制御および音声通話の接続をするために制御用 PC を用いる. 制御用 PC では, 音声通話および遠隔地間における視線情報の送受信を行うための SkyWay 制御プログラム, 視線の検出および表現のためのアバタ制御プログラムの 2 つのプログラムを使用している.

4.2.1 SkyWay 制御プログラム

SkyWay 制御プログラムは JavaScript により実装した. SkyWay [Cora] は, ビデオ通話および音声通話をアプリケーションに実装できる WebRTC の SDK および API である. SkyWay は, 音声通話のみでなく, 遠隔地間におけるデータの送受信を行うことも可能であり, 本システムは SkyWay を用いて視線方向および顔方向の数値情報の送受信を行っている. また, 受信した遠隔地の相手の視線情報をアバタ制御プログラムへ送信する. 本システムでは, 音声通話およびデータの送受信を Web インタフェース (図 4.4) において行っている. Web インタフェースによって音声通話の接続, 切断, ミュートなどの操作を行うことができる. 本システムでは, あらかじめ通話が接続された状態にしており, ミュートのオンオフを切り替えることにより通話の接続および切断を擬似的に行っている. カメラによって検出された視線情報および遠隔地から受信した視線情報をもとに相互注視が行われているかどうかを判定し, 相互注視が行われた場合, ミュートを解除し通話を接続する.

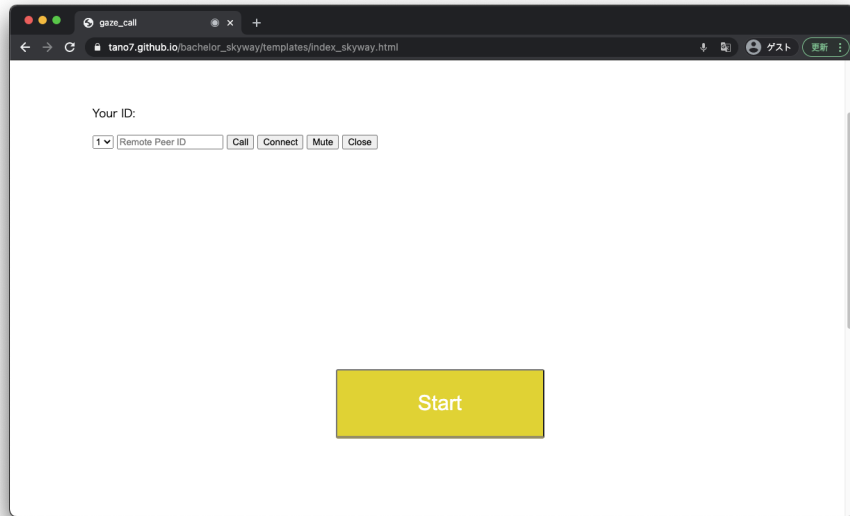


図 4.4: 遠隔ユーザとの接続を行うための web インタフェース. 自分の PeerID を作成したのち, 相手側の PeerID を指定して画面下部の Start を押すことで接続が行われる. 画面上部の各ボタンにて通話接続, 切断などを行うことができる.

また, 本システムにおいて話し手が強く応答を求める場合には, アバタに視線を送るのみでなく, 音声による呼びかけを行う. そのために, SkyWay 制御プログラムは音声認識機能を実装している. 音声認識には Web Speech API [Gro20] を使用している. Web Speech API は, 音声入力を受け付けた場合, 入力された言葉をテキストとして取得できるシステムである. 本システムにおいては, Web Speech API を音声入力の有無の判定にのみ使用した. 音声通話が接続されていない間, 話し手がアバタに視線を送っている状態において音声入力を検出した場合, 話し手が話しかけようとして呼びかけを行ったとして, アバタの目を点滅させることにより, 呼びかけが行われたことを表現する.

また, 音声通話の終了については, 音声通話が接続されている状態において 10 秒間以上アバタに視線が送られず, かつ対話も行われなかった場合に自動的に終了するようになっている. 対話が行われているかどうかの判定には, Web Speech API による音声入力の有無を使用している.

アバタが取得したユーザの視線情報を遠隔地のアバタによって表現するためにはあらかじめ遠隔地間のアバタ同士 (SkyWay 制御プログラム同士) を紐付けておく必要がある. SkyWay は, 相手を一意に識別する PeerID により接続先を定めている. 本システムでは, アバタ間の紐付けおよびデータの送受信のために, 視線検出を開始する前に Web インタフェースにおいてあらかじめ相手の PeerID を指定し, 通話を接続した状態にする.

4.2.2 アバタ制御プログラム

アバタ制御プログラムはPythonによって実装した。アバタ制御プログラムでは、HVC-P2の制御による視線方向および顔方向を取得している。また、Arduino Unoとシリアル通信を行い2つのサーボモータおよびフルカラーLEDの色を制御することにより視線表現を行っている。HVC-P2から取得した視線情報を遠隔地に伝達するために、取得した視線情報をSkyWay制御プログラムへと送信する。SkyWay制御プログラムとの通信にはWebSocketを利用して、また、SkyWay制御プログラムから受信した遠隔ユーザの視線情報をArduino Unoへシリアル通信を用いて送信する。これにより、遠隔ユーザの視線情報をアバタによって表現することが可能になる。

4.2.3 プログラム間の通信の流れ

本章において説明した2つのプログラム間の通信の流れを図4.5に示す。まずHVC-P2から視線情報を取得し、アバタ制御プログラムが取得した視線情報をSkyWay制御プログラムへ送信する。そしてSkyWay制御プログラムは取得した視線情報を遠隔地へ送信する。次に遠隔地から送信された遠隔ユーザの視線情報を受信し、双方のユーザがアバタに視線を送っているか（相互注視が行われているかどうか）を判定する。ここで、相互注視が行われていた場合、通話を接続する。そして遠隔地から受信した遠隔ユーザの視線情報をアバタ制御プログラムへ送信し、アバタ制御プログラムは遠隔ユーザの視線を表現するためにArduino Unoへと遠隔ユーザの視線情報を送信する。

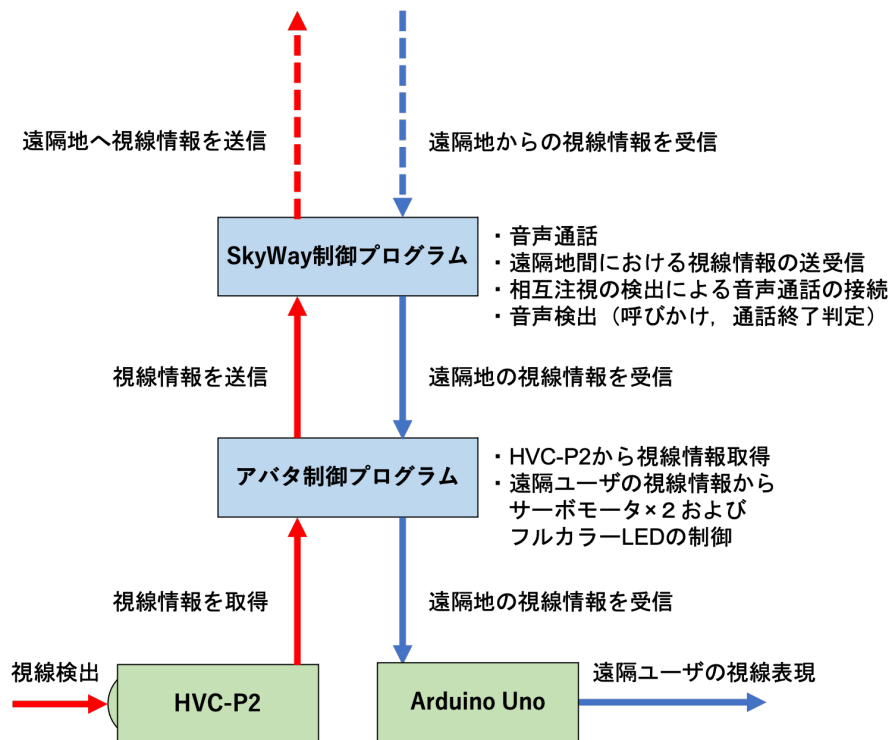


図 4.5: プログラム間の通信の流れ. HVC-P2 から検出された視線情報をアバタ制御プログラムにより取得し, WebSocket 通信を用いて SkyWay 制御プログラムへ送信する. SkyWay 制御プログラムにより遠隔ユーザと視線情報の送受信を行い, 相互注視が成立した場合, 音声通話を接続する. 同時に, ユーザの呼びかけ検出および通話終了判定のための音声検出も行う. また, 遠隔ユーザの視線表現のためにアバタ制御プログラムへ遠隔ユーザの視線情報を送信する. アバタ制御プログラムは Arduino Uno とシリアル通信を行い, 遠隔ユーザの視線情報に応じて 2 つのサーボモータおよびフルカラー LED の制御を行う.

4.3 インタラクシオンデザイン

続いて本研究におけるインタラクシオンデザインを説明する. 本研究では, アウェアネスを細かく提示し合うために, 互いの視線情報を相互に伝達し合う. なお今回使用した HVC-P2 では, 視線方向検出の精度が不安定になる場合があり, 信頼性が不十分であったため, ユーザの視線方向を検出するために顔方向認識機能を用いた. 顔方向の角度について, ユーザがカメラに正対し直視している時の角度を 0 度として, 顔方向が水平方向に ± 15 度以内である場合, ユーザがシステムの方に視線を送っていると判断した.

具体的なインタラクシオンの内容として, まず話し手は視線の送り方により, どの程度相手に応答を求めているかを伝達し, さらに, 応答を強く求める際には視線を送ると同時に呼びかけを行う. 例として, 話し手が相手を取り込み中でなければ話しかけたい場合, アバタの

表 4.1: 話し手の行動に応じた話し手の意図. 話し手は応答を求める度合いが強い場合、長い時間アバタに視線を送る. 最も強く応答を求める際には呼びかけを行う.

話し手の行動	話し手の意図
一瞬のみ視線を送る	相手の様子を知りたい（積極的に話しかけようとはしない）
短く視線を送る	相手を取り込み中でなければ話しかけたい
注視する	相手を取り込み中である場合、 もし相手が手を離せるタイミングであれば話しかけたい
注視する＋呼びかける	相手を取り込み中である場合、 相手に作業を中断させてでも話しかけたい

方に短く視線を送る. これに対し、相手を取り込み中である場合でも、もし相手が手を離せるタイミングであれば話しかけたい場合、アバタの方を注視する. さらに、相手を取り込み中である場合、相手の作業を中断させてでも話したいような場合、アバタの方を注視し、同時に呼びかけを行う. これらのような話しかけたい度合いに応じた視線の送り方を、表 4.1 にまとめる.

なお、表 4.1 にあるような、一瞬のみ視線を送る場合の行動は、対面状況において意図的に話しかけようとせずとも対話が発生する場面を想定して設定した. 対面状況においては、意図的に話しかけようとしない場合でも、偶然に視線があって対話が発生する場合がある. 一瞬のみ視線が送られた情報を伝達することにより、そのような積極的に話しかけようとせずとも対話が発生する場面を遠隔地間において再現できると考えた. そして、話し手の視線の送り方に対し、受け手は視線を返すか否かにより応答可否を示す. その際、受け手はアバタの提示する視線から、話し手の話したい度合いを認識でき、その度合いに応じて応答の判断ができる.

図 4.6 から図 4.10 にこれらのインタラクションの流れをまとめる. まず話し手は自分の話したい度合いに応じてアバタの方に視線を送ることにより相手の注意を引く (図 4.6). これに対し受け手は応答可否を示すために、話し手の話したい度合いを考慮し応答可否を判断し、応答可能であればアバタに視線を返し、そうでなければ視線を返さない (図 4.7, 4.8). そして受け手が視線を返しアバタを介して相互注視が行われた場合、対話に移行する (図 4.9, 4.10).

本システムでは、相手の視線情報に応じて目の色を変化させる (図 4.11). 相手のみが自分の方を向いているときには目の色を黄色に発光させ、相互注視が成立した場合、緑に変化させる. それ以外の場合、目の色は赤色にしておく. また、話し手が強く応答を求めるために呼びかけを行った場合、目を点滅させることによりそれを示す. 視線方向の制御については、ユーザがカメラに正対し直視している時の角度を 0 度として、相手の視線方向が ± 15 度以内であればアバタの視線を 0 度の方向に向け (ユーザを見る)、それ以外においてはアバタの視線を水平方向に -30 度の方向に向けておく (ユーザから目をそらす).



図 4.6: 話し手がアバタの方に視線を送る。ここで、話し手は応答を求める度合いに応じて視線を送る長さを変え、最も強く応答を求める際には呼びかけを行う。

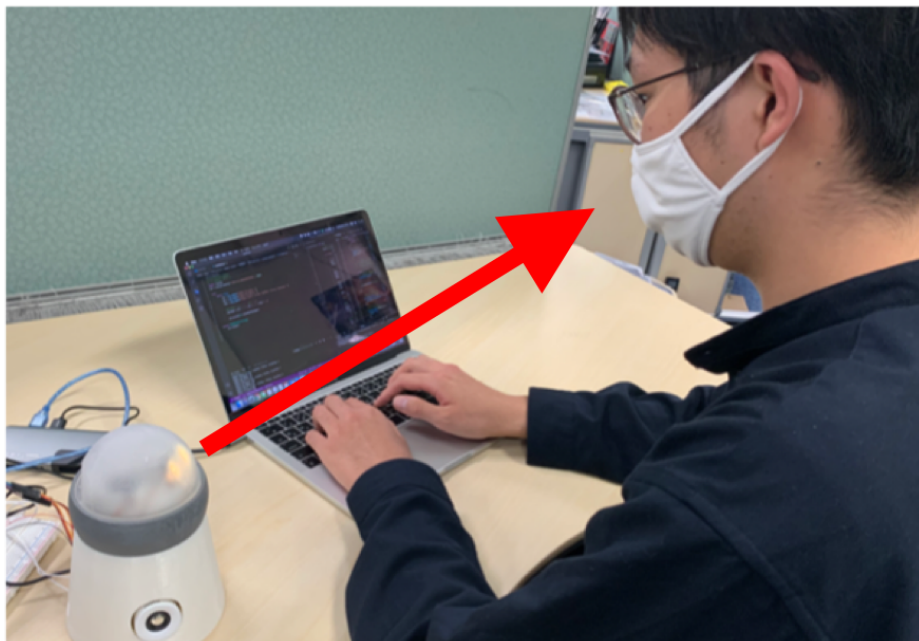


図 4.7: 話し手の視線の送り方に応じて、受け手側のアバタが受け手に視線を送る。話し手が呼びかけを行った場合、目が点滅する。



図 4.8: 話し手が送った視線に対して，受け手が応答可能であれば視線を返す．応答不可能であれば視線を返さない．



図 4.9: 受け手が視線を返した場合，話し手側のアバタが話し手に視線を送る．



図 4.10: アバタを介して相互注視が成立すると、音声通話が接続される。音声通話接続時はアバタの目が緑色に変化する。



図 4.11: 視線情報による目の色の変化。通常時は赤色に発光しており、相手のみが視線を送っている際には黄色に発光し、相互注視が成立し音声通話が接続されている間は緑色に発光する。

第5章 実験

本研究では、ユーザへのアウェアネス提示のため視線情報を伝達す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。

5.1 仮説

評価に当たっては、提案手法の効果として以下の4点の仮説を設定した。

- **H1.** 話しかける行為の心理的負担が軽減される。
- **H2.** 相手に話しかけようとする回数が増える。
- **H3.** 相手に話しかけようとするまでにかかる時間が短縮される。
- **H4.** 話しかける行為に対する作業負担が軽減される。

これらの仮説を設定した背景として、遠隔地間において対話を開始するためには、話しかけるといったコミュニケーション行為の負担を軽減する必要がある。そのためには、話しかける行為の心理的負担または話しかける行為に対する作業負担を軽減する必要がある。既存のアウェアネス提示システムは、あらかじめ相手の応答可否のみを提示する。これに対し本システムは視線情報を用いることにより細かな相手の状態（どれだけ話しかけたいか）を伝達し合う。これは、対面状況において対話が開始する場面におけるやりとりであり、このやりとりを遠隔地間において再現することにより、対面状況のように相手の存在感を近くに感じられる可能性がある。相手の存在感が近くに感じられる場合、親近感が促進され、相手がより身近に感じられ話しかけやすくなると考えられる。これにより、話しかける行為の心理的負担が低下すると考えた（H1）。その結果、話しかける回数が増え、（H2）、話しかけるまでの時間が短縮される（H3）と考えられる。一方、本システムによって相手の存在感を感じるとともに、コミュニケーションへの義務感を感じる場合、またはコミュニケーションへの期待が満たされない場合、話しかけにくくなると考えられる。そのため、コミュニケーションへの義務感および期待が満たされるかの検証も必要である。

また、既存のアウェアネスシステムは通話を行う際に通話を接続するための作業を行う必要（通話をかけるボタンを押す等）がある。これに対し本システムは、視線のやりとりのみ

により通話を自動で接続する．これにより話しかける際のシステムの操作性が向上し，話しかける行為に対する作業負担が軽減されと考えられる（H4）．

5.2 実験設計

本節においては，本実験における実験条件，実験タスク，実験参加者を説明する．

5.2.1 実験条件

設定した仮説についての検証を行うため，実験条件は以下の2条件とした．なお，両条件において実験参加者および実験者間において音声通話を接続する．

- **C1. ライト提示条件** ユーザの応答可否をライトの発光により提示する．これは，応答可否のみを提示する既存のウェアラブル提示システムを想定したものである．既存のシステム [HC86, HC86] は物理的な人形または画面内のアイコンにより応答可否を伝達するものであり，本研究においてはライトの色により応答可否の伝達を代替した．ユーザは話しかけようとする際に，PCのwebインタフェース上のボタンを押すことにより音声通話の要求をする（図5.2）．通常時，ライトは赤色に発光しており，話し手が音声通話要求を送信した場合，受け手側のライトが黄色に変化する．受け手が話し手の音声通話要求に対し，同様にwebインタフェース上のボタンを押すことにより音声通話の要求を返した場合，双方のライトが緑色に変化し，音声通話が接続される．（図5.1）なお，ライト提示条件のシステムにおいては，視線情報を用いないため，視線の検出は行っておらず，相手側の視線情報に対応したライトの回転動作は行われない．

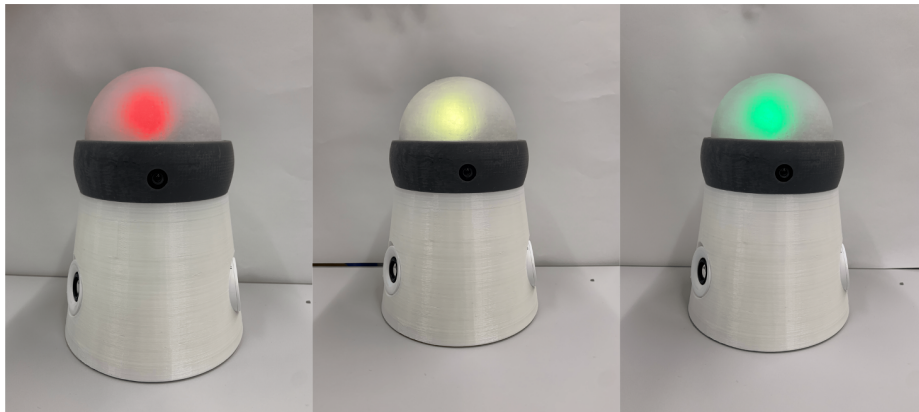


図 5.1: ライト提示条件における発光の様子．通常時，ライトは赤色に発光しており，相手からの音声通話要求を受け取ると黄色に変化する．音声通話中は緑色に発光する．

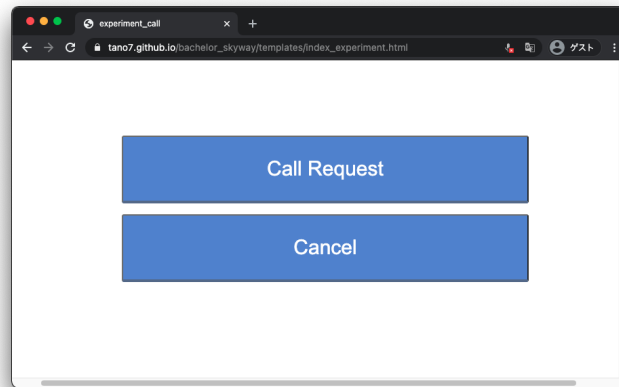


図 5.2: ライト提示条件の web インタフェース. 話し手は話しかけようとする際に、Call Request ボタンを押すことにより、音声通話要求を送信する。Cancel ボタンを押すことにより、音声通話要求を取り消すことができる。受け手は話し手からの音声通話要求に対し、Call Request ボタンを押すことにより応答する。

- **C2. 視線提示条件** ユーザの Awareness として視線を提示する。ユーザは話しかけようとする際に、アバタに視線を送る。通常時、アバタの目は赤色に発光しており、ユーザとは異なる方向に視線を向ける。話し手がアバタに視線を送った場合、受け手側のアバタの目が黄色に変化し、受け手の方に視線を送る 4.11. 受け手が視線を返すと双方の目が緑色に変化し、通話が接続される。

5.2.2 実験タスク

本実験において、実験タスクとして「別室にいる実験者と、システムを介していつでも対話ができる環境において、複数の作業指示からなる資料作成を行う」というタスクを設定した。資料作成タスクの内容として、参加者にはタスクリストを配布し、用意されたタスク用 PC を用いてタスクリストの内容に従い資料作成を行ってもらふ。タスクリストは、web ブラウザ、テキストエディタ、表計算ソフト、メールアプリを用いて行う作業から構成される。参加者はタスク実施中に、任意のタイミングにおいて実験者に対し質問、不具合の報告、雑談などの対話を自由に行うことができる。この設計は、テレワーク時に作業をしながら、遠隔地のユーザに任意のタイミングにおいて話しかけることができる場面を想定したものである。

本実験において、話しかける行為に対する印象評価を実施するために、参加者が実験者に話しかける必要があった。そのため、資料作成タスクのうち 3 件は、参加者から実験者への質問を誘発するタスクとした（指定された Web ページにアクセスできないもの、明らかに計算式またはグラフ間違っているもの）。本実験において、参加者が実験者に話しかけようとした場合、実験者はアバタの作動から 2 秒後に反応することとした。また、参加者が話しかけ

られることについても印象評価を実施するために、実験者から参加者への話しかけを行った。タスク中、実験者からは参加者へ話しかける回数は4回とした。うち3回は経過時間およびタスクの進捗を確認するものであり、うち1回は実験者側から資料の間違いを訂正するものであった。タスク開始から1分が経過したタイミングにおいて、実験者側から資料の間違いを訂正し、5分、15分、25分が経過したタイミングにおいてそれぞれ経過時間の報告およびタスクの進捗確認を行った。用いたタスクリストの内容を表5.1に示す。

実験環境を図5.3に示す。参加者は作業用PC（Lenovo, 20S0CTO1WW, CPU: Intel Core i7-10510U 1.80GHz, メモリ: 32GB, OS: Microsoft Windows 10 Home 10.0.18363）の正面に着席し、アバタを参加者の左手側約45度方向に配置した。なお、配布したタスクリストは、参加者の正面または右手側においてもらうよう指示した。この設計は、視線提示条件において、参加者が実験者に話しかけるために、アバタの方に明確に視線を移動させる必要を生じさせ、作業中の誤検出を防止するためである。なお、ライト提示条件に限り、話しかける際にアバタ制御用PC（Apple, 13-inch MacBook Pro, CPU: Intel Core i5 2.7Ghz, メモリ: 8GB, OS: MacOS Big Sur 11.0.1）を操作する必要があった。そのため、アバタの左側に制御用PCを配置し、話しかける際および応答する際においては、制御用PCを操作してもらうようにした。また、実験者側のアバタ制御用PCのスペックを記す（Apple, 13-inch MacBook Pro, CPU: Intel Core i5 2.3Ghz, メモリ: 16GB, OS: MacOS Big Sur 11.1）。

表 5.1: 資料作成タスクにて用いたタスクリストの内容。webブラウザ、テキストエディタソフト、表計算ソフト、メールアプリを用いる内容とした。なお、タスクリストの中には質問を誘発する内容のタスクが含まれている（指定されたWebページにアクセスできないもの、明らかに計算式またはグラフ間違っているもの）。

No	タスク内容
1	筑波大学の住所を調査する
2	筑波大学の敷地面積を調査する
3	筑波大学の学生数を調査する ^a
4	筑波大学の景色の画像を保存する
5	指定したWebページにアクセスする ^b
6	5でアクセスした内容について調査する
7	1~6の内容をまとめてメールを送信する
8	表計算ソフトを用いて表を作成する
9	棒グラフを作成する
10	表計算ソフトを用いて計算を行う ^b
11	円グラフを作成する ^b
12	8~11の内容をまとめてメールを送信する

^a 実験者から間違いを訂正したタスク。

^b 質問を誘発するタスク。



図 5.3: 実験環境. 参加者の左手側約 45 度方向にアバタを配置した. 参加者がアバタに視線を送る際, 明確に視線を移動させる必要を生じさせ, 誤入力を防止した.

5.2.3 実験参加者

実験は参加者間配置によって行い, 実験参加者は各条件において実験タスクを実施した. なお, 各条件において実験タスク開始前にシステムの挙動についての説明を行うとともに, 実際に話しかける際の動きについての練習を行わせた.

実験参加者は各条件についてそれぞれ 10 名ずつ (C1:男性 8 名, 女性 2 名, 平均 22.4 歳, 標準偏差 1.07 歳, C2:男性 6 名, 女性 4 名, 平均 21.8 歳, 標準偏差 1.14 歳), 合計 20 名 (男性 14 名, 女性 6 名, 平均 22.1 歳, 標準偏差 1.12 歳) であった.

参加者は全員実験者と親交のある筑波大学の大学生または大学院生であり, 所用時間は 60 分以内であった. また, 筑波大学の謝金規定に基づき, 参加者には 860 円の謝金を支払った.

5.3 評価項目

本研究において, 仮説を検証するために 4 つの評価項目を設定した. 各評価項目は順番に H1, H2, H3, H4 を検証するための項目である.

- 心理的負担に関連する印象評価
- 話しかけようとした回数
- 話しかけようとするまでにかかる時間
- システムの操作性の評価

評価にあたっては、心理的負担に関連する印象評価およびシステムの操作性の評価を行うためにアンケートを実施した。また、参加者の作業中の動きを録画したビデオおよび資料作成用 PC の画面録画を行ったビデオを用いて、実験中の参加者の行動（話しかけようとした回数、話しかけるまでにかかった時間）を分析した。

5.3.1 心理的負担に関連する印象評価

心理的負担に関連する印象評価を行うために、Yarosh ら [YMA14] が提案したコミュニケーションシステムの感情的な利益およびコストを評価するためのアンケートを使用した。このアンケートは、コミュニケーションシステムに対するユーザの印象に関して、利益を評価する 4 つの尺度およびコストを評価する 3 つの尺度に分かれている計 45 個の質問から構成されるアンケートである。本実験においては、本実験と無関係と判断した尺度を除外し、利益を評価する尺度 1 つおよびコストを評価する尺度 2 つから構成される計 11 個の質問を行い、それぞれ 7 段階のリッカートスケールにより回答させた。

利益を評価する尺度は「Presence-In-Absence」であり、これは「時間または空間によって隔てられている間の社会的他者の主観的な感覚」と定義されている。この尺度において、本システムにより、参加者が遠隔地にいる実験者の親近感、存在感、またはつながりを感じ、相手が近くにいるように感じたかを評価する。

相手の存在感を感じられる場合、相手への親近感を促進できる [YMA14]。親近感を促進することにより、相手がより身近に感じられ、話しかける行為の心理的負担を軽減できると考えられる。

コストを評価する尺度は「Feeling Obligated」および「Unmet Expectations」である。Feeling Obligated は、コミュニケーションへの応答を強要される感覚、およびコミュニケーションを維持しない罪悪感などのコミュニケーションへの義務感を評価する。コミュニケーションへの義務感が高いと感じる場合、話しかける際に相手にコミュニケーションを強要することになるため、話しかける行為の心理的負担は増加すると考えられる。

Unmet Expectations は、相手の連絡の頻度、繋がらなかった連絡への相手の対応の早さ、相手がどれだけコミュニケーションに注意を注いでいるかなどのコミュニケーションへの期待がどれだけ満たされなかったかを評価する。コミュニケーションへの期待が満たされない場合、話しかけても期待する結果を得られないのではないかと考え、話しかける行為の心理的負担は増加すると考えられる。

本実験にて用いた心理的負担に関連する印象評価におけるアンケート項目を表 5.2 にまとめる。質問項目 1～3 は Presence-In-Absence に関する質問、4～7 は Feeling Obligated に関する質問、8～11 は Unmet Expectation に関する質問である。また、本実験終了後に本システムに対する意見についてのインタビューを行った。

表 5.2: 本実験にて用いた心理的負担に関連する印象評価におけるアンケートの質問項目。質問項目 1～3 は Presence-In-Absence に関する質問, 4～7 は Feeling Obligated に関する質問, 8～11 は Unmet Expectation に関する質問である。それぞれ 7 段階のリッカートスケールにおいて回答させた。

	質問項目
1	アバタを用いたコミュニケーションによって相手が近くにいるように感じた
2	コミュニケーション終了後も, アバタを用いて相手と共有したものについて考え続けた
3	アバタを用いたコミュニケーションによって 相手とのつながりがより強くなっているように感じた
4	相手がアバタを用いて自分に連絡を取ることに 義務感を感じていないか心配に感じた
5	相手がアバタを用いて連絡を取ろうとした時, 自分がそれに応答しなかった場合, 罪悪感を感じた
6	自分が連絡を取りたいと思っていない時でも, アバタを用いて連絡を取らなければならないように感じた
7	相手がアバタを用いて連絡を取ろうとしている時, もしも自分が連絡を取りたくないと思っても 応答しなければならないように感じた
8	自分がアバタを用いて相手に連絡を取ろうとしている時, 相手がすぐそばにいないことで残念に感じた
9	アバタを用いた連絡では, 自分が相手の期待 (連絡の頻度, 応答の速さ, コミュニケーションにどれだけ注意を傾けているか等) を 満たせていないか心配に感じた
10	自分がアバタを用いて連絡を取ろうとしている時, 相手が応答するまでの時間が長すぎた時, 残念に感じた
11	アバタを用いている時, 相手が自分に十分な注意を払っていない場合, 残念に感じた

5.3.2 話しかけようとした回数

実験参加者が遠隔地にいる実験者に話しかけようとした回数を評価するために, 作業を録画したビデオを用いて分析を行った。ライト提示条件においては, 参加者が話しかけようとしてボタンを押した回数を話しかけようとした回数とした。視線提示条件においては, 意図的にアバタに視線を送っていると判断した回数を話しかけようとした回数とした。

5.3.3 話しかけようとするまでにかかる時間

実験参加者が遠隔地にいる実験者に話しかけようとするまでにかかる時間を評価するために、作業を録画したビデオおよびタスク中の画面録画のビデオを用いて分析を行った。ライト提示条件においては、参加者が質問を誘発するためのタスクを行う際、タスク中にエラーが起こってから話しかけようとしてボタンを押すまでの時間を用いた。視線提示条件においては、エラーが起こってからアバタの方に視線を送るまでの時間を話しかけようとするまでにかかる時間とした。意図的にエラーを発生させ質問を誘発するタスクを3つ設定していたが、うち1つは実際に質問したのが2名のみであったため、分析の対象外とした。さらに、他の1つはエラーへの対処方法の個人差が大きく（質問せずに進める、長時間対処方法を調査し続ける、すぐに聞くなど）、エラーが起こったとするタイミングを定義することが困難であったため、分析の対象外とした。

5.3.4 システムの操作性の評価

システムの操作性の評価に当たっては、システムの操作性を評価するための評価指標である System Usability Scale (SUS) [Bro96] を用いた。SUS は10項目の質問から成るアンケートであり、ユーザビリティの定量的評価に広く用いられている。本実験においては5段階のリッカートスケールによって回答させた。SUS は、回答者のスコアが100点満点により評価され、標準平均が68点である。スコアが68を超えるとユーザビリティが高く、68より低ければユーザビリティが低いとされる。本実験にて用いた SUS に関するアンケート項目を表5.3にまとめる。

表 5.3: 本実験にて用いた SUS に関するアンケートの質問項目。それぞれ5段階のリッカートスケールによって回答させた。

	質問項目
1	このシステムを頻繁に利用したいと思う
2	システムは必要以上に複雑であると感じた
3	システムを容易に使用することができた
4	システムを使用できるようになるためには、技術者の支援が必要であると感じた
5	システムが持つさまざまな機能がうまく統合されていると感じた
6	このシステムには矛盾している点が多くあると感じた
7	ほとんどの人はこのシステムの使い方をすぐに理解すると考えられる
8	このシステムを使用するのはとても面倒であると感じた
9	自信を持ってこのシステムを使用できた
10	このシステムをうまく使えるようになるには、多くのことを学ぶ必要があった

5.4 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。なお、本実験において、最初に実験を行った2人の参加者については、システムが不安定であり挙動に問題があったため、分析には用いないこととした。

5.4.1 心理的負担に関連する印象評価

実施したアンケート結果について、各尺度において、参加者ごとに回答の平均値を算出したものを参加者のスコアとし、分析に用いることとした。各尺度における実験条件ごとのスコアの平均値を示したグラフを図5.4に示す。

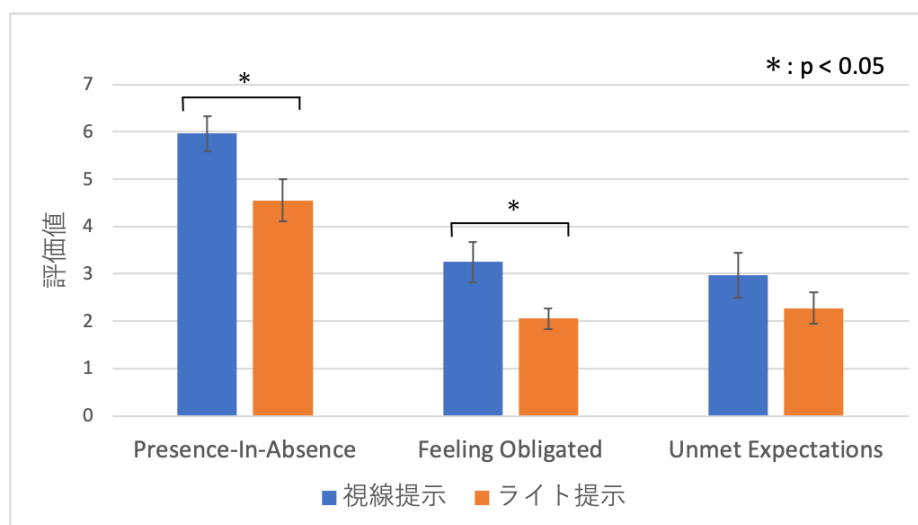


図 5.4: アンケート結果. 各尺度における実験条件ごとの参加者のスコアの平均値. *がついているものは $p < 0.05$ であった尺度である. エラーバーにて標準誤差を示す.

Presence-In-Absence に関する結果および考察

Presence-In-Absence の結果について、各条件について得られたデータを用いてウェルチの t 検定を行った。本検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差が見られた ($df = 15.63$, $p = 0.027 < 0.05$)。Presence-In-Absence の得点が高い場合、ユーザに相手が近くにいる印象を与え、相手とのつながりを思い出すことおよび頻繁に互いのことを考える行動を支援することができ、対面状況に近い感覚を与えられる [YMA14]。よって実験結果から、視線を提示することにより、ユーザに相手の存在感を伝える効果が有意に向上することがわかった。また、視線提示条件のインタビューにおいて、「全体的に、相手が近くにいる感じがしてタスクへの不安感が軽減した」と述べた参加者がいたことから、相手の存在感を与えることができていたことが明らかになった。

また、視線提示条件において「オフィスにあったら楽しそう」、「通話の接続がもっとスムーズになれば、リモートワークなどでの利用にとっても向いているような気がした」と述べた参加者がいたことから、現在想定しているテレワークにおいて遠隔地にいる同僚と何気なく対話をする場面において使用できる可能性が高まった。なお、通話の接続がスムーズでないという点について、本実験においては、実験者は参加者がアバタの方に視線を送ってから2秒で反応をしていたことが原因である可能性がある。本設計において、参加者はアバタに視線を送ったまま待つ必要があり、通話の接続がスムーズでないと感じられたことが考えられる。これに対し、応答可能であればアバタからの視線にすぐに視線を返した場合、通話の接続がスムーズに感じられると考えられる。

また、システムの視線検出精度またはユーザのシステムの習熟度による誤作動および不具合が原因となりスムーズに通話に移行できなかった可能性がある。実際に、参加者が意図的にアバタに視線を送っていない場合においても視線が検出されてしまう場面や、参加者が視線を送った際に正しく認識されない場面が見られた。これに対し、今後はさらに精度の高い視線検出システムを用いることが検討される。また、習熟度が十分な状態においての使用を評価するために、実環境において長期にわたる実験を行うことが課題である。

Feeling Obligated に関する結果および考察

Feeling Obligated の結果について、各条件について得られたデータを用いてウェルチの t 検定を行った。本検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差が見られた ($df = 11.83$, $p = 0.028 < 0.05$)。この結果、視線を提示することにより、コミュニケーションへの応答を強要される感覚やコミュニケーションを維持しないことへの罪悪感などのコミュニケーションへの義務感が有意に向上することが明らかになった。ライト提示条件におけるインタビューにおいて、「コミュニケーションを取らなければならない強制力は感じなかった」と述べた参加者がいたことから、ライト提示条件の方がコミュニケーションへの義務感を感じないことがわかった。これは、本システムが対面状況における対話の開始場面に基づいて設計されており、Presence-In-Absence の結果からもわかるように、相手の存在感がより強く伝達されることが原因であると考えられる。遠隔地間において音声通話を接続する場合と比較して、対面状況のような相手の存在感を感じる状況の方が応答を強要される感覚は強くなり、コミュニケーションを維持する義務感も強くなると考えられる。

一方、両条件においてスコアの平均値が 4 より小さかった（ライト提示条件：2.06、視線提示条件：3.25）ことから、いずれの条件でも義務感について否定的な印象を与えてはいないと言える（4 がどちらでもない場合の回答）。このことから、ライト提示手法と比較した場合、視線提示条件の方が義務感が向上するが、両条件とも義務感について否定的な印象を与えてはいないと言える。

Unmet Expectations に関する結果および考察

Unmet Expectation の結果について、各条件について得られたデータを用いてウェルチの t 検定を行った。本検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差は見られなかった ($df = 14.08$, $p = 0.25 > 0.05$)。この結果、視線を提示した場合においても、相手の連絡の頻度、繋がらなかった連絡への相手の応答の速さ、および相手がコミュニケーションへ注意を傾けている感覚などのコミュニケーションへの期待が満たされない度合いは有意に向上しないことが明らかになった。原因としては、本実験設計において、本尺度の評価の対象とされる実験者の連絡の頻度および参加者への応答の早さといった条件を、視線提示条件およびライト提示条件において統一していたためであると考えられる。

両条件においてスコアの平均値が 4 より小さかった（ライト提示条件：2.728、視線提示条件：2.97）ことから、いずれの条件でも期待が満たされるかについて否定的な印象を与えてはいないと言える（4 がどちらでもない場合の回答）。

実環境においては、本実験設計とは異なり、相手の連絡の頻度、繋がらなかった連絡への応答の早さなどのコミュニケーションへの期待に関連する条件が統一されていない。今後は、実環境において視線提示条件およびライト提示条件における相手の反応の早さおよび頻度を評価することが課題である。

5.4.2 話しかけた回数

話しかけた回数について、各条件において参加者ごとの話しかけた回数を用いて分析を行った。話しかけた回数の平均値を示したグラフを図 5.5 に示す。各条件について得られたデータを用いてウェルチの t 検定を行った。本検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差は見られなかった ($df = 15.31$, $p = 0.88 > 0.05$)。この結果、視線を提示した場合においても、話しかけようとする回数は増加しないことがわかった。原因として、本実験設計における質問誘発タスクの数が影響していると考えられる。実際に、本実験中にタスクの内容以外について話しかけた参加者は視線提示条件において 1 名のみであり、話しかけた時の内容はほとんどが質問誘発タスクにおける質問であった。本実験中は、参加者はタスクを行うことに集中しており、必要最低限のみしか対話が行われなかったことも原因であると考えられる。今後は、実環境において話しかける回数を評価することが課題である。

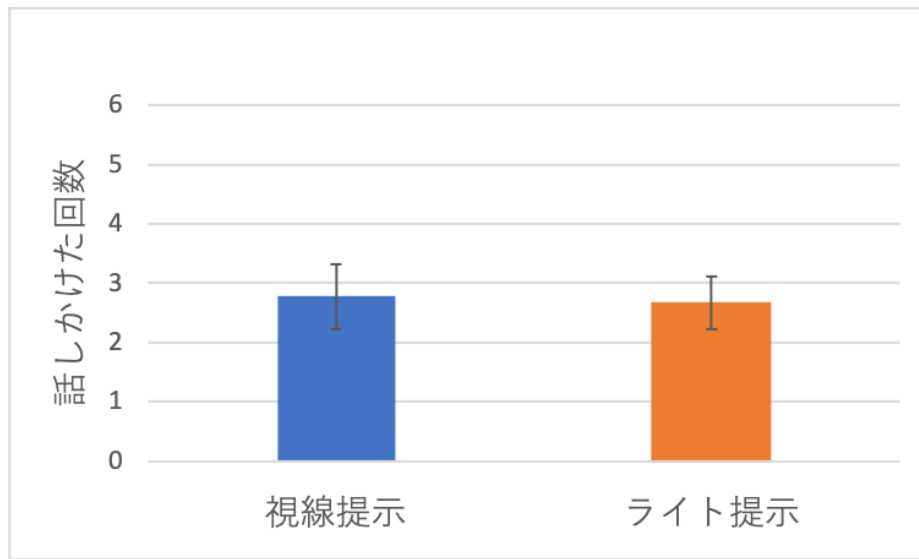


図 5.5: 各条件における話しかけた回数の平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

5.4.3 話しかけようとするまでの時間

話しかけようとするまでの時間について、各条件において参加者ごとの話しかけようとするまでの時間を用いて分析を行った。なお、視線提示条件において1名は該当する質問誘発タスクにおいて話しかけなかったため、そのデータは分析に用いなかった。話しかけようとするまでの時間の平均値を示したグラフを図5.6に示す。各条件について得られたデータを用いてウェルチのt検定を行った。本検定において、 p 値が0.05未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差は見られなかった ($df = 9.06$, $p = 0.91 > 0.05$)。この結果、視線を提示した場合においても、話しかけようとするまでの時間が短縮されないことがわかった。原因として、本実験設計において、話しかけるまでにかかる時間は、実験条件よりも個人差による影響が大きいことが考えられる。実際に両条件において、話しかける前にエラーの原因を調査してから話しかけた人やすぐに話しかけた人など、話しかけるまでの時間は各個人の判断の早さに依存していた。

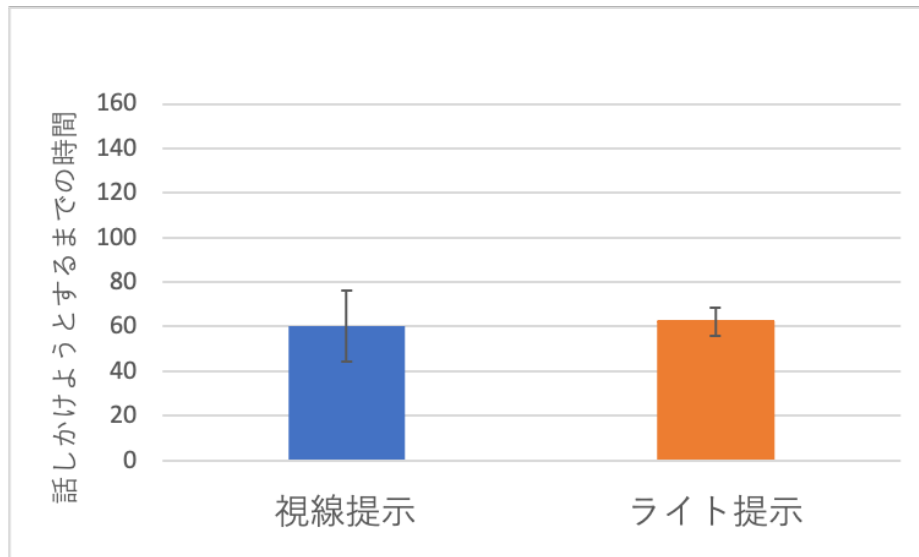


図 5.6: 各条件における話しかけようとするまでの時間の平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

5.4.4 システムの操作性の評価

システムの操作性を評価するために、システムのユーザビリティを評価するアンケートである SUS を用いて分析を行った。各条件における SUS の平均スコアを図 5.7 に示す。各条件について得られたデータを用いてウェルチの t 検定を行った。本検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。検定の結果、条件間で有意差が見られなかった ($df = 14.71$, $p = 0.49 > 0.05$)。よって実験結果から、視線のやりとりにより音声通話を開始することによるシステムの操作性は有意に向上しないことがわかった。視線提示条件における SUS スコアの平均は 81.667、ライト提示条件における平均は 78.056 であった。すなわち、有意差は見られなかったが、どちらも操作性が高く、話しかける行為に対する作業負担は小さいと考えられる。

両条件とも操作性が高い原因として、話しかけるまでに必要な操作が少ないことが考えられる。アウェアネス提示システムにおいては、通話の接続先はあらかじめ決まっているため、話しかけようとするために通信アドレスの入力または検索といった作業を必要としない。そのため、話しかけるために必要な作業は、通話要求を送るためにボタンを押す、視線を送るといった作業のみであった。

なお、本実験においては、PC を用いて同時に 1 つのタスクを行う環境においてシステムを使用していた。これに対し、実際の使用状況では同時に複数タスクを行う場面や、本実験よりも難易度の高いタスクを行っている場面も考えられる。そのような場面においては、システムの操作に十分なリソースを割く余裕がなくなり、条件の違いによる差がより顕著に表れる可能性がある。今後はこのような統制されていない場面において操作性を評価するために、

実環境における実験を行うことが課題である。

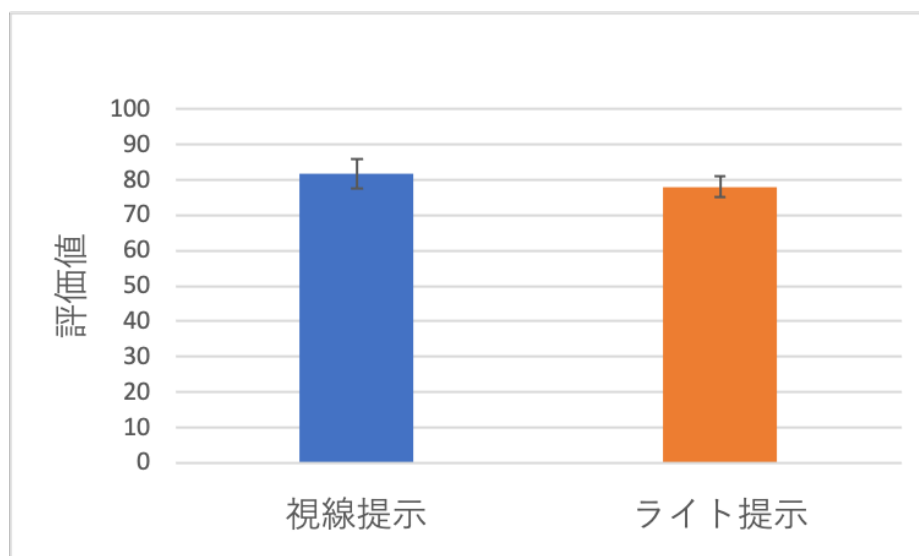


図 5.7: 各条件における SUS スコアの平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

5.5 実験結果に対する考察のまとめ

本研究では、以下の 4 点の仮説を設定し、検証を行った（再掲）。

- **H1.** 話しかける行為の心理的負担が軽減される。
- **H2.** 相手に話しかけようとする回数が増える。
- **H3.** 相手に話しかけようとするまでにかかる時間が短縮される。
- **H4.** 話しかける行為に対する作業負担が軽減される。

H1 について、アンケートの結果からわかるように、視線を提示することにより相手が近くにいる印象を与えられることが明らかになった。相手の存在感を感じられることにより、親近感を促進することができ、相手をより身近に感じられると考えられる。その結果話しかける行為の心理的負担が軽減する。また、コミュニケーションの義務感について、視線を提示することによって、義務感がより強く感じられることが明らかになった。これは、前述の相手の存在感が向上した影響であると考えられる。しかし、両条件とも義務感について否定的な印象を与えない範囲であった。すなわち、義務感は増加するが、心理的負担が向上しない範囲であると考えられる。また、コミュニケーションへの期待が満たされない度合いは両条件とも低く、視線を提示することによる影響は見られなかった。すなわち、心理的負担は増加しなかった。これらの結果より、総合的には心理的負担は軽減される方向であると考えられることから、H1 は部分的に支持された。

H2 および H3 について、心理的負担の軽減による話しかけようとする回数の増加および話しかけようとするまでの時間の短縮は見られなかった。すなわち、H2 および H3 は支持されなかった。ただしこれは、実験設計および個人差による影響の可能性が考えられるため、今後の追加検証が必要である。

H4 について、操作性は向上しなかったが、両条件とも操作性が十分高いことが示された。すなわち、H4 は支持されなかったが、話しかける行為に対する作業負担としては問題のない範囲である。

これらの結果より、本研究の提案手法は「相手に話しかけるというコミュニケーション行為の負担を軽減する」という目的に対して有効であると考えられる。これにより、インフォーマルコミュニケーションのような時間および議題が決まっていない対話を開始しやすくなると考えられる。

第6章 本研究の制約および今後の課題

本章では、本システムに対する議論を行い、本研究の制約および今後の課題を述べる。

6.1 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、対話の内容が制限されていた。対話の内容はほとんどがタスク内容に関するものであり、実験者によって誘発された質問であった。実際の使用場面においてインフォーマルコミュニケーションが生起されるかを評価するためには、短時間の実験室実験ではなく、実際にテレワークを実施している環境にシステムを導入し、長期的に使用して評価する必要がある。また、操作性の評価に関して、実験環境においては作業タスク内容が統制されていた。これに対し、実環境においては複数タスクを行なっている場面や本実験とは異なるタスクを行っている場面もあり、作業環境によって操作性への評価が異なる可能性が考えられる。今後は、本システムを用いて実環境における実験を行い、話しかける回数、印象評価および操作性の評価を行うことが課題である。

6.2 視線認識精度および習熟度

本研究における実験では、視線検出の精度による誤認識が発生し、意図的にアバタに視線を送っていない場合においても、アバタが視線を検出した場面が見られた。誤認識による誤作動が起こった後、実験者が参加者に話しかけようとした場合において、参加者は誤作動だと判断し、応答しない場合があった。これに対し、視線検出カメラをさらに精度が高いものに変更する、もしくは誤認識の値を外れ値として除外するなどの検討が必要である。

また、アバタに視線を送る際の動きについて、ユーザがシステムを使い慣れる必要があることがわかった。実際にユーザが話しかけようとしている際に、正しくアバタの方に視線が送れず、アバタが反応しない場合があった。これは、ユーザがアバタに送るべき視線角度を把握していなかったためである可能性が考えられる。また、実験において分析に用いなかった2名の参加者についても、システムの挙動が不安定であった原因の一つとして、実験開始前の練習が不十分であったことが考えられる。今後は、習熟度を上げるために、ユーザがアバタに視線を送ったと判断する角度の範囲を広げることにより視線を送ることを容易にする、実環境において長期にわたって使用させるなどの検討が必要である。

6.3 相互注視と判断する時間

現在、本研究において相互注視と判断される時間はおよそ 0.3 秒となっている。対面状況において、意図して話しかけようとせずとも偶然視線が合い、対話が発生する場面がある。本研究において、そういった場面を再現するために、相互注視時間を短くする必要があった。そのため、およそ 0.3 秒以上の相互注視が検出された場合において通話を接続している。しかしながら、視線検出精度による誤認識に対して通話が接続されてしまうといった問題が生じる。これは、話し手が話しかけようとした際に、受け手は視線を返していないが誤認識が生じた場合、即座に通話が接続されてしまうものである。このような問題に対して、今後は視線検出精度がさらに高いカメラを用いること、誤認識の値を外れ値として処理することによる対応を検討している。

6.4 サーボモータ動作時のノイズによる影響

本研究における実験では、視線表現のためにサーボモータを用いており、アバタが視線移動を行う際にサーボモータの動作によるノイズが発生していた。そのため、参加者がアバタの視線に気がつき視線を返したのではなく、音に気がつきアバタに視線を返した可能性がある。インタビューにおいて、「音が聞こえるところを向いているのかな、と気になった」、「アバタの視線というよりは、機械のモータ音に反応して通話を受け取っていた」、「作業中、アバタから聞こえてくる動作音のようなノイズが気になった」、「モータ音によって気づいた感じがした」などの意見を得た。これらのインタビュー内容から、実際にノイズによって参加者がアバタからの視線に気がついたことおよびノイズが気になってしまうということがわかった。一方で、「アバタが振り向いたことに気がつけたのは、音と光どっちもあったから」、「サーボノイズは注意が向いてむしろ相手からの連絡がわかりやすいと感じた」、「モータ音がない場合だとどのような感じになるのか気になった」といった意見もあった。これらのインタビュー内容から、ノイズによってアバタに気がつきやすくなるという一面もあることがわかった。すなわち、アバタの視線提示に加え、音を提示することによりアバタがユーザの注意を引きやすくなることが明らかになった。しかしながら、サーボモータ動作時のノイズである場合、騒音に感じられる、機械的に感じてしまう可能性がある。そのため今後は、ノイズを軽減した状態で検証を必要がある。具体的には、DC モータを用いて視線表現を行うことによりノイズを軽減することを検討している。また、サーボモータ動作時のノイズ以外の通知音を提示することによる効果についても調査する必要がある。

6.5 複数人による遠隔対話への対応

現在、本システムは遠隔地間における一対一による対話の生起支援を目的としており、複数人での対話の生起支援には対応できていない。一方、対面状況においては、複数人により対話を開始する場面や、既に対話が行われているところに新たに他の人が加わり複数人により

対話を行う場面がある。Kendon [Ken90] によれば、対面状況において人間同士が複数人により対話を行う際には、対話の参加者は互いに体を向けあい、互いの間に一定の空間を維持しようとするという。このような複数人が参加する場合の空間的な位置関係は、複数人分のアバタを用いることで再現することが可能であり、複数人での対話を生起する上で有効であると考えられる。そこで今後は、複数台のアバタを用いるようシステムの拡張を検討していく。

6.6 受け手側の細かなアウェアネス提示

現状のシステムでは、話し手側は話しかけたい度合いに応じてアバタへの視線の送り方を変更することにより、細かなアウェアネスを提示できる。しかしながら、受け手側は話し手のアウェアネスに応じて応答可否の判断ができるのみであり、細かなアウェアネスを提示することができない。そこで今後は、受け手側も細かなアウェアネスを提示できるようにすることが課題である。話し手の視線提示に対し、受け手がどれだけ応答したいか、もしくはできるかどうかを示すことにより、受け手側のアウェアネスを提示できると考えられる。具体的には、応答不可能な状況で、それを明確に相手に伝えたいと感じている場合において、アバタに対して手をかざすことにより強い拒否を示すことを検討している。受け手が手をかざした場合、アバタが視線を大きく逸らし、強い応答拒否を示すことを考えている。他にも、受け手が一時的に応答不可であり、しばらくすると対応できるようになる状態の表現も検討している。

また、話し手の視線提示に対する反応だけでなく、話しかけられていない場面においても、作業にどの程度集中しているか等を示すことで受け手側のアウェアネスを提示できると考えられる。具体的には、背もたれに寄りかかっている、もしくはキーボードから手を離している等、明らかに作業を中断しているタイミングにおいては、話しかけても良い状態であることをアバタを介して提示することを検討している。

第7章 おわりに

遠隔地間において視線を提示することにより対話の生起を支援するシステムを提案した。提案手法を用いた実験より、以下の結果が得られた。

- 視線を提示することにより、相手の存在感を近くに感じられる。
- 相手の存在感を感じられることにより親近感が促進され、話しかける行為の心理的負担が軽減できる。
- 提案手法は操作性が高く、話しかける行為に対する作業負担は小さいと言える。

これらの結果より、「相手に話しかける」といったコミュニケーション行為の負担を軽減することに有効であることが明らかになった。しかしながら、本研究は現状では、実験環境の制約、視線検出精度の問題、サーボモータのノイズ音、使用人数の制限、受け手側のアウェアネス提示ができていないなどの課題がある。そのため今後は、実環境における実験、視線検出手法の再検討、使用モータの変更、複数人による使用、受け手側のアウェアネス提示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，高橋伸先生には多くのご意見とご指導を頂きました。研究の進め方を基礎からご指導いただいたのみならず，研究の相談や論文執筆に関して多くのご助言を頂きました。深く感謝いたします。インタラクティブプログラミング研究室の同輩，先輩方には研究活動において様々なご助言を頂きました。また，COMMUNICATION チームの皆様にはチームゼミにおいて的確なご意見を多く頂きました。そして，WAVE チームの皆様には多くのアドバイスをいただきました。これらのご意見が研究を進める上で頼れる道標となりました。大変感謝しております。また，実験に参加していただいた皆様には，長時間の実験にご協力頂きましたことを大変感謝しております。最後に，研究生活においてお世話になった全ての方々に心より感謝いたします。

参考文献

- [Bro96] John Brooke. Sus: a “quick and dirty” usability. *Usability evaluation in industry*, p. 189, 1996.
- [Cora] NTT Communications Corporation. Skyway. <https://webrtc.ec1.ntt.com/>.
- [Corb] OMRON Corporation. ヒューマンビジョンコンポ (hvc) シリーズ. <https://plus-sensing.omron.co.jp/product/hvc-p2.html>.
- [DB92] Paul Dourish and Sara Bly. Portholes: Supporting awareness in a distributed work group. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 541–547, 1992.
- [DL83] Richard L Daft and Robert H Lengel. Information richness: a new approach to managerial behavior and organization design. Technical report, Texas A and M Univ College Station Coll of Business Administration, 1983.
- [DSF⁺12] Mingsong Dou, Ying Shi, Jan-Michael Frahm, Henry Fuchs, Bill Mauchly, and Mod Marathe. Room-sized informal telepresence system. In *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)*, pp. 15–18. IEEE, 2012.
- [Egi88] Carmen Egidio. Video conferencing as a technology to support group work: A review of its failures. In *Proceedings of the 1988 ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work, CSCW '88*, p. 13–24, New York, NY, USA, 1988. Association for Computing Machinery.
- [Gre96] Saul Greenberg. Peepholes: Low cost awareness of one’s community. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, pp. 206–207, 1996.
- [Gro20] Web Platform Incubator Community Group. Web speech api, 2020. <https://wicg.github.io/speech-api/>.
- [HC86] Christian Heath and Heath Christian. *Body movement and speech in medical interaction*. Cambridge University Press, 1986.
- [Ken90] Adam Kendon. *Conducting interaction: Patterns of behavior in focused encounters*, Vol. 7. CUP Archive, 1990.

- [KG99] Hideaki Kuzuoka and Saul Greenberg. Mediating awareness and communication through digital but physical surrogates. In *CHI'99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 11–12, 1999.
- [KLS82] Robert E Kraut, Steven H Lewis, and Lawrence W Swezey. Listener responsiveness and the coordination of conversation. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 43, No. 4, p. 718, 1982.
- [Mic] Microsoft. Microsoft teams. <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/microsoft-teams/free>.
- [ML] MAG-LAB. Vs-e100. <https://www.amazon.co.jp/MAG-LAB-mimo-speaker-%E5%8D%B5%E5%BD%A2%E3%81%AE%E8%B6%85%E5%B0%8F%E5%9E%8B%E3%83%9E%E3%83%AB%E3%83%81%E3%83%A1%E3%83%87%E3%82%A3%E3%82%A2%E3%82%B9%E3%83%94%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%83%BC-VS-E100/dp/B003JL5QFG>.
- [NGB03] Carman Neustaedter, Saul Greenberg, and Michael Boyle. Balancing privacy and awareness for telecommuters using blur filtration. 2003.
- [NGB06] Carman Neustaedter, Saul Greenberg, and Michael Boyle. Blur filtration fails to preserve privacy for home-based video conferencing. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Vol. 13, No. 1, p. 1–36, March 2006.
- [REH04] Nicolas Roussel, Helen Evans, and Heiko Hansen. Mirrorspace: using proximity as an interface to video-mediated communication. In *International Conference on Pervasive Computing*, pp. 345–350. Springer, 2004.
- [Sal16] Francesca Astrid Salvadori. Open office interaction : initiating talk at work(doctoral dissertation). In *King's College London*, 2016.
- [Sch09] Emanuel Schegloff. Sequencing in conversational openings1. *American Anthropologist*, Vol. 70, pp. 1075 – 1095, 10 2009.
- [SSV⁺13] E. Saadatian, H. Samani, A. Vikram, R. Parsani, L. Tejada Rodriguez, and R. Nakatsu. Personalizable embodied telepresence system for remote interpersonal communication. In *2013 IEEE RO-MAN*, pp. 226–231, 2013.
- [WFDJ94] Steve Whittaker, David Frohlich, and Owen Daly-Jones. Informal workplace communication: What is it like and how might we support it? In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '94, p. 131–137, New York, NY, USA, 1994. Association for Computing Machinery.

- [YMA14] Svetlana Yarosh, Panos Markopoulos, and Gregory Abowd. Towards a questionnaire for measuring affective benefits and costs of communication technologies. pp. 84–96, 02 2014.
- [ZVC] Inc. Zoom Video Communications. Zoom. <https://zoom.us/>,.
- [広明 94] 広明敏彦, 國枝和雄, 宮井均. 遠隔インフォーマル会話におけるアウェアネス支援. 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 1994, No. 96 (1994-HI-057), pp. 33–40, 1994.
- [児玉 18] 児玉裕輝, 葛岡英明, 徐建鋒, 明堂絵美, 原田悦子, 大澤博隆. 雑談を誘発するテレプレゼンスロボットシステム. 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 2018, No. 20, pp. 1–7, 2018.
- [木村 07] 木村篤信. 視覚フィードバック提示による遠隔インフォーマルコミュニケーション支援. PhD thesis, 奈良先端科学技術大学院大学, 2007.

著者論文リスト

参考論文

本論文の主な内容は，下記にて公表済みである．

- 公表済み論文

1. 田之頭吾音，川口一画，志築文太郎，高橋伸．視線情報を用いたアウェアネス提示による遠隔対話の生起支援．第 28 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ（WISS2020），査読なし発表，日本ソフトウェア科学会，2020 年 12 月．

付 録 A 物理アバタのモデル設計図

本付録にて，本システムにて用いた物理アバタの三面図を示す．

A.1 物理アバタ三面図

