

視線情報および姿勢を用いたアウェアネス情報提示による 遠隔対話の生起支援

田之頭 吾音^{1,a)} 川口 一画^{2,b)}

概要：本研究では、遠隔地間におけるインフォーマルコミュニケーション生起を目的として、ユーザの視線を相互に伝達し遠隔対話の生起を支援するシステムを提案する。提案システムでは、人間が対話を開始する際に視線が重要な役割を果たすという社会学的知見に基づき、対話の開始に至る視線のやりとりを遠隔地間において再現する。具体的には、各参加者の環境に物理的なアバタを配置し、アバタを介して視線情報を相互に伝達しあう。そして、アバタを介して相互注視が行われた場合に音声通話を接続する。これにより、相手に自分が話しかけたいことを暗黙的に伝達することができ、相手に話しかける行為の負担が低減されることが期待された。提案システムの効果を検証するために、作業中に実際にシステムを使用した実験を行った結果、話しかける行為の心理的負担の低減に有効であることが示された。一方、実験結果より、相手の作業状況が伝達されなかったため、「リラックス中だから話しかける」ような偶発的なコミュニケーションが増加しなかった可能性が示唆された。そこで、姿勢情報を用いることにより作業への集中度を提示するというシステムの改善指針を示した。

1. はじめに

遠隔地間において、インフォーマルコミュニケーションは生起されにくいといった課題がある [1]。インフォーマルコミュニケーションとは、日時や議題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のことである [2]。Egido [3] 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すと言われている [4, 5]。遠隔地間においてインフォーマルコミュニケーションが開始されるためには、相手に話しかける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が重要であり、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。そういった目的に対し、アウェアネス情報の提示に関する研究が多く行われている [6, 7]。

アウェアネスとは、Dourish ら [8] 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。アウェアネス情報を提示することにより、相手の応答可否をあらかじめ知ることが可能になる。一方で、対面状況に

おいては相手の応答可否を提示するのみでなく、非言語情報を用いたインタラクションを介して対話の開始に繋がるアウェアネス情報（相手に話しかけようとしているか、リラックスしており対話ができる状態か、作業に集中しており対話ができない状態か等の、対話を開始するかの判断に用いられる情報）を動的に探る。これにより対話を開始する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。特に、視線情報は会話の開始に重要な役割を果たしており、相互注視は会話を開始する合図とも言われている。そこで本研究では、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 [9] に基づき、遠隔地間において視線情報を相互に伝達する。そして相互注視が行われた場合、音声通話を開始する（図 1）。

製作したシステムを用いて作業中に対話を行う実験を行った結果、話しかける行為の心理的負担の軽減に有効であることが示唆された。一方、実験結果より、話しかける際に相手の話を受け取れる度合いが把握できないといった課題が明らかになった。その原因としては、相手の作業状態（作業への集中度）が把握できないことが挙げられる。そこで本研究において、姿勢を用いることにより作業への集中度を提示するシステムの改善指針を示す。

¹ 筑波大学情報理工学学位プログラム

² 筑波大学システム情報系

^{a)} tanokashira@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} kawaguchi@cs.tsukuba.ac.jp



図 1 提案システムを使用している様子。遠隔地間において物理的なアバタを用いて視線情報のやりとりを行い、相互注視が行われた場合音声通話を接続する。

2. 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情報提示の関連研究、および非言語情報を用いた対話の開始に至るアウェアネス情報提示の関連研究を述べる。そして最後に、提案手法の設計指針を説明する。

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が始ま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。Salvadori [9] 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を観察し、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、応答を求める度合いに応じて、作業を中断する、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。そして話し手の注意を引く行動に対し、受け手は体を向ける、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。そして受け手が応答可能であることを示した場合、話し手との相互注視が行われ、対話へと移行する。また、Kendon [10] 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、相互注視が対話のきっかけになることを示した。Heath ら [11] は人間同士が対話を開始する際の非言語情報の役割を調査し、視線のやりと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。これらの研究から分かるように、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。特に視線情報は重要な役割を果たしており、相互注視は対話開始の合図となる。本研究では、遠隔地間において視線情報を伝達し合い、視線のやりと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。

2.2 応答可否のみを提示するアウェアネス情報の提示システム

遠隔地間において対話を開始するためには、まず相手が対話に応答できるかを知る必要がある。そこで、アウェアネス情報の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 [6] は、人形を動かし、人形の体の向きにより応答可否を伝達するシステムを提案した。Greenberg [7] は、あるコミュニティ内において、各ユーザがセットした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情報の提示システムにより、相手の応答可否をあらかじめ知ることができるが、対面状況においては応答可否を伝えるのみでなく、非言語情報を用いたインタラクションを介して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、応答可否の情報のみでなく、非言語情報を含むアウェアネス情報のやりとりを行う必要がある。そこで本研究では、非言語情報を含むアウェアネス情報として視線を提示することにより、対話の開始に至るインタラクションを可能にする。

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情報の提示システム

2.2 節で述べたように、対面状況のような対話の開始に至るインタラクションを行うためには、非言語情報を含むアウェアネス情報を提示する必要がある。児玉ら [12] 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い、相互注視を検出した場合、通話を接続するシステムを提案した。Roussel ら [13] は常時接続型のビデオメディアスペースを配置し、非言語情報を含む相手の様子を提示し続けるシステムを提案した。これらのシステムは相手の応答可否のみでなく、対面状況において対話を開始する際に伝達される非言語情報を含むアウェアネス情報を提示することを可能にする。さらに、明示的にアウェアネス情報を示すための作業が不要であり、作業負担が小さくなると考えられる。しかしながら、これらのシステムは、ビデオを用いてアウェアネス情報を提示する必要があるため、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 [14,15]。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非言語情報を含むアウェアネス情報を提示する。

2.4 提案手法の設計指針

本研究では、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。本研究におけ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2に示す。

3. システム構成

本章にて、本システムのハードウェア設計、ソフトウェア構成およびインタラクションデザインについて述べる。本研究のシステム構成の概要を図3に示す。

3.1 ハードウェア設計

本システムの外観を図4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）^{*1}を用いた。HVC-P2は基板に接続されたカメラを用いて、顔および視線方向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。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。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。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。アバタ本体を介して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。アバタ筐体は3Dプリンタによって作製し、全高は約180mmとした。

3.2 ソフトウェア構成

本システムでは、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用プログラムの2つのプログラムを使用している。

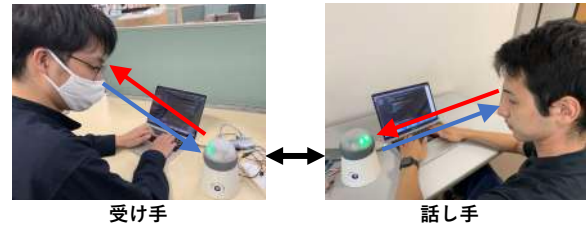


図2 システムを介して相互注視が行われている様子。相互注視が検出された場合、音声通話が開始する。

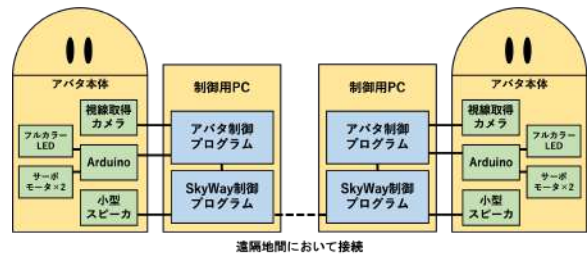


図3 システム構成。



図4 本研究にて実装した物理的なアバタ。

3.2.1 SkyWay 制御プログラム

SkyWay^{*2}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。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^{*3}を使用している。音声による呼びかけを検知した場合、目を点滅させることにより呼びかけを表現する。

3.2.2 アバタ制御プログラム

アバタ制御プログラムでは、HVC-P2の制御により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。

^{*1} <https://plus-sensing.omron.co.jp/product/hvc-p2.html>

^{*2} <https://web rtc.ecl.ntt.com/>

^{*3} <https://wicg.github.io/speech-api/>

表 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）
短く注視する	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

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 を利用している. 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 ヘ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.

3.3 インタラクシオンデザイン

本節において、本研究におけるインタラクシオンデザインを説明する. 具体的なインタラクシオンの内容として、まず話し手は視線を送る時間の長さにより、どの程度相手に応答を求めているかを伝達し、さらに強く応答を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、相手を取り込み中であっても、手を離せそうであれば話しかけたいような場合、アバタを注視する. これに対し、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、アバタに短く視線を送る. このような話しかけたい度合いに応じた視線の送り方の例を、表 1 にまとめる. なお、表 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はせずとも偶然視線が合い、対話が発生する場面を想定して設定した. 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情報から、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. 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. また本システムでは、相手の視線情報に応じて目の色を変化させる. 相手が視線を送っていない場合、目の色は赤色になる. これに対し相手が視線を送っている場合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. 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呼びかけられていることを示す.

4. 実験

本研究では、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を行った.

4.1 仮説

評価に当たり、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.** 話しかける行為に対する作業負担が軽減される.
- **H3.** 相手に話しかけようとする回数が増える.
- **H4.** 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.

遠隔地間において対話を開始するためには、話しかける行為の負担を軽減する必要がある. 本研究においては、話しかける行為の心理的負担および話しかける行為に対する作業負担に着目した. 本システムは、対面状況において対話の開始に至るインタラクシオンを遠隔地間において再現する. これにより対話開始前の視線のインタラクシオンを介して、非言語情報を用いた対話の開始に繋がるアウェアネス情報を動的に探ることができ、話しかける行為の心理的負担が軽減すると考えた (H1). また本システムは、視線のやりとりのみにより通話を接続することができるため、通話を接続するための作業負担が小さくなる可能性がある (H2). その結果、話しかける回数が増え (H3)、話しかけるまでの時間が短縮される (H4) と考えられる.

4.2 実験タスク

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タスクリストに沿って資料作成を行う」というタスクを設定した. 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. 本実験において、話しかける行為に対する印象評価を行うため、参加者が実験者に話しかける必要があった. そのためタスクリスト内に質問を誘発するタスクを複数個設定した. 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 4 回話しかけた. 参加者はタスク用 PC 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.



図 5 (a)C1: ライト提示条件における発光の様子。ライトの回転動作は行われない。(b)C2: 視線提示条件における発光の様子。アバタの目は回転動作をする。

4.3 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。

- **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アウェアネス情報提示システムを想定したものである。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行い、通話要求中は黄色、通話接続中は緑色にライトが変化する (図 5(a))。なお、ライト提示条件においては、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。
- **C2. 視線提示条件** 本研究における提案手法である。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、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、受け手側のアバタは受け手に視線を送り、目の色が黄色に変化する。受け手が視線を返すと、双方のアバタの目が緑色に変化し、通話が接続される (図 5(b))。

実験は参加者間配置によって行った。実験参加者は大学関係者から募集し、各条件についてそれぞれ 10 名ずつ、合計 20 名 (男性 14 名、女性 6 名、平均 22.1 歳) であった。

4.4 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
- システムの操作性の評価
- 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

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 (H1, H2 の評価)。また、参加者の作業中の動きを録画したビデオを用いて、実験中の参加者の行動を分析した (H3, H4 の評価)。

4.4.1 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 [16] 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。本実験においては、アンケート中より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、この尺度において、参加者が遠隔地にいる実験者の存在感を近く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 [16] ため、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および維持を強要される感覚といった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、相手の連絡の頻度および応答の早さ、および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といったコミュニケーションへの期待が満たされなかった度合いを評価する。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。また、実験終了後に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。

4.4.2 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) [17] を用いた。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。

4.4.3 H3, H4 における動画分析

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 (H3)、および実験者に話しかけようとするまでの時間 (H4) 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。H3 について、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、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著者が判断した回数を話しかけようとした回数とした。H4 について、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、エラーが起ってからアバタの方に視線を送るまでの時間を用いた。

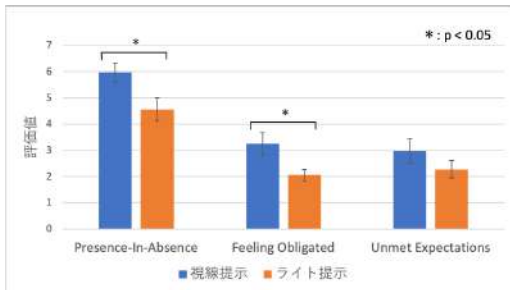


図 6 心理的負担に関連するアンケート結果。エラーバーは標準誤差を示す。

5. 実験結果および考察

本章では、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。

5.1 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 6 に示す。各尺度において実験条件ごとのスコアを用いてウェルチの t 検定を行い、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。

5.1.1 Presence-In-Absence に関する結果および考察

検定の結果、条件間で有意差が見られた ($df = 15.63$, $p = 0.027 < 0.05$)。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。

5.1.2 Feeling Obligated に関する結果および考察

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義務感が有意に向上することが明らかになった。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。

5.1.3 Unmet Expectations に関する結果および考察

検定の結果、条件間で有意差は見られなかった ($df =$

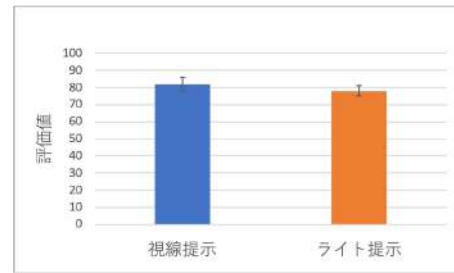


図 7 各条件における SUS スコアの平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

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、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、両実験条件において統一していたためであると考えられる。また、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: 2.73, 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)。

5.2 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 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。一方、両条件とも SUS のスコアが高かったことから、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。

5.3 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 8(a) 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 ($df = 15.31$, $p = 0.88 > 0.05$)。

5.4 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

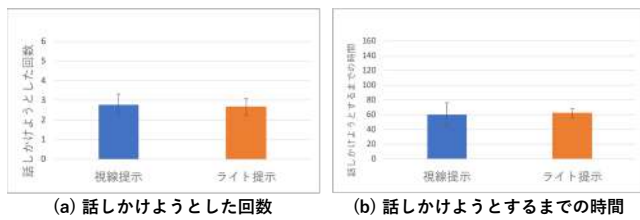


図 8 (a) 各条件における話しかけようとした回数の平均値。エラーバーは標準誤差を示す。(b) 各条件における話しかけようとするまでの時間の平均値。エラーバーは標準誤差を示す。

析を行った。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 8(b) 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 ($df = 9.06$, $p = 0.91 > 0.05$)。

5.5 実験結果に対する考察のまとめ

本研究では、H1-H4 の 4 点の仮説を設定し、検証を行った。H1 について、提案システムによって相手の存在感を伝達する効果が優位に向上することがわかった。その結果、親近感が促進され、話しかける行為の心理的負担の軽減されることが考えられる。また、視線提示によりコミュニケーションの義務感が強まることが明らかになったが、否定的な印象を与えない範囲であった。視線提示によるコミュニケーションの期待が満たされない度合いへの影響は見られなかった。これらの結果より、総合的には心理的負担が軽減される効果があると考えられるため、H1 は部分的に支持されたと言える。H2 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、H2 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は小さいと考えられる。H3 および H4 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、H3 および H4 は支持されなかった。

本実験結果より、部分的に効果が見られたことから、提案手法は話しかける行為の負担を軽減するという目的に対し有効であると考えられる。一方、話しかけようとする回数は増加しなかった。話しかける回数の向上にあたっては、視線情報の伝達のみでは不十分であったと考えられる。また、実験後のインタビューにおいて、「話しかける際に相手の様子がわからない」と述べた参加者がいた。実際に、本システムにおいて受け手が提示できる情報は話し手側から送られた視線に対し、視線を返すか否かにより応答可否を提示するのみである。対面状況においては、話し手は受け手に話しかける前に受け手を観察し、どれだけ話を受け取ることが可能か（どれだけ作業に集中しているか）を評価する [9]。つまり、提案手法においては、対話の開始に至る受

け手側のアウェアネス情報が十分に伝達されていないと考えられる。これらを踏まえ、対話の開始に至る受け手側のアウェアネス情報を提示することにより相手に話しかける回数を増やすことができる可能性があると考えられる。そこで、本システムにおける受け手側のアウェアネス情報を提示するための設計指針を提案する。

6. 改善指針

本章では、実験結果に対する考察を踏まえ、提案システムの改善指針として受け手側のアウェアネス情報として姿勢を用いる手法を提案する。

6.0.1 姿勢による集中度表出

2.1 節において述べたように、人間同士が対話を開始する際には非言語情報は重要な役割を果たしている。対話の開始にあたり、話し手はまず相手がどれだけ作業に集中しているかを観察し、相手が話を受け取れる度合いを評価する。このように、対話の開始には相手の集中度を知ることが重要である。これに対し、人間の集中度は姿勢に表出されると言われている [18,19]。具体的には、集中している状態であればデスクに前のめりになる、リラックスしている状態であれば椅子にもたれかかり、体をのけぞらせる。また、興味がある相手に対しては身を乗り出す、興味がなければ体を異なる方向に向けるように相手への興味もまた姿勢により表出される。このように、姿勢は相手の集中度を知る上で重要な役割を果たしており、姿勢を用いることにより受け手側のアウェアネス情報を提示できると考えた。

6.0.2 インタラクションデザイン

話し手は、話しかけようとする際に物理アバタの姿勢から相手の集中度を把握できる。相手が作業に集中している場合、話しかけることをやめる、もしくは強く話かけたいことを示すために長く視線を送ることが考えられる。相手がリラックスしている場合、話しかけられると判断し、物理アバタに視線を送ると考えられる。その際、受け手側はリラックスしている状態のため、応答できる確率が高いと考えられる。また、話し手が話しかけようといった意図を持っていない場合でも、「リラックスしているから話しかける」ような偶発的な対話が生まれる可能性も考えられる。このように、話し手は受け手側の状況を踏まえた上で話しかける判断を行うことができる。

6.1 物理アバタによる姿勢を用いた集中度の表現

提案手法においては、物理的なアバタの姿勢の変化によりユーザの集中度を表現する予定である。具体的には、ユーザが作業に集中している状態であれば物理アバタの姿勢をユーザと異なる方向に乗り出すことにより、集中状態を表現する。これに対し、リラックスしている状態であれば物理アバタをユーザの方に向け身体をのけぞらせる。他にも、ユーザが離席している場合には物理アバタの身体を

ユーザと異なる方向に向けることが検討される。本手法を実現するためには、姿勢の検出及び表現が必要になる。姿勢の検出についてはPoseNet^{*4}を用いて、Webカメラから関節点を検出し、姿勢を推定する予定である。また姿勢の表現については、2つのサーボモータを用いてアバタ本体の体の向き及び傾きを制御することを検討している。

6.2 今後の予定

今後は実装を行い、受け手側のアウェアネス情報を提示することによる効果を検証する必要がある。具体的には、話しかける行為の心理的負担が軽減するか、話しかける回数が増加するかといった評価を行う予定である。そのためには、現在の姿勢の検出及び表現の手法が適切であるかを調査する必要がある。そこで、予備実験として実際の作業時の姿勢の変化及びアバタの姿勢の変化に対するユーザの印象を調査することを検討している。

7. 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。
- 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。
- 提案手法による話しかける回数および話しかけるまでの時間への影響は見られなかった。

この結果より、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と考えられる。すなわち、相手に話しかける行為の負担を軽減することに有効であることが示唆された。一方、話しかける回数は増加せず、提案システムが提示できるアウェアネス情報は話し手側の情報のみであるといった課題が明らかになった。これに対し、受け手側のアウェアネス情報として姿勢を用いて集中度を提示するシステムを開発する予定である。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Daft, R. L. and Lengel, R. H.: 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).
- [3] Egidio, C.: Video Conferencing as a Technology to Support Group Work: A Review of Its Failures, *Proceedings*

of the 1988 ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work, CSCW '88, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 13–24 (online), DOI: 10.1145/62266.62268 (1988).

- [4] Kraut, R. E., Lewis, S. H. and Swezey, L. W.: Listener responsiveness and the coordination of conversation., *Journal of personality and social psychology*, Vol. 43, No. 4, p. 718 (1982).
- [5] Whittaker, S., Frohlich, D. and Daly-Jones, O.: Informal Workplace Communication: What is It like and How Might We Support It?, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '94, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 131–137 (online), DOI: 10.1145/191666.191726 (1994).
- [6] Kuzuoka, H. and Greenberg, S.: Mediating awareness and communication through digital but physical surrogates, *CHI'99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 11–12 (1999).
- [7] Greenberg, S.: Peepholes: Low cost awareness of one's community, *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, pp. 206–207 (1996).
- [8] Dourish, P. and Bly, S.: Portholes: Supporting awareness in a distributed work group, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 541–547 (1992).
- [9] Salvadori, F. A.: Open office interaction : initiating talk at work(Doctoral dissertation), *King's College London* (2016).
- [10] Kendon, A.: *Conducting interaction: Patterns of behavior in focused encounters*, Vol. 7, CUP Archive (1990).
- [11] Heath, C. and Christian, H.: *Body movement and speech in medical interaction*, Cambridge University Press (1986).
- [12] 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).
- [13] Roussel, N., Evans, H. and Hansen, H.: MirrorSpace: using proximity as an interface to video-mediated communication, *International Conference on Pervasive Computing*, Springer, pp. 345–350 (2004).
- [14] Neustaedter, C., Greenberg, S. and Boyle, M.: Blur Filtration Fails to Preserve Privacy for Home-Based Video Conferencing, *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Vol. 13, No. 1, p. 1–36 (online), DOI: 10.1145/1143518.1143519 (2006).
- [15] Neustaedter, C., Greenberg, S. and Boyle, M.: Balancing privacy and awareness for telecommuters using blur filtration (2003).
- [16] Yarosh, S., Markopoulos, P. and Abowd, G.: Towards a questionnaire for measuring affective benefits and costs of communication technologies, pp. 84–96 (online), DOI: 10.1145/2531602.2531634 (2014).
- [17] Brooke, J.: SUS: a “quick and dirty” usability, *Usability evaluation in industry*, p. 189 (1996).
- [18] Mehrabian, A.: Significance of posture and position in the communication of attitude and status relationships., *Psychological bulletin*, Vol. 71, No. 5, p. 359 (1969).
- [19] Tsuruoka, H., Koyama, K., Shirakashi, Y. and Yairi, I.: Ambient system for encouraging autonomous learning using cushion shaped device, *D-Abstracts of IE-ICE TRANSACTIONS on Information and Systems (Japanese Edition)*, Vol. 100, pp. 36–46 (2016).

^{*4} <https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/posenet>