

筑波大学大学院博士課程
理工情報生命学院
システム情報工学研究群修士論文

物理的なアバタの視線および姿勢を用いた
ウェアネス支援による遠隔対話の生起支援

田之頭 吾音
修士（工学）
（情報理工学位プログラム）

指導教員 志築 文太郎

2023年3月

概要

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生起は難しい。我々の先行研究において、作業中の遠隔二者間の対話生起のため話しかける行為の心理的負担を軽減することを目的に、物理アバタを用いてユーザの視線をアウェアネス情報として相互に伝達するシステムを提案した。提案システムでは、視線の検出および提示が可能な物理アバタを用いて視線を伝達し合い、アバタを介して遠隔地間において相互注視が行われた場合に音声通話を開始する機能を実装し、実験を行った。実験の結果、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、先行研究におけるシステムの基礎的特性（アウェアネス情報への気付きやすさ、理解のしやすさ、作業への注意を妨げる度合い、および遠隔者の存在感伝達の度合い）は明らかではなかった。また、話しかけたい場合の視線およびその受理に関する視線以外の情報は共有されないことから、話しかける前の相互の作業状況（作業への集中度）が分からず、相手が応答可能であるタイミングが分からなかった。そこで本研究では、我々の先行研究におけるシステムを拡張し、話しかける前に互いの作業への集中度を提示する手法を提案する。本研究ではまず、予備調査として先行研究におけるシステムの基礎的特性の調査を行った。また、提案手法の設計指針を得るための予備調査として対話開始場面の調査を行った。予備調査の結果をもとに、物理アバタの姿勢を用いて互いの集中度を提示する手法を提案し、実装を行った。実装したシステムを用いた実験の結果、提案手法は、提示される集中度の気付きやすさ、理解のしやすさ、集中度を把握し続ける効果が高く、作業への注意障害が小さいことが示唆された。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	我々の先行研究におけるアプローチ	2
1.3	本研究における目的とアプローチ	3
1.4	貢献	4
1.5	本論文の構成	4
第2章	関連研究	5
2.1	応答可否を伝達するアウェアネス支援システム	5
2.2	非言語情報を伝達するアウェアネス支援システム	5
2.3	物理アバタの視線を用いたアウェアネス支援システム	6
第3章	予備調査1：視線を用いたアウェアネス支援システムの基礎的特性の調査	10
3.1	アウェアネス支援のための基礎的特性の関連研究	10
3.2	アウェアネス支援システムの基礎的特性	11
3.3	実験設計	11
3.3.1	実験タスク	11
3.3.2	実験条件	16
3.3.3	実験参加者	16
3.3.4	評価項目	17
3.4	実験結果	18
3.4.1	Noticeability	18
3.4.2	Comprehension	19
3.4.3	Division of attention	19
3.4.4	Telepresence	21
3.4.5	アウェアネス情報の変化に対する反応速度	21
3.4.6	主タスクの成績	21
3.5	考察	23
3.5.1	R1. アウェアネス情報への気付きやすさ	23
3.5.2	R2. アウェアネス情報の理解のしやすさ	23
3.5.3	R3. 作業への注意阻害	24
3.5.4	R4. 遠隔作業者の存在感を伝達する度合い	24

3.5.5	結果及び考察のまとめ	24
第4章	予備調査2：対話開始場面の調査	26
4.1	関連研究：相手の作業への集中度を提示するアウェアネス支援システム	26
4.2	調査方法	27
4.3	分析方法	29
4.4	動画分析結果	29
4.5	設計指針	32
第5章	システム構成	33
5.1	ハードウェア構成	33
5.2	ソフトウェア構成	35
5.2.1	遠隔地間の通信：SkyWay制御プログラム	35
5.2.2	物理アバタの制御：アバタ制御プログラム	36
	視線および姿勢の検出	36
	遠隔者の視線および姿勢の提示	37
5.3	インタラクシオンデザイン	38
5.3.1	視線によるインタラクシオン	38
5.3.2	姿勢によるインタラクシオン	40
第6章	実験	41
6.1	仮説	41
6.2	実験条件	42
6.2.1	C1. テキスト条件	42
6.2.2	C2. ライト条件	46
6.2.3	C3. 姿勢条件	48
6.3	実験設計	48
6.3.1	実験タスク	48
6.3.2	実験環境	50
6.3.3	実験参加者	51
6.4	評価項目	52
6.4.1	基礎的特性に関する印象評価	52
6.4.2	心理的負担に関連する印象評価	54
6.4.3	話しかけた回数	56
6.4.4	相手の集中度ごとの話しかけた回数	56
第7章	実験結果および考察	57
7.1	基礎的特性に関する印象評価	57
7.1.1	Noticeability	57
7.1.2	Comprehension	58

7.1.3	Division of attention	59
7.1.4	Telepresence	60
7.1.5	Grasping Focus	60
7.2	心理的負担に関する印象評価	62
7.2.1	Presence-In-Absence	62
7.2.2	Feeling Obligated	63
7.2.3	Unmet Expectations	64
7.2.4	自由記述アンケート	65
7.3	話しかけた回数	65
7.4	相手の集中度ごとの話しかける回数	66
7.5	実験結果に対する結果および考察まとめ	69
第 8 章	議論および今後の展望	70
8.1	実験設計による制約	70
8.2	姿勢検出の堅牢性	71
8.3	システムの複数人における使用	71
8.4	より細かな集中度の伝達	71
第 9 章	おわりに	72
	謝辞	73
	参考文献	74
付 録 A	実験において用いたアンケート	81

目次

1.1	本研究において実装した物理アバタを使用している様子。物理アバタを用いて遠隔地の作業者の集中度を提示する。右の作業者がリラックスし後傾している様子が、物理アバタの姿勢を後傾することにより左の作業者に提示される。 . .	4
2.1	我々の先行研究 [TKST21] における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アバタを用いて視線のやり取りを行い、相互注視が行われた場合音声通話を接続する。	7
2.2	我々の先行研究 [TKST21] において製作した物理アバタ。	8
2.3	右の作業者が話し手、左の作業者が受け手である。話し手は話しかけたい場合、物理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る。	8
2.4	話し手の視線の送り方に応じて、受け手側の物理アバタが受け手に視線を送る。	8
2.5	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。	9
2.6	受け手が視線を返した場合、話し手側の物理アバタが話し手に視線を送る。 . .	9
2.7	物理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。音声通話接続時は物理アバタの目が緑色に変化する。	9
3.1	実験を行っている様子。参加者が作業用 PC にてタスクを行っている間に、左斜め前 45 度方向にアウェアネス情報を提示する。メッセージ受信状態に変化したことに気づいた場合、参加者は左手側に配置されたボタンを押す。 . . .	12
3.2	テキスト条件において提示されるアウェアネス情報。左から順に、ディスプレイに提示されている様子、非アクティブ状態を示すテキスト、アクティブ状態を示すテキスト、メッセージ受信状態を示すテキストである。	13
3.3	ライト条件において提示されるアウェアネス情報。左から順に、非アクティブ状態、アクティブ状態、メッセージ受信状態を示す。非アクティブ状態は消灯、アクティブ状態は点灯し、メッセージ受信状態においてはライトが点滅する。	13
3.4	視線条件において提示されるアウェアネス情報。左から順に、非アクティブ状態、アクティブ状態、メッセージ受信状態を示す。非アクティブ状態は消灯し、アクティブ状態は参加者以外の方向に視線を送る。メッセージ受信状態においては参加者に視線を送る。	14

3.5	実験中のアウェアネス情報の変化. 非アクティブ, アクティブ, メッセージ受信の状態がランダムに変化し, 参加者はメッセージ受信状態に変化したことに気づいた場合ボタンを押す. ボタンが押された場合, アクティブ状態に戻る.	14
3.6	作業用 PC にて行う主タスク. 右上にランダムに表示される図形と一致する図形をクリックして削除していく. 削除する前に, 画面右下に表示されている, 指定された図形に対応する数字をキーボードにより選択することにより, 指定された図形の削除が可能になる.	15
3.7	Noticeability のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	19
3.8	Comprehension のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	20
3.9	Division of attention のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	20
3.10	Telepresence のアンケート結果.	21
3.11	アウェアネス情報の変化に対する反応速度の結果.	22
3.12	主タスクの成績の結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	22
4.1	動画撮影を行った研究室の環境. 3 台のビデオカメラを用いて撮影を行った. 計 8 台のデスクが並んでおり, 動画撮影時には 3 席が空席であり, 5 人を撮影対象者とした.	27
4.2	撮影した研究室の様子 1. 図 4.1 におけるビデオカメラ 1 から撮影した様子を示す.	28
4.3	撮影した研究室の様子 2. 図 4.1 におけるビデオカメラ 2 から撮影した様子を示す.	28
4.4	撮影した研究室の様子 3. 図 4.1 におけるビデオカメラ 3 から撮影した様子を示す.	29
4.5	本調査において選定した対話開始場面の作業中の様子. 各作業者は PC に向かい作業を行っている. 赤丸にて囲った三人の参加者を, それぞれ作業者 a, 作業者 b, 作業者 c とする. 本場面においては作業者 c が話し手となる.	30
4.6	作業者 c が誰かに話しかけようとし, 対面の作業者 a の様子を確認する様子. これに対し, 対面の作業者 a はデスクに向かい, 前のめりの姿勢にて作業を行っていた. そのため作業者 c 話しかけなかった. また同時に, 作業者 b は背もたれに寄りかかっており, キーボードやマウスの操作は行っておらず, リラックスしている様子が見られた.	31
4.7	作業者 c が隣のデスクの作業者 b の方に身体を向ける様子. 作業者 b は背もたれに寄りかかっている.	31
4.8	作業者 c が隣のデスクの作業者 b の方に身体を向け, 声をかけた様子. 作業者 b は声掛けに応答し, 身体を作業者 c の方に向け, 対話が始まった. 対話開始の際, 作業者 b は背もたれに寄りかかっていた.	32
5.1	本研究における提案システムの概略図.	34

5.2	本研究にて製作した物理アバタ. 先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張した. 物理アバタの視線を制御するために2つのサーボモータおよびフルカラー LED を用いており, 姿勢を制御するためにさらに2つのサーボモータを用いている. 音声通話用のスピーカを搭載しており, 物理アバタの転倒防止策として, 重心を足下に置く設計にしている.	34
5.3	遠隔ユーザとの接続を行うための web アプリケーションとして実装した操作インタフェース. 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.	36
5.4	作業者の集中度に対応する物理アバタの姿勢および作業者の姿勢. 左: 作業者が集中時の姿勢. 中央: 作業者が平常時の姿勢. 右: 作業者がリラックス時の姿勢.	38
5.5	通話要求に対応する物理アバタの目の色. 左: 通常時は目は赤色に点灯している. 中央: 相手のみが自分の方に視線を送っている場合 (通話要求中), 目は黄色に点灯する. 右: 相互注視が行われた場合 (通話接続中), 目は緑色に点灯する.	39
6.1	各条件における実験環境. 左: テキスト条件. 中央: ライト条件. 右: 姿勢条件. 各条件ともに左斜め前 45 度の方向にアウェアネス支援用 PC または物理アバタが配置された.	43
6.2	テキスト条件において用いたアウェアネス支援用 PC. 画面中央のテキストの変化により, 相手の通話要求および集中度を提示した.	44
6.3	テキスト条件において提示される相手の集中度の変化. 左: 相手が集中時は「集中状態」が提示される. 中央: 相手が平常時には「平常状態」が提示される. 右: 相手がリラックス時には「リラックス状態」が提示される.	44
6.4	テキスト条件において使用される UI. 集中状態および通話要求を示すテキストの右側のウィンドウに通話機能を制御するボタンが配置されている. 相手に話しかけたい場合には「呼び出し」ボタンを押す. 呼び出しを中断したい場合には「呼び出し終了」ボタンを押す. これは, 提案システムにおける視線を送る, および送ることをやめる動作に対応する. 話し手から通話要求がきた場合には, 「通話応答」ボタンを押すことにより通話を接続する.	45
6.5	テキスト条件において提示される相手の通話要求の変化. 左: 通常時は「通話要求なし」が提示される. 中央: 相手のみが通話要求中の場合, 「通話要求中」が提示される. 右: 通話接続時には「通話中」が提示される.	45
6.6	ライト条件において用いたアウェアネス支援用 PC. 画面中央のライトの色の变化により, 相手の通話要求および集中度を提示した.	47
6.7	ライト条件において提示される相手の集中度の変化. 左: 相手が集中時はライトが赤色に点灯する. 中央: 相手が平常時にはライトが黄色に点灯する. 右: 相手がリラックス時にはライトが緑色に点灯する.	47

6.8	ライト条件において提示される相手の通話要求の変化. 左:通常時にはライトが赤色に点灯する. 中央:相手のみが通話要求中の場合, ライトが黄色に点灯する. 右:通話接続時にはライトが緑色に点灯する.	48
6.9	参加者が実験を行っている様子. 参加者は作業用 PC の正面に着席し, 左斜め前 45 度の方向に物理アバタが配置された. また, 参加者はヘッドフォンを装着し, 雑音を排除した.	51
7.1	Noticeability のアンケート結果.	58
7.2	Comprehension のアンケート結果.	59
7.3	Division of attention のアンケート結果.	60
7.4	Telepresence のアンケート結果.	61
7.5	Grasping Focus のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	61
7.6	Presence-In-Absence のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	62
7.7	Feeling Obligated のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	63
7.8	Unmet Expectations のアンケート結果.	64
7.9	参加者が話しかけた回数のアンケート結果.	66
7.10	相手が集中時に参加者が話しかけた回数のアンケート結果.	67
7.11	相手がリラックス時に参加者が話しかけた回数のアンケート結果.	67
7.12	話しかけた回数のうち相手が集中時の割合のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.	68
7.13	話しかけた回数のうち相手がリラックス時の割合のアンケート結果.	68

表目次

3.1	本実験において用いられたアンケート内容. 質問内容の意味が分からなかった場合は実験者が補足を行い, 回答してもらった.	18
6.1	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.	50
6.2	本実験にて用いた基礎的特性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 は Noticeability に関する質問, 2,3 は Comprehension に関する質問, 4,5 は Division of attention に関する質問, 6 は Telepresence に関する質問, 7 は Grasping に関する質問である. それぞれ 7 段階のリッカート尺度において回答させた.	53
6.3	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 段階のリッカート尺度において回答させた.	55

第1章 はじめに

本研究では、物理的なアバタの視線および姿勢を用いたアウェアネス支援により、遠隔地間におけるインフォーマルコミュニケーションの生起支援を行うシステムを提案する。本章ではまず、遠隔コミュニケーションにおける課題およびアウェアネス支援システムを述べる。次に、我々の先行研究 [TKST21] におけるアプローチおよび本研究における目的とアプローチを述べる。そして本研究の貢献および本論文の構成を述べる。

1.1 背景

近年、テレワークを支援するための遠隔コミュニケーションシステムが多く普及している。例として、Zoom [ZVC] や Microsoft Teams [Mic] 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、オフィスにおいて同僚とのすれ違い様に交わされる対話や、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。他にも、沼中ら [沼中 16] はインフォーマルコミュニケーションにより創造性が高められると述べており、これらのことから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ことがわかる [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]。

こういった課題に対し、アウェアネス支援システムの研究が行われている。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支援することにより、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、という情報を知ることができる。これにより、遠隔者の応答可否をあらかじめ知ることが可能になり、話しかける行為の心理的負担が軽減され、相手に気軽に話しかけられるようになることが期待される。Kuzuoka ら [KG99] は、人形を用いて、相手が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支援するシステムを提案した。このような既存のアウェアネス支援システム [KG99, Gre96] では、限られた状態（応答可否、在否）しか提示できなかった。これに対し、対面状況では

非言語情報（視線，身体の向き，姿勢等）により，互いの話しかけたい度合い，忙しさ，または作業への集中度等の，より細かな状態が表出される [Meh69,TKSY16] と言われている．そのため，非言語情報を基に忙しさや作業への集中度に応じて話しかける判断が可能である．このことから，限られた情報（応答可否，在否定）のみを提示するウェアネス支援システムでは，話しかける判断を行うには不十分と考えられる．これに対し，遠隔作業者の忙しさや集中度のような，より細かな状態を提示するウェアネス支援システム [DSF⁺12,REH04] は，ビデオを用いる必要があるため，プライバシーの問題が発生する [NGB06]．そこで我々の先行研究 [TKST21] では，限られた状態（応答可否，在否）を提示するシステムよりも細かな状態を，ビデオを用いることなく提示するシステムを提案した．

1.2 我々の先行研究におけるアプローチ

我々の先行研究 [TKST21] では，テレワーク作業中における 1 対 1 の遠隔対話の生起支援を目的としたウェアネス支援システムを提案した．具体的には，視線を相互に伝達する物理的なアバタ（以降，物理アバタ）を用いて細かな状態を提示することにより，遠隔対話の生起を支援するシステムを製作した．このシステムは，対話の開始において視線が重要な役割を果たすという社会学的知見 [Sal16] に基づき，物理アバタを用いて遠隔地間において視線を相互に伝達し，物理アバタを介して相互注視が行われた場合，音声通話を開始する．相手が視線を提示してきた時に，受け手は自分の状況に合わせて視線を返す（通話を開始する）かを判断できる．このようなインタラクションを介して，相手のより細かな状態を把握することが出来る．提案システムを用いて実験を行った結果，相互注視を用いることにより，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唆された [TKST21]．提案システムの詳細については，2.3 節にて後述する．

一方，我々の先行研究 [TKST21] では，非言語情報を用いて情報を提示した場合の基礎的特性が明らかでなかった．ウェアネス支援をする際の基礎的特性として，提示されたウェアネス情報への気づきやすさや内容の理解しやすさ，作業への注意阻害がどのように変化するか，また相手の存在感が実際に向上するかという特性が重要とされている [高島 14,MC00,白井 02]．そこで本研究では，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムの基礎的特性を調査した．

また，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムは，対話の開始場面における視線のやり取りに着目したものであり，提示される情報は話しかけたい場合の視線およびその受理に関する視線のみであった．そのため，話しかける前に互いの作業への集中度が把握できず，相手が応答可能であるタイミングが分からないという課題があった．これに対し対面状況においては，非言語情報により互いの作業への集中度が表出されると言われている [Meh69,TKSY16]．相手の作業への集中度を把握することにより，集中度に応じて話しかける判断が可能になると考えられる．これにより，相手が集中していない時に話しかけることや，集中していても話しかけたいことを相手が理解することができ，話しかける行為の心理的負担の軽減に有効であると考えられる．そこで本研究では，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡

張し、対話開始前における相手の作業への集中度を提示する手法を提案する。

1.3 本研究における目的とアプローチ

本研究の目的は、テレワーク作業中における1対1の遠隔対話を対象に、アウェアネスを支援することにより話しかける行為の心理的負担を軽減することである。この目的に対し、前節に述べたように我々の先行研究 [TKST21] では視線を用いたアウェアネス支援システムを提案した。一方我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムで支援されるアウェアネスは、話しかけたい場合の視線およびその受理に関する視線のみであり、相手が応答可能であるタイミングが分からなかった。これに対し、対面状況においては、相手の作業への集中度が非言語情報により表出される [Meh69,TKSY16] と言われている。相手の集中度に応じて話しかける判断が可能であれば、相手が集中していない時に話しかけることや、集中していても話しかけたいことを相手が理解することができ、話しかける行為の心理的負担の軽減に有効であると考えられる。

そこで本研究では、話しかける行為の心理的負担を軽減するという目的に対し、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張し、話しかける前に相手の作業への集中度を提示する手法を提案する。一方、我々の先行研究 [TKST21] では、非言語情報を用いて情報を提示した場合の基礎的特性が明らかでなかった。そこでまず、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張するにあたり、予備調査としてまず先行研究におけるシステムの基礎的特性の調査を行った。調査においては、非言語情報を用いてアウェアネス情報を提示した場合に、アウェアネス情報を提示する他手法（テキストを提示する手法、ライトの色を提示する手法）と比較して、提示されたアウェアネス情報への気づきやすさや内容の理解しやすさ、作業への注意障害がどのように変化するか、また相手の存在感が向上するかを調査した。さらに、作業への集中度を提示する手法の設計を行うための予備調査として、対面における作業中に対話が開始する前の行動を調査した。調査においては、研究室において実際の作業中の様子を動画撮影し、分析した。そして予備調査の結果をもとに、作業への集中度を提示する手法の設計指針を立てた。設計指針として、物理アバタの姿勢を用いることにより互いの作業への集中度を提示し合うこととし、システムを拡張し、実装を行った（図 1.1）。具体的には、作業者が集中している場合には物理アバタの身体を前傾する方向に傾け、リラックスしている場合には後傾する方向に傾けることにより集中度を提示する手法を提案する。これにより、対話開始前に相手の作業への集中度を把握することを可能にし、相手の集中度に応じて話しかける判断を可能にすることを目指す。その結果、話しかける行為の心理的負担が軽減すると考えた。本研究では、実装したシステムを評価するための実験を行った。

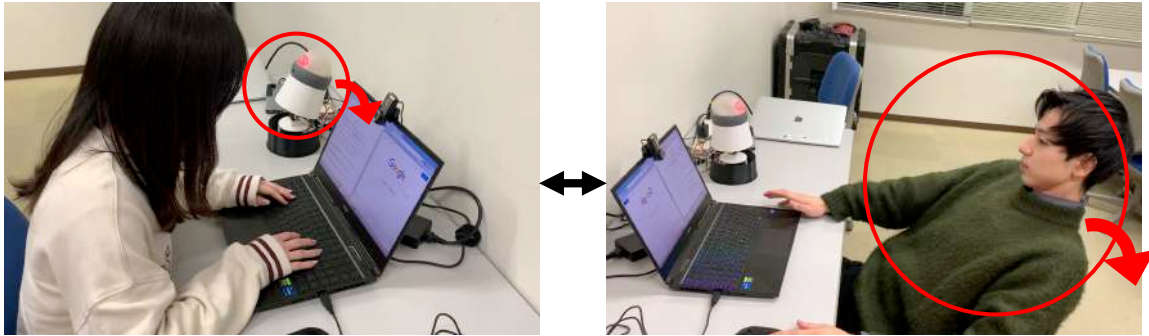


図 1.1: 本研究において実装した物理アバタを使用している様子. 物理アバタを用いて遠隔地の作業者の集中度を提示する. 右の作業者がリラックスし後傾している様子が, 物理アバタの姿勢を後傾することにより左の作業者に提示される.

1.4 貢献

本研究の貢献は以下の通りである.

- 視線を用いたウェアラブル支援システムの基礎的特性を調査する実験により, 情報の理解のしやすさが高く, 作業への注意障害が小さい傾向を示した. また, 遠隔者の存在感を伝達する効果が高い傾向を示した.
- オフィス環境における対話開始場面の調査を行い, 姿勢の変化により集中度が表出される可能性があることを示した.
- 対面状況における姿勢の変化に基づき, 遠隔地間において集中度を提示するシステムを設計および実装した.
- 実験により実装したシステムの効果を検証し, 作業中に相手の集中度を把握する効果が高いことを示した.

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, 我々の先行研究 [TKST21] におけるアプローチ, 本研究における目的とアプローチ, および貢献を示す. 第 2 章においては, 本研究に関連する研究を述べ, 本研究の位置付けを示す. 第 3 章においては, 本研究にて我々の先行研究 [TKST21] を拡張するために行った予備調査を示す. 第 4 章においては, 本研究のシステムの設計指針を立てるために行った予備調査を示す. 第 5 章においては, 手法を実現するために製作したシステムの実装を示す. 第 6 章において, 提案システムを評価するために行った実験を述べる. 第 7 章においては, 提案システムを用いて行った実験結果及び考察を述べる. 第 8 章においては, 実験結果に関して議論を述べ, 今後の課題を述べる. 第 9 章においては, 本研究の結論を述べる.

第2章 関連研究

本章ではまず、応答可否を伝達するアウェアネス支援システムおよび非言語情報を伝達するアウェアネス支援システムを説明する。その後、我々の先行研究 [TKST21] において提案した、物理アバタの視線を用いたアウェアネス支援システムを述べる。そして最後に、本研究において行ったアウェアネス支援のための基礎的特性の関連研究を述べる。

2.1 応答可否を伝達するアウェアネス支援システム

遠隔地間において対話を開始するためには、まず相手の応答可否を知る必要がある。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、遠隔地の相手の応答可否を提示する人形を用いて、遠隔地の相手が応答可能な状態であればユーザの方に人形を振り向けさせ、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支援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。他にも、Microsoft Teams [Mic] や Slack [com], または Discord [Inc] などのコミュニケーションツールにも、アイコンの色により相手の在否（オンライン状態またはオフライン状態、在席または不在席など）を提示する機能が用いられている。

これらのアウェアネス支援システムにより、相手の応答可否をあらかじめ知ることができるようになる。これに対し、対面状況では非言語情報（視線、身体の向き、姿勢等）により、互いの話しかけたい度合い、忙しさ、または作業への集中度等の、より細かな状態が表出される [Meh69, TKS16] と言われている。そのため、非言語情報を基に忙しさや作業への集中度に応じて話しかける判断が可能である。このことから、限られた情報（応答可否、在日）のみを提示するアウェアネス支援システムでは、話しかける判断を行うには不十分と考えられる。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、より細かな互いの状態を伝え合う必要がある。そこで本研究では、非言語情報を用いてアウェアネスを支援することにより、細かな互いの状態を伝え合うことを可能にする。

2.2 非言語情報を伝達するアウェアネス支援システム

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]。2.1 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

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および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々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を用いて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支援できるシステムは、ビデオを用いてアウェアネスを支援する必要がある。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が発生する [NGB06, NGB03]。これに対し我々の先行研究 [TKST21] 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を支援するシステムを提案した。

2.3 物理アバタの視線を用いたアウェアネス支援システム

本節では、我々の先行研究 [TKST21] における提案システムを示す。提案システムでは、対面状況において非言語情報により提示される細かな状態を、ビデオを用いずに提示する。そのため我々の先行研究 [TKST21] では、物理アバタを介して視線を相互に伝達するシステムを実装した。提案システムは、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 [Sal16] に基づき、対話の開始に至る視線のやり取りを物理アバタを用いて再現する。人間同士の対話の開始において、視線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と言われている [Sal16, Ken90, HC86]。そこで提案システムでは、遠隔作業者の各環境に物理アバタを配置し、物理アバタを介して視線を相互に伝達する (図 2.1)。物理アバタの外観を図 2.2 に示す。物理アバタは、視線の検出及び表現が可能であり、遠隔地間における視線の伝達および音声通話が可能である。例として、作業者が物理アバタに視線を送った場合 (図 2.3)、遠隔作業側側の物理アバタが遠隔作業者に視線を送る (図 2.4)。そして、遠隔作業者が物理アバタに視線を返した場合 (図 2.5)、話し手側の物理アバタが話し手に視線を返す (図 2.6)。これらの流れを通して各遠隔作業者が物理アバタに視線を送り合い、物理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 (図 2.7)。また我々の先行研究 [TKST21] では、提案システムが、遠隔対話の生起支援に有用かを検証する実験を行った。実験では、話しかける行為の負担を軽減できるかを調査した。実験の結果、提案システムは話しかける行為の心理的負担の低減に効果的であることが示唆された。

一方、我々の先行研究 [TKST21] においては、非言語情報を提示する際の基礎的特性が明らかではないという課題があった。アウェアネス支援をする際の基礎的特性として、提示されたアウェアネス情報への気づきやすさや内容の理解しやすさ、作業への注意阻害がどのように変化するか、また相手の存在感が実際に向上するかという特性が重要とされており [高島14,MC00,白井02]、これらの基礎的特性の調査が必要である。さらに、提案システムは、対話の開始場面における視線のやり取りに着目したものであり、伝達される情報は話しかけたい場合の視線およびその受理に関する視線のみに限られるという課題があった。そのため、話しかける前の相手の作業への集中度は伝達されず、相手が応答可能であるタイミングが分からなかった。これに対し対面状況においては、相手の作業への集中度が非言語情報（身体の向き、姿勢、作業中のキーボードの操作状況等）により表出される [Meh69,TKSY16] と言われている。そのため相手の作業への集中度を把握した上で、その集中度に応じて話しかける判断が可能になる。これにより、相手が集中していない時に話しかけることや、集中していても話しかけたいことを相手が理解することができ、話しかける行為の心理的負担がさらに軽減されると考えられる。そこで本研究では、提案システムを拡張し、対話の開始場面の相手の作業への集中度を提示する手法を提案する。

以上の課題を踏まえ、本研究では我々の先行研究 [TKST21] における提案システムの基礎的特性を調査し（3章にて後述する予備調査1）、対話開始場面において集中度が表出される動きを調査する（4章にて後述する予備調査2）。そして調査結果をもとに、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張し、相手の集中度を提示する手法を提案する。

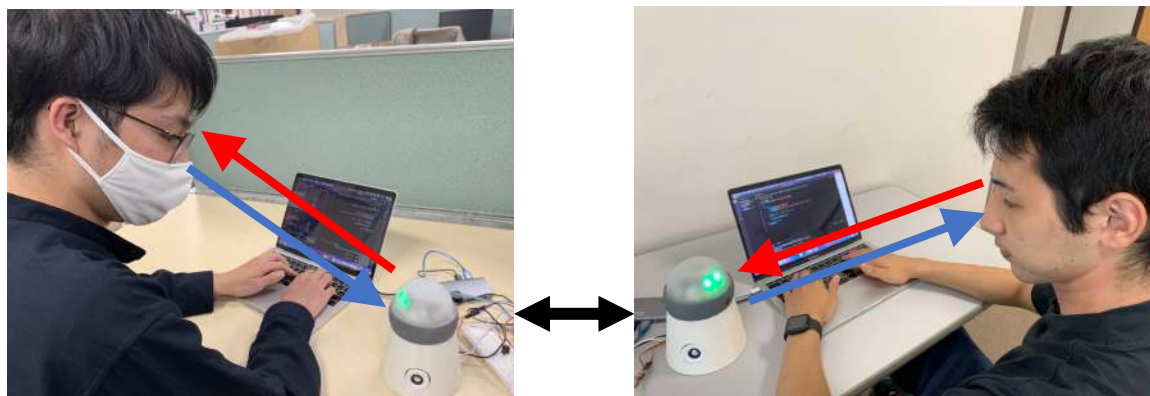


図 2.1: 我々の先行研究 [TKST21] における提案システムを使用している様子。遠隔地間において物理アバタを用いて視線のやり取りを行い、相互注視が行われた場合音声通話を接続する。



図 2.2: 我々の先行研究 [TKST21] において製作した物理アバター.

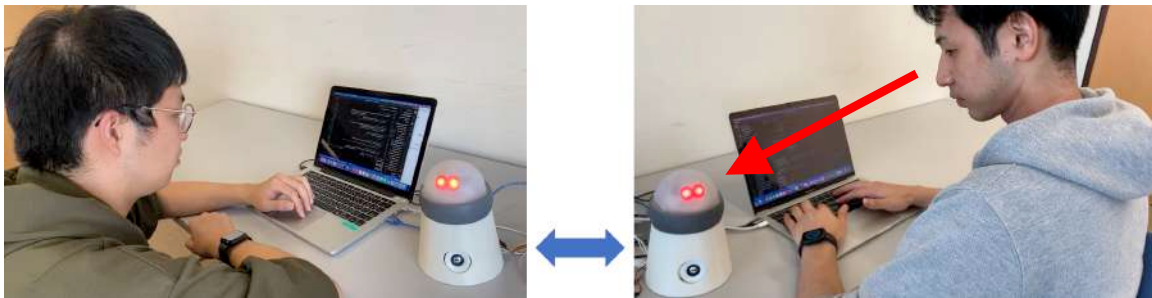


図 2.3: 右の作業者が話し手, 左の作業者が受け手である. 話し手は話しかけたい場合, 物理アバターの方に視線を送る. ここで, 話し手は応答を求める度合いに応じて視線を送る長さを変える.

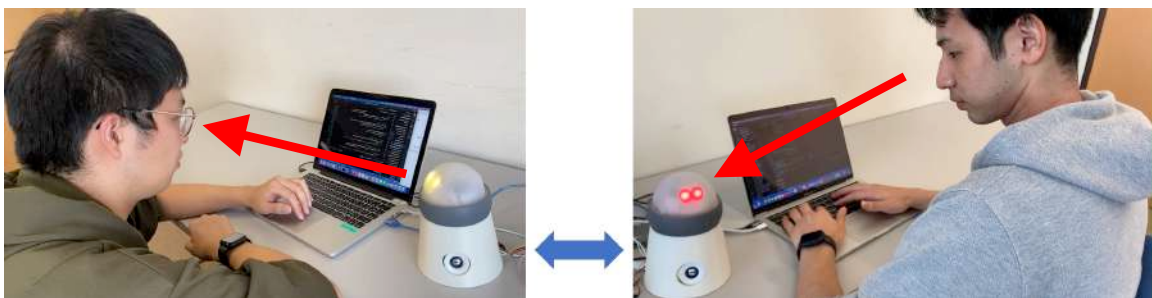


図 2.4: 話し手の視線の送り方に応じて, 受け手側の物理アバターが受け手に視線を送る.

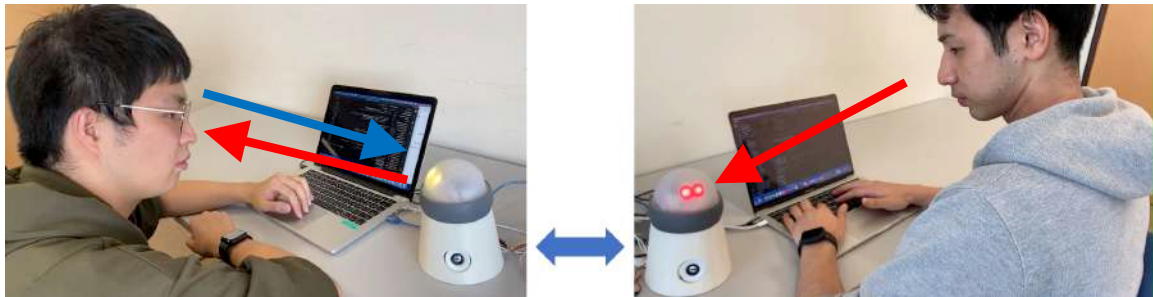


図 2.5: 話し手が送った視線に対して，受け手が応答可能であれば視線を返す．応答不可能であれば視線を返さない．



図 2.6: 受け手が視線を返した場合，話し手側の物理アバタが話し手に視線を送る．



図 2.7: 物理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．音声通話接続時は物理アバタの目が緑色に変化する．

第3章 予備調査1：視線を用いたアウェアネス支援システムの基礎的特性の調査

本研究では、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張するにあたり、予備調査を行った。我々の先行研究 [TKST21] においては、非言語情報を提示する際の基礎的特性（提示される情報の気づきやすさ、理解のしやすさ等）が明らかでないという課題があった。そこで予備調査としてまず、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムの基礎的特性を調査した。本章ではまず、アウェアネス支援のための基礎的特性の関連研究を述べ、本研究におけるアウェアネス支援システムの基礎的特性を述べる。そして、基礎的特性を調査するために行った実験を述べる。その後、実験により得られた結果および考察を述べる。

3.1 アウェアネス支援のための基礎的特性の関連研究

我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムは、作業者の周辺視野に物理アバタを配置し、アウェアネス支援を行う。これまで、周辺視野へ情報を提示するための基礎的特性の設計に関する研究が行われてきた。

Maglio ら [MC00] は、周辺視野への情報提示による作業の注意障害および記憶性の関係を調査し、周辺視野にて提示する情報には気づきやすい設計が必要である一方、作業への影響を最小化する必要があることを述べた。白井ら [白井 02] は実環境の掲示板を用いてアウェアネス情報を共有するシステムを提案し、提示されるアウェアネス情報の内容が理解しやすいこと及び人々の活動を阻害しないことの必要性を述べた。他にも、作業時における周辺視野への情報提示による作業への注意障害の影響を調査した研究が行われている [MCCS03,SSWV01]。以上のように、アウェアネス支援においては、アウェアネス情報に気づきやすく、理解がしやすい一方で、作業の注意障害をしないことが重要と言われている。

また、高島ら [高島 14] は、オフィスでのインタラクションにおけるアウェアネスの役割をまとめ、存在感を提示することにより、連帯感、共働感、および繋がっている感覚を生み心理的エネルギーを向上させると述べた。清水ら [清水 04] らはコミュニケーションを支援する空間についてまとめ、コミュニケーションの発生には人間が実際に「いる」ことを自覚することが重要と述べている。以上のことから、コミュニケーションの発生につながるアウェアネス支援には、遠隔者の存在感が重要であると考えられる。

本研究ではまず予備調査として、本節にて述べたアウェアネス支援システムの基礎的特性の要件を参考に、提案システムのアウェアネス情報への気づきやすさ、理解のしやすさ、注

意阻害の度合い，および遠隔者の存在感伝達の度合いを調査する．

3.2 アウェアネス支援システムの基礎的特性

3.1 節にて述べたように，アウェアネス支援には，提示される情報の気づきやすさおよび理解のしやすさ等の基礎的特性が重要と言われている．一方，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムにより，非言語情報を用いてアウェアネス情報を提示した場合の，基礎的特性の調査は行われていなかった．そのため本研究においてまず，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムによるアウェアネス情報の提示手法の基礎的特性を調査する．3.1 節における関連研究を参考に，本研究においては以下の項目を基礎的特性とする．

- **R1.** アウェアネス情報への気づきやすさ
- **R2.** アウェアネス情報の理解のしやすさ
- **R3.** アウェアネス情報による注意阻害
- **R4.** 遠隔者の存在感を伝達する度合い

R1. アウェアネス情報への気づきやすさ，R2. アウェアネス情報の理解のしやすさが高く，R3. アウェアネス情報による注意阻害の度合いが低い場合，アウェアネス情報提示手法における基礎的特性は高いと考えられる．また，R4. 遠隔者の存在感を伝達する度合いが高い場合も，アウェアネス情報の提示手法における基礎的特性は高いと考えられる．

3.3 実験設計

本節において，我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムの基礎的特性を調査するために行った実験設計を述べる．実験設計として，実験タスク，実験条件，実験参加者および評価項目を述べる．

3.3.1 実験タスク

実験を行っている様子を図 3.1 に示す．実験タスクとして，周辺視野に遠隔作業者のアウェアネス情報が提示される状況下で PC を用いた作業を行うタスクを設定した．提示されるアウェアネス情報は非アクティブ，アクティブ，メッセージ受信の 3 種類の状態を設定した．各実験条件において提示されるアウェアネス情報を図 3.2, 3.3, 3.4 に示す．なお，実験条件の詳細については 3.3.2 節にて後述する．非アクティブ状態は，遠隔作業者が不在であることを示し，取り込み中や離席中で相手が応答できない状態を想定している．アクティブ状態は，遠隔作業者が在席中であることを示し，応答可能性のある状態を想定している．メッセージ受信状態は，遠隔作業者が応答を求めている状態を想定している．これらのアウェアネス情報

の変化の遷移を図 3.5 に示す。非アクティブ状態の場合、アクティブ状態に変化することがあり、アクティブ状態の場合は非アクティブ状態もしくはメッセージ受信状態に遷移する。本実験では、アクティブ状態からメッセージ受信状態への変化に気づいた場合に、なるべく早く参加者左手側に配置されたボタンを押してもらうよう指示した。ボタンが押された場合、状態はアクティブ状態に戻る。なお本実験では、実際に遠隔作業者と接続してアウェアネス情報を提示するのではなく、ランダムに状態を遷移させた。アウェアネス情報を提示する物理アバタは、深澤ら [深澤 17] による、周辺視野への視覚的な情報提示の実験設計を参考に、参加者の左斜め前 45 度に配置した (図 3.1)。

PC における作業 (主タスク) は、[HTvT+14] を参考に、ランダムに表示される図形の中から、指定した図形をクリックして削除するタスクを行なった (図 3.6)。主タスクでは、画面右上にて指定された図形を、クリックして削除していく。削除する図形はランダムに指定され、画面右下にて表示される、指定された図形に対応する数字を入力しないと削除できない。主タスクの設計においては、一定の集中力が必要であること、作業内容によるアウェアネス情報への気付きやすさの影響を減らすことを考慮し、このような設計とした [HTvT+14]。なお聴覚刺激による影響を取り除くため、参加者はヘッドフォンによりホワイトノイズを再生し、ノイズキャンセリングを行った。



図 3.1: 実験を行っている様子。参加者が作業用 PC にてタスクを行っている間に、左斜め前 45 度方向にアウェアネス情報を提示する。メッセージ受信状態に変化したことに気づいた場合、参加者は左手側に配置されたボタンを押す。

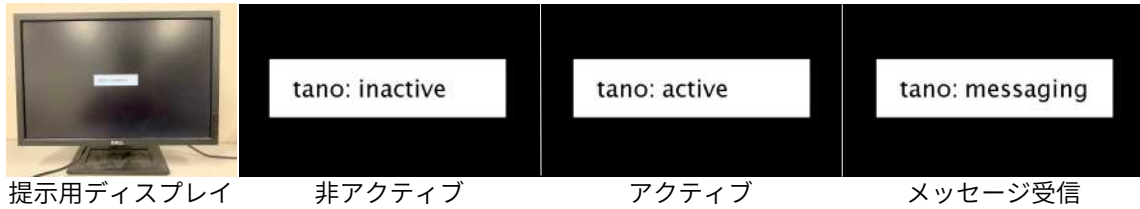


図 3.2: テキスト条件において提示されるアウェアネス情報. 左から順に, ディスプレイに提示されている様子, 非アクティブ状態を示すテキスト, アクティブ状態を示すテキスト, メッセージ受信状態を示すテキストである.



図 3.3: ライト条件において提示されるアウェアネス情報. 左から順に, 非アクティブ状態, アクティブ状態, メッセージ受信状態を示す. 非アクティブ状態は消灯, アクティブ状態は点灯し, メッセージ受信状態においてはライトが点滅する.

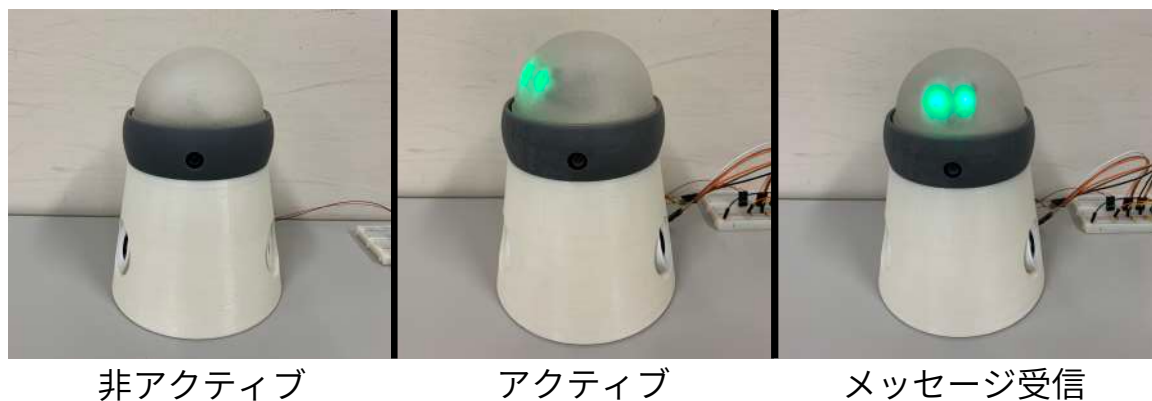


図 3.4: 視線条件において提示されるアウェアネス情報. 左から順に, 非アクティブ状態, アクティブ状態, メッセージ受信状態を示す. 非アクティブ状態は消灯し, アクティブ状態は参加者以外の方向に視線を送る. メッセージ受信状態においては参加者に視線を送る.

アウェアネス情報の変化

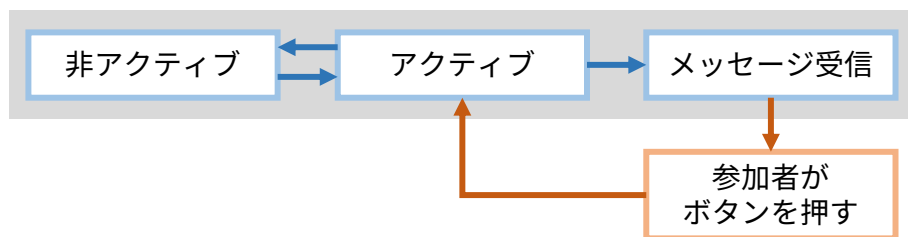


図 3.5: 実験中のアウェアネス情報の変化. 非アクティブ, アクティブ, メッセージ受信の状態がランダムに変化し, 参加者はメッセージ受信状態に変化したことに気づいた場合ボタンを押す. ボタンが押された場合, アクティブ状態に戻る.

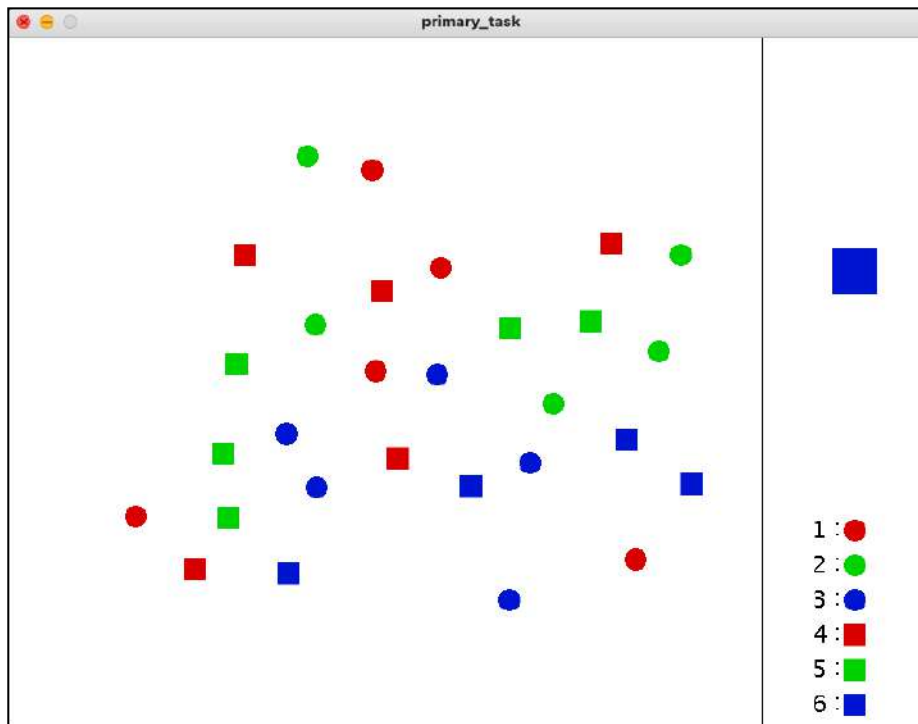


図 3.6: 作業用 PC にて行う主タスク. 右上にランダムに表示される図形と一致する図形をクリックして削除していく. 削除する前に, 画面右下に表示されている, 指定された図形に対応する数字をキーボードにより選択することにより, 指定された図形の削除が可能になる.

3.3.2 実験条件

本実験における、アウェアネス情報の提示方法は以下の3条件である。

- **C1. テキスト条件** ディスプレイ内のテキストによりアウェアネス情報を表示する（図 3.2）。本条件は、ディスプレイ内において仮想的にアウェアネス情報を提示する手法と提案手法を比較するために設定した。作業用 PC とは異なるディスプレイを配置し、画面中央にテキストを表示する。テキストの大きさは、横 10cm × 縦 3cm であり、他条件において提示されるライトおよび視線の大きさと同等の大きさになるよう設計した。非アクティブ状態の場合は「inactive」、アクティブ状態の場合は「active」、メッセージ受信状態の場合は「messaging」と表示される。
- **C2. ライト条件** 物理的なライトの点灯によりアウェアネス情報を提示する（図 3.3）。本条件は、非言語情報を用いない手法と提案手法を比較するために設定した。提案手法にて製作した物理アバタを用いてライトを提示する。提案手法における物理アバタでは、視線を提示するために視線提示用ライトの回転動作を行うが、本条件は視線を提示しないため、ライトの回転動作は行われない。非アクティブ状態の場合はライトを消灯し、アクティブ状態の場合はライトを緑色に点灯させる。メッセージ受信状態になった場合、ライトを点滅させる。
- **C3. 視線条件** 物理アバタの視線によりアウェアネス情報を提示する（図 3.4）。非アクティブの状態の場合は視線を提示せず（消灯）、アクティブの状態の場合は、参加者とは異なる方向に向けて視線を提示する。メッセージ受信状態になった場合、視線を参加者の方に向ける。

なお、視線によりアウェアネス情報を提示するためには、C3 のように物理的なアバタを用いずに、ディスプレイ内に仮想的なアバタを表示する手法も考えられる。ただし、Tanaka ら [TNI14] により、仮想的なアバタと比較し、物理的なアバタの方が存在感が向上することが示されている。そのため、本実験における基礎的特性の1つとして、存在感を向上させるためには物理的なアバタが適していると考え、仮想的アバタを実験条件に含めなかった。

3.3.3 実験参加者

実験参加者は大学生または大学院生 12 名（男性 11 名、女性 1 名、平均年齢 23.0 歳）であった。実験は参加者内配置によって行い、実験参加者は全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った。また、実験条件の順序による効果を打ち消すために、ラテン方格法を用いてカウンターバランスをとった。

3.3.4 評価項目

本研究では、3.2節にて示した通り、アウェアネス情報の提示手法の基礎的特性を調査するために、以下の項目を評価する。

- **R1.** アウェアネス情報への気付きやすさ
- **R2.** アウェアネス情報の理解のしやすさ
- **R3.** アウェアネス情報による作業阻害
- **R4.** 遠隔作業者の存在感を伝達する度合い

R1を評価するためには、Sadatら[SLK05]によるアンケートおよび参加者のアウェアネスの情報変化への反応速度を用いる。R2を評価するためには、Sadatら[SLK05]によるアンケートのみを用いる。R3を評価するためには、Sadatら[SLK05]によるアンケートおよび主タスクにおける図形の削除数を用いる。R4を評価するためには、Tanakaらのアンケート[TNI14]を用いる。なお、各実験条件におけるタスク後には、各評価項目のアンケートに加え、自由記述アンケートを行った。

Sadatら[SLK05]のアンケートは、周辺視野への情報提示手法を評価するアンケートであり、本予備調査においては必要項目を抜粋した。このアンケートは、周辺視野への情報提示の要件を評価する5つの尺度から構成される。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た3つの尺度（Noticeability, Comprehension, Division of attention）を用いる。除外した項目は、RelevanceおよびEngagementである。Relevanceは提示された情報が求めている情報か否かを評価する項目であり、Engagementはシステムのデザインの魅力や使用する際の楽しさを評価する項目である。これらの項目は3.2節にて述べた本研究における基礎的特性とは無関係であると判断した。Noticeabilityは、周辺視野における情報提示の気付きやすさ（R1）を評価する。本尺度の評価が高い場合、アウェアネス情報への気付きやすさが高いと考えられる。Comprehensionは、周辺視野に提示される情報の理解のしやすさ（R2）を評価する。本尺度の評価が高い場合、アウェアネス情報の理解が容易であると考えられる。Division of attentionは、周辺視野における情報の変化に、作業者がどれだけ注意を払わずに済むか（R3）を評価する。本尺度の評価が高い場合、アウェアネス情報による作業阻害が小さいと考えられる。R4に当たっては、Tanakaら[TNI14]の、コミュニケーションの場面における、仮想的なアバタおよび物理的なアバタを用いた場合の存在感を評価するためのアンケートを用いた。Tanakaらのアンケート（以後、Telepresence）は、遠隔者が近くにいるように感じたかを評価する。Telepresenceの評価が高い場合、アウェアネス情報の提示にあたり、遠隔者の存在感を感じられると考えられる。各アンケート項目の内容を表3.1に示す。各アンケートの回答には、5段階のリッカート尺度を用いた。また、各条件終了後、参加者に自由記述のアンケートを行った。

さらに、R1について、アウェアネス情報への気付きやすさを定量的に評価するため、アウェアネス情報がメッセージ受信状態に変化してから参加者がボタンを押すまでの反応速度を評

表 3.1: 本実験において用いられたアンケート内容. 質問内容の意味が分からなかった場合は実験者が補足を行い, 回答してもらった.

<p>Noticability</p> <p>Q1. ディスプレイに気付きましたか.</p> <p>Q6. 主タスクを行なっている間, ディスプレイにアクセスする機会があることを意識しましたか.</p>
<p>Comprehension</p> <p>Q2. ディスプレイ内の情報を理解できましたか.</p> <p>Q4. 情報をチラッと見るだけでその情報を理解することができましたか.</p>
<p>Divison of attention</p> <p>Q3. ディスプレイはあなたの注意の集中の外にありましたか.</p> <p>Q5. 適切に主タスクに集中することができましたか.</p> <p>Q7. 主タスクとディスプレイの注意の切り替えをスムーズに行うことができましたか.</p>
<p>Telepresence</p> <p>Q8. まるで連絡相手が同じ部屋にいるように感じましたか.</p>

価した. 反応速度が速い場合, アウェアネス情報の変化に速く気づくことができると考えられるため, アウェアネス情報への気づきやすさが高いと考えられる.

また, R3 について, アウェアネス情報による注意障害が小さい場合, 主タスクの成績が良くなると考えられる. そのため, 主タスクにおいて図形を消した数の評価を行なった. 主タスクの成績が高い場合, 作業に集中できたと考えられ, アウェアネス情報への注意障害の度合いが低いと考えられる.

3.4 実験結果

本節では, 実験の各評価項目の結果を示す. なお本研究の各検定において, p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした.

3.4.1 Noticeability

Noticeability は, 表 3.1 のアンケートより Q1, Q6 の項目の平均値を評価値として用いた. 本評価値が高い場合, R1. 情報への気づきやすさが高いと考えられる. Noticeability の結果を図 3.7 に示す. この結果に対して, Shapiro-Wilk 検定を行った結果, 非正規性が示された. そのため, Friedman 検定を行った結果, 有意差が見られた ($p = 0.012 < 0.05$). Bonferroni 補正した Wilcoxon の符号順位和検定を行ったところ, 有意差が見られなかった.

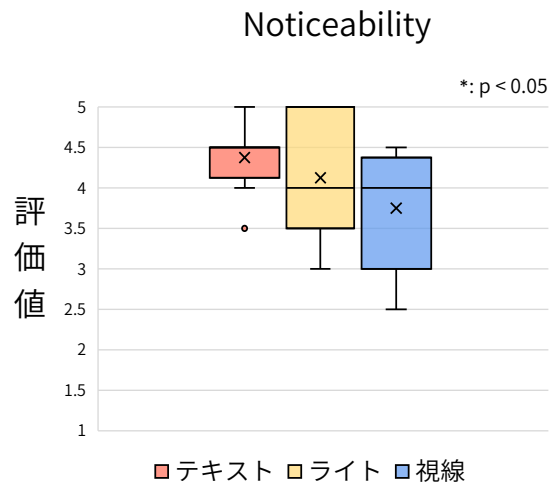


図 3.7: Noticeability のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

3.4.2 Comprehension

Comprehension は、表 3.1 のアンケートより Q2, Q4 の項目の平均値を評価値として用いた. 本評価値が高い場合, R2. 情報の理解のしやすさが高いと考えられる. Comprehension の結果を図 3.8 に示す. この結果に対して, Shapiro-Wilk 検定を行った結果, 非正規性が示された. そのため, Friedman 検定を行った結果, 有意差が見られた ($p < 0.001$). Bonferroni 補正した Wilcoxon の符号順位和検定を行ったところ, テキスト条件 - ライト条件間 ($p = 0.037 < 0.05, d = 0.74$) およびテキスト条件 - 視線条件間 ($p = 0.011 < 0.05, d = 0.75$) に有意差が見られた.

3.4.3 Division of attention

Division of attention は、表 3.1 のアンケートより Q3, Q5, Q7 の項目の平均値を評価値として用いた. 本評価値が高い場合, R3. アウェアネス情報による注意阻害が小さく, 良い結果と考えられる. Division of attention の結果を図 3.9 に示す. この結果に対して, Shapiro-Wilk 検定を行った結果, 非正規性が示された. そのため, Friedman 検定を行った結果, 有意差が見られた ($p < 0.001$). Bonferroni 補正した Wilcoxon の符号順位和検定を行ったところ, テキスト条件 - ライト条件間 ($p = 0.016 < 0.05, d = 0.78$) およびテキスト条件 - 視線条件間 ($p = 0.012 < 0.05, d = 0.83$) に有意差が見られた.

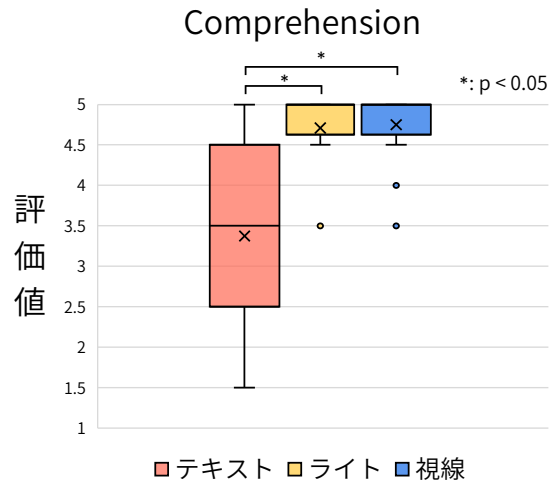


図 3.8: Comprehension のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

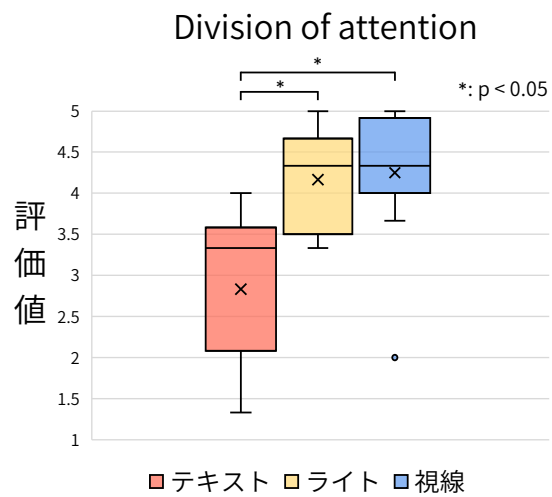


図 3.9: Division of attention のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

3.4.4 Telepresence

Telepresence は、表 3.1 のアンケートより Q8 の項目を評価値として用いた。本評価値が高い場合、R4. 遠隔者の存在感を伝達する度合いが高いと考えられる。Telepresence の結果を図 3.10 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Friedman 検定を行った結果、有意差が見られた ($p < 0.001$)。Bonferroni 補正した Wilcoxon の符号順位和検定を行ったところ、テキスト条件 - 視線条件間 ($p = 0.016 < 0.05, d = 0.77$) に有意差が見られた。

3.4.5 アウェアネス情報の変化に対する反応速度

本項目では、各参加者の反応速度の平均値を評価値として用いた。アウェアネス情報の変化に対する反応速度が高い場合、R1. 情報への気付きやすさが高いと考えられる。本評価項目の結果を図 3.11 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Friedman 検定を行った結果、有意差が見られた ($p = 0.013 < 0.05$)。Bonferroni 補正した Wilcoxon の符号順位和検定を行ったところ、ライト条件 - 視線条件間 ($p = 0.013 < 0.05, d = 0.85$) に有意差が見られた。

3.4.6 主タスクの成績

主タスクの成績として、主タスクにおいて削除した図形の個数を評価に用いた。主タスクの成績が高い場合、作業に集中できたと考えられ、R3. 作業への注意障害が小さいと考えられる。本項目の結果を図 3.12 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Friedman 検定を行った結果、有意差が見られなかった ($p = 0.067$)。

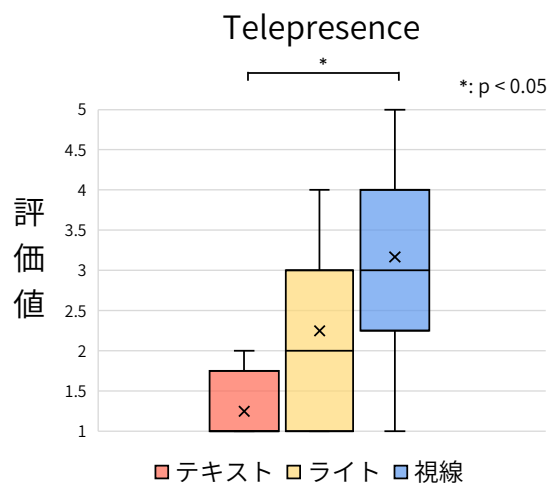


図 3.10: Telepresence のアンケート結果。

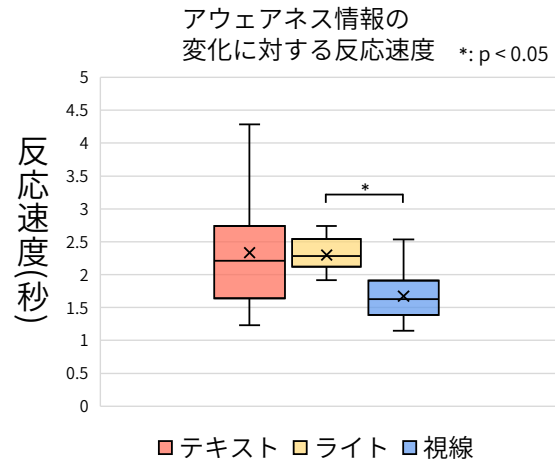


図 3.11: アウェアネス情報の変化に対する反応速度の結果.

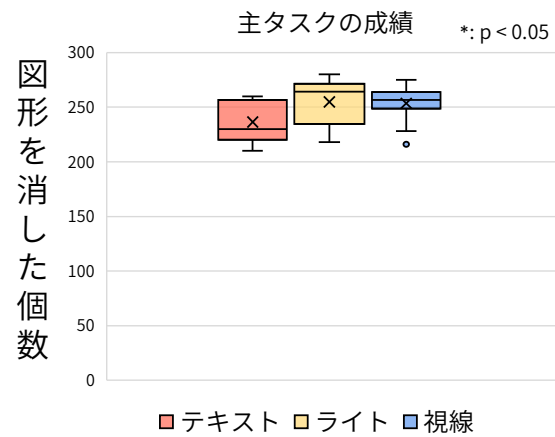


図 3.12: 主タスクの成績の結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

3.5 考察

本節では、各評価項目の実験結果に対する考察を行う。そして最後に結果および考察をまとめる。

3.5.1 R1. アウェアネス情報への気付きやすさ

Noticeabilityの結果において、視線を用いてアウェアネス情報を提示する場合において、アウェアネス情報への気付きやすさは有意に向上しなかった。実験参加者の中に、アンケート3.1の項目Q6「主タスクを行なっている間、ディスプレイにアクセスする機会があることを意識しましたか」について、「ディスプレイに注意を残しておく必要がある」という捉え方をしたと述べた参加者がいた。この結果には、「ディスプレイにどれだけ注意を払っているか」が反映されている可能性があることが考えられる。テキスト条件の自由記述アンケートにおいて、「ずっとディスプレイを気にしている必要があった」、「チラチラとアクティブかどうかを確認しながら作業をした」等の意見があったことから、ディスプレイに注意を残しておく必要があると感じた参加者がいたことがわかる。すなわち、本結果においては、ディスプレイに常に注意を払い、反応に敏感になったことによる気付きやすさが反映されている場合、本来の情報への気付きやすさの評価として適当でない可能性がある。

また、アウェアネス情報の変化に気づくまでの反応速度の結果において、ライト条件と比較し、視線条件においてアウェアネス情報の変化に気づく速度が有意に向上した。一方、視線条件のアンケートにおいて、「首が回る音で気づいた部分はある」と述べられた。このことから、視覚情報のみでなく視線を提示するためのモータの音によりアウェアネス情報の変化に気づき、反応速度が向上した可能性がある。反応速度の評価としては、音による影響が見られ、本来の目的である視覚刺激による気付きやすさの調査として適当でないと考えられる。

以上の結果から、物理的な視線の提示による気付きやすさの評価は、音の影響を排除した再調査が必要である。

3.5.2 R2. アウェアネス情報の理解のしやすさ

Comprehensionの結果において、テキスト条件と比較し、ライト条件及び視線条件は、情報の理解のしやすさが有意に向上した。この結果は、周辺視野のみで変化内容が捉えられる情報であったことが原因ではないかと考えられる。テキスト条件においては、参加者は提示される情報がどのように変化したかを確認するため、ディスプレイの方に中心視野を移す必要があった可能性がある。実際にテキスト条件の自由記述アンケートにおいて、「メッセージ内容が変化したことはすぐ気付けたが、内容は中心視野で見ないと分からなかった」、「全てのテキストの変化に反応し、ディスプレイを確認してしまった」と述べられた。これに対し、ライト条件および視線条件は、周辺視野のみで変化内容が理解できたため、アウェアネス情報が理解しやすかったと考えられる。実際に、ライト条件の自由記述アンケートにおいて、「主タスクを行いながら、視野の端にディスプレイを収めることができた」と述べられた。そのた

め、ディスプレイ内における仮想的な情報を提示する場合においても、テキストではなく色の変化であれば情報の理解が容易になる可能性も考えられる。

また、視線条件における評価値の参加者全員の平均値が5段階中4.83だったことから、提案システムにおいてR2. アウェアネス情報の理解のしやすさは高いと考えられる。

3.5.3 R3. 作業への注意阻害

Division of attention の結果において、テキスト条件と比較し、ライト条件及び視線条件は、作業への注意阻害が有意に小さかった。この結果は、R2. アウェアネス情報の理解のしやすさの評価に起因する可能性がある。ウェアネス情報の変化を周辺視野において十分に理解することができるため、主タスクに集中しつつ変化に気づくことができるためだと考えられる。テキスト条件の自由記述アンケートにおいて、「ずっとディスプレイを気にしている必要があった」、「チラチラとアクティブかどうかを確認しながら作業をした」等の意見があった。すなわち、ウェアネス情報の変化を周辺視野で理解しきれない場合、ディスプレイに注意を割く必要があると考えられる。一方、ライト条件においては、「見逃しているかもしれないという不安がなかった」、視線条件において「アクティブと非アクティブがわかりやすいので気持ちの準備ができた」と述べられた。これらの意見からも、周辺視野においてウェアネス情報の変化の内容に気づきやすい場合、過剰な注意を払う必要がなかったことと考えられる。

また、作業への注意を妨害する度合いに関して、主タスクの成績に差は見られなかった。本実験においては、タスクの内容及びタスク時間が、差が出るものではなかったのではないかと考えられる。タスクの内容は図形を消し続ける単純なものだった。また時間も5分と短く、実験内において集中度の影響によるタスク成績に差が出なかった可能性がある。今後は、実環境における作業へどのような影響を与えるかどうかを検証する必要がある。

以上の結果から、提案システムにおいてR3. 作業への注意阻害は小さいことが示唆された。

3.5.4 R4. 遠隔作業者の存在感を伝達する度合い

Telepresence の結果において、テキスト条件と比較し、視線条件は、遠隔者の存在感を伝達する効果が有意に向上した。視線条件の自由記述アンケートにおいても、「ディスプレイ（物理アバタ）に強い存在感を感じた」と述べられた。ウェアネス情報を提示する際に、遠隔者の存在感が伝達されることは、提案システムの目的である遠隔対話の生起支援に有用と考えられる。

以上の結果から、提案システムにおいてR4. 遠隔者の存在感伝達の度合いは高いことが示唆された。

3.5.5 結果及び考察のまとめ

本実験において、R1-R4の4点の基礎的特性の調査を行なった。R1. アウェアネス情報への気づきやすさは、高くなったとは考えにくい。R2. アウェアネス情報の理解のしやすさは十分

だと考えられる。R3について、提案システムは作業への注意障害が小さいことが示唆された。R4について、提案システムは遠隔者の存在感を伝達する度合いが高いことが示唆された。以上より、視線をアウェアネス情報として提示した場合において、アウェアネス情報は十分に理解しやすく、作業への注意障害が小さいことが示唆された。また、存在感を伝達する度合いが高いことが示唆された。すなわち、提案システムの、アウェアネス情報提示ための基礎的特性は十分である可能性が示唆された。これらの結果を踏まえ、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムは、アウェアネスを支援するためには十分に理解しやすく、作業への注意障害も小さいと考えられる。また、存在感を伝達する効果も高いと考えられる。本研究においてはこれらの基礎的特性を有すると考えられる、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張する。我々の先行研究 [TKST21] では、話しかける前の相手の作業への集中度は伝達されず、相手が応答可能であるタイミングが分からないという課題があった。そこで、本研究においては、相手の集中度を提示するシステムを提案する。そのためまず、物理アバタを用いた作業への集中度の提示手法を設計するにあたり、対面状況での作業中において、対話が始まる前の行動を調査した。次章にて、本研究において行った対話開始場面の調査を述べる。

第4章 予備調査2：対話開始場面の調査

本研究では、我々の先行研究 [TKST21] における提案システムを拡張し、物理アバタを用いて対話開始場面において相手の作業への集中度を提示する手法を提案する。そこで本研究では、物理アバタを用いた集中度の提示手法の設計指針を得るために、対面状況での作業中における対話が始まる前の行動を調査した。本章ではまず、作業への集中度を提示するウェアネス支援システムの関連研究を述べる。そして、システムを拡張するために行なった予備調査における調査方法、分析方法、および分析結果を述べる。そして、我々の先行研究 [TKST21] のシステムを拡張した本研究の設計指針を述べる。

4.1 関連研究：相手の作業への集中度を提示するウェアネス支援システム

本節では、相手の作業への集中度を提示するウェアネス支援システムを示す。清水ら [清水 04] は、同空間にいる作業者の集中度を、人や動物のキャラクターが動く速度により共有するシステムを提案した。しかし、共有される集中度は予め決められた動きの速度（人が手を上下させる速度、鳥が羽を羽ばたかせる速度）のみであり、対面状況において表出される細かな集中度の提示ができなかった。Honda ら [HTK⁺99] は、作業者の集中度に応じてウェアネス情報を共有する仮想オフィス環境を提案した。Honda ら [HTK⁺99] のシステムでは、水平方向に 200 度の仮想オフィス映像に遠隔作業者のアバタを映し出し、集中度に応じてモザイクをかけることにより、集中度を提示した。また、仮想オフィスのメンバが向き合った場合には映像を伝達しコミュニケーションを行う。沼田ら [沼田 14] は、分散勤務環境において、各作業者が互いのステータスを共有するためのウェブベースツールを開発した。沼田ら [沼田 14] のシステムでは、遠隔作業者の映像および任意のメッセージを伝達することが可能であり、作業への集中度を含む互いの作業状況を共有できる。これらのシステムは、分散勤務環境にいる作業者が互いの作業への集中度を把握することを可能にする一方、ビデオを用いる必要があり、プライバシーの問題が生じる。

これに対し本研究では、物理アバタを用いることにより、ビデオを用いることなく対面状況において表出される作業への集中度を提示する。そこで、作業中の実際の行動から、物理アバタを用いた作業への集中度の提示手法に適したユーザの行動を選定することを目的に、対面状況での作業中における対話が始まる前の行動を調査した。調査にあたり、研究室内の作業中の様子を動画撮影し、分析した。そして分析結果をもとに、我々の先行研究 [TKST21] のシステムを拡張する設計指針を立てた。

4.2 調査方法

対面状況における対話開始場面の行動を調査するため、研究室において作業中の様子を動画撮影した。本調査では、撮影した動画から、特徴的な対話開始場面を選定し、対話開始前にどのような行動をするか、また作業への集中度がどのように表出されているかを調査する。そして選定した対話開始場面の行動をもとに、物理アバタを用いた作業への集中度を提示する手法の設計指針を策定する。提案システムは、テレワーク中および分散勤務環境における使用を想定しているため、オフィス環境として研究室を撮影対象とした。撮影対象とした研究室のデスクおよびカメラ配置を図4.1に示す。研究室のデスク配置は、2台の向かい合ったデスクが4対横並びになっており、計8台のデスクが配置されている。撮影には3台のビデオカメラを用い、複数の角度から撮影を行った。またビデオカメラには指向性のあるマイクを装着し、撮影対象者の対話の有無を録音できるようにした。実際に撮影した研究室の様子を図4.2, 4.3, 4.4に示す。撮影対象となった人数は5人であり、全員が大学生もしくは大学院生であり、男性4名、女性1名であった。撮影時間は8時間で、午前10時から午後6時までだった。

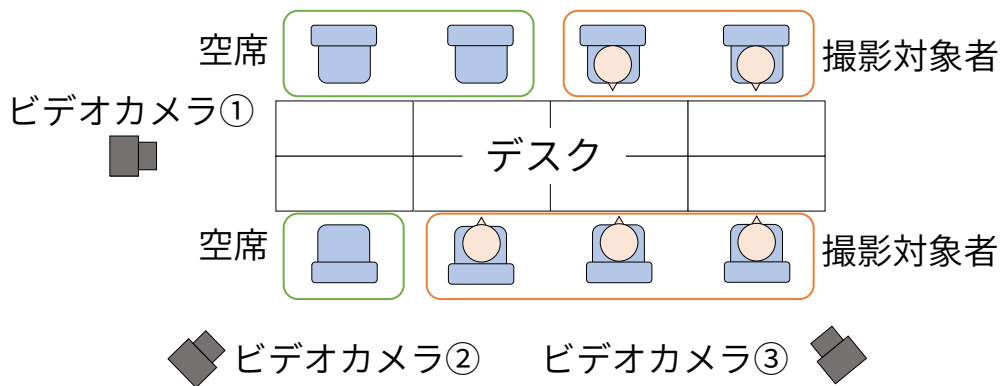


図 4.1: 動画撮影を行った研究室の環境. 3台のビデオカメラを用いて撮影を行った. 計8台のデスクが並んでおり、動画撮影時には3席が空席であり、5人を撮影対象者とした。



図 4.2: 撮影した研究室の様子 1. 図 4.1 におけるビデオカメラ 1 から撮影した様子を示す.

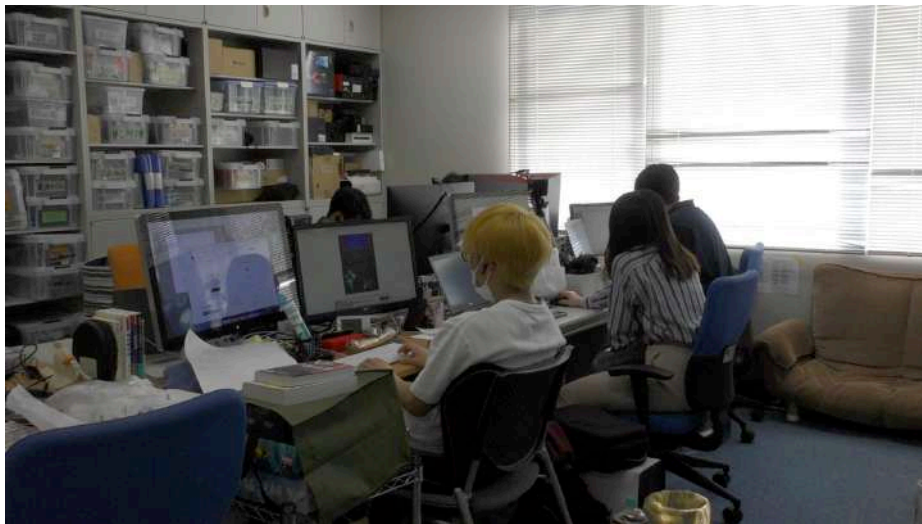


図 4.3: 撮影した研究室の様子 2. 図 4.1 におけるビデオカメラ 2 から撮影した様子を示す.



図 4.4: 撮影した研究室の様子 3. 図 4.1 におけるビデオカメラ 3 から撮影した様子を示す.

4.3 分析方法

分析において、撮影した動画から対話開始場面を抽出し、対話開始前の行動および作業への集中度の表出のされ方を分析した。対話開始場面の抽出において、動画内の撮影対象者の行動および録音した音声データの波形から、明らかに対話が始まったと著者が判断した瞬間の前後を含む場面对話開始場面とした。分析は ELAN [fP] を用いて行った。ELAN は、動画および音声データに対し注釈を作成できるアノテーションツールである。そして抽出した対話開始場面から、対話開始前に作業者の集中度が表出されていたと思われる場面を 1 つ選定した。対話開始場面の中で、物理アバタによる集中度の提示に最も適していると考えられる場面の行動をそのままシステム反映させるため、選定場面を 1 つとした。選定にあたり、対話開始場面のうち、提案システムの目的であるインフォーマルコミュニケーションの生起に関わる場面を対象とした。選定場面の判断にあたり、ある撮影対象者が集中していないことが明確に示され、それをきっかけに対話が発生した場面を選定した。一方で、相手が作業中に割り込んで話しかける、または質問をするなどの、相手の集中度に関わらず明確な意図を持った対話の開始場面は選定対象外とした。そして選定した場面をもとに、物理アバタを用いて作業への集中度を提示するための設計指針を立てた。なお、本調査においては実際の対話開始場面の行動から、物理アバタを用いた集中度の提示方法に適したユーザの行動を選定することを目的としているため、定量的な調査は行っていない。

4.4 動画分析結果

本調査において取り上げた対話開始場面を図 4.5–図 4.8 に示す。本場面においては、図 4.5 の赤丸にて示した三人のやり取りに着目した。図 4.5 にて a,b,c により示した三人をそれぞれ、

作業員 a, 作業員 b, 作業員 c と呼ぶ。また、本場面においては、作業員 c が話し手となる。通常、作業を行っている状況においては、各作業員は自身の PC に向かい作業を行っている (図 4.5)。次に、作業員 c は誰かに話しかけようとし、対面のデスクにいる作業員 a の様子を確認したが、作業員 a は PC に向かい、前のめりの姿勢において作業を行っていたため、作業員 c は対話を開始しようとしなかった (図 4.6)。この際、作業員 b は背もたれに寄りかかり、リラックスしている状況が見られ、キーボードやマウスを操作していなかった。そして次に作業員 c は、背もたれに寄りかかっている隣のデスクの作業員 b に身体を向け、作業員 b がリラックスしている様子であることを確認した (図 4.7)。その後、作業員 c は作業員 b に声をかけ、作業員 b が作業員 c の方に身体を向け応答し、対話が開始した (図 4.8)。

この場面から話し手 (本場面における作業員 c) は、背もたれに寄りかかり PC を用いた作業をしていない状態である受け手 (本場面における作業員 b) はリラックスしており、応答可能であると判断したと考えられる。また、話し手は前のめりの姿勢において作業を行なっている受け手 (本場面における作業員 a) は作業に集中しており、応答可能性が低いと判断したと考えられる。以上のことより、受け手が「作業対象物からのけぞり、背もたれに寄りかかった姿勢」をリラックスした状態とし、受け手が「作業対象物に対し、前のめりの姿勢」を集中した状態とした。この結果を踏まえ、物理アバタの姿勢の変化を用いた集中度の提示手法を提案する。



図 4.5: 本調査において選定した対話開始場面の作業中の様子。各作業員は PC に向かい作業を行っている。赤丸にて囲った三人の参加者を、それぞれ作業員 a, 作業員 b, 作業員 c とする。本場面においては作業員 c が話し手となる。

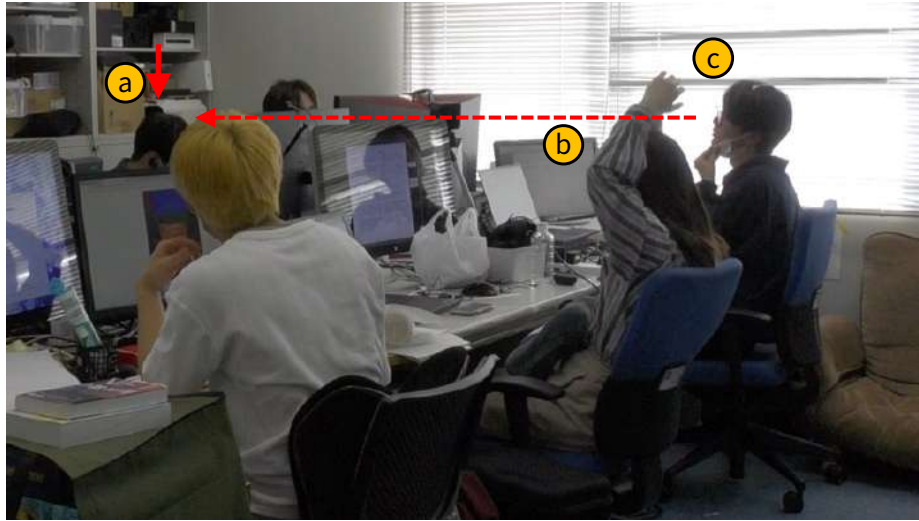


図 4.6: 作業員 c が誰かに話しかけようとし、対面の作業員 a の様子を確認する様子。これに対し、対面の作業員 a はデスクに向かい、前のめりの姿勢にて作業を行っていた。そのため作業員 c 話しかけなかった。また同時に、作業員 b は背もたれに寄りかかっており、キーボードやマウスの操作は行っておらず、リラックスしている様子が見られた。

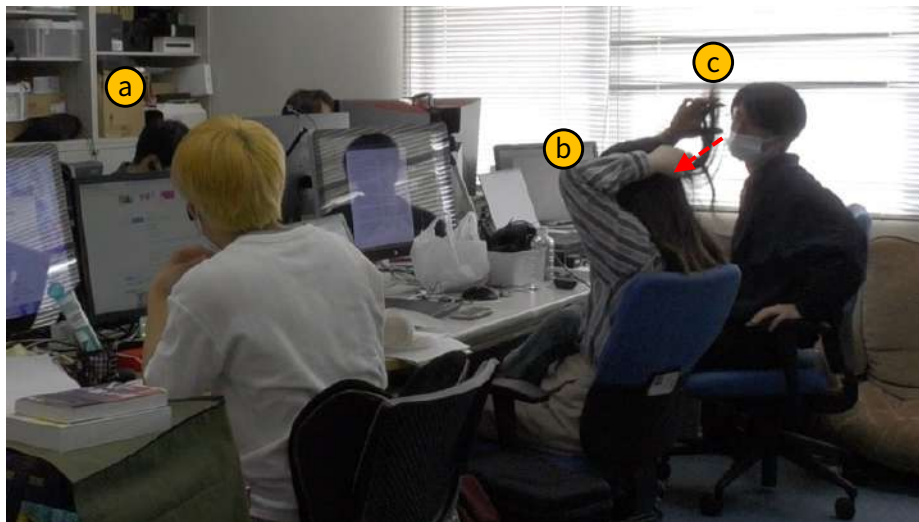


図 4.7: 作業員 c が隣のデスクの作業員 b の方に身体を向ける様子。作業員 b は背もたれに寄りかかっている。



図 4.8: 作業者 c が隣のデスクの作業者 b の方に身体を向け、声をかけた様子。作業者 b は声掛けに応答し、身体を作業者 c の方に向け、対話が始まった。対話開始の際、作業者 b は背もたれに寄りかかっていた。

4.5 設計指針

本節では、動画分析結果に基づき、物理アバタの姿勢を用いて、相手の作業への集中度を提示する手法の設計指針を示す。なお、使用する物理アバタは我々の先行研究 [TKST21] において作製したものを拡張する。我々の先行研究 [TKST21] における物理アバタは、視線の検出及び表現が可能であり、遠隔地間における視線の伝達および音声通話の機能を有している。そして遠隔地間において物理アバタを介して相互注視が行われた場合に音声通話を自動接続する。本研究においては、この機能は保持しつつ、新たに遠隔作業者の姿勢を提示する機能を追加する手法を提案する。

提案手法では、集中度を提示するために、作業中の姿勢を物理アバタを用いて提示する。遠隔作業者が作業に集中し、作業対象物に向かって前のめりになり作業に集中している場合、物理アバタの姿勢を前傾させる。これに対し、遠隔作業者が椅子にもたれかかり、作業対象物からのけぞっている場合、物理アバタを後ろ向きに傾け、リラックスしている状態を提示する。以上のように物理アバタの姿勢を傾けることにより、遠隔作業者の作業への集中度を提示する。

第5章 システム構成

本研究では、我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張し、物理アバタの姿勢を用いて遠隔作業者の集中度を提示するシステムを提案する。本章では、本研究における提案システムのハードウェア構成、ソフトウェア構成、およびインタラクションデザインを示す。提案システムの概略図を図 5.1 に示す。

5.1 ハードウェア構成

本節において、本研究において実装したシステムのハードウェア構成を示す。本研究では、我々の先行研究 [TKST21] において製作した物理アバタ (図 2.2) を拡張する。提案システムは、物理アバタおよび物理アバタを制御する PC から構成される。物理アバタの外観を図 5.2 に示す。物理アバタの視線の提示には、2つのサーボモータおよびフルカラー LED を用いている。2つのサーボモータにより、pan-tilt 方向各 1 自由度の動作が可能である。さらに、姿勢の制御のために、足元に2つのサーボモータを搭載しており、pan-tilt 各方向 1 自由度の動作を行う。これにより、前後方向の姿勢提示 (前傾姿勢、後傾姿勢) および身体の向きの提示を行う。サーボモータの制御には Arduino Uno を用いており、アバタ制御用 PC と接続している。また、物理アバタ本体を介して音声通話を行うために、物理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。物理アバタの筐体は 3D プリンタによって作製した。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。また、物理アバタの筐体は、足元にモータを装着する機構を搭載している。モータを装着する機構は、物理アバタの姿勢を変化させた際に転倒しないために幅を大きく製作した。さらに、物理アバタの転倒防止策として重心を足下に置くため、物理アバタの胴体を我々の先行研究 [TKST21] から短くし、スピーカを搭載する場所をモータ装着機構の最下部に設置した。物理アバタの全高は約 260mm とした。

また、作業者の姿勢検出には、web カメラを用いる。web カメラは、制御用 PC に内蔵されているものもしくは外付けの web カメラを制御用 PC に接続して用いる。姿勢推定の手法については、5.2 節にて後述する。さらに姿勢推定と同時に、顔向き推定を行うことにより、視線方向の伝達を行う。本研究においては、視線のちらつきによる視線方向の誤認識を回避するため、顔向き推定を用いている。これにより、我々の先行研究 [TKST21] において用いていた視線検出用のカメラを必要とせず、姿勢および視線検出が可能になる。

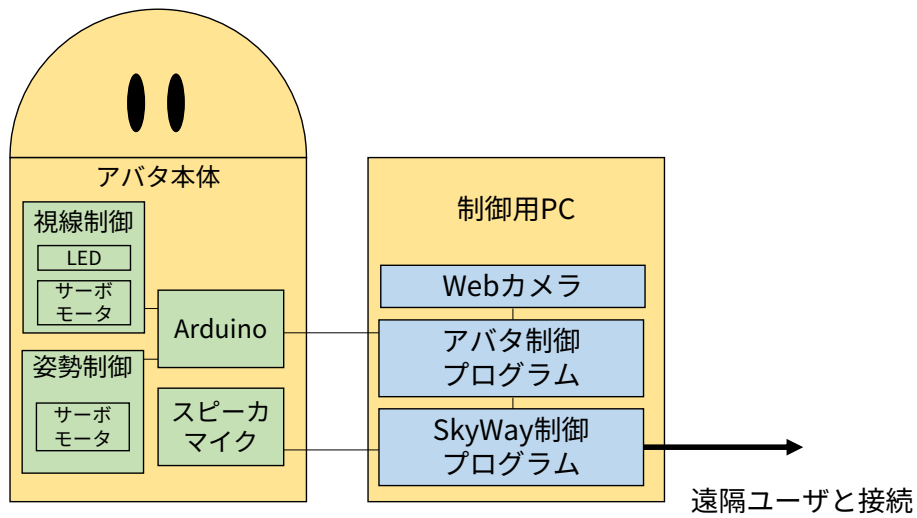


図 5.1: 本研究における提案システムの概略図.



図 5.2: 本研究にて製作した物理アバタ. 先行研究 [TKST21] におけるシステムを拡張した. 物理アバタの視線を制御するために2つのサーボモータおよびフルカラーLEDを用いており, 姿勢を制御するためにさらに2つのサーボモータを用いている. 音声通話用のスピーカを搭載しており, 物理アバタの転倒防止策として, 重心を足下に置く設計にしている.

5.2 ソフトウェア構成

本節において、本研究において実装したシステムのソフトウェア構成を示す。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および姿勢情報の送受信を行うための SkyWay 制御プログラム、視線および姿勢の検出、ならびに提示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。

5.2.1 遠隔地間の通信：SkyWay 制御プログラム

本項において、SkyWay 制御プログラムにおいて行う、遠隔地間の通信を述べる。SkyWay 制御プログラムは JavaScript により実装した。SkyWay [Cor] 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 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 を用いて視線および姿勢の数値情報の送受信を行っている。本システムでは、音声通話およびデータの送受信を web アプリケーションとして実装した操作インタフェース（以降、web インタフェース）(図 5.3) 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、実装上の問題により、あらかじめ通話が接続された状態にしておき、ミュートのオンオフを視線のやり取りに応じて自動的に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。この実装は、本研究にて行う実験において実験者が自由に通話を制御するための構成であり、今後は擬似的な通話の接続および切断ではなく、実際に接続および切断を行う実装にすることを想定している。

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。これは、アバタ制御プログラムが遠隔地の相手の視線を物理アバタにより提示するためである。そして、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。音声通話の終了は、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 [Gro20] による音声入力の有無を使用している。

ユーザの視線情報を遠隔地のアバタによって提示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。

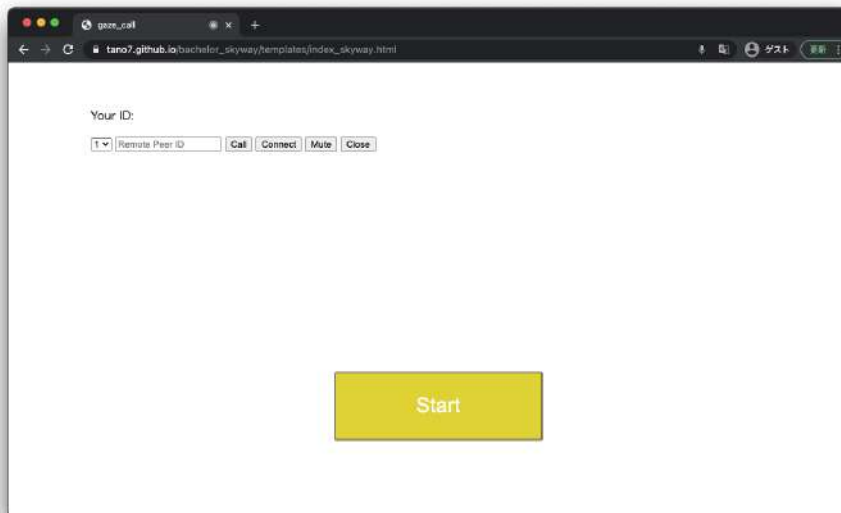


図 5.3: 遠隔ユーザとの接続を行うための web アプリケーションとして実装した操作インタフェース. 自分の PeerID を作成したのち, 相手側の PeerID を指定して画面下部の Start を押すことで接続が行われる. 画面上部の各ボタンにて通話接続, 切断などを行うことができる.

5.2.2 物理アバタの制御：アバタ制御プログラム

本項において, アバタ制御プログラムの機能である視線および姿勢の検出方法, および提示方法を述べる. アバタ制御プログラムは Python によって実装した.

視線および姿勢の検出

アバタ制御プログラムでは, MediaPipe [LTN⁺19] を用いてユーザの視線および姿勢の検出を行っている. Mediapipe は Google によって提供されているオープンソースの ML ソリューションであり, web カメラから作業者の 3 次元姿勢推定および顔向き推定が可能である. 我々の先行研究 [TKST21] にて用いた視線検出用カメラでは姿勢推定が行えなかったため, 視線検出用カメラは用いず, Mediapipe を用いて視線推定および姿勢推定を一括して行うこととした. 本研究では, MediaPipe の機能の 1 つである FaceMesh を用いて視線および姿勢を検出する. FaceMesh は, ユーザの顔から 468 点のランドマークを検出することができる 3D 顔面ランドマーク推定のソリューションである. 視線推定にあたり, 視線のちらつきによる視線方向の誤認識を防ぐため, 顔向き推定により視線の検出を代用している.

顔向き推定のために, 本研究では耳付近の, 顔の右端を沿う 3 点のランドマークの座標値 (それぞれ r_1, r_2, r_3 とする) および左端を沿う 3 点のランドマークの座標値 3 点 (それぞれ l_1, l_2, l_3 とする) のそれぞれの平均値を計算し, その差 (d_1 とする) を計算することにより左右方向の顔向き ($f(d_1)$ とする) を推定した. 左右方向の顔向き推定に用いた式を以下に

示す.

$$d1 = \frac{r1 + r2 + r3}{3} - \frac{l1 + l2 + l3}{3}$$

$$f(d1) = \begin{cases} \text{右向き} & (d1 \geq 0) \\ \text{左向き} & (d1 < 0) \end{cases}$$

右端の平均座標値が左端の平均座標値より大きい場合、ユーザは右方向を向いている状態となる。また、平均座標値の差の絶対値が大きいほど、カメラに対して外側に顔をむけている判定となる。また同様に、上下方向の顔向き推定には顔の上端を沿う3点のランドマーク座標値（それぞれ $u1, u2, u3$ とする）および下端を沿う3点のランドマーク座標値（それぞれ $b1, b2, b3$ とする）それぞれの平均値の差（ $d2$ とする）を用いて上下方向の顔向き（ $g(d2)$ ）を推定している。上下方向の顔向き推定に用いた式を以下に示す。

$$d1 = \frac{u1 + u2 + u3}{3} - \frac{b1 + b2 + b3}{3}$$

$$g(d2) = \begin{cases} \text{上向き} & (d2 \geq 0) \\ \text{下向き} & (d2 < 0) \end{cases}$$

姿勢推定にあたり、FaceMesh を用いて web カメラに対する前後方向の座標を用いて姿勢を推定した。FaceMesh では、ユーザの顔が web カメラに近づいた場合 z 座標の値が小さく、遠ざかった場合大きくなる。ここで、姿勢検出用の web カメラはユーザの正面の作業対象物（例えば、PC）に設置されているとする。ユーザが作業に集中し作業対象物に対し前傾姿勢になった場合、ユーザの顔は web カメラに近づき、後傾姿勢になった場合はユーザの顔は web カメラから遠ざかる（図 5.4 下の作業者の姿勢）。この特徴を利用し、顔の中央のランドマークの z 座標値を用いてユーザの姿勢を推定した。なお、ユーザはシステムを使用する前にキャリブレーションを行う必要がある。着席し姿勢を伸ばした状態の顔中央のランドマークの z 座標を平常時の値として、前傾姿勢および後継姿勢の z 座標をそれぞれ取得し、各姿勢の閾値を定める。

遠隔者の視線および姿勢の提示

検出されたユーザの視線および姿勢の情報は、Websocket 通信によって SkyWay 制御プログラムに送信される。そして SkyWay 制御プログラムから遠隔者の視線および姿勢の情報を受信する。受信した遠隔者の視線および姿勢の情報を Arduino Uno へシリアル通信を用いて送信することにより、遠隔者の視線および姿勢を提示する。ここで、送受信される視線および姿勢の情報は、取得した値から計算した後の数値情報のみであるため、インターネット上にユーザの画像や映像が漏れることはなく、プライバシーの問題が侵害される心配がない。

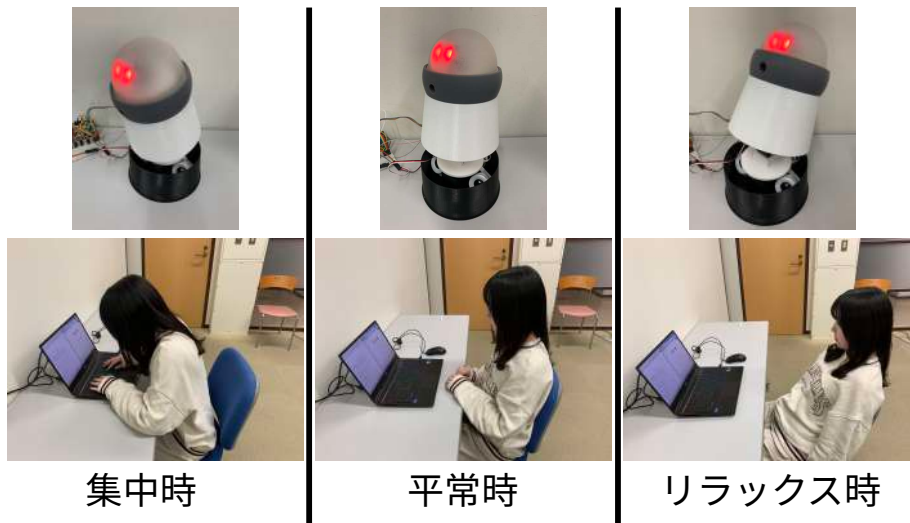


図 5.4: 作業者の集中度に対応する物理アバタの姿勢および作業者の姿勢. 左：作業者が集中時の姿勢. 中央：作業者が平常時の姿勢. 右：作業者がリラックス時の姿勢.

5.3 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. 本節では, 視線によるインタラクシオンおよび姿勢によるインタラクシオンを述べる.

5.3.1 視線によるインタラクシオン

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 MediaPipe では, 視線のちらつきにより, 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.

以下にて, 対話開始場面にて話しかける側の作業者を話し手, 話しかけられる側の作業者を受け手とする. また, 視線によるインタラクシオンは我々の先行研究 [TKST21] におけるシステムにて実装済みであり, 2.3 節にてインタラクシオンの流れの図を載せている. 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する. 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. 受け手は話し手の視線の送り方に対し, 物理アバタに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. 受け手が物理アバタに視線を返し, 話し手および受け手が共

に物理アバタに視線を送った状態になった場合、物理アバタを介した相互注視が行われ、音声通話を開始する。

本システムでは、互いの視線情報に応じて目の色を変化させる（図 5.5）。相手のみが自分の方を向いている時（相手が通話要求中）には目の色を黄色に発光させ、相互注視が成立した場合（通話接続中）、緑に変化させる。それ以外の場合（通常時）、目の色は赤色にしておく。



図 5.5: 通話要求に対応する物理アバタの目の色。左：通常時は目は赤色に点灯している。中央：相手のみが自分の方に視線を送っている場合（通話要求中）、目は黄色に点灯する。右：相互注視が行われた場合（通話接続中）、目は緑色に点灯する。

5.3.2 姿勢によるインタラクション

作業者の集中度に対応する物理アバタの姿勢および作業者の姿勢を図 5.4 に示す。本研究では、相手の集中度を提示するために姿勢を相互に伝達し合う（図 1.1）。物理アバタ制御プログラムを用いて、web カメラから作業者の姿勢を検出し、集中度を判定する。例として、ユーザが作業対象物に対して前傾姿勢の場合（PC を覗き込む、前のめりになりキーボードを操作するなど）は作業に集中していると判定する（図 5.4 左）。これに対し、ユーザが作業対象物に対して後傾姿勢の場合（椅子にもたれかかる、身体を伸ばすなど）は、リラックスしていると判定する（図 5.4 右）。前傾後傾どちらでもない場合は集中度は平常の状態と判定する（図 5.4 中央）。

これらの検出した姿勢状態を、SkyWay 制御プログラムを用いて遠隔地に送信し、遠隔地の物理アバタの姿勢を変化させることにより集中度を提示する。具体的には、遠隔作業者が前傾姿勢で集中していると判定した場合、物理アバタの身体も前傾姿勢になるように傾ける（図 5.4 左）。これに対し、遠隔作業者が後傾姿勢でリラックスしていると判定した場合、物理アバタの身体を後傾姿勢になるように傾ける（図 5.4 右）。前傾姿勢および後傾姿勢どちらでもない場合、物理アバタの身体は傾けずに直立状態にする（図 5.4 中央）。以上のように変化する物理アバタの姿勢により、作業者は相手の作業への集中状態を判断することができる。姿勢によるインタラクションおよび視線によるインタラクションを組み合わせることにより、相手の集中度を把握した上で相手に話しかけることが可能になり、話しかける行為の心理的負担の軽減に有効であると考えた。

第6章 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。本章では、実験にあたり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内容を述べる。

6.1 仮説

本実験では、遠隔地間のコミュニケーション場面における、提案手法の効果を調査する。提案手法の評価にあたり、提案手法の効果としては以下の4点の仮説を設定した。

- **H1.** 集中度を把握するための基礎的特性（集中度の変化への気付きやすさ、理解のしやすさ等）が高い。
- **H2.** 話しかける行為の心理的負担が軽減される。
- **H3.** 相手に話しかける回数が増える。
- **H4.** 相手が集中時に比べ、リラックス時に話しかける回数が増える。

以下に、これらの仮説を設定した背景を述べる。本研究においては、相手の集中度を提示し、その集中度に応じて話しかける判断を可能にすることを目指す。そのためにはまず、システムにより提示される集中度を適切に把握できる必要がある。集中度を適切に把握するためには、3章にて述べた予備調査にて評価した、集中度の変化への気付きやすさ、集中度の理解のしやすさ、集中度の変化が作業を阻害しないかなどの基礎的特性が高い必要があると考えられる。本研究では対面状況において表出される人間の非言語情報を模した手法により相手の集中度を提示する。人間が実際に用いる非言語情報を模した集中度を提示することにより、既存のウェアラブル支援システムにより提示される情報（記号化された情報や文字による情報）と比較し、集中度の変化への気付きやすさ、集中度の理解のしやすさ、作業を阻害する度合いという基礎的特性が向上すると考えた（H1）。

また、1.1節にて述べたように、遠隔地間において対話を開始する際には、話しかける行為の心理的負担を軽減することにより、気軽に話しかけられるようになることが期待される。相手の集中度を適切に把握できる場合（H1が支持された場合）、その集中度に応じて話しかける判断を行えると考えられる。これにより、相手が集中していない時に話しかけることや、集

中していても話しかけたいことを相手が理解することができ、話しかける行為の心理的負担の軽減に有効であると考えられる (H2)。

また、話しかける行為の心理的負担が軽減した場合 (H2 が支持された場合)、相手に話しかける回数が増える可能性がある (H3)。

さらに、集中度を適切に把握でき、集中度に応じて話しかける判断が可能だった場合 (H2 が支持された場合)、相手が集中時に比べリラックス時に話しかける回数が増えると考えられる (H4)。

以上のことから、本研究においては仮説 H1-H4 を検証する。

6.2 実験条件

本節では、仮説を検証するために行った実験の実験条件を述べる。実験条件はテキスト条件 (C1)、ライト条件 (C2)、および姿勢条件 (C3) の3条件とする。C1 および C2 は従来のアウェアネス支援システムを想定したものであり、C3 は本研究における提案手法である。提案手法は、人間の非言語情報を模した情報 (姿勢) を提示することによりアウェアネス支援を行う。非言語情報を模した情報提示手法に対し、言語情報を提示する手法 (テキスト条件) および非言語情報だが記号化された情報を提示する手法 (ライト条件) を比較するために C1-C3 の3条件を設定した。実験では各条件のシステムを用いて実際に遠隔地間において音声通話を行った。以下、提案手法における視線のインタラクションによる話しかける要求を通話要求とする。

6.2.1 C1. テキスト条件

作業者の通話要求および集中度をテキストにより提示する。テキストを提示するために PC の画面 (以下、アウェアネス支援用 PC) を用いる。これは、既存のアウェアネス支援システムの中でも、文字情報によりアウェアネス支援を行うシステムを想定している。既存のシステム [沼田 14] は、作業者のステータスをテキストにより提示するものであり、本研究においてはアウェアネス支援用 PC の画面中央にテキストを用いて集中度を提示するシステムにより代替した。アウェアネス支援用 PC は、実験において参加者がタスクを行う用の PC (以下、作業用 PC) とは異なるものを用い、参加者の左斜め前に配置した (図 6.1 左)。アウェアネス支援用 PC の画面の大きさは 14.2 インチであり、画面中央のテキストの大きさは、横 80mm × 縦 30mm とした (図 6.2)。これにより、姿勢条件において提示される視線の大きさと同等の大きさになるよう設計した。相手が集中時には、「集中状態」、リラックス時には「リラックス状態」、いずれでもない場合には「平常状態」と表示される (図 6.3)。なお、集中度の検出は提案手法と同じく姿勢から自動で検出が行われる。本条件において想定する既存システムは集中度を自動で検出せず、作業者は提示する集中度を手動で変更する必要があった。本研究においては集中度の検出方法ではなく提示方法の評価を行うため、検出方法を自動に統一した。

また、通話機能は、アウェアネス支援用 PC にて web インタフェース上のボタンを押すことにより実現した)。これは、提案システムにおける視線を用いたインタラクションに対応している。話し手は話しかけたい場合には「呼び出し」ボタンを押す。呼び出しを中断したい場合には「呼び出し終了」ボタンを押す。これは、提案システムにおける視線を送る、および送ることをやめる動作に対応する。受け手は、話し手から通話要求がきた場合には、「通話応答」ボタンを押すことにより通話を接続する。通話機能の状態について、話し手から通話要求がきた場合には「通話要求中」、通話中には「通話中」、いずれでもない場合には「通話要求なし」と表示される (図 6.5)。



図 6.1: 各条件における実験環境。左：テキスト条件。中央：ライト条件。右：姿勢条件。各条件ともに左斜め前 45 度の方向にアウェアネス支援用 PC または物理アバタが配置された。

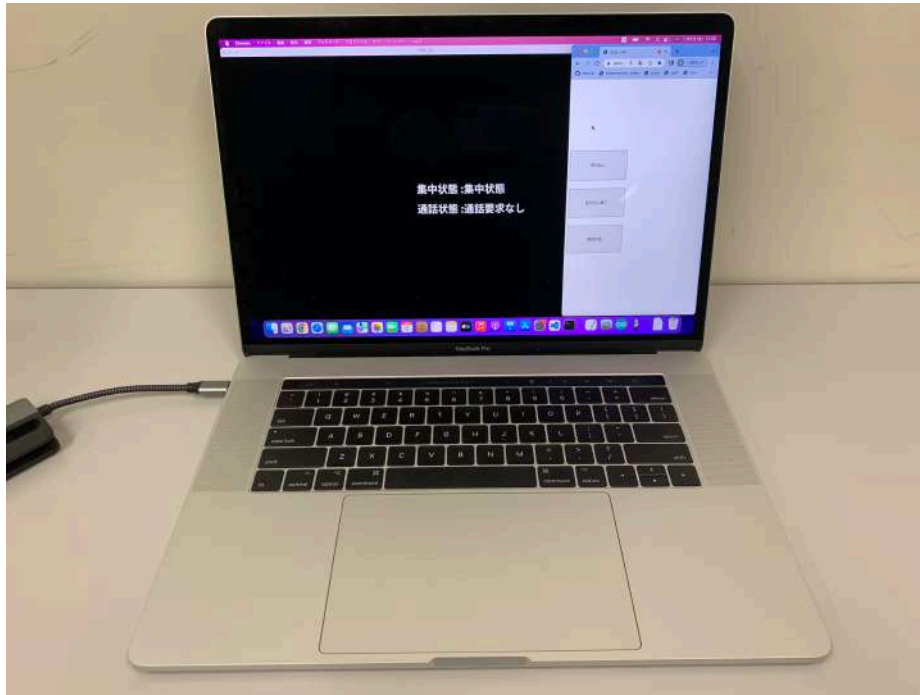


図 6.2: テキスト条件において用いたアウェアネス支援用 PC. 画面中央のテキストの変化により, 相手の通話要求および集中度を提示した.



図 6.3: テキスト条件において提示される相手の集中度の変化. 左: 相手が集中時は「集中状態」が提示される. 中央: 相手が平常時には「平常状態」が提示される. 右: 相手がリラックス時には「リラックス状態」が提示される.



図 6.4: テキスト条件において使用される UI. 集中状態および通話要求を示すテキストの右側のウィンドウに通話機能を制御するボタンが配置されている. 相手に話しかけたい場合には「呼び出し」ボタンを押す. 呼び出しを中断したい場合には「呼び出し終了」ボタンを押す. これは, 提案システムにおける視線を送る, および送ることをやめる動作に対応する. 話し手から通話要求がきた場合には, 「通話応答」ボタンを押すことにより通話を接続する.

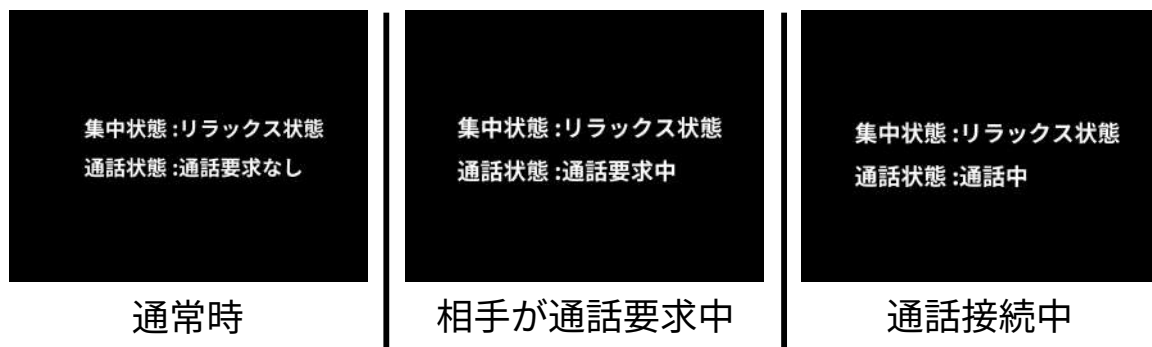


図 6.5: テキスト条件において提示される相手の通話要求の変化. 左: 通常時は「通話要求なし」が提示される. 中央: 相手のみが通話要求中の場合, 「通話要求中」が提示される. 右: 通話接続時には「通話中」が提示される.

6.2.2 C2. ライト条件

作業者の通話要求および集中度をディスプレイ上のライトにより提示する。ライトを提示するためにはアウェアネス支援用 PC の画面を用いる。これは、記号化された情報を提示する既存のアウェアネス提示システムを想定したものである。既存のシステム [Gre96] は画面内のアイコンにより応答可否を伝達するものや、在否を示すもの [com, Mic] であり、本研究においては画面内のライトの色により代替した (図 6.6)。アウェアネス支援用 PC および画面の大きさは、C1. テキスト条件と同じものを使用し、提示されるライトの大きさは姿勢条件において提示される視線の大きさと同等の大きさになるよう設計した。アウェアネス支援用 PC は、C1. テキスト条件と同様に作業用 PC とは異なるものを用い、参加者の左斜め前に配置した (図 6.1 中央, 6.6)。相手が集中時にはライトの色を赤色に、リラックス時にはライトの色を緑色に、いずれでもない場合には黄色にライトを点灯させる (図 6.7)。集中度の検出は C1. テキスト条件と同じく、姿勢から自動で検出が行われる。本条件において想定する既存システムは集中度を自動で検出せず、作業者は提示する集中度を手動で変更する必要があった。これは、集中度の検出方法ではなく提示方法の評価を行うためである。

また、ユーザは話しかけようとする際に、C1. テキスト条件と同じく、アウェアネス支援用 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 6.4 における右側ウィンドウ)。通常時、通話要求を示すライトは赤色に点灯しており、話し手が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、C1. テキスト条件と同様に web インタフェース上の「通話応答」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 6.8)。

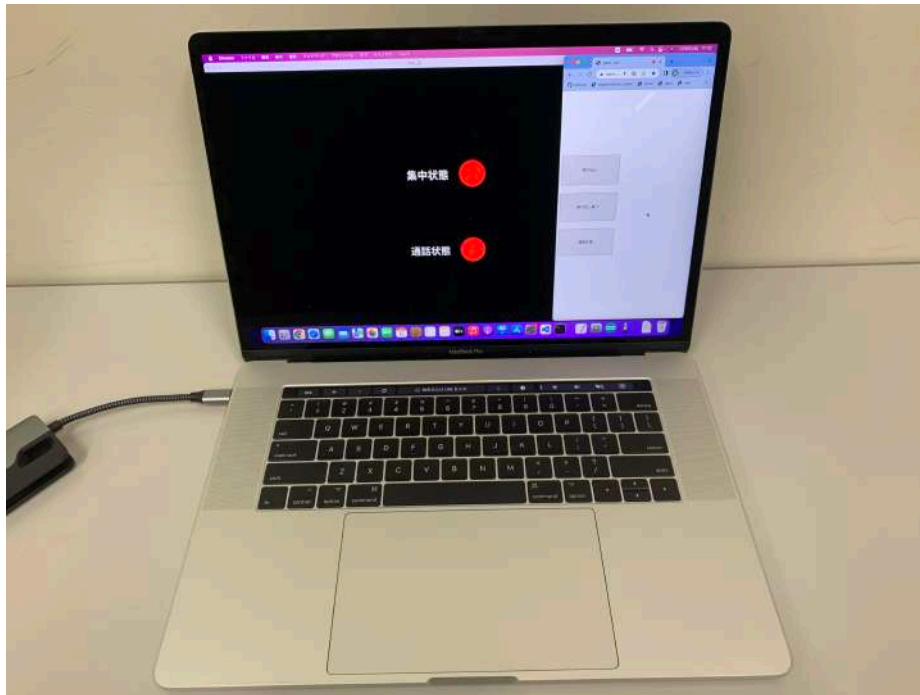


図 6.6: ライト条件において用いたアウェアネス支援用 PC. 画面中央のライトの色の変化により, 相手の通話要求および集中度を提示した.



図 6.7: ライト条件において提示される相手の集中度の変化. 左: 相手が集中時はライトが赤色に点灯する. 中央: 相手が平常時にはライトが黄色に点灯する. 右: 相手がリラックス時にはライトが緑色に点灯する.

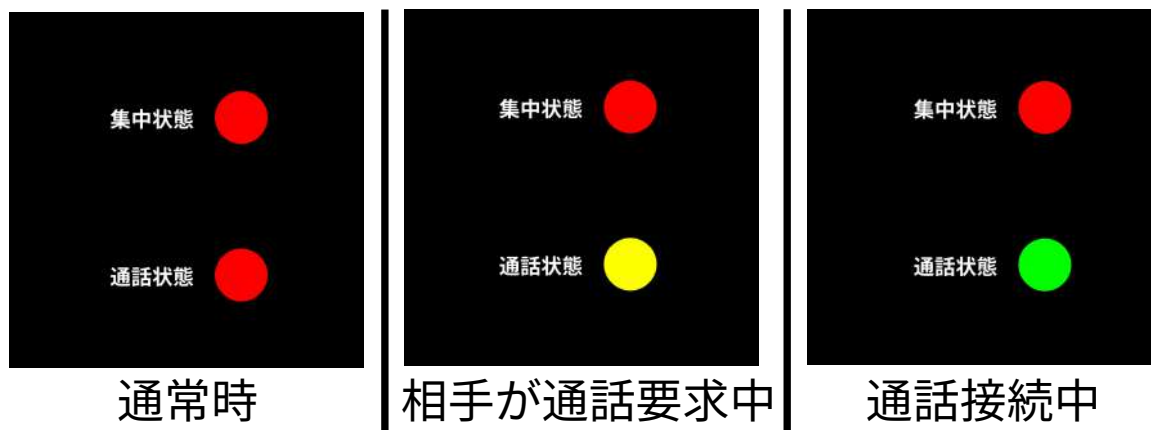


図 6.8: ライト条件において提示される相手の通話要求の変化. 左：通常時にはライトが赤色に点灯する. 中央：相手のみが通話要求中の場合，ライトが黄色に点灯する. 右：通話接続時にはライトが緑色に点灯する.

6.2.3 C3. 姿勢条件

本研究における提案手法である. ユーザの通話要求には視線を用い，集中度は姿勢を用いて提示する. これにより，人間の非言語情報を模した情報によりウェアネス支援を行う. ユーザが集中している時には物理アバタの姿勢を前傾させ，リラックス時には後傾させる. いずれでもない場合は，物理アバタの姿勢を直立させる (図 5.4).

また，ユーザは話しかけようとする際に，物理アバタに視線を送る. 通常時，物理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 (図 5.5). 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. 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.

6.3 実験設計

本章においては，本実験における実験タスク，実験環境および実験参加者を説明する.

6.3.1 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および集中度の把握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」という内容 (以下，資料作成タスク) を設定した. これは実際のオフィスにおける作業中に行われる作業を想定したものである. なお，提案システムの効果を評価する上では実際のオフィス環境において長期利用を行うことが望ましいが，その場合各条件間でインタラクションの質 (相手の集中度や会話の発生回数，および作業内容等) を統制することが難しい. 本研究では

インタラクションの質を統制した状態で比較を行うことを目的として、一方を実験者とする実験室実験を行った。タスク内容は Beauvisage [Bea09] による日常生活におけるコンピュータの用途の調査に基づき決定した。資料作成タスクでは、参加者には用意された PC（以下、タスク用 PC。アウェアネス支援用 PC とは異なる）内のドキュメントに記載されたタスクリストを見ながら、タスクリストの内容に従い資料作成を行ってもらった。タスクリストは、web ブラウジング、表計算ソフトによる表作成、動画視聴、メールを用いて行う作業から構成される。用いたタスクリストの内容を表 6.1 に示す。

実験参加者には遠隔地において通話相手（実験者）が同じタスクを進めていると説明し、可能な限り遠隔者とタスクの進捗を合わせながら進めてもらうよう依頼した。これにより、タスクの進捗に関する対話を誘発するほか、進捗を確認するタイミングおよび回数を参加者に委ねることにより、集中度に応じた判断が行われると考えた。また、タスク開始前に、参加者にはタスク実施中に、任意のタイミングにおいて実験者に対しタスクの進捗の確認、質問、不具合の報告、雑談などの対話を自由に行って良いと説明した。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、参加者が実験者に話しかけようとした場合、実験者は通話要求に 1 秒後に応答することとした。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 2 回とした。うち 1 回はタスク開始から 5 分後にタスクの進捗を確認するものであり、ほか 1 回は最初に話しかけた場合と参加者の集中度が異なるタイミングでタスクの進捗を確認した。実験者の集中度は、タスク開始から 5 分間は平常、5 分から 10 分および 15 分から 20 分の間は集中状態、10 分から 15 分、20 分以降はリラックス状態に変化させた。

表 6.1: 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.

	質問項目
1-1	気象庁による日本の観測史上 1 位の最高気温 (最高気温の最大値) を記録したのはどこの観測所か? また, そのときの気温と観測年月日を答えよ.
1-2	つくばエクスプレスを利用して研究学園駅から北千住駅まで行くにはいくらかかるか.
1-3	我が国の令和 2 年度一般会計予算の歳入と歳出の予算総額をそれぞれ答えよ.
1-4	国内において最大の店舗数を有するコンビニエンスストア名を答えよ.
1-5	筑波大学で 2009 年から 2013 年まで学長を務めた人物の名前を答えよ.
2	表計算ソフトを用いて表を作成せよ. (計 5 問)
3	日本史に関する講義動画を視聴し, 問題に答えよ. (計 2 問)
4	1-3 の内容をまとめてメールを送信せよ.

6.3.2 実験環境

参加者が実験を行っている様子を図 6.9 に示す. 参加者は作業用 PC の正面に着席した. テキスト条件およびライト条件における集中度提示用 PC, および姿勢条件における物理アバタは参加者の左手側約 45 度方向に配置した. この設計は, 姿勢条件において, 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. 各条件における実験環境を図 6.1 に示す. 実験中は, 参加者はヘッドフォンを装着しノイズキャンセリング機能を用いて, 物理アバタを制御するためのモータ音やその他の雑音を排除した.

本実験設計では, 物理アバタ制御用 PC による音声通話および, タスクにおいて作業用 PC による動画視聴を同時に行う必要があった. そのためヘッドフォンを接続する PC は作業用 PC にし, 音声通話は Discord [Inc] を用いて行った. 本来, 実装したシステムを用いて音声通話を接続する想定だったが, その場合作業用 PC を用いた動画視聴タスクとの音声の切り替えの際にヘッドフォンを外す必要があったため, シームレスに音声通話へ移行するためにこのような設計とした. 音声通話が接続された状態になった場合, 実験者によりミュートを解除することにより提案システムを介して音声通話が接続されたと参加者が感じるようにした. Discord のミュート解除音が参加者に聞こえないよう, Discrod は常にミュートを解除しておき, 実験者のヘッドフォンに付属しているミュートボタンによりミュートの切り替えを行った. さらに, 実験者の集中度が, 誤検出により正確に参加者に伝達されないことを避けるため, 実験者の集中度は手動で変更した. 以上の設計により, 参加者には, 実験者が参加者と同じ条件下においてタスクを行っていると感じさせた.



図 6.9: 参加者が実験を行っている様子。参加者は作業用 PC の正面に着席し、左斜め前 45 度の方向に物理アバタが配置された。また、参加者はヘッドフォンを装着し、雑音を排除した。

6.3.3 実験参加者

実験は参加者間配置によって行い、実験参加者はいずれかの条件において 1 度だけ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の説明を行うとともに、システムによる姿勢検出制度のキャリブレーションおよび視線を正しく物理アバタに送れているかの確認を行った。

実験参加者は各条件においてそれぞれ 7 名ずつ (C1: 男性 6 名, 女性 1 名, 平均 23.4 歳, C2: 男性 7 名, 平均 22.3 歳, C3: 男性 6 名, 女性 1 名, 平均 23.1 歳), 合計 21 名 (男性 19 名, 女性 2 名, 平均 23.0 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、奇縁募集により募集した。

6.4 評価項目

本研究において、仮説を検証するために以下の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。

- 基礎的特性に関する印象評価
- 心理的負担に関連する印象評価
- 話しかけた回数
- 相手の集中状態ごとの話しかけた回数

評価にあたり、心理的負担に関連する印象評価および基礎的特性に関する印象評価を行うためにアンケートを実施した。また、実験中に参加者が話しかけようとした回数および提示されていた集中度ごとの話しかけた回数のログを取り、分析に使用した。

6.4.1 基礎的特性に関する印象評価

本実験では、集中度の変化への気づきやすさ、集中度の理解のしやすさ、提示される集中度の変化による注意障害、集中度を把握し続けられるか等の、集中度を適切に把握できるかを示す基礎的特性の評価を行うためのアンケートを行った。評価にあたり、Sadatら[SLK05]による、周辺視野への情報提示手法を評価するアンケートから必要項目を抜粋し、集中度を評価する項目に微修正を加えて使用した。このアンケートは、周辺視野への情報提示の要件を評価する5つの尺度から構成される。このアンケートを、周辺市やへ提示される情報を集中度として使用した。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た以下の3つの尺度(Noticeability, Comprehension, Division of attention)を用いた。

- Noticeability
- Comprehension
- Division of attention

なお、除外した項目は、提示された情報が求めている情報か否かを評価する項目およびシステムのデザインの魅力や使用する際の楽しさを評価する項目であり、これらは集中度の把握に無関係と判断した。Noticeabilityは、周辺視野に提示される情報の気づきやすさを評価する。本尺度の評価が高い場合、提示される集中度の変化への気付きやすさが高いと考えられる。Comprehensionは、周辺視野に提示される情報の理解のしやすさを評価する。本尺度の評価が高い場合、提示される集中度の理解が容易であると考えられる。Division of attentionは、周辺視野における情報の変化に、作業者がどれだけ注意を払わずに済むかを評価する。本尺度の評価が高い場合、提示される集中度の変化に注意を払わずに済み、作業への注意を障害されにくいと考えられる。

また, Tanaka ら [TNI14] の, コミュニケーションの場面において, 仮想的なアバタおよび物理的なアバタを用いた場合の存在感を評価するためのアンケートを用いた. Tanaka らのアンケート (以後, Telepresence) は, 遠隔者が近くにいたように感じたかを評価する. Telepresence の評価が高い場合, 集中度を提示している相手の存在感を近くに感じられると考えられる. さらに, タスク中に集中度を把握しながら進められたかどうかを評価するアンケート (以下, Grasping Focus) を 1 項目追加した. 各アンケート項目の内容を表 6.2 に示す. 各アンケートの回答には, 7 段階のリッカート尺度を用いた. また, 本実験終了後に本システムに対する意見を調査する自由記述アンケートを行った.

表 6.2: 本実験にて用いた基礎的特性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 は Noticeability に関する質問, 2,3 は Comprehension に関する質問, 4,5 は Division of attention に関する質問, 6 は Telepresence に関する質問, 7 は Grasping に関する質問である. それぞれ 7 段階のリッカート尺度において回答させた.

	質問項目
1	タスクを行っている間, 通話要求や集中度の変化に気づくことができたか.
2	相手の集中度を理解できたか.
3	システムをチラッと見るだけで相手の集中度を理解することができたか.
4	十分にタスクに集中することができたか.
5	タスクへの注意とシステムへ注意の切り替えをスムーズに行うことができたか.
6	まるで相手が同じ部屋にいるように感じたか.
7	相手の集中度を把握しながらタスクを進められたか.

6.4.2 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段階のリッカート尺度により回答させた。本研究にて除外した尺度は、コミュニケーションシステムを使用する楽しさを評価する尺度、社会的支援を評価する尺度、およびプライバシーの問題を評価する尺度の、話しかける行為の心理的負担に無関係な尺度である。本実験では以下の3項目の評価を行った。

- Presence-In-Absence
- Feeling Obligated
- Unmet Expectations

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、または繋がりを感じ、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と言われる [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6.3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 Expectaitonに関する質問である。

表 6.3: 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 段階のリッカート尺度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。

6.4.3 話しかけた回数

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、実験中のログを分析した。テキスト条件およびライト条件においては、参加者が話しかけようとして呼び出しボタンを押した回数を話しかけようとした回数とした。視線条件においては、参加者が1秒以上アバタに視線を送り続けた回数を話しかけようとした回数とした。

6.4.4 相手の集中度ごとの話しかけた回数

参加者に集中状態およびリラックス状態が提示された場合それぞれにおける話しかけた回数を比較するために、実験中のログを分析した。分析には各条件において、参加者に提示されていた集中度ごとの、参加者が話しかけた回数を用いた。また、参加者に提示されていた集中度ごとの話しかけた回数のみでなく、話しかけた回数全体に対する集中状態の割合およびリラックス状態の割合を分析した。

第7章 実験結果および考察

本章において、6章にて述べた実験における各評価項目の結果を示し、考察を行う。なお本研究の各検定において、 p 値が 0.05 未満であることを統計的に有意とみなした。

7.1 基礎的特性に関する印象評価

実施したアンケート結果において、各尺度ごとに、参加者ごとの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。

7.1.1 Noticeability

Noticeability は、表 6.2 のアンケートより Q1 を評価値として用いた。本評価値が高い場合、集中度の変化への気付きやすさが高いと考えられる。Noticeability の結果を図 7.1 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、有意差が見られた ($p = 0.00393 < 0.01$)。そこで、Steel-Dwass 検定を行ったところ、テキスト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0096 < 0.01, d = 0.857$)、およびライト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0018 < 0.01, d = 0.918$) において有意差が見られた。この結果から分かるように、姿勢条件において集中度の変化への気付きやすさが有意に向上した。

この結果から、「姿勢の変化」という人間の動きを模した提示方法は、物理的な動きを伴うため気付きやすさが向上したと考えられる。物理アバタの姿勢が変化した際には周辺視野においてその動きが捉えられ、変化に気付きやすいのではないかと考えられる。また、本実験においては参加者はヘッドフォンを装着しノイズキャンセリングを行っており、モータ音による気付きの可能性は小さく、音による気づきではなく、物理的な動きにより変化に気づけた可能性が高い。

さらに、自由記述アンケートにおいて、テキスト条件においては「通話要求が来ているかどうか自分から確かめないといけないので、音声などで通知が入るとよいと思った」という意見が見られた。これに対し姿勢条件では周辺視野において動きを認識でき、自ら確かめる必要なく変化に気づくことができたと考えられる。以上のことから、提案手法における集中度の変化への気付きやすさは高いと考えられる。

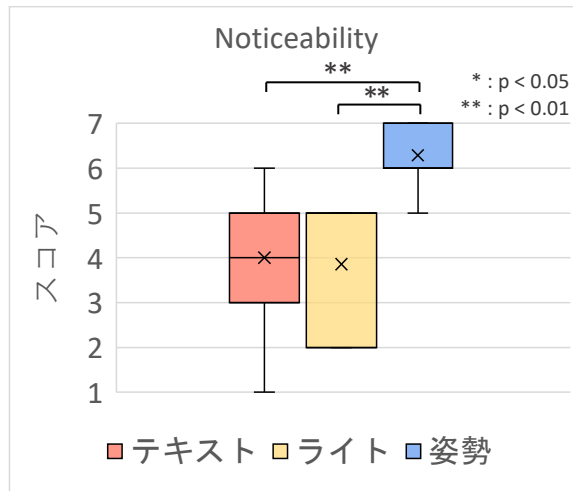


図 7.1: Noticeability のアンケート結果.

7.1.2 Comprehension

Comprehension は、表 6.2 のアンケートより Q2, Q3 の平均値を評価値として用いた。本評価値が高い場合、集中度が理解しやすい高いと考えられる。Comprehension の結果を図 7.2 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られた ($p = 0.0226 < 0.05$)。Tukey-Kramer 検定を行ったところ、テキスト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0402 < 0.05, d = 1.856$)、およびライト条件-姿勢条件間 ($p = 0.402 < 0.05, d = 1.388$) において有意差が見られた。この結果から分かるように、姿勢条件において集中度の理解のしやすさが有意に向上した。

この結果は、姿勢という人間の非言語情報を模した提示手法が、記号化された情報（ライト）や文字情報（テキスト）と比較し、相手の集中度の理解を促進させた可能性がある。記号化された情報は、相手の集中度と記号を紐づけて理解する必要があり、文字情報は相手の集中度を理解するためには文字を読む必要がある。これに対し人間の非言語情報を模した動きを理解するためには、そのようなステップが必要なく、動きのみにより集中度を理解することができる可能性があり、集中度の理解が促進されたと考えた。さらに、記号と紐づけた内容を理解することや、文字を読むことと比較し、姿勢の変化はひと目見ただけで理解が可能なのではないかと考えた。

さらに、自由記述アンケートでは、ライト条件において「色で状態を示していたがややわかりにくく感じたので色+文字で状態を示すと初めて使う人でもわかりやすくなると思う。」、「色における変化はわかりにくく、色がわかっても実際の集中度や応答反応を考えなければならなかった。」と述べた参加者がいた。これらの意見からも、記号化された情報と比較し人間の非言語情報を模した情報は理解が容易なのではないかと考えられる。

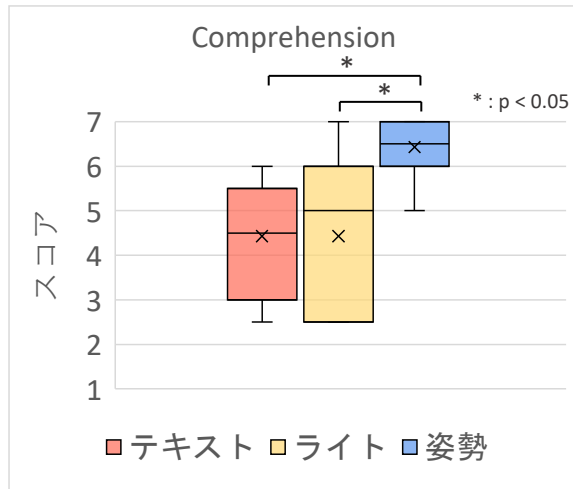


図 7.2: Comprehension のアンケート結果.

7.1.3 Division of attention

Division of attention は、表 6.2 のアンケートより Q4, Q5 の平均値を評価値として用いた。本評価値が高い場合、提示される集中度の情報が作業の注意を阻害する度合いが低いと考えられる。Division of attention の結果を図 7.3 に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られた ($p = 0.00892 < 0.01$)。Tukey-Kramer 検定を行ったところ、テキスト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0114 < 0.05, d = 1.666$)、およびライト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0316 < 0.05, d = 2.040$) において有意差が見られた。この結果から分かるように、姿勢条件において作業の注意を阻害しない度合いが有意に向上した。

この結果は、Noticeability および Comprehension の尺度の結果から、姿勢条件は集中度の変化に気づきやすく理解がしやすいため、大きな注意をシステムに割く必要がないためだと考えられる。集中度を提示するシステム以外の作業に多くの注意を割いた場合においても変化に気づきやすく理解がしやすいため、少ない注意のみでシステムを使用できたと考えられる。その結果、作業への注意を阻害されることなく作業を行えたと考えた。

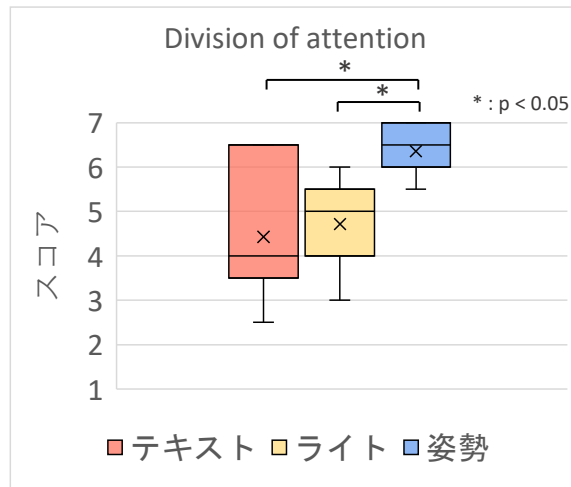


図 7.3: Division of attention のアンケート結果.

7.1.4 Telepresence

Telepresence は、表 6.2 のアンケートより Q6 の値を評価値として用いた。本評価値が高い場合、相手の存在感を感じられると考えられる。Telepresence の結果を図 7.4 に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、有意差が見られなかった ($p = 0.0979$) この結果から、提案手法により相手の存在感は有意に向上しないことがわかった。

この結果は、全条件において集中度が提示されていたことに起因する可能性がある。全条件において集中度が提示されており、提示された集中度が相手の状態を示していることから、全条件とも差が生まれないう程度に相手の存在感を感じられた可能性がある。そのため、各条件間において有意差が見られなかったと考えられる。

7.1.5 Grasping Focus

Grasping Focus は、表 6.2 のアンケートより Q7 の値を評価値として用いた。本評価値が高い場合、作業中に相手の集中度を把握し続けられたと考えられる。Grasping Focus の結果を図 7.5 に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、有意差が見られた ($p = 0.0155$)。そこで、Steel-Dwass 検定を行ったところ、テキスト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0096 < 0.0306, d = 0.776$)、およびライト条件-姿勢条件間 ($p = 0.0018 < 0.0326, d = 0.755$) において有意差が見られた。この結果から分かるように、姿勢条件において相手の集中度を把握し続ける効果が有意に向上した。

この結果は、集中度の変化への気付きやすさ (Noticeability) に起因すると考えられる。作業中に相手の集中度が変化したことを見逃しにくく、常に相手の集中度を把握しやすくなった可能性がある。

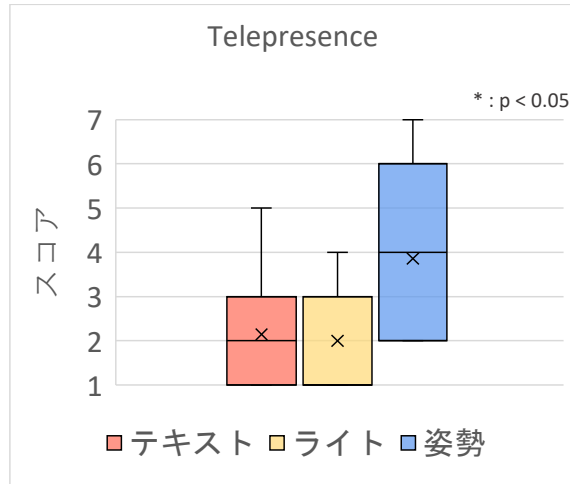


図 7.4: Telepresence のアンケート結果.

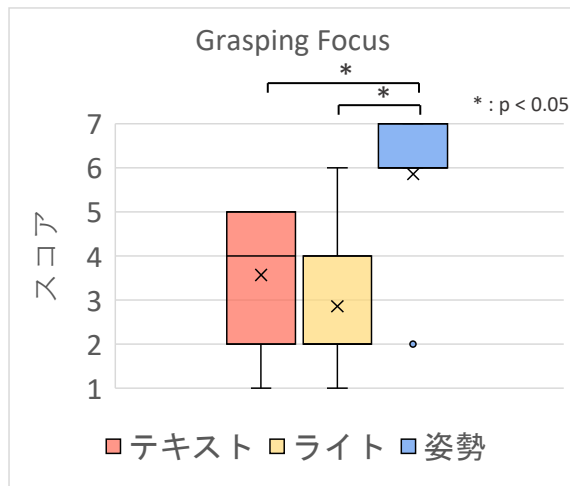


図 7.5: Grasping Focus のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

7.2 心理的負担に関する印象評価

6.4.2 項にて述べたアンケートの結果において、各尺度ごとに、参加者ごとの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。

7.2.1 Presence-In-Absence

Presence-In-Absence は、表 6.3 のアンケートより Q1,Q2, および Q3 の項目の平均値を評価値として用いた。この尺度は、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。Presence-In-Absence の結果を図 7.6 に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、有意差が見られなかった ($p = 0.420$) この結果から、提案手法により相手が近くにいるように感じられる効果は有意に向上しないことがわかった。

この結果は、全条件において集中度が提示されていたことに起因する可能性がある。全条件において集中度が提示されており、提示された集中度が相手の状態を示していることから、全条件とも相手の存在感を感じられた可能性がある。そのため、各条件間において有意な差が見られなかったと考えられる。

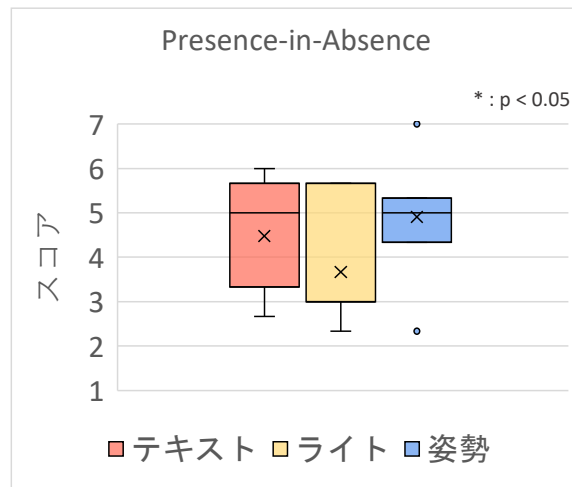


図 7.6: Presence-In-Absence のアンケート結果。グラフ内の点は外れ値を示す。

7.2.2 Feeling Obligated

Feeling Obligated は、表 6.3 のアンケートより Q3-Q7 の項目の平均値を評価値として用いた。この尺度は、コミュニケーションに対する義務感を評価する。本尺度の評価値が高い場合、コミュニケーションに義務感を感じてしまうため、システムとしては低い評価となる。Feeling Obligated の結果を図 7.7 に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行った結果、有意差が見られなかった ($p = 0.329$) この結果から、提案手法によりコミュニケーションに対する義務感は有意に向上しないことがわかった。

この結果は、全条件において集中度を把握しながらコミュニケーションを取れたことに起因する可能性がある。全条件とも相手の集中度に応じて対話を行うことができるため、提示される集中度により応答可否をあらかじめ予測できることから、コミュニケーションに義務感を感じなかったと考えられる。例として、相手が集中している時であれば話しかけないことや、自身が集中しているときに相手が話しかけてきた場合、相手は集中していることを把握した上で話したい内容があると解釈することも可能である。そのため、相手の様子を予測できる状況を作り出せたため、話しかけるべきかどうか、応答しなければならないか、などの義務感が発生しなかったと考えられる。

本実験におけるタスクは実験の進捗を合わせながらタスクを進めるというものであった。そのため、進捗を確認するというコミュニケーションへの義務感が各条件に等しく生まれており、条件の違いに起因して生じる義務感の差分を評価できなかった可能性がある。今後は、タスクおよびタスクに関するコミュニケーションへの義務感が統率されていない実際のリモートワークの場面において追加検証する必要があると考えられる。

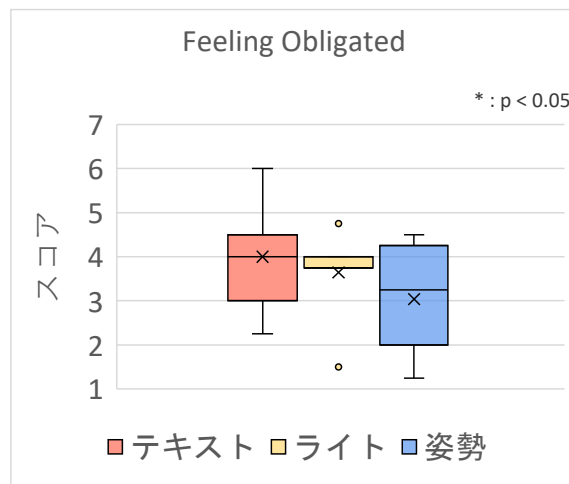


図 7.7: Feeling Obligated のアンケート結果。グラフ内の点は外れ値を示す。

7.2.3 Unmet Expectations

Unmet Expectations は、表 6.3 のアンケートより Q8-Q11 の項目の平均値を評価値として用いた。この尺度は、コミュニケーションにおいて期待感が満たされない度合いを評価する。本尺度の評価値が高い場合、コミュニケーションへの期待感が満たされず、システムとしては低い評価となる。Unmet Expectations の結果を図 7.8 に示す。Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.0565$)。この結果から、提案手法によりコミュニケーションへの期待感が満たされない度合いは有意に向上しないことがわかった。

この結果は、全条件において集中度を把握しながらコミュニケーションを取れることに起因する可能性がある。全条件とも相手の集中度に応じて対話を行うことができるため、提示される集中度により応答可否をあらかじめ予測できることから、期待感が満たされないことが少ないのではないかと考えられる。例として、相手の集中度が分からずにコミュニケーションを取ろうとして取れないことがなく、期待が満たされないことが少なかったのではないかと考えられる。

本実験の実験設計上、参加者からの通話要求に実験者は必ず応答した。さらに応答するまでの時間も統率しており、参加者の期待が満たされない問題が発生しなかった可能性がある。今後は応答の判断が統率されていない実際のリモートワークの場面において追加検証する必要があると考えられる。

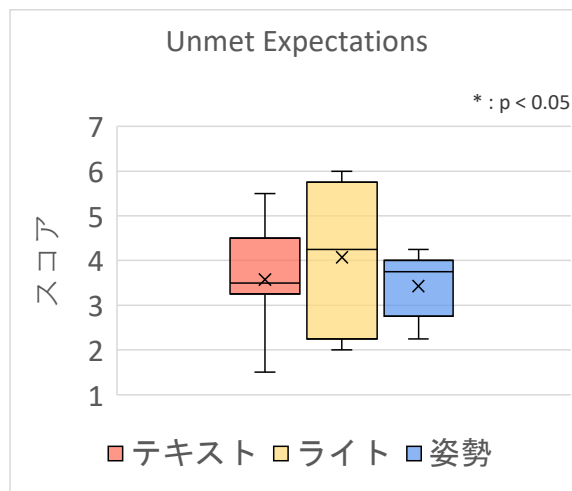


図 7.8: Unmet Expectations のアンケート結果.

7.2.4 自由記述アンケート

心理的負担に関するアンケート結果から、有意差は見られなかった。一方、自由記述アンケートにおいて話しかける行為の心理的負担に関していくつかの意見が見られた。

姿勢条件において「前傾姿勢にシステムがなっていると、話しかけずらく（見てもすぐに反応しなかったらあきらめる）、逆にシステムがのけぞっていると、話しかけやすい（反応がなくても待っていられる）」と述べた参加者がいた。このことから、物理アバタの姿勢の変化に応じて話しかける際の心理的負担に影響を与える可能性が示唆される。

他にも、姿勢条件において「相手の集中度や自分を見ているかに応じて、話しかけるかどうかを選択できてよかった」、「相手の集中度がわかるので、軽い内容とかは相手が集中していないときに話しかけようと思った。」と述べた参加者がいた。また、ライト条件においては、「相手の状態が集中になっているときに、呼び出しを押すのをためらい、通話をかけられなかった」、「集中度がわかるのはとても良かった。しかし、相手の集中度が黄色以上の時は電話を掛けないほうがいいのではないかと感じ、緑になるまで自分でタスクを進めつつ相手の集中度具合を確認していた。」と述べた参加者がいた。これらの意見から、複数の参加者は集中度に応じて話しかける判断を行ったと言える。このことから、話しかける際の判断に集中度の提示が影響を与えている可能性が示唆される。

本実験においては、タスクの内容、長さ、および場面が実環境とは異なっていた。実環境においては、本研究における実験のように統制された状況と比較して、相手に話しかけたい度合いの強さがより多様であり（緊急を要する話や、休憩中に話す程度の何気ない話など）、話しかけたいタイミングも様々であるため、相手の集中度に応じた判断がより必要になると考えられる。他にも、長時間の作業においては本実験と比較し、集中度の変化がより多くなることも考えられる。そのため、実環境においては話しかける際の心理的負担の評価が異なる結果になることも考えられる。実際のテレワークの場面において長期実験を行うことにより、実環境におけるシステムの評価をする必要がある。

7.3 話しかけた回数

話しかけた回数において、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。話しかけた回数の結果を図7.9に示す。この結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.0872$)。この結果分かるように、姿勢を提示した場合においても話しかける回数は増加しなかった。

原因として、実験タスクによる制約が考えられる。本実験においては、タスクの時間が短く、内容もほとんどがタスクの進捗を確認するものであった。タスクの進捗の頻度に関して、各問題が終わったタイミングがほとんどであり、話しかける回数はタスクの内容に依存していたと考えられる。今後は、実環境において話しかける回数を評価する必要がある。

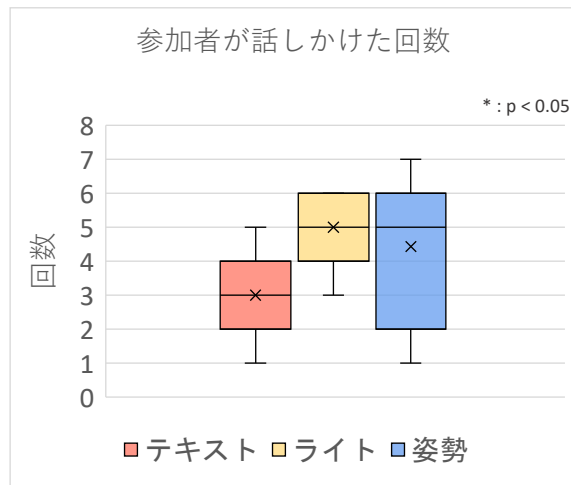


図 7.9: 参加者が話しかけた回数のアンケート結果.

7.4 相手の集中度ごとの話しかける回数

相手の集中度ごとに話しかけた回数を評価するために、各条件において参加者に集中状態及びリラックス状態が提示された場合それぞれの話しかけた回数を用いて分析を行った。相手が集中時に話しかけた回数の結果を図 7.10 に、相手がリラックス時に話しかけた回数の結果を図 7.11 示す。相手が集中時に話しかけた回数の結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.964$)。また、相手がリラックス時に話しかけた回数の結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.314$)。

さらに、話しかけた回数全体に対する集中度をおよびリラックス状態の割合も分析した。相手が集中時に話しかけた回数の結果を図 7.12 に、相手がリラックス時に話しかけた回数の結果を図 7.13 示す。相手が集中時の割合の結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、非正規性が示された。そのため、Kruskal-Wallis 検定を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.467$)。また、相手がリラックス時の割合の結果に対して、Shapiro-Wilk 検定を行った結果、正規性が示された。そのため、Bartlett 検定を行った結果、等分散性が見られた。そこで、一元配置分散分析を行ったところ、有意差が見られなかった ($p = 0.434$)。この結果から分かるように、各条件間において、話しかけた回数に対する集中時およびリラックス時の割合は有意に向上しなかった。

これらの結果の原因として、本実験タスクによる制約が考えられる。本実験においては、タスクの時間が短く、内容もほとんどがタスクの進捗を確認するものであった。タスクの進捗を確認する際には、相手の集中度に応じて話しかけるかを判断するよりも、進捗を合わせることを優先して集中度に関係なく対話が行われたと考えた。また、7.2 節にて述べたように、

自由記述アンケートにおいて、「相手の集中度や自分を見ているかに応じて、話しかけるかどうかを選択できてよかった」、「相手の集中度がわかるので、軽い内容とかは相手が集中していないときに話しかけようと思った.」と述べた参加者がいたことから、タスクの内容を制限しない環境においては、集中度に応じた話しかける回数に関して異なる結果が得られる可能性が考えられる。今後は、実環境において話しかける回数を評価する必要がある。

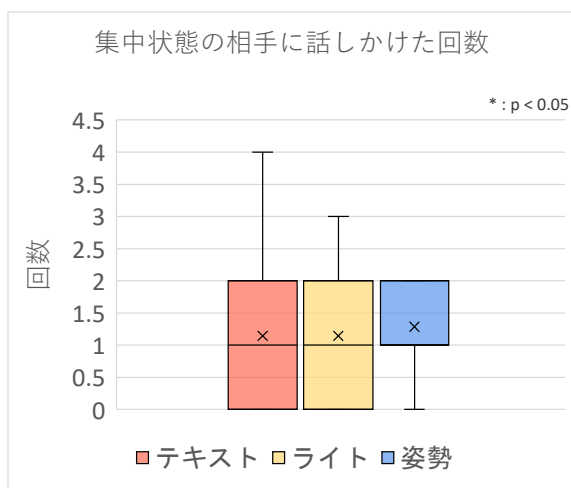


図 7.10: 相手が集中時に参加者が話しかけた回数のアンケート結果.

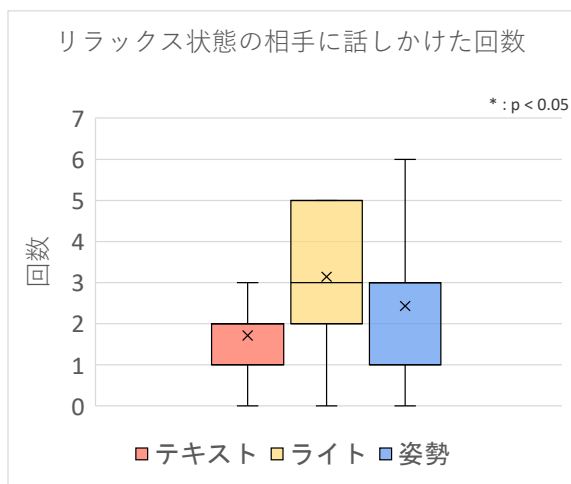


図 7.11: 相手がリラックス時に参加者が話しかけた回数のアンケート結果.

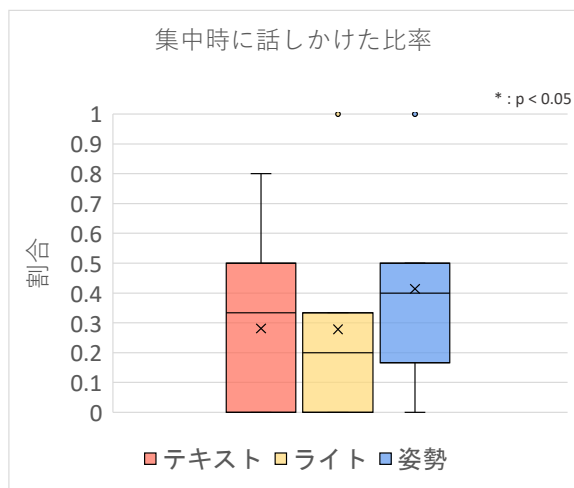


図 7.12: 話しかけた回数のうち相手が集中時の割合のアンケート結果. グラフ内の点は外れ値を示す.

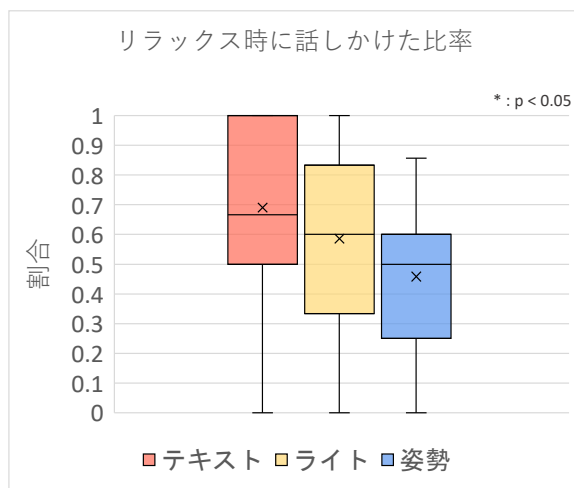


図 7.13: 話しかけた回数のうち相手がリラックス時の割合のアンケート結果.

7.5 実験結果に対する結果および考察まとめ

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.** 集中度を把握するための基礎的特性が高い。
- **H2.** 話しかける行為の心理的負担が軽減される。
- **H3.** 相手に話しかける回数が増える。
- **H4.** 相手が集中時に比べ、リラックス時に話しかける回数が増える。

H1について、アンケートから、提案手法の基礎的特性が有意に向上した結果が得られた。Noticeabilityの結果から、提案手法の集中度の変化への気づきやすさが有意に向上した。Comprehensionの結果から、提案手法の集中度の理解のしやすさが有意に向上した。Division of attentionの結果から、提案手法が作業への注意を阻害しない効果が有意に向上した。Telepresenceの結果から、相手の存在感は有意に向上しなかった。Grasping Focusにおいて、提案手法は集中度を把握し続ける効果が有意に向上した。以上のことから、提案手法は作業への阻害が小さい上、集中度の変化に気づきやすく理解もしやすいと言える。さらに、集中度を把握し続けられると言える。これらのことから総合的に判断して、H1は支持されたと考えられる。

H2について、アンケート結果から心理的負担が軽減されるという結果は得られなかった。提案手法により、相手の親近感を促進する効果は有意に向上しなかった。また、コミュニケーションへの義務感および期待感が満たされない度合いも有意に向上しなかった。自由記述アンケートには集中度に応じて話しかける判断ができたという意見が見られたが、心理的負担が軽減されたと考えるには不十分である。一方、実験設計が統率されていたことにより、本実験においては適切に評価ができていない可能性がある。以上のことから、本実験においてはH2は支持されなかったが、追加検証が必要であると考えられる。

H3について、話しかけた回数は向上しなかった。H4について、提案手法において、相手が集中時における話しかけた回数および相手がリラックス時に話しかけた回数は有意に向上しなかった。すなわち、H3およびH4は支持されなかった。一方、H3およびH4においては実験設計の影響が考えられるため、実環境における実験による追加検証が必要である。

以上の結果より、集中度の変化への気づきやすさ、理解のしやすさ、注意阻害の度合いの小ささ、および集中度を把握し続ける効果が有意に向上したことから、集中度を把握するための効果は高いと考えられる。集中度を把握しながら話しかけることへの好印象な意見も見られた。また本実験においては、「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」という結果は見られなかった。さらに話しかける回数にも差は見られなかった。これらの結果に対し、統率された実験環境ではなく実環境での作業場面における追加検証が必要であると考えられる。

第8章 議論および今後の展望

本章では、提案手法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。

8.1 実験設計による制約

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。具体的には、実験タスクの時間、タスクの内容、対話の内容が制限されていた。実験タスクの時間はおよそ30分間であり、実環境においてはより長い時間作業を行うことが想定される。そのため、より集中度の変化が顕著に表れ、変化の頻度も多くなることが予想される。その場合、より相手の集中度に配慮しながら話しかけることや、集中度に応じて話しかける判断をする機会が増える可能性がある。

タスクの内容について、本研究では Beauvisage [Bea09] による日常生活におけるコンピュータの用途の調査に基づき決定したが、実環境における作業ではさらに作業ごとに要する集中度が異なる可能性がある。実環境では、本実験以上に集中力を要する作業や、集中力が必要ない作業のような、作業の種類がより幅広いものになることが想定される。その場合、話しかける判断や対話を受け取る判断に影響がある可能性がある。

本研究では、対話の内容もタスクの進捗に関するものがほとんどであった。本研究では、対話の生起を促し、集中度に応じて参加者に任意のタイミングで対話を行なってもらうことを目的にタスクの進捗を合わせながらタスクを進めてもらう設計にしたが、これにより対話の内容が制限された。進捗を確認する際には集中度に関わらず話しかけた参加者も多く、集中度による判断が不要である場合が多く発生した。これに対し実環境においては対話の内容が制限されないため、ユーザごとに集中度に応じてより柔軟な判断ができる可能性がある。また、タスクの進捗を確認するコミュニケーションへの義務感が、各実験条件のシステムに等しく発生した可能性がある。また、コミュニケーションへの期待感に差が生まれなかった原因の一つに、実験者が必ず対話に応答する設計が挙げられる。そのため話しかける行為の心理的負担が適切に評価されなかった可能性がある。

以上のように、本研究では実験設計による制約が多く存在したため、今後は実環境における検証を行う必要がある。実環境においては集中度に応じた判断がより増加する可能性があり、その場合話しかける心理的負担や対話の生起回数に影響があると考えられる。

8.2 姿勢検出の堅牢性

本研究では、姿勢の検出に MediaPipe の FaceMesh を用いた。また、実験の環境に適合させた実装をおこなった。これにより、検出精度の堅牢性および使用場面に制約があった。検出精度について、姿勢の検出には顔の中心点の web カメラに対する距離により姿勢を検出していた（前傾の場合はカメラへの距離が近く、後傾の場合は距離が遠い）。この場合、web カメラは作業者の正面（本研究では作業用 PC）に配置される必要があり、作業者正面の Web カメラから左右にフレームアウトした場合には検出ができなくなってしまう。また、椅子の位置も Web カメラに合わせて固定し、参加者ごとにキャリブレーションを行う必要があった。そのため、システムの使用には使用環境に合わせた調整が必要であり、調整した環境から異なる環境になると精度が保てず、堅牢性が低いと考えられる。

これに対し、今後は実装方法を変える必要がある。具体的には、Web カメラを広角で検出可能にし、作業者のフレームアウトの可能性を減らし、Web カメラに対する距離ではなく、作業者の関節点のみで検出を可能にすることが目標である。また、作業者が着座している場合のみでなく、立ち上がった場合や、前傾や後傾以外の姿勢も検出することも検討していく。

8.3 システムの複数人における使用

現在、本システムは遠隔地間における 1 対 1 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。

8.4 より細かな集中度の伝達

本システムでは、集中時、平常時、リラックス時の 3 段階の集中度を提示した。これに対し実環境では、より細かな作業者の状態が存在すると考えられる。例として、離席中で確実に応答できない状態や、作業に没頭しており集中している状態の中でも特に話しかけられたくない状態が挙げられる。他にも、リラックスしている状態の中でも、少なからず作業を行っている状態もあれば、全く作業が手についていない状態があることも考えられる。対面状況においては、こういったより細かな状態が非言語情報により伝達されることが考えられる。そこで、今後の課題として、3 段階のみでなくより細かな集中度を伝達する手法を検討したい。

第9章 おわりに

本研究では、我々の先行研究 [TKST21] を拡張し、遠隔地間において作業者の集中度を物理アバタの姿勢を用いて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。また、我々の先行研究 [TKST21] を拡張するにあたり、先行研究におけるシステムを用いた予備調査、およびオフィス環境における対話開始場面の集中度の表出のされ方の予備調査を行った。そして、先行研究 [TKST21] を拡張したシステムを実装し、実験を行った。その結果をもとに、我々は以下のことを示した。

- 視線を用いたウェアネス支援システムを用いた実験により、視線を用いる場合、情報の理解のしやすさが高く、作業への注意阻害が小さいことを示唆した。また、遠隔者の存在感を伝達する効果が高いことを示唆した。
- オフィス環境における対話開始場面の調査を行い、姿勢の変化により集中度が表出される可能性があることを示唆した。
- 姿勢を用いて集中度を提示する手法は、作業への注意阻害が小さく、遠隔作業者の集中度の変化に気づきやすく、理解がしやすいことを示唆した。また、集中度を把握し続けられる効果が高いことを示唆した。

これらの結果より、本研究における提案システムは集中度を把握し続けるための効果が高いことが示唆された。一方、本研究におけるシステムは、話しかける行為の心理的負担を軽減できる結果は得られなかった。また、本研究における実験は、限られた実験環境においてのみしか検証できていないという課題がある。そのため今後は、実環境における検証を行うことが課題である。

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頂きました。心から感謝いたします。特に、実質指導教員である川口一画先生には、研究に関することのみならず、日常生活における研究者の心構えなど多岐に渡るご指導を頂きました。研究室配属当初は研究について右も左も分からなかった私に、多くの時間を割きながら非常に親身に寄り添って頂きました。研究の進め方、論文執筆、システムの実装、発表の方法など本当にたくさんのことを教えて頂きました。さらに、小さな疑問点や不安点にも快くご対応頂き、細かな知識や研究の進め方を身につけることができ、非常に大きく成長できたと感じています。また、私の所属するチームは私が配属された年に新設されたこともあり、先輩がいない中、先生から直接ご指導頂けることが多くありました。先生と近い距離でコミュニケーションを取りながら、多くのことを学べる機会を頂いたことにより、これまでの研究発表および本論文の執筆ができました。先生の熱心なご指導なくしては、これまでの研究成果はありません。たくさんの成長の機会を頂いたことに感謝します。さらに、我々学生が研究生生活を進めやすいようにさまざまなご対応をして頂きました。学生の意見を尊重して頂く機会や、学生に不安なことがあればお声がけ頂く機会も多く、不安や苦悩なく研究生生活が進められました。ここに深く感謝の意を表します。本当にありがとうございました。

インタラクティブプログラミング研究室の後輩、同輩、先輩方には研究生生活においてお世話になりました。特に COMMUNICATION チームの皆様には、チームゼミにおけるご意見や論文の添削といった研究に関する多くのご支援に加えて、研究室においても研究の進め方や研究生生活について多くのご助言を頂きました。日常生活においても、多くのコミュニケーションを取り、温かく接して頂いたので楽しく研究生生活を送ることができました。COMMUNICATION チームには先輩がいない中、素敵な同輩および後輩に恵まれたからこそ、有意義かつ楽しく研究が進められました。同輩とは、行き詰まった時に相談をすることや、多忙な時期を共に乗り越えることが多くありました。後輩は、学年差を感じさせないような身近な距離でコミュニケーションを取ってくれることが多く、非常に楽しい研究生生活を送ることができました。研究生生活を彩ってくださった皆様に感謝します。WAVE チームの皆様には、論文の添削や研究に関する助言等のご支援を多く頂きました。皆様の協力あつての研究成果だったと強く感じています。ありがとうございました。研究室の皆様のおかげで、3年間充実した研究生生活を送ることができました。深く感謝いたします。

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頂いた家族に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- [Bea09] Thomas Beauvisage. Computer usage in daily life. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, p. 575–584, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [com] Salesforce company. Slack. <https://slack.com/intl/ja-jp> (2022年1月11日閲覧) .
- [Cor] NTT Communications Corporation. Skyway. <https://webrtc.ecl.ntt.com/> (2022年1月11日閲覧) .
- [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 Egido. 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.
- [fP] Max Planck Institute for Psycholinguistics. Elan. <https://archive.mpi.nl/tla/elan> (2022年1月11日閲覧) .
- [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/> (2022年1月11日閲覧) .

- [HC86] Christian Heath and Heath Christian. *Body movement and speech in medical interaction*. Cambridge University Press, 1986.
- [HTK⁺99] Shinkuro Honda, Hironari Tomioka, Takaaki Kimura, Takaharu Oosawa, Ken ichi Okada, and Yutaka Matsushita. A company-office system “valentine” providing informal communication and personal space based on 3d virtual space and avatars. *Information and Software Technology*, Vol. 41, No. 6, pp. 383–397, 1999.
- [HTvT⁺14] Doris Hausen, Aurélien Tabard, Attila von Thermann, Kerstin Holzner, and Andreas Butz. Evaluating peripheral interaction. In *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI ’14, p. 21–28, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [Inc] Discord Inc. Discord. <https://discord.com/> (2022年1月11日閲覧) .
- [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.
- [LTN⁺19] Camillo Lugaresi, Jiuqiang Tang, Hadon Nash, Chris McClanahan, Esha Uboweja, Michael Hays, Fan Zhang, Chuo-Ling Chang, Ming Guang Yong, Juhyun Lee, et al. Mediapipe: A framework for building perception pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*, 2019.
- [MC00] Paul P. Maglio and Christopher S. Campbell. Tradeoffs in displaying peripheral information. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’00, p. 241–248, New York, NY, USA, 2000. Association for Computing Machinery.
- [MCCS03] D. Scott McCrickard, Richard Catrambone, C. M. Chewar, and John T. Stasko. Establishing tradeoffs that leverage attention for utility: Empirically evaluating information display in notification systems. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Vol. 58, No. 5, p. 547–582, may 2003.
- [Meh69] Albert Mehrabian. Significance of posture and position in the communication of attitude and status relationships. *Psychological bulletin*, Vol. 71, No. 5, p. 359, 1969.

- [Mic] Microsoft. Microsoft teams. <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/microsoft-teams/free> (2022年1月11日閲覧) .
- [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> (2022年1月11日閲覧) .
- [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.
- [SLK05] N. Sadat Shami, Gilly Leshed, and David Klein. Context of use evaluation of peripheral displays (cuepd). Vol. 3585, pp. 579–587, 09 2005.
- [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.
- [SSWV01] Jacob Somervell, Ragavan Srinivasan, Kim Woods, and O Vasniak. Measuring distraction and awareness caused by graphical and textual displays in the periphery. In *Proceedings of the 39th Annual ACM Southeast Conference*, 2001.
- [TKST21] Aoto Tanokashira, Ikkaku Kawaguchi, Buntaro Shizuki, and Shin Takahashi. Supporting the initiation of remote conversation by presenting gaze-based awareness information. In Davinia Hernández-Leo, Reiko Hishiyama, Gustavo Zurita, Benjamin Weyers, Alexander Nolte, and Hiroaki Ogata, editors, *Collaboration Technologies and Social Computing*, pp. 109–116, Cham, 2021. Springer International Publishing.
- [TKSY16] Hideki Tsuruoka, Kenta Koyama, Yotaro Shirakashi, and Ikuko Yairi. Ambient system for encouraging autonomous learning using cushion shaped device. *D-Abstracts of IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems (Japanese Edition)*, Vol. 100, pp. 36–46, 2016.

- [TNI14] Kazuaki Tanaka, Hideyuki Nakanishi, and Hiroshi Ishiguro. Comparing video, avatar, and robot mediated communication: Pros and cons of embodiment. In Takaya Yuizono, Gustavo Zurita, Nelson Baloian, Tomoo Inoue, and Hiroaki Ogata, editors, *Collaboration Technologies and Social Computing*, pp. 96–110, Berlin, Heidelberg, 2014. Springer Berlin Heidelberg.
- [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, February 2014.
- [ZVC] Inc. Zoom Video Communications. Zoom. <https://zoom.us/> (2022年1月11日閲覧) .
- [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.
- [高島 14] 高島健太郎, 妹尾大. Office teller: 分散オフィスにおける「場のアウェアネス情報」伝達による連帯感, 興味, 理解の向上に関する研究. 日本経営工学会論文誌, Vol. 65, No. 3, pp. 238–247, 2014.
- [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.
- [沼中 16] 沼中秀一, 高橋祐樹, 天野健太郎, 谷英明, 加藤信介, 高橋幹雄. 知的生産性向上を目指した執務空間における外部の自然環境の導入効果に関する実態調査. 空気調和・衛生工学会 論文集, Vol. 41, No. 229, pp. 1–14, 2016.
- [沼田 14] 沼田剛明, 比嘉邦彦. 分散勤務者のコミュニケーション支援ウェブベースツール「c-work」(論文部門, 躍動へ〜グローバル化する東京から新しいワークスタイルの発信〜). 日本テレワーク学会研究発表大会予稿集, Vol. 16, pp. 41–45, 2014.
- [深澤 17] 深澤伸一, 下村義弘. 周辺視野への視覚的な動きと音による情報提示が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響. 人間と生活環境, Vol. 24, No. 1, pp. 1–10, 2017.
- [清水 04] 清水健, 山下邦弘, 西本一志, 國藤進. キャラクターエージェントを用いた個人作業状況アウェアネスを提供するシステムの構築. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI04, pp. 22–22, 2004.

[白井 02] 白井良成, 大和田龍夫, 亀井剛次, 桑原和宏ほか. 実環境指向のウェアネス情報とその提示手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3653–3663, 2002.

著者論文リスト

本論文に関する論文および発表

- 査読あり国際会議論文
 1. Aoto Tanokashira, Ikkaku Kawaguchi, Buntarou Shizuki, Shin Takahashi. Supporting the Initiation of Remote Conversation by Presenting Gaze-based Awareness Information. the 27th International Conference on Collaboration Technologies and Social Computing (CollabTech 2021), Springer, pp. 109–116, August 2021.
 2. Aoto Tanokashira, Ikkaku Kawaguchi. Investigation of Basic Characteristics of Awareness Presentation Using Gaze of a Robot. The 6th Asian CHI Symposium (Asian CHI Symposium 2022), Association for Computing Machinery, pp.10–15, April 2021.
- 査読なし国内会議論文
 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の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), 日本ソフトウェア科学会, 2020年12月, 5pages.
 2. 田之頭吾音, 川口一画. 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. 第195回HCI研究会, 情報処理学会, 2021年11月, 8 pages.
 3. 田之頭吾音, 川口一画. 物理的なアバタの視線を用いたアウェアネス情報提示のための基礎的特性の調査. 第197回HCI研究会, 情報処理学会, 2022年3月, 8 pages.
 4. 田之頭吾音, 川口一画. 物理的なアバタを用いたアウェアネス支援のためのオフィス環境における対話開始場面の調査. 第199回HCI研究会, 情報処理学会, 2022年8月, 7 pages.

その他論文

- 査読あり国際会議論文

1. Ikkaku Kawaguchi, Ayumi Ichikawa, Keiichi Ihara, Ryo Ishibashi, Aoto Tanokashira. Hybrid Robot with Physical and AR Body Presentation. The 32nd International Conference on Artificial Reality and Telexistence & the 27th Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE2022), Association for Computing Machinery, December 2022, 2 pages.
 2. Ayumi Ichikawa, Keiichi Ihara, Aoto Tanokashira, Ikkaku Kawaguchi. Investigating the Effect of Animal Avatars on Users' Self-disclosure During Interaction in VR space. The 32nd International Conference on Artificial Reality and Telexistence & the 27th Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE2022), Association for Computing Machinery, December 2022, 2 pages.
- 査読あり国内会議論文
 1. 石橋遼, 田之頭吾音, 井原圭一, 川口一画. AR空間内における視線およびコントローラを用いたオブジェクト操作手法. 第30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 (WISS2022), 日本ソフトウェア科学会, 2022年12月, 3 pages.
 - 査読なし国内会議論文
 1. 飯塚陸斗, 大山智弘, 杉山将利, 下田康太, 田之頭吾音, 井原圭一, 石橋遼, 川口一画, 動的音高変化による方向提示手法設計のための基礎的調査. 第27回一般社団法人情報処理学会シンポジウム (INTERACTION2023), 情報処理学会, 2023年3月, 5pages (To Appear).

付録A 実験において用いたアンケート

6章にて述べた実験に用いたアンケートを示す。

田之頭_修論アンケート

実験ご参加いただきありがとうございます。こちらのアンケートにご回答お願い致します。

 tanokashira@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし)
[アカウントを切り替える](#)



*必須

参加者氏名 *

回答を入力

参加者番号 *

回答を入力

性別 *

- 男性
 女性
 その他

年齢 *

回答を入力

[次へ](#)

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)



Google フォーム



田之頭_修論アンケート

 tanokashira@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし)
[アカウントを切り替える](#)



*必須

田之頭_修論アンケート (2/3)

システム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 *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

コミュニケーション終了後も、システムを用いて相手と共有したことについて考
え続けた *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

システムを用いたコミュニケーションによって相手との繋がりがより強くなって
いるように感じた *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

相手がシステム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 *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた



相手がシステム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（応答しない場合、罪悪感を感じると思う）

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

自分が連絡を取りたいと思っていない時でも、システムを用いて連絡を取らなければならぬように感じた^{*}

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

相手がシステム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^{*}

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

自分がシステム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^{*}

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた



システムを用いた連絡では、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

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

自分がシステム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（長すぎる場合、残念に感じると思う）

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

システムを用いている時、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（注意を払っていない場合、残念に感じると思う）

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

[戻る](#)

[次へ](#)

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム



田之頭_修論アンケート

 tanokashira@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし)
[アカウントを切り替える](#)



*必須

田之頭_修論アンケート (3/3)

タスクを行っている間、通話要求や集中度の変化に気づくことができましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

相手の集中度を理解できましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

システムをチラッと見るだけで相手の集中度を理解することができましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

十分にタスクに集中することができましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた



タスクへの注意とシステムへ注意の切り替えをスムーズに行うことができました *
か

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

まるで相手と同じ部屋にいるように感じましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

相手の集中度を把握しながらタスクを進められましたか *

1 2 3 4 5 6 7
全く感じなかった とても感じた

何か感じたことがあれば自由にご記入ください

回答を入力

[戻る](#)

[送信](#)

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング
研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム

