

ICS-25M-23MM314

アバタを活用してZoom Fatigueを軽減する
オンライン会議システムの開発

指導教員 後藤 祐一 准教授

令和7年2月5日提出

理 工 学 研 究 科 数 理 電 子 情 報 専 攻
情 報 工 学 プ ロ グ ラ ム

23MM314

高橋 拓未

埼玉大学 理工学研究科・工学部
先端情報システム工学研究室
埼玉県さいたま市桜区下大久保255

概要

2019年からの新型コロナウィルス感染症(COVID-19)の流行により、感染拡大防止のためオンライン会議サービスの利用が急増し、特に「Zoom」が広く使用されるようになった。しかし、その普及とともに「Zoom Fatigue」(以下、Zoom 疲労)と呼ばれる特有の疲労感が問題視されるようになった。Zoom 疲労の原因を解き明かすため、2021年の先行研究では、心理学的な知見をもとに4つの原因を示しており、これらの問題は、全て Zoom のインターフェースデザインに起因していると指摘された。

一方、先行研究では Zoom 疲労を軽減させるアプローチ方法としてアバタを活用することが一つの解決方法として示唆されている。アバタを利用することによってユーザ全体の映像を遮蔽し、否定的な自己注視を減少させる効果が期待できる。しかし、アバタを活用して Zoom 疲労を軽減する具体的なシステムの設計や実装は行われておらず、実際に実装した結果に関しては、未だに検証されていない。

本研究の目的は、Zoom 疲労を軽減させることによって、快適なオンライン会議システムを開発することである。提案システムは Zoom とアバタ動作システムから構成される。アバタ動作システムには、疲労軽減に必要なアバタの振る舞いを制御する機能が搭載されており、ユーザの表情や動作をリアルタイムで反映する。各ユーザは PC と Web カメラを使用し、Web カメラが取得したデータをもとにアバタが動作し、その映像が Zoom 上の自己ビデオに表示されることで、相手に自然なコミュニケーションを伝達する仕組みとなっている。さらに、アバタをユーザの行動にポジティブな影響を与える機能を提供している。本研究では、提案システムの有用性を検証するために、提案システムを用いて水平思考問題を題材としたオンラインのグループワークを二人一組で行う実験を実施した。実験結果より Zoom 疲労の軽減を行えることが確認できた。

本論文は第1章に本研究の目的と背景を示す。第2章において、Zoom 疲労に関する研究を述べる。第3章では開発するオンライン会議システムについて説明を行う。第4章では提案するオンライン会議システムの有用性を検証するための実験に関して記述する。第5章では、まとめと今後の課題を述べる。

謝辞

研究ならびに生活面においてご指導いただきました後藤 祐一准教授に深く感謝いたします。

また、研究室の皆様、そして同期学生の皆様、並びに私を暖かく見守って頂いた周囲のすべての皆様に深く感謝いたします。

目 次

概要	i
謝辞	ii
図目次	v
表目次	vi
第1章 はじめに	1
1.1 背景	1
1.2 目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 Zoom 疲労の関連研究	4
第3章 Zoom 疲労を軽減する オンライン会議システム	5
3.1 提案するオンライン会議システム	5
3.2 実装	7
第4章 評価実験	11
4.1 実験目的・方法	11
4.2 実験環境	13

4.3 各日程の実験手順	14
4.4 実験結果	17
4.5 考察	20
第5章 おわりに	21
5.1 まとめ	21
5.2 今後の課題と展望	21
公表論文	23
参考文献	24
付録A ZEFScale アンケート内容	26
付録B 自由記述アンケート結果	27

図 目 次

3.1 提案するオンライン会議システム	5
3.2 アバタ動作システム起動画面	8
3.3 アバタ画面	8
3.4 背景空間情報の変更	8
3.5 Zoom に映し出されるアバタ	9
3.6 アバタの笑顔表現	9
3.7 アバタの疑問表現	9
3.8 アバタの感動・感嘆表現	10
3.9 表情・動作の有無と閾値の調整機能	10
3.10 アバタの姿勢制御	10
4.1 本実験におけるクロスオーバー試験の流れ	12
4.2 実験時のオンライン会議システム構成	14
4.3 アバタ条件時の Zoom 画面	15
4.4 ZEF Score 集計結果	18
4.5 アバタ条件と通常条件の比較結果	19

表 目 次

4.1 次元ごとの p 値	18
4.2 観点別の平均値	19

第1章 はじめに

1.1 背景

2019年より発生した新型コロナウィルス感染症(以下, COVID-19と表記)の流行により, 感染拡大を防ぐためオンライン会議サービスの利用が急増した. そのサービスの中でも「Zoom」[10]が多くの人々に利用されるようになった. しかし, それに伴つてある問題が顕在化するようになった. その問題とは「Zoom Faitgue」(以下, Zoom 疲労と表記)である. これは, Zoom の利用によって引き起こされる特有の疲労感を指しており, 社会的に問題視されるようになった.

2021年の先行研究[6]では, 心理学的な知見をもとにZoom 疲労の原因を示している. そのZoom 疲労の原因は以下の4つである.

- 至近距離での視線に曝されること
- 非言語情報の伝わりづらさによる認知的な負荷を受けること
- 自分の顔を常に意識しなければならないこと
- 画面内に収まり続けなければならないため, 身体移動が制限されること

まず、1つ目の「至近距離での視線に曝されること」とは, Zoom上において対面上の会話よりも他人の視線による負担が大きい状況を指す. 通常, 人は見知らぬ相手と至近距離にいると視線をそらして不快感を軽減しようとするが, Zoom上では全員が常に互いの顔を正面から見続けるため, 視線によるストレスが増大してしまう. また, 画面上の顔の大きさも影響し, 対面では50cmほど離れた距離が, Zoom上では13cm相当になり, 親しい関係に特有の近さになる. グループでの会話においても対面では自然に距離が取られるのに対し, Zoom上では大きな顔が並び, 視線による負担が増してしまう.

2つ目の「非言語情報の伝わりづらさによる認知的な負荷を受けること」とは, Zoom上では非言語コミュニケーションが対面より難しく, 意識的な動作(カメラ映りの調整や誇張した頷きなど)が求められ, 認知負荷が増加する状況である. ま

た，Zoom上において視線や表情の影響が強まる一方で，体の動きや姿勢などの手がかりが減ってしまい誤解が生じやすくなる。

3つ目の「自分の顔を常に意識しなければならないこと」とは、Zoom会議において長時間にわたり自身の映像を見続ける状況を指す。これは現実世界で常に鏡を持ち歩くことに類似する状況である。このことにより、ストレスやネガティブな感情を引き起こす可能性がある。

4つ目の「画面内に収まり続けなければならぬため、身体移動が制限されること」とは、Zoom会議では、カメラの視野内に留まる必要があり参加者の身体的自由が制限されることを指す。対面の会議では移動やジェスチャが可能であり、これが創造性や学習効果を高めるとされるが、Zoom会議ではこうした動きが抑制される。

これらの問題は、全てZoomのインターフェースデザインに起因していると指摘された。そのため、Zoom疲労の原因を解消し、Zoom疲労を軽減させるインターフェースデザインが必要であると考える。

一方、先行研究[8]では、Zoom疲労を軽減させるアプローチ方法としてアバタを活用することが一つの解決方法として示唆された。アバタを利用することによってユーザ全体の映像を遮蔽し、否定的な自己注視を減少させる効果が期待できる。しかし、アバタを活用してZoom疲労を軽減する具体的なシステムの設計や実装は行われておらず、実際に実装した結果に関しては、未だに検証されていない。

1.2 目的

本研究の目的は、Zoom疲労を軽減させることによって、快適なオンラインコミュニケーション環境を実現させるオンライン会議システムを開発することである。

そのために、本研究でのアプローチ方法としてアバタを活用することでZoom疲労の軽減を可能にするオンライン会議システムの開発に取り組む。

Zoom疲労を軽減するためにアバタを活用する具体的なシステムの設計を行い、Zoom疲労を軽減するアバタ動作システムを開発する。続いて開発したアバタ動作システムをオンライン会議システムに実装し、システムの評価実験を実施することで本システムの有用性を検証する。

1.3 本論文の構成

本論文はZoom疲労を軽減するためにアバタを活用したオンライン会議システムの開発と評価を行っており、計5章で構成される。

2章ではZoom疲労の要因や影響についての先行研究を紹介し、アバタ活用の可能性について議論する。

3章ではユーザの表情や動作をリアルタイムで反映するアバタ動作システムを設計・実装し、Zoom疲労の軽減を図る仕組みを詳細に説明する。

4章では水平思考問題を用いた実験を通じて、アバタ使用時と通常時での、Zoom疲労度をそれぞれ測定し比較を行うことでその有効性を検証する。

5章では研究の成果をまとめ、Zoom疲労軽減の効果を確認するとともに、フェイストラッキングの精度向上やアバタの操作性改善など、今後の課題について述べる。

第2章 Zoom 疲労の関連研究

Zoom 疲労の発生はオンライン会議に参加する人々にとって、様々なデメリットをもたらす。人々の生活の質や社会的なつながりがZoom 疲労との程度関連しているかを調査した研究 [1] では、Zoom 疲労は人々の生活満足度を下げ、幸福度に悪影響を及ぼしていることが分かっている。さらにZoom 疲労を感じることでオンライン会議の参加者は、Zoom 疲労を感じていない状態よりも能力を発揮することが難しくなる可能性があるとわかった。

Zoom 疲労の悪影響を緩和させるためにZoom 疲労を軽減させる必要がある。そこでZoom 疲労を軽減させるアプローチ方法としてアバタを活用することが一つの解決方法として示唆された [8]。Zoom 上でアバタを利用する利点としては、以下のように述べられている。通常、Zoom 疲労を軽減する解決方法としては自己ビデオを完全に非表示にすることが一つの解決方法として考えられる。しかし、自己呈示に対する意識の欠如や背景の空間情報の意図しない放送の可能性など、他の問題を引き起こす可能性がある。また、顔の平滑化や修正を行うフィルタでは、自己注視を十分に下げられない可能性がある。そこで、アバタを利用することによってユーザ全体の映像を遮蔽し、否定的な自己注視を減少させる効果が期待できる。さらに、アバタをユーザの行動にポジティブな影響を与えるよう設計することが可能であるため有用であると考えられる。さらに、Zoom 疲労に関する研究のメタ分析 [2] においてもZoom 上でアバタを活用することがZoom 疲労の原因に対して有効に作用する可能性が示唆されている。

このようにZoom 疲労に対処する手段として、アバタを活用することが有効であると先行研究で示唆された [2, 8]。しかし、アバタを活用してZoom 疲労を軽減する具体的なシステムの設計や実装は行われておらず、実際に実装した結果に関しては、未だに検証されていない。そこで本研究では、Zoom 疲労を軽減させるためにアバタを活用する具体的なシステムの設計を行い、そのシステムを実装する。そして実装したシステムの有用性を実験を通して検証する。

第3章 Zoom疲労を軽減するオンライン会議システム

3.1 提案するオンライン会議システム

本研究ではオンライン会議システムを図 3.1 のように提案する。本システムは主に Zoom と本研究で開発するアバタ動作システムで構成される。各ユーザが PC と Web カメラを用いて、Zoom 越しにオンライン上でビデオ会議通話を行う。Web カメラが各ユーザの表情や動作をリアルタイムにアバタ動作システムに送信することで、アバタがその表情や動作を反映し、リアルタイムに動作する。動作したアバタの振る舞いが Zoom 上の自己ビデオに反映され、通話相手に伝達される。加えて、本研究で開発するアバタ動作システムには、Zoom 疲労を軽減させるために必要なアバタの振る舞いを制御する機能を搭載がされている。この搭載された機能により、Zoom 疲労の軽減を実現する。

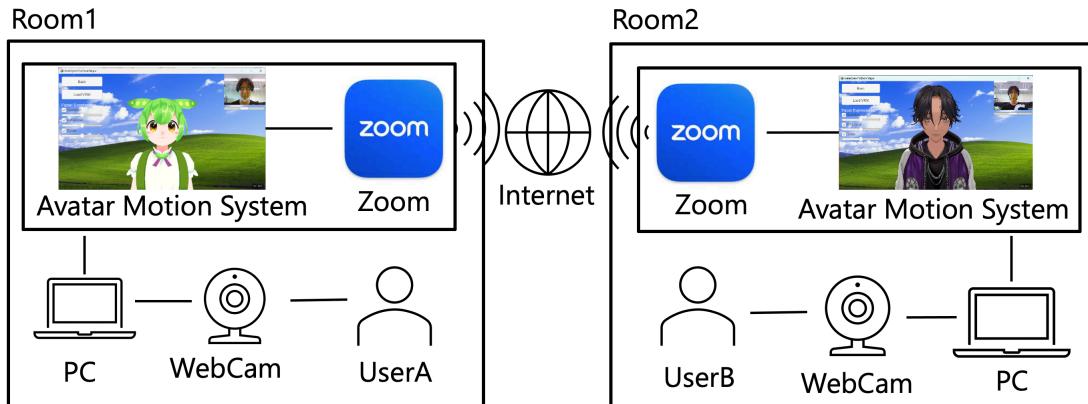


図 3.1: 提案するオンライン会議システム

また、ビデオ会議利用時の人物の背景空間情報が、ネガティブな感情を参加者に与えないようにするために、表示する背景空間情報の条件を先行研究の知見を考慮し

た上で決定し、アバタ動作システム上で表示および切り替えを可能にした。

アバタ動作システムの設計にあたって Zoom 疲労の原因となる 4 つの問題に対してそれぞれ対応策を考え、その対応策から考えうるアバタ動作システムに実装すべき機能を以下のように決定した。

まず 1 つ目の「至近距離での視線に曝されること」に関して説明する。これは Zoom 上において他人と長時間直接視線を送ったり、顔を近くで見たりすることが当たり前となってしまっている。そこで解決方法としては、自身の分身としてのアバタを間に置くことで直接的な視線に曝されるのを防ぐようとする。そのため、実装するべき機能としては、Zoom 上でアバタを利用できるようにすることである。

2 つ目の「非言語情報の伝わりづらさによる認知的な負荷を受けること」に関して説明する。Zoom 上だとカメラから映る範囲が狭く小さいため、顔の表情の機微やボディランゲージの伝達が難しい問題がある。そのため、実際に非言語情報を伝えようとすると顔の表情や頭の動きを用いて、オーバーにリアクションをとったり、大げさに首を打ったりしなければならない。このように、オンライン会議参加者の非言語的行動を意識的に監視し、意図的に合図を大げさに相手に送ることが強いられている状況にある。そこで解決方法として、アバタによって動作および表情を強調表示して相手にはっきりと伝わるようにする。そのため、実装するべき機能としては、本アバタ動作システム使用者の動作および表情を検知し、検知した動作および表情を自己アバタが自動で強調して表現してくれるようとする。

3 つ目の「自分の顔を常に意識しなければならないこと」に関して説明する。これは、Zoom のインターフェースのデザイン上、自分の姿を常に見なければならない状況にあるため、自己注視が強いられ続けてしまう問題がある。そこで解決方法として、オンライン会議参加者の当人にとって好ましい見た目のアバタを利用できることである。そのため、実装するべき機能として、本システム上において多様なアバタを利用可能にする。

最後、4 つ目は「画面内に收まり続けなければならないため、身体移動が制限されること」に関して説明する。Zoom 上ではカメラから映る画角内の情報しか共有していないため、常に相手に誤解を抱かせないよう振る舞わなければならない。同じ空間を共有していれば、ヒトが行う行動の意図を把握しやすいが、Zoom 上だとくみ取れる情報が少ないため、相手に不安や不快感を与えない動作のみに限定されてしまっている。なので、カメラに映る姿を中心に維持し、自分の顔を他の人が見るために十分な大きさに保つことが強いられる状況にある。そこで解決方法は、一時的に画面外に移動しても、常にアバタが画面中心部に位置し、自然に振る舞うことである。そのため、実装するべき機能としては、顔を認識・追跡し、一時的にアバ

タの自動動作ができるようにすることである。この実装によって、歩いたり立ち上がったり、あるいはコップに水を灌ぐために飲み物を取りに行くことが可能となる。

また、1つ目と4つ目の原因より考えられることとして、自身の顔の向きを気にせずに会議に参加できるようにする必要がある。そこで解決方法として、自身が正面を向いていなくともアバタは正面を向き続けるようにする。そのために実装すべき機能としては、アバタの顔の可動範囲を制限し、正面方向を向き続けるようにする。

人物の背景空間情報も考慮し、その機能をシステムに組み込む。人物の背景空間情報は意図しないアウティングにつながる可能性がある。また、Zoom上でヴァーチャル背景を設定していたとしてもその背景が好ましい印象を与えるとは限らない。そこで解決方法として好ましい背景空間を表示する。そのため、実装すべき機能としては多様な背景空間を設定し表示できるようにする。表示するべき最適な背景空間情報として、「快適さ」をイメージさせる背景空間の条件を先行研究[4, 12]より定めた。また、本研究ではアバタを活用するため仮想空間内における「快適さ」を考慮するためにアバタと周囲の環境との関係性を調査した先行研究[11]も考慮の対象とし、本システムで背景空間情報として表示する条件を定めた。以下が定めた背景空間情報の条件である。

- 場所: 屋外
- 天気: 快晴
- 風景: 広々とした風景
- 物体: 快適さをイメージさせる物体

3.2 実装

本システムの開発ツールはUnity(2022. 3. 1f1)を使用し、Assetは主にOpenCV for Unity, Dlib FaceLandmark Detector, CVVtuberExampleを利用し開発を行なった。

アバタ動作システムを起動するとスタート画面が映し出される(図3.2)。ここでは二つのボタンが用意されている。上部のボタンは、実際にメインとなるアバタ画面に遷移する。ボタンの上にはこのシステムの説明が明記されている。下部のボタンにはアバタの背景空間情報を設定することができる。PC内にある画像を参照し、アバタの背景に表示することができる(図3.4)。このボタンの上には先行研究をもとに推奨となる背景空間情報の条件が明記されている。

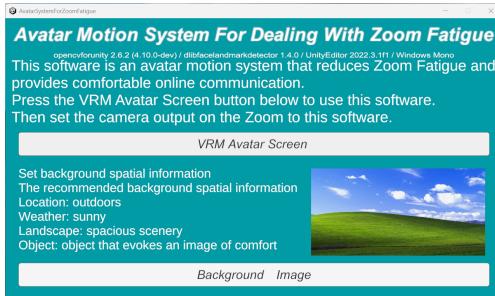


図 3.2: アバタ動作システム起動画面

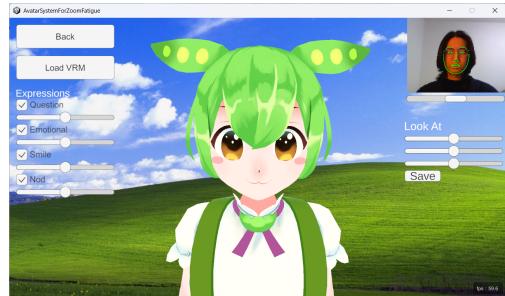


図 3.3: アバタ画面

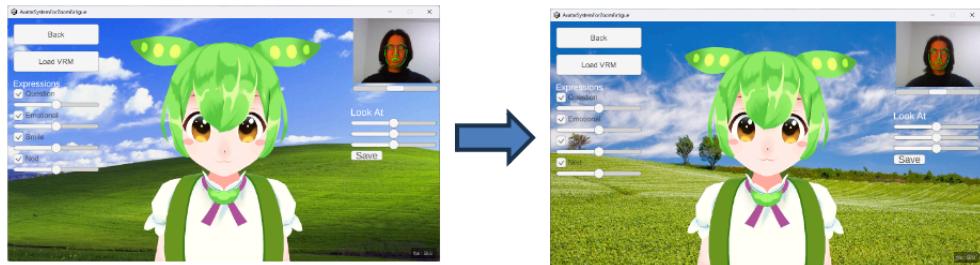


図 3.4: 背景空間情報の変更

メインとなるアバタ画面(図3.3)には、自己アバタが表示される他、複数のボタンやフェイストラッキングの様子が表示されている。左上部のボタンには、「Back」ボタンと「Load VRM」ボタンが設置されている。「Back」ボタンでは文字通り、スタート画面に遷移する。「Load VRM」ボタンでは他のVRM形式[9]のアバタをPC内から参照し、そのアバタをアバタ画面に表示し、使用することができる。VRMはVR向けの3Dアバタファイルフォーマットであり、テクスチャやマテリアルを含めたすべてが1ファイルにまとまり、簡単に実行時、ロードが可能である。右上部のフェイストラッキングの様子が映し出されている画面の下部に設置してあるスライダーは、背景空間情報の拡大と縮小を可能としている。なお、Zoom上でアバタを映し出す際にはZoomのカメラ出力を本システムに内蔵してある仮想カメラを用いて、アバタ画面を表示する。この際、Zoom上で映し出されるのは自己アバタと背景空間情報のみに設定しており、複数のボタンやフェイストラッキングの様子は映し出されない設定にしている(図3.5)。なお、基本的にオンライン会議ツールのカメラ機能部に仮想カメラを認識させることで本システムは利用可能であるため、様々なオンライン会議ツールに対応することが可能である。

アバタの動作に関する実装を説明する。表情・動作の強調に関しては、他者に対して親しみやすさや信頼感を伝え、コミュニケーションを円滑にするような表情を



図 3.5: Zoom に映し出されるアバタ

実装した。具体的には「笑顔」「疑問」「感動・感嘆」を実装した。「笑顔」(図 3.6)は口角の上がり具合のみを検知対象として実装し、アバタが笑顔を表現するようにした。「疑問」(図 3.7)に関しては頭の傾きが一定の角度を超えたら疑問の表情をするように設定した。「感動・感嘆」(図 3.8)に関しては、眉毛の上がり具合を検知し、閾値を超えたらアバタが感動・感嘆の表情をするように実装した。実装した表情・動作に関しては文化的な背景への影響度は低いと考えられる振る舞いのみを実装した。ただ、実際の表現が本当に各文化において受け入れられるかは検討する必要がある。「Load VRM」ボタンの下部に並んでいる複数のトグルとスライダー(図 3.9)は本システムで実装されている表情の有無と表情が検知される閾値を設定することができる。この機能によって会議の様式の考慮やユーザの顔にパーソナライズ化することを可能とした。



図 3.6: アバタの笑顔表現



図 3.7: アバタの疑問表現

自動動作に関しては、フェイストラッキングが一定時間外れると数十秒間、アバタがランダムに自然に揺れ、振る舞うように実装した。この機能は、ユーザが実質

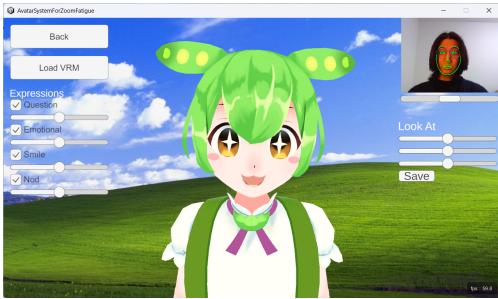


図 3.8: アバタの感動・感嘆表現

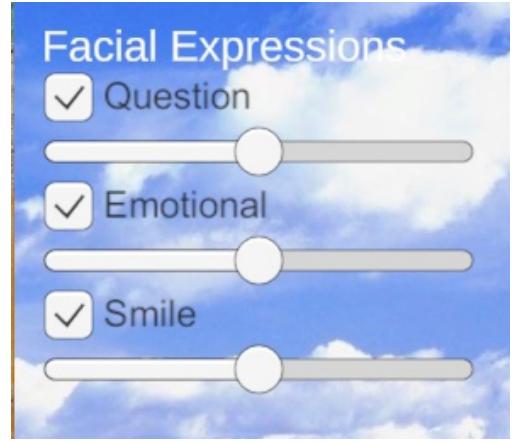


図 3.9: 表情・動作の有無と閾値の調整機能

的に会議に参加せず、楽をするために利用される懸念があるが、自動動作には一定の周期性があるため、自動動作が長時間稼動してある場合、一定時間アバタの動作を観察しているとシステム使用者がその場にしばらくの間いないことに気が付くことができるようになっている。顔の可動範囲の制限に関しては、例えば正面にあるモニターを見ずに、横に設置してあるモニターを見ていてもアバタは正面を向くよう実装した。ここでアバタの横方向の頭部の動作を制限しているが縦方向の頭部の動作は制限を行わずに相槌として「頷き」を表現できるようにしている。

アバタ画面の右側に表示されている LookAt(図 3.10) は、アバタの姿勢を制御することを可能とする。3つのスライダーはアバタの X 軸、Y 軸、Z 軸を指し、スライダーを操作することでそれぞれの軸方向にアバタの姿勢を変更することができる。この機能によってアバタの身長の違いに対応することを可能にし、アバタの向く方向を自在に制御することができる。

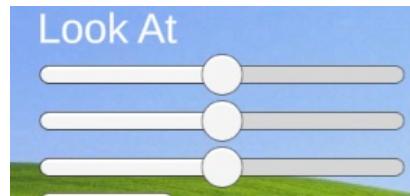


図 3.10: アバタの姿勢制御

この開発したアバタ動作システムをオンライン会議システムに実装することで Zoom 疲労の軽減を目指す。

第4章 評価実験

4.1 実験目的・方法

本実験の目的は、提案するオンライン会議システムの有用性をZoom疲労の軽減とオンラインコミュニケーションの快適性向上の観点から評価することである。

そこで本実験では次の仮説について検証を行う。「オンライン会議サービス上でカメラをつけて議論を行う際に、本研究で開発したZoom疲労の軽減を可能にするアバタ動作システムを利用することでオンライン会議サービスに出席している人は、アバタを利用しない場合と比較してZoom疲労を感じにくくなり、快適なオンラインコミュニケーションが可能になる。」

実験方法としては、Zoom疲労を測定するために水平思考問題を題材としたオンラインでのグループワークを二人一組で実施する。本実験では、8人の男子大学生および男子大学院生を対象とし、4人ずつ2つのグループに分け、実験に協力してもらった。水平思考とは、問題解決のために既成の理論や概念にとらわれずアイデアを生み出す思考方法であり、水平思考問題とは、その思考方法をもって出題される問題の答えを導くクイズである。このクイズでは問題の出題者と質問者に分かれ、出題者が一見すると不可解に思えるクイズを出題する。質問者は出題者に対して「YES」か「NO」か「関係ない」で答えることのできる質問をしながら、出題者が考えている答え（ストーリーや物事）を推測し、クイズの答えを導き出さなくてはならない。有名な水平思考問題の例としては「ウミガメのスープ」[7]が挙げられる。このような問題を題材とする理由は以下の3つである。

- 被験者が問題内容に出てくる対象を全く知らないということがないこと
- 被験者にとってルールが簡単で取り組みやすい内容であること
- 実際の会議では、ある問題に対して協力して解決を図る構造が多いので、そのようなコミュニケーションを想定することが可能であること

本実験では、実験者が問題の出題者となり、二人一組の被験者が質問者として回答を行う。なお、被験者同士で協力して問題を解いてもらうために制限時間を設け、

質問回数を制限する。この過程を通してアバタ動作システムがZoom疲労の軽減に影響を与えるか検証する。水平思考問題で扱う問題は「水平思考クイズゲーム ウミガメのスープ4」[13]から比較的難易度の低い問題を抜粋し利用した。制限時間は本ゲームで推奨されている目標時間を設定し、質問回数に関しては1分間につき1つ質問できるように質問回数を制限した。例えば、制限時間が8分間なら、質問回数は8回までとした。また、一つの条件につき、約17分程度議論をしてもらった。

実験手法はクロスオーバー試験を採用し、図4.1の流れで実験を実施した。この試験手法は対象を2群にわけ、各群に別々の実験を行い評価した後に、ウォッシュアウト期間を挟み、各群の実験を交換して再度評価する方法である。

クロスオーバー試験の流れ

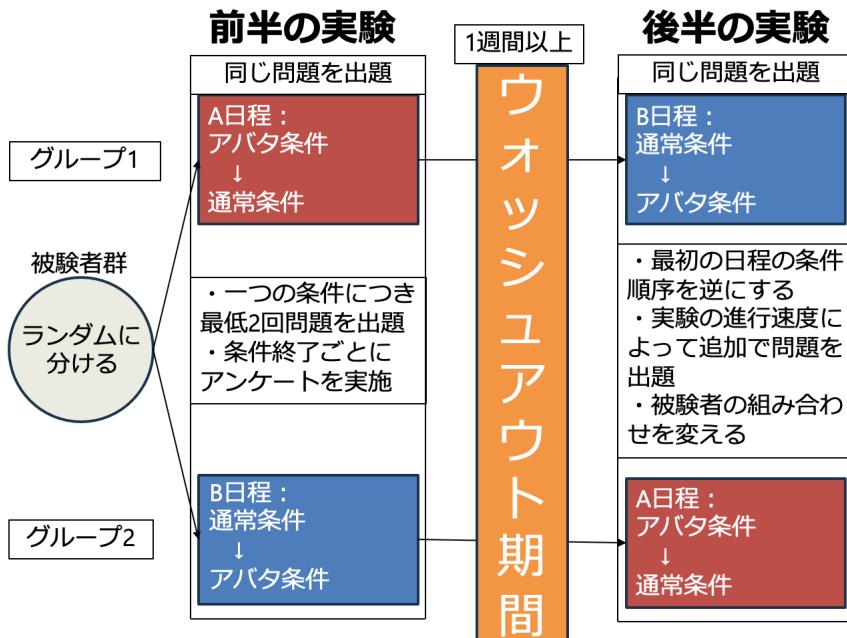


図4.1: 本実験におけるクロスオーバー試験の流れ

本実験では、本オンライン会議システムの有用性を確認するために、本アバタ動作システムを利用したオンライン会議である「アバタ条件」と本アバタ動作システムを利用せずZoomのみを用いたオンライン会議を行う「通常条件」の2つの条件を設け、比較を行う。ある日に両条件に取り組んでもらい、別の日に条件の順序を交換して再度、水平思考問題に取り組んでもらう。これは一日で両条件に取り組んでもらうことで被験者にとって条件の比較をしやすくさせる狙いがある。本実験では、アバタ条件から通常条件への遷移をA日程、通常条件からアバタ条件への遷移

をB日程と定めた。グループ1ではある日にA日程で実験に取り組んでもらった後、ウォッシュアウト期間を経てB日程で実験に取り組んでもらう。グループ2ではグループ1とは反対にB日程から実施後、A日程で実験を実施した。また、被験者には前半の実験と後半の実験でグループ内の異なる被験者と共に実験に取り組んでもらった。このよう実験方法にすることでバイアスの排除を狙った。条件の終了ごとに被験者に対して、Zoom疲労を測定するためのアンケートに回答してもらい、実験終了後に2条件の比較を行うアンケートに回答してもらう。そのアンケート結果から、本オンライン会議システムの有用性を検証する。

4.2 実験環境

実験環境は図4.2のように構成した。オンライン会議サービス上で会議を実施する状況を想定するため、司会役の実験者1名と被験者2名の計3名でオンライン会議を実施する。この時、3人は一人一部屋利用し、それぞれの離れた部屋で実験に参加することでお互いの声や姿を直接認識できない環境にする。

被験者の部屋にはそれぞれ実験に用いるPCを設置し会議に参加してもらう。なお、本実験で用いるPCはOSにWindows、CPUにCorei5-11400H(2.70GHz)、GPUにGeForceGTX1650、実装メモリは16GBで内蔵Webカメラを搭載したものである。また、被験者の手元には実験説明資料とメモ用紙が準備された状態にする。オンライン会議サービスはZoomを利用しインターネットを通じて実施される。Zoomのビデオレイアウトはギャラリービューを採用し、参加者が画面内に均等配置されるようにする。画面に映っている実験者のビューには制限時間のみが表示されるようになり、問題、制限時間、質問回数に関してはZoom内のチャットに表示する。残りの質問回数に関しては実験中に適宜、実験者が被験者に伝達する。

アバタ条件では、Zoomのカメラ出力を本研究で開発したアバタ動作システムに内蔵している仮想カメラに切り替え、アバタを用いて会議を実施する(図4.3)。被験者が使用するアバタは実験者が事前に用意してあるアバタのサムネイルからどのアバタを利用したいかヒアリングを行い、用意した10種類のアバタの中から被験者にとって好みのアバタを実験時に使用してもらう。本アバタ動作システムは、フェイストラッキングによってアバタが動作するため、実験内において、利用説明を行い、アバタがどのような挙動をするのかを確認してもらう。被験者が好みのアバタと背景空間情報を選択後、実験者の指示のもとアバタの動きを確認してもらう。その後、実験者が被験者に対して本システムの機能の説明と確認を行う。通常条件では、カメラ出力を実カメラに切り替え、自分の姿を映して会議に参加してもらう。

被験者は Web カメラを通して相手へ情報の伝達を行いながら協力して問題に取り組む。実験者はカメラを OFF にして会議に参加し、実験の進行と管理を担当する。この際、声とテキストのみで被験者に伝達する。

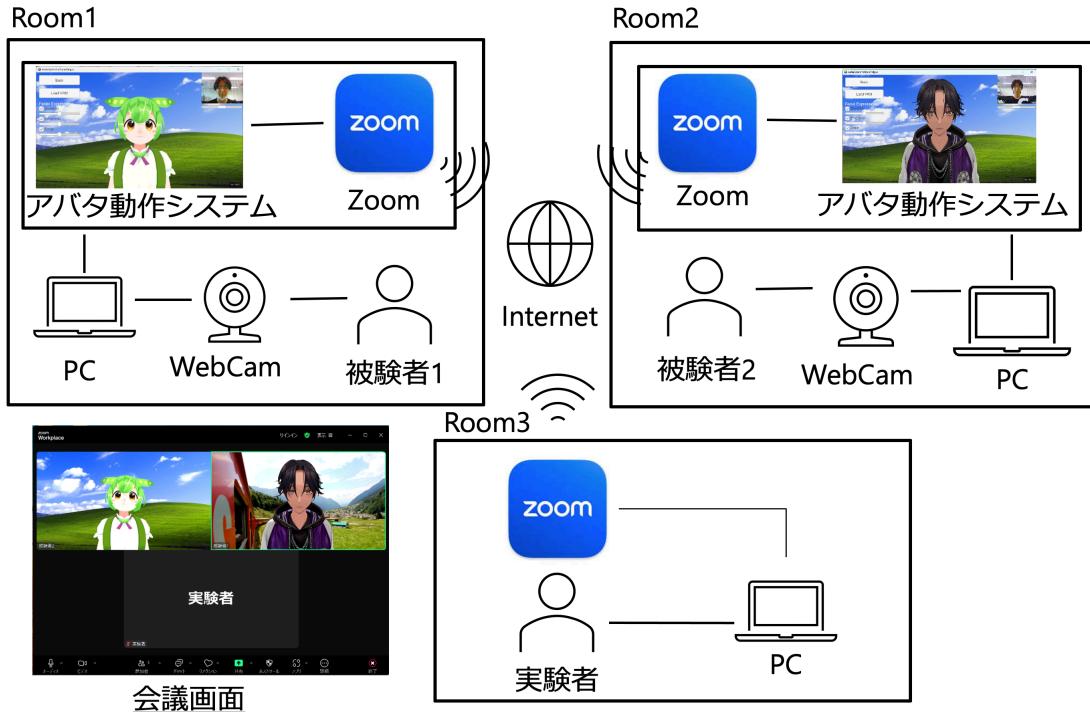


図 4.2: 実験時のオンライン会議システム構成

このような環境のもと、実験を実施した。

4.3 各日程の実験手順

本実験では、二人一組で被験者に水平思考問題に取り組んでもらった。まず、被験者には指定した部屋に集合して席についてもらい、アイスブレイクとしてお互いに「自己紹介をし、それぞれの呼び方」を決めた。その後、実験の説明に移行した。それぞれの被験者に紙の実験説明資料とメモ用紙、実験への参加に対する同意書を配った。被験者に実験説明資料を見るように指示し、「研究の目的、実験目的、実験概要」の説明後、質問があるか確認した。被験者が実験への参加に同意する場合、「同意書」にサインしてもらい、引き続き実験の説明を行った。「水平思考問題」に関して説明後、「議論に対する基本規則」を説明した。基本規則は以下のとおりである。



図 4.3: アバタ条件時の Zoom 画面

- 方言、訛り、言い間違いなどをからかわない
- 長く話し過ぎない
- 人の話をさえぎらない
- 批判・否定しすぎない
- 自由な発想を歓迎し、肯定的なリアクションをしてあげる
- 配ったメモ用紙でメモを取ることも可能
- 二人で出したアイデアをまとめ、質問内容を考える
- 質問回数は制限するが、回答回数は制限しない
- 二人が合意した回答を出すこと

この基本規則では、議論相手への配慮の喚起と問題に対する取り組み方を明記した。次に実験の流れを被験者に以下のように説明した。

「まず、実験者が問題内容、制限時間、質問回数を Zoom 内のチャットで提示する。実験者が提示内容を説明後、開始の合図を出したら被験者は議論を行う。議論中に被験者達は実験者に指定された質問回数の数だけ実験者に質問することができる。被験者間で議論を行い、答えが定まったら実験者に導いた答えを告げる。制限時間内に答えを導けなかった場合、その問題に対する議論を終了する。1つの条件につき、最低2回問題を出題する。想定よりも早く問題を解き終わった場合、あらかじめ定めていた制限時間分、追加で問題に取り組んでもらう。1つの条件が終了

ごとにZoom疲労を測定するアンケートに回答してもらう。なお、アンケートは全て匿名で記入してもらうこととする。」その後、再度「質問時間」を取り、アバタ動作システムの利用説明を行った。

アバタ動作システムではVRM形式[9]のアバタを自由に使用できる。被験者は、実験者が用意した10体のヒト型VRMアバタから好きなアバタを自由に一体選び、実験時に利用してもらう。被験者が好きなアバタを選択後、アバタ動作システムの基本的な機能を説明し、被験者にアバタの動作の様子を確認してもらいながら上下左右に頭部を動かしてもらった。表情・動作の強調機能に関しては、どのような表情や動作をすれば出力されるかも試してもらうようにした。こうすることでアバタの使用に慣れてもらうようにした。その後、質問時間を設け、1人の被験者には別の部屋に移るよう指示した。実験者も別の部屋に移動し、Zoom越しに呼びかけ通信できているか確認を行った。この時、A日程であった場合、Zoom上では被験者はアバタを使用して対話をしている状態にあり、B日程であった場合は、自身の姿をZoom上に映し出している状態である。初回の実験である場合、題材となる水平思考問題の練習問題を本実験の同じ形式で実施するようにした。なお、この際に練習問題で取り扱う問題のレベルは比較的低い問題を取り扱い、制限時間も5分と短い設定で行った。

練習問題の終了後、実験者は被験者に本実験に入ることを告げ、準備ができているか確認を行った後、本実験に移行し、Zoomの録画を開始した。

1つの条件が終了後、Zoom疲労を測定するアンケートに回答してもらう。本実験ではZoom疲労度を測定するために作成されたアンケート:ZEF Scale(Zoom Exhaustion & Fatigue Scale)[5]を使用し、被験者のZoom疲労度を測定した。このアンケートは、疲労の5つの次元(一般的疲労:General Fatigue、社会的疲労:Social Fatigue、感情的疲労:Emotional Fatigue、視覚的疲労:Visual Fatigue、意欲的疲労:Motivational Fatigue)の観点からそれぞれ3つの質問が用意されており、5段階のリッカート尺度(1:全く感じない、2:ほとんど感じない、3:時々感じる、4:しばしば感じる、5:非常に強く感じる)で計15個の質問(詳細なアンケート内容は付録Aに表記)に回答してもらう形式となっている。なお、ZEF Scaleの得点(ZEF Score)の高さは、不安、抑うつ、ストレスと有意かつ正の相関を示し、生活満足度、学業幸福度と負の相関を示していることが分かっている[3]。

その後、もう一方の条件に移行し、再度同じ手順で実験を実施した。

実験の終了後、2条件を比較するアンケートに回答してもらった。このアンケートでは提案システムにおいてコミュニケーションの快適性が向上したか調査するため、本研究で独自に4つの観点(1:コミュニケーションの質、2:ストレスの少なさ、

3: 議論への集中度, 4: 参加者との議論の満足度) を定め, どちらの条件がそれぞれの観点に対して有用であったか 5 つの評価 (1: アバタ条件の方である, 2: ややアバタ条件の方である, 3: 変わらない, 4: やや通常条件の方である, 5: 通常条件の方である) から直観的に一つ選択してもらった. また, 自由記述欄を設け, 実験への感想や気付いたことなどを募った.

最後に実験者は被験者たちが正解にたどり着かなかった問題の正答を説明した後, 被験者を送り出し実験を終了とした.

4.4 実験結果

ZEF Scale アンケートの集計方法としては, まず 5 段階のリッカート尺度を数値に変換し (全く感じない → 0, ほとんど感じない → 1, 時々感じる → 2, しばしば感じる → 3, 非常に強く感じる → 4), 被験者ごとに一つの次元における 3 つの質問の回答結果の平均を算出する. このため一人の被験者ごとに計 5 つのデータを分析に用いる. 分析方法としては, Wilcoxon の符号付順位和検定を用いる. この統計手法は対応のある 2 群の差の検定 (対応のある t 検定) のノンパラメトリック版であり, 順序尺度のデータに対して用いることが可能である. 帰無仮説は「アバタ条件と通常条件の母集団に差がない」, 対立仮説は「アバタ条件と通常条件の母集団に差がある」として設定する. $p < 0.05$ であれば帰無仮説は棄却されて対立仮説を採択する. 疲労の次元ごとにこの検定手法を用いて, それぞれの次元に対して有意差があるかどうか確認する.

ZEF Scale アンケートの結果から算出した Zoom 疲労度の得点である ZEF Score を箱ひげ図によって図 4.4 に示す. 結果, 全ての疲労の次元において ZEF Score の平均値が, 通常条件よりもアバタ条件において低くなっている, Zoom 疲労の軽減を確認することができた. また, Wilcoxon の符号付順位和検定を行なった結果を表 4.1 に示す.

検定の結果より, General, Social, Motivational, Emotional の 4 つの次元において有意差を確認することができ, 提案システムにより 4 つの次元において Zoom 疲労を軽減することが確認できた. Visual においては有意差を確認することができなかった.

実験終了後に実施した被験者による両条件の比較アンケート結果を集計した 5 つの評価項目データを数値に変換し (アバタ条件の方である → 2, ややアバタ条件の方である → 1, 変わらない → 0, やや通常条件の方である → -1, 通常条件の方である

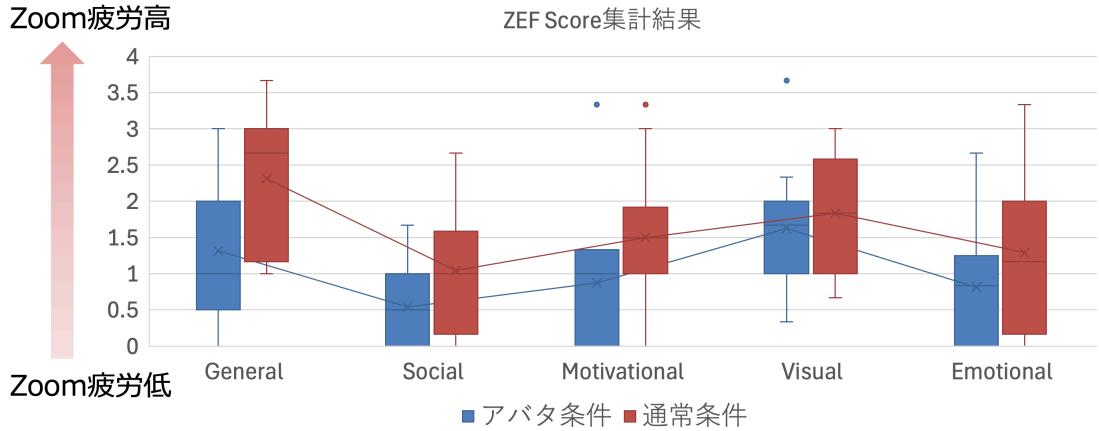


図 4.4: ZEF Score 集計結果

疲労の次元	p 値
General	0.005
Social	0.041
Motivational	0.030
Visual	0.075
Emotional	0.045

表 4.1: 次元ごとの p 値

→-2), 箱ひげ図により図 4.5 に示す. また, 4 つの観点における回答の平均値を表 4.2 に示す.

これらの結果から, 本研究で提案するシステムは「ストレスの少なさ」と「議論への集中度」において有用であり, 「コミュニケーションの質」と「参加者との議論の満足度」においてはあまり寄与しなかった.

自由記述アンケートでは本研究で提案するシステムに対して, 次のような感想があった. アバタ動作システムを使用した場合においては, 比較的視線や表情を気にする必要が少なく, 精神的な負担が軽減される印象を受けた. 特に, 相手の表情を見ることによる疲労感が少なく, 議論への集中が高まると感じた. また, 本システムを用いない場合, 議論中に自分の顔が視界に入ることで集中力が途切れるといった感想があった.

一方で, 笑顔や感嘆の表情は意識的に作らないと自然に出しにくいという指摘が

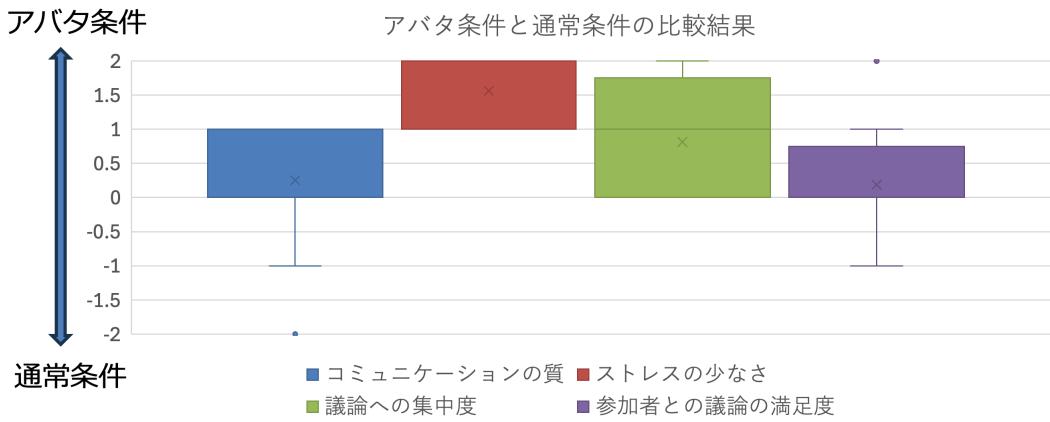


図 4.5: アバタ条件と通常条件の比較結果

観点	平均値
コミュニケーションの質	0.2500
ストレスの少なさ	1.5625
議論への集中度	0.8125
参加者との議論の満足度	0.1875

表 4.2: 観点別の平均値

あった。また、本システムでは音声情報に集中しやすいが、音声環境の影響を受けやすく、聞き取りにくい場面では相手の意図を正確に把握するのが難しいと感じた。さらに、自身の手の動きによってフェイストラッキングに影響を与えてしまい、アバタの表情が不自然になってしまうといった技術的な課題も指摘された。アバタの腕の動作が追加されるとより自然に感じられる可能性があると改善案があった。

実験面に対しては、長時間の実験では後半に疲労や目の乾燥を感じやすくなり、正確な疲労度の測定が難しいのではないかと指摘された。また、問題の途中でヒントを与えるなど、議論を活発化させる工夫が必要ではないかとの意見もあった。さらに、チャットに問題文を表示すると、長時間チャット画面を見続けてしまうことがあったという感想がよせられた。

4.5 考察

本研究では、ZEF Scale アンケートによる ZEF Score の分析を行い、提案システムが Zoom 疲労の軽減に与える影響を検証した。その結果、全ての疲労次元において ZEF Score が低下し、Zoom 疲労の軽減が確認された。特に、Wilcoxon の符号付順位和検定の結果から、General, Social, Motivational, Emotional の 4 つの次元において有意差が確認され、提案システムの有用性が示唆された。一方で、Visual の次元では有意差が確認されなかったことから、視覚的疲労に対する影響は限定的である可能性がある。また、アンケートの質問内容が実験内容と対応していない可能性が大いに考えられる。

被験者による比較アンケートの結果から、提案システムは「ストレスの少なさ」と「議論への集中度」において有用であることが示された。しかし、「コミュニケーションの質」や「参加者との議論の満足度」においては大きな寄与が見られなかつた。このような結果になった理由として自由記述アンケートから考察すると、提案システムの特徴として視線や表情を気にする必要が少ないことが精神的負担の軽減に寄与していることが指摘されており、特に、相手の表情を見ることによる疲労感が少なく、議論への集中度が向上するという意見が多く見受けられたことが影響していると考えられる。

一方で、笑顔や感嘆の表情を自然に出しにくい、音声環境の影響を受けやすい、フェイストラッキングの精度に技術的な課題があるといった指摘もあった。特に、手の動きによるアバタの表情変化の不自然さが課題として挙げられ、アバタの腕の動作追加が改善策として提案された。

実験設計に関しては、長時間の実験による疲労や目の乾燥が影響を与えた可能性が指摘され、より正確な疲労度測定のための工夫が必要であると考えられる。また、議論の活性化のためにヒントを与えることや、チャット画面の長時間閲覧による影響を考慮する必要がある。

以上の結果を踏まえ、本研究で提案したシステムは Zoom 疲労の軽減に一定の効果があることが示されたが、アバタ動作システムの使用感と実験設計において改善の余地が存在することがわかった。

第5章 おわりに

5.1 まとめ

本研究では、オンライン会議におけるZoom疲労を軽減することを目的とし、アバタを活用したオンライン会議システムの開発を行った先行研究に基づくZoom疲労の4つの原因に対して、対応策を考え、それらを軽減するためのアバタ動作システムを設計・開発し、オンライン会議システムを実装した。

開発したシステムの有用性を検証するために、実験を実施し、ZEF Scale を用いたZoom疲労度の測定と、被験者による比較アンケートを行った。その結果、本システムの使用によりZoom疲労の軽減が統計結果より確認された。また、「ストレスの少なさ」および「議論への集中度」の向上が示された一方で、「コミュニケーションの質」や「参加者との議論の満足度」においては大きな改善が見られなかった。自由記述アンケートでは、本システムに対して好意的な意見がみられたがフェイストラッキングの精度やアバタの表情制御、音声環境の影響などの技術的な課題や実験設計に対する指摘がなされた。

5.2 今後の課題と展望

本研究で開発したシステムには以下のような課題が存在すると考える。

まず一つ目は、フェイストラッキングの精度向上である。現状では手の動きによってアバタの表情変化が不自然になることがあるため、より高度なトラッキング技術の導入が必要である。しかし現在のトラッキング技術では、人間の細かい動作を検知できず表現することが難しい問題が存在する。例えば、頬杖をつくと顔のトラッキングに対して影響を与えててしまう。また腕のトラッキングを実装した場合においても頬杖をつくという動作をアバタが表現することは難しい。そのため、人間の細かい動作に対して、アバタがその動作を表現できる技術が必要であると考える。

二つ目は、アバタの操作性の向上である。被験者からのフィードバックに基づき、表情の出力に対してストレスを感じにくい実装や音声が発せられているかどうかわかりやすい実装をする必要があると考える。また、表情出力の方法に対して文化的背景を精査することも必要であると考える。

三つ目は実験設計の改善である。本実験では長時間の実験による疲労やチャット画面の長時間閲覧による影響を考慮した実験環境の検討が必要であった。さらに、Zoom 疲労が最も発生しやすい会議形態で実験を行うことも検討する必要がある。また本実験では、二人一組の被験者に対して二人同時に本システムを使用する場合と使用しない場合で実験を実施したが、一人の被験者が本システムを使用し、もう一人の被験者が本システムを使用しない場合に Zoom 疲労が軽減するかの検証も必要である。他アバタ動作システムとの比較も実施する必要があると考える。

本研究では、オンライン会議における快適なコミュニケーションの実現を目指し、アバタの活用が人々の疲労軽減に寄与する可能性を示した。本研究が新たなコミュニケーションの可能性を広げる一助となることを期待する。

公表論文

査読なし論文

- 高橋 拓未, 後藤 祐一: アバタを活用して Zoom Fatigue を軽減するオンライン会議システムの開発, 学生セッション, インタフェース(アバター), 1ZG-08, 第 87 会全国大会, 情報処理学会, 2025 年 3 月.

参考文献

- [1] Anna C.M. Queiroz, Angela Y. Lee, Mufan Luo, Géraldine Fauville, Jeffrey T. Hancock and Jeremy Bailenson: Too Tired to Connect: Understanding the Associations Between Video-Conferencing, Social Connection and Well-Being Through the Lens of Zoom Fatigue, Computers in Human Behavior, Vol. 149, Article No. 107968, December 2023.
- [2] David Beyea, Chaeyun Lim, Alex Lover, Maxwell Foxman, Rabindra Ratan and Alex Leith: Zoom Fatigue in Review: A Meta-Analytical Examination of Videoconferencing Fatigue's Antecedents, Computers in Human Behavior Reports, Vol. 17, Article No. 100571, March 2025.
- [3] Deniz ME, Satici SA, Doenyas C, Griffiths MD: Zoom Fatigue, Psychological Distress, Life Satisfaction, and Academic Well-Being, Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, Vol. 25, No. 5, pp. 270-277, May 2022.
- [4] Eugy Han, Mark Miller, Cyan DeVeaux, Hanseul Jun, Kristine Nowak, Jeffrey Hancock, Nilam Ram, Jeremy Bailenson: People, Places, and Time: a Large-Scale, Longitudinal Study of Transformed Avatars and Environmental Context in Group Interaction in the Metaverse, Journal of Computer-Mediated Communication, Vol. 28, Issue. 2, doi:zmac031, March 2023.
- [5] Géraldine Fauville, Mufan Luo, Anna C.M. Queiroz, Jeremy Bailenson and Jeffrey Hancock: Zoom Exhaustion & Fatigue Scale, Computers in Human Behavior Reports, Vol. 4, Article No. 100119, August-December 2021.
- [6] Jeremy Bailenson: Nonverbal Overload: A Theoretical Argument for The Causes of Zoom Fatigue, Technology, Mind, and Behavior, Vol. 2, Issue. 1, doi:10.1037/tmb0000030, February 2021.

- [7] Paul Sloane, Des MacHale, クリストファー ルイス (翻訳): ポール・スローンのウミガメのスープ, 2004 年 10 月, <https://www.amazon.co.jp/dp/4767803322/> (accessed 2025-02-05)
- [8] Rabindra Ratan, Dave B Miller, Jeremy Bailenson: Facial Appearance Dissatisfaction Explains Differences in Zoom Fatigue, Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, Vol. 25, Num. 2, pp. 124-129, November 2022.
- [9] VRM:VR 向け 3D アバターファイルフォーマット: <https://vrm.dev/> (accessed 2025-02-05)
- [10] Zoom: <https://www.zoom.com/?lang=jp-JP> (accessed 2025-02-05)
- [11] 石川 敦雄, 西田 恵, 山川 義徳, 乾 敏郎, 渡部 幹: 印象形成に対する背景空間の影響, 日本認知心理学会発表論文集, 日本認知心理学会, Vol. 2013, Num. 0, pp. 19-19, 2013 年 11 月.
- [12] 岡田 穢, 小酒井 正和, 柳澤 日和: オンラインミーティングにおけるバーチャル背景による通話相手へのイメージ評価, 商学研究, 日本商学研究学会, Vol. 2021, Num. 14, pp. 71-98, 2021 年 3 月.
- [13] 古川 洋平, 酒井 英太: 水平思考クイズゲーム ウミガメのスープ 4, 幻冬社, 2023 年 11 月, <https://www.gentosha-edu.co.jp/book/b634548.html> (accessed 2025-02-05).

付録A ZEF Scale アンケート内容

一般的疲労 (General Fatigue)

- 疲れたと感じる.
- 休息が必要だと感じる.
- 全体的に疲労感を感じる.

社会的疲労 (Social Fatigue)

- 問題に取り組んだ後、他人と話すのが嫌だと感じる.
- 問題に取り組んだ後、他人との交流を避けたくなった.
- 問題に取り組んだ後、社会的な活動に参加したくなくなった.

意欲的疲労 (Motivational Fatigue)

- 問題に取り組んだ後、他のタスクに取り組む意欲が低下したと感じる.
- 問題に取り組んだ後、仕事や学業に対するモチベーションが低下した.
- 問題に取り組んだ後、新しいことを始める気が起きなくなった.

視覚的疲労 (Visual Fatigue)

- 目が疲れたと感じる.
- 目の乾燥を感じる.
- 視力が一時的に低下したように感じる.

感情的疲労 (Emotional Fatigue)

- 感情的に消耗したと感じる.
- イライラや不安を感じる.
- 気分が落ち込む感覚がある.

付録B　自由記述アンケート結果

- アバタ動作システムを使っているとき画面をあまり見ないで議論をしていたが、普通の時には相手の表情を見ながら議論をしていたので疲労感がアバタ動作システムのほうが少なかった。
- アバタを使うほうが、人の目を気にしなくていいので、気分的に楽だった。アバターありなしでほぼぶつづけて4問よると、後半のほうが疲労や目の乾燥はかんじやすくなってしまい、正確に疲労度を測りにくい気がする。問題の途中でいきづまっていたら、ヒントとかを与え、議論を活発化させるのもありだと思う、
- 笑顔と感動感嘆の表情は自然と出すのが難しく、あえて出そうとしないと出づらいのではないかと思った。
- 通常条件のときは視覚情報に多くの注意がいき、アバタのときは音声情報に完全に集中してコミュニケーションを計っていたと考えるので、普段どちらの情報を重視しているかによって個人差が出そうだと思った。また、前述の理由により、今の音声環境だとアバタ条件での議論は少しやりづらいと感じた。
- 議論中に自分の顔が視界に入ってくると若干集中力が途切れる
- チャットに問題文を表示すると問題文を長時間見てしまう感じがあった。
- アバタで腕の動作もあると自然だと思った
- アバタ動作システムのほうが画面に笑顔や相槌を向ける必要がないので問題に集中できた。
- 自分の顔に手を当てた時、アバターの表情がバグるのが少し不便だと感じた。
- アバタのほうが視線を感じにくかったり、自分の所作への注意が下げても大丈夫な分、議論自体に集中しやすかった。ただ、聞き取りづらい声（音？）が無効から聞こえた際に、相手が自分への呼びかけをしてそれを自分が聞こえなかったのか、関係ない物音や独り言をしていたのかの判別が難しかった。