

修士論文

視覚的なノイズ減衰と注意誘導による集中力向上

古志 将樹

奈良先端科学技術大学院大学

先端科学技術研究科

情報理工学プログラム

主指導教員：清川 清 教授

サイバネティクス・リアリティ工学研究室（情報科学領域）

令和 2 年 2 月 28 日提出

本論文は奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科に修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

古志 将樹

審査委員：

清川 清 教授	（主指導教員）
安本 慶一 教授	（副指導教員）
酒田 信親 准教授	（副指導教員）
磯山 直也 助教	（副指導教員）

視覚的なノイズ減衰と注意誘導による集中力向上*

古志 将樹

内容梗概

作業に集中したい場合に耳栓をしたり音楽を聴いたりすることがある。これは、周辺環境の聴覚ノイズを遮断することで集中力を向上させ、作業効率の向上を期待しているためである。この聴覚的ノイズという概念を視覚に拡張して考えると、例えば、作業と無関係な人や物が作業者の視野に入ることによって作業効率が低下する可能性が考えられる。本研究では、このような作業者の視線を引きつける作業と無関係な人や物を視覚的ノイズとみなし、これに対して、2つの手法を用いて集中力を向上させるシステムの開発を目的としている。1つ目の手法では、非作業領域に対して、視覚的エフェクトを施すことで、集中力の低下を防ぐ。具体的には、非作業領域にグレースケール化とぼかし処理を施すことで、視覚的ノイズを軽減する手法である。2つ目の手法では、作業領域に対して、視覚的エフェクトを施すことで、集中力を向上させる。具体的には、作業領域が徐々に拡大するエフェクトを施すことで、作業領域へと注意誘導を行う。提案手法は、集中力を向上させる一方で、周辺視野の視覚情報がある程度維持し周辺環境の変化に作業者が気づける手法であり、周辺環境の突発的な状況に対処することが可能である。作業者に HMD (Head Mounted Display) を装着させ、複数の実験を行った結果、非作業領域にグレースケール化とぼかし処理を施した環境と魚眼エフェクトを施した環境で計算タスクの作業効率の向上を確認した。

キーワード

集中力, 視覚的顕著性, 注意誘導

*奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科修士論文, 2020 年 2 月 28 日.

Augmenting Concentration by Visual Noise Reduction and Attention Guidance*

Masaki Koshi

Abstract

In this thesis, a concentration improvement system is proposed. The system works with a head-mounted display (HMD). People use earphones and noise-canceling headphones to shutdown auditory noise from their surroundings when they need to concentrate on the job. Several studies have proven the effectiveness of such noise reduction in improving concentration and learning efficiencies. The proposed system applies this analogy to the visual noise, such as some movements from surrounding people who are unrelated to a user to improve concentration by using the HMD. In this research, two concentration improving methods are proposed. On the first method, the system reduces the visual noise or disturbing visual stimulus, by lowering its visual saliency in the peripheral environment. On the second method, the system applies the visual effect of the expansion of the central visual field in a similar way as a fish-eye camera. By using these methods, the user can more concentrate on his/her work while maintaining the visual information in the peripheral environment. Since he/she can grasp the surrounding situations, he/she can also deal with sudden events. As a result of the experiments, the grayscale conversion with a blur filter and fish-eye conversion more improve the work efficiency of a calculation task.

Keywords:

*Master's Thesis, Graduate School of Science and Technology, Nara Institute of Science and Technology, February 28, 2020.

Concentration, Visual Saliency, Attention Guidance

目次

目次	iv
第1章はじめに	1
第2章先行研究	5
2.1 集中力向上のためのノイズ減衰に関する研究	5
2.2 注意誘導に関する研究	6
2.3 HMD を用いた認知操作に関する研究	10
2.4 HMD 装着者の周辺環境へのアウェアネスに関する研究	12
第3章予備実験：ぼかし処理とグレースケール化の調整	18
3.1 目的	18
3.2 システム構成	18
3.3 実験手順	20
3.4 結果	21
3.5 考察	22
第4章本実験：ぼかし処理とグレースケール化	24
4.1 実験手法	25
4.2 結果	28
4.2.1 1 問当たりの解答完了時間	28
4.2.2 主観的集中度	30
4.2.3 主観的疲労度	30
4.2.4 瞬目頻度	32
4.2.5 視線移動量	32
4.2.6 サブタスク	33
4.2.7 聞き取り調査	33
第5章本実験：拡大エフェクト	35

5.1	魚眼による拡大エフェクト	35
5.2	実験手法	37
5.3	結果	41
5.3.1	1 問当たりの解答完了時間	41
5.3.2	主観的集中度	42
5.3.3	主観的疲労度	44
5.3.4	4 条件に対する嗜好	46
5.3.5	瞬目頻度	46
5.3.6	視線移動量	47
5.3.7	サブタスク	48
5.3.8	聞き取り調査	50
第 6 章 おわりに		53
謝辞		54
参考文献		55
発表リスト		59

第 1 章 はじめに

一般的に、作業や勉強における効率を左右する要因の一つとして集中力が挙げられる。集中力は周囲の環境に対して大きく影響を受けることが分かっている。例えば、オフィス環境で実験を行った研究では、周囲での会話や電話の着信音などの聴覚的ノイズによって集中力が阻害されることが確認されている [1]。また、オープンオフィス環境では視界に映る周囲の人や物の動きなどが集中力を阻害することも確認されている [2]。作業に集中したい場合に耳栓をしたり音楽を聴いたりすることがある。これは、周辺環境の聴覚ノイズを遮断することで集中力を向上させ、作業効率の上昇を期待しているためである。この聴覚的ノイズという概念を視覚に拡張して考えると、例えば、作業と無関係な人や物が作業者の視野に入ることで作業効率が低下する可能性が考えられる。

本研究は、集中が必要とされる作業において、作業と無関係な人や物が作業者の視野に入ることで、作業への集中が阻害され作業効率が低下する場面に焦点を当てる。この作業と無関係な人や物を視覚的ノイズとみなし、これを減衰することで作業者の集中を阻害せず、その一方で周辺環境の視覚情報のある程度維持し、周辺環境の変化に作業者が気づける手法を提案する。現在、隠消現実感技術 (Diminished Reality)[3] の発達によって、映像中のある対象物のある程度違和感なく消去可能となってきている。しかし、この DR を本研究へ単純に適用し視界中の人やモノを消去すると、他人とのコミュニケーションの質の低下やモノとの物理的衝突の危険性が高まることが考えられる。本研究では、人とのコミュニケーションの質やモノとの物理的衝突の危険性を出来るだけ上昇させないように、周辺環境の視覚情報のある程度維持しつつ、同時に視覚的ノイズの悪影響を軽減することを目指す。

この手法を実現するため、以下の二つに着目した。一つ目は、意識的無意識的に関わらず作業者が視線を向けてしまう視覚的ノイズに関連する概念として視覚的顕著性を用いる方法である [4]。視覚的顕著性とは、人の視線を誘引する特性のことであり、ビデオの自動編集技術、広告、物体認識、UI の評価などに利用されている。視覚的顕著性は、動き、色情報、輝度情報、奥行き、物体の質感などの要素に依存する [5]。これらの要素を操作することで、対象物の視覚的顕著性を高める研究も存在する [6][7] (図 1.1, 1.2 参照)。以上から、同様にこれらの要素を操作し、視覚

的ノイズに視線を向けることを防げるのではないかと考える。視覚的ノイズ減衰のための具体的な処理として、視覚的顕著性の要素である動きと色情報に注目し、これらの顕著性を下げるため、色情報に対しては「グレースケール化」の処理を施し、動きに対しては「ぼかし」の処理を施す。これらの処理によって、視覚的ノイズは減衰し、かつ周辺環境の視覚情報がある程度維持したまま作業者の集中力を向上させられると考える。

二つ目は、オプティカルフローを用いる方法である。オプティカルフローとは、対象物が動いたり、観察者が移動したりすることで生じる観察者の網膜上における外界の各点の流れのことである。飛行機が着陸するとき生じるオプティカルフロー [8] を図 1.3 に示す。この図は、飛行機のパイロットからの視点であり、地面に近づくにつれて、着陸点を消失点とした外側に広がるオプティカルフローができることが分かる。以上から、前方に進行する際に生じるオプティカルフロー（拡大フロー）を再現することで、消失点に対して注意誘導できると考える。消失点を作業領域に設置して、作業領域に対して注意を誘導させ作業効率を向上させる。以上の2つの手法の内、まずはぼかし処理とグレースケール化での効果を確認したのちに、拡大フローを用いた実験を行う。

我々は HMD (Head Mounted Display) の前面に小型のステレオカメラを取り付けた拡張現実感用ビデオ透過式 AR ヘッドセット、いわゆる Video See-Through Head Mounted Display (VST-HMD) が将来的に視覚的ノイズ減衰手法が実用化されるプラットフォームであると想定している。この想定に基づいて、提案する視覚的ノイズ減衰手法の有効性を確かめるために実験を設計した。計算タスクを行う作業空間を仮想環境に作成し、この周辺環境に対してグレースケール化やぼかしの処理を施した環境と注意を誘導したい作業領域の中心が消失点となるような拡大フローを起こすエフェクトを施した環境を HMD を通じて被験者に提供し、計算タスクを行わせる実験である。この実験を通して、被験者の作業効率や主観的な集中度を計測・評価し、提案する視覚的ノイズ減衰手法の有効性・特徴・集中度の変化・ユーザビリティ、また周辺環境の変化への認知を明らかにする。



図 1.1 Veas らの研究 [6] 視覚的顕著性を操作して，左下の窓を強調した例．
左から右にいくにつれて強度が高まっている．

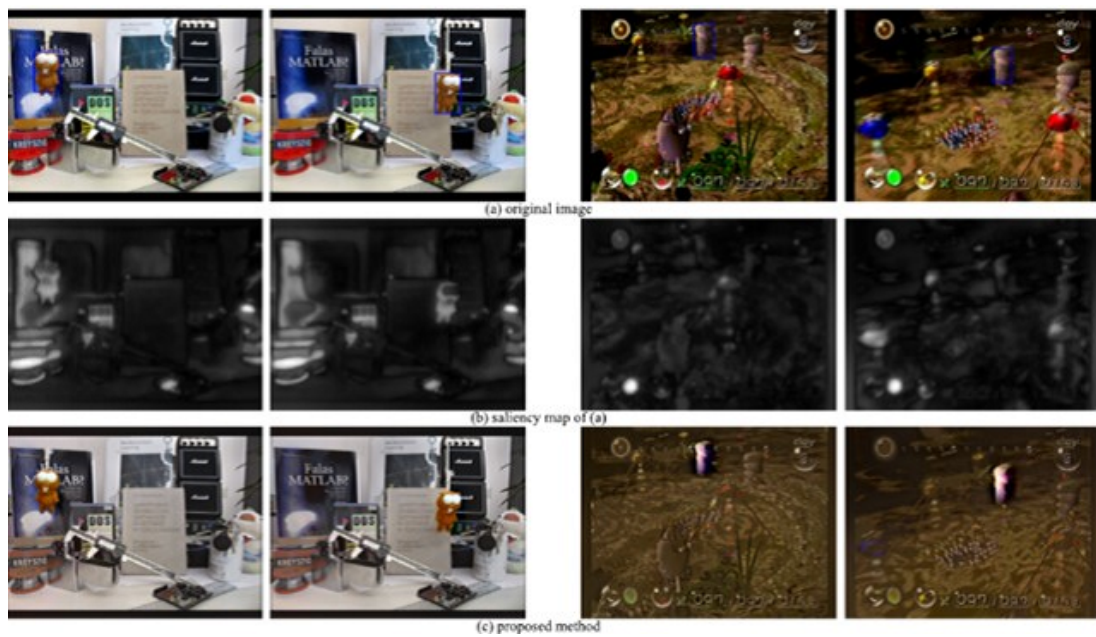


図 1.2 滝本らの研究 [7] 元画像から注視させたい対象物（左側は茶色のキャラクター，右側は長方形の物体）の視覚的顕著性を高めている．（上）元画像（中）元画像から作成したサリエンシーマップ（下）対象物の視覚的顕著性を向上させた出力画像

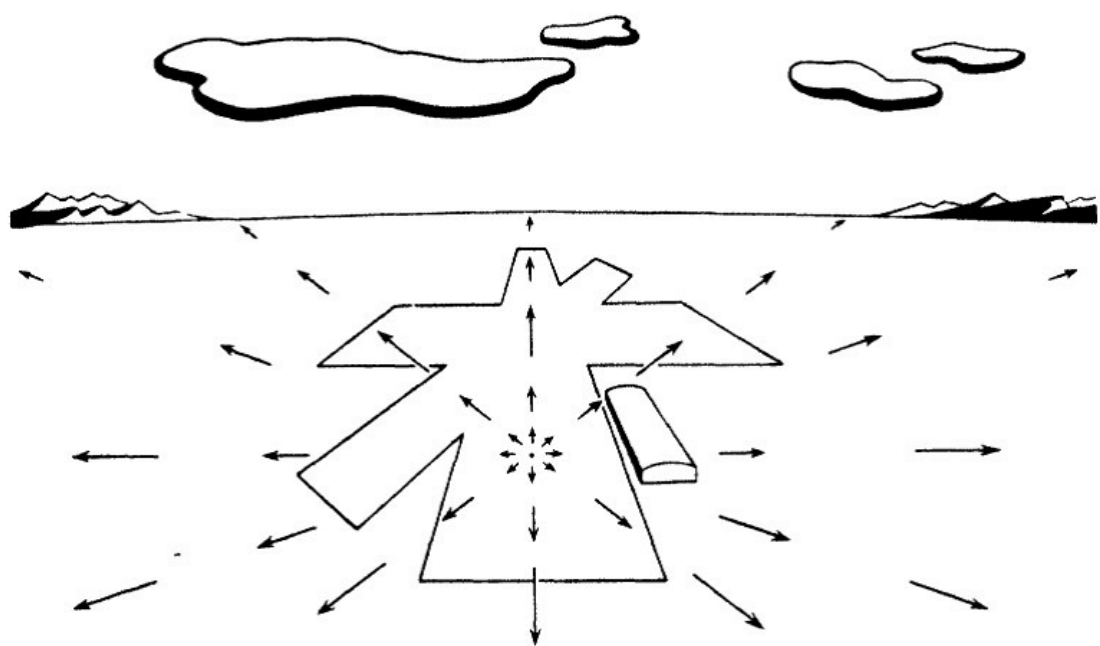


図 1.3 飛行機着陸時のオプティカルフロー [8]

第 2 章 先行研究

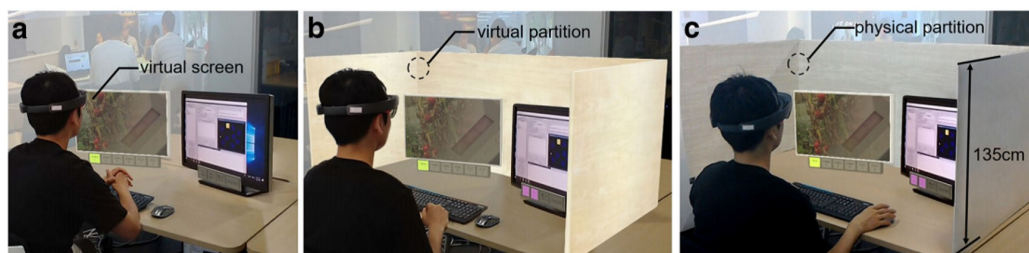
2.1 集中力向上のためのノイズ減衰に関する研究

本研究で注目するノイズに関連する研究として、周囲の物音を聴覚的ノイズとし、それを消したり逆に白色雑音を聞かせたりすることで集中力が向上することが示されている [9]。また、市販のノイズキャンセリングヘッドホンのように周囲の特定の雑音だけを除く商品も多数販売され、その効果は市場で認められている。また、図 2.1 のように視覚と集中力の関係に注目し、頭部前方以外を覆うことで集中力を向上させる商品も販売されている [10]。これは、周辺視野を覆い視野角を狭めることで、不必要な情報を減らし作業に対して意識を集中させている。しかし、周辺視野が覆われているため、周囲の環境が視認できず、突発的な状況に対処することが困難であることが予想される。Lee ら [11] は AR グラスを用いて仮想のパーティション（障壁）を出現させることで、オープンスペースにおけるパフォーマンスの低下を解決する手法を提案している（図 2.2 参照）。検証の結果、周辺視野への注意の減少や注目領域での認知改善を確認した。しかし、この研究では視覚的ノイズだけに注目しておらず、実験環境で対象にしたノイズは、音から発生する聴覚的ノイズ（物音、会話等）も含まれている。この研究では、パーティションのデザイン性（不透明、半透明、ストライプ）などに焦点を当てており、パーティションがない環境（図 2.2 の（a）参照）との比較は行われていない。完全に周囲の視覚的情報を維持できるパーティションがない環境と、ある程度周囲の視覚的情報を維持できる環境（半透明、ストライプ）での比較を行っておらず、エフェクトを施すことでの視覚的ノイズの減衰と周辺視野の視覚情報維持による認知負荷と集中力の関係は明らかにされていない。

これらの研究はノイズを軽減させ集中力を向上させることが研究分野や社会的にも認められていることを示している。



図 2.1 頭部前方以外を覆うウェアラブルデバイス. [10]



(a) Open plan, (b) virtual partition, (c) physical partition

図 2.2 Lee ら [11] が実験で利用した環境. (a) パーティションを使わない環境 (b)AR による仮想パーティションを使った環境 (c) 物理的なパーティションを使った環境

2.2 注意誘導に関する研究

意識的無意識的に関わらず注意を向けてしまう注意誘導に関わる研究において、畑ら [12] は二次元画像中で注意を誘導したい部分以外を低解像度にして、注意を誘導したい部分を高解像度にする事で注意誘導を行う手法を提案している（図 2.3 参照）。注意誘導手法として解像度制御を用いることの有効性を検証しており、検証の結果、解像度制御により注意誘導が可能であることを明らかにしている。この手法によって体験者に気づかれない注意誘導の可能性も示唆している。

宮本ら [13] は現実世界の物体に対しての注意誘導方法を提案している。これは、プロジェクタを用いて物体に対して同様の映像を投影する。その際に、注意誘導したい部分以外を左右にずらして投影することで、注意誘導を可能にしている。

山浦ら [14] は、人間の視覚特性に着目して、周辺視野領域をぼかして疑似的に有効視野が狭窄した感覚を与えることによって集中の障害が抑制されることを示している (図 2.4 参照)。実験においては、集中を障害するものとして周辺視野に被験者の名前などの知覚的鋭敏化が起きるような文字を、中心視野に記憶タスクを配置した。検証の結果、ぼかし効果が知覚的鋭敏化を抑制することを示した。さらに別の論文 [15] で同著者はインタラクティブなデジタルコンテンツにおいて、ぼかしエフェクトを付与したシステムを構築している。4 種類のゲームコンテンツにおいて、ぼかしエフェクトがゲームプレイにおける没入感や立体感といった印象を増幅させ集中のしやすさを向上させることを示している。これらの研究は、提案する視覚的ノイズ減衰手法でグレースケール化やぼかしの処理を採用する妥当性を示している。

オプティカルフローを用いて、注意を誘導させる研究も数多く存在する。オプティカルフローとは、対象物が動いたり、観察者が移動したりすることで生じる観察者の網膜上における外界の各点の流れのことである。Tsuchiya ら [16] は、複数のドットが消失点に対して離れていく拡大フローと複数のドットが消失点に対して近づいていく収縮フローが表示されている画面中における対象物への探索時間の比較を行った (図 2.5 参照)。検証の結果、拡大フローが収縮フローに比べ、探索時間が長くなり、消失点への注意誘導時間が長くなった。さらに、現実世界の画像における対象物への探索時間を比較した実験を行っており、こちらの実験においても、拡大フローが収縮フローに比べ探索時間が長くなり、注意誘導時間が長くなった (図 2.6 参照)。Warren ら [17] はオプティカルフローからの進行方向の知覚に関する研究を行った (図 2.7 参照)。中心視野内もしくは周辺視野にドットを配置して、消失点から離れていく拡大フローを示すドットを表示した際に、被験者が拡大フローによってドットの進行方向が左右のどちらであるように感じるかを答えさせた。検証の結果、中心視野内にドットを配置した時のほうが、周辺視野にドットを配置したときに比べ正答率が高くなった。

さらに、様々な文献において人間が感じとれる対象物に対する動きの知覚（運動



(a) 中央の家が高解像度，その他の領域が低解像度



(b) 左側の家が高解像度，その他の領域が低解像度

図 2.3 畑ら [12] の解像度制御システム． (a) 中央の家への注意誘導 (b) 左側の家への注意誘導

域) が示されている．視覚情報ハンドブック [18] では，中心視における相対運動閾 (参照刺激がある場合の運動閾) は $5''$ (0.0013°) $\sim 10''$ (0.0028°) /sec，絶対運動閾 (参照刺激がない場合の運動閾) は $30''$ (0.0083°) /sec と記述されている．認知科学ハンドブック [19] では，運動速度頂が 50° /sec，運動速度閾が $1'$ (0.016°) $\sim 2'$ (0.033°) /sec と記述されている．Wright ら [20] は二つのグレーティング刺激から作成した複数の plaid パターン (格子模様) の運動閾値を比較しており，実験結果から，運動閾値が $1.2'$ /sec となることを確認している (図 2.8， 2.9 参照)．このパターンを表示させる際の被験者から見た位置を変えた際の実験も行っており，その際は偏角が大きくなるほど運動閾値が増加する傾向があることが分かった．その他にも，さまざまな分野の研究で，拡大フローが注意誘導に用いられている．Simons

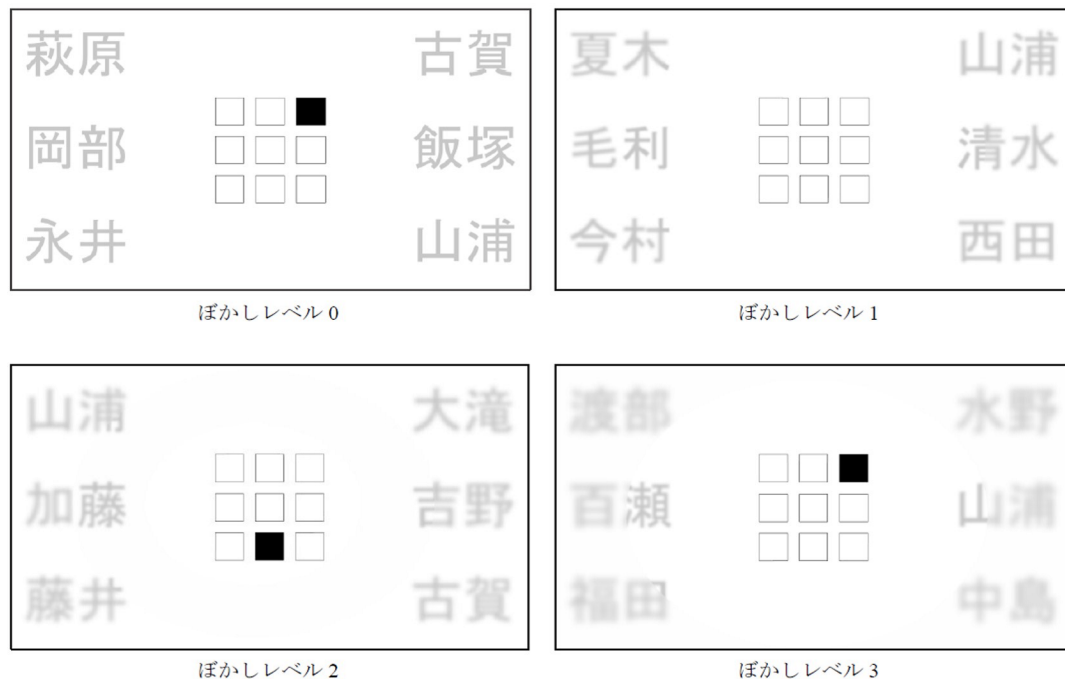


図 2.4 山浦ら [14] が実験で用いたぼかし強さのイメージ。それぞれのぼかしレベルでの正答率の比較を行った結果、ぼかしレベルが高いほど正答率が高い傾向が示された。

ら [21] は、探索タスクを行う際に、事前に対象物が現れる位置に拡大フローを施した際の探索時間を他のエフェクトと比較した実験を行った (図 2.10)。拡大フローは偏角 1.55° から 2.30° まで 150msec で移動した。上記を計算すると、 $5.0^\circ/\text{sec}$ である。ドットの縮小フローとランダム移動、拡大フローとランダム移動の消失点への反応時間を比較した実験では [22]、拡大フローは $3.0^\circ/\text{sec}$ で用いられている (図 2.11 参照)。

これらの研究は、本研究で提案するオプティカルフローを用いた注意誘導の妥当性を示している。

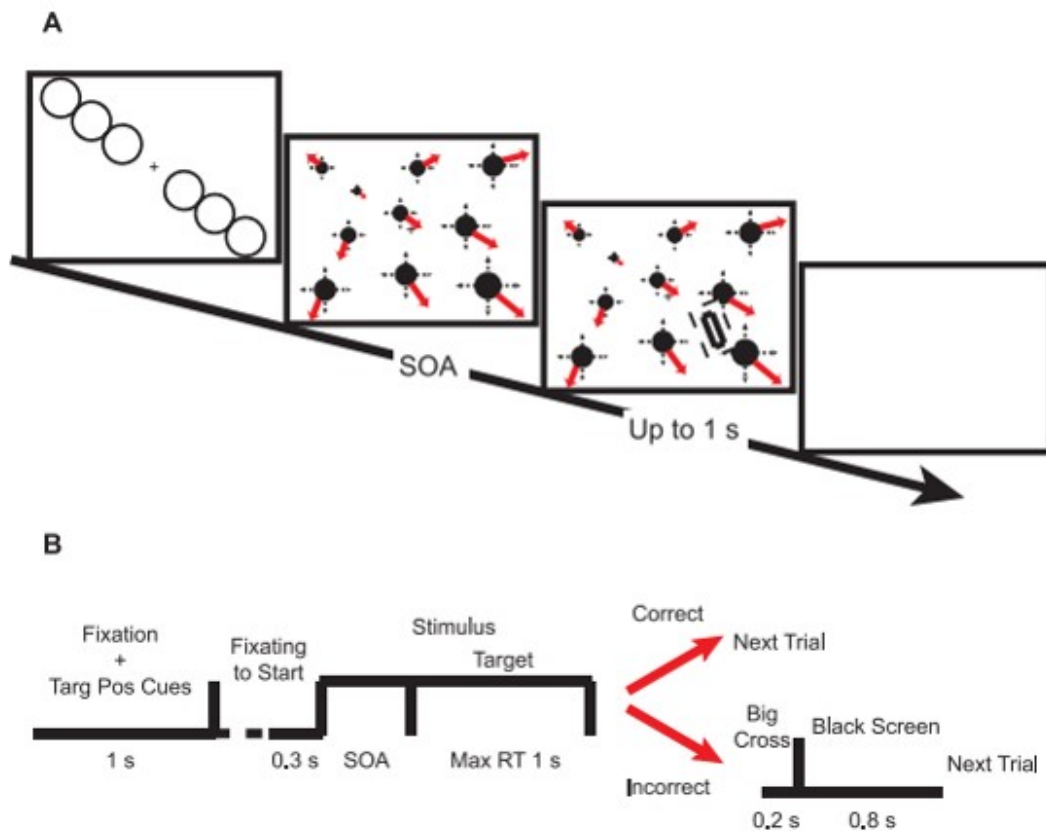


図 2.5 Tsuchiya ら [16] のドットを用いた実験で利用されたシステムの概要。
 (A)1 回のタスクは 1 秒間で、図の左から右のように画面が遷移していく。被験者は対象物（右から 2 番目の画面の枠で囲まれた「0」のような形のもの）を探索する。
 (B) 画面遷移に関わる図であり、被験者が制限時間内に対象物を探索できなかった場合には別の画面に遷移する。

2.3 HMD を用いた認知操作に関する研究

外観を視覚的に変化させることで人間の認知を操作する関連研究として、鳴海ら [23] はクッキーなど食べ物の見た目サイズを変更することで、人の満腹感の調節に成功した (図 2.12 参照)。鳴海らは他にも、中重量物体の明度変更による持ち上げ作業の疲労度軽減 [24] や、クッキーの見た目変更と匂い提示による味覚操作 [25] を実現させている。これらの研究は AR を用いて人間の認知操作を行っており、本

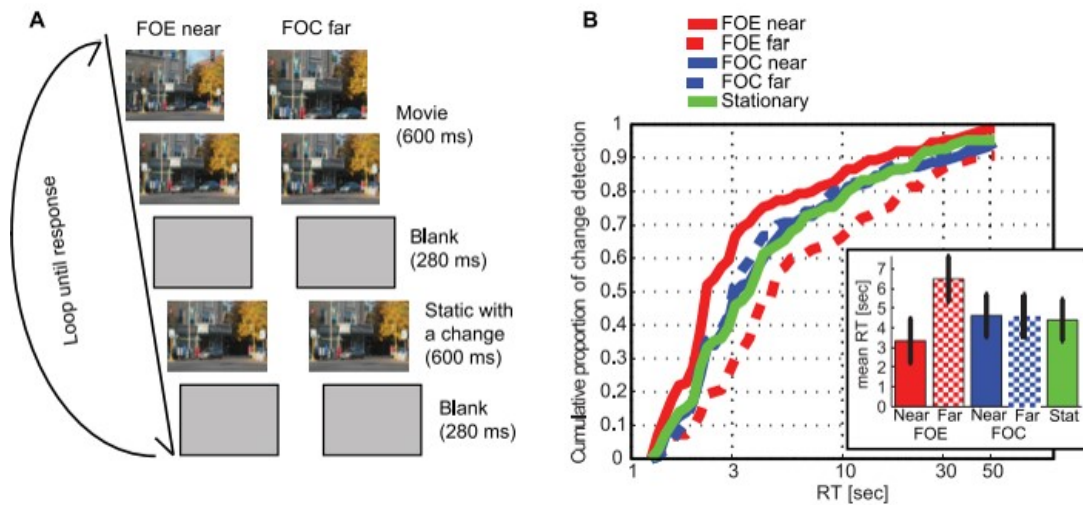


図 2.6 Tsuchiya ら [16] の現実世界の画像を用いた実験で利用されたシステムの概要。(A) 映像が上から下に遷移していく。その際、「FOE (focus of expansion) near」の場合は、拡大フローを用い、消失点と対象物が画面の同じ側に配置されており、「FOC (Focus of contraction) far」の場合は、縮小フローを用い、消失点と対象物が画面の反対側に配置されている。(B) 探索時間（横軸）と時間内に検出できた確率（縦軸）のグラフである。拡大フローを用い、消失点と対象物が同じ側に配置されている「FOE near」の検出確率が最も高く、拡大フローが収縮フローに比べ注意誘導効果が高いことが示されている。

研究のコンセプトである視覚情報の改変による認知操作の可能性と有効性を示している。

見かけ上の対人距離を調節することで、視覚情報をあまり損なわずに不適切な対人距離から発生する不快感を低減したノイズキャンセリング HMD の研究 [26][27][28] がある（図 2.13 参照）。この研究では、HMD と深度センサと RGB カメラからなる没入型のビデオスルーシステムを構築し、深度センサで人物領域を検出し、人物のみを拡大縮小して HMD に提示することで、人物サイズを視野上で仮想的に調整できる。実験の結果、見かけ上の対人距離を調節することで、視覚情報をあまり損なわずに不適切な対人距離から発生する不快感を低減できることが分かった。これらの研究では、対象の存在を完全に消すのではなく、視覚情報をある程度残すことで周囲の状況に気付ける利点が本研究と類似しており、本研究の実

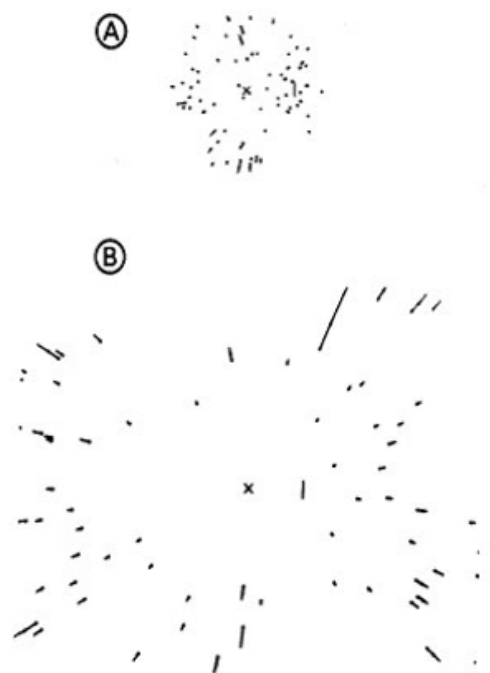


図 2.7 Warren ら [17] の実験に利用された速度場のイメージ図. (A) 中心視野にドットを配置 (B) 周辺視野にドットを配置

世界の視覚情報をあまり損なわずに人間の認知操作を行う有効性を示している。

2.4 HMD 装着者の周辺環境へのアウェアネスに関する研究

VS 用の HMD は仮想空間への高い没入感を提供する一方で、ユーザの視野全体を覆ってしまうため、ユーザと実空間のインタラクションを困難にする問題がある。この問題に対し、VR 環境に没入したユーザに外界の環境変化を認知させる研究 [29] が行われている (図 2.14 参照)。HMD 装着者と非装着の近接者の間のアウェアネスを適切に向上させる研究 [30] では対人距離・視線・人の属性等の情報を用いて、両者の関係性やインタラクションの必要性を推定し、お互いの状況を把握するための“手掛かり情報”を段階的に提示することでアウェアネスを適切に向上させていた (図 2.15 参照)。また、実空間を把握する手がかりとなる物体を VR オブジェクトとして仮想空間内に配置し、この手がかりを元にユーザは現実空間のどこ

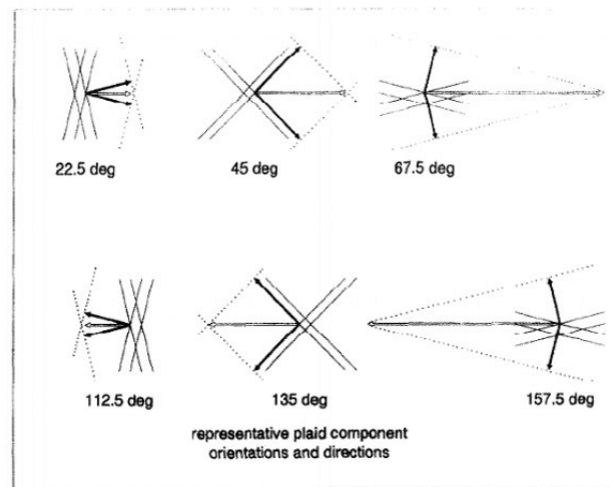


図 2.8 Wright ら [20] の研究における二つのグレーティングを重ね合わせて作成した plaid パターン.

に存在するかを把握しつつ歩き回る研究 [31] もある．さらに，VR ゲームをプレイ時に実世界の歩行者や物体との衝突を避けるための基礎的検討を行った研究 [32] も存在する．これらの研究では没入感も維持しつつ，実空間の周囲の状況を認知させる点が本研究と類似しており，また，その有効性を示している．

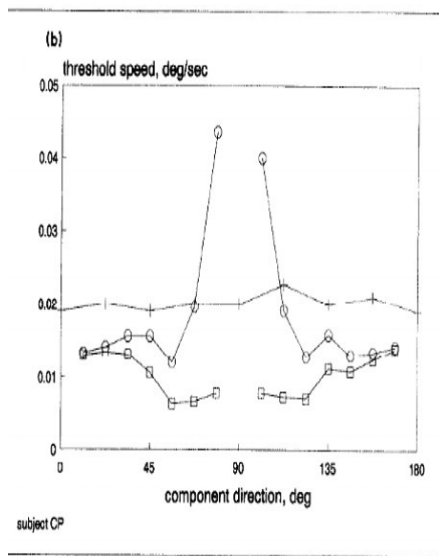


図 2.9 Wright ら [20] の研究におけるそれぞれの plaid パターンの運動閾値のグラフ．（横軸が 2 つのグレーティング刺激がなす角，縦軸が運動閾値） どのパターンも 0.02° ($1.2'$)/sec に近い数値となっている

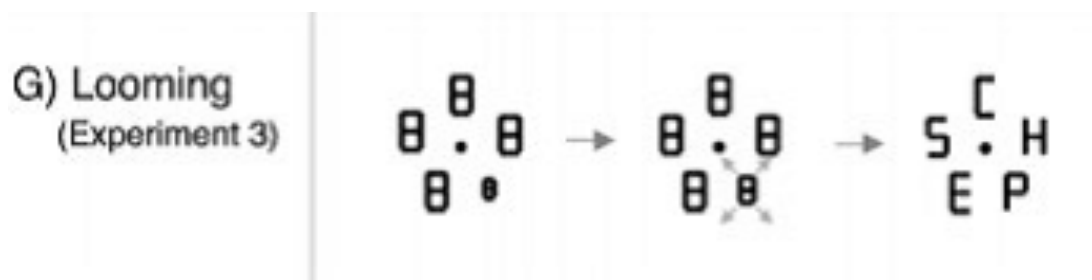
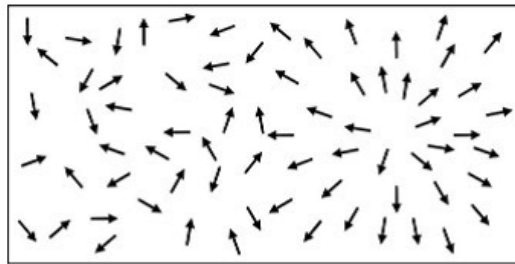


図 2.10 Simons ら [21] の研究において拡大フローを用いた際のイメージ図．右下のオブジェクトが拡大していき，同じ位置に探索物が現れる．

(A) Looming cue motion



(B) Receding cue motion

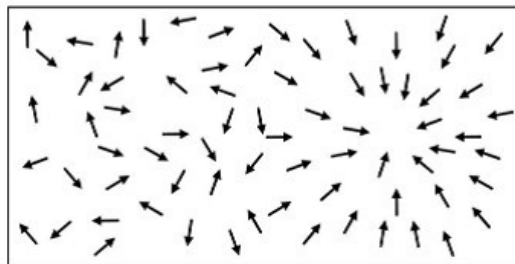


図 2.11 Adrian ら [22] の研究において拡大パターンと縮小パターンをランダムパターンと比較する実験のイメージ図. (A) ランダムパターン (左), 拡大フロー (右) (B) ランダムパターン (左), 縮小フロー (右)

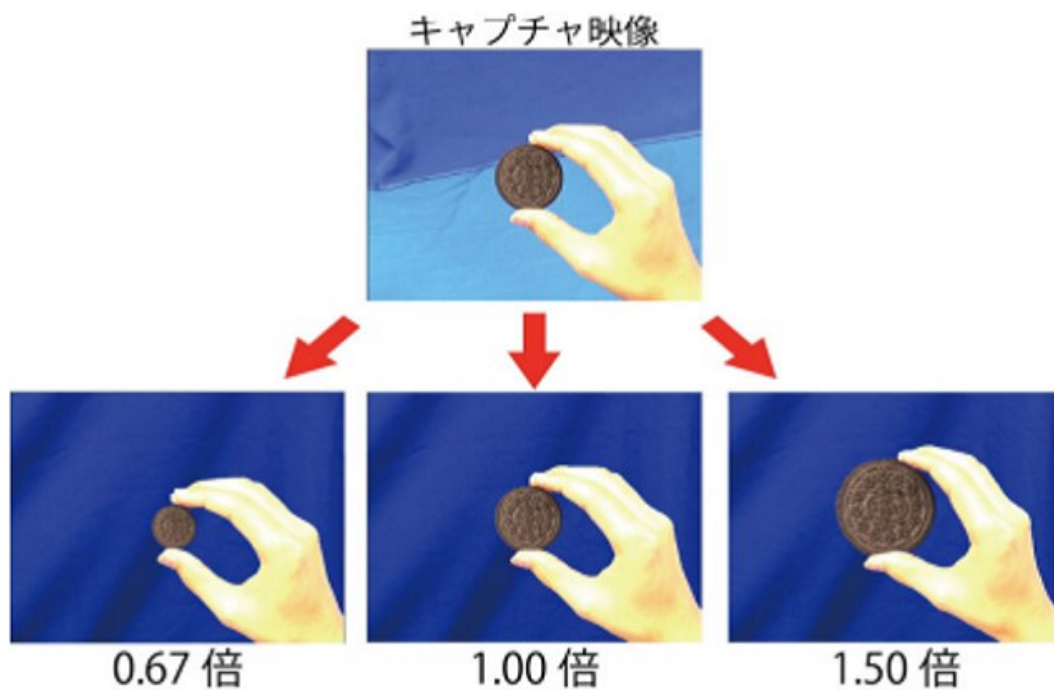


図 2.12 鳴海ら [23] の研究. クッキーのサイズを変形させた映像

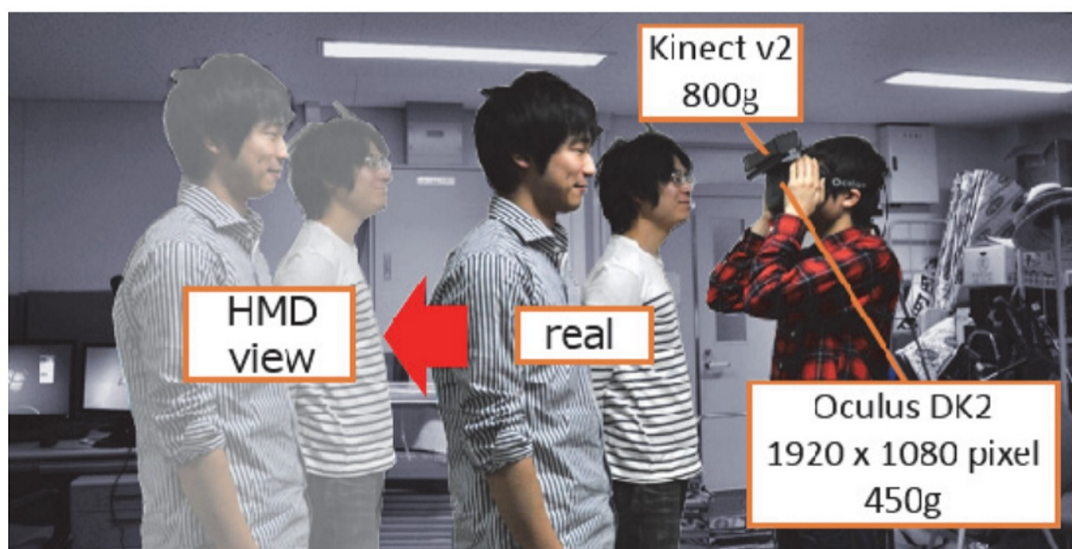


図 2.13 酒田ら [26] の実験システムの概要. 深度情報を用いて実際の位置 (real) よりも奥 (HMD view) に見えるようにしている.

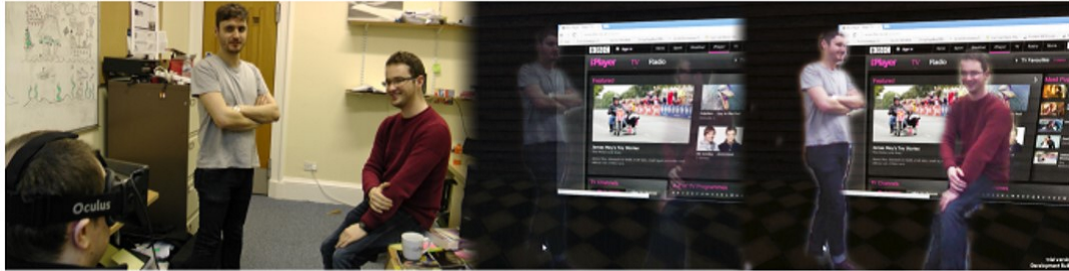


図 2.14 McGill ら [29] の研究. VR 環境内に現実環境の情報が付加された様子であり, 人が一定距離まで近づくと身体画像のみ VR 環境内で投影されるようになる.



図 2.15 工藤らの研究 [30]. ドライブシミュレーションにおいて上司が Danger zone まで近づいた時の手掛かり情報 (a) 通常時の HMD 装着者の視界 (b) 白黒に変わった HMD 装着者の視界

第 3 章 予備実験：ぼかし処理とグレースケール化の調整

3.1 目的

本研究では，視覚的顕著性の要素である動きと色情報に注目し，これらの顕著性を下げるため，動きに対しては「ぼかし」の処理を施し，色情報に対しては「グレースケール化」の処理を施すことで視覚的ノイズは減衰し，かつ周辺環境の視覚情報がある程度維持したまま作業者の集中力を向上させられると考えている．そこで，これらを実証するための適切な実験の設定とぼかし度合いの調整を行った．予備実験では，ぼかし処理とグレースケール化による計算問題の正誤タスクでの解答時間の減少を期待している．

3.2 システム構成

予備実験でのシステムを図 3.1 に示す．実装にあたり，HMD には HTC VIVE Pro (HTC 社，両眼解像度: 2880×1200)，作業環境を撮影する RGB ステレオカメラには Ovrvision Pro (Wizapply 社， 1280×960 , 45fps) を利用した．RICOH THETA V (RICOH 社，解像度 3640×1920 , 29.97fps) を用いて，視覚的ノイズを含む全方位の周辺環境映像を撮影した．撮影は屋内の一室で実施し，後述の実験環境での被験者の視線の高さにあわせて，人の着席時の高さに RICOH THETA V を設置した．撮影した映像には，後述の実験タスクの遂行とは関係のない視覚的ノイズとして，複数人が歩き回る場面や，カメラに対して物を見せつける場面が録画されている (図 3.2 上)．この全方位映像を HMD 上で再生することで，視覚的ノイズを含む周辺環境を模したものとして被験者に提示する．また，図 3.2 下のようにグレースケール化後の映像に対し人の動きがわからないほどの強いぼかしをいれたもの (以下，ぼかし処理強) と，図 3.2 中のように人の動きがある程度わかるほどの弱いぼかしをいれたもの (以下，ぼかし処理弱) の 2 種類を用意した．グレースケール化とぼかしの処理は AviUtl の映像編集を利用した．以降，視覚的ノイズを減衰するためにグレースケール化やぼかし処理のエフェクトを施したこれらの映

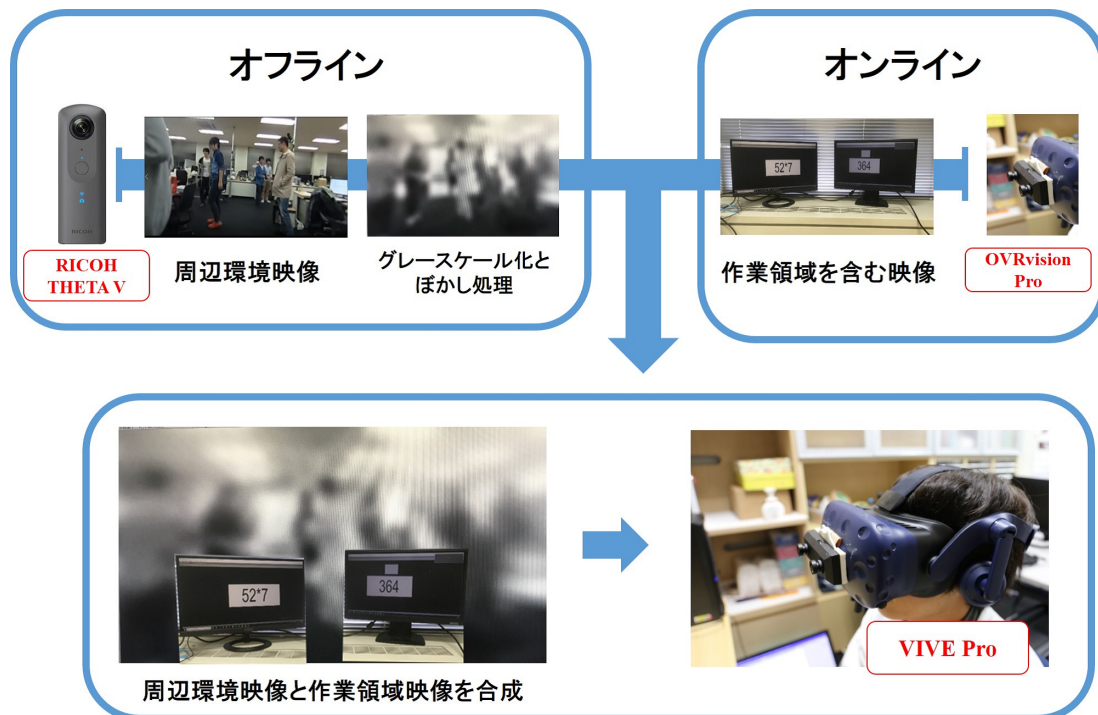


図 3.1 提案フレームワークの概要

像を，ここでは周辺環境映像と呼ぶ。

実験環境として HMD 装着者の前にモニタを 2 台設置した（図 3.3）．複数のモニタを用いたのは，被験者の視線移動量を増やすことで視覚的ノイズに気づきやすくさせ，視覚的ノイズに対するぼかしとグレースケールの効果を確認しやすくするためである．2 台のモニタを利用するため，モニタ間には隙間がある．本研究では，この領域も周辺環境と定義しており，この領域にもぼかし処理とグレースケール化のエフェクトを施す．これらのモニタ上には作業に関する情報が表示され，その情報を元に HMD 装着者は作業を行う．本実験では，作業として計算タスクを設定した．また，Unity で作成した仮想空間中で HMD 装着者を中心とした半球状の三次元メッシュに対し周辺環境映像を展開する．これによって周辺環境映像を HMD 上において全方位で閲覧できる．次に，この半球に対して Ovrvision Pro からの映像をある固定の 2 箇所に投影する．これにより，周辺環境映像内の 2 つの窓から，実世界をまるで覗くような形態で作業領域を閲覧する実験タスク環境を実装した（図 3.1 下）．また，HMD 装着者が真正面を向くと図 3.1 右上の様に 2 台のモニタが同

周辺環境映像

周辺環境映像に
作業環境映像を重畳

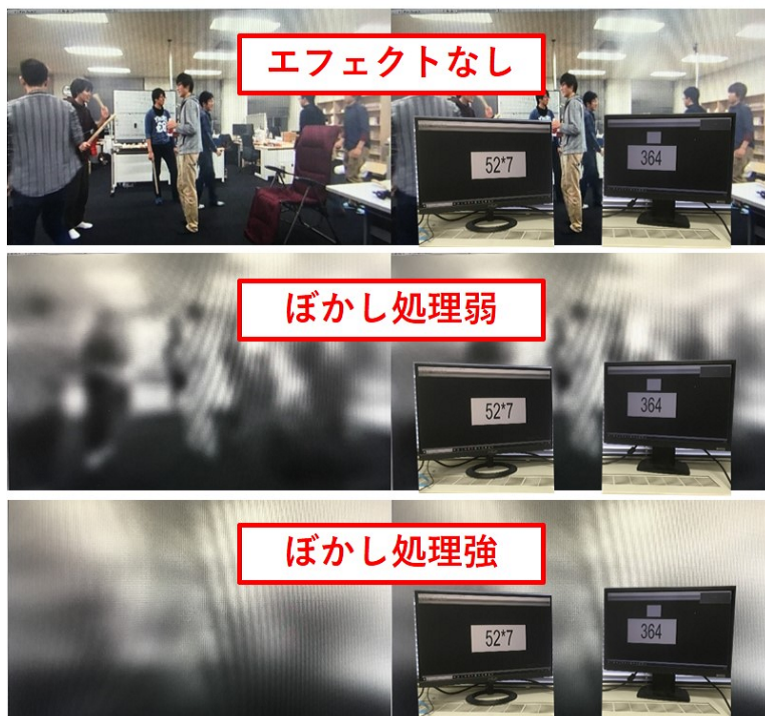


図 3.2 周辺環境映像とそれに対して作業環境映像を重畳した様子

じ視野内で閲覧できるように、実験開始前に周辺環境映像と Ovrvision Pro からの作業領域を撮影した映像の表示位置を調整した。タスクの種類は先行研究の集中力評価指標の条件 [33] から、単純計算結果の正誤タスクを選択した。具体的には、図 3.1 右上のように計算の問題と答えを左右のモニタに表示し、その正誤を答えるものを設定した。解答はキーボードにて入力する。この問題を被験者に 150 問与え、その解答時間を計測した。難易度は、理系大学院生が暗算で解ける程度とした。

3.3 実験手順

予備実験は、「エフェクトなし（無加工の周辺環境映像）」と「グレースケール化とぼかし処理強」の比較（予備実験 1）、「エフェクトなし」と「グレースケール化

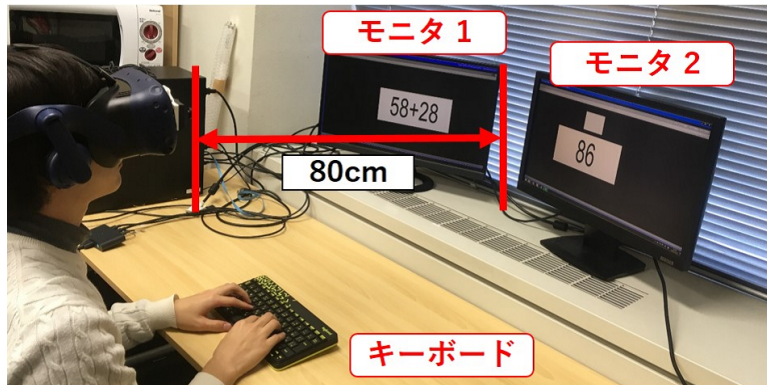


図 3.3 予備実験の実験環境。 (左) 予備実験 1 の結果。 (右) 予備実験 2 の結果

とぼかし処理弱」の比較（予備実験 2）の 2 通りを行う。

予備実験 1 の実験手順として、まず被験者に実験タスクに十分慣れさせるために、HMD を装着した状態で 150 問の単純計算結果の正誤問題を解かせるトレーニングタスクを行わせた。その後、周辺環境映像の「エフェクトなし（無加工の周辺環境映像）」と「グレースケール化とぼかし処理強」の 2 条件で、それぞれ 150 問の正誤問題を解かせる実験を直射日光が入らない室内環境で行った。被験者にはできるだけ早く解くように伝え、2 条件の間には 5 分間の休憩を挟んだ。最後に、今回の実験について聞きとり調査を行った。また、2 条件の順序は被験者ごとに入れ替えた。次に、予備実験 2 は、周辺環境映像の「エフェクトなし」と「グレースケール化とぼかし処理弱」の 2 条件間で、前述と同じ実験設定で実験を実施した。

3.4 結果

予備実験 1 は男性大学院生 4 人、予備実験 2 は予備実験 1 とは異なる男性大学院生 4 人で行った。図 3.4 左に予備実験 1 の被験者ごとの計算タスクの解答時間を示す。4 人中 3 人において解答時間の減少が見られ、全体として平均 10.0 % の解答時間の減少が確認できた。次に、図 3.4 右に予備実験 2 の被験者ごとの計算タスクの解答時間を示す。被験者の 4 人中 3 人で解答時間の減少が見られ、全体としては平均 7.9 % の減少が確認できた。

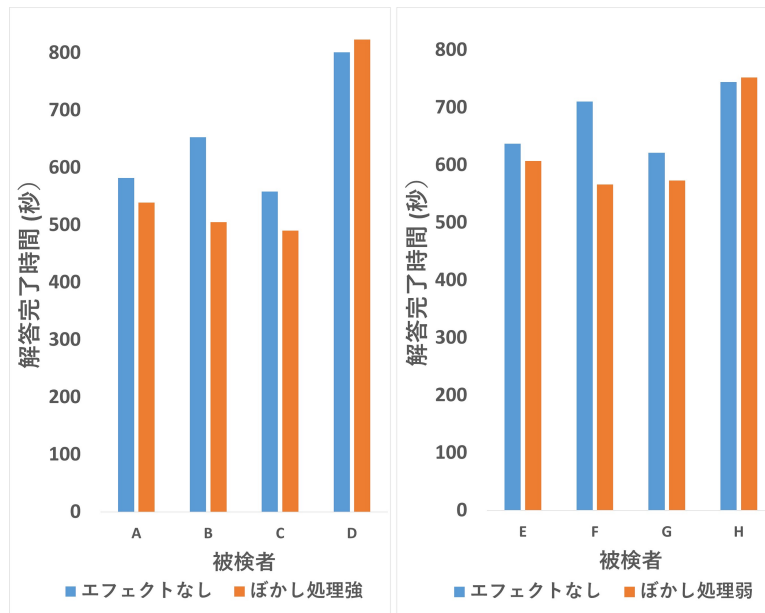


図 3.4 予備実験の解答完了時間

3.5 考察

これらの結果から、周辺環境を模した視覚的ノイズを含む映像に対して、グレースケール化やぼかし処理を行うと、計算タスクの解答完了時間が短縮する可能性が示唆された。この予備実験では、ぼかし処理強とぼかし処理弱の条件で被験者群が対応しないが、ぼかし強のほうが個々の被験者でも解答完了時間の短縮が顕著であった。これによりぼかし処理への慣れの効果を除いたとしても、ぼかしを強くすればするほど解答完了時間の短縮が見込めるのではないかと考えられる。しかし、被験者からの聞き取り調査では「ぼかし処理強の場合、ぼかし処理が強すぎて何が映っているかわからない」という意見が多かった。このため、ぼかし処理は強ければ時間短縮の効果は高いものの、周辺環境の視覚情報のある程度維持するという本研究の目的とは相容れないことも判った。

ぼかし処理やグレースケール化を行わなかった「エフェクトなし」の条件では、周辺環境映像は集中の邪魔になり、特に物体をカメラに見せつける場面が集中の邪魔になったという意見が得られた。また、エフェクトを施した周辺環境映像は、エフェクトを施さなかった場合に比べ、視覚的ノイズである場面は気にならなくなっ

たという意見が多く得られ、本手法の有効性を確認できたと考えている。次に、エフェクトを施さなかった場合の解答時間がエフェクトを施した場合よりも短かった被験者からは、「エフェクトを施した周辺環境映像は、背景がぼかされて退屈だった」「エフェクトを施さない周辺環境映像中の人の動きによって計算問題に飽きずに集中できた」という感想が得られた。これは、人が集中する環境は人により異なることを示していると考えられる。

以上から、次の実験では、予備実験で設定した環境を用いる。また、ぼかし処理の強度については、上述のように「エフェクトなし」の条件と比較して1問当たりの解答完了時間が短くなり、他の評価指標についても高評価が得られたため、同じ強度で行う。一方で、予備実験から得られた結果を基に、いくつかの改良を加える必要がある。

第 4 章 本実験：ぼかし処理とグレースケール化

予備実験の結果から，実験システムに対して下記の 3 つの改良の後にぼかし処理とグレースケール化による影響の調査を目的とする実験を行った．

- 評価指標の追加
- 周辺環境の視覚情報の認知に関わるタスクの追加
- アンケートの実施

1 つ目は，評価指標の追加である．予備実験では集中力の評価指標として単純計算結果の正誤タスクの解答完了時間を用いたが，より多角的に集中力を推定するために視線移動量，瞬目頻度を利用した．瞬目頻度とは一定時間あたりの瞬目回数であり，心理学の分野において注意や集中の測定指標として用いられている [34]．瞬目頻度は集中力が高いほど少なくなり，低いほど多くなるとされている．本論文でもこれに倣うこととする．これらのデータを取得するために，視線追跡カメラを利用した．また，予備実験ではあらかじめ撮影した二次元映像を被験者に周辺環境を模したものとして提示したが，これでは二次元映像と視線の衝突点に対応する物体を取得できない．そのため，本実験では視覚的ノイズを含む環境を想定した三次元の仮想環境を作成し，被験者に提示することで視線に衝突したオブジェクト情報を取得した．

2 つ目は，周辺環境の視覚情報の認知に関わるタスクの追加である．本研究の目的は，周辺環境の視覚情報を出来るだけ維持したまま作業者の集中力を向上させるシステムの開発である．しかし，予備実験では被験者が周辺環境の視覚情報を認知しているかを確認していない．そこで，本実験では集中力を評価するための本タスクに加え，周辺環境の視覚情報の認知を調査するためのサブタスクを用意した．屋内環境で起こりうる動作の一例として，被験者に対して手を振るという動作を認知のタスクとして採用し，この動作に気付いた頻度を周辺環境の視覚情報の認知に対する評価とした．

3 つ目は，アンケートの実施である．作業者の主観的な集中度と視覚的ノイズによる主観的疲労度を評価するために行った．アンケートは集中度に関する 1 項目（タスクに集中することはできたか），SSQ (simulator sickness questionnaire)[35][36]

から引用した眼精疲労に関する 7 項目の全 8 項目である。前者は 7 段階であり、数値が高いほど高評価を示す。後者は 4 段階であり、数値が高いほど低評価を示す。この評価を「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の 2 条件で比較した。

4.1 実験手法

実装にあたり、HMD には HTC VIVE Pro (HTC 社, 両眼解像度: 2880 × 1200) を用いた。また、視線計測には HMD の内側に取り付け可能なアドオンカメラ (Pupil Labs 社, 200Hz) を用いた。本実験では、被験者に与える仮想作業環境を Unity を使用して作成した。この仮想作業環境は、屋内の一室で被験者の目の前に机とモニタが配置してあり、被験者が環境内で椅子に座っているような視界を設定した。モニタには、後述の計算タスクを表示する。また、実験タスクとは関係ない周辺環境の視覚情報として、同じ机に複数人が座っていたり、ループ映像が再生されているモニタが設置された視野となる仮想作業環境を作成した (図 4.1)。本実験では、同じ机に複数人が座っていたり、奥のスペースで人が踊っていたり、計算タスクを表示するモニタの奥に位置する壁面にループ映像が再生されていたり、机の上を物体が動いたりすることを視覚的ノイズとしている。

本実験を始めるにあたり、様々な予備調査を行いこの仮想作業環境を設定した。仮想環境内の視覚的ノイズに関しては、エフェクト (ぼかし処理, グレースケール化) の定量的, 定性的な効果を調査するために、現実環境に比べて強い視覚的ノイズを設定した。今回の実験環境を設定するにあたり想定した環境は、カフェやリビングである。前者では、周辺の席で手を動かして作業している人や周囲に歩いている人が存在する。また、後者ではテレビで映像が流れていたり、子供が遊んでいたりと、テーブルに作業とは関係ないもの (本, おもちゃなど) が置かれていたり動いていた。以上の環境を想定して本実験環境では、周囲に座った状態で手を動かしている人や映像が流れているモニタ, 踊っている人を視覚的ノイズとして設定した。より現実的な環境での実験を行う前に、まずこのような設定においてエフェクトの視覚的ノイズへの定量的, 定性的な効果を確認することが重要である。

予備実験と同様に、被験者に HMD を装着させ、周辺環境を模した映像に対して視覚的ノイズを減衰するグレースケール化とぼかし処理を加えた (図 4.2 参照)。ぼ

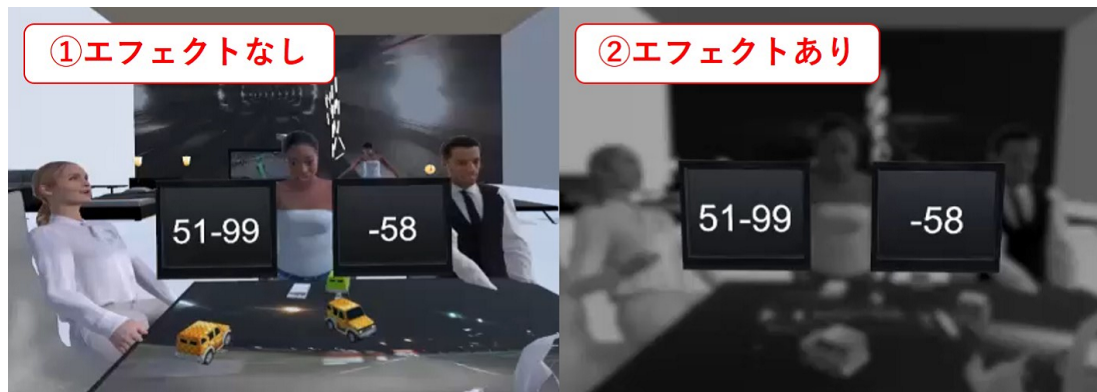


図 4.1 被験者に提示される映像

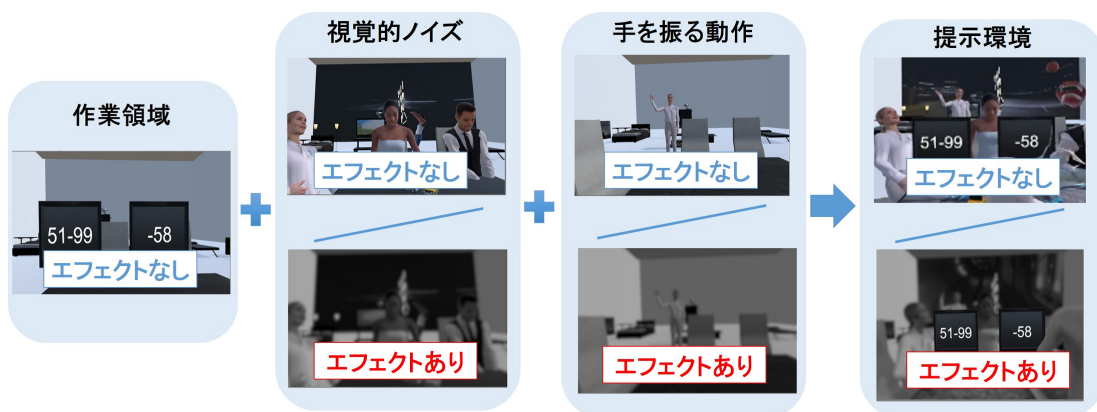


図 4.2 仮想環境の構築方法

かしの強さは予備実験を踏まえ、認知のタスクとして利用するための手を振っている人が見える程度のぼかしの強さを経験的に選んでいる。また、作業領域であるモニタに対してはぼかし処理を施さない。

被験者が周辺環境の視覚情報の認知を維持できているかを確認するため、被験者に向かって手を振ってくるアバタを約 1 分間に 1 回、時間的な揺らぎを持たせ出現させた。この時間的揺らぎは、アバタ出現の 1 分後に必ずアバタが出現するわけではなく、50 秒または 1 分 5 秒後に出現することで、被験者に出現タイミングを予測させないようにしている。また、周囲の聴覚的ノイズの集中力への影響を可能な限り一律にするために、実験タスク中は被験者に対して耳栓を着用させた。

前述の様に HMD の前面に小型のステレオカメラを取り付けた拡張現実感用ビデオ透過式 AR ヘッドセット (VST-HMD) が、将来的に視覚的ノイズ減衰手法が実用化されるプラットフォームであると考えている。今回、実験を行う仮想環境は完全な VR 空間に作成した。想定する実運用に近い形での実験を目指すならば、被験者に VST-HMD を装着させ、実世界で人間に演技をさせることで視覚的ノイズと周辺環境の視覚情報への認知が必要になる場面を作り出し、その場面での提案手法の有無による比較も考えられた。実際にこれを試行したが、人間の演技を完全に同一に統制することは難しく、被験者への視覚的ノイズの量と周辺環境への認知を向けさせる動作を被験者内かつ被験者間で出来るかぎり一定にすることは難しかった。そこで今回は仮想作業環境を Unity で生成し、アバタのタイミングを完全に同一でなくタスク全体では出現頻度を一定にすることで、周辺環境への認知を向けさせる動作の必要な回数を一定にし、且つ被験者への視覚的ノイズの量を完全に同一にすることで、被験者内かつ被験者間での条件を可能な限り一定にしている。また、Unity で生成されたシーンと現実環境の映像品質の差はあるものの、実際に VST-HMD での運用を考えると解像度は同一であり、両眼立体視も可能なため、予備実験に比べ実運用の状態に近いと考えている。

計算タスクは、仮想環境内の被験者の目の前に配置した 2 台のモニタ上に表示させた (図 4.1)。この 2 台のモニタ上に計算問題の式とその答えが表示され、その情報を元に被験者は計算タスクを行った。今回はタスクとして予備実験と同様に単純計算結果の正誤タスクを設定した。解答は Xbox One コントローラ (Microsoft 社) を用いて、正解のときは RB ボタンを不正解のときは LB ボタンを押下することで入力させた。Xbox One コントローラを用いた理由として、キーボードなどに比べて入力チャネルが少ないコントローラ経由の入力にすることで、被験者の入力ミス自体とその入力ミスに対する懸念を軽減した。これによりエフェクトの有無の集中力への影響をより純粋に観測できると考えている。実験順序は、図 4.3 のようになる。まず、被験者に計算問題に慣れるための 4 分間の練習タスクを与えた。HMD は装着させず現実のモニタにタスクを表示した環境で解答させた。次に、仮想作業環境に慣れるために HMD を装着させて「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の 2 条件で 2 分間ずつ練習タスクを行わせた。その後、上記の 2 条件でそれぞれ 4 分間ずつの本番タスクを 2 セット行わせた。練習タスクと本番タスクのどち

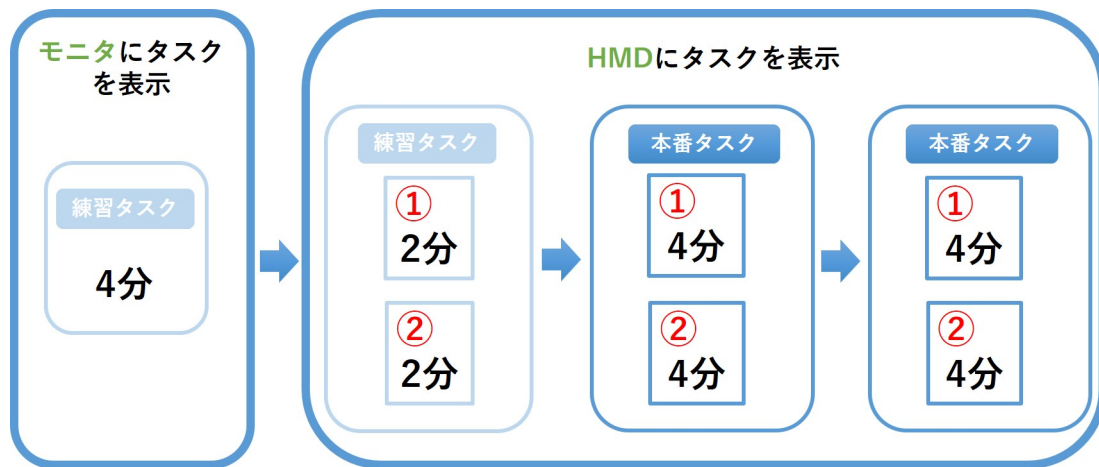


図 4.3 実験順序

らにおいても，順序効果を考慮して各条件を提示する順序はランダムな順となっている．被験者には，できるだけ早く解くように伝える一方で，タスク中にこちらに手を振ってくる動作を行う人物が現れることを伝え，気づいた時はコントローラの B ボタンを押すように伝えた．それぞれの条件の 2 回目のタスクの終了時に主観的集中度と主観的疲労度に関するアンケートを行った．また，実験環境を撮影した図 4.4 のように，被験者は HMD を被り，コントローラを把持し椅子に座った状態で実験を行う．

4.2 結果

4.2.1 1 問当たりの解答完了時間

男性大学院生 12 人 (22～26 歳) において，「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の 2 条件で前述の実験設定に従い実験を実施した．解答数と解答時間から 1 問当たりの解答時間を算出して 2 条件間で比較した．被験者 12 人中 8 人が「エフェクトあり」において 1 問当たりの解答時間が減少し，全体では平均 5.9 % の減少を確認した．また，2 条件間でウィルコクソンの順位和検定を行った結果，統計的有意差が認められた ($p < 0.01$)．結果を図 4.5 に示す．さらに，解答時間が減少した 8 人の被験者は集中力の指標として用いている後述の主観的集中度，主観的疲労



図 4.4 実験環境

度においても高評価を示しており、以下で詳述するように全体としては、定量的にも、定性的にもぼかし処理、グレースケール化の有効性を示したと考えている。一方で、4人の被験者は「エフェクトあり」において、1問当たりの解答完了時間が増大していた。これには以下の3つの原因が考えられる。1つ目は、疲労、眠気によるものである。今回の実験ではHMDを使用した実験であるため多くの被験者から非常に疲れたという意見が得られた。また、計算問題が単調であるため実験中に眠くなったといった意見もあった。2つ目は、計算問題への慣れである。今回の実験では、計算問題の慣れによる結果への影響を考慮し、はじめに練習タスクを用意している。しかし、アンケートから本番タスクになってようやく計算問題に慣れたとの報告があり、練習タスク内で計算自体に習熟できなかったことが考えられる。3つ目は現実にはありえないぼかしを用いたことによる影響である。エフェクトありのほうで解答時間が増大した被験者へのインタビューで、「ぼかしをかけた周辺環境はピントが合わず、合わせようとして疲れた。そのため、エフェクトなしのほうで集中できた」といった意見が得られた。以上から、「エフェクトあり」において

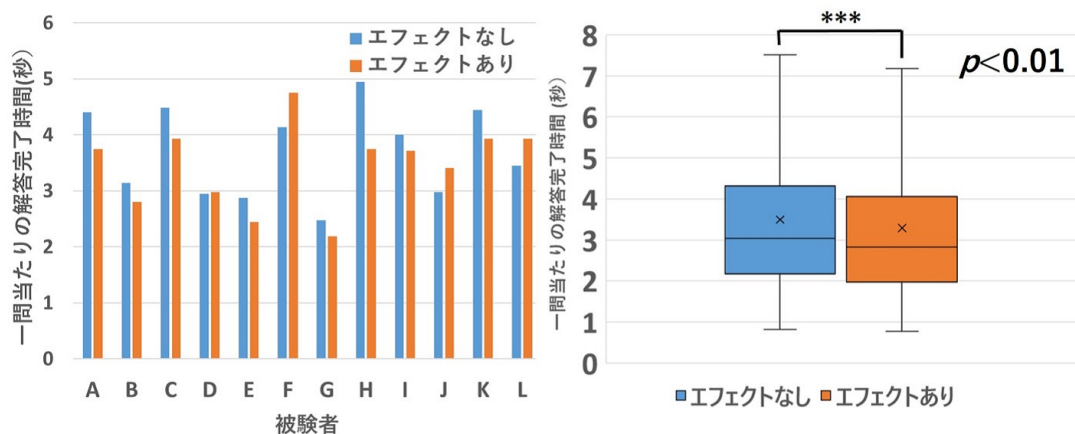


図 4.5 2 条件における各被験者の 1 問当たりの解答完了時間（左）と 2 条件における全被験者の 1 問当たりの解答完了時間の平均値（右）

解答完了時間が増大したと考えている。

4.2.2 主観的集中度

また、主観的集中度に関するアンケートでは、被験者 12 人中、8 人が「エフェクトなし」と比較して「エフェクトあり」で高評価を示した（図 4.6）。ウィルコクソンの符号順位和検定を行った結果、統計的有意差を確認した ($p < 0.05$)。これより、被験者にとって、視覚的ノイズを含む周辺環境のグレースケール化、ぼかし処理が主観的集中度を向上させることを確認した。

4.2.3 主観的疲労度

主観的疲労度に関するアンケートでは、被験者 12 人中、7 人が「エフェクトなし」に比べて「エフェクトあり」で疲労度が低かった（図 4.7）。しかし、ウィルコクソンの符号順位和検定を行った結果、有意差は示されなかった。有意差は確認できなかったものの、周辺環境の視覚的ノイズが被験者の疲労度を増加させ、それに対してグレースケール化、ぼかし処理というエフェクトが被験者の感じる疲労度を抑制させる可能性が存在することは示唆されている。また、エフェクトありのほう

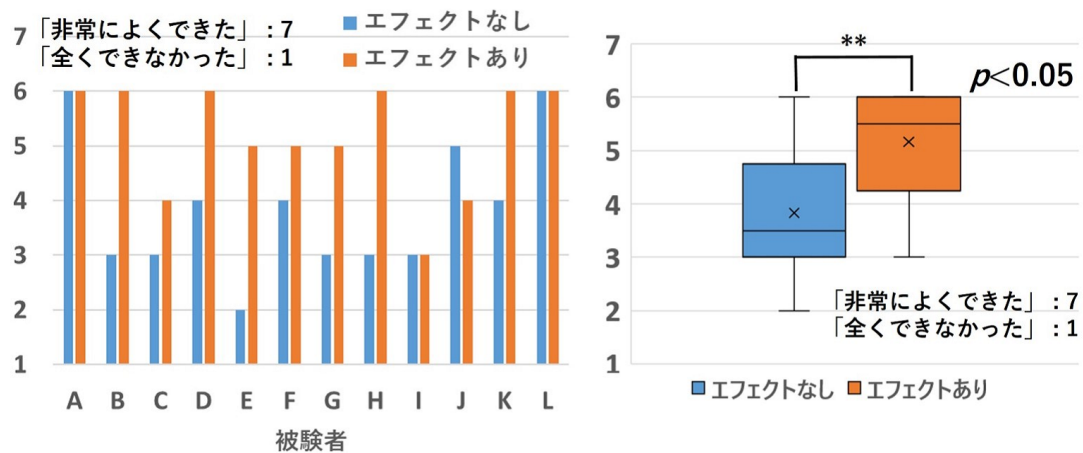


図 4.6 2 条件における各被験者の主観的集中度（左）と 2 条件における全被験者の主観的集中度の平均値（右）

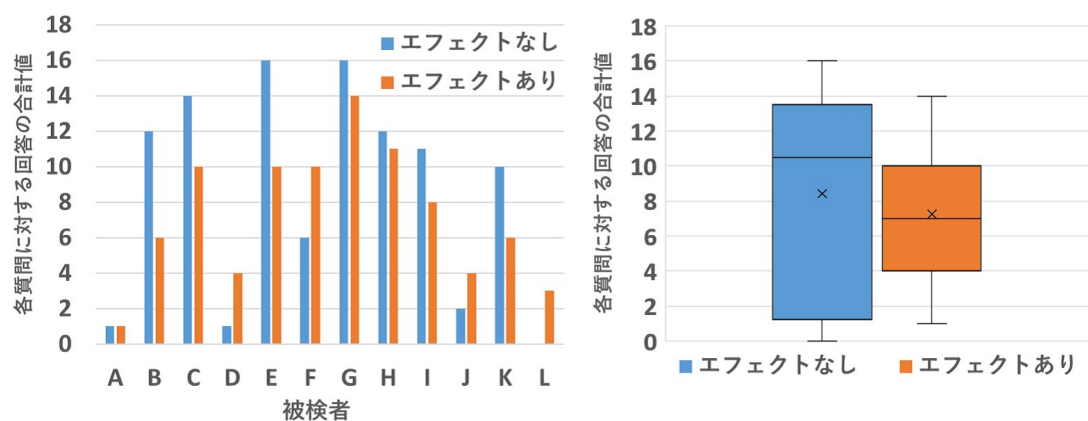


図 4.7 2 条件における各被験者の主観的疲労度（左）と 2 条件における全被験者の主観的疲労度の平均値（右）

が主観的疲労度が高かった被験者 4 人は同様に 1 問当たりの解答時間が長かった。これらは、上述のように、ぼかしをかけた周辺環境にピントを合わせようとして疲れたためであると考えられる。

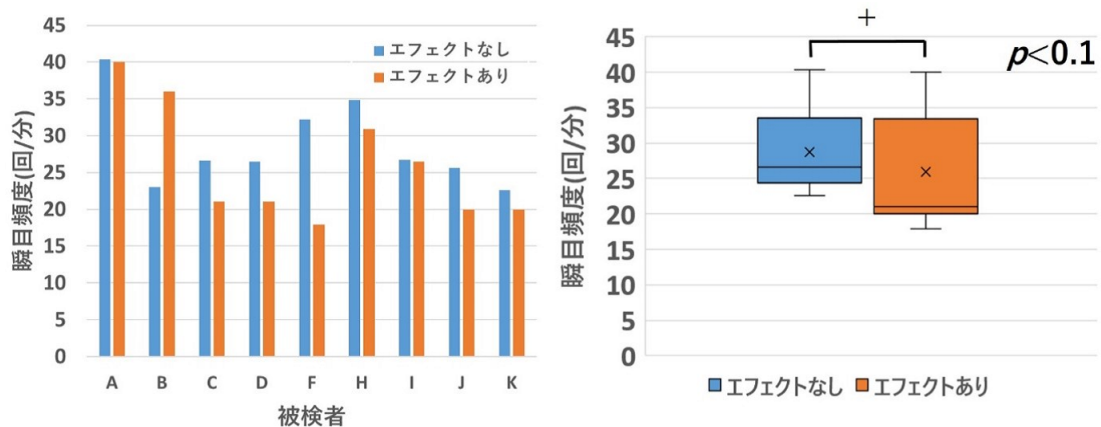


図 4.8 2 条件における各被検者の瞬目頻度（左）と 2 条件における全被検者の瞬目頻度の平均値（右）

4.2.4 瞬目頻度

瞬目頻度による評価について、被験者内で 2 回分のタスクを「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の 2 条件で分けて合計し比較した。瞬目頻度は、瞬目数をタスク時間で割って 1 分当たりの瞬目数を算出した。その際、精度よく取得できた被験者 9 人で評価した。被験者 9 人中、8 人において、「エフェクトあり」での瞬目頻度を低下させ、平均で 9.8 % の低下を確認した。一方で、ウィルコクソンの符号順位検定の結果、有意傾向が確認された ($p < 0.1$)。結果を図 4.8 に示す。これにより、「エフェクトあり」での集中度向上が示唆される。

4.2.5 視線移動量

一定時間当たりの視線移動量において、「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の 2 条件間では、有意な差はなかった。被験者からは「短時間のタスクであったため、周辺環境で動いているものは気になったが、それを実際には見ずにモニタだけを見てタスクを行えた」という意見が得られた。これより、今回のような短時間のタスクでは、集中を切らさずに処理でき無意識的に大きな視線移動はなかったということが推察できる。より長時間のタスクを行い、実際の作業時間を再現することでより詳細な分析ができると考えられる。

4.2.6 サブタスク

被験者が手を振る動作を認知できたかを確認するサブタスクの評価を行った。被験者内で2回分のタスクを「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の2条件に分けて合計して比較した(図4.9参照)。被験者12人中8人が、「エフェクトあり」で気付いた回数が減少し、残りの4人は2条件で同数であった。全体では、「エフェクトあり」で25%の低下が確認された。また、ウィルコクソンの符号順位和検定において、有意差を確認した($p < 0.05$)。これは、周辺環境へのグレースケール化、ぼかし処理、特に後者によって手を振るという動作が分かりにくくなったためであると考えられる。今回の手法では、あらかじめ想定していたように、エフェクトを施すことによる周囲へのアウェアネスの低下が確認できた。しかし、今回のエフェクト処理では周辺環境を完全に遮断するよりは周囲へのアウェアネスを高く保つことができたと考えている。エフェクトありのほうが手を振る動作を認知した回数が低かった被験者が存在した一方で、エフェクトありのほうが解答数が多く、かつ手を振る動作に気付いた回数がエフェクトなしと同数であった被験者も存在した。これは、被験者によって視覚的ノイズの減衰と周辺環境の視覚情報維持のバランスを保つためのぼかしの強さが異なることを示唆している。そのため、今後ぼかし度合いを数段階用意して実験を行うことで、被験者にあったぼかしの強さがあるかどうかを調査できる。

4.2.7 聞き取り調査

被験者からこのシステムについて聞き取り調査を行った。そこで、「図書館のように周囲に人がいない環境では使ってみたいが、逆に周囲に人がいて話しかけられる可能性のある環境では使いづらい」という意見が得られた。これは、本システムでは、全周辺環境に対して、エフェクトを施しており装着時に話しかけられた場合、対象者に気付きにくいためであると考えられる。これは、サブタスクの結果からも考えられる。そのため、今後、視線追跡を用いて被験者の視線が視覚的ノイズのどの部分に誘引されているかを明らかにすることで作業に不必要な情報に対して局所的にエフェクトを施す手法を考えている。さらに、今回の実験では作業領域をあらかじめ指定しており、被験者の視線が移動した場合でも、エフェクト処理が施され

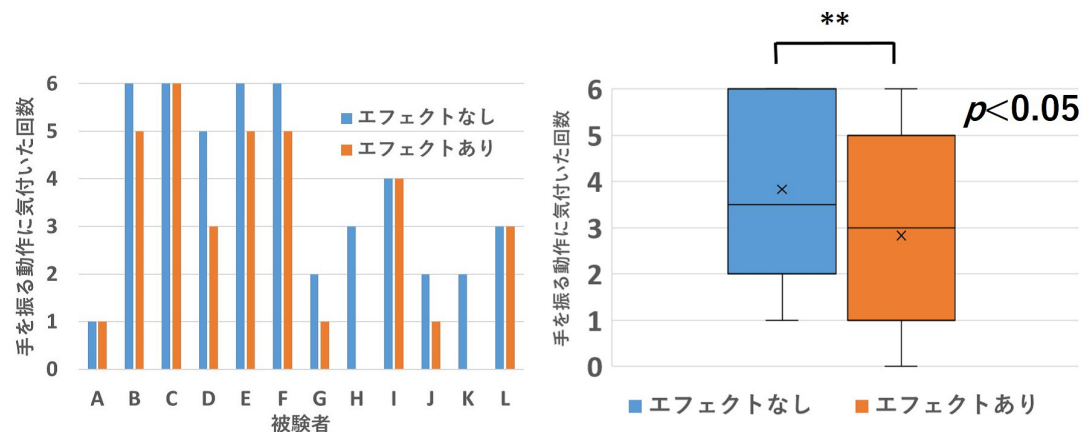


図 4.9 2 条件における各被検者の手を振る動作に気付いた回数（左）と 2 条件における全被検者の手を振る動作に気付いた回数の平均値（右）

る領域は変化しないようになっている。しかし、将来的には視線トラッキングを用いて作業領域と非作業領域の関係性を抽出して利用者自身が作業領域を選択可能にすることで、より利用しやすいシステムを構築できると考えている。

また、ぼかし処理とグレースケール化のそれぞれの効果は未調査なので今後追加実験が必要である。ぼかしについては、上記のように、集中できなかった被験者も存在する。しかし、今回の実験で他の被験者への聞き取り調査において、周囲への意識、動きが低下し集中できたなどの意見が得られたことから、周辺環境の動きの視覚的顕著性の減衰効果が期待される。また、グレースケール化に関しては、聞き取り調査において、視覚的な情報量が低下してよかったという意見が得られたことから、彩度の視覚的顕著性の減衰効果が期待される。

第 5 章 本実験：拡大エフェクト

本章では，作業領域に対して注意を誘導する新たな手法として，注意を誘導したい作業領域の中心が消失点となるような拡大フローを起こすエフェクトを施すことを提案し，その効果の検証をする．先行研究の章で述べたように，画像の拡大・縮小の表現において，縮小フローに比べ拡大フローの表現の方が消失点に対して人の視線は誘導されることが示されている．

5.1 魚眼による拡大エフェクト

そこで，作業領域が徐々に拡大するエフェクトを施すことで，消失点に注意を視線を誘導させ，集中力の向上を促進させられるのではないかと考えた．作業領域を拡大する際，周辺環境の視覚情報がある程度維持して，ユーザが周囲の状況を把握できるようにするためにユーザの視野範囲を維持する必要がある．そこで拡大手法として，中心視は拡大する一方で，周辺視野は縮小するが見えなくなるわけではない魚眼のようなエフェクトを用いる．魚眼による拡大エフェクトを加えた際の被験者の視界のイメージを図 5.1 に示す．この時の，拡大フローの消失点はモニタの中央に設置しており，作業領域であるモニタ付近が拡大する一方で，視覚全体の広さは狭まらない．提案手法では，魚眼レンズの代表的な射影方式として等距離射影方式を利用する．そのため，拡大エフェクトとは，中心射影から等距離射影に変換するエフェクトとなる．以下に中心射影 (5.0.1) と等距離射影 (5.0.2) の式と透視投影から等距離射影への変換式 (5.0.3) を示す．この時， r は視点と対象物を結ぶ直線とスクリーンの交点 (q) までの距離， f は焦点距離， θ は視点と対象物を結ぶ直線と光軸の成す角である（図 5.2 参照）．

$$r = f \tan \theta \quad (5.1.1)$$

$$r' = f \theta \quad (5.1.2)$$

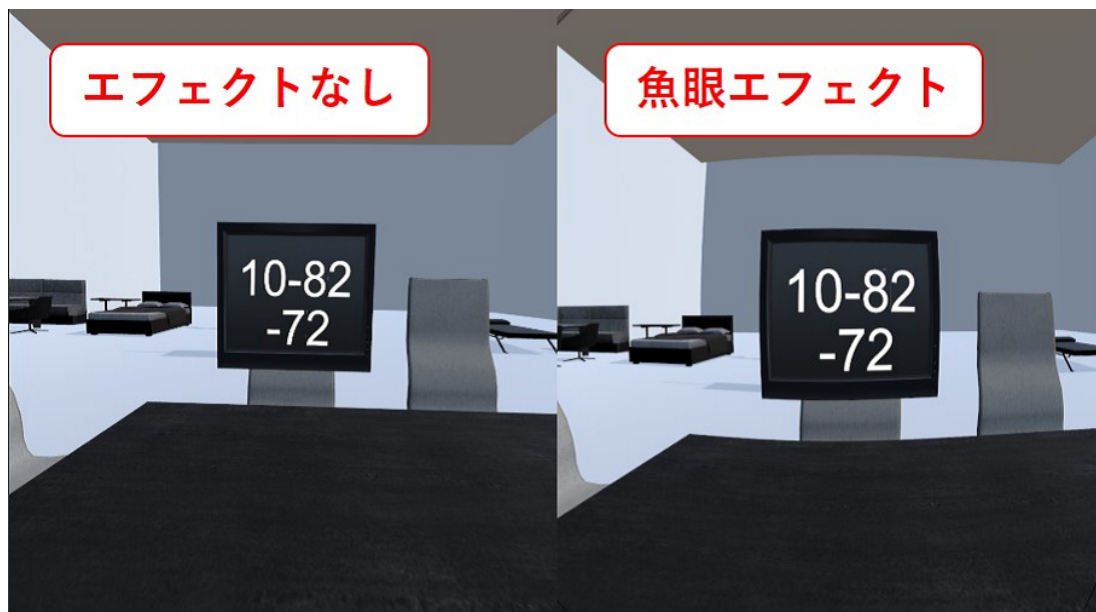


図 5.1 被験者の視界イメージ

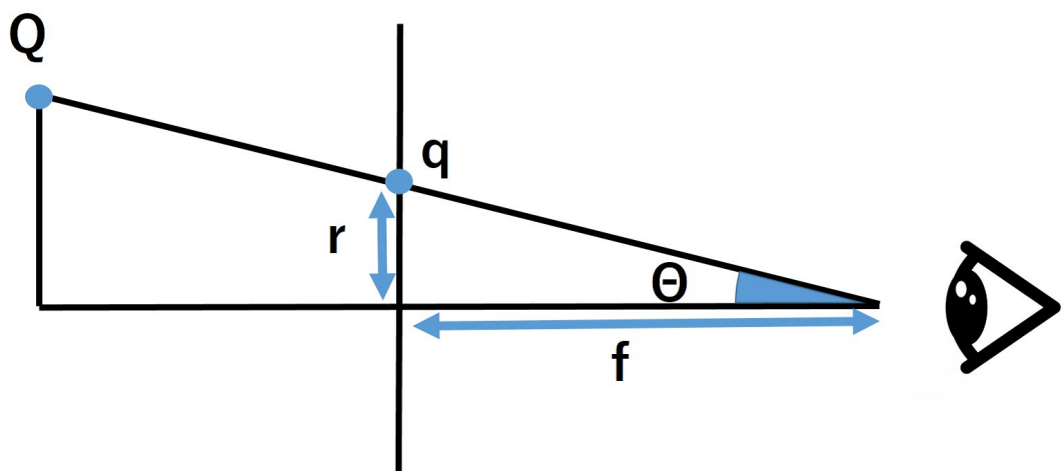


図 5.2 カメラモデル

$$r' = \frac{\theta}{\tan \theta} r \quad (5.1.3)$$

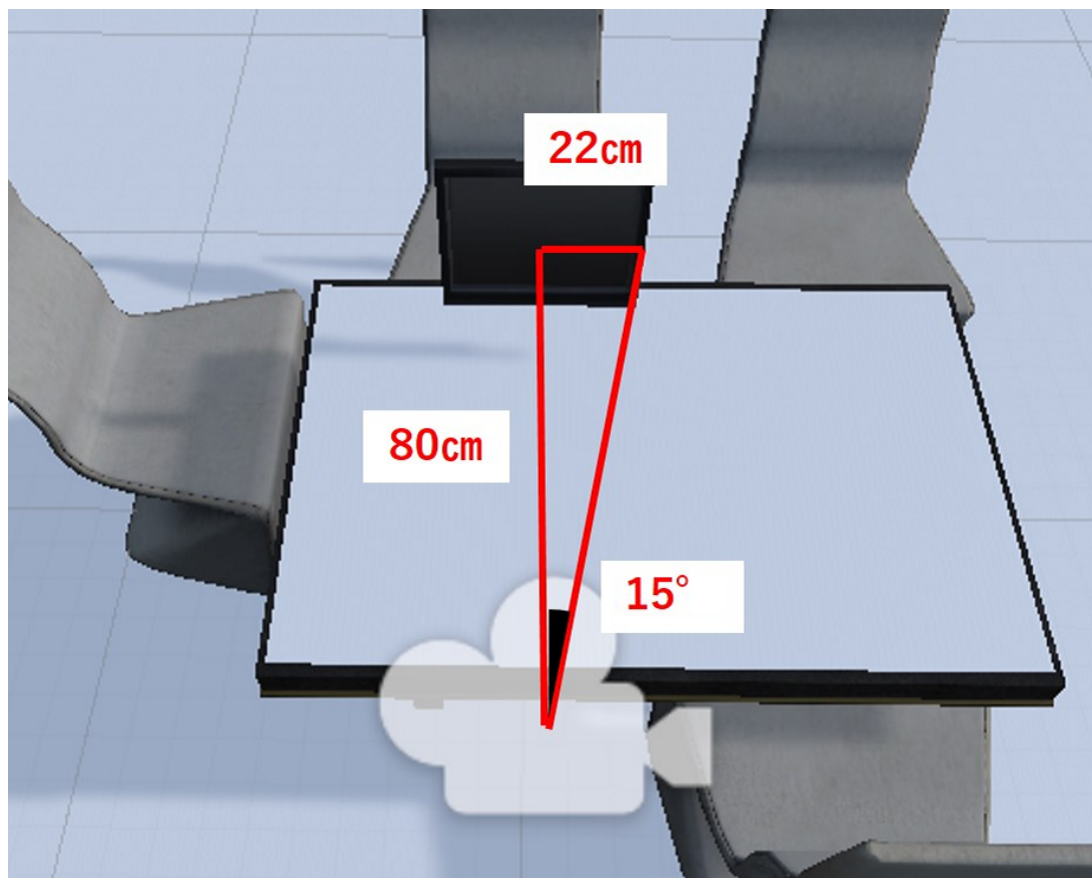


図 5.3 仮想空間内でのカメラとモニタの位置関係

5.2 実験手法

本実験で用いる HMD は視野角が 110° であるため偏角は 55° となる。仮想空間内での、モニタまでの距離は約 80cm、モニタの横幅は 44cm であるため、モニタの横縁までの偏角は約 15° である（図 5.3 参照）。以上から、透視投影から等距離射影に変換した際のモニタの横縁は左右に 9cm ずつ移動する。しかし、実際に等距離射影に変換するとモニタが屈曲して視認性が低下する（図 5.4 参照）。そのため、上記に対して係数をかけて魚眼の強度を調節する。これにより、モニタの横幅が偏角 15° から 17° に 10sec かけて移動することで、 $12'/\text{sec}$ となる。この速度は、先行研究で示されているように、運動閾値より高く、かつ計算タスクを行う際に魚眼エフェクトによるモニタの視認性を低下しない値であると考えている。

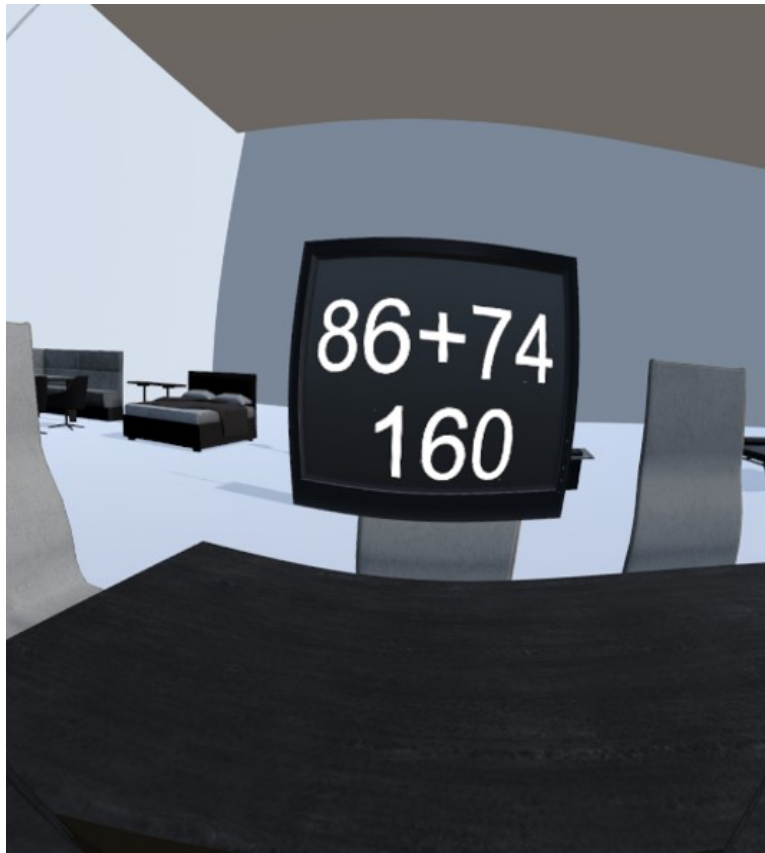


図 5.4 等距離射影方式に変換した際の視界

実験では，HMD として HTC VIVE Pro (HTC 社，両眼解像度: 2880×1200) を用いた．視線計測には HMD の内側に取り付け可能なアドオンカメラ (Pupil Labs 社, 200Hz) を用いた．被験者に与える仮想作業環境は 4 章の実験で利用したものと同じである．仮想作業環境は，屋内の一室で被験者の目の前に机とモニタが配置してあり，被験者が環境内で椅子に座っているような視界を設定した．モニタには，後述の計算タスクを表示する．

また，実験タスクとは関係ない周辺環境の視覚情報として，同じ机に複数人が座っていたり，ループ映像が再生されているモニタが設置された視野となる仮想作業環境を作成した．本実験では，同じ机に複数人が座っていたり，奥のスペースで人が踊っていたり，計算タスクを表示するモニタの奥に位置する壁面にループ映像が再生されていたり，机の上を物体が動いたりすることを視覚的ノイズとしてい

る。被験者が周辺環境の視覚情報の認知を維持できているかを確認するため、被験者に向かって手を振ってくるアバタを約 1 分間に 1 回、時間的な揺らぎを持たせ出現させた。この時間的揺らぎは、アバタ出現の 1 分後に必ずアバタが出現するわけではなく、50 秒または 1 分 5 秒後に出現することで、被験者に出現タイミングを予測させないようにしている。周囲の聴覚的ノイズの集中力への影響を可能な限り一律にするために、実験タスク中は被験者に対して耳栓を着用させた。

この環境に対して、以下の 3 通りの映像エフェクトを施す (図 5.5 参照)。一つ目 (図 5.5 の 2) は、周辺環境に対して視覚的ノイズを減衰するぼかし処理とグレースケール化のみを加えるエフェクトである。この効果の強さは、4 章の実験と同じにした。作業領域であるモニタに対してはぼかし処理を施さない。二つ目 (図 5.5 の 3) は拡大エフェクトのみを加えるエフェクトである。3 つ目 (図 5.5 の 4) は、上記の二つをともに適用するエフェクトである。実験では、以下に示すようにこれらのエフェクトを加えた環境と何も施していない「エフェクトなし」の 4 つの環境を比較する。

- エフェクトなし
- ぼかし処理とグレースケール化
- 拡大エフェクト
- ぼかし処理とグレースケール化と拡大エフェクト

計算タスクは、仮想環境内の被験者の目の前に配置したモニタに表示させた。このモニタ上に作業に関する情報が表示され、そこに表示された情報を元に HMD 装着者は計算タスクを行った。4 章の実験ではモニタを 2 台配置したが、今回も同様にモニタを 2 台配置した場合、魚眼エフェクトを施した環境において、エフェクトの中心が 2 台のモニタの間になり、被験者のモニタへの視認性を著しく低下させる。そのため、今回の実験ではモニタを 1 台とした。今回はタスクとして前回と同様に単純計算結果の正誤タスクを設定した。解答は Xbox One コントローラ (Microsoft 社) を用いて、正解のときは RB ボタンを不正解のときは LB ボタンを押下させることで入力させた (図 5.6 参照)。

実験フローを、図 5.7 に示す。まず、被験者に計算問題に慣れるための 4 分間の練習タスクを与えた。HMD は装着せず現実のモニタにタスクを表示させて解答さ



図 5.5 エフェクト処理を施した際の映像

せた．次に，仮想作業環境に慣れるために HMD を付けて上述した 4 条件で 2 分間ずつ練習タスクを行った．その後，4 条件でそれぞれ 4 分間ずつの本番タスクを 2 セット行った．この際，順序効果を考慮した順となっている．被験者には，できるだけ早く解くように伝える一方で，タスク中にこちらに手を振ってくる動作を行う人物が現れることを伝え，気づいた時はコントローラの B ボタンを押すように伝えた．それぞれの条件の 2 回目のタスクの終了時に主観的集中度と主観的疲労度に関するアンケートを行った．アンケートは集中度に関する 1 項目（タスクに集中することはできたか），SSQ (simulator sickness questionnaire)[35][36] から引用した眼精疲労に関する 7 項目の全 8 項目である．前者は 7 段階であり，数値が高いほど高評価を示し，後者は 4 段階であり，数値が高いほど低評価を示す．さらに，全タスク終了後，被験者に対して 4 条件での好みに関するアンケートを実施した．これは，装着者がこのシステムを使ってみてみたいと思うかどうかを調査するためのものである．4 条件のランク付けであり，数値が低いほど高評価を示す．



図 5.6 実験環境

5.3 結果

5.3.1 1問当たりの解答完了時間

男女 18 人 (男性: 14 人, 女性: 4 人, 22~30 歳) において, 上記の 4 条件で 5.1 節で説明した実験設定に従い実験を実施した. 解答数と解答時間から 1 問当たりの解答時間を算出して 4 条件間で比較した. 結果を図 5.8 に示す. 「エフェクトなし」とそれぞれの条件を比較する. 「エフェクトなし」に対して「ぼかしとグレースケール化」の条件では, 被験者 18 人中 11 人が 1 問当たりの解答時間が減少し, 全体では平均 2.2 % の減少を確認した. 「拡大エフェクト」の条件では, 被験者 18 人中 8 人が減少し, 全体では, 平均で 2.5 % の減少を確認した. 「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」の条件では, 被験者 18 人中 8 人が減少し, 全体では, 平均で 0.5 % の上昇を確認した. 4 条件間に対応のない t 検定 (Bonferroni 補正) を行ったが, それぞれの条件間で有意な差は見られなかった.

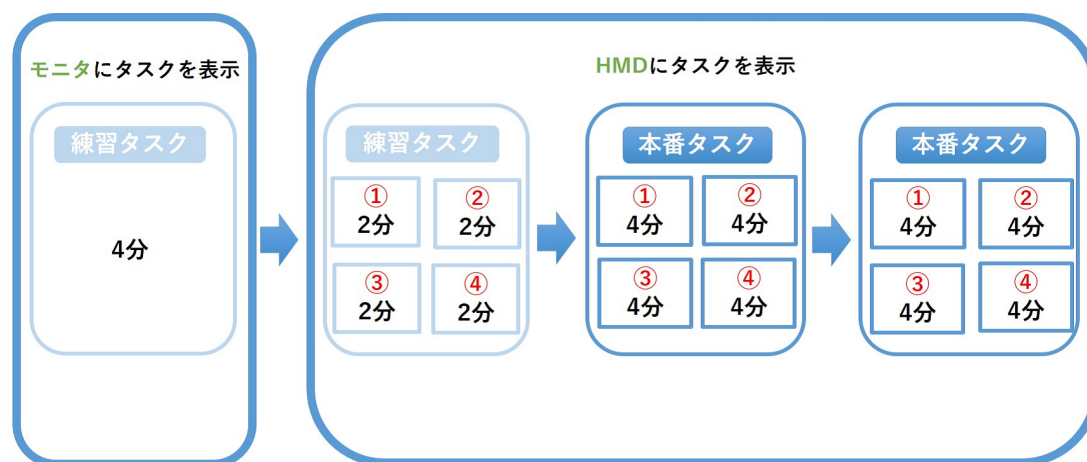


図 5.7 実験フロー

5.3.2 主観的集中度

主観的集中度に関するアンケートの結果について、「エフェクトなし」とそれぞれの条件を比較する。「エフェクトなし」に対して「ぼかし処理とグレースケール化」の条件では、被験者 18 人中 11 人が高評価を示し、3 人が同評価を示した。「拡大エフェクト」の条件では、被験者 18 人中 11 人が高評価を示し、2 人が同評価を示した。「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」の条件では、被験者 18 人中 10 人が高評価を示し、4 人が同評価を示した（図 5.9 参照）。ウィルコクソンの符号順位和検定（Bonferroni 補正）を行った結果、「エフェクトなし」と「ぼかし処理とグレースケール化」、「エフェクトなし」と「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」において有意傾向を示した ($p < 0.1$)。これより、周辺環境のぼかし処理とグレースケール化が主観的集中度を向上させる可能性を確認できた。「拡大エフェクト」においては、有意差はなかったものの低評価を示した被検者は 18 人中 5 人だけであり、「エフェクトなし」と比較して拡大エフェクトは主観的集中度は同等以上であったと考えられる。

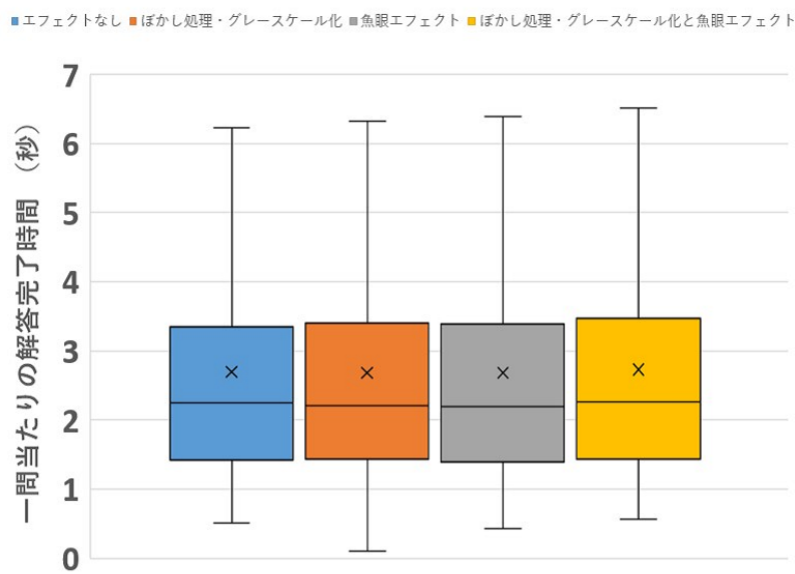
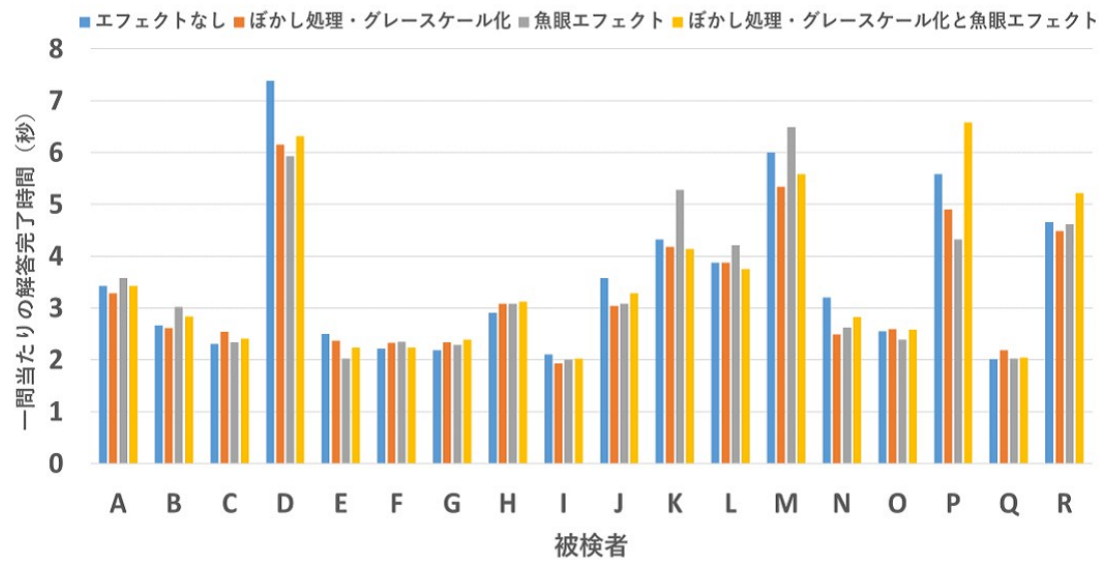


図 5.8 1 問当たりの解答完了時間

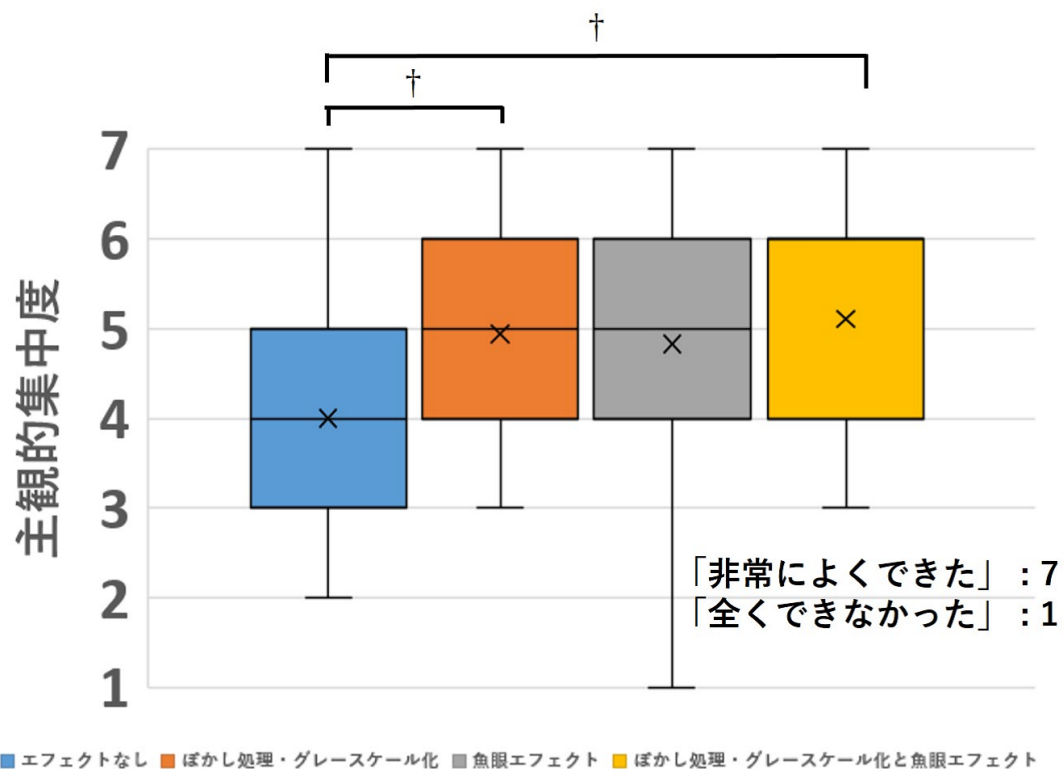


図 5.9 主観的集中度

5.3.3 主観的疲労度

主観的疲労度に関するアンケートの結果について、「エフェクトなし」とそれぞれの条件を比較する。「エフェクトなし」に対して「ぼかし処理とグレースケール化」の条件では、被験者 18 人中 11 人が「エフェクトなし」よりも高評価を示し、3 人が同評価を示した。「拡大エフェクト」の条件では、被験者 18 人中 5 人が「エフェクトなし」よりも高評価を示し、5 人が同評価を示した。「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」の条件では、被験者 18 人中 11 人が「エフェクトなし」よりも高評価を示し、4 人が同評価を示した（図 5.10 参照）。ウィルコクソンの符号順位和検定（Bonferroni 補正）を行った結果、「エフェクトなし」と「ぼかし処理とグレースケール化」、「エフェクトなし」と「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」、「拡大エフェクト」と「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」において有意差を示した ($p < 0.05$)。また、「ぼかし処理とグレースケール化」において有意差を示した ($p < 0.05$)。

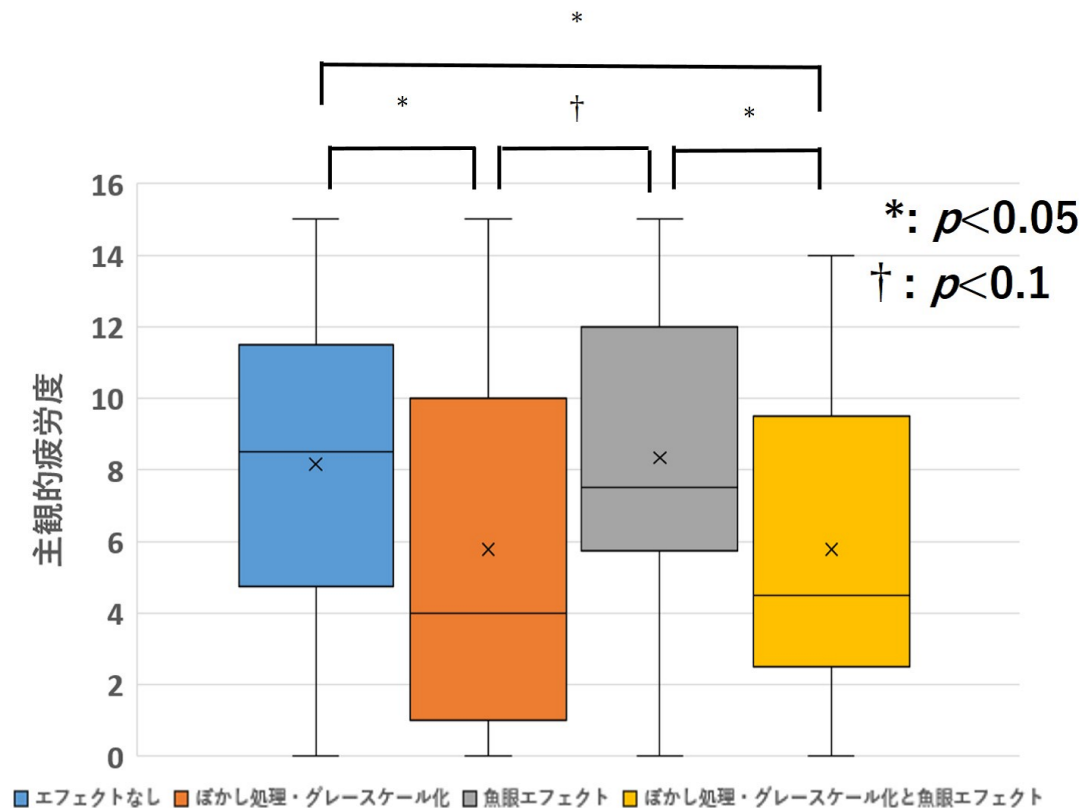


図 5.10 主観的疲労度

スケール化」と「拡大エフェクト」において有意傾向を示した ($p < 0.1$)。以上から、ぼかし処理とグレースケール化のエフェクトを施すことで被験者の感じる疲労度を抑制させる可能性があり、4章での実験と同様の結果である。「拡大エフェクト」においては、「エフェクトなし」との有意差は見られなかった。聞き取り調査から、「拡大エフェクトは、せかされる感じがして疲れた」という意見が得られた。拡大エフェクトはモニタを拡大することで被験者に対して迫って来るようなエフェクトであり、タイムアタックのように被験者に対して心理的な負荷を及ぼした可能性がある。このことから、拡大エフェクトをモニタに視線を向けさせるために用いたものの、主観的疲労度を軽減する効果はなかったと考えられる。

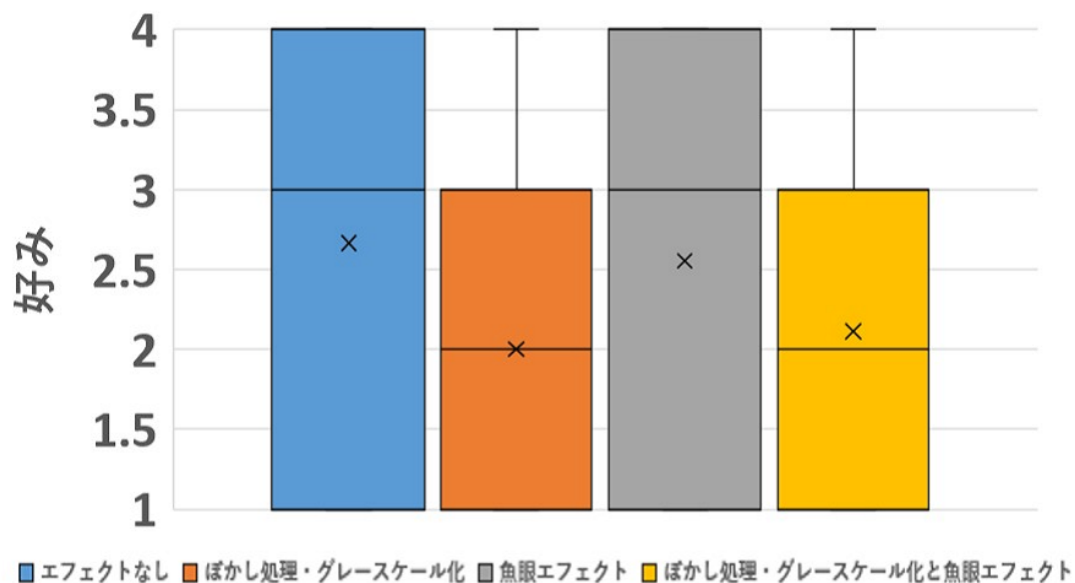


図 5.11 被検者の嗜好

5.3.4 4 条件に対する嗜好

4 条件の環境に対する嗜好に関するアンケートの結果を図 5.11 に示す。4 条件間においてウィルコクソンの符号順位和検定 (Bonferroni 補正) を行ったが、有意差はなかった。4 条件の平均値において「エフェクトなし」の条件では、「ぼかし処理とグレースケール化」と「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」は高評価であった。一方で「拡大エフェクト」は「エフェクトなし」とほぼ同じ結果であった。被験者に聞き取りを行うと、「拡大エフェクトは迫ってくる感じがして疲れる」という意見が得られた。これは、主観的疲労度に関して聞き取り調査を行った際も得られた意見である。拡大エフェクトは主観的疲労度を増加させるため、好んで装着しようとは思わないかもしれない。

5.3.5 瞬目頻度

瞬目頻度に関して、瞬目数をタスク時間で割って 1 分当たりの瞬目数を算出し、被験者内で 2 回分のタスクを 4 条件で分けて合計して比較した (図 5.12 参照)。視

線計測機器によって精度よく取得できた被験者 16 人でのみ評価した。被験者ごとに瞬きが検知された回数に大きな差があったため、被験者内で瞬目数を正規化（平均: 0, 分散: 1）した。「エフェクトなし」とそれぞれの条件を比較する。「エフェクトなし」に対して「ぼかし処理とグレースケール化」の条件では被験者 16 人中 6 人の瞬目頻度が低下し、「拡大エフェクト」において被験者 16 人中 12 人の瞬目頻度が低下し、「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」において被験者 16 人中 10 人の瞬目頻度が低下した。しかしながら 4 条件間で対応のある t 検定（Bonferroni 補正）を行ったが、有意差はなかった。今回の実験では、先行研究から、瞬目頻度が低いほど集中しているとしている。「拡大エフェクト」において、被験者は「エフェクトなし」と比較して集中できていた可能性がある。さらに、「エフェクトなし」と「拡大エフェクト」を比較して、1 問当たりの解答完了時間が低下していた被験者 8 人の内、6 人の瞬目頻度が低下しており、これらの被験者は「エフェクトなし」と比較して集中していたのではないかと考えられる。

5.3.6 視線移動量

視線移動量に関しては、視線計測機器を用いて、両目の視線移動を二次元座標で左下が (0,0)、右上が (1,1) になるように設定して 0.02 秒/回で取得した。精度よく取得できた被験者 15 名の結果を用いて「エフェクトなし」とそれぞれの条件を比較したが、どの条件においても同じような結果が得られた (図 5.13 参照)。4 条件間での対応のある t 検定（Bonferroni 補正）においても、有意な差はなかった。被験者からは「短時間のタスクであったため、周辺環境で動いているものは気になったが、それを実際には見ずにモニタだけを見てタスクを行えた」という 4 章での実験と同様の意見が得られた。これより、今回のような短時間のタスクでは、無意識的に大きな視線移動はなかったことが推察できる。より長時間のタスクを行い、現実的な作業時間を再現した際の実験を行う必要がある。

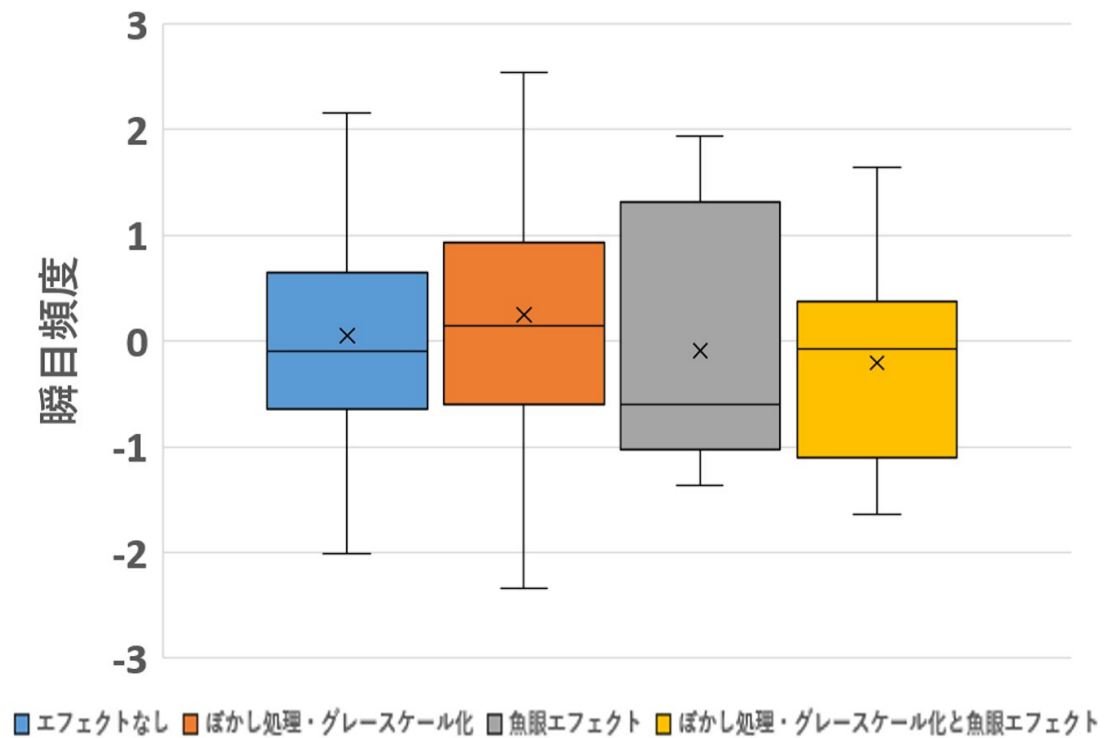


図 5.12 瞬目頻度

5.3.7 サブタスク

被験者に対して手を振る動作へ認知できるかを確認するサブタスクの評価を行った。被験者内で2回分のタスクを4条件で分けて合計して比較した(5.14 参照)。各条件において、すべての動作に気づいていれば合計6回となる。「エフェクトなし」とそれぞれの条件において比較する。「ぼかし処理とグレースケール化」において、被験者18人中3人の気付いた回数が減少した。全体では、5.8%の低下が確認された。「拡大エフェクト」において、被験者18人中5人の気付いた回数が減少した。全体では、10.5%の減少を確認した。「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」において、被験者18人中5人の気付いた回数が減少した。全体では、8.2%の減少を確認した。4条件間でのウィルコクソンの符号順位和検定(Bonferroni 補正)において、有意差はなかった。「ぼかし処理とグレースケール化」の結果について4章の実験での減少率(25%)の条件では、今回の実験での同

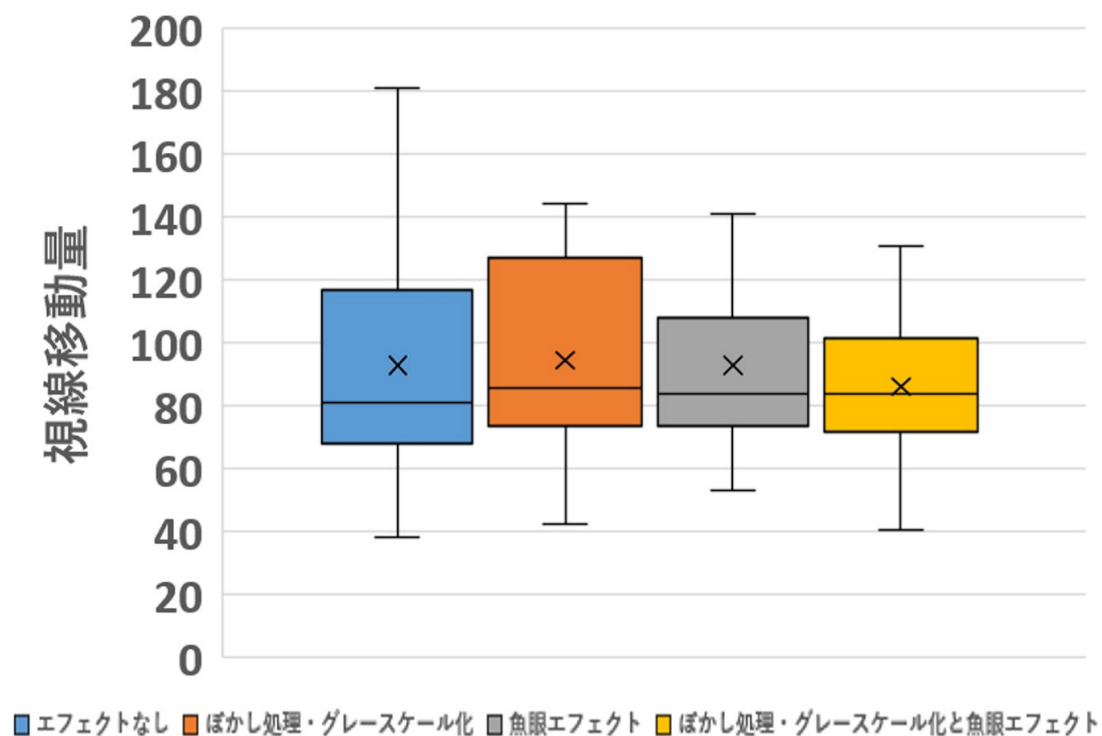


図 5.13 視線移動量

条件での減少率は低下していた。今回用いたエフェクトの強度は4章の実験と同じである。今回の被験者は、4章の実験の被験者に比べ、計算問題の正誤タスクを表示したモニタではなく、周辺環境により注意を向けていたのかもしれない。そのため、「エフェクトなし」と「ぼかし処理とグレースケール化」を比較して、同様のエフェクト強度にもかかわらず、減少率が4章の実験者に比べ、低下していたと考えられる。また、今回の実験の「エフェクトなし」と「ぼかし処理とグレースケール化」における一問当たりの解答完了時間の差は前回の実験の同条件に比べ低かった。これは、同様の理由で、周囲に注意を向けることで、計算タスクに対して十分に集中できなかったためであると考えられる。

今回のサブタスクでは手を振る動作をする人がいることを事前に伝え、その気付いた回数を周囲への気付きやすさの指標とした。これに対して、被験者から「実験の後半から手を振る動作をする人の出方が分かった。そのため、手を振る人が出て

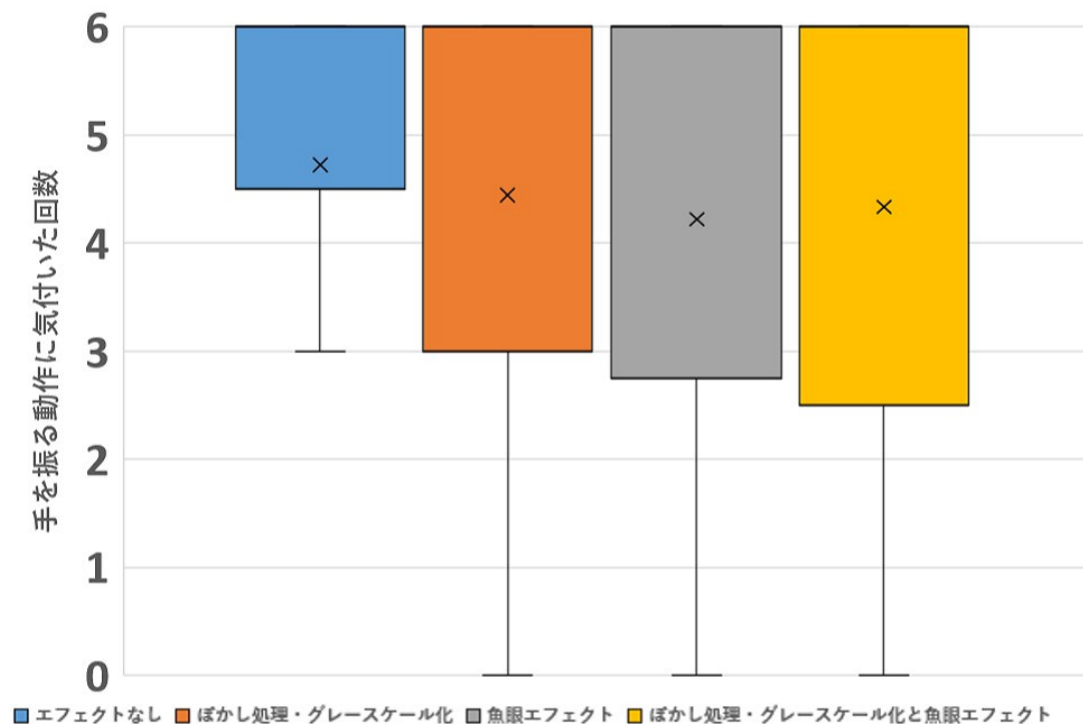


図 5.14 手を振る動作に気付いた回数

きてから手を振るまで集中できなかった」という意見が得られた。今回の実験では、手を振る人はランダムで左右から出現し、被検者の前の方まで歩き、被験者に対して手を振る。そのため、実際に出現してから手を振るまでわずかな時間がある。そのため、被験者の意見のように、手を振る人の動作の出現方法を学習すると、ある程度すぐに気付いてしまい、手を振るまで気が散ってしまうことが考えられる。そのため、今後の実験では、事前にサブタスクについて伝えずに、実験後に周囲への認知度に関するアンケートを実施することで、周囲に認識できたかどうかを聞くなどの別のタスクを考える必要がある。

5.3.8 聞き取り調査

被験者に対して、提案システムについて聞き取り調査を行った。それぞれの条件において肯定的な意見と否定的な意見を記述する。「ぼかし処理とグレースケール

化」において、肯定的な意見として、「周囲がわかりにくくなりノイズが気にならなくなったので集中できた」という意見が得られた。否定的な意見としては「さみしい感じがした」、「ぼかしはリアリティがないので良くなかった」、「ピントが合わなくて良くなかった」などの意見が得られた。「拡大エフェクト」においては、肯定的な意見では、「作業領域に対して、注意が向き、入り込む感じがして集中できた」、「拡大エフェクトは早く解いている感じがした」などの意見が得られた。否定的な意見では、「せかされる感じがした」、「モニタが見にくかった」という意見が得られた。「ぼかし処理・グレースケール化と拡大エフェクト」においては、肯定的な意見として「両方のエフェクトが施さされていてよかった」という意見が得られた。否定的な意見では、「カラーがない周辺は意識が向かないので、拡大はいらない」、「ぼかしを入れてノイズがないので、魚眼にしなくても注意は向いたからいらない」という意見が得られた。

「拡大エフェクト」においては、肯定的な意見と否定的な意見が同程度得られた。特に、主観的な疲労度において、「迫ってくる感じがして早く解こうと思って疲れた」という意見が得られた。このような影響を与えたことから、一問当たりの解答時間においては、「エフェクトなし」と比べ減少したものの、主観的な疲労度においては「エフェクトなし」に比べ低評価であったと考えられる。

実験の最後に被験者に対して、どのようなエフェクトを施していると考えていたかを訪ねたところ、「拡大エフェクト」において、エフェクトに気付いていなかった被験者が 18 人中 7 人存在した。このことから、拡大エフェクトの拡大率は先行文献の運動閾値から設定したものの、弱かったためにモニタへの注意誘導が十分にできていなかった可能性がある。今後の実験では、拡大速度の異なる拡大エフェクトによる比較を行う。また、気づかなかった被験者の一人から、「できるだけ早く計算問題を解くように説明されていたので、視覚的な変化には気づかなかった」、「視覚的なノイズも実際に存在するわけではないので気にならなかった」という意見が得られた。この被験者の場合、サブタスクに気付いた回数もすべて 0 回であり、すべてのエフェクトに気付いていなかった。この被験者のように、仮想環境を用いることで、現実環境の視覚的なノイズを再現できず提案手法の有効性を検証できていないことも考えられる。

被験者に対して、このようなシステムでは将来的に AR グラスを用いる予定であ

ることを伝え、使ってみたいか尋ねたところ多くの被験者から、「周囲のノイズを除けそうなので使ってみたい」という意見が得られた。また、「今回のような手を振っている動作のような気付くべき動作にはエフェクトを施さない処理が必要ではないか」という意見も得られた。

第 6 章 おわりに

論文では、周辺環境の視覚情報への認知を出来るだけ維持したまま、作業効率を向上させるために、二つの手法を提案して実験を行った。一つ目は、非作業領域に対して「ぼかし処理とグレースケール」を施すことで、視覚的ノイズを減衰させることで作業効率を向上させる手法である。二つ目は、作業領域に対して、「拡大エフェクト」を施し作業領域に対して視線を誘導させることで作業効率を向上させる手法である。「ぼかし処理とグレースケール化」においては、計算タスクにおいて 1 問当たりの解答時間が短縮した。また、集中度を評価するアンケートにおいても高評価であり、有意差が確認された。また、同条件において解答時間が増加した被験者は主観的な疲労度も増加しており、これはぼかし処理による周辺環境への焦点が合わない影響であると考えられる。周辺環境の視覚情報への認知を評価するサブタスクにおいては、手を振る動作に気付いた回数が減少した。一方で、被験者間で気付いた回数は異なり、作業者によってぼかし処理の強度を調節することで周辺環境への視覚情報をより維持できると考えられる。また、瞬目頻度においては、「エフェクトなし」が「ぼかし処理とグレースケール化」に比べ低く有意傾向が示され、「ぼかし処理とグレースケール化」は集中力を高める可能性が確認された。視線移動量は、有意な差はなく、被験者の感想から、長時間のタスクを行い実際の作業環境を再現することでより詳細な分析ができるかもしれないことがわかった。また、聞き取り調査から、視線追跡を用いて作業に不必要な情報に対して局所的にエフェクトを施すことで、より利用しやすいシステムが開発できると考えられる。「拡大エフェクト」においては、計算タスクにおいて 1 問当たりの解答時間が減少した。また、集中度を評価するアンケートでは有意な差はなかったものの多くの被験者が高評価を示した。また、主観的疲労度におけるアンケートでは、低評価を示した。被験者から、「迫ってきてせかされている感じがした」という意見が得られた。このことから、魚眼エフェクトはタイムアタックのように被験者に対して心理的な負荷を与える場合も存在することが示唆された。また、サブタスクにおいては、気づいた回数が低下したものの被験者からは「周囲がぼけておらず、周囲が見えやすい」といった意見が得られ、「ぼかし処理とグレースケール化」に比べ周囲への認知度は高いと考えられる。

謝辞

本研究の遂行，及び論文の作成にあたっては，多くの方々のご指導，ご協力を頂きました。

領域移動の際に，温かく研究室に迎え入れて下さり，さらに懇切丁寧なご指導，ご鞭撻を賜った清川 清 教授と酒田 信親 准教授に心より感謝いたします。

本研究を進めるにあたり，有益なご助言，ご鞭撻を頂いた磯山 直也 助教に厚くお礼申し上げます。

本研究の副査を引き受けて頂いたユビキタスコンピューティングシステム研究室の安本 慶一 教授に深く感謝いたします。

研究室での生活を温かく見守り，ご支援いただいた中村 美奈 女史に心より感謝いたします。

本研究を進めるにあたり，研究について議論を交わしたサイバネティクス・リアリティ工学研究室の同期，先輩方に厚くお礼申し上げます。

被検者実験において，快く参加してくれたサイバネティクス・リアリティ工学研究室の諸氏並びに研究室外の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Simon P Banbury and Dianne C Berry. Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics*, Vol. 48, No. 1, pp. 25–37, 2005.
- [2] Jungsoo Kim and Richard De Dear. Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 36, pp. 18–26, 2013.
- [3] Shohei Mori, Sei Ikeda, and Hideo Saito. A survey of diminished reality: Techniques for visually concealing, eliminating, and seeing through real objects. *IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications*, Vol. 9, No. 1, pp. 1–14, 2017.
- [4] Laurent Itti, Christof Koch, and Ernst Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, No. 11, pp. 1254–1259, 1998.
- [5] Amin Banitalebi-Dehkordi, Mahsa T Pourazad, and Panos Nasiopoulos. A learning-based visual saliency prediction model for stereoscopic 3d video (lbvs-3d). *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 76, No. 22, pp. 23859–23890, 2017.
- [6] Eduardo E. Veas, Erick Mendez, Steven K. Feiner, and Dieter Schmalstieg. Directing attention and influencing memory with visual saliency modulation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1471–1480, 2011.
- [7] 滝本裕則, 山内仁, 満倉靖恵, 金川明弘. 注視誘導のための視覚的顕著性を利用した動画再配色. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No. 1, pp. 144–151, 2017.
- [8] James J Gibson. The perception of the visual world. 1950.
- [9] 辻村壮平, 上野佳奈子. 教室内音環境が学習効率に及ぼす影響. 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 653, pp. 561–568, 2010.
- [10] 「wear space」 公式ホームページ. <https://ja.wearspace.info/>.

- [11] Hyelip Lee, Seungwoo Je, Rachel Kim, Himanshu Verma, Hamed Alavi, and Andrea Bianchi. Partitioning open-plan workspaces via augmented reality. *Personal and Ubiquitous Computing*, pp. 1–16, 2019.
- [12] 畑元, 小池英樹, 佐藤洋一. 解像度制御を用いた視線誘導. 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 4, pp. 1152–1161, 2015.
- [13] Junpei Miyamoto, Hideki Koike, and Toshiyuki Amano. Gaze navigation in the real world by changing visual appearance of objects using projector-camera system. In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, p. 14, 2018.
- [14] 山浦祐明, 中村聡史. 周辺視野へのぼかしエフェクトによるディスプレイ上の集中妨害効果の抑止. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2019, No. 10, pp. 1–8, 2019.
- [15] 山浦祐明, 中村聡史. 視線に追従するぼかしエフェクトがビデオゲームの体験に及ぼす影響の調査. 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. 2019, No. 18, pp. 1–8, 2019.
- [16] Shuo Wang, Masaki Fukuchi, Christof Koch, and Naotsugu Tsuchiya. Spatial attention is attracted in a sustained fashion toward singular points in the optic flow. *PloS one*, Vol. 7, No. 8, p. e41040, 2012.
- [17] William H Warren and Kenneth J Kurtz. The role of central and peripheral vision in perceiving the direction of self-motion. *Perception & Psychophysics*, Vol. 51, No. 5, pp. 443–454, 1992.
- [18] 内川恵二, 朝倉書店. 視覚情報処理ハンドブック. 日本視覚学会編, 朝倉書店, 2000.
- [19] 安西祐一郎, 石崎俊, 大津由紀雄, 波多野誼余夫, 溝口文雄. 認知科学ハンドブック, 1992.
- [20] Kevin N. Gurney Michael Wright. Lower threshold of motion for one and two dimensional patterns in central and peripheral vision. *Vision Research*, Vol. 32, No. 1, pp. 121–134, 1992.
- [21] Steven L Franconeri and Daniel J Simons. Moving and looming stimuli capture attention. *Perception & psychophysics*, Vol. 65, No. 7, pp. 999–

1010, 2003.

- [22] Adrian von Mühlenen and Alejandro Lleras. No-onset looming motion guides spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 33, No. 6, p. 1297, 2007.
- [23] 鳴海拓志, 伴祐樹, 梶波崇, 谷川智洋, 廣瀬通孝. 拡張満腹感: 拡張現実感を利用した食品の見た目の操作による満腹感のコントロール. *インタラクシオン* 2012, pp. 25–32, 2012.
- [24] 鳴海拓志, 伴祐樹, 梶波崇, 谷川智洋, 廣瀬通孝. 拡張持久力: 拡張現実感を利用した重量知覚操作による力作業支援. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 17, No. 4, pp. 333–342, 2012.
- [25] Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Meta cookie+: an illusion-based gustatory display. *Virtual and Mixed Reality-New Trends*, pp. 260–269, 2011.
- [26] Nobuchika Sakata, Masaki Maeda, Tomu Tominaga, and Yoshinori Hijikata. Controlling the interpersonal distance using the virtual body size. *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 22, No. 2, pp. 209–216, 2017.
- [27] Masaki Maeda, Tomu Tominaga, Yoshinori Hijikata, and Nobuchika Sakata. Controlling virtual body size to reduce discomfort caused by inappropriate interpersonal distance. In *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 192–195, Heidelberg, German.
- [28] 前田将希, 酒田信親. 仮想身体サイズによる対人距離の視覚的拡張の基礎的検討. *インタラクシオン* 2016, pp. 47–53, 2016.
- [29] Mark McGill, Daniel Boland, Roderick Murray-Smith, and Stephen. Brewster. A dose of reality: Overcoming usability challenges in vr head-mounted displays. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- [30] 工藤義礎, Tang Anthony, 藤田和之, 遠藤勇, 高嶋和毅, ソールグリーンバーグ, 北村喜文. 近接学に基づく hmd 利用者・非利用者の間の段階的なアウェア

- ネスの向上. インタラクション 2019, pp. 48–57, 2019.
- [31] Kohei Kanamori, Nobuchika Sakata, Tomu Tominaga, Yoshinori Hijikata, Kensuke Harada, and Kiyoshi Kiyokawa. Obstacle avoidance method in real space for virtual reality immersion. In *Proceedings of IEEE International Symposium for Mixed and Augmented Reality 2018*, pp. 80–89, 2018.
 - [32] Kohei Kanamori, Nobuchika Sakata, Tomu Tominaga, Yoshinori Hijikata, Kensuke Harada, and Kiyoshi Kiyokawa. Walking assist method for vr zombie. In *Proceedings of the 12th Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality*, pp. 15–21, 2018.
 - [33] 大林史明, 石井裕剛, 下田宏. 知的作業における集中度評価指標と集中度向上照明. Technical report, パナソニック株式会社 全社 CTO 室, 2016.
 - [34] 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介. まばたきの心理学. 北大路書房, pp. 60–63, 1991.
 - [35] Robert S Kennedy, Norman E Lane, Kevin S Berbaum, and Michael G Lilienthal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203–220, 1993.
 - [36] Stuartk Card, THOMASP MORAN, and Allen Newell. The model human processor- an engineering model of human performance. *Handbook of perception and human performance.*, Vol. 2, No. 45–1, 1986.

発表リスト

- [1] 古志将樹, 酒田信親, 清川清. ビデオシースルー HMD を用いた視覚的ノイズの減衰による集中力向上 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2019.16 (2019). pp. 1–4.
- [2] Masaki Koshi, Nobuchika Sakata, and Kiyoshi Kiyokawa. Augmented Concentration: Concentration Improvement by Visual Noise Reduction with a Video See-Through HMD. In *Proceedings of the 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces(VR)*, pp. 1030-1031, 2019 [査読あり](ポスター発表).
- [3] Masaki Koshi, Sakata, Nobuchika, and Kiyokawa Kiyoshi. Augmented Concentration: Visual Noise Reduction for Improving Concentration with a Video See-Through HMD. In *Proceedings of the 12th Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality*, 2019 [査読あり] (ポスター発表).
- [4] 古志将樹, 磯山直也, 酒田信親, 清川清. 周辺環境の視覚的ノイズ減衰機能を有するノイズキャンセリング HMD の基礎的検討. インタラクション 2020, 2020 [査読あり] (登壇発表予定).