

# 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

古志 将樹<sup>†1,a)</sup> 磯山 直也<sup>†1,b)</sup> 酒田 信親<sup>†1,c)</sup> 清川 清<sup>†1,d)</sup>

**概要:** 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、これを減衰する手法を提案する。具体的に本稿では、作業者にHMD(Head Mounted Display)を装着させ、作業領域以外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し作業への集中力の低下を防ぎ、且つ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。そして、この手法の有効性を確認する実験を行った結果、HMD上の映像の視覚的ノイズを軽減すると、計算タスクの作業効率が向上することが確認された。

## 1. 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。また、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]。また、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、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。

本研究は、集中が必要とされる作業中において、作業と無関係な人や物が作業者の視野に入ることによって、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変化させないように、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、我々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に着目した [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。また、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。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ている。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の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。また、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

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

a) koshi.masaki.kd8@is.naist.jp

b) isoyama@is.naist.jp

c) sakata@is.naist.jp

d) kiyo@is.naist.jp

張現実感用映像透過式 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以下の実験を設計した。計算タスクを行う作業空間を仮想環境に作成し、この仮想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ものを 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・集中力の変化・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。

## 2. 関連研究

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 [5]。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、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 (<https://wearspace.info/>)。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。また、Lee らは 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。検証の結果、周辺視野への意識の減少を確認した [6]。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。また、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との比較はあまり行われていない。そのため、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視覚情報維持のバランスの実証はされていない。このようにノイズを軽減することで集中力を向上させることは研究分野や社会的にも認められている。

### 2.1 視線誘導に関する研究

意識的無意識的に関わらず視線を向けてしまう視線誘導に関わる研究では、二次元画像中で視線を誘導したい部分以外を低解像度にして、視線を誘導したい部分を高解像

度にすることで視線誘導を行う手法を畑らは提案している [7]。視線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、解像度制御により視線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視線誘導の可能性も示唆している。また、宮本らは現実世界の物体に対しての視線誘導方法を提案している [8]。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、視線誘導したい部分以外を左右にずらして投影することで、視線誘導を可能にしている。また、山浦らは、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。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 [9]。さらに別の論文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 [10]。

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。

### 2.2 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本研究に関連するものとして、鳴海らはクッキーなど食べ物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 [11]。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 [12] や、クッキーの見た目変更と匂い提示による味覚操作 [13] 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削減したノイズキャンセリング HMD の研究がある [14] [15] [16]。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スシステムを構築し、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削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、視覚情報が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

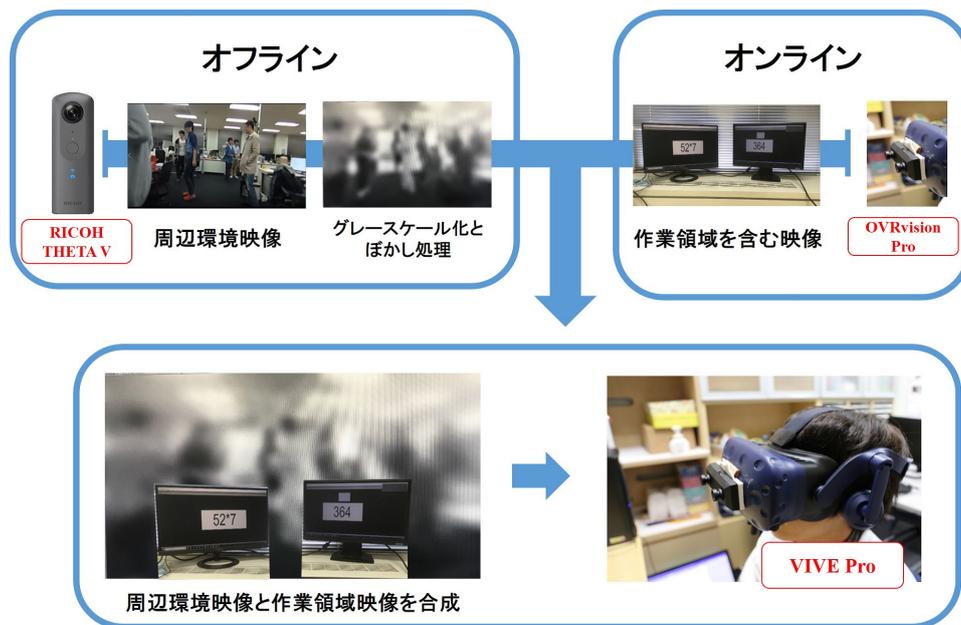


図 1 予備調査のシステム構成

り，本研究の実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。

### 2.3 HMD 装着者の周辺環境へのアウェアネスに関する研究

VST-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 [17] が行われている．HMD 装着者と非装着者の近接者の間のアウェアネスを適切に向上させる研究 [18] 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．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に存在するかを把握しつつ歩き回る研究 [19] 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 [20] も存在する．これらの研究では没入感も維持しつつ，実空間の状況を認知させる点が本研究と類似しており，また，実空間の状況を認知させる有効性を示している。

## 3. ぼかしとグレースケール化による視覚的ノイズの減衰

### 3.1 ぼかしとグレースケール化のパラメータ調整

本実験に向けて，適切な実験の設定とぼかし度合いのパラメータ調整をするために予備調査を行った．予備調

査でのシステムを図 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 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として被験者に提供する．また，図 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 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．また，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)．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，この領域にもエフェクトを施す．これ

周辺環境映像  
周辺環境映像に  
作業環境映像を重畳

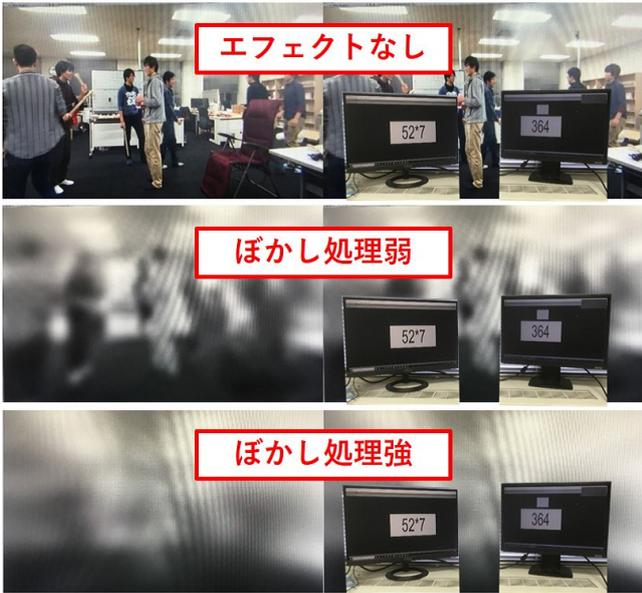


図 2 視覚的ノイズを含む周辺環境映像とそれに対して作業環境映像を重畳した様子

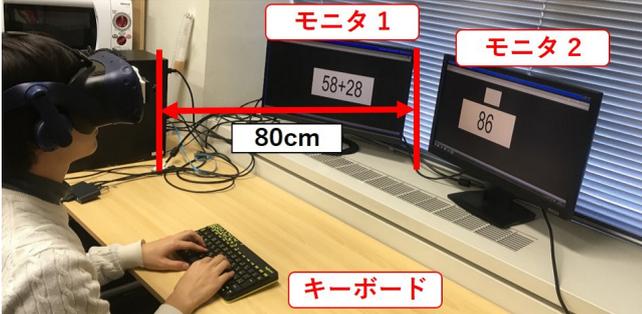


図 3 予備調査の実験環境

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。今回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 OvrvisionPro 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 1 下)。また、HMD 装着者が真正面を向くと図 1 右のように 2 台のモニタが同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 OvrvisionPro 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 [21] 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 1 右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

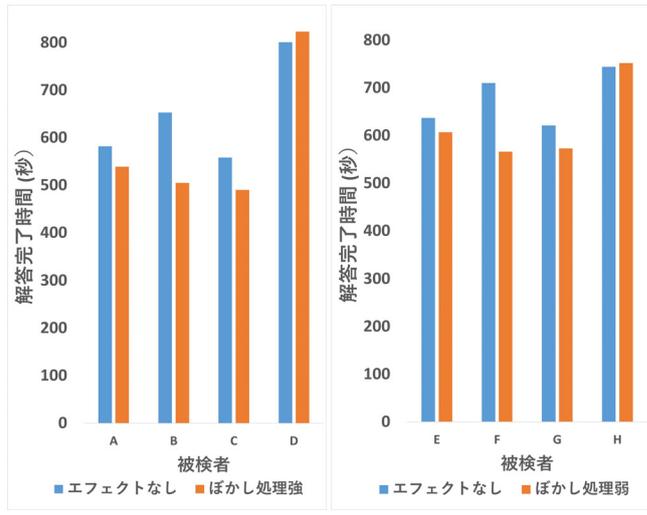


図 4 予備調査の解答完了時間

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。

3.2 強いぼかし処理と弱いぼかし処理を適用した場合の予備調査

実験手順として、まず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った。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、150 問の正誤問題を解かせる実験を男性大学院生 4 人の被験者に対し、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、実験順序は被験者ごとに入れ替えた。次に、ぼかし処理が弱い周辺環境映像を用いた実験を行った。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。被験者は実験 1 とは異なる 4 人で行った。

図 4 左にぼかし処理強の場合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 4 右にぼかし処理弱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、平均としては 7.9 % の減少が確認できた。

3.3 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。この予備調査では、ぼかし処理強とぼかし処理弱と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た。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が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。

グレースケール化やぼかし処理を行わなかった「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、本手法の有効性の確認を行えたと考えている。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。

## 4. 本実験

### 4.1 予備調査の結果からの改良

予備調査の結果から、実験システムに対して下記の3つの改良の後に本実験を行った。

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

1つ目は、評価指標の追加である。予備調査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 [22]。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。本稿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、予備調査ではあらかじめ撮影した二次元映像を周辺環境を模したものと被験者に提示したが、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実施である。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、予備調査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った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) [23] [24] から引用した眼球疲労に関する7項目の全8項目である。前者は7段階、後者は4段階で評価した。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。

### 4.2 実験手法

実験システムの構成を図5に示す。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6)。本実験では、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あったり、机の上を動く物体を視覚的ノイズとしている。今回の実験を始めるにあたり、様々な予備実験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、グレースケール) 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、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りする。以上の環境を想定して今回の実験環境では、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。これにより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できれば、今後の実験でより現実的な環境を作成し再度調査しようと考えている。予備調査と同様

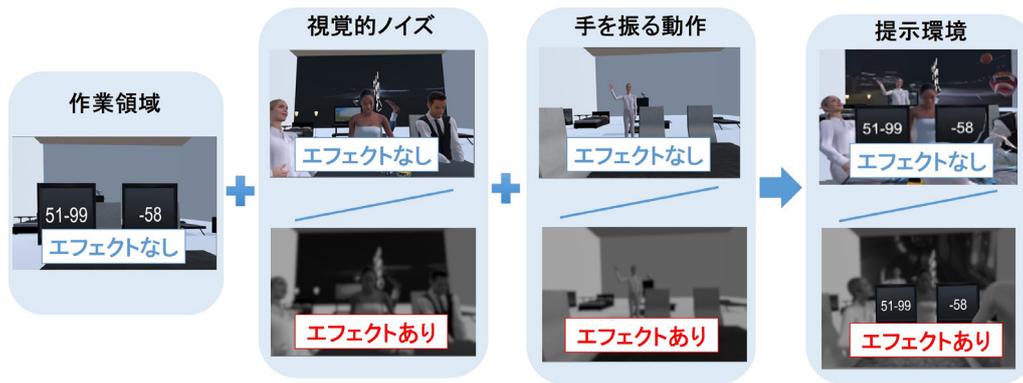


図 5 実験のシステム構成



図 6 被験者に提示される映像

に、作業者に 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。ぼかしの強さは予備調査を踏まえて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 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。

我々は前述の様に 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映像透過式 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してもらう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。我々も実際にこれを試行したが、人間の演技を同一に完全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実世界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、予備調査より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 台のモニタに表示させた (図 6)。この 2 台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。今回はタスクとして予備調査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) で、正解のときは RB ボタンを不正解のときは LB ボタンを入力した。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 7 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 は装着せず現実のモニタにタスクを表示させて解答させた。次に、仮想作業環境に慣れるために HMD を付けて「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った。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 セット行った。この際、順序効果を考慮した条件順となっている。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 8 のように、被験者は HMD を被り、コ

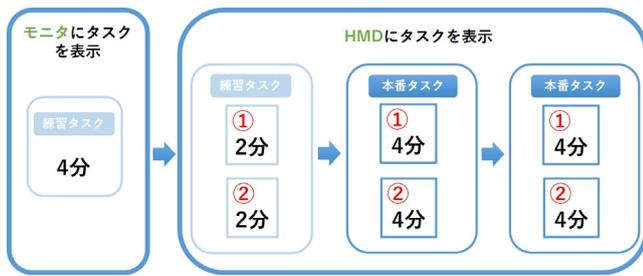


図 7 実験順序



図 8 実験環境

ントローラを把持し椅子に座った状態で実験を行う。

### 4.3 結果と考察

#### 4.3.1 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 9 に示す。さらに、上述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 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、

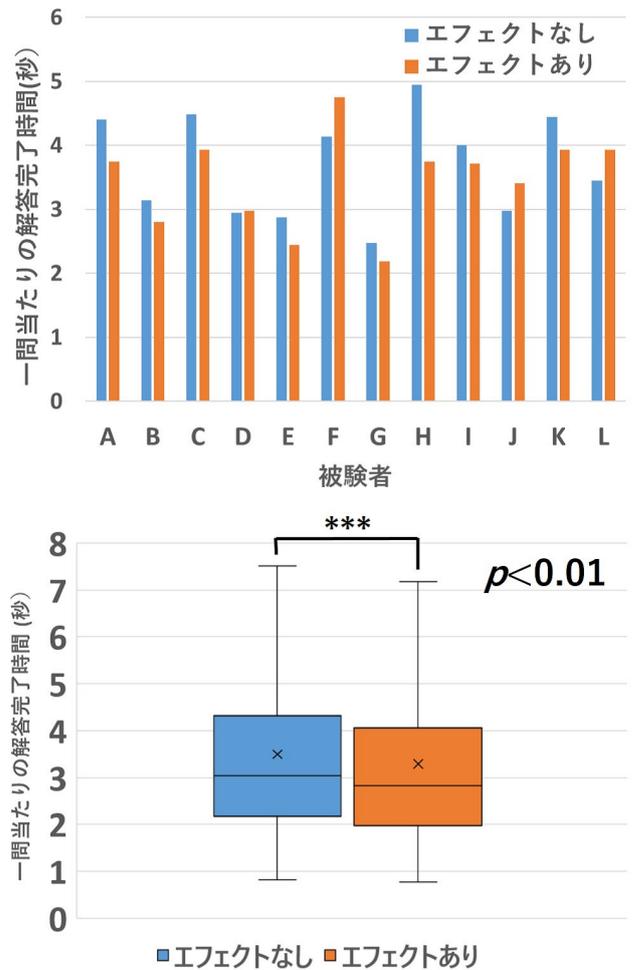


図 9 1 問当たりの解答完了時間

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が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が集中できた」といった意見が得られた。以上から、解答完了時間が増大したと考えている。

#### 4.3.2 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 10)。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。

#### 4.3.3 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 11)。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。本実験では被験者数が 12 人のため統計的有意差は確認できなかった

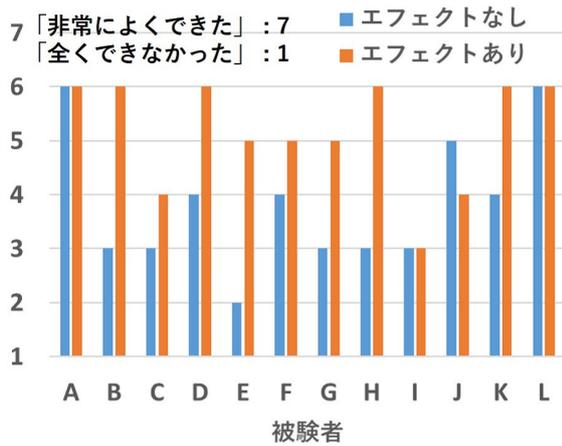


図 10 主観的集中度

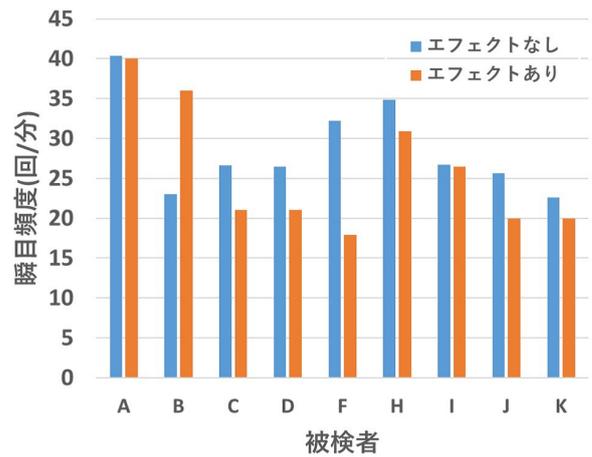
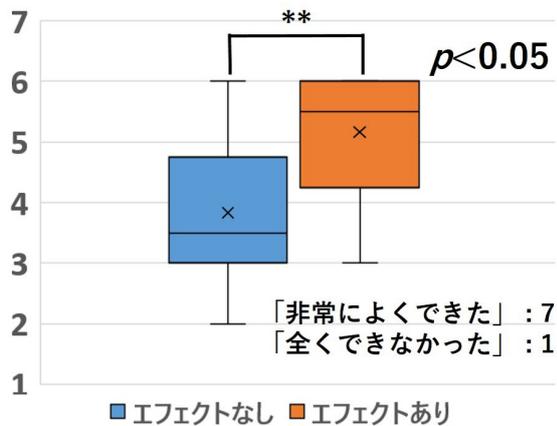


図 12 瞬目頻度

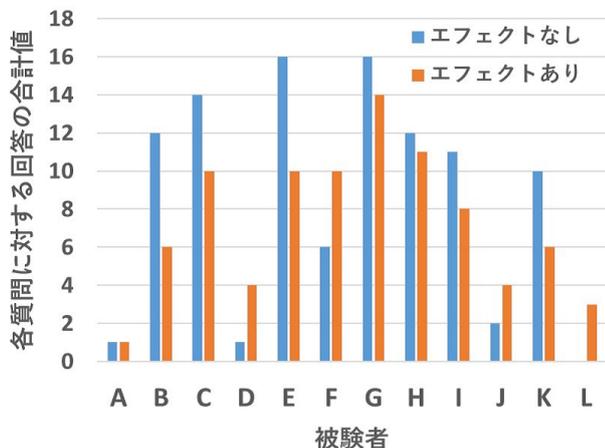
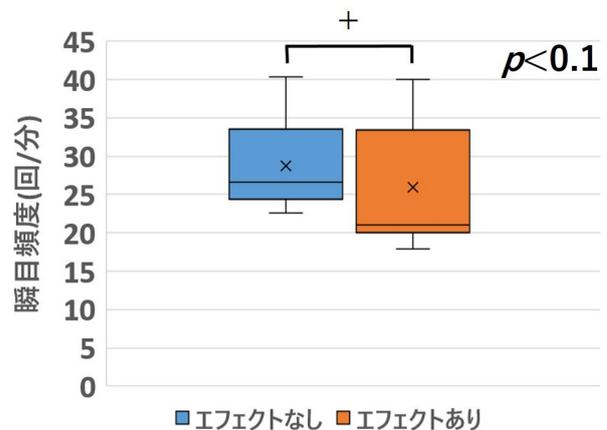


図 11 主観的疲労度

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、ぼかした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。

#### 4.3.4 瞬目頻度

また、瞬目頻度による評価も行った。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12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。

#### 4.3.5 視線移動量

一方で、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。これは、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かもしれない。

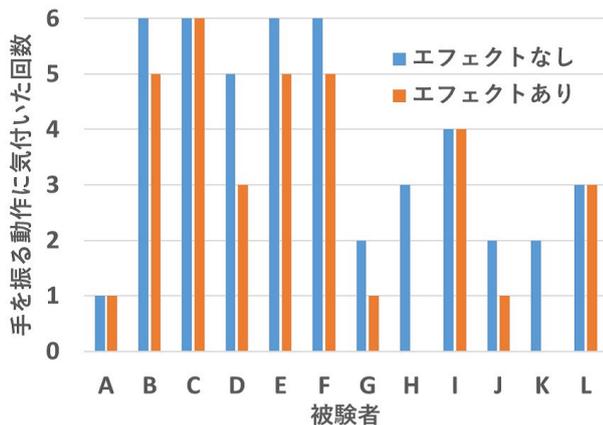


図 13 手を振る動作に気付いた回数

#### 4.3.6 サブタスク

被験者に対して手を振る動作への認知という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条件で分けて合計して比較した。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削除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も多く、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。また、上記のノイズの減衰と視覚情報維持のバランスを保つエフェクトについても、ぼかし処理、グレースケール化のような、周辺環境へのエフェクト提示ではなく、主に中心視野へエフェクトを提示する手法も考えている。この場合は、周辺環境に対しては視覚情報が著しく低下するようなこともないため、ノイズの減衰と視覚情報維持のバランスを保てると考えている。

#### 4.3.7 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

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、ぼかしとグレースケール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。

以下に追加実験での推察を記述する。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インタビューにおいて、周囲の人や物の動きへの意識が低下し集中できたなどの意見が得られたことから、周辺環境の動きに対する視覚的顕著性の減衰効果を期待している。また、グレースケールに関しては、インタビューにおいて、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、彩度に対する視覚的顕著性の減衰効果を期待している。

## 5. おわりに

本稿では、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、作業に無関係な周辺環境中の人や物をグレースケール化やぼかし処理によって視覚的顕著性を下げ、作業者の集中を下げない手法を提案し、この有効性を確かめる予備調査と本実験を行った。予備調査の結果、グレースケール化とぼかし処理のエフェクトを施すことで、エフェクトを施さない場合に比べ計算タスクの時間が短くなる傾向が確認された。この結果を踏まえた本実験では、集中度の評価指標として、タスクの解答時間に加え、視線計測とアンケートによる主観的な集中度と疲労度の評価を行った。その結果、エフェクトを施した場合において、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有意差が確認された。また、エフェクトありのほうが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、「エフェクトあり」で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

できると考えている。また、瞬目頻度においては、有意傾向が示された。視線移動量は、「エフェクトなし」と「エフェクトあり」の2条件間で有意な差はなく、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ている。

## 参考文献

- [1] Banbury, S. P. and Berry, D. C.: Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements, *Ergonomics*, Vol. 48, No. 1, pp. 25–37 (2005).
- [2] Kim, J. and De Dear, R.: Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 36, pp. 18–26 (2013).
- [3] Mori, S., Ikeda, S. and Saito, H.: 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] Itti, L., Koch, C. and Niebur, E.: 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] 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).
- [6] Lee, H., Je, S., Kim, R., Verma, H., Alavi, H. and Bianchi, A.: Partitioning open-plan workspaces via augmented reality, *Personal and Ubiquitous Computing*, pp. 1–16 (2019).
- [7] 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).
- [8] Miyamoto, J., Koike, H. and Amano, T.: Gaze navigation in the real world by changing visual appearance of objects using projector-camera system, *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, p. 14 (2018).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] 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, インタラクション 2012, pp. 25–32 (2012).
- [12] 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).
- [13] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Meta cookie+: an illusion-based gustatory display, *Virtual and Mixed Reality-New Trends*, pp. 260–269 (2011).
- [14] Sakata, N., Maeda, M., Tominaga, T. and Hijikata, Y.: 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).
- [15] Maeda, M., Tominaga, T., Hijikata, Y. and Sakata, N.: Controlling Virtual Body Size to Reduce Discomfort Caused by Inappropriate Interpersonal Distance, *the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 192–195 (2016).
- [16] 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, インタラクション 2016, pp. 47–53 (2016).
- [17] McGill, M., Boland, D., Murray-Smith, R. and Brewster, S.: A Dose of Reality: Overcoming Usability Challenges in VR Head-Mounted Displays, *the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2143–2152 (2015).
- [18] 工藤義雄, Anthony, T., 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・非利用者との段階的なウェアネスの向上, インタラクション 2019, pp. 48–57 (2019).
- [19] Kanamori, K., Sakata, N., Tominaga, T., Hijikata, Y., Harada, K. and Kiyokawa, K.: Obstacle avoidance method in real space for virtual reality immersion, *IEEE International Symposium for Mixed and Augmented Reality 2018*, pp. 80–89 (2018).
- [20] Kanamori, K., Sakata, N., Tominaga, T., Hijikata, Y., Harada, K. and Kiyokawa, K.: Walking Assist Method for VR Zombie, *the 12th Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2019)*, IEEE, pp. 15–21 (2018).
- [21] 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, 技術報告, パナソニック株式会社全社 CTO 室 (2016).
- [22] 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).
- [23] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. and Lilienthal, M. G.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, *The international journal of aviation psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203–220 (1993).
- [24] Card, S., MORAN, T. and Newell, A.: The model human processor- An engineering model of human performance, *Handbook of perception and human performance.*, Vol. 2, No. 45-1 (1986).