

2022 年度 卒業論文

論文題目

メタバースにおける HMD を通した  
視覚的な擬似気配の提示の試み

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

2019 年度入学 31114125 番

松野尾 柚稀

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	人型シルエットによる擬似気配の提示手法	3
2.1	人間の視覚特性	3
2.2	HMD装着時の視覚特性	4
2.3	提案手法	6
第3章	評価実験	8
3.1	実験システム	8
3.2	実験手順	10
3.3	実験結果と考察	13
第4章	むすび	18
	謝辞	19
	参考文献	20

## 第1章 はじめに

近年, COVID-19 パンデミックの影響もあって, 在宅での生活や仕事が日常化し, オンライン上, すなわち現実空間を模した VR 空間での交流が増えてきている. また, 同時期の 2021 年 7 月に Facebook (現 Meta Platforms) のザッカーバーグ CEO が「メタバース」企業を目指すことでも話題に上がった. 様々な企業がメタバースへの参入を表明しており, 「メタバース」というワードを耳にする機会も増えてきている.

現時点でメタバースの一般的な定義はないが, VR 空間での SNS (Social Networking Service) と捉えるのが言葉の初出からも適切だろう. 2021 年 7 月に経済産業省が公開した資料によると, メタバースとは「一つの仮想空間内において, 様々な領域のサービスやコンテンツが生産者から消費者へ提供される場」である [1]. このようにメタバースは仮想空間そのものを指しており, そうした仮想空間を体験するための手段や技術として, スマートフォンや PC, HMD (Head Mounted Display) がある. その中でも, HMD はスマートフォンや PC と比べ, 仮想空間への没入度が高いといった観点から, メタバースとの相性がよい. 仮想空間への没入体験には, HMD が視覚や聴覚を介した体験を可能としているように五感を介した刺激のデジタル化が重要になる. 視覚や聴覚以外にも, 五感に対する技術の開発や研究が進んでいる. Microsoft Research が開発した VR コントローラーでは仮想空間の物体の形や固さ, 重量感などを伝えることができるため, より細かな触覚の表現が可能であると期待されている. また, 五感の中でも特に味覚や嗅覚は再現するのが難しいが, 明治大学の宮下芳明教授は透明なフィルム上に噴霧混合した液体を直接舐めることで味を体験できる味ディスプレイ [2] を開発した. さらに, 東京工業大学の中本高道教授らは最大 20 種類の香りを調合し, 多種類の匂いを再現できる嗅覚ディスプレイ [3] を開発した. このようにして, 多くの企業や研究機関が五感への情報提示に取り組んでおり, 将来的にはメタバースにおいて五感全てに情報を提示することで没入感はさらに高められ

るだろう。

ところで、脳で処理される情報の中には無意識な情報も含まれており、我々が日常生活を送る上で取捨選択している情報の約9割が無意識に処理されていると考えられている [4]。気配もその一つである。気配とは一般的に、はっきりと見えないが周囲の様子から何となく漠然と感じられる様子のことを指しており、物や人の影による視覚情報や足音等の微小な音による聴覚情報、滝口らが発見した準静電界 [5] 等による触覚情報などが主な要因とされている。気配を人工的に再現しようと試みた研究がいくつかある。鈴木らはブラウン管テレビを用いて気配の知覚を促す研究を行った [6]。具体的には、ブラウン管テレビから発せられる準静電界によって体毛を直接刺激し、気配の再現を行った。また、伊勢は気配の知覚を促すシステムとして、没入型聴覚ディスプレイ音響樽を開発した [7]。この音響樽では、頭部の周囲に3D波面を生成することで、実空間と同じ条件で頭部を動かしながら空間を知ることができる。つまり、周囲の人間の息遣いや歩行音等を再現することが可能である。さらに、柄沢らはさりげない触覚提示を実現するための非接触型触覚提示技術を提案し、狭い密室で超低周波をスピーカーから出すことによって触覚が得られることを示した [8]。

人工的な気配の再現に成功している例は多く、仮想空間を模した状況下においても有効であると考えられる。視聴覚以外の五感情報提示をメタバースへと導入することも可能であろう。しかし、没入型聴覚ディスプレイ音響樽やブラウン管テレビ、超低周波を発するスピーカーなどのように特別な機器や環境が必要である。特別な機器や環境を用意することなく、既存のデバイスで気配を再現できると良いだろう。そこで本研究では、HMD以外の特別な機器や環境を必要とせずに、視覚を通して擬似的な気配を知覚させる新たな手法を提案する。具体的には、例えば左後方の視野外に人が現れた場合に、左側の周辺視野に薄い人型のシルエットを短い時間だけ重畳表示する。体験者の意識下においては見えたとは知覚されないような薄さ、短さが必要である。その上で無意識に何かを感じ取れる必要もある。実験でこの擬似気配提示手法の有効性と、シルエット表示の薄さや短さについて検討する。

本論文では、第2章において人型シルエットによるHMDを通した擬似気配の具体的な提示手法について説明する。第3章では構築した実験システム、および被験者実験について述べる。

## 第2章 人型シルエットによる擬似気配の提示手法

本章では、情報の処理が無意識で行われると考えられている周辺視野に対する、表示する時間と濃淡を適切に調節した人型シルエットの視覚提示による擬似気配提示手法について考える。周辺視野など人間の視覚特性を積極的に利用するため、まず視覚特性について述べる。また現在、広く利用されている HMD は実際の視野よりも狭いため、適切に活用するために HMD についても説明する。

### 2.1 人間の視覚特性

人間の視野は、視細胞の分布や眼球の構造上、中心ほど分解能が高く、また注意を向けやすい。そして、視野は図 2.1 のように幾つかの歪な同心円状に分類される [9][10][11]。弁別視野はおよそ 5 度以内の視野角であり、網膜の黄斑部の中心に位置する中心窩は視野の中心 2 度程度に相当する。視力は、中心窩から周辺部へと広がるにつれ急激に低下する [12]。視野角全体は水平約 200 度、垂直約 125 度に達し、物の形や色を明瞭に認識できる有効視野とできない周辺視野の 2 つに分類することができる (図 2.2, 図 2.3)。注視点付近の左右 15 度までの視野範囲は有効視野と呼ばれ、人間の主な視覚認知はこの領域で行われる。この領域には、色を識別することができる錐体細胞が多く分布しているため、人間は色の違いを細かく識別することができる。また、有効視野では知覚解像度が高く対象を鮮明に捉えることができるが、運転時のような複雑な作業において集中する場面では視野が狭窄する [13]。一方で周辺視野は、有効視野よりも外側の視野領域である。この領域には微小な光に対しても鋭敏な桿体細胞が多く分布し、錐体細胞は少ない。さらに、周辺視野での視細胞の分布は有効視野の分布と比べ疎である。そのため、周辺視野では物体の認識はできるものの、有効視野に対して空間解像度は低下し、色相知覚は劣化する [14]。しかし、桿体細胞

の特性により, 微小な光の変化に対して鋭敏に反応するため, 物体の動きについては有効視野よりも鋭敏に反応することができる. また, 周辺視野では大まかに多量の情報を認識することで物体の運動や存在の認識に対して敏感に反応し, 無意識に情報を処理できる [15][16].

## 2.2 HMD 装着時の視覚特性

例として, 本研究の実験で使用する HMD, Oculus Rift[17] を装着した状態での水平視野を図 2.4 に示す. 図 2.2 と図 2.4 を比較するとわかるように, 本来の周辺視野の外側部分の一部は, HMD 装着時にはその構造により提示されない. 提示する情報を無意識に処理してもらうことを期待したいが, HMD では比較的中心よりの周辺視野しか利用できない. その上, 中心窩からあまり離れていないと視力も比較的高いため, HMD で提示された情報は意識下で知覚されやすい可能性がある.

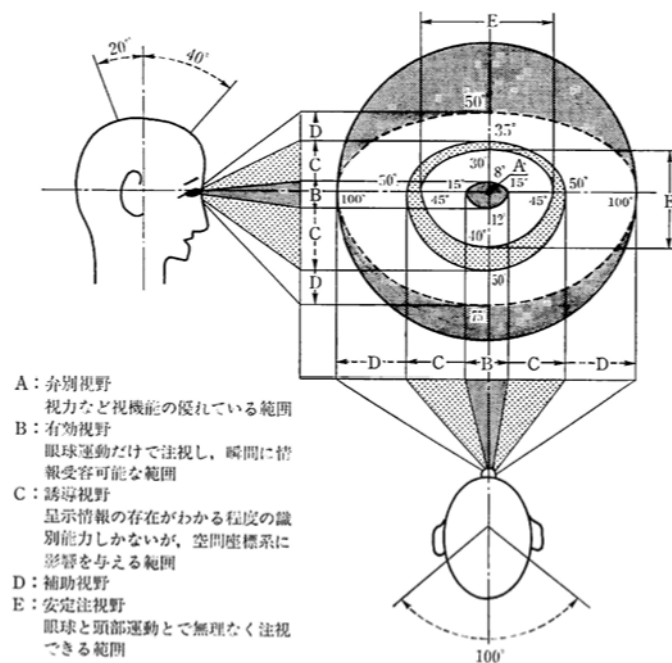


図 2.1: 視野分布図 [11]

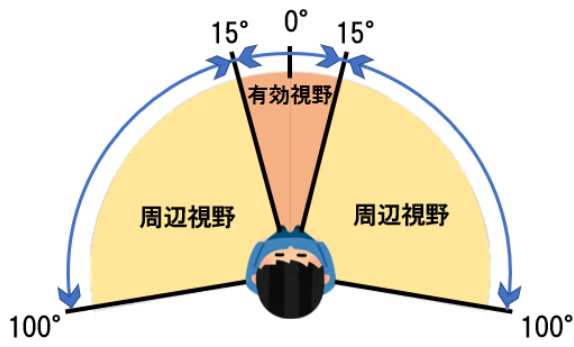


図 2.2: 現実空間における水平視野

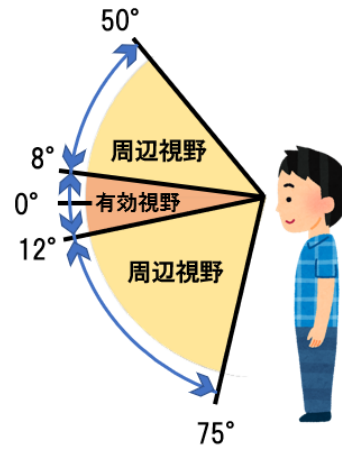


図 2.3: 現実空間における垂直視野

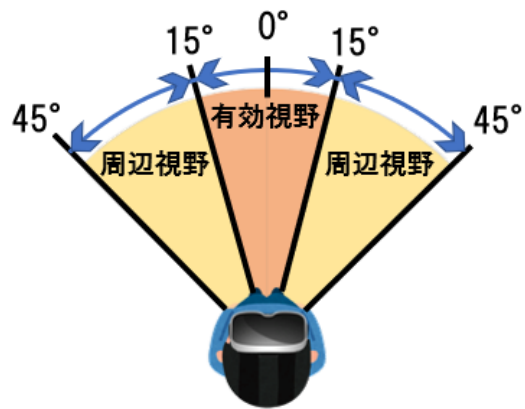


図 2.4: HMD 装着下での水平視野

### 2.3 提案手法

視覚を通して擬似的な気配を知覚させたい。例えば、左後方の視野外に人が現れた場合に (図 2.5), 左側の周辺視野に薄い人型のシルエット (図 2.6) を重畳表示する (図 2.7)。しかし、前述の通り、HMD の利用を前提とすると比較的中心よりの周辺視野しか利用できない。すなわち、提示された視覚情報が意識下で知覚されやすい可能性がある。そこで短い表示時間、薄い濃淡での人型シルエット提示により無意識な処理を促し、擬似的な気配の提示を試みる。

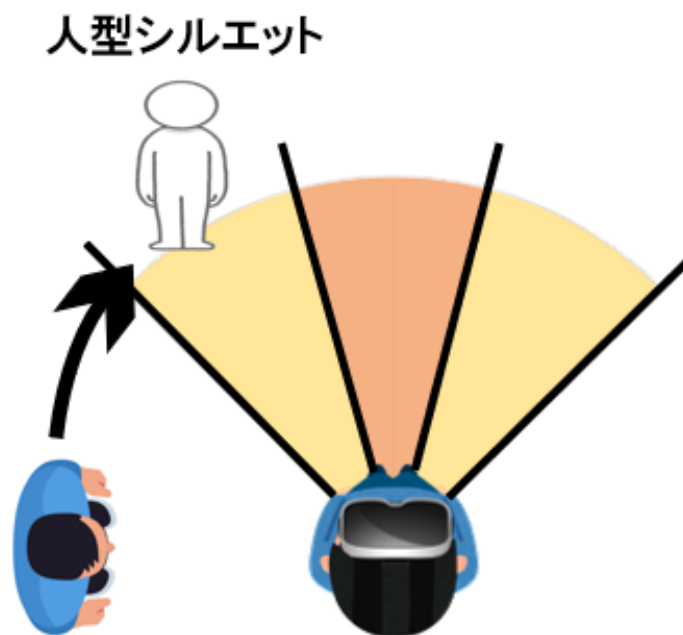


図 2.5: 左側に人物がいる場合





図 2.6: 人型シルエット

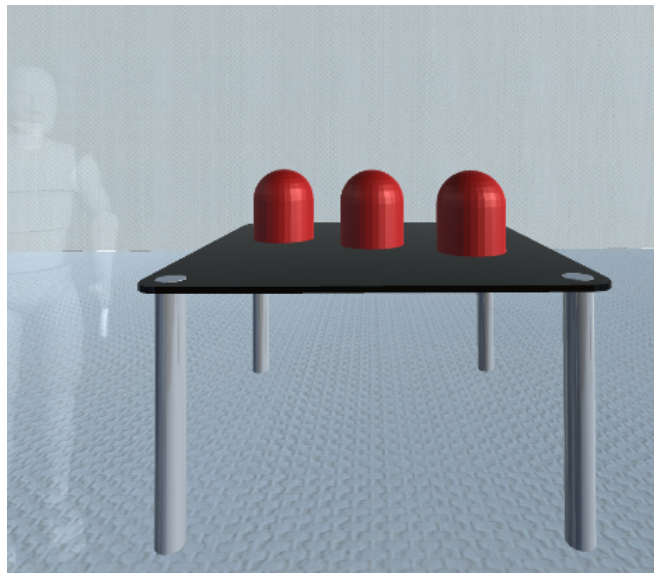


図 2.7: 実際に提示した時の様子

## 第3章 評価実験

提案手法による実験概要, 及び評価実験について説明する. 実験では, 人型シルエットによる HMD を通した擬似気配提示手法が気配の知覚に有効であるかを検証し, 有効である場合には気配の知覚に最適な表示の濃淡, 及び表示時間について検討する.

### 3.1 実験システム

実験では, HMD, Oculus Rift を使用した. この HMD の視野角は公式の値では 110 度であるが, 実際に使用した被験者 70 名による実測値が約 90 度であったため [18], 本研究では実測値の 90 度 (正面から左右に 45 度ずつの視野角) と想定する. そのため, 人型シルエットは正面から右, あるいは左に 40 度の位置に提示する (図 3.1). 実験システムは Unity を用いて構築した [19]. 実際に実験で使用した仮想空間の俯瞰図を図 3.2 に示す. 人型シルエットの表示濃淡は透明度により調整できる. 利用者は実際に振り向くことができ, 感じた気配を確認することが可能である (図 3.3). また, 評価実験用にアンケート機能を備えている (図 3.4).

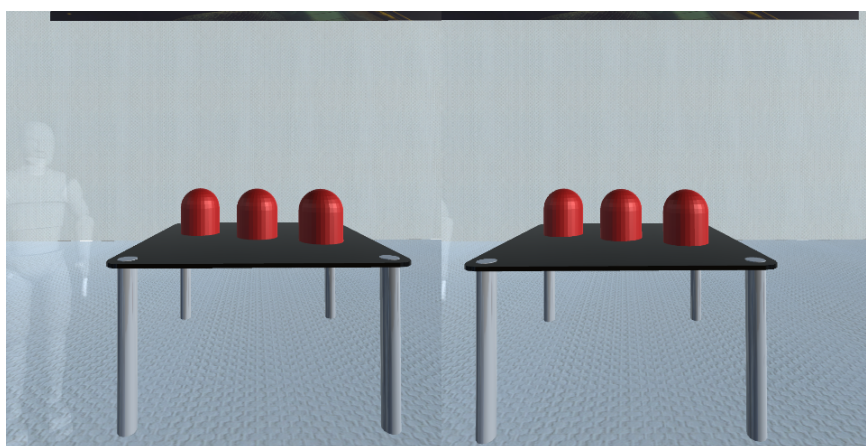


図 3.1: 被験者が実際に見ている左右の画面の様子

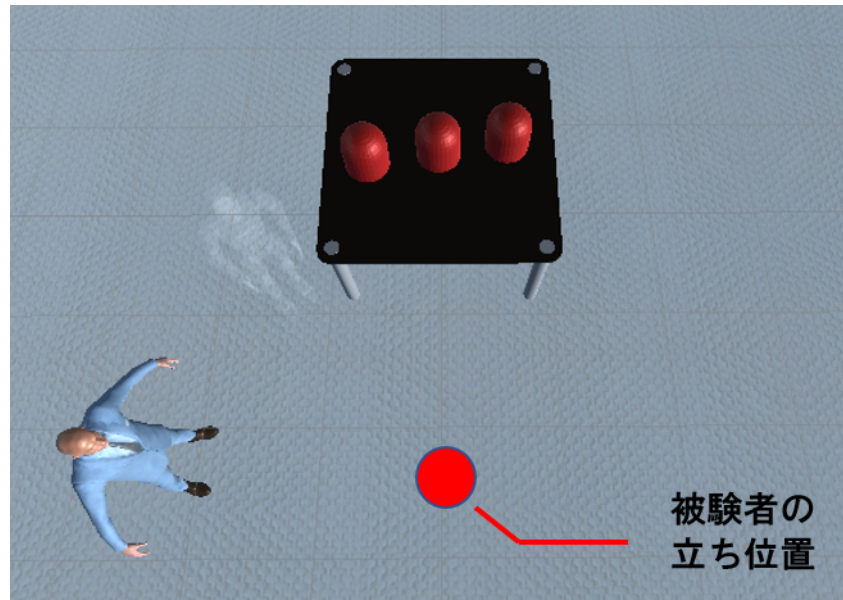


図 3.2: 被験者を含む仮想空間の俯瞰図

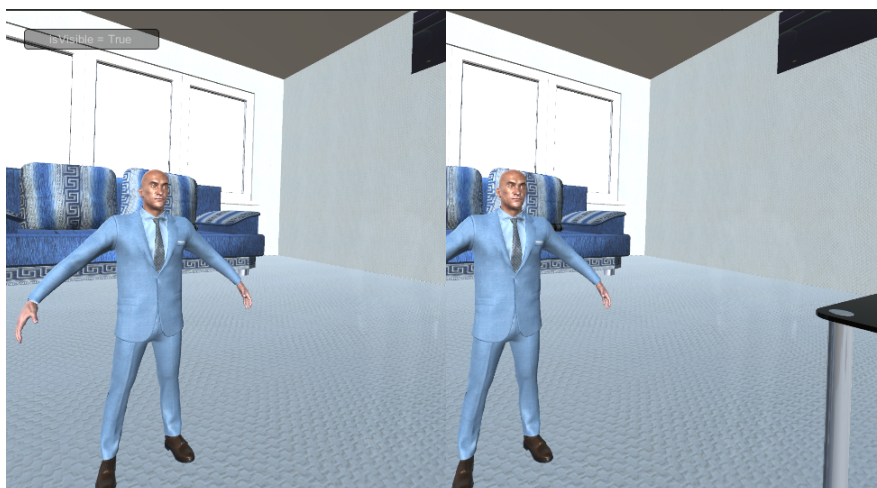


図 3.3: 被験者が振り向いた時の左右の画面の様子

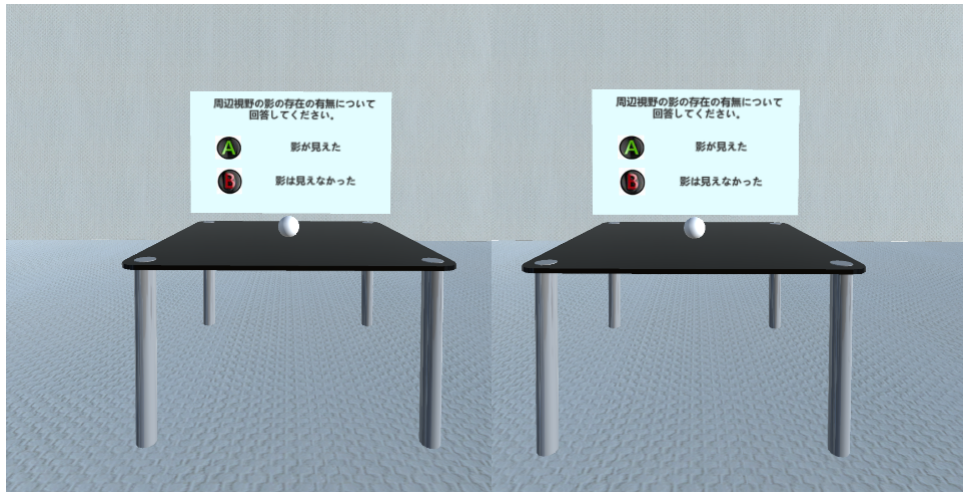


図 3.4: アンケート画面

## 3.2 実験手順

まず、実験の流れを掴んでもらうために被験者にデモンストレーションを行い、その後実験に移った。被験者は男性学生10名で、一人あたり各25試行ずつ、全250試行の実験を以下の通り行った(図3.5)。人型シルエットの濃淡は透明度 $\alpha = 0.005 \sim 0.05$ , 0.005 間隔の10通り, 表示時間は $t = 1 \sim 5$ 秒, 1秒間隔の5通りの組み合わせの50通りで、各組み合わせ5回を各被験者に重複しないようにランダムに適用する。また表示時刻は、提示されるタイミングを予測されないようにカウントダウン表示後、1試行が10秒で終わるように表示時間に応じて3~8秒のランダムである。同様に提示方向も左右ランダムである。なお、実験時には被験者の周りに人は一切おらず、実際の気配が影響することはなかった。実験手順の詳細を次に示す。

### 0. 実験開始のカウントダウン

1. 被験者に各試行毎に以下のメインタスクとサブタスクを並行して行ってもらった。サブタスクにより、メインタスクにおいて左右へと視線を向けて人型シルエットを有効視野において捉えてしまうことを避ける。

#### 1-1. メインタスク

気配を左右いずれかに感じたと思ったら、その方向へ振り返る(図3.6, 3.7)。なお、実際に人型シルエットが見えた場合も含む。

## 1-2. サブタスク

いわゆる「スリーシェルゲーム」が正面に表示されるので、玉の入っているカップを目で追ってもらう (図 2.7)。ただし、主要タスクを優先的に行ってもらう。

2. 振り向いた先に人がいた場合、コントローラーを使用して人型シルエットの知覚可否に関するアンケート「周辺視野に影 (人型シルエット) が見えたか否か」を回答してもらう。なお、振り返らなかった場合や、振り返った先に人がいなかった場合にはアンケートは表示されない。さらに、振り返りのやり直しは認められない。

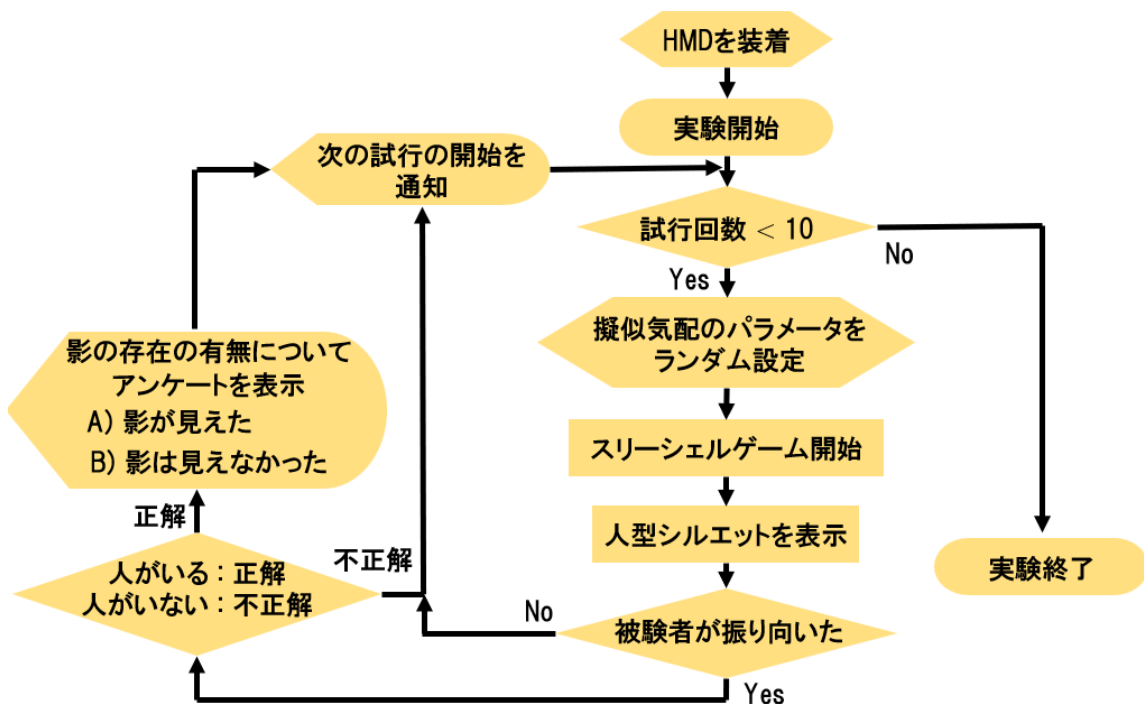


図 3.5: 実験フローチャート





図 3.6: 実験で正面を向いている様子



図 3.7: 実験で振り返っている様子

### 3.3 実験結果と考察

結果を整理するために、各回数を以下の通り定義する (図 3.8).

$N$  : 各組み合わせによる試行回数 (Number)

$T$  : 振り返った (Turn) 回数

$$S = N - T$$

: 振り返らなかった, すなわち何も感じなかった, かつ見えなかった (Stay) 回数

$V$  : 振り返った, かつ人型シルエットが見えた (Visible) 回数

$$I = T - V$$

: 振り返った, かつ人型シルエットが見えなかった (Invisible) 回数

$P$  : 振り返った, 見えなかった, かつ振り返った先に人がいた (Presence) 回数

$$F = I - P$$

: 振り返った, 見えなかった, かつ振り返った先に人がいなかった (False) 回数

人型シルエットを擬似気配として感じてもらうためには、まず、見えてしまっはならない。そのため、 $V$  はゼロ、あるいは少なくとも小さい必要がある。また気配を感じた上で、それが正しい方向でなければならない。すなわち、 $P$  は大きな値が望ましい。しかし、気配というのは必ずしも感じられるものではなく、同様に必ずしも正しいとは限らないため、 $S$  と  $F$  はゼロである必要はなく、ただし可能な限り小さい方が良好だろう。そこでひとまず  $S$  と  $F$  は考慮せずに  $P$  と  $V$  に注目する。各  $\alpha$ ,  $t$  の組み合わせ毎に  $P$  と  $V$ , およびその差を表 3.1 に示す。また同様に  $P$  と  $V$ , その差のグラフをそれぞれ図 3.9, 図 3.10, 図 3.11 に示す。まず  $P$  と  $V$  それぞれの回数に着目する。図 3.9 を見ると  $P$  は表示時間が短い場合において、表示濃淡が濃くなるに従い増加傾向にあることが分かる。また図 3.10 を見ると  $V$  は表示時間が長い場合において、表示濃淡が濃くなるに従い増加傾向にあることが分かる。次に  $P$  と  $V$  の差に着目する。図 3.11 を見ると、表示濃淡が  $\alpha = 0.020$  以下で、かつ表示時間が  $t = 3 \sim 4$  秒付近で  $P$  が  $V$  を上回ることが分かる。一方で、表示濃淡が  $\alpha = 0.030 \sim 0.035$  付近で、

かつ表示時間が  $t = 3$  秒以下で  $P$  が  $V$  を上回ることが分かる。これらは比較的濃淡の濃い表示の場合、中心よりの周辺視野では意識下において知覚されやすいが、表示時間を短くすることで提示前後による瞬間的な変化と捉え、反射的な知覚を促すことができたと考えられる。また、比較的濃淡の薄い表示の場合、短い表示時間では意識下で知覚されにくい、表示時間をを少しだけ長くすることで無意識下での知覚を促すことができたと考えられる。全体で、濃淡と時間  $(\alpha, t)$  が  $(0.035, 1) \sim (0.020, 3) \sim (0.005, 4)$  にかけて、 $P$  が多い、すなわち気配として何か感じた回数が多く、また  $V$  が少ない、すなわち実際に見えてしまった回数が少ない。言い換えれば、人型シルエットの短い間での薄い表示は擬似気配として有効であると考えられ、具体的には上記の濃淡と時間の組み合わせ付近において効果的であると考えられる。

さらに視力が実験結果に影響を与えている可能性を考えて、比較を行う。被験者の視力が B (0.7 以上 1.0 未満) 以上を視力の良いグループ、C (0.3 以上 0.7 未満) 以下を視力の悪いグループに分類する。表 3.1 の  $P-V$  の値を視力別にグラフ化したものを図 3.12、図 3.13 に示す。ともに図 3.11 の結果と同様に濃淡と時間  $(\alpha, t)$  が  $(0.035, 1) \sim (0.020, 3) \sim (0.005, 4)$  にかけて  $P$  が多く、 $V$  が少ない。また、視力の良いグループでは図 3.11 と全体的に似た傾向がみられるが、視力の悪いグループでは濃淡と時間  $(\alpha, t)$  が  $(0.035, 1) \sim (0.030, 2)$  にかけて特に  $P$  と  $V$  の差が大きい。視力が悪い場合は視力が良い場合に比べ、有効視野の空間解像度も低い。そのため、有効視野内に表示されるサブタスクへの意識が薄れたことで周辺視野に対する意識が増して、薄い表示による長めの表示が意識下で知覚されやすくなったと考えられる。ただし、各組み合わせの回数が少ないため、データ数を増やした上で再度検討する必要がある。



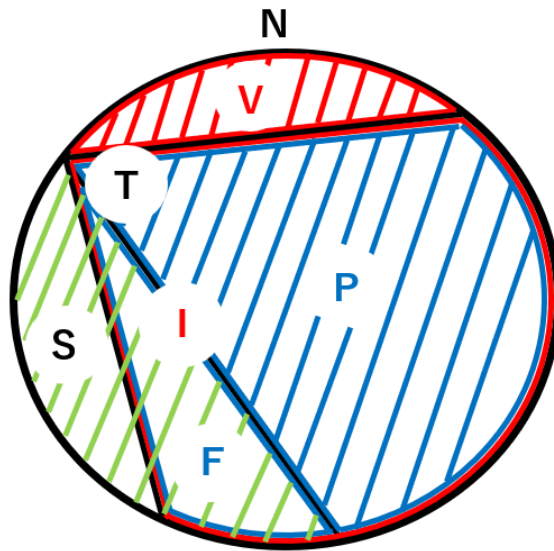


図 3.8: 各回数毎の関係図

表 3.1: 表示濃淡  $\alpha$  と表示時間  $t[s]$  に対するクロス集計表  $[P - V]$

$\alpha \backslash t$	1	2	3	4	5
0.005	$0 - 0 = 0$	$0 - 0 = 0$	$1 - 0 = 1$	$3 - 0 = 3$	$1 - 0 = 1$
0.010	$1 - 0 = 1$	$0 - 0 = 0$	$2 - 0 = 2$	$2 - 0 = 2$	$2 - 0 = 2$
0.015	$2 - 0 = 2$	$0 - 2 = -2$	$2 - 1 = 1$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$
0.020	$1 - 0 = 1$	$2 - 1 = 1$	$4 - 0 = 4$	$3 - 1 = 2$	$2 - 2 = 0$
0.025	$2 - 2 = 0$	$1 - 3 = -2$	$1 - 2 = -1$	$2 - 1 = 1$	$0 - 5 = -5$
0.030	$3 - 1 = 2$	$3 - 1 = 2$	$3 - 1 = 2$	$1 - 4 = -3$	$1 - 4 = -3$
0.035	$4 - 0 = 4$	$3 - 1 = 2$	$3 - 2 = 1$	$2 - 3 = -1$	$1 - 3 = -2$
0.040	$3 - 2 = 1$	$2 - 3 = -1$	$1 - 4 = -3$	$0 - 4 = -4$	$0 - 5 = -5$
0.045	$1 - 4 = -3$	$2 - 3 = -1$	$0 - 5 = -5$	$0 - 5 = -5$	$1 - 4 = -3$
0.050	$2 - 3 = -1$	$1 - 3 = -2$	$0 - 5 = -5$	$0 - 5 = -5$	$0 - 4 = -4$

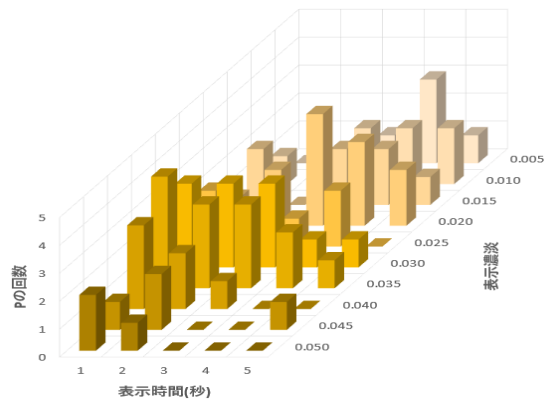


図 3.9: アンケート結果  $P$  に関する 3次元棒グラフ

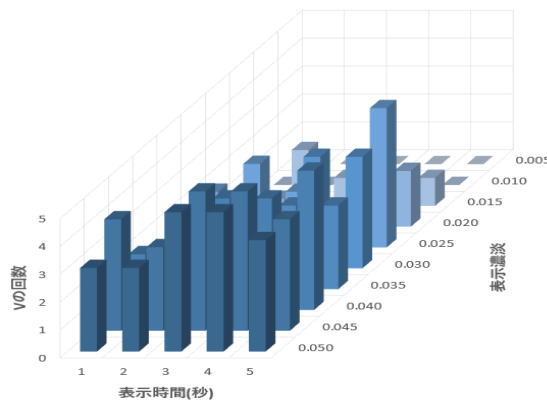


図 3.10: アンケート結果  $V$  に関する 3次元棒グラフ

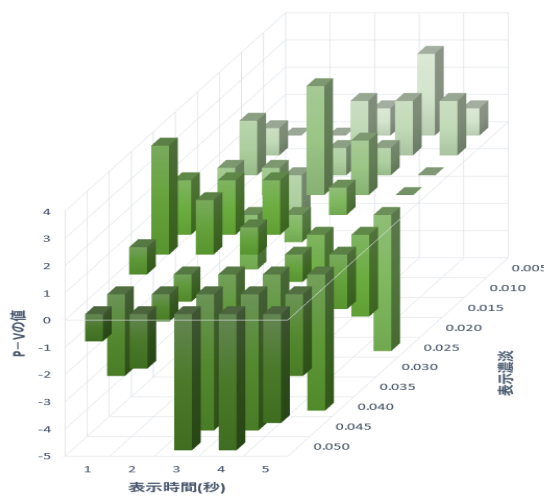


図 3.11: アンケート結果  $P - V$  に関する 3次元棒グラフ

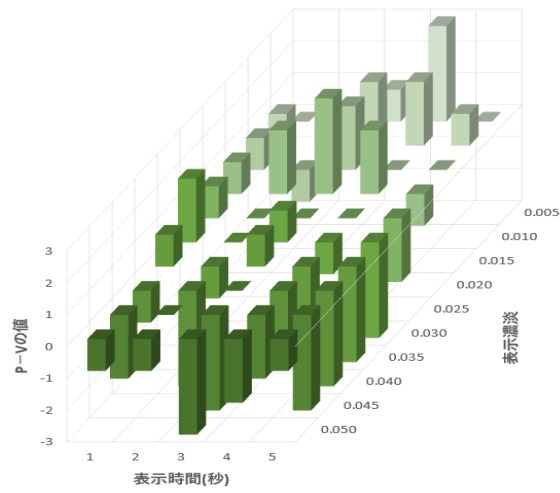


図 3.12: 視力の良いグループの  $P - V$  に関する 3 次元棒グラフ

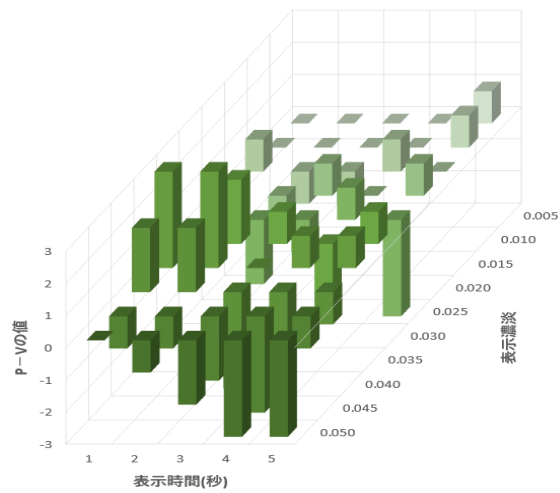


図 3.13: 視力の悪いグループの  $P - V$  に関する 3 次元棒グラフ

## 第4章 むすび

本研究では、HMD 以外の特別な機器や環境を必要とせずに、視覚を通して擬似的な気配を知覚させる新たな手法を提案した。人間の視覚特性により、周辺視野に対する情報処理は無意識に行われている。しかし、HMD を装着した状態では周辺視野の外側部分の一部が利用できずに、意識下で知覚されやすい可能性があるため、比較的中心よりの周辺視野に提示する必要がある。そこで、短い表示時間、薄い濃淡での人型シルエット提示により無意識な処理を促し、擬似的な気配の提示を試みた。人型シルエットによる HMD を通した擬似気配提示手法が気配の知覚に有効であるかどうか実験により検証を行った。その結果、人型シルエットの短い間での薄い表示は擬似気配として有効であることが示唆された。また、合わせて適切な濃淡や時間も示すことができた。さらに、視力別に分けて比較した。視力の悪いグループでは、濃淡が薄くて表示時間が長い方では効果が低かった。ただし、各組み合わせ毎の回数が少ないため、データ数を増やした上で再度検討する必要もある。今後の課題として、背景の種類や色によって適切な濃淡や時間が影響される可能性があるため、これらを考慮した上で本手法の有効性を改めて検証したい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大なご尽力をいただき、ご指導を受け賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。最後に、本研究に多大なご協力をいただきました舟橋研究室諸氏並びに被験者の皆様に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 経済産業省, 令和2年度コンテンツ海外展開促進事業, “仮想空間の今後の可能性と諸課題に関する調査分析事業”,  
[https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2020FY/000692.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000692.pdf)
- [2] 宮下芳明: 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作, 第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2021) 論文集 (2021).
- [3] 中本高道, 安田雄大: 液滴霧化装置を用いた20成分調合型嗅覚ディスプレイの開発, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2D-05 (2019).
- [4] ジェラルド・ザルトマン『心脳マーケティング』, 藤川佳則・阿久津聡訳, ダイヤモンド社 (2005).
- [5] 滝口清昭, 遠山茂樹: 犬は主人を電界で見分ける?—歩行による人体の電界発生とその伝搬, 国際生命情報, Vol. 21, No. 2, pp. 428-441 (2003).
- [6] 鈴木謙太, 阿部洸也: 準静電界を用いたHMD内での気配の知覚方法の提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2019論文集, No. 2019, pp. 359-361 (2019).
- [7] 伊勢史郎: 聴覚的リアリティを実現する音のデザイナー—ヒトとモノの動きがもたらすリアリティの本質—, 日本音響学会誌, Vol. 74, No. 11, pp. 598-602 (2018).
- [8] 柄沢未希子, 梶本裕之: 超低周波音圧変化を用いた非接触触覚提示, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3A-08 (2019).

- [9] T.Hatada, H.Sakata and H.Kusaka : “Psychophysical analysis of the ‘sensation of reality’ induced by a visual wide-field display”, SMPTE.J, 89, pp. 560-569 (1980).
- [10] 増田千尋 : 3次元ディスプレイ, 産業図書株式会社 (1992).
- [11] 畑田豊彦 : 3次元ディスプレイの技術動向, 光学, Vol. 21, No. 9, pp. 574-582 (1992).
- [12] V. Virsu and J Rovamo : “ Visual Resolution, Contrast Sensitivity, and the cortical magnification factor ”, Experimental Brain Research, 37, pp. 475-494 (1979).
- [13] 三浦利章 : 視覚的注意と安全性; 照明学会, Vol. 82, No. 3, pp. 180-184 (1998).
- [14] T. Fukuda : “The Functional Difference between Central and Peripheral Vision in Motion Perception ”, The Journal of the Institute of Television Engineers of Japan, Vol. 33, No. 6, pp. 479-484 (1979).
- [15] 福田忠彦 : “ 図形知覚における中心視と周辺視の機能差”, テレビジョン学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 492-498 (1978).
- [16] 福田忠彦 : “ 周辺視における文字列の認識と側干渉効果”, テレビジョン学会誌, Vol. 33, No. 9, pp. 726-731 (1979).
- [17] Oculus, Oculus Rift, <https://www.oculus.com/rift/>
- [18] iNFINITE Production, “ VR Headset database and utility ”, <https://www.infinite.cz/projects/HMD-tester-virtual-reality-headset-database-utility>
- [19] Unity Technologies, Unity, <https://unity.com/ja>