

平成 30 年度

修士学位論文

複合現実における上下視野差および実環境  
との整合性の検討

Effects of upper and lower visual field asymmetry and  
consistency with real environment in mixed reality

1215083 坂本 慎昂

指導教員 繁榊 博昭

2019 年 2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報学コース

# 要 旨

## 複合現実における上下視野差および実環境との整合性の検討

坂本 慎昂

現実世界に付加的に情報を呈示する技術として AR がある。また視覚的注意は長年研究されてきたが、ディスプレイ上で行われたものが多く、AR 物体が呈示される複合現実環境で検討された例は少ない。

AR 物体は 3 次元空間に呈示されることから、複合現実環境で空間的な注意特性を検討する必要がある。一般的な注意には上下視野差があり、これは複合現実環境でも検討する必要がある。さらに実環境との整合性がない呈示が可能である AR 特有の特性に注目した。AR 物体がたとえ奥に存在していても実物体による遮蔽が起こらない点に着目し、こうした 3 次元空間の整合性における矛盾を検討した。

本研究では、HMD を使用して複合現実環境を構築し、AR 刺激の方位判断課題を行った。方位判断課題では上下視野差を検討するための呈示位置を操作し、目標刺激の周辺の刺激の有無によって上下視野におけるパフォーマンスが変化 (crowding 効果) するかを検討するため刺激のセットサイズを操作した。さらに 3 次元空間の整合性における矛盾を検討するため、AR 刺激が壁より奥に明確に知覚させるため、刺激の左右に黒い点線のフレームを用意した。

実験の結果、上下視野の注意特性については、実世界の影響が AR に強く及び、重力による影響を受け、下視野へ注意がより向きやすかったため、刺激が目標刺激のみで周辺に妨害刺激のない条件でも上下視野差が生じることが示唆された。Crowding 効果は、実物体と異なる AR 刺激全体の群化が強力に生じたため、妨害刺激が左右 1 つずつのみ呈示される条件でも大きく、目標刺激の方位を同定することが困難であった。3 次元空間の整合性における矛盾は、AR 物体が現実世界の制約に適さない呈示でもその矛盾の効果が注意を引き付ける

ことはないことが示唆された。

キーワード AR, 上下視野, 3次元空間の整合性における矛盾, Crowding 効果

# Abstract

## Effects of upper and lower visual field asymmetry and consistency with real environment in mixed reality

Yoshitaka Sakamoto

Augmented Reality (AR) is a technology which shows virtual information additionally to real world. Although visual attention has been studied for many years, those studies were mainly conducted with computer display and rarely studied in mixed reality environment where AR objects are shown.

As AR objects are presented in three-dimensional space, it is important to examine the spatial attention characteristics in mixed reality (MR) environment. In general, spatial property of visual attention has a difference between upper and lower visual fields and this tendency is also necessary to be investigated in a MR environment. As AR objects can be presented incongruently with the context of depth position in real world, such that AR object is visible even when it is behind the real wall, which should be occluded and invisible, the effect of incongruence in three-dimensional space was examined.

In this study, head mounted display (HMD) was used to present a mixed reality environment and orientation judgement of the virtual circular patch of grating was conducted by participants. In the orientation judgement task, the position of the patch was manipulated to investigate the difference between the upper and lower visual field and the set size of the stimuli was also manipulated to investigate whether the presence or absence of stimuli adjacent to the target stimulus affect the performance (i.e. crowding

effect). Furthermore, to examine the effect of incongruence in the three-dimensional space, black dotted lines were presented on the left and right of the wall to make the AR stimuli clearly perceive to be further to the wall.

The results showed the performance of the orientation judgement task significantly differed in upper and lower visual fields, suggesting that the effect of the gravity in real world influenced to the AR stimuli and attention to the lower field of view was more easily oriented even if the target stimulus was shown alone and the distractor was not shown. The grouping to the entire AR stimuli away from the real environment might be very strong and accordingly the crowding effect occurred even under the condition that only one distractor was presented and it made difficult to identify the orientation of the target stimulus. The incongruency of the three-dimensional space did not attract attention even when the AR object was visible in an unusual situation in the context of real-world constraints.

***key words*** AR, Upper and Lower Visualfield, Effect of incongruence in three-dimensional space, Crowding Effect

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	目的 . . . . .	3
1.3	AR(Augmented Reality) . . . . .	5
1.4	VR(Virtual Reality) . . . . .	7
1.5	MR(Mixed Reality) . . . . .	8
1.6	視覚的注意 . . . . .	9
1.7	上下視野の非対称性 . . . . .	14
1.8	文脈効果 . . . . .	18
<b>第 2 章</b>	<b>本実験</b>	<b>20</b>
2.1	実験概要 . . . . .	20
2.2	実験環境 . . . . .	20
2.3	刺激および実験条件 . . . . .	22
2.4	手続き . . . . .	25
2.5	結果 . . . . .	26
2.6	考察 . . . . .	28
<b>第 3 章</b>	<b>補足実験</b>	<b>31</b>
3.1	実験概要 . . . . .	31
3.2	結果 . . . . .	33
<b>第 4 章</b>	<b>今後の展望</b>	<b>34</b>
4.1	上下視野差 . . . . .	34
4.2	Crowding 効果 . . . . .	34

目次

4.3	3次元空間の整合性における矛盾 . . . . .	35
第5章	まとめ	36
謝辞		37
参考文献		38
付録 A		40

# 目次

1.1	フランカー課題 [1] . . . . .	2
1.2	Hololens のデモ . . . . .	3
1.3	実物体に遮蔽されない AR 物体の例 (Miki & Shigemasu, 2014[2]) . . . . .	4
1.4	商用 AR ゲームの例 [4] . . . . .	5
1.5	VR 映像の例 . . . . .	7
1.6	現実世界及び AR, AV, VR, MR の位置づけ (Milgrame et al. (1994) [7] を改変) . . . . .	8
1.7	Dancan の実験で用いた刺激例の模式図 [10] を改変 . . . . .	10
1.8	形の属性における集団間の境界線 [11] を改変 . . . . .	11
1.9	色の属性における集団間の境界線 [11] を改変 . . . . .	11
1.10	複数の属性を組み合わせた集団間の境界線 [11] を改変 . . . . .	11
1.11	方向の属性におけるポップアウトの例 . . . . .	12
1.12	色の属性におけるポップアウトの例 . . . . .	12
1.13	ポップアウトが起こらない例 . . . . .	12
1.14	特徴結合理論の概念図 [11] を改変 . . . . .	13
1.15	上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14] . . . . .	15
1.16	刺激の形状を操作して上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14] . . . . .	16
1.17	動く刺激を用いて上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14]	17
1.18	シーンに適さない対象の例 . . . . .	19
1.19	空間的にシーンに適さない対象の例 . . . . .	19
2.1	実験環境 . . . . .	21
2.2	HoloLens . . . . .	21



## 図目次

2.3	格子縞 45deg の刺激 . . . . .	22
2.4	格子縞 135deg の刺激 . . . . .	22
2.5	crowded(3 items) の刺激例 . . . . .	23
2.6	crowded(5 items) の刺激例 . . . . .	23
2.7	刺激の模式図 . . . . .	23
2.8	LVF Crowded(5items) . . . . .	24
2.9	実験で使用したあご台 . . . . .	25
2.10	実験で使用したテンキーボード . . . . .	25
2.11	上下視野差の結果 . . . . .	26
2.12	Crowding 効果の結果 . . . . .	27
2.13	上下視野差のまとめ . . . . .	29
2.14	Crowding 効果のまとめ . . . . .	30
2.15	3次元空間の整合性における矛盾の有無 . . . . .	30
3.1	刺激の模式図 . . . . .	31
3.2	刺激の呈示例 . . . . .	32
3.3	補足実験の結果 . . . . .	33
A.1	sub01 の結果 . . . . .	40
A.2	sub02 の結果 . . . . .	40
A.3	sub03 の結果 . . . . .	41
A.4	sub04 の結果 . . . . .	41
A.5	sub05 の結果 . . . . .	41
A.6	sub06 の結果 . . . . .	42
A.7	sub07 の結果 . . . . .	42
A.8	sub08 の結果 . . . . .	42
A.9	sub09 の結果 . . . . .	43

図目次

A.10 sub10 の結果 . . . . . 43

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 背景

現実世界に付加的に情報を呈示する拡張現実 (Augmented Reality, AR) は近年、工業施設、医療、ゲームなど様々な分野に取り入れられており、より身近なものとなった。今後 AR 技術の発展により、現実世界に多くの AR 物体が呈示される状況が想定される。その際に私たちは実物体と AR 物体を含めた複合現実 (Mixed Reality, MR) 環境の中から有用な情報を選択する必要がある。私たちが外界から情報を得る手段は多く存在するが、その中でも視覚からの情報はその多くを占めている。しかし私たちは目に入る全ての情報を処理しているわけではない。視覚系には空間的な並列処理に限界があり、その範囲内で有用な情報を選択することが必要である。視覚的注意は情報の取捨選択において重要な役割を担っている。私たちは日常生活で視覚的注意が働くことで必要な情報を取り入れ、不必要な情報を取り除いて生活している。実環境では実物体のみに対して注意の機能が働いているが、複合現実環境では実物体に加え、AR 物体に対しても注意の特性が働くことになる。そのため筆者はこれまで複合現実環境における情報選択性の検討をしてきた。

これまでの研究では周辺刺激を無視しながら目標刺激を同定することが求められるフランカー課題を用いて、実物体と AR 物体に対する選択的注意を検討した (図 1.1)。しかし AR 物体は 3 次元空間に呈示されることから、複合現実環境で空間的な注意特性を検討する必要があると考えた。一般的な注意には上下視野差があり、これは複合現実環境でも検討する必要があると考え、複合現実環境での上下視野の非対称性を検討した。また実環境との整合性がない呈示が可能である AR 特有の特性に注目し、3 次元空間の整合性における文脈効果も

## 1.1 背景

検討した。まとめると本研究では複合現実における注意の空間特性を検討した。

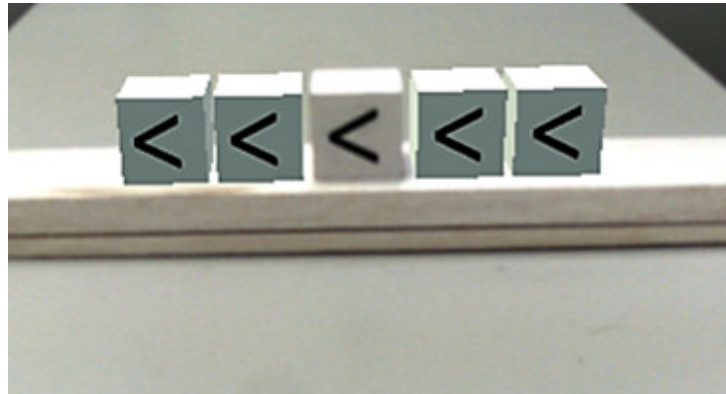


図 1.1 フランカー課題 [1]

## 1.2 目的

### 1.2 目的

本研究では二つの目的を設定した。ひとつは AR 物体を用いた上下視野の注意特性を検討することである。図 1.2 のように AR 物体は重力に依存しない呈示が可能である。この図では実環境では宙に浮くはずのないイスが浮いており、このように AR 物体は実物体とは異なる特性を持つ。そこで複合現実現実でも従来のディスプレイを用いた環境と同様に上下視野差が見られるのか検討することを目的とした。



図 1.2 Hololens のデモ

## 1.2 目的

もうひとつの目的は 3 次元空間上の文脈効果による矛盾を検討することである。図 1.2 のように AR 物体は実物体の背後に呈示しても遮蔽されない矛盾が生じる。そのため実環境の壁がある状況において AR 物体をその背後に呈示しても壁による遮蔽が起こらないことの矛盾の効果を検討することを目的とした。以上のことから複合現実における上下視野差および実環境との整合性の検討することを本研究の目的とした。



図 1.3 実物体に遮蔽されない AR 物体の例 (Miki & Shigemasu, 2014[2])

## 1.3 AR(Augmented Reality)

拡張現実 (Augmented Reality, AR) は、現実世界に付加的に情報を呈示する技術であり、近年様々な分野で活用されている。工業分野では、外部トラッキングを備えた車輪付き AR ディスプレイが施設の相違分析を即時的に行うことに活用されている。医療分野では、患者の体内を映したカメラの映像に X 線映像を付加的に合成することを AR が可能とした。また図 1.4 のようにデジタルゲームを現実世界に呈示する試みもある。この他にも運転時のナビゲーションや広告など AR は今後、多種多様な分野で活用されることが期待される [3]。



図 1.4 商用 AR ゲームの例 [4]

AR は現実世界に付加的に情報を呈示するため、現実世界の位置情報を取得することが重要となる。位置情報を取得する方式は位置情報型、マーカー型、マーカーレス型の三つに分けられる。位置情報型は、GPS などの位置情報を元に AR を表示する方式である。GPS はスマートフォンやタブレットに標準で搭載されているため比較的簡単に実現できるが、精度の限界から呈示位置のズレが起こることもある。マーカー型は、画像解析を容易にするマーカーを用いて現実世界と AR 物体の座標をリンクさせる方式である。呈示位置を正確に指定しやすいが、多くのマーカーを状況に合わせて準備しなくてはならない。マーカーレス型は、AR マーカーを使わずに現実世界の物体や空間全体を把握し、呈示位置を決定する方式

### 1.3 AR(Augmented Reality)

である。マーカー型と同様に正確に呈示できるが、高度な画像処理が必要で技術的なハードルは高い [3]。本実験は上下視野の注意特性を検討するため、正確な呈示が可能で、なおかつ視野内に不必要な情報を入れなくてもよいマーカーレス型 AR を採用した。

さらに、AR 物体を現実世界に違和感なく呈示するためには、幾何学的整合性、時間的整合性および光学的整合性の三つの整合性が重要となる。まず、幾何学的整合性は、現実世界と AR 物体の空間的な位置合わせであり、AR 物体が机にめり込んだり、浮いて見えたりしないようにすることである。次に時間的整合性は、カメラの視点移動や、現実世界の実物体の移動に対して AR 物体が遅延なく呈示されることである。最後に光学的整合性とは、現実世界の光源を考慮し、陰影や影の付き方を違和感なく呈示することである [5]。これらは AR 物体を現実世界に違和感なく呈示するために重要な要素であるが、一方で現実世界と整合性がとれていない物体を呈示できるのは AR の特徴である。そのため本実験では AR 物体における現実世界との整合性が注意特性にどういった効果をもたらすのかに注目した。



## 1.4 VR(Virtual Reality)

### 1.4 VR(Virtual Reality)

仮想現実 (Virtual Reality, VR) は、現実として実際に目の前にはないが、本質は現実と同じ環境をコンピュータなどを用いて作り出す技術及び作り出された世界のことである。VR を構築する要素として 3次元空間性、リアルタイム性、自己投射性の三つが挙げられる。3次元空間性とは、コンピュータによって生成した環境が視覚的、聴覚的にユーザーにとって自然に構成されていることである。リアルタイム性とは、VR 内で物体を持ち上げたりなど環境に対して干渉できることである。自己投射性とは VR 環境内でも普段の感覚で行動できることである。普段の感覚とは例えば人間は目を瞑っていても自分の身体の状態が分かる。これは自己感覚によるもので、現実世界では視覚や聴覚から得られる情報と自己感覚が一致して人間は行動をしている。このような感覚と矛盾のない状態を VR 環境でも実現するのが自己投射性である [6]。近年、HTC と Valve Corporation により共同開発された HTC VIVE のようにコントローラーを用いてオブジェクトを操作したりすることで、より没入感を高めた VR 向けの HMD が注目されている (図 1.5)。



図 1.5 VR 映像の例

## 1.5 MR(Mixed Reality)

### 1.5 MR(Mixed Reality)

複合現実 (MixedReality, MR) は, 現実世界と VR を融合させた技術及びその環境のことである. 現実世界に付加的に情報を呈示する AR は MR に内包される. 現実世界に仮想物体を呈示する AR に対して, 仮想現実世界に現実世界の情報を付加する技術は拡張仮想 (Augmented Virtual : AV) とされ, この技術も MR に含まれる. 図 1.6 に現実世界及び AR, AV, VR, MR の位置づけを示す.

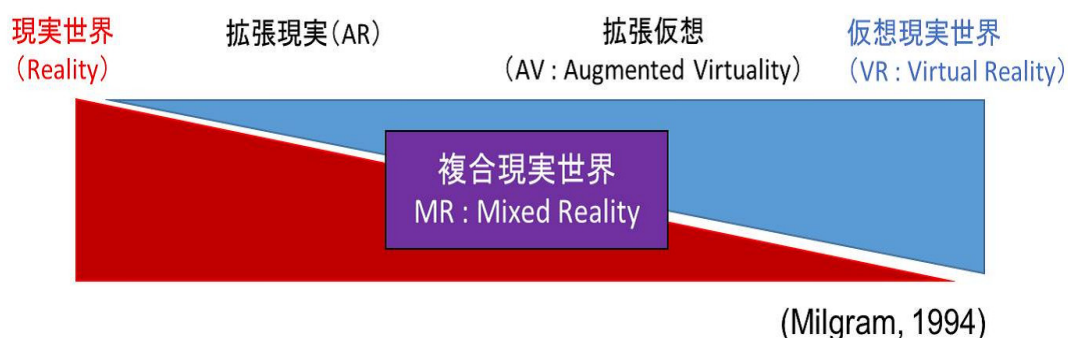


図 1.6 現実世界及び AR, AV, VR, MR の位置づけ (Milgrame et al. (1994) [7] を改変)

近年, マイクロソフト社は世界初のスタンドアロン型の MR デバイスをリリースした. シースル型のスクリーンを持ったこのデバイスは Windows 10 Holographic Edition を搭載したモバイルコンピュータとして, このデバイスのみで MR 環境を構築することが出来る [8].

## 1.6 視覚的注意

人間の感覚器官には常に膨大な情報が入力されている。しかし人間の脳はそれら全てを処理し、意識化しているわけではない。知覚や記憶には一度に処理できる容量に限界があるため、必要な情報を選択したり、情報のある特性の側面に集中することが必要となる。このとき必要に応じて情報を取捨選択する役割を担っているのが注意の機能である。

視覚的注意は注意研究の中でも精力的に行われてきた分野である。視覚情報の選択に関わる注意のメカニズムは、空間に基づく選択、対象に基づく選択、これらの選択時における注意の制御といった側面から成り立っている。

まず、空間に基づく選択とは、視野内で注意できる範囲は限られている点と視覚的注意の範囲は視線方向とは分離しうる点の2つの現象が基本となっている。本実験では上下視野の非対象性を検討したが、これは人間が視野内で注意できる範囲は限られているため、上下視野では異なる特性を持つことが関係している。視覚的注意の範囲は視線方向とは分離しうるとは、人間は視線方向のみに視覚的注意が働いているわけではないことを表している。例えば妨害刺激が目標刺激からある一定距離離れているときに目標刺激への干渉がなくなることが挙げられる。これは複数の空間位置に注意を払うことが困難であることを示しており、2種類の異なる成分の注意特性の存在が示唆される。1つは周辺手がかりによって働く注意特性で、自動的、刺激駆動的な注意の制御と考えられている。もう一つは人間が意図的に注意を喚起する制御的、知識駆動的な側面を持つ [9]。

Duncan は空間的に重なった位置に1つの四角形と1本の線分を短時間呈示し、そのうちの2つの属性を報告する課題を行った。その結果、1対象2属性の条件の方が、2対象2属性の条件よりも正答率が高くなった。先ほどの空間に基づく選択から考えると注意特性は空間位置に向けられ、その範囲内にある対象がすべて選択されるとすると、2条件間では差が見られないと考えられる。そのため注意特性が空間に基づく選択だけでなく、対象に基づく選択によって行われていることも示唆されている [10]。

## 1.6 視覚的注意

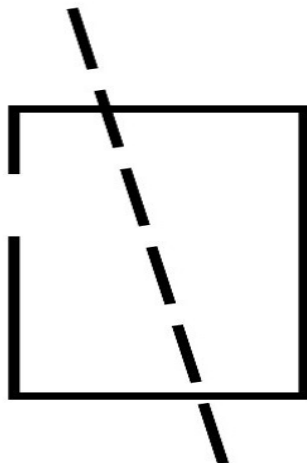


図 1.7 Dancan の実験で用いた刺激例の模式図 [10] を改変

特徴統合における注意の役割も重要となる。人間の視覚系は、取り入れた情報を形，色，奥行き，運動など，属性ごとに分離して処理をしている。しかし私たちが普段知覚している情報は，これら複数の属性を併せ持ったものであり，視覚系はいったん属性ごとに別々に処理して再び統合していると考えられている。Treisman らは，この統合の過程において注意が重要な役割を果たすことを明らかにした [11][12]。例えば図 1.8 は，形の異なる図形 (丸と三角形) の間に境界線が知覚される。また図 1.9 は，色の異なる図形 (黒と灰色) の間に境界線が知覚される。しかし複数の属性を組み合わせた図形 (灰色の丸 + 黒の三角形，黒色の丸 + 灰色の三角形) の間には，はっきりとした境界線が知覚されない (図 1.10)。

1.6 視覚的注意

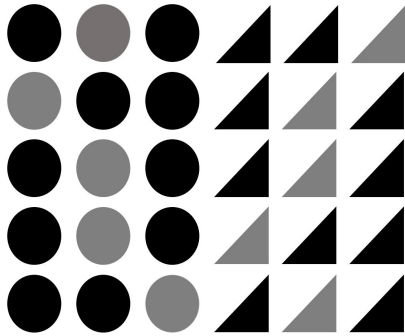


図 1.8 形の属性における集団間の境界線 [11] を改変

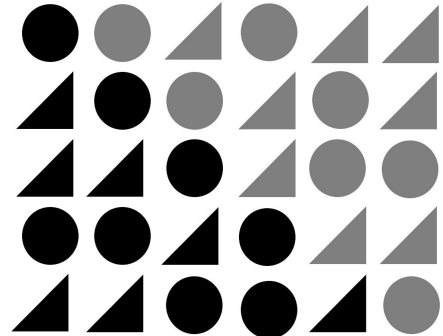


図 1.9 色の属性における集団間の境界線 [11] を改変

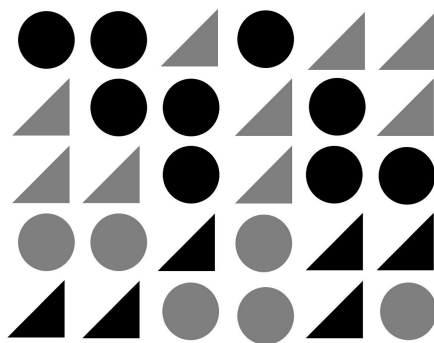


図 1.10 複数の属性を組み合わせた集団間の境界線 [11] を改変

## 1.6 視覚的注意

また図 1.11 のなかから向きが唯一異なる長方形を探し出す場合や図 1.12 のなかから色が唯一異なる長方形を探し出す場合には，全体の長方形の個数によらず一目でそれらを発見できる．このように妨害刺激の個数によって探索時間が変化せず，目標刺激を同定できることをポップアウトという．しかし図 1.13 のように黒色で横向きの長方形と灰色で縦向きの長方形のなかから，どちらかを探索する際にはポップアウトは発生しない．そのため全体の長方形の個数が増えるにつれて困難となる．

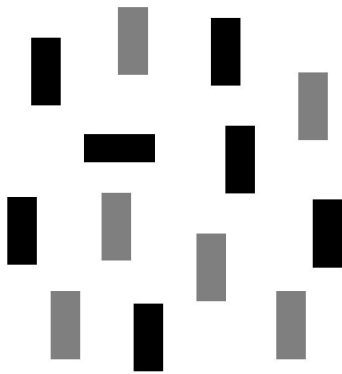


図 1.11 方向の属性におけるポップアウトの例

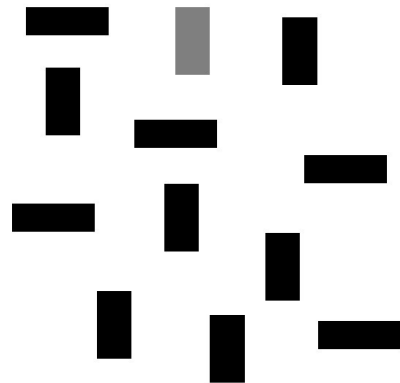


図 1.12 色の属性におけるポップアウトの例

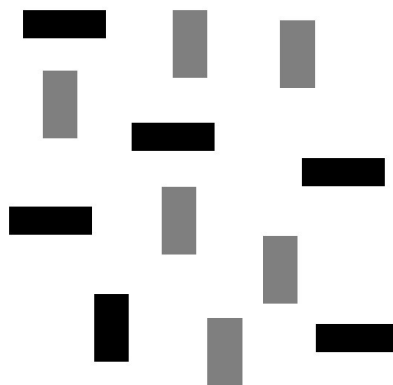


図 1.13 ポップアウトが起こらない例

このように複数の妨害刺激のなかから目標刺激を同定するのにかかる時間を計測する実験は視覚探索といい，視覚的注意を検討する際によく用いられる．これらのことから

## 1.6 視覚的注意

Treisman らは、形、色、明るさなどは空間的に並列に処理できるが、これらの組み合わせを扱う処理は同時に行うことができないことを明らかにした。また並列に処理できる特徴を単純特徴とし、単純特徴の組み合わせからなる特徴を結合特徴とした。このような考えをもとに Treisman らが提唱した特長結合理論では、視覚系は形や色など、情報の基本的な特徴をそれぞれ空間的に並列に抽出し、それらの特徴ごとにその値を記録した特長マップを形成した。このマップ上で同時に複数の特徴に注意を向けることは不可能である (図 1.14)。

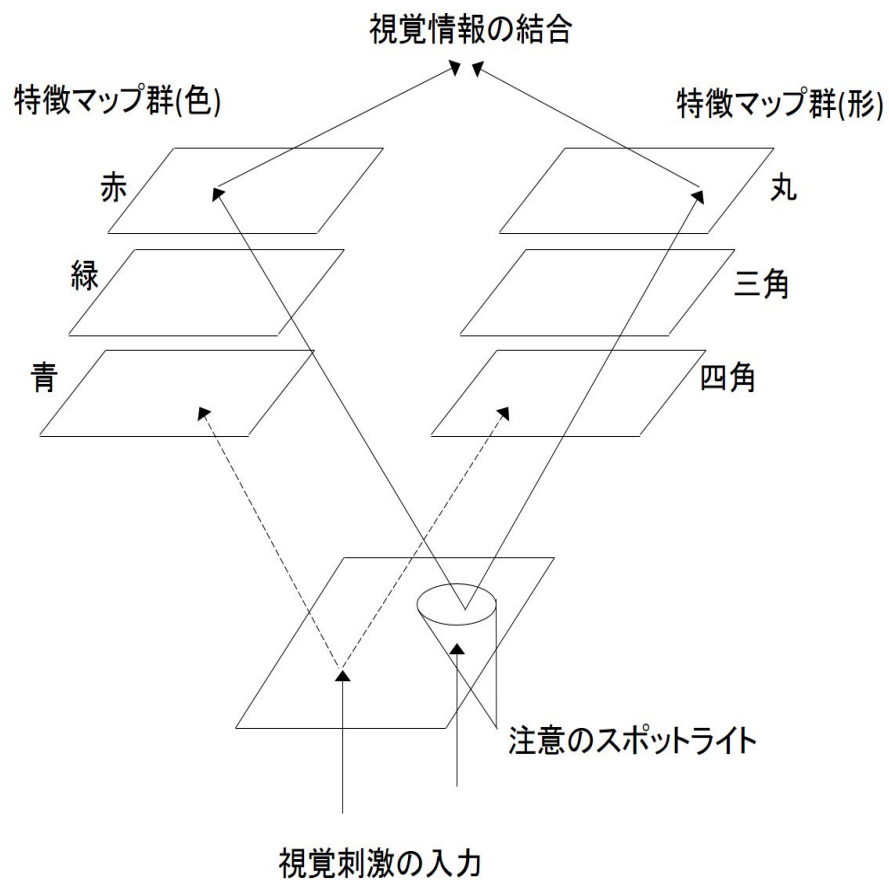


図 1.14 特徴結合理論の概念図 [11] を改変

## 1.7 上下視野の非対称性

私たちの生活する空間は、上下左右および奥行き方向に広がりを持っている。人間は左右の空間移動に比べて、上下方向の空間移動には不慣れであり、垂直方向に空間の異方性が生じやすい。これは視覚情報処理に関してもみられる現象であり、視覚領域の上視野 (Upper Visual Field, UVF) は身体外空間を見る際に優位であり、下視野 (Lower Visual Field, LVF) は身体近傍空間を見る際に優位である [13]。上下視野の特性を正確にわかるのは難しいが、少なくとも空間的定位に関しては下視野の方が優位とされている。

1996 年に上下視野の非対称性に関して検討した He らは、目標刺激の周辺に刺激を呈示することで UVF のパフォーマンスが低下 (Crowding 効果) することを明らかにした。実験は、円形の格子縞のパタンの方位 (45/135 deg) を判断する課題であった。条件は呈示刺激数と輝度を操作して設定された。呈示刺激数は目標刺激のみ (alone)、妨害刺激を左右に 2 つずつ呈示 (crowded) の 2 水準、輝度のコントラスト比を変化させた 4 水準の計 8 条件であった。被験者は刺激から上下どちらかに 20 deg 離れた位置を注視した状態で実験を行った。刺激の呈示時間は 180 ms であった。

結果より (図 1.15)、単体で刺激が呈示される alone 条件では UVF, LVF ともに正答率が 100 % に近く、上下視野差はみられなかった。一方、複数の刺激が呈示される crowded 条件では UVF が約 60 %, LVF が約 80 % まで正答率が下がり、上下視野差がみられた。同じ刺激を使用しているにも関わらず、周辺に刺激が呈示されることのみで上下視野の正答率に差が生まれ、下視野優位性が生じるのがこの研究の特徴である。本研究はこの実験を参考に実験デザインを構築した。



1.7 上下視野の非対称性

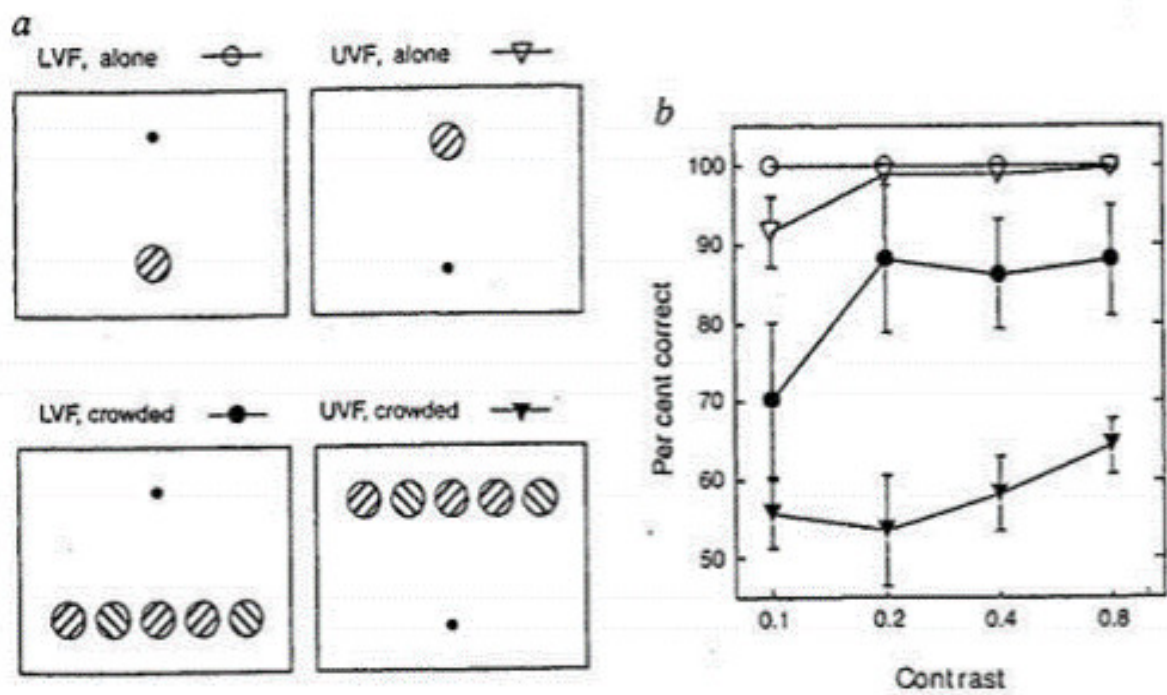


図 1.15 上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14]

## 1.7 上下視野の非対称性

本研究では検討しなかったテーマではあるが、He らは他にも様々な状況での上下視野差を検討している。先ほどの実験では、円形の格子縞のパターンを刺激として用いた。この実験は、刺激自体の形状を操作した。被験者はあらかじめ指定された刺激が存在するかを判断する課題を行った。図 1.16 は実際に実験に使用された刺激の例であり、この場合は時計回りに 90 deg 傾いた T 型の刺激と 45 deg の方位を向いた棒型の刺激が目標刺激であった。先ほどの実験と同様に刺激の上下どちらかを注視した状態で実験は行われた。呈示時間は 180ms であった。

結果より、棒型の刺激が呈示される Feature 条件では UVF, LVF ともに正答率が 100 % に近く、上下視野差はみられなかった。一方、T 型の刺激が呈示される Conjunction 条件では LVF が約 95 % であったが、UVF の正答率は約 75 % となり、上下視野差がみられた。

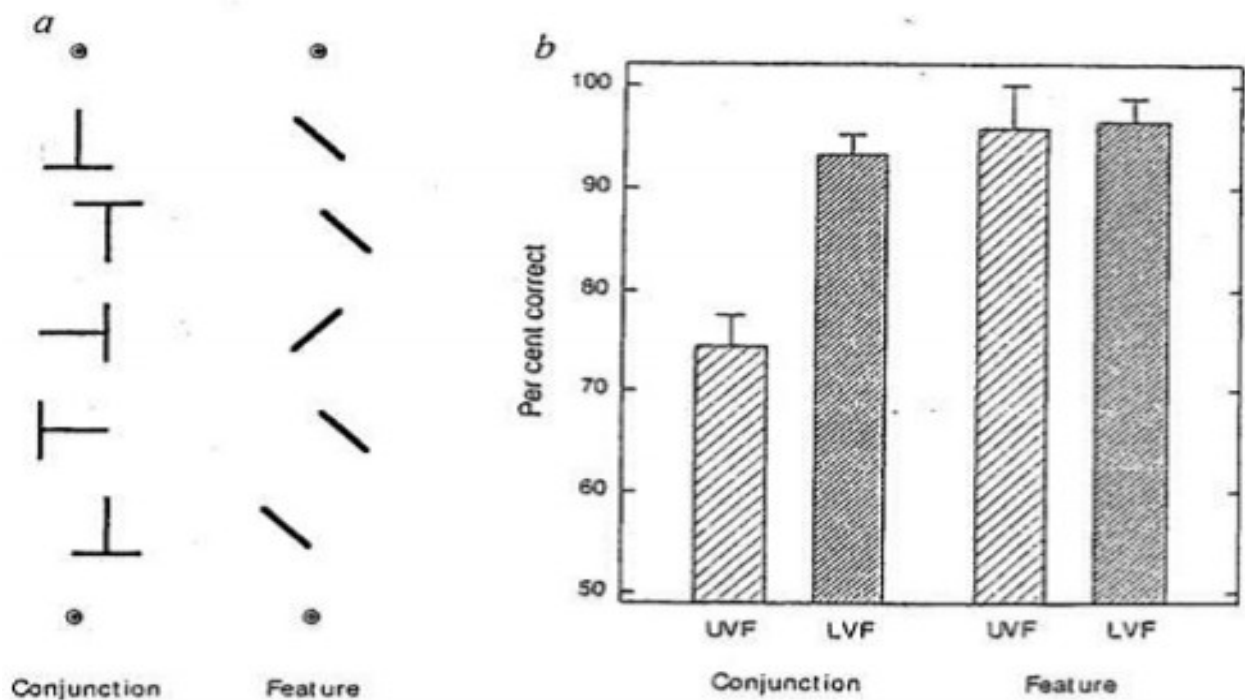


図 1.16 刺激の形状を操作して上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14]

## 1.7 上下視野の非対称性

さらに動く物体に対しても下視野優位性が生じることを明らかにした。実験は、複数の円形の刺激が呈示され、その中から色に変化した円形の刺激がどれかを判断する課題であった。被験者は刺激が呈示される範囲から上下どちらかに 10 deg 離れた位置を注視した。刺激が呈示される範囲は  $6.6 \times 30$  deg であり、9 つの円形の刺激がこの範囲内をそれぞれ異なる方向に移動した。各試行は 5 秒間であり、9 つの刺激の中から 2 つの刺激の色が緑から赤に 1 秒間変化した。全ての刺激が動きを止めたあとに、被験者はどの円形の刺激が動いていたかを回答した。

結果より (図 1.17), LVF の正答率は約 70 %であったが, UVF の正答率は 40 %となり, 上下視野差がみられた [14].

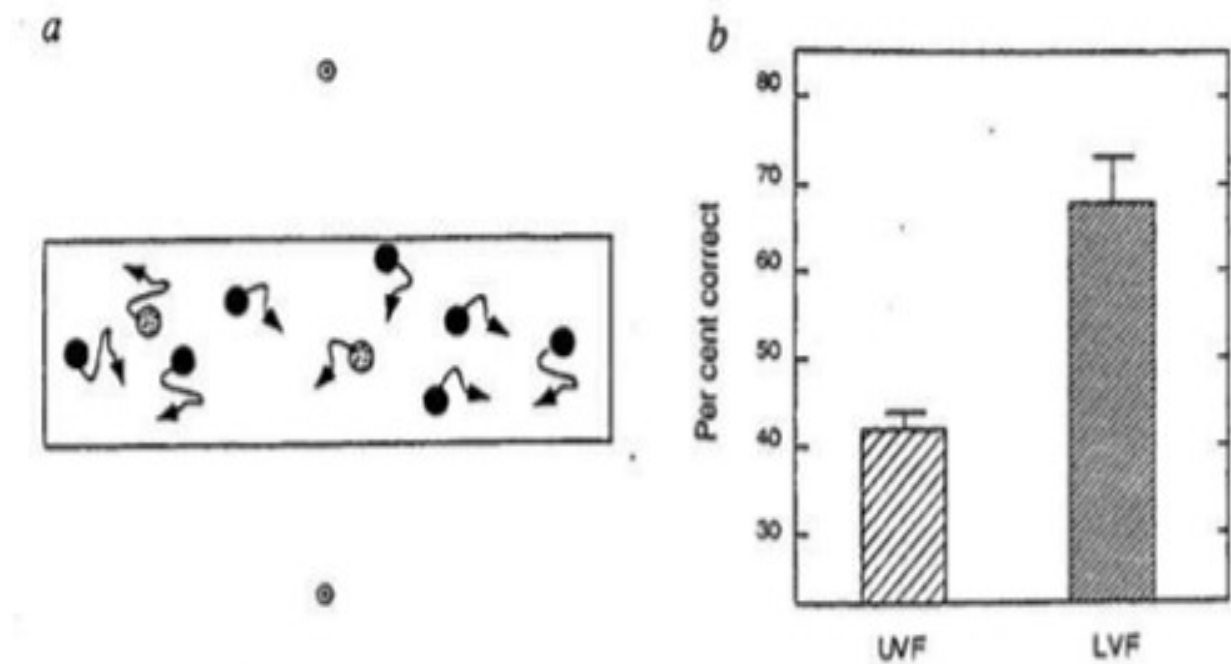


図 1.17 動く刺激を用いて上下視野の非対称性を検討 (He ら, 1996) の実験結果 [14]

## 1.8 文脈効果

文脈効果とは、刺激の知覚過程において、前後の刺激等の影響で対象となる刺激の知覚が変化する現象のことである。文脈効果は視覚的注意とも関係がある。文脈の手がかり手続き法は、文脈情報がどのように形成され、また形成された文脈情報が視覚的注意の働きにどのような影響を与えるかを実験的に検討するための手法として考案された。実験は妨害刺激である L の中から、目標刺激である左右いずれかに 90 度傾いた T をできるだけ早く見つけ、その刺激が左右どちらに傾いているかを判断する視覚探索課題であった。この実験では、妨害刺激の配置を視覚的文脈として設定した。刺激を一つ一つ固視する必要があるため、実験序盤は反応時間が遅くなる傾向が表れた、しかし視覚的文脈として設定された条件は試行数が増えていくと反応時間が減少した。つまり試行数が増えるにつれて、文脈情報が形成され、それによって探索処理が促進されたと考えられる。さらに実験終了後、被験者に同じ刺激配置に気づいたかを確認したところ、ほとんどの被験者はこの手続きに気づかなかった。そのため視覚的文脈は刺激の位置関係を元に符号化されており、この符号化は意識を介さずに、潜在的に行われることを示唆した [15]。

空間内の整合性における文脈効果について検討した例もある。1978 年に Loftus と Macworth は対象とシーン全体の状況の関係を検討した。この研究では被験者に農場が描かれた図 1.18 を呈示し観察させた。この図にはタコが描かれており、農場に描かれているタコはシーンに適さない対象として素早く注視される報告がされた [16]。また 1982 年に Biederman らも同様の実験を行った。この実験は台所が描かれた図 1.19 を使用して行われた。この図にはプリンタが描かれており、このように空間的に浮くはずのないものが浮いている場合にも、素早く注視されることが報告されている [17]。本研究では、AR 物体は実環境の制約とは異なる物体のため、これらの研究で使用されたシーンに適さない対象になると考え、注意の補足効果が起こると予想した。

1.8 文脈効果

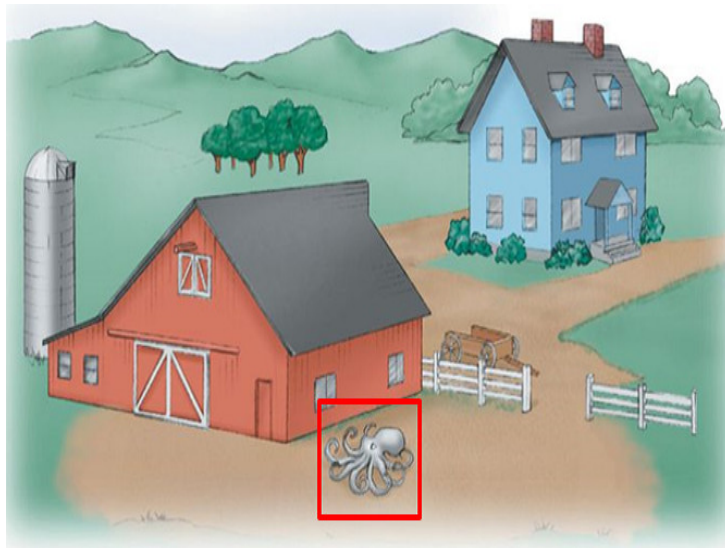


図 1.18 シーンに適さない対象の例



図 1.19 空間的にシーンに適さない対象の例

## 第 2 章

# 本実験

### 2.1 実験概要

本実験では複合現実環境において AR 刺激に描かれた円形の格子縞のパタンの方位 (45/135 deg) を判断する課題を行った。

被験者は正常な視力 (矯正を含む) を有する大学生 10 名が参加した。実験を行うにあたって課題の説明を行い、実験内容、手続きを理解した上で自由意思による参加で署名によって同意を得た。

### 2.2 実験環境

実験は十分なスペースのある個室を使用した。AR 刺激が壁より奥に明確に知覚されるため、刺激の左右に黒い点線のフレームを用意した (図 2.1)。実験にはシースルー型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の HoloLens を使用した (図 2.2)。刺激の作成には Windows Visual Studio 2015 と Unity5.6.3p2(64bit) を使用した。実験結果として得られたデータは Microsoft Excel 2017 を用いて解析し、検定には R 言語 (3.3.2) を使用した。

実験に使用した PC のスペックは以下となる。

- OS : Windows 10
- CPU : Intel Core i5 - 4460 3.2GHz
- メモリ : 8GB

## 2.2 實驗環境



圖 2.1 實驗環境



圖 2.2 HoloLens

## 2.3 刺激および実験条件

目標刺激の呈示位置は上視野 (upper visual field, UVF) と下視野 (lower visual field, LVF) の 2 水準を設定した。周辺の刺激の有無によって上下視野におけるパフォーマンスが変化することが報告されているため [14], 周辺の刺激による crowding 効果について調べるため刺激のセットサイズも操作した。目標刺激は 45/135 deg の格子縞であった (図 2.3,2.4)。セットサイズは目標刺激のみ (alone), 妨害刺激を左右に 1 つずつ呈示 (crowded : 3 items)(図 2.5), 左右に 2 つずつ呈示 (crowded : 5 items)(図 2.6) の 3 水準を設定した。crowded 3items の周辺刺激は格子縞の方位が同じにならないように設定され, crowded 5items は He らの研究と同様に周辺刺激の方位は, 左端が 45deg の場合, 右端も 45deg であり, 隣り合う周辺刺激の方位は異なるように設定された。そのためセットサイズ 3 と 5 の条件はともに格子縞のパタンの組み合わせは全 4 種類であった。

さらに 3 次元空間の文脈効果を検討するため, 3 次元の整合性における矛盾の有無の条件を設定した。矛盾なし条件では実物体の壁上の位置に刺激が呈示され, 矛盾あり条件では AR 刺激が壁より奥に存在し, 本来なら壁に遮蔽される位置に刺激が呈示された。まとめると本実験の条件は呈示視野 2 水準× セットサイズ 3 水準× 矛盾の有無 2 水準で計 12 条件であった。図 2.7 は LVF crowded(5 items) 条件の模式図であり, 実際は図 2.8 のようにみえた。

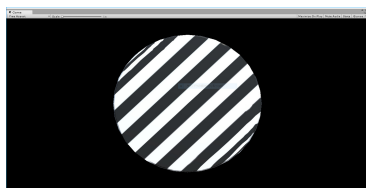


図 2.3 格子縞 45deg の刺激

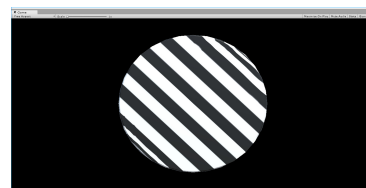


図 2.4 格子縞 135deg の刺激



## 2.3 刺激および実験条件



図 2.5 crowded(3 items) の刺激例



図 2.6 crowded(5 items) の刺激例

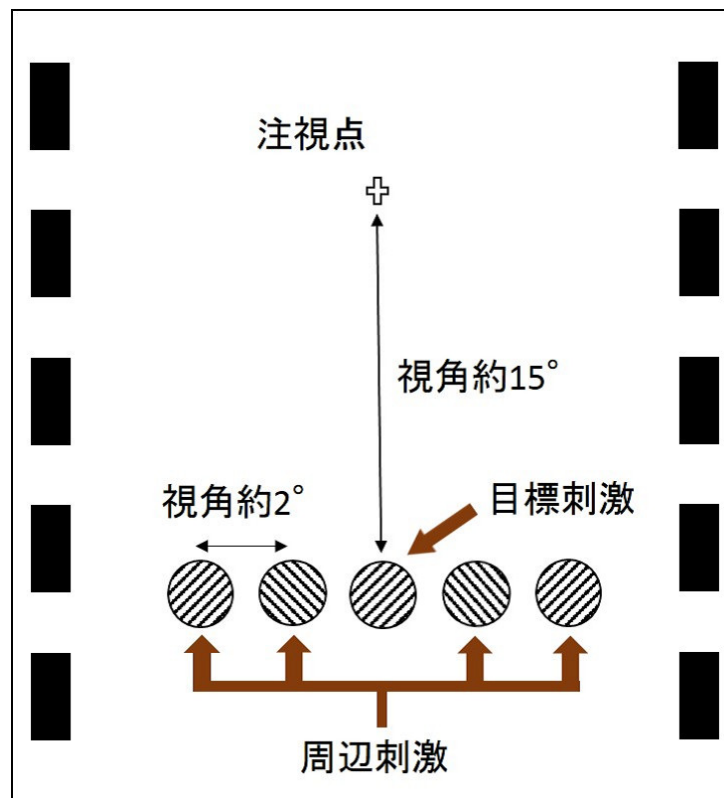


図 2.7 刺激の模式図

## 2.3 刺激および実験条件

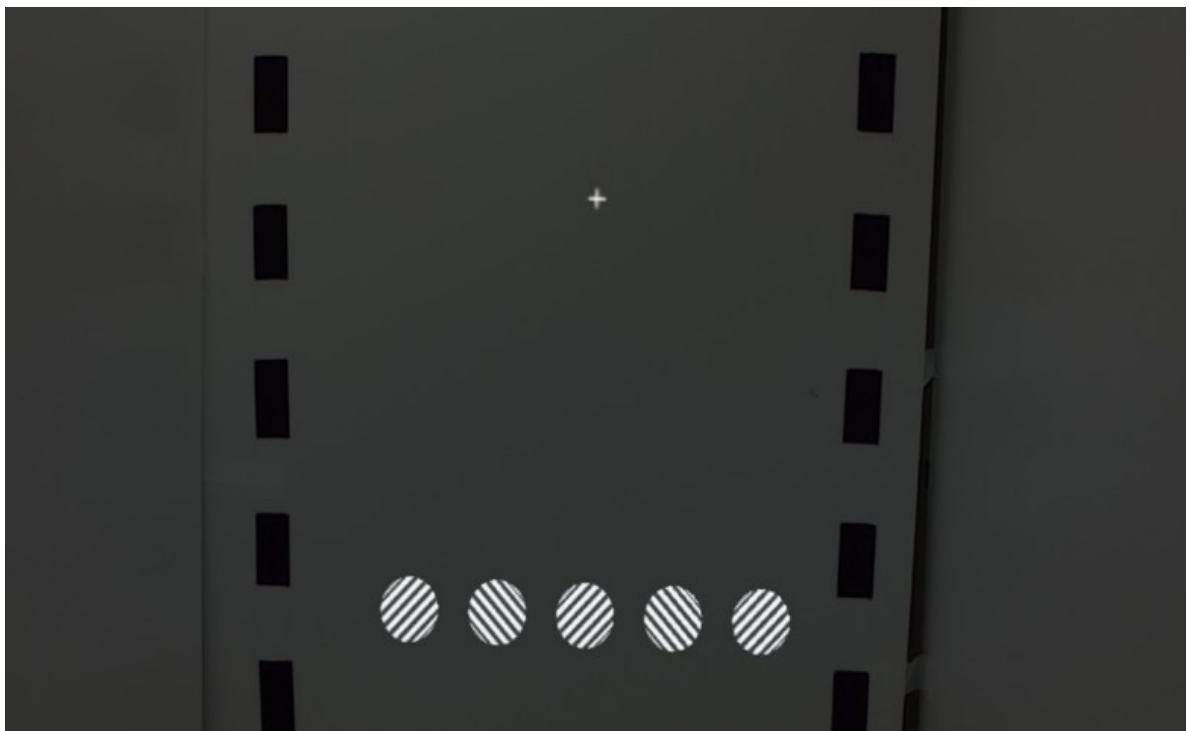


図 2.8 LVF Crowded(5items)

## 2.4 手続き

### 2.4 手続き

被験者はあご台で頭部を固定し (図 2.9), 注視点を固視した状態で上下視野どちらかに呈示される円形の格子縞のパタンの方位を判断する課題を行った. 被験者は注視点から上または下に約 15 deg 離れた位置に呈示される刺激の方位をテンキーボードで回答した (図 2.10). 注視点の位置が視野条件ごとに異なるため, 刺激が上視野, 下視野のどちらに呈示されるかは被験者は予め知ることができた. 刺激の呈示時間は 180 ms であった. 各条件につき 32 試行を 12 条件で計 384 試行を行った.



図 2.9 実験で使用したあご台



図 2.10 実験で使用したテンキーボード

## 2.5 結果

AR による目標刺激の方位の正答率の結果を図 2.11 に示す。刺激の呈示位置，セットサイズ，3次元空間における矛盾の有無を要因として3要因の分散分析を行った結果，刺激の呈示位置とセットサイズに交互作用が認められた ( $F(2,18) = 14.19, p < 0.001, \eta_G^2 = 0.12$ )。さらに単純主効果検定の結果，alone 条件においてのみ上下視野間に有意な差が認められた ( $F(1,9) = 27.81, p < 0.001, \eta_G^2 = 0.35$ )。各被験者のデータは図 A.1 から図 A.10 に示す。

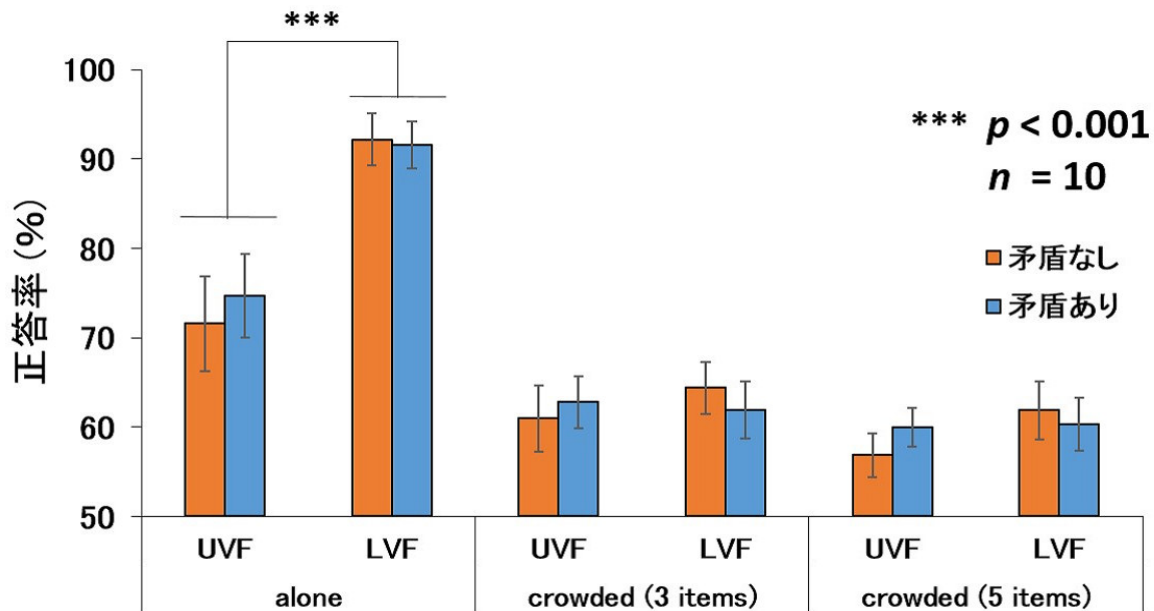


図 2.11 上下視野差の結果

crowding の効果について比較しやすくするため，同じデータを上下視野×矛盾あり／なしごとにプロットしなおした結果を図 2.12 に示す。どの条件でもセットサイズが増えると正答率が下がる傾向がみられた。さらに多重比較の結果，上視野，下視野ともに crowded 条件は alone 条件より有意に正答率が低かった。

2.5 結果

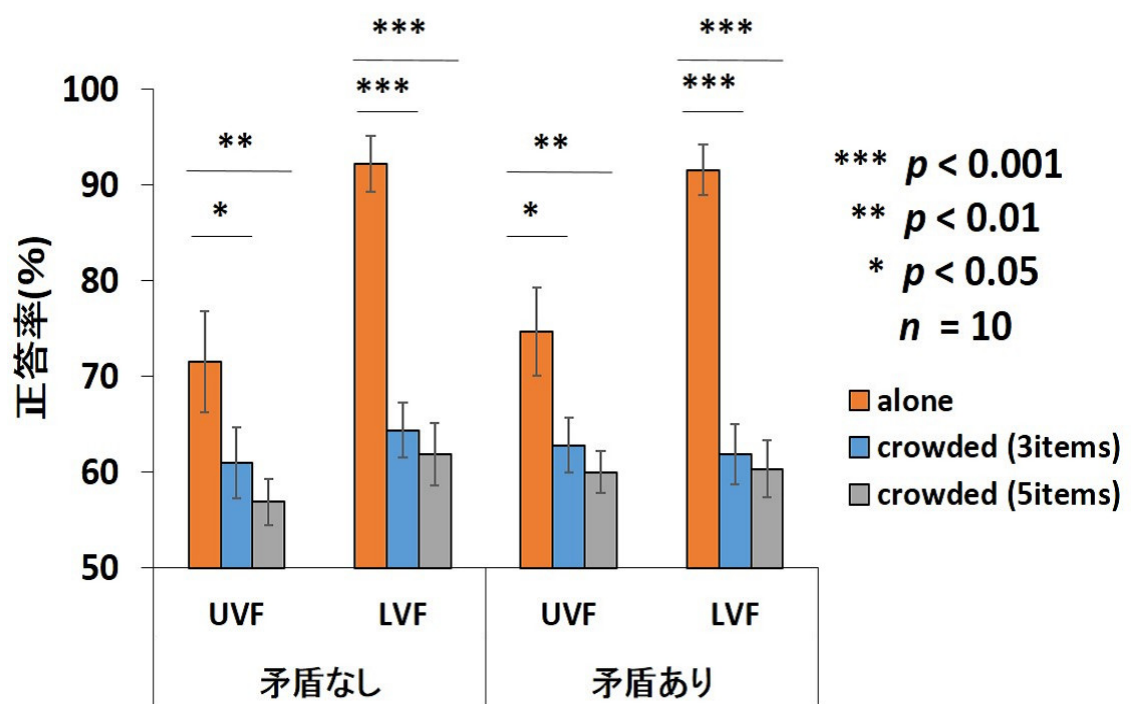


図 2.12 Crowding 効果の結果

### 2.6 考察

上下視野差の考察を行う。ディスプレイ上にターゲットを呈示した He らの研究では alone 条件の正答率には差がみられず，crowded 条件において差がみられた [19]。しかし本実験では逆に alone 条件のみにおいて上視野の正答率が約 20 % 低く，明確な上下視野差がみられた。実環境では物体が重力による影響を受け，ディスプレイより下視野へ注意がより向きやすいと予測される。本実験では 3 次元の整合性の矛盾という文脈効果は見られなかったが，視野の注意特性については実世界の影響が AR に強く及び，alone 条件でも先行研究ではあられなかった上下視野差がみられたと考えられる。一方 crowded 条件では crowding による妨害効果が大きく，上下視野共に目標刺激を同定することがより困難となり，視野の効果がみられなかったと考えられる。

次に crowding 効果の考察を行う。crowded 条件では，alone 条件より上視野は約 10 %，下視野は約 30 % 正答率が低下し，上下共に crowding による妨害効果がみられた。そのため MR 環境でも周辺刺激による妨害効果が上下視野共にパフォーマンスを低下させることが示された。セットサイズ 3 と 5 の条件間で有意な差がみられなかったのは，輝度が高く，実物体と異なる AR 刺激全体の群化が強力に生じたため，妨害刺激が左右 1 つずつ呈示される条件でも crowding 効果が大きく，目標刺激のみを同定することを困難にしたからと考えられる。

最後に 3 次元空間の整合性における矛盾の有無間に差が見られなかった点について考察する。これは輝度の高い AR 刺激に強く注意が引き付けられたため [19]，実環境の壁に注意が向きにくく，実世界との間の 3 次元の空間的文脈の整合性の有無によって注意特性の差が生じなかったためと考えられる。

## 2.6 考察

まとめると、上下視野の注意特性は、実世界の影響が AR に強く及び、alone 条件でも先行研究ではあらわれなかった効果がみられたことから、現実世界で行った実験だからこその現実の制約が AR に影響を与えたと考えられる (図 2.13). Crowding 効果に関しては、複合現実においては AR における群化が強力で Crowding 効果は大きかったことから現実内のみ、AR 内のみでまとまった効果だったと考えられる (図 2.14). 最後に 3 次元空間の整合性における矛盾は、AR 物体が現実世界の制約に適さない呈示でもそれが注意を引き付けることはなかった。よって現実と AR 間の文脈効果は弱いと考えられる (図 2.15).

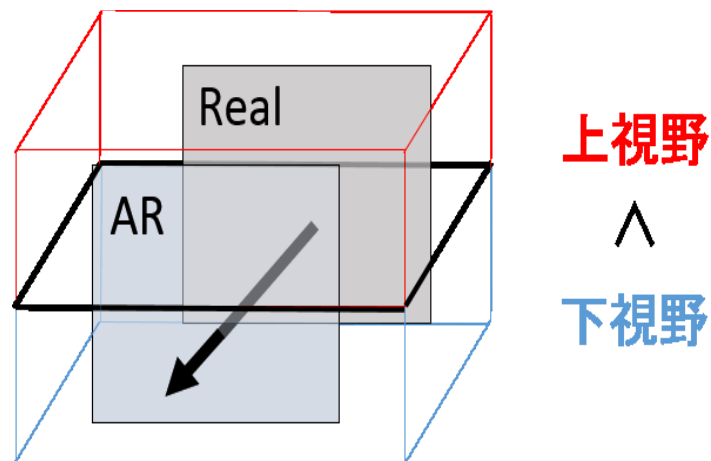


図 2.13 上下視野差のまとめ

2.6 考察

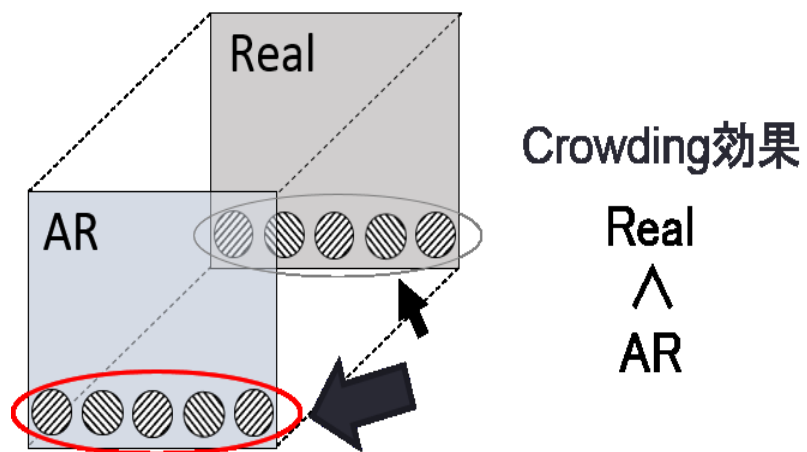


図 2.14 Crowding 効果のまとめ

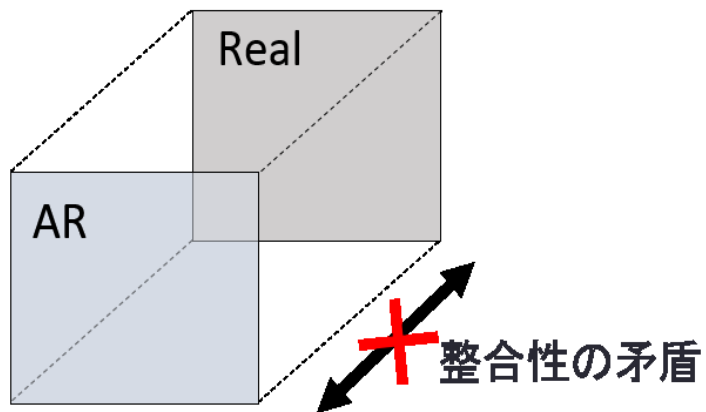


図 2.15 3次元空間の整合性における矛盾の有無



## 第 3 章

# 補足実験

### 3.1 実験概要

本実験の上下視野差がシースルー型の HMD において単にスクリーン上部の視認性が悪かったことで生じた可能性もあるため、この点を確認する補足実験を行った。本実験では注視点と刺激の位置関係から上下視野条件を設定したが、補足実験ではスクリーン上部または下部において注視点の左右どちらかに本実験と同じ刺激を呈示した。図 3.1 は刺激の模式図であり、実際の刺激は図 3.2 のようにみえた。

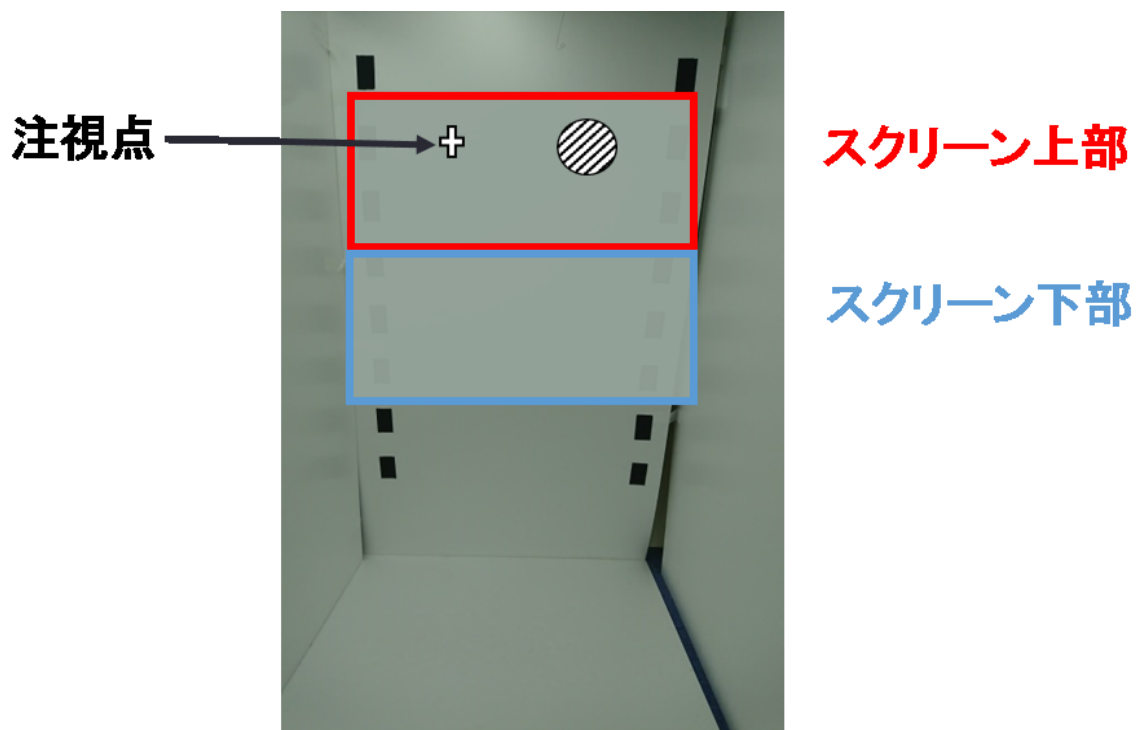


図 3.1 刺激の模式図

### 3.1 実験概要

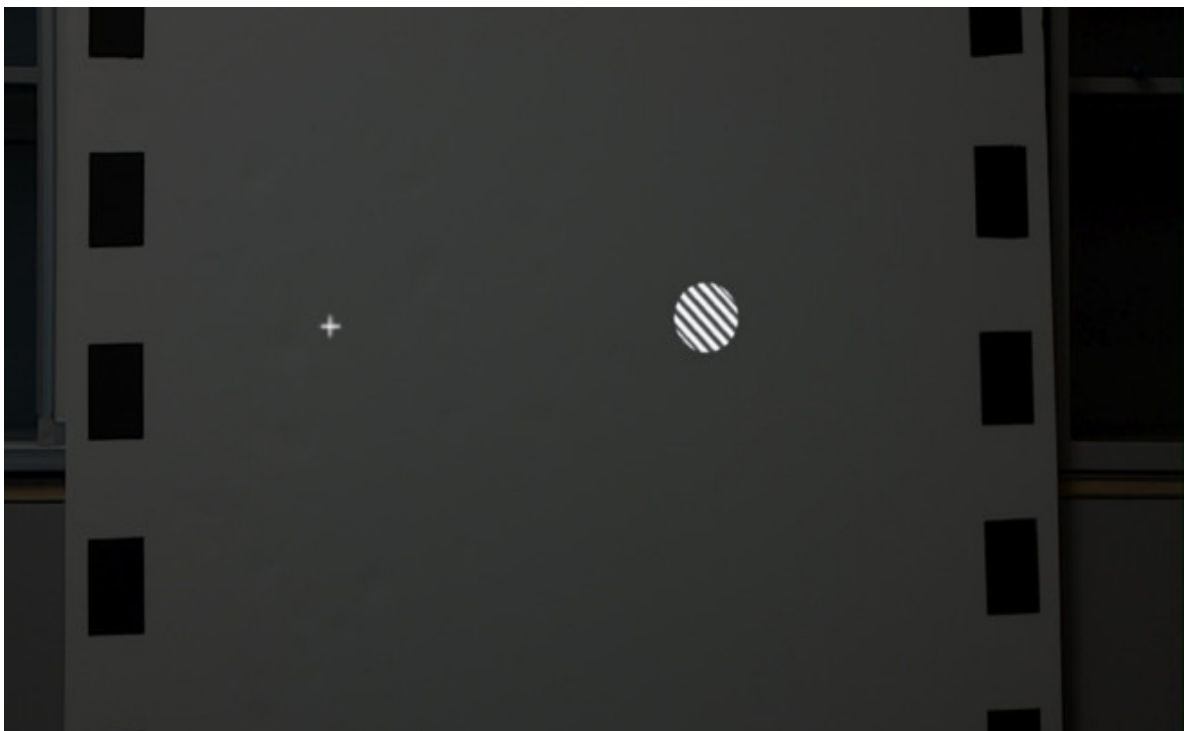


図 3.2 刺激の呈示例

## 3.2 結果

2名の被験者で検討した結果，上下視野共に正答率100%であるため，少なくともスクリーン上部に単体の刺激を左右に呈示した際には視認性による効果である可能性は小さいことが確認できた(図3.3).

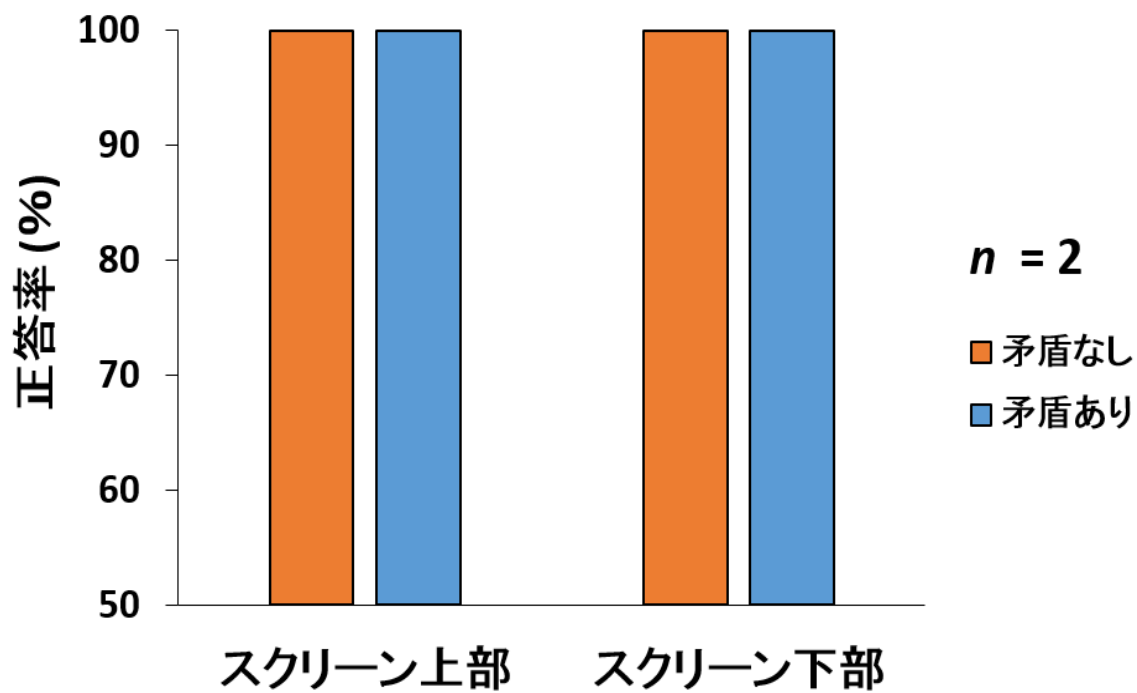


図 3.3 補足実験の結果

## 第 4 章

# 今後の展望

### 4.1 上下視野差

今回、単体で刺激が呈示される条件においても明確な上下視野差がみられた。そのため AR 物体に注意を引き付けたい際にも下視野に呈示する方がよく、AR 物体特有の呈示である重力を無視した呈示をする際には、注意を誘発するわけではないことに注意する必要があることが確認できた。

本実験では注視点を固視した状態から、注視点から上下方向に刺激を呈示したが、応用的に AR 物体が呈示される際は物体を注視する状況も多いと考えられる。今後の展望として、上下視野条件間で注視点を刺激と同じ位置に呈示し、呈示位置に関する上下視野差だけでなく、視線方向の効果を検討することが必要である。

### 4.2 Crowding 効果

今回、現実と AR を融合した注意は生じにくいことが確認できた。そのため注意を促進させたい際には、どちらかの物体のみを呈示する方が良いことが示された。

本実験は AR 刺激のみを使用した。複合現実環境では AR 物体のみが呈示されることは少なく、実物体が多く呈示されている状況であることが想定される。今後の展望として、実物体と AR 物体が混在した刺激の呈示を行い、Crowding 効果を検討することが挙げられる。AR 物体だけでなく、実物体も含めた Crowding 効果の特性を検討することで現実と AR が融合した注意特性がより生じやすい状況での注意特性を検討することが挙げられる。これ

#### 4.3 3次元空間の整合性における矛盾

により Crowding 効果を指標として、現実と AR の融合状態を評価できると予想される。

### 4.3 3次元空間の整合性における矛盾

今回、AR 物体が現実世界の制約に適さない呈示でもそれが注意を引き付けることはなかった。よって不整合な呈示は強い注意を誘発しないことが確認できた。

本実験は実物体の壁を使用して、不整合な呈示を実現したが、3次元空間における不整合な呈示は複合現実特有の現象ではなく、現実でも鏡面反射による像が本来の呈示位置とは異なる位置に見えるなど不整合な呈示は起こる。今後の展望として本実験よりも、さらに不整合な呈示を行い注意が誘発されるかを検討することが挙げられる。

## 第 5 章

### まとめ

本実験では、HMD を使用して MR 環境を構築し、AR 刺激の方位判断課題を行った。課題は上下視野差を調べるための呈示位置、目標刺激の周辺の刺激の有無によって上下視野におけるパフォーマンスが変化 (Crowding 効果) を調べるため刺激のセットサイズを操作した。さらに 3 次元空間の文脈効果を検討するため、壁には奥行きの知覚を明確にするために、刺激の左右に黒い点線のフレームを用意した。

上下視野の注意特性、Crowding 効果、3 次元空間手がかりの矛盾についてそれぞれ検討した結果、上下視野の注意特性については、実世界の影響が AR に強く及び、重力による影響を受け、下視野へ注意がより向きやすかったため、刺激が目標刺激のみでも上下視野差が生じることが示唆された。そのため現実世界で行った実験だからこそその現実の制約が AR に影響を与えたと考えられる。Crowding 効果は、実物体と異なる AR 刺激全体の群化が強力に生じたため、妨害刺激が左右 1 つずつ呈示される条件でも大きく、目標刺激のみを同定することが困難であった。そのため複合現実においては AR における群化が強力で Crowding 効果は大きかったことから現実内のみ、AR 内のみでまとまった効果だったと考えられる。3 次元空間の整合性における矛盾は、AR 物体が現実世界の制約に適さない呈示でもその矛盾の効果が注意を引き付けることはなく、現実と AR 間の文脈効果は弱いことが示唆された。

# 謝辞

本研究, 論文を作成するにあたり, 多くのご支援と熱心なご指導を賜りました繁榘 博昭先生に深謝いたします。また, 学部時代より本研究の副査を務めていただいた篠森 敬三先生, 中原 潔先生に感謝いたします。また, 実験を行うにあたって快く被験者を引き受けて頂いた研究室のメンバー及び先輩, 同輩, 後輩に感謝いたします。ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 坂本慎昂, 蔵富恵, 繁柟博昭, 複合現実環境における情報選択性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 22, 2017.
- [2] Yuhei Miki & Hiroaki Shigemasu, Three-dimensional position perception of virtual objects in the wearable AR environment, International Symposium on Interaction Design and Human Factors, 2014.
- [3] Dieter Schmalstieg & Tobias Hollerer, ARの教科書, マイナビ出版社, 38-52, 2018.
- [4] Vuforia Smart Terrain, [https://www.youtube.com/watch?v=JvE\\_7filGsY](https://www.youtube.com/watch?v=JvE_7filGsY), 最終閲覧日 (2019/2/21).
- [5] 眞鍋佳嗣, 北原格, VR / AR 技術の開発動向と最新開発事例, 技術情報協会, 427, 2018.
- [6] 勝田有一朗, 「VR」「AR」技術最前線, 工学社, 20-32, 2015.
- [7] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishimo, Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum”, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 282-292, 1994.
- [8] 高橋忍, Window Mixed Reality アプリ開発入門, 日系 BP マーケティング, 5-6, 2018.
- [9] 熊田孝恒, 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 459-465, 2000.
- [10] Dankan Johson, Selective attention and the originization of visual information, Journal of Experimental Psychology : General, 501-517, 1984.
- [11] Anne M Treisman & Garry Gelade, A Feature-integration theory of attention, Cognitive Psychology, 97-136, 1980.
- [12] Anne M Treisman, Features and objects in visual processing, Scientific American, 106-115, 1986.
- [13] 西條将樹, 和田裕一, 加藤考義, 視覚性課題遂行時における上下視野の機能特性 -陰影か



## 参考文献

- らの形状復元における上下視野の非対称性-, 計測自動制御学会, 171, 1997.
- [14] Sheng He, Patrick Cavanagh, James Intriligator, Attentional resolution and the locus of visual awareness, 26, 1996.
- [15] Marvin M Chun & Yuhong Jiang, “Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention”, *Cognitive Psychology*, 28-71, 1998.
- [16] Geoffrey Loftus & Norman H Mackworth, Cognitive determinants of fixation location during picture viewing, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 565-572, 1978.
- [17] Irving Biederman, Robert J Mezzanotte, Jan C Rabinowitz, Scene perception : Detecting and judging objects undergoing relational violations, *Cognitive Psychology*, 143-177, 1982.
- [18] Ryota Iseki ANOVA 君, <http://riseki.php.xdomain.jp/index.php> ANOVA 君, 最終閲覧日 (2019/1/30).
- [19] 北村昭彦, 紀ノ定保礼, 木村貴彦, 篠原一光, 佐々木隆, 奥村治彦, 堀田 あいら, 拡張現実提示時の中心視負荷と情報処理特性について-両眼・単眼提示の RSVP 課題による比較-, *Technical Report on Attention and Cognition*, 2017.

# 付録 A

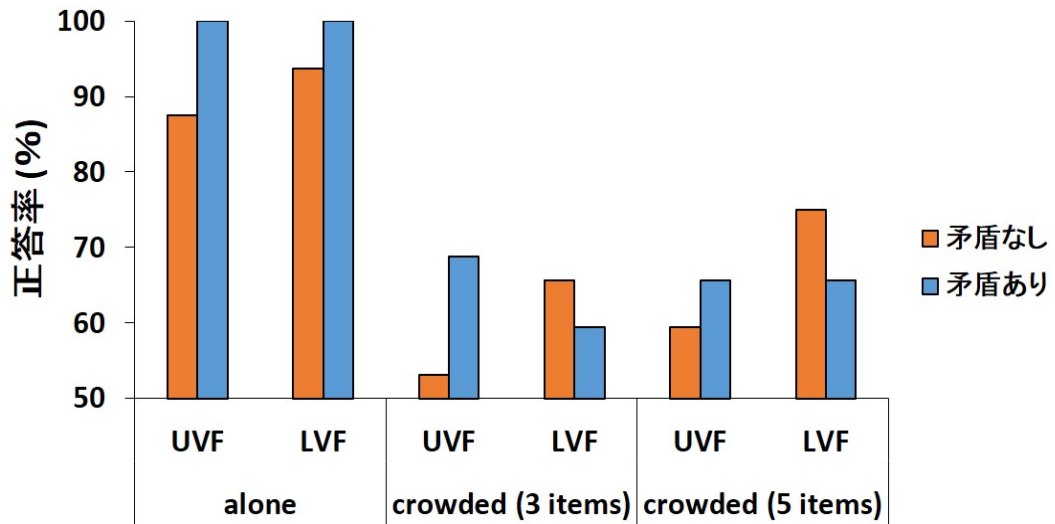


図 A.1 sub01 の結果

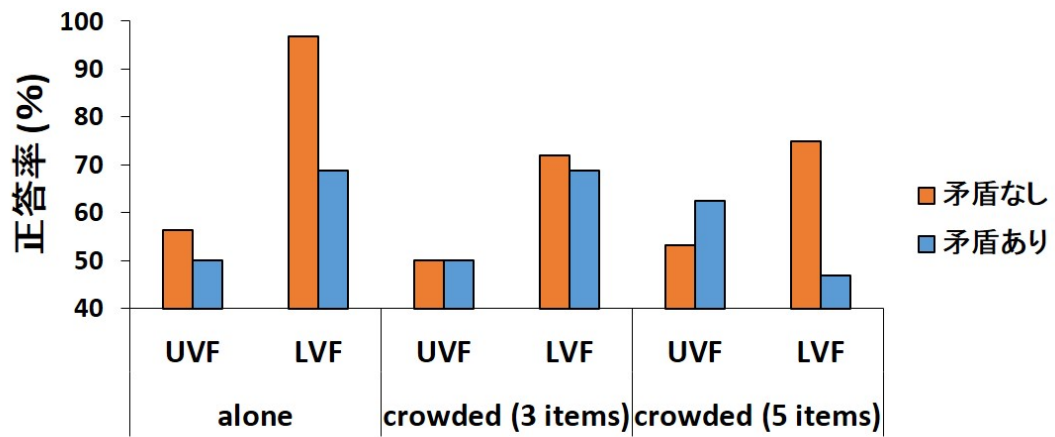


図 A.2 sub02 の結果

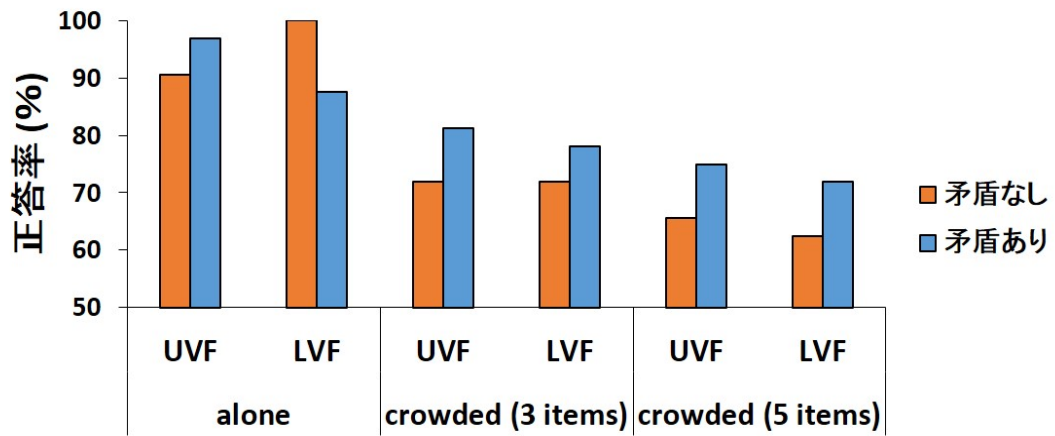


図 A.3 sub03 の結果

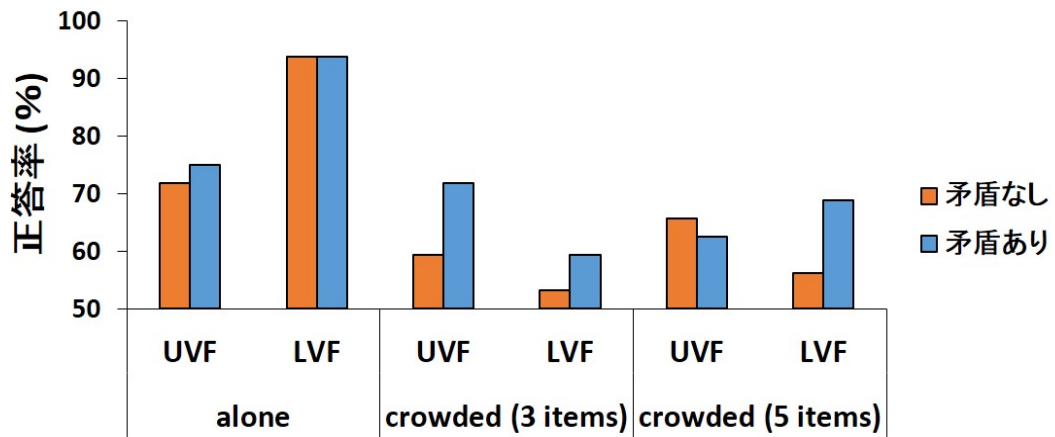


図 A.4 sub04 の結果

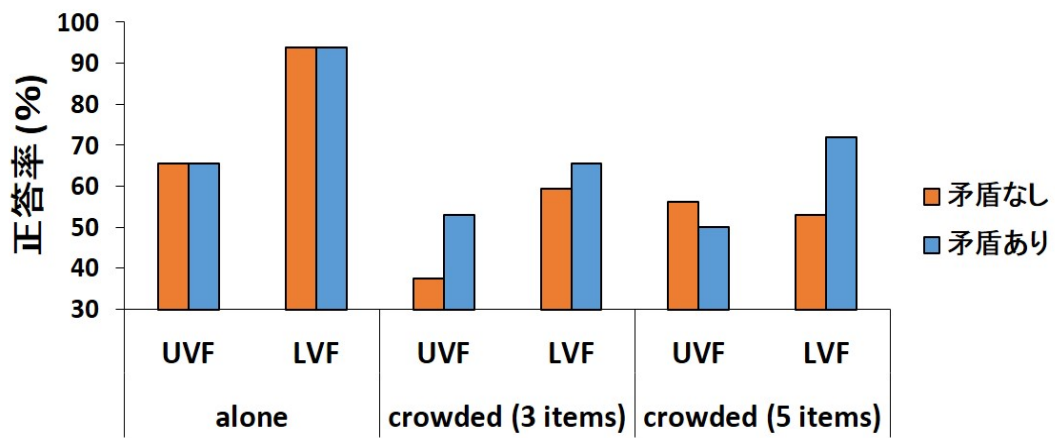


図 A.5 sub05 の結果

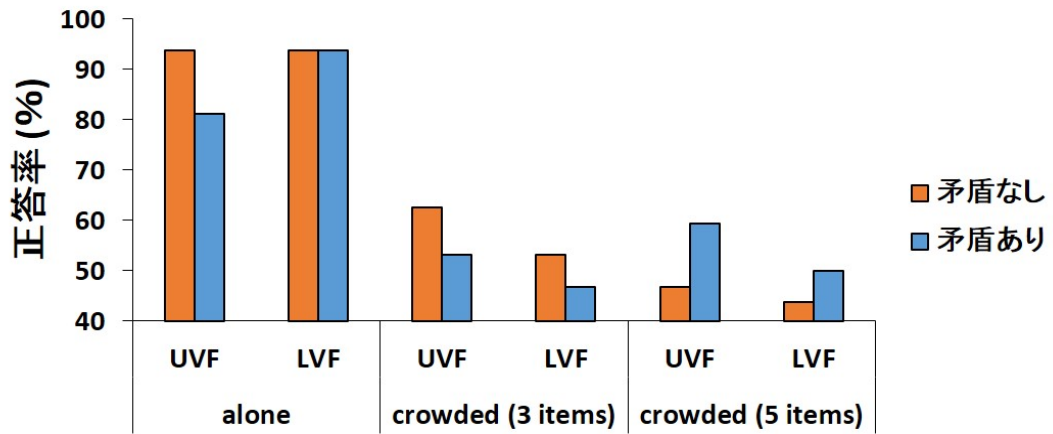


図 A.6 sub06 の結果

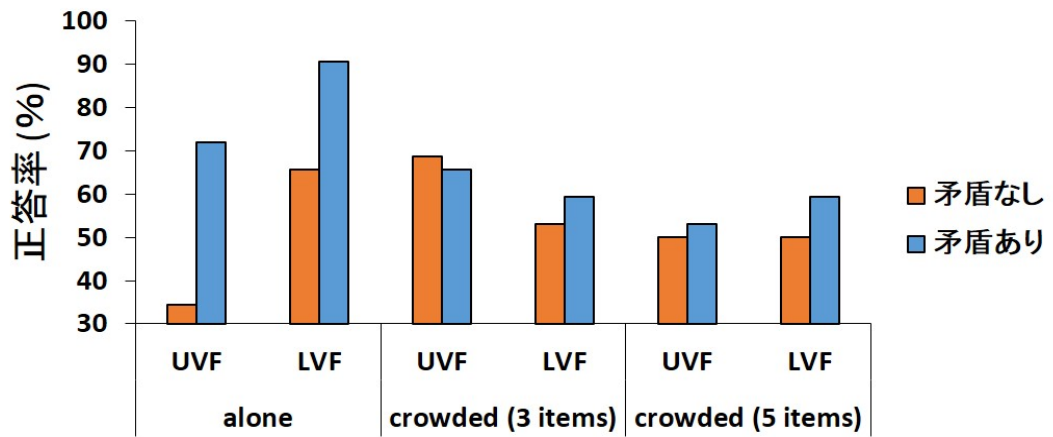


図 A.7 sub07 の結果

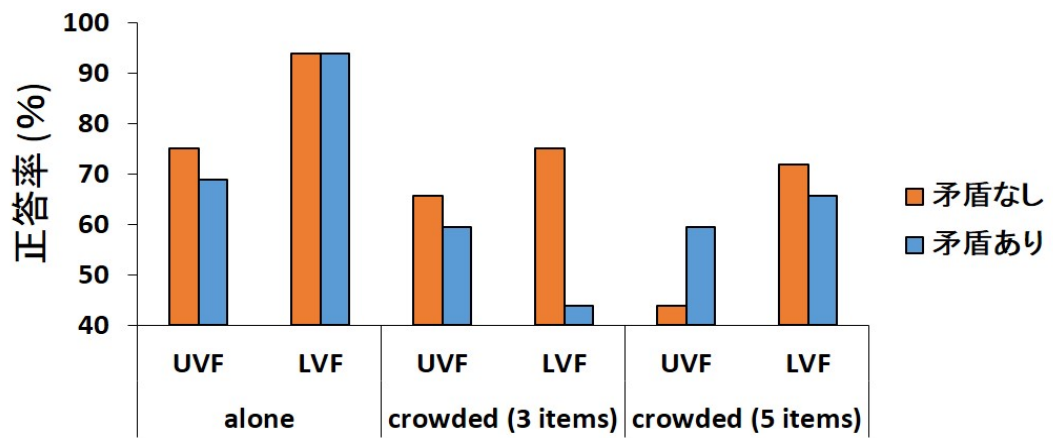


図 A.8 sub08 の結果

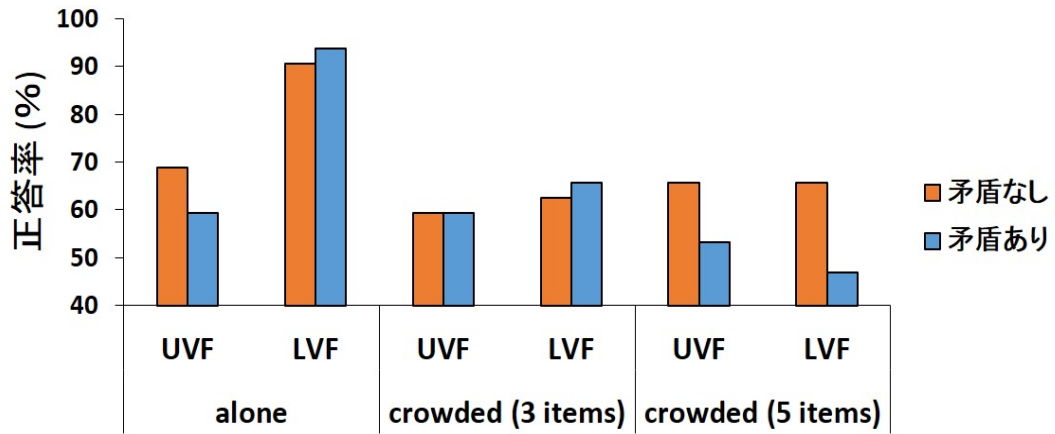


図 A.9 sub09 の結果

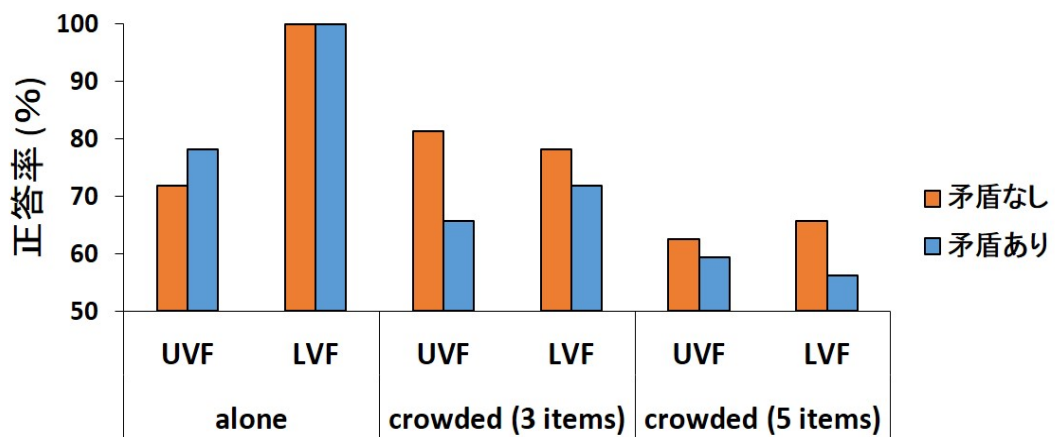


図 A.10 sub10 の結果