This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

第 30 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2025 年 9 月）

# VR 環境での虹彩の大きさの変化による共同注視への影響の調査

Investigation of The Effect of Iris Size Changes on Joint Attention in VR Environments.

城山翔吾 [1)]，酒田信親 [1)]
Shogo SHIROYAMA, and Nobutika SAKATA,

1) 龍谷大学 先端理工学研究科 （〒520-2123 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5, y24m029@mail.ryukoku.ac.jp）

**概要**：共同注視は情報共有やコミュニケーションの質を高める行動であるが、共同注視者同士の対面距離が離れると、その効果は薄れる傾向がある。本研究では、虹彩の大きさに着目し、遠距離間においても共同注視の効果を維持する手法の検討を目的とした調査を実施した。具体的には、VR 空間において虹彩サイズを操作した 3DCG の眼球を提示し、障害物により相手の注視点が視認できない状況下で、被験者が推定した注視点との距離および角度を測定した。その結果、虹彩サイズによる注視誘導効果は確認されず、虹彩の大きさは共同注視の手がかりとして有効ではない可能性が示唆された。

**キーワード**：共同注視、虹彩、注視誘導

## 1. はじめに

人間は普段、言語と非言語を使用してコミュニケーションを取っている。特に非言語は、身体動作、身体特徴、接触行動など種類が豊富であり、話の内容の補完、信頼関係の構築、相手を深く知るといった効果がある。非言語コミュニケーションの中でも目はアイコンタクトや共同注視によって、人間同士のコミュニケーションの質の向上や情報共有に貢献している。これは人間同士のコミュニケーションでは、相手の視線を読み取ることで注意や興味の対象を把握できるからである。しかし、対人間の物理的な距離が大きくになるにつれて相手の視線や共同注視を認識することが困難になっていく。

共同注視とは相手に見てほしいものに視線を誘導し、一緒に同じものに関心を持つことをいう。具体例としては、赤ちゃんと見つめ合っていた養育者が哺乳瓶やおもちゃを取ろうと視線をそちらに向けた時、見つめられていた赤ちゃんは養育者が向けた視線に合わせて哺乳瓶やおもちゃを見るといったものがある。そもそも視線方向を読み取るには、目の黒目（瞳孔と虹彩）に注目する必要がある。しかし、遠距離になるにつれて、黒目を認識することは難しくなる。例えば小林らはロボットに投影する目が、白目より虹彩が大きく、虹彩と白目の比率が等しい時、視線方向が読み取りやすい[1]と示している。

以上のことから本研究では、共同注視を容易にする条件は、虹彩の大きさや距離によって影響があるのではないかと考え、眼球と共同注視の対象物の距離が遠いほど虹彩は大きいほうが正確さは向上するという仮説を立てた。そこで本研究では、距離に応じて虹彩の大きさが変化することで共同注視に影響があるのかを確かめる実験を実施し、その結果を評価する。

## 2. 関連研究

### 2.1 視線

小林らは、目の形状と虹彩の大きさを変えることで、視線の読み取りやすさと親しみやすさを兼ね備えたロボットの目のデザインを検討した[1]。実験の結果、虹彩の比率が白目よりも大きく、虹彩と白目の比率が等しい時に視線が読み取りやすく、誤差も少ないことがわかった。逆に、虹彩が白目より小さい時は視線の読み取りの誤差が大きくなることが示された。

Argyke らはアイコンタクトの機能についての研究を行った[2]。彼らの研究では、アイコンタクトの量は同性同士の時に多いと示され、また距離でも回数が異なることが示された。この実験での距離は 2 フィート（0.6m）から 10 フィート（3m）で行っており、2 人の間の距離が離れているほどアイコンタクトの回数が増えた。

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

### 2.2 共同注視

米澤らは、被験者の視線に反応するぬいぐるみロボットの視線行動について、異なる視線行動やそれらの組み合わせによる被験者の印象を明らかにした[3]。この研究ではぬいぐるみとのコミュニケーションのきっかけを作るために共同注視を利用していた。共同注視を調査する目的として、ぬいぐるみの顔方向に基づいて被験者が推測するぬいぐるみの興味対象、被験者自身の興味対象への影響を調べた。ぬいぐるみの両側にアニメーションを表示した 2 台の液晶テレビを設置し、被験者はぬいぐるみが興味をもったアニメーションと被験者が興味を持ったアニメーションを回答した。結果、ぬいぐるみが長時間見ているアニメーションに対して、ぬいぐるみが興味を持っていると思えると被験者は答えた。しかし、ぬいぐるみが頭部だけを回旋している場合、被験者は興味を感じたとは答えなかったが、注視時間の分析では、そのアニメーションを長く見ていた。これらから、ぬいぐるみの視線行動が被験者の無意識な視線行動に影響を与えることが示された。

平面ディスプレイで共同注視を成立させることは困難であるが、大槻らはその問題を解決するシステムを提案した。大槻らは遠隔地にいる参加者の視線方向を表現する ThirdEye を使用して、ディスプレイで視線誘導できるシステム[4]を提案している。ThirdEye は、液晶ディスプレイに表示した瞳を透明な半球体に屈折させて投影することで、遠隔ユーザーの視線を立体的に再現する眼球型の立体ディスプレイである。被験者の前に 10cm 間隔で目視ターゲットを配置した透明なタッチパネルを設置した条件と、前方下にタブレットを配置した条件の実験を実施した。被験者はタブレット、タッチパネルは見えているが、目視でターゲットは見えていない。この状況下で、被験者が相手の視線方向から見ている対象を推測する課題を設定し、実際の人による対面指示、ディスプレイ上の人物映像による指示、ThirdEye による指示の 3 条件で比較を行った。結果として、最も視線誘導ができていたのは対面であったが、ThirdEye はディスプレイ表示と比べ、相手の視線方向先の誤差が少なったことが示された。さらに大槻らは ThirdEye を用いた視線誘導の評価[5]を行った。人による注視の映像と音声が流れるタブレットとタブレットに付けられた ThirdEye の 2 条件で行う。タブレットからは被験者に閲覧を促す音声が流れ、画面には 4 枚のカードのいずれかを見つめる人物の映像が表示される。被験者はその映像を見て、人物が見つめたカードを選択する。結果として、ThirdEye 有の方が、視線誘導の効果が強いことが示された。

## 3. 実験

実験として被験者は、図 1 のように VR 環境中に設置された仮想の眼球が半透明の壁の一箇所をランダムに見るシーンを HMD を通して観察する。その後、被験者は眼球が注視したと思われる点を推定し、VR 環境中の仮想レーザポインタで半透明の壁上にある点を指し示すことで、被験者が推定した注視点を指定する。その後、この推定した注視点と、眼球が注視している半透明の壁上の実際の注視点との差を誤差として評価する。この試行を虹彩の大きさごとに 10 回行った後にアンケートに答えてもらう。虹彩の大きさは 3 つの条件で行い、さらに眼球と被験者間の距離が長い場合と短い場合の 2 条件で行った。

### 3.1 実験環境

本実験の仮想環境を構築するにあたり、Unity（2021.3.8f1）を使用し、HMD として VIVE Pro2（解像度：片眼 2448×2448 ピクセル、リフレッシュレート：90/120 HZ）を採用した。仮想のレーザポインタを操作するためのデバイスとして VIVE controller を使用した。

### 3.2 実験条件

本実験は図 2 のように正面に 2 つの眼球と半透明の壁が配置された空間で行う。被験者には、眼球との距離が 1.7m、2.2m の 2 条件と図 2 のように虹彩の大きさが小（0.2）、中（0.5）、大（0.8）の 3 条件の計 6 通りを受けてもらう。0.2、0.5、0.8 という数字は虹彩の面積が正面から見た時の眼球の半分の面積に占める割合を表しており、0.5 であれば眼球前面の 50%を占めている。瞳孔のサイズは全て一定とし、虹彩の大きさが 0.5 の時を基準として、実験を行う。壁の大きさは横 1m 高さ 1m であり、壁の範囲内のある一点を眼球がランダムに注視する。眼球が注視する点は壁上でランダムに選ばれる。タスク開始時には眼球は正面を向いており、タスク開始後に眼球はランダムに選ばれた点に対して 1 秒かけて注視する。これにより被験者は、正面を見ていた眼球が注視点を凝視するアニメーションを観察できる。

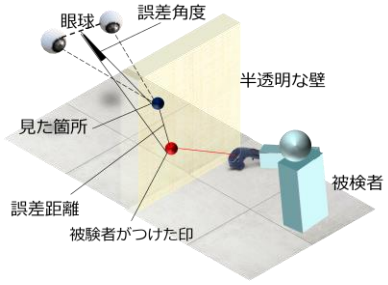


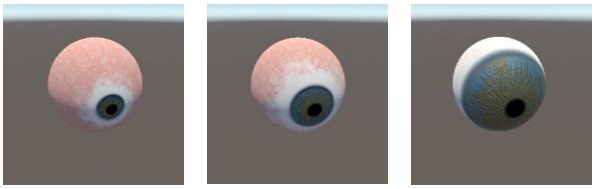

図 1：実験の様子

### 3.3 実験手順

最初に被験者へ実験の説明を行った。次に、被験者に HMD を装着して、視界がぼやけないように調整してもらった。その後、仮想レーザポインタの操作に慣れてもらうために簡単な作業をしてもらった。そして、被験者が仮想レーザポインタによって推定した注視点を指定する操作に十分に慣れたあとに実験を開始した。実験内容は、被験者に仮想空間の中央に配置された眼球を観察してもらい、眼球が回転した後に注視されたと考えられる壁の点に対

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

して、仮想環境中のレーザポインタの着光点をそれにあわせ、VIVE contoller の Trigger ボタンを押すことで推定した注視点を決定してもらう。この作業を 10 回繰り返した後、アンケートに回答してもらう。次に、虹彩の大きさを変え、同じ実験手順で再度実験を実施する。3 つの虹彩の大きさで実験が終了した後、事後アンケートに回答してもらい、眼球と被験者の距離を変更して再び同じ実験を実施する。



(a)虹彩小　(b)虹彩中　(c)虹彩大

図 2：それぞれの虹彩の大きさ

### 3.4 評価方法

本実験ではアンケートと事後アンケートの 2 種類のアンケートと、注視点と注視点が見えない被験者が予想した注視点との距離と角度の誤差を通じて評価を行う。

虹彩の大きさを変えるごとに行うアンケートは 3 項目で、7 段階のリッカート尺度を用いて、「1：まったく同意しない」「7：非常に同意する」として回答させた。質問内容は、眼球と被験者が共同注視ができているか、眼球運動と視線を読み取りができているか、視線は読み取りやすいかである。これらの質問は、虹彩の大きさの変化により、視線の読み取りに影響があるのか、また自然な共同注視ができているかについて確認することを目的としている。

事後アンケートは 3 項目を質問し、7 段階のリッカート尺度を用い、先ほどのアンケート同様に「1：まったく同意しない」「7：非常に同意する」で回答させた。質問内容として、各距離での眼球の注視点が発見しやすい虹彩の大きさ、被験者がそれぞれ距離での共同注視がしやかった虹彩の大きさ、虹彩の大きさの変化で視線先の読み取りに影響が出たかである。

本実験では、注視点と注視点が見えない被験者が予想した注視点との距離と角度の誤差の大きさで、虹彩の大きさの影響度合いを評価する。距離と角度が大きい場合は、虹彩の大きさによる視線推定への寄与が小さく、他の要因による誤差が大きいと判断できる。一方で、距離と角度の値が小さい場合、虹彩の情報が視線推定に強く寄与している可能性が高いと考えられる。

### 3.5 実験結果

被験者は 21～23 歳の男性 5 名である。実験の結果を図 3～図 6 に示す。図 5 と図 6 は、値が大きいほど質問に対して同意していることを表している。まず、全距離での虹彩の大きさによる正確さの評価について、分散分析を有意水準 5%で行った。検定の結果、すべての距離において虹彩の大きさによる有意差が見られなかった。

全距離での虹彩の大きさによる正確さの評価について、分散分析を有意水準 5%で行った。検定の結果、すべての距離において虹彩の大きさによる注視点に対する誤差角度と誤差距離と視線の読み取りやすさに関するアンケート結果に有意差が見られなかった（図 3）。

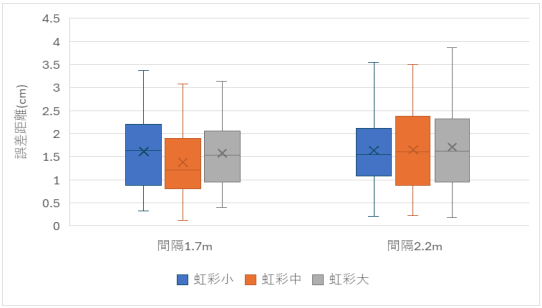



図 3：虹彩の大きさと対人間距離による誤差距離

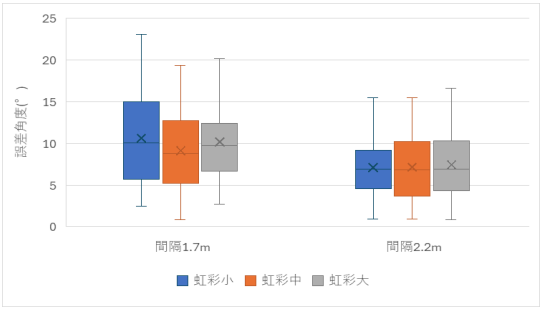



図 4：虹彩の大きさと対人間距離による誤差角度

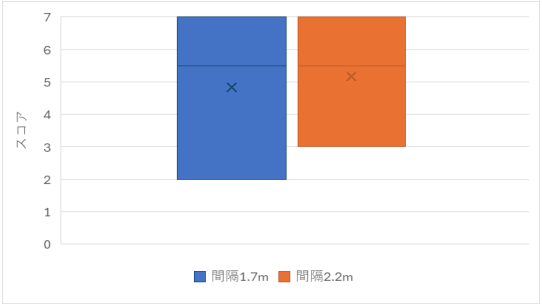



図 5：虹彩の大きさの変化で視線先の
読み取りへの影響

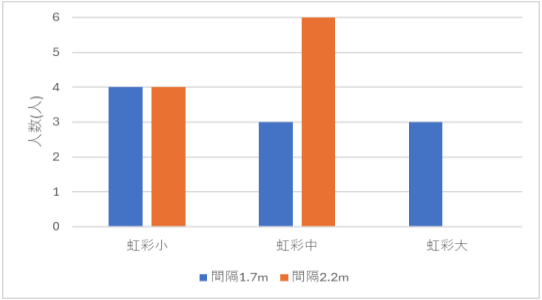



図 6：眼球の注視点を発見しやすい虹彩の大きさ

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

## 4. 考察

実験結果から、虹彩の大きさが変化しても共同注視に影響はないことが示唆された。注視点に対する誤差距離と誤差角度の結果からは、遠距離での虹彩が大きいときの正確さが虹彩が小さい場合と同程度だった。原因として、被験者からは、「ほんのわずかな眼球運動の認識が困難である」、「他の虹彩サイズと比較しても顕著な違いが感じられない」、「瞳孔が視認できない」といった意見が寄せられた。一方、虹彩が小さい条件では、「遠距離であっても眼球運動が認識しやすい」、「瞳孔が見えやすい」との意見も見られた。つまり、虹彩を大きくしただけでは、遠距離での共同注視に与える影響がすくないと考えられる。また、瞳孔が共同注視に影響を与えるのか、もしくは虹彩と瞳孔の両方が影響を与えている可能性がある。しかし、今回瞳孔の大きさは変化させていないので、瞳孔の影響は明らかになっていない。ただし、上記のような被験者からの意見があったので、今後は瞳孔については条件を考える予定である。

図 5 から虹彩の大きさの変化が視線の読み取りに影響があるように感じられることが示唆された。また、図 6 から虹彩の大きさが中(0.5)の時は、距離の条件にかかわらず共同注視がしやすいことがアンケートから示唆された。理由としては、日常生活で見ている瞳孔と虹彩のサイズに近いため、見やすかったのではないかと考える。また、虹彩の大きさが大(0.8)と小(0.2)の条件時では、コメントで述べられていたように瞳孔が見えない場合や、眼球が側面に向いてしまった時に虹彩を観察できずに注視先がわからなくなってしまうことがあったが、虹彩の大きさが中(0.5)の条件ではこれらの問題が起こらなかった。

仮説では、距離が遠くになるにつれて、虹彩が小さいほど正確さが減少し、大きくなるにつれて正確さが向上すると考えていたが、そういった傾向は見られなかった。しかし、図 6 から遠距離になるにつれて、虹彩が小さいと近距離と比べ視線の読み取りに影響が発生することがアンケートにより示唆された。そして、虹彩の大きさの変化が視線の読み取りに影響があると感じられたスコアが高かったことが図 5 より読み取れる。今回は虹彩の割合が半分の中(0.5)の設定のときから±0.3 で行っていたが、最も適した虹彩の大きさは他にも存在すると考えている。

## 5. おわりに

本研究では、VR 環境において、距離と眼球の虹彩の大きさの条件を変えることで、共同注視にどのような影響があるのかを調べる実験を行った。研究結果から以下の 3 点が明らかになった。第 1 に遠距離において、虹彩が大きいと瞳孔が見えづらくなり、視線を読み取ることに影響が生じる。第 2 に虹彩だけを大きくしても遠距離で共同注視する際に与える影響は少ない。第 3 に虹彩の大きさは全ての距離において注視点の推定精度に影響は与えない。以上の調査結果から、虹彩の大きさによる共同注視への影響はすくないと考えられる。

最後に、本研究の残された課題と今後の展望について主に 3 点書く。1 つ目の課題は HMD の映像が首の姿勢と連動して動く設定としたため、 3 DCG の眼球注視時に被験者の首の振り方が被験者間で一定ではなかったので、これが共同注視および正確さに影響を与えた可能性がある点である。2 つ目は、虹彩と壁の色が類似していたため、虹彩が視認し難くなり、本来の共同注視の状態が再現できていなかった可能性がある。3 つ目の課題は、今回の実験では瞳孔のサイズを一定にしていたので、次回の実験では瞳孔の大きさを変えて影響の度合いを調査する必要がある。これは、瞳孔の大きさが距離の条件において影響を与えるのかを明らかにする必要があるからである。最後に今後は瞳孔のサイズを変化させるだけでなく、虹彩の大きさと適切な瞳孔のサイズを見つけていく必要がある。

今後の実験設計（図 7）では、以上の課題を踏まえ、以下の 3 点を改良する。1 つ目は、HMD の動きに対して映像が連動しないよう設定を変更し、注視時の首振り角度の個人差による影響をなくす。2 つ目は、虹彩の視認性を高めるため、壁と眼球が重なる部分を透明化し、その透明部分にも被験者が印をつけられるようにする。これにより、壁全体を半透明にする必要がなくなる。3 つ目は、虹彩の色を明るめに調整し、瞳孔の視認性を向上させる。以上の改良を踏まえ、次回の実験を実施する予定である。

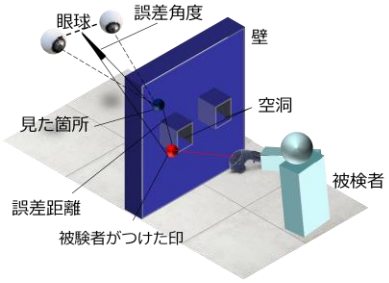



図 7：課題点をふまえた実験設計

## 参考文献

[1]ONUKI, Tomomi, et al. Designing robot eyes for communicating gaze. Interaction Studies, 2013, 14.3: 451-479.

[2]Argyle, M., & Dean, J. 1965 Eye-contact, distance and affiliation. Sociometry, 28, 289-304.

[3]米澤朋子, et al. 視線コミュニケーションのためのぬいぐるみの視線行動の設計と分析. 電子情報通信学会論文誌 D, 2009, 92.1: 81-92.

[4] OTSUKI, Mai, et al. ThirdEye: simple add-on display to represent remote participant's gaze direction in video communication. In: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2017. p. 5307-5312.

[5] 丸山啓太, et al. 眼球型立体ディスプレイを用いた視線誘導の評価. 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), 2017, 2017.26: 1-6.

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会