

MR空間における透過重畳表示手法の分析 — 仮想物体の不透明度が奥行き知覚に与える影響 —

中池 天音^{†1} 橋口 哲志^{†1}

龍谷大学 理工学部^{†1}

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality ; MR) では現実空間に仮想物体が実在するように配置できる。その特徴から空間アンカーなどによりレンダリング位置を正確に設定し、透過させた仮想物体を実物体に重畳表示することがある。この技術では実物体の内部に仮想物体が配置させているかのように見え、車体整備時などの現場で機能・構造の理解に役立つ[1]。

一方、この技術は正確に実物体と仮想物体の位置関係を設定しても、奥行きが正しく知覚されないという問題が発生する。先行研究ではこの問題の解決策として、描画の際に仮想物体を半透明にして重畳表示する手法が採用されている[2]。しかし、仮想物体の不透明度に焦点を当てておらず、その値によっては奥行き知覚に影響を与える可能性がある。

そこで、本研究では仮想物体の不透明度に注目し、まず仮想物体の不透明度が奥行き知覚に与える影響を予備調査する。次にその実験結果を踏まえ、実物体の条件として部分的に強調することで、不透明度変化が奥行き知覚に与える影響についても分析する。

2. 実験環境

本実験の実行環境を図1に示す。実験にはビデオシースルー型のヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) である VIVE Pro (HTC) を使用した。指定した場所に仮想物体を投影するためにベースステーション 2.0, VIVE トラッカー 3.0 を用いて、Unity で環境を構築した。また現実空間は視覚に均一性を持たせるために机や壁には黒幕、HMD で映される範囲には灰色の布を張り、映像ではその灰色の範囲のみが映されるようにして実験した[3]。不透明度の数値は 0 が完全に仮想物体が見えない状態、はっきりと描画され視認可能な状態の最大値が 255 となっている。

3. 予備実験

3.1 実験概要

予備実験では仮想物体の不透明度変化により奥行き知覚に変化が生じるかの調査を行った。

実験では実物体に黒と白の立方体の箱、仮想物体に灰色の球体を使用した (図2)。球体の不透明度を変更して箱の中に球体が存在するように知覚でき

るかを調査する。また口頭説明、図示等で参加者に判断の基準とした部分や見え方について質問・確認をした。参加者は裸眼、または眼鏡・コンタクト等により正常視力を持つ 17 名 (男性 13 名、女性 4 名) に対して行った。

3.2 実験結果

白箱、黒箱それぞれにおいて仮想物体の不透明度を変更した際、仮想物体が実物体の中に存在するように知覚した参加者の割合を図3に示す。実験参加者の人数に対し、白箱では 76.47%、黒箱では 88.24% と 7 割を超える参加者が箱の中に球体が存在すると知覚した。このことから、不透明度の変化により仮想物体を実物体の中に存在するように見せることは可能であるといえる。また、実物体の中に存在すると知覚出来なかった参加者からも不透明度の変化による奥行きの変化は報告された。

次に白箱、黒箱双方で球体が箱の中にあると知覚した参加者 12 名から得られた不透明度の回答を示した箱ひげ図である (図4)。図中の箱の上端の線は第一四分位数、中央の線が中央値、下端の線

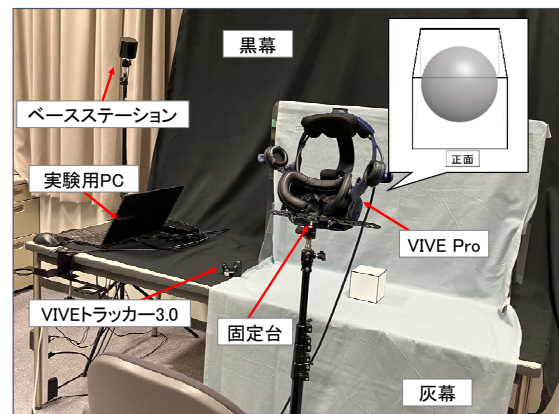


図1 実験システム

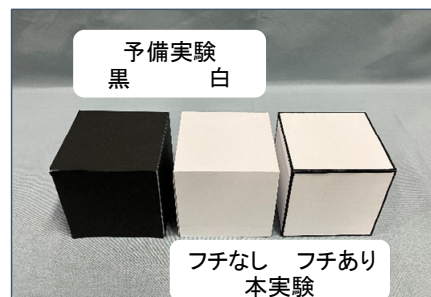


図2 使用した実物体

Analysis of Transparent Superimposed Display in Mixed Reality – The Effect of Virtual Object’s Opacity Variations on Depth Perception in Superposition Expression –

^{†1} Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

が第三四分位数となる，各データにおけるエラーバー下端は最小値，上端は最大値を表す．なお，平均値を×マーク，外れ値を白色の丸で図中に記載した．

不透明度の中央値は白箱 175.5，黒箱 73.5 となり，ウィルコクソンの符号順位検定より白箱と黒箱の有意水準 $P < .01$ で有意差がみられた．このことから，黒箱に比べ白箱の方が不透明度の値が高い場合でも知覚できることがわかる．また参加者の見え方に関する報告では，球体が箱内にあると感じるかを判断するための基準として箱の辺を基準にしていたという報告が多く挙げられた．そのほかにも，球体が箱内にあると感じなかった参加者の一部からは実物体の箱が立体物に感じず，平面的なものに感じたという意見や手前にある辺が奥にあるように感じるという意見，不透明度の値が下がっていくほど球体が斜め奥下方に沈んでいくという意見が得られた．

4. 本実験

4.1 実験概要

本実験では予備実験の結果を基に，白箱の辺を強調したもの（フチあり）と強調していないもの（フチなし）を用意した（図 2）．実物体の部分的な強調が仮想物体を正しい位置に知覚させるための不透明度の値の範囲に影響を与えるか分析した．見え方に関する質問・確認も予備実験と同様に行った．参加者は裸眼，または眼鏡・コンタクト等により正常視力を持つ 10 名（男性 6 名，女性 4 名）である．

4.2 実験結果

辺を強調した箱と強調していない箱における不透明度の結果を図 5 に示す．図中の箱ひげ図は予備実験と同様の表記である．参加者が箱内に球体があると知覚した不透明度は，ウィルコクソンの符号順位検定よりフチの有無で下限の場合に有意差はみられず，上限の場合では有意水準 $P < .05$ で有意差がみられた．このことから実物体の条件によっても不透明度の影響があることがわかった．

参加者見え方に関する報告では，予備実験と同じく不透明度が下がるほど球体が斜め奥下方に沈んでいく知覚をした者がいたほか，下限値の見え方では参加者によって様々な見え方が報告された．

5. 考察

予備実験で，箱に立体感を感じなかった，辺が奥にあるように感じたという意見があった．この理由としては，箱に対して正面の位置で映像提示していたことにより，遠近感を判断するための情報が少なかったためと考えられる．またネッカーの立方体と呼ばれる，辺が前部か後部の 2 つの解釈ができる錯視に近い現象が生じた可能性がある．本実験の結果としては実物体の辺を強調した方が知覚可能な範囲が大きくなった．参加者の中には強調されていない方が箱に入っているように感じ易いという意見や，不透明度が低くなった際の球体の捉え方にも違いが見られた．

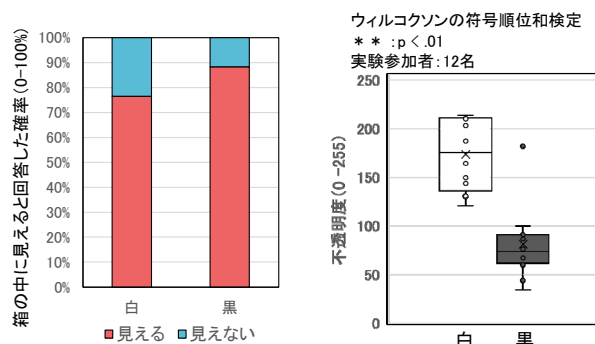


図 3 知覚可能な割合

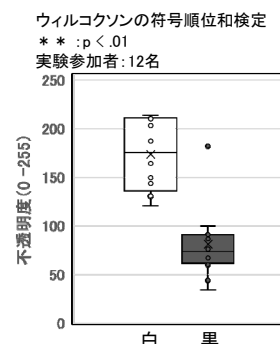


図 4 不透明度の結果

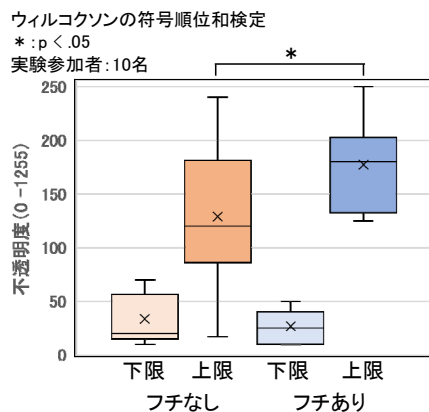


図 5 不透明度数値の結果

6. むすび

本研究では仮想物体の不透明度が奥行き知覚に影響を与えるのかの検証し，実物体の部分的強調により正しい奥行きを知覚できる不透明度数値に変化が生じるかについて調査した．結果として仮想物体の不透明度は奥行き知覚に影響を与え，実物体の強調は正しい奥行き知覚が可能な不透明度数値の範囲に影響を与えることを確認した．

今後の展望として，更なる条件追加による仮想物体の不透明度が奥行き知覚に与える影響の調査を実施する．今回は無彩色を使用した実験であったが，有彩色による遠近効果が不透明度数値に与える影響について調査を試みる．

参考文献

- [1] 志賀ら： “MR,AR,VR を応用した RAPN の経験”， Japanese Journal of Endourology and Robotics, Vol. 35, No. 2, pp. 203 - 209, 2022.
- [2] B. Avery et al: "Improving Spatial Perception for Augmented Reality X-Ray Vision," 2009 IEEE Virtual Reality Conference, 2009, pp. 79 - 82, 2009.
- [3] 市原ら： “視覚実験ガイドブック”， 朝倉書店, p. 320, 2017.