

令和 6 年 6 月 2 8 日現在

機関番号：3 2 6 2 9

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：2 0 K 1 9 8 5 2

研究課題名（和文）高臨場感を実現する複合現実空間の照明条件の検討と評価

研究課題名（英文）Evaluation of illumination for high presence material appearance in mixed reality

研究代表者

山添 崇（Yamazoe, Takashi）

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号：0 0 7 4 7 8 8 4

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000 円

研究成果の概要（和文）：複合現実環境において、評価刺激となる仮想物体と現実物体の差異を少なくし、照明も同様に、仮想光と現実の照明の配光および照度条件を同様に再現し、高臨場感を実現する照明条件の検討と評価を実施した。印象評価実験の結果、配光変化に応じた質感認知の印象変化が仮想条件と現実条件において、同様の傾向を示すことがわかった。その一方で、同じ配光条件でも仮想条件と現実条件では異なる質感の印象を形成していることがわかった。また現実の照明は、仮想物体の質感認知に影響を及ぼすことがわかった。本研究課題の遂行によって現実環境と仮想環境および複合環境における質感認知および臨場感・現実感の差異と類似性が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複合現実環境における照明条件が臨場感や質感認知に与える影響の検討と評価を実施した。本研究課題の実施により、照明が人間の認知に与える影響の一端が明らかとなったことで、違和感の少ない複合現実コンテンツやヘッドマウントディスプレイの開発に寄与することが可能である。また現実物体と仮想物体の双方の質感認知特性から現実空間と仮想空間のシームレスな複合を可能にする条件の一端が解明された。加えて、本研究課題の成果から画像処理や識字学習支援など、応用分野への発展につながる結果も得られた。

研究成果の概要（英文）：In mixed reality environments, Evaluation of Material appearance impressions were executed that constructed from lightings and stimuli differences were closed as possible among virtual objects and real objects. The evaluation conditions were setting from illumination distributions and material appearance (as macrofacet and macrofacet) combination on each virtual and real environment. The result of the presence impression evaluation, it suggest that the similar trends of impression changes of material appearance related from light distribution changes on both of under virtual and real conditions. On the other hand, it was found that impressions of material appearance were different from same light distribution condition on both of under virtual and real conditions. Moreover, result shows real lighting is influence to virtual objects impression. Through the research project, the differences and similarities in perception of material appearance and sense of presence were clarified.

研究分野：複合現実、視覚認知、認知科学、生理心理学、メディアデザイン

キーワード：複合現実 質感認知 照明 視覚 印象評価

### 1. 研究開始当初の背景

複合現実空間(Mixed Reality, MR)は、現実空間に映像情報が複合されることで、直感的に映像情報を操作でき臨場感をもたらし、正確性が要求される医療分野や直接体験の補完として教育分野での活用が期待されている。しかしながら、現在の MR の技術では、現実空間と映像情報である CG の間に見た目の大きな違和感が存在し、臨場感が感じられない問題が存在する。この違和感には主に質感の違いによって生じることが既に知られている。そこで、本研究課題では、MR における現実と CG の質感の違いを解消することを目的として、現実の空間の佇まいに応じて CG の質感や雰囲気と同調させ違和感の解消を図る手法の開発に取り組み、高臨場感を実現する MR 環境の構築手法を提案する。

### 2. 研究の目的

現実情報と映像情報の違和感を解消し高臨場感を実現するためには、現実情報と映像情報の質感を同調させることが必須である。本研究課題では、MR における、現実情報と映像情報の間に生じる違和感の解消と高臨場感の実現を、現実と映像の照明条件の一致によって質感を同調させることで、現実の空間の佇まいを映像内に再現する。現実の照明条件を反映した映像情報と現実情報を複合させた空間を被験者に体験してもらい、臨場感に関する主観評価と眼球運動計測による客観評価を行うことで、高臨場感を再現する MR 環境における照明条件を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

初年度は、印象評価に用いる質感刺激の検討と作成を実施した。仮想刺激と実物刺激の質感を可能な限り近づけるために、3D データからマクロファセットを付与したオブジェクトを作成しマクロファセットのみの仮想刺激を作成した。実物刺激は、仮想刺激のデータから、3D プリンタで出力し実物刺激を作成した。その後、3D プリント出力物である実物刺激に、マイクロファセットの加工を施し、実物刺激に質感を付与した。質感を付与した実物刺激は、BRDF の計測を行った。BRDF の計測データからマイクロファセットを仮想刺激に加え、仮想刺激に質感を付与した。この手法により、仮想刺激と実物刺激の質感を可能な限り近づけた。

2 年目は、光学シースルー型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて MR 空間での質感の印象評価実験環境の構築を実施した。予備実験を実施した結果、質感の印象を正確に評価するにあたって、質感以外の視覚要素との切り分けが重要となることがわかった。そこで質感とその他の視覚要素との相互作用を検証する評価実験を行った結果、質感以外の視覚要素である、形状、色相、明るさ、大きさなどの要因が観察刺激に複合すると同一照明条件下であっても刺激の色相と明るさが質感認知に影響を及ぼすことがわかった。加えて、実験参加者が MR 空間に不慣れであることが多く、わかりやすいユーザーインターフェースが必要である知見も予備実験から得られた。

3 年目は、質感の評価に必要な照明環境の構築と評価項目の検討を実施した。一般的な室内の照度である約 300lx を保ちながら、拡散度の高い条件から、指向性の高い条件まで、フレキシブルに照明光の配光条件を設定できる大型の照明装置を製作した。照明の拡散度および照度を計測し検証した結果、実験実施に必要な十分な照明条件を設定できる状態であることを確認した。質感刺激の再現にあたり、マテリアルスキャナーの計測から、より精度の高い BRDF とディスプレイメントマップを得られたため、仮想刺激に BRDF とディスプレイメントマップを付与し、より現実物体に近い仮想物体の質感を再現し、アップデートを実施した。

最終年度は、質感刺激、照明環境、MR 環境を用いて、複合現実環境における臨場感と質感認知に関する印象評価実験を実施した。現実環境、仮想環境においても観察時の台座の影響を最小限とする

ために質感刺激を設置する台座をマット黒色かつ設置に必要な最小限の体積となるように制作し直した。印象評価の各条件、質感刺激はマクロファセットとマイクロファセットを組み合わせ 4 条件、照明の拡散度は天然光源に近い条件と高拡散条件、高指向性条件の 3 条件の合計 12 条件とした。この 12 条件を現実の質感刺激・現実の照明、仮想環境の質感刺激・現実の照明、仮

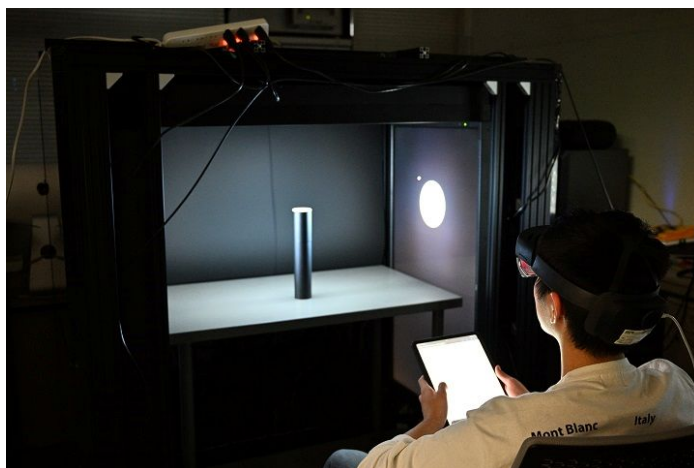


図 1 複合現実環境における印象評価

想環境の質感刺激・仮想環境の照明質感の 3 環境にてリッカート尺度を用いた質感に関連する 13 項目の内容を評価する印象評価実験を実施した。(図 1)

#### 4. 研究成果

初年度の視覚刺激の検討から、高品質な質感データの格納手法の提案と、質感が一時記憶に及ぼす影響についての知見を得た。これらの知見から、グレースケールのオブジェクトに BRDF 計測から質感を付与し再現することが仮想物体と現実物体の差異を減じることが可能であることがわかった。

2 年目の光学シースルー型 HMD を用いた MR 環境の構築から、MR 環境において、質感刺激の観察に集中しやすく、わかりやすい MR 環境のインターフェースに関する知見を得た。実験参加者は MR 空間に不慣れであることが多く、MR 空間における、わかりやすいインターフェースは、言語要素を持つインタラクションの方が、非言語要素を持つインタラクションよりわかりやすいことがわかった。

3 年目の照明環境の構築の構築と評価方法の検討から、機械学習を用いた印象評価の推定手法に関する知見を得た。機械学習を用いた印象評価の推定手法の検証から、7 件法の印象評価に加えて、短文形式による回答を併用することで印象評価の精度が向上することがわかった。また、MR 環境と質感認知のそれぞれを用いたディスレクシアへの識字学習支援方法に関する知見を得た。

最終年度の複合現実環境における臨場感と質感認知に関する印象評価を実施した結果、刺激と照明の組み合わせによって、自然さの印象が異なることがわかった。(図 2) 加えて仮想物体は、マクロファセットの状態と仮想照明と現実照明の照射条件によって、自然さの印象が異なることがわかった。これらのことから、マクロファセットの印象が現実環境と仮想環境では異なるだけでなく、双方を組み合わせた場合もさらに異なる印象を形成していることがわかった。

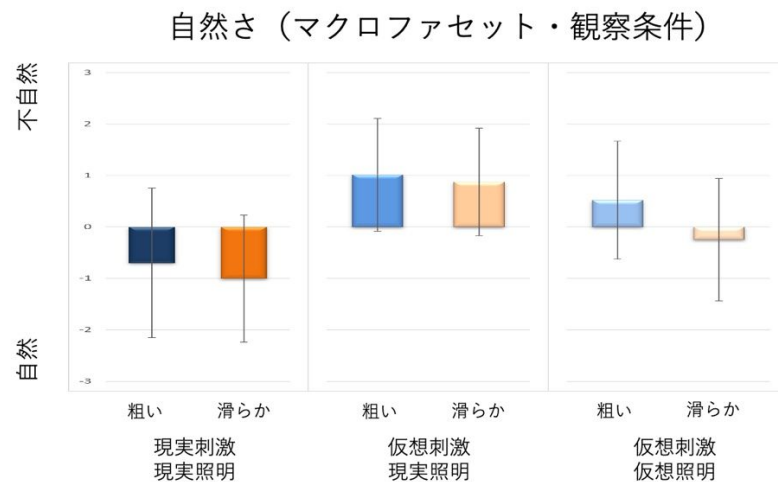


図 2 現実感の印象

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kotoko Hiraoka, Kensuke Fukumoto, Takashi Yamazoe, Norimichi Tsumura, Satoshi Kaneko, Wataru Arai, Shoko Imaizumi	4. 巻 1141(2)
2. 論文標題 Application of Reversible Data Hiding for Printing with Special Color Inks to Preserve Compatibility with Normal Printing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 155-162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejeiss.141.155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 YAMAZOE Takashi, TANG Jinyu, INOUE Gin, SUGIYAMA Kenji	4. 巻 E106.A
2. 論文標題 A Luminance Expansion Method for Displaying HDR Video in SDR Display	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1220 ~ 1223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2022iml0005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yamazoe, Haruka Kajita, Yuzuki Omote, Kenji Ssugiyama	4. 巻 vol.11
2. 論文標題 Takashi Yamazoe, Haruka Kajita, Yuzuki Omote, Kenji Ssugiyama	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of The Eleventh International Workshop on Image Media Quality and its Application	6. 最初と最後の頁 70-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuzuki Omote, Yuki Okada, Kenji Sugiyama, Takashi Yamazoe	4. 巻 vol.11
2. 論文標題 Influence of material appearance on working memory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of The Eleventh International Workshop on Image Media Quality and its Applications	6. 最初と最後の頁 64-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yamazoe, Hanae Ikeshita	4. 巻 Vol.30
2. 論文標題 Takashi Yamazoe, Hanae Ikeshita	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL DISPLAY WORKSHOPS Vol. 30	6. 最初と最後の頁 1379~1382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Yamazoe, You Kanda, Kenji Sugiyama, Aya Kato, Takaya Saito, Masayuki Ouchida, Sayu Itakura, Midori Matsui, Miho Yamaguchi, Jin Zilin, Rino Nimonji, Saeko Kishi, Kohei Shimizu	4. 巻 vol.12
2. 論文標題 Motion blur affect to motion sickness at unmanned aerial vehicle maneuver	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Twelfth International Workshop on Image Media Quality and its Applications	6. 最初と最後の頁 860~91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 表 柚希, 杉山, 賢二 山添 崇
2. 発表標題 印象に関する回答文と機械学習を用いた質感評価の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 122(100) IMQ2022-10, pp.31-36
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井 彩果, 杉山, 賢二, 池下, 花恵, 山添 崇
2. 発表標題 ディスプレイの質感認知特性の評価と検証
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 122(244) IMQ2022-14, pp.17-20
4. 発表年 2022年

1．発表者名 表 柚希，杉山，賢二 山添 崇
2．発表標題 短文形式の画像主観評価とBERTを用いた印象評価の推定
3．学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 122(437) IMQ2022-58, pp.188-191
4．発表年 2023年

1．発表者名 表柚希，梶田悠，杉山賢二，山添崇
2．発表標題 MR 空間におけるわかりやすい インタラクションの検討
3．学会等名 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会
4．発表年 2022年～2023年

1．発表者名 山添 崇 ， 御船 大河 ， 杉山 賢二
2．発表標題 視覚情報の基本特性が一時記憶に及ぼす影響
3．学会等名 電子情報通信学会 イメージクオリティ研究会 IMQ2020-20
4．発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	杉山 賢二  (Sugiyama Kenji)	成蹊大学・理工学部・教授	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	池下 花恵  (Ikeshita Hanae)  (50709847)	相模女子大学・学芸学部・教授	
研究協力者	清水 恒平  (Shimizu Kohei)	武蔵野美術大学・造形学部・教授	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------