

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19784

研究課題名（和文）VRを用いた環境的文脈の操作による記憶定着支援の研究

研究課題名（英文）Research on Memory Support through Manipulation of Environmental Context Using Virtual Reality

研究代表者

葛岡 英明（Kuzuoka, Hideaki）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：10241796

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、VR特有の環境的文脈を与える要素を(1)バーチャル環境、(2)他者アバター、(3)自己アバターの3つとして整理し、それぞれが記憶に与える影響を検証した。具体的には、記憶の環境的文脈依存性によって起こる代表的な効果として、記銘時と同一の環境的文脈のもとでは想起が促進されるという復元効果と、多様な環境的文脈のもとで記銘することで保持成績が向上するというマルチ文脈効果を調査し、VR体験における記憶の環境的文脈依存性を理解する研究を実施した。その上で、それぞれの特性を活かした記憶支援手法のための環境的文脈の設計法や活用上の注意点をとりまとめ、複数の記憶支援手法を提案してその有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、VRを活用することでこれまで現実世界での実験では統制することが難しかった環境的文脈情報を統制可能な実験系を実現し、特に自己や他者の外見の影響という全く新しい観点から環境的文脈記憶研究に新規性の高い知見を提供した点で学術的意義は高い。また、教育やトレーニング分野においてメタバースの活用が進められる中で、メタバースならではの効率的な学習方法を提案した点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we organized the factors that provide VR-specific environmental context as (1) virtual environment, (2) other avatar, and (3) self-avatar, and examined the effects of each on memory. Specifically, we investigated the reinstatement effect, in which recall is enhanced under the same environmental context as at the time of memorization, and the multiple context effect, in which retention performance is improved by memorization under a variety of environmental contexts, as representative effects caused by the environmental context-dependence of memory in the VR experience. We then summarized the design method of the environmental context for memory support methods that take advantage of the characteristics of each factor and points to note when utilizing them, and proposed multiple memory support methods and demonstrated their effectiveness.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ 環境的文脈 文脈依存記憶 アバター マルチ文脈効果 視覚的忠実度 遠隔講義

1. 研究開始当初の背景

記憶は、記銘(外部刺激を意味づけして記憶すること)、保持(記憶を保存すること)、想起(保存された記憶を思い出すこと)の三過程に分けられる。従来の記憶研究の蓄積は、これら全ての過程に環境的文脈が重要な役割を果たすことを明らかにしてきた。環境的文脈とは、エピソード記憶(個人が経験した出来事に関する記憶)を構成する要素のうち、記憶対象となる情報と同時に知覚される周囲の環境情報のことであり、エピソードが起こった場所の風景や環境音、匂い、その場にいた他者等を含む。環境的文脈の効果として、記銘時と同一の環境的文脈下では想起が容易になることや、多様な環境的文脈下で記銘を行うと保持成績が向上することが知られている(Smith & Vela, 2001)。

他方、実世界で環境的文脈を変えるには多大な労力や時間を要するため、記憶研究の知見を活かした記憶支援手法が日常的に利用されることは少ない。応募者らは、低コストかつ自由に環境的文脈を操作可能な VR を活用すれば、例えば環境的文脈を最適に変えながら記銘することで現実での学習以上の保持成績を実現できる等、記憶研究の知見を最大限活用した効果的な記憶支援手法を実現・実用化できると考えた。この発想から、応募者らは VR で与える環境的文脈下での記銘が現実の環境的文脈下での想起に与える影響を調査した(瑞穂ら, 2020)。VR 環境 A で学習し現実環境 C でテストを行った場合と現実環境 B で学習し現実環境 C でテストを行った場合を比較した結果、現実環境 B で学習した条件の方が想起成績が高かった。別グループの類似研究も、VR で環境的文脈を与えて記銘した場合、VR での想起は容易になるが、現実での想起には影響しないか悪影響を与えると示唆している(Lanen & Lamers, 2018)。応募者らはこの原因を、VR 内で行われる記憶活動には「これは VR 体験である」という心的文脈が強く影響したためと推測し、その要因を特定して排除可能にすることで、現実での想起にも有効な VR 記憶支援手法を実現することを考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、記憶に強い影響を与える環境的文脈としてのバーチャルリアリティ(VR)環境の効果を明らかにした上で、VR の特性を活用した効果的な記憶支援手法を実現することである。本研究では、(i)特に環境的文脈としての現実と VR を分かつ要因を特定することを中心に、記憶に影響する環境的文脈としての VR 環境の特性を明らかにした上で、(ii)VR の特性を活用することで現実での学習以上に効果的な記憶を行える記憶支援手法を実現することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、(i)として、VR 特有の環境的文脈を与える要素を(1)バーチャル環境、(2)他者アバタ、(3)自己アバタの 3 つであると整理した上で、それぞれが記憶に与える影響を検証した。具体的には、記憶の環境的文脈依存性によって引き起こされる代表的な効果として、記銘時と同一の環境的文脈のもとでは想起が促進されるという復元効果と、多様な環境的文脈のもとで記銘することで保持成績が向上するというマルチ文脈効果を調査することを通じて、VR 体験における記憶の環境的文脈依存性を理解する研究を実施した。その上で、(ii)としてそれぞれの効果の特性を活かした記憶支援手法を提案し、本研究や関連する研究で得られた知見を整理し、VR を活用した記憶支援手法のための環境的文脈の設計法や活用上の注意点をとりまとめた。

4. 研究成果

(1) 環境的文脈としてのバーチャル環境と記憶

バーチャル環境が環境的文脈として記憶に与える効果については、世界の他の研究者ら(Shin et al., 2021; Wälti et al., 2019 など)も本研究と同時期から調査を開始しているが、一貫した成果が得られていない現状にある。本研究では、一貫した成果が得られていない原因は、すべての先行研究が 3DCG のバーチャル環境を使用してきたことに由来する可能性があると考え、実写 360 度映像を用いた新規の検証をおこなった。先行研究で用いられているような、現在一般に利用可能な水準の 3DCG バーチャル環境は、写実度や親和性(慣れ親しんだ風景であるか)が低く、このことが実環境と同等の認知活動の発現を妨げていた可能性がある。他方、360 度映像を用いれば、実際の風景を切り取って使用することで高い写実性と親和性を確保することができ、VR における記憶の環境的文脈依存性の検証に適していると考えた。

360 度画像を用いた実験(瑞穂ら, 2021)、360 度動画をを用いた実験(瑞穂ら, 2022, 2023, 2024)を実施し、記憶の環境的文脈依存性に関する代表的な効果である復元効果とマルチ文脈効果を検証した。参加者は、VR 環境内で単語リスト(日本語名詞のセットや外国語-日本語のペアなど)を記銘し、インターバルのあと、再びバーチャル環境に没入し想起テストを受けた。結果、本研究で実施したすべての実験で、統計的に有意な復元効果は確認することが出来なかった。先行研究らと本研究成果を踏まえると、VR 体験においては復元効果が生起しないか、検出が容易でないほど小さい可能性が示唆された。この原因は、「VR を体験している」というメタ認知的な文脈の一致が、HMD を通じて操作される視聴覚情報に基づく環境的文脈変化を打ち消し、復元効果

を弱めている可能性がある。しかし、この仮説を裏付ける成果は現在のところまだ得られておらず、今後取り組むべき課題である。他方、マルチ文脈効果を検証した実験（瑞穂ら，2024）（図1）では、多様なバーチャル環境のもとで繰り返し記録することによる有意な記憶定着効果が認められ、世界で初めて VR を用いたマルチ文脈効果を確認することが出来た（図2）。同実験では、VR 体験の主観的な没入度の指標であるプレゼンスと、VR における記憶の環境的文脈依存性との関係についても調査を試みた。プレゼンスは、バーチャル環境に対する空間的認知の働きによって生起する感覚であり、海馬の働きに依存していることが分かっており、同じく海馬で処理されているエピソード記憶とも密接な関係があることが示唆されている（Smith, 2019）。しかし、今回の実験ではプレゼンスと記憶の関係は明らかにならなかった。この点については、今後引き続き調査すべき重要な課題として認識している。

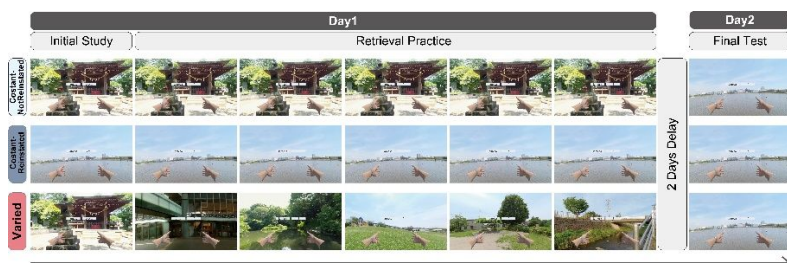


図1 バーチャル環境を変化させた際のマルチ文脈効果の検証

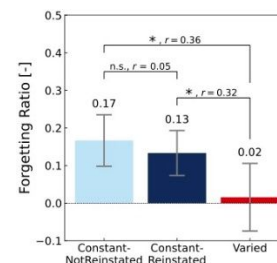


図2 各条件での忘却率

総合すると、本研究では実写 360 度映像を用いた写実度の高いバーチャル環境を用いた検証を実施したが、3DCG を用いた先行研究と同様に、バーチャル環境は VR 体験における記憶の環境的文脈依存性に当初想定されたよりも強い効果を持たない可能性が示唆された。しかし、本研究では、初めて多様なバーチャル環境のもとで記録することによる記憶定着効果を確認することが出来た。この成果は、参加者が実際には同じ場所にいるにも関わらず、VR 技術を用いてあたかも多様な場所へ行ったかのような体験を与えることで、移動なしで記憶支援効果を楽しむことを示唆したという点で、VR 特有の新たな記憶支援手法を明らかにした。

バーチャル環境が環境的文脈として記憶に与える効果については、前述したような VR 環境で覚え VR 環境で想起する場合以外に、VR 環境で覚えて実環境で想起する場合やその逆のシチュエーションも考えられる。先行研究では、バーチャル環境から実環境へ、または実環境からバーチャル環境への環境的文脈変化が忘却を引き起こすことが分かっている（Lamers & Lanen, 2021）。本研究では、このバーチャル環境と実環境を行き来することによる文脈依存忘却を解決することを目的として、バーチャル環境の視覚的忠実度を操作した検証を実施した。

本実験では、数百枚の写真から高精細なテクスチャ情報を再現した 3DCG バーチャル空間を生成できるフォトグラメトリ技術を活用して、視覚的な忠実度が高いバーチャル環境を作成し、検証を行った（Mizuho et al., 2023）（図3）。比較条件として、テクスチャ情報を削除し、空間形状もプリミティブなオブジェクト（直方体など）で置き換えた低忠実度のバーチャル環境も用意した。検証の結果、バーチャル環境の視覚的忠実度は、VR 体験の主観的没入度（プレゼンス）を有意に向上させたものの、文脈依存忘却に与える効果は明らかとならなかった。今回の検証では、単語リストの記録から想起テストまでのインターバルが数分程度と短かった。しかし、1日や1週間といった睡眠を挟むようなインターバルを用いた場合、強い記憶の文脈依存性が確認されやすいことが示唆されているため（Smith & Vela, 2001）、今後はより長期のインターバルを採用した実験も実施したいと考えている。

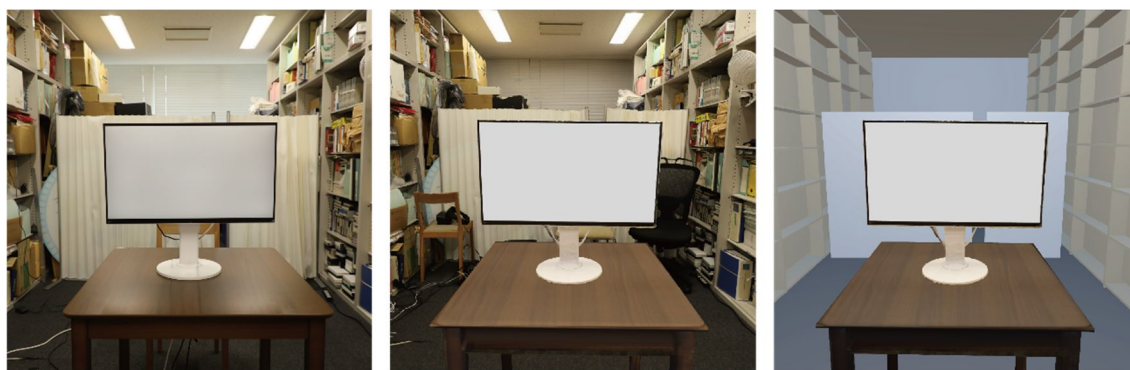


図3 実験で用いた環境（左：実環境，中央：フォトグラメトリ CG 環境，右：低忠実度環境）

我々の知る限りでは、VR と実環境の行き来に伴う文脈依存忘却を扱った研究は Lamers & Lanen (2021) に続き、本研究で2例目である。本研究では新しくバーチャル環境の視覚的忠実度

が文脈依存忘却の原因の一つである可能性を明らかにしようと試みたが、顕著な効果は認められなかった。VR で学習したことが実環境では発揮できないという Transfer 課題に関しては、VR を使った教育やトレーニングの分野でよく知られる課題である (Smith, 2019)。この Transfer 問題を解決するために、記憶の環境的文脈依存性という観点には有意義であると考えており、今後とも様々な角度から調査を継続したいと考えている。

(2) 環境的文脈としての他者アバタと記憶

実環境における先行研究では、環境的文脈として記憶に影響を与える要因には、場所だけでなく、そのとき周囲に誰がいたかといった社会的な要因も含まれることが示唆されている。しかし、実環境において他者の外見や振る舞いを完全に統制することは難しく、したがって研究例は限られており、他者が記憶の環境的文脈依存性に与える影響については解明されていない。本研究では、VR 技術を用いれば他者をエージェントやアバタといった形式で表現することができ、その外見や振る舞いをコントロールした実験によって、社会的要因が環境的文脈として記憶に与える効果を調査できると考えるに至った。VR 分野にとっても、通信技術の発展に伴って、メタバースのようなバーチャル空間上で他者と交流する機会が増加しており、バーチャル環境における他者が我々の記憶に与える影響を調査することは有意義な取り組みである。

本研究では、手始めに、スクリーン上のバーチャルキャラクタ (アバタ) が環境的文脈として記憶に与える効果を検証した。まず、遠隔講義における講師の見た目をアバタに変換し、アバタの切り替えが学生の記憶に与える影響を調査するフィールド実験を実施した (Mizuho et al., 2023; 瑞穂ら, 2024)。学生の半数は、講義全体を一種類の講師アバタ (レッサーパンダアバタ) で講義され、もう半数の学生は講義の 4 分の 1 ずつ、相異なる外見の講師アバタ (レッサーパンダ、エイリアン、ヒト、ロボット) から講義を受けた (図 4)。講義直後に講義内容に関する短答式テストを実施し、正答率を比較した結果、多様な講師アバタを用いた条件において単一の講師アバタを用いた条件よりも有意に記憶成績が向上することが示唆された (図 5)。このフィールドスタディの成果を裏付けるために、スクリーン上のバーチャルアバタが単語リストを読み上げる記憶タスクを用いて、より統制の取れたオンライン実験も実施した (瑞穂ら, 2022)。その結果、多様な他者アバタを用いることによる記憶支援効果は再現されなかった。この理由については、遠隔講義における講師アバタと違って、単なるスクリーン上のバーチャルキャラクタは出来事の中心的な役割を担っておらず、記憶に与える効果が小さかった可能性がある。また、ヒトアバタを用いた条件が他のアバタを用いた条件よりも記憶成績が高い傾向が観察されており、このことが交絡となって、意図した記憶支援効果の検出を阻害した可能性が考えられた。

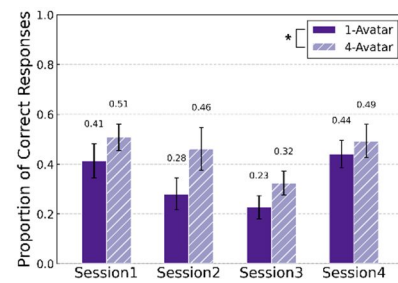
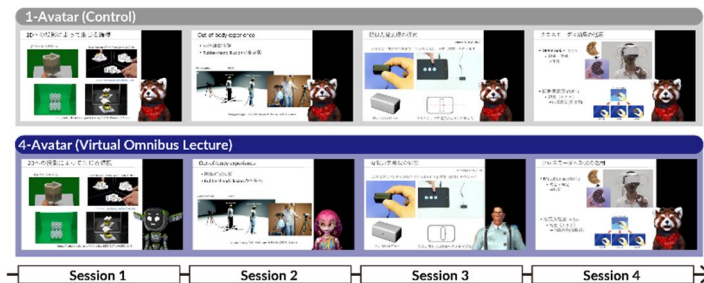


図 4 教師のアバタ外見を切り替えた際の効果を検証する実験 図 5 セッションごとの正答率

以上のように、本研究ではスクリーン上の他者アバタが記憶の環境的文脈依存性に与える効果を調査した。本研究の段階では一貫した成果は得られていないが、従来の実環境では検証が困難であった、“他者”という要因について VR 技術を用いることによって調査を開始したことは重要な貢献であったと考えている。現在は、HMD を用いた没入型バーチャル環境における他者アバタの効果を調査する研究も実施中である。スクリーン上のキャラクタよりも高い社会的存在感 (social presence) が知覚されることが期待され、その分記憶への影響も強く確認される可能性がある。

(3) 環境的文脈としての自己アバタ (セルフアバタ) と記憶

VR 体験における自分の身体であるセルフアバタが、環境的文脈として記憶に与える効果を検証した。セルフアバタは、ユーザの知覚や認知に様々な効果を及ぼすことが分かっており、VR 体験における主要な要素の一つである。特に、セルフアバタは VR 体験における記憶の土台的な役割を果たしている可能性があることが先行研究によって示唆されている (Iriye & Ehrsson, 2022)。実環境では自分の身体は一意であり、先行研究で環境的文脈として捉えられたことはなかった。したがって、セルフアバタが記憶の環境的文脈依存性に与える効果を調査することは VR 特有のアプローチであり、本研究が初めて明らかにする領域である。

実験では、手話のジェスチャを覚える記憶課題を用いて、多様なセルフアバタを使用して反復学習する条件と、単一のセルフアバタを用いて反復学習する条件を参加者間比較した (図 6)。想起テストは、記録から 1 週間後に実環境において、覚えた手話を実身体を動かして回答すると

いうものであった。まず、反復学習中の記憶成績を比較した結果、単一のセルフアバタを用いた条件の方が、早く学習が進むということがわかった(図7: RP1-RP5)。これは、セルフアバタの一致が復元効果を引き起こし、想起が促進されたことを示唆している。また、1週間後のテストでは、多様なセルフアバタを用いた条件の方が、想起成績が有意に高かった(図7: FT)。これは、セルフアバタを切り替えることで多様な環境的文脈のもとで学習した経験が与えられ、マルチ文脈効果に基づく記憶定着効果が得られたことを示唆している。加えて、質問紙を用いて、セルフアバタが自分の身体であるかのように感じる程度(身体所有感)や、セルフアバタの動作が自分自身の動作のように感じる程度(行為主体感)を計測し、身体所有感が高いほど得られる記憶定着効果が高い可能性についても考察した。



図6 セルフアバタを変化させて手話を覚える実験

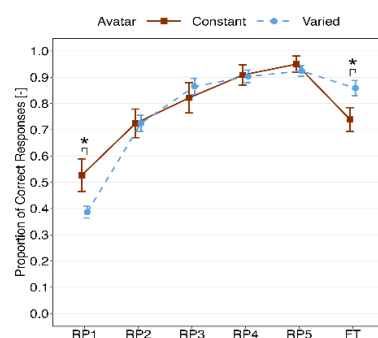


図7 学習中・学習後の正答率

以上より、本研究ではセルフアバタが復元効果およびマルチ文脈効果を生起することが明らかとなり、セルフアバタはVR体験における記憶の環境的文脈依存性にとって強い効果を持つ要因であることが示唆された。自分の身体を編集するというVR特有のアプローチによって、実環境とは異なる、VR体験における記憶の環境的文脈依存性について理解を推し進めることが出来た。加えて、学習中のセルフアバタを様々に切り替えることによって得られる記憶支援効果は効果量が大いことが示された。このことから、本研究で用いた手話学習のような身体動作を介した教育やトレーニングにも応用可能であると考えており、VRおよびセルフアバタを使った、幅広い学習において使える新しい記憶支援のアプローチを提案することが出来たと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	4. 巻 29
2. 論文標題 Effects of the Visual Fidelity of Virtual Environments on Presence, Context-dependent Forgetting, and Source-monitoring Error	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 2607 - 2614
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVCG.2023.3247063	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 瑞穂嵩人, 鳴海拓志, 葛岡英明	4. 巻 27
2. 論文標題 実写360度動画とセルフアバタを用いた環境的文脈操作が自由再生および時間評価に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 311-321
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.27.4_311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 鳴海 拓志	4. 巻 -
2. 論文標題 自己変容のためのVR/AR/MR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会誌	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 鳴海拓志	4. 巻 -
2. 論文標題 対面を超えるオンラインコミュニケーションの可能性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 研究開発リーダー	6. 最初と最後の頁 52-57
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 無
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 瑞穂 高人、鳴海 拓志、葛岡 英明	4. 巻 26
2. 論文標題 VRにおける記録 想起問の環境的文脈変化が自由再生に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 187 ~ 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.26.3_187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 瑞穂高人, 雨宮智浩, 鳴海拓志, 葛岡英明	4. 巻 29
2. 論文標題 Virtual Omnibus Lecture: 多様な講師アバタを使った遠隔講義が学生の記憶に与える効果	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takato Mizuho, Takuji Narumi and Hideaki Kuzuoka	4. 巻 -
2. 論文標題 Reduction of Forgetting by Contextual Variation During Encoding Using 360-Degree Video-Based Immersive Virtual Environments	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVCG.2024.3403885	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 瑞穂高人, 鳴海拓志, 葛岡英明
2. 発表標題 モニタ上の3Dアバタによる環境的文脈操作を用いた記憶支援手法の効果
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takato Mizuho, Tomohiro Amemiya, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka
2. 発表標題 Virtual Omnibus Lecture: Investigating the Effects of Varying Lecturer Avatars as Environmental Context on Audience Memory
3. 学会等名 Augmented Humans (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鳴海拓志
2. 発表標題 身体変容がもたらす無意識的/意識的自己変容, 無意識の知性研究会
3. 学会等名 無意識の知性研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鳴海拓志
2. 発表標題 アバタによる自己の拡張とウェルビーイング
3. 学会等名 多感覚・空間・感性共有のインタラクション技術で創造するウェルビーイングな未来社会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鳴海拓志
2. 発表標題 アバターによる身体拡張が変える人間と社会
3. 学会等名 マルチメディア推進フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳴海拓志
2. 発表標題 アバタの生態系 われわれはどこから来てどこへ向かうのか
3. 学会等名 バーチャル学会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳴海拓志
2. 発表標題 VR・メタバースが変える私・空間・社会
3. 学会等名 日本建築学会 DXシンポジウム 私たち・建築・都市をつなぐ最先端XR (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瑞穂 高人, 鳴海拓志, 葛岡英明
2. 発表標題 360度動画VRを用いた環境的文脈操作が対連合学習に与える影響
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takato Mizuho, Takuji Narumi, and Hideaki Kuzuoka
2. 発表標題 Exploratory Study on the Reinstatement Effect Under 360-Degree Video-Based Virtual Environments
3. 学会等名 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) (国際学会)
4. 発表年 2023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 分担 者	鳴海 拓志 (Narumi Takuji) (70614353)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授 (12601)	

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
---------	---------