

メタバース内避難訓練の提案と試作システム

光原 弘幸^{*1}, 谷岡 樹^{*2}, 大江 海斗^{*2}, 市野 有朔^{*3}, 長濱 誠弥^{*3}, 獅々堀 正幹^{*1}

^{*1} 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

^{*2} 徳島大学大学院創成科学研究科

^{*3} 徳島大学理工学部理工学科

Proposal and Prototype System of Evacuation Training in Metaverse

Hiroyuki MITSUHARA^{*1}, Itsuki TANIOKA^{*2}, Kaito OE^{*2}, Yusaku ICHINO^{*3}, Seiya NAGAHAMA^{*3}, Masami SHISHIBORI^{*1}

^{*1} Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University

^{*2} Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Tokushima University

^{*3} Faculty of Science and Technology, Tokushima University

Metaverse is being used for various fields including education. Focusing on the positive integration of metaverse and disaster education, we propose Evacuation Training in Metaverse (ETM) and prototype a ETM system. In addition to fundamental metaverse functions (e.g., simultaneous access by many users), the ETM system provides evacuation training functions: (1) suddenly a disaster occurs in the metaverse (3D virtual world) and an evacuation training begins, (2) disaster situations are expressed based on a scenario focusing on situational and audiovisual realities, (3) non player characters are generated (displayed) during the evacuation training, and (4) an opportunity for users to reflect on their evacuation (training) is provided after the evacuation training. The ETM system, prototyped using Unity and Photon, is supposed to be mainly used with head mounted displays such as Meta Quest 2.

キーワード: メタバース, バーチャルリアリティ, 避難訓練, 防災教育

1. はじめに

近年, メタバース (Metaverse) に注目が集まっている. メタバースは広義には, 複数のユーザが仮想空間で交流できるシステムやサービスであり, ソーシャルなバーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) とも位置づけられる. 初期のメタバースとして代表的な Second Life は 2000 年代初頭にサービスを開始しており, その後のヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) の高度化や普及などに伴って, メタバースはさまざまな分野に応用され社会へ浸透しつつある⁽¹⁾. Second Life が教育分野で積極的に議論され実践されてきたこともあり⁽²⁾⁽³⁾, 課題や論点の

整理が必要な段階ではあるが, メタバースの教育分野への応用は有望といえる⁽⁴⁾⁽⁵⁾. 例えば, 3D 教室空間において他学習者 (仮想エージェントも含む) との協同学習を実現するメタバース⁽⁶⁾や, 実在の大学キャンパスを緻密に 3D モデル化し没入感の高い講義を提供するメタバース⁽⁷⁾もある. さらに, VRChat や Cluster などの主要なメタバースプラットフォームがセミナー等の教育的用途で活用されることも多い. 新型コロナウイルスなどに起因する社会変容によって遠隔教育がより身近なものになる中で, メタバースはその没入感やインタラクティブ性の高さなどから遠隔教育の新形態として期待されている.

このような背景から, 本研究はメタバースの防災教

育への応用を扱う。防災教育にはさまざまあるが、本研究では、防災教育として身近な避難訓練に焦点を当てる。安全な環境下で避難を疑似体験できる避難訓練 VR の事例は多い。例えば、病院を対象とした地震避難訓練 VR が開発され、参加者の避難時の行動遷移が分析されている⁽⁸⁾。テロリズム（銃撃）を題材にしたシリアスゲーム VR では、避難も含めた生存のための知識に加え自己効力感や学習意欲の向上も確認されている⁽⁹⁾。複数人が同時に仮想空間内を避難できる VR もあり、他者や仮想エージェントとコミュニケーションをとりながら避難するという疑似体験を提供している⁽¹⁰⁾。本研究ではこれまで、どのようなメタバース内避難訓練を実現すべきか検討を重ねてきた⁽¹¹⁻¹³⁾。

本稿では、メタバース内避難訓練について、要件を示しながら提案し、試作システムを概説する。

2. メタバース内避難訓練の提案

メタバースはさまざまな技術から構成され、社会にさまざまな影響を及ぼすことから、その定義は必ずしも確立されていない。2011年時点での学術的な定義のひとつとして、

- ① 3次元のシミュレーション空間（環境）を持つ
- ② 自己投射性のためのオブジェクト（アバタ）が存在する
- ③ 複数のアバタが、同一の3次元空間を共有することができる
- ④ 空間内に、オブジェクト（アイテム）を創造することができる

が示されている⁽¹⁴⁾。

本研究では、“避難訓練メタバース”ではなく、“メタバース内避難訓練”の実現をめざしている。これは、「避難訓練するためのメタバース」ではなく、「避難訓練はメタバース内でのイベントのひとつに過ぎない」という立場を意味している。したがって、避難訓練を意識しながら上記①～④を満たすメタバースを構築した上で、避難訓練機能を追加実装していく。

2.1 構築するメタバースの要件

上記①～④に対応する形で、構築するメタバースの要件を示す。

- (1) 現実世界をできるだけ忠実に3次元仮想空間化する

る（①に対応）

通常、避難訓練は参加者の生活圏内（例えば、学校や職場）で発生しうる災害を想定したものになる。もちろん生活圏外で災害に遭遇する可能性はあり、生活圏外（例えば、訪れる予定のある地域）で実施される避難訓練に参加するのが理想的ではあるが、現実的ではない。一方、メタバースは地理的・時間的制約を超えたアクセスを可能にするため、現実世界のさまざまな地域が忠実に3次元仮想空間化されれば、どのユーザもそこでの避難訓練に参加でき、実際の避難場所や経路を覚えることにつながる。よって、本研究では、架空世界ではなく現実世界を3次元仮想空間化して提供する。

ここで、現実世界の特徴を反映させて避難訓練に最適化した架空世界を提供すればよいのではないかと考えられる。例えば、典型的な木造家屋密集地帯を3次元仮想空間化し、地震や火災時の避難における困難な状況（例えば、狭い避難経路が通れなくなっている）を意図的に疑似体験させる避難訓練が可能であろう。本研究では、オープンな3D都市モデル（例えば、国土交通省 PLATEAU）の普及を期待しながら、現実世界と照らし合わせて「発災時にどの避難場所への経路で避難すればよいか」をより具体的に考えることを重視し、現実世界をできるだけ忠実に3次元仮想空間化する。

- (2) 実際のユーザに似せたアバタにする（②に対応）

自己投射性は、ユーザ自身が仮想空間内に違和感や矛盾なく存在できる特性を表し、HMD装着時の視線に連動した空間表示の自然さなどが関わってくるが、他ユーザの存在や外見については対象外といえる。

ビル火災避難疑似体験 VR において、要救助者（アバタ）の民族（人種）によって救助行動が変化することなどが報告されている⁽¹⁵⁾。このような報告を参考に、本研究では「アバタの外見はユーザの避難行動に影響を及ぼす」という立場から、リアルな避難疑似体験を提供することを重視して、実際のユーザの外見をできるだけ反映させたアバタを採用する。逆を言えば、アバタは架空のキャラクタではなく、避難訓練時に仮想空間内を高速移動したり飛べたりもしない。また、ユーザが現実世界で身体的な不自由さ（例えば、足が不自由で歩行速度が遅い、または、車椅子を利用して

いる)を有していれば、それをアバタに反映させる。

(3) 多数のユーザにとって日常的な3次元仮想空間を提供する(③に対応)

メタバースでは、現実世界と同等のユーザ間コミュニケーション(例えば、音声による会話、アバタを介したジェスチャ)を可能にすることが求められる。そのようなコミュニケーションの前提として、多数のアバタが仮想空間内に存在していることが挙げられる。

そこで本研究では、マルチユーザを実現するネットワークエンジン(状態同期ネットワークライブラリ)を採用して多数のユーザが同時アクセスでき、テキストチャットや音声、ジェスチャによるコミュニケーションが可能なメタバースを構築する。さらに、HMD、PC、スマートフォンなどのさまざまなデバイスからアクセス可能にすることもめざす。このようなメタバースの基本機能に加え、日常的なアクセスを動機づける工夫が必要になる。学校を例にとると、仮想空間内に教室を設置し、そこで受けられる授業を増やすことが挙げられる。その他、比較的単純なゲーム要素を取り入れることがアクセスの動機づけにつながる可能性もある⁽¹⁶⁾。

現実世界における避難では、多数が一斉に避難行動をとることで、パニックや狭い避難経路での混雑が発生し、避難が困難になる可能性がある。本研究では、このような多数のユーザに起因する避難が困難な状況をメタバース内避難訓練でも再現することをめざす。

(4) 現実世界のようなオブジェクトとのインタラクションを可能にする(④に対応)

メタバースでは、仮想空間内を移動できるだけでなく、必要に応じてオブジェクトとのインタラクションを可能にすることが求められる。例えば、室内照明のON/OFFを操作したり、ボールを持って放り投げたりといったインタラクションが挙げられる。

メタバース内避難訓練においては、例えば地震の場合、転倒した家具を避難途中で移動させたり、割れたガラスや炎に近づくと負傷したりする状況を表現したい。そこで本研究では、スイッチ類の操作に加え、掴んで移動させることができたり、近づくとユーザに影響が及んだりするインタラクティブなオブジェクトを仮想空間内に配置できるようにする。

2.2 避難訓練機能の要件

2.1では、構築するメタバースの基本機能を示したが、メタバース内避難訓練を実現するには避難訓練機能が必要となる。以下に避難訓練機能の要件を示す。

(1) 突然の災害発生により不意打ちで避難訓練を開始する

現実世界における災害には、台風など発生や接近がある程度予測可能なものと、地震や火災など突然発生するものがある。従来の避難訓練は突然発生する災害を対象に実施されることが多いが、予め訓練の日時や内容が通知されることも少なくない。このような避難訓練では、避難時の困難な状況(例えば、パニック状態での避難)を疑似体験させていないといえる。

そこで本研究では、メタバース内で突然災害を発生させて平時を有事(避難)に切り替える、不意打ち避難訓練機能を実装する。地震や火災などの災害はいつ発生するか予測できないため、“不意打ち”は現実在即した避難疑似体験を提供する。

(2) シナリオに基づいてリアルな災害状況を表現する

不意打ちで避難訓練を開始するにあたり、仮想空間内を平時から有事へ一変させる、リアルな災害状況を表現する必要がある。

避難訓練のリアリティは、状況的リアリティと視聴覚的リアリティから構成される。状況的リアリティには“実際にあり得る災害状況を設定すること”が求められる。本研究ではこれをシナリオに記述し設定できるようにする。そして、シナリオを読み込んでメタバース内に災害状況を配置する機能を実装する。例えば、地震発生後に調理室から出火し時間経過とともに延焼していくという災害状況は、地震発生からの経過時間に対して、追加する炎の位置(3次元座標)と大きさをシナリオに記述して設定する。また、一部のオブジェクトについては、物理演算に基づいて動かしたり、シナリオに基づいて選択的に破壊したりできるようにする。シナリオには災害の種類や程度、避難の制限時間や成功条件も合わせて記述しておき、シナリオを切り替えることで、さまざまな避難訓練が実施できるようにする。視聴覚的リアリティには“視聴覚効果を駆使して災害状況を表現すること”が求められる。本研究ではシナリオに基づいて、アニメーション付き3

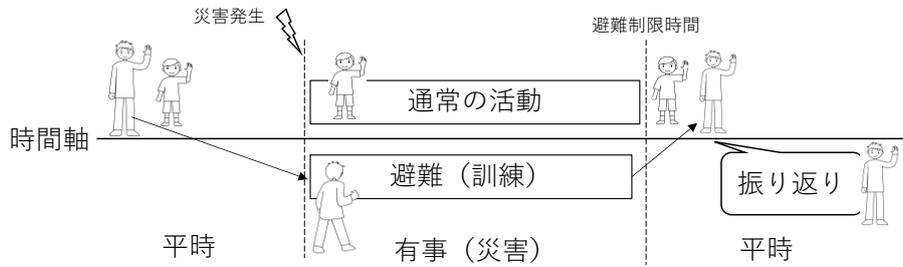


図1 メタバース内避難訓練の流れ

次元モデルやパーティクルシステムにより災害状況
を表現する。

(3) 避難訓練時に NPC を生成し出現させる

メタバースには常に多数のユーザがアクセスしていることが期待されるが、少数のユーザしかアクセスしていない状況で避難訓練が実施される場合も考えられる。多数のユーザに起因する避難困難な状況を表現するために、避難訓練時にユーザ数に応じて NPC (Non Player Character) を生成し出現させる機能を実装する。

(4) 避難訓練後に振り返りができるようにする

メタバース内避難訓練は、ユーザが制限時間内に避難場所に到達するなどの条件を満たすことで終了する。避難訓練の終了により仮想空間内は災害発生前の状況(平時)に戻るが、ユーザが自身の避難行動を振り返えることで、訓練効果の向上が期待される。

そこで本研究では、ユーザ(アバタ)の避難行動を一定時間間隔でログとして記録しておき、避難行動を仮想空間内で再生(再現)する振り返り機能を実装する。ユーザは避難訓練終了後の任意のタイミングで振り返り機能を起動し、再生された避難行動(他ユーザの避難行動も再生される)を一人称または三人称で見返すことで、避難に関する気づきにつながる。例えば、「大勢の人の後を追う形で狭い道を逃げてしまったが、もっと広い道があった」という気づきから、「冷静になって、広い道を逃げるようにしよう」といった避難の心構えが得られるかもしれない。

2.3 メタバース内避難訓練の流れ

メタバース内避難訓練の流れを図1に示す。ユーザはメタバース内で他ユーザとの交流など日常的な活動をしているが、突然の災害発生により避難訓練が開始される。例えば、地震避難訓練では、緊急地震速報

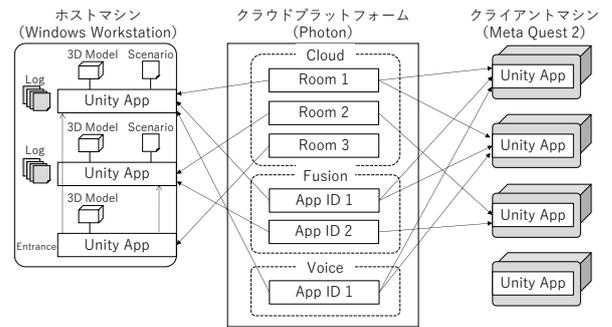


図2 試作システムの構成

が鳴って数秒後に仮想世界が揺れ始め、揺れが収まってから避難が開始されることになるだろう。ただし、ユーザに避難は強制しない。したがって、災害が発生したメタバース内(例えば、瓦礫が散乱している)には、避難するユーザと避難しないユーザが混在しうる。これは、現実世界でも見られる、正常性バイアスや同調性バイアスにより避難が誘発されていない状況といえる。

避難訓練終了後、メタバース内は災害発生前のオブジェクトが配置されて平時に戻る。そして、ユーザ(避難を試みたユーザ)には自身の避難行動を振り返ることが望まれる。避難訓練終了直後、すなわち記憶が鮮明なうちに振り返ることが理想的だが、避難行動を再生する機能により、振り返りのタイミングはユーザに委ねられる。

3. メタバース内避難訓練システムの試作

本研究では現在、提案したメタバース内避難訓練のシステムを試作している。開発環境にゲームエンジン Unity, ネットワークエンジン(クラウドプラットフォーム)に Photon を採用する。没入型 HMD である Meta Quest 2 (コントローラ含む) をメインデバイスとして想定しているが、PC やスマートフォンでのアクセスにも対応させる。

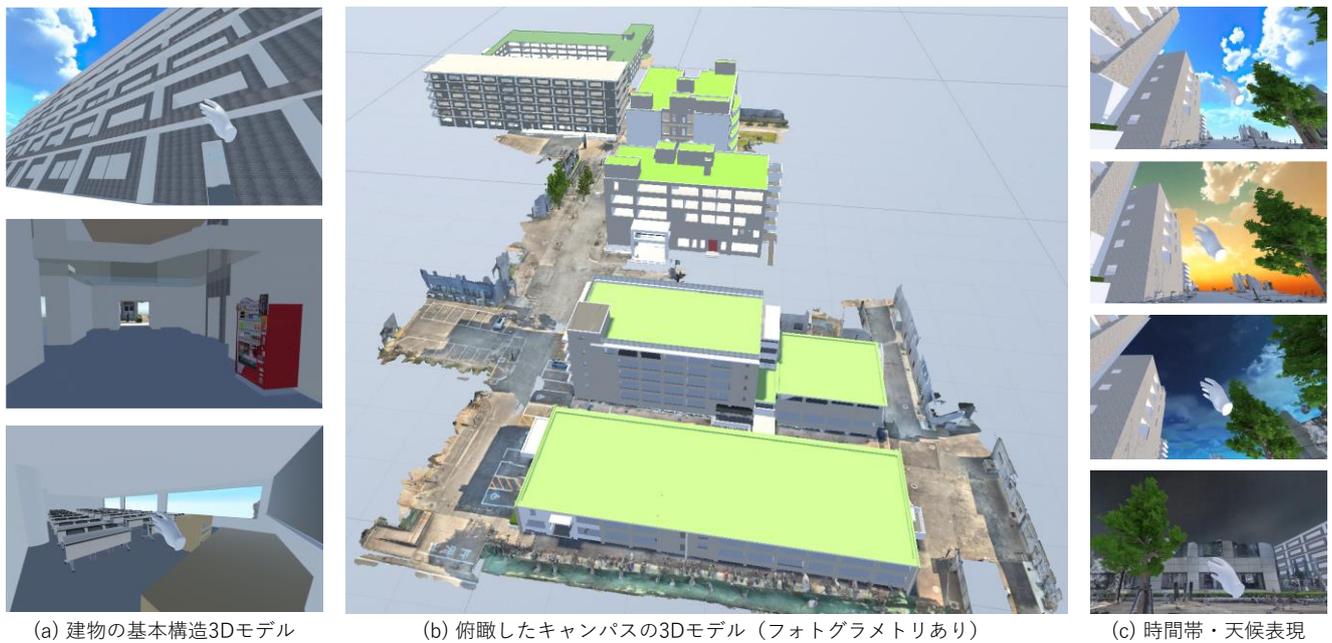


図3 徳島大学工学部の3次元仮想空間化

3.1 システム構成

試作システムは、ホストマシン、クライアントマシン、クラウドプラットフォームから構成される(図2)。

(1) ホストマシン

ホストマシンである Windows ワークステーションでは Unity アプリが動作しており、Photo Cloud を介して複数のユーザが入室可能な Room を作成・管理する。Room ごとに 3次元仮想空間とシナリオが用意されており、ユーザ認証、災害状況表現、避難行動ログ記録・再生、NPC 生成などを担当する。

(2) クライアントマシン

クライアントマシンである Meta Quest 2 では Unity アプリが動作しており、Room に対応する 3DCG の描画やユーザの入力処理（アバタの移動など）を担当する。

(3) クラウドプラットフォーム

Photon Fusion を介して複数ユーザ（アバタ）やオブジェクトの座標を収集・同期し、Photo Voice によりユーザ間での音声対話を可能とする。

3.2 3次元仮想空間

試作システムでは、徳島大学工学部キャンパスの忠実な 3次元仮想空間化に取り組んでいる(図3)。キャンパス内建物の基本構造 3D モデルは、CAD データから変換・生成するか、CAD ソフトで平面図から人手

で作成している(図3-a)。壁などの外観については、CAD ソフトや 3DCG ソフトで装飾している。仮想空間内で操作対象となるドアなどのオブジェクト、災害時に動いたり破壊されたりするオブジェクトは Unity で設置・設定する。

フォトリアリスティックな表現で視聴覚的リアリティを高めようと、フォトグラメトリ（写真測量法）を試験的に導入した(図3-b)。しかし、キャンパス内を網羅するには多くの写真が必要となり、修正作業（ノイズ除去やポリゴン数削減など）における負担も大きい。さらに、建物の 2 階以上を撮影するには高所作業（例えば、ドローンを用いた撮影）が必要となるため、現在はフォトグラメトリの導入を中断している。

仮想空間内では、現実世界と同じ時間と天候が表現されている。具体的には、昼間、夕方、夜の時間帯に応じて空の画像（Unity Skybox）を変更し、気象庁から取得した徳島市の天候情報に基づいて、仮想空間内に雨や風を発生させている(図3-c)。このような表現により、例えば、夜間や悪天候（大雨や強風時）における避難訓練を実施することができる。

3.3 アバタ

現在、アバタには Unity アセットを採用しており、実際のユーザに似せたアバタを組み込めてはいない。HMD を装着している場合はユーザの視線（顔の向き）



図4 腕を動かすアバタ

を、HMD コントローラを利用している場合はユーザの腕の上げ下げを検知して、即座にアバタに反映することができる(図4)。今後、画像やテキストからアバタを自動生成する技術⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾の活用を検討していく。

3.4 機能実装

2.2 で示した機能について、構想中や実装中のものも含めて概説する。

(1) 不意打ち避難訓練

ホストマシンから任意のタイミングで、シナリオに記述された災害を発生させることができる。また、地震については、気象庁から防災情報(XML フォーマット)を受信し、日本国内で一定震度以上の地震が発生した場合、仮想空間内でも地震を発生させるようにしている。

(2) 災害状況表現

現在のところ、散乱した椅子、炎や瓦礫など表現できる災害状況は限られている(図5)。

ユーザ(避難訓練設計者)がHMDを装着して仮想空間にアクセスし、炎や瓦礫などの3次元モデルの設置を通じて災害状況を表現できるようにしている⁽¹⁹⁾。現在、シナリオ記述を再考中であることから、この機能からメタバース内避難訓練のシナリオ出力はできていない。

(3) NPC 生成

災害発生時、仮想空間(Room)内のユーザ数に応じてNPCを生成し出現させる(図6)。具体的には、ユーザ数に反比例させてNPC数を調整する。NPCは避難行動モデルを有した自律的なエージェントではなく、過去に同じシナリオで実施された避難訓練における実



地震によって散乱した椅子



炎

図5 災害状況表現の例



図6 避難場所へ向かうNPC

際のユーザの避難行動ログをNPCで再現する手法を採用している。ログにはユーザの位置座標や視線、腕の上げ下げが記録されている。この手法により、ログからユーザの移動(避難経路)だけでなく顔の向きや首の傾き、身振り手振りなども再現できることから、避難中の焦りや迷いなども表現できると期待される。

(4) 振り返り

ユーザの避難行動ログに基づいて、NPC生成と同様に避難行動を仮想空間内に再生する。再生映像を見ながら気づいたことを、アノテーション(テキストまたは音声)として記録しておき、アノテーション付き再生映像を閲覧できるようにする。

4. おわりに

本稿では、メタバース内避難訓練を提案し、その試作システムを概説した。構想中や実装中の機能が残っており、試作システムの完成に向けて注力していく。試作システム完成後は、その運用を通じてさまざまな検証を進めていく。3次元仮想空間内で突然災害が発生し、避難訓練が開始されるというメタバース内避難訓練がユーザに受け入れられるかをまず検証する必要があるだろう。避難訓練への参加は強制ではないが、メタバース内で楽しんでいる時間を一時的に中断させられることに否定的なユーザが存在すると考えられる。提案したメタバース内避難訓練に肯定的なユーザを増やすためにも、詳細な検討を通じて、訓練効果が高いことを明らかにしなければならない。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H01054 ならびに徳島大学理工学部・令和4年度先端理工学教育研究プロジェクトの助成を受けた。

参考文献

- (1) Trunfio, M. and Rossi, S.: “Advances in Metaverse Investigation: Streams of Research and Future Agenda”, *Virtual Worlds*, 1, Issue 2, pp.103–129 (2022)
- (2) Warburton, S.: “Second Life in Higher Education: Assessing the Potential for and the Barriers to Deploying Virtual Worlds in Learning and Teaching”, *British Journal of Educational Technology*, Vol.40, No.3, pp. 414–426 (2009)
- (3) Inman, C., et al.: “Use of Second Life in K-12 and Higher Education: A Review of Research”, *Journal of Interactive Online Learning*, Vol.9, No.1, pp.44–63 (2010)
- (4) Hwang, G.J. and Chien, S.Y.: “Definition, Roles, and Potential Research Issues of the Metaverse in Education: An Artificial Intelligence Perspective”, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, Vol.3, 100082 (2022)
- (5) Tlili, A., et al.: “Is Metaverse in Education a Blessing or a Curse: A Combined Content and Bibliometric Analysis”, *Smart Learning Environments*, Vol.9, 24 (2022)
- (6) Jovanović, A., and Milosavljević, A.: “VoRtex Metaverse Platform for Gamified Collaborative Learning”, *Electronics*, Vol.11, Issue 3, 317 (2022)
- (7) Nagao, K.: “Virtual Reality Campuses as New Educational Metaverses”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, (Advance Publication in 2022)
- (8) Feng, Z, et al.: “A Sequence Analysis of Behaviors in Immersive Virtual Reality for Indoor Earthquake and Post-earthquake Evacuation”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol.75, 102978 (2022)
- (9) Lovreglio, R., et al.: “Prototyping and Testing a Virtual Reality Counterterrorism Serious Game for Active Shooting”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol.82, 103283 (2022)
- (10) Sharma, S.: “Improving Emergency Response Training and Decision Making Using a Collaborative Virtual Reality Environment for Building Evacuation”, *Proc. of HCI International 2020–Late Breaking Papers: Virtual and Augmented Reality*, pp.213–224 (2020)
- (11) 谷岡樹, 光原弘幸, 獅々堀正幹: “地震疑似体験 VR における避難行動記録・再現による NPC 生成”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.36, No.5, pp.44–50 (2022)
- (12) Mitsuhara, H. and Shishibori, M.: “Toward Evacuation Training in Metaverse”, IGI Global (2022)
- (13) Oe, K., Tanioka, I., Mitsuhara, H., and Shishibori, M.: “Prototype System of Evacuation Training in Metaverse”, *Proc. of the 30th International Conference on Computers in Education*, Vol.2, pp.122–130 (2022)
- (14) 日本バーチャルリアリティ学会編: “バーチャルリアリティ学”, コロナ社 (2011)
- (15) Gamberini, L., et al.: “Psychological Response to an Emergency in Virtual Reality: Effects of Victim Ethnicity and Emergency Type on Helping Behavior and Navigation”, *Computers in Human Behavior*, Vol.48, pp.104–113 (2015)
- (16) Park, S. and Kim, S.: “Identifying World Types to Deliver Gameful Experiences for Sustainable Learning in the Metaverse”, *Sustainability*, Vol.14, 1361 (2022)
- (17) Hu, L. et al.: “Avatar Digitization From a Single Image For Real-Time Rendering”, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 36, No. 6, Article No.1 (2017)
- (18) Hong, F., et al.: “AvatarCLIP: Zero-shot Text-driven

Generation and Animation of 3D Avatars”, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.41, No. 4, Article No.161 (2022)

- (19) Oe, K., Tanioka, I., Mitsuhara, H., and Shishibori, M.: “Immersive Function for Allocating Disaster Situations for a VR-based Evacuation Training System”, *Proc. of the 30th International Conference on Computers in Education*, Vol.2, pp.131–139 (2022)