

VR 環境を活用した避難所設営訓練支援 プラットフォームの提案

小林卓巳[†] 高橋秀幸^{††}

近年、自然災害の頻発・激甚化に伴い、大規模災害発生時における避難所設営の迅速性と適切性が重要視されている。しかし、自治体職員の世代交代が進む中で、実災害の経験を持たない職員が災害対応を担う状況が増加しており、実地訓練の実施にも会場確保や人員・資材準備などの制約が存在する。その結果、避難所設営に関する経験や技能の継承が困難となっている。本研究では、VR 技術を用いて仮想空間上で避難所設営作業を体験可能とする訓練支援プラットフォームを提案し、現実環境に依存しない反復的な訓練を通じて、経験不足および訓練機会不足の解消を目指す。

Proposal of a VR-Based Training Support Platform for Evacuation Shelter Setup

Takumi Kobayashi[†] Hideyuki Takahashi^{††}

In recent years, the increasing frequency and severity of natural disasters have highlighted the importance of rapid and appropriate shelter setup during large-scale disasters. However, as generational turnover among local government staff progresses, an increasing number of personnel without firsthand disaster-response experience are responsible for disaster management, while practical training opportunities are limited due to constraints such as securing venues, personnel, and materials. As a result, the transfer of experience and skills related to shelter setup has become increasingly difficult. In this study, we propose a training support platform that enables users to experience shelter setup tasks in a virtual environment using virtual reality (VR) technology. By providing repetitive training independent of real-world conditions, the proposed platform aims to address the lack of experience and limited training opportunities in shelter setup.

1. はじめに

日本では、地震・豪雨・台風などの自然災害が毎年のように発生しており、その発生件数は増加傾向にある。大規模災害時には各地で多数の避難所が開設されるため、避難所設営の迅速性および適切性は避難者の安全性や衛生環境、さらには高齢者や要配慮者への対応の質を左右する重要な要素である。

東日本大震災から 14 年が経過し、被災地を中心とする自治体では職員の世代交代が進んでいる。岩手県・宮城県・福島県では、県庁職員の約 4~5 割が震災後に採用された職員であり、実災害の現場経験を持たない職員が今後の災害対応を担う状況となっている[1]。一方で、職員の異動や世代交代により、過去の災害対応で得られた知識や経験が十分に継承されにくいという課題も指摘されている[2][3]。このような背景から、避難所設営に関する実践的な知識や判断力を養成するための訓練が重要となりつつある。しかし、実地訓練は会場確保や資材準備、指導者の確保などの制約が大きく、頻繁な実施は困難であり、設営作業に関する技能を習得する機会が限られている。

そこで本研究では、VR 技術を用いた避難所設営訓練支援プラットフォームを提案し、その基本設計および試作システムによる実現可能性および有用性について検討する。仮想空間を活用することで、現実環境に依存せず繰り返し訓練を行うことが可能となり、避難所設営に関する経験および訓練機会不足の解消、避難所を想定した仮想環境における避難所設営計画立案支援の実現を目指す。

2. 関連研究

2.1 VR 技術を用いた防災訓練の実施

VR 技術を活用した防災訓練や災害対応訓練に関する研究および実践事例が数多く報告されている。360° ビュー映像を用いて避難所設営手順を可視化する取り組みでは、実際の避難所設営の様子を三次元的に記録し、タブレットや VR デバイス上で閲覧可能とすることで、紙資料と比較して視覚的理解を促進する効果が示されている[4]。また、建設現場における足場組立作業を対象としたメタバース訓練では、利用者が仮想空間内で作業手順を体験しながら学習できる環境が提供されており、実作業に即した技能習得を支援している[5]。さらに、企業や自治体による防災訓練 VR コンテンツでは、災害発生時の避難行動や安全確保を仮想空間内で体験させることで、防災意識の向上や基本的な避難行動の理解促進に寄与する事例が報告されている[6]。

[†] 東北学院大学教養学部情報科学科

Department of Information Science, Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University

^{††} 東北学院大学情報学部データサイエンス学科

Department of Data Science, Faculty of Informatics, Tohoku Gakuin University

2.2 VR 技術を活用した災害対応訓練システム

地震災害や火災災害を対象とし、仮想空間内で災害状況を再現することで、危険認知や対応行動を学習させる VR 訓練手法が数多く提案されている。地震災害を対象とした研究では、建物内部の構造や家具配置を仮想空間上に再現し、地震発生時の揺れや物体転倒をシミュレーションすることで、避難判断や自己防護行動を体験的に学習させる手法が報告されている [7]。この研究では、現実環境では再現が困難かつ危険を伴う災害状況を安全に体験できる点や訓練効果を定量的に評価できる点が特徴である。また、火災災害を対象とした研究では、Fire Dynamics Simulation (FDS) を用いて煙の拡散や温度変化、視界条件の悪化といった物理的挙動を再現し、臨場感の高い火災対応訓練を可能とする VR システムを提案しており [8]、災害対応における協調行動や役割分担を含む訓練の重要性を示している。さらに、AR と VR を統合した没入型訓練環境に関する研究の取り組みがあり [9]、消火行動や緊急時の判断手順を仮想環境内で反復的に学習できるものである。これらの研究は、主に災害発生直後の初動対応を対象としている点に特徴がある。一方で、災害発生時の避難行動や初期対応に焦点を当てており、災害後の対応段階において求められる避難所設営作業や設営に伴う一連の作業プロセスは主な訓練対象とはされていない現状がある。

2.3 マルチユーザ型 VR 環境における協調訓練

災害対応における協調行動の重要性に着目し、複数人が同一の仮想空間に同時参加するマルチユーザ型 VR 訓練環境に関する研究がある。Liu らは、共有 VR 空間における火災避難訓練を対象とし、音声コミュニケーションを通じた参加者間の協調行動や情報共有が訓練成果に与える影響を分析している [10]。また、大学キャンパスや公共施設を対象としたマルチプレイ型 VR 避難訓練環境では、複数人が同時に参加することで、現実に近い避難行動や群集行動を再現できる点が報告されている [11]。これらの研究は、集団行動を伴う災害対応訓練において、マルチプレイ VR 環境が有効であることを示している。さらに近年では、メタバース環境を用いた避難訓練にも注目が集まっており、訓練後に自身の行動を一人称視点や三人称視点で振り返るためのリフレクション支援機能を導入した研究が報告されている [12]。これにより、行動の可視化と振り返りが学習効果の向上に寄与する可能性が示されている。しかし、これらのマルチプレイ型・協調型 VR 訓練に関する研究においても、訓練の主対象は避難行動や消火行動、あるいは行動の振り返りに限定されており、複数人が同一の作業対象を共有し、役割分担やコミュニケーションを行いながら物理的な作業を遂行する訓練は十分に検討されていない。

2.4 本研究の位置づけ

VR 技術を用いた防災訓練の有効性やマルチユーザ環境における協調訓練の重要性

が示されているが、これらの多くは災害発生時の避難行動や意思決定支援を主な対象としており、避難所開設時に求められる備品の組立や配置といった設営作業そのものを訓練対象とした支援システムの実現にも期待が高まっている。

そこで本研究では、マルチプレイ型 VR 環境を用い、複数人が同一の仮想空間に同時参加しながら、避難所開設時に必要となる備品の組立作業および配置作業を協働で体験できる避難所設営訓練支援プラットフォームを提案する。



図1. 避難所設営訓練支援プラットフォームの概要

3. 避難所設営訓練支援プラットフォーム

本研究では、複数人が同時に参加可能な VR 環境を用いて、避難所設営時に必要となる備品の組立作業および配置作業を協働作業として体験可能とする訓練支援プラットフォームを提案する(図1)。本研究の特徴は、避難所設営作業を単なる手順学習として扱うのではなく、複数人による役割分担やコミュニケーションを前提とした協働作業として再現する点、組立・配置を一連の作業プロセスとして統合的に扱う点にある。本システムは、(1) マルチプレイ機能、(2) 組立機能、(3) 物体配置機能の3つの機能から構成される。

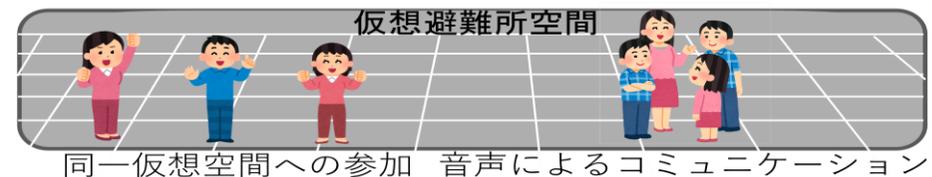


図2. マルチプレイ機能

(1) マルチプレイ機能

避難所設営作業は、現実環境において複数人による役割分担や声掛けを前提として実施される作業である。そのため、個人作業のみを対象とした訓練では、実際の設営現場に即した体験を十分に提供することが難しい。本機能では、複数のプレイヤーが同一の仮想空間に同時参加し、互いの位置情報や操作状況を共有するとともに、音声によるコミュニケーションを行いながら協力して設営作業を行うことを可能とする。これにより、役割分担や声掛けを伴う協働作業を体験的に学習でき、実際の避難所設営現場に近い訓練環境を提供することが可能となる(図2)。

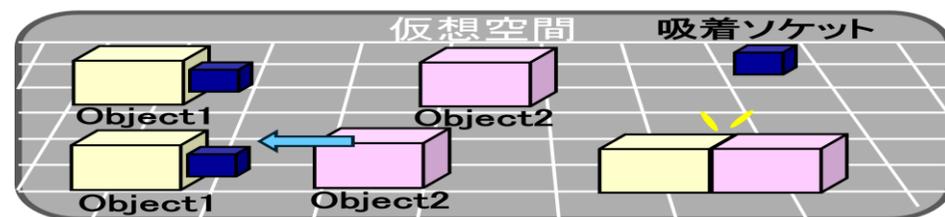


図3. 組立機能

(2) 組立機能

避難所用備品の組立作業では、部品の組付け順序や接続位置を誤ると再作業が必要となり、設営全体の遅延につながる。したがって、単に部品を自由に組み立てられる環境ではなく、正しい手順に沿った作業を体験的に学習できる訓練環境が求められる。本機能では、段ボールベッドや災害用テントなどの避難所用備品を対象とし、吸着ソケットの概念を用いて、VR空間上でコントローラを用いて操作することで、現実の組立工程を意識した作業体験を可能とする。これにより、避難所備品の組立手順を理解し、災害時の作業の流れを事前に習得することが可能となる(図3)。



図4. 物体配置機能

(3) 物体配置機能

避難所設営においては、備品を組み立てるだけでなく、通路幅や動線、避難者の安全性を考慮した配置計画が重要となる。そのため、完成した備品を複数人で確認・検討しながら配置できる訓練環境が必要である。本機能では、組み立てた備品を仮想避難所内に配置し、複数人でレイアウトを検討可能な環境を提供する。これにより、受け入れ人数に応じた通路幅の確保や備品配置を意識しながら、実際の避難所設営を想定した空間検討を協働で行うことが可能となる(図4)。

4. 試作システムの設計と実装

試作システムは、複数人が同一の仮想空間に参加し、協働で避難所設営作業を行う訓練環境を実現することを目的として設計した。複数人による仮想空間内での協働作業を実現するため、UnityのクラウドサービスおよびXR Interaction Toolkitを用いて、マルチプレイ機能および組立機能の実装を行った。本システムは、スタンドアロン型VRヘッドマウントディスプレイであるMeta Quest 2, 3, 3s [13]上で動作するVRアプリケーションとして構築し、プレイヤーはHMDに付属するコントローラを用いて仮想空間内の備品を操作する。

4.1 マルチプレイ機能

異なる場所および異なるネットワーク環境にある複数端末からの同時参加を可能とする機能である。具体的には、Unity Cloud[14]が提供するAuthentication, Lobby, Relayの各サービスを利用した。Authenticationにより各プレイヤーを一意的に識別し、Lobbyを介して同一セッションへの参加管理を行う。さらに、Relayを用いることで、異なるネットワーク環境下にある端末間においても、プレイヤー間の通信を可能とした。これらのサービスを組み合わせることで、複数のプレイヤーが同一の仮想空間に同時参加可能なマルチプレイ環境を構築した。また、各プレイヤーの位置情報および操作状態は、Unityが提供するネットワーク同期機構であるNetcode for GameObjectsを用いて同期される。これにより、同一仮想空間内において、複数人が作業状況を共有しながら協働作業を行うことを可能とした。さらに、仮想空間への参加時には、アバターのスキンの色やプレイヤー名を各自で設定可能とした。これにより、マルチプレイ環境下において各プレイヤーを視覚的に識別しやすくなり、円滑なコミュニケーションおよび協働作業を支援する。

本システムは、スタンドアロン型VRヘッドマウントディスプレイであるMeta Quest2, 3, 3s上で動作し、外部PCを必要とせずにマルチプレイ環境を構築している。その結果、異なる場所および異なるネットワーク環境にあるMeta Quest端末間においても、同一の仮想空間へ同時参加可能であることを確認した。

4.2 組立機能

組立機能の設計にあたっては、複数人が同一の仮想空間に参加するマルチプレイ環境下においても、現実の組立手順に即した作業の流れを破綻なく再現することを設計上の課題とした。本システムでは、誤った部品同士の接続や手順を無視した操作が発生しないよう、組立工程を段階的に制御する仕組みを導入した。本組立機能は、段ボールベッド・災害用テント・大型テントを構成する部品を対象とし、現実の組立手順に即した作業を VR 空間上で再現することを目的として設計した。本機能では、この課題に対し、吸着機構および差し込み機構を段階的に組み合わせることで、現実の組立作業に近い操作体験を実現している。

(1) 吸着機構（接続判定および構造体の結合管理）

各部品には、組立位置および接続可否を判定するための吸着ソケットを子オブジェクトとして配置する。吸着ソケットは、正しい部品が到達した場合にのみ組み立て処理を実行するための判定機構である。吸着機構は、組立工程において正しい部品のみが正しい位置に接続されることを保証し、誤接続や手順逸脱を防止するための基本的な制御機構である。

A. 吸着判定とプレビュー機構

吸着ソケットは、他の部品が接触した際の判定を行い、正しい部品が正しい位置・姿勢で到達した場合にのみ組立処理を実行する。これにより、誤った部品同士が接続される状況を防ぎ、現実の組立手順に沿った作業のみを許可している。吸着ソケットによる判定処理は、部品同士を物理的に結合するものではなく、対象部品の Transform を所定の位置・姿勢へと補正することで行われる。この方式により、物理挙動に起因する不安定さを回避しつつ、安定した組立結果を得ることが可能となる。

また、組立処理が確定する前段階として、部品が吸着ソケットに接触している間に、組立後の予定位置を示すメッシュを表示するプレビュー機構を導入している。これにより、ユーザは部品がどの位置・姿勢に吸着されるかを事前に視覚的に確認でき、操作の見通しを持った状態で組立作業を進めることができる。

B. GroupObject による構造体管理

組立処理が確定した際には、プレビュー表示を解除するとともに、部品を補正後の Transform に固定することで組立完了状態を表現している。ただし、この段階では部品同士を物理的に結合しておらず、各部品は個別のオブジェクトとして存在している。そこで、本システムでは、組立処理が確定した部品群を 1 つの構造体として一体的に管理するため、組立済み部品群を統合管理するための親オブジェクトを導入する。この親オブジェクトを GroupObject（組立済み構造体の親オブジェクト）と呼び、組立処理が完了した各部品をその子オブジェクトとして再構成する。Unity の Transform 階層構造では、子オブジェクトの位置・姿勢は常に親オブジェクトのローカル座標系を基

準として管理されるため、GroupObject を用いることで、構造体全体を 1 つの剛体として一貫して制御することが可能となる。

C. 段階的な統合処理

本システムでは、組立工程が段階的に進行することを前提としており、組立処理が発生するたびに、接続対象となる部品がいずれかの構造体に属しているかを判定し、その状態に応じて GroupObject の管理方法を切り替える。具体的には、(i) 両部品がいずれも構造体に属していない場合、(ii) 一方のみが構造体に属している場合、(iii) 異なる構造体に属している場合の 3 通りを判定し、状況に応じて GroupObject の生成または統合を行うことで、常に各部品が 1 つの構造体に所属する状態が維持できる。

D. インタクション制御と工程誘導

GroupObject の子オブジェクトである部品からは、XRGrabInteractable や RigidBody などのインタクションおよび物理制御用コンポーネントを削除し、構造体全体の挙動を GroupObject 側に集約する。これにより、組立後の構造体が意図せず分解されることを防ぎ、安定した操作状態を保証する。本システムでは、組立工程の進行を段階的に制御するため、特定の操作や部品同士の接触を検出することで、組立工程を制御するための判定用オブジェクトを仮想空間内に配置している。本研究では、これらの判定用オブジェクト群を総称して Gate（工程制御用判定オブジェクト群）と定義する。また、複数の部品が接触したことを検出し、差し込み工程への遷移判定に用いる Gate をスライドレーンと定義する。なお、工程全体の制御に用いる判定用オブジェクトを Gate、差し込み判定を行うための判定用オブジェクトをスライドレーン（Slide Lane）と定義する。さらに、吸着機構および GroupObject による構造体管理を基盤として、組立工程中は現在の工程に対応する Gate のみを有効化し、それ以外を一時的に無効化する制御を行う。すなわち、ユーザは常に「現在の工程で行うべき操作」のみを選択でき、誤った組立判定や操作競合が発生しないよう設計した。

E. サーバによる制御

吸着処理、GroupObject の生成・統合、コンポーネント制御、およびソケットやスライドレーンの有効・無効化は、すべてサーバ主導で実行される。これは、マルチプレイ環境下において、クライアント間での組立状態や工程進行の不整合を防止し、一貫した作業状態を保証するためである。これにより、マルチプレイ環境下においても、組立位置や構造体状態の不整合を防ぎ、すべての参加者が同一の組立状態を共有しながら協働で作業を進めることが可能となる。複数人による協働環境下においても手順逸脱や誤接続が発生しない、現実の組立手順に即した組立作業を実現している。

(2) 差し込み機構（挿入操作を支援する補助制御）

差し込み工程では、差し込み方向を明確に制御するため部品の移動方向を規定する操作補助を目的とする補助オブジェクトを用いる。この補助オブジェクトをスライド

レーンと呼び、差し込み対象部品の移動を特定の1軸方向に制限するために利用する。差し込み工程では、物理演算の操作のみでは、安定した挿入動作を再現することが困難である。そこで、本システムでは、差し込み工程における操作の安定性と再現性を確保するため、ユーザ操作を段階的に補助する制御機構を導入した。

A. 差し込み工程の検出と制御

本システムでは、差し込み工程の開始を検出するために、スライドレーンによる接触判定を用いる。差し込み対象部品がスライドレーンへの接触を検出すると、差し込み工程に移行したと判定し、以降の操作補助制御を段階的に適用する。これにより、差し込み工程以外の通常操作と明確に区別された制御を適用することが可能となる。

B. 衝突制御による物理的不安定性の抑制

差し込み工程の開始後、差し込み対象部品と差し込み先構造体との間の物理衝突を一時的に無効化する。これにより、挿入動作中に発生しやすい不要な反発や引っ掛かりを抑制し、部品同士が滑らかに重なり合う状態を実現している。この衝突無効化処理は、NetworkObject を基準として構造体全体に適用されるため、マルチプレイ環境下においても、全クライアントで一貫した物理状態を維持することが可能である。

C. 軸方向制御による操作自由度の制限

差し込み工程中は、差し込み方向を明確にするための軸方向制御を行う。具体的には、スライドレーンが配置された子オブジェクトのローカル座標系を基準とし、差し込み対象部品の移動を特定の1軸方向成分のみに制限する。指定軸方向については、ユーザの操作入力を反映する一方で、それ以外の軸方向成分については、スライドレーンを基準とした所定の位置へ Transform を明示的に補正する方式を採用している。

D. 差し込み状態の判定と工程遷移

軸方向制御は差し込み工程中にのみ有効化され、部品がスライドレーンから離脱した場合や所定の滞在時間を満たさずに接触が解除された場合には、自動的に解除される。一方で、一定時間以上差し込み状態が継続した場合には、差し込み操作が安定して行われたと判定し、組立確定処理に移行する。差し込み工程中においても、誤った操作や判定を防ぐため、現在の工程に関係しない Gate は、一時的に無効化される。

E. マルチプレイ環境における同期制御

差し込み対象部品が保持する NetworkObject を起点とし、Transform 階層内に存在する Gate を相対パスによって特定・制御することで、NetworkObject を持たない補助オブジェクトも一貫した制御を実現する。これにより、差し込み工程中の状態が全クライアントに同期され、マルチプレイ環境下においても操作状態の不整合が発生しない。

F. 吸着機構との連携制御

差し込み操作が完了し、部品が所定の位置・姿勢に到達した段階で、吸着ソケットによる組立確定処理が実行される。スライドレーンは、単独の操作支援機構として機能するのではなく、吸着機構および GroupObject による構造体管理と連携しながら、

組立工程全体の一部として機能することで、物理演算に起因する不安定性を抑制しつつ、現実の差し込み作業の操作方向と手順をユーザに提示することが可能となる。

4.3 物体配置機能

物体配置機能の設計にあたっては、組み立て済みの避難所用備品を複数人で相談・確認しながら適切な位置に配置する作業プロセスを VR 空間上で再現することを設計上の課題とした。実際の避難所設営では、通路幅や避難者動線、安全性への配慮などを考慮しながら、複数人が意見交換を行いながら配置を決定する必要がある。そのため、配置位置の共有、運搬操作、作業完了状態の共有を支援する仕組みを構築した。

5. 予備実験

5.1 マルチプレイ機能の検証

提案プラットフォームの各機能の機能検証を目的とした予備的な実験を行った。マルチプレイ機能の検証として、Meta Quest を4台用い、それぞれを異なるネットワーク環境に接続した状態で実験を行った。本実験の目的は、異なる場所および異なるネットワーク環境にある端末間においても、同一の仮想空間へ同時に参加可能であることを確認することである。その結果、異なるネットワークに接続された端末同士であっても、同一の仮想空間へ同時に参加できることを確認できた(図5)。



(A) 現実空間上の様子

(B) 仮想空間の様子

図5. マルチプレイ機能の動作例

5.2 組立機能の検証

Meta Quest を2台用いて、段ボールベッドおよび災害用テントの組立作業を行った。本実験の目的は、複数人が協働しながら段階的に組立作業を進められること、および作業途中の構造体を他のプレイヤーが引き継いで組立を継続できることを確認することである。その結果、複数のプレイヤーが協働して1つのオブジェクトを段階的に組み立

てられること、また、1人目のプレイヤーが途中で組み立てた構造体を、2人目のプレイヤーが引き継いで作業を継続し、最終的に組立を完了できることを確認した(図6)。

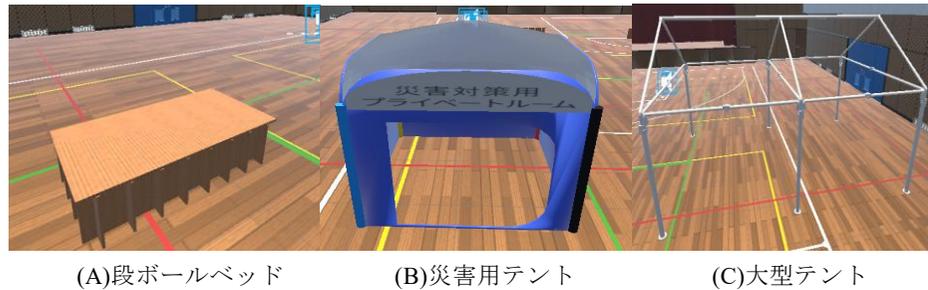


図 6. 組立機能の動作例

5.3 物体配置機能および協働運搬機能の検証

物体配置機能の検証では、1人目のプレイヤーが指示役として配置候補地点にUIを表示し、2人目のプレイヤーがそのUIを目印として、組立済みの避難所備品を所定の位置へ配置する実験を行った。本実験の目的は、UIを介した配置指示により、配置位置の共有が円滑に行えることを確認することである。その結果、UIを用いることで、プレイヤー間で配置場所の認識を共有しながら作業を進められることを確認した(図7)。

さらに、協働運搬機能の検証として、2人のプレイヤーが同一のオブジェクトを同時に掴み、協力して移動させる実験を行った。その結果、把持人数に基づく制御により、複数人による協調的な運搬操作が可能であることを確認した。

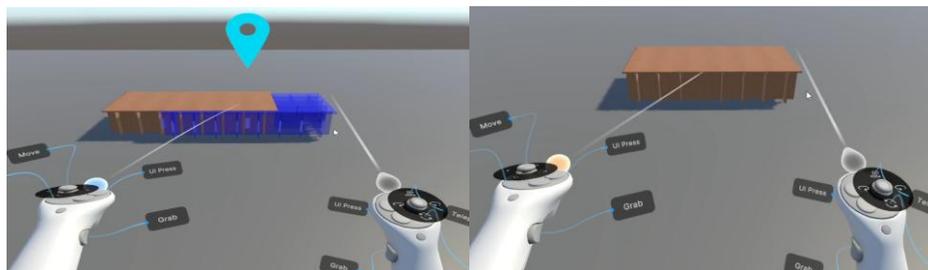


図 7. 物体配置機能の動作例

	360° ビューイングを活用した避難所設営	足場組立・解体メタバーストレーニング	防災訓練VR	本提案
避難所の設営訓練	△	×	×	○
配置シミュレーション	×	○	×	○
協働作業(マルチプレイ)	△	○	△	○
VR対応	○	○	○	○

表 1 既存研究およびシステムとの比較

6. 評価

本研究では、避難所設営作業を対象とした実践的な訓練環境の実現を目的として、VR環境を活用した避難所設営訓練支援プラットフォームの提案および試作を行い、各機能の動作検証を行った。代表的な既存研究と比較を行った結果を表1に示す。なお、表中の○は、当該機能が設計上明確に実装され、訓練用途として十分に利用可能であることを示し、△は、一部機能のみが限定的に実装されている、もしくは主目的ではない形で利用可能であることを示す。また、×は、当該機能が実装されていない、もしくは訓練用途として利用できないことを示す。

まず、「避難所の設営訓練」については、提案システムは、テント設営や備品配置を含む避難所設営作業を訓練対象として実装しており、仮想空間上で設営作業工程の体験的学習が可能である。一方、既存研究の多くは地震時の避難行動や火災対応行動を対象としており、避難所設営作業そのものを訓練対象とした例は限定的である。また、360°ビューイング教材[4]は、視聴型教材であるため作業体験は限定的であり、防災訓練VRおよび足場組立・解体メタバーストレーニング[5]は、避難所設営作業を直接の対象としていないことから、提案システムがより実践的な訓練環境を提供可能であるといえる。

次に、「配置シミュレーション」については、提案システムは、仮想空間内で設営物品の移動および配置操作が可能であり、避難所内レイアウトの検討や作業手順の確認を行うことができる。同様に、足場組立・解体メタバーストレーニング[5]においても構造物配置操作が可能である。一方、360°ビューイング教材[4]や防災訓練VR[6]では、利用者が物品配置操作を行う機能は有していない。

そして、「協働作業(マルチプレイ)」については、提案システムは複数ユーザが同一仮想空間内に同時参加し、音声コミュニケーションや役割分担を行いながら設営作業の遂行が可能である。足場組立・解体メタバーストレーニング[5]においても複数人

による協働作業が可能である。一方、既存の避難訓練 VR[6]および 360° ビューイング教材[4]では、同時参加は可能であるものの、複数人が同一作業対象を操作する協働作業を前提とした設計ではないため、限定的な対応に留まっている。

最後に、「VR 対応」については、既存研究の多くが HMD を用いた没入型 VR 環境に対応していることから、本項目においてはいずれも同等の対応がなされていると評価した。

以上より、本提案システムは避難所設営作業への対応、設営物品の配置操作、および複数人協働作業への対応という点において、既存研究および既存訓練システムと比較して、より実践的な避難所設営訓練環境を提供できることが確認された。これにより、本提案システムは、災害後対応段階における避難所設営作業の理解促進および協調作業能力向上を支援する訓練基盤として有用であると考えられる。

7. おわりに

本稿では、VR 環境を活用し、複数人が同一の仮想空間上で協働しながら避難所設営作業を体験可能な訓練支援プラットフォームを提案した。本研究の特徴は、避難所設営を単なる手順学習としてではなく、複数人による協働作業として再現し、備品の組立から配置までを一連の作業プロセスとして体験可能とした点にある。また、試作システムを構築し、マルチプレイ機能、組立機能、物体配置機能および協働運搬機能について予備的な検証を行い、異なるネットワーク環境からの同時参加や、複数人による段階的な組立作業、UI を介した配置指示の共有、ならびに把持人数に基づく協調的な運搬操作が可能であることを確認した。これらの結果から、本システムは、避難所設営における作業手順の理解支援に加え、役割分担や合意形成を伴う協働作業能力の向上を支援可能な訓練環境であることを確認した。一方で、VR 未経験者に対する操作支援や、差し込み動作における判定条件の調整など、操作性に関する課題も確認することができた。

今後は、ユーザインタフェースの改良を行うとともに、自治体職員を対象とした評価実験を実施し、本システムが避難所設営訓練においてどの程度の学習効果を有するかを定量的に評価する。さらに、実運用を想定した訓練シナリオの拡充を行い、現場での活用可能性について検討を進める予定である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 24K07933 の助成を受けたものである。

参考文献

1) JIJI.COM, ”「震災知らない職員」, 4割超える「風化にあらがう」 Team Sendai が歩んだ14年【東日本大震災】,” <<https://www.jiji.com/jc/v8?id=20250305Shinsai01>> (参照 2026-1-8)

- 2) 内閣府, “令和6年能登半島地震を踏まえた災害対応の在り方について(報告書),” Nov. 2024.
- 3) 内閣府, “令和5年度における被災者支援の適切な実施について,” pp. 1-21, May 2023.
- 4) 東京ケーブルネットワーク株式会社, “災害時の避難所をバーチャル化、設営マニュアルのDX,” PRTIMES, Jan. 2025.
<<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000003.000098688.html%20%E3%80%80>> (参照 2026-1-8)
- 5) 積木製作, “足場組立・解体メタバーストレーニング,”
<<https://tsumikiseisaku.com/ashiba-metaverse>> (参照 2026-1-8)
- 6) 田中電機株式会社, “防災訓練 VR,”
<https://www.tanaka-denki.co.jp/biz-emo/product/img/dpr_doc.pdf> (参照 2026-1-8)
- 7) C. Li, W. Liang, C. Quigley, Y. Zhao, L. Yu, “Earthquake Safety Training through Virtual Drills,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 23, No. 4, pp. 1275-1284, Apr. 2017.
- 8) W. Song, X. Feng, P. Tao, Q. Jiang, Y. Zhang, “Research on a VR Multiplayer Collaborative Fire Disaster Simulation Training System Based on FDS,” Proc. of the 2025 IEEE 26th China Conference on System Simulation Technology and its Applications (CCSSTA), pp. 599-604, July 2025.
- 9) H. Kang, J. Yang, B.-S. Ko, B.-S. Kim, O.-Y. Song, S.-M. Choi, “Integrated Augmented and Virtual Reality Technologies for Realistic Fire Drill Training,” Proc. of the IEEE Computer Graphics and Applications (Volume: 44, Issue: 2, March-April 2024), pp.89-99, Aug. 2023.
- 10) H. Liu, M. Choi, L. Yu, A. Koiliias, L. Yu, C. Mousas, “Synthesizing Shared Space Virtual Reality Fire Evacuation Training Drills,” Proc. of the 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), pp. 459-464, Oct. 2022.
- 11) S. Sharma, S. P. Rajeev, P. Devearux, “An immersive collaborative virtual environment of a university campus for performing virtual campus evacuation drills and tours for campus safety,” Proc. of the 2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), pp. 84-89, June 2015.
- 12) H. Mitsuhashi, R. Yamanaka, M. Matsushige, Y. Kozuki, “Reflection Support Function in a Metaverse-Based Evacuation Training System,” Proc. of the 2024 9th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR), pp. 1570-1575, Feb. 2025.
- 13) Meta, Meta Quest <https://www.meta.com/jp/quest/> (参照 2026-1-8)
- 14) Unity Cloud <https://unity3d.jp/unity-cloud/>