

防災意識向上のための VR防災訓練システムの提案

谷本鯛介^{†1} 佐野睦夫^{†2}

概要: 学校における防災教育の現状は、教育の必要性に気付いていない（内発的動機付けがない）人や、必要性に対する意識が低い人が混在している（防災教育離れ）。以上から本研究では防災教育離れに対し、VR型の防災訓練システムを提案する。その後、本システムが既存教材に比べ意欲的に取り組めるか否かIMMS評価を行った。結果は既存教材より本システムの方が注意(+1.58)関連性(+0.7)自信(+0.2)満足感(+2.61)と高い値を得られた。さらに学習効果を測定するため教材別の避難リスクと平均初期消火開始時刻を比較した結果、本システムを学習したグループの方は平均避難リスクが(-6.45p)消火開始時刻は(-10s)低くなり、より安全で素早い行動をとることができるようになった。

キーワード: VR教育教材, 防災教育, ARCSモデル, マルチエージェントシステム

VR Disaster Training System for Improving Disaster Awareness

TANIMOTO TAISUKE^{†1} SANO MUTSUO^{†2}

Abstract: The current state of disaster prevention education in schools is mixed with people who are not aware of the necessity of education (there is no incentive motivation) and people who are not conscious of necessity (mixed disaster education away). From the above in this research, we propose a VR disaster prevention training system against disaster prevention education. After that, we conducted an IMMS evaluation to investigate whether this system can work more ambitiously than existing teaching materials. Results were higher than the existing teaching materials by this system with attention (+1.58) relevance (+0.7) confidence (+0.2) satisfaction feeling (+2.61). Furthermore, the result of comparing the evacuation risk by teaching material and the average initial fire extinguishing start time in order to measure the learning effect is that the average evacuation risk is (-6.45 p) and the fire extinguishing start time is (-10 s) lower for the group who learned this system It became possible to take safe and quick action

Keywords: VR Disaster Training System, Disaster prevention education, ARCS model, Multi Agent System

1. はじめに

災害による被害軽減を実現するためには、社会の防災・減災力を向上させることが重要であることは広く認められている。その根底には、災害全般に対する理解が必要であり、基本部分は、小・中学校における義務教育で学ぶことがふさわしい。しかしながら、我が国の義務教育課程では、そのような災害全般を包括的に扱った授業は設けられておらず、近年では「総合的な学習の時間」の一テーマとして防災が取り上げられる機会があるのみである[1]。

また、学校現場における防災教育の現状は、防災教育の必要性等に気付いていない（内発的動機付けがない）人や防災教育の必要性に対する意識が低い人が混在している。さらにPTA活動等を通じ小学生、中学生の保護者等の人達に、災害時に互いに助け合う精神を育むことも考えられるが、現状では、児童生徒や保護者等の参加はほとんどない（防災教育離れ）という指摘もある[2]。このような背景から、現在、防災教育に求められている要素は主に (i) 防災学習に対して興味を引くこと、(ii) 防災に関する知識を能動的に獲得するような意識改革が大切である、と考えた。

そこで本研究では、防災教育離れに対し、VR型の防災訓練システムを提案する。VR技術を用いた教材は、マルチメディア教材にはない没入感や臨場感を与え、実際に見ることや体験できないことを提示することが可能である。したがって、VR教材を用いることは児童・生徒の興味や関心を高め、意欲を向上させることができると考えた。

2. 関連研究

我が国は地震が多く、南海トラフ大地震への警戒も高まっている。そのため、人々の防災意識を高めるための様々な手法やシステムが提案されている。柳らは、防災教育ツールとして、リアルタイム物理シミュレーションを用いた震災シミュレーションおよび実写動画映像を投影可能な可搬型VRシステムを提案し[3]、坪田らは、ポータブルVRシステムを開発した[4]。しかし、これらのシステムは大型スクリーンを3面用いてVR環境を再現することに対し、本システムはHTC-Viveを用い仮想空間でインタラクティブな行動を行うことができる。本システムの特徴として、避難だけではなく消火訓練も体験することができ、防災に

^{†1} 大阪工業大学大学院 情報科学研究科
Tanimoto Taisuke

^{†2} 大阪工業大学情報科学部
Sano Mutsuo

関する意識を高める事を可能とした。

3. 学校の防災教育の内容

学校における防災教育は、自他の生命尊重を基本理念に、生徒が生涯にわたって安全な生活を営むことができるよう、自律的に安全な行動ができる態度や能力を身に付けることをねらいとしている。教育内容は「防災教育」、「防災管理」、「防災に関する組織活動」の各分野に整理することができる。これらを適切に指導することにより、児童等の安全確保と防災対応能力の向上を目指す。

- 自らの安全を確保するための判断力や行動力の育成
- 生命の尊重や地域の安全のために貢献する心の育成
- 自然災害の発生メカニズムをはじめとして、地域の自然環境、災害や防災についての基礎的・基本的事項の理解

3.1 発達の段階に応じた防災教育の目標

防災教育の内容を体系的・効果的に習得することができるよう、児童等の発達段階に応じた防災教育の目標として表1に示す。

表1 発達段階に応じた教育目標

小学校	低学年	災害に関心を持ち、災害発生時に近くの人に連絡したり、一緒に避難してもらえよう声をかけるなど、適切な行動ができる。
	中学年	災害について基本的な理解ができ、自ら安全な行動ができるようになるとともに、周囲の人と協力して危険を回避できる。
	高学年	災害の危険を理解し、自分の安全だけでなく他の人々の安全にも気配りができるようにする。
中学校	日常の備えや的確な判断のもとで主体的な行動ができる。また、地域の防災活動や災害時の助け合いの大切さを理解し、進んで活動ができる。	

4. 提案するシステムの概要

本システムは「VR 避難訓練」「VR 消火訓練」「VR 総合訓練」の3部構成になっている。既存の防災教育の方法として、小・中学校では「避難訓練」「消火訓練」（総合訓練は行われることは稀）に分かれて実施されており、この構成方法を参考にした。さらに既存教育で課題に挙げられていた、「防災教育離れ」「防災意識低下」を軽減するためARCSモデル（教育工学）を取り入れる。本システムの体験を通して課題解決、日本の将来を担う、防災リーダー育成を目指す。システム概要を図1に示す。



図1 本システムの概要

4.1 ARCS モデルとは

ジョン・ケラーが1983年に提唱したARCSモデルは、インストラクショナルデザイナーが学習意欲の問題に取り組むことを援助するシステムモデルである。学習意欲の問題と対策を、「注意 ATTENTION」、「関連性 RELEVANCE」、「自信 CONFIDENCE」、「満足感 SATISFACTION」の4要因に整理した枠組みと、各要因に対応した動機づけ方略、ならびに動機づけ設計の手順を提案したものである。本システムではARCSモデルに基づいて開発された「即時フィードバック」「動機付けメッセージの臨床利用」、また新しく「避難リスクの提示」を導入し防災教育に意欲的に取り組む方策を取り入れた。各々の動機付け方策についての説明は後章で行う。

- 注意因子：<おもしろそうだ>
- 関連性因子：<やりがいがありそうだ>
- 自信因子：<やればできそうだ>
- 満足感：<やってよかった>

5. VR型防災訓練システムの構成

前章の通りVR「避難」「消火」「総合」訓練の3部構成になっている。それを実現するためにVR機器としてHTC-Viveを採用した。この機器は没入感のある視覚的情報だけでなく、付属するコントローラーを用いることでVR空間内のオブジェクトに対しインタラクションができることが特徴である。さらに空間内の(3×4m)に範囲内を自由に徒歩で移動することが可能であり、防災における様々な行動を再現することができる。開発ソフトウェアは統合開発環境を内蔵し、複数のプラットフォームに対応するGame Engine Unity5を使用する。またプレイ中はUnity公式キャラクターの「unityちゃん」がインストラクターとしてプレイヤーに対しコメントを返す。

5.1 VR 避難訓練システム詳細

「VR 避難訓練」では、順路に従いながら進むことで避難に必要な知識を獲得することができる。プレイヤーは、4階建ての学校の校舎の中央教室から始まり、1階のエントランスまで進むとゴールとなっている。避難の際に必要な知識は「1.火災の周知」「2.酸素の供給を断つ」「3.低姿勢で避難」「4.自分と他者の命の尊重」である。これは文部科学省が達成目標としている防災教育の内容と消防庁が配布している防災テキストを参考にした。1~4の内容を含んだイベントを各フロアに配置し、プレイヤーがイベントを終了するとコメントを返す。また、4についてはプレイヤーの行動の差によってコメント内容が変わる。フロアごとの学習内容を図2、プレイヤーの視線を図3に示す。

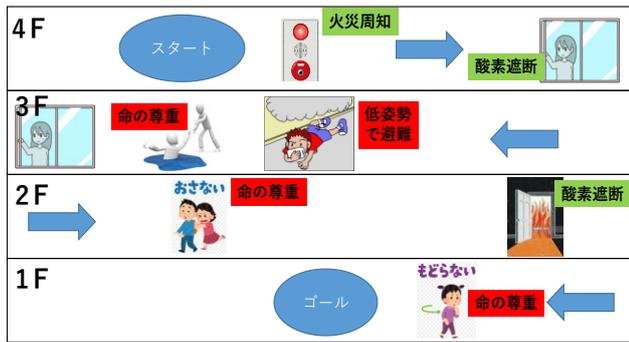


図2 各フロアの学習内容

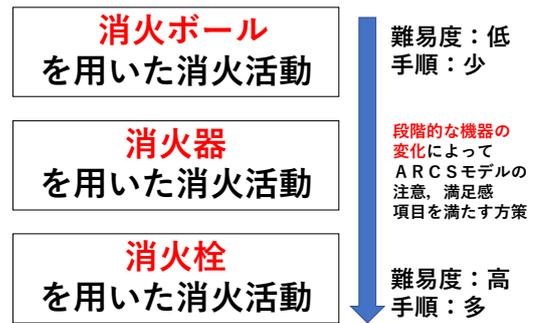


図4 シナリオの進行

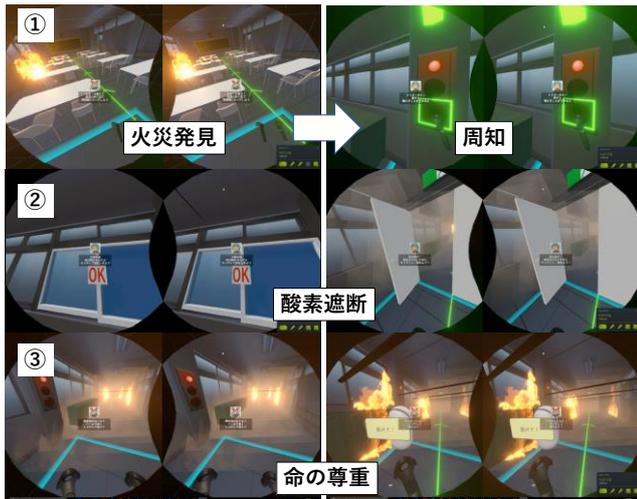


図3 プレイヤーの視線 (VR 避難)

図3の①ではプレイヤーが4F教室内で火元を発見し、順路に沿って火災警報器を押し周知を行う。②では行内を進むと窓や防火扉が開いている、プレイヤーはコントローラーで触れることで閉めることができる。その際、閉めなければならない理由を学習できる。③では廊下上部にバーが設置され、しゃがんで進まなければ赤く警告を出す、さらに先には怪我人あり、レスキューすることができる。

5.2 VR 消火訓練システム詳細

「VR 消火訓練」は、プレイヤーが仮想空間内で「消火ボール」「消火器」「消火栓」を用いて消火活動を行い、機器の使い方を体得できるようなシステムである。プレイヤーは機器ごとに5つの出火元の消火を行う。キャラクターのコメントに従いながら進めていき、消火に成功するたびに動機づけメッセージを受け取る。学校における消火活動では火を用いる危険性、消火剤の後片付け、機器のコストなどを考慮され、生徒全員が体験できない(クラス代表だけが行う)ことや、ビデオでの学習が多く、扱い方を知識としては知っているが、実践的に消火を行ったことが無い人が多数いることが現状である。このシステムでは以上の課題を克服できているのが特徴である。シナリオの進行を図4、プレイヤーの視線を図5に示す。

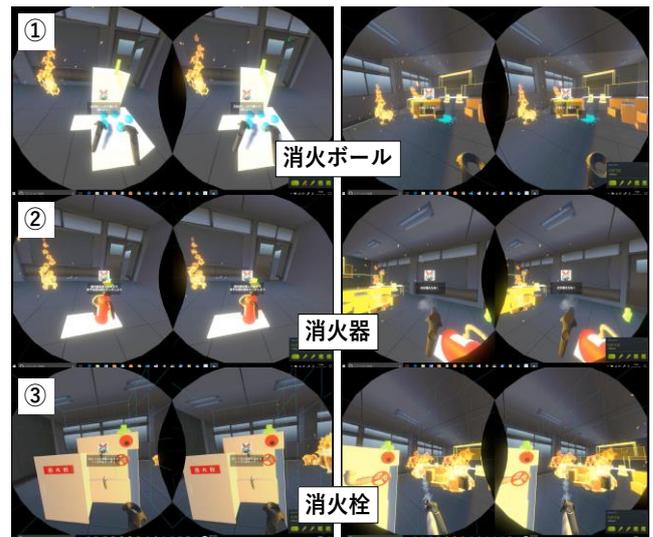


図5 プレイヤーの視線 (VR 消火)

図5の①では消火ボールの様子である。プレイヤーはコントローラーでボールを掴み、投げることができ直観的な操作となっている。②では消火器の使い方を学習でき、既製品どおり、ピンを抜かずに薬剤を噴射することはできない。③は消火栓である、一連の操作をしたのち、両コントローラーで放水ノズルを持たないと放水されない。

5.3 VR 総合訓練システム詳細

「VR 総合訓練」では、前章の「VR 避難訓練」「VR 消火訓練」を複合し、マルチエージェントとして、生徒エージェントが100人追加されているシステムである。シナリオの設定では、プレイヤーはクラスを守るリーダーの役割を与えられており、自助、他者の命の尊重を考えながら行動することが求められている。プレイヤーは4F建ての校舎の2Fから始まり、1Fのエントランスまで進むと終了する。その間には「VR 避難訓練」「VR 消火訓練」で学んだ、

(i) 酸素の遮断 (ii) 消火活動ができる。これらの行動をすることによって、生徒エージェント全員の避難リスクを低減することができ、終了時にはプレイヤーの危険度、エージェント全体の危険度の推移、消火活動を行った時間などを振り返る(避難リスクの提示)ことができる。システ

ムの構成を図6、プレイヤーの視線を図7に示す。

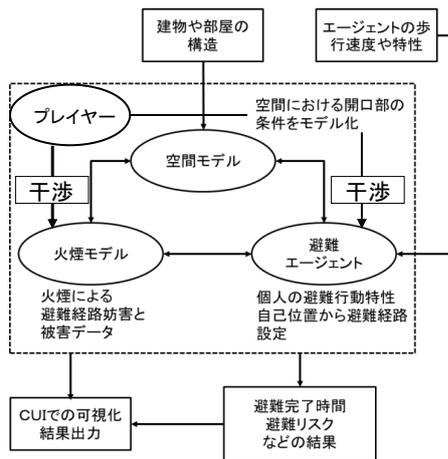


図6 システムの構成

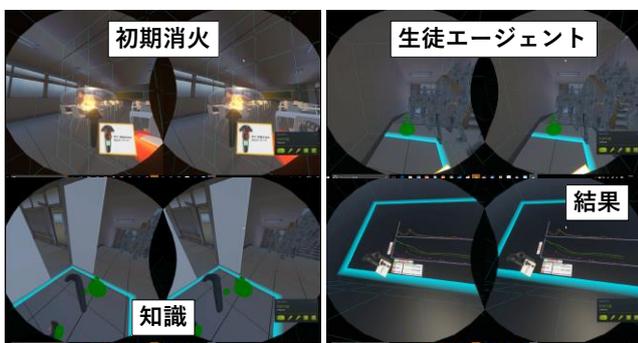


図7 プレイヤーの視線 (VR 総合)

プレイヤーはシステム開始時、即避難するか、初期消火活動を行うのかを判断する。さらに、窓、防火扉を閉めることで避難リスクに変化がある。いずれの行動に選んでも間違いではないが、この行動選択が全体の避難リスクにどのように影響するのか結果で学習できる。

5.3.1 火煙エージェント

火煙エージェントモデルはシミュレーションの時間経過に応じて、空間モデル内に火煙情報を表示し各エージェントに対して、避難可能経路か否かの情報を与えるものである。本モデルでは、煙の進行速度を 1.0m/s[5]、火の進行速度を 0.1m/s、と設定した。火煙エージェントを図8に示す。



図8 火煙エージェント

5.3.2 生徒エージェント

このエージェントの避難時の移動速度は式(1)を設定する。水平歩行速度は避難現場では動的である。歩行速度 v と避難者の密度 ρ の関係を示した中村[6]のモデル式を採用する。避難経路の設定方法はA*探索を用いて現在地から避難口までの最短経路を計算し移動する。移動の際には煙などの避難障害物を考慮し、避難不可だと判定すると経路を計算し再設定を行う。エージェントの占有面積は 0.5m である。生徒エージェントを図9に示す。

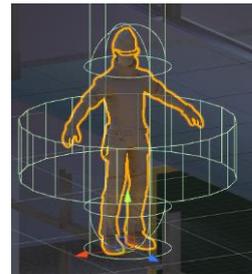


図9 生徒エージェント

$$v = 1.4 - 1.7e^{\frac{-2}{\rho}} \quad (1)$$

5.4 即時フィードバック・動機付けメッセージ臨床利用

即時フィードバック・動機付けメッセージの臨床利用とは、プレイヤーの行動直後に、行動に対しポジティブなコメントや行動の意味(知識)を投げかけ、モチベーションを保つ方策である。ARCSの4項目の向上を見込めることから教育教材に用いられることが多い。「VR 避難訓練」では、自助、他者の命の尊重を学習するイベント時には、プレイヤーの行動によってコメントが変化する。「VR 消火訓練」では火元を消火するごとにプレイヤーにメッセージを返す。種類としては「すごい」「よくできているね」などプレイヤーに「褒められた」と感じさせるメッセージを用意した。

5.5 避難リスクの提示

「VR 総合訓練」終了後の結果発表では、図10の示す避難リスクの提示を行う。結果は上下2段のグラフで構成されており、縦軸は危険度[1/m]、横軸は経過時間[s]である。下段はプレイヤーが全体に与えた危険度の推移である。赤線はプレイヤー個人の危険度の推移を表し、線上にプロットされている点は、「イエロー:初期消火活動を行った」「ピンク:窓を閉めた」「オレンジ:防火扉を閉めた」ことを表す。黄線はプレイヤーが火煙エージェントに干渉を行わなかった、つまり消火活動などをしなかった時の避難者全員の避難リスクの推移(ベンチマーク)を意味している。緑線は消火活動などを行い、火煙エージェントに干渉した時の避難者全員の避難リスク推移を表している。図10の下段グラフでは黄線と比べ緑線はある時刻を境に危険度が下

がり始めている。赤線を見るとイエローの点がプロットされているのでプレイヤーが消火活動を開始したことで下がったと言える。振り返りでは、プレイヤーの貢献が作用し、全員の危険度を下げることができたことを表しているコメントをする。これは ARCS モデルにおける満足度を向上させる方策である。

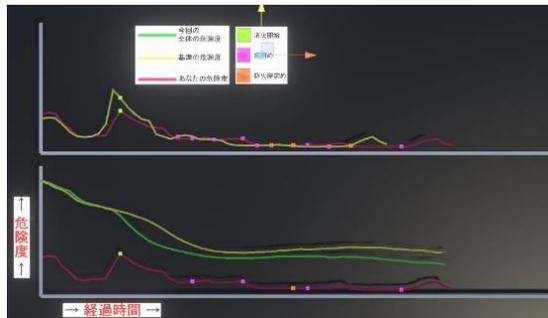


図 10 避難リスクの提示

上段のグラフは他のプレイヤーとの自身の避難リスクを比較している。他のプレイヤーとの比較だけでなく、前回の自分やプレイヤー全員の平均グラフとも比較することができる。今回は他のプレイヤーとして著者を採用し比較を行った。図 10 のプレイヤーは著者よりも同時刻に消火活動を行っているが危険度が低い、この結果ではプレイヤーは著者よりも安全に消火活動ができていたことを意味する。

5.5.1 避難リスク計算手法

避難完了時間に加え、避難中の避難完了人数の評価のため平均避難時間を指標とした。また、生徒の持つ避難リスクは自身と出火箇所の距離に反比例すると考え、以下の式(2)のように定義し、指標とした。

$$r_{ei} = \frac{1}{l_i(t)} \quad (2)$$

- r_{ei} : 時刻 t における生徒 i の瞬間避難リスク [1/m]
- $l_i(t)$: 時刻 t における生徒 i の出火箇所からの距離 [m]

ただし、出火場所の避難リスクは 100 とする。

また施設のリスクは、生徒の瞬間避難リスクの避難完了時間と生徒数の総和を考え、以下式(3)のように定義している。

$$R_{ei} = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_{ei}} r_{ei}(t) dt = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_{ei}} \frac{dt}{l_i(t)} \quad (3)$$

- R_{ei} : 校舎全体の避難リスク [s/m]
- n : 生徒数 [人]
- T_{ei} : 生徒 i の避難完了時間 [s]

さらに、避難エージェントの現在座標が火煙エージェント

トの座標より値が大きい場合、避難リスクの算出方法は出火場所からの距離ではなく煙との距離を計測する。煙は上に移動する特性によって変更した。火災において被害は多くの場合、煙の影響である。煙によって視界、呼吸、避難経路も妨害を受ける。計測方法を図 11 に示す。

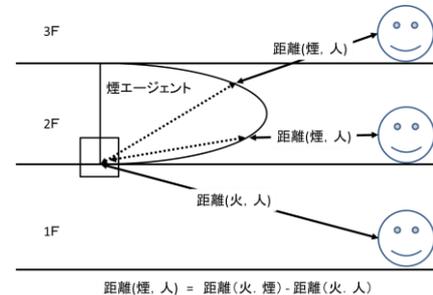


図 11 距離計測方法

6. 評価実験

実験の目的は本研究で開発した、「VR 防災訓練システム」に対して学習者がどの程度、この教材へ学習意欲があるのかを調査することである。同時に既存教材に対し、学習者がどの程度、意欲があるのかも調べ、「VR 防災訓練システム」と「既存防災教材」の学習意欲を比較する。加えて、各教材の内容が習得できているのかを調べるために VR 教材を学習したグループと既存教材を学習したグループに分け、プレイヤーの避難リスクを集計、リスクの平均算出教材の違いで、リスクの推移に差があるのかを観察する。また、行動特徴の比較を行う。目的は、行動特徴比較の目的は既存教材と同様またはそれ以上の学習効果があるのかを調べることである。その方法として、避難リスク推移と初期消火を行った人数と平均時刻を比較する。

6.1 IMMS 評価アンケート

一般的な学習意欲を測定するために、ARCS モデルに基づく the Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) 尺度を用いた。この尺度には注意 (12 項目)、関連性 (9 項目)、自信 (9 項目)、満足感 (6 項目) があり、計 36 項目の質問で構成されている。各項目には評価点数はリッカート尺度で回答する。「1.全くあてはまらない」「2.わずかにあてはまる」「3.半分くらいあてはまる」「4.かなりあてはまる」「5.とてもあてはまる」の 5 段階である。

6.2 実験方法

A グループ (N=10 22~24 歳男女)、B グループ (N=10 22~24 歳男女) に分かれ、A は「VR 防災訓練システム」、B は既存教材「わたしの防災サバイバル手帳」[7]を学習ののち IMMS 尺度に回答、集計を行う。また、A、B 両グループには VR 操作性の慣れによって教材の印象に影響がで

ないよう、「VR 操作レッスンコース」を十分に体験してもらおう。このコースでは VR 空間での移動方法、オブジェクトへのインタラクション方法、コントローラーのボタン説明を行う。

7. 結果・考察

IMMS 評価実験の結果を表 2 に示す。本実験では開発した VR 教材と既存教材について、どちらの方が学習者の学習意欲が高まるのかを調べた。結果として ARCS4 項目すべてにおいて、前者が高くなった。これにより、本研究で開発した VR 教材は学習者の学習意欲を高めることができると分かった。特に「注意」「満足感」においては、+1.58p, +)2.16p と著しい向上があった。これは方策として挙げた「即時フィードバック・動機づけメッセージ」「避難リスクの提示」が効いたと考えられる。次に「関連性」「自信」については開発の際に項目を向上させる方策は取り入れなかったが、+0.7, +0.2 の向上があった。しかし、「自信」があまり向上しなかった、有意差が見られなかった理由として、VR の操作に対してレッスンコースをしたが抵抗感が残っていた人がいることが考えられる。VR 教材の課題として、操作の簡略化に注力しなければならないことが言える。次に各教材における行動特徴は図 12 に示す。

表 2 IMMS 結果

項目 (信頼性 α)	既存教材	VR 教材	P(T<=t)両側
注意	2.93(0.88)	4.51(0.81)	**
関連性	3.30(0.80)	4.00(0.82)	**
自信	3.88(0.77)	4.08(0.83)	n.s.
満足感	2.47(0.75)	4.63(0.87)	**
P(T<=t)両側	n.s.:非有意	*:p<0.05,	**:.p<0.01,

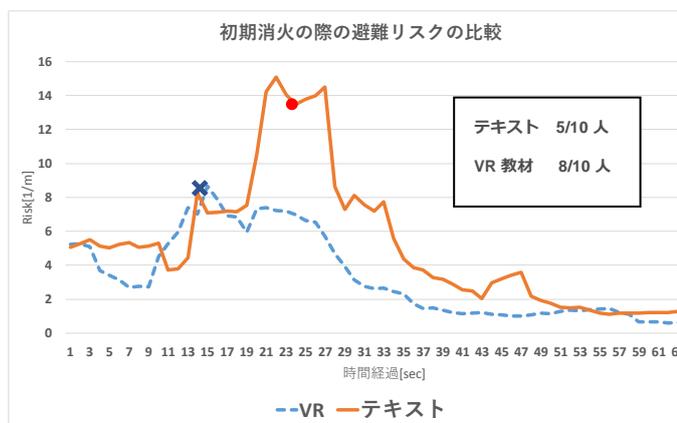


図 12 避難リスク比較

丸点、実線は既存教材を学習したグループ、バツ印、破線は VR 教材を学習したグループの平均消火開始時刻と平

均避難リスクである。平均消火開始時刻は既存教材 (24.8 秒)、VR 教材 (14.7 秒) と約 10 秒早く行動を起こしている。また、避難リスクの最高値を比較しても VR 教材(8.65p)、既存教材 (15.1p) と 6.45p 低くなっており、より安全に消火活動が行えたことを意味する。まとめると VR 教材を学習したグループの方が平均時刻、リスクともに低い値になった。これは避難行動、消火活動の方法が体得できたことが理由と考えられる。

8. おわりに

本研究では防災教育の社会的な様々な課題に対し、解決策として意欲的に取り組めるような「VR 防災訓練システム」を ARCS モデルの方策を取り入れながら開発した。知識習得のため「VR 避難訓練」「VR 消火訓練」、行動特徴抽出のため「VR 総合訓練」の 3 つの詳細を説明した。IMMS 評価の結果「VR 防災訓練システム」は既存教材に比べ、意欲的に取り組むことができる教材であることが分かった。さらに、学習効果についても、「VR 教材」を学習したグループの方が初期消火開始時刻、平均避難リスクともに早く、低くなったことから、既存教材を学習するよりも実際の火災になった場合、より良い避難行動をとることができると考えられる。

参考文献

- [1] 城下 英行, 河田 恵昭. “学習指導要領の変遷過程に見る防災教育展開の課題”. 自然災害科学 J.J SNDS 262163176 (2007)
- [2] 文部科学省“現在の防災教育における課題”. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/006/shiryo/attach/1367196.htm, (参照 2017-12-10).
- [3] 柳在鎬, 橋本直己, 佐藤誠, 大野隆造 “地震災害に対する防災教育のためのポータブル VR システムの構築”. リアルタイム物理シミュレーションを利用した防災教育, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 469-470 (2007).
- [4] 坪田慎介, 大野隆造“ポータブル VR システムを用いた防災教育の実施”. 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 485-486 (2009).
- [5] 大上俊之ら: 煙の影響を考慮したトンネル火災の避難行動シミュレーション 計算理数工学論文集 Vol.8(2008.11)論文 No.01-081128
- [6] 中村和男, 吉岡松太郎, 稗田: 歩行者流動モデルとそのシミュレーション, 人間工学, 10, No182(1971),pp.21-32.
- [7] 消防庁“わたしの防災サバイバル手帳” <http://www.fdma.go.jp/html/life/survival/pdf/h29/survival2903.pdf>