

仮想現実空間を利用した体験型火災避難訓練と シナリオ記述言語の開発

Development of Experience-based Fire Evacuation Drills in a Virtual Reality Space and a Scenario Discription Language of them

井手淳人[†], 飯島正[‡]

Atsuto IDE[†], and Tadashi IJIMA[‡]

^{†‡}慶應義塾大学 理工学部

^{†‡}Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

要旨

本研究プロジェクトでは、没入型(非透過型)ヘッドマウントディスプレイを用いた仮想現実空間において屋内火災を再現し、安全かつ臨場感のある疑似避難訓練を行うことで、体験的に火災に対する知識を習得してもらうことを、その目的の一つとしている。本報告では、これを実現する上で必要なシナリオ表現と、実装環境としてUnityプラットフォームとC#言語を用いたシナリオ再現、そして仮想空間内における体験者の行動や操作を拡充する試みについて報告する。また、火災避難シナリオを、プログラマではない防災の専門家が自ら記述できることを目指したドメイン固有言語(DSL)の構築と、記述パターンの拡充も継続的に続けている。その現状についても報告する。

1. はじめに

消防庁のデータによると、平成27年に発生した火災は39,111件にのぼり、1,204名の尊い命が奪われた[1]。火災による死者数のうち、逃げ遅れが原因とされるものは約49%を占めている[1]。火災予防はもちろん、万が一火災が発生した際にどのように避難するのが重要になってくる。避難スキルの向上を図るうえで、防災訓練は非常に意義のあることである。しかし、防災訓練を効果的に行うためには時間や場所の確保、さらに相応の準備も必要になる。日常的に利用される駅構内や公共施設などでの避難訓練は、こうした観点から実施が難しいのが現状だ。

そこで、立体視によって臨場感を高めた没入型ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用し、仮想現実(VR=Virtual Reality)空間の中で屋内火災を再現し、多様な状況設定での避難訓練を安全かつ現実的に行なえるようにすることを目指している。さらに、VR空間での行動選択データを収集することによって、火災発生時の被験者(被災者)の心理傾向について精度の高いデータを得ることも目指している。机上でのアンケート調査では、質問者が想定している災害の状況を対象者に正しく伝えるのが容易ではなく、正確なデータを得られない可能性があった。VR内のシミュレーションを用いれば、視覚的にわかりやすく災害状況を伝えることができ、行動データの精度向上につながり、そして収集したデータをもとに、災害シミュレーションの精度も高めていくことができると考えている。

さて、体験型避難訓練や行動選択調査のためには、被訓練者/被験者は、VR空間における何らかのシナリオに基づいた状況下で屋内火災を疑似体験し行動する。シナリオとは、被訓練者/被験者自身の置かれた状況、周囲の被災者とその行動、災害状況等を設定したものである。一つの建造物における一つの災害状況を対象とした場合でも、訓練すべき状況や行動選択データを取得したい状況ごとに、複数のシナリオを記述し構築しなければならず、その負担は大きい。特に3次元VR空間を構築するための一般的なツールである、UnityやjMonkeyEngine等の汎用ゲームエンジンを使うとはいえ、C#やJavaといったプログラミング言語で直接シナリオを記述するためにはプログラミングの知識が必要である。一般に、訓練や心理実験のためのシナリオの設計はプログラマではなく、防災・減災を専門とする専門家である。防災・減災の専門家が、ゲームエンジンのプログラムに関する知識を併せ持つことは、必ずしも期待できない。そこで、シナリオを記述するための固有言語(ドメイン特化言語)を構築し、そこから特定のゲームエンジンで動くプログラムを生成するアプローチを提案する。

当研究では、ゲームエンジンとしてUnity(実装プログラミング言語としてはC#)を用いて、屋内火災を対象とした実現可能性調査とプロトタイプ設計を進めているため、この前提のもとに報告する。しかし、対象とする災害をパラメータとし、ゲームエンジンや実装言語、デバイス等にはできる限り依存依存しないシナリオ記述言語の設計を心がけて進めている。

2. シナリオ記述の為の言語の開発 [2]

ここでは、シナリオ記述言語の開発に関する概要を述べる。

2.1. シナリオ記述に必要な要素と記述例

シナリオ記述に必要な情報を大別すると、環境モデルと人間モデルに分けられ、合わせて5つの要素が存在する。現段階で実装できている、各要素の内容は次の通りである。

● 環境モデル

1. イベント全体のモデル

- － 開始時刻
- － 火災発生時の放送の有無、放送時間
- － 火災報知機の有無、作動時間
- － 停電の有無、停電時間

2. 建造物とその内部のモデル

- － 建造物名
- － 調度品(机, タオル, 懐中電灯)の有無, 位置
- － 設備(消火器, 非常口誘導灯, 照明)の有無, 位置

3. 災害のモデル

- － 火の有無, 大きさ, 位置
- － 煙の有無, 煙の濃さ(初期状態)

● 人間モデル

4. 被験者のモデル

- － 名前
- － 年齢
- － 性別
- － 初期位置

5. 他の避難者モデル

- － 人数
- － 名前
- － 年齢
- － 性別
- － 性格
- － 状態
- － 初期位置
- － 避難行動

各モデルの要素は、必要と思われる箇所を記述すればよく、すべてを記述する必要はない。

各モデルの位置情報については座標で直接指定するほか、図1のような位置情報入力ツールを用いて、建造物モデルの間取り図からGUIを介して入力することもできる。間取り図情報は建造物の3次元設計情報(CADデータ)をIFC(Industrial Foundation Class)データ形式を仲介させてツールにダウンロードする。

上記をもとに、後述する体験型避難訓練のためのシナリオ(Tr2)を記述した例を図2に示す。

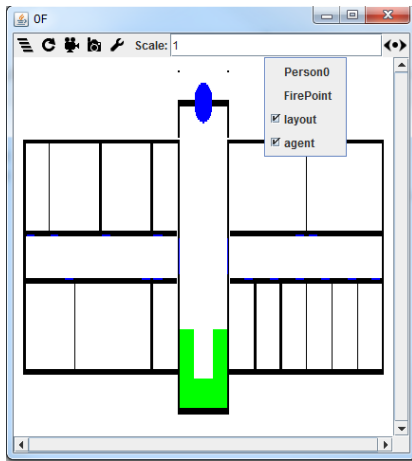


図 1: 位置情報取得ツール

```

シナリオ ("Tr2") {
  環境モデル {
    イベント {
      開始時間: 10時
      火災報知器: 10秒後
    }
  }
  建造物 {
    建物名: 学校
    設備 {
      消火器 ("fe1") {
        場所: 間取り図から指定
      }
      消火器 ("fe2") {
        場所: 間取り図から指定
      }
      非常口誘導灯 ("ee1") {
        場所: 間取り図から指定
      }
    }
  }
  災害 {
    火災 {
      火 ("f1") {
        発生時刻: 1秒後
        初期位置: 間取り図から指定
      }
      火 ("f2") {
        発生時刻: 2秒後
        初期位置: 間取り図から指定
      }
      火 ("f3") {
        発生時刻: 5秒後
        初期位置: 間取り図から指定
      }
    }
  }
}
    
```

図 2: シナリオ記述言語の記述例

2.2. シナリオ記述言語から実装言語への変換

シナリオ記述言語から実装言語への変換には JavaCC とそのプリプロセッサである JJTree を用いる。まず、シナリオ記述言語を変換するための構文定義ファイルを JJTree に渡す。JJTree は入力された構文定義ファイルを JavaCC 形式に変換し、構文木を生成するための Java ソースファイルを出力する。次に、JavaCC 形式の構文定義ファイルを JavaCC に渡すと、トークンを扱うクラスや例外を扱うクラス、パーサクラスが出力される。ここで生成されたパーサクラスに、シナリオ記述言語で記述したテキストファイルを読み込ませると、字句解析、構文解析を経て構文木が生成され、その構文木を読み込むことで実装言語 (C #) に変換される (図 3)。

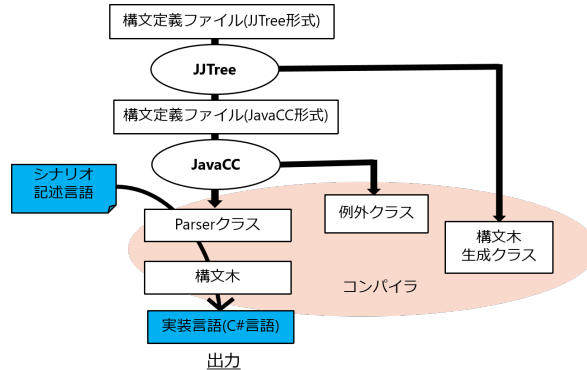


図 3: シナリオ記述言語から実装言語への変換の流れ

3. 体験型避難訓練に関する実験 [2]

前節で述べたシナリオ記述言語を用いて、体験型避難訓練用のシナリオを2つ作成した。シナリオ1では主に火災によって煙が充満する中での避難の方法について、シナリオ2では主に自分の近くで火事が起きた際の初期消火の判断および消火器の使い方について学んでもらう目的で作成されたものである。

シナリオ1: 21時半ごろ、学校にいととつぜん火災報知機が鳴った。状況は図4のようになっている。避難者1は火災報知機の音を聞くと同時に避難を始める。避難者2は火災報知機の音だけでは避難を始めず、実際に火を見るか、煙が充満しているのを確認すると避難を開始する。被験者のいる部屋にある机の上にはタオルと懐中電灯がある。シミュレーション開始後まもなく煙が充満し始め、開始10秒後に火災報知器が鳴り、20秒後に停電が起こる。

シナリオ 2：11 時ごろ、学校にいととつぜん自分のいる部屋から火災が発生し、火災報知器が鳴った。状況は図 5 のようになっている。避難者 1 は報知器の音を聞くと避難を開始するが、真面目な性格であり、初期消火可能な火を見ると消火活動を、動けない人を見ると救助活動を優先して行う。避難者 2 は自分 1 人では移動ができず、他人の救助が必要である。

それぞれのシナリオでは避難の途中で質問が出てきて (図 6)、被験者にはその質問に答えてもらう。誤答すると避難に失敗したり、避難できる時間が短くなったりする。

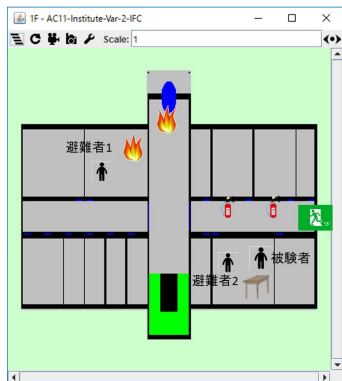


図 4: シナリオ 1

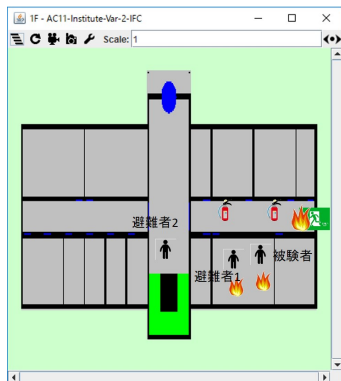


図 5: シナリオ 2

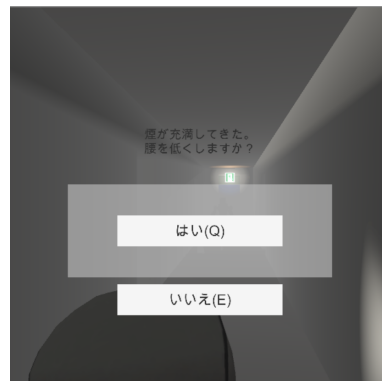


図 6: シナリオの様子

以上の体験型避難訓練によって避難スキルが向上するかどうか調べるため、実験を行った。

まず、避難行動に関する知識を問う 2 種類のテスト (A, B) と、上記の体験型避難訓練 (C) を用意した。テスト A・B はどちらも全 7 問あり、(1)(2) 消火器の使い方 (3) 初期消火の判断 (4)(5) 煙の特性 (6) 避難中の行動 (7) 火災の周知・通報に関する問題となっている。テスト C については、被験者は椅子に座ってもらい、アバターの操作方法とヘッドトラッキングの機能について説明したうえで、HMD を装着した状態でキーボードを使い、自らの判断でアバターを操作し避難をしてもらう。被験者ごとに上述の 2 種類のシナリオを各 3 回ずつ行う。

健常な 20 代男性 7 名を対象として、訓練 C によるトレーニングの前後でテストの正解率が変化するか調べたところ、正解数の増減は図 7 のようになり、増減数の平均は 0.29 となり、あまり変化は得られなかった。

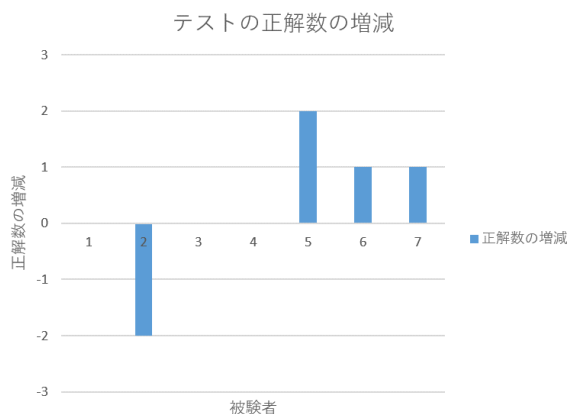


図 7: 避難に関するテストの結果

原因としては、VR での訓練において、それぞれの質問に対して正解となる行動をはっきり表示しなかったことと、実験の際、被験者に「避難してください」とだけしか伝えなかったために、火や消火器などの出題のトリガーとなるオブジェクトに近寄ってもらえなかったことが挙げられる。消火なら消火

のトレーニング，救助なら救助のトレーニングといったように要素ごとにシナリオを分けてトレーニングを行う必要があったと考えられる。

4. 仮想現実空間における被験者の避難行動の拡充

これまでの研究では，VR空間内での被験者の操作はすべてキーボード入力を用いていた。しかし，VR体験に必要なHMDは被験者の視界を完全に遮ってしまうため，原則目で見て入力する必要のあるキーボードはVRのコントローラーとしては不向きであり，臨場感や没入感を損なうことにもつながる。

そこで当研究では今年度より，VR用デバイスとして「HTC Vive[3]」を新たに導入し，シミュレーション上でより直感的な動作ができるような操作の拡充を目指している。ここではその概要と経過について報告する。

4.1. HTC Vive について

「HTC Vive」(以下Vive)はHTC社とValve社により共同開発されたVRHMDである。Viveにはトラッキングセンサ(ベースステーション)が2台付属されており，これを対角に配置することで，最大で約4m×3m四方の範囲を位置トラッキングする(ルームスケールモード)ことが可能となる。また，専用のコントローラーが2台付属されており(図8)，ボタンと位置トラッキングによって，例えば物をつかんで投げる，銃を撃つ，ラケットなどを振る，などの動作を，VR空間内で直感的な操作で行うことが可能となる。



図 8: Vive コントローラー

4.2. VR 空間における避難行動の拡充

以上の性能を持つViveを用いた，シナリオにおける被験者の操作の実装を現在進めている。現段階では，第3節で紹介した既存のシナリオにおいて，コントローラーを用いたアバターの移動および質問への解答が可能となっている。今後も拡充を進め，より直感的な移動方法(コントローラーをもって腕を振ることで前進する)の実装や空間内のオブジェクト(懐中電灯や消火器，部屋の扉や窓など)の操作，他の避難者の救助などが行えるようにすることを目標にしている。実装は今のところC#に直接記述する形式をとっているが，記述方法が確立され次第，第2節で述べた固有言語への対応も進める予定である。

また，第3節で述べたような，トレーニング内容を要素ごとに分けた小規模なシナリオについても現在作成中である。既存のシナリオは舞台となる建造物が広大なため，ルームスケールモードを利用することができなかったが，シナリオを小規模にすることで舞台装置も小さい屋内で済むため，ルームスケールを有効に利用することが可能になると考えている。こちらも，初めはC#に直接記述して開発し，その後固有言語への実装を目指す。そして既存のシナリオと比較して，新たに作成したシナリオによって避難スキルの向上が見込めるか，実験によって確かめる予定である。

5. おわりに

現在進行中の研究プロジェクトの中間報告として、VR空間における体験型避難訓練およびそのシナリオを記述するための固有ドメイン言語の開発、そしてViveを用いたシミュレーションの拡充について報告した。

上述の通り、現在はシミュレーションにおける操作の拡充及び新たなシナリオの構築に取り組んでいる。被験者が現実に則した動作で避難シミュレーションを行うことが可能となれば、災害知識習得はもちろん、災害時の避難者の行動パターンの分析もより正確に行うことができると期待できる。また固有言語によってこれらを防災の専門家が一手に行えるようになれば、シナリオの洗練化に関しても大幅にコストを低減できると期待している。

参考文献

- [1] 消防庁, ”平成28年版 消防白書”, http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h28/h28/pdf/h28_all.pdf, 閲覧日: 2017/10/29.
- [2] 高浪晃暉, ”避難行動パターンを仮想現実空間で活用するためのドメイン固有言語の設計と実装”, 2016, 慶應義塾大学修士論文.
- [3] ”HTC Vive”, <https://www.vive.com/jp/>, 閲覧日: 2017/11/9.