

平成 21 年 5 月 22 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19860047  
 研究課題名（和文） 高精細映像による没入型避難シミュレータの開発と  
 地下空間浸水時への適用性  
 研究課題名（英文） Development of Evacuation Simulator on High-definition Immersive  
 Projection Display and Application to Inundation into Underground Space  
 研究代表者  
 安福 健祐（YASUFUKU KENSUKE）  
 大阪大学・サイバーメディアセンター・助教  
 研究者番号：20452386

研究成果の概要：本研究は、高精細没入型ディスプレイ上で、地下空間浸水時からの避難を疑似体験可能な避難シミュレータを開発し、一般の液晶ディスプレイを用いた避難シミュレータ上での避難行動との比較および現実の避難行動特性として知られる追従性、向開放性、向光性、帰巢性の再現性について検証を行った結果、当該システムによって仮想空間における避難行動の再現性の向上が期待できる成果が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,340,000	0	1,340,000
2008 年度	1,330,000	399,000	1,729,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,670,000	399,000	3,069,000

研究分野：建築形態工学

科研費の分科・細目：工学・建築計画

キーワード：避難行動、シミュレータ、バーチャルリアリティ、没入型

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 建築物の防災計画を立案する上で、災害時における人間の避難行動を予測することは重要であり、これまでも災害事例調査や実験による分析が数多く行われている。しかしながら災害事例の収集には限りがあり、災害に見舞われて亡くなった人の避難行動に関しては、当事者でない第三者が推定せざるを得ない等の問題がある。また実験によって被験者の避難行動を分析する場合は、災害を再現する上での現実感、コスト、安全面等に問題がある。近年はその代替手段として、CGにより災害時の視環境を表現し、仮想空間における被験者の避難行動を分析する方法も提案されている。

(2) CG 技術の進歩は著しく、ユーザーの操作を即座に高精細な CG 映像へ反映させるインタラクティブな処理が可能となっている。またビデオゲーム技術を活用して、教育や多様な社会問題に対応するシリアスゲームというジャンルも確立されつつある。その中には米陸軍の兵士訓練用のシミュレータや、ニューヨーク消防局の消防士訓練用のシミュレータがあり、机上では認識しづらい状況への対応を習得するのに成果を挙げている。わが国の建築防災分野においても、独立行政法人消防研究所が、CG 映像と連動して、現実の煙・熱が制御可能な火災疑似体験システムを開発し、仮想空間上での被験者の避難経路に一定のパターンを見出している。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、被験者が仮想建築物内を仮想的に歩き回ることができるウォークスルーシステム上に災害および避難状況を設定し、被験者に災害から避難する操作を行わせることで、建築物からの避難を疑似体験させることができる避難シミュレータの開発を行う。その避難シミュレータの表示装置として、高輝度・高解像度の没入型ディスプレイ装置を用いることにより、建築空間を実物大で可視化し、災害の没入感、臨場感を向上させることで、避難行動の再現性を高めることを目的としている。

(2) 避難行動結果を元に、避難経路の一部が通行不能となった場合の避難状況を分析可能な避難シミュレーションシステムを開発し、避難者が群集状態で避難経路を引き返した場合に適用する。

## 3. 研究の方法

(1) 没入型ディスプレイは、被験者の視野を大画面の映像で囲むことで、高品質な仮想現実環境を実現できる。大阪大学サイバーメディアセンターでは、2002年より典型的な没入型ディスプレイである CAVE が運用されており、2007年に同システムの一部が更新され、従来よりも高精細な映像提示が可能な HOPE (High-definition Osaka university Projection Environment) が開発されている。HOPE の設置図面を図1に示す。

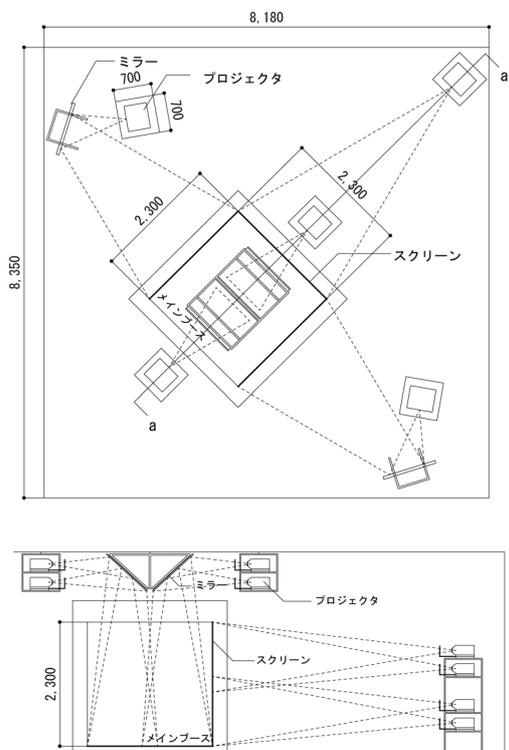


図1 HOPE の設置図面

HOPE のシステム全体は、床面積約 8m×8m の専用棟に收容され、木製のメインブースは内側 2.3m 角、外側 2.84m 角の立方体形状となっており、そこに正面、左右面、床面、計 4 面のスクリーンがある。各スクリーンに対しては、立体視映像を表示するために DLP プロジェクタを用いて円偏光ステレオ投影を行う。プロジェクタ 1 台あたりの解像度はフル HD (1920×1080 画素)、輝度は 1000 ANSI ルーメンである。スクリーン 1 面、単眼あたりは上下 2 台のプロジェクタが用いられる。このときスクリーン中央部分を一部オーバーラップさせて、1920×1920 画素の解像度による映像提示を行う。その結果、HOPE はプロジェクタを計 16 台使用する。システム更新前の旧 CAVE は 1 スクリーンあたりの解像度が 1024×768 画素、輝度 300ANSI ルーメンであり、それと比較すると、HOPE は高解像度化、高輝度化がなされており、高精細な映像を提示可能となっている。また、旧 CAVE では可視化サーバー (SGI Onyx 300) が 1 台であるのに対し、HOPE ではプロジェクタと PC を 1 対 1 に対応させ、制御用 PC と合わせ 10GbE 経由で 17 台のクラスターを構成することで、グラフィックス処理性能を向上させている。HOPE 内の被験者は、磁気センサー付きの偏光眼鏡をかけることで、被験者の視点に基づく立体視映像を見ることができる。

(2) PC 向けの液晶ディスプレイを用いた避難シミュレータ (以下、PC 型) と HOPE を用いた没入型避難シミュレータ (以下、没入型) を開発する。PC 型と没入型の避難シミュレータで異なるのは、画面の大きさ、解像度および操作方法である。画面の大きさは、PC 型が 15 インチ液晶ディスプレイ 1 面で、避難シミュレータ上での水平視野角は 80 度であるのに対し、没入型は 2.3m の正方形スクリーンが 4 面であり水平視野角は 270 度である。さらに、没入型は被験者が磁気センサー付き立体視眼鏡をかけることで、被験者の視点による映像をリアルタイムに描画することから、建築物を原寸大で表示できる。解像度については、PC 型が 1024×768 画素であるのに対し、没入型は 1 スクリーンあたり 1920×1920 画素である。さらに操作方法に関しては、没入型が WANDA と呼ばれる専用コントローラを用いて操作し、PC 型はキーボードを用いて操作する。

(3) 避難シミュレータは、被験者の視点の位置に合わせた CG 画像をリアルタイムに生成する必要がある。その際、1 秒間に 30 フレーム以上の画面更新が行われると、高品質な動画が得られる。一方、避難の対象となる浸水災害を正確にシミュレーションするためには、流体力学に基づく数値シミュレーシ

ョンを行うことが一般的である。しかしながら、その計算量は膨大となり、リアルタイムで処理することは現状のハードウェア性能では困難である。リアルタイムレンダリングの技術開発が進むビデオゲームの分野においては、水などの流体をCGで表現するため、水面の波の動き、周囲の映り込み、光の屈折等をシミュレーションすることでフォトリアリスティックな表現を取り入れている。特に近年は自然現象をリアルタイムでシミュレーションする物理計算プログラムが市販のミドルウェアという形で開発され、多くのビデオゲーム開発に利用されはじめている。そのような市販のミドルウェアの1つで、流体のシミュレーションが可能なOctaveEngineは、流体の動きの一部を粒子法によって計算することで、従来の簡易シミュレーションでは不可能であった流水の激しい動きの表現や水面の物理的な状態を考慮したしぶきの発生・消滅の計算リアルタイムシミュレーションが可能である。ここでは、避難シミュレータで発生する浸水災害をよりフォトリアリスティックに表現するため、避難シミュレータに上記のOctaveEngineを組み込み、浸水災害の可視化を試みる。

(5) 避難シミュレータを用いて、被験者のインタラクティブな操作により避難経路を選択させる避難経路選択実験を行う。実験は没入型避難シミュレータとPC型避難シミュレータの2通りで実施し、その結果を比較する。さらに、避難シミュレータを用いた仮想空間上の実験結果の一部と実空間上で行われた既往の避難実験結果と比較し、避難行動の再現性について検証を行う。シミュレータ実験に用いる経路は4種類で、各経路には一箇所ずつT字路の分岐点がある(図2参照)。それぞれの分岐点において、災害時の避難行動特性である帰巢性、向光性、向開放性、追従性を評価する。

(6) 避難経路選択実験が終了した被験者に対してアンケート調査を行う。アンケート内容は大きく、① 経路選択時に被験者が意識したものであるに関する質問と、② 避難シミュレータ自体に関する質問で構成されている。選択肢は5段階の評定であり、①では意識の度合いが高い選択肢ほど評定値を高くし、②では避難シミュレータに対する評価が高い選択肢ほど評定値を高くしている。

(7) 避難シミュレータによる実験は、被験者が1人ずつ行うものであり、他の避難者は、予め想定された避難経路で避難する行動をプログラムされたものである。そのため、避難経路上に障害が発生したときの群集状態での避難状況を分析するには至らない。ここ

では避難経路の一部が通行不能となった場合の避難状況を分析可能な避難シミュレーションシステムを開発し、避難者が群集状態で避難経路を引き返した場合に適用する。

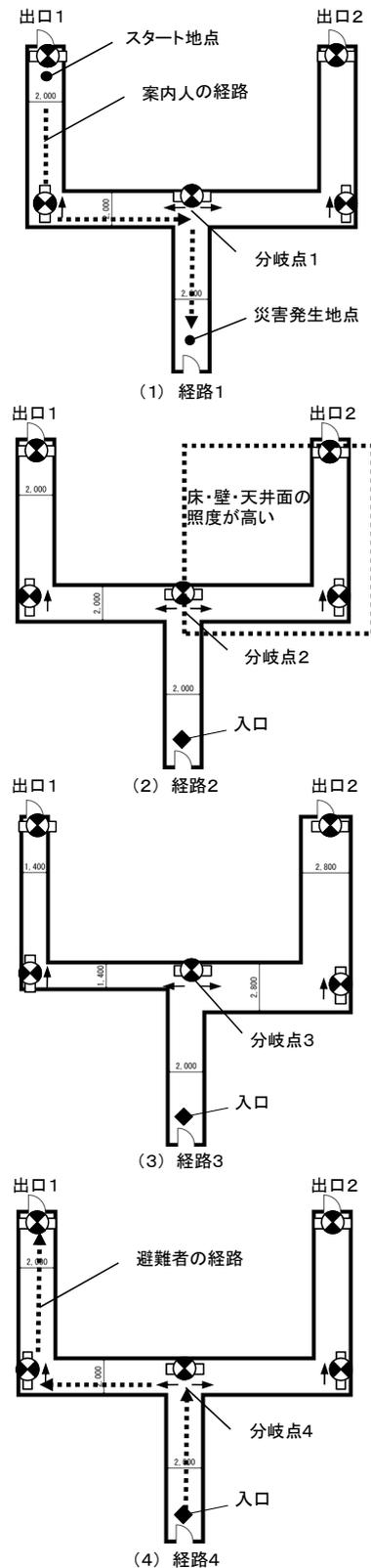


図2 避難経路選択実験に用いる経路図

#### 4. 研究成果

(1) 高精細没入型ディスプレイ HOPE 及び PC 上でインタラクティブ操作可能なグラフィックス処理用クラスライブラリを開発し、没入型避難シミュレータおよび PC 型避難シミュレータの開発を行った。高精細没入型ディスプレイ装置 HOPE を用いることで、旧 CAVE よりも 5 倍以上のプログラムの高速化が実現し、高精細な CG により再現された仮想空間上で被験者のインタラクティブな操作による避難行動実験が可能となった (図 3)。



図 3 没入型避難シミュレータ

(2) 地下浸水災害の可視化において、従来の簡易シミュレーションでは不可能であった流水の激しい動きの表現や水面の物理的な状態を考慮したしぶきの発生・消滅の計算を PC 型避難シミュレータにおいて実装した。(図 4)

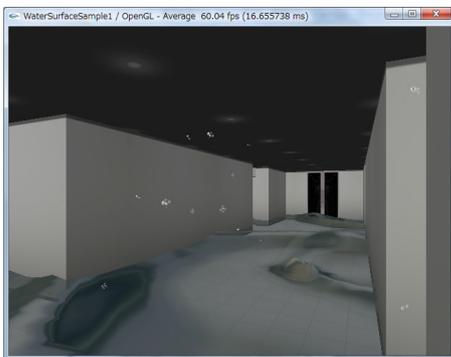


図 4 浸水災害の可視化

(3) 避難シミュレータを用いた経路選択実験の結果、没入型避難シミュレータでは広幅員経路および他者選択経路の選択率が高く、PC 型避難シミュレータでは明照度経路および他者選択経路の選択率が高くなる傾向がみられた (図 5)。避難シミュレータ上での明照度経路および広幅員経路の選択率については、既往の実空間上の避難実験結果との間に大きな差が生じておらず、没入型、PC 型ともに実空間上での避難行動特性が再現されていることを確認した。

(4) 経路選択実験における被験者へのアンケート結果から、往時経路、明照度経路、広幅員経路、他者選択経路について、被験者が経路の特徴を意識するほどその選択率が高まる傾向がある。特に広幅員経路を意識する被験者が PC 型よりも没入型に多く、その結果として広幅員経路の選択率は PC 型よりも没入型のほうが高くなっている。このことから没入型のほうが広視野かつ原寸大による建築物の可視化ができるため、経路形状を正確に把握できている可能性が高い。ただし、PC 型を用いても、避難行動特性の再現にそれほど大きな差が生じないことも示し得た。

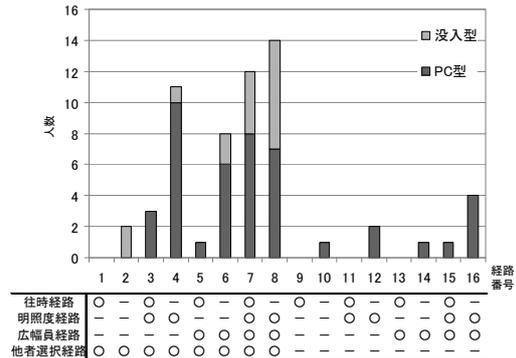


図 5 避難経路選択実験結果

(5) 国内外において、このような没入型ディスプレイを用いた避難行動特性について定量的に示した研究はなく、避難行動調査の一手法となり得る知見が得られた。今後、没入型を用いた場合の災害の臨場感の向上と映像酔いを緩和するシステムを構築および現実の建築物を用いた実験を行っていく。

(6) 避難シミュレータ上で得られる被験者の避難行動特性をモデル化し、各避難者モデルをエージェントとしたマルチエージェント型の避難シミュレーションの開発を行い、その適用例として、避難経路に障害が発生した場合の避難行動をモデル化し、災害発生時の避難者の誤った避難経路選択がその後の避難時間に大きく影響することを明らかにした (図 6)。

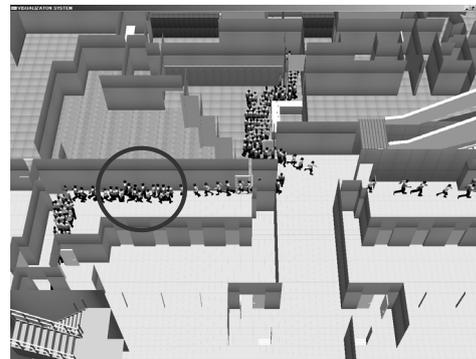


図 6 避難シミュレーション結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 安福健祐、高精細没入型避難シミュレータの開発と避難経路選択に関する分析、日本建築学会計画系論文集、第 74 巻第 640 号、1265-1270、2009、有
- ② 安福健祐、没入型建築ウォークスルーシミュレーションシステムの開発、日本建築学会技術報告集、第 14 巻第 28 号、639-644、2008、有
- ③ 安福健祐、阿部浩和、吉田勝行、避難シミュレーションシステムの経路障害発生時への適用、日本建築学会計画系論文集、第 626 号、721-727、2008、有
- ④ 安福健祐、高精細没入型ディスプレイ装置による災害避難の可視化、日本図学会 2008 年度大会学術講演論文集、57-60、2008、無
- ⑤ 安福健祐、HOPEを用いた避難シミュレータと図学教育への展開、図学研究、118 号、25-26、2007、無
- ⑥ 清川清、ミランダ・ミランダ・ミゲル、野崎一徳、安福健祐、伊藤一男、岩田 恭典、HOPE-高精細没入型周壁面ディスプレイの開発、日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集、2C2-2、2007、無
- ⑦ 安福健祐、没入型ディスプレイ装置を用いた避難シミュレータの開発、2007 年度図学会大会学術講演論文集、83-88、2007、無

[学会発表] (計 8 件)

- ① 安福健祐、没入型避難シミュレータによる避難経路把握の分析、日本図学会 2008 年度本部例会学術講演会、2008 年 11 月 29 日、立教大学
- ② Kensuke YASUFUKU、VISUALIZATION OF EVACUATION SIMULATOR ON A HIGH-DEFINITION IMMERSIVE PROJECTION DISPLAY、13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS、2008 年 8 月 4 日、ドレスデン工科大学
- ③ 安福健祐、高精細没入型ディスプレイ装置による災害避難の可視化、日本図学会 2008 年度大会学術講演会、2008 年 5 月 10 日、北海道大学
- ④ 安福健祐、没入型建築ウォークスルーシステムの開発、2007 年度日本図学会関西支部学術講演会、2008 年 2 月 8 日、大阪電気通信大学
- ⑤ 安福健祐、没入型災害避難シミュレータの開発、第 5 回レイマージョン技術研究会、2007 年 10 月 19 日、奈良女子大学

- ⑥ 安福健祐、HOPEを用いた避難シミュレーションシステムの開発・図学教育への展開、日本図学会第 39 回国学教育研究会、2007 年 9 月 7 日、大阪大学
- ⑦ 安福健祐、阿部浩和、吉田勝行、避難シミュレーションシステムの経路障害発生時への適用、2007 年度日本建築学会大会学術講演会、2007 年 8 月 31 日、福岡大学
- ⑧ 安福健祐、没入型ディスプレイ装置を用いた避難シミュレータの開発、2007 年度日本図学会大会学術講演会、2007 年 5 月 12 日、東京大学

[その他]

研究成果データベース

<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/kg-portal/aspI/RX0011D.asp?UNO=16704&page=>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

安福 健祐 (YASUFUKU KENSUKE)

大阪大学・サイバーメディアセンター・助教

研究者番号：20452386