

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25240030

研究課題名(和文) 歩行移動インタフェースを用いた避難行動研究基盤の構築

研究課題名(英文) Evacuation Simulator Using Locomotion Interface

研究代表者

岩田 洋夫 (IWATA, Hiroo)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：60184884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：位置を変えずに歩行運動を可能にする装置のことを歩行移動インタフェースと称す。歩行は人間にとって最も基本的な移動手段で、災害時における避難も徒歩が原則である。人間が自分の周囲の空間を認識する場合に、歩行運動に伴う外界の見えの変化は極めて重要な手掛かりであり、人間の空間認知に関する重要な研究テーマである。しかし、従来の避難シミュレーション研究では、この手掛かりがほとんど実現されていないのが実状である。本研究はこの課題に対して、歩行感覚と視覚を融合した避難シミュレータを開発し、避難行動における人間の特性を研究するための基盤技術を構築した。

研究成果の概要(英文)：Traveling on foot is the most intuitive way for locomotion. People often feel that sense of distance or direction while walking is much better than that while riding on a vehicle. Infinite surface driven by actuators is an ideal device for creation of sense of walking. We selected a torus-shaped surface to realize the locomotion interface. Infinite surface is generated by the motion of the treadmills. The walker can go to any direction while his/her position is fixed in the real world. An image of the virtual space is displayed in the head-mounted display corresponding with the motion of the walker. The device was applied to evacuation simulator.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ ロコモーション・インタフェース

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災以降、大規模な災害に対して科学技術がどのような貢献ができるかが問われている。本研究は、災害時における徒歩による避難行動に着目し、適切な避難を実現するための、人間の特性の研究に資するような避難シミュレータの開発を目指す。

人間に各種の体験をもたらすシミュレータに関する研究は、以下の3つのフェーズに分けることができる。

(Phase 1) 着座搭乗型 操縦桿などの操作インタフェースが固定のものであり、フライトシミュレータなどは広く実用化されている。

(Phase 2) 机上操作型 各種の道具を用いて手作業を行うもので、力覚ディスプレイなどの各種入力デバイスを用いて、手術や工業デザインを行う様々な研究が進められている。

(Phase 3) 歩行移動型 足で歩行移動するもので、避難シミュレーションや歩行リハビリなどに用いる初歩的な試みがあるが、その研究は端緒についたばかりである。本研究は、このフェーズにおけるブレイクスルーを目指すものである。

災害時における人命安全の向上のためには、火災、浸水等の災害下での避難解析が必須であるが、このような災害状況を実世界で再現し、被験者実験を行うのは大きな危険を伴うため、これを実施することは不可能である。したがって、この研究を行うためにはバーチャル空間で災害を表現し、その中でリアルな避難行動を体験できる避難シミュレータが不可欠である。

2. 研究の目的

人間にとって最も生得的な移動手段は足で歩くことである。しかし、実世界においては当たり前で発生する行為が、バーチャル世界においてはほとんど実現されていないのが実状である。歩行移動インタフェースとは、バーチャル世界における歩行感覚を提示するために、位置を変えずに歩行運動を可能にする装置である。その実現には移動の打ち消しと、方向の変換を同時に実現する機能が必要になる。

本研究の代表者は、基盤研究(A)「歩行移動インタフェース基盤技術の構築」を得て、歩行移動インタフェースの中で、最も汎用性が高いと考えられる全方向トレッドミル”Torus Treadmill”の開発を行った。本研究は、この成果を出発点に避難シミュレータの構築を行った。

3. 研究の方法

本研究の代表者は、1994年より船舶技術研究所（現・海洋安全研究所）と共同で、

バーチャルリアリティ技術を用いた避難シミュレータの研究を行ってきた。船舶においては、タイタニック号やエストニア号などの浸水沈没事故に代表されるように、歴史的に数多くの人命が失われており、安全基準の策定が進められている。災害における犠牲者を減らすためには、効果的な避難誘導方法が不可欠であり、その実現には避難者の心理や行動特性を熟知することが必要である。避難時の人間の特性を調べるためには、対象とする状況と酷似した環境を設定し、被験者実験を行うことが最も有効であるが、これを実世界で行うことは危険が伴い実施困難である。そのため、バーチャル空間で災害を表示し、歩行移動によって避難を行うシステムを開発した。実際の客船内部のCG映像を頭部搭載型ディスプレイに表示し、火災時の煙や、避難中の群衆なども再現した。本研究グループが開発を行った初期の歩行移動インタフェースを使用しており、被験者は低摩擦のフィルムを貼ったサンダルをはき、移動を打ち消している。この方式は自身で滑り運動を起こすことが実世界の歩行動作と異なるため、自然な歩行移動という面では限界があった。しかし、このシステムを用いて、通路の分岐部や室内の障害物が、避難者の経路選択に与える影響を調べる被験者実験を行うことに成功した[文献①]。この手法は、船舶だけでなく一般的な都市空間における避難行動にも適用可能である。

本研究では、この知見をふまえ、最新の歩行移動インタフェース技術と映像技術を組み合わせ、避難行動における人間の特性を研究するための基盤技術を構築する。この目的を達成するために、以下の項目を設定し研究を実施した。

[研究項目1] 歩行移動インタフェース基盤技術の高度化

基盤研究(A)で試作したTorus Treadmillの改良を行い、長期の公開実験に耐える性能と耐久性を実現する。

[研究項目2] 全周球面映像表示装置の開発

被験者が任意の方向に歩いた時に、常に周囲の状況を全視野で視認できるようにするために、360度全周の球面ディスプレイを開発する。

[研究項目3] 歩行移動インタフェースと全周球面映像表示装置の統合

全方位の歩行移動感覚と視覚情報を提供するシステムを開発する。展示を通じて、一般の被験者を対象に、この統合システムの有効性と安全性を検証する。

[研究項目4] 避難シミュレータの構築と、避難経路選択実験

統合システムを用いて、バーチャルな都市空間を再現し、その中で火災などが起きた時に、避難者がどのような経路を選択するかを調べる実験を行う。

4. 研究成果

各研究項目の成果は以下のとおりである。

[研究項目 1] 歩行移動インタフェース基盤技術の高度化

トレッドミルは歩行による前進移動を打ち消す方式としては、最もよく知られており、アスレチックジム等でランニングマシンとして使われている。しかし、通常のトレッドミルは歩く方向を変えると、ベルトから落ちてしまう。本研究では、前後だけでなく左右方向にも任意に歩けるようにした Torus Treadmill を用いている。これは多数のベルトコンベアを直交方向に数珠つなぎにすることによって、無限に続く 2次元平面を提供する。前後方向に歩くときは各ベルトが回転し、左右方向に歩くときはベルト群が直交方向に公転する。これらの組み合わせによって任意方向の歩行移動が打ち消される。現在行っている基盤研究(A)「歩行移動インタフェース基盤技術の構築」で試作した Torus Treadmill は、これらの自転と公転の機構をモジュラー化し、基盤技術として柔軟な運用を可能にした。

しかし、この試作機において、ベルト群が高速で公転するとき、振動を発生することが発見された。Torus Treadmill を避難シミュレータに用いるためには、この問題を解決する必要がある。振動発生の原因としては、各ベルトが歩行面上上がってくる時に、支持レールに自重が載り、結果として衝撃力が発生していることが特定されている。したがって、衝撃力が発生しないように軟着陸させる公転機構を新たに開発した。その結果、従来は振動のために 0.6m/s 以下の歩行に限定していたが、2.0m/s 程度の小走りにも対応できるようになった。図 1 は本装置の外観である。

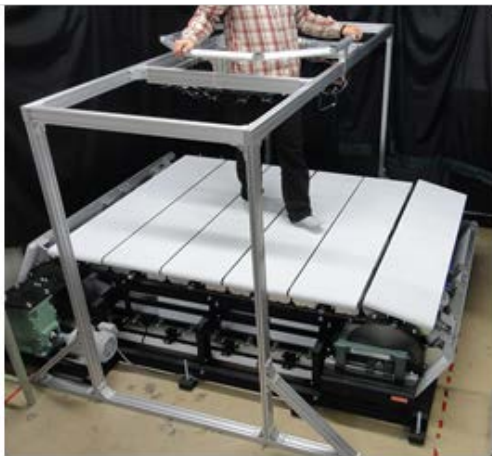


図 1 Torus Treadmill

[研究項目 2] 全周球面映像表示装置の開発

歩行運動に伴う外界の見えの変化は、人間

が自分の周囲の空間を認識する場合に極めて重要な手掛かりになる。バーチャル空間の映像を表示する装置としては、ゴーグル型の頭部搭載型ディスプレイがよく知られているが、人間の視野は水平方向に 200 度程度あるため、この方式ではこれを全て覆う光学系の実現は困難である。これに替わる方式として、大型のスクリーンで観察者を覆う没入ディスプレイの技術が研究されてきた。正方形のスクリーンで立方体の部屋を作る CAVE と呼ばれる研究例が知られているが、多面体でスクリーンを構成する場合は、スクリーンの継ぎ目で画像を折れ曲がりが発生する。スクリーン面は観察者の目から等距離にあるのが望ましいので、その形状は球になるべきである。球形のスクリーンとしてはプラネタリウムが知られているが、これは中央に投影装置があり、専用の建屋を必要とする大がかりな装置になる。本研究では、スクリーンの背面から映像を投影することにより、通常の室内で全周球面ディスプレイを構成した。Torus Treadmill 上の歩行者に適用可能な、全周球面スクリーンと背面投射装置を開発した。背面から投影する場合は、多数のプロジェクタを用いて、球面を分割した領域に投影する必要があるため、その分割方法の最適化を行った。図 2 は開発された背面投射球面ディスプレイである。

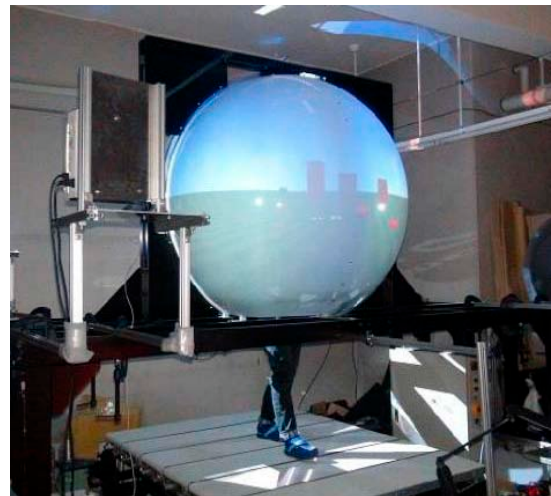


図 2 背面投射球面ディスプレイ

都市空間の映像を生成する手法としては、CGを用いるものと、実写映像を用いるものがある。前者は任意の視点から見た風景が自由に生成できるが、リアルな風景を作成するには、多大な労力と計算時間を要する。一方、後者は写真品質の映像が得られるが、視点の位置が固定されるという制約がある。本研究では、両者の長所を取り入れて、実写映像に処理を加え、全方向の歩行移動に対して都市空間の映像を生成した。

[研究項目 3] 歩行移動インタフェースと全周球面映像表示装置の統合

Torus Treadmill のベルトが歩行者を引き戻した距離に合わせて、全周球面ディスプレイに表示する映像をリアルタイムに生成するプログラムの開発を行った。図3は、本システムの構成を示している。

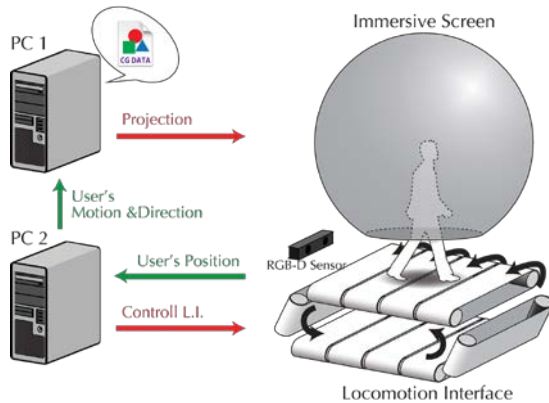


図3 Torus Treadmill と全周球面ディスプレイの統合したシステム

つくば美術館で開催されたつくばメディアアートフェスティバルに本システムを出展し本システムの有効性についてヒアリングによる調査を行った。来場者は特定の年齢層や職種に偏る事無く多様であった。展示では、横浜中華街の町並みを再現したCG空間中を体験者が自由に歩行することを可能とした。再現される町並みは実際の横浜中華街の地形を基に作成し、テクスチャには現地で撮影した写真を用いた(図4)。



図4 バーチャルに再現された横浜中華街(上:鳥瞰図, 下:ディスプレイ内部からの見え)

[研究項目4] 避難シミュレータの構築と、避難経路選択実験

浸水、火災、倒壊家屋、避難者の群衆、な

どの災害状況をCGで描画し、バーチャル都市空間に重畳表示するプログラムを開発した。Torus Treadmill と全周球面ディスプレイを統合したシステムに災害状況表示を行った。図5は火災発生時のCGの例である。



図5 実写映像と火災CGの重畳

このシステムを用いて、歩行者がバーチャルな街の中で歩行移動し、交差点を通過する際に経路の選択を行う実験を行った。図6は多様な歩行者が経路の選択を行った結果であり、本システムが避難シミュレータとして有効であることを実証した。

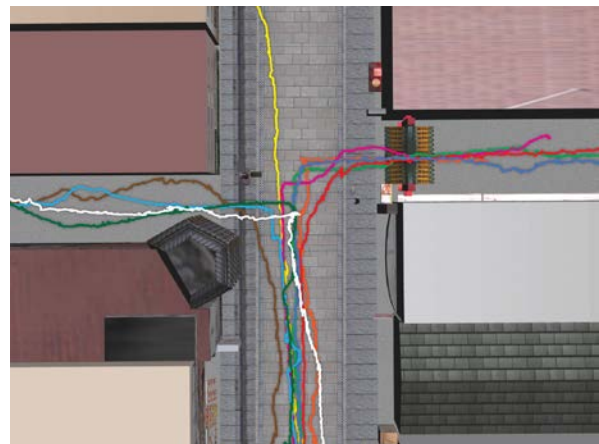


図6 バーチャル都市空間における経路選択結果

<引用文献>

- ① 金湖、他：避難シミュレータ実験による避難者モデルの開発、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.5 No.3 2000, pp1041-1048

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 5 件)

- ① 岩田 洋夫, 矢野 博明, 圓崎 祐貴, 鈴木一弘、モジュラー構造を有するトーラストレッドミル、日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有、Vol. 18, No. 3, 2013, pp. 197-206
- ② 山下貴之、矢野博明、岩田洋夫、LRF を用いた低自由度遠隔触知覚システムにおける形状と表面粗さの複合提示”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 19, No. 4, 2014, pp. 513-522
- ③ 高鳥 光, 圓崎 祐貴, 矢野 博明, 岩田 洋夫、大規模没入ディスプレイ LargeSpace の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 21, No. 3, 2016、pp. 493-502
- ④ 田辺 健, 矢野 博明, 岩田 洋夫、振動スピーカを用いた力覚提示手法の知覚特性, 計測自動制御学会論文集、査読有、Vol. 53, 2017、No. 1, pp. 31-40
- ⑤ 田辺 健, 矢野 博明, 岩田 洋夫、2チャンネル振動スピーカを用いた非対称振動による非接地型並進力・回転力提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有、Vol. 22, No. 1, 2017、pp. 125-134

[学会発表] (計 9 件)

- ① 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2013年9月18~20日、大阪) 2件
- ② 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2014年9月17~19日、名古屋) 1件
- ③ Asia Haptics 2014 (2014年11月18~20日、つくば市) 1件
- ④ 10th AEARU Workshop on Computer Science and Web Technology (2015年2月25~27日、つくば市) 1件
- ⑤ ICAT 2015 (2015年10月28日、京都、招待講演)
- ⑥ VRCAI 2015 (2015年10月30日、神戸、招待講演)
- ⑦ 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会 (2016年9月14~16日、つくば市) 2件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 洋夫 (IWATA Hiroo)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号：60184884

(2) 研究分担者

矢野 博明 (YANO Hiroaki)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号：80312825