

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H00751

研究課題名（和文）可変形状床を用いた歩行移動インタフェース

研究課題名（英文）Locomotion Interface using Shape Changing Floor

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） 34,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、多数の可動モジュールがゾル・ゲル変換を行う「可変形状床」という独創的な概念に基づく新たな歩行移動インタフェースの実現を行った。これは、歩行面を多数の可動モジュールの集合体で構成している。各可動モジュールとして2輪駆動ロボットタイルを開発した。2輪駆動ロボットタイルは小型で高速な移動を可能にする。歩行者が載るゲル領域は、歩行運動に合わせて、逆方向に動く。この機能により任意方向の移動を打ち消すことが可能になる。本研究では、20台の2輪駆動ロボットタイルを用いて、ゾル・ゲル変換が可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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。人間が自分の周囲の空間を認識する場合に、歩いて移動するという行為は極めて重要な意味を持つ。観光地に行った時に、バスに乗って見せられたものと自分の足で見たものの印象が大きく異なるのは、誰もが持つ経験である。歩行という行為はバーチャル世界におけるインタラクションにおいて重要な役割を果たしている。自分が置かれた周囲の環境を認識するためには、歩行運動に伴う見えの変化が不可欠である。これは人間情報学において、人の空間認知という学術的に重要な研究テーマである。

研究成果の概要（英文）：This project proposes a novel locomotion interface named “Trance formable floor”. It is composed of a large number of movable tiles that perform sol-gel conversion. The walkable area is composed of a group of movable tiles. Each movable tile employs two drive wheels that enables rapid omni-directional motion. The walker stands on the gel-area that moves in opposite direction of walking. This function cancels translation of omni-directional walking. The result shows that sol-gel conversion is possible by using 20-movable tiles.

研究分野：人間情報学

キーワード：バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

人間とバーチャル世界とのインタラクションに関する研究は、急速に重要性を増してきている。インタラクションにおける人間の行為として、手指を用いた対象物の操作は最も一般的であり、ジェスチャ入力などの研究例は数多く、著者らも1980年代後半から触力覚の提示手法の研究を重ねてきた。その過程で見出したことは、歩行という行為がインタラクションにおいて重要な役割を果たしていることである。自分が置かれた周囲の環境を認識するためには、歩行運動に伴う見えの変化が不可欠である。これは人間情報学において、人の空間認知という学術的に重要な研究テーマである。

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、その研究は端緒にすぎたばかりである。

本研究は、この Phase 3 におけるブレイクスルーを目指すものであり、その成果は体験シミュレータの新たな可能性を拓くことが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、多数の可動モジュールがゾル・ゲル変換を行う「可変形状床」という独創的な概念に基づく新たな歩行移動インタフェースの実現を目指す。これは、歩行面を多数の可動モジュールの集合体で構成し、歩行者が立つ部分はそれらが密に結合し、流動性のないゲル状になる。その歩行面の周辺には、可動モジュールが互いに結合せず、流動性のあるゾル状になっている。歩行者が移動してゲル状領域の端に近づく、ゾル状の可動モジュールがそこに寄り集まってきて新たなゲル状の歩行面を生成する。歩き去った後のゲル状可動モジュールは結合を解き、周囲のゾル状可動モジュール群に溶け込む。歩行者が移動すると、ゲル状領域が反対方向に移動し、元の位置に戻す。この機能により任意方向の移動を打ち消すことが可能になる(図1)。このようなゾル・ゲル変換による形態生成は、真性粘菌などの生物が行動する際のモデルとなっており、床の形状変化を効率的に行う手法として有効である。

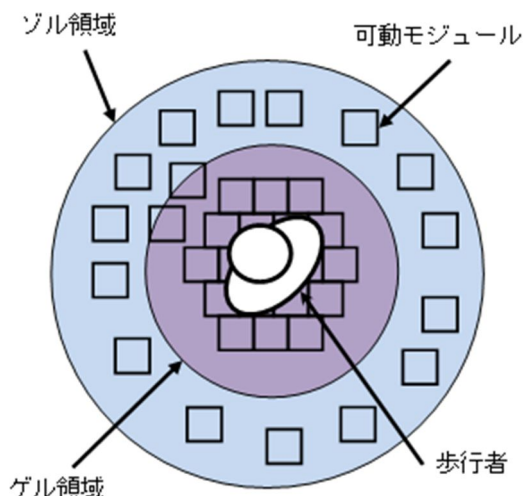


図1 可変形状床の原理

3. 研究の方法

このような可変形状床を実現するために、以下の研究項目を設定し、段階的(インクリメンタル)に研究を進める。

[Increment 1] 可動モジュールの全方向移動機構と位置検出センサを開発する。

[Increment 2] 8個の可動モジュールを製作し、ゾル・ゲル変換および、歩行者の移動ができるか確認する。

[Increment 3] 20個の可動モジュールを製作し、ゾル・ゲル変換を行うアルゴリズムを開発し、システム全体を完成させる。

各段階の研究項目は以下のとおりである。

[Increment 1]

全方向移動機構の開発 位置検出センサの開発

[Increment 2]

ゾル・ゲル変換実験 歩行者の移動実験

[Increment 3]

ゾル・ゲル変換アルゴリズムの開発 歩行運動の評価を通じたシステムの検証

4. 研究成果

4.1 二輪駆動型ロボットタイル

本研究では、まず可動モジュール単体の開発から着手した。可動モジュールは任意の方向に高速に動く必要があり、加えてゾル・ゲル変換を円滑に行うために、小型化も必要である。そのため、2つの動輪を独立に制御できる駆動機構を採用した。これらの動輪に対して、歩行者が載る天板が任意の方向を向くことができるように、ターンテーブル機構を搭載した。また、歩行者が安定して載ることができるように、天板の四隅にオムニホイールを搭載し、天板の水平を維持する構造にした。図2は、この2輪駆動ロボットタイルの内部構造を示している。図3は本装置の概観である。歩行者がこの天板に載ると、体重が動輪にかかるため、人を載せて移動するのに十分な駆動力を発揮することができる。

天板の大きさは1辺が350mmで、床からの高さは150mmである。天板には8つの穴が開いており、外界センサによるタイルの位置計測用に自己発光式のアクティブマーカーを設置した。外界センサには、赤外線を用いる光学式位置センサであるOptitrackを採用した。

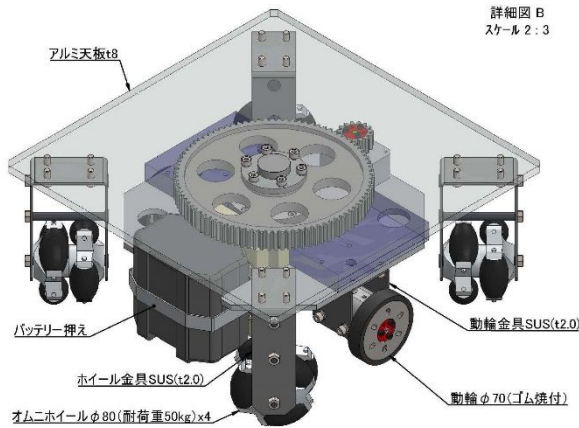


図2 2輪駆動ロボットタイルの構造

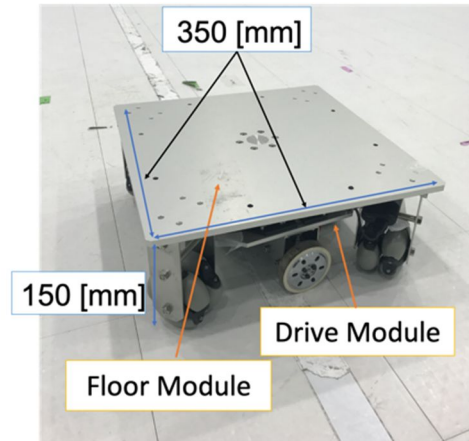


図3 2輪駆動ロボットタイルの概観

4.2 ゾル・ゲル変換アルゴリズム

ゾル・ゲル変換を実現するためには、図4に示すような可動モジュール群がゾル領域とゲル領域を循環する必要がある。そして、流動状態と連結状態の間を円滑に推移しなければならない。このような循環機能を前述の2輪駆動ロボットタイルを用いて実装するために、各可動モジュールが動くべき軌道を設計した。

ゲル領域には、歩行者を載せる中央部分と、歩行方向の変換に備えるために、その左右に可動モジュールを配置した。そして、左右部分が循環する軌道1と、中央部分の可動モジュールが循環する軌道を設定した。図5はこれらの軌道を示している。

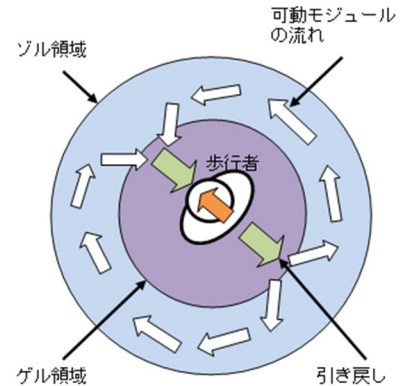


図4 ゾル領域とゲル領域の循環

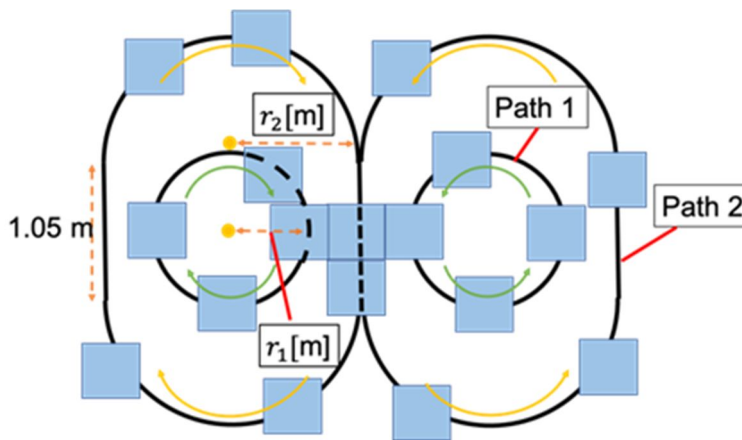


図5 可動モジュール群の循環軌跡

4.3 可動モジュールの走行性能

前述の循環軌跡を実際に 2 輪駆動ロボットが走行する際の性能を評価した。ゾル領域では素早い回り込みが必要であるため、この軌跡を一周するのに要する時間を測定した。2 輪駆動ロボット同士同士の衝突を避けるため、軌道内ですれ違うタイルの間はタイル 1 台分の大きさである 0.35 m 開けることとし、循環軌跡の半径の最小値は 0.35 m とした。循環軌跡の半径を 0.05 m ずつ大きくし、その時に最短時間で循環することができた回り込み速度を記録した。走行は 3 周行い、循環に所要した時間の平均を算出した。その結果、各半径における最短で循環走行することができた回り込み速度ごとの循環時間は、2.2 s であった。この時ゾル領域での走行速度は 0.5 m/s であり、これが歩行者の前進速度に相当する。

4.4 歩行動作の評価

上記の循環軌跡において、実際に歩行者が載って歩いた時の挙動を計測した。図 6 は歩行運動を行っている様子を示している。図 7 は、光学式センサ Optitrack で計測した、2 輪駆動ロボットと歩行者の水平位置を示したものである。青い曲線は、循環軌跡の目標値であり、赤い曲線はこの目標値に対して 2 輪駆動ロボットが動いた結果である。そして、黄色い曲線は、2 輪駆動ロボットの上を歩いた歩行者の位置を示している。この結果は、ゾル領域において歩行者の前進移動を安定して引き戻しを行っており、歩行者が 2 輪駆動ロボットの上を歩き去った後も 2 輪駆動ロボットの走行は乱れることなく、正常に循環走行を行うことができたことを示している。



図 6 2 輪駆動ロボット上での歩行者



図 7 歩行者と 2 輪駆動ロボットの位置

4.5 まとめ

本研究では、多数の可動モジュールがゾル・ゲル変換を行う「可変形状床」という概念を提案し、可動モジュールの設計・実装を行い、ゾル・ゲル変換アルゴリズムを開発した。試作システムを用いて実際に歩行運動が可能であることを確認した。これらの結果は、提案した概念の実証に成功したことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takeshi Tanabe; Hiroaki Yano; Hiroshi Endo; Shuichi Ino; Hiroo Iwata	4. 巻 Volume: 26, Issue: 1
2. 論文標題 Pulling Illusion Based on the Phase Difference of the Frequency Components of Asymmetric Vibrations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 203 - 213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMECH.2020.3009384	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 増田 拓巳, 矢野 博明, 澁谷 長史, 田中 直樹, 岩田 洋夫	4. 巻 25 巻 3 号
2. 論文標題 腕振り動作を利用した半自動歩行練習システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 196-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.25.3_196	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 大関 岳, 山田 亜紀, 岩田 洋夫	4. 巻 24
2. 論文標題 ニゲルイス: センサ付き家具を利用したデバイスアート	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 187-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.24.2_187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hikaru Takatori, Masashi Hiraiwa, Hiroaki Yano, Hiroo Iwata	4. 巻 1
2. 論文標題 Large-Scale Projection-Based Immersive Display: The Design and Implementation of LargeSpace	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE VR 2019	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Tanabe, Hiroaki Yano, Hiroo Iwata	4. 巻 11
2. 論文標題 Evaluation of the Perceptual Characteristics of a Force Induced by Asymmetric Vibrations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS	6. 最初と最後の頁 220-231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TOH.2017.2743717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aisen C. Chacin, Hiroo Iwata, Victoria Vesna	4. 巻 33
2. 論文標題 Assistive Device Art: aiding audio spatial location through the Echolocation Headphones	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AI & SOCIETY	6. 最初と最後の頁 583-597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00146-017-0766-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 高中 駿 矢野 博明 岩田 洋夫	4. 巻 22
2. 論文標題 3自由度可動式タッチスクリーンを用いたマルチタッチ力覚提示装置	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 325 - 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.22.3_325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 児玉 拓郎、矢野 博明
2. 発表標題 バーチャルな歩車混在空間における外向けHMI評価実験システム
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田辺 健、矢野 博明、遠藤 博史、井野 秀一、岩田 洋夫
2. 発表標題 非対称振動の周波数成分間の位相差に基づく牽引力錯覚の特性
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 甲斐 繁、内藤 友貴、矢野 博明、岩田 洋夫
2. 発表標題 Torus Treadmill における歩行動作による UAV の操縦
3. 学会等名 日本機械学会 ROBOMECH2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 大輔、圓崎 祐貴、矢野 博明、岩田 洋夫
2. 発表標題 歩行移動型モーションベース Big Robot Mk.2
3. 学会等名 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岩田 洋夫	4. 発行年 2017年
2. 出版社 科学情報出版社	5. 総ページ数 178
3. 書名 VR実践講座 HMDを超える4つのキーテクノロジー	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	矢野 博明 (Yano Hiroaki) (80312825)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関