

# 人間特性計測に関する研究

研究代表者 菅野 重樹  
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

## 1. 研究課題

本研究では人間特性計測システムを用いて、医療福祉ロボット、パートナーロボット、コンピュータグラフィックスなどのヒトの動作解析に基づいたアプローチが必要となる研究領域において、人間中心設計の方法論の確立を目指す。開発してきた装置・アルゴリズムを使用及び評価をしていくことで、個々に適応するためのシステムの在り方を研究している。本研究室では人間特性計測に関する研究として、「複合現実を用いた歩行訓練システム」の研究があり、視覚-運動系の統合的な処理に基づく動作の訓練を可能とする複合技術の開発を進めている。本年度の研究成果を次節より報告する。

歩行は日常生活を送る上での重要な動作の一つであり、健康長寿社会実現のために、歩行能力の維持を促す取り組みが不可欠である。歩行時の転倒による怪我は、加齢に伴い生じる深刻な問題である。歩行時の転倒の主な要因はつまずきであることから、つまずき予防が重要と言える。歩行環境には様々なものがあり、環境の違いに応じて歩容を変化させる必要がある。特に障害物を視覚的に認識してつま先高さを変化させることがつまずきを回避する上で重要である。

現実空間に仮想空間を複合させる技術は、訓練時に限定的になってしまう環境を拡張できる可能性を持つ。人は環境に応じて視覚-運動系を統合的に処理することで安定した動作を実現するため、訓練を行う上では多様な環境を想定することが重要である。本研究課題では、つまずきが生じ得る環境を想定し、複合現実によりトレッドミル上に障害物を投影することで、障害物を回避する訓練を可能とするシステムの構築を目指した。そのために、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用い、人が認識している実際の空間の中において、仮想的な障害物の位置を制御可能とするシステムを開発した。

## 2. 主な研究成果

### 2.1 システム

HMD として Microsoft 社の HoloLens を用い、仮想的な障害物を投影する複合現実システムを構築した(図 1)。HoloLens は、SLAM と呼ばれる自己位置推定手法を搭載しており、システム起動時の人の頭の位置を中心とした座標空間を設定することができる。複合現実の座標空間は現実空間に準じているため、複合現実の座標系における障害物の設定を調整することで、障害物の寸法や位置を自由に設定することができる。人の前方に箱型の仮想的な障害物を置き、トレッドミルのベルトの動きに合わせて人に近づくように障害物の位置を制御した。そうすることで、人が歩行して障害物に接近する状況を再現できる。

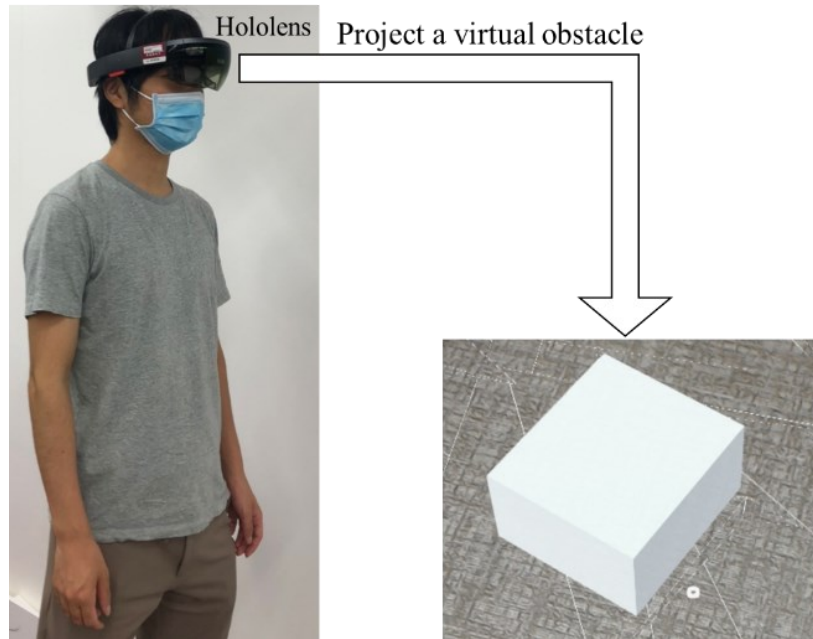


図 1 複合現実による障害物投影システム

## 2.2 実験手法

仮想障害物と実物の障害物の両方で障害物を踏み越える際のつま先高さについて調査した．5名の被験者が2種類の寸法（表1）の箱を踏み越えた際のつま先の高さを測定した．障害物の初期位置に関して，障害物接近の予測性の違いの影響を見るために，被験者の2メートル前方（遠方）と1メートル前方（近方）の2種類設定した．トレッドミルの大きさには限りがあるため，2メートル前方から実物の障害物を人に近づけるためには，トレッドミルの外から運ぶ必要がある．そこで，実物の障害物の初期位置が遠方である条件では，小型の移動ロボットを使用し，トレッドミルの外からトレッドミルのベルトまで障害物を運搬した．今回の実験では，歩行速度は 2.3-2.5 km/h の範囲内で被験者毎に一定とした．図2に実験の様子を示す．

歩行時のつま先高さをカメラの動画データから NAC 社製の MOVIAS Neo というソフトウェアを使用することで取得した．つま先高さは先導脚と後続脚の両方について計測した．障害物を跨ぐ際のつま先高さの最大値を計測し，複合現実で投影した仮想的な障害物と現物の障害物でのつま先高さの最大値の違いを比較した．被験者がシステムに不慣れな状態では正確な動作を検証できないため，計測を開始する前に仮想障害物と実物の障害物の跨ぐ練習をそれぞれ5回程度実施した．

TABLE I. DIMENTION OF REAL OBSTACLES

| Box type | Size     |          |            |
|----------|----------|----------|------------|
|          | Width cm | Depth cm | Subhead cm |
| Box1     | 23       | 28       | 7.0        |
| Box2     | 23       | 25       | 12.5       |

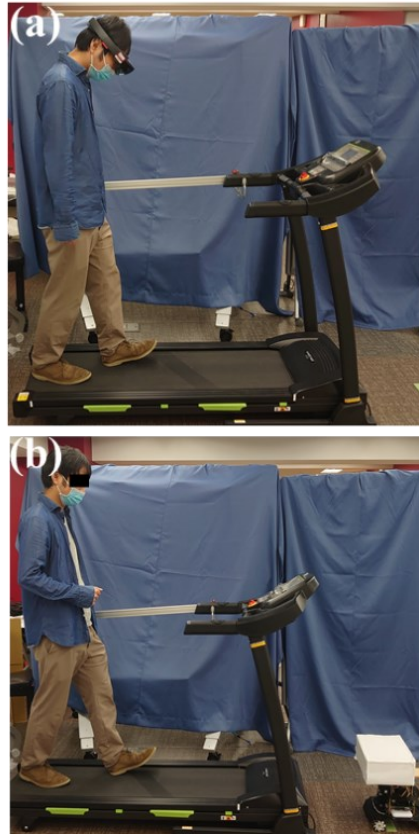


図2 (a) HoloLens を装着して仮想的な障害物がある状況で歩行する条件 (b)HoloLens を装着せずに現物の障害物がある状況で歩行する条件

### 2.3 実験結果と考察

図3と図4に各条件での障害物を跨いだ際の最大つま先高さの結果を示す。全体の特徴として、障害物が遠方にある場合、仮想的な障害物と実物の障害物を跨ぐ先導脚のつま先の高さが同程度になる傾向があった。障害物の接近を予測できることが複合現実のシステムを用いて障害物を回避する上で重要であることが示唆された。HoloLensにより仮想的な障害物を投影することで、最初の投影位置が人の数歩先であれば、視覚的に障害物を認識し、障害物回避のための歩容調整を行うことができるようになることが考えられる。一方で、この際の後続脚のつま先の高さは、実物の障害物よりも低くなる傾向があった。仮想的な障害物では実際につまずくリスクがないため、実験タスクとして先導脚だけを跨ぐことに専念した被験者が多かったと考えられる。

今後は、様々なタイプのHMDを検討し、HMDにより先導脚と後続脚に与える影響が異なるのかを調整していく予定である。特に視野の改善により、仮想的な障害物をよりリアルに認識する可能性があり、より実物に近い形で回避することが可能になると考えている。特に、後続脚への影響が変化することが期待される。また、影の付加や環境の光の調整など、仮想障害物の寸法をより明確に認識できるような方略をとることで、物体の視認性が向上する可能性がある。

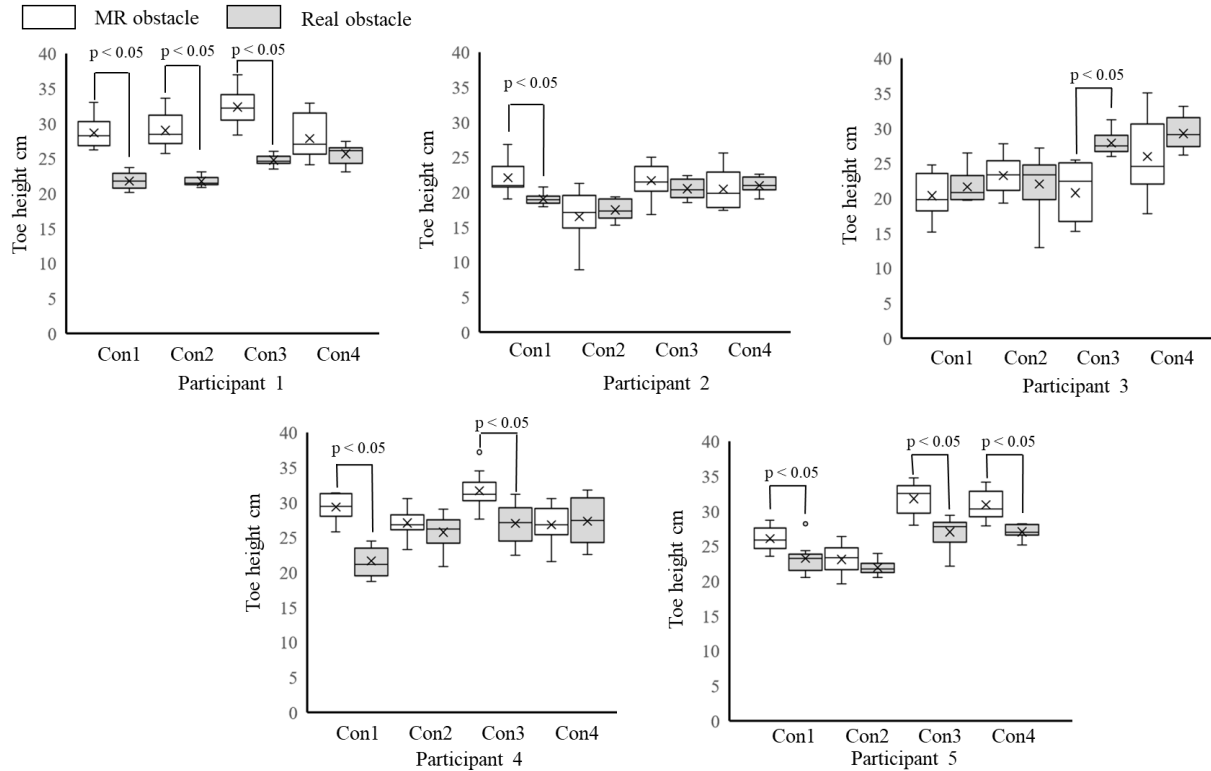


図3 各条件における先導脚の高さの比較. Con1: 小さめの箱を近方に設置, Co2: 小さめの箱を遠方に設置, Co3: 大きめの箱を近方に設置, Co4: 大きめの箱を遠方に設置.

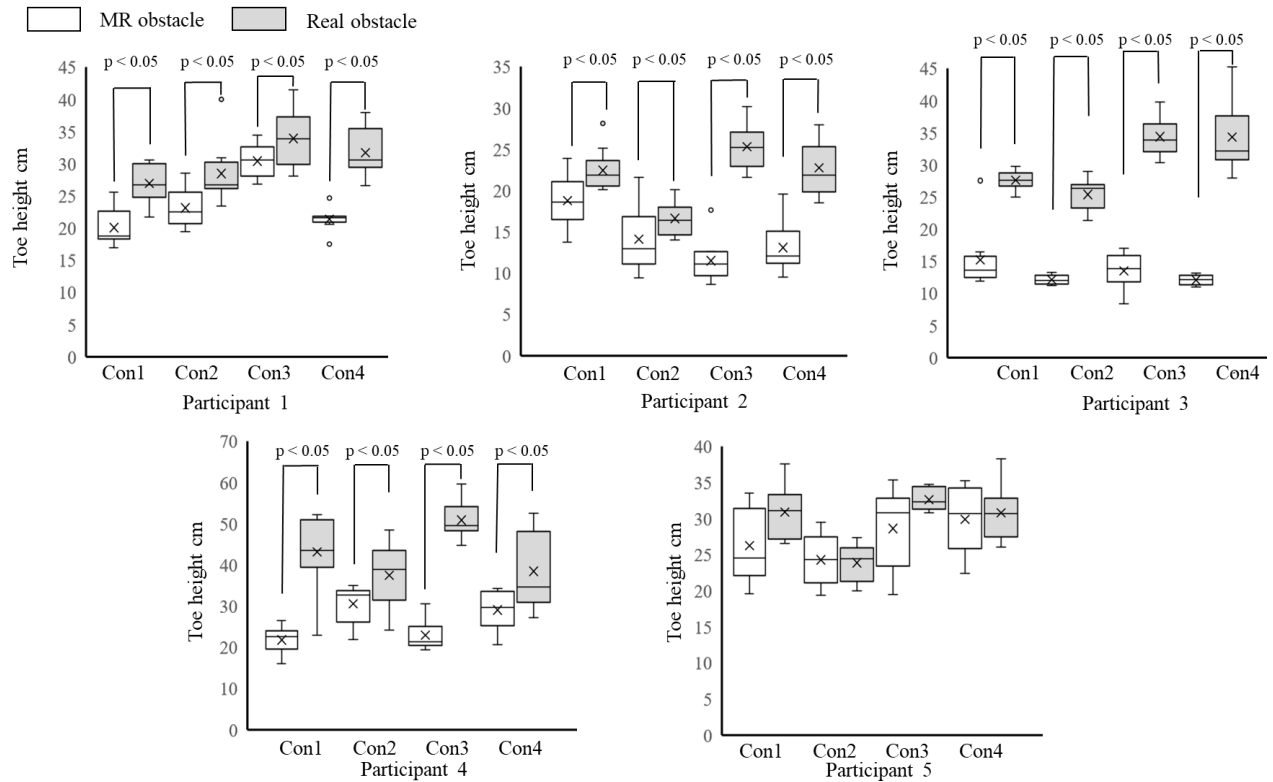


図4 各条件における後続脚の高さの比較. Con1: 小さめの箱を近方に設置, Co2: 小さめの箱を遠方に設置, Co3: 大きめの箱を近方に設置, Co4: 大きめの箱を遠方に設置.

### 3. 研究業績

#### 4.1 学術論文

- [1] Hiroaki Hayashi\*, Mitsuhiro Kamezaki, Shigeki Sugano, "Toward Health-Related Accident Prevention: Symptom Detection and Intervention Based on Driver Monitoring and Verbal Interaction," IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems, vol. 2, pp. 240-253, 2021, DOI: 10.1109/OJITS.2021.3102125.
- [2] Jing-Chen Hong, Kazuhiro Yasuda, Hiroki Ohashi, and Hiroyasu Iwata, "Optimal Assistance Timing to Induce Voluntary Dorsiflexion Movements: A Preliminary Study in Healthy Participants," Applied Sciences, vol. 12, no. 4, p. 2248, Feb. 2022, doi: 10.3390/app12042248.
- [3] Jing-Chen Hong, Hiroki Ohashi, and Hiroyasu Iwata, "High-Dorsiflexion Assistive System for Passive Swing Phase Dorsiflexion Training and Preventing Compensatory Movements," J. Robot. Mechatron., Vol.34, No.1, pp. 121-130, 2022.
- [4] Jing-Chen Hong, Hao Cheng, Kazuhiro Yasuda, Hiroki Ohashi, and Hiroyasu Iwata, "Effects of Assisted Dorsiflexion Timing on Voluntary Efforts and Compensatory Movements: A Feasibility Study in Healthy Participants," IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., vol. 29, pp. 2222-2231, October 2021.
- [5] 中野航基, 澤田秀之, "シャボン膜の表面張力波を利用した音の可視化と音高認識", 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.10, pp.1737-1747, 2021 年 10 月.
- [6] Xiaojie Chen, Kewei Ning, Hiroki Shigemune and Hideyuki Sawada, "An untethered soft robotic fish using SMA wires and its performance analysis," International Journal of Mechatronics and Automation, Vol.8, No.4, pp.229-240, 2021.
- [7] Naoki Moriya, Hiroki Shigemune and Hideyuki Sawada, "A robotic wheel locally transforming its diameters and the reinforcement learning for robust locomotion," International Journal of Mechatronics and Automation, Vol.9, No.1, pp 22-31, 2022.

#### 4.2 総説・著書

特になし

#### 4.3 招待講演

特になし

#### 4.4 受賞・表彰

SI2021 優秀講演賞： 洪境晨, 程浩, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康, "随意性の促進と代償動作の抑制を両立する背屈支援タイミング同定手法 —健康者の模擬歩容に与える影響の検証—" 第 22 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2021), 2021 年 12 月

#### 4.5 学会および社会的活動

- [1] 林 弘昭\*, 亀崎 允啓, 岡 直樹, 菅野 重樹, マルチモーダルモニタリングと音声対話によるドライバーの異常兆候検知システム, 自動車技術会 2021 年度春季大会, pp. 1-6, 2021..
- [2] 洪境晨, 程浩, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康, "随意性の促進と代償動作の抑制を両立する背

屈支援タイミング同定手法 ―健康者の模擬歩容に与える影響の検証―" 第 22 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会(SI2021), 2C3-04, 2021 年 12 月

[3] 洪境晨, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康, "高背屈支援 RT の支援タイミングが歩行動作に与える影響の検証 ―健康者における筋電図および代償動作の解析―" 第 36 回ライフサポート学会大会(LIFE2020-2021), OS-7-2, 2021 年 9 月

[4] Jia-Hui Gao, Jing-Chen Hong, Kazuhiro Yasuda, and Hiroyasu Iwata, "Effect of restricted ankle dorsiflexion angle on ankle push-off motion during gait" 第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ'2021), paper no.2A1-02, 2021 年 9 月

[5] 西田野々香, 岩崎悠希子, 加藤史洋, ゴウリシャンカー・ガネッシュ, 岩田浩康, "拡張身体への身体化に関する研究 ―第一報: 装着型ロボットアームの能動制御と手先方向提示による身体幅感覚への影響―" 日本バーチャルリアリティ学会 第 26 回大会, 1C3-7, 2021 年 9 月

[6] 西田野々香, 岩崎悠希子, 王卓毅, 半田匠, 加藤史洋, ゴウリシャンカー・ガネッシュ, 岩田浩康, "拡張身体への Agency, Ownership 誘発を目指した筋電制御システムと力触覚 FB デバイスの開発" 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomech2021), 2P3-E03, 2021 年 6 月

[7] 山本諒, 新村晃平, 前田大吾, 森田直登, 上杉繁, "着地衝撃を緩和するランニングフォーム構築のための張力・音付与による体幹・骨盤前傾姿勢の調整支援に関する研究", スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス, 2021.

[8] 早川晃弘, 玉木岳, 若島拓輝, 上杉繁, "大腿部の筋配列に着目した人工二関節筋の装着による歩行機能拡張に関する基礎的研究", スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス, 2021.

[9] Kewei Ning, 澤田秀之, "A Wireless Soft Robotic Fish for the Natural Swimming Behavior", 日本電子材料技術協会 第 58 回秋期講演大会 2021 年 11 月 25 日.

#### 4. 研究活動の課題と展望

研究により, ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用い, 人が認識している実際の空間の中において, 仮想的な障害物の位置を制御可能とするシステムを開発した. 本システムは, つまづきが生じ得る環境を想定し, 複合現実によりトレッドミル上に障害物を投影することで, 障害物を回避する訓練を可能とする. 先導脚の制御は視覚・運動系に基づくものであり, その先導脚のつま先高さは複合現実の仮想的な障害物と現物の障害物の間で差がなかったため, 環境を変化させながら視覚・運動系に基づく訓練を行うことが可能である知見が得られた. 一方で, 後続脚のつま先高さには違いがある傾向であった. 今後は, 様々なタイプの HMD を検討し, HMD により先導脚と後続脚に与える影響が異なるのかを調整していくことが重要である. 特に視野の改善により, 仮想的な障害物をよりリアルに認識する可能性があり, より実物に近い形で回避することが可能になると考えている. 特に, 後続脚への影響が変化することが期待される. また, 影の付加や環境の光の調整など, 仮想障害物の寸法をより明確に認識できるような方略をとることで, 物体の視認性が向上する可能性がある.