

身体動作特性計測に基づく人間中心型知能システムに関する研究

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身体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。本研究では人間特性計測システムを用いて、人の動作状態の計測や人の動作意図を反映する生体指標の解析をすることにより、個人の状態を同定し、個人に対し適応的に振る舞う人間中心型知能システムの開発を目指す。本研究室では、「環境を拡張可能な訓練システム」の研究があり、本年度の研究成果を次節より報告する。本項では、その研究の社会背景、特徴、及び課題点を下記に述べる。

人の歩行において、空間環境に応じて歩行パターンを適応させることで歩行の安定性を維持している。加齢に伴い、バランス制御能力や環境への対応能力が衰えることで、転倒のリスクが高まり、そのことで、重大な健康問題を引き起こす可能性が高まる。障害物回避のための視覚運動制御の予測的調整能力を訓練するには、障害物の存在が不可欠であるが、従来の訓練環境では歩行パターンや環境条件の多様性が限られている。実物の障害物を利用することは、種類や配置、動きを容易に変更できず、訓練の多様性と効果を制限している。そこで、本研究では、トレッドミル上で使用可能な複合現実 (MR) に基づく障害物回避訓練システムを開発した。

2. 主な研究成果

2. 1. MRとトレッドミルに基づくトレーニングシステムの開発

本研究では、MR システムに基づく障害物回避訓練システムを開発した。現実の障害物回避動作に近い動作を引き出すため、トレッドミル速度と仮想障害物の位置を同期制御する仕組みを構築した。トレッドミルベースのシステムにおいては、障害物がトレッドミルベルトの前縁から搬送される仕組みとなっている。本研究では、遠方への障害物配置を可能とする障害物回避訓練なトレッドミルを設計し、ユーザが常にベルト中央に位置するように歩行速度に応じてトレッドミルベルトの速度を適応的に制御することで、自分のペースで歩行する自然歩行を可能にした。

さらに、本研究の目的を達成するため、トレッドミル上で使用可能な 2 種類の MR システムを開発した。本研究で開発した MR システムは、ビデオシースルー型 (VST: Video See-Through) および光学シースルー型 (OST: Optical See-Through) の 2 方式に分類される。VST 方式はカメラ映像に仮想物体を合成して表示するものであり、柔軟な映像融合が可能だが、視覚遅延が発生する可能性がある。一方、OST 方式は、視野が限定的であるが、透明ディスプレイ越しに現実世界を直接観察しながら仮想物体を重ねるため、視覚遅延が小さく、身体との一体感が高い。



図1 トレッドミルの外観

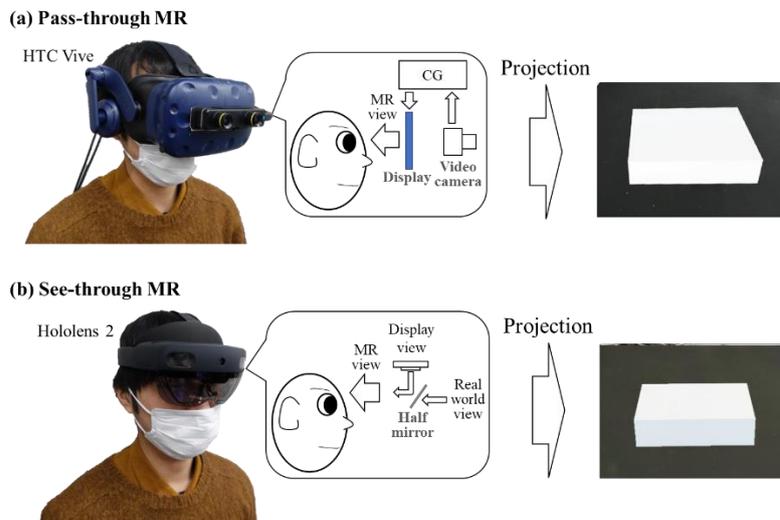


図2 開発した2種類のMR

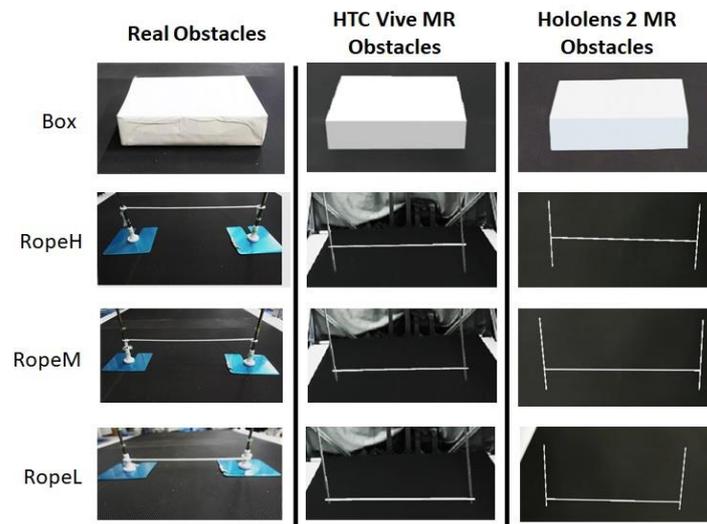


図3 実験に用いた障害物

本研究では、HMD非装着かつ仮想障害物なしの条件と比較し、MR HMD および仮想障害物の使用が障害物回避動作に与える影響を調査することを目的として、12名の被験者によるユーザスタディを設計した。障害物は、箱型およびロープ型の2種類を使用した(図3)。箱型障害物は先行研究

でも一般的に用いられていることから選定し、ロープ型障害物についても、床上の電源ケーブル等に代表される一般的なつまずき要因であると考え選定した。これらの障害物は、HTC Vive (VST 型) および HoloLens 2 (OST 型) 上の仮想環境内において、実物と形状・寸法を一致させて再現した。実験室は蛍光灯下で照明され、自然光は遮断された環境で実施した。加えて、HMD 装着が障害物回避に与える影響についても検討した。各 MR HMD は現実世界の見え方に影響する異なる技術仕様を有しており、これが回避動作に及ぼす影響を検証するため、各 HMD 装着、および HMD 非装着条件において、実物の箱型障害物を用いた障害物回避動作を比較評価した。

2. 2. 実験結果とまとめ

VST 型および OST 型 HMD を用いて性能を比較した。図 4 は、実障害物、VST 型による仮想障害物、OST 型による仮想障害物をそれぞれ踏み越える際の足の高さを示している。障害物の種類は、Box, RopeH (高い高さ), RopeM (中程度の高さ), RopeL (低い高さ) であった。Shapiro-Wilk 検定により正規性を確認した結果、Box, RopeH, RopeM については正規分布に従っていることが確認された。これに基づき、これらのデータに対して一元配置の反復測定 ANOVA を実施し、Bonferroni 補正による事後検定を行った。一方、RopeL については正規性が認められなかったため、Friedman 検定を用いて分析を行った。Box 障害物においては、実物と Vive 条件間、および Holo と Vive 条件間で先行足の高さに有意差が認められた (それぞれ $p = 0.008$, $p = 0.006$, 効果量 (Cohen's f) は 0.51)。VST 条件では、7cm 高さの障害物に対する先行足の踏み越え動作が約 22cm から 30cm に大きく変化した。また、OST 条件では仮想障害物に対する後続足のリフトが低下した (約 30cm から 25cm)。これらの結果より、OST による視覚と身体との低遅延な接続が視覚運動統合を促進し、障害物回避行動の発現に重要な役割を果たすことが示された。

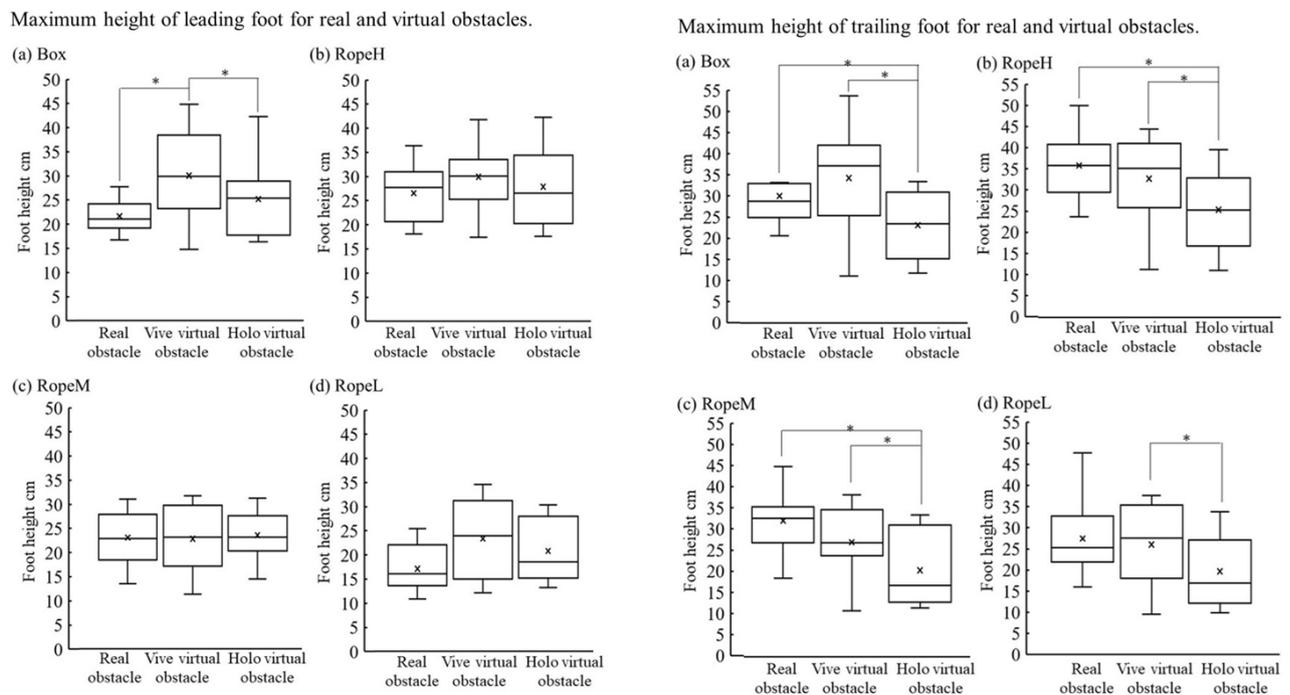


図 4 各 HMD 条件で各障害物を跨いだ際の足の高さ (先行足 (左) と後続足 (右))

3. 研究業績

3. 1. 学術論文

- [1] Tamon Miyake, Mohammed Al-Sada, Abdullah Iskandar, Shunya Itano, Mitsuhiro Kamezaki, Tatsuo Nakajima, and Shigeki Sugano, “Development and Evaluation of a Treadmill-based Video-see-through and Optical-see-through Mixed Reality Systems for Obstacle Negotiation Training,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Early Access, 2024.
- [2] Chihiro Tsuruta, Jing-Chen Hong, Kazuhiro Yasuda, Qiutong Xu, Hiroyasu Iwata, “Reducing Visual Dependence of Postural Control in Older Adults with a Vibration Belt Indicating Shifts in Center of Gravity,” The 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2024), pp. 1-4, 2024.
- [3] Tamon Miyake, Shigeki Sugano, “Exploring the Effect of Attachment Position of Electrodes for EMG-Based Detection of Minimum Effective Load on Muscles,” 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp.147-152, 2025.
- [4] Akira Koshino, Rikushi Sabu, Kazuhiro Yasuda, Shuntaro Kawaguchi, Hiroyasu Iwata, “Identification of Shape Characteristics of the Field of View in Patients with Unilateral Spatial Neglect Using Virtual Reality Environments,” 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII 2025), pp.1304-1309, 2025.

3. 2. 学会および社会的活動

- [5] 早崎宗一郎, 亀崎允啓, 今治諭志, 斎藤喬介, 今西優登, 櫻井絵梨子, 三宅太文, 菅野重樹, “予測と実測の差の蓄積に基づく自律移動ロボットの協調移動パラメータ調整手法の検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 論文集 (Robomech' 24), 宇都宮, 2024 年 5 月 29~6 月 1 日.
- [6] 大石雄暉, 山口皓大, 亀崎允啓, 濱田太郎, 三宅太文, 櫻井絵梨子, 菅野重樹, “マニピュレーションを考慮した協働作業ロボットの適応的ゴール位置探索とアーム軌道計画手法の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 論文集 (Robomech' 24), 宇都宮, 2024 年 5 月 29~6 月 1 日.

4. 研究活動の課題と展望

本研究では、限られた空間内において、無制限に歩行可能でかつ無制限に障害物の種類を選択可能な障害物回避歩行訓練システムの構築に向けて、複合現実の障害物提示方法とその効果を検証した。今後、より多様な障害物提示を可能とするために、複合現実技術の拡張を図る。