

未来社会創造事業（探索加速型）
「次世代情報社会の実現」領域
終了報告書（探索研究）

令和3年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:多田 充徳]

[国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター・研究チーム長]

[研究開発課題名:ヒューマンデジタルツインを活用した身体モビリティデザイン]

実施期間：令和3年10月1日～令和6年3月31日

§1. 研究実施体制

- (1) 「産総研」グループ（産業技術総合研究所）
 - ① 研究開発代表者: 多田 充徳
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人工知能研究センター, 研究チーム長)
 - ② 研究項目
 - ・歩行計測・シミュレーション技術の開発

- (2) 「理科大」グループ（東京理科大学）
 - ① 主たる共同研究者: 保原 浩明（学校法人 東京理科大学 先進工学部, 准教授）
 - ② 研究項目
 - ・歩行解析技術の開発

- (3) 「BionicM」グループ（BionicM）
 - ① 主たる共同研究者: 孫 小軍（BionicM 株式会社, 代表取締役）
 - ② 研究項目
 - ・義足制御システムの開発

- (4) 「まちけん」グループ（福祉のまちづくり研究所）
 - ① 主たる共同研究者: 戸田 晴貴（兵庫県立 福祉のまちづくり研究所, 研究員）
 - ② 研究項目
 - ・義足を用いた歩行への介入効果の検証

§2. 研究開発成果の概要

本研究では、下肢切断者のようなモビリティ弱者を対象に、生活中的歩行や行動を再現可能なデジタルツインを構築した。そして、これを用いた歩行や行動に関する変容の予測に基づき、生活インタフェース（義足特性や環境条件のように身体モビリティに影響を与える要因の総称）の最適化による身体モビリティの拡張を目指した。本研究開発の主要な成果を以下にまとめる。

第1に、トレッドミルを用いて切断者の歩行データベースを構築した。この結果、切断者の歩行が左右非対称であり、それにより非切断側の負荷が高まることが分かった。また、切断者の歩行が、速度向上に対する歩幅とケイデンスの寄与という観点で3種類に分類できることが分かった。

第2に、義足に組み込まれたIMUと深層学習を併用した歩行計測技術に関する研究を行った。2層のLSTMから構成されるネットワークを用いて学習を行った後に、ファインチューニングによるネットワークの個別化を行うことで、切断者に対する全身姿勢の推定誤差を5度以下に抑えることができた。また、下肢3関節に対して最長42日間の長期評価を行ったところ、股関節においては

計測誤差が 2 から 3 倍に増加するが、それ以外の関節では推定誤差が大きく変化しないことが分かった。

第 3 に、神経筋骨格モデルを用いた歩行シミュレーションに関する研究を行った。神経筋骨格モデルと義足モデルを構築した上で、モーションキャプチャで計測した歩行データと比較したところ、関節角度変化の相関係数が下肢 3 関節のいずれも 0.7 以上となった。また、義足のデザインや制御方法の違いが代謝コストに与える影響の予測も実現した。

第 4 に、人工筋が内蔵されたアシストスーツを用いた歩行支援に関する研究を行った。最適化ベースの制御システムを用いて股関節の振り上げ支援を行なった結果、歩き方や路面状況などに関わらず股関節を 5 度程度大きく振り上げることに成功した。また、引き込みベースの制御システムを用いて足関節の底屈支援を行った結果、蹴り出し力を 10N 以上向上させることに成功した。

最後に、コンピュータ上で環境アクセシビリティ評価を行うための歩行シミュレータを構築した。実測した 3 次元環境モデル中での歩行シミュレーションを行い、最小つま先クリアランスに基づく歩行中の転倒リスクを評価した結果、転倒リスクが路面の傾斜により変化することや、背屈支援機能付きの義足でこの転倒リスクを低減できることが分かった。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Y. Kumano, S. Kanoga, M. Yamamoto, H. Takemura, and M. Tada, “Estimating whole-body walking motion from inertial measurement units at wrist and heels using deep learning,” *International Journal of Automation Technology*, vol. 17, no. 3, pp. 217–225, May 2023, doi: <https://doi.org/10.20965/ijat.2023.p0217>.
- [2] D. Ichimura, H. Hobara, G. Hisano, T. Maruyama, and M. Tada, “Acquisition of bipedal locomotion in a neuromusculoskeletal model with unilateral transtibial amputation,” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 11, p. 1130353, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1130353>.
- [3] H. Toda, H. Hobara, and M. Tada, “Sex differences in dynamic joint stiffness during walking in older adults,” *Gait & Posture*, vol. 108, pp.50-55, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.11.007>.