

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13141 号
------	---------------

氏 名 板寺 駿輝

論 文 題 目

Physical Interaction-based Robotic Mobility Assistance via
Physiological and Kinetic Indicators
(ロボットによる移動支援を目的とした生理学および力学的指標に
基づく身体的インタラクション)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	理化学研究所	エグゼクティブ	下田 真吾
委員	名古屋大学	准教授	青山 忠義
委員	名城大学	准教授	中西 淳

論文審査の結果の要旨

板寺駿輝君提出の論文「Physical Interaction-based Robotic Mobility Assistance via Physiological and Kinetic Indicators（ロボットによる移動支援を目的とした生理学および力学的指標に基づく身体的インタラクション）」は、高齢者や障害者における移動動作機能の回復支援及び補助を実現するロボット技術の研究開発及びその効果検証結果についてまとめたものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究における社会的背景と目的、提案アプローチについて述べている。本論文では、非装着型ロボットを用いて、効率的な移動動作支援及びリハビリテーションの実現に取り組んでいる。技術的課題として挙げた支援性、操作性、訓練性の両立に向けて、生理学および力学的指標に基づいた身体的インタラクションの設計について提案している。

第2章では、物理的に人とロボットが触れ合うための基本的な制御手法についてまとめ、本論文において採用するインピーダンス制御について定式化及び特徴をまとめている。本研究では、インピーダンス制御則における仮想パラメータを適切に設計することで使用者に対して様々な物理的相互作用を提供することが可能であることに着目している。インピーダンス制御モデルを採用した移動支援ロボットを直接操作する際の使用者への影響についてまとめ、移動動作支援手法のコンセプトを提案している。

第3章及び第4章では、歩行訓練において適切な歩行負荷を提供するためのインピーダンス制御モデル設計手法について提案している。本研究では、回復期の患者を利用者として想定し、理学療法士による歩行リハビリテーションを代替・支援することを目的としている。第3章では、予備実験において若年健常者の歩行中における運動コストとロボットに採用されているインピーダンス制御モデルパラメータとの関係についてPhysiological Cost Index (PCI) や力学的な仕事量などの指標を用いた運動負荷評価を行っている。次に、高齢者に対する支援効果を検証するため、病院において4日間の臨床実験を実施している。本実験の結果から、インピーダンス制御モデルの設計によって使用者の運動負荷を選択可能であることを示している。さらに第4章では、歩行訓練時においてインピーダンス制御モデルをPCIに基づく指標に応じて更新することで、任意の運動負荷を与える歩行訓練手法を提案している。提案手法によって、運動前にあらかじめ運動強度を指定することが可能となるため、個人間や日々変わる体調などの差異を吸収し、適切な運動効果を与えるリハビリテーションが実現可能になると期待される。提案手法による実験を若年健常者において実施し、その実現可能性について確認している。

第5章では、ロボットによって日常生活における一連の移動動作に対して包括的な移動支援を行うことを目的としている。そのためには人の動作状態をオンラインで認識し、認識結果に応じて適切な支援を提供することが日常生活における移動動作には必要である。そこで、ロボットに搭載されているセンサデータを潜在空間へと低次元化することで、低次元空間において得られた入力データに対する分布から移動動作6状態の推定手法及び、複数動作状態間におけるシームレスな移動動作支援の選択手法を提案している。実験を通して、使用者の動作状態のオンライン認識におけるパフォーマンス及び転倒などの未学習動作を検出する機能の評価を行っている。

第6章では、使用者の右斜め前方において歩行に追従し、使用者が支援を必要と感じた際にいつでも触れたり掘んだりすることが可能な同伴型杖ロボットについて取り組んでいる。僅かな接触により重心動揺が低減できるとされるライトタッチ効果に着目し、その効果を実現可能である上記杖型ロボットを設計及びその効果検証に取り組んでいる。臨床実験として若年健常者3名がトレッドミル上で歩行し、ロボットへのライトタッチの有無による重心動揺抑制効果について検証している。実験結果を通して、提案するライトタッチ効果に基づく同伴型ロボットによる歩行支援の実現可能性について議論している。

第7章では、人の歩行動作を簡易的にモデル化し、姿勢の安定余裕を最大化するための支援力を提供する最適化手法を提案している。本研究は、従来研究において多く用いられる静的なバランス評価ではなく、動的なバランス評価に基づいて使用者の姿勢バランスを保つための動作支援であり、より自然な歩行動作に近づける支援が可能となると期待される。実機実験によって、歩行時の適切なコンプライアンス動作や転倒防止動作、使用者への追従動作を確認し、提案する移動支援手法の実現可能性について述べている。

第8章では、本論文の結論及び今後の課題について述べている。各章において提案している生理学的及び力学的指標に基づく身体的インタラクションのアプローチや、実験を通じて得られた本手法の有効性と適用可能範囲についてまとめている。また、個人差異や動的動作を考慮した移動動作支援に関して実用化に向けた拡張性の観点からも考察を述べている。

以上のように、本論文では高齢者における移動動作機能の回復支援及び補助を実現するロボット技術を提案し、実験を通して提案手法の効果検証を行っている。これらの手法並びに得られた結果は、ロボットによる身体的イン

論文審査の結果の要旨

タラクションを利用した移動動作支援を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である板寺駿輝君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。