

氏名	江口 洋丞		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博 甲 第 9015 号		
学位授与年月日	平成 31年 3月 25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	受動型外骨格による姿勢変換支援と立位移動機器に関する研究		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授	工学博士	山海 嘉之
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	相山 康道
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	望山 洋
副査	筑波大学 准教授	博士(医学)	羽田 康司
	(人間総合科学研究科)		

## 論文の要旨

日本において在宅で生活する下肢機能障害者・障害児は63.4万人とされ、40歳未満が全体3割を占める。例として脊髄損傷は、頸部等に対する強い外力により神経伝達機能が損傷を受け、関連する運動機能が低下したり失われたりするものであり、対麻痺につながる損傷も多い。一般に社会的な活動を行う場面において移動は必要不可欠な機能であるにもかかわらず、このような下肢運動機能に障害を有する者の移動機能を補完する手段は車椅子に限られている。車椅子は座位姿勢であることから、立位での活動を前提で設計された公共空間においては、利用者は多くの不便さに直面している。特に、座位で過ごすことは周囲の健常者との間に視点高さの違いをもたらし、これが周囲とコミュニケーションをはかる際の障壁になっていると考えられる。特に脊髄損傷の罹患は青年時以前である場合も多く、その後の社会生活において移動機能が制限されることは生活の質に大きく関わり、運動機能の改善のみならず社会参加の面からも解決すべき多くの課題が残っている。

そこで本論文の著者は、本研究では脊髄損傷などにより下肢が不自由な者を対象として、座位・立位相互の姿勢変換と立位移動の支援が可能な新しい受動型外骨格を備えたパーソナルモビリティに関する工学的的方法論とその実現性を明らかにする一連の研究を行っている。生体力学の考察に基づき動作支援を実現する手がかりを見出し、支援を受ける使用者の自然な姿勢変換動作を可能な限り阻害せず姿勢の変換を実現する受動型外骨格と、立位移動に関する方法論を提案するものである。これらは、自然な振る舞いに応じた動作の支援を通じて、結果として周辺に溶け込む動作の実現を期待するものであり、使用者による社会的活動の実現に資する新たな工学的機器の有用性を明らかにするなど、対象者の日常生活の質の劇的な変容を実現することが大きく期待される。

本論文は全7章からなり、これら一連の研究結果が纏められている。以下に概要と評価を述べる。

第1章は序論で、本研究の位置づけと研究の背景、及び研究目的を述べている。

第2章では、姿勢変換及び立位移動支援、パーソナルモビリティに関する関連研究を紹介している。

第3章では、本研究で提案する方法論とその数理モデルについて述べている。ここでは、動特性を考慮した生体力学モデルと各関節への力伝達構造と考慮した上で、理論的な座位・立位姿勢の変換モデルを提案し、その支援モーメントの特性を明らかにしている。また、健常者の歩行動作を参考にしながら、使用者の姿勢変化による立位移動に関する支援方法を提案している。

第4章では、提案手法を実現するための移動支援機器についてシステムの概要を示し、使用者の支持及び移動を実現しながら姿勢変換を行う受動型外骨格の設計について述べている。

第5章では、提案手法に基づき異なる2つの試作機を用いた評価実験を行っている。支援力に関する基本性能に加え、健常者及び脊髄損傷者を対象として複数回の実証実験を通じて、提案手法の評価と改良点について明らかにしている。

第6章と第7章では、提案手法の妥当性を含めた実験結果に関する考察と評価に基づき、研究成果のまとめを行っている。本研究の貢献とともに、社会実装に向けた将来展望を述べている。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文は、これまで革新的な進歩が限定的であった車椅子に対し、自身の意思により自由に立位・座位姿勢を変換する受動型外骨格を有し、立位での移動を可能にする新たなパーソナルモビリティとしての進歩を提供することで、利用者の社会参加を支援するための新しい解決方法を提示するものである。生体力学およびロボット工学の知見に基づき、人が自然に行う起立着座動作の姿勢変換において、動作方向による下肢関節への負荷モーメントの非対称性に着目し、受動機構を用いた姿勢変換支援が実現可能であることを示している。ここでは理論的な考察に加え、実証機器を製作することで基本性能を明らかにするとともに、姿勢遷移動作中の使用者負担の軽減、装着・脱着の負荷軽減、姿勢遷移動作所要時間の短縮といった利用者の視点からの改良を行い、健常者ならびに脊髄損傷者との実証研究を通じ、提案手法の有用性を明らかにしており、顕著な研究成果であるといえる。

本研究は、工学分野において、日常生活の劇的な変化をもたらす新たな工学的機器の実現という独創的な工学的意義に加え、人の自発的な姿勢変換動作に関する新たな知見をもたらす学術的意義が認められる。また、移動という基本的な人の活動に困難を抱える人々の支援という社会的意義を有し、サイバニクス分野における技術の新しい応用の可能性を拓くものとして高く評価できる。

これらの成果は、工学のみならず、ロボット工学及びサイバニクス分野の発展に資すること大である。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として相応しいものであると認める。

### 【最終試験の結果】

平成31年2月4日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。