

氏名・(本籍)	古茂田 和馬 (愛媛県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	生工博甲第264号
学位授与の日付	平成28年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Multibody Dynamics による閉リンク多脚機構の歩容解析を 基盤とした身体動力的機能発現に関する研究
論文審査委員会	委員長 教授 石井 和男 " 森江 隆 " 古川 徹生 " 夏目 季代久 " 田中 啓文

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、可動要素が互いに拘束条件を与える多体系に対し、包括的定式化と精密な数値計算を可能にする多体系運動力学 (Multibody Dynamics) を、歩行動作を実現する閉リンク機構の解析に導入し、同機構が人歩行と同等のエネルギー消費特性を持つことを明らかにし、同機構のような劣駆動系の欠点となる特異点解析では、選択的自由度拡張を行う上で与えられた楕円軌道の制御パラメータ、振幅・回転角・(入力軌道に対する) 位相の各要素に致し、回転角と位相の特定の関係が、機能を果たすための特異点回避に寄与することを示すものである。

学位論文は、序論として、研究概要、研究背景・目的から、本研究で注目する開リンク機構と閉リンク機構を比較し、3種類の閉リンク機構を有する歩行ロボットを取り上げている。仮説として本研究の中心課題である Multibody Dynamics (MBD) を用いた多体系の解析手法が、閉リンク機構を有する複雑な機構に対しても統一的な解析が可能であり、異なる機構をもつ歩行ロボットの比較において有効な手法であることを示すと述べられている。論文構成は、第2章として MBD の数理記述方法、第3章として三種の閉リンク機構多脚機構の移動性能評価、第4章として拡張多脚機構が有する機能的な歩容パターンが詳解、分析され、第5章考察と今後の展望でまとめられている。第3章では、Chebyshev、Klann、Theo Jansen の各機構において、歩行速度と接地率、駆動力とエネルギーの各指標による比較が示され、移動仕事率の分析ではこれまで過去に提案された主要な歩行ロボットとの比較分析が示されている。第4章では、特異姿勢解析手法の提案がなされ、楕円パラメータを用いた Theo Jansen 機構の拡張方法と、4つの媒介変数における統一的解析が行われている。その結果、4つの媒介変数、

上下の振幅・回転角・(入力軌道に対する)位相の各要素に致し、回転角と位相の特定の関係が、機能を果たすための特異点回避に寄与することを示すに至った。

本研究では、MBDを用いた数理定式化によって、これら閉リンク機構の動作軌道の位置、速度、加速度変位の複合解析を可能にし、質量と入力トルクを基準として比較した解析結果では、Theo Jansen 機構が最も消費エネルギーが低いと分析された。移動仕事率を用いた過去の歩行ロボットや人間の歩行等との消費エネルギーの比較では、当該機構が人動作と同等の低消費特性を有することが示された。歩行ロボット1脚型、2脚型、4脚型、6脚型と比較すると、低速においては低消費ロボットとして知られる1脚型 ARL monopod I、II と同等であることが示された。拡張 Theo Jansen 機構の解析の特異姿勢解析では、機構が有効な動作を生み出すには、周期性と位相という簡約した拘束条件に集約できる制御が、身体機能発現において有効であることが示された。本研究の多体系の解析手法は、閉リンク機構のような複雑な拘束条件に対しても統一的な解析が可能であり、機構が有効な動作を生み出すための簡約した拘束条件の抽出など、身体機能発現分析における有効性を示し、本研究はこのような特性を一般の機構システム、身体機構においても解析可能にする理論基盤を構築したといえる。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、調査委員からエネルギーの定義において負の部分を回生エネルギーとしなかった理由と意味、特異姿勢を避けることが身体機能発現と定義していることの妥当性などについて質問がなされたが、いずれも著者から明確な回答が得られた。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、身体機能発現の問題のどこが解決されたと言えるのか、歩行ロボットのスケール定義の妥当性・設計思想への反映など、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。