別記様式第３号（課程博士）

平成３１年　２月２８日

豊橋技術科学大学長　殿

機械工学専攻
学位審査委員会
委　員　長　　福本　昌宏　印

論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて，学位審査会を実施し，下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	堀尾　亮介		学籍番号	第１２３１８７号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学専攻	
博士学位論文名	Estimation of Disturbance and Energy Consumption for Quadruped Robot Control （４足ロボット制御のための外乱および消費エネルギの推定）			
論文審査の期間	平成　３１年　１月１７日　～　平成　３１年　２月２８日			
公開審査会の日	平成３１年　２月　２８日		最終試験の実施日	平成３１年　２月　２８日
論文審査の結果※	合格		最終試験の結果※	合格

審査委員会（学位規程第6条）

学位申請者にかかる博士学位論文について，論文審査，公開審査会及び最終試験を行い，別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので，学位審査委員会に報告します。

委員長　　北崎　充晃　印

委　員　　竹市　嘉紀　印　　内山　直樹　印

印　　印

印　　印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は，災害救助，産業応用，生活支援など幅広い分野での貢献が期待される歩行ロボットの状態推定に関する研究をまとめたものである。現在実用化されている歩行ロボットの多くはエンターテイメント利用を目的としており，上記分野での応用は限定的である。バッテリ等，限られた電源容量を搭載した状態での屋外作業が期待される歩行ロボットの課題として，省エネルギ化と不整地歩行に着目している。既存研究における消費エネルギ推定法の問題を指摘し，新たな動特性モデルの提案と有効性検証を目的としている。さらに，動特性の非線形性を考慮し，不整地歩行や省エネルギ歩行に重要な地面反力等の外乱を推定する方法の提案と検証を目的とし，全６章から構成される。第１章では，本研究の背景，関連研究，研究目的，構成を記している。第２章では，歩行ロボットの歩容，消費エネルギ，安定性の表現など基本事項を述べている。第３章では，既存の研究において特に重要な歩行ロボットの制御法と消費エネルギの性質をまとめている。また，地面反力推定の歩行ロボット制御への有用性について説明している。第４章において，歩行ロボットに重要な膝関節と腰関節の特性を考慮した２リンク２脚モデルを提案し，これに基づく消費エネルギの推定法を示している。シミュレーションと実験による検証結果をまとめ，整合を確認している。第５章では，２リンク２脚モデルを用いた地面反力等の外乱推定法を提案している。歩行ロボットは複雑な非線形特性を有するためハイゲインオブザーバを用いた方法を示している。さらに，推定の収束性について解析している。２足ロボットを対象とした方法から４足ロボットのものへ拡張し，いずれもシミュレーションにより有効性を確認している。第６章では，本研究で得られた成果をまとめると共に，今後の課題と展望を述べている。

審 査 結 果 の 要 旨

歩行ロボットの研究が世界中で広く行われてきたが，災害救助，産業応用，生活支援などへの応用例は限定的である。この理由の一つとして，歩行ロボットでは車輪機構と異なり不整地歩行が期待されるが，不安定系であるため実現が困難なことがあげられる。不整地歩行制御のためには地面反力を含めた外乱の状態把握が必要である。多数の計測装置の搭載は実用化の点から現実的でないため，ソフトウェアによる外乱等の推定法が望まれる。また，屋外移動が期待される歩行ロボットにおいては，搭載できる電源容量が制限されるため，消費エネルギに関する検討も必要である。本論文では，以上のことから，地面反力を含めた外乱と消費エネルギを推定するための歩行ロボットの動特性モデルとオブザーバの設計法提案を目的としている。新たな動特性モデルと推定法を示し，収束性解析を行っている点で学術的な新規性を有する。さらに，シミュレーションと実験により有効性を確認しており，工学的にも評価できる。本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。１）歩行ロボットの消費エネルギを推定するための新たな２リンク２脚モデルを提案し，歩容のデューティ比と機械仕事，熱損失の傾向を明らかにした。また４足ロボットの実験装置を構築，検証を行い，シミュレーションとの整合を確認した。２）２足ロボットの地面反力推定のために，２リンク２脚モデルを用いた方法を提案した。歩行ロボットの動特性は複雑な非線形系となるため，ハイゲインオブザーバを用いた推定法を示した。また，推定値の収束性について解析を行った。階段歩行を対象としたシミュレーション検証を行い，有効性を確認した。３）２リンク２脚モデルに外乱項を導入することで４足ロボットの地面反力を推定する方法を提案した。また，４足ロボットに応用可能なハイゲインオブザーバを設計した。完全な動特性を有する４足ロボットモデルを対象としたシミュレーション検証を行い，提案モデルにより地面反力の推定が可能なことを確認した。歩行ロボットの新たな動特性モデルならびに消費エネルギと地面反力の推定法提案と特性解析は学術的に独創性が高い。また，シミュレーションおよび実験により有効性を示しており産業分野への寄与も大きい。以上より，本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

（各要旨は１ページ以上可）