

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	登坂および大型障害物踏破を行う4足歩行ロボットの機構と制御に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	小松洋音
Author(English)	Hirone Komatsu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9627号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:福島 E 文彦,小田 光茂,松永 三郎,塚越 秀行,鈴森 康一, 遠藤 玄,廣瀬 茂男
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9627号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	小松 洋音	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	福島 E.文彦	准教授	鈴木 康一	教授
	審査員	小田 光茂	教授	遠藤 玄	連携准教授
		松永 三郎	連携教授	広瀬 茂男	名誉教授
		塚越 秀行	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「登坂および大型障害物踏破を行う 4 足歩行ロボットの機構と制御に関する研究」と題して、全 6 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、本論文の背景と目的について述べている。すなわち、山間部などにおける建設や物資運搬作業の高度な自動化が求められているが、このような岩場、段差や斜面の多い環境を一般的な車輪やクローラなどの無限回転機構で構成された移動作業車は踏破するのが困難であるため、潜在的に高度な対地適応能力を有した 4 足歩行ロボットの導入が期待されている背景について述べている。また、本論文では 4 足歩行ロボット本体と同等程度の大きさの岩や段差などの障害物を「大型障害物」と定義し、従来の研究では大型障害物の踏破を実現する機構や制御の研究が十分に行われていないことを指摘している。そして、本論文では消費エネルギーの削減を指標として歩行動作と歩容制御を解析し、大型障害物踏破が可能な 4 足歩行ロボットの実現を目指し総合的な機構設計と制御法の方法論を構築することが目的であると述べている。

第 2 章「歩行ロボットのアクチュエータ特性を考慮した最適化駆動」では、歩行ロボットの各関節を駆動するアクチュエータ特性を考慮して総消費エネルギー削減の観点から登坂や大型障害物踏破のような重力に抗した歩行動作を最適化するための基本的知見を明らかにしている。まず、本論文では一般の歩行ロボットで多く採用されている直流電動機を対象としたアクチュエータモデルを構築すると述べ、積載荷重や容積等の制約から歩行ロボットに電力回生システムを搭載するのは困難であることを説明し、負のパワーは回生できないと仮定している。そして、電機子銅損鉄損および風損によるエネルギー損失をゼロとした「理想的アクチュエータモデル」と、市販の直流電動機の特性を考慮した「現実的アクチュエータモデル」の二種類を想定して歩行ロボットの総消費エネルギーを算出している。諸解析の結果から、本質的にエネルギー消費を伴う最も単純な動作である立ち上がり動作においてもアクチュエータで負のパワーが顕著に発生し総消費エネルギーが増大するという問題を確認し、脚姿勢や内力を適切に設定することにより負のパワーが大幅に抑制できるという知見、またアクチュエータを高効率な動作領域で運転できるという知見を示し、総合的に最適化駆動を実現する方法論を構築している。

第 3 章「登坂歩行を行う 4 足歩行ロボットの最適化歩容制御」では、第 2 章で想定したアクチュエータモデル、および最適化に関する負のパワー抑制と高効率な動作領域での運転の知見に基づいて解析を行い、登坂歩行における 4 足歩行ロボットの最適化歩容制御を提案している。登坂歩行の解析結果から、まず理想的なアクチュエータを用いた場合は、ほぼ負のパワーを発生しないために、4 足歩行ロボットの胴体傾斜角を水平から斜面傾斜角までの範囲とし、また脚位置などの諸パラメータは水平歩行時と同様とすれば良いことを示している。そして、現実的アクチュエータを用いた場合には最適な胴体姿勢角はほぼ水平なときであるが、さらに歩行姿勢とは独立に胴体速度および支持脚による内力も考慮した場合、胴体傾斜角を斜面傾斜角に近い状態にして脚を左右に大きく広げた歩容が最もエネルギー効率が良いことを見出し、4 足歩行ロボットの最適化歩容制御を提案している。

第 4 章「4 足歩行ロボット TITAN XII の開発」では、4 足歩行ロボットの実機械モデルである TITAN XII の開発について述べている。まず、大型障害物踏破では脚可動範囲を有効利用するために胴体姿勢を積極的に変化させ、さらに足裏面積を静的安定性の確保に生かすために、4 足歩行ロボットに能動足首を搭載することが有効であると述べている。また、4 足歩行ロボットが能動足首を搭載することで、足先を足裏兼用の能動車輪で構成することにより足先を僅かに傾けるだけで歩行と車輪移動を素早く切り替えられ、平地だけでなく大型障害物踏破においても歩行と車輪を併用することが有効であると述べている。これらの概念に基づいて、大型障害物踏破を実現するために適した機能を有した 4 足歩行ロボットの機構と制御システムの構成について提案し、実機械モデルである TITAN XII を設計開発している。

第 5 章「実験」では、開発した 4 足歩行ロボット TITAN XII を用いて歩行および車輪による平地移動の基本動作実験を行い、基本運動性能を検証し、安定な大型障害物踏破を実現できることを実験的に確認している。さらに、立ち上がり動作実験および登坂歩行実験も実施し、消費エネルギーの計測結果が第 2 章と第 3 章の解析結果と同じ傾向を示すことを確認し、本論文で行った解析の妥当性について検証している。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文はアクチュエータ特性を考慮して総消費エネルギー削減の観点から 4 足歩行ロボットの各歩行動作の最適化を検討し、脚姿勢や内力を適切に設定することで負のパワー抑制と高効率な動作領域での運転が実現できるという知見を明らかにしたものであり、さらに 4 足歩行ロボットの胴体傾斜角や脚位置などを調整して斜面歩行時のエネルギー効率を向上する最適化歩容制御を提案し、4 足歩行ロボット TITAN XII を実際に開発して実験でその妥当性を検証したものであり、工学上、及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。