

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	小松 洋音		指導教員 (主)： Academic Advisor(main) 福島 E. 文彦
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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、本研究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従来から多用されている車輪やクローラなどの無限回転機構で構成された移動ロボットが踏破することは困難であるため、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と述べている。また、本論文では 4 足歩行ロボット本体と同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低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低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エネルギー消費が著しい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、歩行ロボットの消費エネルギーを算出するためにアクチュエータを消費パワー特性により分類し、負のパワーは回生できないが正のパワーを効率 100%で生成可能な「理想的アクチュエータモデル」、そして負のパワーを回生できず効率が動作点により変化する、DC モータの特性を考慮した「現実的アクチュエータモデル」を想定して歩行ロボットの総消費エネルギーを算出し、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の解析を行っている。諸解析の結果から、立ち上がり動作においても本質的にエネルギー消費がゼロである水平地上歩行と同様に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を抑制できるという知見、またアクチュエータを効率的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、また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た解析により、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。まず、理想的アクチュエータを想定した解析結果から、各アクチュエータでほぼ負のパワーを発生しないようにするためには、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に設定し、また脚位置などの諸パラメータは水平地上歩行の場合と同様に設定すれば良いことを示している。次に現実的アクチュエータを想定した解析から、まずエネルギー効率が最大となる登坂歩行姿勢を導出し、特徴的な点として胴体姿勢がほぼ水平であるという点を明らかにしている。さらに、歩行姿勢に加えて、歩行姿勢とは独立に設定可能な胴体速度および支持脚力の最適化を考慮した場合には、エネルギー効率をさらに向上できることを明らかにし、胴体傾斜角が斜面傾斜角に近く脚を左右に大きく広げた歩容が最もエ

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。その後、以上のコンセプトに基づいた大型障害物踏破を行うための4足歩行ロボット TITAN XII を提案し、TITAN XII の機構と制御システムの構成について詳細に述べている。

第5章「実験」では、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での移動や大規模段差踏破などの動作実験を行い、TITAN XII の基本運動性能について検証している。そして、各動作実験により、TITAN XII が大型障害物踏破に必要な基本的性能を有することを定性的に確認している。また、第2章、第3章で検討した解析結果の妥当性について検証するために、立ち上がり動作実験および登坂歩行実験を実施し、消費エネルギーの計測が第2章と第3章の解析結果と同様の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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	小松 洋音		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	福島 E. 文彦	
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis titled "Study on mechanism and gait control of a quadruped walking robot for slope and large obstacle climbing" is composed of six chapters.

Chapter 1 describes the background and purpose of this study. Quadruped walking robots have high terrain adaptability compared with wheeled or crawler robots and it is expected to be utilized for various works on rugged terrain such as construction, transportation on mountainous area. However quadruped walking robots for large obstacle climbing have not been studied enough yet. Therefore it is necessary to study mechanism and gait control of a quadruped walking robot appropriate for large obstacle climbing.

Chapter 2 discusses about optimization methods of walking motion considering actuator characteristics, for walking motion such as slope and large obstacle climbing, which essentially requires positive power. Basic strategy to derive energy-efficient walking motion is clarified by the simulations of the body rising motion. To estimate energy consumption of the robot in the simulation, ideal actuator model and realistic actuator model is considered.

Chapter 3 discusses optimal gait control of slope walking motion by quadruped walking robots. Energy-efficient slope walking motion is investigated using actuator models and the strategy to derive energy-efficient walking motion discussed in chapter 2. Then, characteristics of several parameters to decide optimal slope walking motion is explained.

Chapter 4 proposes a quadruped walking robot for large obstacle climbing named TITAN XII and discusses its mechanical designs and control systems. TITAN XII is equipped with active ankles to change the body posture widely maintaining stability and active wheels to utilize advantage of high terrain adaptability of walking robots and high speed and energy efficiency of wheeled robots.

Chapter 5 shows the experimental results performed by the mechanical model TITAN XII. Basic performance of TITAN XII for large obstacle climbing is confirmed and the validity of simulation results in chapter 2 and 3 is confirmed by several experiments.

Chapter 6 summarizes the conclusions and future work of this study.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).