

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	間歇トロット歩容を基準とした側方型4足歩行ロボットの機構と制御の研究
Title(English)	
著者(和文)	北野智士
Author(English)	Satoshi Kitano
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10268号, 授与年月日:2016年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 玄,鈴森 康一,小田 光茂,塚越 秀行,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10268号, Conferred date:2016/6/30, 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)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	北野 智士		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	遠藤 玄	
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	鈴森 康一	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「間歇トロット歩容を基準とした側方型 4 足歩行ロボットの機構と制御の研究」と題し、以下の 5 章よりなる。

第 1 章「序論」では、不整地移動技術における課題と、それらの課題を解決するための 4 足歩行ロボットに関する従来の研究開発について概観し、実用的な 4 足歩行ロボットの実現に向けた技術課題と本論文の目的を述べた。すなわち、複雑な不整地環境で安定して移動するためには脚可動範囲が広く低重心である側方型 4 足歩行ロボットが有効であるが、一方で下方型 4 足歩行ロボットに比して移動速度・移動効率が低いという技術課題があるということである。また脚を接地できる位置が限定された環境での不整地歩行制御技術は未だ確立されていない。これらを解決するため、側方型 4 足歩行ロボットの新たな機構構成法と動的歩容制御法を提案し、試作機ならびに計算機シミュレーションによる実験によりその有効性を示すことが本論文の目的である。

第 2 章「側方型 4 足歩行ロボットの機構構成法の提案と TITAN-XIII の開発」では、不整地での高い安定性を維持しつつ移動速度・移動効率の向上を実現する側方型 4 足歩行ロボットの機構構成法を提案し、試作機によりその有効性を明らかにした。まず移動効率・移動速度の向上のためにはデューティ比の低い動的歩容が適しており、その中でも不整地歩行時において高い安定性を有する間歇トロット歩容を基準とする。次に高い脚先速度と広い可動範囲を実現するために質量の大きいアクチュエータを脚基部に集中配置し、くぼみ付きプーリおよびワイヤ・プーリ機構により関節を駆動する機構構成法を提案している。さらに小型かつ軽量で高い減速比を実現するために高強度化学繊維を駆動用ワイヤとして用い、入出力軸を互いに直交させるプーリ配置法を提案した。開発した試作機は大きさ 220 x 550 x 300 mm、質量 5.2 kg と小型軽量でありながら 1.2 m/s 以上の脚先速度を実現するとともに、蹴上げ 169 mm の階段踏破が可能であることを基本動作実験により明らかにした。

第 3 章「高速移動のための動的歩容制御」では、従来の間歇トロット歩容における高速動的歩容制御の問題点を指摘し、動的安定を実現するための本体揺動を前後のみに制限することで歩幅を最大化する新たな動的歩容制御法を提案し、その有効性を実験により明らかにした。すなわち、従来の 2 脚支持期での動的歩容制御における上下左右方向の揺動を廃し、前後方向の加減速のみで動的安定を保つことにより、可動範囲内で進行方向歩幅を最大化する手法を提案した。また安定した高速歩行を実現するため 4 脚支持期においてのみ目標速度を線形に増加させる制御法を提案した。さらに高速かつ滑らかな遊脚復帰を実現するために、経路点の位置・速度を指定可能な Ferguson/Coons 曲線を用いることを提案した。これら提案手法を前章で開発した試作機に実装し歩行実験を行った結果、提案手法により従来の下方型 4 足歩行ロボットと比較しても同等かそれ以上の有効脚長倍速度 8.0、最小 COT1.76 を実現できることを明らかにした。

第 4 章「不整地移動のための動的歩容制御」では、脚を接地できる位置が限定された不整地において間歇トロット歩容を実現するために、脚先接地位置と胴体位置を指定可能な位置指定揺動軌道を新たに提案し、試作機および動力学シミュレータを用いて、その有効性を明らかにした。すなわち、従来の 3D 揺動軌道では任意の方向に歩行するとき初期胴体位置を明示的に指定できない課題があったが、提案手法では脚先位置と胴体位置・速度を拘束条件として胴体の運動方程式を解くことによりこの課題を解決した。

また2脚支持期の端点において胴体の位置・速度・加速度を連続とするため、4脚支持期の胴体軌道を拡張 Ferguson/Coons 曲線を用いて生成することを提案した。これらの制御法を試作機に実装し単純段差踏破の実験を行った結果、提案手法により最大 120 mm の段差を 0.18 m/s で踏破可能であることを明らかにした。また本手法を拡張し操作者の進行方向指令と地形情報に基づき脚先接地位置・胴体位置を決定する手法を提案し、動力学シミュレーション実験により不整地での全方向移動が可能であることを明らかにした。

第5章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べた。

以上を要するに本論文では、不整地環境で安定して歩行可能な側方型4足歩行ロボットの機構構成法および動的歩容制御法を提案し、開発した試作機による実験ならびに動力学シミュレーションによりその有効性を明らかにした。

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 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(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	北野 智士		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	遠藤 玄	
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	鈴木 康一	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

To walk over rough terrain fields where conventional wheel or crawler-type robot cannot overcome, a sprawling-type quadruped robot which has low center of gravity and wide range of motion is practical. However, the walking speed and efficiency of a sprawling-quadruped robot is lower than an erect-type quadruped robot. Since the walking speed can be increased by using low duty factor walking gait, this research aimed to develop sprawling-type quadruped robot walking on rough terrain with intermittent trot gait. As a prototype, sprawling-type quadruped robot TITAN-XIII is developed (220 x 550 x 300 mm, 5.2 kg). To compose low inertia leg, the wire-driven mechanism with Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHPE) fiber is used and right angle-type pulley is proposed. In order to walk fast and efficient, the longitudinal acceleration-type intermittent trot gait which can maximize its walking stride is proposed and implemented to the developed quadruped robot. To confirm the performance of the developed robot, several experiments were conducted and the robot walked at 1.38 m/s and achieved minimum COT of 1.76. From these result, the sprawling-type quadruped robot is capable of walking as fast and efficient as erect-type quadruped robot. As a rough terrain walking algorithm, the position specified sway-type intermittent trot gait which can directly specify foot placement and end point of body trajectory, is proposed for omnidirectional walking on rough terrain. The proposed algorithm was implemented to the developed robot and the robot succeeded to climb up 120 mm of a step at 0.18 m/s. Furthermore, the way of deciding the foot placement and end point of body trajectory by using the input of operator is proposed and implemented on dynamics simulator. In the simulator, the robot model succeeded to walk over various type of field and the validity of the proposed algorithm is confirmed.

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 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).