

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 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	北野 智士		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	遠藤 玄	准教授	審査員	菅原 雄介	准教授
	審査員	鈴木 康一	教授			
		小田 光茂	教授			
塚越 秀行		准教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「間歇トロッツ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ている。すなわち、複雑な不整地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、下方型 4 足歩行ロボットに比して移動速度と移動効率が低いという技術課題があると述べている。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と述べている。これらを解決するために側方型 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、試作機による実験と動力学シミュレーションによりその有効性を示すことが本論文の目的であると述べている。

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と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 (TITAN-XIII) によりその有効性を明らかにしている。まず、移動効率と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、その中でも本研究では不整地において高い安定性を有する間歇トロッツ歩容を基準歩容として動的歩容制御を提案すると述べている。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、歯付きベルト機構とワイヤ・プーリ機構により駆動される関節を有する機構構成法を提案している。ワイヤ・プーリ機構は、小型軽量で高い減速比を実現するために入出力軸を互いに直交させるプーリ配置法が新たに提案され、高強度化学繊維を駆動用ワイヤとして採用することで、これを実現している。開発した試作機は L220mm x W550mm x H300mm、質量 5.2kg と小型軽量でありながら、移動速度として十分高速な 1.2m/s の脚先速度を実現するとともに、通常の階段 (蹴上げ 169mm) の踏破が可能であることを実験により明らかにしている。

第 3 章「高速移動のための動的歩容制御」では、従来の間歇トロッツ歩容における高速動的歩容制御の問題点を指摘し、3つの要素からな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ている。すなわち、従来の動的歩容制御における 2 脚支持期での上下左右方向の加減速を行わず、前後方向の加減速のみで動的安定を保ち、可動範囲内で進行方向歩幅を最大化する手法を提案している。そして、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増減させる制御法を提案している。さらに、高速かつ滑らかな遊脚復帰を実現するために、経路点の位置と速度を指定可能な Ferguson/Coons 曲線を脚軌道として用いることを提案している。これらの提案手法を前章で開発した試作機に実装して歩行実験を行った結果、提案手法により従来の下方型 4 足歩行ロボットと同等以上の移動速度 (有効脚長倍速度  $8.0s^{-1}$ ) と移動効率 (COT 1.23) が実現できることを明らかにしている。

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ツ歩容を実現するために、脚接地位置と重心位置を指定可能な新たな位置指定揺動軌道の採用を提案し、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ている。すなわち、従来の 3D 揺動軌道を採用した場合では任意の方向に歩行するとき脚接地位置と重心位置を明示的に指定できないが、本研究では脚位置、重心位置および重心速度を拘束条件として重心についての ZMP 方程式を解くことにより軌道与える位置指定揺動軌道を採用している。さらに 2 脚支持期の端点において重心の位置、速度および加速度を連続的に接続するため、4 脚支持期の重心軌道を拡張 Ferguson/Coons 曲線を用いて生成することを提案している。この提案手法を試作機に実装して単純段差踏破の実験を行った結果、提案手法により最大 120mm の段差を 0.18m/s の胴体速さで高速に踏破可能であることを明らかにしている。加えて、本手法を進行方向指令と地形情報に基づき脚接地位置と重心位置を動的に決定する制御法を提案し、動力学シミュレーション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ている。

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ている。

以上を要するに本論文は、不整地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、試作機による実験と動力学シミュレーションにより、その手法の有効性を明らかにしたものであり、工学上、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ものと認められる。