



Title	生物型歩行ロボットの機構とその歩容制御に関する基礎研究
Author(s)	牧田, 忍
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44296">https://hdl.handle.net/11094/44296</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	まき 牧 田 忍
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17829 号
学位授与年月日	平成15年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	生物型歩行ロボットの機構とその歩容制御に関する基礎研究
論文審査委員	(主査) 教授 古莊 純次 (副査) 教授 太田 快人 教授 新井 健生

### 論文内容の要旨

本研究は生物型歩行ロボットの機構とその歩容制御に関する基礎的な検討を行ったものであり、哺乳類の中でも特にウマに焦点を絞り、運動学、機構および制御の観点から研究を行った。本研究は以下の9章で構成されている。

第1章では、本研究の目的を述べ、研究の背景と関連研究、本研究の概要について述べた。

第2章では、現在までに行われてきた4足歩行ロボットと歩容に関する研究を紹介した。

第3章では、ウマ型の歩行ロボットの開発のために行ったウマの骨構造、筋構造の調査およびトロット歩行解析について述べた。ウマのトロット歩行解析を行い、多くの骨から成るウマの体を一体となって動くと見なせる部分は一個のリンクでモデル化した。また、ウマの球節は、歩行運動中の関節運動角度範囲、速度ともに最も大きく重要な関節であることを確認した。

第4章では、ウマの調査および歩行解析から得られた知見を基に、ウマ型歩行ロボットおよび球節における筋と腱のモデルを提案した。次に、そのモデルに基づいてウマ型4足ロボットPONYを開発した。本研究では、腱などの軟部組織が弾性エネルギーを蓄え、着地の際の衝撃を吸収する働きに注目した。特にウマの歩行で重要な関節である球節が支持脚期に屈曲する際に深趾屈筋等の腱の部分が変形することで弾性エネルギーが蓄えられる働きをばねで行うモデルを提案し、ロボットの球節駆動部の機構開発を行った。

第5章では、開発したウマ型4足ロボットPONYによるトロット歩行について述べた。まず、提案した歩行システムで安定した歩行が可能であることをシミュレーションで確認した。次に、4足ロボットPONYによるトロット歩行実験のために適切な目標値、制御方法を開発したシミュレータを用いて決定した。そして、シミュレーションにより決めた目標値、制御方法を用いてPONYによるトロット歩行実験を行い、トロット歩行を実現した。

第6章では、歩行速度の変化と歩容の遷移について検討した。ウマは歩容の遷移を1完歩内で完了させる。しかし、従来の4足歩行ロボットで実現された歩容の遷移は複数歩を要している。そこで、4足歩行ロボットPONYでウマと同様にほぼ1完歩でウォークからトロットへと歩容を遷移させるための脚運びを計画した。そして計画した脚運びをPONYにさせることにより、静止状態からウォークを経てトロットへの遷移歩行を実現した。

第7章では、ロボットの運動学的な機構評価において実現可能な最終効果器の位置姿勢の速度を表す多面体を議論する必要性について言及し、この多面体を求める幾何学的な方法を提案した。

第8章では、提案したロボットアームの機構評価方法を用いて、ウマ型4足ロボットPONYおよび古莊研究室で開

発した4足歩行ロボット Scamper の脚の機構評価を行った。そして、提案した機構評価方法が脚機構設計に対して一つの有効な指標を与えることを示した。

第9章では、本研究の総括を行なった。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は生物型歩行ロボットの開発を目的として、ロボットの機構開発とその評価方法および歩容制御について検討を行ったものである。生物としてはウマを取り上げ、その筋骨格構造および歩行データを参考に歩行ロボットの開発および歩行制御方式の開発を行っている。本論文で得られた結果を要約すると、次の通りである。

- (1)ウマの調査とトロット歩行解析から得られた知見を基にウマ型4足歩行システムのモデルを提案している。このモデルは胴体部1リンク、各脚4リンクから成る。また、アクチュエータとしての筋の役割をモータに、弹性要素としての腱の役割をばねに担わせ、それらを直列に配する球節駆動機構のモデルを提案している。次に、提案したモデルに基づくウマ型4足歩行ロボットPONYを設計・製作している。このPONYの各脚は4関節を持つ冗長性のある機構である。
- (2)ウマのトロット歩行時の脚軌道を参考にした歩行を4足歩行ロボットPONYで実現するために、まず、歩行システムの矢状面内の運動を計算する2次元歩行シミュレータを開発している。そして、ウマのトロット歩行の肢の軌道を参考にロボットの目標軌道を作成し、開発した歩行シミュレータを用いて歩行制御方式の検討を行い、安定な歩行を可能とする歩行制御方式を得ている。次に、4足歩行ロボットPONYにおいてシミュレーションより求めた制御方式と目標軌道を使ったトロット歩行実験を行い、安定したトロット歩行を実現している。
- (3)歩容の遷移に注目し、4足歩行ロボットPONYでウマと同様にほぼ1完歩で歩容の遷移を完了させる脚運びを計画している。3次元シミュレータを構築し、計画した脚運びで静止状態からウォークを経てトロットへと歩容を変えるシミュレーションを行っている。その結果、ほぼ1完歩で遷移が完了する歩行が4足歩行ロボットPONYによって可能であることを確かめている。次に、遷移歩行実験を行い、ほぼ1完歩で遷移が完了する歩行を実現している。
- (4)ロボットの機構評価に関する提案、考察を行っている。まず、 $n$ 次元関節角速度ベクトル空間で原点を中心とする半径1の球に座標軸上で外接する立方体のヤコビ行列による像を考え、その表面を探す幾何学的な方法を提案している。この立方体が変換された多面体は最終効果器の位置姿勢の実現可能なすべての速度の集合であり、実現可能速度多面体と名付けている。次に、この多面体と可操作性橈円体との関係を議論し、これらの差が生じる原因を明らかにしている。また、ロボットアームの機構評価の新しい一つの指標となるスカラ量として多面体の表面上の点と原点との距離を提案している。次に、提案した実現可能速度多面体が歩行ロボットの脚機構設計において有効であることを示している。

以上のように、本論文では、生物型歩行ロボットを構築する際に必要となる機構および歩容制御に関する基礎的な検討を行っており、当該分野の研究の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。