



Title	空気圧人工筋を用いた脚モデルの立位安定性に関する研究
Author(s)	中西, 大輔
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61742
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (中西 大輔)	
論文題名	空気圧人工筋を用いた脚モデルの立位安定性に関する研究
論文内容の要旨 人間は実に多彩，自然，滑らかでしなやかな運動が可能である．本研究の最終的な目的は，その生成メカニズムを明らかにすることである．本論文では人間の筋骨格系に着目し，この筋骨格系と運動メカニズムの関係を模型(物理モデル)と数式(数理モデル)によって説明することで解明しようと試みた．また筋肉の代理物理モデルとしてMcKibben型空気圧人工筋(McKibben pneumatic actuator 以下MPA)を採用し，MPAを用いた筋骨格系モデルの力学特性と運動メカニズムの関係について研究を行った． 2章では，未だ十分な定式化が進んでいないMPAの動特性のモデル化に向けた測定実験を行った．MPAの自然長，長さ，印加圧力などをパラメータとして，それらが張力に与える影響を調べた．その結果から，MPAの張力がその長さや収縮速度を独立変数とする近似平面として表現できる可能性を示した．またその近似平面のパラメータが圧力に対して線形に変化すると仮定することによって，動特性を含んだMPAの張力が，長さ，収縮速度および圧力を変数とするシンプルなモデルによって表現可能であることを示した． 3章では，MPAを用いた二次元脚ロボットの立位安定性および関節剛性に関する解析を行った．屈伸運動が可能なシンプルな脚モデルを考え，その屈筋と伸筋としてMPAを採用した際にその立位姿勢の安定となる基本的な条件を導出し，その条件がMPAの粘弾性と骨格の幾何特性によって満たされることを示した．また膝部の構造によっては姿勢が不安定化すること述べ，立位安定性に対しては筋の特性のみならず骨格構造が重要な役割を持つことを示した．さらに屈筋と伸筋に加える圧力の組合せによって姿勢と関節剛性(柔軟性)を独立に制御可能であること，またその定量的な設計手法を示した． 4章では，3章で論じた脚モデルの関節剛性に対してMPAへの印加圧力が及ぼす影響についてさらに詳細に解析を行った．その結果，筋骨格系の非線形性が生み出す「入力圧力と関節剛性の定性的な関係が反転する特異点」の存在を導出した．その影響により屈筋と伸筋の拮抗を高める程に関節剛性が小さくなり，最終的には姿勢が不安定化する場合があることを示した．また筋の自然長や膝蓋骨半径といった筋骨格系の設計によって特異点の発生する姿勢を調節できること，また設計によっては特異点の発生そのものを回避することも可能であることを示した． 筋骨格系の運動が安定となることは直感的には自然であり，また従来物理モデルによって定性的に示されてきたことであるが，今回の数理モデルに対する解析によってその妥当性を裏付け，またそのキーとなる特性を導くことができたと言えるだろう．また姿勢や関節剛性を定量的に設計する手法は，従来物理モデル実験において経験則や試行錯誤で決定されていた入力や設計が運動に及ぼす影響を定量的に評価し，その関係を数理的に考察することに応用できると考えられる．また膝の構造や筋骨格系の非線形性の影響によって姿勢が不安定化するという直感を裏切る結果は，筋骨格系の運動メカニズムや安定性を考える上で非常に重要な結果であると考えられる．	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (中 西 大 輔)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	大須賀公一
	副 査	教授	金子 真
	副 査	教授	石川将人

論文審査の結果の要旨

人間は実に多彩、自然、滑らかでしなやかな運動が可能である。本研究の最終的な目的は、その生成メカニズムを明らかにすることである。本論文では人間の筋骨格系に着目し、この筋骨格系と運動メカニズムの関係を模型(物理モデル)と数式(数理モデル)によって説明することで理解しようと試みている。また筋肉の代理物理モデルとして McKibben 型空気圧人工筋(McKibben pneumatic actuator 以下 MPA)を採用し、MPA を用いた筋骨格系モデルの力学特性と運動メカニズムの関係について研究を行っている。

2 章では、未だ十分な定式化が進んでいない MPA の動特性のモデル化に向けた測定実験を行っている。MPA の自然長、長さ、印加圧力などをパラメータとして、それらが張力に与える影響を調べている。その結果から、MPA の張力がその長さと収縮速度を独立変数とする近似平面として表現できる可能性を示している。またその近似平面のパラメータが圧力に対して線形に変化すると仮定することによって、動特性を含んだ MPA の張力が、長さ、収縮速度および圧力を変数とするシンプルなモデルによって表現可能であることを示している。

3 章では、MPA を用いた二次元脚ロボットの立位安定性および関節剛性に関する解析を行っている。屈伸運動が可能なシンプルな脚モデルを考え、その屈筋と伸筋として MPA を採用した際にその立位姿勢の安定となる基本的な条件を導出し、その条件が MPA の粘弾性と骨格の幾何特性によって満たされることを示している。また膝部の構造によっては姿勢が不安定化すること述べ、立位安定性に対しては筋の特性のみならず骨格構造が重要な役割を持つことを示している。さらに屈筋と伸筋に加える圧力の組合せによって姿勢と関節剛性(柔軟性)を独立に制御可能であること、またその定量的な設計手法を示している。

4 章では、3 章で論じた脚モデルの関節剛性に対して MPA への印加圧力が及ぼす影響についてさらに詳細に解析を行っている。その結果、筋骨格系の非線形性が生み出す「入力圧力と関節剛性の定性的な関係が反転する特異点」の存在を導出している。その影響により屈筋と伸筋の拮抗を高める程に関節剛性が小さくなり、最終的には姿勢が不安定化する場合があることを示している。また筋の自然長や膝蓋骨半径といった筋骨格系の設計によって特異点の発生する姿勢を調節できること、また設計によっては特異点の発生そのものを回避することも可能であることを示している。筋骨格系の運動が安定となることは直感的には自然であり、また従来物理モデルによって定性的に示されてきたことであるが、今回の数理モデルに対する解析によってその妥当性を裏付け、またそのキーとなる特性を導くことができたと言えるだろう。また姿勢や関節剛性を定量的に設計する手法は、従来物理モデル実験において経験則や試行錯誤で決定されていた入力や設計が運動に及ぼす影響を定量的に評価し、その関係を数理的に考察することに応用できると考えられる。また膝の構造や筋骨格系の非線形性の影響によって姿勢が不安定化するという直感を裏切る結果は、筋骨格系の運動メカニズムや安定性を考える上で非常に重要な結果であると考えられる。

以上のように、本論文は人間が生み出しているしなやかな運動の発現メカニズムを理解するために、(a)空気圧人工筋肉(MPA)をアクチュエータとして持つ脚型ロボットを試作し、(b)その力学特性を数理的に解析することで運動原理を抽出し、(c)そこで得られた知見の妥当性を実験によって検証しよう、とするもので、当該分野に対する学術的貢献が大きいものと確信する。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。