

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20378

研究課題名（和文）筋骨格構造の運動メカニズムに基づいた筋骨格型ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of Musculoskeletal-like Robots Based on the Motion Mechanisms of Musculoskeletal Structures

研究代表者

松谷 祐希（Matsutani, Yuki）

近畿大学・工学部・講師

研究者番号：80757120

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、脊椎動物の筋骨格構造が巧みな運動の実現に、どのように貢献しているかを明らかにすることである。まず、筋骨格型の受動歩行ロボットのモデルを構築し、筋骨格モデルを対象に筋内力を利用した歩行生成法を提案した。数値シミュレーションの結果より、従来のリンクモデルでは歩行の継続が難しい小さい傾斜角の斜面でも、筋骨格モデルは歩行を継続することができることを示した。次に、筋骨格アームを対象に関節剛性に基づいた筋内力の決定法を提案し、目標位置における手先剛性を維持しつつ、目標位置までの運動の応答性を変化させることができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、複雑な実時間の計算や高価な計測システムを必要とせず、脊椎動物のような巧みな運動を実現できるロボットシステムの開発に必要な要素技術である。脊椎動物が有する筋骨格構造の構造上の特徴や機能を理解してロボットに応用することで、筋骨格構造を用いたロボットの基盤技術確立に役立てることができる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify that the musculoskeletal structure contributes to skillful movements. In this study, a model of a musculoskeletal-like passive walking robot is constructed, and a walking generation method using the muscular internal force is proposed. The proposed method enables the robot to walk on a slope with a small inclined angle that the link model finds difficult to walk. Further, a method to determine the muscular internal force based on joint stiffness for a musculoskeletal arm is proposed. The proposed method can independently control the response and stiffness at a desired position.

研究分野：ロボット工学

キーワード：筋骨格構造 受動歩行

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間はロボットと比較して、複雑な動作を容易に実現することができる。その理由の一つとして、人間の身体構造が関係していると考えられている。人間の身体は骨格が筋肉に覆われた筋骨格構造を有しており、筋肉を収縮させることで関節を駆動させることができる。また、筋肉によって関節剛性も調節することができ、環境に応じた動作を実現することができる。

近年、筋骨格構造を模倣したロボットに関する研究は数多く行われており、人間の身体構造から得られた知見を基にしたロボットによって、従来のロボットで実現することが困難であった動作を実現することができている。その中で、申請者らは筋骨格構造を有する筋骨格システムを対象とした筋内力フィードフォワード制御法を提案している。本手法は、目標位置でつり合う筋内力をフィードフォワード入力として筋骨格システムの筋肉に与えることで、センサ情報を用いずに手先位置を目標位置に制御することができる。しかしながら、筋骨格構造が運動にどのような影響を与えているかは明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究課題では、筋骨格構造が巧みな運動の実現に、どのように貢献しているかを解明することを本研究の目的とする。申請者が先行研究で提案している筋内力フィードフォワード制御法は、筋骨格構造に基づいて構築する筋内力を制御入力として、筋骨格型ロボットの運動を生成している。このとき、筋骨格型ロボットが筋の冗長性を有しているため、制御入力を一意に決定することができない不良設定問題を有している。任意の目標位置に対して制御入力を一意に決定できないが、冗長性を積極的に利用することでロボットの作業性能を向上させることが可能であると考えられる。また、筋内力フィードフォワード制御法に基づいて、筋内力に相当する張力を出力可能な定荷重ばねを筋肉とみなし、姿勢の変化によって生じる関節トルクを積極的に利用することで、アクチュエータを用いずに筋骨格型ロボットの運動を生成することが可能と考えられる。

そこで、筋内力フィードフォワード制御法の制御性能を向上させるため、筋冗長性を使用してサブタスクを実現可能な制御方法を提案する。さらに、筋内力に相当する定荷重ばねを筋肉とみなし、姿勢の変化により生じる関節トルクを利用することで、アクチュエータを用いずに運動を生成可能な筋骨格型ロボットを開発する。

3. 研究の方法

上記の目標に対して、以下の課題を実施する。

(1) 筋冗長性を利用したサブタスクを実現可能な制御方法

筋骨格型ロボットを対象にした筋内力フィードフォワード制御法は、筋冗長性の影響により、制御入力を一意に決定することができない不良設定問題を有している。ロボットに冗長性が存在すると、不良設定問題というデメリットが生じるが、冗長性を積極的に利用する研究もおこなわれている。本研究では、筋の冗長性を有する筋骨格型ロボットを対象とした筋内力フィードフォワード制御法の制御性能を向上させるため、関節剛性を用いた筋内力決定法を提案する。Nakamuraら [1] のサブタスクを与える手法を応用し、冗長性を利用することで目標位置での関節剛性を実現できる手法を提案する。

(2) アクチュエータを用いずに運動を生成可能な筋骨格型ロボットの開発

筋内力フィードフォワード制御法では、目標位置でつり合う筋内力(一定値)を筋肉に入力することで、筋骨格型ロボットに外力が加わった場合、外力に倣った姿勢をとることができる。また、外力の影響がなくなると、復元力が発生して元の姿勢への復帰運動が生成される。この復元力を運動生成に利用し、アクチュエータを用いずに運動を生成可能な筋骨格型ロボットを提案する。復元力を発生させるためには、常に一定値の筋内力を発生させる必要がある。そこで、筋内力に相当する張力を発生可能な定荷重ばねを筋肉とみなした筋骨格型ロボットを製作する。

次に、アクチュエータを用いずに運動を生成可能な筋骨格型ロボットの、受動歩行ロボットへの応用を目指す。従来の受動歩行ロボットは、斜面からエネルギーを得て歩行している。一方、筋骨格型の受動歩行ロボットは、斜面からのエネルギーに加えて復元力を利用することで、従来の受動歩行ロボットより歩行性能を向上させることができると考えられる。本研究では、数値シミュレーションの結果を通して、復元力と歩行の安定性などの関係性を解析し、筋骨格構造に基づいた運動生成メカニズムを検証する。

4. 研究成果

(1) 筋冗長性を利用したサブタスクを実現可能な制御方法

本研究では、目標位置での関節剛性と目標位置への応答性を独立して設定可能な筋内力決定法を提案した。まず、関節剛性行列と筋内力の関係式を導出し、その式を用いて筋内力を決定す

る方を示した。そして、提案手法が目標位置での関節剛性を実現可能な筋内力を決定できることを示すため、6本の筋で構成される2リンクの筋骨格型ロボットを対象にした位置制御のシミュレーションを行った。数値シミュレーションの結果より、サブタスクとして目標位置での関節剛性を与える提案手法が、冗長性を利用することで、目標位置への応答性と剛性を独立して設定することが可能な筋内力が決定できることを示した。

(2) アクチュエータを用いずに運動を生成可能な筋骨格型ロボットの開発

まず、定荷重ばねを駆動源とする1リンク2筋の筋骨格型ロボットを製作した。実験により、定荷重ばねによって復元力が発生することを確認した。

次に、図1に示す筋骨格型の受動歩行ロボットのモデルを構築し、シミュレーションを構築した。本モデルでは、膝関節まわりにそれぞれ筋肉を2本、計4本の筋肉を配置している。このモデルと従来の受動歩行ロボット(リンクモデル)を対象としたシミュレーションを行った。その結果を図2, 3に示す。これらの図より、リンクモデルは歩行が破綻しているが、筋骨格モデルは歩行を継続できていることが確認できる。歩行生成に筋内力を利用することで、遊脚の蹴り出し力を生成でき、従来では歩行を継続できない初期速度でも、歩行を継続できていることがわかる。よって、歩行生成に筋内力を利用することで、歩行可能なパラメータ範囲を拡大できる。

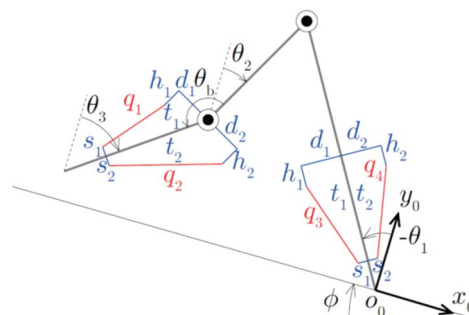


図1 筋骨格型の受動歩行ロボット

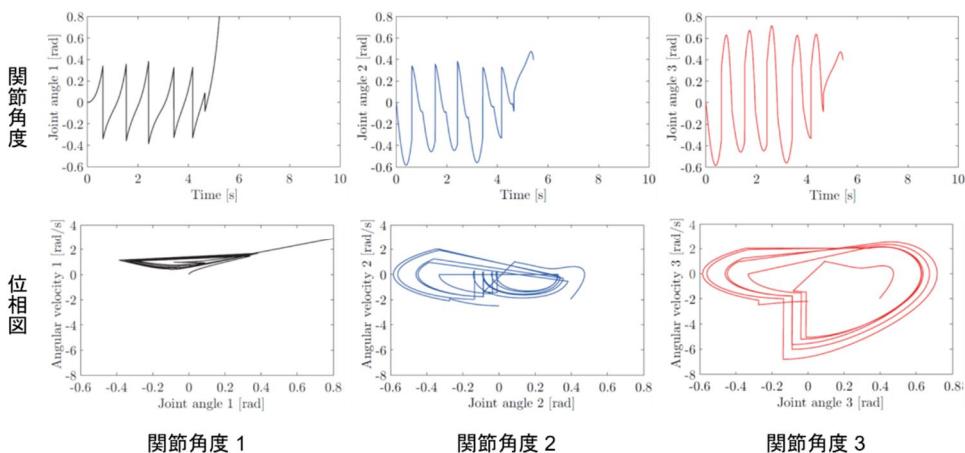


図2 リンクモデルのシミュレーション結果

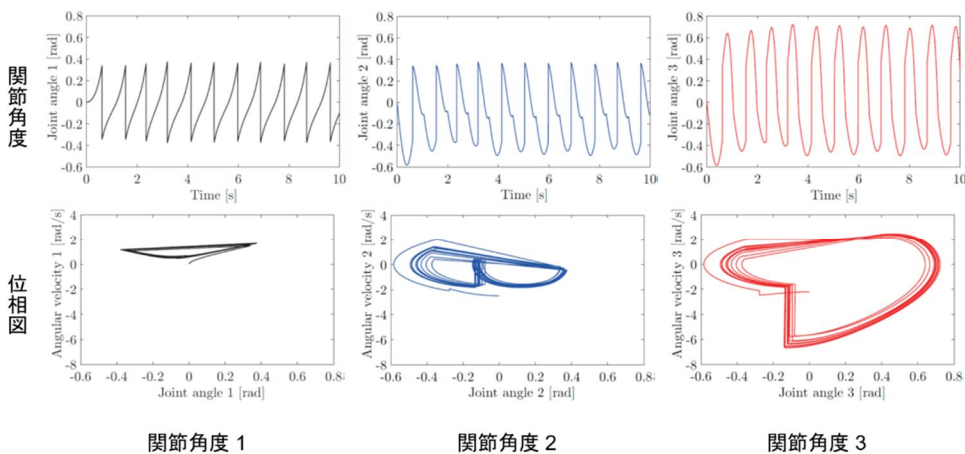


図3 筋骨格モデルのシミュレーション結果

< 引用文献 >

Nakamura Y, Hanafusa H, Optimal redundancy control of robot manipulators, Int. Jour. of Robotics Research, 6, 1, 1987, 32-42

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松谷祐希, 田原健二, 木野仁
2. 発表標題 重力影響下における1リンク筋骨格システムのフィードフォワード制御
3. 学会等名 第29回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松谷祐希, 木野仁
2. 発表標題 膝ありの筋骨格型受動歩行ロボットのつり合い内力を利用した歩行生成
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------