

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540117

研究課題名(和文)協同的スティックスリップ現象による空気圧人工筋オシレータの開発

研究課題名(英文)Development of Pneumatic Artificial Muscle Oscillators by Exploiting Cooperative Stick-slip Phenomenon

研究代表者

清水 正宏 (Shimizu, Masahiro)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50447140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：生物は、多くの筋肉の緊張制御を行う必要がある。同時に、それらのリズムを協調させて筋群のシナジーを起こすことで、適応的な振る舞いを実現しているため、ロボットの運動のダイナミクスにあわせて、適切に筋群を制御する必要がある。特に、跳躍の際には、ヒラメ筋の伸張反射が大きく影響していると考えられる。そこで、本研究では、跳躍ロボットの跳躍運動(図3)に関して、ヒラメ筋の伸張反射のタイミングを変更した場合の外乱に対するロバスト性を検証した。着地のタイミングで協同的に作用する空気圧人工筋制御を用いた反対側の反射抑制を導入することにより前額面内の両足跳躍運動を安定化した。

研究成果の概要(英文)：Living organism make adaptive motions by appropriately control muscle tensions. Many muscles exists actually in the body of a living system. Therefore, it is indispensable to control the muscle tensions according to dynamic motion. In this study, we intend to deal with bipedal jumping motion of a bipedal humanoid driven by pneumatic artificial muscles. Here, we embedded a stretch reflex like mechanism on to soleus muscles of the robot. As results of jumping experiment, we confirmed the adaptive jumping motion of bipedal humanoid by exploiting cooperative pneumatic artificial muscle control that imitate stretch reflex of soleus muscles.

研究分野：バイオロボティクス

キーワード：知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

マッキベン型空気圧人工筋は生体筋との類似性や、高い柔軟性を持つ。そのため、人工筋を拮抗に配置することで、関節の柔軟性を変化させることができる。これらの特性を利用することで、生物と解剖学的に一致した筋骨格系を実現でき、従来のロボットではありえなかった身体の受動ダイナミクスを効果的に活用した制御を行うことができる。特に申請者らは、マッキベン型アクチュエータをヒトの下肢と解剖学的に一致するように実装した2脚ロボットによって、図1のように、3次元連続跳躍を実現した。このような運動では、本質的に、アクチュエータが力学的回生エネルギーを生み出すこと重要であり、マッキベン型アクチュエータだからこそなしえた結果である。しかしながら、現在のロボットの多くがその駆動源に電磁モータを用いており、人工筋を駆動源に用いたロボットは少ない。これは、空気の圧縮性による非線形性およびヒステリシスの発生により、正確な位置制御や速度制御が難しく、連続運動時の再現性が低いからである。

そこで、本研究では、マッキベン型アクチュエータにおける、「圧縮性による非線形性」や「ヒステリシスの発生」の問題を改善する、新奇なアクチュエータ構造を考案することを目的とする。空気圧制御により駆動するマッキベン型人工筋肉をベースとし、アクチュエータ内部の空気圧に降伏してスティックスリップ現象を起こして減圧するような機械構造を埋め込む。これにより、「アクチュエータとしての伸縮」と「リズムジェネレータとしての非線形振動」の性質を併せ持つ新奇な人工筋肉の開発を目的とする。

ロボットの制御は、現在の設計済みの機構系(身体)を前提として、それに沿うような制御系の実装が行われている。そのために、機構系と制御系は切り離されCPUの存在なしには、知能ロボット制御は実現しえない。しかしながら、生物の行動制御においては、制御の主体(脳神経系)と客体(筋骨格系)を分離独立して捉えることができない。本研究で提案する空気圧人工筋は、アクチュエータ群自身が自発的にその力学系に合わせたシナジーを創発することができるために、CPUレスの知能ロボットが可能となる。これにより、制御系の機能はどのていど機構系に委譲されるべきかといったロボティクスが本質的に抱える問題の一端を解明することにつながる。

2. 研究の目的

本研究では、マッキベン型空気圧筋群の自発的リズム協調を実現する「協同的スティックスリップ現象による空気圧人工筋オシレータの開発を提案」する。生物は、多くの筋肉の緊張制御を行う必要がある。同時に、それらのリズムを協調させて筋群のシナジーを起こすことで、適応的な振る舞いを実現し

ている。このデバイスは、空気圧制御により駆動するマッキベン型空気圧人工筋をベースとする。アクチュエータ内部の空気圧に降伏して起こるスティックスリップ現象を起こす機構を導入することで「非線形振動」の性質を併せ持つ。これにより、従来の人工筋では不可能だった、人工筋群の力学的相互作用による相互引き込み現象を起こすことが可能となる。

3. 研究の方法

ヒトが跳躍や着地といったダイナミックな運動(図1)を安定に実現できるのは、自身もつ身体構造や制御系が大きく貢献しているためであると考えられている。ヒトは着地と離地のタイミングが左右脚で全く同時になることはなく、数10msの差があっても安定に連続跳躍できることが報告されている。ところが、ヒトはセンシングしてから脳で判断し、筋肉に出力するまで一般的に数100msを要するといわれており、着地タイミングの左右差に対応することは難しい。一方で、上位中枢を介さない脊髄反射は、センシングしてから筋肉に出力するまで数10msである。ロール方向の安定な運動には、脊髄反射のような遅れの小さい応答が重要であると考えられる。着地運動においては、脊髄反射の中でもヒラメ筋が顕著な伸張反射を示すことが知られている。伸張反射とは筋の急激な伸張に対して、その筋が無意識のうち収縮する現象であり、筋の伸張速度と変位に応じて張力を発揮するといわれている。着地運動におけるヒラメ筋の伸張反射は着地から約35ms後に開始し、100ms程度持続する。

以上から、本研究では着地運動時の伸張反射に基づく床反力の左右差が、跳躍着地運動におけるロール方向の運動の安定化に寄与しているという仮説を提案する。この仮説の検証のために、着地運動時に先に着地した脚のヒラメ筋の自然長を収縮させることで伸張反射を表現し、この伸張反射がロール方向の運動の制御に有効であることを確認する。着地時には、ロボット(図2)の足底部には大きな撃力が加わることが容易に想像される。ここでは、この衝撃に応じて、運動に適したリズムが生成される機構として、協同的な空気圧人工筋オシレータを採用する。空気圧人工筋は図3の制御システムによって駆動される。ジャンプ後の接地時の衝撃が足底にかかった際に伸張反射を模した両脚の弾性差を生成するために、着地後にヒラメ筋に相当する空気圧人工筋の圧力を変化させる。

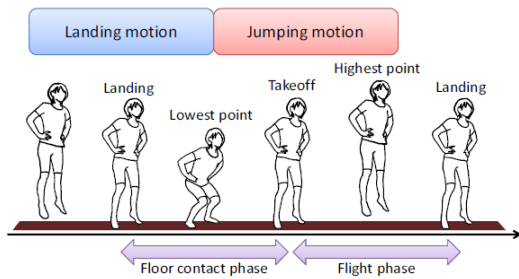


図1：連続跳躍運動を着地運動と跳躍運動の繰り返しとする。着地運動によって空中から着地し、身体がもっとも沈み込む最下点を迎える。次に、跳躍運動によって離地し、身体の位置がもっとも高くなる最上点を迎え、再び着地する。これを反復することによって連続跳躍を行う。着地から離地までを接地期、離地から次の着地までを滞空期と呼ぶ。

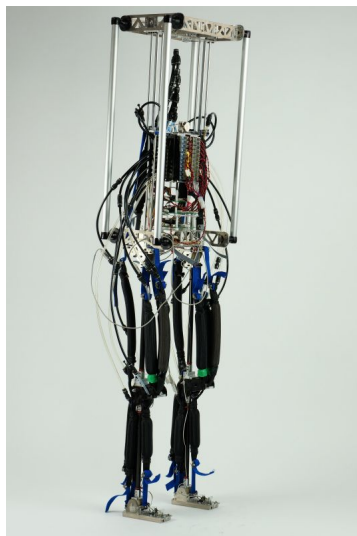


図2：空気圧人工筋による2脚ロボット

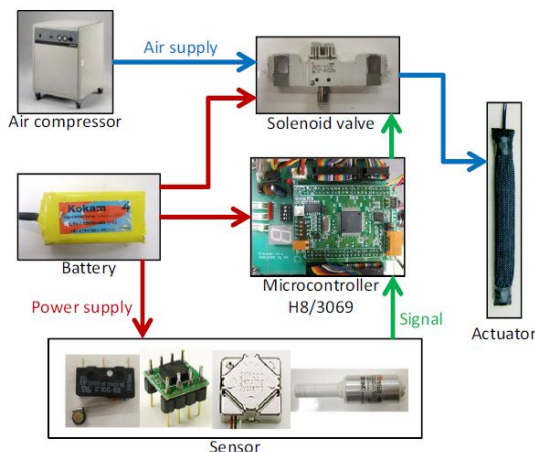


図3：アクチュエータ制御システム。赤：電力供給，青：圧縮空気供給，緑：電気信号を

表す。実験時に安定な空気圧と流量を維持するために、外部に大型のエアコンプレッサを設置した。

4. 研究成果

生物は、多くの筋肉の緊張制御を行う必要がある。同時に、それらのリズムを協調させて筋群のシナジーを起こすことで、適応的な振る舞いを実現しているため、ロボットの運動のダイナミクスにあわせて、適切に筋群を制御する必要がある。特に、跳躍の際には、ヒラメ筋の伸張反射が大きく影響していると考えられる。そこで、本研究では、跳躍ロボットの跳躍運動(図3)に関して、ヒラメ筋の伸張反射のタイミングを変更した場合の外乱に対するロバスト性を検証した。着地のタイミングで協同的に作用する空気圧人工筋制御を用いた反対側の反射抑制を導入することにより前額面内の両足跳躍運動を安定化した。

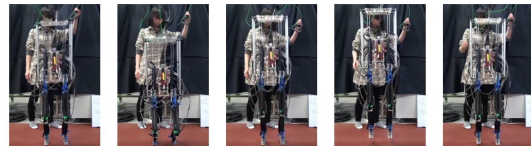


図3：マッキベン型空気圧人工筋2脚ロボットによる跳躍運動

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計5件)

R.Sakai, M. Shimizu, H. Aonuma, K. Hosoda, DPIV Approach for Swimming Frog Robot Driven by Living Muscle, The 6th International Symposium on Aero-aqua Bio-Mechanism (ISABMEC2014), 2014年11月13日~2014年11月16日, Honolulu Hawaii USA, 2014

N. Inoue, M. Shimizu, K. Hosoda, Self-organization of a joint of cardiomyocyte-driven robot, The 3rd International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2014), 2014年7月30日~2014年8月1日, Milan Italy, 2014

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

http://www-arl.sys.es.osaka-u.ac.jp/index_ja.html

6．研究組織

(1)研究代表者

清水 正宏（SHIMIZU, Masahiro）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：5 0 4 4 7 1 4 0