

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06140

研究課題名(和文)連続俊敏動作ロボットのための多連軽量弾性体を活用した高出力アクチュエータの開発

研究課題名(英文)High output actuator using multiple light elastic bodies for agile robot

研究代表者

西川 鋭(Nishikawa, Satoshi)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：50761144

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、とっさの危険回避動作のように、状況変化に対応するために俊敏な動作を行うロボットの実現に向けた瞬発アクチュエータの開発である。基本モジュールとしては、形状記憶合金によって駆動される、軽量弾性体としてプラスチックの板バネを利用したものを、その性質について調査した。ここでは飛び移り座屈と呼ばれる瞬間的な力発揮の現象を活用することで瞬発力を得ている。さらに、それを複数組み合わせたロボットにより、提案モジュールの組み合わせで複数の瞬発運動を実現し、組み合わせの効果について考察した。さらに、瞬発アクチュエータの補助としての出力調整機構の効果の検証も行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to develop an actuator with instantaneous force for robots which can avoid dangerous conditions quickly. Basic module consists of shape memory alloy and a plastic blade as a light elastic body. In this module, we use snap-through buckling, which is the phenomenon of instantaneous energy release by the elastic blade. First, we examined its characteristics. Then, we examined the effect of combination of modules by executing multiple quick motions using a robot consisting of multiple modules. We also verified the effect of output adjustment mechanism which supports actuators for quick motions.

研究分野：知能機械情報学

キーワード：弾性体 ダイナミック運動 座屈 跳躍

1. 研究開始当初の背景

ロボットが実世界に進出するためには状況変化への素早い対応が重要である。例えば、危険回避運動や落下物の保護などにおいては、危険を察知した後に短時間で目的の動作を実現する必要がある。こうした振舞いの実現には、高速な認識、素早い判断と計画、瞬発的な運動が必要になる。本研究では、これらの中の瞬発的な運動を実現する上で重要なアクチュエータに着目する。ダイナミック運動を行うロボットはこれまでも開発されてきたが、その多くは大型の装置や大電流を必要としてきた。ロボット搭載に適した軽量高出力なアクチュエータを実現できればダイナミックな運動をするロボットの開発が容易になり、適用先の拡大も期待できる。申請者もこれまで McKibben 型空気圧人工筋を用いた筋骨格ロボットでダイナミック運動を実現してきたが、自立化、制御性の向上のためにはアクチュエータの改良が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、とっさの危険回避動作のように、状況変化に対応するために俊敏な動作を行うロボットの実現に向けて、軽量高出力な瞬発アクチュエータの開発を目的とする。

3. 研究の方法

瞬発的な力発揮のために弾性体の活用に着目してアクチュエータ開発を行う。座屈などの弾性体の特性を活かすことで高性能化を目指す。

ロボットにおけるアクチュエータの活用のために、複数のアクチュエータモジュールの組み合わせや出力調整機構について検討する。

4. 研究成果

瞬発的な力発揮を実現するために、2つの安定点間を素早く移り変わる bistable 性に着目した。弾性体におけるこの現象として板バネの飛び移り座屈を活用したアクチュエータの開発を行った。

まず、基本モジュールとして、Series Elastic Actuator (SMA) により駆動される



図 1: 弾性体アクチュエータモジュールによる跳躍

板バネ型の駆動モジュールを開発した。ここでは、板バネに軽量弾性体としてプラスチック板を用いた。開発した駆動モジュールは飛び移り座屈により瞬間的なエネルギー解放を行うことで、モジュール単体の跳躍が可能であった(図1)。ここでは、シミュレーションと実ロボットの双方において SMA の駆動に関するパラメータと跳躍高さの関係について調査し、パラメータ変化に対して安定な跳躍を可能とする領域が存在するという共通の特性が確認された。この領域を利用することで安定した運動パフォーマンスの発揮が可能となることが期待できる。

次に、駆動モジュールを複数組み合わせられたロボットを用いて、その運動生成に取り組んだ。構造一体型のモジュールであるためその形状変化の受動的活用が期待され、複数のモジュールを組み合わせることで相互の影響を含めた運動パターンの多様化が期待される。ここでは前進、障害物跳び越えの動作を取り上げ、シミュレーションによる運動パラメータの探索を経て、各々の目的に適した動作を生成した。さらに、同様の動作を実ロボットにおいても実現した。これらの動作はモジュールの形状変化や協調的駆動を活かしたものとなっていた。加えて、モジュール数の増加などの今後のスケールアップに向けて検討するために、運動パラメータを様々に変化させた際の挙動を調査することで複数モジュール間の影響についても考察した。

本研究の目指す俊敏なロボット実現に向けた別の瞬発アクチュエータとして空気圧式アクチュエータの改良も進めた。エアシリンダのロッド部分をワイヤに置き換えて出力部をコンパクトにしたケーブルシリンダに着目し、構造一体化かつ自作部品の使用により軽量化を進めた。軽量空気圧アクチュエータとして McKibben 型空気圧人工筋が挙げられるが、ケーブルシリンダはこれに対して、ストロークを大きくとれること、出力の大きさが位置によらないため制御性を高められることが期待できる。空気圧のダイナミクスを考慮したシリンダパラメータの決定、単体

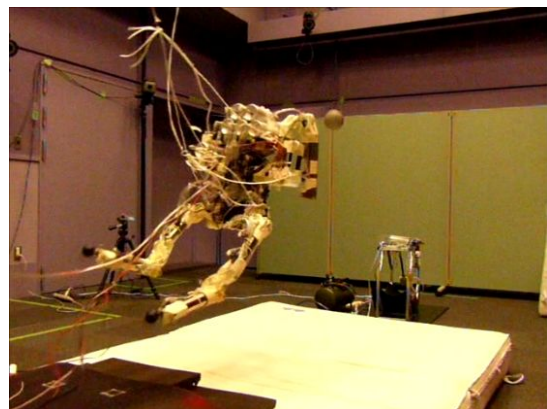


図 2: ロボットによる跳躍打撃動作

での性能評価を経て、ケーブルシリンダを組み込んだ腕型のバドミントンロボット、全身型の跳躍打撃ロボットを開発した。バドミントンロボットでは高速高加速なショットをはじめとして様々なショットを実現し、跳躍打撃ロボットでは跳躍してボールを打撃する動作を実現することで、開発したケーブルシリンダを備えたロボットが俊敏動作を実現する性能を備えることを確かめた(図2)。

瞬発アクチュエータにおいては瞬時的な力発揮が行われるため、出力を微調整して運動を実現するのが困難である。そこで、アクチュエータとは別に配置できる出力調整機構の導入が有効と考えられる。出力調整機構として、出力ワイヤの経路を能動的に変更可能な機構に着目し、それが筋骨格4脚ロボットの足先出力特性や跳躍可能領域に与える効果を調査した。シミュレーションにより、単関節筋機構に導入した際には出力や跳躍の大きさを、二関節筋機構に導入した際には出力や跳躍の方向を変化させられることを示した(図3)。実ロボットにおいても機構によって跳躍方向を変化させられることを確認している。

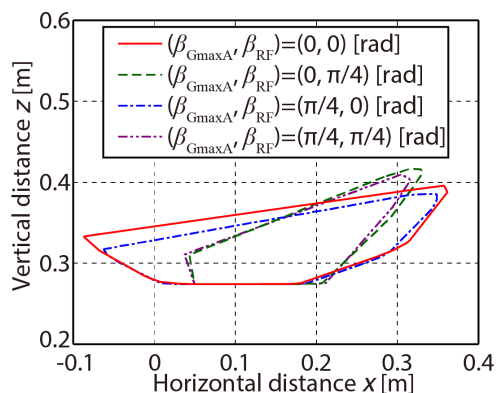


図3：出力調整機構による跳躍可能領域の変化

弾性体アクチュエータの適用先の動作の1例としてハンドスプリング動作を取り上げ、ロボットによる実現に向けての検討を行った。ここでは、ロボットとして並列弾性要素を組み込んだホッピングロボットを開発して動作試験を実施すると共に、ハンドスプリングの動作生成法についてシミュレーションで検討した(図4)。

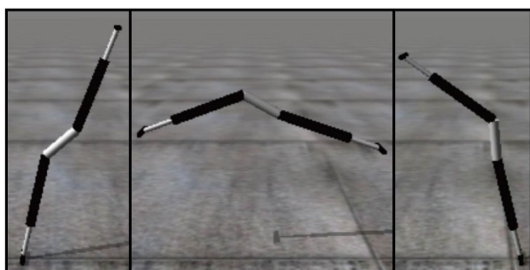


図4：ハンドスプリングシミュレーション

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)

〔学会発表〕(計6件)

[1] Yusuke Arai, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama and Yasuo Kuniyoshi. "Compliant Jumping Mechanism with Bi-stable Structure", In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Workshop on Advanced Fabrication and Morphological Computation for Soft Robotics, 2017年5月29日, Singapore.

[2] 森翔太郎, 田中一敏, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫. "バドミントンのための高加速・高速な手首を有する人型ロボットアーム", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomech), 2A2-E04, 2017年5月12日, ビッグパレットふくしま(福島県郡山市).

[3] 田中一敏, 西川鋭, 陳熙, 新山龍馬, 國吉康夫. "跳躍打撃動作を行う構造一体型空気圧ケーブルシリンダロボットの開発", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomech), 2A2-E03, 2017年5月12日, ビッグパレットふくしま(福島県郡山市).

[4] 長晴紀, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫. "回転跳躍ロコモーションを行なうハンドスプリングロボットの制御", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomech), 1P1-B11, 2017年5月11日, ビッグパレットふくしま(福島県郡山市).

[5] 新井悠介, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫. "Bistable 機構を用いた変形モジュールロボットによるダイナミックな運動の生成", 第17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 (SI), 3C1-4, 2016年12月17日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

[6] Satoshi Nishikawa, Kazuya Shida and Yasuo Kuniyoshi. "Musculoskeletal Quadruped Robot with Torque-Angle Relationship Control System", In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.4044-4050, 2016年5月19日, Stockholm (Sweden), 査読あり.

〔その他〕
ホームページ
(個人)

<http://www.isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp/~nisikawa/pub.html>

(所属研究室)

<http://www.isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp/publication.php>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

西川 鋭 (NISHIKAWA, Satoshi)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：50761144