

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12118

研究課題名(和文) 筋骨格ヒューマノイドのための人工筋紡錘の開発と局所的反射の実現

研究課題名(英文) Development of Artificial Muscle Spindle and Realization of Local Reflex for Muscular-Skeletal Humanoids

研究代表者

細田 耕 (Hosoda, Koh)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：10252610

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)：空気圧人工筋によって駆動されるヒューマノイドによって、局所的反射の機能を解明するために、人工筋の状態を計測する人工筋紡錘を開発した。人工筋紡錘は、筋の状態を計測する局所的な受容器と、その信号から生体の細胞の応答をエミュレートし、出力を計算するための局所的な計算機からなる。この人工筋紡錘によって、実際のロボットに局所的なフィードバックを実現できることを示し、たとえば、跳躍の際に、このような伸張反射の側抑制が、運動の安定性に寄与することを実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：For investigating function of local reflexes by using a humanoid robot driven by artificial muscles, we have developed artificial muscle spindles to observe the state of the artificial muscles. The artificial muscle spindle consists of local receptors that observe the state of the muscle and a local computing device that can generate emulated response of the living muscle based on the measurement of the receptors. By utilizing such artificial muscle spindles, we can easily realize the local feedback for muscular-skeletal humanoid robots. For example, we demonstrated that the lateral inhibition of stretch reflex greatly contribute to the stabilization of jumping.

研究分野：ロボティクス

キーワード：人工筋 人工筋紡錘 局所的反射 筋骨格ヒューマノイド

1. 研究開始当初の背景

近年、さまざまなヒューマノイドロボットが開発されているが、人間と同等の適応能力は実現されていない。これらのロボットでは、関節の配置やリンクの長さなど、人間の幾何学的構造は再現されているが、筋骨格など、動的な特性が大きく違うため、制御目標として、軌道を与えるほかに方法がなく、その結果、実現される行動の適応性は、人間のそれに比べてはるかに小さくなっているのが現状である。

研究代表者らは、空気圧人工筋を用い、人間と同等の筋骨格構造を持つロボットについての研究を進めている。シミュレーションでの関連研究は存在するが、実際に人間と同じスケールの筋骨格を持つロボットを開発し、実験によって人間と同等の振る舞いを調べる研究は、世界でもこの研究グループが突出している。これら一連の研究において問題になるのは、非常に冗長な筋骨格構造に、協働(シナジー)を生み出し、適応的な行動を生み出すための制御方法である。

2. 研究の目的

歩行など人間の適応的な振る舞いには、脳による制御が大きく貢献していることはもちろんだが、筋骨格系に存在する局所的な反射が大きく関与している。脊髄を経由するだけの反射は、脳からの命令よりも、はるかに早く振る舞いに影響を与えることができるからである。しかし、人間の場合に脳からの制御を遮断し、このような局所的な反射の関与を定量的に測ることはできない。本研究提案の目的は、人工筋骨格で構成されたヒューマノイドロボットに装着するための人工筋紡錘を開発し、これを利用して人間のような局所的反射を実装、これが歩行などの振る舞いにどのような影響を及ぼしているかを、定量的に評価することである。

3. 研究の方法

本研究提案では、各筋に存在する局所的な反射が、このようなシナジーを生み出す機序に大きく貢献していると考え、その機能を、人間と同構造を持つ筋骨格ヒューマノイドロボットで、定量的に評価することを目的とする。そのために、空気圧人工筋による筋骨格構造に装着可能な、人工筋紡錘を開発する。そして、これを用いて人間において同定されている局所的反射を実装、歩行や跳躍などの行動にどのような影響を及ぼしているかを定量的に評価する。

4. 研究成果

(1) 人工筋紡錘実装のためのセンサ素子
人間の筋紡錘に関する生理学的知見に基づいて、人工筋紡錘を開発するためには、空気圧人工筋の長さや相関する情報を取得するためのセンサ素子が必要である。研究計画では、高分子材料による誘電効果を用いたセン

サを使用する予定であったが、性能と実装に関して問題点があり、磁気式のセンサ素子を用いることとした。磁石と磁気センサは、人工筋の根元に取り付けられ、長さや相関する情報をきわめて短い時間遅れで取得できるほか、力学的な干渉がないために、人工筋の特性を変化させることもないという特徴を持つ。実際に人工筋に、この磁気センサを実装し、実験によってセンサからの出力と人工筋の長さの相関を、調査、神経パルスを実ミュレートするために必要な性能があるかどうかを調べた。

(2) 人工筋紡錘実装のための局所的計算基盤

磁気センサから得られた情報をもとに、生理学的に得られているような神経パルスを発生させるためには、一定の計算処理が必要となる。これまでのロボティクスでは、センサの信号をいったん中央、あるいは数個のハブに集め、そこで情報処理することで、センサの局所的処理を行っていた。本研究では、より生物に近い情報処理を目指し、各人工筋から得られる出力自体を、神経パルスを実ミュレートしたもとのとするため、人工筋ごとに局所的計算をするための小型の処理装置を開発し、磁気センサから得られた情報をその場で処理、生物が発生するような神経パルスを実ミュレートすることができる基盤を開発した。

(3) 人工筋紡錘の実ロボットへの実装

試作した人工筋紡錘センサを、筋骨格構造を持つ上肢ロボットに実装し、運動中のセンサ信号を観測できることを確認した。27年度の研究実績では、磁気式センサを使用する人工筋紡錘センサを採用していたが、実験運用に伴い、不都合が生じたため、ひずみセンサのみを使用した人工筋紡錘を作成することとした。使用するセンサ素子の変更に伴い、周辺計算用の小型ボードを作成し、人工筋紡錘周辺で、実際の筋紡錘の信号を実ミュレートするために処理が完結するようなハードウェアを構成した。また、これらのセンサは、ROSによってネットワーク上で情報を共有することができ、上肢ロボットのような大規模なシステムの運用のためのハードウェアを整備した。このように試作された上肢ロボットによって、クランク回しタスクを遂行している間の、センサ信号を収集した。

(4) 人工筋紡錘センサを用いた二足跳躍安定化の実験

筋骨格構造を持つ二足ロボットのヒラメ筋に、人工筋紡錘センサを実装し、それらから得られるセンサ信号に基づいて、伸張反射を実装した。また、片方の脚の反射が起こった時に、反対側の脚の反射を起こらなくする反射の側方抑制を実装した。これらの周辺処理によって、前額面内の二足跳躍が、処理がない場合に比較して、安定化する傾向があることを実験により示した。この結果は、人間の跳躍においても、伸張反射やその側方抑制

が、身体全体の安定化に寄与している可能性があることを、構成論的に示している。

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 3件)

Ikemoto, DallaLibera, and Hosoda, Noise-modulated Neural Networks as an Application of Stochastic Resonance, Neurocomputing, 査読有, 印刷中, 2017.

Shirafuji, Ikemoto, and Hosoda, Designing Noncircular Pulleys to Realize Target Motion between Two Joints, IEEE/ASME TMECH, 22(1), 2017, pp.487-497, DOI:10.1109/TMECH.2016.2614961.

Ikemoto, Kimoto, and Hosoda, Shoulder Complex Linkage Mechanism for Humanlike Musculoskeletal Robot Arms, Bioinspiration and Biomimetics, 10(6), 2015, p.66009, DOI:10.1088/1748-3190/10/6/066009

〔学会発表〕(計 29件)

進, Zhao, Sharbafi, 池本, 細田, Seyfarth, ロコモーションのための電空ハイブリッド人工筋の提案, 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 2016/12/15-17, 札幌コンベンションセンター (札幌市).

Hosoda, Saito, and Ikemoto, Muscular-Skeletal Humanoid Robot for Body Image Construction, 2016 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, 2016/11/28-30, 名古屋大学 (名古屋市).

Ikemoto, DallaLibera, and Hosoda, Stochastic Resonance induced Continuous Activation Functions in a Neural Network consisting of Threshold Elements, International Joint Conference on Neural Networks, 2016/7/24-29, バンクーバー (カナダ).

Maekawa, Inoue, Shimizu, Isobe, Taro, and Hosoda, Mutual Entrainment of Cardiac-oscillators through Mechanical Interaction, Living Machine 2016, 2016/7/18-22, エジンバラ大学 (イギリス).

河上, 進, 山西, 池本, 細田, 生体の神経回路を模した空気圧人工筋用制御システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロ

ニクス部門講演会, 2016/6/9-10, パシフィコ横浜 (横浜市).

Hosoda, Ikemoto, and Shin, Proprioceptors of Muscular-Skeletal Humanoid for Constructing Body Image, International Symposium on Embodied-Brain Systems Science, 2016/5/8-9, 東京大学 (文京区).

Shin, Saito, Kawakami, Yamanishi, Ikemoto, and Hosoda, Development of an Embedded Sensor System as Pneumatic Artificial Muscle Proprioceptors, International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2016/1/20-22, 別府ビーコンセンター (別府市)

Ikemoto, Kimoto, and Hosoda, sEMG-based Posture Control of Shoulder Complex Linkage Mechanism, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2015/9/28-10/2, Hamburg (Germany).

斎藤, 池本, 細田, ヒトの指と手首の連動性を有する筋骨格ロボットアームの開発, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 2015/9/3-5, 東京電機大学千住キャンパス (足立区).

Ikemoto, Kimoto, Saito, and Hosoda, Development of an Upper-limb Linkage Mechanism for an Advanced Musculoskeletal Robot Arm, International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 2015/6/21-25, Cambridge (USA).

池本, 木本, 細田, ヒトの肩複合体の機能を再現するリンク構造, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会, 2015/5/17-19, みやこメッセ (京都市).

〔図書〕(計 1件)

細田, 化学同人出版, 柔らかヒューマノイド, 2016, 208ページ.

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

細田 耕 (HOSODA, Koh)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：10252610

(2)研究分担者

池本 周平 (IKEMOTO, Shuhei)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：00588353