

ハードウェアニューラルネットワークによる人型筋骨格ロボット制御のための人工筋肉の収縮力の検討

Hardware Neural Networks for Controlling Humanoid Musculoskeletal Robots Investigation of Contraction Force of Artificial Muscles

○山崎健太郎¹, 武田健嗣², 石橋元邦³, 石濱拓実³, 後藤達巳¹, 栗飯原萌⁴, 金子美泉⁴, 内木場文男⁴
*Kentaro Yamazaki¹, Kenji Takeda², Motokuni Ishibashi³, Takumi Ishihama³, Tatsumi Goto¹,
Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: While robots are mainly driven by motors and other joints, humans are capable of complex movements with a high degree of freedom through the coordination and contraction of multiple muscles, and can respond flexibly to sudden changes in direction with high efficiency. We aim to reproduce walking by using a humanoid musculoskeletal robot that mimics muscles with shape memory alloys and elastomers. In this paper, we report on our study of the actuator contraction force required for walking by a humanoid musculoskeletal robot using dynamics simulation.

1. はじめに

少子高齢化や感染症対策などで人手不足が問題となっており、自律型や人型のロボットが様々な分野で注目されている。ロボットの制御方法はCPUやソフトウェアが主流であり、状況の判断や動作を数値計算で行うため、情報処理や動作の制御負荷の増大や消費電力が高くなってしまふ。

一方、人や生物は演算によらず脊髄の神経回路網からのパルス信号の組み合わせによって運動生成を行うため、負荷を軽減し柔軟な対応が可能である。生物の歩行は脊髄に局在する中枢パターン生成器(CPG)と呼ばれる回路によって制御信号がパルスパターンとして生成され、制御されている。また、人間の体は複数の筋が独立に制御されず、運動に必要な筋が協調される筋シナジーによって効率的な運動になっていると考えられている。モータや工業用のアクチュエータで動作するロボットに比べて複雑な動作が可能である。また筋には、コンパクトである、重量に対する出力比が大きい、柔軟性があるという特徴がある。

よって生物の神経回路網と筋を模倣し、適用させることで省エネルギーで柔軟な対応の可能な二足歩行ロボットが実現できると考えられる。

生体を模倣した2足歩行ロボットの研究として、制御はソフトウェアによるニューラルネットワーク(NNs)で行われ、動力学シミュレーションで歩行を再現されたものがある^[1]。人工筋肉としては、空気圧や圧電を利用したものが用いられているが、それぞれ外部駆動装置が必要であることや、発生力や伸縮率の向上などが課題となっている。

そのため我々は制御系をソフトウェアでなく、リアルタイムな処理や集積化、低消費電力化が可能であるハードウェアの電子回路の中でもパルス形ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)に着目した。P-HNNsは生物と同様にパルスを生成し、シナプスモデルと組み合わせることで、生物のような様々な時空間パターンを生成することが可能となる。そして筋は発生力が大きく、高伸縮構造構成が容易な形状記憶合金で収縮させ、課題である応答性を解消するよう、エラストマーのスプリングバックにより伸長する人工筋肉を作製する。

本論文ではP-HNNsを用いたCPGモデルで動作する筋骨格ロボットの歩行制御を実現するために、動力学シミュレーションを用いて人型筋骨格モデルの歩行の際に必要な形状記憶合金アクチュエータの収縮力を検討したため報告する。

2. P-HNNsを用いたCPGモデルによる歩行

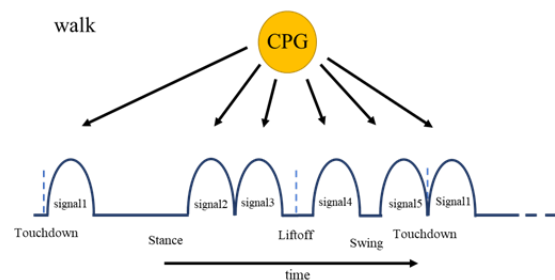


Figure 1. A model for generating movement pattern by CPG based on muscle synergy

我々はこれまでにP-HNNsを用いた2足歩行制御用CPGモデルを提案した^[2]。このモデルは、細胞体モデ

ルと抑制性シナプスモデルの相互接続した回路から連続した6つのパルスパターンを生成し、2つ目のパルスを切り替えることで、歩行を制御するための5つの時系列パターンの生成が可能である。Figure 1 のようにこの5つの時系列パターンを筋シナジーに基づいて、筋骨格ロボットの人工筋肉の組に入力することで複数の筋が協調して動作し、歩行の制御を行う。

3. 歩行シミュレーションの筋骨格モデル

Figure 2 に今回シミュレーションに用いた人型筋骨格モデルと構成する筋を示す。骨格は HAT(頭部・体幹)と骨盤、大腿部、下腿部、足部から構成した。筋肉は歩行の生成に主要な9つの筋肉を更に細分化し、赤で示した片側12筋により構成した。モデルのスケールは人体の1/2で、重量はそのスケールを3Dプリンターで出力した骨格の重量から設定し、骨格部は合計で438g、筋肉部は合計で217gとなった。

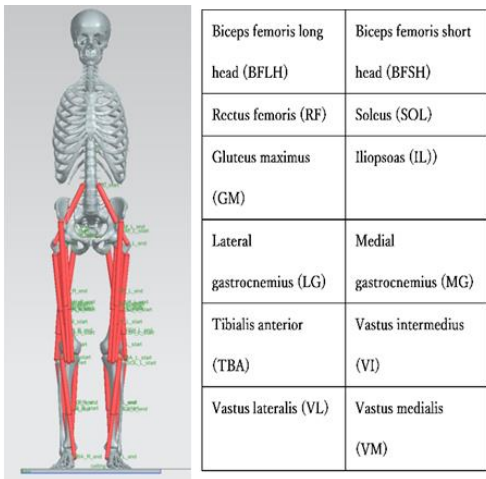


Figure 2. Musculoskeletal model and detail of muscle

4. 歩行シミュレーションの方法及び結果

動力学シミュレーションにおける実験方法は、まず Figure 2 のモデルを歩行運動の際の各関節(ankle・hip・knee・lumber)角度によって駆動する。それにより各筋肉を模した赤色のスライダジョイントが収縮するため、歩行周期分のジョイントの変位を取得する。そして取得した変位をスライダジョイントにドライバで適用し、変位駆動させることで力を計測し、各筋肉が歩行動作するのに必要な収縮力を求めた。Figure 3 に歩行1周期を6分割した動作の様子を、Figure 4 に6分割した収縮力のシミュレーションの結果を示す。

5. 結論

本論文では、動力学シミュレーションを用いて人型筋骨格モデルの歩行の際に必要なアクチュエータの収

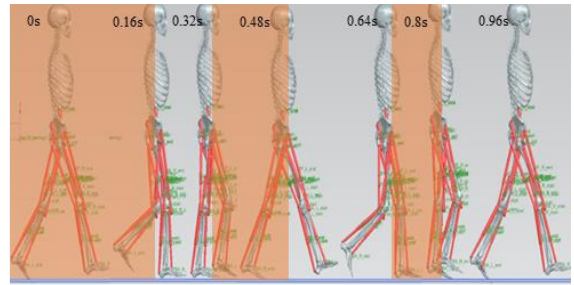


Figure 3. Musculoskeletal model of gait behavior

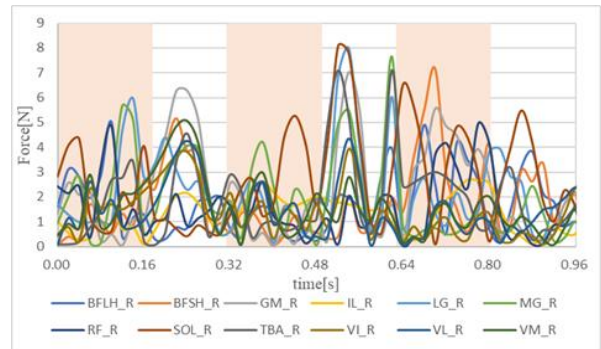


Figure 4. Force generated by muscle contraction during walking

縮力を検討し、その結果手計算と近い値が得られた。

今後は形状記憶合金とエラストマーの材料特性を基にシミュレーション内でアクチュエータを再現し、動作を確認する。また、計測されたデータを基に所望の収縮力を発生させるように、形状記憶合金・エラストマーの本数や組み合わせ、電流値の調整を行うことで人工筋肉の作成を試みる。

6. 謝辞

本研究は日本大学ロボティクスソサエティ(NUROS)の支援を受けたものである。

7. 参考文献

- [1] Shinya Aoi , Tomohiro Ohashi , Ryoko Banba , Soichiro Fujiki , Daiki Tamura , Tetsuro Funato , Kei Senda , Yury Ivanenko , Kazuo Tsuchiya : “Neuromusculoskeletal model that walks and runs across a speed range with a few motor control parameter changes based on the muscle synergy hypothesis Vol9 , No369 , 2019
- [2] Kenji Takeda, Mikihito Hayakawa, Motokuni Ishibashi, Minori Ishihara, Takumi Ishihama, Megumi Aibara, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba : “The walking and running control of a human musculoskeletal model using a low-power consumption hardware central pattern generator model“ International Journal of Advanced Robotic Systems , Vol19 , Issue1 , 2022