

## 足裏の床反力のフィードバックによる筋骨格ロボットの歩容制御方法の検討

## A Study on Gait Control of Musculoskeletal Robot by Feedback of Floor Reaction Force of the Foot

○石橋元邦<sup>1</sup>, 武田健嗣<sup>2</sup>, 早川幹人<sup>1</sup>, 石原みのり<sup>3</sup>, 石濱拓実<sup>3</sup>, 粟飯原萌<sup>4</sup>, 金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>\*Motokuni Ishibashi<sup>1</sup>, Kenji Takeda<sup>2</sup>, Mikihito Hayakawa<sup>1</sup>, Minori Ishihara<sup>3</sup>, Takumi Ishihama<sup>3</sup>Megumi Aibara<sup>4</sup>, Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>

Abstract: In this paper, gait control by feedback of ground reaction force is investigated for biped gait control of a musculoskeletal robot using a pulse type hardware neural network. Living organisms improve an efficiency of locomotion by muscle synergy structures that coordinate muscles necessary for locomotion. In particular, control of gait locomotion requires a generation of locomotion rhythms and muscle activity patterns by a central pattern generator, and feedback of sensory information. Sensory information plays an important role in a stable gait locomotion control of a robot.

## 1. はじめに

CPUでの演算制御はロボットの構造の複雑化、取得する情報の膨大化により演算量が増大し、情報処理に遅延が発生する。処理速度の向上には高性能なCPUが必要だが、高性能なものほどサイズが大きく、それに伴いロボット本体も大きくなるため、現実的ではない。

一方、生物は情報を神経系で処理している。中でも身体の筋による高い自由度は独立に制御せず、運動に必要な筋を協調させる筋シナジーによって制御システムの効率化と省エネルギーを達成している。特に人の歩行運動は脊髄に局在する神経回路である中枢パターン生成器(CPG)によって生成されると考えられている。また、感覚受容器から得る求心性の感覚情報も円滑な歩行運動のための要因だと考えられている<sup>[1]</sup>。青井らは、歩行と走行の筋活動を誘発する5つの時空間信号の生成が可能なCPGモデルを数理的に解析した。また、解析した筋シナジーを誘発するCPGモデルを用いて筋骨格モデルの歩行と走行動作をシミュレーションした<sup>[2]</sup>。

神経系の模倣はソフトウェアによる手法が主流だが、電子回路を用いたハードウェアによる手法も存在する。その1つが電子回路でパルス形ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)を形成し、CPGを模倣する方法である。この方法はリアルタイム処理とIC化による小型化が可能なので多くのロボットに搭載可能である。

我々はこれまでP-HNNsによる2足歩行ロボットのCPGモデルの提案や歩行シミュレーションを行った<sup>[3]</sup>。

本研究では筋シナジーに基づいたP-HNNsによるCPGモデルを適用した筋骨格ロボットの足裏の床反力のフィードバックによる2足歩容制御方法を検討した。円滑な歩行運動に必要な感覚情報の中でも足裏からの床反力は重要な1つである。そこで、前述したCPGモデルの入力から筋骨格モデルを動作させ、足裏のセン

サから床反力を取得するモデルを検討したので報告する。

## 2. 筋シナジーに基づいたCPGモデル

Figure.1に筋シナジーに基づくCPGによる運動パターンの生成モデルを示す。1つ目の筋活動パターンを入力後、少し間が空いて4つのパターンが連続して入力される。このモデルに基づき我々はFigure.2に示す6個の逆相同期波形を出力可能なハードウェアCPGモデルを提案した。このモデルはそれぞれの細胞体モデルが抑制性シナプスモデルで相互接続されており、出力する順番はトリガーパルスにより任意に決定される。

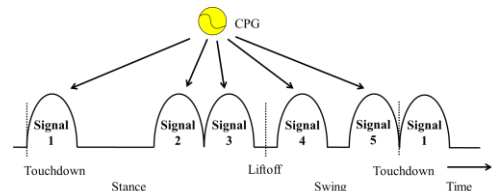


Figure.1 A model for generating movement patterns by CPG based on muscle synergy

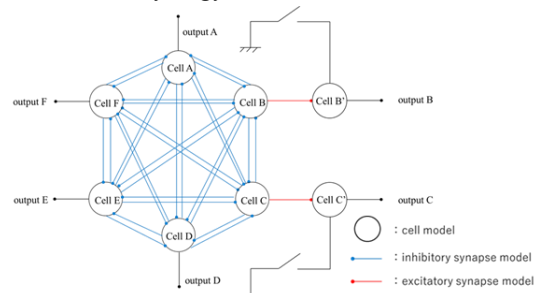


Figure.2 6-output CPG model

## 3. 筋骨格ロボットモデル

Figure.3に本研究での筋骨格ロボットモデルを示す。構成要素は骨格と筋肉で、骨格はHAT(頭, 胴体), 骨

盤、大腿、下腿、足に分類される。筋肉は片足当たり25種類あり、歩行に寄与する筋肉が25種類あることに起因する<sup>[4]</sup>。本研究ではまず歩行生成を実現させるために骨格と筋肉の重量を考慮せずにモデルを作製した。

本モデルは筋肉内部に配置しているリニアアクチュエータで駆動する。これに筋活動パターンが入力されると直線的に動作し、筋肉が伸縮することで脚部が動作する。それぞれの筋活動パターンが入力される筋肉はそのパターンにおいて協調して働く筋肉である<sup>[3]</sup>。

また、Figure.3に示すように足裏の圧力センサを踵に配置した。1つ目の筋活動パターン入力時にまず右足の踵が接触するため、データを容易に考えた。

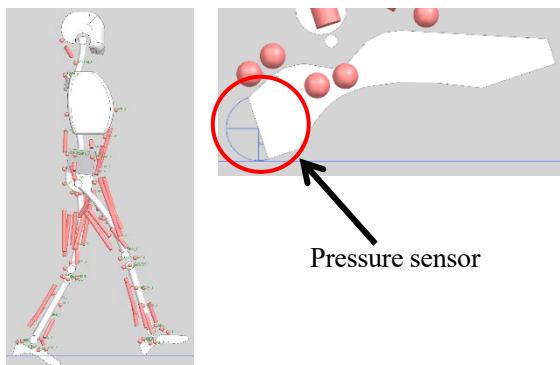


Figure.3 Musculoskeletal Robot Model

#### 4. 筋骨格ロボットの歩行シミュレーション結果

Figure.4に1つ目の筋活動パターン入力時の脚部動作を示す。筋の収縮から右足の踵が踏み込んでいるのが確認できた。踵の床反力をFigure.5に示す。踵の踏み込みに応じて床反力が大きくなり、踵が離れ始めると小さくなっているのが確認できた。

#### 5. まとめ

本研究では筋シナジーに基づきP-HNNsにより形成したCPGモデルを適用した筋骨格ロボットの2足歩行制御において、足裏の床反力のフィードバックによる歩容制御方法を検討した。歩行のシミュレーション結果より1つ目の筋活動パターン入力時の脚部運動を生成できた。これにより、作製したモデルにおいて、筋肉が協調する筋シナジー構造が再現されたと考えられる。また、このときの床反力の取得に成功した。

今後は2~5つ目の筋活動パターンを入力し、歩行運動の生成を試みる。また、重量、慣性モーメントを適用した動力学解析を行っていく。動力学解析に加えて、この床反力で得られた情報を筋肉あるいはCPGにフィードバックするシステムの検討を行う。その第一段階として、1~5つ目の筋活動パターンが入力された

ときの足裏全体の床反力を計測したいと考えている。

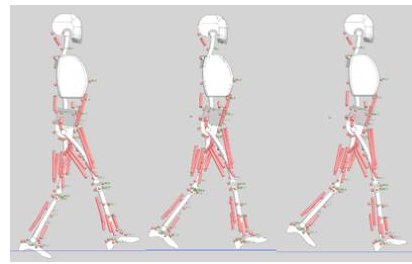


Figure.4 Leg movement inputted first muscles action pattern

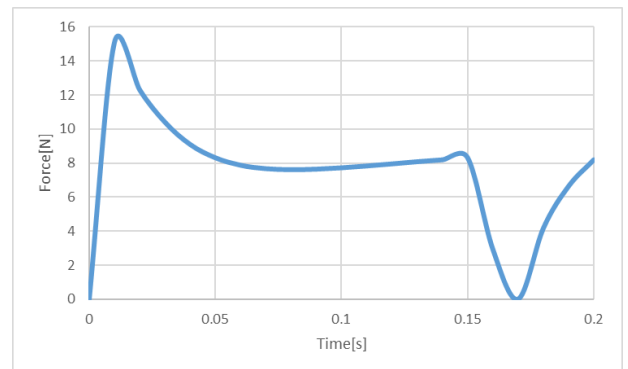


Figure.5 The floor reaction force

#### 6. 謝辞

本研究は、日本大学ロボティクスソサエティ (NUROS)及び、令和2年度日本大学学術研究助成金総合研究の助成を受けたものである。

#### 7. 参考文献

- [1] 小宮山伴与志：「ヒトの四肢運動のリズム形成とその反射性制御」, バイオメカニズム学会誌, Vol. 36, No. 2, pp. 66-71, 2012
- [2] Shinya Aoi, Tomohiro Ohashi, Ryoko Bamba, Soichiro Fujiki, Daiki Tamura, Tetsuro Funata, 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”, Scientific Report ,Vol.9,No.369, 2019
- [3] Kenji Takeda, Mikihiro Hayakawa, Motokuni Ishibashi, Kaito Tanami, Megumi Aibara, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba : “The control of bipedal gait transitions by pulse-type Hardware Neural Networks that Mimic the CPG Model Based on Muscle Synergy”, International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2021-
- [4] Y. P. Ivanenko, R. E. Poppele, F. Lacquaniti : “Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion”, jphysiol, Vol.556, No.1, pp267-282, 2004