

## E-4

## 筋シナジーに基づいた CPG モデルによる人の2足歩行制御用 P-HNNs の検討

### Muscle Synergy-Based CPG Model of P-HNNs for Human Bipedal Control

武田健嗣<sup>1</sup>, 早川幹人<sup>2</sup>, 石橋元邦<sup>3</sup>, 田波海人<sup>3</sup>, 栗飯原萌<sup>4</sup>, 金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>

\*Kenji Takeda<sup>1</sup>, Mikihito Hayakawa<sup>2</sup>, Motokuni Ishibashi<sup>3</sup>, Kaito Tanami<sup>3</sup>, Megumi Aibara<sup>4</sup>, Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>

**Abstract:** The bipedal walk is achieved through proper control of many muscles. The control of each muscle is not controlled independently, but rather by muscle synergy, a coordinated structure of muscles that generates movement. It has been suggested that gait is controlled by central pattern generators (CPGs), and it has been proposed that the activation pulses of CPGs can induce muscle synergy of gait. In this paper, we investigated the control of bipedal walking from the generation of activation pulsed activation pulses by pulsed hardware neural networks (P-HNNs).

#### 1. はじめに

人は環境に応じて最適な歩行運動を生成する。人の2足歩行は歩行と走行の2種類の移動形態をとり、広い速度範囲で移動できる。特に、身体の有する多数の筋を巧みに制御する機能が、歩行運動の生成に大きく寄与している。

人の身体が有する筋は、それぞれが独立に制御されずに、必要な運動に応じて協調する構造をもつと示唆されている。この協調構造を筋シナジーといい、単純な運動から全身運動までに至る。歩行に注目すると、下肢の筋活動は複雑な時間波形を示しており、測定した筋電図から筋シナジーの時空間構造について調査されている。Ivanenko らによって、人の歩行に寄与する下肢の筋を因子分析で解析し、通常歩行では5つの基本パターンの組み合わせによって再構成が可能であると示した(1)。この時、走行においては歩行のパターンと同じく5つの基本パターンで構成され、2つ目のパターンの出力位置の違いしかないと示した。加えて、5つの基本パターンは中枢神経系のモジュール構造により生成されると考え、筋シナジーに基づいたモジュール化構造を持つ運動生成モデルを提案している。また、モデルのモジュール部を律動的な運動パターンを生成する中枢パターン生成器(CPG)が担っていると考えた。

CPG が歩行を生成するための機能を有していることから、2足歩行へ適用する研究が行われている。Aoi らは上述した Ivanenko らと共に人の2足歩行において、歩行と走行の神経制御様式を神経筋骨格系の数理モデルより明らかにした(3)。一方で、生物の神経系はアナログ処理によってリアルタイムに運動を生成している。アナログ処理に基づいて、実際の神経系を模倣した CPG モデルをロボットへ実装することで、人のような

神経系、身体、環境の相互作用による運動制御が可能であると考えた。

これまでに我々は、パルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた CPG モデルの検討とロボットへの実装を研究してきた。4足歩行ロボットを用いて、歩容制御の検討を行った(3)。そこで、新たに2足歩行ロボットへパルス形ハードウェアニューロンモデルによる CPG モデルを適用するための制御方法について検討した。

本論文では、パルス形ハードウェアニューロンモデルを用いて、上述した筋シナジーに基づく CPG モデルの回路構成を検討した。また、構成した CPG モデルを用いて歩行と走行のパターンの回路シミュレーションを行った。

#### 2. 筋シナジーに基づいた CPG モデル

Ivanenko らは、CPG が発生させる5つの基本パターンが、歩行に寄与する各筋の筋活動のトリガになる制御様式を提案した。この制御様式に基づき、Figure1 のようにパルス形ニューロンモデルを用いた CPG モデルのネットワーク構成を検討した。

CPG モデルは、6個の細胞体モデルと30個の抑制性シナプスモデルで相互抑制接続することで、6つのパターンを出力する。筋シナジーに基づく CPG モデルが発生する5つの基本パターンは、それぞれ歩行中における脚の動作に対応しているため、パターンの発生順を決定する必要がある。そこで、Figure1 に示すような出力順にするため、6つの細胞体モデルにトリガーパルスを入力した。抑制性接続された細胞体モデルの特徴から、一度トリガーパルスを入力すれば以降のパターンの出力はトリガーパルスに準ずる。

次に、歩行と走行のパターンを切り替えるために、

1 : 日大理工・院 (後)・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・学部・精機 4 : 日大理工・教員・精機

Figure1 に示す C1 と C2 から興奮性シナプスモデルによる出力を C2', C3' の細胞体モデルへ入力した。歩行や走行は、上位中枢からの入力を CPG が受け取り生成される。その入力を、スイッチングにより疑似的に行うことで歩行と走行の切り替えを行った。Figure2 に CPG に使用した回路モデルを示す。

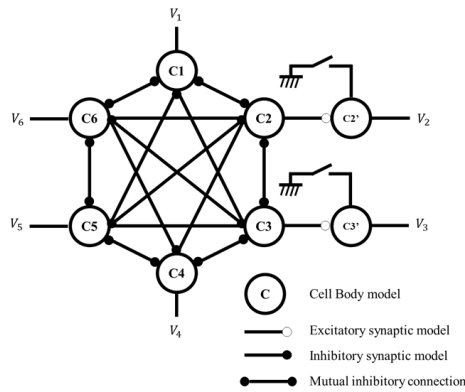


Figure1. Connection diagram of the CPG model

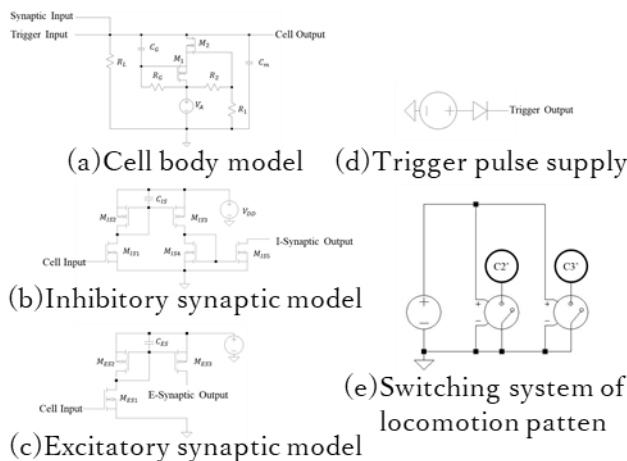


Figure2. Circuit diagram

### 3. CPG モデルのシミュレーション

CPG モデルの回路シミュレーションを LT Spice を用いて行った。Figure3 に歩行パターンの出力結果、Figure4 に走行パターンの出力結果を示す。筋活動の解析で明らかになった 2 目目のパターンの出力位置が変化していることが確認できた。

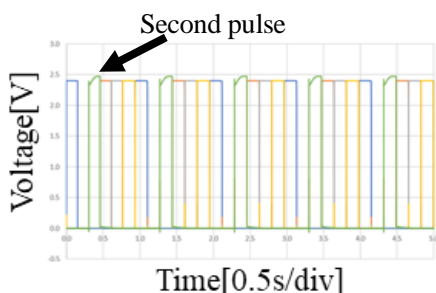


Figure3. Walking patten

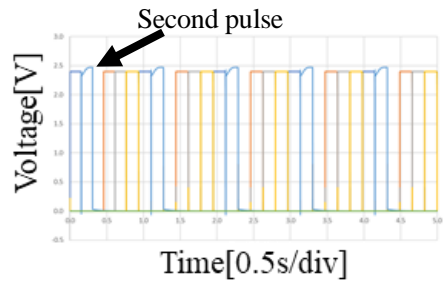


Figure4. Running pattern

### 4. 結論

本論文では、CPG からの 5 つの基本パターンによって歩行と走行が生成され、走行への切り替えは 2 目目のパターンの発生位置が変化するという生理学的知見を、P-HNNs によって生成できることを明らかにした。今回の結果から、以下のことが示された。

P-HNNs を用いて筋シナジーに基づいた CPG モデルの回路構成について示した。回路シミュレーションにより、上位中枢の切り替えに見立てたスイッチング装置によって、CPG モデルから歩行と走行の 5 つのパターンが出力されることを示した。

今後はスイッチング装置をセンサー入力部へ改良し、感覚情報の入力からパターン変化が可能な、より生体に近い CPG モデルの検討を行う。

### 5. 参考文献

[1] Cappellini, G; Ivanenko, Y P; Poppele, R E; Lacquaniti, F (2006), Motor patterns in human walking and running, pp. 3426-3437

[2] Aoi, Shinya; Ohashi, Tomohiro; Bamba, Ryoko; Fujiki, Soichiro; Tamura, Daiki; Funato, Tetsuro; Senda, Kei; Ivanenko, Yury; Tsuchiya, Kazuo (2019), Neuromusculoskeletal model that walks and runs across a speed range with a few motor control parameter changes based on the muscle synergy hypothesis, pp.369

[3] Tanaka, Daisuke; Nagashima, Daichi; Hidaka, Tomohiro; Takato, Minami; Uchikoba, Fumio; Saito, Ken (2017), Gait pattern changing of quadruped robot using pulse-type hardware neural networks, pp.102-107