

## センサ入力に応じて歩容変化を発現する IC による 4 足歩行型ロボットの検討 Examination of a 4-legged walking robot using an IC that changes gait in response to sensor input

○早川幹人<sup>1</sup>, 武田健嗣<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>  
\*Mikihito Hayakawa<sup>1</sup>, Kenji Takeda<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:** Organisms generate stable gait with a central pattern generator (CPG) based on sensory information from sensory organs and the like. Constructing CPG model as hardware model and incorporating it into the control mechanism of the robot, both autonomy and miniaturization can be achieved. In this paper, a central pattern generator that expresses gait changes by incorporating sensor inputs as sensory information is integrated and investigated using a pulse-type hardware neural networks (P-HNNs).

### 1. はじめに

近年、生物の持つ神経回路網を工学的に模倣した人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Networks : ANN)を、ロボットの制御方法として応用する研究が盛んに行われている<sup>[1][2]</sup>。その中で我々は、自ら状況を判断し行動することができる完全自律ロボットの開発を目指し、4足動物の歩容などの運動パターンを生成する器官である中枢パターン生成器(Central Pattern Generator : CPG)を、パルス形ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)により構築し、静的な条件の変化に対応した運動パターン生成と歩容変化を確認した<sup>[3]</sup>。しかし、現在の歩行運動パターンの生成は外部の環境変化に追随するのではなく、モデル的に歩行運動パターンを変えることにとどまっている。そこで、環境の変化に対して能動的に適応することが可能な制御系を開発する必要がある。

本論文では、感覚器を通じた高度な信号処理能力および行動制御の模倣を目的としてセンサ入力対応型の P-HNNs の開発と集積化を行った。また、今回提案するモデルはセンサ入力に応じて歩行運動パターンの生成が可能であることが判明したので報告する。

### 2. 間質細胞体モデル

本研究では、佐伯らによって開発された間質細胞体モデル<sup>[4][5]</sup>とシナプスモデルを用いて CPG モデルを構成した。間質細胞体モデルの概略図を Figure 1 に示す。間質細胞体モデルは 4 つの細胞体モデルをシナプスモデルで興奮性または抑制性接続することで構成される。このモデルを用いることで、歩容に必要なパルス発振周期を IC に集積化可能なコンデンサ容量によって生成が可能となる。Figure2 に今回間質細胞体モデルに使用した細胞体モデルとシナプスモデルの回路図

を示す。

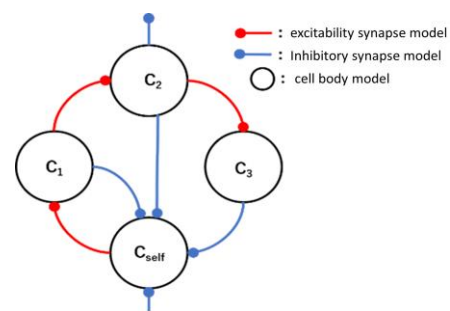


Figure 1. Design of Stromal cell body model

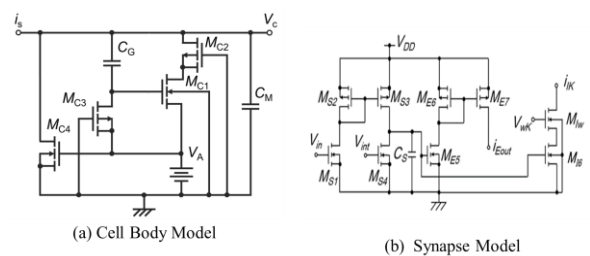


Figure 2. Circuit diagram of the cell body model and the synapse model.

### 3. センサ入力対応型 CPG モデル

CPG モデルは 4 個の間質細胞体モデルがそれぞれ生成するパルス信号を抑制性シナプスモデルによって相互に抑制しあうことで 4 相の逆相同期波形を生成する。それぞれ A~D の出力をロボットの各脚の踏み出しに用いることで、歩行運動動作を実現する。Figure3 に今回作製したセンサ入力に応じて、反射的にロボットの歩容変化を行うセンサ入力対応型 CPG モデルの概要を示す。本回路は前述の CPG モデルに Figure 3 のようにセンサ入力を組み込んだ。これにより、センサの入力によって、間質細胞体

モデル内の細胞体モデルの電圧源  $V_{AS1}$  を変化させることで、歩容を生み出し、各出力波形の周期を自律的に変化させた。Figure4 にシミュレーション結果を示す。これにより、IC に集積化可能なコンデンサ容量にて、センサを利用したフィードバックによる歩容変化が可能となった。

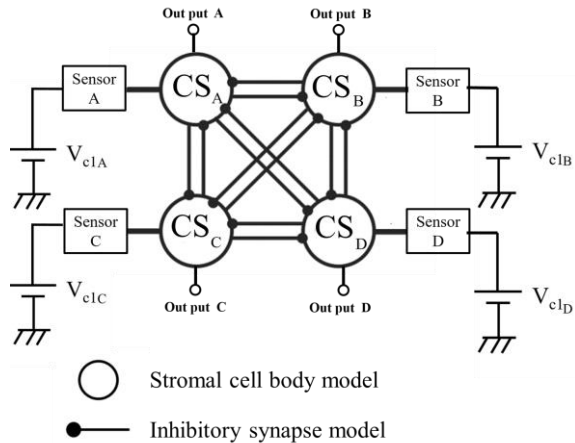


Figure 3. Sensor input compatible CPG model

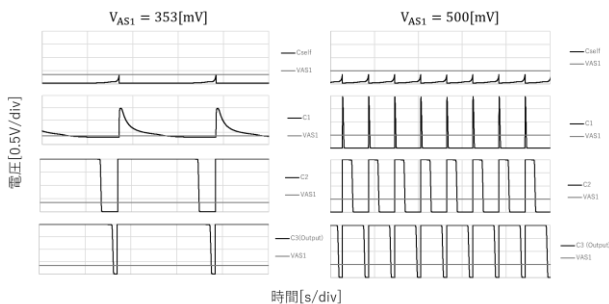


Figure4. simulation result

#### 4. センサ入力対応型 IC

Figure5 に今回作製したセンサ入力対応型 IC のベアチップを示す。メタル配線 2 層、ポリシリコン 2 層の、CMOS 0.8  $\mu\text{m}$  プロセスによって、パッドを含んだチップサイズが 2.4x2.4 mm のベアチップにコンデンサを含む全ての回路が収まるようにレイアウトを行った。これにより今まで外部接続にて構成されていたコンデンサなどの回路の構成要素を内蔵することが可能となった。さらに、入力の追加によってセンサの利用が出来るようになった。

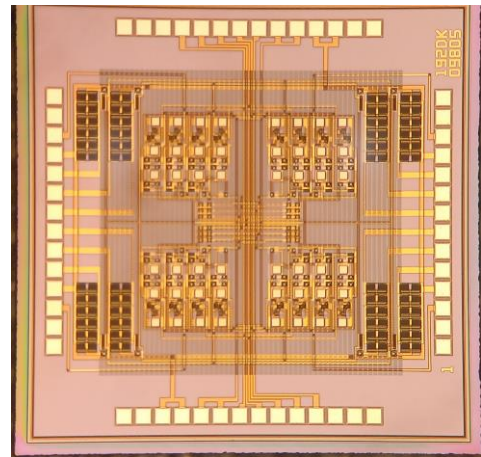


Figure5. Sensor input compatible IC

#### 5. まとめ

本論文では、自律して外的な条件の変化にも対応可能な歩行動作の生成を目的として、センサ入力対応型低容量 IC の作製、検討を行った。その結果、センサ入力に応じて、4 足歩行型ロボットの歩行運動パターンの変化を行うことが可能な回路を 2.4x2.4 mm の CMOS 0.8  $\mu\text{m}$  プロセスによって開発した。

今後はセンサ入力によって電源圧の変動が可能な回路の作製を行い、最終的には IC チップをロボットに実装して歩行運動の実測を行う予定である。

#### 6. 参考文献

- [1] 関根好文, 佐伯勝敏:「カオス発生可能なパルス形ハードウェアニューロンモデルの CMOS 実装とその応用」, 日本神経回路学会誌, Vol.15, No.1, pp.27-38, 2008
- [2] 齊藤健:「パルス形ハードウェアカオスニューロンモデルを用いた NN の波形伝達特性」, 電気情報通信学会, Vol.108, No.281, pp.67-72, 2008
- [3] D.Tanaka, Y.Uchiumi, S .Kawamura, M.Takato, K.Saito, and F.Uchikoba, “Four-leg independent mechanism for MEMS microrobot”, Artificial Life and Robotics, Vol.22, No.3, pp.380-384, 2017)
- [4] K. Saeki, T. Tatebe, and Y. Sekine, “A Study on CPG Model Transition Swing and Stance Pattern with Interstitial Cells”, The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2012
- [5] K. Saeki, D. Nihei, T. Tatebe, and Y. Sekine, “IC implementation of an interstitial cell-based CPG model”, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol.81, Issue 3, pp.551-559, 2014