

K-63

## センサ入力に応じてロボットの歩容変化を発現する人工脊髄 IC の設計 Design of artificial spinal cord IC that expresses robot gait changes according to sensor input

○早川幹人<sup>1</sup>, 早川雄一郎<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>

\*Mikihito Hayakawa<sup>1</sup>, Yuichiro Hayakawa<sup>2</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>, Humio Uchikoba<sup>3</sup>

**Abstract:** Robot motion control is generally executed by a software program. However, biological gait is thought to be controlled by a neural network called CPG = Central Pattern Generator. In this study, we aim to reproduce the generation of gait patterns such as spinal cord reflexes in animals by incorporating sensor inputs into an analog circuit that has artificially generated CPG.

### 1. はじめに

ロボットの動作制御はマイクロコントローラなどを用いたソフトウェアプログラムによる制御方法が一般的である。この制御方法は、定められた手順に従って間違いなく高速に実行することは可能だが、条件の変化等による想定していない事態への対処は困難となる。これに対して、生物は自ら判断し様々な事態の対処している。これは目や皮膚等の受容器からの入力を、中枢神経系によって情報処理を行うことで可能となっている。

このような生物の持つ神経回路網を工学的に模倣し作製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行われている。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、細胞体モデルとシナプスモデルで構成されたパルス形ハードウェアニューラルネットワーク(P-HNNs)により構築した中枢パターン生成器(Central Pattern Generator: CPG)を、アナログ回路を用いて作製し、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>[1]</sup>。

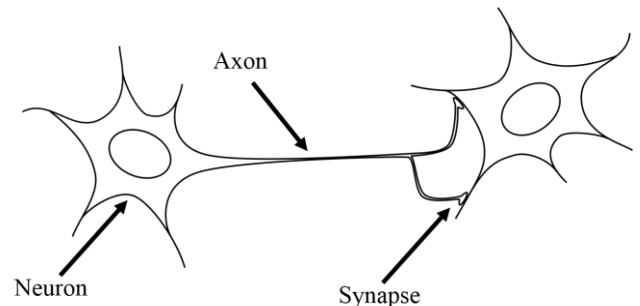
そこで本研究では、自律且つ動的な条件の変化にも対応が可能な歩行動作の生成を最終目標とした、センサ入力に応じて、反射的にロボットの歩容変化を行う人工脊髄 IC の設計を行ったので報告する。

### 2. 神経細胞(neuron)の動作原理

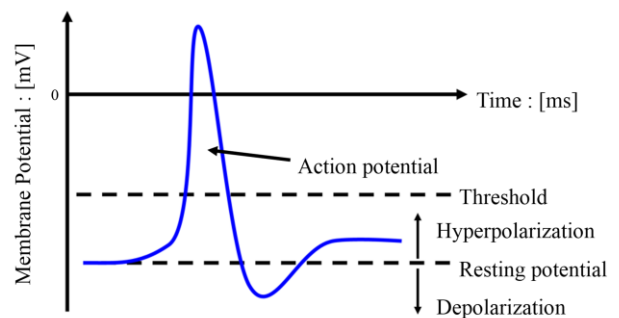
生物の中枢神経系は、神経細胞(neuron)の細胞内外の電位差により信号の伝達を行う。細胞内外の電位差を膜電位といい、外部を基準にする。Figure1に神経細胞の構成、Figure2に刺激が加わった神経細胞膜電位の変化を示す。通常膜電位は細胞内部の電位が外部に対して負の電位に保たれている。この状態を静止膜電位という。この状態から膜電位を上昇させ、電位差を正方

向にシフトさせることを脱分極といい、反対に負方向にシフトさせることを過分極という。細胞内部の電位の変化はシナプスにより行われ、脱分極を生じさせるものを興奮性シナプス、過分極を生じさせるものを抑制性シナプスという。過分極によって一定の値(閾値)を超えると、膜電位が急増し、正の電位に瞬間的に変化する。この膜電位変化を活動電位といい、この電位によって情報の伝達が行われている<sup>[2]</sup>。

このような動作を行う神経回路網をニューラルネットワークといい、人工的に作成したものを特に ANN (Artificial Neural Network) という。CPG はニューラルネットワークの一種で歩行パターンを生成するのに用いられていると考えられている<sup>[3]</sup>。



**Figure1.** Nerve cell components.



**Figure2.** Changes in nerve cell membrane potential.

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

### 3. CPG モデル

今回集積化した CPG モデルを構築する P-HNNs は細胞体モデルとシナプスモデルにより構成される。Figure3 に今回作製した IC に使用した MOSFET における細胞体モデルと抑制性シナプスモデルの回路図を示す。細胞体モデルは相対不応性、出力パルスのアナログ性及び活動電位や閾値、不応期などの特徴を模倣し、時間的に変化する負性抵抗特性を持つ。シナプスモデルは生物のシナプスと同様に、時空間的加算特性を持ち、細胞体モデルからのパルス波形が入力されると時空間的に加減算する。そして、後続に接続されている細胞体へと伝達する。

今回用いた抑制性シナプスモデルは、一方の細胞体モデルから入力が発生すると、他の CPG モデル内の膜容量コンデンサ  $C_M$  の発火を抑制して発振周期をずらし、逆相同期現象を示す作用がある。これを相互につながぐことにより、生物の運動を生み出す周期的なリズムを生み出している。Figure4 に CPG モデルの概略図と出力の一例を示す。

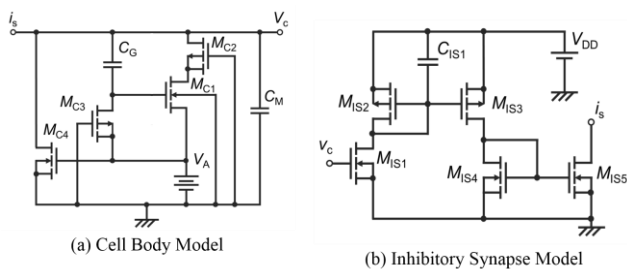


Figure3. Circuit diagram of the cell body model and the inhibitory synaptic model.

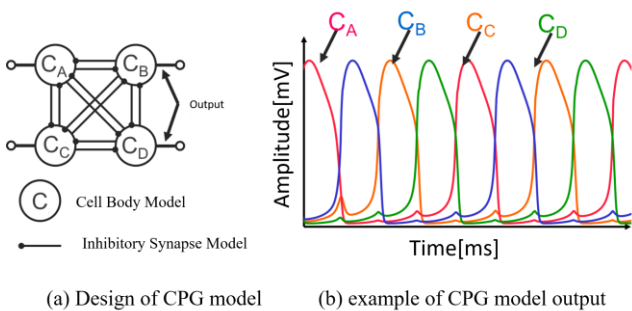


Figure4. Design of CPG model and example of CPG model output.

### 4. センサ入力の取り付け

Figure5 にセンサ入力を取り入れた P-HNNs の概略図の一部を示す。Figure5 のようにトランジスタのスイッチング動作を用いることにより、センサ入力が生じた際、GND と CPG モデル内の膜容量コンデンサ  $C_M$  が接続され、強制的な過分極を行うことにより出力が負と

なる。これによって抑制性シナプスの逆相同期現象により、他の細胞体モデルからの出力が正となることで、動的に変化する条件にも対応することが可能になった。また、CPG モデルによる出力電流ではアクチュエータを駆動できないため、出力部にカレントミラー回路を接続して、アクチュエータに必要な電流量を得ている。

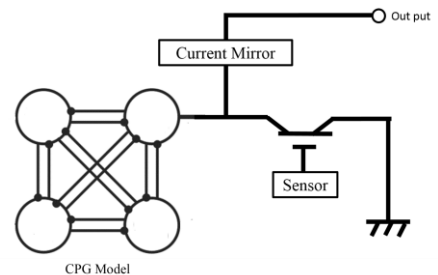


Figure5. Design of IC that expresses gait change of robot according to sensor input

### 5. 結果

Figure6 に今回作製した IC のレイアウトを示す。トランジスタのスイッチング動作を用いてセンサ入力に応じてロボットの歩容変化を発現する人工脊髄 IC の設計を行った。

今後は開発した回路を実際に測定し、歩容のパターンや反射的な歩容変化の発現が可能か検討を行う。

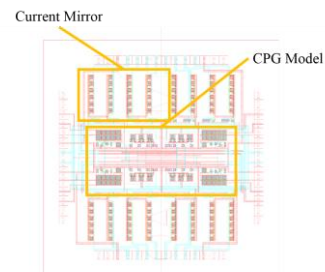


Figure6. Layout of IC Bare Chip

### 6. 参考文献

[1] D. Tanaka, D. Nagashima, T. Hidaka, M. Takato, K. Saito, F. Uchikoba : "Gait Pattern Changing of Quadruped Robot Using Pulse-Type Hardware Neural Networks", Artificial Life Robotics, vol.22, No.1, pp.102-107, 2017,  
 [2] L. F. Abbott, Sacha B. Nelson : "Synaptic plasticity: taming the beast", Nature Neuroscience, vol.3, No.1, pp.1178-1183, 2000  
 [3] 日置智子, 西井淳 : 「基本的な運動パターンを実現するための階層的な運動学習モデル」, 信学技報 NC, pp47-52, 2004.6