

## M-24

## 介在細胞集団モデルを用いたバーストニューロンモデルの構築に対する一検討

## A Study on Construction of Bursting Neuron Model Using Interstitial Cell Model

○伊藤大輝<sup>1</sup>, 佐伯勝敏<sup>2</sup>, 佐々木芳樹<sup>2</sup>\*Daiki Ito<sup>1</sup>, Katsutoshi Saeki<sup>2</sup>, Yoshiki Sasaki<sup>2</sup>

Abstract: As neural networks have superior information processing functions, many investigators attempt to model biological neurons and neural networks. Especially, burst firing is known to cause various effects on synchronization phenomena of neural networks.

In this paper, we propose a bursting neuron model using an interstitial cell model for the purpose of application to locomotion control of robots. It is shown that a proposed bursting neuron model have caused the bursting firing phenomena.

## 1. まえがき

脳神経系では神経活動のリズムが重要な役割を果たしており、神経細胞のバースト発火がその源の一つであると考えられている。神経回路網における出力パルスの中に発火・非発火を繰り返すバースト発火現象は、軟体動物のように細胞体単体により生じるものや、哺乳動物のように多数のニューロンが結合することによって生じるものまで、多数の生物の脳神経系に見られる<sup>[1]</sup>。ガンマ周波数帯 (20-80Hz) でバースト発火を示すニューロンは、この周波数帯の神経活動のペースメーカーの役割を果たしていると推測されている<sup>[2]</sup>。

本研究では、ロボットの歩行制御を行うニューラルネットワークへの応用を目的に、介在細胞集団モデルを用いたバーストニューロンモデルの構築について検討を行ったので報告する。

## 2. 本論

図 1 にパルス形ハードウェアニューロンモデル (以降、P-HNM と略す) の回路図を示す。P-HNM はニューロン内における細胞体の発火現象を模した動作を行う細胞体モデルと、シナプスを電子回路で模したシナプスモデルから構成している。細胞体モデルは、電源電圧  $V_{dd}$  の値によって、自律的に発振する自励振発振と外部からの電流供給により他励振発振が存在する。シナプスモデルは時空間加算特性を有した積分回路と興奮性および抑制性の 2 種類のシナプスモデルで構成している。

興奮性シナプスは次段に接続される P-HNM に電力を供給するカレントミラー回路で構成し、抑制性シナプスは次段に接続される P-HNM から電力を引き抜くカスケード増幅回路で構成している。シナプスモデル内の積分部に搭載されているコンデンサ  $C_s$  により出力周波数の値が大きく変化する。

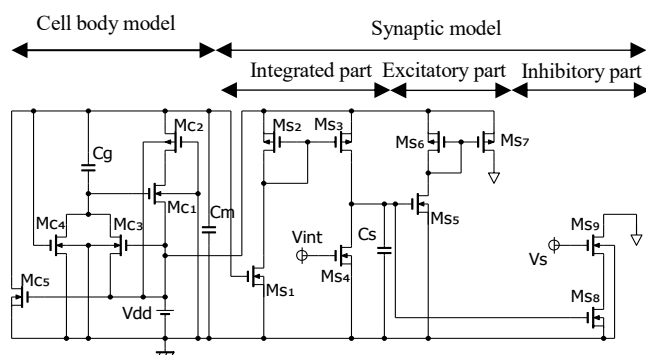


図 1 P-HNM の回路図

図 2 に介在細胞集団モデルの構成図を示す。図中の Self は自励振モードの細胞体モデル、 $N_{1-n}$  は他励振モードの細胞体モデルを示しており、○は興奮性シナプスモデル、●は抑制性シナプスモデルを示す。

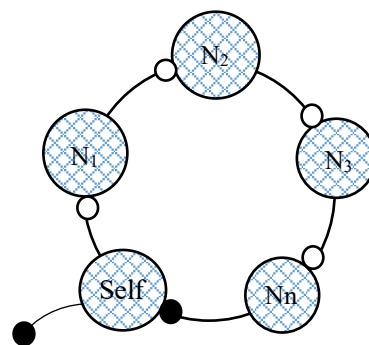


図 2 介在細胞集団モデルの構成図

動作原理は、Self が発振し、 $N_1$  に興奮性シナプスモデルを通して電流が供給される。次に電流が供給されたことで  $N_1$  が発振すると、 $N_1$  から  $N_2$  に興奮性シナプスモデルを通して電流が供給されると同時に、Self から抑制性シナプスモデルを通して電流が引き抜かれ、Self の発振が抑制される。この繰り返しのにより、 $N_1 \sim N_3$  は順番に発振し、 $N_1 \sim N_3$  の出力は、出力が立ち下が

1: 日大理工・学部・電子, 2: 日大理工・教員・電子

るまで Self の発振を抑制する。抑制が終わると Self は再び発振する。その結果, Self,  $N_1 \sim N_3$  の出力が連続したパルス群を生成する。

図 3 に介在細胞集団モデルの各段の出力波形を示す。同図より, Self,  $N_1 \sim N_3$  にかけてパルス幅が増加することを示している。

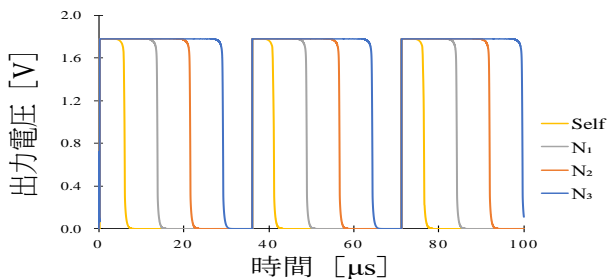


図 3 介在細胞集団モデルの出力波形

図 4 に介在細胞集団モデルの段数を 4~8 段に変化させた時の介在細胞集団モデルの  $C_s$  に対する出力周波数特性を示す。同図より, 介在細胞集団モデルの出力周波数が,  $C_s$  の容量が小さくなると上昇し, 介在細胞集団モデルの段数を増やすと低下することを示している。

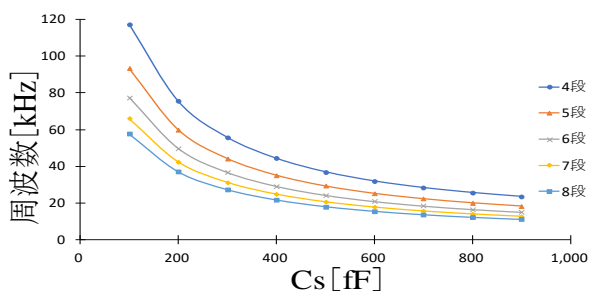


図 4  $C_s$  に対する出力周波数特性

図 5 に介在細胞集団モデルを用いたバーストニューロンモデルの回路図を示す。介在細胞集団モデルからの出力をインバータを通して, パルス波を反転し, そして Ms1 に入力し, 興奮性シナプスで負性抵抗を構築し, 他励振細胞体モデルと繋ぎ,  $V_{out}$  からまた介在細胞集団モデルに繋いでいる。

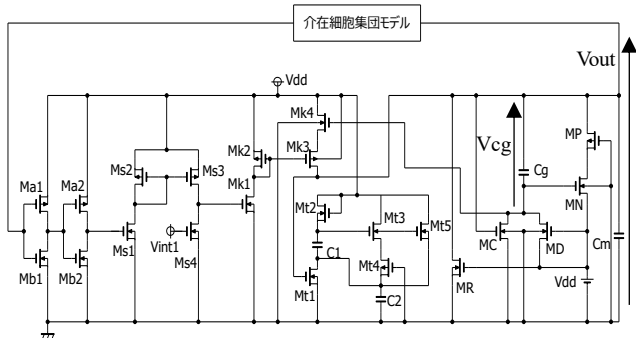


図 5 バーストニューロンモデル

図 5 の動作原理は, 電源電圧  $V_{dd}$  から MD を介して  $C_g$  に電荷が供給され,  $V_{cg}$  が上昇し, MN と MP に電流が流れる。MN と MP に流れる電流と MR に流れる電流の差分が  $C_m$  に流れ,  $V_{out}$  が立ち上がる。そして, MC が ON になって,  $C_g$  から電荷を強制的に引き抜き, MN と MP が OFF になり,  $C_m$  に溜まった電荷は MR を通して引き抜かれ,  $V_{out}$  は立ち下がる。そして Mc が OFF になり, 再度, MD を介して  $C_g$  に電荷が溜まって, 発火を繰り返す。同図において, 介在細胞集団モデルの出力が行われている間はバースト発火現象となる。

図 6 に図 5 の出力波形を示す。同図から, 図 5 の回路によってバースト発火を再現可能であることを示している。

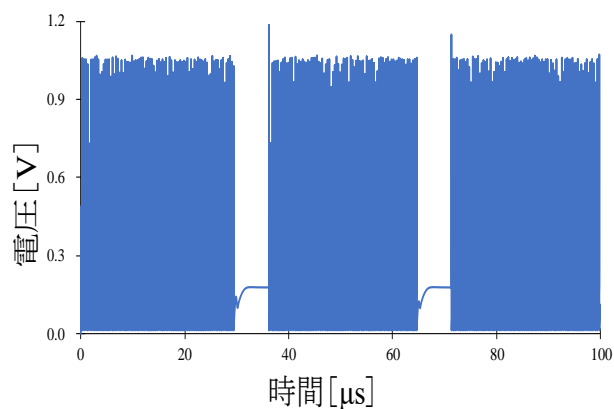


図 6 バースト発火波形

### 3. まとめ

今回, ロボットの歩行制御を行うニューラルネットワークへの応用を目的に, 介在細胞集団モデルを用いたバーストニューロンモデルの構築について検討を行った。その結果, 介在細胞集団モデルを用い, 他励振細胞体モデルと接続することで, バーストニューロンモデルを構築し, バースト発火が得られることを明らかにした。

今後は, コンデンサを MOS 容量に置き換え面積削減を行い, VDEC を通して IC 化を行う予定である。

### 4. 参考文献

- [1] 浅井信ノ輔, 建部達弥, 佐伯勝敏, 関根好文 “バースト発火を考慮した四足歩行運動パターン生成に対する一検討”, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-18, pp.1079-1080, 2010.
- [2] 戸泉孝太, 佐伯勝敏, “低周波動作可能なバーストニューロンモデルの構築に対する一検討”, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-11, pp.1083-1084, 2017.