

## M-24

## コリン作動性シナプス伝達特性を考慮したパルス形ハードウェアニューロンモデル

## A Study on a Pulse-type Hardware Neuron Model with Characteristics of Cholinergic Receptors

○大和田賢<sup>1</sup>, 大瀧光彦<sup>2</sup>, 関根好文<sup>3</sup>\* Ken Ohwada<sup>1</sup>, Mitsuhiko Otaki<sup>2</sup>, Yoshifumi Sekine<sup>3</sup>

Synapse in neuron has an important role of memorizing and learning. In recent paper, cholinergic receptors in synapses have an effect on STDP characteristics. In this paper, we propose a pulse-type hardware neuron model with cholinergic receptors which considers STDP characteristics. As a result, we show clearly that the proposed circuit is useful for neuron model.

## 1. まえがき

ニューラルネットワークの工学的応用のひとつとして、「デジタル機器に判断できないことを判断できる機器を作成する」がある。ニューラルネットワークにおいて、重要となる機能の一つに、記憶・学習・認識がある。これらの機能は人間のもつ微妙な感覚を表現するものとする。そのためには、ニューロンモデルの特性を生体の特性に近づける必要がある。

生体のニューロンの記憶・学習に深く関与する海馬において、入力の頻度や期間に依存してシナプスの伝搬効率が長期にわたって増大する LTP(Long Term Potentiation), あるいは減少する LTD(Long Term Depression)がある。近年、シナプス前細胞発火がもたらす興奮性シナプス後膜電位とシナプス後ニューロン発火に伴い逆伝搬する活動電位のタイミングに依存して、シナプス可塑性の方向(増強, 抑圧)大きさが異なる STDP (Spike Timing Dependent synaptic Plasticity)<sup>[1-2]</sup>が報告されている。

コリン作動性シナプス伝達物質は興奮性シナプスに存在し、ニコチン受容体とムスカリン受容体の二つに大別される。生体のシナプスにおけるムスカリン受容体は LTD を無効, または LTP に変換することや, LTP を促進することが報告されている<sup>[3]</sup>。しかし、ニコチン受容体については STDP 特性への影響について報告されていない。生体で確認されているコリン作動性シナプス伝達物質によるニューロンの発火特性は、ムスカリン濃度が高いとき、発火波形は下降相における特性が時定数による非線形的な特性になることが報告され、ニコチン濃度が高いとき発火波形のパルス幅は通常より広がることが報告されている。

本稿は、生体のニューロンの発火特性を有するパルス形ハードウェアニューロンモデル(以下 P-HNM)を用いて構築し、コリン作動性シナプス伝達物質の STDP 特性への影響について検討した。

## 2. コリン作動性シナプス伝達特性を有する P-HNM

図 1 にコリン作動性シナプス伝達特性を考慮した細胞体モデルの回路図を示す。本モデルは入力パルス電流により出力パルス電圧を誘発させるモデルであり、生体のニューロンが持つ時間的に変化する負性抵抗特性、相対不応性、出力パルス振幅のアナログ性などを有したモデルである。また、本モデルの  $V_{mu}$  はムスカリン濃度を制御する電圧を示し、 $V_{mu}$  の値を変化させることで生体のムスカリン受容体と定性的に一致した発火特性を得ることが可能であり、 $V_n$  はニコチン濃度を制御する電圧を示し、 $V_n$  の値を変化させることで生体のニコチン受容体と定性的に一致した発火特性を得ることが可能なモデルである。図 2 に本モデルの発火波形の一例を示す。同図(a)はニコチン濃度を変化させたときの発火波形で、 $V_n$  が  $M_5$  を線形領域で且つ、 $M_6$  が飽和領域になる入力であるときにニコチン濃度を変化することを示している。(b)はムスカリン濃度を変化させたときの発火波形で、 $V_{mu}$  が  $M_7$  と  $M_{10}$  が線形領域になる入力であるときにムスカリン濃度を変化することを示している。

図 3 にコリン作動性シナプス伝達特性を考慮した細胞体モデルを用いて検討した P-HNM を示す。図中、 $SM_E$  は興奮性シナプスモデル、DM は樹状突起モデル、

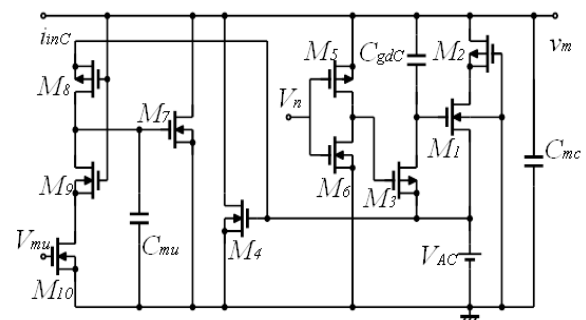


Fig. 1. Circuit diagram of a cell-body model with cholinergic receptors

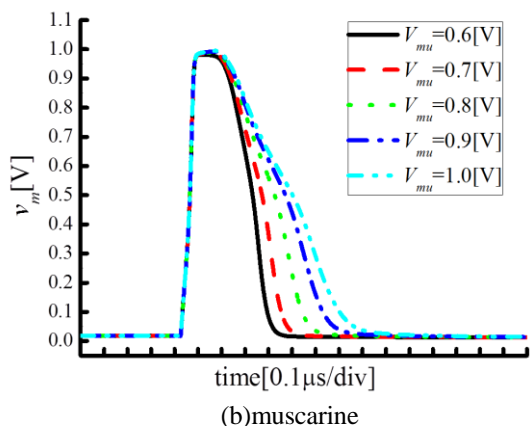
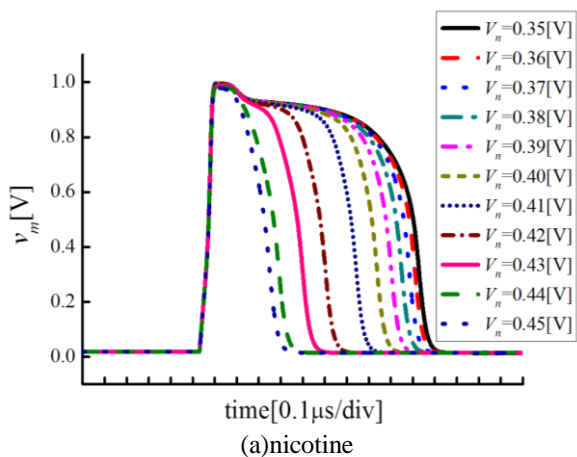


Fig. 2. Firing waveforms of a cell-body model with cholinergic receptors

CM は図 1 の細胞体モデルをそれぞれ示す。本シナプスモデルは入力パルス電圧によって出力パルス電流を誘発させるモデルであり、生体のシナプスが有する時間的加重と空間的加重を有するモデルである。また、本樹状突起モデルは、生体と同様に細胞体、樹状突起のどちらに刺激を加えても細胞体が先にパルスが発生するモデルである。

今回、本モデルのシナプスモデルにパルス電圧を加え樹状突起モデルを通して細胞体モデルが発火することで逆伝搬してきた活動電位により樹状突起モデルが発火し、入力パルス電圧の入力時間とシナプス後ニューロンの樹状突起を逆伝搬する活動電位が発生した時

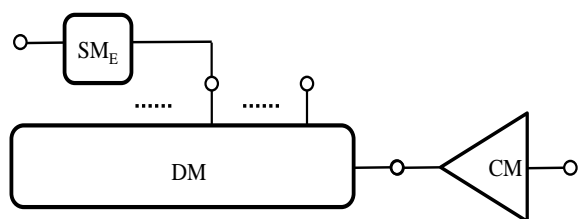


Fig. 3. P-HNM.

間の差による LTP, LTD の誘発について検討した。

図 4 に本モデルの STDP 特性の一例を示す。同図は  $V_n=2, V_{mu}=0$  とした場合の結果で、図中、 $t_{post}$  はシナプス後ニューロンの樹状突起を逆伝搬する活動電位が発生した時間を示し、 $t_{pre}$  は入力パルス電圧の入力時間を示す。また、図中、縦軸は出力電圧を入力電圧で正規化した値を示す。同図は振幅が増加しているとき LTP を誘発していることを示し、振幅が減少しているとき LTD を誘発していることを示している。

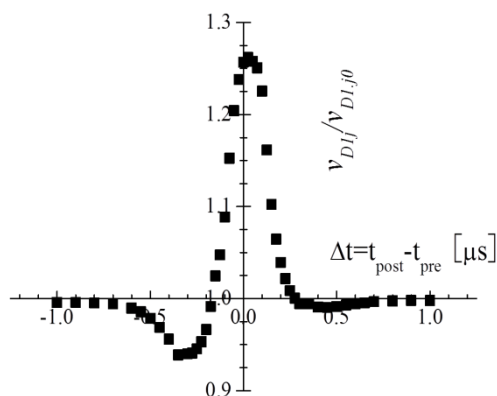


Fig. 4. STDP characteristics of a P-HNM with cholinergic receptors

### 3. まとめ

以上、P-HNM を用いてコリン作動性シナプス伝達物質の STDP 特性への影響を考慮したニューロンモデルの構築を行い、シミュレーションによりその特性の検討を行った。

現在、本モデルを用い、コリン作動性物質の発火特性を変化させた場合の STDP 特性について研究を行っている。

### 4. 参考文献

- [1] G. Bi and M. Poo: "Synaptic Modifications in Cultured Hippocampal Neurons: Dependence on Spike Timing, Synaptic Strength, and Postsynaptic Cell Type", The Journal of Neuroscience, Vol.18, pp.10464-10472, 1998.
- [2] Nishiyama, M, Hong K, Mikoshiba K, M. Poo, and Kato K: "Calcium stores regulate the polarity and input specificity of synaptic modification", nature, vol48, 584-588, 2000.
- [3] E. Sugisaki, Y. Fukushima, M. Tsukada and T. Aihara "Cholinergic Modulation on Spike Timing-Dependent Plasticity in Hippocampal CA1 Network" Neuroscience, Volume 192, 29 September 2011, Pages 91-101