

## 生物の感覚器を模倣する受容細胞モデルの開発

## Development of Receptor Cell Models Mimicking Sensory Organs of Living Organisms

○森下克幸<sup>1</sup>, 加藤真也<sup>1</sup>, 武井裕樹<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>\*Katsuyuki Morishita<sup>1</sup>, Shinya Kato<sup>1</sup>, Yuki Takei<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: The authors are studying biomimetics, which is learned from the nervous system of animals and applied to robots. Studies that mimics the nervous system of animals will give robots excellent functions like animals. In this paper, we conducted a study to construct the receptor cell model that transmits sensor signals to the nervous system using analog electronic circuits. The receptor cell model outputs a pulse waveform in response to the sensor input, and the frequency changes according to the intensity of the input. We have constructed the receptor cell model with a discrete circuit and examined its characteristics.

## 1. はじめに

ロボットにおいてセンサは重要な要素の1つである。特に人の操作を挟まない自律型ロボットでは、周囲の環境を迅速かつ正確に把握する必要がある。たとえば、有名な自律型ロボットの1つである BigDog は体の姿勢や現在の動きを測定するための慣性センサや関節センサ、エンジンなどの状態を監視するための温度や流量センサなど約 50 個のセンサを搭載している<sup>[1]</sup>。しかし、プログラムベースのロボットの場合、センサ数の増加に伴い情報量が多くなってしまふ。そのため、情報処理にかかる時間が長くなり、リアルタイムでの処理が難しくなる。また、処理時間を短くするにはスペックの高いコンピュータを搭載するために機体を大きくする必要がある。

動物は視覚、触覚、聴覚など様々な種類の感覚器を体中に持っているため、膨大な情報が神経系に入力される。しかし、動物の神経系は複数の感覚器からの情報をリアルタイムかつ並列に処理することが可能である。そのため、動物の神経系のメカニズムを模倣することで自律型ロボットに必要不可欠なリアルタイムかつ並列処理が可能な制御システムの開発につながると考えられる。

我々はニューロンやシナプスの機能を模倣したアナログ電子回路を用いて、動物の神経系の機能を模倣する研究をおこなっている。これまでに、動物の運動神経系の機能を模倣し、ロボットの歩容を制御するアナログ電子回路の開発をおこなった<sup>[2]</sup>。しかし、これまでに開発したロボットは、センサから信号を入力する際にマイコンなどを用いて制御する必要があった。

そこで、新たにセンサからの信号をマイコンなどを介さずにパルス信号へ変換する受容細胞モデルの開発をおこなった。このモデルは受容細胞の機能を模倣し

ており、センサへ信号が入力されることにより発振をおこない、入力電圧の強さによりパルスの周期が変化する。

本論文では、受容細胞モデルの設計をおこない、シミュレーションおよびディスクリート素子で構成した回路において、発振特性を解析したので報告する。

## 2. 受容細胞モデル

Figure 1 に受容細胞モデルの回路図を示す。受容細胞モデルは細胞体モデルをベースに設計したパルス出力発振器であり、 $M_2$  のゲートにかかる電圧  $V_{PG}$  により発振の特性が変化する。熱電対や光電素子など電圧の変化によりセンシングするセンサを使用する場合は、 $V_{PG}$  に直接接続する。ひずみゲージのように抵抗もしくは流れる電流量の変化によりセンシングするセンサの場合は、 $V_A$  をセンサと他の抵抗で分圧した電圧を印加する。

## 3. シミュレーション

Figure 2 にシミュレーションによる受容細胞モデルの出力を示す。シミュレーションには、Cadence Design System 社の Pspice を使用した。回路定数はそれぞれ  $R_G = 75$  [k $\Omega$ ],  $R_M = 3.3$  [k $\Omega$ ],  $C_G = 10$  [nF],  $C_M = 1$  [nF]

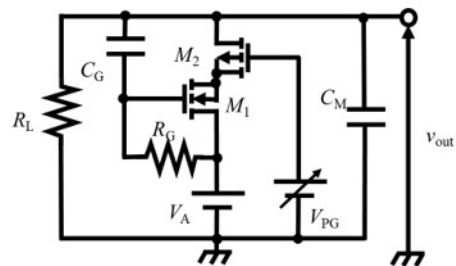


Figure 1. Circuit diagram of a receptor cell model

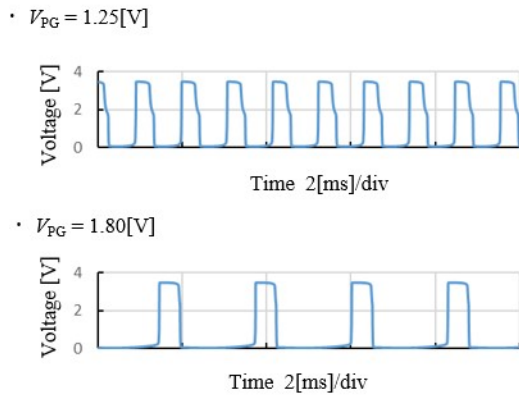


Figure 2. Relationship between  $V_{PG}$  and output Waveform (Simulation)

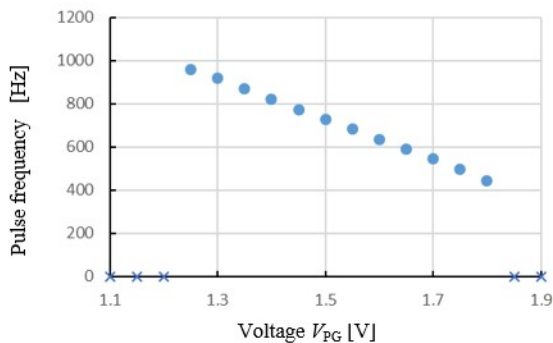


Figure 3. Relationship between  $V_{PG}$  and pulse frequency (Simulation)

である。また、電圧  $V_A$  は 3.50 [V] である。Figure 2(a), (b) はそれぞれ  $V_{PG} = 1.25$  [V], 1.80 [V] のときの受容細胞モデルの出力である。 $V_{PG}$  が大きくなると、周波数が低くなっていることが確認できる。

Figure 3 に  $V_{PG}$  と受容細胞モデルの発振周波数の変化を示す。このグラフより  $V_{PG}$  が 1.20 [V] から 1.85 [V] にかけて、発振周波数が徐々に低くなっていることが確認できた。

#### 4. ディスクリット素子で構成した回路

Figure 4 にディスクリット素子で作製した受容細胞モデルの出力波形を示す。回路定数は  $R_G = 75$  [k $\Omega$ ],  $R_M = 3.3$  [k $\Omega$ ],  $C_G = 10$  [nF],  $C_M = 1$  [nF],  $V_A = 4.0$  [V] である。シミュレーションと同様に  $V_{PG}$  が大きくなると受容細胞モデルの発振周波数が低くなっていることが確認できた。

Figure 5 に  $V_{PG}$  と受容細胞モデルの発振周波数の変化を示す。 $V_{PG}$  が 0.25 [V] から 0.80 [V] にかけて、受容細胞モデルの発振周波数が徐々に低くなっていることが確認できた。

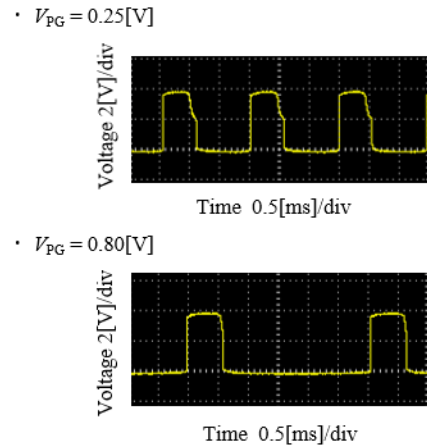


Figure 4. Relationship between  $V_{PG}$  and output Waveform (Experimental result)

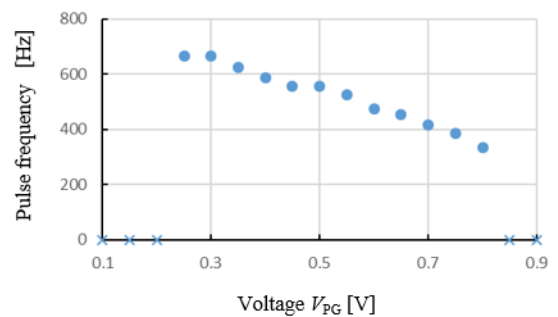


Figure 5. Relationship between  $V_{PG}$  and pulse frequency (Experimental result)

#### 5. まとめ

本論文ではハードウェアニューラルネットワークに使用するための、マイコンを使用しない新たなセンシングシステムとして受容細胞モデルを開発した。シミュレーションにおいて、受容細胞モデルは  $V_{PG}$  が大きくなるほど周波数が低くなることを確認した。また、ディスクリット素子で構成した回路においても、シミュレーションと同様の特性を確認した。

今後は、センサを接続した際の回路特性の測定および受容細胞モデルを利用した制御システムの開発をおこなう予定である。

#### 6. 参考文献

- [1] Raibert, M. Blamlespoor, K. Nelson, G. Playter, R. "BigDog the Rough-Terrain Quadruped Robot," IFAC Proceedings Volumes, Volume 41, pp.10822-10825, 2008.
- [2] K. Saito, M. Ohara, M. Abe, M. Kaneko and F. Uchikoba, "Gait Generation of Multilegged Robots by Using Hardware Artificial Neural Networks," Advanced Applications for Artificial Neural Networks, INTEC, pp. 29-50, 2018.