

# マイクロロボットの中枢パターン生成器に必要な受容細胞モデルの検討

A Study on Receptor Cell Model for Central Pattern Generator Model of Microrobot

関山 晃生<sup>†</sup> 中山 渉<sup>†</sup> 大隈 井輔<sup>†</sup> LYU SHUXIN<sup>†</sup> 森下 克幸<sup>†</sup> 齊藤 健<sup>††</sup>

Kosei SEKIYAMA<sup>†</sup> Wataru NAKAYAMA<sup>†</sup> Isuke OKUMA<sup>†</sup> Shuxin LYU<sup>†</sup> Katsuyuki MORISHITA<sup>†</sup> Ken SAITO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 日本大学大学院理工学研究科 <sup>††</sup> 日本大学理工学部

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Nihon University <sup>††</sup> College of Science and Technology, Nihon University

## 1. はじめに

マイクロロボットは人や大型ロボットの侵入が困難である狭い空間での活躍が期待されている。我々は、生物のニューラルネットワークをアナログ電子回路で模倣し、マイクロロボットの制御回路に応用する研究を行っている。これまでの研究で、ニューラルネットワーク集積回路を搭載したマイクロロボットは歩行に成功した[1]。現状のマイクロロボットは外部環境を認知するセンサが未搭載である。そこで、我々は生物の受容細胞の機能をアナログ電子回路で模倣した受容細胞モデルを開発した[2]。現在、我々は受容細胞モデルに太陽電池を接続することでセンサとして利用することを想定している。しかし、現状の太陽電池を接続した受容細胞モデルはマイクロロボットの歩行生成回路に組み込むには不都合な出力周波数特性であった。そこで、我々は異なる出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計した。

本稿では、新たな出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計し、HSPICE によるシミュレーションを行ったので報告する。

## 2. 改良した受容細胞モデル

図 1 に改良した受容細胞モデルの回路図を示す。受容細胞モデルはパルス波形を出力する発振回路である。受容細胞モデルは  $V_{AR}$  と  $V_{PG}$  に発振条件を満たす電圧が印加された時のみパルス波形を出力する。出力するパルス波形の発振周波数は印加する  $V_{PG}$  の大きさで変化する。

今回、改良した受容細胞モデルは p-channel MOSFET である  $M_{RC4}$  のチャネル長を変更した。従って、 $M_{RC4}$  の  $I_D$ - $V_{GS}$  特性が変化する。 $M_{RC4}$  のゲート電圧には負電圧を印加した。以上の変更により、改良した受容細胞モデルは  $V_{PG}$  が大きくなるに従い、出力するパルス波形の発振周波数が高くなる特性を持つ。従って、太陽電池を  $V_{PG}$  に接続した場合、光量の増加で発振周波数が高くなる。

## 3. シミュレーション結果

HSPICE を用いて改良した受容細胞モデルのシミュレーションを行った。回路定数はそれぞれ、 $M_{RC1}=W/L=3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC2}=1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC3}=10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $M_{RC4}=27\mu\text{m}/11\mu\text{m}$ ,  $C_{GR}=3.3\text{nF}$ ,  $C_{MR}=10\text{pF}$ ,  $V_{AR}=3.0\text{V}$  とした。図 2 に  $V_{PG}$  変更時の出力周波数特性を示す。シミュレーション結果より本モデルは  $V_{PG}=0.21\sim 0.47\text{V}$  の範囲で発振することを確認した。発振周波数は  $V_{PG}=0.21\text{V}$  の時  $1.85\text{kHz}$ ,  $V_{PG}=0.47\text{V}$  の時  $12.5\text{kHz}$  であり、 $V_{PG}$  の増加で発振周波数が高くなることを確認した。

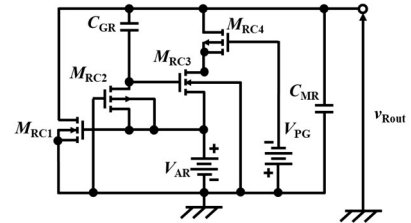


図 1 改良した受容細胞モデルの回路図

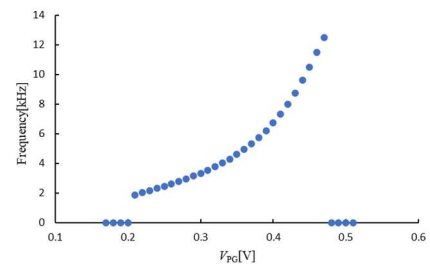


図 2 出力周波数特性

## 4. まとめ

本稿では、新たな出力周波数特性を持つ受容細胞モデルを設計し、HSPICE によるシミュレーションを行った。シミュレーション結果より、 $V_{PG}$  が  $0.21\sim 0.47\text{V}$  の範囲でパルス波形を出力し、 $V_{PG}$  の増加に従い発振周波数が  $1.85\text{kHz}$  から  $12.5\text{kHz}$  まで変化する特性を確認した。今後は、本モデルに太陽電池を接続し動作実験を行い、マイクロロボットの歩行生成回路に組み込む予定である。

## 謝辞

本研究は、令和 2 年度日本大学学術研究助成金 総合研究の助成を受けたものです。また、本研究の一部は令和 4 年度日本大学特別研究の助成を受けたものです。

研究は、東京大学 d.Lab(旧 VDEC)活動を通して、日本シノプシス合同会社、日本ケイデンス・デザイン・システム社、メンター・グラフィック・ジャパン株式会社の協力で行われたものです。

## 参考文献

- [1] S. Kawamura, D. Tanaka, T. Tanaka, D. Noguchi, Y. Hayakawa, M. Kaneko, K. Saito, F. Uchikoba, “Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism,” *Artificial Life and Robotics*, vol. 23, issue 3, pp 380–386, 2018.
- [2] K. Morishita, S. Kato, Y. Takei, K. Saito, “Development of Receptor Cell Model with Oscillation Frequency-Dependent on Sensor Input Intensity,” *The papers of technical meeting on electronic circuits, IEEE japan*, vol 142, no.1, pp.33-39, 2022.