

## 生物の感覚器を模倣した受容細胞モデルの集積回路化に対する検討

## A Study on Integrated Circuits of Receptor Cell Models Mimicking Sensory Organs of Living Organisms

○大隈井輔<sup>1</sup>, 高柳拓生<sup>2</sup>, 加藤真也<sup>2</sup>, 森下克幸<sup>3</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>\*Isuke Okuma<sup>1</sup>, Hiroki Takayanagi<sup>2</sup>, Shinya Kato<sup>2</sup>, Katsuyuki Morishita<sup>3</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: We are developing an analog electronic circuit model that mimics the receptor cell's function of organisms. The receptor cell model converts the sensor input signal into a pulse waveform. Constructing the receptor cell model by integrated circuit could be possible to mount to the microrobot. In this paper, we compared the simulation results with the actual measurement results of constructed integrated circuit of the receptor cell model.

## 1. はじめに

マイクロロボットは人の体内での医療補助や配管内でのメンテナンスなど、人が作業できない狭い空間での活躍が期待されている。近年、生物の機能を工学的に応用したロボットの開発が進められている。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駆動回路に応用する研究をおこなっている<sup>[1]</sup>。制御回路にニューラルネットワークを用いることで、複雑な環境下でも生物のような柔軟な対応が期待できる。また、小型化が可能なニューラルネットワーク集積回路であれば、ミリメートルサイズのマイクロロボットに搭載可能である。

先に我々は、中枢パターン生成器を模倣したモデルをマイクロロボットの駆動回路として搭載し、歩行に成功した。しかし、従来のモデルに存在する機能は直進歩行のみであり、複雑な動作をおこなうことができなかった。マイクロロボット単体で移動をおこなうためには直進歩行以外に歩行動作の停止や障害物の回避行動として旋回運動が必要不可欠である。そこで、新たな機能を追加するために、センサとセンサの信号をモデルに伝達するためのアナログ電子回路モデルを開発した。生物の感覚器には受容細胞と呼ばれる神経細胞が存在する。受容細胞には、外部刺激を受け取り、その情報を電気信号へと変換することで神経系へと伝える機能がある。我々は、現在のマイクロロボットの課題を解決するため、生物の受容細胞をアナログ電子回路でモデル化した<sup>[2]</sup>。受容細胞モデルを従来のモデルと組み合わせることで、歩行動作の停止や旋回などの機能を獲得できる可能性がある。

本稿では開発した受容細胞モデルの HSPICE によるシミュレーション結果と作製した集積回路の測定結果について比較をおこなったので報告する。

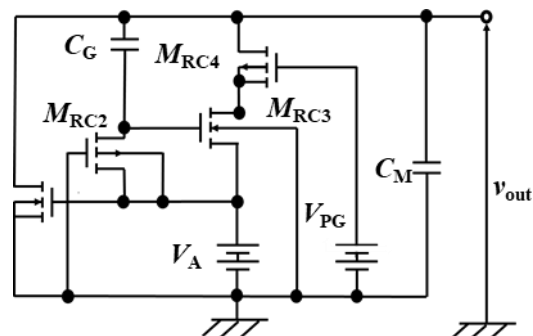


Figure 1. Circuit diagram of receptor cell model

## 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。受容細胞モデルは我々が先に開発した細胞体モデルをベースに設計したアナログ電子回路モデルである。両回路共に  $v_{out}$  からパルス波形を出力する回路であるが、出力条件が異なる。従来の細胞体モデルは、一定の電源電圧を  $V_A$  に印加するとパルス信号を出力する。これに対して受容細胞モデルは電源電圧を  $V_A$  に印加しただけでは発振せず特定の条件を満たしたときのみ機能する。その条件とは  $M_{RC4}$  のゲート電圧  $V_{PG}$  に与える電圧の大きさである。細胞体モデルに  $V_{PG}$  を加え  $M_{RC4}$  の W/L を調節することで  $M_{RC3}$  と  $M_{RC4}$  に流れる電流量が変化し、電源を印加しただけではパルス波形を出力せず、受容細胞モデル自体の出力の ON/OFF の切り替えを可能にしている。

## 3. シミュレーション結果

受容細胞モデルの動作確認をおこなうため、HSPICE を使用して回路シミュレーションをおこなった。各回路定数はそれぞれ、MOSFET :  $M_{RC1}=W/L=3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC2}=1.2/10$ ,  $M_{RC3}=10/1.2$ ,  $M_{RC4}=21/1.0$ , キャパシタ :  $C_G=3.3\text{nF}$ ,  $C_M=1.8\text{nF}$ , 電源 :  $V_A=3.6\text{V}$  とした。Figure 2.

に $V_{PG}$ 変更時の周波数特性を示す. シミュレーション結果より本モデルは $V_{PG}=0.55V$ から $V_{PG}=1.00V$ の範囲で発振することを確認した. 発振周波数は $V_{PG}=0.55V$ のとき1170Hz,  $V_{PG}=1.05V$ のとき700Hzであり,  $V_{PG}$ を増加させると発振周波数が減少する特性を確認した.

#### 4. 測定結果

Figure 3.に作製した受容細胞モデルのレイアウト図を示す. 図中の点線で囲われた範囲で一つの回路を示しており, 回路毎の $M_{RC4}$ のW/Lを異なる値で設計した. W/Lはそれぞれ図中①から④の順に, 15/1.0, 21/1.0, 27/1.0, 33/1.0とした.

作製した集積回路による受容細胞モデルの測定をおこなった. 受容細胞モデルの回路定数はシミュレーション時に用いた定数を使用した. Figure 4.に $V_{PG}$ 変更時の受容細胞モデルの周波数特性を示す. 測定結果より本モデルは $V_{PG}=0.10V$ から $V_{PG}=0.75V$ の範囲で発振することを確認した. 発振周波数は,  $V_{PG}=0.10V$ のとき890Hz,  $V_{PG}=0.75V$ のときは370Hzであった. 実際の測定においてもシミュレーション時と同様の特性を確認した.

#### 5. まとめ

本稿では, 開発した受容細胞モデルのシミュレーションと作製した集積回路の測定をおこなった. シミュレーション結果より,  $V_{PG}$ がある範囲の値にあるときパルスを発振し,  $V_{PG}$ が増加すると周波数が減少する特性を確認した. 作製した集積回路の測定では, 回路がシミュレーションと同様の発振特性を持つことを確認した. 今後は, センサを接続した本モデルの動作実験をおこなうとともにマイクロロボットへの実装に向けて本モデルの改良をおこなう予定である.

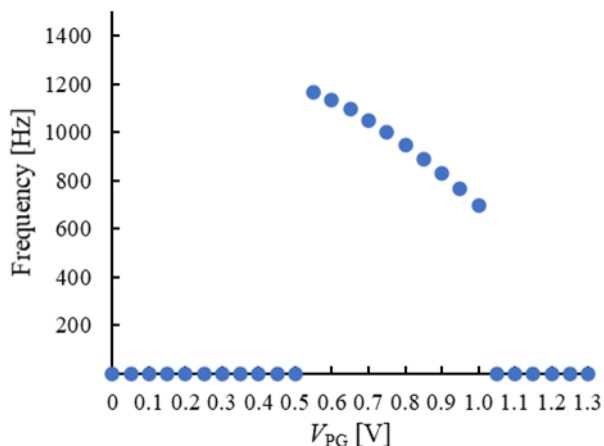


Figure 2. Characteristics of oscillation frequency(varying  $V_{PG}$ ,simulation)

#### 6. 参考文献

- [1] Ken Saito, Masaya Ohara, Mizuki Abe, Minami Kaneko and Fumio Uchikoba : “Gait Generation of Multilegged Robots by using Hardware Artificial Neural Networks,” INTEC Advanced Applications for Artificial Neural Networks, pp. 29-50, 2018
- [2] 加藤真也, 宇佐見雄, 榎垣理沙, 佐々木拓郎, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健, : 「センサ入力にตอบสนองする受容細胞モデルの集積回路化に対する検討」, 電気学会電子回路研究会, pp.107-110, 2020.12.18

#### 謝辞

本研究は d.lab を通し, シノプシス株式会社, 日本ケイデンス株式会社, メンター株式会社の協力で行われたものである. 本チップ試作は d.lab を通しオンセミコンダクター新潟(株)凸版印刷(株)の協力で行われたものである.

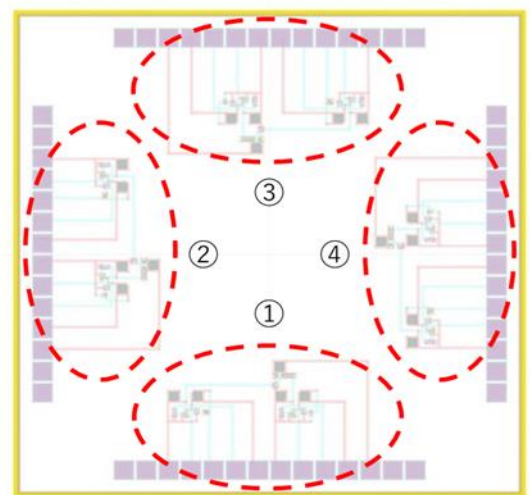


Figure3. Layout diagram of receptor cell model

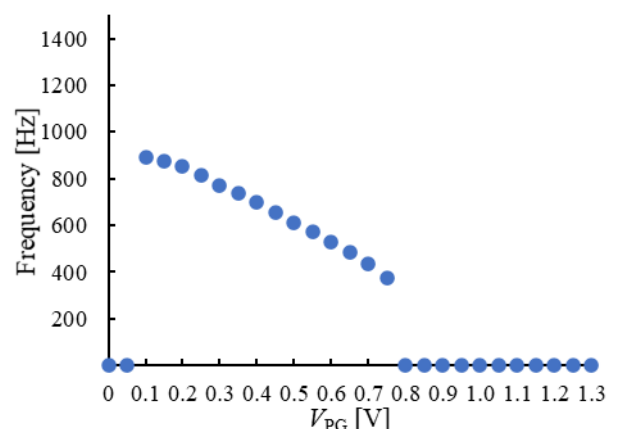


Figure 4. Characteristics of oscillation frequency(varying  $V_{PG}$ , Actual measurement result)