

集積回路化した受容細胞モデルによる光量検知に関する検討 Study on Light Intensity Sensing Using Receptor Cell Model with Integrated Circuit

○大隈井輔¹, 高柳拓生¹, 関山晃生², 中山渉², 森下克幸³, 齊藤健⁴

*Isuke Okuma¹, Hiroki Takayanagi¹, Kousei Sekiyama², Wataru Nakayama², Katsuyuki Morishita³, Ken Saito⁴

Abstract: We are studying analog electronic circuit models that mimic the function of biological receptor cells. The receptor cell model has the property of converting sensor input signals into pulse waveforms. The receptor cell model can mount on a microrobot if the model is constructed with an integrated circuit. In this paper, we connect the receptor cell model with an integrated circuit with a CdS cell and report how the pulse period of the output varies in response to the light intensity through experiments.

1. はじめに

近年、小型ロボットは災害現場での救助活動や社会インフラの整備、医療補助の場面で活躍が期待されている。小型ロボットは、狭い空間での作業に適している反面、搭載可能な機器の大きさに限界がある。そこで昆虫を模倣し、小型ロボットの開発に応用した研究がある^[1]。

我々は、生物のニューラルネットワークを人工的に模倣し、昆虫型マイクロロボットへ搭載する研究をおこなっている。ニューラルネットワークを制御系に搭載することで、現在のロボット制御と異なる複雑な事象に対し適応性に富んだ対応を目指している。開発したニューラルネットワークは小型化を目的に集積回路化し、マイクロロボットへ搭載した。先に我々は、生物の中枢パターン生成器を模倣したモデルを開発し、駆動回路としてマイクロロボットへ搭載した。しかし、既存のモデルに実行可能なのは直線的な歩行のみであり、外部環境に合わせた行動は未実装であった。マイクロロボット単体で目標位置まで移動するためには、外部環境に応じて歩行の停止や回避行動の生成が必要になる。生物の受容細胞は、感覚受容器に到達した刺激を電気的なパルス信号の周期に変換する特性を持ち、刺激の強度はパルスの周期に置き換え、中枢神経系へ伝達する。そこで、受容細胞をアナログ電子回路でモデル化し、センサの信号をパルスに変換する受容細胞モデルを開発した。また、ミリメートルサイズのマイクロロボットに搭載するために集積回路化した^[2]。

本稿では、集積回路化した受容細胞モデルと CdS セルを接続し、照度に対する特性の変化を調べた。CdS セルへ照射される光量に応じて受容細胞モデルが出力するパルス周期が変化することを明らかにしたので報告する。

2. 受容細胞モデル

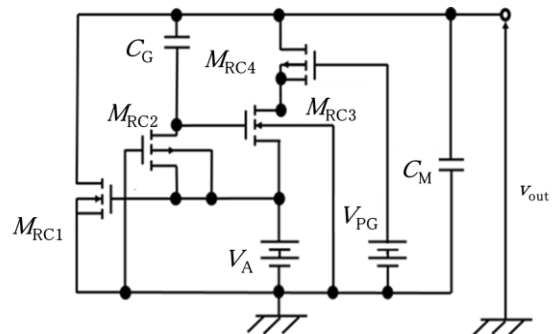


Figure 1. Circuit diagram receptor cell model

Figure 1.に実験で使用した受容細胞モデルの回路図を示す。受容細胞モデルは、印加する電圧の大きさに応じてパルス波形の出力周波数が変化する特性を持つ。回路図中の V_A に一定の電圧を印加した状態で V_{PG} へ電圧を印加し、 V_{PG} へ印加した電圧が一定の範囲内の大きさであれば v_{out} にパルス波形を出力する。また、受容細胞モデルは V_{PG} へ印加する電圧が増加するに従い、出力周波数が低くなる特性を持つ。 V_{PG} には、センサと抵抗器を用いた分圧回路により電圧を印加する。使用するセンサは圧力センサや CdS セルなどを想定している。

3. 実験方法

集積回路化した受容細胞モデルに CdS セルを接続するため、測定回路を検討した。Figure 2.に作製した測定回路の図を示す。Figure 1.の V_A を抵抗器 R_1 と CdS セル、 R_2 で分圧し、 R_1 と CdS セルの間の電圧を V_{PG} とした。CdS セルは抵抗変化型のセンサで、光量の増加に従い抵抗値が減少する。従って、光量の増加に従い V_{PG} にあたる電圧は減少する。実験に用いた集積回路化した受容細胞モデルのレイアウト図を Figure 3.に示す。作製したチ

1 : 日大理工・院 (前)・精機 2 : 日大理工・学部・精機 3 : 日大理工・院 (後)・精機 4 : 日大理工・教員・精機

チップのサイズは 2.4×2.4 [mm]である。実験では赤の破線で囲まれている箇所を使用した。Figure 2.の各回路定数はそれぞれ、MOSFET： $M_{RC1}=W/L=3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ， $M_{RC2}=1.2/10$ ， $M_{RC3}=10/1.2$ ， $M_{RC4}=27/1.0$ ，キャパシタ： $C_G=3.3\text{nF}$ ， $C_M=1.8\text{nF}$ ，電源： $V_A=3.0\text{V}$ ，抵抗器： $R_1=6.2\text{k}\Omega$ ， $R_2=0.47\text{k}\Omega$ とし、CdSセルはGL5516を使用した。 C_G ， C_M ， R_1 ， R_2 ，CdSセルはチップ外に外接した。

4. 実験結果

集積回路化した受容細胞モデルにCdSセルを接続し、CdSセルへ照射した光の光量と出力周波数の変化を測定した。Figure 3.に光量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光量が740lxから3740lxの範囲では200Hz以上の大きな出力周波数の変化が見られ、光量の増加に従い出力周波数の変化幅は減少した。また出力周波数は、261Hzから約2.3倍の603Hzまで変化した。CdSセルへ照射する光の光量が増加することで出力周波数が高くなることを確認した。

5. まとめ

本稿では、集積回路化した受容細胞モデルとCdSセルを接続し、CdSセルへ照射した光の光量と出力周波数の関係を測定した。CdSセルへ照射する光の光量が増加することで出力周波数が高くなることを確認した。

今後は、ロボットへの実装に向け、センサと受容細胞モデルを同じ回路基板上に集積回路化する方法を検討する予定である。

6. 参考文献

[1] T. Baisch and Robert J. Wood : “Pop-up Assembly of a Quadrupedal Ambulatory MicroRobot”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) November 3-7, 2013

[2] 加藤真也, 宇佐見雄, 榊亜理沙, 佐々木拓郎, 森下克幸, 武井裕樹, 齊藤健, : 「センサ入力に応答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。

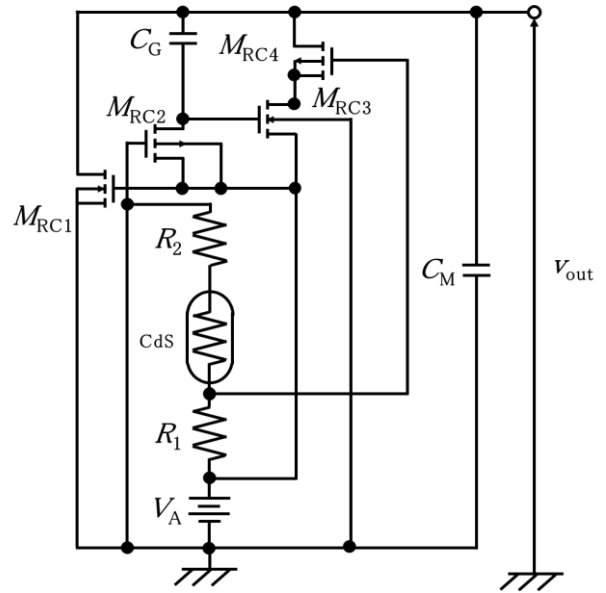


Figure 2.Circuit for measurement

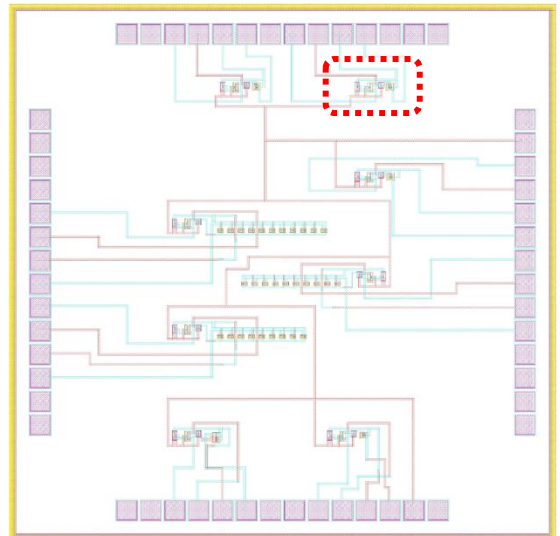


Figure 3.Layout diagram of receptor cell model

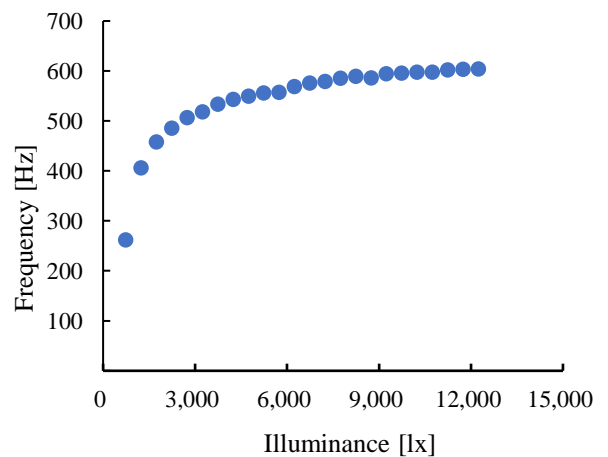


Figure 4. Characteristics of oscillation frequency (varying illuminance, Actual measurement result)