

光量で歩容を変化させるマイクロロボット用のニューロモルフィックチップの開発  
Development of Neuromorphic Chip for Microrobots Capable of Changing Gait by Light Intensity

○祁一銘<sup>1</sup>, 村本大和<sup>2</sup>, 関山晃生<sup>2</sup>, LYU SHUXIN<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>  
\*Yiming Qi<sup>1</sup>, Yamato Muramoto<sup>2</sup>, Kosei Sekiyama<sup>2</sup>, Shuxin Lyu<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: The authors study a neuromorphic chip that mimics the nervous system of living organisms to control millimeter-sized microrobots. Until now, microrobots equipped with neuromorphic chips have been unable to switch gait in response to the external environment. Therefore, we combined our previously developed gait-generating circuit that can switch gait with a receptor cell model that mimics the function of biological receptor cells. This paper reports on developing a neuromorphic chip that can switch gait in response to light intensity.

1. はじめに

近年、マイクロロボットは災害現場や配管などの人や大型ロボットの侵入が困難な狭い空間での活躍が期待されている。マイクロロボットの研究では、昆虫の機能や機構を模倣する手法が多くとられている<sup>[1]</sup>。これは、昆虫がミリメートルサイズと小型ながら優れた情報処理能力を有し、柔軟性を備えているためである。ロボットの制御においても生物の神経系の機能を模倣する研究が注目されている。生体を模倣した制御手法は、低消費電力かつコンパクトな制御システムを実現する可能性がある。

我々は、生物の神経系の機能を模倣し、集積回路化したニューロモルフィックチップをマイクロロボットの動作制御に応用する研究を行っている。先に我々が開発したニューロモルフィックチップを搭載したマイクロロボットは歩行実験に成功した<sup>[2]</sup>。しかし、外部環境に応じた歩行はできなかった。そこで我々は、先に開発した昆虫の代表的な歩容である三脚歩容と波状歩容を生成できる歩容生成回路と生物の受容細胞の機能を模倣した受容細胞モデルを組み合わせて、光刺激に応じて歩容を切り替えることが可能であることを明らかにした。

本論文では、歩容切り替え可能な歩容生成回路、受容細胞モデル、フォトセル、積分回路を一体化して集積回路化し、光刺激で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップを開発し、光刺激に対する歩容の変化を測定したので報告する。

2. 光量で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップ

Figure. 1 は、今回開発したマイクロロボット用の光刺激で歩容切り替えが可能なニューロモルフィックチ

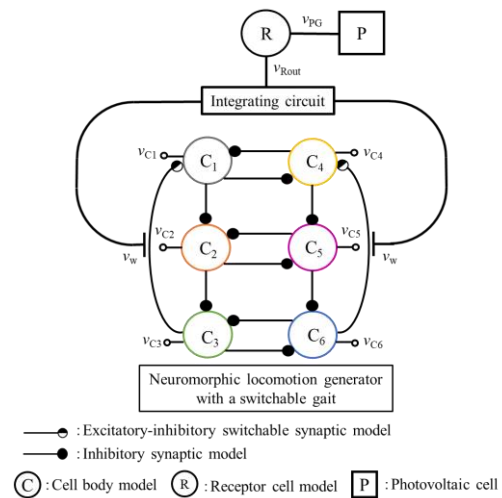


Figure. 1 Schematic diagram of the neuromorphic chip capable of switching gait by optical stimulation.

ップの概略図を示す。光刺激で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップは、歩容切り替えが可能な歩容生成回路と受容細胞モデル、フォトセル、積分回路で構成し、フォトセルに照射された光量に基づいて、波状歩容と三脚歩容のパターンを生成する。

細胞体モデルは生物の特性を模倣したアナログ電子回路で、一定の電源電圧をかけることでパルス波形を出力する。抑制性シナプスモデルは負の電流を出力し、接続された細胞体モデルの発振を抑制する。興奮・抑制性切り替え型シナプスモデルは、結合強度電圧に応じて興奮性と抑制性を切り替えることができる。

3. 測定結果

集積回路の試作チップは、オン・セミコンダクター新潟株式会社の CMOS 0.8 μm (PolySi:2 層, メタル配線:2 層, 電源 電圧:5V)を利用した。

Figure. 2 に作製した光刺激で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップを示す。

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

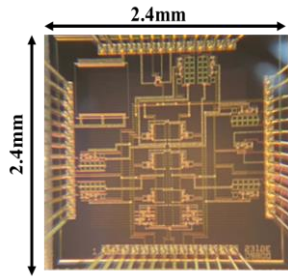


Figure. 2 Photograph of the neuromorphic chip capable of switching gait by optical stimulation

光刺激で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップへ光を照射した場合と照射しなかった場合のニューロモルフィックチップの出力するパルス波形を測定した。各回路定数を以下に示す。

$M_{C1} = W/L = 3.0\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C2} = W/L = 1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C3} = W/L = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $M_{C4} = W/L = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $C_{GC} = 4.7\mu\text{F}$ ,  $C_{MC} = 2.2\mu\text{F}$ ,  $V_{AC} = 2.8\text{V}$  とした。抑制性シナプスモデル  $M_{IS1} = M_{IS2} = M_{IS3} = M_{IS4} = M_{IS5} = W/L = 10\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $C_{IS} = 1.0\text{pF}$ ,  $V_{DD} = 3.0\text{V}$  とした。興奮・抑制性切り替える型シナプスモデル:  $M_{IE1} = M_{IE2} = M_{IE8} = W/L = 10\mu\text{m}/40\mu\text{m}$ ,  $M_{IE1} = M_{IE3} = M_{IE5} = M_{IE6}$ ,  $M_{IE7} = M_{IE9} = M_{IE10} = W/L = 10\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{IE4} = 10\mu\text{m}/70\mu\text{m}$ ,  $C_{IE1} = C_{IE2} = 1.0\text{pF}$ ,  $V_{DD} = 3.0\text{V}$  とした。受容細胞モデル:  $M_{RC1} = W/L = 3.0\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC2} = W/L = 1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC3} = W/L = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $M_{RC4} = W/L = 27\mu\text{m}/11\mu\text{m}$ ,  $C_{GR} = 3.3\text{nF}$ ,  $C_{MR} = 10\text{pF}$ ,  $V_{AR} = 3.0\text{V}$  とした。積分回路:  $M_{S1} = M_{S2} = M_{S3} = W/L = 10\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{S4} = 1.5\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $C_{SC} = 10\text{nF}$ ,  $V_{DDS} = 2.0\text{V}$ ,  $V_{INT} = 0.7\text{V}$  とした。

Figure. 3 に光を照射しなかった場合のニューロモルフィックチップの出力パルス波形を示す。波状歩容のパターンを確認した。

Figure. 4 に光を照射した場合のニューロモルフィックチップの出力パルス波形を示す。三脚歩容のパターンを確認した。

#### 4. まとめ

本論文においては、歩容切り替え可能な歩容生成回路、受容細胞モデル、フォトセル、積分回路を統合し、集積回路化された光刺激で歩容切り替え可能なニューロモルフィックチップを作製し、光刺激に対する出力パルス波形の測定を行った。測定の結果、光を照射しない場合に波状歩容のパターンを生成し、光を照射する場合に三脚歩容のパターンを生成することを確認した。

今後は、開発したニューロモルフィックチップをマ

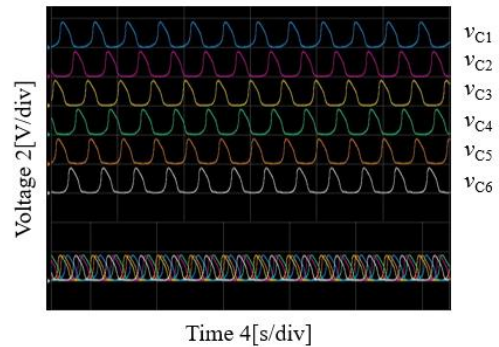


Figure. 3 Output waveform without optical stimulation.

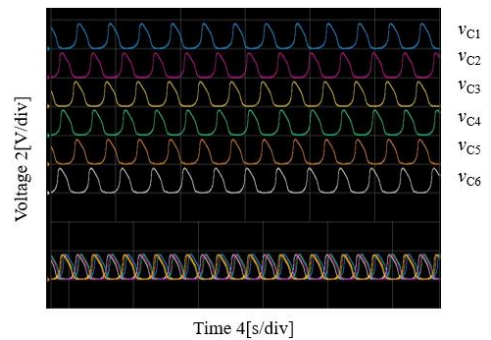


Figure. 4 Output waveform when optical stimulation is applied.

イクロロボットに搭載し、駆動実験を行う予定である。

#### 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。

本研究は d.lab (旧 VDEC) 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・システム社シーメンズ EAD ジャパン株式会社の合同でおこなわれました。本チップの試作は d.lab を通して、オン・セミコンダクター新潟(株)の協力でおわれました。

#### 5. 参考文献

- [1] M. Qi, Y. Zhu, Z. Liu, X. Zhang, X. Yan and L. Lin, "A fast-moving electrostatic crawling insect", 2017 IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), Las Vegas, NV, USA, 2017.
- [2] 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 380386, 2018