

## M-5

## 筋肉による駆動を模倣したラット型ロボット用ニューロモルフィック回路の集積化に対する検討 A Study on Integration of Neuromorphic Circuit for Rat-Type Robot Mimicking Muscle Drive

○安田祐希<sup>1</sup>, 伊藝楓斗<sup>1</sup>, LYU SHUXIN<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>  
\*Yuki Yasuda<sup>1</sup>, Futo Igei<sup>1</sup>, Shuxin Lyu<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

**Abstract:** The authors are developing a quadruped robot system that does not require animal-like digital control. By using analog electronic circuit models that mimic the function of the nervous system, the authors hope to control the robot through biological mechanisms. In this paper, the authors simulated neuromorphic circuits and measured the fabricated integrated circuits for a rat-like robot that generates gait by mimicking muscle contractions. As a result, the authors confirmed that the fabricated integrated circuit can provide the output necessary to drive one joint of the rat-type robot.

### 1. はじめに

歩行ロボットは、日常生活における補助活動や災害時の探究活動など、様々な分野にて活躍が期待されている。しかし、歩行ロボットは現在主流である車輪型の移動ロボットと比較して制御システムが複雑であることから、機体の大型化などの課題が生じている。一方で、生物は歩行時に複雑な制御や計算は行わず、脊髄において歩行パターンを生成していると考えられている。この歩行パターンのメカニズムは未だ解明されていないものの、生物の神経系の機能をアナログ電子回路モデルを用いて模倣することで、より生物に近い歩容を生成できる可能性がある。

我々は、動物のようにデジタル制御を必要としない四足歩行ロボットシステムの開発を行っている<sup>[1]</sup>。神経系の機能を模倣したアナログ電子回路モデルを用いることで、生物に近いメカニズムでロボットの制御を行うことが期待できる。先に我々は、生物の神経系の機能を模倣したアナログ電子回路をロボットに搭載し、歩容を生成する四足歩行ロボットの開発に成功している<sup>[2]</sup>。開発したアナログ電子回路を搭載することで、足先の圧力センサから得られる情報をもとに、移動速度に応じた歩容の生成を実現した。

本論文では、筋肉の収縮運動を模倣して歩容を生成するラット型ロボットに搭載するニューロモルフィック回路のシミュレーションと、作製した集積回路の測定を行った結果、ラット型ロボットの1つの関節を駆動させるために必要な出力が得られたことを確認したので報告する。

### 2. ラット型ロボット

Figure 1 に現在開発を進めているラット型ロボットを示す。ラット型ロボットの各脚部には、電流を流す

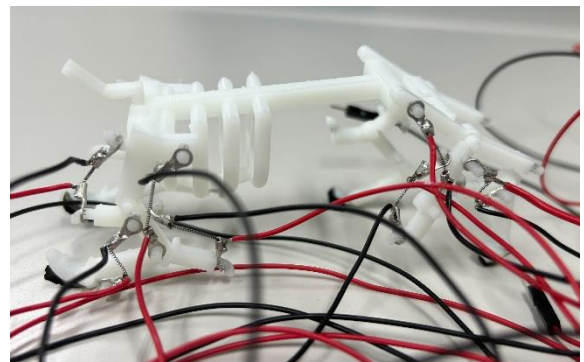


Figure 1. Rat-type robot

と筋肉のように伸縮する人工筋肉ワイヤを搭載している。人工筋肉ワイヤは形状記憶合金の一種であり、後述するニューロモルフィック回路からの出力に応じて伸縮し、脚部を駆動させる。

### 3. ニューロモルフィック回路

Figure 2 にラット型ロボット用ニューロモルフィック回路の概略図を示す。ニューロモルフィック回路は、細胞体モデルと抑制性シナプスモデル、遅延機能付き興奮性シナプスモデルで構成した。細胞体モデルは周期的にパルスを出力する発振回路である。抑制性シナプスモデルはシナプス荷重コントロール電圧に応じて、細胞体モデルの発振を抑制する回路である。複数の細胞体モデルを相互に結合することで、繋がれた細胞体モデルを逆相で発振させることができる。遅延機能付き興奮性シナプスモデルは細胞体モデルの発振を遅らせて細胞体モデルの発振を促進する回路である。Figure 2 のモデル図のように組み合わせることによって、2つの細胞体モデル  $C_n$ ,  $C_e$  を交互にバースト発振させることが可能となる。また、 $C_n$  が発振している際は人工筋肉ワイヤを収縮し、 $C_e$  が発振している際は人工筋肉

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

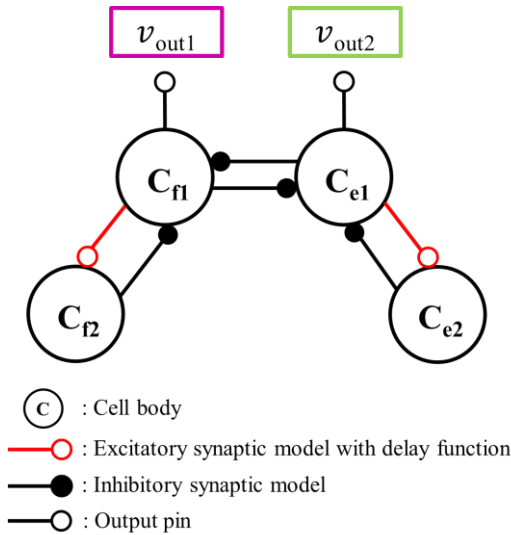


Figure 2. Schematic diagram of neuromorphic circuit

ワイヤを伸長することで、ラット型ロボットの1つの関節を制御することが可能となる。

#### 4. シミュレーション結果

ニューロモルフィック回路の動作確認を行うため、HSPICEを使用して回路シミュレーションを行った。シミュレーション結果を Figure 3 に示す。Figure 3 は、Figure 2 中の出力  $v_{out1}$  および出力  $v_{out2}$  からの出力波形を示している。測定を行った結果、細胞体モデルからの出力  $v_{out1}$  および  $v_{out2}$  は交互にバースト発振することが確認できた。

#### 5. 測定結果

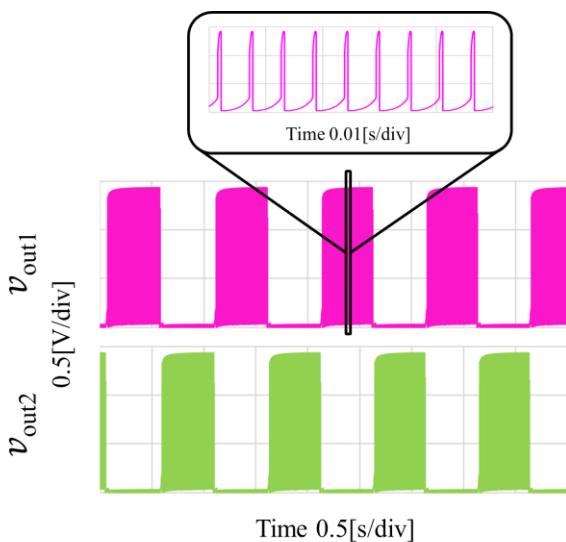


Figure 3. Simulation results of the neuromorphic circuit of the rat-type robot

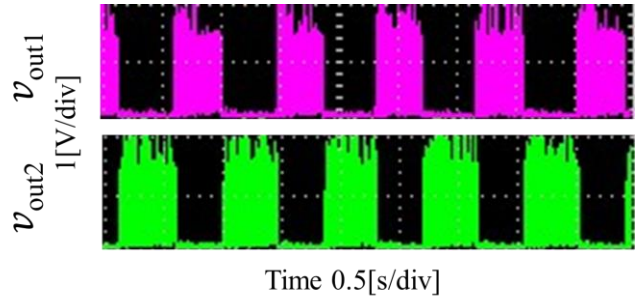


Figure 4. Measurement results of the neuromorphic circuit of the rat-type robot

作製した集積回路の動作確認を行うためオシロスコープを用いて波形測定を行った。測定結果を Figure 4 に示す。Figure 4 より、作製した集積回路はシミュレーション時と同様の出力を確認した。

#### 6. まとめ

本論文では、開発したラット型ロボット用ニューロモルフィック回路のシミュレーションと、作製した集積回路の測定を行った。シミュレーションの結果、2つの細胞体モデルの出力  $v_{out1}$  および  $v_{out2}$  が交互に発振することを確認した。作製した集積回路の測定では、シミュレーションと同様の出力を確認した。今後は本回路を組み合わせることでロボットの1つの脚を制御できるニューロモルフィック回路を設計し、測定を行う予定である。

#### 謝辞

本論文の研究は、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ある。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ある。本研究は、東京大学 dlab(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ある。

#### 7. 参考文献

- [1] K. Saito, M. Ohara, M. Abe, M. Kaneko, F. Uchikoba : "Gait Generation of Multilegged Robots by using Hardware Artificial Neural Networks." INTECH, pp.29-50, 2018.
- [2] Y. Takei, K. Morishita, R. Tazawa, "Development of Quadruped Robot Generating Animal-like Gaits Utilizing Independent Neuro-Circuits", The 32nd Workshop on Circuits and Systems, Kitasenju, pp. 222-227, 2019