

M-11

MEMS マイクロロボットに搭載可能な人工ニューラルネットワークを用いた駆動回路 Driving Circuit Using Artificial Neural Networks for MEMS Microrobot

○杉田和貴¹, 石原優毅¹, 岩田蛭¹, 岡根佑樹¹, 高藤美泉², 内木場文男², 齊藤健²*Kazuki Sugita¹, Yuki Ishihara¹, Kei Iwata¹, Yuki Okane¹, Minami Takato², Fumio Uchikoba², Ken Saito²

Abstract: This paper discuss about driving circuit using artificial neural networks which could mount on the MEMS microrobot. Components of the microrobot were fabricated by micro electro mechanical systems (MEMS) technology. Microrobot was driven by helical artificial muscle wire-type actuator. Helical artificial muscle wire could actuate by inputting the electrical current. Artificial neural networks could generate the locomotion rhythms of the microrobot. We constructed the artificial neural networks on CMOSIC chip by 2.45mm square in size. We connected the current mirror circuits to artificial neural networks inside the CMOSIC chip. As a result, MEMS microrobot performed the locomotion using the CMOSIC chip of driving circuit.

1. はじめに

ロボットの研究が盛んに行われているなか、マイクロロボット技術は最先端研究として多くの分野において注目されている。応用分野の一例として医療分野が挙げられ、生物の体内での医療補助が可能なマイクロロボットの開発^{[1][2]}により、低侵襲医療が行えるとして期待されている。しかし、現在の研究では、数センチメートルサイズのものや、磁力等の外部からの力を利用した移動方法である等、小型化、高機能化の点で多くの課題が存在する。

我々は、上記の課題に対するアプローチとして、Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)技術と人工ニューラルネットワークを用いることで、昆虫を模倣した MEMS マイクロロボットを作製し、自律歩行ロボットの実現に向けた研究を行っている。小型化に関して、IC 製造技術を元にした MEMS 技術を用いることで、従来の機械加工技術では困難であったマイクロメートルサイズの微細部品の高精度な加工が可能となった。また、高機能化に関しては、一般的にロボットの制御方法として用いられているマイクロコントローラ等によるプログラム制御では、未知の状況への対応は困難であることから、生物の脳を模倣した人工ニューラルネットワークを用いた。

本論文では、人工筋肉ワイヤ用いたアクチュエータにより駆動する MEMS マイクロロボットを作製し、MEMS マイクロロボットに適した人工ニューラルネットワークを CMOSIC 化することで小型化し、MEMS マイクロロボット上に搭載した。その結果、4[mm]程度のサイズの昆虫型 MEMS マイクロロボットの歩行を実現したので報告する。

2. MEMS マイクロロボット

Figure 1 に作製した人工筋肉ワイヤ駆動型 MEMS マイクロロボットを示す。人工筋肉ワイヤ駆動型 MEMS マイクロロボットはフレーム、ロータ、軸、人工筋肉ワイヤ、脚部で構成した。人工筋肉ワイヤ以外の構成要素はフォトリソグラフィを用いてシリコンウェハ上にパターンニングし構築した。人工筋肉ワイヤは、Ti-Ni からなる形状記憶合金の一種であり、電流を流すことで発熱し、収縮する。歩行動作は、4 本の人工筋肉ワイヤを取り付けたロータの回転動作によって生成した。4 本の人工筋肉ワイヤに順番に電流を流し、発熱によって収縮することにより回転動作を行う。この回転動作を脚部のリンク機構に伝達する。

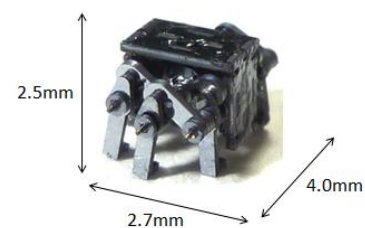


Figure 1. Fabricated MEMS microrobot.

3. 人工ニューラルネットワーク

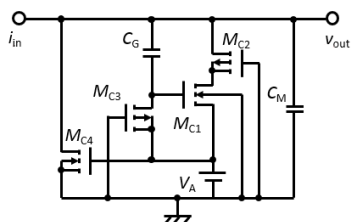
人工ニューラルネットワークを構成するニューロンモデルである細胞体モデルとシナプスモデルを Figure 2(a), (b)に示す。人工ニューラルネットワークは生物のニューラルネットワークをアナログ電子回路で模倣したもので、不応期、閾値、活動電位を持つ。また、脳内で発振しているパルス信号を模倣したパルス波形を出力する。

シナプスモデルは生物のニューロンにあるシナプスと同様に、時空間的加算特性をもつ。複数の細胞体モ

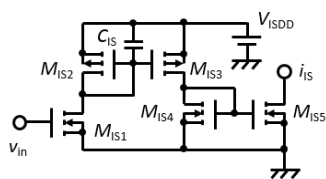
デルをシナプスモデルにより結合することで、細胞体モデルの発振タイミングに同期現象が起きる。今回、抑制性シナプスモデルを用いた。抑制性シナプスモデルは、一方の細胞体モデルが発火した時、シナプスモデルにより、負の電圧が他方の細胞体モデルに印加されて活動電位の上昇を阻害するため、逆相同期現象が生ずる。本研究では、4つの細胞体モデルと12の抑制性シナプスモデルを組み合わせた人工ニューラルネットワークを構築した。

Figure 3 にパルス形ハードウェアニューラルネットワークの概略図を示す。4つの細胞体モデルの出力波形を、12の抑制性シナプスモデルにより互いに抑制し合うことでMEMS マイクロロボットの駆動に必要な4相の逆相同期波形を生成する。

Figure 4 に設計した人工ニューラルネットワークのCMOSICのレイアウトとその出力波形の一例を示す。細胞体モデルのコンデンサ C_G 、 C_M は CMOSIC に対し大きく、ベアチップ IC 上に搭載出来なかったため、周辺回路にコンデンサを搭載し、ベアチップ IC と周辺回路はワイヤボンディングにより接続した。また、ベアチップ IC 内にカレントミラーを搭載し、人工筋肉ワイヤの収縮に向けて、電流出力となるよう設計した。



(a). Circuit diagram of the cell body model.



(b). Circuit diagram of the inhibitory synaptic model.

Figure 2. Circuit diagram of neuron model.

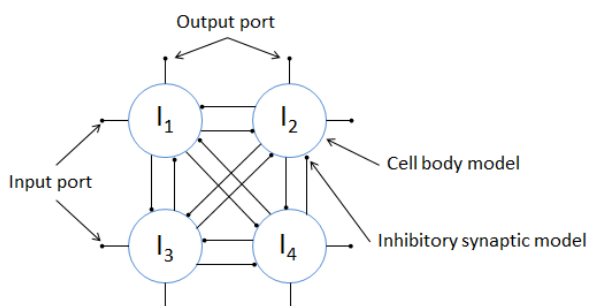


Figure 3. Artificial neural networks.

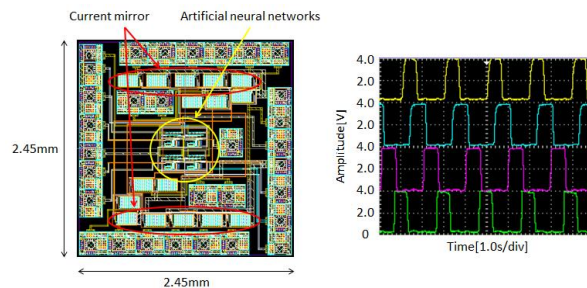


Figure 4. Layout pattern of designed CMOSIC and example of output waveform (Measured value).



Figure 5. MEMS microrobot with driving circuit.

Figure 5 に設計した駆動回路を搭載した人工筋肉ワイヤ駆動型 MEMS マイクロロボットを示す。人工ニューラルネットワークの CMOSIC を接続した駆動回路の出力により、人工筋肉ワイヤ型 MEMS マイクロロボットの歩行を確認した。

4. まとめ

本論文では、人工ニューラルネットワークの CMOSIC を接続した駆動回路を作製し、人工筋肉ワイヤを収縮させる 75 [mA] の出力電流と、4つの人工筋肉ワイヤを順番に収縮させる4相の逆相同期波形の出力を確認した。また駆動回路の搭載により、縦 2.7 [mm]、横 4.0 [mm]、高さ 2.5 [mm] の人工筋肉ワイヤ駆動型 MEMS マイクロロボットの歩行動作を生成した。

5. 参考文献

- [1] 中里裕一：「血管内の移動を目的とした管内走行マイクロロボットの研究・開発」, 日本機械学会福祉工学シンポジウム 2007 講義論文集, pp231-232, 2007.
- [2] 加藤重雄：「20705 腸管内を走行できるマイクロロボットのブレーキ特性に関する研究」, 日本機械学会関東支部第 16 期総会講演会講演論文集, pp217-218, 2010.