

K6-19

低容量化人工ニューラルネットワーク IC を搭載した 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットの検討 Investigation of Quadruped MEMS Microrobot Equipped with Low Capacity Artificial Neural Networks IC

○早川雄一郎², 泉尋貴¹, 大槻るみ¹, 野口大輔², 河村慧史², 田中泰介²,
金子美泉³, 齊藤健³, 佐伯勝敏⁴, 内木場文男³

*Yuichiro Hayakawa¹, Hiroki Izumi², Rumi Otsuki², Daisuke Noguchi¹, Satoshi Kawamura¹, Taisuke Tanaka¹,
Minami Kaneko³, Ken Saito³, Katsutoshi Saeki⁴, Fumio Uchikoba³

Abstract: In this paper, we dehsigned a quadruped MEMS microrobot that can embed an IC bare chip and a low capacity artificial neural networks (ANN) IC. The fabrication of the components of the microrobot used the Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) process. For the ANN IC, a neuron model that can be driven with low capacity was designed. As a result, the constituent elements of the microrobot with electrodes formed on the frame surface were prepared. We confirmed that the ANN IC can operate with a bare chip alone.

1. はじめに

生物の優れた特性を工学的に応用するバイオミメティクスにおいて、マイクロロボットに応用するために昆虫の小さい体躯に加えて高い運動能力と微小脳による情報処理能力が注目されている。マイクロロボットは人間や従来のロボットでは困難である精密機器内部における検査作業への運用が期待され、自律動作可能なマイクロロボットの研究が行われている^[1]。しかし全長が 1 cm 以下の自律動作可能なマイクロロボットの報告例は非常に少ない。

我々はマイクロロボットのさらなる小型化を実現するために半導体デバイスの製造技術を応用した Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)工程をマイクロロボットの構成要素の作製に用いた。また人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Networks : ANN)をアナログ電子回路で集積化することでマイクロロボットの歩行制御に用いた。以前に我々は 4 足歩行型の MEMS マイクロロボットを開発した^[2]。全長 7.2 mm であり、24.6 mm/min で歩行した。脚部は形状記憶合金アクチュエータの人工筋肉ワイヤ(Artificial Muscle Wire : AMW)を用いて駆動させ、歩行制御には ANN IC を用いた。ANN の構成に含まれるコンデンサは容量が大きいため集積化することができず、IC と外部コンデンサを含む制御回路をプリント基板で作製した。その結果基板の重量は 47.1 mg であり、マイクロロボット本体の重量 48.1 mg よりも重い結果となった。本研究では、構成要素に IC ベアチップを直接埋め込むことが可能な 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットを設計し、さらに外部コンデンサ用いずにベアチップ単体で駆動可能な低容量化 ANN IC の設計を行ったので報告する。

2. 4 足歩行型 MEMS マイクロロボット

Figure 1 に低容量化 ANN IC ベアチップを搭載した 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットの概略図を示す。MEMS マイクロロボットの設計寸法は高さ 5.2 mm×長さ 6.0 mm×幅 3.5 mm である。MEMS マイクロロボットは Body, 脚部, AMW で構成されている。Body と脚部は MEMS 工程によって作製される。Body の内、Top Frame には IC ベアチップを埋め込むための穴が設けられ、Top Frame 表面ではアルミニウム薄膜を電極に加工する。IC ベアチップはワイヤボンディングによってアルミニウム電極に接続し、AMW は Top Frame における出力部のアルミニウム電極に接続する。脚部は我々が開発した、2 つのリンク機構の組み合わせによる複合 4 節リンク機構で構成されている。脚部を駆動させるアクチュエータには AMW を用いている。IC から出力された電流を流した際に生じるジュール熱を用いて収縮させ、電流を遮断し放熱することで弛緩させる。AMW の収縮と弛緩による直線運動をリンク機構である脚部の動作に変換する。電流の通電と遮断は IC から出力されるパルス波形によって制御される。

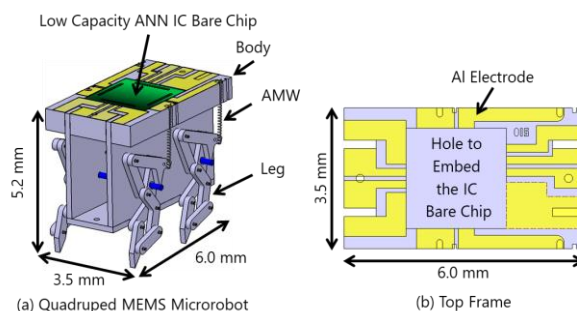


Figure 1. Schematic of quadruped MEMS microrobot.

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

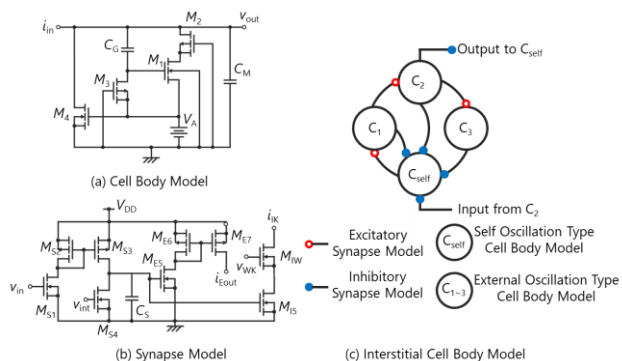


Figure 2. Neuron model of low capacity ANN.

3. 低容量化人工ニューラルネットワーク

Figure 2 に低容量化 ANN のニューロンモデルを示す。我々は生物のニューロンよりパルス波形を周期的に発振する細胞体とパルス波形を他の細胞体へ出力するシナプスを、アナログ電子回路によって模倣した。シナプスモデルはパルス波形の発振を促進する興奮性と発振を抑える抑制性の出力が可能である。従来のニューロンモデルではパルス波形の発振周期は細胞体モデルのコンデンサ容量に依存する。従来の細胞体モデル内のコンデンサ容量は $C_G = 4.7 \mu\text{F}$, $C_M = 1.0 \mu\text{F}$ であり、2.45 mm 角のチップへの集積化が困難であった。本研究では細胞体モデルとシナプスモデルで間質細胞体モデルを構成した^[3]。自励発振型細胞体モデル C_{self} が発振することで他励発振型細胞体モデル C_{1-3} が順番に発振する。 C_{1-3} が発振する間に C_{self} の発振は抑制され、AMW を駆動するパルス波形を得る。間質細胞体モデルでは細胞体モデル内のコンデンサ容量が $C_G = C_M = 1 \text{ pF}$ であり、2.45 mm 角のチップに集積化することが可能である。

4. 結果

Figure 3 に作製した 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットの構成要素を示す。Top Frame は MEMS 工程を繰り返すことで表面にアルミニウムの電極を作製した。

Figure 4 に設計した低容量化 ANN IC を示す。CMOS 0.8 μm プロセスを用いて設計を行った。生物の周期的な運動を生成する Central Pattern Generator(CPG)モデルによってネットワークを構成した。CPG モデルでは 4 個の間質細胞体モデルを抑制性シナプスモデルで相互接続した。設計した IC ベアチップの寸法は 2.45 mm \times 2.45 mm である。CPG モデルの出力部にはカレントミラーを構築した。測定の結果では 4 相のパルス波形を出力し、MEMS マイクロロボットを十分に駆動させることが可能であると確認した。

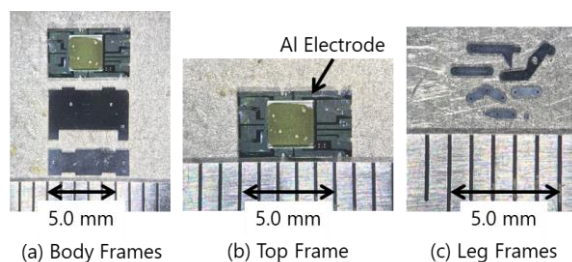


Figure 3. Components of MEMS microrobot.

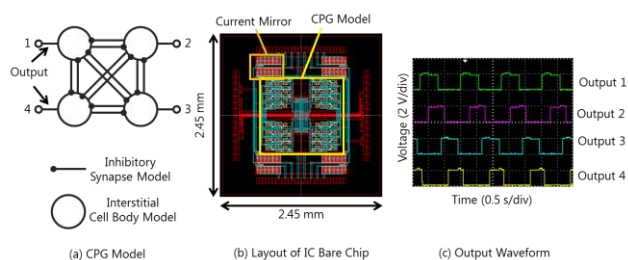


Figure 4. Design of low capacity ANN IC.

5. まとめ

本研究では IC ベアチップを埋め込むことが可能な 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットと低容量化 ANN IC の設計を行った。その結果、IC ベアチップを埋め込む Top Frame を含む構成要素を MEMS プロセスで作製した。さらに低容量化 ANN IC によって IC ベアチップ単体で MEMS マイクロロボットの駆動が可能であると確認した。実際に 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットを作製し、低容量化 ANN IC を実装して歩行試験を行っていく。

6. 参考文献

[1] B. Goldberg, R. Zufferey, N. Doshi, E. F. Helbling, G. Whittredge, M. Kovac, and R. J. Wood : “Power and Control Autonomy for High Speed Locomotion With an Insect-Scale Legged Robot”, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.3, No.2, pp987-993, 2018.
 [2] S. Kawamura, D. Tanaka, T. Tanaka, D. Noguchi, Y. Hayakawa, M. Kaneko, K. Saito, and F. Uchikoba : “Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism”, Artificial Life and Robotics, Vol.23, No.3, pp380-386, 2018.
 [3] K. Saeki, D. Nihei, T. Tatebe, and Y. Sekine : “IC implementation of an interstitial cell-based CPG model”, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol.81, No 3, pp.551-559, 2014