

M-9

人工ニューラルネットワーク IC を一体化した 4 足歩行型 MEMS マイクロロボット Quadruped Walking MEMS Microrobot Integrating Artificial Neural Networks IC

○田中泰介², 泉尋貴¹, 大槻るみ¹, 早川雄一郎², 金子美泉³, 齊藤健³, 佐伯勝敏⁴, 内木場文男³
*Taisuke Tanaka², Hiroki Izumi¹, Rumi Otsuki¹, Yuichiro Hayakawa¹,
Minami Kaneko³, Ken Saito³, Katsutoshi Saeki³, Fumio Uchikoba³

Abstract: In recent years, researches on microrobots have been actively conducted. We developed a quadruped walking MEMS microrobot mounted with an artificial neural networks IC as a prior research. The microrobot drives the actuator under the control of the IC to realize the walking motion at 24.6 mm / min. However, there was a problem that the weight of the microrobot body and the weight of the control base are close and weight balance is bad. In this research, we investigated a microrobot that improves the weight balance by integrating an artificial neural networks IC in the microrobot body.

1. はじめに

地球上に存在する数多くの生物は優れた特徴を有している。例えば、蟻などの昆虫は常に 3 脚を接地することにより安定した歩行を実現している。また、哺乳類などの 4 足歩行生物は移動速度に応じて歩容を変化させることにより、効率的な歩行を実現している。これらの生物の優れた特徴を工学的に模倣したバイオミメティクスが注目を集めており、マイクロロボットの開発においても応用されている。

マイクロロボットの実現には機械加工技術による小型化の限界や、制御方法など様々な問題がある。我々は課題解決のために Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)工程と人工ニューラルネットワークを用いた。機構作製においては、半導体製造技術を応用した MEMS 工程を応用することによって、小型かつ高精度での加工を実現した。また、制御機構においては生物の情報伝達機能を工学的に模倣した人工ニューラルネットワークを用いた。

我々は先行研究として、それぞれ独立した脚部を持つ 4 足歩行型 MEMS マイクロロボットを開発した^[1]。このマイクロロボットは人工ニューラルネットワークを集積化して搭載し、4 足歩行動物が持つ歩容である Walk 歩行, Gallop 歩行を実現した。しかしながら、制御に用いた人工ニューラルネットワーク IC は外部にコンデンサを構築するために制御基板が必要であった。そのため、マイクロロボット本体重量が 48.8mg であるのに対し、制御基板重量が 44.7mg と重く重量バランスが不安定という問題が存在した。そこで、本研究では制御基板をマイクロロボットの筐体と一体化することにより、重量バランスの改善の検討を行ったので、ここに報告する。

2. マイクロロボットの構成要素

Figure 1 にマイクロロボットの構成要素を示す。マイクロロボットは天板, 中板, コネクションパーツ, 脚部パーツ, 人工筋肉ワイヤで構成されている。本研究では上記構成要素の天板と人工筋肉ワイヤ以外のパーツを MEMS 工程を用いて作製した。人工筋肉ワイヤは形状記憶合金を基としており、70 度程度の熱を印加、放熱することにより収縮、弛緩運動を生成する。今回は制御回路から出力される電流によって生じるジュール熱を用いて加熱を行う。人工筋肉ワイヤと導線はスポット溶接を用いて接続し、1 つの脚部につき 1 本を用いることによって各脚の独立動作を可能としている。脚部の歩行動作原理は、人工筋肉ワイヤが収縮することにより、脚部が蹴り動作を生成し、弛緩すると前進方向に踏み出し動作を生成する。この際の足先の高低差によって脚部は歩行運動を生成する。

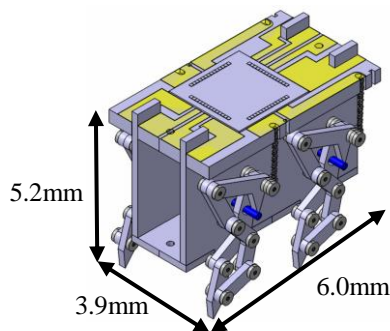


Figure 1. Construction of MEMS microrobot.

3. 低容量型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は生物のニューロンの機能を模倣したものであり、我々はニューロンの中でも細胞体とシナプスの機能をアナログ電子回路で集積

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

化して模倣した。細胞体モデルはパルス波形を出力し、シナプスモデルは複数の細胞体モデルをシナプスモデルを用いて接続することにより、発振タイミングに同相同期、逆相同期現象を生じさせる。従来のモデルは発振周期がコンデンサの容量に依存しており、周期を長くするために IC に対し大きい容量のコンデンサを用いる必要があった。

Figure 2 に本研究で用いたニューロンモデルを示す。Figure 3 に低容量型ニューロンモデルを示す。日本大学の佐伯らによって開発された低容量型人工ニューラルネットワークモデル^[2]は従来の自励振型の細胞体モデルに加え、他励振型の細胞体モデルも用いて間質細胞体モデルを構成している。間質細胞体モデルの発火原理は Self-Osc が発火した後 S_1 が発火し、Self-Osc の発火を抑制する。次に S_2 が発火し Self-Osc を抑制、 S_3 も同様に発火を抑制する。この繰り返しによって Self-Osc の発火を抑制することにより、容量の大きいコンデンサを用いずに長周期を実現している。我々は間質細胞モデルを用いて生物の周期的な運動パターン生成を担っている CPG モデルを構成した。CPG モデルは間質細胞モデルを 12 個の抑制性シナプスモデルを用いて相互接続することにより、4 相の逆相同期波形を出力することができる。

我々は CPG モデルの集積化を行った。Figure 4 に低容量型人工ニューラルネットワーク IC のレイアウト図を示す。レイアウトルールには $0.8\mu\text{m}$ CMOS プロセスを用いた。IC には電流増幅を目的としてカレントミラー回路を構築した。

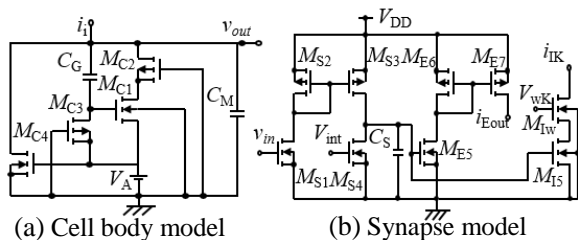


Figure 2. Circuit diagram of neuron model.

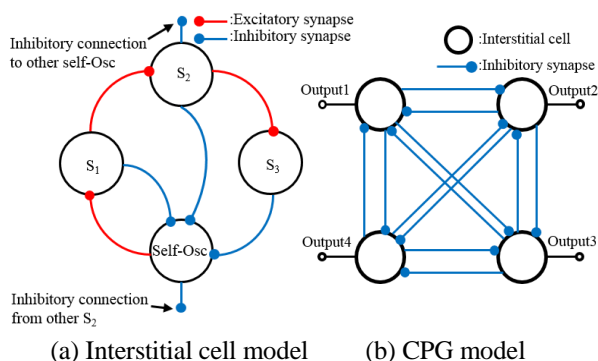


Figure 3. Low capacity type CPG model.

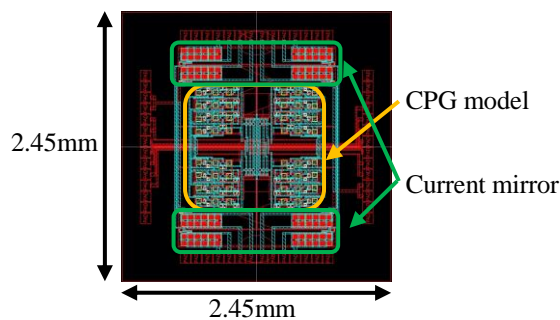


Figure 4. Layout pattern of designed IC.

4. 結果

Figure 4 (a)に作製した搭載回路を示す。搭載回路にはガラスエポキシ基板を用い、IC との導通にはワイヤーボンディングによって行った。Figure 5 に測定結果の波形を示す。測定条件として、人工筋肉ワイヤの仮想抵抗として 10Ω を出力に接続し測定した。結果として、搭載基板を用いて波形の出力を実現した。

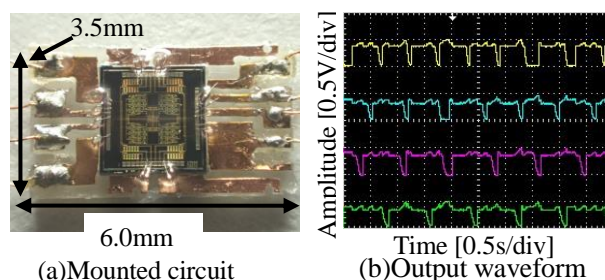


Figure 4. Mounted circuit and output waveform

5. まとめ

本論文では、筐体に人工ニューラルネットワーク IC を一体化したマイクロロボットの検討のために搭載基板を作製した。結果として、搭載基板を用いて波形の出力を確認した。今後は歩行動作生成に必要な波形パターンを出力するために電源電圧の調整を行う。そしてマイクロロボットへの搭載を行う予定である。

6. 参考文献

[1] 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.380-386, 2018
 [2] K. Saeki, D. Nihei, T. Tatebe, Y. Sekine.: “IC implementation of an interstitial cell-based CPG model”, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol.81, Issue 3, pp.551-559, 2014