

## M-4

## 独立脚によって昆虫を模倣した人工ニューラルネットワーク IC 搭載型 MEMS マイクロロボット Artificial Neural Networks IC Mounted MEMS Microrobot that Imitated Insects by Independent Legs

○田中泰介<sup>2</sup>, 大野悟<sup>1</sup>, 野口大輔<sup>1</sup>, 早川雄一朗<sup>1</sup>, 河村慧史<sup>2</sup>, 田中大介<sup>2</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>

\*Taisuke Tanaka<sup>2</sup>, Satoru Ohno<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Yuichiro Hayakawa<sup>1</sup>, Satoshi Kawamura<sup>2</sup>, Daisuke Tanaka<sup>2</sup>,  
Minami Kaneko<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>

Abstract: This paper discusses a MEMS microrobot mimic insects by independent legs. The components of the microrobot are fabricated by micro electro mechanical system (MEMS) process. Artificial muscle wire based on shape memory alloy (SMA) is used for the actuator, and the shrink and extend of the artificial muscle wire is transformed into the pedaling foot step motion by the newly developed four-bar link mechanism. As a control circuit of a microrobot, an artificial neural networks IC that mimics the function of a neural network of a organisms is used. All components except for the power supply were mounted, and walking was realized at 27 [mm / min].

### 1. はじめに

昆虫は小型な体躯でありながら、優れた特徴や機構を有している。この昆虫の優れた特徴を模倣し、工学などの分野で応用するバイオメティクスが注目を集めている。マイクロロボットの研究においても、昆虫を模倣したものが多く発表<sup>[1]</sup>されており、バイオメティクスをマイクロロボットの研究に適用することには有用である。この昆虫を模倣したマイクロロボットが実現すれば、災害現場など様々な現場での活躍が期待される。

我々は昆虫の小型な機構と優れた判断機能を模倣するために Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)工程と人工ニューラルネットワークをマイクロロボットの開発に適用した。機構では、MEMS 工程を用いることにより、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高精度な加工が可能となった。また、制御回路においては柔軟な制御を実現するために、生物の神経細胞の機能を模倣した人工ニューラルネットワークを IC に集積化して用いた。

先行研究として、我々は 3 脚をリンク機構を用いて接続した 6 足歩行型 MEMS マイクロロボットを開発<sup>[2]</sup>した。このマイクロロボットは小型でありながら、人工ニューラルネットワーク IC を搭載し、昆虫のように常に 3 点を接地しながらの歩行を実現した。しかし、実際の昆虫の脚部はそれぞれ独立しており、昆虫を模倣しているとは言い難い。そこで、本研究では新たに開発した独立脚部機構を用いて昆虫を模倣した 3 点接地歩行と人工ニューラルネットワークを搭載しての制御を実現したので報告する。

### 2. MEMS マイクロロボット

Figure 1 にマイクロロボットの構成を示す。マイクロロボットは主に本体パーツ、脚部パーツ、人工筋肉ワイヤで構成されている。人工筋肉ワイヤは形状記憶合金を基としており、熱を加えることによって収縮運動を生成し、自然放熱によって弛緩する。人工筋肉ワイヤと導線はスポット溶接により接続した。1 つの脚部につき、1 本の人工筋肉ワイヤを接続することにより、各脚の独立した動作を可能としている。脚部先端部は中足と前後足で異なる長さのパーツを用いている。Figure 2 に脚部機構の動作原理を示す。人工筋肉ワイヤが収縮することにより、足先が地面を蹴り上げ、弛緩すると前進方向に移動する。この際の足先の高低差により、脚部は歩行動作を生成する。

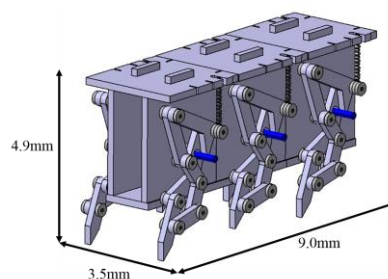


Figure 1. Construction of MEMS microrobot.

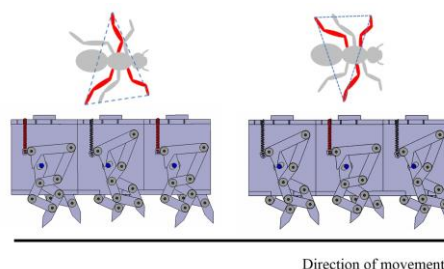


Figure 2. Operating principle of the leg link mechanism.

### 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は生物の神経細胞の機能に着目し、アナログ電子回路で模倣したものである。Figure 3(a)(b)に人工ニューラルネットワークの構成要素である細胞体モデルと抑制性シナプスモデルを示す。細胞体モデルは細胞体の不応期、閾値、活動電位を模倣しており、パルス波形を出力する。シナプスモデルはシナプスの時空間加算特性を有しており、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と、発振タイミングに同期現象を生じさせる。今回用いる抑制性シナプスモデルは細胞体の発火を抑制することにより、逆相同期現象を生じさせる。

我々は細胞体モデルと抑制性シナプスモデルを用いて CPG モデルを構築した。Figure 4 に CPG モデルを示す。CPG モデルは生物の周期的な運動パターンを生成する回路であり、4 個の細胞体モデルを 12 個の抑制性シナプスモデルで相互抑制することによって構築した。この回路を IC に集積化してマイクロロボットの制御回路として用いた。Figure 5 に IC のレイアウト図と CPG モデルの出力波形例を示す。細胞体モデルのコンデンサ  $C_G$ ,  $C_M$  は IC に対し容量が大きいため、搭載基盤に構築した。また IC の出力の内、2 つの出力をそれぞれ 3 脚に印可することにより、歩行パターンを生成した。その際、出力電流を増幅するために MOSFET を用いた。

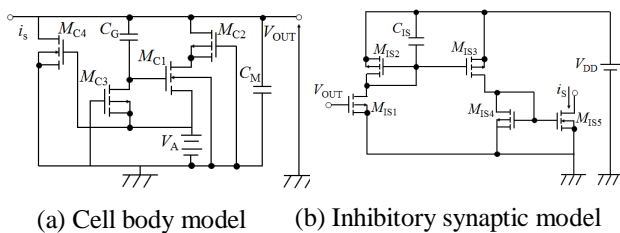


Figure 3. Circuit diagram of neuron model.

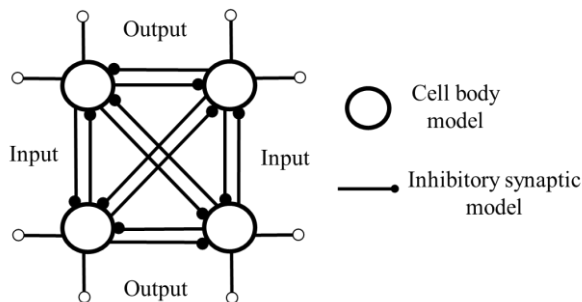


Figure 4. CPG model.

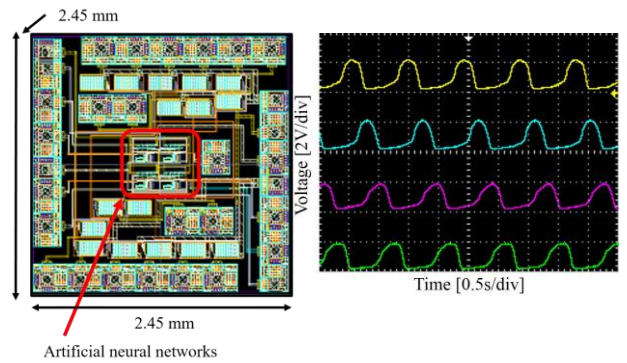


Figure 5. Layout pattern of designed IC and example of output waveform.

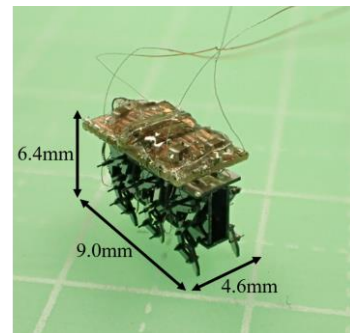


Figure 6. The hexapod microrobot developed in this study.

Figure 6 に作製した独立脚型 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 IC を搭載した状態での歩行を確認した。

### 4. まとめ

本論文では、独立脚を持つ人工ニューラルネットワーク IC を搭載した MEMS マイクロロボットを開発を行った。マイクロロボットは回路を搭載したことにより、縦 9.0[mm]、横 4.6[mm]、高さ 6.4[mm]となった。結果として、電源以外の要素を搭載し、歩行を実現した。歩行速度は 27[mm/min]であった。

### 5. 参考文献

- [1]D. Vogtmann, R. S. Pierre, and S. Bergbreiter, I. Paprotny : “A 25 mg magnetically actuated microrobot walking at 5 body length /sec”, IEEE Conference Proceedings, Vol.2017, pp179-182, 2017.
- [2]K. Sugita, T. Tanaka, Y. Nakata, M. Takato, K. Saito, and F. Uchikoba : “Hexapod type MEMS microrobot equipped with an artificial neural networks IC”, International conference on artificial life and robotics, pp225-228, 2017.