

## MEMS 技術を応用した圧電駆動型マイクロロボットの開発

## Development of Piezoelectric Driven Microrobot Applying MEMS Technology

○多谷 大樹<sup>1</sup>,石原 優毅<sup>1</sup>,奥 大純<sup>1</sup>,高藤 美泉<sup>2</sup>,齊藤 健<sup>2</sup>,内木場 文男<sup>2</sup>  
\*Masaki Tatani<sup>1</sup>, Yuki Ishihara<sup>1</sup>, Hirozumi Oku<sup>1</sup>, Minami Takatou<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>2</sup>, Uchikoba Fumio<sup>2</sup>

Abstract: This paper reports a development of piezoelectric driven microrobot applying MEMS technology. The parts of the robot consist of six legs, body frames, link mechanism and piezoelectric actuators. These components are fabricated by micro electro mechanical systems (MEMS) technology. Actuator realized the rotational motion by impact of the piezoelectric element the rotor. The robot was controlled by artificial neuron model (ANM). The size of the robot was 4.0, 4.6, 3.6 mm, width, length, height, respectively. The microrobot showed walking at the speed of 180mm/min. when connected discrete ANM circuit.

## 1. 背景

近年、マイクロロボットの研究開発が活発におこなわれているが、医療分野における血管内の医療補助や、精密機械分野における配管内部でのメンテナンス作業などへの適用にはさらなる小型化と高機能化が必要である。そこで、ロボットの作製方法を従来の機械加工技術から、半導体製造技術を応用したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems)技術へと転換し、ロボットの小型化を実現した研究が報告されている<sup>[1]</sup>。また、ロボットの駆動源として圧電素子を用いるものが研究されており、アクチュエータの高機能化が進んでいる<sup>[2]</sup>。

現在のロボットはソフトウェアプログラムを基にしたデジタルシステムで制御するのが主流だが、予測のできない事象に対してプログラムを基にした制御では対応が困難である。その一方で、昆虫などの生物はシンプルなニューラルネットワークを用いて周囲の環境の変化に合わせて柔軟に対応できている。そこで、Artificial neural networks(ANNs) と呼ばれる生物の脳を模倣した制御システムが研究されている。

我々は過去にこのANNsをデジタルシステムに代わる新しい制御システムとして、昆虫を模倣した六足歩行型のMEMSマイクロロボットに搭載した<sup>[3]</sup>。アクチュエータには人工筋肉ワイヤと呼ばれる、形状記憶合金を用い、これは通電時に発生するジュール熱を利用して伸縮する。この時の電流の制御にANNsを用いた。しかし人工筋肉ワイヤは高トルクなアクチュエータを構成できるメリットがある反面、消費電力が大きいというデメリットも存在した。また、アクチュエータ

自体が熱を持つため、長時間の駆動が困難である。

そこで我々は、長時間駆動が可能かつ、省電力性に優れる圧電駆動型アクチュエータを開発し、マイクロロボットに搭載した。ロボットとアクチュエータの作製には MEMS 技術を用い、このロボットの制御は Artificial neural model (ANM)を用いて行ったので報告する。

## 2. マイクロロボットの設計と作製方法

Figure 1に設計した圧電駆動型MEMSマイクロロボットを示す。ロボットは昆虫のような六本の足を持ち、アクチュエータとリンク機構が接続されることで六足歩行を実現する。また、ロボットは常に三点が地面に接地しているため、安定した歩行が可能である。

アクチュエータの駆動源には圧電素子を用い、電圧を印加した際の素子の伸縮運動によって素子の先端に取り付けられたインパクトヘッドがロータを叩き、その際に生じた衝撃力を回転運動に変換する仕組みとなっている。また、ロータの安定した回転を実現するため、リム構造をロータとインパクトヘッドに施す。

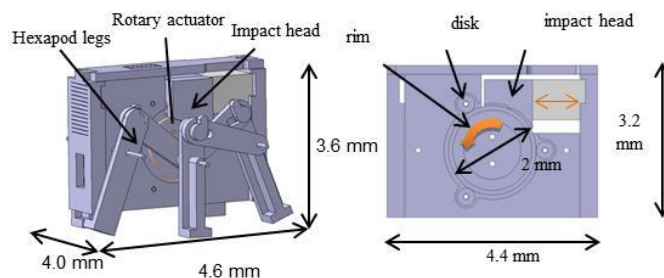


Figure1 Design of MEMS microrobot and actuator

圧電駆動型マイクロロボットの構成要素は、フォトリソグラフィによってシリコンウェハ上にパターンニングを行い、ICPドライエッチングによって形成した。マイクロロボットの構成要素は、リンク機構とロータの接続に用いたシャフトと圧電素子を除いて、すべてMEMS技術を用いて作製した。

### 3. マイクロロボットの制御回路

開発したマイクロロボットの制御はArtificial Neuron Model(ANM)を用いる。これは脳の信号を、アナログ回路によって模倣したものである。駆動パルスはP-HNM回路によって生成され、回路は閾値と不応期を特徴とし、連続パルスを生成する。そして、生成された連続パルスを圧電素子に印加することによって伸縮運動を制御する。

我々はさらに、制御システムをロボットに搭載するため、ANMのIC化を検討した。ベアチップICのサイズは1.93[mm]角であり、このベアチップICに付帯回路を取り付け制御システムとし、ロボットに搭載する。ベアチップICと付帯回路の大きさは合わせて5.5×6.0[mm]とする。

### 4. 結果と考察

構成要素はMEMS技術を用いて作製し、パーツの寸法誤差を測定した結果、 $\pm 5[\mu\text{m}]$ 以内に収まった。これはロボットを組み立てるのに十分な精度である。

また、ANM回路のIC化を行い、制御システムの小型化及び、ロボットへの搭載を行った。ベアチップICと付帯回路の大きさは合わせて5.5×6.0[mm]、出力電圧は3[V]、制御システムの重量は82[mg]である。

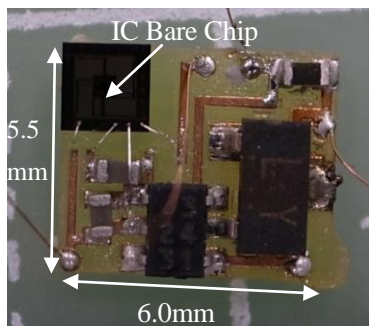


Figure2 ANM circuit

ロボットへの搭載の結果、空中での歩行動作を確認したが、実際の歩行には至らなかった。しかし、ANM

ディスクリット回路に接続したところ、25[kHz]、電圧20[V]で歩行速度180[mm/min]を実現した。この要因としては、小型回路の出力電圧が低かったため、ロボットを駆動するための十分なトルクが得られなかったためと考えられる。

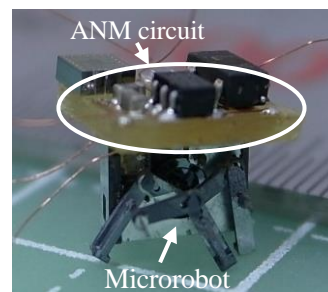


Figure 3 Microrobot of ANM circuit when mounting

### 5. 結論

本論文では、圧電駆動型マイクロロボットの研究を行った。作製したロボットのサイズは4.0×4.6×3.6[mm]であり、構成要素はMEMS技術を用いて作製した。ロボットはANM IC及び付帯回路を搭載したところ、空中での歩行動作を確認し、ディスクリット回路に接続したところ歩行速度180[mm/min]を実現した。

### 謝辞

本研究は日本大学のマイクロ機能デバイス研究センター及びCST研究プロジェクトの支援を受けました。日本学術振興会科研費補助金25420226の支援を受けました。

### 参考文献

- [1] E. Edqvist, N Snis, R C. Mohr et al : "Evaluation of building technology for mass producible millimeter-sized robots using flexible printed circuit boards", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.19, No.7 p.11 2009.
- [2] Y. Okamoto, R. Yoshida, and H. Sneyoshi, "The Development of a smooth Impact Drive Mechanism(SIDM) Using a Piezo electric Element" Konica Minolta Technology Report 1 (2004): 23
- [3] Ken Saito, Kazuto Okazaki, Tatuya Ogiwara, Katsutosi Saeki, Sekine Yoshihumi, Humio Uchikoba, the journal of The institute of Electrical Engineers of Japan. C, Vol.133, No.7, pp1094-1100, 2012.7.