

K6-21

摩擦駆動型 MEMS ロータリーアクチュエータを用いたマイクロロボットの開発

Development of Microrobot with Built-in Friction Driven MEMS Rotary Actuator

○奥 大純¹, 多谷 大樹¹, 高藤 美泉², 齊藤 健², 内木場 文男²*Hirozumi Oku¹, Masaki Tatani¹, Minami Takato², Ken Saito², Fumio Uchikoba²

Abstract: This paper reports a microrobot with a built-in friction driven MEMS rotary actuator. Components of the microrobot were fabricated by MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) technology. Microrobot is composed of an actuator and legs. Rotational movement of the actuator is generated by vibration of the piezoelectric element. Using a link mechanism in the leg, it mimics the six-legged insects. Dimensions of the fabricated micro-robot are $4.0 \times 3.8 \times 4.8$ mm. The developed microrobot shows the walking motion of 150 rpm at an applied voltage 10 V and the input frequency was 38 kHz.

1. はじめに

加工技術の発達に伴いロボットの小型が進められ、サブミリメートルサイズの機構を持ったマイクロロボットは、精密機械のメンテナンスや医療分野などに応用が期待されている。しかし、従来の機械加工技術では、サブミリメートルサイズの部品を加工することが困難であるため、IC 製造プロセスに基づいた微小電気機械システム (Micro Electro Mechanical Systems : MEMS) 技術が注目されている。また、マイクロロボットの実現のためにはミリメートルサイズのアクチュエータが必要になる。MEMS 技術によるマイクロアクチュエータの研究が報告されており^[1]、駆動系に圧電素子を用いたものが研究されている^[2]。圧電素子を用いることによって小型化が可能となる一方、変位量が小さいためにマイクロロボットでは長ストロークを得るために複数個組み合わせることが多かった。そこで、圧電素子を用いて摩擦と慣性を利用したストロークに制限の無いスムーズインパクト駆動機構 (Smooth Impact Drive Mechanism : SIDM) が報告されており、実用化に至っている^[3]。ただし、SIDM は従来の機械加工技術が用いられていて MEMS 技術の適用はされていない。

本研究では、SIDM の原理を適用して駆動力に摩擦と慣性を利用した摩擦駆動型 MEMS ロータリーアクチュエータとこれを用いたマイクロロボットを開発した。アクチュエータの回転運動は積層圧電素子の振動により生成し、マイクロロボットの脚部にリンク機構を用いることで昆虫の 6 足歩行を模倣する。マイクロロボットの構成要素は MEMS 技術により作製することで小型化を実現する。本論文では、開発したアクチュエータ及び、マイクロロボットについて報告する。

2. 設計と機構

Figure 1(a)に摩擦駆動型 MEMS ロータリーアクチュ

エータの概略図、(b)に印加電圧と回転の原理、Figure 2 にマイクロロボットの概略図を示す。アクチュエータの設計サイズは $1.0 \times 3.2 \times 4.4$ mm である。本体フレームに積層圧電素子を固定し、摩擦ヘッドをロータの側面と接するように圧電素子に取り付ける。アクチュエータの駆動機構にはロータと摩擦ヘッドの間に生じる摩擦と慣性を利用した。駆動波形にのこぎり波を用いることでロータは慣性力によって留まり、摩擦力によって回転する。この時、慣性力が摩擦力より小さいことが駆動条件となる。積層圧電素子は 6V の印加電圧で 110nm の変位を得る低電圧駆動の素子を用いた。アクチュエータに脚部を取り付けたマイクロロボットの設計サイズは $4.0 \times 3.8 \times 4.8$ mm である。マイクロロボットの脚部にはリンク機構を用いる。中脚はアクチュエータと軸で接続するためアクチュエータの回転と同位相となる。前後の脚はリンクによって中脚と接続しているため中脚と逆方向の動きをする。左右の中脚を 180° 位相のずれた位置に取り付けることで片側 1 本と反対側 2 本の脚が同時に動き、常に 3 点で支えられた歩行を行う昆虫の 6 足歩行動作を再現した。マイクロロボットに用いる各パーツは MEMS 技術により単結晶シリコンウェハから作製した。

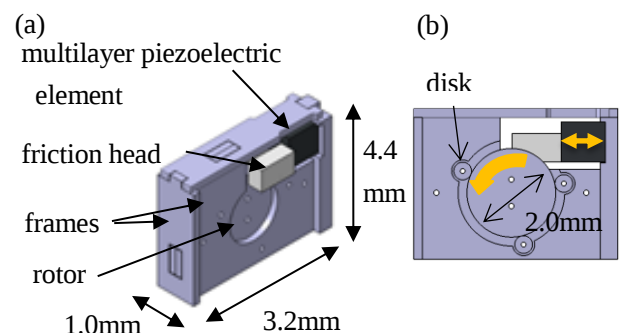


Figure 1. (a) Friction driven MEMS rotary actuator
(b) Rotational mechanism

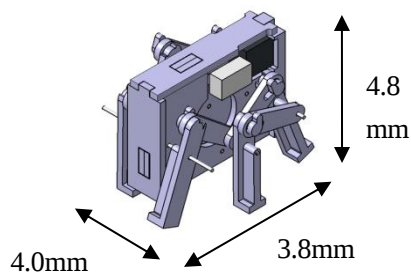


Figure 2. Microrobot

3. 結果と考察

Figure 3 に作製した部品及び摩擦駆動型 MEMS ロータリーアクチュエータを示す。作製した部品の寸法誤差は、光共焦点顕微鏡で測定した結果、 $\pm 5\mu\text{m}$ であった。作製したアクチュエータのサイズは $1.0 \times 3.2 \times 4.4\text{mm}$ であった。ロータと摩擦ヘッド間の摩擦力の計算結果は $0.36 \times 10^{-9}\text{ N}$ 、慣性力は $0.62 \times 10^{-15}\text{ N}$ であり、慣性力が摩擦力より小さいため回転が可能となる。作製したアクチュエータは、印加電圧 10V、周波数 36kHz で 114rpm の回転動作を示した。

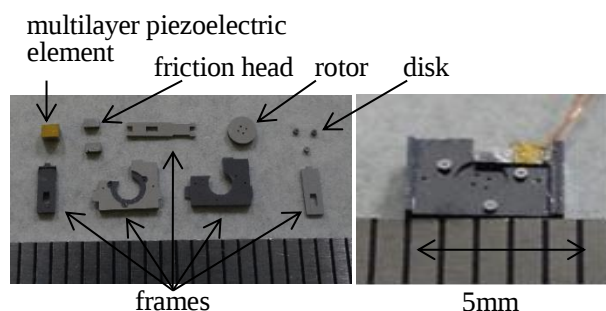


Figure 3. Fabricated components and the assembled friction drive MEMS rotary actuator

Figure 4 に作製したマイクロロボットを示す。作製したマイクロロボットのサイズは $4.0 \times 3.8 \times 4.8\text{mm}$ であり、無負荷時に印加電圧 10V、周波数 38kHz ののこぎり波で 150rpm の歩行動作を示した。

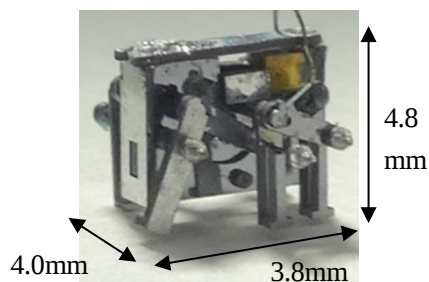


Figure 4. Fabricated microrobot

今回作製したマイクロロボットは空中では歩行動作を確認できたが地面に接地した状態では歩行動作を確

認できなかった。これは、アクチュエータの作製において摩擦ヘッドの位置決めを手で調整しているため、作製したアクチュエータにおいて回転運動が安定せず、回転速度にバラつきが発生したため脚を動かす力を出せなかったことが原因だと考えられる。このことから摩擦ヘッドの位置決めガイド機構を用い、側面から押さえつけることで摩擦ヘッドとロータの接触を安定させることでアクチュエータの回転が安定し、接地状態での歩行が可能であると考えられる。

4. 結論

本論文では、摩擦駆動型 MEMS ロータリーアクチュエータを用いたマイクロロボットの開発を行った。マイクロロボットに用いるアクチュエータのサイズは $1.0 \times 3.2 \times 4.4\text{mm}$ であり、アクチュエータの構成要素は MEMS 技術により作製することで小型化を実現した。回転運動は、積層圧電素子の伸縮を摩擦ヘッドを介してロータの回転とし、印加電圧 10V、周波数 36kHz ののこぎり波で 114rpm に達した。また、これを用いたマイクロロボットのサイズは $4.0 \times 3.8 \times 4.8\text{mm}$ であり、無負荷時に印加電圧 10V、周波数 38kHz ののこぎり波で 150rpm を示した。

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の支援を受けました。本研究は、日本大学の CST 研究プロジェクトの支援を受けました。本研究は、日本学術振興会科研費補助金 25420226 標本作製の支援を受けました。

参考文献

- [1] M. Esashi, "MEMS Using Micro Actuator" Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.111, No.1072, pp.184-185, March, 2008
- [2] D. Kwon, J. S. Yoo, Y. J. Yun, J. S. Lee, S. H. Kang and K. J. Lim, "A research on the piezoelectric vibration actuator for mobile phone," Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, Kitakyusyu, vol. 3, pp. 676-678, June, 2005.
- [3] R. Yoshida, Y. Okamoto, T. Higuchi, and, A. Hamamatsu "Development of Smooth Impact Drive Mechanism (SIDM): Proposal of Driving Mechanism and Basic Performance." Precision Engineering Journal 65.1 (1999): 111-115.