

ニューラルネットワークを搭載した昆虫型 MEMS マイクロロボットの研究

Study on Insect Type MEMS Micro Robot with Neural Networks

○内木場 文男¹, 木村 元昭², 高橋 芳浩³, 佐伯 勝敏³, 齊藤 健¹
 *Fumio Uchikoba¹, Motoaki Kimura², Yoshihiro Takahashi³, Katsutoshi Saeki³, Ken Saito¹

Abstract: Insect type microrobot with neural networks is reported in this paper. Different from conventional technology, the robot component is fabricated by micro electro mechanical systems (MEMS). This technology contributes to extreme size reduction and high accuracy forming of the component. Also, making use of piezo element and MEMS mechanism, millimeter size rotary actuator is built in the microrobot. As a challenging development, the robot is controlled by hardware neural networks system (HNNs). The developed HNNs reproduce the same basic features of biological neurons. We produce the HNNs system on CMOS IC of less than 2mm square. The size of the mechanical part is 4.0, 4.6, 3.6 mm and circuit board with bare chip IC is 5.5, 6.0, 2.0mm, width, length, height, respectively. The microrobot shows foot step similar to the real insect.

1. はじめに

昆虫を模倣したマイクロロボットは最先端研究として世界的に注目を浴びている。たとえば医療分野など人類の健康を支える有力な応用が示唆されている。そのため多くの機関が活発に研究を展開しているが、必ずしも順調に進んではいない。昆虫の運動を再現するものでは、マイクロロボットといっても数センチメートルのものであったり、本研究と同程度の全長が数ミリメートルのものでは、磁力、静電気力などの外部の力を借りたり、あるいは振動によって移動を実現する現実の昆虫とは掛けはなれたものばかりであった。

全長数ミリメートル程度マイクロロボットを実現するための困難はそのサイズにある。ロボットを構成する部品はサブmmにまで小さくなり、許容寸法誤差は数 μm になる。また、電磁モータなどの実績ある動力装置は使えない。システムを動かすためのエネルギー源に現存する電池を用いることは現実的ではない。

我々が実現した昆虫型マイクロロボットは、構成部品の製作に従来の加工法を適用せず、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いた。この技術は半導体 IC 製造技術を機械部品の製作に適用するもので、材質はシリコンに限られる反面、微細部品を精度良く加工することができる。あわせて、動力源には電磁モータを用いず、材料自体が伸縮する機能性材料を用いた。

本研究では、生物の脳を電子回路で模倣したハードウェアニューラルネットワーク(HNNs)を適用したことがもうひとつの特徴になる。マイクロロボットに限らず従来のロボットにおいては、マイクロプロセッサとソフトウェアプログラム組み合わせによるディジ

タル制御がほぼ独占的に用いられる。しかしながら、実際の生物においてはデジタル制御とはまったく異なるニューラルネットワーク(NNs)で構成される。我々が開発したHNNsは実際の生物の脳を模倣したものであり、脳がもつさまざまな機能発現が期待できる。HNNsは通常電子基板に個々の電子部品で形成するのでマイクロロボット搭載するには小型化の壁があった。この問題に対してはマイクロロボットに適したHNNs回路を開発し、集積回路(IC)にすることによって搭載可能なシステムにまで小型化することに成功をした。

前述した小型化の課題を MEMS 技術による機構部品製作と HNNs 回路の IC 開発によって解決した。その結果、全長 6 [mm]程度の超小型でエネルギー源以外をすべて搭載するのマイクロロボットを実現した。このロボットは昆虫と同じように 6 足をもち、歩行動作を実現する。

2. 昆虫型マイクロロボットの動力源・機械機構

以前の研究では形状記憶合金の一種である人工筋肉ワイヤを用いたが[1]、本研究では圧電材料を積層した積層圧電セラミックスを用いた動力源を開発した。圧電セラミック素子は電圧を印加することによって伸張をする電圧印加型であり、消費電力が小さく応答性に優れる。積層圧電セラミック素子にシリコンで形成したヘッドを接続し、矩形波電圧を印加することによって連続的にロータを打撃し回転運動を得る。図 1 にその機構を示す。あわせて図 2 にリンク機構を示す。リンク機構はアクチュエータの回転運動を昆虫の歩行運動に変換をする。軸には超硬の丸棒を用い、その他は MEMS 技術によって作製した。

1 : 日本大学・教員・精機 2 : 日大理工・教員・機械 3 : 日大理工・教員・子情

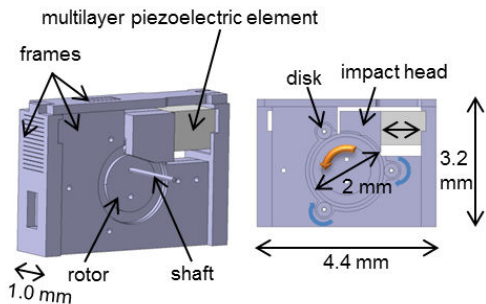


Figure 1 Impact type rotary actuator by piezo element.

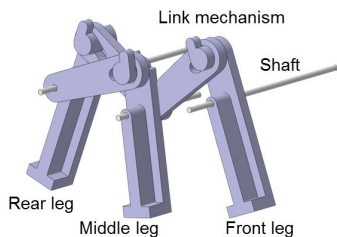


Figure 2 Link mechanism of Microrobot.

3. HNNs と IC 化

生物の脳を電子回路で模倣したパルスタイプHNNs (p-HNNs) を昆虫型マイクロロボットに搭載した。開発した回路は生物の単体のニューロンをモデル化し、生物の脳の神経組織の特徴である非同期発信、閾値、不応期を再現した。それまで10 [cm]角程度の電子基板上に回路を形成していたが、マイクロロボットに搭載するために回路のIC化を行った。パターン設計を我々が実施し、IC作製は外部に委託をした。ICは2 [mm]程度のチップサイズで得ることができた。なるべく小さなサイズでロボットに搭載するため、ICはベアチップのまま用いた。

4. 昆虫型マイクロロボットと評価

図3に示すように電池以外のものをすべて搭載したマイクロロボット開発することができた。ロボット本体の大きさは4.0×4.6×3.6[mm]であり、ベアチップICを搭載した付帯回路を搭載した基板の大きさがもっとも大きく5.5×6.0×2.0 [mm]であった。しかしながら現段階では自走するまでにはいたっていない。ロボットをさかさまにして無付加の状態にすると、ロボットはスムーズに歩行運動を示した。ICの代わりに基板レベルのHNNsを接続して評価した。電圧20[V]、周波数25[kHz]でロボットを駆動した場合、歩行速度180[mm/min]を実現した。ICの出力電圧を大きくすることで自走することを示唆している。

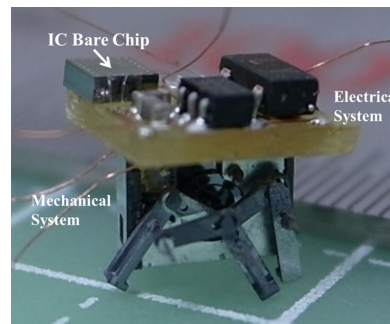


Figure 3 Microrobot with bare chip p-HNNs IC.

開発をしたマイクロロボットにはエネルギー源が搭載されていない。図3のワイヤは電源に接続される。マイクロロボットの無索化のためにはエネルギー源の内蔵が課題として残る。これに対して、電磁誘導によるワイヤレス電力伝送に取り組んでいる。この方式はコードレス電話などの充電器に見られ、電子部品のトランスの1次側と2次側を分断したものに相当する。電磁誘導によって電力を1次側から2次側に伝送できる。一般的には磁性体コアに巻線を施すので、サイズは大きく、マイクロロボットに搭載するためには小型化が必要になる。この課題に対して我々は巻線を印刷技術によって形成し、磁性体コアと一体形成する積層セラミック技術で小型化を進めている。現状では直径 25 [mm]で2.4[W]程度の伝送までできるようになった。

5. 結論

昆虫型マイクロロボットの研究開発について報告をした。MEMS 技術と機能性材料で作製したロボット本体のサイズは4.0×4.6×3.6[mm]であった。一方で生物の脳神経を模した HNNs 回路を開発して IC 化をした。チップサイズは 2[mm]以下であり、付帯回路を含め5.5×6.0[mm]の基板に搭載した。電源以外をすべて搭載したマイクロロボットは無負荷状態で昆虫の歩行動作を実現した。

謝辞

本研究は平成24年度「理工学部プロジェクト研究」のテーマとして実施された。プロジェクト研究の機会を提供していただいたことに感謝する。

参考文献

- [1] K. Okazaki, T. Ogiwara, D. Yang, K. Sakata, K. Saito, Y. Sekine, F. Uchikoba, "Development of pulse control type MEMS micro robot with hardware neural network", *Artificial Life and Robotics* vol.16, No. 2, pp. 229-233 2011.