K6-14

電流出力可能な人工ニューラルネットワーク IC により駆動する SMA 型 MEMS マイクロロボット SMA-Type MEMS Microrobot Driven by Artificial Neural Networks Capable of Output Current

○杉田和貴¹, 田中泰介², 仲田友也², 高藤美泉³, 齊藤健³, 内木場文男³ *Kazuki Sugita¹, Taisuke Tanaka², Yuya Nakata², Minami Takato³, Ken Saito³, Fumio Uchikoba³

Abstract: This paper proposes a walking hexapod microrobot that mimics an insect's walking behavior. The robotic component is fabricated by the micro electro mechanical systems (MEMS) process, which is based on the IC production process using silicon wafer. The miniature rotary actuator is constructed from miniature silicon components and an artificial muscle wire based on shape memory alloy (SMA). A rotary motion is generated by successively passing an electric current to the artificial muscle wire. To achieve high-speed operational walking of the MEMS microrobot locomotion by the artificial muscle wire actuator, a two-hole-type rotor with low heat capacity was developed, and its thermal distribution were observed. After externally connecting with a artificial neural network IC controller developed by us, the microrobot traveled at 21.2 mm/min.

1. 緒言

マイクロロボットに関する研究において,更なる小型化は重要な目標の一つである.昆虫のような小型生物がもつ運動機構と柔軟な思考を模倣したマイクロロボットが実現すれば、マイクロロボットの応用範囲の更なる拡大に期待できる。例として、体内での活動が可能なマイクロロボットの実現により、医療技術のいっそうの発展をもたらすと考えられる^{III}.しかしながら、ミリメートル以下のサイズの自律的なマイクロロボットの実現には課題がある.

ロボットの作製には一般的に機械加工技術が用いら れているが、従来の機械加工プロセスによる小型化に は限界がある.また、ロボットの制御システムはソフ トウェアプログラムによるデジタル制御が一般的であ るが、プログラムによる想定の範囲外の状況への対応 は困難である.

我々は,昆虫のような小型な運動機構と柔軟な制御 システムをもつマイクロロボットの実現に向けて,

Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)技術と人工ニ ューラルネットワークを用いたマイクロロボットの研 究を行っている.

本論文では、MEMS マイクロロボットの移動速度の 高速化を目的として、形状記憶合金(SMA)を用いた回 転アクチュエータの熱分布をサーモグラフィにより観 察し、ロータの熱容量を低減に向けてロータを小型化 した.また、MEMS マイクロロボットと駆動回路を接 続するリード線の配線方法を改善した.より柔軟な制 御システムの搭載に向けて、駆動回路には人工ニュー ラルネットワーク IC を用いた.その結果、人工ニュー ラルネットワークを用いた駆動回路との接続により、 MEMS マイクロロボットの速度 21.2 mm/min の歩行を 実現したので報告する.

2. MEMS マイクロロボット

Figure 1 に SMA 型 MEMS マイクロロボットの構造 を示す.マイクロロボットの構成要素は、フレーム、 回転アクチュエータ、脚部からなる. それぞれのパー ツは MEMS 技術を用いてシリコンウェハにフォトリ ソグラフィを適用し、作製した. MEMS 技術を用いる ことで従来の機械加工技術では困難であったマイクロ メートルオーダーのパーツの作製を可能とした.回転 アクチュエータには SMA を材料とした人工筋肉ワイ ヤを用いた.人工筋肉ワイヤは導電性ペーストを用い てロータパーツに十字状に接続し、順番に電流を流す ことによる発熱で収縮させ、回転動作を生成した.脚 部はリンク機構で構成し、回転アクチュエータにより 動作する中脚に追随して前後の脚が動作するよう設計 した. 左右の回転アクチュエータの位相を 180 度ずら し、常に3点を接地して歩行する実際の昆虫の動きを 模倣した.



Figure 1. Structure of the microrobot

1:日大理工・院(前)・精機 2:日大理工・学部・精機 3:日大理工・教員・精機

3. 人工ニューラルネットワーク

MEMS マイクロロボットの駆動回路には、より自律 的な制御システムの実現に向けて、生物の脳が出力す るパルス波形を模倣した人工ニューラルネットワーク を用いた.人工ニューラルネットワークは Figure 2 に 示した細胞体モデルと抑制性シナプスモデルから構成 した.細胞体モデルはパルス波形を出力し、相対不応 性、時間的に変化する負性抵抗特性を持つ.また、抑 制性シナプスモデルは生物と同様な時空間的加算特性 を持つ.本研究で用いた人工ニューラルネットワーク は4個の細胞体モデルを12個の抑制性シナプスモデル で全結合して構成した.Figure 3 に人工ニューラルネッ トワーク IC のレイアウト図を示す.



(a) Cell body model (b)

(b) Inhibitory synaptic model

Figure 2. Circuit diagram of the cell body model and the inhibitory synaptic model



Figure 3. Layout pattern of designed IC

4. 結果

Figure 4 に 2 タイプの回転アクチュエータとその熱 分布を示す. Figure 4 (b)に示した小型化したアクチュ エータは温度上昇が抑えられていることを確認した. したがって,従来のパルス幅 0.5 秒の入力波形からパ ルス幅 0.3 秒に周期を短縮し,回転動作の高速化を実 現した.また, Figure 5 に示すように,MEMS マイク ロロボットと駆動回路を接続するリード線をロボット の内部に通すことで,配線長の短縮と安定した重量バ ランスを達成した.

MEMS マイクロロボットの駆動回路は,長さ4 mm, 幅 4 mm, 厚さ 0.8 mm の FR4 基板の表面に人工ニュー ラルネットワーク IC, 裏面にコンデンサを接続して作 製した. MEMS マイクロロボットの駆動に必要な4相の逆相同期波形が得られた.

Figure 6 に人工ニューラルネットワークを用いた駆動回路を接続した MEMS マイクロロボットの歩行動 作の一例を示す.歩行速度は 21.2 mm/min であった.



(a) Disc-shaped rotor

(b) Two-hole-type rotor





Figure 5. Microrobots with different locations of the lead wires



Figure 6. Example of walking motion of the MEMS microrobot

5. まとめ

本論文では, SMA 型 MEMS マイクロロボットの回 転アクチュエータの低熱容量化と配線方法の改善によ り,移動速度の高速化を実現した.人工ニューラルネ ットワーク IC を用いた駆動回路を接続した際の歩行 速度は 21.2 mm/min であった.

6. 参考文献

[1] 中里裕一:「血管内の移動を目的とした管内走行マ イクロロボットの研究・開発」,日本機械学会福祉工学 シンポジウム 2007 講義論文集, pp231-232, 2007.