

K-21

ボタン電池を全長1cmの筐体に内蔵した形状記憶合金アクチュエータ駆動のMEMSマイクロロボットの開発

Development of a MEMS microrobot driven by a shape memory alloy actuator with a button battery built into a 1cm long body.

○大槻み¹, 内木場文男², 金子美泉², 栗飯原萌²

*Rumi Otsuk¹, Fumio Uchikoba², Minami Kaneko², Aibara Megumi²

Abstract: Using a micromachining technology (MEMS) process, we have developed a 1 cm square 6-legged MEMS microrobot that mimics the movement of insects. Along with this, we created a board to be mounted on a 6-legged microrobot and selected the battery required to drive the microrobot.

1. はじめに

近年のロボットの発展は目覚ましいものがある。現在、ロボットは産業用ロボットをはじめとした産業分野で主に活用されているほか、医療や介護、救助、掃除や警備など様々な目的で多種多様なロボットが開発されている。その中でも、ミリメートルサイズ以下のマイクロロボットは産業、医療、保守点検等の狭隘部での用途として今後の発展が期待され、マイクロロボットに関する研究開発が盛んに行われている^[1]。しかし、MEMSマイクロロボットは開発するにあたり、小型化と自立化の両立は難しく課題になっている。

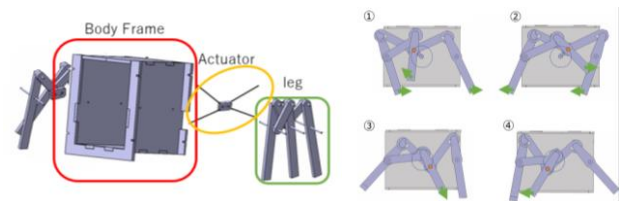
我々は、これまでに小型化をメインとした生物の脳の神経回路網をアナログ電子回路で模倣し集積化した人工ニューラルネットワーク IC を用いて歩行制御を生成、MEMSの微細加工技術を用いて、各脚が独立して動作する1cm以下のサイズの4足歩行型MEMSマイクロロボットを開発した^[2]。その結果、歩行バランスの悪化、外部からの電源供給の選定などの課題が挙げられた。

本論文では、自立化することを目的とした、外部からの電源供給を廃止した昆虫の動きを模倣した電池搭載タイプのマイクロロボットの設計、電池の選定、回路基板の設計を行ったので報告する。

2. 電池搭載MEMSマイクロロボット

電池搭載のマイクロロボットは本体フレーム、脚部機構、形状記憶合金、ロータで構成されている。Figure 1(a)に製作した電池搭載のマイクロロボットの構造を示す。全体の寸法は、全長9.8[mm]、幅11.7[mm]、高さは9.4[mm]となる。電源は本体フレームの空間に設置し、本体パーツはMEMSの微細加工技術のフォトリソグラフィによりシリコンウェハで製作した。脚部の

アクチュエータには形状記憶合金を使用した。形状記憶合金に電流を流すとジュール熱が発生し収縮、通電をやめると自然放熱し弛緩する。アクチュエータに円盤を用意し、円盤の周に放射状に4本の形状記憶合金を接続し、固定した。形状記憶合金に順番に電流を加えて、疑似的な公転運動を行う。円盤の中心を貫く脚部のリンク機構に伝達することで歩行動作を生成する。Figure 1(b)にアクチュエータとリンク機構による脚部の動きを示す。



(a) Body structure (b) Leg mechanism movement

Figure 1. Battery-equipped micro robot

動かすために必要な電源は、マイクロロボットに搭載できる大きさであることと同時に形状記憶合金を収縮させることができること、電池の消耗を考えて出来るだけ消費電流が小さくなること、その時PIC回路の動作電圧4.0[V]を取得できることになる。これらを考慮し、電池の内部抵抗が小さく、電流許容値の大きい、酸化銀電池のSR41W(公称電圧1.55[V]、容量45[mAh])を3直列で用いることとした。また、形状記憶合金の駆動電流は50~100[mA]なので、形状記憶合金には安定して駆動できる範囲で最小となる50~60[mA]となるようにする。まず電池1個に抵抗 R_L [10 Ω]の形状記憶合金を接続し、 R_L 両端の電圧 V を測定して電池の内部抵抗 r_o をFigure 2に示す等価回路から求めた。この時 V_o は電池の1個の開放電圧1.45[V]とした。

$$r_0 = R_L \frac{V_0 - V}{V} \quad (1)$$

結果, V は0.85[V]になり, r_0 は7.1 [Ω]と求められた. このとき形状記憶合金1本に流れる電流を電池の公称電圧を V_c として, (2)式から求めると90.9[mA]となる.

$$I_L = \frac{V_c}{r_0 + R_L} \quad (2)$$

これまでのアクチュエータでは, 形状記憶合金を左右同時に駆動させるため並列接続を行っており, 電流消費と取得電圧の低下が顕著になる. これを考慮し, 形状記憶合金を直列接続に変更し(3)式から求めると57.2[mA]となる.

$$I_{Ls} = \frac{V_c}{r_0 + 2R_L} \quad (3)$$

この時電池から取り出せる電圧 V_{Ls} は(4)式のとおりとなり1.14[V]となる.

$$V_{Ls} = \frac{2R_L}{r_0 + 2R_L} V_c \quad (4)$$

PIC回路を動作させるためには, SR41Wを直列にして, 形状記憶合金による電圧低下も考慮して4.0[V]以上の電圧を確保する必要がある. そのためには, 電圧上乘せのために電池を2個直列に追加すれば4.20[V]になり, 条件を満たすことになる. また追加分の電池はPIC回路の不足分の電圧だけを確保すればよいので, 例えば, リチウムイオン電池1個3.7[V]でもよいことになる.

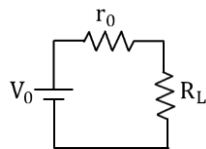


Figure2. schematic

3. マイクロロボットの制御回路

マイクロロボットの制御を行うために, アクチュエータ駆動に必要な両側の8本の形状記憶合金の制御が可能であるPIC12F510を用いた. PICの出力は25[mA]なので, 駆動させるためにトランジスタDSCQ00100Lを用い100[mA]程度に増幅する動作制御回路を製作した. 設計した制御基板回路をFigure 3(a)に, 実際に製作した制御基板回路をFigure 3(b)に示す. 製作した制御基板回路は縦10[mm],横10[mm],スルーホール部分では両面の導通を行っている.

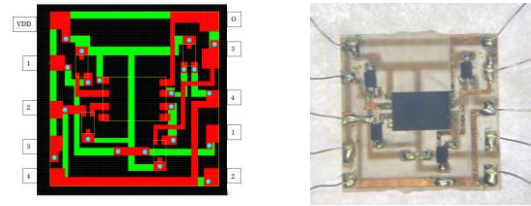


Figure3. control circuit board

4. 結果

製作した制御基板回路でマイクロロボットのアクチュエータの4本の形状記憶合金に通電する電流を発生させた. 電源には3直列のSR41W 4.65[V], 4本に通電する1周期を1[s], 1本あたりの通電波形を0.25[s]とし, その中にパルス幅0.1[s]の方形波を3回含むようにした. 測定した出力波形をFigure 4に示す. 1回あたり3パルスに分割したのは, 形状記憶合金への通電量をできる限り少なくして, 電池の消耗を抑えることが目的である. 計算上は70分程度の稼働が可能になる.

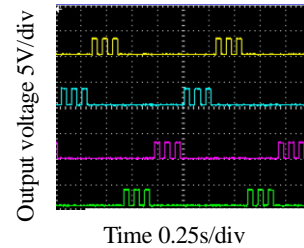


Figure4. Generated movement pattern

5. まとめ

本研究では, 制御回路基板を用いた電池搭載可能なロボットの製作と, ボタン電池を電源として駆動するマイクロロボットの設計を行った. 電池の選定を行い, 製作した制御回路基板で実際に測定した結果, 選定した電池は長時間駆動することが可能であることが確認できた. 今後の課題として, 実際に本体をMEMS工程で製作し電池を内蔵, 歩行試験, また電池の稼働時間の測定を行い小型化, 軽量化の検討を行う.

6. 参考文献

- [1] 福田敏夫, 新井史人, “マイクロマシンの現状と将来”, 日本AEM学会誌, vol.2, No.2, pp.1
- [2] Satoshi Kawamura, Daisuke Tanaka, Taisuke Tanaka, Daisuke Noguchi, Yuichiro Hayakawa, Minami Kaneko, Ken Saito, Fumio Uchikoba, “Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism”, International conference on artificial life and robotics, pp.380-386, 2018