M-3

SMA 駆動 MEMS マイクロロボットに用いる電流出力型人工ニューラルネットワーク IC の発熱観察

Thermal Observation on Current Output-Type Artificial Neural Networks IC for SMA Driven MEMS Microrobot

○田中泰介[1]，仲田友也[1]，杉田和貴[2]，高藤美泉[3]，齊藤健[3]，内木場文男[3]
*Taisuke Tanaka[1], Yuya Nakata[1], Kazuki Sigita[2], Minami Takato[3], Ken Saito[3], Humio Uchikoba[3]

Abstract: This paper discusses thermal mechanisms of the IC that is mounted on the (Micro Electro Mechanical Systems) MEMS microrobot. Artificial neural networks generate the locomotion rhythms of the microrobot, and the microrobot was driven by artificial muscle wire-type actuator. We constructed the artificial neural networks on IC chip. Also current mirror circuits was added, for the actuator is current driven type. The heat distributions in two-type ICs were observed by thermography. As a Result, it is found that causes of heat generation are both the artificial neural networks and the current mirror circuits.

１．はじめに

昆虫は長い年月をかけて生命機能を発達させてきた．そのため昆虫は小さな体で優れた特徴をもっており，生物の中でも様々な状況に対応できるモデルであるといえる．よって，昆虫と同等の機能を持ったマイクロロボットを作製出来れば，様々な状況に対応することが可能であると考えられ，様々な分野での応用が期待される．一例として，医療分野では昆虫のぜん動運動を模倣したマイクロロボットが開発されている[1].

昆虫の代表的な特徴として，小型でありながら自力での移動や状況判断をすることが可能な点が挙げられる．こういった特徴を模倣するため，我々は微細な部品の作製を可能とする MEMS 技術を用いてパーツを作製し，昆虫型の MEMS マイクロロボットを作製している．また，より柔軟な制御システムの実現に向けて生物の脳を模倣した人工ニューラルネットワークを IC 化し，MEMS マイクロロボットに駆動回路に用いる研究に取り組んでいる．

本論文では，アクチュエータに形状記憶合金(SMA)を用いた MEMS マイクロロボットの駆動に向けて，電流出力型の人工ニューラルネットワーク IC を設計した．また，人工ニューラルネットワーク IC の発熱に着目し，熱分布をサーモグラフィを用いて測定し検討したので報告する．

２．MEMS マイクロロボット

SMA 型 MEMS マイクロロボットは脚部, フレーム, ロータで構成した．各パーツは MEMS 技術による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ニングし作製した．回転アクチュエータには SMA を用い，電流を流すことによって発熱し収縮することを利用して回転運動を生成した．脚部はリンク機構によって構築し，3 本の脚がロータの回転に追従することにより歩行動作を生成するよう設計した．

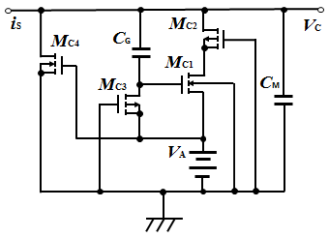
３．人工ニューラルネットワーク

人工ニューラルネットワークを構成する細胞体モデルと抑制性シナプスモデルをそれぞれ Figure 1(a), (b) に示す．我々は，生物の神経回路の細胞体，シナプスの動作に着目し，細胞体，シナプスの機能をアナログ電子回路でモデル化した．細胞体モデルでは活動電位と閾値，不応期，抑制性シナプスモデルでは時空間的加算特性を模倣している．複数の細胞体モデルをシナプスモデルによって相互結合することにより，細胞体モデルの発火タイミングに同期現象が生じる．

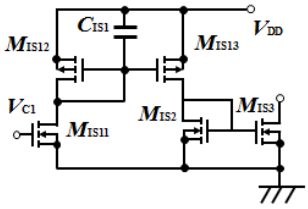
抑制性シナプスモデルで細胞体モデルを相互結合すると，一方の細胞体モデルが発火した際，負の電位が他方の細胞体モデルに印加され，活動電位の上昇が阻害される．よって，細胞体モデルの出力波形にずれが生じて逆相同期現象が生じる．今回，4 個の細胞体モデルを 12 個の抑制性シナプスモデルで相互結合することにより，MEMS マイクロロボットの駆動に必要な 4 相の逆相同期現象を生成した．人工ニューラルネットワークの概念図を Figure 2 に示す．また，Figure3 に人工ニューラルネットワーク IC の出力波形の一例を示す．

Figure 4(a), (b)に我々が設計した 2 種の人工ニューラルネットワーク IC のレイアウト図を示す. 細胞体モデルのコンデンサ C_G, C_M は容量が大きいため外部に接続した．また，MEMS マイクロロボットの駆動に必要な電流を確保するため, ベアチップ IC 上に出力電流を増加する役割を持つカレントミラーを構築した．

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



(a) Circuit diagram of the cell body model



(b) Circuit diagram of the inhibitory synaptic model

Figure 1. Circuit diagram of neuron model

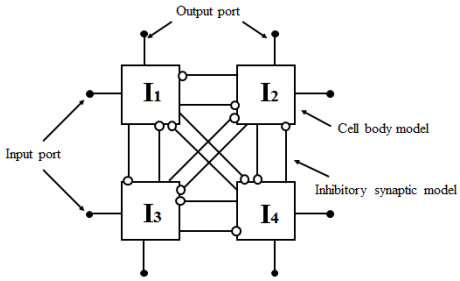


Figure 2. Connection diagram of artificial neural networks

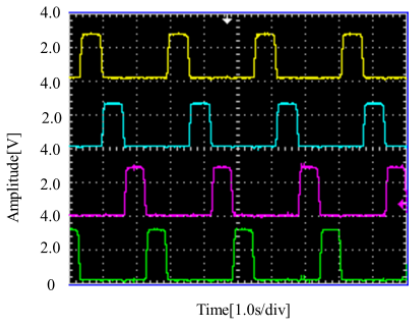
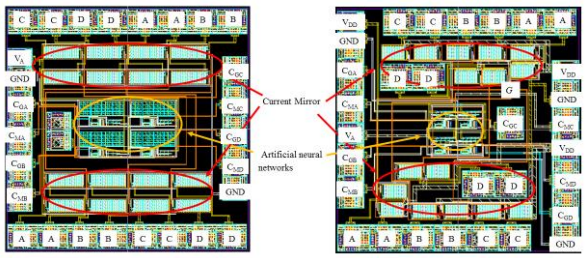


Figure 3. Example of output waveform of artificial neural networks IC



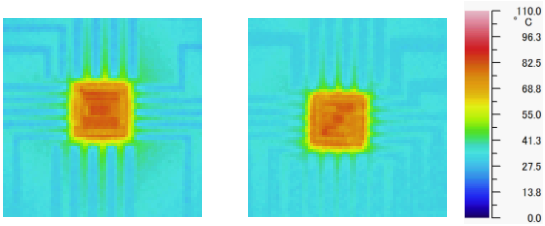
(a) 30 stage of the current mirror circuit　(b) 18 stage of the current mirror circuit

Figure4. Layout pattern of designed IC

今回，我々が設計した 2 種の IC をサーモグラフィで測定した．測定条件はカレントミラーの電源に 4.0V を印加し，出力部に 22Ω の抵抗を接続した．

4．結果

Figure 5 に IC をサーモグラフィで撮影した結果を示す．結果，カレントミラーを 18 段接続して作製した IC のカレントミラーと人工ニューラルネットワークでは最高温度 78.8 度，30 段接続した IC の最高温度はカレントミラーでは 85.5 度，人工ニューラルネットワークでは 85.2 度の発熱を確認した．この熱が生じた原因はアルミ配線が持つ抵抗によって生じるジュール熱と MOSFET による発熱などが考えられる．18 段と 30 段の IC の最高温度に差が生じた原因は，カレントミラーの入力部に入るアルミ配線にあると考えられる．18 段の IC では代表幅 34.9μm，配線長さが 9.6mm であったのに対し，30 段の IC では代表幅が 9μm，配線長さが 1.5mm と差が生じたためである．また，カレントミラー内部のアルミ配線による抵抗をシート抵抗から計算したところ，18 段の IC のカレントミラー単体では 2.062Ω，30 段の IC のカレントミラー単体では 1.237Ω であることがわかった．これらの結果は，2 種の IC の発熱原因のひとつであると考えられる．



(a) 30 stage of the current mirror circuit　(b) 18 stage of the current mirror circuit

Figure 5. Thermal distributions in designed IC

5．まとめ

本論文では，我々が設計した 2 種の IC をサーモグラフィを用いて撮影し，熱分布を測定した．結果として，それぞれの IC が人工ニューラルネットワークとカレントミラー部で発熱していることを確認した．今後はアルミ配線や MOSFET などの発熱原因を検討することにより，発熱を考慮した設計を行う予定である．

6．参考文献

[1] 園部元裕，新井祐治，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」，福祉工学シンポジウム講演論文集 2007，pp231-232，2007