

M-10

MEMS マイクロロボット用の静電センサの容量検出回路に対する検討

A Study on Capacitance Detection Circuit of Electrostatic Sensor for MEMS Microrobot

○榎澤瑠奈¹, 古屋堇¹, 石川真聡¹, 伊藤穂高¹, 加藤真也¹, 山田哲之¹, 森下克幸², 武井裕樹², 齊藤健³*Runa Enosawa¹, Sumire Furuya¹, Masato Ishikawa¹, Hotaka Ito¹, Shinya Kato¹, Noriyuki Yamada¹,Katsuyuki Morishita², Yuki Takei², Ken Saito³

Abstract: We are studying millimeter-sized microrobots that imitate the functions of insects. In this paper, we have developed a capacitance detection circuit of an electrostatic sensor to realize the highly autonomous activities of microrobots. The integration of a sensor to the microrobot could realize to respond to the external environment. The electrostatic sensor changes the capacitance according to the force applied from the tip of the leg. The cell body model that is a detection circuit varies the output frequency by the difference of capacitance. As the result of the circuit simulation, we report that the output frequency of the cell body model could vary according to the capacitance.

1. はじめに

マイクロロボットは災害現場の瓦礫の隙間など、人や大型ロボットの侵入が困難で危険な空間や医療分野での活躍が期待されている。このような活動のためには、自律活動が可能なマイクロロボットの開発が求められる。近年、生物、中でも昆虫の構造や機能を模倣したマイクロロボットの研究が盛んにおこなわれている^[1]。昆虫は、小型でありながら不整地での安定した歩行など様々な環境に対応し、高度な自律活動が可能である。我々は、マイクロロボットに昆虫の脳にあたる制御回路、筋肉にあたるアクチュエータ、感覚器官にあたるセンサ、エネルギー源にあたる電源を搭載した、自律活動可能なマイクロロボットの実現を目指している。これまでに、駆動回路とアクチュエータを搭載したミリメートルサイズのマイクロロボットを開発し、外部電源による駆動に成功した^[2]。

先に我々は、高度な自律活動が可能なマイクロロボットを実現するため、静電センサを開発した。センサをマイクロロボットの脚の先端に搭載することで、外部環境への対応が可能となる。本論文では、静電センサの静電容量検出回路について検討した。回路シミュレーションの結果、センサの静電容量に対する細胞体モデルの出力周波数の変化を確認したので報告する。

2. 昆虫型マイクロロボット

Figure 1(a)に先に我々が開発したミリメートルサイズの昆虫型マイクロロボットを示す。本体・脚部の各パーツはMicro Electro Mechanical Systems (MEMS) の技術を用いて作製した。駆動回路であるニューラルネットワーク集積回路 (Neural Networks Integrated

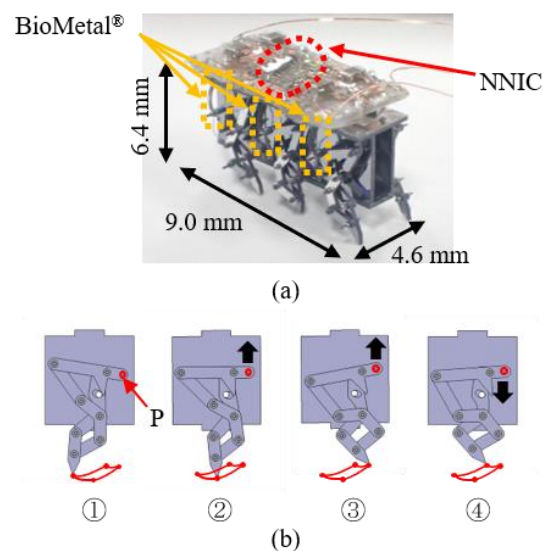


Figure 1. Insect type microrobot (a) Body and components (b) Leg motion

Circuit : 以後 NNIC と略記) と熱により伸縮する形状記憶合金を用いた BioMetal[®]を搭載し、外部電源による歩行に成功した世界最小のマイクロロボットである。Figure 1(b)に脚部の動作を示す。脚部は、P 点の上下運動により①から④のような踏み込み動作をおこなう。

3. 静電センサ

Figure 2 に静電センサを示す。静電センサは、MEMS 工程の 1 つである Silicon on Insulator (SOI) プロセスを用いて作製する。構成は、70 本の櫛歯、ばね、ストッパー、電極 V_D , GND, 可動電極, 固定電極とした。静電センサ動作中のばねの復元力は最大 15.4 mN, 静電気力は最大 1.92 mN であり、可動電極は最大 10 μm 変位する。静電センサは、印加電圧が 50 V のとき、0 mN

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

から 13.5 mN の力を検出可能である。

静電センサは脚の先端に設置し、脚の先端に加わる力を静電容量 C の変化により検出する。したがって、静電センサには常に一定の電圧を印加する必要がある。脚の先端に力が加わっておらず、一定の電圧を印加したとき、可動電極は櫛歯間に働く静電気力とばねの復元力が釣り合う初期位置まで移動し静止する。脚の先端に力が加わったとき、可動電極は静電気力とばねの復元力、脚の先端からの力が釣り合う位置まで移動し静止する。可動電極と固定電極の櫛歯間の距離に応じて静電センサの静電容量 C が変化する。静電センサの可動電極が初期位置から最大変位 $10 \mu\text{m}$ まで変位したときの静電容量 C は、192 fF から 671 fF である。

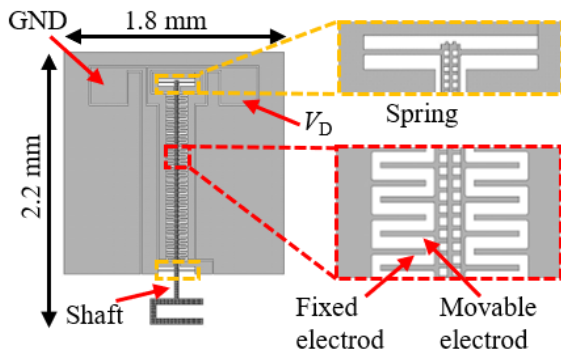


Figure 2. Schematic diagram of the configuration of the electrostatic sensor

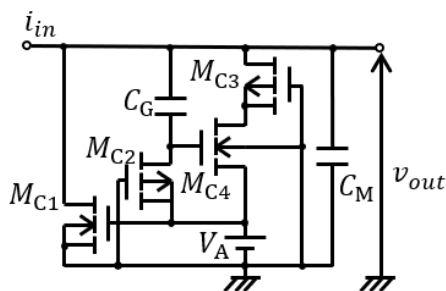


Figure 3. Circuit diagram of cell body model

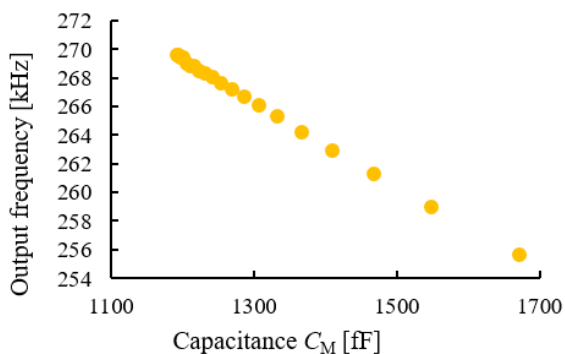


Figure 4. Output frequency characteristic with varying capacitance of capacitor C_M

4. 容量検出回路

Figure 3 に静電センサの容量検出回路として用いた細胞体モデルを示す。細胞体モデルは、生物における細胞体の特性を模倣したパルス状の出力波形を生成する発振回路である。マイクロロボットの駆動回路である NNIC の構成要素としても用いているため、将来的に駆動回路と検出回路を集積化することが可能である。

回路は MOSFET: M_{C1} , M_{C2} , M_{C3} , M_{C4} , コンデンサ: C_G , C_M , 電源: V_A , V_{DD} で構成した。本論文で用いた回路定数は、MOSFET: $M_{C1} = W/L = 3 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$, $M_{C2} = 1.2 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$, $M_{C3} = 10 \mu\text{m}/1.2 \mu\text{m}$, $M_{C4} = 10 \mu\text{m}/1.2 \mu\text{m}$, コンデンサ: $C_G = 10 \text{ pF}$, $C_M = 1 \text{ pF}$, 電源: $V_A = 2.8 \text{ V}$ とした。静電センサの検出回路として用いる際には、細胞体モデルのコンデンサ C_M に静電センサの静電容量 C を並列接続する。したがって、 $C_M = 1000 + C$ [fF] としてシミュレーションをおこなった。

5. シミュレーション結果

Figure 4 に細胞体モデルのコンデンサ C_M の静電容量を変化した場合の出力周波数特性のシミュレーション結果を示す。Figure 4 より、静電センサの静電容量 C の増減によりコンデンサ C_M の静電容量が 1192 fF から 1671 fF の間で変化した場合に、細胞体モデルの出力周波数は約 10 kHz 変化することを確認した。したがって、静電センサの検出回路として細胞体モデルを用いて、脚の先端の力の測定が可能であることが分かる。

6. まとめ

マイクロロボットの脚の先端に搭載する静電センサの静電容量検出回路について検討した。シミュレーションの結果、センサの静電容量に対する細胞体モデルの出力周波数の変化を確認した。マイクロロボットにセンサを搭載することで、外部環境への対応が可能となる。今後は、静電センサの作製と測定をおこなう予定である。

7. 参考文献

- [1] X. Yang, *et al*, "An 88-milligram insect-scale autonomous crawling robot driven by a catalytic artificial muscle", *Science Robotics*, AAAS, Aug, Vol.5, Issue 45, 2020.
- [2] S. Kawamura, *et al*, "Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism", *Artificial Life and Robotics*, September, Vol.23, Issue 3, pp380–386, 2018.