

K-47

MEMS マイクロロボットに搭載する静電センサの開発

Development of electrostatic sensors for MEMS microrobots

○大工原裕希¹, LYU SHUXIN², 森下克之², 齊藤健³*Yuki Daikuhara¹, Shuxin Liu², Katsuyuki Morishita², Ken Saito³

Abstract: The authors are developing a microrobot that mimics the functionality of insects and walks independently. Insects have brains, muscles, sensory organs, and energy sources. As a way to reproduce the sensory organs in the robot, electrostatic sensors are connected to a cell body model, and changes in frequency are read from changes in capacitance to read changes in force at the tip of the leg. With conventional electrostatic sensors, the simulation showed a change in frequency, but no actual change in frequency was observed. Therefore, this paper discusses this problem and designs an improved version with respect to processing accuracy and 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]。

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、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]。しかし、現在はマイクロロボットにセンサを搭載しておらず、外部環境の変化や接地面の状態をセンシングすることができない。従って、我々はマイクロロボットの脚先に静電センサを接続し、脚先からの圧力をフィードバックし、外部環境や自身の状態の変化に対応可能な高度な自立活動を行うマイクロロボットの実現を目指している。

本論文では脚先の状態を検知することで不整地での駆動を可能にする静電センサについて説明する。先行研究では静電センサは導通が行えない問題があったが、新たに静電センサの改良を行ったので報告する。

2. 静電センサの検討

先に我々は6脚機構のマイクロロボットに接続する静電センサの作製を行った。静電センサは脚先からの力のフィードバックを目的としていることからマイクロロボットの筐体の6.4mm以内のサイズで設計された。

また静電容量の検出回路としては **Figure1** に示すように細胞体モデルに直接接続する形で作製された。

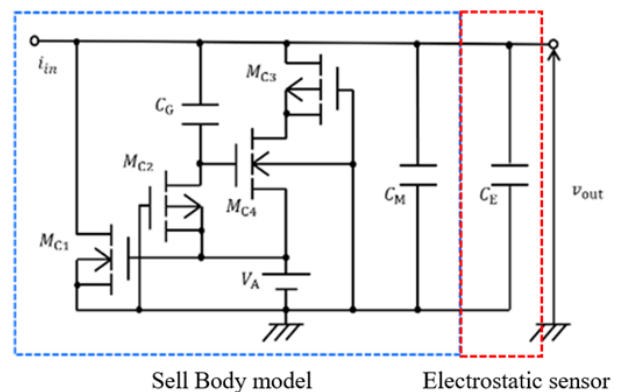


Figure 1. Capacitance Detection Circuit

また HSPICE を用いた回路シミュレーションの結果として、静電センサと細胞体モデルを足し合わせた 1192fF から 1671fF の容量の変化から約 10kHz の周波数の変化が現れることからシミュレーションにおいては細胞体モデルを用いた容量検出回路は静電センサによる力の検出が可能であると考えた。しかし実際の測定で周波数に変化が現れなかった原因としてスケール効果や加工精度の観点から実験値と理論値に差異が生じたと考えられる。

解決策として導通しなかったことから考えられる問題点として静電容量の変化の大きさと加工精度の2点が考えられる。従って2点の問題点の解決のため作成可能な精度で静電容量を増加させた設計モデルと変更前と同じ静電容量かつ求められる精度を落とした設計モデルの2種類の作製を行った。

2. 静電センサの設計

本論文では加工精度の影響を考慮して固定電極と可動電極の幅を $4\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ に変更し,その他最低寸法を必要な加工精度が $10\ \mu\text{m}$ となるように再設計と静電容量の計算を行った. 変更前と同じ静電容量かつ求められる精度を落とした設計モデルを **Figure2** に作成可能な精度で静電容量を増加させた設計モデルを **Figure3** に示す.

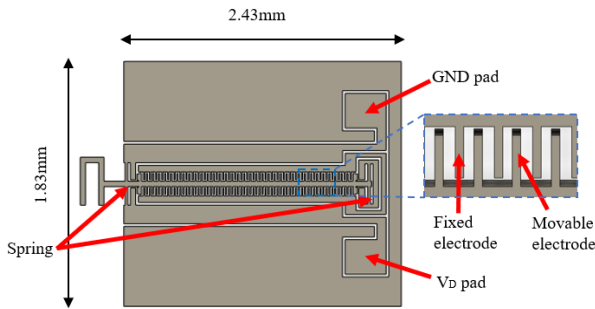


Figure2. Capacitance sensor of the same capacitance

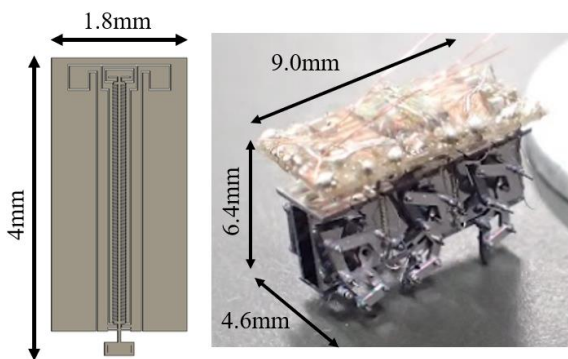


Figure3. Capacitance sensor with twice the capacity

今回は静電センサの櫛歯は並行平板を複数重ねたものとして扱う. **Figure1** の櫛歯電極の片面の静電容量 C_1 および C_2 は

$$C_1 = \epsilon \frac{S}{d1 - x} = \frac{ya}{d1 - x} \quad (1)$$

$$C_2 = \epsilon \frac{S}{d2 - x} = \frac{ya}{d2 - x} \quad (2)$$

よって n 本の櫛歯の静電容量 C_E は

$$C_E = (C_1 - C_2)n = \left(\frac{1}{d1 - x} - \frac{1}{d2 - x} \right) \epsilon yan \quad (3)$$

$$= \left(\frac{1}{12 - x} - \frac{1}{14 - x} \right) \epsilon yan$$

変位 x を $0\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ まで変化させたとき静電容量は $192\ \text{fF}$ から $671\ \text{fF}$ となり,細胞体モデルと接続することで $1192\ \text{fF}$ から $1671\ \text{fF}$ の容量の変化となり先に作製した静電容量と一致する.

従って櫛歯数が2倍の **Figure2** は櫛歯数 n が 140 であることから静電容量の変化も2倍となる.

2倍の静電容量のモデルでは搭載を行う観点から考えると **Figure2** に示す通り干渉せずに脚部に設置することは可能であるが脚部に静電センサを持ち上げる力が必要であることからマイクロロボット側面への設置を行い実験することを想定し設計を行った.

3. まとめ

本論文では先に作製した静電センサの問題について考え静電センサの改良を行った. 今後の検討として単体,回路接続後, 搭載後の順番に評価を行う. 単体の評価方法として加工精度の確認のため回路接続の前に導通の確認を行う. また回路接続後はマイクロフォースセンサを用いて力を加えた時の静電容量の変化を確認し,理論値との比較を行う. 理論値との誤差から導通可能な最小サイズを求めマイクロロボットの脚部に搭載可能な大きさへの縮小と実装を行う予定である.

4. 謝辞

本論文の研究は,令和2年度日本大学学術の助成を受けたものである. また本研究の一部は令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである.

5. 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.