

マイクロロボットに用いる昆虫の尾葉を模倣した静電センサの検討

A Study on Electrostatic Sensor Imitates Insect's Cercus for Microrobot

山下 莉史[†] 田巻 祐哉^{††} LYU SHUXIN^{††} 齊藤 健[†]

Rihito YAMASHITA[†] Yuya TAMAKI^{††} Shuxin LYU^{††} Ken SAITO[†]

[†] 日本大学理工学部 ^{††} 日本大学大学院理工学研究科

[†] College of Science and Technology, Nihon University ^{††} Graduate School of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

現在、ロボットは世界中で活用され、特に人間や大型ロボットでは活動が困難な空間や医療現場では、マイクロロボットの活躍が期待されて研究開発が進められている。しかし、センサやアクチュエータ、マイクロコントローラ、電源のすべてを搭載した数ミリメートルサイズのマイクロロボットは実現されていない^[1]。そこで我々は、小型かつ自律性の高いマイクロロボットを実現するために、昆虫の優れた機能や構造を模倣して搭載する研究を行っている。

本論文では外部環境の変化をセンシングし、環境や自身の状態の変化に対応可能なマイクロロボットを実現するために、マイクロロボットに搭載する昆虫の尾葉を模倣した静電センサを提案する。

2. 静電センサの設計

今回設計した静電センサは、対となる電極の重なり部分の面積に応じた静電容量の変化を利用したセンサである。

静電センサの概略図を図 1 に示す。静電センサの構成は櫛歯状の固定電極と可動電極、ばね、電極 V_{D1} , V_{D2} , GND とした。加工精度を考慮して最低寸法は 10 μm で設計する。

可動電極は左右に最大 15° 傾き、固定電極に差しこまれる面積が変化することで静電容量が変化する。可動電極は 15° 傾いたときにストッパーにより止められ、上下の移動に関してもストッパーが作用し可動電極と固定電極は接触しない構造になっている。左右の固定電極はそれぞれ独立しており、片方の静電容量が増加すればもう片方の静電容量は低下する反比例の関係にある。

今回、静電センサの櫛歯は同心円の円弧状の板を複数重ねたものとして扱う。可動電極の回転軸からの距離をそれぞれ a_1 , a_2 ($a_1 < a_2$)、円弧の中心角を θ rad としたとき一對

の櫛歯電極の静電容量 C は式(1)で表せる。

$$C = 2\pi\epsilon_0 \cdot \frac{1}{\ln \frac{a_2}{a_1}} \times \frac{\theta}{2\pi} \quad (1)$$

よって n 本の櫛歯の静電容量 C_n は式(2)で表せる。

$$\begin{aligned} C_n &= 2\pi\epsilon_0 \left(\frac{1}{\ln \frac{a_2}{a_1}} + \frac{1}{\ln \frac{a_4}{a_3}} + \frac{1}{\ln \frac{a_6}{a_5}} \cdots \frac{1}{\ln \frac{a_n}{a_{n-1}}} \right) \times \frac{\theta}{2\pi} \\ &= 2\pi\epsilon_0 \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\ln \frac{a_{i+1}}{a_i}} \right) \times \frac{\theta}{2\pi} \end{aligned} \quad (2)$$

空気中の誘電率 $\epsilon = 8.86 \times 10^{-12}$ 、櫛歯数 $n = 100$ とした場合の静電容量を表 1 に示す。

表 1 静電容量

可動電極の傾き [°]	円弧の中心角 [rad]	静電容量 [fF]
通常状態 0	$\pi/9$	1.44
最大重なり時 15	$7\pi/36$	2.53
最小重なり時 -15	$\pi/36$	0.36

3. まとめ

本論文では、昆虫の尾葉を模倣した静電センサの設計、検討を行った。フォトマスクは完成し、今後はクリーンルームで実物を作製し、静電容量が測定可能な値であるか、正しく変化するかを測定する。また、ロボットに搭載するために必要な静電容量の変化を検出する検出回路を設計し、周波数を読み取りについて検討する予定である。

謝辞

本研究は、令和 2 年度日本大学学術研究助成金 総合研究、および令和 4 年度日本大学特別研究の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 齊藤健, 金子美泉, 内木場文男, 佐伯勝敏, 武藤伸洋, 見坐地一人, 山下裕玄, 後藤田卓志:「医療応用に向けたマイクロロボットの開発」, 生物試料分析, Vol. 45, No. 4, pp169-173, 2022.

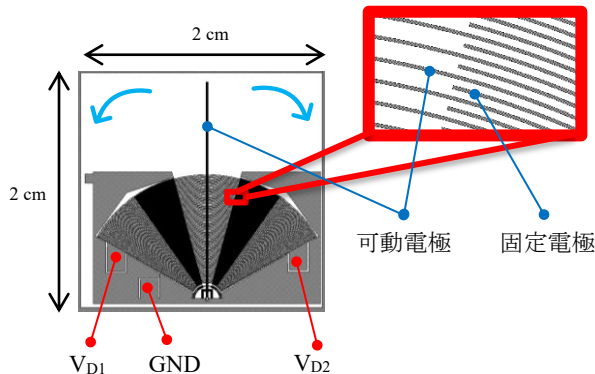


図 1 静電センサの概略図