

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14940

研究課題名（和文）自励振動型静電アクチュエータによるワイヤレスマイクロロボットの実現

研究課題名（英文）Study on Wireless Micro-robot Using Electrostatic Self-excitation

研究代表者

難波江 裕之（Nabae, Hiroyuki）

東京工業大学・工学院・助教

研究者番号：90757171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自励振動型静電アクチュエータを用いたワイヤレスマイクロロボットの実現を目的としている。紫外線照射により、数kVレベルの高電圧を発生可能なPLZT素子と静電ベル形式の自励振動型静電アクチュエータを組み合わせることにより、ワイヤレスでの静電自励振動型アクチュエータの駆動に成功した。さらに、本ワイヤレスアクチュエーションシステムを斜毛式の移動ロボットと組み合わせることにより、自励振動型静電アクチュエータを用いたワイヤレスマイクロロボットの走行に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自励振動アクチュエータ及びこれを用いたロボットでは、駆動システムを簡易化することが可能であると期待できる。そのため、小型ロボットや、その量産において有益であると考えられる。本研究成果は、そのような、自励振動アクチュエータの中でも簡易な構造で構成可能な自励振動型静電アクチュエータに着目し、そのワイヤレス駆動の技術基盤を与えるものである。そのため、上記分野において有用な知見をもたらすものである。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to achieve a tetherless drive of micro robots using self-excited electrostatic actuators. A self-excited electrostatic actuator (Franklin bell type) was successfully driven with no tether by being combined with a PLZT element, which can generate a voltage of a few to several kV with UV radiation. Further, this tetherless actuation system was applied to a micro locomotion robot and succeeded in driving the prototype robot.

研究分野：ロボティクス

キーワード：自励振動 アクチュエータ マイクロロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

数十ミリメートル以下の昆虫サイズの移動ロボットは、狭隘な場所にも侵入可能であり、そのような場での情報収集などの成果が期待できる。例えば、被災地での探索や工場等における狭隘箇所の検査などは、マイクロロボットが活用する場として想定され、その活躍が最も期待される場の一つであろう。その重要性は多くの人々が認識しており、世界各地で次々と技術開発が進んでいるものの、前述のような使用方法を想定した場合、ワイヤレス化が大きな問題となる。このような用途では、エネルギー密度の高いアクチュエータの使用が不可欠であり、上記の例では圧電素子等が使用されている例があるが、交流電圧での駆動が必要であり、バッテリーや太陽電池などでの駆動を想定した場合、変換回路が必要となる。そのため、重量・体積の増加につながるという課題がある。

2. 研究の目的

自励振動型静電アクチュエータは、簡素な構造、スケール効果によるスモールスケールでの優位性、直流電圧での振動駆動など、マイクロロボット、特にそのワイヤレス化に適した特徴を有している。本研究では、静電自励振アクチュエータに着目し、改良や、ワイヤレス駆動方式の検討、またロボット化における設計手法の検討等を通して、静電自励振動によるワイヤレスマイクロロボットの実現を目的としている。

3. 研究の方法

静電自励振動型アクチュエータとして、静電ベル(フランクリンベル)型を、エネルギー供給方法として PLZT 素子に注目した。静電アクチュエータは一般的に、電磁アクチュエータと比較して電流をほとんど必要としないものの、高電圧を印加する必要がある。PLZT は適した組成とすることで、紫外線照射時に電流は微量であるものの高電圧を発生することが可能であり、静電アクチュエータの駆動に適した特性を有している。この PLZT 素子と静電自励振動型アクチュエータを組み合わせるにより、ワイヤレス移動ロボットの実現を目指す。

4. 研究成果

最初に行ったのが静電自励振動型アクチュエータの移動ロボットへの適用である。図 1 に試作機を示す。

本試作機は幅 13.4 mm、長さ 32.3 mm、高さ 14.1 mm で、質量は 412 mg となっている。フレームは、0.7 mm 厚の発泡スチロール板を UV レーザにより加工した部品を組み上げることで製作した。また、振動子は、0.2 mm 厚の CFRP 板をフレームと同様に UV レーザにより加工し製作した。外部電源から給電を行い、駆動実験を行った。駆動実験では、無負荷状態で 63.0 mm/s、1006 mg の負荷質量を載せた状態で 27.3 mm/s の速度での走行に成功した。

次に PLZT 素子を用いた静電自励振動アクチュエータの駆動に取り掛かった。PLZT 素子を用いて、従来の静電ベルと組み合わせて駆動させた際に、動作が持続しない問題が発生した。これは PLZT 素子の発生させる電流が必要値に対して少なかったためだと考えられる。そこで、振動の持続が容易となるように、アクチュエータの振動子の配置を倒立振り子状にすることとした。これにより、振動子へのチャージが不十分な場合にも電極に接触しやすくなり動作を持続しやすくなる。倒立型の静電ベルと PLZT 素子を組み合わせ、紫外線照射により持続的な自励振動を実

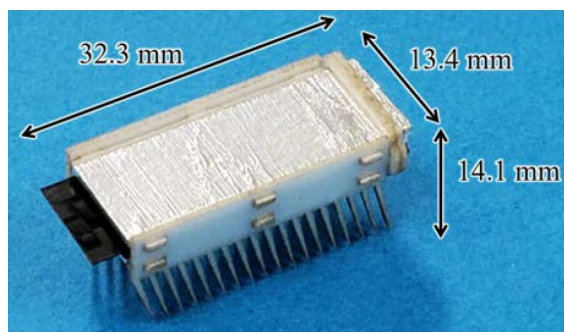


図 1 静電自励振動を用いた斜毛式移動ロボット。外部電源からの電圧印加により駆動する。

現した。以上の結果を基に移動ロボットの試作を行った。試作機とその駆動実験の様子を図2に示す。

本体のフレームの材質には、0.7 mm 厚の発泡スチレンシートを用いた。発泡スチレンシートを UV レーザ加工機を用いて加工することで書くパーツを作製し、そのパーツを組み合わせることで本体フレームを構成した。電極はアルミニウム箔を貼付することで構成し、電極間距離は 11 mm である。振動子は、3D プリンタ (Stratasys 社製, Objet260 Connex3) で造形した六角穴付きの 1 辺が 10 mm の立方体を用いている。振動子の支持にはポリイミドフィルムを用いており、振動子においてもアルミニウム箔を貼付することで導電性を確保している。

試作機のサイズは、高さ 23.2 mm、幅 15.0 mm、奥行 26.7 mm である。質量は 4874 mg であり、内訳は、PLZT 素子が 769 mg、振動子が 3829 mg である。本試作機を用いて、駆動実験を行った。紫外線は、UV 照射器 (オプトコード社製) を用いて波長 365 nm の紫外光を真上から照射した。UV 照射器の光源から PLZT 素子上面までの距離は、約 17 mm としている。UV 照射器を点灯してから約 4 秒後に振動子が振動を始め、図 3 に示すように、駆動開始から 200 秒後には、試作機が 4.1 mm 走行したことを確認した。また、シミュレーションにより、各パラメータが本移動ロボットの性能に及ぼす影響についても解析を行った。主に質量についてその影響を解析し、実験値との比較を行った。

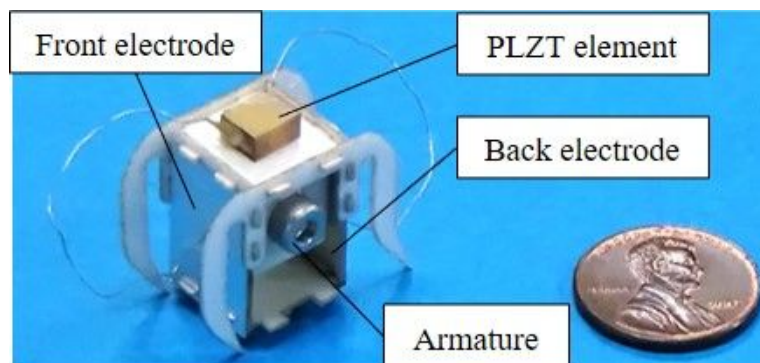


図2 ワイヤレス小型移動ロボットの試作機。PLZT 素子が搭載されており、中央部に自励振動型静電アクチュエータが組み込まれている。本体は 0.7 mm 厚の発泡スチレンシートによって構成されている。

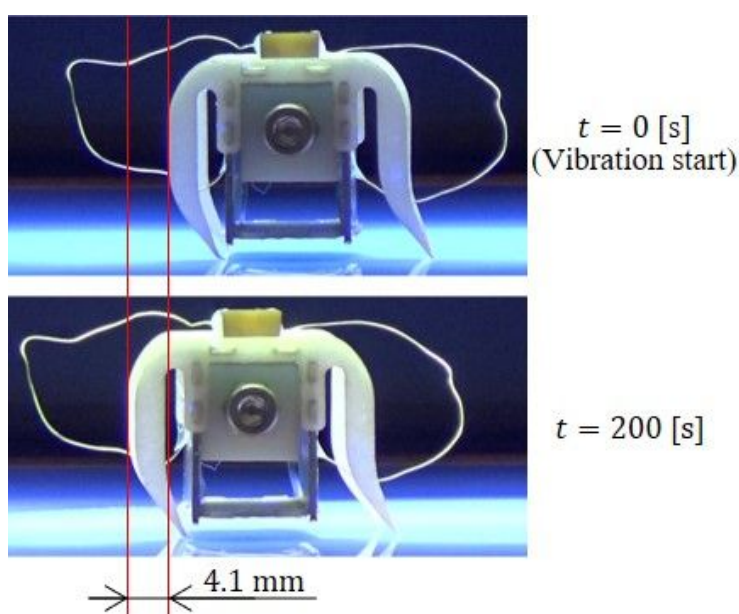


図3 ワイヤレス小型移動ロボットの駆動実験の様子。紫外光を照射することにより、駆動し、駆動開始から約 200 秒で 4.1 mm の距離を進んだ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮崎裕暉
2. 発表標題 PLZT素子と静電自励振動アクチュエータを用いたワイヤレス小型移動ロボットにおける振動子質量の駆動特性への影響
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮崎裕暉
2. 発表標題 自励振動型静電アクチュエータの斜毛駆動式小型移動ロボットへの適用
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎裕暉
2. 発表標題 PLZT素子と静電自励振動アクチュエータを用いたワイヤレス小型移動ロボットの試作
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎裕暉
2. 発表標題 自励振動型静電アクチュエータの斜毛駆動式小型移動ロボットへの適用
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田晃一
2. 発表標題 自励振動型静電アクチュエータを用いた小型飛翔ロボットの揚力の実験的検証
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田晃一
2. 発表標題 静電自励振動を用いた小型飛翔ロボットにおける飛翔力計測
3. 学会等名 第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関