

2023年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域
職位または役職	助教
氏名	出原 俊介

1. 研究題目

小型超音波モータを用いた小型カメラの視野拡大機構開発

2. 研究目的

内視鏡を用いた手術や検査は、低侵襲性で患者への負担が少ないことから、現在の医療に必要不可欠なものである。内視鏡は先端にカメラが取り付けられた細長い検査機器で、最近では検査効率の向上と患者の負担を軽減するために、直径5mmほどの細径内視鏡も開発されている。しかし、径が細くなるにつれて、内視鏡内部の狭く限られた空間に搭載できるアクチュエータや機構が限られるため、カメラの向きを変えて、広い視野を確保することが難しくなる。

これまでに、内視鏡の向きや姿勢を変更する様々な機構が提案されてきた。一般的な方法に、体外に配置された大型の電磁モータによって駆動されるワイヤけん引機構が挙げられる。しかし、この方法はワイヤ同士の干渉や装置の大型化が問題となる。ワイヤ機構を用いずに内視鏡を駆動させる方法に、小型アクチュエータによるダイレクトドライブが挙げられる。例えば、形状記憶合金(SMA)は、発生する力が大きく、細長いデバイスに適しているが、熱によって駆動するため、制御が困難である。空気圧アクチュエータには柔軟性があるが、駆動にはコンプレッサやチューブ、バルブなどが必要であるためシステム全体が大きく複雑になってしまう問題がある。そのため、内視鏡の複雑な動作を実現することができる高出力かつ高応答の小型アクチュエータ開発が必要である。

報告者はこれまで、小型回転超音波モータを開発している。このモータは従来の回転モータと比較して小型でありながら、実用的なトルクを発揮している。そのため、小型カメラの視野拡大機構として適している可能性がある。しかし、このモータの制御方法については検討されていない。本研究では、開発した小型超音波モータと回転ミラーを使用して、小型カメラの視野拡大機構を実現することを目指す。これにより、医療分野や工業分野など、狭い空間での観察や作業に役立つ装置の開発が期待される。

3. 研究内容及び成果

本研究では小型モータの開発とそれを制御するカメラを使用したビジュアルフィードバック制御システムを構築した。開発した制御システムにより、モータを任意の角度に回転させることができる。

超音波モータの設計および評価

視野角を変更するために使用する小型超音波モータの開発を行った。開発する超音波モータは Fig.1(a)に示すように固定子であるステータと出力軸であるロータで構成されている。ロータを回転させるにはステータに Fig.1(b)に示すような曲げ振動モードを励起し、ステータ上面に進行波を生成することで回転させる。小型でも十分なトルクを得るためには、Fig.1(b)の振動をなるべく大きくする必要があるので、そこで、Fig. 2 に示すように金属の厚みが異なる4種類のステータを試作し、最も振動が大きくなるステータを調査した。試作したステータは幅と奥行きが2.0mm、厚み h は0.8, 1.0, 1.3, 1.6mmである。ステータが励起するFig.1(b)の振動モードの大きさは、ステータのインピーダンスおよび位相の周波数特性から共振時の電流値を調査することで評価し、ステータの厚みが1.0mmの時に最も電流値が高く、最も大きな振動を得られることが確認された。超音波モータの性能はロータの回転速度の過渡応答を調べることで評価した。Fig.3 は実験結果を示しており、この時の印加電圧の電圧振幅は100V_{p-p}、周波数は460kHzである。回転速度は約3msで定常速度に達し、その時の回転速度は約128rad/sである。次に印加時間とロータの回転角度の関係を調べた。Fig.4 は印加時間とロータの回転角度の関係を表しており、最小の回転角度は印加時間が1msの時の0.27度であった。

制御システムの構築

モータの回転を制御するため、Fig.5 に示すような制御システムの構築を行った。最終的には、操作者は内視鏡に取り付けられたカメラの映像をもとにモータの回転角(視野)を制御することを考慮して、カメラを用いたビジュアルフィードバック制御システムを構築した。操作者は、カメラの映像を介してモータの現在角度を取得し、目標角度を制御PCに入力する。制御PCは入力された目標角度をもとにデューティー比(印加時間)を計算し、マイコンに送る。マイコンは受けたデューティー比をもとにPWM信号をモータドライバ(駆動回路)に送り、バースト波を生成してモータを制御する。

カメラ視野拡大機構の試作と評価

構築した制御システムを用いて制御実験を行った。実験結果として、Fig.6 に目標角度をそれぞれ15度、90度に設定したときの結果を示す。目標角度が入力されるとモータが回転動作を開始し、目標角度に達すると制御を終了する。目標角度に達成するまでの時間は数百ミリ秒かかっているが、これはカメラのフレームレートと画像処理に時間を要するためである。構築したシステムによってロータはすべての角度に停止することが確認できた。

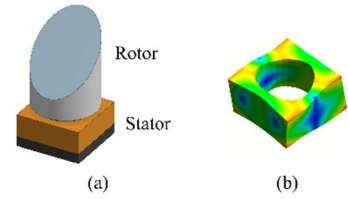


Fig. 1 (a)モータの構成 (b)曲げ振動モード



Fig. 2 試作したステータ

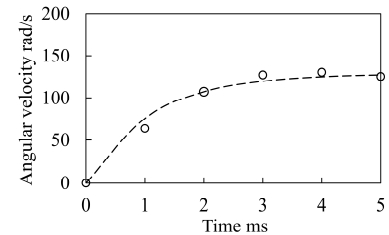


Fig. 3 ロータ回転速度の過渡応答

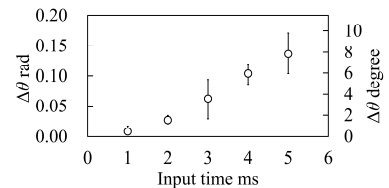


Fig. 4 印加時間とロータ回転角度

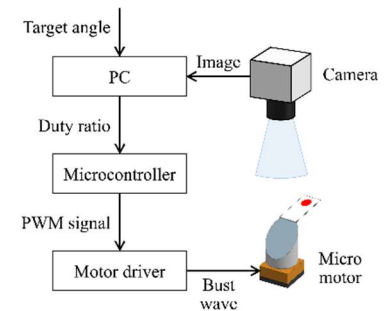


Fig. 5 制御システム

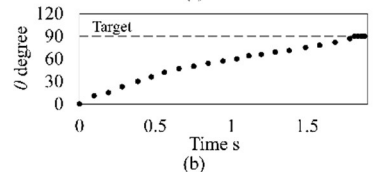
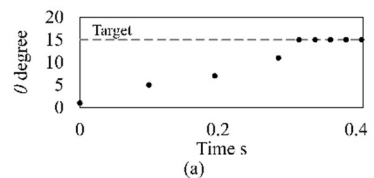


Fig. 6 制御実験:(a)目標角度15度 (b)目標角度90度

4. 今後の研究の見通し

今後は、モータの制御をより高速に行うため、システムの改善を行う。Fig.3に示したように開発した小型モータは、数ミリ秒で定常状態に達し、高い応答性を示している。しかし、構築した制御システムでは、目標角度に到達するまでに数百ミリ秒かかる。この遅延の主な原因としては、使用しているカメラのフレームレートが 120fps であることや、画像処理による現在位置(角度)の取得に時間がかかること、さらに PC からマイコンへの通信に時間がかかっていることが挙げられる。これらの課題を解決するためには、より高速なハイスピードカメラを使用することや、プログラムを見直すことで、画像処理の速度を向上させる方法が考えられる。また、より高度な制御を可能にするために、新たにコントローラの開発も行う。具体的には、操作者の視線を基にモータを回転させ、カメラの画角を変更できるようにする。最終的には、Fig. 7 に示すように、直径 5mm の円筒形状に収まるようにカメラとモータを配置し、操作者の視線によってカメラの視野を自由に変更できるシステムの構築を目指す。

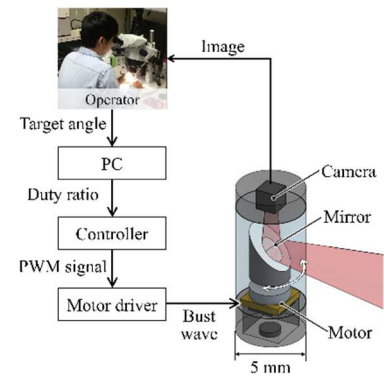


Fig. 7 構築する制御システム

マイクロ超音波モータのもう一つの展開として、マイクロポンプの開発が挙げられる。一般的に、ポンプには電磁モータが使用されるが、電磁モータの小型化には限界があるため、小型ポンプの構成部品の体積のほとんどは電磁モータが占めている。ポンプに使用されるモータは、軸やプロペラを回転させる十分なトルクと、流体を送り出せる高い回転数を発揮できる性能が必要である。今回開発した超音波モータは非常に小型でありながら、高い応答性と回転数を持っているため、ポンプのアクチュエータとして有望である。このモータを使用してマイクロポンプを開発することで、従来よりも小型なポンプの実現が期待される。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国際会議(査読無)

Tsukiho Fujitani, Shunsuke Izuhara, Hiroaki Fukushima, “Design and Evaluation of Miniature Ultrasonic Motor Driven by Low-order Vibration Mode,” International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA2024), Hannover, Germany, July, 2024.

国内会議(査読無)

藤谷月帆, 出原俊介, 福島宏明, “平低次のたわみ振動で駆動する小型超音波モータ”, 2024年度精密工学会春季大会学術講演会, 東京, 3月, 2024年.