

## 2024 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

超小型超音波モータを用いた小型非容量式ポンプの開発

### 2. 研究目的

近年、マイクロナノ流体を用いたデバイスの開発が進んでいる。例えば、わずかな量の血液から病気の診断が可能なマイクロ免疫分析装置の開発や、極小の経路で複数の薬品を効率よく混ぜることで反応を促進するマイクロ攪拌機などが挙げられる。こうしたデバイスの開発背景には、医療現場での迅速な検査や診断の必要性がある。また、検査機器を小型化することでウェアラブル化が可能になり、患者の負担を軽減することができる。

流体を扱うデバイスは、主にタンク、ミキサ、バルブ、そしてポンプで構成されている。その中でも、血液や薬品などの流体の輸送には特にポンプが重要な役割を果たしている。非容積式ポンプ（ターボ型ポンプ）は、ケーシング内で羽根車（インペラ）を回転させて流体を輸送する一般的なポンプの一つである。羽根車を回転させるためには電磁モータが一般的に使用されるが、小型化に伴い発生するトルクが小さくなり、羽根車を回転させることができなくなる場合がある。そのため、小型ながら十分なトルクを発揮できるモータの開発が求められている。

助成者はこれまでに小型回転超音波モータを開発してきた。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する。そのため、小型ポンプに適している可能性がある。従来の超音波モータの動作は、ロータやリンクなどの機械部品が駆動対象であったが、本研究では液体を駆動対象にする。そのため、一般的な超音波モータの動作モデルであるバネマスダンパ系の機械モデルや LCR 等価回路では十分に表現することができない可能性がある。言い換えれば、流体の粘性が超音波モータの動作にどのように影響を与えるのかを明らかにすることは、超音波モータのモデル化において興味深い課題である。本研究では、開発した小型超音波モータを使用して小型ポンプの開発を行い、液体駆動時のポンプおよび超音波モータの評価を行う。

### 3. 研究内容及び成果

マイクロポンプを開発するにあたり、まず液体中で超音波モータの特性がどのように変化するかを調査し、どのようなケースを作製する必要があるのか設計方針を決定する。

#### 超音波モータの空中動作と液中動作の比較

モータを液体中で動作させるに先立ち、ステータを空中および液中（シリコン）で駆動した場合のインピーダンスを測定した。その結果を図 1 に示す。空中動作では、ステータのインピーダンスおよび位相が約 515 kHz 付近で大きく変化するのに対し、液中では約 467 kHz でわずかに変化する。

次に、ステータにロータを挿入して回転数の立ち上がり特性を評価した結果を図 2 に示す。空気中で動作させた場合、約 3000 rpm の回転数が得られるのに対し、液中動作の場合、ロータは定常速度に達する前に回転速度が低下し始め、最終的には停止に至る。これは液体の粘性によりステータの振動が減衰し、発生トルクが低下するためである。さらに回転動作に伴いロータとステータ間の摩擦係数が低下し、ステータの振動エネルギーがロータに十分に伝達されなくなることも要因である。その結果、液体の粘性抵抗がロータの回転を抑制する。したがって、超音波モータを液体中で動作させるためには、ステータが液体に直接触れないようにケースで隔離する必要がある。

#### マイクロ超音波モータの防水ケースの試作

液中動作の結果を踏まえ、超音波モータ用防水ケースの試作を行った。試作したケースを図 3 に示す。ステータの振動が液体によって減衰しないよう、ステータはアクリル樹脂製のケースで囲った。また、回転部は回転の抑制および液体の侵入を防ぐためにベアリングにより固定し、ゴムシートでシールドした。配線にはエナメル線を用い、ケースとの接合部はシリコン系接着剤によりシールし、液体の侵入を防いでいる。

#### 防水ケースを用いたマイクロ超音波モータの駆動実験

試作したモータケースの効果を評価するため、液体中でモータを動作し回転数を測定した。測定結果を図 4 に示す。ロータは回転と停止を繰り返しながら動作を繰り返し、最終的に回転は停止する。これはロータの回転時にベアリングの隙間から液体が侵入し、液体がステータの振動を抑制したためだと考えられる。

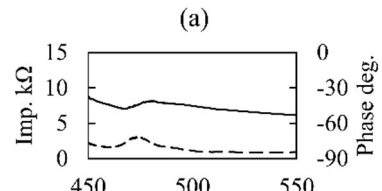
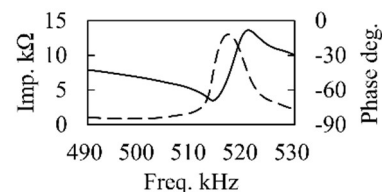


図 1. インピーダンス特性  
(a) 空中、(b) 液中

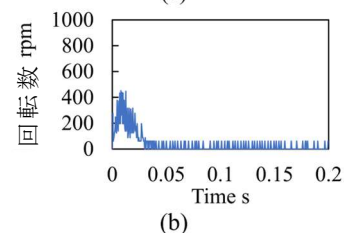
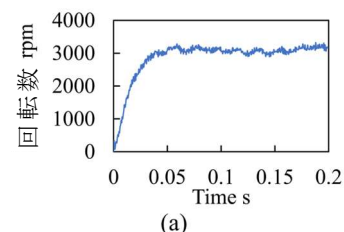


図 2 回転数の過渡応答  
(a) 空中動作 (b) 液中動作

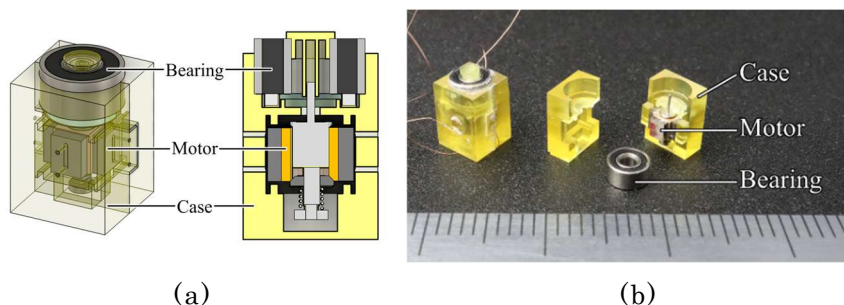


図 3. (a) 設計した防水ケースと (b) 試作したケース

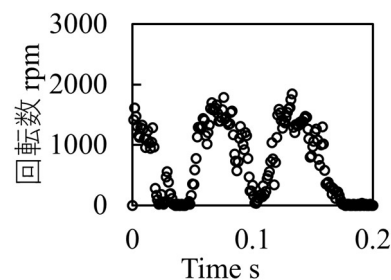


図 4. 液中での回転速度

#### 4. 今後の研究の見通し

---

ベアリングを用いたケースでは、十分な防水効果を得ることができなかった。これは、ベアリングの内輪と外輪の隙間から液体が侵入してしまうためである。そのため、液体の侵入を完全に防ぎつつモータの回転を羽根車へ確実に伝達する機構が必要となる。

この課題を解決するため磁気カップリングを用いた防水ケースの自作を行う。図 5 に設計中の磁気カップリングケースの概略図を示す。モータはケースによって液体に触れないよう防水されており、ロータには磁石 (Input Magnet) が取り付けられている。ロータの回転は磁気カップリングによって出力軸の磁石 (Output Magnet) に伝達され、回転動作が生成される。

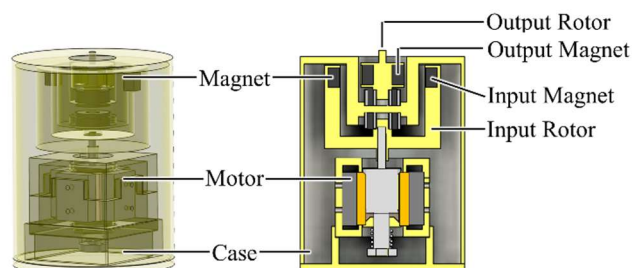


図 5. 設計した防水磁気カップリングケース

今後は、本ケースを試作し、その性能評価を行う。併せて、羽根車の形状およびケーシングの設計も進める予定である。特に、液体中における抵抗や粘性の影響を考慮し、実際の動作条件下で評価を行う。これにより、理論値と実測値の差異を明確化し、より実用的な設計指針を得ることを目指す。

#### 5. 助成研究による主な発表論文、著書名

---

国際会議 (査読なし)

1. Tsukiho Fujitani, Hiroaki Fukushima, and Shunsuke Izuhara, "Visual feed back system for rotary miniature ultrasonic motor driven by low order vibration mode," International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA2025), Vilnius, Lithuania, July, 2025.