

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1 / 4)

研究題目	音波の気柱振動を用いたワイヤレスモータの開発と血管内治療への応用	報告書作成者	真下 智昭
研究従事者	真下 智昭		
研究目的	<p>心筋梗塞などの血栓症の診断治療において患者への身体的負担の少ないカテーテルが使われ効果をあげている。近年では、血管内を回転しながら診断する IVUS（血管内超音波法）や、血栓を削るために高速回転するアテレクトミなど、カテーテルのメカトロニクスデバイス化がすすんでいる。申請者はこれまでに、カテーテル先端への取り付けを目的とした小型回転直動モータの開発を行ってきた。このモータは圧電駆動を原理とし、超音波振動を発生することによって、立方体状のステータから回転と直動を生成することが可能である。またそのシンプルな構造がゆえに製作も簡単であり、小型化も容易といった特長もある。これまでに、約 3mm の大きさまで小型化し性能の評価を行ってきたが、実用的なサイズと比べるとまだ大きい。またカテーテルとして使うことを考えれば、体内で回転直動モータを駆動するような電圧を印加することは危険が伴う。そこで本研究では、外部から音波を送り、その気柱振動（空気中や水中を振動伝達媒体とする共振）によって、血管内で電圧を印加せずに小型の回転式モータを駆動することが可能にすることを目的とし、（１）ワイヤレス対応の超小型回転直動モータと、（２）そのモータに超音波を送るための音波発振技術の開発、を行う。超小型回転直動モータの開発では、1 ミリ立方メートルのサイズのステータを試作し駆動実験を行う。開発するモータは非磁性材料で試作し、核磁気共鳴画像（MRI）と併用で使えるようにする（現在はレントゲンが使用されているが被曝を伴うという問題があり、それを解決する）。ワイヤレス駆動の原理を検証する試みとしては 1mm のサイズでは小さすぎるため、直径 20mm のカプセルを試作し、外部からの超音波によって共振して振動を発生することができるかを実験で調査する。この駆動システムでは超音波の振幅や周波数などを変えることが出来るようにし、それらの場合のエネルギー伝送効率などを実験で明らかにする。</p>		

研究内容

図1に、開発した小型モータと実験装置の様子を示す。ステータの金属部の形状は一辺1mmの立方体であり、材料にはりん青銅を用いている。りん青銅を用いた理由は、鉄合金やアルミ合金などと比べ、密度が高く、内部損失（減衰率）が小さいため結果的に大きな振動振幅が期待されること、材料が安価で加工性が良いこと、非磁性材料であることである。1ミリ立方メートルのステータの製作は、以下の通りに行った。まず、フライス盤に取り付けた角材から1mm角柱を削り出す。次に、直径0.7mmのリーマで角柱に貫通穴を開ける。先端から1mmの位置をワイヤ放電でカットし、1ミリ立方メートルのステータを取り出すことができる。ワイヤ放電で切った後は、ステータを治具に取り付けヤスリでバリを削る。直径0.7mmの貫通穴には、ロータが通される。その周囲の4つの側面には圧電素子が貼り付けられている。貼られた圧電素子は両面分極であり、サイズは、1mm×0.8mm×厚さ0.2mmである。2種類の電圧印加で駆動するために対向する圧電素子の貼り付け方向は逆になっている（ある圧電素子の外側が+極であれば、対向する圧電素子の外側は-極である）。圧電素子の1mm側の端が、ステータの貫通穴のある面と整列するように貼りつける。ステータには、GND用電線との導通するための直径0.12mmの穴が開けてあり、この穴にGND用の0.1mm電線を接着しステータの金属部をGNDにする。また、駆動を確認するためのロータには、直径0.690mm、長さ40mmの軸を用いた。試作したステータにおいて、ある電極（圧電素子1枚分）とGNDとの間のインピーダンスを測定したところ、周波数が約930kHzでインピーダンスの変化が観察された。1mm立方メートルのステータを有限要素法で、固有値解析した場合、材料がりん青銅であれば、925kHzであり近い固有振動数が得られている。誤差の理由としては、ステータの角部は実験装置と接触しているため共振周波数に変化している可能性が考えられる。

実験装置においては、ステータと実験装置の取り付け角度によって性能に影響が出るため、実験装置は角度調整ステージを備え、ステータの角度を微調整することができるようにしている。ステータに印加する交流電圧の電圧振幅は $50V_{pp}$ とし、位相が90度ずつずれた4種類の電圧を印加する。モータが駆動しているときのロータの動きをビデオカメラで捕え、角速度を測定し、また角加速度からトルクを計算する。実験で得られた回転数およびトルクを図2と3に示す。最大角速度は約45 rad/sであり、最大トルクは約10nNmであった。

ワイヤレス給電技術については、図4に示すような約28kHzの超音波を発生することのできる超音波発信器を開発した。超音波振動を受け取る側には、直径20mmのカプセル状の受信機を開発した。このカプセルの内側には圧電素子を貼り付け、カプセルの振動の大きさを調べることができるようにした。実験では、伝送距離を変えたときの振動振幅、エネルギー伝送効率などの変化について調査した（図5）。

研究のポイント	<p>本研究におけるポイントは、以下の二点についてその実現可能性を検証することである。</p> <p>(1) 約 1mm のマイクロモータを試作し、外部からの印加電圧によって回転駆動を生成することができるか調査を行う。小型化に伴って、表面張力などの影響を受けていることが考えられ、どの程度影響するか、表面張力によって回転ができなくなる限界はどこになるのかなど研究し明らかにする。</p> <p>(2) 直径 20mm のカプセル型ワイヤレス超音波受信機を試作し、外部から発信する超音波を受け取ることができるかを調査する。超音波発信器によって発生する超音波の周波数と、カプセル型受信機の固有振動数を一致するように設計し、エネルギー伝送効率の向上を目指す。</p>
研究結果	<p>本研究では、1 ミリ立方メートルのステータの試作方法を検討した上で、図 1 に示すような、回転モータおよび実験装置の開発を行い、マイクロモータを試作して駆動させることに成功した。振幅 $50V_{p-p}$、周波数 920kHz の交流電圧を印加し、最大回転数約 45rad/s、最大トルク約 10nNm の出力を得た。このサイズは、ユニットとしては、世界最小クラスである。(RMIT 大学の Friend 教授グループで開発された、世界で最も小さい圧電モータは直径 0.3mm の振動子を用いているが、圧電素子が大きく全体では 2mm 程度である)。本研究のゴールであるカテーテルや内視鏡への応用を目的とした実用化に向けては、トルクや駆動の安定性で課題が残る。</p> <p>一方、超音波によるワイヤレスエネルギー給電の研究では、内側に圧電素子を貼り付けたカプセルを試作し、外部から超音波を送信することによって、共振周波数である 28kHz 付近において、100%まで給電効率が向上することが確認された。</p>
今後の課題	<p>今後、小型回転直動モータのトルク向上を目的とした研究に取り組む予定である。例えば、ステータとロータ間の隙間の最適化である。現在のところ 10μm であり、ステータとロータは全面接触でない。しかし、隙間が小さすぎると摩擦が大きくなり駆動できない。隙間を、ロータのコーティング技術などを用いサブミクロンオーダーで制御することによって、隙間の最適化を行う。また、今回の研究開発では試作量が十分でなく、トルク回転数などの性能にばらつきがみられた。今後、試作方法の確立した上で、さらに実験事例を増やすことにより、性能の安定化に取り組む。本試作では回転のみ生成できるように設計していたが、直動もできるように設計し、性能の評価を行う。ワイヤレスエネルギー伝送においては、カプセルと圧電素子の設計を最適化し、伝送効率の向上に取り組む。</p>

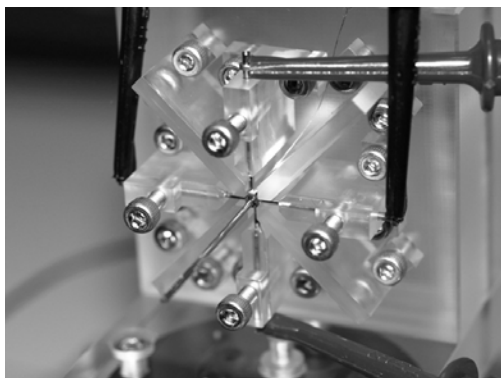


図1 実験装置に取り付けられた
小型モータ(写真中央部)

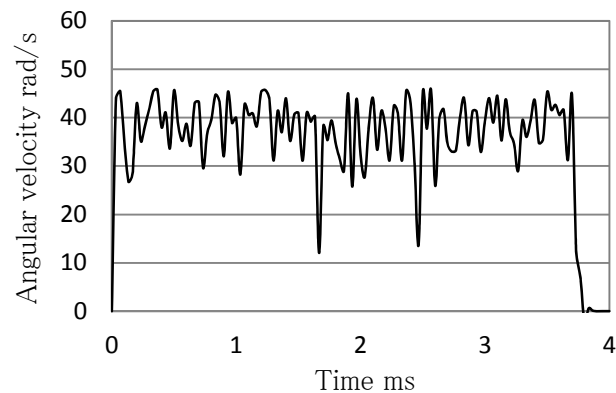


図2 小型モータの回転数

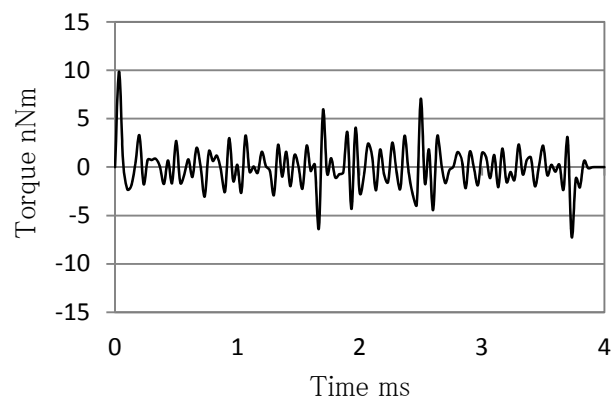


図3 小型モータのトルク



図4 超音波送信装置

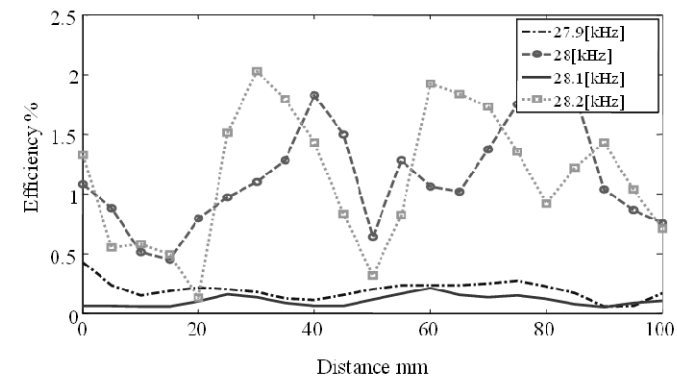


図5 伝送距離と効率の関係