

氏名（本籍）	小松 和三（秋田県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	理博甲第 259 号
学位授与の日付	令和 2 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理工学研究科 総合理工学専攻
学位論文題目 （英文）	精密機器へ導入する超音波モータの小型化と制御に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 長縄 明大 （副査）教授 巖見 武裕 （副査）教授 田子 真

論文内容の要旨

科学技術の進展に伴い、各種機器が著しく小型化しているが、その背景として、電子部品のみならず、アクチュエータなどの要素技術も高性能・小型化していることが挙げられる。現在使用されているアクチュエータには、様々な原理のものがあるが、精密機器では超音波モータが使われることが多い。

一方、各種工場などでは多くの配管が使われているが、老朽化などの際には配管全体の交換ではなく、損傷した配管内に内視鏡を挿入して損傷部を確認しながらレーザーで補修する技術が求められている。しかし、配管直径が小さくなると、内視鏡の光路を屈折させるミラーの駆動用モータにも小型化が求められる。さらに、摩擦駆動方式を採用している超音波モータは、駆動時間が長くなると摩擦熱により性能が低下するため、適応アルゴリズムを導入した手法により補償する制御法が提案されている。しかし、これまで現場技術者にとって直感的に理解できる手法は提案されていない。

本研究では、超音波モータを精密機器へ導入するために必要な小型化と、その制御について検討を行っている。本論文は、全 7 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べている。

第 2 章では、超音波モータの代表的な駆動原理と、その特徴や使用されている機器につ

いて述べている。

第3章では、定在波型超音波モータを用いた配管内検査装置の開発について述べている。その内容は、原子力施設などで用いられている直径12 mmの配管内を、光ファイバスコープで検査とレーザー補修するヘッドの開発を目指したものである。ミラーの駆動部には、大きさが約5 mmで、2つの圧電素子を直交配置した定在波型超音波モータを使用し、これを120°間隔で円環上に並べ、先端部をリングに接触させて動作させている。開発した装置の動作検証を行った結果、仕様通りの動作を実現できることを確認した。

第4章では、板状部材を用いた超音波モータの開発について述べている。第3章の装置では合計12個の圧電素子が必要であり、直動と回転動作の2軸駆動には冗長であった。本研究では、圧電素子と板状部材を直列に配置し、圧電素子の伸長が板状部材を押し曲げる際の変形を利用して駆動するステータを考案し、特許を取得した。実験では、大きさが10 mm程度のステータを用い、ロータを双方向へ回転させた際の駆動性能を明らかにした。

第5章では、板状部材を用いたミニチュア超音波モータについて述べている。第4章の超音波モータは、圧電素子と板状部材を直列に配置していたが、板状部材の形状をコの字型にして折り返し、全長を圧電素子の長さまでミニチュア化し、さらにこの板状部材で与圧を与える機能を付加したものである。実験では、全長約2.7 mmのステータに対し、その基礎特性と直径3 mmのロータを用いて回転性能を明らかにした。

第6章では、超音波モータの位置制御について述べている。超音波モータは、摩擦駆動方式を採用しているため、非線形性や摩擦熱の影響などによりその動特性が大きく変動する。このため、様々な制御手法が提案されてきたが、簡易的な方法は提案されていない。本研究では、超音波モータの回転速度の低下を定常ゲインが低減したとみなし、ループゲインを一定値に保つ簡易的な適応アルゴリズムを導入した2自由度制御法を提案した。その有効性は、実験により高精度な位置決めが可能であることが示された。

第7章では、本研究の結果のまとめと今後の展望を述べている。

以上より、本研究では、精密機器に導入される超音波モータについて、小型化するためのステータの構造とその駆動性能を明らかにし、また超音波モータの駆動性能を保持する簡易的な制御手法を提案した。これにより、超音波モータの小型機器などへの産業応用が促進されることが期待され、工学的な意義も極めて大きいと考えられる。

論文審査結果の要旨

小松和三氏から提出された博士論文について、以下のように、論文の書面審査ならびに口述審査（最終試験）を行った。

1. 書面審査について

書面審査は、提出された博士論文、論文目録、博士論文内容の要旨に対し、令和 2 年 1 月 21 日～令和 2 年 1 月 28 日の期間に行った。

2. 口述審査について

口述審査（最終試験）は、令和 2 年 1 月 28 日に開催した公聴会において、学位審査委員会委員による口頭試問により行われた。博士論文の内容は、プレゼンテーションで説明され、その後の質疑応答では、以下の質問がなされた。

- (1) 配管内検査・補修ロボットの回転機構の動きは理解できたが、直動機構はどのように動くのか。配管内を移動していくことができるのか。
- (2) ミニチュア超音波モータにおいて、板状部材が与圧機構を兼ねている点は使いやすいと思うが、トルクと回転速度の関係はどのようになっているのか。
- (3) 適応制御の研究について、市販されているモータで実験しているようだが、ミニチュア超音波モータでは実験できなかったのか。
- (4) ミニチュア超音波モータは、どのような機器に組み込むことを想定しているのか。
- (5) ミニチュア超音波モータに改善点はあるのか。
- (6) ミニチュア超音波モータは、常温環境下での使用を想定していると思うが、高温環境下でも使用することができるのか。
- (7) ミニチュア超音波モータについて、先行研究と比べた場合の性能はどうか。
- (8) 摩擦駆動方式の超音波モータであるが、板状部材の摩擦特性の評価は行ったのか。
- (9) 板状部材を直列に配置した構造のモータにおいて、曲率により法線方向が変わると思うが、法線方向と駆動性能にはどのような関係があるのか。

以上の内容に対して、いずれも明快な回答や説明がなされた。

本公聴会の後、同場所にて学位論文審査委員会を開催して審議した結果、審査委員会委員全員の賛同の下、本博士論文提出者の小松和三氏が、博士論文の書面審査および口述審査（最終試験）に合格し、またシステムデザイン工学領域（機械系）の学位申請基準を満たしているため、博士（工学）の学位を授与されるのに十分な学識を有していると認められた。