

氏名	山口 大介
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4954号
学位授与の日付	平成26年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	極低温用ボルト締めランジュバン型振動子と超音波モータへの応用に関する研究
論文審査委員	准教授 神田岳文 教授 鈴木康一 教授 五福明夫 教授 渡辺桂吾

### 学位論文内容の要旨

極低温環境は、量子力学的効果が支配的となった現象を生じることや、熱ノイズが極端に少ないという特徴から、物理学や化学、生物学分野など、最先端科学分野において注目されている。

従来、極低温環境用に使用されてきたアクチュエータは、微小位置決めを対象とし、その応用範囲に限界があった。また、小型で極低温下での高速回転駆動を実現するデバイスが現存しないことから、測定環境の外部より動力を伝達せざるを得なく、①極低温環境の維持が困難である、②システムが大型化するという課題が存在した。

本研究では、狭隘である極低温環境内に設置可能で、高速回転を実現するアクチュエータとして、高出力かつ、極低温内に設置可能な材料のみで構成される、ボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) を駆動源とする極低温用超音波モータを提案する。

圧電材料の圧電特性について、共振・反共振法を応用することで極低温環境における評価を行い、極低温環境に適した圧電材料の選定を行った。

波動方程式および圧電基本式を用いて、本振動子の等価回路を記述することで、振動子の電気的特性および機械的特性を統一的に記述した。また、極低温までの温度低下により生じる熱応力について算出することにより、振動子が破損せず使用可能な条件について考察を行った。これらについて、圧電材料 PZT を振動の節に持つ振動子を試作・評価し、有効性について考察を行った。

極低温環境における振動性能の向上を目的として、①圧電材料の位置を振動の腹とした振動子、②圧電材料を PZT から PMN-PT に変更した振動子について、等価回路の記述、実機の試作・評価を行った。また、温度低下により生じる熱応力を低減するために、圧電材料と熱膨張係数の近い金属材料を使用した振動子を試作し、熱応力の低減に有効であることを確認した。

試作した振動子を用いて、温度低下に起因して変化する機械要素を考慮した超音波モータを試作し、室温および極低温環境において評価を行った。極低温における圧電特性の評価から極低温用の設計まで一貫して行うことにより、従来の外部設置型と同程度の回転数を内部設置型と同サイズで実現した。

以上より、本研究は、極低温環境内に設置可能で、高速回転を実現する極低温用超音波モータについて提案し、その設計・評価手法について理論および実験の両面から示し、明らかにしたものである。

## 論文審査結果の要旨

本研究は、液体水素温度（20K）から液体ヘリウム温度（4.2K）までの極低温環境で使用することのできるアクチュエータに着目したものである。従来、極低温環境で使用されるアクチュエータは、極低温環境内に設置できるものの出力が小さいものか、出力が大きいものの極低温環境外に設置され装置全体の大型化が避けられないもののどちらかであった。本研究では、小型のボルト締めランジュバン型振動子を利用することにより、狭隘である極低温環境内に設置可能で高出力の圧電アクチュエータとして、極低温用超音波モータを実現することを提案している。

ボルト締めランジュバン型振動子を極低温環境で用いる際に、300K 近い温度差により熱応力が生じ、振動子としての性能の低下や破損を生じるといった問題がある。本研究では、極低温環境において圧電材料に対して働く熱応力を考慮する設計手法を提案し、実験的に検証を行った。また、等価回路理論に基づき、振動子における材料特性と電気機械的特性の関係を波動方程式および圧電基本式から導き、極低温環境で圧電材料とモータ用振動子を評価する方法を確立した。この方法により、熱応力の影響が小さく、極低温環境でも高出力となる振動子を実現することに成功した。

さらに、極低温用振動子を用いた超音波モータを試作し、室温および極低温環境において評価を行った。温度低下に起因して変化する特性を考慮した超音波モータを試作することにより、極低温環境における回転を実現した。本振動子を使用することにより、4.5K において従来の同規模の圧電アクチュエータの 100 倍となる出力を得ることに成功した。

このように、本研究は、極低温環境内に設置可能で高速回転を実現する極低温用超音波モータをボルト締めランジュバン型振動子を利用することにより実現することを提案し、その設計、評価手法を具体的に示すとともに、理論および実験の両面から明らかにしたものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士（工学）の学位に値するものと判断する。