

# 論文内容要旨 (和文)

平成17年度入学 大学院博士後期課程

システム情報工学専攻 エレクトロメカニカル講座

学生番号 05522306

氏名 土信田 豊



(英文の場合は、その和訳を ( ) を付して併記すること。)

論文題目 非鉛積層圧電セラミックスの開発とそれを用いた小型超音波モータの研究

小型圧電アクチュエータは、電磁式に比べて構造が単純で出力密度が高く、携帯機器の小型化の促進にともないカメラモジュールの光学制御用の駆動装置として注目されている。AF や手ぶれ補正などに一部実用化されるとともに、小型超音波モータなど多くの研究開発がなされている。しかし、これらは PZT セラミックスが使われており非鉛化が大きな技術課題となっている。非鉛圧電体の研究開発は盛んに行われているが、PZT に比べて圧電特性が低く、アクチュエータへの応用は難しいと言われており研究報告もなかった。

本研究は、この状況を打開し、新たな展開を図るため、非鉛圧電セラミックスによる小型超音波モータの実現可能性を見出し、設計指針を提示すること、特性を明確にすることを主眼においた。非鉛圧電セラミックスの小型超音波モータを実現するには、圧電特性を補う素子構造とすること、素子の変位を拡大できる固定子振動子構造にすることが必要である。この考えに基づいて、本研究では、 $\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$  の非鉛積層圧電セラミックスを開発し、屈曲2重モード片持ちはりモータの構成で、携帯用のリチウムイオン電池レベルの電圧で駆動できる非鉛圧電セラミックスによる小型超音波モータの実現に成功した。

本論文では、はじめに、非鉛積層圧電セラミックスの作製技術の確立について論じた。非鉛圧電体としては、重金属や安定性の低い元素を含まず比較的圧電特性の高い  $\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$  に着目した。素子構造は圧電性を有効に使用できる圧電縦効果を重畳して PZT より低い圧電特性を補うように積層圧電セラミックスを選択した。この材料は、マイクロクラックや粒成長が発生し易いことなどの課題を有しているが、その原因を明確にして材料を改良し、1層厚み  $18\ \mu\text{m}$ 、寸法  $1\ \text{mm}^3$  の小型の積層圧電セラミックスを開発した。さらに、1つの素子で振動モード回転が発生できるように2行2列の配列に積層圧電セラミックスを集積したアレイ形積層圧電セラミックスを開発した。

次に、この非鉛積層圧電セラミックスの縦振動を簡便で容易に拡大し楕円運動を励振できる屈曲一屈曲振動を縮退させた屈曲2重モード片持ちはりモータの設計について論じた。このモータは、2行2列に配列された非鉛積層圧電セラミックスの上面に片持ちはりを形成した構成が基本である。積層圧電セラミックスは、対角方向で逆位相に、隣接するセラミックス間で  $90\text{deg}$  位相をずらすことにより、対角方向に直交する2方向の片持ちはりの屈曲振動を励振させ、片持ちはりの途中に設けたロータを接触させる鏝に楕円運動を発生させる。この楕円運動によってロータ表面がこ

すられ、摩擦を介して力が伝達されてロータが回転する。このモータは、固定子振動子の有限要素法による数値解析、変位測定から、片持ちはりの寸法を変えることにより、回転重視型、トルク重視型に区別して設計することができることを明らかにした。

また、開発した積層圧電セラミックスを複数個用いて、非鉛圧電体セラミックスによる小型超音波モータを実現するとともに、その特性を論じた。モータ特性は、同形状の PZT セラミックスを用いたモータよりも圧電特性が低いことにより 10 倍高い電圧が必要であるが、消費電力ベースで同等の駆動特性が得られることが明らかにされた。

さらに、開発したアレイ形積層圧電セラミックスを用いることにより非鉛圧電体セラミックス利用の小型超音波モータの特性向上を図った。アレイ形積層圧電セラミックスを用いることで、予想通り、屈曲-屈曲振動の縮退度合いが向上し、モータの駆動電圧が積層圧電セラミックスを複数個用いたモータに比べて 1/10 に低下した。モータ特性は、同形状の PZT セラミックスを用いたモータに対して、駆動に必要な電圧が 3 倍程度に低く抑えられ、同等のモータ特性が得られることがわかった。

本研究の成果をまとめると以下ようになる。

1) 非鉛積層圧電セラミックスとして、 $\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$  を用いて、固定子振動子に期待される変位  $0.5\mu\text{m}$  が駆動電圧 3 V で見込め、さらに駆動領域を複数持たせたアレイ形積層圧電セラミックスを作製する技術を確立した。

2) 非鉛圧電セラミックスの小形超音波モータとして、屈曲 2 重モード片持ちはりモータを提案し、その設計方法を明示した。

3) 開発した非鉛積層圧電セラミックスを用いて屈曲 2 重モード片持ちはりモータを試作し、ノキアの提唱するカメラモジュールの規格 (SMIA) よりも十分小さい小形超音波モータが実現できた。試作モータは、PZT セラミックスを用いたモータと消費電力ベースで同等の駆動特性が得られることを明らかにした。

4) さらに非鉛圧電セラミックスの小形超音波モータは、材料特性を向上したアレイ形積層圧電セラミックスを用いることで駆動電圧を 1/10 に低減し、 $0.3 V_{p-p}$  で回転し始め、 $3.6 V_{p-p}$ 、1520 rpm で回転した。モータ特性として、 $1.6 V_{p-p}$  (0.36 mW)、最大回転速度 730 rpm、最大トルク  $0.7 \mu\text{N m}$ 、効率 3.6%を得た。PZT セラミックスを用いたモータに対して駆動電圧を 3 倍程度に低く抑えられた。







5) 非鉛圧電セラミックスを用いた小型超音波モータの実現のための基本設計技術を確立し、工学の進展に寄与できた。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成20年 8月 8日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査	広瀬 精二	
副査	東山 禎夫	
副査	小沢田 正	
副査	平田 拓	
副査		
副査		

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学専攻  
氏名 土信田 豊

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

非鉛積層圧電セラミックスの開発とそれを用いた小型超音波モータの研究

3. 審査年月日

論文審査 平成20年 7月22日 ~ 平成20年 8月 8日  
論文公聴会 平成20年 8月 8日  
場所 山形大学工学部 4号館 4-114教室  
最終試験 平成20年 8月 8日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格  
(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	土信田 豊
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は、非鉛圧電セラミックスによる小型超音波モータについて論じている。</p> <p>第1章は、緒論として背景と、目的、論文の構成を述べている。小型超音波モータは、携帯機器の光学制御用駆動装置として注目され、多くの研究開発がなされている。これらはPZTセラミックスが用いられており非鉛化が課題であるが、非鉛圧電体は、PZTに比べて圧電特性が低いいためアクチュエータへの応用が難しく研究報告もなかった。本研究は、非鉛圧電セラミックスによる小型超音波モータの設計指針を提示し、実現可能性を見出して、特性を明確にすることを目的としている。その手段として、圧電特性を補う素子構造とし、素子変位を拡大できる固定子振動子構造とすることに着目して論文を構成している。</p> <p>第2章は、非鉛積層圧電セラミックスの作製技術の確立について論じている。素子構造は圧電縦効果を重畳して圧電特性を補える積層圧電セラミックスを選択し、小型超音波モータに必要な材料要件を提示した。非鉛圧電体は重金属や安定性に欠ける元素を含まない<math>\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{NaNb}_5\text{O}_{15}</math>を選定し、マイクロクラックや粒成長が発生し易いことなどの課題があることを示し、その原因を明確にして材料を改良し、1層厚み<math>18\mu\text{m}</math>、寸法<math>1\text{mm}^3</math>の小型の積層圧電セラミックスを開発するとともに、1つの素子で振動モード回転が発生できるように2行2列に配列し一体化したアレイ形積層圧電セラミックスを開発した。さらに、将来の期待値として、この材料を結晶配向化させることによる特性向上度合いについても明確にした。</p> <p>第3章は、非鉛積層圧電セラミックスの縦振動を簡便で容易に拡大し楕円運動を励振できる屈曲2重モード片持ちはりモータの設計とモータの実現について論じている。このモータは、2行2列に配列された非鉛積層圧電セラミックスの上面に片持ちはりを形成した構成で直交した2方向の片持ちはりの屈曲振動を励振させ、片持ちはりに設けた鏢の楕円運動によりロータを回転させる。鏢の寸法により、回転重視型、トルク重視型に区別してモータ特性を設計できる。非鉛積層圧電セラミックスを複数個用いて、小型超音波モータの実現に成功するとともに、その特性は、同形状のPZTを用いたモータよりも10倍高い電圧が必要であるが、消費電力ベースで同等の駆動特性が得られることを明らかにできた。</p> <p>第4章は、開発したアレイ形積層圧電セラミックスを用いることにより小型超音波モータの特性向上について論じている。アレイ形積層圧電セラミックスを用いたモータは、屈曲一屈曲振動の縮退度合いが向上し、駆動電圧が積層圧電セラミックスを複数個用いたモータに比べて1/10に低下し、携帯機器用のLi-ion電池電圧で駆動できること、ならびに同形状のPZTセラミックスを用いたモータに対して、駆動に必要な電圧が3倍程度に低く抑えられ、同等のモータ特性が得られることが明らかにできた。</p> <p>第5章は結論として総括と将来の展望について述べている。配向積層圧電セラミックスを用いることで、PZTと同等の電圧で駆動できる見込みを示した。</p> <p>本論文の研究成果として、第2章から第4章の内容で、学術論文3報（査読あり）が受理され、掲載されている。以上のことから、博士（工学）の学位論文として合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>最終試験は、公聴会における学位論文内容の口頭発表（約50分）ならびに関連する科目内容について、口頭試問により行った。</p> <p>本研究は、非鉛圧電セラミックスを用いた小型超音波モータに関するもので、圧電特性が低く、超音波モータなどのパワー応用にはこれまで使用できなかった非鉛圧電セラミックスを、材料の改良、1層<math>18\mu\text{m}</math>で多層積層化に成功し、また設計の適正化、加工精度の向上などにより非鉛圧電セラミックス利用の超音波モータの実現に結びつけた。さらに磁場配向により2.5倍もの特性向上がはかれるなど、この分野の研究に大きく貢献できたことを明らかにした。</p> <p>以上の研究内容及び関連分野・科目内容について最終試験を行った結果、質疑応答も的確であり、十分な学力、研究遂行能力を有するものと認められる。よって、最終試験を合格とする。</p>			