

論文審査の結果の要旨

氏名 池田 英幸

本論文は、外部変位センサを必要とせず、圧電セラミック自身の誘電率変化を変位センサとして使用することで位置決め制御を可能とする圧電アクチュエータの制御技術（セルフセンシング技術）について、原理の解明と制御の高精度化を行ったものである。本論文のオリジナリティは主に以下の2点である。第1点は、これまで実験的にのみ確認されていた圧電アクチュエータの変位と誘電率の関係を、シミュレーションにより明らかにした点である。第2点は、変位の方向が異なる2枚の圧電セラミックの誘電率を差分検出する方法を考案し、従来の方法よりも高精度で制御できるセルフセンシング技術を確立した点である。

本論文は、7章からなる。

第1章では、本論文の概要と構成について述べている。本論文の目的は、圧電アクチュエータ制御時の課題である、ヒステリシスの補償を行うための単純かつ高精度な制御技術を確立することである。

第2章では、圧電アクチュエータにおけるヒステリシスと、それを補償するための既存技術が述べられている。既存の方法においては、外部のセンサを用いて制御することが一般的であるが、フィードバック用のセンサの存在は、製造コストを増大させると共に、位置決めシステムを複雑にする原因となっている。圧電アクチュエータそのものをセンサとして用いるセルフセンシング技術は、未だ確立されていないことが述べられている。

3章では、圧電セラミックの誘電率変化をモニタすることにより、フィードバック用のセンサを用いることなく精密に制御するセルフセンシング技術の概要について述べられている。先行研究の例に従い、ユニモルフ圧電アクチュエータを駆動する際、駆動用電圧に加えて、高周波低電圧の誘電率検波用信号を印加し、この信号と同じ周波数の電流をモニタすることによって、インピーダンスを測定し、誘電率を求めている。これによって、圧電変位と誘電率の関係を調べ、4章における原理解明と、5章における高精度化実験の基本となるデータを示している。

4章では、誘電率測定により圧電アクチュエータの変位をモニタすることの妥当性

と高精度化の基礎となる知見を得るためのシミュレーションを行っている。圧電アクチュエータの駆動に伴って、変位がヒステリシスを持つことは、圧電セラミックス内部の結晶構造変化に起因していること知られている。しかしながら、このとき圧電セラミックスの誘電率がヒステリシスを持って変化し、その誘電率変化が圧電変位とどのような関係になるのかについては、理論的な研究がなされていなかった。本章では、圧電アクチュエータへの電圧印加時に起こると考えられる圧電セラミックス内部の構造変化と誘電率変化の関係をシミュレーションし、3章で行った実験で得られたデータと比較することによって、圧電変位によって誘電率が変化するメカニズムを明らかにした。

5章では、セルフセンシング技術を高精度化するための検討を行っている。

本章では、変位の方向が異なる2枚の圧電セラミックスを貼り合わせた、バイモルフアクチュエータを用い、この2枚の圧電セラミックスの誘電率の差分を測定することで、従来よりも高精度で変位をモニタする方法を提案している。クランプ型電流計を用いて、両圧電セラミックスに流れる高周波電流の差分を測定する手法によって、検出する電流の変化量を2倍にすると同時に、2枚のセラミックスにおける、駆動用電圧に依存しない静電容量による電流を相殺させることで、ロックインアンプの高感度レンジを使用して変位を検出することができることが示されている。この方法を用いて80 μm の動作範囲を10 μm ステップで制御する実験を行った結果、どの制御位置においても、目標値 $\pm 0.4\mu\text{m}$ 以内に入っていることが確認出来ている。

6章では、市販の位置決めステージを用いて、セルフセンシングの実験を行い、積層型の圧電アクチュエータを用いた場合、および負荷をかけた場合でも、この原理によるセルフセンシングが可能であることが示されている。

7章では、本研究のまとめと、今後の展望について述べられている。

本論文は、従来から圧電アクチュエータの課題であった、圧電変位のヒステリシスの補償方法として、圧電セラミックスの誘電率変化を用いることについて、その妥当性をシミュレーションにより明らかにしている。さらに誘電率の測定方法に独自の工夫を加えることによって、従来よりも高精度での位置決めを可能にし、圧電アクチュエータの新たな応用分野を開拓する可能性を示している。

以上より、博士（科学）の学位を授与できると認める。