



| | |
|--------------|---|
| Title | 二自由度共振アクチュエータとそのセンサレス制御に関する研究 |
| Author(s) | 吉元, 崇倫 |
| Citation | 大阪大学, 2015, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/52175 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (吉元崇倫)

論文題名

二自由度共振アクチュエータとそのセンサレス制御に関する研究

論文内容の要旨

本論文は独立した二つの駆動軸を有する共振アクチュエータと、そのアクチュエータの位置センサおよび電流センサを用いない駆動手法に関する研究報告である。

第1章では、リニア振動アクチュエータ、多自由度アクチュエータ、センサレス駆動の技術動向について述べた。また本研究で扱う二自由度共振アクチュエータの位置づけ、研究目的を明確にした。

第2章では、本研究でアクチュエータの磁場解析に用いた三次元有限要素法について述べた。解くべき基礎方程式を示し、ガラーキン法による離散化の過程を明確にした。また、非線形計算の考慮方法、電磁力の計算方法、運動方程式との連成法、メッシュの修正法について示した。加えて有限要素法で計算した磁束を利用する簡易動解析手法について、解くべき回路方程式、近似手法について示した。

第3章では、二自由度を有する共振アクチュエータを提案し、ベクトル制御による制御手法および動作特性について述べた。はじめに提案アクチュエータの動作原理を有限要素法によるシミュレーションにより明らかにした。次に動作特性についてシミュレーションおよび試作機を用いた実験を行い、各軸方向を独立して制御可能であることを示した。

第4章では、本共振アクチュエータに外部負荷が加わった場合の特性について検討した。加わる負荷の大きさに対してQ値が非線形に変動し、振幅値に大きく影響することをシミュレーションより明らかにした。このとき振幅を維持する目的でフィードバック制御を適用した場合において、PIDおよびPSM制御の2種類の制御についてシミュレーションおよび試作機による実験により比較検討を行った。いずれの制御手法の場合も振幅を目標値に保つことは可能であるが、Q値の変動の影響を受けるため過渡特性には差が現れ、PSM制御の場合において良好な特性を示すことを述べた。

第5章では、本共振アクチュエータの可動子位置を、位置センサを用いず推定し駆動する手法について提案した。提案手法はコイルに発生する逆起電圧から位置を推定するものであり、推定に用いるコイルに起因する差異について明らかにした。また提案手法による推定値と真値の比較を行い、シミュレーションと試作機による実験の両者において良好に位置を推定可能であることを示した。

第6章では、位置センサに加え、電流センサを用いることなく本アクチュエータを駆動する手法について提案した。電流センサを用いないため、入力120度矩形波電圧に基づいて生成したものを印加することとした。矩形波入力を与える影響についてベクトル制御の場合との比較を行い、機械共振が支配的となる本アクチュエータにおいて振幅に関しては目立った影響は現れず、消費電力面でベクトル制御に対してやや悪化する領域があることを明らかにした。また非通電区間を設けることで、5章で提案した位置推定手法が適用可能であることを述べ、位置、電流の両センサを用いることなく各軸を独立して制御可能であることを示した。

第7章では、各章で得られた成果を要約した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| | | | |
|-----------------|-----|-----|--------|
| 氏 名 (吉 元 崇 倫) | | | |
| 論文審査担当者 | (職) | 氏 名 | |
| | 主 査 | 教授 | 平田 勝弘 |
| | 副 査 | 教授 | 荒井 栄司 |
| | 副 査 | 教授 | 中谷 彰宏 |
| | 副 査 | 教授 | 南 埜 宜俊 |
| | 副 査 | 教授 | 浅田 稔 |
| | 副 査 | 教授 | 菅沼 克昭 |
| | 副 査 | 准教授 | 宮坂 史和 |

論文審査の結果の要旨

多自由度を有する共振アクチュエータは小型化や高機能化という利点があり様々な用途で期待されているが、振幅制御の難しさや位置センシングなどの課題から従来は構造の提案に留まっていた。また多自由度共振アクチュエータは、その適用先を考えると、外部にセンサを用いること無く駆動できることが小型化や信頼性といった面で望ましい。

これらを受け、本研究では二自由度共振アクチュエータとそのセンサレス制御に関する提案がなされている。

第1章で多自由度振動アクチュエータの研究背景を述べ、第2章では本研究で用いた解析手法について述べている。

第3章では、二自由度共振アクチュエータを提案し、その構造とベクトル制御に基づく動作原理について述べ、シミュレーションと実験から二自由度動作が可能であることを明らかにしている。

第4章では、二自由度共振アクチュエータの負荷時の特性と振幅制御について述べている。アクチュエータに外部負荷が加わった場合のQ値の変動と、その影響を明らかにしている。また、振幅フィードバック制御を適用した場合の動作特性について、シミュレーションと試作機による実験から確認している。

第5章では、位置センサを用いること無く二自由度共振アクチュエータを駆動する手法について述べている。位置センサを用いない手法に関しては、回転機では研究例が多くあるものの、共振アクチュエータに適用するには多くの課題があり適用例がなかった。この課題に対し、共振アクチュエータが持つ特性を利用し、逆起電力から位置推定を行う手法について述べている。また提案手法についてシミュレーションおよび試作機による実験検証が行われており、提案した手法が十分な精度で機能することを確認している。

第6章では、電流センサを使用すること無く二自由度共振アクチュエータを駆動する手法について述べられている。本章では二自由度共振アクチュエータの印加電圧に矩形波を使用することで、電流センサを使用しない駆動法を提案している。矩形波通電に基づく駆動手法が動作に及ぼす影響について、従来の正弦波通電と比較して述べており、振幅や高調波の影響、軸間の干渉の有無について確認している。さらに、5章で提案した位置センサレス駆動手法と組み合わせることで、位置センサと電流センサの両方を用いること無く二自由度振動アクチュエータが駆動可能であることを明らかにしている。

以上のように、本論文で提案された二自由度共振アクチュエータおよびそのセンサレス制御に関する手法は、従来より課題となっていた多自由度振動アクチュエータの制御・センシングの解決策として有用であり、今後、多自由度共振アクチュエータの実用化に貢献すると期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。