



Title	Proposal of a Novel Multiple-Degree-of-Freedom Resonant Actuator and Its Control Method
Author(s)	金, 奎男
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/81879
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

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 (金 奎 男)	
論文題名	Proposal of a Novel Multiple-Degree-of-Freedom Resonant Actuator and Its Control Method (新しい多自由度共振アクチュエータとその制御手法の提案)
論文内容の要旨 本論文は、機械共振を用いるアクチュエータの自由度を拡張させた新しい多自由度共振アクチュエータにおいて、その動作原理、動作特性、制御手法を提案する研究報告である。 本論文では2種類の多自由度共振アクチュエータが提案され、それぞれについて理論式、静的解析、動的シミュレーション、実験検証の結果を示し、提案手法の有効性を明らかにした。 第1章では、モータ分野でのリニア振動アクチュエータの位置付け、リニア振動アクチュエータの分類、リニア共振アクチュエータの特徴、従来の制御手法、多自由度振動アクチュエータの応用を述べた。また、現状の課題を挙げ、本研究の目的と方針を明確にした。 第2章では、3相のコイルと永久磁石で構成される新しい2自由度共振アクチュエータを提案した。可動子は、各相に配置されている永久磁石とそれを固定するBack-ironで構成した。可動子が原点から離れると、離れた距離に比例する電磁力が原点方向へ作用することを理論式で導いた。また、Y結線のコイルへ電流を流すと、各相で発生するトルクの総和は常に零となり、任意の方向へ推力を発生させることを理論式で示した。この動作特性に対して3次元有限要素解析を行ったところ、ディテント特性と電流推力特性の解析結果が理論式と一致することを確認した。 そして、2自由度での座標系と共振運動を定義した。まず、各相の位置関係を持つ$a-b-c$座標系、平面上の$X-Y$直交座標系、平面を回転させた$X_\theta-Y_\theta$直交座標系を定義し、各座標系間への変換が容易にできる変換行列を示した。また、平面上で表現できる全ての共振運動の定義し、これらを3つの変数で表現できるように一般化させた。 2自由度共振アクチュエータの制御手法を提案した。一般化された共振運動において、3つの変数の推定法と制御法を数式上で導いた。また、有限要素解析から得られたパラメータマップを使い、動的シミュレーションを行ったところ、2自由度の平面上で様々な共振運動が制御できることを確認した。 最後に、試作機による実験の検証を行い、直線往復運動(Reciprocating Motion)、楕円同期運動(Elliptical Motion)、円同期運動(Scrolling Motion)が実現できることを示し、提案手法の有効性を明らかにした。 第3章では、4相のコイルと永久磁石を空間上対称的に配置させた構造を持つ3自由度共振アクチュエータを提案した。空間上の対称性を保つ考え方から、正四面体の位置関係を有する$a-b-c-d$座標系を定義し、空間上の$X-Y-Z$直交座標系へ変換できる座標系変換行列を導いた。さらに、$X-Y-Z$直交座標系を$X_\theta-Y_\theta-Z_\theta$直交座標系に回転させる回転行列を定義した。この考え方を基にして基本構造を提案し、アクチュエータの動作原理を理論式で導いた。また、3次元有限要素法による解析を実施し、可動範囲でのディテント特性、電流推力特性、インダクタンス特性が理論式と一致することを確認した。 そして、3自由度の空間上で共振運動を定義し、その推定法とセンサレス制御法を提案した。更に、3次元の静特性パラメータマップを使った動的シミュレーションを行い、直線往復運動(Reciprocating Motion)、楕円同期運動(Elliptical Motion)、円同期運動(Scrolling Motion)が空間上で実現できることを示した。最後に、線形モデルと比較検証を行い、提案する制御手法の効果及び有効性を明らかにした。 第4章では、各章の内容を総括し、本研究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 (金 奎 男)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	平田 勝弘
	副 査	教授	中谷 彰宏
	副 査	教授	吉矢 真人
	副 査	准教授	宮坂 史和

論文審査の結果の要旨

近年、家電やロボティクス分野の様々な機器への適用を目的とした新しいアクチュエータの開発が盛んに行われている。その中で、多自由度共振アクチュエータは平面、あるいは空間上で自由に共振運動ができるものであり、ハブティックデバイスや制振装置などに用いられる。この多自由度共振アクチュエータは、平面又は空間上で多軸の振幅を制御する必要があるため複雑な磁気回路の構成、制御や位置センシングが必要となる。一般に、可動子の位置情報はセンサによって取得できるが、センサのコスト、組み立て誤差、動作環境などの問題があるため、多自由度共振アクチュエータにおけるセンサレス制御手法が強く求められている。しかし、多自由度系における様々な共振運動に対するセンサレス制御手法はこれまでに実現されていない。これを受け、本論文では、機械共振を用いるアクチュエータの自由度を拡張させた新しい多自由度共振アクチュエータを提案し、そのセンサレス制御手法に関する課題を解決することにより、応用分野の拡大に貢献することを目的としている。

第1章では、モータ分野でのリニア振動アクチュエータの位置付け、リニア振動アクチュエータの分類、リニア共振アクチュエータの特徴、従来の制御手法、多自由度振動アクチュエータへの応用が示され、本研究の目的と方針が述べられている。第2章では、3相のコイルと永久磁石で構成される新しい2自由度共振アクチュエータを提案され、アクチュエータとしての動作特性と制御手法について明らかにされている。可動子が原点から離れると、離れた距離に比例する電磁力が原点方向へ作用することが理論と有限要素法解析で示されている。また、Y-結線のコイルへ電流を流すと、各相で発生する推力の総和は常に零となり、任意の方向へ推力を発生させることが示されている。更に、3次元有限要素解析を用いてディテント特性と電流推力特性を求め、理論式と一致することが明らかにされている。次に、2自由度での座標系と共振運動が定義されて、2自由度共振アクチュエータの制御手法が提案されている。一般化された共振運動における推定法と制御法を数式上で導き、動的シミュレーションを行ったところ、平面上での様々な共振運動を制御できることが判明し、そのメカニズムが明らかにされている。更に、試作機による実験の検証が行われ、直線往復運動(Reciprocating Motion)、楕円同期運動(Elliptical Motion)、円同期運動(Scrolling Motion)の共振運動が実験的にも検証されている。第3章では、4相のコイルと永久磁石を空間上対称的に配置させた構造を持つ新しい3自由度共振アクチュエータが提案されている。空間上の対称性を保つ考え方から、正四面体の位置関係を有する $a-b-c-d$ 座標系が定義され、空間上の $X-Y-Z$ 直交座標系へ変換できる座標系変換行列が示されている。また、3次元有限要素法による解析が実施され、可動範囲でのディテント特性、電流推力特性、インダクタンス特性を求め、理論解と一致することが確認されている。そして、3自由度空間上での共振運動が定義され、その推定法とセンサレス制御法の有効性が動的シミュレーションによって明らかにされている。第4章では、各章の内容を総括し、本研究で得られた成果が要約されている。以上のように、本論文は多自由度共振アクチュエータの技術発展とその応用分野の拡大に貢献するものであるといえる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。