



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 三自由度電磁球面アクチュエータに関する研究                                                                                                                           |
| Author(s)    | 佟, 明宇                                                                                                                                           |
| Citation     | 大阪大学, 2012, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/59184">https://hdl.handle.net/11094/59184</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>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

| 【101】         |                                                                                            |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 佟 明 宇 (Mingyu Tong)                                                                        |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工学)                                                                                   |
| 学 位 記 番 号     | 第 2 5 4 9 2 号                                                                              |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 24 年 3 月 22 日                                                                           |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科知能・機能創成工学専攻                                                           |
| 学 位 論 文 名     | 三自由度電磁球面アクチュエータに関する研究                                                                      |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 平田 勝弘<br>(副査)<br>教 授 荒井 栄司 教 授 中谷 彰宏 教 授 南埜 宜俊<br>教 授 浅田 稔 教 授 安田 秀幸 教 授 菅沼 克昭 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、三自由度電磁球面アクチュエータに関する研究内容の報告である。

第1章では、様々な多自由駆動機構の先行研究例を挙げ、従来の多自由度駆動機構の技術動向および課題を述べた。また、本稿で扱う三自由度電磁球面アクチュエータの位置付けを明確にした。

第2章では、1次四面体要素を用いた三次元有限要素解析について述べた。具体的には、マクスウェルの電磁方程式から磁界解析の基礎方程式を導出し、それらをガラーキン法で離散化して解く方法を述べた。また、電磁力の計算方法、運動方程式との連成解析手法および回転運動時の要素分割図修正方法についても述べた。

第3章では、本稿で扱う三自由度電磁球面アクチュエータの基本構造および動作原理を述べ、三次元有限要素法を用いた解析により、各軸回転時の静トルク特性を明らかにした。また、三自由度電磁球面アクチュエータの回転角度の計測方法および制御方法を確立するため、6軸モーションセンサやレーザ変位計を用いた計測方法およびDSPを用いた制御システムを提案し、磁場・電気回路・運動を連成した解析および試作機を用いた実験による検証結果を述べた。さらに、単軸回転時の他軸への影響を明らかにするだけでなく、単軸回転時および全軸回転時の動作特性を明らかにし、最後に、試作機を用いた実験により検証した結果を述べた。

第4章では、小型化・広角化・高トルク化を目指して、アウトロータ式三自由度電磁球面アクチュエータを提案し、その基本構造を示すとともに、動作原理を明らかにした。また、三次元有限要素法を用いて静トルク特性を求めた結果、従来のインナーロータ式三自由度電磁球面アクチュエータと比較して、X軸およびY軸まわりの駆動角度が3.5倍に増加し、 $-45\text{deg}\sim 45\text{deg}$ の広角化駆動が可能であることを述べた。さらに、先行研究のインナーロータ式三自由度電磁球面アクチュエータ（外径90mm）と比較して、同じ電流励磁条件でX軸およびY軸回転時の出力トルクが5倍以上増加し、高トルク化を実現していることを述べた。

一方、制御性の向上に着目し、各軸回転時における平均コギングトルクの割合を平均出力トルクの10%以内に低減するため、本アクチュエータの可動部および固定部形状の最適化を行った結果を述べた。また、最適化モデルの電流－トルク特性を、三次元有限要素法を用いた解析により明らかにした。

第5章では、第2章から第4章まで得られた成果の要点を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

近年、電気機器や産業用機械装置の高機能化による複雑化が進み、アクチュエータには多自由度の駆動が要求されることが多い。現在、空気圧や静電力などを利用した様々なアクチュエータが開発されており、その中でも電磁力を利用したアクチュエータの動力源には、回転型や直動型のモータが使用されているが、いずれも一自由度の駆動しかできない。そのため、現在の多自由度駆動機構の大部分は、複数の一自由度モータを組み合わせることにより実現されているが、大型化や重量の増加、さらには変換機構を介するために生じる効率や位置決め精度の低下などの問題を抱えている。そこで、これらの問題を解決し、さらに小型・軽量化による省スペース・省エネルギー化を目指して、一台のモータで多自由度駆動が可能な多自由度アクチュエータの研究・開発が盛んに行われている。

本論文では、これらの観点から、構造が簡単で高トルク出力可能なインナーロータ式三自由度電磁球面アクチュエータを提案し、三次元有限要素法により静トルク特性を明らかにするとともに、6軸モーションセンサとDSP制御システムを用いて計測および制御の問題を解決している。また、本アクチュエータにおいて、制御システム下での動作特性および他軸への干渉を考慮した動作特性を予測するため、三次元有限要素法を用いた磁界・電気回路・運動を連成した解析と試作機による検証で、本解析手法の妥当性と動作特性を明らかにしている。さらに、小型・軽量で広角回転を目指して、アウトロータ式三自由度電磁球面アクチュエータを提案し、三次元有限要素法を用いた解析により、静トルク特性と動作特性を明らかにしている。本論文で明らかにされている主な点は、具体的には以下の通りである。

(1) 三次元有限要素法を用いて多自由度アクチュエータの動作特性を予測するため、磁場・電気回・運動の連成方法について述べるとともに、要素分割図の修正方法についての詳細を明らかにしている。

(2) インナーロータ式三自由度電磁球面アクチュエータを提案し、制御方法・計測方法を述べるとともに、試作機を用いた実験検証により、その妥当性を確認している。また、提案した連成解析手法により制御システム下での動作特性および他軸への干渉を考慮した動作特性を明らかにするとともに、試作機を用いた実験により、解析結果の検証を行っている。

(3) 小型・軽量で広角回転が可能なアウトロータ式三自由度電磁球面アクチュエータを提案するとともに、三次元有限要素法を用いた静トルク特性解析、動作特性解析、形状最適化により、提案モデルの有効性を述べている。

以上のように、本論文は、一台で多自由度駆動可能なアクチュエータの特性の追及と実用化に向けた構造の開発を目的としている。その結果、得られた成果は、多自由度駆動機構の基盤技術となるとともに、実用化に向けた構造の開発にもフィードバックが可能であり、今後の多自由度駆動機構の開発に利用されることが期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。