

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏名 小山 昌人

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第524号

学位授与年月日 平成29年3月24日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 工学府 物理情報工学専攻

学位論文題目 スパイラルモータの省電力浮上および運動制御の研究  
(Power-saving levitation and motion control of helical-motor)

論文審査委員	主査	横浜国立大学	教授	藤本康孝
		横浜国立大学	教授	河村篤男
		横浜国立大学	教授	大山 力
		横浜国立大学	准教授	辻 隆男
		横浜国立大学	准教授	下野誠通

## 論文及び審査結果の要旨

本論文は、高バックドライバビリティを実現することのできるスパイラルモータについて、総合的な性能の制御向上を目指したものである。特にセンサレスの力制御において、従来課題となっていたギャップ変位の逆応答の改善を行っている。

第1章では、研究の背景と関連研究、および、本研究の位置づけについて述べている。第2章では、従来のスパイラルモータ制御系設計について、電流制御系、加速度制御系、併進方向位置制御系、力制御系の導出および、ゲイン設計手順を明らかにしている。第3章では、設計に必要なモータパラメータを、ゼロパワー制御適用時に力制御応答とギャップ応答が相関関係をもつことを利用して同定する手法を提案し、数値シミュレーションおよび、実験によって妥当性を示した。第4章では、高精度に同定したパラメータを用いてもなお誤差が生じる反力推定について、磁気吸引力係数を多項式近似したモデルを提案し、反力推定実験で推定誤差 RMS 値を 80%低減した。さらに無負荷時ギャップ平衡点が可動子回転角に依存して変動する問題に対して、Multi-Encoder 外乱オブザーバを応用し、反力推定誤

差の低減を実現した。第 5 章ではスパイラルモータ省電力浮上制御について、限定極配置法を用いることによりギャップ制御系と独立にゲイン設計できることを示した。また、外力印加時のギャップの逆応答を力センサを用いずに解消する手法を提案し、従来の外力帰還形に比べ、浮上用電流ピーク値を 25%に低減することに成功した。また、外力推定微分値を用いた場合は 75%に低減することに成功した。これらより、力センサレスでゼロパワー制御の逆応答問題の解消が可能であることを世界で初めて明らかにした。第 6 章ではスパイラルモータ運動制御系のさらなる性能向上のため、最適制御理論に基づくサーボ系とこれに付随するフィードフォワード制御器を新たに設計し、従来手法よりも広帯域の追従制御を実現した。

第 7 章では、本研究の総括を行っている。本論文はスパイラルモータの同定手法の簡易化、および、高精度化、反力推定精度向上を行ったほか、ゼロパワー制御系全体の課題である逆応答について、力指令値または外力推定微分値によって力センサレスな改善手法を初めて明らかにした。加えて、スパイラルモータ運動制御系に関し、最適制御理論によるサーボ系を用いて従来よりも高い安定化性能をもつ制御設計を実機実験により示した、と結論づけている。

以上より、スパイラルモータの新しい制御の提案と検証を試みた本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められた。