

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Study of Low-Speed High-Torque Swirling Actuators Driven by Electromagnetic Radial Force with Integrated Speed Reducers
著者(和文)	ChenLingyu
Author(English)	Lingyu Chen
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12367号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 明,藤田 英明,萩原 誠,竹内 希,清田 恭平,河邊 賢一,小坂 卓
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12367号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Chen Lingyu		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	千葉明	教授	審査員	清田恭平	准教授
	審査員	藤田英明	教授		河辺賢一	テニユアト ラック助教
		萩原誠	准教授		小坂卓	名古屋工業 大学・教授
竹内希		准教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

近年、ヒューマノイドロボット、産業用ロボット、リハビリテーション補助デバイスなどに、小型軽量でトルク密度が大きいモータアクチュエータが必要となっている。ハーモニックギヤとサーボモータの組み合わせが適用されているが、ギヤには薄くて変形可能な部品が必要であるため、ヒューマノイドロボットが倒れた際などに破損しやすい問題点がある。

低速で大トルクを発生するモータアクチュエータとしてはギヤ比が高い多段の機械的なギヤと通常のモータの組み合わせであるギヤードモータが多い。ギヤ比が 100 近い多段のギヤが適用されているが、多段化されたギヤによる摩擦損失が大きく、また、多段化するために寸法も大きくなる傾向にある。一方、希土類の永久磁石による磁気ギヤを適用し、磁気ギヤとモータを一体化した磁気ギヤードモータも提案されつつある。磁気ギヤードモータは従来のサーボモータより高いトルク密度を実現できることが報告されている。

このような状況下で、本論文は、機械損失を避けるために、一段だけのギヤと、半径方向力を発生するベアリングレスモータに近いアクチュエータを組み合わせた新しい電気機械を提案している。すなわち、モータの回転子に発生する電磁力応力のほとんどが半径方向力であることに着目し、回転トルクを発生するのではなく、半径方向力を発生し、回転子を半径方向に揺動的に動かし、1 段だけのギヤで回転トルクを発生する電気機械をとりあげ、新しい電磁機械構造を適用することによって、磁気ギヤードモータを超えるトルク密度を実現できることを明らかにしている。

第一章では、この研究の背景、目的、概要を記載している。特に、トルク密度の向上が重要であることを明らかにしている。

第二章では、低速大トルクであるモータアクチュエータの研究論文等の調査結果をとりまとめている。特に、トルク体積密度を調査し、ハーモニックギヤ、磁気ギヤ、ギヤードモータ、サーボモータ等のトルク体積密度を明らかにしている。体積が大きいモータアクチュエータほどトルク体積密度が高いことを明らかにしており、比較的体積が小さい本論文のターゲットでのトルク密度の目標値を設定している。

第三章では、本論文で提案する永久磁石表面貼付型の回転子をもつ電磁機械の動作原理、基本的な理論、構造、運転方法を数式的に明らかにし、さらに、電磁界解析を利用して設計を行っている。また、ギヤの基本的な設計も行っており、提案する電磁機械の基礎理論を明らかにしている。d 軸電流を流すことによってスワラーをギヤに押しつける半径方向電磁力が発生すること、一方、q 軸電流を流すことによって、ギヤを回すトルクを発生する電磁力が発生することを明らかにして、d、q 軸電流を制御する電流制御系の構成を明らかにしている。さらに、試作機を製作し、また、コントローラ、ドライバ、負荷機械と計測装置を準備し、基本的な動作原理を確認している。実験によれば、q 軸電流だけを流すだけでは、スワラーが描く x、y 軸平面上の軌跡の円の半径が小さくなってしまうこと、この半径が小さくなると、変換されるエネルギーが小さくなり、トルクが低減してしまうことを新しく発見している。

第四章では、提案する電磁機械のトルク体積密度を向上する方法を明らかにしている。いくつかの方法を提案している。一つ目の方法はスワラーのギャップ長と永久磁石の厚みを最適化する方法である。ギャップ長を短縮し、永久磁石の厚みを適切に選択する方法を明らかにしている。さらに、ギヤのプレッシャーアングルを改善し、また、ギヤ比を改善している。この結果、37%トルク密度を向上することに成功し、直径 100mm の電磁回転機械において、64Nm/L のトルク密度を実現している。さらに、試作機を製作し、実験を行い、最適化などの工夫を行ったアクチュエータが実現可能であること、また、実際にトルク密度を実現できることを明らかにしている。

第五章では、本論文のまとめと、将来への課題を記載している。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。