



Title	人工筋用リニア電磁アクチュエータに関する研究
Author(s)	酒井, 昌彦
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/69562">https://doi.org/10.18910/69562</a>
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 ( 酒 井 昌 彦 )

論文題名

人工筋用リニア電磁アクチュエータに関する研究

## 論文内容の要旨

ロボットの導入が期待される分野は年々拡大・多様化する傾向にあり、近年は人の生活・作業を直接的に支援する人共存型ロボットの開発・検討が進められている。人と同じ生活環境で駆動するロボットには安全性確保のために外力に対する柔軟性および衝撃荷重に対する堅牢性が要求される。これに対して実環境にうまく適応した生物を模倣した筋骨格ロボットはこの安全性の高いロボットを構築する有効なアプローチの一つとして注目されており、その中で人の筋と同じように可変粘弾性特性を有する人工筋用アクチュエータの開発が求められている。一方、電磁力駆動リニアアクチュエータは優れた制御応答性により可変粘弾性特性を実現でき、可搬性にも優れている。またダイレクトドライブ方式とすることで外力に対する優れた柔軟性・堅牢性を得ることができる。そのため人工筋用アクチュエータとしての活用が期待され、これまでに複数の構造のアクチュエータが提案された。しかし永久磁石を軸方向に積層する構造では、磁極間ピッチの寸法公差の管理が困難となり生産性が大きく低下してしまう。また複雑なエアギャップを有する構造では衝撃荷重に対する柔軟性・堅牢性が低下するなどの構造的な課題が残っていた。

そこで本研究では人工筋用アクチュエータへの適用を目標として、従来研究の構造的課題を解決する新しい電磁力駆動のらせん形リニアアクチュエータ (HTLA: Helical teathed linear actuator) を提案した。HTLAは可動子が回転・並進の二自由度を有し、永久磁石の形状が簡素であり軸方向に積層する構造をもたないために生産性に優れている。また円筒状エアギャップ構造のため外力によって可動子と固定子が接触する危険性がなく、過負荷に対する堅牢性にも優れている。本研究では三次元有限要素法を用いた数値解析ならびに実機検証によってHTLAの特性を確認し、また実用化に向けた性能向上に取り組んだ。はじめに外力に対する柔軟性を実現するためコンプライアンス制御を適応し、外力に対する剛性を制御できることを確認した。つぎに衝撃荷重に対する制御安定性向上のため、HTLAにおける過負荷時の脱調時の挙動について明らかにした。脱調の発生条件をまとめることで脱調の予測ならびに抑制アルゴリズムを構築し、過負荷・衝撃荷重に対する制御安定性の向上を達成した。最後にHTLAの小型化・低コスト化を目的として、回転角度センサレス駆動について検討を行い、十分な推定精度が得られること、良好な位置制御特性を維持できることが確認された。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 酒 井 昌 彦 )			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	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

人共存型ロボットの普及に合わせて、安全性の高いロボットの開発が求められている。その解決策として注目されている生物模倣型筋骨格ロボットには、外力に対する高い柔軟性を持つ人工筋用アクチュエータが必要となる。しかし従来の人工筋用途として開発された電磁力駆動アクチュエータでは、磁極間ピッチの組立精度の確保が難しい、複雑なエアギャップ形状によって衝撃荷重に対する柔軟性・堅牢性が低下してしまうなど、構造的な課題が残っていた。

本論文は人工筋用アクチュエータへの適用を目標として、従来研究の構造的課題を解決する新しい電磁力駆動のアクチュエータを提案する論文である。その構造・動作原理と特性を明らかにするとともに、実用化に向けた性能向上のための制御手法の構築を行っている。

第1章では、研究背景について述べられている。

第2章では、らせん形リニアアクチュエータ (HTLA: Helical teathed linear actuator) が提案されている。本アクチュエータは可動子が回転・並進の二自由度を有し、永久磁石の形状が簡素であり軸方向に積層する構造をもたないために生産性に優れている。また円筒状エアギャップ構造のため外力によって可動子と固定子が接触する危険性がなく、過負荷に対する堅牢性にも優れている。数値解析ならびに試作機を用いた計測によって、推力が磁極位相に強く依存していること、従来の電磁力駆動アクチュエータと同等の推力が得られることを確認している。

第3章では、外力に対する柔軟性を実現するためにコンプライアンス制御を適応している。磁極位相を制御することで発生推力を調整し、外力に対する剛性を任意に制御できることを明らかにしている。

第4章では、衝撃荷重に対する制御安定性向上のために HTLA における過負荷時の脱調時の挙動について明らかにしている。可動子の磁極位相を変数とした運動方程式を用いることで脱調発生の予測アルゴリズムを示し、さらに脱調抑制アルゴリズムを構築している。結果として過負荷・衝撃荷重に対する制御安定性の向上を実現している。

第5章では、HTLA の小型化・低コスト化を目的として、回転角度センサレス駆動について検討を行っている。可動子の IPM 構造によるインダクタンスの比突極性を利用して十分な推定精度が得られること、良好な位置制御特性を維持できることが確認している。

以上のように、本論文で提案されたアクチュエータは従来研究における構造的課題を解決策として有用であり、今後の人工筋用アクチュエータに適した電磁力駆動アクチュエータの開発に大きく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。