

氏名(本籍・生年月日) 仲 岩 浩 一(長野県 昭和55年11月28日)

学位の種類 博 士 (工学)

学位記番号 乙 第 234 号

学位授与の日付 平成27年3月20日

学位授与の要件 信州大学学位規程 第5条第2項該当

学位論文題目 ペンシルサイズ円筒形リニア同期モータの
高推力密度化に関する研究

論文審査委員 主査 准教授 田代 晋久

教 授 佐藤 敏郎

教 授 水野 勉

教 授 中村 正行

教 授 大路 貴久 (富山大学)

論 文 内 容 の 要 旨

近年、リニアモータやリニア技術は幅広い分野に展開されている。その使用用途や分野におけるリニアモータへの要求は様々であるが、例えばチップマウンタや工場内のボタン押しに使用される円筒形リニアモータへの近年の要求の一つとして、「小型化」の傾向が見られる。円筒形リニアモータにはリニア同期モータ、リニア直流モータ等の分類があるのは周知の事実であり、各社毎にその取扱いの分類は異なるものの、夫々にラインナップ化がされている状況である。そのラインナップから小型の円筒形リニアモータの開発・製品化が進んでいる傾向も確認できるが、同時に2008年以降の関連特許を調査すると、高推力及び低コギング力・低推力リップルに関する特許が並び、小型高推力密度及び低推力リップルに関する考案が現在進行形として出願されている事が分かる。

このような背景がある中、本論文では主に $\square 12(\phi 10)$ の円筒形リニア同期モータの小型・高推力密度及び高調波歪みに関する内容を中心に記述している。本論文は5章構成からなり、小型・高推力密度については、体積と入力電力あたりの推力を導出する推力定数2乗密度 G を評価指標として用いるとともに、様々な手法を講じる事によって、現在市場量産化されている同体格・同ストロークの円筒形リニアモータにおける推力定数2乗密度を上回る事を示している。また歪率の低減手法について示している。

具体的には、第1章では本研究の背景と研究目標について述べている。

第2章では、ペンシルサイズ円筒形リニア同期モータの動作原理と設計概論とし、本研究における4種類の円筒形リニア同期モータの基本構造と磁気回路及び特徴について述べている。また駆動・位置検出をする為のリニアセンサについて述べている。

更に、ペンシルサイズ円筒形リニア同期モータの特性評価をする為の指標の提示を行い、イニシャル設計から目標仕様について述べている。

第3章では、固定子コアレスタイプにおけるパーミアンス法と有限要素法(FEM)を用いた高推力化の検討とし、可動子及びコイル寸法をパラメータとする設計を行っている。その中で、パラメータによる推力及び推力定数2乗密度への影響と効果を示すとともに、計算結果及び測定結果から、ハルバツハ磁石配列の推力はラジアル磁石配列よりも20%向上することを示している。

第4章では、固定子コア付タイプによる高推力密度・低コギング力の検討とし、可動子、固定子及びコイル寸法の設計を行っている。その中で、パラメータによる推力、コギング力及び推力定数2乗密度への影響と効果を示すとともに、計算結果及び測定結果から、ハルバツハ磁石配列の推力はラジアル磁石配列よりも15%向上することを示している。また歪率の低減手法について、ハルバツハ磁石配列における磁石のアスペクト比を変動し、更に磁石形状を変化させる事で、歪率が増減する事を示している。歪率の低減については、磁石のアスペクト比を【ラジアル配向磁石5:1 アキシヤル配向磁石】とし、リング磁石の端部から中央に向かってフィレット形状にする事で、最も効果がある事を示している。また固定子コア付とハルバツハ磁石配列の組み合わせにより、現在市場量産化されている、同体格同ストロークの円筒形リニアモータの最大推力定数2乗密度を上回る $G = 0.029 \times 10^6 [N^2/(Wm^3)]$ を達成した事を示している。

第5章ではあとがきとして、本研究のまとめと成果について述べている。その中で量産化に向けた検討として、温度試験の実施と位置決めセンサによる動作確認の実施についても述べている。

尚、本研究によって主には以下の成果を得た。

- (1) 推力定数2乗密度においては、固定子コア付及びハルバツハ磁石配列により、 $G = 0.029 \times 10^6 [N^2/(Wm^3)]$ を達成した。この値を現在市場量産化されている同体格同ストロークの円筒形リニアモータにおいて、最も推力定数2乗密度が高い物と比較した時、1.25倍の数値となる。
- (2) 巻線部コア有無及び磁石配列での推力比較
 - ・ 固定子コアレスでの比較：ハルバツハ磁石配列(コアレスHLSM)により、ラジアル磁石配列(コアレスRLSM)から20%の推力向上
 - ・ 固定子コア付での比較：ハルバツハ磁石配列(コア付HLSM)により、ラジアル磁石配列(コア付RLSM)から15%推力向上
 - ・ ラジアル磁石配列での比較：固定子コア付(コア付RLSM)は、固定子コアレス(コアレスRLSM)よりも20%推力が高い
 - ・ ハルバツハ磁石配列での比較：固定子コア付(コア付HLSM)は、固定子コアレス(コアレスHLSM)よりも20%推力が高い
- (3) 固定子コア付とハルバツハ磁石配列の組み合わせにおいて、磁石のアスペクト比変動及びリング磁石のフィレット形状化により、歪率は最大10%低減する事を示した。

(4) 過去に，円筒形リニアモータにおけるハルバツハ磁石配列や固定子コア付の研究成果は公表されているが， $\square 12(\phi 10)$ において，固定子コア付き及びハルバツハ磁石配列での試作評価を含めた公表は，本論文が史上初である。

また将来的な展望として本研究で示した成果を元に，限界値(理想値)としての更なる推力定数2乗密度向上を図る為には，高残留磁束密度リング磁石のフル着磁実現とコイル巻線の製造手法の実現が不可欠である事も述べている。

総じて，本ペンシルサイズ円筒形リニア同期モータにおける高推力密度化には，固定子コア付及びハルバツハ磁石配列は有用な手段であり，更に歪率の低減を行うことも可能であることが検証され，示すことが出来た。同時に，温度試験の結果と動作確認の実現により，製品化実現の可能性のある事を示している。