

—博士論文（要約）—

工作機械用永久磁石形横方向磁束リニア同期

モータの研究

—両側式横方向磁束形モータの構造提案、磁気回路簡易設計および位置決め
制御性能の実証—

平成 26 年 12 月 1 日提出

指導教員 古関 隆章 教授

東京大学大学院 工学系研究科
電気系工学専攻 博士課程
学籍番号 37-117388

申 重燮

近年、IT産業、自動車産業、航空産業などの製造業の急速な発展と共に物は小型化、複雑化していることから、高度かつ精密な加工ができる工作機械への要求は高まっている。工作機械の生産性能を決める上で重要な役割をする直線駆動部に、従来使われていた回転式モータとボールねじを用いた駆動方式に変えて、永久磁石形リニア同期モータを導入することで、更なる高度・精密な加工を実現している。

一方、工作機械への実装に有利なリニア同期モータは、ユーザからのサイズ・性能の要求に柔軟に対応し、長寿命で早く、安く提供できるモータのことである。これらの条件を達成するためにモータ設計者は、モータの構造、モータ設計と制御を総合的に取り組む必要がある。リニア同期モータには様々な種類があるが、従来のリニア同期モータではいくつかの構造的な制約・課題を抱えており、ユーザからの要求性能を満足しても各タイプが実装される範囲が狭く、結果的に各タイプのマーケットが小さいことが課題となっていた。

本研究の目的は、全体的には工作機械への実装により有利なリニア同期モータを開発することである。具体的にはリニア同期モータの工作機械への実装において、ユーザの要求(サイズ・性能)に柔軟に対応しながら、より長寿命で早く、安く提供するためのリニア同期モータの構造と磁気回路簡易設計、位置決め制御に焦点を合わせている。

最初に、構造の条件を満たす方法として、新しい構造のリニア同期モータ「両側式横方向磁束形リニア同期モータ」を提案している。提案モデルは7つの技術的な点を工夫したことで、工作機械への実装の有利な構造の条件を幅広く満たしながら、既存モデルの構造から起因する技術的な課題を幅広く改善できる。次に、設計の条件を満たす方法として、横方向磁束形リニア同期モータの元々装置にあったモータを置き換えることと新しく作る装置に導入することを想定し、予備設計の段階で体積と推力の設計点を簡易に見積もることに有用な磁気回路簡易設計として「簡易推力設計点導出法」と「簡易体積設計点導出法」を提案している。

その後、提案した設計法を用いて両側式横方向磁束形リニア同期モータを5軸マシンングセンタの送り軸向けに設計し、試作モデルを用いて基礎性能特性の測定を行っている。次に、提案モデルの試作モデルを汎用ドライバと一般的な回転式同期モータの $d-q$ 軸モデル理論に基づいて設計した位置決め制御系においてそれぞれ1 μm 以下の位置決め制御性能を実証している。

最後に、提案モデルの試作モデルを工作機械への実装に有利なリニア同期モータの条件に基づいて、既存モデルと構造・性能・材料コストの面で比較・分析し、提案モデルの工作機械への実装により有利なリニア同期モータとしての可能性を総合的に評価している。

本研究の結果、リニア同期モータの構造と磁気回路簡易設計、位置決め制御性能の実証に取り組んだ結果として、1) 既存のコア付きリニア同期モータの構造的な問題点を幅広く改善し、2) 既存モデルに比べても遜色のない高性能（高推力密度: 339.2 kN/m^3 、

31.4 kN/m²、低振動・騒音：推力の2.3 %の低ディテント力、高位置決め性能：1 μm以下の位置決め性能)、3) 長寿命 (磁気吸引力相殺によるリニアガイドへの垂直力低減)、4) 速い納入 (磁気回路簡易設計、容易な制御系設計、量産の良い構造)、5) 低材料コスト (50%の永久磁石の量低減)が実現可能なリニア同期モータの開発に成功した。また、本研究で提案した2つの簡易設計法は、横方向磁束形リニア同期モータの磁気回路簡易設計法として有効である。