

論文の内容の要旨

論文題目 基本的実測を援用した端効果の数値計算に基づく車両駆動用リニア誘導モータのプラントモデル同定法

氏名 野崎 雄一郎

今日、リニアモータを利用した交通システムは世界中で数多く運用・計画されており、21世紀の地上軌道系輸送交通機関にもっとも適した推進システムとして関心を集めている。その中でもリニア誘導モータ(Linear Induction Motor)は堅牢な構造、直接駆動、従来の鉄道との制御装置の共通性などの利点を持ち、電磁吸引式磁気浮上車両 HSST や小断面地下鉄リニアメトロなどに採用され、現在、最高時速 100km/h 程度の中速交通機関として営業運転を行っている。

一方、現在のリニア誘導モータへの要求としては、最高速度向上による国際的競争力や魅力の向上、回転型と同様に「誘導モータ」としての理論の枠組みを利用した制御方式の改善によるベクトル制御の応用や、従来回転型モータ駆動鉄道の汎用電気品との共通化による低コスト化が挙げられる。これらによって LIM 駆動方式軌道交通の導入の敷居がより低くなりさらなる市場の拡大が見込める。

これら産業界の要求に応えるためには、LIM の本質的な特性を解明しそれを制御装置のためのプラントモデルに反映させなければならない。これまでの LIM の研究では解析と制御のためのモデル化が統一的に議論されていることは少なかった。本研究ではその総合的なモデル化を考え、数値計算シミュレーション・実際のリニアメトロ用 LIM の基本的な試験・それらを制御装置とのインターフェースとなる等価回路への反映するための検討を行う。

LIM は回転型誘導モータを切り開いた構造となっており、その構造上、高速の動作点や低速領域においてもすべりの動作点によって、ギャップ磁束密度が不均一となる端効果が顕著となり推力の低下のように性能の劣化・モータ自身の定数の変化が発生する。また、回転型モータよりギャップ長が大きく漏れ磁束も大きくなり、回転型モータとは異なる特性となることが知られている。これらのことから、高速化や制御方式の改善による性能向上にはこの端効果を正確に考慮する必要性が挙げられる。

端効果を考慮した LIM の本質的な特性解明のために、現在の電気機械設計の主流となっている数値計算を用いた電磁界解析を行う。本論文では誘導モータの基本となる移動導体を含むうず電流問題を、風上法を利用した LIM の二次元有限差分法を用いて扱う。端効果のみの考慮のためには二次元解析で十分であるが、さらに二次導体のうず電流分布による縁効果を考慮するためには三次元解析が必須となる。その解析は計算機負荷が大きく現実的ではない。そこで、三次元モ

デルの一部を取り出した有限要素法による解析を基に、二次導体板うず電流の分布を近似関数で解析的に解くことで二次元数値解析に反映させる手法を提案した。これにより、大幅に計算機の計算量や記憶容量を削減しながら、三次元効果の考慮が可能となり LIM の様々な動作点での特性計算が可能となった。

また、この数値計算の妥当性を確認するため、過去リニア地下鉄の開発段階で行われていた回転型試験機による走行試験結果と数値計算結果の比較を行った。さらに実際にリニア地下鉄で使用されている LIM を準備し、静止試験におけるギャップ磁束測定を行い、数値計算の有効性を検証した。

LIM の制御のためのプラントモデルに数値計算の結果を反映させるために、LIM の端効果を考慮した等価回路の提案を行う。本論文では、回転型誘導モータの等価回路モデルを可能な限りそのまま LIM へ応用することを目標として、回転型誘導モータの理論の連続性が保たれるように考慮した。等価回路定数を速度の関数とするという最小限の変更とし、実動作点付近でのインピーダンスからのフィッティングを行って等価回路定数を定めることで、その動作点付近では誤差数%で端効果を考慮した特性計算が可能となった。この等価回路から LIM ベクトル制御系を回転型モータのプラントモデルをそのまま利用し、簡単なベクトル制御シミュレーションを行いその実現の可能性を明らかにした。

以上の手法を用いることで、都市交通用 LIM の端効果を考慮した LIM のシミュレーションが容易に行えるようになり、必要とされる動作点での推力特性だけでなく、他の詳細な特性を得ることが可能となった。さらにその効果を等価回路定数に反映することで、これまでの回転型誘導モータの制御理論を大きく変えることなく、容易に LIM に応用することが可能となる。これまでの LIM 駆動の短所を克服し長所をさらに生かすことができる有効な手段であると言える。

本論文はこれまでのリニア誘導モータの研究であった電磁界解析と制御理論とを融合した総合的なモデル化を提案し、高性能化を課題としているリニア誘導モータ駆動交通機関に対して新しい方向を示した。