

重力駆動形都市交通軌道交通の車両上昇駆動への 円筒形永久磁石式リニア同期モータ応用 --低速、大推力直接駆動のための円筒形リニアモータの提案-- Application of long stator PM-type tubular linear synchronous motors for elevating a vehicle of gravity-driven rail-guided urban public transports --Proposal of a tubular linear motor with large thrust for low speed direct drives --

Shin Jung-Seob (The University of Tokyo), Takafumi Koseki (The University of Tokyo)

Geuk-Sub An (Sung Jin Hi-mech Co. Ltd), Kim Houng-Joong (Sung Jin Royal Motion Co. Ltd)

As Gravity-driven rail-guided urban public transports, many researches on Eco-Ride have been conducted. Now, mechanical traction such as chain, rope is used to driving the lift part for elevating a vehicle. By replacing such mechanical traction with linear motor, noise or attrition of the lift part can be reduced. So, it can enhance environmental compatibility and save labor needed to maintenance of machinery and equipment.

However, in the case of linear induction motor, it is difficult to employ the characteristics of its direct drive because of high thrust force in steep slope, thermal problems in low-speed drive. The authors thought transverse flux linear synchronous motor that can gain high thrust at low speed can adapted to the lift part of Eco-Ride vehicles.

In this paper, the authors discuss the application possibility of Transverse Flux Tubular Linear Synchronous Motor we developed to Eco-Ride vehicle, introduce the fundamental characteristics and the calculation of thrust force using 3D FEM analysis.

Keywords: Gravity-driven urban public transport, PM-type tubular linear synchronous motors, Large thrust Transverse flux linear synchronous motor, FEM analysis

1. はじめに

重力を利用した都市軌道交通として、エコライドの研究が進んでいるが、現在その上昇部の駆動は、従来のジェットコースターなどの技術の延長であるロープやチェーンなど機械的な牽引装置を用いている。これをリニアモータで代替ことができれば、接触部が少なくなり騒音の発生と磨耗を抑制し、その環境適合性を高めることができると同時に、機械部品の保守の手間を省力化できる。しかし、リニア誘導モータを用いる場合には、急坂に対応する大きな推力を得ることが難しく、低速駆動の場合には、二次導体における発熱、温度上昇を考慮した設計が必要となるため、リニアモータによる直接駆動の長所を發揮しにくい。

筆者らは、エコライドのような車両の上昇駆動部には、限定的な場所、大推力で効率良く低速で上昇駆動ができればよいので、コンパクトで大推力が得られる横方向磁束形リニア同期モータが適していると考え、本稿では車両側にリニア同期モータの界磁として円筒形の永久磁石界磁部を持つ、地上一次方式の横方向磁束円筒形リニア同期モータ (Transverse Flux Tubular Linear Synchronous Motor : TFTLSM)の応用可能性を検討し、その基本構造と有限要素法を用いた推力の計算を示す。

2. TFTLSM の基本構造と推力特性

2.1 基本構造と特長

図1に電機子コアユニット3相分を進行方向に配置した3相TFTLSMの基本構造を示す。図1(a)のように、電機子側の突極の数と界磁側の永久磁石の数を同じにすることにより、理想的には回転トルクをなくし永久磁石を浮上させる構造になっている。よって、電機子と永久磁石の間に働く吸引力が相殺できる。地上の電機子側は図1(b)のように、隣り合う極が異極になるようにコイルが巻かれ一つの電機子コアユニットになる。電機子コアユニットの突極数と同じ数の車両の永久磁石界磁極は、図1(c)のように隣り合う磁極が異極になるように永久磁石を円周上に配置したリング状の永久磁石ユニットを進行方向に非磁性体のスペーサと組み合わせて配置する。用途によって電機子と界磁のどちらかを両端部で固定する。ここでは、永久磁石の極ピッチに対して、電機子コアユニット3個の組み合わせであるが、一般的な回転モータと同じように単相、3相、4相などになるように永久磁石ユニットと電機子コアユニットとの組み合わせを変えて構成することもできる。

また提案したTFTLSMは、大きな推力を得ることができるので、電気回生ブレーキとして使用することも可能であり、また、永久磁石が車両側にあるため、電力回収を考えなければ、地上固定の導体に渦電流損を発生させることで、より安価な渦電流ブレーキとして用いることのできる可能性もある。

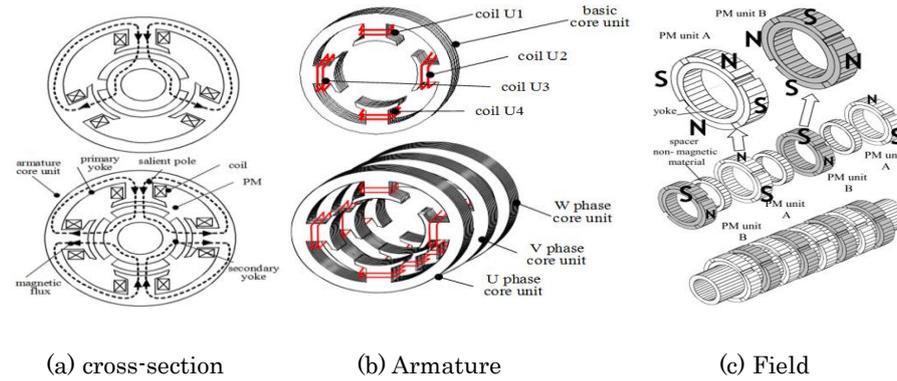


Fig.1 The fundamental structure of TF-TLSM

2.2 磁束集中による推力の向上とオープンタイプの提案

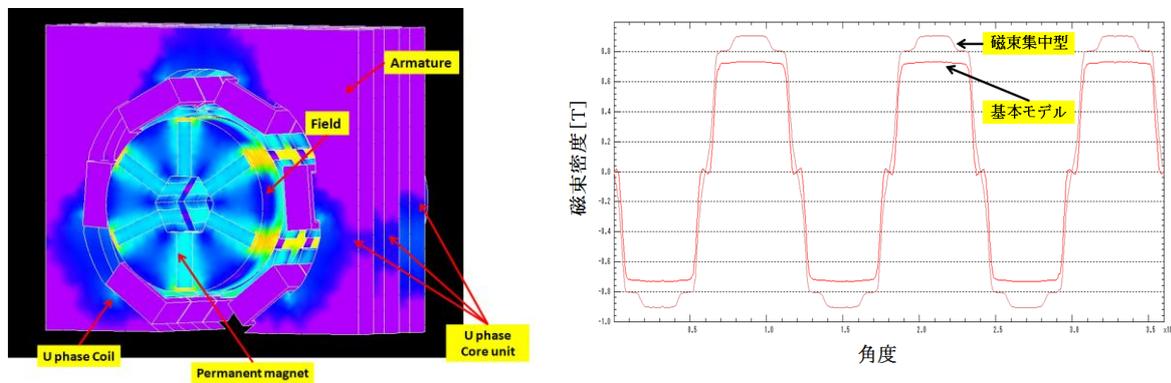


Fig.2 FEM analysis of the Open Type Flux Concentrated TF-TLSM

磁石同士に合わせると電機子と界磁間の磁束を集中させる効果があるので、同じ磁石の量を利用した場合でもより大きい推力を得られると考え、磁束集中型のモデルを提案する。また前章で提案した TF-TLSM の基本構造では、電機子が閉じている形になっているため、構造上車両側の界磁の取り付けには制約がある。そこでオープンタイプの検討をした。図2に磁束集中型 TF-TLSM のオープンタイプとエアギャップ磁束密度の有限要素法による基本モデルとの比較を示す。計算結果、最大推力は 306N だった。本解析で用いたモータの仕様を TABLE I に示す。

TABLE I

SPECIFICATIONS OF OPEN TYPE ANALYSIS MODEL

Variable	Unit	Value	Variable	Unit	Value
Size of armature	mm	90×78×108	coil	turns	50
Number of phase	phase	3	Rated current	A	5
Mass of mover	kg	5.76	Maximum thrust	N	306

3 終わりに

本稿ではエコライドのような車両の上昇駆動部に、車両側にリニア同期モータの界磁として円筒形の永久磁石界磁部を持つ、地一次方式の TF-TLSM の応用可能性を検討し、その基本構造を示し有限要素法を用いた推力の計算をした。また推力の向上と取り付けを考慮した磁束集中型 TF-TLSM のオープンタイプを提案した。今後の課題として、永久磁石可動子への砂鉄などの磁氣的付着を回避する手段の工夫や大型による特性の検証を行いたい。

参考文献

- (1) 関口明浩、金山泰雄、表 久紀、須田義大、山口大助：省エネ型都市交通システム「エコライド」の開発，第 11 回運動と振動の制御シンポジウム講演論文集，(2009-9)，370-374
- (2) Nicola Bianchi, Silverio Bolognani, Dario Dalla Corte, Francesco Tonel: "Tubular Linear Permanent Magnet Motors: An Overall Comparison", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 39, No. 2, pp. 466-475, MARCH/APRIL 2003
- (3) Weh, H, Hoffman, H, Landrath, J, "New Permanent Magnet Excited Synchronous Machine with High Efficiency at Low Speeds," *Proceedings of the International Conference on Electrical Machines*, 1988.