

## 4.2 永久磁石型同期電動機／リニアドライブ

## 横磁束形リニア同期モータの設計と制御

シン ジュンソブ

永久磁石を用いるリニア同期モータ (PMLSM, Permanent Magnet Linear Synchronous Motor) は、従来のフェライト磁石系より約 5~10 倍の高い磁気特性を持つ NdFeB 系磁石や SmCo 系磁石などの希土類磁石を用いることで、モータの小型化／大推力化／高効率化などを図ることができるというメリットがあり、産業分野で応用されるケースが急速に増えている。

しかし、大推力という観点から見ると、従来の縦方向磁束 PMLSM では空間内で極数や極ピッチを自由に調整することが難しいため、高い推力密度を得ることが困難な場合もある。このような観点から、近年横方向磁束 PMLSM に関する研究が活発に行われている。横方向磁束 PMLSM の大きなメリットとしては、巻線を巻く空間 (電気回路) と磁束が流れる空間 (磁気回路) が互いに分離されているため、電気回路と磁気回路が同一空間で各々の空間を占める縦方向磁束形に比べて数種類の形状の設計が可能であり、空間内で極数や極ピッチを自由に調整でき、高い推力密度を得ることができる。しかし、3次元的な磁束の流れに適した積層形構造の製作が困難な場合もある。

本研究では、X-Y ステージ用を想定した大推力横方向磁束 PMLSM を提案し、大推力密度を得るための考え方と現在産業分野で要求されている特性を満足させるための形状の工夫とともに、設計を行っている。

*Design and control of transverse flux-type linear synchronous motor*

Shin Jung Seob

Linear motors are being employed increasingly in industrial fields. Such direct devices offer many advantages over ball-screw drive, which result in a higher dynamic performance and reliability.

There are many types of linear motors including linear synchronous motor, linear induction motor and linear stepping motor etc. Especially, linear synchronous motor that uses permanent magnets (PMLSM) in the field side has contributed to the popularization in industrial fields because of the advent of rare earth permanent magnet. In general, characteristics required to PMLSM in industrial fields are high thrust, high positioning accuracy and simple structure etc.

Especially, how to obtain high thrust density is one of the most significant investigation subject today.

The transverse flux type machinery is an ideal alternative.

It has some advantages distinguished from other types of motors. Most importantly, there is no competition between the space requirement of flux carrying core irons and the space occupied by armature windings. This increases the design flexibility compared with the longitudinal flux type machinery, in which there is a fundamental competition between the stator teeth and armature conductors. The other advantage of the transverse flux type machinery is that it can increase the thrust density with increase in the pole number or decrease in the pole pitch in designated dimension.

However, conventional transverse flux type machinery has such complex manufacturing requirements that it is impractical for industrial production. For that reason, the authors propose short armature core double-sided transverse flux type PMLSM.

## 横方向磁束形永久磁石同期電動機的设计と速度制御

中村 太一

電動機は産業部門、民生部門問わず広く用いられている。従来は直流電動機、誘導電動機が主流であった。近年では小型で大出力が得られ、高効率運転が可能な永久磁石を用いた同期電動機が注目されており、適用範囲の拡大が期待されている。

本論文では、船舶推進用の低速大トルク、直接駆動を実現する横方向磁束形永久磁石同期電動機の性能向上と制御手法の確立を目的とする。永久磁石同期電動機の性能向上に関しては、特にコギングトルクの低減と、大トルク化に注目した。まず騒音や振動の原因となるコギングトルクが、磁石数・電機子極数の組み合わせと関係があることを数値的に評価した。そして適切な磁石数・電機子極数の組み合わせを用いることにより、コギングトルクの低減が可能であることを示した。また大トルク化に関しては、対象とする電動機のモデル化を行い、空間制限下におけるトルク最大化設計法を提案した。制御に関しては、低速度制御に伴う固有の問題点を明確にし、低速度制御において有効な手法であるデュアルサンプリングレートオブザーバを制御系に実装した。そして実験を通じて幅広い領域において本電動機の駆動が可能であることを確認した。

*Design and speed control of a transverse flux type permanent magnet synchronous motor*

Taichi Nakamura

Direct drive motor solutions are becoming increasingly important in electric motor applications from hybrid vehicles to electric ships. New type permanent magnet synchronous motors (PMSMs) such as a transverse flux machine are an attractive option for such applications because of high torque characteristics. Hence a C-core type transverse flux PMSM for electric ships was proposed. However this motor had some critical problems such as high cogging torque. The authors describe the methods for higher performance in a transverse flux type PMSM for electric ships, especially focusing on reducing cogging torque and maximizing torque. The authors propose the prototype motor with low cogging torque characteristics using pole-core combination. Maximizing torque method under the space constraint using magnetic circuit method is also proposed in this paper. The authors simultaneously consider the possibility of applying the current type dual sampling rate observer as a low speed control. Experimental results demonstrate the valid solution of speed control in a multi-pole PMSM with the current type dual sampling rate observer.

## アキシアルギャップ型を応用した永久磁石同期電動機のパーミアンス法による高トルク設計の一検討

山元 雄太

本研究室では、船舶の電気推進を想定し、多極化しやすく低速で大トルクの実現に向くとされる横方向磁束型という磁路構成に注目し、直接駆動による電動機の研究／開発を行ってきた。先行研究で、トルク脈動や騒音／振動、制御性悪化の原因になるコギングトルクの低減と回転子板における渦電流損の低減のための方策を検討し、一定の成果を得た。しかし、依然として大トルクの実現という点が課題として残った。そこで、古典的手法として定着しているパーミアンス法に電機子のアンペアターンの変化に伴うティースとコイルの占有面積の変化を陽に導入し、トルク最適点を探索する理論設計手法を構築し、FEM や IEM と照合しながら高トルクを実現する設計に力を入れている。この設計法を援用することで、簡易ながら、比較的高精度に傾向を把握できるため、現在主流である数値解析(FEM, IEM, ...)設計工程の大幅な短縮／短時間化が期待される。

*A theoretical and numerical study on the design of large torque in Permanent Magnet Synchronous Motor applied axial-flux technology by permeance method*

Yuta Yamamoto

Our laboratory has been focusing on Transverse flux type motors because they are easy to multipolar machine and suitable for large torque at low speed. In previous research, the reduction of cogging torque which caused to torque ripple, vibration or noise and eddy current loss in the rotor disk was achieved. However, the achievement of large torque remains the assignment, so we propose the theoretical design method composed of classical permeance method and the relation between the area of teeth (magnetic loading) and that of coil (electric loading) by the variation of armature ampere-turn. Using this method will contribute to the reduction of time in the process of numerical analysis.

***Analysis the three dimension forces and impedance of Linear Induction Motor (LIM) considering lateral displacement using 3D electromagnetic calculation***

**Cuong Ninh Van**

The applications of Linear Induction Motor (LIM) in transportation have been widely used in Japan since the 80s of last century especially in linear metro. Despite of existing many advantages such as compact size, low cost, robust structure, direct drive etc., the LIM width is finite with lateral edges so it causes many lateral flux leakage. The electromagnetic field in the air-gap is irregular to the direction of motor movement and the width-wise direction of the primary core. The end of the air-gap and the edge of the iron core produce the lateral flux leakage. It's one of the reasons that make the analysis, design and control of this motor difficult. To reducing these problems the affect from secondary conduction plate of LIM must be analyzed.

In this research, by using the Three-dimension Electromagnetic Field Calculation method I analyze the alteration of three dimension forces as well as impedance of LIM considering lateral displacement. From my result, I hope that it's useful for designing the secondary conduction plate of LIM.