

回転永久磁石を用いた磁気浮上推進システムでの金属板厚みの最適化 Optimization on Thickness of Metal plate for Magnetic Floating Propulsion System Using Rotating Permanent Magnets

関大システム理工¹, 佐伯 拓¹, 稲生一優¹, 稲田 貢¹

○Taku Saiki¹, Kazumasa Ino¹, Mitsuru Inada¹

E-mail: tsai@kansai-u.ac.jp

はじめに

磁気が発生する浮上力を用いた鉄道や移動システムの提案が数多く行われている。その方式の1つである超伝導を用いた浮上方式では壁にコイルが必要であり、また、超伝導磁石は液体窒素等を用いた極低温での冷却・メンテナンスが必要でコストが高い。コイルを用いた磁気浮上システムも提案されているが、コイルでは浮上に必要な強磁場を発生させることが困難である。我々は超伝導磁石を必要としない大きな浮上力と加速力が得られる回転永久磁石を用いた磁気浮上推進システムに関して、各種の要素技術の検討と開発を進めている。現在、実験や計算機シミュレーションにより磁石が金属板に侵入する際の表皮効果等を考慮した磁気浮上システムにおける金属使用量削減のための金属板厚み低減に関する検討を行っており、今回それらの検討結果等について報告する。具体的には、新たにモータ駆動トルク低減のため磁気車輪の高速回転速度動作の検討を行い、磁気車輪の低速回転時と高速回転時の駆動トルクや磁石磁場の金属板への侵入深さの違い等について実験と理論計算両面により明らかにした。

実験結果

磁気車輪が高回転時での浮上力と必要な駆動トルクの大きさ等の違いを確認するため、低速タイプで無負荷時の回転速度が10000rpm と高速タイプ20000rpm のモータを浮上力計測実験に使用し比較を行った。回転させた磁気車輪を金属板に押し付け、ESC(AMP)の制御PWM 信号を一定とし、無負荷状態での回転数を一定として最大となる浮上力を計測した。磁気車輪には直径4.5cm (磁石は8 極) のタイプを使用した。Fig.1(低速回転)、Fig.2 (高速回転) に回転速度に対する浮上力の計測結果を示す。この際、使用したブラシレスモータの最大効率を80% (カタログ値) として駆動出力と駆動トルクを算出し、浮上力を得た。理論どおりトルク $\times$ 回転速度の理論値と浮上力の実験結果は良く一致した。共に浮上力の最大値は回転速度が異なるが両方共0.5kgで駆動電力は同じであった。実験の結果、駆動に必要な駆動トルクが小さくなる高速回転での駆動がモータの小型・軽量化につながるため磁気車輪に適していることが分かった。Fig.3に銅板厚みを変化させた場合の浮上力測定結果を示す。厚みが3mm 以下の場合、磁石磁場が金属板裏側に抜け渦電流の大きさが小さくなり浮上力が低下することが分かった。Fig.4に理論計算による厚み方向での磁石磁場と2次的に発生する磁場と渦電流の計算結果の1例を示す。この際、磁気車輪のサイズは9cm、磁石は8極、回転速度が10000rpm とした。その結果、高速回転時では2 次的に発生した磁場(B_x)と渦電流(J_2)の位相差が大きくなり発生するローレンツ力が小さくなるため、回転速度に対して浮上力が線形とならず飽和することが分かった。銅板のみでなくアルミ板に関しても同様の計算と浮上力計測実験をすでに行った。詳細に関しては、報告により行う。

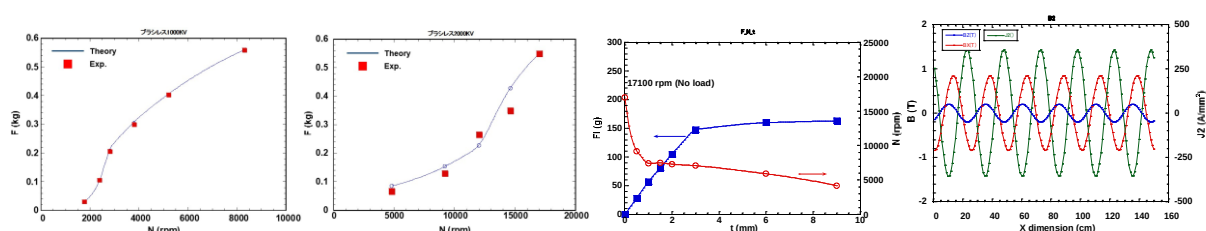


Fig. 1. Floating force. Fig. 2. Floating force. Fig.3. Floating force. Fig.4. Calculated magnetic field and eddy current.

参考文献

- 1.N. Fujii, K. Ogawa, T. Matsumoto, "Revolving Permanent Magnet Type Magnet Wheels", IEE Trans. Japan, Vol. 115-D, No. 3, 1995 pp.319-326.
- 2.N. Fujii, K. Ogawa, M. Chida, "Relation between Magnetic Poles and Characteristics of Revolving Permanent Magnet Type Magnet Wheel", IEE Japan, Vol. 117-D, No. 6, 1997 pp.768-775.
- 3.M. Flankl, T. Wellerdieck, A. Tüysüz, J. W. Kolar, "Scaling laws for electrodynamic suspension in high-speed transportation", IET Electric Power Applications, Vol.12(3), 2018 pp. 357-364.