

非接触給電を用いた磁気浮上システムの開発

1. 諸言

磁気浮上システムは、非接触で物体を支持できる機構で、摩擦、潤滑、塵埃などの問題を解決できる可能性があり、磁気浮上式列車、真空中やクリーンルームなど特殊環境でよく利用されている。磁気浮上には永久磁石の磁性や、電磁石の吸引力を利用したものなど様々な形式があるが、ローレンツ力を利用した磁気浮上システムは浮上力を得ることが難しいため応用例が少ない。今回は非接触給電を用いた電力に基づいて、ローレンツ力を用いた磁気浮上システムに着目し、開発した機構を示し、その制御方法、制御結果について発表する。

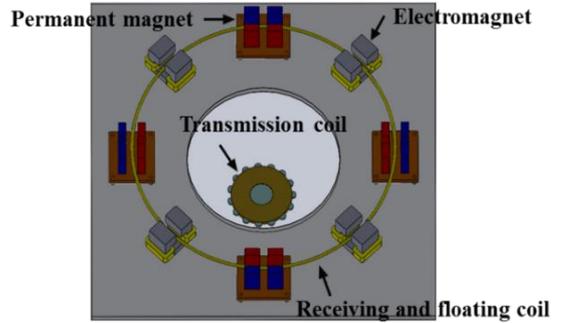


Fig.1 Model of floating organization

2. 非接触給電を用いた磁気浮上システム

2.1 磁気浮上システム

今回使用する磁気浮上システムのモデルを図1に示す。非接触給電の受電部で電力供給を行い、整流回路で直流電流に変換し浮上コイルに電流を流す。浮上コイルの両端には永久磁石と電磁石を配置する。浮上コイルに流れる電流と電磁石の間にはローレンツ力が発生し、重力とつりあわせることで浮上が可能になる。また、電磁石の電流を制御することでその間に働くローレンツ力を調節し、コイルの浮上位置を安定化させるものとする。

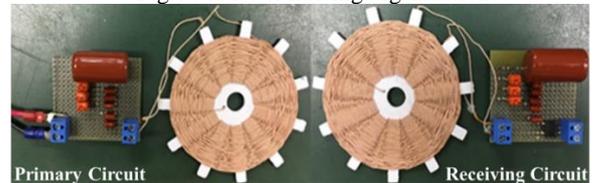


Fig.2 Wireless power transfer

2.2 非接触給電

今回使用した非接触給電を図2に示す。図1に示したように受電コイルは装置の近辺に配置し受電コイルと浮上コイルは共用することを目標とする。非接触給電に用いた等価回路を図3に示す。送電側と受電側は a, b の添え字を用いて区別する。送電側、受電側はともに RLC 回路である。送電側は交流電流より電流 I_a を流し、共振周波数を同調させた2つのコイル間を電磁共鳴によって、受電側に電流 I_b を伝送する。伝送された電流 I_b はブリッジ型ダイオードで整流にされ、電解コンデンサで平滑にされた後、受電側に取り付けた浮上コイル部 R_L に供給される。

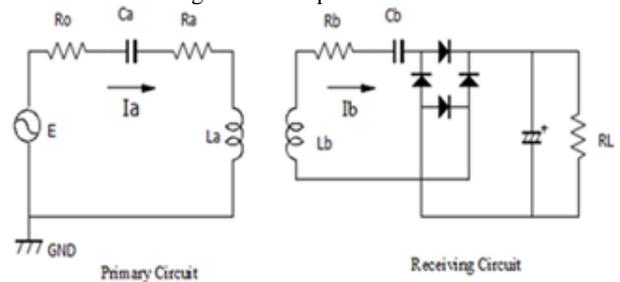


Fig.3 A circuit of wireless transfer organization

3. 磁気浮上システムの制御

3.1 浮上コイルの制御方法

浮上コイルと永久磁石間に発生する磁力線は図4のようになる。永久磁石の磁力線はN極から出た後S極に向かうことが広く知られている。図4に示すように永久磁石の上端部や下端部ではN極から出た磁力線は同じ磁石のS極に向かう。図4をもとに浮上コイルに流れる直流の電流と永久磁石間に働くローレンツ力は図5のように3つに分類されると考えられる。永久磁石間ではローレンツ力は常に+z方向に働くため、浮上コイルの重力とローレンツ力がつりあう位置でコイルの浮上位置が安定する。また、電磁石の電流を制御することでローレンツ力を調節し浮上位置を変化させる。しかし、永久磁石の浮上力と重力だけでは制御ができないので図6に示す電磁石を用いて、能動制御を用いて上下方向および左右方向の安定化を行うものとする。

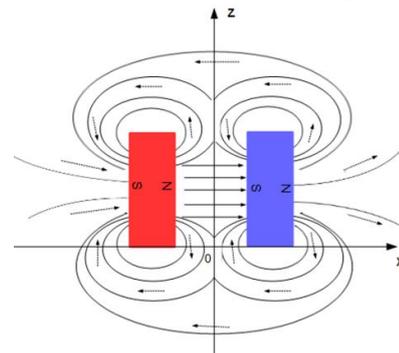


Fig.4 Magnetic Line of force

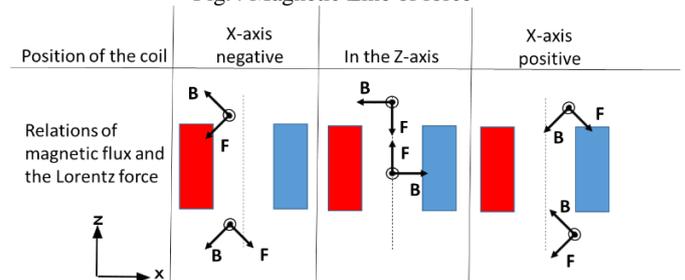


Fig.5 Relation of Lorentz force

3.2 ローレンツ力の解析

浮上コイルに1Aの電流が流れているものとし、電磁石の電流を-3Aから3Aまで1Aずつ変化させる。その場合に電磁石間の浮上コイルに働くローレンツ力の変化を電磁界解析ソフト JMAG を用いて解析した。解析で用いたモデルを図7に示す。原点からz軸方向に50mmまで5mmずつ浮上コイルを移動させた。またその時の解析データを図8に示す。解析結果より、浮上位置が原点より20mmの位置でローレンツ力が最大になることがわかる。つまり、電磁石の制御の際は、浮上位置を原点から20mm付近の位置にすることが最適であるとわかった。

3.3 制御理論の検討

制御対象を浮上コイルとし、浮上コイルにかかる力について考える。図9は浮上コイルにかかる力を表した図であり、浮上コイルにかかる永久磁石によるローレンツ力を F_p 、電磁石によるローレンツ力を $f(i, Z)$ 、重力を mg とした。ここで $f(i, Z)$ の変数 i は電磁石に流れる電流の大きさ、変数 Z は浮上コイルの位置を表す。力のつり合いより、

$$mg - f(i, Z) - F_p = 0$$

運動方程式は、

$$m\ddot{Z}(t) = mg - f(i, Z) - F_p = 0$$

となる。

3.4 制御システムの概要

制御システムの概要を図10に示す。上下左右に配置された4つのセンサで浮上コイルの浮上位置を計測し、A/Dコンバータでデジタル信号に変換され、DSPボードを介してPC内のMATLAB/Simulinkで計算処理をする。その値がDSPボードを介して、D/Aコンバータによりアナログ変換され、アンプにより増幅された値が各電磁石に電流として供給される。

3.5 PID制御

今回は位置制御を行っていく上で、まずフィードバック制御の基礎としてPID制御で実験を行った。図6のように、ローレンツ力がZ軸方向に働くように電磁石の向きを配置することで、上下方向の浮上位置の測定する。出力として電磁石に供給される電流は、電磁石の左右に位置する永久磁石間の浮上位置を測定しているセンサの出力値を、それぞれ足して2で割った値と目標値との偏差にPID補償をかけることで制御される。

4. 結言

今回は製作したローレンツ力を用いた磁気浮上システムの構成を示し、その制御方法を考案した。またPID制御を用いて浮上コイルの上下方向の位置制御を行った。今後は今回の制御の精度を向上させる他、最適な制御方法の考案、浮上コイルの左右方向の位置制御を行う予定である。

文献

- (1) 田中雅子, 岡宏一 非接触給電を用いた磁気浮上システムの開発 日本機械学会 中国四国学生会 第46回 学生員卒業研究発表講演会

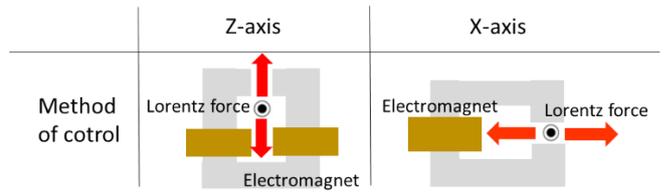


Fig.6 Method of control

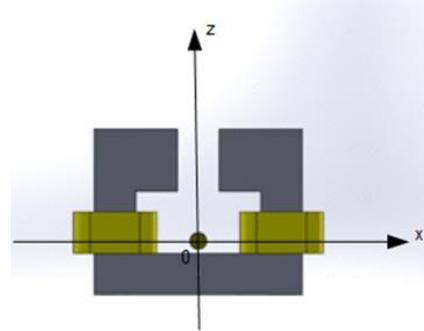


Fig.7 A model of electromagnet

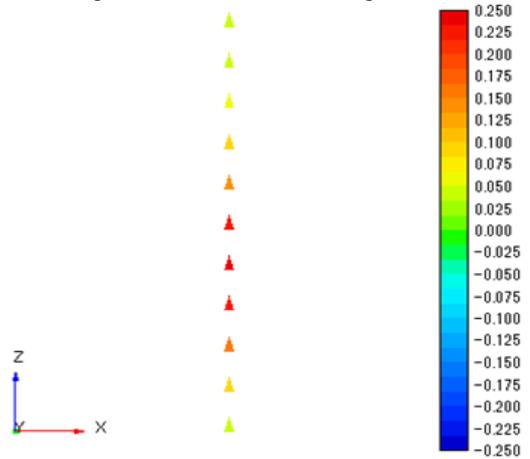


Fig.8 z component of Lorentz force [N] at 3A

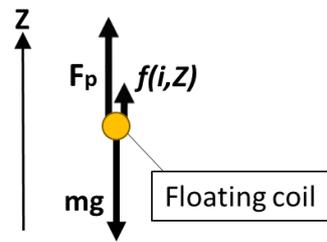


Fig.9 Power to work to floating coil

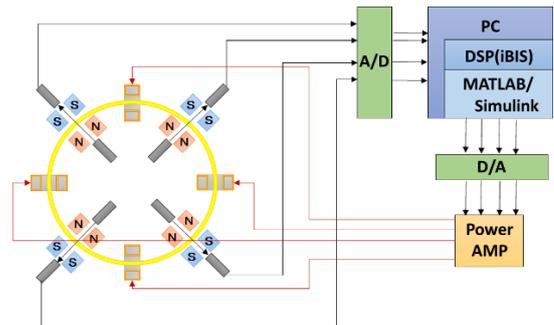


Fig.10 Summary of the control system