

Fig.2 Thrust force when moving horizontally at each air gap

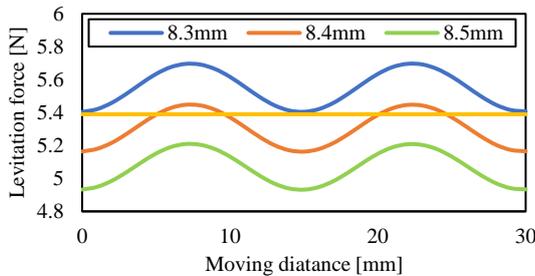


Fig.3 Levitation force when moving horizontally at each air gap

4 ゼロパワー浮上実験

4.1 実験方法

使用した実験装置を図4に示す。エアギャップと水平方向の位置は3章の解析結果より、エアギャップは8.4mm程度の位置で行った。実験装置を用いて先行研究で行ったPD制御とゼロパワー浮上制御で積分器による影響を確認するため比較実験を行った。安定点で浮上制御するために、E形鉄心のコイルに進行方向の逆側から三相交流の位相が $\sin 30^\circ$, $\sin 270^\circ$, $\sin 150^\circ$ の電流を印加し、浮上制御により安定浮上を行った。安定浮上後は50[g]の重りを外乱として加え、エアギャップと電流の測定を行った。

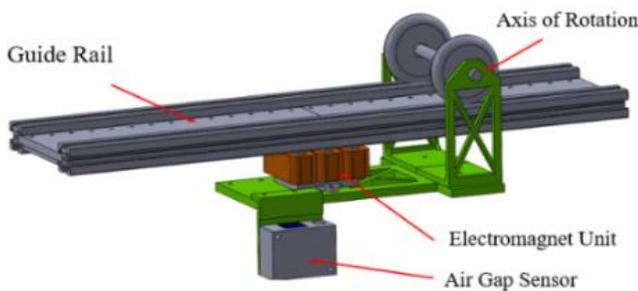


Fig.4 Experimental device

4.2 実験結果と考察

図5にPD制御時の、図6にゼロパワー浮上制御時のエアギャップの測定結果を示す。また、図7にPD制御時の、図8にゼロパワー浮上制御時のコイルの印加の測定結果を示す。図9にゼロパワー浮上時の外乱に対するエアギャップ、図10に外乱に対するコイルの印加測定結果を示す。

図5、図6のエアギャップの測定結果について着目すると、PD制御は中心8.355[mm]に振幅0.015[mm]、ゼロパワー浮上制御は中心8.52[mm]に振幅0.035[mm]の継続的な振動が確認できた。

図7、図8の電流の測定結果について着目すると、PD制御は進行方向に対して前方コイル、後方コイルは中心0.07[A]に振幅0.02[A]、中央コイルは中心-0.18[A]に振幅0.06[A]の継続的な振動が確認できた。また、ゼロパワー浮上は進行方向に

対して前方コイル、後方コイルは中心0[A]、振幅0.05[A]、中央コイルは0[A]、振幅0.15[A]の継続的な振動が確認できた。

図9、図10の外乱に対してのエアギャップ、電流の測定結果について着目すると、エアギャップは外力と同じ方向へ変位してピークに達した後、初期状態の位置より小さい位置で安定した。電流は進行方向に対して前方コイル、後方コイルは+、中央のコイルは-のピークに達した後、初期状態と同じく0を中心とした振幅に安定した。

図5、図6から周期が短く、振幅が小さい継続的な振動が確認できた。この振動は実験機の摩擦によって生じていると考えられるため、ゼロパワー浮上の評価の際には無視できる。電流の振幅は振動に伴い発生しているため、振動を無視した場合、図7からPD制御では進行方向に対して前方コイル、後方コイルに流れる電流は0.07[A]、中央コイルは-0.18[A]となり、電流が常に流れていると考えることができる。それに対して、図8からゼロパワー浮上制御ではすべてのコイルに流れる電流は0[A]となるため、電流が常に流れていないと考えることができる。上記のことから積分器を局所フィードバックすることで定常状態における消費電力は0となりゼロパワー浮上が可能になったと考えられる。また、外乱に対し増加した重りと釣り合うために、エアギャップは変位後、変位前の位置よりも小さい位置で安定し、電流は変位後、変位前と同じように振幅の中心は0[A]となった。よって、本制御方法では、外乱が加わった場合でもゼロパワー浮上が可能であると考えられる。

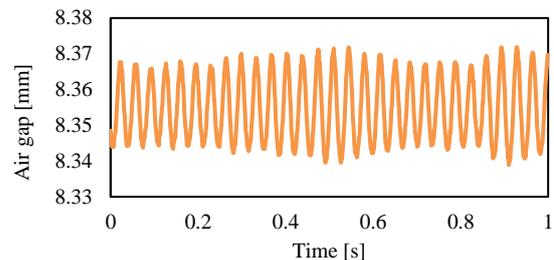


Fig.5 Air gap during PD control

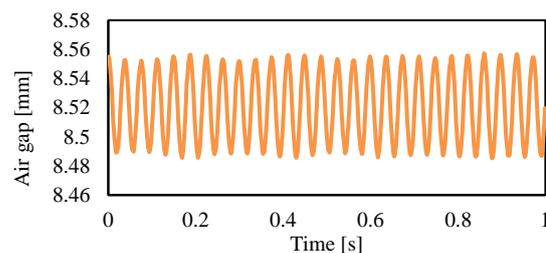


Fig.6 Air gap during zero-power levitation control

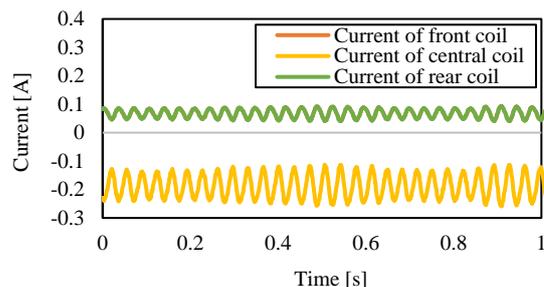


Fig.7 Current applied to each coil during PD control

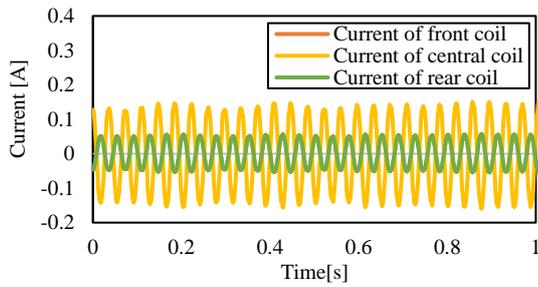


Fig.8 Current applied to each coil during zero-power levitation control

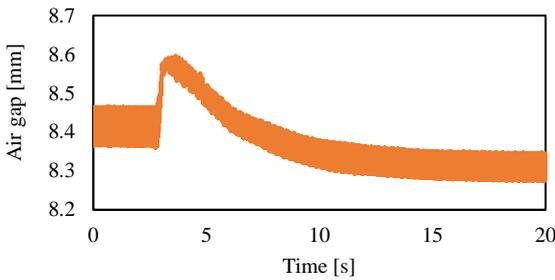


Fig.9 Air gap during zero-power levitation control against external disturbance

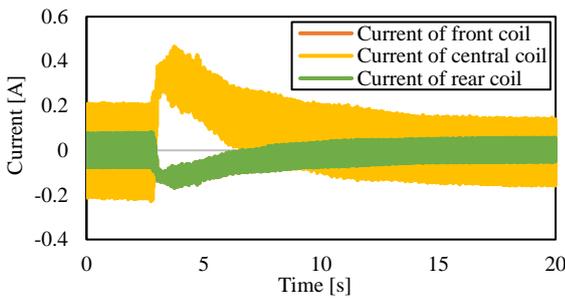


Fig.10 Current applied to each coil during zero-power levitation control against external disturbance

5 結言

本研究では、E形鉄心を用いたベアリングレススライダのゼロパワー浮上を提案し、解析でゼロパワー浮上に必要な水平方向位置とエアギャップを確認し、外乱に対する耐性を含めゼロパワー浮上実験を行った。結果、ゼロパワー制御による浮上体の浮上に成功し、外乱に対する耐性も確認できた。

今後はゼロパワー浮上制御システムのパラメータを調節することで電流の振幅を減少させ、さらなる消費電力の低減を目指す。

参考文献

- (1) 片岡 龍太, 岡 宏一, 原田 明徳, “E 型鉄心を用いたベアリングレスリニアスライダの開発—FEM 解析と実験による検証—” 第 17 回「運動と振動の制御」シンポジウム
- (2) 富田 将広, 岡 宏一, 原田 明徳, “非接触給電磁気浮上リニアスライダにおける 3 相リニアアクチュエータ” 修士学位論文, 高知工科大学 (2018)
- (3) 電気学会磁気浮上技術調査専門委員会, “磁気浮上と磁気軸受け” (1993) コロナ社 p.104
- (4) 石野裕二, 高崎正也, 水野 毅, “柔軟な強磁性体を利用したゼロパワー磁気サスペンションの開発” 第 51 回自動制御連合講演会