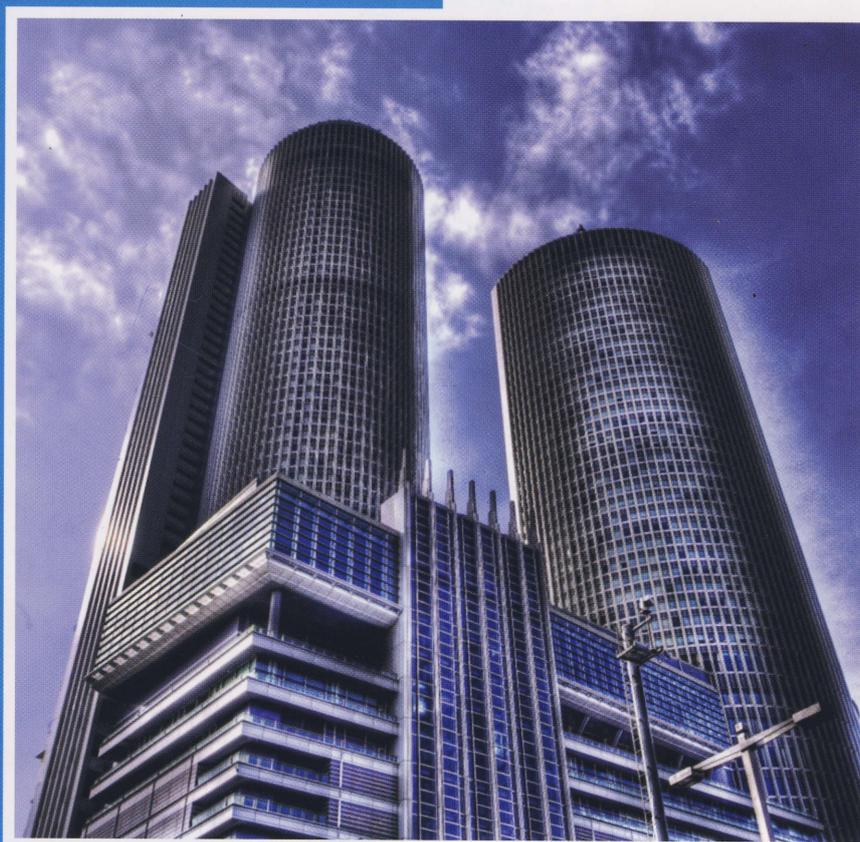


第23回 「電磁力関連のダイナミクス」 シンポジウム

講演論文集



会期：2011年5月18日（水）～20日（金）

会場：愛知県産業労働センター（ウインクあいち）

主催：日本AEM学会

共催：電気学会（産業応用部門）、日本機械学会

協賛：磁性流体研究連絡会、日本液晶学会、精密工学会、日本鉄鋼協会

日本磁気学会、日本原子力学会、計測自動制御学会、

日本シミュレーション学会、低温工学・超電導学会

後援：財団法人大幸財団

永久磁石を用いた鋼板の振動制御 —空隙距離の違いによる制御性能—

Vibration Suppression System for Steel Plate Using Actively Actuated Permanent Magnets
of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics

岡 宏一^{*1}(正員), Phaisarn Sudwilai^{*1}

Koichi Oka (Mem.), Phaisarn Sudwilai

This paper describes a vibration suppression mechanism consisting of permanent magnets, actuators, sensors, and a controller. The aim of this proposed system is to reduce vibration and/or deformation of thin steel sheets by controlling the air-gap between the permanent magnets and the steel sheets. The system uses an LQR method for designing the feedback controller. In this study, the proposed vibration suppression mechanism is considered, a prototype is manufactured for experimental confirmations, a model of the prototype is made for the feasibility analysis and designing the controller, numerical simulations and experimental examinations are carried out to verify the effectiveness of the method. The simulations and experiments were performed under conditions with initial disturbance with PD control and without PD control. All results verified that the success of the vibration suppression system has been developed.

Keywords: Vibration Control, Permanent Magnet, Linear Voice Coil Motor, Linear Quadratic Regulator.

1 緒言

薄板鋼板の圧延や溶融メッキ工程の搬送では、搬送スピードが非常に速く、鋼板の剛性が低いために生じる振動や変形による製品の品質低下が問題となる。機械的接触を利用した振動抑制方法は、接触部分を製品として出荷することは不可能である。電磁石の磁気力を利用した非接触による振動抑制方法も提案されている[1]が、この方法では電磁石の吸引力が距離の自乗に反比例するため、振動の制御範囲が狭くなるため、大きな振幅や変形には対応できないという問題がある。また、十分な制御力を得るにはコイルに流す電流を大きくする必要があるので、コイルの発熱などが問題となる。

本論文では対象物である振動体の振動を非接触で抑制し、かつ広範囲の振動にも対応できるように、ボイスコイルモータ（以下 VCM と表記する）と永久磁石を用いた振動抑制システムを対象とする[2]。今回の報告は振動体と永久磁石の空隙距離の違いが制振性能に与える影響について考察する。まず制振原理を説明し、試作装置の紹介とモデル化を行った後、シミュレーションと実験の結果について述べる。

2 制振原理と試作装置

制振の原理を Fig. 1 に示す。右端の図に示されるように、装置は中央にある振動体をその両側にある永久磁石の磁気力で制御する機構となっている。2つの永久磁石は連結されており、VCM により駆動される。今振動体が、右に変位すると、真ん中の図のように永久磁石は、VCM により右に駆動される。結果として左端の図のように振動体の左側の空隙距離が小さくなり、振動体に左向きの磁気力が働き、復元力を得ることができる。

以上の原理に基づいた試作装置を制作した。その写真を Fig. 2 に示す。図に示すように振動体は平行バネを用いており、永久磁石と振動体が常に平行となる。センサは、振動体の変位測定にはレーザセンサを、永久磁石の変位測定には渦電流式センサを用いている。コントローラは DSP を用いたデジタル制御にて行った。

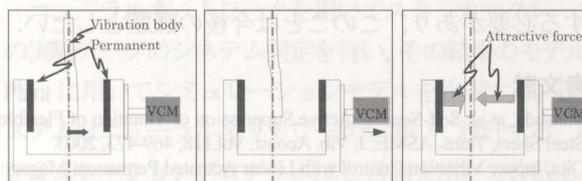


Fig. 1 Principle of vibration suppression mechanism

連絡先： 岡 宏一, 〒782-8503 高知県香美市土佐山田町
宮ノ口 185, 高知工科大学システム工学群（機械系）,
e-mail: oka.koichi@kochi-tec.ac.jp

^{*1}高知工科大学 ^{*2}高知工科大学大学院

3 モデル化と基礎実験

モデル化に用いた記号などの説明を Fig.3 に示す。永久磁石の吸引力は、空隙の自乗に反比例すると考え、次式で表されるものと仮定した。

$$f_m = \frac{k}{(d_0 - z_v + z_p)^2} - \frac{k}{(d_0 + z_v - z_p)^2} \quad (1)$$

また、振動体と永久磁石部の運動方程式は次式で表される。

$$m_v z_v'' = -k_v z_v - c_v z_v' + f_m + f_d \quad (2)$$

$$m_p z_p'' = -k_p z_p - c_p z_p' + f_{avcm} - f_m \quad (3)$$

今回の実験では、初期空隙距離が、12.5mm と 20mm の2つの場合の比較を行った。まず、基礎実験として、振動体と永久磁石の相対距離と磁気力の関係を調べた。結果を、Fig. 4 に示す。図からわかるように 20mm の場合には非線形性が強く、また同じ力を出すためには大きな変位が必要であることがわかった。線形化したバネ定数は発生力が0となる傾きを用いた。

3 シミュレーションと実験結果

モデルに基づいて、最適制御によりゲインを求めて、シミュレーションと実験を行った。なお、重み行列は同じものを用いた。シミュレーション結果を Fig. 5 に、実験結果を Fig. 6 に示す。

シミュレーション結果、実験結果ともに $d_0=12.5\text{mm}$ の場合のほうが素早く収束していることがわかる。このことは、同じ磁気力を発生するために初期の空隙が大きい場合には、大きな変位が必要であるためと考えられる。しかし、鋼板の搬送を考えた場合、定常的に磁石が鋼板の近くにあると、渦電流による搬送抵抗が発生すると考えられる。よって収束の速度だけでは性能評価は難しいと考えられる。

4 結言

永久磁石とリニアアクチュエータを用いた薄板鋼板の振動抑制について、空隙の設定値が性能に及ぼす影響について調べた。その結果、空隙が狭い方が収束は早い結果が得られた。性能に関しては、総合的に判断する必要があり、このことは今後の課題としたい。

参考文献

- [1] Matsuda, at al: Self-Sensing Active Suppression of Vibration of Flexible Steel Sheet, Trans. ASME, J. Vib. Acoust. Vol.118, 469-473, 2003
- [2] Oka, Inoue: Vibration Control with Linear Actuated Permanent Magnet: Proc. 6th Int. Conf. Motion and Vibration Control, 678-683, 2002

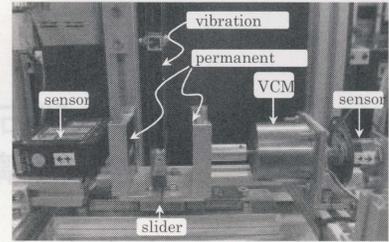


Fig. 2 Photograph of prototype

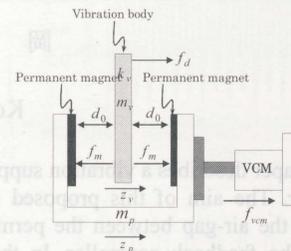


Fig. 3 Symbols of system

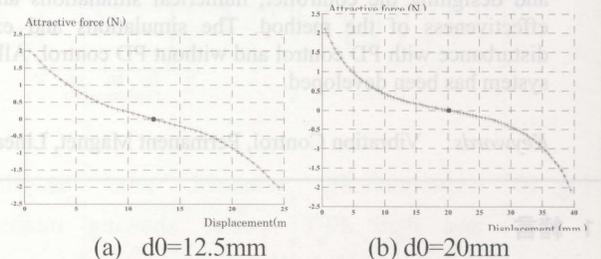


Fig. 4 Magnetic force about relative position of magnet

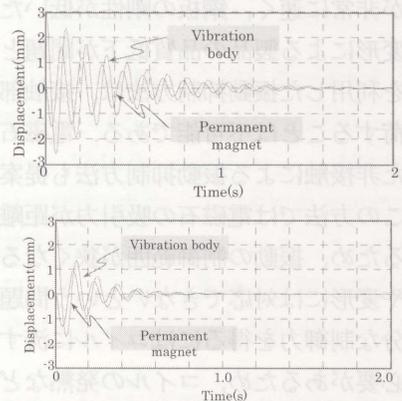


Fig. 5 Simulation results (upper: $d_0=20\text{mm}$, lower: $d_0=12.5\text{mm}$)

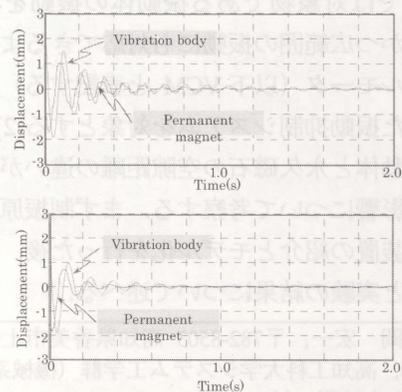


Fig. 6 Experimental results (upper: $d_0=20\text{mm}$, lower: $d_0=12.5\text{mm}$)