

ボイスコイルモータを用いた永久磁石の吸引力による振動制御

Vibration control by attractive force of permanent magnet using voice coil motor

○ 高田征典（高知工科大学） 岡宏一（高知工科大学）

Masanori TAKADA, Kochi University of Technology, Miyanakuchi185, Tosayamada town, Kami city, Kochi
Koichi OKA, Kochi University of Technology

For convey lamina steel boards, the vibration control system with noncontact and wide range can be made by permanent magnet motion control. An experimental device is introduced in this paper. The device controls vibration by using the attractive force of the permanent magnet driven by a voice coil motor. Introduction of the experimental device and a model of the device will be shown. The simulation is carried out on this model.

Key Words : Permanent magnet, Vibration control, Linear motor

1. 緒言

薄板鋼板の圧延やコーティング、メッキ工程では、その鋼板の搬送の際に生じる振動がしばしば問題となっている。それは、薄板鋼板は剛性が低く変形しやすいためである。その対策として機械的な接触で振動を抑制する方法がある。しかし、この方法では装置と鋼板の間に摩擦が生じ、損傷を与えてしまう可能性があるため適切でない。別の方法として非接触で振動を抑制する方法が有効である。それは鋼板に接触しないことにより、鋼板の損傷を防ぐことができるからである。

現在、非接触での振動抑制方法として Fig.1 に示した薄板鋼板用電磁制振装置が挙げられる[1]。制御用電磁石を用いて鋼板の振動を渦電流変位センサにより、反りや振動量を検出する。そして、電磁石の磁力で鋼板の平面性を保つとともに振動も抑えているというシステムである。しかし、この制御方法には、制御範囲が狭いという問題点がある。この装置では電磁石は固定されているため、振動振幅が大きくなると鋼板と電磁石の距離が離れてしまい十分な制御力が得られない。なぜなら、磁気の吸引力はエアギャップ（振動物と磁石の空隙）の2乗の反比例するからである。

本研究では対象物が広い範囲での振動にも対応できるように、電磁石ではなく永久磁石を用いるシステムについて述べる。永久磁石を用いる利点としては、非接触かつ制御範囲の広いシステムを作ることができるという点である。

今回は、ボイスコイルモータ（以下V.C.M.と表記する）を用いて、永久磁石の吸引力により振動物の振動を抑制する装置の紹介とシミュレーション結果を報告する。

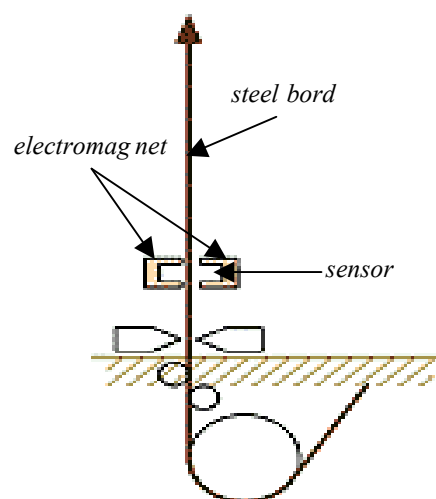


Fig1. Device Configuration Chart

2. 試作システム

2.1. 試作装置 Fig.2 は、V.C.M.を用いて永久磁石の吸引力により、振動物の振動を非接触で抑制する装置の全体図である。Fig.3 は、V.C.M.による駆動部の拡大図である。V.C.M.の軸にコ字フレームを連結させ、フレームの内側に永久磁石を貼り付けている。フレームはスライダに固定して、左右に駆動する機構になっている。振動物はフレームの中央部に配置されるようにしている。振動物は振動しやすくするため、剛性の低いりん青銅板2枚（190×20×0.3mm）を使用している。振動物の先端にはモータを取り付け、強制的に振動（外乱）を起こすことができる。また、りん青銅板の両端には、鉄板を貼り付けている。

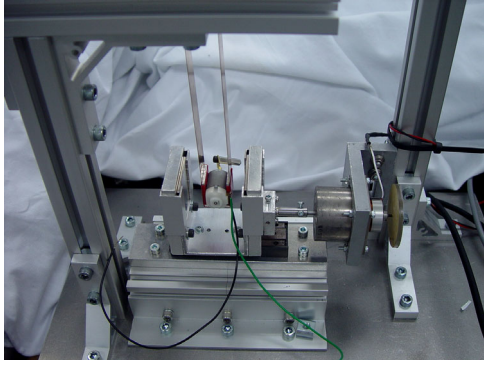


Fig2. Experimental device of vibration control

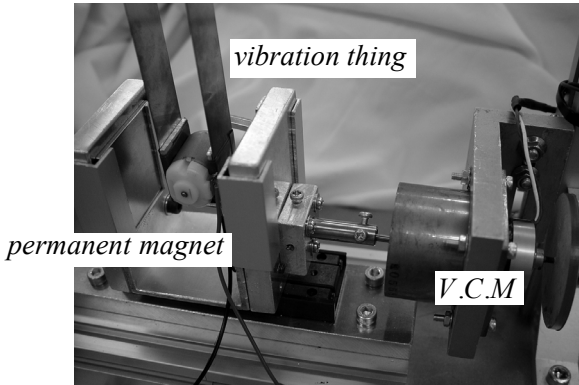


Fig3. Composition of vibration thing

2.2. システム構成 制御システムの構成を Fig.4 に示す。変位をギャップセンサにより計測し、AD 変換されて DSP ボードに取り込まれる。それらの変位信号に基づき、DSP は V.C.M. への出力を計算し、DA 変換により電圧に変換される。その電圧をアンプより増幅し、V.C.M. に電圧が入力されるという構成である。繰り返し計算処理された V.C.M. の電圧の調整により、振物と永久磁石の空隙距離を調整でき、永久磁石の吸引力を利用して振動を抑制できると考えられる。

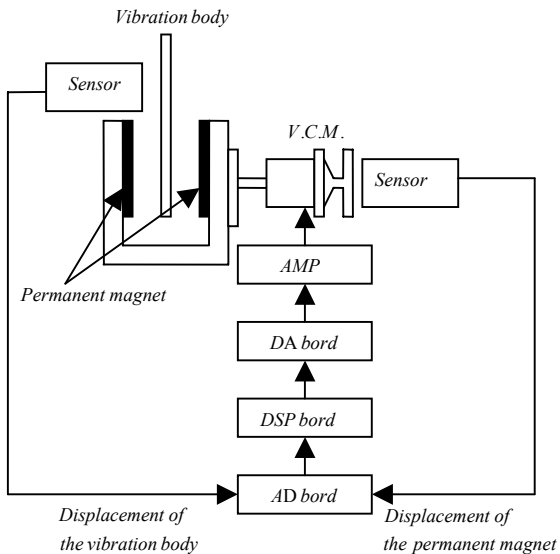


Fig4. Vibration Control System Configuration Chart

3. モデル化

Fig.5 はシステムのモデル図である。振動物と V.C.M. 連結部のモデル化の際に使用した記号を以下に示す。

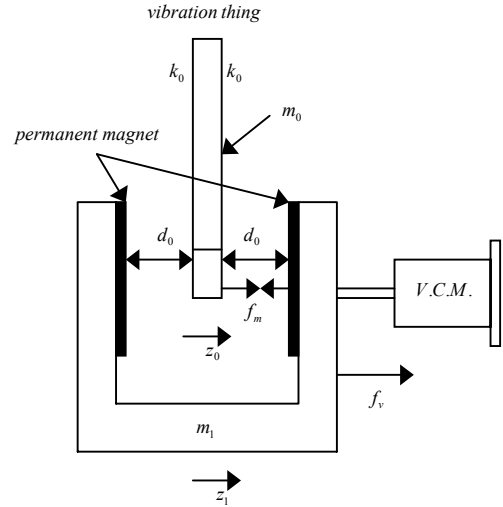


Fig5. Modeling of System

m_0, m_1 : 振動物, フレーム + 永久磁石の質量

c_0, c_1 : 振動物, フレームの減衰定数

k_0 : 振動物のばね定数

z_0, z_1 : 振動物, 永久磁石の変位

f_d : 外乱

f_m : 永久磁石の吸引力

f_v : V.C.M. の駆動力

d_0 : 平衡状態のエアギャップ

k : 磁石定数

永久磁石の吸引力は

$$f_m = \frac{k}{(d_0 - z_0 + z_1)^2} - \frac{k}{(d_0 + z_0 - z_1)^2} \quad (1)$$

振動物の運動方程式は

$$m_0 \ddot{z}_0 + c_0 \dot{z}_0 + k_0 z_0 = f_m + f_d \quad (2)$$

V.C.M. 連結部の運動方程式は

$$m_1 \ddot{z}_1 + c_1 \dot{z}_1 = -f_m + f_v \quad (3)$$

永久磁石吸引力は非線形より式(1)を線形化すると

$$f_m = k_m (z_0 - z_1) \quad (4)$$

ただし,

$$k_m = \frac{4k}{d_0^3} \quad (5)$$

式(5)は線形化後の永久磁石の吸引力定数である。

式(4)を式(2)に代入すると

$$m_0 \ddot{z}_0 = -c_0 \dot{z}_0 + (k_m - k_0) z_0 - k_m z_1 + f_d$$

式(4)を式(3)に代入すると

$$m_1 \ddot{z}_1 = -c_1 \dot{z}_1 - k_m z_0 + k_m z_1 + f_v$$

このシステムの入力は V.C.M.の駆動力になるということを考慮して、状態方程式を導出すると、

$$\dot{x} = Ax + Bu + Ed$$

$$y = Cx$$

ただし、

$$x = \begin{bmatrix} z_0 \\ z_1 \\ \dot{z}_0 \\ \dot{z}_1 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_m - k_0}{m_0} & -\frac{k_m}{m_0} & -\frac{c_0}{m_0} & 0 \\ -\frac{k_m}{m_1} & \frac{k_m}{m_1} & 0 & -\frac{c_1}{m_1} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_1} \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$u = f_v \quad d = f_d$$

上記の行列式A,BからMATLABにより可制御性を調べると、rank=4 となり、可制御であるということが分かった。

4. シミュレーション

Fig.6, 7, 8は横軸を時間(sec), 縦軸を変位(m)としている。Fig.6 は非制御の場合 ($z_1=0$) の振動物の変位 z_0 のシミュレーション結果である。永久磁石の変位は0としているので振動物の変位のみ出力されていることが分かる。Fig.6, はP制御, Fig.7 はPD制御によって振動抑制のシミュレーションを行ったが、適切なPD値を見つけることができなかった。しかし、振動物の振動を抑制でき、永久磁石の吸引力によって制御できる可能性を見出すことができた。ただし、シミュレーションで計算処理する際、 $c_1=0$ としている。

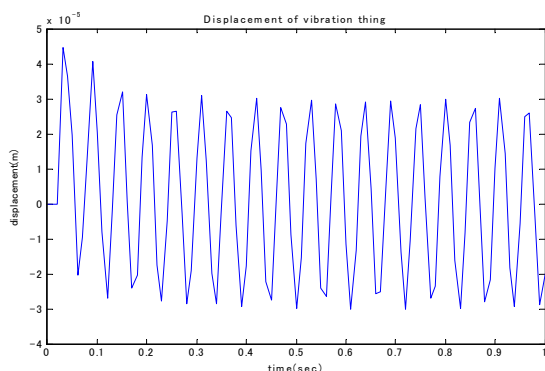


Fig6. Simulation in displacement of vibration thing

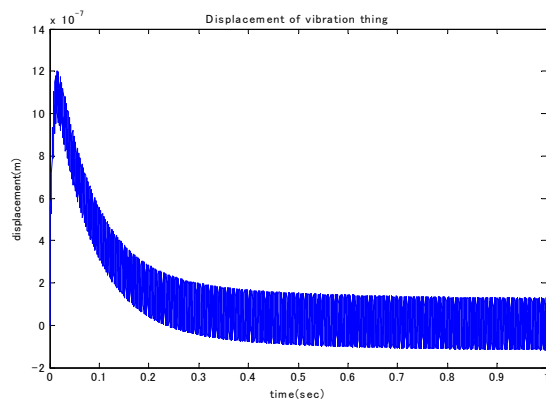


Fig7. Simulation in displacement of vibration thing

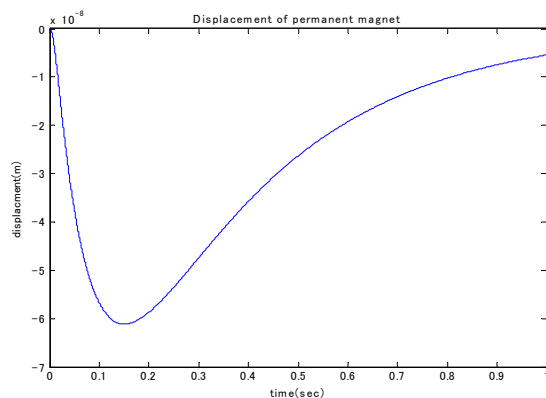


Fig8. Simulation in displacement of vibration thing

6. まとめ

今回、薄板鋼板の振動を抑制するシステムを試作した。このシステムに対し、モデル化を行い、振動抑制の可能性を見出すため、シミュレーションを行った。しかし、適切なゲインを見つけることができなかったが、振動物の振動を永久磁石の吸引力によって制御できる可能性を見出すことができた。今後は、実験装置を用いて振動抑制できるかどうかを確認する。実験結果などは講演のときに発表させていただきます。

7. 参考文献

- [1] http://www.shinko-elec.co.jp/NewsRelease/new_18.htm
- [2] 高知工科大学, 萩森太一, 修士論文