823 磁気浮上長方形鋼板の搬送制御

(水平方向非接触位置決め制御による浮上性能の改善)

Conveyance Control for an Electromagnetic Levitated Rectangular Steel Plate
(Improvement of Levitation Performance in Horizontal Noncontact Positioning Control)

○学 長谷川 真也(東海大[院])

福島 雄介(東海大[学])

正 押野谷 康雄(東海大)

正 石橋 一久(東海大)

Shinya HASEGAWA, Tokai University, Kitakaname 1117, Hiratsukashi, Kanagawa

Yusuke FUKUSHIMA, Tokai University

Yasuo OSHINOYA, Tokai University

Kazuhiisa ISHIBASHI, Tokai University

We have proposed a magnetic levitation control system for a sheet steel and confirmed the realization by the digital control experiment. However, the case in which only the levitation control is applied for the steel plate, it has no horizontal restraining force in the traveling. Then, the electromagnetic actuators are installed in order to control the horizontal position of the levitated sheet steel. The electromagnetic attractive control forces of the actuators are given for the faced two edges of the levitated sheet steel from horizontal direction. In this paper, the suppression effect of elastic vibration of the levitated sheet steel in the horizontal noncontact positioning was reported. The results of experiment showed that the elastic vibration of the sheet steel could be sufficiently suppressed and effective could be confirmed to the stabilization of magnetic levitation when the steel plate was transported.

Keywords: Sheet Steel, Electromagnetic Levitation, Positioning Control, Elastic Vibration, Optimal Control, and Transport

1. まえがき

薄鋼板の磁気浮上搬送制御において搬送にともなう横滑りを抑止するため水平位置決め制御機構を提案している⁽¹⁾。前報までに、静止状態の磁気浮上長方形鋼板に対して吸引力をエッジ方向から付加した時の、静的吸引力変化に伴う弾性振動抑制効果について浮上系に最適制御理論とスライディングモード制御理論をそれぞれ用いて、比較検討してきた⁽²⁾。本報告では、同様に搬送時において水平方向位置決め制御を付加したことによる浮上性能に関する報告を行う。

2. 磁気浮上搬送装置

2.1 磁気浮上システム 図1の中央に磁気浮上対象である長方形垂鉛めっき鋼板(長さ800mm, 幅600mm, 厚さ0.3mm, 材質SS400)が示してある。また本研究では、鋼板に生じる弾性振動を弾性1次モードまでに限定した考察を行うために、極軽量のカーボンファイバー製パイプ(直径6mm, 使用した全パイプ質量の薄鋼板質量に対する割合は約4%)を図の点線で示すように取り付けた。磁気浮上系の概要は図1の鋼板より上側に示してある。渦電流式非接触変位センサ、電磁石から構成された非接触支持機構をアルミフレーム製装置内の天井に5カ所設置し、変位、速度ならびに電磁石コイル電流をフィードバック⁽³⁾⁽⁴⁾して各電磁石表面から5mmの位置に鋼板を磁気浮上させる。このフレーム全体を図2のように搬送路中央に設置したリニアモータを用いて移動させ、制御対象の鋼板を搬送させる。また水平方向の位置決め制御システムは、図1における中央の鋼板より下側に示してある。浮上した鋼板の相対するエッジに対して、二組の電磁石によって両側に引き合いながら非接触位置決め制御を行う。また、電磁石は磁気浮上システムで使用したものと同一のものを使用し、各電磁石表面から鋼板エッジまでの距離を5mmに非接触位置決め制御する⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

Fig.1 Electromagnetic levitation control system with horizontal positioning controller.

Fig.2 Conveyance system of the sheet steel.

3. 制御系の設計

本研究では、基礎的な検討を行うため浮上系について各電磁石位置におけるローカルな制御を行う一自由度系としてモデル化した。水平方向の運動は一軸方向のみであると、一自由度系としてモデル化を行った。制御実験には定常浮上状態で標準偏差がほぼ同等となるよう最適制御理論並び

にスライディングモード制御理論を用いてコントローラを設計しその弾性振動抑制効果の比較を行う。ただし、両制御とも鋼板の中央に配置してある電磁石コイルのみ速度成分のフィードバックゲインを通常の約 15 分の 1 とした最適制御を用いた。これにより浮上中(水平方向位置決め制御なし)の薄鋼板に弾性 1 次モードに相当する振動が残留しやすい状況を作り出した。

4. 制御実験

4.1 静的吸引力(定常電流)の変化に伴う薄鋼板弾性振動抑制効果について⁽²⁾ これまでに、スライディングモード制御、最適制御によってそれぞれ薄鋼板を浮上させた後、薄鋼板中央部にランダムノイズを加え弾性 1 次モードの振動を励起させ、同時に水平方向位置決め制御を行っている。

図 3 において横軸は水平方向定常電流、縦軸は鋼板中央部振動の標準偏差を示す。図中の●印は最適制御、■印はスライディングモード制御を用いた実験結果(共に 10 回の平均値)である。同図において水平方向位置決め制御を行わない場合($I_z=0$)にはスライディングモード制御が鋼板中央部振動を最適制御の約 60%にまで減少させておりスライディングモード制御の優位性が確認できる。しかしながら、水平方向定常電流を 1.5A 付加することで最適制御、スライディングモード制御共に、同程度の制御性能を示す。これは水平方向位置決め制御を付加することによって、鋼板の両端が拘束された為だと考えられる。

4.2 搬送時の水平位置決め制御による浮上制御性能

図 4 にフレーム搬送用リニアモータの搬送速度(指令値)とそのときの加速度(実測値)を示す。図 5 は 4.1 節と同一条件の下、最適制御、スライディングモード制御でそれぞれ磁気浮上している鋼板に対して水平方向の定常電流を 0.5A と 1.5A との 2 通りに変化させ位置決め制御を行い、搬送を行った場合の鋼板中央部における振動の時間応答波形である。定常電流が 0.5A のときには(同図(a))搬送することによって鋼板に弾性 1 次モードに相当する振動が残留している。この場合は図 3 と同様に、スライディングモード制御に優位性が見出せる。一方、定常電流が 1.5A のときには(同図(b))搬送を行っても鋼板の弾性振動が抑えられていることが確認できる。またスライディングモード制御と最適制御に差がほとんど生じておらず、水平方向位置決め制御の定常電流を 1.5A 程度付加することによって、浮上系の制御性能をカバーできることが示されている。以上の結果より、水平位置決め制御の静的吸引力を増加させることによって磁気浮上の安定化に効果があることが確認できた。

Fig.3 Trade off curve⁽²⁾.

Fig.4 The command of transportation speed and the observation acceleration.

(a) Steady current of electromagnet $I_0=0.5A$
(b) Steady current of electromagnet $I_0=1.5A$
Fig.5 Vertical displacement of the sheet steel in traveling.

5. まとめ

本研究は、磁気浮上鋼板に生ずる弾性振動が水平方向からの静的吸引力によってどのような影響を受けるかを明らかにするために実験的考察を行った。その結果水平方向からの静的吸引力により、搬送時に発生する弾性振動を抑制する効果が確認できた。今後は水平方向位置決めによる磁気浮上系における境界条件の変化に対するロバスト性の検討や、梁を取り付けない柔軟な薄鋼板に対する同様の考察を行う予定である。

参考文献

- (1) Takanori Sekihara, Yasuo Oshinoya and Kazuhisa Ishibashi, Proc.10th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, (2001), 67~68.
- (2) 押野谷, 長谷川, 石橋, 第 45 回自動制御連合講演会, (2002), CD-ROM.
- (3) 長谷川, 押野谷, 石橋, 日本機械学会関東支部第 8 期総会・講演会講演論文集, (2002), 223~224.
- (4) 長谷川, 関原, 押野谷, 石橋, 第 11 回 MAGDA コンファレンス講演論文集, (2002), 197~200.
- (5) 長谷川, 押野谷, 石橋, 第 14 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, (2002), 387~388.
- (6) 長谷川, 押野谷, 石橋, 日本機械学会 2002 年度年次大会, (2002), 279~280.
- (7) 長谷川, 押野谷, 石橋, 第 12 回 MAGDA コンファレンス, (2003), 発表予定.
- (8) Shinya Hasegawa, Yasuo Oshinoya and Kazuhisa Ishibashi, 11th Int. Sym. on Applied Electromagnetics and Mechanics, (2003), 発表予定.