

永久磁石と電磁石を併用した薄鋼板の磁気浮上装置の開発 (永久磁石配置が浮上性能に与える影響に関する実験的検討)

嘉山周汰、市川優介、長吉竜也、川村慎太郎、小川和輝、内野大悟、
池田圭吾*¹、加藤太朗*²、遠藤文人*³、成田正敬、加藤英晃
(東海大学、*¹北海道科学大学、*²東京工科大学、*³福岡工業大学)

Development of electromagnetic levitation system for thin steel plate with
electromagnets and permanent magnets

(Experimental consideration of the effect of permanent magnet arrangement on levitation performance)

S. Kayama, Y. Ichikawa, T. Nagayoshi, S. Kawamura, K. Ogawa, D. Uchino,
K. Ikeda*¹, T. Kato*², A. Endo*³, T. Narita, H. Kato

(Tokai Univ., *¹Hokkaido Univ. of Sci., *²Tokyo Univ. of Tech., *³FIT)

はじめに

冷間圧延されたベルト状の薄鋼板は切断されて切板の状態となり、ローラによって接触搬送される。このとき薄鋼板表面のめっきの傷や剥がれといった、表面品質の劣化が問題となる。そこで当研究グループでは、長方形薄鋼板の磁気浮上装置を用いた非接触磁気浮上搬送制御の検討を行い、これまでに安定した浮上に最適な永久磁石の配置の検討を、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて静的な鋼板のたわみを抑制する配置を探索し、浮上安定性を向上することを確認している¹⁾。さらに、浮上方向に加えて水平方向電磁石を設置した磁気浮上システムにおいて、水平方向電磁石中心間距離を変化させた際の永久磁石の最適配置の GA 探索を行った²⁾。しかし、水平方向電磁石中心間距離を変化させた際の永久磁石最適配置による、妥当性の検証は行われていない。そこで本報告では、水平方向電磁石を設置した磁気浮上システムについて、GA による探索で得られた永久磁石の最適配置による浮上実験を行い、妥当性の検証を行った。

磁気浮上装置

Fig.1 に浮上装置の概略図を示す。浮上対象は長さ 800 mm、幅 600 mm の長方形亜鉛めっき鋼板 (SS400) を使用する。浮上した鋼板のエッジに対して水平方向電磁石ユニットによる吸引力を加え、鋼板の相対する 2 辺に沿って電磁石を 2 個ずつ設置している。水平方向位置決め制御は各電磁石表面から鋼板エッジまでの距離を 5 mm になるように制御を行う。Fig.2 に永久磁石と鋼板の距離 (GAP) の概略図を示す。GAP を 40 mm から 75 mm まで変化させて、GA による探索で得られた永久磁石の最適配置による浮上実験を行った結果、今回の実験条件の範囲においては、GAP が増加すると鋼板の浮上方向の変位標準偏差が減少する傾向を示した。

参考文献

- 1) 石井宏尚, 成田正敬, 加藤英晃, “電磁石と永久磁石による薄鋼板のハイブリッド磁気浮上システム (磁場の相互作用を考慮した最適配置探索に関する基礎的検討)”, 日本 AEM 学会誌, vol. 24, no. 3, pp.149-154, 2016.
- 2) 嘉山周汰, ムハマドヌルハキミビンモハマドカマ, 椎名敦紀, 遠藤文人, 成田正敬, 加藤英晃, “永久磁石と電磁石を併用した薄鋼板の磁気浮上装置の開発 (遺伝的アルゴリズムを用いた永久磁石の最適配置に張力印加位置が与える影響に関する基礎的考察)”, 日本磁気学会論文特集号, vol. 6, no. 1 pp.93-99, 2022.

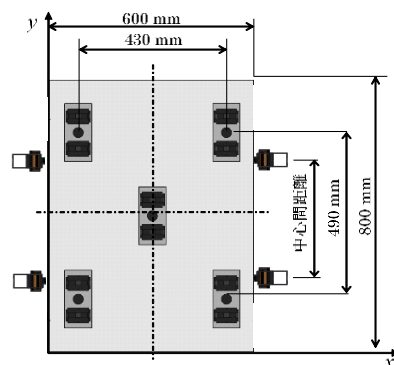


Fig.1 Electromagnetic levitation system

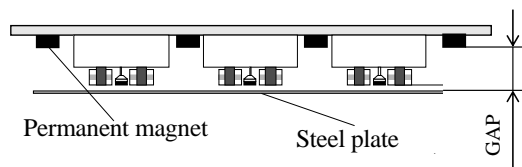


Fig.2 GAP between permanent magnets and steel plate

湾曲させた柔軟鋼板の磁気浮上搬送システムの開発 (鋼板の把持位置が浮上性能に与える影響に関する基礎的検討)

川村慎太郎、市川優介、長吉竜也、嘉山周汰、小川和輝、内野大悟、
池田圭吾*¹、加藤太朗*²、遠藤文人*³、成田正敬、加藤英晃
(東海大学、*¹北海道科学大学、*²東京工科大学、*³福岡工業大学)

Electromagnetic levitation and transportation system for bent flexible steel plate

(Fundamental consideration on effect of gripping position for steel plate on levitation performance)

S. Kawamura, Y. Ichikawa, T. Nagayoshi, S. Kayama, K. Ogawa, D. Uchino, K. Ikeda*¹, T. Kato*²,
A. Endo*³, T. Narita, H. Kato

(Tokai Univ., *¹Hokkaido Univ. of Sci., *²Tokyo Univ. of Tech., *³FIT)

はじめに

工業製品に広く使用され、薄鋼板の製造において、各工程へと搬送する際は、ローラによる接触搬送が行われている。しかし、ローラとの接触により傷や凹凸が生じ表面品質の劣化が問題となっている。そこで、電磁石の吸引力を利用した薄鋼板の非接触磁気浮上搬送が提案されている。当研究グループでは、これまでに水平方向位置決め制御システムと湾曲磁気浮上システムを併用した磁気浮上システムの浮上性能について検討してきた²⁾。しかし、水平方向位置決め制御システムと湾曲磁気浮上システムを併用した磁気浮上システムの浮上性能についてエッジ部に設置した電磁石と鋼板の把持位置を変更した際の浮上安定性の評価について十分な検討が行えていない。そこで本報告では、鋼板の把持位置が浮上性能に与える影響について実験的検討を行った。

磁気浮上搬送システム

実験装置の写真を Fig.1 に示す。浮上対象は長さ 800 mm、幅 600 mm、厚さ 0.24 mm の長方形亜鉛めっき鋼板 (材質 SS400) とする。浮上用電磁石ユニットは 2 基の電磁石と薄鋼板までの変位を測定するための渦電流式非接触センサを中央に電磁石で挟むように配置して構成されている。アルミフレーム製装置内に設置した 5 箇所の浮上用電磁石ユニットを用いて鋼板を非接触支持するため、鋼板の変位を 5 個の渦電流式非接触変位センサにより検出する。変位、そのデジタル微分値である速度、電磁石コイル電流をフィードバックし、鋼板の端部が各電磁石表面から 5 mm の距離を保つように制御を行う。また、薄鋼板を湾曲浮上させるために周囲の電磁石には傾斜ステージを取り付け、電磁石を任意の角度に傾ける。さらに、中央に設置してある電磁石には高さが調整可能なステージを取り付けた。これらを用いて薄鋼板を任意の角度に湾曲させながら浮上できる機構となっている。さらに、浮上制御用電磁石ユニットと水平方向位置決め制御用ユニットの配置を Fig.2 に示す。図中の電磁石の角度と水平方向電磁石ユニットの中心間距離 a を 400 mm、500 mm、600 mm に変化させて実験を行った。

参考文献

- 1) 孫鳳, 岡宏一, 円盤磁石を用いた可変磁路制御機構による磁気浮上(二つの鉄球同時浮上実験), 機論 C 編, vol.78-792, pp2771-2780, 2012.
- 2) 椎名敦紀, ムハマドヌルハキミビンモハマドカマ, 小川和輝, 成田正敬, 加藤英晃, エッジ方向からの磁場による湾曲磁気浮上薄鋼板の振動抑制効果(浮上性能に関する基礎的検討), 日本 AEM 学会誌, vol. 29-1, pp. 111-117, 2021.



Fig. 1 Photograph of conveyance system of the steel plate

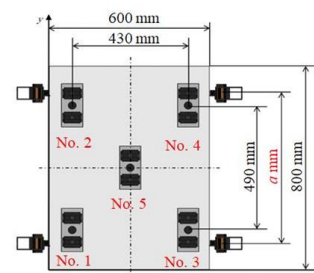


Fig. 2 Layout of electromagnetics for levitation control and horizontal positioning control

シームレスな極薄鋼板の磁気ガイドウェイシステムの開発 (電磁石の制振効果に関する実験的検討)

大久保貴之、加納蓮、加藤英晃、内野大悟、小川和輝、池田圭吾*¹、
加藤太朗*²、遠藤文人*³、成田正敬

(東海大学、*¹北海道科学大学、*²東京工科大学、*³福岡工業大学)

Development of electromagnetic guideway for seamless ultra-thin steel plate

(Experimental consideration of damping effect from electromagnet)

T. Okubo, R. Kano, H. Kato, D. Uchino, K. Ogawa, K. Ikeda*¹, T. Kato*², A. Endo*³, T. Narita

(Tokai Univ., *¹HUS., *²TUT., *³FIT)

はじめに

鋼板を製造するラインでは、鋼板とローラによる接触支持搬送が行われている。この間、鋼板はローラとの接触支持搬送により生じる摩擦が原因で鋼板の表面品質の劣化が問題視されており、高品質な製品の実現には鋼板とローラの接触を避ける必要がある。この問題点を解決するために当研究グループでは走行する連続鋼板のエッジ近傍に電磁力を印加することで鋼板の振動を抑制する非接触案内を検討してきたり。また、マルチボディダイナミクスを用いて鋼板に外乱が入力された際の応答から非接触案内制御用電磁石の制振性能に関する検討および最適な電磁石の配置位置に関する検討を行った²⁾。しかし、電磁石の制振性能に関する実験的検討は行われていない。そこで本報告は電磁石の定常電流を変更した際に鋼板に外乱が入力されたときの制振効果について検討を行った。

非接触案内形成装置

電磁石を用いた非接触ガイドウェイの振動抑制効果を評価するため、Fig. 1 に示す連続鋼板の進行方向部分を模擬した装置を用いて検討を行った。長さ 6894 mm、幅 150 mm、厚さ 0.3 mm のステンレス鋼材製ベルトを溶接した連続鋼板を直径 700 mm、幅 154 mm のプーリから吊り下げた。また、Fig. 1 に示すようにプーリから下に 500 mm、鋼板の面外方向に 50 mm 離れた箇所に外乱用電磁石、図中の 0° の点に制御用電磁石を設置した。なお、この点は電磁石を設置しない場合に振動が大きい点である。

外乱入力時における制振性能の実験

Fig. 1 に示す位置に制御用電磁石を設置した。制御用電磁石に与える定常電流は 0.5 A とし、測定角度は 0°、45°、90°、135°、180° とした。実験により得られた鋼板面外方向の変位標準偏差を Fig. 2 に示す。同図中には同等の定常電流を設定して行ったマルチボディダイナミクスの結果を重ねて表示している。同図より進行方向変更部の 0° に制御用電磁石を配置することで高い制御抑制効果を得ることができ、この結果はマルチボディダイナミクスの結果と比較して同様の傾向であることが確認できた。

参考文献

- 1) 柏原, 押野谷, 石橋, 日本 AEM 学会誌, Vol. 11, No. 4, (2003), 235-241.
- 2) 中須賀, 奈良輪, 石原, 山口, 小川, 成田, 加藤, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 5, No. 1, (2021), 37-43.

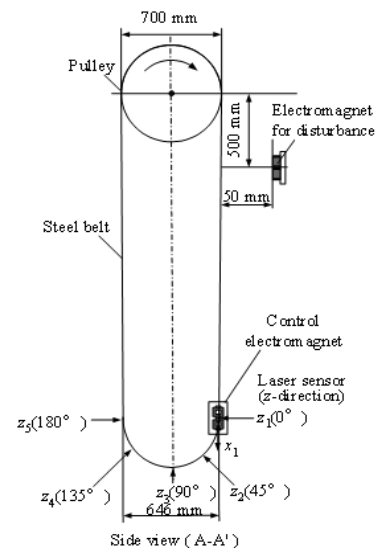


Fig. 1 Schematic diagram of electromagnetic guideway for seamless thin steel plate.

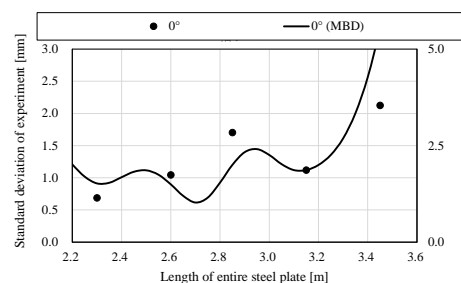


Fig. 2 Experimental results of changing the position of the electromagnet.

柔軟鋼板の湾曲磁気サスペンションに関する研究 (浮上中の鋼板の動的挙動に関する基礎的考察)

宮崎陸、内田大日、船田孔明、小川和輝、内野大悟、池田圭吾*¹、加藤太朗*²、遠藤文人*³、
成田正敬、加藤英晃

(東海大、*¹北海道科学大、*²東京工科大、*³福工大)

A study on bending magnetic suspension for flexible steel plate

(Fundamental consideration on dynamic behavior of steel plate during levitation)

R. Miyazaki, Y. Uchida, K. Funada, K. Ogawa, D. Uchino, K. Ikeda, T. Kato, A. Endo, T. Narita, H. Kato
(Tokai Univ., *¹Hokkaido Univ. of Sci., *²Tokyo Univ. of Tech., *³FIT)

はじめに

電磁石の吸引力を利用した非接触支持を行うため、磁気浮上技術の検討が盛んにおこなわれている¹⁾。当研究グループでは、過去に磁気浮上による非接触搬送の実現性を確認している²⁾。また薄鋼板を対象とする場合には、鋼板を塑性変形しない範囲で曲げた状態で浮上させる湾曲磁気浮上を考案した³⁾。しかし、磁気浮上中の鋼板振動については、詳しく検討されていない。そこで本報告では、有限差分法を用いた数値解析を用いて湾曲磁気浮上を行った際の鋼板振動について検討を行った。

湾曲磁気浮上シミュレーション

Fig. 1 に湾曲磁気浮上装置の概略図を示す。本報告では、有限差分法を用いて数値解析によって湾曲磁気浮上シミュレーションを行った。浮上対象は長方形鋼板（長さ $a = 800$ mm、幅 $b = 600$ mm、厚さ $h = 0.19$ mm）とした。湾曲磁気浮上装置は、5か所の電磁石ユニットによって薄鋼板を磁気浮上させることができる。シミュレーションでは、実機の装置構成を再現できるようにプログラムを設計した。磁気浮上シミュレーションでは、鋼板全体の初期位置を制御点より 1 mm プラス方向に与え、制御点へ鋼板変位が収束するときの変位を観測した。Fig. 2 に湾曲磁気浮上シミュレーションの結果（鋼板の変位時刻歴）、Fig. 3 に解析によって得られた鋼板形状 ($t = 1$ s) を示す。

参考文献

- 1) 油野他, 日本磁気学会誌, Vol. 35, No. 2, (2011), pp. 123-127.
- 2) 丸森他, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 823, (2015), 14-00471.
小川他, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 3, No. 1, (2019), pp. 101-106.

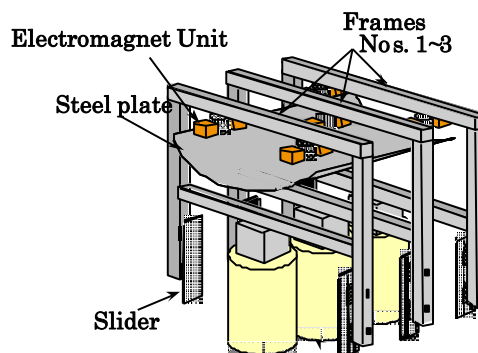


Fig. 1 Schematic illustration of experimental apparatus

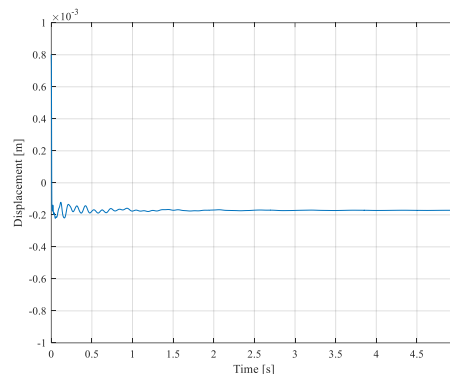


Fig. 2 Time history of displacement in levitated steel plate

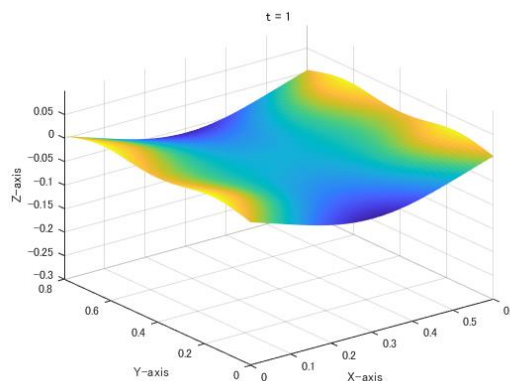


Fig. 3 Motion of levitated steel plate ($t = 1$ s)