

超磁歪アクチュエータを用いた超小型 EV 搭載用 ANC システムの研究 (ロードノイズ帯域の出力特性に関する基礎的検討)

加藤太朗、北村拓也、前原史弥、中山弘也、遠藤文人*、加藤英晃、成田正敬
(東海大学、*福岡工業大学)

A study on ANC system for ultra-compact EV by using giant magnetostrictive actuator
(Fundamental consideration on output characteristics of road noise range)

T. Kato, T. Kitamura, F. Maehara, H. Nakayama, A. Endo*, H. Kato, T. Narita
(Tokai Univ., *FIT)

はじめに

ガソリン自動車に代わる新たな交通手段として、1人から2人乗りの超小型電気自動車（以下超小型 EV）の普及が広がっている。しかしながら、超小型 EV にはロードノイズや風切り音による車内環境の劣化という問題がある。従来の自動車の車内騒音対策は車内に防音材や遮音材として、多孔質材料や板状材料、有孔板を用いて車内に侵入する騒音を低減している。また一部では車内に制御音波用スピーカを設置し、車内騒音に対して同振幅・逆位相の制御音波によって車内騒音の音圧レベルを低減するアクティブノイズコントロール（以下 ANC）システムが採用されている。

一方超小型 EV の車内騒音対策は、車両重量や車内スペースの制限により、防音材や遮音材を十分に設置することは不可能である。また従来のスピーカを用いた ANC システムでは、100 Hz～500 Hz¹⁾の低周波騒音であるロードノイズを制御するためには、低周波の制御音波を高出力かつ正確に出力することが求められ、大きな空気室を持つスピーカが必要となるため、超小型 EV への適用は現実的ではない。

そこで当研究グループでは、超小型 EV の平板部に超磁歪材料を用いたアクチュエータを設置し、壁面振動によって制御音波を発生させることで騒音低減を図る ANC システムの研究を行っている^{1, 2)}。このシステムでは、特に低周波騒音であるロードノイズの騒音低減を目的としているため、この ANC システムに用いる超磁歪アクチュエータには、低周波の制御音波を高出力かつ正確に出力できる性能が必要となる。本報告では、超磁歪アクチュエータを用いた ANC システムの構築の基礎検討として、既存の超磁歪アクチュエータの有限要素モデルを作成し、電磁界解析によるロードノイズ帯域の出力特性に関する基礎的検討を行った。

超磁歪アクチュエータの低周波制御音波の出力に関する検討

超小型 EV 搭載用の超磁歪アクチュエータの出力特性について、有限要素法による電磁界解析を行い、アクチュエータ内の超磁歪素子が発生させる磁歪力から出力特性を検討する。Fig. 1 に示すように超磁歪アクチュエータの有限要素モデルを構築し、音波出力のための制御信号としてコイルに正弦波の電圧を加えた。印加する電圧の周波数は 100 Hz から 500 Hz まで変化させた。

このとき同図中のバイアスマグネットとして用いられている永久磁石の残留磁束密度を変化させ、低周波の出力性能について検討した。

解析の結果、残留磁束密度の高い永久磁石を使用することで磁歪による発生力が大きい場合に出力される音波の高調波が抑制できる結果が得られた。

参考文献

- 1) 井出, 坂田, 日本ゴム協会誌, Vol. 5, No. 8, (1992), 457-462.
- 2) 石塚, 加藤, 加藤, 成田, 小島, 森山, 日本 AEM 学会誌, Vol. 25, No. 2, (2017), 88-93.
- 3) T. Kato, R. Suzuki, R. Miyao, H. Kato, T. Narita, *Actuators*, 7, 49, (2018).

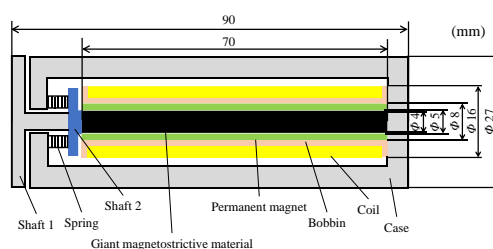


Fig. 1 Internal components of giant magnetostrictive actuator

シリンダーヘッド上に設置したリニアアクチュエータに関する研究 (動作温度に対する推力特性の基礎的考察)

真島悠平、黒田純平、鈴木遼、遠藤文人*、成田正敬、加藤英晃
(東海大学、*福岡工業大学)

A Study on Linear actuator installed on cylinder head
(Fundamental consideration on thrust characteristics to operating temperature)

Y. Majima, J. Kuroda, R. Suzuki, A. Endo*, T. Narita, H. Kato
(Tokai Univ., *FIT)

はじめに

近年、自動車の電動化が進む一方で内燃機関を搭載する自動車は2040年まで増加し続けると予想されており、高出力エンジンの需要が高まっている。そこで、エンジンの急速燃焼、充填効率の向上を目的にリニアモータを用いてエンジンバルブを駆動する方法が検討されている。このシステムはバルブのリフト量およびタイミングを無段階変化させることにより内燃機関の更なる出力・燃費の向上が期待できる。しかし、運転中のエンジンにおける排気バルブの温度は600°C以上になるためバルブからの熱伝導によりアクチュエータを構成する永久磁石やコイルが熱負荷を受ける事でリニアモータの推力に悪影響を及ぼすと考える。この問題を解決すべく他の研究機関では、永久磁石を持たないアクチュエータや電磁石で可動子を駆動する小型のアクチュエータを提案しているが^{1,2)}、それぞれアクチュエータの大型化や大きな推力が得られないといった問題が生じている。そこで、当研究グループでは強い磁束密度を持つ希土類の永久磁石と、ソレノイドで構成されるシンプルな構造のリニアアクチュエータによるエンジン駆動バルブシステム(EDVS)を提案し、高推力化を目指している。本報告では、提案するアクチュエータの推力特性に関する基礎研究として、有限要素解析モデルを構築し、動作温度を考慮した電磁解析を行った。

電磁界解析を用いたEDVSの熱影響と推力に関する検討

EDVSの概略をFig. 1に示す。EDVSはネオジウム磁石とコイルで構成され、駆動方法はコイルを通る電流とコイルに直交する磁場がローレンツ力を発生させることで可動子が駆動する。バルブの変位量は最大10mmとし、バルブを開く方向に1mmずつ変位させた際の推力を電磁界解析によって求めた。EDVSの温度を20°Cから140°Cまで変化させた際のバルブの変位と推力の関係を図2に示す。同図より推力は変位量に関わらず一定の推力を得る事ができ、提案したモデルは安定した動作が期待できる。また、推力は温度上昇に伴って低下することが分かった。これはネオジウム磁石が熱減磁したことが要因であると考えられる。

参考文献

- 1) 宇野, 村口, 金野, 岡田, 「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, Vol. 10, (2007), 177-180.
- 2) 柴崎, 岡崎, 小倉, 日本機械学会関東学生支部総会講演会論文集, Vol. 19, (2013), 451-452

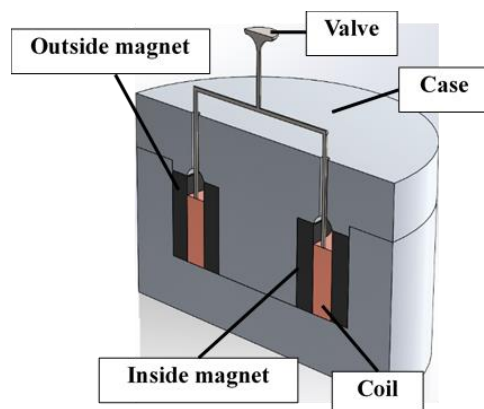


Fig. 1 Analysis model of linear actuator for EDVS.

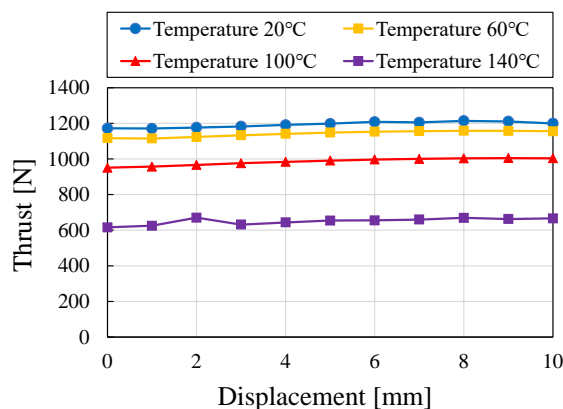


Fig. 2 Relationship between displacement of analysis model and analyzed thrust.

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 (電磁石設置位置に対する制振効果の基礎的検討)

中須賀峻、小川和輝、遠藤文人*、成田正敬、加藤英晃
(東海大学、*福岡工業大学)

Development of electromagnetic guideway for seamless ultra-thin steel plate
(Basic consideration of damping effect on electromagnet installation position)

R. Nakasuga, K. Ogawa, A. Endo*, T. Narita, H. Kato
(Tokai Univ., *FIT.)

はじめに

近年、鋼板を製造するラインでは、鋼板とロールによる接触支持搬送が行われている。この間、鋼板はロール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ル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¹⁾。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を行った²⁾。しかし、最適な電磁石の配置位置に関する検討は行われていない。そこで本報告は電磁石の設置位置を変更した際に鋼板に外乱が入力されたときの制振性能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 A 点、B 点に制御用電磁石を設置した。なお、A 点は電磁石を設置しない場合に振動が小さい点、B 点は振動が大きい点である。

マルチボディダイナミクスを用いた鋼板挙動解析

A 点、B 点に各電磁石を設置した際の Fig. 1 の測定位置における鋼板の面外方向の標準変位偏差を Fig. 2 に示す。同図より、振動の節に近い A 点に設置した場合は電磁石を設置しない場合と比較して 31 % 振動が増加することを確認できた。一方振動の腹に近い B 点に電磁石を設置した場合に電磁石を設置しない場合と比較して 17 % 振動を抑制することができた。以上の結果から鋼板の振動を考慮して電磁石を設置することで高い振動抑制効果が得られることが分かった。

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.

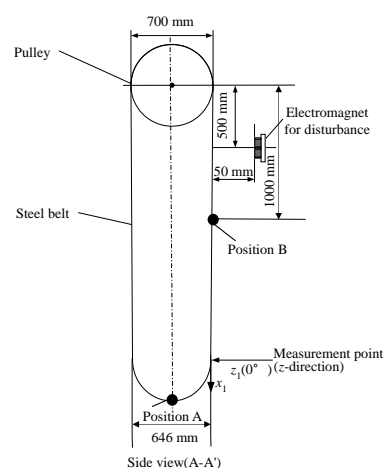


Fig. 1 Schematic diagram of electromagnetic guideway for seamless thin steel plate.

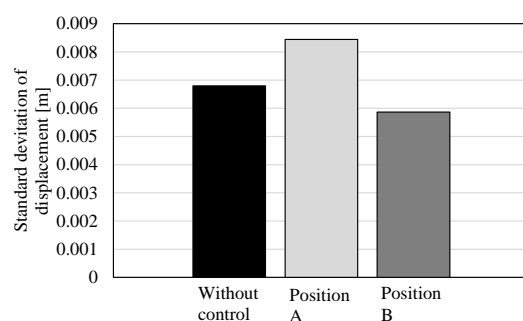


Fig. 2 Standard deviation of displacement of the steel plate.

湾曲させた柔軟鋼板の磁気浮上搬送システムの開発 (電磁力の印加位置に対する基礎的考察)

椎名敦紀、嘉山周汰、ムハマドヌルハキミビンモハマドカマ、小川和輝、遠藤文人*、成田正敬、
加藤英晃
(東海大学、*福岡工業大学)

Electromagnetic levitation and transportation system for bent thin steel plate
(Fundamental consideration on acted position of electromagnetic force)

A. Shiina, S. Kayama, M. N. Hakimi, K. Ogawa, A. Endo*, T. Narita, H. Kato
(Tokai Univ., *FIT)

はじめに

自動車をはじめとする工業製品に広く使用されている薄鋼板の製造で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^{1,2)}。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³⁾。しかし、水平方向からエッジ部に設置した電磁石の位置が湾曲磁気浮上中の鋼板の浮上性能に与える影響については、未だ十分な検討が行っていない。そこで本報告はエッジ部に設置した電磁石位置が湾曲浮上中の鋼板に与える影響について検討を行った。

実験装置

実験装置の概略を 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。鋼板をアルミフレーム製装置内に設置した 5 か所のペアの電磁石を用いて非接触支持するために、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し、非接触位置決め制御を行う。鋼板水平方向 (x 方向) の位置決めは同図に示した通り、電磁石を鋼板端部の相対する 2 辺に対向するように 4 か所配置し、レーザ式センサを利用することによって水平方向の変位を非接触に測定する。

鋼板形状の算出

水平方向電磁石をエッジ部に設置して張力を加えた際に鋼板形状に与える影響を検討するため有限差分法を用いて浮上中の鋼板形状を算出した。解析結果より、電磁石間距離と鋼板形状から算出した評価値 J の関係を Fig. 2 に示す。このとき湾曲角度を 5 度、水平方向電磁石の定常電流を $I_x = 0.5$ A、水平方向電磁石の中心間距離を 400 mm、480 mm、560 mm、640 mm とした。同図より水平方向電磁石の距離を増加させると、鋼板のたわみを示す評価値 J が減少する傾向が得られた。

参考文献

- 1) 高林他, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 79 (2013), No. 801, pp. 1483-1494.
- 2) 小田島他, 電気学会論文誌 D, Vol. 138 (2018), No. 8, pp. 692-698.
- 3) 椎名他, 日本磁気学会論文特集号, 採録済み.

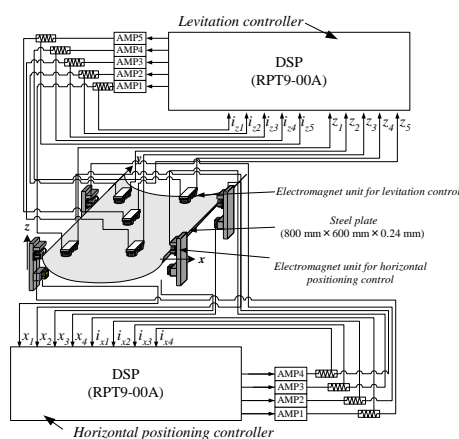


Fig. 1 Electromagnetic levitation control system.

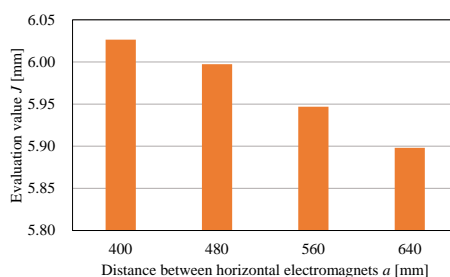


Fig. 2 Relationship of distance between horizontal electromagnets and evaluation value J .

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 (張力印加位置に対する基礎的考察)

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、小川和輝、
遠藤文人*、成田正敬、加藤英晃
(東海大学、*福岡工業大学)

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

(Fundamental consideration on acted position of tension)

S. Kayama, M. N. Hakimi, A. Shiina, K. Ogawa, A. Endo*, T. Narita, H. Kato
(Tokai Univ., *FIT)

はじめに

薄鋼板の製造ラインでは、ローラによる接触搬送が行われており、薄鋼板のめっきの傷や剥がれなど表面品質の劣化が問題視されている。そこで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が行われている¹⁾。しかし、鋼板の板厚が非常に薄い場合、鋼板のたわみや弾性振動が大きくなるため、限られた数の電磁石では生じるたわみを抑制することができず、薄鋼板の落下の原因となる。そこで、浮上する鋼板の上方に永久磁石を多数設置し、永久磁石の静的吸引力を浮上補助利用する電磁石と永久磁石を併用した磁気浮上システムを提案している。これまでに、安定した浮上のため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²⁾。本報告では、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ついて、水平方向電磁石の中心間距離を変化させた際の永久磁石と鋼板の距離と得られる永久磁石の配置の関係について詳細な検討を行った。

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の概略図を示す。GA による探索を行った結果、水平方向電磁石の位置に応じて最適な磁石配置が変化し、そのときの鋼板形状から算出する評価値 J も異なる傾向を示した。

参考文献

- 1) 小田島悠祐, 高田裕介, 及川育人, 中川聡子, “薄鋼板のインダクタンスモデル式を用いたギャップセンサを用いない磁気浮上システムの構築と浮上案内実験”, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), vol. 138, no. 8, pp.692-698, 2018.
- 2) 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.

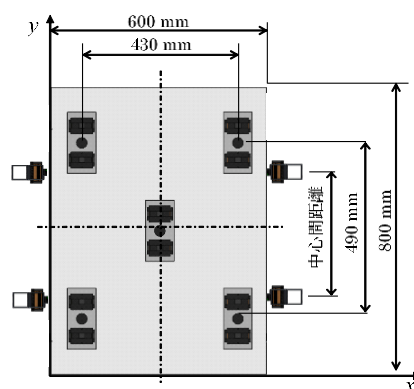


Fig.1 Electromagnetic levitation system

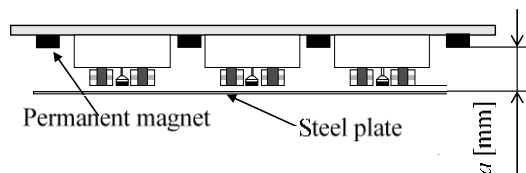


Fig.2 Distance between permanent magnets and steel plate

水平方向からの磁場を用いた柔軟鋼板の磁気浮上 (浮上中の振動特性に関する基礎的検討)

遠藤文人、嘉山周汰*、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*
(福工大、*東海大)

Electromagnetic levitation for flexible steel plate using magnetic field from horizontal direction
(Fundamental consideration on vibration characteristic in levitating)

A.Endo, S.Kayama*, A.Shina*, M.N.Hakimi*, K.Ogawa*, T.Narita*, H.Kato*
(FIT, *Tokai Univ.)

緒言

鋼板の品質向上を目的として、磁気浮上を用いた非接触搬送技術が提案されている¹⁾。しかしながら、厚さの薄い柔軟鋼板を浮上対象とした場合には、その剛性の低さから変形や弾性振動が発生し、安定して浮上させることが難しい。そこで著者らは柔軟鋼板の端部を電磁石によって吸引して浮上させる手法を提案した²⁾。これまでには一般的に使用される厚さの柔軟鋼板において浮上可能であることを実験的に明らかにしている³⁾。柔軟鋼板は厚さが変化するとその剛性が大きく変化することから、安定した浮上を実現するために、厚さごとの制御系設計が求められてきた。しかしながら、多様な厚さの薄鋼板を安定して浮上させるためには、柔軟鋼板の厚さと浮上中における振動特性の関係性を明らかにし、種々の厚さに応用可能な制御系設計が求められる。そこで本報告では著者らが提案した磁気浮上装置を用いて、一般的に使用される厚さの薄鋼板による浮上実験を行った。それにより柔軟鋼板の厚さとその浮上中の振動特性との関係性を明らかにする。

薄鋼板の厚さによる浮上特性の変化

Fig. 1 に著者らが提案をした磁気浮上装置を示す。浮上対象は、幅 100 mm、長さ 400 mm、材質 SS400 の柔軟鋼板とした。本装置は 4 つの電磁石ユニットから構成されており、鋼板の両端に 2 つずつ設置している。電磁石ユニットは Fig. 2 のように 1 つの電磁石と 1 基のレーザーセンサから構成されている。電磁石は電流を印加することで鋼板に対して吸引力を発生する。この時、鋼板は両端から吸引され、非接触に浮上する。レーザーセンサでは鋼板の水平方向変位を計測し、フィードバックすることで水平方向の位置決め制御を行なっている。本報告では厚さが 0.05、0.19、0.24 mm の柔軟鋼板を対象とした浮上実験を行った。これにより浮上中における柔軟鋼板の振動状態を板の厚さごとに計測し、厚さによる振動特性の変化について明らかにした。

参考文献

- 1) 木田ら、日本磁気学会論文特集号、1、76-81 (2017).
- 2) Y. Oda et al, J. Magn. Soc. Jpn., 43, 11-16 (2019).
- 3) T. Narita et al, Int. J. Appl. Electromagn. Mech., 64, 1191-1198 (2020).

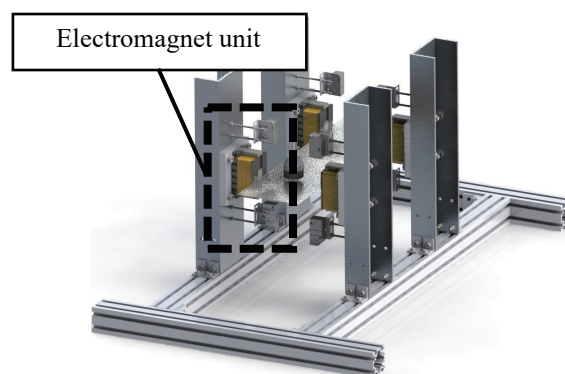


Fig. 1 Magnetic levitation system

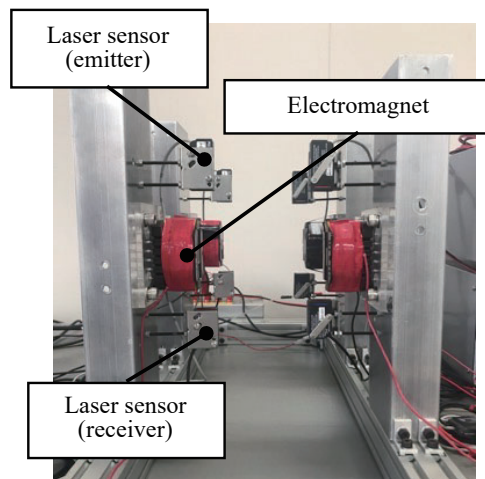


Fig. 2 Electromagnet units