柔軟鋼板の湾曲浮上制御 (浮上確率に関する基礎的考察)

米澤暉、丸森宏樹、成田正敬*、加藤英晃、長谷川真也、押野谷康雄 (東海大、*諏訪東京理科大)

Bending levitation control for flexible steel plate (Fundamental consideration on levitation probability) H.Yonezawa, H.Marumori, T.Narita*, H.Kato, S.Hasegawa, Y.Oshinoya (Tokai Univ., * Tokyo Univ. Sci. Suwa)

はじめに

当研究グループは、切板の磁気浮上に関する検討を継続的 に行っている¹⁾。薄鋼板を対象とする場合、鋼板を塑性変形 しない範囲で曲げた状態で浮上させることを提案し、安定し た浮上状態の実現を確認している²⁾。しかし、制御理論の違 いが浮上のしやすさに及ぼす影響に関して十分な検討が行 われていない。そこで、本報告では異なる制御理論に対する 浮上確率について比較検討するために、0.30mm 鋼板を使用 し湾曲浮上実験を行なった。



浮上実験

Fig.1 に装置の概略図、Fig.2 に制御システムを示す。浮上 対象は長さ 800mm、幅 600mm、厚さ 0.30mm の長方形亜鉛 めっき鋼板とする。鋼板を 5 箇所の電磁石により非接触支持 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 により検出する。さらに、電磁石コイル電流を検出する。こ こで、鋼板の自然たわみ角は中央で支持しない鋼板を両端突 出梁とみなし、重力による分布荷重が作用したときの支持点 のたわみ角と定義する。本報告で扱う 0.30mm 鋼板における 自然たわみ角は 6.9°である。また、浮上制御に最適制御理 論、スライディングモード制御理論を適用し、鋼板を浮上さ せた際の浮上確率の測定を行った。浮上確率は鋼板の浮上が 30 秒間続いたものを浮上成功とし、50 回の浮上実験のうち 浮上が成功した回数を百分率により算出した。

まとめ

Fig.3 に電磁石角度に対する浮上確率の結果を示す。実験 結果より、自然たわみ角を超えた角度における浮上において もスライディングモード制御を適用することにより、高い浮 上性能を示した。

- 1) 押野谷他, 日本機械学会論文集 C 編, 62-95 (1996), 127-133.
- 中村他,第15回 MAGDA コンファレンス講演論文集,(2006), 417-418.

Fig. 1 Schematic illustration of experimental apparatus



Fig. 2 Electromagnetic levitation control system



Fig. 3 Experimental result of levitation probability

柔軟鋼板の湾曲浮上制御 (外乱入力時の浮上安定性に関する実験的検討)

丸森宏樹、米澤暉、成田正敬*、加藤英晃、長谷川真也、押野谷康雄 (東海大、*諏訪東京理科大)

Bending levitation control for flexible steel plate (Experimental study on levitation stability under disturbance) H.Marumori, H.Yonezawa, T.Narita*, H.Kato, S.Hasegawa, Y.Oshinoya (Tokai Univ., * Tokyo Univ. Sci. Suwa)

<u>はじめに</u>

当研究グループは、切板の磁気浮上に関する検討を継続的に行っている¹⁾。薄鋼板を対象とする場合には、鋼板を曲げた状態で浮上させることを提案し²⁾、安定した 浮上状態の実現を確認している³⁾。しかし、浮上中の薄 鋼板に外乱を入力した検討はなされていない。そこで本 報告では、外乱入力時の湾曲浮上性能について検討を行った。

制御実験

Fig.1 に制御システム、Fig.2 に装置の概略図を示す。 浮上対象は長さ 800mm、幅 600mm、厚さ 0.18mm の長 方形亜鉛めっき鋼板とする。鋼板を 5 箇所の電磁石によ り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する。また検出した変位を ディジタル微分により速度に変換する。さらに、電磁石 コイル電流を測定用の外部抵抗より検出する。浮上制御 に最適制御理論を適用し、鋼板を浮上させた際の変位標 準偏差を測定した。入力外乱は、全ての電磁石ユニット (No. 1 ~ No. 5) に対して帯域制限したパワー一定のラ ンダムノイズ (ノイズ電流の標準偏差 0.007A)を採用 した。

まとめ

Fig.3 に外乱入力時の電磁石角度 0°、15°における浮上結果を示す。電磁石角度 15°では鋼板が安定した浮上状態を保つ事が確認でき、電磁石角度 0°よりも優れた浮上性能を有することを確認した。

- 押野谷,小林,丹野,日本機械学会論文集 C 編, 62-95 (1996), 127-133.
- 中村,長谷川,押野谷,石橋,粕谷,第15回 MAGDA コンファレンス講演論文集,(2006),417-418.
- 丸森,成田,長谷川,押野谷,第 37 回日本磁気
 学会学術講演概要集,(2013),71.







Fig. 2 Schematic illustration of experimental apparatus





水平方向からの磁場が磁気浮上鋼板に与える影響 (FDM を用いたたわみの評価)

栗原岳、成田正敬*、加藤英晃、長谷川真也、押野谷康雄 (東海大、*諏訪東京理科大)

Effect of a magnetic field from the horizontal direction on a magnetically levitated steel plate

(Evaluation of deflection using the FDM)

T.Kurihara, T.Narita*, H.Kato, S.Hasegawa, Y.Oshinoya

(Tokai Univ., *Tokyo Univ. Sci. Suwa)

はじめに

薄鋼板の製造工程において、ローラーと鋼板が接触するこ とにより表面品質の劣化が問題点として挙げられるが、その 解決策として電磁力による鋼板の浮上・搬送制御が考えられ ている^{1,2,3)}。これまでに電磁石によって水平方向から浮上中 の鋼板形状を差分法により導出し、エッジに印加した磁場に 関する鋼板のたわみ抑制効果について検討している⁴。しか し、電磁石の定常電流値を変化させた際については未だ詳細 な検討が行えていない。そこで本報告では、定常電流値を変 化させた際の浮上中の鋼板に発生するたわみ量に関する評 価について検討を行った。

制御システムおよび解析方法

磁気浮上システムの概略を Fig.1 に示す。浮上対象は長さ 800mm、幅 600mm、厚さ 0.24mm の長方形亜鉛めっき鋼板

(材質 SS400)とする。電磁場解析を行い鋼板に印加される 吸引力分布を算出し、水平方向から磁場が印加された浮上中 の鋼板形状を差分法により導出し、得られた鋼板形状の平均 たわみ量 Jzと評価値 Jを式(1)のように定義した。

$$J_{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{N} |z_{i}|}{N}, \quad J = \frac{J_{Z}}{J_{Z0}}$$
(1)

まとめ

Fig.2 に電磁石定常電流値と評価値 J の解析結果を示す。

評価値Jは1から低い値をとるほど水平方向から磁場を印加することにより鋼板の形状が平坦に改善されて いることを示す。解析結果より電流値を上げていくに伴い、評価値が減少する傾向が見られた。また、電流 値を 0.025A 加えた際に評価値(たわみ量)が急激に低下することも確認できた。このことから、シミュレー ションにより水平方向からの磁場を強くすることで薄鋼板の浮上安定性が向上することが確認できた。

- 1) 川田, 森井, 片山, 高橋, 第2回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム, (1990), 59-62.
- 2) 押野谷, 下郷, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 56, No.531(1990), 2911-2918
- 3) 押野谷、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集、(1996)、1277-1278
- 成田他, 第22回 MAGDA コンファレンス講演論文集, (2013), 71-72. 4)







and steady current

水平方向からの磁場を用いた 柔軟鋼板の磁気浮上装置に関する基礎的検討

成田正敬、大塚友貴、大島政英、押野谷康雄* (諏訪東京理科大、*東海大)

Fundamental consideration on electromagnetic levitation system for flexible steel plate using magnetic field from horizontal direction T. Narita, Y. Ootsuka, M. Ooshima, Y. Oshinoya (Tokyo Univ. Sci. Suwa, *Tokai Univ.)

<u>緒言</u>

薄鋼板は各種工業製品に広く用いられているが、搬送工程におけるローラの接触によるメッキの不良や表面品質の劣化が生じている。この問題の解決方法として、電磁力による鋼板の非接触搬送が考えられている^{1,2)}。著者らは支持方向だけでなく水平方向に電磁石を設置し、位置決め制御を行うことで浮上安定性が向上することを確認している³⁾。本報告ではこの水平方向の磁場のみを用いて浮上制御を行う磁気浮上装置を検討する。しかしこれまでの報告では鋼板は電磁石コアの中心付近で制御され、鉛直方向にほぼ変位しないとして検討を行っており、コアの中心から大きく変位した際に鋼板に加わる吸引力について詳細な検討は行われていない。そこで電磁石中心から鋼板が大きく変位した際に、水平方向からの磁場によって鋼板に加わる吸引力特性について電磁界解析を行い、得られた解析結果について検討を行った。

水平方向から磁場を加えた際の電磁界解析

幅 50mm、長さ 400mm、板厚 0.3mm の薄鋼板(SS400)が浮上し、水平方向は電磁石の E 型フェライトコア 表面から 5mm の位置で制御されているとする。コア中心から鋼板中心までの鉛直方向の変位 z を 2mm から

中央凸部のエッジの高さである 8mm まで変化させた際に、鋼板に 発生する鉛直方向の吸引力 F_z について、FEM による電磁界解析を 行った。z = 8mm とした時の解析モデルを Fig.1 に示す。なお電磁 石に流す定常電流 I_x は 0.1A から 2.0A まで 0.1A 刻みで変化させた。

解析結果から得られた定常電流 I_x と鉛直方向の吸引力 F_z の関係 を Fig.2 に示す。鉛直方向の変位に比例して吸引力 F_z が全体的に増 加する傾向が得られた。なおこのモデルの鋼板重量は0.23N であり、 鉛直方向に変位させることにより鋼板の重量を支持できる吸引力 が発生できることが解析的に得られた。



Fig.1 Analysis model (z = 8mm)



<u>結言</u>

水平方向から磁場を加えた際に鋼板に発生する吸引力について 電磁界解析を用いて検討を行った。その結果、鉛直方向に変位させ ることで鋼板重量を支持できる吸引力を発生でき、水平方向からの 磁場のみで鋼板を非接触支持する磁気浮上システムの実現の可能 性を示した。今後は得られた解析結果を元に装置を製作し、浮上実 験を行う予定である。

<u>参考文献</u>

- 1) 押野谷他, 日本機械学会論文集 C 編, 62-95, (1996), 127-133.
- 2) F. Kubota et.al., Proceedings of IECON 2013 39th Annual Conference of the IEEE, (2013), 3439-3444.
- 3) 成田他, 第 22 回 MAGDA コンファレンス講演論文集, (2013), 71-72.

Fig.2 Analysis result

ボイスコイルモータを用いた超小型車両用シートの制御 (段差降下時の頸部負担低減に関する検討)

增野将大、石田勝樹、加藤英晃、長谷川真也、押野谷康雄 (東海大)

Active control of an ultra-compact vehicle seat with a voice coil motor (Examination on reduction of cervix burden when fall from the bump) M. Masahiro, M. Ishida, H. Kato, S. Hasegawa, Y. Oshinoya (Tokai Univ.)

<u>はじめに</u>

近年、環境問題や高齢社会問題の影響から需要が高まっている超小型電気自動車(Fig.1)の乗り心地を改善するため、当研究グループではアクチュエータにボイスコイルモータ(VCM)を使用したアクティブシートサスペンション(ASS)を提案している¹⁾。これまでに段差降下時において過渡的な振動を受けた際、ASSによる乗員の頭部に受ける衝撃の低減効果について報告している²⁾。しかし、ASSを用いたシート制御により乗員の負担がどの程度軽減するかについての検討を行っていない。そこで本研究では歩車道境界の段差など過渡的な振動を受けた際、乗員の頭部を支える頸部の筋活動から評価を行い、頸部の負担低減効果について検討を行った。



Fig. 1 Ultra-compact electric vehicle

制御システムおよび実験方法

Fig.2 に ASS の制御システムを示す。制御に用いる座面の絶対変位、 絶対速度は加速度ピックアップからの信号をコンピュータ内でディジ タル積分することで検出している。さらに VCMに流れる電流を検出し、 これらの観測量を用いて制御電圧をコンピュータで計算し、VCM を駆 動して制御力を発生する。制御手法はこれまでと同様に最適制御を用い た。実験は歩車道境界の段差を想定した高さ 50mmの硬質ゴム板を用い て行った。走行中に乗員が予期せず外乱を受けた場合を想定し、乗員に 段差を降下するタイミングは教示しないものとした。本研究では頭部を 保持しようとする際に筋活動をする胸鎖乳突筋の表面筋電位の計測を 行った。計測した筋電位より二乗平均平方根(RMS)を算出した。

<u>実験結果</u>

Fig.3 にシート変位の最大振幅値に対する頸部筋電位を未制御 (変位が 76mm のとき)と比較して示した。各プロットは供給エ ネルギに対する負担低減効果について考察するために、シートの制 御力を変化させて実験を行った結果である。シート最大変位が低減 することで筋電位が低減していることが確認できる。未制御と比較 して最高性能時(変位が 49mm のとき)では筋電位は約 50%に低 減した。以上によりシート変位を低減させることで頸部の負担低減 を確認することができた。



参考文献

阿部,新井,押野谷,石橋,日本機械学会年次大会講演会論文集,Vol.7,No.02-1, (2002), 175-176.
 石田,須永,蘭,加藤,長谷川,押野谷,第37回日本磁気学会学術講演概要集, (2013), 72.

電磁石シフトユニットのエネルギ評価制御

山本康(いすゞ中央研究所)、長谷川真也*、押野谷康雄*(*東海大)

An electromagnet shift unit control using energy evaluation control

Y. Yamamoto (ISUZU Advanced Engineering Center Ltd.), S. Hasegawa^{*}, Y. Oshinoya^{*} (^{*}Tokai Univ.)

はじめに

商用車の自動変速装置としては乗用車に用いられる AT よりも燃費性能に優れる AMT (Automated Manual Transmission)と呼ばれる自動変速装置が一般に採用されている。AMT はマニュアル変速機にお いてドライバーが行うクラッチ及びシフトレバの操作をアクチュエータで自動的に行う自動変速装置 である。筆者らは AMT においてシフトレバ操作を自動化するためのシフトユニットを開発した¹⁾。同 シフトユニットは電磁石で直接駆動する構造であるため、構造が簡単でかつ壊れにくくコストも安いと いう特徴があり、信頼性とコストが重要視される商用車に適している。しかしながら使用した電磁石の インダクタンスが大きくアクチュエータとしては応答性が劣るという問題がある²⁾。一方、筆者らは制 御中のエネルギ状態を元に制御を行う方法(EEC: Energy Evaluation Control)を考案した。本報告では EEC の概要を述べると共に、上記のシフトアクチュエータに対し EEC を適用し、その有用性を検証する。

制御対象とシミュレーション結果

Fig.1 に制御対象であるシフトユニットの構成を示す。シフ トユニットにはシフトアクチュエータ用に最適化された電磁 石2個を向かい合せに配置しており、これらの電磁石を交互 に駆動することでギアイン、ギアアウトの動作を行う³⁾。また シフト操作では前後のギアイン位置と中央のニュートラル位 置の3位置に位置決めする必要がある。

同シフトユニットに対しPDCとEECを適用した制御結果を Fig.2 に示す。PDC ではギアイン位置(同図(a))への制御時に オーバーシュートが大きく、制御の収束にも時間がかかるの に対し EEC ではオーバーシュートはあるものの、制御の収束 は早速かった。一方ニュートラル位置(同図(b))への制御では 共にオーバーシュートは発生しないものの、EEC は PDC より も目標への到達、収束共に早かった。

まとめ

電磁石シフトユニットの制御には PDC よりも EEC の方がよ り適した制御則であることが分かった。

- 林暢彦,山崎淳,成田裕正,江原達彦,山本康,自動車技術会論文 1) 集 Vol. 36, No. 6, (2005), pp. 175-180
- 2) 山本康,長谷川真也,押野谷康雄,第25回電磁力関連のダイナミ クス, (2013), pp.348-349
- Y. Yamamoto, K. Terashima, S. Hasegawa and Y. Oshinoya, ICEE CD No. 3) P-EM-38, (2012)







Fig. 2 Control result of EEC and PDC

熱音響発電機用ムービングコイル型リニア発電機の研究

佐藤一成、長谷川真也、木村英樹、押野谷康雄 (東海大学)

Study on moving coil-type linear generator for thermoacoustic electric generator I. Sato, S. Hasegawa, H. Kimura, Y. Oshinoya

(Tokai University)

<u>はじめに</u>

近年開発された熱電変換システムとして熱音響発電機がある。これは熱音響機関とリニア発電機で構成されており、熱音響機関は熱流を音響パワーに変換し、リニア発電機にて音響パワーを電力に変換する。最初の進行波型熱音響発電機は2004年にS. Backhaus らによって作成された。彼らの装置はムービングコイル型リニア発電機を用いて発電しており、最大出力58Wを達成した¹⁾。また、2013年D. M. Sun らの熱音響発電機は最大電力345Wを達成した²⁾。彼らの装置はムービングマグネット型リニア発電機を用いて発電しており、前者の装置より最大電力は高いが、可動子が重いという欠点を有する。熱音響発電機を構築する上で可動子質量は重要なパラメータである。可動子質量の増加は機械系共振周波数の低下を招き、且つ可動周波数域が制限される。その為、熱音響発電機の構成に制約を受ける。本研究では高い共振周波数で発電を行う為に、可動子の軽いムービングコイル型リニア発電機を作成した。また発電機の出力増加の為、磁気回路を最適化した。最適化に際して、磁場解析ソフトは㈱JSOL製JMAG-Designerを使用した。

計算モデルの基本構造

Fig. 1 に計算モデルを示す。円柱状コア(SUS304)に銅線コイル(0.2×0.3 mmの平角線)が2個取り付けられ、コイルが永久磁石(N36Z)の生む磁界中を往復運動する事で発電を行う。可動子は60 Hz で片側12 mm 振幅する。また、ムービングコイル方式を採用している為、本質的に磁石の吸引力によるコギングが無い。さらに磁束の方向が一定である為、ヨーク(S10C)のヒステリシス損、渦電流損である鉄損が少ない。なお外部抵抗は内部抵抗の95%に設定した。

計算モデルの最適化

磁気回路の最適化は装置を設計する上で重要な課題の 一つである³⁾。最適化条件として、外径を136 mm と固定 し、Fig. 1 の破線部の磁石、エアギャップおよびコイルの 径方向の幅を保持する。その際、内側ヨークの径方向の幅 D [mm]を変化させて出力への影響を調べた。

Fig. 2に可動子の単位質量当たりの出力 *P/M* [W/kg]と出 カ *P* [W]の内側ヨーク幅依存性を示す。ここで *M* [kg]は可 動子質量である。*D* が 68 mm の際、*P/M* が最も高く、そ の際、外部抵抗から取り出せる出力は 319 W で、可動子 質量は 0.291 kg であることが分かった。



Fig. 1 Model of numerical simulation for moving coil-type linear generator



Fig. 2 Electric Power-to-mass ratio, and Electric Power vs Yoke Inner diameter

<u>参考文献</u>

- 1) S. Backhaus, E. Tward and M. Petach: Applied Physics. Lett., 85, pp. 1085-1087(2004).
- 2) D.M. Sun, K. Wang, X.J. Zhang, Y.N. Guo, Y. Xu, L.M. Qiu: Applied Energy. 106, pp. 377-382(2013).
- 3) I. Fazal, M. N. Karsiti, S. A. Zulkifli, T. Ibrahim, K.S. R. Rao: IEEE. pp. 1-5 (2010).

Kenji Nakamura, Kazuki Akimoto, Toshiaki Takemae, Osamu Ichinokura (Tohoku University)

1. はじめに

近年,低背・高出力なモータとして,アキシャルギャッ プ型永久磁石 (PM) モータが注目されている。先に筆者 らは,アキシャルギャップ型 PM モータの大トルク化を 目的として,モータと磁気ギアを組み合わせた磁気ギアー ドモータについて検討し,同体格のモータと比較して,2 倍以上のトルクが得られることを明らかにした¹⁾。

そこで本稿では,磁気ギアードモータについて,移動支 援機用のインホイールモータへの適用可能性を検討した ので報告する。

2. 磁気ギアードモータのトルク特性

Fig. 1に, アキシャルギャップ型磁気ギアードモータの 基本構成を示す。モータ部は、3相12スロット集中巻の 固定子と PM rotor (4極対)で構成され、固定子鉄心の 材質は無方向性ケイ素鋼板、磁石材料は Nd-Fe-B 焼結磁 石である。ギア部は、PM rotor (4極対), PM stator (19 極対), ポールピースロータ (PP rotor: 23極)で構成さ れ、ポールピースの材質は圧粉磁心、磁石材料は Nd-Fe-B 焼結磁石である。同図に示すように、PM rotor がモータ 部とギア部で共有されることで、動力が伝達される。

上述の構成で、固定子巻線に 3 相交流電流を入力する と、回転磁界に同期して PM rotor が回転し、これがギア 部で 1/5.75 に減速されて、PP rotor から機械出力が得 られる。Table 1 に、アキシャルギャップ型磁気ギアード モータの諸元を示す。体格や回転数などは、適用を想定し ている移動支援機の要求仕様から決定した。目標トルクは 巻線電流密度が 5 A/mm²時に 0.93 N m 以上である。

Fig. 2 に、3 次元有限要素法(3D-FEM)を用いて算定 した、5 A/mm²時のアキシャルギャップ型磁気ギアード モータのトルク波形を示す。この図を見ると、電気入力に より生じる入力トルクの平均値は 0.444 Nm, PP rotor から得られる出力トルクは 2.546 Nm であり、ほぼギア 比通りのトルクが得られ、かつ目標トルクを上回ることが 了解される。今後は、実機の試作と実証実験を行う予定で ある。

なお,本研究の一部は,科研費挑戦的萌芽 (26630103)の交付を得て行った。



Fig. 1 Basic configuration of an axial-gap magnetic-geared motor.

Table 1 Specifications of the axial-gap magnetic-geared motor.

Diameter	100 mm	
Axial length	20 mm	
PM rotor	690 rpm	
PP rotor	120 rpm	
Number of turns/pole	67 turns/pole	
PM rotor	4	
magnet pole pairs	4	
PM stator	19	
magnet pole pairs		
PP rotor	23	
number of poles		
Gear ratio	5.75	
Gap length	$0.5 \text{ mm} \times 3$	
Material of magnet	Sintered Nd-Fe-B	
Material of PP	Soft magnetic composite	
Material of yoke and stator	Non-oriented Si steel	



Fig. 2 Calculated torque waveforms of the axial-gap magnetic-geared motor at 5 A/mm^2 .

参考文献

1) 竹前俊明, 中村健二, 一ノ倉理, 電気学会 回転機研究会資料, RM-13-140 (2013)

外部磁界で駆動するマイクロインピーダンスポンプの開発

中島 翼、本田 崇 (九工大)

Development of micro impedance pump driven by external magnetic field T. Nakashima, T. Honda (Kyushu Inst. of Tech.)

はじめに

インピーダンスポンプとは、弾性管を周期的に圧迫することで管内の流体を流したり、流量を調整したり することのできるポンプのことである。バルブレス構造で小型化に適しており、高い耐久性と信頼性が期待 できる。本研究では、外部磁界で駆動可能なマイクロインピーダンスポンプを作製し、圧迫箇所を変更する ことで双方向の送液を確認したので報告する。

素子構成と動作原理

インピーダンスポンプは、軟質チューブの両端に硬質チ ューブを接続し構成される。軟質チューブの中心からずれ た位置を周期的に圧迫すると、波の干渉による圧力の勾配 が生じ、流れが生じる。Fig.1に作製したインピーダンス ポンプの素子構成を示す。本実験で用いた軟質チューブは、 厚さ0.05mmの極薄シリコーンゴムフィルムを2枚のスラ イドガラスで挟み込んで内径2mm、長さ30mmのチューブ 状に加工したものである。本加工法は基板上にチューブを 構成できるため、μ-TASとの一体化も期待される。両端 の硬質チューブにはアルミニウム管(外径2mm、肉厚 0.2mm)を使用した。

軟質チューブを圧迫するアクチュエータには、永久磁石 を有するシーソー型機構を採用した。厚さ75µm、長さ 10mmのPIフィルムを、2つのNdFeB磁石(φ3×3mm)で挟 み込み、その両端をアルミニウム管に固定した。動作原理 図をFig.2に示す。磁石の磁化は水平方向であり、鉛直方 向に交流磁界を印加すると、磁気トルクによってアクチ ュエータが回転振動を行う。ここで、正方向に直流バイ アス磁界を印加すると、Fig.2(a)のように回転が偏り片 方だけを周期的に圧迫することができる。逆に負方向に 直流バイアス磁界を印加すると、Fig.2(b)のように逆側 だけを圧迫することができる。直流バイアスにより圧迫

実験結果

Fig.3に作動流体を水としたときの流量の周波数特性 を示す。駆動磁界強度は300e、直流バイアス磁界は± 16.60e とし、開回路における圧力差0時の結果である。 ここで、正の直流バイアスを印加したときの圧迫部側へ の流れを正方向、逆の流れを負方向への流れと定義した。 対称性はよいとは言えないが、直流バイスの符号によっ て双方向への送液を確認することができた。



Fig.1 Structure of micro impedance pump



Fig.2 Actuation principle of pumping actuator



Fig.3 Frequency dependence of flow rate of impedance pump

弾性フィルムの振動を利用した 液冷システム用磁気駆動マイクロポンプの基礎特性 ^{溝口菜月、本田崇} (九工大)

Basic properties of magnetic drive micropumps for liquid-cooling system using oscillating elastic films

N. Mizoguchi, T. Honda

(Kyushu Inst. of Tech.)

はじめに

著者らは、ノート PC 等に内蔵する小型液冷システムへの応用を目指し、配管内にポンプ可動子を構成で きる磁気駆動マイクロポンプの開発を進めている。本報告では、外径 4mm のポンプを複数個直列配置した場 合の基礎特性を評価したので報告する。

素子構成と動作原理

Fig.1 にマイクロポンプの構成を示す。可動子は、厚さ50 μ mのポリイミドフィ ルム(長さ4mm、幅2.5mm)を、高さ方向に着磁された2個の円柱状 NdFeB 磁 石(ϕ 3mm×1mm)の間に挟んだものである。これをPP 製円筒(内径3mm、外 径4mm)の固定子内に挿入し、ポンプを構成する。可動子と固定子の固定に はアラミド繊維(外径0.25mm)を用い、磁石間に挟んだアラミド繊維の両端を 固定子に取り付けた。固定子のパイプの中に可動子の回転軸を挿入し取り付 けた従来型に比べ、静音化と小型化が期待できる。

Fig.2 に動作原理を示す。管長手方向に交流磁界を印加すると、磁石は磁気トルクによって回転軸を中心に首振り運動する。それに伴い、弾性板が揺動することで流体を押し出し、ポンプとして機能する。配管にソレノイドコイル巻くことで駆動できるため、励磁部の小型化も可能である。



Fig. 2 Principle of actuation

実験方法と実験結果

作動流体には不凍液(60%ナイブライン)を使用し、ソレノイドコイルによる駆動で無負荷流量と最大吐 出圧力の周波数特性を測定した。ポンプは単体、及び7個まで直列接続した場合について評価を行った。

Fig.3 と Fig.4 に 50Oe(4kA/m)印加時における無負荷流量と最大吐出圧力の周波数特性をそれぞれ示す。流量、圧力とも 250Hz 付近で最大値を示した。単体の流量の最大値は 27ml/min、圧力の最大値は 0.37kPa であったが、ポンプの接続数を増やしていくと流量・圧力ともに増加した。その際、流量は頭打ち傾向になったのに対し、吐出圧力は接続数に対しほぼ比例して増加する傾向が見られた。

この結果を受け、今後 CPU 用水冷ジャケットと放熱用配管に本ポンプを組み込んだ小型液冷システムの構築を行い、液冷システムの設計と冷却性能についての検証を行う予定である。







福岡道成,中村健二,一ノ倉理 (東北大学)

Experimental Comparison of Magnetic Gear with Conventional Mechanical Gear M. Fukuoka, K. Nakamura, O. Ichinokura (Tohoku University)

<u>はじめに</u>

磁気ギアは非接触でトルクを伝達できるため、機械式ギアと比べて振動、騒音が小さく、保守性に優れる などの特長を有する。その中でも磁束変調型磁気ギアは、他の磁気ギアに比べてトルク密度が高く¹⁾、実用 化が期待される。本稿では、先行研究²⁾において試作した磁気ギアを減速・増速動作させた際の特性につい て、機械式ギアと比較を行ったので報告する。

<u>磁気ギアと機械式ギアの特性比較</u>

Fig.1に,現有の試作磁気ギアの諸元を示す。内外の磁石回転子の極対数は,それぞれ3と31であり,その間に配置されたポールピースの極数は34である。磁気ギアのギア比は,内外の回転子の極対数の比で決まることから,10.333である。永久磁石の材質はNd-Fe-B 焼結磁石であり,ポールピースおよび両回転子の

バックヨークの材質は、それぞれ圧粉磁心と無方向性 ケイ素鋼板である。

Fig. 2 に実験装置の外観を示す。サーボモータを用い て、磁気ギアまたは機械式ギアを任意の速度で回転さ せ、出力側にはヒステリシスブレーキを接続して、所 望の負荷トルクを印加する。ギアの入力・出力電力を 測定するため、ギアの入力側、出力側の両方にトルク メータを接続した。

Fig. 3(a)に、磁気ギアおよび機械式ギアを減速ギアと して動作させた場合の効率および損失を示す。このと きの負荷トルクは 12 N·m であり、磁気ギアの最大トル クの 88%に相当する。一方、同図(b)に、磁気ギアおよ び機械式ギアを増速ギアとして動作させた場合の効率 および損失を示す。このときの負荷トルクは 1.0 N·m で あり、最大の 74%に相当する。これらの図を見ると、 低速領域において磁気ギアが機械式ギアよりも高い効 率を示していることがわかる。これは、機械式ギアで は歯同士の接点でのクーロン摩擦が主な損失であるた め、速度にほぼ比例して増加するのに対し、磁気ギア の損失は、主に鉄心の鉄損および永久磁石の渦電流損 失であり、速度の 2 乗にほぼ比例するためである。

なお,本研究の一部は,科学研究費補助金基盤研究(B) (24360102)および特別研究員奨励費(24•4456)の交 付を得て行った。



Fig. 1. Specifications of magnetic gear.









<u>参考文献</u>

- 1) K. Atallah and D. Howe, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, 2844 (2001).
- 2) M. Fukuoka, K. Nakamura and O. Ichinokura, IEEJ Trans. FM, 134, 416 (2014).

ボイスコイルモータを用いた超小型車両用シートの制御 (心拍変動による切り換え制御に関する基礎的考察)

石田勝樹、増野将大、加藤英晃、長谷川真也、押野谷康雄 (東海大)

Active control of an ultra-compact vehicle seat with a voice coil motor (Fundamental consideration on switching control using heart rate variability) M. Ishida, M. Mashino, H. Kato, S. Hasegawa, Y. Oshinoya (Tokai Univ.)

<u>はじめに</u>

当研究グループでは環境問題や高齢化の進行によりますます需要の増大 が予想される超小型電気自動車(Fig.1)の乗り心地改善のために、ボイス コイルモータを用いたアクティブシートサスペンション(以下 ASS と称す る)を提案している¹⁾。これまでに運転者の心拍変動をフィードバックする ことにより制御の切り替えを行う R-R Interval Switching 制御(以下、 RRI-SW 制御)を提案し、加速度の制御により乗り心地の改善を検討してい る²⁾。しかし、ふわふわ感などの乗り心地感覚に対する運転者の生体情報へ



Fig. 1 Ultra-compact electric vehicle

の影響は明らかにできていない。そこで、本報告では運転者の乗り心地感覚に影響する振動周波数に着目し、 周波数帯域の異なる 3Hz と 10Hz の振動を切り替える RRI-SW 制御の有用性について検討を行った。

<u>実験方法</u>

本実験では車両の ASS 部分を加振させることで10分間の未走行加振実験を行った。定常的な振動状態における乗り心地評価基準として 8~20Hz をばたつき感、0.2~3Hz をふわふわ感により表せるという報告がある³⁾。 そこで本報告では異なる乗り心地として 3Hz 加振車両、10Hz 加振車両および RRI-SW 制御車両の3車両を設定した。なお、シート変位の時刻歴波形の一例を Fig.2 に示す。また、運転者の心拍変動解析により交感神経機能の指標とされる LF/HF により評価を行った。



Fig. 2 Time histories of seat displacement

<u>実験結果</u>

Fig.3 に被験者 1 名の LF/HF を 10Hz 加振車両に対する各加振車両の 値として示す。LF/HF は値が低いほどリラックス状態を示す。同図にお いて LF/HF は 10Hz 加振車両に対して 3Hz 加振車両は 22%低減、RRI-SW 制御車両は 42%低減しており、一被験者からの結果ではあるが RRI-SW 制御車両にて最も運転者がリラックス状態になる可能性を示すことが できた。



Fig. 3 LF/HF values

- 1) 阿部, 新井, 押野谷, 石橋, 日本機械学会年次大会講演会論文集, Vol.7, No.02-1, (2002), 175-176.
- 2) 石田,加藤,長谷川, 押野谷,日本機械学会第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文 集, No.13-4, (2013), 312-313.
- 3) 武井, 石黒, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.30, No.3, (1995).

高リプル・フォワードコンバータによる有線通信システム用送信器

甲木昭彦、舛巴一史*、森田洸介*、前山繁隆** (長崎大学、*九州工業大学、**TDK) Signal Transmitter Using High-Ripple Forward Converter in Wire Communication System A. Katsuki, K. Masutomo*, K. Morita*, S. Maeyama** (Nagasaki University, *Kyushu Institute of Technology, **TDK Corporation)

<u>はじめに</u>

有線通信システムでは通信線を電源線としても使う。従来のシステムは、1台の主電源がすべての端末装置に給電するが¹⁾、主電源が動作停止するとシステムダウンするので信頼性に問題がある。そこで筆者らは、小型スイッチング電源を持つ給電端末を導入し、並列接続による冗長電源システムを構成してこの問題を解決した²⁾。本稿では、フォワードコンバータを送信器として用いた場合の特性を検討する。

<u>送信器としての特性</u>

実験回路を Fig. 1 に示す。キャパシタ C₁に ついて、受信時は静電容量を大きくして出力 電圧リプルを小さくし、送信時は静電容量を 小さくして同リプルを大きくする。出力電圧 リプルの振幅特性を Fig. 2 に示す。キャパシ タンス C₁を小さくしていくと、振幅が数 V と大きくなると共にその波形は正弦波に近く なる。更に C₁を小さくすると、振幅の変化 が少なくなるが、波形は歪むので注意を要す る。振幅が交流負荷 R_{ac}の影響を受けるが、 システム動作中に交流負荷はほとんど変動 しない。直流負荷 R_{dc}はシステム動作中にあ る程度変動するが、リプルの大きさにほとん ど影響を与えない。入力電圧 Vin は 141 V、 スイッチング周波数 fs は 200 kHz とした。

送受信特性例

実用に際しては、歪に留意して *C*₁を選び、 変復調の忠実性の観点からリプル電圧振幅 変動の影響を受けにくい通信方式を選ぶこと が重要である。ディジタル通信の例として、 変調波(10 kHz の対称方形波)を Fig. 3(a)に、 FSK(マーク周波数 240 kHz、スペース周波数 200 kHz)による FM 波(R_{ac}の端子間電圧)を Fig.3(b)に、PLL IC による復調波を Fig. 3(c) に示す。

- 1) J. Pest, United States Patent, 3649769, March 1972.
- A. Katsuki, et al., *Proc. of INTELEC'99*, No. 13-1, June 1999.







Fig. 2. Relations between the amplitude of output ripple voltage Δe_0 and the reactance X_c of capacitor C₁.



Fig. 3. Example of observed FSK waveforms; (a) Modulating signal, (b) FM wave, and (c) Demodulated signal. (Vertical: 5 V/div., Horizontal: 10 µs/div.)

重ね巻型3相一体可変インダクタの小型軽量化

中村健二,本間航也,大日向敬*,有松健司*,白崎隆*,一ノ倉理 (東北大学,*東北電力)

Size and Weight Reduction of Lap-Winding type Three-Phase Variable Inductor K. Nakamura, K. Honma, T. Ohinata*, K. Arimatsu*, T. Shirasaki*, O. Ichinokura (Tohoku University, *Tohoku Electric Power Co., Inc.)

<u>1. はじめに</u>

可変インダクタは、制御巻線からの直流励磁により交流主 巻線の実効的なインダクタンスを任意に調整できるため、電 カ用コンデンサと組み合わせて系統に並列に接続することで、 無効電力補償型の電圧安定化装置として応用できる。先に筆 者らは、電力系統用に特化した3相一体構造の可変インダク タ¹⁾について、直流制御巻線を交流主巻線に重ねて巻く、い わゆる重ね巻型の3相一体可変インダクタを提案し、良好な 制御特性と低電流歪み特性を有することを明らかにした²⁾。

本稿では,重ね巻型3相一体可変インダクタの小型軽量化 を目的として,磁心直径と脚幅について検討を行ったので報 告する。

<u>2. 重ね巻型3相一体可変インダクタの小型軽量化</u>

Fig.1に、初期設計の重ね巻型3相一体可変インダクタを示す²⁾。Fig.1の可変インダクタを基準として、磁心窓面積、積 み厚(60 mm)、内外の環状ヨークの幅(15 mm および25 mm) を一定の条件の下、Table1に示すように脚幅と磁心直径を減 らし、小型軽量化させた際の基礎特性について比較を行った。 なお、基礎特性の算定には、筆者らが提案するリラクタンス ネットワーク解析(RNA)を用いた。

Fig. 2 に単位重量当たりの無効電力, Fig. 3 に主巻線電流の 定格換算歪み率を示す。Fig. 2 を見ると, 脚幅が小さくなるほ ど軽量化するため,単位重量当たりの無効電力は増加するこ とがわかる。一方, Fig. 3 を見ると,脚幅が小さくなるほど, 磁脚部の磁束密度が高くなり,歪み率が悪化していることが わかる。ここで,系統における電流歪み率は 5%以下である必 要があることから,本検討の範囲では脚幅 40 mm のモデルが 最も良い特性を有することがわかる。また初期設計に対して 約 16%の軽量化と約 6%の磁心直径の小型化が期待できる。

なお、本研究は JST 研究成果展開事業 A-STEP の支援を受け行った。

<u>参考文献</u>

- 中村,久田,大日向,有松,佐藤,一ノ倉,日本磁気学会誌, 32,415 (2008)
- K. Nakamura, K. Honma, T. Ohinata, K. Arimatsu, T. Shirasaki, O. Ichinokura, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **38** (2014) (in press)



Fig. 1 Lap-winding type three-phase variable inductor.

Table 1. Specifications of five lap-winding type three-phase variable inductors.

	L	eg width	Core diameter	Total weight		
		(mm)	(mm)	(kg)		
		50	290	29.2		
		42.5	276	25.7		
		40	272	24.6		
		37.5	268	23.5		
		35	264	22.2		
	200	·				
	180 160	Leg width : 35 mm				
	140	0				
(kg)	120					
Var	100					



Fig. 2 Reactive power per weight characteristics.



Fig. 3 Normalized distortion factor of the main winding current.

有機インターポーザー内蔵フェライトインダクタを用いた CMOS スイッチ降圧 DC-DC コンバータ

萩田和洋¹, 矢崎裕一朗¹, 近藤雄太¹, 曽根原誠¹, 佐藤敏郎¹, 藤井朋治², 小林和貴², 中澤信司², 清水浩², 渡辺哲朗³, 清野裕斗³, 松下伸広³, 柳原裕貴⁴, 染谷晃基⁴, 更田裕司⁴, 桜井貴康⁴ (¹信州大学, ²新光電気工業株式会社, ³東京工業大学, ⁴東京大学)

CMOS switch DC-DC buck converter using ferrite core inductor embedded in organic interposer

K. Hagita¹, Y. Yazaki¹, Y. Kondo¹, M. Sonehara¹, T. Sato¹, T. Fujii², K. Kobayashi², S. Nakazawa²,
H. Shimizu², T. Watanabe³, Y. Seino³, N. Matsushita³, H. Yanagihara⁴, T. Someya⁴, H. Fuketa⁴, T. Sakurai⁴ (¹Shinshu Univ., ²SHINKO Electric Industries Co. Ltd., ³Tokyo Inst. of Tech., ⁴Univ. of Tokyo)

1 **はじめに** パッケージレベル DC パワーグリ ッドの基盤技術として、筆者らは有機インターポ ーザーへのパワーインダクタ内蔵¹⁾と併せて、イ ンターポーザーへの電源集積化の検討を進めてい る。本稿では、フェライトインダクタを内蔵した 有機インターポーザー表面に CMOS スイッチを 実装して構成した降圧型 DC-DC コンバータの試 作と電源特性の評価結果を報告する。

2 Zn-Fe フェライトインダクタ Fig. 1 は、有 機インターポーザーのビルドアップ層に内蔵した Zn-Fe フェライト 2 ターンスパイラルインダクタ の断面を示すものであり、10µm 厚 Zn-Fe フェライ トはビルドアップ層の表面平坦化のためにポリイ ミド層を下地としてスピンスプレー法で作製して いる²⁾。内蔵インダクタの 50MHz におけるインダ クタンスは 4.6nH、Q 値は 12.6、インダクタンス が 10%低下する直流重畳電流は 2A である。

3 CMOS スイッチ降圧 DC-DC コンバータの試作と評価

インダクタ特性と電源のスイッチング周波数、2V 入力-1V・1A 出力の電源仕様に合せて 180nm-CMOS の P-MOS と N-MOS FET の ゲート幅 W_P 、 W_N を決定した。同期整流 180nm-CMOS スイッチと 有機インターポーザーにフリップチップ実装した様子を Fig. 2 に示 す。CMOS チップは電源出力平滑用の MOS キャパシタを内蔵する ため 2.5mm 角サイズを有する。ハイサイド P-MOS FET のオン時比 率 $D \ge 0.5$ 一定にして電力変換効率の出力電流依存性を測定した結 果を Fig. 3 に示す。Zn-Fe フェライトインダクタを用い、スイッチ ング周波数 50MHz で動作させた場合は 1A 出力で 70%弱の効率を 示すのに対し、2 ターン空心スパイラルインダクタを用い、スイッ



Fig. 1 Zn-Fe ferrite core planar spiral inductor embedded in organic interposer.







Fig. 3 Conversion efficiency vs. output current in 180nm-CMOS switch buck DC-DC converter.

チング周波数 90MHz で動作させた場合の効率は 10%程度低い。有機インターポーザー内部配線抵抗などを 考慮して行った電源特性シミュレーション結果に対し、実測の電源効率は 3~4%程度低い結果となった。

参考文献 1) Y. Yazaki et al., IEEE Trans. Magn., 50 (11), (2014)., to be published., 2) K. Hagita et al., The 11th International Conference on Ferrites (ICF11), 17pP-51 (2013).

MEMS 応用に向けた Si 基板上への厚膜磁石の成膜

押領司 学,山下 昴洋,柳井 武志,中野 正基,福永 博俊(長崎大学) 松本 信子,藤井 泰久((株) KRI)

Thick film magnets deposited on Si substrates for MEMS applications

Manabu Oryoshi, Akihiro Yamashita, Takeshi Yanai, Masaki Nakano, Hirotoshi Fukunaga (Nagasaki University)

Nobuko Matsumoto, Yasuhisa Fujii(KRI corp.)

1. <u>はじめに</u>

電子機器の内部に使用される永久磁石の小型化が求められる 中,MEMS(Micro-electromechanical system)への応用を鑑み,Si基 板上へ優れた磁気特性を持つNd-Fe-B系磁石膜の成膜が検討さ れている。これまで、スパッタリング法を用い,Si基板とNd-Fe-B 層の間にバッファ層を利用する事により、数µm~20µm厚の範囲 の異方性Nd-Fe-B系磁石膜の成膜が報告されてきた⁽¹⁾⁽²⁾。我々は、 FeやTa等の金属基板上であるものの、数10µm/hの成膜速度を 有するPLD(Pulsed Laser Deposition)法を用い、10~1200µmの広い 膜厚の範囲で等方性Nd-Fe-B系厚膜磁石を成膜し、数種類のデバ イスに応用してきた⁽³⁾。更に我々は、上記のPLD法を用いてSi 基板上にTaバッファ層を使用したNd-Fe-B系磁石膜の成膜を報 告した⁽⁴⁾。しかしながら、熱処理時における「基板と磁石膜の間 での剥離・乖離」・「Si 基板の破壊」等の問題や、磁石膜にダイシ ング加工を施すと、機械的破損が生じることが確認された⁽⁴⁾。

本稿では、Nd-Fe-B系厚膜磁石の組成に着目し、上述の破壊の 抑制や、再現性に課題が残るものの、Si 基板上に 100 µm 厚程度 までの厚膜化を実現した結果を報告する。

2. <u>実験方法</u>

NdxFe₁₄B(X=2.0, 2.6, 3.0) 合金ターゲットを回転させながら Nd-YAGパルスレーザを照射することにより,ターゲットを構成 する分子や原子,イオン等を解離・放出させ対面に設置した5mm 角の(100)単結晶 Si 基板に堆積させた。レーザパワーは4Wで固 定し,ターゲットと基板間の距離は10mm とした。更に,成膜直 後の試料は軟磁気特性を示したため,PA(Pulse annealing)法を用い て保持時間 3.0 sec で熱処理を施し,硬磁気特性を発現させた。 磁気特性の測定は VSM, 膜組成を SEM-EDX を用い測定した。

3. 実験結果

本実験では、Ta バッファ層を施さず、Nd-Fe-B 系厚膜磁石をSi 基板上に直接成膜する手法を試みた。その際、Si 基板との熱膨張 係数を考慮し、様々なNd 含有量を有する試料を準備し、熱処理 後の試料の破壊の様子を検討した。結果をFig.1に示す。全ての 試料の破壊は、磁石膜の剥離ではなく、Si 基板自身の破棄である ことを確認した。厚膜磁石の膜厚が 60 µm 以上の範囲では、ばら つきが見られるものの、それ以下の膜厚範囲においては、Nd 含 有量を 15 at.%以上にすることにより、その破棄を抑制できるこ とが明らかとなった。この原因の一つとして、Nd 含有量の増加 に伴い、Si 基板と厚膜磁石の熱膨張係数の差が小さくなったこと が考えられるものの、今後詳細な検討が必要である。得られた試 料の中で、膜厚:約 113 µm、保磁力:1160 k A/m 程度、残留磁 化:0.5 T 程度の試料(Fig.2(a)参照)にダイシング加工を施したところ, Fig. 2(b)に示すように綺麗に切断でき,ダイシング後の磁気特性の劣化も小さいことを確認した。Ta バッファ層を用いない手法が,ダイシング等の試料の加工に有利であることが確認された。



Fig.1 Relationship between Nd contents and thickness of Nd-Fe-B films deposited on Si substrates.



Fig. 2 M-H loop of a sample for dicing and four samples after dicing.

- (1) Y. Zhang et.al., Acta Materialia, 60, 3783(2012).
- (2)小峠ら,電気学会マグネティクス研究会資料, MAG-12-170(2012).
- (3) M. Nakano et al., IEEE Trans. Magn., 43, 2672(2007).
- (4) 押領司ら, 電気学会マグネティクス研究会, 2-131(2013).