

カットコアと積層コアからなる直交磁心型可変インダクタ

佐藤翼空, 中村健二, 大日向 敬*, 有松健司*
(東北大学, *東北電力)

Orthogonal-core-type Variable Inductor consisted of Cut-core and Laminated-core

T. Sato, K. Nakamura, T. Ohinata*, and K. Arimatsu*
(Tohoku University, *Tohoku Electric Power Co., Inc.)

はじめに

太陽光や風力などの分散型電源の導入拡大に伴い、系統電圧が不規則かつ急峻に変動する問題が顕在化している。これに対して、可変インダクタは電力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、無効電力補償型の系統電圧調整装置として応用できる。

本稿では、カットコアと積層コアの2種類のコアからなる新しい直交磁心型可変インダクタについて、リラクタンスネットワーク解析 (RNA), 並びに試作試験の両面から検討を行ったので報告する。

提案する直交磁心型可変インダクタの特性

Fig. 1 に、カットコアと積層コアからなる直交磁心型可変インダクタの諸元を示す。同図に示すように、直交磁心はC形のカットコアとC形の積層コアを90度回転接合させて構成される。これにより、両コアの積層が揃うため、接合面での層間短絡を防ぐことができる。カットコアの脚部には直流制御巻線を施し、積層コアの脚部には交流主巻線を施す。このような構成で、制御側から直流励磁を加えると接合面の共通磁路が磁気飽和し、交流主巻線側から見た実効的なインダクタンスが変化するため、可変インダクタとして動作する。

本可変インダクタの特性算定には、RNAを用いた。Fig. 2 に3次元RNAモデルの一部を示す。同図中の赤色で示した磁気抵抗は積層面内の非線形磁気抵抗であり、材料のB-H曲線と寸法から与える。一方、

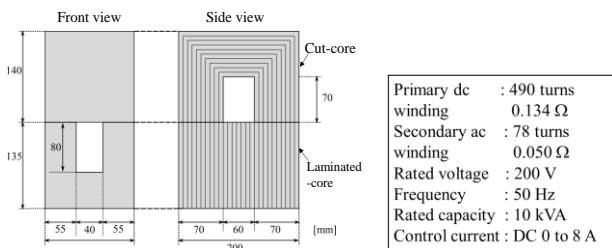


Fig. 1 Specifications of an orthogonal-core-type variable inductor consisted of a cut-core and a laminated-core.

黒色の磁気抵抗は積層方向および磁心外空間を表す線形磁気抵抗である。

Fig. 3(a)に、無効電力制御特性の計算値と実測値を示す。この図を見ると、良好な制御性を有すること、計算値と実測値は良好に一致することが了解される。同図(b)は主巻線電流歪み率である。この図より、歪み率は全動作範囲で5%以下であり、低歪みであることが了解される。

参考文献

- 1) O. Ichinokura, T. Jinzenji, and K. Tajima, *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 3225 (1993).

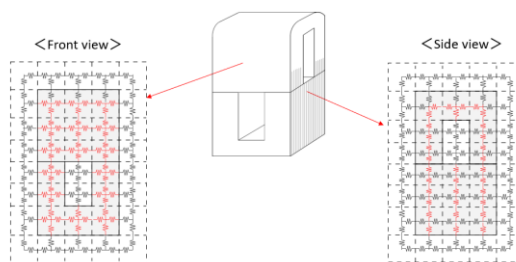
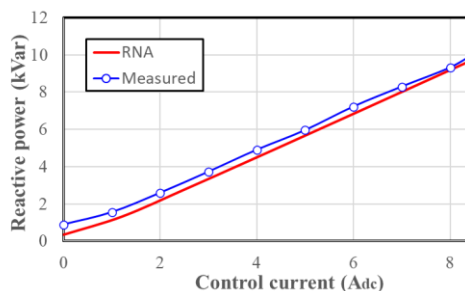
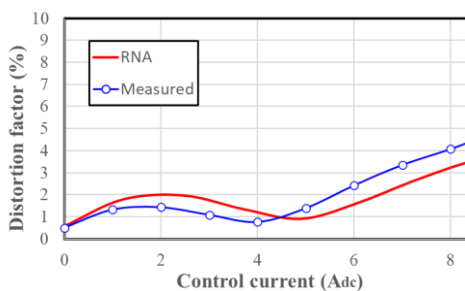


Fig. 2 A part of the 3D-RNA model of the orthogonal-core.



(a) Reactive power characteristic



(b) Normalized distortion factor of the secondary ac current
Fig. 3 Comparison of basic characteristics of the proposed orthogonal-core-type variable inductor.

パワーインダクタ用磁性微粒子内包アルミナの作製とその磁気特性

濱田敬文、遠藤恭*、藪本健成、石飛学、太屋岡篤憲**、藤田直幸
(奈良高専、*東北大、**北九州高専)

Fabrication of magnetic ultrafine particle embedded porous alumina for power inductor and their properties.

T. Hamada, Y. Endo*, K. Yabumoto, M. Ishitobi, A. Tayaoka**, N. Fujita
(NIT Nara College, *Tohoku Univ., **NIT Kitakyushu College)

はじめに

100MHz 帯で動作するパワーインダクタの小型化のためには、その周波数で高透磁率を示す磁性材料が必要である。我々は、陽極酸化ポーラスアルミナ膜の孔に電析法で磁性微粒子を充填した新規磁性材料の開発を目指している。この材料では、(1)粒子径がサブ μm 以下、(2) アスペクト比が 100 以上、(3) 体積充填率が 80% 以上、(4) 微粒子の配列を一方向に揃えることなどが狙えるため、反磁界や渦電流の影響が小さくなり、高周波での優れた磁気特性が期待できる。今回、高アスペクト比柱状 Ni 微粒子を内包したポーラスアルミナを作製したため、その作製プロセスと磁気特性について報告する。

実験方法

Fig.1 に作製手順を示す。(a) 純度 99.9% の Al 板を $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.3M 水溶液を使用して 20°C で陽極酸化 (40V、25 時間) を行った。ポーラスアルミナにはバリア層と呼ばれる絶縁膜があり、電析法で Ni を微細孔に充填するためにはバリア層を除去する必要がある。そこで、電流回復法¹⁾によりバリア層の除去を試みたが、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ では、完全除去ができなかった。そこで、(b) 溶液を溶解力の高い H_3PO_4 0.97M 液に変更し、電流回復法によるバリア層の薄化を行った。その後、(c) H_3PO_4 中で 20 分放置して孔を拡大した。続いて、(d) 極性を反転させ電流を $50\sim 200\text{mA}/\text{cm}^2$ まで 2 分おきに $50\text{mA}/\text{cm}^2$ ずつ段階的に上昇させることでポーラスアルミナ膜を素地から剥離した。(e) アルミナ膜の Al 素地側に Cu (純度 99.9%) を蒸着した。(f) $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 910mM、 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 190mM、 H_3BO_3 490mM 浴で 2~20 分間 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ で電析 (50°C 、対極 Ti-Pt) し、微細孔に Ni を充填した。(g) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 400mM と HCl 2mM を 60°C で調整し Cu 側に滴下することで Cu 膜を除去した。

実験結果

Fig.2 のように電析時間 20 分で長さ約 $50\mu\text{m}$ の Ni の析出が確認できた。また、今回作製したポーラスアルミナの微細孔の径は約 50nm 程度であったので、Ni 微粒子はアスペクト比 1000 程度であると見積もられた。

Fig.3 に膜面に対して垂直と面内の 2 方向から測定した磁化曲線を示す。膜面に対して垂直方向が面内方向より磁化曲線が立っていることから垂直磁気異方性を示す Ni 内包アルミナテンプレートが得られたことが分かった。

参考文献

1) Tatsuya MASUDA, et al., *Electrochemistry*, **82**, p448-455 (2014).
謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (21K04162) の補助を受けた。

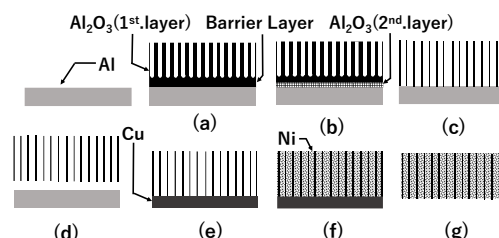


Fig.1 Cross-sectional images of each process in the fabrication of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

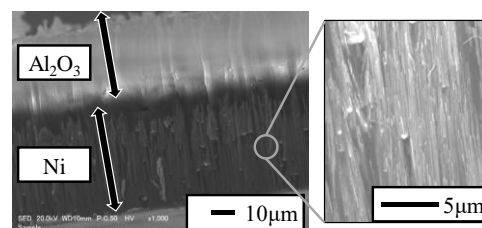


Fig.2 Cross-sectional SEM image of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

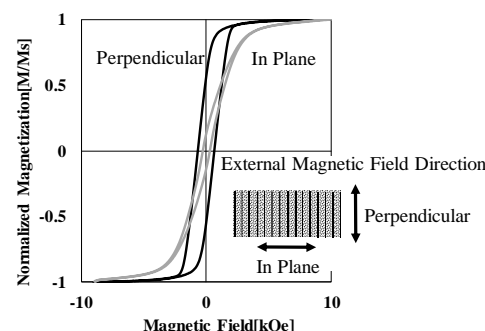


Fig.3 M-H curve of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

高エネルギー密度と低損失を両立する空心インダクタの検討

増田 樹*, 朝雛 えみり*, 前田 浩延**, 石飛 学*
(奈良高専*, ダイヘン**)

Air-Core Inductor with High Energy Density and Low Loss Characteristics

I.Masuda, E.Asahina, K.Maeda, M.Ishitobi

(*NIT Nara College, **DAIHEN)

はじめに

非線形特性とこれに伴う損失を特に嫌うアプリケーションにおいて、空心タイプのインダクタが採用されている⁽¹⁾。これらは透磁率が変化せず、鉄損も生じないが、代わりに近接効果に起因する銅損の増加とエネルギー密度の低下を招く。一般的に近接効果の抑制には、巻線同士を離すことが効果的であると知られているが、同時にエネルギー密度を低下させるため、インダクタの大型化が避けられない。そこで筆者らは、エネルギー密度を保持しつつ銅損を抑制するため、構造面から空心インダクタの限界に挑んできた⁽²⁾⁽³⁾。本報告では、残されていた巻線用銅箔の厚さと損失の関係について示している。

巻線の厚さと損失の関係

先に提案しているインダクタの構造とその線束断面形状⁽²⁾を Fig.1 に示す。四角い筐体に収めることを想定し、銅損を抑えつつインダクタンスを稼ぐため、以下の特徴を有している。インダクタンスの外形が四角形で、窓面積が大きい。また、銅箔をフラットワイズ方向に積層して巻き、巻線の線束断面を正方形としている⁽²⁾。

Fig.2 に、銅箔の厚さを 0.01~0.5mm で可変させたときの損失特性を示す。ここで、線束断面を 10mm×10mm、巻数を 12 巻、入力電流を 2A、500kHz とし、COMSOL Inc.製 COMSOL を用いて有限要素解析を行っている。Fig.2 から、銅箔の厚さが表皮深さ δ より十分に厚いとき (領域 A)、一定の損失が確認できる。また、銅箔の厚さが表皮深さの 2.5 倍付近 (領域 B) になると、損失が減少している。この現象を表した模式図を Fig.3 に示す。領域 A では、Fig.3(a)のように同一銅箔内の交互電流⁽⁴⁾がほとんど干渉しておらず、このため損失に変化が現れなかったものと考えられる。また領域 B では、Fig.3(a)から Fig.3(b)の状態に近づいていくため、互いに逆向きの交互電流が干渉し、損失原因である電流のピークが抑制されたものと考えられる。領域 C では、同一銅箔内における電流の向きが揃う。一方で銅箔断面積の減少により、電気抵抗が増加する。すなわち、交互電流による損失と電気抵抗の増加による損失はトレードオフの関係にあり、表皮深さ付近でその最小値を示すことがわかる。

以上より、提案型インダクタの構造を決定する全パラメータが揃った。現在、プロトタイプを作製して評価を行っており、近日中に報告を予定している。

参考文献

- 1) Marian Kazimierzuk : "RF Power Amplifiers ", Wiley ,p476 (2014)
- 2) 松田和也,他 : 電学論 D,Vol.139,No.4,pp.409-415 (2018)
- 3) 永井歩美,他 : 電学論 D,Vol.138,No.9,pp723-729 (2017)
- 4) M. Hayata et al. : The2018 International Power Electronics Conference, pp.410-415(2018)

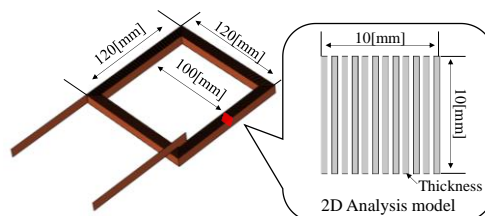


Fig.1 Proposed inductor structure

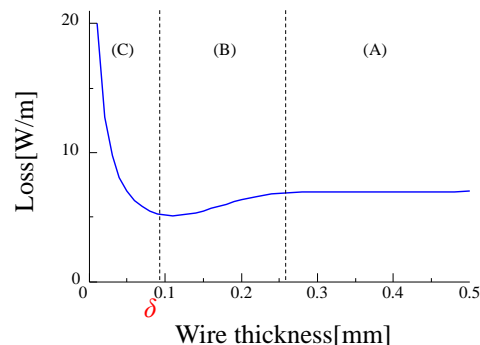
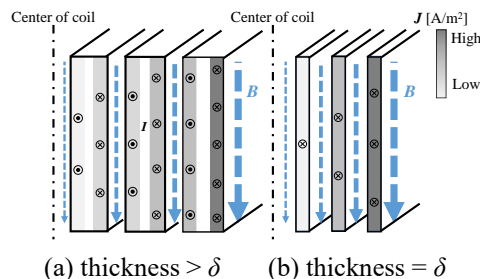


Fig.2 Loss characteristic with thickness



(a) thickness $> \delta$ (b) thickness $= \delta$
Fig.3 Distribution of current density and magnetic flux density

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的検討として、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).

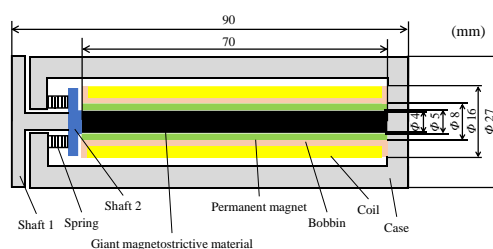


Fig. 1 Internal components of giant magnetostrictive actuator

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性をFig. 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

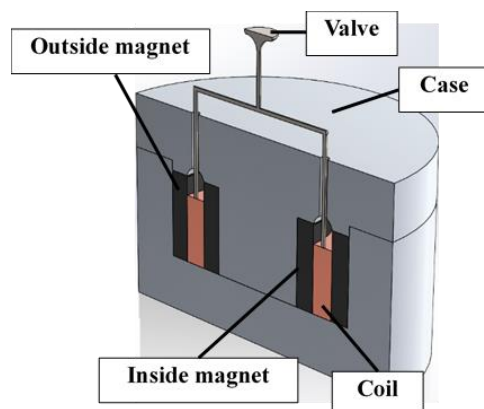


Fig. 1 Analysis model of linear actuator for EDVS.

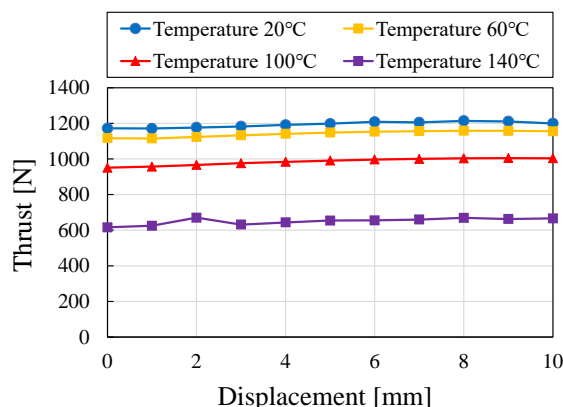


Fig. 2 Relationship between displacement of analysis model and analyzed thrust.

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.

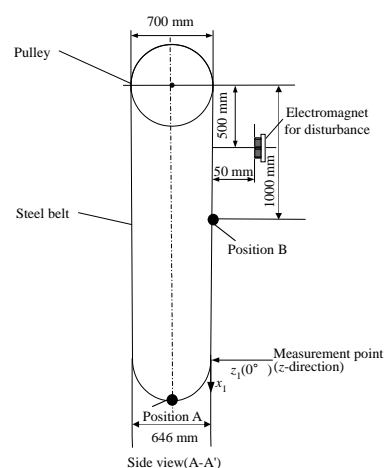


Fig. 1 Schematic diagram of electromagnetic guideway for seamless thin steel plate.

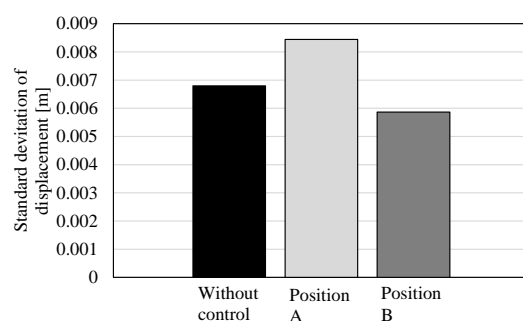


Fig. 2 Standard deviation of displacement of the steel plate.

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.

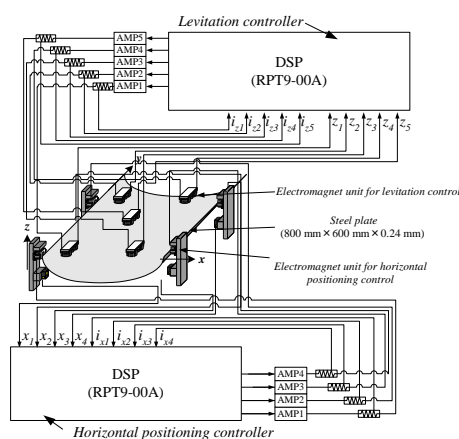


Fig. 1 Electromagnetic levitation control system.

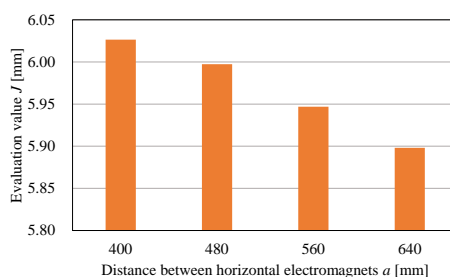


Fig. 2 Relationship of distance between horizontal electromagnets and evaluation value J .

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.

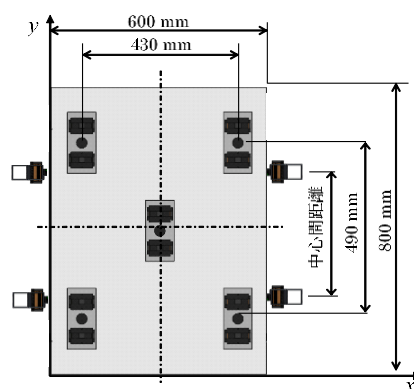


Fig.1 Electromagnetic levitation system

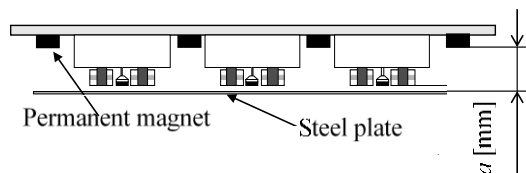


Fig.2 Distance between permanent magnets and steel plate

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).

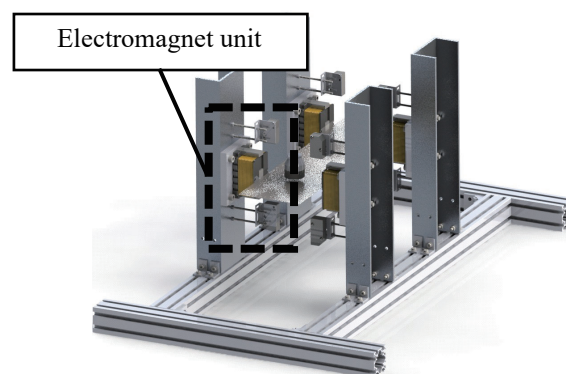


Fig. 1 Magnetic levitation system

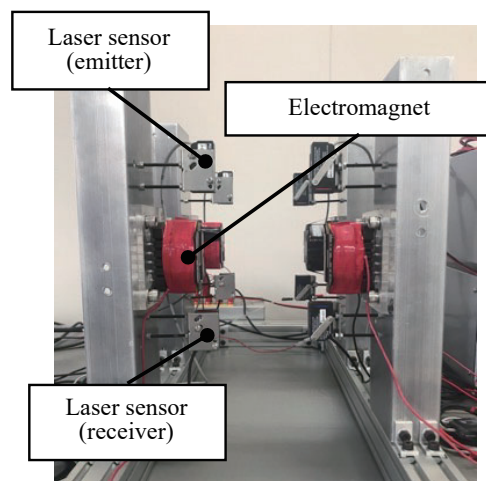


Fig. 2 Electromagnet units

誘導同期磁気ギヤの復帰トルクに関する検討

水穴裕真, 中村健二, *鈴木雄真, *立谷雄一, *操谷欽吾
(東北大学, *㈱プロスパイン)

Examination of Restarting Torque of Induction/Synchronous Magnetic Gears

Y. Mizuana, K. Nakamura, Y. Suzuki, Y. Tachiya, K. Kuritani
(Tohoku University, *Prospine Co., Ltd.)

はじめに

磁気ギヤは非接触で動力を伝達できるため、機械式ギヤと比べて振動・騒音が小さく、保守性に優れる。その中でも磁束変調型磁気ギヤは、他の磁気ギヤと比べてトルク密度が高い^{1), 2)}。一方、磁気ギヤは過大な負荷が印加されると脱調し、動力伝達ができなくなる。また、脱調後は負荷をある程度取り除かない限り、再始動することができない。

本稿では、脱調後の再始動性向上を目的として、誘導同期モータの原理に着目し、磁気ギヤの回転子にかご形導体を付加した誘導同期磁気ギヤを新たに提案するとともに、原理検証実験を行ったので報告する。

誘導同期磁気ギヤの原理検証

Fig. 1 に、原理検証機の諸元を示す。同図(a)の誘導同期磁気ギヤは、ギヤ比が6であり、内側回転子に28本の導体バーが等間隔に配置されている。また、同図(b)の誘導同期磁気ギヤは、ギヤ比が10.33であり、内側回転子に6本の導体バーが等間隔に配置されている。

Fig. 2 に、増速動作時における復帰トルクの測定結果を示す。磁気ギヤを一度脱調させてから負荷を下げている、再始動した時のトルクを復帰トルクとした。外側回転数は60 rpm, 80 rpm, 100 rpm とし、各回転数で10回ずつ測定を行った。

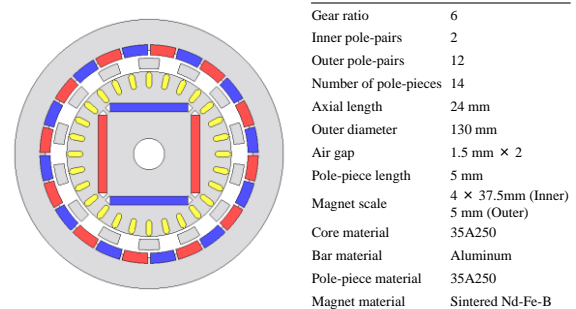
同図(a)より、ギヤ比6の場合、いずれの回転数においても、かご形導体を有する誘導同期磁気ギヤの方が、かご形導体の無い通常の磁気ギヤと比べて、復帰トルクが大きいことがわかる。また、同図(b)を見ると、ギヤ比10.33の場合、外側回転数100 rpmにおいて、かご形導体を付加することで脱調後の再始動が可能になっていることがわかる。

以上より、回転子にかご形導体を付加することで、脱調後の復帰トルクを改善できることが明らかになった。

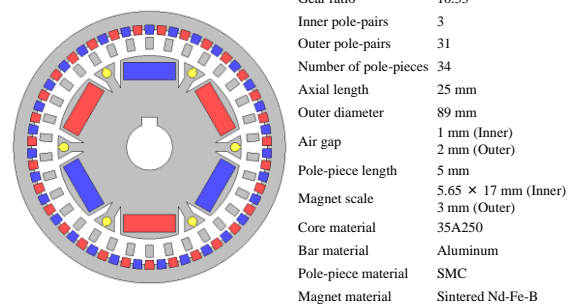
本研究の一部は東北大学 AIE 卓越大学院プログラムにより支援された。

参考文献

- 1) K. Atallah and D. Howe, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, 2844 (2001).
- 2) F. T. Jørgensen, P. O. Rasmussen, and T. O. Andersen: Summer Seminar on Nordic Network for Multi Disciplinary Optimized Electric Drives (2003)

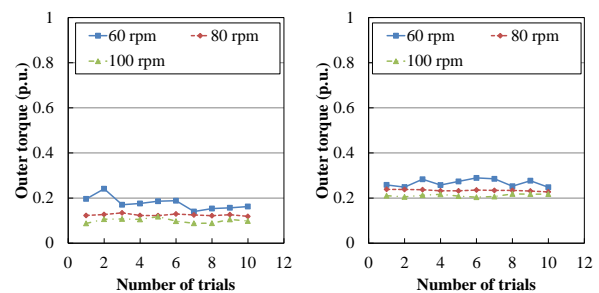


(a) Gear ratio 6

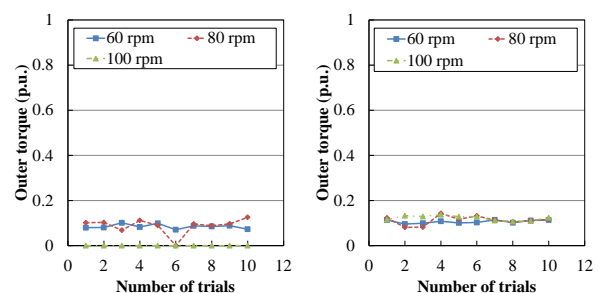


(b) Gear ratio 10.33

Fig. 1 Specifications of induction/synchronous magnetic gears.



(a) Gear ratio 6 (left : w/o bars, right : w/ bars)



(b) Gear ratio 10.33 (left : w/o bars, right : w/ bars)

Fig. 2 Comparison of measured restarting torque.

アンバランスポールピースによる整数ギヤ比磁気ギヤのコギングトルク低減に関する検討

戴博群, 中村健二, *鈴木雄真, *立谷雄一, *操谷欽吾
(東北大学, *株)プロスピイン)

Cogging Torque Reduction of Integer Gear Ratio Magnetic Gear by Applying Unbalanced Pole-Pieces

B. Dai, K. Nakamura, Y. Suzuki, Y. Tachiya, K. Kuritani

(Tohoku University, *Prospine Co., Ltd.)

はじめに

磁束変調型磁気ギヤは非接触で動力を伝達できるため、機械式ギヤと比べて振動・騒音が小さく、メンテナンスフリーである。また、他の磁気ギヤと比べてトルク密度が高いこと、風力発電用の増速ギヤとしての応用が期待されている。

システム全体の設計要件に基づき、磁気ギヤには整数ギヤ比が求められるケースがあるが、この場合、高速側のコギングトルクが大きくなり、振動や騒音、起動エラーなどの問題が生じる。この問題に対して、スキュー構造は一つの有効なコギングトルク低減策だが²⁾、磁石形状が特殊になるため、特に風力発電用の大型機では製作性の面で不利である。

そこで本稿では、高速側のコギングトルク低減を目的として、新たにアンバランスポールピースを提案する。3次元有限要素法(3D-FEM)を用い、提案手法の有用性について検討を行ったので報告する。

コギングトルクの削減に関する検討

Fig. 1 に、考察に用いたアキシシャルギャップ型の磁気ギヤの諸元を示す³⁾。高速側回転子は表面磁石型、低速側回転子は埋込磁石型である。高速側回転子の鉄心材料は無方向性ケイ素鋼板、低速側回転子の鉄心とポールピースの材料は圧粉磁心である。

Fig. 2 に、ポールピースの周方向幅比が0.5で均一の従来のタイプと、周方向幅比が0.3, 0.8, 0.7と異なる3種類を組み合わせたアンバランスタイプを示す。

Fig. 3 に、3D-FEMを用いて算定した、両タイプの高速側のコギングトルク波形を示す。この図を見ると、アンバランスタイプのコギングトルクは大幅に低減していることがわかる。この要因を示すため、Fig. 4 に、アンバランスタイプの3種類のポールピースが作る各々のコギングトルク波形を示す。この図を見ると、各波形の位相がずれることで、互いに打ち消し合っていることがわかる。

本研究の一部は東北大学 AIE 卓越大学院プログラムにより支援された。

参考文献

- 1) K. Atallah and D. Howe, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, 2844 (2001).
- 2) S. Ahmadrza Afsari, H. Heydari, and B. Dianati, *IEEE Trans. Magn.*, **51**, 1 (2015)
- 3) B. Dai, K. Nakamura *et al.*, *ICEMS 2020, LS8H-2* (2020).

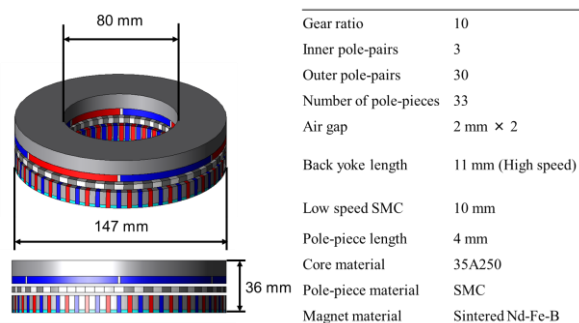


Fig. 1 Specifications of the discussed magnetic gears.

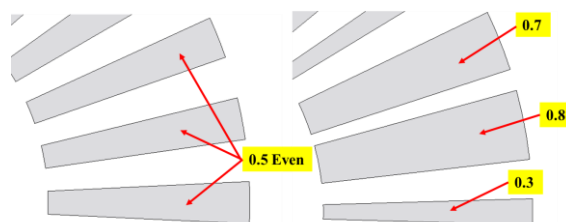


Fig. 2 Comparison of conventional and proposed pole-pieces layout (left: conventional, right: proposed).

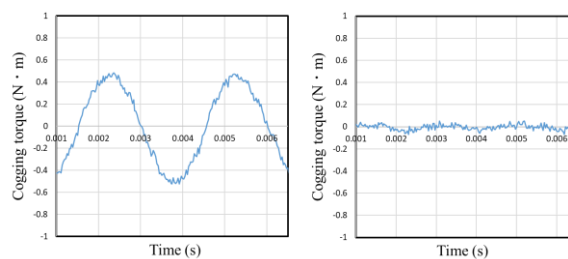


Fig. 3 Comparison of cogging torque of high-speed side rotor (left: conventional, right: proposed).

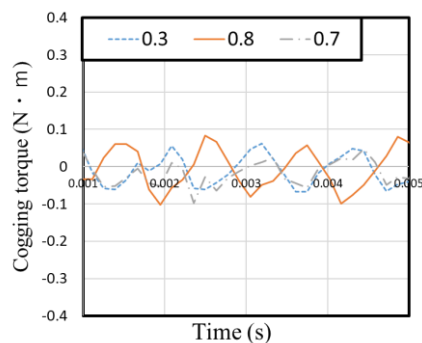


Fig. 4 Breakdown of the high-speed side cogging torque of the magnetic gear with unbalanced pole-pieces.

埋込磁石型磁気ギヤードモータの力率・効率に関する一考察

伊藤 亘輝, 中村 健二
(東北大学)

A Consideration of Power Factor and Efficiency of IPM-type Magnetic-Geared Motor

Koki Ito, Kenji Nakamura
(Tohoku University)

はじめに

先に筆者らは、埋込磁石型(IPM)磁気ギヤードモータを試作し、従来の表面磁石型よりも高効率であることを実証した¹⁾。また、IPM 磁気ギヤードモータはギヤ部とモータ部の磁氣的相互作用により、脱調トルクが変化することを明らかにした²⁾。本稿では、磁氣的相互作用が IPM 磁気ギヤードモータの力率や効率に及ぼす影響について、3次元有限要素法(3D-FEM)を用いて検討を行ったので報告する。

磁氣的相互作用が力率・効率へ及ぼす影響

Fig. 1 に、考察対象とした IPM 磁気ギヤードモータの試作機の諸元を示す。はじめに磁氣的相互作用が力率へ及ぼす影響を調べるため、負荷角 30, 45, 90 度における電機子電圧の位相を 3D-FEM にて算定した。Fig. 2 に、負荷角ごとの電機子電圧の基本波成分の算定結果を示す。同図より、負荷角が大きいくほど電機子電圧と入力電流の位相差が大きくなり、力率が低下することがわかる。負荷角を増加することは磁気ギヤ部の変調磁束の位相を変化させることに等しいため、力率が変化するのは磁氣的相互作用の影響だといえる。結果より、高力率・高効率運転を行うには、負荷角の増加に伴い、電流位相を進めるのがよいと考えられる。Fig. 3 に、負荷角ごとの力率の算定結果を示す。同図より、力率が最大となる電流位相が、負荷角の増加に応じて進み位相側にシフトしていることが了解される。

Fig. 4 に負荷角ごとの効率の算定結果を示す。この図を見ると、進み電流位相側で効率が最大となることがわかる。すなわち、埋込磁石型磁気ギヤードモータは進み電流位相で駆動した方が、力率および効率が向上することが明らかとなった。

本研究の一部は東北大学 AIE 卓越大学院プログラムにより支援された。

参考文献

- 1) 伊藤, 門松, 中村, 日本磁気学会論文特集号, 3,1, (2019)
- 2) 伊藤, 中村, 日本磁気学会論文特集号, 4,1, (2020)

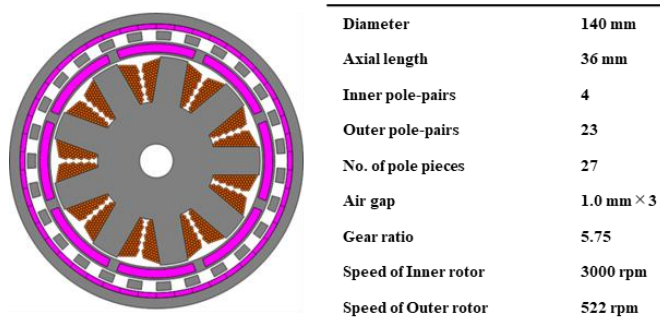


Fig. 1 Specifications of a prototyped IPM-type magnetic-geared motor.

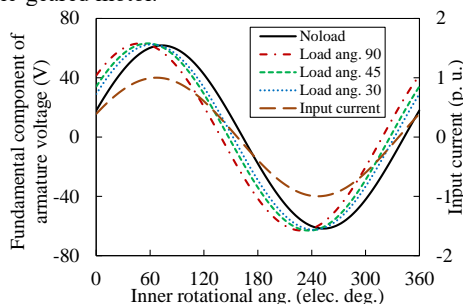


Fig. 2 Calculated waveforms of the armature voltage at various load angles.

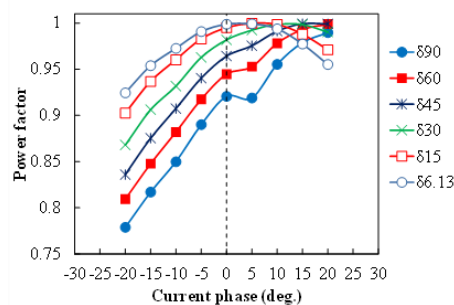


Fig. 3 Calculated displacement power factor at various current phases and load angles.

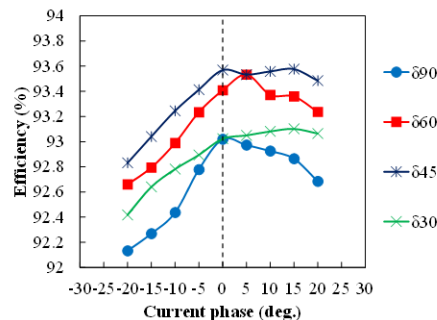


Fig. 4 Calculated efficiency at various current phases and load angles.

逆バイアス磁界印加用磁石を有する 横方向磁束型スイッチトリラクタンスモータの基礎特性

永井歩美, 三ツ谷和秀, 中村健二
(東北大学)

Basic Characteristics of Transverse-Flux-type Switched Reluctance Motor with
Permanent Magnets applying Reverse Bias Magnetic Field
A. Nagai, K. Mitsuya, K. Nakamura
(Tohoku University)

はじめに

横方向磁束型 (Transverse-Flux-type) モータとは、回転子の回転方向に対して主磁束が横切る方向に流れるモータの総称である。先に筆者らは、横方向磁束型 SRM (TFSRM) の試作試験を行い、一般的な SRM よりも大きなトルクを有することを明らかにした¹⁾。

本稿では、TFSRM のさらなるトルク向上を目的として、逆バイアス磁界印加用磁石を有する TFSRM について、3次元有限要素法 (3D-FEM) を用いて基礎特性を算定したので報告する。

提案する TFSRM の基礎特性

Fig. 1 に、逆バイアス磁界印加用磁石を有する TFSRM の基本構成を示す。この図より、回転子カットコアの内側に永久磁石が配置されていることがわかる。Fig. 2 に本 TFSRM の一極分の拡大図を示す。同図中の矢印は固定子巻線による磁束と永久磁石による磁束の流れを示しており、回転子において両者の磁束の流れが逆方向になっていることがわかる。これにより、励磁開始前の動作磁束密度の原点は磁石によって負方向に逆バイアスされ、鉄心の見かけ上の飽和磁束密度が高くなるため、トルクの増大が期待される。

Fig. 3 に電流密度対トルク特性を示す。この図を見ると、逆バイアス磁界印加用磁石により、全体的にトルクが増大したことがわかる。また、Fig. 4 に損失内訳および効率特性を示す。この図を見ると、特に高負荷側で銅損が著しく低減し、効率が向上していることがわかる。これは逆バイアス磁界印加用磁石によってトルクが向上したことに由来する。今後は試作試験を行う予定である。

なお、本研究の一部は東北大学 AIE 卓越大学院プログラムにより支援された。

参考文献

1) T. Komoriya, Y. Ito, K. Nakamura, *J. Magn. Soc Jpn. Special Issues.*, **3**, 58 (2019)[In Japanese].

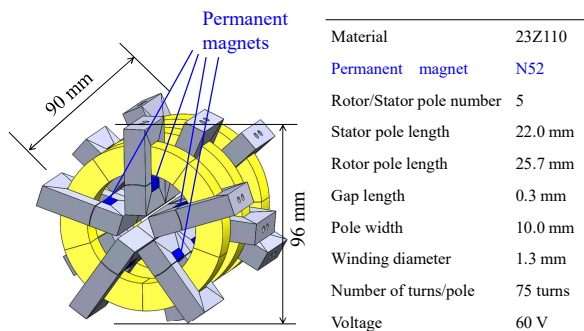


Fig. 1 Proposed TFSRM with permanent magnets applying reverse bias magnetic field.

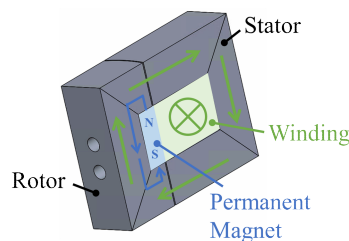


Fig. 2 Proposed TFSRM with permanent magnets applying reverse bias magnetic field. (one-pole).

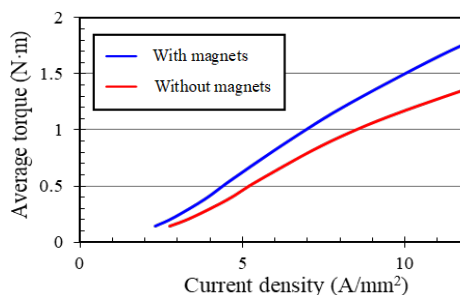
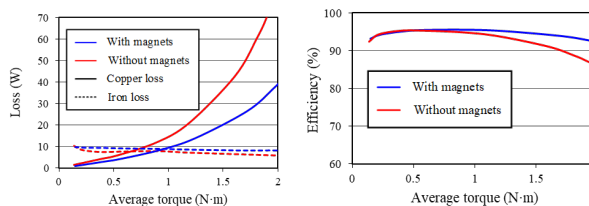


Fig. 3 Current density vs. torque characteristics of TFSRMs with and without magnets.



(a) Copper and iron losses (b) Efficiency
Fig. 4 Comparison of losses and efficiency of TFSRMs with and without magnets.

ワイヤ放電加工で製作した圧粉磁心 SR モータの特性検証

三ツ谷 和秀, 中村 健二
(東北大学)

Characteristics Investigation of SMC-based SR Motor Manufactured by using Wire Electric Discharge Machining

K. Mitsuya, K. Nakamura
(Tohoku University)

はじめに

圧粉磁心 (Soft Magnetic Composite: SMC) は、3次元磁気等方性を有し、高周波鉄損も小さいことから、次世代のモータ鉄心材料の一つとして期待されている。しかしながら、通常、圧粉磁心を用いたモータ鉄心の製作には、高価な金型が必須であり、これが初期検討段階の試作評価の障害となっている。そこで筆者らは、ワイヤ放電加工による鉄心製作に着目した。本稿では、Fig. 1 のスイッチトリラクタンス (SR) モータを考察対象とし、ワイヤ放電加工で製作した圧粉磁心 SR モータの特性を検証したので報告する。

ワイヤ放電加工で製作した圧粉磁心 SR モータの試験結果

Fig. 2 に試作した SR モータの固定子と回転子を示す。圧粉磁心は導電率が低いため、本来、導体を対象物とするワイヤ放電加工には適さない。そのため、加工時間は電磁鋼板の数倍程度かかったが、コアそのものには割れや欠けなどは生じなかった。

Fig. 3 に巻線電流密度対トルク特性を示す。両材料とも実機の方がやや特性が悪化した。なお、圧粉磁心が比較対象の電磁鋼板 (35A300) に比べて劣っているのは、材料の磁化特性の悪さに起因している。

Fig. 4 にトルク対鉄損特性を示す。この図を見ると、両材料とも実機の鉄損が計算値より悪化しており、この原因の一つとしてワイヤ放電加工による劣化が考えられる。ただし、鉄損の実測値と計算値の比は 35A300 が約 1.6 倍に対して、圧粉磁心は約 1.8 倍であり、劣化の度合いは両材料でほとんど差が無い。したがって、ワイヤ放電加工による圧粉磁心コアの製作は有用であり、初期検討段階における試作評価のハードルを下げる事が期待される。

参考文献

- 1) Y. Enomoto, H. Tokoi, K. Kobayashi, H. Amano, C. Ishihara, and K. Abe, *T. IEE Japan*, Vol. 129-D, pp. 1004-1010 (2009).
- 2) K. Nakamura, Y. Kumasaka, and O. Ichinokura, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 903, 012040 (2017).

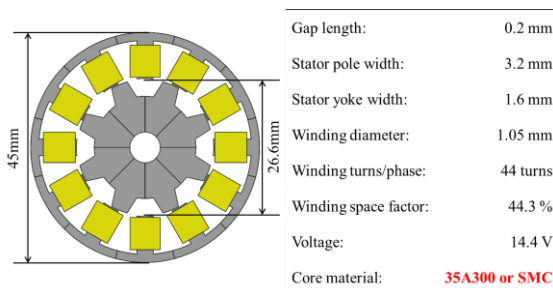


Fig. 1. Specifications of 12/8 SR motor.



Fig. 2. Stator and rotor cores of SMC-based SR motor manufactured by using wire electric discharge machining.

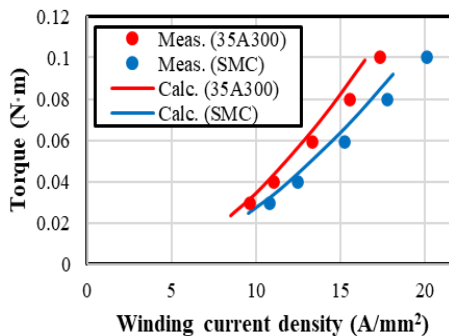


Fig. 3. Comparison of winding current density versus torque characteristics.

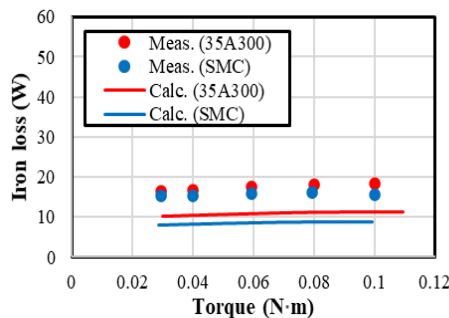


Fig. 4. Comparison of measured and calculated iron losses.

NANOMET[®]積層コアを適用したインセット型 PM モータの実機評価

于 越, 平本 尚三*, 中村 健二
 (東北大学, *^株東北マグネットインスティテュート)

Prototype Evaluation of Inset PM Motor made of NANOMET[®] Laminated Core

Y. Yu, S. Hiramoto*, K. Nakamura
 (Tohoku University, *Tohoku Magnet Institute Co., Ltd.)

はじめに

現在, モータ鉄心として一般に用いられている無方向性ケイ素鋼板は, 安価で飽和磁束密度も高いが, 高周波鉄損が大きいことが, 高速回転化の課題となっている。これに対して, ナノ結晶軟磁性合金の一つである NANOMET[®]は飽和磁束密度が高く, かつ低鉄損であることから, 次世代のモータ鉄心材料として期待されている。先に筆者らは, NANOMET[®]薄帯の積層コアを用いて, スイッチトリラタンス (SR) モータを試作し, 実機評価を行ったところ, 鉄損が大きく低減し, 効率が向上したり。そこで本稿では, 新たにインセット型の永久磁石 (PM) モータに適用した結果について報告する。

インセット PM モータの試作試験結果

Fig. 1 に, 試作したインセット PM モータの諸元を示す。3 相 6 スロット 4 極機であり, 定格回転数は 12,600 rpm, 定格トルクは 200 mN・m である。高速回転に伴う磁石渦電流損を防ぐため, 回転子磁石はネオジウムボンド磁石とした。ただし, 磁石性能という観点から見ると, ボンド磁石は焼結磁石に劣るため, 一般的な径方向着磁では無く, 極異方性着磁を採用した。先行研究²⁾では, 一般的な無方向性ケイ素鋼板 (35A300) を用いて試作試験を行ったが, 本稿では NANOMET[®]薄帯の積層コアを用いて固定子鉄心を試作し, 換装して実機試験を行った。

Fig. 2 に, 電流密度対トルク特性の実測値を示す。この図から, 両材料ともほぼ同等のトルク特性を有することがわかる。

Fig. 3 は効率特性である。この図から明らかなように, NANOMET[®]を適用した PM モータは, 全動作領域で効率が改善した。なお, 実機の最高効率は約 95%であった。

参考文献

- 1) 永井, 三ツ谷, 平本, 中村, “NANOMET[®]積層コアを適用した高速 SR モータの実機評価”, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 5, No. 1, pp. 22-26 (2021)
- 2) 内山, 中村, 一ノ倉, 後藤, 郭, “インセット型高速 PM モータの試作試験”, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 4, No. 1, pp. 67-71 (2020)

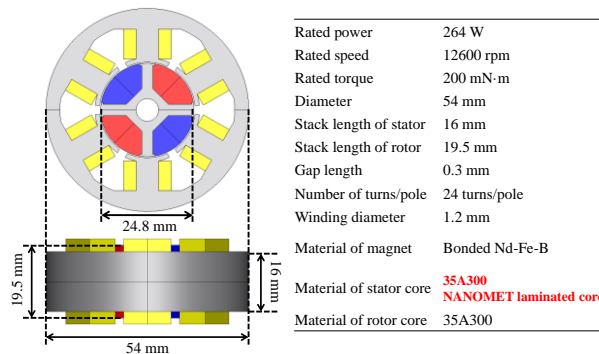


Fig. 1 Specifications of a prototype inset PM motor.

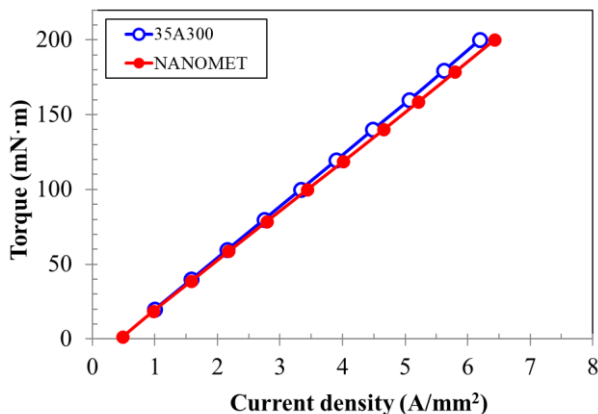


Fig. 2 Measured torque characteristics.

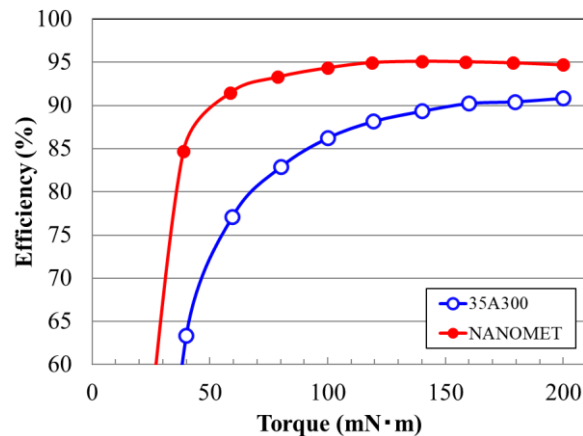


Fig. 3 Measured Efficiency Characteristics.

セグメント構造アウターロータ型高速PMモータに関する検討

櫻井 将, 内山裕太郎, 中村健二
(東北大学)

Outer-Rotor-type High-Speed PM motor with Segmented-shaped Rotor

S. Sakurai, Y. Uchiyama, K. Nakamura
(Tohoku University)

はじめに

近年, スマートフォンなどの情報端末による通信量の大幅な増加に伴い, データサーバ等の増強が進められているが, CPUの高性能化に伴う局所発熱の増加や, サーバの小型化に伴う熱密度の増加が顕在化している。そのため, これらを冷却するファンの高出力・高効率化が喫緊の課題である。

先に筆者らは, 冷却ファン用アウターロータ型永久磁石 (PM) モータに関して, ネオジム焼結磁石を周方向に分割し, 回転子鉄心に浅く埋め込むことで, 磁石渦電流損を抑えながら, トルクを向上させる手法を提案した^{1),2)}。

本稿では, 外側回転子をセグメント構造にすることで, リラクタンストルクの併用を可能にするとともに, 磁石渦電流損の低減も狙った新しい構造のPMモータについて, 有限要素法 (FEM) を用いて検討を行ったので報告する。

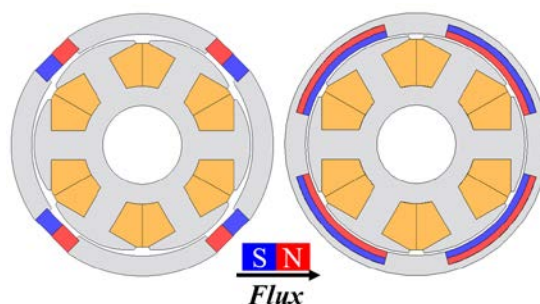
セグメント構造PMモータの特性

Fig. 1(a)に, 外側回転子をセグメント構造にしたアウターロータ型PMモータを示す。4つに分かれた鉄心の間に, 周方向に着磁された磁石が挟まれた構造を有し, これによりリラクタンストルクの併用が可能になっている。また, いわゆる d 軸が鉄心の中央を向くことから, 電機子磁束は磁石にほぼ流入しないため, ネオジム焼結磁石を用いることができる。なお, 同図(b)は比較に用いた従来のインセット型のPMモータである。

Fig. 2に, セグメント構造PMモータの電流位相角 - トルク特性の計算値を示す。電流位相角 15 deg でトルクが最大となり, その時のリラクタンストルクの割合は約7%である。

Fig. 3に効率の計算値を示す。この図を見ると, 全領域で提案のPMモータの効率の方が高いことがわかる。なお, 定格点 (3000 rpm, 60 mN·m) における効率は約96%であった。

今後は実証実験を行う予定である。



(a) Segmented-shaped rotor (b) Inset PM rotor

Fig. 1 Schematic diagram of outer-rotor-type PM motors.

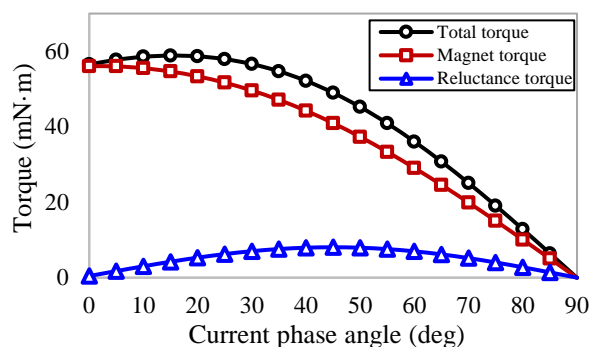


Fig. 2 Torque versus current phase angle characteristic of the proposed PM motor with segmented-shaped rotor.

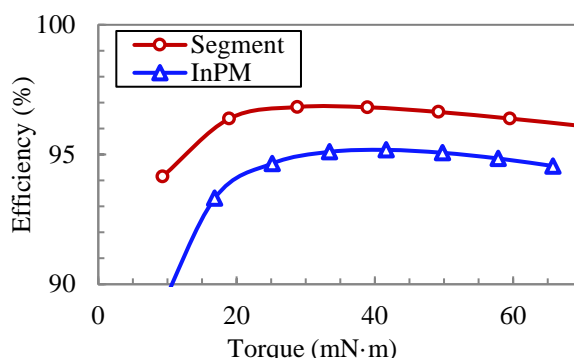


Fig. 3 Comparison of the efficiency

参考文献

- 1) 櫻井, 中村, 日本磁気学会論文特集号, **4**, 72 (2020)
- 2) S. Sakurai, K. Nakamura, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **45**, 70 (2021).

小型EV用アキシシャルギャップ型スイッチトリラクタンスモータの損失に関する実験的考察

佐藤航汰, 中村健二
(東北大学)

Experimental Study of Losses of Axial-Flux-type Switched Reluctance Motor for Compact EV
K. Sato, K. Nakamura
(Tohoku University)

はじめに

これまで筆者らは, Fig. 1 に示すダブルステータ構造のアキシシャルギャップ型スイッチトリラクタンスモータ (AFSRM) の試作評価と, 小型電気自動車 (EV) 用インホイールモータへの適用について検討を進めてきた。その結果, 試作 AFSRM は小型EVに適用するための目標トルクを満足し, また実車体に搭載した走行も実現したり。しかしながら一方で, 試作 AFSRM の効率は3次元有限要素法 (3D-FEM) による設計値を下回ったことから, この原因の解明と改良が必要不可欠である²⁾。

そこで本稿では, 試作 AFSRM の損失のうち, 特に鉄損に着目し, 種々の実験を行うことで効率低下要因について検討を行ったので報告する。

AFSRM の効率低下要因の分析

Fig. 2 に, 鉄損を考慮した場合の AFSRM の等価回路を示す。この等価回路において r は等価鉄損抵抗であり, この抵抗における損失が, AFSRM で生じる鉄損となる。等価鉄損抵抗は Fig. 3 に示すように, モータ巻線へのパルス電圧印加時の電流応答波形と, 巻線インダクタンスから計算できる。なお, 等価鉄損抵抗はモータの回転子位置角と印加電圧の周波数に依存するため, AFSRM の動作周波数 (58~320 Hz) において, 電気角1周期を10分割し, 各回転子位置角ごとに測定を行った。

Fig. 4 に, 等価鉄損抵抗に基づく鉄損を考慮した場合の効率特性を示す。この図を見ると, 実測値との誤差が小さくなり, 精度が改善されたことが了解される。すなわち, 現状の3D-FEMでは未考慮の鉄損が生じていることが明らかとなった。今後は, この損失の発生箇所特定と改善に取り組む予定である。

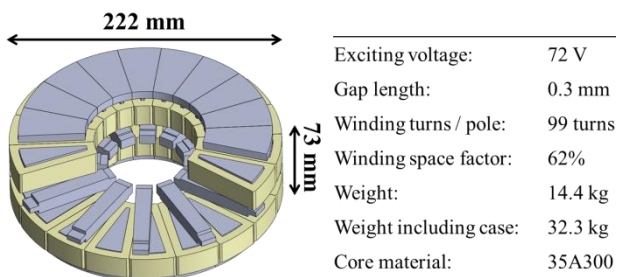
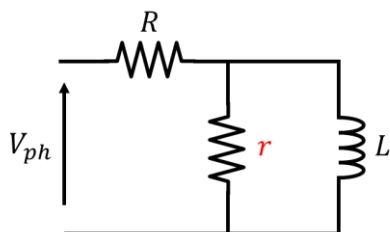


Fig. 1 Specifications of a prototype AFSRM.



V_{ph} :Excitation voltage L :Motor inductance
 R :Winding resistance r :Equivalent iron loss resistance

Fig. 2 Equivalent circuit of AFSRM.

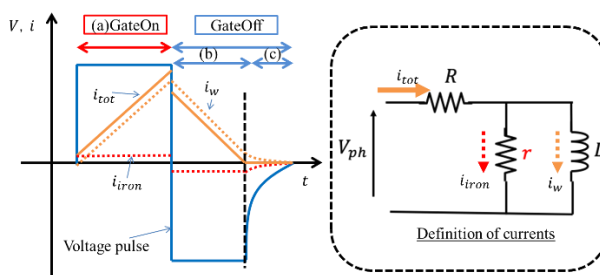


Fig. 3 Voltage and current waveforms of AFSRM considering iron losses.

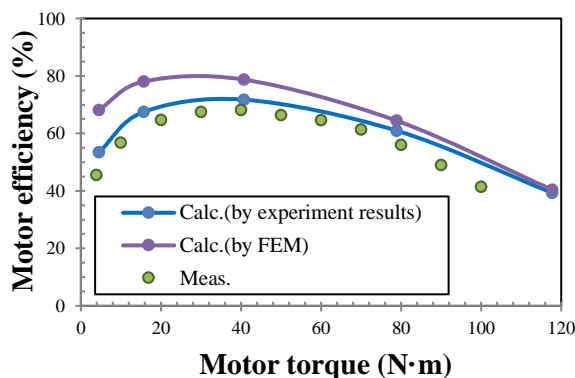


Fig. 4 Comparison of efficiency.

参考文献

- 1) K. Takase, H. Goto, and O. Ichinokura, *The Papers of Tech. Meeting on Magn., IEE Jpn.*, MAG-17-002 (2017).
- 2) H. Aizawa and K. Nakamura, *T. Magn. Soc. Jpn. (Special Issues)*, **4**, 62 (2020).

アキシアルギャップ誘導モータの設計手法に関する検討

照井智理、吉田征弘、田島克文
(秋田大学)

A Study on Design Method of Axial Gap Induction Motor

T. Terui, Y. Yoshida, K. Tajima
(Akita Univ.)

はじめに

筆者らは、トルク密度の向上が期待できるアキシアルギャップ構造の誘導モータについて研究を進めており、アキシアルギャップ構造の適用で従来構造の誘導モータを上回るトルク密度を確認している¹⁾。また、磁気抵抗回路網解析 (RNA) をアキシアルギャップ誘導モータに適用し、特性算定を行ったところ、有限要素解析と比べ高速で特性算定が可能であることがわかった²⁾。そこで、本稿では従来構造の誘導モータに関する設計手法³⁾を応用したアキシアルギャップ誘導モータの設計手法について検討し、得られたモータ形状で RNA モデルを作成し、特性を算定したので報告する。

アキシアルギャップ誘導モータ設計の概要

本研究で行ったアキシアルギャップ誘導モータの設計は、微増加比例法に基づく電気装荷および磁気装荷の算出をアキシアルギャップ誘導モータに適用したものである。アキシアルギャップ構造は2つのギャップ層を有する構造をとることができるため、ギャップ層数を考慮するためのギャップ係数を決められるようにした。磁気装荷、ギャップ係数、比磁気装荷により要求仕様を満たすギャップ面積を算出することでモータ外径が決定する。固定子巻線および回転子導体の断面積は、要求仕様から算出することができ、アキシアルギャップ誘導モータの軸長が決定し、モータ形状が決定する。

RNA による特性算定

定格出力 0.75 kW のアキシアルギャップ誘導モータを設計し、RNA による特性算定を行う。設計したモータの要求仕様を表 1 に示す。また、図 1 に RNA による特性算定結果を示す。図 1 中の赤点は出力 0.73 kW の動作点を示しており、目標とした定格出力付近であることがわかる。このことから、今回検討を行った設計手法によるアキシアルギャップ誘導モータの設計が可能であることが明らかとなった。

Table.1 Requirements specification of the motor

Rated output	0.75 kW
Effective value of AC voltage	200 V
Frequency	50 Hz
Number of poles	4

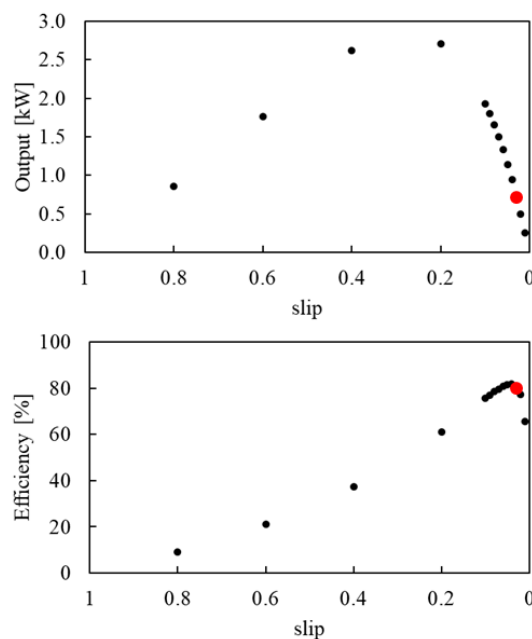


Fig.1 Calculation result of characteristics by RNA

参考文献

- 1) 酒井諒典、吉田征弘、田島克文：「アキシアルギャップ誘導モータの基礎設計に関する検討」、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-17-169、MD-17-111、LD-17-090 (2017)
- 2) 照井智理、吉田征弘、田島克文：「RNA に基づくアキシアルギャップ誘導モータの効率マップ作成手法に関する検討」、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-21-051 (2021)
- 3) 竹内寿太郎、西方正司：「大学課程 電気設計学 (改訂 3 版)」、pp.77-115、株式会社オーム社(2016)