

ラジアルギャップ型磁気ギヤードモータの基礎特性

秋本一輝, 中村健二, 一ノ倉理
(東北大学)

Basic Characteristics of Radial-Gap type Magnetic-Geared Motor

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

1. はじめに

磁気ギヤは、非接触で増減速が可能であるため、騒音・振動が小さく、信頼性・保守性の向上が期待できる。また、トルク発生原理が一般的な永久磁石モータと同じであるため、モータとギヤを融合一体化した磁気ギヤードモータの実用化が期待される¹⁾。

本稿では、移動支援機器用のインホイールモータへの応用を目的として、ラジアルギャップ型磁気ギヤードモータの特性について検討したので報告する。

2. 磁気ギヤードモータのトルク特性

Fig. 1 に、ラジアルギャップ型磁気ギヤードモータの基本構成を示す。モータ部は、3相9スロット集中巻の固定子と4極対の高速回転子 (High speed rotor) で構成される。固定子鉄心の材質は無方向性ケイ素鋼板、磁石材料はネオジウム焼結磁石である。ギヤ部は、4極対の高速回転子 (High speed rotor) と23極対の低速回転子 (Low speed rotor)、ポールピースと呼ばれる27個の磁極片で構成される。ポールピースの材質は圧粉磁心、磁石材料はネオジウム焼結磁石である。同図に示すように、高速回転子 (High speed rotor) がモータ部とギヤ部で共有されている。

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高速回転子 (High speed rotor) が回転し、これがギヤ部で $1/5.75 (=4/23)$ に減速されて、低速回転子 (Low speed rotor) から機械出力が得られる。

Table 1 に、ラジアルギャップ型磁気ギヤ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器の要求仕様から決定した。目標トルクは、巻線電流密度が 10 A/mm^2 時に $5.81 \text{ N}\cdot\text{m}$ 以上である。

Fig. 2 に、3次元有限要素法を用いて算定した、ラジアルギャップ型磁気ギヤードモータの電流密度対トルク特性を示す。この図を見ると、目標トルクを上回っていることがわかる。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。

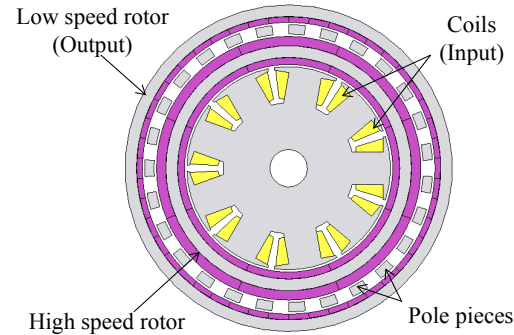


Fig. 1 Basic configuration of a radial-gap type magnetic-geared motor.

Table 1 Specifications of the radial-gap type magnetic-geared motor.

Diameter	140 mm
Axial length	15 mm
High speed rotor	632.5 rpm
Low speed rotor	110 rpm
Number of turns/pole	62 turns/pole
High speed rotor magnet pole pairs	4
Low speed rotor magnet pole pairs	23
Pole piece number of poles	27
Gear ratio	5.75
Gap length	$1.0 \text{ mm} \times 3$
Material of magnet	Sintered Nd-Fe-B
Material of PP	Soft magnetic composite
Material of yoke and stator	Non-oriented Si steel

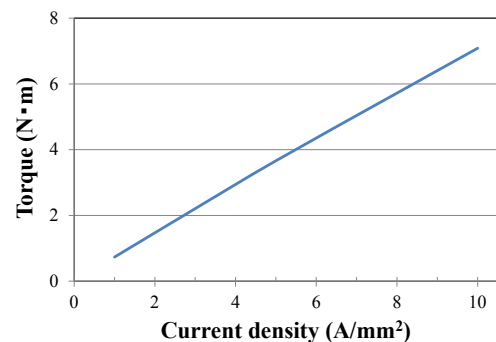


Fig. 2 Calculated torque characteristic of the radial-gap type magnetic-geared motor.

参考文献

- 1) K. Nakamura, K. Akimoto, T. Takemae, O. Ichinokura, *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **39**, 29 (2015).

電動工具用高速 SR モータの試作試験

熊坂悠也, 磯部開太郎, 中村健二, 一ノ倉 理
(東北大学)

Prototype Tests of High-Speed SR Motor for Electric Power Tools

Y. Kumasaka, K. Isobe, K. Nakamura, O. Ichinokura
(Tohoku University)

はじめに

スイッチトリラクタンス (SR) モータは、固定子、回転子ともに突極構造を有し、磁気抵抗の変化に起因するリラクタンストルクを利用して回転する。巻線は固定子極のみに集中巻される。また、回転子は鉄心のみで構成され、巻線や永久磁石は不要である。したがって、SR モータは構造が極めて簡単で堅牢、安価、高速回転に適するなどの特長を有する。

先に筆者らは、電動工具への応用を目的として、有限要素法 (FEM) を用いて SR モータを解析・設計した結果、既存の永久磁石 (PM) モータに匹敵するトルクを有することを明らかにした¹⁾。

本稿では、上記の検討結果に基づき試作した SR モータの実証実験の結果について報告する。

試作 SR モータの諸元と試験結果

Fig. 1 に、試作した固定子 12 極、回転子 8 極の 3 相 SR モータの諸元を示す。鉄心材料は厚さ 0.35 mm の無方向性ケイ素鋼板である。Fig. 2 は、実際の電動工具に用いられている PM モータである。これら 2 つのモータのコイルエンドまで含めた体格は等しい。一方、SR モータはオープンスロット構造であるため、試作機の巻線占積率は約 44% であり、PM モータの 24% よりも高い。また、ギャップ長は PM モータよりも短い。

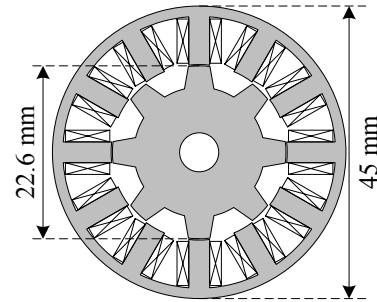
Fig. 3 に、巻線電流密度対トルク特性を示す。この図を見ると、ほぼ設計通りのトルクが得られていることがわかる。また、高負荷側で PM モータのトルクを上回っていることが了解される。

まとめ

以上、電動工具用高速 SR モータの試作試験の結果について述べた。

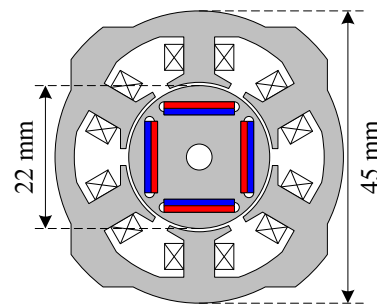
参考文献

- 1) K. Isobe, K. Nakamura, O. Ichinokura, "A Consideration of High-Speed SR Motor for Electric Power Tools", *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 38, No. 5, pp. 194-198 (2014).



Axial length	17.85 mm
Gap length	0.2 mm
Core material	35A300
Winding space factor	44.3%

Fig. 1 Specifications of a prototype SR motor.



Axial length	17.85 mm
Gap length	0.5 mm
Magnet material	Nd-Fe-B
Winding space factor	24.0%

Fig. 2 Specifications of a present PM motor.

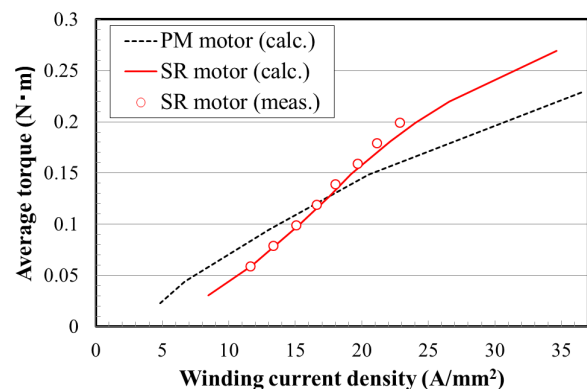


Fig. 3 Comparison of winding current density versus speed characteristics.

アキシヤルギャップ型 SR モータの騒音に関する実験的研究

伊東宏祐, 後藤博樹, 一ノ倉理
(東北大学)

Experimental study of Acoustic Noise from an axial-gap SR motor

K. Ito, H. Goto and O. Ichinokura
(Tohoku University)

はじめに

近年、磁石を一切用いないため堅牢かつ構造が簡単でコストが安いスイッチトリラクタンス (SR) モータが注目を集めている。筆者らは、インホイールダイレクト駆動方式の電気自動車用モータとして、扁平空間でも高トルク密度を有するアキシヤルギャップ型 SR モータを提案し、試作・走行試験において有用性を確認してきた¹⁾。しかし、駆動時における振動や騒音が非常に大きいという欠点があり、これは実用化に向けて解決すべき課題である。本稿では、上記の試作アキシヤルギャップ型 SR モータの騒音の原因を調査すべく、分析を行ったので報告する。

SR モータの騒音分析

Fig. 1 に、現有の試作 SR モータの基本構成を示す。固定子 18 極、回転子 12 極であり、1つの固定子に軸方向に 2 つの回転子を挟み込んだダブルロータ型モータである。Fig. 2 に実験装置の外観を示す。モータをダイナモメータに接続して負荷を印加し、回転数をパラメータとしたときの騒音を測定した。得られた波形をフーリエ変換し、回転数毎の騒音レベルの推移を調べた。騒音測定結果を Fig. 3 に示す。X 軸は騒音に含まれる周波数 [Hz], Y 軸はモータの回転数 [r/min], Z 軸は騒音レベル [dB] を示している。ここで、回転子極数 p_r , 回転数 n_r [r/min], 相数を $k (=3)$ とすると、モータの電磁力の基本周波数は(1)式で表される。

$$f_1 = \frac{kp_r n_r}{60} \quad (1)$$

同図(a)を見ると低周波領域では、回転数に応じて上式の次数倍の成分に沿った高調波が観測されていることが分かる。これはモータの電磁力に起因しているものだといえる。同図(b)に高周波領域も含めた騒音分布図を示す。2000[Hz]および3000[Hz]に主要となる高調波成分が確認された。今後は静音化に向け、この主要となる成分についての原因分析を検討している。

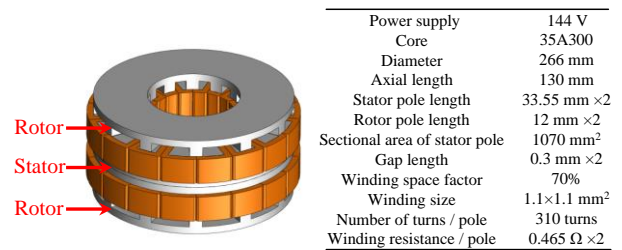


Fig. 1 Specification of 18/12 axial-gap SR motor.

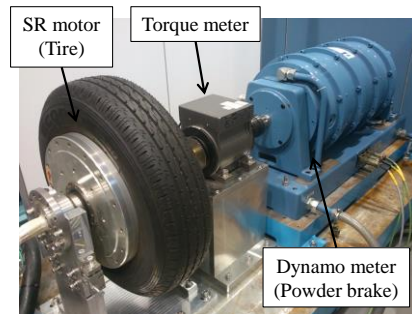


Fig. 2 General view of the experimental system.

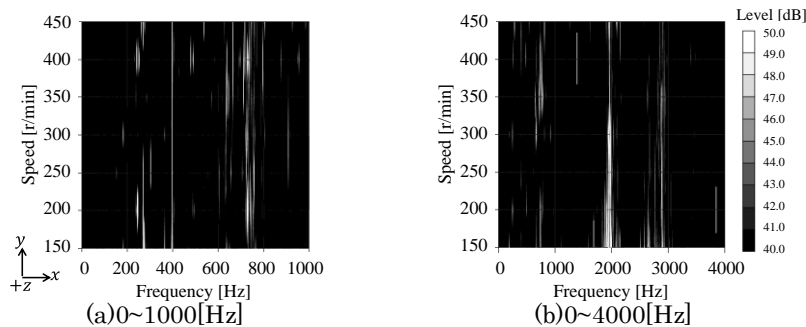


Fig. 3 Experimental Result of Sound pressure level.

参考文献

- 1) T. Shibamoto, K. Nakamura, H. Goto and O. Ichinokura, ICEM 2012, FF-001678 (2012).

RNA における誘導モータの解析精度向上に関する検討

梅坂 智之, 田島 克文, 吉田 征弘
(秋田大学)

Study on the analysis accuracy improvement of induction motor in Reluctance Network Analysis

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

はじめに

近年, 地球温暖化対策, エネルギー消費抑制の観点から, 電気機器の高効率化が求められている¹⁾. 回転機の電力消費量は, 日本国内の消費電力の 60% を占めており, モータの高効率化が与える影響は大きいと考えられる²⁾.

筆者らは先に, 誘導モータの高効率化を検討するため, かご形回転子駆動時におけるモータ特性の高速計算が可能な, 磁気抵抗回路網解析(Reluctance Network Analysis)の適用を提案した³⁾.

本稿では, 従来の解析モデルで考慮されていなかった, かご形回転子における導体バー付近の磁束分布, 及びスキューを考慮した解析モデルを提案し, モータ特性の解析精度向上を図ったので報告する.

解析手法

供試モータは東芝製のコンデンサ始動形コンデンサランモータ (SKD-DBKK8) である. 供試モータの仕様・寸法を Table 1 に示し, 固定子および回転子の構成図を Fig. 1 に示す.

Table 1 Specification of a specimen motor.

Parameter	Value	Parameter	Value
Frequency	50 Hz	Number of stator slots	36
Voltage	100 V	Internal diameter of stator	45.0 mm
Current	12.6 A	Outer diameter of stator	73.0 mm
Output	750 W	Gap width	0.3 mm
Number of poles	4	Number of rotor slots	44
Running capacitor	40 μ F	Outer diameter of rotor	44.7 mm
Starting capacitor	350 μ F	Iron core length	93.0 mm

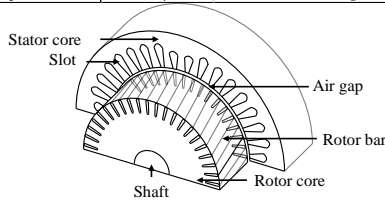


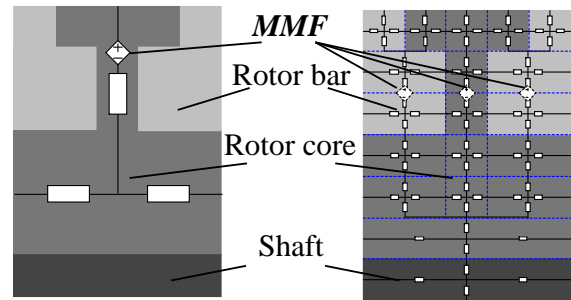
Fig. 1 Stator and rotor of capacitor motor.

RNA モデルは, 固定子と回転子を形状に合わせて分割し, それぞれの分割要素を寸法・材質から求めた単位磁気回路で置き換えることで全体を磁気回路網で表したものである.

かご形回転子の磁気回路モデルとして, 文献 3) の従来モデルでは Fig. 2(a) に示す簡単な磁気回路を用いた. 図中の起磁力源(MMF)は誘導電流による反作用磁界を表現するものである.

これに対し, 同図(b)の提案モデルでは, 導体バーを含む回転子内の磁束分布をより詳細に考慮できるよう, 解析領域を細分化した. また, 回転子導体バ

ーの 2 スロットスキューを考慮するため, 回転子は軸方向に 3 分割し, 各々の磁気回路は軸方向接続部で 1 スロット分回転させている.



(a) Previous model. (b) New model.

Fig. 2 Magnetic circuit model 1/44 rotor.

解析結果

回転子拘束時, 無負荷時 (同期速度回転時) について提案モデルに実験値の入力電圧を与え, 主巻線電流 I_m [A], 補助巻線流 I_a [A] の計算を行い, 実験値, 文献 3) の従来モデルと比較した結果を以下に示す.

Table 2 I_m and I_a of the motor with rocked rotor. (Input voltage 25.6[V_{rms}])

	I_m [A _{rms}]	I_a [A _{rms}]
Meas.	12.6	3.45
Previous model.	18.1	2.68
Suggestion model.	14.4	4.04

Table 3 I_m and I_a of the motor under no-load. (Input voltage 100[V_{rms}])

	I_m [A _{rms}]	I_a [A _{rms}]
Meas.	7.35	2.57
Previous model.	6.45	2.66
Suggestion model.	6.72	2.57

まとめ

提案手法により回転子拘束時, 同期速度回転時のモータ電流が概ね良好に計算できた.

参考文献

- 1) 伊藤, 森永: “モータの高効率化”, 日本 AEM 学会誌, Vol.7, No.3, pp269-272 (1999)
- 2) 新機能素子研究開発協会: 電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査<調査報告書> (2009)
- 3) K. Tajima, and T. Sato: J. Magn. Soc. Jpn., 34, 367-373(2010)

RNAに基づく二直線近似を用いたフェライト磁石の減磁解析

門間大樹, 吉田征弘, 田島克文
(秋田大学)

Demagnetizing Analysis of the Ferrite Magnet Using Two-Line Approximation Based on RNA

D.Momma, Y.Yoshida, K.Tajima
(Akita Univ.)

はじめに

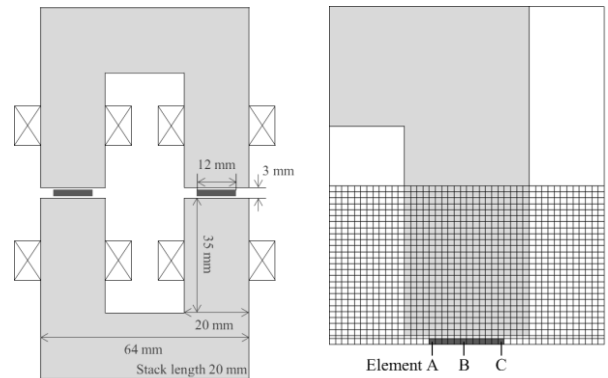
希土類磁石の価格高騰や供給不安定の問題から、フェライト磁石を用いたモータの高性能化が進められているが、フェライト磁石は外部磁界によって減磁しやすいため、減磁を考慮した設計が必要になる。筆者らは、RNA(Reluctance Network Analysis)を用いた永久磁石モータの損失算定について検討を進めているが¹⁾、外部磁界による減磁を考慮した解析手法はまだ確立されていない。そこで本稿では、RNAと二直線近似を用いた減磁解析手法を示し、有限要素法(FEM)による算定結果と比較を行うことで、その有用性について検討を行ったので報告する。

RNAによるフェライト磁石の減磁解析

Fig.1(a)に解析モデルの形状を示す。断面が20mm×20mmのU字型鉄心に断面が12mm×20mm、厚さが2mmのフェライト磁石(SSR-420)が挟まれており、鉄心のそれぞれの脚に20ターンの巻線が施されている。同図(b)にRNAに基づく要素分割を示す。モデルの対称性から1/4モデルとし、磁束の分布が複雑となるギャップ周辺は細かく分割している。

Fig.2を用いて二直線近似による磁石動作点の計算方法を説明する。まず、外部磁界がない場合の磁石動作点aから垂線を伸ばし、J-H特性との交点bを求め、交点bと原点を通る直線を l_0 とする。次いで、巻線に電流を流したときの外部磁界 H_{ex} を求め、 l_0 と傾きが等しく、 H_{ex} を通る直線 l_1 とJ-H特性との交点をcとすれば、点cから垂線を下ろしてB-H特性と交わる点dが磁石動作点となる。ここから外部磁界を再び0にすると磁石動作点は点eとなる。

Fig.1の計算モデルを用いて、磁石の磁化方向とは逆向きの磁束が発生するように、起磁力が230Aになるようなノコギリ波電流を3周期流して磁石動作点を算定し、フェライト磁石の減磁評価を行った。Table 1に、Fig.1に示した3つの要素の減磁率の計算結果を示す。この表をみると、どの要素もFEMの計算値と概ね一致しており、提案する手法が減磁の評価に適用可能であることが示された。



(a) Shape of the model. (b) Division of the RNA model.

Fig.1 Shape and division of analytical model.

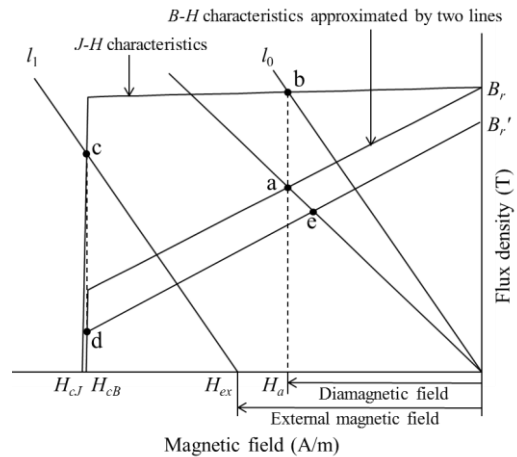


Fig.2 Operation point of the magnet.

Table 1 Calculation results of the demagnetizing factor at the magnetomotive force of 230A.

	Element A [%]	Element B [%]	Element C [%]
RNA	21.3	26.2	21.3
FEM	22.0	28.4	22.0

参考文献

- 1) Y. Yoshida, K. Nakamura, O. Ichinokura, Katsubumi Tajima, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 3, No. 6, pp.422-427 (2014)

磁界で駆動する小型羽ばたき機構の小型化に伴う推力への影響

東優樹、花澤雄太、本田崇
(九工大)

Effect of miniaturization on thrust force in small flapping mechanism driven by external magnetic field

Y. Higashi, Y. Hanazawa, T. Honda
(Kyushu Inst. of Tech.)

はじめに

マイクロロボットの飛翔による移動を実現するために、著者らは永久磁石を内蔵し外部磁界で駆動する羽ばたき機構について検討してきた。現在、羽ばたき飛行において、翼長が短くなるほど有利となる点に着目し更なる小型化を進めることで性能の向上に努めている。本報告では、小型化に伴う特性の変化、特性改善策を調べたので報告する。

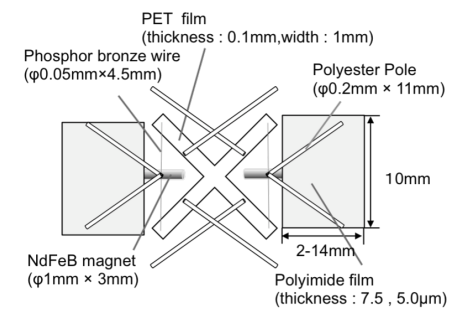
素子構成と動作原理

Fig.1 に羽ばたき機構を組み込んだマイクロロボットの構成を示す。このロボットは4本の脚を有する胴体部と2枚の翅から構成される。胴体部は0.1mm厚のPETフィルムで、幅1mmのX字形に切り出している。その胴体部にねじりバネとなる $\phi 0.05\text{mm}$ のリン青銅線を介してNdFeB磁石($\phi 1\text{mm} \times 3\text{mm}$)を水平に取り付けている。2つの磁石は互いに逆極性になるよう配置する。その2つの磁石の上部にそれぞれ翅を取り付けている。翅はV字形のポリエステル棒($\phi 0.2\text{mm}$)の裏側に、長方形のポリイミドフィルム($7.5\mu\text{m}$ または $5\mu\text{m}$ 厚)を根本部分のみ接着したものである。なお、胴体上部には磁界中における姿勢を安定させるため、2本を重ねた純鉄線($\phi 0.10\text{mm} \times 15\text{mm}$)を2箇所を設置した。

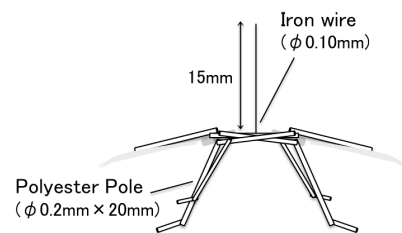
動作原理に関して、外部から鉛直方向に交流磁界を与えると、磁石は磁気トルクを受けリン青銅線を中心に回転振動し羽ばたき運動が起こる。このとき翅の構造上、打ち上げ時にはポリイミドフィルムが下方にたわんで抗力を低減し、打ち下し時にはポリエステル棒により押さえつけられ広がり大きな抗力を得るため、その打ち上げ時と打ち下し時の抗力差が上向きの推力となる。

実験結果及び考察

Fig.2 に、ポリイミドフィルム厚が $7.5\mu\text{m}$ と $5\mu\text{m}$ において、翼幅10mmで駆動磁界60Oeのときの最大推力と翼長の関係を示す。なお、最大推力は、それぞれの共振周波数で得られた。翼長14mmから短くするといずれも8mmまでは推力は増加していくが、6mmで頭打ちとなり、4mm以下では大幅に減少した。羽ばたきの様子を高速ビデオカメラで観察した結果、翼長が4mm以下では打ち上げ時に十分なたわみが生じていないことがわかった。そこで、打ち上げ時の翅のたわみを大きくするために $5\mu\text{m}$ 厚の翼長4mmにおいて、翅の付け根を細く加工し三角形にした結果、0.29mNから0.48mNまで推力は向上した。



(a) Top view



(b) Side view

Fig.1. Structure of flapping microrobot.

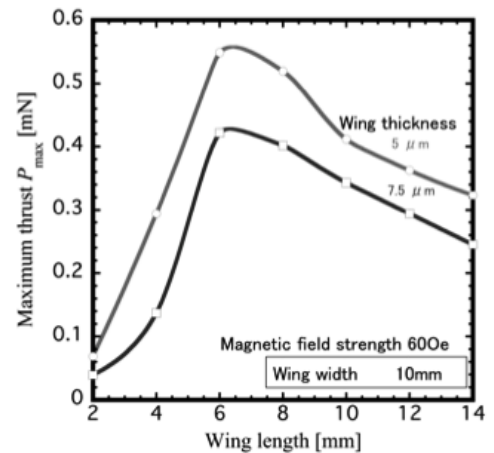


Fig.2. Relation between the maximum thrust and wing length

外部磁界で駆動可能なカプセル内視鏡用生検機構の開発

村田里史、花澤雄太、本田崇
(九工大)

Development of magnetically driven biopsy mechanism for capsule endoscope

S. Murata, Y. Hanazawa, T. Honda
(Kyushu Inst. of Tech.)

はじめに

近年、飲むだけで消化管内を観察できるカプセル内視鏡が日本国内でも広く臨床に供せられるようになった。しかし、現状では観察機能しかないため、診断や治療の機能の実現が待たれている。本研究では回転磁界の回転面の違いを利用し、カプセルをその場に停滞させ、生検を行うことを試みたので報告する。

素子構成と動作原理

Fig.1 に筐体側面を外した素子構成を示す。停滞機構は、小腸内径 25-30mm に対応して、カプセル上部に 1 つと左右に 1 つずつの 3 個備えるが、ここでは紙面の都合で上部の停滞機構のみ示している。停滞機構は、両端をブッシュで支えた PC 製ボルト(M2)をカプセル中心軸に配置し、スライダとして PC 製ナット(M2)を取り付けている。ボルトの左端には駆動源として直径方向に磁化された円盤状 NdFeB 磁石($\phi 8\text{mm} \times 1\text{mm}$)を固定した。スライダと筐体にはピンジョイントを介して、2 本のリンク(銅線)を設置し、その先端にリボン状の PET フィルム($2\text{mm} \times 12\text{mm}$)を取り付けた。同図は停滞機構がたたまれている初期状態で、PET フィルムは両端から引っ張られ直線状になっている。生検機構は、ボルト(M2)の一端に直径 1mm の生検トレパン、他端に直径方向に磁化された円柱状 NdFeB 磁石($\phi 2\text{mm} \times 2\text{mm}$)を取り付けたもので、カプセルの長軸方向に対して垂直に固定したナット(M2)に挿入される。生検トレパンの突出する開口部が上部停滞機構と反対側になるよう設置される。

次に、カプセル内視鏡を消化管内で停滞させ、消化管内壁の組織を切り取り採取する動作について述べる。Fig.2 に停滞機構と生検機構の動作原理を、座標軸と共に示す。停滞機構は、回転磁界を Z-X 面に印加することで駆動する。磁気トルクによって停滞機構用ボルトが回転し、スライダが移動することにより、リンクがパンタグラフのように立ち上がり、先端の PET フィルムがカプセル側面から大きく突出する。その結果、停滞機構が小腸を拡張し、カプセルはその場に停滞すると共に、カプセルは下方向に押しつけられる。この状態で、X-Y 面に回転磁界を印加すると、生検機構用のボルトが回転し、先端の生検トレパンの円筒状カッターが回転しながら、生体組織を切り取り、回収する。

実験結果

ここでは停滞機構と生検機構を個別に評価した結果を述べる。上部停滞機構による突出長は最大 20mm、また、左右の停滞機構の突出長は 10mm であり、カプセル直径と合わせると、小腸内径を越える十分な大きさを確保できることを確認した。無負荷状態における停滞機構の駆動磁界は 700e 以上であった。次に、生検機構は、牛の小腸を使用して組織の採取実験を行った。900e、1Hz の駆動磁界で駆動した結果、2mm 程度の深さまで組織を採取できることを確認した。

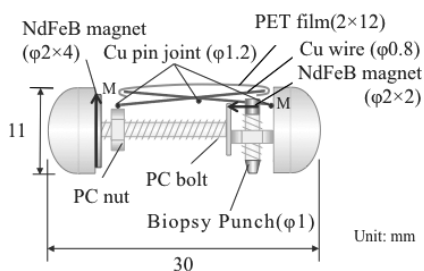


Fig.1 Structure of capsule.

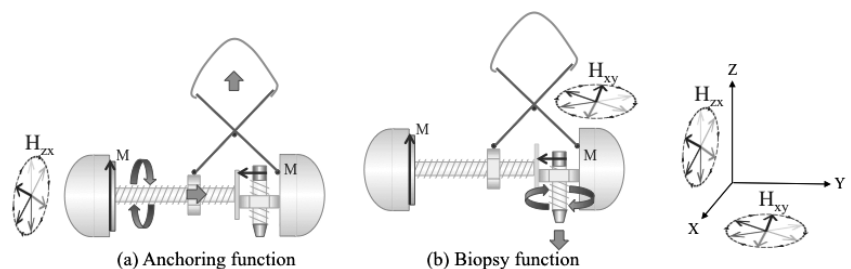


Fig.2 Actuation principle.

磁性体上を走行可能な磁気アクチュエータの走行特性改善

矢口 博之 (東北学院大) 作間 瞬 (東北学院大)

Improvement of Magnetic Actuator capable of Movement on Magnetic Substance

Hiroyuki YAGUCHI (Tohoku Gakuin Univ.) Shun SAKUMA (Tohoku Gakuin Univ.)

1. はじめに

本研究では、電磁力加振により振動体が発生する慣性力を推進源として、磁性体面を移動可能な電磁アクチュエータを試作し、その推進特性を調べた。測定結果より、アクチュエータに 90 g の負荷質量を搭載しても、38 mm/s の速度で移動可能である。また、本アクチュエータの走行特性は、磁気回路の変更によりかなり改善された。

2. アクチュエータの構造

図 1 は磁性体上を自由に移動の可能な磁気アクチュエータの構造を示したものである。本アクチュエータは、振動体を構成する 1 個の並進ばね、リング型永久磁石、アクチュエータ支持部に接着された励磁用電磁石および永久磁石により構成される。用いた並進ばねは、自由長さ 25 mm、外径 12 mm、ばね定数 $k=2.689$ N/mm のステンレス鋼製圧縮コイルばねである。リング型永久磁石は外径 12mm、内径 9 mm、高さ 8 mm で高さ方向に着磁された表面磁束密度 352.38 mT の NdFeB 磁石を用いている。電磁石はつば外径 8.0 mm および厚さ 1 mm、軸径 2.75 mm、長さ 17.5 mm のボビン型の鉄材に、直径 0.2 mm の銅線を 740 回巻いたものを用いた。モデル支持部には長さ 15 mm、幅 9 mm、厚さ 3 mm で、厚さ方向に着磁された吸着力 $F=2.6$ N を有するゴム製永久磁石をそれぞれ支持部に取り付け、測定を行った。

なお、上述の電磁石の鉄心の寸法は、数値シミュレーションと実験により最適化された。なお、最適化は、ボビンのつばの厚さ、巻線軸の長さ、巻線軸直径の 3 つについて行われている。実験では、最適形状でボビン型電磁石を試作し、それをアクチュエータ本体に組み込んで走行特性を計測した。

図 2 は、実験装置の概略を示したものである。図 3 は、アクチュエータの電磁石に 0.14 W の電力を入力とした場合、負荷と垂直上昇速度との関係を示したものである。

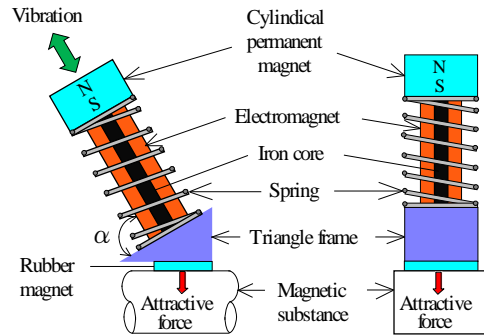


Fig. 1 Structure of actuator

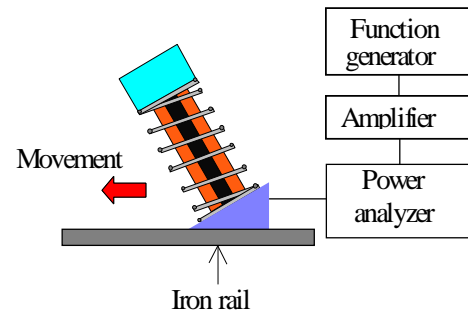


Fig. 2 Experimental apparatus

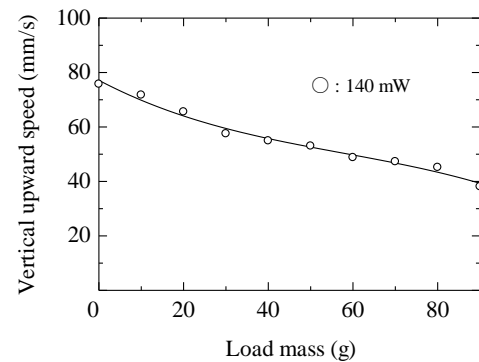


Fig. 3 Relationship between mass and speed.

振動電流遮断器の製作とその温度応答

西村 一寛

(国立高専機構鈴鹿高専)

Fabrication of vibrational circuit breaker and its temperature responses

K. Nishimura

(Nat. Inst. of Tech., Suzuka Coll.)

はじめに

身の回りには、地震、風や交通による建造物のゆれ、手を振ることや居眠りで首が揺れる人間の動作などの多くの振動が存在する。これらの振動において、設定値以上の振動を加えると動作する振動のリミットスイッチを提案し、その特性について報告してきた^{1),2)}。ここでは、設置値以上の振動を加えると OFF する振動のブレーカ（回路遮断機）を製作し、製作したスイッチに対し特性調査を行う。これまではスイッチとして使用するときの電流は、数 mA 程度の微弱な直流を考えていたが、発熱などの影響が無視できなくなる数 A 程度の商用周波数の交流について、その温度特性の調査を行った。

振動電流遮断器

Fig.1 のように、反発しあう磁石間に 2 つの磁性体を介することで、それらにかかっていた力が吸着から反発に変わる特性を応用したものである。これは磁石と 2 つの磁性体が吸着したのものにもう一方の磁石が近づくにつれて磁性体の磁化状態が変化し、ある距離で吸着から反発に変化するものである。製作においては、通電による温度上昇で磁石がキュリー温度以上にならないようにするなど工夫した。

実験ならびに考察

実験は、製作した振動電流遮断器の動作周波数特性ならびに、2~8 A の商用周波数の交流電流を流したときの温度特性を測定した。温度特性測定では、スライダックを使用して、スイッチと負荷としたホール抵抗に一定の電流を流し、デジタル電力計で電流などを測定した。温度測定は、スイッチの電流が流れる金属部分に、Pt 測温抵抗体を取り付けを行った。

Fig.2 より、振動電流遮断器はメインブレーカとしての使用ではなく、サブブレーカとしての利用が好ましいと考えられる。

本研究の一部は、JSPS 科研費 24760240 の助成を受けたものであり、本報をまとめるにあたり、平成 25 年度卒業研究生の橋本豊礼君（現在中部電力株式会社勤務）に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 平田絵梨他, 日本磁気学会誌, Vol.33, No.2, pp.114-117 (2009)
- 2) K. Nishimura, M. Inoue, IEEE Trans. Magn., Vol.47, No.10, pp.2808-2810 (2011)

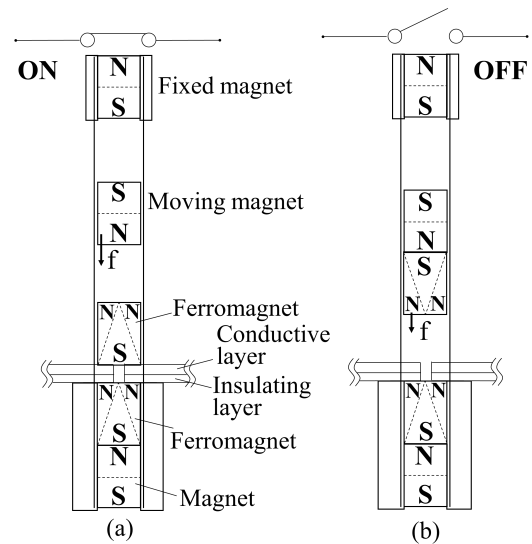


Fig.1 Schematic of vibrational circuit breaker changes from (a) ON state to (b) OFF state.

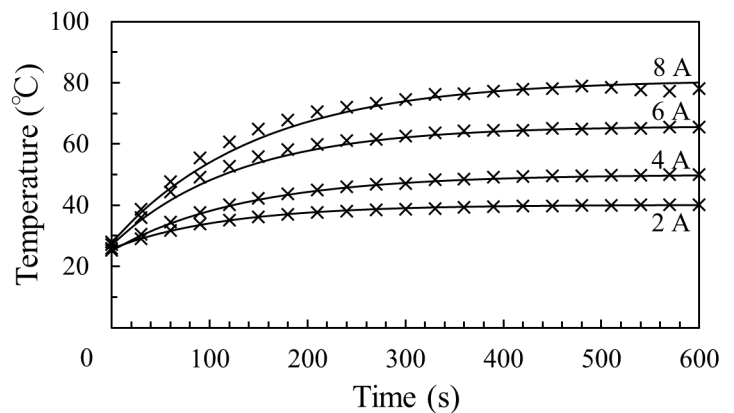


Fig.2 Temperature responses at different AC currents.

同極対向着磁による異方性ボンド磁石表面の磁束密度強化

境 拓哉, 金丸允駿, 磯上慎二
(福島工業高等専門学校)

Enhanced surface flux density of anisotropic bond magnets by homopolar-faced magnetizing

Takuya Sakai, Masatoshi Kanamaru, Shinji Isogami
(Fukushima National College of Technology)

1. はじめに 現行アクチュエーターデバイスの磁気浮上駆動性能は、そこに搭載される永久磁石がつくる磁束密度分布や強度などによって決められている。今後デバイスサイズの縮小に伴い永久磁石の小型化が進むと、従来の駆動性能が得られない可能性がある。これは単体としての永久磁石から発生する磁束密度強度が低下するためである。そこで我々は磁石をHalbach配列化しつつ専用バックヨークの開発を通して漏洩磁束を集束し、表面磁束密度の向上を目指してきた¹⁾。しかし、Halbach構造体²⁾は磁気力を受けながらの接着剤や固定治具による貼り合せ設置作業が不可避であるため、本質的に大量生産には向かない。よって本研究では、同極対向着磁プロセスの構築を通して貼り合せHalbach磁石と同等の表面磁束密度を達成することを目的とした。

2. 実験方法 図1は電源も含めた同極対向着磁の概念図を示す。両サイドと上方のポールピースを一体化し2系統の磁気閉回路を構成した。各ポールピースに巻かれているコイルは、1.5 mm ϕ の導線で5ターンとした。励磁電流のパルス波幅は130 μ s、波高値 (I_{ex}) は20 kAを最大として着磁を行った。モデルとする磁石材料はWellmax-18MEネオジウム異方性ボンド磁石 (住友金属鉱山製)、サイズは6 \times 12 \times 24 cm³とした。着磁後の表面磁束密度は、磁石単体の状態にてホールプローバーを用いて行った。比較として、空芯コイルを用いて通常の着磁を行った磁石の測定も同時に行った。

3. 実験結果 図2は同極対向着磁後の異方性ボンド磁石単体表面における磁束密度強度の最強値 (B_z) を I_{ex} に対してプロットした結果である。ここで異方性ボンド磁石の磁化容易軸は両サイドのポールピースに対して平行となるように配置した。比較として同一磁石材料を用いて作製された同一サイズの貼り合せHalbachと従来着磁による磁石の最強 B_z の値も破線で示す。白丸と黒丸はそれぞれ、裏側と表側の値に対応する。まず、いずれの I_{ex} に対しても、裏面より表面の B_z が強いことが見て取れる。これは図1のヨーク構造において表面側にポールピースが存在するため、磁束が表面に集中した結果と考えられる。次に I_{ex} 依存性に着目すると、 I_{ex} の増強に伴って B_z が強化された。そして $I_{ex} = 20$ kA かつ表面において最強となり、貼り合せHalbach磁石と同等の

B_z が達成された。これは今回用いた同極対向着磁手法によって、貼り合せ工程の排除可能性を示唆する重要な結果である。さらに、異方性ボンド磁石の容易軸の向きは両サイドのポールピースと平行である必要があることも別途確認した。講演会では、容易軸方向、磁束密度分布のマッピング図を明示しながら、本研究で開発した新規着磁手法は磁束強化に有用であることを議論する。

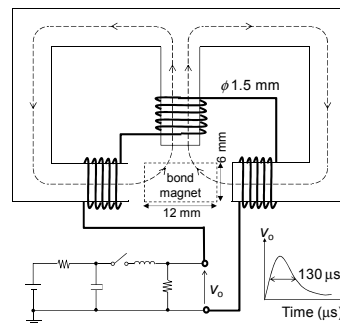


図1 同極対向着磁ヨークならびにパルス電源の概念図。

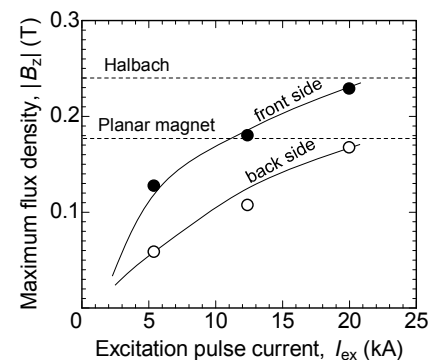


図2 着磁後の異方性ボンド磁石単体表面磁束密度最高値 (B_z) の励磁電流依存性。

参考文献

- 1) S. Isogami and H. Matsumoto, *Journal of Magnetism Society of Japan*, **39**, 21 (2015).
- 2) K. Halbach, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **246**, 77 (1986).