K6-22

MEMS 電磁モータを用いた昆虫型マイクロロボットの設計

Design of Insect Type Microrobot Using MEMS Electromagnetic Motor

○浅野洋平[1]　横関裕司[1]　高藤美泉[2]　齊藤健[2]　内木場文男[2]
Yohei Asano[1], Yuji Yokozeki[1], Minami Takato[2], Ken Saito[2], Fumio Uchikoba[2]

This paper reported a MEMS electromagnetic motor and a design of an insect type microrobot. Small electromagnetic motor is required for a realization of the microrobot. However, it is a problem that a three-dimensional structure coil like a winding wire coil of the general electromagnetic motor is difficult to miniaturize. Therefore, in this study, the multilayer ceramic technology is used for the miniature magnetic circuit. This technology can form the miniature three-dimensional conductive pattern. The dimensions of the electromagnetic motor are 11mm, 11mm and 7.48mm, respectively. Moreover, the insect type microrobot that combined with the developed MEMS electromagnetic motor was designed.

１．緒言

ロボットは工業用から家庭用まで多種多様なロボットが開発されているが，小型なロボットであるマイクロロボットは未だ実用化されていない．マイクロロボットの実現には小型なアクチュエータが必要である．そのためには小型な部品を作製する必要があるが，従来の加工技術で作製することが困難である．そこで半導体製造プロセスを基にした MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術を用いたマイクロロボットが多く研究されるようになった[1]．また，MEMS 技術を用いたアクチュエータとして，平面的な構造をもつ静電モータが多く研究されている[2]．しかし静電モータは駆動に高電圧が必要なことに加え，単体での発生トルクが小さいといった問題がある．高トルク高効率が見込める方式として，電磁モータがあるが一般的な電磁モータは巻き線での立体的な磁気回路を用いることから MEMS 技術を用いた小型化が困難である．そのため平面的なスパイラル構造の磁気回路を用いた電磁モータの研究がされている[3]．スパイラル構造の磁気回路は MEMS 技術でも形成可能であるが，配線パターンが径方向に延びるため内部抵抗がヘリカル構造に比べて高く，また磁性体コアの導入が困難であるといった問題がある．小型で高性能な電磁アクチュエータにはヘリカル構造をもつ磁気回路が必要である．小型のヘリカルコイルを形成する技術として積層セラミック技術がある．積層セラミック技術はパターンの印刷されたセラミックシートを積層し焼成することで立体的な構造の配線を実現する技術である．またセラミック材料に磁性材料を用いることで内部にコアを持つ小型磁気回路を得ることができる．この積層セラミック技術により磁性材料を導入した立体構造をもつヘリカルコイルが形成可能である．

本研究では，MEMS 技術と積層セラミック技術を用いて小型の無巻線モータを作製し，それをアクチュエータに用いたマイクロロボットを設計した．

２．MEMS 電磁モータの設計

Figure 1 に作製した MEMS 電磁モータの機構を示す．モータは安定した回転を実現するために三相交流電流から発生した磁界で回転する三相交流同期モータとした．また回転子の極数は 2 極，磁気回路の個数は 6 つとし，磁気回路の上に磁石を配置するアキシャルギャップ型として設計した．モータの外形寸法は縦 11mm，横 11mm，高さ 7 mm として設計した．モータの構造部材にはシリコンウェハを用いた．Figure 2 に電磁モータの磁気回路の模式図を示す．磁気回路は 1 層につき 15/16 巻のコイルパターンが印刷されたコイル層，電極パターンが印刷された電極層からなる 33 層の積層セラミックコイルとして作製した．またコイルの巻き数は 30 回巻きとなるようにした．磁気回路の側面に配線接続用の導体ペーストを塗付し外部電極を形成した．

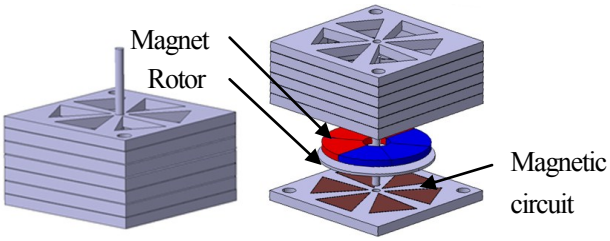

Figure 1. The mechanism of MEMS electromagnetic motor

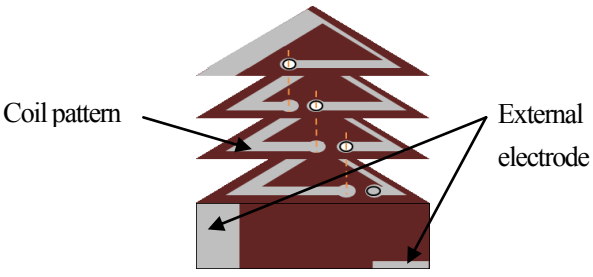

Figure 2. The multilayer ceramic magnetic circuit

１：日本大学・院(前)　２：日大理工・教員・精機

３．結果と考察

Figure 3(A)に積層セラミック技術を用いて作製した電磁モータの磁気回路を示す．焼成した磁気回路は平均して底辺 3.45mm, 高さ 3.52mm, 厚さ 1.460mm の形状を得た. Figure 3(B)に MEMS パーツと積層セラミック磁気回路を組み合わせた電磁モータを示す．電磁モータの外径寸法は縦 11mm, 横 11mm，高さ 7.48mm であった.

Figure 4 に作製した電磁モータの回転動作を示す．回転実験は電磁モータの磁気回路に三相交流電圧を印加することで行った．モータの回転は回転軸にフラッグを接着し直上から観察した．図は 0.03s ごとの回転動作であり，マーカーは取り付けたフラッグの位置を示す．作製した磁気回路は周波数 8Hz，0.42V の電圧を印加した時に回転動作を示した．同期モータの特性より，電磁モータの回転数は 480rpm であった．また、磁気回路の平均内部抵抗値 1.50Ω より各相の消費電流は 0.28A，モータの消費電流は 0.84A であり，消費電力は 176mW となった.

Figure 5 に設計したマイクロロボットを示す．マイクロロボットの構造と歩行方法は昆虫を模倣し，脚の本数を 6 本とする．マイクロロボットは電磁モータを中心にし，その両サイドに脚部を接続する．マイクロロボットを組み立てる際には電磁モータの回転軸が貫通する構造とする．MEMS 電磁モータの回転軸の両端にロータを取り付け，軸を用いてリンク機構と接続する．設計したマイクロロボットは縦 14.5mm，横 9.3mm，高さ 12.5mm となる.

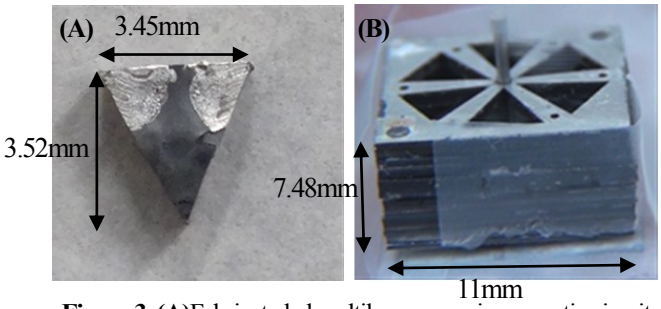

Figure 3. (A) Fabricateded multilayer ceramic magnetic circuit **(B)**Combined electromagnetic motor

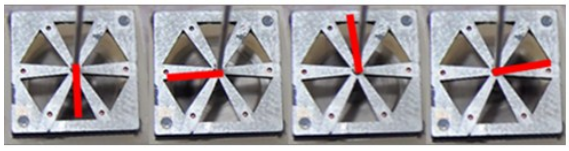

Figure 4. Rotatinal motion of the fabricated electromagnetic motor

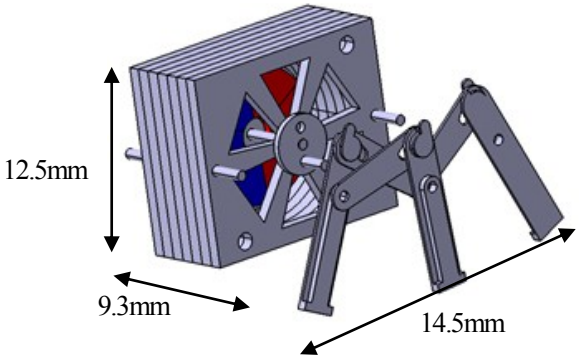

Figure 5. Designed insect type microrobot

４．まとめ

積層セラミック磁気回路と MEMS パーツを組み合わせた電磁モータを作製した．積層セラミック技術を用いることで巻線加工なしで 30 回巻の小型なモータ用磁気回路を作製した．電磁モータの外径寸法は縦 11mm，横 11mm，高さ 7.48mm となった．また，作製した電磁モータの回転実験を行った結果，周波数 8Hz，0.42V の電圧を印加した時，消費電流が 0.28A，回転数 480rpm で駆動した．今後は磁気回路の適正化を行いコイルパターン内部だけに磁性材料を導入することでさらに安定した回転が期待できる．また, MEMS 電磁モータを搭載した昆虫型MEMS マイクロロボットの設計を行った．設計したマイクロロボットは縦 14.5mm，横 9.3mm，高さ 12.5mm となる．今後マイクロロボットを実際に作製し評価を行う.

謝辞

本研究は，日本大学のマイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けました.

５．参考文献

[1] Johan Ulfstedt Mattsson, “A WALKING SILICON MICRO-ROBOT” Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp.1202-1205 (1999)

[2] Y-C. Tai, et al., :“IC-Processed Micro-Motors: Design, Technology, and Testing,” Proc. of Micro Electro Mechanical Systems 1989, pp. 1-6, 1989

[3] S. Merzaghi, et al., :“Development of a Hybrid MEMS BLDC Micromotor,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 1, pp. 3-11, 2011