

C-6

セラミック磁性材料を用いた枠型磁気回路の MEMS エアタービン発電機への応用

Application of Frame Shape Magnetic Circuit Using Ceramic Magnetic Material to MEMS Air Turbine Generator

○工藤和也², 海老澤和紀¹, 三島海斗², 金子美泉³, 齊藤健³, 内木場文男³
 *Kazuya Kudo², Kazuki Ebisawa¹, Kaito Mishima², Minami Kaneko³, Ken Saito³, Fumio Uchikoba³,

Abstract: This paper proposes an electromagnetic type Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) air turbine generator that has combining a magnetic circuit by multilayer ceramic technology and an air turbine fabricated by MEMS process. The multilayer ceramic magnetic circuit was performed magnetic field analysis and the shape was examined. Moreover, the number of coil turns of the multilayer ceramic magnetic circuit was 100 turns and the internal resistance was 2 Ω . The maximum rotational speed of the generator was 290,000 rpm. When a load resistance of 8 Ω was connected to the generator, the maximum output voltage and maximum output power was 139 mV, 2.41 mVA, respectively.

1. はじめに

電子機器を小型化・高性能化させるためには内蔵部品の小型化・高密度実装化が必要である。内蔵部品の小型・高密度実装化にはセラミック磁性材料を用いた積層セラミック技術が有効である。これは一般的に小型電子素子の作製に用いる技術であり、磁性コアとヘリカルコイルを導入した小型磁気回路の作製が可能となる。

小型通信機器の体積の大部分は電源が占めている。主に電源として用いられているリチウムイオン二次電池は理論的限界に達しつつある。したがって、小型電源の開発が注目されている。これらの機構の小型化には半導体加工技術の一つの Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 工程を用いた研究が多く発表されている^[1]。しかし MEMS 工程ではヘリカルコイルのような三次元コイルの形成が困難である。そこで、MEMS 工程では二次元コイルを用いることが多いが^[2]、抵抗値が高く、平面方向に拡大するといった課題が残る。また、コイルには磁束の漏洩を防ぐために磁性コアを導入することが望ましいが、MEMS 工程では磁性材料の導入が難しい。そこで、積層セラミック技術で作製したインダクタを小型磁気回路をとして電磁デバイスに応用することで磁気デバイスの小型化が可能となる。

本研究では積層セラミック技術により作製した小型磁気回路を MEMS 工程で作製した小型デバイスに応用し、電磁誘導式 MEMS タービン発電機を開発した。また、磁気回路は発電機の特徴に合わせて磁性体の形状について検討を行った。

2. MEMS エアタービンの設計

Figure 1 に MEMS エアタービンの模式図を示す。軸

受機構にボールベアリングを 2 つ使用し、ロータの上下に配置した。タービン側面の入口から圧縮空気を入れ、タービン側面の出口から排気する構造とした。また、軸の先に磁石を接着した。

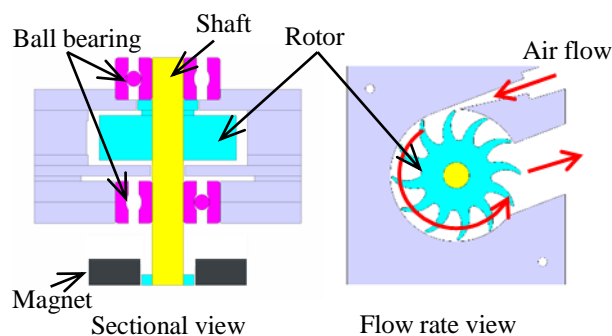


Figure 1. The schematic diagrams of air turbine

3. 積層ラミック磁気回路の設計

セラミックのフェライト粉体には高透磁率で低温焼成可能な磁性材料である NiCuZn フェライトを用いている。組成比を Table 1 に示す。

Table 1. Ferrite powder mixing ratio

Powder	Molecular weight composition ratio
Fe ₂ O ₃	49.2
NiO	8.8
ZnO	32
CuO	10

この組成比ときフェライト粉体は透磁率 900 を持ち、900°C 程度で焼成可能な組成となる。これにより、低抵抗導電性材料である銀をコイルパターンに使用することが可能となる。Figure 2 に磁気回路の模式図を示す。

積層セラミック磁気回路は、セラミックシート状にコイルパターンとスルーホールを形成し、積層することで作製した。磁気回路はコイル部と誘導部からなる 900°C で焼成した後、コイル部と誘導部の組立面を研磨して接着し磁気回路を得た。50 回巻のヘリカルコイルパターンを 2 つ配置し、2 つのコイルを結線して 100 回巻コイルとした。

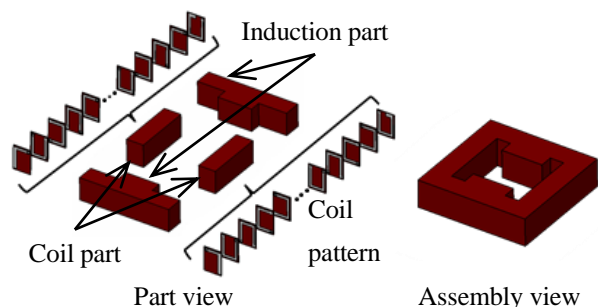


Figure 2. The schematic diagrams of the multilayer ceramic magnetic circuit

Figure 3 に磁気回路の磁場解析結果を示す。解析結果より誘導部に設けた凸部分から磁束を誘導できている。したがって、磁束を誘導するのに適している形状だとわかった。

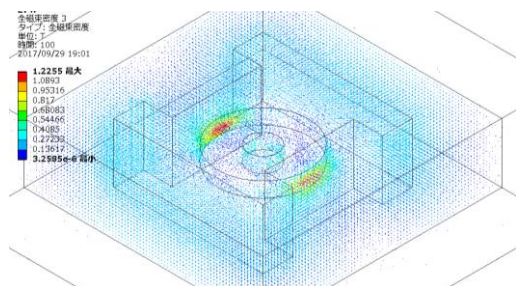


Figure 3. The result of magnetic field analysis

4. 結果および考察

Figure 4(a)に MEMS エアタービン発電機の作製結果を示す。ロータの回転によって積層セラミック磁気回路内のコイルを通過する磁束を変化させ発電する界磁回転型電磁誘導方式とした。

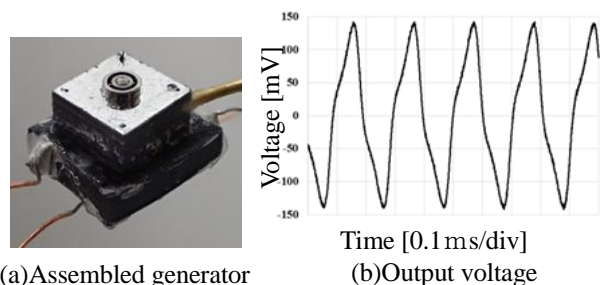


Figure 4. The fabrication result of the MEMS air turbine generator and the output waveform

磁気回路の内部抵抗は 2Ω であった。MEMS エアター

ビンと積層セラミック磁気回路を組み合わせた発電機の寸法は、それぞれ長さ 7.40mm、幅 8.47mm、高さ 5.82mm であった。MEMS エアタービンに圧縮空気を導入し、発電実験を行った。流入流量 2.4ℓ/min、入口圧力 0.3MPa のとき、回転数 290,000rpm 得た。負荷抵抗が 8Ω のとき、出力電力は最大になった。Figure 4(b) に出力電圧の波形を示す。発電機の最大電圧および最大電力は、それぞれ 139mV、2.41mVA であった。この値は理論値の約 36% であった。これは磁束が漏洩しているためだと考えられる。磁気回路を焼成後に組み立てて作製したことにより、上手く磁束が誘導できていない可能性がある。したがって、組み立て後に焼成する必要がある。そのためには、大きさに合わせた焼成工程を検討する必要がある。

5. まとめ

MEMS 工程と積層セラミック技術を組み合わせることで小型電磁式 MEMS エアタービン発電機の開発を行った。セラミック粉体に NiCuZn フェライトを用いることで、配線パターンに銀が使用できるようになり低抵抗で高透磁率な磁気回路の作製が可能となった。磁気回路の形状を検討し、磁束を誘導するのに適した磁気回路を設計した。磁気回路の巻き数は 100 回巻きであり、内部抵抗は 2Ω であった。発電機の最大回転速度は 290,000rpm であり、最大電圧 139mV および最大出力 2.41mVA を得た。このことから、セラミック磁性材料を用いた磁気回路は MEMS エアタービン発電機の高出力化に有効であることを明らかにした。また、さらなる高出力化のために焼成工程を検討する必要がある。

参考文献

- [1] A. H. Epstein, "Millimeter-Scale MEMS Gas Turbine Engines", Proceedings of ASME Turbo Expo 2003 Power for Land, Sea and Air GT-2003-38866, pp.1-28, 2003
- [2] F. Herrault and et al., "Ultraminaturized High-Speed Permanent-Magnet Generators for Milliwatt-Level Power Generation", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.17, No.6, December, 2008

謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センター、日本大学理工学部研究助成金の支援を受けた。また、本研究は科研費 16K18055 の助成を受けたものである。