

## MEMS エアタービン発電機の試作と解析評価

## Fabrication and Analytical Evaluation of MEMS Air Turbine Generator

○金子真人<sup>2</sup>, 飯塚茜<sup>1</sup>, 高藤美泉<sup>1</sup>, 西達也<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>  
Masato Kaneko<sup>2</sup>, Akane Iizuka<sup>1</sup>, Minami Takato<sup>1</sup>, Tatsuya Nishi<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>

Abstract: This paper describes the development of fabrication and evaluation of MEMS air turbine generator. The MEMS air turbine generator was consisted with the air turbine unit in which the magnet was rotating by injecting compressed air, and the ceramic magnetic circuit. The air turbine unit was fabricated by MEMS technology. The ceramic magnetic circuit was fabricated by multilayer ceramic technology. The obtained ceramic magnetic circuit was 6.25 $\mu$ H. Also, the maximum rotational speed of the MEMS air turbine generator was 58,000rpm on the condition of 0.28MPa. In this case, the maximum output voltage was 6.2mV, the apparent power was 1.92mV. The MEMS air turbine generator was analyzed using the finite element method on the magnetic flux leakage.

## 1. はじめに

身近にある小型電源として電池は様々なところで使用されている。現在は二次電池が主流であるが、二次電池のさらなる小型化は難しく、新たな技術が必要とされている。そこで、Power MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)が新しい小型電源の一つとして注目をあびている。一般的な発電方式の例として、静電誘導方式と電磁誘導方式があり、Power MEMS の多くは、加工が容易であることから静電方式が採用されている<sup>[1]</sup>。しかし静電誘導方式は電磁誘導方式と比べて出力が小さい。そこで電磁誘導式のマイクロエアタービンを提案した。一般的に用いられている巻線構造は小型化には向いていないことから積層セラミック技術を用いた平面構造のコイルを作製し、電磁誘導による発電機構はロータに永久磁石を配置し、回転界磁型の同期発電機の構造とした MEMS エアタービン発電機を試作した。本論文では、MEMS 技術のフォトリソグラフィプロセスと積層セラミック技術を用いた、発電機について試作と評価法について詳述をする。

## 2. MEMS エアタービン発電機の試作

Figure1.の(a)にエアタービン部分の構造図、(b)にセラミック磁性体による磁気回路の構造図を示す。エアタービン部分は 7 層のシリコンで構成されており、ロータ周縁部から圧縮ガスが流入しロータ中央部から抜ける構造とした。1 層から 4 層までがロータの駆動用の流路を構成し、5 層から 7 層がロータ回転時の摩擦を低減させる空気軸受用の流路を構成している。ロータは 4 層と 5 層の中に納まる構造となる。また、ロータ下部

に磁石を取り付けている。各層にはガイドピンとガイドホールをもうけ、組み立てはガイドピンに沿って行った。磁気回路部分の磁性体には比透磁率 900 の NiCuZn フェライトを用い、内部導体には銀を使用し、スクリーン印刷にてコイル配線を施した。コイルは約 9 回、左右に 2 ケ所に計 18 回巻いた。

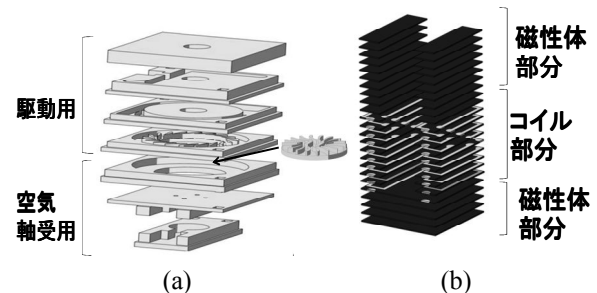


Figure1. The structure of the generator

## 3. MEMS エアタービン発電機の評価

共焦点顕微鏡を用いてロータの外径とステータの内径を測定した。結果を Figure2 に示す。ロータとステータは、設計値 1590 $\mu$ m, 1600 $\mu$ m に対し、加工形状は 1587.27 $\mu$ m, 1603.32 $\mu$ m と 4 $\mu$ m 以内の誤差で作製することができた。また、その他のパーツもほぼ設計寸法どおりであった。

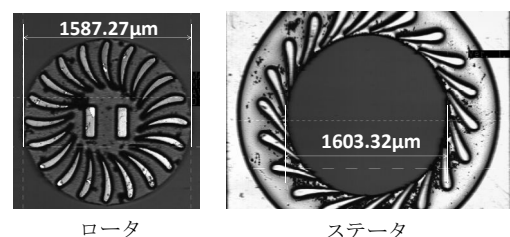


Figure2. Confocal microscope image of rotor and stator

作製した磁気回路を Figure3 に示す. 焼成後の積層体の外形寸法は 3.55×3.38×1.16mm,取得インダクタンスは 1.72MHz のとき,6.25μH であった.

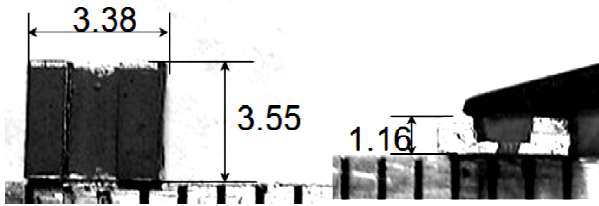


Figure3. Fabricated the ceramic magnetic circuit

測定時,ロータの回転は, ガスをボンベから直径 0.6mm のニードルを介して通気口に注入し,タービンを回転させた.初めに回転用供給ガスを認意の流量まで流し,その後,徐々に空気軸受用供給ガスを流量計で調節しながら供給した.そして,磁気回路に 20Ω の負荷抵抗を接続し,オシロスコープで出力波形を計測した.測定器具の接続方法を Figure4 に示す.回転数はオシロスコープから読み取り,その値は窒素ガスの圧力により変化した.窒素ガスが 0.28MPa のとき最大回転数,約 58,000rpm に達した.このとき計測した出力波形を Figure5 に示す.最大回転数の時,出力電圧は 6.2mV であった,これより最大出力電力も 1.92μVA と計算された.

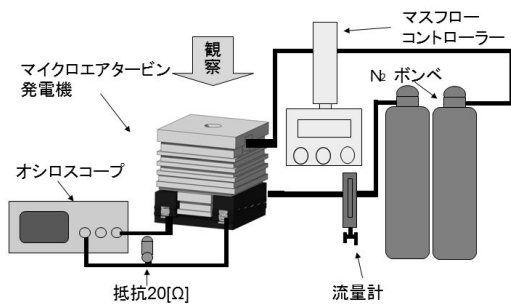


Figure4. Connecting the measuring instrument

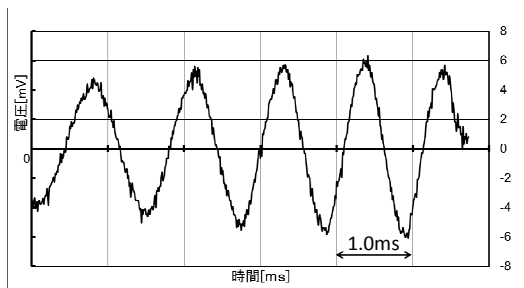


Figure5. Wave form of the output voltage

#### 4. 解析及び考察

磁束密度  $B$  で着磁方向の断面積  $S$  の磁石の周囲において,磁界中を抵抗  $R$ ,インダクタンス  $L$ ,巻き数  $N$  のコイルが角速度  $\omega$  で回転しているモデルで電流  $I$  を計算すると(1)式となる.

$$I_{\max} = \frac{NBS \omega}{\sqrt{(L^2 \omega^2 + R^2)}} \quad (1)$$

ここに,コイル巻き数  $N=18$  回,磁束密度  $B=1.5 \times 10^{-1}T$ ,磁石断面積  $S=0.87 \times 10^{-6}m^2$ ,角速度  $\omega=2\pi f=2\pi \times 967rad/s$ ,インダクタンス  $L=6.25 \times 10^{-6}H$ ,負荷抵抗  $R=20\Omega$  を代入すると,最大電流値 0.71mA,最大電力値 10.1μVA と計算された.これにより最大出力電力は理論値の 19%だった.

出力の概算の議論においては,磁石の磁束がすべてコイルに入ると仮定をしているが,磁気回路の形状を考慮すると,漏洩磁束が多く存在し,出力の損失を招いていると考えられる.そこでタービン内の磁石から出た磁力線が磁性体内を通過する様子を有限要素法を用いて解析した.Figure6 にその様子を示す.タービン下部のみにインダクタを配置しているため,タービン上部の磁束がほとんど漏洩していることがわかる.損失の原因はこのことによると考えられる.

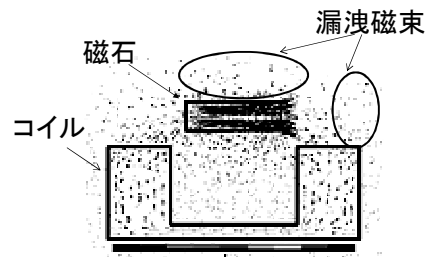


Figure6. Magnetic field analysis of magnetic circuit

#### 5. まとめ

MEMS 技術と積層セラミック磁気回路を用いた MEMS エアタービン発電機の作製をした.窒素ガスが 0.28MPa のとき最大回転数は約 58,000rpm に達し,出力電圧は 6.2mV で最大,これより最大出力電力は 1.92μVA であった.出力の概算を求めた結果,出力は概算値の 19%だった.さらに FEM 解析をして損失の原因は磁束漏洩だと考えた.

#### 6. 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-28(2003)

#### 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の支援を受けた. 本研究は科研費(22560254)の助成を受けたものである.