L-35

電磁誘導式 MEMS エアタービン発電機における磁気回路の最適化設計
Optimized Design of Magnetic Circuit in Electromagnetic Induction Type MEMS Air Turbine Generator

○海老澤和紀[1]，工藤和也[2]，三島海人[2]，金子美泉[3]，齊藤健[3]，内木場文男[3]
*Kazuki Ebisawa[1], Kazuya Kudo[2], Kaito Mishima[2], Minami Kaneko[3], Ken Saito[3], Fumio Uchikoba[3]

Abstract: This paper described an electromagnetic induction type (Micro Electro Mechanical Systems) MEMS air turbine generator combining MEMS technology and the multilayer ceramic technology. The multilayer ceramic magnetic circuit was fabricated by a manufacturing process of a small electronic devices. The electromagnetic induction type MEMS air turbine generator has an outer shape of 7.40mm in length, 8.47mm in width and 5.82mm in height. The electromagnetic induction type MEMS air turbine generator has a maximum output of 2.41 mV when the rotation speed is 290,000rpm and the load resistance is 8 Ω. The experimental value of the output voltage was 36% of the theoretical value.

１．緒言

スマートフォンやノートパソコンなどの携帯機器は小型化が進んでいる. また, 性能の向上により, 消費電力が増加している. 主に携帯機器の電源として使われているのはリチウムイオン二次電池である. しかし, 体積当たりのエネルギー密度が理論的限界にきているため、電池容量を維持したままでの小型化は難しい. したがって, 小型で高密度エネルギーの電源が必要である. そこで, (Micro Electro Mechanical Systems) MEMS 工程で作製した小型な発電機が研究されている[1]. これらの多くは静電式が採用されているが出力電力が小さいという課題がある[2]. そのため, 電磁誘導式が MEMS 発電機でも検討されている. 磁気回路には MEMS と相性がいい平面コイルが多く用いられているが磁束を多く取り込むため平面方向に拡大していく. また, 一周当たりの配線の長さが長くなるため, 抵抗値も増加する. 一方, 立体構造コイルは配線が短く抵抗値が低いが, 立体構造なため MEMS 工程での作製は困難である. また、高出力を得るためには, コイルに磁性コアを導入する必要がある.

そこで我々は小型電子素子を作製する技術の一つである積層セラミック技術に着目した. 積層セラミック技術を用いることで, 小型で磁性コアを導入したヘリカルコイルを作製することが可能となる. 本研究では MEMS 技術を用いたエアタービンと積層セラミック技術を用いた磁気回路を組み合わせることで電磁誘導式の MEMS エアタービン発電機を開発した. また, 高い出力を求めて磁石とのギャップを小さくすることや出来るだけ多くの磁束を取り込むための設計及び検討を行った.

２．設計

発電機は MEMS 工程より Si ウェハから小型エアタービンを積層セラミック技術で磁気回路を作製し, 2 つを，組み合わせることで作製する.

MEMS 工程を用いたエアタービンの設計を Figure 1 に示す. ローターに直結した軸の末端に永久磁石を接着し回転させ, 磁気回路内のコイルを通る磁束を変化させて発電する界磁回転型とした. 軸受けには 2 つのボールベアリングを採用した. 磁石は外径 3mm, 内径 1mm, 厚さ 0.5mm, 磁束密度 159mT, 径方向 2 極に着磁したネオジム磁石を採用した.

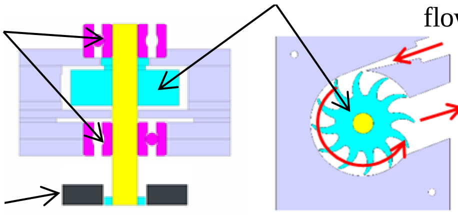

Figure 1. Schematic diagram of rim shape air turbine

積層セラミック技術を用いて作製した磁気回路を Figure 2 に示す. 積層セラミック磁気回路はセラミックシートにコイルパターンを形成し積層することで立体構造のコイルを作製する. セラミックシートの材料には, 透磁率 900 の低温焼成が可能な NiCuZn フェライトを使用する. また, コイルパターンには低抵抗導電性材料である銀を採用する. 作製する磁気回路はコイル部と誘導部からなり, それを組み合わせて作製する. コイル部は片方 50 回巻のパターンを左右 2 カ所とし, 計 100 回巻とした. 磁気回路の形状は Figure 2 のように, 中心に磁石が配置されるような設計とした. 磁石を回転させ, 得られる磁束は誘導部を経由してコイル部を通り,

１：日大理工・精機　２：日大理工・院（前）　３：日大理工・教員・精機

再び誘導部を通って戻るように設計を行った.

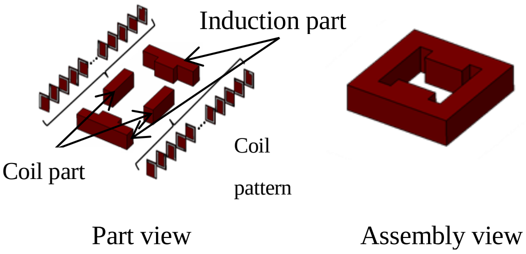

Figure 2. The schematic diagram of the multilayer ceramic magnetic circuit

３．結果と考察

作製されたエアタービンの外形は長さ 5.24mm,幅 5.37mm,高さ 4.64mm となった．また，磁気回路の外形は,長さ 7.40mm, 幅 8.47mm, 高さ 2.36mm となり,測定された内部抵抗は 2Ω であった.作製した電磁誘導式 MEMS エアタービン発電機を Figure 3 に示す. 長さ 7.40mm, 幅 8.47mm, 高さ 5.82mm となった.

Figure 3. The schematic diagram of the MEMS air turbine micro generator

MEMS エアタービンに圧縮空気を流入し, 発電実験を行った．流入流量が 2.4l/min で, 入口圧力が 0.3MPa である場合, 290,000rpm の最大回転数が得られた. このときの負荷抵抗と出力電圧及び出力電力との関係を Figure 4 に示す.

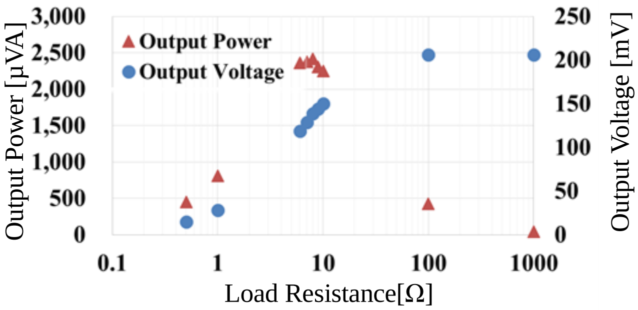

Figure 4. Relations of load resistance and output

負荷抵抗が 8Ω のとき，最大電圧 139mV, 最大電力 2.41mVA であった. Figure 5 に最大電圧のときの波形を示す．負荷抵抗と内部抵抗が等しいとき電力が最大となる. しかし, 負荷抵抗 8Ω のとき電力が最大となった. 内部抵抗 2Ω は直流抵抗であため，交流電流のときは回転数と自己インダクタンスの成分が加えられる。これにより、抵抗値の差が出たと考えられる.

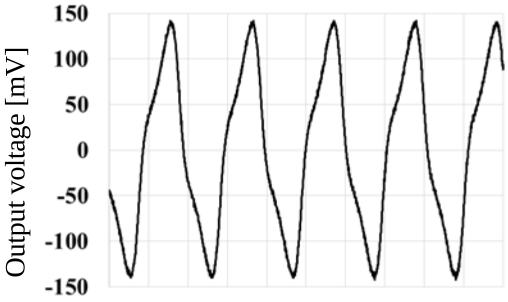

Figure 5. Output waveform

理論値の出力電圧 e は次式で表すことができる.

$$e = R_L I = N\frac{d\phi}{dt} - i\omega L - rI \qquad (1)$$

負荷抵抗 R_L＝8Ω，巻き数 N=100，内部抵抗 r=2Ω，周波数 ω=30,383Hz，自己インダクタンス L=241μH を代入し計算すると最大電圧は 570mV であった．したがって，実験値は理論値の約 36%となった．これは磁束が漏えいしていることが原因だと考えられる．したがって，さらなる高出力を得るためには今回の設計より磁束をより導ける設計が必要である.

４．結論

MEMS 工程と積層セラミック技術を用いて, 電磁誘導式 MEMS エアタービン発電機の製作を行った．流入量 2.4l/min, 入口圧力が 0.3MPa のとき，最大回転数 290,000rpm, 最大電力 2.41mVA を得られた. このときの外部抵抗は 8Ω であった．今後，磁石と磁気回路の位置関係を考慮し、効率良く磁束を誘導できるような磁気回路の設計をすることで出力の向上を目指す.

５．参考文献

［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］原田　敬史，田中　秀治，江刺　正喜 :「エレクトレットを用いた高出力静電モータ・発電機の設計」，電学論　E，Vol.123，No.9，pp.331-339，2003

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, 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.