

K6-8

リム型ロータを用いた電磁誘導式 MEMS エアタービン発電機の開発

Development of Electromagnetic Induction Type MEMS Air Turbine Generator with Rim Shape Rotor

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

Abstract: This paper proposes a miniature air turbine generator. The developed generator is composed an air turbine and a multilayer ceramic magnetic circuit. A silicon parts of the air turbine was fabricated using Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) process. Moreover, a miniature ball bearing was adopted to realize a high rotational speed. In rotational experiment with compressed air, the MEMS air turbine with a ball bearing structure and a rim shape rotor achieved the rotational speed of 333,000 rpm. The generator with this turbine demonstrated the output power of 1.63 mVA in about 5 mm scale.

1. はじめに

小型センサやウェアラブル機器に代表されるような電子デバイスの普及により、これらに用いられるような小型電源の需要が高まっている。小型デバイスの電源は、高いエネルギー密度や出力密度を備えることが求められる。小型電源の研究の 1 つとして、小型ガスタービンが研究されている¹⁾。タービンのロータ翼などを Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) プロセスで製造することで小型化したガスタービンは、高エネルギー密度と高出力密度を持つ電源として期待されている。

この研究により、小型発電機の製造プロセスとして MEMS プロセスが注目されている。MEMS プロセスは、半導体プロセスに基づく微細加工技術であり、高アスペクト比の微細パターンを形成することが可能である。MEMS プロセスで作製される発電機では、平面構造での作製が容易であることから、エレクトレットを用いた静電型が一般的である²⁾。しかし、静電型は内部インピーダンスの高さから、高出力化が困難である。磁性材料とコイルを用いる電磁誘導方式は高い出力を期待できるが、小型化に関していくつかの問題がある。MEMS プロセスは平面構造を基本とするため、3次元構造のコイルを巻線のように形成することが困難である。このため、MEMS プロセスでコイルを作製する場合、平面構造のコイルを形成するのが一般的である。しかし、平面構造のコイルの場合、コイルの巻き方向は半径方向に伸びているため、巻数を増やすにつれて配線が長くなり、内部抵抗が高くなるといった課題がある。また MEMS プロセスはシリコン材料が基本となり、磁性材料の導入が困難である。

そこで我々は、小型 3次元コイルを含む磁気回路の形成に積層セラミック技術を用いることに注目している。この技術は、一般に小型の電子素子に用いる技術

である。コイルパターンを印刷したセラミックシートを積層することで、3次元配線を形成することが可能である。さらに、セラミックに磁性材料を用いることで、磁性コイルコアを導入することができる。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ることで、高出力の小型電磁誘導式発電機とする

本論文では、MEMS エアタービンの高速回転の実現、およびこれに伴う発電出力の向上について述べる。電磁誘導式タービン発電機の電圧出力は、ロータの回転数におよそ比例する。以前までの研究では、軸受機構にミニチュアボールベアリングを用いることで、従来の空気軸受より安定した回転動作および高速回転を実現することができた。本稿では流路構造およびロータ形状の異なる二種類のタービンを作製し、さらに磁気回路と組み合わせて小型発電機を開発する。

2. MEMS エアタービン

2. 1. MEMS エアタービンの設計

MEMS エアタービンの設計を Figure 1, Figure 2 に示す。2つのタービンは、MEMS プロセスにより加工したシリコンパーツによって構成される。またそれぞれの軸受機構にはミニチュアボールベアリングを用いている。さらに発電出力を向上させるため、リング形状のネオジム磁石の上に珪素鋼板で作製した磁性ヨークを配置した。サーフェイス型ロータを用いたタービンは、ロータ翼に対して流入が対象的になるように流路やノズルを設計することで、ラジアル方向の負荷を軽減している。これに対してリム型ロータを用いたタービンは、ノズルを 1 つとし、また翼面積を増やすことでより回転を得やすい設計としている。またラジアル方向の負荷を支えるため、2つのボールベアリングを用いている。

1 : 日大理工・精機 2 : 日大理工・院 (前) 3 : 日大理工・教員・精機

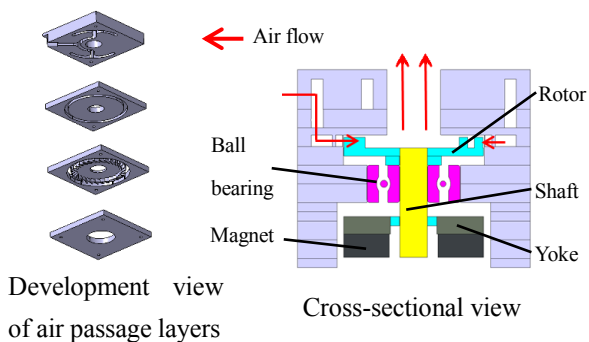


Figure 1. Structure of air turbine with surface type rotor

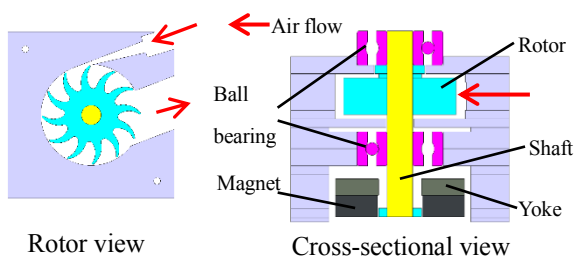


Figure 2. Structure of air turbine with rim shape rotor

2. 2. 作製結果および回転実験

実際に作製したタービンの図を Figure 3 に示す。このタービンに入口圧 0.3MPa の圧搾空気を流入したときの回転数を、ホールセンサを用いて計測した。その結果を Figure 4 に示す。リム型タービンはサーフェイス型タービンに比べて、優れた回転特性を示した。

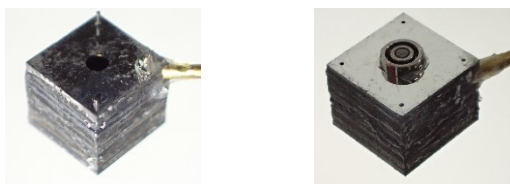


Figure 3. Fabricated MEMS air turbine

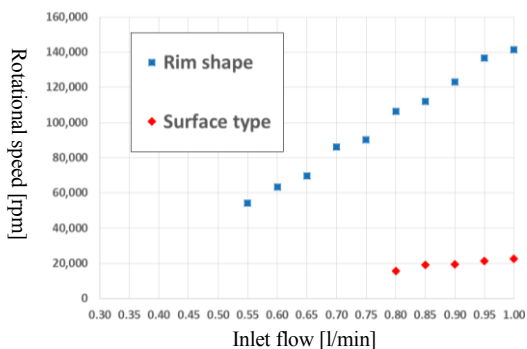


Figure 4. Fabricated MEMS air turbine

3. リム型ロータを用いた電磁誘導式発電機

より優れた回転特性を示したリム型タービンと、積層セラミック磁気回路を組み合わせて発電機とした。実際に作製した発電機を Figure 5 に示す。寸法は

5.28×5.19×5.86mm であった。この発電機に圧搾空気を流入して発電実験を行った。流量 2.2l/min, 負荷抵抗 1Ω 時の出力波形を Figure 6 に示す。波形より、発電機の最大回転数は 333,000rpm, 最大出力は 1.63mVA となった。

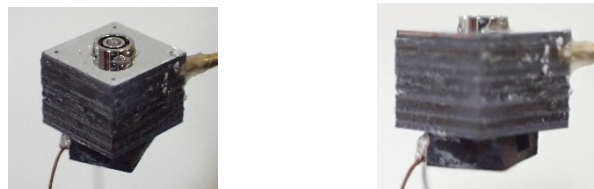


Figure 5. Fabricated MEMS air turbine generator

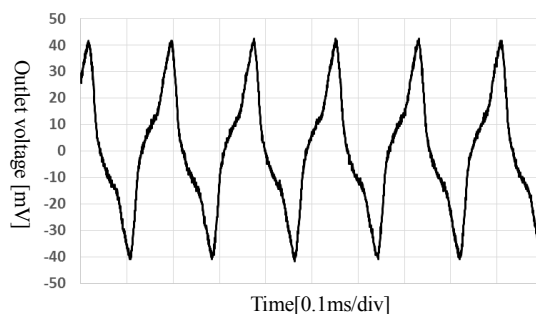


Figure 6. Output waveform of generator (load resistance 1Ω)

4. 結論

リム型ロータを用いた MEMS エアタービンを作製し、これと積層セラミック磁気回路を組み合わせて小型電磁誘導式発電機を作製した。発電機の寸法は 5.28×5.19×5.86mm であった。圧搾空気を流入したところ、入口圧 0.3MPa, 流量 2.2l/min の条件で最大回転数 333,000rpm であった。またこのときの出力は、負荷抵抗 1Ω に対して 1.63mVA であった。

5. 参考文献

[1] A. H. Epstein and S. D. Senturia, "Macro Power from Micro Machinery", Science 276, pp.1211, 1997.
 [2] T. Genda, and et al, "HIGH POWER ELECTROSTATIC MOTOR AND GENERATOR USING ELECTRETS", TRANSDUCERS '03, The 121th International Conference an Solid Stale Sensors. Actuators and MicrosystemS, pp. 492-495, 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。