K6-15

電磁誘導式 MEMS エアタービン発電機に用いる軸受機構の検討

Consideration of Bearing Structures for Electromagnetic Induction Type MEMS Air Turbine Generator

○三島海斗 [2]，工藤和也 [1]，高藤美泉 [3]，齊藤健 [3]，内木場文男 [3]
*Kaito Mishima[2], Kazuya Kudo[1], Minami Takato[3], Ken Saito[3], Fumio Uchikoba[3]

Abstract: This paper discusses two types bearing systems for electromagnetic induction type MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) air turbine generator. In a millimeter scale generator, a friction of a rotor is a serious problem. Therefore, a fluid-dynamic bearing system and a ball bearing system were designed. The electromagnetic induction type generators were constructed by combining MEMS air turbine with the multilayer ceramic magnetic circuit. The rotation speed of the MEMS air turbine generator with the fluid-dynamic bearing system was 18,000 rpm, and the output power was 1.42μVA at a load resistance of 1 Ω. The MEMS air turbine with the miniature ball bearing system was designed.

１．はじめに

スマートフォンやノートパソコンなどの携帯電子機器は小型化，高性能化が著しく進んでいる．これらの電源の多くには，エネルギー密度および出力密度が高く，繰り返し充放電が可能なリチウムイオン二次電池が採用されている．しかしリチウムイオン二次電池のエネルギー密度は理論的限界に達しつつある．そのため，電池容量を増やすために大型化した電池がデバイスの体積の多くを占め，小型化や高性能化の妨げになっている．

そこで新たな電源として，MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程を用いた小型のガスタービン発電機が注目されている[1][2]．このエネルギー源として用いられる炭化水素燃料は高いエネルギー密度を持つため，発電効率が低くてもリチウムイオン二次電池より高いエネルギー密度を実現できる．またこれらの燃料を用いた電源はエネルギーの充填速度が速く，使用量に応じて電源が軽量になるなどの利点があり，繰り返し充放電する携帯電子機器や自立歩行型ロボットに適している．

MEMS タービンに用いられる軸受機構には空気軸受が採用されることが多い．空気軸受は負荷能力が低いものの，摩擦が非常に小さいことから微小領域で高速回転する MEMS タービンに適している．しかしロータの偏心や歳差運動を抑制するのが困難である．一方，機械部品に一般的に用いられるボールベアリングは安定した回転動作を期待できるが，摩擦による損失が大きく，また一定以上の初期トルクが必要となる．

そこで本稿では MEMS エアタービン発電機に用いる軸受機構について，静圧型空気軸受とボールベアリングの二種類を検討した．発電方式には高出力を見込める電磁誘導式を採用し，小型磁気回路は小型素子作製技術である積層セラミック技術を用いて作製した．

２．空気軸受型 MEMS エアタービン発電機

２．１．空気軸受型 MEMS エアタービン発電機の設計

空気軸受型 MEMS エアタービン発電機の設計を Figure 1 に示す．

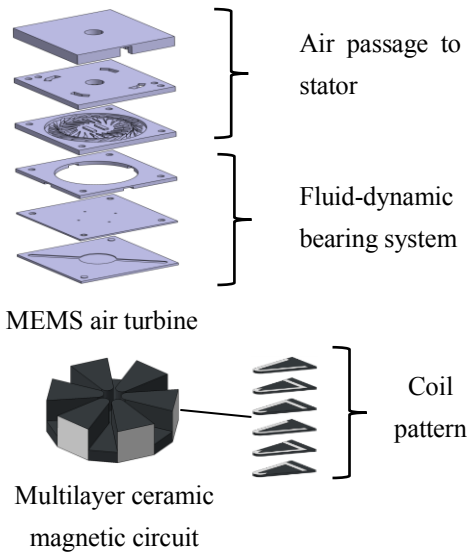

Figure 1. Structure of the MEMS air turbine generator with fluid-dynamic bearing system

発電機は上部に MEMS エアタービン，下部に積層セラミック磁気回路を配置した．設計寸法は 5mm 角とした．発電方式はロータに接着した磁石が回転して回転磁界を発生させる界磁回転型の電磁誘導式とした．磁石は径方向に分極したサマリウムコバルト磁石を使用した．エアタービンはフォトリソグラフィプロセスによりシリコンウェハに流路や翼部などの微細パターンを形成することで作製した．軸受には空気軸受を採用したため，ロータ下部に空気軸受用の流路を設計した．磁気回路は積層セラミック技術を用いて作製し，セラ

１：日大理工・精機　２：日大理工・院（前）　３：日大理工・教員・精機

ミック原料には高透磁率で低温焼成が可能な NiCuZn フェライトを使用した．これにより，低融点ながら高い導電性を持つ銀を導体に用いたコイルパターンを形成した．磁気回路は Y 字結線の三相交流発電とするため, 12 回巻の 6 個のヘリカルコイルパターンを配置し，対向するコイルと組み合わせて 24 回巻の 3 組のコイルとした．

２．２．発電実験結果

Figure 2 に作製した空気軸受型 MEMS エアタービン発電機を，Figure 3 に発電実験の出力波形を示す．

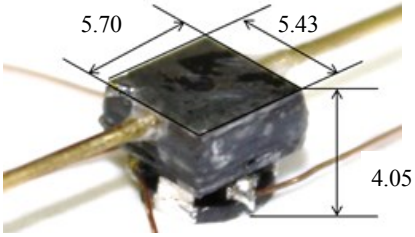

Figure 2. Fabricated MEMS air turbine generator with fluid-dynamic bearing system

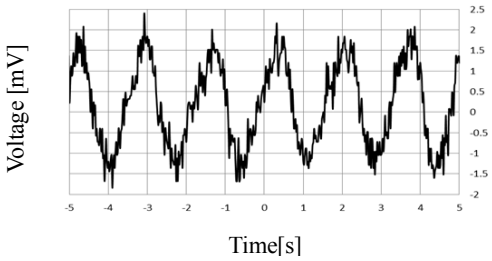

Figure 3. Output voltage of MEMS air turbine generator with fluid-dynamic bearing system

圧縮空気を流入して発電実験を行った結果，回転数 18,000rpm，出力 1.42μVA を得た．また発電実験を行っている際, ロータが偏心しステータと衝突してしまい，回転数の増加を妨げていると考えられる．偏心を防ぐには，ロータへのラジアル方向の流入の対称性を高める必要がある．また本設計では磁石と磁気回路の間に空気軸受用流路を設計しているが，軸受用流路とコイルを並列に配置することでギャップの縮小が可能になると考えられる．

３．ボールベアリング型 MEMS エアタービン

ボールベアリング型 MEMS エアタービンの設計を Figure 4 に示す. ボールベアリングをタービン最上部に設置し，外輪を固定して内輪を回転する構造とした．パーツの材料や加工法，寸法については前述のタービンと同様である. また空気軸受用流路が必要ないため，磁石と磁気回路のギャップはロータと底面のクリアランスおよび底面の厚みによって決まる．ロータの偏心はベアリングによって機械的に抑制されるため，流入気体による影響は少なくなる．静止状態でロータとステータが干渉すると静止摩擦が増大し，回転を得るのが困難となる．このため，軸のはめあい，加工精度および組立精度を考慮してロータとステータの間に適切なクリアランスを設計する必要があると考えられる．

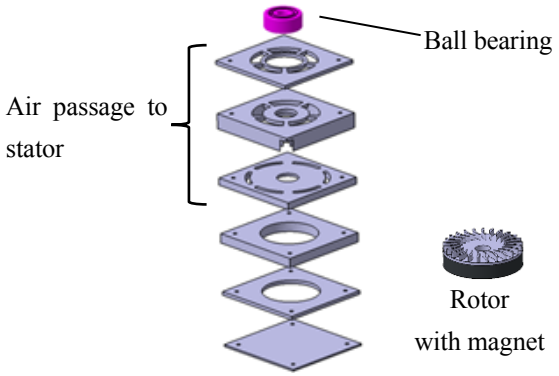

Figure 4. Structure of the MEMS air turbine generator with ball bearing system

４．結論

MEMS と積層セラミック技術を組み合わせた MEMS 発電機の開発を行った．また MEMS エアタービンの軸受について空気軸受とボールベアリングの 2 種類を検討した. 空気軸受型 MEMS エアタービン発電機は圧縮空気を用いた回転実験により回転数 18,000rpm，出力 1.42μVA を得た．ボールベアリング型 MEMS エアタービンは容易な偏心抑制による回転数の増加，また磁石と磁気回路のギャップを縮小できることから，特に電磁誘導式発電機では高出力を得るのに有利であると考えられる．

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] 田中　秀治 :「MEMS 技術に基づくガスタービン発電機」，表面技術，Vol.55，No.3，pp.172-178，2004

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．