

K6-19

積層セラミック磁気回路を用いた 5mm 角 MEMS エアタービン発電機の開発 Development of 5 mm Square MEMS Air Turbine Generator Using Multilayer Ceramic Magnetic Circuit

○遠藤弘彬¹, 鈴木拓也², 横関裕司¹, 前角和明¹, 高藤美泉¹, 齊藤健² 内木場文男²

*Hiroaki Endo¹, Takuya Suzuki², Yuji Yokozeki¹, Kazuaki Maezumi¹, Takato Minami¹, Ken saito², Fumio Uchikoba²

Abstract: This paper proposes a 5 mm square electromagnetic induction type power generators. The developed generator was fabricated by combining MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) air turbine with a multilayer ceramic magnetic circuit. The multilayer ceramic technology can realize the miniature three dimensional winding wire for the electromagnetic induction generator. Maximum rotational speed of the rotor of the MEMS air turbine generator was 18,000 rpm, and the output power was 1.41 μ VA.

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機器の性能向上に伴い消費電力が増加し、それに対し実装部品の低電力化やソフトウェアでの改善が行われているが、電源容量を確保するためには容量が電池の体積に比例する性質がある二次電池を大型化させる必要がある。このような課題に対して電源容量を増加させる取り組みが行われているが、容量の増加は理論的限界に達しつつある。

二次電池に代わる電源として MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術によって作製される超小型発電機の研究が盛んに行われている。小型センサなどを作製する MEMS 技術を用いることによって発電機の構造や配線の小型化が可能となり、中でも燃料を用いた MEMS ガスタービンは、高エネルギー密度が期待され広く研究されており、MIT のグループによって発表されたウルトラマイクロガスタービン^[1]は数十[W]の出力が見込まれた。MEMS 発電機の発電機構には作製が容易な静電式や、平面配線コイルを用いた電磁誘導式^[2]が採用される例が多いが、静電式は出力インピーダンスが高いため得られる電流が少ない。一方電磁誘導式発電は商用発電機に用いられる磁性コアを導入した立体的なヘリカルコイルを用いれば、コイル内に磁束を集中させることで高出力化が見込める。しかし MEMS 技術による平面コイルを用いた電磁誘導式発電では作製が困難であり、磁性コアの導入が困難なため磁束が発散してしまい、得られる出力電力が低下してしまう。本研究では高出力な MEMS 発電機を実現するため、小型な磁性コアを導入したヘリカルコイルの作製が可能な積層セラミック技術に着目した。

本研究では、積層セラミック磁気回路と MEMS 技術によって作製されたエアタービンを組み合わせた 5[mm]角の発電機を提案し、作製と評価をおこなった。

2. 設計

発電機は MEMS 作成技術によって Si ウエハから作製される小型エアタービン部分と磁性材料を用いた積層セラミック磁気回路部分を組み合わせる。Fig.1 に発電機概念図を示す。エアタービン内部の永久磁石を回転させることで、発電機下部の積層セラミック磁気回路内の磁束を変化させ出力を得る界磁回転型電磁誘導発電方式とした。

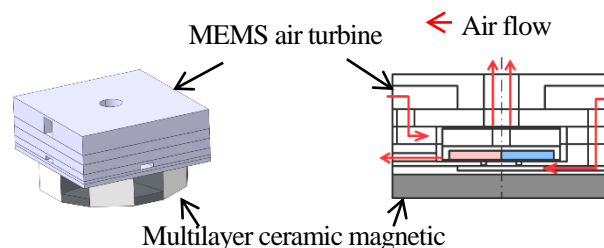


Figure 1. MEMS air turbine generator

MEMS エアタービンの概念図を Fig.2 に示す。タービンはロータ回転用流路とロータ用アキシヤル静圧空気軸受流路が配置され 0.6[mm]の真鍮管を通して圧縮空気が供給される。ロータ直径は 3180 μ m とし、磁石は外形 3[mm]、厚さ 0.4[mm]、磁束密度 120[mT]の面方向 4 極に着磁したサマリウムコバルト磁石を使用した。

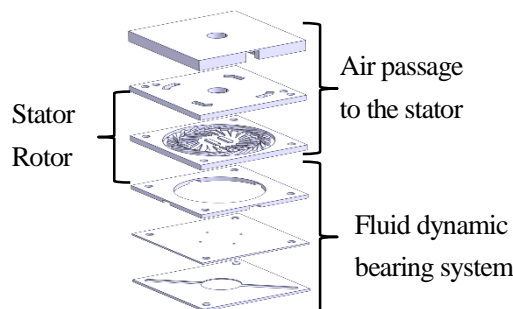


Figure 2. MEMS air turbine

1 : 日本大学大学院理工学研究科精密機械工学専攻, Department of Precision Machinery Engineering, CST., Nihon-U.t

2 : 日本大学理工学部精密機械工学科, Department of Precision Machinery Engineering, CST., Nihon-U.t

磁気回路の概念図を Fig.3 に示す. 磁気回路はコイル層が 18 層, 結線用の配線を含む磁性体層を下部に 1 層, 磁路層を下部に 10 層を配置し, 計 29 層のフェライトグリーンシートで構成する. コイル部分は 12 回巻きのコイルを 60 [deg]毎に 6 つ配置した. 発電時の位相が等しい対向する 2 つのコイルを結線させ 1 組として扱うことで計 24 回巻きのコイルを形成し, 三相交流発電用の磁気回路とする. 焼成後の目標外形は, 幅 4.5[mm], 高さ 1.4[mm]とした.

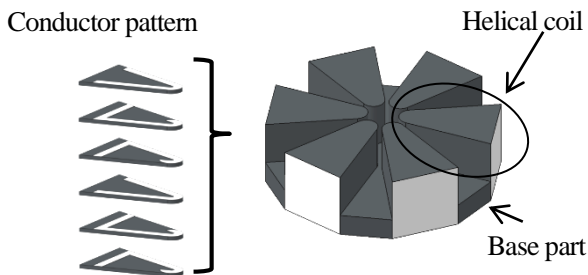


Figure 3. Ceramic magnetic circuit

エアタービンはフォトリソグラフィプロセスにより Si ウエハから各部品を作製し, 樹脂によって部品を接着し組み立てを行った.

磁気回路は積層セラミック技術を用いて作製した. 組成比 $49.5\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-}8\text{NiO-}32.5\text{ZnO-}10\text{CuO}$ のフェライトを含むスラリーからドクターブレード法によってシートを形成し, 直径 300 [μm]のスルーホール加工した後, スクリーン印刷法により銀ペーストのコイルパターンの印刷とスルーホール内へ銀ペーストの充填を行った. 次にシートを積層, 圧着し, コイル部分と土台部分を成形し, 焼成することで磁気回路を得た.

3. 結果と考察

作製した 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を Fig.4 に示す. 外形寸法は幅 5.43[mm], 奥行き 5.70[mm], 高さ 4.05[mm]であった. 磁気回路の内部抵抗は 0.902[Ω]であった.

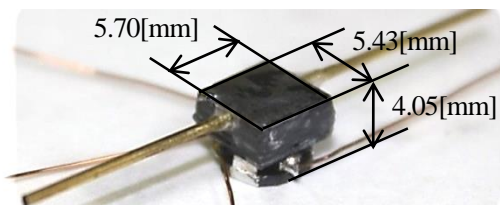


Figure 4. MEMS air turbine generator

MEMS エアタービン発電機の発電実験を行った. 負荷抵抗には内部抵抗と同程度の 1[Ω]を接続し, オシロスコープで波形を計測した. 計測した出力電圧を Fig.5 に示す. 発電機の最大出力電力は回転数 18,000[rpm]のとき, 1.41[μVA]であった.

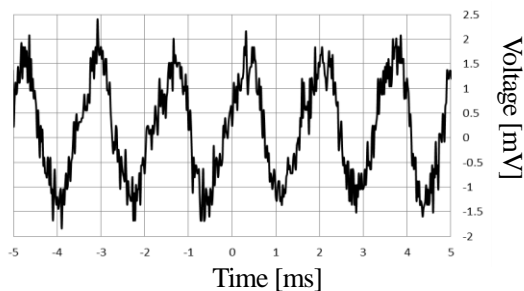


Figure 5. Output voltage of generator

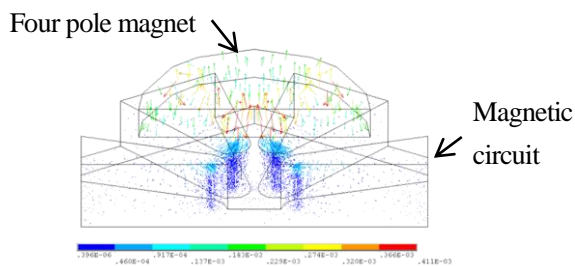


Figure 6. Output voltage of generator

磁気回路と磁石の有限要素法を用いた磁場解析を行った. 結果を Fig.6 に示す. 磁性材料を用いたセラミック磁気回路の形状によって 磁石からの磁束がヘリカルコイル内に誘導されていることが確認できる.

さらなる出力向上のためには, タービンの回転数の増加のために流路の最適化やロータの振動によるロスを減らす軸受け機構が必要であると考えられる. また磁束の発散を抑えコイル内の磁束を増加させるため現状で 300[μm]ある磁石下部の磁気回路とのギャップを低下させる構造が必要であると考えられる.

4. まとめ

本稿では, MEMS 技術と積層セラミック技術による MEMS エアタービン発電機の開発および評価を行った. 発電機の最大出力電力は回転数 18,000 [rpm]のとき, 1.41 [μVA]であった. 出力向上のためにタービンの回転数を増加させ, 磁束の発散を抑える構造が必要であると考えられる.

5. 参考文献

- [1] A. H. Epstein, et al.: “Shirtbutton-sized Gas Turbines: The Engineering Challenges of Micro High Speed Rotating Machinery”, Proc. 8th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, Hawaii (2000-3)
- [2] Herrault, F et al. “Ultraminiaturized High-Speed Permanent-Magnet Generators for Milliwatt-Level Power Generation”, Microelectromechanical Systems, pp. 1376-1387, 2008.