

## MEMS 工程による小型タービンの設計および回転実験 Design and Rotation Experiment of Small Turbine by Using MEMS Process

○小林祐也<sup>2</sup>, 仁木雄哉<sup>1</sup>, 武田 健嗣<sup>3</sup>, 栗飯原萌<sup>4</sup>, 金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>  
\*Yuya Kobayashi<sup>2</sup>, Yuya Niki<sup>1</sup>, Kenji Takeda<sup>3</sup>, Megumi Aibara<sup>4</sup>, Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>

**Abstract:** A MEMS turbine is fabricated for realizing a micro ORC generator. The rotational speed of the turbine is compared two working fluids. In the case of compressed air, the maximum speed was 67,720 rpm when the pressure was 0.3 MPa and the flow rate was 1.0 l/min. In the case of low boiling point media, the starting speed was 76,923 rpm at 82°C and 0.3 MPa. After that, when the working fluid changed to liquid phase due to adiabatic expansion, the rotation speed became 12,500 rpm. In the future, we will study a design in which the working fluid changes to the liquid phase outside the turbine in order to realize a micro ORC generator.

### 1. はじめに

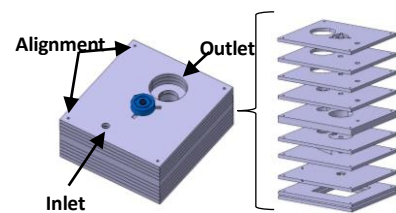
現在では、センサの高性能化・低価格化などにより、IoT 機器が広く普及してきている。IoT 機器の電源にはリチウムイオン二次電池やボタン電池が利用されているが、充電・交換が必要であり、その手間は IoT 機器の増加につれて増大していく懸念がある。そのため周囲の環境から電力を取り出すエネルギーハーベスティング技術により、IoT 機器のメンテナンスフリー化を目指す研究が注目されている。その技術による発電機は利用するエネルギー源によって様々あるが、廃熱のエネルギーでは主に熱電式が利用されている。熱電式は金属材料の両端の温度差から電位差を生じさせて発電するため駆動部がなく、騒音・振動がないという利点がある。しかし小型になると温度差を保つのが難しく、熱効率に課題が残る。一方で火力発電所で採用されるランキンサイクルでは電磁誘導式が利用され、高出力な電力を取り出しやすい。しかし発電に高温熱源が必要であり、3次元構造の磁気回路を持つため大型化しやすい傾向がある。現在では低沸点媒体を用いることで低温帯の排熱を利用可能にしたオーガニックランキンサイクル(ORC)が開発されている<sup>[1]</sup>。低温帯の熱エネルギーを利用するので機械強度を低く抑えられ小型化が可能となる。しかし市場にあるものはメートルサイズであり IoT 機器に搭載するには大きすぎる。

我々は MEMS 工程を用いて 5mm 角サイズのタービン発電機を開発しており、積層セラミック磁気回路と組み合わせることで mW レベルの出力を実現した<sup>[2]</sup>。これと同様に ORC の構成要素も MEMS 工程により小型化することで ORC 発電機の小型化が可能と考えた。

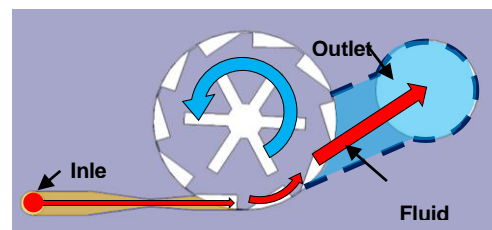
本研究では、製作した MEMS タービンに作動流体として圧縮空気、低沸点媒体 (HFE7000) を流入し、タービンの回転特性の評価を行ったので報告する。

### 2. MEMS タービン

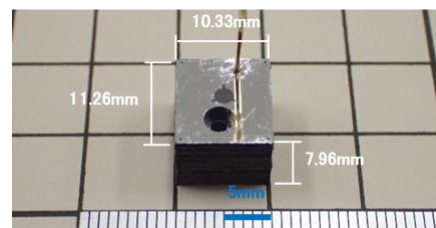
Figure 1 は製作した MEMS タービンとその設計である。タービンは MEMS 工程によってパターンニングしたシリコンチップを積層した構造となっている。内部には軸棒を中心にロータを挟んでベアリングを設置している。タービン構造体の下部にはロータと同軸に2極のリング磁石を取り付けている。また ORC システムには気密性を持たせる必要があるため、構造体の天面と底面はシリコン層で覆うことで流体の漏れを防止する。



(a) Structural drawing of the turbine



(b) Flow path in the turbine



(c) Fabricated MEMS turbine

Figure 1. Developed MEMS turbine

1 : 日大理工・学部・精機 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・院 (後)・精機 4 : 日大理工・教員・精機

### 3. 回転速度の測定実験

MEMS タービンに圧縮空気および低沸点媒体を流入して回転速度を測定した。Figure 2 は低沸点媒体を用いた場合の実験装置の概略図であり、低沸点媒体には HFE7000 (沸点 34°C) を用いた。回転速度はタービン底部の磁石付近に設置したホールセンサにより検出した。圧縮空気の場合は圧力 0.1, 0.2, 0.3MPa 毎, 流量 0.1~1.0 l/min の範囲で 0.1 l/min 毎に流入して計測した。低沸点媒体の場合は低沸点媒体が封入されたシリンダを 60 ~ 80°C の範囲で約 10°C 刻みで加熱して回転速度, 圧力, 温度を測定する。配管には流入中の温度低下を防ぐためにリボンヒータを巻く。

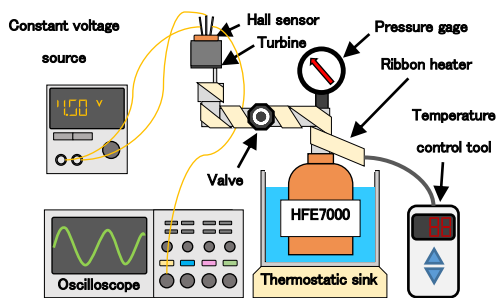


Figure 2. Experimental arrangement

### 4. 結果と考察

Figure 3 に圧縮空気流入時 (流量 0.1l/min, 圧力 0.1MPa) の出力波形, Figure 4 に圧縮空気流入時の計測結果を示し, Figure 5 に低沸点流入時の計測結果を示す。圧縮空気流入時では, 圧力 0.3MPa, 入口流量 1.0 l/min で最大回転速度 67,720rpm を示した。低沸点媒体流入時では温度 82°C, 圧力 0.3MPa で最大回転速度 76,923rpm を示した。3 秒程度安定した回転を示した後, 出口流体に液相が混ざり始めると, 回転運動が不安定になった。液相の流体が増えると再び回転が安定し, 回転速度は 12,500rpm となった。この結果から液相の作動流体が回転速度が低下させる事がわかった。しかしタービン外部で液相へと変化することは ORC の復水器を省くことができ, 小型化に繋がると考えられる。

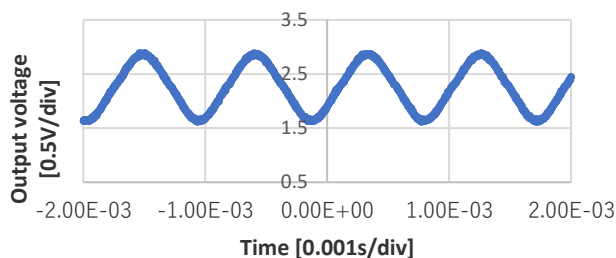


Figure 3. Output waveform (compressed air)

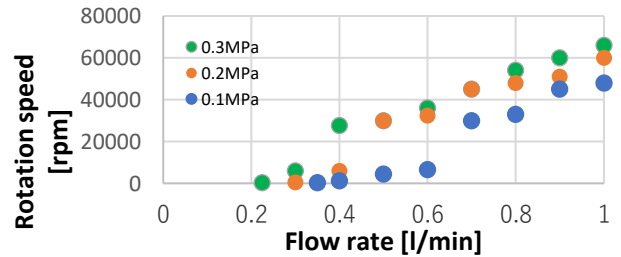


Figure 4. Rotational speed at each flow rate

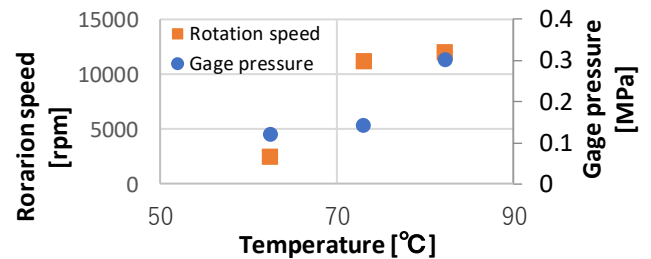


Figure 5. Rotational speed at each temperature

### 5. 結論

本研究では, MEMS タービンの製作を行い, 圧縮空気の圧力が 0.3MPa, 入口流量が 1.0 l/min で最大回転数は 67,720rpm. 低沸点媒体では 82°C, 0.3MPa で最大回転数 76,923rpm を記録した。その後, 入口流体が液相に変化して回転速度は 12,500rpm となった。このことからタービン回転動作時は気相が望ましいことが分かった。今後は作動流体がタービン外部で液相に変化する設計を検討し, ORC 発電機の小型化を目指していく。

### 6. 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, 日本大学理工学部理工学研究所先導研究推進助成金および日本大学理工学部科研費 (若手研究) 獲得支援助成金の支援を受けた。また, 科研費 21K14214 の助成を受けたものである。

### 7. 参考文献

[1] 引地 巧, 木戸 長生, 西山 典禎, 小須田 修: 「高効率小型オーガニックランキンサイクル発電技術の開発」日本機械学会論文集, Vol.83, No.847, 2017

[2] M. Kaneko, et al, "Development of mountable electromagnetic induction type MEMS generator," Proc. 2018 International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference, Mie, Japan, 2018, pp. 293-298.