

K-20

MEMSによる小型発電機の高効率化に向けた流路とタービンと熱交換器

Development of Passage, Turbine and Heat Exchanger for Higher Efficient Small Generator by MEMS

○白井翔馬¹, 岩間芳明¹, 浮須界¹, 吉川優¹, リュウイケツ¹,
栗飯原萌², 金子美泉², 田中勝之², 内木場文男²

*Shoma Shirai¹, Yosiaki Iwama¹, Kai Ukisu¹, Yu Yoshikawa¹, Liu Wei Jie¹,
Megumi Aibara², Minami Kaneko², Katsuyuki Tanaka², Fumio Uchikoba²

Abstract: We suggest a MEMS Organic Rankine Cycle generation system by using low boiling point gas as a working fluid. It generates power using ambient low temperature waste heat energy, has aimed to stable power supply. An experiment for analyzing a flow path, and two designs are reported in this paper. The result of the experiment, working fluid showed gas and liquid states at a MEMS turbine structure. Moreover, a center inflowing type MEMS generator and a MEMS heat exchanger was designed.

1. はじめに

近年、通信技術の進歩やセンサ等の低コスト化により、Internet of Things (IoT) が急速に普及してきている。しかし、IoT が普及するにつれて、いくつかの技術的課題が存在していると考えられる。その一つが電源の問題である。現在、電子デバイスには主にリチウムイオンバッテリーが用いられるが、少なからず欠点が存在している。例えば、発火、発煙の危険性があり、充放電の繰り返しによる劣化が挙げられる。また、電源には定期的に充電や交換を行う必要がある。そこで、リチウムイオンバッテリーに代わる、周囲の低温熱源から発電し、安定した電源を供給することが出来る小型発電機が必要であると考える。小型化には、シリコン微細加工技術である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程を用いる。MEMS 工程は成膜、露光、現像、エッチングを経て小型デバイスを製作する手法であるが、この MEMS 工程によってパターンングをしたシリコンウェハを積層することで電磁誘導式の MEMS タービンを製作する。また、周囲の熱源を利用して発電するために、火力発電などで用いられるランキンサイクル発電システムを利用する。火力発電では作動流体として水が用いられるが、水の沸点は 100°C なので、蒸気タービンを駆動するには高温な熱源が必要であり、発電機が大型になる。そのため、低沸点媒体を用いたオーガニックランキンサイクルを採用し、低温熱源での発電が可能で、手のひらサイズの小型発電機の実現を目指す。

本稿ではオーガニックランキンサイクルシステムを採用した小型発電機の実現に向け、MEMS タービンおよび熱交換部の設計について試作、検討を行うことを目的とする。具体的に、タービンの流路形状の検討お

よび作動流体の相変化を確認するための流動解析実験、タービンの形状検討、小型熱交換器の設計を中心に研究を行った。

2. 流動解析実験

2. 1. 実験方法

これまで開発してきた MEMS タービンは、低沸点媒体の回収時に気液二相状態で回収されていた。小型タービン内部に液体が混じるとロータの回転に悪影響を及ぼすことから、タービン中の相変化を確認する実験を行った。Fig.1 に流動解析実験に用いた MEMS タービンと構造図を示す。この実験で用いる MEMS タービンは内部のロータパーツを取り外し、天面のパーツをアクリル板に取り変え、内部での冷媒の相変化を観察できるようにした。実験では、低沸点媒体 (Novtec7000) を封入した流入側シリンダを 50°C 程度に加熱し、タービンに流入する。タービン内に流入された低沸点媒体をサーモグラフィカメラで観察する。

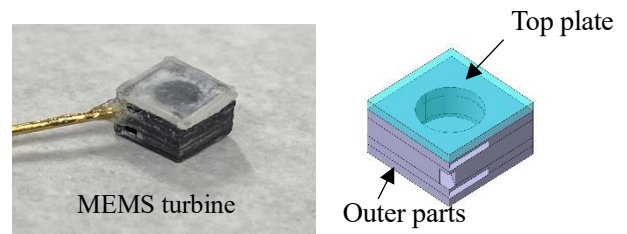


Figure 1. MEMS turbine for the experiment

2. 2. 実験結果

Fig.2 に実験中にサーモグラフィカメラで撮影した画像を示す。画像は左から低沸点媒体の流入前、流入直後、流入後 40 秒経過時の画像である。図中の a は、流入経路から低沸点媒体がロータに噴射される箇所

ある。低沸点媒体は少量の液相と気相の気液二相の状態では排出された。流入直後から a の箇所で急激に温度が低下していることがわかる。このことから、低沸点媒体はタービン内部に流入する際に断熱膨張して、温度が下がり液相に変化していると考えられる。



Figure 2. Thermography image

3. MEMS タービン設計

これまでのタービンでは側面から流体を流入して回転させていたが、正面から流体を流入できれば、発電機の設計の自由度が増加し、小型化が期待できる。

Fig.3 に新しく設計した MEMS タービンの構造図を示す。Table 1 にタービンの 8 通りの流路パターンの特徴を示す。回転効率の良いタービンの検討をするために、8 通りの流路パターンのタービンを製作する。上部の穴から窒素ガスを流入して回転させる実験を行い、その後、どのようなパターンが最も効率が良いのかを従来のものと比較・考察し、さらに効率の良いタービンを製作する。

Table 1. 8 turbine patterns

	Number of flow paths	Corner shape	Thickness of flow paths [mm]
Turbine A	2	Curve	0.2
Turbine B	2	Curve	0.4
Turbine C	2	Square	0.2
Turbine D	2	Square	0.4
Turbine E	4	Curve	0.2
Turbine F	4	Curve	0.4
Turbine G	4 </td <td>Square</td> <td>0.2</td>	Square	0.2
Turbine H	4	Square	0.4

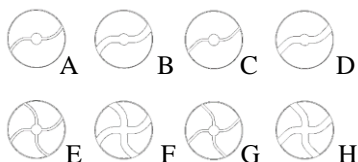


Figure 3. Turbine design

4. 小型熱交換器の設計

Fig.4 に設計をした小型熱交換器を示す。複雑な形状のプレートを MEMS 工程により製作するために、比較的簡単な構造になるよう設計した。今回の設計では、高温の流体を入れ、低温で排出されるよう Fig.4 のようにプレートを低温側と高温側で交互になるように配置して熱交換を行う。サイズは 10×6 mm とし、厚さは 1 枚あたり 200~400 μm で製作を行う。作製した熱交換器に作動流体として低沸点媒体を流入し、密封性と温度変化、流体の移動の様子について実験を行う。また、作製した流路の表面形状について考察を行う。得られた結果より流路の効率化を行う。

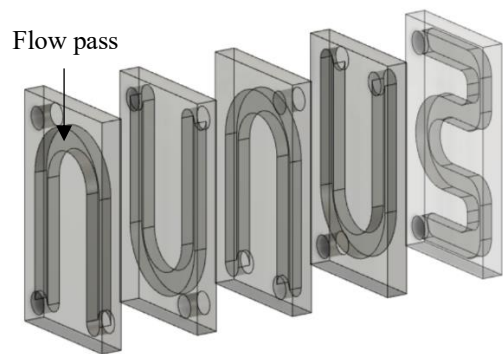


Figure 4. Heat exchanger design

5. まとめ

流動解析実験では、時間経過とともに流入口の上下にある流出口が冷やされることで液化が進んでいると考えられ、これまでのタービンではロータパーツによる圧縮でより多くの液相が排出されていたと考えられる。今後は、流出口に排出用パイプを取り付けタービン内部で冷媒を封止できる構造の製作、高効率タービンの製作・検討、小型熱交換器の製作を行う。

6. 参考文献

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, pp.1-7, (2017)

7. 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、本研究は科研費 16K18055 の助成を受けたものである。