

オーガニックランキンサイクルの小型化と作動流体の回収実験

Miniaturization of Organic Rankine Cycle and Recovery Experiment of Working Fluid

○小林祐也¹, 栗飯原萌², 金子美泉², 田中勝之², 内木場文男²*Yuuya Kobayashi¹, Megumi Aibara², Minami Kaneko², Katsuyuki Tanaka², Fumio Uchikoba²

Abstract: This research aims to achieve a small organic Rankine cycle power generating system. In this paper, by a result of an experiment which a low boiling point medium was flowed in a MEMS turbine and recovered, the developed system showed high recovery ratio. Moreover, a phase states of the boiling medium inside the MEMS turbine was analyzed. Based on the above two experimental results, an integrated recovery flow path type MEMS turbine structure was designed and fabricated. In the future work, the developed turbine structure will be experimented of a power generation and a circulation.

1. はじめに

近年では様々なモノ（物）同士がインターネットを介して互いに情報交換を行い相互に制御する Internet of Things (IoT) 化が進んでいる。その電源に現在利用されているリチウムイオン二次電池は定期的な充電や電池交換が必要であり、年々増加する IoT デバイスに使用する場合、その作業の手間は増大していくことになる。また、そのエネルギー密度には限界があり、今以上の性能の向上は困難であるため、電子機器の小型化の障害となりうる。そこでリチウムイオン二次電池に代わり、IoT デバイスの電源として利用することが可能な充電作業等の手間がかからない小型発電機を提案する。その発電方法には、低温作動可能なオーガニックランキンサイクル (ORC) を利用し、そのサイクルを小型化することで小型 ORC 発電機の実現を考えた。現在市販されている ORC 発電機はメートルスケールであり、IoT デバイスに搭載するには大きすぎる。小型化のためにはサイクルを構成する各要素を小型化していく必要がある。そのため我々はこれまでに半導体微細加工技術の応用である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程をタービン部の製作に利用することで 5mm サイズの MEMS タービン発電機を製作してきた[1]。この MEMS 工程を他の構成要素の作製に適応することで、システム全体の小型化を図っていく。

本稿では MEMS タービンが ORC 発電機で運用可能かを検証するため行った作動流体回収実験と、タービン内部を流れる低沸点媒体の相変化を観察する流動解析実験の結果と合わせて、回収流路を形成した MEMS タービンの設計を検討し、製作を行ったので報告する。

2. 大気開放型 MEMS タービン

Figure 1 に作動流体回収実験に使用した MEMS タービンを示す。このタービンは MEMS 工程によってパターンニングされた 5mm 角のシリコンチップを積層した構造になっている。流入口には外形が 0.65mm までの真鍮管が接続できる構造になっている。流入路は徐々に狭まっていく構造になっており、流速を高めてロータに噴射して回転させる。その後流体はタービン内を 3/4 周程度した後タービン側面に設けた排出口から大気中に排出される。

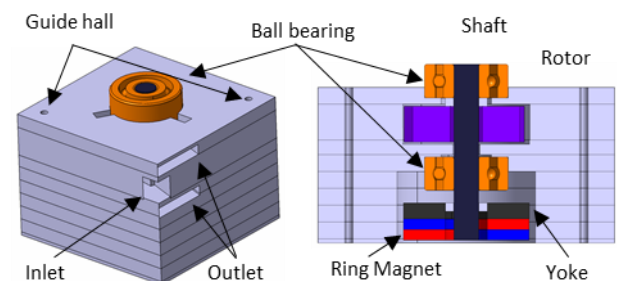


Figure 1. MEMS turbine.

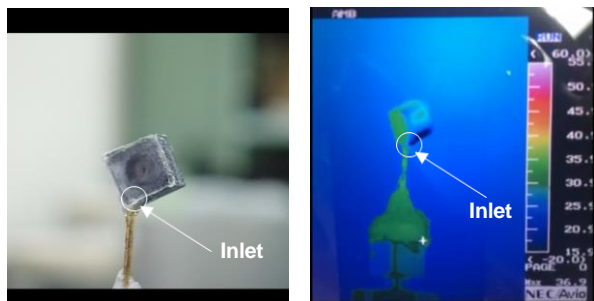
3. 実験方法と結果

3. 1. 作動流体回収実験

閉鎖系において、アクリルパイプ内に配置された MEMS タービンに、作動流体として沸点が 34℃の低沸点媒体(Novec7000)を流入して回転させたのちに、タービンから排出された低沸点媒体を、外容器のアクリルパイプにより回収する回収実験を行った。この実験では、MEMS タービンが低沸点媒体によって 4.1×10^4 rpm 程度の回転を示し、流入した低沸点媒体の回収率は 96%程度であった。アクリルパイプ内に残った低沸点媒体も含めると、全回収といえる結果を確認できた。

3. 2. 流動解析実験

Figure 2 に流動解析実験に使用した MEMS タービンを示す。低沸点媒体のタービン機構での相変化について解析を行った。小型 ORC 発電機においてはタービンの回転時に気相を示し、回転に寄与した後の媒体は液相を示すことが望ましい。このことからまずはタービン中のロータのみを取り外して天板をアクリル板に変更した MEMS タービンを作製した。また、低沸点媒体を流入し MEMS タービン内での温度変化の様子をサーモグラフィカメラによって観察する実験を行った。この実験の結果では、流入した低沸点媒体がロータに噴射される際に断熱膨張をして、温度が下がったために液相へ変化したと考えられた。

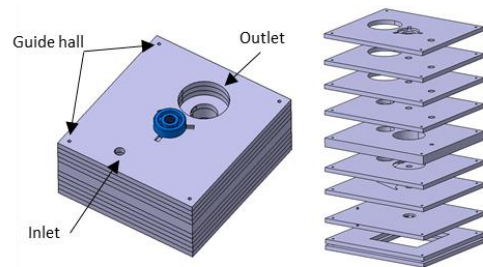


(a) Turbine used in the experiment (b) Thermography image

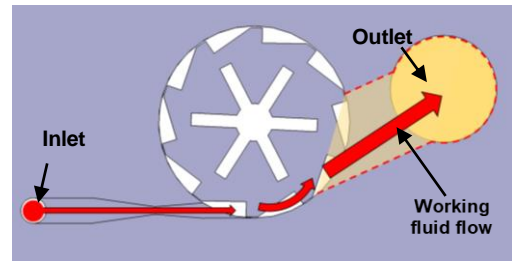
Figure 2. Image during the experiment.

4. 回収流路一体型 MEMS タービン

Figure 3 に新たに設計を行った MEMS タービンを示す。この MEMS タービンは排出口に外形が 3.2mm までのパイプを取り付けられる構造になっており、タービン上下に蓋をすることで、流入した低沸点媒体が外部に漏れださないよう設計されている。そのため別の容器を介さずに作動流体を回収可能になり、ORC システムの小型化が期待できる。また、Figure 3.(b)のように、タービンの高速回転化の検討のため、流入路と排出路を近い場所に配置して、流入された低沸点媒体がタービン内を周回せず即座に排出される構造とした。内部パーツは従来の MEMS タービンと同様の物を使用している。今後、MEMS 構造のみで形成したタービン機構で流入した低沸点媒体を漏らさずに回収可能であるかの検証と回転実験を行う。また、タービンの排気口の形状が変更になることから回転数についても検討を行う。



(a) Structural diagram of MEMS turbine.



(b) Flow path in the turbine.

Figure 3. Redesigned MEMS turbine.

5. まとめ

本実験は小型 ORC 発電機の実現に向けて、MEMS タービンを ORC 発電機として運用するための作動流体回収実験と、タービン内部を流れる低沸点媒体の相変化を観察する流動解析実験について報告した。また、回収システムの小型化を行う回収流路一体型 MEMS タービンの設計と製作を行った。回収実験では流入した低沸点媒体の全回収といえる結果を得られており、タービンの回転も確認できた。流動解析実験から、断熱膨張により、タービン内部で低沸点媒体が気液二相の状態になっていることが考えられた。回収流路一体型 MEMS タービンでは、作動流体の回収システム自体を MEMS 化したものを新たに設計した。今後 MEMS 構造による回収システムでタービンの回転と回収実験を行い、低沸点媒体を漏らさずに回収可能かを検証する。また、低沸点媒体の相変化を解析することでタービン部の小型化と復水器の省略による、ORC 発電機の高効率化と小型化を図っていく。

参考文献

- [1] K. Kudo, K. Ebisawa, K. Mishima, M. Takato, K. Saito, F. Uchikoba: "Development of MEMS Air Turbine Micro Generator with Ball Bearing Mechanism and Magnetic Material", Conference Series, Proceedings of 17th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Power MEMS 2017), pp1052, Online, 2018