

L-67

閉鎖系での冷媒を用いた MEMS タービン装置の実験 Experiment of MEMS Turbine Equipment Using Refrigerant in Closed System

○小林祐也¹, 宋安平¹, 金子美泉², 田中勝之², 内木場文男²*Yuuya Kobayashi¹, Anping Song¹, Minami Kaneko², Katsuyuki Tanaka², Fumio Uchikoba²

Abstract: In this paper, in order to develop a small organic Rankine cycle generator, an experiment was conducted in which a rotor was rotated by injecting refrigerant into a MEMS turbine in a closed system, and the rotation of the turbine was confirmed. We found out that the refrigerant was not recovered, and considered how to make it recoverable.

1. はじめに

現代社会は Internet of Things (IoT) 化が進んでおり、それに伴い電子機器の小型化・高密度化も進んでいる。小型電子機器の電源には主にリチウムイオン二次電池が使用されているが、その体積エネルギー密度は理論的限界に達しつつあり、更なる性能の向上は困難である。また IoT 化により様々な機器に通信デバイスが必要となることから各機器への電源供給のため電池の交換作業の手間は増大する見込みであり、また交換した電池の廃棄の際に発火の危険性も存在する。そのため、これに代わる高エネルギー密度かつ随時エネルギーを供給することができる小型発電機が求められる。電力を発生させる機関としては火力発電所や原子力発電があるが、それらはランキンサイクルを利用して電力を得ている。水をボイラで沸騰させて、高圧の蒸気にしてタービンにあてて回転させることで電力を得る。タービンを回転させた後の蒸気は冷却して水に戻して再びボイラに送り込んで循環させる。ランキンサイクルは高温熱源を扱うため大型化しやすい傾向にあるが、サイクルの作動流体に低沸点の冷媒を用いるオーガニックランキンサイクルは 100°C 以下の熱源から発電が可能となるため小型なものも研究されている[1]。しかし、すでに市販されているものでもメートルスケールである。ランキンサイクルの小型化にはサイクルを構成する要素であるタービン発電機、復水器、ポンプの小型化が必要であり、加速度センサや圧力センサに使われる MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程をまずタービン発電機に応用することでランキンサイクル発電機の小型化を図る。しかし、MEMS 発電機の多くは一般的な発電機に用いられる電磁誘導式と相性が悪いとされている。電磁誘導式には磁気回路が必要であり、巻線コイルのような立体形状の形成と磁性コアの導入が困難なことが理由に挙げられる。

一方で出力インピーダンスが低いいため、高出力が期

待できるという利点が挙げられる。そこでランキンサイクルのタービン部は MEMS 工程によってパターニングをしたシリコンウェハを積層することで作製した電磁誘導式の MEMS タービン採用する。これに作動流体として低沸点媒体である冷媒を用いたランキンサイクル発電機とすることで、IoT デバイスの電池交換や充電の負担を減らし、作動流体が低沸点であるため人の体温からの発電も可能になる。本研究では MEMS タービンを用いたオーガニックランキンサイクル発電システムへの適用を検討していくため、5mm サイズの電磁誘導式発電機の作動流体に冷媒を使用し、タービンを閉鎖系で回転させる実験を行った。

2. MEMS タービンの設計と実験方法

2. 1. MEMS タービンの構造

Figure 1 に MEMS タービンの模式図を示す。タービンは MEMS 工程によってシリコンウェハにパターニングを行うことで作製した 8 枚の 5mm 角チップを積層した構造になっている。ボールベアリングをロータを挟み込むように配置して軸を支えてあり、軸の先端にはリング状の磁石を配置した。ベアリングとロータ、磁石は軸に接着しているため、ロータが回転すると磁石も共に回転する。タービン側面の流入口から冷媒をロータ翼部に噴射することでロータが回転し、その後で冷媒はタービン側面の出口から排気する。

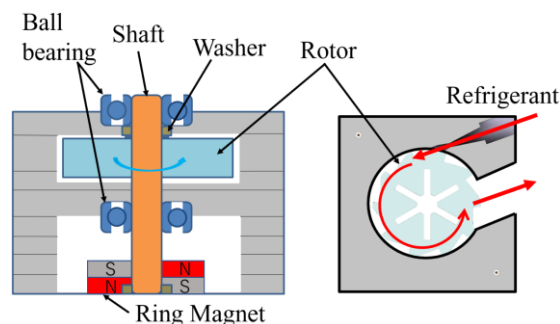


Figure 1. The schematic diagrams of air turbine

2. 2. 閉鎖系 MEMS タービン装置の概要・実験

Figure 2 に閉鎖系 MEMS タービン装置の概要図を示す。この装置は閉鎖系で冷媒を MEMS タービンに噴射してロータを回転させる装置である。流入側のシリンダーには沸点が 34°C の冷媒 (Novac7000) が入っており、50°C まで加熱したお湯で温めることで気化させ圧力を高めておく。ベルジャー内を真空引きした後に、流入側から冷媒をタービン内に噴射して、タービンを回転させる。回転の確認はホール素子を MEMS タービンの磁石下部に設置することで行う。ホール素子は低電圧源により電圧を印加し、回転波形はオシロスコープにより測定を行う。その後には氷水に含浸させ冷やした回収シリンダーで冷媒を冷やし、液化させて回収する。また、それぞれのシリンダー外部の温度、質量、ゲージ圧力を実験前と実験後で測定する。

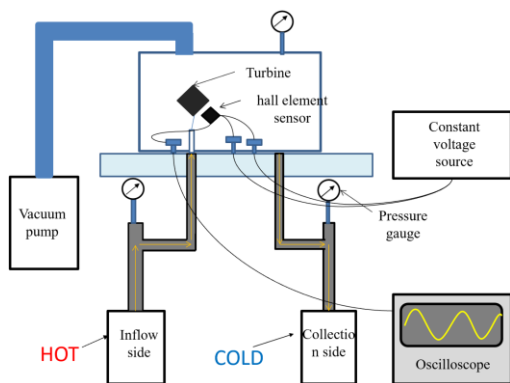


Figure 2. Closed system MEMS turbine equipment

3. 結果・考察

Table 1 に流入側, Table 2 に回収側の測定結果を示す。Figure 3 はオシロスコープで観察したホール素子の出力波形である。Table 1 と Figure 3 から流入側シリンダーから冷媒が噴射され、MEMS タービンを回転させられたことがわかる。また、流入した冷媒はタービンの排気口から排出する際に気液二相を示していた。しかし Table 2 から回収側シリンダーの重さが実験前と後で一切変わっていないことから、測定側のシリンダーには冷媒が回収されていないことがわかった。タービンから排気され、回収されなかった冷媒はステージの表面に液相の状態が残っていた。これは流入側ボンベからタービンまでの配管を冷媒が流れる最中に冷やされ、タービンに届くころに液体になり、タービンを回転させた後ステージ上に残留した冷媒は蒸発してステージの表面を冷やす。その後でタービンから出てきた冷媒はステージ上の温度が低いため、蒸発できず液体のままステージ上に残り続けたことが冷媒が回収されない

原因であると考えられた。タービンを回転させた冷媒を回収するためには流入側の配管とベルジャー、ステージを温めることで、冷媒は回収シリンダー内だけで冷やされて液体になるので回収が可能となると考えられる。

Table 1. Measurement result of Inflow side

Inflow side	weight[g]	Gauge Pressure[MPa]	temperature[°C]
Before the experiment	1224	0.06	49.8
After the experiment	1207	0.05	50.2

Table 2. Measurement result of Collection side

Collection side	weight[g]	Gauge Pressure[MPa]	temperature[°C]
Before the experiment	1039	-0.08	1.6
After the experiment	1039	0.00	1.3

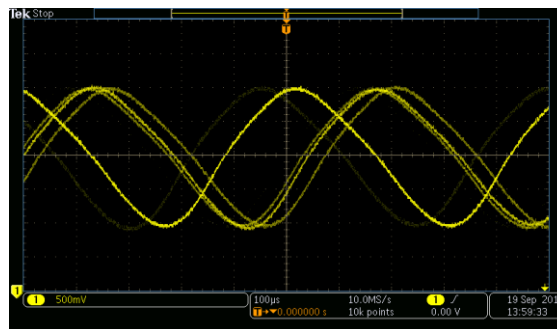


Figure 3. Oscilloscope screen

4. まとめ

小型ランキンサイクル発電システムを開発するために、閉鎖系で MEMS タービン発電機に冷媒を流入し回転させる実験を行い、タービンの回転が確認できた。しかし回収シリンダー内部には冷媒が回収されず、実験装置のステージ表面に液相の冷媒が残った。これは流入側の配管部で冷媒が冷やされたこと、ステージ上の温度の低下が考えられ、今後は回収シリンダー以外の温度を気化する 34°C 以上に保つことで冷媒の回収実験を行う。

5. 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, pp.1-7, 2017