

廃熱エネルギーを利用する小型発電機のポンプに代わる MEMS テスラバルブ

MEMS Tesla Valve Replaces Pump in Small Generator Utilize Waste Heat Energy

○仁木 雄哉¹, 小林 祐也², 武田 健嗣³, 栗飯原 萌⁴, 金子 美泉⁴, 内木場 文男⁴

*Yuya Niki¹, Yuya Kobayashi², Kenji Takeda³, Megumi Aibara⁴, Minami Kaneko⁴, Fumio Uchikoba⁴

Abstract: A Tesla valve functioning a pump for a miniature generation system is designed and fabricated by the MEMS process. The designed MEMS valves had micro scale channel width. The maximum dimension error in the fabricated micro channel width was $8.03\mu\text{m}$ and the minimum was $3.53\mu\text{m}$, respectively. In the future work, the fabricated Tesla valves will be compared a performance when inlet a low-boiling point material at each width channel.

1. はじめに

近年、センサ技術や通信技術の発展により、センサや通信デバイスの小型化及び低コスト化が進んでいる。これにより、複数のモノ同士がインターネットを通じて、情報・制御のやりとりをする IoT (Internet of Things) 化が急速に進んだ。IoT デバイスは、リチウムイオン二次電池を駆動用電源に多く用いている。リチウムイオン二次電池は、高電圧、高容量、高エネルギー密度、長寿命だが、点検や交換など電池メンテナンスの必要がある。そのため、運用の手間やコストが増大してしまう。そこで、IoT デバイスの電源として小型発電機が求められている。その中でも特に、環境エネルギーを利用し発電する、エネルギーハーベスティング発電機への研究が注目されている。IoT デバイスにおいて、環境エネルギーで発電を行えるようになれば、交換作業等の課題が解決されると考えられる。

そこで、我々は低温度滞の廃熱を利用して発電することのできる、オーガニックランキンサイクル(ORC)発電機に着目した。ランキンサイクルが作動流体に水を用いるのに対し、ORC は低沸点媒体を作動流体に用いる。これにより、水よりも低い温度で、発電可能となる。場に出ているものはメートルサイズであり、IoT デバイスの電源のためにはセンチメートルスケールのシステムの開発が必要になる。これまで我々は小型 ORC 発電システムの開発を行ってきた。機械部品の作製には、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程を用いた。タービンを開発し、また、セラミック系磁気回路を組み合わることでミリメートルスケールを実現してきた^[1]。しかし、小型 ORC 発電システムの実現において、作動流体をタンクからボイラに逆流せずに運ぶことのできるポンプの小型化が重要である。本稿では、ORC の構造において給水ポンプと逆止弁の役割を担う MEMS テスラバルブの設計を行った。

2. MEMS テスラバルブのコンセプト及び設計

2-1. 小型 ORC 発電システムのコンセプト

本研究の最終的な目標はセンチメートルスケールの小型 ORC 発電システムの開発である。Figure 1 に目標とするシステムの概略図を示す。ORC 発電システムはタービン、発電部 (磁気回路)、タンク、給水ポンプ、蒸気ボイラ、熱交換及び流路からなる。流体の作動流体を流し、ボイラによって気化した作動流体の逆流を防止する給水ポンプの役割をもつテスラバルブを MEMS 工程を用いて作製することで、小型発電機のミリメートルスケールにおける作動流体の循環を可能にする。

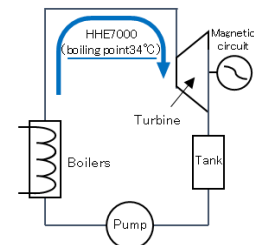


Figure 1. Schematic illustration of miniature organic Rankine cycle generation system

2-2. テスラバルブの原理

テスラバルブは、バルブ内流路形状の効果により、順流と逆流間で圧力損失差を設けることで流れに指向性を持たせた非可動式バルブの一種である^[2]。しずく型のループを連結させることで、順方向に対してスムーズに流体が流れ、逆方向に対してはしずく型のループが逆止弁の働きをし、流れを防止している。

2-3. MEMS テスラバルブの設計

テスラバルブの設計データを Figure 2 (①~④: ループ単体, ⑤: ループ連結) に示す。部品の作製には MEMS

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

工程を用いる。流路パターンをシリコンウェハ表面に形成する。①～④のループ単体型は、外径の幅 6.0mm、奥行き 5.0mm に統一し、流路幅は①から④まで順に 100 μ m, 200 μ m, 300 μ m, 400 μ m, 深さは 200 μ m に統一したものと、流路幅と同じ深さのものを設計した。⑤のループ連結型は、流路幅 100 μ m, 200 μ m, 300 μ m, 400 μ m とした。ループの数は統一して 6 個で、形状も同じとした。また、外径の幅 6.3mm, 12.5mm, 18.8mm, 25.1mm, 奥行き 1.4mm, 2.8mm, 4.2mm, 5.6mm とし、深さは 200 μ m に統一したものと、流路幅と同じ深さを設計した。ループ単体のものを 8 つ、ループ連結のものを 8 つ、計 16 個のテスラバルブを設計した。これにより、ミリメートルスケールでの逆止弁及び流体を送る役割として、最適な流路形状を検証する。

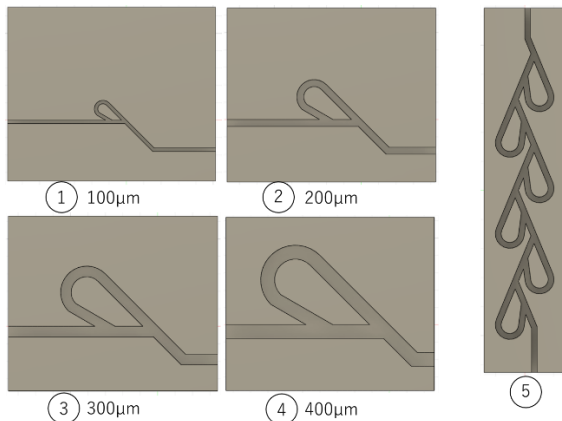


Figure 2. Tesla valve design data

3. MEMS テスラバルブの評価

Figure 2 のデータより、深さが 200 μ m のものと、深さが流路幅と同じ MEMS テスラバルブを製作した。製作した MEMS テスラバルブと設計寸法を比較した結果、流路幅の誤差は最大で 8.03 μ m, 最小で 3.53 μ m であった。底面の表面粗さは、深さが深くなるにつれて、荒くなった。製作した流路幅 200 μ m の MEMS テスラバルブについて、顕微鏡の観察結果とコンフォーカル顕微鏡による測定結果を Figure 3 に示す。

今後、製作した MEMS テスラバルブに、アクリル板をシアノアクリレート樹脂で接着し、作動流体として低沸点媒体を流入する。これより順方向と逆方向において流れの様子を目視で確認する。さらに流量を測定

することで流路幅の比較を行い最適化をおこなう。

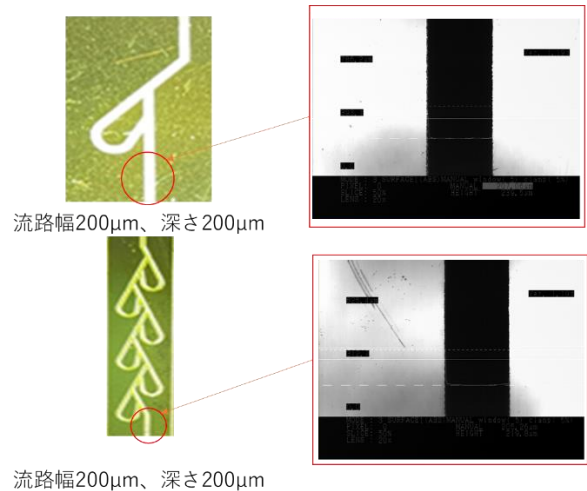


Figure 3. Measurement diagram of a MEMS Tesla valve with a flow path width of 200 μ m

4. まとめ

本研究では、廃熱エネルギーの利用を目的とした小型 ORC 発電システムのためのポンプおよび逆止弁の役割をもつ MEMS テスラバルブを設計した。作製した MEMS テスラバルブ流路は流路幅の寸法誤差で 3.53～8.03 μ m であった。今後は、テスラバルブの最適な流路幅の検討をし、タービンとテスラバルブの一体化を進める。

5. 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。

6. 参考文献

- [1] M. Kaneko, K. Mishima, K. Kudo, K. Ebisawa, K. Saito, F. Uchikoba: "Development of mountable electromagnetic induction type MEMS generator", Proc. 2018 International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference, pp.293-298, 2018
- [2] 今莊和也: 「テスラバルブ内流れの指向性向上に及ぼす流路形状の検討」, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, pp.1, 2009