

MEMS オーガニックランキンサイクルシステムの要素開発 Components Development for MEMS Organic Rankine Cycle Systems

○金子美泉¹, 河府賢治², 内木場文男¹*Minami Kaneko¹, Kenji Kofu², Fumio Uchikoba¹

Abstract: This research develops components for a MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) organic Rankine cycle power generation system as a miniature power source for IoT communication devices. The development of miniature power sources to replace batteries is crucial for IoT implementation. To miniaturize ORC power generation systems utilizing waste heat energy, MEMS process as a silicon microfabrication technology was employed. This paper reported the monolithic integration of key components - tanks, flow channels, and turbines - along with the miniaturization of the cooling system. These results demonstrate the effectiveness of MEMS processes and a silicon material for miniaturization of power source.

1. はじめに

IoT (Internet of Things) 化社会の到来から様々な機器が情報通信機能を持つようになった。これにより仕事の効率化やオンライン診療実現など、経済発展と地域格差解消が期待されている。IoT 化には小型遠隔デバイスが必要であり、センサー・通信素子を駆動する電源が必要となる。しかし、必ずしも電源供給がされる環境ではなく二次電池も利用されているが、今後 IoT 化の加速とともに交換作業の手間とコストが増大になるといえることから、小型電源の開発が急務となっている。

小型電源としてエネルギーハーベスティングの研究が盛んに行われているが出力電力は数 μW レベルが多く、遠隔デバイスの常時稼働には不向きである。また、シリコン微細加工技術である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程との相性の良さから振動発電が多く研究されている¹⁾が、安定した振動数が得られる環境は限られる。一方で、 100°C 以下の温度環境が近くにあるものは意外と多い。熱エネルギーを利用した発電ではゼーバック効果を用いたものが多く研究されている²⁾が、エネルギー効率の問題から発電量が小さいという課題がある。熱を利用した代表的な発電方法であるランキンサイクルは発電量が期待できるが高温の熱源が必要になる。そこで、低沸点媒体により 300°C 以下の低品位な熱源を利用可能にしたオーガニックランキンサイクル (ORC) がすでに市販されているが、メートルスケールと IoT 機器に対しては未だ大きい。

そこで我々は小型化技術と ORC システムを組み合わせ、 100°C 程度の排熱エネルギーで発電可能な MEMS 発電システムの開発を提案している。令和 5 年度理工学研究所プロジェクト研究助成では小型 ORC 発電シ

ステムにおける要素開発を行ったことから、その成果報告を行う。

2. 小型 ORC 発電システムと各要素設計

Fig. 1 に ORC の模式図を示す。本報告では要素開発としてタンク・タービン・流路を含むシステムのモノリシック化と低背化、小型冷却システムの開発を行った。Fig. 2 にモノリシック構造の模式図と作製結果、Fig. 3 に小型冷却システムの模式図と作製結果を示す。モノリシック構造では全体の大きさを $24.8\text{mm} \times 14.5\text{mm}$ とし、タンク、流入流路・流出流路、タービンを内蔵した。小型冷却システムは駆動源のいらぬ熱拡散部品であるペーパーチャンバーをオールシリコンで設計・作製を行い、ミリメートルスケールを実現した。作製した微細部品はすべてシリコンの単結晶であり、MEMS 工程で作製した。作製したそれぞれの構造について評価を行った。

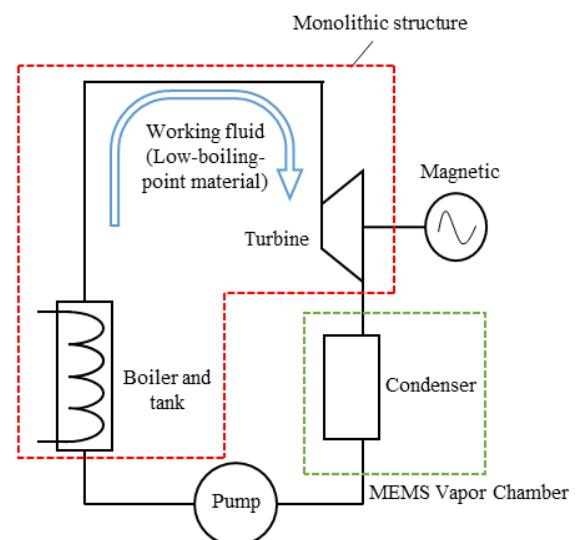
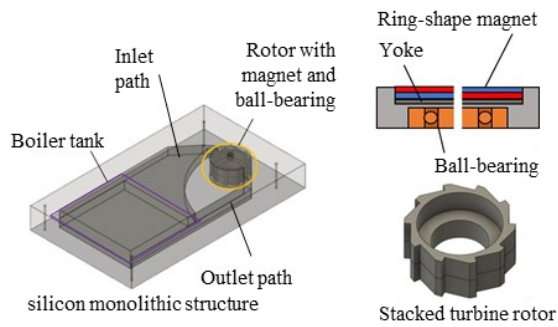
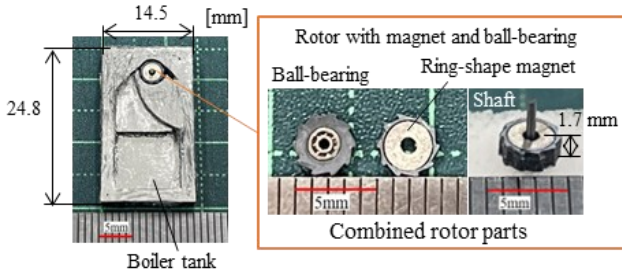


Figure 1. Organic Rankine cycle system

1: 日大理工・教員・精機 2: 日大理工・教員・機械

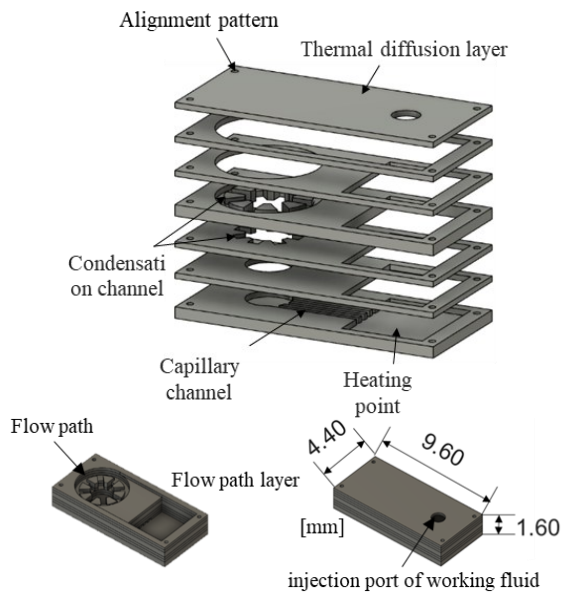


(a) Design of monolithic silicon structures

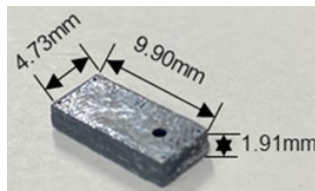


(b) Fabricated monolithic silicon structures

Figure 2. Monolithic structures



(a) Design of MEMS vapor chamber



(b) Fabricated MEMS vapor chamber

Figure 3. MEMS vapor chamber

3. 結果と考察

作製したシリコンモノリシック構造についてタービンの回転評価と流体の相変化の観察を行った。タービンの評価については外部に接続した低沸点媒体を加熱

し、流入することで評価を行った。その結果、低沸点媒体容器を 82.9°C で加熱したとき約 48,780rpm の回転を得られた。また、天板部をアクリル板にしたモノリシック構造のタンク部に低沸点媒体を流入し内部流体の挙動を観察した。室温 26°C で約 80°C の熱源から加熱したとき、タンク部の低沸点媒体の気相への変化とそれに伴う膨張による液相の移動が確認された。このことから、ORC システムのモノリシック化における MEMS 工程の有用性を示したといえる。しかし、ローター部に流入した流体は液相のままであったことから、逆流防止弁構造や流路形状の工夫が必要となることが明らかになった。

小型冷却システムは熱拡散部品であるため、低沸点媒体を流入し底部から加熱した際の放熱面の温度変化をサーモグラフィカメラにより観察を行った。放熱面での温度変化の様子が一定の周期で確認できたことから、内部流体が循環していることが確認できた。また、熱源に接触させてから 90 秒程度の昇温抑制が確認できた。一方で、シリコン部材の密封性や輻射熱の影響が明らかになった。

4. まとめ

IoT 用遠隔デバイスに利用可能な小型電源の開発を目標にシリコン微細加工技術を用いた ORC 発電システムの要素開発を行った。タンク・タービン・流路を含むモノリシック構造とベーパーチャンバーについてそれぞれ MEMS 工程にて設計・作製し小型化における可能性を示唆したといえる。

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、令和5年度日本大学理工学研究プロジェクト研究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. Marzencki, et. al.: "MEMS Vibration Energy Harvesting Devices with Passive Resonance Frequency Adaptation Capability," *J. of Microelectromechanical Systems*, Vol. 18, pp. 1444–1453, 2009
- [2] 武田雅敏: 「熱電薄膜を利用したフレキシブル熱電素子の開発: 低温排熱からの電力回収の可能性」, 日本機械学会第4回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, pp.37-38, 2012