

圧電素子を用いた超小型蒸発器の開発

Development of an Ultra-Compact Evaporator Using Piezoelectric Element

○阪本千紘¹, 仁木雄哉¹, 雪下統生², 内木場文男³, 金子美泉³

*Chihiro Sakamoto¹, Yuya Niki¹, Toui Yukisita², Fumio Uchikoba³, Minami Kaneko³

Abstract: The high integration of devices in electronic equipment has led to a decline in performance due to high temperatures. Conventional coolers are large in relation to the devices, and efficient local cooling methods have not been established. Therefore, an evaporator of the refrigeration cycle will be simplified by using piezoelectric vibration. In this study, the various frequency applied to the piezoelectric element and investigated the relationship between the frequency and temperature change. As a result, an average cooling effect of 2.7°C was obtained at an applied frequency of 4.9 kHz.

1. 緒言

現在、電子機器は内部の素子等の高集積化が進んでいる。それに加え、性能向上により高温になりやすく高温化による能力低下が課題となっている。電子機器類は適正温度を超える温度範囲では、動作が遅くなるといった不具合や、熱による変形素子の破損などといった問題が生じる。これらの問題を防ぐためには、電子機器内部を局所的に冷却できるような小型クーラーの開発が必要である。現在 CPU の冷却には放熱による、機器全体を冷却する方法が用いられているが、基板の熱源を局所的に冷却できるほど小型かつ大きい冷却効果を得られるような冷却システムは確立されていない。

現在小さい範囲を冷却するためのクーラーとして開発されているものには超小型ペルチェ素子^[1]やシリコン製マイクロ流体ヒートシンク^[2]などがあるが、熱源の局所冷却を目的としてはいない。また、電子基板全体を冷やすことで冷却を行う方法であることになりはならず、より大きい冷却効果を得られる方法を検討する必要がある。

そこで我々は大きい冷却効果を得られる、冷蔵庫やエアコン等に用いられている冷凍サイクルシステムに注目した。このシステムは多くの機械的要素を必要とし、小型化が困難であった。そこで、我々は圧電素子の振動を用いて、蒸発器と膨張弁に相当する要素の開発を行い、冷凍サイクルの簡略化を試みた。これまでの研究で、圧電素子の振動を用いて冷媒を霧化し、短時間で冷却できることを明らかにした^[3]。しかし、冷却効果を得られる最適な条件は明らかになっていない。本研究では、圧電素子の周波数と温度変化の関係を調べ最適な条件を明らかにすることを目的とした。

2. 超小型蒸発器の設計

本研究は圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器から構成される冷凍サイクルを基本としている。冷凍原理としては、蒸発器で媒体が液相から気相へ相変化する際の潜熱を用いて、周囲を冷却する。

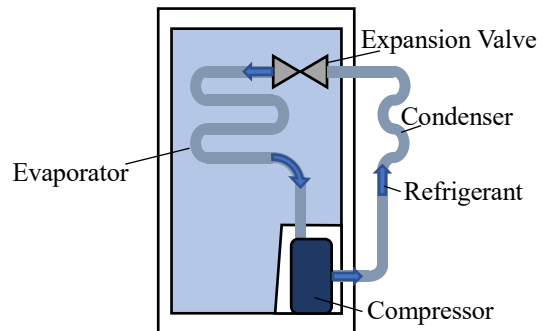


Figure 1. Diagram of refrigeration cycle

Figure 2 に設計した蒸発器を示す。冷媒を霧状に変化させるためにユニモルフ型の圧電素子を用いる。直径 14 mm、高さ 8 mm の樹脂ケースの底に圧電素子を設置し、低沸点媒体を充填する。素子に電圧を印加することで圧電素子の振動を発生させ、その振動により媒体を霧状に変化させる。これにより、霧化した媒体は振動を加えない状態よりも表面積が増加し、蒸発が促される。蒸発潜熱を利用して冷却を行う上で、効率よく冷却を行うことができると考えられる。また、蒸発器の上部に熱伝導率のよい筒状のアルミを設置し、蓋としてその上にアルミ板を設置する。

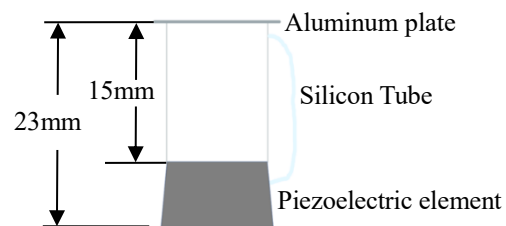


Figure 2. Diagram of micro evaporator

3. 実験

次のような実験を行う。最初に、圧電素子の振動が与える影響を確認するために蒸発器に0.25mlの冷媒を入れ、振動を加えずに2分間放置し温度の測定を行う。次に圧電素子の周波数と温度変化の関係を調べるために、もう1つの実験として、ファンクションジェネレータで圧電素子に周波数を2.0kHzから8.0kHzの間で、0.1kHzずつ変化させて印加する。このときの電圧は10Vp-pに統一する。室温(約20°Cから22°Cの時)でのアルミ板の温度変化の測定を行う。測定では各周波数2回ずつ行い、平均値を算出する。本実験では冷媒として、オゾン層破壊係数0、沸点34°C、地球温暖化係数が530のNovec™7000(3M)を利用する。

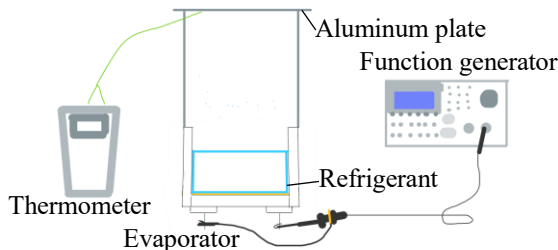


Figure 3. Diagram of experimental equipment

4. 実験結果

振動を加えずに温度変化を測定した実験では、2分間での温度変化は1.2°Cであった。また圧電素子に印加する周波数[kHz]と温度変化[°C]の関係の結果を、Figure 4に示す。

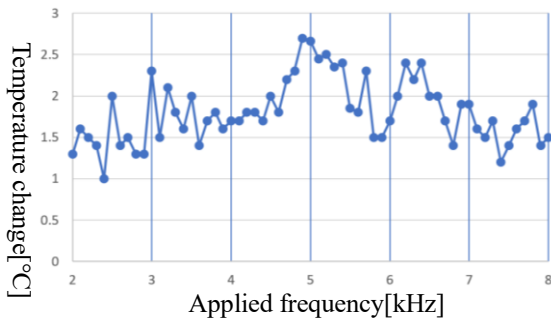


Figure 4. Amount of temperature change

冷媒を充填する前の圧電素子の共振周波数は4.9kHzであった。Figure 4に示すグラフより、圧電素子は共振周波数4.9kHzで振動させたときに一番冷却効果が大きく、平均で2.7°C程度の冷却効果を得られることがわかった。また、測定結果については周波数ごとに各2回実験を行い、それぞれ大きく測定値がずれることはなかったことから、再現性についても確認がとれた。以上のことから、圧電素子の振動を与えなかったときよりも振動を与えたときのほうが1.5°C温度が低くなっ

たことが明らかになった。

5. 考察

圧電素子の振動を与えたときと振動を与えなかった場合を比較して、冷却効果は最大1.5°Cの違いがあった。このことから圧電素子の振動は冷却に有効であると言える。また印加振動数により冷却効果に変化がみられたため、圧電素子の振動による冷却効果は、共振周波数や振幅に左右されると考えられる。冷媒を充填すると質量が変わるため、共振周波数が影響を受けると考えられるため、今後はさらに共振モードや振動の解析等を行う。これより一番大きい冷却結果を得られる条件を明らかにし、クーラーを改良していく必要があると考える。

6. 結言

圧電素子に印加する周波数を2kHzから8kHzの間で0.1kHzずつ変化させる実験により、印加周波数4.9kHzのとき平均2.7°Cの冷却効果が得られた。さらに、振動を加えなかった場合に対して、最大で1.5°Cの冷却温度の差があった。このことから圧電素子の振動を用いた小型冷却器の実現可能性が示唆された。今後は振動やモード解析により、さらに冷却効果の高い蒸発器を開発する。

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、科研費21K14214.の一部の助成を受けたものである。

8. 参考文献

- [1] 山本晃祐, ほか, “超小型ペルチェ素子の開発”, マイクロメカトロニクス日本時計学会誌] VQL48 No.1, 2003年
- [2] L. Zhang, et al, “High Heat Flux Removal Using Optimized Microchannel Heat Sink”, 24th INTERNATIONAL WORKSHOP, THERMINIC, 2018
- [3] 阪本 千紘, ほか: 「圧電素子を用いたマイクロクーラーの開発」, MES2022 マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, pp99-102, 2022年.