

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：奨励研究

研究期間：2020～2020

課題番号：20H01169

研究課題名 ゼーベック効果を利用した低温流体用熱交換器の改良

研究代表者

多田 康平 (Tada, Kohei)

京都大学・工学研究科・技術職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 410,000 円

研究成果の概要：低温ガスが多量に流れる熱交換器では、それ自体が凍りつくことで熱交換の効率が低下してしまう。この問題を解決するため、必要に応じて電熱線での加熱を自動で入切できる、外部電源を使用しない熱交換器加熱システムを開発することを最終目標とした。低温ガスと外気との温度差からゼーベック効果により起電力を得て電熱線を稼働させれば、求めるようなシステムを開発できると考えた。実験ではモデルとして、金属容器に液化窒素を溜め、容器外表面にペルチェ素子を貼り付け、温度差から生じる起電力を測定した。ペルチェ素子の個数や接続・設置方法を工夫すれば、ゼーベック効果を用いて目標とするシステムを開発できる可能性を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ペルチェ素子を用いたゼーベック効果による発電は、発電それ自身は温度差のみで行うことができクリーンである、可動部分がなく振動・騒音・疲労破壊といった心配がない、電気配線のみで取り扱いが容易、一般に小型・軽量である、といった多くの利点がある。本研究はまだ試行段階ではあるが、ゼーベック効果による発電をインフラ等へ応用する一例を示すことができたのではないかと考えている。

研究分野：低温工学および関連分野

キーワード：熱交換器 ペルチェ素子 ゼーベック効果 極低温寒剤

1. 研究の目的

液化ヘリウムや液化窒素といった極低温寒剤の蒸発ガスを加温するための熱交換器は、大学等の研究機関において、しばしば用いられている。その主な目的は以下の2つが挙げられる。

- (1) 酸素欠乏雰囲気下での化学合成等のために、液化窒素を蒸発させたのち熱交換器でガスを加温することで常温の窒素ガスを得る目的。
- (2) 寒剤使用量の推定のために蒸発ガス量をガスメータで測定する際、ガスメータを凍らせたりガス量を誤って測定したりしないために、ガスメータ上流に熱交換器を設置してあらかじめ蒸発ガスを加温する目的。

通常の熱交換器はステンレスやアルミニウムなどの金属配管で製作され、その壁面を通じて、内側を流れる低温ガスに外気の熱を伝え加温する仕組みである。しかし、極低温の蒸発ガスが多量に流れる場合には、熱交換器外表面に外気中の水分が凍りつき、熱交換の効率を低下させる問題が生じる。熱交換器を電熱線等で加熱すればこの問題を解決できると考えられるが、人が電源を入切するなど手間が増えれば使いやすい加熱システムとはいえず、また、外部電源が必要なシステムであれば屋外など電源を取れない場所に設置された熱交換器には利用できない、といった課題がある。

上記の課題を解決するために、低温ガスが流れるときには自動的に熱交換器を加熱し、加熱の必要がなくなれば自動的に加熱を止めるような、外部電源を使用しない、熱交換器加熱システムを開発することを研究の最終的な目標に設定した。この目標を達成するため、ペルチェ素子を利用することを考えた。ペルチェ素子は、p型とn型の半導体を交互に連結して板状にしたもので、両面に温度差を与えるとゼーベック効果により起電力を生じるものである。このゼーベック効果を利用すれば、求めるようなシステムを開発することができるのではないかと考えた。本研究では、ゼーベック効果を利用した熱交換器加熱システムの開発が可能かどうかを検証することを目的とした。

2. 研究成果

想定しているゼーベック効果を利用した加熱システムの概要は以下に述べるようなものである。低温流体が流れる熱交換器外表面に市販のペルチェ素子の一方の面（以降、低温側と呼ぶ。）を接触させておく。ペルチェ素子の他方の面（以降、高温側と呼ぶ。）は、外気に露出した状態とする。また、この熱交換器外表面に市販の配管凍結防止用マイクロヒータを巻き付けておき、ペルチェ素子と電気的に接続しておく。配管内を低温ガスが流れ、ペルチェ素子の低温側と高温側に温度差が生じると、ゼーベック効果により起電力が生じ、マイクロヒータが稼働し、熱交換器を加熱する。これが「自動的に熱交換器を加熱した」状態である。配管内を流れるガスが低温でないとき、あるいはガスが流れていないときは、ペルチェ素子の低温側と高温側に温度差が生じないため、マイクロヒータは稼働せず、熱交換器を加熱しない。これが「自動的に熱交換器の加熱を停止している」状態である。

本研究では、熱交換器を構成する金属配管のモデルとして、ステンレス容器に液化窒素を溜め、容器外表面に市販のペルチェ素子を貼り付け、容器外表面（液化窒素温度）と外気（室温）との温度差からゼーベック効果で発生する起電力を測定した。その際、容器外表面とペルチェ素子の高温側の温度の時間変化を熱電対温度計で測定した。ペルチェ素子1個では、市販の配管凍結防止用マイクロヒータを稼働させるのに十分な起電力を得ることはできなかった。しかし、複数のペルチェ素子を直列に接続すると、個数におおよそ比例して起電力を増加できることを確認することができた。

ペルチェ素子の低温側の温度が素子内部を通して高温側に伝わることで、低温側と高温側との間の温度差が小さくなり、生じる起電力が低下してしまうということが、上記の実験の過程でわかった。この問題は、以下に述べる2つの方法で改善できると考えられ、今後取り組むべき課題である。

- (1) ペルチェ素子の高温側に表面積の大きなヒートシンクを取り付け、外気の熱を効率よく高温側に伝え、高温側の温度低下を緩和させる。
- (2) 複数のペルチェ素子を重ねて積層構造とする。例えば2層構造の場合、下層の低温側が金属容器に接触し、下層の高温側と上層の一方の面が接触、上層の他方の面は外気に露出しているとする。そうすれば、下層のペルチェ素子の高温側が温度低下しても、それにより上層のペルチェ素子の一方の面も温度低下し、上層のペルチェ素子の両面間に温度差が生じる。その結果、下層のペルチェ素子の起電力低下を上層のペルチェ素子の起電力増加が補償することにな

る。

以上、本研究では、上記の実験や考察を通じて、ゼーバック効果を用いることで最終目標とする熱交換器加熱システムを開発できる可能性を確認することができたといえる。

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------