

教材として利用可能な小スケール太陽熱発電装置の製作

返町 洋祐

(筑波大学 生命環境学群 生物資源学類)

1. 背景・目的

太陽熱発電は、太陽光のエネルギーを熱として利用する発電方法である。一般的には、鏡などを用いて光を集め、水や有機溶媒を沸騰させて得た蒸気で発電機タービンを回転させている。エネルギーの収集に使用される鏡は、太陽電池と比べ安価で頑強であるため、太陽光による大規模な発電において初期投資や運用コストが低減できると期待されている。また、火力発電などに用いられる発電機を利用可能であるので、既存の電力インフラとの相性が良いという利点もある。近年の再生可能エネルギー利用の機運の高まりから、諸外国での大規模実験プラントの建設が加速しており、国内でも東京工業大学の研究グループが実験を行っている。しかしながら、国内における世間一般での知名度は決して高くない。その理由は、身近に太陽熱発電の利用例が見られないことにあると考えられる。太陽電池の場合、住宅の屋根に設置されていたり玩具の電源になっていたりと目につく機会がとても多いが、太陽熱発電は稀にニュースで取り上げられる程度である。

本研究は、教材に利用できるような小型・安価・簡易的な構成の太陽熱発電装置の製作を目的とする。ここでいう教材とは自由研究などで使う科学玩具の類を指し、製作する装置は小中学生でも扱いやすいものを目指す。自然エネルギーを利用した発電装置でも、風力発電や太陽光発電は多数の教材が既に市販されていることとは対照的に、太陽熱発電の教材化は現在のところ未開拓である。前述した太陽光や風力のほか、燃料電池やバイオ燃料に関連した教材が年々増加していることを鑑みるに、教材用太陽熱発電装置にも一定の需要が存在すると期待される。



2. 方法と結果

2.1. 各部品の製作

2.1.1. 反射鏡 太陽熱発電では、効果的に光を利用するために集光する必要がある。児童生徒の自由研究等に使用できる装置の製作を目指している以上、価格は可能な限り低く抑えるべきである。市販の太陽炉は、数万円程度の高価なものが多かったため、自作を試みることとした。反射鏡の製作にあたっては、コストの観点から市販品を流用した。放物線に近い構造としてビニール傘を用い、ここへアルミ蒸着ビニールシートを貼り付けて反射鏡とした。また、調理用ボール（開口部直径 210 mm）や拡大鏡（直径 145 mm）を、集光に用いた実験も行った。

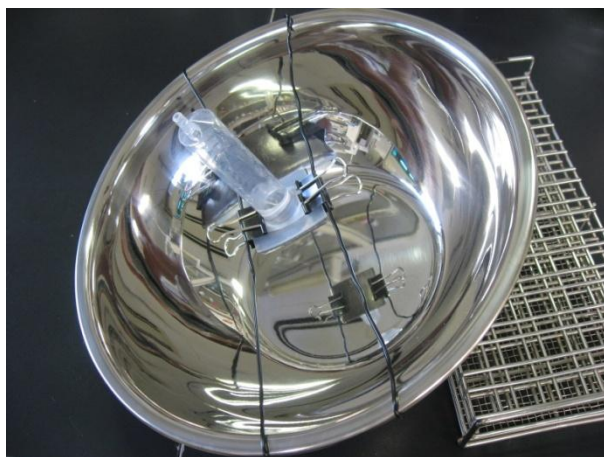


Fig. 1 使用した反射鏡

2.1.2. **ダイナモによる発電のための加熱容器** 光によって加熱され、水蒸気を発生させるための加熱容器は、ポリプロピレン製注射筒にヒートシンクまたは放熱用炭素板を組み合わせることで製作した。両者の間にシーリングとしてシリコーンリングを挟み込んだ。ヒートシンクには 30 ml 容、炭素板には 10 ml 容の注射筒を組み合わせる。ヒートシンクは、光が照射される凹凸面を黒色に染色して用いた。炭素板は、光が照射される面を荒い紙やすりで軽く研磨することにより、反射率を下げた。

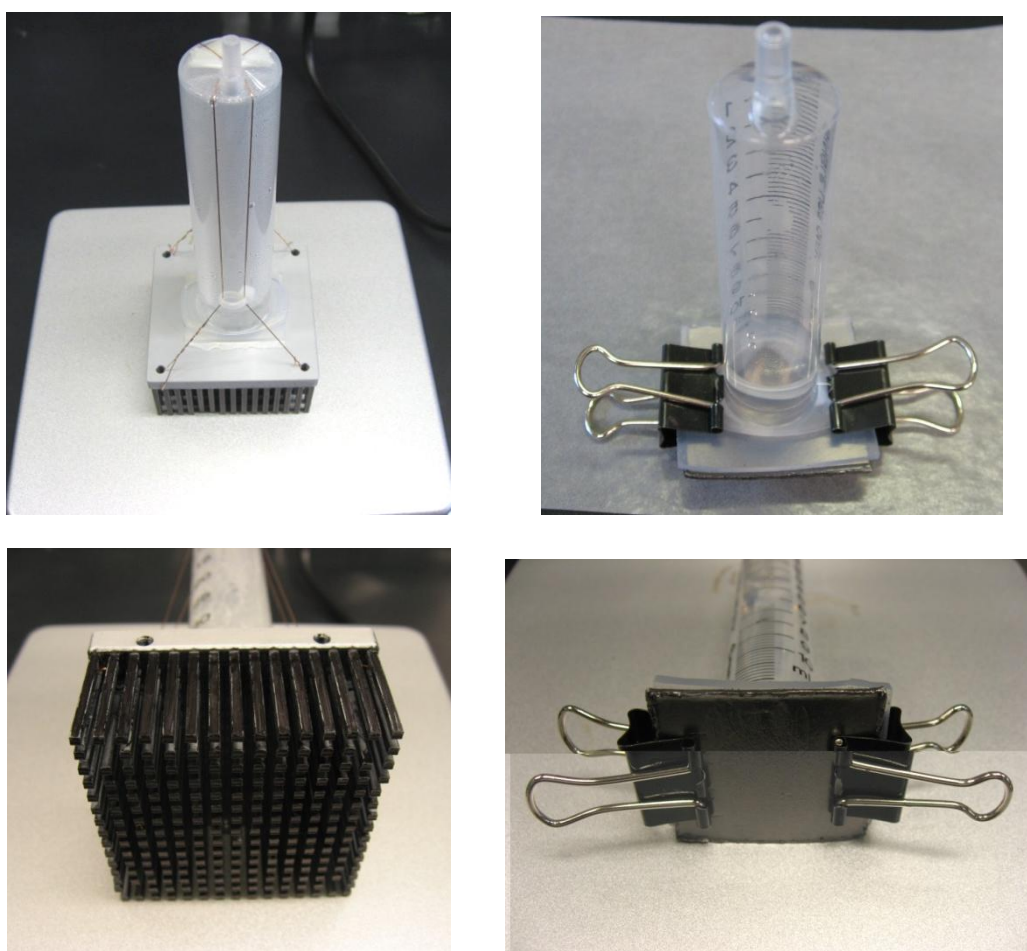


Fig. 2 製作した加熱容器

2.1.3. タービン部分の検討 太陽熱によって蒸気を発生させ、ダイナモを回転させることで発電する装置について、ダイナモ部分とタービン部分を検討した。製作する装置ではダイナモとして、太陽光電池用の小型モーター（定格電圧 2.0 V, 消費電流量 12 mA）のものを用いることとした。タービンは、安価な材料から手作業で作れることを条件として考え、次のようなものを考案・製作した。鉢などの下に敷く園芸用プラスチックネットを切り取り、折り曲げることによって、下図に示すようにタービンの骨格とした。1枚の羽根の長さは 4.5 cm、幅は 1 cm である。ここに羽となるメンディングテープを貼り付けた。さらに、効率を考慮して、先端 1 cm を 90° に折り曲げ、タービンを製作した。

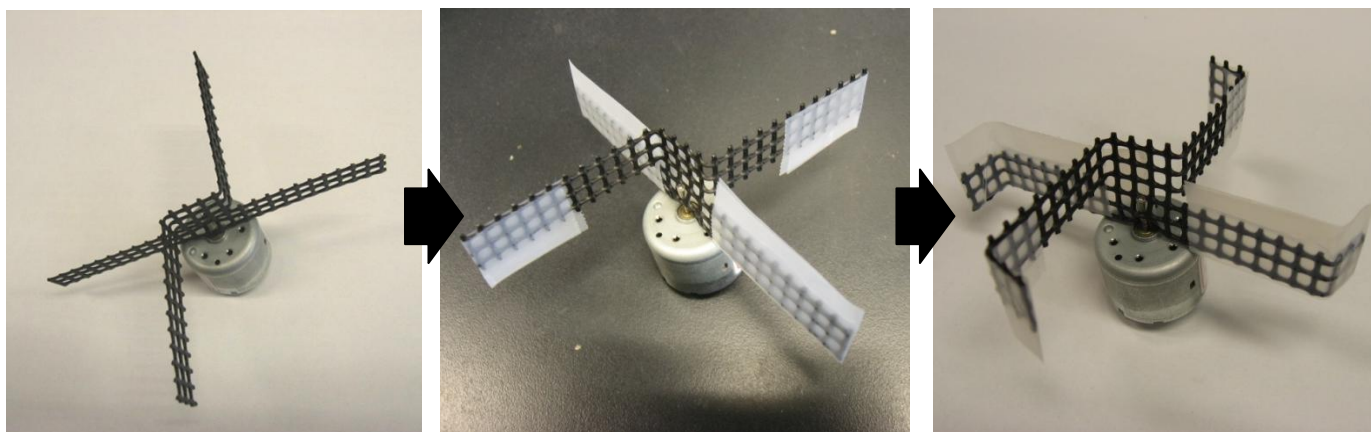


Fig. 3 タービン部分の製作順序

製作したタービンの評価と、蒸気の吹きつけ位置の決定のため、以下の実験を行った。毎分 20 L の排気量のエアポンプを用い、タービンを回転させた。このとき、排気の吹きつけ位置をモーターの軸から、タービンの回転円の接線に対して平行に 1~4 cm の範囲で変更し、それぞれの起電力と電流量を測定した。タービンは、末端を折り曲げる前のもの（I 字羽）と折り曲げた後のもの（L 字羽）を、それぞれ用いた。これらの結果から、蒸気の吹きつけ位置は、モーターの軸から 3 cm ずらした位置にすることに決定した。

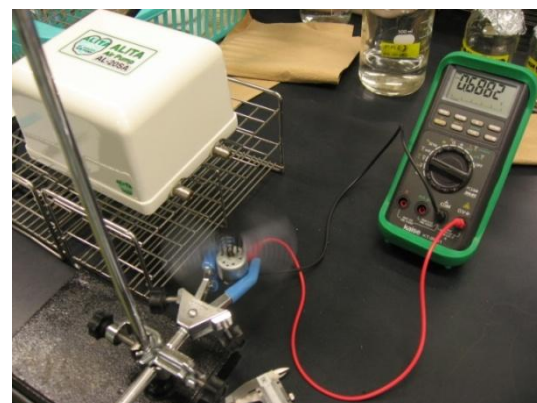


Fig. 4 測定の様子

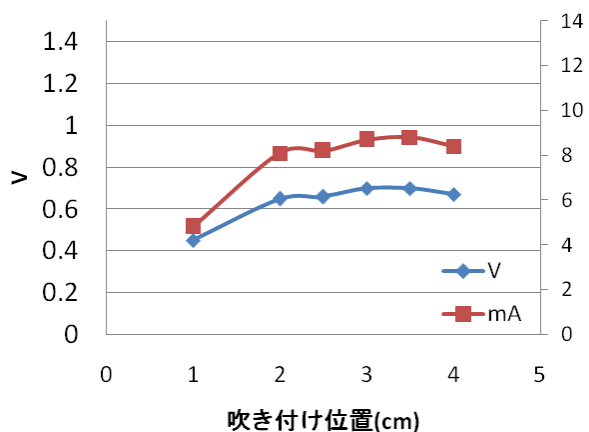


Fig. 5 I 字羽の測定値

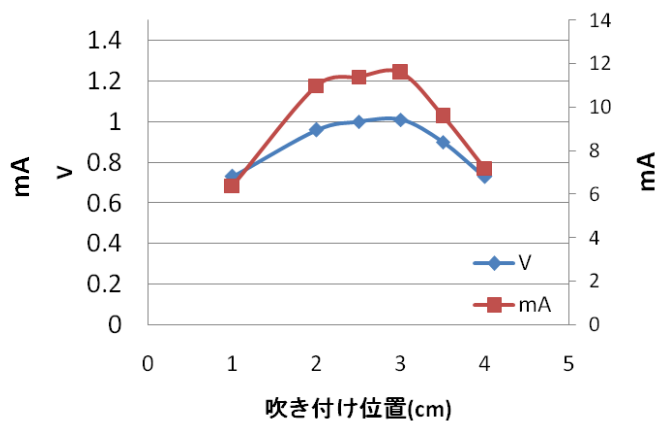


Fig. 6 L 字羽の測定値

2.1.4. 加熱容器の試験 ホットプレートを用いて加熱し、蒸気の発生と耐久性の確認を行った。加熱容器に精製水を入れ、これを沸騰させた。発生させた蒸気はシリコンチューブを通じてタービンに吹き付けられた。シリコンチューブの途中を圧搾することで圧力を調整した。ホットプレートの温度は 170℃とした。

加熱によって水は沸騰し、蒸気が発生したものの、タービンを回転させるだけの力は得られなかった。3時間にわたって加熱を行ったが、水漏れなどは無く、耐久性は高いことが示された。

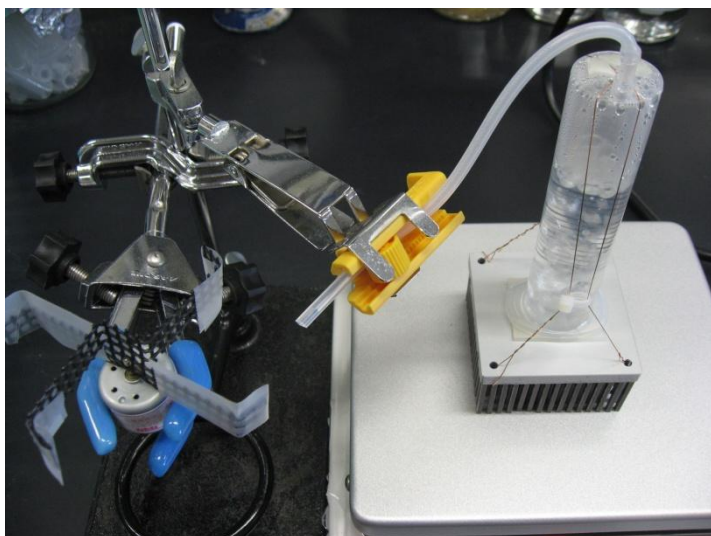


Fig. 7 蒸気の発生とタービンの回転試験

2.1.5. ペルチェ素子の発電特性の評価 ゼーベック効果による発電において要となるペルチェ素子の温度に対する発電量を評価した。ペルチェ素子は、ケニス株式会社より購入したものをを用いた。実験では、ペルチェ素子をヒーターとヒートシンクで挟み込み、ヒーターの温度に対する起電力や電流量の変化を測定した。室温は 25℃であったため、ペルチェ素子の裏表の温度差はヒーター温度から 25℃を差し引いた値である。測定においては、開回路電圧を起電力とし、電流量は無抵抗電流計のみを接続した際の値を用いた。

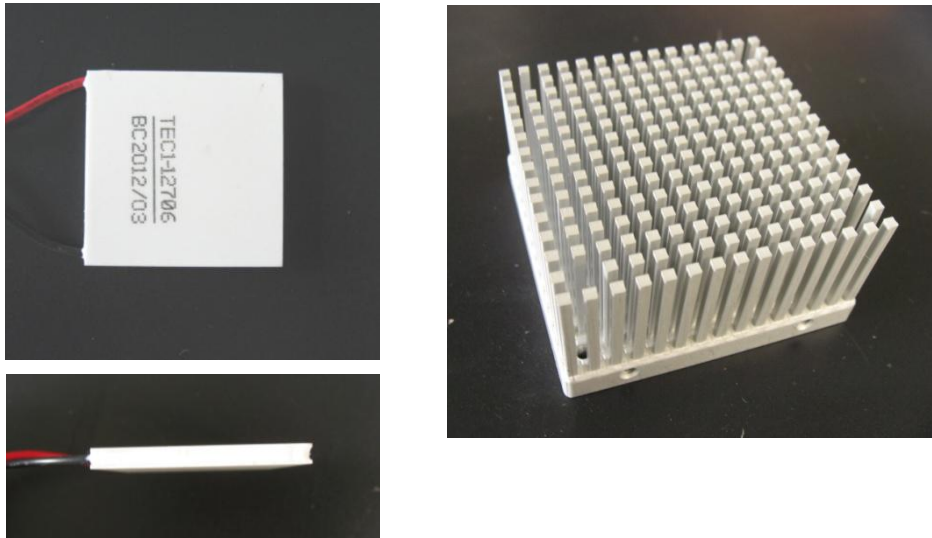


Fig. 8 ペルチェ素子 (左) とヒートシンク (右)

起電力と電流量は測定したヒーター温度 30~100℃の範囲で、温度差に対して直線的に
 応答した。

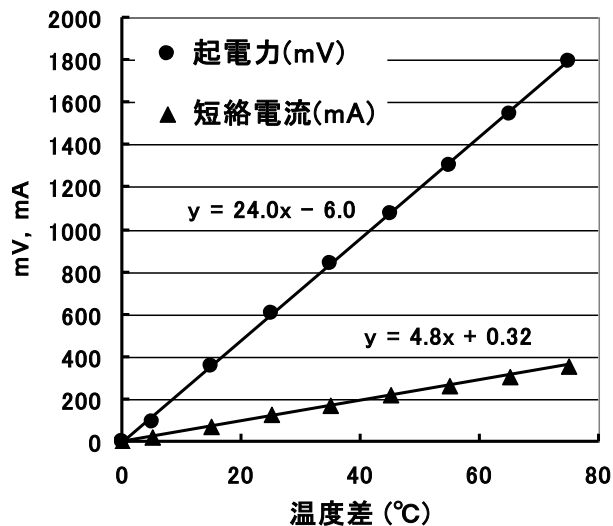


Fig. 9 ペルチェ素子の発電特性

2.1.6. ペルチェ素子を用いた発電装置 2枚のペルチェ素子を、1基のヒートシンクと1枚の炭素板で挟み込んだ構造とした。それぞれの部品は、熱伝導シリコンによって接続した。炭素板に光を集めることで生じた温度差によって発電する。

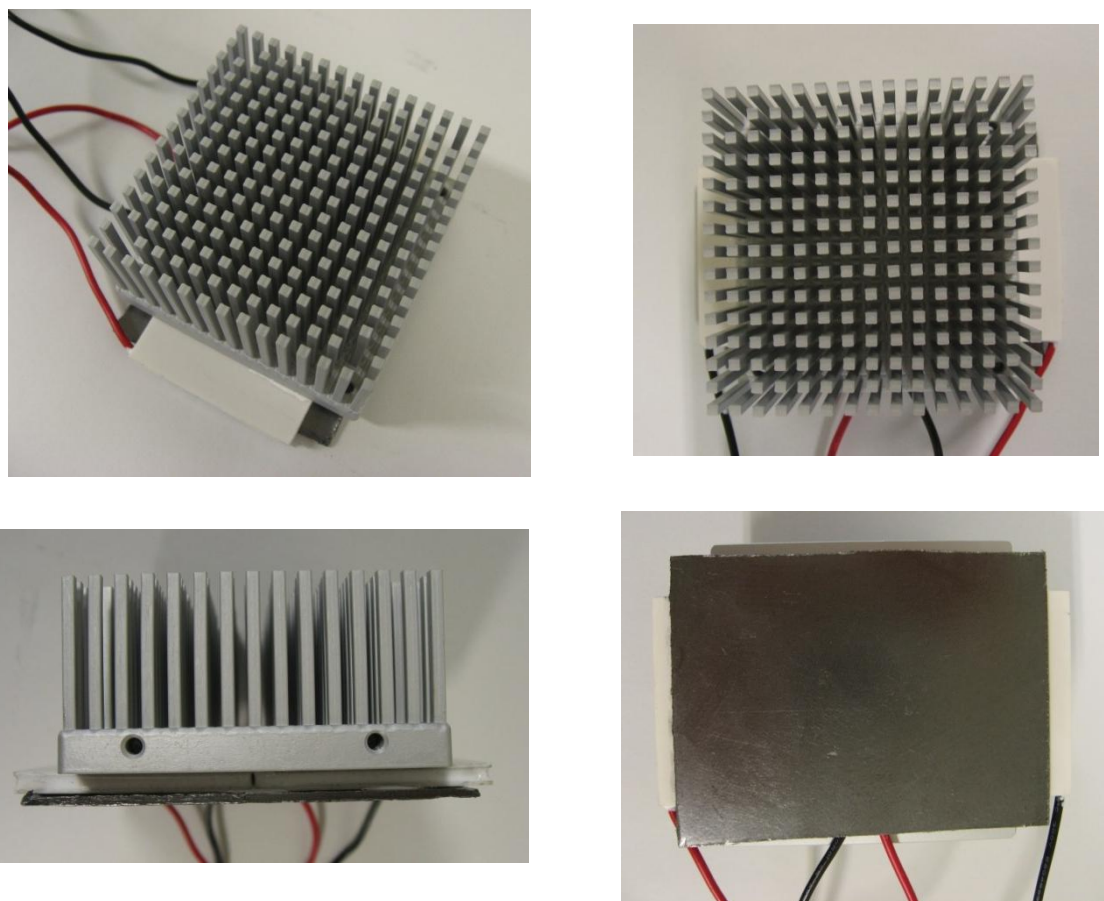


Fig. 10 ペルチェ素子を用いた発電装置

なお、ペルチェ素子と炭素板の間に水槽を設けた装置も試作したが、想定以上の熱損失や、加熱時に頻発する水漏れのため、実験用装置として採用しなかった。

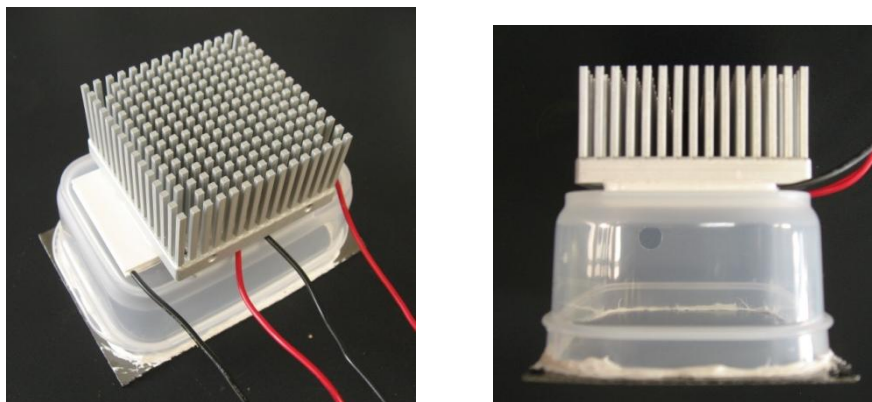


Fig. 11 使用されなかった発電装置の試作品

2.2. 発電実験

2.2.1. 水蒸気を用いたダイナモによる発電実験 拡大鏡を3枚用いることで、10 ml 注射筒を用いた加熱容器中の水 2 ml を3分で沸騰させることができた。ただし、タービンは回転させられず、発電は行えなかった。鏡の集光効率も課題であり、実質的に使用できたのは拡大鏡のみであった。



Fig. 12 加熱容器への集光の様子

2.2.2. ゼーベック効果による発電実験 拡大鏡を1枚用いて発電装置を加熱した。実験時の気温は10℃であった。はじめに出力の測定を行った。発電装置の2枚のペルチェ素子を直列に接続し、ここに1 kΩの外部抵抗を組み込んだ回路を構成した。この抵抗の両端の電位差を計測し、出力の測定とした。光を照射し始めた時点を0秒とし、データロガーを用いて10秒毎に値を記録した。その結果、60～70秒で最高値に到達し、その後は横ばいであった。

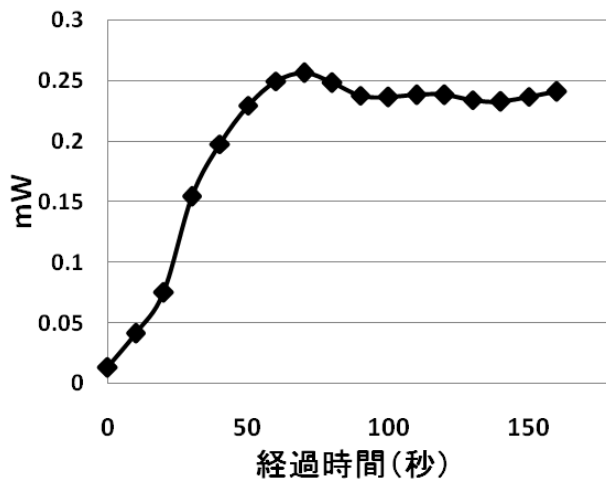


Fig. 14 光照射による発電量の推移

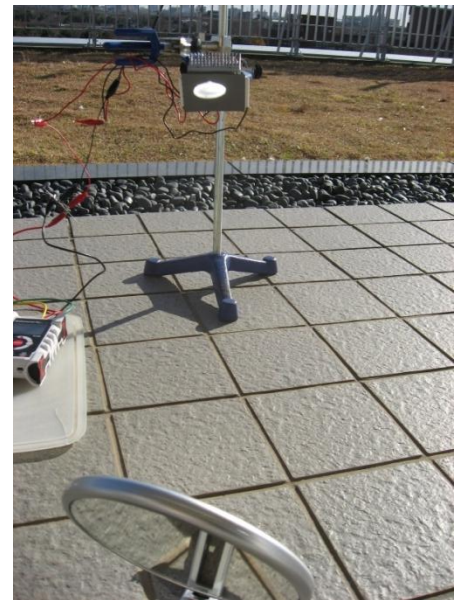


Fig. 13 ゼーベック効果による発電の様子

小型モーターに発電装置から電力を供給し、回転させることができた。

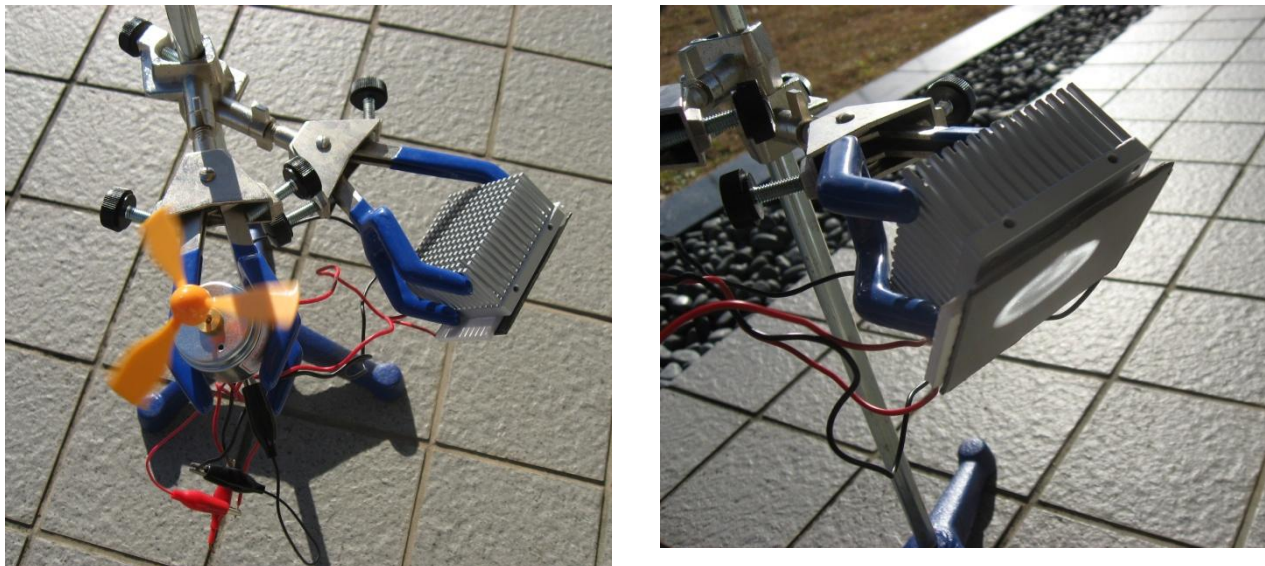


Fig. 15 ペルチェ素子を用いた発電装置によるモーターの駆動

3. 総括

本研究では、小中学生の自由研究などにおける教材として利用可能な太陽熱発電装置を目指し、特に低コストであることに重きをおいて開発を行った。

水を沸騰させて得た蒸気でダイナモを回転させるものと、ゼーベック効果によって温度差から発電するものの 2 種類を計画したが、実現できたのは後者のみであった。前者については、蒸気を発生させる段階までは到達したが、タービンを回転させられるだけのエネルギーを得ることができなかった。ただし、前者は教材としての新奇性がより高いため、機会があれば改良品の開発を行いたい。

ゼーベック効果による発電では、モーターを回転させることができたと共に、価格は発電装置と鏡を合わせて約 4,000 円であったので、教材として最低限の利用は可能であると考えている。ゼーベック効果では、温度差に応じて発電量が得られるので、児童生徒が様々な鏡を自作して比較実験を行う、といった教材利用も想定できる。

4. 謝辞

本研究は、株式会社 八光電機からの助成金によって実施されたものです。熱の実験コンテストでの実験実施テーマとして、本研究をお選びくださいました社員の皆様方、殊にコンテスト事務局の上原明 様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。