

自動化電力置換法による吸収放射束の測定とその特性評価

齋藤研究室 1416228 三上将輝

1. 背景と目的

現在、様々な種類の太陽電池が開発されており、それらの太陽電池を評価するうえで重要なものとしてエネルギー変換効率がある。

太陽電池の外部/内部エネルギー変換効率は、入射放射束/吸収放射束に対する発生電力の比として定義され、電力は容易に測定できる一方で、波長範囲の広い放射束の測定は容易ではない。

当研究室では、太陽光発電パネル自体が放射束を吸収した結果発生する熱出力を電力で置換する事により吸収放射束を測定できる方法を開発し、電力置換を負帰還回路により自動化するシステムを開発した。

本研究では吸収放射束を測定するためそのシステムの性能向上を図ることに加えシステムを用いて特性評価することを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、光吸収の結果生じる熱パワーを、暗中の電力で置換することによって評価する。光による加熱と電氣的加熱の条件の差を小さくするため、面ヒータとして太陽電池に加え、新たな試みとしてカーボンナノチューブ織物状発熱体の表面に黒色塗料を塗布したものを使用した。

以下の2つの方式を用いて実験を行った。

- ・カーボンナノチューブ織物状発熱体をヒータとし、温度センサーを別個にして熱的に結合する方式
- ・太陽電池をヒータとし、温度センサーを別個にして熱的に結合する方式

小型の太陽電池とカーボンナノチューブ織物状発熱体を小型に加工したものを用意し、裏側に温度センサーとして白金抵抗測温帯を貼り付けた。これを、透明窓を持つペルチェ素子を用いた恒温容器に入れ、透明窓を通してLED光で照らしそれぞれ測定を行なった。測定時は恒温容器を暗中に置き、光入射時に予想される吸収パワーを少し上回る程度の加熱電力となるように可変抵抗を設定し、熱平衡状態になるまで待つ。熱平衡状態になったらLEDを点灯し平衡状態になるまで待つ。最後にLEDを消灯して再び平衡状態になるまで待ち、データ収集を行なった。

2.1. カーボンナノチューブ織物状発熱体をヒータとし、温度センサーを別個にして熱的に結合する方式

実際に使用した回路図を図1に、受光部のカーボンナノチューブ織物状発熱体の写真を図2に示す。

本回路は次のように動作する。受光部で光を吸収→受光部の温度上昇→受光部と熱的に結合し

てある温度センサー(Pt1000)の抵抗値増加→OPアンプ反転入力電位上昇→OPアンプ出力電位低下→面ヒータ受光部の熱出力減少。

このように初めの変化を打ち消す方向に動作し常に温度一定を保つ。つまり、光が入射している状態(明状態)から、光を遮った状態(暗状態)にすると温度が下がろうとするが、本回路は自動的にカーボンナノチューブ織物状発熱体へ通電してヒータとして動作し、光照射時の温度と同等になるよう電力を調整する。このようにして通電加熱する電力をフィードバック回路によって熱を電力で置換する。その電力が吸収した放射束として求められる。

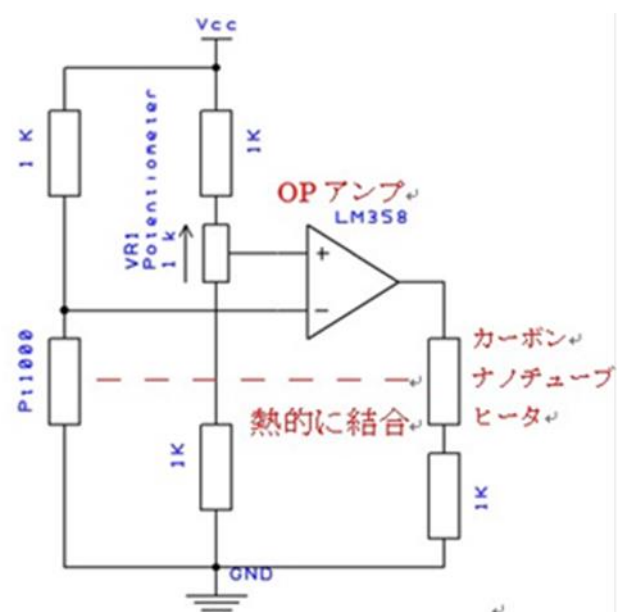


図1 カーボンナノチューブ織物状発熱体と温度センサーPt1000を別個にし、熱的に結合した負帰還回路図

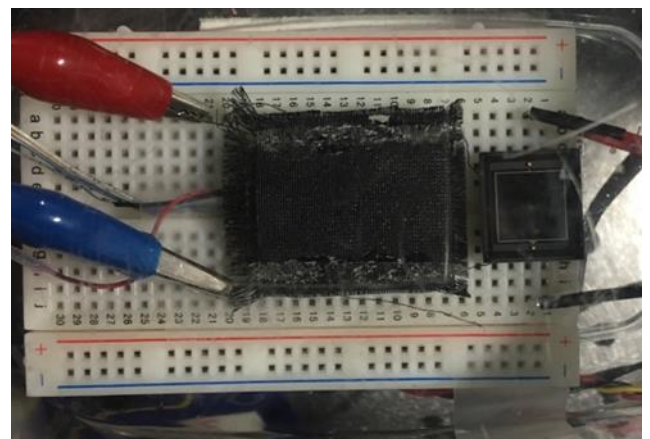


図2 右が検証用フォトダイオード、左がカーボンナノチューブ織物状発熱体

2.2. 太陽電池をヒータとし、温度センサーを別個にして熱的に結合する方式

図1の回路図において、カーボンナノチューブ織物状発熱体の代わりに太陽電池を用いる実験も行った。ただし、このときは、より精密な調整ができるように、可変抵抗器の抵抗は5 k Ω にし、その両端に直列に接続した抵抗を1 k Ω から20 k Ω に変更した。

3. 結果と考察

3.1. ヒータとしてカーボンナノチューブ織物状発熱体を用いた場合

光源に緑色LED(ピーク波長520 nm)を用いた時の測定例を図3に示す。LEDの消灯時のカーボンナノチューブ織物状発熱体の電力が約5.6 mW、LED点灯時の電力が約4.6 mWであり、消灯時と点灯時の電力の差すなわち吸収放射束は約1.0 mWという結果になった。一方、分光応答度既知のSiフォトダイオード(S1337-1010BQ)の光電流から求めた入射放射束は1.17 mWであった。反射損失がありうることを考慮すると電力置換法で求めた吸収放射束は妥当な結果である。

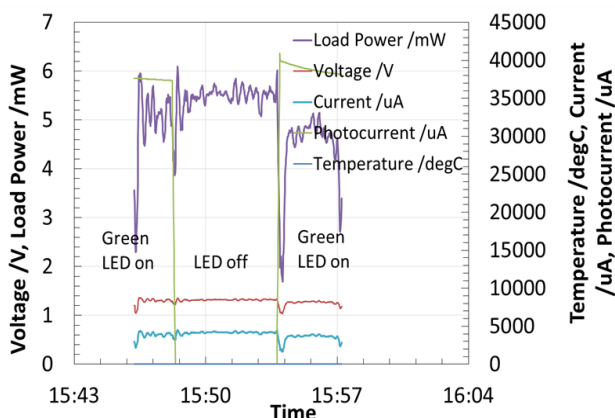


図3 ヒータとしてカーボンナノチューブ織物状発熱体を使用した時の経時変化グラフ

3.2. ヒータとして太陽電池を用いた場合

光源に緑色LED(ピーク波長520 nm)を用いた時の測定例を図4に示す。LED消灯時の太陽電池(AM-1658CA)の電力が約0.32 mW、LED点灯時の電力が約0.0042 mWであり、吸収放射束は約0.31 mWという結果になった。フォトダイオードによって求めた入射放射束約0.22 mWより約0.09 mW大きかった。電力置換法のS/Nが悪いのでこの差0.09 mWは誤差の可能性が高い。

4. 結論

本研究で明らかになったことは以下の通りである。

- 受光部のヒータと温度センサーを別個にする方式の自動化電力置換法により温度を一定に保つ負帰還はヒータを太陽電池からカーボンナノチューブ織物状発熱体に変更しても正常に動作できることを確認した。しかし、分光応

答度既知のフォトダイオードから求めた入射放射束とも概ね一致した結果が得たものの、後の確認で実験前と実験後で抵抗が安定していないことが確認された。原因としてカーボンナノチューブ織物状発熱体にリード線をつける際カーボンナノチューブ織物に織り込むようにしたもの、当初接触不良が確認され、その後導電性接着剤を使用した、接触が安定しないことが考えられる。

- 太陽電池をヒータとして使用した測定において、数値としてはフォトダイオードから求めた入射放射束に近い吸収放射束が得られたが、LEDの点灯、消灯の際の変化に大きな差が確認された。原因として温度の安定性が不足している可能性が高いと考えられる。
- 温度の安定性を高めるため、実験装置の周囲を保冷剤で覆う対策を加えた。電力置換法のS/Nが以前より悪化した原因を探りそれを改善し、追加実験をする予定である。

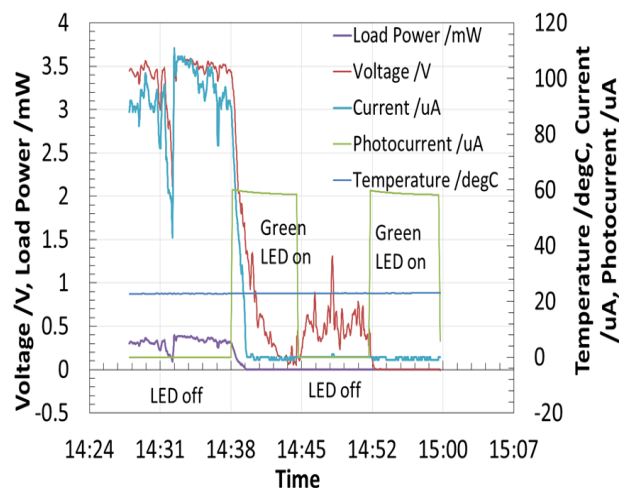


図4 ヒータとして太陽電池を使用した時の経時変化グラフ

参考文献

- 1) T. Saito, M. Tatsuta, Y. Abe and M. Takesawa, "Calorimetric Measurement for Internal Conversion Efficiency of Photovoltaic Cells/Modules Based on Electrical Substitution Method", accepted for Journal of Physics: Conference Series (JPCS) (2018).
- 2) 小原仁成、「自動化電力置換法による絶対放射計の開発」、2016年度東北工大環境エネルギー学科卒業論文