

太陽電池の電気特性測定・シミュレーション 実験指示書

1 実習の到達目標

再生可能エネルギーであり、送電網から切り離された自立的電源として各種情報システムに多用されている、代表的な電子デバイスの一種である太陽電池の基本的な電気特性を理解する。特性を理解するため、センサによる計測およびシミュレーションの方法を習得する。

2 原理

下記の実習に関連する事項について、いくつか選び、A4 1~2 ページ分を図、具体的な値や数式を挙げて簡潔に調べよ。調査に用いる文献は、授業テキスト、ネット情報（出所が明らかな大学や企業等のドメインに掲載されているページならば OK だが、出所が不明な Wikipedia などのサイトの情報をなるべく引用しないこと）

- ・ 太陽電池の材料・構造。結晶型 Si 太陽電池以外にも多くの種類が開発・実用されている
- ・ 太陽電池の曲線因子と変換効率。市販結晶型 Si 太陽電池がもつ変換効率の値なども調べなさい
- ・ 太陽電池の等価回路と I - V 特性。
- ・ 太陽電池の応用。エネルギーハーベスティング手段の一つとして、IoT デバイス、航空宇宙、モビリティ、住宅などへの応用展開が進んでいる
- ・ MATLAB 自己学習形式のオンラインコースの受講。MATLAB 入門・Simulink 入門・Simscape 入門
※MATLAB 学習は評価には加わらないものの、考察を行う上で役に立つと思われる。

3 使用機器

Arduino UNO (LCD シールドつき)、電流センサ INA260 モジュール (詳細はデータシート)、温度センサ LM35DZ、太陽電池セル (多結晶 Si: 最大出力電力 0.57 W、開放電圧 1.7 V、短絡電流 415 mA)、半固定抵抗 (100 Ω および 1 k Ω)、LED 電球 (100 W 形相当、全光束 1,600 lm、消費電力 12.3 W)・白熱電球 (100 W、全光束 1,520 lm)、ブレッドボード、配線材、MATLAB/Simulink (MATLAB Online)

1 週目: 太陽電池セルの I - V ・ P - V 特性 グループに分かれる

4.1 実験手順 (1 週目)

4.1.1 ブロック図を図 1 に示す。配布した資料 (温度センサおよび電流センサのデータシートおよび太陽電池資料) から、太陽電池セルによって生じる電流と電圧および太陽光パネル裏面の温度を測る測定回路図をノートに描く。太陽電池は等価回路で示しなさい。太陽電池セルの背面に温度センサチップが接触するように**仮止めテープ**で貼り付けする。注意: マイコンボードなどのむき出しの半導体素子に電荷 (静電気) を帯びた手が触れると、高電界によって破壊されることがあるので、**静電気除去シートに触れてから作業に入る**こと。センサにより温度が測れていることを、アクティブラボラトリーに設置されている温度計の値も見ながら**確かめなさい**。

4.1.2 2 台の Arduino の電源を ON し、LCD ボードが正常に表示されることを確かめる。その後、LED 電球の光を太陽電池セルに当てる。このとき、太陽電池と電球とは対向するように位置を調整する。また、電球にアルミホイルを被せる (疑似的に平行光を当てることができる)。半固定抵抗を 1 目盛りずつ変化させながら (目盛りに番号をつけると良い)、太陽電池セルから生じる電流、電圧と温度を測定しなさい。

4.1.3 I - V 特性 (横軸電圧 V 、縦軸電流 I) および P - V 特性 (横軸電圧 V 、縦軸電力 P) を Excel で描画し、最も電力が高く得られた半固定抵抗の値を求め、その目盛りに固定しなさい。

4.1.4 4.1.3 の半固定抵抗の値で、電流・電圧・温度を計りなさい。計測時間は 900 秒とし、15 秒毎に計測しなさい。1) LED 電球で行いなさい。2) 白熱電球で行いなさい。ただし、温度が 48°C を超えた場合、直ちに電球の電

源を OFF し、太陽電池モジュールをうちわで冷却すること。

4.1.5 LED 電球および白熱電球の 2 つの測定結果を横軸時間、縦軸電力で描画しなさい。1 つのグラフで描画すると比較しやすい。

※結果としてレポートに示すもの：4.1.2 の表、4.1.3 の値、4.1.4 の表

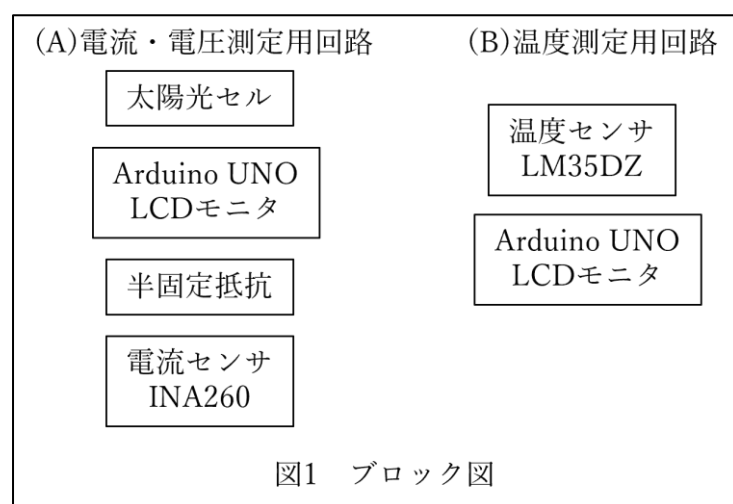
4.2 1 週目の考察

4.2.1 太陽電池の等価回路を参考にして測定回路図を無償 CAD ソフト等で 清書して示しなさい。

4.2.2 Excel で描画した I - V 特性カーブと P - V 特性カーブを 示し、太陽電池セルから電力を得るときの 負荷抵抗の値にどのような意味があるのかを考察しなさい。

4.2.3 LED 電球と白熱電球それぞれで 900 秒間測定した電流・電圧・温度データから、測定時間（横軸）対温度（縦軸）および電力（縦軸）特性および温度（横軸）対電力（縦軸）特性を 示し、太陽電池セルと温度との関係を 定量的に考察しなさい。Excel 等で近似曲線を追加し、示すと良い。

4.2.4 LED 電球と白熱電球とで発光原理がどう異なるか、それによって熱の生じ方がどう異なるかを簡潔に 考察しなさい。



メモ欄

2 週目：グループに分かれる。太陽電池セルのシミュレーションは基本的に 1 人で行い、ノート PC を用いる

4.3 実験方法 (2 週目)

4.3.1 4.1.3 で最も電力が高く得られた半固定抵抗の値を用いて太陽電池に LED 電球を照射し、傾斜角を 0° から 90° まで変化させて電流および電圧値を測定しなさい。温度も記録すること。

4.3.2 動画 (資料もアップ済み) を観て Excel シートに入力し、発電電力シミュレーションを行いなさい。

動画 URL : 「4J 実験実習 : 地域の発電電力見積もり」 <https://youtu.be/xWyDXR9xD14>

4.3.3 MATLAB Online を用いて太陽電池 P - V カーブのシミュレーションを行う。MATLAB Online コマンドウィンドウに「openExample('simscapeelectrical/SolarCellPowerCurveExample')」というコマンドを入力・実行する。以下、表示された MATLAB/Simulink の太陽電池セルの Simscape モデルを用い、以下の動画を参考にしながら P - V 特性の温度依存性を確認しなさい。

4.3.4 MATLAB Online 上で I - V 特性を描画しなさい。

動画 URL : 「4J 実験実習 : MATLAB Online 太陽電池シミュレーション」 <https://youtu.be/-Wmx3nZdCiY>

※結果としてレポートに示すもの : 4.3.1 の表・図面、4.3.3、4.3.4 の図面

4.4 2 週目の考察

4.4.1 4.3.2 の結果から、発電量をできるだけ増やすために、どのような物理量が関係するか、どこに太陽光パネルを設置すれば良いか、またどのような太陽光パネルが性能面で良いかなどを考察しなさい。

4.4.2 測定した I - V 特性カーブについて、太陽電池の電気特性の数式や MATLAB/Simulink のシミュレーションをもとに、なぜそのようなカーブとなったのかを考察しなさい。参考として、ダイオードの理想 I - V 特性を示す。

$$I = I_{ph} - \left\{ \exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right\} = I_s \left\{ \exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right\}$$

ここで、 I : ダイオード両端を流れる電圧、 V : ダイオード両端の電位差、 q : 電気素量 ($1.6 \times 10^{-19}(\text{C})$)、

k_B : ボルツマン定数 ($1.38 \times 10^{-23}(\text{J/K})$)、 T : 絶対温度、

$V_T = \frac{k_B T}{q}$: 熱電圧 (温度によって変化する、熱的な電圧)、 I_s : 逆方向飽和電流

とする。

メモ欄

5 レポートとしてまとめる項目

原理、使用機器、実験方法、結果と考察、感想、参考文献

6 評価について

評価はルーブリック（別紙）によって行うので、高い到達度を目指すのであれば、ルーブリックの優を見て レポートを書くといい。

レポート提出締切について

★実験日当日まで：

原理についてまとめる。

→提出（チェック①）

★実験第1週目当日：実験をし、データを取得する。

★実験第2週目当日まで：1週目の実験結果と考察についてまとめる。

→提出（チェック②）1週目の内容

★実験第2週目当日：実験をし、データを取得する。

★提出締め切り日当日まで：2週目についてまとめる。

→提出（チェック③）報告書提出版

（1週目+2週目）

★再提出について

評価ルーブリックの評価結果や担当教員からの指摘に応じて、適宜加筆修正したレポートを再提出しても良い。

加筆修正箇所は赤字や青字で明示すること。

★未提出への対応

未提出者の評価は、実験チーフの先生からの説明に準じる。提出締め切りを大幅に過ぎる場合、評価ルーブリックに記載の評価点と異なる評価方法を取る場合がある。

以上