



第3回
科学の甲子園 全国大会

実技競技②

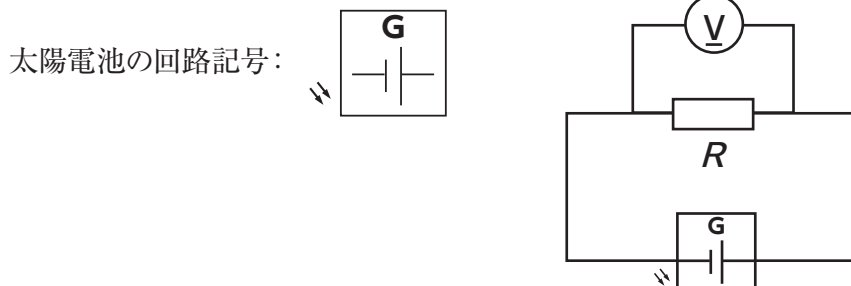
実技競技②
「HIT[®] 太陽電池 : Raise The Future」

⌘ 解答例と解説 ⌘

【課題1】

(1) - ① 計測に用いた回路図

解答例



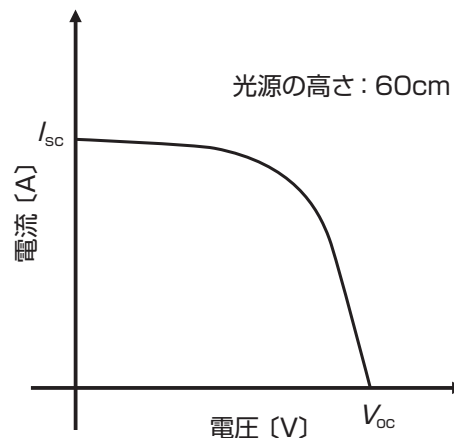
(解説)

電流-電圧 ($I-V$) 特性とは、回路の抵抗値を変化させたときの、抵抗にかかる電圧と流れる電流との関係のことである。ただし、通常、回路の電流を計測する際は、内部抵抗や回路を断線する必要性から、電流計ではなく電圧降下から求めることが一般的である。したがって、模範的な回路は解答例のようになる。また、そのため、あえてデジタルマルチメーターを1台しか与えていない。

(1) - ② モジュール1枚の電流 - 電圧 ($I-V$) 特性のグラフとその特徴

解答例

回路の抵抗が十分小さい場合には、発生する電流は抵抗に依らず一定であるが、抵抗が大きくなりすぎると電流は急激に減少する。つまり、太陽電池は光を電流に変換する電池であり、抵抗が十分小さい場合、その電流は外部回路に依らない固有の量 (定数) をとるといふ特徴がある。



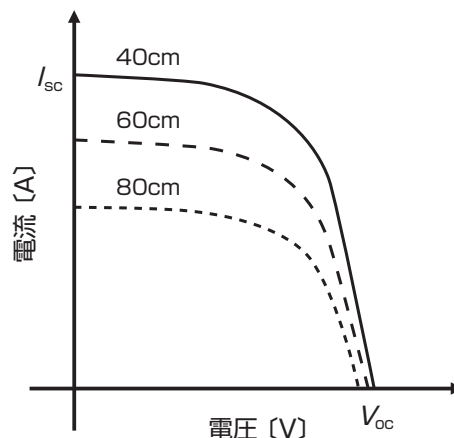
(解説)

解答例のとおり。起電力が固有の量 (定数) である乾電池の特徴 ($I-V$ 特性) と大きく異なる。なお、グラフの電圧軸との交点を開放電圧 (V_{oc})、電流軸との交点を短絡電流 (I_{sc}) と呼ぶ。

(1) - ③ 異なる明るさにおける電流 - 電圧 ($I-V$) 特性のグラフとその特徴

解答例

暗くなるほど、電流量が減少するが、開放電圧はほとんど変化しない。



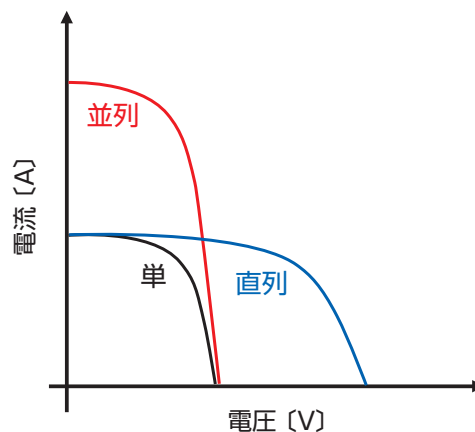
(解説)

太陽電池の電流-電圧 ($I-V$) 特性は、暗くなると、電流が減少する方向に圧縮されたような形状になる。これは、シリコンなどの特定の材料に光が当たると電子と正孔ができる「光起電力効果」により、その光の強度に応じて電流が発生しているからである。また、開放電圧は、太陽電池を構成する材料のバンドギャップに比例する量であるため、明るさにはほとんど依存しない。

(2) - ① 太陽電池モジュールの接続方法 (直列・並列) による電流 - 電圧 ($I-V$) 特性のグラフとその違い

解答例

- 右図のように、モジュール単体の特性に比べて、
- 直列の場合、開放電圧がおおよそ 2 倍 (短絡電流は不変)
 - 並列の場合、短絡電流がおおよそ 2 倍 (開放電圧は不変)
- となることがわかる。



- また、電流が一定値をとる十分に小さい外部負荷に対しては、
- 直列の場合、電圧、電流ともわずかに増加
 - 並列の場合、電圧がわずかに増え、電流は大幅に増加
- となり、乾電池の直列・並列接続の特性と大きく異なる特徴を持つことがわかる。

(解説)

解答例のとおり。同じ負荷に対する乾電池の直列・並列接続の時の特性と大きく異なる。

【課題2】

『競技 Rising Ai!!』

解答例および解説

この競技では、DC モーターの一般的な特徴(以下)と競技で選択できるモーターの規格表から、掲揚に関連する各パラメータの値を推測し、課題1の結果を参考に、「モーターの規格(3種)」、「光源の高さ(40, 60, 80cm)」、「モジュールの使い方(1枚, 直列, 並列)」および「プーリーの直径(8, 10, 12mm)」を選択して、装置を製作し、チーム旗を掲揚、くす玉風船を割ることが求められる。

< DC モーターについて >

DC モーターのトルク(モーターが回ろうとする力)は、コイルに流れる電流に比例する(フレミングの左手の法則)。よって、より大きなトルクを得るには、より大きな電流を流す必要がある。

一方、モーターの角速度(回転の速さ)は、モーターのトルクと負荷トルク(モーターを止めようとする力)の差に比例する(運動の第二法則)。モーターの回転に伴って、端子電圧と逆向き誘導起電力が生じる(フレミングの右手の法則)。この誘導起電力(逆起電力)はモーターの回転の速さに比例するため、回転が速くなるほどモーターの端子電圧は下がり、結果として、トルクと逆起電力とのバランスにより、定常時のモーターの回転の速さが決まる。よって、回転の速さを上げるには、より大きな端子電圧をかける必要がある。

ここで、チーム旗の重量(約170g)は決まっているため、以下に示すような各パラメータの特性を考慮することにより、適切な組み合わせがいくつか考えられる。

< DC モーターの規格について >

実技マニュアル(5)モーターの性能(概要)から、旗の重量を持ち上げることが可能なトルクを発揮できるモーターは、RS-540SHのみであることがわかる。ただし、適正電圧は7.2V、消費電流は6100mAと記載されており、2枚のモジュールをどのように使用しても、これらの適正值を満足することはできない。

このような厳しい条件の中で、優先すべき条件は、モーターの巻上げの速さよりトルクであるため、結果として電流をいかに確保するかがポイントとなる。

< 明るさ(光源の高さ)について >

課題1の結果より、モジュールは明るい条件下において、より大きな電流を発生することがわかる。したがって、光源の高さが低い方が、その他の条件設定の範囲が広がり、チーム旗の掲揚は容易になる。

<プーリーの径について>

モーターの定常回転時は、プーリーの直径が大きな方が、得られるトルクは大きい。しかし、これは逆に、始動時に大きなトルクが必要であることを意味する。したがって、始動時にそのトルク（つまりこの場合、電流）を確保できればより重いものを巻上げることができる。逆に、チーム旗を掲揚できる最低限のトルクが確保できれば、直径が小さい方がより速く掲揚できることになる。

<モジュールの使い方について>

課題1の結果より、直列接続で電圧、並列接続で電流が増加する。したがって、モーターの回転を速くしたい場合は直列接続、モーターのトルクを得たい場合は並列接続で使用するとよい。ただし、理想的な出力を得るためには、2枚のモジュールには均等な光を当てる必要あり、特に直列接続の場合に光の強度が不均一であれば、発電の効率は著しく下がるので、モジュールの置き方にも注意が必要。

以上をまとめると、

- > モーター：
 - ・ 大きな電流を流せるもの

- > 光源の高さ：
 - ・ 低いほど発生する電力が大きい
(特に、電流が大きくなるためトルクが大きくなる)。

- > プーリー径：
 - ・ 太いほどトルクが大きい、電流を必要とし、回転は遅い。
 - ・ 細いほどトルクは小さい、電流を必要とせず、回転は速い。

- > モジュール：
 - ・ 直列接続は電圧が大きくなるため、回転が速い。
 - ・ 並列接続は電流が大きくなるため、トルクが大きい。

したがって、基本的な戦略として、与えられたおもり（チーム旗と同重量）を用いて必要最低限のトルク（電流を発生する条件）を見極め、その上で回転数が大きい条件を探ることが考えられる。

<課題2 戦略上のポイント>

本課題は、ポール上端まで掲揚するのにかかる時間の順位による得点と、そのときの【仕様】の難易度や妥当性および掲揚に用いた回路以外の仕様の組み合わせについての【考察】の得点の合計によって総合的に評価される。

実技競技②

順位点を優先する場合、光源を低く設定することにより、他の条件の選択の幅が広がり、掲揚が容易になる。しかしながら、【仕様】の採点においては、掲揚に成功しても光源の高さが低い場合の配点は低いため、順位によっては、低い光源下で掲揚が速かったチームと、高い光源下で掲揚が遅かったチームとの間で、総合得点における逆転もあり得る。したがって、ただ速く掲揚できればよいというわけではない点を、どのように戦略に組み込んでくるかがポイントのひとつとなる。