



変動する発電電力を
機器へ安定供給する技術が鍵！

太陽電池の動作原理と ソーラー・カーへの応用例

安藤 友二
Yuji Ando

1950年に発表されたSF小説の古典に、邦題「月は地獄だ」(The Moon is Hell, ジョン・W・キャンベル Jr.)という作品があります。事故で月面に取り残された調査隊が月の岩からセレンを取り出してみんなで太陽電池を作り、光から得たエネルギーで酸素や食料合成などを行うというサバイバル物語です。

作品が書かれた当時、セレンなどの光起電力効果はよく知られていましたが、セレンではうまくしても光のエネルギーの約1%を取り出すことができる程度ですから、作中の人物達はさぞかし大変だったと思われるます。

実用的なエネルギー源としての太陽電池は、シリコン半導体を待たねばなりません。小説から4年後、1954年にベル研究所のピアソン、チャピンらによって変換効率6%の、シリコン半導体のPN接合で発電する「ソーラー・バッテリー」が発表されました。これが現代の太陽電池の始めです。余談ながら、同じ研究グループには、あのショックレー氏もいたそうです。

現在では、20%を超える変換効率のシリコン太陽電池も作られています。NASAが試験飛行に成功した成層圏ソーラー・プレーンのヘリオスには、変換効率が22.5%の太陽電池が使われています。GaAsなどの材料も宇宙用などの特殊な用途で使われています。

図1に太陽電池の種類を示します。我々の目に触れるのは主にシリコンを材料としたものです。

太陽電池の基礎知識

■ 太陽電池の原理

太陽の光は、近紫外から数 μm の赤外光までを含んでいます。光量子のエネルギーでいえばおよそ0.3 eVから4 eVほどの範囲で、ちょうどシリコンやGaAs半導体などがよく相互作用をします。

例えばシリコン半導体は光で励起されて正孔と電子が生成されます。そのままでは再結合されて何も出てきませんが、PN接合などのポテンシャル勾配で生成した正負のキャリアを分離することで、図2のように電流として光から直接電気エネルギーを取り出すことができます。

通常のダイオードと同じくショットキー型でも太陽電池を作ることができますが、高い効率のものはできにくいようです。

● 太陽電池を等価回路で表すと…

回路屋の立場では、まず電流電圧特性がどうなっているのかが気になります。

単純な太陽電池の等価回路は図3に示すものです。光子によって作られたキャリアが定電流源として表現され、ダイオードのPN接合のポテンシャル電圧である順方向電圧降下を取り出す電圧になります。

〈図1〉 太陽電池の種類

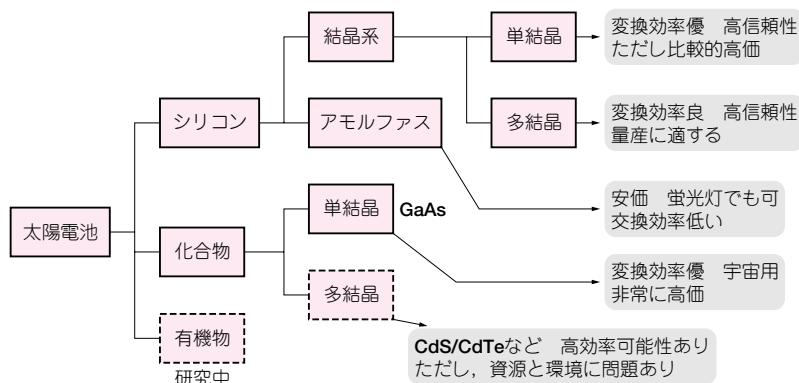


図4の各象限での太陽電池の動作

● 第3象限

図4の第3象限は、外部から逆向きのバイアスがかけられて図A(a)のように電流が流れます。高速応答を求められるフォト・ダイオードは、接合容量を下げるために逆バイアスをかけてこの領域で使用します。

この第3象限は太陽電池の発電領域(後述する第4象限)とは電流方向が同じで、電圧が逆となります。つまり、太陽電池では発電ではなくエネルギーを消費する領域です。

実際に太陽電池を作ると、動作点がこの第3象限に入って太陽電池を焼損する場合があります。

● 第4象限

太陽電池が発電している状態です。図A(b)のように電流が流れます。図5に示した太陽電池の特性グラフは、この象限をひっくり返した形です。

● 第1象限

図A(c)のようにバッテリーから太陽電池へ電流が逆流している状態です。実際のシステムでも起こり得る状態なので、逆流防止対策が必要です。

〈図A〉 等価回路でみる各象限での太陽電池の動作

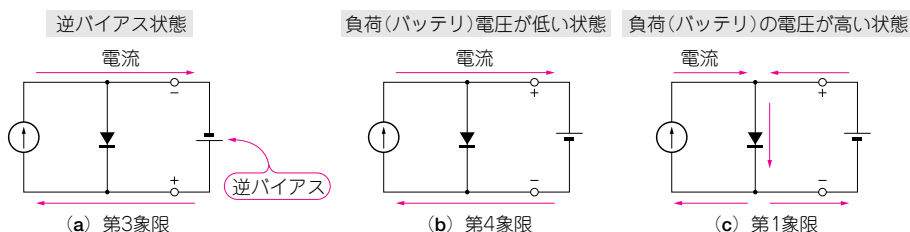


図4に太陽電池の電流-電圧特性を示します。基本的に太陽電池は光が当たらなければ、皆さんおなじみの単なるPN接合シリコン・ダイオードと同じです。光が当たると、図4のように光の強さに比例してグラフを縦に移動した形になります。

図5に示すのは、太陽電池メーカーのデータ・シートでよく見かける特性グラフです。図4の第4象限をひっくり返した形をしています。

● 太陽電池の最大電力点

太陽電池の発電電力は電流×電圧ですから、図5のグラフのような発電電力が最大になる動作電圧と動作電流が存在します。また短絡電流 I_{SC} は充電回路の設計上、電流上限になり、開放電圧 V_{OC} は無負荷になったときの電圧上限になります。

● 太陽電池の温度依存性

太陽電池の発電電圧はPN接合シリコン・ダイオード

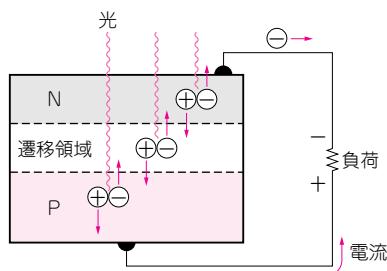
の順方向電圧降下ですから、当然温度依存性があります。短絡電流は若干の温度係数をもちますが、実用上ほぼ一定です。

▶ 最大電力点の電圧変動はバッテリーと太陽電池モジュールの電圧設定で問題になる

一方、最大電力点の電圧は、セル当たり約 $-2\text{ mV}/^\circ\text{C}$ 程の負の温度係数をもっています。温度が上がると電圧要因で発電効率が低下します。アモルファス太陽電池では、温度による効率低下が比較的少なく、単結晶シリコンの上にアモルファスを組み合わせたPIN構造の高効率太陽電池も実用化されています。

この温度依存性は、補助バッテリーと直接並列に接続されるシンプルな回路の応用では、バッテリーと太陽電池モジュールの電圧設定で問題になります。また冬季寒冷地での使用では、回路電圧の上昇が問題になる場合もあります。

〈図2〉
太陽電池の
動作原理



〈図3〉
太陽電池の
等価回路

