

◆ 第2章

太陽電池の特性と 最高出力を得る方法

よしひろし/中平 強

2-1 太陽電池の簡単な実験

手軽に入手できる太陽電池を使って、実際に光を当てて出力電圧と出力電流を測ってみましょう。写真2-1(次頁)に、実験に使用した太陽電池を示します。

図2-1に示す回路で明るさを変化させて出力電圧と出力電流を測ってみると、表2-1のようになりました。実験のようすを写真2-2に、実験に使用した電球を写真2-3に示します。

このときの出力電圧は、負荷を何もつながない状態なので開放電圧と呼びます。また、出力電流は、電流計を出力にショートさせるように接続して計測するので短絡電流と呼びます。電流計の両端の電圧

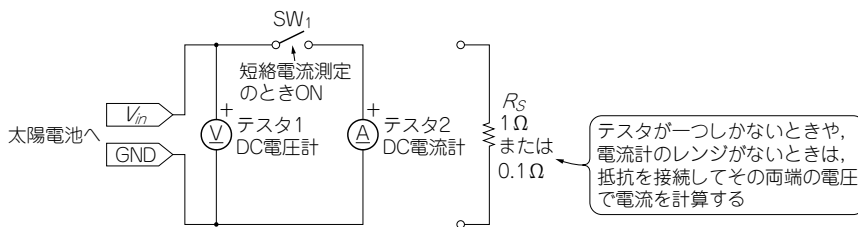


図2-1 開放電圧および短絡電流の測定回路

表2-1 実験した太陽電池の開放電圧と短絡電流

パネル上の照度 太陽電池の定格	太陽光をしっかりと当てないと定格値は得られない							
	400 lux	1000 lux	3000 lux	60000 lx	400 lux	1000 lux	3000 lux	60000 lx
4.8 V, 18 mA	5.88 V	6.21 V	6.5 V	7.42 V	0.13 mA	0.35 mA	1.07 mA	18.92 mA
4.0 V, 85 mA	3.54 V	3.75 V	4.1 V	4.68 V	1.22 mA	3.7 mA	12.2 mA	54 mA
1.0 V, 250 mA	0.86 V	0.97 V	1.06 V	1.16 V	4.35 mA	13.24 mA	39.5 mA	143 mA
1.0 V, 13 mA	0.8 V	0.87 V	0.92 V	1.07 V	0.11 mA	0.35 mA	0.98 mA	7.44 mA
0.5 V, 500 mA	0.41 V	0.46 V	0.51 V	0.58 V	9.1 mA	21.2 mA	68 mA	394 mA

(a) 開放電圧

(b) 短絡電流

光の強さに比例して得られる電流が増えている

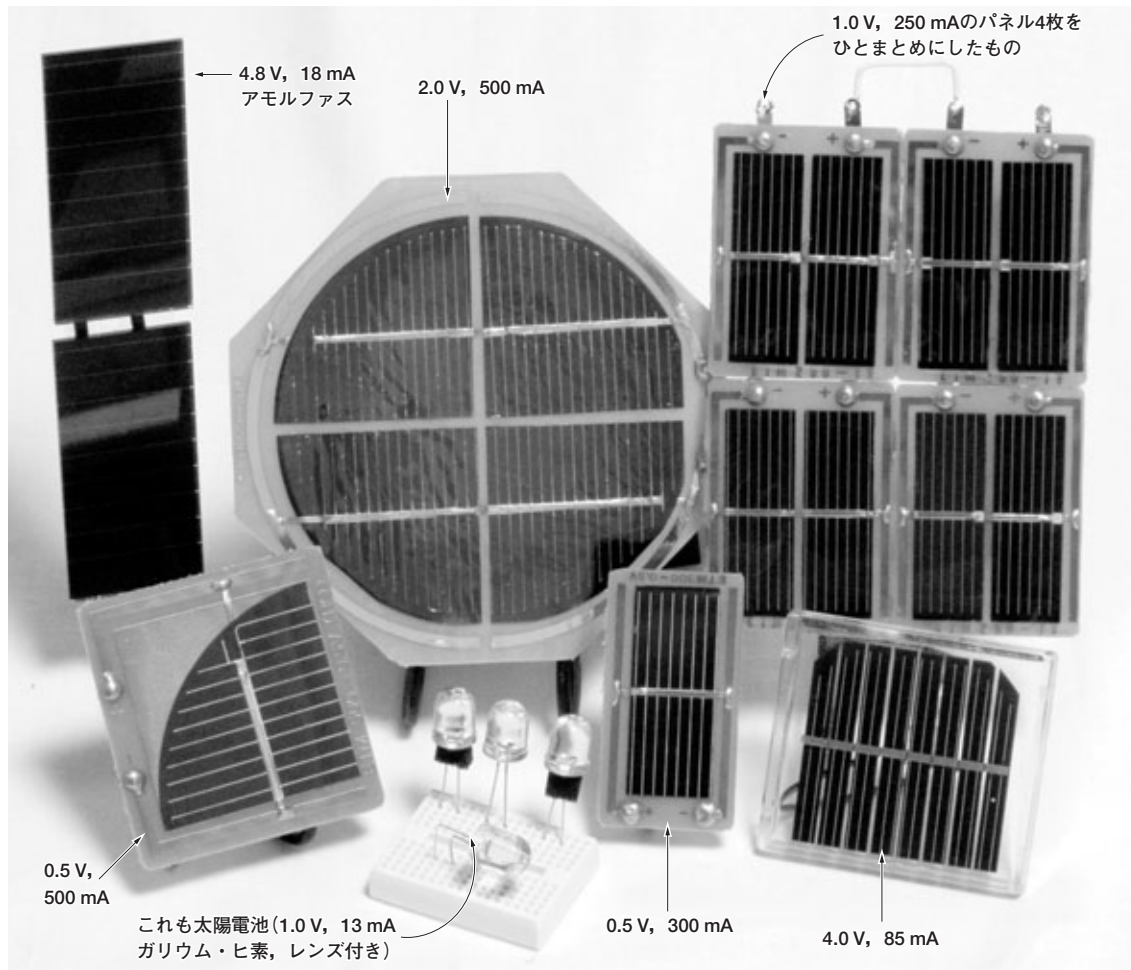


写真2-1 実験に使用した太陽電池



写真2-2 60 Wの電球を30 cmほど離して太陽電池に照射



写真2-3 実験に使用した電球

◆ 第3章

太陽電池の基本構造と パネルの使い方

中平 強/吉富 政宣

無駄がなく効率のよい太陽電池システムを構築するためには、太陽電池の材質や構造、電気的特性などを十分理解しておく必要があります。そこで本章では、太陽電池の基本特性ならびに太陽電池パネルから効率よく電力を取り出すために必要な基礎知識を解説します。

3-1 太陽電池の材質と構造

太陽電池の発電部分の最小単位をセルと呼びます。セルの構造はPN接合のダイオードと同じで、図3-1に示すように、エネルギー $h\nu$ を持つ光がセルの表面に当たると電子とホールを発生させるので、それらを表面と背面の電極で集めます。セル一つ当たりの開放電圧(無負荷時電圧)は、0.6~0.7Vです。勘違いしやすいのですが、セルの内部では光が電気に変換されているのであり、周波数の高い電磁波(=光)をダイオードで検波しているわけではありません。

セルは、6ナイン(99.9999%)程度の純度の低いシリコン・インゴットを、0.2~0.3mm程度の厚さでワイヤー・ソーを使って輪切りにして作ります。半導体ICの場合は、微細な回路パターンを作り込む必要があるので、10ナイン以上のシリコン・インゴットが使用されます。

太陽電池に使用するシリコン・インゴットは、現在多結晶で断面が角型のものももっとも多く作られています。断面が角型のセルは、丸型のセルに比べると並べてパネルにした場合、すきまなく並べることができるので面積効率で有利です。また、半導体ICに比べると桁違いに大きな面積が必要なので、多

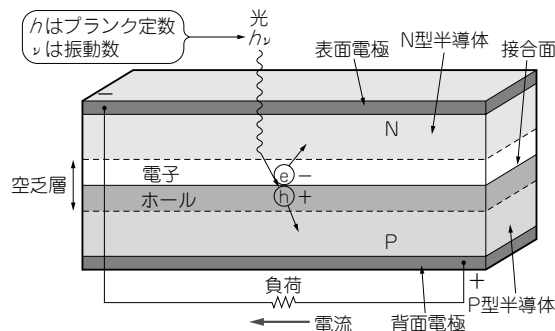


図3-1 太陽電池セルの基本構造

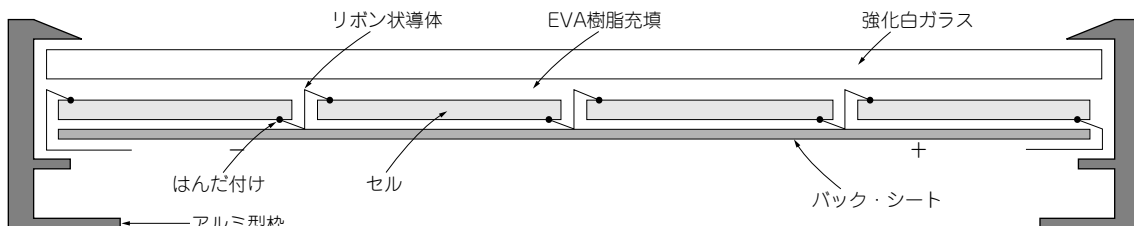


図3-2 太陽電池パネルの断面

結晶シリコンが多く使われています。単結晶シリコンは発電効率は優れていますが、コスト高になります。結晶粒の大きさは、単結晶、多結晶、微結晶、アモルファス（非晶質）の順に小さくなっていきます。

太陽電池セル1枚の電圧は低くて使いにくいので、何枚かを直列に接続してパネルにし、実用的な電圧を得られるようにします。セルは、図3-2に示すようにリボン状導体を使って隣接セルの表と裏を直列に接続します。一般的に、セルの表面電極が－、背面電極が＋です。

パネルは耐候性を保つため、ガラスと充填樹脂、バック・シートで封止します。一般の窓ガラスに使用されるガラスは鉄分が含まれており、断面が緑色に見えます。太陽電池用のガラスには、より光透過性の良い強化白ガラスが使われます。断面は透明です。

セルを固定する充填樹脂には、ガラスの裏面の反射を防いで光をよく透過させるEVA樹脂（エチレン-酢酸ビニル共重合樹脂）がよく用いられています。

バック・シートには耐候性に加えて絶縁性が要求されるので、高分子フィルム（PETやテドラ）とアルミ箔などの多層シートが用いられます。これらにアルミ型材の枠をはめ込んでパネルにします。

単独で動作する装置向けに12、24、48V系のバッテリー電圧と合うようにセルの直列数が決められた製品もあります。

■ 薄膜太陽電池

微結晶やアモルファスによる太陽電池は、ガラス表面に真空製膜技術（プラズマCVDなどによる化学気相成長）を使って直接作られます。このため最初からセルではなく、パネルとして作られます。直列に接続するための電極も、真空製膜技術により一緒に作ります。シリコンを含んだシラン・ガスをプラズマCVDに送り込み、化学反応により膜を薄く堆積させるので、少ない材料でたくさんの太陽電池を作ることができます。

単体の変換効率は結晶粒の大きな太陽電池にはおおよびませんが、製膜工程を繰り返して多層構造にすることによって性能向上が図られています。

図3-3は、薄膜2層構造（タンデムとも呼ばれる）の太陽電池です。短波長光に対して光吸収効率の良いアモルファスと、長波長光に対して特性の良い微結晶を使った2層構造にすることによって、吸収できる光エネルギーの波長帯域を広くしています。

結晶系の太陽電池とは異なる温度特性を持ち、同じ定格出力の結晶系太陽電池と比較すると、気温の高い地域における年間発電量が多くなる傾向にあります。

図3-3を見るとわかるように、P層とN層の間にI層（真性半導体層）を挟んだ構造にすることによって、I層が光を吸収し結晶系の空乏層と同じ働きをします。薄膜系太陽電池は内部セルを接続する導体

◆ 第4章

太陽電池の効率を上げる使い方

弥田 秀昭

太陽電池には電池という名が付いていますが，化学変化を利用した通常の電池とは異なり，照射された光を電気に変換するデバイスなので，照射された光の量に応じた電気エネルギーしか取り出せず，負荷が必要とする電力を自由に取り出すことはできません．また，定電圧源ではなく定電流源となるので，電力の取り出し方によっては同じ照度でも取り出せる電力は異なってきます．

そこで本章では，太陽電池で発生するエネルギーをいかに効率よく取り出して有効に活用するかを考えてみます．

4-1 太陽電池のセルの大きさと電力の関係

地球に到達する太陽からの放射エネルギーは，大気圏外では 1.37 kW/m^2 (太陽定数)ですが，大気層を通過すると減衰します．赤道地点がもっとも太陽高度が高く大気通過距離が短くなるので減衰も少なく，この状態をエアマス1.0と言います．日本は赤道よりも緯度が高く，通過する空気層が1.5倍ほど長い(この状態をエアマス1.5と呼ぶ)距離を通過します．この空気層により，日本の地表での太陽光のエネルギーは 1.00 kW/m^2 程度になります．

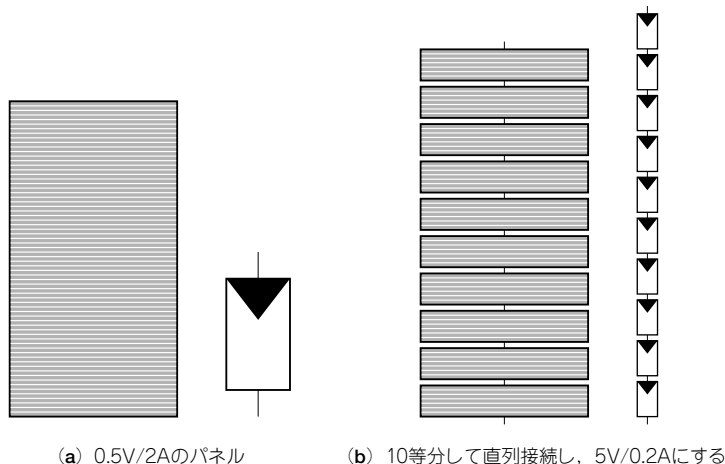


図4-1 太陽電池の分割と直列接続

太陽電池のエネルギー変換効率は、研究室レベルでは40%を超えるものもありますが、現在市販されている太陽電池は10~20%程度ですから、1平方メートルの太陽電池からは100~200Wの電力が得られることになります。しかし、持ち運べるサイズとして10cm角を考えると効率が10%の場合で起電力は1W程度しかありません。太陽電池の起電圧は1セル当たり0.5V程度になるので、10cm角の単セルのパネルから2A程度の電流が取り出せることになります。

0.5Vという電圧は、電子回路で使用するには低すぎるので、通常は小さく分割して直列接続にして高い電圧のパネルを作ります。例えば、この10cm角のパネルを図4-1のように10等分して0.5V/200mAのパネルとし、10枚を直列にすると5V/200mAのパネルが作れます。太陽電池は1枚当たりの起電圧は低いのですが、直列数を増やすことにより好きな電圧にすることができます。

4-2 太陽電池を多セルにするメリットとデメリット

太陽電池を分割して直列接続にすることにより電流は小さくなりますが、その分高い電圧を供給することができるので、必要に応じて直列数を増加します。太陽電池は、パネルに照射された光で励起した電子により発電するので、流せる電流はそのパネルに照射された光の量に応じて異なります。直列に接続されたすべてのパネルに均等に光が当たっていれば効率よく発電できますが、そのパネルの一部に影がかかるとその部分の電流発生量が低下します。直列に接続されたパネルの一部で電流供給能力が低下すると、そのパネルが通過できる電流を制限してしまいます。

影となったパネルの供給可能な電流を超えると、単なる逆バイアス状態のダイオードとなるので、図4-2のような接続状態になり、電流の通過を阻止してしまって少しの電流を引いただけでほとんど0Vまで落ちてしまいます。そこで、影によるパネル全体への影響を軽減するためにバイパス・ダイオードを挿入します。

すべての太陽電池セルに1個ずつのバイパス・ダイオードを図4-3のように接続すると、影となった太陽電池が逆バイアス状態となったときに、このダイオードは順方向となって電流を流してくれるので、電圧の低下を軽減させることができます。しかし、太陽電池の起電圧がなくなるぶんの約0.5Vとダイオードの V_F により低下するぶんの0.5Vの合計約1.0Vの電圧降下が発生してしまいます。

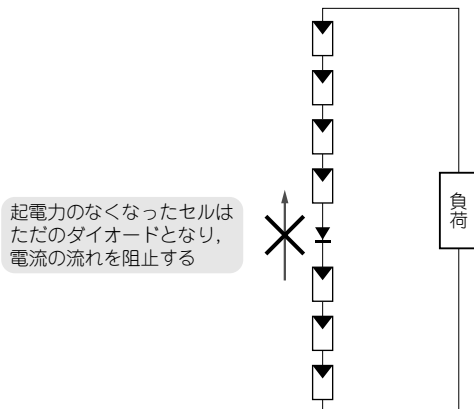


図4-2 多直列の太陽電池の一部が影になったときの動作

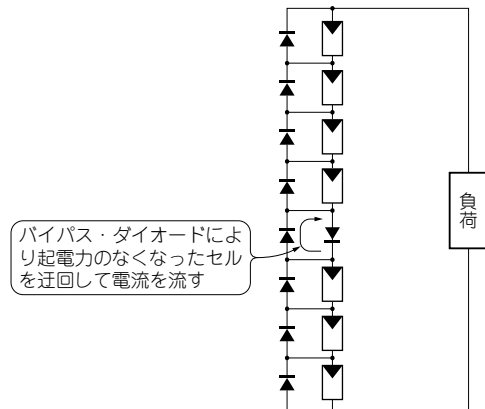


図4-3 太陽電池のバイパス・ダイオード

◆ 第7章

太陽電池シミュレータと 充電コントローラの製作

柳川 誠介

本章では、マイコンを使ったより本格的な太陽電池による二次電池の充電コントローラを製作します。使用する二次電池は、NiCdまたはNiMH電池を3本直列(3.6V)にしたものです。庭園灯や防犯ランプの電源に最適です。充電回路は、ダウンコンバータのスイッチングをマイコンで行って最大効率が得られるようにコントロールします。

充電回路を製作する前に、太陽電池の能力を測定するシミュレータを製作します。充電コントローラにはPICマイコンを用い、太陽電池から引き出せる最大の電力で充電が行われるように制御しますが、プログラムをデバッグするときにシミュレータが役立ちます。マイコンのプログラムはC言語で書かれているので、PICマイコン以外にも移植が容易になるように考慮してあります。

7-1 太陽電池の能力を測る

太陽電池の能力は、開放電圧と短絡電流で代表されます。開放電圧は負荷に何も接続しない状態での端子電圧、短絡電流は端子を短絡したときに流れる電流です。その中間の状態における電圧と電流の関係をグラフ(V - I 曲線)にすると、おおむね図7-1のようなカーブになります。定電圧電源に抵抗を接続しただけなら単なる直線になりますが、太陽電池ではカーブが右上に向かってふくらみます。このカーブは、太陽電池が半導体の一つであることを示す特徴といえます。

V - I 曲線を測定するには可変抵抗(V_R)を負荷にし、負荷の変化に対する電圧と電流を測ります(図7-2)。太陽電池の選択によっては V_R に大きな電流が流れるので、音量調整用によく用いられる24mm径のもの(多くは0.2W)では発熱で破損します。巻き線型の10Wのものがお勧めです。写真7-1と写真7-2は内蔵した100Ωの V_R に直列に任意の抵抗が付けられるようにした抵抗調整ボックスです。

測定は晴天の日の正午前後、太陽光に鉛直になるよう太陽電池を向けて行います。空気が十分澄んでいれば、太陽光の強さは 1m^2 あたり約1kWと安定していて、季節には依存しません。冬至や日の出、日の入り前後の太陽が弱々しく見えるのは、地面に対する入射角度が小さいため地面に到達するまでの大気中の経路が長く、光が減衰してしまうためです。

測定作業は V_R を加減しながら電流と電圧をメモしていくのですが、その前に短絡電流を計っておきます。短絡といっても、電流計を直接太陽電池につないだ状態です。デジタル・マルチメータの種類により異なりますが、大きめの電流レンジに切り替えたとき電流は内部の0.1Ω程度の抵抗(シャント抵抗)に流れ、電流値はその両端の電圧を電流に換算して表示されます。本章で用いた太陽電池では、シャント

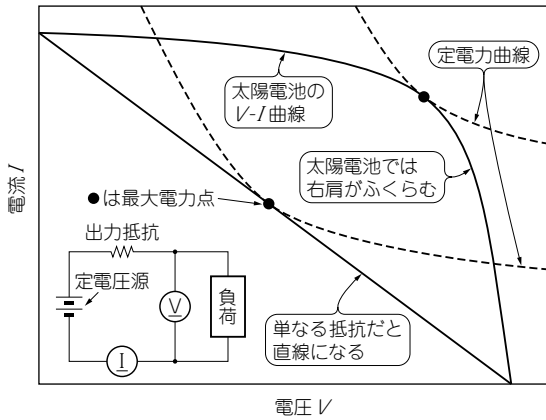


図7-1 太陽電池の電圧-電流特性

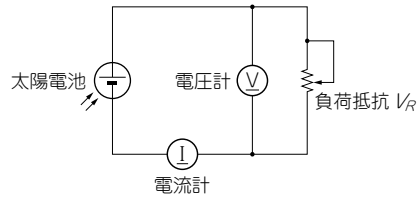


図7-2 V-I曲線を測定する回路

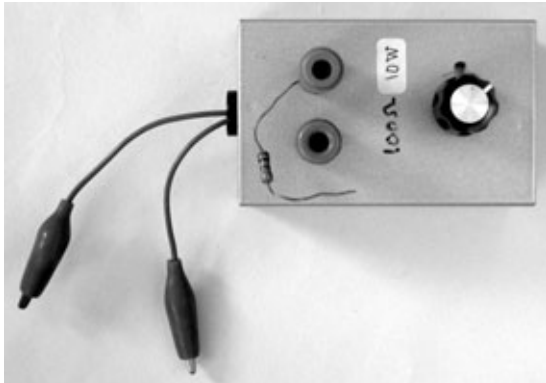


写真7-1 抵抗調整ボックス

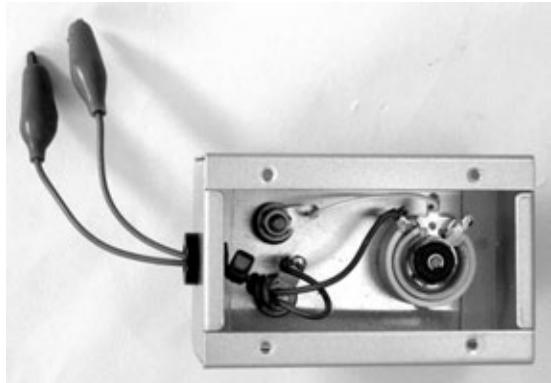


写真7-2 抵抗調整ボックスの内部

抵抗による電圧ドロップは数十mVで、電圧を測定するには無視してかまわない値です。図7-3が、写真7-3の太陽電池の特性を測定した結果です。電流が大きいときは、抵抗は100Ωの V_R のみ、80mA前後から下は100Ωを直列に追加して測定しました。

7-2 太陽電池シミュレータを製作する

回路を組んでも、晴れの日の昼間でないとテストができないので、太陽電池と同じ特性を持った電源を製作します。前述した測定結果と同じ特性を中心に開放電圧と短絡電流を可変にしてあり、異なる太陽電池やさまざまな日照条件に対応できるように考慮してあります。

図7-4が太陽電池シミュレータの回路図です。12VのACアダプタに接続して使います。左側は定電圧回路で、電圧可変の直流電源があればこの部分は不要です。シャント方式の定電圧回路を採用しているので、出力電圧を12V近くに設定しても使用できます。 R_6 を調整して出力電圧を設定します。この出力電圧が太陽電池の開放電圧に対応します。ジャンパJP₂には、電圧ドロップを兼ねた最大電流設

◆ 第8章

マイコンを使わない 蓄電池充電回路の製作

久保 大次郎

本章では、マイコンを使用しないで太陽電池から蓄電池に充電する回路の設計方法について、数W～100Wまでの太陽電池に対応する回路と数百Wの太陽電池に対応する回路の例を紹介します。

8-1 数W～100Wの太陽電池用充電回路

■ 太陽電池を最大出力状態に保つ方法

太陽電池で発生する電力を最も効率良く引き出すためにMPPT制御が使用されますが、MPPT制御をするためにはマイコンを用いる必要があります、回路がやや複雑になるという欠点があります。

太陽電池の電流-電圧特性をよく見ると、放射照度が変わっても、電力が最大になる電圧値はあまり変化しないことがわかります。そこで、太陽電池の出力電圧を開放電圧の約80%に設定すれば、ほとんど90%以上の効率で発電電力を利用することができます。

ただし、アモルファス太陽電池の場合はこの電圧がやや小さくなるようです。したがって、太陽電池から見た蓄電池充電回路の入力特性を図8-1のようにすれば、ほぼ最大出力が得られます。そこで、ここではMPPT回路を使わずに制御することになります。



図8-1 太陽電池から最大出力を引き出す充電回路の出力特性

■ チョップパ型DC-DCコンバータ降圧回路

図8-2に、出力が数W~100Wの太陽電池用の蓄電池充電回路を示します。蓄電池には12V定格の鉛蓄電池を使用しました。太陽光発電パネルが発生する電圧はメーカーによって異なり、一般に17~50Vです。そこで、できるだけ損失がなく太陽光発電の電力を蓄電池に供給するため、図8-3に示すようなチョップパ型DC-DCコンバータの降圧回路にしました。

チョップパ方式のスイッチング素子として、NチャネルMOSFET 2SK3176を使っています。スイッチング素子としてPチャネル型MOSFETの方が使いやすいのですが、Nチャネル型MOSFETの方がオン抵抗が小さくなるので、ここではNチャネル型MOSFETを使いました。そのためゲート・ドライブにはトランスを用いています。

図8-2中のTL494(テキサス・インスツルメンツ)は、やや古いタイプのスイッチング電源制御用ICです。図8-4に、このICのブロック図とタイミング・

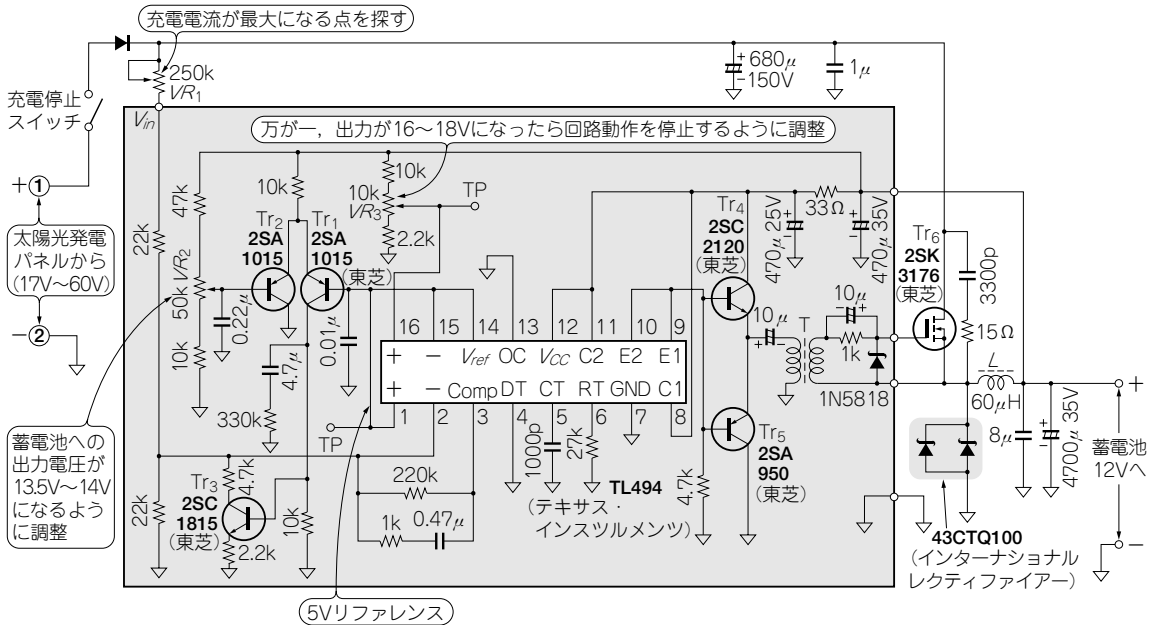


図8-2 数W~100Wまでの太陽電池に対応した充電回路

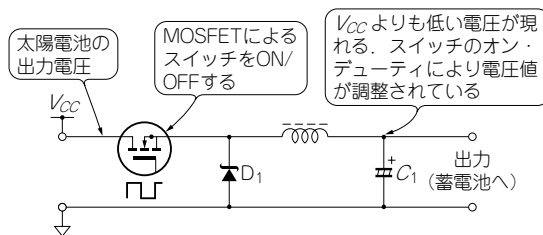


図8-3 チョップパ型DC-DCコンバータによる降圧回路