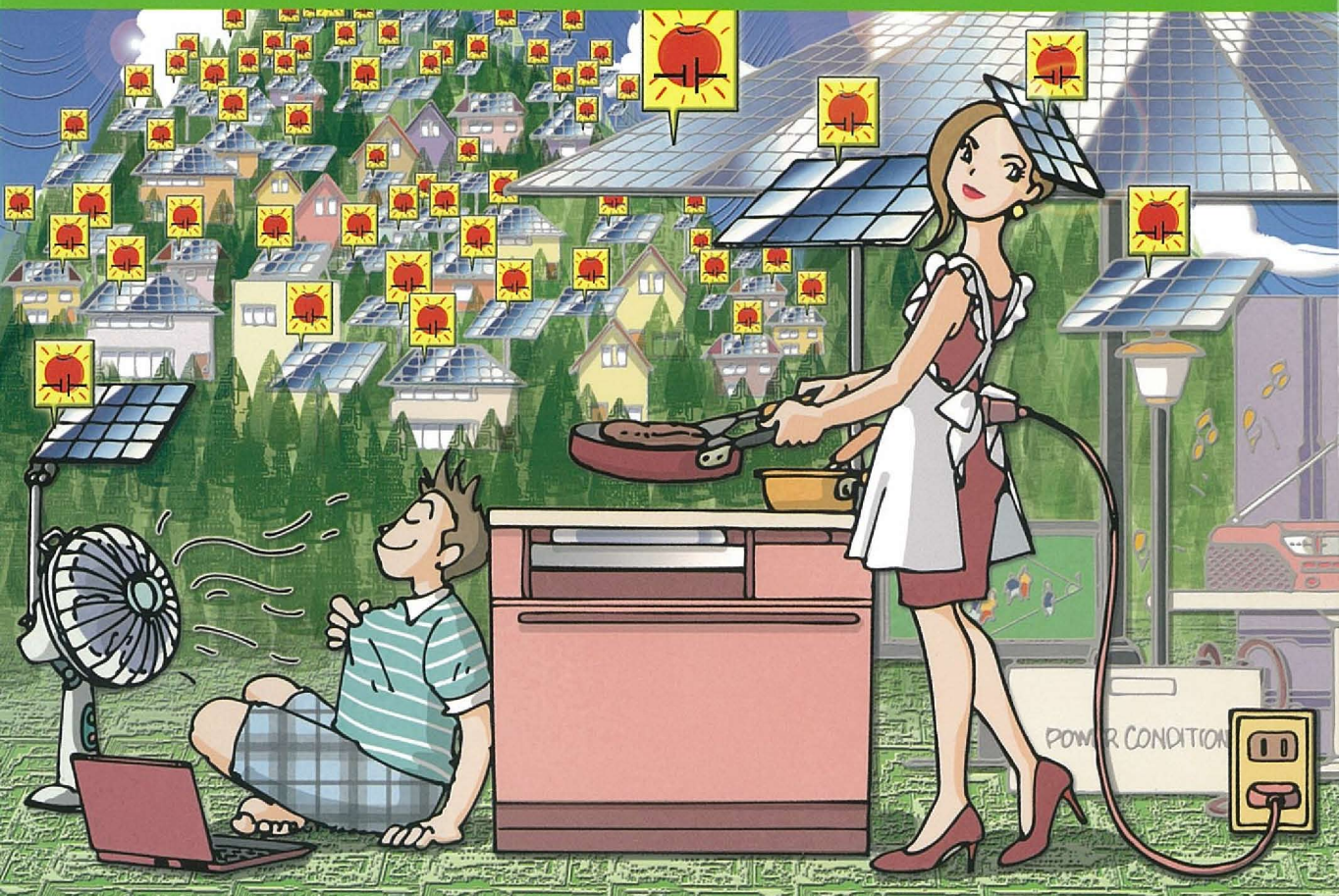


空から降り注ぐ光のエネルギーを電気に変換して活用する

太陽光発電のしくみと実例

- ブリッジレス・ブーストPFC回路の原理
- ブリッジレス・ブーストPFC回路の実験
- LED駆動用定電圧・定電流電源の考えかた
- MOSFETのボディ・ダイオードとは



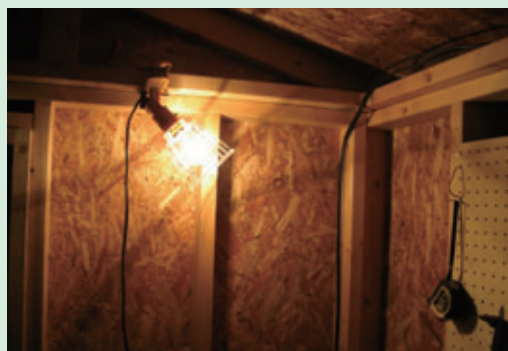
小型太陽光発電システムの導入例

◆ 小屋の電源確保



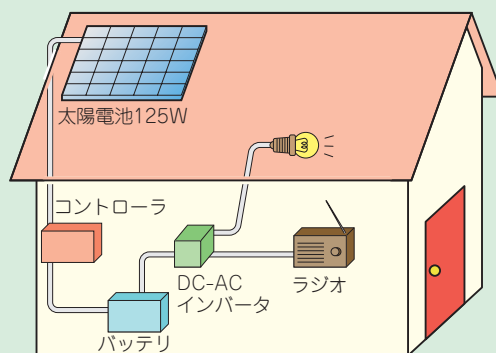
(a) 屋根の上に太陽電池モジュールを設置

〈写真1〉送電線から遠い小屋での利用



(b) 小屋内の照明などに利用

送電線から離れた畑の脇にある休憩小屋に電源を確保するため、図1のようなシステムを導入しています。125W太陽電池を1枚設置し、小屋内の蓄電池へ充電します。DC-ACインバータを介しAC100Vへ変換後、携帯ラジオや夕暮れ時の照明の電源に利用しています。



〈図1〉小屋にこのようなシステムを設置

◆ 駐車場の防犯用夜間照明



(a) 太陽電池モジュール

〈写真2〉駐車場の夜間照明用システム



(b) LED電球

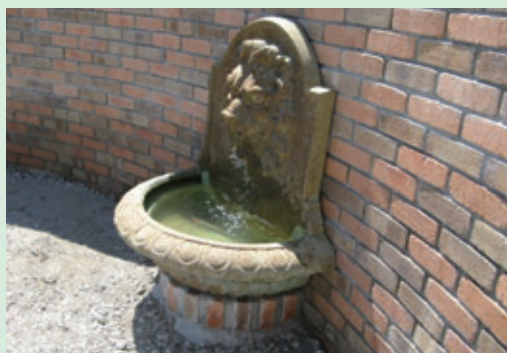
小電力のLED電球と独立型太陽光発電の組み合わせです。日没後夜明けまでの長時間、駐車場を照らすため、消費電力の少ないDC12Vの電球形LED照明を設置します。その電力を太陽電池

80W1枚で賄い、太陽電池の発電状況から昼夜を判定し照明を制御しています。システム構成は第1章の中で例として挙げています。

庭園内の水循環用ポンプ



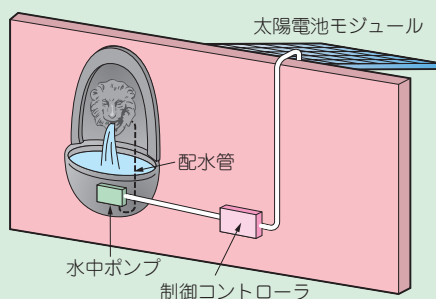
(a) 太陽電池モジュールの設置状況



(b) この水場のポンプを動かす

〈写真3〉庭園内の水循環用ポンプ駆動システム

観光用のバラ庭園内にある水場の水循環ポンプに利用しています(図2)。敷地が広く電源が確保しにくいので、独立型太陽光発電システムを導入しました。昼間の来客に合わせて水場を稼働させるため、太陽電池の特性を生かして、太陽電池40WとDC12V駆動ポンプを連動させ、昼間発電したときにポンプを稼働させるシステムとなっています。夜間は電力を発生しないので、ポンプも止まっています。



バッテリーはなく、ポンプを動かせる電力ができたときだけ動く

〈図2〉ポンプ駆動システムの概要

ソーラー街灯



(a) 外観



(b) LED ランプ部分を拡大

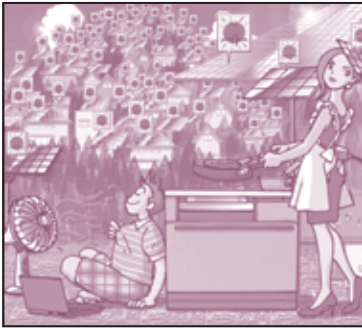
〈写真4〉太陽光発電による街灯

リチウム・イオン電池を採用し、従来の蓄電池に多く使用される鉛蓄電池において、後述の放電深度の少なさや電極板に硫酸鉛が付着するサルフェーション現象による劣化、交換サイクルの多さ、そして重量など今までの蓄電池の問題点を解

消しました。

小電力のDC12VのLED照明を採用し、軽量で小容量の蓄電池と太陽電池80W1枚で安定運用が可能になっています。

第2章



発電能力の概要や現実的な活用法 太陽光発電のあらまし

編集部

第1章では、商用電力と無関係で使う独立型、つまり電線のないところでも使えるシステムについて、いくつか実例を紹介しました。

この章では、太陽光発電の原理や活用法について紹介していきます。

太陽光発電の現状

● 太陽光発電システムの発電量

エネルギー問題における国際的な諮問機関であるIEA(国際エネルギー機関)には、各国のエネルギー事情を集計したさまざまなレポートがあります。この中の太陽光発電に関するレポート⁽¹⁾から、国ごとの太陽光発電システムの累積導入量…これまでに設置され

た太陽電池システムの定格容量を合計した値のグラフが図1です。

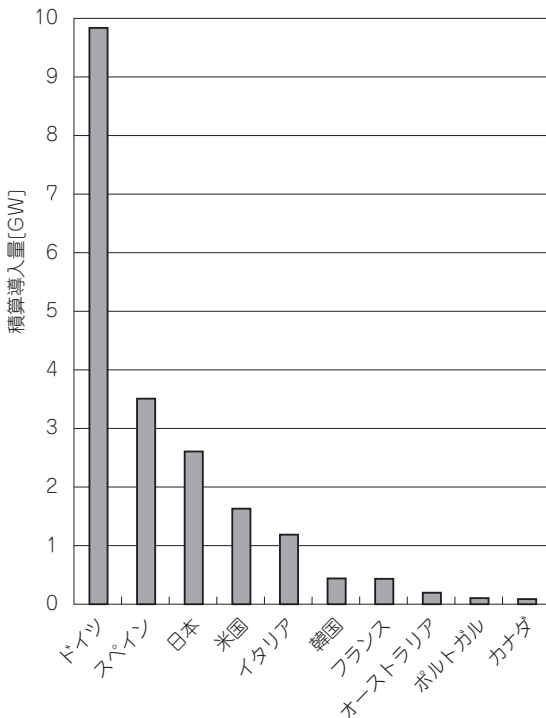
日本は2009年の時点で2.63GWであり、世界第3位です。世界第1位はドイツの9.8GW、第2位がスペインの3.5GWとなっています。

太陽光発電は、日が照っているときにしか発電しません。緯度や天気、気温など、さまざまな条件で発電可能な電力は異なってきます。そのため、定格容量が同じでも、設置場所によって実際の発電容量は変わってきます。

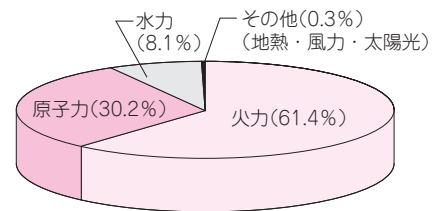
日本の環境では、**定格容量が1kWの太陽光発電システムを設置すると、年間でおよそ1000kWhの電力を発電する**といわれています。Whとは、1Wの電力を1時間使ったときの電力量です。100Wを消費する機器を10時間動かしていれば、1kWhの電力量を使ったことになります。

単純に計算すると、国内での太陽電池による発電電力量は2.6TWhが期待できることになります。実際には動作していないものもあるでしょうから、より少ない値になるでしょう。

この太陽光発電による2.6TWhという値は、日本全体の電力量からすると、どの程度の値でしょうか。資源エネルギー庁の電力調査統計⁽²⁾によれば、平成21年度年間合計の発電実績は、925TWh(9254億kWh)です。太陽光発電システムが発電に期待できる2.6GWhの電力量は多くても0.3%です。しかし、このまま順調に導入が進めば、1%(およそ原発1基分)も遠い先の話ではありません。



〈図1〉太陽光発電システムの累積導入量(国別, 2009年)



発電所として登録されている事業所のみ、企業の自家発電や家庭用の太陽光発電は含まない

〈図2〉国内の発電電力量実績(平成21年度)

● 国内の発電電力量実績

参考までに、925TWhの内訳をみてみましょう。グラフを図2に、値を表1に示します。もっとも大きな割合を占めているのは火力です。原子力が続き、一桁減って水力、さらに一桁減って地熱です。一般的に自然エネルギー発電として思い浮かぶ風力や地熱は、現状の日本では1%どころか、それよりはるかに小さな電力量しか発電できていません。

このグラフの数値では、太陽光の発電量が370MWhしかありません。先ほどの2.6TWhに比べて小さすぎると思われるでしょう。この統計は発電所による電力量だけを集めたものです。企業での自家発電や、家庭での太陽光発電などは含まれていません。日本で導入されている太陽光発電システムは、ほとんどが電力会社以外によるものなので、このような統計になります。太陽光発電による発電電力の実際の値は、前述のように数桁程度は大きくなるはずですが。

ただ、風力や太陽光による電力量の割合が小さいことには変わりありません。

● 太陽光発電のメリット

誤解を恐れずに言えば、太陽光発電は大電力を発電するにはあまり向いていません。面積を増やせば、そのぶん発電できる電力量も増えますが、発電所のように一か所にまとめたところで、効率が改善することはありません。

火力発電所、原子力発電所、地熱発電所などは、いずれも蒸気やガスなどでタービン(高速回転する羽根車)を回して発電します。タービンは一般に大型化するほど、温度を上げるほど効率を上げられます。逆に言えば、これらの発電では、小型化しようとするとう効率が悪くなります。

ところが太陽光発電は、大規模なものであっても、小さなものであっても、効率に大きな差は原理的にはありません。小さなものほど特徴が出せることになります。

必要な場所で必要なだけの電力を作ることこそ、太陽電池が得意とすることかもしれません。

〈表1〉国内の発電電力量実績(平成21年度)

原動力	電力量[MWh]	割合[%]
水力	74,539,247	8.1
地熱	2,695,156	0.3
火力	568,399,394	61.4
原子力	279,749,614	30.2
風力	8,334	0.001
太陽光	370	0.00004
合計	925,392,115	

太陽光発電の原理

厳密な解説はわかりにくいので、ここでは大雑把な話をします。正確性には欠けることをご了承ください。

● 半導体は電気と光の間を相互変換できる

LEDという電気を流すと光る半導体素子があります。これは、電気エネルギー(=電力、電圧×電流)を光エネルギーに変換する素子です。

もしこの素子を初めて知ったとしたら、逆に光エネルギーを電気エネルギーに変えられる素子がないかと思うでしょう。それを実現しているのが太陽電池です。

ダイオード(LED)と太陽電池は、どちらも半導体のPN接合というもので作られている点では同じです。

一般のダイオードでも、ガラス封入タイプで半導体素子が見えているものは、光を当てると、ごくごくわずかですが電力を発生します。そのため、微小電流を扱う回路やハイ・インピーダンスの回路では、透明なパッケージに入ったダイオードを使うとトラブルの元になることがあります。

LEDも同様に、外部から電圧を加えず光を当てると、わずかですが電力を発生します。この特性を使って、LEDを発光素子兼明暗センサとして使った例も存在します。

● 光半導体のうち電力発生に特化したのが太陽電池

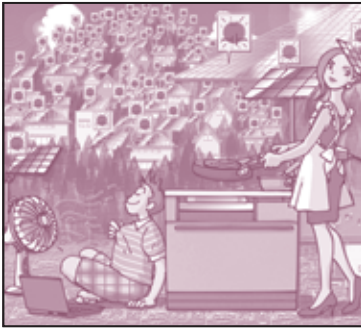
光を受けることを前提にしたPN接合を持った半導体には、フォトダイオードがあります。光の強さに比例した電流を出力させて使います。さらに、このフォトダイオードを線上や一面に並べることで、画像センサが作られています。CCD/CMOSイメージ・センサは、どちらも光を受け取る素子としてはフォトダイオードを使っています。しかし、フォトダイオードは電力を取り出すことが目的ではないので、素子は小さく、実用的な電力を取り出すことは不可能です。

光から電力を取り出すことを目的に、素子の作り方を大きく変えたPN接合を持つ半導体素子が、太陽電池です。

ダイオード、LED、フォトダイオード、太陽電池の構造を図3に示します。太陽電池では、電力の発生源となるPN接合に効率よく光が当たるよう、薄く、とても広く伸ばしたPN接合になっています。

同じ光を受ける素子であっても、フォトダイオードでは半導体素子のサイズが小さく、1mm×1mmでも大きい部類になるかもしれません。しかし、太陽電池では数cm角も珍しくなく、さらにそれを何枚も並べてモジュールにします。光を受ける面積として、フォトダイオードの何億倍、何兆倍もの広さを

第3章



電力をコンデンサに貯めてマイコンで無線通信 数Wの太陽電池を活用した センサ・ネットワーク・モジュールの試作

岡田 紀雄
Norio Okada

数 W の電力が取れる 小型の太陽電池を使ってみる

近年、再生可能エネルギーや自然エネルギーといった言葉で光や風、熱などを使った発電技術を活用した製品が見直され、手軽に購入できるようになってきました。

特に光エネルギーにおいては、光電効果を活用したPV(Photo Voltaic, 太陽電池)セルのエネルギー変換効率改善の研究が盛んで、小型化や低コスト化が進んでいます。

PVセルを複数並べたモジュールをPVアレイやPVモジュールと呼びます。

本稿では、この光エネルギーを活用するためのMCUによる基本的な電力制御のハードウェア構成とソフトウェアの実装方法、蓄電方法、その応用について紹介します。

応用事例としては、一つの8ビットMCUによるPVモジュールの発電制御例、温度と光強度の情報を収集する例と、さらにRF無線通信を組み合わせたセンサ・モジュール例を紹介します(写真1)。

このセンサ・モジュールをメンテナンス・フリーとするため、10万回以上の充放電が可能な電気二重

層キャパシタにより発電エネルギーを蓄えることにしました。出力電圧は最大5.5Vとします。部品の耐圧から、PVモジュールを2~4V(2W以下)とします。

● 数 W の PV モジュールでどんなものが動かせるか

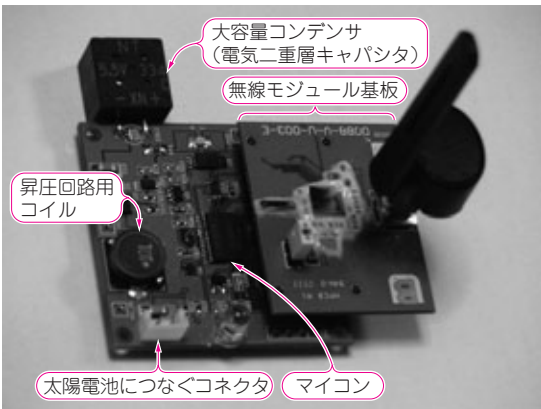
PVモジュールの設置面積が大きくてもよければ、発電量は大きなものが期待できます。屋外の日中に使う場合も、照射エネルギーは太陽光となるため、発電量は大きくなります。

たとえば、天気の良い日に屋外でバーベキューを楽しむ場面を想定すると、持ち運びさえ可能であれば、大きなPVモジュールを持参し、小型クーラ・ボックス程度の電気エネルギーを生成できれば、冷えた飲み物が準備できます。海水浴場や砂漠地域などでも十分に太陽光エネルギーが期待できます。このように、電力インフラが十分に整っていない場所や地域での活用が期待されています。

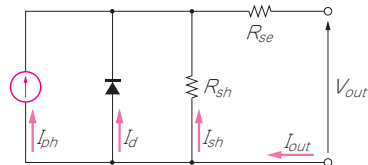
● PVセルの動作原理

PVモジュールを用いた発電装置を考える前に、PVセルによる発電の動作原理を、図1のような等価回路を用いて説明します。

等価回路中の電流 I は、電流源 I_{ph} 、ダイオード I_d 、並列抵抗に流れる電流 I_{sh} の和として表現でき、式(1)となります。

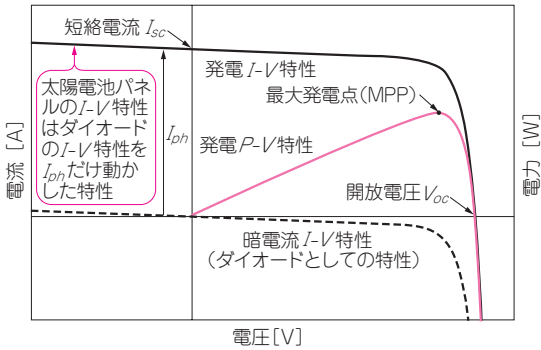


〈写真1〉 試作したセンサ・ネットワーク・モジュール



等価回路中の電流 I_{out} が、PVパネルとしての発電電流。
 $I_{out} = I_{ph} + I_d + I_{sh}$
電流源 I_{ph} は、光発電による効果で生成、ダイオード I_d は、暗電流として発生、電流 I_{sh} は、pn接合周辺の漏れ電流。特に暗電流がシステム全体の電力保持に重要な要素である

〈図1〉 PVセルの等価回路
おもに電流源とNP接合(ダイオード)で表現できる



発電特性 I-V を P-V 特性で書き直した際、極大点があることが分かる。この極大点が、最大発電点であり、その点に制御することを最大発電点追従という

〈図2〉 PVセルの発電 I-V 特性と発電 P-V 特性
光の強さや温度によってもカーブは変わる

$$I = I_{ph} + I_d + I_{sh} \dots \dots \dots (1)$$

$$\therefore I_d = -I_0 \left\{ \exp \frac{q(V + R_{sc}I)}{nk_B T} - 1 \right\}$$

$$I_{sh} = -\frac{V + R_{sc}I}{R_{sh}}$$

ただし、 I_0 は逆方向飽和電流、 q は電気素量、 n は理想ダイオード因子、 k_B はボルツマン定数、 T は温度

ここで、電流源は光発電 I_{ph} による効果、ダイオードは暗電流 I_d で、ショックレーのダイオード方程式に従います。

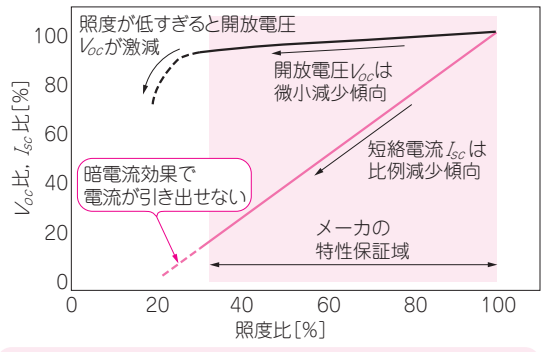
さらに、直列抵抗 R_{sc} は各部位の抵抗成分、並列抵抗 R_{sh} は PV セル内の pn 接合周辺の漏れ電流によって生じます。ここで重要な特性は、光電流 I_{ph} が光の照射度に依存するので、PV セルに光が照射されていないときは、 I_{ph} が 0 になることです。

● 最大発電ポイントで動作させるには

先の式(1)をグラフで表すと、図2のようになります。発電 I-V 特性において、縦軸との交点(発電電圧が0のとき)を短絡電流 I_{sc} 、横軸との交点(発電電流が0のとき)を開放電圧 V_{oc} といいます。

ここで、電流と電圧の積を発電電力として、第2縦軸に示します。このとき、電圧に対して電力の極大値があることが分かります。この極大点を最大発電点(MPP; Maximum Power Point)といいます。

PV モジュールから最大発電電力を得ることは、PV モジュールの電圧をこの最大発電点に制御することで実現できます。その制御を行うことを最大発電点追従(MPPT; Maximum Power Point Tracking)制御といい、いくつかの手法があります。



フォトランジスタと同様、照度減少に対して、短絡電流 I_{sc} は比例して減少。開放電圧 V_{oc} はほぼ一定だが、ある照度から急激に減少する。開放電圧 V_{oc} がスペックの7~8割あっても、得られる電流は1けた以上下がっていることがあるので注意が必要

〈図3〉 シリコン製 PV セルにおける開放電圧、短絡電流と光強度の関係
光が弱くなると急激に電力を取り出しにくくなる

PV モジュールの出力端子において、電圧と電流を測定し、その積が最大になるところに DC-DC コンバータで電力変換することが一般的です。

また、この極大値となる電圧は、PV セルの物性で決まります。その特性を活かすことで、電流センサを持たない回路構成として、最大出力電圧に追従することも可能です。後ほど、この二つの手法について、具体的に解説します。

● どの回路構成が適切か

PV モジュールのエネルギー変換効率が向上したからといっても、まだまだ、電池のような取り扱いができないのが現状です。特に問題になるのは、環境に応じて取り出せるエネルギーも変わってきてしまうことです。特に、PV モジュールに高光強度で安定して光が供給するような環境下は珍しいといえます。

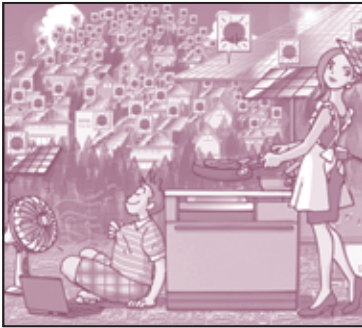
そのため、自然環境下では PV モジュールの発電パラメータである光強度、光の入射角、温度などは変化することを前提に考えたシステムを構築する必要があります。

言い換えると、PV モジュールの発電が不安定であるため、実際の PV モジュールはカタログ・スペック以下でしか動作しません。特に、PV モジュールの特性上、光強度に対する電圧の変化量は小さいのですが、電流の変化量は入射エネルギーに比例します(図3)。

テストなどで測定し、開放電圧がスペックに対して半分程度出ているとしても、最大発電点で得られる電流は、半分どころか数けた下がっています。

使用したい環境下でパネルの特性をみる場合、開放電圧ではなく、想定される負荷(抵抗)を接続し、電圧と電流の双方を測定し、システム全体で動作できるか見極める必要があります。

第4章



太陽光パネルの実動時間を長くして効率良く充電する 自動追尾の独立型太陽光 発電システムの製作

久保 大次郎
Daijiro Kubo

なぜ自動追尾システムか

近年、CO₂排出に起因する地球温暖化を防止する自然エネルギーとして太陽光発電がにわかに注目されています。確かに、この地球に降り注ぐ太陽エネルギー量の大きさは極めて大きく、その大きさは全世界で1年間に消費されるエネルギー量の1万倍以上とされています。自然エネルギーである風力エネルギーや水力エネルギーなども、ほとんどがこの太陽エネルギーを元にして生み出されているエネルギーと言えます。

● 太陽光パネルの実動時間を長くしたい

太陽光発電は、太陽の光が得られる場所であれば、どこでも発電が可能です。ところが、日本国内における標準的な有効日射時間は、1日当たりおよそ3～4時間程度であり、意外に少ないことが分かります。

発電できる状況が、晴天時の日中のみに限られるというのも大きな特徴です。夜間の発電量は0であり、明るい曇天時はわずかに発電するものの、厚い雲に覆われた曇天時や暗い降雨時、降雪時などでは、発電量はほぼ0となります。

従って、太陽光発電で期待どおりの発電ができるのは、日中の晴天時のみとなります。そこで、太陽光が注いでいる間、太陽電池パネルを常に最適方向に向けて最大限のパワーを得る**太陽光追尾システム**と、この電力を効率良く利用するための**独立型バッテリー充電回路**について紹介します。製作したシステムの外観が(写真1)です。

太陽光追尾システムのしくみ

● 太陽高度について

太陽光発電は、受光面に受ける日射量に応じて発電量が変化するので、太陽電池パネル面に対して、できるだけ直角に太陽光が当たるように設置することが理想です。

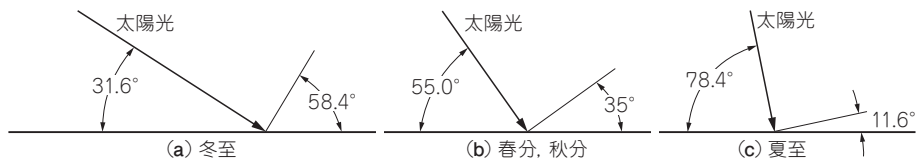
太陽電池を設置する方向は、北半球においては南向きです。太陽高度(水平線と太陽のなす角度)は、1年間に変化し、夏季は高角度、冬季は低角度になります。季節に合わせて太陽電池の角度を変化させることが理想ですが、通常の設定は固定となります。年間を



〈写真1〉製作したシステムの外観



〈図1〉太陽光パネルの設置角度



〈図2〉太陽高度の季節変化

通じて出力が最大になる角度として、日本ではだいたい30°で設置されています(図1)。

図2は、季節による太陽高度の変化を示したものです。冬季の太陽高度は約32°と低くなりますが、夏には約78°と高くなります。また、当然のことながら太陽は時間によって東から西に移動します。その様子を示したのが図3です。横浜におけるデータですが、朝は水平線(太陽高度=0)から太陽が顔を出し、昼間に太陽高度が最高となり、夕方には再び没します。

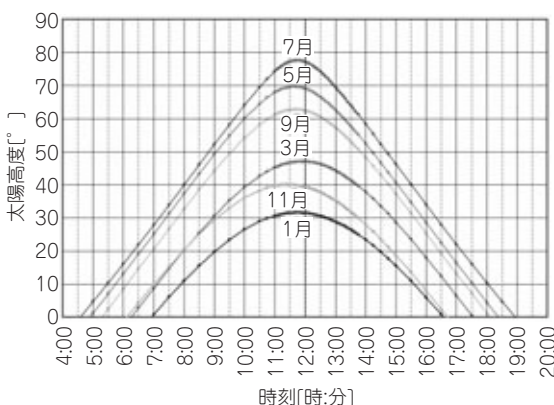
このように方位が変わる太陽光に対し、常に太陽光発電パネルを直角になるように追尾すれば、図4のように太陽電池パネルを有効に使うことができます。ここでは、日照時間に常に太陽電池パネルを太陽に対して直角に向け、受光面積を最大にして常に太陽電池パネルの持つ最大出力を得る追尾装置について述べます。

▶ 得られる電力はどの程度増えるのか

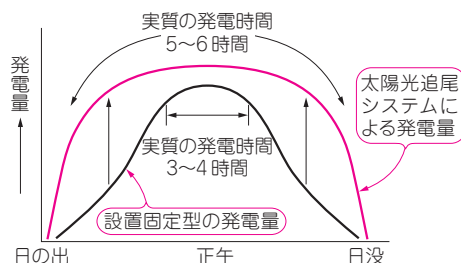
固定角度の設置と、太陽光を追尾する場合の発電電力の違いは多くの要件があり、一概に言えませんが、だいたい1.3～1.5倍ではないかと思われます。このような追尾装置は既に一部で製品化されていて、条件によっては、追尾しない場合に比べ2倍の発電量が得られたという報告もあります。

● 太陽追尾の方法

太陽が出ている間、太陽電池パネルを常に太陽に向



〈図3〉時刻と太陽高度の関係



〈図4〉太陽光追尾により発電量の増加が期待できる

け続けるには、高度と方位に対応する2軸制御の装置が必要になります。つまり、図5のように太陽高度に対応する軸と、太陽の方位に対応する軸が必要になります。これらの軸をモータで動かせるようにして制御します。

太陽電池パネルを常に太陽の方向に追尾させるためには二つの方法が考えられます。その一つは、場所、日時が分かれば太陽の位置が分かれますから、その位置を算出してステッピング・モータなどで制御する方法です。もう一つは、太陽光から太陽の位置をセンサによって捕らえ、常に太陽光がパネルに直角に当たるように制御する方法です。

前者の方法は、設置場所が分かれば、日月時によって太陽の高度、方位が分かるので、そのデータを参照して高度モータと方位モータを制御すれば良いわけです。この場合は、設置は絶対方位が狂わないように設置する必要があり、曇天時や降雨時、降雪時などでも太陽電池パネルを太陽に方向に向けることができます。

一方、後者の太陽位置センサによる方法は、輝いている太陽の位置をセンサで検出し、常に太陽を追いかけるように制御します。この場合、設置時の方向は正確でなくて良いのですが、曇天時や降雨時、降雪時などには太陽光を検出できないので、太陽の位置が特定できないことになります。

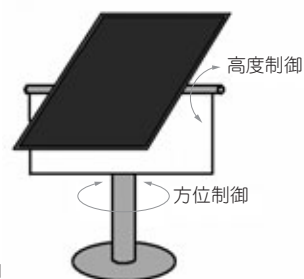
ここでは、後者の太陽位置センサを用いた方法による追尾システムについて紹介します。

▶ 追尾の要求精度は？

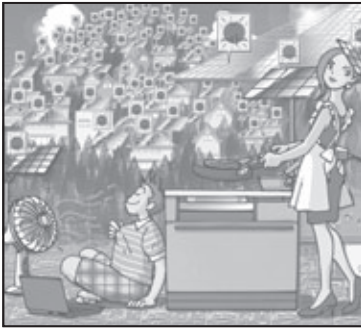
さて、太陽電池パネルを常に太陽に向ける制御を行うわけですが、その精度の要求はどうでしょうか。今、太陽からのエネルギーを P_0 [W]、太陽電池パネルの太陽光に対する角度を θ [°]、太陽電池パネルの変換効率を η とすると、パネルから得られる発電エネルギー P は次の式で求められます。

$$P = P_0 \times \eta \times \cos(90 - \theta)$$

ここで $\theta = 90^\circ$ (太陽光に直角)の場合、出力 P は最大となり、 $\theta = 0^\circ$ で0になります。例えば、直角に対して30°傾いた場合は $\theta = 60^\circ$ ですから、この場合の P は最大値の87%となります。ということは、さほど精度は必要がないと言えます。



〈図5〉2軸制御



太陽光発電で家庭のエコを実践しよう 12V 鉛蓄電池を使った 太陽光発電システムの作り方

田本 貞治
Sadaharu Tamoto

比較的手軽な太陽光発電の使い方

地球温暖化で大きな自然災害が多発するようになってきました。少しずつでも CO₂ の削減につながる取り組みができれば、地球全体でみると大きな力になります。

エコの取り組みにはいろいろありますが、家庭用で実利があり、楽しみながらエコができる方法を考えることにします。

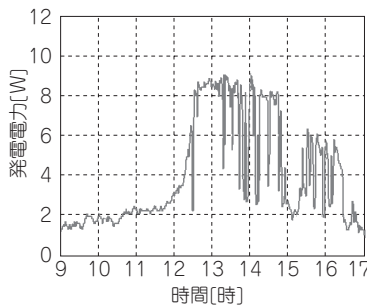
太陽光発電は得られる電力が不安定で、使い方に工夫が必要です。ここでは、入手しやすい 12V 鉛蓄電池を活用する方法に絞って紹介していきます。

太陽光発電は使いにくい！

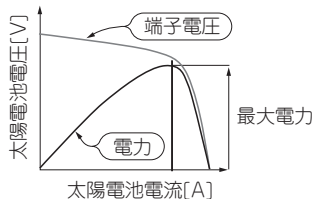
太陽光発電は CO₂ を発生させないクリーンな電力です。エコを考えるときにはもってこいのアイテムです。最近では、数 W から数十 W の小規模なパネルが W_{EB} でも販売されており入手しやすくなっています。家庭でちょっと発電して使うことができそうです。しかし、自然が相手のため使いにくいエネルギーです。まず、太陽光発電の特徴と問題点を整理します。

● 日射によって発電電力が大幅に変わる

図1は 10W の太陽電池パネルが実際に発電した電



〈図1〉 太陽光発電によるバッテリー充電特性



〈図2〉 太陽光パネルの電圧電流特性

力をグラフ化したものです。太陽が高くなるにしたがって電力は増加しますが、そのときの雲の影響により太陽光が妨げられると急に電力は低下します。

「太陽が当たれば大きな電力を発電し、曇るとほとんど発電しない」を繰り返します。雨降り日はほとんど発電できないと考えたほうがよいでしょう。したがって、電力が一定しない非常に不安定な発電と言えます。

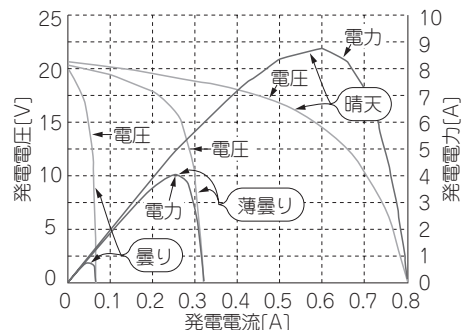
● 取り出す電流によって電圧が大きく変わる

図2に一般的な太陽電池パネルの特性を示します。端子電圧曲線は、負荷電流と端子電圧の関係を示しています。端子電圧は解放時が最大で、それから負荷を加えると端子電圧が下がっていきます。さらに負荷電流が増加すると急激に端子電圧が低下して、最後はほとんど 0V になってしまい、短絡電流以上の電流は流れません。

図には、このときの発電電力も示しています。負荷電流が多くても少なくとも発電電力は少なくなり、最大の発電電力が得られる点が存在します。この最大電力は日射によって変わります。

● 最大電力が得られる端子電圧は概ね同じ

図3に、日射が変わったときの負荷電流と端子電圧と発電電力の関係を示しています。具合がよいことに、太陽光の強さが変わっても解放電圧はほとんど変



〈図3〉 太陽光パネルの発電特性

AC 入力ブリッジ・ダイオードを省くさまざまな手法 高効率ブリッジレス・ブースト型 PFC 回路の原理

吉岡 均
Hitoshi Yoshioka

電源回路では、製品としての差別化や小型化のため、さまざまな効率向上策が採用されています。その中で、改善がなかなか進んでいないのが整流回路のダイオードによる損失でした。

整流ダイオードを MOSFET に置き換えることで、損失を減らして力率改善も行う方法が、1982 年に特許を取っています。ブリッジレス・ブーストといわれる回路です。

最近になって、この基本特許が切れたことと、効率改善に対する要求が続くことで、この技術が注目されています。

電源の高効率化が進む

一昔前、電源回路といえば、図 1(a)のように、商用交流電圧(AC100V)など 50/60Hz のトランスを使って電圧を下げ、その下げた電圧を整流・平滑したあと、3 端子レギュレータなどを使って一定電圧に安定化するドロップパ型でした。

この回路は出力電流側がトランスにより絶縁されている上に、後述するスイッチング電源のような数 Mz 以上のノイズをほとんど発生させません。

そのかわり、レギュレータは入出力に適切な電位差がないと動作しないので、入出力間の電位差 × 出力

電流だけの損失を発生させてしまいます。商用電源のトランスが大きくて重いことも、嫌われる原因です。

その後、小型 / 軽量 / 高効率(低損失)が可能な、図 1(b)に示すスイッチング電源回路が主流となってきました。

スイッチング回路では、電流を流すときは素子を ON 状態にして電圧を小さく、電流を流さないときは素子を完全な OFF にすることで、電圧 × 電流で決まる損失を小さくします。

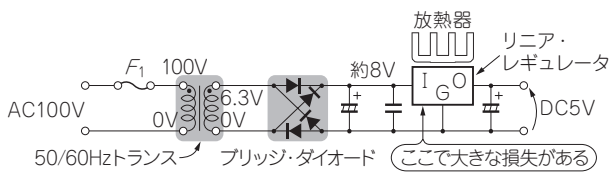
スイッチング周波数を高くすることで、絶縁 / 変圧用のトランスも小型化できます。ドロップパ電源に対して利便性が大きく向上しました。

現在は、このスイッチング電源のなかで、さらなる効率化が進められています。

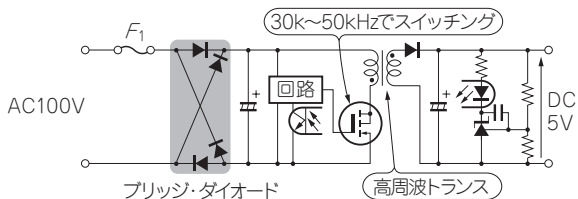
スイッチング電源の内部損失を分析すると

AC-DC 変換の絶縁型スイッチング電源の変換効率は、ごく一般的な入力 AC100V で出力 5V20A の 100W モデルで約 80% です。この意味は「100W 出力で効率 80% なので内部損失は 20W」ではありません。内部損失は、以下の式から 25W になります。

$$W_{loss} = W_{out} \times \frac{1}{\eta - 1}$$



(a) 古くからあるドロップパ型電源



(b) 現在主流のスイッチング電源

ON/OFFのスイッチングなら、ONのときは電圧が、OFFのときは電流がほぼ0なので、電力=電圧×電流はどちらにしろほぼ0。ドロップパ型に比べて損失電力をとても少なくできる

〈図 1〉電源はスイッチング化により損失電力を減らした
ドロップパ型は電力の無駄が多く、大型になるうえに発熱も大きい

$$= (5V \times 20A) \times \frac{1}{0.8 - 1}$$

$$= 25W$$

ただし、 W_{loss} ：内部損失、 W_{out} ：出力電力、 η ：変換効率

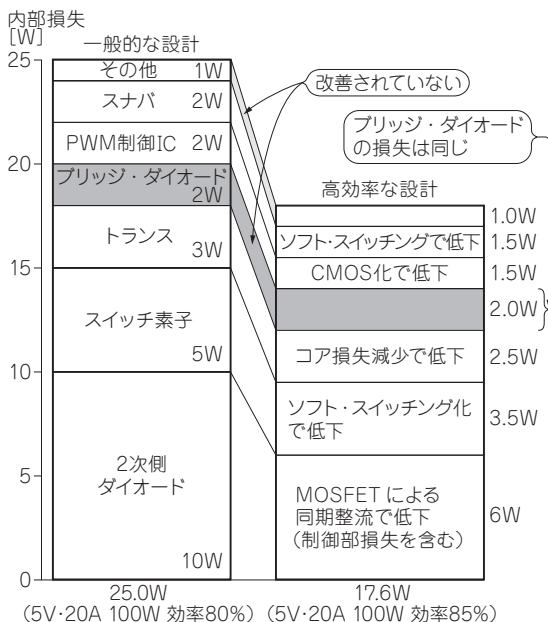
トランスを用いたスイッチング電源では、同じ出力電力 100W でも出力電圧により変換効率が変わります。5V20A モデルは約 80% ですが、12V8.3W モデルでは約 85%、24V4.2A モデルでは約 90% と、一般的には出力電圧が高くなるほど変換効率は高くなります。これは 2 次側の整流ダイオードの電流が小さくなること、トランスの 2 次巻き数が増え結合率が向上することなどが理由です。

5V20A モデルの内部損失 25W を分析してみると、図 2 左側のグラフのように 2 次側の整流ダイオードの損失が最も大きく、次いでスイッチ素子、トランス、ブリッジ・ダイオード、コントロール回路と続きます。

● 効率を改善したスイッチング電源の内部損失

スイッチング電源は内部損失を減らすため変換効率の改善に努力していますが、変換効率 100% の電源回路はできません。電力変換するためには半導体を使い、その半導体の PN ジャンクションには電圧降下があるので、必ず損失が発生します。今まで回路の工夫や素材の改良など、以下のようなさまざまな損失改善を行い、ほぼ飽和状態です。

- ① 1 次側スイッチ素子のソフト・スイッチング化
- ② トランス用磁性材料の改良によるコア損失の改善



〈図2〉スイッチング電源の損失原因
小型化のために損失電力を減らす努力が行われている

- ③ 2 次側ダイオードを MOSFET にした同期整流
- ④ 制御 IC の CMOS 化による省電力

これらの工夫を実施した後の 5V20A100W スwitchング電源の変換効率は約 85% となり、内部損失は約 25W から約 17.6W に低下します。この内部損失を分析すると図 2 の右側のようになります。

このグラフから読み取れることは、損失の割合が多かった 2 次側ダイオードの損失が少なくなったので、交流入力成全波整流するブリッジ・ダイオードの損失の割合が目立ってきたことです。

つまり、今後のスイッチング電源のさらなる変換効率改善に残された方法は、交流入力を整流する「ブリッジ・ダイオードの損失をいかに低減するか？」ではないでしょうか。ここを改善しなければ、効率改善は頭打ちになってしまうのです。

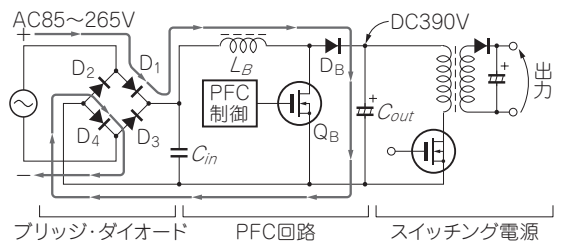
● ダイオードの V_F は何本分？

まず、今までの回路構成で、ダイオードの順方向電圧降下 (V_F) を再確認してみましょう。図 3 に示すように、交流入力を通常のブリッジ・ダイオードと力率改善回路 PFC (Power Factor Correction) を用いて構成すると、ブリッジ・ダイオードの D_1/D_4 で $V_F \times 2$ 本分、力率改善回路の昇圧 (Boost) ダイオード D_B で $V_F \times 1$ 本分、合計で $V_F \times 3$ 本分の損失が発生します。この損失は交流入力の正負の各半サイクルで共通なので、連続して発生しています。

100W 出力のスイッチング電源では、ざっくりした仮定で 1A の入力電流があると考えられます。1V の V_F として算出すると、 V_F 1 本分は約 1W の損失が発生するので、 V_F 3 本分から 2 本ぶんへの変更で約 3W \Rightarrow 2W と 1W の内部損失低下が可能です。変換効率は 85% から 85.7% になり、約 0.7% の改善が可能です。小さい改善かもしれませんが、90% 近い変換効率で 1% の改善は、細かな内部損失低減を少しずつ積み上げるしかありません。

● PFC 部の損失だけに注目すると？

次に、スイッチング電源の入力力率を改善する



〈図3〉大型のスイッチング電源に使われる入力回路
ブリッジ・ダイオード整流と PFC 回路が組み合わせてあり、電流経路にダイオードが 3 本ある

特設記事

インターリーブPFC制御IC UCC28070とその評価基板を利用したブリッジレスPFC回路のしくみと実験

山本 純一
Junichi Yamamoto

電源回路の高効率化で注目されるブリッジレス

● より高効率の電源が求められる

スイッチング・モード電源の設計では、特に省エネルギーと環境保護の観点から、電力効率の向上が重要な課題となっています。例えば、NEEA (Northwest Energy Efficiency Alliance) の 80 PLUS イニシアチブでは、デスクトップ・パソコンおよびサーバの電源設計者に対して、表1のような基準を設けることで、効率を向上させる革新的なソリューションの開発を求めています。

最近の商用 AC ラインに接続する電源には、電力が

〈表1〉 80PLUS の規格値

20%, 50%, 100%時の三つの効率をクリアしなければいけない

80 PLUS 認定 定格に対する 負荷率[%]	115V 入力時の 効率[%]			230V 入力時の 効率[%]		
	20	50	100	20	50	100
80 PLUS	80	80	80	N/A		
80 PLUS Bronze	82	85	82	81	85	81
80 PLUS Silver	85	88	85	85	89	85
80 PLUS Gold	87	90	87	88	92	88
80 PLUS Platinum	90	92	89	90	94	91

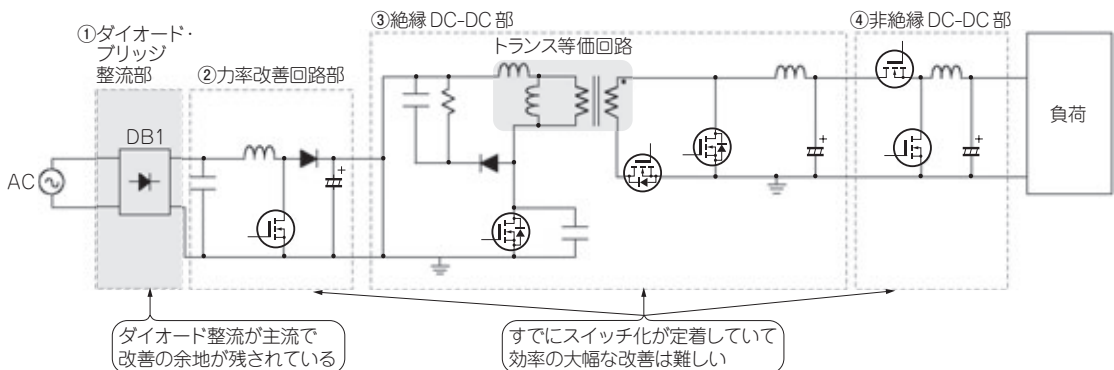
小さい製品などの例外を除き、高調波対策が要求されます。そのため、電源回路は、図1のように①ダイオード・ブリッジ整流部、②力率改善回路部(PFC)、③絶縁 DC-DC 部、④非絶縁 DC-DC 部という構成になっています。このうち②~④は、すでに MOSFET や IGBT を使用し、いくつかの回路方式を使用しながら、高効率化が追求されてきました。

しかしながら、今後さらなる高効率化のためには、未着手であった①ダイオード・ブリッジ整流部においても低 ON 抵抗のスイッチを使用し、損失を低減することが検討されています。

● ダイオードの損失が無視できなくなってきた

後述しますが、①ダイオード・ブリッジ整流部のスイッチ化は、後続の②力率改善回路部(PFC)と合わせて行うことも検討されています。この二つのブロック合計では、AC100V など入力 AC 電圧が低い条件のとき全負荷では出力電力の 5~8% の電力を簡単に消費します。80PLUS のような高い効率基準をクリアすることを目的とすれば、大きな電力消費といえます。

より高い効率と優れた性能を得るために、ゼロ電圧スレッシュホールド(ZVT)PFC や、インターリーブ PFC などが提案されています。その中でも、本稿で紹介するフル・ブリッジレス / セミ・ブリッジレス PFC は、入力の整流ブリッジをなくすことで、それによる導通損失を低減することから、多くのエンジニアの関心を集めています。



〈図1〉 現在主流の電源回路構成

● ダイオードのかわりに MOSFET を ON/OFF 制御する

このダイオード・ブリッジ整流部をスイッチ化することをブリッジレス化と呼んでいます。ここでは、四つのダイオードすべてをスイッチ化したものをフル・ブリッジレス、下側二つのダイオードのみスイッチ化したものをセミ・ブリッジレスとして扱います。

特にセミ・ブリッジレス PFC は、インターリーブ PFC 回路から発展させて考えることができ、比較的实现しやすい方式です。

ここでは、基本的にはインターリーブ連続モード PFC 用制御 IC ですが、セミ・ブリッジレス PFC 制御 IC としても使えるテキサス・インスツルメンツ社 (以下、TI 社) の UCC28070 による応用回路を紹介します。

この UCC28070 を使ったセミ・ブリッジレス・ソリューションは、電流検出用に特別な追加の回路を必要とせず、従来の連続導通モード (CCM) PFC と動作

がよく似ているという点で、実装が比較的簡単です。

セミ・ブリッジレス PFC の回路構成と動作

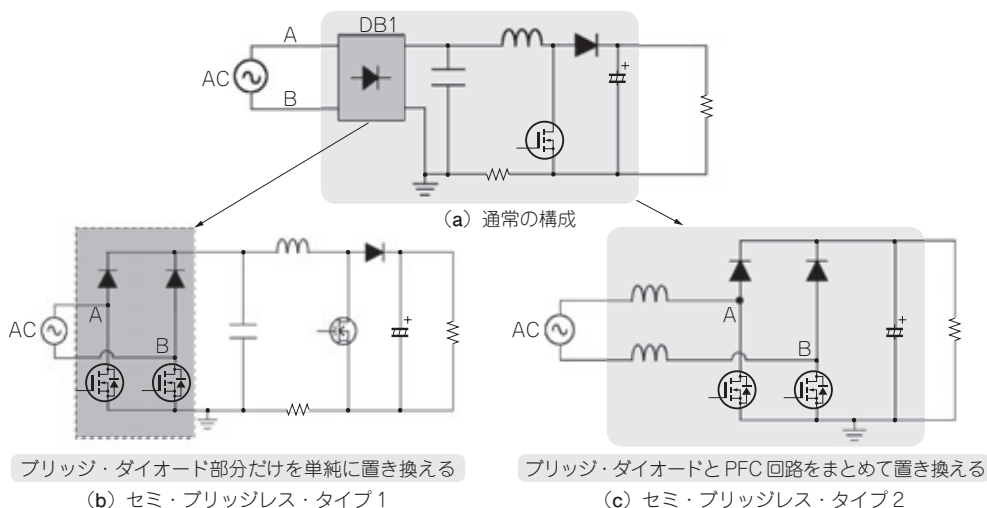
● セミ・ブリッジレスは大きく分けて 2 通り

セミ・ブリッジレス PFC を大きく二つに分けると、図 2 に示すように、通常構成のブリッジ・ダイオード部分が単純にスイッチに置き換えられたタイプ 1 と、ブリッジ・ダイオードと PFC を含めた部分が一体化されたタイプ 2 とに分けられます。

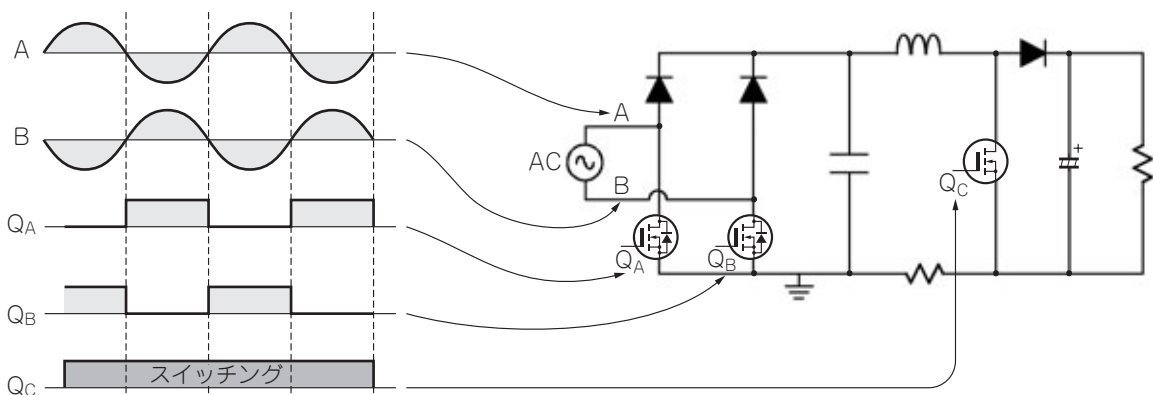
● ダイオードをそのまま置き換える方法

タイプ 1 は、ブリッジ・ダイオードの下側ダイオードの V_F 損失を低減しようとする構成です。下側のスイッチ二つは、入力ライン周波数に合わせて低周波でスイッチします。

この構成では、ノード A とノード B のどちらのライン電圧がプラスなのかを検出し、スイッチ Q_A また



〈図 2〉セミ・ブリッジレス PFC の分類



〈図 3〉セミ・ブリッジレス・タイプ 1 のタイミング・チャート

特設記事

CQ出版社

見本

ISBN978-4-7898-4835-0

C3055 ¥1800E

CQ出版社

定価：本体1,800円（税別）



9784789848350



1923055018006



グリーン・エレクトロニクス

Green Electronics Series

このPDFは、CQ出版社発売の「太陽光発電のしくみと実例-グリーン・エレクトロニクス No.5」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai//books/48/48351.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/hanbai/order/order.htm>