

太陽電池を使った独立電源システム

はじめに

太陽電池の技術には作る技術と使いこなす技術があります。ここでは初めて太陽電池使う人を対象に、基本的なことを学習して頂き、実際に小さな太陽光発電システムをご自身で作る際に必要な知識を習得頂くことを目標とします。厳密さに欠ける説明はある程度お許し頂き、「できるだけ簡単に、素人でも分かり易く」をコンセプトに解説を行います。

第一章 太陽電池の基礎知識

この章では太陽電池に関する一般的な知識について解説します。基本を知らずして応用はできません。ぜひここからお入りください。

1-1. 太陽電池の歴史

米国のベル研究所が今の原形となる太陽電池を発明したのが 1953 年です。世界で初めて実用化したのは日本で 1958 年です。当時は非常に価格が高かったので、無人灯台や宇宙衛星など特殊な分野で使われてきました。1974 年に政府がサンシャイン計画を発表し、太陽電池を一般に普及させるための技術開発がスタートします。この頃から一般住宅の屋根の上に載せる太陽電池が量産され始めます。ただし、余りも高価で効能もはっきりしなかったもので、殆ど売れませんでした。

1980 年に政府の補助金制度がスタートし当時 600 万円であった住宅用太陽電池が 300 万円の手に入るようになり、普及の第一歩を歩み始めます。1993 年には系統連携システムが登場し、自家使用で余った電気を電力会社が買い取る制度がスタートします。それまで決め手となるアプリケーションが明確で無かった業界に一石が投じられます。その後、コストダウンに伴い補助金額が減少し、2004 年には目標であった当初価格の半以下になり、補助金制度は一度終了しました。補助金によって約 27 万件に太陽電池が普及し、日本は世界の太陽電池大国になります。いわゆる太陽電池は日本のお家芸とも呼べる技術で、御三家と呼ばれるシャープ、京セラ、三洋電機が市場を開拓し、普及推進をしてきました。

一方、海外では住宅の屋根に個人が何百万円も投資することなどナンセンスと考えられ、太陽電池はお金持ちの道楽か、集合住宅に設置される程度でした。この状況は今も余り変わらず、日本を訪れる太陽電池の専門家も、日本の一般住宅屋根を見て驚かれます。

2004 年にドイツで再生可能エネルギー法(RPS 法)が改正され、太陽電池で発電した電力を通常の電力料金の約 8 倍で買い取る「フィードインタリフ制度」がスタートし、市場が一変します。投資家を募って資金を集め、広大な土地を 10 年間借用し、そこに太陽電池を設置して電気を売る「発電ビジネス」が一気に広がります。建設費を 5 年で償却し、残り 5 年は全て利益になるというビジネスモデルです。この影響で 2004 年に日本は総発電量世界一の座をドイツに譲ってしまいます。そこからは差が開く一方です。

その後、フィードインタリフ制度を採用する欧米諸国が増えて、太陽電池産業が世界中で一気に開花して行きます。世界各国から太陽電池産業への参入が相次ぎ、2007 年には原

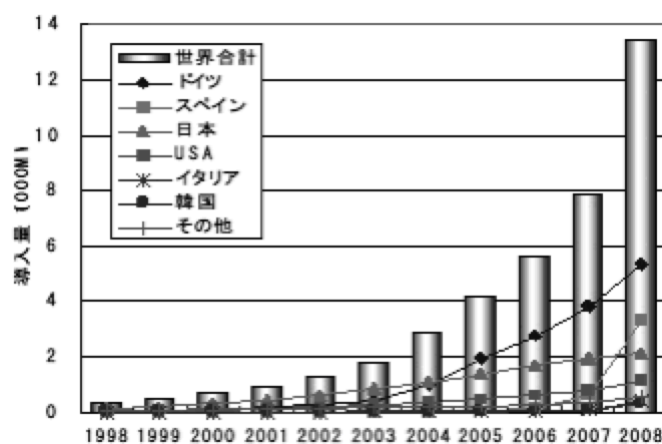
料であるシリコンの買い占めがあり、日本メーカーは思うように増産できずシェアを大幅にダウンさせました。しかし、フィードインタリフ制度による一般電気料金の値上げという悪影響が出始めて、買取り倍率が徐々に低下し普及速度が減速して行きます。リーマンショックによる貸し渋りや投資抑制もあり、一時期のフィーバーは無くなりました。でも、フィードインタリフ制度が太陽電池の普及に大変有効であると各国は改めて認識することとなりました。

そのお陰で日本は発電量も生産量も世界一位から転落しましたが、太陽電池産業は日本のローカル産業から一気に離陸して、一般商品として普及率が急伸している最中にあります。中国などの参入によって価格競争が激化し、日本メーカーは苦戦を強いられます。2006年まで第一位のシャープも2009年は第六位まで転落しています。しかし、日本の各メーカーは価格競争でシェアを確保する道は選ばず、技術力での優位性を追求する方向に歩んでいるように思えます。

私が少し危惧する事は、日本では10年保証は当たり前、技術的には30年前設置した太陽電池※ですら、殆ど問題無く現在も使える程に、日本メーカーには太陽電池の信頼性に対する知見があります。一方、海外メーカーの殆どがここ数年の新参者、本当に長期信頼性は確保できているのか、これは誰にも判らないことです。海外メーカーは25年保証と言っていますが、25年と言えば一般の加速評価試験でも判断が付かない領域だと思います。従い、過去の実績が何も無いメーカーが保証を謳う根拠はないと思います。中国企業も米国ベンチャーも10年後の会社存続自体が判りません。

太陽電池の先駆者として後輩達に「太陽電池は壊れないという評判だけは落としてくれるな」と言いたいところです。

※シャープが1978年に長崎県の尾上島灯台に設置した太陽電池は、2009年の灯台LED化による引退まで32年間稼働し続けましたが殆ど劣化することありませんでした。また、シャープは長年に亘る太陽電池開発の功績により、世界的に権威あるIEEEマイルストーン賞も受賞しました。



世界の太陽光発電累計導入量の推移 出典：IEA-PVPS ホームページ

<http://www.jema-net.or.jp/Japanese/denki/2010/de-742/p09-11.pdf>

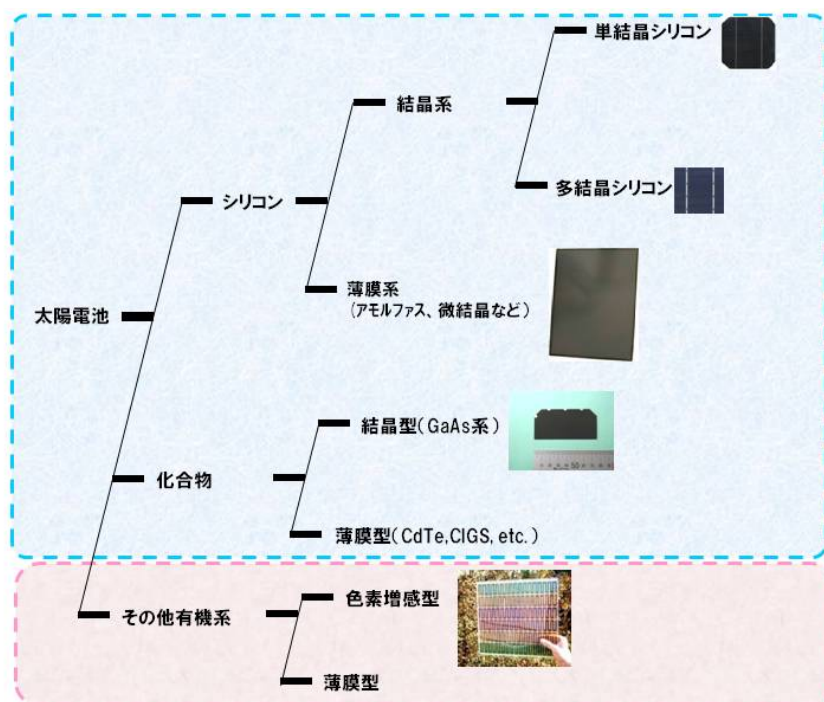
1-2. いろいろな太陽電池

太陽電池は半導体です。様々な材料が利用されますが、大きく分けて、シリコン系・化合物系・有機系に分けられます。また製造方法によって、結晶系と薄膜系に分けられます。シリコン系太陽電池の歴史は長く、日本の老舗メーカーの殆どが手掛けています。最近は化合物系の薄膜太陽電池の伸長が著しいですが、レアメタルを使っている関係で、将来の材料調達面での不安もあります。

太陽電池は構成材料により、特性面で一長一短があり、用途に応じて使い分けする必要があります。例えば薄膜太陽電池は結晶太陽電池に較べて変換効率が低いですが、温度上昇に強く、低緯度地域での発電に有利です。GaAs は変換効率が結晶太陽電池に較べ 2 倍以上にもなります。コストは数百倍ですが宇宙用ではこれに代わるものはありません。

一方、将来の太陽電池のエースとして目されているのが色素増感型です。大変カラフルで製造工程はペンキのように塗って乾かすだけで、太陽電池価格を一気に引き下げる可能性があります。今は、変換効率と寿命が極端に低く商品性は低いです。

いずれにせよ、将来、誰が太陽電池の覇者になるのか、誰にも想像は付きません。



太陽電池の分類

※変わり種では米国のベンチャー企業がCdTe(カドミニウム・テルル)という材料を使っており、新参者ながら世界シェア第二位と急伸しています。しかし、この材料、物性的に優れている事は誰もが知っていることで、価格的にも安く製造工程も簡単なので、かつて日本メーカーも電卓用太陽電池として製造していました。しかし、カドミニウムという非常に危険な環境汚染物質を使っている関係で、他社は量産を躊躇ってきたのですが、この会社は「10年後に回収します」という約束をしてドイツで爆発的に普及させました。しかし、事故が起こると有害物質の飛散は避けられませ

ん。更に、この会社の社長が株の売り逃げするという噂も絶えず、ちょっと目を離せない事態になっています。社会問題化しなければ良いのですが。

1-3. 太陽電池の変換効率

地上に降り注ぐ太陽光のエネルギー量は、日本ではおおよそ $1000\text{W}/\text{m}^2$ です。明るさという尺度では 10 万ルクスになります。一般オフィスの照明の基準が 700 ルクスですので、どれだけ明るいかは想像できると思います。

太陽電池の性能指標はこの太陽光のエネルギーのうち、何%を電気エネルギーに変換出来るかを現わす変換効率が一つの目安となります。ごく一般的なシリコンの結晶系太陽電池で 14-18% になります。薄膜系太陽電池ですと 8-13% くらいが一般的です。際立って性能が高いのは宇宙衛星用に使われる GaAs 系太陽電池ですが、35% くらいの変換効率があります。オーストラリアで開催されたソーラーカーレースでシャープ製 GaAs 太陽電池を搭載した車両は、他車の倍の 1.6kW の出力を誇り、ぶっちぎりで優勝しましたが、製作費 5 億円の殆どが太陽電池費用とされています。



1-4. 結晶系太陽電池について

最初に実用化された材料はシリコンの単結晶です。半導体用シリコンと同じく種結晶から円柱状のシリコン単結晶を作り、薄くスライスしてウェハにし、熱拡散プロセスを得てP型とN型の半導体を一枚のウェハに形成し、銀電極を表と裏に焼成して完成します。

太陽電池セル1枚の起電力は0.5V程度と大変小さい為、このままでは電力として利用にし難いため、幾つかのセルを直列につないでモジュールというパネル形状にして製品化します。当初は円形のままモジュールにしていたましたが、太陽電池セルどうしの隙間が大きく、面積対発電量（モジュール効率という）を高める為には、できるだけ四角にしたところです。単結晶では一部の角だけ残した8角形のセルが一般的になりました。真四角にするとモジュール効率は高くなりますが、捨てる部分が多くなりコストが上がるため、妥協

点を取っています。

一方、半導体用シリコンは非常に高価であるため、1974 年から始まったプロジェクトでは、シリコンの端材（図のしっぽのような形状部分）を使って、それを 1400℃で解かして黒鉛の四角い坩堝に流し込み固めるという方法でシリコン多結晶体を作り、それをスライスしてウェハにし使用する多結晶セルが実用化されました。

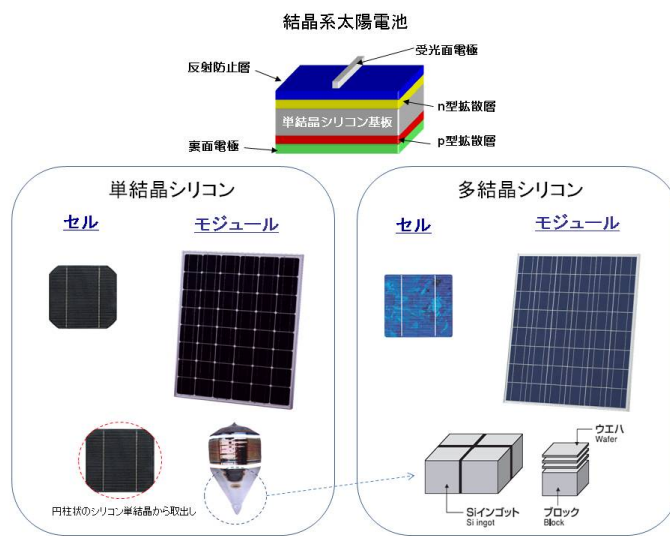
単結晶のシリコン純度は 9 が 11 個並ぶほど高純度ですが、多結晶は 9 が 6 個と純度が低く、結晶の界面粒界もあるため発電効率は単結晶より低くなりますが、シリコン端材という産業廃棄物を原料にしていたためコストが低く製造できました。現在ではコスト優先で多結晶セルが主流となり、原材料も端材だけでは足りず、材料メーカーがソーラーグレードという純度の低い太陽電池専用のポリシリコン材を製造しています。

材料の使用量を減らしてコストを下げる為にウェハの厚みは年々薄くなり、現在は 130～100 μm が主流になっています。今後も薄型化は続くものと思われます。また太陽電池セルの大きさは、同じ製造値でも生産効率を上げる為に 100mm 角、125mm 角、156mm 角と徐々に大判サイズになっています。

シリコン結晶系の太陽電池の場合、理論効率は単接合（P と N の一つの接合）のみの場合 25%程度と言われています。効率を高める為には 2 つのアプローチがあり、一つは太陽光の反射を防ぎ効率良くセルに光を取り込む技術、もう一つは、受光面側に電極があるのですが、これが光を遮ってしまうため、この電極を細くする技術です。

一般に販売されている太陽電池の場合、セル 1 枚で 4W 程度の出力が取れます。一方、電圧は約 0.5V ですから、8A もの大電流がセルに流れる事となり、安易に電極を細くすることはできません。従って、上記 2 つの改善だけで太陽電池セルの効率を向上させるのは限界にきています。そこで従来とは異なった構造を持つ太陽電池の開発がメーカーでは続けられています。

※米国のサンパワーは PN 接合面を従来の水平状態から垂直状態にして、裏面のみから電極を取り出すバックコンタクト方式の太陽電池を量産しています。セル効率が 22%と断トツに高いのですが、製造コストも高く、追従するメーカーも居ない状況です。太陽電池はコストとのバランスが大切です。市場では W 単価で評価されます。まだまだサンパワー方式が最終結論とは言い難い状況です。



1-5. 薄膜系太陽電池について

太陽電池は古くから電卓に使われています。それがアモルファスシリコンという薄膜の太陽電池です。プラズマ CVD という装置によってシリコンを厚さ $2\text{--}3\mu\text{m}$ の層に形成して太陽電池を作ります。ただこの単層の太陽電池では変換効率は 5% 程度しか無い為、発電用途として普及しませんでした。

太陽電池用シリコンの需要がひっ迫し始めた 2006 年頃から、再び薄膜太陽電池が脚光を浴びることになります。一つはシリコン系の薄膜太陽電池で、アモルファス層に微結晶シリコン層を重ねる事で、短波長と長波長の両方の太陽光を吸収させることで効率アップを図ったものです。もう一つは、化合物系と言われる材料で、CIGS(銅とインジウム、ガリウム、セレンの化合物)が一般的です。

薄膜太陽電池はガラス基材の上に透明電極、発電材料、電極という構造を半導体と同じようなプロセスで形成します。セルどうしを直列につなぐ作業は、レーザースクライブという技術を使って製造プロセス内で行われます。従って、結晶系太陽電池のような太陽電池セルを作ってからそれをモジュールに組み立てるという作業がなく、製造工程がシンプルになります。

また、シリコン結晶系の太陽電池の場合、温度上昇と共に出力が低下しますが、薄膜系は結晶系の半分の低下しかありません。従って、低緯度の高温地域に太陽電池を設置する用途では、薄膜太陽電池の方が適していると言えます。

※三洋には HIT というユニークな太陽電池があります。アモルファスシリコン薄膜と結晶シリコンのハイブリッド構造(多接合)を取っています。変換効率は非常に高いのですが、製造プロセスが複雑で価格が高いのが難点です。特に面積が小さくても高い出力を得たい都会の狭小屋根で重宝されています。

1-6. 太陽電池の基本特性

太陽電池は光電変換素子です。受光する光エネルギーの量には電流に比例します。理想的にはどのような電圧で使っても光量が同じなら一定の電流が取り出せるはずですが、実際には電流-電圧カーブ（IV カーブ）を描きます。

太陽電池の両端をショートした時に流れる電流が最大電流で短絡電流（Isc）と呼びます。また両端を開放した状態で最大電圧が発生し開放電圧（Voc）と呼びます。実際の太陽電池はこの IV カーブのいずれかの動作点で使われることになります。この IV カーブの面積と $I_{sc} \times V_{oc}$ の値の比率を FF 値と呼びます。FF 値が高いほど理想的な太陽電池と言えます。通常は光量として $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、 25°C での値で表示されることが多いです。

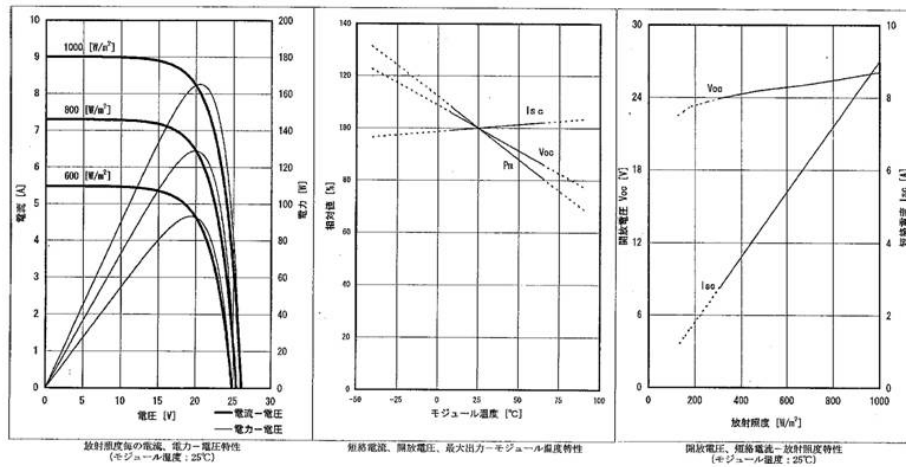
IV カーブが存在するということは、動作点が変わると取り出せる電力値が変化することを意味します。この電力値と電圧値をグラフに現わすと山のある曲線になり、電力が最大となる点を最大出力点（Pmax）と呼びます。この時の電圧値を最大出力点電圧（Vpm）、電流値を最大出力点電流（Ipm）と言います。 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、 25°C に於ては一般的に Voc の 80% 程度が Vpm 点になります。

従って、太陽電池の電力変換効率を最大限に発揮させる為には、常に Vpm となる電圧値で動作させる必要があります。しかしながら、この Vpm 点が光量と温度によって変化することが太陽電池の使いこなしで難しい点です。参考までに、結晶系太陽電池の温度特性を示します。この特性表はモジュールのものです、セルであってもスケールが違っただけで基本は同じです。

また、温度上昇と共に開放電圧が低下して行きます。 25°C の温度差で約 20%低下します。これは重要な特性で、気温 25°C で屋根の上に太陽電池を設置した場合、太陽光のエネルギーを受けて太陽電池自体の温度も上昇し、太陽電池表面は $50\text{--}60^\circ\text{C}$ くらいになります。よくカタログ通りのスペックが出ないとクレームを受けますが、この温度上昇に起因する特性を認識されていないためです。

光量（放射照度）と Voc, Isc の関係も示しておきます。Isc はほぼリニアですが、Voc は在る照度以下で極端に低下します。夕暮れ時の太陽電池の電圧を測定しますと、殆ど電流がゼロになってから、電圧が急速に下がって行くのが良く判ります。かなり精度良く、夜間照明用センサ代わりに太陽電池の電圧値が利用できます。例えば私の実測では、Voc=21V の太陽電池の場合、3.5V 付近が市販の CdS センサを使った自動点滅器の動作点になります。この再現性はかなり正確です。

太陽電池モジュール 電気的特性 (□156mm単結晶)



第二章 太陽電池の使い方

この章では実際に太陽電池を電源として使う場合の基本的な知識について説明します。特に日射量に関する知識が十分でないと、太陽電池を正しく使う事ができません。「太陽電池は使い物にならない」という話を良く耳にしますが、日射量に対する知識が不十分な方が多いと思います。

2-1. 日射条件と発電量

第一章で説明しましたように日射量と発電量はほぼ比例します。日射量を左右する条件として・東西南北の向きの問題 ・1日の太陽の傾斜角の問題 ・天候の問題 ・気温の問題のそれぞれが複雑に影響し合います。この問題の理解には、実際に太陽電池を設置して得られた「統計データ」が大変有用です。統計データは JPEA (太陽光発電協会) や NEDO (産業開発機構) により公表されているものがあります。

2-1-1. 太陽電池の設置条件

統計データの基準とされるのが、日本に於いては、真南かつ傾斜角 30 度の設置条件です。この条件を最大出力として、太陽電池の実際の設置条件 (傾斜角と方位角) によって、どれだけ年間の平均発電量が変化するかデータがあります。

以下の説明では、全てこの基準となる標準設置条件でお話しますので、各自で設置される場合、最後にこの条件表に基づいて補正を行って下さい。

年間発電電力量の違い		[真南、傾斜角30°を100%とした東京の場合]						
方位角 傾斜角	0	15	30	45	60	75	90	
	真南			南東or南西			真東or真西	
0(水平)				89.3%				
10	94.9%	94.7%	94.1%	93.0%	91.7%	90.1%	88.5%	
20	98.4%	98.1%	97.1%	95.2%	92.5%	89.8%	86.6%	
30	100.0%	99.5%	97.9%	95.2%	92.0%	88.0%	83.7%	
40	99.5%	98.7%	96.8%	93.6%	89.8%	85.0%	79.7%	
50	96.5%	96.0%	93.9%	90.4%	85.8%	80.7%	75.1%	
60	91.7%	91.2%	88.8%	85.3%	81.0%	75.7%	69.8%	
70	85.0%	84.5%	82.4%	79.1%	74.9%	69.8%	63.9%	
80	76.7%	76.2%	74.3%	71.7%	67.9%	63.1%	58.0%	
90	67.1%	66.8%	65.5%	63.4%	60.2%	56.4%	51.6%	

発電電力量の差3%以内

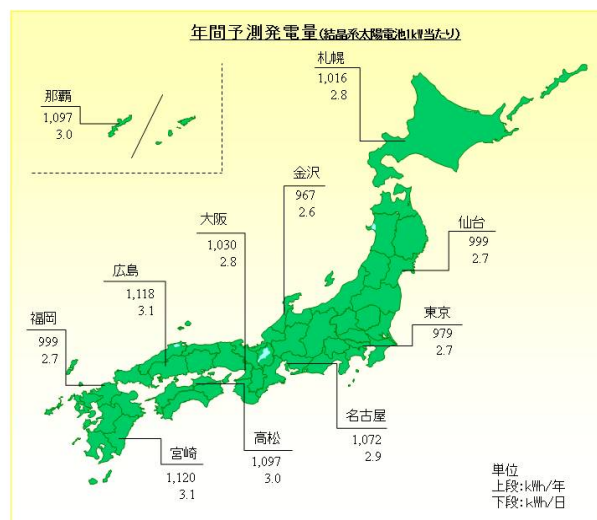
発電電力量の差5%以内

2-1-2. 地域別の年間発電量

太陽電池の発電量は日射量と気温に左右されます。日射量は天候に大きく左右されます。天候や気温は地域によって特性があります。この特性は絶対的なものではなく毎年変化しているのはご周知の通りです。また、降雪は太陽電池にとって厄介物です。積雪があると雪が解けるまでは殆ど発電しなくなります。ただし雪が降れば太陽電池に積もるとも限りません。ベタ雪とパウダースノーでは状況は全く違います。北海道と新潟では年間発電量に雲泥の差が出てきます。

こういった実態を踏まえ、太陽電池の平均設置容量当たりの年間総発電量の実測値が地域毎に発表されています。例えば、東京地区の場合、太陽電池容量1W換算で年間979Whの発電量が得られます。1日に換算しますと、2.7Whとなります。北海道2.8Wh、金沢2.6Wh、広島3.1Wh、沖縄3.0Whです。これは天候・気温・日陰などを加味した「平均値」です。

この平均値は実際の住宅用太陽光発電システムの発電量の実測値から得られたもので、太陽電池の温度上昇によるロス分、後述するパワーコンディショナーによる損失分や配線によるロス分が含まれます。



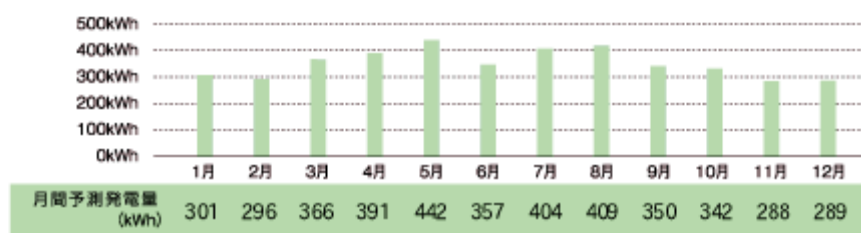
2-1-3. 季節別の発電量

季節による日射量の変化もあります。地軸の傾きの影響で太陽の軌道が季節によって変化します。例えば北緯 35° であれば、正午の太陽の傾きは夏至 78.5°、冬至 31.5° になります。先ほど標準条件は設置角度 30° の固定と言いましたが、太陽の傾きの変化で発電量も変わってきます。それに加え、雨や雪の影響、気温の影響があります。

例えば、東京地区では、太陽電池 1W 当たり 5 月が最大で 1 日平均 3.33Wh、11 月が最低で 1 日平均 2.35Wh です。年間平均 2.7Wh と比較すると、123%~87%の間で変化することになります。

住宅用太陽光発電システムのように、商用電力を併用する場合には、年間平均発電量で設計して、買う電気と売る電気でもバランスを取れば何ら問題はありません。しかし、完全な独立電源として太陽電池システムを考える場合、年間平均発電量で計算すると冬場は電力不足になります。最低発電量を基準に設計する必要があります。

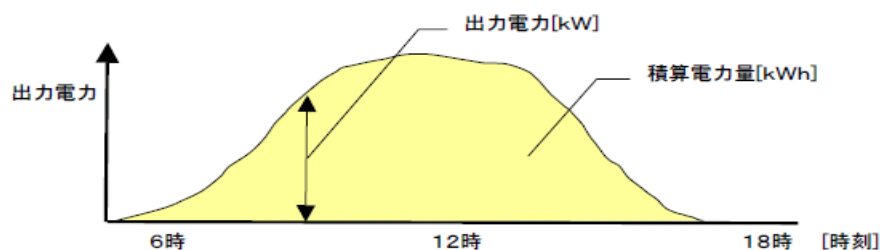
また、市販のソーラー街路灯には電力が足りない時は商用電源から賄うという割り切った商品もあります。これは善悪ではなく、機器の設計ポリシーに係わる問題と言えます。



大阪地区、太陽電池容量 3.91kW のシステム（南面設置、傾斜度：30°）での予測発電量

2-1-4. 一日の発電量変化

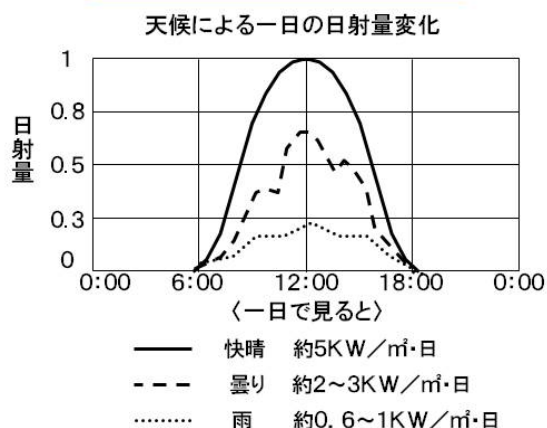
1 日単位で見ると、早朝や夕方太陽光が斜めから太陽電池に差し込むために発電量は減少します。この影響だけだと発電量はサインカーブとなります。しかし、朝夕は太陽光が大気を通る距離が長いので、大気に吸収されて日射量が減ります。（これをエアーマスという）また、当然ながら雨や曇りの日は日射量が少なくなります。



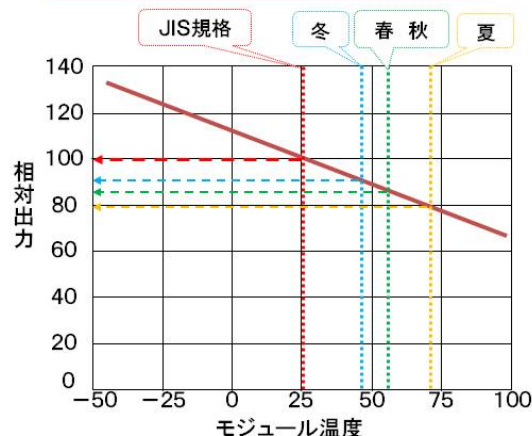
更に、晴れの 1 日の間でも雲の発生や小雨などもあります。太陽電池はこれら日射量の変化を敏感に発電量に反映します。即ち、1 日の発電量グラフは頻繁に上下しており、電力会社からは「太陽電池の電気は変動が激しく汚い」と言われます。このような状態では、

独立電源として使い難く、一般的には蓄電池やキャパシターを併用して発電電力を平準化します。太陽電池を上手に使うには、電池やキャパシターとの併用は必須であると考えてください。

日射量・天候により、変化します。



太陽電池出力・季節によってかわります。



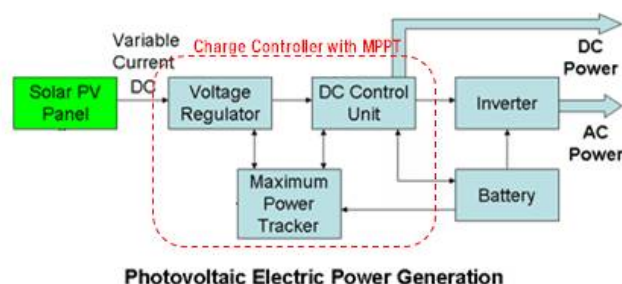
2-2. 太陽電池を使った電源システム

では実際にどのようにして、太陽電池を電源として利用できるようにすれば良いのかをお話します。

2-2-1. 独立電源システムと系統連携システム

独立電源システムとは、商用電力を使わず太陽電池だけで電源を賄うシステムを指します。先ほどお話しましたように、1日に於ける変動を吸収し安定した電力を得るためには蓄電池は必須のアイテムとなります。また太陽電池自体は冬場の最低発電量を基準にして容量を決めれば良いですが、「不照日」と呼ばれる日射量が全く足りない日に備えて、電気を蓄えて置く為にも蓄電池は必要です。なお、平均日射量はこれら「不照日」も含めて計算されています。

蓄電池は充放電制御をしないと極端に寿命が短くなりますので、チャージコントローラという機器を仲介させます。チャージコントローラには蓄電池保護のため、負荷のON/OFF機能もあります。



系統連携システムとは、蓄電池を持たず、太陽電池により発電した電力を商用電力と混

で使うシステムを指します。住宅や工場の屋根に付いている太陽電池は殆どがこの形式です。商用電力は通常 AC200V で接続します。工場用で一部 440V 接続の製品もあります。

商用電力に接続する為には様々なガイドラインがあります。例えば、周波数の同期、電流電圧の位相差の調整、電圧の調整などです。この制御には商用電力の電圧と位相を計測し、それに合わせて連動させる仕組みが必要です。例えば、同じ電圧であれば電気が流れて行きませんので、少しだけ高い電圧にしますが、余り高いと電力系統に支障を来たします。状況によっては連携しないという選択も必要です。また停電時は安全のため連携を切り離します。これらを細かく自動調整しなければなりません。

また基本的なことです、AC200V を作る為には DC320-350V の電圧が必要となります。住宅の屋根の上に載せる太陽電池は、モジュールを直列に繋いで DC80-380V 程度にします。電圧は太陽電池モジュールの形状や枚数に左右され、住宅の屋根の面積や向きによっても大きく違ってきます。更に日射量によっても変動します。変動する DC 電圧を一定の DC 電圧に変換する DC/DC コンバーター、DC/AC 変換するインバーター、先に説明した制御回路を一つに収めた装置をパワーコンディショナーと言い、系統連携システムでは必須アイテムです。

日本の太陽電池メーカーは、太陽電池の普及の為に自らパワーコンディショナーを開発し商品化してきました。しかし海外メーカーの場合はそれぞれが独立したメーカーです。また、日本では電気安全基準やノイズ規制が海外に較べ厳しく、海外メーカーのパワーコンディショナーが国内で使用されているのを私は見たことがありません。

住宅用パワーコンディショナーに関しては、コラムで説明しています。

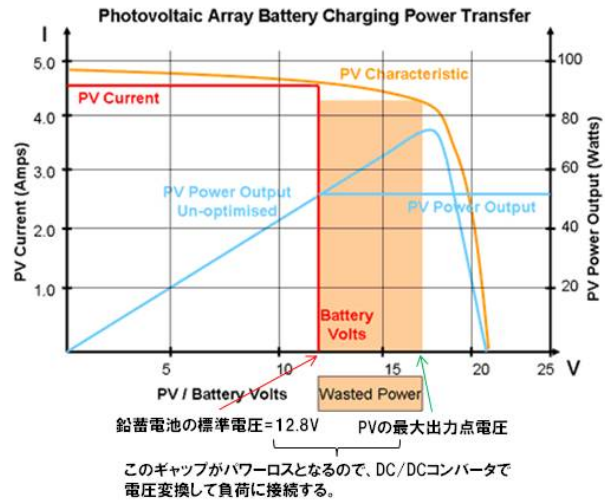
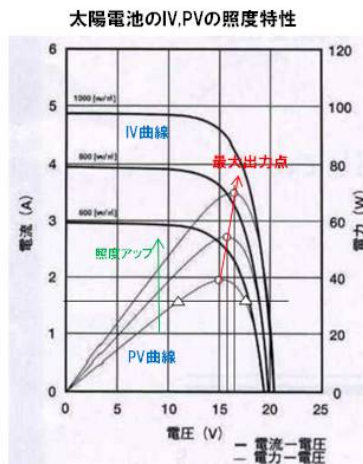
2-2-2. 太陽電池の制御技術

太陽電池の基本特性の項でお話しましたが、太陽電池の最大出力点は常に変化しています。仮に一定電圧で使うとどうなるのでしょうか。例えば、独立電源システムで鉛蓄電池に直結するような使用方法です。この場合、図に示す赤枠の部分が太陽電池から取り出される電力量は 58.9W になります。 $(12.8V \times 4.6A)$ 一方、本来の最大出力点は $V_{pm}=17V$ の時で $I_{pm}=4.2A$ の電流が取り出せます。この時の電力は $P_{max}=71.4W$ です。即ち 12.5W が無駄になっている計算になります。言い換えれば 18%近くのロスが発生します。

実際の系統連携用パワーコンディショナーでは、マイコン回路を搭載し最大出力点を常にスキャンして見つけ出し、 V_{pm} の値で太陽電池から電力を取り出すように制御しています。これを最大出力点追従制御 (MPPT 制御) と呼んでいます。現在では常識的な装備になっており、どこのメーカーもアピールはしていません。むしろ DC/DC コンバーターや DC/AC インバーターの徹底した省エネ技術を競っており、各メーカーとも総合効率で 94-97.5%という電力変換効率を誇っています。

一方、独立電源用のチャージコントローラでこの機能を装備する製品は極めて少なく、効率も最大で 90%前後の商品が多いことから、まだまだ改善の余地はあると思います。

太陽電池の制御技術



※独立電源システムでは精々数百W規模ですが、系統連携システムでは住宅用で 1.5kW-5.5kW、工場の屋根等に設置されるものは10-250kWと扱う電力の桁が違います。パソコンも 1.5kW-500kW までありますが、1%のロスが大きな発熱量となってしまう。従って効率は非常に重要です。

一方、数十Wの小規模なチャージコントローラではMPPT制御の為の消費電力が馬鹿にならなくなってきます。むしろ、ほぼ V_{pm} に近い固定電圧で使う方がトータルとしてのロスが少ない場合もあると思います。

※皆さんはパソコンの中身を見たことがあるでしょうか。普通の家電製品とは違って大電流を扱う回路が多く、家庭用で32A、産業用で800Aとか聞いた事のないような大電流です。15-20kHzの高周波を扱うインバーターのトランス巻き線は、細い寄り線を束ねた直径10mm程の捲線であったり、内部の配線は分厚い銅板の板であったりします。勿論、IGBTやパワーMOS-FETは端子台の付いたモジュールパッケージになっています。余り見かけない部品のオンパレードです。出力250kWもある大型のパワーコンディショナーの例で言いますと、制御回路は、ごく普通のプリント基板や部品で構成されています。制御基板から細い制御信号線が、パワーモジュールに接続され、パワーモジュールやトランス、リアクトル、コンデンサー、ブレーカーなどは見た事も無いような極太の配線で繋がっています。このアンバランスが妙に面白いですね。

2-3. 独立電源システムの設計

それでは、太陽電池モジュール、チャージコントローラ、蓄電池から構成された独立電源システムに於いて、具体的に太陽電池や蓄電池はどのような製品を選べば良いのでしょうか。順を追って説明します。

2-3-1. システム電圧

独立電源系は、負荷への出力電圧がDC12V またはその倍数が定番となっています。120W以下のシステムでは殆どがDC12Vで設計することになります。必要な機器も全てDC12V用

になります。太陽電池モジュールの場合、DC12V 用は $V_{pm}=16-18V$ の範囲にあります。これは温度上昇による損失やチャージコントローラでの電圧降下、鉛蓄電池の充電電圧を考慮して決められています。

系統連携システム用の太陽電池モジュールでは直列使用が前提でメーカーにより V_{pm} はまちまちですが、独立電源用は並列接続が前提で V_{pm} が揃っているのが特徴です。なお、モジュールを並列接続する場合、各モジュールに逆流防止ダイオードを直列に接続し、逆電圧からモジュールを保護してください。なお、系統連携用はバイパスダイオードが並列に接続されているものが多いです。直列や並列にする場合、太陽電池モジュール裏の端子ボックスの中を良く確認しましょう。

2-3-2. チャージコントローラの選定

DC12V 用なら大抵は 10A 仕様、即ち最大で 120W までの太陽電池モジュールを扱えます。接続する鉛蓄電池も DC12V 用となります。チャージコントローラには、基本的な充放電制御機能以外に、リモコン表示機能や夜間自動点灯機能、MPPT 制御機能など様々な付加機能が用意されていますので、貴方の目的と予算に合ったものを選択下さい。

2-3-3. 負荷の消費電力量の計算

まず、独立電源システムに接続する負荷（アプリケーション機器）の 1 日当たりの総消費電力量を算出します。

$$\text{総消費電力} = \Sigma (\text{機器の消費電力} \times \text{使用可能時間} \times \text{稼働率})$$

稼働率：間欠でしか電力を消費しないもの、或いは消費電力が使用条件によって変わるものを調整する係数。例えば、人感センサで動作する機器に於いて、人が 10 分置きに来て 1 分間動作させる場合、稼働率 10% とします。

街路灯のように明るさセンサで動作するものは、冬場と夏場で点灯時間が異なりますので、条件が厳しい冬場で計算します。

2-3-4. 蓄電池容量の計算

基本的なことです。街路灯のように太陽光のない夜間に必要な電力は、昼間に蓄電池に蓄えて置く必要があります。また、第二章で説明しました 1 日の平均発電量は雨の日、曇りの日、晴れの日の平均値です。晴れの日はもちろんこの平均値より多い発電量が見込まれ、雨の日は発電量がごく僅かしかありません。独立電源システムでは、原則、晴れの日之余った電気（発電量-1 日の消費量）を蓄えておき、雨の日や曇りの日に足りない分を蓄電池から供給することが必須です。即ち、蓄電池に蓄えておくべき電力量は、

①夜間（夕方～翌日の明け方まで）に必要な電力量

②雨の日（不照日という）に必要な電力量（②＝昼間に必要な電力量＋①）

になります。

何日間の不照日を見込むかは、機器の設計ポリシーの問題となります。

2-3-5. 蓄電池の選択

いろいろな蓄電池がありますが、Ni-H 電池は在る程度の連続した充電電流が必要なため、太陽電池には不向きとされています。また Li イオン電池は汎用の市販品がなく充電方法を誤ると大変危険です。一般的には安価で入手が容易な鉛酸蓄電池を使用します。

鉛蓄電池は放電と共に電圧が低下してゆきます。完全放電すると充電しても元の状態には戻りませんので、完全放電しない範囲で充電と放電を繰り返すことになります。完全放電時と実使用の放電時の比率を放電深度と言います。一般に放電深度が浅いと寿命までの繰り返し使用回数が多くなります。

また、寿命末期になると蓄電できる容量自体も少なくなります。初期と寿命末期の容量比率を保守率と言います。一般に、放電深度は太陽電池用チャージコントローラで制御され、放電深度=50%、保守率=80%で設計される事が多いようです。即ち、

選択すべき蓄電池の公称容量=必要とされる容量×40% (50%×80%)

と計算されます。

一般に蓄電池の容量は Ah で表されますが、時間率という考え方に注意が必要です。これは何時間掛けて放電させるかを決めたもので、5 時間率と 20 時間率では同じ容量でもバッテリーの設計自体が違います。陸上競技で言えば、短距離選手とマラソンランナーの違いです。今回のような目的の場合には、後者の 20 時間率のような製品の方が向いています。また放電深度を深くしても、繰り返しの充放電に強いサイクル用バッテリーもありますが高価になります。

3-3-6. 太陽電池モジュールの選定

1 日の最大消費電力量から太陽電池の必要容量を逆算します。まず、2-1-3. で述べました設置地域の標準発電量から求めます。

東京地区の場合、11 月の最低発電量 2.35Wh が基準となります。例えば 1 日の消費電力量は冬季が一番厳しく 60Wh 必要であったとします。必要な太陽電池容量は、 $60 \div 2.35 = 25.5W$ となります。更に、真南で 30 度に設置できない場合、太陽電池容量のアップを検討する必要があります。南東方向で角度 50 度に設置の場合、90.4%の発電量になりますので、太陽電池容量は、 $25.5 \div 0.904 = 28.2W$ 必要です。更に、1 日の発電量はパワーコンディショナーの平均効率を 80%と見ていますが、独立電源用のチャージコントローラでは更に余裕を見る必要があります。ですが、通常入手できる太陽電池の容量は自由に選べる物ではなく、ある程度決まったものしかなく、この場合は 30W の太陽電池を入手することになります。

以上の手順に従えば、貴方の必要な太陽電池の公称容量、バッテリーの公称容量が計算できます。ぜひチャレンジしてみてください。

コラム 「住宅用パワーコンディショナー」

住宅用の太陽光発電システムでは数 kW という容量の太陽電池を屋根の上に設置し、パワーコンディショナーで交流にして家庭内の電灯線に電気を供給します。これを系統連係システムと呼びます。このシステムでは例え太陽電池からの電気が不安定でも、電力会社からの電気が常に供給されているために、蓄電池が無くとも安定した電力を使う事ができます。また昼間は、太陽光による発電量>消費電力量となり、余った電気は電気会社に売電できます。（逆潮流と言います）当初、国の補助金を貰う為には発電量と買い電力量を毎月レポートする必要があった為、その名残でモニターと呼ばれる発電電力を表示する装置が付いています。最近のモニターは発電量だけでなく、消費電力量を表示できるようになっており、グラフでこれらを表示させることで、家庭内での省エネ活動の一翼も担っています。一般的に太陽光発電を導入されている方は、省エネや環境貢献に熱心な方が多いです。生活が自然と電気を無駄に使わない方向に向かいます。

家庭用のパワーコンディショナーは太陽電池の容量によって、1.5-5.5kW くらいの出力の機器が設置されます。太陽電池容量は屋根の面積や向きによって左右される事が多く、全国平均で 3.9kW です。住宅用では太陽電池の容量の 80%程度のパワーコンディショナーが設置されますが、これは太陽電池の温度上昇による出力低下や電力変換ロスを見込んだ数字です。良く「入力電力の方が大きくて壊れないか」という質問を受けますが、パワーコンディショナーの方で規定以上に出力ができないだけで壊れる事はありません。

系統連係システムで接続されるのは AC200V です。AC 電力は PWM インバーターによって生成されますが、元になる DC 電力としては DC320V 程度の電圧が必要です。太陽電池モジュールは 1 枚が 15-30V 程度ですので、直列にすればこのような高電圧を得ることはできますが、屋根の形状により搭載できるモジュール数が限られてきます。そこで DC80-380V の入力電圧を受けて、DC320V に調整する DC/DC コンバーターも搭載しています。この DC/DC コンバーターにはマイコンが搭載され入力電力が常に最大となるように太陽電池の動作点を動的に変化させる MPPT 機能が搭載されていますが、制御方法は各社ノウハウがあります。

住宅用パワーコンディショナーでは電力変換効率がユーザ選択の一つの指標となっており、各社効率アップに凌ぎを削っています。今では総合効率は最高で 94%-97.5%が標準です。この数値を達成するには、DC/DC コンバーターおよび DC/AC コンバーターはそれぞれ変換効率が 97%以上ないと達成できません。汎用インバーターと比べ圧倒的に効率が高いことがお分かり頂けると思います。

さて、どのようにして家庭内の商用電力と太陽光発電の電力を混ぜて使うのかと良く質問されますが、これは系統電圧をモニターして、系統電圧より 0.5V 程度高い電圧で接続することで対応しています。この電位差によって、あたかも川の流れのように高い所から低いところに電気が流れて行きます。逆潮流と言われる由縁です。問題は各戸で単純に電圧を上げてゆくと、ご近所に太陽光発電システムを導入される家が増えた場合、どんどん電

圧が高くなり電力系統に支障を来します。そこで 7V 以上高くなる場合には系統連係しないようになっています。太陽電池付き住宅も密集すると弊害が出る可能性があります。パワーコンディショナーには、その他にも系統の周波数や位相との連動、異常電圧の検出など様々な制御回路が組み込まれています。

またユニークな機能に自立運転機能があります。海外メーカーのパワーコンディショナーでは余り見かけない機能です。これは停電時に、発電電力を系統から切り離して AC100V の電力を家電機器に供給してくれる機能です。これには普通のコンセントとは独立した専用コンセントから電力が供給されます。メーカーのコマーシャル文句は「停電の時でも家電製品が使える」という頼もしい機能なのですが、実際に使われる事は殆どありません。理由は、・停電になるとその専用コンセントまで家電製品を移動させる必要があること。も　・電池が無いため電力が不安定で、使える機器が限られるということです。阪神大震災では、「冷蔵庫や TV が使えて助かった。」という感謝のお手紙も多数頂きましたが、逆に、「電子ジャー炊飯器で調理中に曇り空になり電気が切れてご飯がおかゆになった」というクレームも頂きました。今では電子レンジや炊飯器は取り扱い説明書で使用禁止になっています。

最後に、太陽電池の寿命は 10 年以上確実にありますが、パワーコンディショナーの寿命は残念ながら 10 年です。これは内部に使用されている電解コンデンサーの寿命に律側されています。他の電子部品の寿命はもっと長いです。最近、大容量のセラミックコンデンサーが登場してきていますが、将来、パワーコンディショナーに使えるような大容量品が登場すると、太陽光発電システムは半永久的なエネルギー源としてもっと魅力的な商品になるでしょう。

おわり

2010 年 8 月 30 日

奈良県香芝市 山本 一詞