

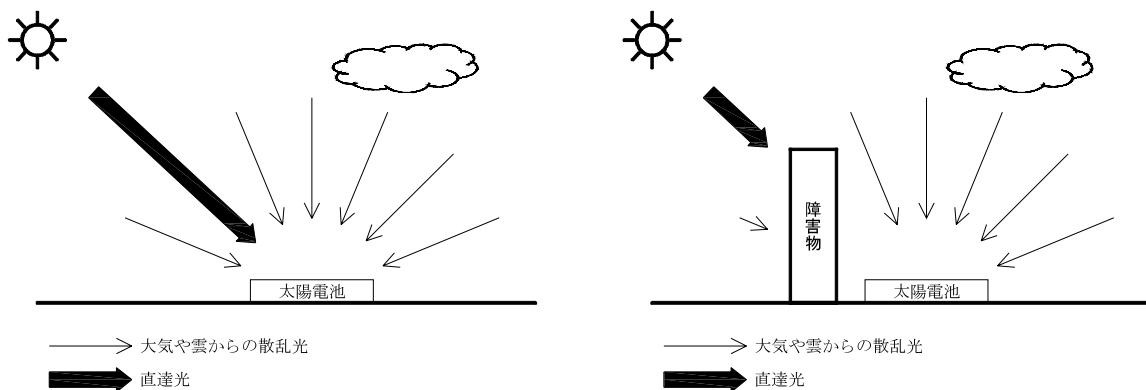
3-6 ①

陰の影響について

1. 陰の基礎知識

(1) 直達光と散乱光

太陽光発電システムに陰がかかった場合には、日射量が減少するため発電量が低下します。日射量には2つの成分があり、太陽から直接到達する直達光と、大気や雲に散乱されて到達する散乱光とがあります。年間を平均すると、太陽電池を水平面設置した場合に得られる日射量の直達光と散乱光の比率はほぼ同じになります。太陽電池モジュールの設置方位と太陽の方位が近い時刻には直達光の割合が多くなります。また晴天時には直達光の割合が多く、曇天時には散乱光の割合が多くなります。一般的に陰が発生した時には直達光と散乱光の一部がさえぎられます。太陽電池に陰がかかると発電量が0になると思われがちですが、残りの散乱光成分で発電できる場合もあります。太陽電池アレイ全体に陰がかかっている場合には、陰がかかっていない場合の約10%~40%程度の発電量であることが多いようです(天候、設置方位、時間帯などにより異なる)。システム電圧としてパワーコンディショナの起動電圧に達しない場合には、電力として取り出すことができません。



(2) 陰と障害物

障害物の大きさ(天空に対する比率)

障害物などの天空に対する比率によって、陰の部分の散乱光は変わります。障害物までの距離と障害物の大きさで、陰の部分の散乱日射量はほぼ決まります。

- 天空の比較的広い領域を占める障害物

散乱日射量は、陰を作っている山、隣接建物などだけでなく周囲の建物なども含めて、天空に対する比率分減少します。

- 天空の一部の領域を占める障害物

電柱、アンテナ、電線などで、散乱日射量はほとんど減少しません。

- 太陽電池モジュールと障害物がほぼ密着している場合

積雪や、鳥の糞、木の葉の下では散乱日射量はほぼ0となります。

- 太陽高度や雲など

太陽光は大気を透過する時、散乱、吸収の影響を受けますが、太陽高度が低くなる冬期や朝夕のように大気の厚みが厚くなると吸収などの影響をより強く受け、全天日射量に対する散乱日射量の比率も大きく変化します。また、快晴の時や雲が天空に散在する時など空の状態によっても散乱日射量は変わります。

- 周囲の建物環境

周囲に建物があると一般的に散乱日射量が減少します。天空に対する比率が大きいほど、散乱日射量はほぼ比例して減少します。また、稀なケースとして、建物のガラス壁面などに太陽光が反射して入射していると、陰ができて日射量の減少は押さえられます。

2. 陰の影響の考え方

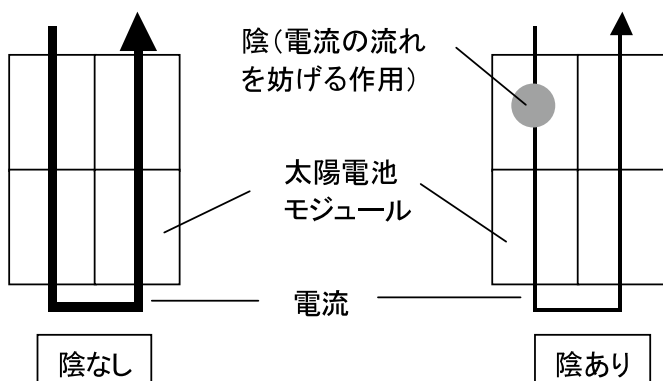
太陽電池アレイに、山・建物・電柱・樹木等の陰がかかると、発電量が低下します。この発電量が低下する割合は、単純に陰の面積に比例するのではなく、陰の形状・濃さ（光の量の多少）などの陰のかかりかたや、直達光と散乱光の比率などによって変化します。その関係は複雑なため、陰による発電量低下を正確に算出することは困難です。

①陰が太陽電池アレイ全面にかかった場合

均一な濃さの陰が太陽電池アレイ全面にかかった場合の太陽電池の発電量は、陰の濃さに比例したものになります。

②陰が太陽電池アレイの一部にかかった場合

太陽電池アレイの発電電力は、陰の大きさ（面積）に単純に比例しません。その理由は、陰の部分が、電流を制限する関所のような働きをするため、一部の陰でもストリング全体に影響を及ぼします。（下図参照）



陰が太陽電池アレイの一部にかかった場合の影響

直列接続されている4枚のモジュールの一部分にでも陰がかかると、流れる電流が減ります。

※この図は、簡単のため模式的に描いています。

多くの太陽電池モジュールでは、陰の影響を低減するためにバイパスダイオードが内蔵されています。バイパスダイオード機能については194ページの「2. バイパスダイオード」を参照のこと。

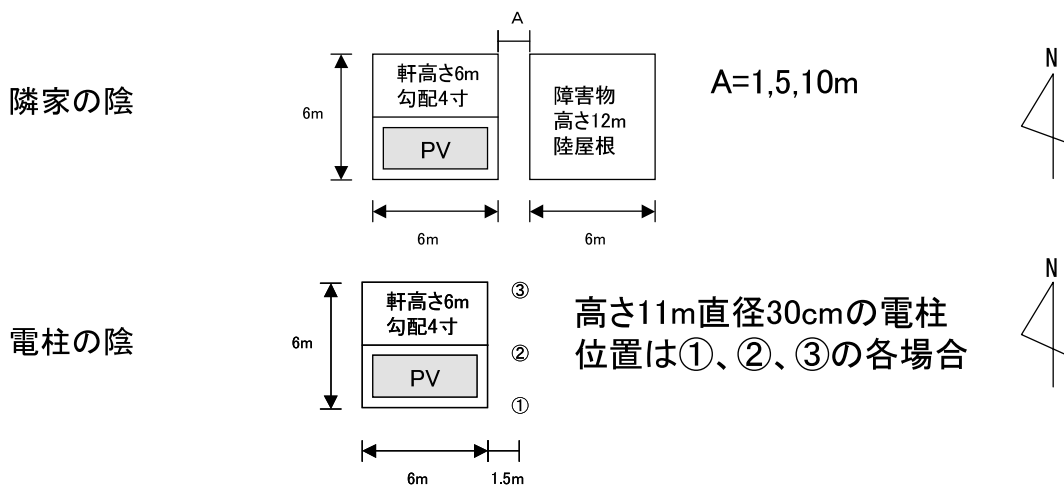
3. 陰による発電量低下シミュレーション

陰の影響によって年間発電量がどの程度減少するかについてシミュレーションした結果を示します。陰の影響の度合いは太陽電池の種類、配線方法、散乱光の割合などにより異なるため、このシミュレーション値はあくまで目安とお考えください。

①シミュレーション条件

陰となる障害物として、高さ12mの隣家および電柱を想定。隣家までの距離、電柱の位置を各3条件設定したシミュレーション。詳細は下図参照。

シミュレーション条件(at 東京)



陰がない時の年間発電量を100としたときの値

隣家 1 m	隣家 5 m	隣家10m	電柱①	電柱②	電柱③
88~91	96~99	99	96~98	99~100	100

4. 陰の影響を小さくするための工夫

ここでは、「陰の影響を小さくするための工夫」を簡単に説明いたします。

(1) パワーコンディショナの入力電圧範囲について

パワーコンディショナには、運転に必要な「直流電圧下限値」と「直流電圧上限値」があり、これが「入力電圧範囲」となります。例えば、朝、太陽が顔を出すと、太陽電池モジュールが発電を始め、パワーコンディショナは、太陽電池モジュールの発電による電圧を検知し、「ある一定値以上」となった時に運転を開始します（起動電圧値以上）。

「入力電圧範囲」はパワーコンディショナによって異なりますが、100~370V（直流電圧）程度です。太陽電池モジュールを複数枚直列に接続してストリングを構成するのは、パワーコンディショナの「入力電圧範囲」内に電圧を上げ、適正に運転させるためです。

(2) 陰による「ストリング電圧」の減少について

太陽電池モジュールに陰が生じると、陰となった部分が発電に寄与しなくなり、逆に抵抗体となって電流を流さない方向に作用します。この現象を避けるために太陽電池モジュールにはバイパスダイオードを入れて対策を行っていますが、発電に寄与しない分の電圧低下が、トータルとして「ストリング電圧」を低下させてしまいます。電圧低下が大きくなると、パワーコンディショナの「入力電圧範囲」を下回ってしまい、ストリング全体が発電に寄与しなくなります。

つまり、モジュールに陰が生じると「入力電圧範囲下限値」まで電圧が上がらなくなり、発電ロスに繋がる場合があるということになります。

(3) システム設計するに当たって

太陽電池モジュールを設置する際に、陰を生じさせない部分に設置することが重要ですが、「どうしても陰が生じてしまう」ことがあると思われます。その対処方法について簡単に説明いたします。ここでは、12枚の太陽電池モジュールに対して3枚の太陽電池モジュールに陰が出来ることを想定します。この場合は下図のような3パターンが考えられます。

- (a) 各ストリングに1枚ずつ陰が出来る太陽電池モジュールがある
- (b) 1ストリングに2枚と1枚の陰が出来る太陽電池モジュールがある
- (c) 1ストリングに3枚の陰が出来る太陽電池モジュールがある

では、どのパターンが最も発電量のロスが少ないのでしょうか？ここで、上述しましたパワーコンディショナの「入力電圧範囲」が関係してきます。

下図のシステムを考える場合、仮に「入力電圧範囲」が「太陽電池モジュール3～4枚」が適正値とします。すると下図の3パターンは、

- (a) 各ストリングのモジュール3枚が発電しているので、3ストリングともに「入力電圧範囲」に入る
- (b) 1ストリングがモジュール2枚しか発電していないので、「入力電圧範囲」には2ストリングしか入らない
- (c) 1ストリングがモジュール1枚しか発電していないので、「入力電圧範囲」には2ストリングしか入らない

となることとなります。

一般的には(c)のように1ストリングに陰が生じるようにストリング構成を行い、残りの2ストリングの発電量を期待する方法を用います。しかし、太陽電池モジュールへの陰のかかり方によって左右されますので、電気的には(a)の方が(c)よりもバランスが整っているために発電量が期待できる場合もあります。

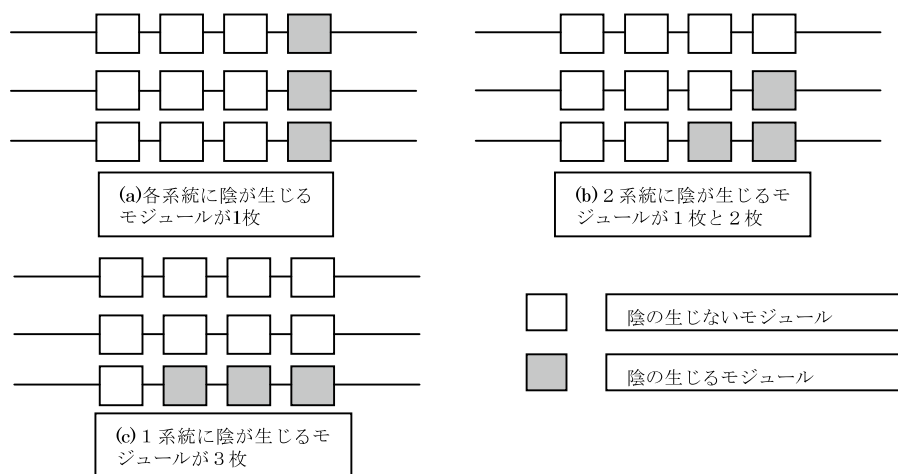
(b)は2ストリングしか発電出来ない上に、各ストリングの電気的なバランスが最も悪いのでパワーコンディショナが最適動作をせず、発電量が最も低下する可能性がありますので、お奨めできません。

つまり、「太陽電池モジュールに陰が生じる場合は、電気的にバランスが取れるようなストリング構成」を考えた太陽光発電システムの設計が重要であり、(b)のような電気的にバランスの悪いシステム設計は避けて下さい。

なお、「陰は時間によって変化する」ため、その瞬間だけで判断できるものではありませんので、太陽光発電システムメーカーにご相談いただくようお願いいたします。

最後に、太陽電池モジュールに陰が生じると発電ロスを完全に回避することは出来ません。極力、太陽電池モジュールに陰を生じさせないような設計計画のご立案をお願いいたします。

最近では、各システムの電圧差を補正する装置単品、あるいはパワーコンディショナに補正機能を内蔵したものが住宅用システムでは発売されております。このような装置をご使用いただくことで電気的バランスの悪さによる発電量の低下を回避することは可能です。



1. 散乱光日射量データ

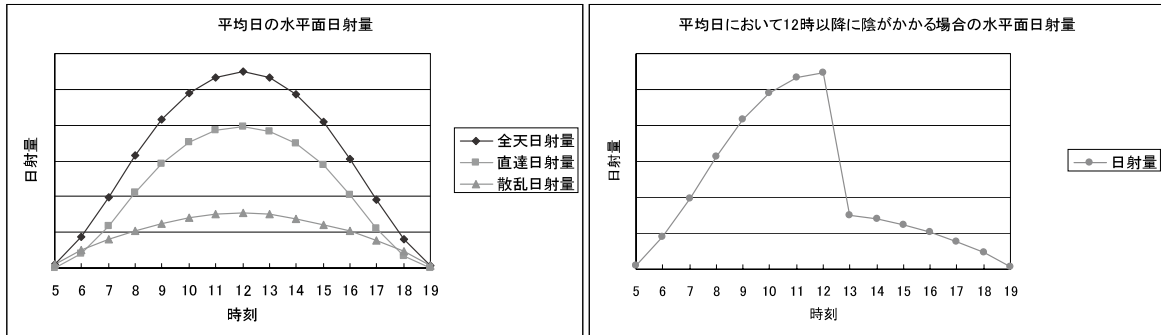
散乱光日射量

日射量には2つの成分があり、太陽から直接到達する直達光と、大気や雲に散乱されて到達する散乱光とがあります。これらを足し合わせたものを全天日射量と呼びます。

例として、平均日における水平面に設置した太陽電池の受光日射量をグラフに示します。

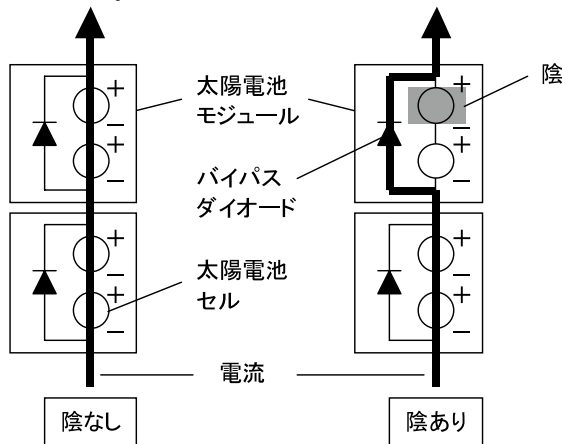
太陽電池が受光できる日射量は、陰がかからない場合には模式的に図1のようなグラフとなります。一方で例えば12時以降に陰がかかり、直達光成分のみが遮られる場合には、模式的に図2のようなグラフになります。12時以降は散乱光成分のみが受光可能になります。この場合、陰がかからない場合の日射量を100%とすると、1日の日射量は約70%になります。

太陽電池が受光できる散乱光成分の量は、天候、時刻、太陽電池設置方位・角度、陰の濃さなどに大きく依存します。濃い影の場合には散乱光もほとんど受光できませんので、太陽電池は発電することができません。



2. バイパスダイオード

太陽電池モジュールを構成する太陽電池セルが陰で発電しなくなると、そのセルの抵抗が大きくなり、電流の流れの妨げとなるとともに抵抗損失により発熱します。これを防ぐために、太陽電池モジュールには、陰の部分バイパスする電流の通り道としてのバイパスダイオードが一般的に取付けられています。バイパスダイオードにより、陰でモジュールが発電しなくなった場合に、残りのモジュールに与える影響（電流の減少）を低減できます（下図参照）。但しそのストリングの電圧は低下します。



バイパスダイオードの取付け例とその働き

モジュールの一部に陰がかかって、電流がバイパスダイオードを流れる(上右図)ため、陰の影響を低減できます。

3. 陰と太陽電池の種類

散乱日射は、全天日射と比べて光の波長の強さの分布(スペクトル分布)が変わります。太陽電池の光の波長毎の感度(分光感度)によって、陰になった部分の発電効率は異なりますので、陰の影響度合いも変わってきます。散乱日射は、全天日射と比べ短波長側にシフトしています。

- ・結晶系シリコン太陽電池は長波長側の光でよく発電します。
- ・アモルファスシリコン系太陽電池は短波長側の光でよく発電します。

4. その他用語解説

本文中に出てきた言葉について分かり易く解説します。

①ストリング

太陽電池モジュールを直列に接続して出力電圧をパワーコンディショナの入力電圧範囲に合わせます。この直列に接続した一組の回路のことです。

②スペクトル分布

太陽の光は色々な波長の光が集まってできています。波長毎の光の強さを表したグラフをスペクトル分布と呼びます。大気による散乱や吸収の影響を受けて、季節や太陽高度、天候などによってスペクトル分布は変化します。

③分光感度

太陽電池モジュールの光の波長毎の感度(発電効率)のことで、太陽電池に使用されている材料によって、波長毎に感度(発電効率)は異なります。従いまして、季節や太陽高度、天候などによってスペクトル分布が変わるので、それに応じて発電効率も変わります。

5. 陰の事例

陰の発生原因には様々なものがあります。そのうちいくつかを写真で紹介します。



汚れ



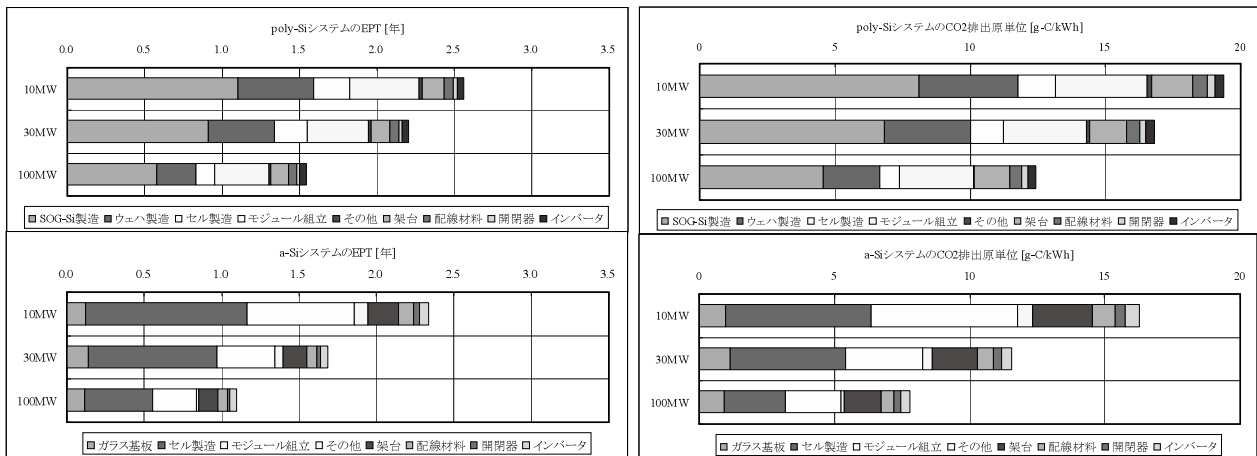
鳥の糞



木の陰

EPTとCO₂排出原単位

poly-Si太陽電池とa-Si太陽電池を用いた屋根設置型住宅用太陽電池モジュールのEPTとCO₂排出原単位を示します。(縦軸は年産規模)



(出典：NEDO技術開発機構)

EPTとは？

$$EPT[\text{year}] = \frac{E_{in}}{E_{AV}}$$

E_{in}：PVシステムの初期一次エネルギー投入量

- ・ PVシステムの構成
太陽電池モジュール、インバータ関連機器、架台、配線材料
- ・ 評価要素
投入材料、設備製造、設備運転、建屋建設、空調・照明
PVシステムを構成する部品を製造するにあたり、評価要素の中で生じるエネルギーの総量を「PVシステムの初期一次エネルギー投入量」と定義

E_{AV}：PVシステムの運用によって回避される年間一次エネルギー消費量

PVシステムの年間発電量を一次エネルギーに換算したもから、年間運用・保守にかかるエネルギー量を引いたものを「PVシステムの運用によって回避される年間一次エネルギー消費量」と定義。

※一次エネルギーとはいろいろな形のエネルギーの最初にエネルギーの源となるもので、石油・石炭・天然ガス等の化石燃料、原子力の燃料であるウラン、水力・太陽・地熱等の自然エネルギー等自然から直接得られるエネルギーのこと

CO₂排出原単位とは？

$$g_{CO_2} = \frac{CO_{2PV}}{E_{OUT} \times L_{PV}}$$

CO_{2PV}：太陽光発電システムのライフサイクルCO₂排出量（製造と運用・保守）

E_{OUT}：太陽光発電システムの年間発電量

L_{PV}：太陽光発電システムの耐用年数