

第 3 章

太陽光発電モジュールから システムへ(中級編)

太陽電池は単独で使うこともできますが、実際には「系統連系」といって、電力会社の送電網につないで用います。このためには、太陽電池セルを集積して太陽電池モジュールとし、パワーコンディショナーを通して送電網につながります。ここでは太陽光発電のモジュールからシステムまでを取り上げます。



ソーラーパネル(太陽電池モジュール)の製造過程

ソーラーパネル(太陽電池モジュール)は、太陽電池セルの集積によってつくります。

図1には、多結晶シリコン太陽電池モジュールの製造過程を示しています。

セルを強化ガラス上に配列

太陽電池セルは0.2~0.3mmの薄さですから、支えになるものがなければなりません。通常はガラス板を用います。まず、直列に配線された太陽電池セルの受光面をガラス側に向けて、ガラス板上に配列します。ここに使うガラス板は、台風などものが飛んできてもらいじょうぶなように、金属球の落下試験をして強度を確認した強化ガラスを使います。太陽電池パネルの上を工事の人が歩くことも想定されています。

樹脂と保護フィルムで封止

この上に樹脂を載せ、さらに保護フィルムで覆って、セルの配列を封止します。太陽電池セル自体の寿命はかなり長いのですが、封止に用いる樹脂の劣化が太陽電池モジュールの寿命を決めるといわれています。

フレームで覆って固定し、電極をつけて完成

さらに周辺をアルミフレームで覆い、裏面に引きだし電極をつけるとモジュールの完成です。こうしてつくられたモジュールを直並列に並べたのが、(014)に述べた太陽電池アレイです。

太陽電池モジュールは建材

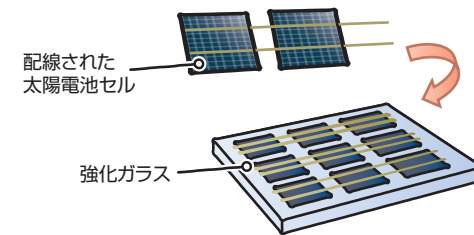
太陽電池は建物の屋根や壁に設置するので、建材として考えなければなりません。このため太陽電池モジュールには、強度だけでなく、防水機能、防火機能など建材としての機能を満たすことが求められます。これについては(031)に述べます。



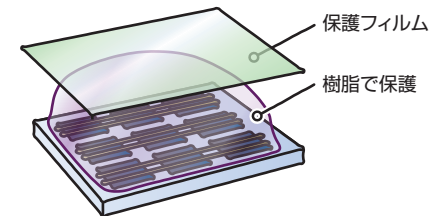
- 太陽電池セルを配線して配列したものがモジュール
- 強化ガラスにセルを並べ、樹脂と保護フィルムで覆い金属枠で固定

図1 ソーラーパネル(太陽電池モジュール)の製作過程

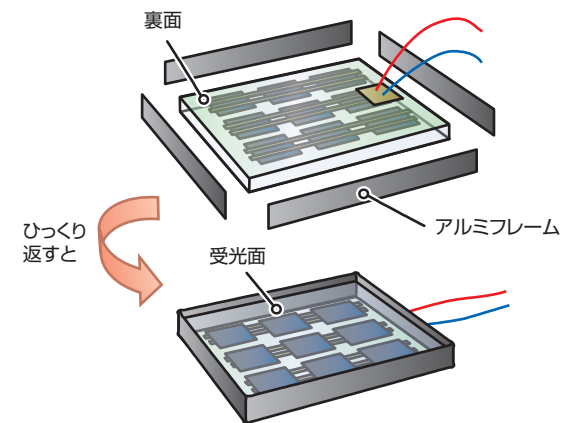
a 配線されたセルを、強化ガラス上に受光面を下にして配列



b セルの上に樹脂を載せ、保護フィルムで覆って封止



c フレームと電極をつけて太陽電池モジュールの完成



太陽電池のテストに使う疑似太陽光 ソーラーシミュレータ

太陽電池のテストは、世界共通の基準である**STC**(標準試験条件)に従うことで、世界のどこでも同じ測定ができるようになっています。太陽電池の評価に本物の太陽光を照射することはありません。STCでは、標準温度(25℃)において、ソーラーシミュレータと呼ぶAM-1.5の標準太陽光(1kW/m²)と同じ放射強度をもつ疑似太陽光を照射します。

ソーラーシミュレータはキセノンランプ・ハロゲンランプを光源とした疑似太陽光

図1に、ソーラーシミュレータの構成図の一例を示します。ソーラーシミュレータのおもな光源はキセノンランプですが、ハロゲンランプを援用することもあります。適切な光学フィルタを用いることによって、スペクトルの形状をシミュレートしています。

キセノンランプは、図2に示すように、可視光の波長領域では太陽光と非常に類似したスペクトルの形をもっていますが、800~1000nmの近赤外域に線状のスペクトルをもつので、この波長領域でスペクトルがなめらかなハロゲンランプ(図3)を組み合わせて用います。一般に市販されているソーラーシミュレータのほとんどは、キセノンランプのみを搭載し、線スペクトルをフィルタで減衰させています。

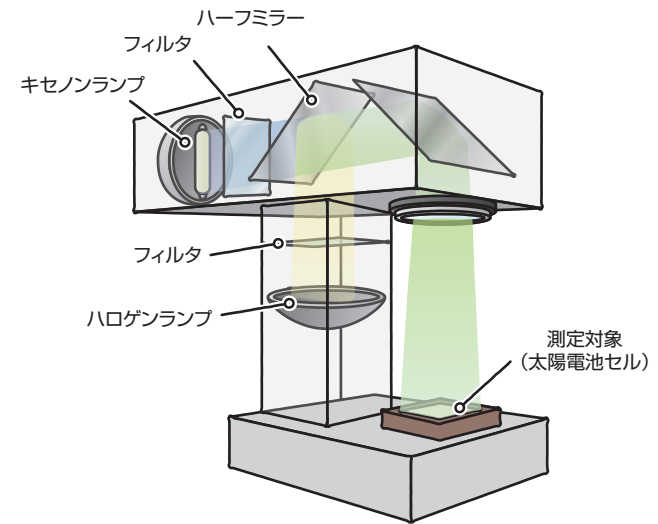
標準化によって国際的に測定精度を保証する

太陽電池の性能について、世界のどこでも同じ条件で測定ができるように、国際的に測定精度を保つ努力がなされています。同じセルやモジュールを世界の標準化機関の間で回して、同じ値になるよう調整されています(このようなテストをラウンド・ロビンをテストといいます)。日本では、産業技術総合研究所(産総研)が、アメリカでは国立再生可能エネルギー研究所(NREL)が、ドイツでは国立物理技術研究所(PTB)が標準化を担っています。



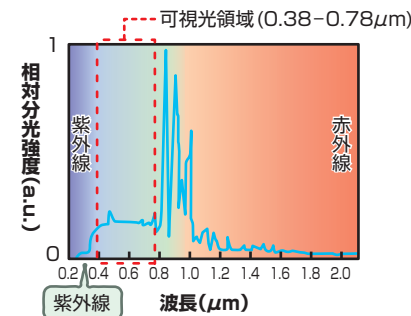
- 太陽電池は標準試験条件に従って世界のどこでも同じ測定ができる
- キセノンランプ、ハロゲンランプを用いたソーラーシミュレータを使う

図1 ソーラーシミュレータの構成例



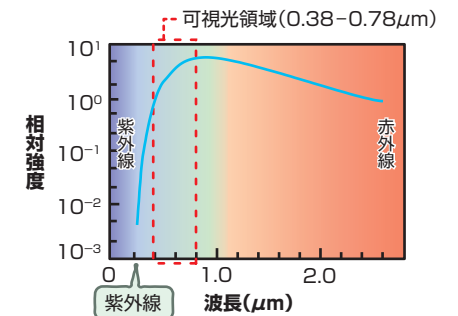
キセノンランプとハロゲンランプを光源とし、フィルタによって疑似太陽光のスペクトルをつくる

図2 キセノンランプのスペクトル



紫外域・可視光領域・赤外域にわたる広い波長域のスペクトルをもつ。近赤外部に強い線スペクトルを示す

図3 ハロゲンランプのスペクトル



赤外域で波長とともに緩やかに減少していき、可視光領域の強度が急激に低下している

建材としての太陽電池①

設置方法による分類

屋根に設置する太陽電池パネル(モジュール)は、その設置方法によって、図1に示すように、大きく分けて屋根置き型と屋根建材型の2つに分類することができます。

屋根置き型

屋根置き型は、既存の屋根に太陽電池パネルを追加して設置するタイプで、これにも、勾配屋根の瓦の上に枠型の架台を置いてパネルを設置するものと、陸屋根(フラットな屋根)の屋上に傾斜架台を置いてパネルを設置するものの2種類があります。どちらの場合にも、標準的な太陽電池パネルを用いることができます。架台の設置が太陽電池設置のコストを増やす原因になるほか、既存住宅の耐重量工事が必要になる場合があります。また、屋根置き型・陸根用の場合、強風対策が重要です。

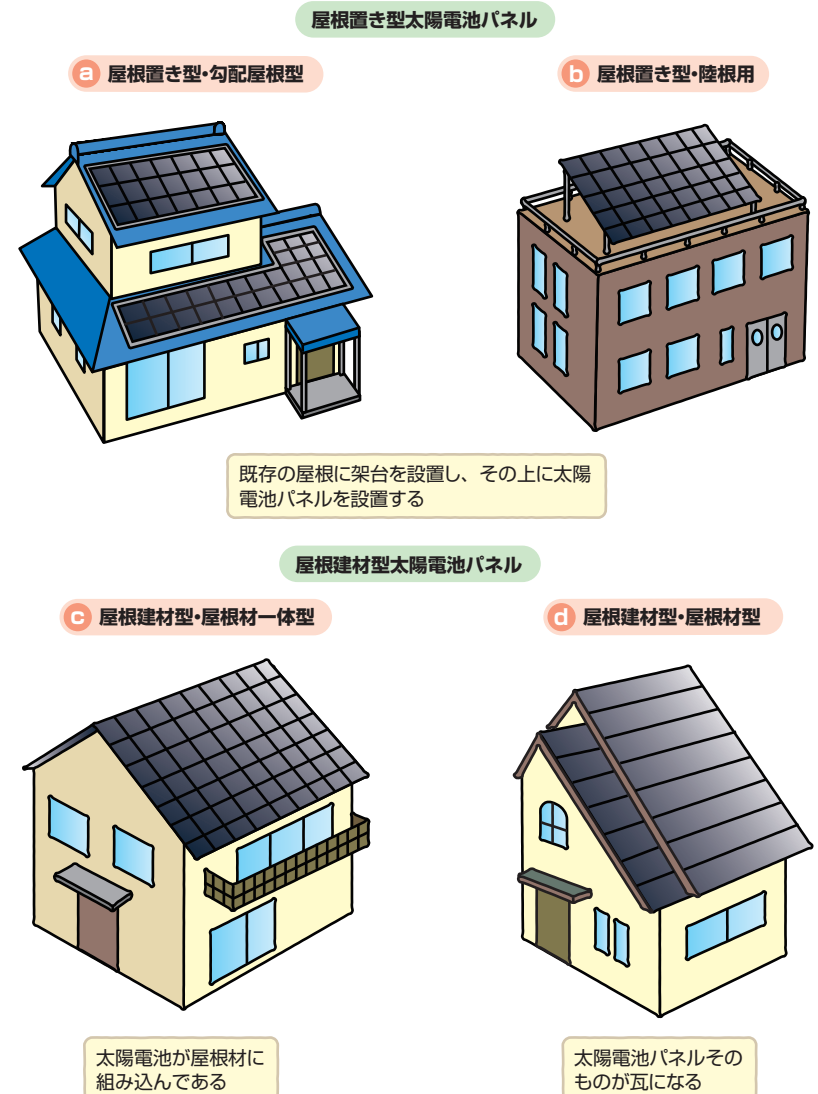
屋根建材型

新設住宅の場合には、瓦の代わりに(b)に示すような防火性能と屋根材機能をもたせた屋根建材型パネルを設置できるので、瓦を葺くためのコストが不要になりますし、架台の重量の問題も回避できます。屋根建材型にも、太陽電池を屋根材に組み込む屋根材一体型と、太陽電池自体が屋根材となる屋根材型(瓦型太陽電池モジュール)があります。

壁に設置する太陽電池パネルにおいても、屋根と同様に、壁設置型(壁に架台を取りつけてパネルを設置)と壁建材型(太陽電池が壁建材となる)の2種類があります。

光透過性をもつ太陽電池を用いた窓材型やトップルーフ型、ひさし型、ルーバー型などもあります。

図1 太陽電池モジュールと設置方法



参考：太陽光発電協会



- 太陽電池パネルには、屋根置き型と屋根建材型がある
- 屋根建材型は太陽電池に防火機能と屋根材機能をもたせている

建材としての太陽電池② 建材として求められるもの

太陽電池パネルは建材

(030)に述べたように、建材型太陽電池パネルは瓦の代わりに葺くことができるので、瓦を葺くためのコストが不要となりますし、架台の重量の問題も回避できます。しかし実際には、瓦に代わる建材として建築基準法に合致する防水・防火・強度の要求を満たしていることが求められます。

防水機能

建材一体型パネルは、屋根瓦と同等の防水機能が要求されます。屋根板の上に防水シートを貼り、レールを敷いてパネルの外枠を固定しますが、レール側面の防水のほか、パネル間の目地のシールが必要です。図1のように、台風を想定して、風速30m/s、散水量240mm/hの散水試験に耐える防水機能と排水機能がテストされます。

防火機能

(028)で説明したように、モジュールはセルをガラスに貼りつけ、樹脂でシールした上にフィルムでカバーしますが、近隣火災の場合にフィルムが燃えたり、高温で融解したりして野地板に着火することを防ぐために、難燃性のフッ素樹脂系フィルムを使ったり、鋼板を組みわせたりして防火機能を高めています。

強度

パネルには強化ガラスが使われますが、JIS R 3206-2003に従って、約1kgの剛球を高さ100cmから落とす落球テストに合格する強度が求められます。パネル上を人が歩いて設置工事を行いますから、人が乗って歩けるのに十分な強度が保証されていなければなりません。

図1 30m/sの強風下での散水で防水・排水機能をテストする

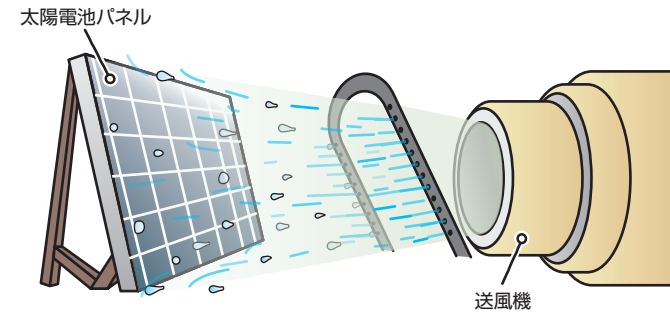
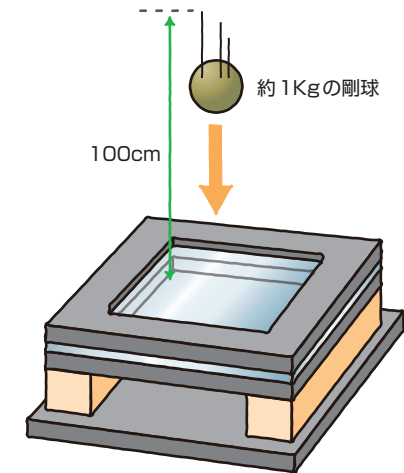


図2 JIS落球テスト(強化ガラス)



約1kgの剛球を100cmの高さから自然落下させる。試験は6枚の供試体を使用し、破壊が1枚以下の場合合格、3枚以上の場合は不合格になる



- 建材型太陽電池パネルには、防水機能と防火機能が要求される
- 建材型パネル用強化ガラスは、落球テスト合格の強度が必要

032 直流を交流に変えるしくみ インバータのしくみと動作原理

太陽電池の出力は直流

(017)に述べたように、太陽電池の出力は、乾電池や二次電池と同じ直流です。一方、電力会社から配電されるのは交流です。したがって、太陽電池の出力を電灯線に供給するためには、直流を交流に変えてやる必要があります。このためのしかけをインバータと呼び、パワーコンディショナーに入っています。

電動発電機は太陽電池に使える

直流を交流にする方法として、電動発電機(MG: motor-generator)が電車などで使われていました。図1のように、直流でモーターを回し、回転軸を直結した発電機で交流に変える方法です。太陽電池の出力は時間とともに大きく変動しますから、出力電圧が低いと回転数が小さいので交流出力の周波数が低く、出力電圧が高いと周波数が高くなるので使えません。モーターが回り続けているのは、騒音や保守の点でも問題があります。

トランジスタをスイッチに使う直流を交流に

(017)で述べたように、交流の電流は時間とともに正弦波の形で変化します。1秒間に100回(関西では120回)も符号を変えます。それに対して直流は、符号を変えることがありません。インバータはトランジスタをスイッチにして、直流を交流につくり変えるしかけですから、可動部分がなく騒音がありません。インバータでは、図2のように、太陽電池からの直流電圧が、4個のトランジスタスイッチS1、S2、S3、S4によってオン・オフされ、(a)ではAがプラス、Bがマイナス、(b)ではAがマイナス、Bがプラスとなります。このため、A-B間の電位差の時間的変化は(c)に示すような、プラス・マイナスに変化するパルス交流になります。さらに、平滑回路を通すと(d)のような正弦波の交流 V_c になります。

要点 Check!

- 太陽電池の出力は直流なので、そのままでは電灯線につげない
- トランジスタのスイッチを使って極性を変え、交流に変換する

図1 電動発電機(MG)によって直流を交流に変える

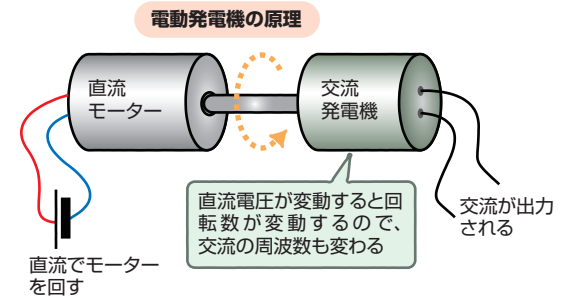
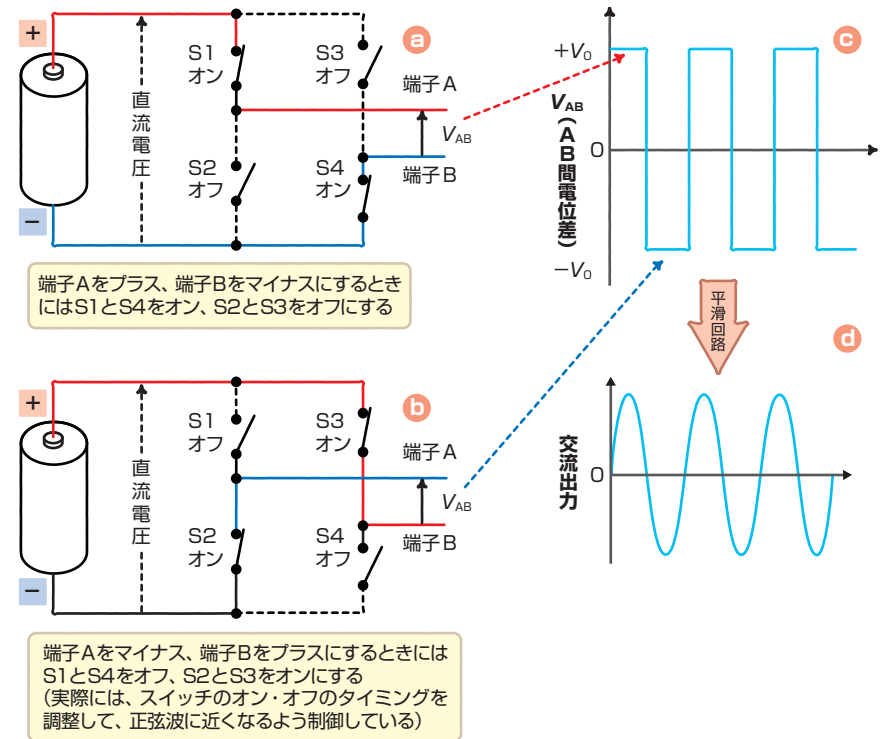


図2 インバータの動作



033 太陽電池の出力を配電線に供給する「系統連系」

インバータからの出力を電力会社の送電網(電力線系統)につないで、あなたの太陽光発電の電力を電力会社に供給するのが、**逆潮あり系統連系**です。「逆潮」というのは、通常の電力の流れ(系統からユーザーへ)とは逆の流れがあることを表しています。このときは電圧だけでなく、周波数と位相の整合も考えなければなりません。

交流の周波数と位相が違うとつなげない!

交流電圧は、時間とともに正弦波の形でプラス・マイナスが変化します。この繰り返しの頻度を**周波数**といいます。また、マイナスからプラスへの変化のタイミングを、**位相**といいます。太陽電池の電力を自分の家で使っているかぎり、周波数や位相が変化しても問題はありませんが、送電網とつなごうとするとそうはいきません。

図1に示すように、系統とインバータ出力の位相や周波数が違ってたとしましょう。系統がプラスのときにインバータ出力がゼロだと、系統の電圧をショートすることになります。逆に、系統がゼロのときにインバータ出力がプラスであれば、インバータが壊れてしまいます。

インバータのスイッチのタイミングを制御する

(032)で述べたように、インバータでは直流を交流に変換するとき、トランジスタのスイッチで極性を切り替えます。この切り替えのタイミングを、送電網の電気からつくったタイミング信号に合わせるようにすれば、周波数、位相ともにそろいます。タイミングを制御する機能を加えたものが、**パワーコンディショナー**です。

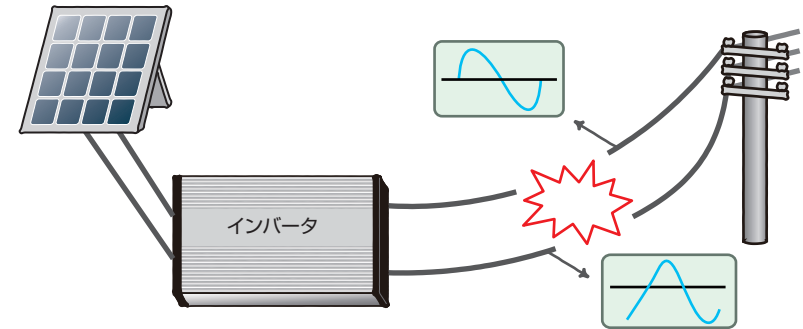
停電のときは系統から切り離す

また、工事などのために系統が遮断され停電したときには、インバータの出力が系統に流れないように工夫されています。これは、電気工事関係者の感電を防ぐためです。

要点 Check!

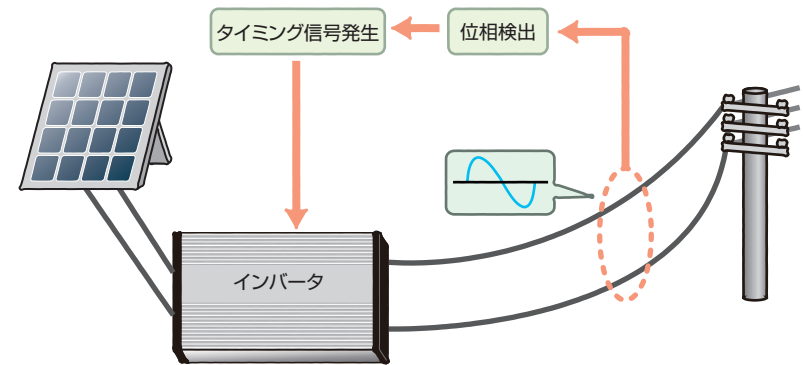
- インバータ出力の電圧・周波数・位相を送電網に合わせ、系統連系する
- 停電のときには出力を遮断する

図1 系統連携



インバータ出力の交流と系統からの交流の位相が異なると接続できない

図2 系統連携の工夫



パワーコンディショナーは、系統からの交流の位相を検出してインバータの制御用のタイミング信号をつくっている

太陽電池を電灯線につなげばいいってもんじゃないのですね



あなたの家の屋根を借ります 地域集中連系型太陽光発電

個別系統連系は不安定な発電所

通常の家用太陽電池の場合、各戸が発電した電力を戸別で消費した残りの余剰電力を系統に供給しますが、**図1**に例示するように、各戸で戸別に系統連携すると、各戸からの出力と系統との間の電気の流れ(潮流)は、逆潮流(売電)と順潮流(買電)が頻繁に切り替わります。つまり、余剰のある場合は系統に供給されますが、不足だと系統から購入することになりますから、出入りの激しい不安定な発電所であることがわかります。戸別にパワーコンディショナーを置くのも非効率です。また、各戸が余剰電力を系統へ送る際に、送電の総電力が限界値を超えると、システム効率が低下します。

地域集中連系型太陽光発電システム

戸別連系の問題点の解決につながるのが、**地域集中連系型太陽光発電システム**です。このシステムでは、地域のすべての家の太陽光発電パネルからの直流出力をまとめて、集中パワーコンディショナー(系統連系装置)を通して交流に変換し、系統に供給します。さらには、日照の不安定さを補うために二次電池にたくわえるしくみをとると、安定した発電所として利用することができます。各戸は屋根を貸すだけで、供給量に応じた売電代金を受け取ることができます。

ソーラータウンの実験が始まった

このような地域集中連系型太陽光発電の取り組みが、ソーラータウンとして実施されています。**図2**はソーラータウンの概念図です。ソーラータウンは蓄電機能があるので、あとに述べるスマートグリッドの一要素になりえると考えられます。



- ソーラータウンは戸別連系より安定かつ効率的な系統連系が可能
- ソーラータウンの蓄電機能はスマートグリッドの一要素になる

図1 戸別系統連系は不安定な電源(1996年8月9日筆者測定)

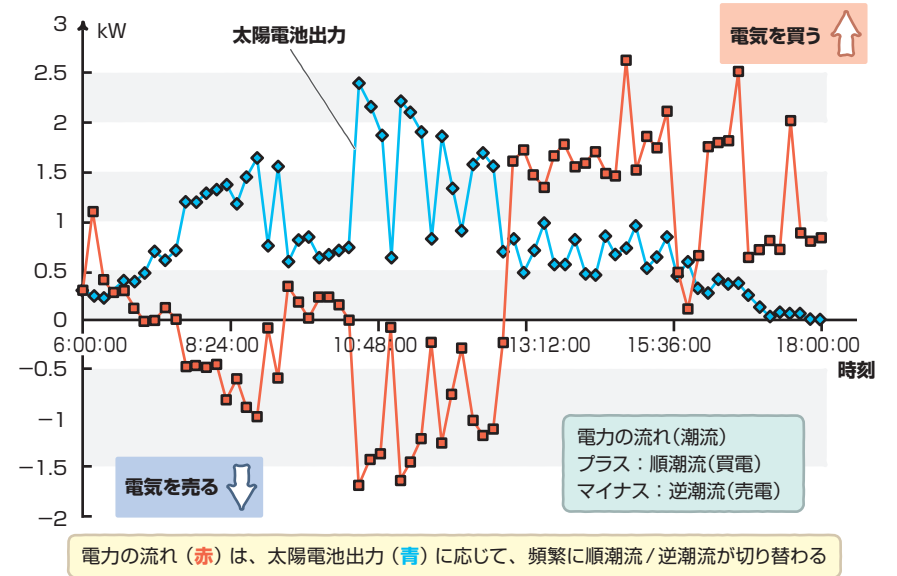
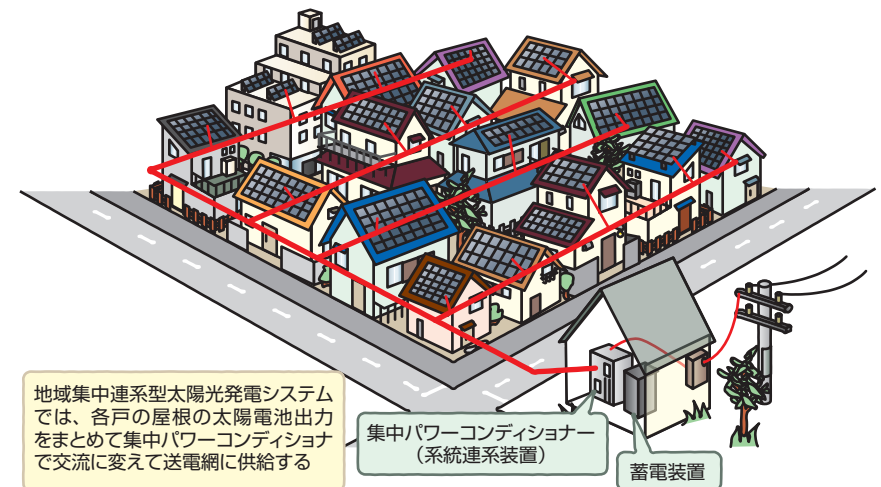


図2 地域集中連系型太陽光発電システム(ソーラータウン)



035 各地に次々登場するメガソーラー発電所

メガソーラー発電所とはなにか

1メガワット(1000kW)以上の出力の大規模太陽光発電所のことを、**メガソーラー発電所**と呼びます。従来の日本の太陽光発電の政策は戸別利用を対象としており、広い土地を必要とするメガソーラーの建設は遅れていました。しかし、低炭素社会を目指す世界的な潮流(電力買い取り制度の充実など)を受けて、わが国でもメガソーラー建設が必要であるとの認識が高まってきました。

メガソーラーの実証実験

2005年、独立行政法人「新エネルギー・産業技術総合開発機構」(NEDO)は**大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究**を公募し、北海道稚内市と山梨県北杜市にそれぞれ5MW、2MWの実証実験施設が建設され、2010年までの5年にわたって実験が行われました。実験では、

- ①太陽電池モジュールの評価
- ②パワーコンディショナーの評価
- ③架台の評価、追尾方法の評価
- ④蓄電池で出力変動を抑制する技術の確立
- ⑤積雪の影響の評価と対策

などが行われました。

各地に建設が進むメガソーラー発電所

実証実験結果を受けて、**図1**に掲げるように、各地に多数の大規模太陽光発電所(メガソーラー)が建設されることとなり、一部で稼働が始まっています。**図2**は、東京電力と川崎市が共同で建設している20MWの浮島太陽光発電所の俯瞰図です。



- NEDOはメガソーラー発電所の実証実験を2005年から5年間実施した
- 実証実験結果を受けて各地にメガソーラー発電所が建設されている

図1 稼働中または建設中のメガソーラー発電所

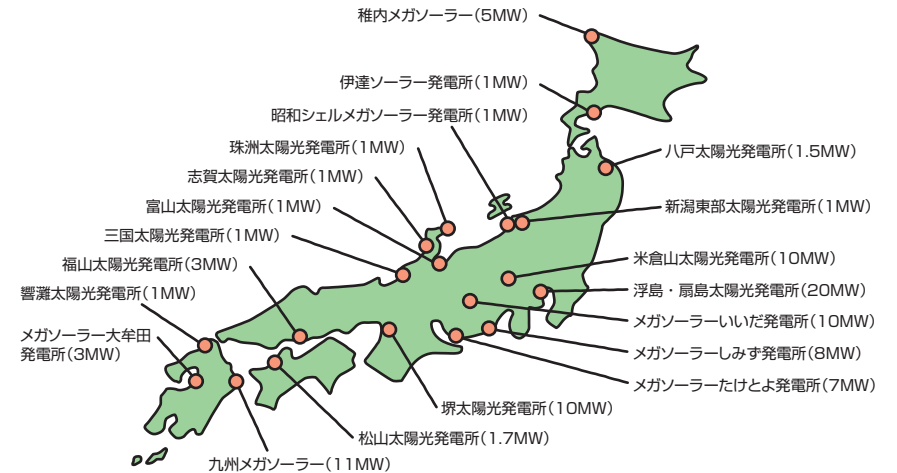


図2 浮島太陽光発電所



東京電力と川崎市が共同で建設している浮島太陽光発電所の俯瞰図

スマートグリッドがもたらす 電力イノベーション

スマートグリッドとは

太陽電池や風力発電など、絶えず変動する自然エネルギーが送電網(グリッド)に供給されると、電圧や周波数の変動を生じることがあります。また、多数の分散型電源から系統への逆潮があると、その付近で配電線の電圧が高くなって、せっかく発電した電力を系統に供給できないという事態が生じることもあります。これを防ぐために、専用の機器やソフトウェアを組み込んだITの技術を使って、供給側と需要側のミスマッチをなくすとともに、電気自動車の電池を利用するなど、蓄電機能を系統全体に分散することによって安定化を図るのが、**スマートグリッド**(賢い送電網)の考え方です。

日本では低かったスマートグリッドのニーズ

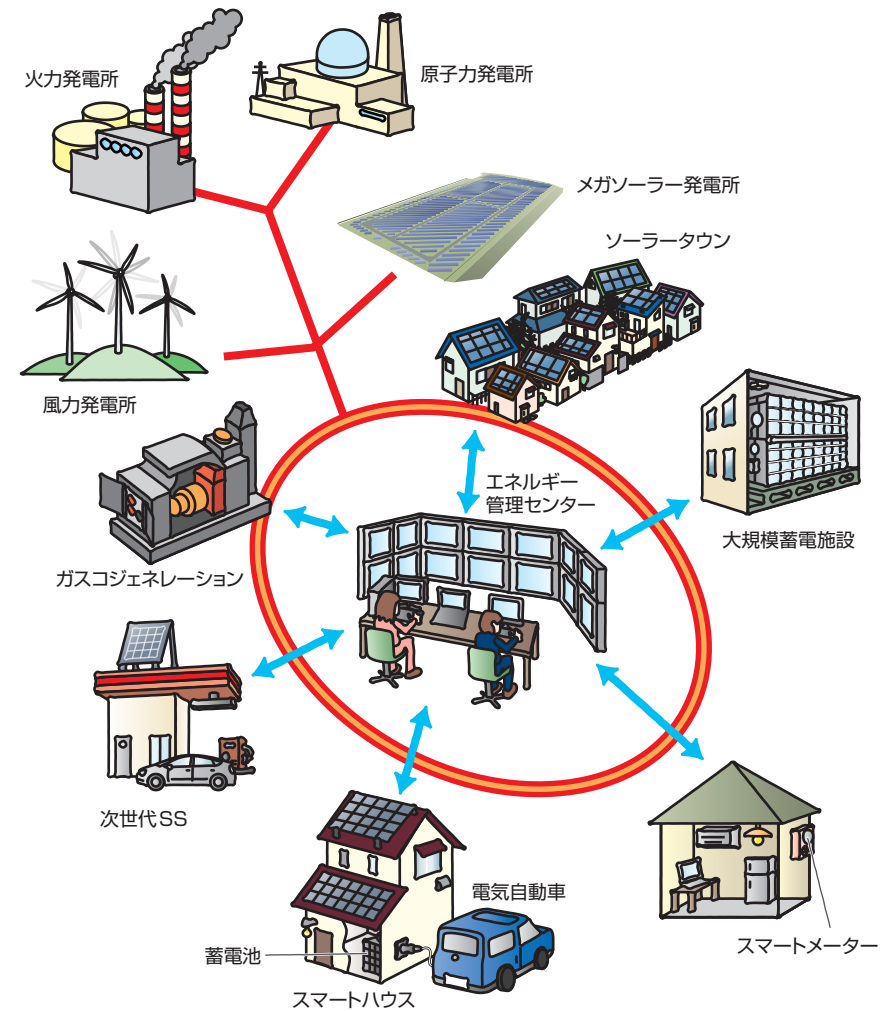
元来、この技術は受給ミスマッチによる停電を防ぐ目的で提唱されました。日本においては、以前から電力会社が、発電所・変電所・需要地を結ぶ送電網に光ファイバーを埋め込み、ITによる経済配電を行ってきまされたから、電力品質は先進国の中でもきわめて高い水準^(注)にあり、スマートグリッドのニーズは高くなかったのです。

自然エネルギー導入で注目されるスマートグリッド

現在では、この技術は停電を防ぐだけでなく、ピークシフト効果、自然エネルギー導入、電気自動車の充電インフラ整備などにも役立つというので注目され、世界中でスマートシティ、スマートコミュニティの実証実験が行われています。

図1は、スマートコミュニティの概念図です。スマートグリッド実証試験は、中国の天津、アラブ首長国連邦、韓国の済州島などで先行しましたが、日本でも横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市の4地域で行われています。

図1 スマートコミュニティの概念図



大規模発電所(原子力発電所、火力発電所、メガソーラー発電所、風力発電所など)、分散型発電施設(ソーラータウン、戸別太陽光発電、戸別コジェネ発電)と、各種蓄電設備(大規模蓄電施設、電気自動車など)、スマートメーターを備えた需要家が共通の送電網で結ばれ、共通のエネルギー管理センターによってきめ細かく、受給電がコントロールされる



- スマートグリッドは、電力の受給をIT技術で最適化するシステム
- 世界中でスマートシティ、スマートコミュニティの実験が行われている

注：日本の年間事故停電時間は1軒あたり19分であるのに対し、英国では88分、アメリカでは97分になる
(出典：http://www.kankyo-business.jp/topix/smartgrid_01.html)

