

第7章 太陽光発電システム概論

1. 日本における太陽光発電システム導入状況

(1) 太陽光発電システムの分野別導入実績（累積）

これまでの経緯をみると、我が国の太陽光発電システムの導入は主に政府の導入促進政策により牽引され着実に拡大してきた。2009年までの導入実績をみると、全体の96%を個別分散型系統連系利用のシステムが占め、系統連系せずに独立型で運用する例は住宅用、非住宅用合わせてわずか3.6%に止まり、いわゆるメガソーラー型は0.4%にすぎなかった。

この傾向を逐年でみると、2005年度の住宅用太陽光発電システム補助金打ち切りで、それまでの導入の勢いが弱まったものの、システム価格の低下によって、補助金なしでも普及していく素地ができつつあった。

2008年からは補助金が再開され、さらに2009年度の余剰電力買い取り制度開始により、再び住宅用太陽光発電導入はブームとなり、海外からのパネル流入も増大した。

2009年未までの累積導入量

独立型住宅用	系統連系集中型	独立型非住宅用	系統連系分散型	合計
2.6 MW	10.7 MW	92.0 MW	2,521.9 MW	2,627.2 MW
0.1%	0.4%	3.5%	96.0%	100%

2009年までの単年導入量（単位MW）

	～2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
単年導入	529.4	272.4	289.9	286.6	210.4	225.3	483.0
累計	859.6	1,132.0	1,421.9	1,708.5	1,918.9	2,144.2	2,627.2

政府や地方自治体等の助成制度に支えられ、システム価格の低減と計画的な導入戦略、住宅メーカーや量販店での営業活発化も加わり、住宅用のシステム市場は今後急拡大が続くとみられている。

しかし、海外に比べて発展途上である中規模～大規模システムの市場は、2010年度の新エネルギー事業者支援制度や地域新エネルギー導入促進制度の終了に伴い、導入にブレーキがかかる恐れがある。ただ2012年からは全量買取制度がスタートしたので、42円という買取価格のもとで、公共や産業用、さらには売電だけが目的のメガソーラープロジェクトが急拡大する傾向がみえる。

問題は2013年度以降の買取価格であり、システム価格が低下する以上に買取価格がさがると、大規模事業の増加率は漸減する恐れもある。あくまで民間事業であるので経済性の確保がどの程度できるかが普及拡大のポイントである。

(2) 太陽光発電システムの主体者別導入実績

主体者別の導入の傾向をみると、新エネルギー財団を中心とする住宅向けのシステムが全体の伸びをけん引してきていることが分かる。2000年以降、市場での普及の先兵役であったNEDOのフィールドテスト事業は、データの集積を通じてシステムの一般市場への普及を促進させたが、この事業も2009年には終了し、主役は住宅用に完全に移ってきている。

今後は未利用地でのメガソーラーや自治体等の屋根貸し事業など、一般市場の拡大が予想される中、普及を妨げる従来の規制がどう緩和されるかに注目が集まっている。

主体者別、太陽光発電システム導入状況

(単位 kW)

年	NEDO R&D	NEDO PV フィールドテスト	電力会社	グリーン電力基金	NEFを中心とする住宅事業	防衛施設庁住宅防音事業	一般市場を含むその他	小計	累計
~1992	3,078	235	803	-	-	-	15,132	19,248	19,248
1993	306	476	494	-	-	-	3,989	5,265	24,513
1994	-	370	477	-	1,860	-	4,252	6,959	31,472
1995	-	719	874	-	3,916	-	6,635	12,144	43,616
1996	-	1270	194	-	7,536	-	7,245	16,245	59,861
1997	-	1,830	1,033	-	19,486	-	10,014	32,363	92,224
1998	-	1,940	230	-	24,123	-	15,816	42,109	134,333
1999	-	2,790	217	-	57,693	-	14,425	75,125	209,458
2000	-	3,680	236	-	74,381	-	43,373	121,670	331,128
2001	-	4,890	△ 11	839	90,997	-	25,859	122,574	453,702
2002	386	4,800	△ 36	1,381	141,438	-	35,171	183,140	636,842
2003	831	4,480	△ 62	2,910	173,687	1,044	39,891	222,781	859,623
2004	1,147	7,161	99	3,219	200,155	1,212	59,375	272,368	1,131,991
2005	275	17,672	△ 291	4,354	261,741	1,364	4,782	289,897	1,421,888
2006	130	21,707	14	2,301	224,058	1,170	37,231	286,611	1,708,499
2007	250	16,220	1,010	2,063	177,420	-	13,432	210,395	1,918,894
2008	3,240	11,299	-	3,608	197,497	-	9,651	225,295	2,144,189
2009	1,140	-	-	3,388	381,387	-	97,061	482,976	2,627,165
合計	10,783	101,538	5,281	24,064	2,037,375	4,790	346,273	2,627,165	

※1. 各種資料、ヒアリングをもとに、これまでの導入量総計を㈱資源総合システムが推定

※2. NEDO R&Dは、1980年から実施された連系型、独立型PVシステムの研究開発、宮古島、負荷平準化実施試験、新エネルギー等地域集中実証研究、集中連系型太陽光発電システム実証研究、大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究等を含む

※3. 一般市場を含むその他は、NEDO・PVフィールドテスト、NEF住宅事業及び防衛施設庁・住宅防音事業以外の事業予算による各省庁・地方自治体導入分、道路標識、街路灯、通信用電源、補助金によらない住宅、補助金によらない企業自主導入、2005年度の電力会社による導入等を含み、民生用、エレクトロニクス機器用は含まない

※4. NEDO R&Dの終了後電力会社に移管された計1,000kWはNEDO R&Dに含まれる

2. 太陽光発電システムの設置価格推移と今後の見通し

(出典：経済産業省：太陽光発電システム等の普及動向調査)

住宅用太陽光発電システムのシステム価格を、2010年の補助金交付申請データからまとめたものが公表されている。

過去からの推移では、2009年度の住宅用太陽光発電システムの価格は、2003年から2008年までは下げ止まりの傾向がみられるが、2010年にかけては価格は急速に低下した。その背景にはシリコンの需要ひっ迫にともなうコスト増加が価格の下げ止まりの要因になったが、その後は円高と安価な中国製等のパネル価格の低下に押される形で価格低下が加速化した。さらに政府の補助金に格差をつけ、安いシステム価格ほど補助金を多く出すという逆張りの政策により市場価格の低下を支援した効果もある。

2010年4月～12月、住宅用太陽光発電システム価格、新築+既築

全システム (新築+既築)	太陽電池 モジュール	インバータ 保護装置	その他 付属機器等	工事費	システム価格
平均(円/kW)	370,576	58,782	50,368	86,159	565,885
構成比	65.5%	10.4%	8.9%	15.2%	100.0%
データ数(件)	91,003	15,849	15,849	91,003	91,003

2010年4月～12月、住宅用太陽光発電システム価格、【新築の場合】

新築	太陽電池 モジュール	インバータ 保護装置	その他 付属機器等	工事費	システム価格
平均(円/kW)	326,606	58,000	36,116	72,649	493,371
データ数(件)	21,721	5,941	5,941	21,721	21,721

2010年4月～12月、住宅用太陽光発電システム価格、【既築の場合】

既築	太陽電池 モジュール	インバータ 保護装置	その他 付属機器等	工事費	システム価格
平均(円/kW)	384,362	59,251	54,612	90,394	588,619
データ数(件)	69,282	9,908	9,908	69,282	69,282

住宅用太陽光発電システム平均価格のトレンド(万円/kW・税抜き)

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
新築	107	108	92.2	85.6	69.8	61.3	56.8	54.7	54.2	55.7	57.1	55.9	51.8	49.3
既築	106	108	95.8	83.6	78.1	73.5	71.8	71.1	69.7	72.2	74.1	77.3	63.8	58.9

- ・2010年度は4月～12月の実績
- ・2009年度までは補助金交付申請完了の位置付け、2010年度は4～12月の交付申請データに基づく分析。
- ・出典：経済産業省：太陽光発電システム等の普及動向調査のデータを編集

なお、新築住宅のシステム価格が安くなる要因としては、新築住宅全体のコストに太陽光発電がどう位置づけされているか、換言すれば住宅コストの原価構成でやや恣意的に太陽光の部分の安く設定し、採算性を見かけ上よくするといった営業戦略的要素もみられる。「わずか5年で回収できます」といった広告宣伝や、「わが社の太陽光発電は、住宅と同時に契約することが条件です」といった営業方針にはそれが如実に現れていると考えられる。

以下のデータは施主が民間事業者と自治体等の場合の比較であるが、一般的傾向としては自治体等での導入の方が周辺コストの関係で高くなる。民間の場合は経済性を重視するので、前もって周辺整備を行い、無駄のない投資を心がけるからである。工事費の比較をみればその点が窺い知れるであろう。

非住宅用太陽光発電システム価格（22年度、民間事業者の場合）

（単位：千円/kW 補助金交付申請時野データ）

容量範囲	太陽電池	パワコン	架台	工事	合計	件数
10kW～19kW	370	94	73	158	695	178
20kW～49kW	363	102	75	140	680	88
50kW～99kW	335	100	82	173	690	78
100kW～199kW	307	87	55	175	624	35
200kW～499kW	314	87	66	148	615	17
500kW～999kW	-	-	-	-	-	-
平均	331	93	70	160	654	計396件

出典：新エネルギー導入促進協議会

非住宅用太陽光発電システム価格（22年度、自治体等の場合）

（単位：千円/kW 補助金交付申請時のデータ）

容量範囲	太陽電池	パワコン	架台	工事	合計	件数
10kW～19kW	393	110	100	216	819	190
20kW～49kW	378	127	95	228	828	112
50kW～99kW	375	115	84	213	787	32
100kW～199kW	344	109	97	260	810	11
200kW～499kW	320	84	67	175	646	4
500kW～999kW	420	96	125	95	736	1
平均	373	112	93	211	789	計350件

出典：新エネルギー導入促進協議会

住宅用太陽光発電システムの価格は急速な需要拡大に伴う量産効果、原材料価格の低下、さらには施工ノウハウの普及があり、新築住宅、既存住宅用ともに価格低下は進むと考えられる。

システム価格の50%は太陽電池本体が占めており、パネルの価格低下が今後を占うポイントになる。その点で海外製の安いパネルの流入がその傾向を加速させるのかが懸念されるが、大手電気設備企業の多くがそれを取り込み、競争激化で採算が悪化しているシス

テム事業の立て直しに役立っている面も否定できない。

そのほかの傾向としては、業界における工事の標準化指導で、据付工事の面でエンジニアリングが改善し、周辺機器の合理的システム化を促すので、この点からもシステム価格の低下が見込まれる。

ただ、住宅用は今後設置条件の良くないサイトでの普及が進み、コスト削減効果が小さくなるという懸念もあるが、施主側の採算性の確保が下支えになり、コスト増が価格に反映されてこないという見方もある。家庭用システムは標準化が進み「一物一価」の様相もあり、競争社会ではコストと価格は必ずしもリンクしない。

3. 太陽光発電システムの構成（様々な類型）

(1) 太陽電池モジュールと太陽電池アレイ

太陽電池は太陽電池セルが最小単位となる。10cm角、12.5cm角、15cm角等の板状で、1枚では電圧が0.5Vと低いのでセルを数十枚直列に接続し、耐候性パッケージに収納して太陽電池モジュールとして使用する。アモルファスや化合物系のようにセルの集合体の様相を示さないものもある。

太陽電池モジュールは1枚が20V～50V前後なのでこれを直接つないで所定の電圧（たとえばパワーコンディショナ入力電圧）にまで高めたひとつのブロックをストリングと呼び、ストリング複数で構成されたものを太陽電池アレイと呼んでいる。

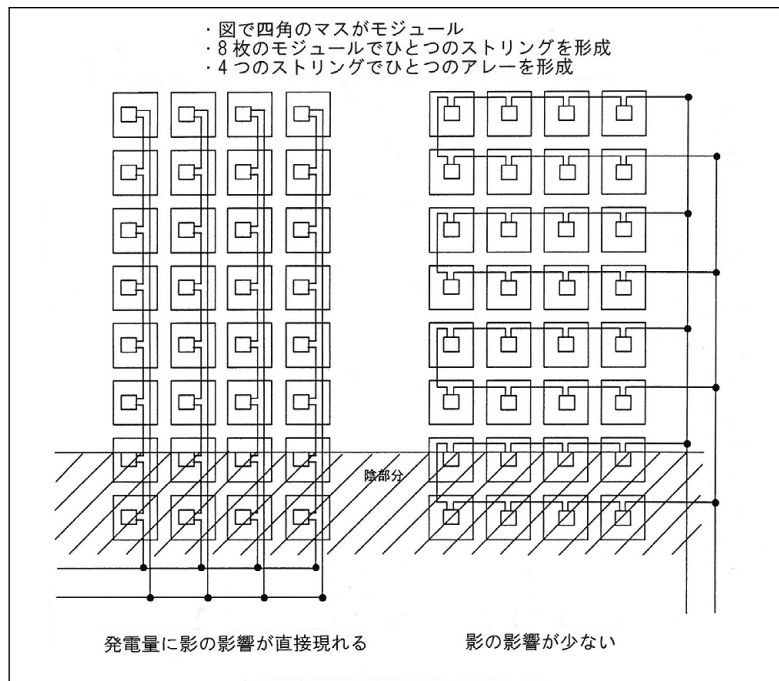
実際に目にする中規模以上の太陽電池はこのアレイが数列配置されたものである。

なおパワーコンディショナには、複数のストリングスからの直流電力を接続箱でひとつにまとめて入力する。

一例を挙げると、たとえば発電出力12kWの太陽光発電システムを構成する場合、

- ・出力250Wのモジュールを8直列につないで1ストリングスを構成
- ・この電力を接続箱の1回路に接続
- ・このストリングスを2～6列並列につないで、接続箱の2～6回路に接続
- ・この接続箱からまとめた電力をパワーコンディショナに送る
- ・ $250\text{W} \times 8 \times 6$ で合計出力は24kWになる

また以下の図には、モジュールの配線例を挙げた。モジュール同士を二つの繋ぎ方で例示した。問題はパネルに木の影等が掛かる場合、左側の配線例では影の影響が出るが、右側の配線例の場合は影響が少なくなる。パネルの設置場所を検討する場合、考慮しなければならない。ただしこれはパネルが結晶系の場合であり、化合物系の場合は別である。



モジュール配線、二つの例
 出展：NEDO太陽光発電導入ガイドブック

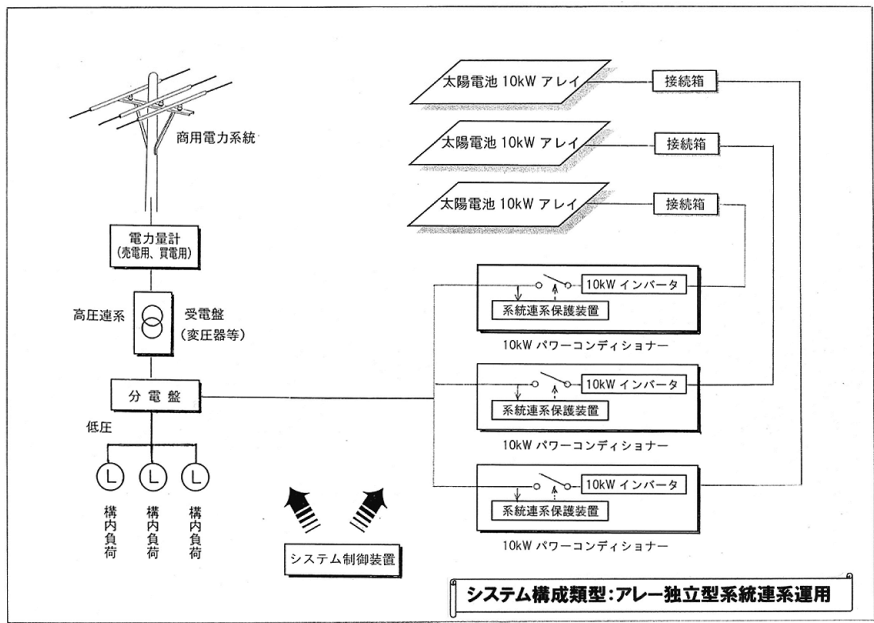
(2) 太陽光発電システムの基本構成

家庭用太陽光発電システムは、屋根などに据え付けた架台にモジュールのパネルを配備したアレー、アレーからの電力を接続箱を介して接続してあるパワーコンディショナ、更に交流側に設置される交流側開閉器、商用電力と太陽光発電とが交わる分電盤、商用電力用の電力量計（積算電力計）、余剰電力積算の電力量計等で構成される。系統連系上の保護装置は低圧連系なので厳しさは少なく、パワーコンディショナに装着済みになっている

産業用は高圧受電なのでさらに受変電設備や系統連系保護装置等が加わる。

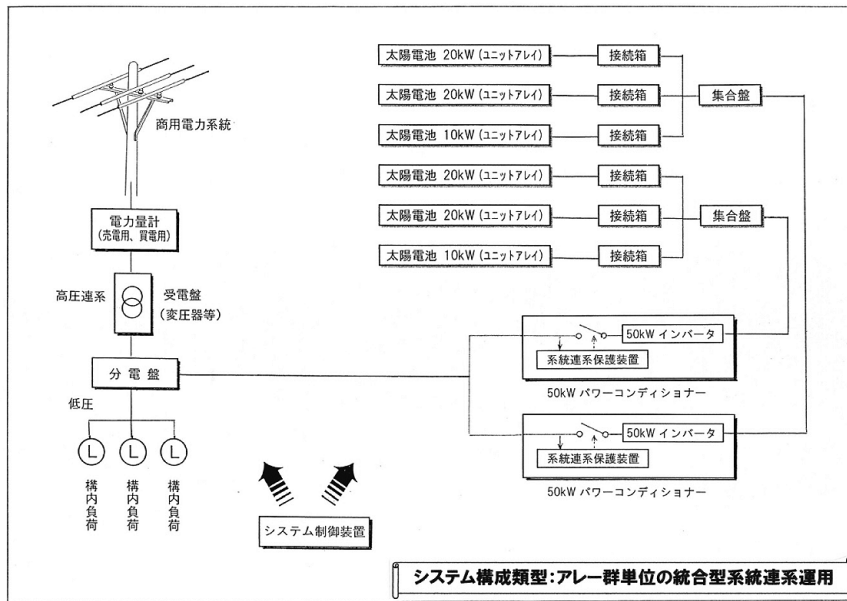
(3) 太陽光発電システムの構成の類型（例示）

以下にいくつかの構成例を挙げる。模式図で示したので、蓋然的な図になっている。アレーの規模とパワコンの組み合わせはサイトの事情により、電力の利用目的により、電力利用のリスク回避方針により、メンテナンス対策により、電力利用の分散性により様々であり、規則的なものはないが近年太陽光発電を安全に、安定的に、多目的に運用する傾向が出てきているのでバリエーションは増えてくるだろう。



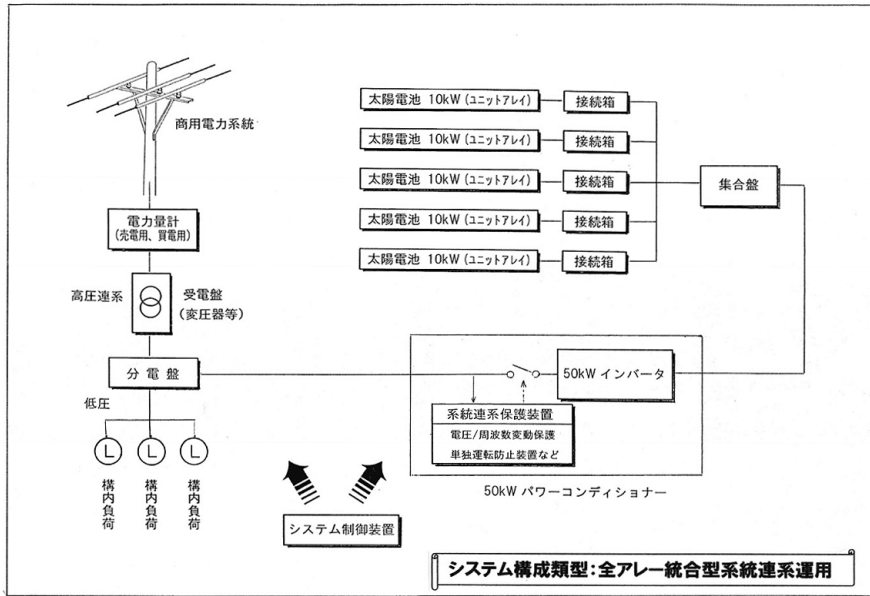
類型A：アレイ独立型、一括系統連系運用の類型

上掲は3系列のアレイごとにパワコンを繋いでパワコンを経由した電力は一本化して運用するケースで3系列のパネルの仕様がメーカーごとに異なり、それぞれ独自のパワコン使用を推奨された場合や、図には記載していないが3系列の電力を夫々独自の仕様で利用する場合などにこの類型が採用される。パネルとパワコンの相性問題はよくあり、留意すべき点である。



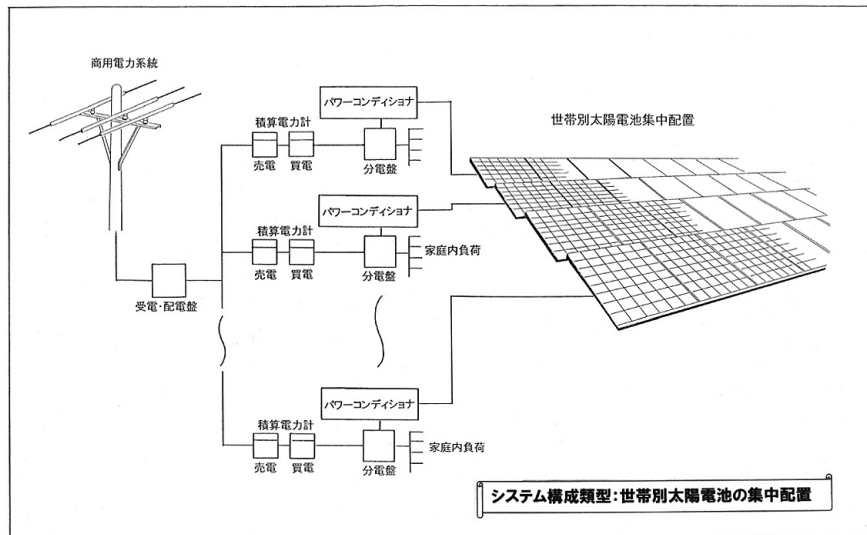
類型B：アレイ群単位別電力変換&統合系統運用の類型

上掲はアレイ群（2群）が別々の場所に分散配置になった場合で、全体を集合させるとパワコンが大型になり、万一の場合にすべてがダウンする恐れがある。リスクを分散することと、大型パワコンが「特注」になり設備費用の割高を避けることを目的にこの類型が考えられる。交流に変換したあとは統合して一括系統に係りされる。



類型B：アレイ群単位別電力変換&統合系統運用の類型

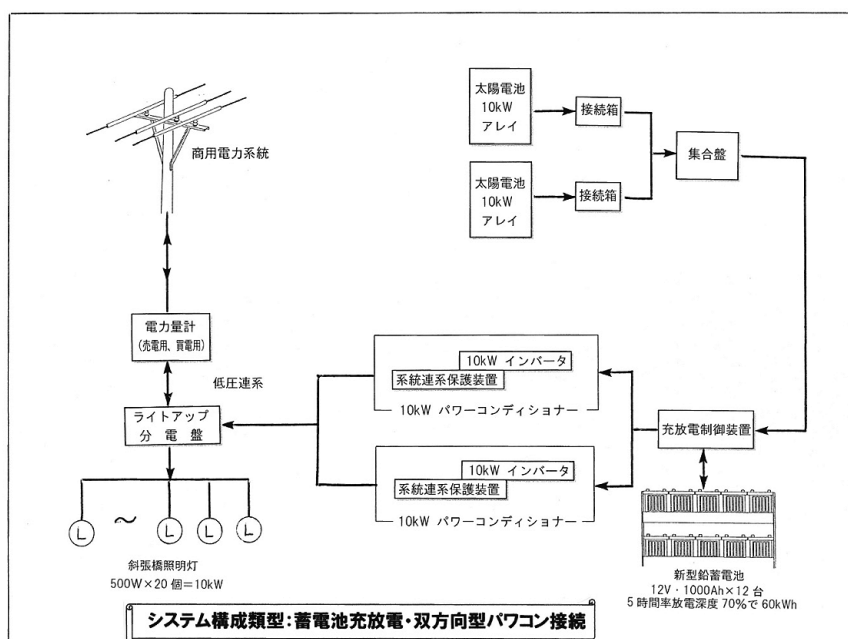
上掲はもっとも単純な使い方の例で、アレイごとにまとめた電力を集合盤で一本にまとめて1台のパワコンに繋ぐやり方で、パワコンの仕様と価格次第ではこの類型が比較的経済的である。パワコンは大型化すると量産品に比べて割高になる傾向があり、また運用上のリスクもあることからサイズには限界がある。



類型D：世帯別管理・集合住宅でのパネル集中配備の類型

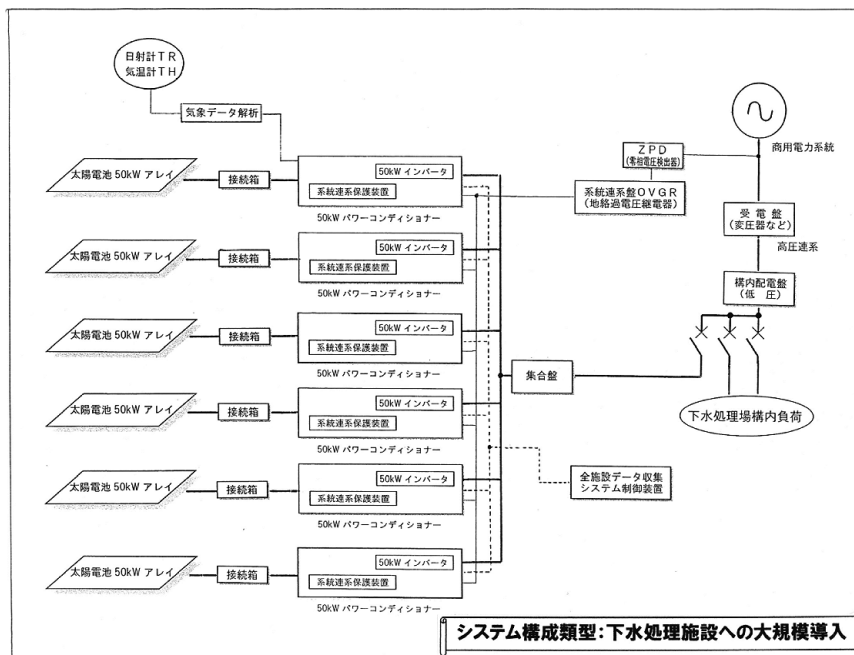
上掲は集合住宅メーカーが『太陽光発電付き集合住宅』でPRしている方式で入居者が電力会社と個別に受電契約を交わし、戸建ての場合と同じように余剰電力を売電できるように配備した例である。パネルは屋上に設置され、太陽光発電を導入

できない集合住宅入居者に導入の機会を与えることができる。



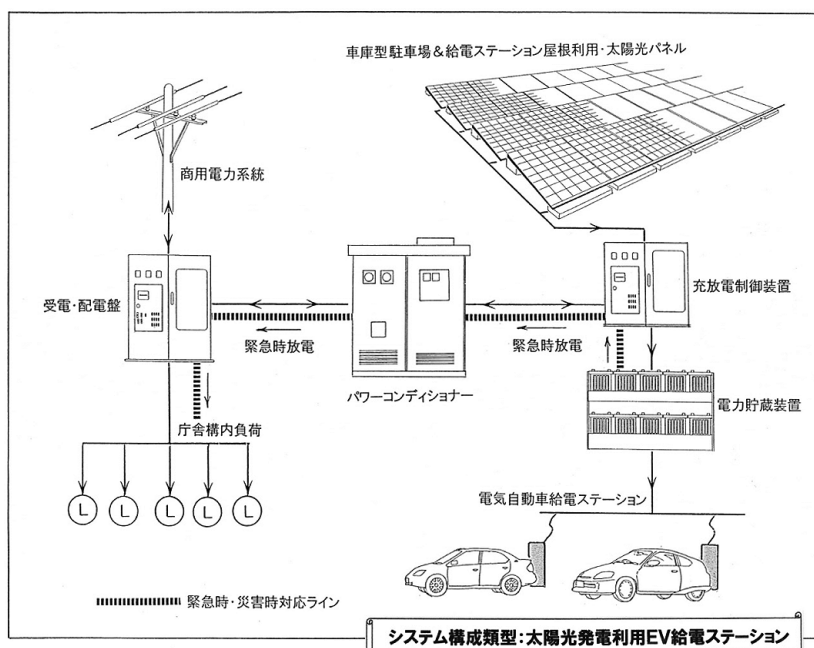
類型E：蓄電池併設・双方向型パワコン採用の類型

上掲は防災型を合言葉にした「蓄電池併設型」の例で、外部電源喪失の場合は、最小限の電力供給ができるよう比較的大容量の蓄電池を併設するもの。パワコンは外部電源が喪失すると一般には運転が止まるが、蓄電池の電力をパワコンの機能を生かして非常用電気設備に利用することはできる。ただし既存の配電線網には繋がらない。パワコンには充放電制御システムが組み込まれていて「双方向型パワコン」と呼ばれている。最近ではパワコンに接続箱の機能まで取り入れた機種も登場している。



類型 F : 大規模導入の類型

上掲は下水処理施設の平坦な上屋を利用した大規模太陽光発電導入の例であり、パワコンは経済性を考え 50kW で統一してあるが、最近はより大型で経済性に優れた機種の商品化が進んでいるため 100kW × 5 台とか 250kW × 2 台といった配備も可能になっている。最近はパワコンに接続箱の機能まで取り入れた機種も登場している。



類型G：駐車場屋根にパネル設置でEV充電ステーション

上掲は駐車場の屋根を利用してパネルを設置し、その電力をEV用充電ステーションで利用しようとする近未来型のシステム構成例である。近年自治体等による公共施設の『屋根貸し事業』が話題になっているが、EV普及とともに駐車場での屋根利用形態として注目されよう。

4. 太陽電池の種類と特徴

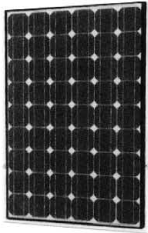
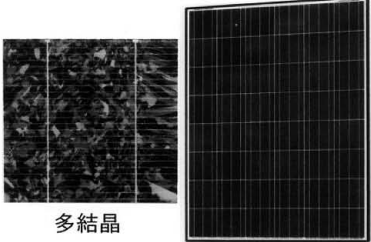
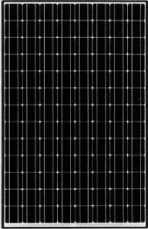



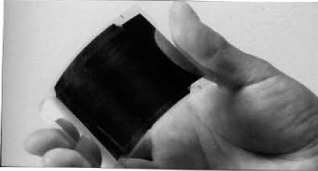
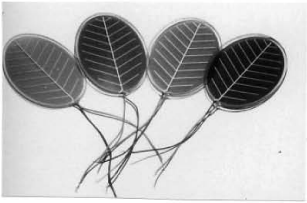
以下に現時点で登場している太陽電池の特徴などを掲載する。昨今は新聞紙上などで変換効率を飛躍的に高めた新構造の太陽電池が登場し紹介されているが、いずれも基礎研究か、研究開発段階であるので、ここには掲載しなかった。

太陽電池の種類と特徴

種類		特徴	モジュール変換効率	実用化の状況	代表的国内メーカー
シリコン系	単結晶	太陽電池の中で最も古い歴史がある。シリコンの単結晶の基盤を用いて太陽電池を作ったもので、基板の価格が高いのが課題であるが変換効率は最も高く性能や信頼性に優れている。	15～17%	実用化	三洋電機 シャープ
	多結晶	比較的小さな単結晶が集まった多結晶の基盤を用いた太陽電池。単結晶に比べて変換効率はやや劣るが、安価で作りやすいことから現在の主流になっている。シリコンの資源不足の問題があったが現在は下火になっている。	13～15%	実用化	京セラ シャープ 三菱電機

シリコン系	結晶系	ヘテロ接合	結晶系基盤の上にアモルファスシリコン層を形成した高効率の太陽電池。変換効率がよく、特に住宅の屋根などで設置面積が限られた条件で、発電量を多く得る場合に有効である。三洋電機のHIT型（ヘテロ接合の頭文字）がこれで、単位面積当たりの発電量は現時点で最も高い。タンデム構造とは異なる独自の構造。	19～21%	実用化	三洋電機
	薄膜系	アモルファス	ガラスなどの基盤上にアモルファス（非晶質）シリコン薄膜を形成させて作った太陽電池。結晶系と比較して変換効率はかなり劣るが、大面積での量産が可能で、高温の環境下での発電量低下が小さいという特徴がある。	6～7%	実用化	カネカ 三菱重工
		多接合型	複数のシリコン系薄膜を積層して作った太陽電池。シリコン使用量が少なく、大面積での量産が可能。アモルファスとシリコンの両方の波長帯を吸収するため変換効率が高い。	8～10%	実用化	カネカ シャープ 三洋電機 三菱重工
化合物系	CIS系		銅(Cu)、インジウム(In)、ガリウム(Ga)、セレン(Se)などの化合物を用いた太陽電池。薄いため省資源で量産も容易。特徴はパネルの一部に影ができて安定した発電ができることにある。従来型の結晶シリコン系よりも幅広い光の成分を吸収でき、変換効率はアモルファス程度まで向上している。	11～12%	実用化	ソーラーフロンティア ホンダソルテック
	その他		ガリウム(Ga)、ヒ素(As)などの化合物を用いた太陽電池。変換効率高く、放射線に強いために宇宙開発などで使われている。非常に高価である。		実用化	シャープ
有機系	色素増感型		酸化チタンに吸着した色素が光を吸収して電子を放出することにより発電する新型の太陽電池。住宅の窓やインテリア風のデザインが可能で用途は広い。室内光のような弱い光でも発電できるが、耐久性に弱点があり、目下研究開発中である。		開発中	シャープ ソニー フジクラ
	有機薄膜系		シリコン等の高価な無機材料の代わりに、有機半導体を用いる新型の太陽電池。色素増感型よりも低コスト化が可能とされており、印刷が可能ことから用途は広い。ただ現時点では変換効率が3～6%と低く、商品化はまだ先である。		開発中	新日本石油 住友化学 三菱化学 パナソニック電工

三洋電機の製品はパナソニック製品と統合

 <p>単結晶モジュール</p>	 <p>多結晶 多結晶モジュール</p>
 <p>単結晶+アモルファス・モジュール (HIT)</p>	 <p>アモルファス多接合型モジュール</p>
 <p>化合物系モジュール</p>	 <p>微結晶+アモルファス・モジュール</p>
 <p>有機薄膜系</p>	 <p>色素増感系</p>

太陽電池の形状（一例）

5. パワーコンディショナの仕組みと選定

パワーコンディショナは、太陽光発電の直流電力を交流に変換するインバータと系統との連系を安定的に行うための系統連系保護装置で構成されている。

【インバータ】

電力は通常は交流電力を利用するが太陽電池からの出力は直流であるので、一般に利用するには直流を交流に変換する必要がある。これを行うのがインバータである。

インバータはこの電力変換部だけではなく、周波数、電圧、電流、位相、無効電力、同期出力電力の質等を制御している。

自動運転停止機能

日の出から日の入りまでの日射強度条件に合わせて、太陽電池出力をできるだけ有効に取り出せるよう自動的に運転を開始し、自動的に停止する機能。

最大電力追従制御 (MPPT) 機能

太陽電池の温度変化や日照強度の変化に伴う出力電圧や出力電流の変動に対して、太陽電池の動作点が常に最大出力を追従して、太陽電池出力が最大限になるよう制御する機能。

単独運転防止機能

太陽光発電電力はインバータを介して系統といつも連系して運用されているが、系統に事故などが起きた場合、太陽光発電が単独運転の状態になり、太陽光の電力が系統に逆流すると、系統の保守要員に危険が及ぶ。これを防止するために、連系点の異常を察知して連系を遮断する機能と、印加電圧が同じで異常が察知できない場合でも能動的に働きかけて事故を察知し連系を遮断する機能の両方を持つ。

自動電圧調整機能

余剰電力を系統に逆流する場合、連系点の電圧が上昇して、系統の電力電圧運用範囲を超える可能性が生まれる。系統の電圧を安定させるために自動的に電圧の上昇を抑えて連系動作を行う機能。

異常時の解列、停止

その他構成システム機器に異常が生じた場合にインバータを停止させる機能。

その他

また万一システムが故障しても、太陽電池の直流分が系統の配電線に流入しないようにしなければならない。直流分が系統に流れると柱上変圧器に異常が生ずるといわれている。以前は絶縁変圧器をシステムに組み込んで、これで太陽電池側と系統側が変圧器によって絶縁していたが、最近は10kWクラスのパワーコンディショナではトランスレス方式が多数登場している。

【系統連系保護装置】

系統連系保護装置は、系統側やインバータ側の異常を検出してインバータを停止させるとともに、系統との連系を素早く遮断することにより、系統側の安全を確保すること

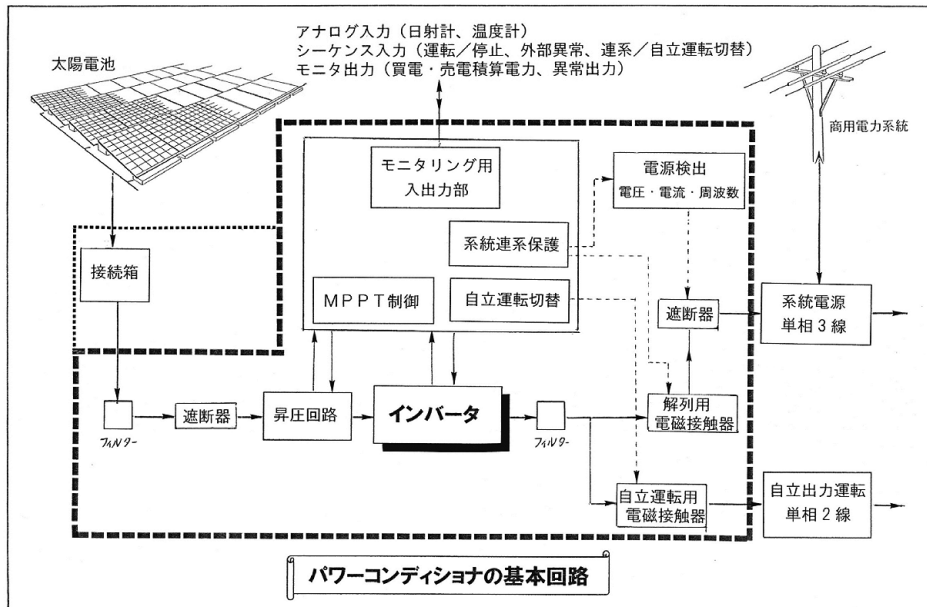
を目的にした装置である。

一般的な機能としては、周波数の変動の検出、電圧の過不足の検出、地絡の検出、単独運転の検出等があり、これらは「系統連系規定」に細かく規定されており、パソコンメーカーはいずれもこの規定に沿った製品を市場に出している。

【双方向型】

最近防災機能を謳ったパワーコンディショナが登場している。災害時にも必要最小限の電力を確保するために蓄電池を併設し、パワーコンディショナに蓄電池への充放電機能を持たせ、災害時に太陽光発電と蓄電池の組み合わせから自立運転ができるようにした装置である。

以下にパワーコンディショナの基本回路を掲載した。独立運用機能と自立運用機能をもった例である。



パワーコンディショナの基本回路

図で、接続箱がパワコンの基本構成から切り離してあるが、最近のパワコンは接続箱までをシステム化して製品化している例が目立っている。

また最近『見える化システム』導入例が多くなっていることに対して、パワコンの内部にインターフェース・ボード（基盤）を設け、外部からのデータとともに太陽光発電システムの運用状況をモニタリングできるようになってきた。

6. 防災対応型としての蓄電池

震災以降、外部電源喪失に備えた緊急用電力ライフライン整備のニーズが生まれ、蓄電池への関心が高まってきた。再生可能エネルギーの中でも特に太陽光発電システムへの併

設例が目立ってきているので、ここでは蓄電池を概観してみることにしよう。

(1) 一般論

使い捨て電池を一次電池、充電して再利用できる電池が二次電池であり、この二次電池を蓄電池と呼んでいる。なお燃料電池は「電池」ではなく、水素と空気中の酸素で発電する発電機である。内部構造のスタックに電池のイメージがあり、「電池」になったとの説がある。

使い捨ての電池は正極から負極へ一方的に電流が流れる（電子の流れは逆）が、蓄電池は電解液（鉛蓄電池であれば希硫酸の水溶液）に浸した正極と負極の間を電気を伝導するイオンが往復することで、負極から正極へも電流を流し（電子は正極から負極へ）、電源から充電することができる。

スマホやタブレット等の電源として小型の製品が普及しているが近年、家庭用や事業所用に大型の定置型とよぶ蓄電池が増えてきた。

実は以前にも風力発電の出力安定化用に大型蓄電池利用の実証試験が国の事業として行われていたが本格的な普及には至っていなかった。

経済産業省は今後、携帯用などの小型蓄電池よりも、電力の系統連系をスムーズに行うための需給安定化システムとして中規模～大規模の蓄電池が大きく伸びるとみている。

(2) 各蓄電池の比較

蓄電池は電極に使用する物質によって特徴が異なってくる。現在市場に登場している蓄電池は次ページの表にあるように鉛、ニッケル水素、リチウムイオン、ナトリウム硫黄（NAS）の4種類であり、他は実用化手前の状況にある。このほかマグネシウム等の金属を利用した空気電池があるが研究開発中である。

【鉛蓄電池】

負極に鉛、正極に二酸化鉛、電解液に希硫酸を用いた昔ながらの蓄電池。最近まで技術の開発が続き、現在では耐用年数が大幅に伸びて17年、充放電回数も3,000回以上になってきている。重量が重くコンパクト化できないとか、エネルギー密度が小さい、電極が劣化しやすい、放電深度を高めると寿命が短くなる、といった欠点が指摘されつつも、価格はkWh当たり50,000円程度で一番安く、比較的安いため広く用いられている。

【ニッケル水素電池】

負極に水素吸蔵合金、正極に水酸化ニッケルを用い、間にPP不織布をセパレータとしている蓄電池で、アルカリ乾電池と同じような形状で作られている。内部抵抗が小さいため高速充放電が可能だが、満充電時に大きな発熱を伴うため温度管理が重要である。

コンパクト化にはやや問題もあるが大容量化がある程度可能（単体で 100Ah が限界？）という。現在は「ギガセル」という製品名で主に路面電車用に利用されているがそれ以外の産業用には普及は進んでいない。価格は水素吸蔵合金が高く鉛蓄電池の 2 倍程度と高いほか、耐久性が 5～7 年で、鉛蓄電池の 17 年に比較して見劣りがし、結果的に経済性が低いというハンディも指摘されている。

【ナトリウム硫黄電池】

略してNAS電池と呼ぶことが多い。負極にナトリウム、正極に硫黄を使用し、電解質としてナトリウムイオン伝導性を持つ固体電解質のベータアルミナと言うセラミックスを利用している。

大容量化に優れていて、すでに電力会社の変電所で利用されたり、風力発電所での系統連系安定化用に利用されている。kWhあたりの価格は40,000円程度で一番安く、耐久性を示す充放電回数も3,500回で蓄電池の中で一番多い。一方、製品の最小単位がモジュール単位では50kWだがシステム出力ベースでは2,000kW以上（kWhベースでは7.2時間率で14,400kWh）となっているため、小～中規模容量の需要には対応が困難という問題がある。（因みに今のリチウムイオン電池商品例の最大単位は15kWhである）

また内部のセルの作動温度環境が300℃と高温なため、高温環境を維持できないと使えない。ナトリウムを使っていることから火災発生例があったが、現在ではこの問題は解決し、生産が再開されている。

【リチウムイオン電池】

負極に炭素、正極にリチウム含有金属酸化物、電解液に有機溶媒にリチウム塩を溶解したものを利用している。充電時には正極からリチウムイオンが放出されて電解液中を移動し、負極の黒塩系炭素に吸蔵される。放電時はこの逆になる。ただ電解液は直接充放電反応には関与しない仕組み。

コンパクト化が可能、急速充放電が可能、寿命も長いという特徴がある反面、コストは非常に高く、製品価格もkWhあたり200,000円と最も高い。その理由は正極材に高価なコバルト酸リチウムを使っているからで、このコストを下げるため、現在ではリン酸鉄リチウムを用いるようになり、徐々にコスト、価格も下がってきている。

課題は充放電管理で、過充電過放電に弱く、単電池ごとの電圧管理が必要で、そのため高い制御技術が要求される。また過充電で極にて化学反応が起き、イオンの移動ができなくなって機能不全になることや、電解液に引火するなどの事故があったが、現在では電解液の引火温度を上げるとか、極の材料構成を変えるとか、制御システムの高度化等で不安は解消されつつある。

各種電池の比較

電池の種類	鉛	ニッケル水素	リチウムイオン	ナトリウム硫黄(NAS)	リソフスフロー	熔融塩
コンパクト化 (エネルギー密度 Wh/kg)	× 35	△ 60	◎ 200	○ 130	× 10	◎ 290
コスト(円/kWh)	50,000	100,000	200,000	40,000	評価中	評価中
大容量化	○ ~MW級	○ ~MW級	○ 1MW級まで	◎ MW級以上	◎ MW級以上	◎ 評価中
充電状態の正確な計測監視	△	△	△	△	◎	△
安全性	○	○	△	△	◎	◎
資源	○	△	○	◎	△	◎
運転時の加温	なし	なし	なし	≥300℃	なし	≥50℃
寿命 (サイクル数)	17年 3,150回	5~7年 2,000回	6~10年 3,500回	15年 4,500回	6~10年 制限なし	◎ 評価中

出典：経済産業省「蓄電池戦略」2012.7

(3) 定置型蓄電池の補助制度

経産省は2012年7月に発表した「蓄電池戦略」において、リチウムイオン電池の将来性に着目、その普及を支援することになった。既に経産省は2012年3月から定置型のリチウムイオンを導入する家庭や企業を対象にする助成制度を開始した。住宅の場合は上限100万円、事業所は上限1億円の範囲内で機器費の1/3を補助するというもの。東京都や静岡県も助成制度を始めている。

対象となる蓄電池は電池工業会などが策定する安全基準を満たす必要があり、すでに12社の製品が認定された。

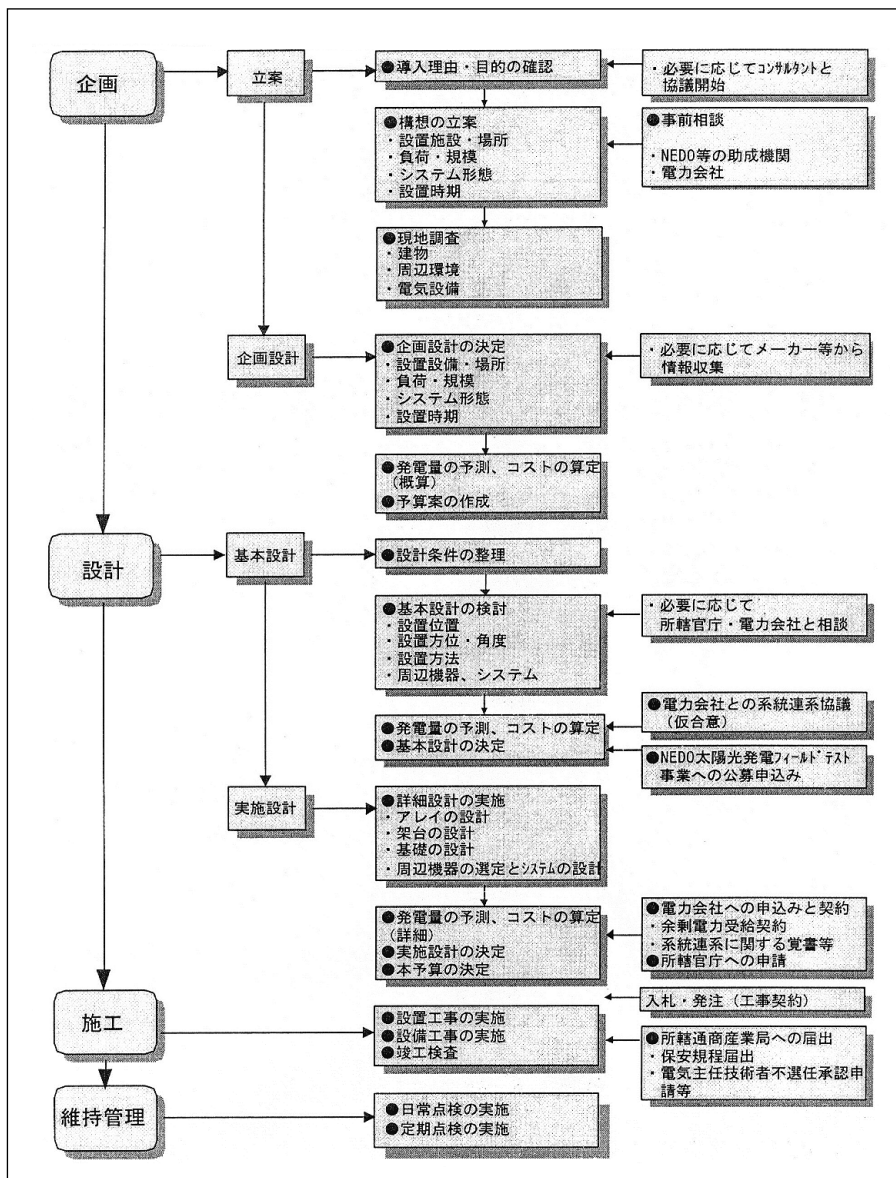
ただ補助制度を利用しても、価格は依然高く、夜間に割安な電力を利用して蓄電し、日中の電気料金が安い時間帯に放電利用しても、費用の差額だけで投資の回収はまず困難である。本格的な普及時には経産省が目標としている2.3万円/kWh（代替する揚水発電と同額）に近づくことが必要だろう。

7. 太陽光発電システム導入の手順（一般論）

太陽光発電システム導入の場合の一般的な手順を以下に掲げた。

基本的なことは、導入ニーズの発生から、導入が完了するまでの間に発生し、あるいは必要になる業務の最小単位=WBS=ワークブレイクダウン・ストラクチャーを徹底的に洗い出し、これらを時間軸に沿って慎重に流れ図に表現することである。それがプロジェクトを展開する最初の手順になる。

時間軸に沿ってWBSを配置する場合の原則は「原因と結果」の順序を間違えないことである。この順序で不手際があると、以降の作業工程に大きな影響をあたえる恐れが生ずる。一般にはプロジェクトの関係者が全員集まって、ブレインストーミングにより、最小業務単位を洗い出す作業から入る。



太陽光発電システム導入の工程（一般）
出典：NEDO 太陽光発電導入ガイドブック

8. 太陽光発電システム導入へのステップの具体例 (ある県内教育委員会での事例)

ステップ1：A町の太陽光エネルギーの把握

- ・把握するのは直達日射量+散乱日射量=全天日射量（日照時間ではない）
- ・データは日本気象協会が国の機関から委託を受けて全国801地点で調査
- ・その中にA町は含まれていないがD市が含まれていて援用利用できる

- ・データは1日1㎡に降り注ぐ全天日射量をMJ / ㎡・日で表示
- ・1kcal = 4.19MJ または 1kWh = 3.6MJ なので、通常はこれで換算して用いる
- ・データは方位（真南からのズレ）、傾斜角（水平面からの傾き）月平均値、年間平均値で表示
- ・この段階で kWh に換算しても、それは自然界のエネルギーの値でまだ太陽光発電量にはならない

ステップ2：A町の太陽光発電可能量の計算

- ・D市のデータでは年間平均でもっとも日射量を得られるのは方位角0° = 真南向き、傾斜角30°で測定した13.9 MJ / ㎡・日、A町も同様
- ・電力量の単位 kWh に換算すると、 $13.9 \div 3.6 = 3.861 \text{kWh} / \text{㎡} \cdot \text{日}$
更に年間では $3.861 \times 365 \text{日} = 1,409 \text{kWh} / \text{㎡}$ となる
- ・一方、太陽電池の最大公称能力は1㎡あたり1kWの太陽光を照射した時の発電出力。
自然界で1,409kWh/㎡照射されると、1,409kWh × 発電出力の発電量がえられる
- ・最大公称能力20kWの太陽電池を導入すると、年間発電量は
 $20 \text{kW} \times 1,409 \text{kWh} / \text{㎡} = 28,180 \text{kWh} / \text{年}$
- ・ただしこれが利用できる発電量にはならない

ステップ3：太陽光発電利用可能量の計算

- ・太陽電池の発電量は電池表面（セル）の温度で増減し、電池のタイプ（結晶系か非結晶＝アモルファス系か）により異なるので温度補正が必要
- ・補正係数の計算式は
結晶系の場合： $1 - (\text{セルの表面温度} - 25^\circ\text{C}) \times 0.004$
アモルファス系の場合： $1 - (\text{セルの表面温度} - 25^\circ\text{C}) \times 0.002$
- ・A町の場合、大凡の目安は、冬季＝0.9、夏季＝0.8、中間季＝0.85を掛けた値が温度補正後の太陽光発電量になる
- ・太陽光発電電力は直流、これを交流にして使うため「パワーコンディショナ」を利用する。ここでロスが大凡8%位発生する。
- ・その他、受光面の汚れ、配線の抵抗、システムロスなどで5%位発生
- ・最終的には25%前後が失われ、利用可能な電力量は発電量の75%位に

ステップ4：変換効率、発電効率の正しい理解

- ・発電効率（専門家は変換効率と言う）は、太陽光が真上から1㎡に照射した時のエネ

ルギーを 1kW としたとき、1 m²の太陽電池が何 kW 電気に変換できるかを示したもの

- ・発電効率が高ければ、同じ電力を得るのに太陽電池は少ない面積でOK
発電効率が低いと、より多くの面積が必要に
- ・発電効率の良し悪しはパネルの面積の大小。これは据付る架台の大小に関係し、工事費の大小に関わってくる
- ・このことから、例えば 20kW を前提として設計する場合は、発電効率の良し悪しはパネルの必要枚数と架台の大きさを決めるだけになる
- ・発電効率の良いパネルは概して高価、したがって発電効率の良し悪しはシステムの経済的な良し悪しには直結しない

ステップ5：太陽電池パネルの重量と面積

- ・太陽電池パネルはタイプも種類もメーカーごとに出力単位当たりの面積や重量はバラバラ！（下記は一例、日々変動）

メーカー	タイプ	モジュール面積	公称最大出力	出力あたり面積
シャープ	多結晶シリコン	0.847 m ²	114 W	7.4 m ² /kW
京セラ	多結晶シリコン	0.467 m ²	62 W	7.5 m ² /kW
パナソニック	単結晶+アモルファス	1.179 m ²	200 W	5.9 m ² /kW
三菱電機	多結晶シリコン	0.722 m ²	92.5 W	7.8 m ² /kW
昭和シェル	薄膜（CIS系）	0.792m ²	75 W	10.6 m ² /kW
ホンダ	薄膜（CIGS系）	1.121 m ²	125 W	9.0 m ² /kW

メーカー	タイプ	モジュール質量	公称最大出力	出力あたり質量
シャープ	多結晶シリコン	11.0 kg	114 W	96.5kg/kW
京セラ	多結晶シリコン	5.1 kg	62 W	82.3kg/kW
パナソニック	単結晶+アモルファス	14.0 kg	200 W	70.0kg/kW
三菱電機	多結晶シリコン	9.0 kg	92.5 W	97.3kg/kW
昭和シェル	薄膜（CIS系）	12.0 kg	75 W	160.0kg/kW
ホンダ	薄膜（CIGS系）	14.3 kg	125 W	114.4kg/kW

- ・したがって、設置場所の事情に合わせてパネルを選ぶこと

ステップ6：屋上や屋根の強度を確認

- ・20kWの太陽電池パネルは軽いもので1.4トン、重いものは3.2トンで据付架台、架台基礎を加えると1.5倍以上に
- ・積雪荷重はA町の場合はあまり心配はない？
問題は風荷重。悪天候時には3,000N/ m²（約300kgf）前後の荷重も

- ・建築基準法では学校の屋上に要求される積載荷重値の最低値は：

床設計用の積載荷重	2,900N/m ² ≒ 290kgf/m ²
架構設計用の積載荷重	2,400N/m ² ≒ 240kgf/m ²
地震力算出用の積載荷重	1,600N/m ² ≒ 160kgf/m ²

- ・校舎建築設計時の耐荷重データをチェックする必要
- ・合わせてパネル据付架台のレイアウトや固定法の事前検討も必要

ステップ7：太陽電池パネルのまとめ方

- ・パネル1枚の発電時の電圧は一般には30V前後で直流
- ・直流を交流に変換するパワーコンディショナの入力電圧は230V程度なのでパネルを直列にして電圧を230V程度にまとめ、あとは並列にして容量を整える（ぴったり20kWにはならないだろう）
- ・20kWであれば、10kWを2系列にし、10kWのパワーコンディショナ2台を配置するとよいだろう。万一の場合1系列だけでも運用できるように
- ・パワコンは10kW機が量産化されていて経済的なのも理由。1台のパワコンの修理点検時にも1系列は運用できる
- ・2系列にすれば分散配置も可能 設置場所の制約が小さくなる

ステップ8：太陽光発電システムの運用

- ・太陽光発電システムは、一般には電力会社の配電線に繋いで運用される
- ・電力需要に比べて発電量が多い場合は配電線に逆流＝売電（これを「逆潮流」という）させ、足りない場合は配電線から受け入れる＝買電
- ・配電線で停電が起きた時は、太陽光発電が配電線に逆流していかないように、遮断器で両者を切り離す
- ・この一連の運用を「系統連系運用」といい、法律で定められている
- ・系統連系は電力会社との事前協議で定められる
- ・電力会社の配電線からまったく独立して運用（「単独運転」という）する場合は蓄電池で需要と供給を一致させる

ステップ9：太陽光発電システムの災害時運用

- ・太陽光発電システムは、一般には電力会社の配電線に繋いで運用されるが災害時には

配電線とは切り離し単独運転になる

- ・ 電力需給は「同時同量」が大原則。したがって不規則不安定な太陽光の電力供給バランスを整えるために蓄電池を併設する必要あり
- ・ 学校施設の全電力負荷を蓄電池に任せるのはあらゆる面で得策ではない。
必要最低限の電力供給を行うための校内別系統配線がのぞましい
- ・ A町のプランでは 16kWh の蓄電池併設を前提としている。
- ・ 災害時必要最低限の電力需要量は 1 日 30kWh 程度、20kW の太陽電池からは平均して 50kWh/ 日程度の供給が見込まれ、これと蓄電池でほぼ必要量を賄える（気象条件で変動）

ステップ 10：蓄電池についてひとこと（その 1）

- ・ A町の基本プランで想定されている蓄電池の容量は 16kWh
- ・ 16kWh の意味は、1.6kW の電力を 10 時間分貯められる、あるいは 3.2kW の電力を 5 時間分貯められる、という意味（前者は 10 時間率、後者は 5 時間率） 16kWh の設定根拠は不明
- ・ 蓄電池は容量を全部使い切ることはできない。残量が少なくなると電圧が下がって利用困難になる。一般には 70%位まで
- ・ 蓄電池には古くからの鉛蓄電池、新顔のリチウムイオン電池、そのほかニッケル水素電池などがあるが、A町での検討対象は鉛電池かリチウムイオン電池になろう
- ・ 鉛蓄電池は安定しているがリチウムイオン電池はメーカーが群雄割拠しており、国産や中国製が入り乱れていて市場での変動が激しい

ステップ 11：蓄電池についてひとこと（その 2）

- ・ 鉛蓄電池の最新型は耐用年数 17 年、メンテナンスフリー、国内大手企業が供給していて品質、保証面で安定、取扱も容易、価格は安い
- ・ 鉛蓄電池の弱点は充放電のエネルギー効率が相対的に小さいこと
- ・ リチウムイオンの特徴は充放電のエネルギー効率が低いことのほかエネルギー密度が高く、急速充放電ができること
- ・ リチウムイオン電池の弱点は価格が鉛蓄電池の 10 倍以上で、過充電や過放電に伴うリスク（電解液発火）があり高い管理レベルが必要なこと
- ・ ただリチウムイオン電池の開発競争は激しく、数年以内には品質や価格面で安定するので、将来性がある

ステップ 12 : 災害対応型パワコンについて

- ・災害対応型のパワーコンディショナは単に直流・交流の変換と系統連系機能だけではなく、蓄電池との充放電機能を備えているものが必要
- ・そうすると太陽電池～パワコン～充放電装置～蓄電池の4機器が機能上システムティックに整合性が取れていることが重要
- ・バラバラに調達して組み合わせると、不具合発生時に責任境界が曖昧になり、最悪の場合システム機能不全に陥る
- ・もっとも大切な機能連系はパワコン～充放電装置～蓄電池の箇所であり、この部分は1社のメーカーの責任範囲とすることがのぞましい
- ・導入後の不具合調整も多々起きる可能性があり、外国製やベンチャー企業製の採用には慎重を期すことがのぞましい

付記 : 太陽光発電電力の「見える化」について

- ・太陽光発電を導入した場合、校内の発電電力や電力消費状況をパネルでリアルタイムに表示し、例えば「今の太陽光発電電力は12kW、一方校内の電力消費は27kW、差引15kWを東北電力から購入中」といったふうに表示することができる。
- ・データ送信システムを利用すればタブレット端末にも表示できる
- ・同時に、つぎのようなデータも表示できる
 - 契約電力 kW に比べて今月のピーク電力 kW は？
 - 昨年同月に比べて今月の電力消費量 kWh は？ 省エネになった？
 - 気象条件の変動で電力の需給バランスはどう変動する？
 - 蓄電池にたまっている電力はどれくらい？
 - 省エネアクション（たとえば照明を減らす）を起こしてみても電力消費はどう変わり、金額でいくら節約になる？
- ・太陽電池を導入して「見える化」をすすめると、ピーク電力の逡減傾向が現れることが多く、これにより契約電力の削減、基本料金の削減効果がみえてくる

9. 太陽光発電導入の経済性

住宅の場合であるが、導入した太陽光発電システムからの発電量のうち、自分の家で消費できなかった余剰分を42円/kWh(税抜きでは40円/kWh)で電力会社に売電できる制度が2012年7月から始まった。

この制度のもとで、一般家庭での導入の経済性はどうなるかを紹介する。

まず、最初に注意しなければならないのは、余剰電力の把握の仕方である。消費者は毎月電力会社から送られてくる『電気ご使用量のお知らせ』でその月の売電量=余剰電力発

生量を知ることができるが、把握の仕方にまだ誤解があるようだ。

余剰電力とは、太陽光発電量から自家消費分を差し引いたものであるが、その把握は瞬間的に電力積算計が積み上げていく方式であるから、1日の太陽光発電量よりも1日の自家消費電力量のほうが多くても余剰電量は発生する。決して期間を区切った集計値の差ではないことに注意しなければならない。

もう一つの誤解は、電力会社を買取る42円の余剰電力の金額がそのまま国民の負担として課金される、という誤解である。電力会社は太陽光発電を調達すればその分自社の発電設備からの発電量を減らせるので、燃料代（業界用語では「焚増し代」と呼ぶ）が減らせる。この金額が6円/kWhとされているので、42円から6円を引いた36円/kWhが国民負担になっているということになる。

【設置費用と補助金】

家庭用太陽光発電システムを設置する場合の費用は、2012年4月から12月までの平均でみると、発電出力1kWあたり48万4000円という統計値がある。一般的な4kWのシステムの場合200万円程度の費用がかかる。

普及を後押しする補助金制度もある。ひとつが国による補助金で、1kWあたり55万円以下の事業費であれば、1kWにつき3万円、4kWでは12万円が補助される。1kWあたり47万5000円であれば3万5000円になる。

事業費単価が下がるほど補助金が増えるのは、システム業界のコストダウンを促し、普及を後押しする狙いがある。

都道府県ごとに補助金がでる場合もある。東京都の場合は1kWあたり10万円なので、4kWで40万円の補助金が出る。

仮に補助金を3万5000円/kW、4kWで14万円とし、システム価格を47万5000円/kW、4kWで190万円とすれば、自己負担額は176万円になる。

【導入のメリット】

2013年3月までに家庭用の4kWを導入した場合のメリットを計算してみよう。

福島県内、屋根の方位角 0° （真南）、傾斜角 30° で年間に4kWのモジュールが取り込める発電量は、

$$13.9\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{日} \times 365 \text{日} \div 3.6\text{MJ}/\text{kWh} \times 4\text{kW} = 5,636 \text{ kWh/年}$$

である。

これから外気温温度補正分 699kWh/年、インバータ損失分 390kWh/年、その他損失分 244kWh/年を差し引いた4,303kWh/年が実際に利用できる有効発電量になる。だからモジュールベースの発電量の3/4程度しか利用できないという計算である。

（詳細は演習のテキストを参照）

さて、家庭用に太陽光発電を導入した場合の余剰電力発生割合は平均60%くらいと

見られている。60%とすれば、

$$4,303\text{kWh} \times 60\% = 2,582\text{kWh/年}$$

が42円で売電できる量になり、残りの $4,303\text{kWh} \times 40\% = 1,721\text{kWh/年}$ は電力会社からの購入量を減らせることになる。

家庭用電気料金の従量料金の平均値を仮に22円/kWhとすれば、年間で節約できる電気料金は、

$$1,721 \times 22\text{円} + 2,582 \times 42\text{円} = 146,306\text{円/年}$$

となり、銀行利子を含む諸経費をゼロとすれば、176万円の初期費用は、

$$1,760,000 \div 146,306 \approx 12\text{年}$$

で回収できる計算である。

しかし実際には、システムをより安く調達できたり、補助金の額も地方によっては増える場合があるので、事業費の回収期間はより短くなる可能性もある。

また、現実的には、収益を減らす要因が多々発生し、上記のようになることはまずないであろう。それが現実の姿である。

【リスクへの対応】

太陽光発電の収支計算で見落としがちなのは次の点である。

- パネルの出力は年々低下する。メーカー保証があるが様々な条件付きで判断が難しいが、発電量減少で収入が下がる傾向は不可避と考えてよい。
- パワーコンディショナの耐用年数は10年程度であり、それまでもメンテナンスに費用が発生する。

こうした諸問題については、この概論コースの後半で紹介される。

(図表出典：経済産業省：太陽光発電システム等の普及動向調査)

会場で配布予定の参考資料

- 一般社団法人太陽光発電協会からの「太陽光発電システムの調達価格、調達期間への要望」
- 要望に対する政府の「調達価格算定委員会の取り纏め案」
- 太陽光発電の運用・系統連系