

太陽光発電と粉体技術の展開 Photovoltaic Power Generation and Powder Technology

宇佐美 章
Akira USAMI

(財)電力中央研究所
Central Research Institute of Electric Power Industry

1. 太陽エネルギー利用と太陽光発電の概要

1.1 太陽エネルギーと太陽光発電

太陽の表面温度は5700Kで 3.8×10^{23} kWのエネルギーを放射している。太陽から1億5000万 km離れた地球には、そのうち、 1.8×10^{14} kWのエネルギーが到達する。これは、大気圏外で太陽に向けた1 m四方の面で約1.4 kWに相当する。地上には、快晴日に太陽高度が高い時に約 1.0 kW/m^2 のエネルギーが到達している。この太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換するのが太陽光発電である。

太陽光のエネルギーを電力に変換する素子が太陽電池である。太陽電池の発電電力は直流であるため、家庭内の機器で使用する際に直流を交流に変換する必要がある。このため、太陽光発電システムは、このイン

バータ機能を備えたパワーコンディショナーを介して、配電線からの配線と家庭内で並列に接続される。太陽光発電システムから供給される電力は日射強度などに依存して増減するため、家庭内での電力需要にあわせて発電できるわけではない。そのため、一般には、太陽光発電システムの発電電力に余剰分が生じた場合には配電線に逆潮流することにより、この余剰分を電力会社に買い取ってもらう。また、逆に、太陽光発電システムの発電電力が家庭内の電力需要に対して不足している場合には、配電線から不足分を購入する。電力会社に電力を売るときは値段と買う時の値段は長らく同額を維持してきたが、昨年(2011年)の11月1日より、新たな電力買取制度が始まり、従来のほぼ倍の48円/kWhで10年間電力会社に買い取ってもらえるようになった¹⁾。

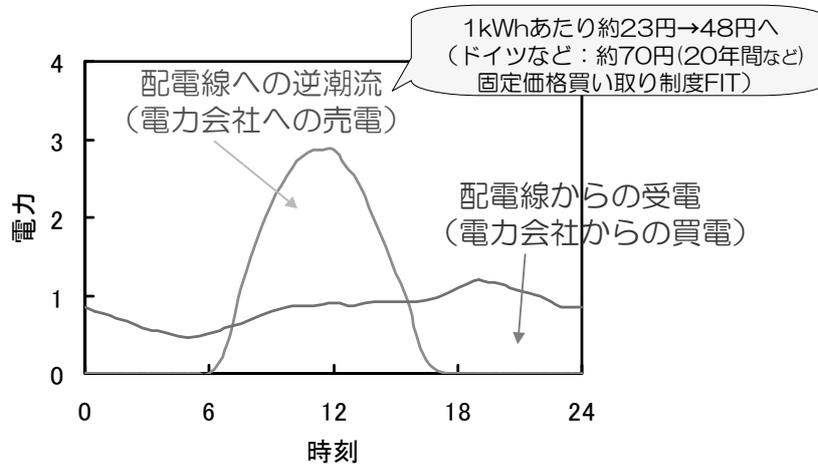


図1 系統連系システムの例 (負荷は秋季の住宅地区を想定)

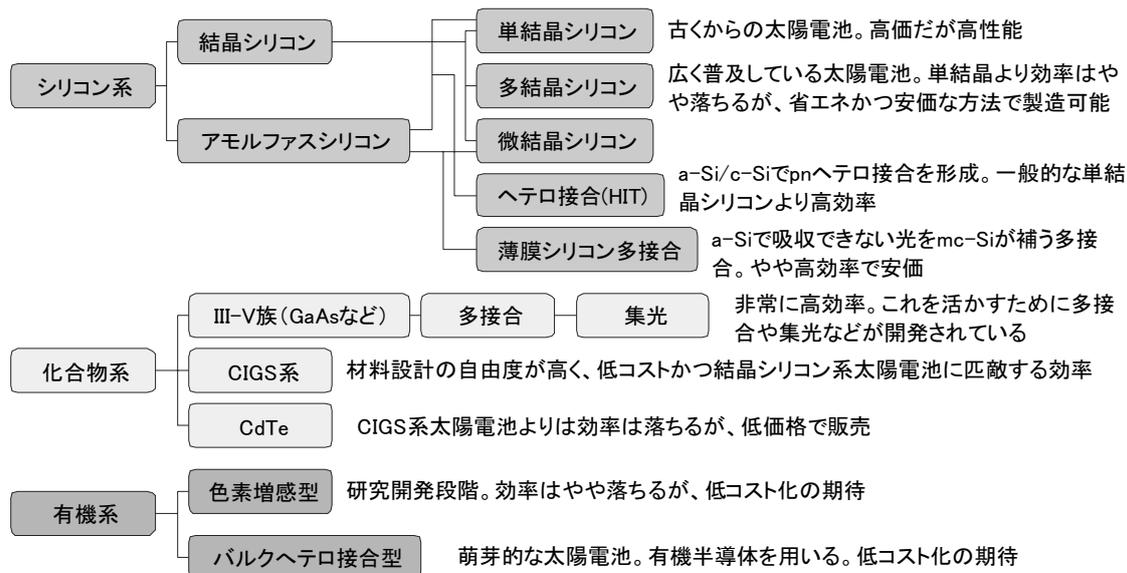


図2 太陽電池の種類と特性

1.2 太陽光発電の利点と欠点

太陽光発電の主な利点と欠点は以下のようなものが挙げられる。

利点

- ・ 太陽光は無尽蔵なエネルギー源：資源の偏在性、価格変動リスクが少ない
- ・ 環境にやさしい：CO₂排出、エネルギー・ペイバック・タイム
- その他の利点：雇用の創出、電力需要ピークカット効果など

欠点

- ・ 発電コストが高い
- ・ システム利用率が低い
- ・ 発電が天気次第
- その他の欠点：シリコン原料不足、外観・デザインなど

環境面の利点は、発電時のCO₂排出が無いために、化石燃料を用いた発電方式と比較して、CO₂排出量が10分の1程度以下に抑えることが出来るとされている。さらに、太陽電池は製造のために消費したエネルギーを2年前後で回収できる（エネルギー・ペイバック・タイム）と試算されており²⁾、仮に20年以上に亘って使用するとした場合、製造のために使ったエネルギーの10倍以上のエネルギーを生み出すことが出来る。

欠点としては、太陽光発電の発電コストは現在おおよそ46円/kWhと試算されており、他の発電システムの倍以上の発電コストが掛かるとされている。また、

地域や年によって異なるが、1kWの太陽光発電システムの日本での発電実績はおおよそ年間1000kWh程度であり、設備利用率は10%強程度である。

2. 太陽電池の種類と特性

太陽電池は構造面からは単接合と多接合に分類される。多接合は分光特性の異なる太陽電池を複数重ねて性能を高めたものを指す。一般に、多接合は単接合に比べて高効率化が可能とされており、単接合の理論的な変換効率の限界値が30%程度とされているのに対して、集光した多接合の太陽電池では40%を超える変換効率も報告されている³⁾。

太陽電池の使用材料面からの分類を図2に示す。効率面では、GaAsを始めとするIII-V族半導体や単結晶シリコンを用いた太陽電池が性能が高く、セルレベルの世界最高で25%程度の効率がある。一方、コスト面では、現在開発中である有機系太陽電池が有利とされている。しかし、その効率は、現状では、セルレベルの世界最高で、良くて10%前後である。この中間にCIS系等の薄膜太陽電池があり、例えばCIS系のセルレベルの世界最高で20%前後の効率となっている。

3. 太陽電池と粉体

太陽電池での粉体利用は、色素増感太陽電池でのナノ微粒子の利用⁴⁾、量子ナノドットによる超高効率化

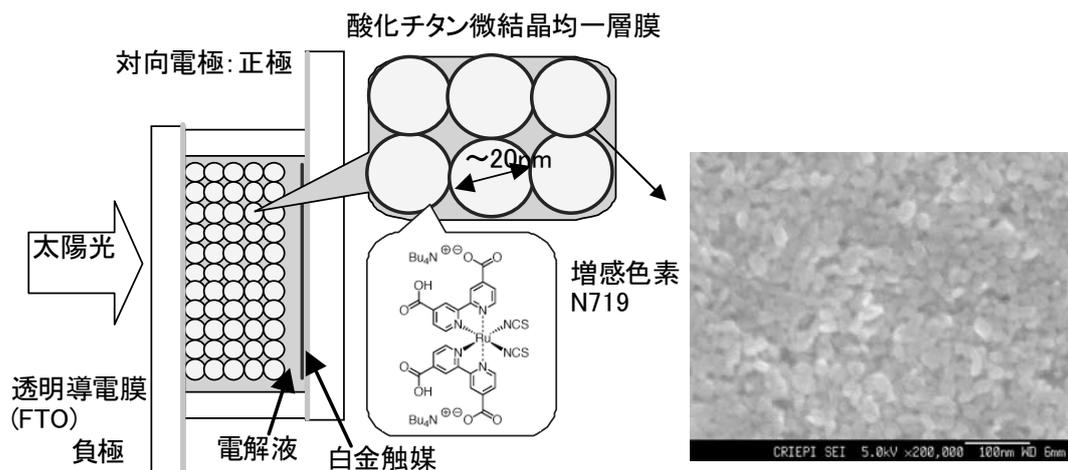


図3 色素増感太陽電池の構造例

の可能性⁵⁾などが挙げられる。

色素増感太陽電池は、半導体と電解液界面で電荷分離をおこなう湿式太陽電池に起源を発する。ここでは光吸収は半導体で行われていたが、電解液界面が安定な半導体は禁止帯が広い酸化物に限られているため、太陽光のうちの紫外光しか利用できずに効率が低かった。そこで、酸化物の安定性を利用しつつ、より長波長の可視光まで光吸収領域を広げるために、色素を半導体表面に吸着させて、この色素により光吸収を補うことが考案された。歴史的には、1972年に酸化亜鉛をクロロフィルで増感した太陽電池が作られている。その後、酸化亜鉛をローズベンガル等で増感することにより、効率1～2.5%程度のものが発表されている。この色素増感太陽電池の半導体に、酸化チタンの微結晶粉末を利用することにより、色素吸着面積を大幅に増加させたのが、スイスのローザンヌ連邦工科大のグレッツェルらのグループであった。1990年代初めに7～10%の効率の太陽電池を発表している。この酸化チタン微結晶には、主要な光吸収材である色素を表面に吸着させる役割と、色素の光吸収によって高い負の電位に励起された電子を色素から受け取り、太陽電池の負極に伝導させる役割があり、酸化チタン微結晶が電池性能に与える影響は大きい。このため、酸化チタン微結晶に関する研究報告は多数有り、電子が負極に到達するときに通らなければならない微結晶粒界を減らすことを目的に、ナノ微粒子をナノチューブに代えることなどが考えられている。

また、量子ナノドットを利用することにより、極めて効率の高い太陽電池が製作できる可能性があることが指摘されている。単接合の太陽電池では、効率30%

程度が限界とされている。これは、太陽光中のエネルギーの大きい紫外光を有効に使用すると高い電圧が得られるものの、紫外光しか電流に変換できないために電流値が小さくなり、逆に、電流値を増やすために近赤外のエネルギーの低い光まで吸収すると、電圧が下がることによる。すなわち、通常の太陽電池では、1個の光子から1個の電子しか生成しないために、紫外光の高いエネルギーの多くを熱に変えてしまうことによる。このエネルギーの余剰分を使って更に別の電子を生成できれば、前記の限界効率を大きく上回る太陽電池を作ることが可能とされている。近年、この光子による多電子の励起を、一部の化合物半導体のナノ微粒子で効率よく行うことが出来ることが確認されている⁶⁾。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁太陽光発電買取制度室：太陽光発電の新たな買取制度ポータルサイト
<http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/index.html>
- 2) みずほ情報総研株式会社,NEDO技術開発機構「新エネルギー技術研究開発太陽光発電システム共通基盤技術研究開発太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究」平成19年度分中間年報.
- 3) R.R.King et al., "40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells",Appl.Phys.Lett.90,183516 (2007).
- 4) M.Grätzel, "Photoelectrochemical cells",Nature 414,338-344 (2001).
- 5) A.J.Nozik, "Quantum dot solar cells",Physica E 14,115-120 (2002).

- 6) R.D.Schaller and V.I.Klimov, "High Efficiency Carrier Multiplication in PbSe Nano- crystals: Implications for Solar Energy Conversion", Phys. Rev.Lett. 92,186601 (2004).

Captions

- Fig. 1 Daily power production and load curves of a grid-connected PV system
- Fig. 2 A classification and characteristics of solar cells
- Fig. 3 A structure of dye-sensitized solar cells