

市場からみた太陽光発電システムの課題

－太陽光発電の将来性と問題点－

(再生可能エネルギー社会を実現するための課題)

三石博行

2、市場からみた太陽光発電システムの課題

2-1、利用可能な太陽光エネルギーの量の評価

太陽から地球に到達する太陽光のエネルギーは約 174PW(ペタワット)、つまり 174×1000 兆ワットである(1)(2)。この光エネルギーは大気中で吸収され海面に反射してその半分が失われ、残り半分が地表に降り注ぐ。地表に到達した太陽光エネルギーは大気、海洋と地表を熱し、最終的に宇宙空間に放出される。藤原氏によると、この太陽光エネルギーの約 1PW (ペタワット)、1000 兆ワット (1 兆kw) を人類は利用することが可能であると言われている。現在の人類の全消費エネルギーが 50 倍と言われている。(3)

また、他の地球での利用可能な再生可能エネルギーと比較してもその太陽光エネルギーは非常に大きいと言われている。例えば、山田興一氏や小宮山宏氏によると(4)、収集可能な(利用できる)風力エネルギーは 10TW (テラワット) と推定されている。つまり、太陽光エネルギーの 100 分の 1 である。最近注目を浴びている収集可能な波力エネルギーは 0.5TW (太陽光エネルギーの 200 分の 1) であると推定されている。そして潮力エネルギーは 0.1TW である。火山国日本で期待されている利用可能な地熱(貯留)エネルギーは年間 50TW (太陽光エネルギーの 20 分の 1) と推定されている。太陽光エネルギーはその他の再生可能な自然エネルギーに比べて、利用可能な資源量が大きいことが理解できる。

巨大な資源量を持つ再生可能エネルギーとしての太陽光エネルギーを活用し、新たな産業を興すことを藤原洋氏は第 4 の産業革命と呼んでいる。この第 4 の産業革命を支える社会経済システムは「太陽経済」(2009 年一般財団法人太陽経済の会を設立した山崎養世氏の言葉)によって成立すると藤原氏は述べている(5)。石炭火力エネルギーで第一次産業革命が起り、石油化学エネルギーで第二次産業革命が展開し、電気エネルギーで第三次産業革命と呼ばれる情報通信産業が発展し、そして太陽光エネルギーによって第四次の産業革命(第 4 の波による太陽経済社会)が起ろうとしているという考え方は現在の世界の全消費エネルギー量の 50 倍もある太陽光エネルギー利用の可能性から導かれる希望であり夢であると言えるだろう。

しかし、同時に 2011 年 3 月 11 日に起った東電福島第一原子発電所事故(以後、東電福島原発事故と呼ぶ)

1 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p114

2 山田興一、小宮山宏著 『太陽光発電工学 太陽電池の基礎からシステム評価まで』 日経 BP 社、2002.10.7、p6

3 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p115

4 山田興一、小宮山宏著 『太陽光発電工学 太陽電池の基礎からシステム評価まで』 日経 BP 社、2002.10.7、p7

5 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p108

によって、我々は未来のエネルギーとして期待した原子力の利用の難しさを知った。また、その事故によって大量に放出した放射能物資の処理に関して、何も対策がなされていない事を知った。海外の化石燃料に依存する社会、そしてそれが引き起こす異常気象問題と国防上の問題解決として、原子力エネルギーの利用が1970年代から進んできた。しかし、東電福島原発事故によって、その計画は大きく変更しなければならないとなっている。そして、太陽光エネルギーの利用は、3.11 東電福島原発事故以来、将来のエネルギーとして大きな期待をかけられようとしている。

そして、同時に現在の人類の全消費エネルギーが50倍ものエネルギーを供給できると言われる太陽光エネルギー利用の実現可能性に関する検証が要請されている。その基本的な課題は、エネルギー変換率の高いセルや太陽光発電システムの生産技術開発、太陽電池の生産に関する経済的検証、国民的な太陽光発電システムの普及に関する政治・経済・社会政策の検討等々である。それらの検証作業は言及するまでもなく科学技術的な方法によって行われる必要がある。

2-2、太陽電池のエネルギー回収年数（EPT）・二酸化炭素ペイバックタイムの評価とその算出基準

以前から、太陽電池へのエネルギーの回収可能性に関する疑問が存在していた。鷺田豊明氏は、『環境とエネルギーの経済分析』の中で、「一般に太陽光発電は初期の設備投資の大きさに比べて経常運転のための追加コストが少ないことから、エネルギー効率を評価する場合、エネルギーの回収可能性あるいはエネルギー回収年という基準が用いられることが多い」(6)と述べている。つまり、太陽電池の生産にはコストや労力が必要であるが、それが一旦設置されると電気（エネルギー）を生産することになり、電池の生産過程で投資したコストを電池の操業によって回収することが出来る。

しかし、もし生産能力が低く、しかも稼働年数が短い場合には、電池生産につぎ込んだエネルギー（電池の生産や流通に必要なとされるエネルギー・カロリー量）を電池稼働によって生産されたエネルギーとして回収することが出来ない。この場合、太陽電池はエネルギー回収性がないと評価される。つまり、電池を作るならば社会は損をすることになる。この電池のエネルギー回収性は、電池の生み出すエネルギー量、例えば太陽光エネルギーの電気エネルギーへの変換効率や電池製造エネルギーを電池によって生産されるエネルギーとの関係から導かれるエネルギー回収性によって評価されることになる。

製造に使われたエネルギーを回収するための時間をエネルギー回収年という基準で表現することで、よりエネルギー回収性やエネルギー効率の概念が計量的（厳密に）表現できる。つまり、エネルギー回収年数とは、「エネルギー回収可能性に厳密な定義を与え実際の太陽光発電設備に関してこれを求めること」(7)を可能にする経済学的概念と言える。

エネルギー回収年数 = 太陽光発電システムを製造するために使ったエネルギー量（炭酸ガス排出量）
÷ 太陽光発電システムから造られた電気エネルギー（炭酸ガス排出量） (式1) (8)

6 鷺田豊明『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992.10.6,

7 同上

8 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p

鷺田氏は太陽電池のエネルギー回収年数を求めるために、「1987 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構依託業務成果報告書、太陽光発電システム実用化技術開発、アモルファス太陽電池の実用化研究」（新エネルギー財団、1988 年 3 月）における、年間製造規模別の投入費用の試算結果を用いて 太陽電池の量産規模が 10MW（1000KW）規模／年の（第一ステップ段階、1990 年）で、太陽電池の変換効率は 10% と想定して、エネルギー回収年数を計算した。⁹⁾

鷺田氏は 10MW の太陽電池を生産するために使用した原料の加工やその運搬に費やした燃料の熱量を計算し、1990 年に生産された 1000KW の太陽電池のエネルギー回収年数は 17.85 年であると述べている。この結論から言えば、太陽電池が 18 年以上の年月で電気を生産しない限り、エネルギー回収性はないと結論されることになる。

集積型アモルファスシリコン太陽電池を世界で初めて工業化させた桑野幸徳氏（日本の太陽電池の草分け的存在）が 2011 年に公開した資料によると、アモルファスシリコン系太陽電池ではエネルギー回収年数（以後 EPT と呼ぶ）は 1 年、結晶シリコン系太陽電池では 1.52 年であると述べられている。（出典 NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」2001 年 3 月）¹⁰⁾ 1990 年の鷺田氏の算出では EPT は約 19 年であり、2001 年の NEDO(独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)の調査では、1 年と算出されている。

EPT を算出するためにはそれなりの計算基準があると思われる。その中で、製造過程だけではなく（原発の電力生産コストを計算する上で、現在、原発廃棄物処理や災害事故処理のコストは計上されていないことを反省する意味で）、廃棄物処理過程も入れる必要がある。また、製造過程では原料生産、運送、加工等の主に製造運送過程でのエネルギー消費量が算出されている。しかし、同時に、その生産工程で働く人々の消費するエネルギーも換算する必要がある。

科学的に正確に太陽電池の現時点での EPT を算出することによって、太陽電池の普及のための政策や開発改良すべき技術問題の対策が正確に、しかも現実的に可能になるのだと思われる。その意味で、太陽電池の EPT 算出の基準を公開し、また専門家の中で検討する必要があると思われる。

EPT の考え方に類似するものとして、二酸化炭素ペイバックタイム (CO₂PT) がある。この二つはほとんど同じ概念であるが、一方は全ての消費エネルギー量を他方は化石燃料使用量に限定していると言える。生産工程で原子力発電による電気や再生可能エネルギーによる電気を使うことによって、二酸化炭素ペイバックタイムは相対的に ETP よりも小さい値をとるだろう。

2-3、太陽電池のシステム価格、発電コストの評価

システム価格

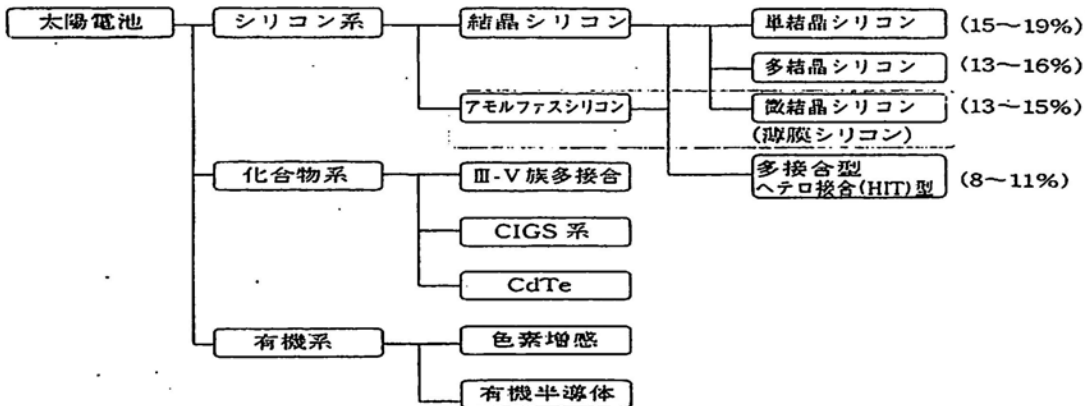
太陽光発電システム価格（購入価格）が消費者にとっては一番気になる。システム価格はパネルの規模や太陽電池の種類(図表 5)、システム構築に必要な機器、メーカ、設置する場所（工事条件）、用途等によ

⁹⁾ 鷺田豊明『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992.10.6,

¹⁰⁾ 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p

て異なる。

図表 5、太陽電池の種類と製造システム

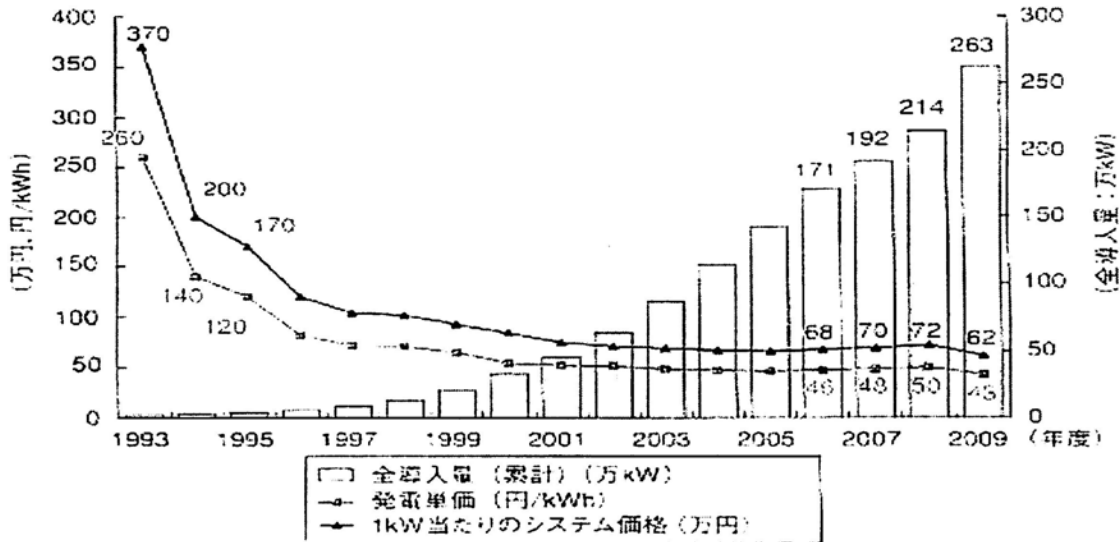


出典 産業技術総合研究所「太陽電池の分類」(NISI11A,131p)

NEDOの資料(図表6)から、現在、10KW以下の系統連係型システムの価格は一般に1KWhにつき60万円から110万円(2009年のIEA-PVPSの資料では69万円/1KWh)の範囲である。また10KW以上の系統連係型システムの価格は50万円/1KWhから85万円/1KWh(2009年のIEA-PVPSの資料では32万円)の範囲である。つまり、システムの規模が大きくなると1KWhあたりの価格は低減する。

図表 6 「日本での太陽光発電の導入実績とシステム単価、発電コストの推移」

図 III - 5 - 7 太陽光発電の導入実績と発電コストの推移 (日本)



(出典) 資源エネルギー庁資料を基にした推計

(解説) 住宅用・公共施設用を中心として支給された政府の補助により、導入が急速に進んだ。1kW当たりのシステム価格も順調に低下しており、現在のシステム価格は、導入が活発になった1995年度の約3分の1になっている。

出典 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』(ZNEK 11A p318)

また、独立型システムは一般的に二つの場合（10KW／1KWh以下とそれ以上の場合）でもKW当たりの価格は高騰する。蓄電池や関連機器の必要であることがその理由と言われている。(11)

ちなみに、コスト構成に関してみるとシリコン系アモルファス型と微結晶シリコン型の一般的に言われる薄膜型のタイプでは原料費の割合が15%、セル化とモジュール化の費用が40%、工事費が45%である。また、単結晶シリコン型と多結晶シリコン型の結晶型タイプでは原料費の割合が35%、セル化とモジュール化の費用が35%、工事費が30%である。(12) 上記のデータから、例えば、薄膜型は原料のシリコン（Siと今後は呼ぶ）が少なくすむのでコストが抑えられることが言える。このように、技術開発によってコストを低くすることが可能になる。

発電コスト

発電コストとは年間経常費を年間発電量で割算して求められる。年間経常費とは、非常に簡単に説明するなら一年当たりの建設コスト分（減価償却と同じ発想で考えるとよい）と一年間の太陽電池を運転・保守経費の二つの要素で構成される。

一年当たりの建設コスト分とは、初期投資金額（建設コスト）に年経費率を掛けることで算出できる。年経費率は経営学上の専門的な計算方式があるが（図表7）、非常に簡単に考えるなら、例えば、300万円の建設コストが掛った、しかもその300万円を銀行から20年ローンを借りているので金利を支払わなければならない場合を仮定する。太陽電池の稼働年数（耐用年数）を20年とすれば、300万円と20年間の金利（3割と仮に合計して90万円とすると）の合計390万円を稼働年数（耐用年数）20で割ると年間平均で19.5万円の経費になる。19.5万円は390万円の5%であるので、その場合、年経費率は5%（300分の20）になると簡単に換算することにしておく。この19.5万円（一年間の太陽電池建設コスト）に一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費を加えると年間経常費が算出できる。

図表7、発電コスト算出式

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{建設コスト} \times \text{年経費率} + \text{運転・保守費}}{\text{正味年間発電量}}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

r : 金利、n : 耐用年数

出典『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成22年7月27日

一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費の算出方法であるが、一般に日本のメーカーが発売しているパネルは10年保証をしている。つまりその10年間の稼働期間に関しては無料となる。また、NPO 太陽光発電

11 NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』、平成22年7月27日、p39
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html

12 同上 p40

所ネットワークに参加している場合、つまり、太陽電池を設置した人々が協同組合を作り発電所の維持管理をしている場合、その年間経費 3000 円やその他地震や火災等の保険に加入している場合など、その年間の保険金は、この一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費の中に入れて計算をすることができる。

ちなみに、2009 年の日本の発電コストは、導入量の約 8 割を占める住宅用連係型太陽発電システムでは、36 円/kWh から 75.5 円/kWh である⁽¹³⁾。また、2011 年費用導入的均平での点時年(システム価格)は住宅用で 57 万円/1 kWh⁽¹⁴⁾である。

しかし、上記した計算方法が政府の専門部署や民間の調査会社(シンクタンク)で採用されているとは限らない。現在、発電コスト算出基準があればその基準に従って計算すべきである。また、もし、現在のその基準設定に補足すべき要素があるなら、その基準を点検することも必要である。発電コスト算出に方法基準を決めなければならないだろう。

EPT に大きな影響を与えるシステム価格(発電コスト)

小西正暉氏達は、2003 年 3 月の NEDO の太陽光システムの EPT の試算例を紹介している。⁽¹⁵⁾ 試算条件は、多結晶シリコン、アモルファスシリコンと CdS/CdTe (化合物系)の三つの素材と、10MW、30MW と 100MW の三つの異なる年間生産規模、そして、屋根への設置型と一体型の二つの設置方法である。これらの条件で 18 ケースの EPT の試算例が示されている。この資料に、モジュール変換効率を加えて図表 8 を作った。

図表 8、太陽光システムの EPT の試算例 (2003 年 3 月)

年間生産規模	多結晶シリコン (最大 20%)		アモルファスシリコン(最大 15%)		CdS/CdTe (最大 9%)	
	屋根 (設置型)	屋根 (一体型)	屋根 (設置型)	屋根 (一体型)	屋根 (設置型)	屋根 (一体型)
10MW	2.4	2.1	2.2	1.8	1.7	1.8
30MW	2.2	2	1.7	1.5	1.4	1.4
100MW	1.5	1.4	1	1	1.1	1

出典 NEDO 引用 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』(KONIm 08A 37p)

この表から、発電規模が大きいほど、EPT 値は少なくなり、また、屋根一体型が屋根に設置するよりも EPT が少ないと試算されている。さらに、CdS/CdTe (化合物系)はシリコン系に比べて発電効率が低いことが EPT が少ないこと、また、シリコン系でも多結晶シリコン型よりも発電効率の悪いアモルファスシリコン型の方が、EPT が少ないと試算されている。

つまり、現時点で EPT 値の決定に大きな影響を与えている要因は発電効率ではなく、それらのシステム価格にあることが理解できるだろう。

¹³ NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』、平成 22 年 7 月 27 日、p40

¹⁴ Wikipedia 「太陽光発電のコスト」

¹⁵ 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』 株式会社工業調査会、2008.7.10、p37

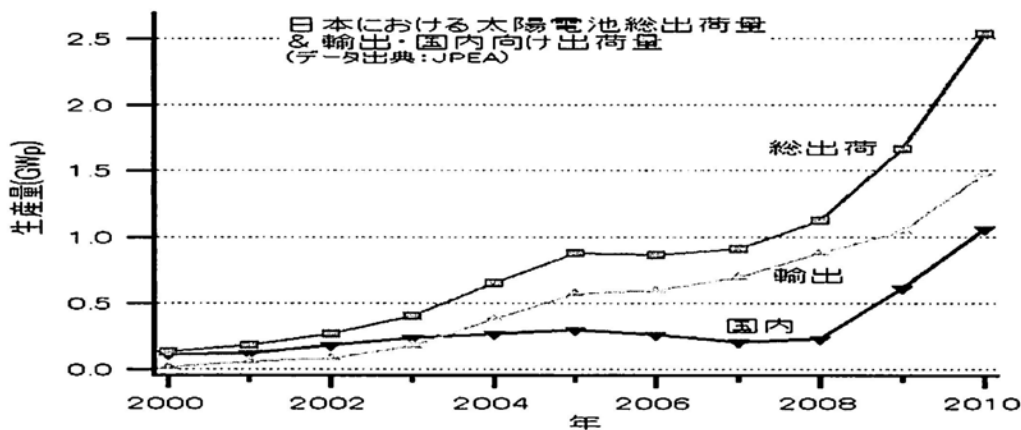
太陽電池設置コストの推移の要因（1993年から2009年まで）

財団法人日本エネルギー研究所が作成した1993年から2009年までの「日本での太陽光発電の導入実績とシステム単価、発電コストの推移」を示す図表6から、発電単価（発電コスト）とシステム価格は連動していることが理解できる。発電コストはシステム価格（建設コスト）によって決定されているために、この二つが連動する、つまりシステム価格が下がれば発電コストも下がるのは当然のことである。

システム価格の減少率推移から、1993年のIKW当たりのシステム価格は250万円、1994年には200万円、1995年では170万円、1996年では120万円と4年間で半分以上(0.47倍に減少する)に減少した。しかし、1997年(106万円/KW)から2001年(75.8万円/KW)の5年間でシステム価格の減少率は3分2以下(0.72倍に減少する)である。さらに、2002年(71.0万円/KW)から2009年(62万円/KW)の8年間では僅かに10万円の減少(0.87倍に減少する)であった。⁽¹⁶⁾ 日本の太陽電池システム価格は2003年からほぼ横ばいに推移している。

図表9に2001年から2010年までの日本で生産された太陽光電池総量を国内用と海外用に分けて示した。2004年まで続いた政府の補助制度が2005年で終わった。このことによって、2005年からの国内需要は、再び政府の補助金が支給される2008年まで減少し続けた。図表6で示された、日本の太陽電池生産量（累積）の増加を維持していたのは、海外用に生産された太陽電池であった。⁽¹⁷⁾

図表9、2001年から2010年までの日本の太陽光電池生産量（海外用と国内用）



出典 (Wikipedia)

つまり、太陽電池産業は黎明期を出て、市場競争を繰り広げながら社会に普及しようとしている発展段階にある。⁽¹⁸⁾ この段階では、これまでに長年掛けて開発してきたコスト、貧弱な需要（市場）、低い発電効

¹⁶ 同上、p11

¹⁷ 三石博行「再生可能エネルギー促進法とその問題点について -持続可能なエネルギー生産社会を目指すために-」おおつ市民環境塾講座講演の資料（論文）、2011年11月19日

¹⁸ 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか -太陽電池開発の歴史-』オーム社、2011.8.11、430p

率やエネルギー変換効率という技術問題、等々の課題を抱えている。その段階を政府が固定価格買取制度等を設定して支えなければ、日本発の太陽電池産業はたちまちのうちに他国の企業に追いつかれる。そのことを2005年から苦々しく経験することになった。そして、その結果が、国内出荷量の減少、それによる全集荷量増加推移の減少、そして、その結果として、市場でのシステム価格の減少率低下につながったのではないかと予想できる。これまで、電卓やコンピュータをはじめとして電気機器のみならずすべての商品に謂えることとして、供給力（生産量の増加）は商品コストを下げるという経済の決まりが十分働いていなかったのではないかと考えられる。

技術開発による製造コスト削減

2011年12月5日から7日まで、千葉の幕張で国際再生エネルギーフェア2011が開催され太陽光発電に関する4つの基調講演、最新の太陽光発電システム研究に関する講習会が行われた。その中でフェアでPVJapan2011によって「太陽光発電に関する総合イベント」、展示会や講演会が開催された。イベントには、NPO法人太陽光発電所ネットワークを始めとする380以上の企業や団体が参加し、最新の技術や商品の展示や紹介がなされていた。多くの参加者が、太陽電池産業は21世紀を切り開く次世代産業への期待を抱いている。そして、この新産業に益々多くの投資が集まることが予想される。

まず、EPTの評価がその期待を実現するための経営的根拠の土台となる。もしその値が現在でも18年以上（1988年3月の鷺田豊明氏の試算）であるなら、企業も消費者も太陽電池への投資は避けるだろう。図表8に示したように、現在のEPT値は1から3、つまり太陽電池一年から3年の稼働であると試算されている。そのことは、電池生産に消費したエネルギーを、3年以内には回収することができるのであれば、エネルギー消費量からみた経営上の問題の一つはクリアできると評価されるだろう。

次に、システム価格が消費者の需要に相関する。システム価格は太陽光発電を設置するためのエネルギーコストだけでなく、原料、加工、開発、営業等々、企業が太陽電池生産システムを運営するための全てのコスト（製造コスト）と販売コストによって決定される。システムコスト（製造コスト）を下げるために、太陽電池産業の専門化、分業生産体制、補助サービスの企業化、多種多様な企業が生まれ、それらの総合力によって製造コストは逡減することになる。

また、新しい素材や工法によって多様な太陽電池パネルが生産されるようになった。製造価格を抑えるために新しいパネルが登場し、それらが価格競争にしのぎを削ることになる。ちなみに、現在の太陽電池の種類や特徴、セルとモジュールの変換効率、利点や課題、製造企業名に関して野村証券金融経済研究所が作成した資料⁽¹⁹⁾を図表10に示す。

例えば、結晶シリコンの材料費は製造コストの大きな割合を占めている。ちなみに、野村証券金融研究所が報告している資料によると、結晶法でのシリコンの割合は56%であり薄膜法では3%である⁽²⁰⁾。このシリコンの占める価格を抑えることで製造コストを下げる事が出来る。また、一般に、シリコンは希少金属ではなく石英（二酸化ケイ素）の成分として地球の至る所に存在すると言われているが、最近の太陽電池需給の増加によってシリコン（Si）は原料不足を起し、コストも上昇している。そのため、セルの材料を安くするために、単結晶シリコンから多結晶シリコンへ、さらにアモルファス（結晶していない状態）

¹⁹ 和田木哲哉氏『爆発する太陽電池産業 25兆円市場の現状と未来』 東洋経済新報社、2008.11.27、p74

²⁰ 同上、p76

シリコンへと新しい素材でセルを生産するための開発がなされてきた。

図表 10 、太陽電池の種類と特徴（変換効率、利点と課題とメーカー）

			変換効率(%)		国内企業
			セル(%)	モジュール	
シリコン系	結晶系	単結晶	21.5	16.8	シャープ 三洋電機
		多結晶	17.7	14.9	シャープ 京セラ 三菱電機 三洋電機
		球状			京セラ
	薄膜系	アモルファス	10	7~8	カネカ、三菱重工
		タンデム	15~22	10~13	〃
化合物系	単結晶系	GaAs (III-V族)	38.9	-	
		CdTe (II-VI族)	16.5	9	松下、事業中止
	多結晶系	CIGS	14~19	12~14	ホンダ、昭和シェル石油
有機系	色素増感型		10.5	-	各社研究中
	有機薄膜				各社研究中

			利点	課題
シリコン系	結晶系	単結晶	高効率 製造が簡単	原料不足 高コスト
		多結晶	比較的高効率 大量生産に適する	原料不足 新規参入企業との競合
		球状	シリコン使用量少ない	
	薄膜系	アモルファス	シリコン使用量少ない	コストパフォーマンス
タンデム		〃 かつ高変換効率	製造リードタイムが長い	
化合物系	単結晶系	GaAs (III-V族)	高効率	原料が高価で重い
		CdTe (II-VI族)	低コストかつ高効率	汚染物質を使用、リサイクル
	多結晶系	CIGS	高効率、製法が簡単	インジウム不足
有機系	色素増感型		製造工程が簡易	経年劣化、液体の保持
	有機薄膜		フレキシブルで、低コスト	製品寿命

(出所) 各種資料、取材より野村証券金融経済研究所作成。

引用 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25兆円市場の現状と未来』 p74

この開発によって、非結晶（アモルファス）シリコンによる電池が開発され、この材料は薄膜化しても一定の波長内での発電効率を十分保つことができるため、出来る限り薄膜にして電池材料に活用する薄膜シリコン法が開発された。非結晶系（アモルファス）を使った薄膜法では結晶系の生産方法（結晶法）よりもシリコン消費量を100分の1に抑えることができると報告されている。⁽²¹⁾

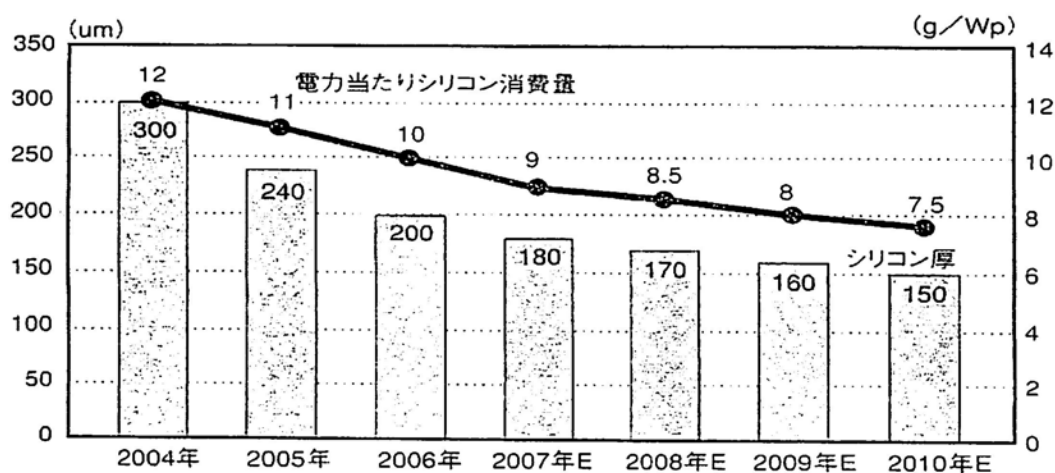
さらに、アモルファス（非結晶系）は一般に結晶系よりも変換効率（太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する割合）が悪い。その弱点を克服するために（薄膜シリコンは変換効率を上げるために）、薄膜シリコンを重ね合わせるセルを製造する技術、HIT（ハイブリッド型）や多接合法（吸収波長域の異なるシ

²¹ 同上 p75

リコン層を積層にして変換効率を上げる方法)が開発された。例えばこの二つの工法によって幅広い波長を電気に変換することができ、セル変換効率は上がった。薄膜シリコン法とハイブリッド法や多接合法によってシリコン消費量を抑えながら発電効率を上げる技術を開発してきた。

結晶法でもより少ないシリコン量でセルを製造する方法が開発され続けている。図表 11 が電力当たりのシリコン消費量の推移を示されているように、新しい工法技術によって生産電力当たりの材料費(シリコン)は少なくなった。この図表 11 から、2004 年では、1 Wp (ワットピーク、太陽電池モジュールが発生するエネルギー単位、1 Wと同じ)の電力を生産するためにシリコン 12 g (厚さ 300 μm)のシリコン膜が使用されている。そして、3 年後の 2006 年では、1 Wp の電力を生産するためにシリコン 10 g (厚さ 200 μm)のシリコン膜が使用されている。つまり、三年間に 1W 当たり 17%のシリコン量を減らすことができた。2010 年では、1 Wp の電力を生産するためにシリコン 7.5 g (厚さ 150 μm 2004 年の半分の厚み)のシリコン膜が使用されている。この予測によると 2011 年でのシリコン使用量は 2004 年に比較して 38% 少なくなる。⁽²²⁾ このように、高価なシリコンを薄膜化することによって製造価格を引き下げてきたのである。

図表 11 、結晶法太陽電池のシリコン消費量の推移 (2004 年から 2010 年)



(出所) Solar Generation IV-2007/EPIA (European Photovoltaic Industry Association).

引用 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25 兆円市場の現状と未来』 p74

国際価格競争による製造コスト削減

現在、国際的な太陽光発電産業の産業化が始まっている。2000 年までは、日本、ドイツやアメリカの企業が中心であったが、2009 年以降は中国、台湾、韓国などの企業が進出してきた。今回の再生可能エネルギー世界フェア 2011 年の PVJapan2011 展示会でも、多くの海外の企業、特に中国の企業が参加していた。中国を始めとする海外の企業の参加によって、価格競争が激化する。

国際的な価格競争によってより安価な太陽電池の素材や製造方法の開発が進む。そのことにより、さらに

²² 同上 p78

太陽電池商品の多様化が進み、それらの多様な特徴を備えた商品がしのぎを削って電力コストめぐる価格競争に突入する。国際競争による太陽光発電システムと太陽電池産業の技術や価格の競争の激化がこれからの時代の特徴を形作るだろう。

2004 年まで世界一の生産量を誇ったシャープが、その後、ドイツの Q-Cells 社に追い抜かれ、その後、Q-Cells 社は中国の Suntech に追い抜かれる。一年ごとに世界トップ企業名の変更が続く。全ての企業に短時間で世界的企業に躍進するチャンスが与えられ、そして同時に、その座を他の新興企業に奪われるリスクを抱える。この熾烈な世界的な競争によって価格の逡減はさらに進むだろう。

用語解説

3、体積モル

モル (mole) は国際単位系における物質量の単位で、12 グラムの炭素 12 の中に存在する原子の数 (6.02×10^{23} 乗の個数、アボガドロ数と呼ばれる) である。1 モルの理想気体は、1 気圧で 0 度 C の標準状態では同じ体積 (22. 41383 リットル) を占める。(Wikipedia) その 1 モルの占める体積をモル体積と呼ぶ。例えば、酸素 16 の分子は 32 グラムですから、1 モルの酸素 (32 グラム) の占める体積は 1 気圧、0 度 C で 22.4 リットルとなる。(Wikipedia)

4、電気の単位

1 W は 約 0.860cal (1cc の水を約 0.86 度 C 上げるエネルギー)
1000W が 1 KW (キロワット)
1000KW が 1 MW (メガワット) つまり 100 万 W (0.1 万 KW)
1000MW が 1 GW (ギガワット) つまり 10 億 W (100 万 KW)
1000GW が 1 TW (テラワット) つまり 1 兆 W (10 億 KW)
1000TW が 1 PW (ペタワット)、つまり、1000 兆 W (1 兆 KW)
(上の赤字にした部分も逆転しています。)

5、電気、熱と石油エネルギーの換算

1kWh = $1000W \times (60 \times 60 \text{ s}) = 36 \times 10^5 \text{ Wh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$ (メガジュール)

1kWh = 3.6 MJ = $3.6 / 4.1868 \text{ Mcal} = 0.8598452 \times 10^3 \text{ kcal} = 860 \text{ kcal}$

1kWh は 860Kcal

石油換算トンTOE (Ton of Oil Equivalent 定義 1TOE=10の7乗 kcal)

1TOE は 1.1628万KWh

100億TOEは、 $10,000,000,000 \text{ (TOE)} \times 11,628,000\text{cal} = 116,280,000,000,000\text{Wh}$

= 11.628PWh (ペタワット) = 116.28兆KWh

6、タンデム (多接合) 構造

多接合型（タンデム型）とは、「吸収波長域の異なるシリコン層を積層したもの。アモルファスシリコンと各種の結晶シリコンを積層したものの他、通常の a-Si(アモルファスシリコン)に吸収波長域の異なる a-SiC（アモルファスシリコンに炭素を加えて p 層・プラス極を作る）や a-SiGe（アモルファスシリコンにゲルマニウムを加えて n 層・マイナス極を作る）を積層したものなどが開発・実用化されている。高効率で温度特性などに優れるものが多い。」(Wikipedia)

7、ハイブリッド型（HIT 型）

ハイブリッド型（HIT 型）と「結晶シリコンとアモルファスシリコンを積層した太陽電池である。通常の結晶シリコンに比して変換効率がよく、温度特性も良いなどの特長を有する。シリコンの使用量が減らせる他、両面受光型にも出来る。日本の三洋電機が主な製造者である。なお、吸収波長域の異なる材料同士を積層するという点では下記の多接合型太陽電池に似るが、pn 接合は 1 つ（単接合）である。」(Wikipedia)

8、発電原価と発電コスト

電気を起こすための費用単価で、発電施設建設や施設管理維持、人件費や発電用原料購入等に費やす全ての金額を発電総経費として、その金額をその電力施設が生産する総電力量で割ったもので、単位は 円/kWh で示す。なお、発電原価は耐用年数や、設備稼働率等の条件によって変わる。つまり、建設コストが低く、施設耐用年数が長く、稼働率が高いほど発電原価は低くなる。この発電原価の二つの条件の中の設備稼働率等の条件を省いた考え方が、ほぼ発電コストと同じ概念になると理解してよい。

参考資料

- 1、 (TSUZ k 10A) 都築建 『エネルギーシフト 太陽光発電で暮らしを変える・社会が変わる』株式会社旬報社、2010.10.25、179p
- 2、 (KANDsu11) 神田淳 『持続可能文明の創造』 株式会社エネルギーフォーラム 2011.7.6、
- 3、 (Wikipedia) Wikipedia 「内燃機関」
- 4、 電気連合会 「図表で語るエネルギーの基礎 2008-2009」
http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/pdf/enekiso08_09.pdf
- 5、 鳥居泰彦 『経済発展理論』東洋経済新報社、1979 年
<http://phrik.misc.hit-u.ac.jp/Asami/Jugyo/2005/socdev/week2/malthus1.html>
- 6、 (FJHAh 10A) 藤原洋 『第4の産業革命』朝日新聞出版 2010.7.30、207p
- 7、 経済産業省 『平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告 第 179 回国会（臨時会提出）』242p
- 8、 経済産業省 「平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告 概要」平成 22 年 10 月 5p
- 9、 (NISIt 11A) 西山孝 別所昌彦（まさひこ）『統計データからみる 地球環境・資源エネルギー論』丸善出版社、2011.4.30、163p
- 10、 (YAMA k 02A) 山田興一、小宮山宏著 『太陽光発電工学 太陽電池の基礎からシステム評価まで』日経 BP 社、2002.10.7、254p

- 1 1、 (ZNEK 11A) 財団法人 日本エネルギー研究所 計量分析ユニット編 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』財団法人、省エネルギーセンター 2011.10.12、改訂3版、 348p
- 1 2、 濱川圭弘、太和田善久 編著 『太陽光が育くむ地球のエネルギー 光合成から光発電へ』、大阪大学出版会、2009.10.16、132p、
- 1 3、 鷺田豊明 『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992年10月6日刊)
<http://eco.genv.sophia.ac.jp/book/sosyo/so-4-3.html>
- 1 4、 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p
http://www.natureasia.com/japan/nature_cafe/reports/videos/111609/presentation-kuwano.pdf
- 1 5、 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか -太陽電池開発の歴史-』オーム社、2011.8.11、430p
- 1 6、 桑野幸徳・近藤道雄 監修 『図解 最新 太陽光発電のすべて』オーム社、2011.6.1、255p
- 1 7、 瀬川浩司、小関珠音、加藤謙介 編著 『サイエンス徹底図解 太陽電池のしくみ』 新星出版社、2010.5、183p
- 1 8、 NEDO成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」(2001年3月)
- 1 9、 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25兆円市場の現状と未来』 東洋経済新報社、2008.11.27、178p
- 2 0、 濱川圭弘、太和田善久 編著 『太陽光が育くむ地球のエネルギー 光合成から光発電へ』、大阪大学出版会、2009.10.16、132p、
- 2 1、 濱川圭弘編著 『太陽光発電』 (株)会社シーエムシー、1995.5.20、210p
- 2 2、 京セラ(株)ソーラーエネルギー事業部 編著 『太陽エネルギーへの挑戦』 清文社 2000.9.30、318p
- 2 3、 NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成22年7月27日
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html
- 2 4、 (KONIm 08A) 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』 株式会社工業調査会、2008.7.10、321p
- 2 5、 三石博行 [再生可能エネルギー促進法とその問題点について -持続可能なエネルギー生産社会を目指すために-] おおつ市民環境塾講座講演の資料(論文)、2011年11月19日
http://hiroyukimitsuishi.web.fc2.com/pdf/kenkyu_03_04/cMITShir11a.pdf
- 2 6、 石川憲二 『自然エネルギーの可能性と限界 風力・太陽光発電の実力と現実解』 株式会社オーム社、2010.7.25、190p.
- 2 7、 『月刊環境ビジネス』「大特集 スマートグリッド PART1 激化する開発競争」 2011.12月号 VOL.114、pp16~68