太陽光発電を組合わせた光植物工場の経済効果

水島宜彦

静岡県浜北市中瀬 7136-50

Economic Aspect of the Plant Factory Combined with Solar Power Generator

Yoshihiko MIZUSHIMA

Nakaze 7136-50, Hamakita, Shizuoka

Abstract

Since the plant factory consumes a lot of electric power, an idea to combine with the solar power generator is proposed. By constructing the solar generator on top of the roof of the plant factory, the combined economic balance is estimated. It is shown that the combined system can be a good example of value-added power element. With the solar cell of an area, threefold of that of the plant factory, the system becomes a self-sustained power unit, which is proved economically feasible in the future.

緒 言

太陽電池を用いて自然エネルギーを有効利用する問題は今後の植物工場の重要な着眼点になるだろう。すなわち、完全制御型の光植物工場の欠点は多量の電力を消費し、しかも太陽光を全く活用していないので、心理的にも抵抗感がある。そこで、工場の屋根は空いているので、これに太陽電池を載せたら全体としての電力収支はどうなるかという素朴な発想で、組合わせた実験室を建設した。これを稼働させて2年を経過したので、その結果を以下に報告する。

組合わせの結果を分析検討することにより、従来コスト高で採算に乗らないと言われてきた太陽光発電も光植物工場の付加価値に助けられて、商業ベースに乗りうる可能性を指摘する。これは環境産業の将来にとって大切な試みになるだろう。

太陽光発電と完全制御型光植物工場との組合わせをエネルギー経済の見地から考えてみる。マクロ経済からは、光植物工場と太陽光発電^{1,2)}とは本来は別のものであって、この組合わせには特別の関係は無い。しかし、両者

を一体として見なしうるような場合、すなわち企業環境や立地条件などから経営収支が連結されているとき、企業経営のようなミクロ経済の立場からは、この組合わせに特別な意味を持たせることができる。本論文で考察するのは、太陽光発電の収支に完全制御型光植物工場のそれを含めて論ずるような総合経営の立場であって、この時はこの組合わせの利点が発揮される。こういう商業的な計算では単位エネルギーコストよりも、コスト絶対値が重要なので、以下その見地で論ずる。

また、その考察を延長すると、消費者の見地からみた自営業園の価値も判断できる。これにより植物工場の普及は底辺から促進されることになろうから、そのような考察も付記した。

光植物工場では照明ランプの発熱があるので、ランプ照射は気温の低い夜間に行うのが良く、ふつう昼夜逆転して運転される。したがって太陽光発電とは半日のズレがあるので、電気エネルギーを一時貯蔵する必要がある。これについては、1992年に余剰電力買取り制度が設けられ、1993年からは一般電力網と系統連携が認められたので、昼間の発電電力量をいったん電力網にプールしておき、夜間に引き出して使うことが可能になった。

ただし、こういう意味では、植物工場の屋根に太陽電池を置かなくても、離れた場所に別々にあっても良い筈

1997年 9月 11日受付

1997年 12月 1日受理

である。ここで、植物工場が自分の屋根に太陽電池を載せる試みは、完全制御型植物工場が太陽光を活用せずに無駄にしているという批判に対処するためであって、本質的なものではないが、太陽光の有効活用という点では当然の対策でもある。

この組み合わせの特徴を考えてみる。

1. 両者は共にクリーンな環境保全型産業で、資材の消費や環境の汚染が無い。

2. 太陽光はエネルギー密度としては薄いものであるから、太陽光発電は本来農村山林のような広い面積で始めて経済的意味を持つ。一方農業では広い面積に日数をかけて光エネルギーを溜め込む。つまり両者の存立基盤は類似している。

3. 光植物工場は電力を大量に消費する。電力のような良質のエネルギーを消費する以上は、発揮される付加価値は大きくなくてはならない。一方太陽光発電では燃料代(ランニングコスト)不要である。植物工場では電力費(ランニングコスト)を改善すれば、組み合わせによって、全体の採算性が向上する可能性がある。その結果、あとで述べるように、エネルギー自立型システムを構築できる。

4. 屋根に取り付けた太陽電池板は直射日光を遮断するので、屋根は日陰状態に保たれる。したがって夏季の熱侵入に関して屋根材の断熱負担を軽減し、または冷房パワーを減らすことができる。(文献³⁾ではこれを既に考慮して計算した。)

実験方法および装置と結果

1. モデル太陽光発電システム

植物実験室の屋根に付設した太陽光発電システムは静岡県浜北市にあり、年間平均日照時間は約2,200時間、年平均全日射量は 3.8 kWh/m^2 日と、国内ではやや恵まれている地点である。建物は南面して建てられ、その外観を写真1に示す。総建坪は 25 m^2 であるが、うち植物実験室部分は 15 m^2 である。太陽電池はちょうどその真上に傾斜角 30° で載せられた。ここに設備した多結晶タイプの太陽電池モジュールの延べ面積は 21 m^2 で、公称発電規格は 2.45 kW である。

この太陽光発電システムは新エネルギー財団からの住宅用光発電システムモニター事業の補助金によって、1995年に建設された。太陽光発電部分の設備費用は、機器が473万円、工事諸経費を加えて533万円(消費税を含まず)であった(これに対する補助金は227万円)。

以下では太陽電池で発電した電力をその付加価値で評

写真1 モデル太陽光発電システム。太陽電池の下部が光植物実験室。

Photo 1 Solar power generator on top of the small plant factory.

価する。燃料コスト不要なので、設備投資と償却年数とから、電力限界価格が決定される。

太陽電池の設備コストは現在では 100 万円/kW である。発電所並みではなく、通常の産業用の設備としての8年償却を仮定すれば、(実際には、20年以上保つとされているが、実績はない。)減価償却費用として $12.5 \text{ 万円/年} \cdot \text{kW}$ を見込む必要がある。もちろん、一般業務用なので、補助金を考慮しない。一方年間発電量実績は $3,069 \text{ kWh/年}$ 、あるいは $1,252 \text{ kWh/年} \cdot \text{kW}$ である。したがって、電力単価が 100 円/kWh 以上でない限り、設備するほど損をする。しかし太陽光発電システムの価格は年々低下しており、2000年ころには 53 万円/kW といわれている²⁾ので、その場合の電力限界価格は 53 円/kWh となる。また、償却負担を軽減するために発電設備と見做して13年償却と考えれば、限界価格は 61 円/kWh 、2000年には 33 円/kWh で、この辺が最低必要な付加価値である。それにしても現行の電力コストより著しく高い。逆に言えば、利益を出すためには少なくとも 50 円/kWh 程度以上の付加価値が必要である、ということが本論文の出発点となる。

第1図に太陽光発電の実績を示す。毎日については当然天候により極端な揺らぎがあるが、毎月になると、それほどバラツキは無く、平均的な傾向が現れる。季節変動としては、むしろ極めて少ない。これは、日照時間の長い夏日では朝夕の光入射方位角が北東から北西まで回り込むので、固定された太陽電池板への垂直投影成分では必ずしも有利ではないことと、温度が高いときにはシリコンPN接合からの出力電圧が下がる不利があり、逆に日照時間の短い冬には方位角と温度の点で有利とな

図1 2年間の太陽光発電成績、毎月の積算発電電力量の経過を示す。

Fig. 1 Trend of the generated electric power in kWh in each month.

るからである。天候の影響では6月と9月に雨季の影響が現れやすい。年間平均すると、フルパワー公称値での運転時間にして、毎日3.4時間の実稼動に相当する。これらのことは既に良く知られていて、上記の数字はそれほどばらばら一致しているので、詳細は省略する。

本システムは住宅用補助金システムの関係で、低圧電力の価格(24円/kWh)で電力会社に販売しているが、将来は高圧電力(13円/kWh)でも可能になるだろうから、それに換算して議論をすることもできる。もちろん電力自給自足状態なら、価格はいくらであっても関係はない。以下ではこれら電力価格の数字を使用せずに議論するので、電力コストの異なる外国においても論理の骨格は変更を受けないことに注意したい。

2. モデル光植物実験室

実験室の内部構成はモデル植物工場³⁾に準じたものである。栽培植物は比較のために、サラダ菜とする。現実にはその他の植物花卉をも多種栽培しており、経済的には花卉のほうが有利であるが、これらの経済評価は現時点では困難である。そこで、モデル植物工場と同じ条件でのサラダ菜について、その部分のデータを全体に換算して述べる。

モデル植物工場と同じパネル密度では(1.0パネル/m²)生産率は10,000株/年となる筈だが⁴⁾、小さな部屋なので、有効面積率がたがってパネル数の割合は不利となっている。すなわち使用パネル数は11枚、うち出荷栽培用に10枚を使用できる。パネル栽培密度は同等なので、年間7,000株出荷可能である。さらに炭酸ガス濃度を高めることにより、この約2倍は可能である⁵⁾が、これは後で考える。

必要な照明電力は、実績から8,200kWh/年の程度で

ある。これに追加される冷暖房電力については、前の論文³⁾に述べた運転方法を使用している。すなわち、冬季には暖房を僅か、ないしほとんど使用しない程度に全体の熱環境を調整すると、その他の雑用電力を加えても、ほぼ照明電力の30%で済んだ。計10,660kWh/年となる。消費電力量の数字がモデル工場の数字に比べてやや低めに出ているのは、前報告³⁾で種々述べた改善の効果である。この消費電力は、前記発電電力量の3.4倍に相当する。

考 察

太陽光発電システムから見た経済効果について考える。太陽光発電による電力はそのコストが高く、未だ実用的ではない。しかし、植物工場と組合わせることで、付加価値をつけることができる。ここでは、1株あたり全積算消費電力は1.4kWh/株と、ほぼ標準的な値を確認できているが、モデル植物工場の規模ならば、前記のように、パネル密度を高く取れるので、1.0kWh/株となる。さらに炭酸ガスによる増産効果を考えると、約0.7kWh/株となる⁵⁾。したがって電力の付加価値は、出荷価格(卸値)を70円/株とすれば50ないし100円/kWhに相当するので、前記の限界価格目標を達成できることは明らかである。

つまり、電力の付加価値を平均70円/kWh程度と見積もると、太陽光発電が植物工場と共同動作する限り、8年以下の償却期間で経営が成立する。これならば企業的にも十分魅力的な数字である。あるいは逆に、生産する植物の出荷価格を下げて市場競争力を高められる。サラダ菜よりも花卉ならばもっと良い数字を期待できる。

もちろん、初めに述べたように、太陽光発電と光植物工場とは独立のもので、組合わせの必然性はない。しかし、この組合わせにより、光植物工場は太陽光発電の償却負担を軽減することができるから、環境保全型産業として、現在でも既に農村に普及可能性を持っている。

設置必要面積について考えれば、上記のように、消費電力は発電電力に比して3.4倍となる。したがって植物工場と、その他に2.4倍の面積を太陽電池のために追加すれば電力は見掛上自給できることになる。(上記経営面積や炭酸ガス効果⁵⁾などを含めればもっと良くなる。)この程度の必要面積は植物工場によって集約化された土地の余剰で容易に賄うことができる。特に、山間地域では斜面でも利用できるのも、土地に関する問題はない。この比率が意外に小さいことは、光植物工場の効率性を示すものであって、その他の応用たとえば、宇宙空間、

衛星内における植物栽培に応用する際にも明るい希望をもたらすものである。

次に、消費者から見た分散型エネルギーシステムの経済効果について述べる。太陽光発電は、薄いエネルギー密度を集める発電であるので、従来の発電所と違って、集中して大容量を設備する意味が薄い。すなわち、農村や家庭などに分散して、局部的なエネルギー経済に貢献することが大切である。その意味で、植物<工場>との組み合わせは適当ではあるが、これを延長して、もっと小型の家庭向きのものがあってもいい。

消費者の家庭で実行することを考えると、いくつかの新しいメリットがある。現在では補助金を利用できる。家庭では趣味と実益を兼ねるので、一般に人件費をカウントしない。また家庭の設備は減価償却しない習慣がある。(ローンは償却ではなく、分割払いである。)このことを考えると、ランニングコストとして実際に出て行く支出は電気代の他には肥料代、炭酸ガス代、水道代、ウレタンなどの資材費だけである。この場合には株あたりのコストで比較しよう。このうち、肥料代は株あたり1円以下で、炭酸ガスは3円程度、水道や資材は1円以下で、ほとんど無視できる。残る電気代については、電力会社から購入する場合、前記のように、10ないし20円/株であるが、これを小売り末端価格の100円/株程度と比較するので、割安感は著しい。したがって、初期投資と償却が無ければ、植物工場は生産農家よりも、まず消費者家庭において受け入れられるべきものである。

更に本論文のように、太陽電池で電力を自給すれば、これも只になるので、諸雑費を含めて原価は5円/株以下である。しかし現実には太陽電池の初期投資額が目立ってしまい、さすがに家庭でも償却を考えることになるので、この点では消費者の意識に依存するところが大きく、政策的援助が無い限り、簡単ではない。したがって、現行の太陽電池価格なら、太陽電池との組み合わせは小型の植物工場では非現実的である。太陽光発電との組み合わせは、もう少し規模の大きい企業単位で検討されるべき問題だろう。

結 論

光植物工場と太陽光発電とは、ミクロ経済的見地からは魅力のある良い組み合わせであることを提案した。本実験で説明した実験的建物は小さいので壁の割合が大きく有効面積率や冷暖房効率の点で損をしているにも関わらず、組み合わせのメリットを指摘することができた。

光植物工場の建坪面積の3倍半の面積に太陽光発電設備を設ければ、見掛上ではこの産業はエネルギー自給ができる。ランニングコストだけで見ると、極めて有望なことを示した。予定されるように、太陽電池コストが低下すれば、初期投資と減価償却を含めても解決できる可能性を示した。

特に、ローカル単位経済の代表としての消費者家庭の立場からは、ほとんど只で、無農薬健康野菜が入手できるなど魅力が多い。住宅用太陽光発電にもこのような見地を加味することが望ましい。

普及の鍵は太陽光発電システムの価格であるが、光植物工場との組み合わせた形で評価することにより、環境をキーワードにして普及が促進されることを期待したい。

議論をいただいた長野県飯田市産業経済部長 松村茂利氏に感謝する。

引用文献

- 1) 浜川圭弘・桑野幸徳：アドバンストエレクトロニクスシリーズ、太陽エネルギー工学、培風館(1994)
- 2) 日経エレクトロニクス：日経BP社、No. 695：pp. 68-82(1997)
- 3) 水島宜彦：植物工場理論を基礎とした小規模植物工場の最適設計、植物工場学会誌、9：182-192(1997)
- 4) 高辻正基：植物工場の理論、日本植物工場学会、SHITA TECHNOLOGY、No. 1(1993)
- 5) 水島宜彦：植物工場理論にもとづく炭酸ガス施肥の経済効果、植物工場学会誌、10(1)：5-9(1998)