

# 太陽光発電システムの簡易評価

学生員 井澤 敏泰 (東京農工大学)      学生員 大関 崇 (東京農工大学)  
会員 黒川 浩助 (東京農工大学)      会員 大谷 謙仁 (産業技術総合研究所)  
会員 都筑 建 (自然エネルギー推進市民フォーラム)

Simple Performance Analysis of Photovoltaic Systems

Toshiyasu Izawa\*, Takashi Oozeki\*,  
Kenji Otani\*\*, Ken Tsuzuku\*\*\*  
and Kosuke Kurokawa\*

\*Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT)  
Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588 Japan  
E-mail:kurochan@cc.tuat.ac.jp, Phone:+81-42-388-7132,  
Fax:+81-42-385-6729

\*\*National Institute of Advanced Industrial Science and  
Technology(AIST)

\*\*\*Renewable Energy Promoting People's Forum (REPP)

## ABSTRACT

The evaluation of PV systems seems to be very important in order to attain the diffusion of more reliable PV technologies for the future. And this technique is utilized for the operational management recently. But even the calculation of system performance ratio  $K$  by ordinary formula is difficult because monitored data such as irradiation are not taken perfectly. In this paper, the authors propose the simple evaluation method, which estimates irradiation by the sunshine hours that is delivered from AMeDAS, the Automated Meteorological Data Acquisition System and calculates system performance ratio  $K$  monthly. In addition, the influence of a shadow on a PV array is analyzed.

キーワード：日照時間，AMeDAS，システム出力係数

Keywords：Sunshine hours，AMeDAS，Performance ratio

## 1.はじめに

太陽光発電（以下、PV）は、無尽蔵でクリーンな太陽エネルギーを利用する、発電時にCO<sub>2</sub>を排出しない、メンテナンスフリーであるなど、その魅力は数知れない。わが国は、2010年度までの累積導入量の目標値を482万kWとし、次世代エネルギーとして、大きな期待を寄せている。しかし、そういった期待や急成長とあいまって、PVはまだまだ、多くの問題を抱えている。導入政策やコストをはじめとし、設計・施工、運用管理などPVの商品価値を左右するところまで及び。PVシステムの寿命は約20～30年と言われ、その期間はメンテナンスフリー

であるというのが謳い文句であるが、設置後数年のシステムからもトラブルが数多く報告され、設計・施工、運用管理の不備が指摘されている。メーカー側でも「売りっぱなし」という傾向にあり、決定的な対処はなされていない。今後の普及を考えた場合、影響は計り知れない。

## 2.目的

PVシステムの評価は、商品価値・性能向上へのアプローチとなる。運転データの解析を行うことで、問題点が明らかになり、研究・開発、設計・施工、運用管理に役立てることができる。しかし、運転データが完全に得られているシステムはごく稀であり、運転特性を表す際に頻繁に利用されるシステム出力係数  $K$  (式(1)) の計算さえ、ままならない。そこで、本研究では十分な運転データが得られないシステムに対して、評価方法を構築し運転特性を把握していくことを目的とする。本手法が確立できれば、高価な計測機器への投資なしでシステムの運転特性を把握でき、運用管理等に利用することができる。

システム出力係数  $K$  (以下、 $K$  値と略す) [%] :

$$K = \frac{E_p}{P_{AS} \cdot \frac{H_A}{G_S}} \times 100 \quad \dots (1)$$

$E_p$  : システム出力電力量[kWh]

$H_A$  : 傾斜面日射量[kWh/m<sup>2</sup>]

$P_{AS}$  : 太陽光発電システムの定格出力[kW]

$G_S$  : 参照日射強度(=1.0[kWm<sup>-2</sup>])

## 3.簡易評価の概要

本評価では、不足データを推定補完することにより、以下のような損失分離を行うことを最終目標としている。本稿では、まずその手始めとして、運転特性を表す際に、頻繁に利用される  $K$  値の計算方法について述べる。ただし、評価では、システムの基礎情報（緯度、経度、傾斜角、方位角等）とシステム出力電力量  $E_p$ [kWh] が得られていることが前提条件となる。よって、 $K$  値の計算時には、日射量の推定補完が必要となる。現段階で、評価結果が  $K$  値のみであるために、簡易的な評価という意味合いで簡易評価と名付けている。

～損失過程～

- 日陰による損失
- 入射角依存性による損失
- 温度の影響による損失
- 負荷整合による損失
- 直流回路による損失
- 汚れ・劣化・定格容量誤差などによる損失
- パワーコンディショナスタンバイ損失
- インバータによる損失

$$RMSE = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N (X_i - X_{0i})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2)$$

$$\cdot \text{絶対誤差[kWh/m}^2\text{]} : \text{絶対誤差} = (X_i - X_{0i}) \quad \dots (3)$$

$$\cdot \text{相対誤差[\%]} : \text{相対誤差} = \frac{X_i - X_{0i}}{X_{0i}} \times 100 \quad \dots (4)$$

ここで、 $X_{0i}$  は実測値、 $X_i$  はモデル式による推定値、 $N$  はデータ数を示す。

#### 4.日射量の推定補完

簡易評価の対象となるシステムでは、日射量が計測されていないため推定補完する。以下で推定に用いる参照データ、モデル式、モデル式の推定精度について述べる。

##### 4.1 参照データ

参照データとして、気象庁 AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) で観測されている気温、日照時間、降水量を利用する(気象庁より刊行物として公開されている)。日照時間より時刻別全天日射量を推定するモデルが開発されており、近傍の AMeDAS より容易に日射量を得ることができる。また AMeDAS は、全国約 840 ヶ所、約 21km 間隔で設置されており、広範囲に分布する PV システムに対応可能である。

##### 4.2 推定モデル

日照時間より時刻別全天日射量を推定するモデルとして、赤坂・二宮両氏のモデル式を利用する。モデルの詳細については、両氏の論文<sup>[1]</sup>に譲る。なお、AMeDAS は、PV システム最近傍の観測地点を参照する。

##### 4.3 推定精度

赤坂・二宮氏の論文においても、モデル式の推定精度について述べられているが、再度検証を行う。精度検証にあたり、最も精度良く日射量が測定されている高層気象台の館野の全天日射量を利用する(気象月報データとして公開されている)。館野では、直達日射量と散乱日射量をそれぞれ個別の日射計で測定し、両成分を合成して全天日射量を得る方法を採用しており<sup>[2]</sup>、全天日射計のもつ入射角特性などの誤差要因が排除されている<sup>[3]</sup>。AMeDAS は、最近傍の観測地点である長峰(館野との距離: 2.38km)を参照する。モデルの検証において、2000 年 1~12 月までの館野、長峰のデータを中心に利用した。

##### 4.3.1 各指標の定義

モデル精度の評価で用いた指標の定義を、以下に示す<sup>[4]</sup>。

- ・ RMSE(Root Mean Square Error) [kWh/m<sup>2</sup>] :

##### 4.3.2 時刻別値での精度検証

図 1 は 2000 年 1~12 月において館野の実測値とモデル式による推定値の相関を得た結果である。日射量が小さいときに、推定誤差が大きくなっていることがわかる。図 2~3 および表 1 は、天候ごとに実測値と推定値の時刻別全天日射量を比較した結果である(天候の区分方法は、気象庁に準ずる)。快晴、曇天日については実例を示しているが、快晴、曇天を含めてそれ以外の天候については、表 1 において RMSE と絶対誤差により評価した。これらの結果より、曇天、降雨時などの日別日照率が低い日に推定誤差が大きくなることが言える。また、図 4 に 1996~2000 年における日別日照率と相対誤差関係を箱ひげ図(ボックスは 75%と 25%の範囲を示し、ヒゲは 95%と 5%の範囲を示す。また、ボックス中央の水平線は 50%を示す)により示したが、日別日照率が低くなるほど推定誤差が大きくなることがわかる(表 2 は、対象日数を表す)。

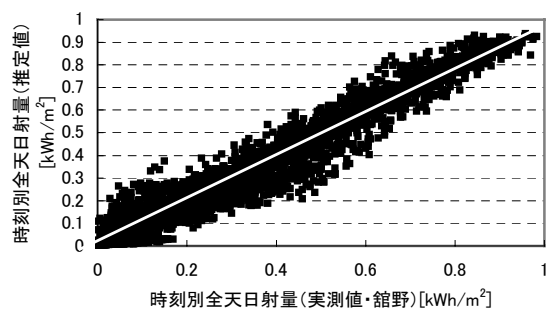


図 1.実測値と推定値の相関関係

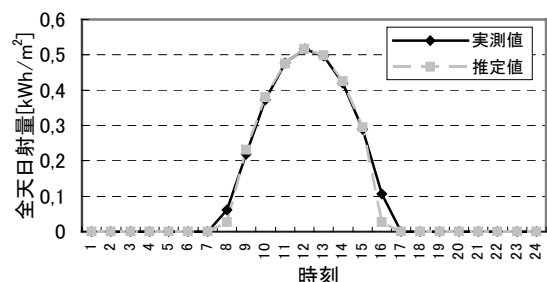


図 2.快晴日における実測値と推定値の比較

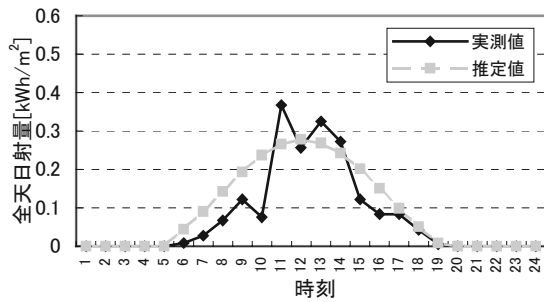


図3.曇天日における実測値と推定値の比較

表1.各天候における実測値と推定値のRMSE，絶対誤差比較

天候	参照日	日日照時間	日日照率	RMSE	絶対誤差
快晴	00年1月1日	8.7	0.91	0.0096	-0.081
晴れ	00年8月10日	8.8	0.65	0.0082	0.217
薄曇	00年7月5日	8.0	0.56	0.0105	0.113
曇天	00年6月10日	0	0	0.0187	0.418
雨	00年4月5日	0	0	0.0149	-0.433

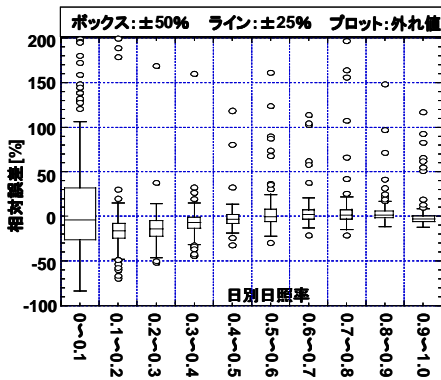


図4.日別日照率と相対誤差の関係

表2.日別日照率の対象日数(図4に対応)

日照率	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5
対象日数	464	151	91	111	104

日照率	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1
対象日数	126	143	168	191	278

(1996~2000年)

#### 4.3.3 月積算値での精度検証

図5は、2000年1~12月において館野の実測値とモデル式による推定値を月積算値で比較した結果である。相対誤差の値が示すように、非常に高い精度で推定できる。日別日照率での推定誤差が、月レベルではうまく均される傾向にある。また、図6は全国65ヶ所の観測所に対して同様な推定を行い、月ごとに相対誤差のバラツキをとった結果である。計器の感度劣化や計測誤差などの影響により、バラツキがあると思われるが全国においても、月積算値では推定精度が良くなる傾向にある。

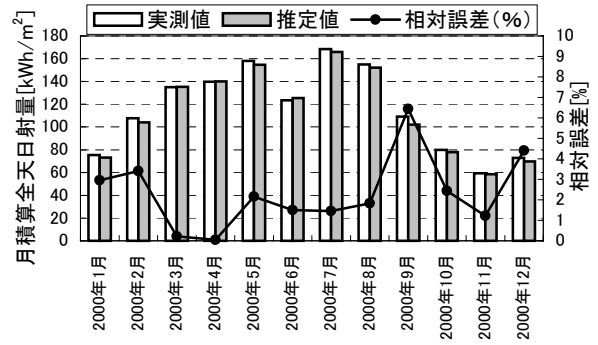


図5.月積算値における実測値と推定値の比較

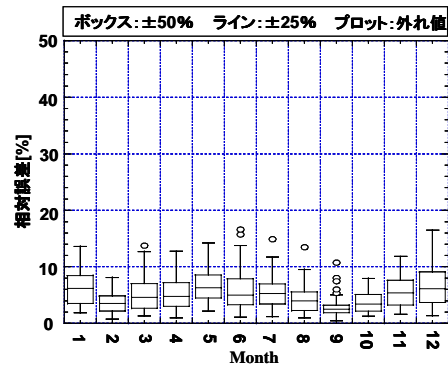


図6.全国65ヶ所の観測所における推定誤差のバラツキ

### 5. 評価結果

日照量の推定精度よりK値の計算は、月積算日照量で行うことが適していると言える。よって、本評価では、月単位でK値を算出することにより、システムの運転特性を大まかに見ていく。評価にあたり、自然エネルギー推進市民フォーラム(以下、REPP)より住宅用PVシステムのデータ提供を受けた。

#### 5.1 簡易評価

図7は、日照量を計測しているREPP住宅用システム(東京都練馬区)に簡易評価を適用し、実測値より算出したK値との比較を行った結果である(期間は2000年1月~2001年12月)。誤差が顕著な月もあるが、5%前後で推定が行えている。

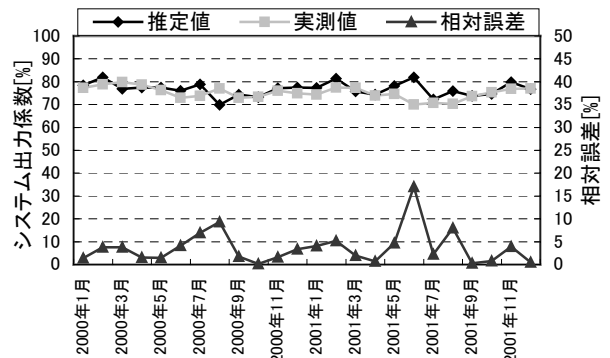


図7.K値における実測値と推定値の比較

## 5.2 SV 法による評価

筆者らのグループでは、予てより PV システムの運転データ（傾斜面日射量，システム出力電力量，アレイ出力電力量，モジュール温度）を用いたシステムの損失分離・評価手法として **SV(Sophisticated Verification)法**<sup>[5]</sup> の開発を行ってきた。先述の住宅用サイトを SV 法で解析することにより，**図 8** のような詳細な損失分離を行うことができる。評価結果より，性能の低下要因には太陽電池の温度損失やインバータの損失が挙げられる。

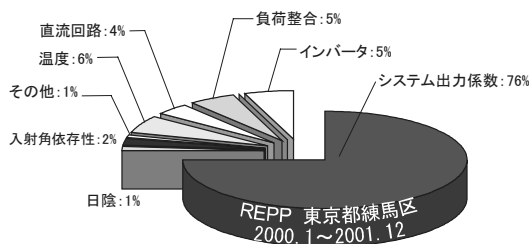


図 8. SV 法による解析

## 7.簡易的な日陰分離方法

ここでは，PV アレイ面にかかった日陰の分離方法について述べる。まず，各インバータの効率曲線を用いてシステム出力電力量  $E_P$ [kWh] からアレイ出力電力量  $E_A$ [kWh] を算出する。次に，1 ヶ月間の各時刻の  $E_A$  の最大値を抽出し，これを太陽電池の快晴日パターン - 最大アレイ出力電力量パターン  $E_{Amax}$ [kWh] とする（JQA アレイ温度上昇推定式より算出したアレイ温度により補正する）。そして，AMeDAS から推定した日射量より快晴日の日射量パターン  $H_{Ath}$ [kWh/m<sup>2</sup>] を作成し（先述の通り，快晴日における推定精度は非常に高い），これにアレイの定格  $P_{AS}$ [kW] を掛け，理論的な快晴日アレイ出力電力量パターン  $E_{Ath}$ [kWh] とする。 $E_{Amax}$ [kWh] と  $E_{Ath}$ [kWh] を比較し，値に差があれば日陰による発電量の低下と見なす。

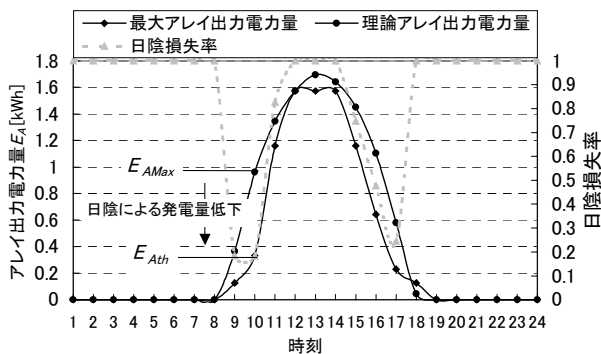


図 9. 簡易的な日陰分離方法

図 9 は，予め日陰があるとわかっている PV システムの

日陰解析結果である。目視のみからの判断であるが，日陰による発電量の低下が顕著であると言える。

## 6.今後の方針

現状では，日射量の推定は時系列での誤差が月積算値では均されることがわかっているが，まだ全体的に信頼のおけるレベルには至っていない。**図 10** は，日射量の推定精度と  $K$  値の変動幅を示す。66%強のシステムに対して，その日射量を相対誤差 1～10% で変化させている。日射量の推定精度が  $K$  値に大きな影響を及ぼすことがわかる。**図 4** が示すように，日別日照率の低い日が原因であるため，今後，日別日照率の低い日に着目し推定精度を改善していく必要がある。また，簡易評価で算出される  $K$  値は，日射量の推定精度に大きく左右されるため，日射量の推定精度がどの位  $K$  値に影響を及ぼすかを試算し，評価の信頼性をレベル分けする必要がある。

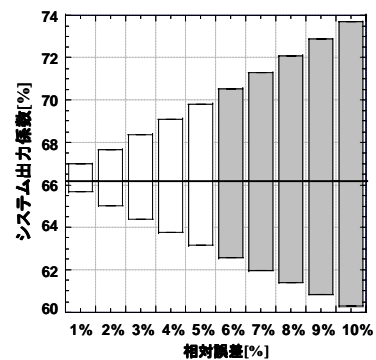


図 10. 日射量の推定精度による  $K$  値の変動幅

## 7.まとめ

AMeDAS より日射量を推定する方法が，月積算値において精度が良いことを利用して，月単位でシステム出力係数を算出する評価手法を提案した。概ね，算出された  $K$  値より運転特性の把握が可能である。また，簡易的な日陰解析により大まかに日陰による発電量の低下を判断できる。

## 8.参考文献

- [1] 二宮，赤坂他，「AMeDAS のデータを用いた時刻別日射量の推定法」第 2 報 回転式日照計および改良型太陽電池式日照計への適用，空気調和・衛生工学会論文集（1997）
- [2] 気象庁高層気象台：日射・放射資料集（1996）
- [3] 上野，志村，「直達・天空散乱日射量から求めた全天日射量について」，高層気象台彙報，54(1994)
- [4] 日本太陽エネルギー学会編：「新太陽エネルギー利用ハンドブック」
- [5] 大関，井澤，黒川他，「太陽光発電システムの計測データを用いた評価方法」，太陽/風力エネルギー学会講演論文集（2001）