

# 太陽光発電システムの計測データを用いた評価方法

学生員 大関 崇 (東京農工大学)  
会員 大谷 謙仁 (産業技術総合研究所)

学生員 井澤 敏泰 (東京農工大学)  
会員 黒川 浩助 (東京農工大学)

## Evaluation Method of Photovoltaic Systems using Measured Data

Takashi OOZEKI\*, Toshiyasu IZAWA\*,  
Kenji OTANI\*\*, 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)  
AIST Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki  
305-8568 Japan

### ABSTRACT

Data evaluation methods have wide adaptations, such as feedbacks to Photovoltaic (PV) system operation management and design. The authors have already developed Sophisticated Verification Method (SV method) for PV systems, which is a simple evaluation method to identify eight kinds of system loss rates using basic information: latitude, longitude, rated system power etc. and simple four monitored data. This time, an algorithm of the model has been improved in the method, which can identify DC circuit losses and power conditioner's stand-by losses.

キーワード：太陽光発電システム，評価，SV 法  
Keywords：Photovoltaic Systems, Evaluation, the SV method

## 1. はじめに

太陽光発電(PV)は、2000年度導入量は31.7万kW、生産量は28.6MWであり世界第1位を誇っている。経済産業省資源エネルギー庁総合エネルギー調査会新エネルギー部会では、2010年の導入目標が482万kWと決定し、新エネルギーを牽引する役割を期待されている。PVは、2030年2050年を見据えれば、エネルギー源の一翼を担う可能性が十分あると考えられ、今後も益々普及していくことは間違いない。21世紀、PVは、導入期から普及期へと移ってきているが、まだまだ乳児期から幼児期に差し掛かったところである。しかし、新エネルギー部会や学会において普及に向けた必要事項として、注目されていることは国の施策や制度設計がほとんどである。1974年に始まったサンシャイン計画から25余年が経ち、PVの技術も進み世界でもトップクラスに位置しているが、まだまだ問題点は多いのが現状である。システム関連では、設計・施工技術は非常に進んでいるが、その後の運用管理、廃棄・リサイクルに関しては発展途上

である。大量普及されたPVシステムが施工後メンテナンスフリーのもと、放置されたのでは大問題である。長期寿命の信頼性を保証し、リサイクル技術を確認しなければ、本当の意味で“環境にやさしい”とは言えない。多々問題はあるが、逆に言えばこれらを解決すれば、間違いなくDES(発展・公平性・持続可能性)を満たす将来のエネルギー源となるはずである。PVは、幼児期から青春期へと進んでいく。素晴らしい親と、素晴らしい友が必要である。先人の研究者達が育て上げたPVを今度は、我々が受け継いで共に歩んでいかなければならない。

## 2. 目的

PVシステムは、寿命30年、メンテナンスフリーを売りとしてきたが、現実にはインバータの故障や、システムの容量不足など部分的にメンテナンスが必要となっている。今後は、設置・施工から運用管理・リサイクルまで、PVの生涯管理が重要な課題となってくると考えられる。本研究は、評価結果のフィードバックを利用して設置・施工に利用でき、また運用管理する上で最も重要な故障診断方法として活用することができる、“PVシステムの損失を分離・評価”することを目的としている。これまで本研究室では、PVシステムの計測データを用いた、簡易的な損失分離可能な評価方法として、SV(sophisticated Verification)法を開発してきた[1][2]。本報告では、SV法の従来の基本的なアルゴリズムを改良し、さらに入射角依存性・直流回路損失・パワーコンディショナタンバイ損失の分離を可能とした。

## 3. SV法の概要

SV法は、システムの基礎情報(緯度・経度・傾斜角など)をもとに、比較的簡単に計測可能である4つのデータを用いて、8種類のシステム損失割合を抽出することのできる評価方法である[1][2]。必要計測データ・損失過程は以下の通りである。また、前処理として必要データを推定補間・計測日射量データの品質を診断することができる。

～計測データ～

傾斜面日射量	: $H_A$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
アレイ出力電力量	: $E_A$ [kWh]
システム出力電力量	: $E_P$ [kWh]
モジュール温度	: $T_C$ [ ]

～ 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

3.1 未収録データの補間

SV法で必要な基礎データ・計測データを全てそろえることが不可能な時、計測データに関しては、最低システム出力電力量があれば評価可能である。日射データは、AMeDAS 気象官署のデータなどから、推定補間することが可能である [3][4]。モジュール温度についても、風速風向・外気温度データより推定可能である [5][6]。アレイ出力に関しては、インバータ効率曲線より推定する。全ての場合、推定データを用いるため、評価精度が悪くなることに留意する必要がある。

3.2 データの品質診断

計測データは必ずしも品質が高く、信頼できるものであるとは限らない。特に日射データに関しては、日射計の劣化・汚れ、晴天日でもシステム周辺の建物などによる日陰の影響によって、正しく測定できない場合が多々ある。データの品質が劣悪では、評価に異常をきたす。評価の前段階としてデータの品質診断・補正をおこなう必要がある。これらの方法は、井澤 [7] により報告されている。

4. SV 法解析

4.1 1ヶ月の損失算出モデル

SV法では、経験にもとづく妥当な仮定により作成したモデルを導入することにより、損失を分離可能としている。各モデルとサイトごとの計測データを用いて、1ヶ月間の各損失量算出モデルを構築することがSV法の本質である。Figure 2 に1ヶ月の損失算出モデルの一例を示す。各傾斜面日射量に対応するアレイ出力の最大値をプロットした図である。本来は、両者は比例関係にあるが、低日射領域の入射角依存性により垂れ下がった曲線になるという特性が知られている (Independence incident angle line:  $E_{II}$ )。また、高日射領域では、放物線を描くように出力が落ちるのを観測できる。これは、日射に比例した電流の増加により直流回路損失が増加したと考えられ、上位を通るように2次式で近似曲線を引くことができる (Ideal performance line:  $E_{IP}$ )。更に、標準アレイ出力 (Standard performance line:  $E_{AS}$ ) に比例した直線をプロットの上位を通るように近似することにより日陰・入射角依存性・負荷整合による損失が最小であると仮定できる直線を引くことができる (Best performance Line:  $E_{BP}$ )。すなわち、この直線から下のばらつきが負荷整合や日陰の損失とみなすことができる。以上のような、各々の影響を仮定することにより描いた各線を用いて、各損失率を求める。

Figure 3 は、入射角ごとの入射角依存性損失率を表した図である。プロットは、 $e_{IP}$  と  $e_{BP}$  の比を入射角ごとの最大値を求めたものである。プロットの上位を通るように式 (1) の変数  $C_{PI}$  を変化させ近似した曲線を入射角依存性損失率曲線とする。このように、各線との間にある損失量を仮定することにより、各損失率を求めることができる。

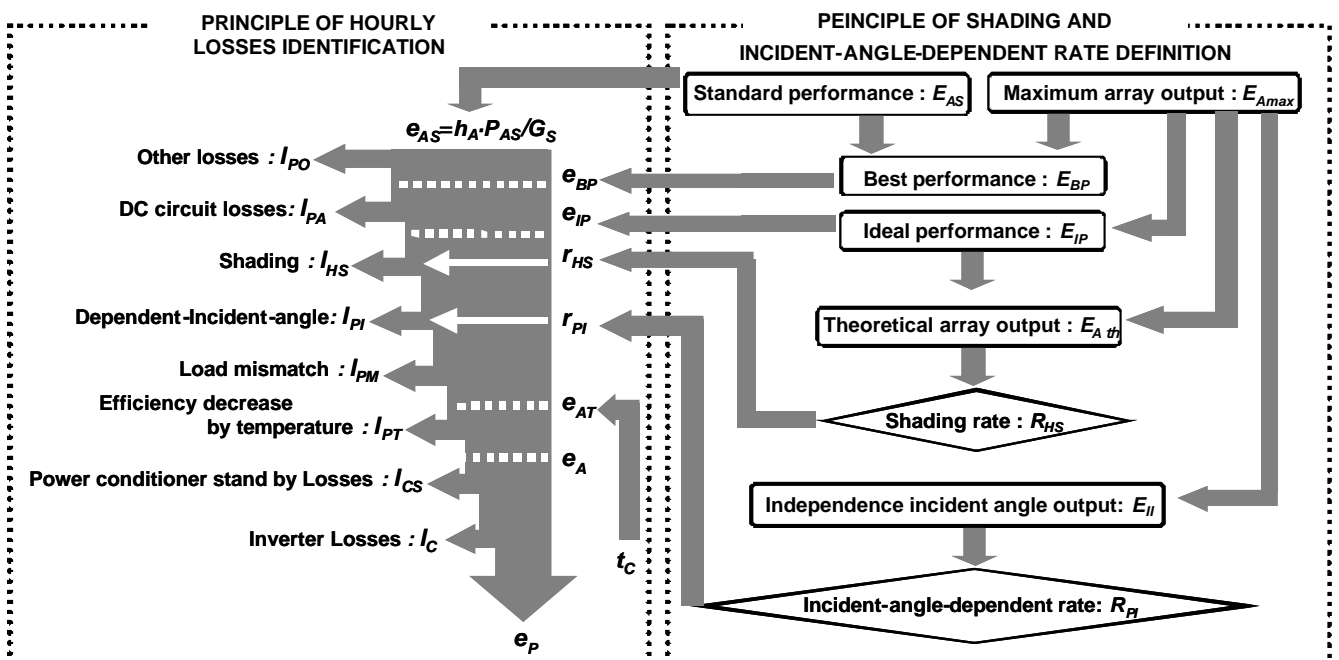


Figure 1: Principle of analysis of the SV method

$$R_{PI} = \frac{\exp\left(-\frac{C_{PI}}{\cos q}\right)}{\exp(-C_{PI})} \quad \dots(1)$$

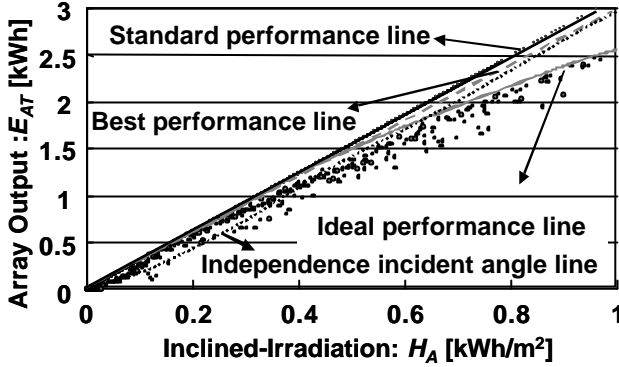


Figure 2: Best performance line, Ideal performance line and Independence incident angle line

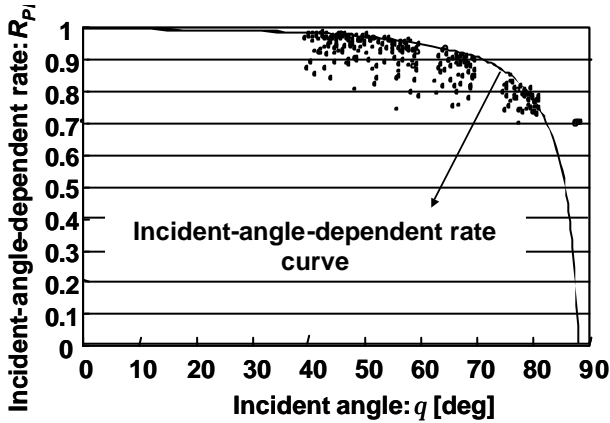


Figure 3: Monthly incident-angle-dependent rate

#### 4.2 1 時間値の損失量算出モデル

1 ヶ月の損失算出モデルを用いて, 1 時間値データの損失量を求めていく。日陰・入射角依存性以外の損失に関しては, 1 時間値ごとに損失算出モデルがあるため, 前者の損失率とあわせ損失を分離していく。傾斜面日射量からシステム出力電力量までの間の損失量との関係をFigure 1 に示す。

##### 日陰による損失量

日陰による損失量  $I_{HS}$  は直達成分のみであることを考慮し, 各時間の損失率  $r_{HS}$  と直達日射量  $h_{Ab}$  から式 (2) となる。

$$I_{HS} = (h_{Ab} \cdot P_{AS}) \cdot (1 - r_{HS}) \quad \dots(2)$$

##### 入射角依存性による損失量

入射角依存による損失量  $I_{PI}$  は, 直達成分  $I_{PIb}$  と, 散乱成分  $I_{PId}$ , 反射成分  $I_{PIr}$  をそれぞれの式で求める。直達成分は, 日陰損失があることを考慮し, 時間値に対応する入射角  $q$  から求めた損失率  $r_{PIb}$  と  $I_{HS}$  を用いて式 (3) となる。散乱成分・反射成分に関しては, アレイ傾斜角によって, 損失

率に対応した角度を決定することができる[8]。それぞれの関係は, 式 (6), (7) を用いて Figure 4 に示される。 $q_{ed}$ ,  $q_e$  に対応した損失率  $r_{PId}$ ,  $r_{PIr}$  を用いて, 式 (4), (5) より損失量を求める。全ての和が入射角依存性損失量となる。

$$I_{PIb} = (h_{Ab} \cdot P_{AS} - I_{HS}) \cdot (1 - r_{PIb}) \quad \dots(3)$$

$$I_{PId} = (h_{Ad} \cdot P_{AS}) \cdot (1 - r_{PId}) \quad \dots(4)$$

$$I_{PIr} = (h_{Ar} \cdot P_{AS}) \cdot (1 - r_{PIr}) \quad \dots(5)$$

$$q_{ed} = 59.7 - 0.1388 \cdot b + 0.001497 \cdot b^2 \quad \dots(6)$$

$$q_{er} = 90 - 0.5788 \cdot b + 0.002693 \cdot b^2 \quad \dots(7)$$

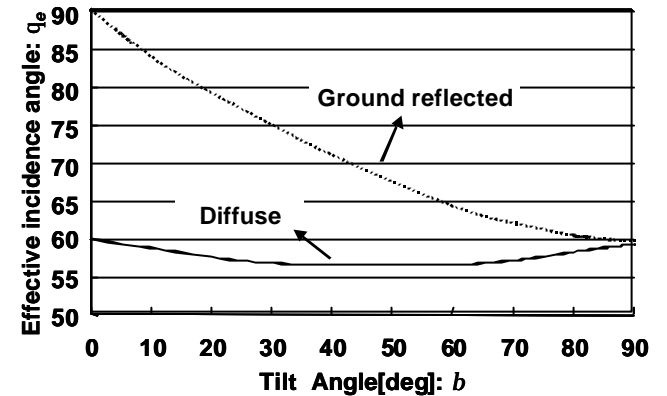


Figure 4: Effective incident-angle of diffuse and Ground reflected on tilt angle

##### 温度上昇による損失

温度上昇による損失量  $I_{PT}$  は, モジュール特有の温度係数:  $P_{max}$  を用いて, 式 (8) となる。ただし,  $I_{PT} < 0$  は, 低温によりゲインに働くことを示す。

$$I_{PT} = \left( \frac{a_{P_{max}} \cdot (25 - t_C)}{1 + a_{P_{max}} \cdot (t_C - 25)} \right) \cdot e_A \quad \dots(8)$$

##### 負荷整合による損失量

$h_A$  に対応する  $e_{IP}$  と  $e_{AT}$  の差は, 日陰・入射角依存性・負荷整合の損失であると仮定している。それぞれの損失量を用いて, 負荷整合による損失量  $I_{PM}$  は, 式 (9) となる。

$$I_{PM} = (e_{IP} - I_{HS} - I_{PI}) - e_{AT} \quad \dots(9)$$

##### 直流回路損失量

$e_{BP}$  と  $e_{IP}$  の差は, 直流回路の損失の影響であると仮定していたため,  $h_A$  に対応するそれぞれの値を用いて, 直流回路による損失量  $I_{PA}$  は, 式 (10) となる。

$$I_{PA} = e_{BP} - e_{IP} \quad \dots(10)$$

##### 汚れ・劣化・定格容量誤差などによる損失量

汚れ・劣化・定格容量誤差などの損失量  $I_{PO}$  に関しては,  $h_A$  に対応した  $e_{AS}$  と  $e_{BP}$  との差であるため, 式 (11) と表される。

$$I_{PO} = e_{AS} - e_{BP} \quad \dots(11)$$

### パワーコンディショナスタンバイ損失

低日射時には、アレイ出力が低いいため、インバータなどのパワーコンディショナが起動しない状態がある。これを、パワーコンディショナスタンバイ状態のために生じる損失と仮定する。アレイ面に到達するまでの損失量は考慮されるため、日陰損失量： $I_{HS}$ 、入射角依存性損失量： $I_{PI}$ と $e_{AS}$ とを用いて式(12)より求める。

$$\begin{aligned} h_A > 0 \text{ かつ } e_A = 0 & \quad I_{CS} = e_{AS} - I_{HS} - I_{PI} \\ h_A > 0 \text{ かつ } e_A > 0 & \quad I_{CS} = 0 \end{aligned} \quad \dots(12)$$

### インバータ効率による損失

インバータ効率による損失量 $I_C$ は、 $e_A$ と $e_P$ との差により式(13)より求める。

$$I_C = e_A - e_P \quad \dots(13)$$

## 5. NEDO フィールドテストの解析結果

日本品質保証機構(JQA)により、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)フィールドテスト(FT)事業(公共用)の計測データが纏められている。2000年1月から2000年12月までの69サイトの計測データをSVにより解析した結果をFigure 5に示す。

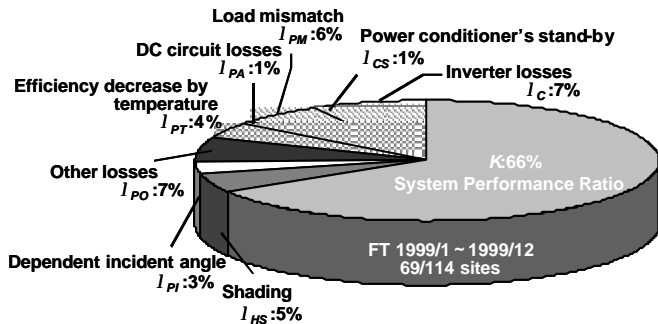


Figure 5: An evaluation result of FT data by the SV method

## 6. まとめ

本研究室で開発してきたSV法のこれまでの成果をまとめ、基本的モデルを改良し、更に入射角依存性・直流回路・パワーコンディショナスタンバイ損失の分離をおこなうことができた。

負荷整合や直流回路損失などの詳細については評価方法の妥当性未確認である。今後は、実システムによる実証実験により評価方法の妥当性を確認していく。また、推定データを用いた簡易評価方法の精度の向上を目指し、汎用性を更に高め、評価方法を確立させる。

## 謝辞

本研究に用いた計測データはNEDOフィールドテスト事業(公共用)において計測されたものをJAにより纏められたものである。関係機関の各位に深く感謝いたします。

## 記号

• $P_{AS}$	: システム定格	[kW]
• $a_{Pmax}$	: 温度係数	[W/°C]
• $H_A$	: 傾斜面全天日射量	[kWh/m <sup>2</sup> ]
• $H_{Ab}$	: 傾斜面直達日射量	[kWh/m <sup>2</sup> ]
• $H_{Ad}$	: 傾斜面散乱日射量	[kWh/m <sup>2</sup> ]
• $H_{Ar}$	: 傾斜面反射日射量	[kWh/m <sup>2</sup> ]
• $E_A$	: アレイ出力電力量	[kWh]
• $E_P$	: システム出力電力量	[kWh]
• $T_C$	: モジュール温度	[°C]
• $E_{AT}$	: 温度補正後アレイ出力電力量	[kWh]
• $E_{IP}$	: 理論アレイ出力電力量	[kWh]
• $E_{II}$	: 入射角依存性対応アレイ出力電力量	[kWh]
• $E_{AS}$	: 標準アレイ出力電力量	[kWh]
• $L_{HS}$	: 日陰損失量	[kWh]
• $L_{PI}$	: 入射角依存性損失量	[kWh]
• $L_{PI}$	: 入射角依存性損失量(直達成分)	[kWh]
• $L_{PI}$	: 入射角依存性損失量(散乱成分)	[kWh]
• $L_{PI}$	: 入射角依存性損失量(反射成分)	[kWh]
• $L_{PM}$	: 負荷整合損失量	[kWh]
• $L_{PT}$	: 温度による損失量	[kWh]
• $L_{PA}$	: 直流回路損失量	[kWh]
• $L_{PO}$	: その他の損失量	[kWh]
• $L_{CS}$	: パワーコンディショナスタンバイ損失量	[kWh]
• $L_C$	: インバータ損失量	[kWh]
• $R_{HS}$	: 日陰損失率	[-]
• $R_{PI}$	: 入射角依存性損失率	[-]
• $R_g$	: 散乱比	[-]
• $b$	: アレイ傾斜角	[deg]
• $q$	: 入射角	[deg]
• $q_{ed}$	: 入射角依存性対応角(散乱成分)	[deg]
• $q_{er}$	: 入射角依存性対応角(反射成分)	[deg]

## 参考文献

- [1] Kosuke KUROKAWA, "Realistic PV performance values obtained by a number of grid-connected systems in Japan" Energy Congress VI, 2000
- [2] Takashi OOZEKI, Kenji OTANI, Kousuke KUROKAWA, et al "The Evaluation method of PV systems", PVSEC12th, JEJU, KOREA, 11-15 June 2001
- [3] 赤坂 裕, 二宮 秀與ら "AMeDAS のデータを用いた時刻別日射量の推定法", 空気調和 衛生工学回論文集 No.39, 1989/2
- [4] Kosuke KUROKAWA, Daisuke UCHIDA Akihiko YAMAGUCHI, et al "Intensive Introduction of Residential PV Sstems And Their Monitoring by Citizen-Oriented Efforts in Japan", EUPVSEC 16th, Glasgow, May.1-5 2000
- [5] 湯川 元信ら: 太陽電池モジュール温度上昇の推定, T.IEE Japan, Vol116-B, No9, 1996
- [6] 西川 省吾: 「スタンドオフ方式アレイの太陽電池温度特性と空冷効果」太陽エネルギー日本太陽エネルギー学会 Vol.23, No.1 1997/1/31
- [7] 井澤 敏泰, 大関 崇, 黒川 浩助ら: 太陽光発電システム計測データの品質診断法, 太陽/風力エネルギー公演論文集(2001)
- [8] JOHN A. DUFFIE, WILLIAM A. BECKMA, "SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES Second Edition", p 227-p228, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC. 1991