

太陽光発電システム評価のための 最適計測手法の検討

学生員 〇杉山 尚 (東京農工大学)
会 員 大谷 謙仁 (電子技術総合研究所)
会 員 津田 泉 (電子技術総合研究所)
会 員 黒川 浩助 (東京農工大学)

Examination of Optimal Data Acquisition for Evaluation of PV Systems

Hisashi SUGIYAMA *, Izumi TUDA **

Kenji OTANI ** and Kosuke KUROKAWA *

* Tokyo University of Agriculture and Technology

** Electrotechnical Laboratory

Abstract

In this paper, the acquisition and evaluation of the data from PV systems are proposed. The data acquisition should be simple for reducing the cost of measurement devices. As the measurement items, hourly solar irradiation, hourly array generated energy, hourly PV system generated energy and mean PV module temperature were selected. The loss factors and evaluation parameters estimated with the measurement data of PV system are presented.

1. はじめに

太陽光発電システムは、普及が積極的に進められ、すでに多くの各種公共施設等にフィールドテストプラントとして設置されている。しかし、これらの計測および評価方法は、確立されていない。システムの計測・評価方法を確立することは、それぞれのシステムの地域性および運転特性を明らかにするだけでなく、システム的设计手法を確立するためにも重要である。

太陽光発電システムの計測においては、計測装置のコストおよびデータ保存の点から、より簡素化することが望ましい。そこで、必要最小限の計測データ項目の選定を行い、システム評価による検討を行った。

本報告では、評価対象を工業技術院つくば研究協力センター70kW太陽光発電システム⁽¹⁾とし、システム評価に1時間値の計測量を用いる。その項目は、積算傾斜面日射量、平均モジュール温度、積算太陽電池出力電力量、

積算システム出力電力量として、計測手法の妥当性を検討した。さらに、これらの計測データからシステムの効率を低減させる、損失因子を推定した結果を報告する。

2. 計測項目・計測量の一般化

2.1. 計測項目⁽¹⁾

計測・評価基準を確立するには、計測方法を簡素化し、一般的にすべきである。したがって、本研究では、計測項目を選定し、太陽光発電システムの評価方法を検討した。図1には簡素化した計測項目と計測点を示す。

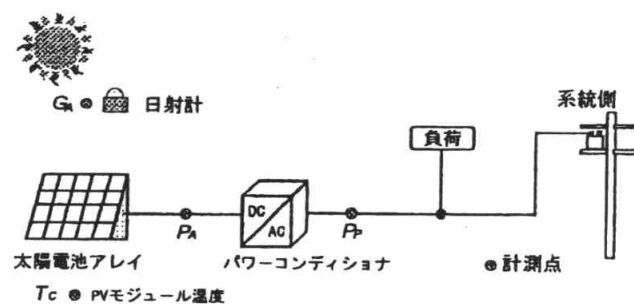


図1 計測点とシステム構成図

G_A	傾斜面日射強度	kWm^{-2}
T_C	PVモジュール温度	$^{\circ}\text{C}$
P_A	太陽電池出力電力(DC)	kW
P_P	太陽光発電システム出力電力(AC)	kW

2.2. 計測量

実際に記録される計測データは、1分値では、膨大な量となり、1時間積算・平均値にして記録する場合が多い。本研究では、計測値を1時間値の計測量として、システムの評価方法を検討することにより、1時間値計測手法の妥当性の確認を行った。以下に計測量を示す。

H_A	時積算傾斜面日射量	kWhm^{-2}
T_C	平均PVモジュール温度 (1時間)	$^{\circ}\text{C}$
E_A	時積算太陽電池出力電力量(DC)	kWh
E_P	時積算太陽光発電システム出力電力量(AC)	kWh

3. 評価方法

3.1. システムの損失因子⁽²⁾

太陽光発電システムの評価においては、日射変動、外気温などの気象条件およびインバータ効率、さらには周囲の建造物などの影の影響を考慮し、システム効率を低減させる損失因子を明らかにすることが重要である。主要な損失因子を以下に示す。

- ①影の影響による損失
- ②温度上昇によるモジュール効率低下による損失
- ③最大電力点追尾制御のミスマッチによる損失
- ④入力電力減少によるインバータ効率の低下

これらの損失因子を2章で示した計測量から推定するために、特性パラメータを定義し、システムを評価する。

3.2. 特性パラメータの定義式

図2は、特性パラメータの推定に用いた特性パラメータ推定モデルの概念図である。以下に定義式を示す。

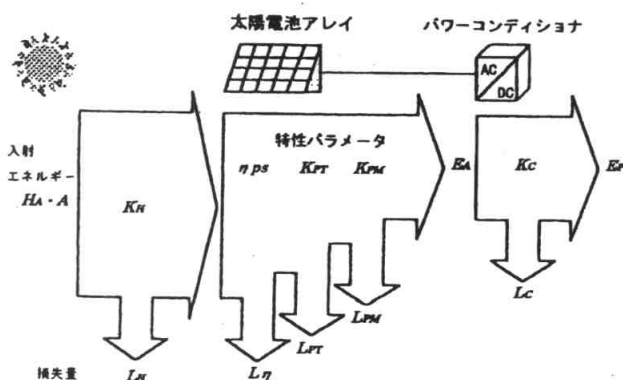


図2 特性パラメータ推定モデルの概念図

【1時間値における特性パラメータ】

$$K = \frac{E_P}{H_A \cdot A \cdot \eta_{PS}} = K_H \cdot K_{PT} \cdot K_{PM} \cdot K_C \quad (1)$$

$$K_C = \frac{E_P}{E_A} \quad (2)$$

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax}(T_C - T_S) \quad (3)$$

$$K_H = \frac{E_A}{H_A \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{PT} \cdot K_{PM}} \quad (4)$$

【1日における特性パラメータ】

$$K_D = \frac{E_{PD}}{H_{AD} \cdot A \cdot \eta_{PS}} = K_{HD} \cdot K_{PTD} \cdot K_{PMD} \cdot K_{CD} \quad (5)$$

$$K_{CD} = \frac{E_{PD}}{E_{AD}} \quad (6)$$

$$K_{PTD} = 1 + \alpha_{Pmax}(T_{CD} - T_S) \quad (7)$$

$$K_{HD} = \frac{E_{AD}}{H_{AD} \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{PTD} \cdot K_{PMD}} \quad (8)$$

ただし、一日における特性パラメータ算出においては、次式で計測量を日積算する。(Σは日積算を示す)

$$H_{AD} = \sum H_A \quad (9)$$

$$E_{AD} = \sum E_A \quad (10)$$

$$E_{PD} = \sum E_P \quad (11)$$

ここに、(ただし添字のDは、1日を示す)

K, K_D システム出力係数

K_H, K_{HD} 日影補正係数

K_{PT}, K_{PTD} 温度補正係数

K_{PM}, K_{PMD} Pmax 制御ミスマッチ補正係数

K_C, K_{CD} インバータ出力補正係数

H_{AD} 日積算傾斜面日射量 $\text{kWhm}^{-2}/\text{day}$

E_{AD} 日積算太陽電池出力電力量 kWh/day

E_{PD} 日積算システム出力電力量 kWh/day

T_C, T_{CD} 平均PVモジュール温度 $^{\circ}\text{C}$

T_S 標準状態のPVモジュール温度 25°C

t_D 1日の日照時間 h

以下の $\eta_{PS}, \alpha_{Pmax}, A$ は、70Kw システムのパラメータで、

η_{PS} 標準状態のPVモジュール効率 13.7%

α_{Pmax} PVモジュール最大出力の温度係数 $-0.5\%/^{\circ}\text{C}$

A PVアレイ面積 525.55m^2 である。

3.3. Pmax 制御ミスマッチ補正係数の推定方法

特性パラメータ算出には、影の影響と Pmax 制御のミスマッチの影響を分離する必要がある。その方法を以下に述べる。夏期の影の影響のない1995年8月のデータを用いれば、 $K_H=1$ であるから、式(4)は、

$$K_{PM} = \frac{E_A}{H_A \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{PT}} \quad (12)$$

となり、 K_{PM} が算出できる。 K_{PM} と H_A の特性曲線を図3に示す。

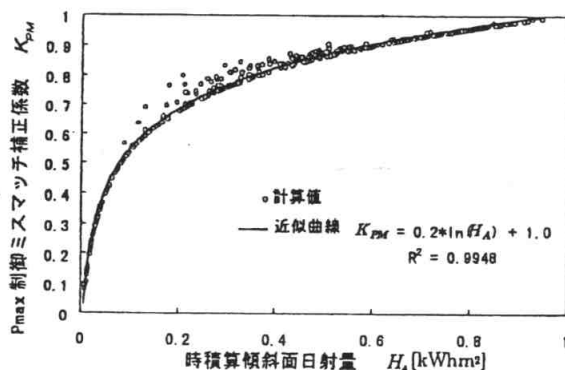


図3 $K_{PM} - H_A$ 特性曲線

この特性曲線を指数関数により近似すると推定式(13)が得られる。

$$K_{PM} = 1 + a \cdot \ln(H_A) \quad (13)$$

ここで定数 $a=0.2$ である。この推定式を用いて、時積算日射量 H_A における P_{max} 制御ミスマッチ補正係数 K_{PM} を算出する。1日における P_{max} 制御ミスマッチ補正係数も同様の推定式で近似し、 K_{PMD} を算出するには、日積算日射量 H_{AD} を日照時間 t_D で平均して算出する。定義式を式(14)に示す。

$$K_{PMD} = 1 + a \cdot \ln\left(\frac{H_{AD}}{t_D}\right) \quad (14)$$

3.4 損失量の定義式⁽⁹⁾

式(1)～(14)に示した定義式から、システム損失を入射エネルギー $H_A \cdot A$ に対する損失量として次式より算出する。1日および1時間値ともに同様の式で定義できる。(ただし、 (D) は日積算値および時積算値ともに同様の式であることを示す)

$$L_{H(D)} = H_{A(D)} \cdot A \cdot (1 - K_{H(D)}) \quad (15)$$

$$L_{PT(D)} = H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{H(D)} \cdot (1 - K_{PT(D)}) \quad (16)$$

$$L_{PM(D)} = H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{H(D)} \cdot K_{PT(D)} \cdot (1 - K_{PM(D)}) \quad (17)$$

$$L_{C(D)} = H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS} \cdot K_{H(D)} \cdot K_{PT(D)} \cdot K_{PM(D)} \cdot (1 - K_{C(D)}) \quad (18)$$

ここに、

L_H, L_{HD}	影による損失	kWh, kWh/day
L_{PT}, L_{PTD}	温度上昇による効率低下分の損失	kWh, kWh/day
L_{PM}, L_{PMD}	P_{max} ミスマッチ損失	kWh, kWh/day
L_C, L_{CD}	インバータ損失	kWh, kWh/day

3.5 システム出力係数を低減させる損失因子の割合

式(1)および式(5)により算出される、システム出力係数 K, K_D は、システムの運転特性を評価する重要なパラメータである。システム出力係数を低減させる要因は3.5節で示した損失量であるが、その割合を示すパラメータとして以下の式を定義する。これらのパラメータを算出することにより、システム出力係数を低減させる主要因の割合を明確にできる。定義式は以下の通りである。

$$R_{H(D)} = \frac{L_{H(D)}}{H_{A(D)} \cdot A} \quad (19)$$

$$R_{PT(D)} = \frac{L_{PT(D)}}{H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS}} \quad (20)$$

$$R_{PM(D)} = \frac{L_{PM(D)}}{H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS}} \quad (21)$$

$$R_{C(D)} = \frac{L_{C(D)}}{H_{A(D)} \cdot A \cdot \eta_{PS}} \quad (22)$$

ここで、次式が成り立つ。

$$R_{H(D)} + R_{PT(D)} + R_{PM(D)} + R_{C(D)} + K_{(D)} = 1 \quad (23)$$

それぞれは、システム出力係数 K, K_D を低減させる割合を示し、

R_H, R_{HD}	影の影響による割合
R_{PT}, R_{PTD}	PV モジュール温度上昇の影響による割合
R_{PM}, R_{PMD}	P_{max} 制御ミスマッチによる割合
R_C, R_{CD}	インバータ損失による割合

である。本報告では、式(19)～(22)の割合とシステム出力係数 K, K_D により研究協力センター70kW 太陽光発電システムの運転特性評価を行った。

4. 結果

研究協力センター70kW 太陽光発電システムの運転データの1時間積算値、平均値から推定した、1日における損失因子の割合の時間変動を図4および図5に示す。

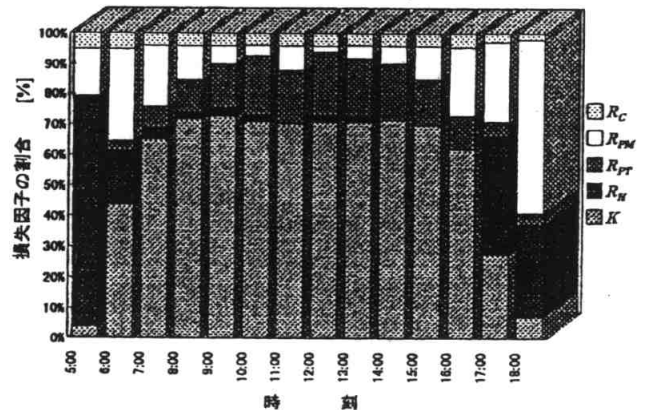


図4 損失因子の割合の時間変動 (1995. 8. 1)

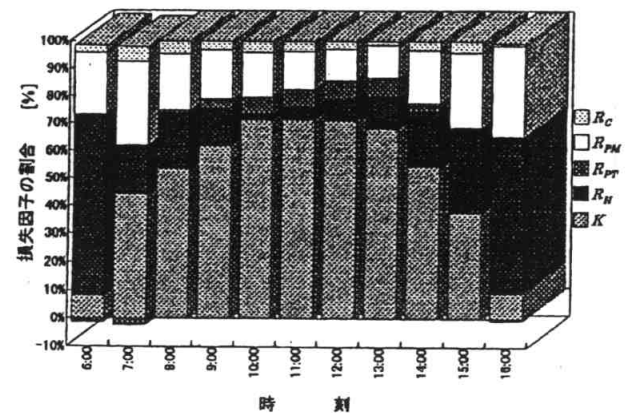


図5 損失因子の割合の時間変動 (1995. 11. 1)

図4は、1995年8月1日における推定結果である。この結果からわかるように、日中における温度上昇によるモジュール効率の低下の影響は大きく、システム出力係数を約20%低減させている要因であると推定できる。

また、図5は、1995年11月1日における推定結果を示し、8月1日の推定結果に比べて、温度上昇の影響はほとんど見られないが、影による影響が大きいことが

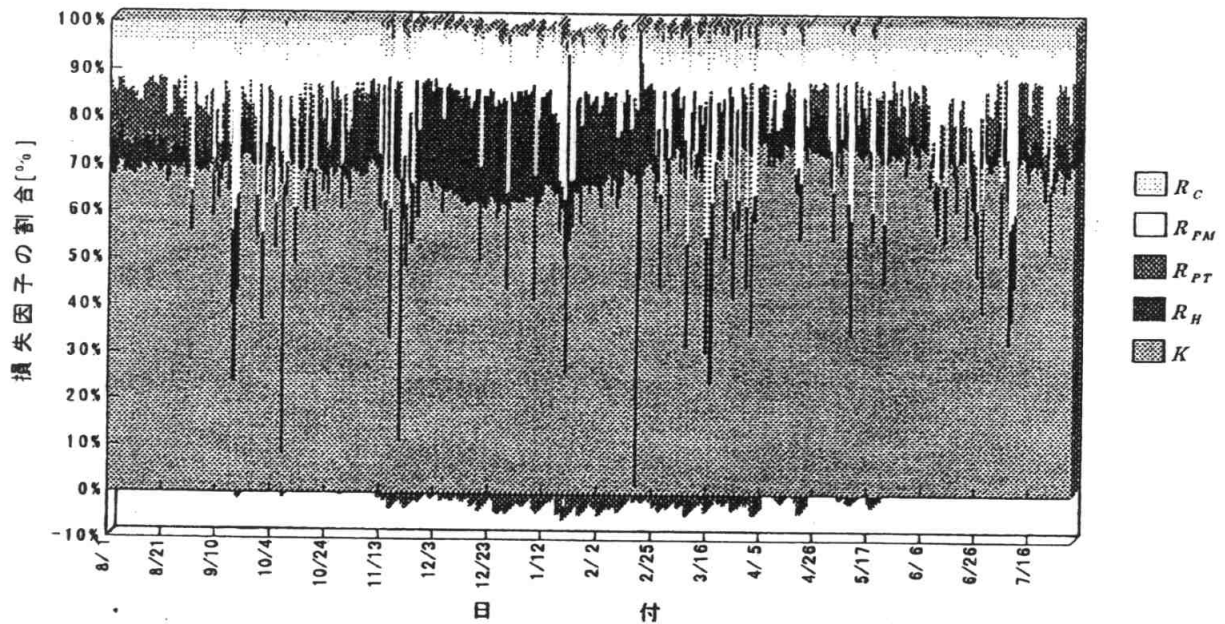


図6 損失因子の割合の年間変動

分かる。この推定結果は、アレイ面を観察した結果、松林の影の影響と同一傾向を示しており、推定結果が、実際の運転特性と一致していることを確認している。このように、本研究の評価方法によれば、1日における損失因子の割合の時間変動を4項目の1時間積算値・平均値の計測量から明確に推定できる。

図6に1995年8月から1996年7月における、1年間のシステム損失の割合を推定した結果を示す。図からわかるように夏期においては温度上昇によるモジュール効率の低下の影響が大きく、冬期には、モジュール温度が標準状態のモジュール温度より低下しているため効率が良くなっている。また、松林の影の影響は、夏期から冬期かけて増加し、冬期から春季にかけては減少していることを明らかにした。

システム出力係数 K は、年間を通じて見ると冬期において低下している。この原因が、影の影響であることは、図からも明らかである。

年間におけるシステム出力係数 K と損失因子の割合 R_H, R_{PT}, R_{PM}, R_C の平均値を算出した結果を表1に示す。

表1 損失因子の割合とシステム出力係数の年間平均値

パラメーター	年平均
システム出力係数 K	65.5 %
影の影響による損失の割合 R_H	13.2 %
温度上昇によるモジュール効率低下の割合 R_{PT}	2.5 %
Pmax 制御のミスマッチ損失による割合 R_{PM}	14.7 %
インバータ損失による割合 R_C	4.1 %

表1より研究協力センター70kW 太陽光発電システムにおける、年間平均のシステム出力係数を65%に低減させる主要因は、影の影響とミスマッチ損失である

と推定できる。

また、研究協力センター70kW システム⁽²⁾においては、現在、1分値データ、21計測点での計測をしており、今回、提案する1時間積算値・平均値、4項目での計測を行った場合、30日間のデータ保存量は、3974.4KB から17.3KB まで少なくなり、計測システムも簡素化できる。

5. おわりに

本研究では、太陽光発電システムの評価方法の観点から、計測手法の最適化を検討した。計測量は1時間値を用いて、項目は積算傾斜面日射量、平均PVモジュール温度、積算太陽電池出力電力量、積算システム出力電力量と簡素化した。その計測量からシステム評価を行った結果、十分な評価結果が得られ、今回提案した計測手法の妥当性を証明できた。本報告で述べた計測・評価方法を用いれば、簡素化された計測により、システム効率の低減となる損失因子を推定できる。今後は、平均気温などからモジュール温度の推定式を考察し、さらに一般化を進める予定である。

参考文献

- (1) 杉山、黒川他「筑波研究協力センター70kW 太陽光発電システムとその運転特性評価」平成7年度日本太陽エネルギー学会講演論文集 (1995), 21
- (2) 黒川、若松「太陽光発電システム設計ガイドブック」オーム社 (1993), 43
- (3) 杉山、黒川他「太陽光発電運転データからの損失因子・特性パラメータの推定方法」平成8年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集 (1995), 357