

# 太陽光発電システムにおける アレイ面方位角の推定手法

学生員 ○ 植田 譲 (東京農工大学)  
会員 黒川 浩助 (東京農工大学)  
北村 清之 (明電舎)  
横田 昌治 (関電工)

学生員 大関 崇 (東京農工大学)  
伊藤 孝充 (明電舎)  
宮本 裕介 (関電工)  
会員 杉原 裕征 (関電工)

## Method of array azimuth estimation in PV systems

Yuzuru UEDA\*, Takashi OOZEKI\*, Kosuke KUROKAWA\*,  
Takamitsu ITOU\*\*, Kiyoyuki KITAMURA\*\*,  
Yusuke MIYAMOTO\*\*\*, Masaharu YOKOTA\*\*\*  
and Hiroyuki SUGIHARA\*\*\*

\* Tokyo University of Agriculture and Technology  
2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588 Japan  
Phone/Fax: +81-42-388-7445 e-mail: yzrueda@cc.tuat.ac.jp

\*\* MEIDENSHA CORPORATION

\*\*\* KANDENKO CO., LTD.

## ABSTRACT

The azimuth of the PV system is necessary to evaluate the system's performance, however, information provided from the installation data of the residential PV systems is not enough accurate in term of the detail system performance analysis. This paper describes the method to estimate the array azimuth using PV array output data and solar irradiance data. Delta ratio was defined as a number to select the data. Correlation coefficient between the array output and direct solar irradiance was used to estimate the azimuth. Results of the estimation were compared with the actual measured data. Accuracy of the results was sufficient to the system's performance analysis.

キーワード: 太陽光発電システム, 方位角, 変動比

Keywords: PV system, Azimuth, Delta ratio

## 1. はじめに

住宅用太陽光発電システム(PVシステム)の普及拡大に伴い、様々な設置形態のシステムが広く導入されるようになった。システム運転特性の評価においても、システム利用効率の低下を招く様々な要因に対して、より高精度な解析が求められている。本研究では「集中連系型太陽光発電システム実証研究」(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 平成14年度~平成18年度)<sup>(1)</sup>の一環として、局所集中的に導入された住宅用PVシステムの運転特性を Sophisticated Verification 法(SV法)<sup>(2)</sup>を用いて解析しており、従来のSV法における一時間値ベースの解析から、より高精度な解析を目的として一分値ベースでの解析手法を開発中である。<sup>(3)</sup>

一方、PVシステムの運転特性の解析には、一般的にアレイ面方位角の情報が不可欠であるが、実際に設置されている住宅用PVシステムでは、必ずしも正確な方位角が計測されているとは限らず、南、東、西等のおおまかな方位のみ把握されている場合も多い。このようなアレイ面方位角情報と実際の方位角のずれは、一分値を用いた解析においては、誤差の原因となってしまうと考えられるが、実際に住宅の屋根等に設置されたアレイ面方位角を、全てのPVシステムに渡って正確に測定する事は困難である。そこで、本研究では一分周期で計測された日射データとPVシステムの出力データを用いてアレイ面の方位角を推定する手法を開発した。

## 2. 方位角推定

PVシステムでは、太陽電池セルで発電してからパワーコンディショナ(PCS)で商用周波数に変換して電力を得るまでの過程で様々な損失を生じる。(Fig. 1)

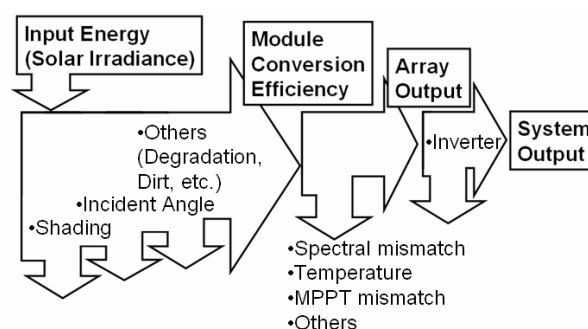


Fig.1 Loss factors

しかし、それらの損失が極小である時には、アレイ出力はアレイ面日射強度とほぼ比例関係になると考えられる。本手法では、様々な損失のうち、モジュール温度上昇による損失、最大出力追従制御ずれ損失(MPPTミスマッチ損失)、PCS定格容量不足損失、出力抑制機能による損失に着目し、これらの損失を取り除いた後に得られる損失が極小であるデータのみを用いて、ア

レイ出力とアレイ面日射強度の相関係数が最大となる方位角を計算により導き出す事でアレイ面方位角を推定する。

方位角の推定は、代表サイトにて実測されたモジュール温度を用いてアレイ出力を温度補正する事から始まり、温度補正後のアレイ出力と直達日射強度は、一日ごとの変動量を求める事により快晴日のみ抽出される。快晴日データとして抽出された個別の一分値は、さらに複数の損失除去フィルタに通され、最終的に得られた極小損失データのみが方位角推定に用いられる。この、一連の流れを Fig. 2 に示した。

なお、本論文における方位角は南を 0deg とし、東向きを-90deg, 西向きを 90deg としている。また、任意の方位角における任意の傾斜面での日射強度は、水平面全天日射強度と直達日射強度を用いて、Perez<sup>(4)</sup>らにより報告されているモデルにより推定を行った。

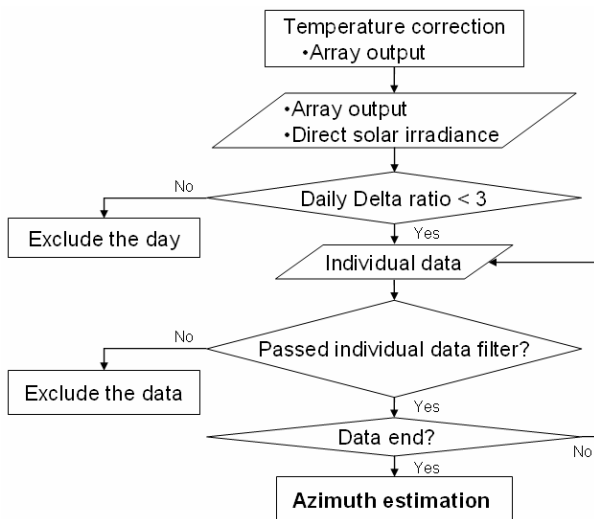


Fig.2 Azimuth estimation flowchart

## 2.1 快晴日の抽出

雲の影響などで日射強度が急変したり、部分的に陰ができる事による損失を取り除くため、アレイ出力と直達日射強度の変動量により快晴日を抽出した。ここで、直達日射強度を選んだのは直達日射強度の変動がもっとも雲の影響を捉えやすいからであるが、直達日射強度が計測されていない時は全天日射強度で代用する事も可能である。

本手法ではまず、一分周期で計測されたデータを用いて、一日の最大値を上位 10 個のデータを平均する事により求め、これを  $\Delta_{max}$  とする。また、各データが 1 分前に対してどれだけ変動したか ( $\Delta n$ ) を計算し、この変動量の絶対値の日積算  $\sum |\Delta n|$  を得る。(Fig. 3) 理想的な快晴日であれば、最大値の 2 倍と日積算変動量は一致するはずである。そこで、(1)式に示すように、

日積算変動量  $\sum |\Delta n|$  を平均最大値  $\Delta_{max}$  の 2 倍で除した値をその日における変動比 ( $\Delta_{ratio}$ ) とし、この値により快晴日を抽出した。

$$\Delta_{ratio} = (\sum |\Delta n|) / (2 * \Delta_{max}) \quad \dots (1)$$

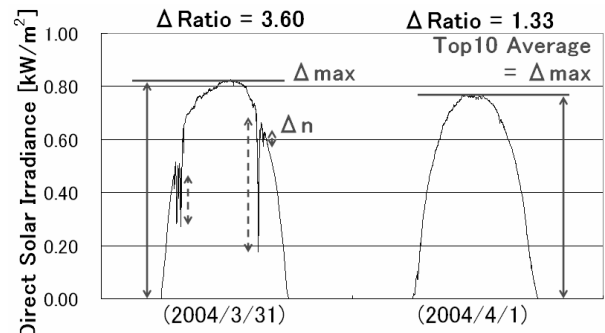


Fig.3 Example of Delta-ratio

変動比は一日の変動量をその日における最大値に対する相対値として表すため、1 であれば理想的な快晴日となり、変動が多いほど大きな値となる。これまでの解析より、快晴日判定の変動比の閾値は 3~6 程度が妥当であるが、今回の解析では 3 とした。この閾値は、利用可能なデータ数を増やすためと、以下に述べるフィルタリングにより、さらなる極小損失データの抽出が可能なる事から、ある程度の曖昧さを含んだ値である。

また、曇天日等、低日射強度で変動の少ない日を取り除くため、平均最大値  $\Delta_{max}$  が 0.7 [kW/m²] 以上の日のみを快晴日として採用する事とした。

同じ事をアレイ出力に対しても行い、両方の変動比が共に 3 以下の日を快晴日と判定した。また、アレイ出力の  $\Delta_{max}$  の下限は 1 [kW] とした。

## 2.2 その他の損失に対する個別データフィルタ

変動比より抽出した快晴日データは、個々の一分値においては、PCS の MPPT ミスマッチ損失や出力抑制機能による損失などを含んでいる可能性がある。これらのデータを取り除くため、以下の条件でデータをフィルタリングした。

- PCS が ON である事 (PCS 出力電流 0.1 [A] 以上 and 出力電圧 90 [V] 以上)
- PCS の出力抑制機能が働いていない事 (PCS 出力電圧 107 [V] 以下)
- 毎分の全天日射量の変動量が 0.03 [kW/m²] 以下
- 毎分のアレイ出力の変動量が 0.03 [kW] 以下
- 2 分前~5 分前の変動量が基準値のそれぞれ 2~5 倍以下
- 0 点付近の計測ノイズを除外 (全天日射強度 0.01 [kW/m²] 以上 and アレイ出力 0.01 [kW] 以上)

### 2.3 方位角の推定

以上で述べた手法により抽出したデータを用いて、方位角をパラメータとして傾斜面日射強度を計算し、各方位角での推定傾斜面日射強度とアレイ出力との相関係数をグラフ上にプロットする。相関係数が最大となる方位角が推定方位角である。

## 3. 結果

### 3.1 評価サイト

今回の解析では A, B, C の 3 ヶ所をサンプルとして用いた。それぞれのサイトのアレイ定格容量, PCS 定格容量, 傾斜角は Table. 1 のようになっており, 方位角情報は全サイトとも南である。

Table.1 Site information

	A	B	C
Array Capacity [kW]	4.5	3.6	4.0
PCS Capacity [kW]	4.0	3.3	4.0
Tilt angle [deg]	45.0	33.7	5.0
Azimuth	South	South	South

### 3.2 快晴日の抽出結果

Fig. 4 に, 2004 年 3 月 27 日から 4 月 2 日までの間に群馬県太田市で計測された直達日射強度と, それぞれの日の変動比を示す。このグラフからも分かる通り, 変動比を用いる事により, 簡易的に快晴日を判定する事が可能となる。

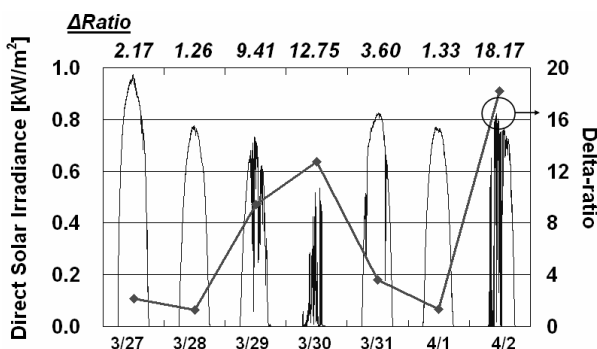


Fig.4 Relation between the fluctuation of direct solar irradiance and Delta-ratio

### 3.3 個別データフィルタリング結果

変動比より快晴日を抽出し, 個別データフィルタを通す事により, Fig. 5 に示すデータから Fig. 6 の様なデータセットを得る。これらのグラフは横軸にアレイ面日射強度, 縦軸にアレイ出力を取ったもので, 方位角はサイト情報である南(0deg)を用いている。(サイト B: 計測期間 2004 年 6 月 13 日~7 月 2 日)

Fig. 5 において, 左上側にアレイ定格出力を超えてはばらついている点が見られるが, これは日射計測サイト

と PV システムとの距離が 200m 程度離れていることが原因であると考えられる。(日射計は雲による日陰に入っているが PV システムは陰に入っていないような時のデータ) このようなデータはフィルタリング後 (Fig. 6) では上手く取り除かれている事が分かる。

また, Fig. 6 において, 上側のデータは午前中の計測点, 下側のデータは午後の計測点となっている。サイト B はサイト情報である南(方位角 0deg)に対して東向きに方位角がずれている為, 午前中は推定アレイ面日射量よりも多く日射を受けており, 午後は逆に少ないため, このような傾向を示すと考えられる。

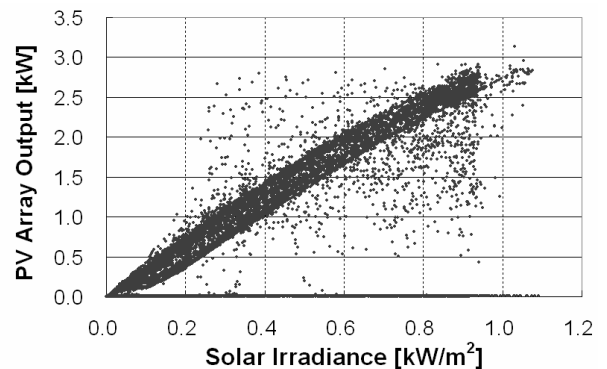


Fig.5 Data set before filtering

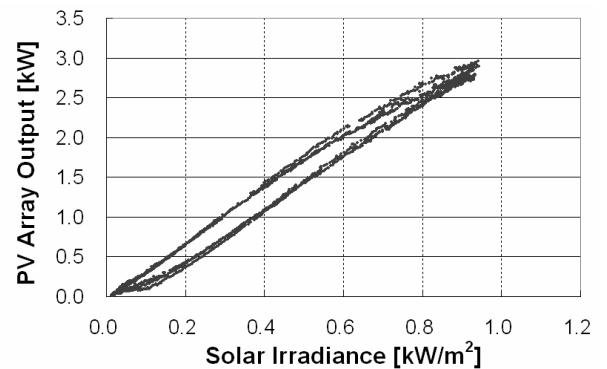


Fig.6 Data set after filtering

### 3.4 方位角推定結果

Fig. 7 に方位角推定結果を, Fig. 8 に, サイト B の推定方位角である -8deg を用いて, 抽出データの傾斜面日射強度を計算した時の結果を示した。このグラフに見られるように, 推定方位角を用いる事により, 午前と午後の差がなくなり, 日射とアレイ出力はほぼ比例関係となる。

## 4. 結果の妥当性の検証

推定された方位角の妥当性を検証する為, 現地にて方位角調査を行った。調査は方位磁石による簡易的な確認の他, GPS を用いて移動方向の方位を検出する方式と, 日付時刻から太陽の位置を計算し, 日陰の向き

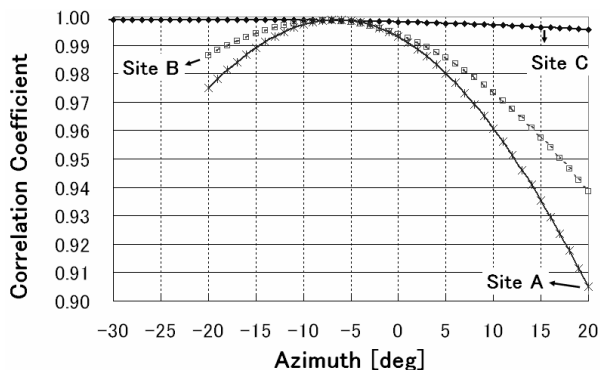


Fig.7 Correlation coefficient between PV array output and solar irradiance as a function of azimuth

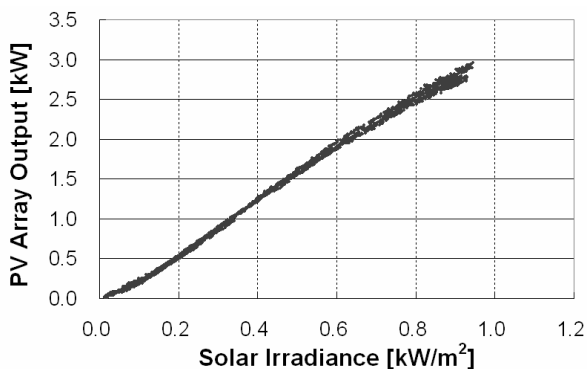


Fig.8 Data set with estimated azimuth

から方位を求める方法を行った。なお、磁石による方位計測では偏角 7degW とした。推定方位角と現地調査結果を Table. 2 に示す。現地にて調査した方位角はそれぞれ 3~5 回程度の計測の平均値より算出したものであり、それぞれ 2deg 程度のばらつきがあった。

Table. 2 より、方位角推定精度はアレイ面傾斜角が大きいほど良くなり、アレイ面が水平に近づくほど低くなる傾向が見られるが、この傾向は、Fig. 7 に見られるように、方位角を変化させた時の相関係数の変化量に起因していると考えられる。傾斜角が 5deg であるサイト C では方位角を推定値に対して 20deg 変化させても相関係数は 0.997 以上であり明確なピークを持たないが、45deg の傾斜角であるサイト A では、相関係数が 0.997 を超えているのは -3deg から -10deg の間であり、それ以上ずれた場合には急速に相関係数の値は低下している。

Fig. 9 には、サイト C における推定方位角である -20deg を用いたデータと、実測方位角である -24deg を用いた時のデータを示した。これらのデータはほぼ一致しており、傾斜角が小さい場合は(水平に近い場合)方位角ずれによる解析誤差も小さいと考えられる。

つまり、傾斜角が小さいと方位角推定精度は落ちるが、解析への方位角ずれの影響も少なくなり、逆に傾

Table.2 Comparison of estimated azimuth and measured azimuth

[deg]	Site A	Site B	Site C
Estimated Azimuth	-8	-8	-20
Compass	-5	-5	
GPS			-23
Solar Azimuth	-5	-5	-24
Tilt Angle	45	33.7	5

\* -90deg = E, 0deg = S, 90deg = W

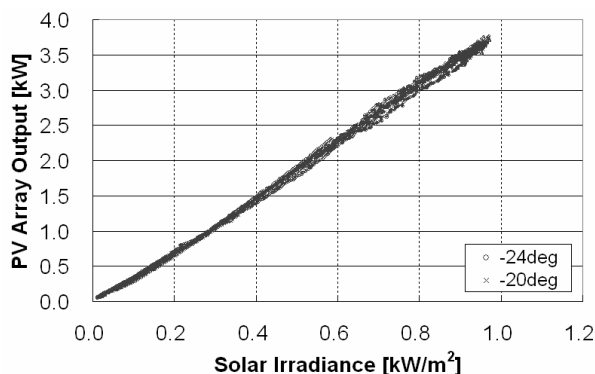


Fig.9 Site C, Azimuth = -24deg and -20deg

斜角が大きくなると方位角ずれの影響は大きくなるが、推定精度も同時に上がると考えられるため、結果的に全ての傾斜角に対して実用的な精度を持っていると考えられる。

## 5. まとめ

本論文では、太陽光発電システムの出力行データと日射データから、アレイ面方位角が推定できる事を示した。今後はサンプル数を増加させ、さらなる精度向上を目指して推定手法の改良を行っていく予定である。

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構による「集中連系型太陽光発電システム実証研究」のデータを用いて行ったものであり、関係者各位に感謝する。

## 参考文献

- (1) 榎岡電工, 平成 14 年度 NEDO 委託業務成果報告書「集中連系型太陽光発電システム実証研究」全般(2003 年)
- (2) 大関, 井澤, 大谷, 黒川: 「太陽光発電システム計測データを用いた評価方法」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 459-462 (2001 年)
- (3) 植田, 大関, 黒川, 伊藤, 北村, 宮本, 横田, 杉原: 「集中連系型太陽光発電システム実証研究におけるシステム運転性能の測定評価手法」, 電気学会 電力・エネルギー部門大会(2004 年)
- (4) R.Perez, et al. : " Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, Solar Energy Vol. 44, No. 5, pp. 271-289(1990)