# 地域内における集合日射の変動抑制効果

学生員	箕輪	純也	(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	作田	宏一	(電子技術総合研究所)
会 員	黒川	浩助	(東京農工大学)				

#### Equalizing effect of the fluctuation in areal irradiance

Junya MINOWA\*, Kenji OTANI\*\*, Izumi TSUDA\*\* Koichi SAKUTA\*\*, and Kosuke KUROKAWA\*, \*Tokyo University of Agriculture and Technogy \*\* Electrotechnical Laboratory E-mail: minowa@etl.go.jp

#### Abstract

Photovoltaic (PV) systems without battery have been considered to provide unsettled output because of irradiance fluctuation. Utility connected PV systems give rise to problems due to unsettled output to the grid. In this paper, the estimation method of irrdiance fluctuation are described. The fluctuation factor, numerical index of the fluctuation can be estimated everywhere by the method.

# 1.はじめに

現在、太陽光発電システムの普及促進政策のもと、 系統連系形 PV システムが積極的に導入されている。 多数の太陽光発電システムが電力系統に連系される と、不規則な出力電力による電圧変動・周波数変動 などの電力品質の悪化につながることが考えられる。 しかし、このような場合、各々の太陽光発電システ ムの出力電力の変動が雲移動による場合には、時間 的なずれが起こり、その変動が均される効果が期待 できる。この効果のため、太陽光発電システム全体 の発電特性は、電力系統内において、個々の太陽光 発電システムの場合よりも kW 価値が高く位置づけ ることが可能になる。その効果を明らかにするため には、地域内での日射を面的にとらえた日射変動を 知る必要がある。 本論文では、複数地点で計測した日射データを評 価対象として、日射強度を面的にとらえた場合の日 射変動の変動抑制効果(均し効果)を評価し、また、 これを多数地点に広げた場合の均し効果を、統計的 な推定を基に検討したので報告する。

# 2. 計測方法

評価対象としている日射データは、茨城県つくば 市に設置した9台の日射面特性計測装置により計測 した。この装置は、9台の端末局ユニットと基地局ユ ニットからなるシステムである。端末局ユニットの 計測データは、自動回収されるとともに基地局ユニ ットとの時計合わせも行う。日射データはサンプリ ング間隔1分の水平面日射強度である。図1に計測 地点の設置図を示す。



図1. 日射面特性計測装置の設置図

# 3.日射変動の定量化

日射変動を評価するために、日射の変動分だけを

対象とした。つまり、日射強度の絶対量から、区間 幅 *m* =13 の移動平均値の差分で処理をし、日射変動 成分を抽出した。そして、その標準偏差を日射変動 度と定義して定量化した。定義式を(1)(2)式に示す。

$$F_{i} = G_{i} - \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^{m} G_{i}$$
(1)

$$(F_i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (F_i - \overline{F_i})^2}$$
(2)

ここで、 $F_i$ :日射変動成分、 $G_i$ :日射強度データ、 m:移動平均区間幅、N:期間データ数、 $\overline{F_i}$ :日 射変動平均値である。

区間幅 *m* =13 の値は、遮断周波数が約 1/60 分<sup>-1</sup> の ローパスフィルタを施したことになる。データ期間 は、太陽光発電システムの kW 価値が問題となる時 間帯に着目し、以後、10 時から 14 時の期間を用いた。 図 2 に日射変動成分の抽出例を示す。



図2.日射変動成分の抽出例

## 4.日射変動度の推定

面的にとらえた日射の変動特性を 9 台の計測装置 の日射データにより評価しているが、仮に、太陽光 発電システムが n 個導入した場合の日射の変動特性 を評価することは、将来、太陽光発電システムの普 及に伴ってとても重要であると考える。そこで、評 価対象である 9 地点日射データから、統計的な手法 を用い、 n 地点平均の日射変動度を推定により求め る方法を考察した。

## <u>4.1 推定の考え方</u>

n 地点の任意地点おける日射変動データを確率変 数と考え F<sub>i</sub> (i = 1,2,...,n)と表す。また、2地点 平均データ A<sub>i</sub>を次のように定義する。  $A_{1} = \frac{F_{1} + F_{2}}{2}, A_{2} = \frac{F_{1} + F_{3}}{2}, \dots, A_{n(n-1)/2} = \frac{F_{n-1} + F_{n}}{2}$ よって、日射変動の分散をV(A<sub>i</sub>)と表すと、確率変数  $A_{i}$ とその総合した分散には次のような関係がある。  $V(A_{1} + \dots + A_{n(n-1)/2}) = \sum_{i=1}^{n(n-1)/2} V(A_{i}) + \sum_{\substack{i,j=1 \ (i\neq j)}}^{n(n-1)/2} COV(A_{i}, A_{j})$  (3) ここで、 $COV(A_{i}, A_{j})$ :  $A_{i}$ と $A_{j}$ の共分散である。 さらに、(3)式の左辺は、次のように表せる。  $V(A_{1} + \dots + A_{n(n-1)/2}) = \frac{(n-1)^{2}}{4} V(F_{1} + \dots + F_{n})$  (4) ところで、n地点平均した日射変動の分散は、  $V(\frac{F_{1} + F_{2} + \dots + F_{n}}{n})$ となり、これを変形して(4)式 を代入すると次式のようになる。  $V(\frac{F_{1} + \dots + F_{n}}{n}) = \frac{4}{\{n(n-1)\}^{2}} V(A_{1} + \dots + A_{n(n-1)/2})$  (5)

次に、(3)式の共分散の項について変形すると次式 のようになる。 <sup>n(n-1)/2</sup>

$$\sum_{i=1}^{n/2} COV(A_i, A_j) = \{(n-1)^2 - 1\} \sum_{i=1}^{n/2} V(A_i) - \frac{(n-1)^2 (n-2)}{4} \sum_{i=1}^{n} V(F_i)$$
(6)

ここで、任意地点における日射の変動は確率的に みて、すべての地点で同一であると仮定する。つま り、 $V(F_1) = ... = V(F_n) = V(F)$ とすれば、(6)式は 次の通りになる。

$$\sum_{\substack{j=1\\i\neq j}\\i\neq j}^{n-1/2} COV(A_i, A_j) = \{(n-1)^2 - 1\} \sum_{i=1}^{n(n-1)/2} V(A_i) - \frac{n(n-1)^2 (n-2)}{4} V(F)$$
(7)

従って、*n* 地点の日射変動度の推定式は、(3)(5)(7) 式 より次の通りになる。

$$\sqrt{V(\frac{F_1 + \dots + F_n}{n})} = \frac{2}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^{n(n-1)/2} V(A_i) - \frac{n(n-2)}{4} V(F)}$$
(8)

この推定式から、 n 地点平均の日射変動度は 2 地点 平均の日射変動の分散が推定できれば算出できると いうことになる。

## 4.2 日射変動の分散の推定法

(8)式より、2地点平均の日射変動の分散*V*(*A<sub>i</sub>*)を推 定することが可能ならば、太陽光発電システムが多 数導入された場合の変動抑制効果がわかると考えら れる。日射変動成分の分散の推定をするために、ま ずは2地点間の日射データから日射変動の分散つい て評価を行った。図3は2地点平均データの日射変 動の分散と計測地点間の距離の関係を示したもので ある。なお、後述に示す推定を行うために、距離0km における日射変動の分散の値で各分散の値を正規化 する処理をしている。典型例として5月29日と8月 19日の例をあげる。

両者を比較すると5月29日の方は、2地点を平均 しても距離が0km、つまり1地点の日射変動の分散 値とあまり変化はみられないが、地点間距離を長く すると少しずつではあるが分散が減衰する傾向があ る。一方、8月19日の方はわずか約1km付近でも日 射変動の分散が約1/2に減衰するのがわかる。つまり、 日射変動成分の分散は、値の大小はあるものの、距 離によって減衰していくという関係があるといえる。 この関係を(9)式の近似式により推定することにした。

 $v(A_i) = 0.5 \exp(-\frac{d}{-}) + 0.5$  (9)

ここで、v(A<sub>i</sub>):正規化した分散、d:地点間距離:分散減衰係数である。



最小自乗法によって(9)式の を求め2地点平均の 日射変動の分散V(Ai)を推定した。また、定数項は、 地点間距離が無限大ではその地点間の日射は独立の 関係になると仮定し、0.5と決定した。図3の実線は、

推定例を示す。この推定は、任意の位置にある太陽 光発電システム同士の距離を与えることによって、 日射変動の分散を求めるものである。

#### <u>4.3 推定精度の検証</u>

4.2節によって任意の地点間距離における日射変 動の分散*V(A)*の推定が可能となった。そこで、つく ば市の9地点の日射データでの日射変動度と推定に よって求めた日射変動度を比較した。図4は実測値 と推定値の比較を示している。期間は1995年10月1 日から1997年9月30日で10時から14時を用いて いる。実測値に対しての決定係数が0.992であり、よ い当てはまりを示している。従って、任意の地点間 距離で内挿・外挿が可能であろう。



## 5.多数地点における日射変動の評価

以上の結果を用いて、実際に太陽光発電システム を多数導入した場合、日射の変動抑制はどうなのか を調べた。太陽光発電システムが任意に導入される ことを想定して、あるエリア範囲にランダムに配置 することで任意の位置関係を与え、多数地点での日 射変動の評価を行った。用いたデータは、1995年10 月1日から1997年9月30日で10時から14時であ る。図5は日射変動度と累積日数の分布を示してい る。(a)の方は半径1kmのエリア範囲を設定し、(b) の方は半径3kmのエリア範囲を設定したものである。 単独での日射変動度の累積日数より、任意地点数を した場合の方が、日射変動度が低いところで累積日 数が増加している。これは、日射変動が激しいとき の均し効果がよく発揮されていることを意味してい る。また、エリア半径1kmよりも3kmのときの方が、 日射変動度が低い方に、より分布されており、導入 数だけでなく導入エリア範囲にも関係していること がわかる。





図 5.導入台数と日射変動度分布の関係

上述でエリア範囲が変動抑制に影響を及ぼすと述べ たが、結局は各システム間の連系距離が均し効果に 影響されると考えたので、システム間の平均連系距 離と均し効果について評価を試みた。用いたデータ は前節と同じである。図6は、横軸に平均連系距離 と前節の分散減衰係数の比を、縦軸に1から個別の 日射変動度と任意地点連系した日射変動度の比との 差をとったグラフである。この図からわかるとおり 平均連系距離が長い方が均し効果が得られるという ことが言える。従って、均し効果は、気象条件によ って変化する分散減衰係数と平均連系距離の比によ って決まり、また導入台数によって日射変動度の低 減割合の上限値( $1-1/\sqrt{n}$ )が決まってくるといえる。



図6.平均連系距離、分散減衰係数と日射変動度低減 の関係

## 6.おわりに

つくば市において複数地点で計測した日射データ を対象に、地域に太陽光発電システムが導入された 場合に期待できる総合発電特性として、日射変動の 抑制効果について検討した。本論文では、日射変動 の指標として日射変動度を定義し、それを基に太陽 光発電システムが多地点導入されたときの均し効果 について統計的な推定により考察した。その結果、 均し効果は、数キロのエリア半径でも得られ、導入 台数によってその効果の上限があるということが実 測データより明らかになった。さらに、太陽光発電 システム同士の連系距離と気象条件に影響されるこ とが明確になった。

#### 参考文献

- 1) 箕輪、大谷、黒川、「日射変動確率の分析」、平 成8年日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギ ー協会合同研究発表会、1996
- 2) 大谷、箕輪、黒川、「面的に広がった分散型太陽 光発電システムの集合的発電特性」、平成9年電気 学会部門大会、1997
- K. Kurokawa and K. Sugibuti: "Areal Power Generation Characteristics of Areally Distributed PV Systems",13th EU-PSEC,1995