

太陽光発電変動特性評価法の研究

学生員	川崎憲広 (東京農工大学)	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)		北村清之 (明電舎)
会 員	杉原裕征 (関電工)	会 員	西川省吾 (日本大学)
会 員	黒川浩助 (東京農工大学)		

An Evaluation Method of the Fluctuation Characteristics of Photovoltaic Systems by Using Frequency Analysis

Norihiro KAWASAKI*, Takashi OOZEKI*, Kenji OTANI**, Kiyoyuki KITAMURA*³, Hiroyuki SUGIHARA*⁴, Shogo NISHIKAWA*⁵, and Kosuke KUROKAWA*

*Tokyo University of Agriculture and Technology
2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588, JAPAN
Fax: +81-42-388-7445, E-mail: norihiro@cc.tuat.ac.jp

**National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), *³MEIDENSHA CORPORATION,

*⁴Kandenko Co., Ltd, *⁵Nihon University

ABSTRACT

PV systems have been considered to provide unsettled output because of irradiance fluctuation. Grid-connected PV systems give rise to problems due to unsettled output to the grid. However, when a large number of PV systems are installed in a certain area intensively, the output of the systems will be provided stably by the equalization of irradiance. This phenomenon is called "the smoothing effect". It is important for this phenomenon to demonstrate. In this paper, the separation method of PV output from total of power flow in a certain area is described.

キーワード： 集中連系 PV, ならし効果, ウェーブレット変換
Keywords : clustered grid-connected PV, smoothing effect, Wavelet transform

1. はじめに

太陽光発電(PV)システムはエネルギー・環境問題対策のために、2010年までに4.82 [GW]の導入目標量が掲げられており、PV2030 (2030年に向けた太陽光発電ロードマップ)^[1]によれば、2030年までの技術発展を想定したときの国内推定導入量は102 [GW]である。このようにPVシステムが急速に普及を拡大すると、配電システムに局所集中的に連系されること(集中連系)が予想される。この場合、PVからの逆潮流による電圧上昇に伴い、パワーコンディショナのもつ出力抑制機能による出力低減、出力変動による系統への影響が懸念され、さらなる普及拡大への足枷となってしまう可

能性がある。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO 技術開発機構)では、実証実験によりPVシステムの円滑かつ健全な普及拡大のための技術を開発するため、平成14年度から5年計画で「集中連系型太陽光発電システム実証研究」が開始された^[2]。本研究は、このプロジェクトの一環として行われており、地域発電特性における変動平滑化効果の分析評価を担当している。

2. 目的

ある地域内に多数台導入されているPVシステムでは、空間的な広がりをもつため、雲の移動による発電電力の小刻みな変動は各地点で時間的なずれが生じる。そのため、トータルの発電電力としては平滑化される現象が起きる。この効果を筆者らは「ならし効果」と呼んでいる。本研究では、ならし効果を定量的に評価する手法を開発することを目的として進めており、その手法の一例は報告済みである^[3]。これまでは、日射強度データのみを利用した検討であった。次の段階として、実際に連系したPVシステムと配電システムのデータを利用し、ならし効果を実証していく必要がある。

ある地域におけるPVシステム出力のならし効果を評価する場合、日射強度は空間的であるが、電力はそれに加えて、地域を繋げる電力系統網を考慮する必要がある。対象地区において、PVの変動が系統に与える影響を評価する場合、ある規模での系統の上位側、地域全体の電力の出入り口(サイト入口)における変動が重要になる。この点の電力の潮流には、PVや他の分散電源による逆潮流、負荷や蓄電池などの影響を含んでいる。純粹にPVシステムと面での出力の比較である、ならし効果を評価するためには、サイト入口に含まれるPVシステムの出力分を算出する必要がある。そこで、本報告では、様々な変動要因を含むサイト入口のデータから全体のPVシ

システムの出力分を分離手法の開発を目的とした。

3. 実証地区の計測

データの計測は、実証試験地区である群馬県太田市の新興住宅団地「Pal Town 城西の杜」で行われており、現在ではおよそ 200 台の住宅用 PV システムが運転している。

計測項目は、大別すると「周囲環境」、「PV・住宅」、「系統」となり、以下のとおりである。

(1) 周囲環境

日射強度（全天，散乱）， 気温， 風速， 風向

(2) PV・住宅

PV アレイ出力電圧・電流， モジュール裏面温度，
蓄電池端子電圧・電流， PCS 出力電圧・電流，
受電電圧・電流

(3) 系統

高圧側（サイト入口）電圧・電流， 低圧側電圧・電流

これらの計測項目は、1 秒周期で計測されている。

また、実証地区内の住宅において、ほぼ全てについて計測が行われるが、PV を設置していない住宅などの一部で計測できない箇所が存在する。

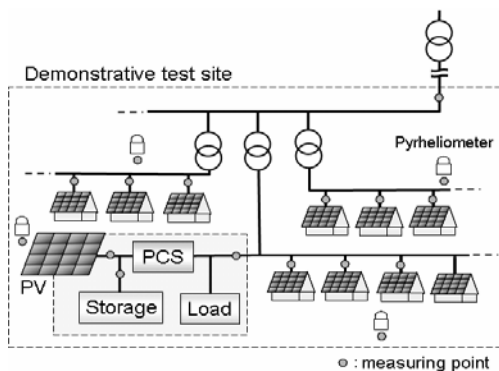


Fig1. Measuring points

4. 分離手法

系統連系型 PV システムのエネルギーフローは Fig2 のようになっており、系統の電力は負荷と PV システムの関係によって決まる。

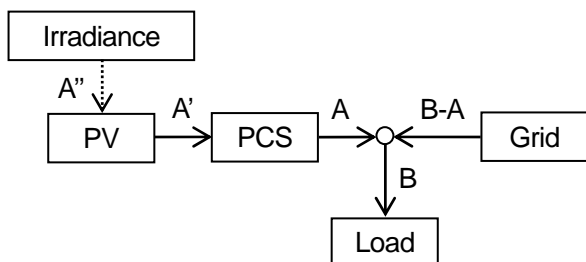


Fig2. Energy flow of grid-connected PV system

本報告では、サイト入口から PV システムの出力変動を同じ周波数帯毎に取り出すため、ウェーブレット変換を用いた分離手法を検討している。今回は、PV と負荷の電力は相関が弱いと仮定している。

提案する分離モデルは、変動のパターンに着目し、サイト入口の電力と面平均日射（複数地点の平均日射）の 2 つの波形の関係が強いところを抽出することを基本としている。Fig3 は分離モデルのイメージを示す。変動は、ウェーブレット変換をバンドパスフィルタのように用い、周波数帯（Level）毎に分け、それぞれの帯域におけるある区間毎に相関をとり、相関係数を重みとしてかけている。そして、全 Level の成分を合成することでサイト入口の電力に含まれる面平均日射の影響分を抽出できる。提案手法に手順を以下に示す。Fig4 にはそのフローチャートを示した。

各帯域の波形を抽出（ Fig3 (b) ）

2 つの波形（サイト入口の電力と面平均日射）に対して、ウェーブレット変換を行い、周波数帯毎に分け、逆ウェーブレット変換により実際のスケールに戻している。これにより、各帯域の波形が抽出できる。

相関の強い部分の強調（ Fig3 (c) ）

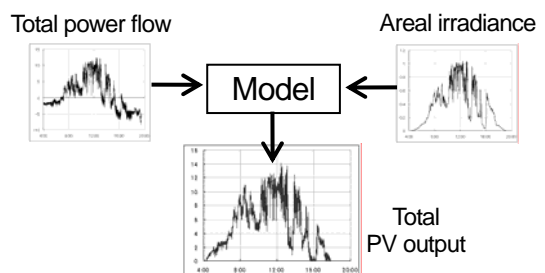
帯域毎にある区間幅（データ数： 2^{j+5} ，j: Level）で相関係数を求め、サイト入口の電力に重みとしてかける。これにより、2 つの波形の関係が強いところを強調させる。

各成分の合成

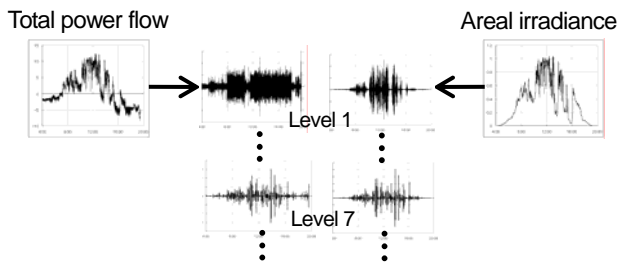
帯域毎の波形に分割されているので、全て足し合わせる。

直流分の補正

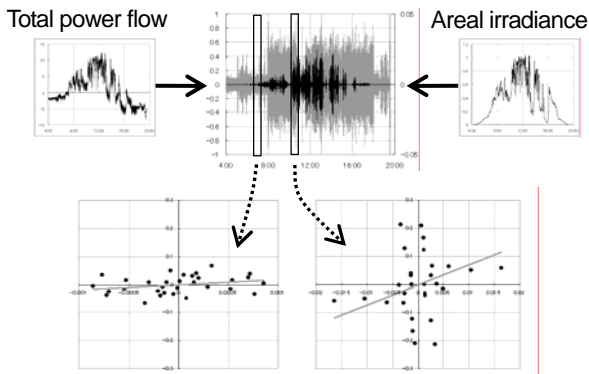
合成した波形（y）と基準となる面平均日射（x）を $y=ax+b$ で線形近似し、切片 b を直流分として補正している。これは、直流分には相関がなく、その情報が失われているためである。



(a) Schematic figure



(b) The example of Wavelet transform



(c) The example of correlation

Fig3. Image of separation model

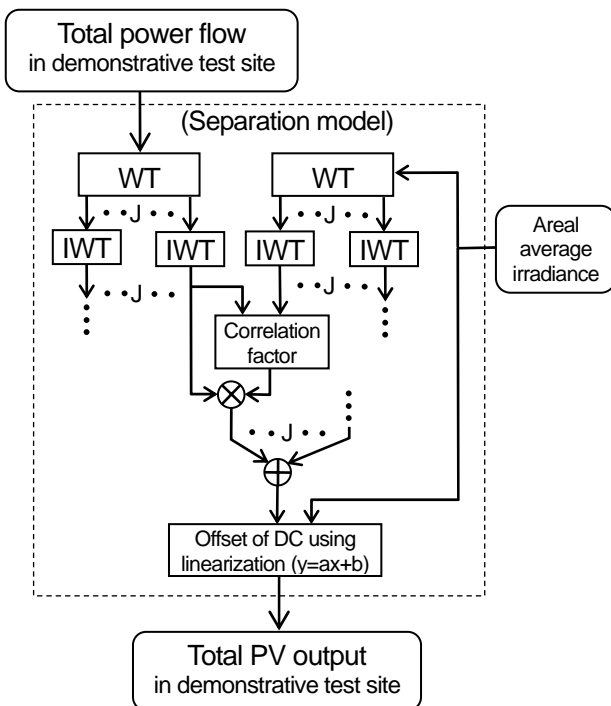


Fig4. Flow chart of the calculation process

(WT: Wavelet transform, IWT: Inverse Wavelet transform, J: Level)

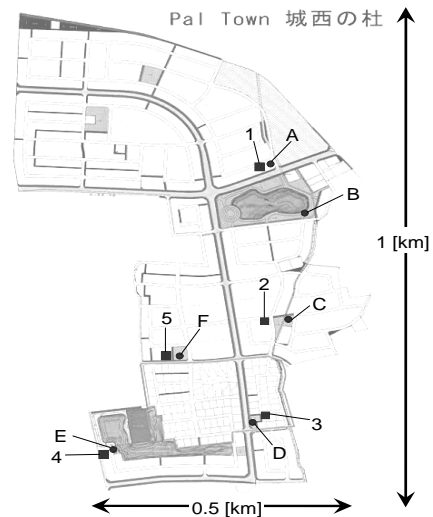


Fig5. Map of demonstrative test site

5. 分離結果と検討

5.1 解析データ

現在、実証試験サイトにおいてサイト入口は計測を開始していないため、5 箇所の住宅の受電電力を足し合わせ、サイト入口を模擬した。解析に利用したデータについては以下のとおりである。

5 箇所の住宅の受電電力の総和をサイト入口の電力とする。(Fig5 中の端末 1~5)

6 箇所の日射強度データから面平均日射(6 箇所の単純平均)を算出する。(Fig5 中の端末 A~F)

上記の 2 つのデータのみを用いて、サイト入口に含まれるデータの PV システムの発電電力を分離する。

計測データは 2004 年 6 月 29 日の 4:00~20:00 の受電電力と全天日射強度を用いた。計測周期は 1 秒なので、データ数は 65536 ($= 2^{16}$, Level 16 (J=16) まで解析可能)である。

5.2 解析結果

はじめに、分離した結果と基準にした面平均日射を比較するために、Fig6 にそれぞれの波形を示す。概形はほぼ一致しており、Fig7 の関係の関係から、相関係数が 0.931 と非常に強い相関があることが分かる。このことから、日射の影響による変動がおおよそ取り出せていると判断できる。

次に、分離した結果が実際の PV 出力と一致しているかを検証するために、Fig8 では分離した結果と実測した PV 出力を比較している。概形はほとんど同じであるが、よく一致するところもあれば、一致しないところも存在する。一致しないところは実測値よりも値が小さくなっており、変動は非常に小刻みで、負荷の変動に近いことから、PV の変動が負荷の変動に吸収されている可能性が

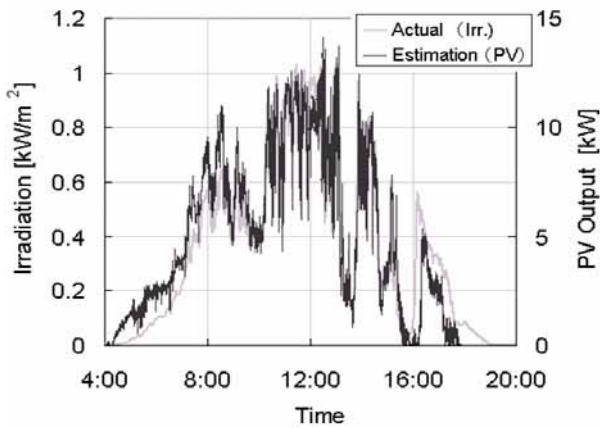


Fig6. Actual irradiance and estimative PV output

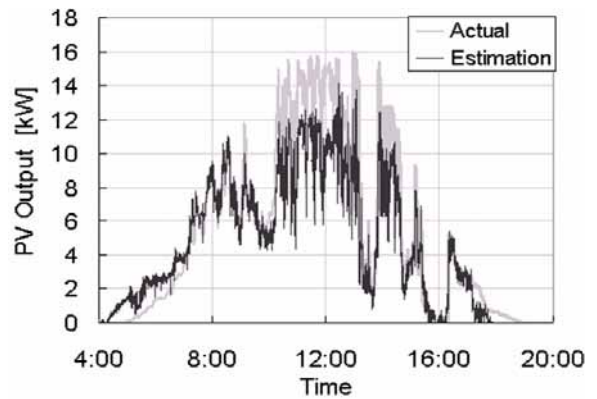


Fig8. Actual PV output and estimative PV output

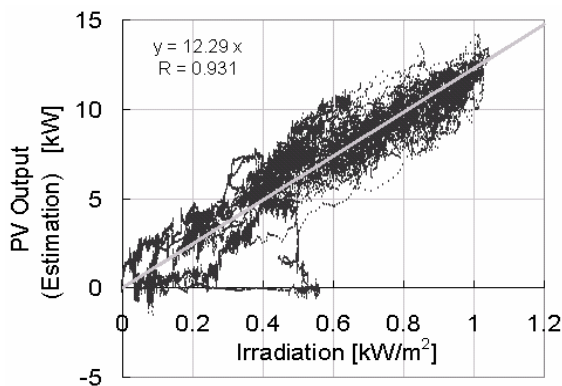


Fig7. Correlation of between actual irradiance and estimative PV output

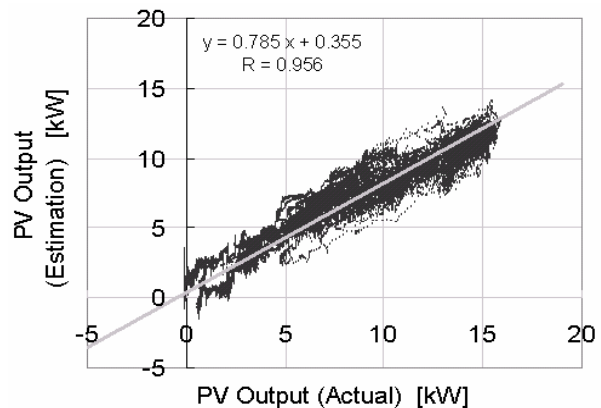


Fig9. Correlation of between actual PV output and estimative PV output

あると考えられる。Fig9 は相関の関係であり、分離結果と実測値の相関係数が 0.956 と非常に高く、面平均日射よりも強い相関があった。しかしながら、分離結果は実測値と 1 対 1 の関係でなければならぬため、分離手法のさらなる検討が必要である。正確に分離できていない原因としては、負荷による変動の吸収が考えられる。このことを踏まえると、今回の結果は PV の変動が電力系統に与える影響分を抽出したと捉えることもできる。

6. まとめ

ならし効果の評価に不可欠な地域全体の発電電力を求めるため、サイト入口の電力と面平均日射を用いて分離する手法を提案した。その手法は、ウェーブレット変換を用い、変動成分毎に相関の高い部分を抽出するものである。結果、基準とした面平均日射に含まれている変動と相関の高いものが抽出できた。しかし、実際の PV 出力と比較すると正確に分離できていない箇所も見受けられた。この原因は、PV の変動が負荷によって吸収された可能性が考えられる。また、今回の結果は、PV の変動が電力系統に与える影響分を抽出したと捉えることもできる。このことから、PV 変動が電力系統に与える影響の評

価は今回のモデルが応用できる可能性があることが示された。

7. 今後の展望

今回仮定をおいた負荷と PV の関係を周波数領域で実測値をもとに確認し、分離手法をさらに検討する。そして、より正確な分離モデルを構築し、ならし効果の実証を行っていく。同時に、PV 変動が電力系統に与える影響を変動に着目して評価していく。

謝辞

本研究は、NEDO 技術開発機構の委託研究「集中連系型太陽光発電システムの実証研究」の一環として実施している。関係者各位に感謝する。

参考文献

- [1] NEDO ; 「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) 検討委員会 報告書」, 2004
- [2] 西川 ; 「集中連系型太陽光発電システム実証研究の概要」, 太陽 / 風力エネルギー講演論文集, p.51 ~ 56, 2003
- [3] 川崎, 大関, 大谷, 黒川 ; 「太陽光発電変動特性の評価」, 平成 16 年度電気学会 B 部門大会, No.454