

近隣の気象観測値を利用したPV診断システム (PV-DOG) の開発と適用

Development and Application of PV Output Diagnostic System - "PV-DOG"

板垣昭彦 *1
Akihiko ITAGAKI
原田 幾 *4
Iku Harada

白川喜一 *2
Kiichi SHIRAKAWA

松岡 実 *3
Minoru Matsuoka

Abstract

For users of photovoltaic generation systems (PV), it is desirable to detect the system malfunction as soon as possible. In many cases, PV has a monitoring device indicating its actual output, however, it is difficult to know whether it generates an 'expected' output or not. We developed a PV output diagnostic system, named "PV-DOG", which provides a simple diagnosis as to whether the PV is operating normally by comparing with an 'expected output', which is estimated from meteorological data at the nearest observation station. In this paper we describe the outline of "PV-DOG" and the result of PV-DOG's diagnoses in the areas around Matsumoto city, Nagano prefecture.

キーワード： PV診断システム, 発電量推定

Key words : Diagnostic system for PV, power output estimation

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災をきっかけに、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーへの期待は高まっている。また、固定価格買取制度の実施により、住宅用・産業用の太陽光発電設備(以下、PVシステムとする)の普及は今後さらに加速していくものと思われる。

PVシステムはメンテナンスフリーというイメージが強く、設置後は特段の保守作業をしなくとも想定した発電量が維持できると考えられがちである。しかし実際には太陽電池モジュールの不具合等は少なからず発生しており、それが火災事故等につながる危険性も指摘されている⁽¹⁾。

PVシステムに不具合が発生したまま放置されると、本来得られるはずの発電量を失ったり、最悪の場合は住宅等の安全性が脅かされたりする可能性もある。PVシステムに不具合が発生した場合には、これをできるだけ早期に発見できることが望ましい。

しかし定期的な保守点検が実施されなければ、PVシステムの所有者がこのような不具合に気づくことは難しい。また最近のPVシステムでは備え付けのモニター画面を通じて月々の発電実績の確認はできるが、その発電実績が健全なPVシステムの出力として妥当な値かどうかを所有者自らが判断することは困難であると言える。

そこで筆者らは、各所に設置したPVシステムからの月々の実績発電量と、気象庁の所管する気象観測地点における気象観測値等から算出した「期待発電量」とを比較することによって、PVシステムが正常に稼働しているかを簡易に診断できる「PV診断システム(愛称: PV-DOG, ピーブイドッグ)」の開発を行った⁽²⁾。本稿では、そのシステムの仕組みや利用例について述べる。

2. PV-DOGの概要

2-1 システムの概要

PV-DOGは、主にPVの施工業者等を通じてPV所有者(一般家庭等)に提供されるサービスである。PV-DOGに関わる関係者の構成図と役割をFig.1に示す。

PV-DOGはPV所有者である「一般ユーザ」、その管理を行う「運営管理者」、および期待発電量の算出に必要な気象データの提供を行う日本気象協会から構成される。

「運営管理者」は、簡易診断を希望する「一般ユーザ」のPVシステム情報を登録する。その後、「一般ユーザ」が

*1 一般財団法人日本気象協会地球環境課
(〒170-6055 東京都豊島区東池袋 3-1-1 サンシャイン 60 55F)
e-mail itagaki@jwa.or.jp

*2 一般財団法人日本気象協会環境影響評価室

*3 NPO法人信州松本アルプスの風

*4 (株) ニューブランニング

(原稿受付: 2013年2月22日)

月に一度、インターネットを通じて「実績発電量」を入力すると、該当月の気象データと設置されているPVシステムの情報をもとに「期待発電量」が計算され、その比較結果が一般ユーザおよび運営管理者に通知される仕組みである。

これにより、一般家庭等のPV所有者は発電状況が良好であるかどうかを自ら確認することができ、施工業者は顧客に対して適切なアフターサービスを提供することが可能になる。また、自治体等が運営管理者となり、複数の公共施設等に設置したPVシステムの管理に用いるといった用途も期待される。

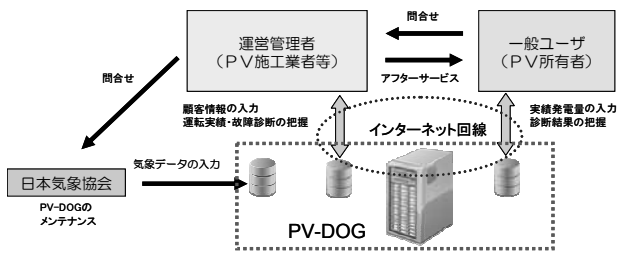


Fig.1 Configuration diagram of PV-DOG

2-2 PV-DOGによる簡易診断の流れ

PV-DOGによる簡易診断は、Fig.2のような流れで行われる。

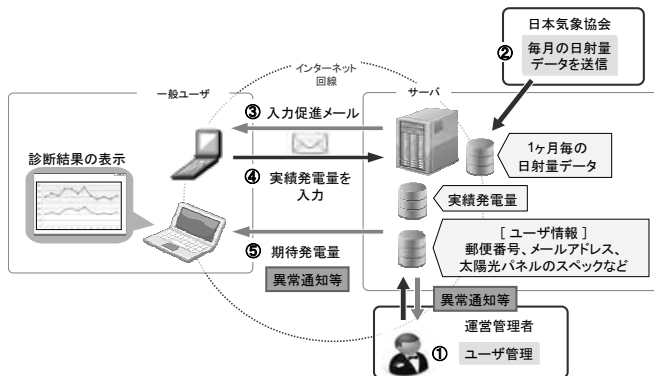


Fig.2 Diagnostic flow of PV-DOG

- ① 「運営管理者」が、「一般ユーザ」のPVシステムの基本情報(設置住所、パネルの種類や出力、方位・傾斜角等)等を登録する。
- ② 「一般ユーザ」が所有するPVシステムからの期待発電量の算出に必要な気象データを、日本気象協会が毎月(10日前後)整備、更新する。
- ③ 入力忘れを防ぐための促進メールが「一般ユーザ」の登録アドレスに届く。
- ④ 「一般ユーザ」は月1回、月合計の実績発電量をPC等から入力する。
- ⑤ 実績発電量と期待発電量との比較によってPVシステムが正常に稼働しているかどうかの簡易診断結果が、「一般ユーザ」および「運営管理者」に通知される。

なおPV-DOGでは実績発電量が期待発電量の80%を下回った際に、「異常値発生」の警告画面が表示されるように設定している。「異常値発生」の表示画面をFig.3に例示する。



Fig.3 Example of PV-DOG's diagnosis of PV malfunction

3. 期待発電量の推定方法

PV-DOGにおける期待発電量の算出方法の流れをFig.4に示す。

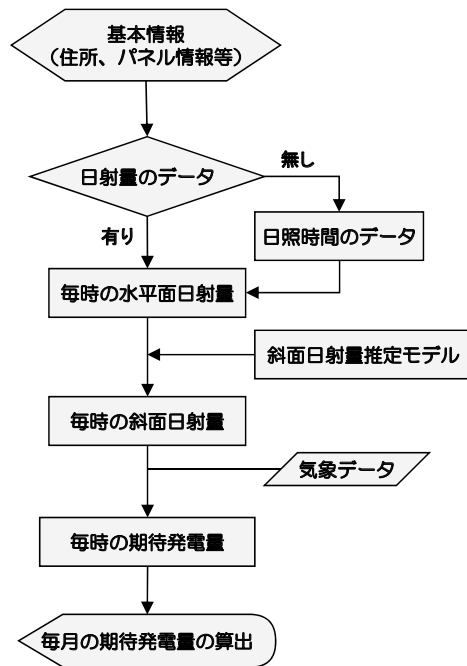


Fig.4 Estimation flow of expected output

以下、主な項目について概説する。

3-1 基本情報の入力

「基本情報」とは、Fig.2で「運営管理者」が入力するPVシステムのユーザ情報（メールアドレス、住所、太陽電池パネルの方位、傾斜角、出力等）を指す。Fig.5にPV-DOGのユーザ情報の登録画面を示す。

この画面で登録した「一般ユーザ」の住所情報から近隣の気象観測地点を選定する。



Fig.5 Registration screen of user information

3-2 水平面日射量の推定

基本情報で与えられた設置住所の近隣にある気象庁の所管する気象観測地点を選択し、日射量または日照時間の毎時の観測値をシステムへ取り込む。

この時、選択された気象観測地点で日射量を観測している場合は日射量の値をそのまま使用するが、日射量を観測していない場合は、日照時間の値から日射量を推定する。この推定には日本気象協会が平成15年度のNEDO委託業務で開発した「日照・日射モデル」⁽³⁾を用いている。なお、2013年1月現在、日本国内で日射量の観測をしている地点数は49地点、日照時間の観測をしている地点数は842地点である。

上記の「日照・日射モデル」で推定した時間積算日射量と観測値の比較例をFig.6に示す。図は4章でPV-DOGの事例解析を行った長野県にある松本気象観測所における2006年1年間の時間積算日射量の比較例である。日照時間のない時間帯で観測値と推定値のバラツキが、若干、大きいものの、全体では相関係数が0.985、RMSEは0.199MJ/m²であった。

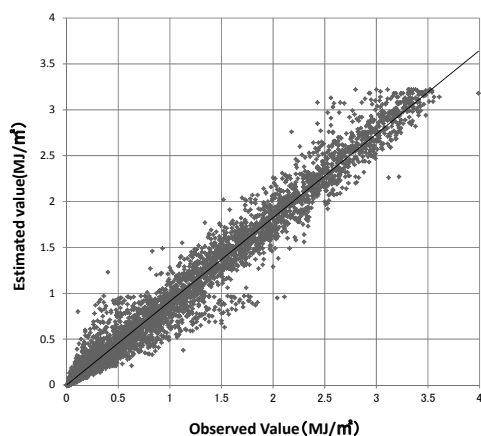


Fig.6 Comparison between observed values and estimated values of hourly solar radiation at Matsumoto in 2006

3-3 斜面日射量の推定

3-2節で得た毎時の水平面日射量から、「一般ユーザ」が所有するPVシステムに入射する斜面日射量を推定する。この推定には、時別の標準気象・日射量データベースとしてNEDOから公開されている「METPV-11」の整備に用いた「直散分離モデル」および「斜面日射量推定モデル」を用いている。(4)~(6)

Fig.7は、上記の「直散分離モデル」および「斜面日射量推定モデル」で推定した斜面日射量の推定値と観測値の比較結果を例示したものである。観測値には、NEDOの委託業務「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発 発電量評価技術等の開発」で日本気象協会が札幌近郊の長沼地点に設置している観測データを用いた。また、推定値は斜面日射量の観測地点から約7km離れた長沼アメダス地点の日照時間から求めた時別値、日積算値、月積算値である。

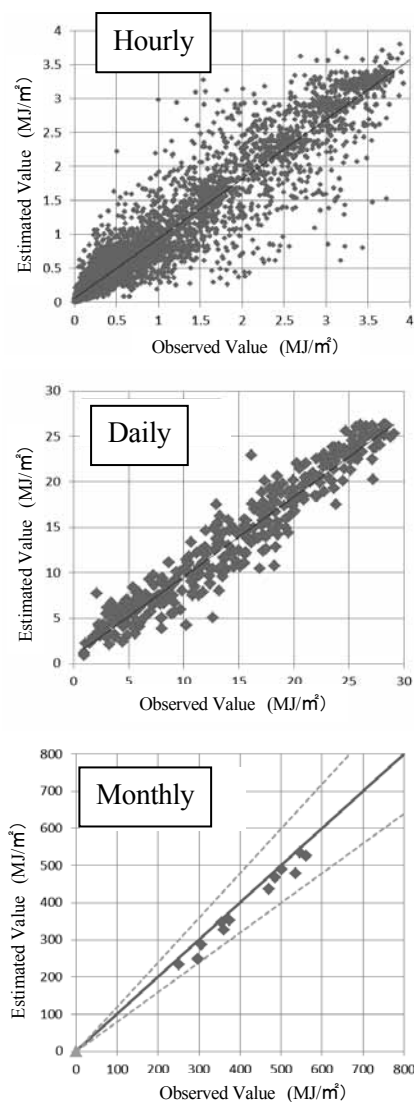


Fig.7 Comparison between observed values and estimated values of solar radiation on inclined surface at Naganuma, Hokkaido.

Fig.7上段の時間積算値の比較図がFig.6に比べて観測値と推定値のバラツキが大きくなっているのは、推定地点と観測地点が離れているために、両地点における雲の地理的分布の違い等が影響しているものと考えられる。しかしながら、解析期間を長くすることで、そのような地理的分布の違いは小さくなる。Fig.7下段の月積算値の比較では、10%程度の誤差範囲に収まっている。

3-4 期待発電量の推定方法

3-3節で算出した毎時の斜面日射量と、気温・風速等の気象データ及びPVシステムのパネル情報(電池種類・出力等)をもとに、「JIS C8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法(平成17年10月20日制定)」⁽⁷⁾を参考に毎時の期待発電量を算出する。毎時の期待発電量を月毎に合計し、毎月の期待発電量を求める。毎時の期待発電量の算出方法を以下に概説する。

毎時の発電量E(KWh)は(1)式で推定した。

$$E = K \times P_{AS} \times I \quad \dots (1)$$

(1)式で、K：総合設計係数、 P_{AS} ：標準電池アレイ出力(kW)、I：時間積算日射量(kWh/m²)である。また、総合設計係数Kは(2)式から求めた。

$$K = K' \times K_{PT} \quad \dots (2)$$

(2)式で、 K' ：温度補正係数以外の補正係数、 K_{PT} ：温度補正係数である。 K' (温度補正係数以外の補正係数)については、以下の通りとした(JIS C8907 推奨値)。

$$K' = K_{PA} \times K_{PM} \times K_{IN} = 0.82 \quad \dots (3)$$

(3)式で、 K_{PA} ：アレイ回路補正係数(=0.97)、 K_{PM} ：アレイ負荷整合補正係数(=0.94)、 K_{IN} ：インバータ回路補正係数(=0.9)である。

K_{PT} (温度補正係数)は以下の式から求めた。

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax} \times (T_{PA} - 25) \quad \dots (4)$$

(4)式で、 α_{Pmax} ：最大出力温度係数、 T_{PA} ：太陽電池アレイ温度である。

α_{Pmax} (最大出力温度係数)については、Table.1の値を設定した。

Table.1 Values of α_{Pmax}

太陽電池の種類	α_{Pmax}	備考
結晶系	-0.0041/°C	JIS C8907 推奨値
アモルファス系	-0.0020/°C	JIS C8907 推奨値
HIT	-0.0030/°C	カタログ値
CIS系	-0.0031/°C	カタログ値

さらに、(4)式の T_{PA} (太陽電池アレイ温度)の算出にはJIS C8907に記載されている(5)式を用いた。

$$T_{PA} = T_A + \left[\frac{A}{(B \times V^{0.8} + 1)} + 2 \right] \times G_A - 2 \quad \dots (5)$$

ここで、
 T_{PA} ：太陽電池アレイ温度(°C)
 T_A ：気温(°C)
 A, B：係数(JIS C8907の値を採用)
 V：風速(m/s)
 G_A ：日射強度(kW/m²)

4. PV-DOGによる簡易診断の例

本章では、実際のPVシステムの実績発電量データを用いたPV-DOGによる診断結果について述べる。診断に用いたのは、「長野県平成24年度地域発元気づくり支援金事業太陽光発電診断システム構築のためのモニター事業(以下、モニター事業)」で「NPO法人信州松本アルプスの風」が、長野県松本市周辺のPV所有者の協力を得て収集した50件のデータである。モニター事業における診断期間は2012年6月までとし、それ以前の6ヶ月以上の発電実績データを把握しているPV所有者を対象とした。50件の診断結果の概要をTable.2に示す。

診断結果は以下の4通りに大別された。

- ①正常：診断期間全般にわたって実績発電量が期待発電量の80%以上を維持していたシステム(診断結果の欄に「1」と記載されたシステム)。
 - ②冬季に発電量が少なくなる：冬季に限って実績発電量が期待発電量の80%未満になる現象が見られたシステム(診断結果の欄に「2」と記載されたシステム)。
 - ③時折、実績発電量が少なくなる：②と異なり、冬季限定ではなく、実績発電量が期待発電量の80%未満になる現象が見られたシステム(診断結果の欄に「3」と記載されたシステム)。
 - ④全般的に実績発電量が期待発電量を下回っていたシステム(診断結果の欄に「4」と記載されたシステム)。
- 以下、①～④について代表例を用いて概説する。

①「正常」と診断されたPVシステム

Fig.7のPVシステムはTable.2のNO.2の診断結果を示したものである。概ね期待通りの発電量が維持されている。2011年1月の発電量が期待発電量を大きく下回っているが、これは、PVシステムの運転が1月18日に開始されたためと思われる。

②冬季に発電量が少なくなるPVシステム

Fig.8のPVシステムは、Table.2のNO.49の診断結果を示したものである。冬季間に実績発電量が期待発電量を大きく下回る傾向が見られる。

なお、図中でPV-DOGのキャラクターが、「正常に発電しています」と診断しているのは、PV-DOGでは、最新のデータ(この場合は2012年6月の実績発電量と期待発電量)を用いて診断しているためである。

Table.2 Result of PV-DOG 's diagnoses

NO.	住所	近隣 気象観測所	システム容量 (kW)	診断結果
1	塩尻市	松本	8.3	3
2	松本市	松本	4.4	1
3	安曇野市	松本	5.1	1
4	塩尻市	松本	11.8	2
5	塩尻市	木曾平沢	5.1	2
6	松本市	松本	3.8	1
7	安曇野市	松本	4.8	3
8	塩尻市	辰野	6.2	2
9	松本市	松本	3.2	1
10	東筑摩郡	松本	3.4	1
11	安曇野市	穂高	3.2	1
12	長野市	長野	3.0	2
13	安曇野市	穂高	4.4	2
14	松本市	松本	4.2	1
15	松本市	松本	4.1	1
16	諏訪市	諏訪	5.2	1
17	安曇野市	穂高	5.3	4
18	安曇野市	穂高	4.8	2
19	松本市	松本	5.1	1
20	松本市	松本	3.6	1
21	諏訪郡	原村	3.0	2
22	塩尻市	松本	7.0	3
23	安曇野市	穂高	4.0	1
24	松本市	松本	4.4	1
25	松本市	松本	6.0	2
26	松本市	松本	4.2	1
27	塩尻市	松本	4.6	1
28	岡谷市	諏訪	3.2	1
29	塩尻市	松本	5.6	1
30	安曇野市	松本	3.2	1
31	松本市	松本	3.4	1
32	松本市	松本	2.8	3
33	上田市	上田	4.1	3
34	松本市	松本	3.6	3
35	長野市	長野	5.5	4
36	東御市	東御	3.8	1
37	北佐久郡	軽井沢	4.2	1
38	上田市	上田	4.5	1
39	小諸市	東御	3.1	1
40	佐久市	佐久	3.7	1
41	立科町	立科	4.9	1
42	東御市	東御	5.6	4
43	東筑摩郡	松本	4.1	1
44	東筑摩郡	松本	3.3	1
45	松本市	松本	4.6	1
46	松本市	松本	4.0	1
47	松本市	松本	5.8	1
48	松本市	松本	3.2	1
49	大町市	大町	5.2	2
50	岡谷市	辰野	3.2	1



Fig.8 Result of PV-DOG 's diagnosis (NO.49)

このPVシステムの所在地は大町市であり、冬季に積雪が多い地域である。このため、太陽電池パネルの上に雪が積もったために発電量が低下したと思われる。Table.3は近隣にある気象庁の大町観測地点における日最大積雪深5cm以上の日数とFig.8のPVシステムの発電指数を月別に並記したものである。発電指数とは、実績発電量と期待発電量の比(=実績発電量/期待発電量)であり、発電指数が大きいほど発電能力が高く、小さいほど発電能力が低いことを示している。

Table.3によれば、発電指数の小さい月は積雪が多いことが分かる。積雪の影響でPVシステムの発電量が低下したと推察される。現行のPV-DOGでは、太陽電池パネルへの積雪の影響については考慮しておらず、今後の検討課題である。

Table.3 Relation between the output index (The ratio of actual output to expected output) and snow depth

年月	日最大積雪深5cm 以上の日数	発電指数*
2009年11月	0	1
2009年12月	14	0.75
2010年1月	31	0.25
2010年2月	26	0.66
2010年3月	10	0.98
2010年4月	2	1.04
2010年11月	0	1.09
2010年12月	5	0.85
2011年1月	31	0.11
2011年2月	25	0.63
2011年3月	4	0.8
2011年4月	0	1.02
2011年11月	0	0.98
2011年12月	6	0.71
2012年1月	30	0.26
2012年2月	29	0.48
2012年3月	13	0.7
2012年4月	1	0.99

発電指数* = 実績発電量 / 期待発電量

③時折、実績発電量が少なくなるPVシステム

Fig.9のPVシステムは、Table.2のNO.33の診断結果を示したものである。このPVシステムの所在地は上田市であり、Fig.8とは異なり、あまり積雪の多くない地域である。積雪の影響の無い3月に実績発電量が期待発電量を下回る傾向

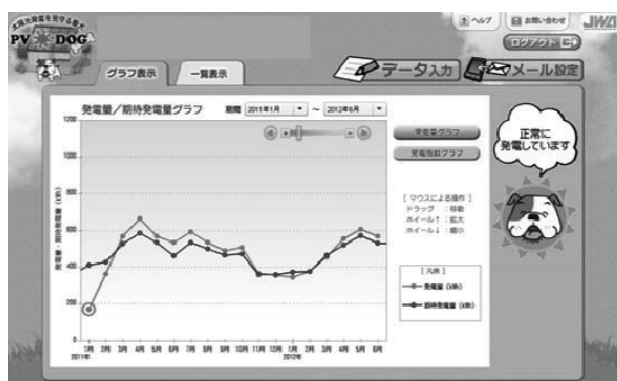


Fig.7 Result of PV-DOG 's diagnosis (NO.2)

が見られる。また、2009年11月や2010年9月は、期待発電量に対する実績発電量が比較的大きくなっており、月によって期待発電量に対する実績発電量の比率の変動が大きいのが特徴である。なお、図中でPV-DOGのキャラクターが、「正常に発電しています」と診断しているのは、前述したように、PV-DOGでは、最新のデータ（この場合は2012年6月の実績発電量と期待発電量）を用いて診断しているためである。

この原因として、実績発電量と期待発電量の算出期間の違いが考えられる。現行のPV-DOGでは、月合計の期待発電量と実績発電量を比較して診断を行っている。しかしながら、Table.2に掲載したPVシステムの所有者の一部には、電力会社の検針期間における実績発電量のみを保管していたため、その値を登録して診断を実施した例もある。NO.33は、そのような例であり、検針日は毎月10日前後ということである。すなわち、期待発電量の算出期間との間に最大で20日ほどの違いがある可能性がある。

Fig.10は、上記を考慮し、期待発電量の算出期間を前月の11日から当月の10日として、再解析したものである。期待発電量の算出期間を調整したことで、異常値を示す丸印を示す月が減少しているのが分かる。

現行のPV-DOGでは、月毎の実績発電量で診断を行っているが、PVシステムの所有者が発電量をチェックする機会が多い検針期間に合わせた診断を望む声も寄せられている。この点も今後の検討課題である。



Fig.9 Result of PV-DOG 's diagnosis (NO.33) by original data

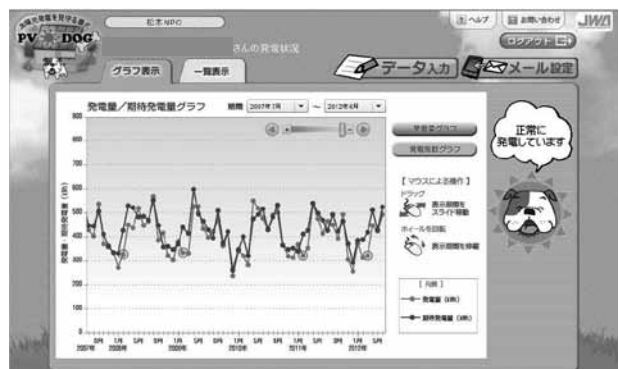


Fig.10 Result of PV-DOG 's diagnosis (NO.33) by reviewed data

④全般的に実績発電量が期待発電量を下回っていたシステム

Fig.11のPVシステムは、Table.2のNO.35の診断結果を示したものである。今回解析対象とした他のPVシステムと異なり、全期間にわたって実績発電量が期待発電量を大きく下回っている。



Fig.11 Result of PV-DOG 's diagnosis (NO.35)

「NPO法人信州松本アルプスの風」からの通知を受けた所有者がモニター事業終了後の2012年12月にPVシステムの交換を行った。その結果、交換前はシステム容量の60%程度であった晴天時における発電能力が交換後はシステム容量の85%まで改善された。

5. PV-DOGの特長と今後の展望

筆者らが開発したPV-DOGの主な特長を整理すると以下のようになる。

- ① 備え付けモニターだけでは気づきにくい発電量の低下を早期発見できる。
- ② 特別な装置を新たに取り付ける必要はなく、インターネット回線があれば利用可能である。
- ③ パネルの種類やメーカーによらず利用できる。
- ④ 期待発電量は、近傍のアメダスデータ等から日本気象協会が独自のノウハウにより推計する。
- ⑤ 「発電実績」の入力忘れがないよう、定期的にメールが届く。

上記のような特長を持つPV-DOGは、PVシステムが正常に稼働しているかの簡易診断を可能にするものと期待している。4章で述べたように、実際のPVシステムを用いた事例解析でもPV-DOGの有用性が証明された。

PVシステムの故障診断は継続されることが重要である。「運営管理者」や「一般ユーザ」の声に耳を傾け、より使いやすいシステムへ改良していく予定である。

現行のPV-DOGについて、「実績発電量をPVシステムの所有者が自ら入力する点が煩雑である」という声も寄せられている。この点については著者らも認識しているが、一方で、PVシステムの所有者が自らの発電実績を定期的にチェックする習慣をつけることも重要であると考えられる。

PV-DOGが今後のPVシステムの保守・運用管理に役立つ事を願いたい。

謝辞

本研究は、平成18年度～平成22年度NEDO委託業務（太陽光発電システム等国際共同実証開発事業 太陽光発電システム等に係る設計支援ツール開発事業）で開発したMETPV-11の成果の一部を利用して実施したものです。関係機関の各位に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 加藤和彦, 原点にかえろう-太陽光発電とはなにか?, 太陽エネルギー, Vol. 38 No. 3, 3-6 (2012).
- (2) 白川喜一, 板垣昭彦, 宇都宮健志, アメダス観測値を利用したPV診断システム (PV-DOG) の開発, 太陽/風力エネルギー講演論文集2012, 417-420 (2012).
- (3) 板垣昭彦, 岡村晴美, 飯田秀重, 山田雅信, 佐々木律子, 日照時間を用いた時間積算日射量推定モデルの開発, 太陽エネルギー, Vol. 32 No. 5, 61-67 (2006).
- (4) 新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編, 新太陽エネルギー利用ハンドブック (2000).
- (5) 白川喜一, 板垣昭彦, 宇都宮健志, 全国における時間積算斜面日射量データベース (METPV-11) の整備, 太陽/風力エネルギー講演論文集2011, 193-196 (2011).
- (6) NEDO新エネルギー部, 一般財団法人日本気象協会, NEDO標準気象データベースの解説書(2012).
- (7) 日本規格協会発行, 太陽光発電システムの発電電力推定方法JIS C8907, 平成17年10月20日制定