

太陽光発電システムの実用発電性能評価法

Studies on Evaluation Methods for Practical Generation Power of Photovoltaic Systems

(2009年3月31日受理)

大 藤 吉 雄

Yoshio Ofuji

Key words : 太陽光発電, 発電性能, 日照時間, 実用発電効率, 性能評価法, 性能劣化

要 旨

住宅用として普及しつつある小規模の太陽光発電システムの発電性能を実用条件下で稼働しながら評価するため、新しい評価指標「実用発電効率」の導入の可能性を検討した。「実用発電効率」は、そのシステムの一定期間の発電量を、対応する期間の日照時間で除して得られる「発電係数」をそのシステムの「公称最大出力」で除して算出される。京都、岡山、ほか国内各地のいくつかのシステムの発電実績データを用いてその有効性を検証した。年間の発電量および日照時間より算出した年単位の「実用発電効率」はシステムの発電性能を評価する指標として有効であることを確認し、この指標の比較的長期間の推移を見ることによりシステムの発電性能の経時変化（劣化）の判定にも応用できる可能性を見出した。

1. は じ め に

京都議定書の数値目標達成約束期間を迎え、二酸化炭素排出抑制のためのあらゆる方策が総動員されて、太陽光発電が再び脚光を浴びてきた。我が国において太陽光発電は、早くから国の振興策もあって、住宅用の小規模システムを中心に順調に実用化が進み、2004年まで累積導入量の点で世界でトップの座を占めてきた。しかし、その後、原子力発電を優先する国や電力会社の消極姿勢によりその普及が伸び悩み、2005年には、グリーン電力に対して積極的な優遇策により急速に導入が進むドイツにトップの座を明け渡した。ここに来て、一旦打ち切られていた住宅用小規模システムに対する国の補助金が復活し、冷淡であった電力会社までも大規模太陽光発電所建設の計画を打ち出すなど、我が国においても再び普及拡大の兆しが見えてきた。

著者は1999年に自宅に小規模の太陽光発電システム

(以下、聖護院発電所と記す)を設置し、運転実績から環境保全効果や経済性について検討してきた。導入初期1～2年の検討結果から、このシステムの二酸化炭素排出抑制をはじめとする環境保全効果は十分に大きいことが予想されたが、その程度や経済性についてはシステムの今後の長期的な発電性能や寿命に大きく依存することを指摘した^{1)～3)}。その後2008年には、それまで8年間の運転実績データおよび設備の状況より、主としてシステムの耐久性について検証し、報告した⁴⁾。システム本体には目立った劣化損傷は認められないが、架台や屋外配線等に耐候劣化が発生し始めることを指摘した。また発電性能の劣化の有無について、新しく、指標「発電係数」を導入し評価を試み、明らかな性能劣化はこの時点では発生していないものと推定した。但し、この評価指標の有効性については、そこでは十分な検証がなされなかった。

上述の通り、実用システムの性能や寿命、特に実用条

件下での発電性能の的確な評価は、システムの高性能化・高効率化を図り、環境保全効果や経済性を高め、その普及を促進する上に極めて重要である。しかるに、太陽光発電の実用システムを実用条件下で稼働しながらその発電能力を的確に評価する方法はまだ確立されていない。目まぐるしく変動する気象の中で刻々と変化する発電量はそのままシステム能力の評価に利用できない。太陽電池セルやモジュールの開発・評価に適用されている標準光源や標準セルを用いる実験室レベルの性能評価法⁵⁾の実用システムへの応用は困難である。これらが、実用レベルでの評価法が確立されていない理由である。

本研究の目的は、住宅用を中心とする小規模システムに適用可能な、太陽光発電システムの実用条件下での発電性能の簡便な評価法の開発にある。

既報⁴⁾において検討した指標「発電係数」を基に改良を加え、一つのシステムの発電性能の経時変化だけでなく、システム間の発電能力の比較にも応用可能な、簡便な指標の開発を目指して、以下に述べる新評価指標「実用発電効率」を検討した。新指標について聖護院発電所9年間の発電実績データを用いて有効性を検証すると共に、国内のいくつかの太陽光発電システムの発電実績データを解析し、その応用について検討した。これらの結果から新指標「実用発電効率」は実用システムの評価指標として有効であり、システムの発電性能の経時変化判定にも利用出来る可能性が見出されたので結果を報告する。

2. 評価指標「実用発電効率」

実用システムの発電性能の経時変化を評価するために新しく導入した指標「実用発電効率」PGE (Practical Generation Efficiency) は次の式で表される：

$$PGE = GF / GC \times 100 (\%) , GF = GE / SD$$

ここで

GF : Generation Factor 「発電係数」 (KW)

GC : Generation Capacity システムの公称最大出力 (KW)

GE : Generated Electoricity一定期間の積算発電量 (KWH)

SD : Sunshine Duration 同期間の積算日照時間 (HR)

すなわち、「実用発電効率」は太陽光発電システムの一定期間の発電量をその期間の日照時間で除して求めた

「発電係数」⁴⁾をそのシステムの公称最大出力で除して算出される。

「実用発電効率」の算出に用いる各因子について以下の2.1～2.4の各項に説明する。

2.1 積算発電量 (GE) (「発電量」と略記する)

システムに装備されている発電電力計により容易に測定できる。1日分の積算量と共に各暦月の積算量がメモリー出来るものもある。市販の住宅用システムの場合、インバーター (パワーコンディショナー) に組み込まれているものが多いが、回路中の計測位置や方式はメーカーや機種により異なることもあり、若干の差異が生じる可能性がある。システム間の比較を行う場合、この点も考慮する必要がある。

2.2 日照時間 (SD)

気象庁が全国の観測点で測定し、インターネットを通じ公開している⁶⁾。近隣地点の日、月、または年単位のデータを利用することが出来る。日照時間は直射日光が地表を照射した時間で、照射のあるなしの閾値は世界気象機関 (WPO) により直達日射量 0.12KW/m^2 と決められている。これは日差しよる影が認められる程度の日射である。なお、本目的のためには日照時間に代えて日射量 (全天日射量) を用いることが出来るが、日照時間に比較して必ずしも優位性はなく、日射量の観測点は少ないため、一般的な利用は困難である。

2.3 発電係数 (GF)

上述の通り、一定期間の積算発電量を、その期間の日照時間で除した数値であるが、曇り (雨) の時など、日照時間にカウントされない程度の光量においても、太陽光発電セルは低レベルながら発電するため、曇りの多い期間は発電係数が大きくなる傾向がある。

2.4 公称最大出力 (GC)

メーカーが仕様書等に明示しているシステムの最大出力である。モジュールの定格値にモジュール枚数を乗じた数値であり、通常、インバーター等による損失は考慮されていない。モジュールの定格発電量は表面温度 25°C 、分光分布 AM1.5、放射照度 1000W/m^2 の測定条件が

定められている (JIS C 8914)。すなわち黄砂やスモッグ等の光散乱物質の少ない快晴で、気温が高くない時期、太陽高度約 42° 方向から、セルに垂直に太陽光が入射する理想的な条件でのモジュールの発電量を表すと云うことが出来る。セルの発電能力は、太陽高度が低くなるに従い、セルに対する太陽光の入射角が垂直から乖離するに従い、また一般に温度が高くなるに従い低下する。

2.5 実用発電効率

実用発電効率は上記の因子から算出される指標であり、一定期間において、日照時間1時間あたりに太陽光発電システムが発電する平均の発電量がそのシステムの公称最大出力に対して何%かを示すものである。ある程度の長い期間をとることにより、システムの実用的な発電性能の評価に利用でき、長期間にわたりこの指標の経時的な変動傾向を調査することにより、実用システムの性能劣化をチェック出来る可能性がある。

なお、この指標の計算に用いる各因子は上述のような特性をもつものであり、それらの特性は実用発電効率に複合的に反映する。取り扱いに当たってはこれらを考慮する必要がある。

3. 検討結果と考察

3.1 太陽光発電システム (聖護院発電所)

検証のための発電データを採取したシステムは既報^{1)~4)}の通り、1999年9月京都市に設置、同年10月系統連系開始したものである。現在まで中途の仕様変更や特段の修繕工事はなく、設置当初の仕様で運転を続けている。また日影等設置環境の変化はない。概要を以下に記す。

(1) 設置場所 (京都市内)

北緯 $35^{\circ} 0' 50'' 5$ 東経 $135^{\circ} 46' 58'' 7$

5階建鉄骨造建物 (住宅) 陸屋根屋上

コンクリート基礎にボルト固定した亜鉛メッキ鋼材製の架台上に設置



写真1 聖護院発電所の太陽電池アレイ

(2) システム仕様

三洋電機株式会社製 PVS-24J4

1) 太陽電池モジュール (HIP-J50B)

薄膜アモルファス/単結晶シリコンハイブリッドタイプ⁷⁾のセル (セル変換効率17%)

公称最大出力 180W, 最大出力動作電圧50.7V, 最大出力動作電流 3.55A

2) 太陽電池アレイ

1)のモジュール24枚を縦2枚x横12枚配列、方位角 0° (真南), 傾斜角 20° , 公称最大出力 4.32KW, 太陽電池面積 28.3 m^2 ,

3) インバーター (パワーコンディショナー) (SSI-TL45A1)

定格容量 4.5KW, 電力変換効率 最大95%, 連系保護機能, 自立運転機能内蔵, 出力側に発電量 (瞬間および積算) 表示モニター接続。

(3) 系統連系

商用電力系 (関西電力) と逆潮流あり方式で連系した。

3.2 月単位の実用発電効率

2000年, 2004年および2008年の各年度の月別の実用発電効率を月間発電量並びに日照時間と共に図1~図3に示す。

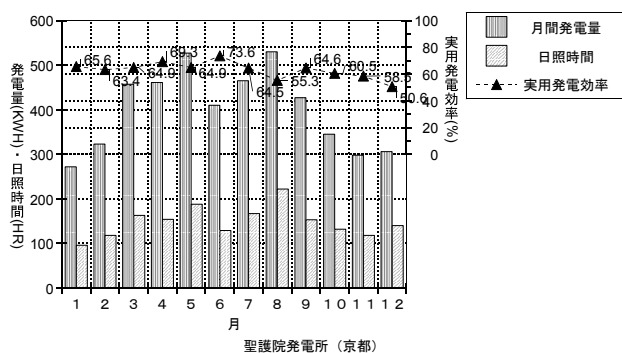


図1 月間発電量／日照時間と実用発電効率（2000年）

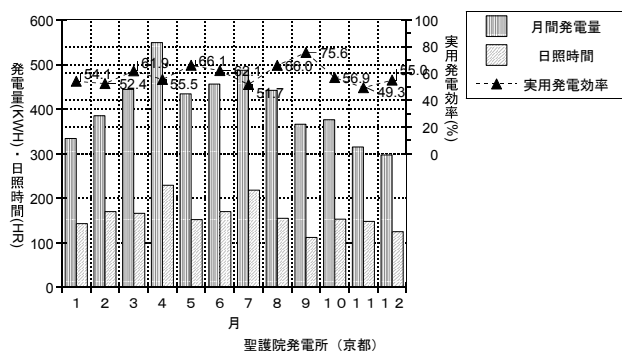


図2 月間発電量／日照時間と実用発電効率（2004年）

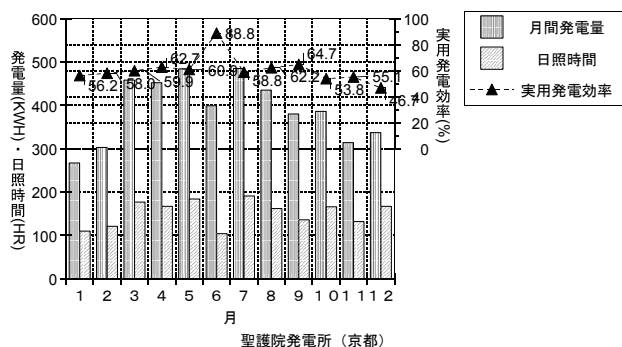


図3 月間発電量／日照時間と実用発電効率（2008年）

いずれの年度においても、月別の発電量／日照時間の変動は激しく、実用発電効率の変動も大きい。月別の実用発電効率の年間の変動幅は2000年50.6%（12月）～

73.6%（6月）、2004年49.3%（11月）～75.6%（9月）、2008年46.7%（12月）～88.8%（6月）である。いずれの年も日照時間について春と夏が長い傾向があり、月間発電量にも春と夏に2つのピークが認められる。太陽高度と梅雨等気象の季節変動、さらには発電性能の温度特性などの要因が複合した結果である。また実用発電効率は、日照時間が短い月に概して高く、特に春～秋の太陽高度が高い時期においては顕著である。2.2で記した通り、日照時間測定の日射の閾値が比較的高いため、日照時間にカウントされる以外の時間においても低レベルながら発電があることによると考えられる。年間を通じての季節変動は、傾向としては毎年繰り返されるものではあるが、年により変動幅やピークの月は顕著に変動する。

以上より、期間として月間を用いた月単位の実用発電効率は、気象変動の影響を大きく受けるため、システムの発電性能やその経時変化を表す指標としての利用は困難である。

3.3 年単位の実用発電効率

2000年～2008年の9年間について、期間として年間を用いた年単位の実用発電効率を年間発電量並びに日照時間と共に表1に示す。またその年度推移を図4に示す。

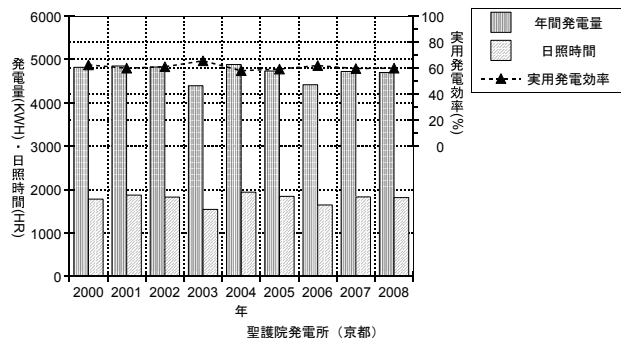


図4 年間発電量／日照時間と実用発電効率

表1 聖護院発電所（京都）の年間発電量と実用発電効率

公称最大出力 4.32KW

年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	平均
年間発電量(KWH)	4821	4851	4828	4396	4885	4735	4419	4724	4700	4707
日照時間(HR)	1780	1872	1826	1543	1940	1844	1644	1830	1816	1784
実用発電効率(%)	62.5	60.0	61.1	65.7	58.1	59.3	62.0	59.7	60.0	61.1

日照時間および発電量の年度間の変動は顕著であるが、実用発電効率の変動は比較的小さい。聖護院発電所9年間の各年度の実用発電効率の変動幅は最大65.7% (2003年)～最小58.1% (2004年)であり、平均値は61.1%である。システム設置後の9年間に於いて経年的な減少傾向は認められない。すなわち、本システムは発電性能の面で顕著な経年劣化が生じていないと認められる。

この結果は、年単位の実用発電効率の、システムの発電性能の評価およびシステムの性能劣化の判定指標としての有効性を示唆するものである。月単位においては顕著であった気象変動要因が、年単位ではある程度相殺されて、システム評価の目的に利用可能なレベルに収まったものといえる。

以上の結果より、年単位の期間の発電量および対応する日照時間を用いた「実用発電効率」を発電能力評価指標として、岡山市を始め国内のいくつかの実用システムの性能評価を試み、この指標の有効性についての検証を進めた。以下、特に付記のない限り「実用発電効率」は年単位の指標を表すこととし、「発電量」ならびに「日照時間」も対応する年度の年間量を表すものとする。

4. 国内の実用システムへの応用

4.1 中山おひさま発電所 (岡山市)⁸⁾

NP0法人おかやまエネルギーの未来を考える会 (エネミラ) が2002年に岡山市立中山保育園に設置した市民共同発電1号機。多結晶シリコンタイプ、公称最大出力5.2KW、方位角45° (東南)、傾斜角20°

2003年～2008年の6年間の発電実績データ⁸⁾に基づく結果を図5に示す。

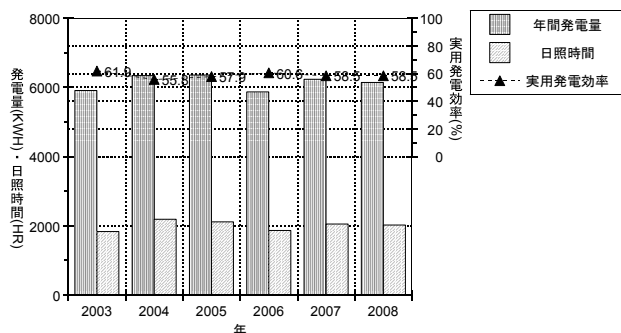


図5 中山おひさま発電所 (岡山) の実用発電効率推移

図より、日照時間ならびに発電量の年度間変動は顕著であるが、実用発電効率の変動は比較的小さい。6年間の変動幅は最大61.9% (2003年)～最小55.8% (2004年)、平均値は58.7%である。実用発電効率の低下傾向は特に認められない。なお方位角45°の南東向き設置であるにもかかわらずほぼ60%の高い実用発電効率を達成している。

4.2 平松発電所 (岡山市)

岡山市内の住宅 (平松邸) の屋根に2002年に設置されたシステム。公称最大出力3.6KW、設置方位は東向きおよび西向き (方位角いずれも90°)。傾斜角約35°

2003年～2008年の6年間の発電実績データ⁹⁾に基づく結果を図6に示す。

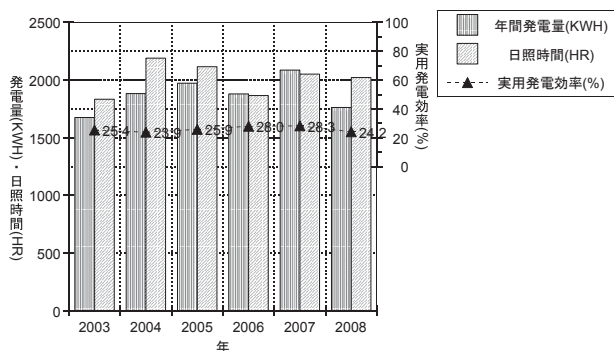


図6 平松発電所 (岡山) の実用発電効率推移

実用発電効率の6年間の変動幅は最大28.3% (2007年)～最小23.9% (2004年)、平均値は25.9%である。図より実用発電効率の傾向的な低下は特に認められないが、平均値25.9%は同じ岡山市に設置されている中山おひさま発電所の1/2以下と、かなり低い。設置方位が東および西 (方位角90°) であり、太陽光の入射角の面で極めて不利であることが主原因と考えられる。南向きへの方位変更により効率改善の可能性はある。

4.3 その他の各地の発電所

全国各地に設置されている住宅用太陽光発電システムの中には、発電実績データをホームページで公開しているものが多い。それらの中で比較的長期間のデータが揃い、設置場所や基本的な設備条件が明示されているもののいくつかについて、実用発電効率の指標を用いた評価

を試みた。結果の概要と所見を示す。

(1) G発電所（群馬県板倉町）

<http://www.page.sannet.ne.jp/ahira/9450/Sun.html>

1999年に設置された住宅用システム。公称最大出力3.0KW, 多結晶シリコンタイプ, 南西向(2/3)および南東向(1/3), 傾斜角22°。日照時間は館林市のデータを用いた。結果を図7に示す。

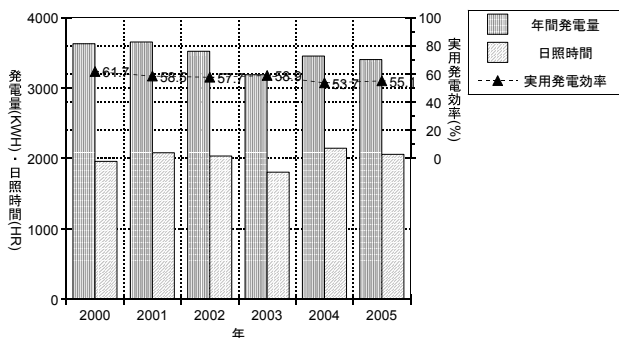


図7 G発電所（群馬）の実用発電効率推移

6年間の実用発電効率の平均値は57.5%で、方位角を考慮すると発電性能の点で特に問題ない。図より推移を見ると、実用発電効率は6年間で5%程度低下傾向があるようにも見受けられるが、顕著な変化ではない。その後の経過を注目する必要がある。

(2) S発電所（愛知県瀬戸市）

<http://www1.ocn.ne.jp/~yasuko/page2008.html>

2000年に設置された住宅用システム。公称最大出力3.19KW, 多結晶シリコンタイプ, 南東向(1/2)および北西向(1/2), 傾斜角約20°。日照時間は名古屋市のデータを用いた。結果を図8に示す。

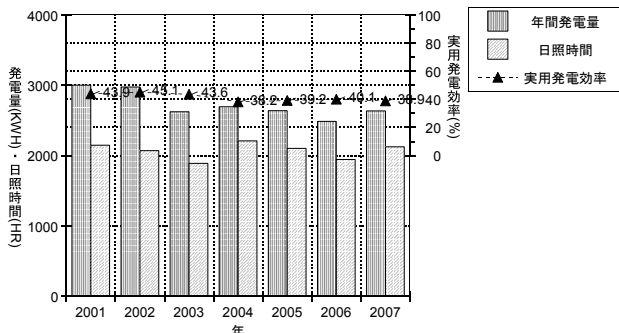


図8 S発電所（愛知）の実用発電効率推移

7年間の実用発電効率の平均値は41.4%で若干低い。パネルの半数が北西向きと云う設置条件が大きく影響していると考えられる。図より推移傾向を見ると、実用発電効率が2003年を境に約45%の水準から約40%水準へとほぼ5%程度低下しているように見られる。2003年にインバータが交換されたことが原因である可能性がある。

(3) T発電所（富山市）

<http://www15.plala.or.jp/totta/30sola/taiyou.htm>

1998年に設置された住宅用システム, 公称最大出力4.0KW, 南南西向, 傾斜角45°。結果を図9に示す。

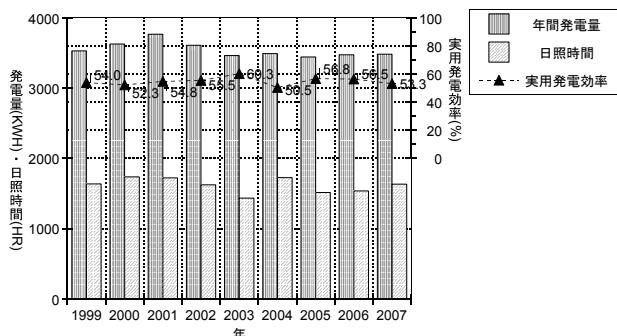


図9 T発電所（富山）の実用発電効率推移

9年間の実用発電効率の平均値は54.8%で、他地域の南東または南西向のシステム, 中山おひさま発電所やG発電所の約58%と比較しても僅かに低い。また他の地域のいずれのシステムと比較しても実用発電効率の年次変動が大きい。いずれも冬季の積雪を伴う気象変動の影響による可能性がある。なお、図からは、これまでのところ実用発電効率の経年的な低下傾向は認められない。

5. お わ り に

以上の検討結果より、システムの公称最大出力（定格値）、年間発電量、および年間日照時間から算出される指標「実用発電効率」が太陽光発電システムの実用状態での発電性能を評価する指標として有効であることが明らかになった。特に、モジュールの設置方位角が発電性能に大きな影響を与えることが現実に確認された。またこの指標の比較的長期間の推移を見ることによりシステムの性能変化（劣化・寿命）をチェック出来る可能性も

確認できた。ただ、今回の検討においては、発電実績データとして現在まで最長9年間までしか得られず、長期寿命の評価法としての有効性は必ずしも確認出来たとは云えない。今後も検討・検証を続けたい。

聖護院発電所の設置以来現在までの総発電量は約44,000KWHである。このシステムの製造・設置に要したエネルギー約8,000KWHを差し引いた約36,000KWHがこれまでのエネルギー利得となる。この分、二酸化炭素排出係数0.200Kg-C/KWHの火力発電を削減したと考えると、このシステムは既に炭素換算7トン以上の二酸化炭素排出削減に寄与し、ささやかではあるが地球温暖化防止に貢献したことになる。今後も長期間にわたり、性能劣化なく発電が続き、地球環境に末永く貢献出来ることを期待している。住宅用等の小型太陽光発電システムは、その一つひとつの環境保全効果はささやかであっても、小規模分散発電の特性を活かし普及が進むことにより、やがて環境汚染につながる火力発電所や原子力発電所を置き換える大きなパワーを秘めている。

評価指標「実用発電効率」の算出に用いる日照時間は、気象庁が全国多数の観測地点のデータをインターネットを通じて日々発表しており、年単位の積算値を含め容易に利用できるものである。また発電量データもシステム付属の発電電力計により取得できる。この指標が住宅用をはじめ広く実用されつつある太陽光発電システムの簡便な自己診断指標としても活用され、システムの効率改善やメンテナンスに役立ち、ひいては太陽光発電のさらなる普及につながることを願っている。

謝 辞

本研究において、指標「実用発電効率」の有効性を検証するに当たって、岡山市内の太陽光発電システムの発電実績データの提供を受け、利用させていただきました。NPO法人おかやまエネルギーの未来を考える会（エネミラ）会長広本悦子様、技術担当淵上吉男博士、中西卓様、ならびに、平松発電所 平松芳樹先生に厚く御礼申し上げます。また、インターネットで公開されている各地の太陽光発電所の発電実績データについても、指標の応用可能性の検証に使用させていただきました。本文中にそ

のURLを掲げさせていただき、当該発電所長様はじめ関係各位に深い謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大藤吉雄：住宅用太陽光発電システムの導入事例，山陽技術雑誌 48 pp.4-9 (2001)
- 2) 大藤吉雄：住宅用太陽光発電システムの経済性と環境保全効果，中国短期大学紀要32 pp.51-63(2001)
- 3) 大藤吉雄：我が家の太陽光発電システム2，光シリーズNo.3[光エネルギー] pp.44-48 オーム社(2002)
- 4) 大藤吉雄：住宅用太陽光発電システムの運用事例，山陽技術雑誌55 PP.16-19(2008)
- 5) 濱川圭弘編著：「太陽光発電－最新の技術とシステム」 PP.116-119 シーエムシー (2000)
- 6) 気象庁ホームページ，気象統計情報
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 7) 高濱豪，中井拓夫，澤田徹，田口幹朗，津毛定司：新 型結晶系太陽電池－H I T構造太陽電池，Sanyo Technical Review Vol.28, 98 (1996)
- 8) エネミラホームページ <http://enemira.milkcafe.jp/>
発電実績データは，ホームページ公開分の他，私信
- 9) 平松芳樹，私信による。

