ソーラーエアコンの運転特性評価

正員 田 中 邦 穂 (三洋電機)

正員 丁 路 (三洋電機)

正員 牧 野 康 弘 (三洋電機)

正員 裕 口 悦 男 (三洋電機)

正員 武 岡 明 夫 (三洋電機)

正員 山 田 英 二 (長崎大)

Performance Evaluation of Solar-Powered Air Conditioner

Kuniho Tanaka, Member, Lu Ding, Member, Yasuhiro Makino, Member, Etsuo Sakoguchi, Member, Akio Takeoka, Member (Sanyo Electric Co., Ltd.), Eiji Yamada, Member (Nagasaki University)

With today's global environmental and energy problems, high expectations exist for solar power generation to reduce carbon dioxide generated by the consumption of fossil fuels.

On the other hand, power consumption in residential homes is increasing every year. Among the many household appliances, the power demand for air conditioners increases dramatically during the summer, particularly in the afternoons. As this pattern closely matches the output pattern of solar cells, it should be possible to combine a photovoltaic array with an air conditioner to decrease the energy consumption within the home.

We have developed a residential solar-powered air conditioner that operates through a combination of photovoltaic array and commercial power.

In this paper, the configuration and specification of the solar-powered air conditioner are described. And the performance characteristics of the solar-powered air conditioner are examined by the analysis of the characteristics of the solar cell.

キーワード：太陽電池，インバータエアコン，系統連系，CO₂削減，夏季ピーク電力抑制

1. ま え が き

化石燃料の消費に伴うCO₂の抑制を目的とした地球環境保全技術の一つとして，太陽電池を用いた電力応用システムへの関心が高まっている。

一方，家庭でのエネルギー消費量は，インバータエアコンなどの大容量の家庭電気機器の普及によって年々増加の傾向にあり，一般家庭用としての分散型系統連系太陽光発電システムの開発が積極的に進められている⁽¹⁾⁽²⁾。

分散型系統連系システムの一つとして，著者らは太陽電池とインバータエアコンを組み合わせたソーラー

エアコンを開発し，大阪府守口市のモデルハウスに設置して実証試験を行った⁽³⁾⁽⁴⁾。

ソーラーエアコンは電力系統への逆潮流のない設計としており，太陽電池を有効に利用するためには，インバータエアコンの負荷パターンと太陽電池の発電パターンのマッチングがとれていることが望ましいが，夏季の冷房運転の場合と冬季の暖房運転の場合では負荷パターンと太陽電池の発電パターンに差が生じる。また，太陽電池の特性は主に光強度とセル表面温度に依存するため，夏季と冬季では特性に変化が生じる。

本論文では，太陽電池の特性曲線のうち， $I-V$ 特性，光強度特性，セル表面温度特性を用いた簡便な解

析手法により太陽電池の発電パターンを算出し、夏季および冬季の太陽電池の発電量、太陽電池の一定電圧制御の評価、冷房運転および暖房運転の実測値との比較によるソーラーエアコンの運転特性について考察した。

2. ソーラーエアコンの基本構成

〈2・1〉 システム構成と仕様 図1にソーラーエアコンの基本構成を、表1に仕様を示す。太陽電池の出力電圧 V_i は、昇圧チョップパによってインバータエアコンの整流部の電圧 V_0 まで昇圧される。 V_0 はインバータエアコンの負荷に対応して 250 V から 320 V の範囲で変動するが、昇圧チョップパは、 V_0 の値によらず V_i を最適動作電圧の 100 V に一定に制御するため、太陽電池からほぼ最大電力を取り出すことができる。エアコンの消費電力は設定温度と室内温度の差によって表1に示すように 90 W から 1,320 W 間で変化

図1 ソーラーエアコンの構成

Fig. 1. Configuration of the solar-powered air conditioner.

表1 ソーラーエアコンの仕様

Table 1. Specification of the solar-powered air conditioner.

太陽電池	最大出力電力(W)	600
	最適動作電圧(V)	100
昇圧チョップパ	入力電圧(V)	100
	出力電圧(V)	250~320
	効率(%)	95
	制御方式	入力電圧一定 ($W_s < W_A$) 出力電圧一定 ($W_s > W_A$)
エアコン	定格能力(kW)	冷房時 2.8(0.2~3.3) 暖房時 4.0(0.1~4.8)
	消費電力(W)	冷房時 1,070(150~1,180) 暖房時 1,170(90~1,320)

し、熱平衡状態(室内温度=設定温度)では300~400 W となる。太陽電池は熱平衡状態での電力をまかなうものとし、昇圧チョップパの効率、温度上昇による太陽電池の効率低下などを考慮して 600 W に設定した。

〈2・2〉 昇圧チョップパの特性 図2に太陽電池の模擬電源として、内部抵抗 R_s (10 Ω) の直流電源を用い、模擬電源電圧 V_s を 100 V から 230 V に変化させた場合の昇圧チョップパの特性を示す。ここで、太陽電池の出力電流 I_i は、太陽電池の出力電圧 V_i 、模擬電源電圧 V_s および内部抵抗 R_s を用いて、

$$I_i = (V_s - V_i) / R_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表される。図2より V_i は I_i が増加しても太陽電池の最適動作電圧 100 V に一定に制御されることがわかる。エアコン負荷電力 W_A が太陽電池の発電電力 W_s を下回る場合、エアコンの整流部の電圧 V_0 が上昇するが、 V_0 が過電圧設定値の 320 V に達すると、それ以上の出力電圧上昇を抑制するために、 V_i を太陽電池の最適動作電圧の 100 V より高く制御することによって太陽電池の出力を低下させる。太陽電池の有効利用のためには、 $W_A > W_s$ でシステムを運転することが望ましい。

3. 太陽電池の特性

〈3・1〉 太陽電池の基本特性 図3にアモルファス Si 太陽電池の (a) I - V 特性、(b) 光強度特性、(c) セル表面温度特性を示す⁽⁵⁾。

(b) 図より短絡電流 I_{sc} および最大電力 P_{max} は光強度に比例して増加し、開放電圧 V_{oc} は光強度の増加に伴い緩やかに増加する。また、(c) 図より I_{sc} は温度に比例して増加するが、 V_{oc} がそれ以上に減少することから P_{max} は減少する。このように、太陽電池

図2 昇圧チョップパ特性

Fig. 2. Characteristics of the chopper.

(a) $I-V$ 特性

(b) 光強度特性

(c) セル表面温度特性

図 3 太陽電池の基本特性

Fig.3. Characteristics of the a-Si solar sell.

の出力特性は光強度とセル表面温度に影響されることから、これらをパラメータとして特性曲線を算出することができる。

図 4 太陽電池の特性曲線算出プログラムの流れ図

Fig. 4. Flowchart for calculation of $I-V$ characteristics of the solar sell.

〈3・2〉 太陽電池の特性曲線 図 4 に太陽電池の特性曲線を算出するための流れ図を示す。

(a)図の $I-V$ 特性曲線上の各点に対応する電圧、電流値をコンピュータに入力し、最小二乗法により曲線方程式を算出する。次に、(b)図の光強度特性、(c)図のセル表面温度特性を入力し、すべての光強度、セル表面温度に対応した関係式を求める。これより、任意の光強度、セル表面温度に対応する $I-V$ 特性曲線が求められる。また、この特性曲線より最大電力、発電効率などが算出される。本方式は従来方法に比べて以下の点に特徴がある。

(1) 従来は、光強度あるいはセル表面温度の一方をパラメータとして特性曲線を算出していたが、本方式は任意の光強度、セル温度に対する特性曲線が算出できる。

(2) 任意の動作電圧に対応した発電量を算出できるため、ソーラーエアコンのように太陽電池を一定電圧で制御する場合の発電量の評価が可能である。

(3) 太陽電池の $I-V$ 特性、光強度特性、セル表面温度特性はカタログに記載されているため、各種太陽電池の評価が可能である。

なおこの解析は、

(i) セル特性のばらつきおよびアニールの影響

(ii) 太陽光スペクトルの影響
については考慮していない。

4. 太陽電池の発電特性評価

〈4・1〉 太陽電池の出力特性 図5に(a)夏季および(b)冬季の日射量とセル表面温度の実測値より算出したアモルファスSi太陽電池の特性曲線の解析結果を示す。(a)図は平成2年8月14日(晴天日)の解析結果である。この図に示されるように、最大電力 P_{max} における電圧値 V_{op} は日射量の小さい場合を除いてほぼ一定になる。これは図3(b),(c)より日射量が増加すると V_{oc} が増加するが、セル表面温度も高くなるため V_{oc} の増加が抑制されるためである。

(a) 夏季の太陽電池特性

(b) 冬季の太陽電池特性

図5 太陽電池の出力特性

Fig. 5. Output characteristics of the a-Si solar sell.

(b)図は、平成3年2月23日(晴天日)の解析結果である。この図に示されるように、冬季はセル表面温度が低くなるため、図3(c)より V_{op} が夏季に比べて高くなるが、日射量の小さい場合は図3(b)より V_{oc} が減少するため V_{op} の夏季との差が少なくなる。

〈4・2〉 太陽電池の制御方法 ここで、太陽電池の動作点を図5において0.6Vに一定電圧に制御する場合と、常に最大電力に制御する場合の比較検討を行う。図6に、図5(a)と同じ日の日射量、セル温度の変化に対する最大電力制御と一定電圧制御の発電量を算出した結果を示す。図6より、一定電圧に制御した場合でも、太陽電池から得られる発電量に差は見られない。太陽電池の動作点を最大値に制御する場合の1日の発電量 P_M と、一定電圧に制御する場合の1日の発電量 P_C の誤差 ε を

$$\varepsilon = \{1 - (P_C/P_M)\} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (2)$$

と定義すると、図5(a)の場合

$$P_M = 246 \text{ Wh/m}^2$$

$$P_C = 242 \text{ Wh/m}^2$$

と算出され

$$\varepsilon = 1.63\% \text{ となる。図5(b)の場合}$$

$$P_M = 209 \text{ Wh/m}^2$$

$$P_C = 207 \text{ Wh/m}^2$$

と算出され

$$\varepsilon = 0.96\%$$

となり、一定電圧制御でも発電量があまり低下しないことがわかった。

図6 夏季の発電電力

Fig. 6. Generated power of the a-Si solar sell in summer.

5. ソーラーエアコンの運転特性

〈5・1〉 1日の運転特性の評価 本システムを大阪府守口市のモデルハウスに設置して実測を行った。太陽電池は真南に 30°の傾斜角で設置し、日射量、セル表面温度、太陽電池の発電量および気温などを計測した。図7に(a)冷房運転および(b)暖房運転の場合の1日の解析結果と実測結果を示す。ここで、冷房運転の場合のエアコンの設定温度を 27℃、暖房運転の場合のエアコンの設定温度を 20℃とし、表1に示すエアコンの能力に見合う約 8 畳の広さの部屋で実測した。また、図7における発電量(計算値)は、図5で求めた一定電圧で制御した場合の発電量の算出値を示す。

(a)図は平成4年9月19日の解析結果と実測結果である。発電量(計算値)の変化は日射量の変化とほぼ一致しているが、セル表面温度の高い日中は発電効率が低下するため発電量(計算値)が少なくなる。発電量の計算値と実測値はよく一致しており、本解析の有効性が実証された。ここで、1日の発電量の計算値を P_c 、実測値を P_s とし、システムの利用率 η を

$$\eta = (P_s / P_c) \times 100 (\%) \cdots \cdots (3)$$

と定義すると、図7(a)の場合

$$P_c = 123 \text{ Wh/m}^2$$

$$P_s = 117 \text{ Wh/m}^2$$

と算出され

$$\eta = 95.1\%$$

となる。

(b)図は平成4年2月23日の解析結果と実測結果である。暖房運転の場合は冷房運転と異なり気温の上昇によってエアコン負荷が減少するため、日射量の多

(a) 冷房運転特性(晴天日)

(b) 暖房運転特性(晴天日)

図7 ソーラーエアコンの運転特性
Fig.7. Performance of the solar-powered air conditioner.

図8 日別運転特性

Fig.8. Daily performance of the solar-powered air conditioner.

い日中に発電量(実測値)が制限されている。(b)図の場合

$$P_c = 207 \text{ Wh/m}^2$$

$$P_s = 184 \text{ Wh/m}^2$$

と算出され

$$\eta = 88.9\%$$

となり、日中の発電量の制限のために利用率が低くなっている。

〈5・2〉 1箇月の運転特性の評価 図8に暖房運転の場合の1箇月の日別運転特性を示す。なお、図中の数値は日別のシステム利用率を表している。暖房運転のため日射量の多い日にシステム利用率が低下するが、1箇月の平均では発電電力の計算値の90%以上を利用可能なことが明らかとなった。

6. ま と め

本論文では、太陽電池の $I-V$ 特性、光強度特性、セル表面温度特性と日射量、セル表面温度の実測値より太陽電池の発電パターンを算出し、冷房運転および暖房運転の場合のソーラーエアコンの運転特性について考察し、以下の結果を得た。

(1) 太陽電池の動作点を最大値に制御する場合と一定電圧に制御する場合の発電量を夏季と冬季の晴天日で算出した結果、発電量の差は夏季で1.63%、冬季で0.96%とわずかであった。これは、日射量とセル表面温度の関係から、最大電力点の電圧値があまり変化しないためである。

(2) 定格電力600Wの太陽電池を用いた場合のシステム利用率は、夏季の晴天日で95.1%、冬季の晴天日で88.9%となった。これは、暖房運転の場合、日中の発電量が制限されるためである。

(3) 冬季の1箇月のシステム利用率は90%以上となった。このことから、設置した太陽電池は有効に利用されているといえる。

本論文で提案した解析手法により日射量、セル表面温度のデータから算出した発電量の計算値は、ほぼ実測値と同等の値が得られた。太陽電池の $I-V$ 特性、光強度特性、セル表面温度特性はカタログに記載されているため、本解析手法により各種の太陽電池の評価が可能である。

終りに、本研究を進めるにあたり御指導をいただいた(財)電力中央研究所宮内基光氏、実測データ処理を担当した三洋電機(株)機能材料開発センター福田雄二主任研究員に謝意を表します。

(平成4年11月25日受付、同5年4月28日再受付)

文 献

- (1) 塚本・佐藤・田村：「低圧配電線と連系する分散型太陽光発電システムの制御と保護」, 電学論B, **108**, 45 (昭63)
- (2) 塚本・牛嶋・佐藤：「双方向電流制御型コンバータによる空調機器の新制御方式」, 同上D, **109**, 17 (平元-1)
- (3) K. Tanaka: "Residential Photovoltaic System with an Air Conditioner", PVSEC-5, p. 885 (1990)
- (4) 田中, 他：「家庭用ソーラエアコンシステム」, 平2電気学会産業応用部門全大, No. 148
- (5) 桑野, 他：太陽電池活用ガイドブック, p. 25(平2)パワー社

田 中 邦 穂 (正員)

昭和32年1月19日生。56年3月長崎大学工学部電子工学科卒業。同年4月三洋電機(株)入社。現在、同社制御システム研究所パワーエレクトロニクス研究室主任研究員。

丁 路 (正員)

1949年10月5日生。1976年10月ハルビン工業大学卒業。昭和63年徳島大学大学院修士課程修了。平成3年神戸大学大学院博士課程修了。同年10月三洋電機(株)入社。現在、同社制御システム研究所パワーエレクトロニクス研究室研究員。工学博士。

牧 野 康 弘 (正員)

昭和34年5月9日生。57年3月大分大学工学部エネルギー工学科卒業。同年4月三洋電機(株)入社。現在、同社制御システム研究所パワーエレクトロニクス研究室主任研究員。

碓 口 悦 男 (正員)

昭和23年4月2日生。42年3月県立和歌山工業高等学校卒業。同年4月三洋電機(株)入社。現在、同社制御システム研究所パワーエレクトロニクス研究室

長。

武岡 明夫 (正員)

昭和22年11月5日生。45年3月東京工業大学理工学部電子物理工学科卒業。同年4月三洋電機(株)入社。現在、同社機能材料開発センターシステム開発

課長。

山田 英二 (正員)

昭和10年9月10日生。39年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。39年4月同大学工学部助手。43年3月長崎大学工学部助教授，

49年1月同教授，現在に至る。工学博士。主として，パワーエレクトロニクスと電気機器の制御に関する研究に従事。IEEE Senior member，電子情報通信学会，計測自動制御学会会員。