

シンプルな二軸追尾機構を備えた太陽光発電システムの開発

Development of a Photovoltaic Power Generating System Equipped with Simple Dual Axis Solar Tracking Mechanism

山本 敏和・作山 史江*

福島工業高等専門学校、電気工学科

*福島工業高等専門学校、電気工学科

(現：福島県いわき建設事務所)

Toshikazu Yamamoto and Humie Sakuyama*

Fukushima National College of Technology, Department of Electrical Engineering

*Fukushima National College of Technology, Department of Electrical Engineering

(2014年9月18日受理)

In order to maximize the generating power of a solar module, dual axis tracking type photovoltaic power generating system was produced. The solar module in the system is driven to face to the sun. The generating power of the tracking system was simultaneously compared with that of the fixed solar module. As a result, the generated power [Wh] of the tracking system was approximately twice to that of fixed solar module. The superiority of the tracking type photovoltaic generating system was confirmed in this paper.

Key words: Photovoltaic Power Generation, Solar Tracking System

1. はじめに

20 世紀末から大気中の二酸化炭素の増加が地球温暖化をもたらすと唱えられ、化石燃料の消費削減が求められていた¹⁾。発電のために化石燃料を必要としない原子力発電は二酸化炭素削減に寄与するとされていたが、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震と津波により福島第一原子力発電所の事故および放射能汚染問題が生じ、安全性の面から日本の原子力発電所が運転停止された。電力の不足を補うために化石燃料への依存率が高まり、また自然エネルギー利用について国内の関心が高まった。自然エネルギーを利用した発電方式のなかでも、太陽光発電は光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率が太陽電池設備の規模によらず一定であり、エネルギー源が無尽蔵とも言える発電方式であること、また、同期発電機などの回転機が不用で、静粛であることから、公園、公共施設、学校、一般家庭での利用が進んできた。太陽電池への入力である日射強度は曇り、雨、雪などの天候により変動する。また、太陽電池の表面に太陽光が

垂直に入射した場合に出力が最大となるが、太陽の日周運動による方位と高度が変化するため、固定型の太陽電池の場合、太陽電池の受光面に太陽光が垂直に入射する時間は、1 年の間でもごく短い時間に限られる。そこで、太陽電池の表面に常に太陽光を垂直に入射させる太陽追尾型の太陽光発電装置が考えられる。太陽追尾の方法としては、太陽方位、高度の年間データにもとづいて追尾する方法があるが、設置場所毎にデータは異なり、またコンピュータ等の付帯設備が大がかりになる。筆者らは、簡潔な構造を持ち、複雑な調整や設定が不要な追尾型太陽光発電装置の開発をめざして、まず、方位角方向の追尾のみを行なう装置を製作した²⁾。これは、2つの CdS 光センサの間に立てた衝立が、太陽方位の変化によって影を一方の CdS に落とすとそれを解消するよう太陽電池モジュールを方位角方向に旋回駆動するという 1 軸追尾型装置であった。本研究では、太陽追尾動作を太陽の方位および高度の 2 軸について同時に行なえる装置を開発した。駆動回路は簡潔で省エネルギーの装置となった。

2. 太陽の見かけの運動³⁾

地球は、公転面に対して地軸を傾けて一日一回転の自転をし、かつ太陽の周りを一年で公転している。地軸の角度は、公転面に立てた垂線に対して $23^{\circ} 27'$ である。

Fig. 1 に、北緯 35° にいる観測者から見た太陽の見かけの運動を示す。春分の日 (3月21日)、秋分の日 (9月23日) では、太陽の見かけの軌道面は、観測者に立てた垂線からの緯度に等しい角度にある。太陽は真東から昇り、真西に沈み、正午時の太陽の高度は、 $90^{\circ} - \text{緯度} (35^{\circ}) = 55^{\circ}$ である。夏至および冬至 (北半球では、各々、6月21日および12月22日、南半球では、逆) には、正午時の高度は、太陽の赤緯 ($\pm 23^{\circ} 27'$) によって、増加および減少する。

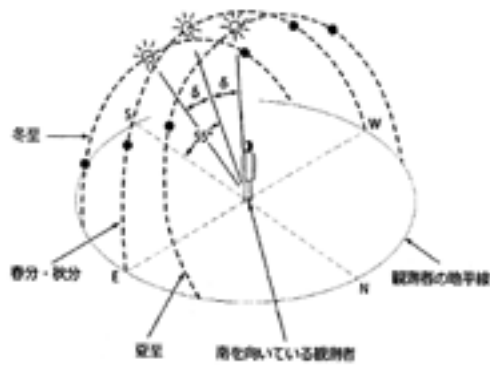


Fig. 1 北半球の緯度 35° にいる観測者に対する太陽の見かけの運動 ($\delta = 23^{\circ} 27'$)

3. 固定型および太陽追尾型の太陽光発電装置⁴⁾

地表に達する太陽光には直接太陽からの直達光と、雲や空中の埃などから反射してくる散乱光がある。散乱光の大きさは地域により、また季節や天候により異なる。我が国の場合は一般に散乱光が多く、45~50%にもなる。散乱光は天空の全面から来るので、太陽電池モジュールの設置角度を南に向けて大きくすると、北の天空から来る散乱光が遮られるので、モジュールに入射する散乱光が減ってしまう。したがって、緯度に合わせた設置角度よりも少し小さい角度に入射エネルギーが最大になるところがある。東京付近では約 30° が最適角度となる。そこで、固定型の太陽光発電設備は、設置方向を真南として傾斜角 30 度で設置さ

れることが多い。

太陽電池は、太陽電池の表面が太陽光線に直交するとき出力が最大になるが、太陽の位置は時々刻々変化するので、真南に向けたままであると朝と夕方の発電電力は太陽南中時のそれより少なくなる。

太陽電池モジュールは、太陽光を正面から受けるとき最大の電力を出力する。しかし、1日のうちでも朝、正午、夕方太陽の方位と高度は変化し、同じ時刻であっても季節により太陽の高度が異なる。そのため、固定型太陽光発電システムでは、最大電力を出力できる時間は短い。そこで、太陽電池の出力電力、1日あたりの電力量を最大にするために、太陽追尾型の光発電システムが考えられる。追尾の仕方には、太陽を方位角方向で追尾する1軸追尾⁵⁾、方位角方向および仰角方向で追尾する2軸追尾がある。1軸追尾は、太陽高度に対する追尾を省略し東西のみに太陽電池モジュールを回転させるものである。午前と午後で1日2回だけ動かして追尾するといった簡便型もある。1軸および2軸追尾ともに、太陽光発電設備を設置する地点における年間の日周運動データをマイクロコンピュータ等に蓄えておいて追尾する方法も考えられる。しかし、このような追尾型装置は複雑で、コンピュータ等の設備自体の消費電力やコストが高く、保守面で手がかかる。本研究では、光センサーを用いたシンプルなアナログ回路のみで追尾用回路を構成し、低消費電力かつ低コストな太陽追尾装置を実現した。本装置では設置地点における太陽の日周運動のデータも不要である。

レンズで光を集めることで太陽電池の面積を節約するという集光型のシステムでは、太陽電池を常に太陽に向けておく必要があることから、本追尾回路を応用することが有用と考えられる。

4. 2軸追尾型太陽光発電システム

Fig. 2 に2軸追尾型太陽光発電システムの外観を示す。光検出部で日の出・日没を検出し回路の電源をON・OFFさせる。また、太陽の方位および仰角を検出し、モータ駆動回路を経て太陽電池モジュールを減速ギヤ付きのモータ2台で仰角および方位角方向に駆動して、モジュールを太陽に正対させる。

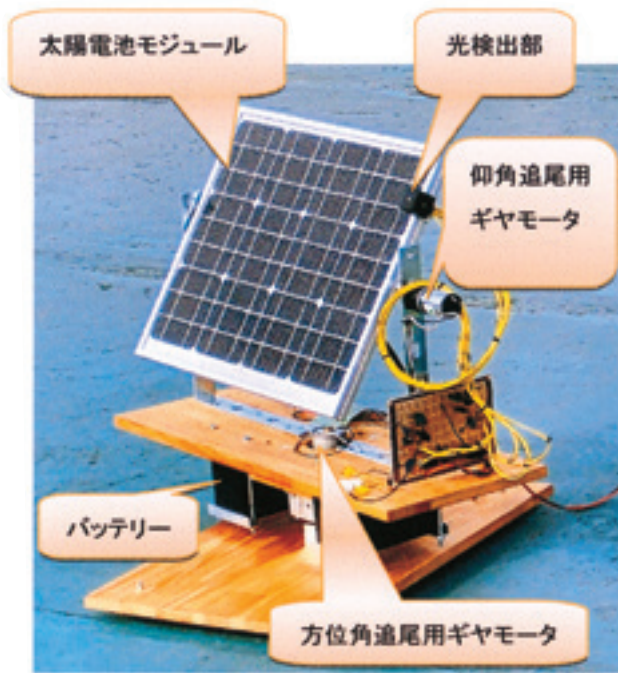


Fig. 2 2軸追尾型太陽光発電システムの外観

本システムの特徴は Fig.3 に示す光センサ部にある。直方体の5つの面に CdS セルを1つずつ設け、太陽電池モジュールの側面に取り付けた。モジュールと平行な面に設けられた CdS セル1つが照度検出に用いられる。また、モジュールを正面からみたとき、パネル面に垂直な左右2面の CdS セルが太陽の方位検出に使われ、上下2面の CdS セルが太陽の高度検出に使われる。

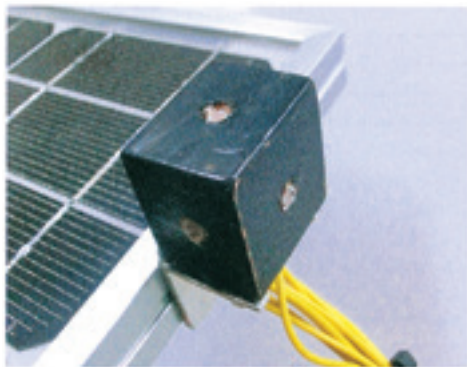


Fig. 3 光検出部の外観

黒色の直方体の5面にCdS(丸形)が設けられている。

Fig. 4 に、照度検出および太陽追尾回路を示す。回路は、大きく分けると照度検出部、仰角・方位角用の駆動部で構成した。照度検出部は、トランジスタ Tr1 とそのベース側に設けた CdS および抵抗、コレクタ側のリレーで構成されている。夜、暗黒下では CdS の抵抗値が数 $M\Omega$ であるので、Tr1 が OFF 状態であり、リレーの接点が開き2軸追尾回路の電源が OFF 状態である。夜が明けて明るくなると CdS の抵抗が低下し、Tr1 のベース電流、コレクタ電流が流れてリレーの接点が ON となり、2軸追尾回路の電源が入る。暗黒下ではバッテリーから流れる電流は μA のオーダーであり、夜間は節電している。また、追尾用のセンサ部では2つの CdS セルにあたる太陽光の強さにより、それぞれのセルの抵抗値が変化するのを利用し、オペアンプの出力電圧を正・負に変化させることでモータの回転方向を制御する。仰角および方位角方向で太陽電池モジュールが駆動され、光検出部の上下、左右それぞれ2つの CdS セルに当たる光の強さが同じになると、オペアンプの±入力電圧が等しく、出力電圧ゼロとなり太陽電池モジュールが太陽を正面に捉えた状態で静止する。製作した追尾システムでは、電源電圧が 12[V]、1軸あたりのモータ始動電流は 0.2 [A] であり、2軸同時の始動時の瞬時電力 4.8[W]となるが、モータが回転すると電流が低下し、消費電力が低下する。追尾動作は断続的であるので、モータの消費電力量は、後述する太陽電池出力電力量よりも少ない。

なお、太陽電池モジュールの規格を Table 1 に、仰角追尾用ギヤモータの規格を Table 2 に、方位角追尾用モータの規格を Table 3 に、バッテリーの規格を Table 4 に示す。

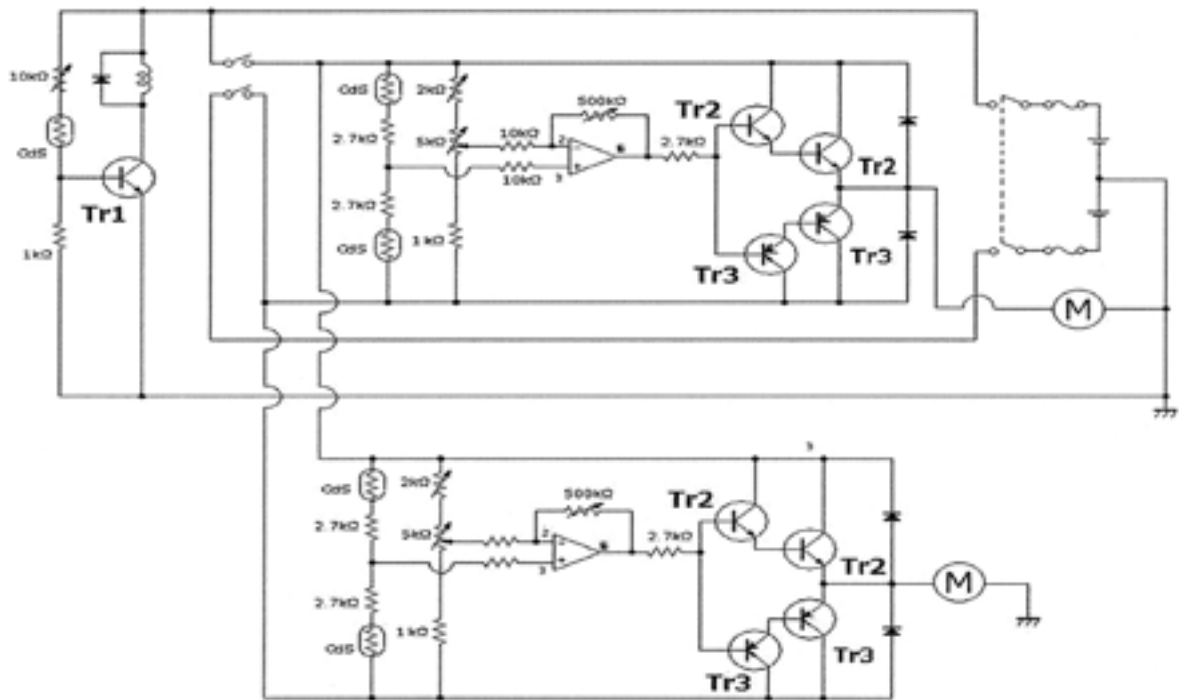


Fig. 4 照度検出および太陽追尾回路

※Tr1:2SC1815 Tr2:2SC1306 Tr3:2SA3298

Table 1 太陽電池モジュールの規格

メーカー	Sun Zeus
公称寸法	443×370×20 [mm]
最大出力	17.0 [W]
最大動作電流	1.0 [A]
最大動作電圧	17.0 [V]

Table 3 方位角追尾用ギヤモータの規格

メーカー	ツカサ電工
機種名	TG-21
定格電圧	24 [V]
無負荷回転数	4800 [r/min]
無負荷電流	300 [mA]
定格トルク	29.4 [Nm]
定格回転数	4350 [r/min]
定格電流	800 [mA]
回転方向	両方向
質量	410 [g]

Table 2 仰角追尾用ギヤモータの規格

メーカー	Crouzet
定格電圧	12 [V]
定格トルク	0.5 [Nm]
定格回転数	141 [r/min]
回転方向	両方向

Table 4 バッテリーの規格

メーカー	GS YUASA
形式	PX12090
定格電圧	12 [V]
定格容量	9 [Ah]
長さ	150 [mm]
幅	64 [mm]
高さ	93 [mm]

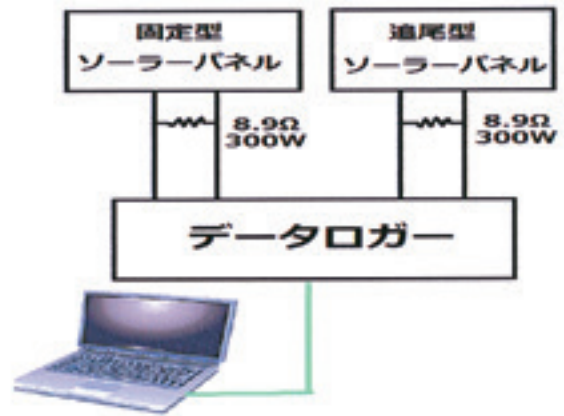


Fig. 5 発電電力の測定系統図

5. 発電電力の比較実験

固定型および追尾型の太陽光発電出力の比較実験のために、同規格かつ同特性の太陽電池モジュールを2個用いた。それぞれの方式で出力電力を別々の日に測定した場合には、入力である日射量が変わってしまい、両者の発電能力の比較ができなため、固定型と追尾型の太陽光発電システムの出力を同時測定した。測定回路を Fig. 5 に示す。太陽電池モジュールの負荷として抵抗を接続し、その端子電圧を2チャンネルのデータロガーで同時記録した。負荷抵抗の許容電力は300 [W] であり、使用したモジュールの定格出力17.0 [W] より十分大きいので、計測中の温度上昇および抵抗値変化は無視できる。負荷抵抗の端子電圧と抵抗値から抵抗での消費電力すなわちモジュールの出力電力が計算できる。データロガーは、エフテック株式会社製ハイブリッド電力計Ⅱ F0287 である。

製作した2軸追尾型太陽光発電システムは、実験開始から終了まで全く手を触れる事無く太陽を追尾して、太陽光発電を行なった。結果、測定時間全体にわたり、追尾型発電システムにおける太陽電池モジュールの出力および固定型太陽電池モジュールの出力を同時にデータ収集できた。

6. 測定結果および検討

晴天の日（2012年12月27日、9時40分～16時に福島高専管理棟屋上で固定型および追尾型太陽光発電装置で同時測定した結果を Fig. 6 に示す。

天候は晴れで時々曇りが通過し、気温は測定開始時6℃、測定終了時4℃であった。なお、南中時刻は11時37分、南中高度は29.6°である⁶⁾。固定型の太陽電池モジュールは、方位を真南に向け、傾斜角を日本での最適傾斜角と言われている30°に設定して測定を行なった。

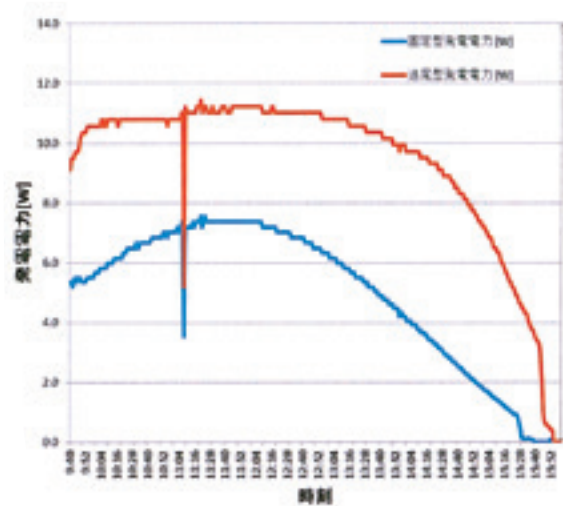


Fig. 6 晴天日（2012年12月27日）の発電電力測定結果

Fig. 6 をみると、まず、追尾型太陽光発電システムの発電電力が、固定型太陽光発電システムのそれを常

に上回っていることが分かる。これより、この日の9時40分から16時のような天候(快晴)において、追尾型太陽光発電システムの発電能力のほうが、固定型太陽光発電システムのそれより高いと言える。固定型モジュールの出力電力は綺麗な山型の曲線であるが、追尾型システムの出力は左右対称とは言えない。固定型モジュールは直射光に加えて大気中の散乱光も受けているため細かな雲や薄雲が通過しても出力の変動が少なく、出力曲線に凹凸が少ないと考えられる。一方、追尾型システムでは、モジュールが常に太陽に正対するよう制御されるため、直射光による出力成分が大きくなり、細かな雲や薄雲の通過によって出力変動が目立つものと考えられる。11:04ごろ、両システムの出力に鋭いディップが現われているのは、この時刻に厚い雲が太陽光を遮ったものと推定される。

蓄積記録された出力電力値[W]を積分計算して得た出力電力量[Wh]を Fig.7 に示す。この日の測定時間内においては、追尾型の発電電力量は固定型のそれの約2.0倍に達している。これにより、追尾型太陽光発電システムの有効性を実証することができた。

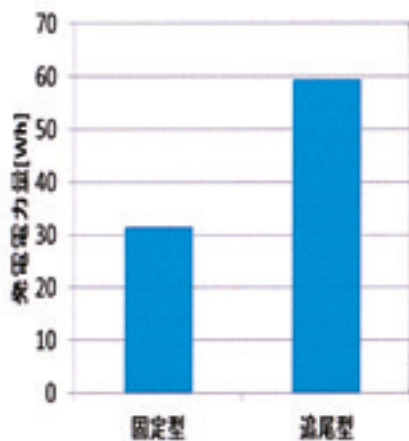


Fig. 7 2012年12月27日の発電電力量

7. 今後の課題

本研究では、幸いに冬季の終日晴天のもとで実証実験を行なうことができた。今後は、次のような展開を行ないたいと考える。

- (1) 駆動回路、モータ、駆動機構に耐水性を持たせる。
- (2) より大型の太陽電池モジュールを用いて発電能力を向上させる。
- (3) 蓄電機構を設けて、曇天、雨天、夜間に電力利用を可能とする。災害時などの非常用電源として活用できるようにする。
- (4) 太陽電池モジュールにかかる風圧が大きくなった際の対策を考える。

8. 参考文献

- 1) 太陽光発電技術研究組合 監修、小長井誠 編著：薄膜太陽電池の基礎と応用、p. 2 (オーム社、東京、2001)。
- 2) 山本敏和、小松昌太郎、佐藤明博：福島工業高等専門学校 研究紀要 第47号 p. 23, 2006。
- 3) 山口真史・M. A. グリーン・大下祥雄・小島信晃：太陽電池の基礎と応用 シリコンから有機・量子ナノまで 丸善出版株式会社、p. 1~p. 8、2010。
- 4) 太陽光発電技術研究組合：太陽光発電 その発展と展望、朝日新聞社、p. 10, 1998。
- 5) 社団法人 農山漁村文化協会、農家が教える自給エネルギー、別冊 現代農業 p. 24, 2012年1月号。
- 6) 中川清隆：
<http://www.es.ris.ac.jp/~nakagawa/>
(調査日：2013年1月)