

# 独立型太陽光発電システムの設計・施工と評価

## Design, Construction and Evaluation for Stand-alone Photovoltaic Power Generation System

若 林 革 \*1

Arata WAKABAYASHI

**要約** 2016年度総合制作実習のテーマとして「独立型太陽光発電システムによる夜間照明の設計・施工」を選定し、製作に取り組んだ。電気エネルギー制御科のカリキュラムの柱の一つでもある環境エネルギーを題材としたこと。また、施設から正門側看板照明の設置要望がありテーマとして選定した経緯がある。システムを設置してから約3年が経過しており、本稿においては、当時のシステムの製作状況並びにその後の稼働状況について報告する。

### 1 はじめに

電気エネルギー制御科では、独立型太陽光システムを構築し、太陽光発電の構成や太陽光パネルの発電状況について実験を通じて理解するカリキュラムがある。本システムの製作に当たっては、実習で構築した基本構成は同じであるものの、照明等の負荷容量等を踏まえた機器の選定、照明の制御及び機器等を設置するための加工・施工などの要素を加え、実用に耐え得るものを目指した。

また、1年間の制約の中で製作しなければならず、事前の検討を十分に行った上で、スケジュール管理による進捗状況の確認を行い取り組んだ。

### 2 製作に当たって

総合制作を通じて、次の内容を重視し指導することとした。

- ・ システムについて調査し、十分に理解した上で、要件を整理できる。
- ・ システムの設計（消費電力と発電電力、耐風荷重など）ができる。
- ・ システムの設計を踏まえ、要件に適合する機器の選定ができる。
- ・ 作業(工程など)を分解し、設計から施工・検査までの役割を明確にし、進捗状況の管理ができる(随時見直し)。

- ・ 図面等の作成ができる。
- ・ 安全に配慮した施工、加工等の作業ができる。
- ・ 成果物に対し検証・評価を行い、問題・課題から改善の提案ができる。
- ・ 制作に関する資料をまとめ、報告書の作成ができる。

### 3 システムの構成

システム構成を図1に示す。太陽光パネルで発生した電力をバッテリーに蓄電し、その電気を夜間照明として活用することとした。また、非常用電源として常時蓄電された電気をインバータ経由で供給可能とするための電源用コンセントを設けた。太陽光パネルでの発電量は、後述する無日照日数を考慮した照明に必要な最小発電電力としたため、システムは商用系統とは連系しない独立型とした。

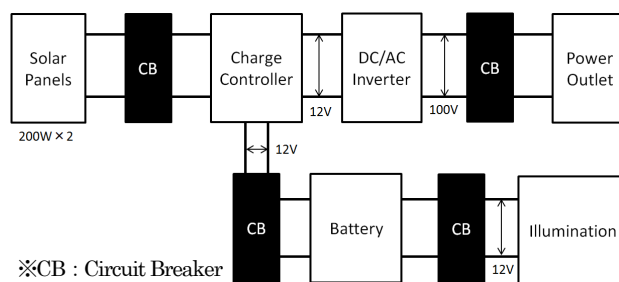


図1 システムの構成

\*1 電気エネルギー制御科

Department of Electricity energy and control Engineering

照明の設置に当たっては、看板とフェンスの間隔が非常に狭く(70cm)、看板の全長(幅)5mを2枚と非常に長いことから、投光器タイプの設置は困難となった。そこで、設置等の自由度が高く、消費電力を抑えることが可能なテープ型LEDを使用し、看板上部から照らす方式とした。

#### 4 システムの設計

##### (1) システムの要件

発電に関するシステムの要件は次の6点とした。

- ① 照明：テープLED(DC12[V]、5[m])23[W]2個
- ② 点灯時間：人通りがある夕方(照度センサによる。)から4時間
- ③ 1日の平均日照時間：3.5[h](日本の平均値)
- ④ 無日照日数(3日間の内発電可能な日が1日)：3日(一般的な値)
- ⑤ 付加機能：非常用の100[V]電源コンセント(ここでの消費電力は無視する。)
- ⑥ 照明以外の消費負荷：チャージコントローラの自己消費電力：0.6[W]

その他の機器等で消費する電力はほぼ無視できる値であり、消費電力の算定では考慮しないこととした。

##### (2) 必要となる発電電力及び蓄電池の容量

太陽光パネルの発電出力及び蓄電池の容量を以下の方法で算出した。

- ① 1日当たりの消費電流量[Ah/日]  
(照明の消費電力[W]+インバータの自己消費電力[W])×照明の消費時間[h]) / (照明及びインバータの電圧[V]×1[日]) = 15.53[Ah/日]
- ② 3日間で必要となるバッテリー容量[Ah]  
(1日の消費電流量[Ah/日]×無日照日数[日]) / (鉛蓄電池の損失係数×バッテリーの放電深度) = 97[Ah]  
鉛蓄電池の損失係数：0.8、放電深度：60%  
(一般的に放電深度は耐用期間を延ばすために50%とすることが多いが、コストを考慮し60%とした。)  
以上のことから蓄電池の容量は、97[Ah]以上必要と算定されたので、市販されている容量115Ahの鉛蓄電池を選定した。
- ③ 総発電電力量[Wh]  
照明及びインバータの電圧[V]×3日間の鉛蓄電池容量[Ah] = 1,165[Wh]
- ④ 太陽光パネルにおける必要発電電力[W]  
総発電電力量[Wh] / 不日照日数[日] × 太陽光パネルの損失係数 = 383[W]

太陽光パネルの損失係数：1.15

以上のことから383[W]以上発電可能な太陽光パネルが必要となり、容量200W(最大出力動作電圧：35.5[V]、最大出力動作電流：5.63[A])のパネルを2枚並列に設置することとした。

その他主要機器は上記に基づき、機器の定格を考慮し選定を行った。

##### (3) チャージコントローラ及びインバータ

チャージコントローラは、太陽光パネルと蓄電池が接続されるため、入力されるシステムの発電電力(400[W])とバッテリーの電圧(12[V])に対応した機器を選定する必要があり、効率の良いMPPTタイプを選択した。

インバータは、照明とともに非常用電源AC100[V]に接続される負荷電力を想定し選定する必要がある。接続負荷電流の最大3[A]以下と想定し、入力12[V]・3[A]、出力100[V]・300[W]のインバータを選択した。

#### 5 太陽光パネルの設置方法

照明を設置する看板の付近に建物がないことから、太陽光パネルを地面に設置することとした。この場合、太陽光パネルの設置方法は、主に杭打ち工法と置石基礎工法の2つある。前者は、単管パイプを用いて架台を組み、杭で地面に固定する方法である。特徴としては、単管パイプ等の部材が安い反面、杭打ち・組み立て等の作業に手間がかかること、設置後に風圧荷重の計測が必要であることが上げられる。一方、後者は、アンカーが取り付けられたコンクリートブロックを地面に平置きし、そこに太陽光パネルを設置する方法である。特徴としては、設置にかかる作業性が良いこと、風圧荷重の計算により置石基礎の必要個数が求められ設置後の計測が不要となる。

太陽光パネルの設置に当たって一番重要となるのは安全性である。地域の最大風速からパネルの大きさに合わせて適切に風圧荷重を計算し、太陽光パネルが強風で飛ばされないように、太陽光パネル、架台及び基礎を合わせた固定荷重が風圧荷重を上回る必要がある。

杭打ち工法を採用した場合、設置後の風圧荷重の計測が施設の設備では不可能であるため、コストはかかるが、後者を採用した(図2)。また、風圧荷重の計算を基にした置石基礎の重量は、「太陽電池アレイ用支持物設計標準」(JIS C8955)に準拠し算出した。

風圧荷重(N)の算出

$N = \text{風力係数}(C_w) \times \text{速度圧}(q_p) \times \text{受風面積}(A_w)$   
計算に当たっては、次の条件とした。

- 風力係数 (Cw) =  $0.71 + 0.016 \times$  設置角度  
置石基礎の傾斜 :  $5.33^\circ$
- 速度圧 (qp) = 基準風速<sup>2</sup> × 0.6 × 環境係数 × 用途係数
  - ✦ 基準風速 : 地域ごとの過去の台風の記録の基づく最大風速 (2016年時点の千葉市 : 36m/s)
  - ✦ 環境係数 (E) : 高さによる補正值 (Er)<sup>2</sup> × 風速の補正による補正值 (Gf)  
高さによる補正值 (Er) :  $1.7 \times (Zb/Zq)^\alpha$   
太陽光パネルを設置する学校の敷地を【地表粗密度区分Ⅱ】とする。  
(Zb=5、Zq=350、 $\alpha=0.15$ 、Gf=2.2)
  - ✦ 用途係数 : 通常は【1】とされている。
- 受風面積 (Aw) = 1324mm × 992mm  
太陽光パネル1枚当たりのサイズ  
以上のことから太陽光パネル1枚当たりの風圧荷重は約 150[kg]となった。置石の1セット当たりの重量が 76[kg]であることから、2セットで風圧荷重の条件を満たすことが可能であるが、当校が都市部であり近隣施設への影響や近年の異常気象等を考慮し、3セットの合計 228[kg] (1.5倍以上) とした。

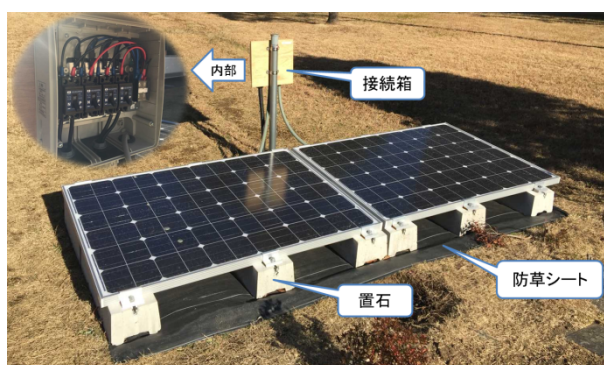


図2 置石基礎による太陽光パネルの設置

## 6 電路の配線と機器の設置方法

バッテリー、チャージコントローラ、インバータ、制御回路など太陽光パネル以外の主要機器等を収納するキャビネットボックスの設置位置は、電力損失を少なくするため、照明を設置する看板との距離を短くした。太陽光パネルは、年間を通じて日当たりが良好で、平坦な地面、キャビネットボックスとの距離が可能な限り近い場所を選定した。以上のことから太陽光パネルとキャビネットボックス間の直線距離は 20m となった。

並列に接続された太陽光パネルからの発電電流 (最大出力動作電流の合計 : 11.26[A]) を基に、使用する

VVR ケーブルの断面積 ( $\phi 2$ )、抵抗値 (5.65mΩ/m)、配線距離 (20m) 等の配線による損失を試算した結果 (配線による電圧降下 : 約 2.55V)、必要な発電量への影響はほぼないと試算された。

また、VVR ケーブル ( $\phi 2$ )、管に入れる配線本数に依存する減少係数 (2本 : 0.7) から太陽光パネルとキャビネットボックス間の配線に対する電流値 (11.6[A]) が許容電流 (16.1[A]) 未満と試算した。

太陽光パネルとキャビネットボックスとの間の配線方式は、架空配線が木と接触するため地中埋設の管路式とした。また、配管の上に重量物がないことから埋設の深さは 30cm とした。さらに、水はけ等を考慮し、管路を埋設する溝には破石を敷設した。掘削作業に当たっては、安全性を優先し、ショベルで行った (図3)。



図3 掘削作業と管路の埋設状況

太陽光パネル以外の主要機器を収納するキャビネットボックスは、費用と安全性から2つに分割し、二段に設置することとした。また、ボックスの転倒や雨等によるキャビネットの水没を防ぐため、地面に打ち込んだ鉄杭木で後ろから支え、下段に置石で固定した。

## 7 照明の設置方法

照明は長さ 5m のテープ LED を使用した。看板の幅が 5m あり、1つの看板に対して1個のテープ LED を使用した。2個の看板への配線は、通常、2並列の接続となるが、配線及び配管の手間を考慮し、販売元に確認したうえで、2直列の配線とした。設置後の点灯確認では、心配された電圧降下による照明の照度低下の影響はほぼ確認されなかった。

屋外に設置することを考慮し、全灌防水テープ LED を採用したが、経年劣化による浸水を考慮し、外側を専用のフレームで覆い、さらに直射日光を避けるために遮熱塗料を塗布した簡易的な日差しを設けた。

フレームはクランプに細く切った鉄板を取り付け、その先端に照明を固定し、看板へはクランプで固定した。





図4 看板への照明の取り付け

## 8 照明の制御方法

照明のマイコン制御回路基板を図5に示す。照明の動作は、手動・自動モードを設けて切り替え可能とした。通常時の動作である自動モードは、光センサにより一定時間暗い状態が続くと点灯し、4時間後消灯するようにした。手動モードは、採用したテープLEDがフルカラーであることから、R、G、Bに対応するスイッチを手動で切り替えることで7色の点灯が可能で、連続して7色を自動で切り替えができる方法とした。

制御は、授業で使用しているマイコンを活用し、専用基板を製作してキャビネット内に設置した。

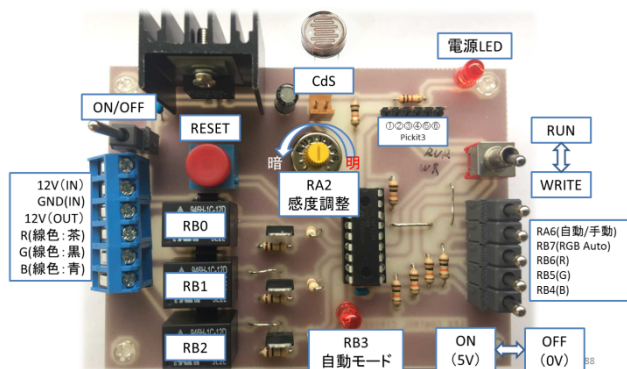


図5 製作したマイコン制御回路基板

## 9 システム構築後の評価

システム構築後の評価は、照明が問題なく稼働していることと、照度の2点とした。稼働状況は、2016年の稼働から約3年経過した本報告執筆時(2019年9月末)において、問題なく稼働している(図6)。照度

は表1の結果が得られた。全長10mのテープLEDが電源部から遠方になるほど、黄色味を帯びていたが、これは経年による電圧降下の影響と考える。一般的な看板表面の推奨照度は、周辺が暗い場合200[lx]であることから、遠端部における照度不足が発生している結果となった。

表1 照明の照度

	2016年	2019年
電源側 近端部	320[lx]	280[lx]
電源側 遠端部	250[lx]	180[lx]

一方、2019年9月に千葉県において、過去最大規模の台風が猛威を振るい、千葉市内の風速も57.5[m/s]と過去最大を記録した。この風速値は、システムの設計段階である2016年の最大風速(36[m/s])に対して約1.6倍の風速だった。本システムは、太陽光パネルの風圧荷重を約1.5倍として設計していたため、設置状況の検査においては問題ないことが確認された。



図6 照明の稼働状況

## 10 まとめ

環境エネルギーを利用した制作は、学生の習熟度の向上はもとより、対外的な広報に役立てることができた。

稼働状況は、照度低下が懸念されるものの、現在までのところ照明としての役割は果たせている。今後は、照度低下の推移を継続して確認し、照明のリニューアル及び蓄電池の放電深度の検証が必要となる。

## 参考文献等

- 1) JIS C 8955 太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法
- 2) 太陽光発電協会 太陽光発電システムの設計と施工 オーム社
- 3) 太陽光 PORTAL <http://taiyo-portal.jp/>