

# 積雪による太陽電池モジュール変換効率の低下を抑制するためのモジュールの設置方法

森内基隆<sup>1</sup>・中川重康<sup>2</sup>

要旨:太陽光発電設備は太陽電池モジュールに積雪すると、そのモジュールに部分陰が生じてモジュール変換効率が低下する問題がある。本校の太陽光発電設備でも冬期になると、太陽電池モジュールに積雪し、変換効率が低下する。

太陽電池モジュールの積雪が比較的多くても、モジュールの短辺を南北方向に設置し、かつモジュールの設置間隔を広くすると、モジュールの積雪の滑落が容易になる。太陽電池モジュールの設置方法を工夫することで、モジュールの積雪の影響が軽減され、モジュール変換効率の改善ができることを実証する。

キーワード:太陽電池モジュール, 積雪, 設置方法, 発電電力, 変換効率

## 1. はじめに

1999年に定格発電電力40kWの太陽光発電設備が本校に設置され、現在も稼働中で校内消費電力の一部を補っている<sup>1)</sup>。この設備が設置されると同時に、この設備の発電データおよび気象データの計測装置を設置し<sup>2)</sup>、卒業研究・研究活動に利用している。これらの測定データを現在も収集し続けている。太陽光発電設備の太陽電池モジュール(以下モジュール)に積雪すると、部分陰を生じモジュール変換効率が低下する問題があるため、モジュールの積雪の影響を除去するための研究報告<sup>3-13)</sup>がされている。本校の太陽光発電設備でも毎年の積雪期間である12月～2月においてモジュール変換効率が低下している。本校の太陽光発電設備のモジュールは、積雪対策が施されていないために、積雪によるモジュール変換効率の低下が大きい。本研究では、太陽光発電設備において、積雪時でもモジュール設置方法を工夫することで、モジュール変換効率の低下を抑制できることを実証する。

## 2. 本校の太陽光発電設備

### 2.1 太陽電池アレイ変換効率

Fig. 1に2004年1月～2006年12月までの、本校の太陽光発電設備の太陽電池アレイにおける日射量、発電電力量および日射量と発電電力量との変換効率 $\eta_a$ の時系列を示す。各年の12月～2月において平均の $\eta_a$ は7.72%と、年間平均の8.98%より低下しており、2006年1月の $\eta_a$ は3.97%と著しく低下

している。この年の1月は近年になく大雪で、モジュールがその影響を受けて発電電力が減少し、 $\eta_a$ が低下したと考えられる。

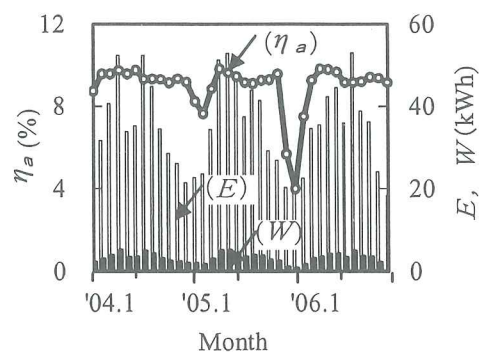


Fig.1 solar radiation quantity( $E$ ), electric energy( $W$ ) and conversion efficiency( $\eta_a$ ) for three years

## 2.2 太陽光発電設備のモジュール

### 2.2.1 モジュールの設置方法

本校の太陽光発電設備の定格発電電力40kWの出力を得るために、校舎の屋上に1枚125Wのモジュールを324枚並べて設置している。324枚のモジュールは、3ヶ所のアレイに分離して設置している。Fig. 2に3ヶ所のアレイのうちの1ヶ所の写真を示す。モジュールは南向きとし、設置面との角度は20度である。また、モジュールの長辺を南北方向に設置(以後、縦置き設置)し、その短辺を接して上段、中段および下段と3枚並べ、これを東西に配置している。下段のモジュールの最下端部の高さは設置床から800mmである。

1 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術専門員

2 舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科 教授

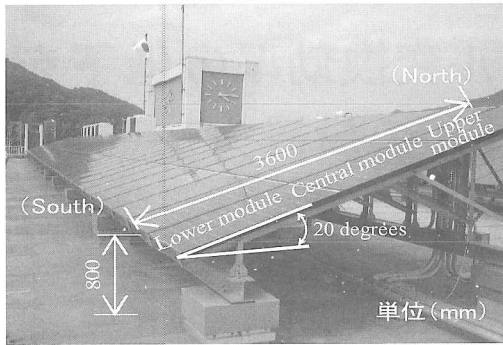


Fig. 2 The array and PV modules

2. 2. 2 モジュールの積雪状態

モジュールの積雪は、モジュールに日が当たることによりその表面温度が上昇し滑落する。積雪量が少ないと Fig. 3 のようにモジュールから全て滑落せず、その一部がモジュールの外枠により、各上中下段のモジュールの下部に残る。



Fig. 3 The snow on PV modules

この状態から、さらにモジュールに積雪すると上段・中段および下段の3枚のモジュールから滑落した雪が、Fig. 4 のように設置床に累積し下段のモジュール下端に達する。



Fig. 4 The snow on the floor

この累積した雪が設置床から 800mm に達し、なお積雪が続くと、Fig. 5 のように設置床に累積した雪とモジュールの積雪とが繋がる。モジュールの積雪がこのような状態になると、モジュールの積雪が

容易に滑落できないため、長期間にわたりモジュールの表面が積雪で覆われた状態が続く。



Fig. 5 The snow on PV modules connected it with the snow on the floor

2. 2. 3 モジュールの構造および仕様

Fig. 6 に本校の太陽光発電設備に使用されているモジュール (SHARP 製 NE-H125A) の構造を示す。

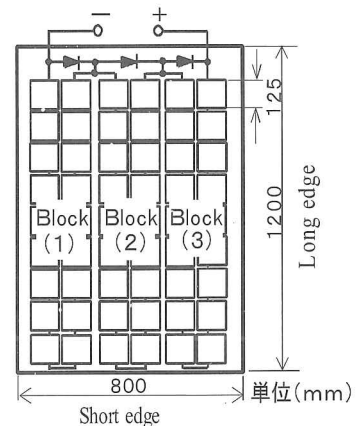


Fig. 6 Size of the module and connections of cells

モジュールの寸法は長辺が 1200mm、短辺が 800mm の長方形である。1 枚のモジュールには、54 枚のセル (正方形、一辺 125mm) が長辺に 9 列、短辺に 6 列に配置され、この全てのセルが直列に配線されている。モジュールは 3 ブロックに構成され、長辺に並ぶ 2 列の 18 個のセルを 1 ブロックとして 1 個のバイパスダイオードが並列に接続されている。本研究においても、このモジュール同一規格のものを使用する。

Table 1 に日射強度 1 kW/m<sup>2</sup>、モジュール温度 25°C の条件におけるモジュール仕様を示す。

Table 1 Specifications of the solar module

Material of the solar cell	Polycrystalline silicon
Open-circuit voltage	32.2 (V)
Short-circuit current	5.46 (A)
Maximum power voltage	26.0 (V)
Maximum power current	4.8 (A)
Maximum power	125.0 (W)



### 3. 本校の太陽電池アレイ変換効率 $\eta_p$ が積雪で低下する原因とその対策について

2006年1月のように積雪量が多いと著しく  $\eta_p$  が低下する原因は、Fig. 5のようにモジュールの積雪が設置床の積雪と繋がるためである。

モジュールから滑落した積雪の累積が設置床から容易に800mmに達する原因は、3枚のモジュールが縦置き設置かつ短辺を接して並べて設置されていることにある。Fig. 7に示すように3枚のモジュールの面積(3600mm×800mm)の全積雪が、モジュールの下段の短辺の狭い幅に滑落して設置床に積雪するため、設置床の単位面積の積雪量が多くなり、容易に800mmに達していると考えられる。

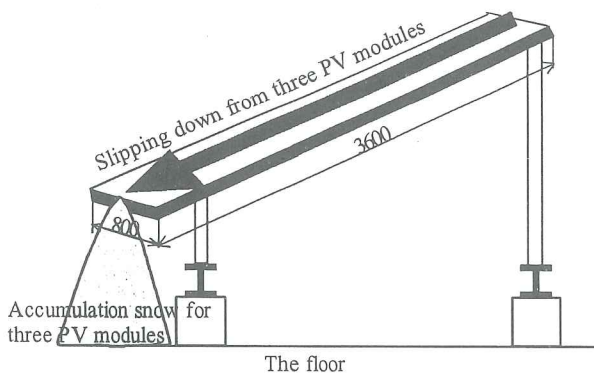


Fig. 7 Slipping down of the snow on PV modules

設置床に累積する積雪量を減少させるために、Fig. 8に示すように3枚のモジュールの受光面を南向きとし、モジュールの短辺を南北方向に設置(以後、横置き設置)かつ3枚のモジュールの設置間隔を広くする設置方法とする。

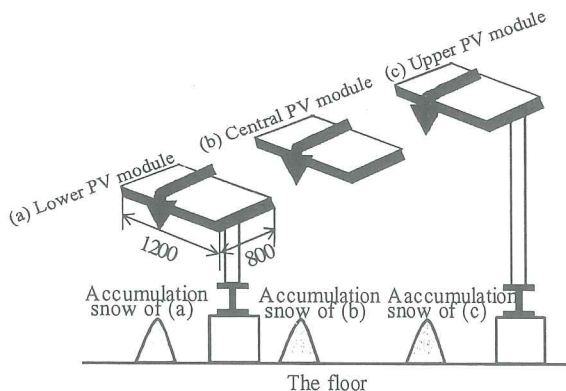


Fig. 8 Establishment stand to reduce the accumulation snow

上段および中段のモジュールの積雪をこの隙間から滑落させて、下段のモジュールから滑落する積雪量

をモジュール1枚分に減らし、設置床に累積する積雪量を少なくできる。

また、モジュールを横置き設置にすると、1枚のモジュールの面積(1200mm×800mm)の全積雪が、長辺に広く滑落し、設置床の単位面積の積雪量を少なくでき、容易には設置床から800mmに達しないと考える。

### 4. 積雪の影響を調べるためのモジュール設置方法および計測方法

モジュールの積雪状態およびモジュール変換効率  $\eta$  へのモジュール設置方法の影響を調べるために、2台のモジュール設置台を製作する。Fig. 9に2台のモジュール設置台の写真を示す。1台の設置台(Fig. 9左側)は、本校のモジュールの設置方法と同一に、3枚のモジュールを縦置き設置で、それぞれの短辺方向を接して設置する。他方の設置台(Fig. 9右側)は、モジュールを横置き設置とし、モジュールの積雪の滑落を容易にするため上段、中段および下段のモジュール間隔を、それぞれ200mmとして設置する。2台の設置台の間隔は、お互いのモジュールの積雪の影響を受けないために、200mm離して設置する。2台とも下段のモジュールの最下端を設置床から800mmに、受光面は南に向け、設置角度を20度とし、本校の太陽光発電設備のモジュールの設置方法と同一にする。この2台の設置台は校舎の屋上に設置し、モジュールの積雪状態をネットワークカメラ(Panasonic社製, BB-HCM331)で常に監視する。

日射強度の計測は日射計(英弘精機社製 MS-601)を使用して20度の傾斜面に設置して測定する。モジュールの発電電力はモジュールに5.7Ωの負荷抵抗を接続し、負荷抵抗の両端電圧および負荷抵抗に流れる電流の積により求める。 $\eta$ を計測するモジュールは、縦置き設置および横置き設置の場合とも、積雪の影響を最も受けやすい下段のモジュール1枚とする。測定は1分間隔で行い、同時間帯でのモジュールの積雪状態と $\eta$ との比較を行い、モジュールの設置方法により $\eta$ の低下がどれだけ抑制できるかを調べる。

### 5. モジュールの積雪状態

Fig. 9において各設置台のモジュールの積雪が滑落し、設置床に累積している様子がわかる。左側の縦置き設置の設置床には積雪が250mmほど残っているが、右側の横置き設置の設置床にはごく僅かである。このことから、モジュールの積雪が同一でも、横置き設置でモジュール3枚を離して設置にすると、設置床に累積する積雪量が少なくなることがわかる。

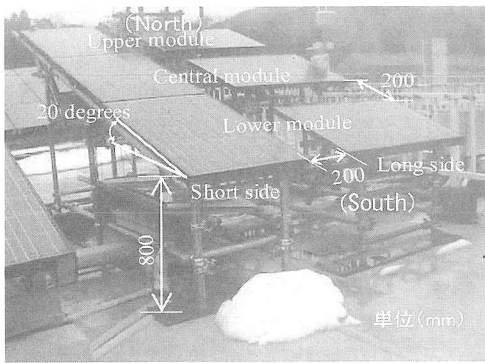


Fig. 9 The installation of experiment PV modules

### 6. 積雪が比較的多いときのモジュールの積雪状態と $\eta$

Fig. 10 に 2008 年 2 月 18 日 6 時～18 時までの日射強度の時系列を示す。Fig. 11 に同時間帯での横置き設置の場合のモジュール変換効率  $\eta_S$  の時系列を示す。なお、縦置き設置の場合のモジュール変換効率  $\eta_L$  は同時間帯において 0%～0.0026% の範囲である。

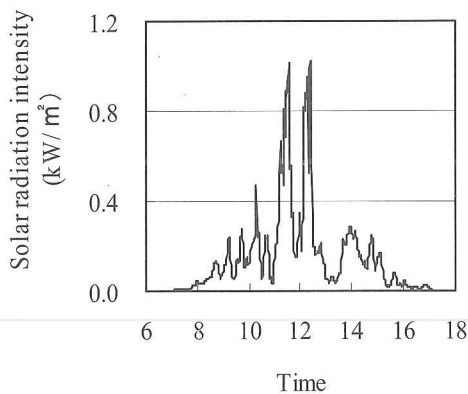


Fig. 10 Solar radiation intensity on February 18, 2008

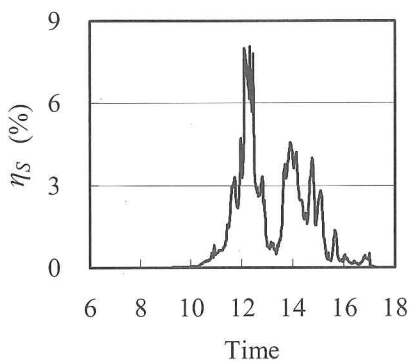


Fig. 11  $\eta_S$  on February 18, 2008

日射強度は 7 時 45 分頃から徐々に増加しているが、 $\eta_S$  は 10 時 30 分頃から急激に高くなり、12 時 7 分頃までは日射強度の変化に対応せずに増加している。12 時 7 分での日射強度は  $0.77 \text{ kW/m}^2$  で  $\eta_S$  は 7.9% である。12 時 7 分頃から日射強度がほぼ  $0 \text{ kW/m}^2$  になる 17 時 15 分頃までは  $\eta_S$  はほぼ日射強度に対応して変化している。

同日の 8 時 50 分、10 時 45 分および 12 時 19 分における横置き設置および縦置き設置のモジュールの積雪状態を示す。Fig. 12 は 8 時 50 分におけるモジュールの積雪状態である。縦置き設置のモジュールの積雪は、数日前からの降雪により設置床からモジュールの上段まで繋がっている。モジュールの積雪が最も多いところは下段のモジュールで 260mm である。横置き設置は設置床とモジュールの積雪とが繋がっていない。3 枚のモジュール間の積雪も繋がっていない。これはモジュールから滑落する積雪がモジュール 1 枚分となり、かつ横置き設置であるため、設置床の単位面積当たりの滑落積雪量が減少したと考えられる。3 枚のモジュールで積雪が最も多いところは下段の 232mm である。

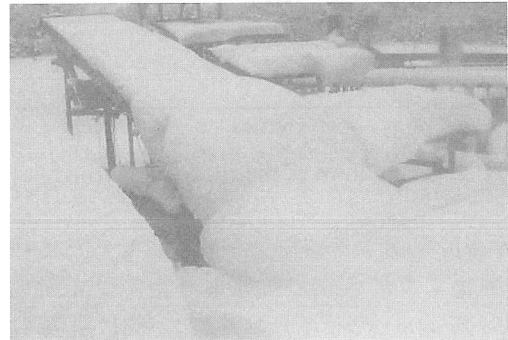


Fig. 12 Snow of PV modules at 8:50

Fig. 13 に 10 時 45 分のモジュールの積雪状態を示す。縦置き設置のモジュールの積雪は、設置床から上段の約半分まで繋がっている。下段のモジュールの積雪の高さは 8 時 50 分とほぼ変化していない。



Fig. 13 Snow of PV modules at 10:45



横置き設置の3枚のモジュールの積雪は滑落して8時50分の時より減少しているが、下段のモジュールのそれは約7割の面積を占め多く残っている。

Fig. 14に12時19分のモジュールの積雪状態を示す。縦置き設置の上段のモジュールの積雪は10時45分におけるそれよりやや減少しているが、まだ設置床から上段のモジュールの約半分まで繋がっている。下段のモジュールの積雪量は8時50分とほぼ変化していない。

横置き設置の上段および中段のモジュールの積雪はほぼ滑落しているが、下段のモジュールには多く残っている。下段のモジュールから設置床に滑落した累積積雪は設置床から800mmに達していない。この時刻での縦置き設置および横置き設置のモジュールの積雪状態にはかなりの差が生じている。

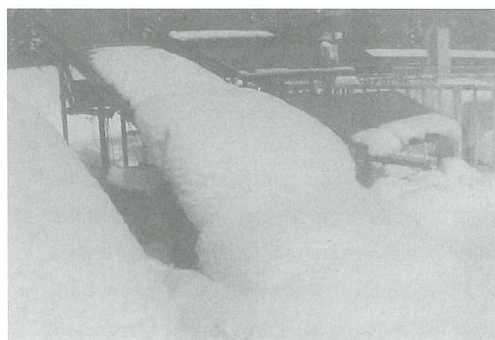


Fig. 14 Snow of PV modules at 12:19

Table 3にこれらの時刻における下段のモジュールにおける積雪面積の占める割合  $S$ 、積雪の高さ  $H$ 、 $\eta_s$  および  $\eta_L$  を示す。

Table 3. Solar radiation intensity, ratio of the snow area to gross area of the lower PV module ( $S$ ), height of the snow ( $H$ ),  $\eta_s$  and  $\eta_L$  in case of much snow

Time		8:50	10:45	12:19
Solar radiation intensity ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )		0.07	0.19	0.53
Bread the wise	$S$ (%)	100	60	20
	$H$ (mm)	232	219	80
	$\eta_s$ (%)	0.01	0.3	8.1
Lengthwise	$S$ (%)	100	100	100
	$H$ (mm)	260	260	260
	$\eta_L$ (%)	0.0	0.0	0.0

横置き設置のモジュールは8時50分において  $\eta_s$  はモジュール全面に積雪があるためほぼ0%である。10時45分においては  $S$  が約60%になり  $\eta_s$  は0.3%である。12時19分においては  $S$  が約20%になり、 $\eta_s$  は8.1%と高くなっている。

縦置き設置のモジュールは、同時間においてモジュールに100%の積雪があり  $\eta_L$  はほぼ0%である。

2月18日の日積算の発電電力量は縦置き設置が0.01Wh、横置き設置のそれが43.09Whである。

## 7. あとがき

本研究により、本校の太陽光発電設備のモジュール設置方法は、モジュールの積雪を充分には考慮されずに設置されていることがわかった。

複数のモジュールを設置するときは、モジュールの積雪が比較的多くても、モジュールを横置き設置にしてモジュール間隔を広くすることで、積雪が容易に滑落することが可能になる。モジュールの積雪が早く減少することから、モジュール設置方法を工夫することでモジュールの積雪が多くても、 $\eta$  の低下を抑制できることがわかった。

一般家庭に太陽光発電設備を設置する場合、モジュールの設置方法は、屋根に複数のモジュールを接して並べる場合が多い。さらに積雪地域では屋根に雪止めが設置してあり、モジュールの積雪が雪止めにより容易に滑落できなくなり、モジュールの積雪が長時間残り  $\eta$  が低下する可能性がある。

本研究のモジュール設置方法は設置当初の工夫だけで  $\eta$  の低下を抑制できるため、積雪地域でのモジュール設置方法として推奨することができる。

謝辞：本研究は、平成18年度科学研究費補助金(奨励研究)課題番号18918037の援助を受けて行われたことを付記する。

## 参考文献：

- 森内基隆, 福村一実, 高橋一郎, 中川重康, 金山光一: 舞鶴に設置された40kW太陽光発電設備における運転実績および電力料金節約効果, 舞鶴工業高等専門学校紀要, Vol.37, pp.45-50, 2002.
- 中川重康, 高橋一郎, 船木英岳, 東田剛志, 北原紀之, 福村一実, 森内基隆: 太陽光発電設備における実用運転状況記録システムの構築, 舞鶴工業高等専門学校紀要, Vol.35, pp.17-20, 2000.
- 野川保次, 仲村宏一: 降雪地域に対応した融雪機能付き太陽光発電システムの開発, 電気と工事, Vol.48, pp.51-57, 2007.
- 岡戸祐介, 細川慎吾, 安西久雄, 東山禎夫: 太陽電池アレイ上からの雪滑落時期とモジュール裏面温度, 日本雪工学会誌, Vol.23, pp.89-90, 2007.
- 細川慎吾, 安西久雄, 東山禎夫, 伊藤義昭: 太陽電池アレイから滑落した雪のロードヒーティングによる融雪処理, 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, Vol.2006, p.300, 2006.
- 細川和彦, 苔米地司, 中島正実, 中島靖之: 屋根材一体型

- 太陽電池屋根の滑落促進に関する研究, 寒地技術論文報告集, Vol.13, pp.559-563, 2004.
- 7) 吉村道博, 杉本俊之, 東山禎夫, 大林只志, 中島丈温, 竹中淳: 屋根材一体型太陽電池モジュールの設置角度と雪滑落特性, 日本雪工学会誌, Vol.20, pp.91-92, 2004.
- 8) 吉村道博, 杉本俊之, 東山禎夫, 大林只志, 中島丈温, 竹中淳: 屋根材一体型太陽電池アレイの雪滑落特性, 日本雪工学会誌, Vol.20, pp.89-90, 2004.
- 9) 東山禎夫, 吉村道博, 杉本俊之: 屋根材一体型太陽電池アレイ上の雪滑落に及ぼす屋根裏暖房効果, 日本雪工学会誌, Vol.20, pp.87-88, 2004.
- 10) 依田弘之, 植田浩介, 渡辺百樹: 融雪機能付き太陽光発電システム, シャープ技報, No.86, pp.43-47, 2003.
- 11) 野川保次: 融雪機能を有する太陽光発電システム, エレクトロヒート, No.128, pp.56-62, 2003.
- 12) 上田敦史, 野川保次: 融雪機能を有する太陽光発電システムにおける融雪効率の向上検討, 電気設備学会全国大会講演論文集, Vol.20, pp.43-44, 2002.
- 13) 荒関寛: ソーラパネルの設置構造, 特開 2004-211372

## THE PV MODULE INSTALLATION METHOD FOR SUPPRESSING THE DECREASE OF THE CONVERSION EFFICIENCY OF THE PV MODULE BY THE SNOW

Mototaka MORIUCHI and Sigeyasu NAKAGAWA

**ABSTRACT:** The partial shadow by the snow at the PV module is generated. This partial shadow lowers the conversion efficiency of the PV module. In this paper, the effect of the snow in winter on the conversion efficiency of the PV module and the cause is clarified in photovoltaic power generation facility in this school. Here two techniques are proposed on the installation method of the PV modules. It is shown that by applying these techniques to the field test using three PV modules, the effect of the snow on the conversion efficiency of PV modules can be suppressed. One of the techniques is to make the narrow edge of the PV module to be the north-south for the installation. This technique can suppress the effect of the partial shadow on the conversion efficiency of the PV module by utilizing the difference in the position of the partial shadow of the PV module in the circuit characteristic. Another technique is to widen the installation interval of the adjoining module. By this technique, the snow slips down the clearance of the PV modules, and the snow on the PV module disappears quickly. Therefore, this study result gives a new knowledge on the installation method of PV modules in snowy areas.

**Key Words:** PV Modul, Snow, Installation of PV modules, Electric energy Generated, Conversion efficiency