

技術解説

融雪機能付き太陽光発電システム

Photovoltaic System with Snow-Melting Function

依田 弘之*

Hiroyuki Yoda

植田 浩介*

Kousuke Ueda

渡辺 百樹*

Momoki Watanabe

要 旨

日本各地に設置されている太陽光発電システムだが、唯一雪国での普及は進んでいない。その原因として、冬場の降雪によって期待される発電量が少ないことや、積雪荷重による太陽電池モジュールの強度不足が考えられる。しかしながら同じ雪国でも降雪はあるが、晴天時の日射強度や日照時間が多く、太陽光発電に適した地域がある。また、太陽電池モジュール構成部材の強度向上や施工方法の進歩によって、雪国地域での施工実績が近年徐々に増えている。

今回、長野県との共同開発「地域対応型太陽光発電システムの研究開発」によって雪国地域への設置を目的とした、融雪機能付き太陽光発電システムの開発を完了したのでここに報告する。

Although a photovoltaic (PV) system is available throughout Japan, it has not been popular only in snowy area, because of the reduction of power generation caused by a snowfall and the shortage of strength of a PV module against snow-load. Some of these snowy areas are, however, suitable for PV systems, since there is much irradiance and daylight hours in fine weather. As a PV module has been improved in recent years, the number of PV systems is increasing gradually in snowy area.

We have developed the photovoltaic system with snow-melting function for the snowy region by the joint development “Research and development of a local correspondence type photovoltaic system” with Nagano Prefecture.

まえがき

太陽光発電システムはかつて無いほどの急激な普及を遂げており、一般住宅のみならず学校や病院等の公共施設にも大規模な太陽光発電システムが次々と導入されている。

しかし雪国では曇天が多い為、多くの日射量は期待できず、尚且つ、太陽電池モジュール表面のガラスに積雪してしまうと、降雪時に発電しないだけでなく、降雪後の快晴日にもガラス表面に冠雪しているので遮光され太陽電池アレイは発電しない。従来は太陽電池モジュールの設置勾配を急にする事で積雪防止を図っていたが、設置勾配が急になると太陽光のガラス面への入射角度も急になる為、ガラス面での太陽光反射が大きくなり、発電量が低下するという問題があった。

そこで太陽電池架台を年間発電量が最大になる最適

傾斜角度に保ち、年間での発電量を最大にしたまま冬期のガラス面への着雪・積雪防止を図る方法を検討した。当初はヒータ等の設備で太陽電池モジュールを加熱させて融雪実験を行ったが、ヒータからガラス面への熱伝導が悪い事と、付加設備によるコスト増加等により、採用には至らなかった。これに代わる方法として、太陽電池セルに通電させ、昇温する事で融雪を達成する方法を検討した。この方法であれば過大な付加設備は要らず、従来のシステムを改造してコスト増加を最小限に抑えて利用できるメリットがあるが、通電電力及び通電時間制御等を慎重に行わないと、太陽電池モジュール自身の劣化に繋がる可能性がある。

今回は長野県との共同開発「地域対応型太陽光発電システムの研究開発」によって上記、融雪機能付き太陽光発電システムの開発を完了したのでここに報告する。

* ソーラーシステム事業本部 ソーラーシステム事業部 第2技術部

1. 融雪機能付き太陽光発電システムの概要

1・1 システム構成

本システムは太陽電池モジュール、融雪機能付きパワーコンディショナ、融雪コントローラから構成されている。通常の太陽光発電システムとの相違は、屋外で降雪を感知する降雪センサ及び、降雪信号をパワーコンディショナと切換器(逆流防止ダイオードの迂回路)に伝える融雪コントローラを新規に設置した事と、パワーコンディショナに逆潮流機能と融雪電力制御機能を付加した事である。

発電状態では通常の太陽光発電システムと同様、太陽電池モジュールからの直流発電電力を逆流防止ダイオードを経由してパワーコンディショナで交流変換し、商用系統へ売電したり共用電灯などの負荷電力として消費する。

一方、融雪状態では融雪コントローラは降雪を感知し、パワーコンディショナと切換器に降雪状態である事を伝える。それを受けてパワーコンディショナは商用系統より買電し、切換器を経由して太陽電池モジュールに融雪電力を供給する。つまり太陽電池モジュールを発熱抵抗体として機能させる為、従来よりも耐熱性に優れた部材を使用して太陽電池モジュールを製作した。

1・2 太陽電池アレイ

融雪機能付き太陽光発電システムを設置したのは、長野県の最大積雪深さ2m程の豪雪地域にある地上5階建ての県営団地である。太陽電池アレイの外観を写真1に、システムの仕様一覧を表1に示す。写真中央の南側壁面(左側:階段通路のため採光部材を使用,右側:各階倉庫のため標準白フィルム使用)と、写真手前一階部分の通路天井(標準白フィルム)と通路壁面部分(採光部材使用)である。

通路天井部分は、本システムの中で太陽電池モジュール台数が最大で、かつ発電に対しての最適傾斜角度に設置され最も発電量に寄与する為、発電量の向上に重点を置き、採光部材ではなく標準白フィルム部材を採用した。また、通路天井部分は全面融雪システムを設置しておらず、居住者の方が出入りする県営団地入口付近の左右6mのみ融雪システムを設置している。

採光部分には裏面に耐候性透明フィルムを使用して、太陽光を建物内部の居住空間に充分に取り込む構造になっている。また標準仕様よりも太陽電池セルの間隔を広げ採光率を向上し、居住空間にできる格子模様をアクセントとしている。

標準部分は裏面に耐候性白フィルムを使用し、太陽

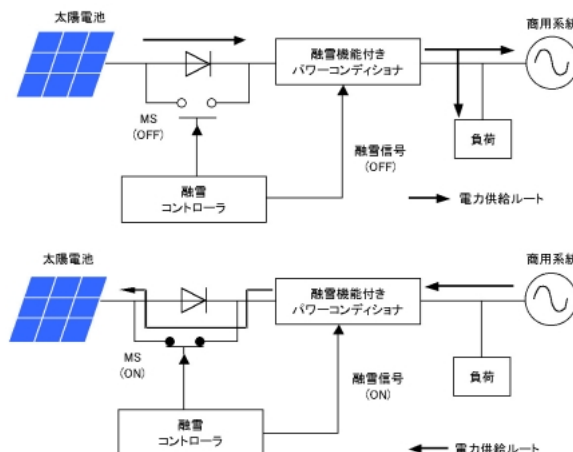


図1 システム構成図(上:発電状態,下:融雪状態)
Fig. 1 System configuration figure (upper : power generation state, lower : snow-melting state).



写真1 太陽電池アレイ外観写真
Photo 1 Outside view of PV array.

表1 太陽光発電システム仕様
Table 1 Specification of PV system.

設置場所	モジュールタイプ	モジュール台数(台)	発電電力(kW)
壁面	採光	24	1.808
壁面	標準	24	2.232
通路壁面	採光	36	3.132
通路天井	標準	108	8.208
通路天井	融雪	48	3.648
合計		240	19.028

光の白フィルムに依る反射を稼ぐ事により、発電量の向上を図っている。通路天井に施工している融雪対応太陽電池モジュールは、裏面フィルム等に、耐熱・耐候性の部材を使用して融雪電力による昇温にも十分耐えられる構造にしている。



写真2 壁面の内観（採光部分）
Photo 2 Inside view (light-through area).



写真3 降雪センサ
Photo 3 Snowfall sensor.

1・3 融雪コントローラ

降雪センサは上部が受雪板ヒータになっており、構造上、雪を効率良く捕捉する仕組みになっている。また、降雪センサには外気温計も内蔵されており、外気温が5℃以下になるとヒータの電源が入り、その間、雨が受雪板に捕捉されると電気的抵抗が変化し降水を検知する。もし外気温が0.3℃以下の時に受雪板の電気抵抗が変化すれば降雪だと判断し、パワーコンディショナと切換器に降雪である事を自動的に伝える。また、融雪コントローラには遅延タイマーを内蔵し、降雪時間に比例した時間分、融雪終了後に融雪運転を延長する設定にした。この延長した融雪運転時間内で、太陽電池モジュールガラス表面の残雪を融雪するためである。

1・4 パワーコンディショナ

融雪状態でのパワーコンディショナの働きは、商用系統の交流電力を直流電力に変換し、その直流電力を太陽電池モジュールに供給して融雪を行う。大電力を供給すれば素早く融雪作業が完了するが、太陽電池モジュールの寿命を縮めたり、必要以上の電力を使用する事で電気代の無駄になる。反面、小電力では融雪が完了せず融雪システムの意味が無くなってしまう。そこで熱力学により融雪に必要な電力を計算してみる。

$$Q = (Q1 + Q2) / 0.86 \eta = (0.4T + 64) \times S / 0.86 \eta$$

ここで、

$$Q1 = \rho \times C \times S \times T \times 10^{-2}$$

$$Q2 = \rho \times \delta \times S \times 10^{-2}$$

Q1 T℃の雪を0℃まで加温する熱量

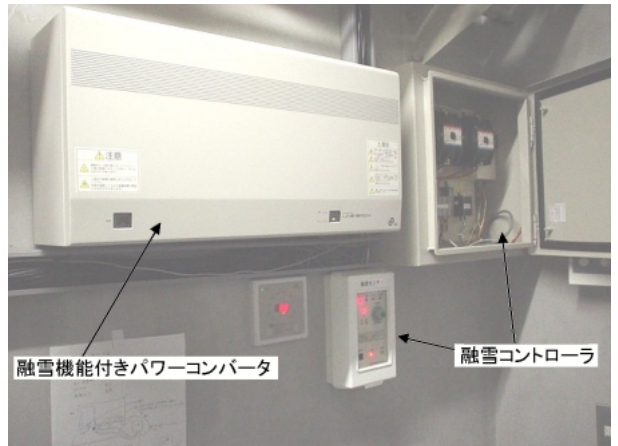


写真4 融雪コントローラ及び、融雪機能付きパワーコンディショナ
Photo 4 Snow-melting controller and power conditioner with snow-melting function.

Q2 0℃の雪を融解する為の熱量

ρ 雪密度 80kg/m³

C 雪の比熱 0.5kcal/kg℃

η 熱効率

S 降雪量 cm/Hr

δ 雪の融雪潜熱 80kcal/kg

各種融雪パラメータを代入し $Q = 100\text{W/m}^2$ の熱量が必要である事が分かる。この太陽光発電システムでも 100W/m^2 を基準にして融雪電力を太陽電池モジュールに供給するが、風・気温等の気象条件や太陽電池アレイの施工方法等によって変化する為、実地試験にて微調整を行った。

1・5 太陽電池モジュールの施工

通路天井部分の太陽電池モジュールの設置に関しては、事前にモックアップにて詳細検討を行った。写真5右は枠有り太陽電池モジュールを従来通り施工したもので、枠の数ミリの立ち上がりでさえガラス面への積雪原因となる事が分かる。

反対に写真5左に枠無し太陽電池モジュール裏面・周辺部分を防水・防湿処理して複層ガラス化し、太陽電池モジュールのガラス表面が同一面上になるようにバックマリオンにて施工した物を比較した。この結果より、バックマリオン施工の着雪及び、積雪防止効果を確認できたので、本融雪機能付き太陽光発電システムの通路天井部分には、全てバックマリオン方式を採用した。また、通路天井以外の全ての太陽電池モ



写真5 枠無し太陽電池モジュール（左）と枠有り太陽電池モジュール（右）
Photo 5 Solar module without frame (left) and with frame (right).

ジュールは複層ガラス構造を施しており、断熱性を高めたり可動窓を設けて積極的に換気を行い、結露が発生しない様、配慮している。

2. 降雪時の太陽光発電システム運転状況

2・1 融雪状態

写真6は2003年1月の写真である。写真より団地入口付近の通路天井面の融雪が良好に行われている事が分かる。反対に団地両端の非融雪部分には着雪・積雪が発生し、太陽光発電が行われていない。

2・2 太陽光発電システム運転データ

図2は、総電力量 (kWh), 融雪電力量 (kWh), 傾斜面日射量 (kWh/m²) のデータである。総電力量は、発電電力量と融雪電力量の相殺値を示しており、正值であれば発電電力量が融雪電力量より多い事になる。傾斜面日射量は通路天井と同角度にした全天日射計での測定値を示し、日射量が少ない日は概ね降雪日を示している。融雪電力量は融雪部分の太陽電池モジュール電力量を示し、正值ならば発電状態、負値ならば融雪状態である。これより降雪日には融雪が正常動作している事が確認でき、日射量に応じた融雪電力量が印加されている事が分かる。そしてデータ期間内では総電力量は正值であり、融雪電力量以上の発電量だった事も確認できる。



写真6 融雪状態（2003年1月撮影）
Photo 6 Snow-melting state. (Jan. 2003)

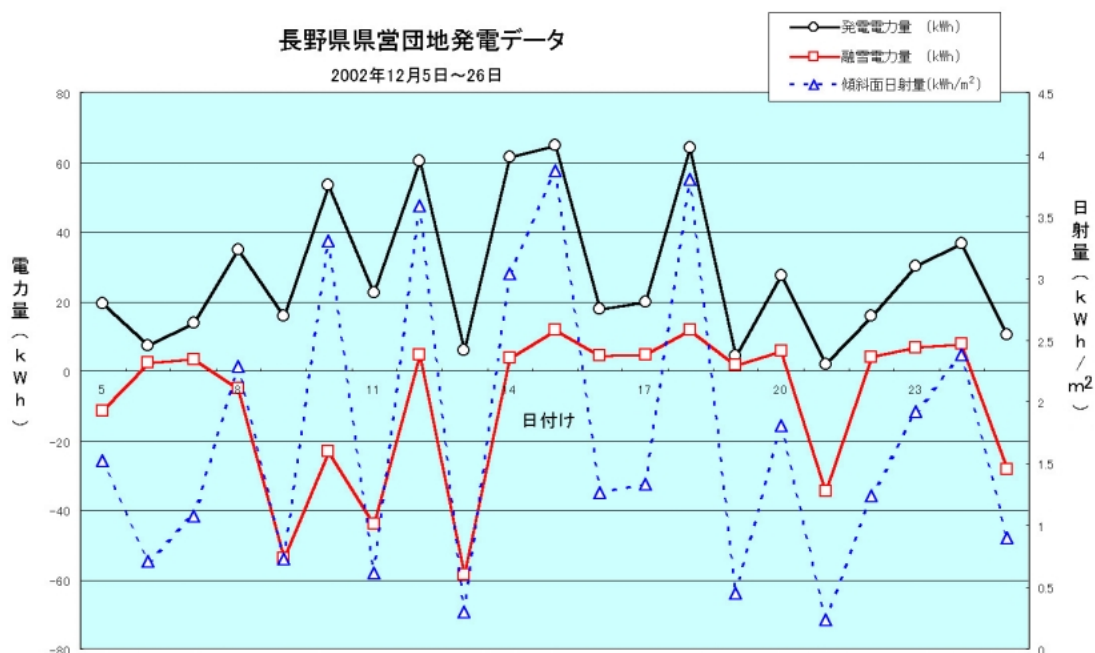


図2 システムデータ

Fig. 2 Measured data.

むすび

以上より、融雪機能付き太陽光発電システムを構築・稼働させ、実証試験にて正常に融雪機能が動作する事を確認できた。このシステムにより、積雪地域のため太陽光発電システムの設置を見合わせていた案件に関しても太陽光発電システムの設置が可能になり、太陽光発電システムの更なる使用用途が拡大する事を期待する。また、本融雪機能付き太陽光発電システムが普及する事で、雪国の一般住宅で年間10万円程度発生する雪降ろし作業の出費を押さえると共に、高所の足場の悪い屋根上作業の危険回避を行い、雪国での普及に繋がれば幸いである。

謝辞

最後に、融雪機能付き太陽光発電システム開発にご協力頂いた長野県住宅課関係諸氏、ソーラーシステム事業本部の関係各位、担当頂いた営業関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 辻, “太陽電池 (Solar Cell)”, パワー社(1983).
- 2) 長清, “融雪機能を有した太陽光発電システムの研究”, 金沢工大論文(1999).
- 3) 中島, “太陽光発電システムによる融雪システムの研究”, 日本建築学会(2000).

(2003年5月27日受理)