

# 太陽電池パネルへの逆通電による融雪技術に関する研究

高橋 晋\*・川端 圭司\*\*・小嶋 高良\*\*\*・高橋 燦吉\*\*\*\*

## A study on the snowmelt technology by the reverse energization to the solar cell panel.

Susumu TAKAHASHI\*, Keiji KAWABATA\*\*, Koryo KOJIMA\*\*\* and Sankiti TAKAHASHI\*\*\*\*

### Abstract

Recently, solar photovoltaic generation and wind power generation are noticed as a clean energy. However, these power generation methods must consider the natural environment of installation site. In the snowy area like Aomori, solar cell is installed at the angle of 60 degrees. Because, It is that the snow on solar cell receives the morning sun, and it would be due to fall naturally. But, installation angle of the solar cell are the about 25 degrees in the general housing. Therefore, the long time until the snow on the solar cell falls naturally is needed.

This study was to reversely run the current in solar cell, and it dissolved the snow on the solar cell.

**Key words**: solar cell, reverse energization, snowmelt

### 1. はじめに

今日の生活に欠かすことが出来なくなっている電気エネルギーは現在、火力 55%, 原子力 35%, 水力 10%, その他 5% (中央電力協議会調べ 1999 年) により発電されているが、化石エネルギーの枯渇や排出される二酸化炭素による、温暖化現象などの問題が懸念されている。また、原子力発電では使用済み核燃料処理や放射能などクリアすべき問題が未解決のままである。そこでクリーンで地球環境を汚さず、無限にある風力、水力などが見直されている。しかし、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーは地域的な問題があり、設置場所や日射量などの発電環境を考慮しなければならない。

近年、一般家庭から出る余剰電力が電力会社に売電可能となり、太陽光発電システムが再び注目されている。青森県のような雪国における太陽電池の利用法としては、パネルの傾斜角度を 60° 程度に大きく取り、夜間積もった雪が日射を受け落ちるようにするなど、自然落雪にまかせている。よって曇りや気温の低い日は落雪しにくく、発電効率が低下する。また、一般家庭に設置するパネルの傾斜角度は 25° 程度であり、日の出時から晴天であっても自然落雪するまで時間が掛かり発電できないという問題がある。

冬季間の発電効率が向上するならば、雪国でも太陽電池発電の利用価値は高くなる。また、電力会社との系統連係、時間帯別電灯契約等を使用することで、太陽光発電の経済利点は大きく、一般家庭への普及に繋がると考えられる。

本研究は、太陽電池に外部から電流を通電し、太陽電池自体の内部抵抗により太陽電池を発熱させ太陽電池パネル上の融雪を行うこととを目

平成 14 年 12 月 26 日受理

\* 生物環境化学工学科・助手

\*\* 大学院工学研究科機械システム工学専攻博士後期課程・2 年

\*\*\* 機械情報技術学科・助教授

\*\*\*\* 学長

Table 1 太陽電池パネルの種類

| メーカー  | 最大出力<br>Pmax[W] | 最大動作電流<br>Ipm [A] | 最大動作電圧<br>Vpm [V] | 開放電圧<br>[V] | 結晶タイプ  |
|-------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|--------|
| 昭和シェル | 44.9            | 2.52              | 17.8              | 21.8        | 単結晶    |
| 京セラ   | 51.0            | 3.02              | 16.9              | 21.2        | 多結晶    |
| SANYO | 167.0           | 3.44              | 48.6              | 63.0        | アモルファス |

(注：京セラ製と SANYO の太陽電池には保護ガラス付き)

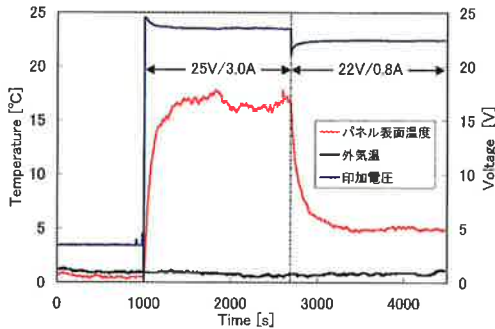


Fig. 1 印加電圧-電流とパネル表面温度の関係

的とし研究を行った。

## 2. 実験装置と使用機器

Table 1 に実験に使用した太陽電池パネルの種類と使用を示す。測定機器は、直流安定化電源（株）カスタム製 出力 30 V/3 A と、山菱電器（株）製 出力 110 V/6 A）、測定器（横河電機（株）製 Derwin）、記録用 PC（（株）日立製）、K 型シートカップル熱電対（林電工（株）製）、赤外線熱画像装置（日本アビオニクス（株））を用いた。太陽電池への印加電流は、電流計を見ながら直流安定化電源により印加電圧を変えて制御した。

## 3. 太陽電池の発熱予備実験

Fig. 1 に昭和シェル石油製の太陽電池の印加電圧-電流とパネル表面温度の関係を示す。ここでは、実際に融雪することを考慮し、屋外に

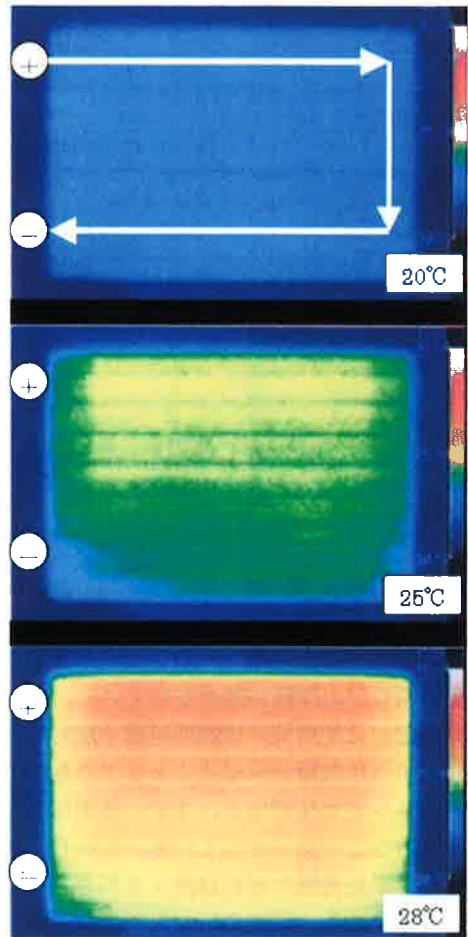


Fig. 2 パネル表面の温度分析

太陽電池を設置して実験を行った。気温は約 1.5 °C、実験開始時のパネル表面温度は約 1 °C である。25 V/3 A の逆電流を印加した瞬間からパ

ネルの発熱が始まり、約3分でパネル表面温度は15℃まで上昇している。また、印加電圧/電流を22V/0.8Aに下げたところ、パネル表面温度はすぐに減少し、約5℃を保持した。このことから太陽電池の比熱は小さく、パネル表面温度を保温する能力は無いことがわかる。

太陽電池の特性としてパネル温度が高いと出力が低下するが、本予備実験からパネルへの逆通電を停止させると、すぐにパネル温度は気温と同じ程度になり、日射量の変換効率には大きな影響を与えないと予測される。

Fig. 2 に赤外線サーモカメラにより撮影したパネル表面の温度分布図を示す。温度分布を見やすくするためパネル表面温度は28℃まで上げた。パネルの温度は+側から高くなっていくことがわかる。また、パネルはある一部分で発熱するのではなく、全面が発熱することがわかる。

このことから、太陽電池パネルを屋根に設置する際、プラス側を斜面の上にする事でパネルを発熱させた時に雪の自重による落雪が早く起きると予測される。

以上の実験結果から、パネルへの逆通電による融雪技術は可能であると考えられる。

#### 4. 太陽電池パネルの発熱制御

##### 4.1 電圧—電流特性

発熱制御実験には、京セラ製と昭和シェル製の太陽電池を使用した。最初に京セラ製太陽電池の特性を示す。

Fig. 3 に京セラ製太陽電池に逆電流を印加して得られた電圧、電流特性を示す。太陽電池パネルの表面温度は約0℃に保ち実験を行った。太陽電池にはツェナー効果により、ある一定以上の電圧が掛からないという現象がある<sup>1)</sup>。Fig. 3 より、逆電圧が約18Vから電流が急激に流れだし、約25V付近でツェナー効果により定電圧になると予測される。

このことから、太陽電池パネル上の融雪に必

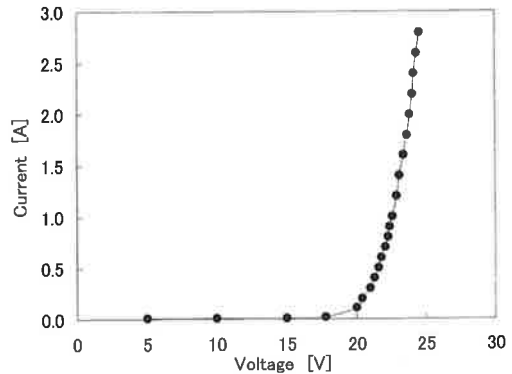


Fig. 3 京セラ製太陽電池の電圧、電流特性

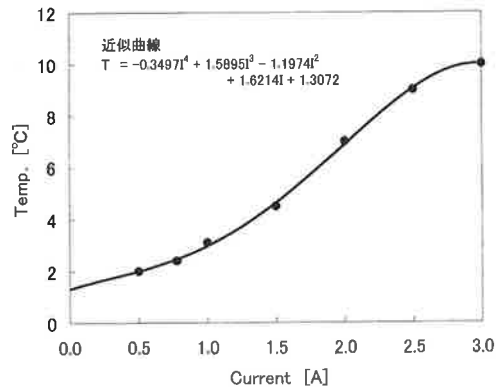


Fig. 4 京セラ製太陽電池の印加電流と表面温度の関係

要な温度を得るために太陽電池を発熱させても、定電圧効果によりセルの素子を破壊しないので、太陽電池の発電効果や寿命に関しての影響は少ないものと考えられる。

電熱線や抵抗を発熱させる時の熱量は Eq. 1 で表される。

$$W = RI^2t = VIt \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $W$ : 熱量[J],  $R$ : 抵抗[Ω],  $I$ : 電流[A],  $V$ : 電圧[V],  $t$ : 時間[s] である。

よって、太陽電池を発熱させる場合は、その太陽電池のツェナー電圧を調べ、印加する電流量によって発熱量を制御しなければならない。

### 4.2 電流量と温度, 抵抗の関係

Fig. 4 に京セラ製太陽電池に印加する電流量と温度の変化量を示す。測定条件として外気温 0°C 付近で行った。この温度変化は, Eq. 2 に示す 4 次の近似式で近似できる。

$$T[^\circ\text{C}] = -0.3497I^4 + 1.5895I^3 - 1.1974I^2 + 1.6214I + 1.3072 \dots\dots\dots (2)$$

この式を用いることにより, 太陽電池の発熱制御が可能と思われる。ただし, この近似式は使用する太陽電池ごとに求めなければならない。

太陽電池の発熱制御にあたり, 電圧での制御はできないので Fig. 3 の電流量と温度の関係から抵抗値を求める。

$$R = \frac{c\Delta T}{I^2} \dots\dots\dots (3)$$

ここでは,  $\Delta T$  は温度差,  $c$  は比熱であり 1 とする。

Fig. 5 に Eq. 3 で求めた京セラ製の太陽電池パネルの抵抗と電流の特性を示す。また, その抵抗は, Eq. 4 の近似式で表すことが出来る。

$$R = aI^{-1.0236} = 3.3819I^{-1.0236} \dots\dots\dots (4)$$

Eq. 5 の定数  $a=3.3819$  は, 太陽電池の種類によって異なる値である。そこで, 昭和シェル製太陽電池を使用し, 発熱制御に関して検討した。

まず昭和シェル製太陽電池に任意の電流, 電圧を加え, そのときの温度の変化を 1 点測定する。そして Eq. 3 により抵抗  $R$  を導く。次に, Eq. 4 より定数  $a$  を求める。その結果, 昭和シェル石油製太陽電池の抵抗  $R$  は, Eq. 5 で表される。

$$R = 5.522I^{-1.0236} \dots\dots\dots (5)$$

Eq. 5 より求めた任意の電流と抵抗値の関係を Fig. 5 に示す。さらに, 任意の電流値と Eq. 5 で求めた抵抗値を Eq. 3 に代入して, 電流に対する温度変化を求める。

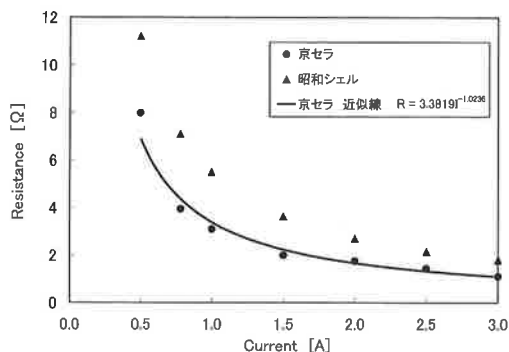


Fig. 5 京セラ, 昭和シェル製太陽電池の印加電流と抵抗の関係

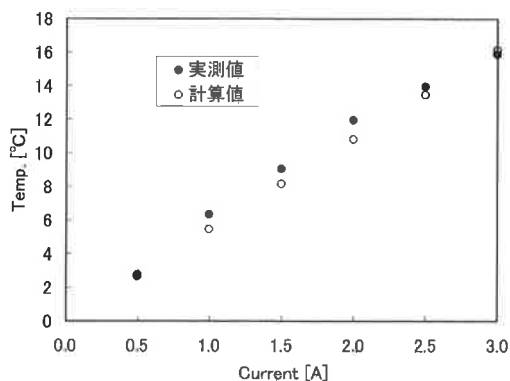


Fig. 6 昭和シェル製太陽電池の印加電流と表面温度の関係

Fig. 6 に昭和シェル石油製太陽電池の電流と温度の関係の計算値と実測値を示す。Fig. 6 の変化より, 計算値と実測値で最大温度差が 1.2°C ある。しかも, 計算値が低い温度を示していることから, 実際の融雪利用で発熱させた場合, わずかに設定温度以上となるため, この方法による融雪温度の温度設定が可能と考えられる。

### 4.3 発熱制御に関する考察

今回の発熱実験から, Fig. 4, Fig. 6 よりセルの結晶タイプによって, 発熱の仕方が違うことが確認できる。昭和シェル石油製の太陽電池は単結晶で, 京セラ製は多結晶である。多結晶の

太陽電池はさまざまな種類の粒界が存在する。つまりその分だけ電気的活性度の違いの影響があり、電流に対する温度変化が直線的に変化しない。よって、単結晶セルの方が発熱の制御が行いやすい。また、昭和シェル石油製(単結晶)の発熱温度が、京セラ製(多結晶)より高いが、京セラ製太陽電池には保護ガラスが付いているため、両者の比較はしかねる。

太陽電池の結晶の種類によって発熱の変化が見られるが、種類を問わず3Aの印加電流で、10~16℃の発熱があることから、太陽電池パネルに積雪した雪を融解させるには十分であると思われる。

## 5. 融雪実験

### 5.1 測定条件

実験を行った平成13年12月から平成14年2月の期間は降雪回数が少なく、自然積雪による実験が出来なかった。そこで、太陽電池パネルの上に雪を乗せて擬似積雪環境を作り、融雪実験を試みた。使用した大型太陽電池パネルは、実際に一般家庭に設置されているSANYO製の最大出力167W、最大動作電圧48.6V、最大電流3.44A、サイズは1320(L)×895(W)×35(H)である。

融雪の測定条件は、外気温-2℃、設定電圧82.6V、設定電流4A、積雪量15cm、パネル傾斜角:25°、2枚のパネルの間に仕切り板を取り付けて測定を行った。

SANYO製太陽電池の抵抗Rは、Eq.6で表される。

$$R = 3.5I^{-1.0236} \dots\dots\dots (6)$$

Eq.6とEq.3より電流4Aを印加した時のパネル表面温度の計算値は13.6℃である。

### 5.2 実験結果と考察

Fig.7に融雪実験の写真を示す。右側が逆電流を印加した太陽電池パネルである。パネル上

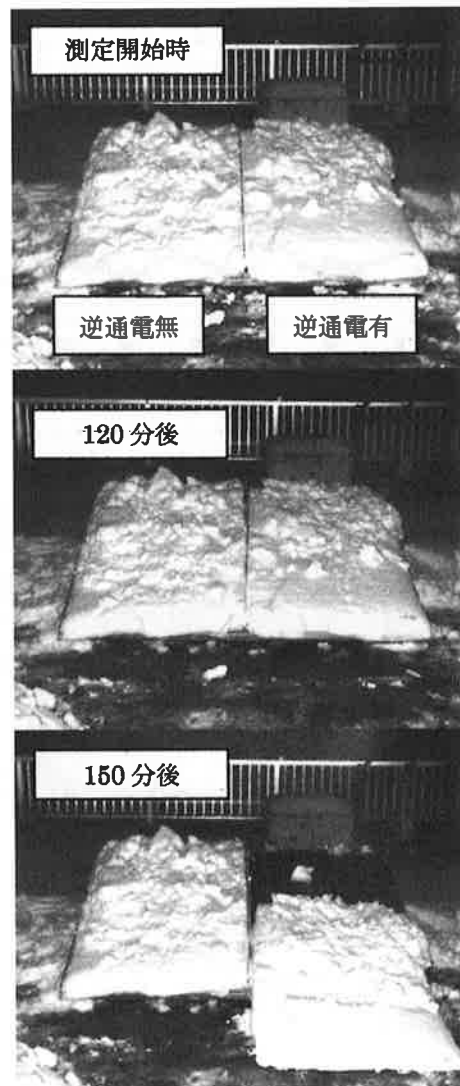


Fig.7 落雪通電時間

の雪は全てが融雪する前に落雪している。落雪には発熱開始から約150分を要している。落雪が太陽電池パネルの半分で止まっているのは、パネルと設置面の高さが低いためである。

Fig.8に融雪中のパネル表面温度と時間の関係を示す。電流4Aを印加した時のパネル表面温度は、計算値より13.6℃であったが、パネル上に雪があることで約2℃と低い。つまり、

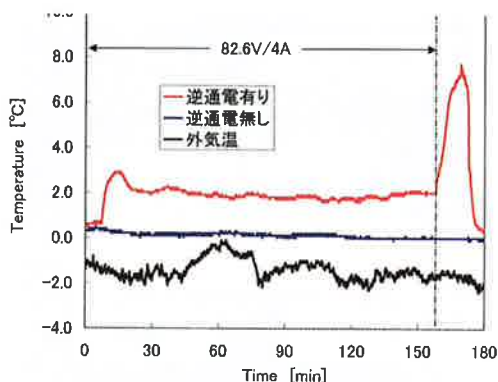


Fig. 8 融雪中のパネル表面温度と時間の関係



Fig. 9 仕切り板を外した融雪実験

10°C以上の熱を雪が吸熱しており、確実に融雪が行われていることを示す。落雪すると太陽電池パネル表面温度が急激に大きくなっているのが確認できる。

今回の実験では、落雪までに150分も掛かっているが、印加電流を大きくし、表面温度を高くすることで、落雪時間を短くすることが可能と考えられる。

今回の実験で落雪に要した電力は、 $W = 82.6 \text{ V} \times 4 \text{ A} \times 2.5 \text{ h} = 826 \text{ Wh}$ である。

一般家庭の太陽光発電システムは平均2.6 kWサイズの発電力であり、屋根に設置されている太陽電池パネルの枚数は20枚程度である。また、5〜7枚ぐらいの直列接続のものが数セットで構成されている。

太陽電池発熱ではツェナー電圧が大きく関係

していることは既に明らかにしているが、太陽電池パネルが直列接続の場合、発熱に必要なツェナー電圧は直列接続している枚数×ツェナー電圧で表される。つまり、20枚の太陽電池モジュールが5組（直列接続）で4セット（並列接続）の組み合わせで設置されている場合、1枚のツェナー電圧を約82.6 Vとした時、必要なツェナー電圧は、 $5 \times 82.6 \text{ V} = 413 \text{ V}$ が必要である。

また落雪に際して、パネル表面温度を14°C上げようとする電流は並列接続の関係から、4組×4 A=16 Aの電流が必要となる。よって電源サイズは、 $413 \text{ V} \times 16 \text{ A} = 6.6 \text{ kW}$ の出力の直流電源が必要である。

Fig. 9に2枚の太陽電池パネル間の仕切り板を取り除いた場合の融雪実験の写真を示す。発熱は右側のパネルだけであるが、落雪に際して左側のパネル上の雪も一緒に落ちている。このことから、発熱させるパネルの組み合わせを考慮することで消費電力を低減させる可能性があると考えられる。

## 7. まとめ

本年度は、降雪回数が異常に少なく暖かい日が続いたため予定していた実験の多くが出来なく残念であった。しかし、太陽電池パネルへの逆通電によるパネル上の融雪実験と八戸の一般家庭に設置した太陽電池発電システムの評価を行い以下の結論を得た。

- 1) 太陽電池のメーカーおよびセルの結晶タイプによらず、太陽電池パネル発熱制御の基礎的方法を確立した。
- 2)  $R = aI^{-1.0236}$  ( $a$ : パネルの種類別定数)と  $RI^2 = \Delta T$  を用いることで、印加電流によるパネル表面温度の制御が可能である。
- 3) 太陽電池パネルへの逆通電により、パネル上の雪を落雪させることができた。
- 4) 印加する電流量と発熱させるパネルの組み合わせを考慮し、融雪に使用する電力量を

検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 宮入，磯部；基礎電気・電子工学，東京電気大学出版局，pp 121-126, (1979)