

# 太陽電池モジュールの高効率化及び大出力化

中村真之\*  
鈴木一生\*

*High Efficient and High Output Polycrystalline Photovoltaic Module*

*Masashi Nakamura, Issei Suzuki*

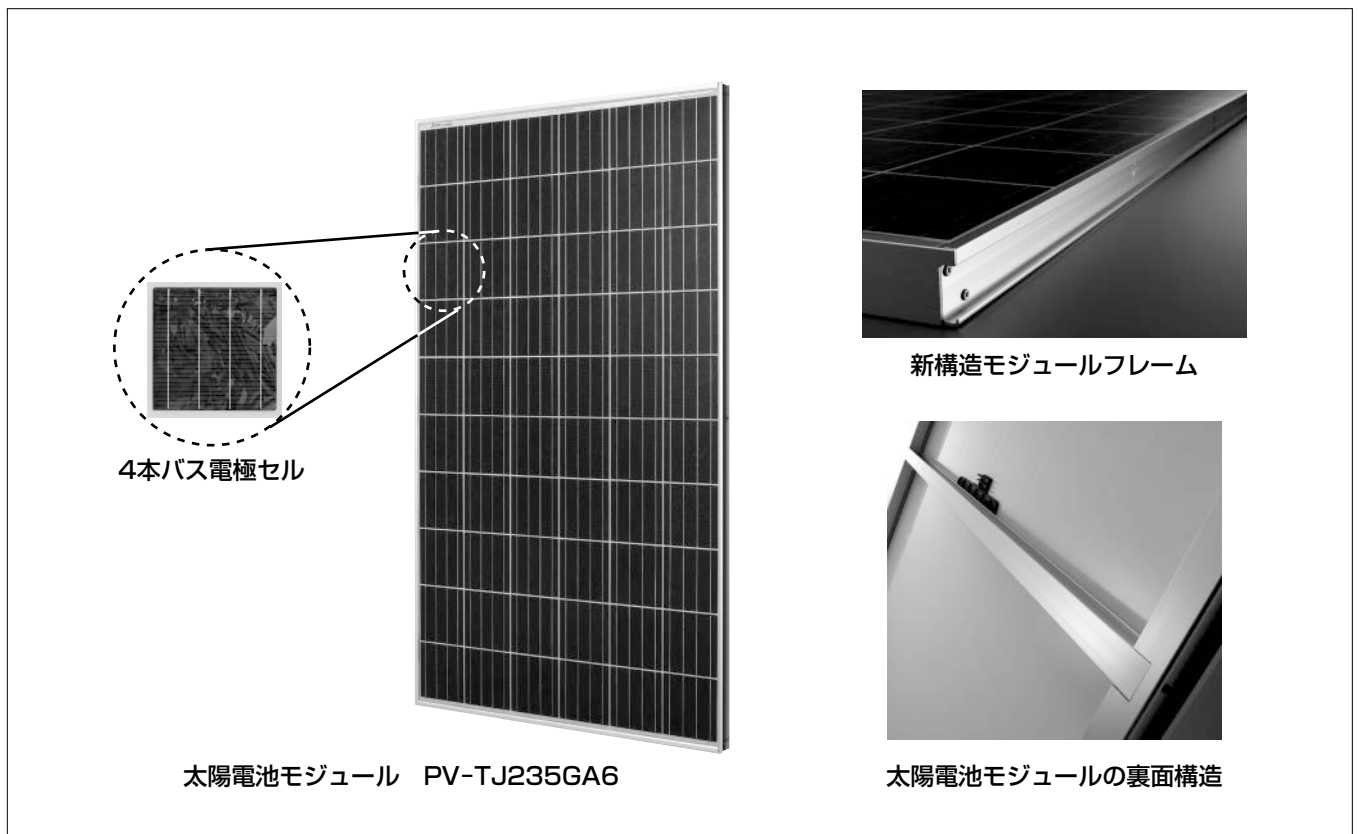
## 要旨

近年、地球温暖化問題の緊急性及び重要性が世界各国で認識され、世界規模でCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて様々な取組みが実施されている。特に太陽光発電システムに関しては、2004年にドイツで改正された電力固定価格買取制度が急速な普及を促進したことから、欧州各国及び日本でもこの制度が導入され、世界的に太陽光発電の普及が加速している。

太陽光発電システムで、複数枚の太陽電池セルから構成される太陽電池モジュールは、その発電効率によってシステムの発電性能が大きく左右される重要構成部品である。また、その発電量あたりの設置費用にも大きな影響を与えるため、太陽電池モジュールの発電効率及び1枚当たりの発電出力が消費者の選択の一つの視点となっている。また、太陽光発電の普及が高まるとともに3～4kWが中心の住宅用システムに加え、工場の屋上や遊休地等を用いた数十kW～数MWと大きな容量のシステムの普及も進んできて

いる。一般住宅によく見られる傾斜屋根への施工の場合、傾斜面での作業における運搬性や安全性、限定された屋根面積に対しての配置の自由度が重視され、モジュールの高効率化への要望は強いものの、大型化による大出力化への要求は少なかった。しかし、平坦(へいたん)な地上設置や工場の屋上など、モジュールの扱いが比較的容易で、十分な設置面積がある場合には、それらの制限が少ないため、モジュールを大型化することによって、モジュール1枚当たりの施工部材、施工時間を削減することが可能である。工事費用を抑えることによって最終的なシステム総費用を低減できることから、今日では、大出力モジュールへの市場要求が高まってきている。

本稿では、4本バス電極セルを用いた太陽電池モジュールの高効率化及び大出力化に関する三菱電機の実績について述べる。



## 4本バス電極セルを用いた高効率太陽電池モジュール

高効率及び大出力化の市場要求に対し、バス電極の4本化及び新フレーム構造の採用によって、市場要求である高効率かつ大出力を達成した太陽電池モジュール(最大出力235W)。

\*中津川製作所

## 1. ま え が き

近年、地球温暖化問題の緊急性及び重要性が世界各国で認識され、世界規模でCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて様々な取組みが実施されている。特に太陽光発電システムに関しては、2004年にドイツで改正された電力固定価格買取制度が急速な普及を促進したことから、欧州各国及び日本でもこの制度が導入され、世界的に太陽光発電の普及が加速している。

太陽光発電システムで、太陽電池モジュールは、その発電効率によってシステムの発電性能が大きく左右される重要構成部品であり、また、その発電量当たりの設置費用にも大きく影響を与えるため、太陽電池モジュールの発電効率及び1枚当たりの発電出力が消費者の選択の一つの視点となっている。

## 2. 高 効 率 化

### 2.1 高効率化手段

太陽電池モジュールの構造は図1に示すとおり、複数枚直列接続された太陽電池セルが基本部品である。太陽電池モジュールの発電効率を向上させる方法には主に次の3つの手段がある。

#### (1) 光を電気に効率良く変換する

- ① ウェーハ品質の改善／結晶欠陥、重金属等の不純物による発電効率低下の抑制

#### ② 発生した電子の表面再結合抑制

#### (2) 光の取り込み量を増やす

##### ① 表面形状の最適化による反射率低減

##### ② 電極材(グリッド電極, タブ線)による遮光面積の低減

#### (3) 発電した電気を損失なく伝送する

##### ① 電極材とウェーハとの接触抵抗の改善

##### ② 電極材の抵抗の改善

当社では、プラズマCVD(Chemical Vapor Deposition)による反射防止膜の形成及び水素パッシベーション効果を最大限利用可能な電極材の高速焼成、グリッド電極の細線化によって高効率化を実現している<sup>(1)</sup>。

次に、4本バス電極化による電極材抵抗を削減した高効率化の取組みについて述べる。

### 2.2 4本バス化による効率改善

当社では、2.1節で述べた太陽電池セル自体の高効率化に加え、電極材で発生する電力損失を低減するために、バス電極を従来の2本から4本と増やし効率の改善を行った(図2)。4本バス化による効率の改善の原理は、次のとおりである。図1(b)に示すように、発電した電流はセル上に流れる。1本のグリッド線に流れる電流は、図3に示すように太陽電池セルの各場所で発電した電気が集電され、徐々に電流量が増加する。これによって、グリッド線1本の抵抗による電力損失 $P$ は式(1)で計算される。

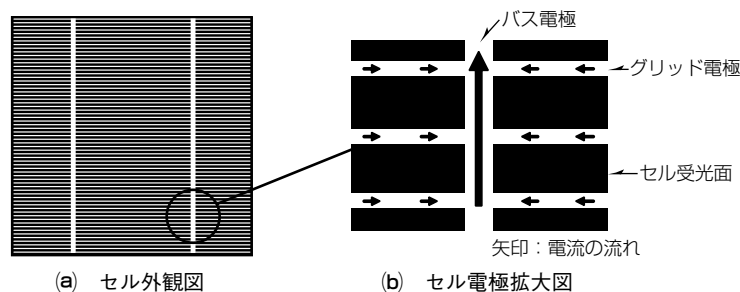


図1. 太陽電池モジュールの構造

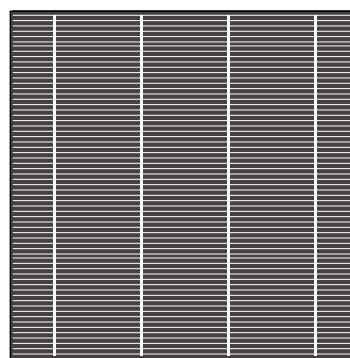


図2. 4本バス電極セル

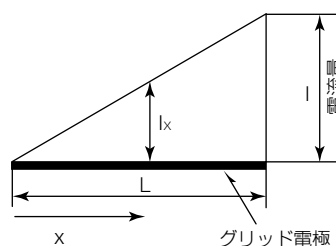


図3. グリッド電極上を流れる電流

$$P = \int_0^L \frac{\rho}{S} I_x^2 dx = \frac{\rho \cdot L \cdot I^2}{3S} = \frac{1}{3} RI^2 \dots\dots\dots(1)$$

$\rho$  : 電極体積抵抗 ( $\Omega \text{mm}$ )  
 $L$  : 電極長さ (mm)  
 $S$  : グリッド電極面積 ( $\text{mm}^2$ )  
 $I_x (= \frac{x}{L} \cdot I)$  : 位置  $x$  での電流量  
 $R (= \frac{\rho \cdot L}{S})$  : 抵抗

今回開発した4本バス電極セルに流れる電流は、図4(a)に示すように流れ、図4(b)に示す2本バス電極セルと比較し、グリッドに流れる最大電流量を減少させることが可能となる。2本バスセルでのグリッド線1本あたりの電力損失P2及び4本バスセルの電力損失P4は、式(2)と式(3)で計算される。したがって2本バスセル比で抵抗損失が1/4になり、結果として対2本バス電極セル比3%の効率の改善を図ることができた。

$$P2 = \frac{1}{3} RI^2 \times 4 = \frac{4}{3} RI^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$P4 = \frac{1}{3} \left( \frac{R}{2} \right) \left( \frac{I}{2} \right)^2 \times 8 = \frac{1}{3} RI^2 \dots\dots\dots(3)$$

2.3 4本バス化によるセル内部残留応力の低減

当社では、環境に対する影響を考慮し、2003年から無鉛はんだを用いている<sup>(2)</sup>。この無鉛はんだは、一般的に用いられる有鉛はんだと比べ融点が高く、はんだ付け時のタブ線と太陽電池セル(シリコン)の熱膨張係数の違いによって生じる残留応力を抑える製造技術開発に力を入れている。今回の4本バスセルは、従来の2本バスと比較して、タブ線幅を1/2にしたことによって、タブ線をバス電極にはんだ接合する際に発生する残留応力のピークを削減かつ均等化することが可能である(図5)。これによって、タブ線接合後のセル強度を向上させることができる。この効果によって、従来のモジュールに対して1.2倍ほど大型化したモジュールでも、従来と同じ耐静圧試験基準<sup>(注1)</sup>を達成している。また、残留応力ピークが均等かつ低減したことに加

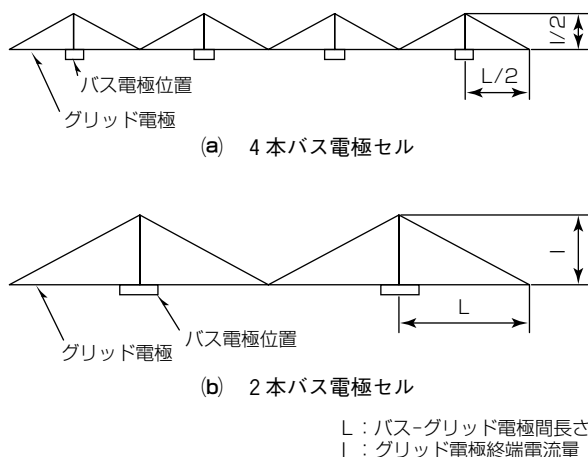


図4. グリッド電極1本に流れる電流の模式図

え、残留応力に起因する反り量を低減できたことによって、工程内での割れの発生確率を抑えることができ、トータルでのコスト低減が可能となる。さらに、4本バス化による残留応力が小さくなったことを利用し、今後の太陽電池モジュールの効率改善の一つとして、タブ線の断面積を厚くすることによってタブ線の抵抗を下げる開発に取り組む予定である。

(注1) IEC61215 Static load test, 当社太陽電池モジュールPV-TD185MF5とPV-TJ235GA6の比較

2.4 4本バスセルの製造技術

図1(c)に示したように、太陽電池セルはそれぞれのセルが直列にタブ線とバス電極のはんだ接合によって接続されている。このタブ線及びバス電極を従来の2本バスセルと同じ幅を使う場合、タブ線の幅によって遮光される面積が2倍となり、抵抗改善による効率上昇の効果が減少する。そのため、抵抗改善分を十分に活用するために、最低でも従来の1/2のタブ線幅を用いる必要があり、1mm幅のタブ線を1mm幅のバス電極に接合する精度の高い技術が要求される。そこで当社では、新たに画像処理技術を用いたアライメント技術(バスアライメント)を導入した。このバスアライメントは、CCD(Charge Coupled Device)カメラによってセルのバス電極位置情報を取り込み、±0.1mmの精度でセルのバス電極を所定の位置に配置することが可能である。また、実際にタブ線とバス電極のずれ量も画像によって全数検査を行い、後工程にタブ線のずれたセルが流出することを防止している。また、この方式を導入することによって、従来の機械式のアライメントと比較して、太陽電池セルに接触する回数を減らすことが可能となり、工程内での歩留り向上も可能となる(図6)。

3. 太陽電池モジュールの大出力化

3.1 大型化による大出力化の需要の高まり

太陽光発電の普及が高まるとともに、3~4kWが中心の住宅用中小規模システムに加え、工場の屋上や遊休地などを用いた数十kW~数MWの大容量システムの導入が進んできている。一般住宅によく見られる傾斜屋根への施工の場合、傾斜面での作業における運搬性や安全性、限定された屋根面積に対する配置の自由度が重視され、モジュールの高効率化への要望は強いものの、大型化による大出力化への要求は少なかった。しかし、平坦な地上設置や工

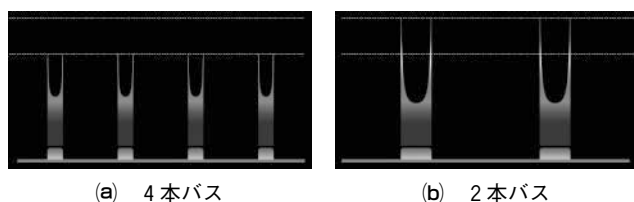


図5. タブ線上応力図

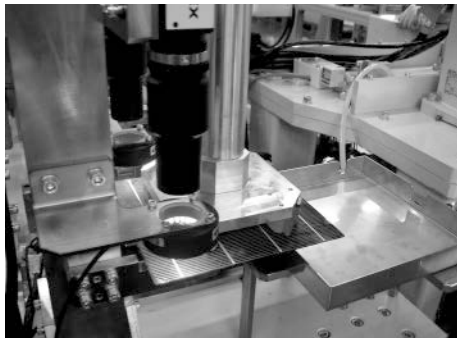


図6. 画像処理によるアライメント

場の屋上など、モジュールの扱いが比較的容易で、十分な設置面積がある場合には、それらの制限が少ないため、モジュールを大型化することによって、モジュール1枚当たりの施工部材、施工時間を削減することが可能であり、工事費用を抑えることで最終的なシステム総費用を低減できることから、今日では、大出力モジュールへの市場要求が高まってきている。

### 3.2 大型化技術

太陽電池は屋外へ設置されるため、モジュールには積雪や風圧荷重といった様々な外力が加わる。モジュールの大型化に伴い、1枚当たりに加わる外力の総荷重も大きくなるため、セルやフレーム強度を向上させる必要がある。当社では、先に述べた4本バス化によるセル内部応力低減とともに、モジュール裏面中央にプロテクションバー(補強バー)を導入することで、ガラスの撓(たわ)みに起因する太陽電池セルやガラスの割れなどの不具合を防止し、長期信頼性を確保した(図7)。しかし、従来品のフレーム形状を大型モジュールに流用しようとした場合、接合点での局所応力が許容値を超えるため、今回、略I型形状のフレームを開発した。新形状では、断面積は従来品同等とすることでコストを維持しつつ、発生応力をおよそ1/2に低減することを可能にした(図8)。

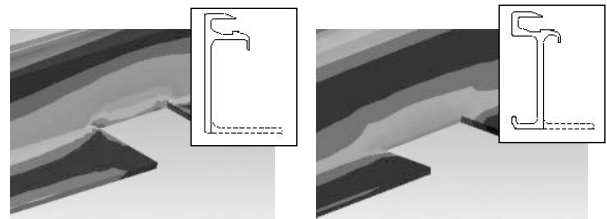
新形状フレームでの強度向上は、モジュール短辺側を固定する方式での施工を可能にただけでなく、下側フランジを固定する方式など、施工バリエーション拡大をも達成している(図9)。

### 4. む す び

太陽電池モジュールの高効率化及び大出力化技術につい



図7. プロテクションバー(モジュール裏面)



(a) 従来フレーム (b) 新フレーム  
(破線部はフレーム接合部で切欠加工されている部分)

図8. フレームの荷重時の応力シミュレーション

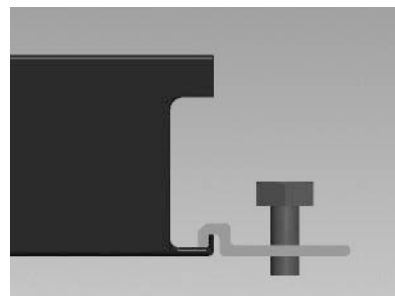


図9. モジュール施工例

て述べた。今後更に太陽電池セル自体の高効率化、モジュール化技術の改良による高効率及び大出力化を図り、太陽光発電の更なる普及に貢献していきたい。

### 参 考 文 献

- (1) 石原 隆, ほか: 太陽光発電システムーセル製造技術の高度化ー, 三菱電機技報, 83, No.10, 599~602 (2009)
- (2) 森川浩昭, ほか: 太陽電池セル・モジュール鉛フリー化, 三菱電機技報, 77, No.5, 309~312 (2003)