

# アモルファスシリコン太陽電池の現状と開発動向

桜井 正博 (さくらい まさひろ)

酒井 利明 (さかい としあき)

特集 1

## 1 まえがき

1997年12月に京都で開催された「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」(COP3)において、地球温暖化防止に関する京都議定書が採択された。この議定書には2010年における先進国の温室効果ガス排出量削減について、各国ごとに数値目標値が定められた。2005年2月に京都議定書が発効し、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)削減に向けた本格的な動きが始まろうとしており、今後、環境への負担が少ない新エネルギーの導入に向けた活動が活発になるものと思われる。

新エネルギーの中で太陽光発電システムは発電時にCO<sub>2</sub>の排出がまったくない発電装置として、その普及に大きな期待が寄せられている。政府は、総合資源エネルギー調査会需給部会によって設定された2010年度の新エネルギー導入の見通し達成のために、

- (1) 発電分野における措置 (①公共分野への導入拡大, ②低コスト化・高効率化を促進する技術開発など)
- (2) 熱分野における措置 (①自治体による新エネルギー導入の総合的計画策定, ②バイオマスニッポン総合戦略の推進, ③輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料の導入促進など)

などの施策を行い、新エネルギー導入の促進に努めている。

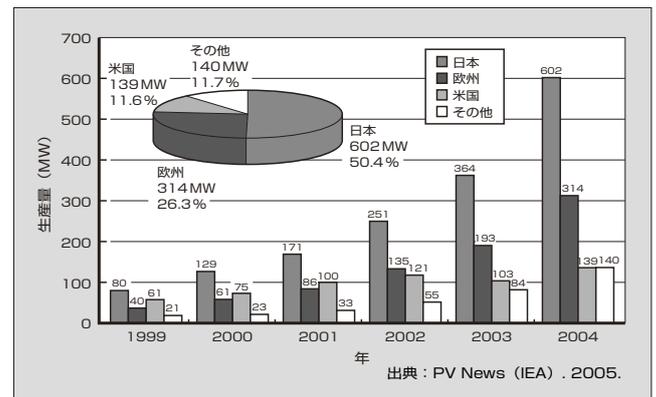
特に、太陽光発電においては2010年に482万kWの導入を目指し、各種補助事業(住宅用太陽光発電システム導入基盤整備事業、産業等用太陽光発電フィールドテスト事業など)や優遇措置により普及促進がなされてきている。また、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO技術開発機構)は、2004年に2030年までの長期視野に立った技術開発戦略「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)」を策定した。ここでは、2030年ごろまでに家庭用電力の1/2程度(太陽光発電システムとして100GW程度)を太陽光発電で賄うことを想定し、このために必要な太陽光発電の経済性改善や適用性拡大に向けた技術革新とシステム利用の方向について検討を行った。

一方、太陽電池の生産量について見た場合、1997年以降は大きな拡大を示しており、2000年には288MWであったものが2004年には1,195MWと4倍以上となっている。この生産量のうち、日本は602MWで約50%を占めている。図1に太陽電池生産量シェアを示す。2004年に生産された太陽電池の中で結晶系シリコン(Si)太陽電池が90%以上を占め、薄膜系Siは8%程度であるが、Si原料の枯渇問題により、アモルファスシリコン(a-Si)やCIS(Copper-Indium-Selenium)系太陽電池のシェアが拡大していくものと期待されている。

富士電機は、1978年にa-Si太陽電池の研究開発に着手した。1980年にはa-Siとして世界で初めて商品となる電卓用太陽電池の開発に成功し、販売を行った。1980年からは通商産業省工業技術院が実施した「サンシャイン計画」のもとで研究を受託し、電力用a-Si太陽電池の開発を行い、1993年にはガラス基板を用いたa-Si太陽電池において世界に先駆けて大面積太陽電池(30cm×40cm)で9%の変換効率を達成した<sup>(1)</sup>。

しかし、a-Si太陽電池の商品化を考えた場合、ガラス基板の太陽電池ではバッチ処理を基本としたプロセスとなるため、大面積基板(1m<sup>2</sup>程度を想定)を真空装置で大量に処理するには製造時間の短縮、基板の搬送、ハンドリングの点で問題があり、大量生産には不向きであった。そ

図1 太陽電池生産量シェア



桜井 正博

太陽光発電システムの設計プロジェクト企画に従事。現在、富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部営業技術マネージャー。電気学会会員。



酒井 利明

半導体圧力センサの開発、太陽電池の開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社機器本部太陽電池統括部営業部長。

こで、これまで蓄積してきた技術を基に1994年から高い生産性と低コスト化が同時に達成できる製造プロセスの開発に着手し、プラスチックフィルムを基板とした新しいa-Si太陽電池を開発し、2004年10月に販売を開始した。

## ② フィルム基板 a-Si 太陽電池

### 2.1 プラスチックフィルム基板セル構造

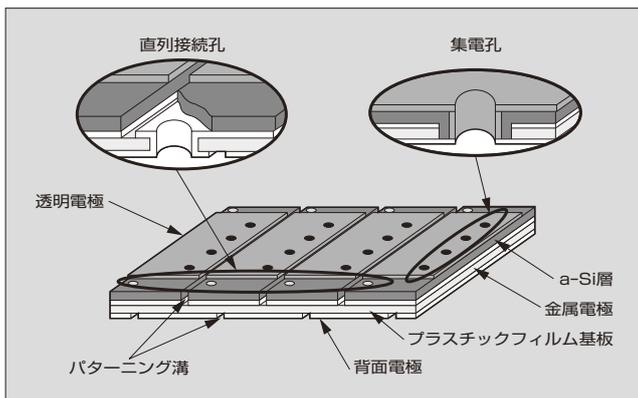
プラスチックフィルムのようなフレキシブル基板を用いることの最大の利点は、ロールツーロールプロセスが適用できることである。ロールごと真空装置の中に基板をセットすることにより基板搬送にかかわる問題を避けることができ、自動化も容易となり、商品化に向けた大規模量産に適したプロセスを構築することが可能となった<sup>(2)</sup>。

プラスチックフィルムは絶縁性があるため集積型直列接続構造を形成することが可能であるが、耐熱性が低い、基板の伸縮が大きいなどの問題があり、接続構造やプロセスに工夫が必要となる。富士電機はプラスチックフィルム基板材として耐熱性の高い特殊なフィルムを使用しており、その上に金属電極、a-Si層、透明電極を形成させることでセルを作製している。

富士電機ではSCAF (Series-Connection through Apertures formed on Film) と名づけた新しい太陽電池構造<sup>(3)</sup>を開発した。隣り合う電池を直列に接続させるためモジュールの端部に直列接続用のホールを形成し、このホールを介してプラスチックフィルム基板の両面に形成した金属電極が直列接続できるような構造を形成させた。図2にa-Si太陽電池の直列接続構造を示す。

SCAF構造フィルム基板セルはユニットセルと呼ばれる複数の短冊状の太陽電池に分割されており、モジュールの出力電圧を実用的な電圧にするためには、これらユニットセルを直列に接続する必要があるが、フィルム基板に設けた直列ホールを通して隣り合うユニットセルの金属電極に接続させることにより直列接続構造を実現させた。SCAF構造では、ユニットセルに発生した電流は高い抵抗を有する透明電極での電圧損失を避けるため複数の集電ホールを形成し、抵抗の小さな金属電極に電流を流すとともにセル端部に形成された直列ホールを介して隣接するユニットセル

図2 SCAF方式直列接続構造



ルの金属電極に接続させている。この構造では、パターンを変更させることにより直列接続数を変えることができ、1枚の太陽電池から用途に見合った電圧を取り出すことが可能となる。

### 2.2 製造プロセス技術

SCAF構造太陽電池製造プロセスはロールツーロール方式を基本としている。そのプロセスは、①基板前処理装置によりロール状フィルム基板上にパンチ方式で機械的に穴あけ、②スパッタ法により電極形成装置を用いてフィルム上に金属電極の形成、③ステッピングロール方式と呼ばれる製膜装置でa-Si層(プラズマCVD:化学真空蒸着法)、透明電極層(スパッタ法)、背面電極層(スパッタ法)の一連の工程を採用している。特に③の工程では、一つの真空容器の中に複数の製膜室を持ち、基板をステップ送りし製膜中に基板を止めることで各製膜室が独立したチェンバとなるように工夫されている。

図3に、SCAF構造a-Si太陽電池の製造プロセスおよびステッピングロール製膜装置の外観を示す。

## ③ 太陽光発電システムへの適用

### 3.1 フィルム型太陽電池モジュールの特長

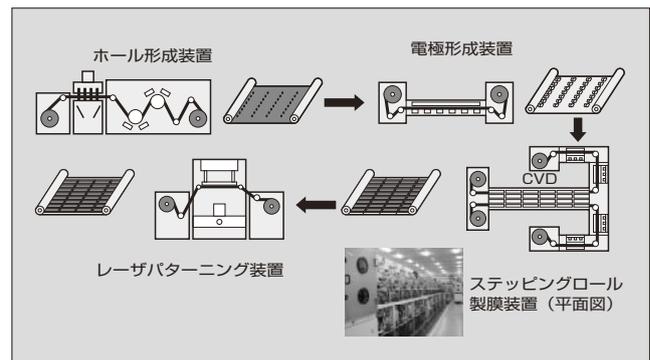
プラスチックフィルムを基板としたSCAF構造セルを用いた太陽電池モジュールには以下のような特長がある。

- (1) 軽い：フィルム型太陽電池の重さは1kg/m<sup>2</sup>であり、従来品の1/10以下の軽量化を実現した。
- (2) 曲がる：ガラスを使用していない構造のため、曲面上にも設置が可能でありデザイン性に優れている。
- (3) 出力電圧が高い：独自の直列接続構造の採用により、インバータに直接接続可能な高い出力電圧が容易に得られる。

このため太陽電池間の外部接続はすべて並列に接続できるので、結晶系モジュールを使用した場合に行われる直並列接続によるアレイ形成時に生じる誤配線の危険性がなくシステムの信頼性を上げることが可能となった。

富士電機が開発した太陽電池は、a-Siを基本としたa-Si/a-SiGeタンデム型太陽電池で、結晶系Si太陽電池に比べて次のような特長を有している。

図3 SCAF構造のa-Si太陽電池製造プロセス



- (1) 年間発電量が多い：a-Si 太陽電池は温度係数が小さいため夏場の効率低下が少なく、同一定格容量では年間発電量が結晶系 Si に比べ 10% 程度多くなる（社内比較データによる）。
- (2) 製造時のエネルギー消費量が少ない：a-Si 太陽電池は従来の結晶系 Si 太陽電池に比べ製造に要するエネルギー消費量が少なく、環境に優しい太陽電池である。

図 4 には富士電機の横須賀地区で行った a-Si/a-SiGe タンデム型太陽電池のフィールドテスト結果を示す。図中の効率は太陽電池が常に標準条件のエネルギー変換効率で動作したと仮定した場合の発電量と実際の屋外環境での発電量との比率である。なお、図中に記載されている安定化効率とは、48 時間ごとに光照射を複数回繰り返し行い、そのときの効率の変動幅が 2% 以内になったときの値である。

3.2 商品形態

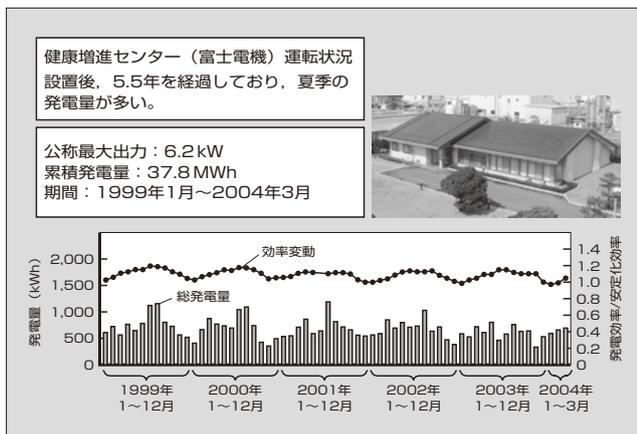
富士電機は 2004 年 10 月から鋼板一体型太陽電池モジュールとフィルム型太陽電池の販売を開始した。

(1) 鋼板一体型太陽電池モジュール

これまで市販されてきた建材一体型太陽電池モジュールは、ガラスでカバーされたものが主体であった。ガラスでカバーされた建材一体型のモジュールは面積あたりの質量が重くなり、屋根材として高所において設置作業する場合には、安全性の面から屋根材としてのサイズに制限を受けてきた。富士電機では、大きな需要が見込める建物、特に大型の公共・産業用建物の屋根への適用を目的としてフィルム型太陽電池モジュールを直接、鋼板にラミネートした軽量の鋼板一体型太陽電池モジュールを開発した。

鋼板一体型太陽電池モジュールは鋼板部分を除く太陽電池モジュールの質量が約 1 kg/m<sup>2</sup> であり、鋼板を含めても総質量は 4 ~ 8 kg/m<sup>2</sup> 程度となり、従来の据置型と比較して約半分の質量である。したがって、太陽電池を搭載した場合でも、構造物の耐荷重設計を大きく見直す必要も少なく、しかも通常の鋼板屋根と同じ方法で施工できるため低コストで意匠性に優れた太陽電池付き鋼板屋根が実現できる。図 5 には鋼板一体型太陽電池モジュールおよびその仕様を示す。

図 4 a-Si 太陽電池のフィールドテスト結果



(2) フレキシブルフィルム型太陽電池

フレキシブルなプラスチックフィルムを基板として用いており、ガラスカバーやフレームなどの形状を拘束する部材を使用していないため曲面に対応してモジュールを設置することができる。デザイン性を優先するような建物や軽量を追求する携帯用電気機器の電源などの分野への用途開発を進めている。さらに、省エネルギー機器用電源、独

図 5 鋼板一体型太陽電池モジュールおよび仕様

体育館などのアーチ屋根に最適

		鋼板一体型
公称最大出力		96W
公称最大出力電圧		DC320V
公称最大出力電流		0.3A
公称開放電圧		DC435V
公称短絡電流		0.35A
寸法		525×3,881×13 (mm)
最大システム電圧		600V
質量	(鋼板0.8t含む)	16kg
	(モジュールのみ)	2kg

図 6 フレキシブル a-Si 太陽電池モジュールおよび仕様

	単位モジュール	2並列	2直列2並列	4直列2並列
公称最大出力	12W	24W	48W	96W
公称最大出力電圧	DC80V	DC80V	DC160V	DC320V
公称最大出力電流	0.15A	0.3A	0.3A	0.3A
公称開放電圧	DC108.8V	DC108.8V	DC217.5V	DC435V
公称短絡電流	0.175A	0.35A	0.35A	0.35A
寸法 (暫定)	250×935 (mm)	460×935 (mm)	460×1,770 (mm)	460×3,440 (mm)
質量	260g	460g	0.82kg	1.6kg
モジュール構成	ETFE/EVA/セル/EVA/ETFE (全体の厚さ約1mm) , 端子高さ13mm			

単位モジュール

2並列 24W

2直列4並列 96W  
〔(2直列2並列 48W) × 2〕

図7 設置事例



立電源、防災用電源など多くの用途へ適用可能な太陽電池モジュールとして、12Wを単位としたサブモジュールを基本にして直並列接続構成ができるフィルム型太陽電池モジュールの開発を行った。図6にはフレキシブルa-Si太陽電池モジュールの外観と仕様を示す。

### 3.3 設置事例

図7には、鋼板一体型a-Si太陽電池モジュールおよび

フレキシブルa-Si太陽電池モジュールの特長を生かした設置事例を示す。

### 4 あとがき

太陽電池の生産量は年率50%を超える割合で増加を続けており、2010年には累積で482万kW、2020年には34GWとなることが予想されており、2020年には市場規模が1兆円に達するものと考えられている。このような追い風の中で、今後、大きくマーケットシェアが伸びるであろうと期待されている薄膜太陽電池の一つとして富士電機は、フィルム基板としたフレキシブルa-Si太陽電池を用いた二つのタイプの太陽電池モジュールの販売を開始した。今後は、さらなるコストダウンおよび効率向上の研究開発を行うとともに、「軽い」「曲がる」などの特長を生かした新規用途開発を進めていく所存である。

### 参考文献

- (1) Ichikawa, Y. et al. Large-Area Amorphous Silicon Solar Cells with High Stabilized Efficiency and their Fabrication Technology. Proc. of 23rd PV Specialist Conf. USA. 1993, p.27.
- (2) Ichikawa, Y. et al. Production Technology for Amorphous Silicon Based Flexible Solar Cells. 11th Int'l Photovoltaic Science and Engineering Conference. Sapporo, Japan, 1999, p.49.
- (3) Ichikawa, Y. et al. Large-Area Amorphous Silicon Solar Cells with High Stabilized Efficiency and their Fabrication Technology. Proc. of 23rd PV Specialist Conf. USA. 1993, p.27.

