

フィルム型アモルファス太陽電池の高出力化技術

High Output Power Technology for Film Substrate Amorphous Solar Cells

藤掛 伸二 Shinji Fujikake

佐藤 広喜 Hiroki Sato

新型フィルム型アモルファス太陽電池を、2010年1月に熊本工場生産開始した。この太陽電池は、従来型に比べて出力を約2割向上させた。高出力化するために、製造装置や製造条件を見直して、セル面積の拡大や無効領域を縮小して発電領域を拡大した。さらには、電極などのパターンを最適化して集電性を改善した。出力電圧を従来の約半分の157Vに低下させることで、各種パワーコンディショナへの適合性も向上させた。また、熊本工場生産した太陽電池を工場内の屋根に取り付けた。8か月間の発電特性は良好で、規格化発電効率率は0.98と高い実績値を示した。

Production of Fuji Electric's new model of film substrate solar cell began in January 2010 at Fuji Electric's Kumamoto factory. This cell is improved in output power by about 20 percent compared to the existing model. To increase the output power, Fuji reviewed the manufacturing equipment and manufacturing conditions to enlarge the cell area, reduce the size of the ineffective area, and enlarge the power generating area. Additionally, Fuji optimized electrode and other patterns to improve the current collecting performance. By decreasing the output voltage to 157 V, which is approximately half of that of existing models, the adaptability to various power conditioners is improved. Also, the solar cells produced at the Kumamoto factory were installed on a building roof at the factory. Over the past 8 months, good power generating performance has been realized, and the normalized generating efficiency of 0.98 indicates a high record of accomplishment.

1 まえがき

太陽光発電用の太陽電池市場の急速な拡大が続いている。2008年の世界の太陽電池生産量は6.9GWに達している。特に、薄膜シリコンやCdTe, CIGSなどの薄膜太陽電池がシェアを伸ばしつつある。

富士電機は、2006年11月に熊本県に太陽電池量産工場を建設し、2007年4月に本格生産を開始した。「FWAVE」という名称の太陽電池は、プラスチックフィルム基板を用いたアモルファスシリコン系太陽電池であり、次のような特徴を持っている。

- (a) 発電層が1 μm 以下の薄膜なので、シリコン原料の使用量が抑えられる。
- (b) セル製造工程は一貫したロールツーロールプロセスであるため、生産性が高い。
- (c) 1枚のフィルム基板内に直列接続構造を作り込めるため、高電圧が得られる。

(d) 軽量、フレキシブルといった特徴のあるモジュールが実現できる。

フィルム型アモルファス太陽電池をより広く普及させていくためには、性能による差別化およびワット単価の低減を目的としたさらなる高出力化や、魅力あるモジュールなどの技術開発が必要不可欠である。本稿では、2010年1月に生産を開始した新型フィルム型アモルファス太陽電池における出力向上の取組みについて紹介する。併せて、熊本工場生産した太陽電池の屋外発電特性についても紹介する。

2 新型フィルム型アモルファス太陽電池

2.1 太陽電池の構造と開発の狙い

富士電機のフィルム型アモルファス太陽電池のデバイス構造を図1に示す。フィルム基板の上に、バンドギャップが異なるa-Siセルとa-SiGeセルを積層した二層タンデム構造を採用している。ナローギャップ材料であるa-SiGeを

図1 フィルム型アモルファス太陽電池の構造

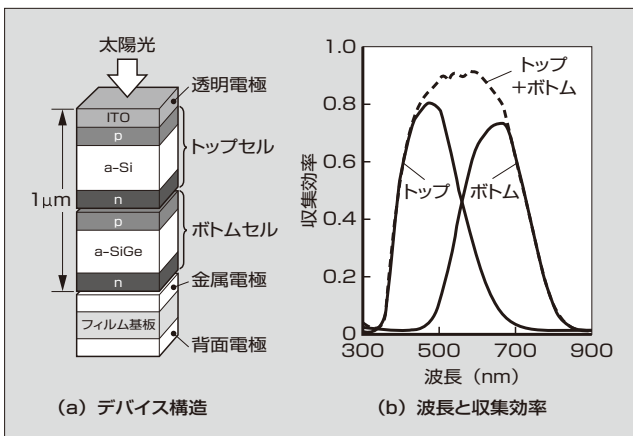
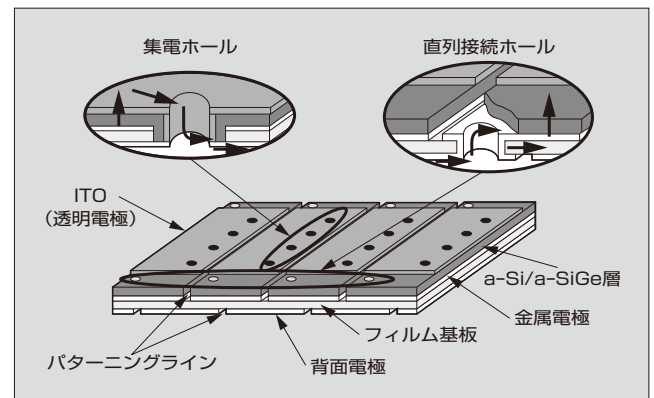


図2 SCAF構造太陽電池の概念図



ボトムセルに適用することで長波長感度が向上し、a-Siセル単独のときよりも約1~2割高い出力が得られる。

直列接続構造としては、**図2**に示すSCAF (Series-Connection through Apertures formed on Film) と名付けた独自の構造を採用している。^{(1),(2)}耐熱性のプラスチックフィルム基板を挟んでサブストレート型セルと背面電極を両面に形成し、レーザーで分割している。直列接続は2種類のホールにより行い、集電ホールで集めた電流を背面電極で収集し、直列ホールでユニットセル間の接続を行う。この構造を採用することでインバータ接続に、最適な高電圧を容易に得ることができる。

今回の新型フィルム型アモルファス太陽電池の開発では、こうした基本構造をそのまま維持し、発電面積の拡大やパターン最適化により高出力化を追求した。併せて、より使い勝手の良いモジュールを目指し、出力電圧の変更も行った。

2.2 太陽電池の仕様と開発

富士電機のフィルム型アモルファス太陽電池のモジュールの一つには、フレキシブルモジュールがある。**図3**にその外観を示す。**表1**は標準サイズのフレキシブルモジュールを例にとり、従来型と新型のモジュールの仕様を比較したものである。新型のモジュールでは従来型に比べて約20%出力を向上させている。次にその開発内容を示す。

(1) セル発電領域の拡大

現行のプロセス装置の改良により、成膜の均一性を確保し、有効成膜領域を約8%広げた。さらに、マスク領域やレーザーパターニングラインなどの発電に寄与しない無効領域を縮小した。これら二つの効果を合わせて、セルの発電領域を約11%拡大することができた。なお、**表1**に示すとおり、新型ではセルサイズ変更によりモジュールの長手方向寸法が約8%長くなっている。

(2) 直列段数の変更

富士電機のフィルム型アモルファス太陽電池は、**1**章でも述べたように直列接続構造により高電圧を得られるというメリットがある。従来型のモジュールは、パワーコンディショナに直結することを狙って**表1**に示すように動作電圧を高く設定した。一方で、電圧仕様が異なる各種PCに対応することが難しくなるという問題があった。そこで、

国内外の各種パワーコンディショナの仕様を調査し、電圧の違いに対しては太陽電池モジュールの外部直列接続数で対応するように変更した。新型のモジュールは、**表1**に示すように動作電圧は従来型の約半分である。これにより、各種パワーコンディショナに対応できるようになった。この場合、太陽電池モジュールの直列接続数の代表的な値は、国内家庭用が1直、国内産業用が2直、海外産業用が3直である。

(3) パターン最適設計

新型フィルム型アモルファス太陽電池では、セル面積拡大および直列段数の変更の影響で、ユニットセルの幅がこれまでの12mmから27mmに広がっている。この変更に合わせて直列接続パターンも再設計した。

フィルム基板では、前述のとおり、SCAF構造と名付けた直列接続構造を採用している。この構造は、**図2**から分かるとおり、透明電極の集電一つをとっても、電位分布は集電ホール近傍では極座標的、分割ライン近傍では矩形(くけい)的というように、ガラス基板セルに比べると複雑である。これまでは、二つの座標系を組み合わせた分布定数回路によるシミュレーションを行っていたが、より高精度な有限要素法(FEM)によるSCAF構造太陽電池のシミュレーション技術を開発した。

図4に、従来型および新型のユニットセルのFEMによる解析結果を示す。図中の電極は、**図2**に示した3種類の電極(透明電極、金属電極、背面電極)に対応し、それぞれの電位分布を色で視覚化している。これらの電極は、スルーホールでつながっているため、理想的には同電位(0V)である。しかしながら、実際には透明電極などでの抵抗ロスがあるため、最大0.2~0.3Vの電位差が発生している。

新型フィルム型アモルファス太陽電池では、ユニットセルの短辺幅を広くして電流が大きくなっているため、直列ホールの数を片側1個から3個に増やした。また、集電ホールも1列から3列に変更した。集電ホールの面密度は従来の約1.4倍に増加し、集電性向上に対応して、新型の方が透明電極上の電位分布が小さくなっていることが分かる。また、集電ホールの配列については、長手方向や幅方向のピッチをパラメータとした検討を実施した。**図5**は検

図3 フレキシブル太陽電池モジュールの外観

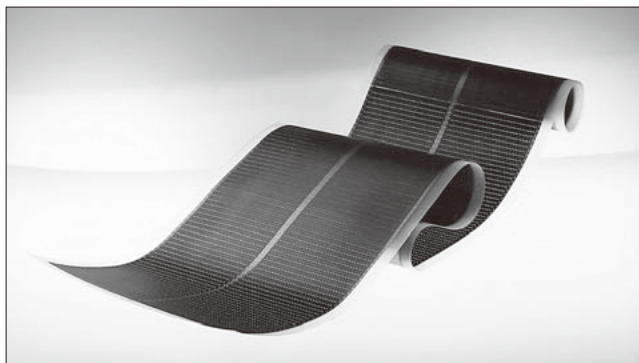


表1 標準サイズのフレキシブルモジュールの仕様比較

	従来型	新型
セル内直列段数	68直列	33直列
モジュール内接続	4直列	4直列
公称最大出力 (W)	90	110
公称最適動作電圧 (V)	316.9	157
公称最適動作電流 (A)	0.284	0.702
公称開放電圧 (V)	429	212
公称短絡電流 (A)	0.389	0.88
寸法 (mm)	460 × 3,399	460 × 3,687
厚さ (mm)	1	1

図 4 従来型および新型太陽電池のユニットセルの FEM による解析

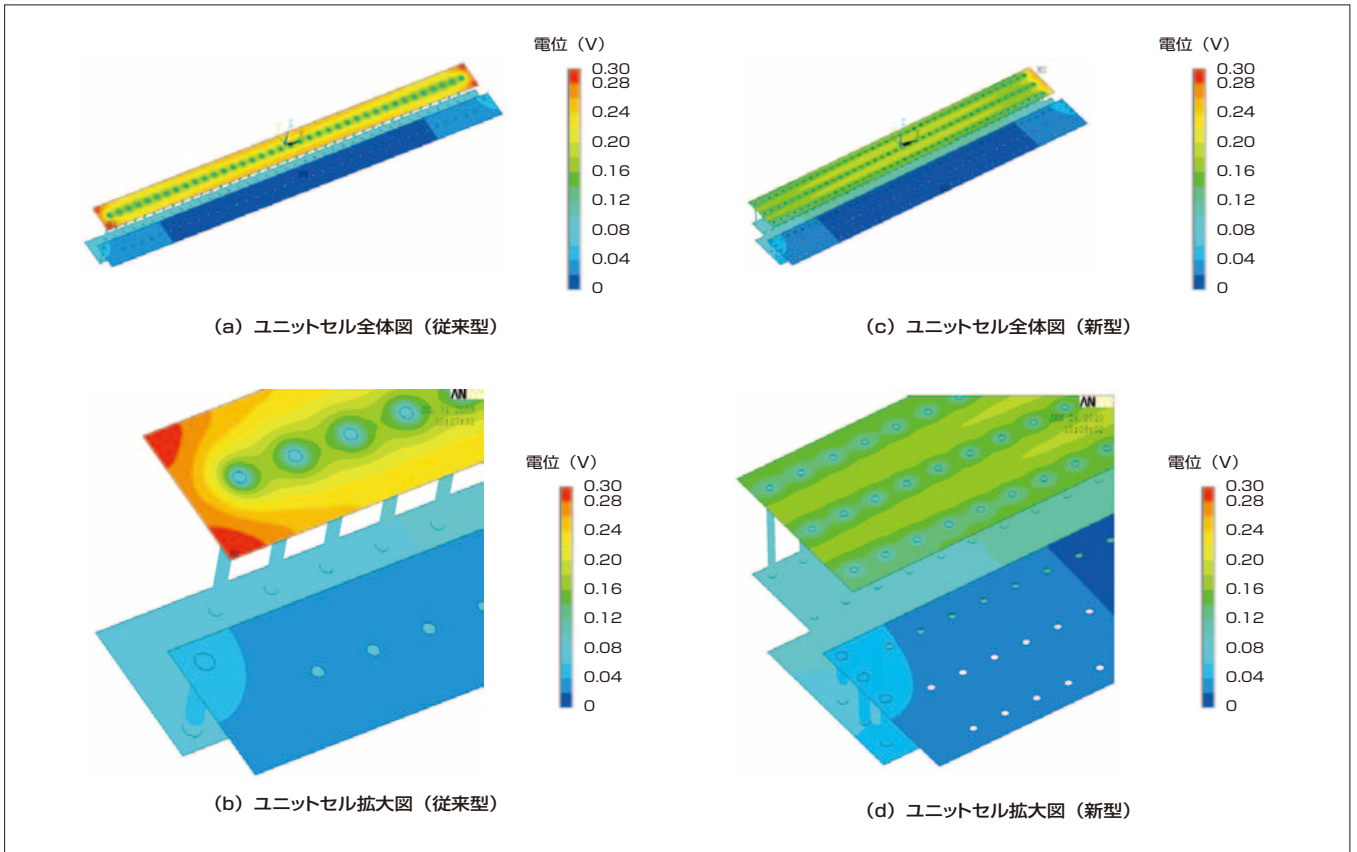
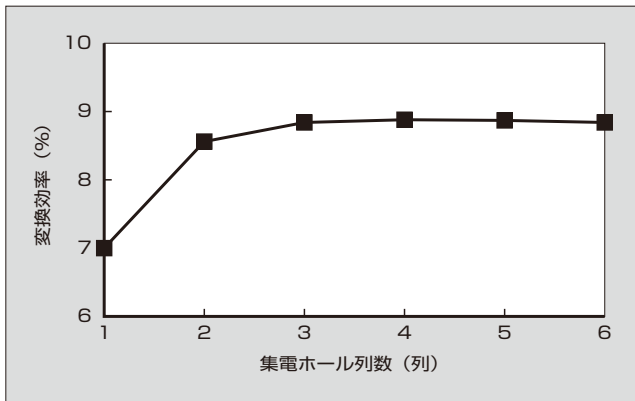


図 5 集電ホール列数と変換効率の関係

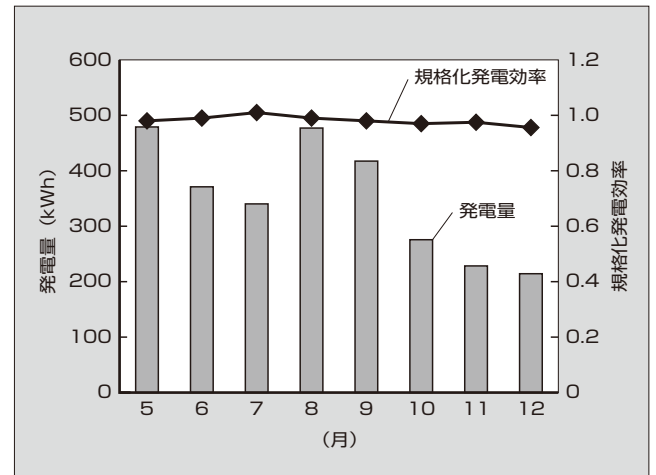


討結果の一例であり、変換効率 10% の小面積セルをもとにシミュレーションした集電ホールの列数とユニットセル変換効率の関係である。この結果から、列数 3 以上で変換効率はほぼ一定になると考えられる。実際に列数を変えたセルの試作を行い、同様な結果が得られたことから集電ホール数は 3 列に決定した。

③ フィルム型アモルファス太陽電池の屋外発電特性

熊本工場で生産したフィルム型アモルファス太陽電池の屋外発電性能を評価するため、工場内の屋根にモジュールを設置して発電量を評価した。

図 6 熊本工場で生産した太陽電池モジュールの発電特性



評価に用いたのは、定格電力 22.5 W の横葺 (ぶ) き鋼板タイプのモジュールである。このモジュール 126 枚でアレイを構成し、2009 年 5 月から発電量を評価した。図 6 に発電量および規格化発電効率 (240 ページ「解説 2」参照) の月変化を示す。ここで、発電量は直流であり、実際に電力として利用できる交流発電量は、この値にパワーコンディショナの効率 93% を掛けた値である。また、規格化発電効率は発電効率と定格変換効率の比であり、屋外での発電性能の指標となる。通常の結晶シリコン太陽電池を例にとると、規格化発電効率は年間平均で 0.8 ~ 0.85 程度である。これに対し、図 6 の結果では、規格化発電効率は

1 付近にあり、8 か月間の平均は 0.98 となり、結晶シリコン太陽電池よりも優れた値である。今後、光劣化による若干の低下は考えられるが、過去に実施した長期屋外暴露試験の結果から 0.95 程度で安定化すると考えられる⁽³⁾。したがって、熊本工場で生産したフィルム型アモルファス太陽電池の屋外発電性能は良好であると結論できる。屋外発電特性が優れている原因は、主に温度依存性および照度依存性の双方が結晶シリコン太陽電池よりも優れているためと考えられる。

②章で述べた新型フィルム型アモルファス太陽電池の屋外発電特性については、各種太陽電池モジュールとの比較を開始したところである。一方で、屋外発電特性に影響を及ぼすと考えられる分光感度、変換効率の温度依存性や照度依存性についての評価を完了し、それぞれ従来型のセルとほぼ同じであることを確認した。したがって、新型フィルム型アモルファス太陽電池についても良好な発電特性が得られるものと考えられ、長期屋外試験により実証していきたい。

④ あとがき

フィルム型アモルファス太陽電池の高出力化の取り組みや屋外発電性能について紹介した。新型フィルム型アモルファス太陽電池では出力が約 20% 向上し、同時に電圧変更により、パワーコンディショナへの適合性も改善させた。今後は、さらなる高出力化検討とともに生産性向上を進め

ていく。これらの技術開発を通してフィルム型アモルファス太陽電池を普及させ、地球環境に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Yoshida, T. et al. A New Structure A-Si Solar Cell with Plastic Film Substrate. 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. USA. 1994, p.441-444.
- (2) 市川幸美, 原嶋孝一. アモルファスシリコン太陽電池の開発. 富士時報. 2000, vol.73, no.4, p.249-252.
- (3) 井原卓郎, 西原啓徳. アモルファスシリコン太陽電池の屋外発電特性. 富士時報. 2002, vol.75, no.5, p.272-276.



藤掛 伸二

アモルファスシリコン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エネルギーソリューション本部グリッドソリューション事業部熊本工場設計部課長。工学博士。電気学会会員、応用物理学会会員。



佐藤 広喜

アモルファスシリコン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エネルギーソリューション本部グリッドソリューション事業部熊本工場設計部。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。