

太陽光発電システム開発物語

渡邊 百樹

ソーラーシステム事業本部 システム事業推進センター

はじめに

シャープが1959年に太陽電池の研究開発に着手して以来、来年で50年になります。長い道のりを経て、ようやく太陽電池は事業として成り立つところまできました。本稿はこの半世紀の物語を記したもので、今後の進むべき方向を考える上での参考となれば幸いです。

なお、本テーマは太陽電池モジュールとシステムの開発を主に記したもので、太陽電池セル関連及び宇宙用や薄膜太陽電池については最小限にとどめています。

1 太陽電池の誕生

太陽電池の基本原理の発見は1839年、フランスの物理学者アレクサンドル・エドモン・ベクレル (Alexandre Edmont Becquerel) による。彼は、電解液に浸した1対の金属板電極の一方に光を当てると、金属板間に電圧が発生する現象を19歳の時に発見した。

1870年代には金属セレンに光を照射し、電気が発生する現象が研究され、セレン・亜酸化銅太陽電池が開発されて照度計などに使われた。但し変換効率は1~2%程度で、電力用としては実用にならないレベルであった。

現在のシリコンを使った太陽電池は1954年にベル研究所から発表された。

発明者はフラー、ピアソン、チャピンの3名である。

1952年にフラー (Calvin S. Fuller) がガス拡散法を使ってシリコンのPN接合を作成し、この技術を使って1953年3月にピアソン (Gerald Person) がシリコンPN接合の光電効果を発見、さらにこのセルをチャピン (Daryl M. Chapin) が出力測定を行い、エネルギー変換効率を求めた。以後、彼らは改良を加え

て1953年9~10月には4%の変換効率を達成、1954年にはさらに6%に達した。ベル研究所はこのデバイスを Solar Battery と名づけて発表したが、薄いシリコンの板から電気が発生するというニュースは世間に激しい興奮を巻き起こした。

図1は2003年5月に大阪で開催された第3回太陽光発電世界会議 (WCPEC 3) の併設展示会に出展された世界初の

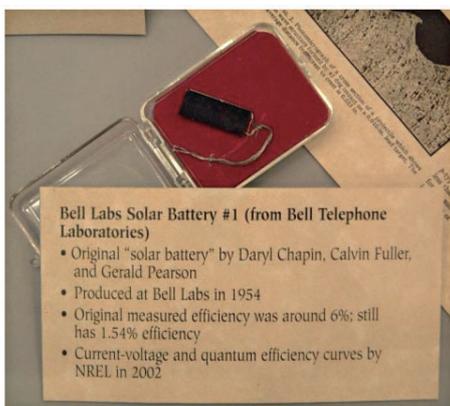


図1 ベル研のソーラーバッテリー

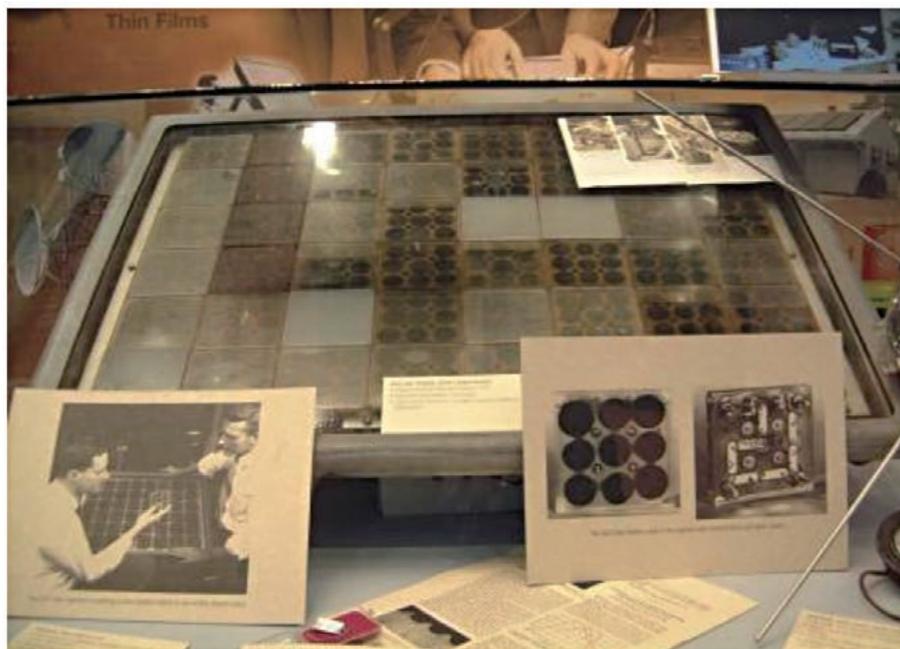


図2 初期の太陽電池モジュール



図3 S224 モジュール受光面



図4 S224 モジュール裏面

シリコン太陽電池サンプルである。また図2の太陽電池モジュール実物は同時に展示されていたが、まだ発電しますよと説明員は語っていた。

現在では、太陽電池を発電装置と考え Photovoltaic Cell と呼ばれているが、WCPEC 3での展示では Solar Battery と記されており、新型電池としてデビューした1950年代初期の雰囲気が伝わってくるようであった。

このシリコン太陽電池は、1950年代、主に米ソが競争して開発を進めていた人工衛星の電源として実用化が進められた。

2 シャープの取り組み

シャープが太陽電池の開発に着手したのは1959年であり、この年に太陽電池の試作品が完成されており、太陽の光を照射してシリコンのセルにつないだ電流計の針がわずかに振れ、電球を灯す実験が行われていた¹⁾。

1961年、太陽電池付きトランジスタラジオが開発された。また当時創刊されたシャープ技報によると、蓄電池と蛍光灯を組み合わせた独立型システムも既に開発されており、今日の無電源地域に普及されつつあるSHS (Solar Home System) がすでに技術的に完成されていることがわかる。

1963年世界で始めて太陽電池モ

ジュールが量産化され、シャープは世界の太陽電池史上に登場する²⁾。

このモジュールは「S224」と呼ばれ外形寸法が1辺80mmの正方形で厚さが14mmのアクリルケースの中に1インチの半円形セルが10直列2並列に並べられ、公称出力が360mWである。

図3が受光面側、図4が裏面の写真で、左側が1963年の初期のモデル、右側が11年後の1974年のモデルである。

電気的特性は以下の通り。

開放電圧	5.5V以上
短絡電流	90mA以上
最適動作電圧	4.2V
最適動作電流	80mA以上
出力	360mW以上
変換効率	9%以上

測定条件は入射エネルギーが100mW/cm²、測定温度は25℃（現在の測定条件は20℃であるが、当時は25℃で規定されていた。）である。

量産化を開始した1963年に海上保安庁に灯浮標用として採用、横浜港鶴見航路の鶴見1号ブイに設置された。1966年には海上保安庁、建設省、気象庁、電力会社など全国100箇所に採用され、また当時世界最大規模の225kW灯台用太陽電池を長崎県御神島（現在の尾上島）に設置されている（図5）。

1974年時点で太陽電池装置の納入実績は900箇所、出力の合計は15kWと

なっている。

海外でもマラッカ海峡のブイやオーストラリア、アフリカの無線中継所など13カ国に輸出されており、地上設置の市場では世界的に高いシェアを有していた。

太陽電池システム設計において、発電量推定計算のための日射データは当時、気象台が測定していた全天日射量と日照時間データが入手可能であった。

しかし、全天日射量は観測地点が少なく、日照時間は日射エネルギーとの相関が取りがたいという問題点があった。当時、海上保安庁の協力を得て北海道から沖縄までの全国13箇所の発電量データを収集し、気象データとの相関式が作成された。

また、海外に納入した機器の発電データもオーストラリア、フィリピンの2例を政府機関の協力の下で集められて解析されていた。

このようにして、設置場所の日照時間をもとに発電量計算式が作られている。（この手法は1980年代まで継続し、NEDOによる日射データの整備と斜面日射量の計算手法が確立された時点で、日照時間から日射量をベースとした計算手法に変わった。）

また、積雪の影響についても着雪、滑雪による発電量低下を調査するため



図5 尾上島の太陽光発電システム（左がS224モジュール使用、10年後に右のS225に交換された）（写真提供：海上保安庁）

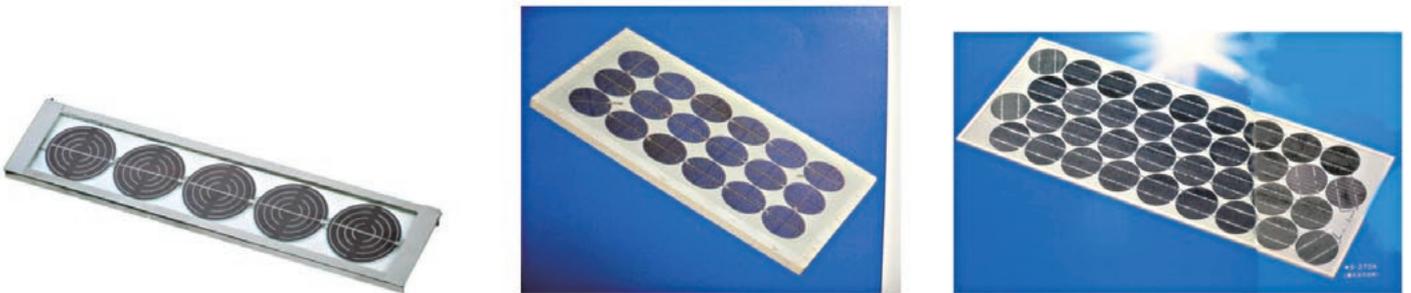


図6 太陽電池モジュールの変遷（左からS225, S260, S270）

に、雪質を考慮して北海道雌阿寒岳、富山県、福井県に設置されたシステムを設置者である放送局、電力会社、建設省の協力を得て発電データを入手し、雪の影響を調査している。さらにカナダでも雪試験が行われており、海外を視野に入れたシステム設計技術の開発が進められていた。

当時のシステム価格は出力1Wあたり4～5万円であった。当時の陸上設置の負荷機器は山間僻地にあり商用電源を配電するためには工事費として1kmにつき60～95万円を要し、小型テレメーター装置では容量が4.3W～8.6W程度のもが多く、商用電源から1km以上はなれていれば太陽電池の採用が有利であると考えられていた。1次電池や発電機などと比較して、距離が増え、

負荷容量が大きいシステムでは太陽光発電の経済効果が評価されていた。

これらのシステムは太陽電池モジュール、架台、蓄電池、配電盤、計測機器など1式をシステムとして販売されていた³⁾。

1978年に直径2インチのセルを使った「S225」のモデルが開発された。外形寸法70mm×300mmで裏表両側に強化ガラスを使い、中にセル5枚を直列に接続し、シリコン樹脂で封止したもので、出力が1W、セルの変換効率は10%である。

これは合わせガラス構造と呼ばれている信頼性の高いモジュール構造で、1966年に設置された尾上島の太陽電池は10年後にすべてこのS225に交換され、現在も活躍している（図5）。

電気的特性は

開放電圧	3V
短絡電流	500mA
最適動作電圧	2.1V
最適動作電流	430mA以上
出力	MIN 0.9W
	TYP 1.0W
変換効率	10%以上

測定条件は入射エネルギー：100mW/cm²、測定温度：25℃である。

太陽電池モジュールは1980年代に入り、セルサイズが3インチ、4インチと変更されるにともない、モジュールサイズは次第に大型化し、また新規構造と生産設備の開発により効率の向上とコストダウンが進められた（図6）。



図7 1976年のソーラー電卓



図8 1978年のソーラー電卓

3 電卓・時計の時代

1973年に商品化された世界初の液晶表示電卓「エルシーメイト」EL805は消費電力が大幅に削減されたモデルで、太陽電池駆動による電卓が現実のものとなってきた。早くもその年のエレクトロニクスショーにS224太陽電池モジュールを薄型化したパネルをEL805に実装したソーラー電卓の試作品が展示されている。

1976年、電卓戦争の真っ只中でソーラー電卓が商品化された(図7)。1cm角の太陽電池セルを16枚直列にプリント基板上に配線され、電卓の裏面に装着されて、通常は裏返して発生した電力を銀電池に充電する方式である。太陽電池モジュールサイズは50mm×50mmが必要であった。価格は24,800円で8万台ほど生産されている。

著者の手元にこの電卓は残っており、すでに蓄電池は寿命が尽きているが裏面から太陽電池に光を当てると、液晶画面が表示されて、計算が可能となる。

同年にはシチズン製腕時計用の太陽電池も商品化され、同社のホームページの腕時計の歴史に「世界初の太陽充電式のアナログ水晶腕時計」として写

真とともに紹介されている。

太陽電池は5mm×10mmのセルが8枚文字板上に並べられ、銀電池を充電する方式である。

ソーラー電卓が本格的に普及するのは1978年に商品化されたモデルからである。このモデルは蓄電池が無く、太陽電池からの直接電力を得て動作するので、当時は350ルクスの光が必要であった。セルサイズは8mm×12mmで5枚直列にプリント基板上に並べられていた(図8)。

以後、ソーラーウォッチとソーラー電卓は多くのモデルが製作され、さらに一眼レフカメラやライターなどに搭載された商品が開発された。

電卓は蛍光灯光源下での発電性能が要求されたために、短波長感度を高めたセルが開発された。また時計用としてセルの直列配線を容易にするために、セルの裏表両面にそれぞれ作られていた正負電極を表側に集約して、表面配線による直列接続が可能となり、実装コストの削減と配列精度の向上が図られた。

当時、プリント基板上に太陽電池セルを赤外線放射により直接半田付けする技術が実用化されており、計算機の

カードリーダーなどに使用するフォトダイオードアレイの生産に使われていた。

この生産方法はセルを高精度で並べることができ、民生機器用小型太陽電池アレイの開発に寄与し、のちに手作業で50ミクロン以下の精度でセルを並べることが可能となった。

電卓、時計用のモジュールはほとんどシャープが独占状態であった。蛍光灯感度にあわせたセルの開発と高精度配列モジュールの実装技術の2つのオンリーワン技術が他社の参入を抑えることができた。

1976年、米RCA社カールソン博士がアモルファス太陽電池を提案し、翌年には変換効率5.5%のアモルファスシリコン太陽電池が開発された。シャープは1979年にアモルファス太陽電池の研究開発に着手し、1982年にはロール状のステンレス薄板を基板とした2層積層型のセルが量産され、カード型電卓に搭載された。

4 サンシャイン計画のスタート

1973年に中東戦争による原油価格の高騰の結果、第1次オイルショックが

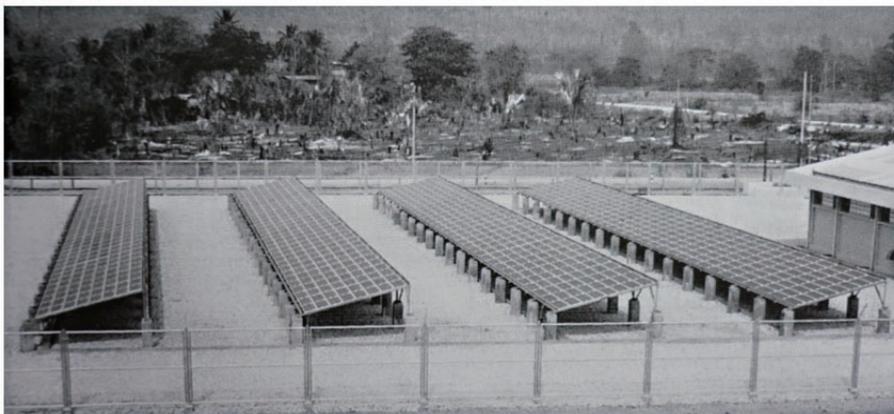


図9 タイのシステム



図10 洋上用システム

起こり、輸入石油に頼る日本のエネルギー事情に国民は危機感を感じるようになってきた。

このような時代にサンシャイン計画がスタートし、エネルギー技術として、太陽エネルギー、地熱エネルギー、石炭のガス化・液化技術、水素エネルギーの4つが重点テーマとして採用され、太陽エネルギーは太陽熱発電、太陽光発電、太陽冷暖房・給湯システム技術が取り上げられた。

太陽光発電は発電コストを1/100にするのが狙いで、1975年度の太陽光発電関連予算は約2億8,000万円、電子技術総合研究所（現在の産業技術総合研究所）と民間企業6社が担当した。

シャープは「新形式太陽電池の研究開発」を受託した。研究項目は3つに分かれ、

- ①太陽電池製造工程の基本技術の開発、
- ②パッケージの研究開発、

③集光型太陽電池の開発

である。

1974年8月に技術本部中央研究所内にSS開発プロジェクトチームが発足し、社内から集められた8名のメンバーがこの3テーマに取り組んだ。

太陽電池セルプロセスの開発はPN接合形成を塗布拡散方式に、また電極の形成を印刷焼成方式に変え、生産性の向上とコストダウンを実現した。パッケージ技術はモジュールの大型化と軽量化を目指し、ガラスを受光面基板とし裏面にフィルムを使った構造、両面ガラス構造、軽量基板上にセルを並べる構造などの試作検討をスタートした。後年、これらの構造はほとんどが実用化されている。集光型は追尾装置を製作し、次第にスケールアップしたモデルを社内に設置し性能検証を行い、1983年にはNEDOの委託研究として広島県坂町に太陽光5kW、太陽熱25kWのハイブリッドシステムとして建設され、運転研究が行われた。

5 技術開発の時代

1980年代は太陽熱温水器の大幅な普及にもかかわらず、太陽電池の市場は拡大しなかった。しかし、この頃は技術開発と人材育成の時代であったといわれている。

当社は1982年に太陽電池セルおよびモジュールの生産場所を天理から奈良県新庄町（現在は葛城市）に移転、太陽電池事業部が発足した。

太陽電池セルの変換効率は1980年にφ100mmの円形セルで12.4%であったが、1982年にBSF構造を採用して14.2%、1984年にテクスチャ構造で15.1%、1985年に反射防止膜の改良により16.3%、1991年には17.1%のセルプロセスが開発されている。

セルの効率向上に平行して、モジュールの高効率化も進み、1980年にガラスを受光面に使ったスーパーストレート構造のS270Aを開発、1982年にNT-101、1984年にNT-111シリーズ、1985年にNT-131シリーズが発売され



図11 現在の洋上用システム (公園に保存されている)

ている。いずれもφ100mmの円形セルであるが、モジュール効率は8.8%から12.2%に向上している。

ソーラーカーレースが始まったのもこの頃である。1987年、オーストラリア大陸を縦断する世界初のソーラーカーレースWSC(ワールドソーラーチャレンジ)が開催され、日本から4団体が参加、以後多くの人たちがソーラーカーの魅力に取り付かれ、国内外でレースが開催された。当社はソーラーカーレースそのものには参加しなかったが、ソーラーカーデザインコンペやソーラーカーラリーへの協賛を行った。また、セル1枚1枚に並列にバイパスダイオードを接続したソーラーカー専用の太陽電池モジュールを開発し、影による出力低下を最小限にするモジュールを商品化した。受光面はガラスを使わずに透明フィルムで覆った構造とし、薄型軽量で、曲面のボディに貼ることのできるフレキシブル構造を実現、セル変換効率17.1%である。

1986年、日本政府の無償資金協力に基づき、タイ国の3箇所の無電化村に

合計150kWの太陽光発電システムを設置された。このプロジェクトは当社がモジュール供給からシステム設計、現地工事まで請け負い、6名の技術者が2名ずつ3箇所の村に分かれて長期間建設現場に滞在し発電所の建設を行った(図9)。

同年、NEDOの委託研究で大分県上浦町の海洋上に10kWの洋上用太陽光発電システムが設置された。大分県、清水建設と当社との三社が共同で開発を進め、直径8mのコンクリート浮体に1tの波浪荷重に耐えられるモジュールを新たに開発し設置した(図10)。

発生した電力は当時大分県の水産試験場で実証試験が行われていた音響給餌法によるマダイの養殖の電源に使われ、余剰電力は電着漁礁といわれた鋼製人工漁礁の通電に利用された。

音響給餌は湾内にマダイの稚魚を放流して、給餌装置から海中に音を発して定期的に餌を与えることにより、魚の定着率を向上させる世界初の試みで、このシステムは話題を呼び、世界中から見学者が訪れた。太陽電池を設置

した音響給餌システムは以後国内各地に設置されることになる。

そしてこの洋上用システムは大分県上浦町の公園で今も町のシンボルとして保存されている(図11)。

6 住宅用システム(1)

住宅用システムの開発は30年の長い歴史がある。シャープでは1979年、天理の技術本部に太陽光と太陽熱を利用した日本で初めてのハイブリッド型ソーラーハウスを建設した。使用された太陽電池モジュールは当時商品化された「S260」が採用された。3インチセルを18枚直列に並べ、FRP(ガラス繊維強化プラスチック)のケースに収納され、受光面を強化ガラスで覆い、セルの入ったケース内部を透明シリコン樹脂を注入する構造である(図6)。1台9.8W(8.3V)で、141台設置され合計138W屋根に設置された。

建物の2階の部屋には鉛蓄電池が設置され、太陽電池で充電された電気は夜間の室内の照明の電源として使われた。



図12 1979年のソーラーハウス



図13 天理の集合住宅システム

屋根の棟側には太陽熱温水器が設置され、光と熱との双方を利用するシステムの提案であった(図12)。

3年後の1982年に、NEDO(新エネルギー総合開発機構)の委託研究により富士電機が3kWの実験住宅を神奈川県横須賀市に建設している。

太陽電池はシャープ製で「S270A」を88台、3.08kWが屋根に搭載された。

このモジュールは、スーパーストレート構造と呼ばれる方式を初めて採用されたもので、受光面がガラス、太陽電池セルを樹脂層で包み、裏面をプラスチックフィルムで覆い、周囲をアルミ枠で固定する、現在でも世界中で採用されている構造である(図6)。

このシステムも蓄電池が備えられており、太陽電池から発生する余剰電力

の蓄電と不足電力の供給を行っている。また系統には逆潮流はできない構成となっている。

集合住宅用システムも当時のNEDOの研究テーマとなっており、シャープが受託し、天理の家族寮屋上に22.2kWの太陽電池アレイが設置された(図13)。モジュールはスーパーストレート構造で「S290」と呼ばれ、1台44W、セル効率12.4%、540台使用し、社宅の屋上に作られた鉄骨の架台上に2列に並べられた。また地上に蓄電池室が作られ、鉛蓄電池114kWhが据え付けられた。

このシステムは社宅の21戸の家庭に電力が供給されたが、各家庭の消費電力の合計が負荷電力パターンとなり、急峻な変動が平均化されて、蓄電池充放電には適した出力となった。

商用電源と太陽電池電源を無瞬断スイッチで切り替える方式で、このシステムも発電した余剰電力を系統に戻す、逆潮流は行われていない。

当時のシステムは系統への逆潮流は許されず、蓄電池を備えて、余剰電力を自家消費する方式が採用されていた。

電力系統に太陽電池出力を接続するというアイデアはすでに1978年頃から生まれており、当時のサンシャイン計画の説明の資料に「住宅用システムの電力系統」と題して、「住宅用システムを普及させるには電力系統(配電線)との連系を考慮することが、蓄電装置のコスト低下、保守管理の容易化、電力供給の信頼度向上等の面から不可欠であると考えられる」と記されていた。この年から電力中央研究所で連系システムの研究がスタートしている。

1980年代は石油の需給は緩和し、石油代替エネルギーとしての太陽電池に対する社会的な関心も少なくなってきたが、将来の太陽電池普及のための要素技術研究が進められた時期であった。四国電力により愛媛県西条市に作られた1MWシステムは大規模集中発電所の研究を進め、関西電力は兵庫県六甲アイランドに一般家庭100戸を想

定した分散型の200kWシステムを建設し、系統連系の実験を行った。

そして1990年代に入り、法制度の改訂、ガイドラインの策定により逆潮流が可能となり一般住宅への普及の条件が整えられてきた。

7 住宅用システム(2)

1994年、住宅用太陽光発電システムの設置に対して補助金を出す制度「住宅用太陽光発電システムモニター事業」がスタートし、わが国の太陽光発電システムの拡大がスタートした。

当社では1993年頃から、建物に太陽電池を設置する案件が入っており、大型モジュールの特注製作とインバータの手配により数件のシステムを納入していた。

1994年になって補助事業がスタートすることが公になった時点で、住宅用システムの商品企画と商品開発、量産設備の導入、販売体制の構築が大至急進められた。

太陽電池モジュールは10cm角セルを96枚直列にならべた外形寸法1,307mm×890mmの当時業界最大のサイズが商品化された。1台153Wで4直列5並列の20台で3kWのシステムが構成できる。配線作業は屋根工事業者が行うことを想定して、モジュール出力ケーブルにコネクタが取り付けられた。

パワーコンディショナは、3.1kW業界最小・最軽量のモデルJH30Aが開発され、ケーブル、架台を含めたシステム機器一式が商品化された。また当時の3kWシステム価格は600万円であった。

モジュールを屋根に取り付ける架台の開発は新たな試みであった。屋根葺き材は金属瓦、和瓦、洋瓦、スレート瓦などさまざまな材料、形状があり、さらに多様なルーフィング材、野地板の組み合わせに対して、強度と防水性能を長期間保持できる固定方法を考案しなければならなかった。多くの屋根関係者から設置方法についてヒアリングを

行い、また建築設計事務所を訪問して建築基準法などに基づく風・雪・地震などの荷重に対する設計の指導を受けて、工場の屋上に屋根モデルを製作し、施工方法の検討が進められた。

屋根瓦上に物を固定する既存技術はソーラー温水器のワイヤー固定方法があったが、大面積太陽電池アレイの設置には強度と外観面で問題があり採用できなかった。架台は屋根を構成する母屋、垂木といった部材に固定することが必須条件であり、瓦に穴をあけることが許されるかどうかは、容易に結論が出せなかった。

初年度は架台が固定しやすい鋼板瓦棒葺きを標準とした工法を開発し、屋根の太陽電池取り付け部をこの方式で葺いた。

架台の開発は翌年以降、スレート瓦、和瓦を対象に商品化が進められたが、長期間の防水性能を保ちつつ、固定強度を確保する工法の開発は時間を要した。

初年度の架台は冬を待たずに開発したために雪の評価試験ができず、積雪地は設置不可の条件を入れた。それでも青森に設置され、架台の部材が雪で変形したとのクレームが入り、積雪試験による評価は必須であることとなった。翌年から新型架台は富山県立山の積雪1mを越える場所で、架台の試作品を斜面上に組み立てて太陽電池を取り付け、雪を乗せて滑雪試験を実施して強度を評価している。また、住宅メーカーの試験場をお借りして、北海道でも雪庇の影響や長期積雪の試験を実施して性能を確認した。さらに太陽電池を水中に入れ凍結融解を繰り返す試験なども行ったが、自然現象を再現して性能を確実に評価することが大きな課題となった。

1995年は125mm角の太陽電池セルを54枚直列に並べたモジュールNT-51DL9及び、5.2kWの大型インバータ等を揃えたモデルを発売。3.1kWの標準システム化価格は430万円。この年に住宅用太陽光発電システムの国内シェ

アはトップとなった。

1996年、多結晶材料の社内生産がスタートし、太陽電池モジュールは単結晶、多結晶の両モデルが商品化された。3kW出力で多結晶システムが285万円であり、単結晶システムに比べて安い価格が実現できた。

1999年には瓦の代わりに屋根に直接設置する屋根材一体型モジュールの商品化と施工方法「ダイレクトマウント工法」を開発した。屋根の防火性能を太陽電池モジュールで確保するために建築研究所で飛び火試験を実施し、国土交通大臣の認定を受けた。モジュール受光面ガラス上に木材で作った火種に火をつけ、熱応力によりガラスが破損して中の樹脂が発火して消えるまでに屋根の野地板に穴があかないことを確認する試験である。

次に開発した瓦一体型モジュールは防水性能の評価が要求された。モジュールを並べた屋根模型を作成して、住宅メーカーの試験装置をお借りし、自然界で発生する強風降雨環境を再現して、太陽電池モジュールの隙間から雨がどの程度屋根に入るかを調べて、通常の瓦屋根との比較を行い性能を評価した。

屋根は最も環境の厳しい場所で、雨・風・雪・温度変化などに耐えなければならない。これらの自然現象を再現して、太陽電池モジュール、架台、配線材料の性能評価と施工性能の評価が行われた。

2000年、太陽電池のレイアウトの自由度を高めるために、異なる電圧を接続できるマルチパワーコンディショナの開発、さらに2002年にストリングパワーコンディショナに進化させて、寄棟屋根対応システムを合わせて、小面積の複数屋根に設置可能なシステムが商品化された。

日本は住宅用システムの普及により、導入量では世界一となり、当社は2001年には太陽電池生産量世界一を達成した。



図14 海外の設置例 中国

8 おわりに

21世紀に入り、国内における住宅用システムの普及と、欧州を中心とした海外での太陽光発電所の建設は太陽電池の大規模な拡大をもたらし、現在に至る。

太陽電池の新たな市場として発電事業ビジネスが迫っており、新たな飛躍が始まろうとしている。

経済性が成り立つレベルへのコスト

ダウン、長期間の安定した発電量が得られるための信頼性の向上、大規模システムのための送電配電技術の開発、蓄電技術の開発など、産業化への技術的課題は残されており、また、無電源解消のための途上国需要(図14)からCO₂削減のための先進国需要を満たすための技術開発、商品開発を継続して続けていかなければならない。

参考文献

- 1) NHKプロジェクトX製作班編、「地上の星たちよ永遠に」太陽に懸ける住宅エネルギー革命、NHK出版(2006)。
- 2) たとえばWikipedia-Timeline of solar cells; Wikipedia, the free encyclopedia
- 3) シャープ株式会社産業機器事業本部編、「太陽電池電源装置技術資料」(昭和49年発行)。
- 4) NEDO BOOKS,「なぜ、日本が太陽光発電で世界一になれたのか」,新エネルギー産業技術総合開発機構(2007年)。
- 5) 鈴木皓夫,「シャープ太陽電池の歴史」(2005)。