

従来の太陽光発電を超える太陽光の利用

ゲイル・オーバートン

フォトニクスと材料科学の進歩によって、研究者たちは、従来の太陽光発電技術に勝る新しい方式で太陽光を利用できるようになった。

この数十年間、結晶シリコン太陽電池は20%以上の変換効率で太陽光を電気に変換してきた。しかし、これと並行して材料やフォトニクスも進化し、研究者たちは、従来の太陽光発電を上回る太陽光エネルギーの変換が可能になった。彼らは、シリコンの限界を超えた太陽光収集効率の実現に向けて、最先端の薄膜材料、ガラスドーピング法、集光光学系を利用するだけではなく、太陽光パワーの新しい利用技術の開発も進めている。ある研究コンソーシアムは太陽光をその基本スペクトル成分に変えることによって50%の高効率太陽電池を実現した。建材一体型太陽電池(BIPV)は、板ガラスの窓を、照明器具としての機能も併せ持つ透明なソーラーパネルに置き換え、人工光合成を研究するチームは水素燃料発生に太陽光パワーを選択している。

世代交代する太陽電池

太陽電池(PV)技術について考える時、大抵の人は、従来の平板型結晶シリコン太陽電池パネルを想い浮かべる。過去数十年にわたって、太陽光変換効率は20%を超える現在の水準を維持してきたが、これらの平板型シリコンPVに対して新しい競争相手が出現した。昨年、ドイツのハンブルグで開催されたEUPVSEC(European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition)では、様々な集光型太陽電池(CPV)アーキテクチャに加えて、超高効率太陽電池(VHESC; www.darpa.mil/

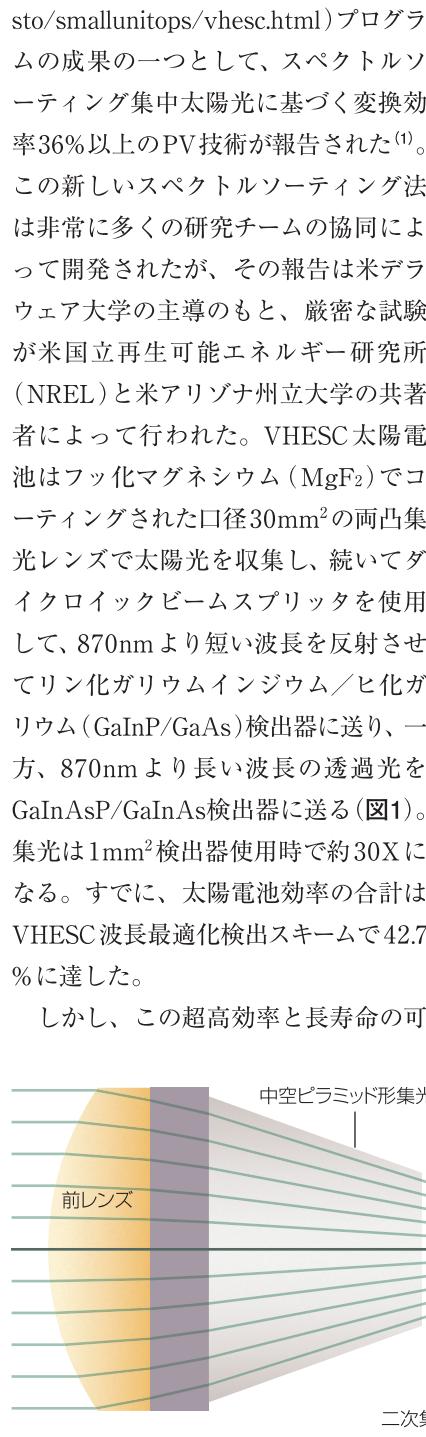


図1 新しい太陽電池コンセプトはスペクトルソーティングされた太陽光の利用によって太陽光変換効率を40%以上へと高めた。(資料提供:VHESC)

能性にもかかわらず、平板型は、CPVオプションも含めて、地面または屋根設置型の構造に限定される。幸いなことに、数十年の材料研究の結果、軽量で価格も抑えることができ、平板PVでは対応できない新たな民生用途のオプションも得られる多くの薄膜PV技術が可能になった。テルル化カドミウム(CdTe)とセレン化ガリウムジンジウム銅(CIGS)などの特殊な半導体材料で構成された薄膜PV製品は20%に近い変換効率を実現しただけでなく、その製造法は、ロール・ツー・ロール方式や印刷方式の加工に適しており、柔軟で鋳造可能、もしくはスプレー方式の太陽電池製品を促進している。例えば、米ソリンドラ社(Solyndra)の円筒状PVオプションは、水分の浸入を防ぐために外側ガラス管内にカプセル封止された内側ガラス管上に堆積された薄膜CIGS材料で構成されている。円筒の形状は1日中すべての角度からの太陽光を集め、角度埋込みや高価な追跡システムなしで光子の収集を増加させる。

薄膜分野においても、現在10%に近い効率を持つ低価格の有機または重合体に基づくPV材料が存在する。もはや、PV材料は単に地面または屋根上に

設置されるだけではない。こうした材料は軽量で、繊維内に組込むことができ、BIPVを例にとると、屋根タイルなどの建築材料に成形することも可能だ。

米コナルカテクノロジーズ社(Konarka Technologies)の有機太陽電池(OPV)製品、いわゆるパワープラスチックは、屋内または屋外の光を直流電気に変換する。動作温度が $-20^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$ 、1Sun(完全屋外太陽光)条件における出力が3.9Wまたは7.9V、指定寿命が3~5年であり、 $70 \times 34\text{cm}$ の薄くてフレキシブルな携帯式充電器(電池または小さなエレクトロニクス用)などの太陽光収光製品に合体させることができ OEM 製品として販売されている。これは光反応性の印刷が施された合計膜厚が0.5mmの高分子層、透明電極層、プラスチック基板、保護パッケージング層(いずれも再利用可能材料)から構成され、ロール・ツー・ロール加工によって最高60インチの幅でどのような長さにでも加工できる。2008年の米ナノマーケッツ社(NanoMarkets)のレポートによると、プラスチックソーラーパネルは民生用および携帯用電子機器市場だけで2015年までに8000万ドルの収益を生むと見込まれている。

パワープラスチックで覆われた傘の下で携帯電話とデジタルカメラを充電しながらドリンクを飲む、電池式ラジオやランタンが正常に動作し続けるようにパワープラスチックで覆われたテントの中でキャンプ生活をする、カーポート屋根にパワープラスチックを設置して電気自動車にトリクル充電させる、といった情景を想像してみてほしい。今のところ、これら新技術のすべてが入手可能なわけではないが、サンフランシスコ市交通局(MTA)トランシットシェルタの波形屋根上でBIPV材料として機能するコナルカ社のパワープ



図2 建材一体化太陽光発電(BIPV)としてのコナルカ社製の薄膜パワープラスチック(挿入写真)はランドバーグ・デザイン社のサンフランシスコMTA発着待合所の独特な波形天蓋にシームレスに統合された。これは支持建築材料メーカーの3フォーム社(3Form)との共同によって製造されたもので、3フォーム社が屋根の設計と製作を担当した。(資料提供:ライアン・ヒューズ氏/ランドバーグ・デザイン社)



図3 ソーラーマー社の半透明有機PV膜は装飾ガラスパネルに積層され、アーキテクチャメッセージを発しながら電気を発生する。(資料提供:ソーラーマー・エネルギー社)

ラスチックは実際に見ることができる(図2)。2014年までに、300個のシェルタカバーが太陽光のある位置に設置され、LED照明、「次のバス」を知らせるLED表示、無線LANルータなどに電力を供給し、約25年の寿命の間、都市の送電網に毎年約4万3000キロワット時(kWh)の想定電気量を供給することになる予定だ。

いくつかのBIPV製品(建物正面の装飾構造の要素としての機能を果たすコナルカ社の「カーテン・ウォール」など)は開発中だが、衣類の柔らかさを併せ持つ着用可能なPV繊維はまだ研究段階にある。

将来に向けた窓

普通の窓に適用して太陽光のエネルギーを利用するための薄く透明なBIPV材料を想像できるだろうか? すでに、米ソーラーマー・エネルギー社(Solar-

mer Energy)やレインボーソーラー社(RSi)といったメーカーは一般窓向けの太陽光収集薄膜を商用化している。

2009年後期に、ソーラーマー社は高分子OPV太陽電池において新記録となるNREL認定7.9%の変換効率を達成した。ごく最近になって、ソーラーマー社とカナダのジョエル・ベルマン・グラススタジオ社(Joel Berman Glass Studios)は電気を発生させる一連のBIPV装飾ガラスパネルを開発した(図3)。この半透明PVパネルはソーラーマー社の透明プラスチック太陽電池に積層させたテクスチャー加工キルンキャストガラスからなる。各パネルは太陽光をエネルギーに変換し、しかも透明である⁽²⁾。

ソーラーマー社のマーケティング・コミュニケーション・コーディネーターであるディジュバイン・クリスチャン氏(D'Juvayne Christian)は、「OPVは、

従来の燃料と同等のコストで電気を発生し、政府補助金なしでも費用効率の高い代替エネルギー源となり得る最初のソーラー技術だ。ソーラーマー社のパネルは1ドル/W以下の直接生産コストで、太陽光生成電気のコストを12~15セント/kWhまで下げることが潜在的に可能である。この技術が広範な市場で受け入れられるには、3~5年の製品寿命と8~10%範囲の効率が必要だ」と語っている。

PV高分子の一つの限界は太陽光スペクトルの限られた吸収と100~200nmの厚みにあり、その結果、かなりの量の光が吸収されない。ピーク吸収波長においてさえ、透過率はわずか60~70%である。しかし、ソーラーマー社は、その非常に薄い高分子活性層を二つの専用透明電極で挟むことによって、この限界を長所に換えた。このセルでは、電極は膜の全表面にわたり真に透明であり、85%程度の高い透過率を可能にし、パワーウィンドウなどの新しい市場を開拓するだろう。米カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)とシカゴ大学の共同の努力で開発された彼らの技術ポートフォリオを使って、ソーラーマー社は実験室プロトタイプを完全ロール・ツー・ロール方式のパイロット規模の生産へと移行させた。このメーカーは、2010年末までに生産グレードのサンプルを潜在的な顧客に提供し、2011年の初頭にはそのパネルの販売を開始する予定だ。

PV窓市場のもう一つの有力候補はRSiであり、同社は9ft²程度の大型窓から最高250Wの電力を発生させる最初の生産BIPV半透明ガラス窓を発表した。太陽光の50%を遮蔽して加熱と冷却のニーズを軽減したことによると、夕方の照明器具として光を放射する、二重の機能を持つ多層窓が設計さ

れている。

自然から学ぶ

光合成からインスピレーションを受けた色素太陽電池や非生物有機分子から光子-電子変換用電極に接着された高分子ワイヤへ光子をチャネリングする新しいデンドリマー太陽電池に加えて、おそらくバイオミメティクス(生体模倣)での究極の利用は人工光合成だ。植物が日光と水を使って二酸化炭素を糖類と酸素に変換するように、人工光合成は光電気化学電池を使って水を将来利用するための蓄積可能な水素と酸素に分解する(水素と酸素を結合させて水とエネルギーを生み出す燃料電池の逆)⁽³⁾。

光電気化学電池においては、光活性半導体は液体または固体電解質との接触において接合を形成する。照明の下で、電子正孔対が光活性材料内に生成され、化学的還元と酸化を引き起こし、水素と酸素をそれぞれ生成する。ここでは、光子エネルギーが水素という形で直接化学エネルギーに変換されたことになる。英国の最高研究機関であるISIS(www.i-sis.org.uk)の所長を務めるメイ・ワン・ホー氏(Mae-Wan Ho)は、「人工光合成とそれに関連する研究は太陽光エネルギーを最大限利用するための最も重要な領域である。人工光合成はエネルギーを高効率で、究極的には自動車にも利用可能な水素燃料の形で蓄積することを可能にする。商用化間近とはいえないが、適切な投資さえあれば、おそらく10年以内に実現するだろう」と語っている。

ごく最近、米マサチューセッツ工科大学の研究チームは植物細胞内の天然色素が太陽光を吸収する仕方を模倣した⁽⁴⁾。研究チームは無害な細菌ウイルスM13を加工し、これを使って触媒と生物色素からの分子を引き付けて結合させ、水素と酸素を生成する水分割反応を促進させた。この方法は4倍の効率で酸素を発生するが、生成された陽子と電子を統合して水素に戻すことが課題であり、イリジウム以外の低価格の触媒を見出すことも必要だ。

イスラエルのワイツマン科学研究所の研究チームはイリジウムを有機金属ルテニウム錯体で置換する代替技術を提案した。水から水素と酸素を遊離させる一連の熱と光活性化反応にルテニウム錯体を使用する方法であり、見かけ上、触媒を使い果たすことがない。酸素を生成する光活性化ステップでルテニウム錯体は元の状態に戻される⁽⁵⁾。ワインツマン科学研究所の有機科学マッツ教授会の議長を務めるデビッド・ミル斯坦氏(David Milstein)は、「これは光駆動の水分解に向けての全く新しいアプローチである。しかし、まだ基礎的段階にあり、技術的に実現可能にするにはさらなる科学的前進が必要だ」と語っている。このような警告はほぼすべての太陽光変換研究にあてはまる。とにかく、太陽電池は、発明されてから約50年経った現在、ようやく勢いづいてきている。本稿では、さらなる50年(そしていくつかのエネルギー危機)を待たずに、太陽電池が次世代技術市場に参入することを願う。

参考文献

- (1) A. Barnett et al., *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 17, 75-83(October 2009).
- (2) D. Christian, "Solarmer, Inc." OSADirect Magazine 2, 15-18(September 2009).
- (3) M.-W. Ho, "Harvesting Energy from Sunlight with Artificial Photosynthesis," *Science in Society* 43(Autumn 2009).
- (4) Y.S. Nam et al., "Biologically templated photocatalytic nanostructures for sustained light-driven water oxidation," *Nature Nanotechnology* online Letter(Apr. 11, 2010).
- (5) S.W. Kohl et al., *Science* 324, 5923, 74-77(Apr. 3, 2009).