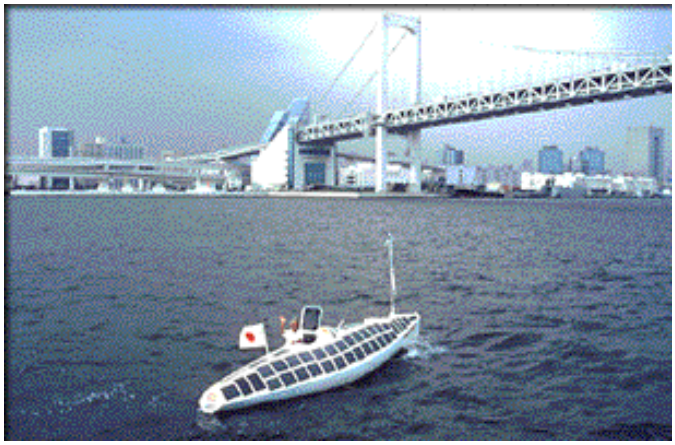
◆太陽電池について

社団法人　日本船舶電装協会　専務理事　　松　村　純　一

最近、太陽電池について新聞記事がないことがないくらい毎日のように紙面を賑わしている時代になりました。船舶関係でも、古くは堀江健一氏が太平洋横断ヨットに利用したとか、1990 年の話ですが、最近はいよいよ本格的に利用されそうな状況で、昨年 12 月には、日本郵船（株）の自動車運搬船に太陽電池パネルが採用された記事、この 3 月には太陽電池パネルが装着された屋形船が登場したとの記事がのり、太陽電池について少し整理をしておいた方がと本屋で探しましたら「太陽電池 2008/2009 急拡大する市場と新技術」日経マイクロデバイス・日経エレクトロニクス共同編集書籍が目についたのでその内容を簡単に紹介し、特に太陽電池についてまとめてみることにしました。



１．太陽電池の仕組み

太陽の表面温度は約 5500℃で１億 5000 万キロメートルも離れた地球表面に 10^{14}ｋＷ のエネルギーが降り注いでおり、太陽光のエネルギー密度は大気表面で一平米当たり 1.4kW、地表面では、大気圏の水蒸気、空気、埃の影響で約１kW と言われている。このため、変換効率が 100%の太陽電池ができれば、１㎡の太陽電池を敷くだけで１ｋＷ の電力を賄えることとなる。しかしながら、一つには反射による損失、今ひとつには、光の波長とのミスマッチで熱になったり透過してしまったり、すなわち太陽光のスペクトルは波長 200～2000nm（紫外領域から可視光、赤外領域まで）の領域となり、太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する素材（Si 半導体等）として、全範囲のスペクトルにわたって対応できるものはなく、また、電気的な損失としての直流抵抗損失があり、どんなに優れたものでも変換効率として最大 30%程度であるといわれている。

太陽電池の長所は、直流の光発電装置で、エネルギーが太陽光であるため資源価格は無料で、原則として環境を害する排出物も出ることは無く、機械的な可動部分がないので雑音もなく、大部分が半導体で構成されているから寿命も長く、20 年から 30 年といわれている。また、屋根の上等空間を利用しての設置など設置範囲も割りと制限を受けにくいといった利点がある一方、雨の日や夜は発電できないという短所は否めない。

現在、9 割を占めている結晶シリコンを利用した太陽電池の仕組みは、太陽電池に太陽光が当たると、対の「電子（―）」「正孔（＋）」が生まれ、マイナスの電気は N 型シリコンのほうへ、プラスの電気は P 型シリコンの方へ集まり、両方の電極に銅線をつなぐと電気を取り出すことができる。これが太陽電池の原理です。

２．さまざまな種類の太陽電池

太陽電池にはさまざまな種類がある。単結晶シリコン、多結晶シリコン、球状シリコン、薄膜型、単結晶化合物、多結晶化合物、色素増感型等に分けられる。

①　単結晶シリコン型

最も古い歴史があり、200μｍ～300μｍの薄いシリコン（Si）の単結晶の基板に太陽電池を作るが、基板の値段が高いのが欠点だが性能や信頼性に優れている。

② 多結晶シリコン型

固体の Si を溶かし冷やしたものが結晶 Si で、固める方法により、1 つの大きな結晶からなる「単結晶」と、多数の小さな結晶からなる「多結晶」に分かれ、多結晶は単結晶に比べ製造コストが安い反面、結晶と結晶の間で抵抗が発生するため発電効果は若干減る。多結晶 Si 太陽電池は、基板工程、セル工程、モジュール工程を経て製造される。基板工程では、まず多結晶 Si 原料や Si インゴットの端材などを再溶解、鋳造し、多結晶 Si インゴットを製造する。このインゴットをブロック状に分轄した後、薄くスライスして多結晶 Si 基板とする。次のセル工程では不純物拡散や電極印刷を施し、最後のモジュール工程ではセル同士の配線やガラス板上への樹脂埋め込み、フィルム張り付けなどを行う。

③ 球状シリコン型

直径 1mm程度の小さな Si の球一つ一つに PN 接合面を形成した太陽電池で、溶融した Si を 10 数 mの高さから滴下して表面張力で球状として、Al 合金などの基盤の上に配置すればセルが出来上がる。

④ 薄膜系

アモルファス（非晶質）Si や結晶 Si をガラスなどの基板の上に 1 μm内外の非常に薄い膜を形成させて作った太陽電池で、大面積で量産ができるという特徴があるが性能面に課題がある。

⑤ CIS 系

化合物半導体の一種で、銅とインジュームとセレン等を原料とした薄膜太陽電池で、製造工程が簡単で高性能が期待できるため技術開発進行中。

⑥ 高効率化合物半導体

ガリュームヒ素など特別な化合物半導体の基板を使った超高性能（変換効率 30～40%）太陽電池で、現在はコストが高く宇宙などの特殊用途用だが将来身近に使えるよう技術開発進行中。

⑦ 色素増感型有機物系

酸化チタンについた色素が光を吸収して電子を放出することで発電する新しいタイプの太陽電池で、簡単に作れ応用範囲が広いため今後の発展が期待される。

現在各タイプの比率は、多結晶 Si 型太陽電池が 6 割、単結晶 Si 型太陽電池が 3 割、薄膜 Si 型太陽電池は 5%といわれている。Si 材料については受給が逼迫し、今後の生産が十分か危惧されており、結晶 Si 型太陽電池メーカーでは、Si 基板を薄くするとともにインゴットから切り出す際の切り代分を薄くし Si 使用量の削減に努めるとともに、表面状態を変えて光の反射を防いだり、配線抵抗を減らしたりするなどの地道な検討をして光電変換効率を高めている（Si 基板の厚さは 200μmから 2015 年ころには 50μmと予測、スライス技術の確立と薄い Si 基板の扱いがかぎとなる）。

一方、球状 Si 型太陽電池や CIS 型太陽電池などの新しいタイプ、さらに先の技術として色素増感型太陽電池の大型化や信頼性の確保の検討が進められている。

太陽電池メーカーが競い合うのは、Si 材料の使用量の削減と光電変換効率の向上で、現在の結晶 Si 型の太陽電池システムの価格は太陽電池モジュールが 6 割を占め、その半分程度を Si 基板が占めており、太陽電池システムの価格の残りの 4 割は太陽電池を載せる架台やインバータなどの周辺部材、設置費用である。結晶 Si 型は、光電変換効率は優位にあるが Si 材料を多く使い、球状 Si 型は Si 材料の使用量を結晶 Si 型の 1/5～1/7 に、Cu-In-Ga-Se 化合物の薄膜を利用する CIS 型はゼロにできる。また、薄膜 Si 型は結晶 Si 型の 1/100 以下になるが、いずれも光電変換効率が低いという課題がある。

また、薄膜 Si 型も多層化たとえばアモルファス Si に薄膜多結晶 Si を重ねる手法を取り入れ、アモルファス Si が短波長を薄膜多結晶 Si が長波長を吸収し、変換効率を高めている。

色素増感型太陽電池は Si 材料を使わない上に印刷工程で製造できるため製造コストを大幅に減らすことができる。

最近の動きとして、薄膜化合物半導体を使う太陽電池の量産化、薄膜 Si 太陽電池の新工場建設、球状 Si 太陽電池の量産工場建設等の動きがあり、今後の期待は、新材料によるブレークスルー。日本、ドイツ、スペイン、イタリア、アジア等政府の太陽光発電システムからの電力買い取り価格の引き上げ等システム導入のためのインセンティブ制度の導入にもよるが、現在（2004 年）の太陽電池の世界の市場規模は約 1 GW/年だが、5 年後には 10、10 年後には 100GW/年との予測もある。多結晶 Si 原料の需給逼迫の懸念、Si 基盤コスト比率の急上昇の問題はあるが、今後の技術開発により全体の約半分を占める太陽電池発電コストは 47 円/ｋW 時前後が 2010 年には一般住宅用の電力料金なみの 23 円、2020 年には 14 円、2030 年には 7 円と予想している例もある。

（参考 1）

日本郵船（株）と新日本石油（株）が共同開発した、太陽光エネルギーを動力源の一部とする自動車運搬船「アウリガ・リーダー」（6 万 213 総トン）（L:×Ｂ×Ｄ：199.99×32.26×34.52m　車積載数：6200 台）が、三菱重工業（株）神戸造船所で 2008 年 12 月 19 日に竣工した。　デッキ上に設置された 328 枚の太陽光パネルが発電を開始したことが確認され、航海中の過酷な環境でも、船舶推進動力へ安定した太陽光発電の電力供給実現のため、本船にて実証実験を行い、今後、約 2 年間、塩害・風圧・振動下での耐久性と、太陽光発電と船舶電力系統との連系を検証し、太陽光エネルギー船の実用化を目指す。総発電量 40 キロワットの太陽光発電システムを開発し、船内の電力系統を連係させ、太陽光パネルからの電力を船内照明や生活電力、補助推進装置、船倉の換気装置、機関室、エンジン制御に供給する。またそれらのデータを収集し、最適なシステムの検討を行う。CO2 排出削減効果の実証実験も実施する。

（出展：2008.12.19 神戸新聞／日本郵船(株)、新日本石油(株)ニュースリリース）

（参考２）

八戸市の八戸工業大の藤田成隆教授らが太陽光を動力源にした屋形船を開発した。屋形船「八水同窓丸」の屋根に、縦約 77 センチ、横約 45 センチのソーラーパネル 22 枚を取り付け、発生した電力でモーターを回す。最大出力は約１キロワット、最高速度は時速 6・5 キロで、好天なら 6 時間の航行が可能という。電力はバッテリーに貯蓄できるため、悪天候でもバッテリーだけで約 2 時間、運航できる。

市内のＮＰＯ「青い海」が、屋形船の運航会社「ブルーカンパニー」の協力を得て八戸工業大の藤田成隆教授らに開発を依頼し、約１年かけて完成させた。藤田教授は「電動なので音が静かで、油漏れによる水の汚染もない。低炭素化社会構築の一端を担う」とメリットを語った。今後も改良を続け、小型ボートでの実用化を目指すという。開発費は約 250 万円で、ＮＰＯは「静かなので、船の中でお客さんが普通に会話ができる。油代がいらなくなり、長い目で見れば決して高くないのではないか」と話している。（出展：2008.3.26 毎日新聞）

（参考３）

琵琶湖に近い近江八幡市の水郷地帯。屋根の太陽電池で動く屋形船「ソーラー和船」の営業運航が始まりました。ガソリンエンジンの船に比べて、排ガスがなく、音も静か。振動もなければ、燃料が漏れて水路を汚す心配もありません。

手こぎの船に比べると、横揺れが少なく、操船も容易。船頭さんの体力的負担もゼロに近いとか。全長 9・6 メートル、幅 2 メートル。屋根に 45 ワットの太陽電池 20 枚を備え（合計 900 ワット）、晴れた日にバッテリーを充電。運航時には、24 ボルト、500 ワットのモーター船外機 2 基を同時に動かします。曇りや雨の日でも約 3 時間の航行が可能。快晴なら、航行時の発電分だけで航行可能だそうです。（出展：2007.10.20 読売新聞）