

(付属資料) **講演内容の要点**

① 有機系太陽電池の種類は、有機薄膜太陽電池 (OPV)、色素増感太陽電池 (DSSC) と 1922 年宮坂氏が提案したハイブリッド型(ペロブスカイト結晶系色素使用)の 3 種類がある。繊維或いは化学 (色素) 系の企業各社が開発と実用化研究に取り組んでいる。

② シリコン系太陽電池の世界の市場は、中国のダンピングに日米欧が引き込まれ、その収益は殆どない状態まで劣化している。中国製のシリコン電池を輸入し、周辺の部材や建築工事との組み合わせでビジネスを継続しているのが実情である。

世界のトップメーカーであった、ドイツ Q-Cells 社は倒産、中国の Suntech 社は昨年会社更生法を申請している。かつて世界 1 位の生産規模を誇っていた日本のシャープ社も現在では市場のシェアは小さい。この市場環境は、他種類の太陽電池ビジネスにも影響がおよび、薄膜シリコン系、CGIS 系および最も製造コスト的に優位にあったカドニウム/テルル系の何れもが苦境に立たされている。

シリコン系太陽電池の製造価格は  $200 \$ / m^2$  と言われていたが、現在では  $100 \$$  迄値下がりしており、製造コストとしては限界まで落ち込んでいる状況である。

③ 例えば、一般家庭の太陽電池は其の契約電気容量を  $3KW(100V/30A)$  とすると、 $20m^2$  の太陽電池 ( $1m^2 = 1KW \times 0.15$  効率 =  $150w$ ) が必要となり、市場価格では約 200 万円 (最近では更に値下がり  $170 \sim 180$  万円) である。このうち太陽電池の占める値段は、工場出荷価格で  $1$  万円/ $m^2$  であるから 20 万円と僅か 1 割にしかかかっていない。このように太陽電池単体の利益はなく、付帯電気部品と設置工事費等のマージンでビジネスを継続しているのが実情である。然しながら、この価格ですら電力代削減額が年間 12 万円程度なので投資額に見合わず採用を見送るケースが多い。有機系といえども  $1$  万円/ $m^2$  を切る  $5 \sim 6$  千円のコストで製造することはほぼ不可能であると思われる。

④ 有機系が生き残る戦略として、そもそも耐熱性や耐候性はシリコン系に遠く及ばない為、その強み、即ち、高速印刷技術による低製造コスト (目標  $100 \$ / m^2$ )、化学的 K/H に基づく “マネの出来ない製造技術” による吸収波長のチューニングや高電圧を維持できる事およびフレキシブルで透明な薄膜が作れる等の特徴を活かし、シリコン系とは絶対に競合しない応用分野へ特化する道を選択している。

1922 年に宮坂氏が DSSC と OPV の製造技術を融合させ開発したハイブリッド型は、その後電解液に固体薄膜を使用するなどの改良が進み、高電圧のセルが開発されて来ている。

⑤ 太陽電池のエネルギー変換効率 (光が電子に変わる量子効率と混同しない事) が  $4 \sim 6\%$  台と他のエネルギー変換機関、例えばガソリンエンジンの  $30 \sim 40\%$  に比べ低い。この理由は太陽光スペクトルの一部しか使用できない為である。

添付資料のグラフに示すように変換効率の改良は、DSSC 型は過去 25 年の間に  $10\%$  台まで改良されて来たが、ここ  $1 \sim 2$  年で三菱化学製の OPV が急激にその効率を向上させ  $10\%$  に、ハイブリッド型は昨年、宮内氏-Oxford 大学グループが  $11\%$  を達成すると、今年に入りスイス連邦工科大学で  $14\%$  を達成する等急激な進展を遂げている。

太陽電池のエネルギー変換効率は低いというものの、植物の光合成におけるエネルギー変換効率  $1 \sim 2\%$  と比較すれば 1 桁上の高い効率を発揮している。光合成の低いエネルギー変換効率は、葉緑素 (クロロフィル) の太陽光吸収域が赤と青の狭い波長域に限られる為である。

⑥ 太陽電池の性能は、太陽光のスペクトルの吸収域で決まる。吸収域の光子数の積分値が電流であり、電圧は吸収末端の波長で決まる。光の波長は決まったエネルギーを持って居り、例えば  $1 \mu m$  ( $1000nm$ ) の波長の電圧は  $1.24eV$  となる。光のエネルギーは短波長 (紫外線) ほど高く、長波長 (赤外線) 側になれば低エネルギーとなる。

有機系の吸収域は可視光線域 ( $\sim 800nm$ ) なので  $1.5eV$  と高く、シリコン系は太陽光のほぼ全スペクトル域を吸収するので吸収末端は長波長となり電圧は  $1.1 \sim 1.2eV$  とやや低い。然しながら表面反射、光吸収

ロスや電氣的ロスより、実際の太陽電池の電圧は有機系およびシリコン系とも各々0.8V と 0.6V とに半減する。

出力パワー ( $P=I \times V$ )は、例えばエネルギー効率 8.4%の太陽電池は  $I_{vsP}$  グラフより  $16\text{mA}/1\text{cm}^2$ 、即ち  $10\text{cm}^2$ の電池で 1.6A の電流を流すことが出来る。

エネルギー変換効率は、波長 920nm 迄吸収する素材を使えば最大 30%まで上げ得ることが分かっている。

- ⑦ DSSC は  $\text{TiO}_2$  のナノ粒子に色素を吸着させ、構造はバッテリーと同じで 2 枚の正負極の間に酸化還元メディエーターとしてヨウ素が封じ込まれている。増感写真技術と同じで色素が感光する代わりに電子を放出し、還元される事で循環利用される。

20 年前よりエネルギー交換効率 8%のものが開発されていたが、1992 年に色素にトリフェニルアミン、酸化還元メディエーターにコバルトビフェニル錯体を使用し、交換効率 10%の大台に乗った。

今年スイス連邦工科大学のマイケル・クレツェル教授が、色素にポィフィリン亜鉛錯体を使用することで、太陽光 1/10 の明るさで、効率 13.07% (太陽光 100%では 12.3%) を達成した。現在この効率が DSSC の最高効率である。

OPV も三菱化学が色素ベンゾポリフェリンを薄膜に塗布することで、ここ数年弱の間に、効率 6%台から 11.7%へとという劇的な進歩を成し遂げている。

- ⑧ 今年も NEDO の支援で「有機太陽電池実用化製造技術開発」プロジェクトが進んでいる。DSSC ではプラスチック型を宮坂氏一日立化成社グループと太陽誘電社の 2 社、ガラス型はシャープ社と日本写真印刷社の 2 社、一方 OPV では三菱化学 1 社のみが其々の開発品の発電実証試験に取り組んでいる。

- ⑨ 宮坂氏らが開発し、ペクセル・テクノロジー社で製造したプラスチックフィルム型 DSSC の映像による紹介があった。厚さ  $3\ \mu\text{m}$  の両面使用可能な透明でフレキシブルなフィルム状 DSSC で、色素にインドリンを使う事でエネルギー変換効率 6%を達成した。6%と低い効率のように感じられるが、A4 サイズで 1 日充電すると車のセルモーターを 5~6 回使用出来る出力を発揮する。これはプラスチックフィルム型 DSSC では最高の変換効率である。

量産による製造コストの低下が必須であるので、生産性の高い Roll to Roll 方式の生産技術開発が進められている。

フィルム型は如何にして「焼成 ( $500^\circ\text{C}$ )」工程を経ずに低温で固めるかがキーポイントであり、宮坂氏は、ナノ粒子を水に分散させセメントとして半生状態の  $\text{TiO}_2$  ゼルを入れ、これを乾燥させると脱水縮合反応による粒子間の水素結合が進み粒子間のネッキングがおきる。このペーストを室温でプラスチック ITO 膜に塗工し乾燥させる。出来あがった正負極 2 枚の膜を重ね合わせて封止することでフィルム状 DSSC が製造された。

光を両面から吸収出来る透明なフィルムは、透明な対極に何を使うかであるが、触媒を必要とする為、高価な Pt や白金粒子の代わりにポリチオン多孔膜を使う事で対応した。

- ⑩ ハイブリッド型太陽電池は DSSC と言うより有機無機半導体であり、可視光線域 ( $\sim 800\text{nm}$ ) の全ての光を吸収する。色素以外の有機無機複合化合物のペロブスカイト結晶の得られる材料 (金属ハロゲン化合物) を使用し、スピコート法による塗工をすると数十秒で金属酸化物ナノ多孔質膜 ( $\text{TiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3$ ) 表面にペロブスカイト結晶が析出する。電解液としては固体化する為に有機半導体薄膜を使用している。

2009 年宮坂氏が最初に提案したハイブリッド型のエネルギー変換効率は 4%であったが、これを起点に世界的な開発競争へ突入し、現在では変換効率 15%のものが開発されている。(添付資料参照)

- ⑪ 昨年 10 月より、宮坂氏をリーダーに「海外に負けないハイブリッド型太陽電池の開発」プロジェクトがスタートしたが、課題は高変換効率を支えるのは高い電圧である事から、如何に高電圧で性能にバラツキの無いセルを開発するかである。

光起電より発生した電子が、一方向に移動する為には「すべり台」の役目をする電圧が必要で、ハイブ

リッド型は 0.2V とシリコン型の 0.3V に比較し小さい。このことは可視光末端波長 800nm の電圧は 1.5V であるから、ハイブリッド型セルは  $1.5 - 0.2 \times 2 = 1.1V$  迄の電圧が取り出せる可能性を示している。シリコン系は 0.3V であるから、取り出せる電圧は  $1.2 - 0.3 \times 2 = 0.6V$  となる。

桐蔭横浜大学の研究室では、最近アントラキノン顔料にトランジスタや有機 EL に使われているユニデンをくっつけたハイブリッド型セルを作り、1.2V の高電圧を取り出すことに成功しその可能性を証明した。ハイブリッド型セルの変換効率を上げる方法としては、赤外線吸収セルを積層することが考えられており、この場合 21.9% まで向上可能と見込まれておる。来年にでも実証されるではと期待されている。

- ⑫ 2030 年頃には、IT 向けエネルギーは総消費エネルギーの 10% を占めると推定されており、小型発電が重要な役割を果たすことは間違いないところである。有機系太陽電池の強みは、屋外の晴天/曇天/雨天から屋内では其々の光量が大きく変わるが、光量変化が 1~1/200 あっても一定の電圧が維持される事である。従って蛍光灯の光があれば性能を維持できるので、屋内でのユビキタス電源をはじめとした色々な応用分野が広がっている。
- ⑬ 現在、三菱化学社は車に積載し実証テストを、一方宮坂氏らは日立造船社と共同して、平塚市農協の温室建屋内に発電機を設置し発電実証テストを継続中である。

以上