

色素増感太陽電池

—研究開発の現状—

荒 川 裕 則^{*1}

(2011 年 2 月 3 日受付)

Dye-Sensitized Solar Cell

—Present Status of Research and Developments—

Hironori ARAKAWA^{*1}

(Received February 3, 2011)

1. はじめに

21世紀を生きる我々人類が解決すべき最大の課題は地球温暖化問題であろう。最近発表された第4次 IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告によれば、気温の上昇は95%の確率で人為起源により大気中に放出された炭酸ガス濃度の増加の結果であるという¹⁾。地球温暖化は人類が過去100年の間に急速に、かつ膨大な量を使用した化石燃料由来の大気中の炭酸ガス濃度の増加により引き起こされた現象であることは間違いないようである。

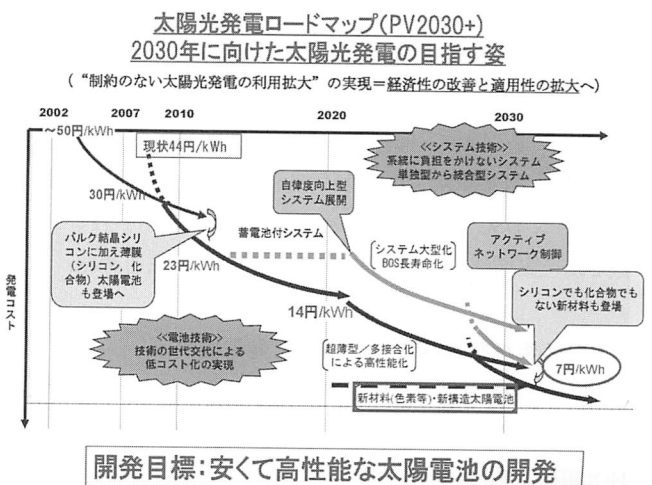
従って、その解決には化石エネルギーから炭酸ガスを排出しないクリーンエネルギー、例えば再生可能エネルギーへの大幅なシフト、すなわちエネルギー供給のパラダイムシフトが必須である。再生可能エネルギーの中で、地熱エネルギーを除く全ての再生可能エネルギーの源は太陽エネルギーである。地上に公平に降り注ぐ太陽エネルギーをいかにして有効に使いこなすかが21世紀の最大の課題となろう。

太陽光さえ当てれば、静かにクリーンな電気エネルギーを発生し、規模の大小によらず、いつでもどこでも発電できる太陽電池技術の中核とする太陽光発電システムは近年最も注目されている。ここ数年の世界の太陽電池の年間生産量は約2 GWから約5倍の10 GWと急速に伸びている。しかし、世界のエネルギー需要に較べれば、太陽光発電によるエネルギー供給は依然微々たる量である。太陽光発電技術が真に地球温暖化問題の解決に貢献できるためには、太陽電池がわれわれの社会へ大量普及することが必要である。このような背

景から、太陽電池の普及促進を目的として世界の先進国では太陽電池で発電した電力コストを安くするための太陽電池の技術開発を積極的に進めている。日本でも経済産業省系のNEDOを中心として、太陽電池の技術開発ロードマップ（「PV2030+」）²⁾が発表され、それによって現在、研究開発が産学官で精力的に行なわれている。図1に「PV2030+」を示す。

「PV2030+」では太陽電池の開発の最終目標として、2030年の太陽光発電による電力コストを、現行の一般家庭電力料金25 円/kWhの1/3以下の7 円/kWhを掲げている。このコストの実現には、現在約44 円/kWhの電力を供給しているSi太陽電池等の従来の太陽電池では難しく、より安価で高性能な新規な次世代型太陽電池の開発が求められている。

色素増感型太陽電池（DSC）³⁾は、この次世代型太陽電池の候補の一つとして見なされている。DSCの製造コストは、従来型の太陽電池にくらべ1/3から1/5になると予想されているからである。原材料のチタニアなどの酸化物半導体や増感色素、電解質溶液等が金属半導体に比べ安価であること、製造プロセスでは高温や高真空の製造条件を必要としないことが主な理由である。表1に文献に現れたDSCの経済性試算例を示す。



キーワード: 太陽電池, 最高性能, 耐久性, サブモジュール, 実用化

^{*} 東京理科大学工学部工業化学科 (162-0826 東京都新宿区市ヶ谷船河原町 12-1)

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering, Tokyo Univ. of Science, 12-1, Ichigaya-Funagawara, Shinjuku, Tokyo 162-0826, Japan

¹ h.arakawa@ci.kagu.tus.ac.jp

図1 日本の太陽光発電研究開発ロードマップ (PV2020+)

表1 DSC モジュールの製造コスト試算

変換効率 (%)	生産規模 (MW/年)	コスト	評価者	年
10	10	94円/Wp	(財)産創研 ^{a)}	1999
10	10	60-100円/Wp	NREL ^{a)}	1998
10	100	84円/Wp	(財)産創研 ^{a)}	1999
11	100	75円/Wp	石原産業 ^{a)}	1999
10	100	0.5-0.7 \$ /Wp	Smestad ^{b)}	1994
7	20	0.96Euro/Wp	Solaronix ^{c)}	2000

^{a)} 平成11年度 NEDO 委託業務成果報告書, (財) 産業創造研究所 (H12年3月), ^{b)} G. Smestad et al.: SOLMAT, 32 (1994) 259,

^{c)} T. Meyer et al.: SPIE, Organic Photovoltaics, No.7052-09 (2008).

なぜ色素増感太陽電池の開発か?

1. 太陽光エネルギー → 太陽光発電の大幅な導入 → 現行の太陽電池(高価)

2. 安価で高性能, 多様な太陽電池の開発が必要 → 色素増感太陽電池

3. 経済性試算:

$\eta=8.4\%$ (モジュール)で約80円/Wp(電力コスト23円以下/kWh以下)(現行電力料金)

$\eta=10.0\%$ (モジュール)で約75円/Wp(電力コスト14円/kWh以下)(PV2030+2020年目標)

$\eta=15.0\%$ (モジュール)で約50円/Wp(電力コスト7円/kWh)(PV2030+2030年の最終目標)

4. 太陽電池構成材料: 酸化物, 色素, 電解質溶液 → 化学産業型 → 新産業創製

5. 多様な用途: 軽くて, フレキシブル, カラフルなプラスチック太陽電池 → 新産業創製

学術的興味

1. 光誘起電子移動メカニズムの解明, 高効率支配因子の解明 ← 光合成模倣型

2. 半導体-色素界面電子移動, ナノ構造バルク内電子移動の精密制御

3. ナノオーダー, 分子オーダーの制御・集積技術

4. 学際領域の集積技術: 有機化学, 無機化学, 物理化学, 電気化学, 光化学, 触媒化学

図2 色素増感太陽電池の研究開発が行なわれる理由

我々の試算結果を紹介する。仮に DSC モジュールで変換効率 8.4%, 寿命 10 年が達成された場合, DSC の製造コストは年間生産量 100 MW の規模で 79 円/Wp 程度になると試算され, Si 太陽電池が当面目標としている 100 円/Wp を大きく下回り, 現在の一般家庭電力料金と同等になると推定される。さらにモジュールの変換効率 15% が達成されると, 製造コストは 49.6 円/Wp となり, 発電コストは太陽光発電研究開発の最終目標である 7 円/kWh に近くなる。DSC は経済性に大きな潜在的可能性があるということである。また DSC は, 酸化物半導体と色素, 基板の組み合わせにより, 目的に合わせたカラフル, 透明, フレキシブル, 軽量などの高付加価値の太陽電池が製造可能であり, 移動電子機器用の電源等, 屋内外の広範囲な場所で使用可能な高機能型発電デバイスともなり得る。21 世紀のビックビジネスと考えられている太陽電池業界に, DSC という化学系新産業の創成が期待されている。図2に色素増感太陽電池開発の理由についてまとめた。

2. 色素増感太陽電池の構造と発電機構

DSC は色素溶液を用いた湿式の光電気化学セルとして古くから研究されていた。Tsubomura らは1970年代に ZnO 焼結体光電極と Pt 板対極, それにローズベンガルという有機色素とヨウ素レドックスを含む水溶液電解質を用いて変換効率

色素増感太陽電池の構造と作動原理

基本的な概念は1989年スイスEPFLのM.Graetzel教授により発明される。

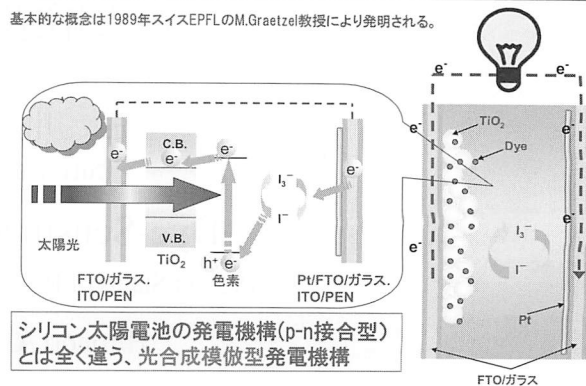


図3 色素増感太陽電池の構造と作動原理

約1%を報告しているが, 安定性に欠けていた⁴⁾。1991年にスイスのローザンヌ工科大学 (EPFL) のグレッツェル(Graetzel)教授が変換効率7.9%の新しい型の DSC 色素増感太陽電池の開発を発表した⁵⁾。それ以来, この新しい DSC は Graetzel セルとも呼ばれ世界的に研究開発が行われている。DSC の詳細については成書³⁾を参考にされたい。図3 に Graetzel 教授らが開発した DSC の構造と発電機構を示す。

DSC は, 光電極と対極, それらにより挟み込まれる十数 μ 程度の厚さの電解質溶液部分から構成されている。光電極は導電性(F-SnO₂)ガラス基板上と, その上に塗布・焼成・積層された 10-30 μ m 程度の厚さのメソポーラス TiO₂ 多孔質膜からなっている。この TiO₂ 多孔質膜は, 多数のナノ細孔を有する結果, 高い表面積 (約 1,000 cm²/1 cm² 角) を持っている。この高表面積は TiO₂ 表面にびっしりと色素を固定し, 光吸収効率を最大にするために必須である。光電極を構成する TiO₂ 多孔質膜の表面には, 光を吸収し光電変換の基本的な役割を果たす Ru 色素が固定されている。

図4 には Graetzel 教授らにより開発された Ru 色素 RuL₂(NCS)₂ (N719色素) と RuL'₂(NCS)₃ (Black dye 色素) [L=4, 4'-dicarboxy-2, 2'-bipyridine, L'=4, 4', 4''-tetra-carboxy-2, 2', 2''-terpyridine, TBA = Tetrabutyl ammonium cation]の構造と, それぞれの光吸収スペクトルを示す。Ru 色素を構成するビリジン系配位子はカルボン酸基 (-COOH 基) を持ち, このカルボン酸基が TiO₂ 表面の水酸基 (-OH 基) とエステル結合を形成し, Ru 色素は TiO₂ 表面に単一層で化学固定されている。このエステル結合の形成により Ru 色素から TiO₂ への電子移動が効率的に行われる。N719色素では可視光の全領域 (800 nm まで) の吸収が可能である。Black dye 色素では約900 nm までの赤外光を含む光吸収が可能である。この DSC の高性能化の理由は, 高表面積の TiO₂ 多孔質膜の形成と, その上に化学固定する色素が, 単一色素で可視光全域に光吸収があ

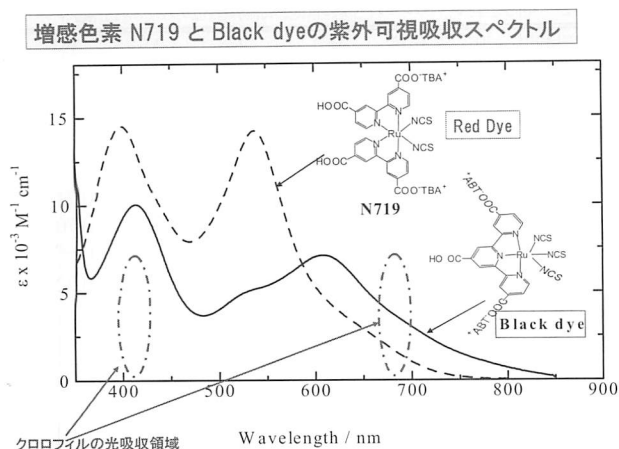


図4 増感色素 N719 と Black dye 色素の光吸収特性と構造

り、かつその吸光係数が高いことにある。

電解質溶液は有機溶媒と I^-/I_3^- のレドックス系で構成されている。ヨウ素 (I_2) の他に I^- の化合物であるヨウ化カリウム (KI) やジメチルプロピルイミダゾリウムヨウ素 (DMPImI) $\{(\text{CH}_3)_2\text{C}_3\text{H}_7\} \text{C}_5\text{H}_2\text{NI}\}$ が使用される。そのほかにターシャリーブチルアミン $\{t\text{-C}_4\text{H}_9\}_4\text{N}\}$ のような塩基を添加する。電解質の溶媒としてはアセトニトリルやメトキシプロピオニトリルのような非プロトン性有機溶媒が使用される。対極は白金を蒸着した導電性ガラス基板が使用される。

光電極の導電性ガラス基板を透過して入射した太陽光は TiO_2 表面に化学固定された増感色素に吸収される。光を吸収した Ru 色素は励起され、その電子が基底状態 (HOMO) から MLCT 遷移により励起状態 (LUMO) へと移り、Ru 色素の電子は励起状態から TiO_2 の伝導帯に注入される。その結果 Ru 色素は酸化され酸化状態となる。増感色素の励起電子の TiO_2 への効率的な注入の為に、増感色素の LUMO が半導体の伝導帯 (C.B.) のエネルギー準位より負でなければならない。半導体に注入された電子は TiO_2 膜中を拡散して導電性ガラス基板 (F-SnO_2 導電性膜)、結線を経由して対極へ導かれる。一方、酸化された色素はヨウ素還元体 (I^-) から電子を受け取り、基底状態の色素に戻る。 I^- は酸化されて I_3^- となり、対極へ拡散し、Pt 電極から電子を受け取り I^- に戻る。これが電子の一巡である (図 3 参照)。シリコン太陽電池に代表される n 型半導体と p 型半導体を接合させた p-n 接合太陽電池とは、材料、構造、発電原理が全く異なる。DSC は、その光電変換機構が、光合成のクロロフィル色素の光電子変換機構に似ているので光合成模倣型太陽電池とも呼ばれる。この DSC の最大の発生電位は、光電極半導体のフェルミレベル (TiO_2 のような n 型半導体では伝導帯準位 (C.B.) に下に位置する) と I^-/I_3^- レドックスの酸化還元電位との差となる。 TiO_2 光電極のエネルギー準位は SCE に対して -0.7 V 、 I^-/I_3^- レド

色素増感太陽電池の作製方法

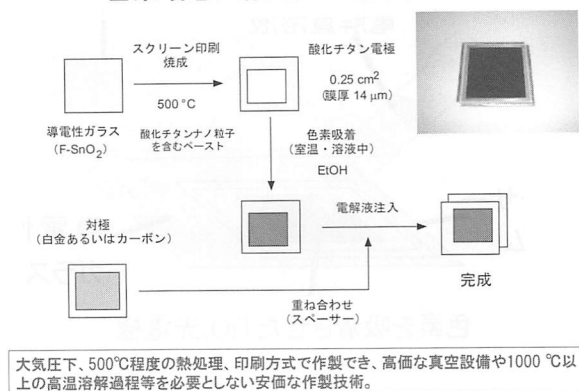


図5 DSC の作製法

ックスの酸化還元電位は SCE に対して $+0.2 \text{ V}$ と評価されている。したがって、この組み合わせでは 0.9 V が開放電圧 (V_{oc}) の最大発生電位となる。太陽電池の性能、変換効率 η は、以下のような式で表される。

$$\eta (\text{sun}) = J_{sc} \times V_{oc} \times ff / I_s$$

$\eta (\text{sun})$: 陽電池の変換効率,

J_{sc} : 得られた光電流の総計 (mA/cm^2),

V_{oc} : 解放電圧,

ff : フィルファクタ,

I_s : 入射光 ($100 \text{ mW}/\text{cm}^2$)

Graetzel 教授らの報告によるとセル面積が $0.16\text{--}0.19 \text{ cm}^2$ の N719 色素の DSC では、解放電圧 (V_{oc}) = 0.74 V 、短絡電流 (J_{sc}) = $18.6 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 、フィルファクター (ff) = 0.73 で $\eta (\text{sun})$ = 10% 、Black dye を用いた DSC で、解放電圧 (V_{oc}) = 0.72 V 、短絡電流 (J_{sc}) = $20.5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 、フィルファクター (ff) = 0.70 で $\eta (\text{sun})$ = 10.4% の性能とされている。DSC で最高どれくらいの性能がでるのだろうか。N719 色素の場合、光吸収端を 775 nm とすると、これはバンドギャップ 1.6 eV に相当し、AMG1.5 (天頂角が 48° で地上に振り注ぐ太陽光の条件下の測定) では最高 $26.4 \text{ mA}/\text{cm}^2$ の光電流が取れる計算になる。光はガラス基板を通して入射するので、導電性ガラス基板による光の反射ならびに吸収による光のロスが約 15% とすると、最大に取得できる光電流は $26.4 \times 0.85 = 22.44 \text{ mA}/\text{cm}^2$ となる。理論電圧 (最大発生電圧) = 0.9 V 、 ff = 0.8 とすると $\eta (\text{sun})$ = $22.4 \text{ mA}/\text{cm}^2 \times 0.9 \text{ V} \times 0.8 / 100 \text{ mW}/\text{cm}^2 = 16.15\%$ となる。 V_{oc} が最大発生電圧の 0.9 V は取れないにしても、 $\eta (\text{sun})$ = 15% の達成は不可能ではないと考えられる。

図 5 に DSC の作製法を示す。Si 太陽電池等の従来の太陽電池の製造プロセスに比べ、大気下 500°C 程度の焼成や印刷方式で作製できる等、簡単で省エネ的である。また、研究室レベルで作製したり、評価したりする、光電極と対極を封止

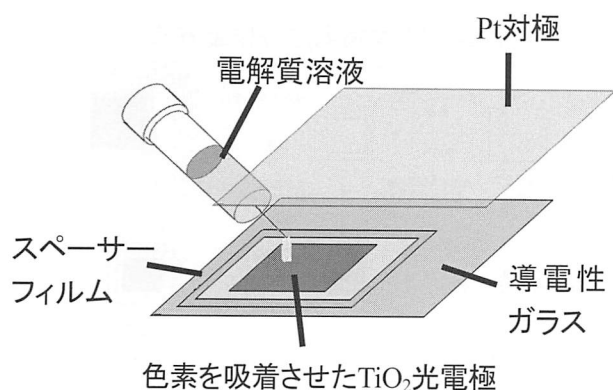


図 6 研究室で作製するオープンセル DSC の組み立て法

しないオープンセルタイプの DSC の組み立て法を図 6 に示す。Ru 増感色素が固定された TiO_2 多孔質薄膜光電極にヨウ素を含む電荷質溶液を数滴垂らし、中央部を四角く切り取った厚さ $30\ \mu\text{m}$ 程度のスペーサーフィルムを両電極間に挟み込み、クリップで 2 カ所を挟んで固定する。両電極の導電性ガラス表面の一端にハンダを付け、取り出し電極とする。電流-電圧特性の測定は、ソーラーシミュレーターにより疑似太陽光 ($\text{AM } 1.5, 100\ \text{mW}/\text{cm}^2$) を照射して行う。

3. 色素増感太陽電池の性能

DSC が従来のもの (変換効率 1% 以下) に比べて大きく性能が向上した理由は、二つある。一つは酸化チタン電極の 3 次元メソポーラス構造により表面積が著しく増加し、太陽光を吸収する吸着色素量や電子授受を行なう界面が格段に増えたことである。もう一つは、一種の色素で紫外光から可視光までを広範に吸収できるようになったことである。この二つにより性能が著しく向上した。1993年にグレッツェル教授らが N3 色素を用いたチタニア DSC で 10.2% を報告して以来、20 年が経過した。日本でも、いくつかの研究機関が変換効率 $\eta = 10\%$ 以上を達成している。N719 色素を用いた DSC の最高性能はグレッツェル教授らが 2005 年に報告した 11.2%⁶⁾ であり、Black dye の DSC では 2006 年にシャープが報告した 11.1% が最高である⁷⁾。これは AIST が評価した認証値である。2008 年に EPFL と Dyesol のグループが C101 色素を用いて 11.3% を達成した⁸⁾。2009 年にグレッツェル教授らが変換効率 $\eta = 12.2\%$ を報告している。これが現在の DSC の世界最高性能である。表 2 に 10% 以上の性能をまとめた。B.D. は Black Dye を示す。図 7 に新色素 C101 と β -diketonate 色素の構造を示す。Z991 は C101 色素の類似の構造を持つ色素である。

国内では、産総研が 2004 年に N719 色素で 10.2% を、2005 年に Black dye で 10.5% を報告している。2006 年に東京理科大が産総研・太陽光発電センター (AIST) の評価で 10.2% を達成している。自己評価の性能では、東京理科大が 10.7% を報

表 2 研究室レベルの色素増感太陽電池の最高性能

研究機関	年	色素名	セル面積 (cm^2)	Jsc (mA/cm^2)	Voc (V)	ff	η (%)
EPFL	2005	N719	0.16	17.7	0.85	0.75	11.2
EPFL	2008	C101	0.16	18.8	0.77	—	11.3
EPFL	2009	Z991	0.15	21.8	0.76	0.74	12.2
EPFL	2001	B.D.	0.18	20.5	0.72	0.70	10.4
シャープ	2005	B.D.	1.00	21.8	0.73	0.65	10.4
シャープ	2006	B.D.	0.22	20.9	0.74	0.72	11.1
東京理大	2007	B.D.	0.25	22.4	0.69	0.69	10.7
東京理大	2006	β keto	0.25	21.5	0.69	0.71	10.2

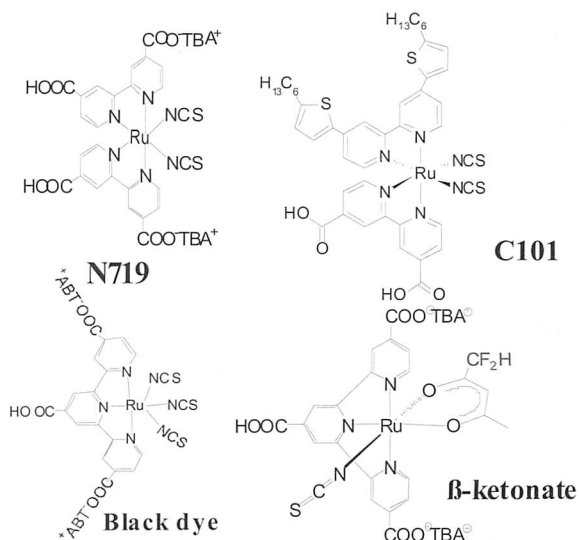


図 7 増感色素の構造

告している。新色素を用いた太陽電池では東京理科大がターピリジン・ β -ジケトナート Ru 色素で変換効率 10.2% を報告している。ここ数年、ガラス基板 DSC の性能は、伸び悩みであり 11-12% 台にとどまっている。

4. サブモジュール、モジュールの開発動向

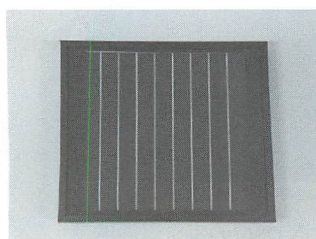
多くの研究機関で、研究室レベルでの DSC の性能 10% 以上が確認されていることを受けて、DSC のサブモジュールやモジュールの研究開発が活発に行われている⁹⁾。前述したように、モジュールの変換効率 8-9% を達成できれば、そのモジュールで発電できる電力のコストは、現行の電力料金に匹敵するからである。ただし、寿命は 10 年以上必要である。

さて、モジュール構造には、モノリシック型直列接続セル、両面受光が可能な W 型直列接続セル、Z 型直列接続セル、集電グリッドを基板に配線したグリッド配線型単セル等が提案されている。国内で 1 m 角以上の DSC モジュールを展示会などで公開したのはアイシン精機㈱-豊田中研、㈱フジクラ、日本写真印刷㈱-島根県工業技術センター等である。これらのモジュールの性能は公表されていないが 5-6% 程度と推定される。

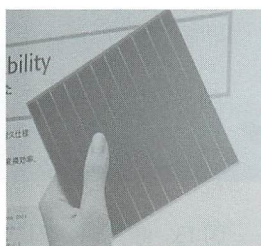
表 3 色素増感太陽電池サブモジュールの ASIT 認証性能

研究機関	年	モジュール サイズ (cm ²)	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	ff	η (%)
ソニー	2010	4.5 cm 角 (16.1)	20.2	0.71	0.67	9.5
東京理大	2010	5.0 cm 角 (22.6)	20.6	0.71	0.66	9.1
東京理大	2009	10 cm 角 (82.9)	18.6	0.71	0.69	8.3
シャープ	2007	5.5 cm 角 (25.5)	2.1	6.33	0.61	8.2
日写-島根	2009	12 cm 角 (129.5)	12.0	0.71	0.70	6.0

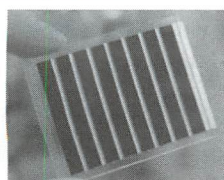
色素：Black Dye, シャープ：直列セル，その他：単セル。
日写-島根：日本写真印刷㈱-島根県工業技術センター。



東京理科大が作製した10cm角サブモジュール



日本写真印刷株式会社と島根県工業技術センターが共同作製した12cm角サブモジュール



ソニー株式会社が作製した4.5cm角サブモジュール

図 8 作製された色素増感太陽電池サブモジュールの概観

一方、モジュールを構成する 5 cm から 10 cm 角程度のサブモジュールの性能については日本の太陽電池の認証機関である（独）産業技術総合研究所・太陽光発電研究センター（AIST・RCPV）の測定結果が報告されている。表 3 にその結果を示す。またそれらのサブモジュールの概観を図 8 に示す。

現在の認証機関(AIST・RCPV)で測定されたサブモジュールの最高性能はソニーの 4.5 cm 角の集電電極付の単セルで 9.5%である。ついで東京理科大の 5 cm 角 9.1%である。東京理科大が作製した 10 cm 角のサブモジュールで 8.3%の認定値が得られている。東京理科大の自己測定では 10 cm 角サブモジュール（アパーチャー面積 82.9 cm², Jsc = 21.9 mA/cm², Voc = 0.69 V, ff = 0.69)で変換効率 10.3%を報告している。日本写真印刷㈱-島根県工業技術センターが作製した 12 cm 角のサブモジュールで認証値 6.0%が得られている。日本は、このように世界の研究機関に先駆けて高性能を報告している。

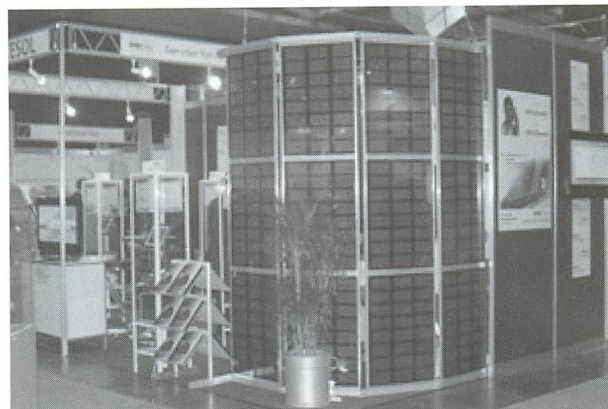


図 9 Dyesol 社が作製した衝立型シースルーモジュール

PROTOTYPE

DSC in DongJin



- Spec : Grid type
- Power : 70W
- Size : 1,703 X 1,090mm²

図 10 DongJin Semichem 社の DSC を用いた BIPV

一方、海外においても DSC のモジュール作製の試みは活発である。オーストラリアのベンチャー企業である Dyesol が DSC 製作用の色素やチタニアペースト等の部品を販売する傍ら図 9 のようなシースルーで衝立型の DSC モジュールを製作しデモンストレーションを行なっている。光を取り入れることができるアーケードやファアーケード、窓への適用を提案している。このモジュールの性能は発表されていないので不明であるがシースルー型であることから 3-4%の変換効率を持つと考えられる。

韓国の DongJin Semichem 社は、図 10 に示すようなルーフトップ型のメートルサイズ (1.7 m × 1.0 m) のモジュールの展示を行なっている。家屋の屋根や壁面にぴったりセットする Building Integrated PhotoVoltaics (BIPV) としての使用を提案している。性能は 5-6%程度と見られる。

一方、英国のベンチャー企業の G24i 社は、金属薄膜を基板とする軽量、フレキシブルな DSC を開発し、販売を開始した。性能は 2-3%程度とまだ低いが、ショルダーバッグや移動用電子機器等の電源としての使用を提案している。図 11 にそれらの写真を示す。



図11 G24i社の軽量・フレキシブルDSCモジュール

5. 実用化にむけた耐久性の検討

5-10 cm 角程度のDSCサブモジュールで8-10%の性能が実現されていることから、実用化に向けた耐久性向上の検討が行われている。具体的には、耐熱性試験、湿熱性試験、熱サイクル試験、連続照射試験など、太陽電池が実用化されるための既存の太陽電池（例えばアモルファス Si 太陽電池）用の JIS 規格試験を用いたものである。図12は（株）フジクラが5cm 角のDSCサブモジュールで行なった耐久性試験の結果を示す¹⁰⁾。JIS 規格 C-8938試験と同様の国際規格 IEC61646試験の内、湿熱性試験（85℃、相対湿度85%で1,000時間）、連続照射試験（1 Sun, AM 1.5の光照射条件で連続照射500時間）、熱サイクル試験（-40℃から90℃までの温度サイクルを200回繰り返す）を行なった結果であるが、試験後の性能劣化はほとんど無いことがわかる。今後、実用サイズでの検討が待たれる。

海外においても Dyesol 社はサブモジュールの連続照射試験を行なっている。この条件下ではサブモジュールの温度は50-60℃程度になる。彼らの実験によると、0.8 Sun の光照射強度で、連続2,000時間照射しても、劣化はほとんど無いとのことである。この光照射時間は、中部ヨーロッパでは38年の光照射履歴に相当し、南部ヨーロッパやオーストラリアのシドニーでは18年に相当するとしてDSCの安定性は問題ないとしている⁸⁾。

また、実際のDSCモジュールを用いた屋外実証試験も行なわれている。図13は（株）フジクラでの実証試験風景である。DSCの実用化には長期の実証試験における検討が必要であり、今後の検討結果が待たれる。

6. おわりに

次世代型太陽電池の候補の一つとされる色素増感太陽電池の研究開発の現状について紹介した。現在は、実用化のための研究開発が重要であると考え、長期的に見れ

フジクラにおけるBlack dye DSCサブモジュールの耐久性試験結果 (IEC61646試験の湿熱試験、連続光照射、熱サイクル試験をクリア)

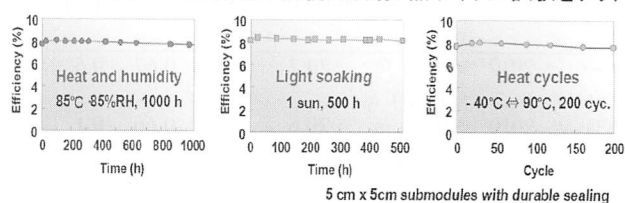


図12 （株）フジクラが行なった耐久性試験の結果



図13 （株）フジクラにおけるDSCの実証試験風景

ば、ラボレベルでの色素増感太陽電池の性能11-12%は十分でなく前述したように、太陽電池開発の最終目標7円/kWh を供給できる変換効率、色素増感太陽電池では15%程度の性能まで引き上げる研究開発を継続的に進めることが重要であると考えられる。今後の性能向上の研究開発成果に期待したい。また、紙面の都合でフレキシブル、軽量のプラスチック基板を用いた色素増感太陽電池の研究開発状況の紹介を割愛した。文献を参照されたい¹¹⁻¹³⁾。

参考文献

- 1) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC), 第4次評価報告書, <http://www.env.go.jp/earth/4th/syr=spm.pdf>
- 2) <http://www.nedo.go.jp/library/pv2030/pv2030+.pdf>
- 3) 荒川裕則監修: 色素増感太陽電池 (普及版), シーエムシー出版(2007)
- 4) H.Tsubomura, M.Matsumura *et al.*: Nature, **261** (1976) 402
- 5) B.O'Reagan, M.Graetzel *et al.*: Nature, **353** (1991) 737
- 6) M.Graetzel *et al.*: J. Am. Chem. Soc., **127** (2005) 16835
- 7) L.Han *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., Part2, **45** (2006) 638
- 8) H.Desilvestro *et al.*: Proc. of 23rd-PVSEC, 1CO.4.5 (2008)
- 9) 荒川裕則: 陽エネルギー, **35**, 3(2009)
- 10) N.Tanabe: PDF file at DSC-IC 2010, Colorado Springs, USA(2010)
- 11) 荒川裕則: 化学工学, **75** (2011) 30
- 12) 荒川裕則: 化学工業, No.4 (2009) 45
- 13) 荒川裕則編: 色素増感太陽電池の最新技術 II, シーエムシー出版(2007)