

## エコポジティブカンパニーへの邁進

村松 哲郎

ソーラーシステム開発本部

### はじめに

シャープは2012年に100周年を迎えます。今までソーラ、液晶を機軸に据え、市場を、そして事業を創造してきました。当社は省エネ・創エネを軸とした“エコポジティブカンパニー”を宣言しました。半歩先行く先進技術開発に環境を配慮した技術開発を重ね、社会貢献を期するとともに、新たな事業創造を進めます。

- (1) 発・蓄電，送・受電，送・受信，発・受光，入・出力に加え，表示，制御，駆動，記憶などの機能を最適な電子（エネルギー）の流れとして捉える
- (2) 消費されるエネルギーを意識した生産活動を推進する
- (3) 省エネ・創エネに係るインフラストラクチャから新たなビジネスを創造する

本稿では、エコポジティブカンパニー活動について述べ、太陽電池の技術開発展望に言及します。

## 1 企業風土と事業創造

### (1) エコポジティブカンパニーとは

営業・開発・調達・設計・生産・販売など、あらゆる企業活動に際し排出される温室効果ガス排出量と、生産される製品の省電力、太陽電池生産により期待できる電力を温室効果ガス削減量に換算した値を比較し、後者が前者を上回る場合これをエコポジティブカンパニー（EPC）と定義します。当社は2008年に2つの量が等しくなりました。2012年には削減量が排出量の2倍以上になるように目標を設定し、着実にEPCへの路を歩んでいます。

### (2) いまなぜEPCを宣言？

産業革命以降の内燃機関の進化と、電磁誘導に端を発するエレクトロニクスの進化が生活様式を変えました。この文明の世界への広がり人口増加がCO<sub>2</sub>排出量増加に拍車をかけました。とりわけ1950年初頭の半導体素子の発明以来、文明は、半導体エレクトロニクス基盤の

上に急速発展して来ました。これはエネルギーの消費増大の流れの始まりでもありました。交通網とITネットワークが全世界に整備され、時空が短縮されました。ビジネスも速くなりました。21世紀も人類はこれを既得権とし、ユビキタス社会は進展します。成り行きでは2050年にはCO<sub>2</sub>濃度が700ppmを超え、平均気温も6℃上昇、気象異変が洪水、旱魃を引き起こし、食料難が懸念されています。地球温暖化阻止に向けてCOP15では必ずしも成功裏とは言えずとも、世界各国が2050年に向けCO<sub>2</sub>削減2005年比80%という目標を共通認識しました。当社はエレクトロニクスメーカーとして、エレクトロニクス技術を核に英知を集め、この地球規模の課題に挑戦するトップランナーとなる宣言をしました。

### (3) EPCのDNA

当社はエレクトロニクス製品を構成する基幹電子デバイスを自製化し、自製化した電子デバイスの進化が次世代の製品を創るという所謂パイラルアップに立脚した製品開発を進めてきています。この風土は製

品の製造に関わる独自のプロセスや装置も生み出してきました。マーケティング、企画、設計、生産、販売ならびに開発を遂行する過程を通じ、EPC思想を織り込んだ企業経営が可能となります。

### (4) 省エネルギー

陰極線管から液晶表示素子への表示革新が製品の省電力化を促進しました。“液晶は情報の窓（ディスプレイ）”のもと、液晶表示は電卓から108インチの液晶ディスプレイTV、情報端末、健康環境機器にいたるまで、新たな機能と省電力製品を社会に提供し、“繋ぐ、繋がる”、“伝える、伝わる”をコンセプトにユビキタス社会の進展に大いに貢献しています。

### (5) 創エネルギー

1959年に、当社は太陽電池の開発に着手、1963年に製品化しました。以来46年間太陽電池事業の推進と太陽光発電の普及を進めてきました。他方、製造メーカーとして半導体、電子デバイス、太陽電池、液晶と、環境技術を進化させつつ環境アセスメントに配慮した工場づくりを

進めてきました。天理、多気、亀山液晶工場で培った環境を配慮した省エネ生産技術・工場設計を集大成したひとつの象徴がグリーンフロント堺（図1）です。グリーンファクトリでグリーンプロダクト（液晶ディスプレイと太陽電池）を作る確かな基盤があります。

## (6) EPC活動が新たなビジネスを創造

エネルギーを、IT基盤を活用し最適分配する“スマートグリッド”が各国独自の方策で進められています。日本では太陽光で発電した電気 の全量買取制度導入が予定されています。これは電力消費者が新エネルギー電力の供給者になることを意味します。補助金施策との相乗効果で

太陽光発電の普及が加速されれば、国民に省エネ、創エネ意識が強くなります。ゼロエミッション化（CO<sub>2</sub>排出ゼロ）を旗印に、エネルギーの見える化が進みます。家電の省電力化と直流駆動化、太陽光発電と蓄電池の融合化と外部電力系統への接続、センサ群を駆使した家庭内電力制御システム化、ディスプレイによるエネルギー監視システム化が進みます。システム設計にはグリーンファクトリで培った電力連携技術が活かされます。この動きは家庭からオフィスビルへ、そしてゼロエミッション建物のクラスターがエコタウンやエコシティーへと広がります。発電やエネルギー管理ビジネスも生まれます。これら一連のEPC活動は事業創造の源泉となります。

## 2 3つの基幹材料

当社は、図2に示す3つの基幹材料を基底に据え、エコポジティブカンパニーを育みます。

### (1) シリコン単結晶

シリコン単結晶は太陽電池用として実用化され、独立電源が必要とされる灯台や人工衛星に応用されました。理論上のエネルギー変換効率～29%を目指し、表面電極を基板裏面に移し受光面積を広げセル効率を高くすることができる“バックコンタクト型”へと進化します。さらに、アモルファスシリコン薄膜を電極部に設けた“ヘテロ接合”構造でより高効率を目指します。この主系から派生した系に多結晶太陽電池があります。基板（ウエハ）を作るコスト低減を狙ったものですがインゴット形成過程における結晶成長法や不純物を低く抑える技術、電極構造や反射防止膜形成などの工夫により16%を超えるモジュール効率も視野に入ってきています。シリコン単結晶をウエハとする半導体分野におい



図1 グリーンフロント堺（省エネと創エネのグローバルショーケース）

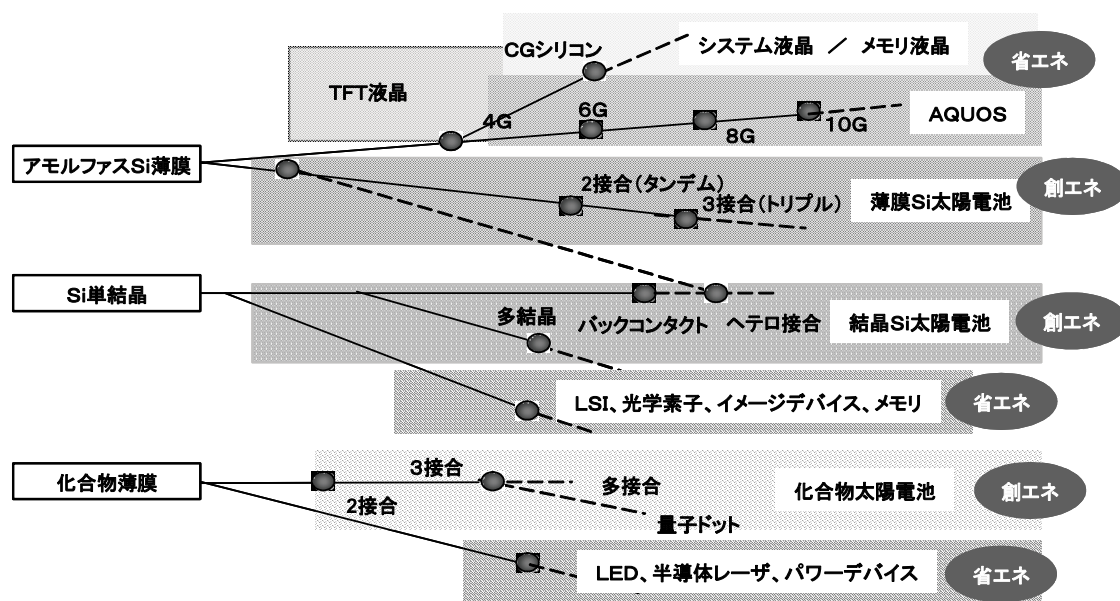


図2 エコポジティブカンパニー化を支える3つの基幹材料と進化系図

ては接合を形成するプロセス、とりわけ高精細フォトリソグフィー技術による素子パターンの微細化により、LSI・メモリー・映像素子など電子デバイスの大幅な省電力化を実現しました。

## (2) アモルファスシリコン薄膜

太陽電池の生産時間を短縮すること、材料費を低減すること、軽量化や折り曲げを実現することを意図し、アモルファスシリコン薄膜材料が実用化されました。ガラス基板上にモノシランガスを使用した化学気相成長法(CVD)により膜を積層成膜し半導体接合を形成することを基幹構造・プロセスとしています。得られるエネルギー変換効率は6%で、電卓やリモコン用電源に応用されました。この技術を原点に、1980年代に2つの進化の系に分かれました。ひとつはより高いエネルギー変換効率を目指した多接合型薄膜太陽電池、もうひとつは液晶表示素子用薄膜トランジスタ(TFT:Thin Film Transistor)です。薄膜シリコン太陽電池系では、成膜過程でシリコンを微結晶化する技術を確立しました(2接合型あるいはタンデム型)。光を吸収できる波長帯域を広げることにより9.5%を超えるモジュールを実現しています。さらに、3接合構造により10%を超えるモジュール

へと進化させます(トリプル接合型)。薄膜型は生産プロセスが結晶系に比し簡素、短時間であり生産に要するエネルギーも削減できます。薄膜系のペイバックタイム(モジュール生産に要したエネルギーを自らの発電により回収するのに要する時間)は概ね1.1年で、結晶系に比べ約30%短縮しています。

太陽電池セルから分岐したもうひとつはTFT液晶進化の系です。液晶表示素子の性能は、液晶分子の配向を各画素を構成する電極に印可する電圧を高精度で制御することによって得られますが、アモルファスシリコンTFTがこれを実現しました。この要素技術は液晶CTVを具現化しました。数インチ画面からスタートした画面サイズは、TFTを大型のガラス基板上に形成する技術や装置の進歩とともに108インチ規模にまで発展しました。しかも、同じ大きさのブラウン管TVに比べ消費電力を大幅に削減しました。この表示技術はTVのみならず、パソコン、携帯電話、モバイル端末、ゲーム、産業機器、カーナビゲーションをはじめ、表示を必要とする全ての製品に搭載されました(中小型モバイル液晶事業の創出)。

一方で、ガラス基板上のアモルファスシリコン膜をレーザー光線で結晶化の際、触媒金属を働かせ、粒

界を連続させ結晶化させる技術を確立しました。連続粒界結晶シリコン(CG-Silicon<sup>※</sup>)と称します。この薄膜はシリコン単結晶に迫る電子の移動度を有し、これを基材にして半導体素子の形成が可能となりました。液晶画素周辺部分に、駆動ドライバや電圧変換のLSIなどの回路を液晶TFTと一括形成し、高機能、省電力のシステム液晶として新たなモバイル液晶事業を創出しました。

※ CG-Siliconは(株)半導体エネルギー研究所との共同開発成果物です。

## (3) 化合物薄膜

GaAs基板やサファイア基板上にCVD技術でエピタキシャル成長させた単結晶薄膜を基幹材料・プロセスとしています。ひとつの分枝は半導体レーザーデバイスへの適用で、低電力で光磁気媒体へのデータの読み書きを可能とするホログラムピックアップを実現しました。他の分枝はLEDデバイスです。LED照明は同じ明るさで従来比ひと桁低い消費電力と長寿命化を可能としました。さらに電力を高効率で制御するパワーデバイスへと分化します。

創エネデバイスとして、化合物太陽電池があります。接合を多層に積層することにより、30%を超える高い変換効率を実現してきました。宇宙用太陽電池として進化を続け、

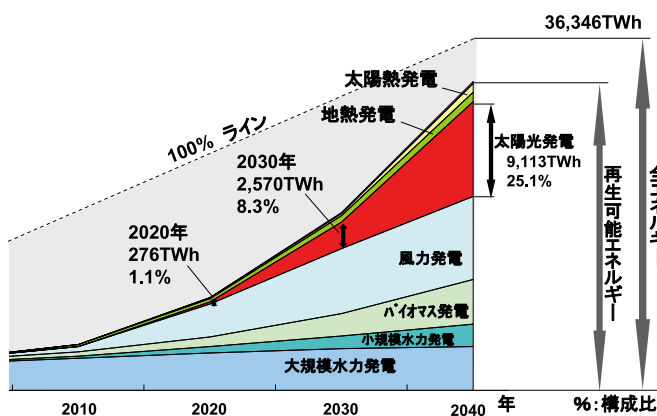


図3 世界電力需要予測<sup>1)</sup>

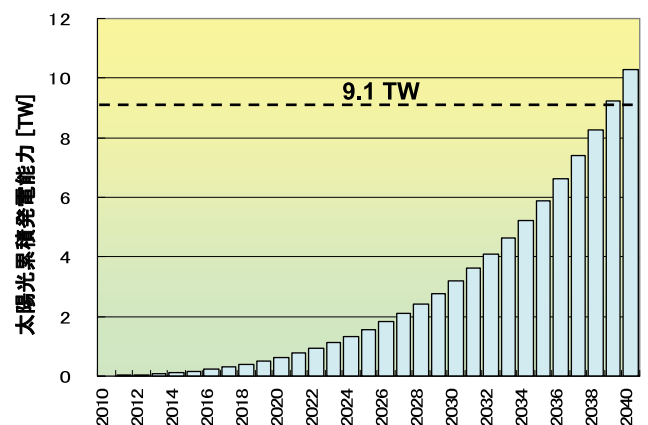


図4 年次累積発電能力試算結果



写真1 メガソーラ (スペインテネリフェ島)

2009年10月には、InGaAs, GaAs, InGaP, の3接合構造で世界最大変換効率35.8%を有するセルの開発に成功しました。

### 3 ソーラーカンパニーに向けて

#### (1) 太陽光発電への期待と課題

地球温暖化阻止に向け、EU再生可能エネルギー委員会のガイドラインでは、2040年には全世界消費電力の25%にあたる9,113TWh/年を太陽光発電で賄うべしとされています(図3)。これには、累積で9TWのモジュールが地上に設置されている必要があります。1枚の太陽電池のサイズと発電量を1.4m<sup>2</sup>,200Wとしますと、枚数にして450億枚、面積にして九州と四国と沖縄を合わせた面積に相当します。向こう30年で年平均300GWの潜在市場があります。国内でも政府指針では累積で2020年に28GW, 2030年には53GWの太陽光発電を導入するとしています。2008年の世界総生産量は約

7GWですから、これを基底にEUガイドラインを達成するための条件を試算しますと、毎年、前年比109%の新規ラインを構築し、各ラインは30年生産を続け、しかも生産した太陽電池モジュールは30年以上にわたって発電を続けることが達成条件という結果になります(図4)。

現在の世界中の太陽電池メーカーの総生産能力とこの目標には大きな開きがあり、PVメーカーがこぞってこの事業展開に臨む必要がありますが、これまでのデバイス事業とは異なり企業の持続体力が不可欠であり、継続して投資できる企業力、より高いエネルギー変換効率と生産効率の追求、地産地消のグローバル生産展開などの自助努力に加えて展開先各国政府の政策や事業運営支援が必要となります。

#### (2) グリッド連係(グリッドパリティ)

太陽光発電の普及を加速するには大規模な発電所(メガソーラ)(写真1)の設置が不可欠であり、そのために

は他の電力系と円滑に繋ぐことが必須です。ひとつは出力変動、他は発電コストです。

#### ①出力変動

天気、雲の動きや温度変化など短周期で発電出力が30~40%変化します。これを短周期変動に瞬発力を発揮する電気二重層キャパシタとエネルギー密度が高く長周期電圧制御に適する二次電池、電圧制御装置とを融合させ平準化を図ります(図5, 図6)。

#### ②発電コスト

現在は40円/kWh程度を必要としますが、究極は原子力発電並の6円/kWhにすることにより電力源に区別が無くなります。

#### (3) 原子力並み発電コストの実現指針

発電コスト(円/kWh) = 初期投資(円) ÷ (発電能力(kW) × 累積発電時間(h)) で表されます。発電能力はエネルギー変換効率( $\eta$ :%), 地理的に定まる日照量(kWh/m<sup>2</sup>・時間), 発電動作時の周囲温度( $\eta$ の温度係数), インバータの効率(%), その他損失(配線, 受光面の汚れ, 逆流防止ダイオードによる損失など)に依存します。システム価格を75%, 変換効率を20%アップ, 50年稼働を実現することにより太陽光発電コストを原子力発電コスト並にできると試算されます。

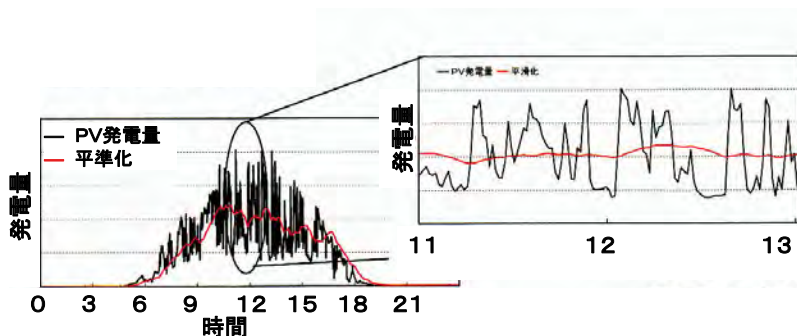


図5 蓄電装置による出力変動平準化

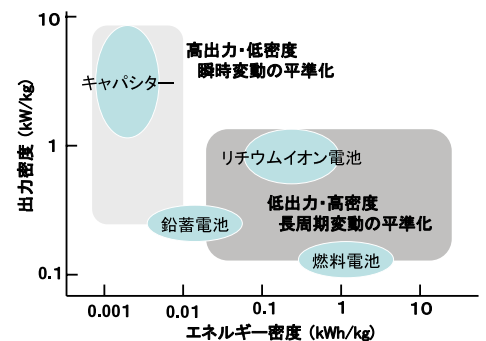


図6 蓄電装置連携における負荷平準化

### ①日照量（日照時間）

設置場所の地理的条件で決定されます。大阪、東京の年間日照時間は約1,000時間、フェニックス（米）では約1,900時間であり、同発電能力システムの場合、地理的差異で倍の発電量を得ることができます。

### ②変換効率の温度特性

薄膜系の  $\eta$  の温度係数は  $-0.3\%/^{\circ}\text{C}$ 、結晶系では  $-0.5\%/^{\circ}\text{C}$ 。標準温度では同じ発電能力を有するシステムでも、比較的温暖な地域に設置される場合には5~10%薄膜系が大きな発電量を得ることができます。

### ③累積発電時間（発電寿命）

半導体接合部は半永久、ガラス基板もイオン溶出や炭酸塩の析出を抑えることができれば化学的には半永久と推察します。封止剤、光学シートなどの高分子材料は熱分解、紫外線による劣化があり、寿命は30年程度とされていますが、架台やパワーコントローラも含め、定期的に取り替える設計により50年の発電寿命も視野に入ってきます。

### ④材料選択・調達

推定埋蔵量と、現在の市場に対する年間採掘量を基に安定調達とコストを見積もることが肝要です。Si系は潤沢、CdTe系はTeが律速し3GW、CIGS系はGa律速で20GWに年産能力限度があると筆者らは試算しています。

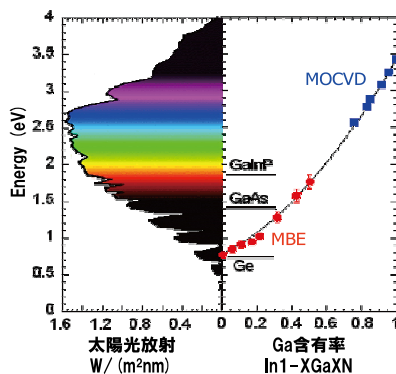


図7 太陽スペクトルとInGaNバンドギャップ

### ⑤デバイス構造

より広い範囲の波長の光を吸収できるように、異なる半導体エネルギーバンドギャップ ( $E_g$ ) を有する接合を積層した多接合型を形成できるSi系、化合物系の薄膜が高変換効率設計に適しています。最近の高度なシミュレーション技術を駆使し、材料、構造をモデル化できれば変換効率は高い精度で予言することができます。GaAs系において単接合では30%前後、多接合（34接合）では60%超と試算されます。図7はGaInPにおいて、添加するInの濃度を変えることにより  $E_g$  を選択設計できることを示しています。50%を超える多接合セルへの応用が期待できます。 $E_g$  を人為的に設計できるモデルに量子ドット型セルがあります。数ナノメートルのドットを形成、規則的かつ3次元に配列しますと伝導帯に中間的な新たなエネルギーバンドが生じます。また、入射した光の粒子ひとつに対し複数個の電子を励起するメカニズムを利用し、70%を超えるセル構造ができるという試算もあります<sup>2)3)</sup>。

### ⑥デバイス工法

前節で述べましたように、材料、セル構造から変換効率は予言することができます。理想的なセル構造が設計できるわけです。Si結晶系で28~29%、Si薄膜系で26%とされていますが、これに対し実績値は研究レベルで、結晶系が24%弱、薄膜系が12%強に留まっています。数十年にわたる高効率化へ研究開発が続けられていますが、未だこのギャップが現存しています。

結晶系においては不純物、格子欠陥、微小クラックなどの影響で電極付近で光により形成された電子と正孔が結合してしまい（再結合効果）電流として取り出せず効率低下につながっています。また外へ電気を取り出す接合部の電気抵抗が熱エネルギー

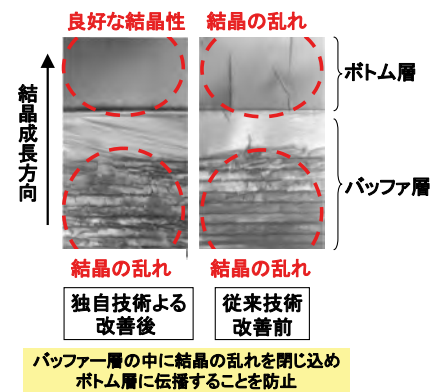


写真2 化合物多接合セルのバッファ層断面の電子顕微鏡写真

ギー損失となっています。薄膜系では成膜中やレーザによるパターン加工プロセス中に生じた欠陥や多接合界面でのバンドギャップの乱れ、各層での電流の整合性などが阻害要因となっていると考えられています。また、エピタキシャル成長させる化合物系においては構成材料原子の格子間隔（格子定数）の不整合に起因する残留応力の影響を考慮することも重要です。写真2は化合物3接合セルにおいて、異種材料間で格子定数の不整合による不具合を避けるために設けた緩和層（バッファ層）の断面拡大写真ですが、バッファ層を形成する際、独自手法により歪を開放する仕掛けを確立しました。安定した構造が高効率発現につながった一例です。この例のように今後の高変換効率への取組みの鍵は、CVDをはじめ、各種プロセス・装置、多接合構造の理想界面創生への量子ドットの適用などのプロセスブレイクス

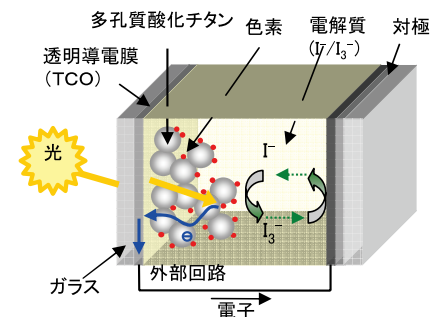


図8 色素増感型セル構造の概念図

ルーにあると見ています。

### ⑦有機系、色素増感型セルへの期待

現在、最適材料・セル構造の追求の開発段階にあります。当社は色素増感型において世界最高水準のエネルギー変換効率（小面積セルで11%強、モジュールで8%強）を達成しています（図8）。大きな基板サイズで10%超の変換効率を得ることができれば、簡易な製造プロセスを活かし、他系の半分から1/3の製造コストの実現や、材料の多様性を活かした新規高効率セル創生への期待もかかります。

## 4 総括

当社はエコポジティブカンパニー（EPC）宣言をし、新たなビジネス創造と事業構造変革の機会を設けました。

**当社にはEPCの遺伝子があります。**

- ・デバイスと製品のスパイラル開発風土
- ・3つの基幹材料（Si結晶、Si薄膜、化合物薄膜と継続進化する基幹デバイス群）
- ・太陽光発電システムとその要素技術

**当社の前途には潜在市場があります。**

- ・地球温暖化対策から広がる太陽光発電市場
- ・ITを機軸とするユビキタスネットワークとスマートグリッド

**基幹製品・デバイスを基にソフトウェアやデファクトスタンダードを企画しこの潮流に乗れば新たな事業と市場の創出が期待できます。**

- ・発電事業
- ・太陽電池生産に関するエンジニアリング事業
- ・エネルギーの見える化を核としたエネルギー管理事業（ゼロエミッ

- ・ ションハウス、ゼロエミッションビル、エコタウン、エコシティ)
- ・ これらを支える電子デバイス機器
- ・ これらを支える健康・環境機器

このような取組みをタイムリーに遂行するには従来の事業枠を超越した組織の構築と運営が不可欠となり事業構造の革新にも繋がります。

### 参考文献

- 1) Renewable Energy Scenario to 2040 by European Renewable Energy Council, 及び Wissenschaftlicherbeirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (ドイツ連邦政府地球気候変動諮問委員会) を基にシャープ作成
- 2) 岡田他：第17回科学技術交流フォーラム予稿集「高効率量子ドット太陽電池の現状」(2009)
- 3) J.Wu, W.Walukiewicz, K.M.Yu, et.al; J. Appl. Phys., 94, 6477 (2003).