

第 27 回 EU PVSEC 2012 参加報告

神鋼リサーチ (株) 大西良彦

2012 年 9 月 24 日～28 日、ドイツ・フランクフルトで開催された太陽電池に関する世界最大の国際会議「第 27 回 EU PVSEC (European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition)」に参加した。

この 1 年の間に太陽電池業界は、ドイツでの電力買取価格の大幅低減の影響で需要が激減したため、供給過剰で太陽電池価格が暴落してほとんどの PV メーカーが厳しい経営環境に置かれている。一方、米国、中国、日本の市場が活性化しており、需要地域が大きく変化しながら世界全体の導入量は増え続ける見通しである。



会場となった Messe Frankfurt

このような状況の中、今回の EU PVSEC では、発表件数は昨年と同等であったが、会議参加者は昨年に比べて 1 割強減少して 4,000 名程度となった。会議は、「新コンセプト・超高効率太陽電池」、「結晶 Si 太陽電池セルと材料技術」、「薄膜太陽電池セル」、「システムコンポーネント」、「太陽電池システム」、「電力プラント」の 6 セッションに分かれて口頭発表とポスター発表が行われた。さらに、並行して 11 のフォーラムやワークショップも同時開催された。

以下、今回の会議で特徴と思われる技術的トピックスについて報告する。

① 結晶 Si 太陽電池

結晶 Si 太陽電池の高効率化の手段は、光吸収ロス、表面・裏面やバルク結晶中でのキャリア再結合等による損失を低減するために、n 型基板の利用、裏面電極構造、ヘテロ接合構造などの技術が採用され、20%を超えるモジュール変換効率を得る道筋が業界ではほぼ共有化されてきた。

一方、これまで太陽電池の低コスト化の障害となっていたのがポリ Si 原料であったが、OCI (韓)、GCL (中)、Hemlock (米)、Wacker (独) 等の大手ポリ Si メーカーの増産設備が本格稼働して供給過剰となったため、ポリ Si 原料価格は急落した。そのため、次のコスト低減ターゲットとして、電極材料を最近価格が高騰している Ag ペーストから Cu メッキに代える動きが加速している。

imec (ベルギー) からは、Ni 下地メッキ層の上に 12 μm 厚の Cu メッキ電極を形成した後、熱処理して Ni シリサイドを形成する技術が報告された。同様の関連する報告が、複数の太陽電池メーカーからも報告され、実用化の見通しがつきつつある。

結晶シリコン太陽電池の画期的な低コスト化技術として、Solarforce (仏) からリボン状 Si を形成する技術 (RST 法: Ribbon on Sacrificial Template) の報告があった。RST 法は、グラファイトシートを溶融 Si 中を通過させてシート両面に Si を付着させたのち、1000°C でグラファイトシートを酸化除去する方法で、60~100 μm 厚の Si リボンが得られる。C 量は多い(5~9ppmw)が、金属不純物や酸素量が少なく、変換効率約 14% のセルが得られた。

また、裏面電極構造のモジュール製造工程を簡便化するために、アルミニウム電極シートをレーザー溶接で接合する技術 (AMELI: Aluminum-based Mechanical and Electrical Laser Interconnection process) が ISFH (独) から報告された。はんだや Ag を使わず、50 μm 程度の薄いセルにも利用できる技術として PR していた。

②CIGS 薄膜太陽電池

薄膜太陽電池の中では、これまで First Solar (米) の CdTe 太陽電池が主流であったが、昨年からは日本のソーラーフロンティアを中心とした CIGS 太陽電池がシェアを伸ばしている。CIGS 太陽電池の変換効率は、CdTe 太陽電池よりも高く、多結晶 Si 太陽電池に迫るところまで向上してきている。

CIGS 太陽電池の変換効率は、実験室では 20% に手が届いており、製造装置メーカーである Manz (独) の量産品モジュールの変換効率は、15% まで向上してきている。

また、これまで欧米の CIGS 太陽電池メーカーは、バッファ層に CdS を用いてきたが、環境汚染を配慮して Cd フリーのバッファ層に関する研究報告が盛んに行われている。HZB (独) は、バッファ層に In₂S₃ を用い CdS とほぼ同等の性能が得られたと報告し、Avancis (独) もドライプロセスによる In_xS_y バッファ層が実用化できると報告した。

ナノインクのリールツーリール印刷技術による CIGS 太陽電池を開発している nanosolar (米) は、第 3 世代の製品を開発しており、実験室レベルでは最高 17% の変換効率を得ている。量産化への移行には 18 ヶ月で可能とのこと。

Ga や In などの稀少金属を用いない CZTS(CuZnSnS)太陽電池についても、IBM (米) から 10% 近い変換効率が報告されて以来、盛んに研究開発が行われている。

③有機太陽電池

三菱化学がバルクヘテロ接合型有機太陽電池で 11%、Heliatek (独) や UCLA (米) がタンデムセルで 10% を超える変換効率を達成するなど、ここ数年は有機太陽電池の変換効率が著しく向上してきた。

④その他新構造太陽電池など

欧米の大学や研究機関からは、波長変換、光子トラップ、Si マイクロワイヤアレイ構造の太陽電池など、新しい発想の太陽電池の研究発表も多くみられた。研究インフラと研究者が豊富な欧州では、企業からの研究依頼が減ったので、学生に新しいテーマを与えて次のブレイクスルーを探索しているようである。

以上

27th EUPVSEC にみる EU の太陽電池導入状況

未来技術フォーラム神戸 板山克広

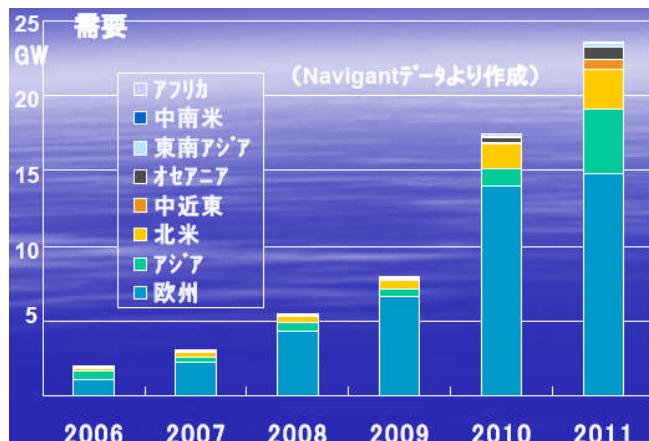
2012 年 9 月 24 日から 5 日間にわたり独・フランクフルトで開催された 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition に参加し、太陽電池(PV)の導入が進む EU における市場・業界動向ならびに PV 大量導入に伴い顕在化しつつある問題点に関する情報収集を行った。本会議及び併設の展示会は、PV の最大市場である EU での開催とあって業界最大の規模を誇ってきたが、昨今の PV 業界の苦境を反映してか参加者数(76 カ国 4024 人)、出展会社数(約 1000 社)ともに減少気味となっている。

PV モジュール製造における中国の一人勝ちが鮮明化した現在、会議の内容も、薔薇色の将来に向けて足下の苦境を如何に克服するか、という昨年までの議論から、PV が大量に導入されるエネルギー社会の合理的なシステムが何なのか、に関心が移ってきているように感じた。技術発表に並行して 4 日間に亘り行われた専門部会の議論を中心にその概要を紹介する。

1. PV システム設置市場： 2011 年の PV モジュールの出荷は 24.4GW と前年(17.7GW)を大きく上回り、PV システム能力は世界累計で 63GW となった。2011 年の特徴は、EU が 60% 以上のシェアを保ったものの導入の伸びがストップし、アジア(4.3GW)、北米(2.6GW)市場が急伸した

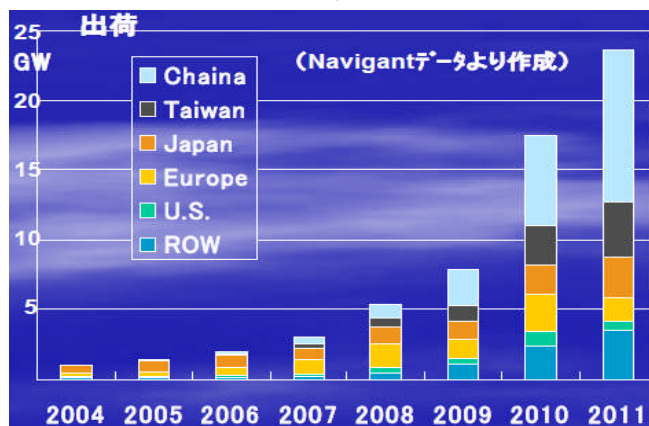
ことにある。EPIA の予測によると、累積設置量が 350GW となる 2020 年には EU、アジア、北米がそれぞれ 41%、30%、21%と市場を 3 分すると見られており、まさにその **3 極市場形成へ踏み出す年**となった。アジアを牽引するのは本格的な FIT 制度がスタートした日本と中国で、2012 年もそれぞれ >2GW、>3GW のシステム導入が見込まれている。

日本では、8 月末現在で既に新規



PV システムの需要、出荷推移

導入量が 1GW を超えているが、その 55%以上を 1MW 超えのメガソーラが占め、7 月の新 FIT の発行により、90%以上が住宅ルーフトップであったこれまでの市場構成が大きく変わった。中国も第 12 期 5 年計画で開発地域、無電源地域での分差型メガソーラの導入に注力しており、累積量で 2015 年 21GW、2020 年 50GW の目標達成に向け順調な市場成長が期待されている。一方、



欧州はドイツ、イタリアが大きく減速するものの、全体では本来 21GW/年の導入ポテンシャルがあると見られており、10~15GW/年の安定した市場を保持していくと期待されている。

2. PV 産業の構造変化：順調な成長を続ける PV モジュール市場にあつて薄膜タイプは 4GW/年に迫りつつあるものの、その構成は Cd-Te の First Solar と CIGS の Solar Frontier の 2 社が 70%を占め、今後の大きな伸びは予想されていない。結晶 Si 系のシェアが 2013 年には 90%以上に達すると見られているが、2012 年の特徴は、その中でもこれまで 90%近くを占めてきた安価な標準タイプから高変換効率セルへの転換が進み、そのシェアを 30%程度まで増やすと見られていることである。設備投資もこれまで装置市場の成長を支えてきた Tier2 メーカーの業績悪化により 2012 年には前年の 1/3 へと急激に落ち込み、中国 Tier1 メーカーの投資もセル高性能化に絞り込む状況となっている。

この状況変化の最大の要因は留まるところを知らないモジュール価格の低下である。中国・台湾のセル・モジュールメーカーは需要を上回る 30GW 以上の製造能力を有し、各種調査会社の分析によると操業度維持とシェア確保のために 70%以上の稼働を続け、在庫が 10GW 前後まで積み上がる状況が続いている。\$0.7/W という超低価格での在庫処分に引き摺られ、モジュール価格は前年の \$1.4/W から現状 \$0.98/W へと急落している。このため、最近報道されているように最も競争力のある中国 Tier1 メーカーでさえ粗利が一桁台前半となり**経常赤字の状況に陥った**。セル・モジュールメーカーの状況は更に悲惨で、粗利も出ない状況となっている。この採算を度外視した異常なモジュール価格低下は PV 市場拡大の大きな駆動力である反面、米国、EU での貿易摩擦を引き起こすなど「**不健全な産業**」の原因となっている。中国科学院は、その報告の中で 50%以上の中国メーカーが今後破綻すると予想している。有望な国内市場を持

つとは言え国際競争に晒される日本メーカーにとっても、PV 産業がどう変わっていくか、重要な局面となっている。なお設置工事を含めたシステム価格は、欧米ではモジュールと同様な率での下げを示しているが(例えばドイツでは\$2.6/W)、日本の住宅用ルーフトップでは\$6.3/W とこの3年間で5%程度しか価格は下がっていない。この日本の特殊な市場状況は、異常に高い買取価格とともに欧米から奇異の目でみられている。日本での PV 市場・産業発展にとっての功罪が気になるところである。

3. EU の PV 産業の状況: 前述のように、EU は～70%と依然高い市場シェアを占めているが、モジュール製造シェアは5%まで落ち込み、産業界の一部から、モジュール製造で60%のシェアを有する中国メーカーに奉仕するだけ、との声も聞こえた。一方、EPIA より原料～システム施工のサプライチェーン全体におけるコスト分析結果が報告されたが、それによるとシステム価格€2.30/W の65%に相当する€1.50/W が EU 企業の付加価値となっている。PV は上流の原料とモジュール以降の下流の採算性がよく中間が苛められる典型的な”スマイルカーブ”型の産業。特に BOS(Balance of System)以降の下流で70%以上のシェアを有する EU にとって、PV 市場の成長は EU にとって今後も極めて重要との認識が示された。後述するように、今後、大量の再生可能エネルギーを社会システムへ組み込むための多くのビジネスがさらに生まれてくる可能性も高い。セル・モジュールメーカーの苦境が伝えられる EU であるが、その関心の方向がスマートグリッドも含め周辺のシステム関連のソフト・ハードにシフトしつつあるように感じた。

4. ドイツの FIT 制度とグリッドパリティ達成状況: 本年8月末段階で、ドイツの PV 累積量は30GW となり、ピーク能力で原発(13GW)、天然ガス(26GW)を超えた。世界をリードするドイツの PV 導入を可能にしたのは、精緻に設計された FIT 制度と言われる。過度なインセンティブは、スペイン、イタリアなどに見られるように、投資バブルを抑えるために政策変更を突然行うなど、不安定な投資環境をもたらす。ドイツでは発電規模毎に IRR(内部収益率)が8%近傍となるよう、半年毎に PV システムの価格低下、導入量実績に応じた FIT 買取価格の見直しを行っている。一方で、近年の急激なシステム価格低下により、PV の LCOE(発電コスト=システム導入コストの現在価値)も下がり、2012年には平均の家庭用電気料金€ct26/kWh を25%以上も下回り、その差は2015年には50%にまで開くと見られている。

PV 電力発生コストが既存電力と等価になる所謂グリッドパリティがドイツでは既に家庭用で達成されたことになるが、より日照条件の良いスペイン、イタリア、ポルトガルでも同様に家庭用で達成されている。Q-Cells の報告では、2013年には EU 全体で住宅用電力市場の41%が、そして低電気料金の産業用でも28%がグリッドパリティを達成すると予測している。このような状況を受け、また後述するような受入れグリッド側の問題点の出現も受けてか、ドイツでは本年4月にドラスティックな見直しが行われ、30kW以下の小規模用で€ct18.5/kWh、メガワラで€ct12.8/kWhまで買取価格が下がり、その結果、IRRは6%以下となった。今後、FIT 買取制度を抛り所とした PV 投資活動は鎮静化していくことも予想される。

5. 適正な PV 電力の価格とは: ドイツを始め EU の多くの国では、PV 発生電力を電力網が全量受け入れた上で使用電力から差引く、所謂ネットメタリング方式がとられている。しかし PV 電力コストが電気料金と FIT 買取価格を大幅に下回るという状況では、PV 電力をできる限り自己消費するほうが得となり、これからは FIT 依存から自己消費による電気代削減の時代へ移っていくことが予想されるが、これに対して以下のような問題が懸念されている。

- ① 自己消費増によりグリッド経由の電力使用が減り税収入減少となる
- ② PV 電力増によるグリッド安定化コスト増大を非 PV 電力(消費者全体)が負担する
ドイツの平均的な家庭では PV による発電量のうち自己消費可能な比率は30%程度で、

残りを電力会社に売ることになるが、現状、余剰電力の FIT 買取価格には税、グリッドコストが考慮されていない、言わば優遇価格となっている。ドイツの家庭用電気料金は 2009 年～2012 年の 3 年間で €ct2.5/kWh (約 10%) 上がっているが、この間、発・送電価格分は €ct14/kWh で変わらず、上昇分は上乘せされる税、再生エネルギー促進費用 (EEG 等) によるものである。電気料金のこれ以上の値上がりに対する抵抗は大きく、実力をつけた PV 電力に応分のコスト負担を求める議論が始まっている。シェールガスの出現など、既存電力の価格推移には今後の推移を見通せない部分もあり、PV が火力等の既存電力源との競争力を有する真の意味でのグリッドポリシーの実現には、まだ時間が必要との意見が EPIA より出された。

6. PV 導入先進国ドイツが抱える課題： 前述のように PV が全発電能力の～20%のピーク能力を占めるにいたったドイツでは、大きな問題に直面しつつある。本年 5 月 26 日(快晴、無風)、昼間の電力使用ピーク時に使用電力 55GW に対して PV 供給だけで 21GW(38%)、風力と合わせると 23GW(43%)に達した。発電システム数は 100 万箇所を越えるが、日照条件の良い南部に集中し、一部地域では PV 密度が 200kW/km²を越えている。ドイツ全土は大きくは 4 系統の送電システムにより運用されているが、その一つでこの高 PV 密度地域を抱える Tennet は前述の 5 月 26 日に受入れ電力が使用電力を上回る“negative Load”の状況となった。サブステーション単位で見ると、このような逆潮流の発生が頻発しており、グリッドの電圧、周波数が不安定となる危機的状況が心配されている。

このようにグリッドの強化は喫緊の課題となっている。導入の先行する風力は風況の良い北部に集中するため、2009 年の“Power Grid Expansion Act”で南北 1834km の幹線強化が決定したが、未だ 214km しか完成せず、EON ネットでは送電容量不足で 2012 年 1Q に 257 回もの風力発電停止が発生した。余剰電力対策として北欧の揚水による大規模蓄電も今後必須となるが、幹線強化にはコストだけでなくスピードも問題となる。ドイツの PV 導入の特徴は 100kW 以下のシステムが多いことで、75%のシステムが 400V 低圧ラインに接続されている。このため発電現地～大規模ステーションの各レベルでの機能強化が必要となる。PV52GW、風力 36GW を前提とした Fraunhofer の第一次試算によると、中圧ライン 14 万 km(+28%)、低圧ライン 24 万 km(+22%)、変圧器 30GVA の増強が必要で、そのための投資額は €21～27billion にのぼる。

一方で、グリッドへの負担を軽減するために如何に自己消費比率を高めるかの議論が盛んになっている。μグリッドによる地域でのエネルギー・電力の有効活用も検討されているが、蓄電が不可欠との認識である。LIB メカを持たない EU の特殊性か家庭への二次電池導入の声は聞こえない(まだ極めて高価との認識)。EU では電気の熱エネルギー(～35%)、機械エネルギー(～40%)利用が多く、直接的蓄電より CHP(Combined Heat and Power)、圧縮空気などによる蓄電が議論の中心となっている(CHP 促進法が 2010 年に施行)。

PV、風力等の自然エネルギー由来の電力シェアがここまで高まると、PV 電力受入れを義務化されている電力会社の気象条件によるベース負荷変動が極めて大きくなる。電力取引が自由化されているドイツでは、時間単位での電力調達に向けて精緻な発電能力予測が求められる。サライトデータ、日照実測データ、PV システムデータ、各種予測モデルなどを組合わせて予測する新たなサービス事業も始まっている。これに対して電力不足が背景となる日本と異なり、むしろ余剰電力処理が課題となる EU ではデマンドレスポンス、スマートハウスなどの言葉はあまり出てこない。

7. まとめ：中国メカの台頭・市場席捲により EU における PV 業界は大きく変わろうとしている。EU の再生可能エネルギー(RE)推進の方向に揺るぎはないが、これからは如何に大量

の RE を低コストで効率よく社会に取込むかが重要となってくる。そこには多くの政策課題と技術課題があるが、それはとりもなおさず新ビジネスの宝庫ともなっている。新エネルギー基本計画がスタートする我が国も、早ければ 5 年程で今回紹介したと同様な問題に直面することとなる。今後とも、EU 特にドイツの動向を注視していくことが重要である。

以上