

## Intersolar EU 2014

未来技術フォーラム神戸 板山克廣

2014年6月2日から5日間にわたり独・ミュンヘンで開催された Intersolar Europe の展示会並びにコンファレンスに参加し、世界とドイツにおける PV 及びその補完技術としてのエネルギー貯蔵に関する市場・業界動向を調査した。PV 業界最大規模を誇る展示会であるが、EU の PV 産業の苦戦を反映してか、出展 48 か国 1,100 社、入場者約 4 万人、といずれも昨年より 20%減少している。本年の特徴は、変動型再生可能エネルギー(VRE)の大量導入で問題となる電力システムの安定化の手段として、そして FIT 買取価格急落に対抗する PV 電力の自己消費化の有力手法として注目される蓄電システム(Electric energy storing system: EES あるいは ESS)関連技術の比率が大幅に増えたことにある。展示会場も PV とほぼ同規模のスペースを EES 関連で占めていた。PV システム新設の市場が大きく落ち込み、その関心が大量に導入された PV を有効に使いこなす為のエネルギー管理システム(EMS)に移ってきた EU の状況を如実に示していた。

昨年までは欧州のモジュールメカ、セル製造装置メカの展示が人目を惹いていたが、今回は EU 企業では Solar World、Q-Cells(親元の Hanwha とは別スペースで独自展示)が目につく程度で、中国、韓国の企業の元気さが際立った。薄膜系 PV の展示も少なかったが、Cd-Te の First Solar が薄膜モジュールで最高の変換効率 17%(セル変換効率では 20.4%)のモジュールを、そして Solar Frontier も CIS モジュールを展示して人気を集めていた。一方で、ABB、Bosch、SMA、KACO 等の大手電機メカが、挙って EES を組み込んだ EMS を展示していた。蓄電池メカの EES 出展も盛況(鉛系、LI 系が半々か)。FIMM の NaNiCl 系、EOS の Zn めっき電極電池、Oxis の Li-S 電池などの新型電池もそれぞれの特徴を活かして実用化が進められているようである。この他、PV パネルのメンテナンス器具、気象予測ウェブサービス、EMS シミュレータ、パネル廃棄・リサイクルサービスなどサービス事業の出展も多い。新設 PV 市場が停滞したとはいえ、EU における PV の存在感の大きさとその裾野の広さを実感させる展示会であった。

併設されたコンファレンスにおいても、2 年ほど前までの PV システムに関する新技術、成長戦略に関する議論は姿を消し、むしろ EES との組合せで如何に市場規模を維持するかできるかに焦点が集まっていた。再生可能エネルギー(RE)の導入が急速に進み、これからは従来のような導入促進の為の優遇政策が期待でない現在、RE がその存在基盤を自力で探る時代に入ったと言える。それらの話題を中心にコンファレンスでの議論の概要を以下に紹介する。

### 1. 世界の再生可能エネルギー(RE)の導入状況

世界の 500 機関が参加する情報ネットワーク REN21 より、2013 年の RE 普及状況に関する調査結果を纏めた”Status Report 2014”の紹介があった。世界の全発電量に対する RE 比率は 22.1%。その内訳は水力 16.4%、風力 2.9%、バイオパワー 1.8%、PV 0.7%となっている。主力となる水力発電は 40GW/a のペースで増強され累積 1TW に達しており、そのシェアトップは 26%の中国。中国は PV、風力、太陽熱でも年間導入量のトップとなっており(人口当たりの数値では大きく順位を下げるが)、世界の RE を牽引していると言える。

2013 年の特徴は PV の急伸で、年間導入量 39GW は RE 新規導入量の 1/3 を占め(累積 139GW)、初めて風力の 35GW(累積 318GW)を抜き主役に躍り出たこと。そして先行するドイツ等の EU 諸国に累積導入量こそ上位を譲るが、中国、日本、米国が急速に年間導入量を伸ばし、累積量でもそれぞれ 2 位、4 位、5 位に浮上した(因みに 1 位ドイツ、3 位イタリア)。今後もアジア、北米、中東/アフリカという EU 以外の新規市場が世界 PV 市場の成長を牽引すると見ている。一方、停滞気味の風力であるが、2013 年に 31 か所(1.6GW)の洋上風力が出現。

新しい方向として今後の風力の復活に期待している。また、スペインと米国に限定されていた CSP（集光型：累積 3.4GW）も、新たに UAE、インド、中国での大型プロジェクトが始動し今後が期待できるとしている。

## 2. 世界の PV システム市場の動き

EU が前年比▲20%(17.7GW)と大きく減少したにも拘らず、2013 年の世界の PV 導入量は 38GW と前年比+28%の成長をみた(2012 年はゼロ成長)。これは前述のように中、日、米の新規市場の立ち上がりによるものであるが、新規市場が支えて成長するこの傾向は今後 5 年間変わらないと EPIA は予想する。EU 市場が 10GW 前後に停滞する一方、世界市場は年率 5~10%の安定成長を行い 2017 年には 50GW 規模になるとみる。本会議で中東、インド、ブラジル、アフリカなど他の新興国市場の紹介もあったが、いずれもその規模が世界市場に及ぶすべからずは当面限られている。中、米、日が PV 市場を支える構造は暫く変わらない。

CALSEIA(カリフォルニア太陽エネルギー産業協会)が米国 PV 市場の~50%を占めるカリフォルニア州の状況を紹介。住民、政治家の環境意識が高いカリフォルニアではあるが、2013 年の導入量 2.7GW を支えるのは電力会社に対する RPS(Renewable Portfolio Standard)とルーフトップ用の余剰電力買取(Net-metering)そして CSI ファントによる融資という PV 導入促進政策である。2015 年における RE 発電量 33%の義務化により、メガソーラーの新設は 2GW、そしてルーフトップ新設も 700MW と 2013 年だけで PV 発電能力は倍増した。今後の課題は、2017 年以降に予想されるメガソーラー新設の急減とルーフトップ市場拡大の頭打ちへの対策で、現状の大ロケータとの電気料金格差 2.7 倍(\$0.34/kWh)を 1.6 倍(\$0.25/kWh)に縮めることを可能にする新たな買取制度、あるいはゼロエネルギーハウス推進制度の導入などが必要としている。

もう一つ急成長市場である日本の状況については RTS が報告。2013 年の PV 導入量は前年の 4 倍に当たる 6.9GW(出荷量は 7.7GW)と激増したが、市場構造も大きく変化。両者併せて 20%程度に過ぎなかった電力用、商工用がそれぞれ 20%と 55%に比率を上げ、80%を占めていた住宅用は 1.5GW と量を伸ばしたものの比率は 25%に低下。その結果、32%であった比較的安価な海外品比率が 54%と高価格の国産品を凌駕。住宅用システム設置価格も一年間で 20%低下し、平均¥409/W と欧州の価格に近づいた。国内メカが製造能力増強に慎重なのに対し、中、韓、台などの海外メカは積極的な販売計画を掲げ攻勢を更に強めている。本会議でも Trina Solar が日本市場参入策を紹介。面積当たり出力、重量、外観を重視するルーフトップ市場の特殊性を踏まえて、どの品質レベルのパネルをどの価格で提供すれば受け入れられるかの検討結果を報告した。

現在ブームに沸く国内市場であるが、今後について RTS は慎重な見方をしている。ブームを支えるのは云うまでもなく 2012 年に導入された FIT 買取制度であるが、報道されているように 2013 年末までに認可された 28.4GW のうち稼働にこぎつけたのは 6.8GW。特にメガソーラーが 15GW 中僅か 2GW とその遅れが目立っている。経産省が 400KW 以上のプロジェクト 13.3GW について進捗調査を行ったところ、土地契約、電力会社との接続交渉、機器発注に未着手の案件が多数に上ることが判明。認可条件を厳格化するとともに(認可/接続契約の半年後以内に建設に着手)、年内に既認可案件の見直しも行う。RTS は認可取り消しが 5~6GW に上ると予想している。さらに更なる買取価格引き下げも行われる予定で、市場規模は 2014 年をピークに 3~5GW 程度に縮小するとの予測を披露した。

## 3. ドイツの Energie Wende (Energy Transition) の行方

先に述べた世界 PV 市場の成長継続の前提は、EU 市場規模の 10GW レベルでの維持

であり、そこで今後も市場を牽引する筈のドイツ市場の動きが鍵となる。BSW(ドイツ太陽光工業会)によると、ドイツ市場は2012年7.6GW、2013年3.3GWそして2014年予測は2GW程度と急激に縮小している。例えば300KW以上の大型システムにおいて、この一年間でシステム価格が26.3%下がった。一方、FIT買取価格は45.8%も低下により事業性が大きく悪化し、新設量を59%減らしている。この減少傾向はガソラーにおいてもっと顕著になっている。一方、Fraunhofer ISEによると10kW以下の住宅用ルーフトップでは、買取価格が~€17ct/kWhと42.4%下がったものの、PV発電コストが€13.4ct/kWhにまで下がり、電気小売価格€29.2ct/kWhに対する優位性が高まったとしている。この為、自己消費目的でのPV導入の魅力が増しており、新設量の落ち込みは12%に留まっている。しかしながらこの住宅用市場は現状600MW程度の規模であり、果たしてEUの10GW市場を支えるに十分かは問題である。

シクタクのAgoraによると、ドイツにおける原発の発電量比率は現状15.4%(2000年から半減!)。これに対しREは25.3%にまでその比率を増加させてきた。2020年初頭の全原発停止が実現するならば、そのかなりの部分をREで代替し、その比率を45%以上まで上げる必要がある。水力発電の新設が難しい現実を踏まえると、風力とPVの能力を少なくとも倍増させることとなる。問題は30%に迫る気まぐれなVREを電力システムが吸収し得るか、そしてVREに依存する電力システムに経済合理性があるかに集約される。前者については、電力網の大幅強化とVREの電力システム協調型の運営により、特に新たな蓄電システムを考えなくともVREを70%まで吸収可能とAgoraは主張する。PVの発電コストは日照条件に大きく依存するため、ドイツでも南北で€7.5~9.2ct/kWhの差があり、南欧では€5.7~6.6ct/kWhと更にコストが低い。だが輸送コストに€2.7~3.7ct/kWh掛りかえって割高となるため国内の電力網増強の方が有益とする。しかしながら送電線新設には環境問題からの環境派の反対が強く、また「電力システムにやさしいVRE運用」についてもその市場メカニズムと経済合理性はまだよく見えていない。

同じシクタクのPrognosは、2020年代の姿として、原発新設よりもVREと「ガス火力の組み合わせ」の方が経済的であると主張する。原発あるいはPV+風力で電力需要の50%、そして需給ギャップ変動を調整するためのガス火力で残りの50%を賄うケース(最大需要1.3GW、年間消費量8.76GWh)の発電システムの導入コストを比較。後者のVRE型システムの能力は~4GWと原発型の2.7倍必要となるが、導入コストは~€680Mと逆に21%低い(原発新設コストは2017年稼働の英国のものを採用)。しかしながらこの発電システムでのガス火力の出力は0~100%の間で変動。計画運用も容易ではなく(誰がこのような経営的に不安定な役割を担うか?)、実際にはより現実的な電源構成となるであろうが、これが脱原発の主要な論拠となっている。

いずれにしてもCO2削減、省エネ、原子力からREへの移行という流れは、社会を支える電力システムの形を根底から変える可能性があり、それをドイツは「Energie Wende」という言葉で表現している。解決策の不透明な多くの困難、課題が存在するが、それらに果敢に挑み世界をリードする、との意気込みと自信を多くのドイツからの発表に感じた。

#### 4. 電力貯蔵システム(EES)の将来性

##### (1) ドイツの現状

出力変動の大きいVREの比率がEUの現行状況通りに大きく上昇するとすれば、電力システムの安定性を保つためにある程度の蓄電機能の保有が不可避となろう。昨年のIntersolarの報告でも紹介したように、一般家庭でのエネルギー消費の90%近くが熱エネルギーであるドイツにおいては、電気→熱の変換による熱エネルギー貯蔵あるいは水素、メタンのようなガス貯

蔵(Poser to Gas)が有力候補技術となっている。一方で、支払電気料金低減へのニーズの高い一般住宅では、PV 発電の自己消費最大化(60%以上へ)に関心が高く、その有力手段として蓄電池とヒートポンプ(蓄熱)に対する期待が大きい。通常は家庭での PV 発電の自己消費率は精々30%で、残りは安い FIT 価格で電力会社に売り渡し、逆に高い電気代を払っている。

BSW も今後の PV 導入促進の柱としたい住宅用システムの普及加速のためのキは EES と捉えているが、問題は導入コスト。BSW の価格モダリングによると、10kWh 規模の EES コストはリチウムイオンタイプ (LIB) で平均€2.145/kWh、鉛タイプで€1.711/kWh。PV との組合せによるグリッドパリティ(購入電気料金と等価)の実現は、早くとも 2016 年以降とみている(各種の電気料金優遇のある中・大規模の商業施設、工場ではそのメリットは更に後退する)。現状では、EES の設置コストが PV のそれを上回り、EES コストの約 50%を占める蓄電池価格の大幅な低減が求められている。EU 委員会は蓄電池開発への取り組みの遅れを挽回するために、電池寿命 4000 サイクル、エネルギー密度 250Wh/kg、低コスト化を目標とする”Horizon 2020”プロジェクトをスタートさせた。また、ドイツは予算規模€50M の補助金(システム価格の 30%が上限)と融資を合わせた KfW サポートプログラムを 2013 年に開始。しかし魅力に乏しいようで、利用率は低迷し、BSW はそのスキームの改善を求めている。

これに対して BPT-S ハイブリッドと称する EES を既に商品化している Bosch は現状でも既に EES の経済性はあると主張する。そのポイントは EES の品質で、エネルギー効率劣化の抑制と寿命 20 年への耐久性向上により、ROI8.6%、損益分岐到達 7 年、資金回収 7 年が可能とする。また CalBatt は充放電効率を通常の 80%から 92%まで上げる MEPT(Maximum Efficiency Point Tracing)により、EES のエネルギー効率を 15%改善し収益性を 60%向上できるとする。更に Fraunhofer ISE は、自己消費に加えて家庭用 EES を 100 軒以上集約して電力システム安定化のための 1 次調整電源(Primary Reserve)として利用することで回収額を 4 倍程度に増やせると提案している。これらの数値がユーザを満足させるに十分なものは不明だが、EES 普及に向け多方面からの検討と挑戦が行われているのが現状と言える。

## (2) EES の市場予測

蓄電池普及の業界団体 Eurobat によると、2013 年の世界 EES 導入量は 164MW。その 60%が蓄電池式で鉛電池と LIB がそれをほぼ 2 分する。国別では電力会社用をメインとする米国が 75%と圧倒的に多く、それに中国、ドイツ、カナダ、日本が続く。調査会社 IHS は今後、日本、ドイツ、カリフォルニアで住宅用の EES が急成長し、2018 年には 1GWh 市場を形成、そしてその累積量は 3GWh を超えると予測する。これに対して慎重な見方で知られる Navigant は EES 全体の累積量で 2018 年 3GWh とみる。ドイツについては 2017 年までに 5 万システム年の PV-EES システム市場が形成されると BSW は期待している。

成長期待の高い日本市場について、ドックスフロー電池での展開を図る住友電工が紹介。2014 年まではエネルギー貯蔵目的の電力会社向け EES がほぼ 100%で、累積で 1GWh/300MW レベルであるが、今後は電力ユーザサイトのエネルギー貯蔵目的での導入が大きく進み、電力会社のパワー目的の導入も加わって、2020 年の累積量は 6GWh/1.6GW になると予測する。新設分の導入先は住宅用、商工業用、電力会社用がそれぞれ 1/3 を占めるとみている。

EES 用の電池としては、Li 系が有力だが鉛系、Ni 系、Na 系、ドックスフローもコスト、寿命、エネルギー密度、充放電特性などのそれぞれの特徴を活かして共存する、との見方が多くの調査会社で共通している。冒頭に紹介したように展示会を見る限りにおいては、製造メカが多さのためか LIB と鉛蓄電池を組み込んだ EES の展示が圧倒的に多い。LIB で遅れた EU では NaNiCl 系などの新型電池への期待も大きいように感ずるが、プレーヤーの少なさ

が弱みとなっている。

### (3) 回収・リサイクル

EES 市場の開花はこれからではあるが、ドイツではアフター市場の準備も始まっている。ドイツ電気・電子工業会傘下の NPO)GRS Batterie は 17,000 の回収ポイントで 14,800 t/年の電池の回収(回収率 45.2%)を行っているが、Li 系などの高エネルギー電池の出荷量が 50%を超える時代となり、近年、回収ポイントでのあるいは搬送中の火災事故が多発している。今後、より危険な定置型の電池や損傷を受けた電池の回収が出てくるため危険性は増大する。また 30%程度の性能劣化で寿命を迎える電気ハイブリッド自動車用の電池はその 2 次利用に向けた回収・再生が必要となる。そこで同社は訓練された認定ポイントでの回収、危険度に応じた搬送、分別・解体・再生のサービスを本年 8 月にスタートさせる。回収は無料で費用は製造・流通業者が扱い高に応じて負担する。

使用済み 2 次電池の再利用の例を WEMAG が紹介。同社は従業員数 560 名ほどの RE 系発電事業者であるが、自社用に 5MWh の電力調整用 EES を製造している。電池は Pedelec(電動自転車)で 1 シーズン使用したものを採用。欧州で人気の Pedelec の生産台数は 2012 年 40 万台で 10 万台/年ペースでの増加が見込まれている。家庭向けにも 16 個の Pedelec 用バッテリーモジュールを組み込んだ EES を商品化した。仕様は Max 容量 5kWh(min.2.5kWh 保証、6.2kWh への拡張可)、充電入力 1.7kW、放電出力 4.2kW、非常電源機能搭載。具体的な数値の紹介はなかったが、2 次利用電池の利用により価格はかなり安く設定できたとのことである。

### 5. ドイツのセル・モジュールメーカーの動き

ドイツの PV セル・モジュールメーカーが目指すべき方向について Fraunhofer ISE、Solar World、Q-Cells の間で議論が戦わされた。Fraunhofer は、火力等の他の電源に対する PV の競争力は既に確立し、増大し続ける世界の電力市場のなかで PV は高いレベルでの成長を継続するとの認識を示す。需給バランスの崩れと中国メーカーの低価格攻勢による行き過ぎた価格低下も落ち着き、数年は価格水準の現状レベル維持が見込まれること、そしてこれからはモジュール変換効率>20%を目指した品質競争(n 型高変換効率セルへの移行)の時代に入るとして、今は撤退・縮小を考える時ではなく、ドイツメーカーの技術資産と産業インフラを活用して攻勢に出るべきと激を飛ばす。その手段として、中国メーカーに対抗するコスト競争力を得るための”Gigawatt-Factory”の建設に国を挙げて取り組むべきと提案している。

これに対してメーカー側は、モジュール市場である PV は安価な P 型 Si が当面主流であり続け、N 型への本格移行は 5 年以上先とみる。現状では P 型多結晶 Si の高性能化が目覚ましく、むしろそのシェアを 5 年前の 40%から 66%に伸ばしている。Hanwha 傘下で再スタートした Q-Cells は、P 型多結晶モジュールでは世界最高性能となる変換効率 18.1%(セル変換効率は 18.8%)の Q.ANTUM を商品化。単結晶を使えば 20.2%セル変換効率が得られるという。彼らは N 型には 5 年間目を向けないと明言し、聴衆のどよめきを誘っていた。

PERC セルの実生産を世界で最初に始め、セル生産能力 1.36GW、モジュール生産能力 1.11GW(出荷 0.58GW)と健闘しているドイツの Solar World。出力 255W の”Sunmodule Protect”を昨年末に発売したが、両面ガラスとすることで経年劣化を 0.35%/a と半減して 30 年保証を実現し、LCOE(発電コスト)を 20%低減できるとしている。更に変換効率 20%以上(モジュール出力 280~305W 相当)の P 型 PERC セルの開発にも成功しており、将来的には 22.5%までの性能向上が可能とのことである。彼らも Al-BASF タイプから PERC タイプに切り替わることで P 型の性能改善は進み、その優位は 2020 年頃まで続くとみている。

右表は 2000 年と 2013 年の標準的な P 型多結晶 Si セル・モジュール製造技術並びに性能を比較したものである。この 13 年間で出力当たりの価格は 1/6 にまで低減している。これは性能向上とともに材料費低減、プロセス改善による低コスト化が急速に進んだ為だが、前述の高性能化とともに低コスト化の余地も未だ大きく、過去の学習曲線に沿ったモジュールの低価格化は今後も可能としている。その一例として新技術”Co-Extrusion Printing”が紹介された。これは電極印刷技術として主流のスクリーン印刷の改良技術。セル材料コストの半分を占めると言われる Ag 使用量の大幅低減を狙ったもので、フィンガー電極幅 $\sim 30\mu\text{m}$ (アスペクト比 0.55)を可能にする。これにより Ag 消費量は 25mg と半減し、同時に受光面積増大による変換効率+0.3%の上積みが可能という。市販の印刷機の使用が可能でスループットも損なわない。Ag 消費量の低減は薄ウエハ化と並ぶセル製造コスト低減の最大の課題であり、本技術実用化の成否は極めて大きなインパクトを与える可能性がある。

コスト・技術要素	2000年	2013年
ウエハ厚( $\mu\text{m}$ )	330	180
シート抵抗	45	100
上面Agペースト(mg)	200	130
フィンガー電極幅( $\mu\text{m}$ )	150	70
セル変換効率(%)	14.5	17.6
モジュール効率(%)	12.2	15.1
スループット(pc/h)	500	3000-3600
モジュール価格(\$/Wp)	4.50	0.75

以上