

《目次》

Solar Summit 2013	1~6 p	第 54 回電池討論会	7~9 p
FSRU 2013	10~12 p	蠟梅 Now	13 p

Solar Summit 2013 & FVEE 2013 : ドイツの電力事情と PV 産業復興策

未来技術フォーラム神戸 板山克廣

2013 年 10 月 23 日から 3 日間にわたり独・フライブルグで開催された Solar Summit 2013、FVEE 年次報告会に参加した。再生可能エネルギー(RE)の導入が進む EU では、その発電量シェア(水力を含む)が 2013 年時点で原子力を上回る 26%となり、今後さらに太陽光発電(PV)、風力を中心にその能力を増強し、2030 年には 45%まで高めることを目標としている。なかでもドイツでは、PV 単独で 5.3%(風力は 8.7%)に達し、これを 15%にまで高める 2030 年目標を掲げている。自然エネルギー由来の変動電源比率の増大は、買取制度による電気料金の高騰のほかにも安定な電力供給を維持する上で多くの問題を生じさせている。

また、PV 関連産業の需給構造においても大きな変化が起こりつつある。中国メカの能力増強、EU 市場の伸び低下により、PV 関連市場は各製品段階で需給ギャップの拡大に伴う急激な価格低下が起こり、有力な欧米系メカが苦境に陥っている。一方で、アジア、米国を中心とした新規市場の本格的立ち上がり、そして経営環境悪化による設備増強競争の鎮静化と企業淘汰の進展により、2014 年を転換点とする新たな成長ステージの始まりも期待されている。

このような状況において、RE 導入先進国であり、そして世界 PV 産業をリードしてきたドイツの行政・企業がどのように対応しようとしているのか、エネルギー構造改革が急務とされ、本格的な RE 導入促進へと舵を切った日本にとって参考になる点が多いと考えられる。上記会議で行われた発表の概要を以下に報告する。

1. Solar Summit 2013 の概要

本会議は、以前 Freiburg にて行われていた Inter Solar Europe が規模の増大に伴いミュンヘンでの開催が変わったことにより、その代替として新たに始まったもので、政策・産業論的な議論に焦点が絞られている。参加者は 125 名と小規模ではあるが国際会議の位置づけ。公式言語は英語であるが、ドイツ国内の研究機関(99 名)を中心に EU 域内からの参加者が 90%を占めている。因みにアジアからの参加は、中国、韓国、インド、日本から各 1 名。当然、話題も EU、特にドイツからの視点の内容がメインとなっている。

1-1. Multi-gigawatt PV Factory の提案

2012 年の PV システム世界市場は 31.1GW と 10%以上の伸びを確保したものの、急激に供給能力を増強した中国メカによる低価格攻勢により、例えばドイツ市場のシステム価格が 2012 年の 1 年間に 22.5%下落するなど、金額ベースでの市場規模は縮小し、破綻に追い込まれた Qセルズ、Suntech だけに留まらず全てのセル・モジュールメカの経営状況が悪化するという異常な市場環境となっている。しかしながら設備増強競争の一段落、中国の Tier2、3 メカを中心とした市場淘汰の進行、中国・日本・米国を中心とする新規市場の急激な立ち上がりにより、2013 年には需給ギャップの縮小による価格の下げ止まりが見られるようになった。そして新規需

要が 50GW 越えとなる 2015 年には、むしろ供給タイプの状況も予想されるとしている。

新たな PV 産業飛躍のステージに向けて EU の PV 産業復興のシナリオはあるのか？ Fraunhofer ISE の Weber 所長は、その基調講演で EU の強みである装置、材料の技術的リーダシップを堅持するためにも EU システム市場を死守する必要がある、として各国の協力のもと材料～システム垂直統合型の Multi-gigawatt PV Factory を 2016～17 年に稼働させることを提案した。中国メカが EU の PV システム市場を席卷したのは偏にモジュールの価格競争力による。現時点ではモジュール単体の安価な汎用タイプが主流となっているが、PV の発電コストは発電性能、システム価格で決まり、2017 年頃には欧米メカが得意とするバックコンタクト、ヘテロ構造等の高性能セルに置き換わっていくと見られている。INES、Fraunhofer などから紹介された米国 NREL+MIT のコスト分析によると、最先端の変換効率 22.4% の n 型高性能セルでのモジュールコストは、現状、米国製 1.19\$/W に対し、中国製は 0.91\$/W と 0.28\$/W の差があるが、その 80% はスケールメリットと原材料・装置購入費の差とのこと。今後、製造ラインの自動化・合理化とサプライチェーンの徹底的な効率化を進めることで、同じ 2GW/年規模のプラントならばコストを 0.64\$/W まで下げ、その差をほぼ無くせるとしている。

ポイントは、エネルギーコスト比率が高く、輸送コストの影響の少ないポリ Si 製造プラントを除く全サプライチェーンの統合で、エネルギー供給基地やガラス基板製造ラインまで取り込んだ高度な垂直統合プラントの実現としている。今回の発表でも、電気、蒸気、冷却水、ガス(例えば F₂)等の onsite 供給・リサイクルについての技術的検討結果が幾つか報告された。この構想の実現可能性については不透明ではあるが、中国に続いて EU までもが国家・地域戦略的取組みを行う中で、日本の個別企業がどのように対抗していけるのか、不安が残るところである。

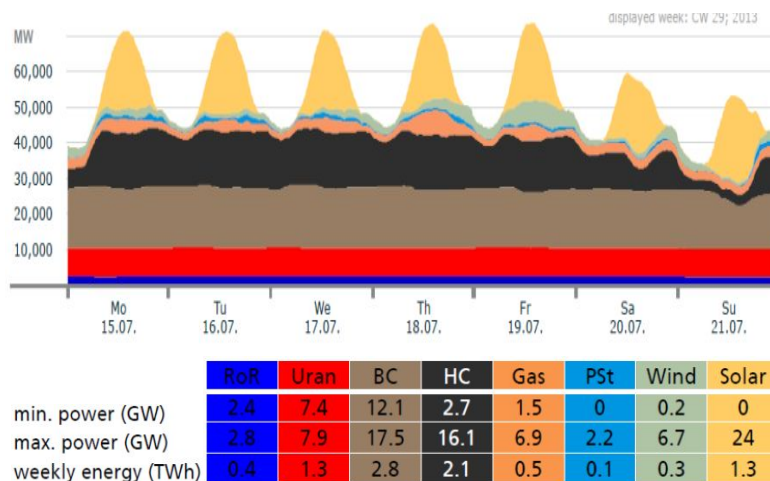
1-2. 変動電源比率増大に伴う課題：Grid Integration & Grid Stability

ドイツの電力需要は季節、時間帯により 30～70GW の範囲で変動する。下図(Fraunhofer

の報告からの引用)に電源別発電量の実績を示すが、PV の存在感の大きさが分かる、幸いなことに PV 発電量と電力需要ピークが重なるため、既存電源の発電量はほぼ一定レベルに維持できているが、例えばこの前月のデータでは風力の上積みが大きく、時間帯によっては PV と合わせて 60% を超える電力供給となり、原子力の運転状況にも影響を与えている。グリッドの安定性維持のためには需要と供給が完全に一致する必要はあるが、日本と同様に

Actual production

ドイツの電源別発電状況：2013 年 29 週(Reichert 氏講演資料より)



EEG(再生可能エネルギー促進法)により変動電力買取が義務付けされているドイツでは、需給ギャップ分の全てを既存火力の調整と電力輸出入で吸収している。気象予測をもとにした変動電力予測から既存電力の稼働計画(発送電分離のドイツでは送電業者の電力購入計画)が策定されるが、そこには 2 つの大きな問題が存在する。一つは需給予測のズレであり、もう一つは需給量の大きな季節変動である。

周波数変動に繋がる需給量ギャップは一次的には既存の同期発電機により吸収されるが、

50±0.05Hz 程度の安定性を確保するためには現状でもプラス側(発電量不足)で 7GW、マイナス側で 5GW(需要不足)レベルの二次、三次の予備/調整電力(Regel/Reserve Leistung)が必要となる。これらの実際の消費に寄与しない予備電力確保のためのコストは送電線利用料の 40%に達している。2020 年代には変動電源能力が最少需要を上回ることが確実で、予測精度の向上が一定程度期待されるとしても必要な調整電力量は増加せざるを得ないであろう。しかしながら RE 買取量の増大で既存発電所の売上が半減するようなケースも出ており、卸売価格の 5c€/kW 近傍への張り付き(高価格な RE 電力に伴う電力料金高騰から価格プレッシャーが大きい)、燃料価格上昇、稼働率低下が相俟った採算低下により、調整電力の担い手である既存火力の能力確保に不安が出ている。

この対処方法の一つは広域電力網の強化による変動電力の平準化と UTEC(中央ヨーロッパ 24 か国による電力網)での電力融通である。北の風力、南の PV を融合するための南北幹線建設、変圧器能力の強化・高機能化などが検討され進みつつあるが、これには膨大なコストと時間が必要でその効果に疑問も出ている。これに対して Bayernwerk(旧 EON Bayern)は、即効的かつ最も社会合理性がある解決法として RE 受入れ規制を主張する。ドイツ南部のバイエルン州の低・中圧グリッドを運用する同社では、24 万件・4GW の PV 接続を行っている。2013 年夏にはこれら分散電源による中圧線から高压線への逆の電力の流れが時間帯によっては 25MVA に達し、前年に比べて 66%増加した。このような大きな供給量変動を吸収しグリッドの安定性を保つため、2013 年上期だけでグリッド間接続の切替やトランス調整による Intervention を 680 回、分散電源からの電力受入れ制限を行う介入(Feed-in-management)を 150 回発動させている。後者はグリッドの増強が達成されるまでの暫定措置で、グリッドの安全性が危機に瀕した場合にのみ許される。今後の更なる PV 接続増加を考えると、受入れ制限規制の撤廃が必須で、例えば PV 受入れ電力を公称能力の 70~100%で適宜制御できれば、現状でも倍の PV 接続が可能としている。

Fraunhofer は、自然エネルギーもグリッド安定化機能を果たすべき状況になりつつある、として調整電力市場への組入れ(この場合には初段階電力となるが)を可能にするような市場システム整備の必要性を提起している。更にこのような周波数対応だけでなく、突然のグリッド電圧変化へ対応する機能(Fault Ride Through)も求められるとして、グリッドへの電力供給の役割を担うインバータの評価を行っている。10~720kW クラスの市販インバータの調査によると、Fault 発生後のインバータの出力挙動は様々で、今後の規格化の必要性を指摘した。

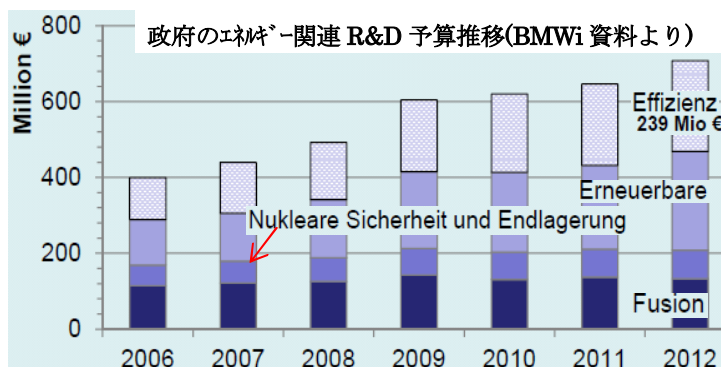
この他、グリッド安定化の手段としては、電力あるいは他のエネルギーに変換した形での短期/長期貯蔵による供給調整、その逆の電力需要調整、そして発電サイトでの自己消費拡大によるグリッド負荷低減が考えられる。ドイツでは前述のものも含め、これらの対策を複合的に進めることが必要との認識が共有化されており、本会議でも数多くの報告がなされた。これについては以下の FVEE 報告で併せて紹介する。

2. FVEE(ForschungsVerbund Erneuerbare Energien)年次報告会の概要

FVEE(再生エネルギー学会)は、1990 年に当時のワイマール大統領、政府の呼びかけで HZB、Fraunhofer などにより結成されたもので、現在では 12 の研究機関、2800 名が会員となり、ドイツの RE 関連研究の 80%をカバーしている。今回の発表は、「ドイツにおいて 100%再生可能エネルギー化を可能にするエネルギーシステム」に絞られており、境界領域あるいは複合的な課題のためか全て複数研究機関による共同研究成果であった。本会議はドイツ語が公用語の国内会議で、参加者は 252 名のうちドイツ国外からは筆者を含めて 2 名のみであった。

2-1. ドイツのエネルギー関連研究開発政策

ドイツは2050年までに温室効果ガスを1990年比▲80%減少させる計画で、1990~2010の20年間の実績では、GDPが40%成長する中、CO₂排出量を20%低下させた。その主役は省エネと熱効率化で、RE普及の寄与はまだ1/5程度に留まっている。当面は2020年中間目標を2050年目標の丁度半分に当たる▲40%削減に



置いている。そこでは電力セクターでの削減をメイン施策にしているが、2022年原発ゼロの状況変化も重なって、電力の35%を風力、PVを中心とするREで賄う必要があり、RE導入促進策の継続が必須の前提となる。しかしRE税の上乗せによる電気料金の慢性的な上昇が企業、個人とも大きな負担となり(単身家庭では家計費の10%以上を占める)、RE導入速度のスロウダウンといった議論も一方で出ている。

本会議では、BMU(環境省)、BMBF(文科省)、BMW(経済・技術省)から政策の紹介がなされた。上図にエネルギー関連R&D予算の推移を示すが、核関連が最終処分、核融合を含めて200M€で頭打ちとなっているのに対して、RE並びに省エネ関連はその額を年々伸ばしている。但し、中身は個別技術から大きくその姿を変えている。各省に共通する問題意識は、「RE主体のエネルギー供給システムをどのようにして経済的に、そして安定的に達成できるか」であり、グリッド強化、エネルギー貯蔵、エネルギー管理システムあるいは地熱・太陽熱等の新たな選択肢への配分が大きくなっている。2013年度からはこれらの課題に絞った省横断プロジェクトも始まっている。RE促進派の緑の党も含め、経済性の観点からの研究の重要性が指摘されていたのが印象的であった。

2-2. 残留負荷変動(Residual Load Gradient)への対応

RE電力の比率が高まることにより生じる問題の一つは、既存の電力が負担すべき需要(Residual load)が時間により激しく変化することである。ZSWは目前の2020年においてさえ0~65GWの間での変動を予測する。これは既存火力の殆どを調整電源化するか、電力貯蔵により供給能力を平準化するか、あるいは地域単位である程度の需給調整を図りグリッドでの変動幅を抑えるか(μ-Grid的考え方)、のいずれかの対策を打つことが必須なことを意味している。さらに2050年にはこの変動幅が▲50~50GWに拡大する予測で、余剰RE電力対策も加えて将来を見据えた抜本的な対策が必要とされている。

ドイツの最終エネルギーは、その58.5%が熱エネルギーとして消費され、家庭ではその比率が77.8%に達する。このためREによる余剰電力への対策としては、熱エネルギー源としての活用が有効な方策と考えられている。これは、熱エネルギー供給のための化石燃料を電力で代替し、電力のRE化と合わせてCO₂排出量を大幅に削減することに繋がる。Fraunhofer IBPは、この電気→熱変換を最も効率的に行う方法としてヒートポンプを推奨する。暖/冷房(温水)の50%ヒートポンプ化により電力使用量は30%減り、また蓄熱技術との組合せで分散電源の自己消費によるピークカット/需要シフトも可能となるとしている。

熱エネルギー利用が大きいドイツでは、デンマークと並んでCHP(熱電併給)による地域熱供給システムの導入が進んでいる。このような電気と熱を融合したエネルギー供給システムを高度化する中に電力問題の解決策を見出す動きがドイツでの流れとなっている。その一例としてFraunhofer

IWES から “SUN Project”の紹介があった。Kessel 他 5つの Nordhessen の自治体(73 万人、4,000km²)が集まり、現状、化石燃料主体に 7TWh/a、2.5GWmax を供給している熱製造プラントを 100%RE 化しようというもの。3.7TW/a、590MWmax の電力需要の 80%を PV、風力、バイオマスで賄い、余剰電力をヒートポンプで熱変換する検討を行った。それによると、季節、時間帯による熱/電力需要の変化と発電のタイミングが合わず、ゼロエネルギー住宅等による省エネを 50%行ったとしても、熱源としてのヒートポンプ運転電力の 62%を外部購入する必要があるという結果となった。

CHP の調整電力源としての活用も提案されている。Wuppertal Institut は、CHP は熱供給が主目的で電力需要とのマッチングが取り難いこと、そして買取価格が卸売電力価格に抑えられ CHP 付加金も 5c€/kWh と低いためグリッド接続の魅力が小さいことから、現状、電力供給能力は 480MW と調整電力需要の 7%程度に留まっている、と指摘する。さらに調整電力に必要な認定、情報インフラ整備、規模採算性が参入障壁となっているとして、彼らは調整電力市場システムの見直し、RE 優遇されるバイオマスへの切替、大規模化を提案している。IZES は、バイオマスへの切替に加えてガス貯蔵機能、熱貯蔵機能の追加で、電力市場価格に対応した熱、電力製造の自由度の確保を提案する。2B€の投資で、現状のバイオマス能力 3.2GW を 15GW に増強し、53TWh の調整電力が提供できると試算している。また、太陽熱などとのハイブリッド化やガスパイプラインの貯蔵・輸送への活用などの経済性向上の為にアイデアが提案された。

2-3. 電力/エネルギー貯蔵の方策

電力供給安定化にとっては、二次電池等の電力貯蔵による供給量の平準化が最も分かり易い手段であり、ドイツでも各種蓄電池の開発・評価、そして PV 電力の自己消費を促進する助成制度も小規模ながら行われている。しかしながらドイツでは大容量かつ長期間の貯蔵が求められ、現状のコストレベルでは、二次電池は時間単位の小規模な変動に対応する補完的役割に留まらざるを得ない、というのが共通認識のようである。PV 発電量は最盛期の夏場と底の冬場で一桁以上の差があり、冬の電力需要ピークを夏の PV 余剰電力で如何にかばうか、つまり季節間調整が大きな課題とされている。日本では電力貯蔵の主役となっている揚水発電であるが、ドイツはその容量が 4TW/a と小さく、また増設余地も限られている。また、ドイツ特有の岩塩・炭坑址を利用した CAES(圧縮空気)なども一部利用されているが、あまり多くは期待できない。

電力直接貯蔵に対してドイツで注目されているのは、電気を別のエネルギー形態で貯蔵する方法である。一つは先に述べた熱としての利用(P2H:Power to Heat)で、エネルギー需要のうち熱利用が大半でまた熱供給インフラが既にあるドイツにおいては、有力な選択肢となっている。熱貯蔵技術としては ZAE、DLR が PCM(相変化材料)などの新技術について紹介。また、2000年から運用されているベルリン連邦議会前の地下水利用の冷・温熱貯蔵の例も GFZ より紹介された。

もう一つは chemical energy carrier として燃料にかえる方法(P2G:Power to Gas)。水の電気分解により水素を製造し、燃料電池自動車(FCV)や発電所、工場でのエネルギー源として利用する。また、工場、発電所等で発生する CO₂ を利用して水素からメタン合成を行い都市ガスとして活用、輸送することもできる。この P2G の魅力は都市/天然ガスの貯蔵能力 200TWh を利用できること。この他にも岩塩址洞窟、地下水、堆積岩等の地下利用も考えられ、TWh 級の長期貯蔵が可能な唯一の方法とされている。本会議ではこの方策の余剰電力対応への有効性、経済性についての言及はなく、電力/エネルギー供給システムにどのような形で組み込まれ

るのかは正直なところよく見えない。Fraunhofer ISE から、2011年に始まった Enertrag ハイブリッド発電(風力、バイオガス CHP との組合せ)、2012年から3年間行われる”Power to Gas for Hamburg”プロジェクト(PV・風力による水素ガス製造と都市ガスラインへの混入)の紹介があったが、このような市営エネルギーインフラへの活用をイメージしているのかも知れない。

我が国と同様、ドイツも FCV 普及に向けて動き出した。トヨタ、日産も含むカーメカの協力のもと、Air Liquid、Shell など6社による”Initiative H2 Mobility”プロジェクトがスタート。現在15ある700bar水素ステーションを2015年までにドイツ全土50か所に拡げる計画で、2014年のJ/V設立による営業開始を目指している。水素製造はバルン、ハブブルグ等5か所で電気分解により行う。今回、学会のサテライトイベントとして行われた Fraunhofer ISE のラボツアーでも、PV電力による水素製造とガムテ製 FCV への水素供給のデモ装置の紹介があった。日本のような改質技術ではなく電気分解による水素製造法を採るのは、余剰電力活用、脱化石燃料が理由なのであるのか。

3. 所感

環境問題対策、電力システム改革で大きく先を行く EU。今回の会議参加により、その流れをリードするドイツが直面する問題と解決に向けた動き、その一端に触れることができた。あまりにも挑戦的な目標と現実に直面する問題(特に高騰する電力料金)の大きさのギャップに、スーパーダウンを求める声が上がりはじめている、との話も伝わってきており、今まさにエネルギー基本政策を定めようとしている我が国にとっても無関心でいられない。エネルギー変革推進派の集まりという性格上、本会議は夢も含めた前向きな議論に終始していたが、反対の立場からの議論も聴きたいところであった。しかしながら”環境”という理念だけではなく”経済合理性を持った解を求める”、という方向性は官民共通したコンセンサスとなっており、現実的な解決策の模索を行おうとしている姿勢には共感を覚えた。

我が国との最大の違いは、議論の透明性である。今回の議論の殆どは実データに基づいたものであり、そのデータは全てインターネット上に公開されている。つまり国民誰もが情報を共有して議論に参加でき、世論のレベルが非常に高くなる。「その先は優秀な専門家が考えてくれる」という発言はドイツでは許されないであろう。情報の殆どを電力会社が抱え込んでいる日本にとって、電力システム改革の意義はそこにこそあるのかもしれない。地理的条件が異なるとは言え、電力自由化に伴う問題の殆どはドイツと共通している。格好の材料であるドイツから、言葉の壁はあるが失敗例も含め学ぶことは多い筈。今後もその動きを注視したい。

以上