

### 《目次》

Energy Storage EU 2015 . . . . .	1 ~ 6 p	Silicon PV 2015 . . . . .	7 ~ 9 p
テクノフロンティア I . . . . .	10 ~ 12 p	テクノフロンティア II . . . . .	13 ~ 14 p
国際地熱会議 2015 . . . . .	15 ~ 17 p	人と車のテクノロジー展 I . . . . .	18 ~ 19 p
人と車のテクノロジー展 II . . . . .	20 ~ 21 p	人と車のテクノロジー展 III . . . . .	22 ~ 23 p
蠟梅 Now . . . . .	24 p		

### Energy Storage Europe 2015 への参加報告

未来技術フォーラム神戸 板山克廣

2015年3月9日から3日間にわたり独・デュッセルドルフで開催された首記コンファレンスに参加し、エネルギー貯蔵に関するドイツ及び米国の動きを調査した。同コンファレンスは、Global Energy Storage Alliance(GESA) に加盟するドイツエネルギー貯蔵協会(BVES)とメッセ・デュッセルドルフの主催によるもので、今回が4回目の開催となる。参加者は約1,800名(昨年比倍増)で、エネルギー貯蔵(ESS)導入で先行する米国で昨秋開催されたEnergy Storage North America(同じGESA傘下のコンファレンス)の1,500名を上回り、再生可能エネルギー(RE)の大量導入による余剰電力問題が深刻化しつつあるEU特にドイツにおけるESSへの関心の急速な高まりを示している。

風力及び太陽光発電(PV)という発電量を制御できない変動型REの導入が70GWを超え、総電力使用量に対するその発電量比率が既に15%を超えるドイツ。現時点では世界で最もエネルギー(電気)貯蔵の必要性が高いと言われるそのドイツでは、Power-to-Gas (P2G)、Power-to-Heat (P2H)など種々の技術への取組みが行われる一方、最も端的なESSの手段である二次電池の導入では米国(あるいは日本)に大きく後れを取っているようにも見える。ドイツの政府並びに産業界が、どのような技術と時間軸でESS導入を考えているのか、本コンファレンスの講演から伺えたドイツの動き、そして異なる動きを見せる米国の状況を中心に以下に報告する。

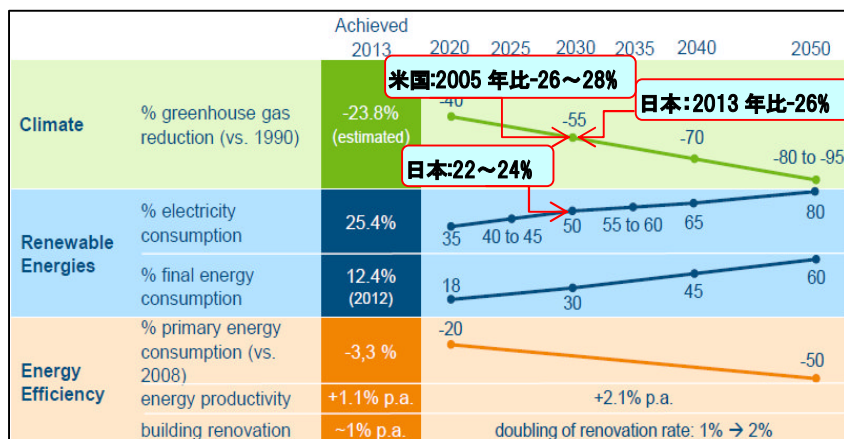
#### 1. エネルギー貯蔵を巡るドイツの状況

##### 1-1. ドイツの環境政策 "Energiewende"

ドイツは、2050年における温暖化ガスCO<sub>2</sub>排出量の80~95%削減(1990年比)を目指した環境政策"Energiewende"を進めている。それはドイツのエネルギー体系を、化石燃料+原子力への依存からRE主体に移していくものであり、当然、社会のエネルギーシステムの根底からの変革が必要となる。その中核となるのが、CO<sub>2</sub>排出量の22%を占める輸送機の脱化石燃料、つまりは電動化/燃料電池化(車によるエネルギー消費量40%削減が目標)。そしてその電力を得るための電源自体(2008年段階で全CO<sub>2</sub>排出量の45%を占める)をREへ切替ることによって(総消費量の80%が目標)、脱化石燃料化によるCO<sub>2</sub>削減を図るのが基本的な考え方である。但し、CO<sub>2</sub>削減の基本は省エネで、2050年段階での一次エネルギー消費量を2008年比50%、そして電力消費量も同25%削減する計画となっている。

今秋パリで開催される国連気候変動枠組条約会議 COP21 には中間目標である 2030 年数値目標が提出されるが、

CO<sub>2</sub>削減量 55%は EU 全体(1990 年比-40%)、米国(2005 年比-26~28%)、日本(2013 年比-26%)のそれを大きく上回る目標といえる。またその時点での RE(水力を含む)の全発電量に占める割合は 50%で、日本の目標である 22~24%の倍となっている。日本の目標でさえ国内では達成が疑問視さ



ドイツの“Energiewende” 2050年ターゲット (経済エネルギー省資料より作成)

れる中、一見、遙か遠い目標のように見えるが、ドイツ国内では必ずしもそのようなには受け止められていない。2000年の EEG(RE 導入促進法)による買取制度の施行以降、風力、バイオマスを中心に RE 設置量が急増し、そして設備設置コストが近年急低下した PV が更に加わり、2013 年にはその発電量は既に全発電量の 25.4%を占めるに至っている。今後予想される更なる化石燃料の価格上昇と RE 発電コスト低減により、これまでの RE 導入の勢いは変わらないと見ている。

RE 増強の主体となるのは、火力発電と発電コストで競合しうる風力(洋上風力を含む)と PV。Fraunhofer ISE は両者合わせて 2025 年 170GW、2035 年 250GW、そして 2050 年には 300GW(風力:PV≒1:1)の規模の設置を予想する。彼らの試算によると、それに必要な設備投資額は、後述する変動電力を貯蔵・調整するための二次電池(以降、バッテリーと略記)も含め、2050 年までの 35 年間で累積 5,150 億€。これはこの間に削減できる化石燃料費用 6,790 億€(燃料の価格上昇がない場合で、2%/年の価格上昇では 10,720 億€)を大きく下回り、CO<sub>2</sub>削減、エネルギー安全保障に加えて経済合理性の面でもメリットが大きいと主張している。但しこれには電力運用の柔軟性を補強するためのグリッド増強、あるいはバッテリー以外の蓄エネルギー技術として一定程度採用されるであろう P2G、P2H 等に必要な投資費用は入っていない。

## 1-2. RE 大量導入時の電力システムにおける課題と対応

変動型電力である風力と PV の発電量シェアが 15%を超えたドイツでは、その発電量がピークとなる春～夏季に需要の 80%に達する状態が既に一部時間帯で発生している。これは継続運転が前提となる石炭火力・原発などのベースロード電源の余剰を意味しており、その帰結としてスポット電力市場におけるマックス価格を生んでいる。経済エネルギー省(BMWi)は、RE 発電量シェアが現在の倍となる 2022 年(ドイツの全原発が停止する年)の夏季には、残留負荷(総需要から RE 発電量を引いた既存発電設備でカバーすべき必要電力)がマックスとなる時間帯が頻発すると予想する。

そこで余剰電力を貯蔵して夕刻以降のピーク電力需要(PV からの電力が期待できない)に廻す電力シフト・調整が不可欠になると考えられている。しかしこのマックス残留負荷はあくまでも限られた時間帯に生ずるもので、JARA(大手電力の Eon とアヘン工科大学の共同研究)によると、変動型電力が 70%を超えることが想定される 2050 年においてもその合計は年間 3000 時間程度とされる。つまり ESS の稼働率は必ずしも高くなく、その経済性にとって大きなハンデ

となる。また余剰電力時間帯以外の残留負荷は 50GW を超え、これを賄うにはそれに対応する出力の ESS を用意するか、あるいはその能力レベルの既存火力を稼働率に目を瞑り保持するしかない。長期的には CO<sub>2</sub> 削減の観点から火力を極力減らしていく方向ではあるが、ESS の経済性を睨みながら切替を進めていくことになる。EUROBATT などの電池業界も、現状では本格的な ESS 導入に弾みをつける為に、補助金等の強力な助成策が必要、としている。

今回のコンファレンスで注目されたのは、ESS 導入に対する BMWi の認識と政策スタンスの紹介である。同省の基本的認識は、電力システムのレジリエンスを確保する手段が様々ある中で、バッテリーに代表される電力貯蔵は経済性において他の選択肢との競争に勝ち抜く必要がある、というもの。そして当面は数時間単位以内の短時間のレジリエンスが求められるとして、送電網の強化、火力の弾力運用、RE 出力/受入れ調整などの電力システムレベルでの比較的経済的な手法で対応できるとする。とは言え、バッテリーにとって魅力的な状況だけではなく、周波数調整を中心としたアンソラリーサービスや PV 自己消費量アップなどを目的とした ESS 導入は一部進むと見ている。また注目されたのはレジリエンス確保のオプションとしてのデマンドレスポンス(DR)への言及。米国では、老朽火力の撤廃でピーク電力負荷削減策としての DR 利用が急成長しており、2012 年には商工業ユーザ及び卸売市場から 66GW 規模の DR 資源が確保されるまでになっている。ドイツの DR への取組みは大きく遅れているが、前出の JARA は“家庭だけでも 80GW/160GWh(4 千万世帯×2kW)と揚水発電の 6GW/40GWh とは比べ物にならない大きさのポテンシャル”と指摘し、早期の市場形成を提唱する。BMW は、抜本的な対策が必要となる将来に向け、いまは技術の経済性向上に取り組むべき時であり、他のオプションも含めたあらゆる技術を隔てることなく支援する、と声明する。

問題は、何時、どのレベルの ESS 導入が必要となるかであるが、BMW 傘下の GTAI(ドイツ貿易・投資振興機関)は、RE 電力シェアが 50%を超える 2020 年初頭には ESS 導入が不可避となり、2030 年には 15GW 規模で必要とする。その殆どは時間~日単位の短期調整目的。これに対して特定期間における大量の余剰電力の発生が問題となる 2050 年には、週~季節単位のエネルギー電力シフトを目的とした ESS が必要となり、ほぼ同規模の短期調整用と併せて 80GW のエネルギー貯蔵能力が必要と試算する。そしてこの長期貯蔵目的の ESS の手法としては、水電解による水素利用(都市ガス、発電用燃料、輸送機用燃料)、電力/熱変換を有力候補と考えている。いずれにしても、本格的な ESS 導入までには 10 年程度の準備期間が許されている、というのがドイツ国内での共通コンセンサスとなっている模様である。

## 2. ESS としての二次電池の成長性

既に種々の ESS 事業への挑戦を始めている産業界は、2050 年に向けた姿を予測する多くのマクロ経済モデルに基づくシミュレーションでは“二次電池の役割が過小評価されている”、と批判する。例えば、大手発電・売電事業者の Eon は、

- ① 発電事業者は個々の手法の経済性より、複数の手段を組合わせた全体最適化を重視
- ② 現実の送電能力を無視するとともに、配電網での工夫が視野にない
- ③ 15min.以下の一次調整電力(PRL)の問題に対する重要性の認識が欠如
- ④ 市場性評価において事業モデル・市場モデルの視点が欠如

として、現状既にバッテリーによる ESS の事業性は成立する段階にあると主張する。先の BMWi の指摘にもある、PV 用バッテリーとアンソラリーサービスについての報告を以下に紹介する。

### 2-1. バッテリー価格と“PV+バッテリー”システムの市場性

ドイツでは FIT 買取価格の低下で PV 導入の勢いに陰りが出ているが、電力料金高騰を背

景に近年、自己消費率アップを狙いとした“ルーフトップ PV+バッテリー”システムの関心が高まっている。このシステムはグリッド接続された PV の発電量抑制(ピークカット)に繋がり、PV のグリッド接続可能量を大幅に増やす効果もある。電気料金~30cent€/kWh と FIT 買取価格~13cent€/kWh あるいは PV+バッテリーシステム(現時点では 30~35 cent€/kWh : GTAI 試算)の差がバッテリー導入のインセンティブになるが、その経済的メリットは現在の価格レベルでは明確とは言い難い。この自己消費アップを狙いとするバッテリー導入が大きな流れとなるかは、偏に今後のバッテリーシステム価格低下に懸っている。

GTAI、JARA、カールスルーエ工科大学(KIT)等の調査によると、家庭用バッテリーの本命とみられるリチウムイオンバッテリー(LIB)のシステム価格は近年それなりの低下傾向にあるものの、メカ・地域による価格バラツキも大きい。標準的な 10kWh クラスの価格は 1,000~3,000€/kWh で、これは PV+バッテリーシステムの発電コストでいうと 20~60 cent€/kWh に相当する。まさに“PV+バッテリーシステム”パリティの成立間近の段階といえるが、家庭で長期使用するシステムであることを考えると、もう一段のコストダウンと信頼性の向上が求められている。KIT は、安全性も重視する EV 用のシステム価格が 500€/kWh レベルとなっていることから、テクノロジードライバーとしての EV の発展に期待を寄せる。

このような状況を受けて、BMW は 30kW 以下の PV システムを運用する個人消費者向けに予算枠 25 百万€/年の KfW(ドイツ復興銀行)プログラムを 2013 年にスタートさせた。PV 発電のピークカットを狙いとして対象をグリッド接続されているシステムに絞り、グリッドへの送電量を PV 最大出力の 60%に制限。3,000€を上限にバッテリーシステムの 30%を補助し、それに加えて送電費用、EEG 賦課金免除、KfW 融資などの特典を与える。制度開始以来、1 年半の利用実績は 8,300 システムと未だ少ないが、直近では 30kW 以下の新設 PV の 10%が本制度を利用するまでになっている。更に、バッテリーシステム導入の引き金になると考えられているのが、初期に導入され買取期間 20 年を終えた PV システムの存在である。買取義務がなくなるため、余剰電力は捨てるか市場に出すしかなくなるが、PV システム費用を“バックコスト”と考えればバッテリーを導入して自己消費に活用することは十分成り立ちうる。GTAI によると 2016 年頃にこのような“PV システム改造”目的の需要が顕在化し、2018 年には 8 万システム程度の需要を予想。バッテリーシステム導入の新たな柱として期待する。

一方、企業も個人消費者のバッテリー導入を後押しする提案を行っている。電力会社 EWE は管内に総需要の 75%の電力量(発電能力ではピーク需要の倍以上)を供給する RE 電源を抱えている。このためシステム安全性を維持するための出力制限の発動が年間 600 回を超え、配電網側でのバッテリーシステムの設置が不可避となりつつある。しかしその稼働率は年間平均 5%程度と極めて効率の悪いものとなる。一方、家庭の自己消費目的のバッテリーシステムの利用も年間稼働率は 50%に満たず、この消費者の有するバッテリーをグリッド安定化に利用する“Double-Use”を提唱する。Eon も、逆流防止のためのスマート変圧器の設置などを考えれば、ESS を送配電網側より消費者側に設置する方が圧倒的に全体コストは下がり、対価の得られる消費者側のメリットも大きいと主張する。このような Double-Use をベースとした様々な提案が電力会社、アグリゲータ、あるいはレンタル・リース会社からされており、その事業モデルについて本コンファレンスでもいくつかの紹介があった。

## 2-2. 一次調整電力(PRL)へのバッテリーの活用

周波数を定格範囲に維持するためには、電力の需給バランスの崩れに秒単位で対応する必要があり、それを担うのが一次調整電力(PRL)と云われるもので、電力システム維持に欠かせない要素となっている。ドイツでは 5~600MW 規模の PRL が必要とされており、現在は火力の中

でも出力制御性に優れたガス火力がメインに使われている。しかしながら RE 電源の導入が進む中、火力の稼働率が下がり PRL 用電源の確保が難しくなりつつある。そこでガス火力よりもさらに指令信号に対する追従性に優れたバッテリーが PRL 電源の候補として注目されるようになった。

GTAI によるとドイツの PRL は最小 1 MW の能力を週単位で取引され、その価格は季節による変動は大きいがここ 3 年間で 30% 上昇し 2014 年には年平均 3.5€/kW となっており、ドイツだけで 100 億円を超える市場を形成する (EU 全体ではその 5 倍強)。この価格を実現するために許容される初期投資額は、エネルギーパー比率を 1 とすると 1,100€/kWh とされ、バッテリー ESS の手が届く範囲となりつつある。バッテリーによるアンビリーバブルサービスの普及で先行する米国の 800MW (2014 年実績 : Bloomberg データ) には未だ遠く及ばないものの、ドイツでも 8 か所でバッテリープラントが建設されその規模は年々増加し 2015 年には累積で 27MW に達している。

世界 22 か所で 93MW のバッテリープラントを運営する YUNICOS によると、現状の PRL 市場価格がそのまま値上がりせずともドイツでのバッテリープラントのプロジェクト IRR は 11.7% が期待されること。米国のように品質プレミアム制度 (追従性の良さ故の上乗せ) が導入されればその採算性は更に向上する。最近の報道によると日本のバッテリーメーカーもこの分野での海外展開をすすめているが、ドイツにおいては Eon、Vattenfall、Bosch あるいは GE などの大手企業が、電力会社向けやメガソーラー・ウインドファーム向けに大規模バッテリー ESS の市場開拓に取り組んでいる。

### 3 環境先進州であるカリフォルニアの ESS への取組み

#### 3-1. カリフォルニアの電力事情

CESA (カリフォルニアエネルギー貯蔵協会) 及びその運営を担うコンサルタント会社 Strategen から最近のカリフォルニア州の ESS に関わる動きの紹介があった。厳しい CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 規制で知られる同州であるが、Brown 知事は年頭の演説で 2030 年目標として、① RE 電力量シェア 50% (2013 年 20%、2020 年 33%)、② 輸送機用ガソリンの 50% 削減、③ 既存建築物のエネルギー効率倍増とグリーン化、を打ち出した。連邦政府の温暖化ガス排出量の厳しい規制による老朽火力の停止とも相俟って、同州の電力事情は 2015 年を節目に大きな転換点を迎えようとしている。

同州をカバーする送電機関 CAISO における昼間の残留需要は、2014 年春の時点で 19GW と夜 8 時頃のピーク残留需要よりも既に 5GW 少なくなっているが、1GW 前後の能力を有する風力、地熱、ソーラープラントが次々と立ち上がる 2015 年には、昼間の残留需要は更に 15GW にまで低下する。一方で、ピーク残留需要を担うべき火力は、2024 年までにその 25% に当たる 5.2GW が老朽化のために順次停止し供給能力が不足すると見られている。このため昼間の余剰電力対策と夕刻のピーク需要対応が同時に求められる事態となっている。そこで電力システムを管理するカリフォルニア公共電力委員会 (CPUC) が電力 3 社に対して 2020 年までの電力調達計画の提出を指令 (AB2514)。その中で、温暖化ガス削減に最も効果のある昼間から夕刻へのエネルギーシフトを推進する目的で、合計 1,325MW の ESS 導入を各社に命じた。

#### 3-2. ピーク電力用電源としてのバッテリー ESS

2014~15 年度の CPUC による ESS 割当量は州全体で 200MW であるが、計画中のものも含めて実際には 378MW が手配されているという。例えば、電力会社の一つ SCE は 2020 年までに 1.9~2.5GW の発電能力新設/更新を計画するが、その内ガス火力の設置は 1GW 程度に留まり、残りの多くを ESS 導入でカバーする見込み。これまでの実績では 2014 年割当 90MW に対して 261MW (その内 90% が LIB による ESS) の導入に着手している。また SDGE は 2020 年までに合計 200MW の ESS 導入を計画しているが、今年 3 月に 600MW の火力新設が CPUC に拒絶され、ピーク電力増強 1.1GW のかなりの部分を ESS で賄う可能性も出

てきている。このように各地域の電力事情から各電力会社の ESS 調達は想定以上に進むと見られている。

このようにバッテリー ESS の導入が進む原因の一つは、SDGE の例に見られるような火力に対する厳しい規制基準である。ピーク電力はその役割から、指令に対する瞬時追従性と頻繁な出力調整を求められるが、その能力抑制運転、出力変動、起動/停止に対しては CO<sub>2</sub> 排出の上乗せペナルティが課される。例えば、最もエネルギー効率の良い CCGT でも、その起動/停止時にフル運転 1hr 分の 30%がペナルティに上乗せされる。これに加えて更に厳しい NO<sub>x</sub> 排出に対するペナルティも課される。これが発電事業者側で大規模 ESS 導入の機運が盛り上がる理由であり、DOE の後押しも得て、このような動きはカリフォルニア州に留まらず全米各地で見られる。調査会社 GTM リサーチは、米国の ESS 市場が 2015 年以降数倍/年の急成長を遂げると予測する。

ESS 導入に対するもう一つのドライバーは補助制度である。消費者側への ESS 導入を促進するため、Self-Generation Incentive Program(SGIP)を 2001 年に制定。\$83 百万/年の予算で IMW 以下(グリッドへの供給能力: min.2hr)の ESS に\$1.42/W の補助を行う(1MW を超える分は減額)。Strategen が、カリフォルニア大学へ 5MW のバッテリー ESS を導入した場合のケーススタディ結果を紹介。ESS のみを導入するケースでは、電気料金削減\$46.5 万/年(~▲7%)と調整電力市場売上\$1 百万/年(品質プレミアの寄与大)により IRR17.2%(4.4 年回収)が期待できる。更に 5MW の PV と組み合わせるケースでは、電気料金削減効果が\$56.2 万/年と 21%増え、IRR は 18.8%と更に向上する。CPUC の 1.3GW 示達では、消費者サイトでの ESS 導入は 200MW と多くを見込んでいないが、地域、風力・PV プラントへの大規模プラント導入が予想を超えて広がる可能性もある。

米国 ESS 市場における大きな話題は EV メーカー TESLA の市場参入である。2014 年の SGIP 予算配分をみると、前年からの繰り越し分も含めた\$86 百万のうち\$66 百万を TESLA が獲得し、その強力な価格競争力(他メーカーの 1/2 といわれる)でバッテリー ESS メーカーのトップに躍り出た。5 万台の EV “モデル S”出荷とそれ向けのバッテリー製造、そして 135kW×4 台からなる EV 用スタンド”Supercharger”の世界 400 ヶ所(合計>200MW)”への設置、という実績をベースに同社は ESS 用バッテリー市場に名乗りを上げた。パナソニックと共同で、2020 年迄に 6 千億円をかけバッテリー製造能力を 50GWh に増強し、その 1/3 を ESS へ振り向けるという。本コンファレンスでは 10~20 年の性能保証を付けた 10MW/20MWh のバッテリープラントの概要紹介がなされた。

以上