

再生可能エネルギーの 大量導入と バーチャルパワープラント

著者：瓜生田 義貴

はじめに

近年はメディアにおいて、原発再稼働是非・エネルギーミックス、太陽光発電・蓄電池・EV・スマートホーム、リソースアグリゲーション／バーチャルパワープラント(VPP)／IoTなど、さまざまな電力に関するトピックが日常的に報じられている。これらを一つ一つ別の現象として理解しようとする、個別ニュースに振り回され消化不良な状況になりがちだが、企業・事業の経営者としてこの巨大市場の行方に先んじて手を打つためには全体を俯瞰した理解が必須となる。このような問題意識から、本稿では再生可能エネルギーの比率向上目標を切り口に、上記トピックが相互にどのようなつながりを持ち、どのような方向に政策の誘導も行われうかなを検討したい。

再生可能エネルギー導入の流れと 電力会社へのインパクト

近年の電力世界における変化の最大の要因は、世界全体の低炭素の流れを受け進みつつある再生可能エネルギーの導入である。次頁の図表に示すように、世界各国において再生可能エネルギーを用いて発電された電気を30-50%まで高めようという目標が多く掲げられている。欧州諸国に加え、特にアメリカのカリフォルニア、ニューヨーク、ハワイなどで高い目標が掲げられている。この中で日本においても2030年の電源構成において再生可能エネルギーの比率を総発電量の23%とする計画が打ち出されており、そのための各種施策が検討されている(図表1)。

世界でこのような目標が掲げられるようになった背景には低炭素化への強い意志だけでなく、石炭発電よりも圧倒的に安価な太陽光発電がアブダビや米国など一部地域で登場するというひと昔

前では信じられないような話や、EV生産により蓄電池の累積生産量が急速に増えコストダウンが想像以上に早く進展していること、折しも進むIoT関連コスト(センサ・通信・アナリティクス)の指数関数的低減が見込まれることなどの価格・技術的要因も大きく、この点からも再エネ導入の流れは不可逆な方向に進んでいる。

一方で現在の電力会社・電力システムは、電気を送配電網を通じて遠隔の需要家に売るという、私たちが当然のように親しんでいた考えに基づいて設計されており、再生可能エネルギーが自然に導入できるわけではなく、電力システムのハード・ソフトの両面において変革を継続的に行う必要がある。またこの変化で、事業の根本が下記のように変わりつつある電力会社の役割についても再考が必要となってくる。

- 供給面では分散型の再エネ発電量が増大することで、これまで収益を稼いできた火力発電所は再エネの調整力用のバックアップの位置づけとなり半減しうる
- 需要面では、需要家側での屋根上太陽光やEVの導入により需要パターンが変化し、自家消費や省エネの進展により販売電力量が急減する
- 電力の供給と需要のバランス維持を担う送配電部門は一層高度・複雑な需給・周波数制御を求められ、そのための送配電網やシステム投資および負担のあり方の整理が求められる

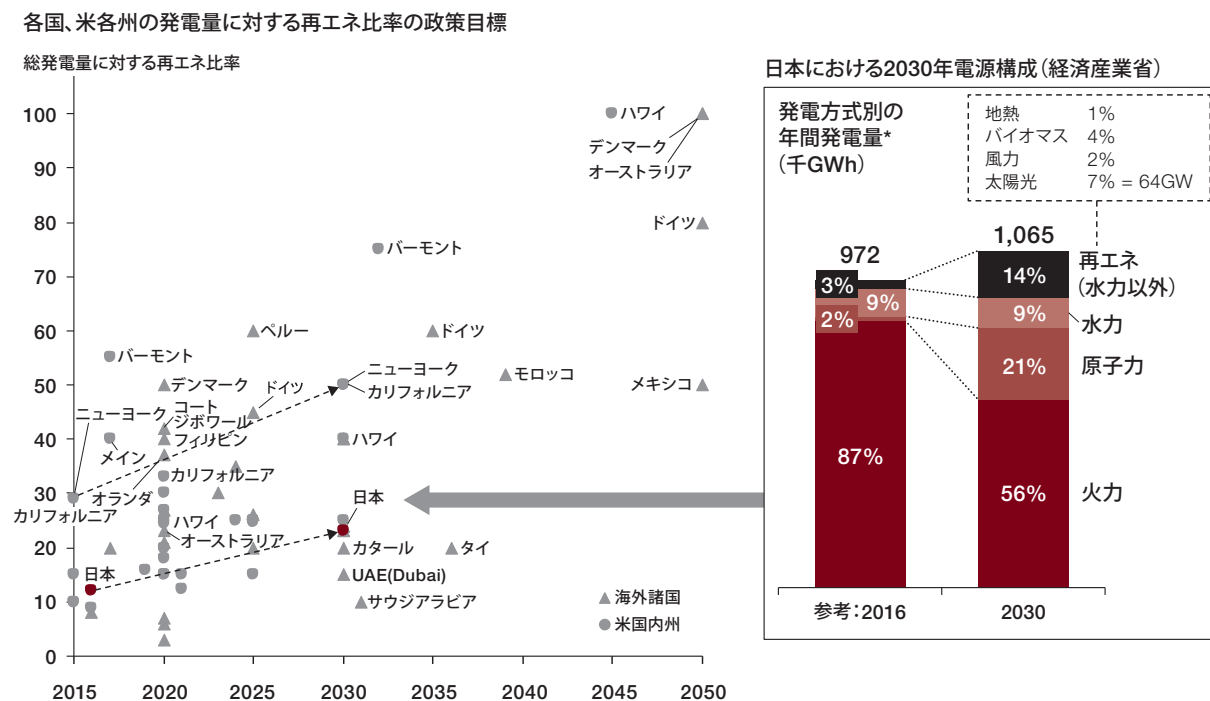
以下では、まずは日本において再エネの導入が今後2030年の電源構成に向けて、またはその後どのように進んでいくのかについて見ていきたい。現在は太陽光だけでなく風力・バイオマスなどバランスの取れた内訳となるよう努力がなされているが、今回は便宜上、再エネ=太陽光として扱い、各種数値についても外部情報を基にしたハイレベルな概算であることをご了承いただきたい。

瓜生田 義貴 (うりうだ・よしとか)
yoshitaka.uriuda@
pwc.com

Strategy& 東京オフィスのディレクター。国内外のクライアントへの成長戦略、海外戦略、中期経営計画などの立案を海外オフィスメンバーとともに数多く支援している。近年は特に石油・ガス・電力のアップストリーム～ダウンストリーム事業及び関連機器・サービスの領域に積極的に従事。

※本レポートの作成にはStrategy& 東京オフィスの大字沙織をはじめとする国内外のメンバーや、社外ご関係者の協力を得た。

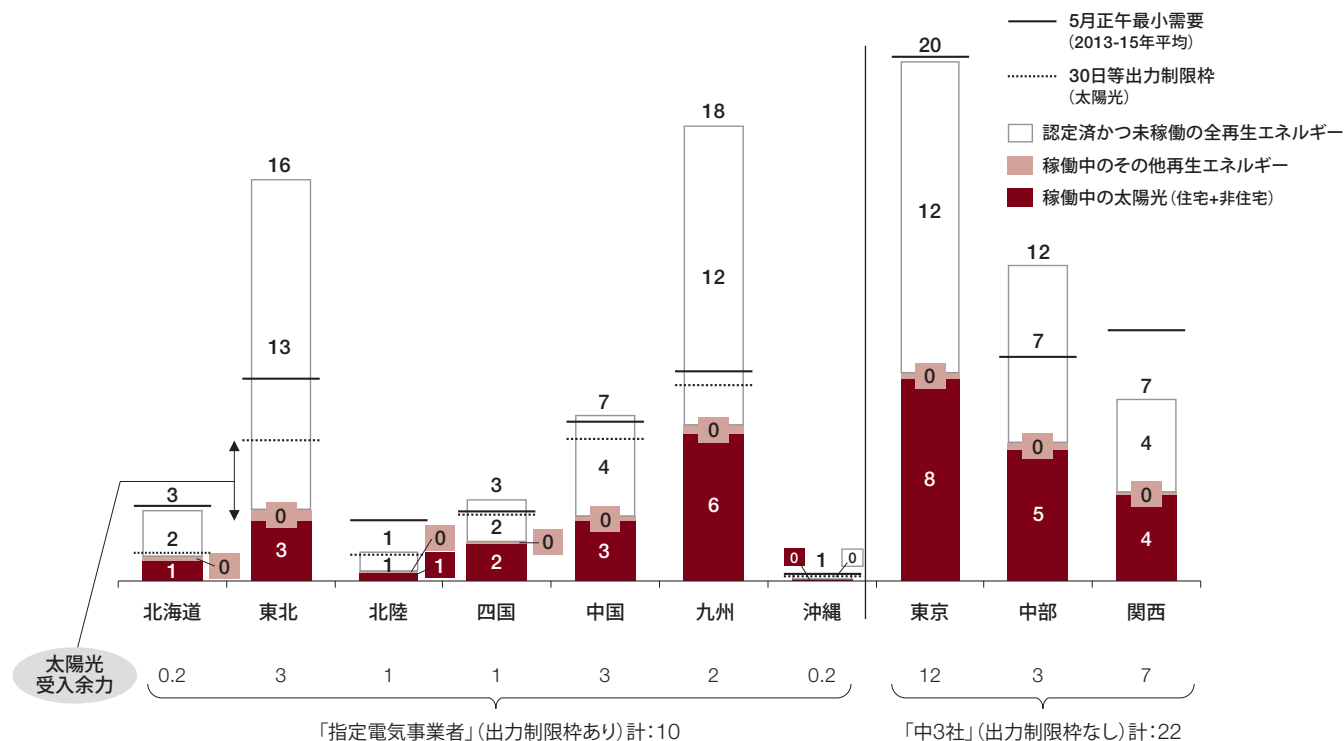
図表1：世界各国・日本における再生可能エネルギー導入目標



出所：Renewables 2016 Global Status Report(REN21)

* 資源エネルギー庁 電力調査統計より、電気事業者による年間の発電実績と、自家消費電力量を合計して算出

図表2：電力会社別の再生可能エネルギー稼働・認定状況と太陽光受入余力*
(単位：GW、2016年11月時点)



*：本分析は一定の前提に基づく単純化した推計であり各社公表値ではない。
出所：Strategy&分析

日本での2030年エネルギーミックスにおける再エネ：東京・関西・中部の都会部屋根置き太陽光がメイン

再エネ導入目標を決める国の2030年のエネルギーミックスは3E+S(エネルギー安全保障/経済成長/環境性/安全性)の考え方によって決定され、電力価格とCO₂排出量というトレードオフの関係になる2つの数値の目標達成をどう両立させるかのバランスを見極めながら決められる。不確実性が高く、かつ影響度の大きい因子として原発の再稼働割合があるが、このような状況下では、選択肢として唯一残るCO₂ゼロ電源である再エネに期待される役割は高いと言える。特に再エネの中では発電コストと建設容易性/初期費用の低さから、太陽光を現状の政府目標の7%以上に拡大させること(設備容量を現状の35GWから64GW程度へと30GW拡大)が期待され、原発の稼働割合が想定よりも低ければより一層の太陽光発電による貢献が求められる。

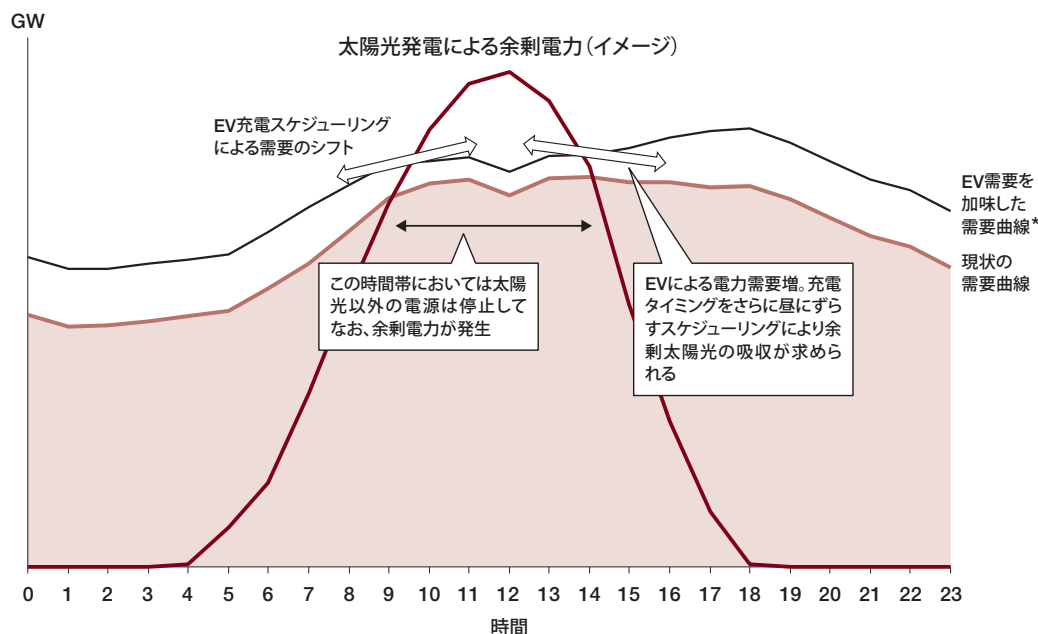
これら太陽光の導入地域はどのようになるだろうか。再エネを各

地の電力会社がどこまで受け入れられるかは、需給バランスや周波数の安定などさまざまな判断項目があるが、再エネからの発電量が地域の総需要を越えてしまうポイントが一つの目安とされる。これは通常ゴールデンウィークの日中最低負荷の時期に相当し、その他の要素も加味して電力会社別に受入可能量が決まっている。これを越えた発電については、地域の外に連系線を使って流すか、バッテリー等の蓄電手段を用いて貯蔵しておく必要がある。

上の図表においては、左から順に「指定電気事業者」という再エネの受入が限界に近づいている電力会社7社と、比較的余裕のある3社に分けてすでに導入された太陽光の量、認定されたがまだ導入されていない太陽光の量、上述の地域最低需要と受入可能量(30日等出力制御枠)を記載している。点線が白い棒グラフと重なっている電力会社では、認定済の太陽光発電を稼働させると発電が過剰となり、出力抑制が必要となることを意味している(図表2)。

2030年の目標とする64GWを達成するには残り30GWを導入しないといけないが、現状のままでは全ての電力会社の受入可能

図表3：太陽光発電・EV本格普及時の需要曲線(充電シフトの重要性)



*: EV浸透時に一定の充電スケジュールリングを行う前提

出所：Strategy&分析

枠の合計は32GWほど存在するため、数字上はその導入は可能となる。約22GWと大半は東京・中部・関西という中3社へ導入されることになるが、中3社においても決して余裕があるわけではなくメガソーラーに適した土地はすでに開拓され今後は造成費・系統接続費用が高まること、および例えば東電では栃木・群馬等の外辺部での送電空き容量が不足している状況が存在する。最も太陽光の普及が望ましいのは、容量に余裕のある配電網を有する都会部の屋根置き太陽光となる。各種前提の置き方にもよるが、これに伴い送配電側に必要な投資は2030年までに数兆円規模になりうる。

日本での2030年以降における再エネ： DR・蓄電・連系線の最適な組み合わせを模索

一方で、2030年以降も再エネの導入の流れが続くとすると、どのような対策が必要だろうか。出力制限を超えた受入れが必要となるため、大規模な需要のシフトや蓄電池の導入が必須となる。

若干テクニカルな話になるが、再エネの導入にあたっては、発電コスト、電力量、周波数、という3つの問題が存在し、その解決策としては出力抑制指令、需要を供給に合わせて変えるDR (Demand Response)や蓄電池の活用、連系線の活用といった選択肢が考えられる。出力抑制は最も簡単だが、無制限の出力抑制を実施しながら導入を仮に進めるとすると、容易に発電事業者の事業採算に影響を及ぼすレベルの出力抑制がかかる状況が生じ、発電事業者は投資への二の足を踏まざるを得ない。DRではピーク抑制や需要変動への対応を比較的低コストで実施できる反面、その発動時期・時間帯が限定的であることや需要創出の面で課題がある。蓄電池はピーク抑制や需要創出等の高価なソリューションとなる。

このように、再エネ導入時に発生する問題への対応は、複数のソリューションを蓄電価格の低下や電力取引市場の整備状況などを横目で見ながら検討する必要があるが、将来の大量導入時に特にキーとなるのは、太陽光による日中の大幅な余剰電力とEVの充電ピークをどうマッチングさせるかであろう。仮に前提として

数百万台～千万台の電気自動車普及した場合を想定し、通勤用からレジャー用など複数の用途ごとに使用・充電パターンにある一定の前提において電力需要の影響を計算した結果が前頁の図表3である。特に充電タイミングの調整をせずに、個々人が帰宅タイミングまたは会社にて充電を行うとすると、帰宅後の夕方～夜にかけて通勤利用車の充電タイミングが重なり新たなピークが発生してしまうため、うまくスケジューリングすることで需要側資源をコントロールすることが求められる。のみならず、日中の太陽光の出力が一番大きい時期に充電するようなインセンティブが望ましい。2030年以降のさらなる太陽光導入による余剰電力吸収のための蓄電池を新たに準備すると10兆円程度になりうるが、EV保有者の電池を制御させてもらえればその必要額はより小さくなる。ここで活躍するのがバーチャルパワープラント（VPP）と呼ばれる、需要家側に分散して存在する発電設備や蓄電池・EVをまとめて制御しあかかも1つの発電所のように需要調整を行う仕組みである。ここでは高度なIT・通信システムを用いた最適化や取引の仕組みが必要となり、AIやブロックチェーン技術が活躍する領域となっている。

このような取り組みの一例として日本に先行して同様の課題を捉えているカリフォルニアの事例を紹介したい。

カリフォルニアに見る再エネ導入の先行事例

カリフォルニアの再エネ導入の政策目標は、全米のみならず世界各国の目標から見ても高く、すでにその1州のみで全米の屋根置き太陽光、EV、家庭用蓄電池の導入量の約50%を占めており、米国内でも特異な位置づけとなっている。カリフォルニアにおいては再エネ比率向上を至上目的に、ネガワットの市場取り込みや世界最大級の蓄電装置の導入を州が主導し、電源構成比では太陽光が2015年の7%から、2030年では57%（発電量ベース50%）を再エネで賄うことを目指す。カリフォルニアは日本同様に、他地域との連系線が弱い中で再エネを急速に導入しようとしており、規模も東電とほぼ同規模であり比較のイメージがわかりやすい。

カリフォルニアにおいてもソリューションのメニューは大きく変わらず、DRによるピークカット、2023年までの1.3GWの電池の設置の義務づけが主要施策となっている。DRは費用対効果が高くピークを削減することに寄与しているものの、稼働時期も実質的に夏季のみであるのに加えて、DR疲れからか高応答実績を持つ優良顧客を中心にDR契約顧客の離反も生じており、完全に頼り切れるリソースではない。このDRを補完する形で、割高ではあるが蓄電の導入が開始されており、CPUC（公益事業委員会）は民間公益事業会社（SCE, PG&E, SDG&G）3社合計で1,325MWの蓄電池の2020年までの新規購入・2024年までの設置をターゲッ

トとして義務化し、送電、配電、対需要家の区分でそれぞれ蓄電池の購入目標を設定している。ここで将来的には必要な蓄電需要は20GW程度にも上ると推定されている。

ここでの示唆としては、州政府が強力なリーダーシップを持って再エネ導入の目標設定を行い、のみならず達成に向けた前述のソリューションについての明確な優先順位づけや、それに整合する形での補助金や制度設計を実施していることが挙げられる。再エネ連系50%を真剣に目指す中においては、DRを活用しつつも蓄電に大きく頼らざるを得ない状況が到来すると考え、その際の蓄電の設置場所、費用負担、収益回収方法について、民間ビジネスの事業性が自律的に成り立つことを念頭にした制度設計を提案している。CPUCはカリフォルニア分散電源アクションプランを公表し、今後の複雑な制度設計の課題を「料金体系」「送配電インフラ投資」「分散電源・卸市場」の3つに整理している。いずれも非常に複雑で相互に関わり合いを有する制度上・技術上の要素から構成されるが、これらを統合的に組み上げようとする試みとなっている。上記に呼応する形で電力会社や民間のエネルギーマネジメント会社が蓄電やDR、その他のビルエネマネ事業を手がけはじめている。

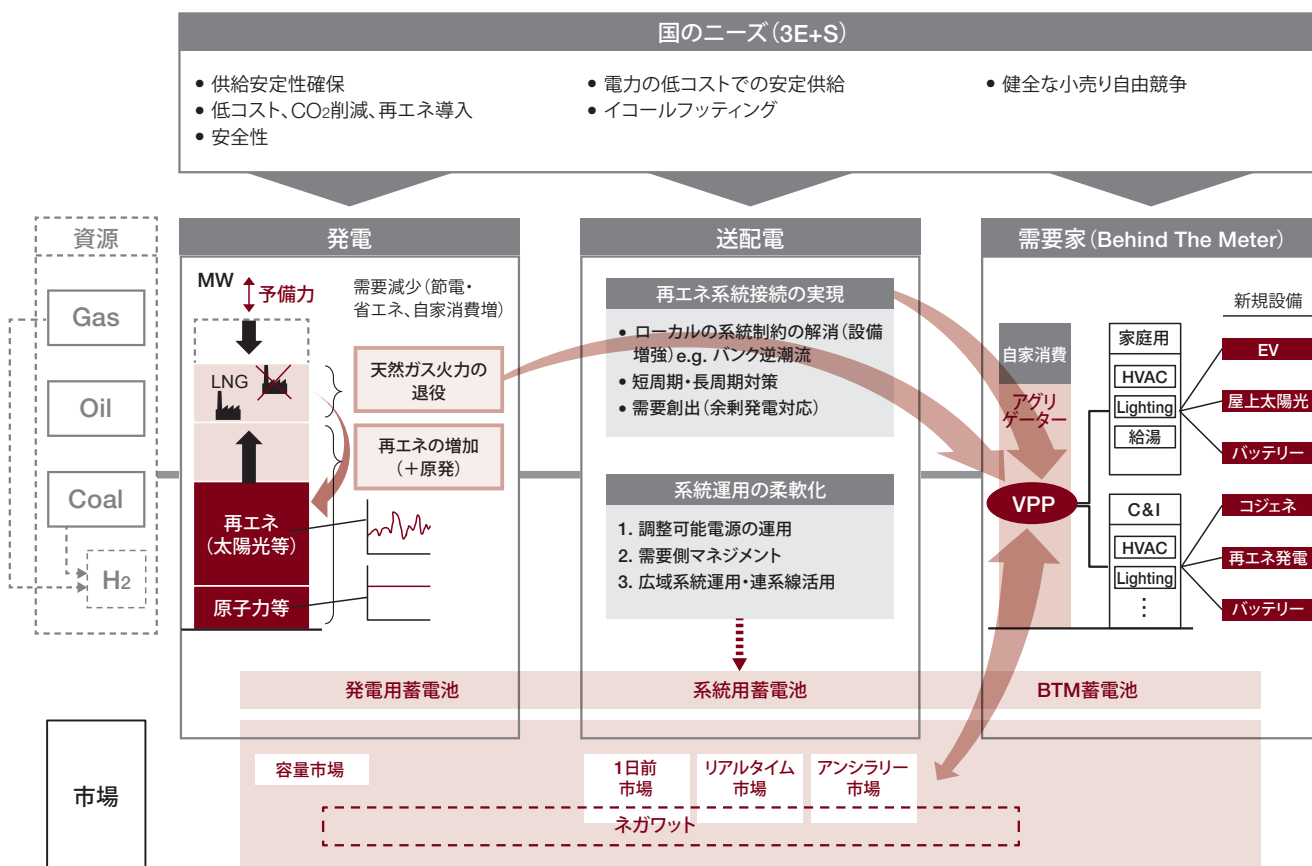
例えばステム（Stem）社においては、正確な需要予想アルゴリズムを差別化要素に蓄電池を用いて大手の商業・産業（C&I）顧客に向けて、1）需要家のエネルギーマネジメント、2）電力会社への調整力提供、3）電力卸売市場への販売の3つを収益源とした事業を展開している。1）では、オフピーク時に蓄電池へ充電した電力をピーク時に活用することでピーク電力消費量を下げ、電気料金を削減するサービスを展開している。このステム社のように複数のプレーヤーの分散電源を組み合わせることで形成化したうえでカリフォルニアの独立系統運用機関であるCAISOへ入札を実現しているプレーヤーは多い。

再エネの大量導入に向け エネマネ・VPP市場活性化に向けた政策誘導を

ここまでをまとめると、2030年エネルギーミックスでの再エネ比率の達成は数字上は既存の延長線上で可能である一方で、その先のさらなる導入やEVの普及を考えると、既存の送配電設備に対して兆円単位での投資や電力需要パターンを大きく変えることが必要となってくる。需要家への負担を極力回避しながらコストの効率良く導入を進めるには、アグリゲーターがEV含めた需要家側の資源を活用するバーチャルパワープラント（VPP）が成立しやすくするような政策誘導が必要ではないか（図表4）。

- アグリゲーターの原資となる収益機会の整備

図表4：電力バリューチェーン上でのプロフィットのシフト



出所：Strategy&分析

- 蓄電池・DRプレーヤーが入札しやすいような仕組み (技術要件、価格) の導入
- 送配電網への増強投資抑制効果をVPPの原資とできるような仕組みの導入 (託送料からの控除等)
- 発電所の立地のインセンティブづけ
 - 送配電網の増強費用を抑制できる地域への誘導
 - 特定負担可能な電源導入への誘導
- 宅内電力量の計測ルールの整備 (計量法との関連)
- EVの導入・需要調整資源としての活用促進
 - 乗用車のみならず事業用 (トラック・バス・タクシー・シェアリング) の活用
 - 一部領域でのFCVとのすみ分け

事業モデルが大きく変わり対応を迫られる電力会社も、この市場を機会とみるその他の新規プレーヤーにおいても、このような領域に積極的に投資を行い早期に確立することが、日本での事業の防衛のみならず、続く世界各国での同様の事業機会の収益化に向けた重要なポイントとなるのではないだろうか。

バッテリーのコストはどこまで下がるか

今後の電力事業環境の変化で生じる事業機会の実現にあたり、多くの場面でバッテリーコストがドライバーとなる。前頁の図表4に示すとおり、各種系統側、需要家側アプリケーションに対する閾値が存在し、バッテリーのシステム価格がそれを下回るに伴い各種市場が立ち上がりつつある。系統側ではアンシリャー型サービスの導入、再生可能エネルギーの負荷変動対策が考えられる、需要側では据え置き型とEVの大きく2つが考えられるが主には防災用途や、一部条件下においてのコストメリットの訴求がドライバーとなる。

バッテリーの価格を引き下げる要因として、スケール効果、生産革新等があるが最大のドライバーは生産スケールであり、EV向け需要が最大である。方式としてはリチウムイオン方式が他と比較しても求められる性能からしても最適であり、その中での電極の素材の方式の違いはあれど、累積生産量に比例して下がっていく(右図)。

一体どこまで価格が下がりうるのかについては種々の予想があるが、私たちは世界の主要なバッテリーメーカーへのインタビューも踏まえながら推計を行った。それによれば2030年時点においては1万円/kWhも実現可能ではないかと考えている。

これに伴い下記のような複数のアプリケーションが出てくると考えられる。

- **商業施設・ビル**のエネルギー管理システム:市場はすでに立ち上がっているが、競合も多く、営業チャンネルが課題である。具体的には分散電源の群制御

技術、顧客獲得(B2B営業)、ビル制御ノウハウ(空調など)が重要となる。

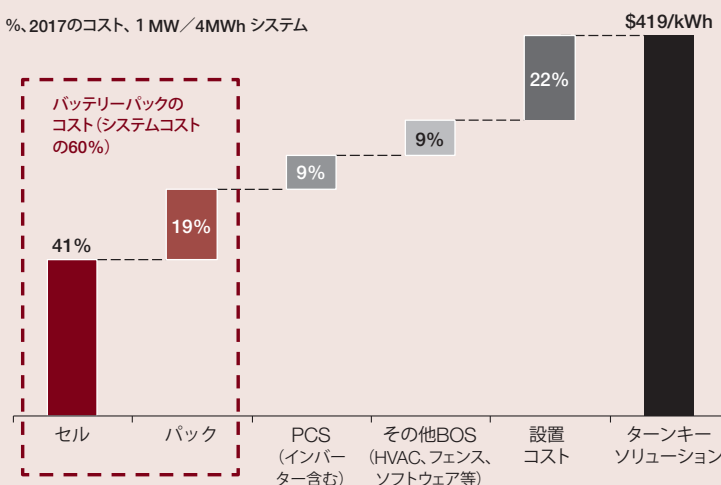
- **家庭用エネルギー管理用の小型蓄電・クラウド管理システム(先進国と一部新興国)**:ニーズはあるが営業チャンネルや群制御が課題。営業チャンネルや消費者用アプリとしての競争力が

重要となる。

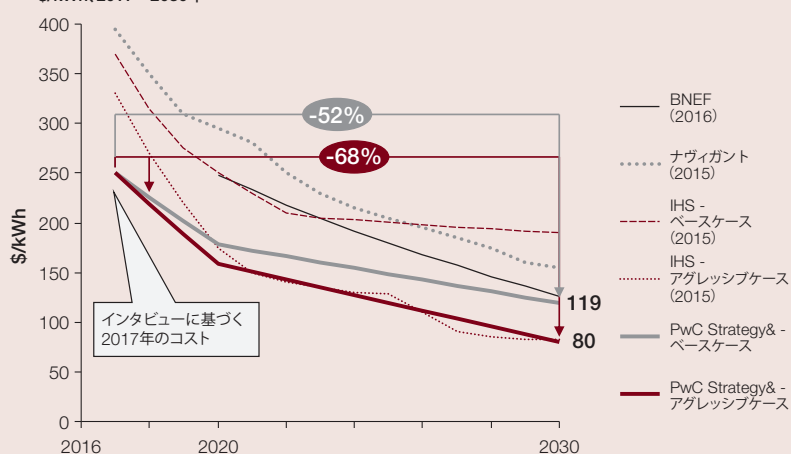
- **EV普及に伴い、アンシリャー対応と共に家庭内電力管理システム事業への展開(欧米、中国、日本)**:可能性は大きいEVの普及スピードに大きく依存し、V2H技術やOEMとのリレーションが重要となる。

リチウムイオンシステムソリューションのコスト削減と、リチウムイオン電池パックCAPEXの予測

%, 2017のコスト, 1 MW/4MWh システム



\$/kWh, 2017-2030年



出所: BNEF (2016年)、ナヴィガント、クレディスイス、IHS (以上2015年)、Strategy&分析

エネルギーマネジメントの市場機会

バッテリー価格の低下に伴い、どれだけの電池が需要家側に設置されることになるのであろうか。住宅用のみで考えると(仮に現在太陽光パネルを設置している家が全て蓄電池を入れる等の前提をおくと)2GWの需要が家庭に存在することになる。また非住宅用を考えても、防災用途やコスト削減を目標に大きな需要が存在することになる。これは原発数基分に相当するものであり、これを用いたエネルギーマネジメントの可能性は非常に大きくなる。この状況下においてアグリゲーターとしての役割は増し、かつスマートホーム事業の主要な原資となるだろう。

一方のスマートホーム事業実施のネックとなるのが顧客獲得コストの高さとなる。これを有利に実施しうる事業者としては、アマゾンエコー(Amazon Echo)やグーグルホーム(Google Home)のように音声入力等のインターフェースを既に家の中の家電制御まで踏み込むようなプレーヤーと、電力・ガス会社や携帯事業者のようにすでに有

する顧客基盤を活用して事業に踏み込みうるプレーヤーが大きく存在する。

- インターフェース型のアマゾンエコーやグーグルホームはインターフェース機器を販売し、宅内トランザクションデータの取得を通じて自社サービスマーケティング・自社広告PFビジネスへデータを活用することを目指す。アマゾンの狙いは生活の利便性向上と共に本業のECサイトへの誘導効果も狙い、グーグルは大量のトラフィックを獲得できるコンテンツ・プラットフォームを制覇するこれまでの延長線上で卓上PC⇒モバイル⇒宅内へと進出してきている。同様の効果を狙い、ここでは音声認識技術の完成度とそこでのユーザーの感情に訴える体験が製品浸透の成功の鍵となる。

- 顧客基盤活用型の英国・フランス等のガス会社では、HEMSや設備系サービスによるガス事業顧客維持・獲得やHEMSサービス等による収入獲得を

目指して事業を実施している。日本においても、東京電力パワーグリッド株式会社が宅内の電力使用波形から電力使用情報を解析、承認取得の上で希望するサービス事業者へ提供する事業の構想が存在している。ここでは既存の顧客基盤に対し、どれだけ消費者に初期負担が少なくベネフィットをもたらすサービスを設計できるか、また個別の消費者への説得ができるかの営業力が成功の鍵となる。

いずれにせよアマゾンやグーグルとの連携機器が今後増大する方向にあり、家電、電気自動車などつながり、電力制御を施すことが可能となる。DRをはじめとしてホームIoTのみならず電力事業そのものを展開する可能性も存在する。

IoTの事業化を目指すような事業者は、グーグルやアマゾンなど各種有力プラットフォームとの関係性を考えて、何をどこまで自社が対応をし、どこを連携するかを検討する必要がある。