

2017 年 12 月 21 日
みずほ銀行 産業調査部

Mizuho Industry Focus Vol. 201

電動自動車普及期における分散型エネルギー事業の展望 ～モビリティとエネルギーが調和する自律分散型エネルギーシステムの構築に向けて～

篠田 篤
篠原 弘俊
竹田 真宣

〈要 旨〉

- 地球環境問題に対するアプローチは、パリ協定に代表されるように国境や地域を越えた世界的な取組みに加え、様々な産業からのチャレンジも見られる。IoT・AI 等のデジタルイノベーションの進展も相俟って、異なる産業の業際領域において新たな事業機会が生まれている。本稿では、本格的な普及に向かう EV・PHEV が、エネルギーリソースとして電力系統の一部を構成し、活用されることで、再生可能エネルギーの大量導入を可能とする社会を展望し、その実現可能性と課題、事業者求められる戦略的視点を考察した。
- 再生可能エネルギーは、近年、発電コストの持続的な低下を背景に増加の一途を辿っている。省エネ技術の進展もあり、エネルギーを自ら生産し消費する Prosumer の台頭が見られ、従来の技術では経済性の確保が困難であった分散型エネルギーを活用した Virtual Power Plant のような事業形態も生まれている。
- 分散型エネルギー事業の商用化に向けては蓄電池のコスト低下がカギを握る。定置用蓄電池は依然高コストであるが、車載用蓄電池の価格は低下を続けており、既に VPP 成立に必要とされる価格水準を下回っている。欧米における自動車への厳格な環境規制に端を発した EV・PHEV の普及は、今後本格化が見込まれ、それが蓄電池の更なる価格低下を通じてエネルギーの分散化を加速させるだろう。
- EV・PHEV 蓄電池の電力事業への活用に向けては、①蓄電池のアベイラビリティ、即ち蓄電池残量(State of Charge)と接続時間の最適運用、②配電系統への負荷軽減、③経済性の確保、④制度・ルールの見直しが課題となる。
- EV・PHEV の普及拡大とエネルギー分散化がもたらす産業の構造変化を踏まえれば、事業者にとって、EV・PHEV を含めた需要家側のエネルギーリソースを調達し(「エネルギーリソース開拓能力」)、それらを効率的に統合・制御し(「アグリゲーション能力」)、そしてマネタイズする能力(「プラットフォーム構築能力」)が、これからの競争優位性を構成する重要なファクターとなるう。
- EV×電力が生み出す新領域は、地球環境問題やエネルギー安全保障といった日本が永年抱える社会的課題への一つの処方箋となりえ、また事業者はこうした社会的課題の解決に果敢に挑戦することで経済的な果実をモノにすることができるだろう。

目 次

電動自動車普及期における分散型エネルギー事業の展望 ～モビリティとエネルギーが調和する自律分散型エネルギーシステムの構築に向けて～

I. はじめに	2
II. EV・PHEV の普及シナリオ	7
III. EV・PHEV のエネルギーリソースとしての活用可能性	11
IV. EV・PHEV の電力事業への活用に向けた課題	18
V. EV・PHEV 蓄電池の活用に向けて事業者に求められる戦略的視点	22
VI. おわりに	24

I. はじめに

人類共通テーマ
としての地球環境問題

持続可能な社会を考える際、地球環境問題は避けて通れない中心的なテーマである。2015年12月に採択されたパリ協定に見られるように、196カ国もの国と地域が参加する世界共通の枠組みを可能にしたのも、環境問題が国家・地域間の様々な利害関係を越えて、地球という単一の環境を共有する全人類共通の利害であることが原動力となったからである。また、環境問題への対応が、当初は特定の地域・国に限られた取り組みであっても、その実効性と適用可能性が確認されれば、その取り組みは他の地域に伝播し、ついには世界共通のルールや行動規範としてコンセンサスが醸成されることも珍しくない。米国に始まった自動車の燃費規制が、排ガス規制、ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制、中国の NEV (New Energy Vehicle) 規制、欧州のガソリン車販売抑制という具合に形を変えながらも、着実に世界に浸透していくプロセスは環境問題に特徴的な動きといえよう。

環境問題に対しては様々な産業からのアプローチが見られる

同時に、地球環境問題に対しては、様々な産業からのアプローチも見られる。電力分野では、化石燃料を燃焼することで電力を大量かつ効率的に生産し、送配電ネットワークを通じて需要家に送り、消費するという流通構造を一部見直し、再生可能エネルギー等、地域に分散するエネルギー源を最大限活用する取り組みが世界的に進展しつつあることは周知の通りである。自動車業界では、既往エンジンから電動車へと、「政策」と「戦略」の軸足が明確にシフトしている。そして、こうした動きは産業毎のスピードに差こそあれ、世界的に広まりつつある潮流と言える。

環境問題への取り組みは業際領域に事業機会を創出

このように環境問題に起因する具体的な取り組みは、国境・地域を跨いで遷移するだけでなく、異なる産業の周縁にも広がりを見せはじめている。そして、各産業における低炭素化に向けた取り組みは、テクノロジーの進展とともに業際領域に新たな事業機会を生み出すのに一役買っていると言えよう。

「電力 × EV・PHEV」で生まれる新領域の可能性と課題

本稿で取り上げるのはその一例である。自動車産業における既往エンジン車から EV (Electric Vehicle)・PHEV (Plug-in Hybrid Vehicle) へのシフト、そして電力産業における化石燃料から再生可能エネルギーや分散型エネルギー¹への転換は、いずれも現時点では、政策サポートや規制強化を主な誘引としつつも、低炭素化を実現する新技術の社会実装に向けた世界的な試みである。そしてこれらの異業種のプレイヤーが「環境」という業際領域を舞台に交わり融合する中で、全く新しい事業を生み出そうとしている。本稿では、今後、本格普及を迎える EV・PHEV が、エネルギーリソース²として電力系統の一部を構成し、活用されることで、再生可能エネルギーの大量導入を可能とする社会を展望するとともに、その実現可能性と課題について技術的かつ経済的な見地から考察する。

本稿では、先ずエネルギーの分散化はどこまで進展しているかを、Prosumer³ 台頭の現状とともに触れつつ、エネルギー分散化のカギを握る蓄電池の価格に関する現状と見通しについて言及する。次に、エネルギーリソースとして活用が期待される EV・PHEV の普及シナリオについて弊行の見通しを示す。統

¹ 消費地の近くに分散配置された小規模な発電設備（太陽光発電、風力、コジェネレーション等）やこれらの機器から生み出される電気等のエネルギー

² 本稿では車載用・定置用蓄電池等の蓄エネ機器も広義のエネルギーリソースに含める

³ 太陽光発電等の余剰分を売電する生産消費者

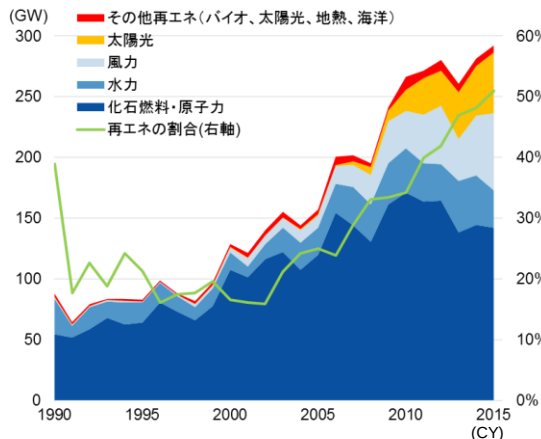
いて、EV・PHEV をエネルギーリソースとして活用する際に考慮すべき技術的要件や期待される経済効果について定量的な分析を試みる。またここでは、世界に先んじてEV・PHEVの普及が進む米カリフォルニア州や欧州において事業化されている先駆的なビジネスモデルを紹介する。そして最後に、日本において、EV・PHEVが電力系統と如何に融合し、強靱かつ柔軟な電力供給システムを地域社会に実現できるかという観点から、解決すべき課題を論じるとともに、EV・PHEVの本格普及を睨み、事業者における戦略の方向性について考察を加える。

1. 再生可能エネルギーの拡大と Prosumer の台頭

再生可能エネルギーを中心とする分散型エネルギーの自律的拡大が視野に

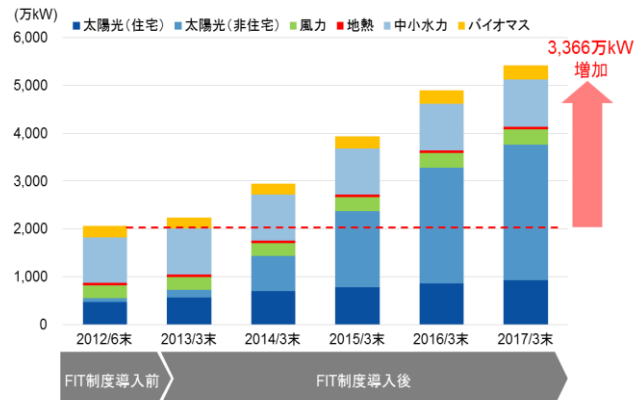
再生可能エネルギーを中心とする分散型エネルギーは、近年増加の一途をたどっている。世界の電源開発の半分は再生可能エネルギーが占め(【図表1】)、日本においても、2012年の固定価格買取制度(Feed-in-Tarif、以下、「FIT制度」)導入以降、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーは急速な拡大を続けている(【図表2】)。2009年以降、太陽光パネル主要素材であるシリコンの市況軟化を背景としたモジュール価格の低下や、FIT制度等の政策支援を受けた再生可能エネルギー導入量の増加に伴う量産効果等が寄与することで、太陽光の発電コストは継続的に低下しており、これを受けてFIT制度における太陽光発電の買取価格は低下傾向にある(【図表3】)。また太陽光発電を中心とする分散型エネルギーの拡大とともに、ヒートポンプや蓄電池等、需要家側における蓄エネ機器の普及(【図表4】)にあわせて Prosumer の台頭も見られるようになっている。

【図表1】世界の新設設備容量の推移



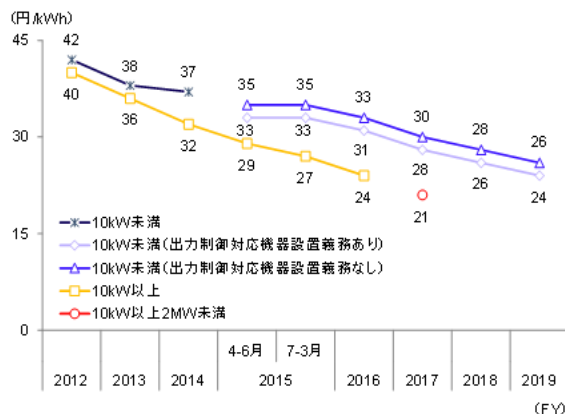
(出所) IEA, World Energy Outlook 2016 より
みずほ銀行産業調査部作成

【図表2】国内における再生可能エネルギーの設備容量の推移

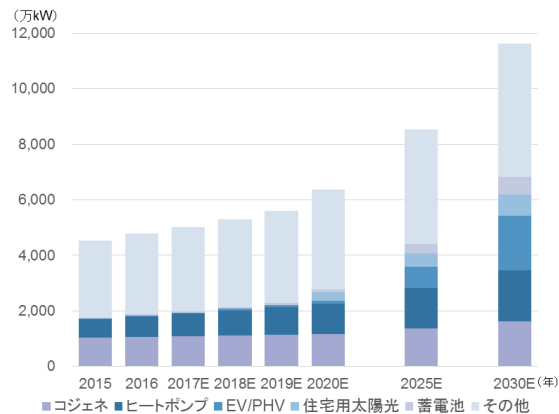


(出所) 各種公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表 3】国内における太陽光発電の
固定買取価格の推移



【図表 4】国内の分散型エネルギーリソースの
普及見通し

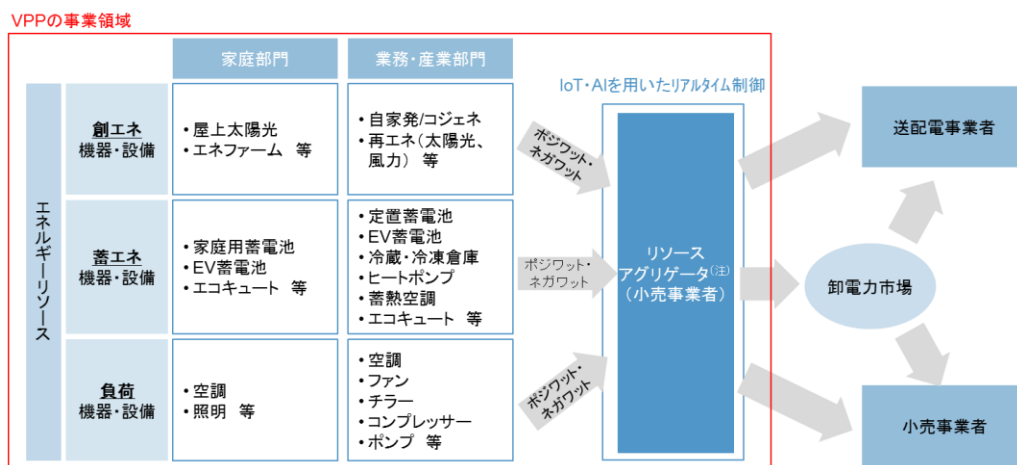


(出所)【図表 3、4】とも、各種公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

分散型エネルギー 事業が台頭

一方、分散型エネルギーは文字通り地域に点在していること、またそれぞれのエネルギー密度は大規模集中電源に比べると大きくないことから、こうしたエネルギー源を商業的に活用していくためには、効率的に統合して制御する技術革新が必要となる。IoT 化の進展は、自家発電機や蓄エネ機器・負荷機器に設置されたセンサーが需要家側の状況に応じて、人の判断を介さずに機器同士が連動し、リアルタイムに検出可能な電力を束ねることを可能とした。また AI 解析によるビッグデータ利活用の拡がりは、刻々と変化する電力需要と、太陽光発電等の自然変動電源の出力パターンを精緻に予測することを可能にした。このように、近年のイノベーションによって、従来の技術では経済的に利用することが困難であった分散型エネルギーを、大規模発電所に匹敵する出力と効率性を備えた電源、所謂 Virtual Power Plant (以下、「VPP」)⁴として活用することが可能になってきた(【図表 5】)。

【図表 5】Virtual Power Plant の事業モデル



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

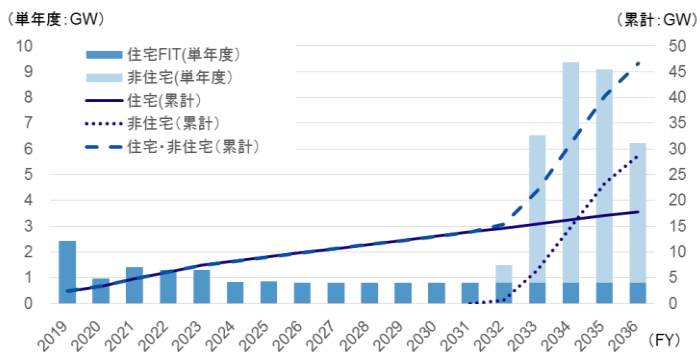
(注) 多くの場合、Network Operation Center (NOC) を有しており、送配電事業者等からの給電指令をリアルタイム処理。ビッグデータ解析・AI による最適需給運用を行う事業者も存在

⁴ 需要家側のエネルギーリソースを、IoT 等を活用して統合制御し、あたかも一つの発電所のように機能させるシステム

2019 年以降は、減価償却を終えたコスト競争力の高いエネルギーが拡大する見込み

2019 年以降には、2009 年 11 月に開始された太陽光余剰電力買取制度における買取期間が終了する住宅用太陽光発電が、その買取期間を終え、余剰電力が電力市場に流れ込んでくることが予想される。その規模は、2030 年時点で累計 15GW 程度であるが、2032 年からは FIT 制度の買取期間が終了する非住宅用太陽光が大量に発生することから、2035 年頃には累計 40GW に達する見込みである（【図表 6】）。こうした電源は限界コストがゼロかつ、減価償却を終えた極めて高い価格競争力を有するエネルギーといえ、今後、VPP 等の分散型エネルギー事業の主力エネルギー源として活用されていくことが予想できる。また、こうした分散型エネルギーの拡大を見据え、現在、経済産業省の審議会等において、VPP が参加できる電力市場の整備が進められているところである（【図表 7】）。

【図表 6】固定価格買取期間が終了する太陽光発電設備容量の見通し



【図表 7】電力市場の開始予定時期と VPP の参加について

市場の名称	開始(予定)時期	VPPの市場参加
スポット市場	開始済	○
ネガワット取引市場	2017年度より開始済	○
非化石価値取引市場	2017年度:FIT電源 2019年度:全非化石電源	○
容量市場	2020年度	○
需給調整市場	2020年度	○
ベースロード電源市場	2019年度	×

(出所)【図表 6、7】とも、経済産業省資料よりみずほ銀行産業調査部作成

2. 蓄電池の価格低下が分散型エネルギー拡大のドライバーに

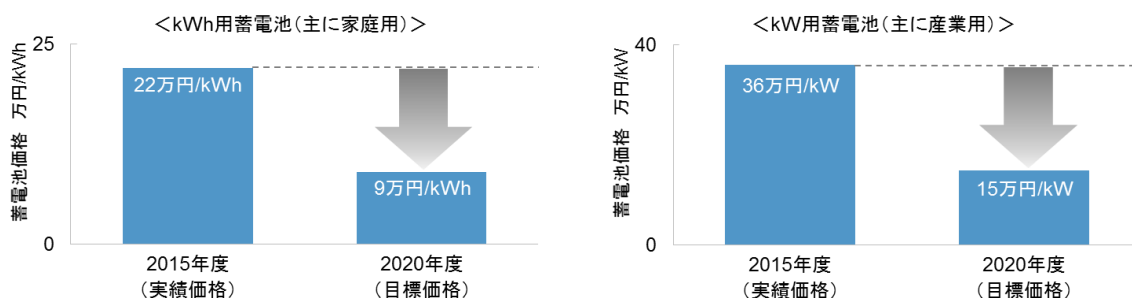
調整力の必要性
が増大

再生可能エネルギーの導入拡大は、小刻みに変動する電力需要に合わせて、電源の出力をコントロールする調整力の必要性が増すことを意味する。現在、調整力は、負荷追従性が高い揚水発電やガス火力発電等の大規模電源を中心に賄われているが、分散型エネルギーが自立的な電源となるためには、系統に過度な負荷をかけずとも、蓄電池やヒートポンプ等の需要家が有するリソースを活用し、調整力を確保していくことが重要となる。

VPP の事業化に向けては蓄電池の価格低下がカギ

実際、VPP の商用化に向けては、調整力を備えた「制御可能な電力」が、従来型の電源と同等かそれ以上のコスト競争力を持つことが求められ、そのためには蓄電池の価格低下が前提となることが指摘されている。現在、定置用蓄電池の価格は低下を続けているものの依然高水準にある。経済産業省の主導により 2016 年 1 月に発足したエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス(ERAB)検討会では、VPP が商業的に成立する目安として、家庭用蓄電池で 9 万円/kWh、産業用蓄電池で 15 万円/kWh という目標価格を設定しており、いずれも現在の価格水準から大幅な価格低下が必要な状況である（【図表 8】）。

【図表 8】VPP 自立化に必要な蓄電池の目標価格



(出所)「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会」資料よりみずほ銀行産業調査部作成

車載用蓄電池は
定置用蓄電池に
先駆けて普及す
る見通し

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が、2013年に策定した「二次電池技術開発ロードマップ」では、定置用蓄電池の本格普及は、2020年代中頃を想定している。一方、EV・PHEVに搭載される車載用蓄電池は、2020年頃に本格普及するとしており、その拡大が蓄電池の量産効果を通じて定置用蓄電池のコスト低下をもたらすという普及シナリオが示されている(【図表 9】)。

【図表 9】「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」における蓄電池普及シナリオ

		現在	2020年代	2030年代	
車載用	PHV用蓄電池 (出力密度重視)	- コスト: 10-15万円/kWh - バック容量: 5-12kWh - 寿命: 5-10年	- コスト: 約2万円/kWh - バック容量: 10kWh - 寿命: 10-15年		
	EV用蓄電池 (エネルギー密度重視)	- コスト: 7-10万円/kWh - バック容量: 16-24kWh - 寿命: 5-10年	- コスト: 約2万円/kWh - バック容量: 25-35kWh - 寿命: 10-15年	- コスト: 約1万円/kWh - バック容量: 40kWh - 寿命: 10-15年	
定置用	系統用	長周期変動 対応	- コスト: 5-10万円/kWh - 寿命: 10-15年	- コスト: 2.3万円/kWh - 寿命: 20年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 20年
		短周期変動 対応	- コスト: 20万円/kWh - 寿命: 10-15年	- コスト: 8.5万円/kWh - 寿命: 20年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 20年
	需要家用	産業用・ 業務用	- コスト: 5-60万円/kWh - 寿命: 10-15年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 15年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 20年
		家庭用	- コスト: 10-25万円/kWh - 寿命: 5-10年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 15年	- コスト: 更なる低コスト化を期待 - 寿命: 20年

社会実証

普及初期

本格普及期

車載用蓄電池が
定置用蓄電池に
先行して普及する
想定

EV・PHEVの普及

↓

車載用蓄電池の量産
効果に伴うコスト低減

↓

定置用蓄電池
のコスト低減

(出所) NEDO「二次電池技術開発ロードマップ 2013」よりみずほ銀行産業調査部作成

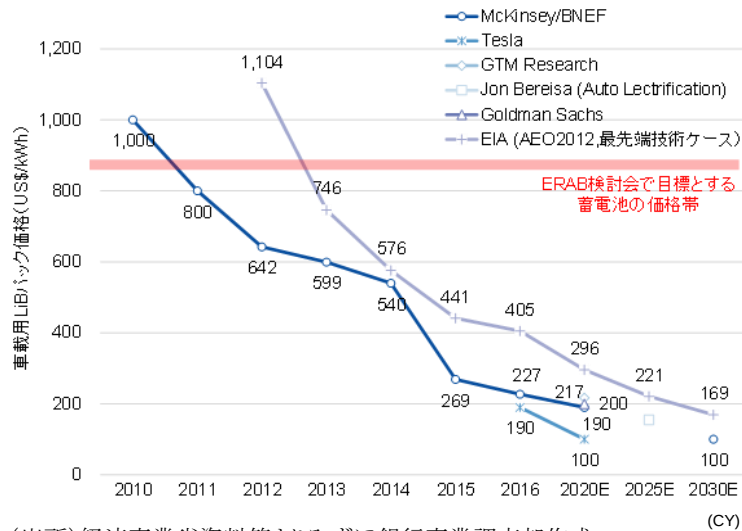
車載用蓄電池の
エネルギーリソース
としての活用可能性

【図表 10、11】は、車載用蓄電池の主要構成要素であるリチウムイオン電池パック価格に関し、シンクタンク等が公表している見通しである。車載用蓄電池の価格帯は、既に ERAB 検討会で目標とする価格水準を下回っていることがわかる。無論、EV・PHEV はクルマとしての移動の便益の享受が主たる保有目的であり、エネルギーリソースとして活用する目的から EV・PHEV を購入する消費者は多くはないだろう。一方、国内においては、一日のうち移動している自動車は時間で平均すると 1 割程度しかなく、残りの 9 割は自宅や職場等に停車していることを考えれば⁵、停車中の EV・PHEV を電力系統に活用できるポテンシャルは大きいと言える。即ち、EV・PHEV による送配電網へのアクセスを如何に確保するかといった技術的・制度的な課題の解決に加え、EV・PHEV の蓄電池活用がオーナーや他のステークホルダーにもたらす便益が

⁵ 国土交通省「平成 17 年度道路交通センサスオーナーインタビューOD 調査」等の分析に基づく

費用を上回る(＝経済性が確保される)状態になれば、EV・PHEV をエネルギーリソースとして活用できる可能性は十分に大きいと考えられる。

【図表 10】世界の車載用リチウムイオン電池パックの価格推移と見通し



【図表 11】車載用蓄電池のバリューチェーン(日産リーフ)



II. EV・PHEV の普及シナリオ

EV・PHEV の普及は従来緩やかであった

EV・PHEV は、自動車の排気ガスによる環境負荷への意識の高まりを背景に、長きに亘り、その普及が急速に拡大する可能性が意識されてきた。一方、2010 年代に入っても、特段ユーザーの利便性の向上に資する点がない上に、既往エンジン車に較べて高価である点や航続距離に劣る点、充電インフラの未整備などの課題も多く、その可能性は、現実化するに至っていない。

しかし 2018 年を一つのターゲットとして、この傾向には変化の兆しが見られる。本章ではその変化の兆しを概観しつつ、それらを踏まえた EV・PHEV の普及の見通しについて考察したい。

1. 排出ガス・燃費規制の動向

規制がパワートレイン構成に与える影響は大きい

排ガス規制、燃費規制は 1960 年代から現在にいたるまで、様々な機構の改良に加え、エンジン改良そして電動化といったパワートレイン関連の技術革新の主たる誘因として機能してきた。

排ガス規制とは自動車の排気ガス中の有害物質の含有量を規制するものであり、規制物質は CO(一酸化炭素)、HC(炭化水素)、NOx(硫黄化合物)、PM(粒子状物質)等が含まれる。自動車産業史上で有名な排ガス規制としては 1970 年大気浄化法改正法(通称マスキー法)⁶が挙げられる。

以降も年々厳格化が進められた排ガス規制により、完成車メーカーは燃焼効率の向上や、排気ガス浄化装置の改良など、継続的な技術開発を行ってきた。

⁶ 排気ガス中の一酸化炭素、炭化水素の排出量を 1975 年迄に 1/10 以下に、排気ガス中の窒素酸化物の排出量を 1976 年迄に 1/10 以下とすることを求め、達成できない車種の販売は認めない、とした極めて厳格な規制。日系完成車メーカーは米 Big3 (GM、Ford、Chrysler) に先駆けてマスキー法対応に成功、今日に至るアメリカ市場での隆盛の礎を築いた

燃費規制は日米
欧から新興国へ
と波及

他方、燃費規制は、文字通り自動車の燃費を規制するものである。日本、米国ではオイルショックを契機とした燃油使用量の抑制を、欧州では CO2 排出量の抑制を、それぞれ主眼として規制が開始され、年々厳格化されてきた。現在では主要各国において CAFE (Corporate Average Fuel Efficiency) と呼ばれる企業平均燃費を指標として規制を行う手法が広く採用されている。近年では、中国においても同様の規制が導入されたほか、規制水準は緩やかであるもののインド等その他の新興国にも波及が見られはじめている。

電動パワートレイン
導入の誘因に

主要自動車工業国の CAFE 規制水準は 2020 年で概ね 20km/L 程度の水準であり、各完成車メーカーが CAFE をこの水準まで抑えるためには、何らかの電動パワートレインの導入を余儀なくされる。

しかし排ガス規制、燃費規制とも、直接に EV・PHEV の普及を促す役割を果たしてはいない。なぜならば、いずれの規制においても所定の数値目標を達成することが求められ、どのパワートレインによって規制値を達成するかは各完成車メーカーに委ねられる。例えば CAFE 規制を達成するに際して、可能な限り多くの車種にハイブリッドパワートレインを導入し、平均的に燃費向上を図るほか、プラグインハイブリッド化を進め、燃費の悪い車種の飛躍的な燃費改善を果たすなど、幅広い対応が取られて来た。

各完成車メーカーの電動化戦略には多様性が見られ、得意なパワートレインに注力する形での電動化が進展してきた。

2. パワートレイン規制の導入

パワートレイン規制
に新たな潮流
が見られる

近年、従来型の排出ガス・燃費規制に代わり、より厳格なパワートレイン規制が具体化しはじめている。その一つの潮流と捉えられるのが、米カリフォルニア州を起源とし、米国内の 10 州で導入されている ZEV 規制であろう。

米国の一部州では EV、PHEV の
一定比率の販売
を義務化

ZEV 規制は、EV・PHEV 等の電動パワートレイン車を販売台数の一定比率以上販売することを義務付けるものであり、その達成度合いは、カリフォルニア州の定める区分に応じてクレジットとして管理される。各完成車メーカーは所定の数のクレジットの納付を求められるほか、余剰または不足のクレジットを売買することができる。販売義務を達成できなかった完成車メーカーは他の完成車メーカーからクレジットの購入を図り、不調に終わった場合には罰則の適用を受けることになる。

中国においても
EV、PHEV の一
定比率の生産・
輸入を義務化す
る動き

米国に留まらず、世界最大の自動車市場を擁する中国においても ZEV 規制を下敷きにする形で、NEV 規制と呼ばれる規制の導入が検討されている。規制内容は、ZEV 規制が販売台数に応じた規制を行うのに対し、NEV 規制では生産・輸入台数に基づく規制が行われる設計となっているなど、いくつかの相違点が見られる⁷。NEV 規制は 2017 年 9 月に、2019 年より導入される旨が公布されている。

ZEV 規制導入州の自動車販売台数は全米自動車市場(2016 年の自動車販売台数 17,859 千台)の 3 割に留まるが、NEV 規制は世界最大を誇る中国自動車市場(2016 年の工場出荷台数 27,939 千台)の全土で一斉導入が見込まれ、その影響度は極めて大きい。

⁷ NEV 規制に関する詳細は竹田(2017a)をご参照頂きたい

そして ZEV 規制・NEV 規制類似の規制は、他国でも採用される可能性を含んでいる。従来の罰金のみ依存した規制とは異なり規制水準を超過達成したメーカーは、クレジットが不足するメーカーに対してクレジットを売却し、対価を得ることが可能となっている。こうしたクレジット売買の枠組み⁸を取り入れることによって、規制対応が可能な企業に対して、単に規制水準を満たす以上の研究・開発リソースを投入するインセンティブを与え、また、政府による補助金などの財政支出を伴わずにメーカー間の所得移転により電動車の生産コストを実質的に引き下げ、その普及を促すことができる。財政負担を伴うことなく、電動車の普及を進めることに魅力を感じる国は今後も拡がりを見せる可能性がある。

エンジン車販売 禁止の動きも見 られる

ZEV 規制、NEV 規制に加えてもう一つの潮流として掲げられるのがエンジン車販売禁止の動きである。フランス政府は 2017 年 7 月に、2040 年までにガソリン車、ディーゼル車の販売を禁止することを打ち出した。これを皮切りに、同月にはイギリス政府も同様に 2040 年までの禁止を発表し、2017 年 9 月には中国の工業情報化部が将来的なエンジン車の販売禁止を検討していることが公表された。

これらの潮流が拡がりを見せれば、完成車メーカーは EV・PHEV を含む電動車の市場投入が不可避となる。

3. 各完成車メーカーの取り組み

電動化に強いコ ミットメントを示す 事例も

規制による強行的な電動化への誘導は、完成車メーカーのパワートレイン戦略にも影響を及ぼしている。従来は将来的な注力分野の一つに過ぎなかった電動化について、強いコミットメントを表明する企業が相次いでいる（【図表 12】）。

【図表 12】相次ぐ電動化への強力なコミットメント表明

メーカー	時期	コメント
Volvo	2017年7月	2019年以降に発売する全ての車種を、EV、PHEV、Mild HEVとすると発表
Jaguar and Land Rover	2017年9月	2020年以降に販売する全ての車種を電動パワートレインを搭載した車種とする旨を発表
Volkswagen	2017年9月	「Roadmap E」を発表し、2025年までにグループで80車種の電動車を投入。電動化モビリティの産業化に向けて集中投資を実施。500億ユーロを超える額の電池の発注先を検討

（出所）各社公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

従来、既往エンジン車に比して構造がシンプルであるため原価改善が困難で、利幅の薄くなりやすい電動車に対しては、各完成車メーカーとも漸進的な取り組みが選好されやすい素地があった。しかしながら、前述した潮流も踏まえて、電動化は不可避となったことから、これらの変化がもたらされていると考えられよう。電動化へのコミットメントを発する企業が拡がれば、サプライヤー網全般に影響は波及し、次第にその影響は不可逆的なものとなることが考えられる。

⁸ 一部の州では各完成車メーカーのクレジット残高、売買の状況をインターネット上に開示している

4. EV・PHEV の拡大の可能性

以上を踏まえ、EV・PHEVはどの程度の速度で普及するだろうか。アメリカ、欧州、中国、インド・タイ・インドネシア、日本の順に地域別に概観したい。

アメリカでは既往のエンジン車も存在感

アメリカにおいては、前述した ZEV 規制が EV・PHEV の拡大の支援材料となる。他方、米国自動車市場は、油価をはじめとする経済合理性に基づき、購入する自動車を選択する傾向が色濃いことに加え、ピックアップトラックなどの大型車への需要も根強く、環境規制上もこれらの車種への適用は緩やかである。既往のエンジン車も一定のプレゼンスを維持し続けるであろう。

欧州では規制を梃子に電動化が進展

欧州においては厳格な環境規制が導入されていることに加え、PHEV に優遇的な規制体系が置かれていること、さらにはイギリス・フランスにおいて前述したエンジン車禁止の動きが見られることを踏まえると、電動化の進展速度はより速いものとなるが見込まれる。

中国は新エネ車に傾注する当局の動きが普及を後押し

中国においては全土で NEV 規制が導入され、さらには前述の通りエンジン車禁止の動きが見られる。過剰生産能力を抱え、エンジン車におけるパワートレインのキャッチアップの停滞が指摘される地場完成車メーカーを抱える中国が産業政策的な意図も含め電動車開発を振興しているとも見られ、EV・PHEV を含む新エネ車振興の流れは不可避のものとなる。

アジアでの電動化進展は緩やかに

インド・タイ・インドネシアでは環境規制は然程厳格ではない。また、電動車の普及にはインフラ整備が必要であることも勘案すれば、普及には相応の時間を要すると考えられる。他方、各国政府からは、先進国に並ぶ工業製品の生産国であり続ける戦略の観点から、EV 生産を誘致・振興したい意向が聞かれている。販売面においても 2017 年 6 月にはインドが 2030 年までに新車販売を EV に限定することを目標に掲げ、タイでは EV 普及ロードマップが掲げられた。

他方、これらの国々は日系を中心とする外国完成車メーカーを誘致することによって自動車産業を立ち上げており、電動化の進行速度は政府の思惑と進出済の完成車メーカーの思惑との均衡が探られる中で決まっていくこととなる⁹。

日本での電動化はユーザーの受容性の高さに支えられる

最後に日本について見ておきたい。日本は燃費・排出ガス規制は厳格ではあるものの、強行的に電動化パワートレインの導入を求める規制は現在導入されていない。他方、ユーザーの環境意識の高さや先進技術に対する関心の強さなど、ユーザーの受容性の高さが際立っている。現在は HEV (Hybrid Electric Vehicle) が市場の中心であるものの、充電インフラの整備が進む中で、徐々に EV や PHEV の販売台数も増加が見込まれる。

電動車販売が進めば、保有基盤も相応の規模に

では、電動車販売の拡大により、電動車の保有基盤は拡大するだろうか。EV・PHEV の保有台数については、新車販売台数のほかに、各国において自動車は何年保有されるかによっても左右される。従って、一律に将来における EV・PHEV 保有台数を算出することは現実的ではない。ただし、例えば日本政府が示している「EV・PHEV ロードマップ」においては、2030 年に国内新車販売台数に占める EV・PHEV 台数 20～30%に対して、国内自動車保有

⁹ 他方、日系以外の外国完成車メーカーが、ASEAN における日系完成車メーカーの圧倒優位を切り崩そうとする可能性も排除されない。当該論点に係る詳細は竹田 (2017b) ご参照

台数に占める EV・PHEV の割合は 16%とされている。当該水準の達成には、相当な速度での EV・PHEV 普及が求められることとなり、必ずしも見通しは明るくない。しかしながら、仮にその見通しが達成された場合に、日本の自動車保有台数が現状程度(77 百万台(2014 年))で推移したときには、国内においても 12 百万台程度と、相応の保有基盤が確立されることになる。

Ⅲ. EV・PHEV のエネルギーリソースとしての活用可能性

1. EV・PHEV のエネルギーリソースとしての活用への取り組み

(1) 蓄電用途としてのリチウムイオン電池の可能性

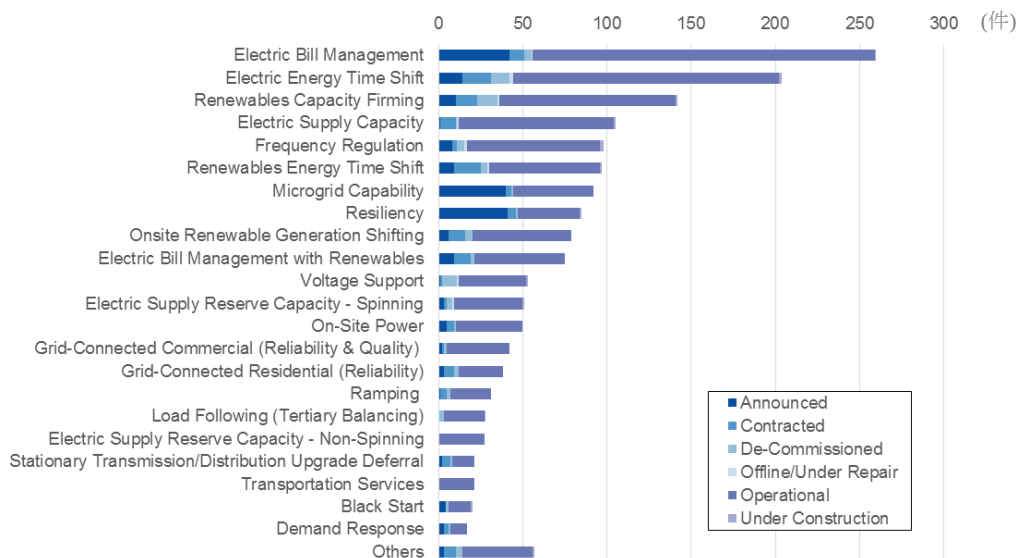
EV 用蓄電池は電力用途としても活用可能

EV が搭載する電池は、数十 kWh の容量を有し、これは一般家庭で使用する一日あたりの電力量(10kWh 程度)と比較しても十分に大きな容量である。そのため、EV に搭載されている電池は、駆動用電源としてだけでなく、家庭等での蓄電用途としての活用も各所で検討されている。

リチウムイオン電池のコスト競争力は向上

定置用の蓄電池を考える際、電池の特性を比較すると、EV で採用されているリチウムイオン電池は周波数調整用途等の様に、短時間に入出力を繰り返す用途に適している一方、タイムシフト等の数時間単位の充放電を行う用途にはあまり適していないという指摘もされてきた。しかし、定置用蓄電池の導入で先行する米国市場での事例を見ると、周波数調整のみならず、タイムシフト等の用途でもリチウムイオン電池の導入が目立っている(【図表 13】)。背景として、EV 向けに巨額の設備投資がリチウムイオン電池の大量生産を可能にすると同時に、コストの急激な低下を促し、他技術対比で価格優位性を実現したことが挙げられる。蓄電用途においては価格が最も重要な要素であるため、将来的に EV・PHEV 市場が拡大することでリチウムイオン電池の生産量が拡大し、規模の経済が働くことで更にコストが低下していけば、必ずしも技術的な特性が最適でなくとも、蓄電用途においてリチウムイオン電池の導入が一層進むことが期待される。

【図表 13】 米国市場における用途別のリチウムイオン電池導入案件(2017 年 9 月時点)



(出所) Department of Energy ウェブサイトよりみずほ銀行産業調査部作成

但し、リチウムイオン電池のコストは低下してきているものの、蓄電用途として商業ベースで採算が取れる地域・用途は限られている。そのため、導入コストを抑えるための様々な取り組みがなされており、その一つが EV・PHEV の活用である。

(2) Vehicle to Home への取り組み

EV・PHEV は既往エンジン車と比べ依然高価格

EV・PHEV は、各国の規制やそれを受けた完成車メーカーの取り組み等で一定の普及が期待されるものの、ユーザーサイドから見た場合、現状の EV・PHEV は既往エンジン車に較べて必ずしも経済優位性があるものではない。最大の要因は車両価格であると言え、今後蓄電池等の価格下落に伴い EV・PHEV 価格も低下していくことが予測されるものの、既往エンジン車と同等になるには時間を要するものと想定される。

自動車の稼働率改善の観点としての蓄電池利用

一方で、保有コストが高いが稼働率は極めて低い自動車という財の特性を踏まえ、シェアリングのような稼働率を向上させる取り組みが広まってきている。このような環境下、前述のような蓄電用途へのニーズの高まりと高価な EV・PHEV の有効活用ニーズが相まって、Vehicle to Home (以下、「V2H」) への取り組みが見られ始めている。稼働率の低い EV・PHEV を家庭の系統に接続することで、蓄電池としても活用し、EV・PHEV 電池の稼働率を向上させようというアプローチである。

米国における Vehicle to Home への取り組み

例えば、独 Bayerische Motoren Werke AG (以下、「BMW 社」) と米 Pacific Gas and Electric Company (以下、「PG&E 社」) は、共同プロジェクト「PG&E's BMW i Charge Forward Pilot Program (以下、「BECC」)」に、2015 年から取り組み始めている。最終目的は、EV・PHEV の所有コストを減らし、EV・PHEV の売上拡大を目指すことにある。第一フェーズとして、約 100 台の「BMW i3」を電力系統に接続し、PG&E 社からの信号を受信すると、最大 1 時間の充電遅延が可能となるように設定し、自社の蓄電池 200kWh と合わせて、PG&E 社からの 100kW のデマンドレスポンス¹⁰要請に応答するというプロジェクトを行った。自動車オーナーは、プロジェクトへの参加により報奨金を受け取ることができる。結果、PG&E からの要請の 94%において、100kW の負荷低減に成功し、同時に参加者の 92%から非常に高い満足を得られたという結果を公表している。現在では、2016 年 11 月から 24 カ月間の第二フェーズへと移行し、250 台の BMW i3、BMW i8、iPerformance を用いて家庭内および移動中の充電を管理し、グリッドの信頼性を高め、再生可能エネルギーの統合をサポートするといった取り組みがなされている。このプロジェクトへの参加者は、初期インセンティブ 300ドルを含む、最大 900ドルを受け取ることが可能となる。

Vehicle to Home の課題

ただし、こういった取り組みにはいくつかの課題が残存する。例えば、電池の劣化に伴う航続距離への影響が挙げられる。新車の段階では、相応の航続距離が得られるようになってきたものの、EV 蓄電池は、充放電を繰り返すことによって、劣化が進行するため、数年 V2H として使用した後の航続距離への影響に対して不安が残る。モビリティ用途として、必ずしも十分な航続距離を得られているわけではないにもかかわらず、V2H として蓄電用途に充放電を繰り返すことで蓄電池の劣化を早めることとなり、航続距離に悪影響を及ぼす虞がある。

¹⁰ 電気料金価格の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の消費パターンを変化させること

(3) 車載用リチウムイオン電池のリユース

EV・PHEV 蓄電池
を家庭用蓄電池
としてリユースす
る可能性

EV・PHEV 蓄電池のリユースにも注目が集まっている。EV・PHEV 電池の劣化の問題が存在することは前述したが、このことは自動車としての価値が失われることに直結し、中古車価格も低迷してしまうこととなるため、EV・PHEV 普及への足枷となっている。劣化した蓄電池を交換するプログラム等が期待されているが、蓄電池の処理と交換コストの高さが障害となる。そのため、EV・PHEV から劣化した蓄電池を取り出し、家庭用蓄電池として再利用する取り組みが見られる。日産と住友商事はフォーアールエナジー社を立ち上げ、再生可能なリチウムイオン電池の有効活用を目指している。当社では、例えば、住宅および事業用途目的の太陽光パネルとの組み合わせによるエネルギー貯蔵、バックアップ電源、無停電電源装置(UPS)、電力グリッドの負荷平準化、風力・太陽光発電の出力変動平滑化といった用途として、EV・PHEV 蓄電池の二次利用が行われている。

一般家庭の電力消費量である平均 10kWh/日に対して、例えば日産の新型リーフの蓄電容量は 40kWh と大容量であるため、自動車としての蓄電池使用限度とされる容量の約 70%~80%まで電池が劣化した後でも、一般家庭の蓄電池容量としては十分に活用可能な水準と考えられる。

EV・PHEV リュー
スに向けた課題

現時点では、EV・PHEV から蓄電池を回収するコストが高いという点、また再利用電池の性能を誰がどのようにして保証するのかという問題、更には EV・PHEV の新車販売市場が成熟していない中で、事業性を担保するだけの台数・容量の確保に相当の時間を要するといった点など課題は多い。こうした課題は 1 社のみで解決できるものではなく、国・業界を挙げて、完成車メーカー、蓄電池メーカー、更には、例えばリース等の金融サービス事業者が一体となって取り組むべきと考える。

また、現在の車載用リチウムイオン電池は、EV 等に最適化しているため、蓄電用途として使用した場合、必ずしも期待されただけのパフォーマンスを得られないリスクもある。従って、より効率的な蓄電池の活用には、制御技術等含め、改善の余地があると思われる。

2. EV・PHEV 蓄電池を系統運用に活用した場合に得られる社会的便益

EV・PHEV の電力
系統への活用に
際しては十分な
社会的便益が必
要

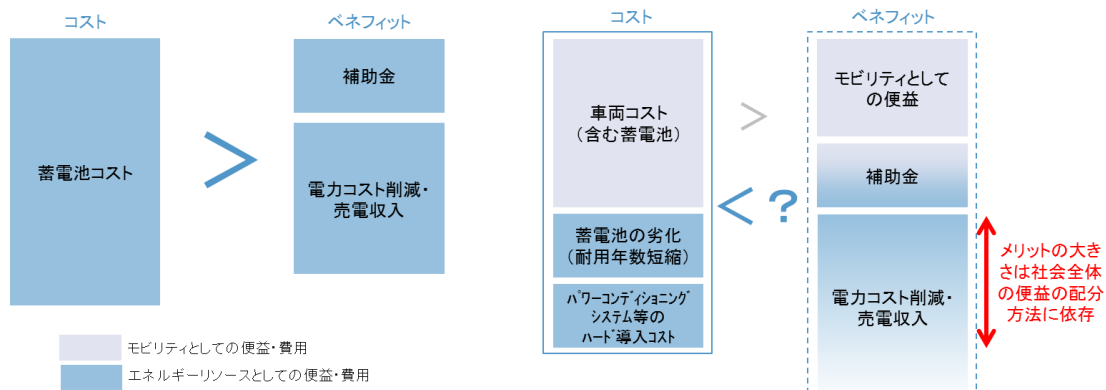
実際に EV・PHEV を蓄電池として電力系統に組み込んで活用するに際しては、自宅のほか職場や商業施設等に停車中の EV・PHEV が電力系統にアクセスできる環境を如何に整備するかといった政策的な課題が浮上する。加えて、経済的なインセンティブ、即ち EV・PHEV の電力事業への活用が十分な社会的便益をもたらし、その便益がオーナーを含むステークホルダーに適切に分配されることで、EV・PHEV 蓄電池をエネルギーリソース用途に向かわせる原動力が必要となる。

本稿では社会全
体として得られ
る便益に着目

EV・PHEV オーナーにとっての経済的インセンティブの大きさは、EV・PHEV を蓄電池として利用することで、一義的に裨益するであろう事業者あるいは自治体が、その便益をリソース提供者である EV・PHEV オーナーにどのようにして還元するか依存する(【図表 14】)。例えば、EV・PHEV 蓄電池容量の 50%の制御権を電力会社に譲渡し、電力会社はその容量の範囲において調整力として活用した結果、得られる限界的な便益(コスト削減効果)の一部を

EV・PHEV オーナーに対して電気料金を割り引くといった形で還元する方法が想定される。このように、オーナー・事業者・公的セクターが、それぞれの程度のメリットを享受するかは、全体として得られる便益の分配方法に依存するため定量化が困難である。従って、ここでは EV・PHEV 蓄電池を電力系統に活用することで生まれる社会全体の便益について試算を試みる。

【図表 14】EV・PHEV オーナーにとっての電力用途に対する費用対効果イメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

EV・PHEV の蓄電池 利用 による 様々な便益

EV・PHEV を系統運用に活用することで得られる社会的便益は多岐にわたる(【図表 15】)。本稿では、太陽光や風力発電の出力変動の幅を平準化する蓄電池の調整力としての価値に着目する。調整力の価値は、周波数調整を行う機能に加え、太陽光や風力等の自然変動電源が電力需要以上に発電した場合、余剰電力を蓄電池が溜め込むことによって、電力需給調整を行いつつ、再生可能エネルギーの出力抑制を回避するといった効果も含んでいる。このことは再生可能エネルギー事業者にとって、事業の予見性を高めることにもつながる。

EV・PHEV 活用による既存火力発電所への影響

現在、調整力の主な担い手である火力発電は、再生可能エネルギーの大量導入に伴う稼働率低下リスクを抱えている。経済産業省の審議会では、2020 年に向けて容量市場等の導入が検討されているが、適切な制度設計がなされなければ、再生可能エネルギーの増加に伴い、新設はおろか既設の火力発電所でも維持していくことが困難になりかねず、また電力事業者の収益を圧迫する要因となりうる。他方、太陽光や風力といった自然変動電源の拡大に伴い、必要とする調整力の容量は増大する。即ち、経済性が低下していく火力発電所を維持する社会的必要性は高まるということになる。こうした中、蓄電池が火力発電所と同等か、それ以上に太陽光・風力発電の自然変動に追従できれば、高コストな老朽火力発電の合理化を促し、既存電源の稼働率を高めるといった効果が期待できる。

【図表 15】EV・PHEV 蓄電池活用の便益

便益の受け手	便益内容		概要
送配電事業者	系統安定化	周波数調整	需要家側の分散電源発電、蓄電池充放電、負荷制御・需要抑制量等を集め、送配電事業者に対してリアルタイム市場（2020年創設）等を通じ、各種サービスを提供
		需給バランス	
		その他（配電網の電圧調整等）	
	投資最適化		蓄電池等の活用により、系統・変電所等の更新・増強を回避
発電事業者	火力発電の合理化		老朽火力の合理化、既存火力の稼働率向上を通じ資産効率を向上
需要家	電力料金削減		・契約電力削減（ピークカット） ・電力購入タイミング及び電力購入量を最適化（エネマネ、利用時間シフト、省エネ）
	報酬の獲得		デマンドレスポンスに参加する場合、インセンティブを獲得
自治体等	BCP		災害時においても、分散電源や蓄電池からの電力を活用
再エネ発電事業者	出力抑制回避		出力抑制が発動する場合に、蓄電池等により需要創出することで、再エネ発電を最大限活用

（出所）みずほ銀行産業調査部作成

EV・PHEV 蓄電池の活用による社会的便益を試算

以下では一定の前提条件（【図表 16】）の下で、太陽光発電と風力発電の合計出力が、EV・PHEV 蓄電池の調整力を活用することによって、どのように平準化されるかをシミュレーションしている。具体的には、EV・PHEV 蓄電池の利用割合に応じて、自然変動電源の最大出力と出力のばらつきがどのように変化するかを見たものである。自然変動電源の最大出力を他の時間帯にシフトすることができれば、再生可能エネルギーの出力抑制を回避することで、より多くの再生可能エネルギーを利用できる。また、自然変動電源の出力のばらつきを小さくすることができれば、必要とする調整力の抑制を通じて、老朽火力発電等の合理化（コスト削減効果）等が見込まれる¹¹。

【図表 16】シミュレーションの前提条件と試算内容

<前提条件>

- ・ EV・PHEV全国普及台数：600万台（「EV・PHEVロードマップ」における2030年EV・PHEV保有台数目標の50%と仮定）
- ・ EV・PHEVの平均電池容量：25kWh（EV電池容量40kWh、PHEV電池容量10kWh、EV・PHEV普及割合1:1と仮定）
- ・ 充放電効率：100%
- ・ 太陽光・風力発電の出力パターンは、2016年度（1年間=8760時間）における全国実績を使用
- ・ 太陽光・風力発電の最大出力を最小化するようにEV・PHEV蓄電池を運用（蓄電池の機能として、太陽光・風力発電の最小出力を最大化する効果も想定されるが、本シミュレーションでは考慮しない）

<試算内容>

蓄電池の活用比率を変化（0%、20%、50%）させた時の「最大供給力」と「出力のばらつき（標準偏差）」を比較

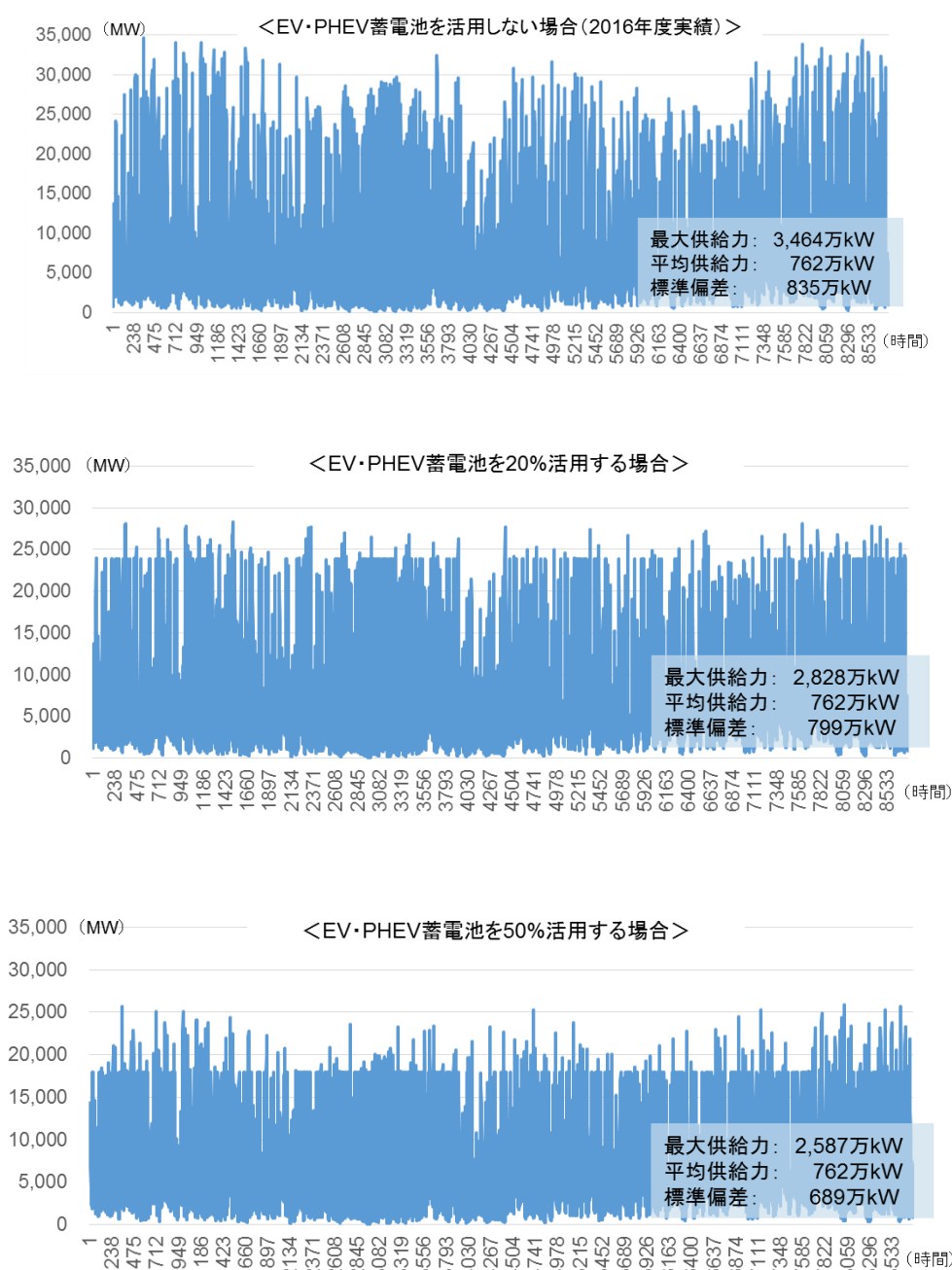
（出所）みずほ銀行産業調査部作成

¹¹ ここでは、自然変動電源の最大出力とばらつきを最小化する目的関数を適用した簡易的なシミュレーションを行ったものであり、実際のビジネスシーンで使用されるであろう複雑な変数やアルゴリズム解析を駆使した最適化シミュレーションとは結果が大きく異なる可能性がある

EV・PHEV 蓄電池の活用により、自然変動電源の最大電力と出力のばらつきを大幅に削減可能

シミュレーション結果では、EV・PHEV 蓄電池の 20%が利用可能となる場合、太陽光・風力発電の最大出力の 18%を他の時間帯にシフトすることで、出力抑制を回避できる可能性が高まる。さらに、EV・PHEV 蓄電池の 50%が利用可能となる場合においては、太陽光・風力発電の最大出力の 25%を他の時間帯にシフト可能であることに加え、自然変動電源の出力のばらつきは 17%縮小され、これによって火力発電等で賄うべき調整力を同程度削減できることが明らかとなった(【図表 17】)。

【図表 17】 EV・PHEV 蓄電池を活用した場合の太陽光・風力発電の出力パターン



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

3E の視点からみたEV・PHEV蓄電池の活用意義

上記は経済的側面から EV・PHEV のエネルギーリソースとしての活用可能性を評価したものである。他方、資源小国たる日本において、エネルギー問題は、経済性 (Economic Efficiency) のみならず、エネルギー安全保障問題 (Energy Security)、さらには環境適合性 (Environment) においても、EV・PHEV 蓄電池の活用が正当化される必要がある。この点、蓄電池は純国産エネルギーかつゼロエミッションの再生可能エネルギーを余すところなく利用するために活用されることを考えれば、EV・PHEV の蓄電池利用が、日本のエネルギー安全保障と環境適合性のいずれにも寄与することは明らかである。

3. 欧米における先行事例

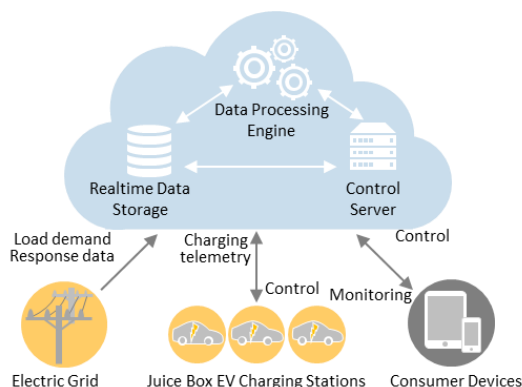
次に、排出ガス規制の強化と、再生可能エネルギーの導入拡大を背景に、逸早く EV・PHEV の普及が進む米カリフォルニア州とドイツにおける EV・PHEV の電力系統への活用事例を紹介する。

(1) EV 蓄電池の充放電を電力グリッドに活用 (米 eMotor Werks 社)

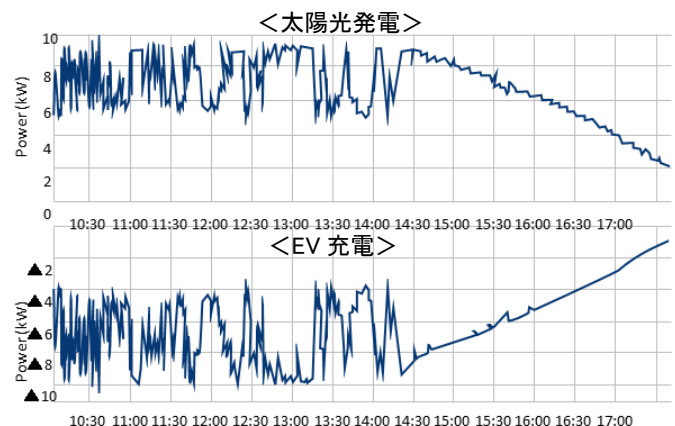
EV 蓄電池の最適運用と太陽光との連携により生み出される収益を EV オーナーとシェアするビジネスモデル

米 eMotor Werks 社は EV 充電器の販売および充電器の統合制御を行うベンチャー企業である。当社が独自開発した「Juice Net」と呼ばれるクラウドベースのデータ解析ソフトを通じて、EV 用充電器を通じて EV 蓄電池の残量をリアルタイムに把握し、蓄電池の残量や空き容量の運用権をユーティリティ企業に譲渡する。これによりユーティリティ企業は EV 蓄電池を調整力として活用することが可能になり、①電力需要の柔軟性向上 (ピークシフト)、②インフラ投資の抑制、③周波数調整効果が得られる。当社は、ユーティリティ企業から得られるこうしたサービスの対価を EV オーナーとシェアするビジネスモデルを構築している。「Juice Net」は現在住宅用 EV 充電器に実装されているが、同社は将来、職場や商業施設の充電設備にも搭載し、EV 蓄電池の電力系統への活用を促進する意向である。これが実現すれば、太陽光発電との連携により効果的に行われ、EV 蓄電池の充放電パターンと太陽光発電の出力パターンを密接に連動させることで、より多くの太陽光発電を有効利用することが可能になる(【図表 18、19】)。

【図表 18】「Juice Net」のストラクチャー



【図表 19】太陽光発電とEV充電の出力パターン



(出所)【図表 18、19】とも、eMotor Werks 社ウェブサイトよりみずほ銀行産業調査部作成

(2) ブロックチェーン技術を活用した EV チャージ(独 Slock.it 社、独 innogy 社)

ブロックチェーン 技術の EV チャー ジへの応用事例

ブロックチェーン技術¹²を EV 充電に応用する研究も進んでいる。ブロックチェーン・プラットフォームである Ethereum¹³をベースとする独スタートアップ企業 Slock.it 社は、独大手電力会社 innogy 社と共同で、EV 充電にブロックチェーン技術やスマートコントラクト¹⁴を活用する実証事業を始めた。EV にマイクロチップを搭載し、これをデジタルウォレットとリンクさせることで、充電取引に関する一連の取引と資金決済を EV 自身が行う、プロセスの全自動化を実現しようとする取り組みである。これにより、EV が電力系統との間で行う充放電取引について、分散ネットワークの下で、取引の認証から、売買、決済までをブロックチェーン上で完結させるといったことが可能になる。この技術を応用すれば、例えばコンビニエンスストアや信号待ちで停車中の EV を系統と接続¹⁵させることで、数十秒から数分といった細切れの時間においても EV 蓄電池を系統運用に活用することが技術的に可能となる。

IV. EV・PHEV の電力事業への活用に向けた課題

1. 米国事業環境との比較

カリフォルニア州 における事業環 境の特徴

米国における先駆的な事業モデルはそれぞれの事業環境を反映している。カリフォルニア州では、ZEV 規制等、厳格な環境規制の導入を背景に EV・PHEV の普及が進む中、EV・PHEV オーナーが帰宅後に行う急速充電が、点灯帯¹⁶に系統電力需要の急上昇をもたらすことが問題となっている。この所謂「ダックカーブ」現象が系統運営を不安定にしており、EV 急速充電の増加に伴う配電系統への過負荷が問題視されている。そこで、EV 充電を系統電力需要が小さい深夜時間帯にシフトする、充放電の運用をユーティリティ企業に委託し最適化することで系統への負担を和らげるといった対策が実施されようとしている。また同州では、デマンドピークチャージ¹⁷のような需要家にピークカット・ピークシフトを促す電気料金体系や、太陽光発電・蓄電池・EV の購入を促す潤沢な政策支援、シリコンバレーに集積する分散型エネルギー分野で優れたソフトウェア技術を有するベンチャー企業や、その資金調達を可能にするエコシステム等、EV 蓄電池の活用や分散型エネルギー事業が育ちやすい事業環境が整備されている(【図表 20】)。

今後日本におい ても顕在化する 課題は共通

但し、最近では、国内でも太陽光発電の拡大が著しい九州地域において「ダックカーブ現象」が既に発現していることから、カリフォルニア州が抱える課題に、日本も今後直面する可能性は十分に考えられる(【図表 21、22】)。そのため、蓄電池の普及とともにエネルギー分散化が進む欧米で顕在化している課題を整理し、その解決策を学ぶことは意義が大きいと思われる。

¹² ブロックチェーン技術の電力分野への活用に関する詳細は、みずほ銀行「II-12. 電力 —ブロックチェーン技術を活用した電力シェアリングエコノミーの展望」『みずほ産業調査 57 号 デジタルイノベーションはビジネスをどう変革するか —注目の取り組みから課題と戦略を探る』(2017 年 9 月 28 日)参照

¹³ 分散型アプリケーションやスマートコントラクトを構築するためのプラットフォームの名称

¹⁴ あらかじめ合意・定義された条件・プログラムに従って自動的に資産や権利を移転させる仕組み

¹⁵ 非接触充電(Inductive Charging)技術を活用することで、例えば道路に埋め込まれた充電器を通じて EV・PHEV 蓄電池を系統運用に取り込むことが可能となる

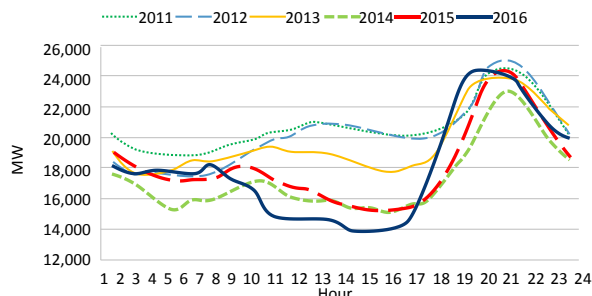
¹⁶ 日没後、照明や空調等による家庭用電力需要が多くなる時間帯。太陽光発電の出力が低下する時間帯とも重なることが最近問題となっている

¹⁷ 地域により定義が異なるが、1 カ月間のピーク電力実績に基づき、翌月の電力基本料金が計算される仕組み

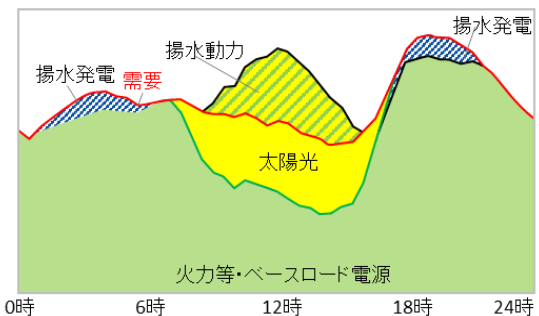
【図表 20】蓄電池活用に関する米カリフォルニア州と日本の事業環境の対比

	米カリフォルニア州	日本
再生可能エネルギーの急拡大	- 再生可能エネルギー導入促進政策により、特に太陽光発電が急増 - EV普及と相まって、点灯帯における急速充電が「ダックカーブ」を創出	九州では、「ダックカーブ」現象が見られるが、EV普及に伴う系統への悪影響については未だ顕現化していない
電気料金体系	- 商工業用電気料金として<u>デマンドピークチャージが存在</u>(電気料金の約半分を占める)、<u>月間の最大電力に応じて毎月変動</u> - 家庭向け電気料金にもToU(時間帯別タリフ)がデフォルト設定される見通し	- 商工業用電気料金にデマンドピークチャージは存在するも年間を通じて不変 - 家庭向けToUは導入が進んでいない
政策サポート	太陽光パネル、定置用蓄電池、EV購入に対して、連邦・州政府、自治体から多様な潤沢な補助金	太陽光パネル、定置用蓄電池、EV購入に対して、国の補助金は存在するも限定的
(発電・系統容量の)代替可能性	元来、系統設備が脆弱であり、<u>蓄電池の導入コストが、配電・変電設備の新增設コストを下回るケースが多い</u>	系統が緻密に整備されており、現時点では蓄電池の導入コストよりも、既存の系統設備の改修コストの方が低廉
ベンチャー企業のエコシステム	企業家、エンジニア、投資家等の層が厚く、優れたベンチャー企業を育む環境が存在	企業家、エンジニア、投資家の母数が少なく、ベンチャーを育成する環境は未成熟

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表 21】カリフォルニア州における電力需要曲線
(2011～2016年における低負荷期の電力需要)


(出所) California ISO 公表資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表 22】九州電力管内における電力需要曲線
(2016年5月4日)


(出所) 九州電力 IR 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

2. EV・PHEV 蓄電池の活用に向けた課題

EV・PHEV をエネルギーリソースとして活用するにあたっての課題

日本で EV・PHEV をエネルギーリソースとして活用するにあたり、どのような課題が存在するかについて考えたい。これまでの実証事業や欧米の先行事例から示唆される課題は、①EV・PHEV 蓄電池のアベイラビリティ確保、②配電系統への負荷軽減、③経済性の確保、④制度・ルールの見直しの 4 つに大別される(【図表 23】)。

【図表 23】EV・PHEV 蓄電池の更なる活用に向けた課題と解決の方向性

	電力事業におけるEV活用に関する課題	課題解決の方向性
アベイラビリティの確保 (接続時間×SoCの最大化)	- 接続時間: EVが充電器に接続されている時間が帰宅後～出勤までに限定される(定置用蓄電池との違い) - SoC: 最適運用に向けたソフトウェア技術の改良余地	- EV蓄電池のSoCを最大化する技術についてはAIの活用により改善が期待される - 接続時間の拡張に向けて職場や商業施設等、自宅以外の充電インフラを拡充する必要性 - ブロックチェーン技術等を活用したEV蓄電池のネットワーク化
配電系統への負荷軽減	- 電気の双方向の行き来を想定した設計となっておらず、放電が特定の時間帯やエリアに集中することによる配電系統の電圧上昇 - 帰宅後にEVの急速充電が集中することによる「ダックカーブ」現象の悪化	- 配電網や変電・変圧設備の増強 - EV充電をオフピーク時間帯にずらすような電気料金メニュー(時間帯別料金、ダイナミックプライシング)等の導入
経済性の確保	- 現時点においては、EV蓄電池の電力系統への活用に伴う追加的な「費用」が「便益」を上回っている状態 —FITの存在 —マネタイズポイントの欠如	- EV蓄電池の活用によって得られる社会便益を適正に分配するシステム - VPP等の分散型エネルギーリソースが参加できる市場の創設
制度・ルールの見直し	- Prosumerの位置付けが不明確 - 託送料金制度の持続可能性に課題	- Prosumerの位置付けの明確化 - 託送料金負担のあり方を見直し(基本料金による回収率の引き上げ)

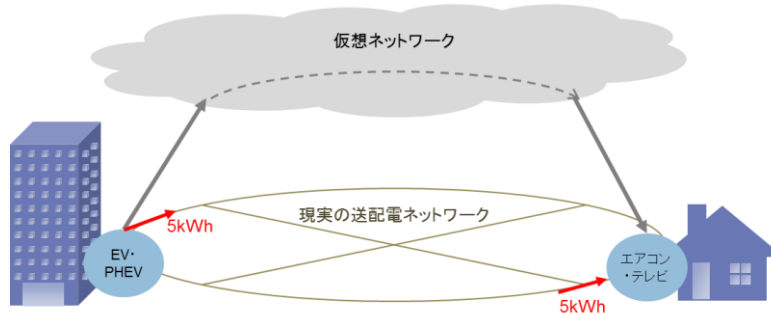
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

アベイラビリティ確保に向けては接続時間を拡張する取り組みが必要

まず、EV・PHEV 蓄電池のアベイラビリティについては、「アベイラビリティ＝蓄電池残量(State of Charge、以下、「SoC」)×接続時間」と表現されることから、SoC と接続時間をそれぞれ最適化する運用が重要である。SoC については、EV・PHEV の使用パターン、天候、電力需要等のデータ解析により、例えば、電気料金が安い時間帯に SoC を最大化するようなプログラムを設計する等、今後 AI 技術の進展とともに、飛躍的な改善が見込まれる領域である。一方、接続時間については、先に述べたように、通勤や買い物等における自動車の使用実態に即して、EV・PHEV 蓄電池を効率的に電力系統に取り込むといった社会システム設計の視点が重要である。職場や商業施設における充電設備の拡充に加え、例えば EV・PHEV に IP アドレスを付与し、接続・充放電の取引実績が EV・PHEV 自体やオーナーに帰属する仕組みが有効と思われる。ここでは、慶応義塾大学の山中直明教授が提唱する Electricity Virtual Network Operator(以下、「EVNO」)モデルが参考になるだろう。EVNO とは、現実のグリッドから切り離れた論理的・仮想的なネットワークとして小規模なグリッドを構築し、この中で需要家・Prosumer 間で自由に電力をやり取りする、Peer-to-Peer¹⁸(以下、「P2P」)世界を想定し、この仮想的な環境において電力の同時同量を実現する概念である。例えば、車通勤で日中職場にある EV・PHEV 蓄電池から充放電を行うと、自宅のスマートメータが連動し、自宅で電力売買を行うのと同じ経済効果をもたらす(家族が自宅のエアコンで使う電力を、職場にある EV・PHEV の放電によって賄う等)ネットワーク環境の構築が可能になる(【図表 24】)。このように、EV・PHEV 蓄電池のアベイラビリティ確保に向けては、先の innogy 社の事例で紹介したようにブロックチェーンと IoT の連携が重要な要素になると考えられる。

¹⁸ ネットワーク上で対等な関係にある端末間を相互に接続し、データを送受信する通信方式

【図表 24】仮想ネットワークの活用イメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

EV・PHEV 蓄電池の電力系統への活用の際には、配電系統への負担増大に配慮が必要

2 点目として配電系統への負荷軽減の問題について考えたい。日本の電力系統は、地域内で電力の需要と供給がバランスすることを前提に串型のネットワークを形成しており、現状、供給区域間の連系線やエリア内の送配電網は必ずしも大量あるいは頻繁な電力の双方向の行き来を想定していない。原子力発電や火力発電のような大規模な発電所から需要地へ、電圧の高い所から低い所へ電力を流す設計がなされている。EV・PHEV を蓄電池として活用することに伴い、Prosumer と需要家の間の電力の頻繁な行き来によってもたらされる不規則な潮流パターンに対応するためには、配電網や変電・変圧設備の増強等、ハード面において相応の設備投資が必要となろう。

また、通勤に使用する EV・PHEV が帰宅後に集中的に急速充電を行うことによって、九州地域等で既に顕在化している「ダックカーブ」現象を更に悪化させる可能性がある。この問題に対しては、系統負荷が小さい深夜等のオフピーク時間帯へ充電のシフトを促す電気料金メニュー（時間帯別料金、ダイナミックプライシング等）の導入といった工夫が必要となろう。

FIT の存在が EV・PHEV 蓄電池を活用するインセンティブを阻害

3 点目に経済性の問題が挙げられる。日本においては、再生可能エネルギーの普及拡大を目的として、FIT 制度が導入されており、Prosumer が太陽光等で発電する電力は、発電コストを上回る固定価格にて電力会社が「出なり」で買い取ってくれる。EV・PHEV オーナーにとって、充電器やパワーコンディショニングシステム（以下、「PCS」）等の電力系統への接続に必要な機器を自ら購入し、EV・PHEV の蓄電池を劣化させてまで、エネルギーリソースとして利用する動機に乏しい。詳しくは後述するが、EV・PHEV 蓄電池の電力系統への活用が十分な社会的便益を生み出し、オーナーに適切に分配される仕組みが必要である。

Prosumer の位置付けを含め、分散型エネルギー事業について法制度・ルールが未整備

最後に、法制度・ルールの抜本的な見直しも不可欠である。公共性の高い電力事業について、日本では不適切な事業者を排除する目的から、電力小売事業を行うためには、経済産業省へのライセンス登録が必要となっている。現行の法規制上は Prosumer の位置づけが明確でなく、EV・PHEV 蓄電池の充放電により、配電系統を通じて、調整力を含む電力を販売することについては電気事業法等を含め法制度・ルールの整理が必要となろう。

託送料金制度の見直しも必要

また、託送料金制度の見直しも欠かせない。現在の送配電事業は固定費が約 9 割を占めるコスト構造に対して、収入の 6 割超が電力の「通行料」に応じた従量制となっている。今後、分散型エネルギーの普及とともに、送電網の利用率が低下すると、固定費を賄うために託送単価を引き上げざるを得なくなり、

このことがエネルギーの更なる分散化を促し、送配電事業の収支を悪化させる。この問題に対処するには、収入と費用のミスマッチ構造を解消する必要がある。今後、配電網の自律分散化が進むとしても、再生可能エネルギーだけで常にエリア内の需要を完全に賄っていくのは困難であり、基幹系統との連系は引き続き必要である。系統運用に求められるサービスは電力の「道路」としての価値から、自立的な配電系統に対してバックアップ機能を提供する「最終保障サービス」へと変容していくだろう。これに伴い、サービスの対価は、電力の「通行料」の多寡に関係なく、基本料金として需要家から回収していくような仕組みが必要である。

V. EV・PHEV 蓄電池の活用に向けて事業者求められる戦略的視点

EV・PHEV 蓄電池
活用に際して求
められるケイパビ
リティ

EV・PHEV のエネルギーリソースとしての活用が拡大していけば、これまで VPP 普及拡大のボトルネックとされていた蓄電池の高コスト問題が解消され、これに伴い、従来の中央集権的な電力供給システムが、自律分散型の事業モデルへと一気に変容していく可能性がある。ここでは、発電資産を保有せずとも、EV・PHEV を含めた需要家側のエネルギーリソースを調達し、それらを効率的に統合・制御し、そしてマネタイズするといった能力が問われる。言い換えれば、「エネルギーリソース開拓能力」、「アグリゲーション能力」、そして「プラットフォーム(ビジネスモデル)構築能力」が競争優位性を構成する重要なファクターになると考える。

エネルギーリソー
スの確保に向け
ては、SoC の最
適運用と接続時
間の最大化を目
指す戦略が有効

先ず、「エネルギーリソース開拓能力」については、EV・PHEV の拡大を「フロー(売上・収益)」ではなく「ストック(資産)」として捉える視点が必要である。その上で、「ストック」としての EV・PHEV 蓄電池のオペラビリティを拡張すること、即ち、SoC の最適運用と接続時間の最大化を目指す戦略が有効である。SoC については、アルゴリズム解析を活用することで、太陽光発電等の自然変動電源の出力パターン、天候、電力需要予測について精緻な分析に基づく、運用の高度化が可能になってきている。一方、接続時間の拡張に向けては、社会インフラの設計とも関わる幅広い取り組みが必要である。例えば、自動車の利用形態や交通に関する膨大なデータ等を解析し、公共・商業施設や職場を中心に、優先順位をつけて充電インフラ環境を整備することで、自宅以外にも停車する車を効率的に電力系統に取り込む仕組み作りが求められる。また、それを実現するためには、物理的な充電インフラの拡充のみならず、仮想ネットワークを通じて EV・PHEV が行う充放電に関する電力取引をデジタル化するシステムの構築や、EV・PHEV の蓄電池活用を促す電気料金体系(例えば、電力会社との契約において、特定の EV・PHEV を紐づけることで、自宅以外で行うあらゆる充放電取引が、全て EV・PHEV とそのオーナーに帰属するような課金システム)等、ソフト面におけるインフラ整備についても検討が必要であろう。

ソフトウェア技術
を活用した分散
型エネルギーの
最適運用ノウハ
ウが重要

次に「アグリゲーション能力」については、再生可能エネルギーの導入が進み、蓄電池を活用したソリューションの進展が顕著な欧米市場において、優れたソフトウェア技術を有する企業と戦略的な関係を築くことが有力なオプションとなろう。特に、対象とするエネルギーリソースは、太陽光発電の自然変動性、EV・PHEV の移動特性や蓄電池残量の変化を踏まえつつ、刻々と変化する電力需要に合わせて最適な供給・制御が求められるため、AI を活用した需給予測モデルの導入が重要となることは言を俟たない。

十分な社会的便益が各ステークホルダーに分配される仕組み作りを検討する必要

最後に「プラットフォーム(ビジネスモデル)構築能力」であるが、これは先に分析した社会全体として得られる便益が、各ステークホルダーに適切に分配され、経済的にも持続可能なビジネスモデルをデザインすることである。例えば、電力会社が EV・PHEV 蓄電池の運用権の一部をオーナーから買い取り、EV・PHEV をエネルギーリソースとして系統運用に活用することによって実現される様々な社会的便益(ピーク対応電源や送配電網への投資抑制効果、周波数調整効果、再生可能エネルギーの出力抑制回避効果等)の対価の一部を、EV・PHEV オーナーに還元する仕組みが想定される。また、自治体は EV・PHEV 蓄電池の活用により受ける利益、即ち災害レジリエントなエネルギー供給体制、エネルギーの地産地消化といった社会的便益を補助金等を通じて、EV・PHEV オーナーに還元する仕組みも考えられる。さらには、EV・PHEV オーナーがコストベネフィットを正しく評価できるように、蓄電池の劣化度合いを計測する技術も必要となろう。ここでは、オーナーが EV・PHEV 蓄電池の劣化や PCS 等のハードウェア導入等のコストを負担してもなお、電力グリッドに参加したいと思うような強力なインセンティブを創出することが重要である。

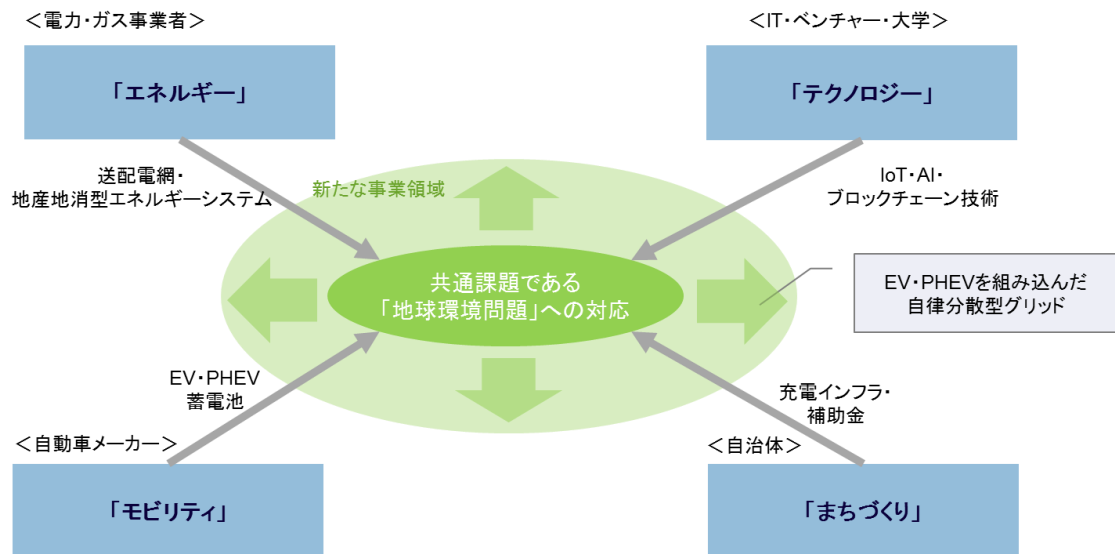
アベイラビリティと経済性の確保がこのビジネスモデル成功のカギ

このように、EV・PHEV の電力グリッドへの参画が十分な社会的便益をもたらし、それをマネタイズできる市場が存在し、かつ実現される価値の分配を通じてエネルギーリソースの提供者たる EV・PHEV オーナーにとって魅力的なプラットフォームを構築できるかが、このビジネスを考える上で重要な視点となる。社会全体として十分な利益が得られなければ、いくら優れたソフトウェア技術や社会インフラを有していても、ビジネスとしては絵に描いた餅になってしまう。

IoT・ブロックチェーン技術との連携によって、「エネルギー」「モビリティ」「まちづくり」が融合

さらには、IoT とブロックチェーン技術の活用も重要である。innogy 社の先進事例にも見られるように、人の手を介さずとも、EV・PHEV や充電器等のデバイスが相互に通信し、電力(kWh)や調整力(∠kW)を融通しあう世界も想定できる。ここでは、EV・PHEV の活用が次世代電力インフラの構築、ひいては災害レジリエントな街の設計・再開発とも密接に関連する。EV・PHEV が、蓄電池を結節点として、街や電力グリッドに溶け込み一体的に運営されることで、真に自立的で持続可能な電力流通システムの構築が可能となる。このように、EV・PHEV 蓄電池の利用が促進されることで地域社会に与える影響は大きい。「地球環境問題」という共通のテーマの下で、モビリティが IoT やブロックチェーン技術の活用により、エネルギーや街づくりと融合し、新たな事業領域を共創していく中で、はじめて持続可能なエネルギーコミュニティを形成することが可能となる(【図表 25】)。

【図表 25】地球環境問題への対応から派生する自律分散型エネルギーコミュニティのイメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

VI. おわりに

EV×電力で生まれる新領域は自律分散型エネルギー供給システムの構築に貢献

EV・PHEV の普及拡大、再生可能エネルギーを中心とする分散型エネルギーを最大限活用する社会は、いずれも地球環境問題への対応として、各国が短期的な国益を超えて取り組んでいるテーマである。また、本稿で取り上げたEV・PHEV×電力のように、業界領域では様々な産業からのチャレンジが期待される。ここでは既存事業者も新規参入者も、それぞれが本業で培った「強み」を持ち寄り、オープンで柔軟なプラットフォームを生み出すことによって、自らの事業領域を広げつつ、環境問題という地球規模の社会的課題解決に繋げる視点が重要である。

EV・PHEV をエネルギーリソースとして電力系統に組み込み自律分散型のエネルギー循環システムを構築することは、エネルギーコストを削減したい消費者、大規模電源への依存度を下げて災害レジリエントなエネルギーコミュニティを目指す自治体、そして未利用資源を最大限活用しつつ既存の発電設備の合理化を実現できる電力事業者等に対して、様々な便益をもたらす。そして、その便益が各ステークホルダーに適正に配分されることによって、持続可能なエネルギー供給システムを構築することが可能となる。

日本が抱える社会的課題の解決と事業者の競争優位性確保に向けて

EV・PHEV は本格的な普及段階に向かいつつある。蓄電池としての活用が消費者にとって経済合理性のあるものとなれば、EV・PHEV 購入に対する消費者への訴求力にも繋がろう。今後 EV・PHEV 普及が可能とする自律分散型エネルギーシステムは、資源少国である日本が永年抱えてきたエネルギーの脆弱性という問題を根本から解決する可能性を秘めている。EV・PHEV×電力が生み出す新領域は、地球環境問題やエネルギー安全保障といった日本が永年抱える社会的課題への一つの処方箋となりえ、また事業者はこうした社会的課題の解決に果敢に挑戦していく中で、新たな市場を創出し、そこから生まれる経済的な果実をモノにすることができるだろう。

みずほ銀行産業調査部

資源・エネルギーチーム 篠田 篤

テレコム・メディア・テクノロジーチーム 篠原 弘俊

自動車・機械チーム 竹田 真宣

atsushi.shinoda@mizuho-bk.co.jp

【主要参考文献等】

1. 書籍・資料等

- 太陽光発電協会「太陽光発電 2050 年の黎明」
- International Energy Agency, *World Energy Outlook 2016* (2016)

2. ホームページ、リリース資料等

- 竹田真宣「自動車 迫られる新エネルギー車投入」『これから 5 年をこう攻める中国ビジネス戦略シナリオ』みずほ銀行産業調査部・みずほ総合研究所編(2017a) 日本経済新聞社
- 竹田真宣「自動車市場の現状と自動車産業の行方」『MIZUHO Research & Analysis no.12 成長市場 ASEAN をいかに攻略するかー多様性と変化がもたらす事業機会を探るー』(2017b) みずほフィナンシャルグループ
- みずほ銀行「II-12. 電力ーブロックチェーン技術を活用した電力シェアリングエコノミーの展望」『みずほ産業調査 57 号 デジタルイノベーションはビジネスをどう変革するかー注目の取り組みから課題と戦略を探る』(2017 年 9 月 28 日)
- 経済産業省 (<http://www.meti.go.jp/>)
- 資源エネルギー庁 (<http://www.enecho.meti.go.jp/>)
- 電気事業連合会 (<http://www.fepc.or.jp/>)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (<http://www.nedo.go.jp/>)
- Department of Energy (<https://energy.gov/>)
- Pacific Gas and Electric Company (<https://www.pge.com/>)
- eMotorWerks (<https://emotorwerks.com/>)
- innogy (<https://iam.innogy.com/en/ueber-innogy>)
- Slock.it (<https://slock.it/>)
- California ISO (<http://www.aiso.com/Pages/default.aspx>)
- 九州電力 (<https://www.kyuden.co.jp/>)

©2017 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

