

Vehicle-to-Grid 導入の利点と課題

はじめに

電気自動車 (Electric Vehicle, EV) ¹の急速な普及に伴い、EV を系統接続し、EV の車載蓄電池を活用することで、充電だけでなく、蓄電した電力を系統に供給する技術である Vehicle-to-Grid (V2G) の実用性が注目されている。日本は、2017 年時点の EV 保有台数において、中国、米国に次いで世界第 3 位であり ²、2030 年までに乗用車の新車販売に占める EV の割合を 20～30% に拡大することを目指している ³。今後も増加すると見られる EV を活用すべく、日本では 2018 年度から VPP 事業の一環として V2G の実証事業が開始された。欧米では早くから V2G 実証を行っており、実際に電力市場に調整力を提供している事例もみられる。低炭素化社会に向けて輸送部門の電化が進むにつれて、V2G への期待が高まる所であるが、本格的に導入するには課題も多いのが実情である。本稿では、V2G の利点と課題を整理し、欧米の事例を紹介し、V2G の実用化について考察する。

1. V2G 導入の利点

V2G を導入する利点として、まず、太陽光や風力といった変動型再生可能エネルギーの導入・拡大に伴い、系統安定化のために、V2G が分散型電源もしくはエネルギー貯蔵として電力量の調整役として機能することが挙げられる。不安定な変動型再エネの発電量に対応するため、EV が駐車している間、発電量が過剰に大きい場合は、車載蓄電池に充電を行い、逆に、発電量が少ない時には放電を行う仕組みとなる。また、車載蓄電池を活用することで、再エネ電源の出力抑制も軽減される。さらに、分散型電源としての役割は、停電のような緊急時にも役立ち、電力供給セキュリティの向上にもつながる。

また、発電事業者および V2G 参加者 (EV 保有者) にとって、V2G による経済的メリットも考えられる。発電事業者は、V2G を活用することで、電力需要増加への対応策としてインフラ整備や発電容量の拡大にかかる費用を抑えることができる。他方、V2G 参加者は、提供するサービスの対価を得られる。ただし、経済性は、サービスの内容によって異なるため、地域や事業に応じた慎重な分析が必要である。

2. V2G 導入における課題

V2G が導入される環境を整えるには、技術的・経済的な課題を克服する必要がある。ここでは主要な課題として以下の 5 点を挙げる。

¹ 本稿では、EV は、動力源が電気である電気自動車 (Battery Electric Vehicle, BEV)、及び、動力源が電気と化石燃料となるプラグインハイブリッド車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) を指す。

² International Energy Agency (2018), *Global EV Outlook 2018*, Paris: OECD/IEA

³ 経済産業省 (2018 年 8 月) 「自動車新時代戦略会議中間整理」
(<https://www.meti.go.jp/press/2018/08/20180831007/20180831007-3.pdf>)

① インフラ整備

V2G 導入のカギを握るのが EV を普及させるためのインフラ整備である。充電ステーションが整備されなければ、EV の普及は難しく、特に、公共充電設備の拡充は、EV の航続距離に対する消費者の不安を軽減する上で重要である。日本では、2016 年時点で、公共充電設備は約 2.1 万ヶ所に 27,835 基が設置されている⁴。充電設備は、普通充電設備と急速充電設備の二つに大きく分けられる。2018 年 5 月時点で急速充電設備がある場所は、約 7,300 ヶ所⁵であることから、普通充電設備の割合が圧倒的に大きいことが伺える。

表 1 日本における充電設備の種類

充電設備の種類		普通充電			急速充電
		コンセント		ポール型普通充電器	
		100V	200V	200V	
想定される充電場所(例)	プライベート	戸建住宅・マンション、ビル、屋外駐車場等		マンション、ビル、屋外駐車場	(ごく限定的)
	パブリック	カーディーラー、コンビニ、病院、商業施設、時間貸し駐車場等			道の駅、ガソリンスタンド、高速道路 SA、カーディーラー、商業施設等
充電時間	航続距離 160km	約 14 時間	約 7 時間		約 30 分
	航続距離 80km	約 8 時間	約 4 時間		約 15 分
充電設備本体価格例(工事費は含まない)		数千円		数十万円	百万円以上

(出所) 経済産業省「EV・PHV プラットフォーム」⁶

急速充電設備が伸び悩む理由として、高コストが考えられる。表 1 は、日本における充電設備の種類を示したものである。普通充電用のコンセントであれば、家庭用に普及しているような安価な設備もあるが、充電時間が長いため、公共の充電設備としては、短時間で充電できる急速充電が望まれる。しかし、急速充電設備本体の価格は 100 万～300 万円かかり、高圧供給による契約が必要な場合もありランニングコストが高くなるため、現状では、充電器利用料だけでは赤字になっている事業が多い⁷。設備本体には補助金が支給されているものの、充電ステーションの稼働率を高める、つまり、EV の普及によって利用率が高まらなければ、ビジネスとして経済性が成り立たない状況である。消費者はインフラが整備されなければ EV の購入に踏み切れないという状況の一方で、事業者側は EV の普及見通しが立た

⁴ 経済産業省 (2017 年 6 月)「電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業費補助金について」(https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2017/html/h29_s6.pdf)

⁵ 一般社団法人次世代自動車振興センターHP (<http://www.cev-pc.or.jp/newest/charge3.html>)

⁶ <https://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/what/charge/index.html>

⁷ 経済産業省 (2017 年 6 月)、前掲資料

なければインフラ整備への投資は難しい、というジレンマに陥っている。

② 技術開発

V2G 導入に伴う二点目の課題として、さらなる技術開発の必要性が指摘される。まず、EV の車載蓄電池の性能向上が重要である。EV の航続距離は導入初期に比べると大きく伸びているものの、内燃機関自動車には及ばず、EV は短距離の利用に限られる。また、V2G に参加することで蓄電池が劣化することを懸念するために、EV 保有者が V2G への参加を躊躇することが考えられる。消費者の EV に対する不安要因を解消して購入を促すためには、航続距離の延長や蓄電池寿命の延命を可能とする技術開発が求められる。

そして、V2G 特有の技術が必要となる。例えば、EV や充電設備、及び、グリッドのモニタリングを行い、これらの通信やコントロールを可能とするシステムや備品が必要となる。V2G が行われた場合の電力の質の確保や信頼性を維持するためのエネルギーマネジメントを可能とする技術が求められる。また車載蓄電池は、充電だけでなく放電が可能でなければならない。

③ 様々なステークホルダーの関与

V2G には様々なステークホルダーが関与しているため、管理コストが膨らむ一方で、便益が各ステークホルダー間で異なることが障壁となりうる。V2G を機能させるためには、電力会社、自動車会社、蓄電池会社、充電設備会社、職場／商業施設、EV 保有者、アグリゲーションサービスプロバイダー（個々の EV の容量は僅かにすぎないため、ある程度の EV 数をまとめて電力を管理する）といった関係者の協力が必要となる。V2G への参加を促すには、各参加者にそれなりのメリットが必要である。先述したように電力会社や EV 保有者は経済的なメリットがあり、充電設備会社やアグリゲーションサービスプロバイダーはアンシラリーサービス⁸による収入が期待される。しかし、自動車会社や蓄電池会社にとっては、それぞれ V2G に対応するための技術改善が求められるため、コストが増大することも考慮しなければならない。さらに、自動車会社には、V2G への参加が惹起するかもしれない EV の故障に関する責任も増えることになる。また、V2G には EV 保有者の参加が必須であるが、モニタリングや遠隔コントロールを可能とするシステムや設備のコストを誰が負担するのかも予め明確にしておく必要がある。

④ V2G に関する規制の整備

V2G に関する規制の整備、及び、システムや設備の標準化も V2G を実施するフレームワークの基盤となるための課題として挙げられる。V2G は新たな取り組みであるため、法整備によって投資や参加を促す環境作りが必要である。また、V2G に関する双方向の電力調

⁸ アンシラリーサービスとは、系統の安定運用に必要なサービスであり、周波数や電圧の調整、瞬動予備力、運転予備力等が含まれる。

整、参加者間の情報通信、EV（蓄電池）、戸建・集合住宅／ビル・商業施設、充電設備等について基準を定めることで、V2G に関する問題の抑制につながる。可能であれば、V2G に必要なシステムや設備に関する国際的な標準化も望まれる。国際標準をクリアした製品であればセキュリティや信頼性が向上する。V2G に携わるソフトウェア・ハードウェアのメーカーにとっては、輸出ができれば、新たなビジネスチャンスにもなり、国別に対応するコストが軽減できる。

⑤ ビジネスモデルの確立

V2G では、アグリゲーションサービスプロバイダーを介して、EV 保有者と電力市場をつなげる新たな取引機会が創出されることになる⁹。しかし、実用化するために必要な情報が蓄積されていないため、このような取引を経済的に可能とするビジネスモデルが形成されるような状況にまで至っていない。実証を通じて、各ステークホルダーの V2G 参加によるメリット・デメリットを明確にし、V2G に関する電力需給やコストのデータ・情報を収集することが必要である。ビジネスモデルとして V2G の実効性が示されれば、V2G の普及を後押しすると思われる。

3. 欧米の V2G 事例

V2G への取り組みは、EV が普及している欧米で先行している。米国では多数の EV を東ね調整力を提供するアグリゲーションビジネスの実証が行われている。ここでは、日本の V2G 実証の参考となるよう、一次資料が入手可能で電力市場に参加した米国の 3 件の V2G 実証を取り上げる。また、世界初の商業運転となったデンマークの V2G 事例も紹介する。

① デラウェア大学（University of Delaware）eV2g

デラウェア大学では、V2G 技術の礎を築く研究開発が行われた。2008 年 10 月から 2010 年 12 月にかけて行われた V2G に関する R&D プロジェクトにおいて、V2G に必要な技術（アグリゲーションサーバーとの通信や充電のコントロールを可能にする車載用システム、充電設備、アグリゲーターのソフトウェア等）が独自に開発された¹⁰。また、5 台のガソリン車を、地元企業の協力を得て、V2G が可能な車両へと改造して研究を行った。

2011 年には、デラウェア大学は、V2G の商業化を目指して、公益企業 NRG Energy とパートナーシップを締結した。その後、PJM Interconnection（米国北東部の独立系統運用機関、卸電力市場を管理）と BMW（Mini E 15 台を提供）が参加し、V2G の実証として「eV2g」を行った。そして 2013 年 2 月、eV2g は PJM の周波数調整市場に正式に参加し、同年 4 月

⁹ 経済産業省（2018 年 12 月）「事務局説明資料②（これまでの議論の振り返り）」第 5 回次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会、資料 2

（https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/denryoku_platform/005.html）

¹⁰ Kempton, W., Gardner M., Hidrue, M., Kamilev, F., Kamboj, S., Lilley, J., McGee, R., Parsons, G., Pearre, N., and Trnka, K. (2010), 'Vehicle to Grid Demonstration Project.' (<https://www.osti.gov/servlets/purl/1053603>)

に駐車中の EV から市場に電力を販売することに成功した¹¹。V2G システムによって、小規模ではあるが EV の電力を集めることで、周波数調整に貢献可能であることを示す事例となった。

② BMW i Charge Forward: PG&E's Electric Vehicle Smart Charging Pilot¹²

このプロジェクトでは、一般の EV 保有者を参加させて、EV を用いた DR の実用性、つまり、柔軟にコントロールできるエネルギー源としての EV の可能性について調査が行われた。PG&E (Pacific Gas and Electric Company) が発動する DR に対して、BMW は EV と定置用蓄電池のリユース (100kW、225kWh) を組み合わせて 100kW を制御することとし、カリフォルニア独立系統運用機関 (California Independent System Operator, CAISO) の Day-Ahead Energy (24 時間以上前の通知) もしくは Real-time Energy (4 分前の通知) に参加した¹³。参加者 96 名 (最後まで残ったのは 92 名) は、South Bay Area (カリフォルニア州) の居住者で BMW i3 (6.6kW) を保有しており、かつ、PG&E のカスタマーで、このうち約 60% は、時間帯別料金 (time-of-use rate) プランで契約をしていた。

2015 年 7 月から 2016 年 12 月にかけて DR は計 209 回 (19,500kWh) 発動された。BMW は、90% (189 回) の DR に対応できており、100kW のうち、平均で約 20% を EV が、残りをリユース蓄電池が活用された。

また、当プロジェクトは EV 保有者のニーズや行動パターンを理解するための調査も行っている。この調査から、回答者の 84% が DR への参加要因として前払い金 \$1,000 を挙げていることから、参加者にとって経済的なメリットが重要であることがわかる。一方で、67% は系統安定化への貢献、65% がリユース蓄電池の促進を挙げており、金銭的な理由だけではないカリフォルニア州住民の意識の高さも伺える。

③ 国防総省 Plug-in Electric Vehicle – Vehicle to Grid Program (PEV-V2G)¹⁴

国防総省は、基地のエネルギーセキュリティリスクの低減を重視しており、停電が起きた場合に PEV-V2G による役割に注目している。同省は、2011 年より電力会社 Southern California Edison と協力して Los Angeles Air Force Base (LAAFB) の車両の電動化や V2G 実証について検討してきた。そして、2015~2017 年、国防総省は、4 ヶ所の基地¹⁵を選定し、V2G 技術を通じてエネルギー源として EV を活用する経済的及び機能的なメリットを確認するため、

¹¹ University of Delaware (2013, April 27), 'Powering Up,' *UDaily*, (<http://www1.udel.edu/udaily/2013/apr/electric-vehicles-042613.html>)

¹² BMW Group and Pacific Gas and Electric Company (2017), 'BMW i Charge Forward: PG&E's Electric Vehicle Smart Charging Pilot' (<https://efiling.energy.ca.gov/GetDocument.aspx?tn=221489>)

¹³ CAISO の卸電力市場に参加資格のある Olivine 社が、BMW と PG&E の仲介を担った。

¹⁴ Brendlinger, J., Campbell, M., Hlivko, J., Kaltenhauser, H., Wechtenhiser, B., and Hafer, G. (2017), 'Environmental Quality, Energy, and Power Technology. Task Order 0012: Plug-In Electric Vehicle, Vehicle-to-Grid,' (<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1043201.pdf>)

¹⁵ 4 ヶ所の基地 : (i) Los Angeles Air Force Base, California, (ii) Joint Base (JB) Andrews, Maryland, (iii) Fort Hood, Texas, (iv) JB McGuire-Dix-Lakehurst, New Jersey.

PEV-V2G の実証を行った。ここでは、最初の PEV-V2G が行われた LAAFB の事例を取り上げる。LAAFB が選ばれた理由は、CAISO の域内に位置し、一般的な目的で用いられる車両（2 トントラックやバスを含む）が約 40 台と小規模であり、非戦闘（non-tactical）車両を EV に替える際の影響をみるモデルとして適当と考えられたためである。

LAAFB は、CAISO の前日（day-ahead）アンシラリーサービス市場で、2015 年 12 月 18 日から 2017 年 1 月 26 日まで 2 種類の周波数調整（regulation up および regulation down）に参加し、2017 年 1 月 27 日から同年 9 月 30 日まで、技術的な問題を理由に周波数を上げるための調整（regulation up）にのみ参加した。LAAFB は 2015 年 12 月から 2017 年 4 月にかけて合計 US\$7,639 の収入を得られたが、市場に参加するための費用が毎月約 US\$1,300 かかるため、結果的には費用が収入を上回った。

LAAFB における PEV-V2G は、V2G 技術に関する問題も確認されたが、V2G によって、EV が周波数調整市場に参加することができ、収入も得られることを示した。しかし、インフラ・設備コスト（US\$120,000）が高い一方で市場からの収入は低いため、費用便益分析に基づくと、現時点では PEV-V2G の正当性が成り立たないとの結論に至った。ただし、再エネ導入に向けたエネルギー貯蔵や DR を行う技術の向上といった便益が分析に含まれるようになれば、PEV-V2G を実施する可能性があることも言及している。

④ 世界初 V2G 商業運転（デンマーク）

2016 年 8 月、日産、Enel（イタリア電力会社）、Nuvve（米国 V2G ベンチャー企業）は、Copenhagen（デンマーク）で、世界初の V2G 商業運転を開始したと発表した¹⁶。デンマークの公益事業 Frederiksberg Forsyning が、日産 EV（e-NV 200、24 kWh）10 台、Enel の V2G 用双方向充電設備 10 基（100kW）、Nuvve の V2G 充放電制御システムを購入した。EV は、平日は夕方 4 時から翌朝 6 時まで（12 時間）、週末は 24 時間、同社の駐車場で充電器に接続された（年間 6,150 時間）。Energinet（デンマークの電力・ガス輸送事業社）による周波数調整市場に、2016 年 9 月から約 14 ヶ月参加し、€1,400（US\$1,600）の収入があったと報告されている。

4. V2G に関する考察

上記の実証結果から、V2G が小規模なレベルでは、技術的な問題が見られたものの、電力需給の調整力として機能し、系統安定化に貢献できることがわかった。しかし、将来の V2G 実用化に関しては、まだ不透明な部分が残っている。

まず、V2G を商業的に運用するためには、車載蓄電池や V2G を運用するシステム等の技術開発が進められなければならない。また、コスト削減も技術開発によって可能となるため、

¹⁶ Nissan Europe, Press Release, August 29, 2016. ここでいう商業運転とは、消費者側が EV から充電設備、V2G システムまで全ての設備を購入したという意味で用いられている。Nuvve, “V2G Revenue in Denmark,” Meeting Materials dated December 1, 2017, Vehicle-Grid Integration Communication Protocol Working Group, California Public Utilities Commission. (<http://www.cpuc.ca.gov/vgi/>)

技術開発が V2G の実用性を高める重要な要因と考えられる。

次に、実証が小規模で参加者も限られているため、V2G ネットワークをどの程度の規模で実用化できるのか現時点では見えにくい。マイクログリッドレベルであれば V2G は得策になるのかもしれないが、他方で規模の経済が働けば、コスト低下にもつながることが期待される。低炭素化社会に向けて、今後は EV の普及率が高まることが予想されている。もし増加する EV を取り込むことを可能にする規模の V2G を実現するのであれば、相応のインフラ整備が必要となる。そのためには、長期的な視点に立った計画が必要となるが、不透明な要素が多い中で、長期的な見通しを明確にするのは困難である。

また、V2G の経済的なメリットについて、肯定的な見方をするには時期尚早に思われる。国防総省の事例のように、アンシラリーサービスによって収入は得られるが、コストを考慮すると、経済性が成り立たない可能性も考えられる。参加者を募るための経済的なインセンティブをどのように提供するか、実用化に向けたシステムを構築する際に、経済性と関連する考慮すべき要因となる。

そして、何より、EV 保有者の協力がなければ、V2G は成立しない。EV 保有者の行動を制限しない、不利益を被らないような仕組みにしなければならない。時間帯別料金制度のような経済的なインセンティブが参加促進に有効であるのは確かだが、住民の V2G に対する理解を促すことが基本である。実証例で見たカリフォルニア州のような環境意識が比較的高い地域とは異なり上手く協力を得られない可能性もありうる。住民の理解を深める準備・対応を行い、長期的に参加してもらえよう環境作りが必要である。

おわりに

日本での今後の EV 普及を考えると、V2G の活用は重要な取り組みである。特に、再エネの主力電源化を目指す将来の社会において、変動型再エネ電源を取り込んでいくために、V2G の分散型電源としての役割は大いに期待される。しかし、上述したように、実証段階の現時点では、V2G の実用化に向けて技術的・経済的な課題が残っている。日本でも 2018 年度に V2G の実証が行われている¹⁷。今後どのように課題や障壁が解消されていくのか、また、まだ実証規模は小さいため、どのように規模を拡大していくのか（第 2 フェーズ、第 3 フェーズと続くのか）、その動向に注視したい。

(著：新エネルギーグループ 松本知子)

[お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp](mailto:report@tky.ieej.or.jp)

¹⁷ 一般社団法人環境共創イニシアチブ（2019 年 3 月）「2018 年度需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業費補助金成果報告」経済産業省第 9 回エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会、資料 8

2018 年度の V2G アグリゲーター事業として 4 件が採択され、九州電力、東京電力ホールディングス、豊田通商、東北電力が、各事業の幹事社となって V2G の実証が行われた。V2G アグリゲーター事業全体の検証項目や V2G 普及に向けた課題については上記資料にて参照可能。

(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/energy_resource/pdf/009_08_00.pdf)