オランダ Utrecht での V2G インタビュー、グリッド最適化がメリットも、ユーザーへの動機づけ等が課題

近年欧米などで EV（BEV、PHEV）販売が鈍化しつつも EV 保有は拡大基調にある中で、ドイツで EV への充電出力が制限されるなど、現時点で既に電力不足が問題となっている。今後、EV 保有がさらに増えると想定される中で、電力逼迫問題の解消の有効な手段として V2X（双方向充電、EV がグリッド〔送電網〕から電力を受け取るだけではなく EV 搭載電池の電力を外部に供給する）が挙げられる。本稿では、V2X の一種である V2G（Vehicle-to-Grid、電力需要のピーク時などに EV がグリッドに電力を供給）を取り上げる。

FOURIN は、V2G で先進的な取り組みを行うオランダ Utrecht において、2024 年 10 月に V2G のメリットや課題などについて話を聞いた。Utrecht 市の Developer E-mobility and New Energy の Matthijs Kok 氏は、V2G のメリットとして、余剰発電のある時間帯に EV に電気を蓄え電力需要のピーク時（夕方～夜）にグリッドに供給することによる、エネルギーの最適化とグリッドへの大規模投資の低減を挙げた。また Kok 氏は、一般的なカーシェアリングの使用におけるコスト比較で、V2G を活用した場合はスマート充電のみの場合と比較して 800 ユーロ/年の低減が可能とし、カーシェアリング事業者等の収益化にもつながるとした。

一方で、Utrecht 大学で V2G を初めとするエネルギー最適化を研究する Nico Brinkel 氏は、V2G の課題の 1 つとしてユーザーへの動機づけを挙げ、何らかの金銭的インセンティブの提供による V2G 促進が必要とした。Brinkel 氏はまた、プライベートユーザーが例えばこれから出かける用事がある状況で V2G を行おうという発想になるとは考えにくいことを指摘。V2G のビジネスモデルは企業のフリート（カーシェアリング車両等）から始めるのが妥当との考えを示した。

（奥田）

【V2G の概要とメリット・課題】

＜V2G（Vehicle-to-Grid）の概要＞

・V2G は、EV（BEV、PHEV）の駆動用電池の電力をグリッド（送電網）に供給することを指す。
　-V2X（Vehicle-to-Everything、双方向充電）の種類の 1 つ。
　　：V2X には、V2G のほか、住宅や各種建物に電力を供給する V2H（Vehicle-to-Home）/V2B（Vehicle-to-Building）、外部機器に電力を供給する V2L(Vehicle-to-Load)/V2D(Vehicle-to-Device)、EV 間で電力を供給する V2V（Vehicle-to-Vehicle)がある。

＜V2G によるメリット＞

・グリッドの安定化・最適化への貢献。
　-余剰発電のある時間帯に EV に電気を蓄え、電力需要のピーク時（夕方～夜）にグリッドに供給することで、エネルギーの最適化が可能となり、グリッド強化への過度な投資を回避できる。
・再エネの利用拡大。
　-再エネは発電場所と消費地が離れていたりグリッドにつなぐことが難しかったりといった理由から、再エネ発電を消費に回せないケースも多い。V2G により、車載電池が再エネ発電の余剰電力を貯蔵し、必要な時にグリッドに戻し電力消費に回すことができる。
　-それにより、気候中立目標への貢献が可能となる。
・フリート事業者（カーシェアリング等）などへの収益化。
　-欧州では電力価格においてダイナミックプライシングを採用するケースも多い。価格差（電力需要ピーク時の価格-余剰発電のある時間帯の価格）を利用した収益化が可能となる。
　　：オランダ Utrecht 大学の Nico Brinkel 氏の研究によると、一般的なカーシェアリングの使用において、スマート充電のみを行った場合と V2G を行った場合のコストの差は 800 ユーロ/年。

＜V2G の展開における主な課題＞

▽ユーザーへの動機づけ

・充電/放電を最適なタイミングで行うためには、なるべく多くの時間 EV を充電器につないでおく必要があるため、V2G 対応充電器の拡大とユーザーにとっての充放電作業の簡素化が必要。
・また、ユーザーに V2G 利用を促すために、なんらかの金銭的インセンティブを用意する必要がある。
　-例えば、再エネ事業者の英国 Octopus Energy は 2024 年 2 月、V2G タリフの Octopus Power Pack を発表。1 日 6 時間以上 EV を充電器につないでおくと、その EV の充電料金を無料とする。最大 850 ポンド/年の低減が可能となる。

▽法改正の必要性

・オランダ議会はグリッドタリフ（送電網事業者に支払うグリッド利用料）の改定を進めているが、複雑な法規で必要な手続きも多い。
・また、売電時の二重課税を解消する法規が必要となる。

▽スマートメーターの設置

・V2G では、適切なタイミングで車両-グリッド間の充放電を行うため、電力需要やグリッドの状態を把握しなければならない。そのためには、スマートメーターの設置がマストとなってくる。
・国によって、スマートメーターの普及度合いは大きく異なる。
　-例えば EU 域内においても進度は大きく異なる。2023 年 9 月時点で、スウェーデンは 100%、ノルウェー/オランダ/スペイン等は 98%と高いが、ドイツは 1%に留まる。
　-日本は、第 1 世代のスマートメーター（30 分単位での電力使用量を計測可能）の導入が 2024 年度末までに完了。第 2 世代（1 分単位で計測可能）を 2025 年以降に導入開始予定。

▽V2G 対応モデル（車両）の少なさ

・V2L/V2D を含めて双方向充電機能を搭載する車両は増えてはきているが、V2G 対応の量販モデルは少ない。

▽AC V2G のハードル

・欧州では AC 充電が圧倒的に多いが、AC V2G（AC 充電器を介した V2G）は DC V2G（DC 充電器を介した V2G）より難しい。AC V2G では車載充電器が様々な安全管理を行う必要があるため。

＜主要国/地域における V2G に関する主な動向＞

▽世界

・国際標準規格 ISO 15118-20 は、自動車と充電ステーション間の双方向通信に適用される基本的な規格を定める。
　-充電作業を簡素化するプラグ＆チャージ（専用のカードの使用等の必要がなく、充電プラグを差し込むだけで車両が自動的に認証され充電が開始される）などについて規定している。
　-ドイツ国家充電インフラセンターの調査によると、全ての欧州系 OEM が 2025 年までに ISO 15118-20 に準拠する方針。

▽EU

・EU が資金提供する Horizon Europe において、SCALE と FLOW の 2 つの V2G プロジェクトを実施。
　-SCALE は、2022～2025 年の 3 年間のプロジェクト。予算は 1,000 万ユーロ。Eindhoven/Rotterdam/Utrecht（オランダ）、Toulouse（フランス）、Greater Munich Area（ドイツ）、Oslo（ノルウェー）、Gothenburg（スウェーデン）、Budapest/Debrecen（ハンガリー）の

【V2G の概要とメリット・課題】(つづき)

計 9 地域で実施。
-FLOW は、予算 1,000 万ユーロ。V2G により、コストを 13 億ユーロ、CO_2 排出量を年間 60 万トン削減可能とした。EU 加盟 9 ヵ国 30 社/団体が参画。OEM では BMW、サプライヤーでは Eaton などが参加。Rome(イタリア)、Menorca(スペイン)、Copenhagen(デンマーク)、Dublin(アイルランド)、Prague(チェコ)でデモを実施。

▽ドイツ
・ドイツ連邦政府が 2023 年春に発表した Charging 2.0 では、EV をグリッドに統合する手法の検討を目標に設定。
・2024 年 7 月、V2G 普及の障害のひとつとされる二重課税を解消する法案を閣議決定した。

▽米国
・2024 年 12 月、米国エネルギー省(DoE)は、V2X の覚書(2022 年 4 月発表)において、新たに 9 団体が参画すると発表。また、同 MoU を 2027 年 4 月まで延長することも併せて発表。
・DoE によると、2024 年に V2X 関連の 2 件のプロジェクトに 700 万ドルの資金を提供。

▽中国
・2024 年 1 月、国家発展改革委員会など 4 部門が V2G の運用促進に関する通達(実施意見)を発表。
-2025 年目標: V2G 技術の標準化(統一)、EV 充電料金のダイナミックプライシングの実施と継続的改善、V2G 試験運用の拡大と EV 充電のオフピーク時間帯への集約(モデル都市では 60%、自家用充電器では 80%をオフピーク時間帯に集約)。
-2030 年目標: 市場メカニズムの改善と V2G の大規模運用、スマート充電の全面的な普及、グリッドと NEV の電力需給の相互調整能力の拡大(1,000 万 kW 目標)。また、電池のサイクル寿命を 3,000 回以上に延ばすことが技術課題の一つ。

▽日本
・経済産業省は、2022 年 11 月から「次世代の分散型電力システムに関する検討会」を開催し、分散型リソースの価値発掘や価値評価、分散型システム構築についての議論を進めている。同検討会を通じて、「EV と電力システムの統合」を重要テーマの 1 つに位置づけ、2023 年 5 月に EV グリッドワーキンググループ(WG)を立ち上げた。
-2024 年 2 月、EV グリッド WG は中間とりまとめを発表。グリッドにおける EV の活用について、①従来車と同等の利便性(利用形態に適した航続距離を確保、ユーザーに経済的負担を強いない)、②EV ならではの価値(安価なランニングコスト、リユース電池としての価値、日常の手間の低減など)、③ユーザーの追加の経済的価値(EV 充放電調整による電気料金最適化、グリッドへの貢献による報酬)の 3 つを挙げた。

＜主要 OEM の V2G の近年の主な取り組み＞

▽Renault
・Renault Zoe(2014 年発売、2024 年生産終了)で初めて V2G 機能を搭載。近年の発売モデルでは、Scenic E-Tech Electric(2023 年発売)、Renault 5(2024 年発売)、Renault 4(2025 年発売)などが V2G 機能を搭載。
・2024 年 11 月、オランダ Utrecht で We Drive Solar、MyWheels と協業し、V2G 技術搭載車を活用したカーシェアリングを行うと発表。
-Renault が BEV を計 500 台(Renault 5、Renault 4 など)、We Drive Solar が双方向充電器(AC)、MyWheels がカーシェアリングソリューションやエネルギーソリューションを提供。

▽VW
・VW ID.3、ID.4、ID. Buzz、Cupra Born、Skoda Enyaq は V2G 対応。

▽Volvo Car
・Volvo EX90(2024 年発売)は V2G が可能。
・将来的に全モデルを双方向充電可能とすることを目指す。

▽日産/三菱
・2024 年 10 月、日産は手頃な価格の V2G 技術を英国で販売する一部の BEV を対象に 2026 年に導入すると発表。
-日産によると、自動車 OEM として初めて AC システムによるグリッド認証コード G99 を取得し、英国のグリッドへの電力供給が可能となった。
-英国に続いて、欧州各国でも V2G を展開していく考え。
・日産 Leaf、三菱 Outlander 等も V2G 対応。

▽トヨタ
・2023 年 11 月、Toyota Motor North America は San Diego Gas & Electric Company(SDG&E)と協力し、bZ4X を使用した V2G に係る実証実験を行うと発表。
-San Diego と South Orange Counties の 25 のコミュニティを含む地域で実証実験を行う。同地域は、カリフォルニア州で最大のトヨタの BEV/PHEV 所有地域の一つ。
-BEV 所有者の充電習慣や車両使用状況を理解することが V2G の普及を促進する鍵となるとした。

▽現代自グループ
・2022 年頃から、We Drive Solar と提携し、オランダ Utrecht で V2G プロジェクトを実施。
-25 台の Ioniq 5(V2G 対応ソフトウェアを搭載)をカーシェアリング用車両として提供。
・Kia EV 9 は V2G 対応。

注)その他、MG の ZS EV/MG 4(V2L)、BYD の Atto 3/Dolphin/Seal/Shark(V2L)、Chery Omoda E5(V2L)、Geely EX5(V2L、V2V)、Kia EV 5/ EV 6/Niro EV(V2L)、Leapmotor C10(V2L)、Xpeng G6(V2L)等も双方向充電対応モデルだが、本稿は V2G に主眼を置くため、割愛。

(各国政府資料、各社広報資料等より FOURIN 作成)

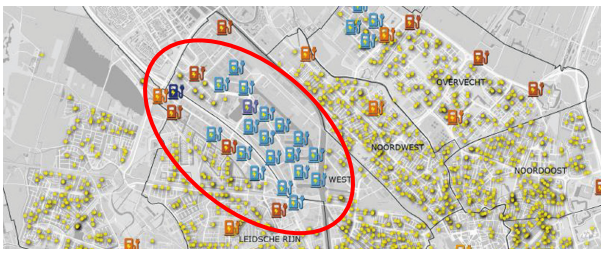
【オランダ Utrecht 市、V2G プロジェクトへの取り組み】

(2024 年 10 月 8 日、オランダ・Utrecht 市市庁舎で実施した Developer E-mobility and New Energy, City of Utrecht の Matthijs Kok 氏、ROM Utrecht Business Advisor Asia-Pacific の Anna Elferink 氏へのインタビューより作成)

▽Utrecht の充電ネットワークの概要

Q.Utrecht 市における EV 充電設備の数はどれくらいでしょうか。
・過去 15 年間、Utrecht 市は充電施設の拡張に取り組んできた。
・現在、EV 用公共充電器は 2,000 基ある。各々にソケットが 2 つあるので、計 4,000 ポイントある。
・ちなみに、EU では今年 AFIR(代替燃料インフラ規制)が実施されたが、少なくとも乗用車に関して、Utrecht における公共充電インフラの水準は AIFR で規定されている水準よりはるかに高い。そのため、AFIR の施行が Utrecht の充電インフラに大きな影響を与えたということはない。
・民間の充電ポイントの正確な数は分からないが、おそらく 1 万基程度だと思う。

Q.商用車向けの充電インフラはどうでしょうか。
・写真(下記)からわかるように、青いポイント(物流トラック用の充電設備)が特定のエリアに集中しており、このエリアで非常に大きな電力供給が必要となることを意味する。



・BEV トラックの充電施設を設置するのはそれほど難しいことではない。需要があれば供給があるという単純な問題だ。最大の問題は、必要な電力をどう賄うかということだ。
・トラックの充電設備では、ほとんどの場合 1MW 程度の電力が必要で、グリッドの観点において非常にハードルが高い。2030 年までに先述のエリアの電力グリッドにおいて 250MW の不足が発生する可能性があるが、さらに、このエリアで商用車向けに 60MW の超急速充電が必要になった場合、合わせて 310MW 分の能力不足が発生する可能性がある。
・この地域に V2G 対応の小型車のフリートがあれば、トラックの充電の電力供給に役立つと考えられる。100 台の乗用車(BEV)が地域グリッドに電力を供給すれば、トラック 1 台を充電できる計算になる。
・複数の物流会社が連携し風力発電システムによる電力エコシステムの構築を目指す動きもあるようだ。

Q.Utrecht では DC 充電器より圧倒的に AC 充電器が多いです。DC 充電を使って短時間で充電する方が便利だと考える人もいますが、Utrecht ではなぜ AC 充電が普及しているのでしょうか。
・端的に言えば、ユーザーにとって便利だからだ。Utrecht 市民の 70%は自宅敷地内に駐車スペースを持たず、自宅近くの路上に駐車する(公共路上駐車場)。自宅近くの公共路上駐車場の充電器にプラグを差し込んでおけば、翌朝にはフル充電されているというわけだ。このような生活習慣から AC 充電が発達したと考えられる。
・正確には、私有駐車場ではなく公共駐車場であり、月額料金を支払う必要があるが、感覚的には私有駐車場に近い。指定された駐車スペースに駐車する形態ではなく、許可証に指定されたエリア内の空きスペースに駐車する形態だ。

【オランダ Utrecht 市、V2G プロジェクトへの取り組み】(つづき)

▽Utrecht での車両保有/車両利用

Q.Utrecht の車両保有はどれくらいの規模ですか。

・Utrecht の人口は 35 万人で、車の所有台数は約 14 万台だ。ただ、Utrecht 市民が使用する車両はカンパニーカーも多い。
・後述するが、カーシェアリングを利用する住民が増えれば、個人所有の保有台数は減るだろう。

Q.Utrecht の所有車両に対する BEV の割合はどのくらいですか。

・前述の通り、Utrecht 市民が使用する車両はカンパニーカーも多い。カンパニーカーの場合、Utrecht 市民個人ではなくリース会社に登録されているため、カンパニーカーを含めた BEV 比率を算出することは困難だ。
・個人所有の車両については、所有台数が約 14 万台で、そのうち 2025 年には 26,670 台が BEV になると予想されている(BEV 比率:19%)。2030 年には、BEV が 56,650 台(同:40%)になると予想されている。
・今後、ゼロエミッションゾーンの導入が BEV 利用の拡大につながるのではないかと見ている(2024 年 10 月時点では「Euro 5 以上の車両のみ通行可能」などの低エミッションゾーンはある)。2025 年に市内中心部にゼロエミッションゾーンが導入される予定だ。例えば、トラックやバンで市内中心部に配達をする場合はゼロエミッション車両である必要があり、その多くが BEV になると考えられる。実際に ZEV 化を進めている地元企業もある。
・オランダのほとんどの都市には低エミッションゾーンがあり、ゼロエミッションゾーンも導入されつつある。
・一方で、低エミッションゾーンやゼロエミッションゾーンの導入に反対する声も当然ある。低所得層は新車を買う余裕がなく、こうした規制を差別だと感じるからだ。この問題の解決策の 1 つが、廃車買い替え支援だ。新車を購入し、Euro 2 以下の車両を廃車にすると、廃車補助金 2,000 ユーロが支給される。

Q.Utrecht ではカーシェアリングは一般的でしょうか。

・非常に一般的だ。市内には 1,000 台以上のカーシェアリング車両があると記憶している。
・例えば、ここ数年の間に建てられた新しい家は駐車スペースを持たないことが多い。こうした住民は、車での移動が必要な場合にはカーシェアリングを利用している。
・多くの市民、特に若年層は、車は必要なときだけ利用すればいいと考えており、車を所有したくないと考えている。車をあまり使わないのであれば、車を所有するよりもカーシェアリングのほうが安く済むことも多い。
・Utrecht 市としても、車の保有台数を減らしたいと考えているため、カーシェアリングを強く推奨している。

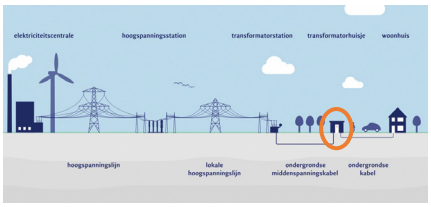
▽Utrecht の V2G 取り組みの概要

Q.Utrecht の V2G プロジェクトの概要を教えてください。

・Utrecht では、複数の V2G プロジェクトが進められている。我々が We Drive Solar と取り組んでいるプロジェクトは、カーシェアリング車両を活用している。
・We Drive Solar の創業者である Robin Berg 氏は、10 年ほど前に Utrecht 市 Lombok の自宅に双方向 DC 充電設備を設置し、日産 Leaf を使った双方向充電の実験を始めた。当時は、V2G ではなく V2H だった。Berg 氏の自宅にはソーラーパネルがあったため、その電力を活用し車両への充電を行える環境となった。昼間に BEV を充電し、夜に BEV の電池から放電して電力を供給することに興味を持ち、これを拡大したいと考えた。
・私は、これを路上の公共充電の V2G に展開できれば、Utrecht 市にとって大きな価値になると感じた。そこで、2015 年にこのプロジェクトに着手した。オランダでの EV 充電は AC が大半であるため、We Drive Solar が V2G 対応の AC 充電器を開発した。市庁舎近くのデモエリアに 25 台の V2G 対応充電器を設置した。送電網事業者が電力の需要と供給を測定し、それを基に V2G が送電網の課題をどう解決できるかを調査した。その後、公共充電器の入札を開始し、車両からグリッドへの放電を入札条件に含めたため、その技術を有する We Drive Solar が落札した。現在、市内各地に V2G 対応充電器を展開している。
・これと並行して、自動車メーカーなどと連携したプロジェクトがいくつか進められている。V2G の実証実験には車両が必要なので、自動車 OEM との連携は理にかなっている。プロジェクトの一例としては、公立学校に設置したソーラーパネルによる太陽光発電を活用するプロジェクトがある。私たちは、再生可能エネルギーを活用するこのようなシステムを、双方向充電エコシステムと呼んでいる。
・現在、Utrecht には V2G 対応の公共充電器が約 700 基設置されている。また、カーシェアリング車両のうち V2G 対応車両は 200～300 台で、2024 年末までに 400 台まで拡大する見通しだ。このように、プロジェクトの規模は拡大している。
・Utrecht の V2G プロジェクトは、2015 年の We Drive Solar の V2H 実験を皮切りに、Horizon Europe プロジェクトへの参加やオランダ政府からの補助金の獲得などにより、徐々に拡大してきた。We Drive Solar は重要なステークホルダーで、その他の関係者にはカーシェアリング事業者、自動車 OEM、大学などの学術機関、グリッド運用者などがいる。また、バックエンドサービス企業もサービスの開発に携わっている。

Q.Utrecht が V2G に積極的に取り組む理由は何でしょうか。

・現在、Utrecht の自動車保有の約 20%が BEV だが、2050 年までにゼロエミッションモビリティの実現を目指している。中間目標として、2030 年までにこれを 50%に引き上げることを目指している。要は、5 年後には自動車保有の半分が BEV になるということだ。つまり、それだけの規模の BEV を充電する必要があるということになる。
・Utrecht の住民の 70%は路上の公共駐車場に駐車する(自宅の敷地内にガレージを持たないため)。つまり、BEV の場合は路上の公共充電器で充電される。
・BEV 充電の最も一般的な時間は帰宅後だが、全員が同時に充電すると電力網に大きな負担がかかる。1 台の BEV への充電に要する電力は、約 10 世帯が家庭で消費する電力に相当する。
・グリッドを強化するには 2 つの方法がある。1 つは新たな電力グリッドを建設することだ。もう 1 つは、電力網をスマートに最適化する方法だ。後者の方が持続可能で優れていると考える。なぜなら、Utrecht のような密集した都市で、新たな電力グリッドを構築するために道路を破壊することはなるべく回避したいからだ。
・オランダの現在の電力網は 50～70 年前に構築された。オランダの主要電力会社の投資規模は以前は年間 10 億ユーロだったが、現在は年間 100 億ユーロだ。つまり、10 倍の水準となっている。
・スマート充電は、グリッドをスマートに最適化する方法の 1 つだ。たとえば、夕方早い時間に BEV の充電を開始したとして、グリッドの負荷が高い時間帯(17 時～22 時)に充電を一時停止し、夜遅くに再び充電を開始するといった具合だ。ほとんどの市民は夕方に帰宅し翌朝出発するまでに、充電する時間は十分にある。このスマート充電は、電力網の問題をいくらか解決する。
・一方、V2G はさらに多くの問題を解決できる。太陽が出ている日中に BEV を充電し、電力需要が高まる時間帯に V2G でグリッドを支えることができる。これにより、現在直面している電力逼迫の問題の多くを解決することができる上、グリッドへの投資が大幅に削減される。
・モビリティの電動化だけでなく、暖房の電化や再生可能エネルギーの導入も、グリッドの負担拡大につながっている。持続可能性とエネルギー転換の観点から、暖房を天然ガスから電気に移行することが望ましいが、グリッドへの負担が増大する。BEV への充電は、グリッドの負担をさらに増やすことになる。V2G は、これらの問題の多くを解決できると考え、積極的に取り組んでいる。
・暖房について、オランダは天然ガスの貯蔵量が大きく、ガス暖房が主流だった。一方、持続可能性の観点から、天然ガスから電気に移行している。オランダでは冬は気温が氷点下になることがあるため、暖房は欠かせないが、暖房には多くの電力を消費する。
・Utrecht では、発電量には問題はない。送電が問題なのだ。そのため、向こう 10 年間で Utrecht 市内の中圧変電所(中圧→低圧)を 1,000 ヵ所から 2,000 ヵ所に増やす必要があると言われている。



左図はグリッドレイアウトで、オレンジ枠で囲った部分が中圧変電所(中圧→低圧)。右写真は中圧変電所の写真(赤丸で囲ったものが中圧変電所)。

Q.V2G のメリットとして再エネ利用の最適化が挙げられます。

・現在、オランダでの発電量の約半分が再生可能エネルギーだ。
・再エネ発電の余剰電力をエネルギー需要が高い時間帯に電力が不足する地域に送りたいと考えるわけだが、課題がある。それは、別の地域に電気を送るには送電網を強化する必要があり、それには多額の投資が必要だということだ。
・そのため、最も理想的なのは、余剰発電のあるエリア/時間に BEV に電気を蓄え、必要に応じてグリッドに戻すことだ。V2G はそれを可能にする。
・ちなみに、Utrecht では、太陽光発電と風力発電の発電量はほぼ同

【オランダ Utrecht 市、V2G プロジェクトへの取り組み】（つづき）

じだ。もちろん、太陽光発電と風力発電では、デバイスの設置場所や発電量が多い時間帯は異なる。市内中心部には風力発電施設はなく、太陽光パネルのみだ。Utrecht では、建物の約 40%に太陽光パネルが設置されている。年間を通じて発電が可能で、発電量が消費電力を上回る場合もある。

▽V2G の大規模展開におけるボトルネック

Q. V2G は、V2L や V2H よりもハードルが高いです。

・まず、V2G と V2H は、BEV に蓄えた電気を必要な時に取り出すという基本的な考え方が共通している。どちらが最適かは、ケースバイケースだ。
・我々には、V2G のアプローチが理にかなっている。前述のように、Utrecht 市民の 70%は自宅敷地内に駐車場を持たず、自宅近くの公共駐車場を利用する。Utrecht 市としては、グリッド最適化に最も興味がある。V2G はグリッド強化への投資を低減できる。
・一方で、自宅敷地内に駐車場があり、車をそこで充電できる場合は、V2H の方が理にかなっていると考えられる。
・V2G は、経済的な観点からも市民にとって興味深いものになるだろう。オランダでは、電気料金においてダイナミックプライシング契約が一般的であり、時間帯によって電気料金が異なる。そのため、日中に太陽光発電などの再生可能エネルギーを使用して車両に電気を貯め、グリッド需要が高くエネルギー料金が高い夕方から夜に放電すれば、エネルギー価格差を利用して収入を得ることができる。例えば、夏の日中に太陽光発電による電気で充電すると、エネルギー価格が非常に安く、価格がネガティブになるケースも多い。定置型バッテリーの所有者も昼間と夕方/夜間のエネルギー価格差を利用して収入を得ることができるという点で、V2G と同じビジネスモデルだ。
・Utrecht 大学の Nico（Nico Brinkel 氏、後述）は、2022 年にカーシェアリング車両使用を想定したエネルギーコストを計算した。一般的なカーシェアリングの使用におけるコストを計算すると、スマート充電のみを行った場合の充電コストは 400 ユーロだった。一方、同じ状況で V2G を行った場合、マイナス 400 ユーロだった。つまり、同じ条件で、V2G によりカーシェアリング車両の運用コストが年間 800 ユーロ削減されたということだ。ビジネスにおいて、年間 800 ユーロの収益増加が見込めることを意味する。
・このように V2G は、政府、カーシェアリング会社、そしてカーシェアリングユーザーの 3 者にとってメリットがあると言える。

Q.DC の V2G より AC の V2G の方がハードルが高いです。

・我々の V2G プロジェクトでは、AC 充電器を使用している。DC 充電は一般に AC 充電より価格が高いため、インフラ整備の観点からは AC V2G に関心を持っている。
・ただし、技術的に AC V2G は DC V2G よりも複雑だ。AC では、充電時に OBC（オンボードチャージャー）が AC を DC に変換し、放電時に DC を AC に戻す必要があるためだ。そのため、OBC が様々な安全管理を行う必要があり、車外の DC 充電器がそれを行うよりも複雑だ。
・それでも、AC 充電は DC 充電よりもはるかに価格が低いため、拡張性が高い。DC 充電器は 4,000～5,000 ユーロだが、AC 充電器は約 1,000 ユーロだ。
・自動車 OEM の V2G に係る戦略は様々だ。例えば、VW グループは DC V2G を進めている。一方、Renault は AC V2G を選択した。Volvo Cars は、DC V2G と AC V2G の両方を推進しているようだ。

Q.V2G の大規模展開にはデータ管理が重要だと聞きます。

・V2G の大規模展開には、車載バッテリーとグリッドの状態の監視・管理が必要であり、そのため、車両と充電器間の通信（特に BEV の充電状態の情報に関する通信）の整備が進められてきた。
・我々のプロジェクトで使用した Hyundai Ioniq 5 は、車両とグリッドの通信規格 ISO 15118 に準拠する。双方向充電を可能にするために、充電器も ISO 15118 に準拠する必要があった。
・通信規格に準拠した車両と充電器を用意することで、充電プロファイルと放電プロファイルを作成できる。ただし、これには多くの作業が必要だ。その 1 つは、変電所におけるスマートメーターの実装だ。V2G プロジェクトの実証エリアにある 10 ヵ所の変電所での測定によりグリッドの容量は把握しているが、V2G では各々のタイミングでのグリッドの状態や電力需要から車両の充放電の適切なタイミングを把握する必要がある。家庭へのスマートメーターの導入は完了しており、次のステップは変電所へのスマートメーターの導入だ。
・また、通信規格の問題もある。すべての車両とすべての充電器に同じ通信規格を実装するのは容易ではないと思う。一般的に、規格があっても、すべてのメーカーが同じように実装するとは限らない。ISO 15118 に準拠したオープンソースソフトウェアがあるため、すべての自動車メーカーが同じ規格を使用することを期待している。Renault、Volvo Car、現代自、日系メーカーなどがすべて同じ規格で充電できれば理想的だ。
・ちなみに、EV の電力を全て放電すると車両が損傷するため、バッテリーの充電状態を把握する必要がある。Hyundai Ioniq 5 には双方向充電機能はあったが、ISO 15118 に準拠したソフトウェアのアップデートが必要だった。現在、このソフトウェアにアップデートされた現代ブランドと起亜ブランドの車両（EV3/EV9 など）をプロジェクトで複数使用している。ちなみに、それらのモデルは、工場出荷時点でソフトウェアが搭載されている。

Q.V2G を本格的に展開するには法律を変える必要があると聞きます。

・オランダ議会は、電力網に関する法律を変える必要があることを認識している。しかし、非常に複雑な法律であり必要な手続きも多く、まだフレームワークが整った状況ではない。
・前述のように、Utrecht の建物の大半にソーラーパネルが設置されているが、家庭での発電量はそれほど多くないため、これまでのところ、これらの太陽光パネルで発電された電気とその使用に関して特に法的問題は発生していない。

▽社会受容性について

Q.V2G の展開において、スマートメーターは非常に重要な要素だと思います。Utrecht ではスマートメーターの普及率はどのくらいですか。

・Utrecht では既に全世帯で旧型のメーターからスマートメーターへの移行が完了している。スマートメーターの普及率が 100%に達したのは 10 年ほど前だったと記憶している。それは住民の意志というより、グリッド運用事業者が効率化・最適化のために旧型のメーターをスマートメーターに交換したということだ。
・例えば、ドイツではスマートメーターの普及率が非常に低いので、Utrecht とは状況が異なる。
・15 分ごとに需要と供給を測定し、エネルギーのダイナミックプライシングを供給している。

Q.例えば、V2G 対応車両の利用者が「この時間にここで放電しなければならない」という必要に迫られるなど、ユーザーの行動制限は発生すると思いますか。

・現在はカーシェアリング車両を使用しているため、カーシェアリング事業者が充電・放電を行っている。シェアリング車両のユーザーが BEV の充電/放電を行うという状況にはない。
・ユーザーに何かを強制するというのはオランダ式の考え方ではない。V2G の大規模展開においても、そのようなアプローチを取ることは考えていない。
・基本的には、オプトアウト方式（全体に通知し、希望者のみ拒否する方式）だ。例えば、公共の EV 用充電器では既にスマート充電が実装されており、スマート充電が標準となっている。一方で、ユーザーはオプトアウトすることができる。アプリを開いて「スマート充電を希望しない」を選択することができる（スマート充電を使用しない場合は、1kWh あたり約 5 セントの追加料金を支払う形）。

Q.V2G プロジェクトの参加者はどのように募集しますか。

・前述の通り、現在はカーシェアリング車両を使用しているため、カーシェアリングユーザーのみが関わっている。
・V2G を自家用車に拡大する場合は、例えば、参加を希望する少人数のグループから始めることを検討している。BEV ユーザーの約 85%が「自分にとって有益であれば V2G に興味がある」と答えている。V2G プロジェクトに参加することにメリットがあると判断した市民が参加すれば良いと思う。前述の通り、市民に何かを強制するのはオランダのやり方ではない。
・今後どうなるかは断言できないが、少なくとも短期・中期的には「V2G 対応車両しか購入できない」といった規制を導入する予定はない。Renault や現代自の一部製品は V2G 対応だが、今のところ V2G 対応モデルは少ない。

▽収益化について

Q.政府が半永久的に財政支援を行うことは不可能です。充電事業者やアグリゲーターが収益化することは可能でしょうか。

・私たちが行っているのは、関連事業者が V2G で儲かるための下準備だ。
・事業ケースがないものに参入することはない。先ほども述べたように、V2G は優れた事業ケースがある。カーシェアリング車両に V2G を使用すると、年間 800 ユーロの収益が見込める。
・カーシェアリング車両は稼働していない時間が長い。つまり、停車しているときに放電（売電）することで、収益を得ることができる。

(FOURIN)

【V2G、エネルギー最適化の研究を手掛ける Utrecht 大学研究員から見た課題/メリット/見通し】

（2024 年 10 月 8 日、オランダ Utrecht University で実施した
Postdoctoral researcher bij Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University の
Nico Brinkel 氏へのインタビューより作成）

＜V2G に関する研究内容＞

Q.V2G やスマート充電に関するエネルギー効率化の研究に従事されています。

・Utrecht では、複数の V2G プロジェクトが展開されており、オランダ政府や EU が一部資金を提供している。民間企業のほか、なぜ V2G が必要なのか、その価値は何かという科学的背景を提供するため、大学などの学術機関も積極的に関与している。

・私自身は、4～5 年前から V2G プロジェクトに関わっている。現在は、V2G とスマート充電が電力網に与える影響を計算するモデルを作っている。

Q.スマート充電や V2G に係る計算とは、どのようなものですか。

・極めてシンプルに言うと、データを収集・分析し、エネルギーフローを最適化する方法を検証するということだ。

・我々は、充電ステーションから入手するデータを活用する。充電ポイントオペレーターは、各充電ステーションの充電プロファイルにほぼリアルタイムでアクセスできる。

・データにより、車が充電ステーションに到着した時間、出発した時間、充電に必要なエネルギー量などが分かる。それを基に、我々がつくった計算モデルにより、最適な充電プロファイルが何であるかを算出する。

・また、V2G のパイロットプロジェクトのデータやグリッドオペレーター（送電網事業者）からのデータなどを組み合わせて、V2G を使用して電力を送電網にフィードバックするのに最適なタイミングを把握することができる。送電網の混雑のピークに V2G を行う形を目指している。

・既に、グリッドの混雑はオランダでは大きな問題となっている。我々の計算モデルにより、V2G がグリッドの問題の解決にどのように役立つかを確認することができる。

Q.複数のファクターがラウンドトリップ効率（バッテリーの電気貯蔵量に対する、バッテリーから利用できる電気の割合）に影響を与えると聞きます。

・2020 年頃に日産 Leaf および Renault Zoe を使って実験を行った。その際のラウンドトリップ効率は、80～87%だった。効率を高める余地はあるため、さらに高いラウンドトリップ効率を実現することは可能だろう。ただ、いずれにしろ、いくらかの熱損失はあるので、100%を実現するのは難しい。

・ラウンドトリップ効率に大きな影響を与えるファクターの 1 つが、気温だ。最適な気温は 10～25° 程度だ。特に、低温はラウンドトリップ効率に影響する。

・また、車両の充電の度合いにもよる。例えば、バッテリーを 80%から 100%まで充電するよりも、40%から 60%まで充電する方が容易だ。スマホの充電などにも同じことが言えるだろう。

・充電速度もラウンドトリップ効率に影響する。低速充電の場合、急速充電よりもラウンドトリップ効率が低くなる。つまり、充電の電力が大きいほど、ラウンドトリップ効率は高くなる。例えば、11kW で充電するほうが 5kW で充電するよりも高い。

・ちなみに、Utrecht での充電ステーションの最小充電電力は 4kW で、最大電力は 22kW だ。Renault 5 の最大放電電力は 11kW だ。

・そのほか、車両の年式（年式が新しい車両は、古い車両よりも効率が高い）や、バッテリーの劣化などもラウンドトリップ効率に影響する。

＜V2G の展開における課題＞

Q.V2G を大規模に展開する上で、最大の課題は何だと思われますか。

・複数の課題がある。まず、自動車メーカー側の側面がある。自動車メーカーは車両を車両として見ており、もっと多くの機能を持たせられるということへの意識が薄いと感じる。V2G 機能搭載の検討は進められたが最終的には V2G 非対応となった製品が複数あったと理解している。今、Renault 5 で突破口が開かれたと言える。自動車メーカーが V2G の価値を認識し、BEV を電力グリッドの資産と捉えることが重要だ。自動車メーカーに対しては、もっと多くの V2G 対応車両を市場投入してほしいと願う。ちなみに、送電網事業者も近年 BEV をグリッドの資産として捉えるようになってきている。

・ちなみに、Renault は 2024 年 11 月に Utrecht での V2G プロジェクト始動を発表した。Renault が V2G の領域でブレークスルーとなる主導的な役割を果たしていることを称賛したいと思う。実際のデモンストレーションにより V2G の付加価値が示され、V2G の展開が加速すると確信している。

・もう 1 つの課題は、ユーザーだ。例えば、公共の充電ステーションでの V2G を想定すると、ユーザーはバッテリーをできるだけ早く充電したいと考えるし、グリッドへの放電をしたいとはあまり考えないだろう。「これから病院に行かないといけない」「これから買い物に行かないといけない」という状況で、BEV のバッテリーの十分な充電を確保しておかなければならないからだ。

・そのため、V2G のビジネスモデルは企業所有の車両から始まるというのが最も可能性が高いと考える。

・プライベートユーザーに対して V2G の動機付けをするには、グリッドオペレーターがグリッドタリフ（電力網の使用に対して送電網事業者に支払う料金）を改正するなど、V2G により収益を得られるようにすることが必要だ。V2G によるグリッド支援に関するフレームワークは今、作成が進められている段階だ。V2G により収益を上げられるようなフレームワーク構築は、V2G における大きな課題だと言える。消費者が V2G を行うメリットを見出すことができなければ、それを喜んで実行しようとは考えないだろう。ソーシャルアクセプタンスの観点から考えると、消費者が「V2G により、私の BEV のバッテリーは常に充電が足りない」と不満に感じる状況を回避するべきだ。

Q.V2G の利用促進のためには、グリッドタリフの変更が必須とのことですが、具体的にはどのような変更が必要でしょうか。

・欧州では、電力利用者は消費した電気に対して電力会社に電力料金を支払うだけではなく、送電網を運用する送電網事業者にも電力網利用料を支払わなければならない。これが「グリッドタリフ」だ。

・グリッドタリフには固定料金制と時間帯によって料金が変わる変動制があるが、現在オランダでは固定料金制が一般的だ。

・送電網の混雑という問題があるため、送電網事業者はグリッドタリフでのダイナミックプライシング（例えばピーク時にはグリッドタリフを高い料金に設定）の導入を進めている。それにより、電力利用者は、電力消費パターンを変えて金銭的インセンティブを得られ、それがグリッドの混雑緩和につながる。

・ちなみに、電力料金については、Utrecht では一般的な電力ユーザーは固定電気料金契約、変動電気料金契約のいずれかを選択することができる。前者ではどの時間帯でも同じ料金を支払うが、後者では 1 時間ごとに変わる。変動電気料金の場合、欧州では前日の電力市場価格をベースに取引されている。前日の電力市場価格も、1 時間ごとに異なる。おそらく、近い将来、15 分ごろに変動する

【V2G、エネルギー最適化の研究を手掛ける Utrecht 大学研究員から見た課題/メリット/見通し】(つづき)

形に変更される。

Q.V2G 対応車両が V2G 非対応車両よりも TCO(Total Cost of Ownership)が高いのであれば、ソーシャルアクセプタンスが低くなってしまうと考えられます。

・先述と重複するが、消費者は V2G により収益を上げられると判断できる場合にのみ、この投資(V2G 対応車両の購入)を行うだろう。そのため、グリッド改善に寄与する V2G 車にメリットを提供できるフレームワークの確立が非常に重要だ。

・V2G に参加するための何らかの動機を消費者に与える必要がある。消費者が V2G により収益を上げられるということを証明する必要があると考える。そのため、小さなグループから V2G の実証実験を始め、それを徐々に広げるというやり方が適切ではないかと考える。どの程度の収益を挙げられたかということを実際のユーザーのデータで示すことが、動機付けになるのではないかと思う。

Q.欧州では圧倒的に AC 充電設備が多いですが、AC 充電では DC 充電より技術的に V2G が難しいと聞きます。

・もちろん、DC 急速充電のほうが AC 充電より V2G ははるかに容易だ。オランダには急速充電ステーションで DC 充電があるが、そこで V2G を行うという発想は皆無だ。なぜなら、DC 充電ではユーザーは「なるべく早く充電して、なるべく早く出発したい」と考えるため、V2G を行うのに適切なケースではないからだ。

・以前は AC 充電器での V2G は非常に難しかったが、ISO 15118-20 が設定され、徐々に実装されている。

・いずれにしろ、欧州系 OEM にとっては AC ベースの V2G のほうが現実的ではないかと考える。欧州では AC 充電のほうが圧倒的に多く、それを DC 充電に交換するには多額のコストがかかるからだ。

・日本では DC 充電が主流だと理解しており、その観点では、V2G の実現が比較的容易ではないかと考える。

Q.車両や充電設備を V2G 対応とすることはハードルが高いでしょうか。

・充電設備に関しては、V2G 対応とすることは技術的にはそれほどハードルが高くない。実際に、Utrecht でも、ハードウェアとソフトウェアの変更により V2G 対応充電器への変更が行われている。ただ、当然、ハードとソフトのアップデートにコストはかかる。具体的な金額は分からないが、比較的手ごろな金額だと聞いている。

・車両に関しては、専門家ではないためはっきりとしたことは言えない。Renault 5 などは V2G 対応であるほか、VW や Volvo Cars も V2G を進めていると理解している。今後 V2G 対応車のラインアップが増えれば、当然、徐々に V2G 対応車のシェアは拡大していくと考える。

Q.V2G の大規模展開においては、データ管理(データ収集・分析)が非常に重要だと思います。

・周知の通り、V2G においてデータ管理と IT システムの改善が非常に重要だ。例えば、V2G では、関係各所が BEV のバッテリー残量を把握することが必須だ。バッテリー残量が 20%しかない場合は放電するべきではないだろう。

・車両のタイプや充電器のタイプに関わらず、標準化された通信システムを持つことが重要だ。それに向け、これまでに多くの作業が進められており、標準化された通信システム(ISO 15118-20、 OCPP〔Open Charge Point Protocol〕 2.0.1)は既に定められている。

・ただ、問題点を挙げるとすると、全ての自動車メーカーがこの通信システムを車両に採用するか？ということだ。また、従来のグリッドをスマートグリッドにする必要があり、グリッドオペレーターがそれに投資する必要がある。

Q.再エネやスマートメーターなどの観点から、V2G の展開に適した国・地域やユースケースはあるでしょうか。

・V2G の展開には、スマートメーターの普及率が高いということが要件となるだろう。グリッドオペレーターが電力の需要/供給の状態を把握できており、オペレーターとユーザーがダイナミックプライシング契約を結んでいる場合が、ビジネスケースと言えるだろう。ダイナミックプライシングでは時間ごとに価格が異なるため、価格が低い時に充電し、高い時に放電することで、その差額が収益となる。それが放電のモチベーションになるだろう。

・V2G は電力網のバランスをとるために非常に有用なので、グリッドが逼迫しているエリアが最も優先度が高いと言えるだろう。オランダでは、グリッドの混雑が大きな問題になっている。例えば、大規模な太陽光発電を導入したいと思っても、それをグリッドに接続するのが困難なケースもある。そのため、送電網事業者は今、送電網のデジタル化に取り組んでいる。

・ちなみに、Utrecht では簡単なツールを購入すれば電力使用量をリアルタイムで把握することができる(デフォルトでは不可)。

・V2G は再エネの有効活用という点からも有用だ。例えばドイツでは、多くの再エネを生成できるが、再エネ発電の消費量は十分とは言えない。晴天で風の強い日には多くの再エネを得られるが、雨天の際などは CO_2 排出量の多い褐炭や亜炭に頼らざるを得ない。そのため、再エネの余剰電力がある時間帯に車両に蓄電し、再エネが少ない時に放電するという形が最適だ。

Q.V2G は、V2H や V2L よりハードルが高いです。

・V2H では、各々の家庭が最適化されたエネルギーフローを管理するという形で、最適なタイミングで BEV を充電したり、家屋内での電気使用が多いタイミングで BEV から放電したりというように、グリッドとは直接的な関係がないので、V2G よりはるかに容易だ。

・V2G では、非常に複雑なグリッドコードに準拠する必要がある。グリッドコードの準拠なしには、グリッドへの電力供給はできない。これは非常にハードルが高いと思う。また、V2G を行う際に電圧を過度に変更することがないようにしなければならない。

・このように、確かに、V2G は V2L や V2H などより難しいが、V2G ははるかに価値が高い。なぜなら、V2H では地域全体の電力の問題を解決することはできない。一方、V2G では隣人が電力を必要としている場合に電気を供給することができる。V2G は、地域全体のグリッドを管理するので、バーチャルパワープラント(仮想発電所)とも呼ばれる。

・一つの考え方としては、まず V2H から始めて、ユーザーが双方向充電に慣れることから始めるのも良い考えかもしれない。一方で、V2G を行うためには、前述の通り、車両と充電デバイスの双方が V2G 対応である必要があるが。

Q.充電ポイントオペレーターなど各ステークホルダーの収益化について、懐疑的な声も聞きます。

・初期投資はもちろん大きいだろう。例えば充電ポイントオペレーターにとっては、ソフトウェア/ハードウェアの変更により充電デバイスを V2G 対応のものとしなければならない。

・ただ、向こう 5 年程度でビジネスケースが徐々に実現するのではないかと考える。グリッドタリフなど、V2G に関連する様々な制度の変更が進められており、5 年後にはある程度進捗すると見ている。

・また、グリッド最適化のためには、国境を越えた電力供給も重要となってくるだろう。今でも、2 ヵ国の送電事業者が契約を結び電力を融通するというケースは増えている。それがさらに発展することを願っている。

(FOURIN)