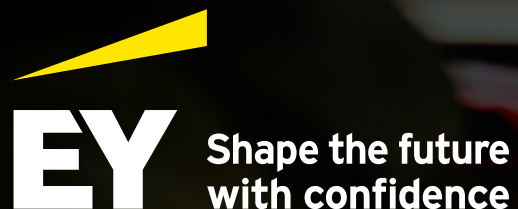


可能性を引き出す： 電気自動車に秘められた 調整力*を解き放つ

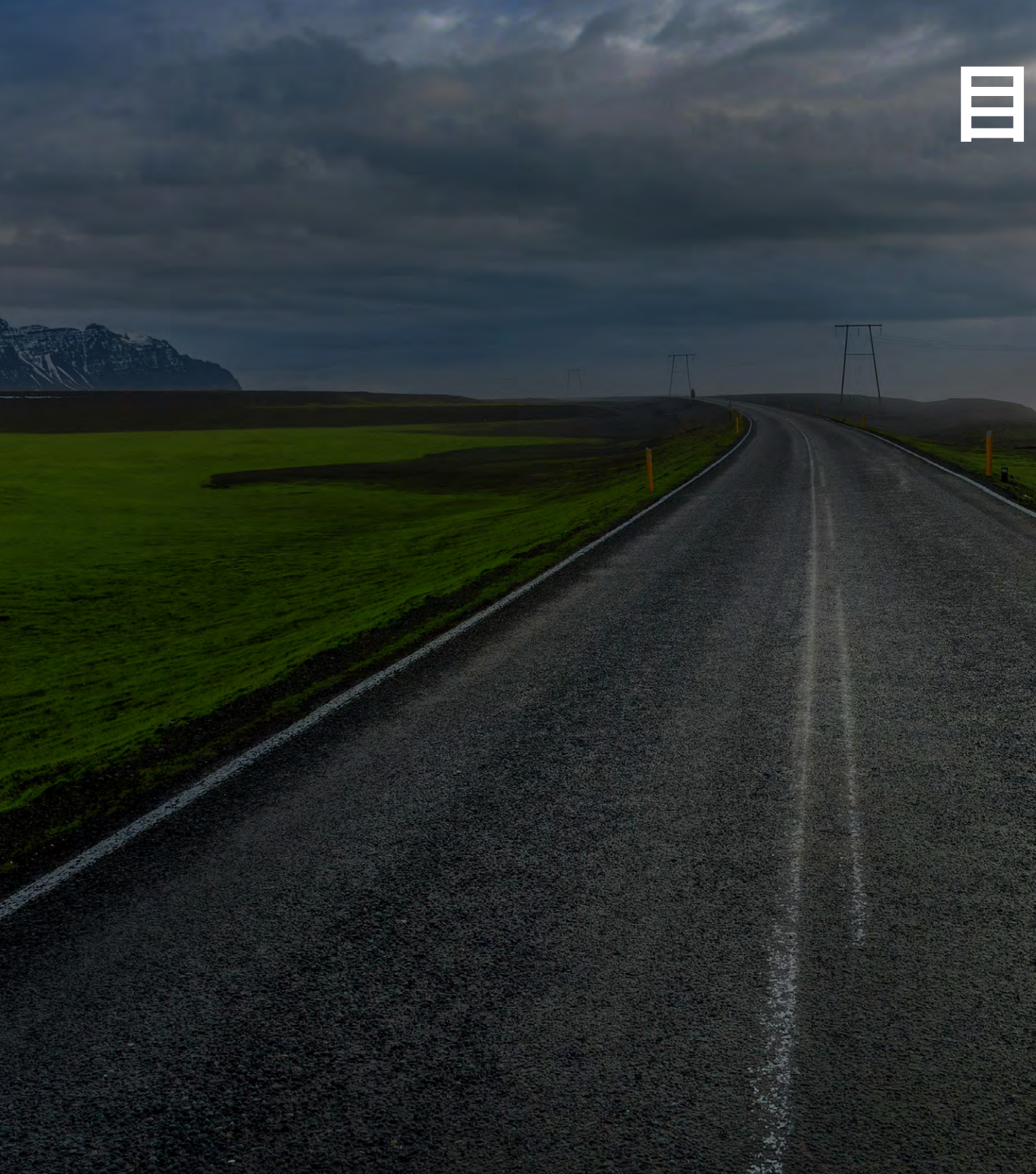
* 調整力とは、エネルギーの需給と貯蔵をリアルタイムで調整し、系統の需給を均衡させるエネルギーシステムの能力のこと。

エネルギーシステムの持続可能性と回復力の
向上にスマート充電が不可欠な理由とは

共同作成：



目次



エグゼクティブサマリー

欧州のエネルギー環境は不可逆的な変化を余儀なくされています。

供給側では、再生可能エネルギーと低炭素発電への急速な移行に多様化の進展が重なり、エネルギー安全保障が強化されています。一方、再生可能エネルギーは出力変動が激しいことから、需給のミスマッチや送配電線の過負荷、系統統合に伴う課題など新たなリスクも招き、これを管理しなければなりません。

需要側では、製造プロセスの電化やヒートポンプ、データセンター、そして言うまでもなく運輸による負荷の増大が予測を難しくし、また、これまでとは異なる時間帯にピークが生じるようになりました。

同時に、顧客のエネルギー消費に対する意識が高まっています。顧客の期待が透明性と統制の向上へとシフトするなか、電力系統のインタラクションの在り方も変化しています。一方、サイバー攻撃の脅威の高まりや異常気象、一部地域での系統システムに対する制限で、エネルギー需給をリアルタイムで均衡させ、管理することがかつてないほど重要となってきました。

スマートな未来を今以上にスマート化する取り組みが必要

では、こうした課題にまとめて対応する完璧な解決策はあるのでしょうか。どうすれば、系統の需給均衡を図り、再生可能エネルギーの利用を最適化し、消費者が負担するコストを減らせるのでしょうか。

その解決策はすでにあると言って差し支えないでしょう。単方向スマート充電で、エネルギーを賢く消費するようユーザーを促し、混雑する時間帯から料金が低い時間帯へと負荷を移行させられることはすでに実証されています。しかし、消費者が電気自動車(EV)を自宅で充電するようになったことなどから、電力需要が急激に増える今、単方向充電は今まで以上に不可欠な存在となってきました。

EV充電のスマート化が進み、仕事から帰宅したときに誰もが一斉にEVを充電して、電力消費の多い他の機器と需要のピークが重なるという事態を回避することが可能になりつつあります。アルゴリズムはEVドライバーが設定した好みに基づいて、充電プロセスを最適化するのです。例えば、最も料金が低い夜間に80%充電するように設定することも、午前8時までにフル充電するように設定することもできます。一度需要の特徴が設定されると、EV、充電器、

管理システム間で通信が自動的に始まり、充電プロセスが開始または終了されます。充電プロセスが最適化されていれば、電気料金や系統の稼働状況、再生可能エネルギーの利用可能量、EVバッテリーの充電状況を考慮に入れることができます。

単方向充電(第一世代ビークル・ツー・グリッド: V1G)の恩恵を主に受けるのは消費者と系統運用者です。単純な時間帯別(ToU)エネルギー料金为中心で、既存のインフラや規制を大幅に見直す必要はありません。

その例外であり、またV1Gの調整力のメリットを生み出す上で最大の障壁となるのは、データ共有・相互運用性に関する法整備が必要となる点です。再生可能エネルギー指令(RED III)第20a条が施行されると、ドライバーの同意を得た上で、車載データを第三者のステークホルダーに提供することが義務付けられます。データに自由かつ公平にアクセスできなければ、調整力サービス向けのスマート充電を完全に導入することはできません。



系統の需給均衡という課題に対処し、再生可能エネルギーの利用を最適化するための究極のソリューションはV2Gだという見方が一般的です。とはいえ、全ての原点と言えるのは、いつ最大出力でEVを充電できるか、また充電出力をいつ減らすべきかを管理する、現在すでにある技術、すなわち単方向スマート充電です。V2Gはさらなる最適化に向けた有望な次のステップであり、規制や税制、余剰再生可能エネルギー容量、多層的な系統容量の改善など、他の基礎的要因が成熟し、適切に整備されれば、本格的に普及する可能性があります。

Suthalan Gnanesan氏
Managing Director, GreenFlux

ビークル・ツー・グリッド (V2G)：地域のエネルギー 問題に対する地域の解決策

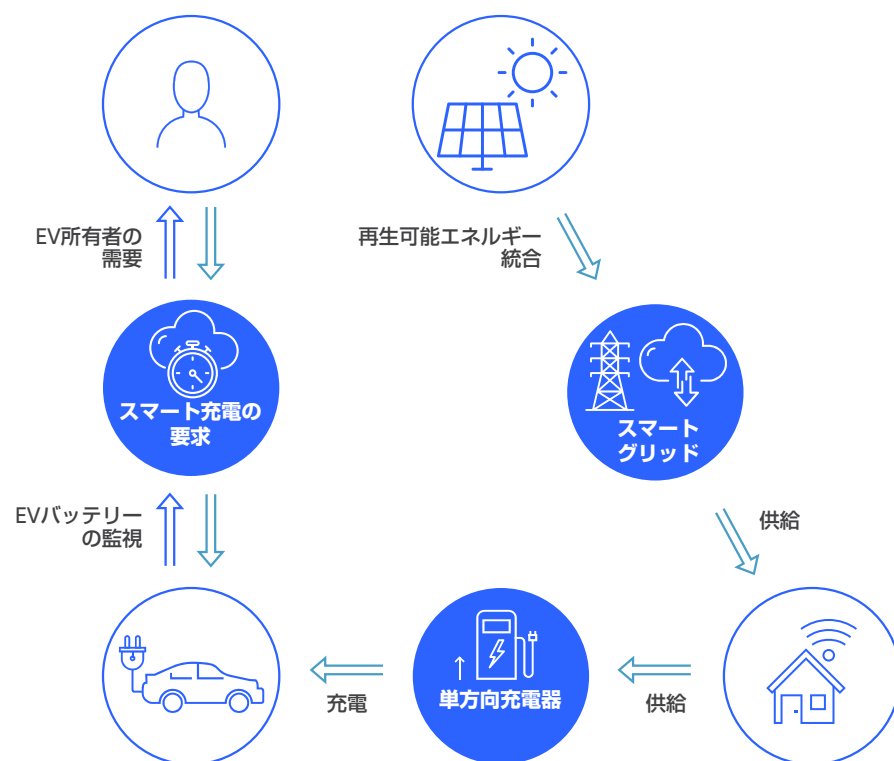
今から数年後に時間を早送りしてみましょう。V1Gに現在課せられているデータ共有や相互運用性の制限への対処はすでになされています。双方向専用の充電器とリモート管理システムにより電力を双方向に流すことができるようになりました。電力がEVと系統の間を行き来したり(これをビークル・ツー・グリッド〈V2G〉といいます)、EVバッテリーから家庭に直接供給されたり(ビークル・ツー・ホーム〈V2H〉)することでエネルギー料金が下がり、ユーザーの自給自足化が進みます。

言うまでもなく、V2Gの成否の鍵を握っているのは、双方向技術を活用したEVの普及です。この技術はすでにいくつかの国で試験的に導入されており、大きな可能性を秘めていることが実証されています。いずれは、何千台ものEVを、1つの大規模な分散型エネルギーシステムとして機能させ、有益な調整力サービスを電力系統に提供できるようになります。

電力が双方向に流れることで、V1Gより複雑さが増すことは避けられません。しかし、適切に対応すれば、V2Gは系統レベルで電力需要のピークを効果的に抑え、EVユーザーの電力コストを引き下げること、系統を安定化させることができると考えられます。

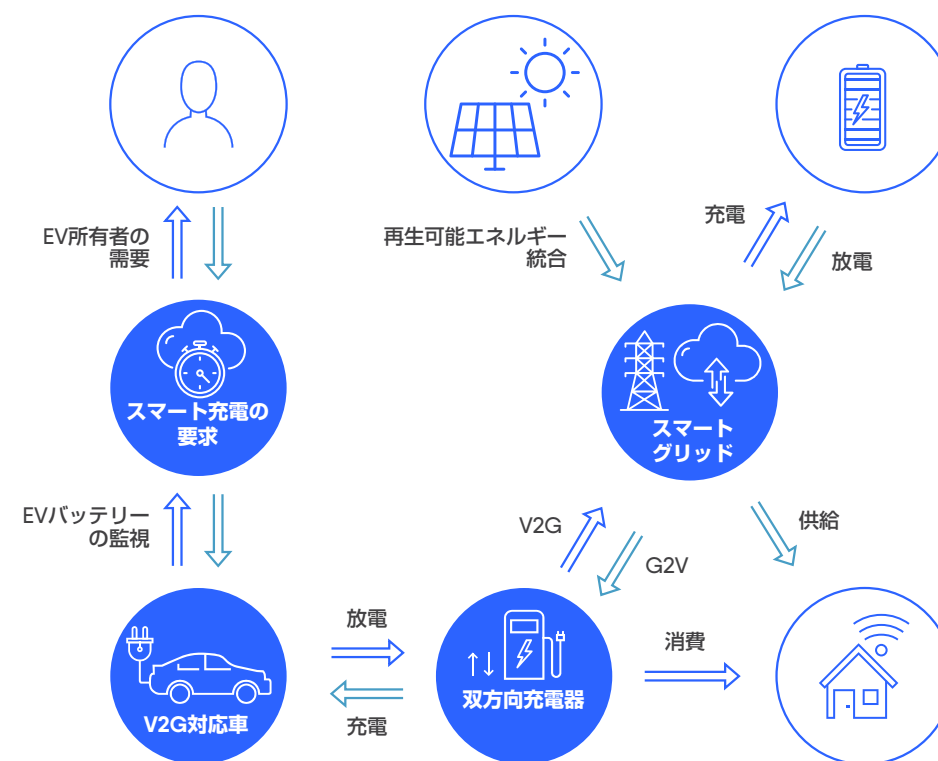
スマート充電エコシステム

単方向スマート充電エコシステム (V1G)



出典：EY Insights

双方向スマート充電エコシステム (V2G)



欧州では2024年にEVの年間販売台数が車両全体に占める割合が22.7%に達しました。2035年が近づくにつれ、一部の国・地域でガソリン車とディーゼル車の新車販売が事実上禁止され、EV普及を取り巻く機運が一段と高まるはずです。地域社会ではEVの台数が世帯数とほぼ等しくなり、V2Gの導入で、EVを自宅周辺で充放電して、地域送配電網の需給均衡に利用できる調整力リソースを生み出すことができるようになると考えられます。

エネルギーシステムの観点に立つと、V2Gの実現でEVは分散型エネルギー貯蔵装置の役割を果たすことができるようになるかもしれません。風力・太陽光発電量の変動が大きいことから、実質的にEVバッテリーが調整弁となり、再生可能エネルギーを貯蔵して、システムが必要とするときにそれを供給します。

もちろん、EVと充電器、システム間に統一されたオープンインターフェースや接続が欠如しているなど、解決しなければならない課題があるのも事実です。障害となっているのは、V2G対応のEVと充電器がまだほとんどないこと、そして周波数調整などシステムサービスを提供するには、V2G対応EV全てを正確に同期させることが必要ですが、これができないことです。また、税務・規制上のハードルの多さや、ドライバーの同意が必要なことも、V2G技術の普及を妨げています。

とはいえ、結局のところ、V1Gであれ、V2Gであれ、スマート充電の利用は経済的に魅力的です。欧州電気事業者連盟(EURELECTRIC)の「2024 Grids for Speed」調査で明らかになったように、利用可能資産の調整力を活用することで、欧州の系統運用者は推計で年間40億ユーロを節約できます。調整力は、システムの最適化や先行投資と組み合わせることで、2025年から2050年にかけて、系統への投資コスト全体を推計で年間670億ユーロから550億ユーロに削減するための戦略の一部と考えることができます¹。

そう考えると、V1GとV2Gは選択肢ではなく、むしろ必要不可欠なものだと言えるのではないのでしょうか。送配電網への投資コストをある程度削減しながら、その地域ならではのエネルギーニーズに対応できる、最も手頃な価格の、最も高い拡張性と調整力を備えたソリューションとなる可能性があります。そうなれば、EVは、走行していない時には常にアイドリング状態の座礁資産ではなく、エネルギーソリューションに欠かせない要素となります。



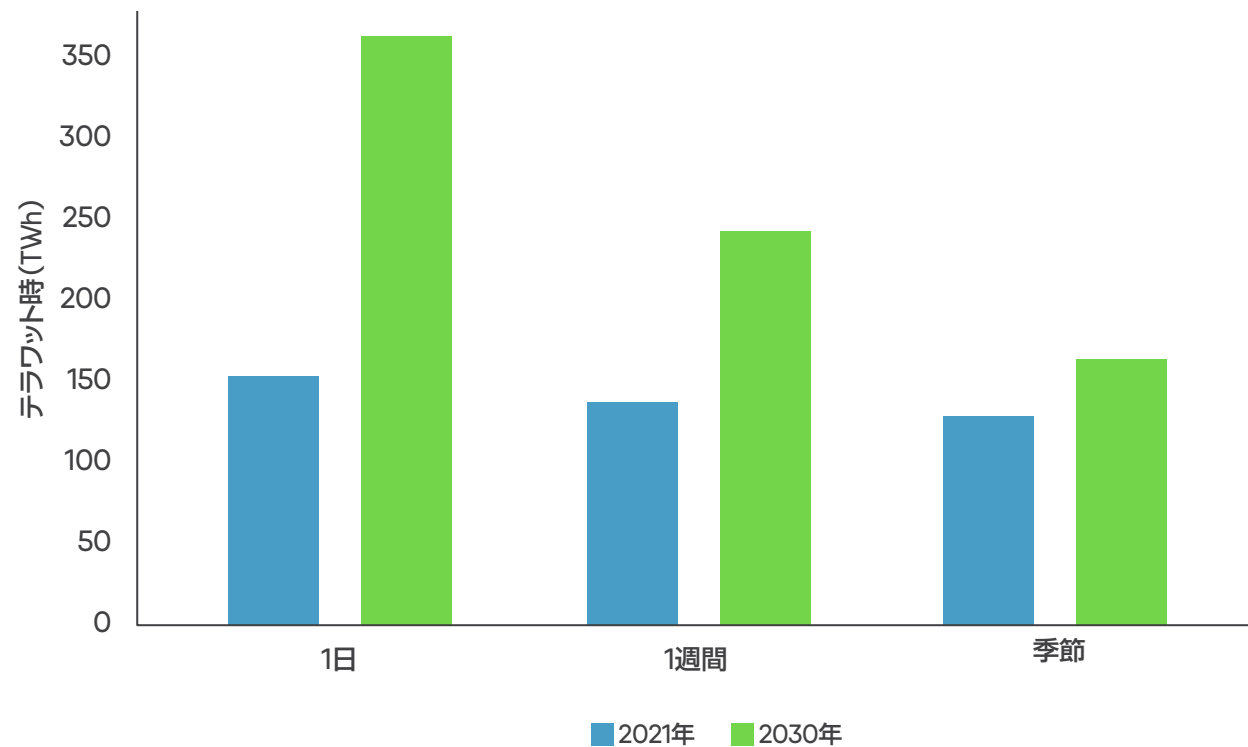
システムの最適化と、現在ある調整力やツールの活用で、EVは、2025年から2050年にかけて系統運用者の投資コスト全体を推計で年間670億ユーロから550億ユーロへ削減するソリューションの重要な一部となります。これは大きな節約であり、エネルギーの未来にとって、V2Gがなぜ選択肢ではなく必要不可欠なものなのかを如実に物語っています。

Serge Colle

EY Global Power & Utilities Leader

¹ [“Grids for Speed.”](#) EURELECTRIC website (2025年1月16日アクセス)

欧州の調整力に対するニーズの増大(2021年と2030年の比較)



出典: [“Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system,”](#) EEA/ACER Report, September 2023

系統への負荷

- 過去40年間で電力需要は**500テラワット時 (TWh)** 増えて**2,500テラワット時 (TWh)** に到達。
- 今後25年間で変化の速度が4倍になり、電力需要は**2050年までに4,500テラワット時 (TWh)** を超える見通し。



E-REDESでは、地域の調整力市場のポテンシャルを検証しているところです。EVはこのビジネスモデルにおいて重要な役割を担うことになります。というのも、EVは柔軟な負荷プロファイルを持ち、系統全体にうまく分散しているため、この仕組みから恩恵を受けられるからです。

João Rafael氏

Senior Project Manager, E-REDES

調整力の価値提案:勝者

EV由来の調整力の拡大を図り、その調整力を主流とすることを目指すのであれば、エコシステム全体を対象とした価値提案が必要です。

消費者を調整力の提供に参加させる

エネルギー転換では消費者が中心的役割を果たしていますが、スマート充電はその消費者を直接、調整力の提供に参加させることができます。スマート充電に参加することで、消費者は系統の混雑緩和で積極的な役割を果たすことができ、それがひいては電気料金の引き下げや、ユーザーにとっての信頼性とセキュリティの向上につながります。ただし、EVドライバーから調整力提供の同意を得るには、そのドライバーが、調整力の提供先である企業を信用することができ、かつ、貢献の対価を受け取ることができる体制を整えなければなりません。

また、使い勝手の良いスマート充電を適切に提案して、消費者にとってのメリットを明確に示し、顧客エンゲージメントと普及率を最大限高めることも重要です。ドライバーに、単なる移動手段ではなく、金融資産となり得るものでもあるとEVを認識してもらうには、時間帯別・スマートエネルギー料金プランを有

利に利用する方法を説明しなければなりません。つまり、料金が低いときに充電をしてお金を節約し、その電力を系統運用者に販売して利益を得る方法をわかりやすく説明するのです。

単方向スマート充電の調整力を確保し、V2Gを最適化すれば、EVを所有することの経済性も向上します。総所有コストとは、車両コストに加え、エネルギーコストや税金、整備コスト、保険料なども含んだコストです。これをどのくらい節約できるかは、国によっても、利用できる電気料金プランによっても変わってきますが、太陽光発電設備の有無やEVバッテリーのサイズ、走行距離、充電頻度を参考に計算します。

総所有コストベースで見ると、最適な充電が行われ、V2Gの恩恵を受けることができれば、英国のコンパクトEV所有者は、内燃エンジン(ICE)車と比べ、年間最大19%(1,270ユーロ)節約できると推計しています²。大型車・SUV(多目的スポーツ車)セグメントでは、年間26%(2,460ユーロ)も節約できるかもしれません。

小型車の総所有コストの削減率は、ドイツとスウェーデン、スペインでは14%に上る一方、フランスとオランダではそれぞれ8%と9%にとどまる可能性があります。

出力抑制回避の恩恵を受けるのは系統運用者

V2Gは系統運用者に日々、大きなメリットをもたらしますが、そのためには、スマート制御システムを導入し、電力消費と充電を積極的に制御・最適化して、系統統合を最大限活用できる環境を整えなければなりません。

多くのEU加盟国では現在、電力系統混雑が発生しています。系統混雑は、電力系統の送電容量不足で、需要を満たせないときに起きますが、その最大の要因となっているのが太陽光発電や風力発電など分散型エネルギーの急増です。家庭や企業で作られることが多いこうした再生可能エネルギーが系統に供給されており、それが、管理の難しい変動やスパイクの一因となっています。

EUのエネルギー規制機関調整庁(Agency for the Cooperation of Energy Regulators:ACER)が出した「Market Monitoring Report」から、2023年は混雑管理の需要が14.5%も増え、システムコストが上昇したことが分かりました。ACERの推算では、EUの電力系統混雑の管理コストが40億ユーロを超えますが、その60%を占めるのがドイツのシステムです³。

系統混雑が再生可能エネルギーの出力抑制を招くようになってきました。大半のEU加盟国では、それにより生じる需給ギャップを化石燃料発電で補うことが少なくありません。系統混雑をより効果的に管理する方法があります。エネルギー資産のスマート管理です。これには、利用可能なエネルギー資源の賢い利用やエネルギー貯蔵に加え、ユーザーのエネルギー利用状況と系統混雑状況のマッチングを奨励したり、このマッチングに報いたりするプログラムが必要となります。系統の範囲が広いことと、系統にすでに接続していたり、最終的に接続したりするEVの台数を考えると、調整力は局所的な混雑を解消し、出力抑制を回避する、最も安価かつ効果的な方法の1つになるかもしれません。

EVの調整力は、大きな可能性を秘めています。再生可能エネルギーの出力抑制回避という面では、欧州の年間電力供給量にEVが占める割合は、理論上、2030年までに4%に達する可能性があります。バッテリー容量を114テラワット時(TWh)と推算すると、年間3,000万世帯に電力を十分に供給できる計算です。V2Gで欧州全体の電力需要の10%以上を貯蔵して、必要に応じて電力を供給できるようになれば、その可能性は2040年までにさらに高まります⁴。

² 計算手法については、付録を参照。

³ “Transmission capacities for cross-zonal trade of electricity and congestion management in the EU 2024 Market Monitoring Report,” ACER, 3 July 2024

⁴ EYのモデリングによると、2040年までにその可能性は10%になる。

その他の市場参加者も、調整力システムを機能させる上で不可欠であり、また参加することで大きな価値を生むことになりそうです。

■ **充電スポット運営事業者(CPO)** は自社のパブリック充電スポットを運営し、調整力サービスを系統運用者に提供することで新たな収益源を得ることができる。この調整力サービスとしては、V1Gの夜間交流(AC)充電や、急速充電(HPC)に必要な高速調整力サービスなどが考えられる。V1GやV2Gなどのスマート充電プログラムへの参加に前向きなEV所有者に魅力的な料金プランを提供することで、CPOは顧客ロイヤルティの向上と市場シェア拡大も期待できる。

■ **フリート事業者** フリート事業者はスマート充電プログラムに加わることで、プラグイン車を収益源にすることができる。卸売市場でのアービトラージ(裁定)取引と、系統調整力サービスの提供により、特にV2Gを活用すれば、事業コストの削減やエネルギー効率の向上が可能になり、エネルギー管理強化の恩恵を受けられる。実際、V2Gの実現に伴い、所有するバスのEV化により、事業運営費で最も大きな割合を占める充電コストを90%以上削減できることが複数の調査結果から明らかになっている⁵。

■ **その他の第三者(エネルギー管理システムのプロバイダーや自動車メーカー、エネルギー供給事業者、小売り事業者、独立系アグリゲーターなど)**は、最適なスキルセットを取得すれば、ビジネスモデルを転換させて、充電・調整力サービスの収益化も図るようになるかもしれない。



スマート充電の収益化

スマート充電はV2Gを含め、エネルギーの需給均衡に欠かせません。スマート充電によりシステムの総コストを下げ、また、最適なフレームワークを導入することで、送配電網への投資がある程度不要になります。ただし、それには調整力の収益化を可能にすることが不可欠です。調整力市場と適正な価格設定は、提供側に対価を支払い、コモディティとしての取引を支えるものでなければなりません。とはいえ、まず、以下などのメカニズムを整備する必要があります。

- EVと配電系統運用者(DSO)、そしてCPOまたはアグリゲーター間でのスマート充電データの相互運用性と情報共有や、エコシステムの全参加者を結ぶ統一された通信プロトコル
- 風力や太陽光など天候に左右される自然エネルギー由来の出力変動調整力の効果的な管理を目的とした、需要側と供給側、両方の適切な投資と調整
- 状況の変化に応じて、電力の供給や需要を調整する、拡張性を備えた調整力ソリューション

- EVドライバーに充電や放電を促して、地域の送配電網の混雑を緩和する価格シグナル
- DSOが調整力を調達して、送配電網の混雑を回避し、送配電網資産の利用効率を高めることを目的とした、効果的な地域調整力市場の構築
- 移動・定置型貯蔵に対する(二重課税など)規制上のハードルの撤廃
- EVと充電インフラを対象とした、ISO 15118-20など懸案の技術規格の導入と、双方向充電向けの相互運用可能なEVと充電インフラの普及拡大
- V2Gでシステムの需給均衡に協力してくれたユーザーにDSOが対価を払うことを可能にする、市場参加についての市場ルール

⁵ [“A comparative analysis of charging strategies for battery electric buses in wholesale electricity and ancillary services markets.”](#) ScienceDirect website, April 2023

EVを調整力資産にすることが急務

欧州では2030年までに、路上を走る車の15%がEVになることが予想され⁶、迅速な対応が必要です。何の制約もなく、EVを自由に充電できる状態が続くと、電力システムの機能だけでなく、EVドライバーや、エコシステムの全ステークホルダーにも悪影響が及ぶことになるでしょう。

一方、EVはそのユビキタス性により、エネルギーソリューションの一部にもなっています。今回の調査でCPOから話を聞き、EVが平均で1日23時間は動いていないことが明らかになりました。つまり、EVはエネルギーシステム全体にとって巨大で利用可能な調整力を持つ資産であり、車輪の付いたバッテリーと化しているのです。そのため、消費者を調整力の取り組みに巻き込み、適切な対価を払うことで、系統にすぐ接続でき、かつ、マネージドチャージングに参加して地域のエネルギーニーズに合わせた調整力ソリューションを提供できる準備ができると考えられます。

調整力を適切に管理すれば、エネルギーシステムとモビリティシステム、両方に対する信頼を高める一助となるはずです。調整力を支える技術・規制フレームワークを導入し、シンプルな市場ルールを定め、明確なシグナルと、参加を奨励する経済的インセンティブを採用することで、必要に応じていつでもどこでも調整力を提供できるようになります。

⁶ EY Mobility Lens Forecaster（欧州の総車両台数にEVの累計販売台数が占める割合に基づいた仮定）



調整力に対する信頼を築くには、数多くのお客さまや資産とつながり、市場をきちんと機能させる必要があります。EVバッテリーについては全てがお客さまの管理下にあるため、お客さまに参加していただき、顧客エンゲージメントを獲得できるかどうか成否の鍵を握っているのです。

Martin Olin氏

Head of e-Mobility, Swedenergy

調整力を生み出すツールとしてEVバッテリー資産を利用することで、必然的に課題とチャンスが生まれます。一方、業界リーダーの話を聞くなかで、前提条件が6つあることが明らかになりました。この前提条件については、これから詳しく考察していきますが、調整力資産としてEVから価値を引き出し、商業化を後押しするには、この6つを備えていなければなりません。

この取り組みに果敢に参加するプレーヤーにとっての真の（環境・社会・財務・商業的）価値は、電力系統とeモビリティが交わる場所に生まれます。

EVの調整力を引き出すための6つの前提条件



本レポートについて

本レポートでは、EVの調整力に関する価値提案を掘り下げるとともに、幅広いエネルギーシステム脱炭素化戦略の一環として、なぜEVバッテリーに秘められた調整力を引き出さなければならないのか、その理由を探っていきます。

また、現在のEVエコシステムで調整力を管理する仕組みの構築の仕方や主要プレイヤーが担う役割、規制の重要性、技術・経済的障壁と社会の抵抗を乗り越える必要性についても考察します。EVから系統への電力供給を可能にするV2Gへの移行が加速するのと並行して、エネルギーシステムがかつてないほどの変化を遂げる今、消費者の参加を可能にする、柔軟で、インテリジェントなデジタルグリッドの基盤づくりをしなければなりません。

本レポートは、自動車メーカー、CPO、調整力サービスプロバイダー、エネルギー小売り事業者、DSO、業界団体を対象としたインタビュー調査の結果を踏まえ、また、欧州の業界団体である欧州電気事業者連盟(EURELECTRIC)とそのメンバーの専門家の知見も参考に、エネルギー、自動車、政府、テクノロジーの各分野に豊富な経験を持つEYのプロフェッショナルがまとめました。

この場を借りて、Ampeco、BDEW、EDP、E-Redes、ElaadNL、EnBW、Enel X、ENGIE、E.ON、EV Belgium、FEBEG、GLP、GreenFlux、Ignitis、Motus-E、PPC、Schneider Electric、Spirii、Swedenergy、Volvo Energy、Volvo Carsに感謝の意を表します。

本レポートでは、欧州とはEU27カ国に、ノルウェー、スイス、英国の3カ国を加えた30カ国を意味します。

第1章

調整力が重要な理由と、 どの程度の調整力が必要か



大半のEU加盟国では現在、主に化石燃料由来の出力調整可能な発電で電力システムの調整力ニーズを満たしています。エネルギー調整力が求められる最大の理由は、再生可能エネルギー由来の分散型発電システムへの移行に内在する変動性です。一方、今後10年間に目を向けると、極めて速いスピードと極めて大きな規模で進められている電化が、調整力の最大の需要要因になると考えられます。

欧州では、電力需給の変化に対応するためだけでも、今後5年以内に調整力リソースを現在の2倍以上に増やす必要が出てくるでしょう。2021年と比べ、調整力の需要は1日単位で(153テラワット時(TWh)から)2.4倍、1週間単位で(137テラワット時(TWh)から)1.8倍、季節単位で(132テラワット時(TWh)ら)1.3倍と急増する見通しです^{7, 8}。また、この需要は2030年から2050年の間に3倍に増えることが予想されます⁹。

調整力とは？

調整力とは、エネルギーの需給と貯蔵をリアルタイムで調整し、システムの需給を均衡させるエネルギーシステムの能力を意味します。

再生可能エネルギーの供給量の増減や、需要の変動が生じて、調整力があれば、システムを安定して機能させることができます。

電力需要の大幅な急増

欧州委員会は2040年までに二酸化炭素(CO₂)排出量を90%削減するという目標を掲げていますが、この目標を達成するには、今後15年以内に電化率(エネルギー消費に占める電力消費量の割合)を現在の23%から50%に上昇させなければなりません¹⁰。

大局的に見ると、欧州の電力需要は今後25年間で過去40年間の4倍の速度で増大し、4,500テラワット時(TWh)を超える見通しです。

最終用途の電化が、EV・充電器によるものであれ、ヒートポンプやデータセンターあるいは産業電化によるものであれ、現在を大幅に上回る負荷が系統にかかることが予想されます。

乗用車、小型配送トラック、商用車などの小型EV市場では2023年の新車販売台数が320万台に上りました¹¹。2024年もそれまでよりペースが鈍ったとはいえ、欧州では市場の拡大が続き、プラグインハイブリッド車の販売台数が310万台に達しています。

欧州では販売が鈍化しているものの、普及を後押しする規制政策が需給の経済性を改善させており、市場の回復が期待されています。2024年にはハイブリッド車の需要が20%増加しましたが、欧州の販売台数にEVが占める割合が50%に到達するのは、これまでの予想より2年遅い2030年になる見通しです¹²。EV台数は2050年までに、現在のほぼ20倍にあたる2億5,000万台に達し、同時に、パブリックEV充電器の数も現在の60倍近く増えて700万基に達することが見込まれています¹³。

⁷ [“Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system,”](#) EEA/ACER Report, September 2023

⁸ 1日単位での調整力:朝と夜の需要ピークと日中と夜間の発電量差。1週間単位の調整力:平日と週末の需要差と風パターンの変化。季節単位での調整力:暖房・冷房期と各季節の天候パターン

⁹ [“Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems,”](#) JRC Publications Repository, European Commission website, 14 March 2023

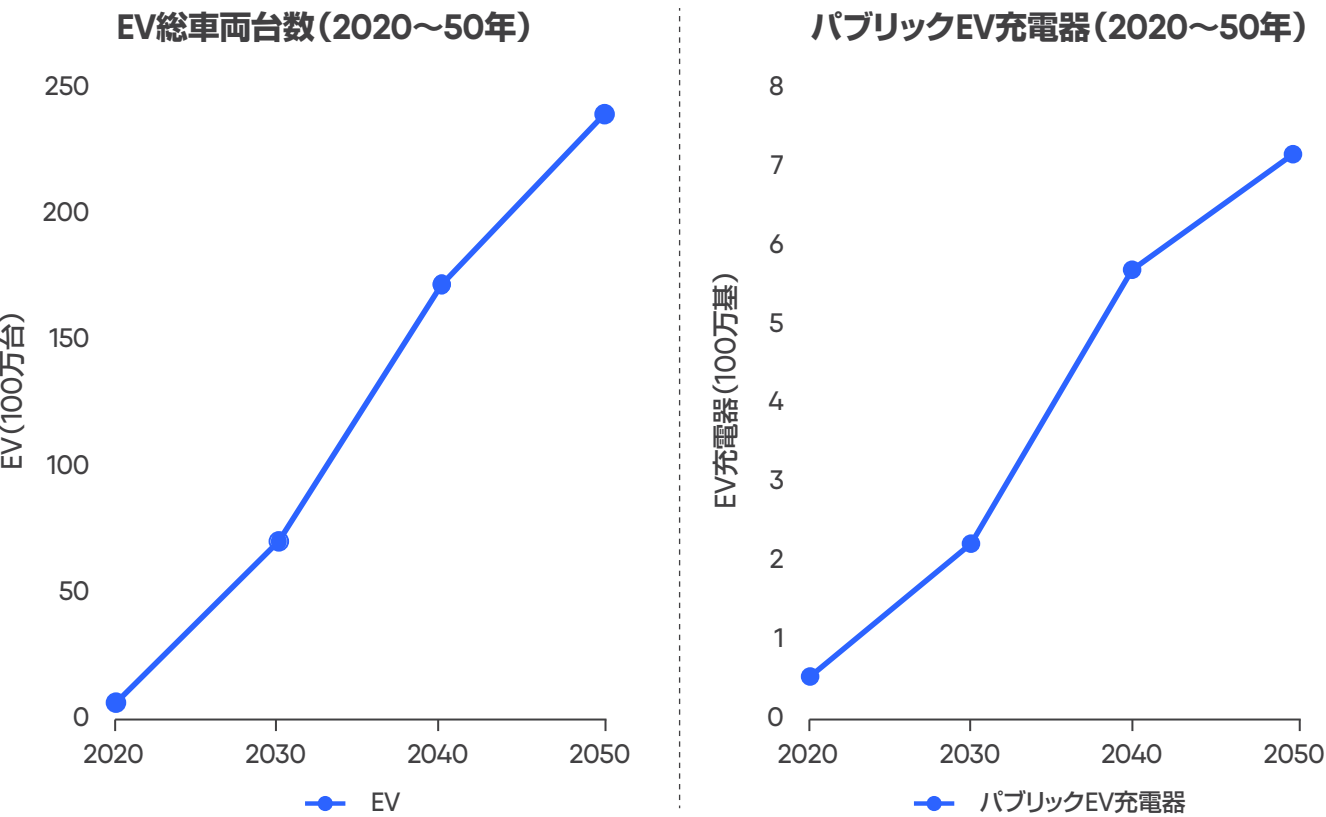
¹⁰ [“Decarbonisation Speedways,”](#) EURELECTRIC, 20 June 2023

¹¹ [“How is Europe’s EV slowdown affecting its market forecast?,”](#) EV Volumes website, 25 June 2024

¹² [“How to retake the momentum in the EV transition,”](#) EY website (2025年1月16日にアクセス)

¹³ [“Decarbonisation Speedways,”](#) EURELECTRIC, 20 June 2023

欧州のEVとパブリックEV充電器の見通し(2020～50年)



出典：[“Decarbonisation Speedways,”](#) EURELECTRIC (20 June 2023) の EY Insights による分析結果

パブリック充電器の数は？

欧州代替燃料観測所 (European Alternative Fuels Observatory) によると、欧州には2024年第4四半期時点で82万1,773基(2023年から30%増加)のパブリック充電スポットがあり、1,000万台のEVに充電をしています。充電スポット全体の15%超が急速充電機能を備えていることから、これら充電スポットが供給できる電力は22キロワット(kW)以上です。とはいえ、一部EU加盟国では、充電インフラの整備を加速させなければなりません。欧州委員会が掲げる2030年までに350万カ所という目標を達成するには、年間45万カ所、1週間あたり8,600カ所の充電スポットを新たに設置する必要があります。

出典：[“Infrastructure 2024,”](#) European Commission (2025年1月16日にアクセス)

出遅れはしたものの、進展をみせているのが、欧州の小・中・大型トラックの電化です。中型EVトラックがeモビリティ市場全体に占める割合は2023年末時点の7%から、2024年9月末時点には8.3%に上昇しました。車両総重量が16トンを超える大型EVトラックも、新車販売台数全体に占める割合が2023年の1%から、2024年10月末時点には1.3%にアップしています。

とはいえ、EV普及をさらに加速する必要が出てきました。欧州委員会が2024年2月に、大型商用車のCO₂排出量削減目標を引き上げたのです。それに伴い、2030年の排出量を2019年比で45%減らす必要があり、この削減率は2035年が65%、2040年が90%に上方修正されています¹⁴。

域内の充電・水素インフラの拡充に関するEUの規制に対応した加盟国の国家戦略フレームワークも、急速充電器の整備で充電時間を短縮することを目指すなど、EVトラック業界にとって追い風となっています。

¹⁴ “Heavy-duty vehicles: Council signs off on stricter CO2 emission standards,” European Council website, 13 May 2024.

再生可能エネルギーの急増への対応で 鍵を握るのは系統調整力

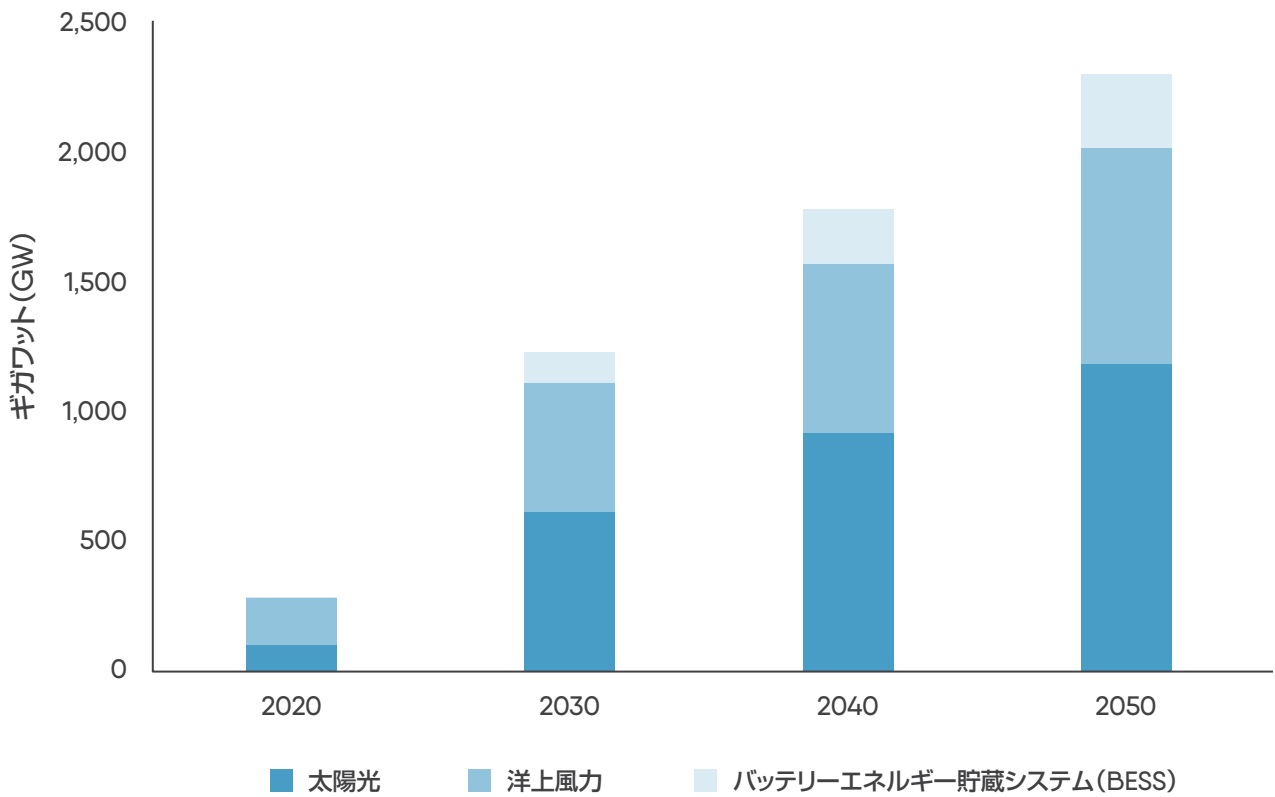
電力需要が急増しており、今後は再生可能エネルギーや低炭素の資源が中心となって電力不足を補うことになるでしょう。しかし、風力・太陽光発電には固有の変動性があることから、安定した確かな電力供給の維持は大きな困難を伴います。安定した出力の確保には、バックアップシステムや貯蔵、調整力余剰生産能力の大幅な過剰投入か、あるいは調整力ソリューションが必要です。

欧州では現在、水力発電を含めた再生可能エネルギーが発電量の45%を占めています。ソーラーPV容量は過去5年間で127ギガワット(GW)から301ギガワット(GW)に急拡大し、風力発電容量も同じ期間に188ギガワット(GW)から279ギガワット(GW)に増えました¹⁵。

欧州の発電量に風力・太陽光発電力が占める割合は平均で27%に上り、初めてガスを追い抜きました。この欧州平均を上回った国は9カ国です。ロシア産化石燃料への依存軽減を目的とするEUのREPowerEU計画では、風力・太陽光発電力の割合を2倍以上の50%超にするなど、2030年までに再生可能エネルギー由来の電力の割合を72%にすることを目指しています。そのためには、変動が大きい再生可能エネルギーの発電量を平均で年間111テラワット時(TWh)増やす必要がありますが、これは2010年から2023年までの年間平均増加幅(56テラワット時(TWh))の2倍にあたります¹⁶。

今後は再生可能エネルギーの発電量と電力貯蔵量の約70%が配電網に接続されることになるでしょう。欧州では分散型再生可能エネルギー容量が2020年から2050年にかけて6倍近く増える見通しです¹⁷。それに伴い、可変容量も大幅に増えることになります。

EUの再生可能エネルギー容量の推移(2020～50年)



出典: [“Decarbonisation Speedways,”](#) EURELECTRIC, 20 June 2023

¹⁵ [“European Electricity Review 2024,”](#) Ember website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

¹⁶ bp と IEA、Ember のデータの EY による分析結果

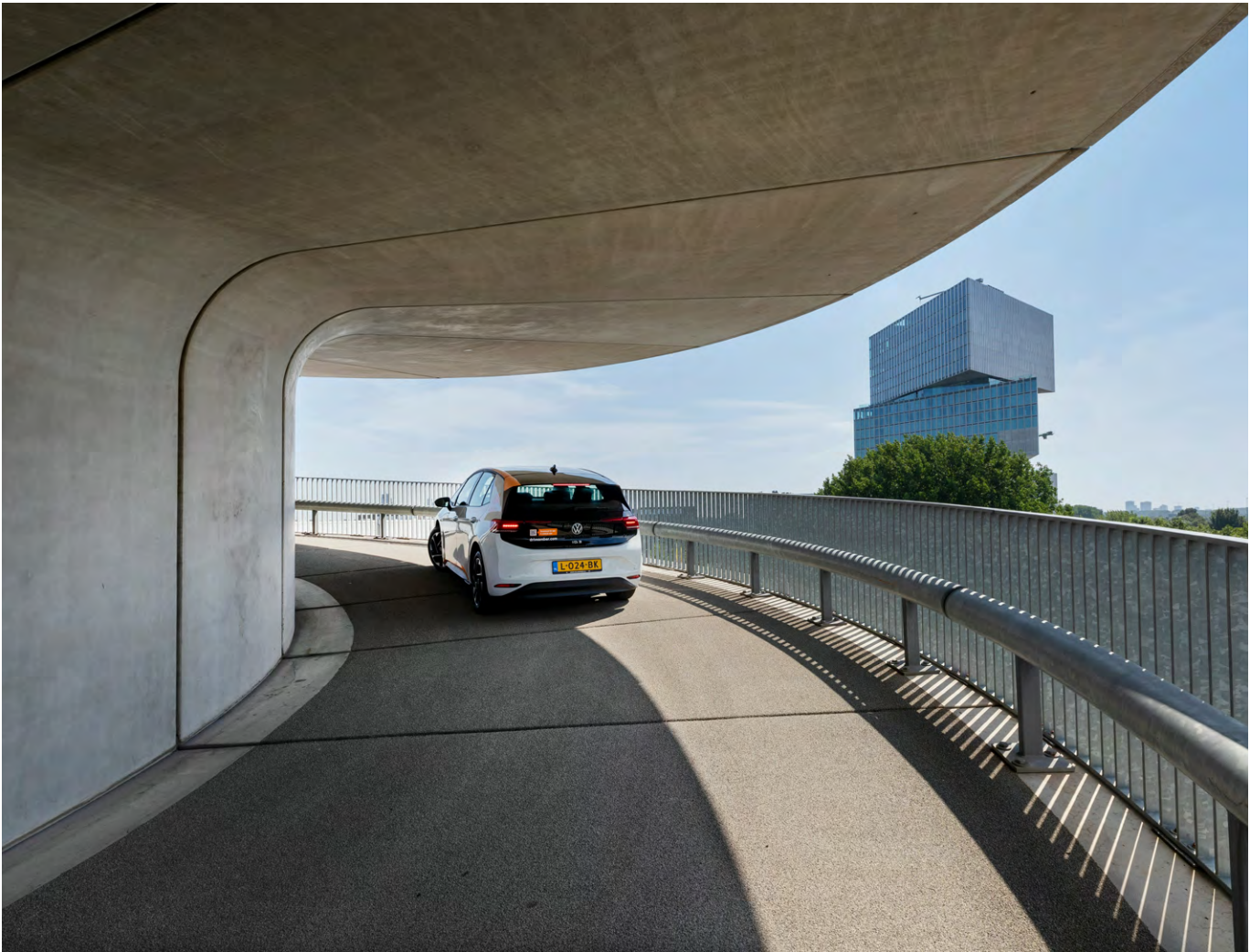
¹⁷ [“Grids for Speed,”](#) EURELECTRIC website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

再生可能エネルギーの普及率が上昇するにつれ、発電量を常に消費パターンに沿って調整することが難しくなります。現在は、バッテリーエネルギー貯蔵システムが普及しておらず、系統は余剰電力を吸収・貯蔵することができません。つまり、システム運用事業者がエネルギー生産量を削減・制限するには、出力抑制に頼る必要があるのです。それにより、安価なクリーンエネルギーが無駄になる可能性があるだけでなく、ネガティブプライスに転じたときなどは特に、新規再生可能エネルギープロジェクトの投資計画も台無しになってしまいます。

需要が低下し、余剰が生まれた合図となるネガティブプライスは、風力・太陽光発電が盛んな地域を中心によく見られるようになってきました。欧州では2024年8月末時点で、ネガティブプライスの時間が7,841時間に上りました。2023年から160%以上も増えており、料金が20ユーロ／メガワット(MWh)を割り込んだケースもあります^{18, 19}。欧州ではほぼ全ての電力市場でネガティブプライスを記録しました。英国ではネガティブプライスの時間が2024年に40%も増えて149時間となり、2027年までに1,000時間に達するという予想もあります。その主な要因は、原子力発電や屋上太陽光発電など補助金の対象となり、価格の影響をあまり受けない発電容量の拡大と、需要の低迷です²⁰。

一方、これはその国・地域での系統インフラへの投資が少ないことや、その国・地域の従来型発電所が発電量の大きな変動や柔軟な負荷に対応できないことを示す証しでもあります。貯蔵技術の構築の遅れに、市場制度設計・規制が再生可能エネルギーの普及に追いついていない現状が重なったことも、エネルギーのネガティブプライスの一因です。

こうした現状のシナリオと近い将来のシナリオを踏まえ、欧州全体で調整力を求める声が高まり、またエネルギーの需給と貯蔵をリアルタイムで調整する必要性も増えています。電化のスピードが加速し、規模が拡大するなか、実地的な解決策を見いだし、展開させていかなければなりません。



¹⁸ [“Negative European energy prices hit record level,”](#) Financial Times website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)
¹⁹ [“Power Barometer 2024”](#) EURELECTRIC website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)
²⁰ [“Negative prices: Why do they happen and why will they continue to grow?”](#) Modenergy website, 18 September 2024

第2章

調整力の基盤となるもの

変動が大きい再生可能エネルギーの実用化が進み、電力需要も高まるなか、系統運用者はより大きな課題を突き付けられています。電力託送は地域間の従来型相互接続に頼ってきましたが、これでは系統の安定と供給のセキュリティを維持できなくなるかもしれません。幅広い貯蔵能力と系統需給均衡能力の確保が急務です。

これを補うことができると思われるのは、V1G、そして特にV2Gなどの調整力・スマート充電ソリューションです。調整力はエネルギー需要を時間・地理的に分散させて、系統負荷を軽減します。また、系統の強化に投資する必要性を先送りしたり、軽減したりすることも可能です。EURELECTRICの「Grids for Speed」調査²¹によると、2025年から2050年までのこの投資額は推計で年間670億ユーロです。

²¹ “Grids for Speed,” EURELECTRIC website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)
²² “New car registrations European Union,” Press release, ACEA website, 21 January 2025



EVやヒートポンプなど、系統に接続された設備が調整力を秘めていることは誰もが認めるところです。ただ、この可能性を実際に引き出し、系統強化のための電力線新規設置の真の代替策として活用することは簡単ではありません。

Martin Olin氏
Head of e-Mobility, Swedenergy

現在の市場環境は、スマートグリッドを構築して、調整力を実現し、支えるのに最適です。通信環境が大幅に改善したため、複雑な双方向の電力フローを監視して、分散型システム間でその均衡を図ることができます。また、エネルギーのやりとりのデジタル化と、データ相互運用性の向上で、エネルギーがいつ、どこで、なぜ利用されたかを把握できるようになりました。

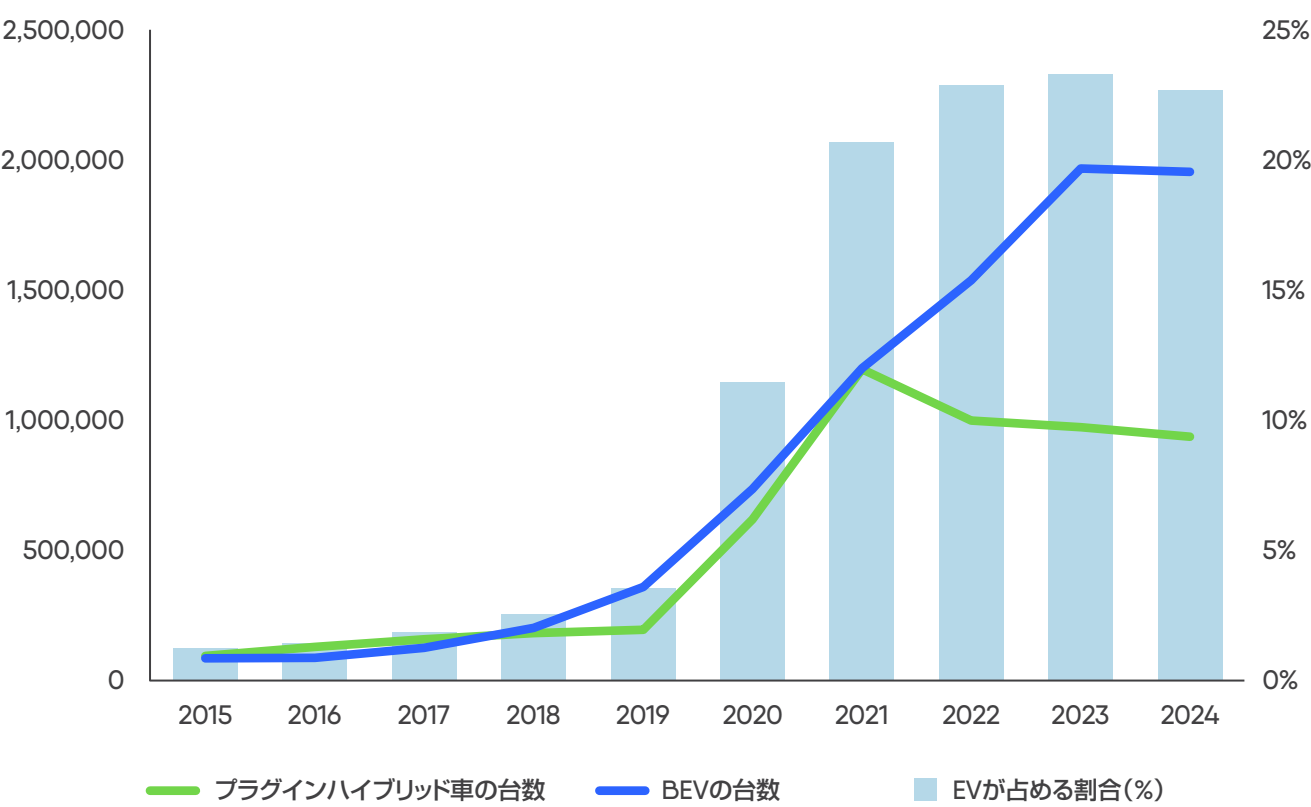
必要に応じて、電力システム内のどこにでも、いつでも調整力を提供して、エネルギー需給のリアルタイムでの均衡を可能にする。それが目指すべきビジョンです。

調整力を系統需給均衡ソリューションの主流にするには、eモビリティエコシステム全体を対象とした、商業・社会・環境的に適切な価値提案が必要です。本レポートでは、消費者と系統、両方の文脈から調整力の価値を考察しています。

価値提案:消費者

2024年にEV販売台数の伸びが鈍化したことで、価値提案を、消費者にICE車からの乗り換えを促す内容にすることの重要性が再認識されました。2024年は欧州で新車登録台数にEVが占める割合は22.7%でしたが、バンに限るとこの数字は8%です。EVの新車登録台数は294万台で、2023年の298万台から若干減っています²²。

欧州のEV新車登録台数の推移(2015～24年)



出典: <https://www.acea.auto/>のデータのEY Insightsによる分析結果

マスマーケットへと拡大して、成長のスピードが鈍化してきたとはいえ、EYの分析結果から、EVに対する関心が依然として高いことが明らかになりました。自動車購入者の58%が今後12カ月以内にICE車ではなく、完全電気自動車かプラグインハイブリッド車、またはハイブリッド車を購入する意向を示しています²³。

実際のところ、EVの販売は現在、転換点を迎えているのです。EVを好むアーリーアダプターの富裕層向け販売はピークに達しています。2023年は世界全体で販売されたBEVの70%が大型車と高級車でした。

多数を占める一般消費者向けの販売は当面の間、予算や値ごろ感が足かせとなり、急増することはないと見られます。従来型自動車メーカーの中には、成長の次のステージに進むにあたってけん引役となるのは、手頃な価格と価値を求める消費者であることになかなか気づかない企業もあります。こうした消費者が望んでいるのは、EVモデルの充実や小型の乗用車、プレミアム機能です。



EVとICE車の価格差は高価格帯で縮まっていますが、低価格帯では依然として1万ユーロもあります。同等のICE車の2倍近くするEVもあり、それが普及拡大の最大の障害です。

Dr. Jan Strobel
Head of Regulation, Market Communication and Mobility, BDEW

初期費用の高さがEV購入の大きな障壁となっていますが、自宅や職場でのスマート充電で変動費を削減できることが、長期的に見て、EV普及を後押しする強固な経済的根拠になると考えられます。

価値提案は「EVドライバーは電気料金が低いオフピーク時に充電することでお金を節約できる」と、いたってシンプルです。EV充電を最適化すれば、顧客は自らのエネルギー利用量とコストを抑えやすくなります。

²³ [“How to retake the momentum in the EV transition,”](#) EY website, 9 September 2024

分析:自宅でのEV充電でお金を節約するには

現在は、同等のICE車に比べてEVの価格を高く感じるかもしれませんが、ここで重要となるのは、初期購入価格だけでなく、車のライフサイクル全体での電気料金や燃料費を含めた変動費も考慮に入れることです。EYの分析結果から、充電時間の最適化と、系統へのエネルギーの販売で、EVの総所有コストは大幅に下げられることが分かりました。

フランス、ドイツ、オランダ、スペイン、スウェーデン、英国の6カ国で、EVの所有と自宅充電にかかるコスト(年間コストとライフサイクル全体でのコスト)を調べて、消費者の費用便益を明確にするとともに、時間帯別料金に合わせて充電する時間帯を変え(V1G)、V2Gでエネルギーを系統に販売してコストを削減する方法を明らかにしました。

この計算にあたっては、車種、購入価格、バッテリーサイズ、年間走行距離、充電行動について、それぞれの国の実情に合わせて仮定を立てました。

また、電力小売価格の変動と、各国における料金体系の違いも考慮に入れました。

総所有コストを単純分析して、典型的な自動車所有者(EV所有者と同等のICE車所有者)の総変動費を比較しています。

その結果、EVの所有に伴い電力需要が増えるにもかかわらず、コンパクトEV所有者は自動車の年間コストを節約できることが分かりました。この節約率は、スペインが平均で2%(101ユーロ)、英国が5%(347ユーロ)です²⁴。

ファミリーカーセグメントでは、節約率がさらに高くなります。年間の平均節約率は、英国が約6%(485ユーロ)、ドイツが11%(850ユーロ)、オランダが16%(1,375ユーロ)です。節約率が高くなるのは、コンパクトカーと比べファミリーカーのバッテリーサイズが大きいこと、1回の充電での航続距離が長いこと、ICE車に比べて道路税が軽減され、燃料費も抑えられることが要因です。

消費者は、EVをいつ、どのように充電するかをうまく選択することで、さらなるコスト削減を図ることができます。

オフピーク充電: 充電をする時間帯を、料金の高いピーク時(夕方)から料金の低い時間帯(午後10時から午前8時まで)にするだけで、平均的なコンパクトEV所有者は、自宅のエネルギー料金を年間21ユーロ(オランダ)から99ユーロ(英国)節約することができます。この平均節約額はファミリーカーが年間100ユーロから150ユーロ、大型・SUV車が110ユーロから190ユーロです。

時間帯別充電: 予想される市場の状況とオフピーク料金をうまく利用できるよう、充電をする時間帯を自動的に変える、コストを反映した「時間帯別料金シナリオ」では、節約額がさらに増えます。変動型の時間帯別料金プランでは、市場の状況をリアルタイムで反映した価格を提供できますが、EURELECTRICの2021年のレポートから、固定型の時間帯別料金プランはDSOが(変動型と比べ)はるかに適切に管理しており、また消費者行動の変化により適切に対応できることが分かりました²⁵。同等のICE車と比べた、コンパクトEVの総所有コストの年間節約額は最も少ないフランスでも30ユーロ、最も多い英国で110ユーロに上ります。

V2G充電: 変動型の時間帯別料金プランの恩恵を受けながら、V2GかV2Hを利用してエネルギーを系統に販売することで1年間に節約できる金額は、平均的なコンパクトEV所有者で最小285ユーロ(オランダ)、最大885ユーロ(英国)、大型・SUV車所有者では、これを大きく上回る1,760ユーロです。

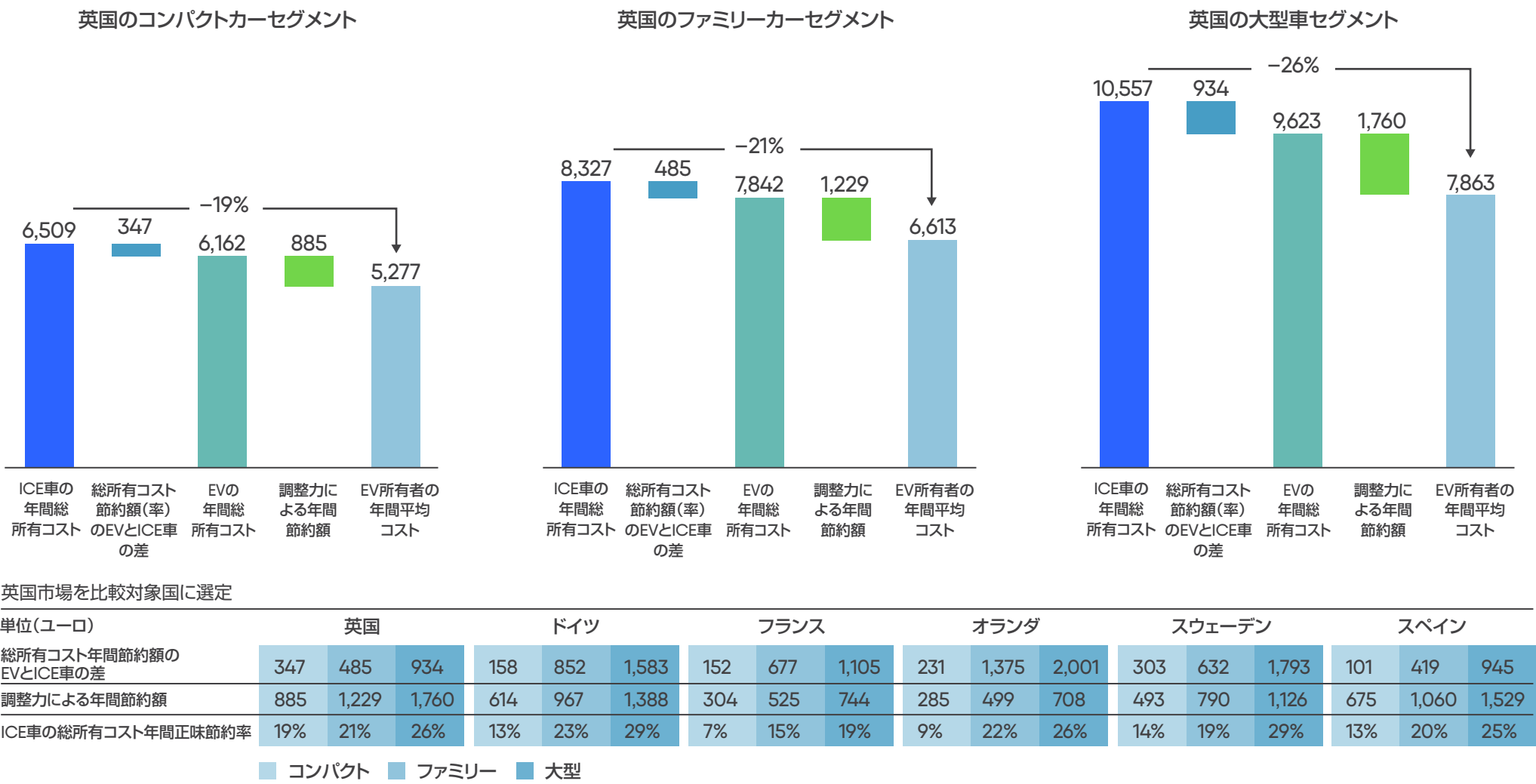
調整力の総価値を総所有コストの計算に加味すると、英国では同等のICE車と比べた節約率が年間19%(コンパクトカー)から26%(大型・SUV車)に上ります。金額にすると、年間1,230ユーロから2,700ユーロです。

年間平均節約率は、オランダではコンパクトカーの最小9%(515ユーロ)から大型・SUV車の最大26%(2,700ユーロ)、スペインで同じく13%(780ユーロ)から25%(2,500ユーロ)、スウェーデンとドイツで14%(800ユーロ)から29%(2,900ユーロ)、フランスで7%(450ユーロ)から19%(1,850ユーロ)です。

²⁴ 自動車所有ライフサイクル全体の EV 充電による電気料金と ICE 車の燃料費に基づく EY Insights

²⁵ “Powering the Energy Transition Through Efficient Network Tariffs,” EURELECTRIC Report 2021

車両セグメント・調整力ソリューション別の年間総所有コスト(単位:1,000ユーロ)と節約額(率)の国別比較



出典: EY Insights



価値提案: 系統

スマート充電は系統にとって必要不可欠です。最も規模が大きく、最も手頃な価格で、かつ最も拡張性と調整力が高いソリューションの1つを提供して、送配電網の需給を地域レベルで均衡させ、ボトルネックを解消できるかもしれません。

スマート充電では、すでに存在するEVを活用するため、系統投資の必要性を軽減できる可能性もあります。また、2035年からICE車の新車販売が事実上禁止されることなどから、EVの台数がさらに増えるのは間違いありません。EVがどの成熟段階にあるかが国により異なることや、ハイブリッド車の人気の高まりでEVの販売が現在低迷していることを踏まえても、欧州市場全体でバッテリー式電気自動車とプラグインハイブリッド車の台数が2030年までに5,500万台、2035年までに1億1,600万台に達するとみえています。これらEVは所有者が住む地元に駐車されるため、そこでエネルギー需要が生まれ、変動が大きい再生可能エネルギー由来の発電が混雑を生じさせるおそれがあります。

調整力をすぐに利用できたとしても、エネルギーとデータを双方向に流すには、EVと充電器、系統間の接続あるいはオープンインターフェースが必要です。EVをコンセントに差し込んでおけば、発電量が多く、料金が低いときにエネルギーを消費します。

必要に応じてEVをエネルギーの貯蔵と系統への供給の両方に利用して、需給の均衡を保つ体制を整えるには、適した技術・規制フレームワークの整備と、消費者にとって魅力的でありながら、シンプルな機能やサービスの提供が必要です。

複数の調査から、適切なエネルギー管理システムにV2G技術を組み合わせると、電力消費を最高6%制御できることが明らかになりました²⁶。EURELECTRICの「Grids For Speed」調査では、将来の需要を満たすために事前に投資をすること、また系統を最適化し、利用可能な資産の調整力を活用することで、欧州の系統運用者は年間40億ユーロを節約できると推算しています。実際、調整力は、年間670億ユーロに上ると予想される事業者の投資額を550億ユーロに削減するソリューションの不可欠な一部とみることができるとも考えられます²⁷。

スマート充電ソリューションが充電する時間帯を変えて系統負荷を軽減する

調整力を実現するには、EVバッテリーを賢く管理し、送配電網の負担を軽減するイノベーションを充電インフラとEV自体に起こす必要があります。

スマート充電は、リモートで需要をシフト、遮断、変動、増減させて需要側の調整力(DSF)をもたらします。その目的は、EVドライバーやCPO、系統運用者の視点から最適な時間にEVを充電することです。EVは、卸売市場が発する価格シグナルを受けて、以下のタイミングに充電を予定します。

- 電気料金が低い
- 再生可能エネルギーの供給が多く、その地域で混雑を招くおそれがある
- 充電に対応できる十分な容量が送配電網にある

システムレベルでも、充電するタイミングが料金の高い時間帯から低い時間帯に変わること、複数のメリットがあります。具体的には、系統のピーク需要を平準化し、余剰再生可能エネルギーを吸収することができるほか、エネルギー利用の効率化を図り、系統の安定性に貢献できることなどです。また、EVを集約すれば、スマート充電により生まれる調整力が需給を均衡させ、配電インフラに対する一部投資の必要性を軽減する一助になると考えられます。



EVのスマート充電とは、全てを自動化して、消費者体験を低下させることなく、ユーザーと電力系統、地球の負担が最も低いときに行われる充電と定義することができます。

Andrew Horstead
EY Global Power & Utilities Lead Analyst

エネルギーエコシステムへのEVの効率的な統合にEVドライバーも参加し、これを後押ししてもらうには、簡単かつ、従来の給油と同様のシームレスなスマート充電を実現させなければなりません。必要となるのは、ドライバーがEV充電サービスに申し込むだけで、エネルギーを消費した時間帯に応じて、1キロワット時あたりの料金が課金される仕組みです。

²⁶ [“Vehicle-to-grid impact on battery degradation and estimation of V2G economic compensation,”](#) ScienceDirect website, 1 January 2025

²⁷ [“Grids for Speed,”](#) EURELECTRIC website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

アグリゲーターやCPO、小売り事業者が、データを活用して充実させた情報を参考にEVの負荷を制御できるようになります。充電プロセスは、夜間や早朝に行われることもあります。ドライバーの手をわずらわせることはありません。ユーザーは、例えば、午前7時半までに80%充電する、など自分の好みを設定しますが、都合により、その設定を簡単に無効にし、車を利用できるようにすることも可能です。

“
系統運用者やアグリゲーター、調整力市場のプレーヤーからの電力制限メッセージを受け取ることができます。そのメッセージに応じて、システムがEVの充電出力を制御するのです。

Natalia Aleksandrova氏
Project Manager, AMPECO

EVスマート充電ビジネスモデルはどのような進化を遂げているのか

ケーススタディ:変動型料金プランで充電を変革するパートナーシップ

AMPECOとOctopus Energyは、EV充電サービスの向上を目指して戦略的パートナーシップを締結しました。それに伴い、柔軟で費用対効果の高い充電ソリューションをCPOとEVドライバーの両方に提供することを目的とした、一連の変動型電気料金プランを提供しています。

“AMPECO and Octopus Energy: Powering CPO flexibility with dynamic tariffs,” AMPECO website, 7 November 2023

ケーススタディ:英国でEV充電の調整力を検証する実証試験を実施

British GasとPod Pointは合わせて2,000名以上の顧客を募り、EV充電が、電力システム運用事業者の需給均衡メカニズムにとって有益な調整力リソースとなるかを検証する実証試験を実施しました。2024年2月に行われた、この試験の第1フェーズで重点が置かれたのは、Centricaのデマンドレスポンスプラットフォームを利用した顧客への調整力サービスの提供です。これは、ピーク時以外に電力を利用することを顧客に促すサービスで、顧客側は、より安価で、より持続可能な電力供給にアクセスできるようになります。

“Feasibility trial launched in UK to test EV charging flexibility, Smart Energy International,” Smart Energy International website, 19 April 2024

ケーススタディ:英国で調整力がダイナミックプライシングとスマート充電に及ぼす影響に関する実証試験を実施

Shift 2.0は、ダイナミックプライスでスマート充電にどのような影響を及ぼせば、EVドライバーが、地域の送配電網に過負荷をかけることなく、安価なグリーンエネルギーを最大限利用できるかなどを調べる実証試験プロジェクトです。UK Power NetworksとOctopus Energy、ev.energyが共同で進めるこの実証試験には1,500台以上のEVが参加し、需要管理を助け、ピーク時以外のエネルギーの利用を促す送配電網のダイナミックプライシング信号に反応しています。UK Power Networksが時間帯別の価格信号を1日前にOctopus Energyとev.energyに送り、Octopus Energyとev.energyがこの信号に加え、電力の卸売価格などの情報を参考に、安価な電力を利用できる時間帯と送配電網容量に応じてEV充電の予定を決める仕組みです。初期の結果から、風力エネルギーの供給が増えて、電力の卸売価格が低い夕方にEVが充電を開始することが分かりました。

“UK-first trial shows shifting EV charging can help manage renewable energy,” UK Power Networks website, 24 June 2024

V2Gが双方向のエネルギーフローで系統の需給を均衡させる

V2GはV1G(スマート充電)に代わる技術です。しかし、その機能ははるかに進化しています。V2Gを利用することで、EVは系統から電力の供給を受けるだけでなく、必要に応じて、貯蔵したエネルギーを系統に供給し、ピーク需要を支え、非常用バックアップ電源を提供し、系統の周波数と電圧を均衡させることができますようになります。

系統運用者にとって、V2Gの価値提案は極めて重要です。EVの普及率とバッテリーサイズの予測から、欧州で利用できるEVバッテリーの総容量が2030年までに114テラワット時(TWh)(欧州の総電力需要の約4%)になれば、年間3,000万世帯に電力を供給できると推計しています。また、2040年までに全EVが双方向充電できるようになれば、V2Gは欧州の電力需要の10%以上を貯蔵し、必要に応じてそれを供給できるようになると考えられます²⁸。

114テラワット時(TWh)

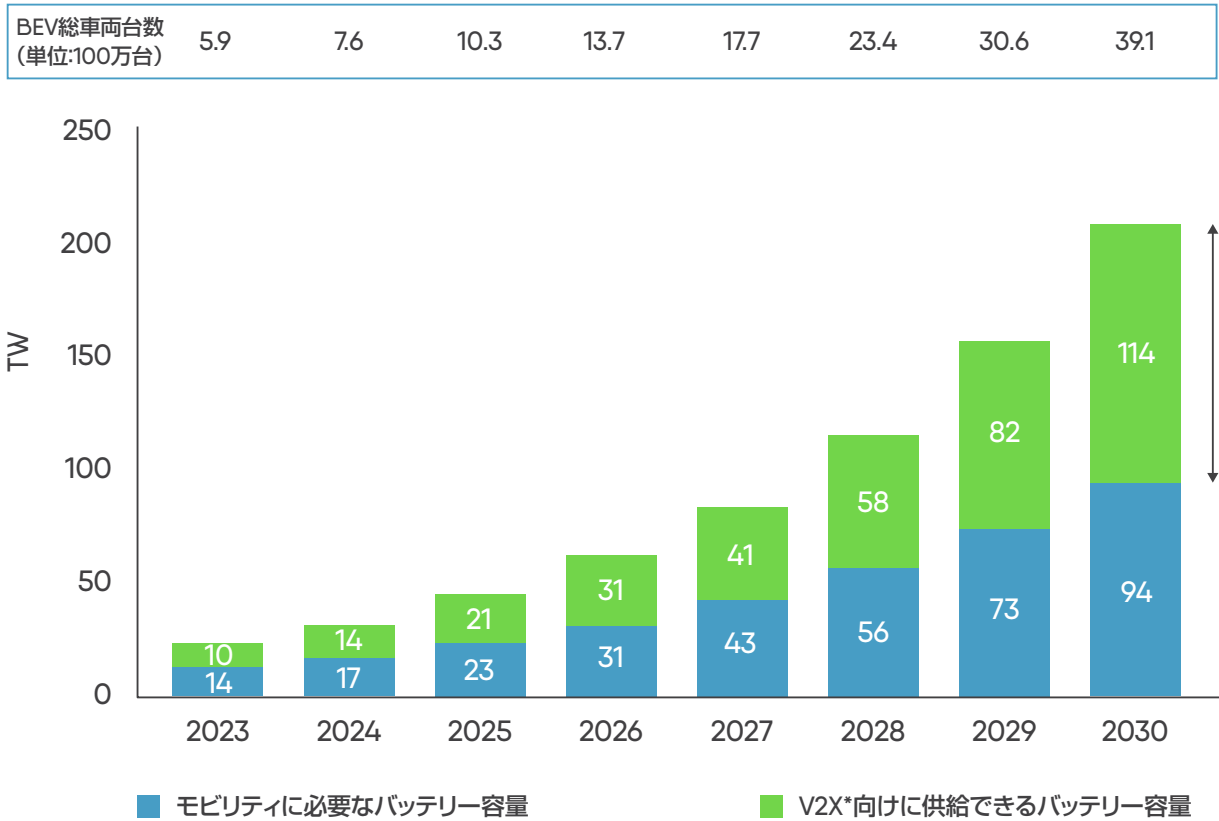
系統に供給できるBEVバッテリー容量
(2030年時点における欧州の電力需要の4%に相当)

55%

のBEVバッテリーの累積容量をV2X向けに供給できる

EVバッテリーに貯蔵できると見込まれるエネルギーの規模

用途別のバッテリー累積容量



* V2Xは「vehicle-to-everything(ビークル・ツー・エブリシング)」の略語。車両と、インフラや他の車両などとの間を結ぶ無線通信システムのこと。

出典：EY Insights

²⁸ EY Insights

²⁹ “[V2G around the world](#),” V2G Hub website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

V2G技術はまだ黎明期にあり、現時点ではプロジェクトの72%前後が試験段階にとどまっています。世界全体で見ても、商業ベースで進められている独自のプロジェクトは、欧州で10件、オーストラリアで1件です²⁹。しかし、規模拡大が可能になれば、この技術が、以下のような大きなメリットをもたらすことは間違いありません。

- **系統の調整力:** 周波数の調整やピーク負荷の管理、混雑軽減などの系統サービスで、系統の安定性が高まり、多額の費用がかかる系統強化の必要性軽減が期待できる。
- **エネルギー自立:** V2Gで再生可能エネルギー源の統合が可能になり、それが気候中立とエネルギー自立に向けた動きを後押しする。
- **収益源:** EV所有者はEVバッテリーに貯蔵しておいたエネルギーを系統に供給することで収益を得られ、eモビリティの価値提案全体が一層強化される。
- **コスト削減:** 系統運用者は既存のインフラの利用を最適化し、新規投資の必要性を軽減できると考えられる。それで浮いた資金は消費者に還元すればよい。

V2Gと単方向スマート充電の相違点は、電力を系統に供給できることです。数と質がV2Gの強みであり、系統にスマート接続されたEV資産が多ければ多いほど、調整力の需要を予測し、その需要に応える能力は大きくなります。

一方、EVの電力供給力は、当然のことながら、調整力の取り組みへの参加に対する所有者の同意、ドライバーの姿勢や意欲など、人間の考えに左右されます。また、システムの準備状況(利用できる充電器の有無など)、技術的制約(バッテリー劣化のリスクな

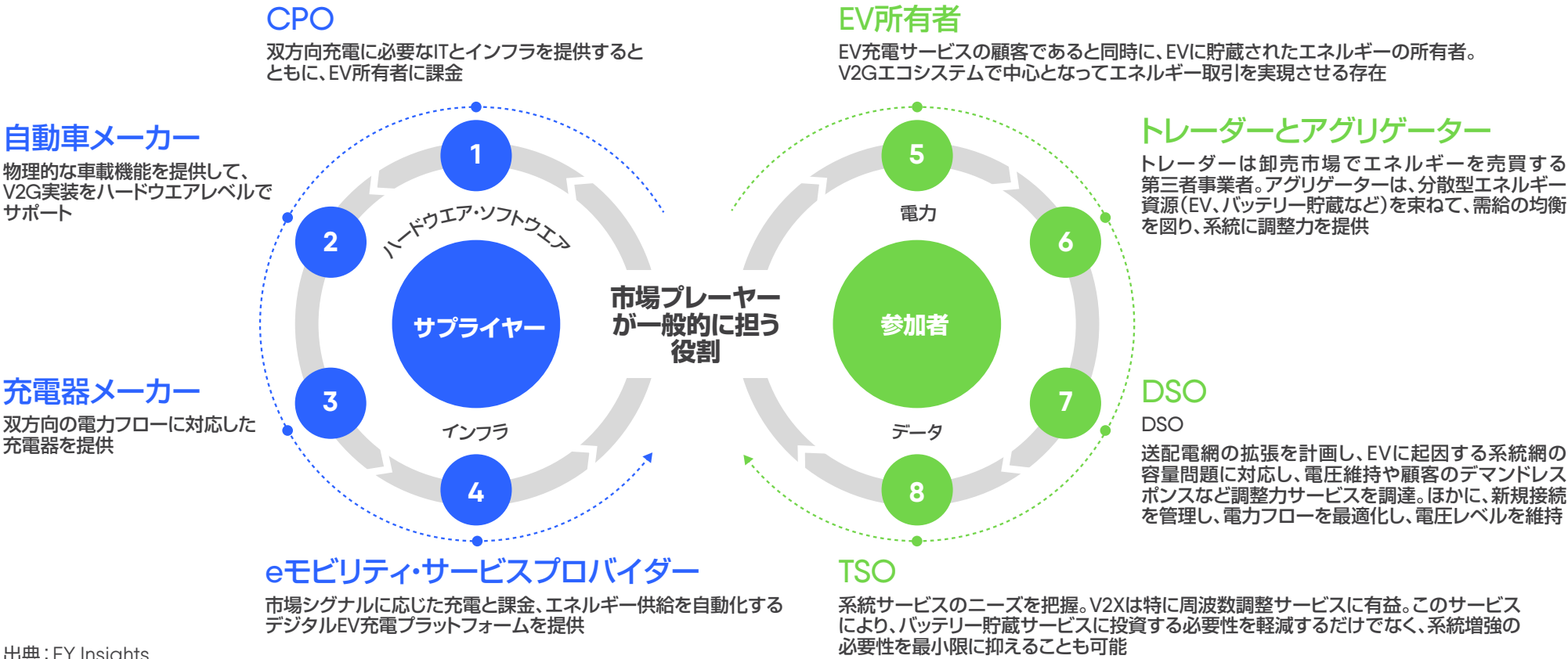
ど)、市場の成熟度、送電系統運用者(TSO)とDSO間の協力、市場アクセス、データ共有や二重課税など重要な問題に関する規制によっても変わってきます。

欧州のV2Gビジネスモデル

V2Gエコシステムは、ダイナミックかつ協調的なプレイヤーのネットワークです。彼らはエネルギーの消費者および供給者として、EVの利用を最適化することを目指して連携し、各プレイヤーが独自の価値を提供して、相互のやりとりを容易にし、経済的、環境的メリットを最大化していきます。V2Gを成功させるには、市場関係者間の公平で透明性の高いデータ共有が不可欠です³⁰。

³⁰ 自動車メーカーには、関連車両データ(充電状況、劣化状態、バッテリーの電力設定値、バッテリー容量、そして該当する場合はEVの位置情報)をEV所有者や、所有者とユーザーの代理を務める第三者と無料で共有することがすでにRED III 第20a条で義務付けられている。しかし、RED IIIの改正か、車載データ法の制定により、上記以外の車両データを第20a条に追加することが求められる。また、全ての市場参加者が共通の理解を確実に持てるようなデータの定義も必要となる。さらに、そのデータを(充電中と充電時以外に)APIやオープンインターフェースから取得できる仕組みづくりも必要となる。

相互につながったV2Gエコシステム



潜在的なV2Gエネルギーサービス

負荷均衡:

- 電力消費の制御 – 需要が多いときに電力を系統に供給
- 負荷調整 – 充電電力量を増減させて、ピーク負荷を軽減
- 電力需要の谷間の活用 – 需要が少ない夜間にEVを充電

周波数調整

- 電圧と周波数の安定を維持 – 突然の電力需要に対応するためのサービスを提供

バックアップ電源:

- 非常時に電力を供給 – EVは停電など非常時にバックアップ電源を提供することが可能

ケーススタディ:フランスでEVフリートのV2Gへの利用にゴーサイン

フランスではTSOのRTEが、企業が保有するEVバッテリーのV2G充電への利用を認証しています。この認証制度により、リアルタイムで需給均衡を図り、周波数管理サービスを提供して、フランス(そして欧州)の電力システムの運用を円滑化することが可能になりました。

“CHAdemo V2G certified to participate in the real-time balancing of the electricity system (FCR) in France,” CHAdemo website, 29 March 2022

ケーススタディ:デンマークでEVバッテリーを集約して周波数を調整

V2G技術を手掛けるNuvve社は、複数のEVバッテリーを集約して、一次周波数制御予備力(FCR)サービスをデンマークのTSOであるEnerginetに提供しています。このサービスでは、EVをまず、NuvveのV2G GIVe™プラットフォームが制御する10キロワット(kW)の双方向型直流(DC)充電器に接続します。そして、Nuvveのソフトウェアが、必要に応じて、走行するのに必要なエネルギーをEVに保持させながら、利用できるEVバッテリー容量の競争入札をFCR市場で行う仕組みです。フリート所有者は、Nuvveの管理アプリを利用して、その日その日の走行ニーズを設定します。

“Nuvve Corporation Announces Four Years of Consecutive V2G Operations of Electric Vehicle Fleet in Denmark,” NUVVE website, 29 September 2020

ケーススタディ:利益をEVドライバーに還元したデンマークのESGサクセスストーリー

デンマークのParkerプロジェクトは、商用V2GハブとEVを利用して、周波数調整サービスを提供する事業です。このプロジェクトから、各EVがそれぞれ何千時間にも及ぶ周波数調整サービスを提供し、1台あたり年間1,860ユーロの収益を生むことが分かりました。

“Parker,” V2G Hub website(2025年1月16日にアクセス)

データ共有と相互運用性を実現し、さまざまなシステムやインターフェース、プロバイダーがお互いに通信できる環境をつくれるかどうか。それが、V2Gをはじめとするスマート充電の未来を左右します。こうした環境の整備は、公平で透明性の高いデータの交換と解釈を実現する一助となり、EVサービスの商業化と顧客体験の向上を可能にします。

とはいえ、RED III第20a条など既存の規制が本格的に施行され、それを支える技術・規制フレームワークが導入されなければ、望みどおりのデータ共有と相互運用性を実現することは難しいでしょう。

EVの調整力を引き出せるかどうかの鍵を握るのは:

- 充電スポットの電力系統への接続
- 調整力のニーズを把握し、伝えることができる環境の整備
- 調整力の需要シグナルに反応する機能を備えたEVと充電スポット
- 必要に応じた調整力の確保を目的とした正確な価格シグナルなどのインセンティブ
- 柔軟な充電ができ、またこれに意欲的なEVユーザーの存在



EVを集約して、システムのニーズに合わせてEV充電を調整したり、その他のサービスを系統運用者に提供したりするチャンスが広がっています。ただし、負荷管理プログラムの策定では引き続き顧客を中心に据え、またその輸送ニーズも重視しなければなりません。

Thierry Mortier
EY Global Energy Digital & Innovation Leader

第3章

消費者に役立つ調整力 を実現する

エネルギー転換で中心的役割を果たしているのは消費者です。その消費者が所有するEVを調整力に利用できる環境をつくれれば、消費者は参加者であると同時に、イネーブラー（実現者）にもなります。一方、消費者はシステムの受益者でもあるのです。調整力を消費者のために、そして彼らが住む社会と環境のために機能させる調整力には、使い勝手がよく、消費者が求めるメリットをもたらすサービスにしなければなりません。

消費者を調整力の取り組みに巻き込めるようなeモビリティエコシステムを構築する必要があります。電化のスピードと規模に対応するには、今後5年以内に調整力リソースを倍増させなければならず、時間がありません³¹。

すでに消費者層はEVのアーリーアダプターの枠を越えて広がっています。時間帯別料金プランの恩恵を受けたり、V2Gパイロットプログラムに参加したりする人もおり、そうした人たちはV2Gが秘める可能性を高く評価しています。また、支持の度合いはさまざまですが、自分のEVの管理を第三者に委ねてもよいと考えるEVドライバーも出てきました。

こうしたEVドライバーの中には、V2Gプロセスを信頼し、試験的試みへの参加に意欲的な人もいれば、対価を受けられるかもしれないことが動機となっている人や、EVを充電して必要なときに利用できればよく、充電中にどのようなことが行われるかにはあまり興味がない人もいます。

消費者にとっての意味: 自分にどのような利益があるのか

調整力は、そのメリットを納得していない人を含め、全ての人の役に立つものでなければなりません。それにはユーザーの参加が不可欠であり、参加を得るには明確な情報と動機、対価が必要です。したがって、価値提案は調整力のメリットを数値化し、「自分にどのような利益があるのか」という疑問に直接答える内容にしなければなりません。

V2Gに対して懸念を抱くEVドライバーが出てくるのは避けられません。彼らが望むのは、誰が自分のEVを管理するのかを知り、自分が望めばいつでもEVを利用できるという確証を得ることです。自分のEVとV2Gについて詳しく知るにつれ、ドライバーは、メーカーが設けた充放電サイクルの制限を超えた場合のバッテリー劣化や保証への影響も懸念するようになるでしょう。

そうした懸念を抱くのは当然です。業界は、保険会社と連携して劣化のリスクを数値化・軽減し、また参加のメリットとリスクを消費者が理解する手助けをする上で、重要な責任を担っています。

一方、業界が正確な情報をドライバーと共有し、その懸念を軽減することも同じく重要です。例えば、最近の複数の調査で、スマート充電と双方向充電が実際にはEVバッテリーの寿命を延ばせることが分かりました³²。

消費者はまた、自分のEVを調整力資産として使用できるようにすることで、経済的な見返りを期待しています。例えば、月払いや年払いの払い戻し、あるいはエネルギー料金の削減などです。



調整力の収益化は興味深い課題と言えます。なにしろお客さまは、系統に調整力を提供するためではなく、主に移動手段としてEVを購入するのですから。お客さまにとって、調整力は「副産物」なのです。

Daniele Andreoli氏

Head of Flexibility Solutions, Enel X Global Retail



自分の車が将来、調整力スキームで利用されることになったとしたら、「私にどのような利益があるのか」とは尋ねるかもしれませんが、車が朝、フル充電されているのなら、別にかまいません。

Dr. Oliver Franz氏

Vice President European Regulation, E.ON

³¹ [“Flexibility solutions to support a decarbonised and secure EU electricity system.”](#) EEA/ACER Report, September 2023

³² [“Quantifying the impact of V2X operation on electric vehicle battery degradation: An experimental evaluation.”](#) ScienceDirect website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

“

お客さまには、スマート充電の対価をお支払いします。エネルギー料金に比べると金額は多くありません。エネルギー代金から差し引くのではなく、別勘定にしているのはそのためです。お客さまから要請があれば、お客さまの口座に入金することもでき、好評をいただいています。ゲーム的要素があることにより、人の心に働きかけて、行動変容を促せるのです。

Geert Jansen氏
Product Owner Electric Vehicles, ENGIE

業界専門家から話を聞くなかで明らかになったように、万能なインセンティブメカニズムなどありません。しかし、消費者にとって明確な利益がなければ、それ以外のプレーヤーにも利益はありません。

調整力の入り口としてのリース

欧州のカーリース市場は大規模であり、V2Gをパイロット段階から実用試験に移行させる可能性を広げます。

欧州では新車の半数ほどがリースで、そのほとんどがリース事業者によるものです。そのため、カーリース事業者を取り込み、バッテリー劣化や車の保証条件違反の心配を取り除くと同時に、V2Gの啓蒙や実装をサポートすれば、V2Gのパイロット段階から実用化への移行に必要な数を確保できると考えられます。

フリートの参加

黎明期にあるとはいえ、電気フリート車両と電気大型車（eHDV）にも調整力の取り組みに参加する余地があります。

乗用車よりバッテリー容量がはるかに大きいeHDVを充電スタンドの充電器に一晩つないだままにしておくと、その貯蔵容量を利用して、系統の需給を均衡させ、調整力を確保できると考えられます。一方、

商用車市場は乗用車市場と大きく異なり、アイドル状態のフリートは収益を生むことができません。車両のダウンタイムや、電気フリート車両とeHDVが消費する電力のコストを最適化するには、スマート充電・V2Gソリューションを、スクールバスなどさまざまな業界向けにカスタマイズする必要があります。

“

商業運転では、車両が稼働している時間は利益が出て、稼働していない時間はコストが生じます。V2Gに関しては、フリート車両市場と乗用車市場を同一視してはなりません。

Magnus Broback氏
Head of Volvo Energy Charging & Infrastructure Business Development, Volvo Energy AB

顧客体験を シンプルにする

顧客体験のシンプル化と、懸念があるときや、新たなテクノロジーの登場で既存の商品が不要になったときのサポートの提供は、EVエコシステムの拡大で対応しなければなりません。

小売事業者やCPO、自動車メーカー、カーリース事業者、配電事業者は、最適な顧客体験を実現し、参加者をV2Gの取り組みに巻き込む責任を共同で負っています。

エクイティギャップを 管理する

エクイティギャップが生じる可能性があり、これを解消しなければなりません。クリーンなeモビリティシステムへの移行を実現するには、EVとその優遇制度を誰もが分け隔てなく利用できる環境づくりが必要です。

eモビリティは現在のところ、路外駐車場や一般家庭向けの時間帯別料金プランを利用でき、またV1GやV2Gサービスで対価を受け取れる可能性のあるドライバーに有利です。ところが、欧州ではEVドライバーの42%が、自宅の充電スポットを利用できない都市部に住んでいます。パブリック充電スタンドに頼るドライバーは、充電費用が高くなり、スマート充電の恩恵をさほど受けられません。また、系統に放電できるほど長時間EVをコンセントに差し込んでおけるともかぎりません。

一般の賛同を確実に得るための対策としては、パブリック充電補助金制度、都市部や集合住宅施設でのコミュニティ充電ハブの整備、V2Gインフラの将来的な拡充などが考えられます。

現時点でスマート充電サービスの最大の受益者となる可能性が高いのは、プライベート充電の恩恵を受けているEVドライバーです。全ての消費者に調整力プログラムに参加してもらうのであれば、さらなる政策介入が必要です。

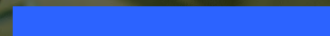


各世帯のEV充電器と家庭用エネルギー管理システム、ヒートポンプを集約すれば、地域の調整力ニーズを満たすことができます。しかし、それには、消費者を議論に巻き込み、調整力のメリットを明確に示す必要があります。

Mariia Andreeva氏
Industrial Affairs Leader, Schneider Electric

第4章

秘められた調整力を 引き出すには



EVは、調整力の提供で一翼を担うことができる。その確信を、業界の枠を超えた専門家から話を聞くなかで深めることができました。また、それは外部調査をEYが分析した結果からも裏付けられています。

とはいえ、調整力の取り組みがどの程度成功するかは、充電インフラの普及スピードやEVを手頃な価格で提供できるかどうか、EVと充電器の互換性、規制上の課題への対処、自分にとって有益であることを顧客に納得してもらえるかどうかなど、いくつかの要因によって決まります。コメンテーターは、5つの主な課題を解決できなければ、調整力が持つ可能性を引き出せなくなる恐れがあると警鐘を鳴らしています。



課題1 調整力に向けたエネルギー システムの準備状況

この準備状況は主に、規制・補償メカニズム、EVの充放電を促す価格シグナル、国内の社会政治的支援、系統の稼働状況、テクノロジーの可用性を含めた市場アクセスによって決まります。

欧州の主要な市場の準備状況を評価した結果、完全な市場統合を阻む障壁があることが分かりました。具体的には、最低入札規模が大きいことや厳しい集約条件、受け取れる可能性のある対価の少なさなどです。欧州では現在、電力市場設計改革（Electricity Market Design Reform）の徹底的な実施が求められており³³、この改革に伴い一日前・当日市場の取引の最低入札規模が100キロワット（kW）以下に引き下げられます。この引き下げにより、小規模な分散型資産も全ての電力市場に参加しやすくなるはずです。

また、欧州のなかでも、柔軟なエネルギーシステムの成熟・準備状況に、国より大きな差があるとの見方もあります。北欧・北西欧市場が引き続き最も先行しているのに対して、南東欧諸国では対応が遅れています。

取り組みが進んでいる国:

- フランスとドイツは比較的高度なフレームワークを導入しているが、制約の多い市場環境や技術要件、経済的障壁が小規模な分散型エネルギー資源（DER）の完全な参加を阻むなど、依然として課題に直面している。ドイツでは、二重課税、スマートメーターの普及の遅さ、公平で透明性の高いデータ共有に関するRED III第20a条の改正案が可決されていないといった課題が指摘された。
- オランダはDSFの普及を後押ししているが、まだV2Gを系統の妥当性評価に完全には組み込んでいない。
- 英国は、アグリゲーターを対象とした新たな基準を導入するなど進捗をみせている。V2G対応EVを集約して需給調整市場（Balancing Market: BM）に加える際の障壁は現在存在するものの、今後数年で解消されとの見方がある。この問題は、通常では電力量計とみなされない計器類（operational metering）や、BMを対象とした現在のメータリング基準と充電スポットで導入されるメータリングを対象とした基準間の相違に関係している³⁴。

V1GとV2G、両方のスマート充電が持つ可能性を発揮させるには、欧州の市場フレームワークをもっと現状に合わせて変え、分散型調整力リソースの系統サービスへの参加を拡大できる環境を整えなければなりません。



ベルギーではEVの台数が2030年までに210万台に達する見通しです。そのうちのわずか10万台が双方向機能を備え、系統に接続され、それぞれ40キロワット（kW）の調整力を提供できるようになると想像してみてください。これは、原子力発電所レベルの容量です。















Philippe Vangeel氏

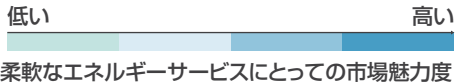
Operational Director, EV Belgium

³³ “[Electricity market design](#)” European Commission website (2025 年 1 月 16 日にアクセス)

³⁴ “[Powerloop: Trialling Vehicle-to-Grid technology](#),” ESO & Octopus Energy group, June 2023

国別の柔軟なエネルギー・主要移行要因の評価スコア

パラメーター		市場アクセス (規制、対価、コスト)	社会政治的支援 (システムニーズの透明性、 社会経済面の影響、 政治的連携)	技術的な可能性 (系統へのアクセスのしやすさ、 EVインフラと充電、デジタル化 とイノベーション)
国名				
	ノルウェー	5	4	5
	デンマーク	4	5	4
	ベルギー	4	5	4
	フィンランド	4	4	4
	スウェーデン	4	4	4
	アイルランド	4	4	3
	フランス	3	4	4
	オランダ	4	4	4
	英国	3	4	3
	ドイツ	3	4	3
	イタリア	3	4	3
	スペイン	3	4	3
	スイス	3	2	3
	ポーランド	2	3	2



出典：REA Energy Transition Readiness Index 2022のEY Insightsによる分析結果

課題2
系統運用の複雑さ

EVなどのDERが加わることで、系統の制御対象が拡大すると同時に、系統運用者の複雑さも増します。

負荷が増えるほど、考慮しなければならない問題や制約も増えていきます。負荷といっても、1基の家庭用EV充電器から、何十基もの充電器を備えた高速道路ハブや、数百台のトラックを充電するフリート用充電スタンドまでさまざまです。その全てが、充電する権利の争奪戦を繰り広げることになります。



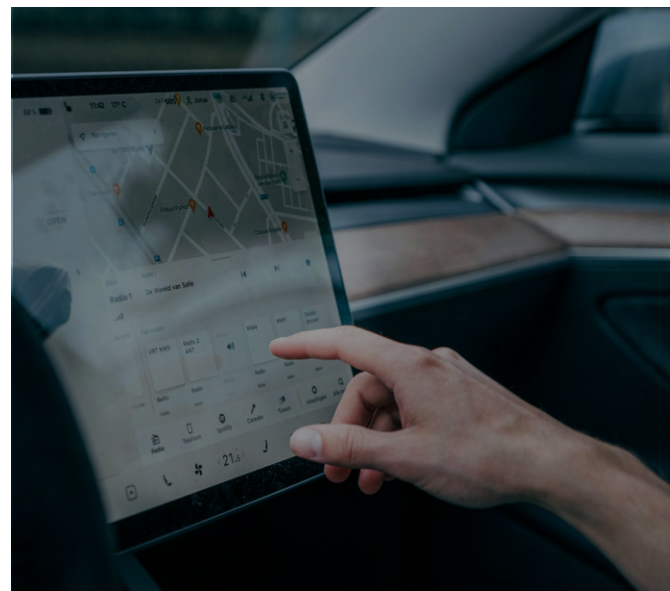
大きな負荷が集中したときに、何メガワットもの電力を供給するには、先進的な計画システムで電圧の変動と熱的過負荷を軽減する必要がありますが、全ての負荷を予測することはできません。個別に見ると、家庭の充電器は分散された小さな負荷しか生みませんが、総体的に見ると、家庭で発生した負荷が、フリート充電ハブから生じる1回の大きな負荷と同等のワット数になる可能性もあります。

送配電網の効果的な価格シグナルと調整力市場がなければ、EVの普及拡大により、低電圧系統にかかるピーク負荷圧力が、低普及率シナリオと比べて倍増しかねません。従来はTSOの役割ですが、DERを拡大させるには、DSOが需給均等を図る必要があります。

そのため、DSOはリアルタイムのデジタル監視と送配電網のモデル化に投資をして、低電圧系統の詳細な可視化を実現しなければなりません。それにより、以下のことが可能になります。

- 利用可能な系統容量を地域レベルで把握して、送配電網の制約の少ないエリアでスマート・V2G充電器の接続を合理化
- 短期的な調整力サービスを調達して、V2Gを含めたスマート充電で新たな収益源を獲得

大規模に展開するには、EVとリアルタイムで通信できるスマートエネルギーシステムにV2Gを統合しなければなりません。運用者がEV・系統間の複雑な双方向のやりとりを管理する一助となる、V2Gの最適化アルゴリズムが必要です。このアルゴリズムが、「スマート意思決定者」の役割を担って、ユーザーの好みを考慮しながら、EVの充放電のタイミングやアイドリング状態にするタイミングを決めます。こうした統合プロセスは、ヒートポンプや空調など既存のテクノロジーですでに展開されていますが、系統混雑と地域の電圧変動の軽減に役立つと考えられます。また、ユーザーの同意を得られれば、より複雑な系統負荷管理戦略を支えることにも活用できます。



課題3 顧客認知度と 顧客エンゲージメント

双方向の電力フローは、特に電力システムに不慣れな顧客には技術的に複雑であるため、V2Gに対する一般消費者の意欲と認知度は低いのが現状です。

ほかに、コストと互換性も障壁となっています。現在のところ市場に出回っているV2G対応車は多くありませんが、今後は双方向充電機能を搭載した車両が増える見込みです。V2G対応充電器の価格は平均で、単方向充電器の5倍から10倍もします。そのうえ、市場に出回っているV2G対応充電器の大部分は直流(DC)です。DC充電器の価格は一般的に、交流(AC)充電器より高くなります。V2G対応のAC充電器も最近発売されましたが、V2G対応充電器を搭載したEVモデルにしか対応していません。

一方、EVの品揃えや充電の選択肢、料金プランが増えたことで、複雑さが増しています。消費者にEVへの移行を促すには、充放電作業をポンプでの給油くらい簡単にしなければなりません。



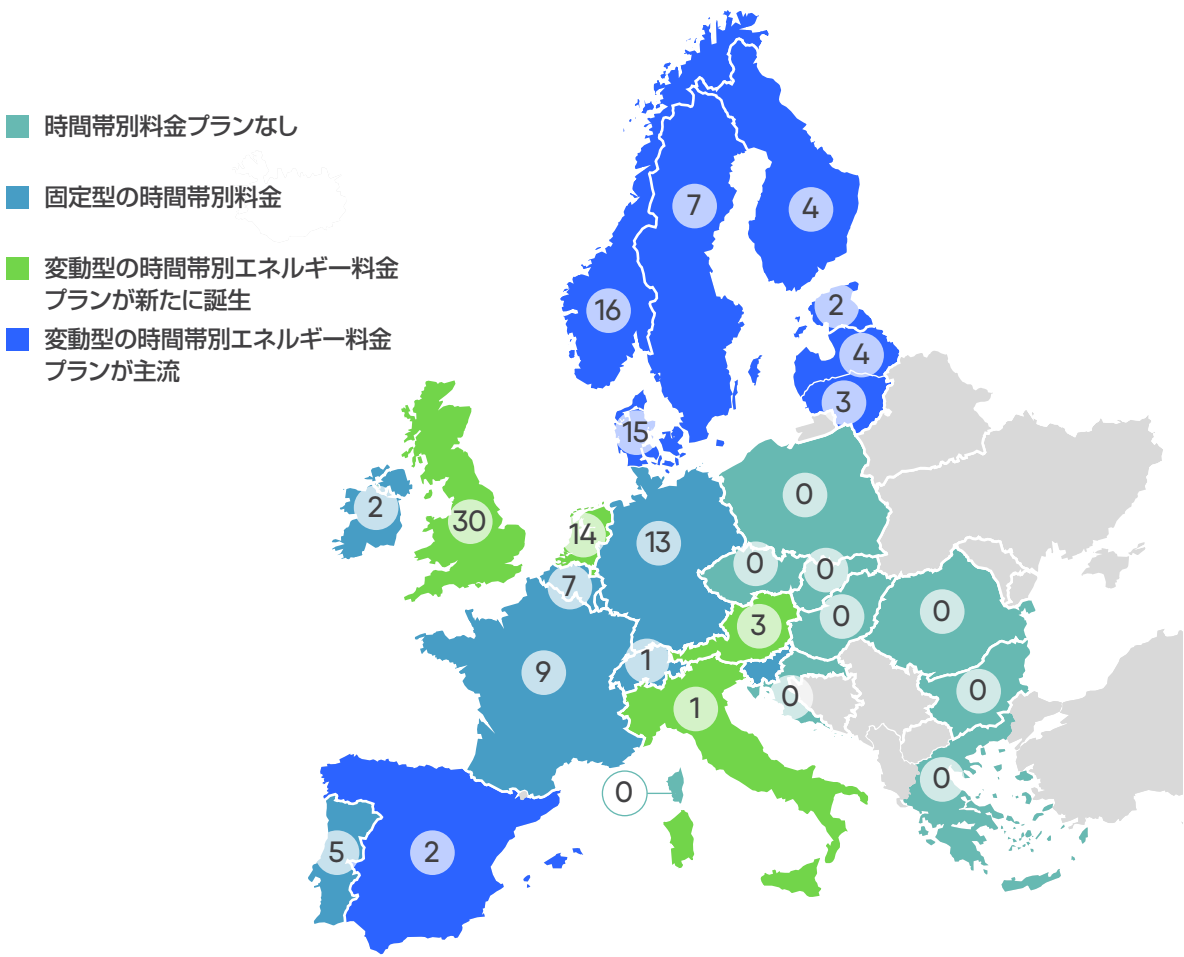
お客さまを巻き込みたいのであれば、V2Gについて、そして利用できるさまざまな料金プランや特典についてお客さまが理解するお手伝いをする必要があります。

Mariia Andreeva氏

Industrial Affairs Leader, Schneider Electric

欧州全体を見ると、採用しているスマート充電ソリューションは国によって異なり、分布状況も実にさまざまです。政策の統一化が図られていないことや規制策定の遅れもまた、欧州標準規格ソリューションの普及を阻み、地域全体でのV2Gの商業的実現可能性を低くしています。

欧州全体でのEV充電料金プランとサービスの分布



"A Review of Tariffs and Services for Smart Charging of Electric Vehicles in Europe," MDPI website (2025 年 1 月 16 日にアクセス) の EY Insights による分析結果

調整力サービスを提供できる技術的環境を整えても、V2Gの大々的な展開や、時間帯別料金プランの普及が成功するとはかぎらないとの認識が高まってきました。

EYの業界コメンテーターによると、EVを調整力リソースとして利用することへの消費者の同意と適切な対価もまた障壁となっています。

スマート充電システムがどの程度機能するかは、ユーザーの行動と価格設定構造の影響を大きく受けます。顧客にとって魅力的で、V2Gのメリットを納得できる、市場別の価格設定モデルが必要です。

欧州では、通常の固定料金のほかに、変動型であれ、固定型であれ、時間帯別料金プランを用意すること

が今年から法律で主要電気事業者に義務付けられることから、価格設定モデルの真価が問われることになります³⁵。

しかし現在のところ、顧客の啓蒙と認知度は、行動変容を促すレベルには達していません。また、料金構造によって、その魅力度もそれぞれ異なります。消費者の認知度を上げるには、電気事業者や充電事業者、自動車メーカーなどのステークホルダー間の連携強化が重要なポイントとなります。

V2G技術の普及と基準や規制の整備が進んでいる今こそ、V2Gへの参加が長期的なコスト削減になり、また収益化できるかもしれないことを消費者に発信しなければなりません。



³⁵ “Dynamic pricing energy contracts to harness price volatility and get loyal customers,” Maxbill website, 22 June 2024

課題4

市場制度設計と適正な対価が 得られる仕組みの必要性

EVや、屋上太陽光発電などグリッドエッジ資産由来の余剰エネルギーを系統に販売した家庭用需要家は、調整力市場の積極的な参加者になります。

V2Gを地域の系統の需給均衡に役立てるのであれば、システムでの混雑や制約が生じる可能性を警告して、EVの充放電を促す価格シグナルが必要です。一方、系統パフォーマンスがEV所有者の貢献にも依存している場合には、参加や説明責任に関わるルールに加え、EVバッテリーの需給均衡への利用を許可したEV所有者に適正な対価が払われる仕組みもつくらなければなりません。

EVから電力系統への電力供給を禁じる法的障壁は現在のところありません。RED IIIでは充電スポットによるスマート充電機能への対応の徹底をEU加盟国に義務付けています。具体的には、電子的に受領したデータを参考に、EVに供給する電力をリアルタイムで調整する機能や、必要に応じて双方向充電に対応する機能などです。

また、V2Gを対象とした規制もありません。V2Gのビジネスケースは、エネルギーのアービトラージ（裁定）取引から得られる収益や補助的サービス市場のほかに、調整力市場に対する規制の有無にも左右されます。とはいえ、現在のところ、TSOやDSOが調整力サービスを調達する場合、それにV2Gはほとんど組み込まれていません。

そのため、V2Gの収益は主に電力のアービトラージ（裁定）取引から生まれることになります。そして、それが収益源の多様化や、バッテリーのエネルギー貯蔵など別のエネルギー調整力ソリューションを利用して収益源を積み上げる可能性を制限しているのです。アクセシビリティに関するルールを備えた妥当な規制フレームワークに加え、双方向充電に対応した適切な法規制や政策は、市場制度設計の基本であり、また将来の調整力に不可欠です。

業界コメンテーターは、妥当な規制と、EUのグリッドコードの統一で、V2G技術の普及拡大を後押しすることが不可欠だと述べています。EVと充電インフラ、系統間の技術・運用上のやりとりを可能にし、過負荷を防ぎ、周波数を維持しなければなりません。



欧州の規制機関ACERは、グリッドコードの統一、そして統一が実現すれば、全ての国でのグリッドコードの速やかな導入を目指しており、調整力が本格的にスタートすると私はみています。

Baerte de Brey氏

Chief International Officer, ElaadNL

EVと充電器の互換性も課題です。欧州では、コンバインド充電システム規格を採用しているインフラが多く、2022年に発行されたISO 15118-20に準拠した充電器しかV2Gに対応できません。自動車メーカーと充電事業者によるこうした規格の採用の遅れもまた、V2Gの実装が進まない要因です。

ドイツは、ISO 15118-20を採用してV2Gへの対応を進め、EVと充電スタンド間の通信の円滑化を図っています。

V2Gに対応した車両と充電器の相互運用性の実現を後押しするには、以下などの統一も必要です。

- 電気的安全性と、系統接続ポイント・充電器・車両間の、メーカーの枠を超えた相互運用性
- 法令に準拠した課金システムの使用要件
- 制御・デジタル市場接続向けの通信プロトコル



調整力を利用し、また商業化するのであれば、規格・標準化が必要です。互換性がなければ、自動車を買ったときに、ウォールボックス型充電器も替えなければなりません。それが、スマート充電のシームレス性を低下させ、顧客が負担するコストを増やすことになります。

Dr. Jan Strobel
Head of Regulation, Market
Communication and Mobility,
BDEW

オランダでは、最新の双方向充電インフラとスマート充電スタンドが整備されていますが、V2Gなどの柔軟な負荷の収益化がまだあまり進んでいません。ほとんどのインセンティブは、システムサービスに対して直接支払う金銭的対価ではなく、充電費用の割引という形をとっています。

英国では双方向充電が許可されていますが、インフラが極めて少ないのが現状です。V2G対応パブリック充電スポットの数は2023年時点で1,500カ所未満（インフラ全体の5%未満）にとどまっていたことが、政府が5億ポンドの資金を投じたこともあり、市場は拡大しています。

複数の業界コメンテーターが挙げた、V2Gの普及を阻む大きな障壁の1つがエネルギー貯蔵に対する二重課税です。スペインやスウェーデンなどこの税金を撤廃した国がある一方、デンマークや英国、ドイツなど依然としてこの問題への対処に取り組んでいる国もあります。欧州委員会がエネルギー課税指令

（2003年）の改正について協議していますが、行き詰まりをみせており、課税制度が状況改善の鍵を握っています。



現在の環境では、二重課税が足かせとなり、V2Gが持つコスト削減の可能性をフルに引き出すことはできません。EVを充電すると税金とシステム使用料金を支払うことになっていきますが、放電をしたときにも税金とシステム使用料金を支払うことになるケースが少なくありません。この料金のせいで、そのサイクルで得た価値の大部分が失われてしまうのです。二重課税はV2Gの最大の障壁だと言えます。

Linus von Sydow氏
Volvo Cars Energy Solutions

ほかにコメンテーターが必要性を強調しているのは、定置型貯蔵に関わる規制上の障壁への対処です。定置型貯蔵も移動型貯蔵もエネルギーシステムの現実的なソリューションであるため、移動型貯蔵と同じ扱いにすることを求めています。



システムに先行投資する必要があります。そう、現行の送配電網の最適化とデジタル化を図れば、さまざまなことを行えます。しかし、それには今すぐ決断を下さなければなりません。容量をテラワット台にするには、5年か10年、15年かかるのですから。

Magnus Broback氏
Head of Volvo Energy Charging & Infrastructure
Business Development, Volvo Energy AB

課題5 透明性とデータ交換、情報への アクセス

エネルギー系統に情報とデータは不可欠です。こうしたデータはこれまで、電気事業者がシステムを運用するために保有していて、部外者にはほとんど関係がありませんでした。しかし、今ではEVなどDERがエネルギーシステムに組み込まれるようになり、電気事業者以外に由来するデータは、系統計画や運用パフォーマンスを新たに構成する有益な要素となっています。

相互運用性に関する2024年のレポートで明らかにしたように³⁶、EVバリューチェーン全体でデータの相互運用性を確保する必要があります。また、ローミングネットワークや系統混雑ヒートマップ、共通プラットフォームをまたいでデータを交換できるようにするとともに、インターフェースを統一して、データのサイロ化を解消しなければなりません。

優先課題は関連車両データ、通信プロトコル、セキュリティ、系統のネットワーク化、EV充電スタンドの制御アルゴリズムに加え、計画能力と系統最適化能力などです。

また、双方向通信と相互運用性を、以下のレベルで支える基準・規格とプロトコルも欠かせません。

- 系統から充電器
- 車両から充電器と充電器から車両
- CPOから充電器
- CPO間
- アグリゲーターから系統
- CPOからアグリゲーター
- アグリゲーターから充電器
- 顧客と、顧客の代理を務める第三者

車両と充電スタンド間の複数の通信プロトコルに対応した基準・規格の策定が進められています。しかし、車両とアグリゲーター間の情報の通信に必要なテレマティクスが、自動車メーカーによっては独自仕様となっており、それが依然としてハードルとなっています。

今後は、データ交換を義務付ける、明確な規制フレームワークを構築しなければなりません。EU加盟国はRED III第20a条を施行する必要がありますが、第20a条では充電状況やバッテリー容量、車両の位置情報など主要な車両データを無料で車両所有者や指定された第三者と共有することを自動車メーカーに義務付けています。

RED IIIの改正か、車載データ法の制定で、対象となる車両データを追加する際には、定義を明確化して、全ての市場参加者が共通の理解を持てるようにする必要があります。また、車両データを常にAPIかオープンインターフェースから閲覧できる環境も整えなければなりません。



³⁶ “[How do we solve the challenge of interoperability in e-mobility?](#),” Eurelectric 2024.

第5章

V2Gのパイロットプログラム から商業化への移行



EVの調整力を全面的に引き出すには、V2Gを含めたスマート充電が不可欠です。スマート充電は、送配電網への投資コストを削減しながら、地域のエネルギーニーズを満たす、最も手頃な価格で、最も高い拡張性を備えたソリューションを提供する可能性を秘めています。しかし、消費者の同意を得られず、またEV資産を集約できなければ、V2Gのけん引力が失われかねません。

エコシステム参加者から話を聞くなかで、EVが調整力ソリューションの一部として認識されるようになり、支持が高まっていることが分かりました。とはいえ、まだ新興市場であり、複数のプレーヤーが強固なビジネスモデルの構築に取り組んでいるものの、必ずしもその取り組み方は統一されていません。

V2Gの拡張性と収益性は、明確な価格シグナル、十分な投資、適切な規制、透明な市場ルール、ステークホルダー間の高いデータ相互運用性の確保の有無に左右されます。政策立案者は、V2Gへの移行にあたり、包摂性を確保して、パブリック充電のユーザーも恩恵を受けられる仕組みにしなければなりません。

では、V2Gをパイロット段階から本格的な商業化へと移行させるにはどうすればいいのでしょうか。

調整力資産としてのEVの価値を引き出すための前提条件を6つ、そして、業界関係者が確実に成功するための対策と、取るべき行動をこれから紹介していきます。

前提条件1 顧客の支持

エネルギー転換で中心的役割を果たしているのは消費者です。V2Gを成功させるには、その同意と参加が欠かせません。同意と参加を得るには、シームレスで費用対効果の高い顧客体験、スマート充電のメリットの認知度向上、経済的メリットの明確化が必要となります。

消費者が取るべき行動:コストを反映した時間帯別エネルギー料金プランの導入と、スマート充電(V2Gなど)プログラムへの参加でお金を節約しながら、システムの安定に貢献しましょう。各メカニズムには、消費者の視点から見て、それぞれ固有の負担とチャンスがあることを留意しておいてください。消費者一人ひとりの力が不可欠ですが、その力を合わせることで、最大の価値を確保することができます。ただし、そのためには、脆弱なユーザーなどのための強固な顧客保護策が整備され、全ての人が情報に簡単にアクセスして、利用できる環境が整えられている必要があります。

前提条件2 採算性

EVを所有することの経済性を、実際的な価値提案を示すことで高める必要があります。例えば、英国ではコンパクトEV所有者は同等のICE車と比べ、年間最大19%節約できると推計されます。価値提案は当然、どのような取り決めやイニシアチブがあるかによって変わってきますが、英国ではEV充電を無料で提供している事業者もあります。

V2Gの採算性を明確に示す強固なビジネスモデルが不可欠です。V2Gを手軽に使えるよう工夫し、分かりやすく、アクセスしやすい特典を用意するだけでなく、ユーザーの参加を促すインセンティブも設ける必要があります。

自動車メーカーとCPOが取るべき行動:V2Gに対応した、使い勝手の良い車両と充電インフラを開発・推進するとともに、他のステークホルダーと協働して互換性と相互運用性を確保しましょう。

規制機関が取るべき行動:二重課税などの障壁を取り除き、データ共有の義務化を促進しましょう。移動型貯蔵の規制上の障壁を撤廃するにあたっては、再生可能エネルギーの統合に同じく不可欠な定置型貯蔵に不公平な扱いをしないよう注意してください。

前提条件3 顧客のセグメント化

ニーズと行動は顧客によってさまざまです。例えば、商用車の運用に必要なものは、乗用車のそれとは異なります。消費者がさまざまな調整力ソリューションにどのような反応を示すのかを把握し、ユーザーのセキュリティとプライバシーをしっかりと確保して信頼を高めることが、主要な成功要因となります。

自動車メーカーと系統運用者、アグリゲーター、小売り事業者が取るべき行動:V2Gの採算性を明確に示し、ユーザーの参加を促すインセンティブを提供するビジネスモデルを構築しましょう。また、データ共有と市場統合を促進してください。

前提条件4 システム計画

系統は、今後のEVの大幅な増加と、再生可能エネルギーの持つ変動性の大きさに備える必要があります。調整力はその地域のエネルギー問題に対する地域の解決策となり得ます。将来の電化ニーズを電気事業者の計画プロセスに織り込み、エネルギー管理の効率化を図ることが不可欠です。

系統運用者が取るべき行動:システム運用の効率性と信頼性の向上、ピーク負荷の軽減、排出量削減、発電・貯蔵容量投資の繰り延べという視点から、V2Gの価値提案を考えましょう。系統インフラへの投資はV2Gの普及を目標とし、かつこれを支える内容にする必要があります、低電圧送配電網の混雑の把握・予測向上を目的とした監視体制も整備すべきです。

規制機関が取るべき行動:送配電網をリアルタイムで監視するシステムを導入して、低電圧送配電網の可視性の向上を図る意欲を高める規制フレームワークを構築しましょう。

前提条件5 データと可視性、市場統合

エネルギー系統にデータは不可欠です。政策立案者は、EVバリューチェーン全体でデータの相互運用性を確保し、データのサイロ化を解消する必要があります。具体的には、自動車メーカーやローミングネットワーク、系統混雑ヒートマップ、共通プラットフォームをまたいでデータを交換できる環境の整備などです。EVを調整力リソースとして活用するには、エコシステム全体の協働や、電気事業者と自動車メーカー、サードパーティ・グリゲーター間の情報共有とパートナーシップが不可欠です。

規制機関が取るべき行動:V2Gなどのスマート充電、通信プロトコルの統一などのデータ交換の義務化、二重課税などの障壁の撤廃を後押しする規制フレームワークを構築しましょう。

また、全ての市場参加者が共通の理解を確実に持てるよう、データ交換を義務化する明確な規制フレームワークも構築しなければなりません。その際には、RED III第20a条の施行とその改正、あるいは車載データ法の制定が必要です。

前提条件6 シンプルで利用しやすい マネージドチャージング

V2G技術の鍵を握るのは、シンプルで利用しやすいスマート充電です。スマート充電ソリューションは充電する時間帯を変えて、送配電網と電力システムをより幅広く支えるものでなくてはなりません。スマート充電の実現には、充電インフラと車両自体の自動化やイノベーションが必要です。そのため、普及拡大を支えるシンプルなプログラムの策定と、恵まれない低所得者層を取り残さない対応が求められます。

系統運用者と規制機関が取るべき行動:系統の混雑時にコストを反映した価格シグナルを確実に発する体制を整えましょう。規制フレームワークを導入して、地域の調整力市場を刺激し、DSOが調整力を調達して混雑を管理できる環境を整えてください。また、自分のEVを制御する第三者(独立系グリゲーター、自動車メーカー、CPO、小売り事業者など)を消費者が選べる体制づくりをしましょう。EVの充放電を促すには、適正な対価が得られるメカニズムの整備と、市場ベースのメカニズムや価格シグナルの活用も必要です。さらに、恵まれない低所得者層を含めた全ての層がV2Gの恩恵を簡単に受けられる環境を整えてください。

すでに利用でき、調整力があり、 拡張性が高い: スマート充電ソリューション

V2Gをはじめとするスマート充電は、より持続可能でレジリエントなエネルギーシステムを実現する道を切り開く可能性を秘めています。しかし、その可能性を引き出すには、消費者や系統運用者、自動車メーカー、規制機関、政策立案者、エネルギー小売り事業者など、あらゆるステークホルダーが協調して取り組まなければなりません。まず、単方向スマート充電の前提条件に対処すれば、V2G商業化に必要な打開策が得られます。それが、V1GとV2Gの両方を、将来のエネルギー環境の土台となり得る技術にする一助となるはずです。

そのまま利用できるEVという「豊富な資源」を比較的低コストで活用でき、かつ、調整力と拡張性も備えた、確かなソリューション。それが、スマート充電をおいてほかにあるでしょうか。スマート充電は、よりクリーンで効率的なエネルギーシステムが待ち望んでいた、不可欠なソリューションであると私たちは考えています。



付録

EV消費者を対象とした調整力のエネルギー費用便益分析:はじめに

調整力サービスへの参加を顧客に促す価値提案の参考とするため、EYのEV費用便益予測モデルを使って計算を行いました。今回対象としたのは、3つの車両セグメントと5つのアーキタイプ、6つの主なEU加盟国です。

3つの主な目的

- 1 2030年時点で欧州全体でBEVフリートが供給できる柔軟なエネルギーの総量を推算する
- 2 欧州のさまざまな地域の総所有コストをICEとEVで比較する
- 3 調整力によって消費者が得られる便益である、エネルギー料金の年間節約額を評価する

この3つの目的を果たすため、予測モデルが分析するのは:

3つの車両セグメント



コンパクトカー

100kmあたりの燃料消費量が7リットル以下か、電力消費量が14キロワット時(kWh)以下の乗用車



ファミリーカー

100kmあたりの燃料消費量が10リットル以下か、電力消費量が16キロワット時(kWh)以下の乗用車



大型車

100kmあたりの燃料消費量が13リットル以下か、電力消費量が18キロワット時(kWh)以下の乗用車

5つのアーキタイプ

- ICE車所有者の総所有コスト(固定費+変動費)
- 固定型料金プラン: 固定型料金プランを利用し、系統に参加していないEV所有者の総所有コスト
- 固定型の時間帯別: 昼夜の料金が決まっている固定型の時間帯別料金プランを利用しているEV所有者
- 変動型の時間帯別: より最適化された時間ベースの時間帯別料金プランを利用しているEV所有者
- V2X: V2G・V2Hの調整力サービスにも参加しているEV所有者

6つの国



英国



ドイツ



フランス



オランダ

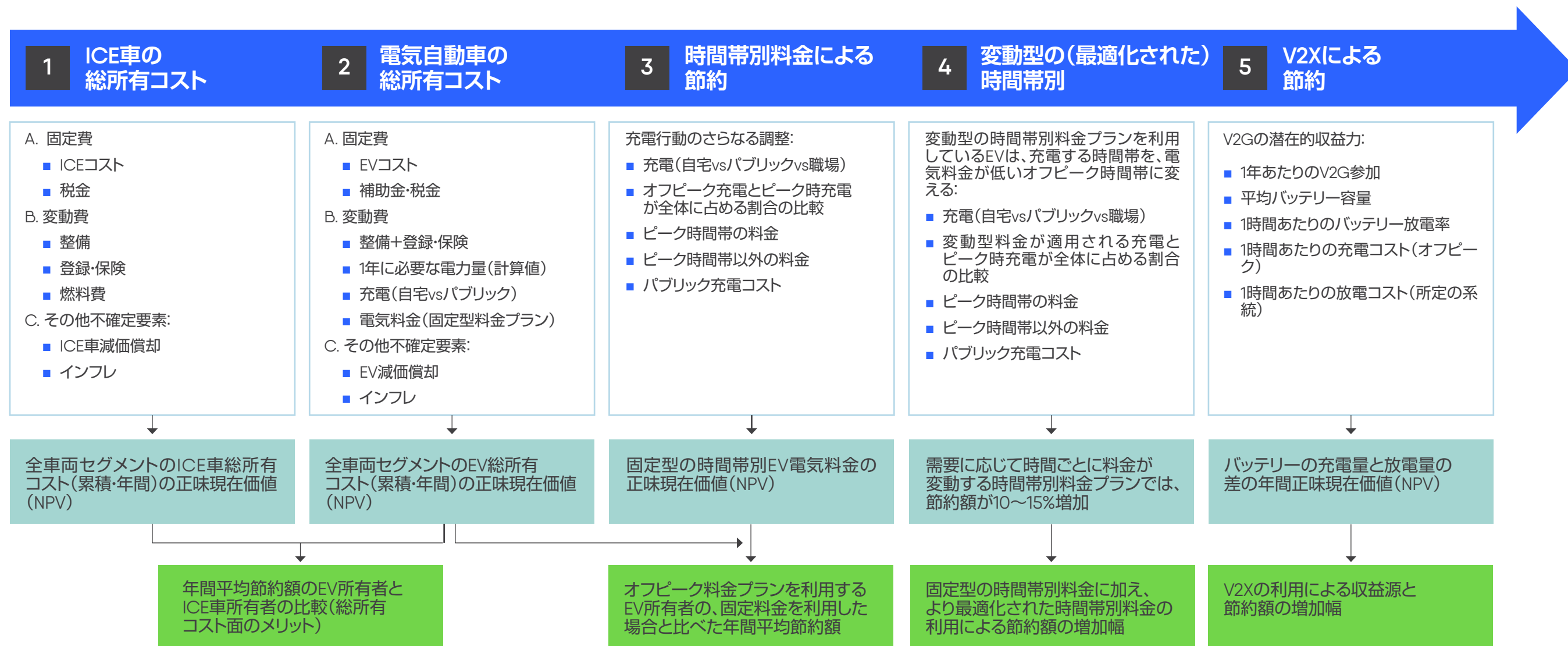


スウェーデン



スペイン

6カ国の3つの車両セグメントを対象に、4つの主なアウトカムを導き出した計算のアプローチと手法



□ 主なインプット ■ 計算結果 ■ 主なアウトカム

主な仮定

車両セグメントに関する仮定	コンパクト	ファミリー	大型車
車両セグメント	コンパクトカー 100kmあたりの燃料消費量が7リットル以下か、電力消費量が14キロワット時(kWh)以下の乗用車	ファミリーカー 100kmあたりの燃料消費量が10リットル以下か、電力消費量が16キロワット時(kWh)以下の乗用車	大型車 100kmあたりの燃料消費量が13リットル以下か、電力消費量が18キロワット時(kWh)以下の乗用車
年間走行距離(km/年)		15,000km	
距離あたり電力消費量(キロワット時/100km)	14	16	18
充電頻度(フルサイクル/週)	1.4	1.0	0.7

V2Xの計算に関わる仮定	仮定	備考
1年あたりのV2G参加状況(時間)	182	1日の参加時間は平均で0.5時間
バッテリーの平均容量(キロワット)	コンパクト- 40、ファミリー - 60、大型 - 90	市場に出回っているモデルの平均
1時間あたりのバッテリー放電率	40%	毎時放電できるバッテリーの最大個数
1時間あたりの充電コスト(オフピーク)(ユーロ/キロワット時)	0.18-0.3	市場で小売り事業者が提供する平均料金。平均オフピーク料金が最も低いのは英国
1時間あたりの放電コスト(所定の系統)(ユーロ/キロワット時)	0.27-0.40	系統に参加するにあたってのV2Gの料金が最も低いのはフランスで、その他の国は1キロワット時あたり0.35~0.4ユーロ

V1G(固定型と変動型の時間帯別)に関わる仮定	仮定	備考
消費者の充電場所の好み (自宅vsパブリックvs職場)	自宅充電:60%~80% 職場充電:10%~30% パブリック充電:2%~17%	EYの一次調査の結果によると、自宅充電を好む消費者の割合はドイツとフランスが62%~65%であるのに対して、英国とオランダが80%強
ピーク時料金(ユーロ/キロワット時)	0.27-0.40	6カ国のなかで最もピーク時料金が低いのはフランス
パブリック充電コスト(ユーロ/キロワット時)	0.4-0.6	欧州のほとんどの国ではパブリック充電の料金が0.55ユーロ/キロワット時以上