

大阪・関西万博におけるモビリティの取り組み



万博からの
メッセージ

田口 雄一郎*

Mobility Innovations at Expo 2025 Osaka, Kansai

Key Words: E-Mobility, Energy Management System, Dynamic Wireless Power Transfer

はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、日本のエネルギー構造は大きな転換期を迎えている。発電分野では再生可能エネルギーの導入拡大が進み、電源の脱炭素化は着実に前進している。一方で、需要側、とりわけ運輸部門の構造転換は依然として重要課題である。国内の二酸化炭素排出量のうち約2割を占める運輸部門はその大半が自動車由来であり、移動の在り方を変えずして脱炭素の達成は難しい。

そこで期待されているのがモビリティの電動化である。しかし、電動化を単なる「エンジンからモーターへの置換」と捉えるならば、その意義の半分しか見えていない。電気自動車や電気バス、さらには将来の空飛ぶクルマや電動船に搭載される蓄電池は、単なる動力源ではなく、電力系統と接続され得る分散型エネルギーリソースでもある。すなわち電動モビリティは、エネルギーを消費する存在であると同時に、エネルギーシステムを支える存在へと変わり得る。

再生可能エネルギーの大量導入が進むなかで、太陽光発電は昼間に出力が集中し、需要との時間的不一致が生じるという電力システム上の課題がある。結果として出力抑制が発生し、せっかく発電された電気が使われないままになる局面もある。今後、再エネ比率がさらに高まれば、需給を柔軟に調整する仕組み、すなわち需要創出や蓄電リソースの拡張が不可欠となる。

ここに、モビリティ電動化と電力システム高度化の接点がある。電動車両は蓄電池を搭載し、充放電制御によってピークカットや需給調整に寄与する可能性を持つ。将来的にV2G (Vehicle to Grid) が普及すれば、モビリティは「走る蓄電池」として系統安定化に資する存在となるだろう。

電力会社がモビリティの電動化に取り組む意義は、単なる充電インフラ整備や電力販売の拡大にとどまらない。(1)再生可能エネルギーの有効活用、(2)電力需給の平準化と最適化、(3)都市インフラとエネルギーの統合設計、という社会的価値の創出に直結するからである。エネルギーの供給側と需要側を俯瞰してきた事業者だからこそ、移動と電力を一体で設計する視点を持ち得る。

2025年大阪・関西万博は、その思想を具体化する実証の場となった。EVバス、走行中ワイヤレス給電、空飛ぶクルマ、水素燃料電池船——これらは単なる未来技術の展示ではなく、エネルギーとモビリティを融合させる社会システムの試行であった。本稿では、その取り組みを通じて浮かび上がる「万博からのメッセージ」を読み解いていきたい^{1),2)}。

EVバス×FMS×EMS

大阪・関西万博において、会場内外の輸送を担ったのは100台規模のEVバスであった。外周を走行するバス群と、会場外からの来場者輸送を担う路線を合わせると、その台数は国内でも例を見ない規模に達する。これは単なる電動バスの導入事例ではなく、「都市交通を丸ごと電動化した場合に何が起るのか」を検証する社会実験でもあった。

EVバスは1台あたり2~300kWh級の蓄電池を搭載し、急速充電時には数十kWから場合によっては100kW超の電力を必要とする。仮に多数の車両が同時に充電を開始すれば、受電負荷は瞬間的に数



* Yuichiro TAGUCHI

1979年9月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 建築工学専攻
博士前期課程 (2004年)
現在、関西電力株式会社 ソリューション本部
開発部門 eモビリティ事業グループ 部長
TEL : 070-2919-0728
E-mail : taguchi.yuichiro@a2.kepco.co.jp

MW規模へと跳ね上がる可能性がある。これは施設の契約電力増大や受変電設備の増強につながり、経済合理性を損なう要因となり得る。さらに、万博のように来場者数の変動が大きいイベントでは、運行頻度も日々変化するため、エネルギー需要も固定的ではない。

ここで鍵となったのが、フリートマネジメントシステム(FMS)とエネルギーマネジメントシステム(EMS)の連携である。FMSは、各車両の運行ダイヤ、走行距離といった運行関連データを管理する。一方EMSは、充電器の稼働状況、受電電力、施設全体の負荷状況、さらには時間帯別の電力需要傾向などを管理する。両者を連携し、さらに車両に搭載した車載器より収集した現在位置、SoC(State of Charge)のリアルタイムデータを統合することで、交通情報と電力情報を同一プラットフォーム上で扱うことが可能となった。

具体的には、充電制御にあたり(1)次便出発までの残時間、(2)必要走行距離に対する最低必要SoC、(3)建物負荷の時間帯変動や契約電力との余裕度、といった複数のパラメータを同時に評価し、充電の優先順位を動的に決定する仕組みが構築された。たとえば、出発時刻が迫りかつ残容量が少ない車両は優先的に充電される一方、十分な余裕がある車両は負荷が低い時間帯まで充電を後ろ倒しにする、といった制御が行われる。

このような統合制御により、ピーク電力の抑制と安定運行の両立が図られ、実際の万博開催期間中には車両の電欠を発生させることなく、システム未導入時比で7割以上のピーク電力を抑制する結果が得られた。重要なのは、ここで実現されたのが単なる「充電管理」ではなく、「運行計画と充電計画の統合最適化」である点である。従来、交通システムと電力システムは別々に設計されてきた。しかしEVが大量導入される社会では、両者は不可分となる。運行の効率化が電力の平準化につながり、電力の制約が運行計画に影響を与えるという双方向性が生まれる。

さらに将来を見据えれば、この仕組みはV2Gやデマンドレスポンスとの連携へ拡張する可能性を持つ。大量のEVバスが系統に接続されることで、充電のみならず放電を含めた需給調整リソースとして機能する未来も視野に入る。万博での実証は、その第一歩として、EVフリートをエネルギー資源として扱

う視点を提示した。

100台規模というスケールで行われたこの取り組みは、電動化が単なる環境対策ではなく、都市インフラの再設計であることを示している。交通と電力を一体で捉え、全体最適を目指す。そこに、万博が示した新しい都市モデルの萌芽を見ることができる。

走行中ワイヤレス給電

大阪・関西万博では、EVバスの運行にあわせて「走行中ワイヤレス給電(Dynamic Wireless Power Transfer: DWPT)」の実証が行われた。これは、道路下に埋設された送電コイルから、車両側に搭載された受電コイルへ磁界共鳴方式などを用いて電力を非接触で伝送し、走行中に充電を行う技術である。従来の充電方式が停車時間を前提としていたのに対し、DWPTは移動時間そのものを充電時間へ転換する発想に立つ。

技術的には、道路下の送電コイル、路側に設置されるインバータや電力変換装置、車両側の受電コイルと整流回路、さらには通信制御や課金システムを含む統合制御系によって構成される。給電効率の確保、電磁界の安全性評価、複数車種との互換性確保、道路構造物としての耐久性など、多面的な技術課題が存在するが、万博では実際の運行環境下でその成立性が検証された。

DWPTが持つ最大の意義は、再生可能エネルギーとの時間的整合性にある。太陽光発電は昼間に出力が集中する一方、昼間は都市部でのバス運行が最も活発な時間帯でもある。走行中のEVバスへ昼間に直接給電できれば、出力抑制されがちな太陽光電力を効率的に吸収することが可能となる。すなわち、移動体が「再エネの受け皿」として機能するのである。

従来のEV普及における課題の一つは航続距離不安であった。大容量バッテリーを搭載すれば安心感は増すが、その分車両重量は増加し、コストも上昇する。DWPTが社会実装されれば、バッテリー容量を過度に増やすことなく、走行しながら必要分を補給する設計も可能になる。これは車両設計の思想にも影響を与える。

さらに、将来的にEVが大量導入される社会を想定すると、DWPTは電力系統との新たな関係性を生む。走行中のEVが常時グリッドと接続される状態が実現すれば、充電だけでなく、双方向制御を通

じた需給調整の可能性も広がる。移動と電力供給が分離された従来型社会から、移動そのものがエネルギーシステムの一部となる社会へと構造が変わる(図1)。



図1 EVワイヤレス給電が実装された社会

もちろん、道路インフラへの大規模投資や標準化、制度設計といった課題は小さくない。しかし、万博での実証は、技術が机上の概念ではなく、実際の都市空間で機能し得ることを示した点に価値がある。道路が単なる交通インフラからエネルギーインフラへと進化する可能性を提示したのである。

走行中ワイヤレス給電は、未来的な装置の展示ではない。それは、エネルギーとモビリティを一体で設計する社会への入り口である。万博という実験場で示されたこの技術は、「移動時間=充電時間」という概念転換を通じて、再生可能エネルギー大量導入時代の新しい需給モデルを指し示している。

空飛ぶクルマ

大阪・関西万博では、いわゆる「空飛ぶクルマ」、すなわちeVTOL(Electric Vertical Take-off and Landing)のデモ飛行が実施された。電動モーターで複数のローターを駆動し、垂直離着陸を可能とするこの新しいモビリティは、都市部における短距離・中距離移動の選択肢を広げる存在として注目を集めている。しかし、その未来像を現実のものとするためには、機体開発と同時に、地上側インフラの整備が不可欠である。

空飛ぶクルマの商用運航において重要となるのは、ターンアラウンドタイム、すなわち着陸から次の離陸までの時間をいかに短縮できるかである。運航回数を増やすことが収益性に直結するため、短時間で

の充電が求められる。ここで必要となるのが、高電圧・大電流に対応した超急速充電設備である³⁾。

超急速充電では、電力変換装置の高出力化に加え、バッテリー温度管理が重要な課題となる。高出力充電は発熱を伴うため、適切な冷却システムを併設しなければ、バッテリー寿命や安全性に影響を及ぼす可能性がある。また、複数機体が同時に充電する状況を想定すると、受変電設備の容量設計や保護協調、さらにはエネルギーマネジメントシステムによる負荷平準化制御も不可欠である(図2)。



図2 空飛ぶクルマの充電インフラ

航空用途特有の要件も無視できない。安全性と信頼性は最優先事項であり、電源系統の冗長設計や異常時遮断機能など、高度な保護設計が求められる。地上のVertiport(離着陸場)は、単なる充電スポットではなく、航空インフラとしての機能と電力インフラとしての機能を併せ持つ複合施設となる。

万博会場では、こうした設計思想に基づき、空飛ぶクルマ向け充電設備の開発・実証が進められた。空を飛ぶ未来のモビリティもまた、電力という基盤に依存している。万博が示したのは、空の革命が地上のエネルギー設計と一体に進むという現実である。空飛ぶクルマの充電設備開発は、その象徴的な取り組みであった。

水素燃料電池船

大阪・関西万博では、陸や空のモビリティだけでなく、「海」においても脱炭素化の挑戦が行われた。会場と夢洲周辺を結ぶ水上輸送において、水素燃料電池と蓄電池を組み合わせたハイブリッド電気推進船が運航されたのである。船舶は大量輸送に優れ、エネルギー効率の面でも優位性を持つ交通手段であ

るが、その動力源はこれまで重油や軽油などの化石燃料に依存してきた。海運分野の脱炭素化は、カーボンニュートラル社会に向けた重要なテーマの一つである。

水素燃料電池船は、水素と酸素の化学反応によって電気を生み出す燃料電池を搭載し、その電力でモーターを駆動する。発電時に排出されるのは水のみであり、運航時のCO₂排出はゼロである。また、エンジン音や振動が小さいという特長もあり、港湾周辺の環境負荷低減にも寄与する。今回の実証では、この燃料電池に加え、大容量の船舶用蓄電池を組み合わせたハイブリッド構成が採用された。これにより、出力変動への柔軟な対応やエネルギー効率の向上が図られている。

しかし、船舶の電動化は船上だけで完結するものではない。陸側のエネルギー供給設備を含めた統合設計が不可欠である。万博で活用された関西電力南港発電所内の設備には、水素充填設備、急速充電器、受変電設備、さらに約500kWh規模の陸上蓄電池システムが含まれている^{*}。水素はトレーラで輸送された後、圧縮機によって高圧化され、蓄圧器を経て船舶へ充填される。この過程では圧縮機や冷凍機が数十kWから百kW級の電力を消費する。一方、船舶側の蓄電池も1,000kWh級の容量を有し、充電時には大きな電力を必要とする。

ここで重要となるのがエネルギーマネジメントである。水素充填と電気充電が同時に行われれば、受電ピークは大きく上昇する可能性がある。そのため、(1)帰航後から次の出航までの時間を活用して船舶蓄電池を分散充電すること、(2)出航前の水素充填時には陸上蓄電池から放電してピーク電力を抑制すること、(3)運航中には陸上蓄電池を再び充電し次回に備えること、といった制御ロジックが採用された。これにより、運航に必要なエネルギー補給を確実にいながら、受電契約容量の範囲内での運用が可能となる。

この取り組みが示唆するのは、港湾を単なる物流拠点としてではなく、「エネルギーハブ」として再定義する視点である。水素と電気という二つのエネルギー媒体を統合的に管理し、需要に応じて最適に配分する。その中核に位置するのがエネルギーマネジメントシステムである。将来的に港湾に再生可能エネルギーが導入されれば、グリーン水素製造や電動

船舶への直接供給といった新たなエネルギーフローも想定される。

水素燃料電池船の実証は、海運の脱炭素化という個別課題への対応であると同時に、陸・海・空を横断するエネルギー統合モデルの一端を示すものであった。万博の舞台で示されたこの取り組みは、エネルギーとモビリティを一体で設計する思想が、海上交通においても現実のものとなり得ることを示している。

おわりに

大阪・関西万博で展開された一連の取り組みは、未来技術の華やかな展示という側面を持ちながら、その本質においては「社会システムの再設計」に関わる実証であった。EVバスにおけるFMSとEMSの連携、走行中ワイヤレス給電、空飛ぶクルマの超急速充電設備、水素燃料電池ハイブリッド船と港湾エネルギーマネジメント——これらは一見すると個別の技術テーマに見える。しかし、それぞれを貫いているのは、エネルギーとモビリティを統合的に設計するという共通の思想である。

従来、交通インフラと電力インフラは別個の体系として発展してきた。道路や鉄道は人と物を運ぶための基盤であり、電力網は発電所から需要家へ電気を届けるための基盤であった。しかし、モビリティの電動化が進展する社会では、この分離は次第に意味を失う。電動車両は蓄電池を搭載し、充放電を通じて電力系統と接続される。すなわちモビリティは「電気を使う存在」から「電気を支える存在」へと役割を拡張する可能性を持つ。

万博での実証は、単に脱炭素を実現するための手段を示したのではない。そこでは、(1)単体最適から全体最適へ、(2)消費中心の設計から制御中心の設計へ、(3)部門分断型のインフラから統合型インフラへ、という構造転換の方向性が示された。EVバスの充電制御は交通と電力の統合を体現し、走行中ワイヤレス給電は道路をエネルギーインフラへと昇華させ、空飛ぶクルマの充電設備は航空と電力の融合を示し、水素燃料電池船は港湾をエネルギーハブへと再定義した。

こうした試みは、半年間のイベントにとどまるものではない。むしろ、再生可能エネルギーが主力電源となる時代に向けた予告編であり、社会全体の設

計思想を先取りする実験であったと言える。エネルギーの供給者、モビリティの運行者、インフラの設計者がそれぞれの役割を超えて連携し、都市機能を横断的に最適化する。その中心にあるのは、電力会社が長年培ってきた系統運用や需給制御の知見と、交通分野が持つ運行最適化の知見の融合である。

「万博からのメッセージ」とは何か。それは、未来の乗り物の形状や速度ではなく、エネルギーと移動を分けて考えない社会の到来を告げるメッセージである。脱炭素は単一分野の努力で達成されるものではなく、エネルギーとモビリティ、さらには都市設計そのものを統合的に見直すことで初めて実現する。その方向性を具体的な技術と実証で示した点にこそ、今回の万博の意義がある。

エネルギーとモビリティが相互に支え合う社会へ。その設計思想こそが、万博が未来に向けて発したメッセージであった。

参考文献

- 1) 「E V×グリッド革命」編集委員会編著：E V×グリッド革命, pp.50-56, 日本電気協会新聞部 (2024)
 - 2) 堀 洋一・畑 勝裕・横井 行雄監修：eモビリティ・テクノロジー, pp.370-375, NTS (2025)
 - 3) 建築エネルギー懇話会広報部会：建築エネルギー懇話会誌 69巻 2024年7月「空飛ぶクルマの充電インフラについて」(2024)
- *) NEDO助成事業により開発：『商用運航の実現を可能とする水素燃料電池船とエネルギー供給システムの開発・実証』(燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業)

