

# 大容量 PV システム搭載電気自動車 (PVEV) の開発と評価

Development and Evaluation of a PVEV, an EV with a large-scale PV system

水野英範\*

## 1. はじめに

ソーラーカー・車載 PV 特集ということで、産業技術総合研究所（産総研）における関連の取り組みを紹介させていただく。前回のソーラーカー・人力発電・車載用 PV 特集号（2019 年，通巻 250 号）において、前田郷司氏の寄稿に「ソーラーカーとは、(中略)事実上は「太陽電池から得られる電力を主な動力源とする電気自動車」である」との記述があった<sup>1)</sup>。我々もまさにそのような車両を目指した開発・評価を進めてきたのだが、「ソーラーカー」という言葉はどうしても独特な見た目とレースイベントを想起させるものという意識が（個人的には）強いため、ここでは代わりに「PVEV」という言葉を使わせていただきたい。本稿の内容は、「PVEV という、いわば実用版ソーラーカーに関する研究」と捉えていただければ幸いである。

## 2. 取り組みの背景：EV が普及するなら

産総研が本格的に PVEV の研究開発に取り組み始めたのは 2021 年からである。その前年となる 2020 年 10 月、当時の菅首相が我が国の 2050 年カーボンニュートラル (CN) 宣言を行っている<sup>2)</sup>。その中で、運輸部門に関しては自動車の電動化を推進するとしている。また、電力部門に関しては PV をはじめとする再生可能エネルギーの最大限の導入を行うとしている。したがって、運輸部門における自動車の CN 化は、再生可能エネルギー由来のグリーン電気で電動車を動かすことが前提となっている。

この点において、PVEV は上記の方向性を一体化した車両であり、その普及により自動車利用の CN 化をより加速させることが可能と考えられる。EV が普及するなら PV も一緒に、という考えは小職のような PV 研究に携わるもののエゴかもしれない

が、このチャンスを逃すと PV がこのまま置き去りになるのではとの思いから、プロジェクトを立ち上げた。

## 3. 産総研の PVEV プロジェクト

2021 年 7 月より、福島県による福島再生可能エネルギー研究所最先端研究・拠点化支援事業の中で、「太陽光搭載型電気自動車の実証拠点化（需給一体型 EV）」と銘打ったプロジェクトを行う機会を得た。その一環として、実際に PVEV の開発と評価を行うこととした。JSES 会員の皆さまであればおそらくご存知の通り、当時よりすでに国内自動車メーカーから PV をオプション搭載した PHEV<sup>3)</sup> や EV (PV 出力～200 W) が販売されていたわけだが、より大容量の PV を搭載した PVEV 開発を行い (図 1)、なるべく長期にわたるデータ取得・評価を目指したのである。

その際、自動車分類の中でも、まずは商用車をターゲットとした。商用車は、乗用車に比べて大きな車体を有している場合が多いこと、角張った形状である（曲面が少ない）こと、外観の許容性が高いことなどが挙げられ、大容量 PV 搭載の観点からは魅力的である。また、評価の観点でも、需要を想定した使い方（走行ルート・時間）を決めることができるという点で取り組みやすいと考えた。幸い、そのような条件を満たすベース車両として、タジマモーターコーポレーション株式会社が手掛けていたバンタイプ（10 人乗り）EV コンバージョン車両に辿り着いた。地元の交通会社（福島交通株式会社）からは、開発車両をコミュニティバスとして利用（実証走行実験）することに対して協力を得ることができた。

\* 国立研究開発法人産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光システム研究チーム



図1 大容量 PV を搭載した PVEV イメージ

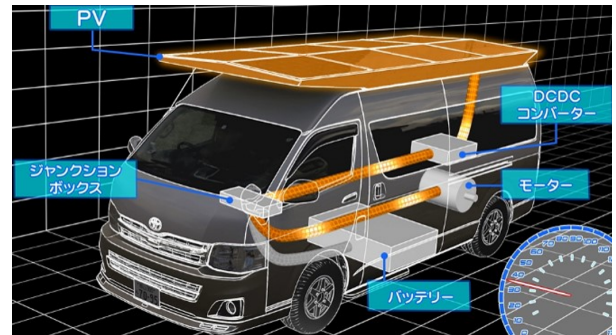


図3 走行中の PV 電力の流れ



図2 産総研の PVEV (図1の具現化)

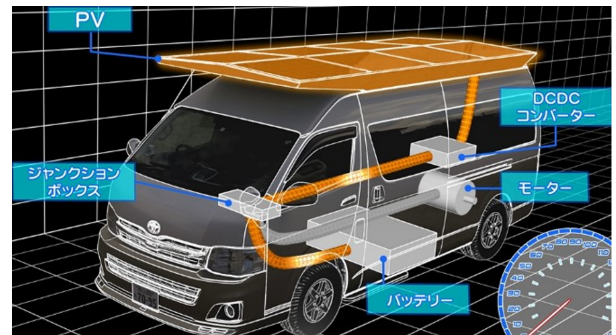


図4 停車中の PV 電力の流れ

#### 4. 完成した PVEV (プロトタイプ)

図1のイメージは、最終的には図2のような形となった。その見た目はさておき、開発期間・長期データ取得・安全性・公道走行可能といった制約を考慮した結果の産物(プロトタイプ)とお考えいただきたい。

同車両の主な仕様・特徴を示す。バッテリー定格容量は 39.4 kWh・電圧動作範囲は 330 ~ 390 V、また PV 定格容量は 1.12 kW・最大出力動作電圧/電流 (@STC) はそれぞれ 35 V/32 A となっている。PV モジュールは結晶シリコンヘテロ接合セルベースであり、発生した電力は車内に設置された昇圧 DCDC コンバーターを介し、走行中は直接モーターや車両制御系で利用(図3)、停車中はバッテリーに充電される仕組みとなっている(図4)。

EV から PVEV 化に伴う装置の追加はできるだけ少なくした(PV 以外の追加装置は1台の DCDC コンバーターのみである)。バッテリー電圧と PV 動作電圧を比べるとほぼ10倍以上の差があり、この場合ルーフ上での PV 動作電圧を高める(PV モジュールの直列数を増やす)ことは当然考えられたが、安全上の理由から車載 PV の電圧は 60 V 以下に抑えることとした。

また、当然ながら本車両は PV からの電力のみで

走るわけではなく、プラグインによるバッテリー充電も可能である。プラグイン充電のうち、普通充電は PV 充電と両立(同時実施)可能としたが、急速充電(CHAdcMo)との両立は叶わなかった(こちら安全上の理由による)。

データとしては、車体関連(車速、モーター回転数等)、バッテリー関連(入出力電流、電圧、SOC等)、PV 関連(DCDC コンバーター入出力電流、電圧、PV モジュール温度等)、位置情報(緯度、経度)を頻度1秒で取得可能とした。

#### 5. 実証走行

はじめに2023年9月より2024年8月まで、福島県内の交通空白地域(福島市立子山地区)においてコミュニティバスとしての運用を想定した実証走行を実施した(ただし2024年4月は車両メンテナンスを行ったため走行無し)。上述の通り、福島交通株式会社の協力のもと、需要ポテンシャルに応じたルート(図5)を設定し実現に至ったのだが、残念ながら諸事情で実際に地元住民にご利用(乗車)いただくことは叶わず、いわば「空気を運ぶ」中でのデータ取得となった。福島交通蓬莱車庫を拠点に、福島県立医科大学周辺の都市部エリア~山間地エリアを結ぶ往復で約25kmの距離を1日2回(約50km/日、1回目走行は午前、2回目走行は午後)、

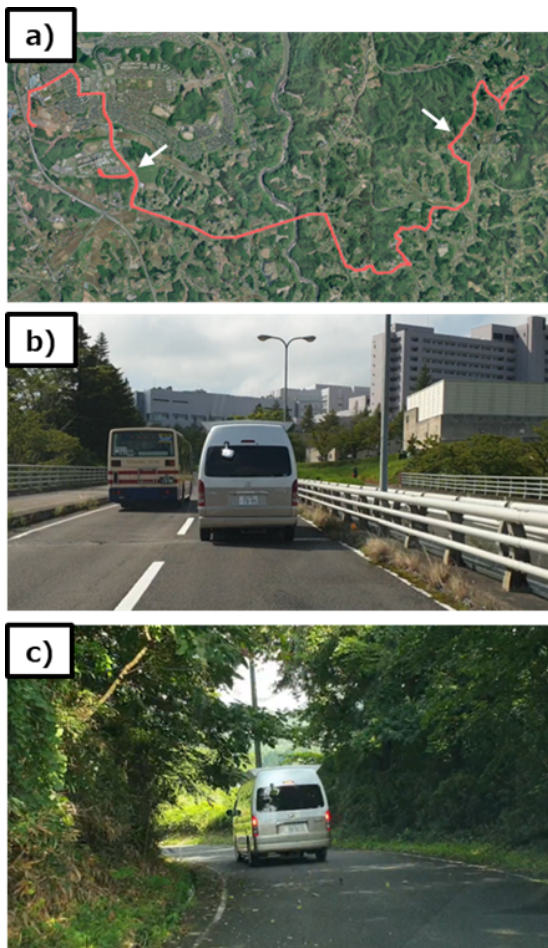


図5 福島市立子山地区における走行ルート a) 地理院地図（電子国土 Web）写真に走行ルート（赤線）等を追記して作成 b) a) の左白矢印付近（福島県立医科大学周辺）の都市部エリア走行の様子 c) a) の右白矢印付近の山間地エリア走行の様子

期間中の月・水・金曜日、計140日の走行を行った。

図6にPV測定データの一例として2023年9月の晴天日のデータを示す。走行中に取得された部分を緑色の点線枠で示しており、その他の部分（車庫に駐車中）に比べると走行中は周囲建物影等による激しいPV出力の変動があったことがわかる。駐車中は（晴天のため）比較的安定したPV出力の様子が見て取れる（駐車場はオープンエア環境であり、車両にはほとんど建物等の影がかからないような場所であった）。赤線のDCDCコンバーターの出力電力の積算値は3.94 kWhであった。対して、青線のPVからDCDCコンバーターへの入力電力の積算値は4.48 kWhであった。したがって、用いているDCDCコンバーターの（この日の）電力変換効率は87.9%ということになる。

図7に同日のバッテリーSOCデータを示す。PV電力によるSOCの向上（バッテリー充電）、および走行によるSOCの減少（バッテリー消費）の様子

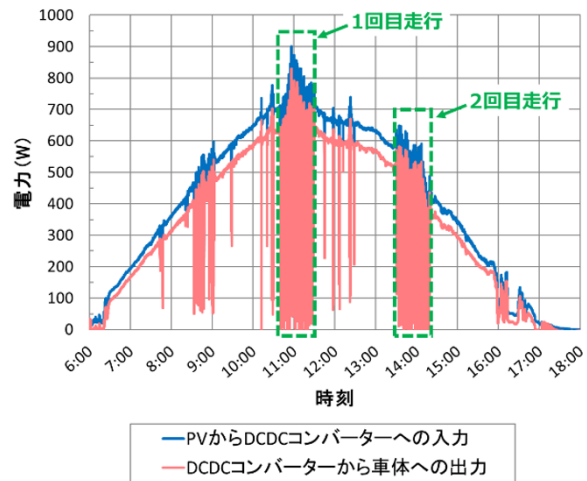


図6 2023年9月晴天日のPVデータ

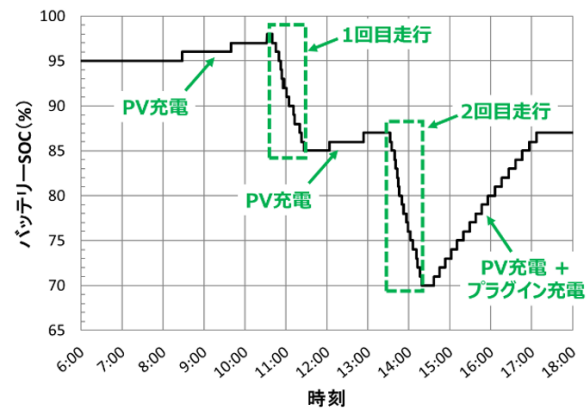


図7 2023年9月12日のバッテリーSOCデータ

が見て取れる。2回目走行の後の急峻なSOC向上は、PV充電に加えプラグイン充電を行ったためである。この日の2度の走行に伴うバッテリー消費量は10.37 kWhであった。上述の通り、この日のPVから車体への供給電力量（DCDCコンバーターの出力電力量）は3.94 kWhであったため、この日の走行（距離～50 km）に要した電力量の約28%が搭載したPVにより賄えたことになる（ただしDCDCコンバーター-バッテリー、DCDCコンバーター-モーター間のロスを見逃した計算を行った場合）。

同様の評価を様々な天候（晴・曇・雨・雪）、季節（秋-冬-春-夏：9月～8月、ただし2024年4月を除く）の140日分において実施した結果、毎日の走行に要した電力量に対するPV発電電力量の比率（PV供給率）は平均で13.5%であった。なお、この値には後半2か月（7,8月）のみDCDCコンバーターのアップグレードをおこなった結果が含まれている。具体的には、車両開発当初に導入したDCDCコンバーターは最大電力点追従（MPPT）機能がな

く、昇圧の際の電力変換効率も 90% 以下のものがあったが (適当な既製品が見つからなかったため)、その後 MPPT 機能を搭載し電力変換効率も向上 (93% 程度まで) させた特製 DCDC コンバーターを開発し、なんとか後半 2 か月のみ MPPT ありのデータ取得を行ったということである。したがって、仮に通年で MPPT ありの DCDC コンバーターでデータ取得ができれば、より高い PV 供給率が得られるものと考えられる。

2024 年 9 月から 2024 年 12 月までは、福島県内の温泉観光地 (福島市飯坂地区) におけるコミュニティバスとしての運用を想定した実証走行も実施した。福島交通株式会社の協力のもと、飯坂温泉駅を出発し温泉街の各旅館を巡りながらの往復約 5.5 km ルート (図 8) を 1 日 6 回走行することとした。

図 9 は飯坂ルートにおいて取得した 2024 年 11 月の晴天日における PV データの一例である。図 6 において説明した通り、PV 出力の変動が激しい部分が走行中に取得されたデータである。この図 9 で注

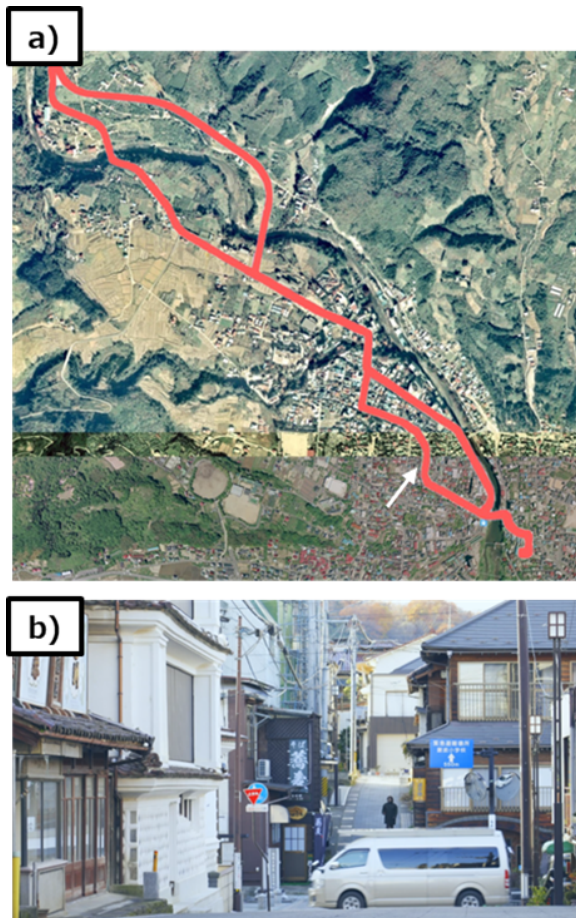


図 8 福島市飯坂地区における走行ルート a) 地理院地図 (電子国土 Web) 淡色地図に走行ルート (赤線) 等を追記して作成 b) a) の白矢印付近の商店街エリア走行の様子

目頂きたいのは、1 回目の走行 (緑点線枠内) 開始前に出力がゼロとなっている時間帯があることである。これは、もちろんその時間帯だけ日射がゼロとなったためではなく、晴れていて日射があったにもかかわらず電力が流れなかった (発電が抑制されていた) ためである。というのも、開発車両はバッテリーの過充電を避けるためにバッテリーが満充電に近く (SOC が 99%) になると PV 充電を遮断する機能を設けており、それが発動した結果このような出力の空白期間ができたのである。

長期的なデータ取得を行う中で実感したことの一つとして、このような「車載 PV の発電抑制」をいかに防ぐかということが挙げられる。一般的には、ユーザーはその日の車両使用が終了した後、夜のうちにプラグイン充電を行い、翌日の使用に備えることが考えられるが、この夜間充電でバッテリーを満充電状態 (SOC 100%) にしてしまうと、当然ながら翌朝からの PV 充電が抑制されてしまうことになる。したがって、夜間充電のストップは翌朝 (日の出時間) から車両使用開始時間までの PV 充電量を見越したところで行う必要があるということである (例えば SOC 95% となった時点で充電を終了し、5% は PV 充電のための空きを作っておく)。これを個々の事業者 (車両担当者) が行うことは地味に大変な作業であり、PVEV の普及においてはそのようなスマートなバッテリー SOC 管理機能の搭載が求められると考えられる。

ちなみに、飯坂地区での実証走行における 4 か月間 (9 ~ 12 月) の平均 PV 供給率は、23.8% であった。これは、立子山ルートの 13.5% よりも大きい値であるが、この差に最も影響しているのは走行距離であ

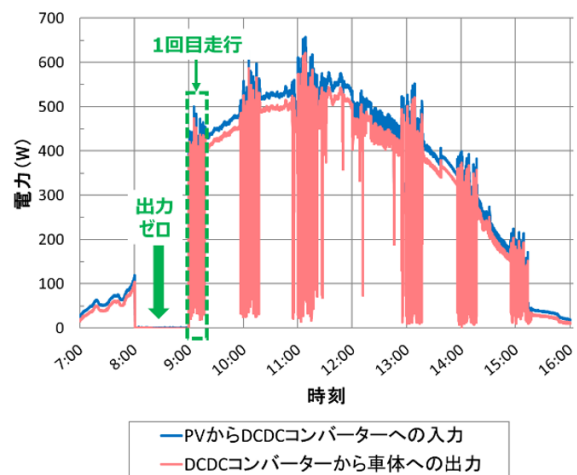


図 9 2024 年 11 月晴天日の PV データ (出力ゼロの時間帯がある)

る。飯坂ルートは一日当たりの総走行距離は 33 km, 対して立子山ルートは 50 km であり, 当然ながらバッテリーの消費電力は走行距離に依存するため, PV 供給率もそれに伴った結果となったと言える。

## 6. おわりに

ソーラーカーの実用版開発・社会実装に資する研究として, 産総研の PVEV (大容量 PV を搭載した EV) の取り組みについて紹介した。車体に関しては, 海外機関の車両作製事例<sup>4)</sup> と比べてもシンプルな構成 (PV の他は DCDC コンバーター 1 台のみの追加) となっていることが特徴である。商用車としての活用を意識し, 2つのユースケース (交通空白地におけるコミニバス, 観光地におけるコミニティバス) において PV 搭載の有用性を PV 供給率 (走行に要するエネルギー量に対し, PV がどの程度供給できるか) という観点から評価した。車載 PV の発電抑制問題についても実データを示し紹介した。

プロトタイプにもかかわらず, まずは長期 (1 年以上) の実証走行を無事やる遂げることができたことに安堵しているが, その中から見えてきた課題は多くある。見た目の改善に加え, 車内の電力システムの改善 (高電圧系立ち上げ電力の省エネ化: 本車両は, 駐車中であっても車両バッテリーに PV から充電が起こるシステムのため, 高電圧系を常に立ち上げておく必要がある) が必須である。また安全性, 特に自動車衝突事故時の検証等も望まれる。

EV の普及に関しては, 充電インフラの不足等様々な課題があるため一時期よりは鈍化しているのが現状であろう。ただ次の波は必ず訪れるはずで, その時には PVEV が選択肢となるように今後も技術開発・実証研究を続けていくことが重要である。本研究をベースに, PV 研究者のみならず自動車業界を巻き込んだ展開につなげていきたい。

## 謝辞

本研究は, 令和 3・4 年度福島県における再生可能エネルギーの導入促進のための支援事業費補助金

(福島再生可能エネルギー研究所最先端研究・拠点化支援事業) および令和 5・6 年度国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP20015) の一環として実施されました。また, プロジェクトを共に進めてきた産総研の大関崇氏, 高島工氏, 石川耕氏, 相良知志氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 前田郷司, ソーラーカーおよびソーラーカーイベントの歴史 2, 太陽エネルギー, Vol.45, No.2 (通巻 250 号, p.63-68 (2019)).
- 2) 内閣官房, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (accessed April.7 2025), <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryoul.pdf>
- 3) 三好達也, ソーラー充電システム~プリウスはついに太陽光を走るエネルギーに~, 日本 AEM 学会誌, Vol.25, No.4, p.19-22 (2017).
- 4) R. Peibst, et al., Demonstration of Feeding Vehicle-Integrated Photovoltaic-Converted Energy into the High-Voltage On-Board Network of Practical Light Commercial Vehicles for Range Extension, Solar RRL, 6, 2100516 (2022).

## 著者略歴



水野 英範 (ミズノ ヒデノリ)

2010 年 University of Alberta, Department of Chemistry Ph.D. 同年, 産総研 (つくば) 入所, 太陽電池デバイス開発 (結晶シリコン, 特に III-V 族やペロブスカイトとの多接合太陽電池) の研究に従事。2014 年より産総研福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) を拠点として活動。現在, 再生可能エネルギー研究センター太陽光システム研究チーム 上級主任研究員。2021 年より PVEV の研究に従事。