

EV を活用した運行管理とビルのエネルギー マネジメントの連携システムの研究

Linkage System for Fleet Management and Building Energy Management Using EVs

井 出 達 也¹

Tatsuya IDE

中 川 慶 哉¹

Yoshiya NAKAGAWA

本 田 和 正¹

Kazumasa HONDA

田 中 拓 也¹

Takuya TANAKA

王 潜 隆¹

Senryu OH

要 旨

本研究はEVを蓄電池として活用し、EV・ビル間で効率的に電気を融通するエネルギーマネジメントによって低投資で電気代、及びCO₂排出量削減をおこなうシステムの社会実装を目指す。本稿では、運行管理システム・エネルギーマネジメントシステム、そして二つのシステムをバッテリーシェアリングマネジメントシステムによって連携させ、実証実験によって検証した電気代低減効果とCO₂削減効果について紹介する。

ABSTRACT

This research targets the social implementation of a system that helps to reduce electric utility costs and CO₂ emissions with low investment by utilizing EVs as storage batteries and performing energy management that efficiently shares electricity between EVs and buildings. This paper introduces a fleet management system, an energy management system, and a battery sharing management system that links these two systems, and presents the effects to help reduce electric utility costs and CO₂ emissions as verified by a proving test.

1. ま え が き

第26回気候変動枠組条約締約国会議(COP26)において、世界の平均気温上昇を工業化以前に比べて1.5℃に抑えることを追求することが合意された⁽¹⁾。

2020年度の日本のCO₂排出の17.7%を運輸部門が占める⁽²⁾。そのCO₂を減らすための手段としてEV導入があるが、家庭用蓄電池等と比べて大容量バッテリーを備えるEVであるものの、ガソリンと比較してエネルギー密度は小さいため、一般的に航続距離が短くなる傾向にある。このため従来と同じ運行业務をこなす、CO₂削減効果を大きくするには走行時の必要エネルギーの高精度な見積りや、経路の最適化などによって輸配送効率を更に向上させることが必要である。

また、現在ESG経営への関心が高まっており、環境経営指標が企業価値に直結すると言われ、RE100という企

業が自らの事業の使用電力を100%再生可能エネルギーで賄うことを目指す国際的なイニシアティブがある^{(3),(4)}。再生可能エネルギーの一つである太陽光発電(PV)を建物に設置することでクリーンな電力を発電することができるが、天候に左右されるので、より有効活用するには発電された電力のマネジメントをする必要がある。例として、PVと定置型蓄電池とエネルギーマネジメントシステム(Energy management system: EMS)を導入することがあるが、PV発電される電力量を貯める分の蓄電池を導入しようとする、蓄電池そのものが高価なため、大きな費用負担になってしまう⁽⁵⁾。そこでEVがもつバッテリーを活用し、定置型蓄電池を購入する必要がなく、導入費用の負担を減らせると考えた。

EVを移動用とビルの蓄電池として併用するためには、運行の経路最適化だけではなく、車載バッテリーの電力マネジメントを含めた配車計画の最適化が課題となる。

¹ 先進パワーユニット・エネルギー研究所

E-mail: tatsuya_01_ide@jp.honda

2. 開発のねらい

Honda ではかつてより EV を利用した一般家庭向けのエネルギー管理システム開発 (Home Energy Management System: HEMS) をおこなっている⁽⁶⁾。HEMS では、家の電力需要予測と PV 発電予測をおこない、EV の在宅予測をおこなうことで、EV を家庭用の蓄電池としての利用を実現している。

事業者向けに HEMS と同様の価値を提供しようとした場合、電力基本料金設定の違いや、使用する EV 台数が一般家庭に比べて増え、行先も日々変わることによる EV の利用管理の複雑さに対応する必要がある。そこで Honda で開発した HEMS を元にしつつ、Fig. 1 に示すような EV を利用する EMS を新たに開発した。

事業者向けの電力料金プランでは、基本料金はピーク電力によって設定される⁽⁷⁾ため、本開発においては Fig. 1 の左側に示すように、ピーク電力を最小化するシステムをねらいとした。

次に EV の数が複数台に増えることについては、Fig. 1 の右側に示すように、EV がガソリン車に比べて航続距離が短いことを考慮し、事業者ごとの EV の使い方に応じた運行管理システムを開発する必要がある。

さらに EMS と運行管理システムを連携させて EV のバッテリーをピーク電力カットに使用する場合、台数や EV バッテリーの容量に限りがあるため、EV の移動としての利用とピーク電力カットが同時に起こえない場合が生じる。この課題を解決するために、Fig. 1 の中間に示すような、EV 利用とピーク電力カットのいずれかを優先すべきか判断するための機能を開発する必要がある。

以上の内容を整理し、下記三つの機能を開発した。

- (1) 複数の EV を効率よく利用する運行管理システム
- (2) 電力基本料金削減を目的とした EMS
- (3) EMS と運行管理システム間を時間とエネルギー的に両立するバッテリーシェアリングマネジメントシステム

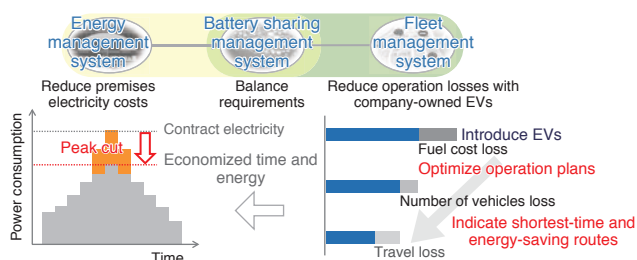


Fig. 1 System schematic and aim

3. 開発システム概要

Fig. 2 に本開発システムの機能配置図を示す。図の左から右にかけて本システムの三つの機能が動作する際のフローを説明すると、前日にユーザーが EV を使用する時間と目的地を入力する。運行管理システムによって目的地までの最適ルートと走行時に必要な消費電力量が算出される。

並行して EMS で翌日のビルの電力消費予測と PV 発電予測をおこない、ビルの電力消費予測から PV 発電予測を差し引いた購入電力予測結果が算出される。バッテリーシェアリングマネジメントシステムでは EMS によって予測されたビルの購入電力予測情報とビルの目標契約電力から、ピークカットに必要な車両の台数・時間を算出し、計画調停機能によってピークカット用の車両計画の割り付けをおこない、移動としての利用と、ピークカット用の利用が両立するように調整し、配車計画の作成が完了する。

当日、ユーザーが使う際は、Fig. 2 の右側に示すように、移動としての利用時は運行管理システムで計算された消費エネルギーが最小となるルートをナビ上に表示する。またピークカット用に確保された EV は EMS によって充放電制御をおこなうことでピーク電力を抑えることが可能になる。運行管理システム、EMS、バッテリーシェアリングマネジメントシステムについて順に詳細を説明する。

3.1. 運行管理システム

運行管理システムでは移動用に走行時の消費エネルギー予測と、車両予約の管理の二つの機能があるが、ここでは走行時の消費エネルギー予測について説明する。消費エネルギー予測は、目的地までの交通情報や気象情報を考慮して最短時間・最小エネルギールートを決め、必要なエネルギー量を演算する。

走行時に必要なエネルギー量を演算するために車両固有の走行抵抗やパワートレイン効率、ナビ情報と連携して作成した速度モデル、補器負荷予測モデル、回生モデルの四つの要素に分け、物理的な計算モデルを構築した。

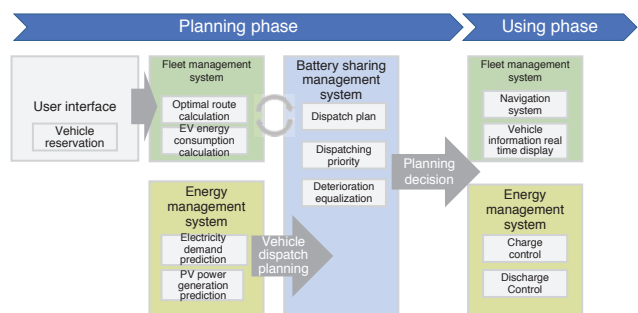


Fig. 2 System function layout

3.2. EMS

EMS には、事前にビルが購入する電力を予測する機能と、当日にビルへの放電および EV への充電をそれぞれ制御する機能の三つの機能が搭載されている。それぞれの機能の概要を説明する。

(1) 購入電力予測機能

事前に購入電力を定量的に予測し、契約電力を超える場合には EV をピークカット用に配車する必要がある。特に PV 発電をおこなっている場合は、電力使用量だけでなく、PV による発電量も予測した上で、その差分として購入電力を求める必要がある。本システムでは、入力情報として天気情報、電気使用実績、PV 発電実績などの過去の統計データを元にして特徴量を抽出して、予測モデルを訓練する。実際に購入電力予測をする際は訓練済み予測モデルを使い、Fig. 3 に示すように、当日の天気予報の結果を入力することで購入電力の予測を演算している。

(2) 放電制御（ピークカット制御）

バッテリーシェアリングマネジメントシステムによって立案された配車計画にもとづき、EV はピークカットのために充放電器に接続された状態でビルに停車されている。EMS では充放電器を制御するコントローラ（EMS コントローラ）から指示を与えて、EV に充放電をさせている。

契約電力は 30 分単位の電力のピーク値によって決まるため、EMS コントローラは、1 分ごとに電力を取得し、30 分間の平均値を算出している。この平均値が目標契約電力を超過している場合に、あらかじめ配車された EV の放電をおこなう。

また EMS コントローラは、ピークカットの成功率を高めるために、EMS コントローラが指示を出してから充放電器が制御されるまでの制御応答遅れを考慮した放電制御を実施している。

(3) 充電制御

EMS コントローラは 30 分積算電力需要を計算しつつ複数の充放電器を制御することで、電力需要が目標契約電力を超過しないように EV の充電をおこなう。

3.3. バッテリーシェアリングマネジメントシステム

Fig. 4 にバッテリーシェアリングマネジメントシステム

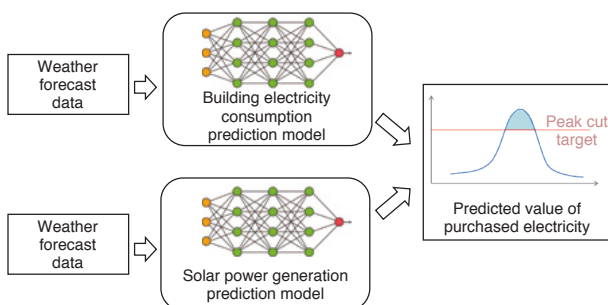


Fig. 3 Model for predicting purchased electricity

の働きについて模式的に示す。上図はシステム動作前の車両予約状況を示しており、予約者が任意の車両を予約している状態である。下図は EMS によるピークカット予約が反映された後の車両予約状況であり、元々あった運行予約は別の車両に配車され、運行予約とピークカット予約を両立できるように予定の組み換えをおこなっている。また、予約状況に応じた配車計画の最適化やバッテリーの劣化などを考慮した優先順位付けをおこなっている。

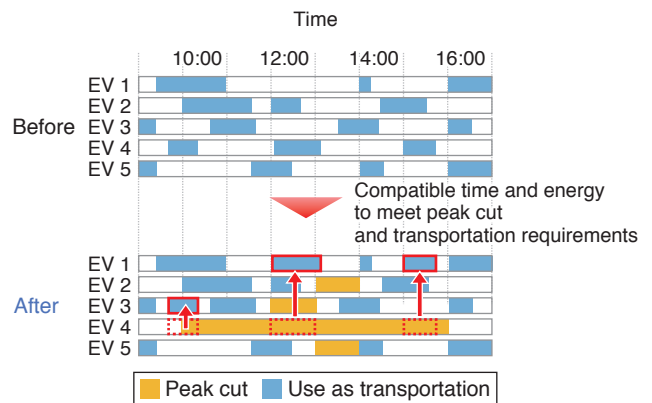


Fig. 4 Battery sharing management system

4. 実証実験

Fig. 5 に示すように実証実験は 2023 年 4 月現在神奈川県小田原市にある株式会社鈴廣蒲鉾様本店（以下、鈴廣）にご協力頂いている。鈴廣は環境活動の一つとして、かねてから PV 発電などの再生可能エネルギー設備の導入や、消費する年間の一次エネルギーの収支がゼロになることを意図する（Zero Energy Building: ZEB 化）建物に取り組んできた⁽⁸⁾。エネルギーの地産地消によるカーボンニュートラルの実現を目指す鈴廣と、EV を活用したエネルギーマネジメントの実用化を目指す本研究の方向性が一致したことから実証実験が開始した。今回の実証実験は鈴廣の本社建屋を中心とし、小田原市内とその周辺を営業車として日常的に利用して頂いている。

Fig. 6 に実証実験のシステム概要を示す。元々ガソリン車と HEV 車 5 台で運用していたものを、EV である Honda e を 5 台、充放電器を 5 台設置した。また 3 章で示したシステムのユーザーインターフェースとして、自動的に配車予約される Web アプリや、ビルの電力情報や車両情報を表示させるダッシュボードを開発した。

Fig. 7 に実証実験開始前に調査した鈴廣のガソリン車と HEV 車の使用状況の結果を示す。実線が各時刻に対する EV の移動利用台数の中央値を表し、水色部が中央値から標準偏差の 3 倍 (3σ) を加えた範囲を表す。

車両の使用は 10:00 頃から 15:00 頃までが最大となり、

その時間帯での中央値で2台以下だが、ばらつきが大きい。一方で5台を同時に移動用に使う頻度は低いことが分かった。このことから、 3σ のばらつきをバッテリーシェアリングマネジメントシステムにより吸収できると考え、ピークカットに使える車を3台分と想定し、充放電器の放電能力を考慮して15 kWを目標とした。

このピークカット目標値からシステム全体の目標を以下のように定めた。

- ・ ピークカットと空調を協調制御する分を考慮し、電気代基本料金削減効果 20% (20 kW)
- ・ EV 化と走行ルート改善による CO₂ 削減効果 60%

4.1. システム動作

構築したシステムの具体的な効果を示すため、一例として Fig. 8 に、ある 1 日のビルの電力状況を示す。黄色い線



Fig. 5 Suzuhiro office building and EVs used for test

がEMSで予測されたビルの購入電力である。この電力予測が目標契約電力を超える時間帯にピークカットに必要な車両台数を演算する。

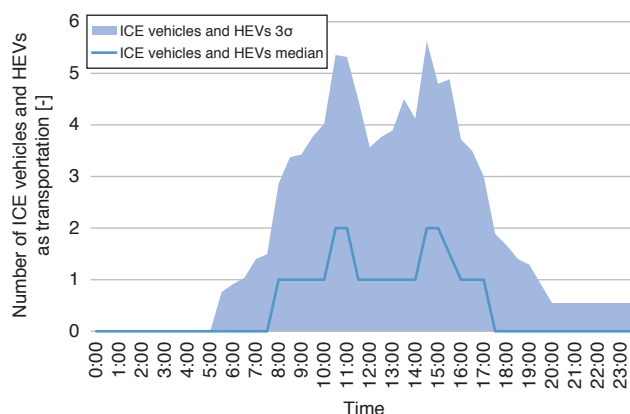


Fig. 7 Operation status of 5 ICE vehicles and HEVs as transportation before start of test

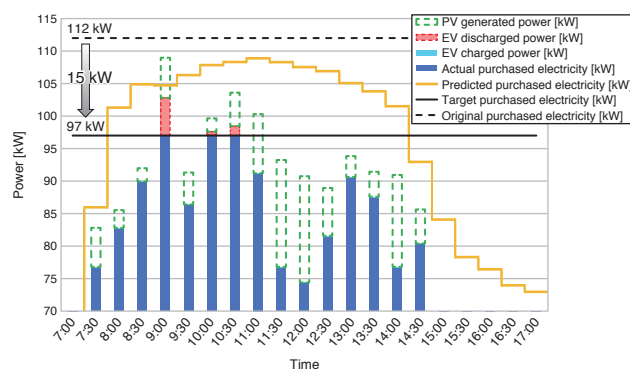


Fig. 8 Office building power status

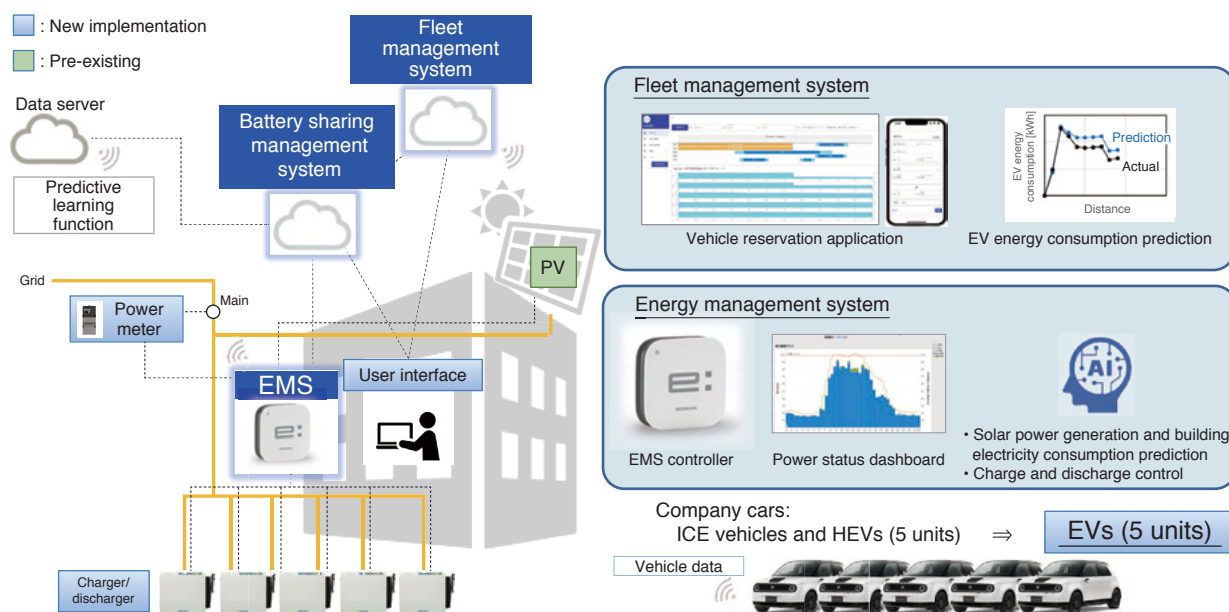


Fig. 6 System configuration of proving test

この日は購入電力の予測値が目標契約電力を大きく上回ったため、特に 8:00 から 14:00 までは Fig. 9 の配車計画に示すように 3 台分のピークカット用の EV が必要と算出された。一方で、移動用に 6 件の予約が入り、バッテリーシェアリングマネジメントシステムによって計画が立案され、ピークカット予約と運行予約がなされた。Fig. 9 の赤枠が実際に EV が使用された時間帯を示しており、計画どおりの時間帯にピークカット用に車が使われ、運行予約どおりの時間帯に移動用に車が使われていることが分かる。

また Fig. 8 に示しているようにビルの電力ピークが発生したタイミングで EV から放電させて (図中赤枠)、実際の電力 (同青棒) を目標契約電力 (同黒線) 以下にすることができた。

以上のように結果から予測、配車計画、充放電器の制御が正常に作動し、本システムは想定通り機能した。

4.2. バッテリーシェアリングマネジメントシステムの有効性確認

本システムの導入によって、5 台の EV がピークカットと移動の二つの用途で調整できたかを評価した。移動としての利用について、年間を通しての結果を Fig. 10 に示す。実証試験を始める前に、移動としての利用状況を調べた際と同様の傾向を示しており、EV に代わっても使われ方は大きく変わっていないことが分かる。Fig. 8 に示したように、8:00 から 14:00 時は購入電力も大きくなる時間帯であり、この時間帯に移動とピークカットの二つの用途を両立

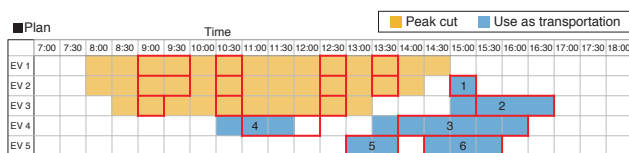


Fig. 9 Vehicle dispatch plan and actual use

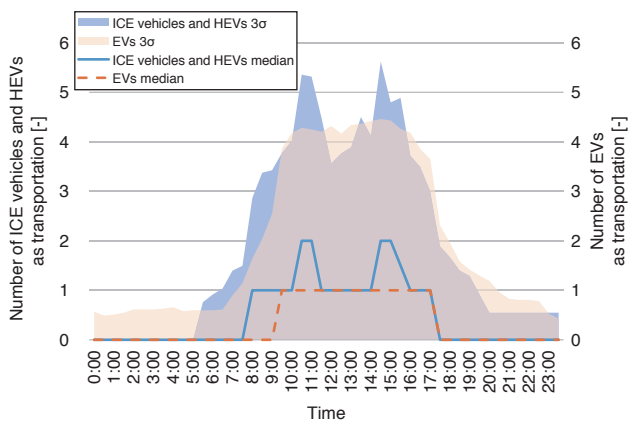


Fig. 10 Operation status of 5 EVs as transportation during test

させる必要がある。

Fig. 11 に年間を通してピークカットの予約がされた日のみ抽出し、1 日の最大配車台数の結果を示す。青が EV の運行予約で黄色が EV のピークカット予約を示す。赤がガソリン車・HEV 車の運行予約がされたことを表している。ピークカット予約がされた年間 84 回のうちに 82 回はバッテリーシェアリングマネジメントシステムが有効に機能し、EV 5 台で移動とピークカットの両立が達成できた。

4.3. 電気料金削減効果と CO₂ 削減効果

下記の条件で、本システム導入による電力料金および CO₂ 削減に対する効果を見積もった。

- ・基本電気料金単価 1,470 [yen/kW]
- ・エネルギー価格:ガソリン 163 [yen/L], 電力 20.3 [yen/kWh]
- ・CO₂ 原単位:ガソリン 2.322 [kg/L], 電力 0.434 [kg/kWh]

1 年間の実証実験を通じてピークカットは夏期に 5 日、冬期に 7 日の合計 12 日発生した。ピークカット発生 12 日間のうち、EV からの放電により 1 日最大 7.4 kW 削減、12 日間のべ 51.5 kWh 削減した。

これらを踏まえると Fig. 12 に示すように、本システム導入によって、20% の電気代の基本料金が削減され、目標の 20% を達成した。またガソリン車を EV に置き換え、走

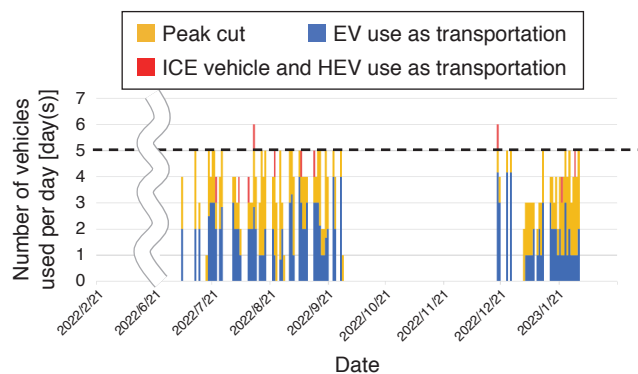


Fig. 11 Highest number of dispatched vehicles per day

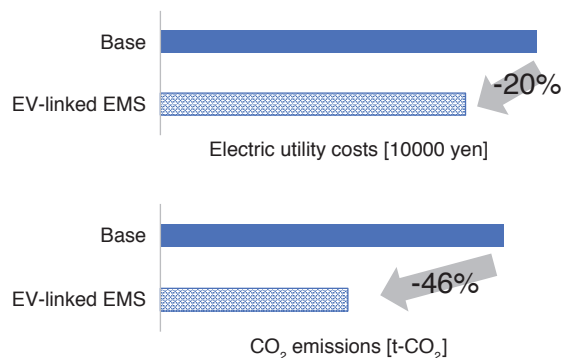


Fig. 12 Electric utility cost reduction effect and CO₂ emissions reduction effect

行ルートを改善したことで、CO₂ 排出量を 46% 削減する効果を得た。CO₂ 排出削減量が目標の 60% に届かなかった要因として、多人数乗車をしたい場合や物の運搬をしたい場合に、実証車の Honda e では用途に適さないケースが一定割合あったため、予備のガソリン車・HEV 車を使用したためである。

また鈴廣は PV 施設によって発電されたクリーン電力を選択的に EV に充電する制御を加えることにより、社有車の走行時に排出される CO₂ を 98% 削減できるという試算結果もでている。

4.4. 今後の取り組み

今後の対応として、ビルの電力予測精度の向上や、ビルの電力や車両のリアルタイムのデータを利用し EMS と運行管理をより連携させて、ピークカットのための配車時間をさらに減らし、稼働率を高める取り組みをおこなっていく。

5. まとめ

運行管理システムとエネルギー・マネジメントシステムの連携システムを開発し、1 年間の実証実験をおこない以下の結果を得た。

- (1) 本システムの導入により、EV を移動用とビルのエネルギー・マネジメントと両立することができる実証結果が得られた。
- (2) EV を 5 台分で年間通じてピークカットによる電気代の削減効果として 20%, EV 化と走行ルート改善によって 46% の CO₂ 削減効果を得た。

参考文献

- (1) <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230418183423/https://ukcop26.org/the-glasgow-climate-pact/>
- (2) <https://www.env.go.jp/content/900442320.pdf>
- (3) <https://www.there100.org/about-us>
- (4) <https://japan-clp.jp/climate/reoh>
- (5) https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/pdf/004_04_00.pdf, p. 53
- (6) 津野康一, 小谷尚史, 土橋学, 小出文隆, 福重貴浩, 有吉斗紀知: Honda Smart Home System の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 26, No. 1, p. 11-16
- (7) https://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan06.html
- (8) <https://www.kamaboko.com/future/renewable/>

■ 著 者 ■



井出達也



本田和正



王 潜隆



中川慶哉



田中拓也