

# スマートグリッド導入効果検討を目的とした エネルギーライフログDBの構築

茨木 隆兵<sup>1,a)</sup> 石田 卓也<sup>1,b)</sup> 小池 風樹<sup>1,c)</sup> 富井 尚志<sup>1,d)</sup>

## 概要:

近年 IoT 技術の発達により、建物の需要電力、自動車の走行ログ、および、再生可能エネルギーの発電ログなどのエネルギーに関する記録(エネルギーライフログ)を容易に取得することが可能となった。本研究では、これらのログを、時間粒度を統一して蓄積する統合データベースを構築し、スマートグリッドにおけるエネルギーバランスのシミュレーションに適用する。本稿では、実データを用いた応用事例として、季節や年単位でのエネルギーバランスの分析や、EVの充放電タイミングを動的に変更したときの効果の導出などを行い、統合データベースがスマートグリッド導入時の意思決定に有用であることを示した。

## 1. はじめに

近年、IoTの推進やストレージ価格の低下により、日常生活の中から収集されるあらゆるデータ、すなわちライフログを容易に収集・活用できるようになった。また自治体の取り組みなどによってオープンデータ化が進み、公共情報について多様なデータを扱えるようになった [1]。しかし、ライフログやオープンデータは多量でかつ多様であるという特性から扱いが難しく、これらを管理する「リアルデータのプラットフォーム」を創出・発展させることが重要視されている [2]。

一方で、近年、各国がCO<sub>2</sub>排出削減を掲げ、様々な取り組みがなされている [3]。しかし、現代の文明の維持・発展のためにはエネルギー消費は避けられない。そのため、CO<sub>2</sub>排出を抑制しつつエネルギー消費を行う「持続可能な社会」を実現する必要がある。具体的な方法の1つとして、再生可能エネルギーを有効活用することが挙げられる。しかし再生可能エネルギーの発電は気象に依存し不安定であるため、既存の電力システムへの影響を考慮する必要がある。これらのことからエネルギーの需要と供給をバランスさせることの重要性が高まっている。これに対して、建物と再生可能エネルギーを構成要素として地域内で電力の地産地消をするスマートグリッドの導入と実証実験が各地

で行われている。また、エネルギーバランスを実現する媒体として電気自動車(EV: Electric Vehicle)が注目を集めている。EVは非走行時に電力システムとの間でエネルギーを融通すること(V2G: Vehicle to Grid)ができる。例えば不安定な再生可能エネルギーの発電電力量を充電することで電力の地産地消に貢献し、充電した電力を社会の中で最も需要の高いピーク時に給電することでピークカットに貢献できる。このことから、V2G技術は車での通勤を行うようなスマートグリッドに適用することが可能であると考えられる。

本研究では、ライフログとオープンデータを組み合わせるスマートグリッド社会の予想に役立てられるようなデータベース構築を試みる。これをエネルギーライフログDBと名付ける。また建物と再生可能エネルギーに加え、EVを有効活用するスマートグリッドを想定環境とし、エネルギーライフログDBを用いてスマートグリッドの導入効果のシミュレーションを行うことで有用性を評価する。グリッドの需要電力や発電電力、社会的な電力需要は、その場所の人の動きや気象状況によって日々異なり、汎用的なDBモデルでの分析は難しい。本稿ではエネルギーライフログDBを用いることで、「そこだけ」に特化した分析が行えることを示す。有用性の評価としては、エネルギーバランスという観点に着目し、実データを用いた複数の応用事例によって定量的に評価する。

## 2. 関連研究

エネルギーのバランスは社会的な課題となっており、様々な取り組みがされている。Huangら [4]は太陽光発電

<sup>1</sup> 横浜国立大学  
Yokohama National University  
a) ibaraki-ryuhei-gh@ynu.jp  
b) ishida-takuya-vt@ynu.jp  
c) koike-fuki-xv@ynu.jp  
d) tommy@ynu.ac.jp

(PV:PhotoVoltaics) と蓄電池を持つ複数の家庭で構成されるスマートグリッドを提案し、スマートグリッド内で発生する余剰電力を家庭間でやりとりすることで、電力供給元からの電力コストを 20%以上削減できることを示した。馬場ら [5] は家庭内の IoT 化された電化製品を中央制御することで発電電力量を有効活用する手法を提案し、発電余剰電力量を約 10.4%緩和可能であることをシミュレーションから示した。Simm ら [6] は再生可能エネルギーの発電電力と需要電力をバランスさせることを目的に、ユーザの電力消費意識を改善させるシステムを提案し、電力系統が独立した島で実証実験を行った。

また近年、省エネルギー実現の媒体として EV が注目されており、EV を活用したエネルギー分野への取り組みがなされている。EV は空間的、時間的に移動するバッテリーとしての役割を生かし、非走行時にバッテリーに充電した電力を電力網 (Grid: V2G) に提供することができる。V2G の導入効果の検討として Kempton ら [7] は、V2G をアメリカの電力市場に投入した際にどの程度の効果と利益が得られるのかの検証を行った。Jansen ら [8] は複数の EV 群を 1 つの仮想的な発電所としてみなす EV-VPP を提案し、V2G を投入した際に V2G が果たす役割について論じた。これらを根拠として V2G 技術を活用した様々な研究が行われている。Brush ら [9] は、社会的に電力削減要求の高いピーク時間に、15 家庭分の実車 EV を用いてピークシフトをした時の経済効果のシミュレーションを行い、月平均 \$13.58 の電気代が節約可能であることを示した。Lam ら [10] は EV を用いることで地方の大規模な風力発電所の余剰電力を都市部へ電力移動させる手法を提案し、シミュレーションから実現可能であることを示した。日本国内の V2G 関連の研究に目を向けると、横浜市・豊田市・けいはんな・北九州市の 4 都市では、産官学が一体となってスマートシティに関する評価実験を行った [11]。また岡山県立大学では、電力変換を極力減らした「スマート PV & EV システム」を提案し、EV を使用したことによる CO<sub>2</sub> の削減効果をシミュレーションで確認した [12]。

また、交通網における走行ルート最適化や運転者へのフィードバックによって、走行時の消費電力をさらに省電力化可能であることが示されている [13][14]。中でも Kurtulus ら [15] は、EV の走行経路最適化によって、消費エネルギーだけでなくバッテリーの損耗の削減も果たした。こういったことから、V2G 利用可能な電力量は今後も増加することが考えられる。

### 3. 本研究の想定環境及び課題

本研究では、日常生活の中から収集されるエネルギーに関する記録 (エネルギーライフログ) を組み合わせてスマートグリッド社会の予想に役立てられるようなデータベース構築を試みる。このデータベースをエネルギーライフログ

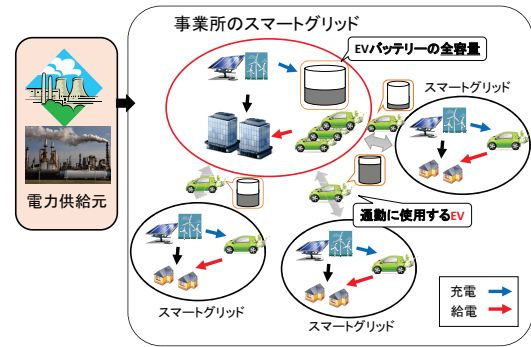


図 1 想定するスマートグリッド概略図

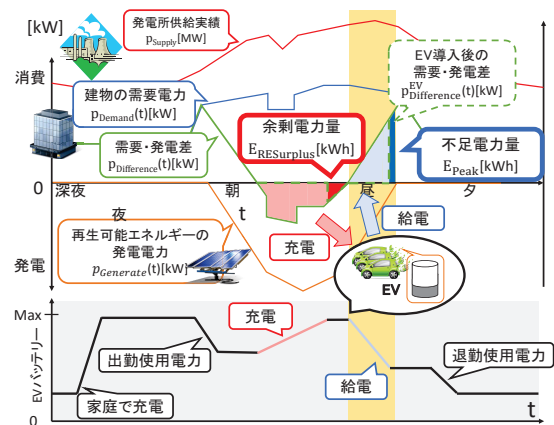


図 2 スマートグリッドの 1 日の電力量の推移

DB と名付ける。本稿では、エネルギーライフログ DB に入力されるデータを精査しその有用性を検証する。本章では、そのための前提となるスマートグリッドの想定環境について説明する。

本研究で想定するスマートグリッドの概略を図 1 に示す。家庭・地域のスマートグリッドには EV が備えられており、日中には通勤のために事業所に集まる。事業所のスマートグリッドには、電力負荷としての建物と PV や風力発電などの再生可能エネルギー発電施設を備えている。それぞれ事業所には V2B 設備が備わっており、駐車している EV をバッテリーとして利用し充電電が可能である。EV は空間を移動するバッテリーの役割を持つだけでなく、夜間から昼間へ、のようにエネルギーを時間的にも移動させる役割を持つ。EV にピーク時間外に充電したエネルギーを昼間の時間帯には需要側に給電することによって、EV はエネルギー消費のピークシフトに貢献する。加えて、天候に依存し不安定な再生可能エネルギーが需要を上回って発電したときに、EV は発電電力の一時預かりに寄与する。これを実現するためには、電気エネルギーの料金制度や売買手法など、スマートグリッド社会に対して新たな制度の制定を必要とするが、これは本研究では対象外とする。

次に、事業所のスマートグリッドにおける建物の 1 日の需要電力と再生可能エネルギーによる発電電力、EV バッ

テリーの電力推移を図 2 に示す。仮に再生可能エネルギーのみを導入した場合、再生可能エネルギーによる発電（橙色実線： $p_{Generate}(t)$ ）を建物に給電することでスマートグリッド内の需要電力（青色実線： $p_{Demand}(t)$ ）は需要・発電差（緑色実線： $p_{Difference}(t)$ ）に変化する。再生可能エネルギーは天候により発電量が変動するため、 $p_{Difference}(t)$  は時間によって正にも負にもなる。 $p_{Difference}(t) < 0$  の時は再生可能エネルギーの発電余剰電力が発生している。

しかしスマートグリッド内で発電された電力は、エネルギーの移動コストや外部送電網の維持コストを考慮すると可能な限りスマートグリッド内で消費するのが望ましく、発電余剰電力の存在は無視できない。また社会的には、電力ピーク時間帯（ $t \in \mathbf{T}_{Peak}$ ）の需要電力を下げるのが要求されている。そこで  $p_{Difference}(t) < 0$  の場合には EV バッテリーの空き容量へ充電する。このとき、EV バッテリーの空き容量が重要な資源となる。例えば、EV バッテリーの空き容量を十分確保するためには、EV への充電量をあらかじめ制御しておけば良い [16]。このとき EV バッテリーの空き容量で受け取れる電力量（桃色部）を「充電可能電力量」と定義する。次に、社会需要のピーク時間帯には EV から給電を行うことで需要の一部を補い、ピーク需要の平滑化を行うことができる。このとき使われる電力は、余剰電力および出勤時に使用しなかった EV の電力である。EV バッテリーからの給電によって削減可能な電力量（水色部）を「給電可能電力量」と定義する。このように EV と電力をやり取りすると、需要・発電差は緑破線（ $p_{Difference}^{EV}(t)$ ）に変化する。

ここで本研究において解決すべき課題を以下に示す。

- (1) 不安定な再生可能エネルギーの余剰を出さないこと
- (2) 需要側のピーク電力を抑えること
- (3) 上記の二つを同時達成するために EV を移動するバッテリーとして活用すること

これらを実環境から収集したデータを基にして、シミュレーションでの分析・評価を行うためのデータベースプラットフォームを構築することが本研究の目的である。評価量としては以下を用いる。

- 余剰電力量

$$E_{RESurplus} = \begin{cases} \sum p_{Difference}^{EV}(t) \\ (p_{Difference}^{EV}(t) < 0) \end{cases}$$

- 不足電力量

$$E_{Peak} = \begin{cases} \sum p_{Difference}^{EV}(t) \\ (t \in \mathbf{T}_{Peak} \wedge p_{Difference}^{EV}(t) > 0) \end{cases}$$

## 4. エネルギーライフログ DB の構築

本章では、エネルギーライフログ DB の設計について述べる。データベースには以下のログを蓄積する。

- スマートグリッドの需要電力量ログ

近年企業や教育機関の多くは所有するビルの電力需要を日々取得し公開している\*1。このように日々蓄積されたその場所の需要電力量ログを用いることで、グリッド全体で使われた需要電力量を求めることができる。

- EV のエネルギー消費推定ログ

先行研究である ECOLOG によってスマートグリッドに所属する自動車を EV に置き換えた場合、いつ、どの車に、どれくらいの充電ができるか、帰宅するためにどれだけの電力を残す必要があるのかをあらかじめ計算しておくことができる [17]。サンプリング間隔は 1 秒とした。

- 再生可能エネルギーの発電推定ログ

本研究では PV に焦点を当てて発電量を予想する。PV の月間発電量推定については日本工業規格で推定方法が制定されており、「太陽電池アレイ出力」、「日射量」、「気温」から求めることができる\*2。その場所の気象データから算出することで PV の発電推定ログを蓄積する。

- 電力供給元の供給実績ログ

日本の各電力会社は電力使用実績を公表している。これにより削減すべきピーク時間帯の導出が可能となる。前述した 4 つのログはデータの取得方法によってサンプリング間隔が様々である。スマートグリッドの導入効果を導出するためには、需要・発電差の導出やピーク時間帯の決定が必要である。エネルギーライフログ DB は蓄積したログに対してクエリを発行することで、これらの決定を行うことができる。例えば、7:00~13:00 において PV の発電電力が需要電力を上回っており、余剰電力が発生する場合 EV に充電を行うことができる。また、14:00~16:00 において電力供給元の需要電力がピークである場合、EV から建物に給電を行う必要があるといったような電力の移動も考慮した分析を、集約クエリと時点をキーとした検索によって可能とする。

## 5. エネルギーライフログ DB の有用性評価

本章では、複数の応用事例によってエネルギーライフログ DB の有用性の評価を行う。本稿では有用性の評価として横浜国立大学の実データを用いる。

### 5.1 ライフログ・オープンデータの取得

本節では、評価に用いるために実際に取得したライフログ・オープンデータについて述べる。

\*1 横浜国立大学施設部，入手先：  
(<http://shisetsu.ynu.ac.jp/gakugai/shisetsu/>) (2018/07/30  
アクセス)

\*2 日本工業標準調査会：JIS C8907:2005 太陽光発電システムの発電電力量推定方法。

表 1 自動車の消費電力ログに関するパラメータ設定

パラメータ	設定値	備考
台数	559 台	
置き換えシミュレーションのための EV	初期型日産 LEAF	バッテリー容量 24kWh
仮想消費エネルギー	0.67kWh～7.76kWh	一様乱数により割り当て

表 2 PV 発電量算出のための気象データの取得方法・システムの設定条件

項目	取得方法・設定条件
アレイ出力	系統連系形 PV システムを想定する。設置方法は架台設置型とし、アレイ素材には多結晶シリコンを選択した*5。
日射量	横浜市環境創造局のホームページから 1 時間あたりの水平面日射量を取得*6。NEDO の日射量データベース*7と同様の手法を用いて PV の設置方位を真南、傾斜角 30 として傾斜面日射量を推定。
気温	気象庁のホームページ*8より取得。

### スマートグリッドの需要電力量ログ

横浜国立大学の学内限定で公開されている電力データを用いた。これは敷地を 17 区画に分割した電力データで、2011 年 10 月以降継続的に収集されている。

### EV のエネルギー消費推定ログ

ある 1 日において横浜国立大学のキャンパスを出入りする全ての普通乗用車の入退構時刻を記録した。これらの自動車に対して個々に仮想の入構・退構時消費エネルギーログを割り当てた。仮想の消費エネルギーログに関するパラメータを表 1 に示す。さらに EV の充電や給電を行う装置として日産 LEAF to Home\*3を想定し、その仕様から充電速度の上限を 8.55kW、給電速度の上限を 6.0kW、充電効率を 90%、給電効率を 85%とした。

### 再生可能エネルギーの発電ログ

PV の発電量の推定に必要なオープンデータの取得方法、システムの設定条件を表 2 に示す。また PV を設置する場所は横浜国立大学の建物の屋上 (61355m<sup>2</sup>) とし、建物の屋上面積は横浜国立大学の公開している建物情報から取得した\*1。

### 電力供給元の実績ログ

横浜国立大学が属する電力網として、東京電力が公開しているでんき予報\*4を用いた。また本稿ではピーク時間帯の定義は、1 日の最大電力の時間帯 1 時間に対してその前後の 1 時間を考慮した 3 時間とした。

\*3 日産: LEAF to Home とは, 入手先: (<http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>) (2018/07/30 アクセス)

\*4 東京電力パワーグリッド: でんき予報, 入手先: (<http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html>) (2017/11/08 アクセス)

## 5.2 有用性評価

本節では、エネルギーライフログ DB を用いた 2 つの応用事例を示す。

### 年単位でのエネルギーバランス分析

エネルギーライフログ DB に蓄積されたログを用いることで、PV・EV の導入量ごとのエネルギーバランスを評価することができる。日ごとのエネルギーバランスのヒストグラムを図 3 に示す。ここでは 3 章で述べた  $E_{RESurplus}$ 、 $E_{Peak}$  にて評価する。画面の左は  $E_{RESurplus}$ 、右は  $E_{Peak}$  を示す。グラフの横軸は削減できず残ってしまった電力量、縦軸がその日数を示す。また、グラフの色分けは季節を表しており、緑色が春 (3 月～5 月)、赤色が夏 (6 月～8 月)、橙色が秋 (9 月～11 月)、青色が冬 (1 月, 2 月, 12 月) を示す。

この分析では山の高さや分布によって、各パラメータにおける季節ごとの特徴や変化を確認できる。ここで  $E_{RESurplus}$  と  $E_{Peak}$  は 0 になることが最も望ましいことから、全体として分布の山がより左に高くあるほど良いものとする。また、グラフ下部の日数は 1 年の中で各電力量が 0 となった日数を表す。これにより、パラメータを変化させた際のエネルギーバランスを視覚的に確認できる。

次に各パラメータごとの評価を行う各電力量を 0 にすることができた日数のヒートマップを図 4、図 5 に示す。PV を屋根面積の 100% に導入すると需要電力量が削減され、 $E_{Peak} = 0$  となる日を 0 日から 36 日へと増やせるが、トレードオフとして  $E_{RESurplus}$  が発生してしまう。しかし、ここに EV を導入し有効活用することで、 $E_{RESurplus} = 0$  となる日が 131 日から 176 日に、 $E_{Peak} = 0$  となる日は 36 日から 65 日へと増加する。このようにエネルギーライフログ DB を用いることでスマートグリッドを導入する際の適切なパラメータの分析、検討ができる。

### 動的充放電計画

スマートグリッドにおけるエネルギーバランスを考えたとき、季節や気象に依存してグリッドの需要電力量や PV の発電電力量、社会的な電力需要が異なることから、年間を通じて需要と供給をバランスさせることは難しい。そこで我々は日ごとに充放電時間を変えることができる EV に着目し、各 EV の「出発時の充電量」と EV1 台ごとの「時点ごとの充電量」、「時点ごとの放電量」の 3 つを事前に計画することを提案し、動的充放電計画と名付けた [16]。

\*5 小西正暉, 鈴木竜宏, 蒲谷昌生: 太陽光発電システムがわかる本, オーム社出版 (2011)。

\*6 横浜市環境創造局, 入手先: (<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/>) (2018/07/30 アクセス)。

\*7 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 日射量データベース, 入手先: (<http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>) (2018/07/30 アクセス)。

\*8 気象庁, 入手先: (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) (2018/07/30 アクセス)。

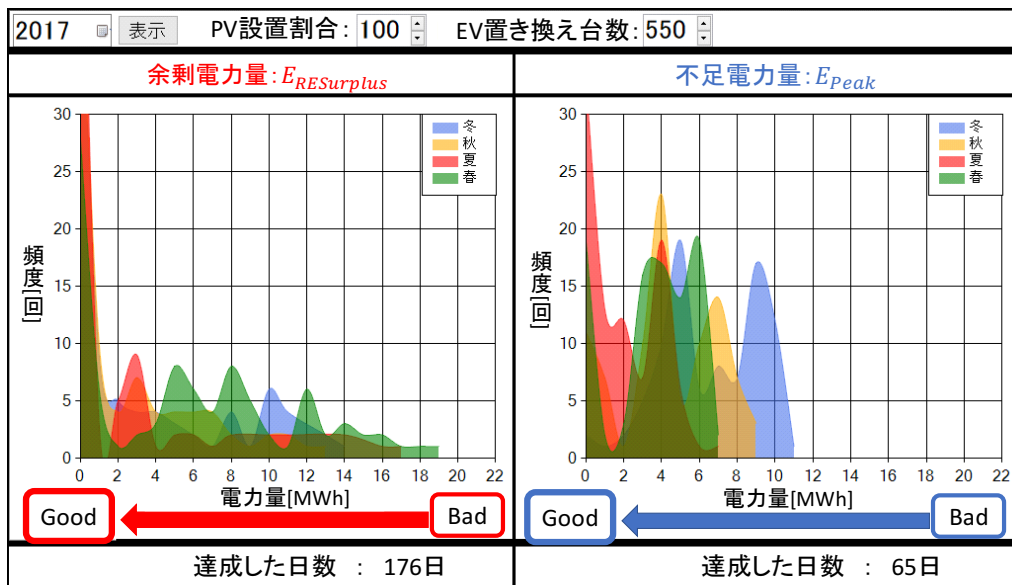


図 3 エネルギーバランスのヒストグラム

EV導入台数[台]	PV設置割合[%]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	365	364	364	363	337	306	280	232	205	173	131
50	365	364	364	364	342	308	284	243	208	179	147
100	365	364	364	364	347	311	295	251	211	193	152
150	365	364	364	364	349	316	297	256	215	197	157
200	365	364	364	364	353	320	302	263	220	197	164
250	365	364	364	364	355	323	303	269	228	202	171
300	365	364	364	364	356	325	304	271	234	203	174
350	365	364	364	364	358	329	304	274	236	204	175
400	365	364	364	364	359	330	305	278	236	206	176
450	365	365	364	364	359	330	305	278	237	206	176
500	365	365	364	364	359	330	305	278	237	206	176
550	365	365	364	364	359	330	305	278	237	206	176

図 4  $E_{RESurplus} = 0$  となる日数のヒートマップ

EV導入台数[台]	PV設置割合[%]										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	0	0	1	6	12	16	25	27	36
50	0	0	0	0	4	7	13	22	26	34	42
100	0	0	0	0	4	10	15	24	29	37	48
150	0	0	0	0	5	10	17	26	32	44	52
200	0	0	0	1	5	11	20	29	34	48	53
250	0	0	0	1	5	12	23	30	35	50	56
300	0	0	0	1	5	12	24	30	39	51	57
350	0	0	0	1	5	13	25	32	42	53	62
400	0	0	0	1	7	16	25	32	43	55	65
450	0	0	0	4	7	16	25	32	44	57	65
500	0	0	0	4	7	16	25	32	44	58	65
550	0	0	0	4	7	16	25	32	44	58	65

図 5  $E_{Peak} = 0$  となる日数のヒートマップ

ある1日の動的充放電計画の例を図6に示す。上部のグラフはスマートグリッドにおける1時間ごとの需要。発

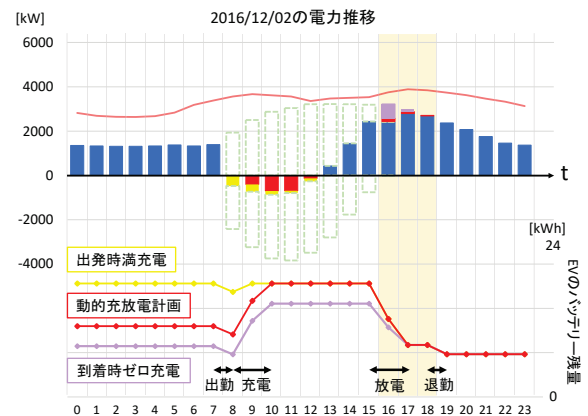


図 6 ある1日の動的充放電計画の例

電差 ( $pDifference(t)$ ) を表す。下部は同じ日のあるEVのバッテリー残量の推移を表す。黄色線は家庭を満充電で出勤した場合を表す。紫色線は出勤に必要な分のみを家庭で充電し出勤した場合を表す。これらはともに1時間ごとの充放電量の計画は立てずに電力のやり取りを行ったものとする。赤線は動的充放電計画を行ったEVのバッテリー残量を表す。この日は、このEVの出勤後にグリッドで  $pDifference(t) < 0$  となっているためEVへの充電が行われる。このとき赤線では、十分に電力を受け取り満充電となった。黄色線はバッテリーの空き容量が少なく、上部の黄色部分しか受け取れなかった。一方で、紫色線は電力を受け取ってなおバッテリーに空き容量があった。また、この日のピーク時間帯になるとEVからグリッドへと給電を行う。このとき、赤線と黄色線は満充電のため、十分な量の給電が行えた。一方で、紫色線は満充電になっておらず給電量が少なかったため、上部の紫色部分しか削減できなかった。

このように動的充放電計画では、EVの充放電計画を適切に計画することによって、日ごとの「充電可能電力量」と「給電可能電力量」をより大きくすることができ、エネルギーバランスに寄与する。例として、PVの設置割合を屋根の100%、EV導入台数550台、2017年の1年間で動的充放電計画を行うと、 $E_{RESurplus} = 0$ となる日数が176日から225日へと増大し、1年の約6割の日が再生可能エネルギーを有効活用できた。

このように「その日」「その場所」ごとの気象や交通状況に依存し変動する複雑な分析も、「そこだけ」のライフログの積み上げによって可能となることを示した。

## 6. まとめと今後の課題

本稿ではPVとEVを構成要素としたスマートグリッドの導入効果検討のためにエネルギーライフログDBを提案し、横浜国立大学の実データを用いた複数の応用事例によって有用性を評価した。このDBの貢献は、単純な汎用モデルでは不可能なその場所に特化した分析を、「その場所」のライフログの積み上げによって可能とした点である。これにより、エネルギーバランスという観点において、スマートグリッドの導入効果と有用性を事前に分析・検討することができた。

今後の課題についての考察を以下に述べる。本稿では自動車の走行ログに関して、シミュレーションデータを用いた。今後は先行研究であるECOLOGで実際に収集しているログを用いて同様の分析が可能かを検討する必要がある。また、動的充放電計画に関してもシミュレーションであることから、実データを用いて正確性を検証する必要があると考える。これに対して我々は、オフィス一部屋、EV1台という最小単位でのスマートグリッドを構成し、エネルギーバランスと動的充放電計画の実証実験を現在行っている。これにより、より細かいライフログの収集がスマートグリッドの導入検討に有用であることを示すことができる。最後に、本稿では横浜国立大学を例にエネルギーライフログDBの有用性を示した。しかし、エネルギーライフログDBは「その場所」に特化した分析という点に有用性を持つ。今後は別の地域の実データにDBを適用し検討する必要があると考える。

### 謝辞

本研究の一部はJSPS科研費(課題番号18K11750)による。また、一部については横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究推進プログラムの支援も受けた。

### 参考文献

[1] 総務省:平成29年度版情報通信白書, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/index.html>, (2018/07/17 アクセス)

[2] 経済産業省:新産業構造ビジョン, <http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>,

(2018/07/17 アクセス)

[3] 経済産業省資源エネルギー庁, "平成29年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2018)", [http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/whitepaper2018pdf\\_2\\_1.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/whitepaper2018pdf_2_1.pdf) (2018/07/17 アクセス)

[4] Z. Huang, T. Zhu, Y. Gu, D. Irwin, A. Mishra, P. Shenoy, "Minimizing Electricity Costs by Sharing Energy in Sustainable Microgrids", Proc. of the 1st ACM Conf. on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings, pp. 120-129, 2014.

[5] 馬場博幸, 齊藤哲夫, 片岡和人, 岩船由美子, 荻本和彦, 宇田川佑介, 天津孝之, 増田浩, "IoT化する家電機器を活用したデマンドレスポンスによる自動変動電源の余剰発電抑制緩和策", 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), Vol.137, No.2, pp.326-332, 2017.

[6] W. Simm, M. A. Ferrario, A. Friday, P. Newman, S. Forshaw, M. Hazas, A. Dix, "Three Energy Pulse: Exploring Renewable Energy Forecasts on the Edge of the Grid", Proc. of the 33rd Annual ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp.1965-1974, 2015.

[7] W. Kempton, J. Tomic, "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue", Journal of Power Sources, Vol.144, Issue.1, pp.268-279, 2005.

[8] B. Jansen, C. Binding, O. Sundstrom, D. Gantenbein, "Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant", IEEE Int'l Conf. Smart Grid Communications, pp.149-154, 2010.

[9] A. J. B. Brush, J. Krumm, S. Gupta, S. Patel, "EVHome-Shifter: Evaluating Intelligent Techniques for Using Electrical Vehicle Batteries to Shift When Homes Draw Energy from the grid", ACM Int'l Joint Conf. on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.1077-1088, 2015.

[10] A. Y.S.Lam, Ka-Cheong Leung, Victor O.K. Li, "An Electric-Vehicle-based Supplementary Power Delivery System", 2015 IEEE Int'l Conf SmartGridComm, pp.307-312

[11] 池田伸太郎, 大岡龍三, "日本国内におけるスマートシティ・スマートコミュニティ実証事業の最新動向", 生産研究, Vol.66, No.1, pp.69-77, 2014.

[12] 中川二彦, 満本祐太, "PVとEVを用いた双方向エネルギーシステムの評価", 日本エネルギー学会誌, Vol.93, No.8, pp.716-724, 2014.

[13] M. Henzler, A. Boller, M. Buchholz, K. Dietmayer, "Are Truck Drivers Ready to Save Fuel The Objective and Subjective Effectiveness of an Ecological Driver Assistance System", IEEE 18th Int'l Conf. on Intelligent Transportation Systems, pp.2007-2012, 2015.

[14] M. de Souza, M. Ritt, A.L. C. Bazzan, "A bi-objective method of traffic assignment for electric vehicles", IEEE 19th Int'l Conf. on Intelligent Transportation Systems, pp. 2319-2324, 2016.

[15] C.Kurtulus, G.Inalhan, "Model Based Route Guidance for Hybrid and Electric Vehicles", IEEE 18th Int'l Conf. on Intelligent Transportation Systems, pp.1723-1728, 2015.

[16] 茨木隆兵, 田中雄哉, 富井尚志, "エネルギーライフログデータベースとV2G技術を用いた再生可能エネルギーとピーク需要を平衡させるシミュレーションシステム", 第15回ITSシンポジウム2017, 3-B-10, 2017.

[17] 出縄誠, 出口達, 富井尚志, "EVエネルギー消費ログDBを用いた多様な可視化システムと運転状況に基づく情報の提示", 日本データベース学会論文誌, Vol.12, No.1, pp.127-132, 2013.