

ライフログを用いたマイクログリッド導入効果検討が可能な DBの構築と需給マッチング効果の提示

北島 大^{1,a)} 西山 誠人^{1,b)} 田中 雄哉^{1,c)} 富井 尚志^{1,d)}

概要 :

社会的な電力削減要求の高まりから、再生可能エネルギーを用いた発電設備や蓄電池を構成要素としたマイクログリッドの導入が進んでいる。しかし需要量や発電量は日々変動すること、また移動するバッテリーである電気自動車 (EV: Electric Vehicle) が登場したことにより、電力の需給バランスを制御することが複雑になっている。そこで我々は、自動車での通勤ログや建物の需要電力のようなライフログと、気象ログや社会的な電力需要量のようなオープンデータを蓄積する統合データベースを設計し、太陽光パネルと EV を構成要素としたマイクログリッドの導入効果を事前に検討可能なシステムを構築してきた。本稿では、横浜国立大学を例にマイクログリッドの導入シミュレーションを行い、太陽光パネルや EV の導入量に応じた需給マッチング効果を提示し、日ごとや季節ごとに異なるマイクログリッド導入効果を提示可能であることを示す。

1. はじめに

現在、地球温暖化に対する懸念や東日本大震災による電力供給不足をきっかけに、社会的に電力削減要求が高まっている。国内のエネルギー消費の中では業務部門が約5分の1を占めており、ここ30年で約2.4倍に増加している。また、業務部門におけるエネルギー消費の約4分の1は事業所・ビル・学校での消費であり、これらの分野における電力削減が必要とされている [1]。さらに、震災以降は原子力発電の停止に伴い電力の需要と供給のマッチングを行う重要性が高まっている。

このため、太陽光発電 (PV: Photo Voltaic) や風力発電などの再生可能エネルギーと、再生可能エネルギーの変動を吸収するバッテリーの導入が拡大している。また、これらを用いて地域内で電力を融通するスマートグリッド・マイクログリッドの研究や実証実験が進んでいる。スマートグリッドは、電力を需要側・供給側の両方から制御し最適化できる送電網である。またマイクログリッドは、既存の大規模発電所からの送電電力にほとんど依存しない小規模なエネルギー網であり、スマートグリッドの構成要素である。これらの電力網を導入することにより、電力の需給

バランスを制御できるようになると期待されている。

しかし、オフィスにおける電力需要は日ごと、時間ごと、場所ごとに異なる。また、エネルギーの供給源として再生可能エネルギーを導入した場合、天候によって変動するため安定した供給が見込めない。さらに、移動するバッテリーである電気自動車 (EV: Electric Vehicle) の登場により、電力の需給バランスを制御することが複雑になっている。つまり、両者をマッチングさせる場合には「そこだけ、その時だけ」のデータを詳細に分析する必要がある。

一方で、計算機の高性能化やセンサ技術の発達、ウェアラブル端末の普及によりユビキタス環境が実現した [2]。さらに、大容量・低価格のストレージの普及により、センサから出力される個人の行動ログ、車の運転ログ、電力ログなどのライフログをすべて蓄積・保存することが可能となった。

そこで本研究では、日常的に取得できるライフログと、気象ログや社会的な電力需要などのオープンデータを統合したデータベースを構築し、PV や EV を構成要素としたマイクログリッドの導入効果を提示できるシステムを構築してきた [3]。本稿では、横浜国立大学を例に前述したシステムを用いてマイクログリッドの導入シミュレーションを行い、PV や EV の導入量に応じた需給マッチング効果を提示し、日ごとや季節ごとに異なるマイクログリッド導入効果を提示可能であることを示す。

¹ 横浜国立大学

Yokohama National University

a) kitajima-masaru-vj@ynu.jp

b) nishiyama-masato-vt@ynu.jp

c) tanaka-yuya-tx@ynu.jp

d) tommy@ynu.ac.jp

2. 研究背景

2.1 関連研究

過去 30 年の日本におけるエネルギー消費を振り返ると、業務部門、家庭部門、運輸部門におけるエネルギー消費は増加しており、これらの部門におけるエネルギー消費削減のための対策が取られている [1].

業務部門における有効な電力削減の 1 つとして、消費電力の可視化が挙げられる。そのため、BEMS (Building Energy Management System) による電力データの取得・分析によって適切な電力削減方法を提示するサービスを多くの企業が提供しているほか [4], BEMS との連携を想定した消費電力の可視化に関する研究が行われている [5]. また震災以降、従来の省エネ以外にピーク時の最大値をいかに低減するかという省エネも必要とされるようになった。加藤ら [6] はこの点に着目し、利用者が事前に設定したルールに基づいて、消費電力の積算値と瞬時値の両方を削減するための電力制御システムについて研究を行っている。

家庭部門においては、電気機器をネットワーク経由で制御することで省エネルギー化をはかる HEMS (Home Energy Management System) と、それに連携した消費電力の可視化が注目されている [7].

運輸部門においては、省エネルギー実現の媒体として EV が注目されている。EV は移動するバッテリーとしての役割も持ち、非走行時にバッテリーに充電した電力を電力網 (Grid : V2G) や家 (Home : V2H), ビル (Building : V2B) に提供することができる。Kempton ら [8] 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。Tushar ら [9] や Arikan ら [10] は、再生可能エネルギーも含めた電力網において、EV・PHEV の充放電スケジューリングによって発電所からの供給電力量を少なくするシミュレーションを実データセットを用いて行った。Brush ら [11] は、15 家庭分の実車 EV を用いた家庭内の電力ピークシフト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。

またこれらすべての部門を横断する事業として、横浜市・豊田市・けいはんな・北九州市の 4 都市では、「Japan Smart City」の実現に向けて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 [12]. 中川ら [13] 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、岡山県立大学を例に電力使用効率の向上をシミュレーションで確認した。Udawatta ら [14] は、ニュージーランドに於いて PV と EV を構成要素としたマイクログリッドのシミュレーションを行い、昼の余剰発電を貯めるのに必要な EV の台数を計算した。

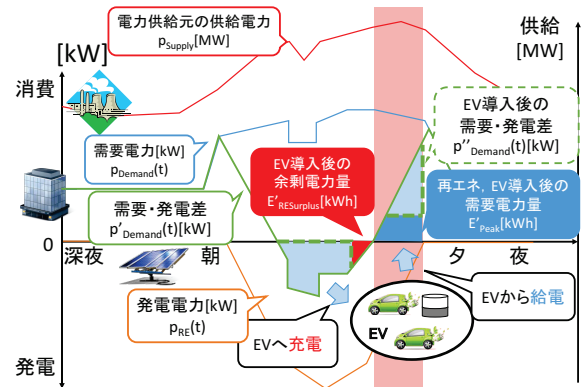


図 1 マイクログリッドの 1 日の電力量の推移

2.2 想定環境

事業所のマイクロ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を図 1 に示す。また定式化に用いる文字式を表 1 に示す。事業所のマイクログリッドには構成要素として建物、再生可能エネルギー発電施設、通勤に使用する EV が存在する。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 ($p_{RE}(t)$) を建物に給電することでグリッド内の需要電力 ($p_{Demand}(t)$) は $p'_{Demand}(t)$ 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、 $p'_{Demand}(t)$ は時間によって正にも負にもなり得る。

しかしマイクロ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マイクログリッド内で消費するのが望ましい。また社会的には、電力ピーク時間帯に系統から供給される電力を下げるのが要求されている。

そこで $p'_{Demand}(t) < 0$ の場合は EV へ充電し、ピーク時間帯には EV に充電された余剰電力および通勤では使用しなかった電力を EV から給電する。EV と電力をやり取りすると、 $p'_{Demand}(t)$ は $p''_{Demand}(t)$ に変化する。

2.3 問題設定

事業所が新たなマイクログリッドの導入を検討する場合、事業所の意思決定者は再生可能エネルギーや EV を導入した場合の導入効果がどの程度見込めるのかを事前に見積もりたい。しかしマイクログリッド導入効果は日ごと、時間ごと、場所ごとに異なるため、一般化されたモデルで見積もることが難しい。この問題に対し我々は、建物の消費電力ログや自動車の走行ログのようなライフログと、気象ログや社会的な電力需要などのオープンデータを統合したデータベースを用いたマイクログリッド導入効果検討システムを提案・構築してきた [3].

本稿では、マイクログリッド導入効果の 1 つとして「需給マッチング効果」を定義し、再生可能エネルギーの導入量や EV の導入量に伴う「そこだけ、その時だけ」のマイクログリッド導入効果を提示可能であることを示す。

表 1 各文字式の説明

文字式	意味
$p_i(t)$	マイクログリッドにおける電化製品 i の時刻 t における電力 ($1 \leq i \leq m$)
$p_{Demand}(t) = \sum_{i=1}^m p_i(t)$	マイクログリッドの時刻 t における需要電力 (図 1 青線)
$p_{RE}(t)$	時刻 t における再生可能エネルギーの発電電力 ($p_{RE}(t) < 0$) (図 1 橙線)
$p_{Supply}(t)$	時刻 t における電力供給元の供給電力 (図 1 赤線)
$p_{EV}(t)$	時刻 t における EV への充・給電電力 ($p_{EV}(t) > 0$: 充電 $p_{EV}(t) < 0$: 給電)
$p'_{Demand}(t) = p_{Demand}(t) + p_{RE}(t)$	時刻 t における需要・発電差 (図 1 緑線)
$p''_{Demand}(t) = p_{Demand}(t) + p_{RE}(t) + p_{EV}(t)$	時刻 t における EV 導入後の需要・発電差 (図 1 緑破線)
$T_{RESurplus} = \{t p_{Demand}(t) + p_{RE}(t) < 0\}$	再生可能エネルギーの余剰電力が発生する時間集合
T_{Peak}	電力ピーク時間帯の時間集合
$E'_{RESurplus}$	EV 導入後の再生可能エネルギー余剰電力量
E'_{Peak}	再生可能エネルギー, EV 導入後のピーク時間帯のマイクログリッドの需要電力量

3. 需給マッチング効果の提示

3.1 統合データベースの設計・実装

本節では、需給マッチング効果を導出するために必要な統合データベースの設計について述べる。統合データベースには以下のログを蓄積する。

- マイクログリッドの需要電力量ログ
我々の先行研究である SEE-Con[15] によって電化製品 1 台ごとの電力を「有効」, 「無駄」に色分けすることが可能になった。これを事業所のマイクログリッドを構成する全ての部屋に実装し集約することで、グリッド全体で仕事に使われた需要電力量のみを求めることができる。サンプリング間隔は 1 分とした。
- EV のエネルギー消費推定ログ
我々の先行研究である ECOLOG[16] によってマイクロ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くらい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。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 [17]。サンプリング間隔は 1 時間とした。
- 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 [20]。サンプリング間隔は 5 分であった。

マイクログリッドの導入効果検討のためには、需要発電差の導出やピーク時間帯の決定が必要である。本データベースでは単純な方法として、前述の 4 つのログのサンプリング間隔に対して最小公倍数となる 1 時間で時間粒度を揃えた。このライフログ統合データベースでの 1 日のマイ

クログリッドのインスタンス図を図 2 に示す。

インスタンス図の青色のエンティティはマイクログリッドの需要電力量を表しており、SEE-Con の電力ログを集約したビューから導出される。緑色のエンティティは EV に置き換えた場合の車のエネルギー消費ログを表しており、同様に ECOLOG の走行ログを集約したビューから導出される。橙色のエンティティは PV に関する気象ログや推定した発電ログを表している。赤色のエンティティは電力供給元の実績ログを表している。

青破線部においては PV の発電電力が需要電力を上回っており、余剰電力で EV に充電を行う。また、赤破線部においては電力供給元の需要電力がピークになっているため、EV から建物に給電を行う。このような電力の移動も踏まえた検索を、ログの時間粒度を揃えることで時間をキーとした検索として行うことができる。

3.2 需給マッチング効果

2.2 節で想定したマイクログリッドでは、需給のミスマッチが発生する可能性がある。そこで、需給がマッチングしたかどうかを表す 2 つの需給マッチング効果を定義する。

- 再生可能エネルギーの余剰電力に対する需給マッチング効果

図 1 において、 $E'_{RESurplus}$ を以下のように定義する。

$$E'_{RESurplus} = - \sum_{t \in T_{RESurplus}} p''_{Demand}(t)$$

$E'_{RESurplus}$ が 0 に近づくほど、 $p'_{Demand}(t) < 0$ である場合の需給マッチングを達成できたといえる。これを再生可能エネルギーの余剰電力に対する需給マッチング効果と定義する。

- ピーク時間帯の需給マッチング効果

図 1 において、 E'_{Peak} を以下のように定義する。

$$E'_{Peak} = \int_{Min(T_{Peak})}^{Max(T_{Peak})} p''_{Demand}(t) dt$$

E'_{Peak} が 0 に近づくほど、ピーク時間帯の需給マッ

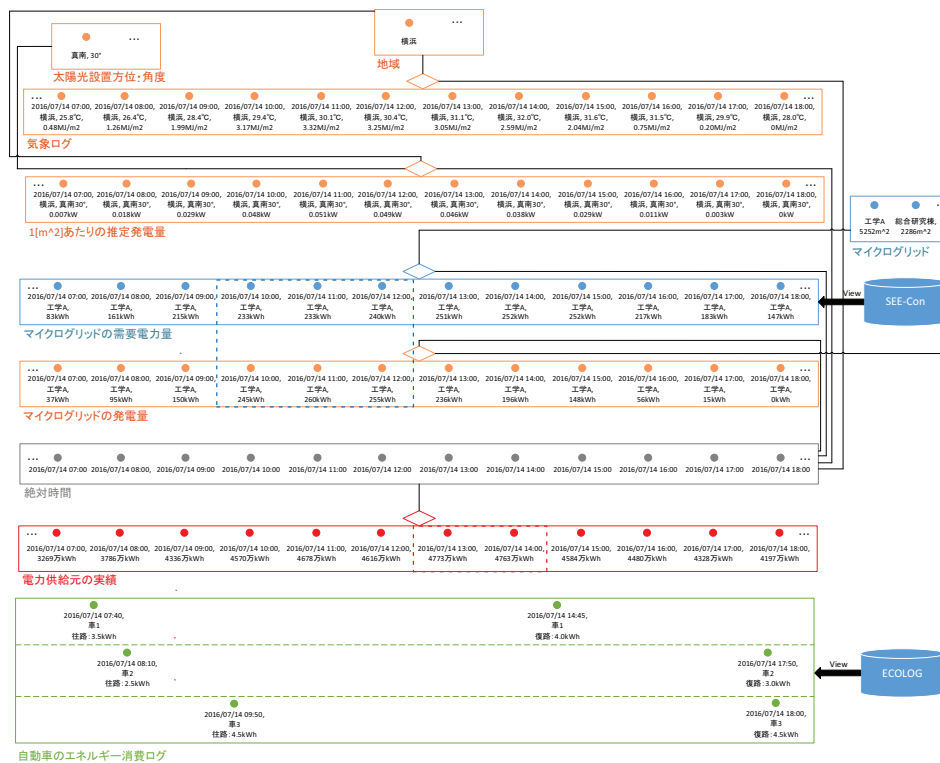


図 2 データベースのインスタンス図

ングを達成できたといえる。これをピーク時間帯の需給マッチング効果と定義する。

3.3 需給マッチング効果の可視化

3.2 節の定義に従い、図 3 のような可視化画面を実装した。画面左側のグラフは「再生可能エネルギーの余剰電力に対する需給マッチング効果」を示すものであり、横軸が「 $E'_{RESurplus}$ 」を表している。画面右側のグラフは「ピーク時間帯の需給マッチング効果」を示しており、横軸が「 E'_{Peak} 」を表している。また、いずれのグラフも縦軸が頻度（日数）を表しており、PV 設置率と EV の導入台数を変更すると逐一グラフが変化する。さらに、このグラフは複数月ごと（春：3月～5月（水色）、夏：6月～8月（赤色）、秋：9月～11月（橙色）、冬：12月～2月（青色））に色分けをしており、PV 設置率、EV の導入台数に応じた季節ごとの需給マッチング効果の変化を見ることができる。

4. 実データを用いた需給マッチング効果の提示

4.1 ライフログ・オープンデータの取得

本節では、横浜国立大学での需給マッチング効果の提示を行う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。

マイクログリッドの需要電力量ログ

今回は、横浜国立大学の学内限定で公開されている電力データ [18] を用いた。これは敷地を 17 区画に分割した電

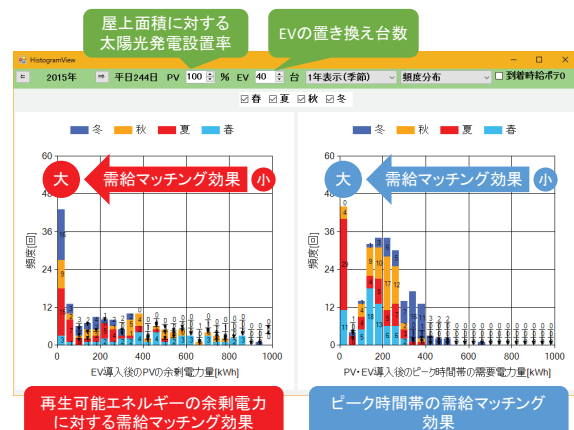


図 3 需給マッチング効果のヒストグラム表示

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

今回は、横浜国立大学のある駐車場の自動車の出入りを数日間手動で確認し、それらに仮想の消費エネルギーを割り当てた EV エネルギー消費ログを使用した。置き換える車は出入りの時間を取得できた車の台数と同じ 40 台とし、日産自動車の LEAF を想定した（バッテリー容量：24kWh）。さらに EV の充電や給電を行う装置として日産 LEAF to Home[19] 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 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「PV アレイ出力」、「日射量」、「気温」の取得方法、システムの設定条件を表 2 に示

表 2 オープンデータの取得方法・システムの設定条件

項目	取得方法・設定条件
PV アレイ出力	独立系交流負荷に対する 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 [21].
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 [22]. NEDO の日射量データベース [23] と同様の手法を用いて PV パネルの設置方位を真南、設置傾斜角 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より取得 [24].

す。また PV を設置する屋根の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 [18].

電力供給元の実績ログ

今回は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 [20] を用いた。また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。

4.2 需給マッチング効果の提示と考察

本節では、横浜国立大学の 17 区画のうち、理工学部講義棟の区画をマイクログリッド対象とした季節ごとに異なる需給マッチング効果について述べる。この区画には講義棟が 3 棟ある他、学生センターなど合計 7 棟の建物があり、PV パネルを設置可能な屋上の最大面積は 5252m² であった。また、可視化は 2015 年の平日 (244 日) を対象とした。

(1) 余剰電力に対する需給マッチング効果

図 4 に、余剰電力に対する需給マッチング効果の変化を示す。PV を全く設置しない (PV0%) 場合、そもそも余剰電力が発生しない。PV を 50% 設置した場合、建物側の需要電力量が比較的少ない春・秋において余剰電力が発生する日が存在する。さらに PV を 100% にした場合、夏・冬についても余剰電力が発生する日が存在する。

ここで EV を 20 台導入すると需給マッチングを達成できる日が 40 日になり、EV を 40 台導入すると需給マッチングを達成できる日が 43 日に変化する。

(2) ピーク時間帯の需給マッチング効果

図 4 に、ピーク時間帯の需給マッチング効果の変化を示す。以下、「PV の設置率」、「EV の導入台数の変化」それぞれの観点で詳細に考察する。

● PV の設置率

PV を全く設置しない (PV0%) 場合、EV の台数を変動させても需要電力量が 0kWh になることはない。これは、今回使用した EV のデータセットにおける給電可能な電力量が最大でも 180kWh 程度であり、ピーク時間帯の需要電力量全てを EV のみで賄うことができないためである。対して、PV の設置率を増

加させる (PV50%, PV100%) と、ピーク時間帯の需要電力量が 0kWh になる日が存在する (PV50% : 最大 7 日, PV100% : 最大 44 日)。これは、PV の設置率が増えたことにより余剰電力が発生し、EV を用いたピークカットができたこと、また特に夏季においてピーク時間帯に PV が発電することにより需要電力が下がったことによるものである。

● EV の導入台数

EV の導入台数を増やすと、季節にかかわらずピーク時間帯の需要電力量が減少する。これは、季節により変動するピーク時間帯に対して、時間帯によらず EV から給電できるからである。

PV の設置率を高くすると、社会的に電力需要が逼迫する夏季においてピーク時間帯の需要電力を下げるができる。しかし日によっては余剰電力が大きく発生してしまうこともある。また冬季においてはピーク時間帯が遅く、PV による発電でピーク時間帯の需要電力を下げるができない。一方で、EV の導入台数を増やせば季節に関係なくピーク時間帯の需要電力を下げることができ、余剰電力も受け取ることができる。しかし 1 台あたりのバッテリー容量はグリッド内でやり取りされる電力に比べて相対的に小さく、複数台の導入が必須となるためコストがかかる。このように PV の設置率や EV の導入台数を変更してグラフを確認することで、「この場所における夏場のピーク時間帯の需要電力量を 0kWh にしたい」、「グリッド内の余剰電力を可能な限り小さくしたい」といった要望に対する PV の設置率、EV の導入台数に応じた需給マッチング効果を確認できる。

5. まとめと今後の課題

本稿では PV と EV を構成要素としたマイクログリッドの導入効果検討のために「需給マッチング効果」を定義し、横浜国立大学を例に PV や EV の導入量に応じた需給マッチング効果について述べた。その結果、日ごと、季節ごとに異なる需給マッチング効果の変動を可視化することで、マイクログリッド導入効果を事前に確認することができた。

今後の課題としては、本稿では需要電力量のログとして横浜国立大学の学内で公開されている電力計測データ、自動車の走行ログとしてシミュレーションデータを用いた。今後は ECOLOG, SEE-Con で実際に収集しているログを用いた検討を行う必要がある。また、本稿では事業所のマイクログリッド内でのみ需給マッチングを行うこととした。しかし実際にはグリッド外への電力持ち出しについても検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (課題番号 26330358) 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。

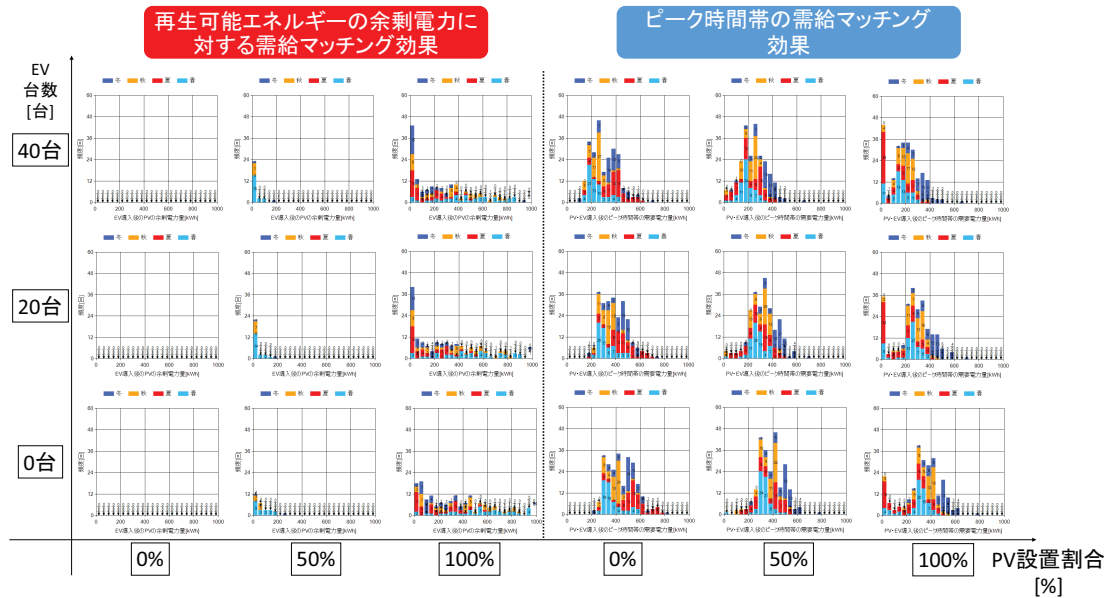


図 4 需給マッチング効果の変化

参考文献

[1] 経済産業省資源エネルギー庁：平成 27 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2016），入手先〈<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/whitepaper2016pdf.2.1.pdf>〉（2016/08/16 アクセス）

[2] 徳田英幸，米澤拓郎，伊藤昌毅：センサネットワークによるユビキタスサービスモノのスマート化と環境の見える化一，人工知能学会誌，Vol.23，No.4，pp.447-452(2008).

[3] 西本直樹，北島大，西山誠人，田中雄哉，小泉恭平，本藤祐樹，富井尚志：マイクログリッド導入効果検討のためのライフログを用いた状況別電力評価が可能な DB の構築，DEIM Forum 2016 H2-3.

[4] 東京都環境局：オフィスビルの省エネ・節電を考える～節電の先のスマートエネルギーシティへ～，入手先〈http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large_scale/cap_and_trade/meeting/cat7846.html〉（2016/08/16 アクセス）

[5] 松山隆司：エネルギーの情報化とは一背景，目的，基本アイデア，実現手法一，情報処理，Vol.51，No.8，pp.926-933(2010).

[6] 加藤丈和，湯浅健史，松山隆司：オンデマンド型電力制御システム，情報処理学会論文誌，Vol.54，No.3，pp.1185-1198(2013).

[7] 本藤祐樹：見える化がもたらす家庭における省エネの可能性一三つの見える化一，日本エネルギー学会誌，Vol.91，No.7，pp.563-569(2012).

[8] 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).

[9] M. H. K. Tushar, C. Assi, M. Maier, M. F. Uddin: Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances, IEEE Trans. on Smart Grid, Vol.5, No.1, pp.239-250(2014).

[10] A. Arikian, R. Jin, B. Wang, S. Han, K. Suh, P. Zhang: Optimal Centralized Renewable Energy Transfer Scheduling for Electrical Vehicles, IEEE Int'l Conf. on Smart Grid Communications, pp.247-252(2015).

[11] A. J. B. Brush, J. Krumm, S. Gupta, S. Patel: EVHome-Shift: 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).

[12] 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).

[13] 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).

[14] L. Udawatta, U. K. Madawala, D. Muthumuni, M. Vithalagamuwa: Control of Solar Powered Micro-grids Using Electric Vehicles, IEEE 3rd Int'l Conf. on Sustainable Energy Technologies, pp.270-275(2012).

[15] 藤原国久，高橋慶多，細澤直人，高橋佳久，西本直樹，富井尚志，本藤祐樹：電力使用時の多様な状況組み合わせが可能な DB の構築と情報提示による評価，DEIM Forum 2014 E1-1.

[16] 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).

[17] 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.

[18] 横浜国立大学施設部，入手先〈<http://shisetsu.ynu.ac.jp/gakugai/shisetsu/>〉（2016/08/16 アクセス）

[19] 日産：LEAF to Home とは，入手先〈<http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>〉（2016/08/16 アクセス）

[20] 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>〉（2016/08/16 アクセス）

[21] 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）.

[22] 横浜市環境創造局，入手先〈<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/>〉（2016/08/16 アクセス）

[23] 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>〉（2016/08/16 アクセス）

[24] 気象庁，入手先〈<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>〉（2016/08/16 アクセス）