

# 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

西本 直樹<sup>†</sup> 北島 大<sup>†</sup> 西山 誠人<sup>†</sup> 田中 雄哉<sup>††</sup> 小泉 恭平<sup>††</sup>  
本藤 祐樹<sup>†††</sup> 富井 尚志<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>††</sup> 横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

<sup>†††</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail:

<sup>†</sup>{nishimoto-naoki-tz,kitajima-masaru-vj,nishiyama-masato-vt,tanaka-yuya-tx,koizumi-kyohei-xs}@ynu.jp,  
<sup>††</sup>{hondo,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 社会的な電力削減要求が高まる中、太陽光や風力などの再生可能エネルギーによる発電設備の導入が進められている。これらを家庭・オフィス・学校など小規模な単位で導入し電力網を形成するマイクログリッドに関する研究が行われている。そこで我々は、電化製品ごとの電力ログや人の入退室ログのようなライフログをDBに蓄積し、電力使用時の状況をキーとした検索・集約により消費電力を可視化するシステムを構築してきた。本研究では、このシステムの応用として自動車の走行ログや気象ログといったライフログやオープンデータを加えた統合データベースを設計し、太陽光や電気自動車を構成要素としたマイクログリッドの導入効果を検討可能なシステムを構築した。適用事例として実在する大学のキャンパスの一区画についてマイクログリッドのシミュレーションを行い、季節ごとに太陽光発電や電気自動車の導入数に応じたピーク抑制効果やエネルギーの地産地消効果を示した。

キーワード ライフログ, マイクログリッド, ピークカット, エネルギーマネジメント, 電気自動車, 再生可能エネルギー

## 1. はじめに

地球温暖化に対する懸念や東日本大震災による電力の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。国内エネルギー消費の中でも業務部門は約5分の1を占めており、ここ30年で約2.8倍に増加している。また業務部門のエネルギー消費の約4分の1を事業所・ビル・学校が占めており、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って電力の需要と供給のバランスを合わせることの重要性が高まっている。しかし各事業所ごとに繁忙期や閑散期は異なり、電力需要も合わせて変化する。また、電力供給に関しても気象状況に左右される太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が拡大している。再生可能エネルギーの変動を吸収するバッテリーも存在するが、電気自動車という移動するバッテリーの登場により、電力の需給バランスを制御することが複雑化してきている。

そこで地域内で電力を融通でき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の流れを供給側・需要側の両方から制御し最適化できる送電網である。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せずにエネルギー供給源と消費施設をもつ小規模なエネルギー・ネットワークであり、スマートグリッドの構成要素である。これらによって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。ここで問題となるのは電力エネルギーの需要側と供給側のマッチングを図ることである。需要側のエネルギー消費は日ごと、時間ごとに個性を持つため、一般化されたモデルで正確に予測することは難しい。また、供給側として再生可能エネルギーを用いると、天候によって変動するため安定しない。さらに、両者をマッチングさせるためには、「そこだけ」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シング技術の発達、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]。また大容量・低価格のストレージの普及により、ウェアラブル端末による個人単位の細かい状況や車の運転状況、1秒単位の電力データなどのライフログを全て蓄積・保存することが可能になった。これにより、「そこだけ」の電力需要を詳細に分析できる可能性が生じた。

そこで本研究では、これらの日常的に取得されるライフログや気象情報など広く公開されているオープンデータを統合したデータベースを構築する。さらにこのデータベースによって、太陽光発電や電気自動車(EV)を構成要素としたマイクログリッドを仮定した場合、どれほどのピーク抑制効果やエネルギーの地産地消効果があるかを導出する。すなわち、マイクログリッド単位での受給マッチングを「そこだけ」のデータで予測することが可能となる。よって、このシステムによりマイクログリッドを導入したいと考える事業所の意思決定者に対して、

事前に導入効果を提示することができる。具体的な適用事例として、実在する大学のキャンパス一区画においてマイクログリッドを仮定したとき、季節、太陽光発電の設置量およびEVの導入台数に応じたピーク抑制効果や地産地消効果を提示できることを示す。

## 2. 研究背景

### 2.1 関連研究

過去30年の日本のエネルギー消費を振り返ると、工場などの産業部門におけるエネルギー消費は、生産活動が向上しているにもかかわらず大きな増加は見られていない[1]。それに対し、業務部門、運輸部門、家庭部門におけるエネルギー消費は増加を続けており、各分野においてエネルギー消費削減のための対策が取られている。

業務部門において消費電力の可視化は有効な電力削減手段とされている。ただし、業務部門における電力使用は生産活動に直結するため、生産性への影響を考慮した可視化が必要とされている。そのため、BEMS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[3]、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。松山ら[4]は、電力ネットワークと情報ネットワークの統合による「エネルギーの情報化」を提唱し、家庭やオフィスといった小さな電力網における電力マネジメントの重要性を述べている。

運輸部門では、省エネ実現の媒体として電気自動車(EV)が存在する。EVは移動手段としての役割のほかにバッテリーとしての役割を持ち、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[5]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[6]は既存の電力網にV2Gを投入した際にV2Gが果たす役割について論じた。Tusharら[7]は自然エネルギー発電施設も含めた電力網において、EV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行った。また、日産自動車がLEAF to Home[8]として、V2Hの製品化を行った。Bernheimら[9]は15家庭分の実車のEVによる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。

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、それと連携した消費電力の可視化[10]が注目されている。

これらすべての部門を横断する事業としてスマートグリッドやマイクログリッドの研究や実証実験が行われている。横浜市・豊田市・けいはんな・北九州の4都市では、スマートシティの実現に向けて産官学が一体となって評価実験を行った[11]。Udawattaら[12]はニュージーランドにおいて太陽光と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、昼の余剰発電を貯蓄するのに必要なEVの台数を計算した。こ



(a) 画面1

(b) 画面2

図1 横浜国立大学常盤台キャンパスの電力見える化

れらの太陽光やEVを用いたマイクログリッドのシミュレーションは典型的な1日の評価のみであり、1年を通しての評価は行われていない。

### 2.2 先行研究

本節では、我々が提案してきたSEE-ConとECOLOGについて簡潔に述べる。

#### SEE-Con

電力の使用状況はその時の人・モノ・環境ごとに異なる。オフィス環境において生産性を低下させずに電力削減を行うには、使用状況に応じた適切な電力削減行動をする必要がある。しかし、既存の電力削減対策や従来研究は電力量のみを可視化したものであり、また建物単位やフロア単位などのマクロな範囲を対象としているため、ミクロな単位での電化製品の使用状況を知ることができないという問題点がある。例えば、著者らが所属する横浜国立大学においても図1のような電力見える化を行っているが[13]、このような可視化システムでは個人ごとに何をすれば良いかわからないほか、CSV形式など扱いやすい公開方法ではない点でも問題がある。

そこで我々は先行研究として、電化製品の消費電力ログと人・モノ・環境の状況ログをそれぞれ時間粒度をそろえて蓄積し、検索時に統合できるシステムを設計・実装し、SEE-Con(a visualizing System for Electric Energy Consumption with Context)と名付けた[14]。このシステムを用いて状況を考慮して消費電力を可視化することで、節電に関する有用な情報を提示できるようになった[15]。

#### ECOLOG

EVはバッテリーを搭載していることからスマートグリッドへの応用が期待されており、その実現のためにはEVのバッテリー残量の把握が必要となる。また、GPSや加速度センサを搭載したスマートフォンを自動車に搭載することで、自動車の走行ログを日常的に取得し、ライフログとして保存しておくことが可能になった。

そこで我々は既存の自動車の走行ログから、仮にEVに置き換えた際の走行エネルギー量を計算し、データベースに蓄積・検索するシステムをECOLOGシステム(Energy CONsumption LOG)として運用してきた[16][17]。ECOLOGシステムを運用することで、例えば現在乗っている自動車から収集した運転ログから、事業所の駐車場に止まっている車を仮にEVに置き換えた際に事業所に提供できる電力量の事前見積りが可能となる。

### 2.3 想定環境

我々の想定するスマートグリッド、マイクログリッドの概略を図2に示す。事業所のマイクログリッドは構成要素として電



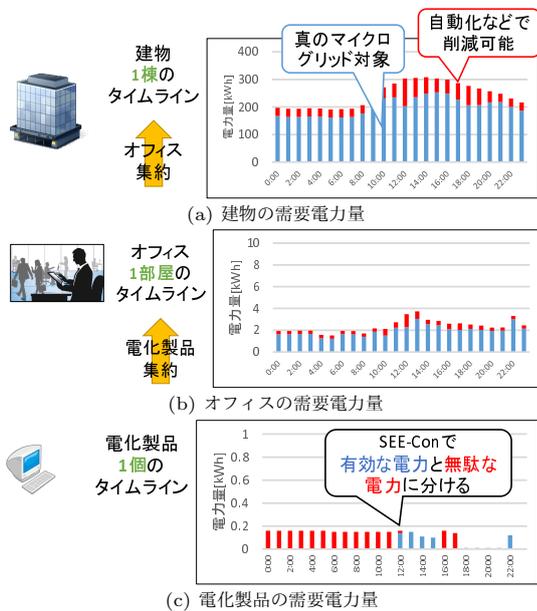


図5 SEE-Conによるマイクログリッドの需要電力量の取得

- マイクログリッドの需要電力量

SEE-Conによって個々の電化製品の電力ログが取得でき、図5(c)のグラフのように電化製品1台に対して、仕事に使用されなかった無駄な電力と、仕事に使われた有効な電力に分け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、図5(a)のグラフのように需要電力量を求めることができる。赤色の無駄な電力は自動化やオフィスユーザの行動変容によって削減可能であるため、仕事で使用される青色の電力量が真にマイクログリッドの需要電力量と捉えることができる。

- 自動車のエネルギー消費ログ

ECOLOGシステムにより、車にスマートフォンを載せることでEVに置き換えたときのエネルギー消費を推定することができる。これにより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、次の走行でどれくらいの電力を残しておく必要があるかをあらかじめ計算しておくことができる。

まずEVの運転者は自宅ですべて充電を行い、マイクログリッドが構築されている事業所に通勤する。このときマイクログリッド内において受取可能な再生可能エネルギーの電力量(充電可能量)は、「出勤で使用した消費量」と同量であるといえる。また、退勤する際には帰宅したときにバッテリーに十分余裕を残しておく必要がある。つまり、EVが電力ピーク時にマイクログリッドに給電できる電力量(給電可能量)は「バッテリーの残量」-「退勤に使用した消費量」-「バッテリーの下限界」と同量と考えられる。

例えば表1のような消費エネルギー推定がされた3人の運転者が、通勤に使用する車をEVに置き換えた場合、3台の充電可能量と給電可能量の合計量の推移は図6のように表すことができる。なお、EVのバッテリーについては損耗を考慮して全容量の8割まで充電し、帰宅後に全容量の3割の電力が残るように充電給電を行うものとする。

また、再生可能エネルギーやEVの導入台数を入力として

表1 ECOLOG推定による自動車のエネルギー消費の例

	被験者1	被験者2	被験者3
出勤時間	7:40	8:10	9:50
出勤時の消費量	3.5kWh	2.5kWh	4.5kWh
退勤時間	14:45	17:50	18:00
退勤時の消費量	4.0kWh	3.0kWh	4.5kWh

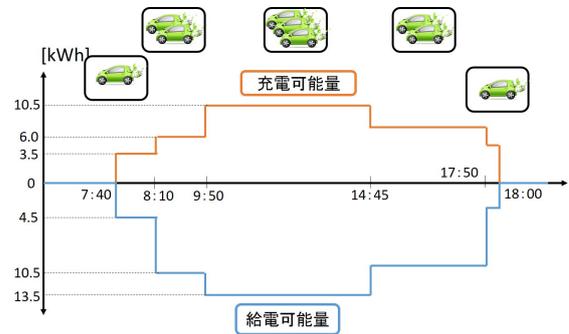


図6 マイクログリッド内のEVのバッテリー推移 (充電・給電なしの場合、バッテリー容量24kWh)

ピーク抑制効果などを出力するが、この充電可能量および給電可能量はマイクログリッドに充電や給電を行ったり、EVの出入りによって逐次変動する。そのため充電可能量や給電可能量は可視化システム上で計算し、導出に必要な出勤時間、出勤時の消費量、退勤時間、退勤時の消費量をデータベースに蓄積する。

### 3.3 インターネット上のオープンデータの取得

想定環境においてインターネット上から取得すべきオープンデータは、再生可能エネルギーの発電量の推定に必要な気象ログと電力供給元の実績ログの2つである。

- 再生可能エネルギーの発電量の推定

再生可能エネルギーは太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどが挙げられるが、マイクログリッドにおける再生可能エネルギーとしては太陽光や風力が比較的容易に設置可能である。日本においては諸外国に比べて地形が複雑といった事情から風力発電の導入が進みにくいため[1]、本研究では太陽光発電に焦点を当てて発電量を予想する。太陽光発電の月間発電量推定については日本工業規格が制定されており、「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[18]。なお、この規格では月間の発電量推定の定式化がされているが、本研究では1日の時間推移を見るため次のように式を見直した。

$$E_{Pm} = K * K_{PT} * P_{AS} * H_{Am} / G_s \quad (1)$$

各記号の説明を表2に示す。太陽電池アレイ出力  $P_{AS}$  は資源エネルギー庁の発電量シミュレータ[19]によれば、次の式で求められる。

$$P_{AS} = 0.7 * \alpha * S \quad (2)$$

これらのことから、システム発電電力量  $E_{Pm}$  はある時刻の気温、日射量および基本設計係数、太陽光発電システムの設置面積、アレイ素材といった気象状況や設置条件から一意に定まる。そこで問題設定の1つである、どれくらいの再生可能エネルギーを導入すればよいかという問題を、対象のマイクロ

表 2 太陽光発電システムの発電量推定に使用する記号の説明

分類	記号	説明
出力	$E_{Pm}$	太陽光発電システムの発電電力量 [kWh], 式 (1) より導出.
	$P_{AS}$	標準太陽電池アレイ出力 [kW], 式 (2), (3) より導出.
文献推奨値	$K$	基本設計係数. 回路の負荷やインバータの効率などの発電効率を考慮した係数であり定数.
	$G_s$	標準試験条件における日射強度 [kW/m <sup>2</sup> ], 通常 1kW/m <sup>2</sup> .
オープンデータから計算	$K_{PT}$	温度補正係数. 太陽電池モジュールの温度変化による発電効率を考慮した係数であり気温や太陽光アレイの素材によって一意に定まる. 気象庁 [21] などの公開データから導出.
	$H_{Am}$	傾斜面日射量 [kWh/m <sup>2</sup> ]. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が公開している日射量データベース [20] によれば水平面日射量および太陽光発電システムの設置方位・傾斜角により変化する. 日射量は気象庁 [21] などの公開データから取得. 設置方位・傾斜角の最適値は日射量データベース [20] により導出可能.
場所から決定	$S$	太陽光発電システムの設置面積 [m <sup>2</sup> ]
	$S'$	検討するマイクログリッド対象における太陽光発電システムの最大設置面積 [m <sup>2</sup> ], それぞれの設置場所による定数.
ユーザが選択	$\alpha$	素材依存の 1m <sup>2</sup> あたりの発電電力 [kW/m <sup>2</sup> ]. 資源エネルギー庁が公開しているアレイ素材の原単位 [19] から計算でき, 定数.
入力	$\gamma$	$S'$ に対する太陽光発電システムの設置割合. $0 \leq \gamma \leq 1, \gamma \in \mathbb{R}$ となる自由変数.

グリッドにどれくらいの太陽光発電システムを設置すればよいかという問題と考える. そこで式 (2) を次のように変更する.

$$P_{AS} = 0.7 * \alpha * S' * \gamma \quad (3)$$

これにより, 入力値として太陽光発電システムの設置割合  $\gamma$  を変化させることで発電量  $E_{Pm}$  の変化を見ることができる.

#### ● 電力供給元の実績ログ

震災以降, 日本の各電力会社は電力使用実績を公表するようになった [22]. Bernheim ら [9] の研究や日本におけるスマートグリッドの実証実験 [11] では時間帯別で電気料金を変動させて電力ピークの抑制を図るということも行われているため, 今後とも実績ログは比較的容易に取得可能になると予想される.

#### 3.4 データベースの設計

ログの時間粒度に対する考え方は様々あるが, 消費電力の問題に関してはミクロな瞬時値 [W] とマクロな積算値 [kWh] のギャップが大きく, データ量とデータ処理の両方を考慮した時間粒度でデータベースを構築すべきである. また, マイクログリッドの導入効果検討のためには, 需要電力量と発電量の差分やピーク時間帯の決定は時間粒度を揃えなければ比較することは難しい. そこで本研究のライフログ統合データベースでは最も単純な方法として, 前述の 4 つのログの最小のサンプリング間隔に対して最小公倍数となる時間間隔で時間粒度を揃えた. 本実装におけるログの最小のサンプリング間隔は, 需要電力量が約 1 分, 発電量の推定が 1 時間, 自動車のエネルギー消費ログが 1 秒, 電力供給元の実績ログが 5 分単位で取得可能であったため, 1 時間粒度でデータベースを構築した. このライフログ統合データベースによるある 1 日のマイクログリッドのインスタンス図を図 7 に示す.

このインスタンス図の青色のテーブル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. 緑色のテーブルは自動車の EV に置き換えた場合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. 橙色のテーブルは

太陽光発電に関する気象ログや推定した発電ログを表している. まず公開されている気象データから気温と水平面日射量をもつ気象ログのテーブルを作成する. 次に, 太陽光発電システムの方位と傾斜角度を定め, NEDO と同様の手法 [20] を用いて傾斜面日射量  $H_{Am}$  を推定し, データベースに蓄積する. さらに, 式 (1), (3) より傾斜面日射量  $H_{Am}$  に基本設計係数  $K$  や温度補正係数  $K_{PT}$ , アレイ素材の原単位  $\alpha$  による定数を乗算することで, 1m<sup>2</sup> あたりの発電量  $E_{Pm}$  を推定し, 同様にデータベースに蓄積する. このテーブルを用いることで, マイクログリッド対象の最大設置面積  $S'$  からマイクログリッドの発電電力量を容易に計算することができる. 最後に, 赤色のテーブルは電力供給元の実績ログを公開データから取得し, 時間粒度を揃えて蓄積する.

青破線部においては太陽光発電の発電量が需要電力量を上回っており, 余剰に発電した電力で 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, 青破線部で充電した EV から建物に給電を行う.

#### 3.5 マイクログリッド導入効果可視化システム

2.4 節で述べた問題に対して次のような機能を持つ可視化システム ASYST (Anticipation SYSTEM for Microgrid) を実装することで解決した.

(1) 太陽光発電システムの最大設置面積に対する設置率と EV の導入台数を変数とした 1 日ごとのマイクログリッド導入効果の可視化

(2) 地産地消効果とピーク抑制効果のカレンダー表示

(1) については図 8 のような可視化画面を実装した. まず日付と太陽光発電の設置割合と EV 置き換え台数を決定する. 左画面において, その条件での需要電力量, 発電量, 供給元の実績の推移をライフログのままの形で表示する. また右画面では同条件でピーク抑制や地産地消を行った需要電力量の推移を表示する. この 2 画面を比較することで, マイクログリッド導入効果を一目で確認することができ, 太陽光発電の設置率や EV の導入数を細かく変更していくことでピーク抑制効果や地産地消効果に変化していく様子を可視化する.

(2) については余剰電力量 [kWh], EV への充電量 [kWh], ピーク時間帯の最大電力 [kW], 太陽光発電や EV 導入後のピーク時間帯の最大電力 [kW] を表示する (図 10). これにより余剰電力量 [kWh] と EV への充電量 [kWh] から地産地消効果を, ピーク時間帯の最大電力 [kW] の比較からピーク抑制効果を一望で確認することができ, 各月の傾向を見ることで 1 年を通してどれくらい効果があるかを知ることができる.

#### 4. 実際のライフログとオープンデータを用いたマイクログリッド導入効果の検討

本章では前章で述べたライフログとオープンデータの実データを用いてマイクログリッド導入効果の検討を行う. なお, 本論文では数十台分の自動車のエネルギー消費ログを収集することができなかつたため, 仮想の消費エネルギーデータを生成した. つまり実データとして検討の妥当性はないが, システムのプロトタイプとしてマイクログリッド導入効果を検討可能であ

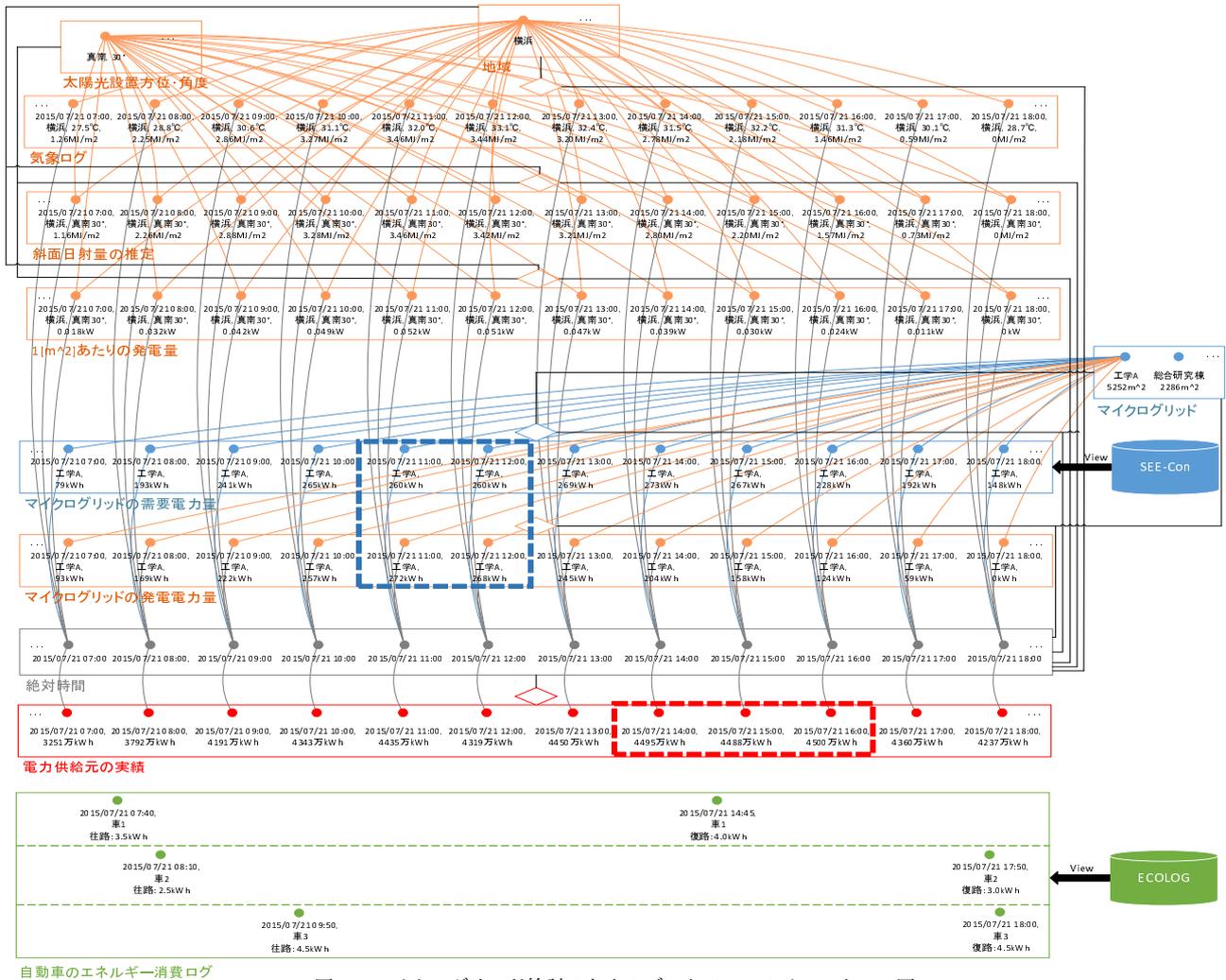


図7 マイクログリッド検討のためのデータベースのインスタンス図

に収集されている。無駄な電力と仕事に使用される電力を分割できていないデータだが、マイクログリッドのプロトタイプとして評価を行った。また、太陽光発電システムは建物の屋上に設置するものとし、最大設置面積については横浜国立大学の公開している建物情報から取得した [13]。

● 自動車のエネルギー消費ログ

我々は ECOLOG システムを 3 名の被験者に対して長期に渡り運用してきた。しかし、マイクログリッドの導入効果の検証対象である建物に対して 3 台の EV では地産地消効果・ピーク抑制効果が少なく検討が難しい。そこで、マイクログリッド検証対象の 1 つである横浜国立大学の総合研究棟の駐車場の自動車の出入りを数日間手動で確認することで、運転者の出勤時間と退勤時間を取得した。この出入りしたそれぞれの自動車について仮想の消費エネルギーデータを割り当てることで、40 台程度の EV 置き換えのシミュレーションを行う。また、置き換える EV は日産自動車の LEAF を想定した (バッテリー容量: 旧型 24kWh, 新型 30kWh)。さらに EV の充電や給電を行う装置として日産 LEAF to Home [8] 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量の推定

3.3 節で述べた式 (1), (3) に用いたそれぞれの記号の取得方法や設定条件を表 3 に示す。

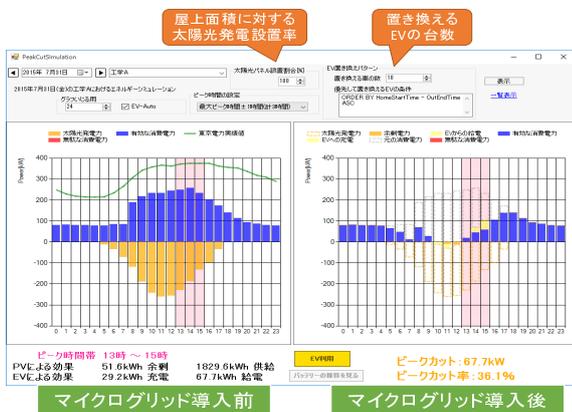


図8 1日ごとのマイクログリッド導入効果の可視化  
 かどうかを確認する。

4.1 ライフログやオープンデータの取得

● マイクログリッドの需要電力量

現在 SEE-Con は情報工学に関する研究活動を行うオフィス環境において実装されている。しかしこのオフィス環境の所属する建物には他にも多くの部屋があり、すべての部屋に SEE-Con を実装するにはコストがかかる。そこで需要電力量のデータ取得は、横浜国立大学の学内で公開されている電力計測データ [13] を用いた。この電力データは常盤台キャンパスを 17 区画に分割した電力データであり、2011 年 10 月以降継続的

表 3 太陽光発電の発電量の取得方法・設定条件

記号	取得方法・設定条件
$K$	日本工業規格における独立系交流負荷の推奨値を使用 [18] ( $K = 0.67$ ).
$K_{PT}$	気温は気象庁のホームページより取得 [21]. 設置方法は日本工業規格における架台設置型の推奨値を使用 [18]. 太陽電池アレイの素材は最も生産されている多結晶シリコンを想定 [24]. ( $K_{PT} = 1 - 0.45(\text{気温} - 6.6)/100$ )
$H_{Am}$	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 [23]. NEDO の日射量データベース [20] と同様の手法を用いて太陽光パネルの設置方位を真南, 設置傾斜角 $30^\circ$ として傾斜面日射量 $H_{Am}$ を推定.
$G_s$	通常通り $1\text{kW}/\text{m}^2$ .
$\alpha$	$K_{PT}$ と同様に多結晶シリコンを想定 ( $\alpha = 0.14\text{kW}/\text{m}^2$ ). 資源エネルギー庁から取得 [19].
$S'$	太陽光発電システムは建物の屋上に設置するものとし, 最大設置面積は横浜国立大学の公開している建物情報から取得 [13].

● 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, 東京電力のピーク時間に対するピーク抑制を行う. 実績ログは東京電力が公開しているでんき予報 [22] を用いた. またピーク時間帯の定義は, 連続した時間というわかりやすさを重視して, 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 マイクログリッド導入効果の可視化例

4.1 節で述べた実データを用いた可視化例の 1 つとして, 横浜国立大学常盤台キャンパスの 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ピーク抑制効果と地産地消効果を可視化した. 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, 太陽光パネルを設置する屋上の最大面積  $S'$  は  $5252\text{m}^2$  であった.

(1) 再生可能エネルギーや EV の導入数によるピーク抑制効果と地産地消効果

図 9(a)~図 9(e) に 2015 年 7 月 31 日の太陽光発電の設置率, EV の導入台数を変化させたときのマイクログリッド導入効果の可視化例を示す. 図 9(a) のように電力供給元のピーク時間帯が 13~16 時でありその中でも 14~15 時がマイクログリッドの電力ピークで平均瞬間電力が約 250kW となっている. 図 9(b) のように太陽光発電を 30% 設置すると, ピーク時間は 14~15 時のまま変化せず, 平均瞬間電力は太陽光発電により 200kW まで減少した. 次に EV を 15 台導入すると図 9(c) のように, EV からの給電によってピーク時間は 13~16 時までほぼ同一となり平均瞬間電力が約 180kW に減少した. さらに EV15 台を導入したまま太陽光発電の設置率を 100% とすると図 9(d) のように変化する. このとき 10~13 時まで太陽光発電が必要電力量を上回り余剰電力が 51.6kWh 発生し, そのうち 39.4kWh を EV に充電することができた. またこの EV に充電した電力を 13~16 時に給電することで電力の地産地消を行い, ピーク時間が 15~16 時に変化し平均瞬間電力は 50kW まで減少した. 最後に図 9(e) のように EV の導入台数を 40 台まで増加させると, 太陽光発電の余剰電力を全て EV に充電し, ピーク時間帯の電力も 0kW にすることができた.

このように, 太陽光発電の設置率, EV の導入台数に応じてピーク抑制効果, 地産地消効果を確認することができた.

(2) 季節によるピーク抑制効果や地産地消効果の変化  
地産地消効果とピーク抑制効果のカレンダー表示を利用して,

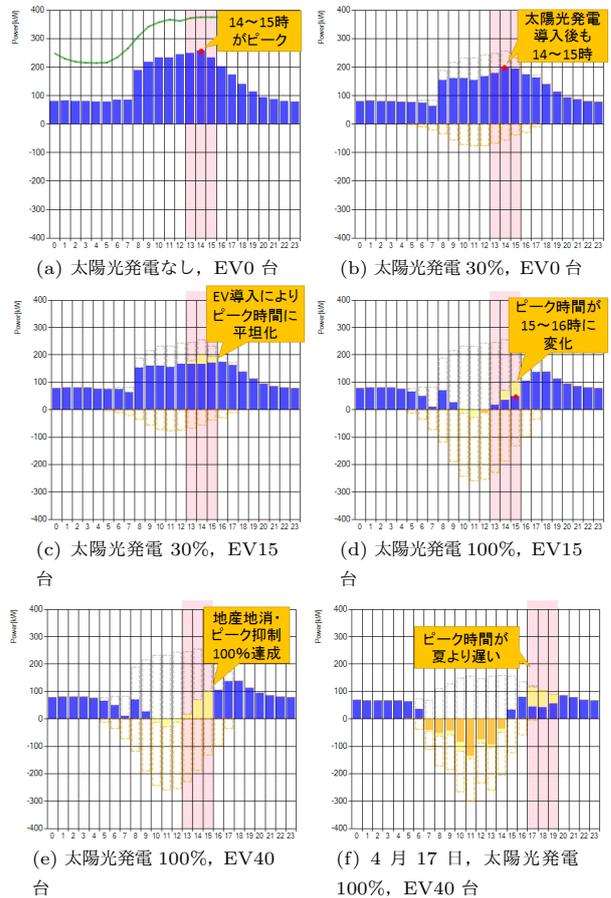


図 9 マイクログリッド導入効果の可視化例

太陽光発電の設置率 100%, EV 導入台数 40 台の場合の 4 月と 7 月のピーク抑制効果と地産地消効果を図 10(a) と図 10(b) に示す. それぞれ赤枠が平日の効果を示している. 太陽光発電の余剰電力量をみると 7 月は 200kWh 以下の余剰発電量がほとんどを占めているが, 4 月の余剰発電が発生した日は 400kWh 以上の発電量となっている. これはピーク抑制効果の数値からもわかるように, 7 月は 4 月と比べて需要電力量が大幅に増えていることが原因と考えられる. このことから, 電力需要の多い夏にピーク抑制を優先する場合, 電力需要の低い春にはマイクログリッド内で発電した電力を消費しきれず余剰発電が多く発生し, 地産地消効果が低くなる傾向があることがわかる.

また, 同条件の 4 月のある 1 日のマイクログリッド導入効果を図 9(f) に示す. この右図からわかるように, 4 月はピークの時間が 17 時以降になっており 7 月のように太陽光発電が多い時間帯にピーク時間が来ないため, 4 月のピーク抑制効果が 0kWh とならなかったことがわかった.

これら 2 つの可視化方法から, 1 日のマイクログリッドの導入効果とカレンダー表示を交互に確認していくことで, その環境ごとのマイクログリッド導入効果の検討が可能であることが確認できた. つまり, マイクログリッドの導入を検討する事業所の意思決定者はこのシステムによって, 太陽光発電や EV の導入台数の検討を行うことができるといえる.

5. ま と め

本研究では太陽光発電と 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のライフログ統合データベースに



(a) 4月



(b) 7月

図 10 太陽光発電設置率 100%, EV 導入台数 40 台のカレンダー表示について述べた。その結果, 太陽光発電の設置率や EV の導入台数に応じたピーク抑制効果や地産地消効果を確認することができた。今後の課題として以下のことが挙げられる。

● ECOLOG データを用いた検討

本論文ではプロトタイプとして, ECOLOG システムによる自動車を EV に置き換えた場合の消費エネルギーの実データは用いず仮定の消費エネルギー量で検討を行った。この仮定データでは検討に全く妥当性はないため, 実際に ECOLOG による推定量を用いてシミュレーションを行う必要がある。

● マイクログリッド導入効果のシミュレーションの評価

シミュレーションを行った場合, その精度についても評価が必要である。上記の ECOLOG の実データを用いたシミュレーションを行った後, 実際に太陽光発電システムを導入してピーク抑制効果や余剰発電量について精度評価を行う必要がある。

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。

文 献

[1] 経済産業省資源エネルギー庁, “平成 25 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書)”, [http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2015pdf/whitepaper2015pdf\\_2\\_1.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2015pdf/whitepaper2015pdf_2_1.pdf) (2016/01/04 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”, 人工知能学会誌, Vol.23, No.4, pp.447-452, 2008.

[3] 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～”, [http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large\\_scale/cap\\_and\\_trade/meeting/cat7846.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large_scale/cap_and_trade/meeting/cat7846.html) (2016/01/04 アクセス)

[4] 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”, 情報処理, Vol.51, No.8, pp.926-933, 2010.

[5] 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.

[6] B. Jansen, C. Binding, O. Sundstrom, D. Gantenbein, “Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant”, 1st IEEE Int. Conf. on Smart Grid Communication (SmartGridComm2010), pp.149-154, 2010.

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

[8] 日産 LEAF to Home, <http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/> (2016/01/04 アクセス)

[9] A.J. Bernheim Brush, John Krumm, Sidhant Gupta, Shwetak Patel, “EVHomeShifter: Evaluating Intelligent Techniques for Using Electrical Vehicle Batteries to Shift When Homes Draw Energy from the grid”, ACM Int. Joint Conf. on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.1077-1088, 2015.

[10] 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—三つの見える化—”, 日本エネルギー学会誌, Vol.91, No.7, pp.563-569, 2012.

[11] 新エネルギー導入促進協議会, “Japan Smart City Portal”, <http://jscp.nepc.or.jp/> (2016/01/04 アクセス)

[12] Lanka Udawatta, Udaya K. Madawala, Dharsana Muthumuni, Mahinda Vilathgamuwa, “Control of Solar Powered Micro-grids Using Electric Vehicles”, IEEE 3rd Int. Conf. on Sustainable Energy Technologies (ICSET 2012), pp.270-275, 2012.

[13] 横浜国立大学施設部, <http://shisetsu.ynu.ac.jp/gakugai/shisetsu/> (2016/01/04 アクセス)

[14] 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.

[15] 高橋 慶多, 細澤 直人, 西本 直樹, 富井 尚志, “電力使用時の多様な状況組み合わせが可能な DB を用いた状況別電力量の置き換え効果の提示”, WebDB Forum 2014, B-6, 2014.

[16] T. Tomii, S. Hagimoto, N. Fueda, T. Deguchi, M. Idenawa, T. Hayashi “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.

[17] 讚井 峻, 吉本 亘汰, 柏原 勇太, 川沼 大輝, 萩本 慎太郎, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の精度検証”, DEIM Forum 2015 C3-5.

[18] 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”。

[19] 資源エネルギー庁, “発電量シミュレーター”, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/ohisama\\_power/sim/index.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/sim/index.html) (2016/01/04 アクセス)

[20] 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”, <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html> (2016/01/04 アクセス)

[21] 気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (2016/01/04 アクセス)

[22] 東京電力でんき予報, <http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html> (2016/01/04 アクセス)

[23] 横浜市環境創造局, <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/> (2016/01/04 アクセス)

[24] 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.