

# 電力量分布可視化手法による ミクロなエネルギーライフログの状況別集約と有用性評価

西山 誠人<sup>†</sup> 田中 雄哉<sup>†</sup> 北島 大<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: †{nishiyama-masato-vt,tanaka-yuya-tx,kitajima-masaru-vj}@ynu.jp, ††{hondo,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 社会的な電力削減要求の高まりから、オフィスなどの業務部門においては仕事の生産性を損なわず、状況に応じた減り張りのある電力の使い方が求められている。一方で、近年のセンサ技術の発達により、電力使用に関するライフログが取得可能となった。そこで我々は前述のログを DB に保存し、状況をキーとした電力の検索・集約により消費電力を可視化するシステムを構築した。本稿では前述のシステムを用いて、状況に応じた電力の使い方を直感的に把握できる電力量分布を提案し、その効果を削減電力量として定量的に導出することで有用性を示す。

キーワード エネルギーライフログ、センサデータベース、状況別電力量可視化

## 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・学校のようなオフィス環境であり、これらの分野において電力削減が必要とされている [1]。そのため、電力管理システム (Building Energy Management System : BEMS) や省エネ志向のオフィスビル (Net Zero Energy Building : ZEB) の普及が推進されている [2] [3]。さらに、東日本大震災以降は原子力発電の停止に伴い稼働された火力発電の使用を控えるため、電力量を削減するだけでなく社会的な電力ピーク時間帯における電力需要を下げることが重要視されている。

しかし、オフィス環境における電力使用は仕事の生産性に繋がっており、闇雲な電力削減は望ましくない。そこで、「仕事に使われない電力は積極的に削減する」、「仕事に使われる電力は生産性を落とさずに削減する」などの状況に応じた電力の使い方が望ましい。一方で、センシング技術の発達や大容量で低価格なストレージの普及により、実世界における電力使用に関するライフログを取得することが容易となった [4]。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電力使用に関するライフログをデータベースに蓄積することで、状況をキーとした電力の検索・集約により消費電力を可視化するシステムを構築し、SEE-Con と名付けた [5]。

さて、従来の電力管理システムではユーザーが「どのような電力の使い方をすれば、どのくらいの電力が削減できるか」や「実際に電力の使い方を改善した結果、どのくらいの電力が削減できたか」といったような電力が削減される要因を細かく分析できないという問題点がある。一方で、個人的な能力や置かれた状況から対象行動が実行できそうと感じれば、ユーザーは電力

の使い方の改善に対する行動意図が高まると言われている [6]。

そこで本論文では、SEE-Con で取得した電力ログと電力使用に関するライフログから、状況に応じた電力の使い方を直感的に把握できる電力量分布を提案する。この提案手法を用いて、複数の事例において評価実験を行い、電力管理者がユーザの電力使用改善による削減電力量を定量的に導出することで提案手法の有用性を示す。

## 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関わらず大きな増加は見られていない。それに対し、運輸部門、家庭部門、業務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 [1]。

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。例えば 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。

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 [6]。例えば、Nakamura ら [8] は「ヒトによる省エネ」を重視し、彼らが提案するホームネットワークシステム CS27-HNS を用いて消費電力の可視化を行い、利用者の自発的な省エネを支援する研究を行っている。

業務部門においては、有効な電力削減手段の 1 つとして、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[2]、オフィスビルを中心としてエネルギーを自給自足し、化石燃料などから得られるエネルギー消費量がゼロとなる建築物である ZEB (Net Zero Energy Building) の普及が望まれている [3]。例えば松山ら [9] 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。江崎ら [10] は「東大グリーン ICT プロジェクト」を立ち上げ、東京大学工学部 2 号棟をフィールドとした電力使用状況の可視化に関する実証実験を行い、30%以上の削減効果を挙げている。Kamilaris ら [11] はシンガポール国立大学のビル 1 棟における ICT 機器を調査し、各 ICT 機器ごとに有効な電力削減マニュアルを作成することで、年間あたりに削減可能な消費電力量を推定した。Tham ら [12] はシンガポール国立大学内の居住エリアにおいて「EnergySense」というアプリケーションを用いて人に対して賢い電力の使い方を通知し、インセンティブを与えることで省エネを促進する実証実験を行った。Choi ら [13] はオフィス環境において、利用者が退室時の PC・モニター・照明の電力を Beacon とスマートフォンを用いて自動削減する実証実験を行った。Stavropoulos ら [14] はオフィス環境において約 4ヶ月間、RFID やスマートプラグを用いてビル内の人の行動情報や HVAC・ICT 機器の消費電力を取得し、様々な観点から消費電力を可視化するシステムを構築した。

また震災以降、従来の省エネ以外に社会的な電力ピーク時間帯の電力をいかに削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 [15] 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。

さらに近年では、地域内で電力を融通するマイクログリッドの研究や実証実験が盛んに行われている。例えば Jain ら [16] は、ユーザの 1 日の電化製品利用スケジュールを入力として発電機の稼働時間の最適化を行い、軽油の消費量を最小化する実証実験を行った。

## 2.2 問題設定

オフィス環境における電力使用は仕事の生産性に繋がっているため、闇雲な電力削減は望ましくない。そこで、「仕事に使われない電力は積極的に削減する」、「仕事に使われる電力は生産性を落とさずに削減する」などの状況に応じた電力の使い方が望ましい。しかし、従来の電力管理システムではユーザが「どのような電力の使い方をすれば、どのくらいの電力が削減できるか」や「実際に電力の使い方を改善した結果、どのくらいの電力が削減できたか」といったような電力が削減される要因を細かく分析できないという問題点がある。

一方でユーザに対して電力の使い方の改善に対する動機付けを行うための要因は以下の 4 つとされている [6]。

- (1) 態度：対象行動に対する自分の好み
- (2) 道徳的規範：個人が正しいと思っている内的な規則
- (3) 主観的規範：自分にとって重要な人からの一種の圧力
- (4) 行動制御感：対象行動が実行できそうか否か

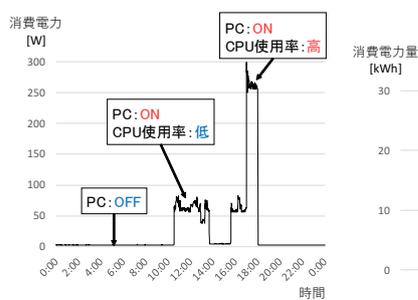


図 1 PC の電力波形

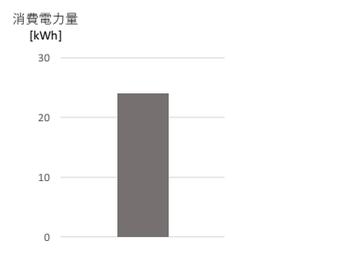


図 2 PC の電力量を集約した棒グラフ

このうち (4) に関しては、個人的な能力や置かれた状況から対象行動が実行できそうと感じれば、ユーザは電力の使い方の改善に対する行動意図が高まると述べられている。

そこで本論文では、SEE-Con で取得した電力ログと電力使用に関するライフログを用いて、状況に応じた電力の使い方を直感的に把握できる電力量分布を提案する。この電力量分布を用いて、複数の事例において以下の 2 点を定量的に導出することを本論文で解決すべき課題とする。

- ユーザが仮に電力使用を改善した時の削減電力量
- ユーザが実際に電力使用を改善した時の削減電力量

## 3. 削減電力量の導出

### 3.1 電化製品の特徴

電化製品の消費電力は使用状況によって異なる。図 1 は実装環境内のあるユーザの 1 日の PC の電力波形 (縦軸：消費電力 [W]、横軸：時間)、図 2 はあるユーザの 1ヶ月間の PC の消費電力量を集約した棒グラフ (縦軸：消費電力量 [kWh]) である。図 1 を見ると、PC の ON・OFF や CPU の使用率によって消費電力が変動することが分かる。このような消費電力の変動は秒～分単位といったマイクロな単位 (瞬時値) で発生し一つ一つを確認することは困難である。また、この瞬時値一つ一つは小さいが、積算すると無視できないほど大きくなるため、週や月単位といったマクロな単位 (総量) で集約する必要がある。その際、2.2 節で述べた状況に応じた電力の使い方をするためには細かい状況を考慮する必要があるが、週や月単位といったマクロな単位で集約した場合、図 2 のように消費電力の変動のような細かい状況が考慮できなくなる。そこで、本研究ではこの 2 つのギャップを埋める適切な集約を行い、細かい状況まで考慮できる電力量分布の提案を行う。

### 3.2 データベースの設計

図 3 はある 1 日のユーザ A の行動変化と PC の状態変化である。ユーザ A は 9 時に仕事場に着き、自分の席で PC を ON にして仕事を始めた。12 時から昼食に行くために席を離れ、昼食から帰ってきてからは自分の席を離れて 13 時から 17 時まで会議室でミーティングを行った。このときユーザ A は PC を OFF にすることを忘れてしまった。その後、ユーザ A は自分の席に戻り 17 時から 18 時まで PC を使って高負荷を伴うマルチメディア処理の実験を行った。そして、18 時に PC を OFF にして帰宅した。この中で状況に応じた電力の使い方を考える。

2.2 節で述べたように、オフィス環境における電力は生産性



図3 ある1日のオフィスユーザの行動変化とPCの状態変化

に直結しているため、生産性を損なわず状況に応じた電力の使い方をすることが望ましい。例えば、図3の12時～17時のPCの電力は退室時とミーティング時にPCをOFFにし忘れたため無駄に使用された電力であり削減すべきである。一方で9時～12時のPCの電力は通常業務時に使用されたものであり、電力効率の良い電化製品に置き換えるなどの生産性を損なわないような電力の削減をすることが望ましい。17時～18時のPCの電力は実験時に使用されたものであり、通常業務時と比較して電力消費が大きい仕事である。また、ある1日の中で17時～18時は社会的なピーク時間帯であるためPCを用いた高負荷を伴うマルチメディア処理の実験は電力ピーク時間帯外に行うことが望ましい。この例から分かるように、状況に応じた電力の使い方は「いつ(When)、だれが(Who)、どのような状態の(How)電化製品を(What)、どこで(Where)、どのような理由で(Why)使用したか」(5W1H)によって異なる。そこで我々は、5W1Hが検索可能なデータベースの設計・実装を行った[17]。そのデータベースのインスタンス図を図4に、各テーブルと要素については表1に示す。

例えば、「ユーザAが自分のPCを通常業務のために使用した電力量」を検索したい場合は「ユーザAが自分のPCを使用して通常業務をしていた時点集合」を検索する。図4における「ユーザAが通常業務」「ユーザAがAのデスク前」「ユーザAがPC使用中」「PCがON」という状態のリレーション(図4灰色実線)を持つ時点(図4赤色破線)が検索対象の時点である。そして、その時点と「ユーザAのPC」のリレーションである電力ログを検索する(図4青色一点鎖線)。最後に、この電力ログの電力を積算することで「ユーザAが自分のPCを通常業務のために使用した電力量」を導出することが可能である。

### 3.3 NEEDAS

#### 3.3.1 状況を考慮した電力量分布

2.2節で述べたように、オフィス環境においては仕事の生産性を損なわず、状況に応じた電力の使い方が望ましい。そのため、3.1節で述べた細かい状況まで把握できる電力の提示が必要である。そこで本研究では、電化製品の特徴を考慮した電力量分布NEEDAS(Normlized Electric Energy Distribution per Appliance and State: 単位時間に正規化された電化製品・状態ごとの電力量分布)を提案する。NEEDASとは、横軸に

消費電力[W]、縦軸にその消費電力計測時に消費した電力量の合計[Wh]をプロットした電力量分布を、単位時間当たり正規化[Wh/min]したグラフである。3.2節で述べたデータベースを用いて、NEEDASの定式化モデルを以下に示す。

- (1) ある時点スロット  $t_{(k_{start})}$  から  $t_{(k_{end})}$  までに電化製品  $a$  を状態  $S'_U, S'_A, S'_{UA}, S'_L$  で使用したときのNEEDASを導出する。このとき、 $t_{(k_{start})}, t_{(k_{end})}, a, S'_U, S'_A, S'_{UA}, S'_L$  を次のように仮定する。

$$\exists k_{start}, k_{end} | t_{(k_{start})}, t_{(k_{end})} \in \mathbb{T}$$

$$a \in A$$

$$S'_U \subseteq S_U, S'_A \subseteq S_A, S'_{UA} \subseteq S_{UA}, S'_L \subseteq S_L$$

- (2)  $t_{(k_{start})}$  から  $t_{(k_{end})}$  までの間に状態が  $S'_U, S'_A, S'_{UA}, S'_L$  であったときの時間スロット集合  $\mathbb{T}'$  を導出する。

$$\mathbb{T}' = \{t_{(k)} | k_{start} \leq k \leq k_{end}\}$$

$$\wedge \forall s'_{U(i,j)} \in S'_U, (t_{(k)}, s'_{U(i,j)}) \in X_U$$

$$\wedge \forall s'_{A(m,n)} \in S'_A, (t_{(k)}, s'_{A(m,n)}) \in X_A$$

$$\wedge \forall s'_{UA(i,m)} \in S'_{UA}, (t_{(k)}, s'_{UA(i,m)}) \in X_{UA}$$

$$\wedge \forall s'_{L(i,v)} \in S'_L, (t_{(k)}, s'_{L(i,v)}) \in X_L$$

- (3)  $\mathbb{T}'$  における電力ログから電化製品  $a$  の  $h+1$  次元ベクトルの頻度分布  $D_{count}$  を導出する。このとき、 $l$  は量子化ステップ番号、 $h$  は最大量子化ステップ数である。

$$D_{count} = (d_0, d_1, \dots, d_h)$$

$$d_l = count(\mathbb{P}(l)) \quad \text{ただし、} count(S) \text{ は集合 } S \text{ の要素数}$$

$$\mathbb{P}(l) = \{p_{(m,k)} | t_{(k)} \in \mathbb{T}' \wedge a_{(m)} = a \wedge p_{(m,k)}.q = l\}$$

例えば  $\mathbb{P}(5)$  は  $5 \cdot \epsilon (= 0.6[W]) = 3W$  のときの  $p_{(m,k)}$  のレコード集合である。

- (4)  $D_{count}$  から  $\mathbb{T}'$  における電力量分布  $D_{energy}$  を導出する。

$$D_{energy} = (e_0, e_1, \dots, e_h)$$

$$e_l[J] = l\epsilon[W] \cdot d_l \tau[sec]$$

$$= l d_l \cdot \epsilon \tau [J]$$

$\epsilon \tau [J]$  はエネルギーの最小量子である。

(ただし、実装環境ではレコードのサンプリング間隔  $\epsilon = 0.6[W]$ 、 $\tau = 60[sec]$ 、 $\epsilon \tau = 36[J] = 10^{-5}[kWh]$  とした。)

- (5)  $D_{energy}$  からNEEDAS  $D_{NEEDAS}$  を導出する。

$$D_{NEEDAS} = (\bar{e}_0, \bar{e}_1, \dots, \bar{e}_h)$$

$$= \frac{D_{energy}}{count(\mathbb{T}') \cdot \tau}$$

図5, 6に実装環境内において、約1ヶ月間のログデータを基に作成したあるユーザの使用するPCのNEEDASの例を示す。

#### 3.3.2 NEEDASの特徴

面積 = 電力量

NEEDASは同じ電力[W]であるサンプルを「同じ状況」とみなし、電力[W]で排他分割された「その状況(すなわち時点集合)」の電力量[Wh]を示したグラフである<sup>(注1)</sup>。

(注1): 縦軸は [Wh/min] だが、説明を簡単にするため、ここでは時間正規化を省略して、縦軸を [Wh] として説明している。

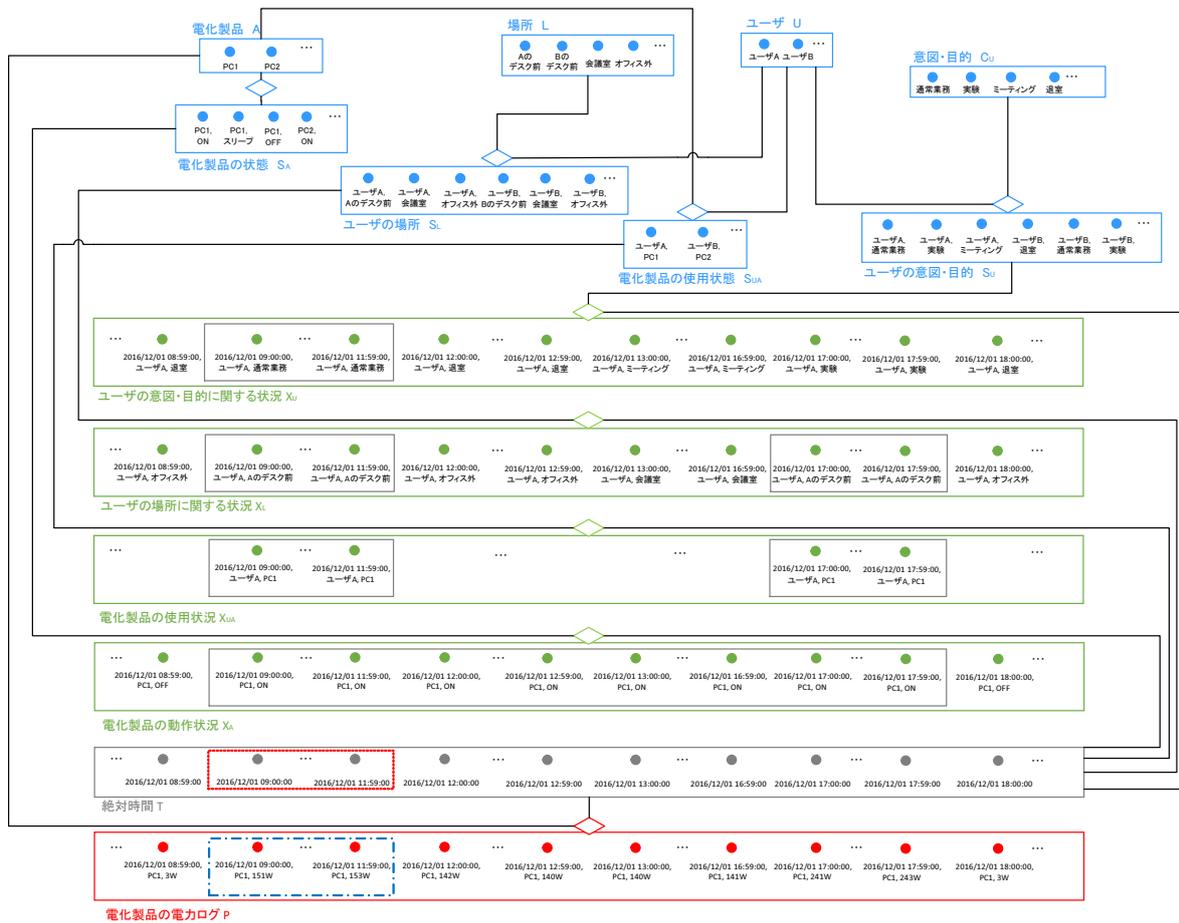


図 4 データベースのインスタンス図

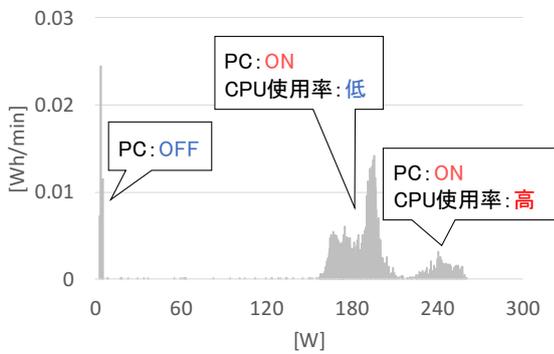


図 5 PC の NEEDAS

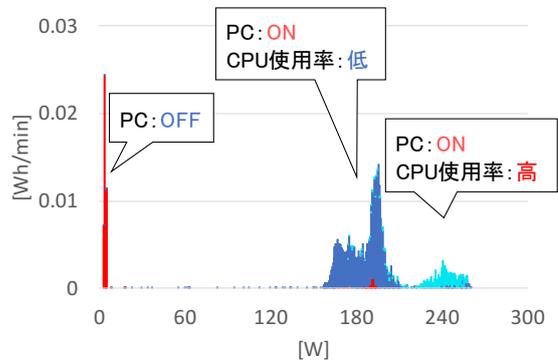


図 6 状況別に色分けした PC の NEEDAS

したがって、NEEDAS の縦軸 (電力量 [Wh]) を横軸 (電力 [W]) 上で積分した面積がその状況下の総消費電力量 [Wh] に該当する。

横軸 = 使用状況

NEEDAS の横軸は電力 [W] である。3.1 節で述べたように電力は電化製品の稼働状態に応じて変動する。つまり、横軸は電化製品の状況を示している。例えば、図 5 の NEEDAS は左の分布から順に「PC: OFF」, 「PC: ON, CPU 使用率低」, 「PC: ON, CPU 使用率: 高」の電力量を表す。このように分布の位置を見ることでどのような使用状況 ([W]) のときにどれほどの総消費電力量 ([Wh]) だっ

たのかを把握することができる。

電力使用に関するライフログとの組み合わせ

SEE-Con で取得している電力使用に関するライフログ (状況ログ) を用いることで図 6 のように NEEDAS をユーザーの状況ごとに色分けすることができる。図 6 は図 5 の NEEDAS をユーザーが通常業務 (青色)・実験 (水色)・ミーティング (橙色)・退室 (赤色) 時の電力に分けたものである。ここで、通常業務時の電力 (青色) と実験時の電力 (水色) は基本的には仕事に使用される電力である。一方、実装環境におけるミーティングは自分の席を離れて行うため、その時の電力 (橙色) は仕事に使用されない無駄な電力で

表 1 各テーブルの説明

テーブルと要素	説明
$u_{(i)} \in U$	ユーザ (Who) を要素として持つテーブル.
$c_{U(j)} \in C_U$	ユーザの概念的状態 (Why) を要素として持つテーブル.
$a_{(m)} \in A$	電化製品 (What) を要素として持つテーブル.
$l_{(v)} \in L$	場所 (Where) を要素として持つテーブル.
$s_{U(i,j)} \in S_U$	ユーザ $U$ (Who) とユーザの概念的状態 $C_U$ (Why) のリレーションで, $u_{(i)}$ が $c_{U(j)}$ であるような状態 (State) を表す. $s_{U(i,j)} = (u_{(i)}, c_{U(j)})$
$s_{A(m)} \in S_A$	電化製品 $A$ (What) と電化製品の稼働状態 (How) のリレーションで, $a_{(m)}$ の稼働状態 (State) を表す.
$s_{UA(i,m)} \in S_{UA}$	ユーザ $U$ (Who) と電化製品の $A$ (What) のリレーションで, $u_{(i)}$ が $a_{(m)}$ を使用している状態 (State) を表す. $s_{UA(i,m)} = (u_{(i)}, a_{(m)})$
$s_{L(i,v)} \in S_L$	ユーザ $U$ (Who) と場所 $L$ (Where) のリレーションで, $u_{(i)}$ が $l_{(v)}$ にいる状態 (State) を表す. $s_{L(i,v)} = (u_{(i)}, l_{(v)})$
$x_{U(i,j,k)} \in X_U$	時間スロット $T$ (When) とユーザの状態 $S_U$ (Who, Why) のリレーション. いつ, 誰が, どのような状態であったかを示す. $x_{U(i,j,k)} = (t_{(k)}, s_{U(i,j)})$
$x_{A(m,n,k)} \in X_A$	時間スロット $T$ (When) と電化製品の状態 $S_A$ (What, How) のリレーション. いつ, どの電化製品が, どのような稼働状態だったかを示す. $x_{A(m,n,k)} = (t_{(k)}, s_{A(m,n)})$
$x_{UA(i,m,k)} \in X_{UA}$	時間スロット $T$ (When) とユーザが使用している電化製品 $S_{UA}$ (Who, What) のリレーション. いつ, 誰が, 何の電化製品を使用していたかを示す. $x_{UA(i,m,k)} = (t_{(k)}, s_{UA(i,m)})$
$x_{L(i,v,k)} \in X_L$	時間スロット $T$ (When) とユーザの場所 $S_L$ (Who, Where) のリレーション. いつ, 誰が, どこにいたかを示す. $x_{L(i,v,k)} = (t_{(k)}, s_{L(i,v)})$
$t_{(k)} \in T$	時間スロット (When) を要素として持つテーブル. $t_{(k)} = \langle t_{(k)}^-, t_{(k)}^+ \rangle$ は時点 $t_{(k)}^-$ から時点 $t_{(k)}^+$ までの長さ $\tau$ の時間スロットである. $\tau$ は電力ログ計測のサンプリング間隔であり, 実装環境では 60[sec] とした. $t_{(k)}^- = t_0 + k\tau$ . $t_{(k)}^+ = t_0 + (k+1)\tau$ . ただし $t_0$ は計測開始時点.
$P_{(m,k)} \in P$	時間スロット $T$ (When) と電化製品 $A$ (What) のリレーションで, 電力ログの 1 レコードを表す. いつ, どの電化製品が, サンプリング間隔 $\tau$ の間にどれほどの平均消費電力だったかを示すエンティティである. $P_{(m,k)} = (t_{(k)}, a_{(m)})$ . すなわち, $P_{(m,k)}$ は $a_{(m)}$ の $t_{(k)}$ における電力ログの存在を表し, その属性値として量子化電力 $P_{(m,k)}.q$ を持つ. ここで, $a_{(m)}$ の $t_{(k)}$ における総消費電力量 $e_{m,k}$ [J] が計測されたときの平均消費電力 $w_{(m,k)}$ [W] は $w_{(m,k)} = e_{m,k}/\tau$ と求まる. $w_{(m,k)}$ を量子化ステップ $\epsilon$ [W] で量子化する. このとき, $P_{(m,k)}.q = \lceil w_{(m,k)}/\epsilon \rceil \cdot \epsilon$ . ここで, 実装データロガー ([Wh] の単位で記録) と NEEDAS 横軸 [W] の変換の手間を考慮して, $\epsilon$ を 0.6[W] とした.

ある. 同様に, 退室時の電力 (赤色) も基本的には仕事に使用されない無駄な電力である.

### 期間による仕事の違いを表現

NEEDAS は導出の際に時間正規化を行うため時間に依存しないグラフである. 長期間のログを基に NEEDAS を作成すれば, その期間中の全体的な電力消費傾向を把握することができる. また, 短期間のログで NEEDAS を作成すれば, その期間固有の NEEDAS を作成できる. 両者は時間正規化されるため傾向を比較することが可能である. また, 同様の状況が継続される時間  $t$ [min] を仮定したとき, その時間を NEEDAS の面積にかけると, その時間の仮定の総電力量を算出することができる.

### 3.4 削減電力量導出の手順

本節では削減電力量の導出手順について述べる. 削減電力量を導出するためには, 電力の使い方を改善する前後 2 つの NEEDAS を比較することで, 電力の使い方を改善する前に予測される削減電力量や実際に電力の使い方を改善した後の削減電力量を定量的に導出することができる. 基本的には, 同じ状況下での電力ログから NEEDAS を生成し, 両者を比較する. 図 7 はあるユーザが通常業務時に使用する電力効率の悪い PC から電力効率の良い PC に置き換えた時の削減電力量の導出例である.

3.2 節で述べたデータベースを用いて, NEEDAS の比較手法の定式化モデルを以下に示す.

- (1) 電力使用改善前の NEEDAS を  $D_1$ , 電力使用改善後の NEEDAS を  $D_2$  とおく.  $D_1, D_2$  は以下のように定義する.

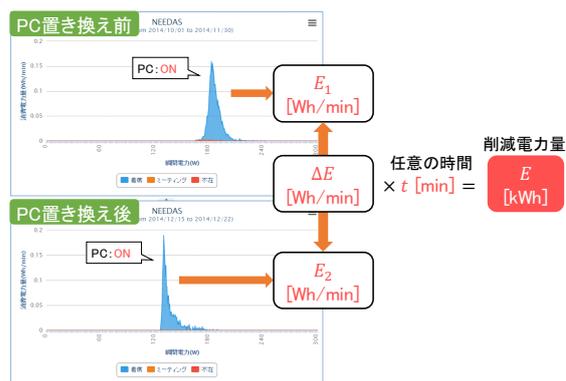


図 7 削減電力量の導出

$$D_1 = \{\bar{e}_{1,0}, \bar{e}_{1,1}, \dots, \bar{e}_{1,h}\} \quad h+1 \text{次元ベクトル}$$

$$D_2 = \{\bar{e}_{2,0}, \bar{e}_{2,1}, \dots, \bar{e}_{2,h}\} \quad h+1 \text{次元ベクトル}$$

- (2)  $D_1, D_2$  の総電力量  $\bar{E}_1, \bar{E}_2$ [Wh/min] を算出する.

$$\bar{E}_1 [Wh/min] = \sum_{k=0}^h \bar{e}_{1,k}$$

$$\bar{E}_2 [Wh/min] = \sum_{k=0}^h \bar{e}_{2,k}$$

- (3)  $\bar{E}_1, \bar{E}_2$  の差分  $\Delta\bar{E}$ [Wh/min] と任意の時間  $t$ [min] の積  $E$ [Wh] を算出する.  $E$  が任意の時間の削減電力量となる.

$$\Delta\bar{E} [Wh/min] = \bar{E}_1 - \bar{E}_2$$

$$E [Wh] = \Delta\bar{E} [Wh/min] \times t [min]$$

## 4. 実装環境

NEEDAS による削減電力量の導出を検証するために実装環

表 2 実装環境の概要

実装環境	情報工学の研究室 1 部屋 (164m <sup>2</sup> )
利用者数	16 名
電化製品数	49 個
その他の特徴	各ユーザが個人デスク (PC や付属機器) を使用 週 2 回全体ミーティングが行われる際に席を離れる

境にて実験を行った。実装環境の概要を表 2 に示す。

#### 4.1 電力ログ取得

電力ログ取得には市販のスマートタップ<sup>(注2)</sup>を用いた。このスマートタップでは 1W, 1 秒単位で電力データが取得可能だが、本研究ではデータ量に配慮して時間粒度を 1 分としてデータベースへの蓄積を行った。

#### 4.2 状況ログ取得

ユーザの状況については市販の PaSoRi<sup>(注3)</sup>を用いて、入室・ミーティング・退室の 3 つの状況を取得した。また、実験時の状況は実験時の時間帯を手動で記録して状況ログに追加した。電化製品の状況については 3.1 節で述べたように消費電力の値から推測した。取得された状況は電力ログの時間粒度と合わせて 1 分単位での蓄積を行った。

### 5. 評価実験

著者らの先行研究 [17] では提案手法の正確性の検証を行ったが、本論文では有用性について検証を行う。評価実験の流れを以下に示す。

- (1) 電力管理者が電力使用改善前の期間におけるユーザの使用する PC の NEEDAS を導出する
- (2) 電力管理者が (1) の NEEDAS からユーザに対する電力使用改善方法を診断し、「ユーザが仮に電力使用を改善した際に削減できる電力量」を導出する
- (3) 電力管理者がユーザに対して (2) の電力使用改善方法を提案する
- (4) 電力管理者が電力使用改善後の期間におけるユーザの使用する PC の NEEDAS を導出する
- (5) 電力管理者が (4) の NEEDAS から「ユーザが実際に電力使用を改善したことで削減できた電力量」を導出する

本論文における提案手法を用いて、以下に示す複数の事例において、上記の削減電力量を定量的に導出することで提案手法の有用性を示す。

#### 5.1 仕事に使われない電力の削減

##### 5.1.1 退室時における消し忘れの改善

###### 電力使用改善前

図 8 の電力使用改善前の期間における上部のグラフは、ユーザ A が退室時にユーザ A の使用する PC<sub>A</sub> の NEEDAS、下部のグラフは、ユーザ A が退室時に PC<sub>A</sub> が OFF の時の

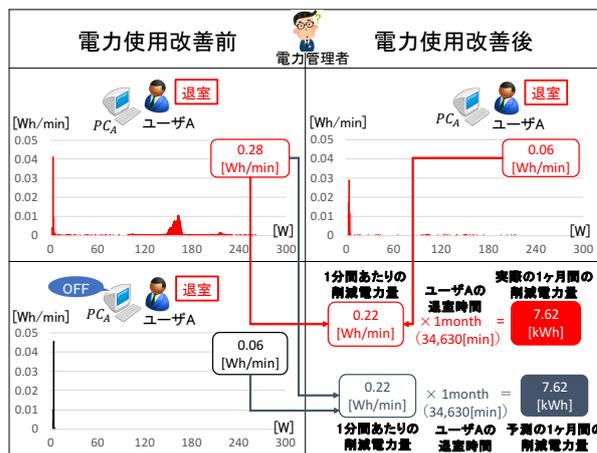


図 8 ユーザ A が退室時の PC<sub>A</sub> の NEEDAS

NEEDAS である。電力管理者が各状況ごとの NEEDAS を比較した結果、仮にユーザ A が退室時に PC<sub>A</sub> を OFF にした場合の単位時間あたりの削減電力量は 0.22Wh/min、この電力の使い方を 1ヶ月間で 34,630 分間行った場合、7.62kWh の電力量が削減できると推定された。そこで、電力管理者はユーザ A に対して「ユーザ A が退室時に PC<sub>A</sub> を OFF にする」ことで、1ヶ月間に 7.62kWh の電力量が削減できるとい改善提案を行った。

###### 電力使用改善後

図 8 の電力使用改善後の期間におけるグラフは、ユーザ A が退室時にユーザ A の使用する PC<sub>A</sub> の NEEDAS である。電力管理者は、電力使用改善前の期間におけるユーザ A が退室時の PC<sub>A</sub> の NEEDAS と、電力使用改善後の期間におけるユーザ A が退室時の PC<sub>A</sub> の NEEDAS を比較した。その結果、「ユーザ A が退室時に PC<sub>A</sub> を OFF にした」ことによる単位時間あたりの削減電力量は 0.22Wh/min、ユーザ A はこの電力の使い方を 1ヶ月間に 34,630 分間行ったため、7.62kWh の電力量を削減できたことが分かった。

##### 5.1.2 ミーティング時における消し忘れの改善

###### 電力使用改善前

図 9 の電力使用改善前の期間における上部のグラフは、ユーザ A がミーティング時にユーザ A の使用する PC<sub>A</sub> の NEEDAS、下部のグラフは、ユーザ A がミーティング時に PC<sub>A</sub> が OFF の時の NEEDAS である。電力管理者が各状況ごとの NEEDAS を比較した結果、仮にユーザ A がミーティング時に PC<sub>A</sub> を OFF にした場合の単位時間あたりの削減電力量は 2.95Wh/min、この電力の使い方を 1ヶ月間で 1,111 分間行った場合、3.28kWh の電力量が削減できると推定された。そこで、電力管理者はユーザ A に対して「ユーザ A がミーティング時に PC<sub>A</sub> を OFF にする」ことで、1ヶ月間に 3.28kWh の電力量が削減できるとい改善提案を行った。

###### 電力使用改善後

図 9 の電力使用改善後の期間におけるグラフは、ユーザ A がミーティング時にユーザ A の使用する PC<sub>A</sub> の NEEDAS である。電力管理者は、電力使用改善前の期間における

(注2): 富士通 コンポーネントスマートコンセント FX-5204PS, [http://www.fcl.fujitsu.com/services/smart-power-strip/\(2017/01/05 アクセス\)](http://www.fcl.fujitsu.com/services/smart-power-strip/(2017/01/05アクセス))

(注3): 非接触 IC カードリーダー/ライター PaSoRi RC-S380, <http://www.sony.co.jp/Products/felica/consumer/products/index.html> (2017/01/30 アクセス)

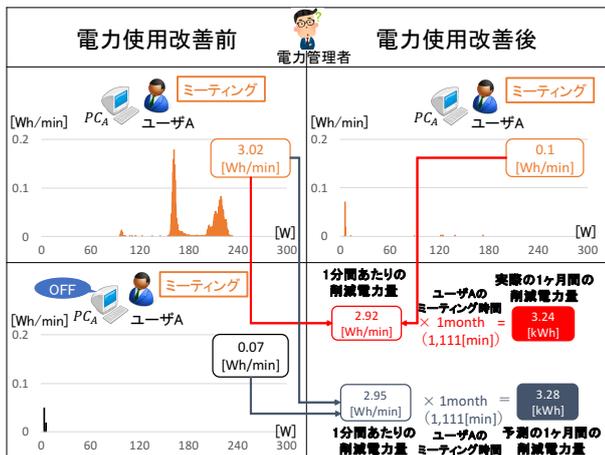


図9 ユーザAがミーティング時のPC<sub>A</sub>のNEEDAS

ユーザAがミーティング時のPC<sub>A</sub>のNEEDASと、電力使用改善後の期間におけるユーザAがミーティング時のPC<sub>A</sub>のNEEDASを比較した。その結果、「ユーザAがミーティング時にPC<sub>A</sub>をOFFにした」ことによる単位時間あたりの削減電力量は2.92Wh/min、ユーザAはこの電力の使い方を1ヶ月間に1,111分間行ったため、3.24kWhの電力量を削減できたことが分かった。

## 5.2 仕事に使われる電力の削減

### 5.2.1 電力効率の良い電化製品への置き換え

#### 電力使用改善前

図10の電力使用改善前の期間における上部のグラフは、ユーザBが通常業務時にユーザBの使用するPC<sub>B</sub>のNEEDAS、下部のグラフは、ユーザCが通常業務時にユーザCの使用するPC<sub>C</sub>のNEEDASである。電力管理者が両PCのNEEDASを比較すると、両者は同じ仕事をしているにも関わらず、PC<sub>B</sub>のほうがPC<sub>C</sub>と比較して消費電力が高く、単位時間当たりの消費電力量が大きいことが分かった。そこで、電力管理者はPC<sub>B</sub>のほうがPC<sub>C</sub>よりも電力効率が悪いと判断した。その際、仮にユーザBがPC<sub>C</sub>を使用することによる単位時間当たりの削減電力量は2.13Wh/min、この電力の使い方を1ヶ月間に8,429分間行った場合、17.95kWhの電力量が削減できると推定された。そこで、電力管理者はユーザBに対して「ユーザBがPC<sub>C</sub>と同じスペックのPC<sub>C'</sub>に置き換える」ことで、1ヶ月間に17.95kWhの電力量が削減できるという改善提案を行った。

#### 電力使用改善後

図10の電力使用改善後の期間におけるグラフは、ユーザBが通常業務時にユーザBの使用するPC<sub>C'</sub>のNEEDASである。電力管理者は、電力使用改善前の期間におけるユーザBが通常業務時のPC<sub>B</sub>のNEEDASと、電力使用改善後の期間におけるユーザBが通常業務時のPC<sub>C'</sub>のNEEDASを比較した。その結果、「ユーザBがPC<sub>C</sub>と同じスペックのPC<sub>C'</sub>に置き換えた」ことによる単位時間当たりの削減電力量は2.11Wh/min、ユーザBはこの電力の使い方を1ヶ月間に8,429分間行ったため、17.79kWh

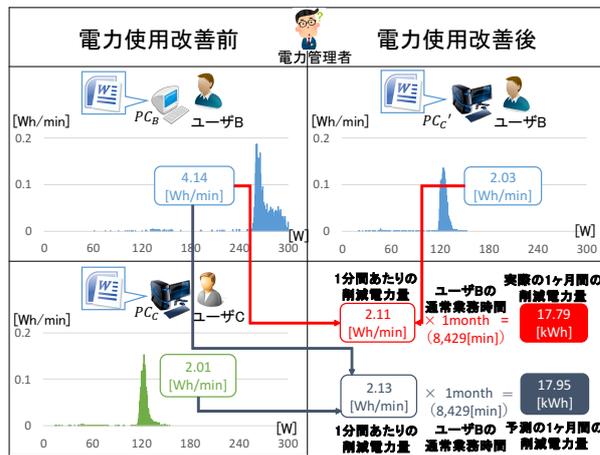


図10 ユーザBが通常業務時のPC<sub>B</sub>、PC<sub>C'</sub>のNEEDASとユーザCが通常業務時のPC<sub>C</sub>のNEEDAS

の電力量を削減できたことが分かった。

### 5.2.2 ピークシフト<sup>(注4)</sup>を考慮した仕事の時間帯変更

まず、電力管理者は任意の期間においてユーザDが通常業務時と実験時のPC<sub>D</sub>のNEEDASを導出する。

#### 電力使用改善前

図11の電力使用改善前の期間における上部のグラフは、ピーク時間外にユーザDの使用するPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDAS、下部のグラフは、ピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASである。電力管理者が各NEEDASを分析すると、任意の期間においてユーザDが通常業務時のPC<sub>D</sub>のNEEDASとピーク時間外にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASの形、消費電力、単位時間当たりの消費電力量が類似していることから、ユーザDはピーク時間外にPC<sub>D</sub>を用いて通常業務を行っているかと判断した。同様に、任意の期間においてユーザDが実験時のPC<sub>D</sub>のNEEDASとピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASの形、消費電力、単位時間当たりの消費電力量が類似していることから、ユーザDはピーク時間帯にPC<sub>D</sub>を用いて実験を行っているかと判断した。その際、仮にユーザDがピーク時間帯にPC<sub>D</sub>で行っていた実験を通常業務に変えることによる単位時間当たりの削減電力量は0.82Wh/min、この電力の使い方を1ヶ月間に1,200分間行った場合、0.98kWhの電力量が削減できると推定された。そこで、電力管理者はユーザDに対して「ユーザDがピーク時間帯にPC<sub>D</sub>で行っていた実験を通常業務に変える」ことで、1ヶ月間のピーク時間帯において0.98kWhの電力量が削減できるという改善提案を行った。

#### 電力使用改善後

図11の電力使用改善後の期間における上部のグラフは、ピーク時間外にユーザDの使用するPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDAS、下部のグラフは、ピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASである。電力管理者が各NEEDASを分

(注4)：本論文で使用する社会的な電力ピーク時間帯は東京電力が公開しているでんき予報[18]を用い、1日の最大電力の時間帯1時間とした。

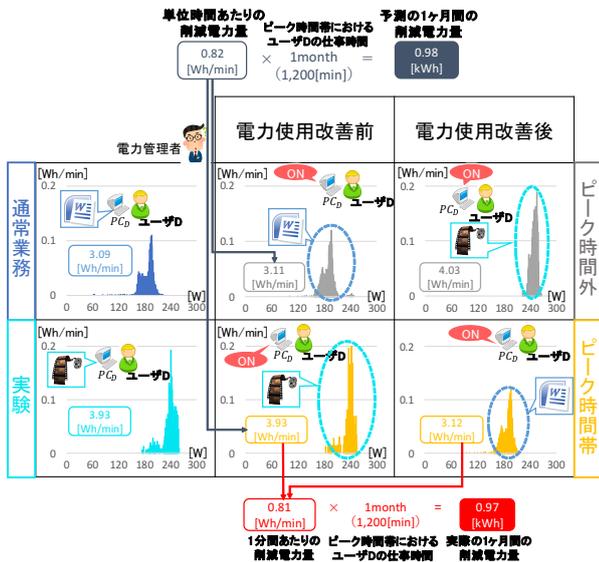


図 11 ピークシフトを考慮したユーザDが使用するPC<sub>D</sub>のNEEDAS

析すると、任意の期間においてユーザDが実験時のPC<sub>D</sub>のNEEDASとピーク時間帯外にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASの形、消費電力、単位時間当たりの消費電力量が類似していることから、ユーザDはピーク時間帯外にPC<sub>D</sub>を用いて実験を行ったと判断した。同様に、任意の期間においてユーザDが通常業務時のPC<sub>D</sub>のNEEDASとピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASの形、消費電力、単位時間当たりの消費電力量が類似していることから、ユーザDはピーク時間帯にPC<sub>D</sub>を用いて通常業務を行ったと判断した。電力管理者は、電力使用改善前の期間におけるピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASと、電力使用改善後の期間におけるピーク時間帯にPC<sub>D</sub>がONの時のNEEDASを比較した。その結果、「ユーザDがピーク時間帯にPC<sub>D</sub>で行っていた実験を通常業務に変える」ことによる単位時間当たりの削減電力量は0.81Wh/min、ユーザDはこの電力の使い方を1ヶ月間に1,200分間行ったため、0.97kWhの電力量を削減できたことが分かった。

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、SEE-Conで取得した電力ログと電力使用に関するライフログを用いて、状況に応じた電力の使い方を直感的に把握できる電力量分布を提案した。この電力量分布を用いて、複数の事例において「ユーザが仮に電力使用を改善した時の削減電力量」、「ユーザが実際に電力使用を改善した時の削減電力量」を定量的に導出したことで、提案手法の有用性が示された。

本論文では提案手法の実装環境は1部屋であり、汎用性が高いとは言いがたい。今後の課題として、他の環境でも同様の実験を行い提案手法の汎用性と有用性について検証する必要がある。

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。

## 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)”, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/> (2017/1/11アクセス)

[2] 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)(2017/1/3アクセス)

[3] 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), “ZEB(ネット・ゼロ・エネルギービル)、省エネルギービル”, <http://www.nedo.go.jp/activities/DA-outline-zeb.html>(2017/1/3アクセス)

[4] 塚本昌彦, 角康之, “ウェアラブル・ユビキタスコンピューティング研究の最新動向”, 情報処理学会誌, Vol.56, No.9, pp.850-876, 2015.

[5] 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.

[6] 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.

[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] Masahide Nakamura, Akihiro Tanaka, Hiroshi Igaki, Haruaki Tamada, Ken-ichi Matsumoto, “Constructing Home Network Systems and Integrated Services Using Legacy Home Appliances and Web Services”, International Journal of Web Services Research, Vol.5, No.1, pp.81-97, 2008.

[9] 松山隆司, “エネルギーの情報化とは—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.

[10] 江崎浩, 落合秀也, “東大グリーンICTプロジェクト”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-B, No.10, pp.1225-1231, 2011.

[11] A. Kamilaris, D. T. H. Ngan, A. Pantazaras, B. Kalluri, S. Kondepudi, T. K. Wai, “Good Practices in the Use of ICT Equipment for Electricity Savings at a University Campus”, IEEE Int'l Conf. on Green Computing, pp. 1-11, 2014

[12] C. Tham, C. Zhou, “Ambient Sensing-based Incentives for Behavior Modification in Demand Response”, IEEE Int'l Conf. Smart Grid Communication, pp.193-198, 2013.

[13] M. Choi, W. Park, I. Lee, “Smart Office Energy Saving Service Using Bluetooth Low Energy beacons and Smart Plugs”, IEEE Int'l Conf on Data Science and Data Intensive Systems, pp.247-251, 2015.

[14] G. Stavropoulos, S. Krinidis, D. Ioannidis, K. Moustakas, D. Tzovaras, “A Building Performance Evaluation & Visualization System”, IEEE Int'l Conf. on Big Data, pp. 1077-1085, 2014.

[15] 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.

[16] M. Jain, H. Khadilkar, N. Sengupta, Z. Charbiwala, K. U. Tennakoon, R. B. H. A. Wahab, L. C. D. Silva, D. P. Seetharam, “Collaborative Energy Conservation in a Microgrid”, Proc. of the 1st ACM Conf. on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings, pp.130-139, 2014.

[17] 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”, 第7回Webとデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2014), B-6, 2014.

[18] 東京電力パワーグリッド: でんき予報, <http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html> (2017/01/12アクセス)