

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

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^{†††}

[†] 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

^{††} 横浜国立大学工学部電子情報工学科 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

^{†††} 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: †{fujiwara-kunihisa-tm,takahashi-keita-yr,hosozawa-naoto-vm,takahashi-yoshihisa-cb,nishimoto-naoki-tz}@ynu.jp,
††{tommy,hondo}@ynu.ac.jp

あらまし 社会的な電力削減要求が高まる中、オフィスなどの業務部門においては、生産性を損なわず、なおかつ効果的な電力削減が求められている。そのためには電力使用時の人・モノ・環境などの状況に応じて適切な措置をとる必要があるが、現在施行されている節電マニュアルや電力管理システムなどは、マイクロな状況まで考慮した情報を示すことはできない。本研究では、電力ログをタイムラインデータとして蓄積し、センサや情報端末により取得される人・モノ・環境の状況をタグ付けすることで、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DBの構築を行う。また、そのDBを用いた情報提示システムを実装し、実験により有用性の評価を行った。

キーワード 消費電力可視化, エネルギーマネジメント, データベース, ユビキタス環境, 状況タグ付け, 電力タイムライン

1. はじめに

地球温暖化に対する懸念や震災の影響による電力需給バランスの崩壊などにより、社会的なエネルギー削減要求が増大している。中でも業務部門におけるエネルギー消費はこの30年で2.8倍に増加しており、日本のエネルギー消費全体のおよそ20%を占めている[1]。さらに業務部門におけるエネルギー消費のおよそ4分の1は事業所・ビル、学校によるものであり、これらの分野における電力削減が重要視されている。こうした分野における電力削減対策として、削減目標の設定や節電マニュアルの作成、電力管理システム (Building Energy Management System: BEMS) の導入などが行われている。

しかし、こうした分野における電力使用は生産性に直結しており、闇雲な電力削減を行うことは好ましくない。したがって生産性を低下させず、なおかつ効果的に電力を削減する必要があるが、そのような最適な電力削減行動は、人・モノ・環境ごとに異なっている。前述した節電マニュアルやBEMSは、このような電化製品ごとのマイクロな状況の違いを考慮できていないのが現状である。

一方で、計算機の高性能化やセンシング技術の発達、多様な機能を持った情報端末の普及などによりユビキタス環境が実現し[2]、実世界における状況をデータとして取得することが容易となった。また、大容量で低価格なストレージデバイスが普及したことにより、ユビキタス環境によって取得される細かな状況のデータを全て蓄積することが可能となった。

そこで本研究では、電力使用時の「人の状態」、「モノの状

態」、「環境の状態」を状況として定義し、タイムラインデータとして蓄積された消費電力ログにタグ付けすることで、状況をキーとした検索が可能なデータベースを構築する。また、このデータベースを用いて状況別に集約した消費電力を分かりやすく可視化する情報提示システムを実装する。これにより、利用者はどの電化製品がどのような状況でどの程度電力を消費しているか定量的に知ることができ、生産性を損なわず、なおかつ効果的な電力削減を「納得して」行うことができるようになると考えられる。本システムの応用例として、消費電力量の状況別診断や、意思決定のための定量的な改善提案を行う。また、個人の電力削減に対する貢献量の算出や情報の「見せる化」といった、利用者の電力削減に対する意識を喚起・維持するための機能の実装も行う。

先行研究として、我々はユビキタス技術を用いて取得される電力使用時の状況と組み合わせ消費電力を可視化するシステムを設計・実装し、SEE-Conと名付けた[3]。本論文では我々が新たに提案するSEE-Conの設計および実装について述べ、いくつかの有効な可視化事例と、実験による有用性の評価を行う。

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。

運輸部門においては電気自動車 (Electric Vehicle: EV) に対する期待が高まっており、普及した際の省エネ効果の検証や [4], EV の利活用による新たなスマートシティモデルの実証実験も行われている [5]。また、EV に搭載されたバッテリーを利用することで電力網の安定化をはかる V2G (Vehicle to Grid) という技術も注目を浴びている [6] [7]。

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 [8] が注目されている。例えば、Nakamura ら [9] 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。また、小松ら [10] は米国 Opower 社の取り組みを紹介し、エネルギーの利用状況を見せることで各家庭の省エネ行動を促進できることを行動科学の観点から述べている。

業務部門においても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 [11], 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。例えば松山ら [12] 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 [13] 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。繁田ら [14] も同様に、大阪大学サイバーメディアセンターにおけるフロアごとの消費電力を可視化する研究を行った。Doukas ら [15] は電気機器の置き換えによるコストと利益を考慮した行動決定支援システムの提案・実装を行った。また震災以降、エネルギー消費の積算値を削減するという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 [16] 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間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。

2.2 本研究で対象とする節電シナリオ

本研究では、横浜国立大学大学院環境情報学府における節電シナリオを研究対象とする。この事業所では 2010 年度比 25%の電力削減を目標として設定し、建物ごと・部屋ごとに電力使用量の通知を行っている。また、電力削減に関して専門的な知識をもつ者が節電対策担当に任命され、生産性に影響を与えずに電力削減を行う一般的な方法について記述した節電マニュアルを作成・配布し、電力削減を促している。この節電マニュアルの全項目を表 1 に示す。

こうした削減目標の設定や節電対策マニュアルの作成などの取り組みは、様々な事業所で行われている [17]。したがって、本

シナリオにおける有用性を示すことにより、同様の取り組みを行う事業所についても本研究の有用性を示すことができる。

表 1 実装環境における節電対策マニュアル

機器	項目番号	対策実施項目
照明	項目 1	研究室・ゼミ等の照明間引きを支援しない範囲で行う
	項目 2	可能な範囲で手元ライトを使用し、天井照明は必要部分のみ点灯する
	項目 3	退室不在時は必ず消灯する
暖房	項目 4	暖房使用時は設定温度 20℃を推奨とし、2 時間程度のタイマーオフ制御とする
	項目 5	電気ストーブによる個別暖房の使用を控える
	項目 6	暖房使用時の換気は熱交換式に設定する
	項目 7	空調フィルタの清掃を行う
OA 機器	項目 8	パソコンの節電アプリを導入する
	項目 9	研究に関係ないパソコンの使用をやめる
	項目 10	できる限りデスクトップパソコンではなくノートパソコンを使用する
	項目 11	プリンターやコピー機は台数を集約する
	項目 12	ディスプレイの輝度調整を行う
その他	項目 13	できるだけ厚着に努める
	項目 14	不要な実験機器や計算機、その他電気機器の電源を切る
	項目 15	冷蔵庫や計算機はできるだけ集約し、稼働台数を減らす
	項目 16	実験用以外の冷蔵庫は温度を最弱設定とする
	項目 17	湯沸し室の電気温水器の設定温度を 65℃とし、昼間のみの保温とする
	項目 18	高温の飲用給湯は個別に電気ケトルで必要分のみ沸かすか魔法瓶に移し替える
	項目 19	2, 3 階程度の上下移動にはエレベータ利用を控える

2.3 節電に対する行動評価

2.2 節に示したような電力削減行動を多様かつ多数の利用者が存在する環境で実際に行ってもらうためには、個人に対する動機づけが有効である。計画的行動理論 [8] によれば、環境に配慮した行動を起こさせる要因は以下の 4 つである。

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

このうち、態度 (要因 1) および道徳的規範 (要因 2) については、利用者個人の嗜好や信念であり、直接的に働きかけるのは難しい。主観的規範 (要因 3) に対しては、同じ環境を利用している他者の節電努力を提示したり、その他者と自身との比較を見せることによって働きかけることが可能である。行動制御感 (要因 4) に対しては、どのような電力削減行動をするとどの程度効果があるのか、またその行動をするのにかかる手間はどれくらいかといった情報を定量的に示すことが重要である。

ゆえに、個人への動機づけと行動評価に寄与する情報を提示することを本研究の主目標とする。特に、要因 3 および要因 4 に該当する情報を実データに基づいて定量的に提示する情報システムの実現を目指す。

2.4 本研究の問題設定

電力の使用状況は、人ごと・モノごと・環境ごとに異なっているのが実状である。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取る必要がある。例えば、消し忘れの多い機器であれば使用方法を改善し、正しく使用しているにも関わらず消費電力の大きい機器であれば、より省電力な機器への置き換えによって電力削減をはかれば良い。これに対し、既存の電力削減対策や従来研究は消費電力量のみを可視化したものであり、また建物やフロアなどのマクロな範囲を対象としているため、細かな使用状況の違いを知ることが出来ないという問題点がある。

例えば図1は、あるオフィスにおける作業用PCの7ヶ月間の消費電力量を示したものである。PCによって消費電力量に差があることが分かる。しかし、消費電力量は瞬間の電力[W]を使用時間で積分した積算値であるため、使用時の様々な状況によって消費電力量は異なる。消費電力量が多い理由が、瞬間電力の大きいPCだったためか、使用時間が長かったためか分かりづらい。また、消し忘れによるものかどうか判断できない。消費電力量が少ないPCについても、効率よく作業した結果なのか、使用時間が短かったためかわからない。

以上から、本研究で解決すべき課題を次の2点と定める。

- 電力使用時の状況が分からなければ適切な電力削減の判断ができない
- 電力削減行動を実施した際の効果を実データに基づき示す必要がある

そこで我々は、人・モノ・環境などの状況と電力データを組み合わせることで、使用時の状況別に消費電力を評価・定量化できるシステムの構築を目指す。これにより、使用時の状況を考慮した消費電力の可視化や、実データに基づく節電マニュアルの定量化を行う。また、提案手法の応用として次の2点が実現されることを目指す。

- 状況に基づく適切な消費電力診断
- 意思決定のための定量的な改善提案

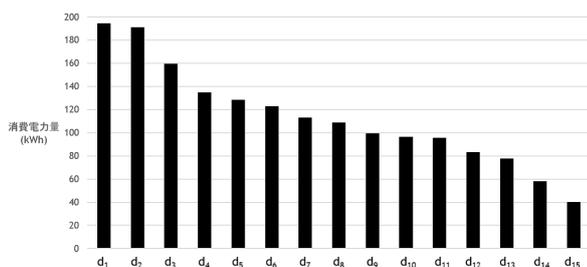


図1 消費電力量のみの可視化の問題点

3. SEE-Con の設計

本章では、本研究で提案するデータベースのスキーマや情報提示システムの設計について述べる。

3.1 SEE-Con の概要

2.4 節で設定した課題に対し、本研究では以下のような手法で解決を試みる。

- (1) ユビキタス技術によって電力使用時の状況を取得する
- (2) 状況データと電力データを蓄積し、使用時の状況を

キーとした検索が可能なデータベースを構築する

- (3) 電力使用時の状況を考慮した消費電力可視化を行う
- (4) 状況に応じて個々の利用者に適切な電力削減行動の割り当てを行う
- (5) 利用者の行動によって削減できた電力量を求め、貢献量として提示する

我々はこの一連のシステムを SEE-Con (a visualizing System for Electric Energy Consumption with Context: 電力消費と状況が「見える」システム) と名付けた。

なお、SEE-Con の応用は多岐に及ぶ。2.4 節に示したように、単なる「見える化」だけでなく、多様な用途に柔軟なシステムとして用いることが可能である。例えば、個々の状況に応じた消費電力診断システム (a diagnosis SEE-Con)、意思決定のための定量的な改善提案システム (an improvement proposal SEE-Con) などである。図2に SEE-Con の概要図を示す。本稿では主に SEE-Con のデータベース設計および状況を考慮した消費電力可視化について説明を行う。

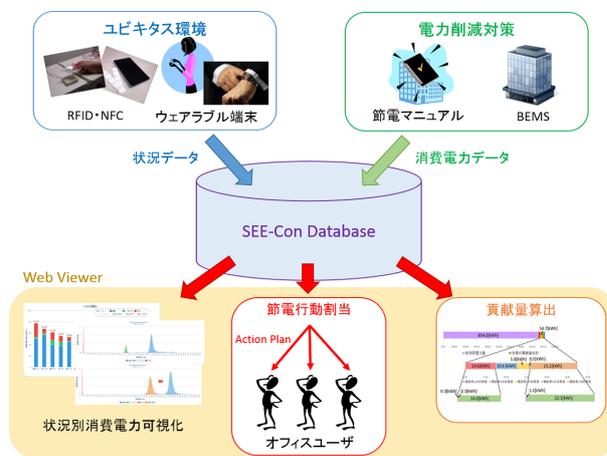


図2 SEE-Con の全体像

3.2 想定環境

本研究では、OA 機器等を含む多数の電化製品を使用するオフィス環境を想定する。このような環境では、スマートタップなどの計測機器を導入することで電化製品ごとの消費電力データを取得することが可能である。取得方法の一例を図3に示す。また、温度計や照度計などの簡易なセンサ類や RFID・NFC などの技術シーズを用いることで、利用者の行動や電化製品の状態、環境の状態といった状況をデータとして取得することができる [18]。前述したセンサや技術シーズは今後ウェアラブル端末に組み込まれ、将来的にはより容易に実世界の状況を取得可能になると予想される。

3.3 データ取得

SEE-Con で取得すべきデータは、各電化製品の「消費電力ログ」と、電力使用時の「状況ログ」の2つである。以下、それぞれについて詳述する。

消費電力ログ

電化製品は時間の経過に応じて電力を消費する。その消費電力はスマートタップやそれに類する機器 [19] によって計測可能



図3 想定環境におけるデータ取得の一例

であり、電化製品と計測機器の対応を自動で取る研究も行われている [20]。本研究では、計測される電力を一定間隔でサンプリングし、その結果得られる「いつ・どの電化製品が・どれくらいの電力量を消費したか」というデータを消費電力ログとして取得・蓄積する。

状況ログ

本研究では「人の状態」「モノの状態」「環境の状態」を状況と定義する。例えばオフィスユーザの在室状態や、電化製品の電源状態、室内の温度状態や社会的な電力使用率などである。こうした状態は時間とともに変化し、センサによって計測することが可能である。したがって本研究では「いつ・どのセンサ(人・モノ・環境)が・どのような状態を計測したか」というデータを状況ログと定義し、取得・蓄積を行う。

どのような状況が存在し、それぞれの状況がどの程度の重要性を持つかはオフィスごとに異なる。従ってどのような状況をどのような手段で取得すべきかを一般的に定めるのは難しく、オフィスごとに選定する必要がある。本研究では、取得すべき状況の選定をオフィスにおける電力使用管理者が行うことを想定する。電力使用管理者とは、オフィスにおける生産性の維持・向上と電力削減の兼ね合いを考える責務がある者のことを指す。電力使用管理者は、節電対策マニュアルの定量的な評価を目的とし、そのために取得すべき状況の選定を行うものとする。

3.4 消費電力の状況別定量化のためのデータベース設計

本節では、消費電力ログと状況ログを蓄積し、検索によって状況別に消費電力を定量化することが可能なデータベースの設計について説明する。

図4にある一日のオフィス利用者 ($u_1 \sim u_{15}$ の15名とする)の状態変化と、照明の状態変化を示す。まず、利用者 u_{13} は10時に入室し、照明を点けながら着席して作業した。13時15分からミーティングが始まったため、 u_{13} は席を離れた。このとき u_{13} が席上の照明を消し忘れたが、15分後に誰かが気づき消灯した。17時30分にミーティングが終了し、 u_{13} は再び席に戻り照明を使用しながら帰宅まで作業を続けた。

図5に、この具体例に基づくインスタンス図を示す。3.3節において定義した「消費電力ログ」は、電化製品のインスタンスと時点集合のリレーションで表現する(図5の赤色部分)。同じく3.3節で定義した「状態」は、センサの計測対象と、その計測対象が取りうる概念的状態のリレーションによって表現する(図5の青色部分)。ある状態がある時点で観測された際に、

観測された状態とそのときの時点のリレーションを生成し、これを状況ログとして表現する(図5の緑色部分)。

このとき、消費電力ログと状況ログは、それぞれ絶対時間の時点集合を基準として時間的粒度を揃えて蓄積を行う。時間粒度の考え方は様々あるが、消費電力の問題においては、ミクロな瞬時値 [W] とマクロな積算値 [kWh] のギャップが大きい。ゆえにマクロ量の精度を考慮した場合、あまり細かい時間粒度は必要とされない。一方、時間粒度を細かくしすぎると、データ量が爆発的に増加しデータ処理を困難とするおそれがある。

そこで本研究では、最も単純な方法として、時間粒度を絶対時間に同期させた固定長とする。具体的には1分単位での消費電力量やイベント検出をデータの最小単位とすることにした。

こうすることで時点による等価結合が可能となり、「いつ・どの電化製品が・どのような状況で・どれくらいの電力量を消費したか」という、状況をキーとした消費電力の検索・集約を行うことができる。例えば、具体例において「ユーザ u_{13} がミーティング中(離席中)にONになっていた u_{13} 席上照明の消費電力ログ」を求める場合、「 u_{13} ミーティング中」という状態と「 u_{13} 席上照明ON」という状態の双方とリレーションを持つ時点を検索し、その時点における「 u_{13} 席上照明」の消費電力ログを抽出すればよい。この例においては13時15分から13時30分までの u_{13} 席上照明の消費電力ログが検索結果となる。

3.5 情報提示システム

前節で提案を行ったデータベースは、多様な状況を組み合わせた検索により、消費電力を状況別に定量化することが可能である。しかし状況の組み合わせ方は無数に考えられるため、その中で利用者に有効な検索を行ってもらうためには、直感的に操作でき、わかりやすく情報を提示するシステムの実装が必要である。本節ではその情報提示システムの設計について述べる。

2.3節で述べたように、節電行動を促すために重要な情報提示として以下の2点が挙げられる。

要因3 他者との比較

要因4 電力削減行動の効果の定量化

他者との比較(要因3)については、同じ環境内における他の利用者や他の電化製品などについて状況別に消費電力の比較を行うことが可能なインターフェースを実装する。電力削減行動の効果の定量化(要因4)については、電化製品の消費電力を状況ごとに定量化し、各電化製品についてどの状況における消費電力を削減するとどの程度の効果が得られるのかを示す。さらに、利用者自身による検索・可視化ばかりではなく、有益な情報をシステムのほうから積極的に提示する「見せる化」機能の実装や、電力削減行動を実施した利用者の貢献量の算出・提示も検討中である。

4. SEE-Con の実装

本章では、第3章で述べた設計に基づいたSEE-Conの実装について述べる。

4.1 実装環境

SEE-Conの実装を行った環境について説明する。この環境は広さ $164m^2$ の部屋で、情報工学に関する研究活動を行うオ

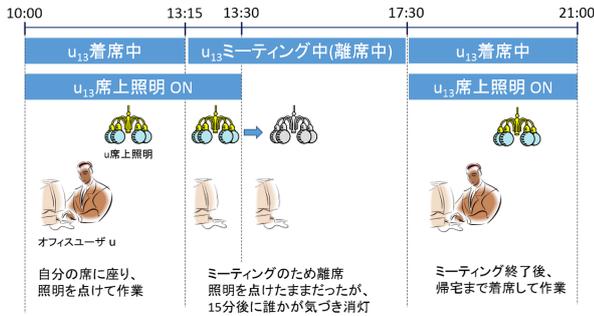


図 4 あるオフィスユーザと電化製品の状態変化

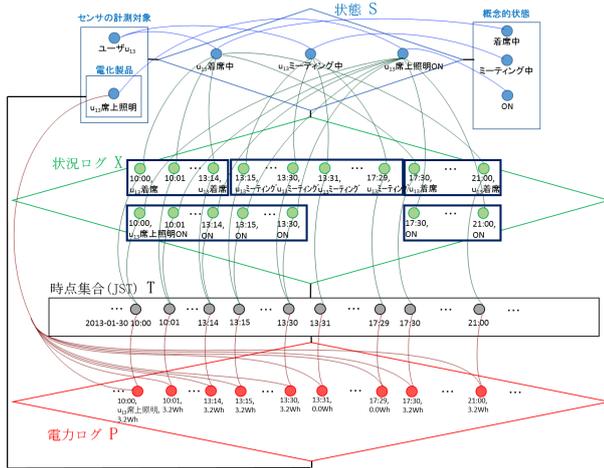


図 5 具体例に基づくインスタンス図

フィス空間である。以下に実装環境の概要を示す。

- 利用者数: 15 名
- 電化製品数: 44 個
- 各利用者が個人デスク (研究用の PC や付属機器) を所有
- 週 2 回全体ミーティングが行われ、その際には利用者全員が自分のデスクを離れる

また 2.2 節で述べたように、この部屋を含めた建物全体に対し節電マニュアルが配布され電力削減が喚起されている (表 1)。実装環境における電化製品の一例を表 2 に示す。

4.2 消費電力データ取得

消費電力データ取得には市販のスマートタップ [21] 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時間粒度を 1 分として正規化を行いデータベースへの蓄積を行った。また、照明や換気扇など、スマートタップによる電力取得ができない電化製品については、タッチパネルによる手動入力によって ON/OFF 操作を取得し、事前に計測した消費電力を用いて電力データの蓄積を行った。

図 6 に実装環境におけるある 7 ヶ月間の消費電力の内訳を示す。これは表 2 に示した電化製品について、分類別に消費電力を集約したものである。換気扇およびサーバによる消費電力が 6 割以上を占めるほか、個人デスク (PC) や照明による消費電力が大きいことがわかる。また、この環境では SEE-Con 実装前の時点で既に 2010 年度比 20% 以上の電力削減を達成してお

表 2 実装環境の電化製品一覧

分類	電化製品 (機種, 使用時平均消費電力)	個数
換気扇	換気扇 (強・弱設定可能, 熱交換換気・普通換気設定可能, 400W)	2ヶ所
サーバ	研究室用サーバ (自作, 75W~83W)	5 台
	データベースサーバ (Poweredge T410, 100W)	1 台
照明	天井蛍光灯 (32W*2 本*3ヶ所, 192W)	4 個
	天井蛍光灯 (32W*4 本*3ヶ所, 320W)	2 個
個人デスク	PC1 台, モニタ 2 台, 卓上蛍光灯 0~1 台 (PC 自作, モニタ iiyama ProLite E2278HD など, 合計 104W~221W)	16 個
給湯・調理器具	電子レンジ (三菱電機ホーム機器 RO-S21, 678W)	1 台
	オーブントースタ (ドウシシャ DOT-801, 840W)	1 台
	冷蔵庫 (東芝 GR-R12T, 71W)	1 台
	電気ケトル (t-fal ジャスティン 1.2L, 1250W)	1 台
	コーヒーマカ (メリタ JCM-561, 843W)	1 台
ミーティング用機器	プロジェクタ (EPSON EMP-1825, 291W)	1 台
	ノート PC (Latitude E6510 など, 25W~35W)	6 台
空調	エアコン (ガス式, 0W)	2ヶ所

表 3 取得する状況と取得手段

状況	取得手段
利用者の在室	RFID・NFC を用いた入退室管理
室温	温度湿度計
室内湿度	温度湿度計
外気温	気象庁 Web ページとのマッシュアップ
電力使用率	東京電力でんき予報とのマッシュアップ
冷暖房の設定	タッチパネル操作による手動入力
換気扇の設定	タッチパネル操作による手動入力
冷蔵庫の設定	タッチパネル操作による手動入力

り、非常に電力削減に協力的な環境である。

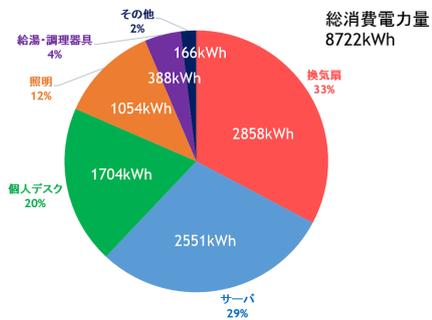


図 6 実装環境における 7 ヶ月間の消費電力内訳

4.3 状況データ取得

3.3 節で述べたように、本研究では節電マニュアルの定量的な評価をひとつの目標とし、そのために必要な状況の取得を行う。実装環境における節電マニュアル (表 1) に基づき、取得すべき状況を定めた。取得を行った状況とその取得手段について表 3 に示す。なお、一部の状況については現状では簡易な取得が難しく、今後の検討が必要である。取得された状況は 3.4 節の設計に基づき、電力データと同じ 1 分単位での蓄積を行った。

4.4 SEE-Con データベース

設計に基づき実装したデータベースのスキーマ図を図 7 に示す。これらのテーブル群は電力データに関するテーブル群 (赤

棒), 状況データに関するテーブル群(緑棒), センサの生データを蓄積するテーブル群(青棒)に大別される。PowerLog テーブルおよび SituationLog テーブルが、それぞれ正規化された電力データおよび状況データを蓄積するテーブルである。情報提示システムによる検索は主にこの2つのテーブルに対して行われる。

7ヶ月間のデータ取得を行った結果、データ容量は PowerLog テーブルで 0.9GB, SituationLog テーブルで 0.3GB であり、データベース全体でおよそ 1.2GB であった。

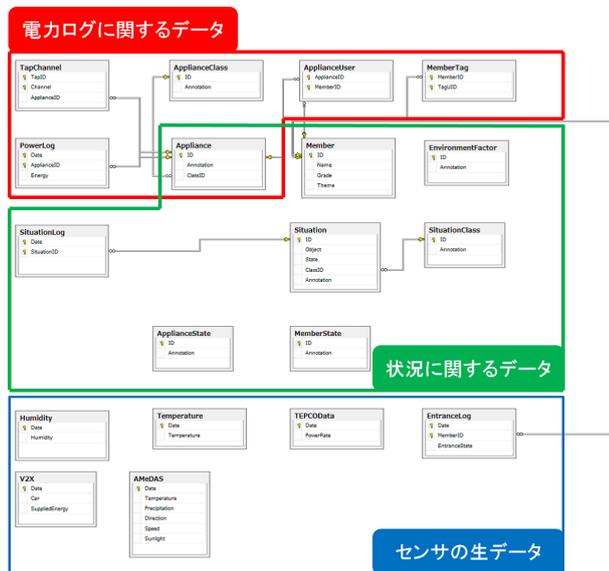


図7 SEE-Con データベーススキーマ

4.5 情報提示システム

続いて、SEE-Con データベースに対し検索・集約をかけることで多様な状況を組み合わせた消費電力の可視化を行う情報提示システムの実装について述べる。

HTML および ASP.NET を用いることで、端末によらず誰でも手軽に利用できる Web サービスとして実装を行った。また、時区間・電化製品・状況・表示するグラフの種類など、利用者が得たい情報を自由に可視化できるようなインターフェイスを実装した。

5. SEE-Con による消費電力の可視化

実装環境において SEE-Con を7ヶ月間運用し、その結果得られた有効な可視化例について示す。

5.1 使用状況に基づいた消費電力の診断

表1に示した節電マニュアルのうち、以下に示す3項目について使用状況に基づいた消費電力の診断を行った。

項目3(照明) 退室不在時は必ず消灯する

項目6(換気扇) 暖房使用時の換気は熱交換式に設定する

項目9(PC) 研究に関係ないPCの使用をやめる

項目3(照明)

利用者の在室状況別に色分けされた照明の消費電力量を図8に示す。青色は利用者が照明の下にいた状況で消費された照明の電力である。赤色は、利用者がいないにも関わらず消費され

た、節電マニュアルにおいて削減を促されている電力である。橙色は、この環境でミーティングが行われた際に消費された照明の電力である。この環境では利用者がミーティングの際に席を離れるため、削減することが可能な消費電力である。これを見ると、照明ごとに使用状況に差があることがわかり、電化製品ごと(モノごと)の状況の違いを示している。また、グラフの赤色・橙色部分の積算値は230kWhであり、7ヶ月間の実装環境全体の消費電力の約3%にあたることがわかった。

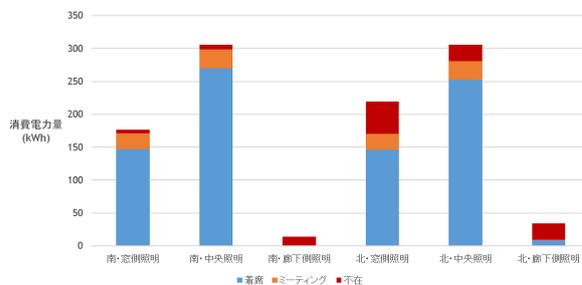


図8 可視化例1(在室状況別・照明消費電力)

項目9(PC)

利用者の在室状況別に色分けされた個人デスク(PC)の消費電力量を図9に示す。青色は利用者が在室している状況での消費電力であり、赤色・橙色は利用者が不在の状況での消費電力である。照明と同様、利用者ごとの使用状況の違いを示すことができている。グラフの赤色・橙色部分の積算値は429kWhであり、実装環境全体の約5%にあたることがわかった。

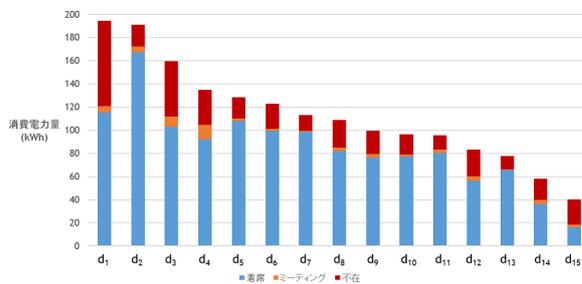


図9 可視化例2(在室状況別・個人デスク消費電力)

項目6(換気扇)

換気扇、個人デスク、照明のそれぞれについて、利用者の在室状況別の消費電力量を図10に示す。全ての照明について不在時およびミーティング時の消費電力を削減した際の効果が230kWh、個人デスクについて同様の削減を行った際の効果が429kWhであるのに対し、利用者不在時の換気扇の消費電力を削減した際の効果は1580kWhであり、照明や個人デスクと比較して大きな削減効果があることがわかる。これはこの環境において換気扇の使用に注意が払われていなかったためであるが、このような診断結果の提示により今後の改善を促すことができると考えられる。

以上の結果から、実装環境での7ヶ月間において、不在時の照明を消した際の効果は230kWh(全体の3%)、不在時に換気扇をOFFにした際の効果は1580kWh(全体の17%)、不在時



図 10 可視化例 3(換気扇・PC・照明の状況別消費電力比較)

に PC を OFF にした際の効果は 429kWh(全体の 5%) と、節電マニュアルの一部に基づいて実データを用いた消費電力の診断を行うことができた。このような診断により、利用者は、換気扇の使用に気をつけると大きな削減効果が得られることや、照明や PC については既に努力をしているものの、それでもなお無理なく削減する余地があるなどの知見を得ることができる。

5.2 意思決定のための定量的改善提案

続いて、使用状況に基づいた適切な電力削減を行うための情報提示について述べる。

図 9 において示した在室状況別の個人デスクの消費電力のうち、デスク d_1 とデスク d_2 について、より詳細に比較したものを図 11 に示す。グラフの横軸は各デスクの瞬間消費電力 [W] を表す。縦軸はその瞬間電力を計測した頻度と、その瞬間電力の値を掛け合わせたものである。本システムでは電力データを時間によって正規化しているため、グラフの面積が消費電力量 [Wh] を表す。したがってグラフの右側に現れる分布は、その電化製品が瞬間値として大きな電力を消費していることを示しており、縦軸に大きく現れる分布は、積算値として大きな電力を消費していることを示している。また、青色が利用者が在室している状況で計測された消費電力、赤色が利用者が不在の状況で計測された消費電力である。このグラフは、実装した情報提示システムによって容易に検索・作成することが可能である。

a) 使用方法の変更による改善(デスク d_1)

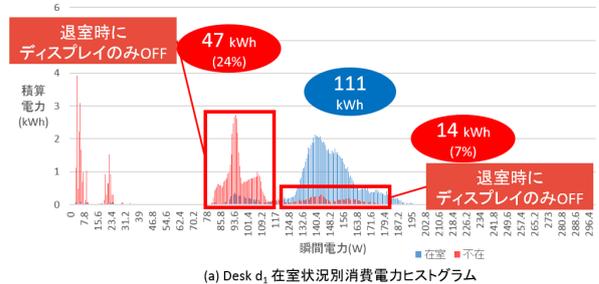
デスク d_1 について見ると、100W 付近に赤色の分布が見られる。ヒアリングの結果、これはデスク d_1 の利用者が退室時にデスクのディスプレイのみを OFF にしている結果であることが分かった。より効果的に電力削減を行うには、退室時にスリープやシャットダウン状態にすることが望ましい。デスク d_1 の利用者がそのような使用方法を改善することで、7ヶ月で 47kWh の電力削減が可能である。また、消し忘れに気をつけることで 14kWh の削減が可能であることも示せた。

b) 機器の置き換えによる改善(デスク d_2)

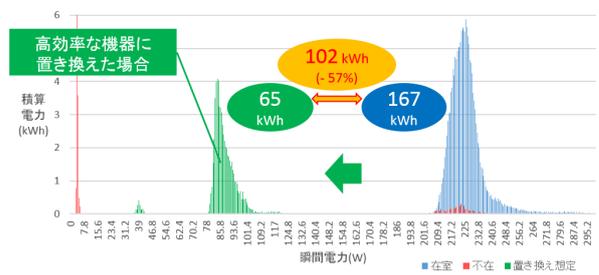
デスク d_2 について見ると、デスク d_1 のような赤色の分布は見られず、消し忘れのない正しい使用をしていることがわかる。しかしデスク d_1 と比較すると、正しく使用している際のヒストグラム(青色)が右側に現れていることがわかる。これは、デスク d_2 に使用されている機器が、デスク d_1 の機器に比べて大きな電力を消費していることを示している。したがって、デスク d_2 の電力削減を行う場合には、使用方法の改善を行うので

はなく、より高効率な機器に置き換えるといった行動が望ましいといえる。例えば実験環境において最も効率のよい機器(デスク d_{13})と置き換えた場合、7ヶ月間で 102kWh の削減効果が得られると推定される。

このように、SEE-Con では実データに基づく情報提示によって、使用状況に応じた適切な電力削減行動の検討が可能であることが示された。



(a) Desk d_1 在室状況別消費電力ヒストグラム



(b) Desk d_2 在室状況別消費電力ヒストグラム

図 11 可視化例 4(個人デスク消費電力ヒストグラム)

5.3 改善提案の精度検証

5.2 節で述べたデスク d_2 の機器の置き換えによる改善提案について、実際にデスク d_2 の機器を置き換えを行い、提案結果の精度検証を行った。検証に用いるデスク d_2 の置き換え前のデータ期間と、置き換え後のデータ期間は以下の通りである。
置き換え前データ期間 2014 年 2 月 3 日(月)~2 月 7 日(金)
置き換え後データ期間 2014 年 2 月 17 日(月)~2 月 21 日(金)
どちらの期間でもデスク d_2 の利用者の在室時間は 70 時間程度であった。

デスク d_2 を置き換えた場合を想定した節電効果の推定結果と、実際に置き換えたことによる節電効果との比較を図 12 に示す。青色が置き換え前のデスク d_2 の消費電力(実データ)であり、灰色が置き換え前のデータに対し、より省電力な機器(デスク d_{13})と置き換えた場合を想定した消費電力(推定データ)である。緑色は、実際にデスク d_{13} と同等の機器に置き換えた後のデスク d_2 の消費電力(実データ)である。

この比較結果を見ると、推定結果の分布は、実際に置き換えた際の分布に対し 25W 程度ずれていることが分かる。これはデスク d_2 と置き換えた機器のディスプレイが、デスク d_{13} のディスプレイと比較して 25W 程度消費電力が大きかったためである。本研究では PC とディスプレイなどの周辺機器を一纏めにして電力を取得したためこのようなずれが生じたが、機器ごとに計測を行うことで、置き換えによる改善提案の精度をより向上できると考えられる。

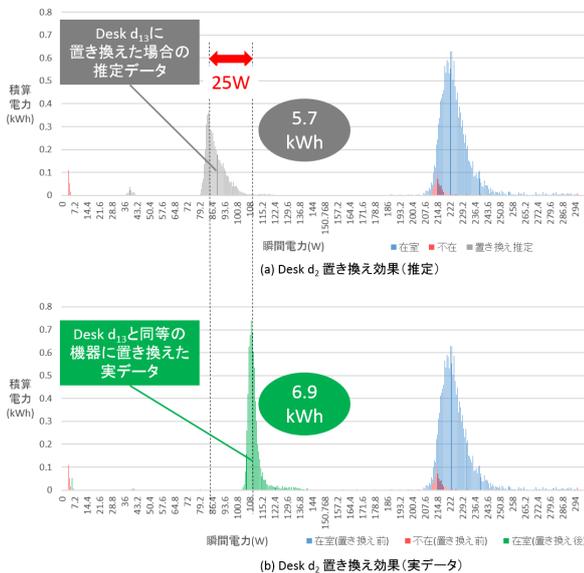


図 12 置き換えによる改善提案の精度検証

6. まとめと今後の課題

本論文では、オフィス環境などの業務部門における生産性を損なわない効果的な電力削減のため、ユビキタス技術を用いて取得される多様な情報を組み合わせて消費電力を評価・定量化できるシステムの設計・実装を行った。その結果、いくつかの有効な可視化例を得ることができ、システムの有用性の一部を確認した。今後の課題としては以下のことが挙げられる。

外部環境における実験

本研究では実装環境上での運用による評価を行ったが、SEE-Con の有用性をより詳細に評価するためには外部環境における実験が必要である。また、導入にかかるコストの検討やデータベースの初期登録の負担の軽減など、より一般的なシステムにするための課題も存在する。

データベースの詳細な評価

本研究における実装環境においては、データ容量に関して問題にはならなかった。しかし、利用者の数、電化製品の数、取得する状況の数の増加により、データの爆発が起こる可能性がある。本研究で提案したデータベースが適用可能な範囲について、より詳細に検討を行う必要がある。

謝辞 本研究の一部は横浜国立大学大学院環境情報研究院平成 25 年度共同研究推進プログラム「再生可能エネルギーの生産と消費のスマートな連携に向けた情報システムの構築」による。

文 献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁, “平成 24 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/topics/hakusho/2013/index.htm> (2014/02/13 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] 川口 智基, 田島 周平, 富井 尚志, “SEE-Con: 電力使用時のコンテキストを考慮した多数の電化製品を使用するオフィス空間における電力消費可視化システム”, DEIM Forum 2012 C6-2
- [4] 堀 雅夫, 金田 武司, “HEV, PHEV 導入によるエネルギー需給

- 変化と CO2 削減の効果”, 自動車技術会論文集, Vol.40, No.4, pp.1101-1106, 2009.
- [5] International Energy Agency, “EV CITY CASEBOOK”, 2012.
- [6] 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.
- [7] Takashi Tomii, Shintaro Hagimoto, Naoki Fueda, Toru Deguchi, Makoto Idenawa, Takuya Hayashi, “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 小松 秀徳, 西尾 健一郎, “省エネルギー・節電促進策のための情報提供における「ナッジ」の活用—米国における家庭向けエネルギーレポートの事例—”, 電力中央研究所報告, 調査報告: Y12035, 2013.
- [11] 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 (2014/02/13 アクセス)
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 繁田 浩功, 間下 以大, 竹村 治雄, “大学施設における消費電力可視化システムの試作とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ, Vol.111, No.229, pp.27-32, 2011.
- [15] Haris Doukas, Christos Nychtis, John Psarras, “Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model”, Building and Environment, Vol.44, Issue.2, pp.290-298, 2009.
- [16] 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.
- [17] 経済産業省, “冬季の節電メニュー (事業者の皆様)”, [http://setsuden.go.jp/logodl/\(2014/02/13](http://setsuden.go.jp/logodl/(2014/02/13) アクセス)
- [18] 猿田 芳郎, 富井 尚志, “加速度センサと RFID を用いたユビキタス環境での利用者コンテキスト推定手法”, 日本データベース学会 Letters, Vol.6, No.3, pp.13-16, 2007.
- [19] 塚本 昌彦, 加藤 丈和, “スマートタップの共通仕様化に向けて”, 情報処理, Vol.51, No.8, pp.934-99.942, 210.
- [20] 伊藤 雅仁, 大亦 寿之, 井上 智史, 重野 寛, 岡田 謙一, 松下 温, “消費電力波形の特徴を利用した家電機器検出手法と制御システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.1, pp.95-105, 2003.
- [21] 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/\(2014/02/13](http://www.fcl.fujitsu.com/services/smart-power-strip/(2014/02/13) アクセス)