

# 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

川口 智基<sup>†</sup> 田島 周平<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学研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: †{kawaguchi-tomoki-nf,tajima-shuhei-zp,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 近年、消費エネルギー削減に対する社会的要求が増加する中で、HEMS/BEMS といった消費電力削減に関する研究がさかに行われている。その内の効果的な消費電力削減手法の一つに消費電力の可視化がある。現状の消費電力可視化手法には問題点として、電化製品が使用された際の「人の行動」、「物の状態」、「環境の状態」といったコンテキストまでは知ることができないという点があり、消費電力を可視化してもそれが意図した状況で使用された電力か、そうでない削減すべき電力使用なのかを判断することは難しい。そこで、本研究では電力使用と共にコンテキストも蓄積、検索、可視化することを可能にするシステムを提案する。本システムでは、多様なセンサを用いて多様なコンテキストを取得し、それをキーとして消費電力を検索、可視化することが可能である。また、コンテキストを用いて条件をあらかじめ記述しておくことで、消費電力にラベル付けを行い、意図した通りに使用された電力と削減すべき電力を一目で判断することできるように設計を行った。そして、このシステムを用いて小規模な実験を行い、いくつかの事例において有効性を確認した。

キーワード ユビキタス環境 DB, 消費電力可視化

## SEE-Con: A Visualization System for Electric Energy Consumption with Context of Many Appliances in Office Environments

Tomoki KAWAGUCHI<sup>†</sup>, Shuhei TAJIMA<sup>†</sup>, and Takashi TOMII<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

<sup>††</sup> Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University  
79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan

E-mail: †{kawaguchi-tomoki-nf,tajima-shuhei-zp,tommy}@ynu.ac.jp

**Abstract** In recent years, social requirement for reduction of energy consumption is increasing. Visualization of energy consumption is one of the effective methods for reducing energy consumption, and the method spreads. However, it is difficult to judge the electricity usage whether it should be reduced because it is difficult to know the situation like “ the action of the person ”, “ the state of the thing ”, and “ the environmental state ” when the electric appliances are used. Therefore, we propose a system enabling accumulation energy consumption log and context log acquired by using various sensors, and search and visualize electricity usage with context. As a result, we evaluated the effectiveness of the system.

**Key words** Ubiquitous Environment Database, Electric Energy Consumption

### 1. はじめに

近年の環境配慮を背景とした世界的なエネルギー削減要求の増大 [1] や東日本大震災の影響による電力供給量の低下などから、現在、消費エネルギーの削減に関する研究がさかに行われている。そのような背景の中で、HEMS や BEMS といった家庭やオフィスビルにおける消費電力削減に関する技術に注目が集まっている [2]。それらにおける消費電力削減手法の一つに、

消費電力の可視化がある。これは、消費電力を可視化することによってユーザの省エネ意識を喚起し、消費電力の削減へと繋げるという手法である。その省エネルギー効果は 5~15% と大きく、有効な手法の一つであるといえる [3]。

しかし従来の消費電力可視化手法においては、計測単位が部屋ごとなど大きすぎることや、消費電力ログだけでは電力の使用された際のユーザの振る舞いまでは推測できないことから、その電化製品がどのような状況下で使用されたかを知ることは

難しい。その結果、それが意図した状況で使用された電力か、削減すべき電力使用なのかを判断することができないという問題が生じる。

そこで、本研究では電化製品使用時における「人の行動」、「物の状態」、「環境の状態」のような「状況」をセンサ等を用いて取得し、その取得したデータと消費電力を紐付けてデータベース化することで、状況に応じた電力の検索・可視化を行えるシステムを設計する。具体的には、電化製品毎に取得すべき状況を定め、センサ等を用いてその状況を取得する。このセンサ等で取得した「人の状態」、「物の状態」、「環境の状態」をコンテキストと定義する。そして、取得したコンテキストを検索のキーとして、指定した状況下における消費電力を検索・集約・可視化することのできるよう、データベースの設計を行う。

また、検索結果の理解を容易にするため、消費電力ログへの「有効ラベル」付加を行う。これは、コンテキストを用いて特定の「電化製品が有効に使用された状況」をあらかじめ記述しておくことで、消費電力ログへ有効を示すフラグを付加するものである。この有効ラベルに基づいて消費電力ログを集約することで、意図した通りに使用された電力と削減すべき電力を一目で判断することのできるようになる。加えて、ラベル付けの過程であらかじめコンテキストと消費電力ログの対応付けを行うため、検索にかかる時間を短縮することが可能になる。

我々は、このシステムを System for Electric Energy Consumption with Context の頭文字を取り、「消費とコンテキストが見える」システムとして「SEE-Con」と名付けた。本論文では、このシステムの設計と実装、また、小規模な実験環境における有用性評価を行う。

## 2. 問題設定と想定環境

### 2.1 問題設定

近年、利便性を求めるライフスタイルや OA 機器の増加などを理由に民生部門と呼ばれる業務や家庭における消費電力エネルギーは年々増加しており [1]、家庭やオフィスでの消費電力削減が求められている。

消費電力の削減には実際に個々の環境の中で生活するユーザにおける電力使用の見直しが必要不可欠である。しかし、電力の流れは人が直観的に把握することが難しい物理量である。削減したいのは消費電力 [W] と時間 [hour] の積である「消費エネルギー [Wh]」であるが、日常生活において電化製品が使用する消費電力やその消費時間の取り得る値幅が大きいことが消費エネルギーの直観的な把握を難しいものになっている。そのため、現状ではユーザは家やビルなどの建物ごとでの合計使用量しか知ることができず、具体的にいつ、どの部屋で、どの電気機器によって、どの程度の量が消費されたのかを適切に把握することは難しい。その結果として、ユーザはどの電力使用を改めればどの程度の電力量が削減できるのかを把握することができず、かかる手間の割に削減効果が小さい改善方法と大きく削減効果が見込める改善方法が区別されずに行われているのが実状である。その問題の解決のために、現在、消費電力のログを取得し、可視化する「電力の見える化」に注目が集まっている。最近ではコンセントの口ごとを最小計測単位として電力ログの取得を行える製品も普及しつつあり、ユーザはどの電気機器によっていつ・どの程度の電力量が消費されたのかを知ることが可能になりつつある。

しかし、一部屋の中には数個から数十個以上のコンセント口があるのが通常であり、またその中で生活するユーザの数も複数人以上いる状況が一般的である。そのため最小計測単位をコンセント口の粒度まで小さくすると、その多数のコンセント口から電力供給を受ける多数の電気機器がどのような状況でどのように使用されたのかを知ることが難しいという新たな問題が発生し (図 1)、ユーザはどの電力使用を改めればどの程度の電

力量が削減できるのかを把握できないままになってしまう問題が新たに発生する。そこで本研究では「多数のコンセント口から電力供給を受ける多数の電気機器が、どのような状況でどの程度の電力エネルギーを使用したかを知る」ことのできる消費電力可視化システムの設計・実装を目標とする。



図 1 実環境における電気機器の使用される時の状況

### 2.2 想定環境

前節における問題設定から本システムにおいては、多数の電気機器を含む、人数規模としては数十人程度のオフィス環境を想定する。ここでオフィス環境と限定した理由は、オフィスは通常同一の目的に沿って人が生活をする場であり、その中にある電気機器の使用意図が統一されるため、電気機器の使用方法を統一して設定できると考えたためである。

また計測単位とするエネルギー消費は、財団法人省エネルギーセンターのオフィスビルの用途別エネルギー消費分類における照明・コンセント部分 [4] を対象とする。よって、電気機器はコンセントから電力供給を受ける形式のものとする。本論文ではこれを以下、電化製品と呼ぶ。本研究は消費電力と消費エネルギーの可視化を目標としており、その可視化結果を空間のユーザが確認・参考にして状況に応じた消費行動変化が起こせるようになることが本システムの目的である。その目的から、本システムは電化製品の使用時にリアルタイムにユーザへ電力消費行動改善を促すものではなく、消費電力ログを蓄積後に電力消費行動の分析・振り返りを行うことで電力消費行動の改善を促すものとする。

## 3. 実環境データ取得方針

### 3.1 機器構成

本システムの構築において必要な機器は以下の 4 種類である。

- データベースサーバ
- 消費電力データ取得用スマートタップ
- センサデータ処理用 PC
- ログデータ可視化用端末

センサデータ処理用 PC (以降、コンテキストデータ取得用 PC と記述) は、環境に設置したセンサノードの出力データをデータベースに挿入する処理のために用いる。また、データの可視化用ソフトウェアは 6.3 節における実装においては Windows Application にて作成した。

### 3.2 電化製品の電力データ取得

本システムでは、2.1 節の問題定義に基づきコンセント口ごとを計測対象の最小単位とするため、電化製品の電力データ取得にはスマートタップを用いる。現在、スマートタップには電力の計測精度や計測対象などの違いにより多様な種類のものがある [5] が、本システムでは電力を蓄積するデータベースサーバへデータを送信する通信機能を持ち、また、コンセントの口ごとに計測を行えるものを利用対象とする。精度や制御に関しては、本システムは可視化を行うことを目的とするため高機能なものを必要としない。コンセントの口ごとに計測を行うスマートタップにおいては、消費電力ログと電化製品の対応付けのため、計測開始時にスマートタップの口とその口に電源プラグを差す電化製品との対応付けを行う必要があるが、この問題に関しては、伊藤ら [6] や加藤ら [7] の提案手法など既に様々な手法の研究が行われており、これらを用いることで将来的にユーザーにかかる負担はかなり小さなものできると予想される。

また、本システムでは電化製品の個体識別のためにインスタンス毎に ID を付与するが、この際にバーコードに用いられる商品分類 [8] を用いてクラス分類を行うことで「部屋内すべての扇風機」のように、電化製品をクラスごとに集約できるようにする。これは、同一のクラスにおいて電化製品の使用用途は同一であることが多いことから「部屋の空調管理に使用した消費エネルギー」のような集約を可能にするためである。

その他に電化製品に関する有用な情報として、電源の on・off などの機器状態がある。機器状態の取得方法に関しては、ECHONET や DLNA [9], [10] の様な家電通信規格を用いて取得を行う方法が現実的であると考え、本システムではこれらの使用を想定する。また、リモコンの赤外線通信を利用する方法や消費電力波形から状態を推定する既存研究もあり [11]、通信規格に対応しない電化製品に関してはこれらの手法を代替として利用することを想定する。

### 3.3 実空間状況取得

近年、電化製品には多様な種類があり、また「加湿機能付き空気清浄機」のように、その動作・使用用途も複雑化してきた。その上、特定の電化製品がどのような意図に基づいて使用されるべきかは、その電化製品を使用するオフィス、すなわち各使用ドメインによって異なる。これらの要因から、どのような「人の行動」「物の状態」「環境の状態」がどの電化製品使用と関係があるのかは、非常に多種多様になりつつある。また近年のセンサ技術の発達により、特定の状況をセンサにより取得する手段も非常に多様化してきている。そのため、電化製品使用にまつわる状況をセンサ等で取得するためには、手間はかかるが製品ごとに適した方法を考える必要があると考える。以上のことから本システムにおける実空間状況獲得の方針としては、ドメイン毎に、まず電化製品ごとに取得する状況を定義し、次にその状況を取得する手段を決定するものとする。

しかし、どのような状況をどのように取得するかを何の方針もなく決定するのは非常に難しい問題である。そこで本システムでは、実空間状況の獲得にあたり、掃除機のごみセンサなど電化製品付属のセンサや [12]、湿度センサなど ECHONET にて定義されているセンサ関連機器の出力を軸にコンテキストを定義する [9]。これにより、実空間状況の獲得モデルとして妥当であり、かつデータの取得が比較的容易に行えると考えられる。

## 4. コンテキストと有効条件の定義

### 4.1 コンテキスト定義

コンテキストウェアコンピューティングにおけるコンテキストには様々な定義が存在する [13]、本システムにおけるコンテキストとは、センサ等を用いて取得した「人の行動」「物の状態」「環境の状態」のような状況データのことを指し、出力に時間と値を持つものとする。またその出力を、連続量をサンプリングしたものか否か・出力間隔が一定か否か、に基づき 4 通りに分類することで、比較演算が可能か否か・平均を取ることが可能か否かなどの、集約検索時に実行可能な演算方法を決定する。コンテキストの出力例を図 2、図 3 に示す。

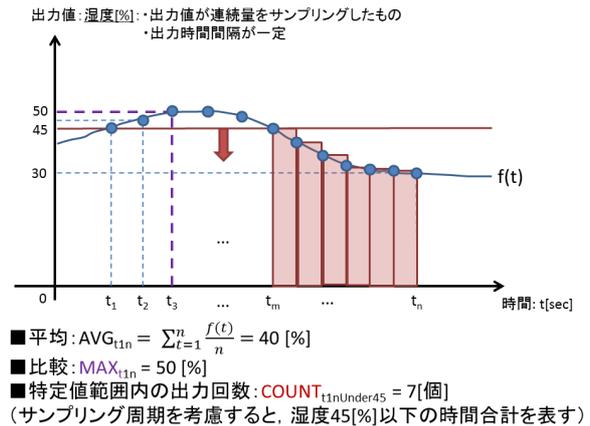


図 2 室内湿度コンテキストの出力 (環境の状態)

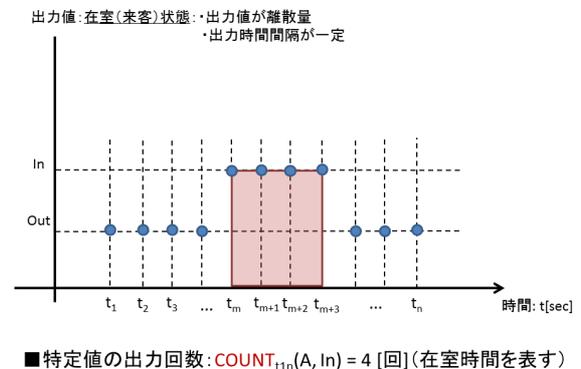


図 3 入退室 (来客) 状態コンテキストの出力 (人の行動)

### 4.2 有効条件定義

本システムでは、2.1 節の問題設定から、多数の電気機器がどのような状況で使用されたかを知ることが目標としている。その際、仕事などの目的のために意図した通りに使用された電力消費は削減対象とせず、それ以外の消費電力を主な削減対象とすることで、環境の快適さ・利便性は保ちつつ消費電力は削減できることが望ましい。そこで本システムにおいて、消費電力が意図した通りの状況にて使用されたものか否かの理解を容易にするために「有効条件」と呼ぶルール記述を行う。有効条件とは、その電化製品を使用する各ドメインにおいて想定される、電化製品使用が有効である状況をコンテキストを用いて記述したものである。この有効条件を満たす状況において使用された電力を有効に使用された電力と推定し、それに基づき消費電力ログを分類することで消費電力が意図した通りの状況にて

使用されたものが否かを一目で定量的に把握できると考える。  
 有効条件の記述にあたっては、本システムで定義したコンテキストは出力に時間と値を持つので、単純化のためしきい値を用いて記述することとした。このしきい値条件によって開始条件と終了条件を定めることにより、電化製品を有効に使用できる状況の時区間を定義する。このようにしきい値を定めたコンテキスト（以下、コンテキスト条件と呼ぶ）の論理積を取ったものを、一つの有効条件とする。これは確定ホーン節と同義であり、論理式を用いて以下のように記述できる。

$$(c_1 \wedge c_2 \wedge c_3 \wedge \dots \wedge c_n) \rightarrow R_1$$

$c_i$  はコンテキスト  $i$  の条件で、真偽をしきい値により決定  
 $R_j$  は一つの有効条件

有効に使用された電力の取得にあたっては、まず記述したコンテキスト条件を満たすコンテキストログを検索し、そのログ出力時間によって決定される開始時間と終了時間の時区間で消費電力ログを検索した結果集合を、有効に使用された電力と推定する。以上を図4に示す。

有効使用の時区間を定めるにあたり、有効の開始時点を決めるコンテキスト条件を開始条件、終了時点を決めるコンテキスト条件を終了時点と呼ぶ。また、「開始から終了までの間、ずっと湿度が50%以下」（温度が上がり過ぎても有効な使用とは言えないため）を記述するために、開始・終了条件の他にも条件を設定できるものとする。これを成立条件と呼ぶ。成立条件は、例えば「開始時間から終了時間までの間」や「終了時点から5分以内」のように、時区間を定め、その間において満たすべきコンテキストのしきい値条件を記述するものとする。

2.2節にて、本システムにおいて想定する環境は電化製品の使用意図が統一できるオフィス環境としているが、どのような目的（仕事）のために電力を使用するかは一般的にそのオフィスごとに異なる。そのため、有効とするべき電力使用方法、つまり有効条件はオフィスごとに記述する必要がある。そこで本システムにおいて有効条件の記述は、オフィスにおける電力使用管理者が行うこととする。ここで述べる電力使用管理者とは、そのオフィスにおける電力の使用量を管理する立場にある人のことを指し、その人には仕事目標の達成と電力の使用量の兼ね合いを考える責務があることを想定する。

有効条件は季節や節電方針の変更など、様々な要因により頻繁に更新されることが考えられる。その際には、今までに取得した電力・コンテキストのログデータを用いて有効条件の変更方針を示唆できることが望ましく、そのような枠組みの設計・実装が今後の課題と考える。例としては、どの有効条件によってどの程度の消費エネルギーが有効と判定されたのかを可視化することや、有効とされなかった電力使用がどのコンテキスト条件が満たされなかったため有効と判定されなかったか、その回数等統計情報の集約・可視化などが考えられる。

## 5. SEE-Con:消費電力とコンテキストの可視化

### 5.1 コンテキスト検索と消費電力可視化

2.1節に示した問題設定から、本システムにおいて必要とする検索・可視化内容を以下に示す。

- 特定時点における特定電化製品の消費電力（瞬間消費電力値）の可視化（消費電力の時系列表示）
- 特定時区間における特定電化製品の消費エネルギー（積算消費電力量）の可視化（消費電力の積算量表示）
  - 複数の電化製品における消費電力の集約
  - 特定のコンテキスト条件を満たす時区間における消費電力の集約

コンテキスト条件からの消費電力ログ検索においては、コンテキストにしきい値を定めてコンテキストログを検索し、その条件を満たす時区間における消費電力ログを検索・可視化する。これにより、「部屋に人が居ないときに使用している消費エネル

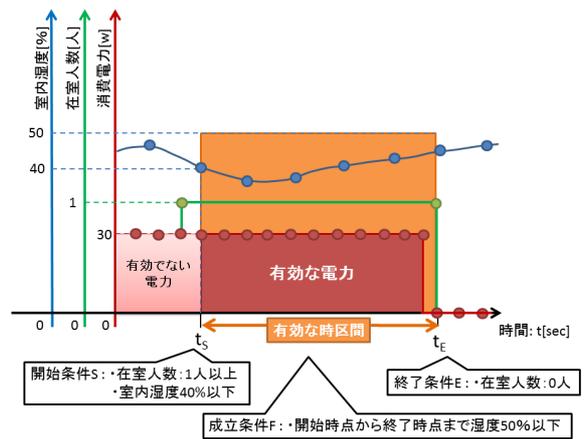


図4 加湿機における有効条件例

ギーの合計」のように、あるコンテキスト条件に適合する時区間で消費電力ログを集約することが可能になる。また、消費電力ログからのコンテキストログ検索においては「今日の扇風機クラスの合計消費電力値が300W以上の時区間における在室状況」のように、電化製品ログから時区間を定めてコンテキストログの検索を行う。その他、電化製品クラスごと・電化製品の状態ごとの、2種類の電化製品属性による検索を可能とする。これにより、「すべてのPCの待機電力とすべてのプリンタの待機電力の比較」など、特定のクラス・状態に着目して消費電力を集約することが可能になる。

### 5.2 有効ラベルによる消費電力可視化

本システムでは4.2節での定義に基づき、有効に使用された電力とそうでない電力を分類する。この分類のため、消費電力ログの1タブルに、属性として有効か否かを示すフラグを付加する。以下、このフラグを有効ラベルと呼ぶ。この有効ラベルをキーとして消費電力の検索や集約を行うことで、意図した状況下にて使用された目的達成の為に使われるべき電力と、意図しない状況下にて使用された削減対象となり得る電力の判断を容易にすることが可能になると考える。また有効ラベルを付加する際に、状況を示すコンテキストログと消費電力ログの相関関係を予め作成しておくことで、有効な電力使用と有効でない電力使用が、それぞれどのような状況での使用だったのかを即座に検索することができる。この可視化手法により、電化製品の意図しない使用を減らすと共に、意図する使用を増加させるようにユーザに意識喚起することが可能になる。これにより、システムの導入前と比較して、より少ない消費電力でより快適な環境を作り出すことが可能になると考える。

### 5.3 データベーススキーマ

以上の設計方針を踏まえた上でデータベースのスキーマを設計する。蓄積すべきデータは大別すると以下の4つである。

- 電化製品インスタンス（クラス分類も行う）
- 消費電力データ（機器状態も蓄積する）
- 有効条件データ（コンテキストごとにしきい値を決定）
- コンテキストデータ（時間と値を出力として持つ）

以上を考慮し、データベーススキーマの設計を行った。電力データの蓄積においては、スマートタップから取得した生データとは別に5.2節にて述べた有効ラベルを属性として付加したValid\_PowerLogテーブルを用意する。これにより、このテーブルにおける検索のみで有効使用された電力使用を集約することができる。また有効フラグの付加と同時に、Valid\_PowerLogテーブルの属性として家電状態を示すIDを付加する。これも有効ラベルと同様に家電状態における集約の検索をValid\_PowerLogテーブルのみで可能にするためである。

次に、Valid\_PowerLogテーブルの1タブルがどの有効条件

によって有効使用と判断されたのかを検索するために、電力データを蓄積した Valid\_ PowerLog テーブルと有効条件を蓄積した ValidRule テーブルの間にリレーションとして ValidRuleLog テーブルを用意する (図 5)。有効条件から電力データ、あるいは電力データから有効条件を検索する際は、このテーブルを介してテーブル間を結合すれば良い。

有効条件は「電源が on から off の間」のような電化製品の使用が終了するまで有効か否かが判定できないものも含むため、ラベル付けを行うタイミングは電化製品使用が極力行われない深夜などに行うことが望ましいと考える。

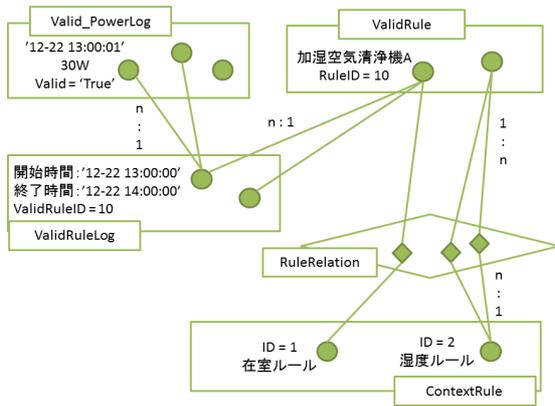


図 5 有効条件データインスタンス

## 6. SEE-Con の実装

### 6.1 実装環境

本システムを図 6 のような環境において実装を行った。また、環境内に設置した電化製品は表 1、環境内に設置したセンサは表 2、データの取得に利用した電気機器は表 3 に示す。本実装にて使用した重量計はデータ通信機能を持たないものであったため、データベースへのデータ挿入は手作業にて行った。

SEE-Con の実装においてドメイン毎に発生する主なコストは、電化製品の ID 付加 (コンセント口と電化製品インスタンスの対応付け)・システム構成機器の導入・センサの導入・有効条件の作成にかかるコストである。これらのコストを低減する手法を今後検討していく必要がある。



図 6 実装環境

電化製品 (メーカー名, 型番, メーカー公表稼働時消費電力)	個数
デスクトップパソコン 1 台 (自作), モニタ 2 台 (IO DATA LCD-MF221XWR など)(148[W]*)	12 個
ミーティング用ノートパソコン (DELL LATITUDE E6400, 26[W]*)	2 個
サーバ群共用 CRT モニタ (EIZO FlexScan T962, 160[W])	1 個
UPS (OMRON POWLI BU75RW) (PLANEX COMMUNICATIONS SF-0446G) (サーバ 3 台 (自作), スwitchingハブ 1 台を含む)(357[W]*)	1 個
研究用サーバ (自作) +モニタ (SHARP LL-T15G2)(101[W]*)	2 個
天井蛍光灯 32W*2 本*3 箇所 (192[W])	4 個
天井蛍光灯 32W*2 本*5 箇所 (320[W])	2 個
卓上蛍光灯 (National FPL27EX-2, 24[W]*)	8 個
冷蔵庫 (東芝 GR-R12T, 50[W]*)	1 個
プロジェクタ (EPSON EMP-1825, 306[W])	1 個
プリンタ (EPSON LP-V500, 178[W])	1 個
コーヒーマーカー (東芝 HCD-4EJ, 505[W])	1 個
電子レンジ (三菱電機ホーム機器 RO-S21, 1004[W]*)	1 個
オーブントースタ (ドウシヤ DOT-801, 837[W]*)	1 個
電気ケトル (T-fal ジャスティン 1.2L, 1,250[W])	1 個
気化式加湿機 (Panasonic FE-KXF15, 12 ~ 47[W])	1 個
加湿空気清浄機 (SHARP KC-Y65-W, 3.1 ~ 70[W])	2 個
電気掃除機 (Panasonic MC-PA20W-S, 1,000 ~ 約 200W)	1 個

\*は本実験における実測平均消費電力

表 2 設置センサ

センサ名 (メーカー名, 型番)
温度・湿度センサ (ティアンドデイ TR-72W)
RFID リーダ (富士通フロンテック F3972T110)
重量計 (エー・アンド・デイ UH3201-W)
加速度センサ (ワイヤレステクノロジー WAA-001)
ごみセンサデータ取得用光検知モジュール (Freescale Semiconductor MC9S08QG8, Sunhayato CT-298)

表 3 データ取得に使用した電気機器

データ取得に使用した電気機器 (メーカー名, 型番)	個数
コンテキストデータ取得用 PC(自作) ・OS: Microsoft Windows7 ・CPU: AMD Athlon64 5200+	1 個
スマートタブログ用 PC ・OS: Microsoft Windows7 ・CPU: Intel Pentium4 Mobile 1.9GHz 等	7 個
DB サーバ (DELL PowerEdge T410) ・OS: Microsoft WindowsServer 2008 R2 ・CPU: Intel Xeon E5530 2.4GHz x2 ・メモリ: 16GB ・DBMS: Microsoft SQL Server 2008	1 個

### 6.2 電力・コンテキストデータ蓄積

今回の実装では、スマートタブには富士通コンポーネント社製 FX-5204PS を使用した。消費電力検出分解能は 1W, 1 秒であり、これを消費電力ログの 1 タブルとした。また、電化製品に関しては表 4 のような状況をコンテキストとして蓄積した。加速度センサによる機械学習と掃除機のごみ吸い込み時間の取得には、我々の先行研究である猿田ら [14] の手法、河村ら [12] の手法を利用した。また、本実装には「室内ミーティング時間」のような、手動入力にて取得したコンテキストも含めた。

本実装における有効条件は、家庭の省エネ大事典 [4] を参考に、表 5 のように有効条件を設定した。この中には、ミーティングのようなドメイン固有のイベントを用いた条件も含めた。

### 6.3 SEE-ConDB の実装

本実装において、データベースには約 1ヶ月分 (休日を除く)、8,000 万タブル以上の消費電力ログデータを蓄積することができた。現時点においてデータ領域の大きさは約 2,670MB、インデックス領域の大きさは 7.3MB である。ここでインデックスは Valid\_ PowerLog テーブルの日付と電化製品インスタンス

表 4 取得コンテキスト

分類	コンテキスト名	取得方法
環境の状態	室内温度	温度・湿度計の出力値から取得
	室内湿度	温度・湿度計の出力値から取得
人の行動	入退室時間	入退室の際に各ユーザに関連付けた RFID タグをかざしてもらい取得
	室内ミーティング時間	ミーティングの開始・終了をユーザに手動入力してもらい取得
物の状態	電気ケトル内の水の重量	重量計の出力値から取得
	電子レンジの開閉時間	加速度センサによる機械学習により取得
	冷蔵庫のドア開閉時間	加速度センサによる機械学習により取得
	掃除機のごみ吸い込み時間	掃除機付属のごみ検知センサから取得
	プロジェクタを利用したい時間 (利用申請)	使用時間をユーザに手動入力してもらい取得
	ユーザ PC で処理を行いたい時間 (利用申請)	使用時間をユーザに手動入力してもらい取得
	各家電製品の電源状態変化時間	スマートタップで取得した消費電力値から推測

表 5 実装した有効条件

電化製品名	有効条件
プロジェクタ	使用申請が出されている時間内の電力消費は有効 ミーティング開始 5 分前から ミーティング終了 5 分後までの電力消費は有効
コーヒーマーカ	ミーティング開始 20 分前から ミーティング終了 5 分後までの電力消費は有効
加湿機	一人以上在室中かつ 室内湿度が 40 % 以下の時点から 50 % を上回る時点までの電力消費は有効
電子レンジ	電源 off 後 5 分以内に電子レンジの ドア開閉がある場合の電力消費は有効
電気ケトル	電源 off 後 5 分以内に ケトル内の水の重量が 150g 以下になる場合の 電力消費は有効
冷蔵庫	開閉回数と時間が JIS 開閉試験基準を 越えない時区間の電力消費は有効 (開閉回数が 12 分間に 25 回以下, 開放時間は 1 回 10 秒以下)
天井蛍光灯	蛍光灯の下に席がある人 (蛍光灯の管理ユーザ) が在室中の電力消費は有効 使用申請が出されている時間内の 電力消費は有効
卓上蛍光灯	蛍光灯の下に席がある人 (蛍光灯の管理ユーザ) が在室中かつ ミーティング時以外の電力消費は有効
PC	PC の管理ユーザが在室中の電力消費は有効 使用申請が出されている時間内の 電力消費は有効 (演算などの処理中の使用を想定)
ミーティング用ノート PC	一人以上在室中時の電力消費は有効
CRT モニタ	一人以上在室中時の電力消費は有効
プリンタ	一人以上在室中時の電力消費は有効
加湿空気清浄機	一人以上在室中かつ 室内湿度が 40 % 以下かつ 加湿空気清浄モード時の電力消費は有効 空気清浄モード時の電力消費は有効
掃除機	ごみセンサの検知が終了した時点から 1 分以内に次のごみセンサの検知がある場合の 検知終了時点から次の検知開始時点までの 時区間の電力消費は有効
UPS(サーバー類)	すべての電力消費は有効
研究用サーバ	すべての電力消費は有効

を示す ID の列に付加している。仮に、ダブル数に対してデータ領域が一次関数的に増大していった場合、1 年分のデータを蓄積するのに必要なデータ領域は、 $2,670 * 12 = 32,040\text{MB} = 32.3\text{GB}$  となる。

Valid\_ PowerLog テーブルの検索速度に関しては、1 日の合計消費エネルギー量や、1 日の特定電化製品インスタンスにおける有効に使用された合計消費エネルギー量など、Valid\_ PowerLog テーブルの処理のみで結果が求まる検索クエリは、本実装環境において 10 秒以内で結果を求めることができることを確認した。これは時間と電化製品インスタンス ID に付加したインデックスによる効果が大いと考えられる。

また、本実装において消費電力ログの検索ユーザインタフェースは図 7 のように実装した。



図 7 検索ユーザインタフェース

## 7. SEE-Con の有用性評価

### 7.1 SEE-Con 導入による消費電力量変化に関する評価

4.2 節の目標に従えば、本システムの導入によって消費電力は有効ラベル付きの電力が増加し、それ以外の電力は減少することが予想される。そこで、前章での実装環境において期間は 2 週間、被験者は 10 名で実験を行い、システムの導入前後で有効ラベル付き電力消費とそれ以外の電力消費がどのように変化したか測定し、考察を行った。1 週目は消費電力・コンテキストの蓄積のみを行い、2 週目は毎日入室時に前日と先週の同曜日における消費電力使用の振り返りをしてもらった。電力の振り返りにおいては、各被験者が通常利用する PC において、図 7 の可視化ユーザインタフェースを用いて表示を行った。この可視化ユーザインタフェースにおいて、先週の同曜日と前日における、実験環境内において有効でない電力使用量が多かった上位 5 位の電化製品インスタンスの有効ラベル付き電力使用時系列表示結果を必ず確認してもらうよう指示した。それ以外の電化製品インスタンス等に関しては、前述の可視化ユーザインタフェースを用いて各ユーザが自由に検索・可視化を行える状態にした。その結果を図 8 に示す。

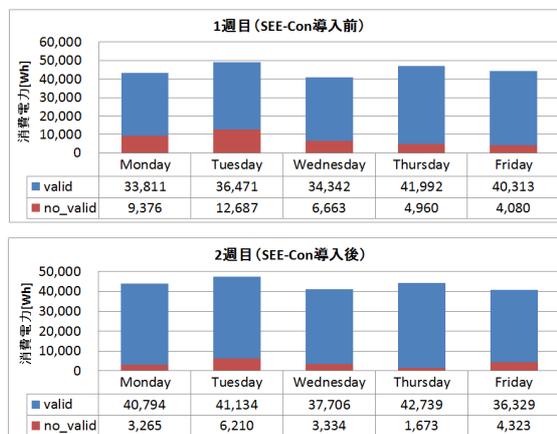


図 8 1 週目と 2 週目における消費エネルギー総量

## 7.2 実験考察

SEE-Con の導入前後における、消費エネルギーの変化を図 9 に示す。全体的な消費エネルギーの変化は-3.20%と、文献 [3] で示されている消費電力可視化による削減効果と言われる-5~-15%には及ばなかった。しかし、有効な使用をされた消費エネルギーは+6.30%、また、有効でない使用をされた消費エネルギーは-50.20%と、実験前の仮定通り、有効に使用された消費エネルギーは削減することができた。この点について考察を加えるため、以下に使用エネルギーの多かった電化製品インスタンス（またはクラス）ごとの結果を図 10 に示す。

図 10 には、実験環境にて有効な使用のされなかった消費エネルギーの多い 3 つのクラス（蛍光灯クラス、電熱調理器その他クラス（電気ケトル）、パーソナルコンピュータクラス）の電化製品インスタンスを挙げた。パーソナルコンピュータクラスにおいては、SEE-Con 導入前において有効でない消費エネルギーの多かったインスタンスを順に 5 つ挙げた。上記 3 つのクラスにおける有効使用されなかった消費エネルギーは、1 週目において全体の約 97%、2 週目において約 93% を占めており、本実験においてこれらのクラスにおけるインスタンスの消費エネルギー変化が全体に大きく影響を与えていた。これらの結果から、SEE-Con の導入前後で比較して、有効に使用された電力エネルギーを保持しつつ、そうでない電力エネルギーを中心に削減を行えることを確認できた。以下、インスタンス毎に SEE-Con の導入による電力消費行動の変化と、その行動変化による電力エネルギー削減効果を定量的に検証する。

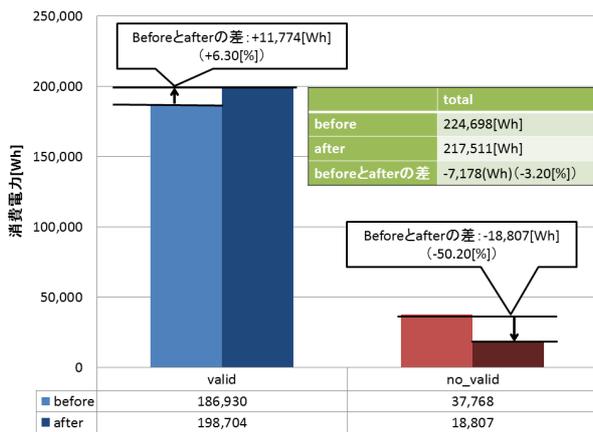


図 9 SEE-Con 導入前後における消費エネルギーの変化

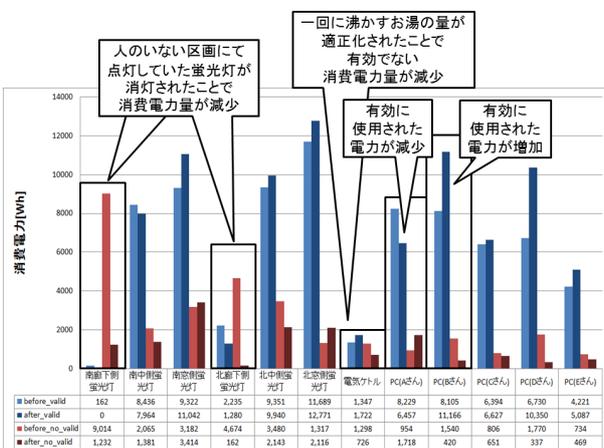


図 10 各電化製品における SEE-Con 導入前後の消費エネルギー変化

### 7.2.1 蛍光灯クラスの消費エネルギー考察

蛍光灯クラスのインスタンスにおいて、SEE-Con 導入前後から一貫している運用体制は

- 天井照明は必要部分のみ点灯する
- 退室不在時は必ず消灯する

の 2 つであり、有効条件はそれに従い記述した。蛍光灯クラスは天井蛍光灯 6 区画と卓上蛍光灯 8 台の計 14 インスタンスを含むが、本実験において卓上蛍光灯は使用されなかったため、蛍光灯クラスの消費エネルギーには天井蛍光灯 6 区画による消費エネルギーが計上されている。蛍光灯クラスの消費エネルギーは本実験環境の約 1/4 を占めており、有効でない消費エネルギーも多かったため、本実験にてユーザに可視化したランキングでは常に上位を占めていた。このことから、本実験においてユーザに対する注意喚起が他の電化製品インスタンスに比べて多く行われたインスタンス群であるといえる。

蛍光灯クラス全体の結果を図 11 に示す。蛍光灯クラス全体における SEE-Con 導入前後の消費エネルギー差は-11,482Wh となり、非常に大きな電力エネルギー削減が見られた。また、全体における有効に使用された電力エネルギーの割合は約 17% の増加となり、蛍光灯使用の全体傾向として、SEE-Con 導入後は以前に比べて有効条件に即した使い方をされるようになったことを示した。次に図 10 から蛍光灯クラスのインスタンスに着目すると、南廊下側の天井蛍光灯群と、北廊下側の天井蛍光灯群の削減が全体に大きく影響を与えていることがわかる。これらは、SEE-Con 導入前においては下に人が居ないにも関わらず点灯したままになっていた蛍光灯群であり、SEE-Con 導入後ではこれらが消灯されたことにより、有効でない消費エネルギーが減少したと考えられる。この 2 インスタンスにおける SEE-Con 導入前後の消費エネルギーの差は-13,411Wh であり、天井蛍光灯の消灯に気を付けるだけで非常に大きな消費エネルギー削減効果があることがわかった。

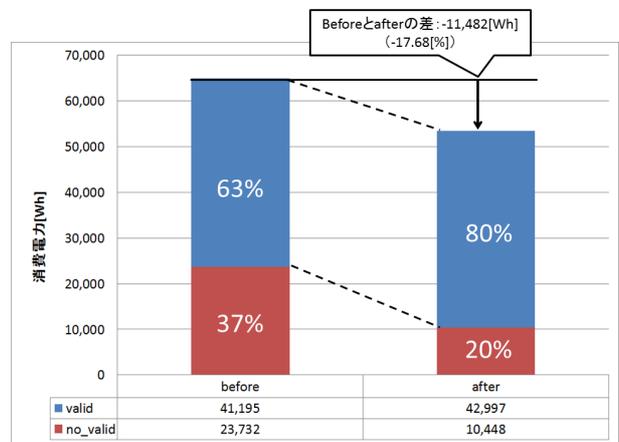


図 11 蛍光灯クラスにおける SEE-Con 導入前後の消費エネルギー変化

### 7.2.2 電熱調理器クラスの消費エネルギー考察

電熱調理器クラス（電気ケトル）のインスタンスにおいて、SEE-Con 導入前後から一貫している運用体制は

- 高温の飲用給湯は電気ケトルで必要分のみ沸かす

ということであり、本実装において有効条件は、沸かし終わった 5 分後にケトル内に残っている湯の残量がコップ 1 杯分、150g 以下ならば、その湯を沸かすのに使用した消費エネルギーを有効とした。但し、今回の有効な消費エネルギーの計算モデルでは、沸かしたお湯を部分的に使用した場合を考慮しておらず、沸かしたお湯の一部は 5 分以内に使用したが 5 分以内に残量が 150g 以下にならなかった場合は、有効でない消費電力として計上している。ここから、有効でない電力が多めに計上される

ようなモデルとなっている。この点については今後改善の余地がある。また本実験にてユーザに確認してもらったランキングでは、電気ケトルの消費エネルギーは日によって大きく差異があったため、消費の大きい日は比較的上位に位置していた。

電気ケトルにおける実験結果は図 10 に示すように、SEE-Con 導入前後の消費エネルギーの差は-197Wh という結果になった。また、電気ケトルにおいて、沸かしたお湯の総量は、1 週目が 22.728kg、2 週目は 19.689kg であった。有効に使用された消費エネルギーは増加していることから、一度に沸かすお湯の量が適正化されたため 2 週目における沸かしたお湯の総量が減ったことが推測される。しかし、SEE-Con 導入前後の消費エネルギー差は-197Wh と、蛍光灯と比べるとそこまで大きな値ではなく、沸かす湯量の適正化は消費エネルギー削減効果としては小さいことがわかった。

### 7.2.3 PC クラスの消費エネルギー考察

PC クラスのインスタンスにおいて、SEE-Con 導入前後から一貫している運用体制は

- 共用の PC は、長時間使用予定のない時は電源を切る
- 個人用 PC は、退室時や長時間の不在時に電源を切る

の 2 つであり、有効条件はそれに従い記述した。よって、有効でない消費電力 (no\_valid) には待機電力や PC の点けっぱなしによる消費エネルギーが計上されている。PC クラスには 12 台ユーザ用デスクトップ PC と 1 台のユーザ用ノート PC、1 台の共用ノート PC の計 14 インスタンスを含む。本実験にてユーザに確認してもらったランキングでは、主にユーザ用デスクトップ PC がランキングの上位に頻出していた。

PC クラス全体の結果を図 12 に示す。PC 全体において SEE-Con 導入前後の消費エネルギー差は 1,295Wh となり、若干の増加となった。ここで図 12 から、SEE-Con 導入前後において有効な消費エネルギーの割合は増加している。

次に図 10 から PC クラスのインスタンスについて考察する。今回挙げた 5 インスタンスのうち 4 インスタンスは SEE-Con 導入後の有効に使用された電力エネルギー (after\_valid) が SEE-Con 導入前の有効に使用された電力エネルギー (before\_valid) を上回っている。ここから、SEE-Con 導入前後における PC の稼働時間が、SEE-Con 導入後の 1 週間の方が増加していることが推測できる。次に図 10 から、A さんにおいては有効でない使用が増加しているのに対し、B さんでは有効でない使用が減少しているのがわかる。この原因は、実験後に被験者にヒアリングを行った結果、PC モニタの待機電力の影響が大きいことがわかった。A さんにおいては 2 週目の在室時間が 1 週目に比べ短かったことがヒアリングからわかっており、待機電力が多く計上されたため有効でない消費電力が増加したと考えられる。また B さんにおいては、1 週目においては退室時に点けっぱなしにしていた PC モニタの電源を、2 週目には消して退室するようにしたことにより、待機電力が減少し、有効でない電力エネルギーの削減に繋がったと考えられる。これらを総合して考えると、SEE-Con 導入前後の消費エネルギー差が正になった理由としては、待機電力の変化やちょっとした退室時に PC をスリープ状態にしたことで削減できた有効でない電力量より、2 週目の PC 使用時間の増加による消費エネルギーの増加が大きかったためであると推測できる。

## 8. まとめと今後の課題

本論文では、多数の電化製品が、どのような状況で使用されたかを知ることのできる消費電力可視化システム、SEE-Con の設計と実装を行った。それにより、ユーザがどの電力使用を改めればどの程度の電力削減が行えるのかを、データベースのログ検索を用いて知ることを可能にすることができた。また、有効条件・有効ラベルによって、意図した通りに使用された電力消費は削減対象とせず、それ以外の消費電力削減を促すこと

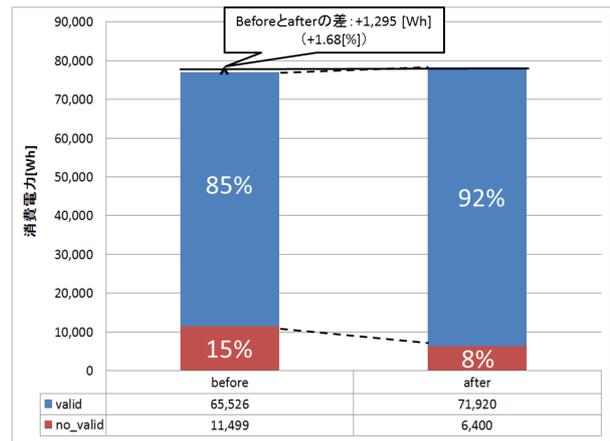


図 12 PC クラスにおける SEE-Con 導入前後の消費エネルギー変化

ができることを一部事例において確認した。今後は、他の事例における SEE-Con の有効性や実装コストを、実験的に検証する必要がある。

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共同研究推進プログラム「消費側の関与を重視したエネルギー技術の評価」による。また、同研究院基軸プロジェクト「信頼と納得の情報学」の支援を受けた。

## 文 献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁/エネルギー白書 2011, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011/2-1.pdf>
- [2] Masahide Nakamura, Akihiro Tanaka, Hiroshi Igaki, Haruki 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, January-March, 2008.
- [3] 石田建一, 伊藤善朗, "IT 時代の計測・制御技術の動向 (4) HEMS による家電連動制御", 空気調和・衛生工学, Vol.80, No.5, pp. 53-61, 2006-5.
- [4] ECCJ 省エネルギーセンター, <http://www.eccj.or.jp/>
- [5] "特集「エネルギーの情報化」", 情報処理, Vol.51, No.8, pp.926-985, 2010-08-15.
- [6] 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
- [7] Takekazu Kato, Hyun Sang Cho, Dongwook Lee, Tetsuo Toyomura, Tatsuya Yamazaki, "Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments", International Journal of Assistive Robotics and Systems (IJARS), Vol.10, No.4, pp.51-60, Dec. 2009.
- [8] 財団法人流通システム開発センター, <http://www.dsri.jp/>
- [9] ECHONET CONSORTIUM, <http://www.echonet.gr.jp/>
- [10] 猿渡俊介, ヨハンイェルム, 小田稔周, 森川博之, "DLNA Probe: DLNA デバイスの操作履歴取得システム", 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.4, pp.1693-1705, 2011-4.
- [11] 栗山央, 峰野博史, 水野忠則, "既存家電製品を用いたホームオートメーションの実現", 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.1, 265-275, 2008-01-15.
- [12] 河村愛, 富井尚志, "ユビキタス環境における複合的なセンサデータの特徴量化による行動評価", 第 2 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2010), D5-2, 2010-3.
- [13] 岡留剛, 前川卓也, 服部正嗣, 柳沢豊, "センサネットワーク環境における実世界イベント検索システム", 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.7, pp.2351-2361, 2007-07-15.
- [14] 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, 2007-12.