

電力使用状況を考慮した電力ログのラベリングに基づく 消費電力可視化システム

田島 周平[†] 藤原 国久[†] 高橋 慶多^{††} 細澤 直人^{††} 富井 尚志^{†††}

[†] 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学研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: †{tajima-shuhei-zp,fujiwara-kunihisa-tm,takahashi-keita-yr,hosozawa-naoto-vm,tommy}@ynu.ac.jp

あらまし 近年, 消費電力削減に関する研究がさかんに行われているなかで, 効果的な手法の一つに消費電力の可視化がある. しかし, 現状の消費電力可視化手法では電化製品が使用された際の「人の行動」や「環境の状態」を知ることができず, 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, 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, 本研究では過去の電力消費と共に電化製品の使用状況も蓄積, 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電化製品が使用された時の状況を取得し, それを用いてあらかじめ条件を記述しておくことで消費電力ログに使用意図に基づくラベリングを行う. ラベル付けされた電力ログを集約, 可視化することで削減すべき電力を一目で判断できるように設計・実装を行った

キーワード 消費電力可視化, ユビキタス環境 DB, エネルギーマネジメント

A Visualization System for Electric Energy Consumption Based on Labeled Electric Energy Log in Consideration of the Situation Using Electric Appliances

Shuhei TAJIMA[†], Kunihisa FUJIWARA[†], Keita TAKAHASHI^{††}, Naoto HOSOZAWA^{††}, and Takashi TOMII^{†††}

[†] Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

^{††} Division of Electric and Computer Engineering, College of Engineering, Yokohama National University

^{†††} Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan

E-mail: †{tajima-shuhei-zp,fujiwara-kunihisa-tm,takahashi-keita-yr,hosozawa-naoto-vm,tommy}@ynu.ac.jp

Abstract In recent years, demand 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 due to it. However, it is difficult to judge the electricity usage whether it should be reduced because it is difficult to know the situation when the electric appliances are used. Therefore, we propose a system for visualizing energy consumption based on labeled electric energy log with context log acquired by using various sensors, and inform end-user why it should be reduced. As a result, we evaluated the effectiveness of the system by experiments.

Key words Visualising Electric Energy Consumption, Ubiquitous Environment Database, Energy Management

1. はじめに

近年, 環境問題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需給バランスの崩壊から, 消費電力削減に関する研究がさかんに行われている. 特に家庭やオフィスビルにおける消費エネルギーはここ 30 年ほ

どで 2 倍以上増加しており, これらのドメインにおける消費電力削減技術は特に重要とされている. そのような背景の中で, HEMS (Home Energy Management System) や BEMS (Building and Energy Management System) 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]. HEMS や BEMS 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り、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、現状の消費電力可視化手法では、電力の計測単位が建物ごとや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化製品が使用された際にどのような状況下であったかを知ることができないといった問題がある。そのため、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、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「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ログをデータベース化し、過去の状況に伴う電力使用を可視化するシステムを設計する。本提案では、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。また、ユーザが省エネを行う上で有用と考えられる Web 上の外部データを取得・蓄積しておく。このセンサ等で取得した「人の状態」、「物の状態」、「環境の状態」のドメイン内データと Web 上に存在する外部データ合わせて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用いて、ある「観点」から見た新たな「情報」を各電化製品の電力ログにラベリングする。本提案ではこの「観点」をラベリング条件と定義した。ラベリング条件は消費電力ログに対して様々な「観点」から見た「ラベル」を付加するものであり、ラベリングされた消費電力ログは新たに付加されたラベルの区別によって集約・可視化することが可能になる。これにより、ユーザはより詳細に過去を振り返り、効率的に省エネを行うことが可能になると考えられる。

本研究では、このような電力使用時の状況も加味して消費電力の可視化を行うシステムを SEE-Con と名付けた[4]。本論文では、この SEE-Con 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. 研究背景

2.1 問題設定

近年、環境問題を背景とした世界的なエネルギー削減要求の増大や東日本大震災の影響による電力需給バランスの崩壊から、消費電力削減に関する研究がさかんに行われている。その中で、利便性を求めるライフスタイルや電気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ここ30年ほどで2倍以上増加しており[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、電力使用量は人が直感的に把握することは難しく、現状としてユーザが知りうる情報としては家やビルなどの建物ごとやフロアの方電盤ごと等の合計使用量に限られる。具体的に、いつ、どの電気機器によって、どの程度の電力量が使用されたのかを知ることができなければ、電力使用を見直すことは難しい。この結果、どの電化製品のどのような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ユーザは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。そのような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する製品も普及しつつあり[5]、ユーザはいつ、どの電気機器によって、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、オフィス環境のように人や電化製品が多数存在する場合もある。このときには、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する。また、ドメインごとに各電気機器がもつ電力使用の意味も異なる。例えばオフィス環境であればPCは仕事にのみ使用されるであろうが一般の家庭だとその限りでない。その結果、ユーザはその部屋で効率的に活動をする上で、必要不可欠な電化製品の電力使用と、そうではない電力使用の区別をすることができなくなってしまうという問題もある(図1)。

そこで本研究では、「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かを知る」とことと「各ドメインにおける電気機器ごとの有効な使用方法を知る」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

本システムではユーザの電力削減に対する負担感を減らすため、どのような使用意図にも当てはまらない電力使用のみを削減対象とする。例えば電源が付けられたまま使用されず放置された電化製品の電力などがこれにあたる。そこで、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・コンセント部分を対象とする[7]。そのため、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。

3. SEE-Con の設計

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 (以降、コンテキストデータ取得用PCと明記)
- データ可視化用PC

コンテキストデータ取得用PC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。

3.2 電化製品の電力データ取得

本システムでは電化製品の電力データ取得が必須であるため、スマートタップの使用を前提とする。現在、スマートタップには様々な種類のものがあり、電力の取得精度やログのサンプリング間隔が異なる[8]。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対象とした。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各差込口に対して接続されている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[9]や加藤ら[10]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電化製品のユーザにかかる負担はかなり小さなものと予想される。

機器状態の取得に関しては、ECHONETLITE[11]の様な家電通信規格が普及することにより将来的に容易に取得可能であると考えられる。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[12]、このような手法を代替として利用することを想定する。

3.3 コンテキストデータ取得

ドメイン内部コンテキスト

近年、電化製品においては、「電気ポットと電気ケトル」のように、結果的に同じ目的で使用される電化製品でも多様な種類が存在し、「加湿機能付き空気清浄機」のように、その内部状態・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」がそ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。ここで、電化製品使用にまつわる「人の行動」、「物の状態」、「環境の状態」のようなドメイン内部の状況データとコンテキストと定義する。

外部コンテキスト

近年、Web上では様々な情報が公開され、一般のユーザでもそれらのデータの使用が可能になっている。それらのデータとドメイン内の電力ログとをマッシュアップし、可視化することで新たな知見が得られると考える。例えば、ドメイン内で使用された電力がどういった発電方法由来なのかを外部から取得できれば、再生可能エネルギーでどれだけドメイン内の電力使用がまかなえるかといった試算が立てられる。このように、ユーザの省エネ活動を支援するWeb上の外部のデータも本システムではコンテキストとして取得・蓄積する。

取得コンテキストの決定

コンテキストの取得方法に関しては、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多様化してきており、この他にもよりユーザの省エネ活動を支援する情報としてWeb上のデータを用いる方法など、非常に多様な方法が考えられる。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、まず使用ドメイン内の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[13]、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した[14]。また、電化製品ごとに取得するコンテキストに関して、どの程度詳細にコンテキストを取得すればよいかといった問題もある。そこで、本システムでは使用ドメインにおける一ヶ月当たりの電化製品クラス別消費電力量を算出し、その結

果に応じて取得するコンテキストを最終的に決定するものとする。具体的には、ドメインにおいて消費電力量割合を多く占める電化製品に関してはより詳細にコンテキストを取得し、そうでない電化製品に関しては取得しない、または必要最低限なものとする。これは本システムが瞬間的な消費電力[W]の削減ではなく、積算値である消費電力量[kWh]の削減を主な目的としているからである。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る。

3.4 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が、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」と、Web上からダウンロードできる外部情報のことを指し、出力に時間と値を持つものとする。また本システムでは取得するコンテキストによって出力間隔が異なる。例えば、湿度センサの出力は一般的に連続量をサンプリングしたものであるかつ出力間隔が一定であるが、タグをリーダで読み取った際の出力は離散的であるため、連続量をサンプリングしたものでなくかつ出力間隔は一定でない。これらのセンサ出力値をそのままコンテキストとした場合、出力は図2、図3のようになる。

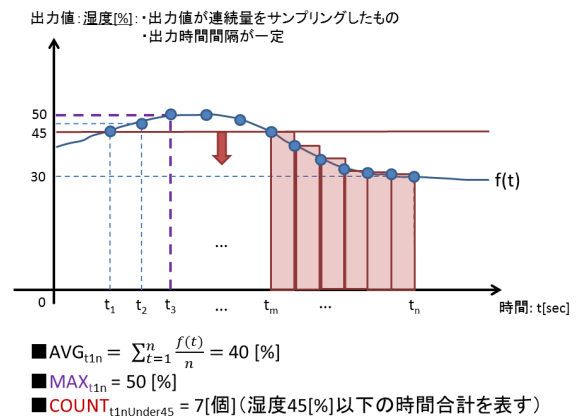


図2 室内湿度コンテキストの出力（環境の状態）

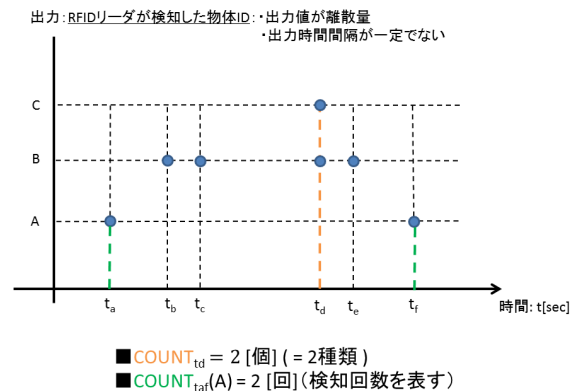


図3 RFID コンテキストの出力（物の状態）

3.5 ラベリング条件定義

本システムでは、2.1 節の問題提起から、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かを知ることが目的とする。その際、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目標とすることで、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、コンテキストを付加した消費電力が意図した通り使用された消費電力かどうかの理解を容易にするために、「ラベリング条件」を設定することとする。ラベリング条件とは、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、ある条件を満たす状況をコンテキストを用いて記述したものである。一般的に、各ドメインによって意図する電化製品の使用目的・方法は異なるため、本システムにおいてラベリング条件は、電化製品ごと・ドメインごとに決められるものとする。また、各ドメインで定めるラベリング条件が複数ある場合も考えられる。本システムで定義したラベリング条件とはそのドメイン内での電力使用を判断する上での「観点」であり、複数の「観点」から電力が有効に使用されたかを判断する指標となる。例えばオフィス空間において、「仕事に使用されたか」という「観点」で言えばコーヒーマーカーが消費した電力は有効であるとはいえないが、「快適に生活できたか」という「観点」で言えば有効であるとみなすこともできる。

本研究ではコンテキストは出力に時間と値を持つので、ラベリング条件の記述にあたっては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の論理積を取ったものを、1 つのラベリング条件とする。有効に使用された電力の取得にあたっては、記述したしきい値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ことにした。ラベリング条件のひとつとして電化製品が有効に使用されたかを判断する有効条件の設定例を図 4 に示す。

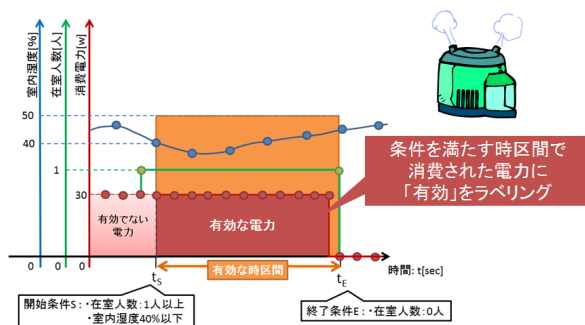


図 4 加湿機におけるラベリング条件例

3.6 消費電力可視化手法

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に基づき、本システムにおいて必要な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 (消費電力値の時系列表示)
- ・ 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 (消費電力値の積算量表示)
- ・ 特定時間帯や曜日など、時間に関連した統計による可視化
- ・ リアルタイムでの電化製品の電力消費状況の可視化
- ・ 複数の電化製品における消費電力の集約

- ・ 外部コンテキストを用いた消費電力有効使用方法のための可視化

これらの可視化が必要な理由として、ユーザが省電力行動を行ううえで必要な情報として最も重要な要素は「いつ・どの電化製品が・どのようにして・どれだけの消費電力を消費したか」というものであると考えたためである。コンテキストからの消費電力ログの検索においては、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電力量の合計」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も可能になる。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、「今日の加湿機の電源 On の時区間における室内湿度」のように、電化製品の電力ログから時区間を定めて検索を行う。我々は、このシステムを先行研究において a visualizing System for Electric and 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 [4]。

電力ログラベリングによる消費電力可視化

ドメインごとに設定された、各ラベリング条件によりラベリングされた消費電力ログを用いることで、消費電力に様々な観点から見た新たな情報をラベリングすることができる。先行研究ではオフィス空間において単純にひとつの一般観念の基で「有効使用」と「有効でない使用」の2つに消費電力を分類した。そして、これらのラベルを用い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。また、本システムでは状況を示すコンテキストデータと消費電力のデータを事前に対応付ける方針を取るため、有効な使用と有効でない使用が、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の意識喚起を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。

3.7 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 (クラス分類済み)
- ・ 消費電力データ (機器状態も蓄積する)
- ・ ラベリング条件データ (コンテキストごとにしきい値を決定する)

- ・ 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 (図 5)。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 (図 6)。Valid PowerLog はどのような使用目的で電化製品が使用されたかといった「観点」に基づき、消費された電力が「有効」であったかどうかのラベルが電力ログに付加されたものである。本研究においては電力削減を行うユーザの負担感を減らすため、どのような「観点」においても有効と判断できなかった電力にのみ「非有効」とラベリングしている。これにより、このテーブルにおける検索のみで有効に使用された電力と非有効に使用された電力を分けて集約することができる。また有効ラベルの付加と同時に、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。

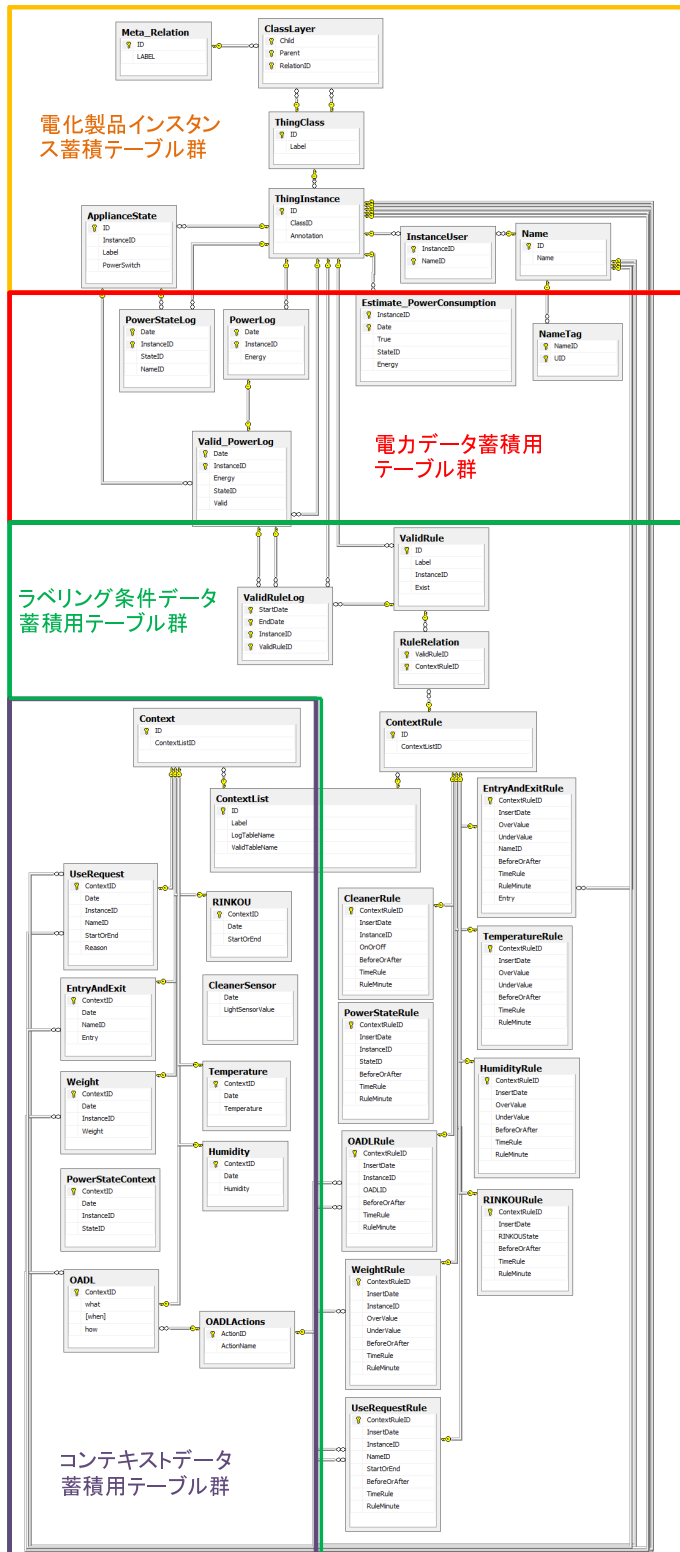


図 5 データベーススキーマ

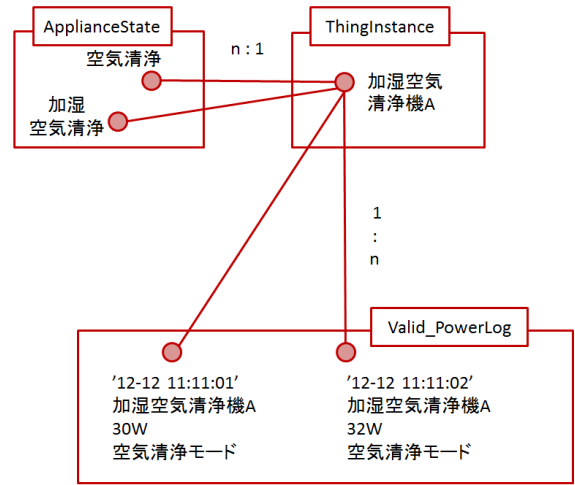


図 6 消費電力データインスタンス



図 7 実装環境

4. SEE-Con の実装

4.1 実装環境

本研究において、図 7 のような環境において実装を行った。環境内で実際に電力ログを取得・蓄積した電化製品は表 1 に、コンテキストを取得する上で使用したセンサ類については表 2 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。

電力ログ蓄積

今回の実装ではスマートタップには富士通コンポーネント社製 FX-5204PS [5] を使用した。消費電力分解能は 1 W, サンプル間隔は 1 秒である電力ログを実際に蓄積した。

コンテキストデータ蓄積

電化製品使用状況を取得するために今回蓄積したコンテキストを表 3 に示す。掃除機のごみ吸い込み時間の取得においては、我々の先行研究である河村ら [13] の手法を利用した。重量計のデータやミーティング時間といったものに関しては今回は手入力にて取得した。

ラベリング条件

今回の実装において、実験環境におけるドメイン固有のラベリング条件を表 4 のように作成した。今回の実験においては主に「電化製品使用による電力が仕事をするうえで有効に使用されたかどうか」の観点の基でラベリング条件作成を行った。

表 1 設置した電化製品

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 1～2 台（IO DATA LCD-MF221XWR など）	14 個
旧ミーティング用ノートパソコン（DELL LATITUDE E6400）	1 個
新ミーティング用ノートパソコン（DELL LATITUDE E6510）	1 個
サーバ群共用 CRT モニタ（EIZO FlexScan T962）	1 個
UPS（OMRON POWLI BU75RW） （サーバ 3 台（自作）， スイッチングハブ 1 台 （PLANEX COMMUNICATIONS SF-0446G）	1 個
研究用サーバ（自作）＋モニタ（SHARP LL-T15G2）	2 個
天井蛍光灯 32W*2 本*3 箇所	4 個
天井蛍光灯 32W*2 本*5 箇所	2 個
卓上蛍光灯（National FPL27EX-2）	8 個
冷蔵庫（東芝 GR-R12T）	1 個
プロジェクタ（EPSON EMP-1825）	1 個
旧プリンタ（EPSON LP-V500）	1 個
新プリンタ（EPSON PX-605F）	1 個
コーヒーマーカ（東芝 HCD-4EJ）	1 個
電子レンジ（三菱電機ホーム機器 RO-S21）	1 個
オーブントースタ（ドウシシャ DOT-801）	1 個
電気ケトル（T-fal ジャスティン 1.2L）	1 個
気化式加湿機（Panasonic FE-KXF15）	1 個
加湿空気清浄機（SHARP KC-Y65-W）	2 個
電気掃除機（Panasonic MC-PA20W-S）	1 個

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 RFID タグリーダライタ（13.56MHz）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）

表 3 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
	環境内総電力量	スマートタップの出力値から算出
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
	コーヒーマーカ内のコーヒーの重量	重量計の出力値から取得
	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
	オーブントースタのドア開閉時間	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
外部データ	電力由来割合	東京電力ホームページから取得
	本実装環境 V2X 供給可能量	ECOLOG データ [20]より取得

4.2 消費電力可視化インターフェース

ラベリングされた電力ログを用いて消費電力可視化ユーザインタフェースを実装した。本実装における主な特徴としては有効に使用された電力を青色，そうでない電力を赤色で示すこと

表 4 実装したラベリング条件

電化製品名	有効な使用条件
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
	全電化製品の消費電力量が 4.5kWh を 超えないときであれば電力消費は有効
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	全電化製品の消費電力量が 4.5kWh を 超えないときであれば電力消費は有効
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
	全電化製品の消費電力量が 4.5kWh を 超えないときであれば電力消費は有効
冷蔵庫	常に有効
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
	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中以外の電力消費は有効 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）
PC	PC の管理ユーザが在室中の電力消費は有効 PC の管理ユーザが在室中かつ ミーティング中以外の電力消費は有効 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
サーバ群共用 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	全電化製品の消費電力量が 4.5kWh を超えないとき電力消費は有効
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

で電化製品ごとに過去にどれだけ有効な電力使用があったかを知ることができる。また、可視化インタフェースを実装したデバイスとしては、オフィス環境を想定して PC 上で行ったが、この他に近年普及が著しいスマートフォンも実装に用いた。スマートフォンでの可視化については各電化製品に貼付されたマークタグをカメラで読み込むことでデータベースにアクセスし、各電化製品の電力ログに集約をかけることで AR(Augmented Reality) を用いた可視化を行っている。今回実装したそれぞれの機能について詳しく述べる。

ランキング表示

ランキング表示機能は、昨日、または先週の同曜日における「電力が有効に使用されなかった電化製品」を非有効に使用された電力量を基にランキング形式で表示したものである（図 8）。これにより、ユーザは使用の仕方に基づき電化製品を一目で知ることができ、省電力を効率的に行えるようになる。

時系列表示

時系列表示機能は、電化製品の電力使用を時系列で表示したものであり、いつ、どの電化製品が、どういった理由で、有効に（非有効に）、どれだけの電力を消費したかがわかるように実装した（図 9）。これにより、ユーザはより詳細な過去の振り返りを行うことができ、今後の省電力に役立てることができる。

リアルタイム表示

リアルタイム表示機能は、電化製品の現在の瞬時電力 [W] を表示したものであり、また、現在の電化製品が有効に使用されて

いるかどうかの情報も同時に表示される(図 10). 特にスマートフォンを用いて実際の電化製品と共に見ることで各電化製品の消費電力を具体値で捉えることができる利点がある.

時間ごと表示

時間ごと表示機能は、電化製品ごとに選択した期間内での消費電力を各曜日ごとや各時間帯ごとで集約し、可視化したものである(図 11). これにより、ユーザはそのドメイン内における電力使用の特徴を見出すことができ、省電力やピークシフトの計画を立てる上で参考にする事が可能になる.

外部データとのマッシュアップ

外部データとのマッシュアップの一例として、東京電力ホームページより取得したデータ[19]と、本研究室における別の研究グループが行っている ECOLOG[20] データを用いて実装を行った. 本実装により得られる情報については 5.2 節にて詳しく考察する.

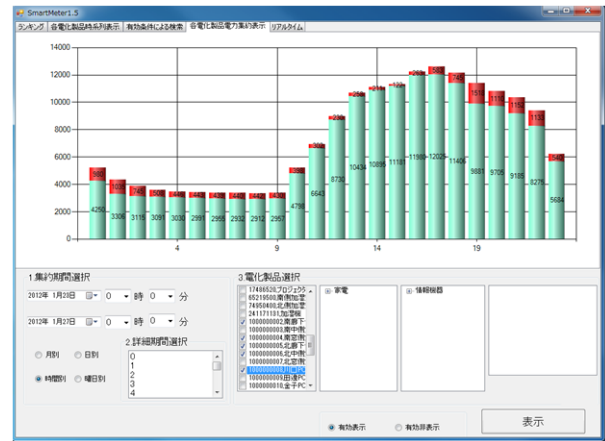


図 11 時間ごと表示

5. 考察

5.1 マニュアルの効果検証

近年、民生部門では、電化製品ごとにどのような行動をとるべきかを推奨した省電力マニュアルといったものを定め、ドメイン内の人々に対してマニュアルに則って行動するように義務付けてきた. 例えば「PC を使用しないときは電源を消す」や「電熱調理器では使用するだけのお湯を沸かす」といった細かい行動がマニュアルによって示される. 横浜国立大学大学院環境情報研究院でも近年の電力削減需要を受け、省電力マニュアルを配布して消費エネルギー削減を図ってきた. しかし、一般的にこのようなマニュアルではそれぞれの行動でどれだけの電力削減効果があるか具体値が示されないといった問題がある. そこで、横浜国立大学が実施したマニュアルのうち、「PC を使用しないときは電源を消す」と「蛍光灯の点けっぱなしをしない」といった行動の省電力削減効果を評価する. 本実装環境において消費電力の占める割合の大きい PC クラスと蛍光灯クラスに対し、以下のようなラベリング条件で有効の判定を行った.

- 使用ユーザが入室しており、かつミーティング中でなければ有効

ここで、ミーティング時を有効でないとした理由としては、本実装環境ではミーティング時にプロジェクトの前にメンバー全員が集まるため、プロジェクト周辺の機器以外の使用が行われないと判断したためである.

本実装環境における電力消費状況を図 12 に示す. 棒グラフがミーティングが行われた日の PC・蛍光灯クラスのミーティング時の消費電力量(非有効)と環境内の総電力量を表し、折れ線グラフが総電力量に占める PC・蛍光灯クラスのミーティング時の消費電力量(非有効)の割合となっている. これを見ると、2つの電化製品クラスによって消費された非有効な電力量は環境内の総電力量の約 20% も占めることが分かり、この電力を削減することで実装環境における電力削減に非常に効果が高いことが分かる. このように、本システムを用いることで省電力マニュアルを具体値に基づいて評価することが可能になるといえる.

5.2 外部コンテキストに基づく情報の可視化効果検証

本研究では、外部コンテキストとして 2 つのデータを本実装では採用した. 1 つ目は東京電力が発表している電力使用状況やピーク時供給電力の電源別割合である[19]. そしてもう 1 つは実際の自動車の運転ログから本実装環境に V2X を行った際にどれだけ電力が供給できるかというデータである[20]. これらを用いることで、どのような情報を可視化できるかを検証する. 外部コンテキストのマッシュアップによって作成した可視化の例を図 13 に示す. 棒グラフが実装環境における 1 日の時間帯ご

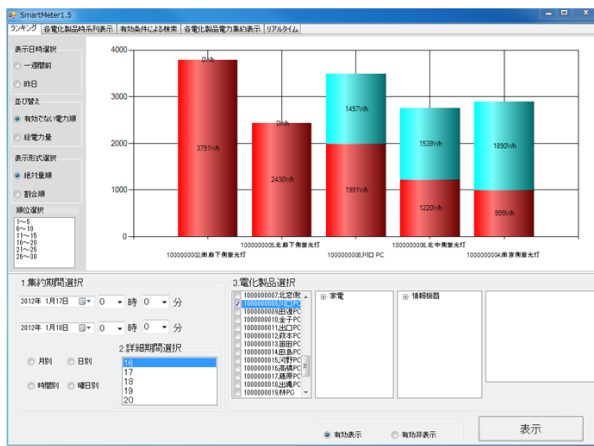


図 8 ランキング表示

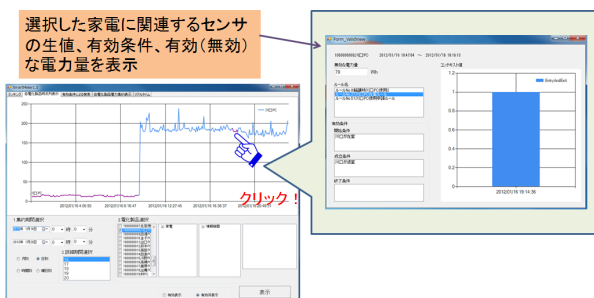


図 9 時系列表示

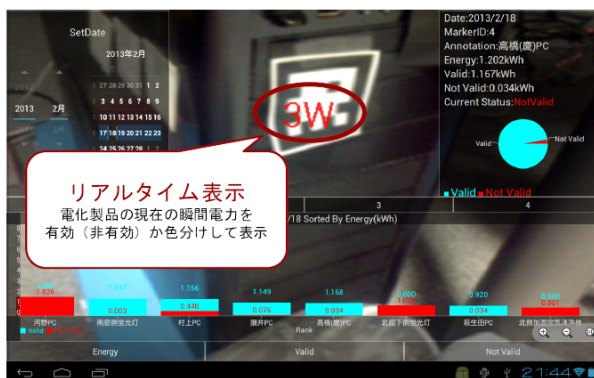


図 10 リアルタイム表示 (スマートフォン)

との総電力使用を表し、折れ線グラフが東京電力の電力使用率を表す。

図 13 から分かることの 1 つ目としてまず、東京電力の使用率と実装環境での電力使用を見ると、東京電力の使用率ピーク時と実装環境でのピークがほぼ同じ時間帯になっていることがわかる。したがって、一日の電化製品を使用するスケジュールを変更し、ピークの時間帯をずらすことで社会的に電力需給バランスを保つのに貢献できると考えられる。次に、V2X によって得られる電力量と、実装環境における電力量を見ると、V2X によって得られた電力量は本実装環境でのピークの電力量をまかなうのに十分であることがわかる。このように、ドメイン内部で得られるコンテキストだけでなく、ドメイン外部から得られるコンテキストを用いることで、ドメイン内ユーザが電力削減対策を行う際の参考となる情報が可視化できたといえる。

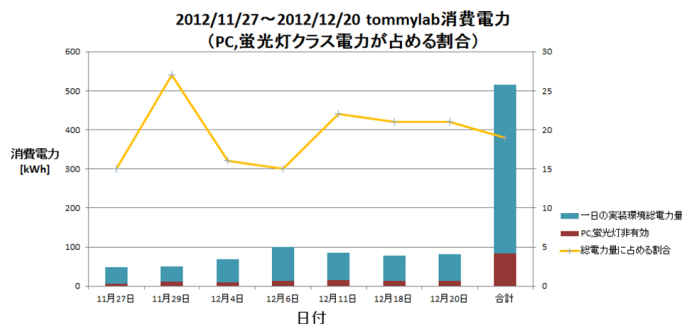


図 12 実装環境における PC・蛍光灯クラス電力量

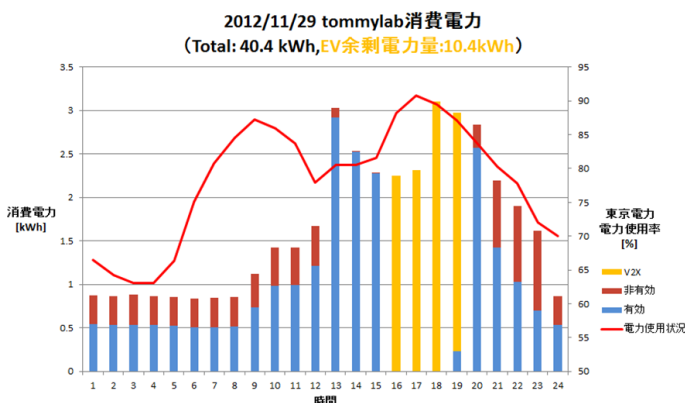


図 13 外部コンテキストを用いた情報の可視化

6. まとめと今後の課題

本論文では、多数の電化製品が、どのような状況でどのように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、ラベリング条件・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ができることを確認した。今後は、より簡易に電力ラベリングの条件を設定する手法と、効果的な可視化について検討していく必要がある。

謝辞 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 2012, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2012/index.htm>
- [2] 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, 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] 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
- [5] 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/>
- [6] サンワサプライ ワットチェッカー TAP-TST5, <http://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=tap-tst5>
- [7] ECCJ 省エネルギーセンター/オフィスの省エネルギー, http://www.eccj.or.jp/office_bldg/index.html
- [8] “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.
- [9] 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
- [10] Takekazu Kato, Hyun Sang Cho, Dongwook Lee, Tetsuo Toyomura, Tatsuya Yamazaki, “Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in HomeEnvironments”, International Journal of Assistive Robotics and Systems (IJARS), Vol.10, No.4, pp.51-60, Dec. 2009.
- [11] ECHONET CONSORTIUM, http://www.echonet.gr.jp/_1_echo/index.htm
- [12] 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.
- [13] 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徵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.
- [14] ECHONET 規格書 Version 3.21(日本語版)/APPENDIX ECHONET 機器オブジェクト詳細規定, http://www.echonet.gr.jp/spec/spec_v321.htm
- [15] 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.
- [16] G.D.Abowd, A.K.Dey, P.J.Brown, N.Davies, M.Smith, and P.Steggles, “Towards a better understanding of context and context-awareness”, Proc. 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, pp.304-307, Springer-Verlag, 1999.
- [17] 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.
- [18] ECCJ 省エネルギーセンター/家庭の省エネ大事典, <http://www.eccj.or.jp/dict/>
- [19] 東京電力ホームページ/東京電力でんき予報, <http://www.tepco.co.jp/forecast/index-j.html>
- [20] 富井尚志, 萩本真太郎, 笹田尚希, 出口達, 河野弘樹, 出縄誠, 林拓也, “自動車の日常移動ログデータベースの構築と EV への置換えによる V2X 効果推定” 第 11 回 ITS シンポジウム 2012.