

センサネットワークを用いたモバイル型 住環境データ収集表示システムの開発

橋 詰 葵^{†1,†2} 松 野 智 明^{†3} 鈴 木 誠 二^{†3}
安 部 恵 一^{†1} 峰 野 博 史^{†4} 水 野 忠 則^{†5}

本論文では、表示系 HEMS を低い導入コストで実現するシステムを提案する。提案システムではセンサネットワークを用い、温度や照度、消費電力などの環境データを収集して見える化を行う。データの収集および表示には小型のセンサノードとノート PC を用いるため、既存家屋や家電に対して大きな変更を加えずに導入することが可能である。可視化されたデータをもとに、システム導入前には気付かなかったエネルギー消費の無駄を発見することで、利用者に省エネを意識した行動を促すことができる。既存 HEMS の多くは建物や部局を対象単位としていたが、本稿で提案するシステムではより粒度の細かい個人単位や家電単位での分析を可能とする。

A Development of a Mobile-based Data Aggregation and Visualization System for Living Environments using Sensor Networks

AOI HASHIZUME,^{†1,†2} TOMOAKI MATSUNO,^{†3}
SEIJI SUZUKI,^{†3} KEIICHI ABE,^{†1} HIROSHI MINENO^{†4}
and TADANORI MIZUNO ^{†5}

From the viewpoint of the global warming prevention, it is necessary for us to save energy consumption. The revision of the Rationalization in Energy Use Low in Japan is expected to build energy efficient ecosystem. In this paper, we present a HEMS with a fine-grained data aggregation function. This system can aggregate personalized living environmental information and visualize it instantly. Proposed system finds out a waste of energy in living environments and enables users to save their energy at their own initiative.

1. はじめに

温暖化防止の観点から、大規模な工場やオフィスを構える企業だけでなく、各個人の家庭においても省エネルギー化が求められている。人々の生活が快適さや豊かさを求めるライフスタイルへと変化し、民生部門では電気などのエネルギー消費が継続的に増加傾向にある。家庭における省エネルギー化としては、家電製品を最新の省エネ家電に買い換えるほか、ICT (Information and Communication Technology) 技術を活用してエネルギーの使用状況を実時間で表示したり、室内状況に応じて家電機器などを自動制御したりする HEMS (Home Energy Management System) を導入する方法が考えられる。前者の省エネ家電については、家電の省エネ技術の進歩によりある程度の省エネを達成できるが、金銭的に余裕のある人でなければ買い換えを促進できないといった課題がある。後者の HEMS 導入については、専用機器の設置及び導入コストに課題があり、HEMS を普及する上での障壁となっている。例えば分電盤を利用した HEMS の場合、新築やリフォーム時の導入は容易だが、既存家屋への導入は取り替えコストの面から考えて困難である。

HEMS に関してはこれまでに少なくない研究がなされている。なかでも、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) のプロジェクトを中心に、実験住宅ならびにモニター宅を使った様々な実用研究の成果が報告されている。この NEDO の HEMS 研究結果を住環境計画研究所がまとめた調査報告¹⁾ において、HEMS の導入および普及の課題として、(i) HEMS 導入時の初期コストを低減すること、(ii) 提供する省エネ情報の訴求力を高めること、以上の 2 点が提言されている。本稿ではこれらの課題に着目し、解決方法を述べる。

課題 (i) の HEMS 導入時の初期コストには、HEMS 機器購入費用以外に配線工事費などが含まれる。これらの導入コストの課題解決の研究としてスマートタップ型 HEMS の研究がある。これは家庭用コンセントと家電機器の間に CPU 内蔵の通信機能付きの電源タッ

^{†1} 静岡大学大学院自然科学系教育部

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

^{†2} 日本学術振興会特別研究員 (DC)

Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

^{†3} 静岡大学大学院情報学研究所

Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{†4} 静岡大学情報学部

Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{†5} 愛知工業大学情報科学部

Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

プ（スマートタップ）が入り、家電機器毎の消費電力の計測を行い、通信を介してその計測値をデータ収集用の上位 PC へ届けたり、家電機器の自動認識などを行ったりするものである。この技術の特徴は HEMS 導入時に新規配線工事不要 (No New Wire) あるいは省工事化が図れ、かつ既存家電に対し一切改変を加えずに HEMS を構築できることである。このため家電も既存家電をそのまま利用できるの機器費用ならびに配線工事の大幅な低コスト化が図れる。

課題 (ii) の省エネ情報の訴求力を高めることについては、無駄なエネルギーの削減箇所を提示できるきめ細かな省エネ情報を提供する機能を搭載することが有効と文献¹⁾において提言されている。筆者らはこのような機能を付加するには次の 2 点が必要と考えた。1 点目は、建物内にある個別家電毎の消費電力の可視化を行うことで、単位時間当たりの全消費電力量の詳細内訳を表示・分析できることである。2 点目は、建物内の住環境情報（温度センサ、照度センサ、人感センサなど）を併用取得できることである。これまでの HEMS 研究は電気エネルギーの使用量の表示が主であったが、建物内の住環境情報を併用取得できれば、建物内の人の行動パターン並びに生活習慣における無駄なエネルギー使用量の解析が詳細に行える。これにより、今までに気付かなかった具体的な省エネ対策を発見することが可能となり、ユーザの省エネ意識向上にも繋がると考えられるため、この 2 点の条件を挙げた。

本稿では、HEMS の導入や普及における課題²⁾³⁾の一つである初期導入コストの問題を解決するための、既存家屋および既存家電に対して一切改変せずに HEMS を導入できる技術を提案する。また、家庭やオフィス、大学の研究室における単位時間あたりの消費電力量を詳細に表示する技術について提案する。そして、提案システムの開発に当たっての要求仕様と詳細設計についてまとめ、本システム導入によって期待される見える化の効果について考察する。

2. HEMS の導入事例

東京大学では、2008 年 6 月にグリーン東大工学部プロジェクトを発足させ、「させられる環境対策からやりたくなる環境対策へ」を掲げている⁴⁾。工学部 2 号館を用いて、ファシリティマネジメントシステム技術の検証と評価、さらに、運用技術の確立を目指しており、マルチベンダ環境下でポイント数 330 ヶ所（電力 135 ヶ所、ガス 5 ヶ所、水道 12 ヶ所、温度 28 ヶ所、湿度 28 ヶ所、制御 122 ヶ所）で実証実験を進めている。産学連携型コンソーシアムという体制でファシリティ通信規格の標準化活動にも力を入れており、2010

年 5 月には、東大グリーン ICT プロジェクトとして工学部から全学へと規模を拡大させ注目を集めている。

北海道工業大学では、2009 年 12 月に「見える化モニタリングシステム」の運用を開始している⁵⁾。キャンパス内 12 施設の 260 ポイント（電力 147 ヶ所、油流量 5 ヶ所、温度 108 ヶ所）へ計測器を設置し、得られた計測データを学内 LAN を介してサーバへ蓄積している。これらのデータを用いて、棟別または全体の消費電力、消費油量、一次エネルギー消費量、気温、湿度、CO₂ 排出量を、30 分、1 日、1 週間および 1 ヶ月単位で 24 時間閲覧できる。

九州大学では、2010 年 4 月に日本アイ・ビー・エム株式会社と株式会社ジールの協力によって、伊都キャンパスの CO₂ 排出量の見える化を実現している⁶⁾。消費電力、ガス、水道、CO₂ 排出量を、1 時間毎に更新して表示でき、学内 LAN やカフェテリアに設置されたデジタルサイネージ（電子看板）で閲覧できる。

東京農工大学では、全キャンパスのエネルギー使用量見える化システムの運用準備が進められている⁷⁾。プロトコルが異なる複数の計測装置から「農工大標準プロトコル」に変換することで、異なるメーカーの計測器から送られる信号の統合を実現する研究が進められており、学内 5 ヶ所に設置されたデジタルサイネージでも閲覧できる。

これらの HEMS は、データの計測単位が建物や部局と大きく、取得データの内訳を詳細に分析する過程において、不明瞭なエネルギー消費が表出すると考えられる。例えば、あるフロアの電力使用量が大きく、その原因を調査したいと考えた場合に、データ取得の最小単位がフロアでは、それ以上詳細な分析を行うことができない。フロアの中のどの部分に原因があるのか調査するには、部屋単位や個人単位といった粒度の細かいデータを取得する必要がある。本稿では、配線工事や高価な機器の導入をすることなく粒度の細かいデータを取得可能なシステムを提案する。提案システムは持ち運びが可能であり、例えば既に HEMS が導入された環境において、既存システムのサブシステムとして動作させることも可能である。

3. 住環境データ収集表示システム

3.1 要求仕様

本システムは、一般家庭や大学における研究室を対象とし、そこで活動している個人や稼働している電化製品ごとのデータを取得する。粒度の細かいデータを見える化することで、これまで不明確だった詳細なエネルギー使用量内訳を把握することができると考えられる。

例えば、家庭のリビングや研究室の共用スペースに、デジタルサイネージの形で電力使用量の推移や内訳、分析結果などを効果的に提示することができれば、そこで生活する人々に対して何気ない日常生活の中でエネルギー使用量の実情を感じさせるだけでなく、省エネに対する関心を高めていけると考えられる。

以上の目的を達成するための要求仕様を以下にまとめる。

- (1) データの計測には本研究室で開発した住環境センサノードおよびスマートタップノードを使用する⁸⁾。無線通信には IEEE 802.15.4 を用いる。データの取得および表示には持ち運び可能なノート PC を用いる。また、計測粒度の変更を考慮し、自由にノードの追加や削除を行うことができるものとする。
- (2) エネルギー使用量の見える化によって詳細な分析ができるよう、各住環境センサノードに関して 10 分間隔で、各スマートタップノードに関しては 1 秒間隔で自動的にデータを取得できるものとする。ノード数の増減に柔軟に対応でき、仮にノードから正常にデータを取得できなくてもシステム全体に不具合を発生させないものとする。
- (3) 様々なデータ表示要求に対して即時性を持たせるため、各計測値から 1 分間（スマートタップノードのみ）、10 分間（住環境センサノードのみ）、1 時間、日、月毎の積算値を算出し保存しておく。
- (4) 保存されたデータは、Web ブラウザを介して各種グラフ（棒グラフ、折れ線グラフ、積算グラフ、円グラフ等）で表示および過去のデータと比較できるものとする。各ノードだけでなく、人、用途、負荷名称といった階層構造でグループ化した値も含めてデータを表示できるものとする。

以上、4 つの要求仕様を満たすモバイル型住環境データ収集表示システムの概要を図 1 に描く。

3.2 設計概要

前述の要求仕様を満たすために、モバイル型住環境データ収集表示システムに大きく以下のような機能モジュールが必要になると考えた。ここで、各番号は前述の要求仕様の番号に対応する。

- (1) センサネットワーク構築機能
- (2) データの取得機能
- (3) データの保存機能
- (4) 見える化機能

これらの機能をノート PC 1 台と任意の数の住環境センサノードおよびスマートタップ

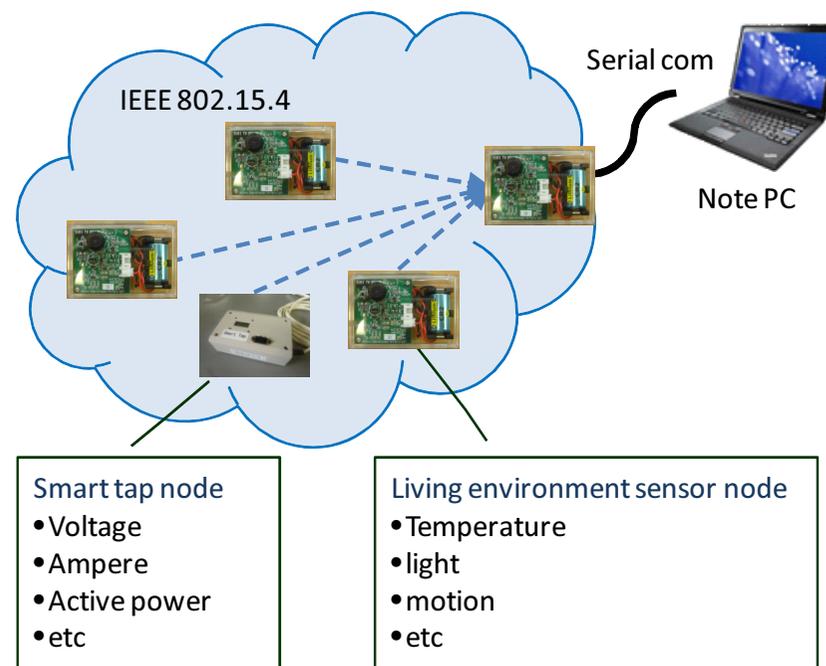


図 1 モバイル型住環境データ収集表示システム概要

ノードを用いて開発した。図 2 に本システムの機能モジュールの詳細を示す。本システムはコンピュータに不慣れたユーザのことを考慮して汎用的な Windows OS 上に構築し、データの収集および蓄積を行う Data Stream Management System (DSMS)、Web サーバである Apache + PHP 等で構成される。DSMS はセンサネットワークからノート PC に到着する各種データをリアルタイムに処理し、データベース (DB) に格納する。これらの集計結果のグラフは、Web ブラウザを介してノート PC 上で自由に閲覧できる。以降、各機能モジュールの詳細を説明していく。

3.3 センサネットワーク構築機能

センサネットワークを構成する物理的なデバイスは、住環境センサノードおよびスマートタップノードの 2 種類である。表 1、表 2 に、それぞれ住環境センサノードおよびスマートタップノードの仕様をまとめる。また、図 3 に住環境センサノードおよびスマートタッ

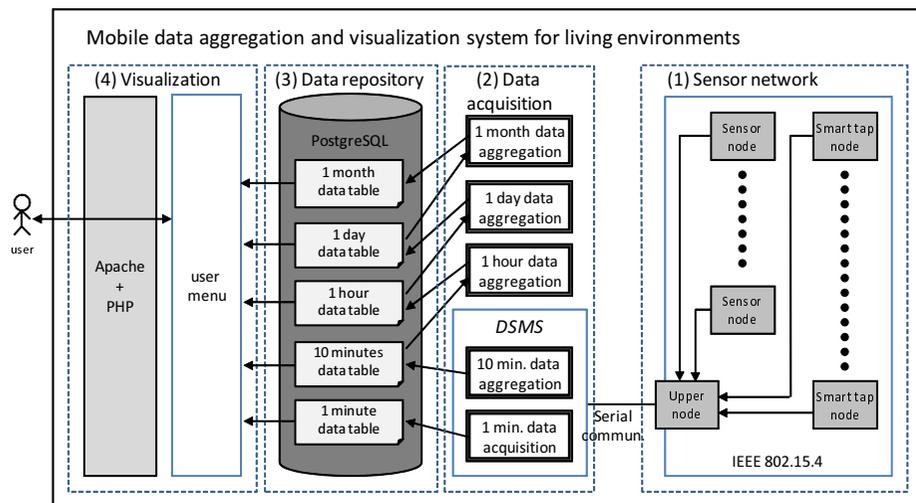


図 2 モバイル型住環境データ収集表示システムの機能モジュール詳細

ブノードの外観を示す。各ノードは親ノードもしくは子ノードの役割を持つ。親ノードは子ノードからセンシングデータを収集し、それらのデータをノート PC へと送信する。子ノードは親ノードの要求に応じて自身のセンシングデータを親ノードへと送信する。ノート PC は親ノードから送信されたデータをストリームとして受信し、DSMS を用いて処理する。子ノード・親ノード間の通信には IEEE 802.15.4 が用いられ、親ノード・ノート PC 間の通信には RS-232 シリアル通信が用いられる。

3.4 データの取得

ノート PC はデータの収集および集計を行う。各処理は、DSMS の CQ (Continuous Query) と呼ばれる問い合わせ方式により実行される。CQ は、ユーザが問い合わせ要求を発行するとシステムにその問い合わせを登録し、新規データが到着する度にシステム内部で登録された問い合わせを実行する。この仕組みにより、ストリームとして到着するセンシングデータをリアルタイムに処理することが可能となる。

本システムでは、DSMS として StreamSpinner⁹⁾ を用いた。StreamSpinner には 2 つの特徴がある。1 つは、複数問い合わせ最適化である。複数問い合わせ最適化は、複数の問い合わせから共通演算を抽出し、本来複数回必要だった処理を一度で済ませる手法である。複数問い合わせ最適化を用いることで大量の問い合わせに対応することが出来る。もう

表 1 住環境センサノード仕様

項目	仕様
温度センサ	LM20 (NS)
モーションセンサ	AMN42121 (Panasonic)
照度センサ	GA1A1S204WP (SHARP)
温湿度センサ	SHT21 (センシリオン)
電池	リチウム電池 CR-2 電池ホルダ外付け
コネクタ	I/O コネクタ (40pin スタッキング) 外部照度センサ用 (3pin) 外部 I2C コネクタ用 (4pin)
基板プロセス	FR-4 4 層 両面実装 T = 1.6mm PbFree
基板寸法	40 × 45mm
電源	DC2.7V ~ 3.3V 電池駆動対応 (CR2)
動作環境	動作温度 -10 °C ~ +55 °C 湿度 0 ~ 95% 結露なきこと 保存温度 -20 °C ~ +60 °C



(a) 住環境センサノード



(b) スマートタップノード

図 3 開発済みノード

1 つは、問い合わせの実行タイミングを明示的に指定できる点である。StreamSpinner の問い合わせ言語は、新規データが到着する度に起動する問い合わせや、定期的に行うタイマー型、その両方で起動する問い合わせなど、問い合わせの実行タイミングを自由に指定できるため、ユーザはより自由な条件設定を行うことが出来る。本システムにおける問い合

表 2 スマートタップノード仕様

項目	仕様
電力測定部	ADE7753 (アナデバ) 入力電圧: AC100V 測定レンジ: 有効電力 0 ~ 3 KW 無効電力 0 ~ 3 KVar 皮相電力 0 ~ 3 KVA 力率 0 ~ 100% 消費電力 0 ~ 30% 測定精度: ± 2% 測定精度: ± 1%
電力制御部	ソリッドステートリレー 1 系統 AQA611VL 松下 40A AC100V 対応
電力センサ LCD	CT センサ CTL-10-CLS (80Amax) U-RD MONO キャラクタ (バックライトなし) SC0802E SUNLIKE 8 桁 2 行
コネクタ	I/O コネクタ (40pin スタッキング) CT センサ接続コネクタ (2pin) SSR 接続コネクタ (3pin) LCD コネクタ (14pin)
基板プロセス	FR-4 4 層 両面実装 T = 1.6mm PbFree
基板寸法	55 × 110mm
電源	AC100V 内部 3.3V/5V
動作環境	動作温度 0 °C ~ +55 °C 湿度 0 ~ 95% 結露なきこと 保存温度 -20 °C ~ +60 °C

わせについて次節で述べる。

3.5 データの保存

本システムでは DSMS の CQ を用いて取得データの積算値を DB へと保存する。図 4 に、スマートタップノードで取得した 1 分間分の有効電力データから 1 分間の有効電力の積算値を算出するクエリを示す。StreamSpinner の問い合わせ記述方式は SQL ライクであり、図 4 ではタイマー型問い合わせにより、スマートタップノードの ID が対象とする ID である場合に、1 分間に 1 回、60,000 ms (1 分間) 分の有効電力値を平均して算出するよう指定している。

スマートタップノードの 1 分間の積算値データは、1 分データとして DB に保存され、この 1 分データから、1 時間、1 日、1 月の積算値データを生成して DB に保存している。同様に、住環境センサノードのデータは、10 分、1 時間、1 日、1 月の積算値デー

```

MASTER Clock_1m
SELECT Smarttap.smartTapNode_id, avg(Smarttap.activePower_W)
FROM Smarttap[60000]
WHERE Smarttap.smartTapNode_id = target_id
    
```

図 4 StreamSpinner の問い合わせ記述方式

タを生成して DB に保存している。保存される積算値データは、ノードで測定される箇所のデータであり、グラフ表示における個々の接続機器データに対応する。

データ保存時のタイムスタンプは、DSMS がデータを受信した時刻を基準とするが、秒数を 0 秒に調整する。

次に、DB の構造について検討する。DB は、(1) 1 分データテーブル、(2) 10 分データテーブル、(3) 1 時間データテーブル、(4) 1 日データテーブル、(5) 1 月データテーブル、の 5 種類のテーブルで構成することとする。これらのテーブルはデータ収集およびデータ集計によって更新され、見える化部分から参照される。

データ集計では、1 時間データ集計、1 日データ集計、1 月データ集計を行う。スマートタップノードの値は 1 分毎に 1 分データ収集を実行することによって、親ノードから受け取ったノード毎の各積算値データを、1 分データテーブルへ格納する。同様に、住環境センサノードの値は親ノードから受け取ったノード毎の各積算値データを、10 分データテーブルへ格納する。また、1 時間データ集計を 1 時間毎に実行し、スマートタップノードはノードごとに 1 分データテーブルから (住環境センサノードはノードごとに 10 分データテーブルから) 1 時間毎のデータを取得し、1 時間の積算値を集計して 1 時間データテーブルに格納する。他のデータ集計も同様である。

3.6 見える化

Web サーバ (Apache + PHP) は、ユーザのリクエストに応じて、ユーザ画面を呼び出し、その出力をレスポンスとして返す。ユーザ画面は、DB にアクセスして画面出力に必要な情報を取得し、ユーザ画面におけるグラフ画面を出力する。

本研究室では学生 1 人につき 1 台のスマートタップノードを配備しており、学生が使用する電子機器はすべて各自のスマートタップノード経由で動作している。実際に開発した本研究室における学生の電力使用量のグラフ表示例を図 5 に示す。各人の電力使用量を、選択した表示期間・表示形式に従って表示させられる。表示期間は、時間、日、週、月単位で選択できる。図 6 に示すように、グラフ表示形式として、(a) 棒グラフ、(b) 円グラフ、

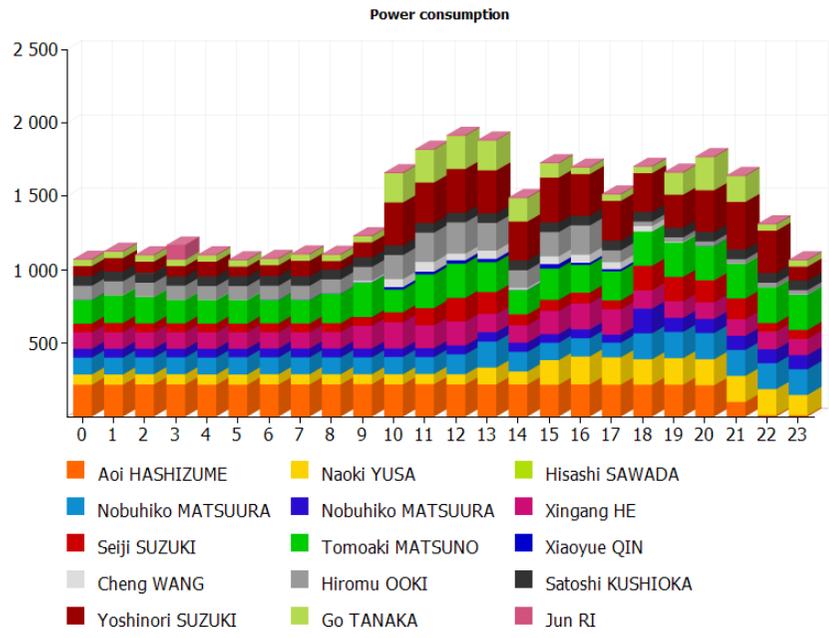
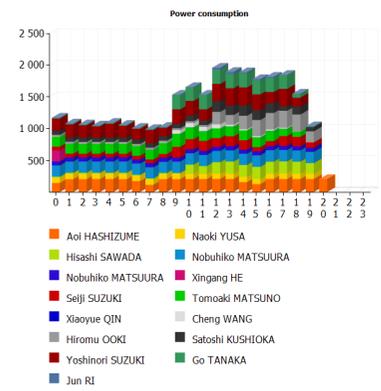


図 5 電力使用量の表示例

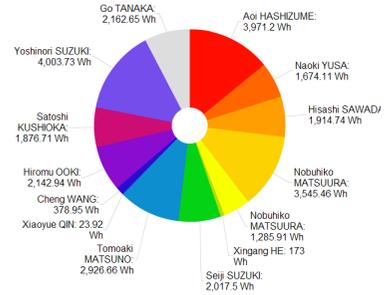
(c) 折れ線グラフ, (d) 積算グラフ, を選択できる. 棒グラフと円グラフは, 電力使用量の内訳を示す. 折れ線グラフは, 任意の時刻における各スマートタップノードの電力使用量の大小を比較して示す. 積算グラフは, 任意の時刻までの電力使用量の総計を比較して示す.

4. 電力使用量の見える化と人間の行動に関する考察

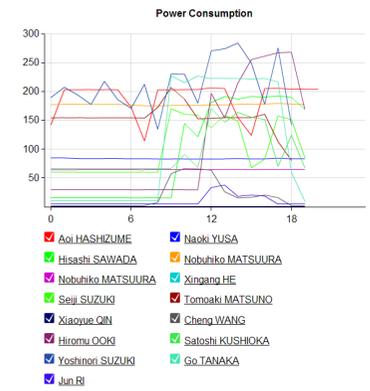
本研究室では, タイムカードを用いて各人の研究室滞在時間を記録している. タイムカードと図 5 を比較したところ, 研究室に滞在しているときも滞在していないときも常に電力使用量が一定となっている学生が発見された. 基本的に学生は研究室において各自の PC やディスプレイ等の電子機器を用いて研究を行っている. よって, 研究室の滞在時間に関係なく電力使用量が一定である場合は, 使用していない電子機器の電源が入ったままと考えられる. この学生に退席時には使用していない電子機器の電源を落とすよう依頼したところ, 電力使用量が 220 Wh から 10 Wh まで減少した. この学生が毎日 8 時間を研究室で過ごす



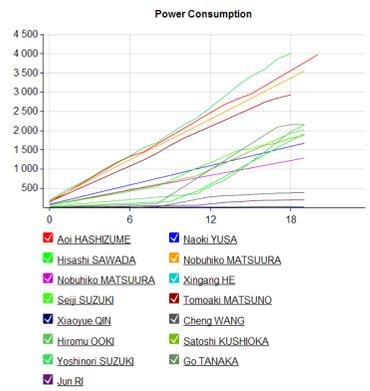
(a) 棒グラフ



(b) 円グラフ



(c) 折れ線グラフ



(d) 積算グラフ

図 6 グラフ表示形式例

すると, 今回の見える化により削減された電力使用量は, $(24-8) \times (220-10) \times 30 = 100.8$ kWh となる. 電気料金に換算すると 1 ヶ月あたり 2,126 円の削減となり, 1 年間では約

25,500 円の削減に繋がると推測できる。

また、日頃から退席時に使用していない電子機器の電源を落としている学生については、研究室滞在中に電力使用量が增大することが確認された。よって、電源管理を徹底している学生の場合、電力使用量から研究室滞在時間を求めることが可能と考えられる。

5. まとめと今後の展望

本稿では、モバイル型住環境データ収集表示システム開発に当たっての要求仕様と詳細設計についてまとめ、本システム導入によって期待される見える化の効果について考察した。実際の大学における研究室で本システムを運用した結果、電力使用量のグラフと学生の研究室滞在時間を照らし合わせることで、無駄なエネルギー消費を発見することができた。試算の結果、1ヶ月あたり約 100 kWh（電気料金 2,126 円）の削減が見込めた。また、電力使用量から人間の行動推定を行える可能性があることがわかった。

今後は提案システム自体の消費電力の分析や、エンドデバイスの低消費電力化を進めていく予定である。また、ユーザに対して、より省エネ行動を喚起させるデータの提示手法についても研究を進めていく。

謝 辞

本研究は、公益財団法人はましん地域振興財団地域活動助成「住環境情報見える化モバイルシステムの研究開発」および地域イノベーション戦略支援プログラム（旧 知的クラスター創成事業第 II 期）「自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク」の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 住環境計画研究所, “平成 17 年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書,” 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2006).
- 2) (財) 電力中央研究所, “意識調査に基づく HEMS の普及可能性評価,” 研究報告 Y05022, 電力中央研究所 (2006).
- 3) (独) 国立環境研究所, “ホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS) - 環境技術解説,” <http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=17> (2011/05/22 確認).
- 4) 東京大学, “東大グリーン ICT プロジェクト,” <http://www.gutp.jp/> (2010/11/03 確認).
- 5) 北海道工業大学, “見える化モニタリングシステム,”

<http://www.hit.ac.jp/info/activity/environmental.html> (2011/05/22 確認).

- 6) 日本アイ・ビー・エム株式会社 プレスリリース (2010 年 4 月 26 日), “九州大学、建物の CO2 排出量が見える化,” <http://www-06.ibm.com/jp/press/2010/04/2602.html> (2011/05/22 確認).
- 7) パナソニック電工株式会社『建築・設備設計』REPORT84 2010, “東京農工大学,” pp. 13-16, <http://denko.panasonic.biz/report/archi/84/index.html> (2011/05/22 確認).
- 8) 静岡大学情報学部峰野研究室, “小型省電力型ユビキタスユニット,” <http://www.minelab.jp/mineno/research/20101111-H22Chikura-mineno-hardware-spec.pdf> (2011/05/22 確認).
- 9) 筑波大学 StreamSpinner プロジェクトチーム, “StreamSpinner Project,” <http://www.streamspinner.org/> (2011/05/22 確認).