

利用者単位による消費電力可視化システムの開発

高橋 麻美[†] 根路銘 崇^{††,†††} 松澤 裕史^{††,†††} 沼尾 雅之[†]

[†] 電気通信大学大学院情報理工学研究科 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

^{††} 電気通信大学大学院電気通信学研究科 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

^{†††} 日本アイ・ビー・エム株式会社 〒103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町 19-21

E-mail: [†]asami.ham@gmail.com, ^{††}{nerome,matuzawa}@jp.ibm.com, ^{†††}numao@cs.uec.ac.jp

あらまし 近年、電化製品単位で消費電力量を測定する技術が確立しつつある。それにより、従来のプレーカー単位での測定よりも詳細な分析が可能となってきた。一方で、過度の節電に対する不満や不安の声もあがっており、個人に適した節電方法が求められている。本稿では、利用者レベルでの節電を効果的に行うため、電化製品単位で測定した消費電力量データを利用者単位へ変換し、可視化を行うシステムについて述べる。

キーワード 消費電力量測定、利用者単位、電化製品単位、節電

Asami TAKAHASHI[†], Takashi NEROME^{††,†††}, Hirofumi MATSUZAWA^{††,†††}, and Masayuki NUMAO[†]

[†] Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

^{††} Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

^{†††} IBM Japan, Ltd.

19-21, Nihonbashi Hakozaki-cho, Chuo-ku, Tokyo, 103-8510 Japan

E-mail: [†]asami.ham@gmail.com, ^{††}{nerome,matuzawa}@jp.ibm.com, ^{†††}numao@cs.uec.ac.jp

1. はじめに

温暖化防止のための CO₂ 排出量削減目標や東日本大震災の影響を受け、節電の取り組みが非常に活発になっている。震災後の節電の取り組みに対する意識調査 [1] において、半数が「積極的に取り組むようになった」と回答しているが、一方で「節電の効果が分かりづらい」「個人の努力には限界がある」「熱中症などの健康への悪影響」などの不満や不安の意見もある。

また、消費電力の値をフィードバックとして提示することで、5~12%の省エネ効果があることがわかっており [2]、従来のプレーカー単位・月単位での測定に対し、電化製品単位・リアルタイムでの測定・可視化を行うシステムが数多く登場している [3] [4]。

個人にとって無理のない節電を行うためには、利用者単位で消費電力量を求め、利用者毎に適した節電アドバイスを行う必要がある。しかし現在は、消費電力量を電化製品単位で測定するのが主流である。そこで我々は、電化製品と利用者の関係を整理し、既存の測定機器を変更することなく、電化製品単位の

消費電力を利用者へ割当てする手法を提案してきた [5] [6]。本稿では、利用者単位の消費電力測定を実現するシステムについて述べる。

本稿の構成は、2章で消費電力削減を目的とした既存技術について述べ、3章で利用者単位による消費電力可視化システムについて述べる。4章で実験と評価を行い、5章で本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2. 消費電力削減を目的とした既存技術

家庭内での消費電力削減を目的とした技術や利用可能なシステムが多数存在する。Panasonic の ECO マネシステムは回路毎に消費電力を測定でき、過去との比較や目標の達成度を確認することができる [3]。富士通のスマート電源タップは、コンセントの挿し口毎の測定が可能であり、スケジューラとの連携でパソコンの消し忘れなどの不要電力を明らかにすることができる [4]。このように既存技術では、電化製品毎に消費電力を測定することが主流となっている。そのため、節電の工夫のようなアドバイスはできても、実際の消費電力の値から無駄を見つけ

て、節電へつなげる仕組みがあまり存在しない。消費された電力が無駄であるかどうかは、利用者の振る舞いに深く関連しており、利用者の情報なしで無駄であると判断することは困難であると考えられる。そのため、無駄な電力を見つけて分析を行うためには、利用者の情報が不可欠であり、既存のシステムでは詳細な分析が不可能である。

一方、グリーン東大工学部プロジェクト [7] では、“させられる”環境省エネ対策から“やりたくなる”環境省エネ対策にするための、消費電力の分析を行っている。このプロジェクトでは、機器や場所毎に無駄の定義を行い、ユーザの無駄の発見を支援している。各階に居住する人物を登録し、部屋毎の消費電力を、部屋の住人による消費電力としてリアルタイムで紐付けを行っているが、部屋に複数の人が存在した場合が考慮されておらず、共有のスペースにおける消費電力については触れられていない。

3. 利用者単位での消費電力可視化システム

利用者単位による消費電力量測定を行うために、電化製品とその利用者の関連付けを行った。利用者が電化製品を利用するというのは、電化製品の提供する機能を利用するということである。例えば、エアコンは室温を変化させる機能を持ち、利用者はエアコンによって変化した室温を感じる。また、電気ケトルは水を沸騰させる機能を持ち、利用者は沸騰したお湯を利用する。このように、電化製品は電力を様々な機能に変換して、利用者へ提供している。そこで、電化製品による様々な機能をサービスとして抽象化し、利用者はサービスを利用していることとみなす。

3.1 利用者単位の消費電力量測定

人はそれぞれの要求を満たすために、様々な電化製品を利用する。そのため、電化製品の利用パターンは人によって異なり、節電すべき点も異なる。そこで、一人一人に適した節電ポイントを発見することにより、無理のない効果的な節電が可能になると考えられる。

従来技術で測定可能な電化製品の消費電力量より、利用者単位の消費電力量が測定可能であることを次の関係式で示す。

$$f : E_{A(a)}(t) \mapsto E_{U(u)}(t) \quad (1)$$

左辺は、単位時間 t における、ある家庭の電化製品集合 A に属する電化製品 a の消費電力量である。これは、電源タップ型センサなどを用いて測定できるものとする。一方、右辺は、単位時間 t における、家族などの利用者集合 U に属する利用者 u に割当てられる消費電力量を示す。変換式 f は、電化製品 a が、利用者 u に対するサービスの提供状態等の情報を取り込むことにより、左辺から、右辺への変換が可能であることを示す。式 1 については、3.3.2 章で説明する。

また、式 1 は、測定開始時刻 t_s と測定終了時刻 t_e 間の総消費電力量が等しいという下記の条件も満たすものとする。

$$E_{total}(t_s, t_e) = \sum_{a \in A} \sum_{t_s < t < t_e} E_{A(a)}(t) \quad (2)$$

$$= \sum_{u \in U} \sum_{t_s < t < t_e} E_{U(u)}(t) \quad (3)$$

3.2 消費電力可視化システムの構成

消費電力可視化システムの利用イメージを図 1 に示す。システムは、図 2 に示すように、電力センサ、行動センサ、在室センサからなるセンサ類と、センサから得られたデータを処理するデータ処理用サーバ、および、結果を表示するための表示用 PC の 3 つから構成される。

3.2.1 センサ

1. 電力センサ

電力センサは、非接触で電化製品が消費する電流を測定できるクランプ型電流計と、その電流値を一定時間ごとに送信するための通信モジュールから構成される。ここでは、電化製品向けの短距離無線通信規格である ZigBee [8] を用いる。これは、低速で通信距離は短い、低コストで消費電力も少ない特徴を持つ。

2. 在室センサ

在室センサは、ある時点で、誰が部屋にいるかを検知するための仕組みである。消費電力を利用者へ割当てるにあたって、実際にある電化製品のサービスを受けていたかどうかを判断するために、在室情報が必要となる。RFID などでも認識することもできるが、本システムでは、スマートフォンなどに標準装備されている Bluetooth 通信機能を用いている。Bluetooth 端末はユニークな MAC アドレスを持っており、これを部屋に置いたホストから検知することによって、在室者の特定ができる。

3. 利用センサ

利用センサは、ある電化製品を誰が操作しているかを特定するための仕組みである。これは電化製品毎に異なる方法が実現する必要がある。たとえば共用 PC では、誰がログインしていたかのログ情報でとることができる。利用センサで取得した電化製品の利用履歴をもとに、利用者への割当てを行う。

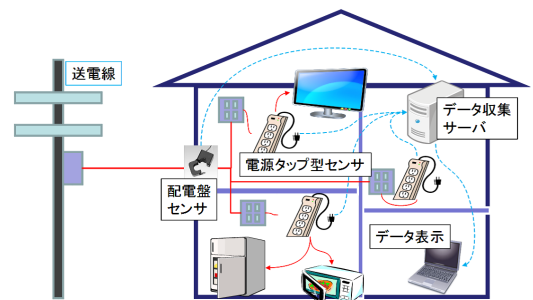


図 1 消費電力可視化システム

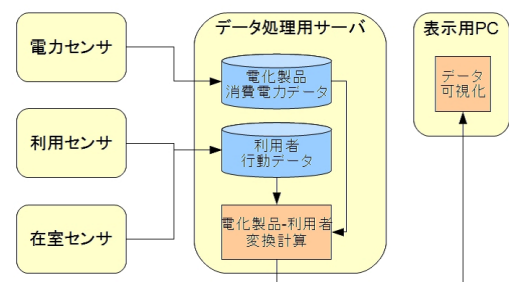


図 2 システム構成

3.2.2 サーバ上の主要な要素

1. 電化製品消費電力データ

電力センサから得られたデータから電化製品毎のデータに変換した消費電力データである。ここで電化製品 a のある時間 t における消費電力 $E_{A(a)}(t)$ が得られたことになる。

2. 利用者行動データ

在室センサと利用センサからのデータから得られる、ある時間に誰が部屋にいたかどうかの在室データと、ある時間に誰が電化製品を使っていたかの電化製品利用データである。

3. 電化製品-利用者変換

1. 2. で得られた、電化製品毎の消費電力データと、在室データ、電化製品利用データから、利用者毎の消費電力を計算する。

3.2.3 表示用 PC を用いたデータの可視化

サーバに集められたデータや計算結果の可視化を行う。電化製品単位で測定した消費電力は、一時間毎に集計して、図 3 のように表示する。利用者単位の消費電力は、電化製品-利用者変換を行った結果を、電化製品単位の消費電力グラフと同様に、一時間毎に集計を行い、図 4 のように表示する。また、利用者単位の測定から、図 5 に示すような、利用者毎の消費電力量の比較を行うことができる。

3.3 データモデル

電化製品単位で測定した消費電力量を利用者へ割当てするために、新たに利用者の情報を保存するテーブルが必要である。作成したデータモデルを図 6 に示す。

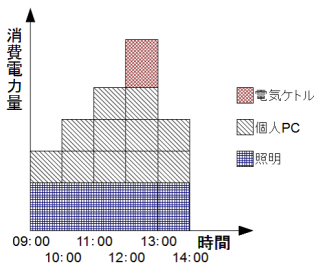


図 3 電化製品単位の消費電力グラフィイメージ

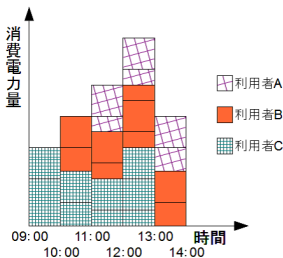


図 4 利用者単位の消費電力グラフィイメージ

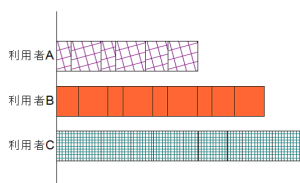


図 5 利用者毎の消費電力量比較イメージ

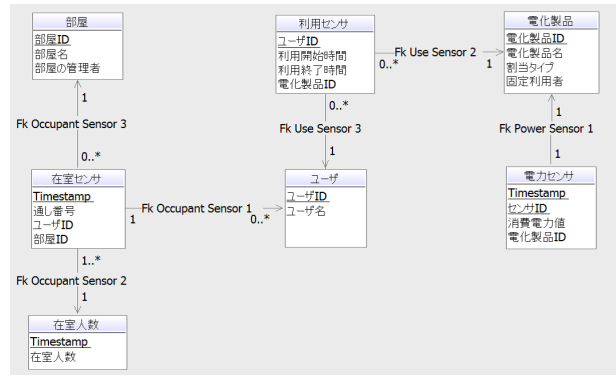


図 6 データモデル

図 6 のモデルでは、従来の電化製品単位での測定によって得られる電力センサのデータに対し、電化製品の情報を加えている。さらに、利用者の情報を取得するために、利用者データと利用者の行動を把握するための在室センサ、利用センサを用意し、電化製品の稼働状況と利用者の行動の紐付けを可能にしている。また、複数の部屋でも対応可能にするために、部屋の情報を在室情報に紐付けている。

3.3.1 テーブル定義

テーブル定義として、各種センサからのデータを示す生データテーブルと、プロフィールテーブルの 2 種類を用意した。

(1) 生データテーブル

生データテーブルは、各種センサによって得られるデータであり、電力センサテーブル、在室センサテーブル、利用センサテーブルからなる。

－ 電力センサテーブル

電力センサテーブルは、従来の電化製品単位での測定により得られるデータであり、表 1 に示すように、[時間]、[センサ ID]、[電力値]、[電化製品 ID] からなるテーブルである。[時間] というのは、測定データをサーバが取得した時間のことである。

－ 在室センサテーブル

在室センサテーブルは、在室センサによって取得できる在室情報のデータであり、表 2 に示すように、[時間]、[在室 ID]、[ユーザ ID]、[部屋 ID] からなるテーブルである。[時間] は在室状況を確認した時間のことで、次に在室センサが在室状況を確認するまでの時間を在室したとみなすことにする。在室センサは 5 分おきに測定を行っているので、表 2 の場合、利用者 B は 8:00-8:39 まで在室していたということになる。[在室 ID] は在室センサ情報を管理するために使用する。在室人数テーブルは、在室センサによって取得できる在室情報のうち、人数を表すテーブルであり、表 3 に示すように、[時間]、[在室人数] からなるテーブルである。

また、在室センサテーブルと在室人数テーブルは照明器具などでは、在室状態とサービス利用状態が一致していることが多いので、電化製品利用センサの補助的なものとして使用することができる。

－ 利用センサテーブル

利用センサテーブルは、利用センサによって得られる電化製品

表 1 電力センサテーブル

Time	SensorID	PowerValue	ApplianceID
2011-10-13 00:00	ke	293.8900	ke
2011-10-13 00:00	c1	149.2125	c1
2011-10-13 00:00	c2	0	c2

表 2 在室センサテーブル

Time	OccupantID	UserID	LocationID
2011-10-13 08:30	1	B	806
2011-10-13 08:35	1	B	806
2011-10-13 08:35	2	E	806

表 3 在室人数テーブル

Time	NumberOccupant
2011-10-13 08:30	1
2011-10-13 08:35	2
2011-10-13 08:40	2

表 4 利用センサテーブル

UserID	StartTime	EndTime	ApplianceID
B	2011-10-13 08:10	2011-10-13 08:45	ke
E	2011-10-13 08:35	2011-10-13 08:45	ke
F	2011-10-13 10:10	2011-10-13 12:15	ke

表 5 電化製品テーブル

ApplianceID	ApplianceName	AllocationType	Owner
ke	806RoomLight	As1	E
c1	Kettle	As1	E
c2	Refrigerator	As2	All

表 6 ユーザテーブル

UserID	UserName
A	A
B	B
C	C

表 7 部屋テーブル

LocationID	LocationName	RoomManager
805	805	N
806	806	N
807	807	N

u が電化製品の所有者であるか、(d) 利用者 u 以外に所有者が存在するか、の 4 点に注目して行う。時刻 t において利用者 u に割当てられる消費電力を求めるフローチャートを図 7 に示す。フローチャートの 10 個の処理について、以下のように説明する。

- ① 電力センサテーブルから、時刻 t において、電力を消費していた電化製品の ID を検索する。電力を消費していた電化製品が存在しないならば、時刻 t において電力は消費されていないということなので、処理を終了する。
- ② 電力を消費している電化製品 a が存在するならば、利用センサテーブルから、時刻 t において利用されていた電化製品で、電化製品 ID が①と一致する利用者 ID を検索する。
- ③ ②の利用者 ID の数が 0 より多いならば、利用者 ID に

の利用履歴のテーブルであり、表 4 に示すように、[ユーザ ID]、[利用開始時間]、[利用終了時間]、[電化製品 ID] からなるテーブルである。このテーブルにより、誰が、いつからいつまで、何を利用していただのかを知ることができる。

(2) プロファイルテーブル

プロファイルテーブルは、事前登録が必要なデータであり、電化製品テーブル、ユーザテーブル、部屋テーブルからなる。

－ 電化製品テーブル

電化製品テーブルは、表 5 に示すように、[電化製品 ID]、[電化製品名]、[割当てタイプ]、[所有者] からなるテーブルである。所有者は、電力を消費しているのにも関わらず、誰も利用しなかった場合に、責任者として消費電力を負担することとし、1 人または複数人を所有者として必ず登録することにする。

－ ユーザテーブル

ユーザテーブルは、表 6 に示すように、[ユーザ ID]、[ユーザ名] からなるテーブルであり、ユーザの情報を管理する。

－ 部屋テーブル

部屋テーブルは、部屋情報のデータであり、表 7 に示すように、[部屋 ID]、[部屋名]、[部屋の管理者] からなるテーブルである。

3.3.2 利用者への割当て

定義したテーブルから、消費電力量を利用者へ割当てる。利用者への割当ては、(a) 利用者 u がサービスの利用者であるか、(b) 利用者 u 以外にサービス利用者が存在するか、(c) 利用者

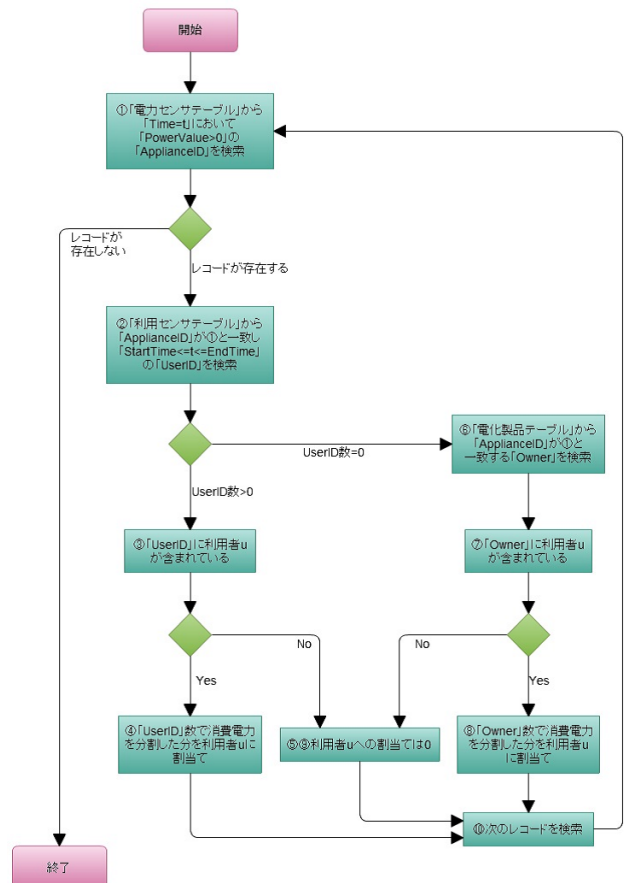


図 7 利用者への消費電力割当て方法

利用者 u が含まれているかを調べる。

④ ③に利用者 u が含まれているならば、時刻 t における電化製品 a の消費電力を、利用者 ID の数で分割し、利用者 u に割当てを行う。

⑤ ③に利用者 u が含まれていないならば、利用者 u 以外の利用者によって電力が消費されていたということになるので、消費電力は利用者 u 以外に割当てられ、利用者 u への割当ては 0 となる。

⑥ ②の利用者 ID の数が 0 ならば、電力を消費しているにも関わらず、利用者が存在しないことになる。そこで、電化製品テーブルから電化製品 ID が①と一致する所有者を検索する。

⑦ ⑥の所有者に利用者 u が含まれているかを調べる。

⑧ ⑦に利用者 u が含まれているならば、所有者の数で消費電力を分割し、利用者 u に割当てを行う。

⑨ ⑦に利用者 u が含まれていないならば、利用者 u 以外の利用者が電化製品 a の所有者であり、責任者となるので、消費電力は利用者 u 以外の所有者に割当てられ、利用者 u への割当ては 0 となる。

⑩ 別の電化製品 a' による消費電力についても、同様に処理を行い、時刻 t において電力を消費していた電化製品が存在しなくなるまで繰り返す。

4. 実験と評価

4.1 実験計画

以下の状況で実験を行った。実験に利用した研究室内の消費電力測定対象機器と利用したセンサの配置を図 8 に示す。

- 場所：研究室
- 期間：1 日
- 時間帯：8:00 ~ 22:00
- 対象機器：照明，換気扇，冷蔵庫，電気ケトル，個人 PC，共用 PC
- 被験者数：6 人 (A ~ F とする)

4.2 評価

電化製品単位の消費電力から、利用者単位へ割当てを行うことができたかということによって評価する。

4.2.1 電化製品単位の消費電力の測定

実験計画に基づき、測定を行った。電化製品単位で測定した消費電力を表 8 と図 9 に示す。

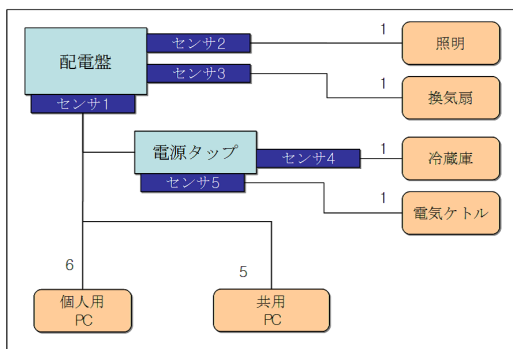


図 8 消費電力測定対象電化製品

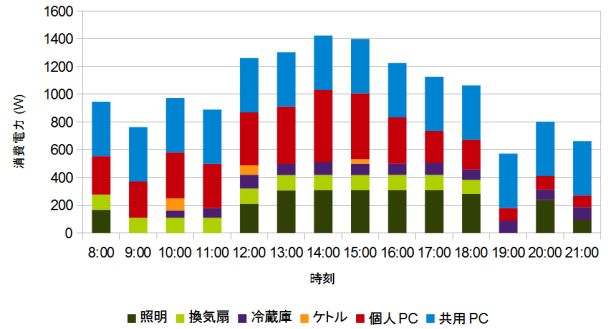


図 9 電化製品単位の消費電力量

表 8 と図 9 から、消費電力量の大半が PC によるものであることがわかった。PC による消費電力量を減らすことによって、大幅に総消費電力量を減らすことができると考えられるが、利用者の生活に影響を与える可能性があるため、減らし方の工夫が必要である。

4.2.2 利用者への割当て

在室センサにより得られた利用者の在室状況を図 10 に示す。図 10 では、上から順に、利用者 A，利用者 B，利用者 C，利用者 D，利用者 E，利用者 F の在室時間帯を表している。この図 10 から、在室人数は昼間に多い傾向にあるが、それぞれの利用者の在室時間はばらばらであり、生活パターンが人それぞれであることがわかった。このことから、個人の節電意識を高めるためには、利用者の生活に合わせた分析を行う必要があると言える。さらに、図 9 と見比べると、在室者がいない時間帯も多く電力を消費していることがわかる。これは、被験者が PC をつけたままの状態でも不在状態になっていることが影響していると考えられる。

次に、図 9 で示した電化製品毎の消費電力量を利用者へ割当てた結果を表 9 と図 11 に示す。表 9 から、利用者 E の在室時間が最も短いにも関わらず、消費電力量が一番多くなっていることがわかる。これは、在室者が誰もいない時間に、利用者 E が所有者となっている電化製品により電力が消費されており、

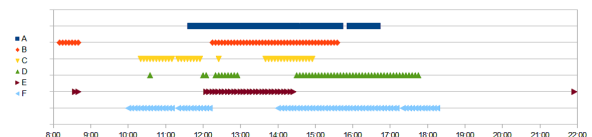


図 10 Location806 における利用者の在室状況

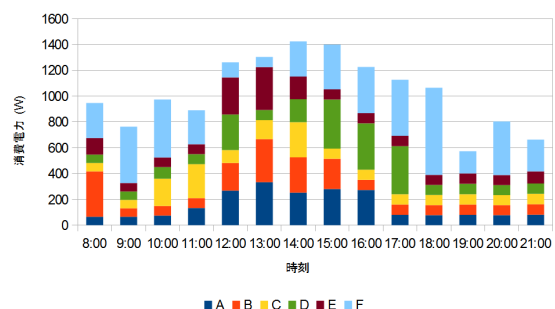


図 11 利用者単位の消費電力量

表 8 電化製品による消費電力量

電化製品	照明	換気扇	冷蔵庫	電気ケトル	個人 PC	共用 PC	合計	平均
消費電力量 (Wh)	2529.9	1198.2	976.1	188.5	4038.5	5486.2	14417.4	2402.9
全体における割合 (%)	18	8	6	1	28	38	-	-

表 9 利用者による消費電力量

利用者	A	B	C	D	E	F	合計	平均
消費電力量 (Wh)	2138.7	2095.4	1681.4	2257.6	3240.7	3303.5	14417.4	2402.9
在室時間 (min)	290	240	185	255	160	390	1520	253
在室時間当たりの消費電力 (W)	299.1	330.9	274.4	356.9	315.9	374.9	1952.1	325.3

利用者 E が責任者としてその消費電力を負担しているからである。また、図 11 からは、10 時台の利用者 F の消費電力量が多いことがわかる。在室状況や電化製品の利用情報を用いて分析を行うと、原因が電気ケトルの使いすぎによるものだとわかった。このように、利用者単位への割当てを行うことによって、利用者毎の消費電力情報を得ることができるので、利用者に適した節電ポイントを発見するのに役立てることが可能になる。

5. おわりに

本稿では、従来の電化製品単位による消費電力量測定から、利用者の視点を取り入れるための在室センサと利用センサの情報を活用し、消費電力を利用者へ割当てするシステムについて述べた。また、実際に計算を行い、電化製品単位の消費電力量を利用者へ割当てが可能であることを確認した。

今後の課題としては、利用者単位の消費電力から利用者の電力使用傾向の発見や、利用者に適した節電ポイントの発見を行うための分析を行っていく。

文 献

- [1] 公益財団法人協総合研究所, 節電とエネルギーに関するアンケート結果報告, 総合資源エネルギー調査会基本問題委員会(第 2 回会合)配布資料.
- [2] Corinna Fischer: feedback on household electricity consumption a tool for saving energy, Energy Efficiency(2008), 1:79-104.
- [3] Panasonic, ECO マネシステム, <http://denko.panasonic.biz/Ebox/densetsu/lifinity/eco/index.html>.
- [4] 富士通研究所, 業界最小の電力センサー内蔵のスマート電源タップを開発, 富士通, <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2010/03/31-3.html>.
- [5] 高橋麻美, 根路銘崇, 沼尾雅之, サービスインタフェースモデルに基づいた利用者単位の消費電力測定手法の提案, 第 10 回情報科学技術フォーラム (2011).
- [6] 根路銘崇, 高橋麻美, 松澤裕史, 沼尾雅之, サービス要求モデルに基づく電力消費最適化手法の提案, 第 174 回ソフトウェア工学研究発表会 (2011).
- [7] 中島高英, クラウド型コンピュータによる消費エネルギーの見える化の実用事例 ~ グリーン東大工学部プロジェクトにおける事例紹介 ~, 電子情報通信学会技術研究報告 (2009).
- [8] ZigBee Alliance, Zigbee Alliance, <http://www.zigbee.org/>.