

ユビキタスセンサによる 電力の見える化システムに関する研究

小林 敬介^{†1} 塚原 みな^{†2} 徳 舂 彰^{†3}
奥山 弘祐^{†1} 齋藤 孝平^{†1} 中内 靖^{†1}

我が国における最終エネルギー消費量は年々増加の一途を辿っており、特に民生家庭部門のエネルギー消費は1990年度から2003年度にかけて約30%増加している。そのため家庭における省エネが重要な課題となっており、家庭内での省エネの促進・支援するシステムが有用であると考えられる。

そこで本研究では、ユビキタスセンサを活用した省エネ支援システムの提案を行った。空間内に設置された様々なセンサからエネルギー消費にかかわる人の行動を検出し削減可能なエネルギーを算出、これを金額換算し提示する「ECO貯金」システムと、現在の電力消費をアンビエントに知らせる消費電力可視化システムを開発した。評価実験として省エネ意識改善の効果があるかアンケート調査を行い、本システムの有用性を確かめた。

Energy Visualization by Ubiquitous Sensors

KEISUKE KOBAYASHI,^{†1} MINA TSUKAHARA,^{†2}
AKIRA TOKUMASU,^{†3} KOSUKE OKUYAMA,^{†1}
KOHEI SAITO^{†1} and YASUSHI NAKAUCHI^{†1}

In Japan, energy consumption on residential & commercial sector has increased 30 % in 2003 compare with that of in 1990. In order to reduce the energy consumption, we propose energy conservation support system for home and in office. We develop energy visualization and energy conservation support system by using ubiquitous sensors. One of the function of the proposed system is eco-saving system that finds wastefully acts and advices how much they could save money if they stop the wastefully acts. The other is the energy visualization system that visualize energy consumption by light and sound. We evaluated the efficiency of the system by using subjects.

1. 背 景

我が国の最終エネルギー消費において、民生家庭部門のエネルギー需要は1990年度から2003年度にかけて約30%増加しており、そのうち1/3が世帯あたりのエネルギー消費の増加によることがわかっている。また、家庭における消費エネルギーのエネルギー種別による推移では、都市ガス、LPG、灯油に比較して電気に関わる消費エネルギーの増加が著しい。したがって、家庭における省エネルギーを考える時、家電製品における電気エネルギーの省エネを図ることが有効であると考えられる¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

企業では家電製品や照明の省エネ製品の開発が活発に行われ、個々の機器にかかる消費電力は年々減少している。例えば、エアコンの消費電力はこの11年間で約40%減少している。一方で、家庭における消費エネルギーは増加し続けており、省エネの推進では個人の問題意識が大きく関与すると考えられる。

省エネを支援するシステムとして、機器を自動的に制御することで省エネを行うシステムが研究・開発されている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。しかし、これらのシステムは、自動的に省エネを行うため生活者の省エネ意識は向上しない。また、家庭ではオフィス環境とは異なり、一部屋に一基の照明、一台のエアコンという環境がほとんどであるため、機器間で情報共有をするような省エネ自動制御の導入の余地が少ない。

一方、省エネ意識を高め、自身の意志による省エネ活動を促進するシステムならば、家庭向けとして適していると考えられる。消費電力の可視化による省エネ意識の向上を意図するシステムとして、埼玉エンジニアリング株式会社で開発された、省エネナビ PS-03 (図1参照)があげられる。しかし、PS-03は家全体の消費電力を計測・提示しているため、各機器ごとの消費電力は分からず、無駄な消費電力を発見することはできない。家庭における機器別消費エネルギーの割合には偏りがあるため (図2参照)、これを可視化することは省エネ意識に大きく影響を与えると考えられる。機器別消費電力の提示が可能な製品として、サンワサプライ株式会社のワットチェッカーがあげられるが、こちらは長期的なデータの蓄積や分析のための機能を持たない。さらに提示方法の問題として、これらの製品では、消費電力の可視化

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科
University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering

^{†2} 株式会社リコー
Ricoh Company, Ltd

^{†3} 株式会社デンソー
DENSO CORPORATION

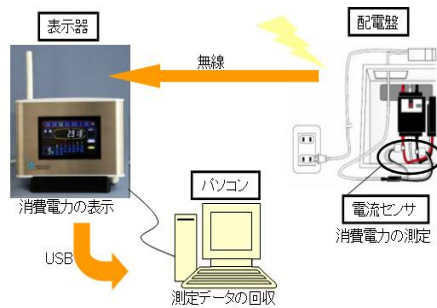


図1 省エネナビシステム PS-03

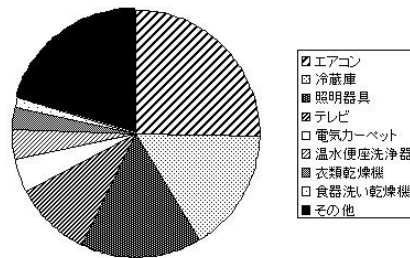


図2 家庭における機器別消費エネルギーの割合

に機器本体のディスプレイを利用しているため、ユーザは本体を注視しなければ無駄な電力消費に気付くことはできなかった。また、電力の提示以上の機能はないため、省エネのための具体的な行動に結び付きづらかった。

そこで、本研究では、1) 機器別消費エネルギーの提示、2) 消費電力のアンビエントな提示、3) 省エネのための具体的なアドバイス、4) 省エネ活動への動機付けのできるシステムを提案する。



図3 インテリジェントテーブルタップ



図4 SunSPOT

2. ユビキタスセンサによる電力の見える化システム

2.1 ユビキタスセンサ

エネルギー消費にかかわる人の行動の認識を、生活空間に設置されたユビキタスセンサによって行った。本研究で使用したユビキタスセンサは以下の通りである。全ての情報はデータベースサーバへ保存した。

インテリジェントテーブルタップ カレントトランスおよび通信モジュールを内蔵し、接続している機器ごとの消費電力を測定可能なインテリジェントテーブルタップの開発を行う(図3参照)。ユーザがこれまで利用していた電源タップと同様にインテリジェントテーブルタップを利用することにより、簡単に機器別消費電力の測定を行うことができる。

学習リモコン エアコンの設定を把握するために使用する。PCと接続可能な学習リモコンを用い、リモコン操作の履歴を保存する。

温度・照度センサ ORACLE社製の無線センサーネットワークデバイス SunSPOT(図4参照)を使用して実装する。5分毎に温度および照度を計測、データベースサーバへ記録を蓄積する。

人感センサ 人の現在位置を把握するため、三つの人感センサを用いた。センサは焦電センサを SunSPOT に接続し作成した。それぞれの人感センサは図5の通り配置し、人間がキッチン、デスク、室外のいずれにいるかを識別する。

開閉センサ ドア・冷蔵庫の開閉状態の判別を行う。防犯用マグネットセンサを、アクティブ型のRFIDタグと接続し作成した。扉が開いた状態になるとRFIDが起動し、情報が送信されデータベースに蓄積される。

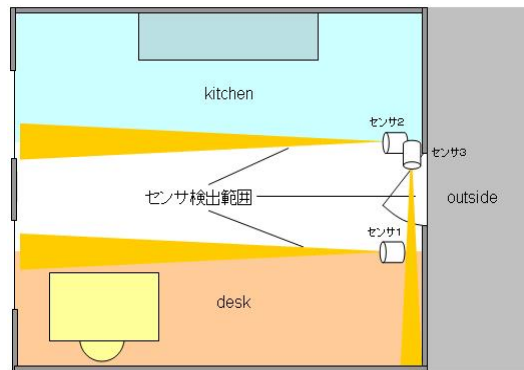


図5 人感センサの配置

2.2 省エネ行動アドバイス

本システムでは、これまでの省エネ支援システムでは行われていなかった具体的な省エネ活動のアドバイスを行う。アドバイスは特に空調、照明の省エネに重点を置いて行う。家庭における機器別消費エネルギーの割合を見ていくとエアコン、照明の占める割合が高く(図2参照)、またテレビや音楽を聴くなどといった娯楽機器とは異なり、使用方法の改善の余地が大きいと考えられるからである。

省エネアドバイスの提示時には、アドバイスの実行によって削減される消費エネルギーを、仮想的に貯金として積み立てて提示する。イギリス、ドイツなどで環境税による温室効果ガス排出量削減を実現しており、省エネ活動に向かわせる動機付けとして、個人の損得に関わる仕組みを導入することが有効であると考えたためである。この提示方法から、本システムの名称を「ECO貯金」とした。システムの使用の流れを図6に示す。

2.3 消費電力可視化

インテリジェントテーブルタップから得られた消費電力の可視化を行う。可視化する情報は「現在の消費電力」および「過去n分間の積算消費電力」とする。可視化は光と音で行い、機器自体またはその近くに可視化デバイスを設置して行う。可視化デバイスは、SunSPOTを使用して実装され、8つのフルカラーLEDと小型スピーカーを持つ[図7]。

光による可視化 LEDは現在の消費電力の値によってレベルメータのように点灯していく。各LEDの色は紫、青、緑、黄色、赤の順に大きな値を表すこととした。消費電力とLEDの点

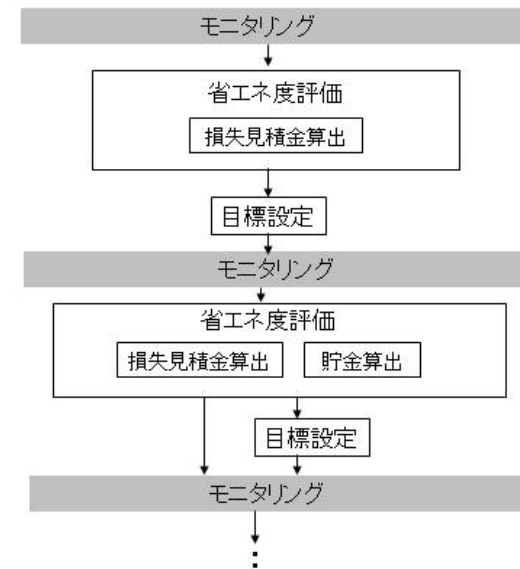


図6 システム使用の流れ



図7 スピーカが接続された SunSpot

点灯番号	消費電力(W)	LEDの点灯
1	1	●●●●●●●●
2	4	●●●●●●●●
3	9	●●●●●●●●
4	16	●●●●●●●●
5	25	●●●●●●●●
6	36	●●●●●●●●
7	49	●●●●●●●●
8	64	●●●●●●●●
9	81	●●●●●●●●
10	100	●●●●●●●●
11	121	●●●●●●●●
12	144	●●●●●●●●
13	169	●●●●●●●●
...
38	1444	●●●●●●●●
39	1521	●●●●●●●●
40	1600	●●●●●●●●

図8 消費電力とLEDの点灯の関係

灯の関係を図 8 に示す.

n 分間の積算電力については,LED の点滅によって表現する. 過去 n 分間の積算消費電力量の値によって 2 秒間の間の点灯している割合を変えることで積算消費電力を表現する. 点灯時間は以下の式で決定される.

$$\begin{cases} E : \text{積算消費電力量 (Wh)} \\ \text{length}_{on} : \text{点灯時間 (msec)} \\ \text{length}_{off} : \text{消灯時間 (msec)} \end{cases}$$

$$\text{length}_{on} = \frac{1900}{1000 \times \frac{n}{60}} \times E \quad (1)$$

$$\text{length}_{off} = 2000 - \text{length}_{on}$$

音による可視化 音が常に鳴動していることは,その環境で生活している人にとって不快になると思われるため,n 分間隔ごとに 4000(msec) の鳴動とした.

現在の消費電力量を音の高さによって表現する. 本研究では消費電力が大きいときほど高い音になることとした. 鳴動する音の高さは以下の式で決定される.

$$\begin{cases} P : \text{消費電力 (W)} \\ \text{Note} : \text{音階} \end{cases}$$

$$\text{Note} = \frac{120}{1000} \times P$$

積算消費電力量は音が鳴動する時間によって表現する. 本研究では過去 n 分間の積算消費電力量の値によって 2 秒間の間の鳴動している時間の割合を変える. 鳴動時間は以下の式で表わされる.

$$\begin{cases} E : \text{積算消費電力量 (Wh)} \\ \text{length}_{on} : \text{鳴動時間 (msec)} \\ \text{length}_{off} : \text{停止時間 (msec)} \end{cases}$$

$$\text{length}_{on} = \frac{1900}{1000 \times \frac{n}{60}} \times E$$

$$\text{length}_{off} = 2000 - \text{length}_{on}$$

表 1 省エネ行動と損失見積金

Table 1 Energy Conservation Act and Estimate Amount of the loss

	省エネ行動	損失見積金
act1	冷房使用時レースのカーテンなどで日差しをカットしているか	¥ 866
act2	冷房使用時期は外出時は昼間でもカーテンを閉めているか	¥ 212
act3	エアコンは必要なときだけ使用しているか	¥ 1123
act4	設定温度は適切か	¥ 3196
act5	エアコン使用時はドア・窓の開閉は少なくしているか	¥ 5
act6	照明は必要なときだけ使用しているか	¥ 18
act7	照明は適切な照度で使用しているか	¥ 53
act8	冷蔵庫開閉はなるべく少なくしているか	¥ 11
act9	炊飯器保温機能はなるべく使わないようにしているか	¥ 49



図 9 損失見積金提示なし画面



図 10 損失見積金提示あり画面

3. 評価実験

「ECO貯金」について,実験環境におけるサンプルデータをもとにアンケートを行った. サンプルデータを [表 1] に示す. 実験参加者にはまず損失見積金提示なしで行動履歴確認画面 (図 9 参照) を見て,各行動について今後気をつけたいと思うか評価を行った. 次に,金額提示有りで行動履歴確認画面 (図 10 参照) を見て,同様の評価を行った.

評価は質問に対し [表 2] に示す 5 段階評価による回答によって行った. 実験参加者は 11 名である.

消費電力可視化システムについて,[表 3] に示すシナリオで行動してもらい,表 4,表 5 のアンケートに回答してもらった. 各行動間には 10 分のインターバルを想定してもらった. 次に,消費電力を可視化した実験環境において,同様の実験を行った.

表 2 評価と配点

Table 2 evaluate and points

配点	評価
2	思う
1	少し思う
0	どちらでもない
-1	あまり思わない
-2	思わない

表 3 実験時の行動順

Table 3 test scenario

行動順	行動	行動順	行動
1	初期状態	13	テレビの電源を入れる
2	エアコン(暖房)を28度に設定	14	エアコン(暖房)を23度に設定
3	テレビの電源を入れる	15	退出する
4	デスクライト点灯	16	入室する
5	冷蔵庫短時間で開閉する	17	冷蔵庫長時間開閉する
6	テレビの電源を切る	18	テレビの電源を切る
7	エアコン(暖房)を27度に設定	19	テレビのコンセントを抜く
8	エアコン(暖房)を26度に設定	20	エアコンの電源を切る
9	ドアを開ける	21	デスクライト消灯
10	ドアを閉じる	22	待機
11	エアコン(暖房)を25度に設定	23	外出
12	エアコン(暖房)を24度に設定		

表 4 アンケート項目 1

Table 4 questionnaire 1

あなたは以下の項目について気がつきましたか？	回答	
質問 1: エアコンの設定温度によって消費電力が変わること	はい	いいえ
質問 2: 冷蔵庫の開閉時間によって消費電力が変わること	はい	いいえ
質問 3: ドアの開閉によりエアコンの消費電力が変わること	はい	いいえ
質問 4: 外出時にエアコンを消し忘れていたこと	はい	いいえ
質問 5: 外出時にライトを消し忘れていたこと	はい	いいえ
質問 6: 外出時にテレビを消し忘れていたこと	はい	いいえ
質問 7: テレビには待機電力があること	はい	いいえ

表 5 アンケート項目 2

Table 5 questionnaire 2

あなたは以下の項目について今後行いたいと思いますか？	回答						
質問 8: エアコンの温度を 28 °C から X °C 下げる	0 °C	1 °C	2 °C	3 °C	4 °C	5 °C	6 °C
質問 9: エアコン利用時にドアの開閉を少なくする	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						
質問 10: テレビを見ていない時に消す	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						
質問 11: テレビのコンセントを抜く	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						
質問 12: ライトを利用していないときに消す	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						
質問 13: 冷蔵庫の開閉時間を短くする	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						
質問 14: 外出時に家電の電源を切る	非常に行いたい (2 1 0 -1 -2) まったく行いたくない						

「ECO 貯金」について、損失見積金提示なし・あり共に行動履歴確認画面を見た場合による、今後気をつけたいと思うかという問いに対する回答結果を図 11 に示す。損失見積金の小さい act5~9 の行動においては、評価が下がっていることがわかる。

消費電力可視化システムについて、アンケート項目 1 の結果を図 12 に示す。機器の利用方法によっては無駄な電力を消費することや、機器の消し忘れという無駄な電力消費 について気付くことができるようになったことが分かる。

アンケート項目 2 の結果を図 13 に示す。質問 11 ではあまり高い評価を得られていない。また、質問 8 の結果 (図 14) でも消費電力の可視化により評価が下がっている。実験参加者にその理由を聞くと、質問 11 では、テレビの待機電力はそれほど大きくないため手間を考えると省エネは行わないという回答が得られた。質問 8 においては、消費電力がそれほど変わらなかったため、省エネより快適性を選んだという回答が得られた。

4. まとめと展望

「ECO 貯金」システムによって、省エネ活動の意義を個人の問題意識に置き換えて提示させることに省エネ意識改善の効果がある可能性が見出せた。節約以外にも、省エネ行動における意義や楽しさを提供することができれば同様の効果が期待できるのではないかと考えている。そこで、光の強弱や動き、環境音のようなより自然な音の利用など情報提示・可視化方法に関する検討をすすめていく。

今回の実験はシステムの利用を想定したアンケート調査であったが、今後は実際の生活空間で長期間システムを利用した際の評価を行う必要がある。長期間の利用にあたっては、情報提示をより効果的に行うため、ユーザが無駄な電力を利用している状態を認識し、そのよ

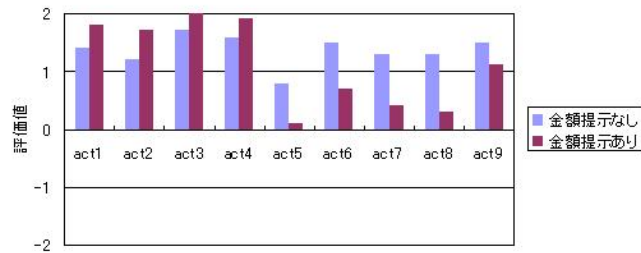


図 11 今後この行動に気をつけたいと思うか

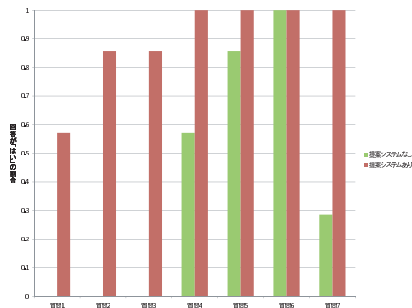


図 12 アンケート項目 1 の回答



図 13 アンケート項目 2 の回答

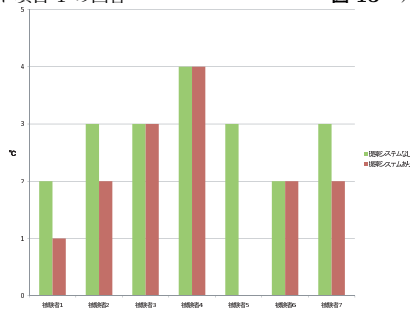


図 14 質問 8 の回答

うなタイミングで情報を能動的に提示するなどの工夫が必要になるだろう。

ECO 貯金と可視化それぞれの調査から、細かな省エネの意識向上のためには、消費電力や電気料金換算額の提示は逆効果であることが分かった。このような細かな省エネを習慣付けるための有効な手法は現在の検討課題である。省エネ自体は自動化し意識向上はユーザへの注意によって実現するシステム等も検討の余地があると考えている。

現在 HEMS やスマートグリッドに注目が集まっているが、本システムの発展として、インターネットを介した省エネシステムの可能性について触れておきたい。各家庭間における省エネ情報の共有や、地域での総合的なエネルギー利用の可視化などを行うことで、家庭内にとどまらない省エネ意識の改善をもたらすことができるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：「総合エネルギー統計」(2007年版)
- 2) 内閣府：「国民経済計算年報」(2007年版)
- 3) (財)日本エネルギー経済研究所：「エネルギー・経済統計要覧」(2007年版)
- 4) 経済産業省：平成 18 年度エネルギーに関する年次報告 (2007 年版)
- 5) (独) 産業技術総合研究所 プレスリリース:生活実態に自動応答する省エネシステム (BeHomeS) を開発 http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20090728/pr20090728.html
- 6) 森本康司, 太田正明: オフィスにおける照明設備の省エネ制御, 東芝レビュー vol.59, No.10, 2004
- 7) 佃和吉, 五島成夫, 山本一喜: ネットワーク式自律照明制御型照明器具, 松下電工技工報, (May,2001)