

〈一般研究課題〉 生活環境センシングに基づく
エコ・ユビキタスシステムの構築
助成研究者 名古屋大学大学院工学研究科 河口 信夫



生活環境センシングに基づく エコ・ユビキタスシステムの構築

河口 信夫
(名古屋大学大学院工学研究科)

Development of Eco-Ubiquitous System based on Everyday-Life Environmental Sensing

Nobuo Kawaguchi
(Graduate School of Engineering, Nagoya University)

Abstract:

In this research, we utilize everyday-life environmental sensors for reducing energy consumption. First, we define the requirements of the sensor system from the survey of current technologies. Then, we developed a small-sized wireless power meter. We also developed a smart sensor which enables to recognize human activity events. By using power meters, smart sensors and wireless display, users can always be conscious of the current power consumption.

1. はじめに

近年、様々なセンサにより生活環境をセンシングし、多様な情報機器を用いて生活を支援するユビキタス環境の構築が進められている。しかしながら、情報機器やセンサが増えれば、同時にそれらの電力消費も増大することとなり、結果としての環境負荷が問題となる。利用者にとっての利便性の向上を目指したユビキタス環境が、残念なことに電力消費を引き起こしてしまうことになる。しかし、これらの電力消費は必然的なものではなく、機器の制御によって節約することが可能ではないか、と我々は考えている。

本研究の目的は、ユビキタス環境に埋め込まれた様々なセンサを利用して、利用者の生活環境や

状況を認識し、利便性を保ちつつも、電力やガスなどのエネルギー利用や、熱排出などの環境負荷を最小化する、「エコ・ユビキタスシステム」の実現である。特に、エコ・ユビキタスシステムに必要な機能の明確化、センサ情報から環境負荷を自律的に計測する手法、環境負荷を低減するための可視化の手法、事前の設定やユーザからの指示によって自動的に環境負荷を低減する手法、といった項目の検討を行う。また、エコ・ユビキタスシステムを実現可能にするためには、すでに生活環境で利用されている既存の機器の利活用が重要である。そこで、既存の機器とユビキタスシステムの連携を行う手法についても検討を行う。これらの手法やシステムの実現により、日常生活の環境負荷を低減することが可能になる。

本研究では、上記に挙げたエコ・ユビキタスシステムの開発を目指し、以下のステップで研究を行った。

I. 様々なユビキタスシステム／センサネットワークの現状分析と調査

これまで、多数のユビキタスシステムが提案されているが、普及には至っていない。環境負荷の低減を目指したシステムも存在しないため、その調査と、エコ・ユビキタスシステムに必要な機能の明確化を進めた。

II. 環境負荷を計測するセンサデバイスの実現

ネットワーク接続可能な電力メータは現在も存在するが非常に高価である。本研究では、実際に小型のセンシングデバイスを構築し、ネットワークを通じた負荷計測を可能にした。

III. センサ情報の可視化手法の検討

複数のセンサで生活環境のセンシングを行うと同時に環境負荷を計測し、それらを可視化することによって、環境負荷の低減手法の検討を行う。また、ユーザ意識の改革を目指す。

IV. 環境負荷の自動低減手法の検討

センサと負荷の関係を利用することによって、環境負荷を低減可能な機器やタイミングを明確化し、自動負荷低減手法を検討する。

本研究で提案する「エコ・ユビキタスシステム」は、広く社会で利用されることを目的に、廉価で実現可能なシステムとして開発する。本システムに対応した機器はエコ化を実現するため産業振興も期待できる。以下の各節では、上記4項目について、各々説明する。

2. 様々なユビキタスシステム／センサネットワークの現状分析と調査

近年の急速なユビキタス関係の研究開発の進展により、様々なユビキタスシステムやセンサネットワークシステムが開発されつつある。ここでは、それらについて概観する。

2.1 身近になりつつあるユビキタスシステム

最初に、ユビキタスシステムをより身近にイメージするために、すでに実現されているユビキタスコンピューティングを紹介する。「ユビキタス」というと、何か特別なことのような意識があるかもしれないが、実は様々な場所ですでにその片鱗が見え始めている。例えば身近な例では「自動水栓」や「センサーライト」が例として挙げられる。「自動水栓」とは手を出すだけで自動的に水が出る蛇口のことであり、「センサーライト」とは省電力のために人感センサを用い、動

きがあると自動的に点灯し、しばらく動きが無いと消えるライトのことである。「自動水栓」は最近のホテルやデパートではすでに当たり前に設置されているが、ほんの数年前までは、水を出すためには、蛇口は手でひねる必要があった。それが、ある時から手を差し出すだけで水が出る自動水栓が急速に普及した。残念ながら自動水栓やセンサーライトのセンサは、現時点ではネットワーク化されていないが、こういった生活環境に設置されたセンサ技術によって、生活が少しずつ手軽に・便利になっていく社会がユビキタス社会と理解してもらおうとわかりやすいであろう。自動水栓も、センサーライトも、水の無駄や電気の無駄を省くために考案された、一種の「エコ・ユビキタスシステム」の走りといえよう。

一方、実際にユビキタスシステムとして利用されているサービスとしては象印マホービン株式会社の「みまもりほっとラインi-pot」[1]が有名である。これは、携帯電話の通信モジュールを搭載した電気ポットを利用しており、電源のOn/Offや給湯が行われると、その情報がサーバにアップロードされる仕組みで実現されている。サーバ上の情報は、インターネットを通じ、携帯電話やパソコンを用いて確認できる。そもそもは、独居老人の孤独死といった問題の解決をめざしており、親元から離れて暮らす子供が親の無事を確認するためのサービスである。電気ポットという、誰もが日常的に利用するモノをセンサとして通信デバイスを加え、サービスとして提供しているのである。ポットを利用することによって「見張られている」という意識ではなく、より手軽に・気楽に人の挙動が把握できる点が抵抗なく受け入れられている点である。



図1 身近なセンサ：Nike+iPod SportKit(左)と「てくてくエンジェル」

他にも、最近では、通信機能を持った万歩計や体脂肪計、血圧計といった製品が登場している。Apple社の携帯音楽プレーヤiPodには、Nike+iPod Sport Kitと呼ばれる周辺機器がある(図1 左)。これは小型のワイヤレス加速度センサを靴などに入れることによって、人のステップをセンシングすることを目的にした製品である。iPod側にも受信機を接続することによって、現在のランニングの状況が音声や画面で確認できるようになっている。また、iPodをインターネットに接続されているパソコンに接続すれば、iTunesという音楽管理ソフトによって、ランニング情報をNike+のWebサイトにアップロードすることが可能になる。このウェブサイトでは、ユーザ登録

することによって、自分の積算走行距離の登録や他のユーザとの交流が可能になっている。

シンプルなセンサである万歩計は、小型センサとしての利用が増えており、ハドソンの「てくてくエンジェル」(図1 右)、任天堂の「ポケットピカチュウ」などの小型のゲーム機能をもった万歩計や、任天堂DS用の「生活リズム計」といったゲーム機と連携する製品が存在する。健康サービスでは、オムロンの万歩計シリーズの「WalkingStyle」やタニタの体重計・万歩計・血圧計などを組み合わせた健康管理の仕組みをなどが存在する。また、コナミスポーツクラブの「e-walkeylife2」は体重・体脂肪計とも連携し、トータルでのヘルスケアを実現している。最近では、携帯電話にも加速度センサが搭載されており、GPSによる位置の計測と組み合わせたKDDI auの「Run & Walk Smart Sport」[2]なども始まっている。

このように、センサがネットワーク化されることによって可能なサービスがコストとのバランスがとれている分野から、少しずつ製品化されつつある。また、例えば飛行機工場といった特殊な場所では、膨大な部品リストを簡単に検索するための技術としてウェアラブルコンピュータやオーギュメントドリアリティ（強化現実）などのユビキタス技術が使われている。作業の効率や精度の向上がコストよりも優先される場合には、ユビキタスコンピューティングの導入が有効となる分野も存在する。

2.2 センサネットワークデバイス

センシングするデバイスがワイヤレス通信機器を装備し、自律的にネットワークを構築する技術を「センサネットワーク」と呼ぶ。この分野では、近年、多くのデバイスが開発され、様々な研究開発が進められている。生活環境をセンシングするための機能もこれらのセンサネットワーク機器を参考にすることができる。以下では、これらのデバイスを挙げ説明する。

・ Crossbow MICA / MOTE[3]

センサネットワークといえば、MOTE といわれるほど、広く普及しており、出荷数は20万個を超えているといわれている。そもそもはStanford大で行われていたSmartDustプロジェクトのスピンアウトである。管理用のソフトウェアとしてTinyOS [4]をオープンソース化することによって、多くの研究開発が活発化した点も注目できる。センサデバイスは、別基盤として付与することも可能であり、サイズや無線の種類、センサデバイスなどの種類によって、複数の製品がある。

・ SunSPOT[5]

サン・マイクロシステムズの研究所 Sun LAB が開発し、ユーザからの要望で商品化したセンサネットワークデバイスである。Squawk と呼ばれる省メモリ型のJava VMを搭載することによって、組込み機器に特化した実行環境を得ている。加速度、温度、光、などのセンサデバイスを搭載したeDemoボードが接続された状態で出荷されている。

・ Sentilla JCreate[6]

米ベンチャーの Sentilla も Java で動作する小型センサノードである JCreateを2008年に発売した。彼らも大学のセンサネットワークの研究開発チームのスピンアウトであり、ソフトウェア開発環境を販売することによってビジネスを成立させることを目指している。現在は、データセンター向けのエネルギー監視装置への転用を進めており、グリーンITの潮流に乗りつつあるといえる。

- ・ BTNode[7]

スイスの ETH Zurich が開発した Bluetooth を用いたセンサネットワークノード。Atmel の ATmega を搭載し、PC 上で簡単に開発が可能な開発環境を用意している。センサデバイスも手軽に接続可能となっている。

- ・ μ Parts[8]

ドイツの TECO と Karlsruhe 大が開発した超小型のセンサノードであり、様々な形態がある。最も小さなものは 8bit の PIC マイコンを利用し、加速度センサと光センサのみを搭載しており、ボタン電池大で動作するものである。

上記に挙げた以外にも、各大学や企業から様々なセンサネットワークノードが提案・開発されている。また、これらを利用したセンサネットワークの構築手法やバッテリー消費を最小化するためのパワーアウェア型のプロトコルなどが盛んに研究開発されている。

2.3 ユビキタスシステム技術の課題

このように、様々なユビキタスシステムやセンサネットワークデバイスを挙げてきたが、ユビキタスシステムが社会に普及するためには、一般に以下の課題が挙げられる。これらの解決が重要であろう。

- ・ テクノロジ

- ・ 電源：ワイヤレスでの電力伝送、バッテリー技術の高度化、電力管理技術の高度化
- ・ 通信：大量のデバイスでも安定して通信可能で低消費電力のワイヤレス通信技術
- ・ ソフトウェア：様々な機器間連携を手軽に実現可能なソフトウェア
- ・ プロトコル：実社会の事象を表現可能な標準言語
- ・ センシング：さまざまな実世界データのセンサデバイス

- ・ コスト

すべてのモノにチップを搭載するには、上記のテクノロジが搭載されたチップを非常に安く作ることが必要になる。もちろん、対象によってターゲットとなる価格は異なるが、数円～数百円といったレベルが期待される。

- ・ アプリケーション

ユーザがお金を払ってでも使ってみたい、と思わせるようなアプリケーションが必須である。前述の自動水栓は、設置している場所がコストとブランド請求力（ユーザに与える印象）とのバランスで設置されているといえよう。

- ・ セキュリティ

当然であるが、基本的なセキュリティが守られていないシステムは利用されない。どの程度のセキュリティレベルが必要か、は応用によって異なるため、一概に言えないが、社会状況に合わせてセキュリティへの対応が必要である。

- ・ 社会システム

ユビキタス社会を現実化するためには、社会システムとしての受容が必要である。いろいろなデバイスに ID が付与されると、当然、トラッキング等の可能性も生じるため、プライバシーと利便性のバランスが求められる。こういった問題を解決するためには、法律や制度といった社会システムが必要になる。

・マインド

i-pot の例にもあるように、ユーザが抵抗なく使えるもの、使えないものが存在する。また、その抵抗感は、社会状況によっても変化する。法整備や制度、セキュリティがいかに進んでも、ユーザのマインドが成熟していなければ、受け入れられない。ユビキタスシステムを利用するためのユーザ教育も必要となる。

2.4 生活環境センシングによるエコ・ユビキタスシステム実現のための機能

ここまで、身近なユビキタスシステムやセンサネットワークに関する動向を示してきたが、ここで、エコ・ユビキタスシステムの実現のための生活環境センシングについて検討を行う。まず、環境負荷を低減させるためには、現状でどの程度の環境負荷が与えられているかの明確化が必要となる。そのためには、環境負荷を計測するための仕組みが必須である。一方、既存の環境負荷計測（特に電力計測）は、多くは回路単位での計測にすぎない。これは、電力の計測がそもそも電力料金の課金のために始まった点に遠因がある。そのため、正確性と網羅性は重要であるが、時間的な粒度や個別計測といった内容については、全く顧みられてこなかった。図2、図3に電力計測の例を挙げるが、このように30分単位での電力表示（図2）[9]や1日単位での表示がほとんどであり、分や秒といった単位での計測は行われていない。

また、計測粒度も配電盤の回路単位であるため、誰がどのような状況で何を使ったのか、といった情報をグラフから読み取ることができない。

そこで、本研究では

- ・細粒度の計測の実現
- ・秒単位での情報更新
- ・異なる粒度での情報提示
- ・ユーザ行動のセンシング

といった点を重要視することとした。

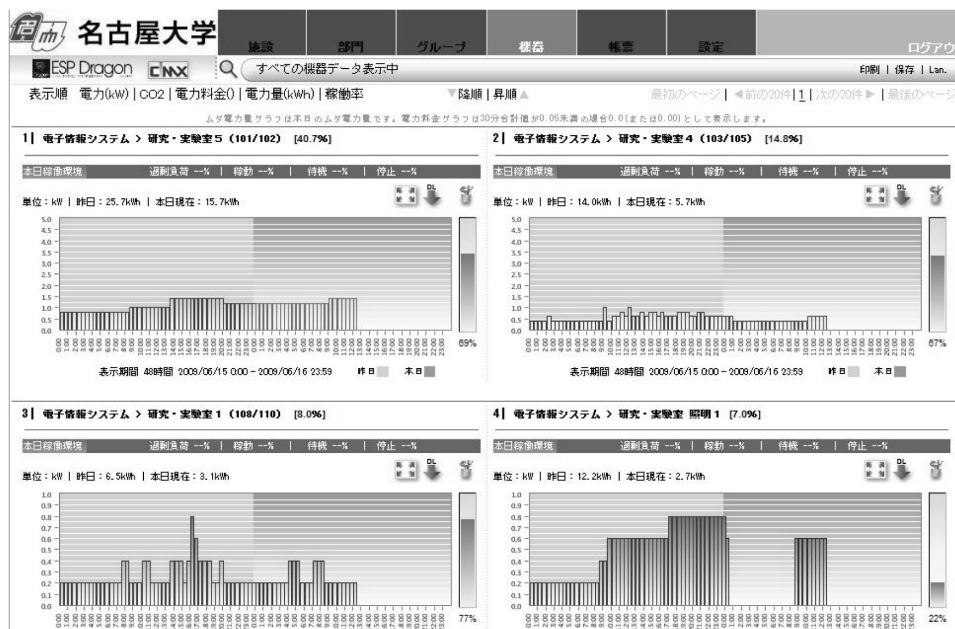


図2 電力計測・提示システムの例1

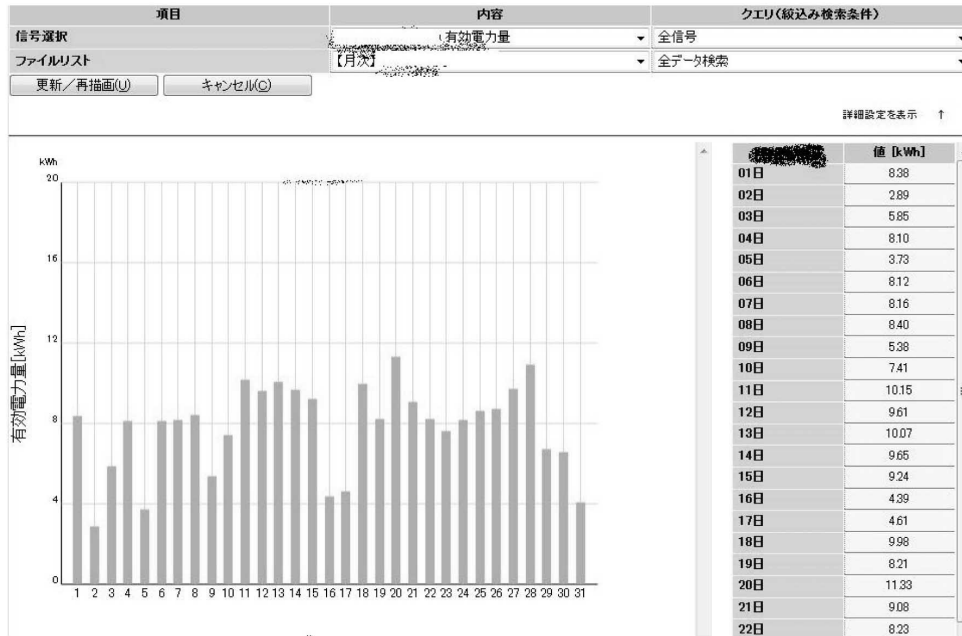


図3 電力計測・提示システムの例2

3. 環境負荷を計測するセンサデバイスの実現

以前に我々が構築した cogma room 内 (図4) には、温度計や湿度計、人感センサ、電力計、照度センサ、などのセンサが多数配置されていると同時に、ネットワークを通じて操作可能なディスプレイやスクリーン、プロジェクタ、マトリクススイッチが設置されており部屋の照明も照度や on/off が個別に制御可能である。cogma room [11] では、すべての機器が cogma [10] と呼ばれるミドルウェアを通じて制御可能であり、我々はこの環境を使って様々な実験を進めてきた。



図4 cogma room

本研究の当初は、cogma room で設置された電力センサのグラフをもとにエコ・ユビキタス環境の構築を進めていた。図5の上部は、部屋の中16箇所に設置された温度センサの値の変化を示しており、下部は電力計の値の変化を示している。ここで注目してほしいのは、大きく変化している温度と同期して、電力量が変化している点である。これは、エアコンの吹き出し口の近くに設置してあった温度センサの値であり、エアコンの動作の様子をわかりやすく提示している。つまり、エアコンが動作しているとき（電力消費があるとき）は、温度が下がっていき、ある程度下がるとセンサによってエアコンがOffになる。逆に温度が上がるとエアコンがOnになっていることがわかる。従来、電力計は積算電力量で表示すれば十分であったため、30分程度の積算をするだけで、瞬間的な電力消費の表示は行われてこなかった。一方、cogma room では、数秒毎のサンプリングを行っ

たため、このようなグラフを得ることができた。さて、このグラフから理解できることは、エアコンの電力消費のムラである。1台のエアコンは通常このような電力消費を行っているとする。On/Offの間隔は気温や部屋の広さなどで決まるため、通常ことなる周期となる。複数のエアコンが稼働しており、異なる周期で動作すると、あるタイミングで同時にすべてのエアコンがOnになることはあり得るため、総電力量はすべてのエアコンの合算値を想定する必要がある。しかし、もし、各エアコンがネットワーク機能を持っており、互いにOn/Off周期を制御しあうことが可能であれば、互いにOffの時間を上手にわけあって稼働することが可能になる。総電力消費量はほとんど変わらないとしても、同時電力量が削減できるため、契約電力量を減らすことが可能になり、大きな省エネにつながる。

しかし、2節でのべたように、回路毎の電力計測には、機器の粒度の限界があり、上記のように時間変化については理解できたが、機器単位での計測までは行えていなかった。また、電力計測装置は高価であり、コンセント毎に設置できるほどの数を用意することは困難であった。

今回、本研究では我々は、細粒度電力計測を行うために、コンセントに接続可能な電力センサの開発を行うこととした。そのため、新たに電力計測用の回路を設計し、独自のセンサの開発を行うこととした。図6に当初のプロトタイプを示す。

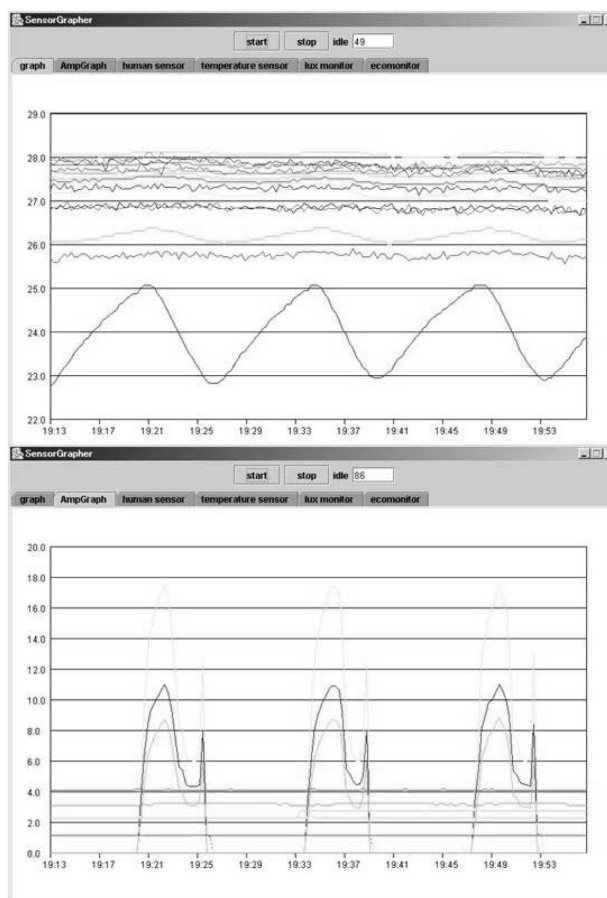


図5 cogma room 内の電力計測

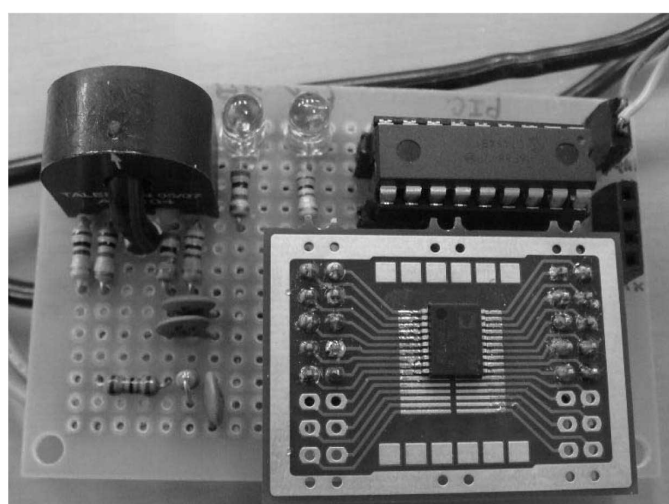


図6 電力計測センサのプロトタイプ

このプロトタイプでは、電力計測用のICを用い、安価に正確な電力計測を可能にした。このプロトタイプに基づき、基盤設計を行い図7に示す電力センサを構築した。このセンサでは、Bluetoothを搭載することによって、遠隔から電力情報を取得することを可能にしている。

図8に示すように、今回構築した小型電力計測センサは、コンセント接続形式になっており、計測対象の機器の電源とコンセントの間に挟むだけで、ワイヤレスで電力センシング情報を提供してくれる。



図7 完成した細粒度小型電力計測センサ(内部)



図8 完成した細粒度小型電力計測センサ(外観)

4. センサ情報の可視化手法の検討

複数のセンサで生活環境のセンシングを行うと同時に環境負荷を計測し、それらを可視化することによって、環境負荷の低減手法の検討を行う。また、ユーザ意識の改革を目指す。そのための細粒度計測電力センサを開発した。このセンサはBluetoothを通じ、定期的に電力消費状況を電力消費状況収集サーバに送信する。この情報をどのように提示すれば、環境負荷の低減が可能になるかが問題である。

細粒度電力計測センサによって計測できた電力消費状況を見るために、わざわざPCでWebブラウザを用いる必要があるならば、電力消費に興味のないユーザは見ることはしない。そこで、小型のワイヤレス情報提示装置(図9)を組み合わせて、機器毎や部屋毎の電力消費の「見える化」を行うことによってエコ・ユビキタス情報環境の実現を目指す。このワイヤレス情報提示装置は、メモリ型液晶とよばれる液晶を利用しているため、電力消費が少なく、情報更新の頻度を落とすことによって1年近く利用することが可能になる。過去の利用状況や昨日までの積算電力といった情報は、1日1回程度しか更新する必要がないため、このような提示装置で



図9 ワイヤレス情報提示装置

も十分に利用可能であると考えている。

一方、動的な利用状況を確認するためには、リアルタイムに動作するグラフが望ましい。我々は、PC上の情報提示の仕組みも検討を行った。



図10 複数の電力消費状況の同時表示

図10には、複数の機器の電力消費状況を同時に表示したグラフを示す。このように、同時にグラフ表示を行うことによって、機器間での消費電力の違いが明確になる。実際に、このグラフから、液晶モニタがブラックアウトしているときが、何かを表示しているときよりも、電力を消費することなどが確認でき、新たな知見を得ることができた。また、PCなどにおいては、ユーザの細かい操作やバッテリーの充電状況によって細かく電力消費が変わるため、ユーザにとっても環境にやさしいPCの利用方法が確認できることとなる。

一方、このようなリアルタイムのグラフは、当初、様々な利用を試している段階では、非常に楽しいが、長期間にわたって眺めるような性質のものではない。そこで上記のワイヤレス提示装置との組み合わせによって、環境負荷の定常的な状況と動的な状況を確認することが可能になる。

5. 環境負荷の自動低減手法の検討

細粒度の電力計測の実現によって、電力の消費状況の確認が可能になった。しかし、利用者の生活環境と電力使用量との関係は明らかではない。そこで、センサと負荷の関係を利用することによって、環境負荷を低減可能な機器やタイミングを明確化し、自動負荷低減手法を検討する。

電力消費の低減手法の例として、ユーザの行動とエアコンの温度設定を組み合わせが挙げられる。一般に、エアコンの温度設定は利用者によって一定であるが、実際にはその必要があるのか、といった問題意識から生まれた考えである。よく、会議などで、開始直後は移動してきたばかりで暑いですが、しばらくたつとエアコンの効きすぎで寒くなるといったことがある。もし、エアコンがユーザ

の行動や体温を知っており、時間がたつにつれて安定していくことがわかれば、エアコンがユーザの行動や状況にあわせて最適な温度設定を行う仕組みがあってもよい。しかし、一般には、ユーザの行動を認識することは困難である。実世界のセンシングを高度化することによって環境負荷の低減が可能になることが期待できる。

5.1 スマートセンサの開発

電力計の検討などから、我々は実世界のセンシングがユビキタスコンピューティングにおいて重要な役割を果たすことを再認識した。従来のセンサデバイスは、デバイス単体では、データ取得を行うのみで、データの処理や蓄積は、中央のコンピュータやストレージで行うことが主であった。これに対し、近年の小型プロセッサの高性能化やフラッシュメモリに代表される大容量メモリの低価格化によって、センサ単体でデータ処理やデータの蓄積を行う仕組みが搭載されるようになりつつある。これによって、様々なデータ処理を単体で実行可能なスマートセンサの実現が進んでいる。我々は、スマートセンサを誰もが簡単に利用でき、ユビキタスシステムを自分で構築できるようにするために、スマートセンサのプログラムを簡便化する「インスタントラーニングスマートセンサ (ILSS)」(図11) [12,14]を提案している。ILSSでは、簡単な手順でセンサに実世界の音や振動を教えることが可能である。これによって、センサやデバイスを組み合わせるだけで「ノックがあったら、電灯をつける」[13]といった簡単なユビキタスシステムを実現することが可能になる。

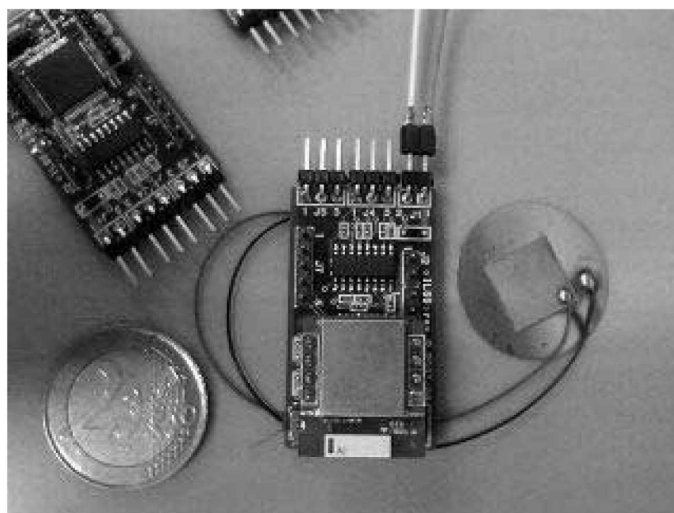


図11 ILSSの外観

6. まとめ

本研究では、生活環境センシングによるエコ・ユビキタスシステムの構築を目指し、小型細粒度電力計測センサの構築や、ワイヤレス情報提示装置等を使った電力情報提示の手法、スマートセンサの活用などを検討してきた。これらは、エコ・ユビキタスシステムを開発するための要素技術であり、今後の更なる高度化が求められる。生活環境におけるセンシングがユビキタス環境におけるエコを生み出すことは間違いないと我々は確信しており、今後も様々な検討を進めていきたい。

謝辞

本研究は、日比科学技術研究助成金の支援によって実施された。記して感謝する。

参考文献/サイト

- [1] みまもりほっとらいん: <http://www.mimamori.net/>
- [2] au Smart Sport Run & Walk : <http://run.auone.jp/>
- [3] Crossbow Technology : <http://www.xbow.com/>
- [4] Tiny OS : <http://www.tinyos.org/>
- [5] SunSPOT World : <http://www.sunspotworld.com/>
- [6] Sentilla : <http://www.sentilla.com/>
- [7] BTNode : <http://www.btnode.ethz.ch/>
- [8] TECO uParts: <http://particle.teco.edu/upart/>
- [9] ESP Dragon: http://www.cimx.co.jp/01_products/espdragon/0_espdragon_001.htm
- [10] Nobuo Kawaguchi, Cogma: A Middleware for Cooperative Smart Appliances for Ad hoc Environment, Proc. of International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, ICMU2004, pp.146-151(2004).
- [11] Nobuo Kawaguchi, Nobuhiko Nishio, Yohei Iwasaki, Ismail Arai, Koichi Tanaka, Shigeo Fujiwara, Secure and Dynamic Coordination of Heterogeneous Smart Spaces, International Conference on Ubiquitous Computing(UbiComp2008) Workshop(UbiWork2008).(2008)
- [12] 根岸佑也, 河口信夫, ユビキタスコンピューティングにおけるコンテキストセンシングとデータ処理, 人工知能学会誌, Vol.23, No.5, pp.597-603(2008).
- [13] Masashi Sunohara, Yohei Iwasaki, Nobuo Kawaguchi, Mobile Software System for Simple Device Coordination using Web Server, International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS 2006), The Proceedings of Poster Session pp.139-150(2006).
- [14] Yuya Negishi, Nobuo Kawaguchi, Instant Learning Sound Sensor: Flexible Real-World Event Recognition System for Ubiquitous Computing, Ubiquitous Computing Systems, 4th International Symposium, UCS 2007, Vol.4836/2007, pp.72-85(2007).