

省エネ意識向上を目指した 細粒度電力センシング・提示システムの構築

上田 泰嵩 小川 延宏 河口 信夫* 片山 正昭
(名古屋大学)

Development of a Fine-grained Power Sensing and Presentation System
Yasutaka Ueda, Nobuhiro Ogawa, Nobuo Kawaguchi, Masaaki Katayama
(Nagoya University)

This research is based on the concept that it is not easy to reduce the electric power consumption of the everyday life in homes and offices without the knowledge of the power consumption of each device. In this paper, we have developed a cheap and networked power sensor which can easily measure the power consumption through the outlets. We also utilize wireless displays to present the current status of each appliance.

キーワード：電力センサ, 細粒度計測, 省エネ
(Power Meter, Watt Meter, Fine-Grained Measurement, Energy Savings)

1. はじめに

資源エネルギー庁による「エネルギー白書 2009」(平成20年度エネルギーに関する年次報告)によれば、年間消費エネルギーにおける民生部門(業務・家庭)の消費は31%を占めており、オフィスのOA化や家庭における情報機器の増大等によって今後もその増加が予想されている。産業部門におけるエネルギー消費は様々な効率化によってその増加は抑制されつつあるが、民生部門は、まだまだ増加が予想されており、これまでの取り組みだけではその増加を止めることは困難と考えられている。省エネを推進するためには、各機器が使用する電力量を削減することも重要であるが、実際に各機器が使用している電力量をその機器のユーザが把握することが最も重要といわれている。実際に、工場やオフィス等で、使用エネルギーの「見える化」を実施することによって、省エネルギーを達成している事例は多数存在する。しかし、これらの取り組みは、空調や照明といった、調査や制御がやりやすい一部の機器について行われているだけであり、民生部門で多く利用されているPCやディスプレイ、プリンタ、コピー機、電気ポットといった機器は対象とされてこなかった。すべての電力を合理的に利用するためには、これらの個々の機器の使用電力について、ユーザ各個人のきめ細かな環境意識が重要となる。しかしながら、従来、これらの使用電力を測るには、民生用には小型の「エコワット」と呼ばれる電力計が数種類存

在するだけであり、またネットワーク化の機能を持たないため、蓄積し分析するための利用には向いていない。また、「省エネナビ」と名づけられた機器群は3.5万～8万と高価であり、複数の電力計測には対応しておらず、オフィスや家庭の個別機器に設置するには価格的にも機能的にも十分ではない。

本研究では、個別の電気機器用の小型電力センサを開発し、機器毎に個別のデータ収集を行い、使用状況をモニタに提示するシステムを設置することにより、各個人の省エネ意識の向上を達成することを目的とする。本研究では、まず(1)小型電力センサの構成法の検討を行い、電力消費にどのように収集を行うかを検討し、実現した(計測系)。また、(2)個別電力収集に対応したオフィス・家庭用に適したエネルギーマネジメントシステム(収集・分析系)に必要な要素を検討する。さらに(3)ワイヤレス情報提示装置によって、個々の機器や部屋、個人毎に電力消費や省エネ状況を提示する仕組み(提示系)を提案する。以下では、まず、既存の電力計や電力削減手法についての調査について述べ、その後、本研究が目的とする細粒度電力センシング・提示手法の提案を行う。

2. 既存の電力計システム

省エネを行うためのシステムとして、すでに電力計をネットワーク経由でモニタする機能を持つシステムが市場には存在する。本研究では、これらのシステムについての簡

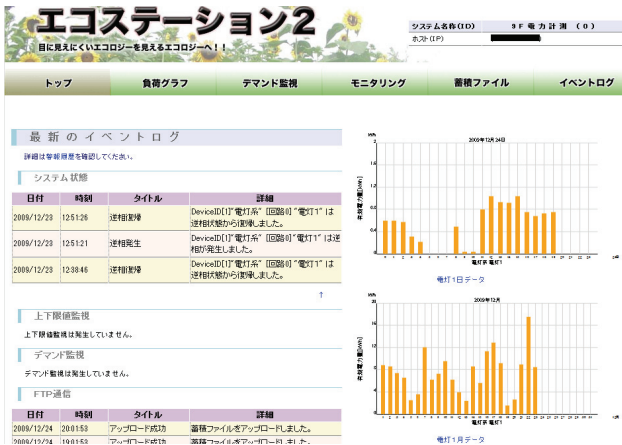


図1 エコステーション2のWeb画面
Fig. 1. Web Graphics of Eco Station2

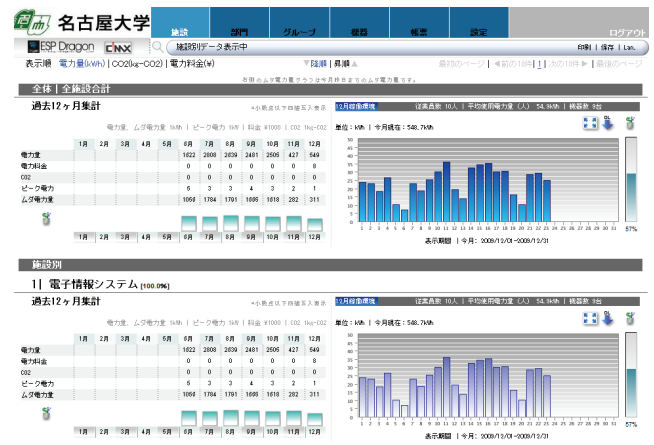


図2 ESP DragonのWeb画面
Fig. 2. Web Graphics of ESP Dragon

単な調査を行うことにより、課題を明確にすることをめざす。今回は、既存の電力センシングシステムとして、廉価な設置型の電力計として株式会社コンテックのエコステーション2 [1]を、また、ASPタイプの電力センシングシステムとして、シムックス株式会社のESP Dragon [2]を採用した。

(2・1) エコステーション2

エコステーション2は、小型CPUモジュールと、電力線センシング部を持つデバイスで、1台のCPUあたり、電力計測用のモジュールが15式接続可能である。計測点数は最大100点であり、日次データは14日、月次データは1年間、年次データが5年間保存可能となっている。また、小型の管理サーバを接続することによって、50CPUモジュール、すなわち5000点の計測が可能な機能を持つ。CT（電流センサ）は、ブレーカの回路毎に接続することになるため、計測の粒度は、複数のコンセントレベルとなる。センシング間隔は、1分毎であるが、Webブラウザからの表示では、1時間毎のデータしか表示することはできないため、詳細な情報を見るためには、csvファイルを目視するか、専用のソフトウェアが必要となる。エコステーション2のWebインターフェースの一部を図1に示す。

(2・2) ESP Dragon

ESP Dragonは、独立型の電力計ではなく、分電盤内に設置されたセンサがシムックス社のデータセンターにデータを送り、サーバ側で電力の無駄を分析するASPタイプの電力センシングシステムである。エコステーション2と同様に、分電盤内においてCT経由で電力を取得する。電力センシングシステムは階層的な構造となっており、CTを直接収容するセンサの上位にデータをまとめる小型サーバがあり、そことASPのデータセンター間で通信を行うことによって、ASP側にデータが保持される仕組みである。ASPサー

ビスによって、ユーザはいつでもどこでも電力データを可視化することが可能であると同時に、様々な分析を行うことが可能である。しかし、計測単位は、エコステーション2と同様に、ブレーカの回路単位であり、また、センシング間隔は5分となっており、データ分析は、1時間が最小の粒度となっている。ESP DragonのWebインターフェースの一部を図2に示す。

(2・3) 既存の電量計測技術の課題

エコステーション2も、ESP Dragonも、分電盤の回路毎に電力消費量を見える化している。確かに、消費電力量をグラフで表現することによって、無駄が生じていることを一目でわかるようにできる。ESP Dragonは、特に工場等での無駄な電力削減に有効であったという報告があり、これは、工業機械の待機電力の見える化が行われたことが理由であろう。

一方、本研究が対象とする民生部門では、1つのブレーカに一つの機器が接続されていることは稀であり、一般に、コンセントには複数の機器が接続されている。そのため、グラフを見ても、実際には、どの機器の消費電力であったかを把握することは困難である。またブレーカがユーザ毎に分割されているわけではないため、ユーザ毎の電力消費といった点についても把握することが困難である。さらに、ユーザ自信が自分の「どのような行動」が、省エネに有効であるか、を確認するためには、1時間程度の継続が必要であり、実際問題として不可能である。つまり、ユーザが省エネ行動を学習するような状況には成り得ない。これらが、従来型の電力計測技術が民生部門で有効でない理由である。

また、NEDOが平成13年から平成17年にかけて行った「省エネナビ」モニタ実験では、家庭の合計電力量をグラフ表示可能なデバイス（省エネナビ）をモニタ家庭に配布して、その効果の調査を行った。多くの家庭では、20%もの

省エネ効果が設置当初にえられているが、長期間の利用では、省エネ効果が限定的であることが確認されている。モニタのアンケートでは、省エネナビは、電力量の表示が全体の合計のみであるため、日々の努力の効果を把握することができない点に大きな不満が示されていた。

3. 細粒度電力センシングの提案

前節で示したように従来型の分電盤に設置するタイプの電力計は、電力計測の粒度が荒いため、ユーザの細やかな省エネ行動を提示することができない点に問題があった。そこで、我々は、コンセント単位で計測が可能であり、かつ、1秒毎にセンシング結果が可視化できるようなセンシングシステムの構築を目指した。一方、省エネナビでは、機器の価格が高い点も問題となった。モニタとして無料で利用しているなら利用するが、コストをかけてまで設置したい、と希望する家庭は少なかった。コンセント単位で計測するためには、大量のセンサが必要となるため、安価な計測の実現が必須となる。また、一般ユーザが手軽に設置し、利用することを考えると、情報収集のためのネットワークは無線である必要があり、さらに、設置が簡便である必要もある。以上をまとめ、我々が求める電力センサの要件を、以下に示す。

1. 機器単位・コンセント単位の計測が可能であること
2. 秒単位でのセンシングが可能であること
3. 廉価であること
4. 設置が用意であること
5. 通信のために特別な設定が不要であること

我々は上記の要件を満たすためのプロトタイプ開発を進めてきた。図3にプロトタイプを示す。アナログ・デバイゼズの電力計測ICであるADE7763を用い、小型のCTを利用して、コンセント単位での電力計測が可能であることを確認した。

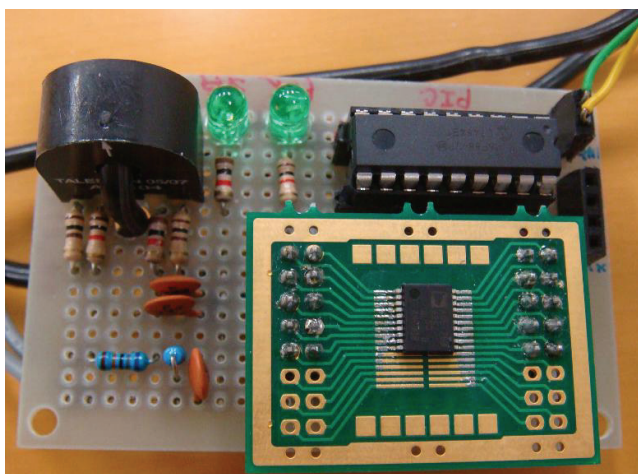


図3 電力センサのプロトタイプ
Fig. 3. Prototype of Power Meter

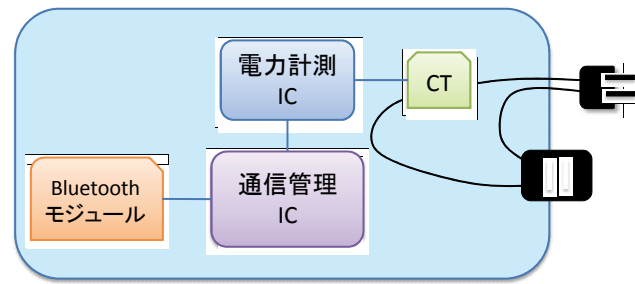


図4 電力センサのブロック図
Fig. 4. Block Diagram of Power Meter



図5 細粒度計測電力センサ
Fig. 5. Fine-Grained Watt Meter

図4に細粒度計測電力センサのブロック図を、図5に完成した細粒度計測電力センサの外観写真を示す。このセンサはコンセントに直結された小型CTを利用して電力計測をすると同時に、計測した電力は、Bluetoothを通じて収集サーバに送信する仕組みとなっている。これによって、ユーザは、電力センサを機器とコンセントの間に挟むだけで簡単に機器の電力計測が可能になる。さらに、計測間隔が1秒毎であるため、細やかな省エネ行動を把握することが可能になった。

なお、家庭内の電力センシングを行う研究としては[4]が挙げられるが、これは、コストを度外視した計測をしており、我々が目標とする「低コストな細粒度センシング」とは異なっている。

4. 細粒度計測に適応した電力情報の分析

細粒度で計測された電力情報は、これまで取得されてきた電力情報とは質的に異なる情報である。そのため、従来とは異なる分析手法が必要となる。従来のエネルギーマネジメントシステムは、照明や空調といった大規模な電力を長時間利用する場合を対象としてきた。今回の研究では、こまめにOn/Offされるような民生機器を対象としているため、そもそも評価手法の変更が必要となる。そこで、細

粒度のデータが得られる小型電力センサで計測する場合に最適なエネルギーマネジメントシステムの開発を行う。

すなわち、これまで開発・利用されてきた HEMS(Home Energy Management System)や BEMS(Building EMS)といったシステム対し、PEMS(Personal EMS)といった観点で、個人やグループ、部屋などに特化した分析を行い、ユーザに提示する仕組みが可能にする。

また、本研究では、どのような情報を提示すればユーザの省エネに関する意識向上、すなわち省エネの「やる気」が引き出せるか、を評価することを目標としている。提示する情報として現在検討している内容としては、まず、従来から利用されている以下の情報を基本とする。

1. 過去の実績と現在データとの比較データ(グラフ提示)
2. 利用実績や省エネ実績の金額や CO2 などへの換算データ(数値・グラフ提示)
3. 季節、月、曜日、1日、時間単位での利用状況データ

さらに、本研究では、細粒度での計測を活用することによって、以下の情報の分析・提示も行う。

4. 機器/部屋/利用者 単位での上記の1~3のデータ
5. 同じスペックの機器/同じ広さ・使い方の部屋/同様の仕事の同僚間での比較データ

特に利用者単位の計測については、個人のパソコンやモニタだけでなく、エアコンや照明データも個人負担分を計上する仕組みを導入する。照明やエアコンに関する電力センシングは、本研究開発ではなく、すでに設置されている機器情報を利用する。これらの手法によって、個人の細かいエアコン温度調節努力や消灯の努力も有効になることが期待できる。



図6 ワイヤレス電力情報提示装置

Fig. 6. Wireless Power Information Display

また、データ分析手法としては、電力センサで計測しているスペックの機器や、同じ広さ・使い方の部屋等について、オフィス間での分析・比較を行うことによって、ムダの発見を行う。さらに「やる気」を出すためには、個人や

部屋、事業所間での「ランキング」を作成することが良いと考えている。1日単位や、1週間単位での「省エネ貢献率」や「省エネトップランナー」などを個人や、部屋、機器毎にランキングを作成することで、個人毎の競争意識利用した意識向上を目指す。

4. 省エネ情報のワイヤレス提示

収集された電力情報を見るために、従来の電力計測システムでは、一般にユーザが Web ページを閲覧に行く必要があった。しかし、そもそも省エネ意識が低いユーザは、電力消費状況を気にしていないため、省エネのための Web ページを閲覧に行くことはなく、結果として、省エネ意識の向上にはつながらないことになる。

そこで、本研究では、エネルギーを消費する機器や人そのものに、エネルギー消費状態を提示する仕組みの導入を検討している。我々はこれを「ワイヤレス情報提示装置」と呼んでいる。具体的には、メモリ液晶と呼ばれる液晶を利用した電子棚札の利用を検討している。電子棚札は、スーパー等での商品の値札に利用されており、ワイヤレスでの表示更新が可能であると同時に、長期間のバッテリー寿命を持つ。これを利用することによって、ユーザに直接エネルギー利用情報を提示することが可能になるため、省エネ意識が低いユーザであっても、否応なしに情報を見ることになる。

例えば、個人毎の省エネデータについてはワイヤレス情報提示装置を個人の胸に名札のように提示することが可能にある。これに、「省エネ大賞」「エネルギー貢献家」などのポジティブな称号とともに、「省エネブービー賞」や「エネルギー浪費家」などを提示することによって、各自の意識を高めることが可能になると考えている。個人のブースや部屋についても、個人毎のランキングと同様な手法によって、ユーザの意識向上が可能と考えている。

また、細粒度計測によって、機器毎の計測を可能にしているので、機器のスイッチやリモコンの近くなど、利用者の目にとまる場所に、ワイヤレス提示装置を用いて省エネ関連データの提示を行う。これまで見えなかった機器の消費電力や比較データが、操作パネルの横に提示されることによって、電源 Off やプリンタ・コピー機の省エネモードボタンを押すなどの、意識向上につながることを期待できる。

5. 細粒度計測による省エネ意識向上システム

細粒度電力計測センサ、ワイヤレス電力情報提示、およびパーソナルな電力情報の分析を統合することによって、省エネ意識の向上を可能にする、統合システムの実現が期待できる。システム構成図を図7に示す。

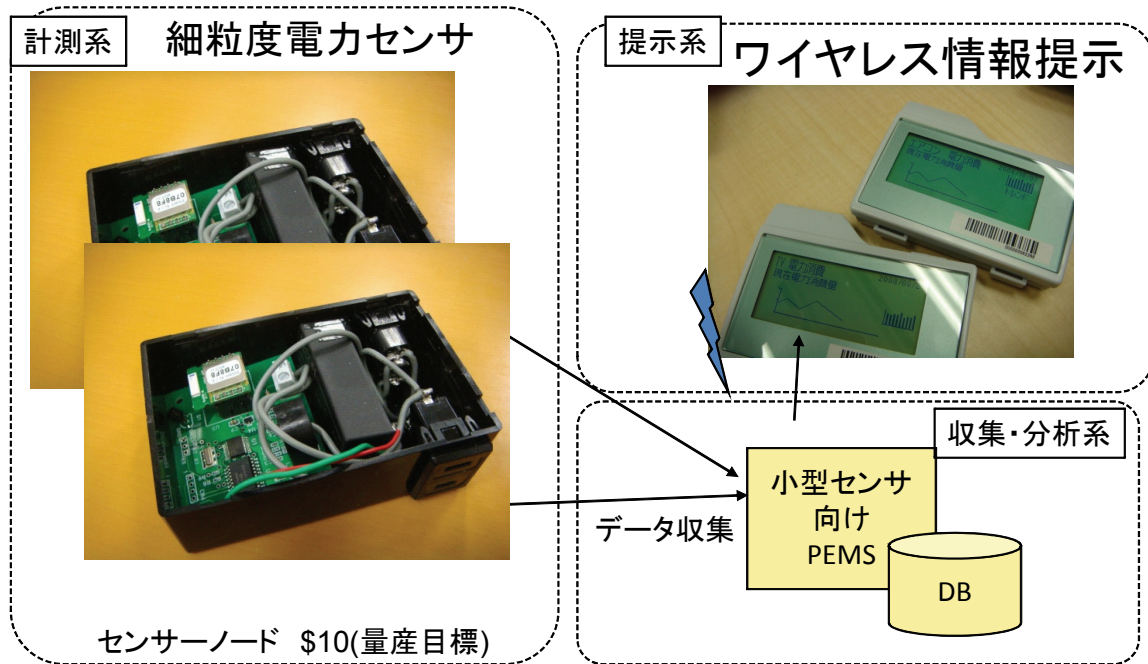


図 7 細粒度センシング省エネ意識向上システム構成図

Fig. 7. Fine-Grained Power Sensing System for Energy Awareness

将来的には、インターネットなどを通じ、省エネのランキングや比較などを行う仕組みを導入することを検討している。具体的には、同じ機種や同じ製品を使っているにも関わらず、異なる電力消費パターンを生成しているユーザー間で互いに比較しあうことによって、機器の利用における省エネのコツ、といったものを共有可能な仕組みが実現されることを期待している。また、家族構成の似通った家庭間での電力消費の比較、など、プライバシーを守りつつも、省エネ意識向上につながる情報共有を行う仕組みの実現を

目指したい。

ネットワークを通じた大規模な情報交換は、実は、機器を開発しているメーカーにとっても大変重要な情報となることが期待できる。ユーザの機器の電力情報が入手できる、ということは、ユーザの利用形態を把握することにもつながる。また、ユーザ間で省エネ機器を比較することになるため、メーカーの省エネ機器の開発意欲も高まる効果が期待できる。

6. 細粒度電力計測の実際と考察

我々は、今回開発した細粒度電力計測センサを用いて、研究室内で実際にデータ収集を行っている。ここでは、その結果得られた知見を紹介する。図 8 は、我々の研究室で学生が実際に計算機等を利用している際に得られた電力のグラフである。最近の PC は非常に省エネ機能が充実しており、OS に省エネ設定を行うだけで、電力消費が抑えられることが、リアルタイムに提示される電力グラフを通じてユーザに理解してもらうことができた。また、逆に、液晶モニターを利用しているユーザが、PC 上で「時間がたつとディスプレイを黒くする設定」を行った際に、液晶モニターが黒画面を表示している時が最も電力を消費することに気づくことができた。これは液晶の場合、黒を表示するということは、トランジスタをすべて On にして、バックライトを見せないように液晶表示を行うことが理由である。この経験から、CRT と液晶ではこの性質が異なる点を PC 側の設定が十分に反映していないことが明らかになった。もちろん、EnergyStar 等に対応し、画面が黒くなった場合に、



図 8 細粒度電力計測の例

Fig. 8. Example of Fine-Grained Power Sensing

バックライトの電源を消すタイプの液晶であれば、消費電力が下がる場合もある。

従来の粒度の荒い電力計測では、ユーザの細やかな気遣いや、逆に省エネ的に誤った利用法を電力のグラフ上で把握することは困難であったが、我々の手法では、個別の電力計測と、リアルタイムセンシングによって、把握することが可能になり、実際の利用シーンでその効果を確かめることができた点は非常に有用である。

また、ノート PC では、充電時と満充電時での電力利用の挙動が違う点や、省エネ設定にしておくこと、非常に効果が高い点などを視覚的に理解することが可能であった。

一方、グラフ表示は、当初はものめずらしかつたため、多くのユーザに注目されたが、長期間表示していると、いつもグラフを眺めるユーザが減少したことも把握できた。これは、省エネナビと同様、初期は興味があるが、長期間、興味を維持することが困難であることを意味している。そこで、ワイヤレス電力情報提示を利用し、意識しなくとも、省エネ情報が目に入る環境が必要であることが理解できた。

また、省エネを行うために、仕事の効率を落とすことは本末転倒である。そこで、無駄に使った電力なのか、有効に使った電力なのか、を判定する仕組みが必要であることが課題として上がっている。細粒度電力計測では、個々の機器の電力利用状況が把握できるため、状況によっては、電力情報からユーザの挙動を推定することが可能であることが期待される。こういった点も考慮に入れた省エネ手法の検討が必要であろう。

7. まとめ

本稿では、細粒度計測を行う電力センサの開発によって、従来は提示できなかった細かな電力情報を獲得し、その分析手法や提示手法を工夫することによって、統合的な省エネ意識向上システムを提案した。また、実際に細粒度電力計測を実現するセンサを構築し、その利用によって、従来の電力計測では得られなかったような情報を入手可能となったことを確認した。

今後の課題としては、大量のセンサを手軽に設置し、運用するための方法論の開発や、分析・提示システムの開発が挙げられる。さらに、6節の最後に挙げたような、「無駄」を判別できるような機構の検討を進めていきたい。

謝辞

本研究の一部は、名古屋大学エコトピア科学研究所科学研究所と中部電力株式会社の連携共同研究プロジェクトの一環としておこなわれたものである。また、NEDO「省エネルギー革新技术開発事業／先導研究（事前研究）」の支援を受けている。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- (1) 株式会社コンテック エコ・ステーション2:
<http://www.contec.co.jp/product/solution/es2/index.html>
- (2) シムックス株式会社 ESP Dragon:
http://www.cimx.co.jp/01_products/espdragon/0_espdragon_001.htm
- (3) 平成13年度～平成17年度省エネルギー設備等導入促進情報公開対策等事業（NEDO）報告書
- (4) 村上周三, 赤林伸一, 絵内正道, 吉野 博, 飯尾昭彦, 坊垣和明, 銚井修一, 渡辺俊行, 坂口 淳: 住宅を対象としたエネルギー消費量の測定システムの開発研究, 日本建築学会技術報告集, 第22号, pp.355-358(2005).
- (5) Paolo Bertoldi, Andrea Ricci, Anibal de Almeida eds. "Energy Efficiency in House hold Appliances and Lighting", Springer, (2001).
- (6) Nobuo Kawaguchi: Small-sized Power Sensor and Wireless Display for Fine-grained Measurement and Presentation, R'09 Twin World Congress Poster session (2009).