

センサネットワークを用いた 住環境制御システムに関する研究

賀 新 剛^{†1} 峰 野 博 史^{†2} 水 野 忠 則^{†3,*1}

我々はセンサネットワークを利用して省エネルギー可能な住環境制御システムを提案する。このシステムは、住環境センサノードと消費電力測定可能な「スマートタップ」から、オフィスや家庭の各場所での温度、モーション、湿度、照度、消費電力などのセンシングデータを収集してデータベースに蓄積する。また、センシングデータを分析し、オフィスや家庭内の既存の家電を制御する。実験では、住環境制御なしと制御ありでそれぞれに実験し、2つの消費電力から比較した結果により、住環境制御システムを使った場合に20%の電力を節約したことを確認した。

A Study on Dwelling Environmental Control System Using Wireless Sensor Network

XINGANG HE,^{†1} HIROSHI MINENO^{†2} and TADANORI MIZUNO^{†3,*1}

We propose a dwelling environmental control system using wireless sensor network to prevent power waste. This system collects sensing data such as temperature, motion, humidity, illuminance and electric power of each area in an office or a family from dwelling environment sensor nodes and "smart taps" to a database. At the same time, by analyzing the sensing data, the system is able to control electrical appliances automatically. At the experiment part, we tried to measure electricity consumption that without and with the system control separately. Depending on the comparing result from the experiment, we confirmed that the system is able to reduce power consumption by about 20%.

1. はじめに

近年、生活水準の向上により快適な生活が求められ、エネルギー消費が増加されている。資源エネルギー庁「日本のエネルギー 2009」¹⁾では、エネルギー消費に関する民生・運輸が大幅増加していると指摘している。その中でも特に、一般家庭で消費される電力量は年々増加している。一方では、地球温暖化を防止するために、エコは多くの国々で提唱されている。快適な生活を支えながら、できる限り省エネルギー対策をすることが目指されている。そのため、住宅のエネルギー消費機器を自動制御・間接制御、エネルギーの見える化を行う各種 HEMS (Home energy management system) 技術が最近で注目されている。家庭やオフィスといった異なる生活環境へ導入ができ、生活者の行動様式や好み、自然との共生を考慮してカスタマイズできるような適応型 HEMS/BEMS の導入レベルが検討されている²⁾。

また、センサネットワークの急速な発展と共に、その適用できる範囲も広がっている。センサネットワークは無線通信可能、低消費電力、設置の自由度が高いなどの特徴があるため、近年では農業管理³⁾、位置測定^{3),4)}、工業計装、自然保護、健康管理、セキュリティー^{5),6)}などのデータ収集を目的とするものが多い。

本研究では、まずセンサネットワークにより研究室内の温度、湿度、照度、モーションなどの情報と、研究室内の各コンセントに設置した消費電力測定可能な「スマートタップ」により室内の具体的な電力消費量を収集した。次に収集したセンサネットワークとスマートタップのデータを活用した家電に省エネルギー対策をするために、リアルタイムに既存の家電を制御するプロトタイプシステムを開発し、簡易実験によって20%の消費電力削減ができることを確認した。

2. 関連研究

さまざまな無線通信技術を使って多くの家電制御システムが提案されている。文献⁷⁾で

†1 静岡大学大学院情報学研究所
Graduate School of informatics, Shizuoka University

†2 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

†3 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

*1 現在、愛知工業大学情報科学部
Presently with Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

は、SMS(Short Message Service) を用いたリモートから無線で家電制御システムが提案された。文献⁸⁾では、温度、音声、照度を測定可能なワイヤレスセンサネットワークと X10 コントローラを用いた省エネルギー可能な家電制御システムが提案された。文献⁹⁾では、ワイヤレスセンサネットワークのデザインツールを検討している。これら研究では家電を制御することができるが、家電の具体的な消費電力量の測定と表示を考慮されておらず、家電に対する制御を評価することができない。本研究はスマートタップを導入し、部屋内の実際の電力消費量を把握可能であり、家電の自動制御を類似研究に比べ精確に評価できる。また、赤外線リモコンノードを導入し、X10 コントローラのような機器と比べると、より豊富な制御をすることが可能である。

3. 住環境制御システム

3.1 概要

住環境制御システムは、温度、湿度、モーション、照度を測定できる「住環境センサノード」、消費電力を測定できる「スマートタップ」、既存の家電を赤外線用いて制御できる「赤外線リモコンノード」からなるシステムである。このシステムの利点として以下が挙げられる。1 つ目は配線工事不要な点である。本システムはワイヤレスネットワークを使った無線通信になっており、配線工事が不要である。2 つ目は省エネのための自動制御が可能とする点である。システムは各センサノードからセンシングデータによって、人がいるかどうかを判断し、既存の赤外線リモコン付家電を自動的に制御できる。3 つ目は、ユーザは本システムを使って部屋内の家電の消費電力を把握可能な点である。システムはスマートタップからリアルタイムで測定した消費電力量を全て記録するため、使っている家電の具体的な消費電力量を把握できる。

3.2 システムの構築

開発した住環境制御システムのプロトタイプを図 1 に示す。図に示すように、センサネットワークは省電力無線通信規格の IEEE 802.15.4 を用いて構築され、構成物を以下に示す。

(1) 住環境センサノード

住環境センサノードには、温度センサ、温湿度センサ、照度センサ、モーションセンサが実装されている。住環境センサノードは親と子の二種類の役割がある。

- 親ノード

親ノードはシリアルケーブルで接続し PC ゲートウェイからの指令を関連する子

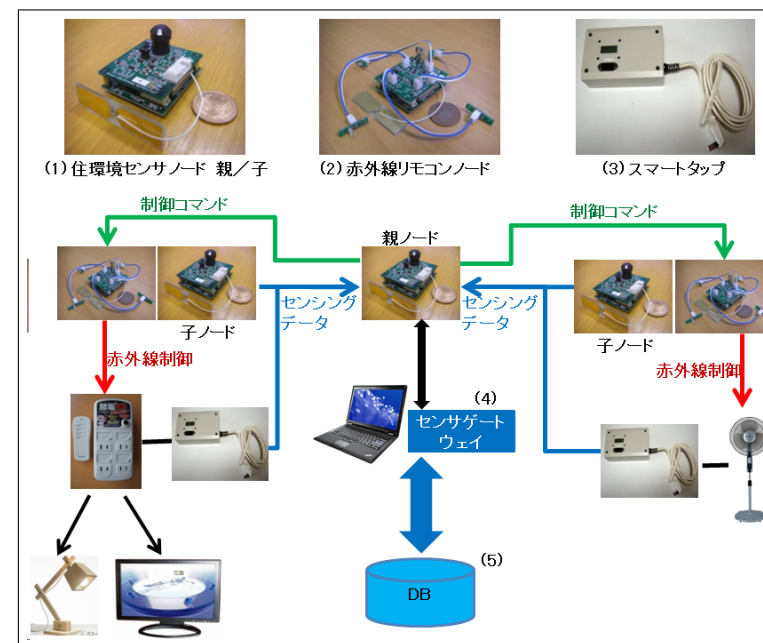


図 1 住環境システムの概要

ノードに無線で送信する。一方、各子ノードから無線通信でセンシングデータを収集して PC ゲートウェイに渡す。

- 子ノード

子ノードは親ノードからの無線によるコマンドを受信する。起動後は、それぞれのセンサの出力値を取得し、無線モジュールを介して送信した後ストップモードに移行し、その後起床条件が満たされた場合に起床と同じ動作を繰り返す。本システムの起床条件は一定時間 (アラーム初期設定 10 分) が経過するかあるいはモーションセンサに反応があることである。

(2) 赤外線リモコンノード

赤外線リモコンノードは、赤外線受光用・発光用のデバイスとデータ保存用の EEPROM を実装した拡張基板で、起動後は、親ノードから無線通信を介した制御コマンドの受

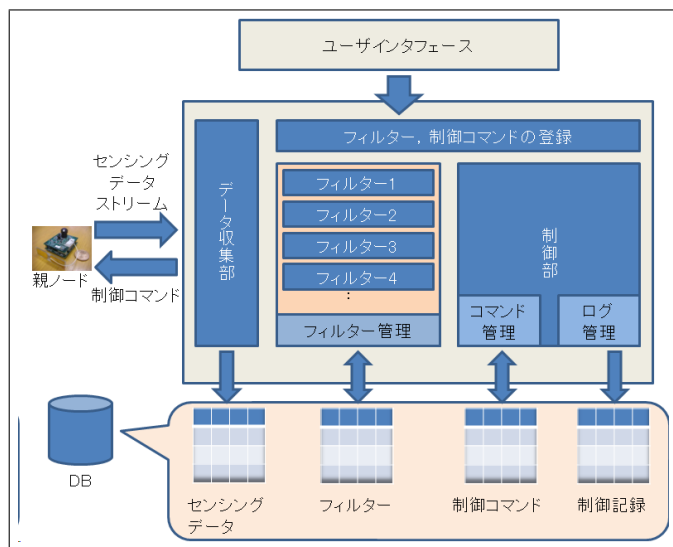


図2 センサゲートウェイの構成

信を待つ。コマンドを受信した場合、そのコマンドに応じ赤外線波形の受信と保存、保存した赤外線波形の読み出しと送信、EEPROMの内容消去を行う。赤外線学習について、赤外線波形の保存数は20個存在する。

(3) スマートタップ

スマートタップは、電力測定用のデバイスと表示用LCDを実装した拡張基板である。起動後は、接続された回路を測定し、有効電力、皮相電力、無効電力、力率を演算し無線で結果を得る。これらの結果を表示用LCDに表示したり、無線通信で親ノードに送信したりする。また、親ノードの無線通信から指令によって、SSRのONとOFFを行い、AC100VのONとOFFを行うことが可能である。

(4) センサゲートウェイ

センサゲートウェイは、センサネットワークを管理するためのノードである。センサゲートウェイは親ノードとシリアル通信を介してそれぞれの子ノードとスマートタップの情報を集め、DBへ蓄積する。一方、ユーザの設定により、さまざまな判断条件を生成することが可能である。これらの判断条件によってセンシングデータを分析

し、制御コマンドを生成し、親ノード経由で目標ノードを稼動する。具体的な構造は次の節に述べる。

(5) DB

DBには、親ノードに届いたセンシングデータなどのデータを、センサゲートウェイ経由で蓄積される。

研究室各席に設置された住環境センサノードは、モーションセンサが何かしらの動きを検知したタイミング、もしくは10分に1度の頻度で、温度・照度・モーション・残バッテリー量を親ノードへ送信する。一方、部屋内各コンセントのところにて設置したスマートタップは、1秒1度の頻度で、有効電力・皮相電力・無効電力・力率を親ノードへ送信する。到達したセンシングデータは、センサゲートウェイを介してDBに蓄積される。センサゲートウェイでは最新のセンシングデータをDBからの履歴データと一緒に分析し、関係する赤外線リモコンノードあるいはスマートタップに親ノードを通して制御コマンドを発信する。赤外線リモコンノードは制御コマンドを受信し、予め学習された赤外線信号を対象の家電に送る。同様に、スマートタップは制御コマンドを受信し、電源をON / OFFにセット可能である。

3.3 センサゲートウェイの詳細

センサゲートウェイの構成を図2に示す。親ノードは住環境センサノード、スマートタップのセンシングデータを収集してセンサゲートウェイに渡す。これらのセンシングデータの流れをセンシングデータストリームと呼ぶ。センシングデータストリームはデータ収集部、フィルター管理部、制御部の順に流れる。

まず、データ収集部は、センシングデータストリームを分類してDBに蓄積する。なお、データ収集部は生データを保存することではなく、一定期間ごとにデータを集計してDBに蓄積する。

次に、収集部はセンシングデータストリームをフィルター管理部に渡す。フィルターは、ある制御コマンドを送るかどうかを判断するための条件である。フィルター管理部は、フィルターをユーザインタフェースから受け取って、DBに蓄積する。また、フィルター管理部はセンシングデータストリームを、それぞれのフィルターの条件を満たすかどうかをチェックする。

もし収集したデータがあるフィルターの条件を満たすならば制御部を動かす。制御部は3つの機能を持つ。1つ目は、ユーザインタフェースから取得した制御コマンドをDBに蓄積する機能である。2つ目は、フィルター管理部から呼び出されたときに、関連する制御コマンドをシリアル通信で親ノードに送る機能である。3つ目は、制御コマンドを送ったログを

表 1 実験で使ったデバイス

デバイス	数
センサゲートウェイ	1
親ノード	1
住環境センサノード	2
赤外線リモコンノード	2
赤外線リモコンタップ	2
スマートタップ	2

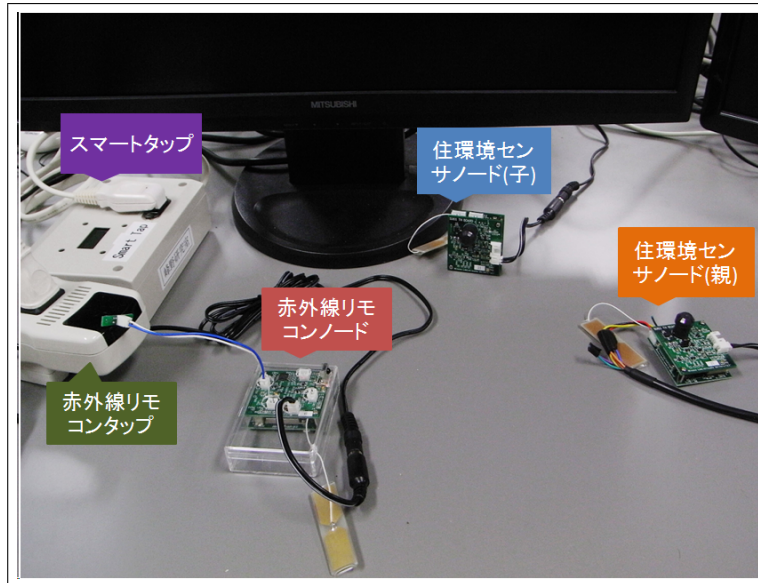


図 3 実験で使っているデバイスの様子

DB に記録する機能である。

4. 実 験

実環境で住環境制御システムを構築し、実際に制御効果を検証した。実験は静岡大学情報学部 1 号館にある峰野研究室の学生部屋で実施した。本実験で使用したデバイスを表 1 に示す。学生部屋内の 2 つの席 (A, B) にて、住環境センサノード、赤外線リモコンノード、

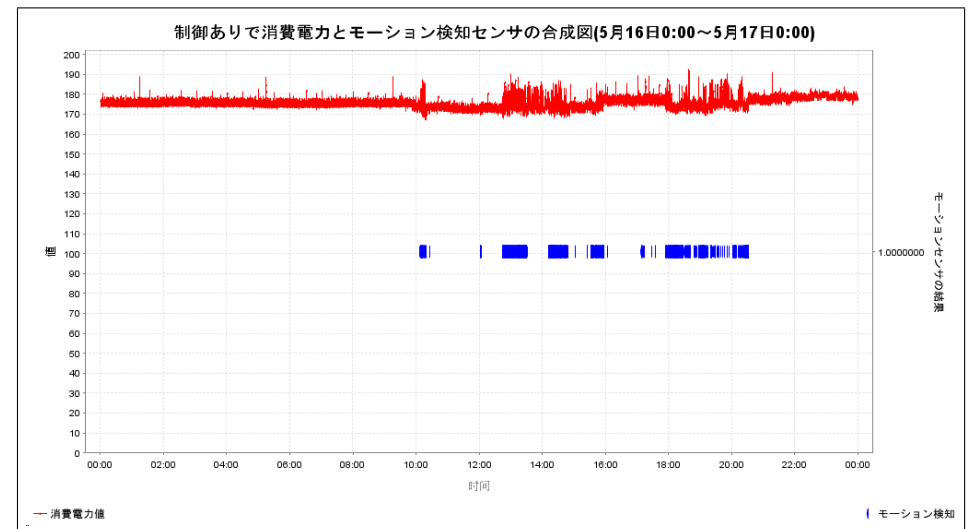


図 4 省エネの制御なしの席 A での消費電力とモーション検知の分布図

赤外線リモコンタップ、スマートタップを各 1 台設置した。赤外線リモコンタップとは、接続された電子機器の電源を赤外線リモコンを用いて ON/OFF することが可能なデバイスで、今回の実験では 2 台の液晶ディスプレイの電源を挿しておいた。図 3 に 1 つの席に設置したデバイスの様子を示す。

センサゲートウェイは親ノードを介して全ての住環境センサノード、赤外線リモコンノード、スマートタップを管理する。赤外線リモコンノードには、赤外線リモコンタップの操作信号を予め学習させておき、液晶ディスプレイの電源を赤外線リモコンノードで ON/OFF 操作することができる。また、各席で使用する電子機器は、全てスマートタップを經由して接続するため、各席での消費電力総量を測定することができる。

省エネ制御として、住環境センサノードのモーションセンサが 5 分間検知しなかったら、赤外線リモコンノードから電源 OFF の信号を送信し液晶ディスプレイの電源を切る設定をした。ここで、今回 5 分に設定した理由は、5 分以内を設定した場合に、何もせず考えている状態にも関わらずモーションセンサで検知されないため、液晶ディスプレイの電源が切れてしまうことが頻発し使い勝手が悪かったからである。

図 4 に省エネ制御なしの席 A の結果 (24 h) を示す。図 5 に省エネ制御なしの席 B の結

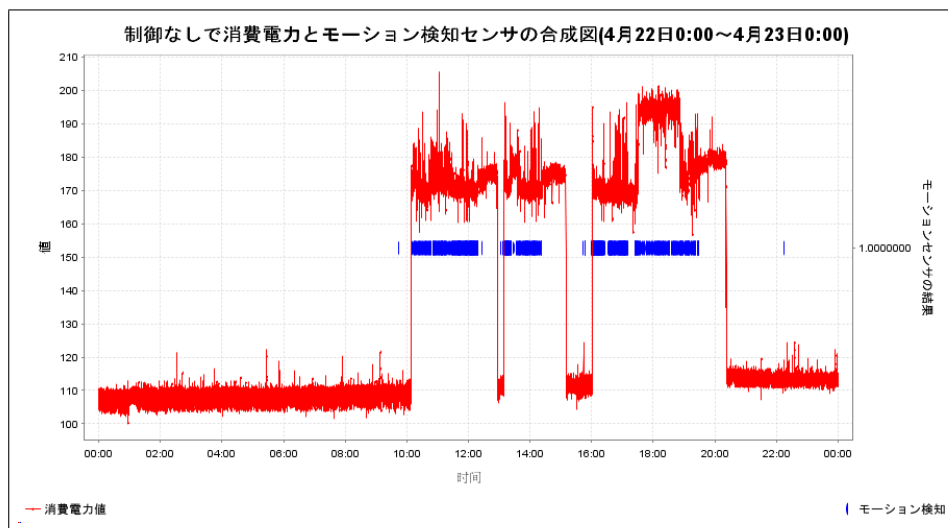


図 5 省エネの制御なしの席 B での消費電力とモーション検知の分布図

果 (24h) を示す。一方、図 6 に省エネ制御ありの席 B の結果 (24h) を示す。図中の赤線は消費電力の推移を、青線はモーションセンサがその時点でモーションを検知したことを表している。これらの結果を分析することで、利用者にしか分からない細かなことが分かるようになった。例えば、図 4 より、席 A でのパソコンは OS の「モニタの電源を切る」の電源設定を「なし」に設定してあり、使用者がいるかどうかに関わらず、液晶ディスプレイの電源が ON の状態で、約 180W の電力を消費しており、その値は大きく変化しないことが分かった。図 5 より、席 B でのパソコンは OS の「モニタの電源を切る」の電源設定を「30 分後」に設定してあり、マウスやキーボードを動かさずに 30 分経過すると液晶ディスプレイの電源が OS の設定で OFF となり、スマートタップによる消費電力の計測値 (赤線) は下がっている。その様子は、モーションセンサの結果 (青線) から理解することができ、モーションセンサの検知が無くなってから 30 分経過した辺りで液晶ディスプレイの電源が OFF になっていることが分かる。一方、図 6 より、本システムによって住環境センサノードと赤外線リモコンタップを連動させた場合、OS の「電源の管理」設定とは関係なく、モーションセンサが 5 分間何も検知しなければ液晶ディスプレイの電源を OFF にしていることが分かる。

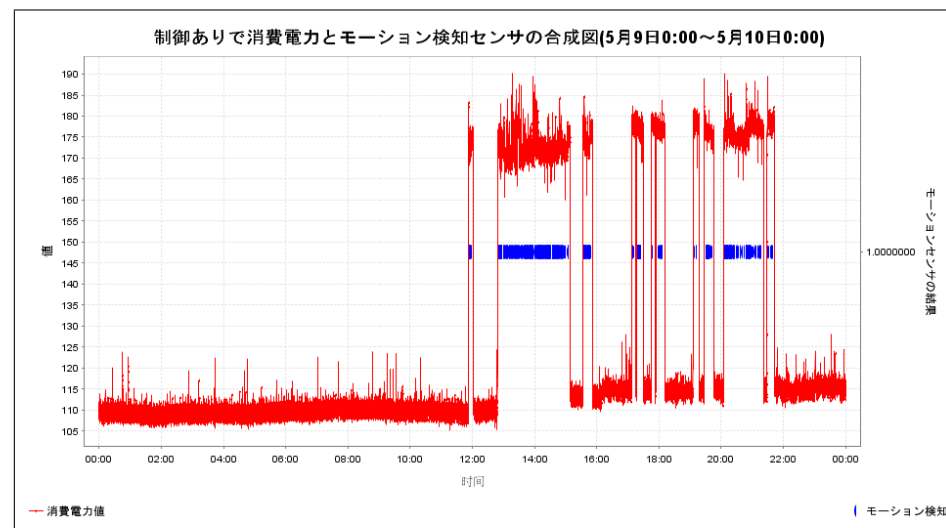


図 6 省エネの制御ありの場合の消費電力とモーション検知の分布図

今回の簡易的な連動設定によって、液晶ディスプレイの消費電力を若干削減することができるが、具体的にどの程度の省エネが実現できたのかを試算してみる。ここで、OS で設定可能な電源設定は個人の趣向によって様々であるが、30 分前後に設定する人が多いと考え、試算では 30 分と仮定する。本研究室には 15 人の学生があり、1 つの席で 2 台以上の液晶ディスプレイがある場合、今回の実験から約 80W の消費電力であるとする。もし 1 日に 5 回、30 分以上席を外し、1 年間では 200 日に自席にいるとしたら、学生部屋で 1 年間で節約できる料金を計算してみた (中部電力の 1kwh の電気料金を 17.05 円とする)。その結果、液晶ディスプレイの電源を細かく制御するだけで 1 年間に約 1 万円の節約ができそうなが分かった。

$$(0.5 \times 5) \text{ 時間 / 日} \times 200 \text{ 日 / 年} \times 15 \text{ 人} \times (80 / 1000 \text{kw}) \times 17.05 \text{ 円 / kwh} = 10230 \text{ 円}$$

また、液晶ディスプレイの消費電力 W に関して、今回の簡易的な省エネ制御 (モーションセンサの無検知時間を p 分に設定) によって、制御なしの B 席 (モニタの電源管理を x 分に設定) より何パーセントの省エネが実現できるかを試算してみる。1 日に 10 時間研究室にあり、1 日に n 回、x 分以上席を外すと仮定したら、消費電力は以下の式で計算できる。

$$(W \times (x-p)/60 \times n) / (10 \times W)$$

今回の実験の場合、液晶ディスプレイの消費電力が 80W、モーションセンサの無検知時間を 5 分、制御なしの場合のモニタの電源管理を 10 分、1 日に 5 回、30 分以上席を外すことになるため、20% の省エネが実現できることになる。

$$(80 \times (30-5)/60 \times 5) \text{ kwh} / 10 \times 80 \text{ kwh} = 20\%$$

5. おわりに

本論文では、住環境センサノード、スマートタップ、赤外線リモコンノードを含むセンサネットワークを用いた環境システムを提案した。このシステムは配線工事が不要であり、部屋内の環境により既存の家電をリアルタイムで自動制御や、部屋内の具体的な消費電力を把握可能とする。また、プロトタイプシステムを研究室内で稼働させ、研究室の消費電力を量的に表示し、システムの制御の省エネ効果を確認した。

一般家庭において、消費電力の多くを占める電子機器は、空調や冷蔵庫、照明であるため、今後は、多種類のセンシングデータを組み合わせて研究室の電灯や空調、冷蔵庫なども連動制御できるように改良すると共に、省エネ制御手法の詳細検討を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：日本の消費エネルギー 2009, (2009).
- 2) 峰野博史：ICT 技術を用いたグリーン化 (2)～適応型 HEMS/BEMS の開発～, 2010 年電子情報通信学会総合大会, BP-2-4, pp.SS-17～SS18(2010.3).
- 3) Di Wu; Renfa Li; Ruifang Li; Hualin Liang; Juan Luo : Localization in UWB Sensor Networks for Agriculture Environment, in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference*, 12-14 Oct. (2008)
- 4) Sung-Hwa Hong; Byoung-Kug Kim; Doo-Seop Eom : Localization algorithm in wireless sensor networks with network mobility, in *Consumer Electronics, 2009 IEEE International Conference*, Nov. (2009)
- 5) Ying-Wen Bai, Li-Sih Shen and Zong-Han Li : Design and Implementation of an Embedded Home Surveillance System by Use of Multiple Ultrasonic Sensors, in *Consumer Electronics (ICCE), 2011 IEEE International Conference*, Jan. (2011)
- 6) Zuolkernan, I.A.; Al-Ali, A.R.; Jabbar, M.A.; Zabalawi, I.; Wasfy, A. : InfoPods: Zigbee-based remote information monitoring devices for smart-homes, in *Consumer Electronics, IEEE Transactions*, Aug. (2009)
- 7) Malik Sikandar Hayat Khiyal, Aihab Khan, and Erum Shehzadi Software Engineering Dept., Fatima Jinnah Women University, Rawalpindi, Pakistan : SMS Based Wireless Home Appliance Control System (HACS) for Automating Appliances and Security, in *Informing*

Science and Information Technology, Volume 6, (2009).

- 8) Yu-Chee Tseng, You-Chiun Wang, and Lun-Wu Yeh : iPower: an energy conservation system for intelligent buildings by wireless sensor networks, in *International Journal of Sensor Networks*, page(1 - 10) Volume 5, (2009).
- 9) A. Guinard, A. M. Gibney, D. Pesch : A Wireless Sensor Network Design Tool to Support Building Energy Management, in *Proc. of BuildSys'09*, 3 Nov., (2009).