

センサーネットワークを用いた省エネ活動 支援システムの開発

—システムの提案と基本設計—

葛目幸一*・馬越唯*・吉田あさみ*・片山梨沙*・西村喜彦*

Development of Assistive System for Energy-saving Activity by Using Sensor-network

—Proposal and fundamental design of the system—

Koichi Kuzume *, Yui Umakoshi*, Asami Yoshida*,
Risa Katayama*, Yoshihiko Nishimura*

By the occurrence of the Great East Japan Earthquake and the rise of concern about a global warming issue, we are required to review the conventional Japanese life style and improve our consciousness on energy-saving. At schools, the education on the energy-saving as a part of environmental education field attracts our attention, and "Technology for visualization of electric power consumption" has been developed as a tool for energy-saving activity. In this research, we propose the assistive system for energy-saving activity by using the sensor network at schools, and complete the fundamental design. The system has the following features: Offering various tools for the energy-saving activities, lower price, and needless of construction comparing with the conventional tools.

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、日本社会の様々な分野に大きな影響を与えた。とりわけ、福島原子力発電所の事故は、日本の将来のエネルギー問題の解決のロードマップに大きな影を落とす結果となっている。日本のエネルギー供給量の約1/3を占める原子力発電所が停止すると、発電量が需要量を下回る事態となる危険性があるため、電力各社は、計画停電の実施や節電目標を提示し国民に節電の協力を呼びかけている。

さて、日本のエネルギー政策が確定し、安定したエネルギー供給の方法が確立したとしても、節電や省エネ活動は、全ての国民に求められる責務である。エネルギー消費を削減するためには「節電、省エネを心掛ける」ための啓蒙活動が重要であることが指摘されている。具体的に啓蒙活動を行う組織として、小中学校の教育現場が注目され、さまざまな取り組みの事例が報告されている[1],[2]。山形県では、省エネ活動のモデルとなる小学校を指定し、校内に省エネモニターを設置し、児童が常時リアルタイム

で電力の使用状況を見ることができるようにした。環境に対して理解を深めるためには、他者とのコミュニケーションが重要な役割を果たし、省エネモニターはその一助になっているとの三浦らの報告がある[1]。小中学校では児童が実践できる省エネ活動は、教室やトイレの照明の消灯が主となっているが、児童は学校での体験や学習を家庭にまで持ち込むため地域全体への波及効果が大いに期待できる。

一方、大学や高専の教室、実験室には、セメスター制の導入により7、8月の最も気温の高い期間にも授業が行われるため、全ての室にエアコンが設置されている。高等教育機関の学生、本校学生の場合の省エネ活動は、学生各自の省エネに対する重要性の認識の程度に依存し、小中学校のように教員主導での実施は難しい。例えば、学寮共用室での、照明、エアコンの消し忘れは、再三の注意に拘わらず頻繁に発生している。また、本校では、節電を目的にエアコンの温度を28℃に集中制御しているが、学生数の多い教室では、実質的な気温は、30℃を超えエアコン稼働しているにも拘わらず窓を開けてい

* 情報工学科

るクラスも少なくない。

省エネは、学校現場での省エネ教育が進めば、地域への波及を考慮すると予想以上のエネルギー消費削減効果が期待できる。学校で省エネ活動を支援する方法として下記の事項を挙げることができる。①省エネモニターによる電力の見える化 ②無駄電力の見える化と無駄電力の CO₂ 換算表示、消し忘れ防止のためのリアルタイムでの警告等 ③エアコン・照明のリアルタイム状況把握 ④省エネを達成したときの達成感を実感できる方法、例えば省エネランキング、省エネ活動によって節約できた具体的な金額等を告知する。

本研究では、学校をターゲットとした「センサーネットワークを用いた省エネ活動を支援するシステム」を開発する。このシステムは、教育現場に特化した省エネ活動を支援するもので、上記①～④の機能を備えた、工事が不要で導入費用が安価である等の特徴を持っている。

2. センサーネットワークを用いた電力の見える化

節電を実行する上で重要なことは、今どの程度の電力が消費されているのか、電気料金や CO₂ に換算するといくらになるか等の情報をリアルタイムで表示する、いわゆる“消費電力を見える化”することである。電力の見える化については、既に様々な製品や技術が提案されている。例えば、スマートメーターがある。これは、電気使用料の検針作業を人が行わず、通信機能を持った電気メーターが自動的に電力事業者へ遠隔報告することができ、高機能なものになると事業所内や家庭内のエアコンや照明、セキュリティ機器などの制御まで行うことができる [3], [4]。しかし、小中高の教育現場における既存のスマートメーターの設置は、高圧受電の契約や電気工事が必要で、高額となるため現実的には不可能である。また教育現場における電力の見える化は、生徒が省エネ活動を行う支援機能さえあれば十分である。

本研究では、小中高校生、高専生の省エネ活動を支援するため、「センサーネットワークを用いた省エネ活動支援システム」を提案する。図 1 にシステムの概略図を示す。各教室に、End Device (ED) と呼ばれる、温度、光、湿度センサーを組み込んだ無線デバイスを設置し、照明の ON/OFF、エアコンの設定温度、湿度等を測定することにより教室内の電力消費状況を把握する。電力消費量の概算値は、教室の照明器具の電力 (W) と設置本数、エアコンの電力 (W) と ON している時間から計算することができる。測定データは無線ルーターを介して、Base Station (BS :

例えば消費電力管理室) に送信される。使用した無線ネットワークデバイスは、Zigbee PRO で通信距離は、建物内 60 m, 見通し内 700 m の性能をもち、ルーター等の中継デバイスを利用すれば、キャンパス内全域で無線ネットワークを形成することができる [5]。BS では、各教室で消費される電力をリアルタイムで監視することができ、省エネ活動支援の見える化のデータとして活用する。図 2 にセンサーネットワークの構築に使用した Coordinator Device (CD) と ED の写真を示す。

3. センサーネットワークを用いた照明・エアコンの ON/OFF 検出

3. 1 光センサーによる照明の ON/OFF 検出

教室の照明の ON/OFF 動作に対して光センサーが最も良く反応する場所を特定するため ED デバイスを教室前方の教卓付近と後方のロッカー付近の 2 か所に設置した。照明スイッチを ON/OFF させたときのセンサーの出力を同時に計測し、計測データは無線ネットワークによりパソコンに送信した。

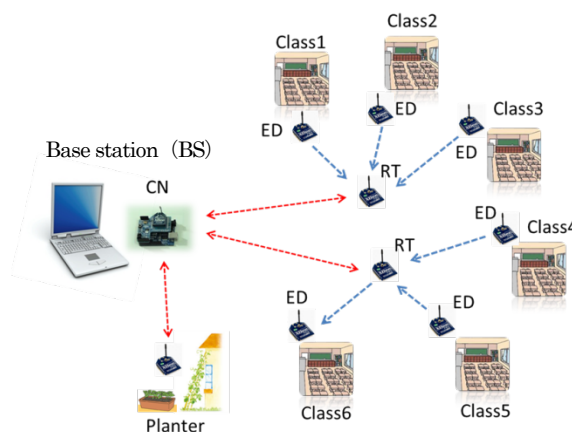


図 1 センサーネットワークを用いた省エネ活動支援システムの概略図

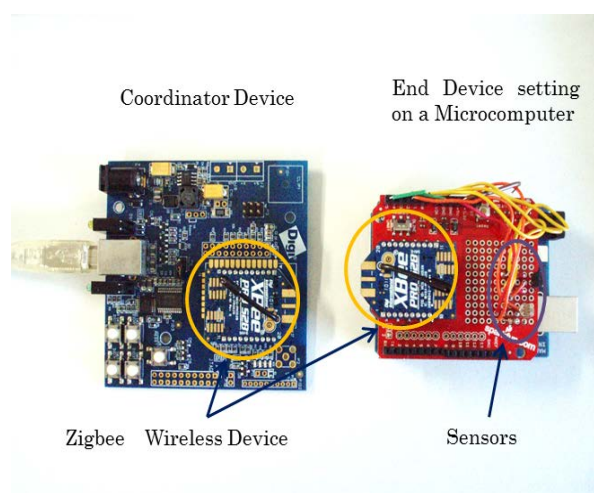


図 2 Coordinator (CN) と End Device (ED) デバイス

センサーネットワークを用いた省エネ活動支援システムの開発 —システムの提案と基本設計—
(葛目・馬越・吉田・片山・西村)

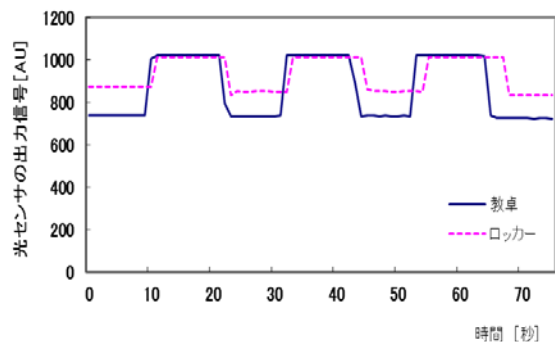


図3 光センサーを教室の前後に置いた時のセンサーの出力信号

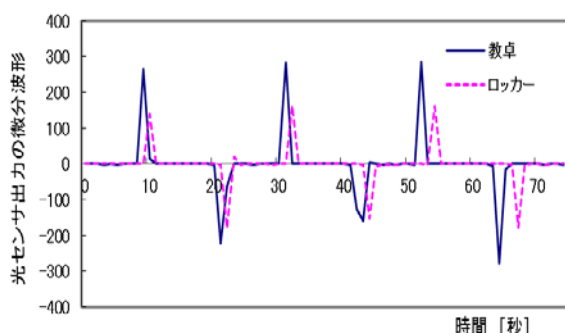


図4 光センサーの出力信号の微分波形

なお、使用した光センサーは CdS で光があたると抵抗が変化するデバイスである。図3は、光センサーの出力波形、図4はその微分波形である。出力波形のレベルが高い時間域は、照明が OFF、低い時間域が ON の状態である。図3からわかるように、教室前方に設置したセンサーの方が後方に設置した場合より反応レベルが大きいため、実験を行った教室では、センサーは教室前方に置いた方が、照明の ON/OFF 動作をより明確に捉えることができる。微分波形のプラス側は照明を ON から OFF にした時の動作、マイナス側は OFF から ON にした動作を意味する。なお、設置場所により波形のピークの位置がずれているのは、教室の前部、中部、後部にある3つの照明スイッチを ON/OFF するタイミングにずれがあるためである。

3. 2 温度センサーによる教室の温度測定と校正

教室の温度測定には、IC 温度センサー MCP9700 を用いた。MCP9700 の測定誤差は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ である。光センサーと同一の基板に実装し、教室の前後、2か所に設置した。図5にセンサーの電源を ON してから約 25 分間の温度の計測結果を示す。実験結果より温度センサーの動作が安定するまでに約 10 分程度の時間を要することがわかる。次に温度センサーを校正するために市販の温度計測データロガー (カスタム社製 DL-8828) を用いて同時計測を行った時の温度

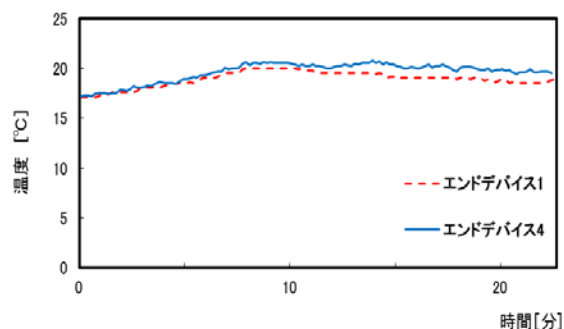


図5 温度センサーの応答実験

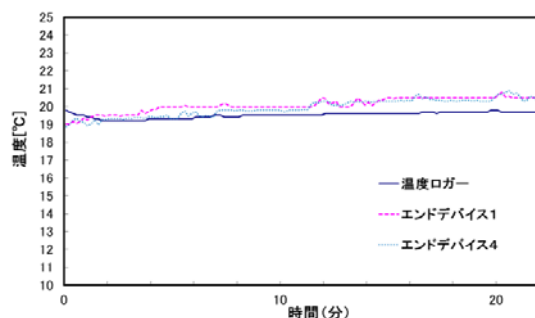


図6 温度センサーの校正

の計測結果を図6に示す。この図からわかるように IC 温度センサーは、比較正用のセンサーに比べ約 1°C 高くなるものの $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内の測定精度を持つことを確認した。

4. システムの稼働実験

センサーネットワークシステムが正常に動作するか確認するため、教室の前方の教卓の上に ED を設置してネットワークの稼働実験を行った。測定は1月に行ったためエアコンが暖房モードで 19°C の設定温度で動作している。稼働実験時間は、授業で①教室を使用していない時間帯、②教室を利用する時間帯、③放課後で学生がいない時間帯が含まれる時間帯を選択し約 3.5 時間、温度と照度を計測した。なお BS と教室に設置した ED との距離は直線距離で約 15 m である。

4. 4. 1 教室内の温度の測定結果

図7に計測した教室内の温度の測定結果を示す。時間帯①の移動教室で学生が不在になると室温が徐々に低下していることからエアコンが OFF の状態であり、時間帯②では学生が教室に入室しエアコンを ON したため徐々に室温が上昇していることが確認できる。時間帯③では、放課後で学生がいなくなり、エアコンを OFF したことにより室温が徐々に下降していることが読み取れる。

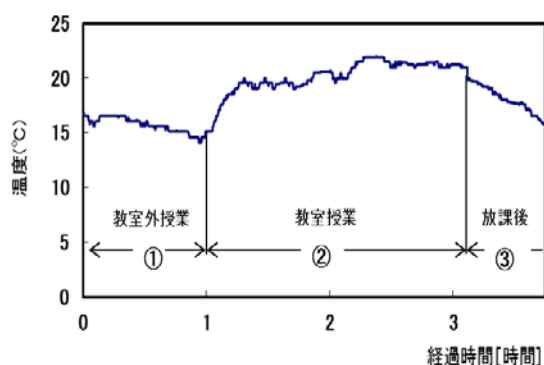


図7 教室内の温度センサーの変化

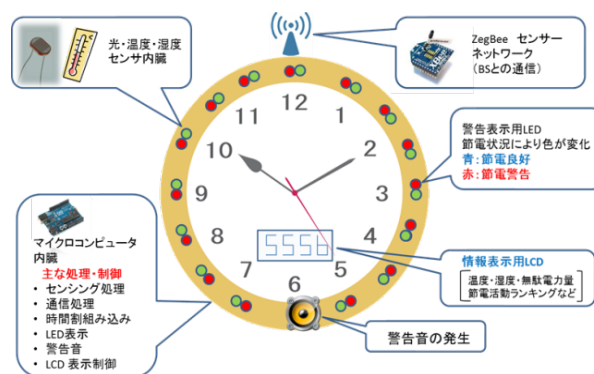


図9 省エネ支援クロック

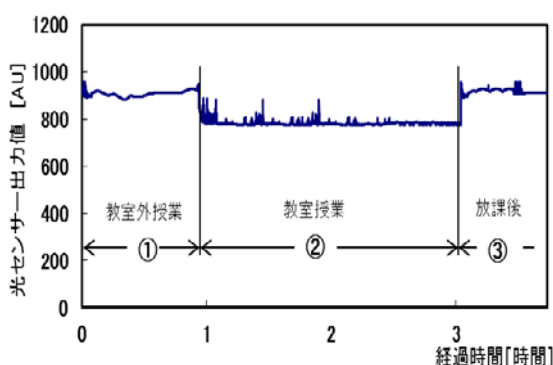


図8 教室の前方に設置した光センサーの出力信号

4. 4. 2 教室内の照度の測定結果

図8に教室内の照度の計測結果を示す。光センサーの出力値が高い領域は暗く、低い領域は明るいことを示す。学生が移動教室から教室に帰って時点(①と②の境界)で照明をONし、授業が終了し放課後学生が退出するとき(②と③の境界)にOFFしていることが読み取れる。以上の実験結果から、③以降で学生は、クーラと教室の照明を同時刻にOFFした判断できる。

5. End Deviceを組み込んだ省エネ支援時計 (Eco Assist Clock) の提案

学校での省エネ活動を支援するためには、電力の見える化を実現し、生徒(学生)に常に省エネ意識を持たせることが重要である。そこで、温度、照度センサーを組み込んだEDを時計内部に組み込んだ省エネ支援クロック(ECO CLOCK)を提案する。このクロックを教室前方の壁に掛けておき、常に学生が見える状態にしておく(図9参照)。提案するクロックの最大の特徴は、電力量をセンシングするためのセンサーを設置するための工事が不要で、クロックを掛けるだけで消費電力量の概略値をリアルタイムで計測することができることである。また、節

電活動を支援するためにLEDや音声による警告、累積無駄電力量、節電ランキング等の様々な情報を液晶画面上に表示する機能を持っている。表1にエコクロックを用いたセンサーネットワークによる省エネ活動支援を列挙する。

表1. エコクロックネットワークによる省エネ活動支援の一例

- 教室の照明やエアコンのON/OFF、温度設定状態をリアルタイムで把握できる。
- 放課後の集中制御されていない教室の照明、エアコンのチェックができる
- 時間割との連動によって、教室未使用時の照明、エアコンON時間から無駄電力量を推定する。
- 推定した無駄電力量から無駄電力料金、CO₂排出量を推定し、ログデータとして保存する。
- 節電活動レポート(無駄電力量、照明・エアコンの消し忘れの時間や曜日の傾向を記した)をHPにアップし節電意識を高める。
- 教室の人数に応じたエアコンの設定温度(推奨設定温度)にする。
- BSで記憶されているデータを教室に設置されたエコクロックに適宜表示する。
- BS時間割との連動により、照明のOFF、エアコンのOFFを促すためLEDの発色や音を発し警告する。
- 消費電力量の1日、週間、1か月、1年間のデータをグラフ表示する。
- クラスで省エネランキングを行う。

6. 結論と今後の課題

本研究では、学校における省エネ活動を支援するための「センサーネットワークを用いた省エネ活動支援システム」を提案した。システムは、温度と照度、湿度を計測するセンサーと無線デバイスを内蔵した時計を教室の前方に設置し、複数の教室と管理室をネットワークで結ぶことによりリアルタイムで教室で消費されるエネルギーの概略値をモニタリングすることができる。また、得られたデータから「消費電力量の見える化」を実現し、省エネ活動を支援することができる機能を持っている。研究では、提案するシステムのプロトタイプを試作し温度、照度がワイヤレスでモニタリングできることを確認した。

今後は、下記に示す事項について研究を進める予定である。

- センサーネットワークにより得られたデータを省エネ活動支援に活かす具体的なシステムを構築する。例えば、節電レポート、時間割との連動による無駄電力量の算出など。
- 実際にシステムを稼働させて、省エネ活動支援の効果について節電効果の定量的評価、アンケートによる節電意識の変化について調査する。
- 学校における環境教育として、緑のカーテンを作るために、ゴーヤやアサガオの栽培を支援するシステムを追加する。
 例えば、栽培日記、温度、自動灌水、日照時間（日の出、日の入り）肥料を与えるタイミングを管理するシステムなど。

参考文献

- [1] 三浦秀一：小学校における省エネルギー教育の実践と効果，第22回エネルギー・資源学会研究発表論文集，PP. 275-278，（2003）。
- [2] 小峯裕巳他：学校における省エネルギー実施要領，省エネルギー・省資源対策推進会議，（2007）
- [3] <http://www.n-techno.co.jp/smartclock/>
- [4] <https://www.ipros.jp/product/>
- [5] <http://www.digi.com/>