

PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた家電機器 の省エネルギー制御の提案

安部 恵一[†] 増井崇裕^{††} 峰野 博史^{†††} 水野 忠則^{†††}

本稿ではグリーンタップの関連技術として PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた家電機器の省エネルギーシステムの構築技術について提案する。この PLC/ZigBee 相互補完通信に使用するセンサノードに、今回、開発した電気消費特性取得モジュールと、学習赤外線リモコンモジュールを搭載させることで、設置場所を選ばず、導入・設置が容易にでき、家庭内で所有する既存家電機器並びに既存構造物に一切の改変なしで省エネルギーシステムを構築できる技術を提案する

A Proposal on a Home Energy Saving System Using PLC/ZigBee Complementary Overlay Sensor Networks

KEIICHI ABE[†], TAKAHIRO MASUI^{††},
HIROSHI MINENO^{†††} and TADANORI MIZUNO^{†††}

It proposes the construction technology of the energy conservation system of home electric appliances that use PLC/ZigBee Complementary Overlay Sensor Networks as a related technology of a green tap in this text.

In this text, it proposes the technology that can construct the energy conservation system without all modifications to a domestic existing consumer electronic and an existing structure by installing the module(Watt Meter and Infrared remote control) that we developed in the sensor node using PLC/ZigBee Complementary Overlay Sensor Networks

1. はじめに

2009年9月22日に開催された国連気候変動サミットで、日本の首相は二酸化炭素(CO₂)など温室効果ガスの排出を2020年までに1990年比25%削減目標を表明した。日本は第1次オイルショック時代から省エネルギー対策を講じ、他国よも省エネルギー活動を行ってきた分、非常に厳しい目標値であることが推測できる。この目標値に近づけるためには、工場やオフィスを構える企業だけの努力だけでは到達できる数字ではなく、各個人の家庭内における省エネルギー対策の強化も今後、望まれてくるものと予想される。家庭内の省エネルギー対策の手段としては、最新の省エネ家電に買い替えたり、現在注目を浴びている各種 HEMS (Home Energy Management System) 技術[1]の導入することなどが考えられる。前者の省エネ家電の買い替えで、ある程度の省エネを達成することができるが、新たなゴミが増えるとともにそのゴミの焼却により新たな CO₂ の発生も懸念される。また、金銭的に余裕のある人でないと買い替えを促進できないなどの問題がある。後者の HEMS 導入については、設置及び導入コストなどの問題が挙げられ、HEMS 普及の大きな障壁になっている[1]。例えば分電盤型 HEMS 技術の場合は新築やリフォーム時の設置は容易であるが、既存家屋への導入は取り替えコストの面からも困難である。

これらの問題点を解決する手段としてグリーンタップという技術が提案されている[2]。このグリーンタップでは、省電力型無線通信 ZigBee と家電機器の消費電力測定及び家電機器の大元の電源を ON/OFF 制御できる両機能を備えたインテリジェントノード、赤外線リモコンで家電機器を制御するためのリモコンノード、そして周囲環境をセンシングするセンサノードで構成された省エネ制御システムとなっている。システム導入時の設置方法はインテリジェントノード側にあるテーブルタップに家電機器側の電源コードを差し、周辺にリモコンノードとセンサノードを置くだけで、既存家電機器に対し一切改変をせずに設置できるものになっている。しかし、このグリーンタップでは ZigBee 通信のみを採用していることから既存家屋の構造及び無線 LAN などを使用した電波環境によっては、通信エリアを 100%カバーできるとは限らない。

著者のグループがこれまで研究開発を進めてきた PLC/ZigBee 相互補完通信[3]を用いることで、通信ネットワークを新たに敷設するのが困難だった既存構造物において

[†]静岡大学創造科学大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

^{††}静岡大学大学院情報学研究所
Graduate School of Information Shizuoka University

^{†††}静岡大学大学院情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

も通信が可能になるものと考えられる[3]. この PLC/ZigBee 相互補完通信技術とグリーンタップを組合せることにより、HEMS 技術普及の障壁となっていた全ての既存家屋への導入が容易となり、各家庭で異なる生活環境への適応的導入が可能になるものと考えられる。

従って、本稿ではグリーンタップの関連技術として PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた家電機器の省エネルギーシステムの構築技術について提案する。この PLC/ZigBee 相互補完通信に使用するセンサノード（温度センサ・人検知センサ等を搭載）に、今回、開発した家庭内で所有する家電機器等の消費電力特性（有効電力、皮相電力、力率など）を測定できる電気消費特性取得モジュールと、家電機器等の赤外線リモコンデータを数十件以上登録可能な学習赤外線リモコンモジュールを搭載させることで、設置場所を選ばず、導入・設置が容易にでき、家庭内で所有する既存家電機器並びに既存構造物に一切の改変なしで省エネルギーシステムを構築できる技術を提案するとともに、実際のプロトタイプの開発も行ったのでその結果も報告する。

2. 関連技術と課題

2.1 従来の HEMS 技術

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は 2001 年から 2003 年度までに阪神、広島、関東、香川の 4 地区で、HEMS 技術導入前後のモニター宅の省エネルギー効果等を分析評価する実証実験を実施した[4]。その結果、表示系 HEMS 技術による間接制御によっては約 5.2%~14.6%、制御系 HEMS 技術による自動制御によっては約 0.6%~3.3%の省エネルギー効果を得られることが示されている。この時点での HEMS 技術実用化研究はエネルギー総量の提示・前月との比較・料金化等によって省エネ行動を喚起するに止まっており、自動制御では対象機器はエアコンや照明などの家電製品の待機電力の一部に限定されており、その制御方法も最適とはいえない。また、分電盤型制御系 HEMS 技術の導入にあたっては、新築やリフォーム時の設置工事は容易であるが、既存家屋への導入は取り替えコストの面からも困難である。

2.2 グリーンタップ

本稿に近い関連技術として NEC システムテクノロジーの岩田氏が提案する「グリーンタップ」[2]があるのでご紹介する。このグリーンタップは、ZigBee による小型省電力無線環境センサと CPU 内蔵電源タップからなる簡易型 HEMS である。電源タップをコンセントに接続し、周囲に小型センサノードを配置するだけの設置容易性と、電源タップに接続した全ての家電を制御できるシステムになっている。また、小型センサノードに搭載された周囲環境をセンシング（温湿度、照度、人感、風速センサ等）するセンサにより、利用状況に応じて制御する快適性を備えた機器の省エネ制御の実

現を目指したものになっている。このグリーンタップのネットワーク構成は、「センサノード」、「インテリジェントタップ」、「リモコンノード」の 3 つからなる。「リモコンノード」は本稿と同じように家電機器を赤外線リモコンで制御する内容になっているが、所有の家電機器の赤外線リモコンデータを学習するような機能を有していない。また、家電の消費電力測定を行う機能とリレー回路により家電機器の大元の電源ラインを ON/OFF 制御する両機能を備えた「インテリジェントタップ」と周囲環境をセンシングするセンサノードが個別の構成になっていることからシステム導入にあたりコスト高になるものと推測される。

このグリーンタップでは「設置・維持コスト」、「制御対象の制限」、「制御方法限定」といった従来の HEMS 技術普及の課題解決をコンセプトとしている。「設置・維持コスト」の課題解決として、ZigBee 通信を用いているので、設置場所を選ばず、設置の容易性を実現することでコストダウンを行っているが、既存家屋の構造及び無線 LAN などを使用した電波環境によっては、通信エリアを 100%カバーできるとは限らず、高密度にノードを設置する必要がある場合によって生じることも考えられる。従って、本稿が提案する電力線通信技術 PLC と省電力無線通信規格 ZigBee を併用した通信を用いることで、No New Wire で既存構造物内に低ノード密度かつ通信到達率の高いセンサネットワークを構築できるものと考えられる。

3. PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた家電機器の省エネルギー制御システムの提案

3.1 本システムのコンセプト

従来の分電盤型 HEMS 技術の導入にあたっては、新築やリフォーム時は設置が容易であるが、既存家屋においては、設置コスト面から困難である[1]。このため本稿のコンセプトの一つとして既存構造物においても設置の容易性を目指すため、省電力無線通信規格 ZigBee 通信と電力線通信技術 PLC を併用した通信方式[2]を採用することで、所有の家電機器を改造せず、No New Wire で、低密度ノードで省エネルギー制御ができるシステムを提案する（図 1）。

設置方法は、グリーンタップと同様に電気消費特性取得モジュールを搭載したセンサノード（以降、ワットメータノードと呼ぶ）にあるテーブルタップ（最大定格 1500W）に家電機器側の電源コードを差し、リモコン機能搭載の家電機器であれば、学習赤外線リモコンモジュール搭載のセンサノード（以降、リモコンノードと呼ぶ）に家電機器の赤外線リモコンデータを学習させ、学習したリモコンノードを家電機器周辺に置くだけで設置作業は完了する。この為、既存家屋に対する大きな設置工事は不要であり、従来の分電盤型 HEMS 技術と比べて導入時のコストを大幅にダウンさせることができる。

本技術では、家電機器の操作方法はリモコンノードに登録した赤外線データを用いて行うシステムとしているので、制御対象となる家電機器はレガシー家電機器から最新の省エネ家電機器まで幅広いが、原則として赤外線リモコンで操作可能な家電機器に限るコンセプトとする。

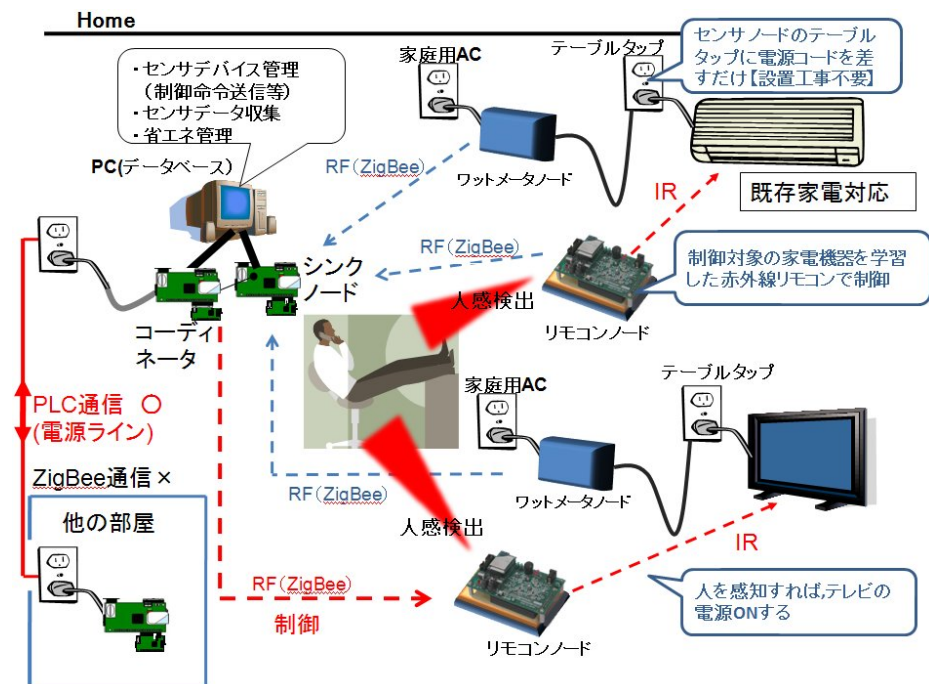


図1 PLC/ZigBee 相互補完通信による省エネルギー制御システムの概要

3.2 制御方式

(1) 家電機器の省エネ制御

表1は省エネルギーセンサーによる各種家電機器の待機電力量の調査結果をまとめたものである[5]。この表内の年間電気料金の算出方法は、料金単価20円で、24時間待機電力で使用したもので算出している。このデータを見ると液晶テレビの待機電力は0.1Wと古いCRTテレビと比べても大きな省エネ効果があることが分かる。液晶テレビ以外の家電機器では待機電力が大きく、ここに示す家電機器の年間の電気料金を合計しただけでも約4,000円位にもなる。この待機電力をいかに省くかが課題とい

える。本システムでは、家電機器の待機電力を省くため、各ノードに搭載された人感センサーとリモコンノードの両方を用いた解決方法を提案する。

各ノードに搭載された人感センサーで部屋に人がいないことを検知するとテレビ等の家電機器の電源をOFFにし、人が部屋に入ってきたら電源をONするような無駄な電気を省く制御システムを基本とする。

リモコン操作による電源のON/OFF制御では、主電源だけがOFFになるだけで消費電力が完全に0Wにならないものが大半であり、大元の電源ラインをリレー回路などでOFFすることで、待機電力を完全に0Wすることができるが、大半の家電機器は一度、大元の電源ラインをOFFにしてしまうと再度電源ラインをONしても、赤外線リモコン操作で電源ONしない限り主電源が入らない設計になっている。

従って、人検知した場合はリレー回路で大元の電源をONした後、赤外線リモコンで主電源をONする二段階制御が必要と考えられることから、本技術では電源のON/OFF制御を行うリレー回路と赤外線リモコンとを併用した家電機器の電源ON制御方式を採用する

大元の電源をON/OFF制御する回路は、本システムのワットメータノード側に設けているので、このノード側にあるテーブルタップ（最大定格1500W）に家電機器の電源コードを差すだけで、家電機器の大元の電源をON/OFF制御できるシステムにしていることから、家電機器自体の改造は一切不要にできる。

表1 家電機器の待機電力について

| 機器名 | 待機電力[W] | 年間電気代(24時間使用時) |
|--------|---------|----------------|
| CRTテレビ | 1.5 | 268 |
| ビデオ | 6.9 | 1,232 |
| CDプレーヤ | 1.2 | 216 |
| CDラジカセ | 3.5 | 600 |
| エアコン | 4.6 | 792 |
| パソコン | 3.5 | 600 |
| 液晶テレビ | 0.1 | 18 |
| 合計 | 21.3 | 3,726 |

(2) 快適性を追求したインテリジェント省エネ制御

人間生活工学研究センターの報告[1]によると省エネ制御を行う上では、ユーザの持続性の維持が問題となる。自動で省エネ制御を行う場合、利用者が不快や負担を感じさせないように省エネ制御することが HEMS 普及において重要なポイントになると考えられる。

快適度の定量化に関して、PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) などがあり、これらを参考に人体の熱的快適性評価指標を検討することで、人に優しい制御につなげていけると考える。

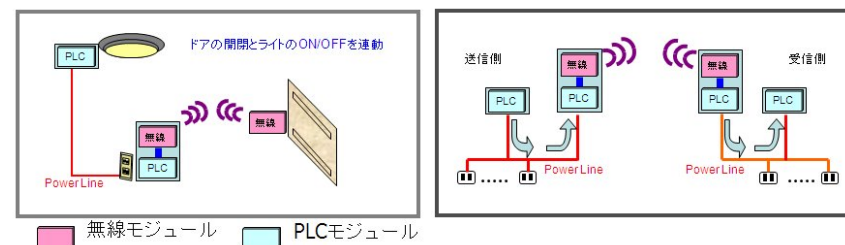
従って、本システムで省エネ制御を行うには、センサノードに搭載された各種センサ(温度センサ・照度センサ・人感センサ等)より居住環境をセンシングし、人の快適性評価指標(PMV, PPD等)をリアルタイムで算出することで、エアコンなどの家電機器に対しフィードバック制御させることで、快適性を維持した省エネ制御を目指す。

(3) i-fan 技術対応の空調制御

本技術は家の分電盤ブレーカにワットメータノードを取り付け、家庭内の全消費電力を測定し、ある一定の消費電流値に達すると使用中のエアコンなどを制御ルールに基づいて、設定温度を強制的に一定の温度(例えば約 5℃)まで上昇させるとともにサキュレータ(ファン)等を回して、温度変更前と同じ冷却効果を保つ制御を行ったり、部屋内のパーティション等の障害物が存在する場所においても部屋全体が一定の温度になるようサキュレータ(ファン)等を制御し、空調制御を行う i-fan 技術にも対応させる予定である[6]。

3.3 その他の付加機能

図1中のワットメータノードは、センサノードに電気消費特性取得モジュールを搭載したものである。このワットメータノードを用いることにより家庭内の全ての家電機器の使用状況データを時系列に収集することにより、人の生活行動をモニタリングし、分析することが容易になる。現在と過去の時系列での家電機器等の電力消費状況のデータと差分をとり、データ分析等を行うことで、ユーザの生活行動の見守りを行うシステム[1]として応用できる。例えば、少子化高齢化社会を迎えた昨今、高齢者の普段の生活行動を見守りつつ緊急の場合に遠方の親戚等にメールで通報するといった機能を付加することは実現的に可能であり、HEMS 普及の促進においては、省エネ制御+αの技術が重要であることから[1]、本技術の付加機能として採用したいと考えている。



APP層とNWK層の中間に位置し、下位層に非依存



図2 PLC/ZigBee 相互補完通信プロトコル

4. プロトタイプ開発

4.1 PLC/ZigBee 相互補完通信

著者らは、電力線通信技術 PLC と省電力無線通信規格 ZigBee を併用することで、これまでに、通信ネットワークを新たに構築するのが困難だった既存構造物などにおいて、通信可能なエリアを相互に補完し合うように自律的にマルチチャネルネットワークを形成し、どこで何が生じているかの把握やデータの蓄積、リモート管理や自動制御に対応することができる。この技術により、No New Wire で既存構造物内に低ノード密度かつ高通信到達率のセンサネットワークを構築することができる(図2)。

PLC/ZigBee 相互補完通信の構成要素を次に紹介する。(図3)

- (1) コーディネータ (Z2P アプリボード+中速 PLC ボード)
 PLC と ZigBee の両方の通信機能を搭載し、ネットワークの制御を行う。
- (2) シンクノード (Z2P アプリボード+中速 PLC ボード)
 PLC と ZigBee の両方の通信機能を搭載し、各センサ等のデータを収集するノード。
- (3) ルータ
 ネットワークの中継を行うノードである。

(4) センサノード (センサボード)

センサノードは家電の周囲環境を測定するため、基本的に人感・温度・照度センサを標準装備しているが、今回使用したセンサノードには電気消費特性取得モジュールか、学習赤外線リモコンモジュールの何れか一つを搭載したものを使用した。搭載したモジュールによって以下のようにセンサノードを呼ぶこととした。

- ・ワットメータノード・・・電気消費特性取得モジュール搭載のセンサノードをいう。
- ・リモコンノード・・・学習赤外線リモコンモジュール搭載のセンサノードをいう。

(5) データベース (PostgreSQL を使用)

シンクノードに送られてきた各センサのデータを収集・保存するパソコンである。

(6) ゲートウェイ

コーディネータ・シンクノード・データベースが接続されており、これらのアクセスはゲートウェイで行う。

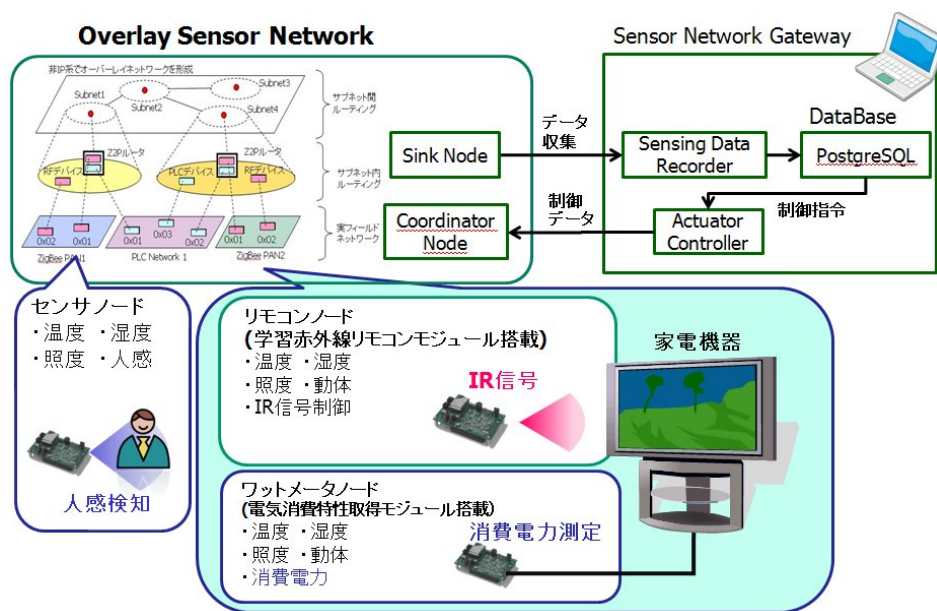


図3 PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた省エネ制御システムのイメージ図

4.2 電気消費特性取得モジュール

PLC/ZigBee 相互補完によるユビキタスネットワークを用いて、家電機器等の消費電力を測定するため電気消費特性取得モジュールを開発したので、その概要について説明する。

この電気消費特性取得モジュールは、著者らが開発したセンサノード基板に容易に搭載でき、家電の消費電力を表す有効電力を始めとする、消費電流、力率、無効電力、積算電力量など各種電気特性を測定できる仕様になっている (図4)。

家電機器の交流電圧測定は、変圧器 (AC100⇒AC5V) を介して、マイコンで処理しやすい電圧レベルに変換することで測定している。また、消費電流の測定には、高精度リニア特性をもつ CT センサ (CTL-10-CLS/U_RD 製) で測定を行い、CT センサの両端子に接続する電気抵抗値 (本回路では 1kΩ を使用) を基板搭載のリレーにより、1 倍及び 1/2 倍の抵抗値に変更することで、測定レンジを 10mA~20A の範囲に広げられるよう工夫した (図5)。

| <電気消費特性取得モジュールの仕様> | |
|--------------------------------------|---|
| ・基板のサイズ: | 115mm×155mm以内 |
| ・測定内容: | 有効電力,無効電力,皮相電力,力率,積算電力量,消費電流,電源周波数など |
| ・測定範囲: | 有効電力(0~2kW) 消費電流(10mA~20A) 電源周波数(0~255Hz) |
| ・測定精度: | ±2%以内 |
| ・インターフェース: | UART(MIL20Pコネクタで接続) |
| ※通信プロトコルはマイコンのファームウェアを変更すれば柔軟に変更が可能。 | |

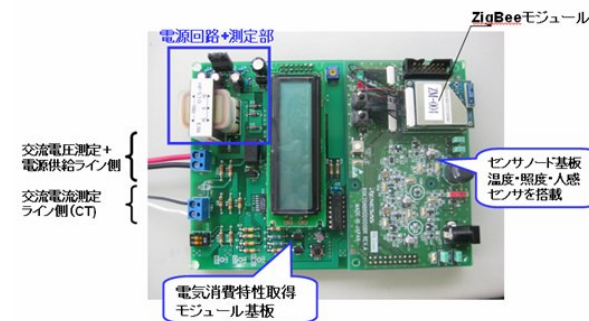


図4 電気消費特性取得モジュールの仕様及び試作モジュール

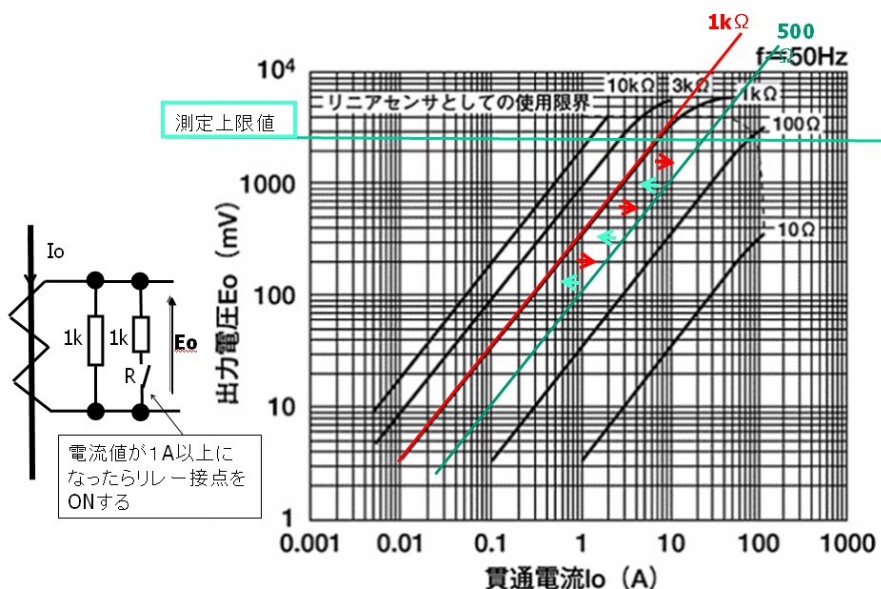


図5 CTセンサによる測定レンジ拡大方法

センサノード基板搭載の ZigBee モジュールと電気消費特性取得モジュールとのインターフェースは UART 通信で接続でき、電気消費特性取得モジュール搭載の MCU (型式 PIC16F877) のファームウェアを変更するだけで、上位のデータベース PC との通信プロトコルや外部ハードウェアの制御内容を柔軟に変更できる。また、このモジュールは、電池のメンテナンスフリーを実現するため、家庭用 AC コンセントから給電するデザインにしている。

今回のプロトタイプでは、電気消費特性取得モジュール、センサノード基板、電源リレーの ON/OFF 制御回路を組合せた構成で試作開発を行った (図 6)。

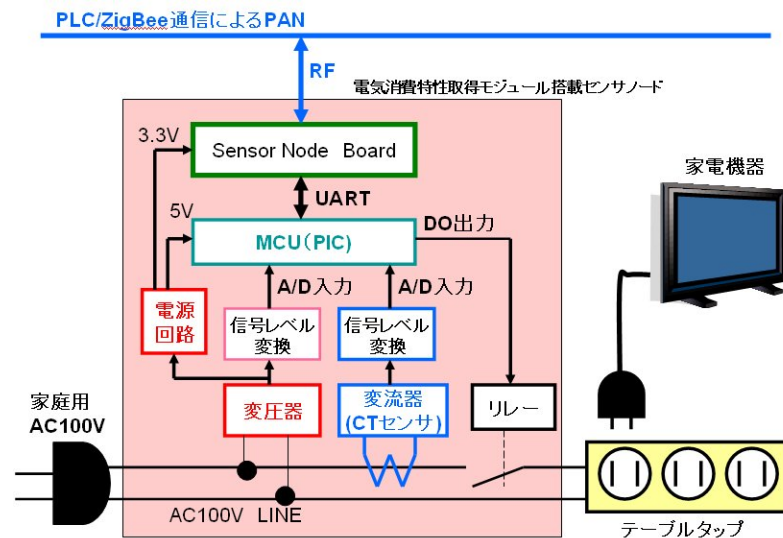


図6 電気消費特性取得モジュール搭載センサノード概要図

4.3 学習赤外線リモコンモジュール

PLC/ZigBee 相互補完によるユビキタスネットワークにより家電を操作できるようにするため「学習赤外線リモコンモジュール」を開発したので、その概要について説明する。

このモジュールでは、家電機器の赤外線リモコンデータを 10 件以上記録できるよう専用の MCU (型式 PIC16F84A) と外付け EEPROM メモリ IC を搭載した回路構成としている。(図 7)

赤外線リモコン 1 件分のデータは約 80 バイト分を消費するが、今回、開発したモジュール回路では、8k バイトの EEPROM メモリを用いたことから、100 件以上のデータを登録することが可能である。また、この EEPROM メモリの先頭アドレスには、登録した家電機器のカテゴリ番号を登録することにより、上位のデータベース PC から各センサノードが管理している家電の種類を識別することができる。

このモジュールを使ったセンサノードの設置作業方法は、家電機器の赤外線リモコンデータ及び家電機器のカテゴリ番号を、予め定めた制御ルールに従って、専用ターミナル等を使ってこのモジュールに登録する。このあと、このモジュールをセンサノード基板に接続し、登録した家電機器の近くに置くだけで、設置作業自体は容易に完了できる。

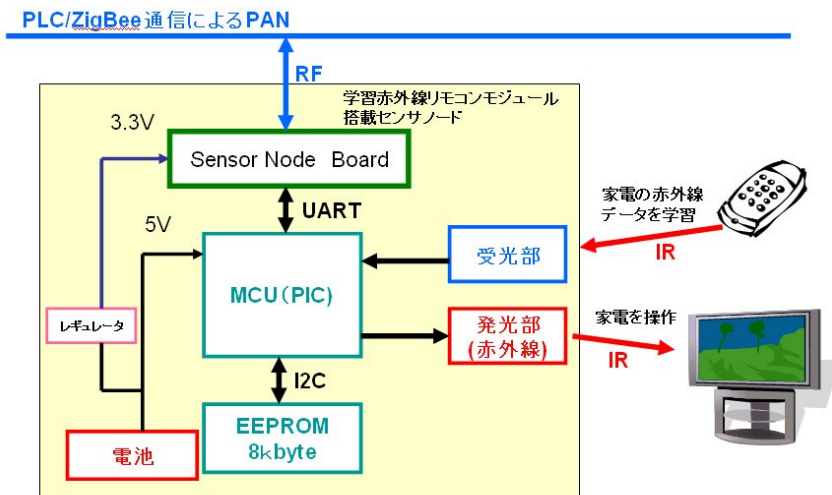


図7 学習赤外線リモコンモジュール搭載センサノードの概要図

5. 電気消費特性モジュールのプロトタイプ動作確認

今回、開発した電気消費特性モジュールの測定値がどの程度正確なのか 0.5 級電気指示計器（交流電流計、交流電力計等）との比較測定を行った。負荷には市販の 100W 形白熱電球（型式 LW100V90W /HITACHI 製）を負荷とし、スライダックを用いて、交流電圧を 0～100V 範囲で、10V ステップで白熱電球の消費電力及び消費電流の測定を行い、0.5 級電気指示計器を真値としたときの誤差率を算出したものを図 8 に示す。

今回、使用した電流計のレンジは 1 A で、電力計のレンジは 120W を使用したので、指示計器の許容誤差は電流測定では±5mA、電力測定では±0.6W の誤差となる。図 8 の実験結果を見ると、白熱電球の電流測定及び電力測定結果では、測定誤差率は±2% 以内に収まっている。

次に異なる負荷として、白熱電球以外にヒートガン(ドライヤ)やノートパソコン(AC アダプタ電源)にしたときの消費電流及び消費電力を測定値した(表 2)。

この結果では、各被測定物の消費電流の測定値は±2%以内に収まっているが、電力測定においては電流測定よりも±3%以内と誤差率は大きくなっているが、これは電力計がもつ許容誤差分(±0.6W)を考えるとそれ程大きな測定誤差ではないものと考え

られる。

また、本モジュールを用いた力率測定においては予想通り、白熱電球及びドライヤは 90%以上の高力率になり、ノートパソコンはこれらの機器よりも低い値となった。

白熱電球及びドライヤは等価回路にして考えると純抵抗成分だけの回路になるので力率は 100%近い値を示すことになるが、これに対しノートパソコンは使用している AC アダプタの電源回路がコンデンサ入力型になっているため、力率が悪くなることはよく知られている。つまり、この結果から本モジュールの力率測定においては力率の高低評価ができるものと考えられる。

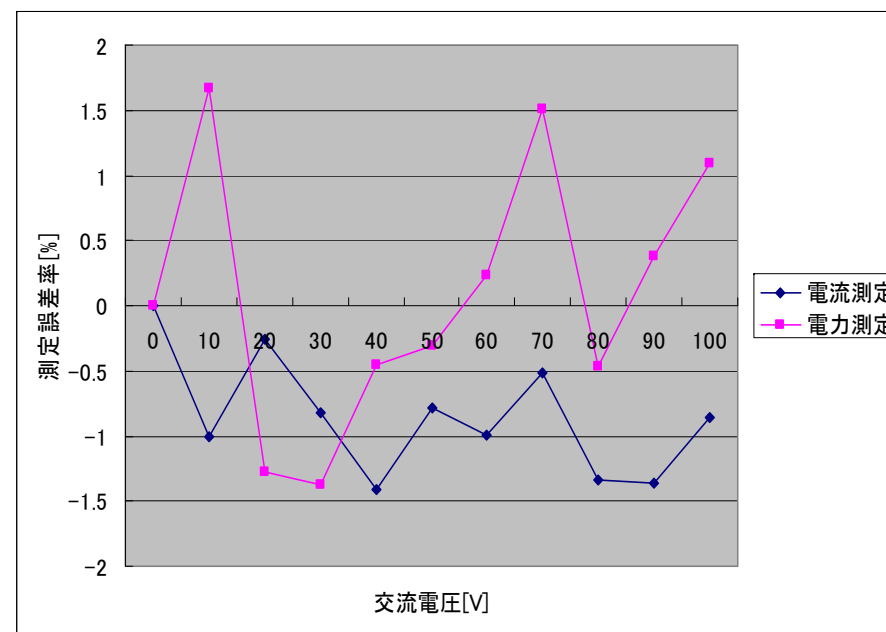


図8 白熱電球を負荷とした場合の電気消費特性取得モジュールの測定誤差 (0.5 級電気指示計器を基準としたグラフ)

表 2 電気消費特性取得モジュールの被測定機器の測定誤差率 (AC100V 一定)

| 被測定物 | 誤差率[%] | | | | 力率 [%] |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 電力測定 | | 電流測定 | | |
| | 誤差[W] | 誤差率[%] | 誤差[mA] | 誤差率[%] | |
| ノートパソコン (dynabook Satellite K16/TOSHIBA製) | -0.80 | -2.86 | 0.00 | 0.00 | 78 |
| ドライヤ【COLDモード】 (No883-1 白光製) | 1.00 | 2.78 | 5.00 | 1.52 | 100 |
| 白熱電球 (LW100V90W HITACHI製) | 1.00 | 1.09 | -8.00 | -0.86 | 92 |

以上のことから、本モジュールでは、0.5 級電気指示計器を基準とした場合、消費電流の測定誤差率は±2%以内で、消費電力測定では±3%以内で測定ができることが分かった。また、力率測定については、現在のところの程度の測定精度があるか分からないが、この測定により被測定物の力率値を 2 値的に高低評価することができることから、ワットノードのテーブルタップに接続された家電機器の力率の良し悪しを判断することができるものと考えられる。

6. おわりに

本稿ではグリーンタップの関連技術として PLC/ZigBee 相互補完通信を用いた家電機器の省エネルギーシステムの構築技術について提案を行うとともに、実際に開発を行ったプロトタイプ (電気消費特性取得モジュール及び赤外線リモコンモジュール) の概要並び動作確認について紹介した。電気消費特性モジュールの消費電力及び消費電流の測定誤差率は、0.5 級電気指示計器を基準とした場合、消費電流測定は±2%以内で、消費電力測定は±3%以内になることが分かった。

一方の学習赤外線リモコンモジュールについては、現在、プロトタイプは完成し、実際に扇風機の赤外線リモコンデータを学習させ、動作確認はできているが、全ての家電機器に対し、どの程度、適用できるかは確認していないので、今後はリモコンノードのプロトタイプの動作確認及び、本システム導入による実証実験を行っていく予定である。

参考文献

- [1] (社) 人間生活工学研究センター: "平成 18 年—19 年度成果報告書エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー使用合理化技術戦略的開発 (F S 事業)/人の好みや行動パターンに応じた HEMS/BEMS 技術の研究開発", 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2007).
- [2] 岩田真琴, 甲斐正義, 島津秀雄: "省電力プラットフォーム「グリーンタップ」の提案①", 情報処理学会第 71 回全国大会, 6D-3(2009).
- [3] 峰野博史, 水野忠則: "オーバレイセンサネットワークによる適応 BEMS/HEMS の実現に向けて", 情報処理学会研究報告, Vol.2009-DPS-139, No.6,(2009).
- [4] 住環境計画研究所: "平成 17 年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書", 新エネルギー・産業総合開発機構(2006).
- [5] 省エネルギーセンター:平成 18 年度待機消費電力調査報告書
<http://www.eccj.or.jp/standby/06/index.html>
- [6] 増井崇裕, 竹中友哉, 峰野博史, 水野忠則: "センサネットワークを利用した空調制御システムの検討", 情報処理学会第 71 回全国大会(2009).