

2 ネットワークを用いた電力情報収集システムの開発（第1報）

村河亮利，藤原義也，岩谷 稔，相原 茂*，森合雅朗**

A monitoring system for electric power over Power Line Communication (1st report)

MURAKAWA Akitoshi, FUJIWARA Yoshinari, IWATANI Minoru, AIHARA Shigeru and MORIAI Masaki

To save electric power, it is important to switch off unused electrical apparatus respectively as well as to use efficient electric equipments. Therefore, it is necessary to follow amount of electricity of each machine. So we develop a monitoring system of electric power consumption.

This system consists of monitoring terminals of power consumption and a server. The monitoring terminal measures current and voltage, then calculates electric power, which is transmitted to the server over PLC (Power Line Communication). The server collects data (electricity, time) on each electrical apparatus and shows the charts of electricity on web browser.

キーワード：ネットワーク，電力監視，省電力，電力線通信

1 緒 言

省電力化には、消費電力の少ない電気機器の導入と並んで、必要のない電気機器の電源を切ることが重要であり、このためには各電気機器の消費電力を個別に把握する必要がある。しかしながら、電力監視・制御装置は既にいくつか提案されているものの広く普及するには至っていない。これは、この種の製品が提案されてから日が浅く、ユーザーニーズに即した機能の絞込みが十分でないため、機能は豊富であるが高価格なことが原因である。

そこで本研究では、事業所の省電力化を目的に、必要とされる機能のみに絞り、低価格で多数の電気機器を一元管理できるネットワーク構成とした電力情報収集システムを開発する。

2 電力情報収集システム

本システム（図1）は、電力監視端末とサーバ機から構成される。電力監視端末では、商用電源電圧（以下、商用電圧）の計測及び電流検出部で負荷の電流計測を行う。計測後、電圧・電流及び位相差を基に電力を算出し、電力線を通じてサーバ機に消費電力情報を送信する。通信方式は、新規配線の不要な電力線通信方式（PLC）を用いた。

一方、サーバ機は、各電力監視端末から収集した電

力情報をグラフ表示する機能及び消費電力が契約電力を超過した場合にサーバで切断が必要と判断された電気機器に対して切断促進表示する機能を搭載する。また、電力監視端末には、遠隔で電源を遮断する機能は搭載していない。これは、電力監視端末を低価格化、低消費電力化するためと、コンピュータなど遠隔遮断に適さない機器も多いとの判断による。

本システムを活用することにより、契約電力超過への対応や電気機器毎の消費電力の把握が可能となり、省電力化が期待できる。

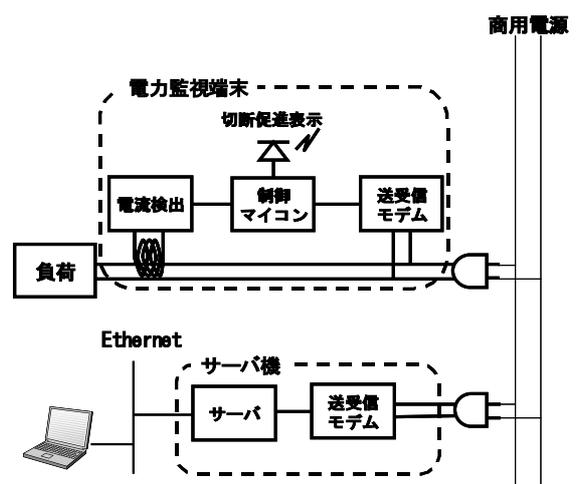


図1 システムブロック

*テンパール工業(株)，**(株)システムアートウェア

3 電力監視端末

電力は電圧と電流と力率の積である。商用電圧の基本周波数を60Hz（あるいは50Hz）とした場合、三角関数の直交性により、電流の60Hz以外の周波数成分による電力の平均値は0となる。よって、商用電圧・電流共に60Hz成分の大きさの積及び力率を算出するための位相差が必要となる。

本システムでは、測定電力の最小単位を1W、消費電力の計測誤差目標値を10%以下、最大検出電力目標は2kW（電流20A相当）とした。

3.1 電流検出回路

電流波形検出に電流トランス（以下、CT）を用いた。そのため、商用電圧100V、力率1の場合、検出電流値は1mA以上の精度が必要である。CTの電流電圧感度（1mV/1mA）、A/D変換器の分解能（8bit）を勘案し、増幅率を最大感度時で約50（34dB）の可変方式とした。また、ノイズ除去のため、フィルタ回路（60Hzから、12dB/octにて減衰）を入れた。また、増幅に単電源のオペアンプを用いたため、プリアンプにて電圧を上げている。



図2 電流検出増幅回路

上記を考慮した回路（図2）を作製し、特性評価（図3）を行った。このグラフより、設計どおり60Hz付近から12dB/octで減衰している。増幅率の実測値はフィルタや回路素子による減衰により、60Hzの付近で約43倍（33dB）となっている。

また、60Hzでの入出力間の位相差は約123度であった。

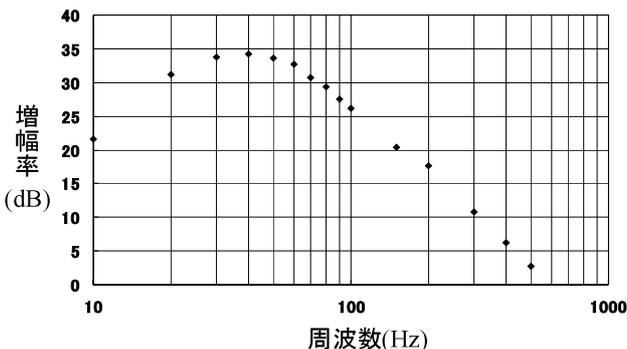


図3 増幅回路の周波数特性

3.2 制御マイコンエミュレータ

電力監視端末に用いる制御マイコンに必要な仕様を検討するため、信号処理ソフトウェアのLabVIEW（National Instruments社製）でエミュレータ（図4）を作成し、制御コンピュータで必要なA/D変換精度と、電力計算部のアルゴリズムを検証した。

A/D変換の基準電圧を3.3Vとし、分解能は8bitとしたため、A/D変換の分解能は約13mVとなる。3.1より電流検出増幅回路による1mA入力時の測定電圧値は43mVであり、実測に十分な精度である。

商用電源は60Hzであるため、標本化定理よりサンプリング周波数は120Hz以上必要である。そこで、今回サンプリング周波数を960Hz、基本周波数を20Hzとなるよう商用電圧、電流波形を収集した。

サンプリングしたデータを基に、フーリエ変換を利用して60Hzの周波数成分を抽出する。測定波形（サンプル数：48点）に対する演算回数は、あらかじめ演算した正弦・余弦値を用いた場合、積99回、和95回、除1回、三角関数1回、平方根1回の計197回で実効値と位相が求まり、制御マイコンの性能で十分に演算可能である。

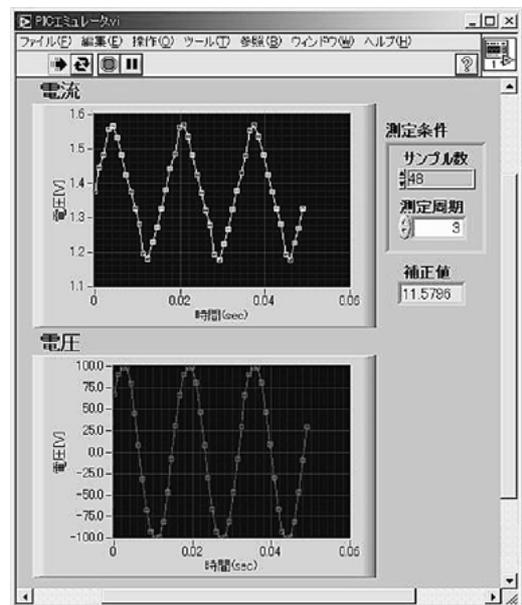


図4 エミュレータ確認画面

3.3 電力計算

増幅回路、CT等で生じる位相を補正考慮した電流波形と商用電圧から消費電力を演算した。この値と電力計による実測値との関係を図5に示す。実測値が1～60Wで相関係数 $r=0.9998$ であり、ほぼ線形性があり、負荷の電力計測が可能である。

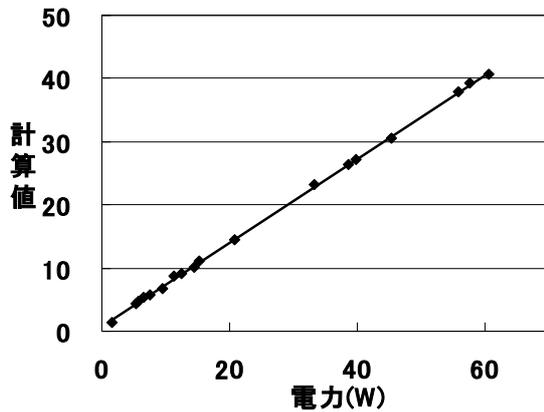


図5 電力相関

3.4 制御マイコン選定

3.2, 3.3より, 本システムに必要な制御マイコンの仕様としては, 分解能: 8 bit でサンプリング速度: 1 MHz 以上の A/D 変換機能 (2 ch 以上) を備え, 電力線通信モデムを制御するための非同期通信を行えることが必要である。そこで, 以上の機能を備え, さらに, 低電力動作可能な制御マイコンである PIC16F88 (マイクロチップ社製) を採用した。

PIC16F88はマイクロチップ社製 PIC の中でも低電力動作を特徴とし, スリープ時に $0.1\mu\text{A}$ ($V_{DD}=3\text{V}$) と待機時の消費電力も少ない。

4 電力線通信モデム

本研究で利用した電力線通信モデム IT800D (ITRAN 社製) は OSI 階層モデルの物理層とデータリンク層に相当し, ホストからシリアル通信 (以下, UART) により制御可能となっている。ネットワーク層は最大で 1,023 の論理ネットワークをサポートし, ネットワークあたりのノード数は最大 2,047 である。電力線通信の通信速度は 1.25kbps - 7.5kbps で, 送信先ノードが受信応答を返す「Acknowledged Service」と応答を返さない「Repetitive Unacknowledged Service」を利用できる。本システムでは「Acknowledged Service」を用いた。

5 電力情報収集サーバ

電力監視端末で計測した電力データを電力線通信にて収集するサーバ機のハードウェアは(株)アットマークテクノの Armadillo-J (表 1) を用いた。

Armadillo-J はサイズが $79.0 \times 45.0 \times 26.5\text{mm}$ と小型でありながら Ethernet と UART インターフェイスを持ち, 消費電力も 1.2W と小さい。

表 1 電力情報収集サーバ仕様

CPU	ARM 7 (55MHz)
SDRAM	8 MB
FLASH	2 MB
LAN	10BaseT/100BaseTx
シリアルポート	1 チャンネル (UART)
OS	uClinux
Web サーバ	thttpd
消費電力	1.2W

また, 本システムでは Web サーバである thttpd¹⁾ により, パソコンなどの Web ブラウザからサーバ設定変更及び電力情報の収集結果を閲覧可能とした。thttpd は Apache に比べてプログラムサイズが小さく軽量であり, CGI やユーザ認証も利用可能である。

5.1 サーバ開発環境

ホスト端末に Debian GNU/Linux をインストールし, ターゲット OS 用のクロスコンパイル環境を構築した。ハードウェアの違いを考慮してソースコードを記述すれば, 同じソースコードでホスト側でもターゲット側でもプログラムが動作するため, デバッグ情報の得やすいホスト端末でデバッグを行い, ターゲット側で動作確認をしながら開発を進めた。

5.2 通信エミュレータ開発

電力情報収集サーバの動作テストを行うため, 電力線通信モデム及び電力監視端末に相当するエミュレータを作成し, サーバの開発効率の改善を図った。このエミュレータにより, 通信データの確認も容易に行えデバッグに利用できるだけでなく, 実際の利用形態に近い動作テストが行える。

また, 制御マイコンや電力通信モデムが正常動作をする場合の動作テストだけでなく, 通信エラーや異常動作を想定したテストも任意に行えるためサーバプログラムのエラー処理部の動作確認にも有用である。

エミュレータ開発に用いた LabVIEW は計測制御に特化したプログラミング言語で, 優れたデータ収録・解析機能によりソフトウェア開発を短期間で行える。エミュレータの開発には改良なども含めて 2 週間程度必要であったが, サーバプログラムのデバッグを効率よく行え, 全体的には開発期間を短縮できた。

5.3 電力線通信実験

電力情報収集サーバに電力線通信モデムの制御コマンドを実装し, エミュレータを用い電力線通信の動作

テストを行った。電力線通信モデムの「Acknowledged Service」は通信相手の確認のみ行うので、送信データが確実に到達したかは判断できない。そこで、タイムアウトによる再送処理と送信する電力情報にシリアル値を付加し、通信エラー・重複受信に対応させ、正常動作を確認した。

5.4 測定結果表示インターフェイス

電力監視端末より収集した電力情報を Web ブラウザに表示するため、Java により電力監視端末ごとの電力を時系列で表示するクラスを作成した (図 6)。表示対象の監視端末は右上のリストボックスにより選択でき (図 6 ※ 1)、横軸・縦軸のスケールはユーザが自由に設定可能とした (図 6 ※ 2)。

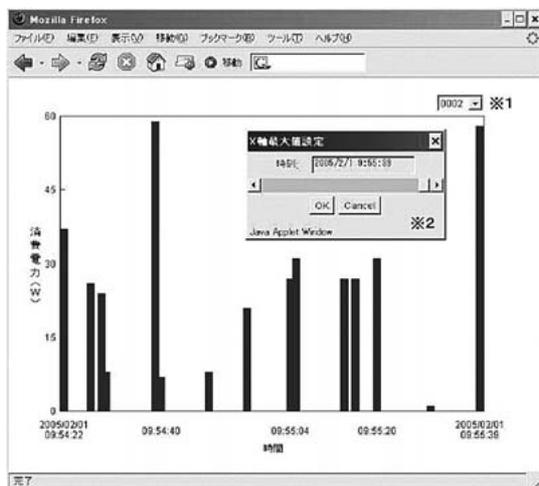


図 6 電力情報表示例

5.5 電力線通信を用いたシステム検証

電流検出回路 (3.1) と制御マイコンエミュレータ (3.2) により、パソコンや外付けハードディスクなどの電子機器の消費電力を計測し、電力監視端末エミ

ュレータ (5.2) を介して、電力情報収集サーバに蓄積する実験を行った。パソコンの起動・スリープに伴う電力消費量変化を Web ブラウザ (5.4) で表示でき、電力監視端末につないだ負荷の消費電力をサーバで一元管理できることを確認した。

6 結 言

負荷の電流測定を行い、制御マイコンエミュレータで電力を算出し、電力線通信を用いて消費電力をサーバに送信することが可能となった。また、導入した電力計算アルゴリズムの有効性が確認できた。

また、電力情報収集サーバを開発し、電力線通信により取得した電力情報を Web ブラウザで表示可能とした。サーバ開発には電力監視端末エミュレータを LabVIEW により作成し開発効率の短縮を図った。

今後の課題を以下に記す。

1. 電力監視端末を小型化する。
2. 制御マイコンエミュレータにより確認したアルゴリズムを PIC に実装する。
3. 電力収集結果の表示インターフェイスは時系列表示のみ対応しているが、電力情報を解析し、省エネに役立つ表示方法を検討し、機能追加を行う。
4. 電力監視端末のネットワークアドレスは端末ごとに設定する必要がある。そこで電力情報収集サーバに DHCP サーバ機能を搭載し電力監視端末のネットワーク情報を自動で設定管理できるよう改良する。

文 献

- 1) <http://www.acme.com/software/thttpd/>