

スマートグリッド向け要素技術の調査研究

～消費電力の見える化技術～

西田 龍己* 若生 進一* 平間 毅* 戸塚 貴之*

1. はじめに

平成23年3月11日の震災以降、東京電力管内では電力供給不足が深刻化し、昨々夏においては、電気事業法に基づき契約電力500kW以上の電力使用事業所に対して前年比で対象期間・時間帯における使用最大電力の15%削減が義務付けられた。また、法的強制力はないものの一般家庭に対しても前年比15%節電の目標が掲げられた。H24年9月1日からは電気料金の値上げが実施されている中、県内中小企業でも電気の使い方を改めて見直そうという動きが見られ、そのためのツールとして電力見える化システム、特に各分電盤や各電気機器の消費電力を簡易的に把握できるシステムに対するニーズが高まっている。

このような背景から、当センターではH23年度、以前から蓄積のあるセンシング技術、マイコン技術、無線通信技術等の基盤技術を活用して、各分電盤や電気機器の消費電力を簡易的に測定できるシステムを試作した。H24年度はH23年度に試作したシステムをもとに実証実験を行い、電力見える化システムに対する詳細ニーズを抽出するとともに、センサモジュールの高機能化、消費電力データ表示アプリケーションの開発等を行った。

2. 目的

本調査研究では、昨年度試作したクランプ式電力センサモジュール及び電力見える化アプリケーションを用いて、県内企業へ無線センサネットワークを構築し電力見える化システムに対する詳細ニーズを抽出するとともに、そのニーズに基づいたセンサモジュールの高機能化及び消費電力データ表示アプリケーションを開発することを目的とする。

3. 研究内容

3.1 実証実験の実施

平成23年度開発した電力見える化システムをもとに、県内企業で実証実験を実施した。実証実験で使用したシステムの構成を次に示す。

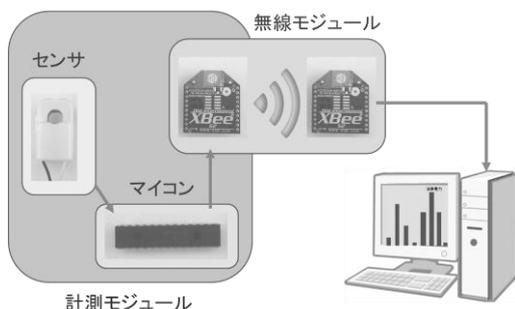


図1 電力見える化システムの概要

電流クランプセンサから出力される、電流値に比例した電圧値をマイコンで取得し、マイコン内で電力換算後、無線モジュールを介して、測定用パソコン内のデータベースへ取り込む仕組みとなっている。

電流クランプセンサには株式会社ユー・アール・ディー製の電流クランプを使用し、電流を測定するケーブルに応じてセンサの種類を選定している。

マイコンにはマイクロチップ・テクノロジー社のPIC24FF64GA002を使用し、内蔵のADコンバータや通信モジュールを利用した。

無線モジュールにはDigi International株式会社のXBeeRFモジュールを使用し、付属ソフトウェアX-CTUによりファームウェアを書き換えることでZigBee規格を採用している。

測定用パソコンにおけるデータ収集プログラムはPython(*1)で記述し、取得したデータはデータベースSQLite(*2)へ保存している。

なお、取得したデータのグラフ化には簡易的にExcelを用いたグラフ化ソフトを作成し配布した。

実証実験に協力していただいた企業の導入事例を図2に示す。

No.	導入企業	設置目的	主な設置場所
1	フィルター製造会社	省エネと従来の電力計の置換	工場内の殆どの分電盤
2	板金加工会社	省エネ	レーザ加工機
3	家電製造会社	省エネとシステムの動作体感	主電力配電室 周囲温度も計測
4	自動車部品製造会社	省エネと生産活動への応用	プレス機の油圧モータ
5	印刷、製本会社	省エネ	印刷機周辺機器
6	板金、機械加工会社	省エネ	レーザ加工機 NC加工機
7	印刷会社	省エネ	印刷機、空調機
8	機械加工会社	省エネ	各機械設備の主幹
9	板金、塗装会社	省エネ	各建屋の主幹

図2 実証実験を実施した企業の概要

なお、センサモジュールの量産（本実証実験では約100セットを製造）にあたり、モジュールに組み込む電子基板をユニバーサル基板からプリント基板へと変更した（図3）。なお、プリント基板の設計にはプリント基板設計ソフトEAGLE(*3)を利用した。（図4）

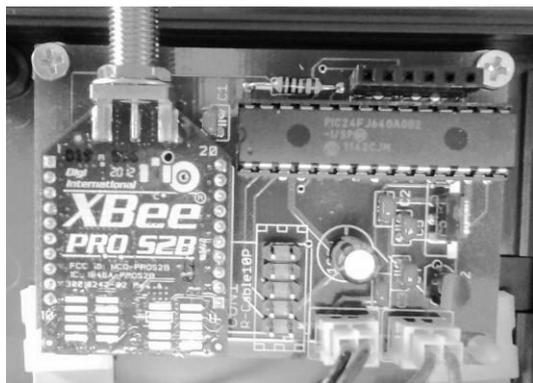


図 3 プリント基板化した電子基板

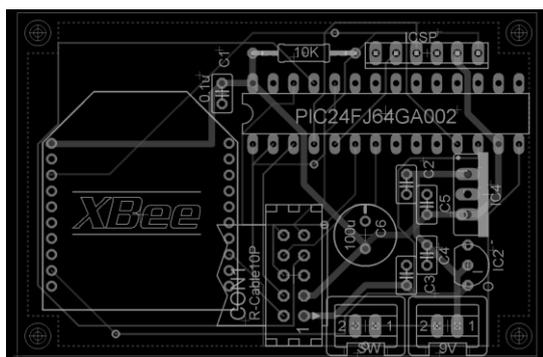


図 4 設計したプリント基板のパターン図

本実証実験を通して、次のようなニーズを得ることができた。

- ・電力だけでなく、温度・湿度・照度等の測定も併せて行いたい。
- ・頻繁に ON・OFF を繰り返すような負荷に対する平均電力の測定
- ・ユーザーがデータやグラフ等を自由にカスタマイズできる表示アプリケーション
- ・電力値が設定値を超えた場合に警報を発する機能の付加

以下では、上述したニーズに対応するため、平成 23 年度に試作した電力見える化システムに改良を加えた点について詳細を述べる。

- (*1) <http://python.org/>
- (*2) <http://www.sqlite.org/>
- (*3) <http://www.cadsoftusa.com/>

3.2 電力センサモジュールの高機能化

平成 23 年度に開発したクランプ式電力センサモジュールに温度・湿度・照度の測定の機能を追加した。外観を図 5 に示す。



図 5 開発したセンサモジュールの外観

温度センサとしては、アナログ出力タイプの高精度 IC 温度センサ LM35DZ 及びデジタル 2 線式で測定可能な SHT71 を使用した。また、SHT71 は湿度センサとしても利用可能である。

照度センサは簡易的にアナログ出力の CdS センサを用いたが、温度センサと同様にデジタル 2 線式のセンサも利用することも可能である。

頻繁に ON・OFF を繰り返す負荷に対する平均電力測定のニーズに対しては、PIC マイコン (PIC24FJ64GA002 (Microchip Technology Inc.))

に書き込まれるプログラムのアルゴリズムを変更することによって対応した。

既存のシステムでは、約 1 分間隔で、クランプ式電流センサからの電圧出力を図 6 のように $100\mu s$ 毎に 200 点サンプリングし、10bitAD 変換で取得した電圧を電流値に変換した後、交流 1 サイクル (20ms) の間の二乗の時間平均の平方根を計算することで電流の実効値を求めているのに対して、ポーリングで電流値を取得し、1 分毎にその平均値を出力する方式とすることで図 7 のような結果を得ることができた。

結果として、変更後のアルゴリズムを適用した場合、変更前のアルゴリズムに比べて、企業のニーズに合った情報を取得できることが分かった。

なお、変更後のアルゴリズムでは PIC マイコンを常時稼働している状況であるため、マイコンの消費電力は変更前のアルゴリズムよりも大きくなってしまっているので注意が必要である。

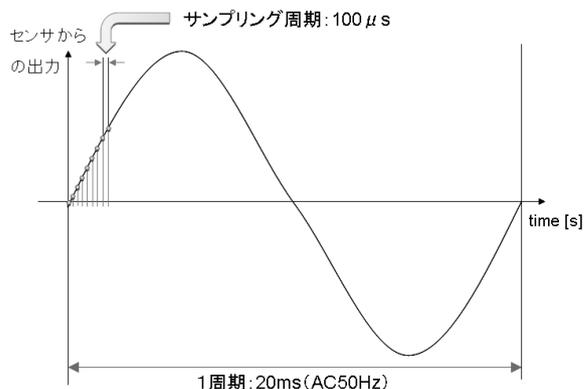


図 6 サンプリングのイメージ図

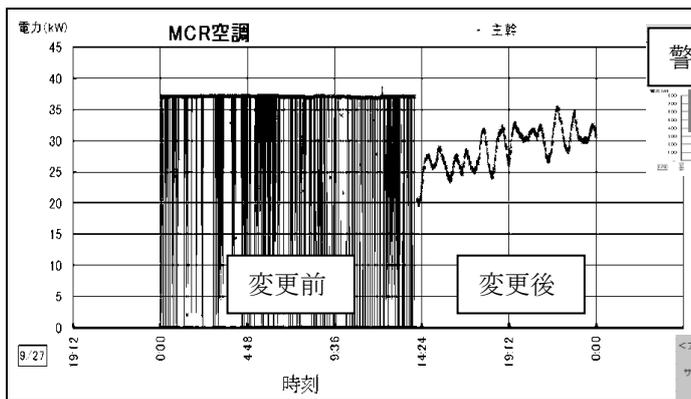


図 7 アルゴリズム変更前と変更後の電力測定結果

3.3 電力見える化アプリケーションの開発

平成 23 年度に開発した電力見える化システムは Python 言語を用いた CUI ベースのインターフェイスであったものを、ユーザーが表示項目やグラフ等を自由にカスタマイズできるように Excel ベースの電力見える化アプリケーション (図 8) を開発した。

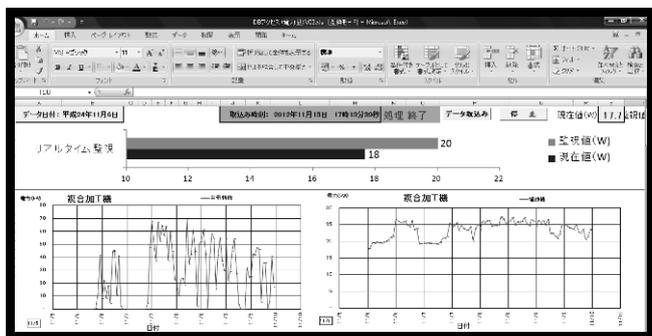


図 8 開発した電力見える化アプリケーション

本アプリケーションでは、ZigBee ルータ又は ZigBee エンドデバイスのアドレス及び日付を指定することで、センサモジュールで取得したデータが保存された SQLite データベースからデータ群を読み込み、それに応じて Excel の機能によりグラフを作成する仕様となっている。なお、開発にあたっては ExcelVBA を用いた。

なお、実証実験から抽出したニーズに関してはアプリケーションの機能として反映させた。主な機能に関しては次のとおり。

- ・自動更新機能の追加

自動更新機能と手動更新機能が選択でき、自動更新機能を選択し、更新時間を設定すると、設定した時間によって表示したグラフが更新される。

- ・警報機能の追加

電力デマンドが設定したしきい値を超えた場合に、ディスプレイへの警告表示及び警報音による警告を行う機能を追加した。ディスプレイへの警告表示として、本システムでは、閾値を超えると、画面の一部が赤く表示されるものとした (図 9)。警告音に関しては、事前に WAV ファイルを設定することで、任意の音源が設定できる仕様となっている。(図 10)



図 9 警告前と警告後の表示画面

図 10 WAV ファイルの設定画面

- ・タイムスパン切り替え機能の追加

グラフのタイムスパンを月表示、週表示、日表示から容易に選択できるインターフェイスとした。なお、本機能の詳細設定について、ユーザーは Excel の機能を用いて容易に変更が可能である (図 11)。

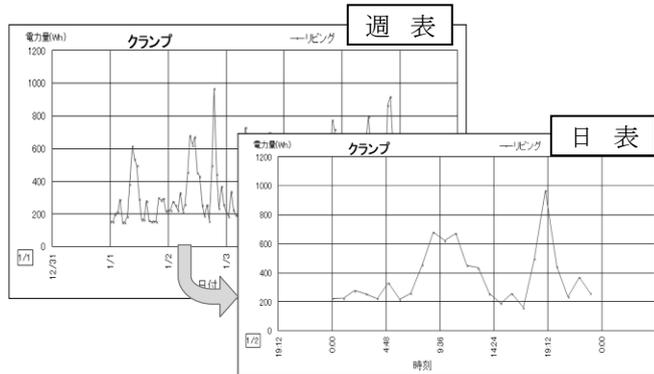


図 11 週表示・日表示のグラフ例

3.4 ZigBee を用いた機器制御システムの試作

平成 23 年度に開発したシステムにおいて、ZigBee コーディネータの役割は ZigBee ルータ又は ZigBee エンドデバイスからのデータを受信するのみであり一方的な通信を行っていた。

しかし、ZigBee は双方向の通信が可能であり、ZigBee コーディネータから ZigBee ルータ又は ZigBee エンドデバイスへの通信を利用することにより、ZigBee ネットワークに接続された電気機器の制御等が可能となる。

そこで本年度は ZigBee コーディネータから ZigBee ルータへの通信を利用し、実験的に照明器具の制御システムのプロトタイプを製作した。

制御の流れについては次のとおり (図 12)。

1. ZigBee コーディネータから ZigBee ルータへ API モードで DO (デジタルアウトプット) ピン制御信号を送信
2. ソリッドステートリレーを介して、ZigBee ルータ DO ピンで照明器具電源線 (AC100V) の入切を行う。

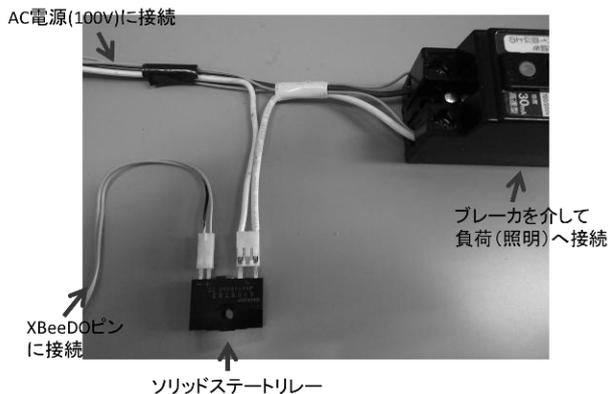


図 12 照明制御システムの概要

結果、単純な ON, OFF ではあるが、機器の制御が実現できた。さらに、PWM 機能や AD 変換機能等を利用すれば調光制御を含む更に高度な制御が可能であると考えられる。

4. まとめ

平成 23 年度に開発した電力見える化システムをベースに実証実験を行い、利用者のニーズに応じセンサモジュールの高機能化及び消費電力データ表示アプリケーションの開発を行った。その結果、電力測定に特化していたセンサモジュールを種々の物理量（温度、湿度、照度等）が測定できるよう改良することができ、また、モジュールに組み込んだ電子基板をユニバーサル基板からプリント基板へ変更することでモジュールの小型化、量産化が可能となった。

電力見える化のアプリケーションに関しては、従来 Python 言語を用いた CUI ベースのインターフェイスであったものを、ユーザーが比較的容易にカスタマイズできるよう ExcelVBA を用いた GUI ベースのインターフェイスを開発した。また、アプリケーションの機能として、電力デマンドがある一定値を超えると警報を鳴らす機能等が追加されている。

なお、平成 23 年度に開発したシステムは ZigBee コーディネータが ZigBee ルータまたは ZigBee エンドデバイスから一方的にデータを受け取る仕様であったが、本年度開発したシステムでは ZigBee コーディネータから ZigBee ルータまたは ZigBee エンドデバイスへもデータを送信できる仕様となっているため、見える化後の展開の一つとして考えられる機器制御への応用も可能となっている。

5. 今後の課題

来年度以降、本調査研究で開発したシステムを県内中小企業（特に工場）で活用していただき、自社内の省エネ化に役立ててもらおう予定である。また、その過程で得られたニーズに関しては、今後もセンサモジュールやアプリケーションに反映させ、改良を行っていく予定である。

また、本調査研究で利用した技術は、生産現場のデータ収集、農場や農業ハウス内の環境管理等様々な応

用が考えられる。今後は研究会等を通じて諸分野への技術移転を図っていききたい。

6. 謝辞

本調査研究にあたり、有意義なご助言をいただいた山形県工業技術センター電子情報技術部情報研究科、山口県産業技術センター設計制御グループの皆様及び茨城県地球温暖化防止活動推進センターの省エネ診断士方々に感謝いたします。