

# 家庭用無線電力メータF-PLUG

## Small and Wireless Wattmeter F-PLUG for Home Use

● 青山裕司      ● 岡田玲二

---

### あらまし

エネルギーに対する意識の変化に伴い、省エネや節電に大きな関心が寄せられるようになり、家庭内においてもコンセントに挿して簡単に電力の測定ができる機器が注目を集めるようになってきた。富士通も、富士通ビー・エス・シーが主体となって開発した家電機器の消費電力が測定できる無線電力メータ「F-PLUG」をパソコンのBTOオプションとして販売を開始した。仕様検討には、F-PLUGに搭載しているマイコン開発元の富士通セミコンダクターも加わり、富士通との3社で実施し、ブレインストーミングを繰り返して、ユーザ目線に立った便利で使いやすい電力計測システムの実現を目指した。F-PLUGは電力だけでなく温度や湿度、照度も測定できる。

本稿では、F-PLUGとその制御アプリケーションソフトウェアのコンセプトと機能を紹介する。

### Abstract

With changes in consumers' attitude toward electric power resources, much interest has come to be placed on saving power. A small wattmeter that can be plugged into the electric outlet of a house to easily measure power consumption has also come to attract attention. Fujitsu has launched a small and wireless wattmeter called F-PLUG on the market and it comes as a built to order (BTO) option of a personal computer. The design was studied by Fujitsu Semiconductor, which is a company that develops the microcomputer installed in F-PLUG, Fujitsu and three other companies. The companies aimed to achieve a power-measuring system that is convenient and easy to use by repeating brainstorming sessions and looking at the device from the viewpoint of the user. F-PLUG can measure not only the electric power but also the temperature, humidity, and illumination, and it can communicate with a personal computer by Bluetooth. This report presents the concept and function of F-PLUG.

---

## まえがき

2011年に発生した東日本大震災を契機にエネルギーへの関心、とりわけ電力に対する関心は一般家庭においても非常に大きくなり、家庭内の省エネや節電に対する意識も急速に高まった。家電メーカーからも省電力を大きく前面に出した製品が多数発売され、テレビのCMや量販店の家電売り場でも省エネ・節電の文字が多く見られる。

一方、家庭内の電力の利用状況は電力会社が発行する1か月単位の使用量合計の明細で知ることができるが、各家電機器の個別の消費電力を測定する簡単な方法は少なく、コンセント装着タイプの簡易電力メータが利用できる程度であった。市場には、細かく測定して記録したデータを表示する機器やサービスもいくつか存在しているものの、導入コストが高価であり一般的ではない。

このような状況において、以前より富士通ビー・エス・シー(BSC)と富士通セミコンダクター(FSL)では、パソコンと接続して使用するコンセント装着タイプの無線電力メータの企画があり、具体的な製品化を目指して富士通も製品仕様の策定に参加することとなった。BSC主体で開発が進み、2012年夏以降の富士通製パソコンのオプションとして添付する形態で、無線電力メータ「F-PLUG」の製品化に至った。

F-PLUGは、FSL製FM3マイコンを搭載しており、電気製品の電力以外にも温度・湿度・照度の測定が可能である。現在では家電量販店や大手オンラインストアでの一般販売も開始され、OSなどの動作環境が合致していれば富士通以外のメーカーのパソコンでも利用することができる。

本稿では、F-PLUGの開発コンセプトと、ハードウェアおよびアプリケーションソフトウェアの機能について解説する。

## コンセプト

F-PLUGは一般家庭での使用を念頭に、「簡単」「安全」「安価」をコンセプトに仕様検討し、開発を進めた。

### (1) 簡単

測定したい家電機器のコンセントに挿すだけの簡単な設置方法とし、自由な配置ができるワイヤ

レス通信とする。また、パソコンと直接接続できるようにして途中の無線親機などの機器をなくし、シンプルなシステム構成とする。

### (2) 安全

AC100Vの電流測定は、非接触のカレントトランス方式を採用する。AC100Vの電流路に直列に測定部品を挿入するシャント抵抗方式は、大電流が連続した場合の発熱問題や、接続部分の不具合が測定対象の家電機器の動作に影響を与える懸念がある。シャント抵抗による測定値の精度より安全面を優先し、カレントトランス方式とする。ケース内部は、高電圧部でのショートの高危険性を極力回避するため、各ブロックを隔壁で区切る構造とする。

### (3) 安価

導入コストと運転コストの両面に配慮する。導入コスト低減のため、パソコンとF-PLUGは直接接続とし、途中の無線親機を排除する。この途中機器の排除は、設置の簡易性と導入コスト低減の両面に効果がある。省エネ目的の電力測定で電力を浪費しては本末転倒であるので、F-PLUG単体だけではなく、電力測定システム全体の低消費電力化を図り、運転コストを低減する。

またF-PLUGは単なる電力メータとしてではなく、将来市場規模の拡大が予想されるHEMSサービスのセンサ機器としての役割を目指している。このため、電力だけでなく、生活環境の温度・湿度・照度も測定/記録できるように各センサを搭載することとした。

F-PLUGを制御する専用のアプリケーションソフトウェア「F-PLUGユーティリティ」は、測定した電力や温度などを単に表示するだけでなく、リアルタイムの消費電力のグラフ表示や、家電の1回動作の電力測定など、ユーザの立場に立ってF-PLUGを楽しく活用できることとした。

## ハードウェアの機能

本章では、前章のコンセプト実現に向け、開発上ポイントとなった部分を解説する。

### (1) コンセント形状を考慮した外観

F-PLUGの外観は壁コンセントに装着できるような小型であり、正面の測定対象のプラグ挿込口の下に照度センサの小窓とペアリングボタン、状態表

示のLEDが並んでいる (図-1)。洗濯機や電子レンジのコンセントにはアース線が接続できるタイプがあるので、このようなコンセントでも正しく装着できるよう、背面はアース線との干渉を回避する空間を持たせた。この部分には温度センサと湿度センサ用に外気取入れのスリットを設けている。コンセントに装着した際、測定対象機器の電源ケーブルの重みなどでF-PLUGがコンセント面から斜めになって浮き上がることを防止するため、背面下部に傾き防止フットを設けた。傾き防止フットはねじ込み式で、高さ調整が可能である。

(2) 内部隔壁構造

ケース内部は、AC100 Vのライン側のプラグ歯やプラグ受けの金具とカレントトランスの空間、同じくAC100 Vのニュートラル側の金具の空間、AC100 VからマイコンなどのDC電源に変換する電源回路の空間、マイコンと無線通信LSI、および各センサ類などのロジック部の空間の四つの空間に分け、それぞれを隔壁で区切った。背面の外気取入れスリットからの虫の侵入や、落下などの衝撃で万一部品が外れることがあっても、AC100 Vでのショートの可能性を極力回避する目的である。

(3) マイコンによる測定データの記録

F-PLUGは常時接続方式を採用せず、個々が独立して測定データを記録・保存できる仕様とした。このデータ測定と記録、通信モジュール制御のため、FSL製32ビットマイコン「MB9BF116N」を採用した (図-2)。本マイコンは、1分ごとに電力を測定、1時間ごとに温度・湿度・照度を測定し、内蔵している512 Kバイトのメインフラッシュメモリに格納する。フラッシュメモリ上のデータ記録

領域は2バンク割り当てられており、各バンクには40日分の測定データを格納できる。このため最大で80日分の記録が可能であるが、一方のバンクが一杯になるともう一方のバンクをクリアして記録を開始するので、最低保証は40日分となる。記録された測定データがパソコンに送信される際、1分ごとに記録された電力データは1時間分の電力に積算され、温度・湿度・照度の各データとともに1時間単位の記録データとして送出される。

(4) 通信距離を伸ばすリレー通信機能

通信方式は消費電力の少ないBluetoothを採用した。Bluetooth通信モジュールは小型、軽量の利点もある。1台のパソコンに最大7個のF-PLUGを接続することが可能である。

F-PLUGのBluetoothの仕様はClass1で通信距離は見通しで100 mに達するが、パソコン側は通常Class2で10 m程度であるため、通信距離はパソコン側の性能に依存してしまいおよそ10 mとなる。この短い通信距離の対策として、F-PLUGにはリレー通信機能を搭載した (図-3)。パソコンの通信範囲内にF-PLUGがあれば、これを中継器として使用し、ほかのF-PLUGに接続できる。中継は最大3段までで、この機能により大幅に通信距離を伸ばすことが可能となった。本リレー方式の概要を図-3に示す。図中①と②のF-PLUGはパソコンの通信距離内にあるが、③～⑦は離れていて直接パソコンと通信できない。この場合、まずパソコンは①と②の接続を確立し、①および②を中継して接続できるF-PLUGを探索する。図中では①を中継



図-1 F-PLUG

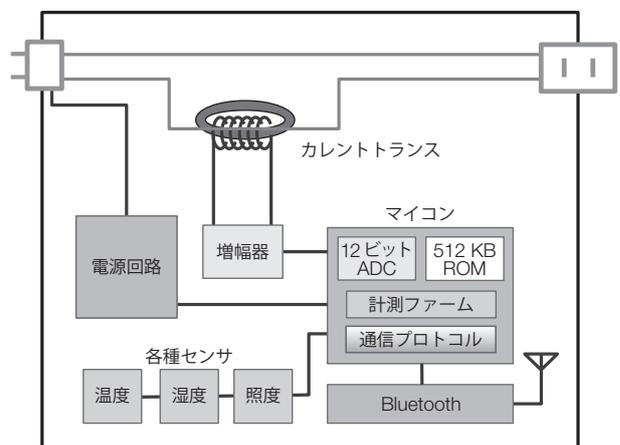


図-2 ブロック図

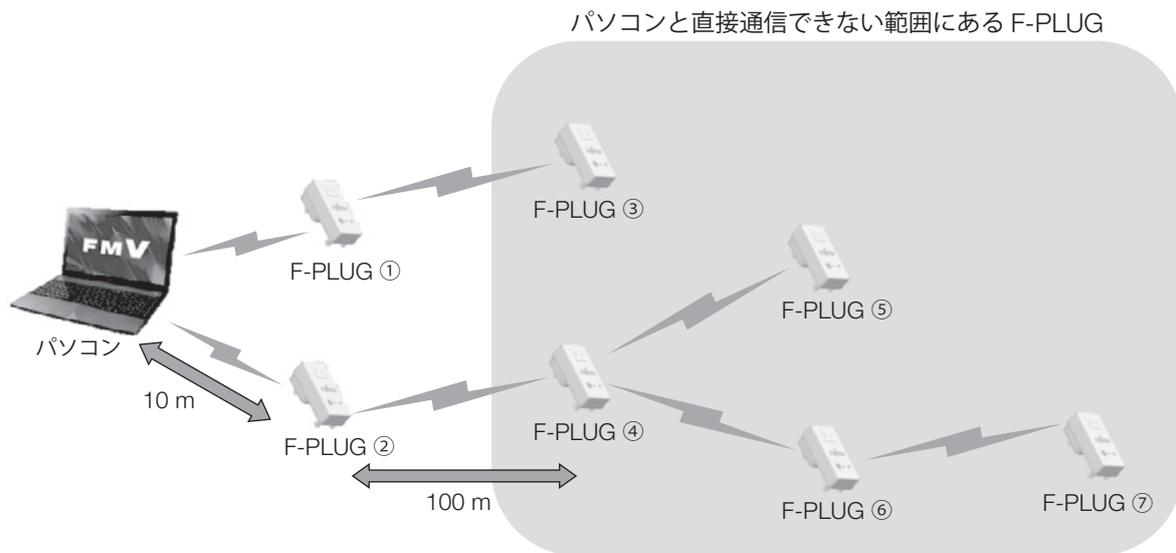


図-3 リレー接続概要

して③と、②を中継して④と接続できることを示している。このようにしてパソコンは順次接続が確立できたF-PLUGを中継し、ペアリングした全F-PLUGを探索する。図中⑦は3段の中継を経由した接続となり、これが末端となる。

#### (5) カレントトランスと個別校正

電流測定はコンセプトに記述したとおりカレントトランス方式を採用している。カレントトランスとは、中央に穴の開いた強磁性体のコアに電線を巻いたコイルで、交流電流の測定に用いられる。穴に通した測定対象のケーブルに電流が流れると、コイルには巻き数に比例した交流電流が発生する。コイルの出力を抵抗に接続し、その両端に発生した電圧をマイコンでA/D変換して電流値として算出する。この方式は測定対象のAC100Vの電流路に直列に部品を挿入する必要がないため、大電流が長時間流れる場合においても部品の加熱やその放熱の心配なしに安全に電流を測定することができる。カレントトランスは、使用する磁性体、コアの形状、コイルの巻き数などにより、コイルの出力特性が変化する。F-PLUGでは電力測定範囲の仕様を1～1500W、誤差を5%以内と定めており、採用するカレントトランスには、この広範囲な領域で飽和することなく全般にリニアな特性を有することが必要であった。更に、コンセントに装着する機器の部品として十分小型であることも要求された。このような要求を満たすカレントトラン

スを求めて様々なメーカーの製品を検討したが、一般に入手できる汎用品には適合するタイプは存在しなかった。このため、F-PLUGでは専用のカレントトランスを新規に開発することになった。

F-PLUG内のAC100V電流路は、プラグ歯からプラグ受けまでを板金の一体物として組み立ててある。カレントトランスの中央の穴は、この板金の断面形状に合わせた形にして穴の面積を最小限にし、カレントトランス全体の小型化を図った。コアの磁性体の種類やコイルの巻き数を変えて試作を繰り返し、広範囲な測定領域でリニアな出力特性を持ち、電力測定で問題となる位相角についてもずれの少ないカレントトランスを開発することができた(図-4)。

測定領域が広範囲にわたるため、カレントトランスの出力をそのままマイコンのA/D変換ポートに接続するだけでは分解能が足りず、測定結果の精度が確保できない。このため、測定領域を低・中・高の三つの電流域に分割し、マイコンのA/D変換も3ポート使用することで対応した(図-5)。低・中・高の各測定領域においてその範囲内でA/D変換の精度が確保できるよう、A/D変換ポートの前段にそれぞれ個別の倍率の増幅器を設けている。マイコンは電流測定時にこの三つのポートのA/D変換を行い、測定対象である交流電流の1サイクルの波形が飽和することなく変化量を大きく測定できたポートの値を有効な測定結果として演算に使用する。

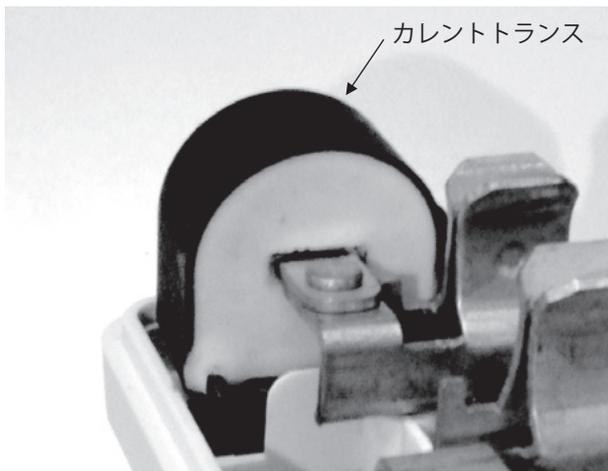


図-4 カレントトランス

電流値の演算アルゴリズムは、富士通研究所の全面的なバックアップのもと、同研究所の持つノウハウを要所に取り込んだ。これにより、カレントトランスに合わせた正確な演算式を早期に確定することができ、開発期間の短縮に大きく寄与した。

電流値の演算では、低・中・高の各計測範囲個別に補正カーブを設け、基準となるポイントを複数点設定して補正カーブの精度を上げ、実測結果との誤差を少なくしている。カレントトランスやA/D変換ポート前段の増幅器の個体差による測定値の精度のばらつきを抑えるため、F-PLUGの製造時に個々に基準電流の計測を実施し、この補正カーブの基準ポイントをF-PLUGごとに算出して校正している。校正された基準ポイントの値はマイコンのROMに格納されている。

このように、新規にカレントトランスを開発して性能を十分に引き出し、製造時に個別に校正を行うことで、1個のカレントトランスで測定範囲全体において誤差5%以内の高精度な電力計測が可能となった。

#### (6) 環境データを取得する様々なセンサ類

F-PLUGには電力測定以外に生活環境を測定する温度・湿度・照度の各センサを搭載している。温度センサと湿度センサは、直射日光の影響を極力避けるため、背面の外気取入れスリットの奥に設置した。温度センサはサーミスタ方式で測定範囲は0～45℃、湿度センサはセラミック抵抗方式で測定範囲は10～85%である。照度センサはフォトランジスタ方式で、正面のプラグ挿込口

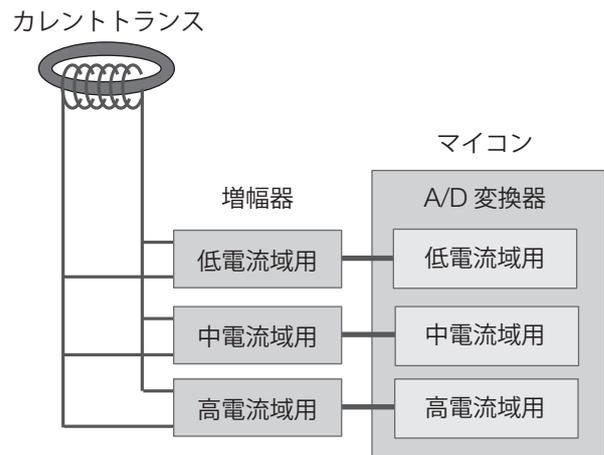


図-5 3ポートを使用した電流測定

下部に設けてあり、測定結果は4段階で表示する(表-1)。

#### (7) 低消費電力への取組み

F-PLUGは、電流測定にカレントトランス方式を採用してAC100V電流路のロスをなくし、通信方式には低消費電力であるBluetoothを採用した。マイコンのファームウェアは消費電力の低減に配慮した開発を行い、マイコンや通信モジュールのDC電源回路にはトランスを採用して変換効率を上げ、測定機器単体として消費電力の削減を随所に施した。結果、当初の目標である動作時最大0.3W、待機時約0.1Wを実現することができた。これは現在市販されている同様の無線接続の電力メータとしては極めて低い値である。

システムとしては、測定結果は個々のF-PLUGに一旦記録し、パソコンとの常時接続、つまりパソコンの24時間運転の必要性のない仕様とすることで、パソコン側の消費電力を低減している。また、F-PLUGはパソコンと直接接続としたため、途中の無線親機は不要となり、この点でも消費電力もカットできた。

### ソフトウェアの機能

F-PLUGを制御し測定結果を表示するアプリケーションソフトウェア「F-PLUGユーティリティ」には、測定結果を単に表示するだけでなく、様々な便利な機能や利用者の立場に立ったきめ細やかな設定機能を実装している。本章では、F-PLUGユーティリティの機能を具体例も交えて

表-1 F-PLUG仕様

項目	仕様
通信方式	Bluetooth 3.0
出力	Class1相当
使用周波数帯域	2.4 GHz帯
対応Bluetooth プロファイル	SPP (Serial Port Profile)
測定範囲	電力 1 ~ 1500 W
	温度 0 ~ 45℃
	湿度 10 ~ 85%
	照度 4段階表示
使用許容電力	1500 W
電源	AC100 V±10% 15 A 50/60 Hz
消費電力	最大0.3 W (待機時 約0.1 W)
外形寸法	110 mm (H) × 53 mm (W) × 43 mm (D)
質量	約145 g
プラグ形状	平行型プラグ
コンセント形状	平行型コンセント
動作環境	温度0 ~ 45℃, 湿度5 ~ 95%
表示LED	赤/緑 2色LED 1個

紹介する。

(1) 測定結果の表示

F-PLUGで測定した結果は、「1時間モニタ」「比較」「履歴」の各画面で確認することができる。F-PLUGユーティリティを起動すると、その時点までの未取得の測定データをF-PLUGから収集し、順次各画面に反映する。

1時間モニタでは、その日の各F-PLUGの電力測定結果を1時間ごとのグラフとして表示する(図-6)。グラフは累積表示と時間ごと表示の切替えが可能である。F-PLUGユーティリティが動作している間は1時間ごとに各F-PLUGの測定データを自動収集し、1時間モニタのグラフも更新する。

過去の測定データは、「比較」「履歴」で参照できる。比較画面では1か月間の各F-PLUGの計測結果をグラフで累積表示する(図-7)。当月、前月、前年同月の測定データも合わせて表示し、それぞれと比較ができる。更に、設定した目標値を点線で表示し、現在までの電力消費量のグラフの傾きから、目標達成の可否が直感的に予測できるようにした。

履歴画面では、各F-PLUGの測定結果を電気料金と使用時間に換算してカレンダー型式で表示する(図-8)。この画面では全F-PLUGの合計を表示



図-6 F-PLUGユーティリティ(1時間モニタ画面)

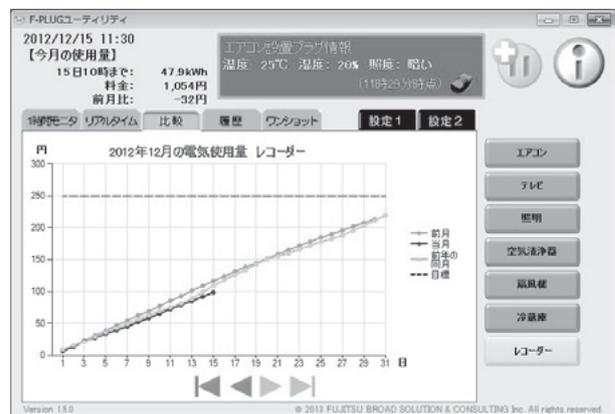


図-7 F-PLUGユーティリティ(比較画面)

するため、画面右側の測定対象を選択するボタンの下に、全てが選択できるボタンを設けた。日付をクリックすると、その日の1時間ごとの測定結果を温度・湿度・照度の測定結果と合わせてグラフに表示する。比較・履歴ともに、画面下に前月・前年同月に移動するボタンがあり、過去のデータを簡単に参照できる。

(2) リアルタイム表示

F-PLUGに接続した機器の現在の消費電力をモニタすることができるよう、「リアルタイム」の表示機能を搭載した(図-9)。本機能は5秒間隔で電力を計測し、リアルタイムでグラフに表示する。グラフには5分間分の電力の変動を表示し、古いデータは順次消去する。また、電力の変化が見やすいよう、表示されている5分間分のデータに合わせて自動的にスケールを変更する。例えば洗濯機の洗い・すすぎ・脱水でそれぞれどの程度電力を

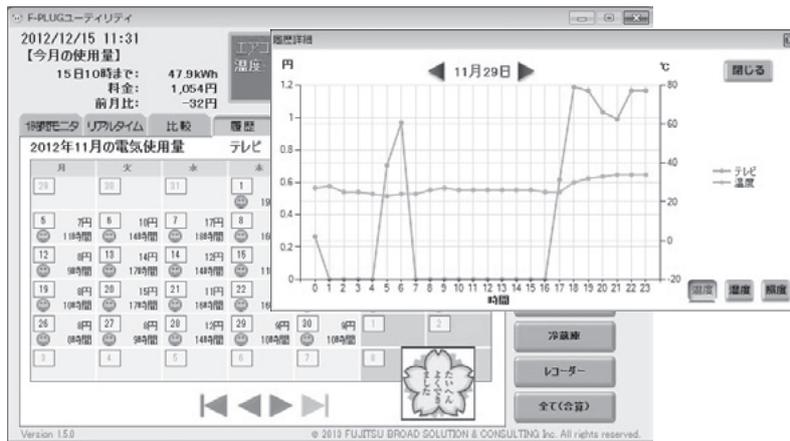


図-8 F-PLUGユーティリティ(履歴画面)

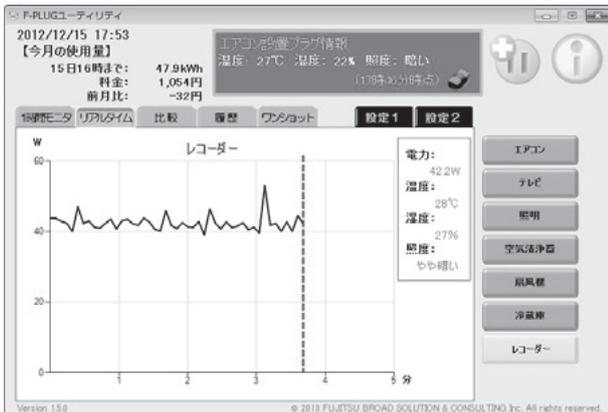


図-9 F-PLUGユーティリティ(リアルタイム画面)

消費しているか、この機能で観測することができる。温度・湿度・照度の計測は1分ごとに実施し、グラフの右側に数値で表示する。本機能では計測結果は記録しないが、リアルタイム動作中であっても各F-PLUGは1時間ごとの測定/記録は実行している。なお本機能の計測は連続1時間としている。

(3) 1回動作の電力測定

家電の1回の動作で消費する電力を測定できるよう、「ワンショット」機能を搭載した(図-10)。本機能は、測定対象が一定時間で消費した電力を測定し記録する。例えば、洗濯機の洗濯1回分の消費電力やその電気料金を測定したい場合に使用する。測定時間は任意に設定(最大3時間)でき、画面のスタートボタンをクリックすると計測を開始、設定時間に到達すると終了する。また途中で計測の終了ができるようストップボタンも設けた。電力

は5秒間隔で計測し計測中は残り時間と瞬間電力値と積算電力量を表示する。結果は測定時間、電力量、電気料金、使用した電力量に相当するCO<sub>2</sub>排出量、1か月間連続使用したときの予測料金を表示する。また過去100回分の記録を保持し表示する。

(4) 様々な設定機能

F-PLUGを利用する上で必要となる様々な設定機能を用意した。設定画面には、各F-PLUG単位の設定を行う「設定1」と、システム全体の設定を行う「設定2」がある。

設定1では、接続機器名称の変更、1か月の目標値設定・変更、温度・湿度補正、メンテナンスの各機能があり、F-PLUGごとに設定できる。

F-PLUGの利用形態として、ある機器の測定を一旦止めて、そのF-PLUGを一時的にほかの機器の測定に使用したいというケースが考えられる。これに応えるため、メンテナンスに「電力測定停止」の機能を搭載した。この機能を使うと、今まで計測してきた機器の電力測定データはそのままに、新たに別の機器のデータが作成される。例えば、エアコンの使用がなくなった春にその電力測定に使用していたF-PLUGを止めて、これを空気清浄機の電力測定に使用するといった使い方ができる。エアコンのデータはそのまま保存され、新たに空気清浄機のデータが記録される。再度エアコンの電力測定を開始したい場合は、空気清浄機のメンテナンスのメニューで電力測定停止を実行し、そのメニューに表示される「電力測定停止中の機器」を選択して元のエアコンを指定する。これで、空



図-10 F-PLUGユーティリティ(ワンショット画面)

気清浄機のデータはそのまま保存され、F-PLUGは元のエアコンのデータに継続して記録を開始する。ほかにも、エアコンの測定に使用していたF-PLUGの電力測定を一時停止し、洗濯機に接続して洗濯1回分の電力をワンショットで測定するといった使い方もできる。

設定2では、電気料金の設定、接続中のF-PLUGの一覧表示、F-PLUGの自動検索、測定したデータベースの移行準備ができる。

電気料金は契約している電力会社や加入している料金メニューにより変わるので、様々な料金形態がサポートできるよう選択肢を複数用意し、時間帯別に料金が変わられるようにした。

接続プラグ一覧表示では、設置場所をメモとして入力でき、通信状態も確認できるようにした。F-PLUGユーティリティの登録情報と現物のF-PLUGの対応を確認するため、選択したF-PLUGのLEDを点灯する確認ボタンも設けた。

#### (5) Bluetoothのペアリングと自動検索機能

F-PLUGは、使用開始前にBluetoothのペアリングを行う必要がある。この作業はF-PLUGをパソコンの近くのコンセントに挿して行い、ペアリングが終了した後に実際に測定する機器のコンセントに移設して運用を開始する。ペアリングを行い、接続相手を特定することで、近隣のBluetoothを搭載したほかのパソコンからの接続はできなくなり、セキュリティ上問題となるデータ漏えいなどを防ぐ。移設した後は、全F-PLUGと通信ができるよ

う自動検索を行う。自動検索では、パソコンから直接通信できるF-PLUGを検索して通信を確定し、直接通信できないF-PLUGは前述のリレー通信機能により既に接続が確定しているF-PLUGを中継して順次検索を行う。自動検索はこのペアリング処理の中に組み込まれているが、個別に実行できるよう設定2に用意している。F-PLUGの設置場所を変更した際は、この自動検索を実行して通信を確保する。

自動検索はペアリングした順番で検索するので、検索した結果が必ずしも良い接続状態になっているとは限らない。全F-PLUGが検索されているにも関わらず通信が不安定な場合に、リレー接続経路の確認と変更ができるよう、自動検索の手順の中にプラグ接続確認機能を設けた(図-11)。本機能により、どのF-PLUGをパソコンと直接接続させるか、どのF-PLUGの配下にリレー接続させるか、などの変更が可能となり、利用者はF-PLUGの設置環境に合わせて安定した通信経路を構築することができる。

### 今後の展開

F-PLUGはコンセントに接続できる機器の電力を測定することはできるが、天井灯や分電盤内の配線の電力を測定することはできない。家庭内での利用を想定すると、やはり天井灯は測定したい機器の一つであるし、分電盤の供給元のラインも測定したい対象の一つであると考えられる。これら

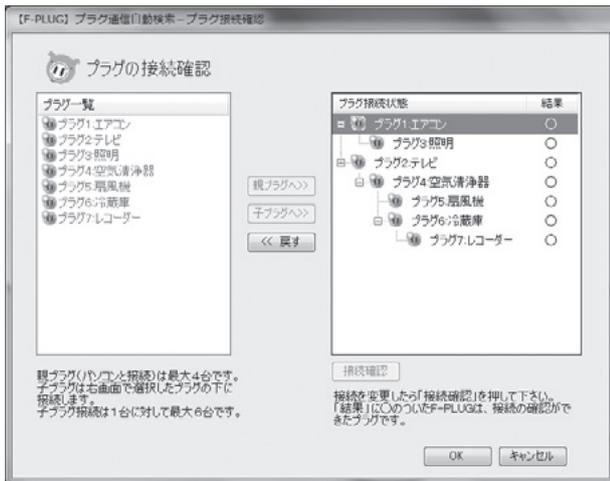


図-11 F-PLUGユーティリティ(プラグ接続確認画面)

F-PLUGでは測定できない部分をどうするかは、家庭向け電力メータというシステム全体で検討していかなければならないと認識している。

今後は、富士通が展開するMy Cloudエコの環境情報を収集するセンサとしての利用を目指している。また、大手住宅メーカーで実施中の実証実験や環境省の実証実験においてもF-PLUGが活用されており、実証実験後の本稼働や各種サービスの導入に向けて取り組む。

## 著者紹介



### 青山裕司 (あおやま ゆうじ)

パーソナルビジネス本部システム開発  
統括部 所属  
現在、My Cloud関連製品の開発に従事。



### 岡田玲二 (おかだ れいじ)

パーソナルビジネス本部第一PC事業部  
所属  
現在、パソコンの電源関連のユニット  
開発に従事。

## む す び

エネルギー問題が日々報道され一般家庭でも省エネや節電の意識が高まっている中、家庭内の家電機器の電力の見える化に対する要望はますます増えていくと予想される。また、消費者側からだけでなく、大手住宅メーカーや行政側からの注目も高く、家庭内の電力測定は今後成長していく市場であると考えられる。

F-PLUGは、パソコンと接続して簡単に家電機器の消費電力が見える化するという初期の目標はクリアできている。安価で、使い慣れたパソコンと簡単に接続でき、パソコンを常時起動しておく必要がなく、F-PLUG単品も含め測定システム全体で低消費電力が実現できているため、ほかの同様のシステムと比較しても非常に競争力の高いソリューションである。またF-PLUGユーティリティは測定したデータを単に表示するだけでなく、家電機器の1回の動作の測定ができるなどユーザ目線に立った便利な機能を搭載していて、家庭用の電力メータシステムとしてハード・ソフトともに非常に良い製品に仕上げることができた。

今後は富士通の展開するMy Cloudエコにおいて、単なる電力メータではなく生活環境の情報収集センサとして様々な家庭内のデータを収集する重要な役割を担う機器として展開していきたい。