

大量設置に向けたエナジーハーベスティング電力センサの開発と 家庭内電力センサネットワークによる生活把握

山田 恭平[†] 中村 開[†] 水戸 慎一郎[†]

概要：家庭内の電力使用量を網羅的にモニタリングすることによる省エネ，見守りシステムへの応用を目指し，大量設置に適した，エナジーハーベスティングで動作する小型(22mm×64mm×14.5mm)で安価なバッテリーレス電力計測センサモジュールを開発した．電力線に通す形で使用するため安全であり，電池交換が必要ないため壁のコンセントやスイッチの裏に容易に設置可能である．54W の電球に使用すると 7.8 秒で起動し，データを送信する．動作に必要な最小被測定電力は 3.6VA で，テレビの待機電力や携帯電話の充電などで動作可能である．実際の家屋で実証実験を行った結果，居住者が「いつ」「どこで」「何を」行ったかを反映したデータが得られた．

Battery-Less Power Monitoring Module for a Home Energy Sensing Network and Its Application to Lifewatch System

KYOHEI YAMADA[†] HARUKI NAKAMURA[†] SHINICHIRO MITO[†]

Abstract: We developed a safe, small (22mm×64mm×14.5mm) and affordable wireless power monitoring system operated by energy harvesting. The module can be easily installed behind wall outlets. It boots up and transmits data in 7.8 s after turning on a 54 W bulb. The minimum power usage that the module work in is 3.6 VA. Standby TV or mobile phone charger can be monitored. We obtained the detailed chronological data of the power usage of each appliances.

1. はじめに

近年，センサネットワークを用いて人間の行動データを取得・活用することが試みられている．人感センサや CO₂ 濃度センサなどの環境センサを用いると在室人数が推定でき，空調や照明などの効率的な制御に応用が可能である[1]．

そうしたセンサの一つに電力計が挙げられる．電力使用量のデータは，生活者がいつ，どの電気機器を利用したかという情報を持つことから，行動を推測することが可能である．プライバシーを侵害せずに生活状況を知ることができるため，見守りシステムなどへ応用が検討されている[2]．

こうした用途においては電力を一元的に監視するよりも，家庭内のコンセントやスイッチを網羅的に監視した方がより行動を直接的に反映したデータが得られる．しかし既存の電力計は費用や安全性，保守性に課題があり，このことが大量設置を困難にしていると我々は考えた．大量設置が容易な電力計測センサモジュールであれば，具体的な行動データを手軽に得ることができ，より高度な生活把握が可能となる．

本研究では，これらの要求を満たす安全・安価な電力計測モジュールとして，電力線に非侵襲なエナジーハーベスティングで動作するモジュールを開発した．本モジュールを用いた電力使用量の個別計測，及び居住者の行動計測への応用について検討を行った．

2. 大量設置に向けた電力計の設計

2.1 低価格化：「見える化」への限定

大量設置のためには個々のコストを下げる必要があるが，既存の電力計は高機能である反面，高価である．そこで，「見える化」に機能を限定することで低価格化した大量設置向けの設計を提案する．

電力使用量を個別に測定し，データを無線送信する電力計は以前から検討されてきた．加藤ら[3]は電圧および電流波形を高精度にサンプリングし，無線送信する電力計を開発した．波形のデータから使用機器を推定し，不要な電力を自動でカットすることが可能である．

一方近年の報告によれば，利用者は自動で電力をコントロールするよりも電力使用量が見える化し，出来る限り自身でコントロールしたいという要望が強いことが分かっている [4]．また，家庭の電力を可視化するだけで，70%以上の家庭で 20%以上の節電効果があることが示されている [5]．このことから，電力制御する機能を省略した電力計でも節電効果が期待できる．この場合，電力データは節電を促すための目安であればよいので，高精度である必要はない．見守りなどの生活を把握する用途に応用する場合も，いつ，どこで電力を使ったかという情報が網羅的に得られることが重要であり，計測精度の優先度は低い．

従って，見える化に機能を限定することで回路規模を大きく削減し，低価格とする設計でも応用上十分な仕様であり，これが大量設置に適していると考えられる．

[†] 東京工業高等専門学校
National Institute of Technology, Tokyo College

2.2 安全性と保守性：エナジーハーベスティング動作

大量設置のためには安全性、および保守性も極めて重要である。これを実現する手段として、エナジーハーベスティングで動作する電力計測モジュールを提案する。

既存の電力計はバッテリーもしくは電力計から動作電力を得ているが、バッテリーを使用する場合、定期的な交換が必要になるため保守性が問題になる。電力線から電力を得る場合、電力線がモジュール内を経由する構造となり火事や断線の恐れが生じる(図1)。実際に住宅に大量に設置する場合、こうした事故の可能性が無視できない。断線のリスクが伴うのであれば、医療機器などを避けなければならないため、家庭内に一律に設置することは困難となる。そこでエナジーハーベスティング動作を採用することで、電力計を電力線に非接触な構造にし、本質的な安全性を確保することができる(図2)。同時に、バッテリー交換等の保守必要性も無くなる。

電気機器が動作するとき、配線には動作電力に応じた電流が流れ、漏れ磁束が生じる。この漏れ磁束のエネルギーを回収することで、電力線に非接触で電力計の動作電力を得る。磁束から電力への変換は、カレントトランス(CT)と呼ばれる市販の非接触型電流センサを使用する。本来、電源ではなく信号源として用いられる素子であり、得られる電力は微小である。電力計を連続動作させることは困難であるが、微小な電力を蓄えて間欠動作をすることでエナジーハーベスティング動作が可能になる。この形状であれば電力線に完全に非侵襲であるため本質的に安全であり、事故の心配が無い。住宅の既存の配線設備に通すだけで設置可能であるため、導入も容易である。

以上の点より、大量設置のためにはエナジーハーベスティング動作が適していると考えられる。

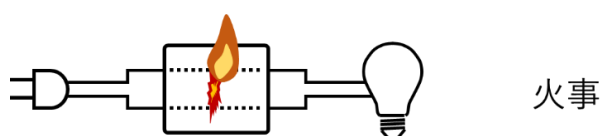


図1 既存の電力計のリスク

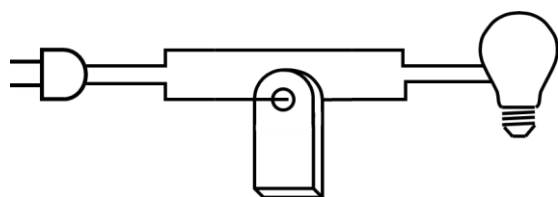


図2 提案する電力計の形状

3. 開発したモジュール

3.1 モジュールの概要

2章で示した低価格、安全性、保守性を満たす電力計測モジュールを開発した(図3)。

本モジュールは、電力線の漏れ磁束のエネルギーにより電力計測とデータ送信を行う。CTにより、漏れ磁束のエネルギーを非接触で電力に変換し、電解コンデンサに充電して、ZigBee無線モジュール(TWE-Lite)を動作させる。コンデンサの充電電圧、すなわちTWE-Liteの電源電圧は電力線に流れる電流と相関があるため、電源電圧を送信することで電力データを得る事ができる。動作に使える電力が限られるので、送信は1分間隔とし、十分に充電されてからTWE-Liteを起動するよう制御した。動作可能な最小被計測電力は3.6VAとなり、テレビの待機電力(16VA)や携帯電話の充電(10VA)などで動作可能である。54Wの電球に使用したところ7.8sで起動、データの送信を行い、計測誤差は3.2%であった。

図4に、電力計測システムの構成を示す。モジュールからゲートウェイにデータを送信し、Wi-Fiルータを経由してWebサーバ(ウェブブラウザ)にアップロードする。データはWebサーバ上で処理し、専用のWebページから参照するシステムとした。PC、タブレット、スマートフォン等から時系列、及びリアルタイムの電力使用量データを任意に参照可能である。



図3 開発したモジュール



図4 システム構成

3.2 モジュールの特徴

本モジュールはエネルギーハーベスティングにより動作するため電池交換が不要であり、電力線と直接接続していないため安全性が高い。回路を可能な限り単純化したことにより、小型(22mm×64mm×14.5mm)で安価(1600円)なモジュールとなった。電力線に通すだけで動作するため、設置も容易であり、電源プラグの形状に依存しない。

以上の特徴により、本モジュールは既存のコンセントや壁面スイッチ裏への設置を可能とした(図5)。建築後の住宅にも手軽に導入可能である。

タップ型ではなく埋め込み設置のため、従来と変わらぬ生活を送りながら計測が可能である。設置にリスクを伴わず、モジュールも安価であることから家庭内の網羅的な計測に適していると言える。

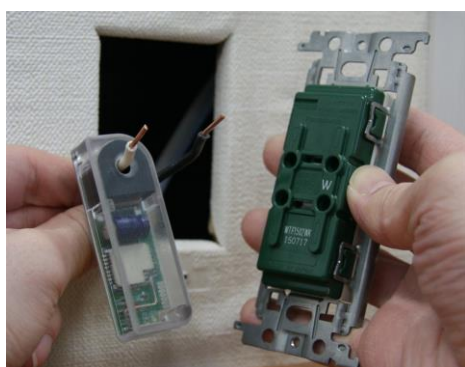


図5 壁面コンセント裏へのモジュールの設置

4. 実環境での電力モニタリング結果

本モジュールを実際の家屋に設置し、実験を行った。実験には静岡県浜松市天竜区水窪町の空き家を利用した。図6のように本モジュールを11個設置して実際の使用状況を想定した生活を行い、一日のデータを取得した。

木造家屋をカバーする通信距離を確保でき、1分間隔のデータでも生活を反映したデータを得ることができた。実験結果のログデータの一部を図7,8に示す。

キッチンの電力ログから、調理のタイミングが読み取れる。トイレの電力ログは生活者の人数、体調等を反映していると考えられることから、生活者の人数、健康状態を推測するといった応用が考えられる。

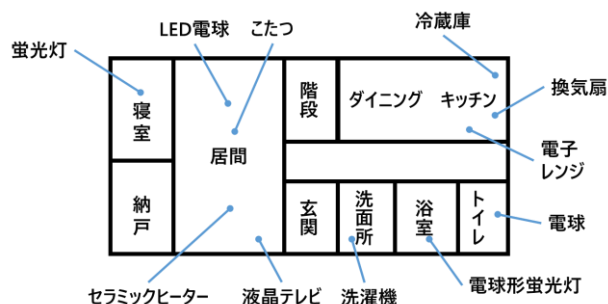


図6 モジュール設置場所

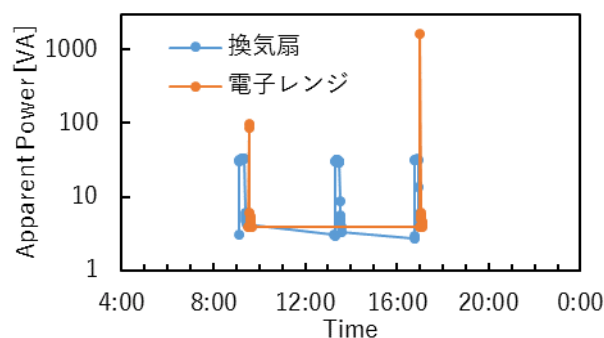


図7 キッチンの電力ログ

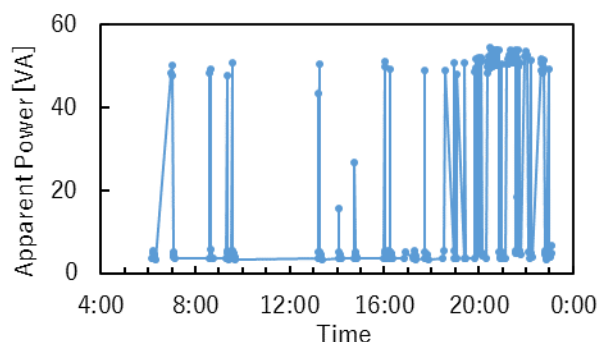


図8 トイレの電力ログ

5. まとめ・今後の展望

既存の家庭にリスクを伴わず、手軽に大量設置可能な電力計測モジュールを安価に製作することができた。これを用いて、実際の一般家屋での生活状況を反映したデータを取得することができた。

今後はデータを長期的に収集し、日常の生活リズムの推定や異常の検知を目指す。また、コミュニケーションロボット Sota™と連携した見守りシステムを開発している。

参考文献

- [1] 立川智一, 西宏章, 環境センサを利用した在室人数推定手法, 日本建築学会環境系論文集, Vol.75, No.650, pp355-362 (2010)
- [2] NTT コミュニケーションズ株式会社, 電力の利用状況から高齢者の生活を見守るサービス「おげんきりずむ(仮称)」のフィールドトライアルを金沢西病院と共同で開始(2015)
<http://www.ntt.com/release/monthNEWS/detail/pdf/20150730.pdf>
- [3] 加藤丈和, HyunSang Cho, DongwookLee, 豊村鉄男, 山崎達也: 情報・エネルギー統合ネットワークのための電力センシング情報からの家電認識とその応用, 信学技報, Vol.108, No.399, pp.133-138 (2008)
- [4] 博報堂スマートグリッドビジネス推進室, 第4回スマートグリッドなどに関する生活者調査(2013)
<http://www.hakuhodo.co.jp/uploads/2013/11/20131107.pdf>
- [5] 7割超の家庭で20%以上の節電効果を実現。エネルギー見える化サービス「me-eco(ミエコ)」付設マンションへ今夏77世帯で実施した「節電チャレンジ」サービス結果報告(2011)

<http://www.fnj.co.jp/news/20111212.html>