

世帯における電力見える化システムの実装と検証

松井 加奈絵^{†1,†2} 山形 与志樹^{†2}
落合 秀也^{†3} 砂原 秀樹^{†1}

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の影響により、早急な節電対応が求められている。日本における総電力使用量において世帯の電力使用量の割合は年々増加しており、各世帯の節電により電力使用量削減に大きく貢献すると考えられる。そこで、節電行為を促す方法として効果的であるものの中から、電力の「見える化」に注目し、世帯に対する電力モニタリングシステムを実装した。本システムは、各世帯の電力計測盤からスマートメータを総電力使用量を取得しインターネットを通じてデータベースに蓄積、蓄積されたデータを Web ページを通じて世帯へ提示を行う。今回このシステムの実証実験を北海道川上郡弟子屈町にある4世帯に3ヶ月間使用し貰うことで、システムの安定性と利便性を図った。

A Design and Implementation of Monitoring System Visualizing Electricity Power for Electric Conservation in Households

KANAE MATSUI,^{†1,†2} YOSHIKI YAMAGATA,^{†2}
HIDEYA OCHIAI^{†3} and HIDEKI SUNAHARA^{†1}

According to 2011 Thoku earthquake and tsunami, electricity conservation by households has been necessary because of their growth of consumption in Japan. To promote their conservation behavior, visualizing the amount of electric consumption at real-time using the Internet is one of solutions. In this paper, we implemented a monitoring system visualizing real-time electricity power use for households. This system has two functions. One of them is to acquire real-time electricity power usage and store them into a database. The other is to display real-time electricity power usage by a graph into personal web pages for each household. To clarify its reliability, we analyzed it by the stored data and impression of use by participants, 4 households. As a result, reliability of this system could be found.

1. はじめに

現在東日本大震災の影響により、節電が我々国民が早急に対応すべき重要な課題となり、節電に対する具体的な行動の必要性が高まっている。現在、日本国内における電力使用量に対する世帯の割合は年々増加している為¹⁾、各世帯が節電の実施することによって電力使用量削減に対する多大な貢献が期待される。

そこで本稿では、世帯の電力使用量の削減、また世帯の節電の意識変容を目的とした、電力見える化システムを提案する。これまで電力の見える化については、エネルギー削減の観点から幅広い研究分野にて研究が行われており、その研究結果から即時性の高い情報提供が効果的だと言われている²⁾。世帯に対しこの情報提供を実現させるには、安定した電力計測/提示が必要となる。

今回、提案の電力見える化システムにおいて、インターネット通信を利用することでリアルタイムの電力使用量を即時性を考慮した視覚化を行った。このような電力見える化システムでは2つの機能が必要になる。1つ目は電力計測盤にスマートメータを設置し、その計測データをインターネットを通じてデータベースに蓄積する機能である。2つ目はそのデータベースに蓄積された情報を、ユーザに対して Web ページを通じて表示する機能である。本システムではこの2つの機能が実装されたものであり、その安定性と利便性を検証するために、北海道川上郡弟子屈町の4世帯にて3ヶ月間の実証実験を行った。

2. 既存研究と仮説

これまでに実施された世帯に対する電力の見える化システムに関する研究は、大きく2つに分けられる。

第一に、世帯における電力使用量を計測/収集/蓄積する方法に関する研究である^{3), 4)}。これらは、スマートメータやスマートタップなどセンサによる電力計測、それらの計測データをインターネットによって収集、データベースに蓄積するといった、電力に対する情報基盤開発/拡充を目的とした研究である。これらの研究は、電力ネットワークと情報通信ネットワー

^{†1} 慶應義塾大学 メディアデザイン研究科

Graduate School of Media Design, Keio University

^{†2} 国立環境研究所 地球環境研究センター

Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

^{†3} 東京大学 大規模集積システム設計教育研究センター

VLSI Design and Education Center, Tokyo University

クとを統合し、効率的な電力使用を促す見える化システムの開発が目的である。

第二に、それら電力情報基盤に蓄積されたデータを利用し、世帯に対してどのような見える化を行えば節電に繋がるのか、要因を見つけることを目的とした行動変容研究である^{5),6)}。これらは、今までガス、水道など電力を含むエネルギー全般の節約等、環境負荷の低い行動を選択する為の方法を促す手法として、幅広く研究されている。この研究では、パーソナルコンピュータの普及に伴い、被験者とのコミュニケーションを取る手段はインターネットベースのものが主流となっている。

今回、世帯にユーザを特化して、簡易なセンサ機器/インターネットによる情報基盤を利用した電力使用量の計測を行う機能、またその機能によって収集されたデータを必要な情報に加工して Web ページに表示する機能を持つシステムを実装した。上記のように、電力に関しては情報取得方法、そのデータを使用して如何に効率的な使用を行うかは、数多くの研究が行われている。本研究では、対象を世帯にすることで必要となる、安価且つ敷居の低い、電力見える化システムの実装を目指し、その安定性を検証した。以下、どのように実装したのか詳細を述べる。

3. 実装した電力見える化システム

3.1 電力使用量の計測、収集、蓄積機能の実装

ここでは、実装した電力見える化システムの電力計測/データ収集/データ蓄積機能について述べる。

今回、各世帯の電力使用量を収集する為に、既製のスマートメータ、GE 社製の型番 I-210+c[®]を使用した。

スマートメータとは、電力の供給側、需要側の双方向から最適化を図ることを目的としたスマートグリッドを実現する為に開発、導入されたものであり、インターネット通信の機能を備えた電力メータである⁸⁾。アメリカやヨーロッパなど既にスマートメータを実用化している国では、スマートメータによって収集された電力使用量は課金に使用することが一般的であるが、本研究では電力使用量の測定を行うことのみを目的として使用するものとする。計測だけを目的にするのであれば、パナソニック電工等から既に実用化され購入可能なエコパワーメータ等でも電力使用量の計測は行うことができるが、今回は実験場所が遠隔であること、且つ世帯に対して安全な環境を提供する必要があったため、既に実績のあるこのスマートメータの使用を決定した。スマートメータは各世帯の配電盤、またインターネット通信を行うためにモデム双方に接続される。図1は実際のスマートメータと配電盤の設置状況である。



図1 世帯におけるスマートメータの設置例

また、本機能では、インターネット・オンライン化され、広域にわたる情報の集中監視、見える化、遠隔制御を実現可能するために国際標準化された、IEEE1888⁷⁾を通信プロトコルとして採用した。この通信プロトコルを使用することにより、スマートメータから計測/収集されたデータは統一フォーマット化され、ストレージに蓄積される。以下に、電力メータからデータを取得する際の、IEEE1888 のシステム・アーキテクチャを示した図2を示す。

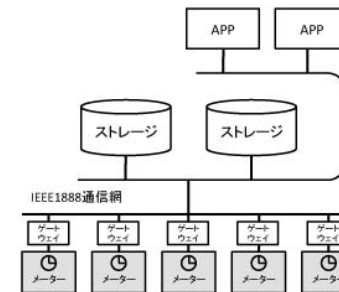


図2 IEEE1888 システム・アーキテクチャ

今回 IEEE1888 が提供するシステムにおける、ゲートウェイを通じてのデータ変換/通信、また、データ蓄積、Web ページからの HTTP 通信による WebAPI(Application Interface) へのアクセス/データ取得を利用した。上記を含めた本システムの全体を図3に示す。

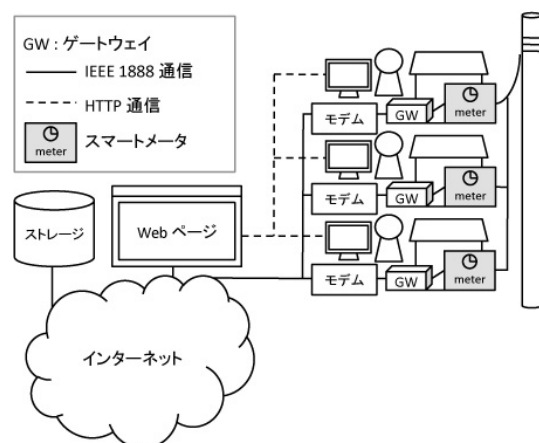


図 3 世帯における電力情報収集システム

本通信プロトコルの採択にあたり、スマートメータとモデム間にゲートウェイと呼ばれる機器を繋ぐ必要がある。本システムにおけるゲートウェイとは、各スマートメータの持つ独自規格の通信プロトコルを IEEE1888 に変換し、各世帯に配線済の TCP/IP ネットワークに繋ぐ通信インターフェースの役割を果たすものである。

当初、通信プロトコルに関しては、I-210+c®に搭載されていた GE 社の独自規格である、MuNet 通信を利用していた。しかし、今回は全ての世帯において同一メーカーのスマートメータを使用したが、今後状況に応じて異なるメーカーのスマートメータを使用する可能性が考えられるため、IEEE1888 による統一フォーマット化を行うことで、データフォーマットの統一化処理を行う必要がなく、場合に適したスマートメータ/もしくはセンサを使用することが可能となる。

本スマートメータでは 1, 15, 30, 60 分間隔の計測/データ取得が可能であったため、本システムでは 1 分間隔でのデータ収集を行った。

3.2 取得した電力使用量の提示機能

各世帯に情報を表示する為の機能について説明する。

表示方法として、世帯ごとのリアルタイムの電力使用量の表示を行うための、専用 Web ページを作成した。その Web ページに表示コンテンツとして、

- 1 時間あたりの電力使用量

- 1 日の積算電力使用量

の 2 つを 15 分ごとと更新を行う。電力情報は 1 分間隔で収集されているが、1 分値をそのまま表示すると情報の更新性が早過ぎる為、世帯の全体電気使用量の情報提示という観点から、15 分間隔での更新を採用した。

まず、MuNet 通信のインターフェースとして WebBOT と呼ばれるソフトウェアを通じて取得したデータにアクセスする必要があったが、CSV ファイル化や WebAPI の構造が複雑であり、Web ページへの反映のためには新たなモジュールの開発を必要とした。しかし、IEEE1888 を採用したことにより、同システムが提供している WebAPI からデータ取得を行うことにより、場合によっては必要となるモジュールの開発を回避することができる。

- (1) 棒グラフ：1 時間ごとの電力使用量の棒グラフの表示、現時間を表す棒グラフは 15 分ごとに最新の使用量が反映される
- (2) 文字情報：現在の消費電力を 1 日の積算電力量 (w), 1 時間あたりの消費電力量 (kWh) で表示

図 4 に実際の Web ページを示す。

4. 実証実験と検証方法

ここでは、上述の電力見える化システムが、実際の世帯における環境化で安定して動作するのかを因るための実証実験についての方法と、検証方法についてを述べる。

4.1 実験対象

まず、実証実験を行った北海道川上郡弟子屈町について述べる。弟子屈町は道東に位置する釧路市から北約 80km に位置しており、冬期の冷え込みが大変厳しい地域である。

2010 年から弟子屈町役場を通じて、自宅にスマートメータを設置とデータの収集に協力してくれる世帯を公募し、4 世帯の協力を得た。各世帯を、世帯 A, 世帯 B, 世帯 C, 世帯 D とする。2011 年 10 月から上記世帯にスマートメータメータ、及びゲートウェイを設置し、2011 年 11 月 1 日から 2012 年 1 月 31 日までの 3 ヶ月間実証実験を行った。実証実験の協力 4 世帯全ての世帯においてインターネット通信環境を配備済であり、電力計測/Web ページ閲覧、共に行うことができる世帯からの協力を得た。

4.2 検証方法

上述の実証実験対象に対し、安定した電力の見える化システムが提供できたかどうかを以下の検証項目に沿って検証する。

- (1) 計測/収集データの欠損値の確認、あった場合はその事態の究明



図4 電力モニタリングサービス Web ページ

(2) 蓄積したデータを使用した Web ページに対するユーザから見た安定性の確認

検証項目 (1) に関しては、3ヶ月間取得した電力使用量をグラフ化したもので欠損がないかを確認した。図 5, 6, 7, 8 は各世帯のデータである。各データの詳細においては、検証結果にて詳細を述べる。

検証項目 (2) に関しては、各世帯に対して行ったシステムに関する使用感についてのインターネットによるアンケート調査の結果から検証する。各データの詳細においては、検証項目 (1) と同様に検証結果にて詳細を述べる。

4.3 検証結果

ここでは、検証項目 (1), (2) における検証結果を述べる。

以下検証項目 (1) について、実際に 3ヶ月間取得されたデータを元に電力見える化システムに対する安定性が保てたかどうかについて結果を述べる。

世帯 A

世帯 A は、2011 年 11 月 15 日に欠損データが出たものの、その後の聞き取り調査から外出

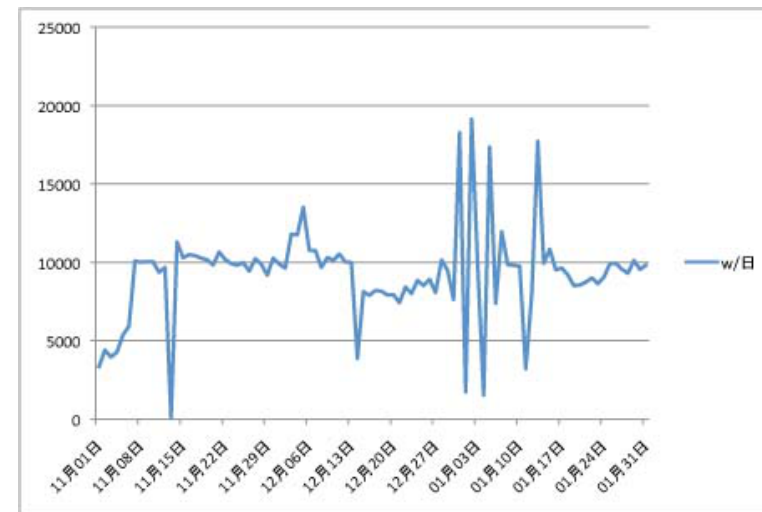


図5 世帯 A の電力使用量取得結果

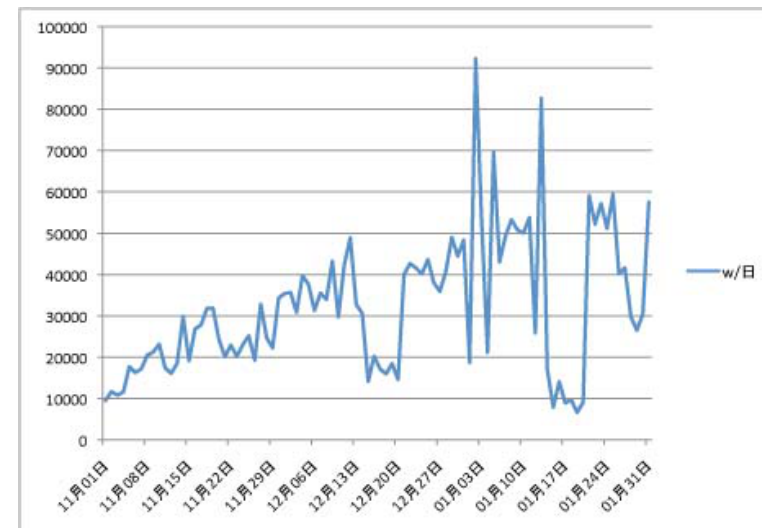


図6 世帯 B の電力使用量取得結果

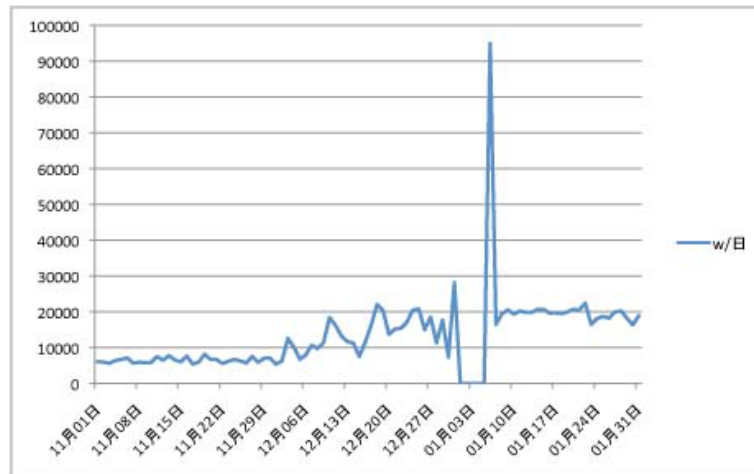


図7 世帯Cの電力使用量取得結果

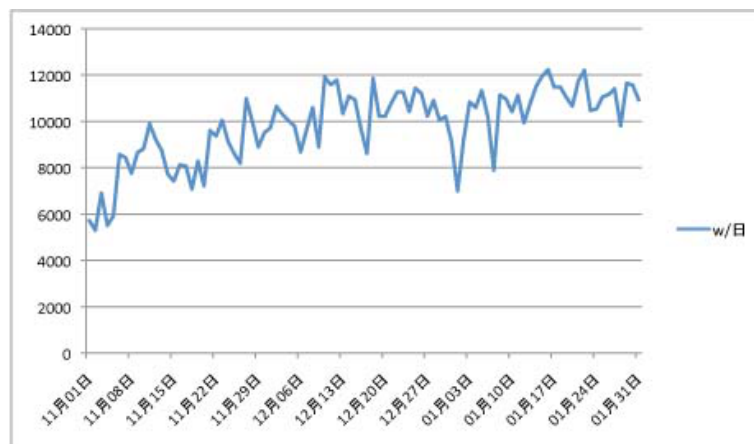


図8 世帯Dの電力使用量取得結果

時にはブレーカーを落とし電力供給を停止したことからシステムそのものが停止したことが分かった。世帯Aは元々節電意識が強く、1日以上外出時には電力を落とすことが多いことが分かり、欠損データはシステムに関連したものではないことが判明した。

世帯B

世帯Bは、3ヶ月の実証実験中、欠損データは見られなかった。よって安定したデータ取得が行われていたことが明らかになった。

世帯C

世帯Cは、2012年1月1日から5日までの欠損データが認められた。この欠損データの原因について確認した所、何らかの原因によってスマートメータのモデムを繋ぐLANケーブルが抜けていることが判明した。この作業においては、世帯Cの実験協力者自身に作業を行って貰い、復旧することができた。これは、実験協力者が日常からインターネットを利用しているから可能であったことであることから、日常的に使用することを目的として設計されたシステムにおいて、その安定性を求める際に、利用者が新たな手順を覚える必要のない機材/基盤を利用することの重要性が示唆された。また、2012年1月10日には90,000wという電力使用量を取得したが、この値は通常において考えられない数値である。この事態について世帯に確認した所、このような多大な電力使用を行っていないという事実を確認したため、この数値は異常値であると考えられる。このデータはそのまま見える化Webページに反映されていることから、このような異常値があった場合には、システム上で何らかの補正が必要であることが分かった。

世帯D

世帯Dは、3ヶ月の実証実験中、欠損データは見られなかった。よって安定したデータ取得が行われていたことが明らかになった。

以上、一部異常値が見られたものの、検証項目(1)において、本システムは使用した実証実験に参加した4世帯において3ヶ月間安定した挙動を確認できた。

以下検証項目(2)について、3ヶ月の実証実験後に行なったインターネットによるアンケート調査を用いた結果を述べる。まず、アンケート調査から得た、実験協力者のWebページ閲覧状況を表1にまとめた。尚、システムの閲覧状況については5段階評価(1.頻繁に見る2.よく見る3.普通に見る4.時々しか見ない5.見ない)、システムの使用感については5段階評価(1.とても良い2.良い3.普通4.あまり良くない5.悪い)で行った。

このアンケート調査の結果から、電力見える化システムの閲覧を行っていない世帯D以外、本システムの使用感について概ね良いとの意見を得た。このうち、世帯Cにおいては仕事で

表1 アンケート調査結果

	システムの閲覧状況	システムの使用感について
世帯 A	頻繁に見る	とても良い
世帯 B	頻繁に見る	とても良い
世帯 C	頻繁に見る	良い
世帯 D	見ない	普通

PC/インターネットを日常的に利用していることから、閲覧回数は数時間単位と、他世帯と比べて最も頻繁であった。そのため、世帯Cは上述のようなデータの異常が行った際に敏感に反応し、実際値であるかどうか不明な点があったため、概ね使用への満足感が高かったものの、最高の満足値とは回答できないとの返答を得た。この結果から、節電を促すためには正確な値を提供する必要があるため、データ収集に対する安定感はもちろんのこと、異常値に関しては補正を掛けた上で表示を行う等、工夫が必要となることが分かった。

5. 考 察

検証結果から、本電力見える化システムは、データ収集において、実証実験協力者からの使用感において、比較的安定したシステムとして構築できたことが分かった。世帯における節電を促すための電力見える化システムの在り方を検証するためには、今後世帯数を増やすことが課題となりそれに伴って重用視されるシステムの安定性であるが、既に実用化されている機材/基盤の使用、また通信プロトコルの採用によって、一定の性能が保証されることが分かった。高価で大型の見える化システムは既に実用化されているが、このように安価で既に家庭で使用されている機材/基盤を利用することによって、多くの世帯に対して導入することができる可能性がある。

そのため、今回検証した結果を元にデータの補正など、電力使用量の安定した計測/収集/蓄積だけでなく、表示の際にはその世帯のデータとして正しいものなのか、妥当性を配慮する必要があることがわかった。今後はその補正をどのようにシステム上で行うのかに焦点を当てて研究を進める予定である。

6. おわりに

今回節電を目的とした電力の見える化において、インターネットを利用した即時性の高いモニタリングシステムを実装し、4世帯で実証検証を行った。協力世帯における本システムの3ヶ月間のデータ収集、及びインターネットによるアンケート調査の結果から、本システム

の安定性に対する一定の効果を検証できた。

また、本実証実験から得た知見の元、データ表示時の安定性に対する配慮、それに伴う設計を検討する必要があることが分かった。今後は、世帯の多種多様な電力使用状況における最適な電力使用の方法の提示、各々の世帯に対する節電に対する目標設定値の提示、使用に対するフィードバックや対策の提示などの検討と共に取り組む必要があると考える。

謝辞 本研究の検証実験に際して全面的なご協力を頂きました、北海道川上郡弟子屈町役場企画財政課の皆さまにご心より感謝いたします。また、実証実験に協力いただいた北海道川上郡弟子屈町の住民の皆様にご礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 湯浅 和博, 劉 正賢, 吉野 博, 長谷川 兼一: 低負荷型ライフスタイルによる住宅のエネルギー消費削減の可能性, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.642, pp.1019-1024 (2009)
- 2) 八木田 克英, 岩船 由美子: 家庭用エネルギー診断によるエネルギー消費の見える化とその効果, エネルギー・資源/Energy and resources, Vol.32, No.4, pp.247 (2011).
- 3) 加藤 丈和, 松山 隆司: スマートタップネットワークによる消費電力見える化システム, 情報処理学会研究報告. MBL, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告, Vol.2011, No.6, pp.1-6 (2011).
- 4) 河合佑介, 萬代雅希, 渡辺尚: 無線センサーネットワークにおけるデータ集約方式の省電力化効果と遅延について, 一般社団法人情報処理学会 全国大会講演論文集, No.1, pp.255-257 (2011).
- 5) Abrahamse, W. and Steg, L. and Vlek, C. and Rothengatter, T. : A review of intervention studies aimed at household energy conservation, Journal of Environmental Psychology, Vol.25, No.3, pp.273-291 (2005).
- 6) 上野 剛: 見える化における情報技術活用の最前線(持続可能な社会に向けた「見える化」), 日本エネルギー学会誌, Vol.89, No.7, pp.632-638 (2010).
- 7) Ochiai, H., Ishiyama, M. and Momose, T. and Fujiwara, N., Ito, K., Inagaki, H., Nakagawa, A., Esaki, H., : FIAP: Facility information access protocol for data-centric building automation systems, Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2011 IEEE Conference on, pp.229-234 (2011).
- 8) 日高一義: ICT から見たスマートグリッドの可能性, 科学技術動向, No.113, pp.10-24 (2010).