

IoT 大学のとりくみ (ネット電力計)

東京海洋大学大学院 刑部真弘

1. はじめに

インターネットの発達で、我々の生活を大きく変えようとしている。多くの情報が小さな電子チップを装着されたモノから発信され、手軽に得られる「モノのインターネット (IOT)」社会は目前に迫ってきている。エネルギーの世界でも、この IOT によって不安定な太陽光・風力等の再生可能エネルギーや電気自動車等の蓄電池がきめ細かにコントロールされ、これまでの大規模集中電源にとって代わる可能性も示唆されている。さまざまな電気製品等の使用電力も IOT による見える化が行われ、我々の省エネ行動が促進されつつある。この見える化にとって重要なネット電力計について紹介したい。

2. ネット電力計の仕組み

図 1 は、海洋大において開発したネット電力計である。サイズを比較するために左側に SD カードを置いてあるが、写真の最新型は非常に小さいことが分かる。図 2 に示したように、配電盤や電気製品等の電線を CT クリップではさみ電流計測を行う。このため電気工事等の必要がない。データはネット電力計から Wi-Fi や有線 LAN 等でネット上に送信する。開発したものは、従来のものより計測安定性に優れ、電力収集周期も 1 秒と短いがサーバへの負担も少ない。

これまでは、電力料金課金を目的として 30 分おきに電力量を計測するものがほとんどであり、スマート電力計と呼ばれていた。電力見える化の展開の一つに独居高齢者等の見守りがあり、一般家庭をターゲットとし安価、小型で設定が容易であることを開発目標とした。特に、一般家庭への普及には低価格であることが必須であると考えた。

具体的には、通信方式を Wi-Fi タイプに特化し、かつ、安価な市販電子部品で構成することにより、売り出し価格で 1 万円を超えない構成を目標とした。従来のスマート電力計では 30 分おきだったデータ収集を、毎秒取得する方式を検討した。細かい変動をとらえてデータ化することにより、より深い分析が可能となることが期待される。

このため、データをファイル形式に加工して送信する方法ではなく、図 3 に示したように、時刻および電力量を直接データサーバに送る

方式とすることで、送信および受信負荷を軽くすることとした。



図 1 ネット電力計 (右)

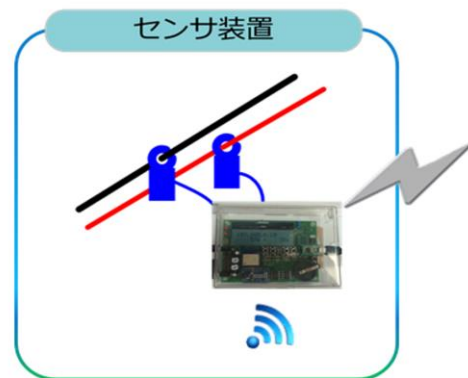


図 2 設置方法

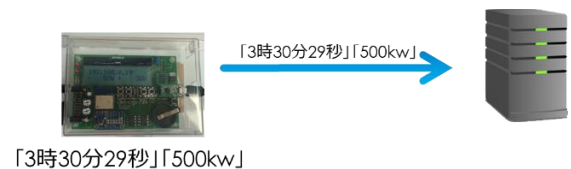


図 3 直接データサーバに送る方式

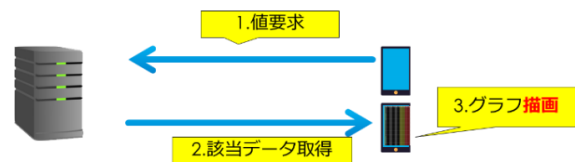


図 4 端末でグラフ描画する方式

さらに、システムを支えるサーバシステムの負荷低減も重要と考えた。従来はサーバ側でグラフを描画し、端末に表示をさせていたが、図 4 に示したようにグラフ描画を端末 (スマートフォン、タブレットやパーソナルコンピュータ) とすることで、サーバの負荷を軽くした。端末の進化は著しく、しかも数年おきに買い替えら

れる。これによって作図に必要な時間は年々早くなっていくことが期待されるとともに、計算リソースを分散させることが可能となる。

これまでの検討及び実証試験から、新たなネット電力計として必要な条件は次のような特徴を持ったものであることが考えられた。

(1) 軽いこと

配電盤に近い比較的高い場所への設置を考慮し、軽い製品が良いと考えた。(既存機器は鉄製で重量 1.2kg)。現在のセンサー重量は 90g 程であり、両面テープで壁面取り付けが可能である。

(2) 設定が簡単なこと

設定を簡単に行えるようにした(以下は設置作業具体例)。

- ① 配電盤や電気製品のケーブルにセンサーをセット
- ② 本体装置に電源 (USB 給電) 接続
- ③ 無線ルータ接続情報設定 (スマートフォン利用)

3. コミュニティ電力の計測

電力計測場所として海洋大越中島キャンパス、商業施設である八景島シーパラダイス(管理棟、水族館)、被災地域である岩手県野田村(役場、体育館、総合センター)、大規模マンション、さらには東京湾岸地域に新設されたサテライト保育園の 5 か所を対象にした。コミュニティ全体消費電力をスマホ等の携帯端末等で「見える化」できる機能をもつネット電力計を設置し、消費者が手軽にリアルタイムで全体消費電力量を閲覧確認できる環境を整えた。消費者にコミュニティ全体消費電力量の確認を推奨したうえで、具体的な省エネ行動の例を示した時、省エネルギー行動を促進できるのかが重要である。従来の機械的に電力使用を制御する節電方法ではなく、消費者自身が電力を把握することで省エネ行動ができるのかという点について、コミュニティの規模や形態の違う 4 つの計測地について検討考察した。これらの善良な住民 (Good citizens) による省エネアクションは、再生可能エネルギーを上手に使う新エネルギー構想の最も重要な中核をなすものである。

2005 年に東京海洋大学越中島キャンパス(図 5)で最初に導入したネット電力計は、電力線を挟むセンサーとデータ収集部をケーブルで結んでいた。このため、既存電気施設等において、このケーブルの引き回しが困難な場合には設置ができなかった。これに対し、Wi-Fi を用いてセンサーとデータ収集部をワイヤレスにすることに成功した。さらに、収集した電

力データを別のサーバに転送し、Linux で専用開発したソフトウェアで処理をして、ネット上に公開するソフトウェアを開発した。



図 5 越中島キャンパス

震災後直後の 2011 年夏は、電気事業法第 27 条に基づく電力使用制限により 500kW 以上の大口需要家に前年比 15% の削減が求められた。このため、東京海洋大学越中島キャンパスを対象に、教職員、学生が電力状況を把握する事により節電行動を行うか検討を開始し、現在も継続して行っている。大学というコミュニティにおいて節電行動を促すことのできる見える化を実現するため、ネット上での表示はシンプルな棒グラフとした。また、節電目標の最大値である 694kW 以上をイエローゾーン、キャンパスの契約電力量をレッドゾーンで示し、危機感を喚起することにした。

教職員、学生に公開した電力需要の画面を図 6 に示す。縦軸は時間、横軸は電力需要 kW を表示する。また、緑の山形の需要がイエローゾーンを超えると黄色に変わる。イエローやレッドゾーンに突入すると棒グラフも緑から黄色または赤に変わり注意を喚起する。また、この場合には、最初の試みとして 10 分ごとの電力の消費状況を表示した。

結果として、大学の構成員が、スマホや PC 等で現在の全体電力使用量をリアルタイムに知ることにより、大きな投資なしに 15% の節電をクリアした。成功した一番大きな要因は、自分の節電行動に対する貢献がリアルタイムにわかることである。また、複数の構成員がキャンパス全体の電力を把握し、協力して具体的な節電行動を行うことにより連帯感が生じたことも重要である。

これらのことから、大規模で高価なシステムの導入なしに善良な構成員の行動のみで節電が出来ることがわかった。これまでのネット電力計なしの節電では、事務室や会議室等の空調を強制的に止めていたが、見える化によって必要な場所では温度調整を行いながら空調等が使用可能となり、節電をする状況下にあっても省エネと快適な環境を両立出来た。なお、画面でピーク時間帯の電力需要がイエローになっ

た直後に、省エネ行動により再びグリーンに戻っている。人が需要をコントロールしているのであって、機械による強制制御ではないことも注目したい。

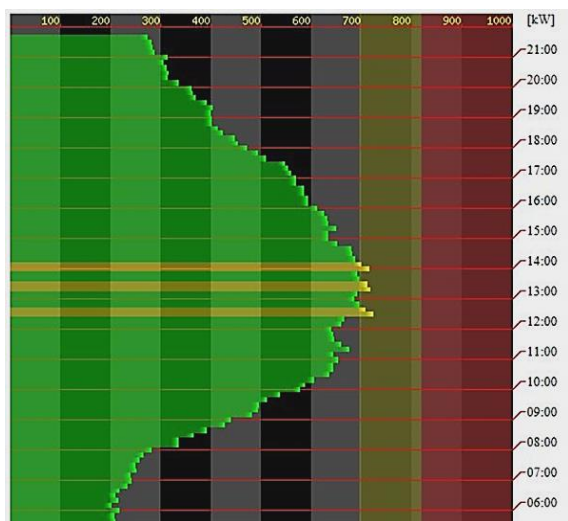


図6 海洋大において公開した図

2011年夏、横浜八景島(図7)では夏休みの来場者ピークに備え、一部空調等を強制的に止める節電と共に、大型非常用発電機を導入して電力ピークカットをおこなった。

2012年夏から始めた省エネ行動は、八景島内の商業施設および管理棟、水族館の全体電力使用量をリアルタイムでネット電力計にて示すことにより構成員に節電行動を促すだけとした。これらに含まれる50店舗のレストラン等は、経営者が異なる営利目的施設であり、これらが省エネ行動をどのように展開するかが問題である。

公開した電力需要の画面を図8に示す。システムおよび画面構成は、海洋大学で実施した際とほぼ同様であるが、2分間隔で電力の状況を分かるようにした。そのため、より迅速な節電行動が期待できる。これらの取組により、最大電力量の約10%の削減を達成することが出来た。この結果、電気料金に含まれる基本料金を大きく下げることが可能となり、年間約400万円のコスト削減ができた。商業施設で省エネ行動を実施する場合、来場者の快適性や安全性確保との両立が必要となるが、この両立を「見える化」で実現することができた。

一日の業務が決まっている場合、節電しろと言われても困難なことが多い。だが、全体の電力ピークを下げるのは、各人や店舗がずらして使えばよい。例えばお蕎麦屋さんでは、お昼の繁忙期に蕎麦をゆでるお湯を急いで沸かすのではなく、事前に沸かしておくだけで良い。これらは現在も継続して行われている。

ところで、白の点線で囲ったように午後8時半から15分程度、電力使用が200kWも落ち込んでいるのを画面で確認できる。200kWといえば、一般家庭だと500軒分の大電力である。これが、普通の日には起こらなくて、土曜日だけに発生する特有の現象であった。最初、理解できなかったが、現地に出かけて初めてわかった。この時間帯に花火が上がっているのである。花火がきれいに見えるように、店舗や施設の方々が減灯、すなわち少し暗くしてくれていた。素晴らしいおもてなしの心であるが、電気は心のある人が使っていることが身にしみて分かる。

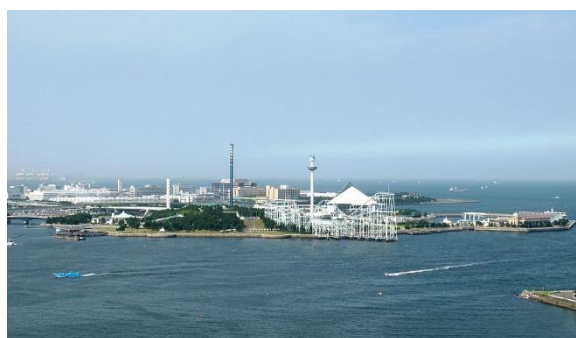


図7 八景島



図8 八景島において公開した図

次に岩手県九戸郡に属している野田村(図9)における役場、学習センター、体育館を統括している全体電力を「見える化」することで、コミュニティにおける消費状況を把握しネット電力計の活用を考えた。なお、3.11震災では役場玄関まで津波が押し寄せ、村全体で甚大な被害を受けた。

この被災地域においては震災の影響が大きく、ネット電力計を設置する前から試行錯誤の節電

が行われていた。2分間隔で電力の状況を表示した図10の昼休み時間帯であるが、職員が照明を消して節電に取り組むなど、省エネ行動が見られた。昼休みの省エネ行動を開始したのは、ネット電力計による消費電力把握ではないと考えられる。ネット電力計を設置したのち、端末での消費電力確認を職員へ推奨し喚起をすることで、さらに合理的な省エネに取り組んでもらうことを試みた。また消費変化やピーク消費を分析することで職員へ消費削減方法のアプローチを展開し、節電につなげる取り組みを行った。さらに機器の更新による消費電力の削減も提案した。

なお野田村役場等における契約電力は192kWであるが、節電目標となるイエローゾーンは163kWに設定した。冬季には朝5時過



図9 野田村（役場、学習センター、体育館）

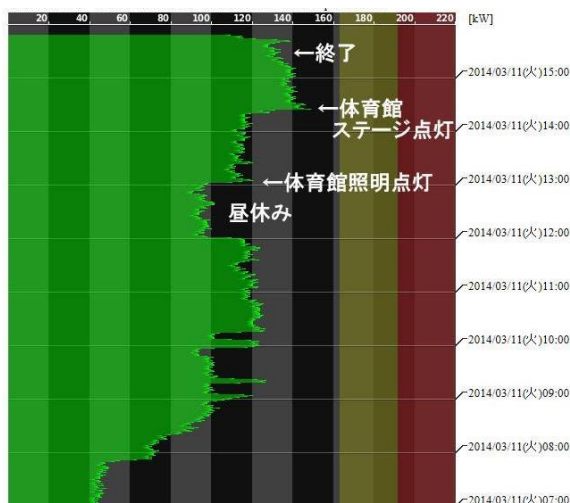


図10 野田村役場等の消費電力

ぎにボイラーの始動によって消費が増加し、始業時間前の8時半頃に大幅に増加する。昼休みには消灯によって20kWほど減少し、昼休みが終わると照明をつけるためまた増加を示す。そして夜間照明によって少し上昇した後、徐々に終業に向かい完全消灯する。

季節や施設使用時間による消費電力量の変動幅が見られたが、ネット電力計によって節電目標である163kWを大幅に下回った電力消費となった。また、昼休みにはどの月も必ず消灯を行っていて、昼休み時間帯の節電の徹底が見られ、これが構成員の絆にもなっている。

2016年春、309軒の大規模マンション（図11）で、ネット電力計を用いた節電実験を行った。その日に自宅にいて協力可能な居住者が、マンション全体の電力をスマホやパソコンで見ながら無理しない範囲で節電を行った。居住者の方々にお願いしたのは、19時になったら空調設定温度を一度下げ、さらに15分後には1℃下げることを、その他の節電を随時行うことをお願いした。この結果、1分間隔で電力状況を示した図12に示したように、節電開始時刻の19時になると、みるみる電力が75kWも下がった。75kWというのは、一般家庭の平均電



図11 大規模マンション

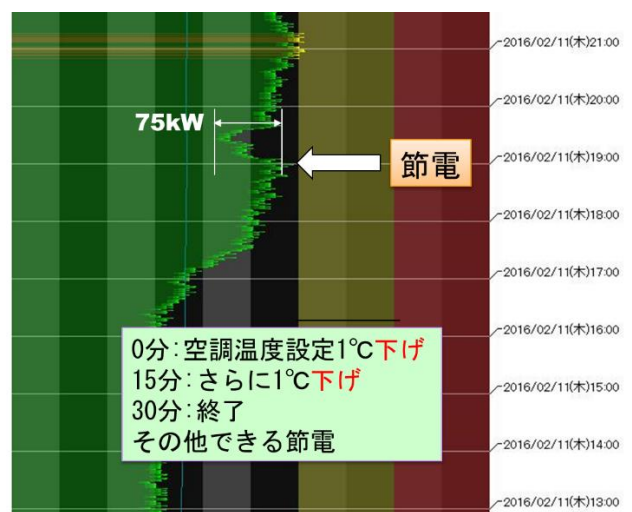


図12 大規模マンションでの節電実験

力使用換算で190軒分の電力である。実験終了後、マンション住民にアンケートをとってみると驚くべきことが分かった。皆さん、無理しないで節電したけど、あんなので節電になるのが不思議だという感想であった。小さな節電アクションも集まると大きな電力削減になることを実感していただいたようである。

都会のマンション住民同士の関係が希薄になり、全員の協力を必要とする震災時等に不安がある。マンション全体の電力見える化を行い、協力して節電行動をとることにより連帯感のようなものが醸成されることが期待される。さらに、この協力によってマンションごとに電気料金が異なることになると、非常に面白い事態となる。無理をしない競い合いによって、日本の電力は生産面だけでなく需要面においてもさらに高効率になる。

マンションの電力が500kW以上の一括契約であれば、電気の供給不足が国民の経済や生活に悪影響を及ぼすと認められる場合、電気事業法27条に基づき経済産業相が強制的に電気使用を制限できる。マンション住民が協力すれば、計画停電は防ぐことができる可能性もある。震災時に協力して節電可能なマンションは防災対応マンションとして認めることも検討中である。

東京湾岸地域に新設されたサテライト保育園（図13）は、以下の特徴を持ったエネルギーに関する最先端施設である。

- (1) 保育園全体の電力「見える化」
- (2) 太陽光および風力発電
- (3) EVによる蓄電システム
- (4) 緊急時EVや船舶からの給電システム
- (5) ペアガラス等による超断熱構造

電力の表示は、これまでの経験を生かし1分おきにした。図14に子供たちや保育士さん達にも好評な全体電力表示画面を示す。午前8時過ぎから電力が立ち上がり、スパイクが乗った電力需要が見られる。このスパイクはエレベーター使用によると考えられる。この電力は外部から供給されるものを示しており、内部需要や太陽光等の発電量によって影響される。

4. 独居高齢者見守り

独居高齢者の孤独死、独居死は現代において解決すべき大きな問題の一つとなっており、防止策としてとられている見守りの方法には、朝起きた時家の前に旗を上げてもらう方法、福祉職員が逐一独居高齢者宅に伺う方法やセンサー等で監視する方法などが取られている。これらは見守られる側がプライベートを監視される等の精神的ストレスや肉体的負担を感じた



図13 サテライト保育園



図14 サテライト保育園の電力

りするなど、不都合な点がいくつか存在し、これにより見守られる側が拒否することで孤独死者も出ている。

そこでストレスフリーな見守りの方法として、独居高齢者宅に「見える化」ネット電力計システムを用いて使用電力から見守りを行う方法について検討している。離れた場所に住む身内の方などの見守る側が、各端末からでも能動的な電力使用を確認することで在宅安否確認を行えることを目的とし高齢者見守り実験を行った。これは消費電力変化の波形から能動的な行動を読み取れることを目指した実験である。

グラフ表示は端末側で行い、新たに表示目盛りを秒単位、分単位、時単位、そして日単位とできるようにした。図の左端が現在であり、右にいくと過去に遡ることになる。

図15は、分単位で示した電力表示であるが、電気釜保温時のパルス状電力需要、トイレ着座時や水洗使用時に特有な電力需要、玄関灯や換気扇使用時の電力需要が明確に示された。

図16には電気釜での炊飯パターンを示した。最初はパルス状に少しずつ加熱（はじめチョロチョロ）をし、中盤で強加熱（中パッパ）し、最後は加熱をしない「むらし」期間となる。驚くべきことに、何合のご飯を炊いたのかも識別可能である。

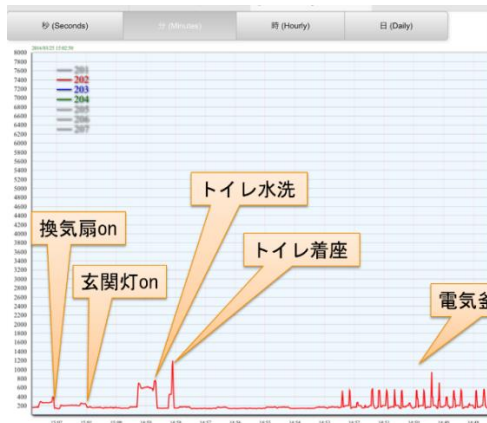


図 15 電力表示例

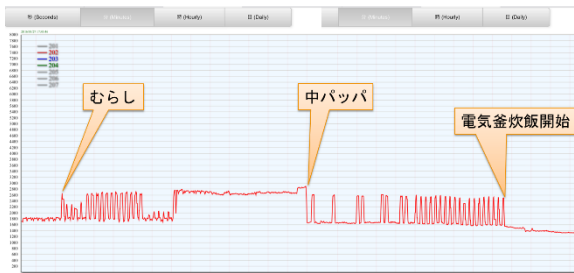


図 16 電気釜の炊飯パターン

5. まとめ

近年、スマートフォンやタブレット等端末の計算能力の向上は著しいものがある。このため、従来は電力需要グラフをサーバ側で描画していたものが端末でも処理できるようになってきた。ネット電力計は、分電盤等での計測データをサーバに送り、サーバは端末にデータを送る。サーバは、従来のデータ処理機能から解放され、データの受信・送信のみに専従できるようになり、多くの場所での電力計測データに対応可能となった。また、グラフも秒単位で表示可能となり、きめ細かな電力需要挙動を把握できることとなった。

IOT の一種と考えられるネット電力計を用いることによって、電力が何に使われているか正確に認識できるようになり、特に一人暮らしの高齢者見守りに使われることが期待される。また、マンション全体電力のきめ細かな把握も迅速にできるようになった。開発したネット電力計の仕組みは、電力データだけではなく、温度、湿度や二酸化炭素濃度等の情報をネット上に送ることが可能であり、住環境における快適度も検出できる。

将来、ネット電力計は電力情報を収集し、不安定な太陽光や風力エネルギーを使ったり、電気自動車等のバッテリーに充電したりする新エネルギー構想にも使われることが期待され

る。なお、蓄電装置として期待される車の 95% は駐車場にあるというデータもある。

そして、ネット電力計のような IOT チップに太陽帆（ソーラーセイル）を付け、太陽系から最も近い恒星プロキシマ・ケンタウリの周りを回る地球サイズの惑星に送り込もうという計画もある。この 4.2 光年しか離れていない惑星で地球外生命体が発見される確率は高い。

参考文献

- (1) 刑部真弘, エネルギーのはなし, 朝倉書店, (2011)
- (2) 刑部真弘, エネルギー専攻教授の憂鬱, kindle 版, (2014)
- (3) SMART 研究会, 地域分散エネルギー技術, 海文堂, (2004)
- (4) Masataka KAWANA, Masahiro OSAKABE, Kenji HIRANUMA, Masaru KITA, Miyuki YOSHINO, Katsuko HAMAGUCHI and Noriko SEKIGUCHI, The New solutions for Energy issues with Town development, Proceedings of the International Conference on Power Engineering-15, ICOPE-15-1147, (2015 年 11 月)
- (5) Miyuki YOSHINO, Masahiro OSAKABE, Kenji HIRANUMA, Masataka KAWANA, Masaru KITA, Katsuko HAMAGUCHI and Noriko SEKIGUCHI, The New Solutions for Energy Issues for Condominiums, Proceedings of the International Conference on Power Engineering-15, ICOPE-15-1140, (2015)
- (6) 刑部真弘, ブルーカーボン, kindle 版, (2015)
- (7) 刑部真弘, エネルギーとマンションコミュニティ, 第 3 回国連防災国際会議, 仙台, (2015)
- (8) Masataka Kawana, Kenji Hiranuma and Masahiro Osakabe, Disaster-proof smart grid using ships to use renewable energy, Proceedings of the GRE2014 International Conference, Tokyo Big Sight, July 27-August 1, (2014)
- (9) 刑部真弘, 船舶を利用した防災スマートグリッド, 計測と制御, 53(6), pp.517-522, (2014)
- (10) 刑部真弘, 防災スマートグリッドと住民の連帯感醸成, マンションライフ継続支援協会年会基調講演, (2014)
- (11) 刑部真弘, 新しいエネルギー構想について, ボイラ研究, 384, pp.4-9, (2014)