

サービスインタフェースモデルに基づいた 利用者単位の消費電力測定手法の提案

高橋麻美 根路銘崇 沼尾雅之
電気通信大学情報理工学研究科

1 はじめに

近年、温暖化対策の目標達成のためにさまざまな取り組みが行われているが、産業部門での減少傾向に対して、家庭部門でのCO₂排出量は増加傾向にあり、家庭でのCO₂排出の40%以上が電力によるものである[1]。さらに、震災の影響を受け、地域全体での節電対策として計画停電が実施されるなど、家庭での節電がより重要な課題となっている。

また、消費電力の値をフィードバックして提示することで、5~12%の省エネ効果があることがわかっており、家庭用の消費電力見える化システムが数多く存在する[2]。しかし、既存のシステムでは消費電力を見える化するだけであり、誰によってどうやって消費されたのかがわからないという現状である。

そもそも、人間が電化製品を利用するというのは、電化製品が供給するサービスを楽しむためである。たとえば、炊飯器は調理、エアコンは室温調整というサービスを供給するものである。

本研究ではサービスの流れに着目して、消費電力を利用者と紐付けするモデルを作成し、電力が誰によって消費されたかを測定する手法を提案する。

2 電力見える化システムの現状

家庭内での消費電力削減を目的とした、消費電力の見える化システムが多数存在する。GoogleのPowerMeterは家庭の電力計に取り付けることでリアルタイムの消費電力をインターネット上で確認することができる。電力計には通信機能を備えており、米国や欧州を中心に導入が進むスマートメータが対応している[3]。PanasonicのECOマネシステムは回路毎に消費電力を測定でき、過去との比較や目標の達成度を確認することができる[4]。富士通のスマート電源タップは、コンセントの挿し口毎の測定が可能であり、スケジュールとの連携でパソコンの消し忘れなどの不要電力を明らかにすることができる[5]。

このように、既存のシステムでは電化製品毎に消費電力を見える化するのが主な機能である。そのため、節電の工夫のようなアドバイスはできても、実際の消費電力の値から無駄を見つけて、節電へつなげる仕組みがあまり存在しない。それは、消費された電力が無駄であるかどうかは、利用者の振る舞いに深く関連していて、利用者の情報なしで無駄であると判断するのは難しいからであると考えられる。そのため、無駄な電力を見つける分析を行うためには、利用者の情報が不可欠であり、既存のシステムでは詳細な分析が不可能である。

さらに、グリーン東大工学部プロジェクト[6]では、“させられる”環境省エネ対策から“やりたくなる”環境省エネ対策にするために、消費電力の見える化を行っている。このプロジェクトでは、機器や場所毎に無駄の定義を行い、ユーザの無駄の発見を支援している。また、各階に居住する人物を登録し、部屋毎の消費電力を、部屋の住人による消費電力としてリアルタイムで紐付けを行っているが、部屋に複数の人が存在した場合が考慮されておらず、共有のスペースにおける消費電力については触れられていない。

3 サービスインタフェースモデル

本研究では、電化製品の複数の利用者と、電化製品の関連付けを可能にする新たな消費電力測定手法を提案し、節電のための詳細な分析を目指している。また、利用者の視点を組み込むことは、電化製品の機能を利用者が利用しているという状態を捉える必要が出てくる。これらの複数の関連要素について、UMLを用いて、サービスという視点を組み込むことによって整理している。このサービスの流れに着目したモデルについて、サービスインタフェースモデルと呼ぶ。

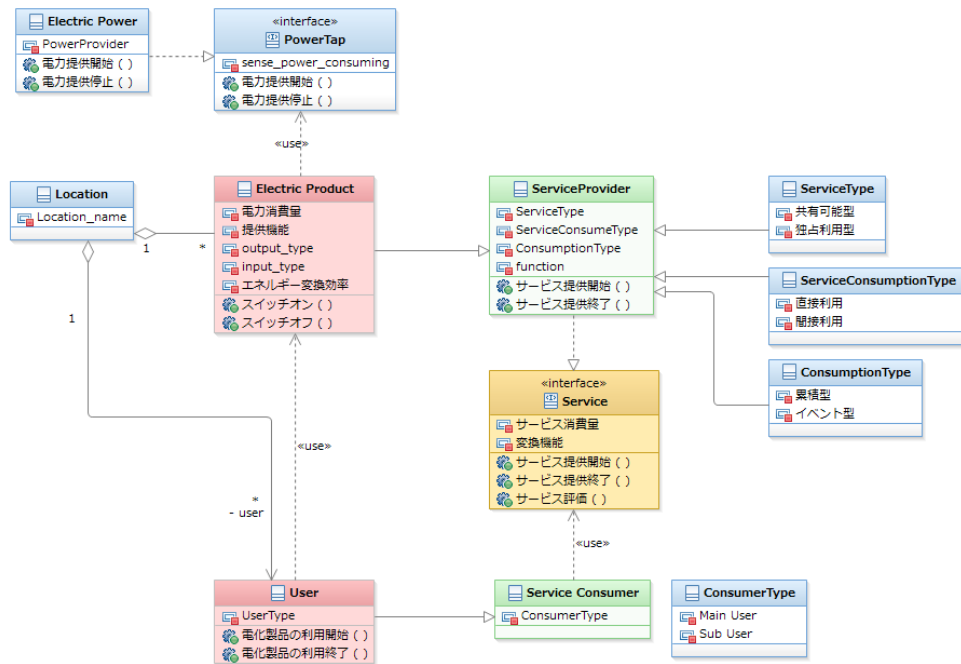


図 1: サービスインタフェースモデル

3.1 UML によるモデル化

電化製品と利用者の関係を、さらにサービス供給者とサービス受給者という関係で捉え、図1のようなモデルを作成した。このモデルは、以下のように、電化製品、利用者、サービス供給者、サービス消費者、サービスの5つのクラス（インタフェース）から構成される。

1. 電化製品（Electric Product）

電化製品はサービスを供給するものとして定義される。電化製品クラス Electric Product は、電力クラス Electric Power から、与えられたエネルギーをサービスに変換するものとして定義される。エアコンや電気ケトルなどでは、電力から室温変化や水温変化という基礎的物理量変換機として定義されるし、掃除機や洗濯機であれば、床や衣類の汚れ量減少装置として定義される。従って、このクラスでは、入出力タイプやエネルギー変換効率などが属性として定義される。

2. 利用者（User）

利用者は、電化製品を使うことによって、何らかのサービスを受給するものとして定義される。

通常、利用者と電化製品は同じ空間を占め、その電化製品を独占、あるいは共有することによって、サービスを消費する。

3. サービス供給者（Service Provider）

電化製品の抽象クラスとして、サービス供給者クラスを定義する。一般的に、サービス供給にはエネルギーと時間が必要であるので、こうした入力をどのようにサービスに変換するかということが定義される。

4. サービス消費者（Service Consumer）

利用者の抽象クラスとして、サービス消費者クラスを定義する。ここでは、消費されたサービスが与えた影響、つまり満足度などが定義される。

5. サービス（Service）

サービスは、サービス供給者が、サービス消費者に対して見せるインタフェースとして定義される。これは、サービス供給者に対する API でもあり、例えば、サービスの開始、終了など、サービスの制御が定義される。さらに、サービスの種類やその流れに関する情報も定義される。

3.2 電化製品の分類

3.2.1 共有可能型と独占利用型

電化製品のサービスには、一人で利用するものと、複数の人が同時に利用可能なものが存在する。一人でしか利用できないサービスを提供する電化製品による消費電力は、その利用者がすべてのサービスを消費していることになるため、消費電力もすべて負担すべきである。しかし、複数の人が同時に利用できるサービスを提供する電化製品の場合は、消費電力も分割して負担する必要がある。そこで、電化製品をサービスのタイプによって、以下の二つの型に分類する。

- 共有可能型
複数の人が同時に利用可能なサービスを提供する電化製品。
－ 例：エアコン、照明等
- 独占利用型
サービスを共有せず、一人で利用する電化製品。個人所有の電化製品等がこの分類に属する。
－ 例：PC 等

3.2.2 累積型とイベント型

電化製品の電力の消費パターンの違いによって、累積型とイベント型の二つの型に分類する。

- 累積型
目標を達成するまでサービスの提供を続け、利用者が停止するまで、連続して電力を消費し続ける電化製品。
－ 例：エアコン、照明等
- イベント型
目標を達成するまでの間、一時的に電力を消費する電化製品。
－ 例：電気ケトル、ドライヤー等

3.2.3 直接利用型と間接利用型

志和木らの研究 [7] では、電化製品のタイプをサービスの利用形態で分類し、直接利用と間接利用の二つに分類している。

- 直接利用
電化製品が稼働している最中に、その場で直接サービスを受け取る利用形態。
－ 例：テレビ等
- 間接利用
電化製品が稼働している間は、サービスを利用者ではなく物や空間に提供し、そのものや空間を後から利用者が受け取る利用形態。
－ 例：電気自動車等

3.2.4 分類例

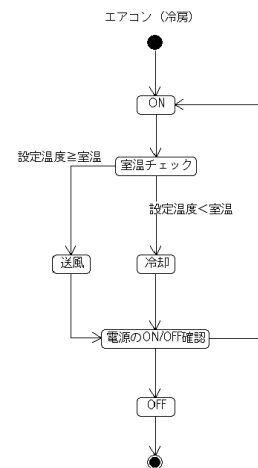


図 2: エアコン (冷房) のステートマシン図

図 2 にエアコン (冷房) のステートマシン図を示す。エアコン (冷房) の場合、利用者が求めるサービスは室温を下げることであり、室温を快適な温度でキープすることである。エアコンは常に室温をチェックし続け、室温が設定温度より高ければ冷却機能が動作し、設定温度以下になると、その温度をキープするために送風機能に切り替わり、快適な室温を保つ。そのために、エアコンはサービスを提供し続けなくてはならず、利用者が停止するまで連続して電力を消費し続ける。この状態遷移は、累積型の定義に当てはまる。また、室内にいる全員がサービスを同時に受けることができるため、累積型の共有可能型電化製品であると言える。さらに、エアコンが動作している間にサービスを受ける場合は直接型と言えるが、エアコンを停止した後に入室し、涼しい室内という

サービスを受けた場合は、間接型とするような考慮が必要となるかもしれない。

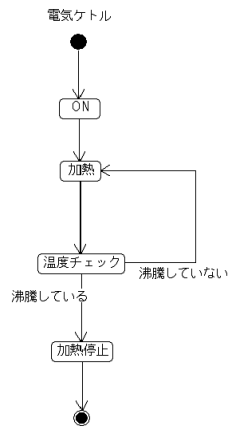


図 3: 電気ケトルのステートマシン図

図 3 に電気ケトルのステートマシン図を示す。電気ケトルの場合、利用者が求めるサービスは水を沸騰させることである。水は 100 度を超えると沸騰するので、電気ケトルは、水が 100 度を超えた段階で目標を達成しており、サービスを終了することができる。そのため、連続して電力を使用する必要がなく、一時的に電力を使用するタイプであることがわかる。これは、イベント型の定義に当てはまる。また、沸騰したお湯は複数の利用者で分けることができるため、電気ケトルはイベント型の共有可能電化製品であると言える。また、電気ケトルの場合、お湯を沸かしている間、利用者はサービスを受けておらず、お湯が沸いた後、間接的にサービスを受けている。そのため、間接型であるといえる。

3.3 利用者単位の電力消費量計算法

3.3.1 電化製品の分類による計算法

従来の消費電力測定は、家庭単位で毎月に行われていたが、それでは詳細な分析が行えず、効果的な節電が行えない。家庭で消費される電力は、家庭内に多数存在する電化製品によって消費された電力であり、その空間に存在する住人たちが電化製品の利用者となる。そこで、利用者単位で消費電力を求めるためには、電化製品毎に測定した消費電力を、電化製品の分類結果によって、利用者へ分担させる必要がある。

独占利用型の電化製品については、利用者単位の消費電力量の計算が簡単であるが、共有可能型については、その利用状況に応じた、利用者単位の計算法の導入が必要である。

共有可能電化製品累積型による消費電力 ($C_i, i = 1, 2, \dots, n$) は、単位時間で消費した電力の合計量を求め、その時間に在室した人数で等分し在室した人に割り振ることにする。ある共有可能電化製品累積型の一人当たりの消費電力は以下の式で求めることができる。 t は単位時間 (ただし $t = 1, 2, \dots, T$) ,

$$C_i = \sum_{t=1}^T \{ (\text{単位時間毎の消費電力量}) / (\text{在室人数}) \} \quad (1)$$

共有可能電化製品イベント型による消費電力 ($E_j, j = 1, 2, \dots, m$) は、電化製品を利用した時間の合計の消費電力を求め、利用した人数で等分し利用者に割り振ることにする。ある共有可能型電化製品イベント型の一人当たりの消費電力は以下の式で求めることができる。

$$E_j = (\text{利用時間の消費電力量}) / (\text{利用者数}) \quad (2)$$

独占利用型電化製品による消費電力 ($O_k, k = 1, 2, \dots, l$) は、利用者が個人で消費した電力なので、すべて利用者に割り振ることにする。以上より、すべての共有可能電化製品累積型の消費電力の合計と、すべての共有可能製品イベント型の消費電力と、すべての独占利用型電化製品の消費電力の合計を合わせたものが、利用者単位の消費電力量 (X) となる。

$$X = \sum_{i=1}^n C_i + \sum_{j=1}^m E_j + \sum_{k=1}^l O_k \quad (3)$$

この計算式を用いて、電化製品毎の消費電力を利用者単位に割り振ることで、利用者毎の消費電力量を測定する。直接利用と間接利用の計算法については、今後検討していく。

3.3.2 分析シミュレーション

既存のシステムでは、電化製品が消費した電力のみを可視化しており、利用者の情報が可視化されていない。そこで、電力が誰によって消費されたのかに注目し、利用者単位での消費電力を測定することによって、より詳細な分析を行うことが可能になり、利用者毎に異なる、サービスに対する満足度を保ちつつ、消

費電力を削減する節電パターンが発見できるようになる。

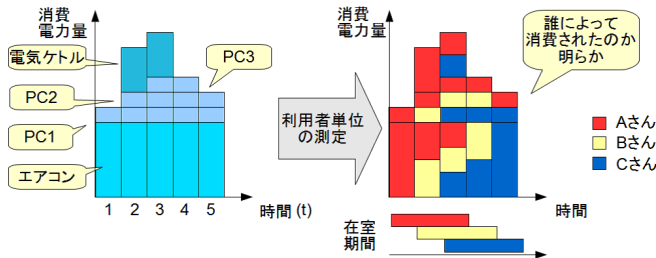


図 4: 消費電力の分割例

例として、研究室内の消費電力を利用者毎に分割する場合を考える。図4の左図は、エアコンとPC3台と電気ケトルによる消費電力のグラフを表している。このグラフから、いつ、どの電化製品によって、どれだけ電力が消費されたのかを知ることができるが、誰によって利用されたのかを知ることができない。それに対し、利用者の情報を加え消費電力を利用者に割り振ると、右図のようなグラフで表すことができ、誰によって電力が消費されたのかが明らかになる。共有可能電化製品イベント型であるエアコンは、在室している人数で消費電力を等分し、共有可能電化製品イベント型である電気ケトルは、実際にお湯を利用した人数で等分している。また、PCは個人で利用する電化製品であるので、そのPCのメインユーザにすべての消費電力が割り振られる。個人で利用する電化製品について、在室時間と比較することによって、電源をつけたままにしている無駄な状態を発見することもできる。

図4から利用者毎の消費電力量のグラフ(図5)を作成した。在室時間は3人とも同じであるが、AさんとBさんでは大きく差が開いた。Aさんが多く消費している理由として、室内に一人である時間にエアコンを利用していること、お湯を多く利用していること(一人で利用していること)、PCを不在時にもつけたままにしていることなどがあげられる。それに対し、Bさんは一人で在室することはないため、エアコンを一人で利用することがなく、また、お湯を利用していないことから、消費電力量が少なかった。

このように、在室時間は同じでも、利用者の生活パターンによって、電力の消費パターンや消費量が異なる

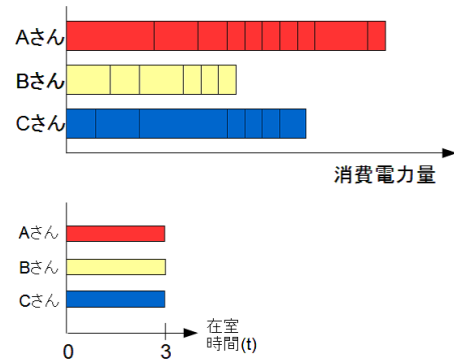


図 5: 利用者毎の比較

ることがわかる。この測定を行い、分析を行うことで、それぞれの利用者に適した節電パターンを発見することが可能になる。

4 家庭用電力消費モニタリングシステム

4.1 システム構成

図6に本システムのシステム構成を示す。

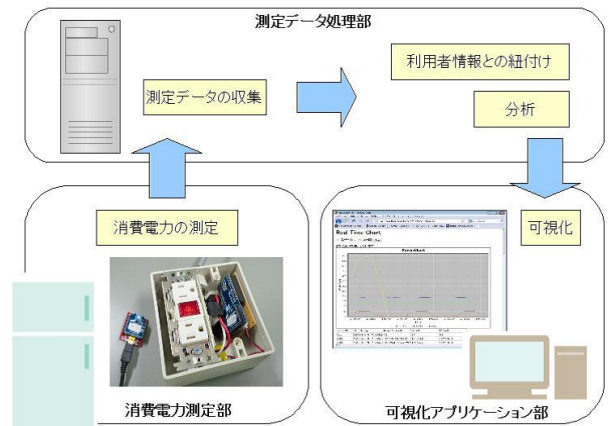


図 6: システム概要図

本システムは、消費電力測定部、測定データ処理部、可視化アプリケーション部から構成される。

- 消費電力測定部
消費電力の測定には、コンセントの挿し口毎に消費電力を測定することができる電源タップを

使用している。タップ部分にセンサが取り付けられており、1秒に一度測定を行う。測定したデータは、電化製品毎に平均・最大・最小の値を求め、10秒おきにサーバへ送信する。

- 測定データ処理部
消費電力測定部で測定されたデータを取得し、電化製品毎の消費電力をデータベースに保存する。データベースにはMySQLを使用し、要求に応じて、電化製品毎の消費電力から家庭全体での消費電力を求めたり、利用者毎の消費電力を求め等、測定データを様々な視点で処理し、分析を行う。
- 可視化アプリケーション部
測定データ処理部から値を取得し、グラフ化する。リアルタイムでの表示や、当日と前日との比較表示などを行い、利用者へのフィードバックを行う。

4.2 RFIDによる入退室モニタ

在室状況を把握するために、RFIDによる入退室管理システムを用いる。RFID(Radio Frequency Identification)とは、RFタグに記憶された情報を、無線通信によって読み書きすることができるシステムのことである。このRFIDを用いたインテリジェント冷蔵庫の研究も存在する[8]。このシステムでは、食品をRFタグ付きの袋で保管し、出し入れする際にリーダにかざして、冷蔵庫内の食品を管理する。このシステムでは、食品ではなく、利用者それぞれ固有のIDを記憶させたRFタグを保有してもらう。入り口のドア付近にRFIDのリーダを設置し、入退室時にRFタグをかざしてもらうことで、個人の所有するRFタグのIDから、誰がドアを通過したのかを把握することができる。これにより、誰がいつ、室内にいたのかを記録することが可能になるので、この在室状況を利用して、利用者への消費電力の分割を行う。

過去のデータから、任意の時間・場所におけるデータを検索する手法の研究が存在する[9]。この手法によって、さまざまなセンサから得られたデータを、データベースから問い合わせることができる。

5 おわりに

本論文では、サービスの流れに着目してサービスインタフェースモデルを作成した。このモデルを作成することにより、利用者が電化製品のサービスを利用するという関係が整理され、利用者の視点を取り入れることが可能になった。また、それに基づく利用者単位の消費電力測定を提案した。

今後はモデルの更新を行うとともに、提案システムの実装を行い、利用者単位の消費電力量や利用者の情報を含めた詳細な分析を行っていく。それにより、個人の振る舞いを考慮し、サービスに対する満足度をキープしたまま節電が行えるようなフィードバックを行えるようにする。また、モデルを用いた節電シミュレーションや、QoS(Quality of Service)の考慮も行っていく。

参考文献

- [1] 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ, <http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>.
- [2] Corinna Fischer, "feedback on household electricity consumption a tool for saving energy", Energy Efficiency(2008)1:79-104.
- [3] Google powermeter, <http://www.google.com/powermeter/about/index.html>.
- [4] Panasonic ECO マネシステム, <http://denko.panasonic.biz/Ebox/densetsu/lifinity/eco/index.html>.
- [5] 富士通 スマート電源タップ, <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2010/03/31-3.html>.
- [6] 中島高英."クラウド型コンピュータによる消費エネルギーの見える化の実用事例～グリーン東大工学部プロジェクトにおける事例紹介～", 電子情報通信学会技術研究報告(2009).
- [7] 志和木愛子, 柳原正, 石井かおり, 徳田英幸."ユーザの機器利用状況に基づく家庭内電力管理機構", 映像情報メディア学会技術報告(2003).
- [8] 金野紋子, 増永良文."RFIDを用いたインテリジェント冷蔵庫システムのプロトタイプング", 電子情報通信学会 第18回データ工学ワークショップ.
- [9] 鈴木克弥, 沼尾雅之."実世界トレーサビリティの為にクエリ処理システムの提案", 第3回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(2011).