

学習型節電支援ツール実現に向けた家電操作ログ分析

Analysis of home appliance usage logs for a learning-based tool to save energy

三浦 輝久*¹ 伊藤 憲彦*¹ 堤 富士雄*¹
Teruhisa Miura Norihiko Itoh Fujio Tsutsumi

*¹一般財団法人 電力中央研究所 システム技術研究所
System Engineering Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry

Daily energy saving activities in home is important for sustainability. It requires a great deal of labor and the motivation for such activities cannot last long. It is necessary to realize the automation tool for such activities. Usage patterns of household electrical appliances are very diverse and it is difficult to build control algorithms of appliances in advance. Therefore, the tool must learn the usage patterns from daily usage of appliances and adapt to each user. We explore possibilities to extract patterns from usage logs of household electrical appliances. This paper describes the preliminary analysis and discusses future directions toward realizing the automated control of appliances in order to save energy effectively.

1. はじめに

節電は社会的にも関心が高く、実行したいと考えている人は多い。しかし、効果的な節電には、家電機器の消費電力を考慮し、こまめな消灯や設定変更を行う必要がある[省エネセンター 12]、利用者に手間と努力が求められる。さらに家電は快適性や利便性などの効用を得るために使用するものであり、節電により従来の使い方を変えることは、家電使用から得られる効用を損なうことになる。節電の際、人は複数の家電のうち、どの家電を消すか、設定変更しても問題ないのかを考え、リモコンなどで実際に家電を操作する。操作自体の不便さに加え、どの家電を消せばいいのか、つまり、消したことで損なわれる効用が最も少ない家電は何かを判断すること自体も労力が必要な作業である。

我々は、節電を促進し、持続可能な社会を実現するために、人が各家電から得る効用を判断し、自動的に家電を操作するシステムの実現を目指している。しかし、家電を利用する状況は多様で、同じ家電が人に与える効用は変化する。単純な例では、明るいうちは照明が与える効用は低いが、夜に照明がないと何もできなくなるため、効用は非常に高くなる。

このように複雑な効用をあらかじめシステムに組み込むことは困難である。そこで、我々は、始めは、ユーザが自分で操作して各家電を制御し、徐々にシステムがユーザの効用を把握し、最終的には自動的に家電を制御する学習型節電支援ツールの開発を目指す。

まず、実際に家電がどのように操作されているのかを知ることが重要である。しかし、実際の家電の使用方法に関する研究は少ない。これは、各家電が個別のリモコンやスイッチで操作され、複数家電の操作を記録することが困難であることも一因である。そこで、我々は、複数の家電を1つのシステムで操作可能とする節電ボリュームを提案した[堤 13]。節電ボリュームは、これまでの家電の操作感をできるだけ損ねないように設計され、システムを利用して容易に複数の家電が操作できる。我々は、基本的なシステム改良を行いつつ、2012年8月から現在まで、家電操作のログを記録している。半年以上のシステ



図 1: 節電ボリューム (上: つまみ、下: 表示画面)

ム利用を通して、状況に応じて家電の使用に特徴があるとの感触を得た。本稿では、学習型節電支援ツール実現のための知見を得るために行ったログの予備的な分析について述べる。

2. 節電ボリューム

2.1 システム概要

節電ボリュームは、つまみを回すことで、家電操作を行うシステムである(図1上)。つまみを回すという単純な操作で、複数家電の操作を実現し、節電にまつわる困難の軽減を目指している。システムは、ユーザがつまみを動かすに従い、次に操作する家電のアイコンを画面に表示する。つまみを左に回せば、システムは、次に消す候補家電を表示する(図1下)。ユーザがその家電を消したい場合、引き続きつまみを回すことで、実

連絡先: 三浦 輝久, 一般財団法人 電力中央研究所 システム技術研究所, 201-8511 東京都柏江市岩戸北 2-11-1, 03-3480-2111, t-miura@criepi.denken.or.jp



図 2: 節電ボリュームを操作した秒数

際にその家電が消える。表示された家電を消したくない場合は、つまみを押しこむことで、候補がキャンセルされ、異なる家電が操作候補として表示される。家電をつけたい場合は、つまみを右側に回し同様な操作を行う。

システムが表示する操作候補となる家電の順番は、現在はユーザがあらかじめ指定している。しかし、日常生活では、家電を利用する状況は様々で、家電の使用法は一定ではない。ある状況では、家電 A をつけることが、ユーザの効用を最も増加させるのに対し、違う状況では、家電 A より家電 B の方が効用を与えることが生じる。効用に影響を与える要因は、部屋の使用方法、季節や時間帯などの外部環境、ユーザ個人の特性（服装、体調）など様々である。自動的に家電を制御するシステムを実現するには、ユーザの効用変化をシステムが適切に把握する必要がある。

2.2 試用実験

節電ボリューム開発者（以下、開発者）の実験室で、8月末以降、現在まで節電ボリュームを利用し、ログを記録している。本稿では、8/28 から 2/28 までの約 6ヶ月間のログを対象に分析を行った。

実験室は、主に開発者が 1 人で使用している。他の階の居室で、事務作業を行うこともあるが、基本的に多くの時間を実験室で過ごしている。6 人程度が座れるテーブルが中央に置かれ、開発作業や打合せを行っている。実験室には、節電ボリュームで直接操作できる家電が 7 機器のほか、以下のような操作できない家電も存在する。操作可能な機器を節電ボリュームにより操作すれば、操作履歴がログとして保存される。しかし、リモコンなどで節電ボリュームを介さずに操作した場合、操作できない機器の操作履歴はログに残らない。節電ボリュームで操作できない機器のうち、冷蔵庫と PC は常時稼働している状態であり、食洗機、洗濯機は利用時に機器を直接操作する。

- 分析対象期間: 2012/8/28 ~ 2013/2/28(185 日間)。
- ログが存在する期間: 上記の期間のうち 176 日間。
- 操作対象家電*1: エアコン (A.C.)、扇風機 (Fan)、照明 2 種類: ペンダントランプ (Lamp(P)) と天井照明 (Lamp(C))、電気ポット (Pot)、大型テレビ 2 台: 左 (TV(L)) と右 (TV(R))。
- 操作できない家電: 食洗機、洗濯機、冷蔵庫、オーディオ機器、PC、PC 用ディスプレイ。

*1 以降の図で括弧内の略号を使用する。

システムは以下の情報をログに記録している。

- 消費電力: 分電盤で計測された総消費電力。毎秒。
- 消費電力上限: ユーザが指定する消費電力の上限。毎秒。
- ユーザのシステム操作: 以下の操作が記録される。
 - つまみ操作: つまみを左右に回した操作の記録。回す速さなどもわかる。
 - 家電操作: つまみを回してオン、オフした家電。
 - キャンセル操作: システムが提示した操作候補家電をユーザがキャンセルした記録。

半年間でログには約 1,240 万秒（およそ 143.5 日に相当）が記録されている。このうち、ユーザが節電ボリュームを操作した秒数は 14,331 秒である。

3. ログ分析

ユーザが家電から得る効用をログから抽出するのは、非常に困難な作業である。我々は、半年間、システムを利用した経験から、家電の使用法には、利用シーン（実験室の使用目的など）で違いがあるとの感触を得た。そこで、本節では、家電使用ログからそのような特徴が抽出できるかを検討する。

3.1 利用シーン

試用実験を行った実験室では、打合せが終了し、日常業務に移行するなど、利用シーンが比較的明確に変化する。まず、システムの操作時間にどのような特徴があるかを確認した。図 2 に、各 1 日の操作時間（秒）を示す。1 日平均操作時間は 146 秒で、操作時間が 400 秒を超えた日には主な出来事を示した。今回の分析期間において、実験室は、日常業務（PC を使った作業や打合せ）、節電ボリューム自体の開発（システム再起動や動作確認のための家電操作）、デモ（外部の研究者を交えた打合せで、システム紹介のための家電操作）、研究所公開（ラボツアーの一環として、見学者がシステムによる家電操作を体験）などに使用された。

開発者は、グーグルカレンダーで日々のスケジュールを管理しているため、どの時間帯にどのような活動をしていたか、ある程度確認可能である。システム操作時間が平均を超えた日のスケジュールを確認すると、システムのデモを伴うと推測される予定（外部研究者との打合せや節電ボリュームの紹介の予定）やシステム自体の開発を行なっていることがわかった。操

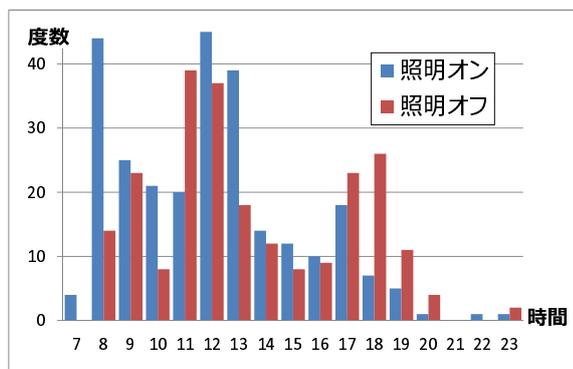


図 3: 照明の操作時間帯

作秒数が最大の日は、研究所公開日の 10 月 13 日である。毎時の操作時間は、朝 9 時からの準備や、11 時から 4 組の見学者へのデモといった活動と一致する。開発者の在室時間は、照明の点灯や消灯によってある程度、把握できる（図 3）。これは、実験室が外の明かりが入りにくい建物内部にあるためである。家電操作ログから照明点灯時間を推定すると、1,797,656 秒（約 500 時間）である。

一般のユーザがシステムを利用する際には、今回の試用実験のように、ユーザのスケジュールを利用することは難しい。しかし、システムの操作に注目するだけで、利用シーンの分類がある程度可能であると考えられる（図 2 参照）。

まず、家電操作パターンを分析する最小単位として、節電ボリュームのつまみ操作を一定のまとまり（以下、セッション）毎に分割して分析を行った。実際には、つまみ操作の開始から 5 秒間連続して操作がない状態までを 1 つのセッションと定義した。セッションの総数は 2,562 となった。セッションの持続時間や、セッション内での家電操作回数で、デモや開発などと日常業務を区別できるかを検討したが、無理であったため、より大きな区間での判別を試みた。具体的には、セッション間の間隔が 10 分以内の場合は同じ区間としてまとめ、その区間での家電操作回数で分類することで、デモや開発などの非日常使用と日常的な使用の区別を行った。全期間のログを分析した結果、区間数は 799 であった。

節電支援という目的を考えると、デモや開発といった非日常業務より、日常業務の方が節電余地が大きいのではと考えられる。そこで、日常業務の際の家電操作パターンから分析を行うこととし、日常業務の区間を取り出すために、適切な機器操作回数のしきい値を検討した。検討の結果、操作回数が 21 以上の区間の多くは、デモを伴う打合せや開発を行っていた時間であることがわかった。そこで、分析には操作回数が 20 以下の区間を使用した。除外された区間は、77 区間である。

利用シーンの区別を行うためのしきい値（5 秒、10 分、20 回）は今回は試行錯誤により決定したが、操作ログから自動的にこれらの値を決定する方法は今後の研究課題である。

3.2 家電操作パターン

ユーザが家電から得る効用を理解するためには、利用ログから、以下のことを知る事が有用である。

- 利用シーンごとにどのような家電操作パターンがあるか。
- 特定の家電操作パターンで家電を使用する状況の特徴はあるか。

ON/ON	Lamp(L)	Lamp(P)	Pot	A. C.	Fan	TV(L)	TV(R)
Lamp(L)	1	0.59	0.32	0.22	0.22	0.08	0.09
Lamp(P)	0.59	1	0.33	0.2	0.23	0.08	0.09
Pot	0.32	0.33	1	0.17	0.19	0.1	0.12
A. C.	0.22	0.2	0.17	1	0.04	0.05	0.05
Fan	0.22	0.23	0.19	0.04	1	0.1	0.13
TV(L)	0.08	0.08	0.1	0.05	0.1	1	0.19
TV(R)	0.09	0.09	0.12	0.05	0.13	0.19	1

OFF/OFF	Lamp(L)	Lamp(P)	Pot	A. C.	Fan	TV(L)	TV(R)
Lamp(L)	1	0.71	0.35	0.28	0.23	0.06	0.07
Lamp(P)	0.71	1	0.39	0.3	0.24	0.06	0.07
Pot	0.35	0.39	1	0.25	0.17	0.08	0.1
A. C.	0.28	0.3	0.25	1	0.05	0.06	0.06
Fan	0.23	0.24	0.17	0.05	1	0.08	0.1
TV(L)	0.06	0.06	0.08	0.06	0.08	1	0.23
TV(R)	0.07	0.07	0.1	0.06	0.1	0.23	1

（略号は 2.2 節の操作対象家電参照）

図 4: 同時に操作される家電（上：同時にオン、下：同時にオフ）

家電操作パターンとそのパターンが出現する状況の特徴を、家電操作ログからシステムが学習できれば、ある特徴を持つ状況の際に出現する家電操作パターンを参考に、家電を操作することで、学習型節電支援ツールが実現できる。

まずセッション内での家電操作パターンについて分析を行う。対象となるセッション数は、1,489 である。各セッションでは、以下のように操作した家電が記録されている。

```
2012,08,29,09,36,55,off_Electric fan
2012,08,29,10,33,56,user cancel OFF_Pendant lamp
off_Air Conditioner
```

この例の 2 行目は、2012/8/29 10:33:56 に、システムが消す候補として提示したペンダントランプをユーザはキャンセルし、次に候補として提示されたエアコンをつまみ操作で消したことを示している。このような家電操作系列にどのようなパターンがあるかの分析を行う。

まず、家電操作のうちどのような家電操作が同じセッションに出現しやすいかを分析する。図 4 に家電操作の共起性を示す Jaccard 係数の値を示す。上の図はどの家電が同時にオンされるか、下の図は同時にオフされるかを示している。例えば、上の図で 2 つの照明 (Lamp(C) と Lamp(P)) の係数は、0.59 で非常に高い値である。これは高い頻度で同時にオンされていることを示している。高頻度の組みが赤、低頻度の組みが緑に対応している。図から、同時に操作されるという観点からは、照明 2 つ、エアコン、ポット、扇風機という組みと、左右のテレビという 2 つのグループに分けられることがわかる。つまりテレビと他の家電では使用方法が異なっている。2 つの照明は同時に操作される頻度が更に高い。また、上下を比べると、同時にオフの方が値が高い傾向にある。これは、朝などに一気に家電をつけるより、帰りなどに一気に消す傾向が強いことを示している。朝は必要な家電を徐々につけていき、退出時にはすべて消していると考えられる。

システムのログには、システムが提示した操作候補家電をユーザがキャンセルした情報も記録されている。ユーザが家電 A をつけたいと思い、つまみを操作したところ、システムが家電 B を候補として提示した場合は、家電 A が操作候補として提示されるまでつまみを押し続ける。システムが提示した候補をキャンセルし、実際にどの家電を操作したかを図 5 に示す。

ON Cancel	Lamp(L)	Lamp(P)	Pot	A. C.	Fan	TV(L)	TV(R)	キャンセル回数
Lamp(L)	0	1	1	1	0	0	0	3
Lamp(P)	0	0	0	2	0	0	0	2
Pot	0	3	1	6	1	4	0	15
A. C.	5	4	9	0	1	6	2	27
Fan	0	0	2	6	3	2	0	13
TV(L)	1	5	17	25	6	0	0	54
TV(R)	2	4	11	26	6	20	0	69
ON回数	8	17	41	66	17	32	2	

OFF Cancel	Lamp(L)	Lamp(P)	Pot	A. C.	Fan	TV(L)	TV(R)	キャンセル回数
Lamp(L)	2	2	9	12	5	5	9	44
Lamp(P)	4	2	10	10	5	5	7	43
Pot	8	8	1	8	2	9	8	44
A. C.	3	3	14	2	2	4	6	34
Fan	3	2	10	6	1	6	8	36
TV(L)	0	0	3	1	0	1	1	6
TV(R)	1	0	1	2	1	1	2	8
OFF回数	21	17	48	41	16	31	41	

(略号は 2.2 節の操作対象家電参照)

図 5: キャンセル後の操作 (上: オン候補をキャンセルしてオン、下: オフ候補をキャンセルしてオフ)

上の図は「左側に示されているオン候補家電をキャンセルし、上に示されている家電を実際につけた」セッション数を示している。下の図はオフの場合である。例えば、システムが左のテレビ (TV(L)) をつける候補として提示した場合、ユーザがこれをキャンセルし、エアコンをつけた回数が 25 回あるということを示している。

オンの場合は、2 つのテレビが多くキャンセルされていることがわかる (キャンセル回数は左 TV(L) は合計 54 回、右 TV(R) は 69 回)。これはシステムの優先度がまったく間違っていて、ユーザが頻繁にキャンセルして目的の家電を選んでいることを示している。一方、テレビが消す候補が上がった場合は、キャンセルされることは少ない (それぞれ 6 回と 8 回)。また、興味深いのは、右のテレビ (TV(R)) がつける候補として提示された時、キャンセルして、左のテレビ (TV(L)) をつけた回数が 20 回と多いことである。左右のテレビを比較した場合は、左のテレビのほうがユーザに与える効用が高いことを示している。ユーザは同じセッションで複数の機器をキャンセルして、望みの機器を操作している。1 機器キャンセルして実際に機器を操作したのが 73 回、2 機器キャンセルしたのが 55 回、3 機器は 33 回である。このように、節電ボリュームは、ユーザの本来の家電操作を邪魔することなく、ユーザの効用の学習に重要な情報を与えるキャンセル操作を記録できている。

3.3 得られた知見

ここまで示した予備的な分析結果から、ユーザの効用を推定する際に役立つ以下のような知見が得られた。

- システムの使用時間や家電操作回数を見るだけでも利用シーンを推定できる可能性がある。(図 2、3)
- 個々の家電にも特有の操作パターンが確認できる (図 3)。また同時に操作される家電を調べることで、家電操作パターンが把握できる (図 4)
- システムが提示した家電をキャンセルし、実際に操作した家電を調べることで、ユーザのその時点での効用が推定できる (図 5)

4. おわりに

本稿では、節電ボリューム (複数の家電を 1 つのつまみで操作できるシステム) を利用して記録した約半年間の家電操作ログを用いて、ユーザが家電から得ている効用を推定するための予備的な分析を行った。分析を通して、家電操作ログから多くの知見が得られるとの感触を得た。本稿で検討した家電操作パターン以外にも以下のような検討課題が残されている。一部に関しては、分析に着手している段階である。

- 機器の動作状態の推定: 一般ユーザが利用する際には、節電ボリュームで操作できない機器、リモコンやスイッチで直接操作する場合、節電ボリュームの勘違いなどで、ログから適切に状態を把握できない家電が存在する。ログに記録されている家電操作と、節電ボリュームが毎秒記録している消費電力などから、動作状態をどの程度推定できるか。
- 環境変化の同定: 家電の使用方法は、ユーザ本人の状態だけでなく、季節や朝晩、家族構成などユーザ外部の環境にも左右される。このような情報を家電使用ログからどの程度まで同定可能なのか。今回の試用実験では、室内温度、湿度と外気の温度と湿度も同時に測定している。このような補助的な情報を使うことで、より精度の高い同定が可能になる可能性がある。
- 節電活動の効果の推定: 一定期間のログから機器の動作状態を推定できれば、節電活動の効果 (節電機会が増えたか、消費電力が減ったか) を検証することができる。今回の試用実験でも、12 月は、節電ボリュームを利用する日と、利用しないで直接リモコンで操作する日を設けた。これらの日のログの分析を行うことで、節電ツールの効果、節電支援のための知見が得られると考えられる。

今後の方向性としては、実際の家庭など、複数人が複雑に関係するような状況での操作パターンの分析や、複数のユーザの利用ログから、多くの人に共通する家電使用法と個人に特有の使用法の抽出方法などの研究が考えられる。

本稿は 1 ユーザの半年間の家電操作ログの解析の報告であるが、節電を支援する試みには共通する課題が存在すると考えられる。効果的な節電には、ユーザがどのように家電を使用しているかを調べるのが必須である。節電ボリュームは日々の家電使用を邪魔することなく、家電の使用の記録をとることが可能である。自然と家電の使用法の情報が蓄えられ、分析していけるということが、今後の節電支援に大きな役割を果たすだろう。

参考文献

- [堤 13] 堤富士雄, 伊藤憲彦, 三浦輝久, 中島慶人, 廣瀬文子, インタラクシオン 2013, pp. 9-16, 2013.
- [省エネセンター 12] 一般財団法人 省エネルギーセンター, 家庭の省エネ大辞典, <http://www.eccj.or.jp/dict/index.html>, 2012.