

## 電流波形解析による家電機器分離技術の HEMS 実用化支援

茂木 奈菜<sup>†1</sup> 桑田 陽介<sup>†1</sup> 有馬 一貴<sup>†2</sup>  
杉村 博<sup>†1</sup> 関家 一雄<sup>†3</sup> 梅田 哲士<sup>†4</sup> 一色 正男<sup>†1, 2</sup>

家庭の主幹電源に流れる電流波形を解析することで稼働している家電機器を識別する、家電機器分離技術が近年提案されている。この技術を使えば、通信機能を持たないために家庭内の HEMS ネットワークに接続できなかった従来の家電機器を、擬似的に HEMS に参加させることができるようになる。家電機器分離技術は学習型アルゴリズムに基づいているため、精度を上げるには多くの教師データが必要となる。そのため私達は教師データ収集ツールを開発した。またこの技術だけでは HEMS 通信規格である ECHONET Lite に対応できないので、私達はこの技術を HEMS に適応させるシステム「CloudEL」も試作した。このシステムが有用であることを確認するため、ブレーカーのトリップ防止サービスを試作して実証デモを行った。

### HEMS Adaptation of the Non-Intrusive Appliance Load Monitoring Technology Based on Current Waveform Analysis

NANA MOGI<sup>†1</sup> YOSUKE KUWADA<sup>†1</sup> KAZUKI ARIMA<sup>†2</sup>  
HIROSHI SUGIMURA<sup>†1</sup> KAZUO SEKIYA<sup>†3</sup> TETSUO UMEDA<sup>†4</sup>  
MASAO ISSHIKI<sup>†1, 2</sup>

There has been proposed a technology called “non-intrusive appliance load monitoring” based on current waveform analysis. By utilizing it, existing appliances with no network capability can have a way to join HEMS virtually. Since the technology uses a learning algorithm, a good amount of training data is needed to improve the accuracy. We have developed a tool to collect the training data. And since the technology itself does not have a communication capability to ECHONET Lite, a standard communication protocol for HEMS, we have also prototyped a system, “CloudEL”, to adapt it to HEMS. We made and demonstrated a service that prevented a circuit breaker from tripping to verify the usefulness of the system.

#### 1. 序論

エネルギーは私達の生活や経済活動の基盤となるものであり、その安定的な確保は、エネルギー政策の重要なテーマである。日本ではエネルギーの安定供給を図るため、石油に代わるエネルギーの検討、導入、省エネなどの対策を進めてきたが、化石燃料に由来する二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化問題が深刻化し、さらなる対策を迫られている。特に省エネ化が今後重要になるとされ、Home Energy Management System (HEMS) が注目を浴びており、普及が求められている。しかし、HEMS には対応した家電機器しか組み込めない。家電機器自身に通信機能を持たず、HEMS を構成する通信規格である ECHONET Lite (EL) ネットワークに参加できない従来の家電機器は HEMS に参加できないという問題がある。

電流波形から家電機器を推定する技術がある[1]。この技

術は家電機器の家庭の主幹ブレーカーで電流波形を計測データとして収集し、家庭内の各家電機器の動作状況を推定するものであり、従来の家電機器の HEMS への参加を助ける事ができる。だが、この技術を実際に HEMS で利用するための研究はまだ無い。

家庭に導入する際に以下の二つの課題がある。

- 主幹電流波形から家電動作を推定する技術を各家庭にあわせる方法
- 従来の家電機器を HEMS に参加させる方法

文献[2]の電流波形から家電機器を推定するサービスは、計測された電流波形のデータをクラウド上に蓄積し、解析アルゴリズムで家電機器の識別を行っている。解析アルゴリズムは学習を重ねて精度の高い機器分離が可能となる。学習を重ねるには、機械学習のための教師データが多く必要となる。現在はその教師データを低価格で効率よく集める方法は無い。

また、先に述べたように従来の家電機器は HEMS に参加する事ができない問題がある。機器分離技術で分離した家電情報はクラウド上に蓄積されおり、その情報を利用して家庭内の HEMS のネットワーク上に擬似的に参加させることを提案する。

以上 2 つを解決する具体的なシステムとして「教師データ収集ツール」と「CloudEL」の 2 つを提案する。

<sup>†1</sup> 神奈川工科大学創造工学部ホームエレクトロニクス開発学科  
Department of Home Electronics, Faculty of Creative Engineering,  
Kanagawa Institute of Technology.

<sup>†2</sup> 神奈川工科大学大学院  
Graduate School of Engineering, Kanagawa Institute of Technology.

<sup>†3</sup> 神奈川工科大学 スマートハウス研究センター  
Smart House Research Center, Kanagawa Institute of Technology.

<sup>†4</sup> インフォメティクス株式会社  
Informetis, Inc.

教師データ収集ツールはすでに家庭内にある HEMS 対応家電機器から動作状況、瞬時電力量などの情報を収集し、蓄積して機械学習のための教師データを集めるものである。CloudEL は EL ネットワーク上に接続できない家電機器の代わりに、機器分離技術で解析した各家電機器の情報を EL ネットワークへ流すシステムである。

本研究ではさらに機器分離技術によって従来の家電機器が HEMS に導入可能かを、実際にブレーカーのトリップ防止システムを作ることで実証する。

## 2. 各技術の HEMS ネットワークでの位置

### 2.1 機器分離技術

インフォメティクス株式会社が開発している機器分離技術は、分電盤の主幹ブレーカーに取り付けた電流計測センサーで宅内にある家電機器の消費電力や ON/OFF の状態を推定する技術である。多数の家電機器の電流波形の重ね合わせである主幹の電流波形を、独自のアルゴリズムを使用して解析し、各機器を識別分離する。解析アルゴリズムはクラウド上に存在しているため、家庭には計測した電流波形のデータをインターネットに送信するものがあれば良い。安価で容易な環境構築が可能である。

新機能や性能の向上などはネット上で行われるため、家庭に取り付けられているセンサーを取り替える必要はない。解析アルゴリズムは学習機能を有している。電流計測センサーを分電盤に取り付けた時点から機器分離技術を使用したサービスを受けることが可能になる。データ計測を 1 秒ごとに行っているため、分や時単位で行う計測では不可能な短時間使用の機器（電子レンジやドライヤーなどの）計測も可能となる。データの流れを図 1 に示す。

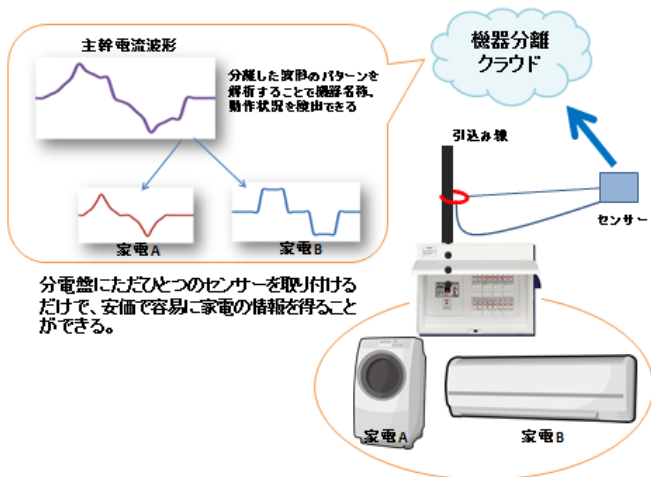


図 1 機器分離技術のデータの流れ

Figure 1 Data flow of the non-intrusive appliance load monitoring technology.

### 2.2 HEMS ネットワークでの位置

機器分離技術と教師データ収集ツールおよび CloudEL のシステムは、宅内で図 2 のような位置にある。青色の線は通信を意味し、橙色の線は電力会社から引き込んだ主幹ブレーカーへの電線と各家電機器への配電線を意味する。

教師データ収集ツールと CloudEL は、緑色の点線で囲まれた ECHONET Lite ネットワーク内にある。機器分離技術用の電流波形計測センサーは分電盤の主幹ブレーカーに取付けられており、そこで計測した電流波形をルーターを介して機器分離クラウドに送信する。クラウドで EL 非対応機器を識別分離し、データとして蓄積する。CloudEL はそのデータをクラウドから取得し、ECHONET Lite ネットワークに送信する。教師データ収集ツールは ECHONET Lite ネットワークに接続している EL 対応機器の動作状況などを取得し、データとして溜め込むようにする。

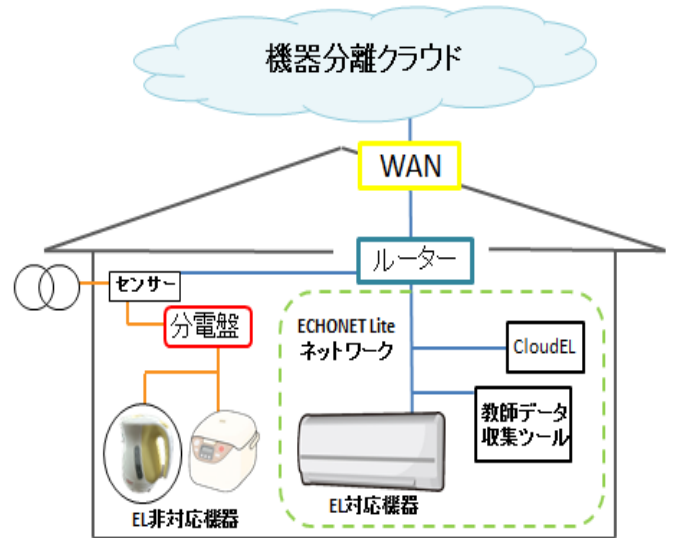


図 2 機器分離技術とシステムの位置付け

Figure 2 Positions of a current sensor, CloudEL and the training-data collecting tool.

## 3. 作成したシステム

### 3.1 教師データ収集ツール

各家庭の事情に合った精度の良い電流波形解析ができる分離技術にするために、すでに設置されているエアコン、照明機器といった EL 対応機器から動作状態ログを集め、機械学習の教師データを作成するツールを作成した。図 3 に教師データ収集ツールが動作している様子を示す。

- EL 機器の情報を記録するためのサーバーは、他 EL 機器がその動作状態の変化に応じて LAN に自発的にマルチキャストする INF 通知を常に監視しており、INF 通知を受信する毎に当該機器に動作状態の変化が生じたとして、EXCEL データを 1 行分追記する。
- サーバーはユーザーからの要求を受けて、個別の EL 機器の情報を取得することもでき、その情報も

EXCEL データとして 1 行分追記する。  
 以上によって教師データが EXCEL として作成される。

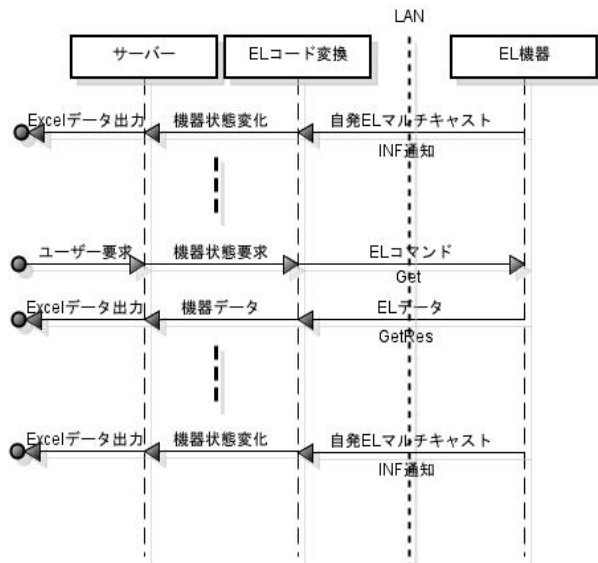


図 3 教師データ収集ツールの動作

Figure 3 Behavior of the training-data collecting tool.

図 4 にツールを用いて作成した教師データの例を示す。このデータは、機器名称、動作状況、瞬時消費電力、動作モードがランダムな EL パケットをもとに生成した、テスト用のデータである。動作モードに関しては、機器として動作モードのプロパティを持たないものが多いので、現時点ではエアコンに限り動作モードを取得するようにしている。

count	time	data	object	on_off	whp	mode
1	2015/4/17 15:35:16	1081000001430105FF0172028001308402AEAB	Heater	ON	44712	
2	2015/4/17 15:35:16	10810000026E010EF0017301800130	Toilet	ON		
3	2015/4/17 15:35:16	1081000003BB010EF0017301800130	Rice Cooker	ON		
4	2015/4/17 15:35:16	1081000003BB010EF0017301800130	Rice Cooker	ON		
5	2015/4/17 15:35:16	1081000003B7010EF0017301800131	Refrigerator	OFF		
6	2015/4/17 15:35:16	10810000027B010EF0017301800130	Floor Heating	ON		
7	2015/4/17 15:35:16	1081000001430105FF017201800130	Heater	ON		
8	2015/4/17 15:35:16	1081000003B7010EF0017301800130	Refrigerator	OFF		
9	2015/4/17 15:35:16	1081000001300105FF01720380013084026DCBB00142	Air Conditioner	ON	28107	Cool
10	2015/4/17 15:35:16	108100000290010EF0017301800130	Overhead Lighting	ON		
11	2015/4/17 15:35:17	1081000003BB010EF0017301800131	Rice Cooker	OFF		
12	2015/4/17 15:35:17	108100000142010EF0017301800131	Electric Heater	OFF		
13	2015/4/17 15:35:17	108100000139010EF0017301800131	Humidifier	OFF		
14	2015/4/17 15:35:17	1081000006020EF0017301800130	TV	ON		
15	2015/4/17 15:35:17	1081000003B7010EF0017301800130	Refrigerator	ON		

図 4 教師データの例

Figure 4 An example of training data.

作成された教師データを機器分離の解析アルゴリズムが参照するようにすることで、機器分離技術の精度向上に役立てる予定である。

### 3.2 CloudEL

EL ネットワーク上に情報を出せない家電機器の代わりに、各家電機器が繋がっているかのように見せて情報を出すためのエミュレーター「CloudEL」を作成した。CloudEL は、機器分離技術によって検出された非 EL 機器の情報を、EL

ネットワークに提示することで、非 EL 機器を EL 化するシステムである。このシステムは機器分離技術の HEMS への応用を目的として作成した。

CloudEL の動作の流れを図 5 に示す。

1. 機器分離クラウドで非 EL 機器を検出する。
2. AmazonS3 サーバを介して機器分離クラウドのデータを JSON 形式で取得する。
3. 取得した JSON データを解析し、非 EL 機器の動作状況と瞬時消費電力を取得する。
4. 機器名称、動作状況、瞬時消費電力をもとに EL パケットを生成する。
5. EL パケットを送信専用ノードとして EL ネットワークに UDP でマルチキャストする。

以上の動作で、EL ネットワーク上で非 EL 機器の情報を確認できるようになる。

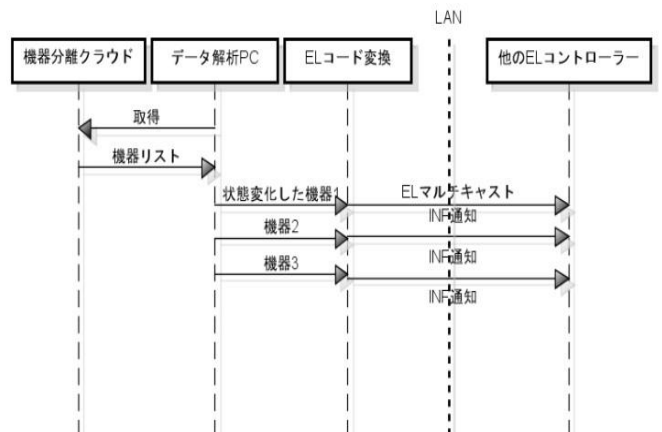


図 5 CloudEL の動作

Figure 5 Behavior of a CloudEL.

### 4. ブレーカーのトリップ防止システム

機器分離技術で取得できる宅内の消費電力の情報を用いて、ブレーカーのトリップ防止システムを作成した。ブレーカーのトリップ防止システムとは、家庭の契約消費電流超過の際にブレーカーが電流を遮断しようとするのを、一旦止めても差し支えない家電機器の電源を OFF にし、消費電力を減らすことで防止するシステムである。

実験用に作成したトリップ防止システムでは、トリップが起こる閾値を 1500W に設定した。契約消費電流が 30A 以下でなおかつ超過電流が 2 倍以上の場合、トリップするまでの時間は 2 分間と規定されているので、実験でもトリップするまでの限界時間を 2 分間に設定した。システムはこの時間内に作動することを目標としている。一旦止めても差し支えない家電機器として ECHONET Lite 対応のエアコンを使い、プログラムは PC 上で動作させている。

システムの動作の様子を図 6 に示す。

1. エアコンの電源を ON にし、まず全体の消費電力を増加させておく。

2. 急速電気湯沸かし器 (T-fal) をつけ、意図的に閾値である 1500W を超えるようにする。
3. 機器分離クラウドより取得した全体の消費電力が 1500W を超えた時、PC からエアコンに ECHONET Lite 通信で停止命令を送る。
4. エアコンが停止することで、全体の消費電力は閾値である 1500W を下回り、ブレーカーのトリップは防止される。

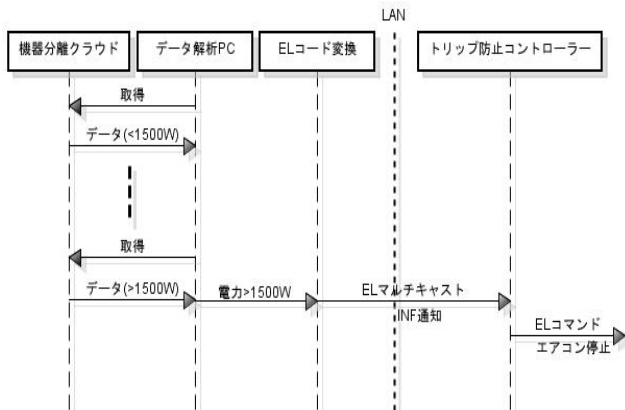


図 6 ブレーカーのトリップ防止システムの動作の様子

Figure 6 Behavior of a system to prevent a breaker from tripping.

今回の実証実験では実装にまで至らなかったが、電気湯沸かし器の湯沸しが完了した後にエアコンの動作を自動的に戻すようにすれば、ユーザーはブレーカーが落ちるといふ不愉快な思いをすることなく、ピークカットにも対応できるようになる。

## 5. 成果

「教師データ収集ツール」を作成し、HEMS 対応家電機器から動作状況、瞬時電力量などの情報を収集し、蓄積して機械学習のための教師データを作成できるようになった。また、「CloudEL」を作成し、EL ネットワーク上に機器分離技術で解析した各家電機器の情報を提示する事ができた。さらにブレーカーのトリップ防止システムを作成し、実際に HEMS で利用できるアプリケーションを開発できることを示した。

電流波形分離技術を基にした HEMS コントロールによるシステムを導入できる基礎を作る事ができた。2014 年 11 月の学園祭にて、トリップ防止システムの動作の流れをまとめたパネルの展示とシステムの実演を行った。来訪者にはブレーカーのトリップ経験がある方も多く、特に家事で高い消費電力家電を使う機会が多い主婦の方に好評であった。多くの方から将来性の高いものだという評価をいただいた。

## 6. まとめと課題

### 6.1 教師データの収集ツール

データを収集するためのツールを作成し、家電の種類や動作状況を得る事ができた。現時点では教師データを作るための一歩目ができた。だが、教師データの形としてはまだ不十分である。今のツールでは動作状況が分かるが細かい瞬時電力はユーザーが要求しないと取得できないので、機器分離センサーの計測間隔と同じように 1 秒ごとに取得できるようにすることが残されている。

### 6.2 CloudEL

非 EL 機器を EL ネットに提示するシステムを作成し、動作の確認を行った。機器分離技術で家電機器の検出ができて、家電機器に該当する ECHONET Lite のクラスがないため、ECHONET Lite 上に提示できないという課題があった。これは将来 ECHONET Lite のクラスがさらに増えていけば解消されていくと考えられる。送信専用ノードに対応した HEMS のコントローラはまだ市場にはでていないため、これらの開発も課題として残る。

### 6.3 ブレーカーのトリップ防止システム

ブレーカーのトリップ防止システムというサービスを作成した。現時点ではクラウドからのデータ取得は外部サーバを経由しているため、現在の情報との間に 100 秒程度のタイムラグが生じてしまう。ブレーカーの種類によっては 2 分より早くトリップするものがあるため、トリップ防止が間に合わないことが考えられる。トリップ防止時間の短縮は一つの大きな課題である。また、試作したサービスではトリップ回避のための機器は自動選択ではなく、こちらが指定した機器に停止命令を行っているため、状況に応じた機器の選択ができない。ユーザーが機器を選べるようにするか、サービスが状況に応じて機器を選ぶことができるようにする改良が必要だと考える。

## 参考文献

- 1) Zeifman, M. and Roth, K.: Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NIALM): Review and Outlook (2011)  
<http://cdn2.hubspot.net/hub/55819/file-14742612-pdf/docs/nialm-ieee-2011.pdf#search='NIALM'>
- 2) インフォメティス株式会社 ホームページ  
[http:// www.informetis.com/tech/index.html](http://www.informetis.com/tech/index.html)