

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月5日現在

機関番号：14301  
研究種目：若手研究（B）  
研究期間：2011～2012年  
課題番号：23700169  
研究課題名（和文）時系列と相互作用の記述モデルと学習による、家電・生活者の見守りに関する研究  
研究課題名（英文）Research for appliances and consumer monitoring by leaning the interaction model among temporal dynamics of power consumptions.  
研究代表者  
加藤 丈和（KATO TAKEKAZU）  
京都大学・情報学研究科・研究員  
研究者番号：30362859

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、家庭内の電力使用パターンから、個々の電気機器の状態や家電を使用する生活者の行動を推定し、機器や配線の異常検出、余剰電力や消し忘れ電力の推定アルゴリズムの開発である。そのために、電気機器の電力パターンのような、使用者の操作などによる不連続な状態変化と、過渡現象のような連続的な状態変化を記述する時系列モデルを確立しその学習手法を開発した。また、複数の家電の時系列モデルの相互作用を解析、学習し、家電を使用する人物の行動を推定する方法を開発した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the project is estimating conditions of appliances and living activity of the consumer from power consumption patterns. The project also aims to detect illegalities of electronic appliances and unnecessary demand. For this purpose, we developed a hybrid model that has some continuous dynamic systems and switches the systems discontinuously according to the probabilistic timed automaton. We also develop an algorithm to estimate personal living activities from power consumption patterns by analyzing interaction among power consumption of appliances.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：人物行動推定，HEMS，電力変動予測，異常検出

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は、家の中で使用する家庭用電気機器の電力使用パターンのみから、機器自体の状態や生活者の行動の学習・見守りを行うことであり、それによって電気機器の異常や、生活者による使い方の誤り、無駄な電力の検出をおこなう。そのために電力パターンのように過渡現象と離散的な状態遷移を含むようなデータの記述モデル、および、複数の家電間の相互作用を表現するために、「時系列と相互作用の記述モデル」の構築とその学習方法の確立を目的とする。

家電のリコールや古い家電の不具合は使用者にとって事故や怪我につながる危険があり、またメーカーにとっても該当家電をさがして回収するために莫大な広告費をかけて告知・検索する必要が生じる。また、家電自身の欠陥でなくても使い方の誤りや経年劣化にともなう故障が生じるリスクは常に存在する。このようなリスクに対して、家電を使用している状態で、故障や使い方の誤りなどによる異常を自動検出する技術が望まれる。いままでにも、家電自身の自己診断によって、故障を検出する機能をもつ家電は販

売されている。しかし、このよう自己診断機能のない家電や自己診断機能自身の故障など自己診断機能だけで対応できない場面は多く、また家庭内の配線や使用者の異常、消し忘れなどの使い方の誤りを検出することはできない。

また近年、地球温暖化問題やエネルギー資源の枯渇問題に対し、消費電力の削減が国をあげて取り組むべき問題として議論されているが、一般家庭における電力消費量は年々増加の一途を辿っている。このような問題から、消し忘れなどの家庭内における電力使用の無駄を検出し、生活者に知らせたり、自動制御を行うことで電力削減を行うシステムが望まれる。

米国を中心としてスマートグリッドについての研究や実証が盛んに行われている。スマートグリッドでは、各家庭に通信機能を持った電力量計であるスマートメータの導入によって、各家庭の電力使用量の予測や、電力ピークの検出、デマンドレスポンスと呼ばれるピークカットを各家庭に要請するシステムの研究が行われている。しかし、スマートメータは家全体の電力をまとめて計測するため、人物の行動パターンに依存するきめ細かい電力予測や、デマンドレスポンスにたいして自動的に個々の家電の電源を切るなど管理は難しい。

提案者は、これまでに家の中のコンセントと家電との間に取り付けて、家電の電力使用パターンを計測するスマートタップを開発し、リアルタイムにデータを収集するシステムの開発や、スマートタップに接続して使用している家電の種類を認識する研究、家の中の電力消費や屋内配線上の電力の流れの可視化に関する研究をおこなってきた。本提案では、このスマートタップを発展させ、計測した電力使用パターンを解析することで、家電の異常検出や生活者の見守り手法の開発を目的とする。

また、パターン認識の分野では、ある入力データが与えられ、それが異常かどうか識別する技術は異常検出とよばれ、様々な発生パターンが考えられる異常を検出する必要がある、あらかじめ異常パターンを十分に学習しておくことができないため、特定の対象を検出・認識する通常のパターン認識の問題にたいして、より難しい問題とされる。このような問題に対して提案者は、「事例に基づく異常検出」により、従来より高速かつ高精度な学習・検出手法を開発し、監視カメラや製造ラインの検査画像への応用について良好な結果を得ることができた。本提案では、この「事例に基づく異常検出」技術を家電の異常検出に適用することで、異常パターンがあらかじめ学習できない場合でも異常を検出する方法を開発する。

また、家電の電力は時々刻々と変化し、生活者の操作によってもその状態が変わるため、異常も時系列のなかでのパターンの変化として現れる場合が多い。さらに、多数の家電の電力データから生活者の行動パターンを推定するには、生活者が様々な家電を操作するため、家電間の時間的な関係が重要となり、このような時間間隔を表現し、複数の系列の相互関係を表現できるモデルが必要となる。音声認識や動作認識に用いられるHMMなどの状態遷移モデルは、状態間の順序関係のみを表し時間的な関係を表現できない。また、離散的な状態変化のみを扱っているため、連続的な状態変化を表現することができないという問題がある。このように時間間隔を扱い、かつ、複数系列の相互作用を表現できるパターン認識手法は数少ない。Timed Automaton(文献(c))と呼ばれる手法では、状態遷移に遷移するまでの時間のパラメータを付加することにより、時間間隔を表現している。また、Hybrid Dynamical Systemでは、状態遷移による離散的な状態変化と力学モデルによる連続的な変化を組み合わせたモデルで連続的な状態変化を表現でき、それに時間間隔を表現するInterval Based Hybrid Dynamical Systemと呼ばれる手法が提案されている(文献(d))が、このようなモデルを異常検出や行動パターンの学習に用いた例は少ない。

## 2. 研究の目的

本提案では、家庭内の電気機器の電力使用パターンのみから、家電や生活者の見守りを行うことを目的とするが、具体的には、以下の3つの項目に関する研究開発を行う。

- A) 家庭内で使用しているすべての電気機器の使用電力情報を機器ごとに、リアルタイムで収集するセンサ、及びデータ収集システムの開発  
既に開発しているスマートタップを発展させ、本提案で開発する異常検出アルゴリズム、行動パターン推定アルゴリズムに必要な特徴データを収集するための装置を開発する。  
また、家のコンセントに埋め込むタイプや配電盤に取り付けるタイプなど、家全体、全ての家電の電力パターンを計測・データ収集を行うシステムを開発する。
- B) 各電気機器の電力使用パターンから、家電の故障や間違った使い方、コンセントや配線の不具合を検出するアルゴリズムの開発  
瞬時的な電力パターンだけでなく、過渡的な時間経過に依存した電力

パターンを表現できる記述モデルを構築し、またそれをつかって異常検出を行うための学習・識別方法を明らかにし、実用的な異常検出アルゴリズムを開発する

- C) 複数の電気機器の電力使用パターンを解析し、機器を使っている生活者の行動パターンを学習・認識することで、生活者の行動パターンで不必要、不適切、あるいは、異常な使い方を検出するアルゴリズムの開発

Bの時間経過を表現するモデルに加え、電気機器と生活者の行動との相互作用、および、機器間の相互作用を表現するモデルを構築し、それを使った生活者の行動推定や行動パターンの学習、異常や使いすぎ家電の検出方法について明らかにする。

### 3. 研究の方法

平成23年度には、スマートタップを発展させた電力使用パターンの計測・収集システムの構築を行う。これは、既に提案者が消費電力の見える化のために開発し、実証実験をおこなっているスマートタップの発展であり、異常検出や行動推定のために必要な機能についての検討、コンセント埋め込み型や配電盤設置型などのバリエーション、また低消費電力型についての検討・設計・試作を行う。提案者は「エネルギーの情報化WG(文献(e))」の幹事をつとめており、また同WG内に「スマートタップタスクフォース(文献(f))」を設置して、スマートタップやそれを用いた電力消費の見える化システム・電力管理システムなどについて多数の企業との意見交換をおこなっている。それらのWG、タスクフォースに、本提案で得られた知見をフィードバックして、「スマートタップ」の共通仕様としてガイドラインをまとめることで、将来的に、スマートタップの実用化をすすめるとともに、そのときに本提案のアルゴリズムを他社製のスマートタップでも適用可能な汎用性のあるものにする。

また、試作したスマートタップで得られた電力使用パターンを解析して、異常検出を行うための家電状態の記述モデルおよび認識手法について研究する。既にスマートタップで得られる家電の電力パターンから、スマートタップにつながれている家電の種類を認識するアルゴリズムを提案した(研究業績[6],[7])。この手法では、瞬時的な電力パターンのみから25種類の家電に対して約95%の認識率が得られている。しかし、家電の電力パターンは、様々な使用者の操作による離散的な状態変化や負荷変動や過渡現象

による連続的な状態変化が組み合わされた変化を示し、様々な状況に対して、このような電力パターンを瞬時的なパターンの記述モデルのみで表現することは困難である。そこで、本提案では、このような離散的・連続的な状態変化が組み合わされ、かつ、時間経過を表現できる Interval Based Hybrid Dynamical System (文献(b)) を利用した過渡現象と状態遷移を含む電力パターンの記述について検討する。このモデルは、状態遷移モデルによる離散的な状態変化と、力学系で表現される連続的な状態変化を組み合わせた Hybrid Dynamical System に、状態間の時間経過を時区間としてパラメータ化することで、時間経過を表現できるようにしたモデルである。これを家電の電力パターンに適用することで、過渡現象を含む電力パターンの記述が可能であると考えられる。

また、提案者は、「事例に基づく異常検出に関する研究(文献(g))」で、正常事例のみから学習した識別器を用いて、入力データの異常を検出手法を開発した。本提案では、この知見をもとに、上記の過渡状態と連続状態変化を含む記述モデルに対する異常検出アルゴリズムを開発する。

### 4. 研究成果

本研究では、家庭内の電力使用パターンから、個々の電気機器の状態や家電を使用する生活者の行動を推定し、機器や配線の異常検出、余剰電力や消し忘れ電力の推定アルゴリズムの開発し、このような家電や生活者の見守りによって、家庭における電気機器の事故の軽減や電力使用量を削減する手法を開発することを目的とする。2011年度には、家庭内の電力消費パターンを詳細に計測するため、コンセントごとに家電の電力を計測/制御する機能を持ち、サーバと通信できるスマートタップによって、家全体の個々の家電の消費電力を計測するスマートタップネットワークを構築した。またこのスマートタップネットワークによって得られた家電の電力消費パターンから人物がいつどこで、どの家電を使用したかを推定する人物動作推定手法を開発した。さらに個々の家電について消費電力の変化パターンから家電がどのような動作モードかを推定し、また将来の消費電力変動を予測する Interval Based Switching Kalman Filters を開発した。また、ユーザが与えた消費電力量の上限やピーク電力の上限から電力使用計画を策定し、家電からの電力使用要求を調停するオンデマンド型電力制御システムを開発した。最終年度である2012年度には、消費電力パターンから料理、休息、家事などの生活行動を推定し、また生活行動から消費電力パターンを予測する双方向の変換アルゴリ

ズムを開発した. さらに電力変動予測アルゴリズムを利用して, 家電の劣化度合いを推定するアルゴリズムを開発した. また, オンデマンド型電力制御システムの仕組みを利用した適応的な蓄電池制御によって, 必要最低限の容量の蓄電池によって, 生活の質を損なうことなく大きくピーク電力を削減する手法を開発した.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 加藤丈和, 湯浅 健史, 松山隆司: オンデマンド型電力制御システム, 情報処理学会論文誌, 査読あり, Vol. 54, No. 3, 2013 年, pp. 1185-1198.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato\\_2011\\_IEICE.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato_2011_IEICE.pdf)
2. 加藤丈和, 松山隆司: i-Energy Profile: スマートタップネットワークによるエネルギーの情報化プロファイル, 電子情報通信学会論文誌, 査読あり, Vol. J94-B, No. 10, 2011 年, pp. 1232-1245.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato\\_Zyohosyorigakai\\_201303.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato_Zyohosyorigakai_201303.pdf)

[学会発表] (計 10 件)

1. Takekazu Kato, Kento Tamura, and Takashi Matsuyama, "Adaptive Storage Battery Management based on the Energy on Demand Protocol," Third IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm2012), 2012. 11. 5. -2012. 11. 8, Tainan, Taiwan.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato\\_2012\\_SmartGridComm.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato_2012_SmartGridComm.pdf)
2. 加藤丈和: エネルギーの情報化の取り組みに関する紹介, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), 2012 年 12 月 13 日~2012 年 12 月 14 日, 山形大学, 山形市.
3. 米谷竜, 川嶋宏彰, 加藤丈和, 松山隆司: 映像の顕著性変動モデルを用いた視聴者の集中状態推定: 第 15 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012), 2012 年 08 月 06 日~2012 年 08 月 08 日, 福岡国際会議場, 福岡市.  
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/hap>

[pyou/pdf/Yonetani\\_MIRU2012.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Yonetani_MIRU2012.pdf)

4. 田村健人, 加藤丈和, 松山隆司: オンデマンド型電力制御システムのための蓄電池設計と充放電管理, 電子情報通信学会ユビキタス&センサネットワーク研究会, 2012 年 7 月 19 日~2012 年 7 月 20 日, 岩手大学, 盛岡市.  
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/KtamuraUSN2012.pdf>
5. 土師浩平, 加藤丈和, 松山隆司: Interval-based switching Kalman Filters による家電の消費電力モデル推定, 電子情報通信学会ユビキタス&センサネットワーク研究会, 2012 年 5 月 17 日, 豊橋技科大学, 豊橋市.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato\\_USN\\_2012.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato_USN_2012.pdf)
6. 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 2011-CDS-2, 2011 年 9 月 5 日, 三菱電機情報技術総合研究所, 鎌倉市.  
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/image/pdf/icon.gif>
7. 湯浅健史, 加藤丈和, 松山隆司: スマートタップネットワークを用いたオンデマンド型電力制御システム, 信学技法 USN2011-10, 2011 年 7 月 14 日, 九州大学西新プラザ, 福岡市.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Yuasa\\_2011\\_P\\_31.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Yuasa_2011_P_31.pdf)
8. 山田祐輔, 加藤丈和, 松山隆司: スマートタップネットワークを用いた電力消費パターンにもとづく人物行動推定, 信学技法 USN2011-10, 2011 年 7 月 14 日, 九州大学西新プラザ, 福岡市.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Yamada\\_2011\\_P\\_25.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Yamada_2011_P_25.pdf)
9. 加藤丈和: エネルギーの情報化の取り組みについて, 第 14 回画像の認識・理解シンポジウム 震災特別セッション「震災復興へのビジョン(招待講演)», 2011 年 7 月 22 日, 金沢市文化ホール,

金沢市.

10. Takekazu Kato, Kenji Yuasa and Takashi Matsuyama, "Energy on Demand: Efficient and Versatile Energy Control System for Home Energy Management," Proc. Second IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm2011), 2011. 10. 20, Brussels, Belgium.  
[http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato\\_2011Smart%20Grid%20Comm.pdf](http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/happyou/pdf/Kato_2011Smart%20Grid%20Comm.pdf)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：オンデマンド型電力制御システム、オンデマンド型 電力制御システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

発明者：松山隆史, 加藤 丈和, 湯浅健二

権利者：日東電工株式会社

種類：特許

番号：特願 2011-154495

出願年月日：2012 年 7 月 13 日

国内外の別：国内, 国外 (PCT, TW)

名称：オンデマンド型電力制御システム、オンデマンド型 電力制御システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

発明者：松山隆史, 加藤 丈和, 湯浅健二

権利者：日東電工株式会社

種類：特許

番号：特願 2011-154494

出願年月日：2012 年 7 月 13 日

国内外の別：国内, 国外 (PCT, TW)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

1. オンデマンド型電力制御システムでもビデオ：[http://youtu.be/4YUig3\\_UPn4](http://youtu.be/4YUig3_UPn4)  
2012 年 1 1 月
2. JST サイエンスニュース：<http://sc-smn.jst.go.jp/playprg/index/3101>, 2011 年 9 月
3. スマートマンション実証実験デモビデオ：<http://www.i-energy.jp/youtube.html>  
2011 年 4 月
4. 電力カラーリングデモビデオ：<http://www.i-energy.jp/youtube3.html>  
2011 年 4 月

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 丈和 (KATO TAKEKAZU)

京都大学・情報学研究科・研究員

研究者番号：30362859

