

電力センサと振動センサを用いた オフィスにおける行動パターン推定

山田 恭平[†] 椿谷 亮太[†] 木村 竜士[‡] 小林 秀幸[§] 水戸 慎一郎[†]

[†] 東京工業高等専門学校 〒193-0997 東京都八王子市櫛田町 1220-2

[‡] 高知工業高等専門学校 〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1

[§] 仙台高等専門学校 〒989-3128 宮城県仙台市青葉区愛子中央 4 丁目 16 番 1 号

E-Mail: [†]mito@tokyo-ct.ac.jp

あらまし 本研究は、見守り、健康管理、及び効率的な空調制御等へ向け、ワイヤレス電力センサと振動センサを用いて人の位置・行動検出を試みたものである。電力センサは非接触無給電、振動センサは超低消費電力のモジュールを開発し、いずれもコストと保守性に優れている。電力と振動の情報を組み合わせることで、プライバシーを確保しながら単独のセンサよりも行動を具体的に推定できた。一般家屋およびオフィス環境にて得られた結果について報告する。

キーワード 電力センサ、振動センサ、行動推定、エナジーハーベスティング、センサネットワーク、IoT

Activity Estimation for People Working in Office using Power and Vibration Sensors

Kyohei Yamada[†] Ryota Tsubakitani[†] Ryushi Kimura[‡] Hideyuki Kobayashi[§] Shinichiro Mito[†]

[†]National Institute of Technology, Tokyo College 1220-2 Kunugida-machi, Hachioji, Tokyo, 193-0997 Japan

[‡]National Institute of Technology, Kochi College 200-1 Otsu Monobe, Nankoku, Kochi, 783-8508 Japan

[§]National Institute of Technology, Sendai College 4-16-1 Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 989-3128 Japan

E-Mail: [†]mito@tokyo-ct.ac.jp

Abstract In this study, we attempted to estimate people's position and behavior using wireless power sensors and vibration sensors. These kinds of information are applicable for lifewatch, health care, efficient air conditioning control and others. We developed battery-less non-intrusive power sensors and long-life vibration sensors, both of which have advantages in cost and maintainability. We tested the sensors in a vacant house and a laboratory office, and obtained the detailed data of the usage of each electric appliances or furniture. Integration of the power and vibration data gives us a more concrete estimation of people's activity while keeping privacy.

Keywords power sensor, vibration sensor, activity estimation, energy-harvesting, sensor network, IoT

1. はじめに

近年、見守りや健康管理等への応用可能性から、各種センサを用いた行動の可視化が注目されている。

中でも人間の行動を反映した情報を得るセンサとして、電力センサ及び振動センサが注目されている。電力情報からはいつ、どこで、何をしているか推測することができる[1]。振動情報からも行動が推測でき[2]、更に集中度の指標となることもわかっている[3][4]。現状、こうした研究で用いるセンサデバイスが模索されており、振動情報は Wii リモコン[3]やスマートフォン[4]、Raspberry Pi[2]などで収集されている。

本研究では、こうした用途でより設置性と保守性に優れたデバイスが価値を持つと考え、ワイヤレスの電力センサと振動センサを開発した。電力センサは電力線に非接触かつバッテリーレスで動作し、振動センサは 10 年以上の電池寿命である。これらを一般家屋およびオフィス環境にて得られた結果について報告する。

2. 行動情報収集に適したセンサの提案

2.1 電力と振動の計測

デバイスを用いて行動を推測するにあたり、被験者の心理的負担が少ない方法で情報を得なければならな

い。カメラを用いて様子を見られることに抵抗を感じる人は多く[5]，違う方法が望ましい。そこで，計測対象として電力と振動に着目した。人間が生活すれば必ず振動が生じ，電力は消費される。これらは間接的に行動を反映しているため，プライバシーに配慮した計測が可能である。こうした情報を収集するため，据え置き型の電力センサと振動センサを開発した。

2.2 設置性と保守性

据え置いて使うセンサデバイスには，設置と保守の手間が問題となる。デバイスの設置を簡便に行うには，通信や電源のケーブルが無い形状が望ましい。この形状を満たすと，一般的にバッテリーで無線モジュールを動作させることとなり，電池交換の手間がかかる。つまり，設置性と保守性を両立するには，電池寿命が充分長いか，エナジーハーベスティングで動作する必要がある。デバイスは超省電力で動作し，無線通信する必要があるため，

- 超省電力無線モジュール TWE-Lite
- 電力を消費しないセンサ

を組み合わせたセンサデバイスとした。これにより，設置と保守の容易さを実現できると考えられる。

3. 開発したセンサデバイス

3.1 電力センサ

電流センサにカレントトランス (CT)，無線モジュールに TWE-Lite を用いた電力センサモジュールを開発した。この電力計は以前開発したもの[5]を小型化，高性能化したものである。本電力センサは，

- 安全
- メンテナンスフリー
- 安価

という3つの特徴から，多数設置することのハードルが低く，生活データの取得に適していると考えられる。

第一の安全性については，電力線に非接触という構造で実現している(図1(c))。センサは電源ラインに非侵襲であり，本質的に火事および断線のリスクが無い。もしセンサが故障しても，電力線に触れていないので火事になる恐れはない(図1(a))。計測対象に電力が不通になる心配もないため，医療機器などを避ける必要もない(図1(b))。このことから，網羅的に設置することに支障がない。

第二の特徴，メンテナンスフリーと図1の安全な構造は，エナジーハーベスティング動作により両立した。目標の形状を実現するにあたり，電源に電池を使用すると，定期的な電池交換による保守性が問題となる。エナジーハーベスティング動作であれば，電池は不要でありメンテナンスフリーである。回路の動作電力は，

CT を用いて漏れ磁束から得る。この微小な電力を貯め，間欠的に計測および送信動作をする。

第三の低コストは，機能を以上の2つに絞り，少数の汎用部品のみでこれを構成することで実現している。エナジーハーベスティングに用いる CT は 1 つ 100 円，無線モジュール TWE-Lite は 1400 円程度であるため，デバイスは 1600 円ほどで製作できた。

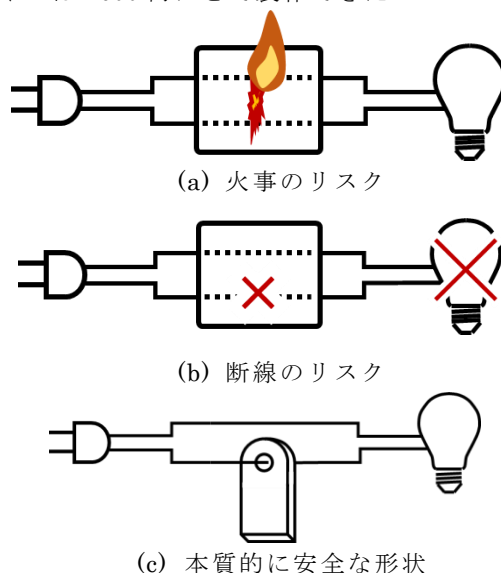


図1 電力線に非接触な電力計の安全性



図2 開発した電力センサ

開発したデバイスは3通りの使用方法を意図している。1つは壁面コンセント裏への設置である(図3)。サイズが 50 mm × 28 mm × 25 mm と小さいため，コンセント裏の空間に収めることができる。設置も容易であり，一度設置すれば生活を変えることなく永続的に計測が可能である。2つめの使い方は，小型の延長コードに取り付けて使う方法である(図4)。天井灯を計測できなかったり，デバイスが生活空間に露出したりというデメリットがあるが，コンセント単位より更に細かく個別の機器を計測対象とでき，電気工事の必要もない。本研究では，この方式でセンサを設置した。

3つ目の使い方は，CT をクランプ型にして電力線に

取り付ける方式である(図 5)。この形状にすることで、配電盤などに直接取り付けることができる。工場の工作機械を計測することなどに適している。

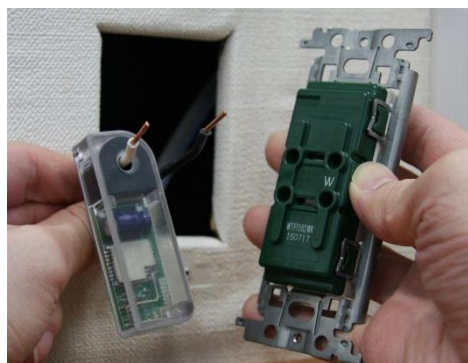


図 3 壁面コンセント裏へのモジュールの設置



図 4 延長コードによる使用



図 5 クランプ型カレントトランスを用いた電力計

3.2 振動センサ

図 6 に示すような、振動スイッチと TWE-Lite を用いた振動検出センサデバイスを開発した。加速度センサでドアやイスを計測することは先行研究で行われているが、加速度自体は重要ではないと考え、これを単純な振動スイッチに置き換えたものである。振動スイッチは内部がパネや金属球のスイッチ素子で、振動によりオープン・ショートが切り替わる。このスイッチを TWE-Lite に接続し、スイッチ動作時にデータを送

信するようにした。センサ自体は電力を消費せず、スイッチが押された時だけ無線モジュールが動作するため、加速度センサを使った方式と比べ待機電力が小さい。電池はリチウムコイン電池 CR2032 を使用した。1 日 1000 回の振動を検知したとすると 26.6 年、1 日 10000 回だとすると 6.3 年電池が持つ計算であり、実用上 10 年程度の電池寿命である。これは一般的な電気製品の製品寿命と遜色ない。小型のプラスチックケース(直径 43mm)に収め、検出したい箇所に貼り付けて使用する。

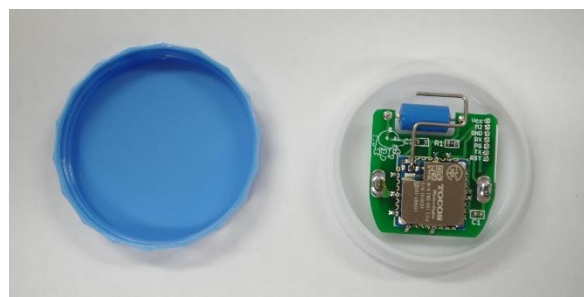


図 6 開発した振動センサモジュール

4. 実環境での実験

4.1 一般家屋での実験

本モジュールを実際の家屋に設置し、実験を行った。実験には静岡県浜松市天竜区水窪町の空き家を利用した。図 7 のように電力センサを 11 個設置して実際の使用状況を想定した生活を行い、一日のデータを取得した。送信間隔は、1 分あたり 1 回とした。データを図 8 に示す。換気扇や電子レンジの稼働状況から、調理のタイミングが読み取れる。また、トイレの電球から取得したデータでは、生活者の人数・体調などを示唆するデータが得られた。

しかし、この実験では不十分な点があることがわかった。1 つは電力センサの送信間隔である。1 分間に 1 度では、トイレや電子レンジの仕様状況がうまく反映できていない。TWE-Lite が受信に失敗することがあるので、1,2 分程度しか動作しない対象を検出できていない場面が見受けられる。もう 1 つは電力センサに適さない計測対象である。例えば、冷蔵庫の電力からは生活者の行動を示唆する情報が得られなかった。冷蔵庫は、開閉自体をモニタしなければならないと考えられる。

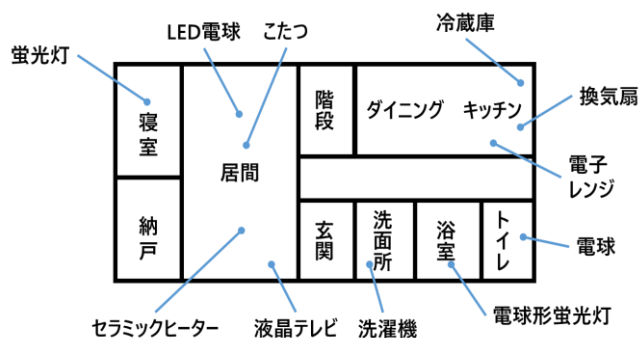


図7 一般家屋電力センサ設置箇所

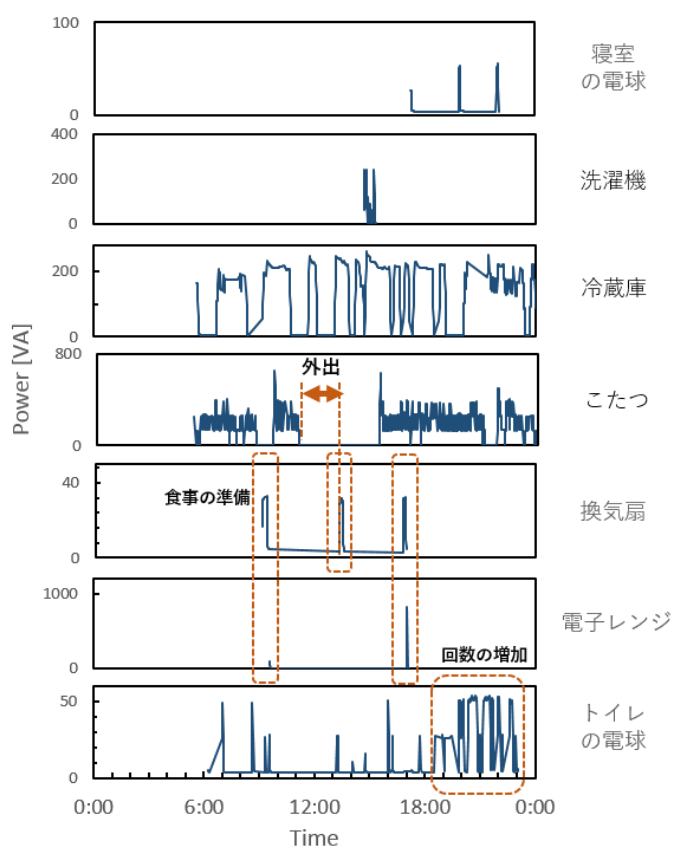


図8 一般家屋電力センサ取得データ

4.1 オフィスでの実験

開発した電力センサ・振動センサを両方用いて、実際のオフィスに環境でのデータを取得した。各センサは図9のように東京工業高等専門学校内の研究室に設置した。振動センサは出入り口のドア、イス、冷蔵庫のドアに設置した。電力センサは各デスクの電気機器のコンセント、コーヒーメーカー、電気ポット、冷蔵庫に設置した。なお、電力計を設置したデスクに対応するイスに振動センサを設置した。

この状態で実際の活動をして、1日のデータを収集した。図10に得られたデータのうち電力センサをグ

ラフに示し、振動センサのデータをヒートマップに示す。ヒートマップの赤色は振動回数が多いことを表し、青色は振動していないことを表している。

電力の情報から、登校時にパソコンの電源を付け、帰宅時に消す様子など、電気機器の使用状態が読み取れる。椅子に取り付けた振動センサは、在席中の細かい振動を捉えており、在席中か離席中か判別できる情報が得られた。

2つのセンサの情報を複合することで、個人ごとに

- PCを使い作業中
- PCを使わずに作業中
- PCをONにしたまま離席
- 帰宅

という状態が推測できる。

また、椅子の振動の頻度をヒートマップで可視化すると、在席・離席という択一的な情報以上に、より複雑な行動の様子が得られていることがわかる。ここで、椅子の振動が集中度に相関するという報告[3]に着目する。被験者3,4は、帰宅時間が近づくと振動が増えている。このことから、帰宅時間に向けて作業への集中度が低下していることが示唆される。また被験者3は夕方以外の振動が少ないが、被験者2は一日中継続的に振動している。個人の性格を反映しており、集中力の個人差が示唆されているものと考えている。

共有設備に設置したセンサからは、部屋の利用者全体の行動を示すデータが得られた。2つのドアに設置したセンサからは、東側のドアが多く使われ、西側のドアから出入りすることが少ないことが読み取れる。電気ケトル、コーヒーメーカーの電力からは、休憩をとるタイミングが読み取れる。コーヒーメーカーが多く使われる時間帯は、前述の集中度が低下したと思われる時間帯と概ね一致していることもわかる。

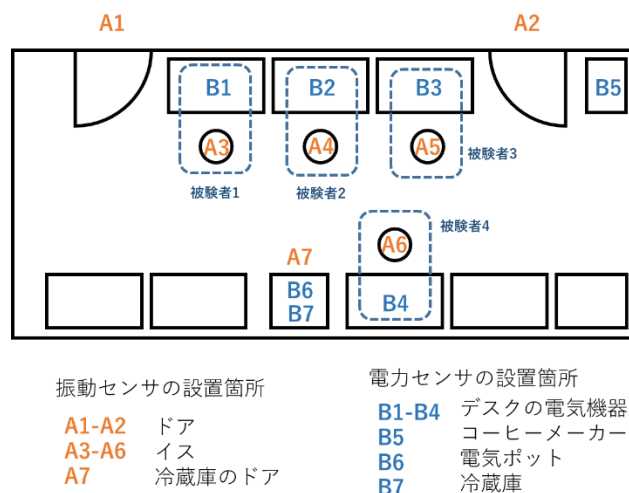


図9 研究室センサ設置箇所

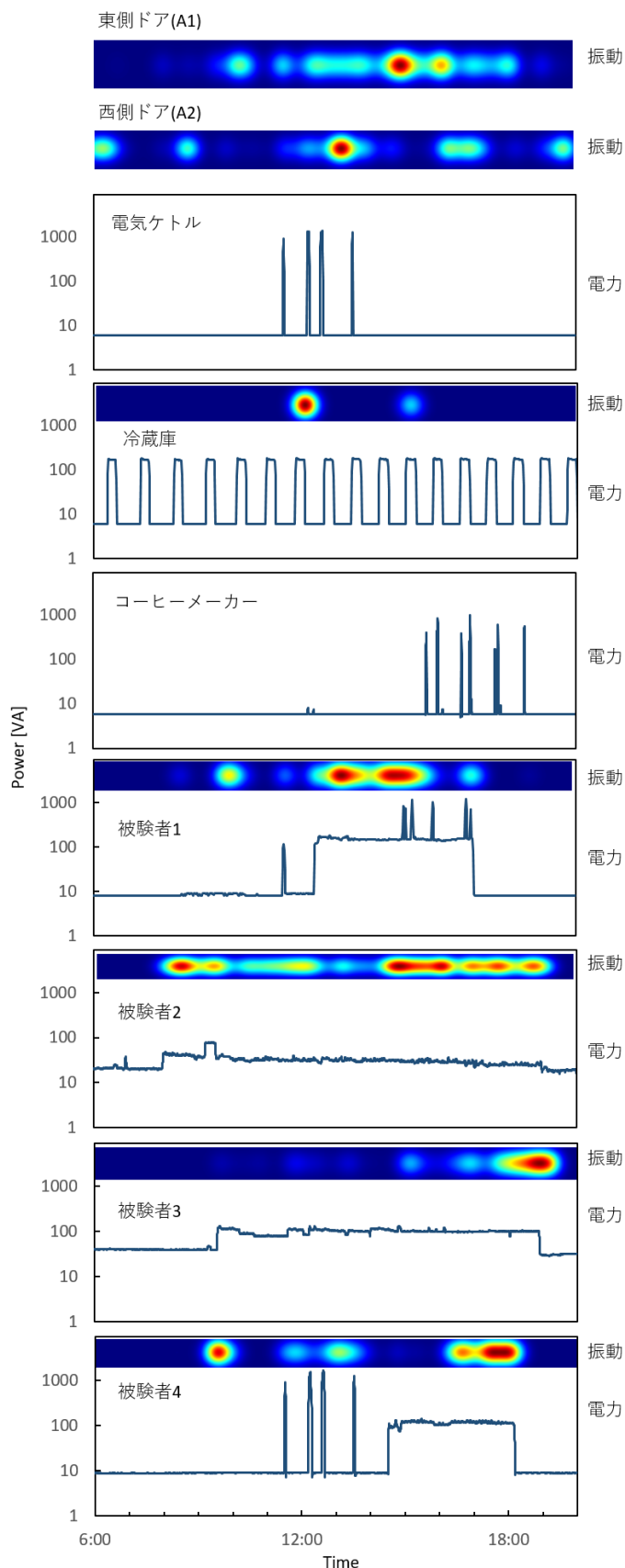


図 10 電力・振動測定結果

5. まとめ

設置性と保守性に優れた、無線通信型の電力センサと振動センサを開発した。電力センサはバッテリーレスで動作し、事故のリスクがなく電気機器の使用状態が取得できる。振動センサは、ドアや椅子に取り付けることで部屋の利用状態が取得でき、10年以上の電池寿命である。これらを組み合わせてオフィスに設置したところ、

- PC を使い作業中
- PC を使わずに作業中
- PC の電源をつけたまま離席
- 帰宅

という状態が、個人ごとに可視化できた。さらに、振動センサの情報からは、作業への集中度を可視化できることが示唆された。

今後は継続的にデータを収集し、解析を行なう。また、振動センサと集中度の相関性について検討する。

謝 辞

本研究は独立行政法人国立高等専門学校機構平成28年度高専連携教育研究プロジェクト, ”IoT を活用した高速ものづくりプラットフォームの開発と応用”の助成を受けたものです。

文 献

- [1] 上田健揮, 玉井森彦, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一, ユーザ位置情報と家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.2, 1-10, 2016
- [2] 朱牟田善治, 小田義也, 澤本潤, 厚井裕司, 据え置き型振動センサを用いた人の行動同定: 一高齢者見守り支援システムの基礎検討-, 電気学会論文誌, 135, 1583-1593, 2015
- [3] 大久保雅史, 藤村安耶, 加速度センサーを利用した集中度合い推定システムの提案, WISS2008, 2008
- [4] 植田智明, 杉村博, 松本一教, 一色正男, センサデータからの人間の行動推定, 2013 年度人工知能学会, 1C5-6
- [5] 品川佳満, 橋本勇人, 人間性へ配慮した高齢者見守りシステムの開発, 川崎医療福祉学会誌, Vol.11, No.1, pp199-204, 2001
- [6] 山田恭平, 中村開, 水戸慎一郎, 大量設置に向けたエネルギーハーベスティング電力センサの開発と家庭内電力センサネットワークによる生活把握, インタラクシオン 2016, 3C62