

## スマートメーターと HEMS を利用した実住宅での生活行動推定

佐野芳樹<sup>1</sup> 松方直樹<sup>1</sup> 酒井貴洋<sup>1</sup> 増田陸<sup>1</sup>  
濱本望絵<sup>1</sup> 杉村博<sup>1</sup> 一色正男<sup>1</sup>

**概要:** 近年日本では,一般家庭へのスマートメーターの導入が進んでいる.スマートメーターは自動検針や遠隔操作などの機能を備えており,新サービスの創出が期待されている.スマートメーターを用いることで,電気の見える化が可能となる.また,IoT 家電製品の普及も進み動作状態や消費電力の確認が可能となっている.そこで,IoT 家電機器やインフラ設備を「人行動センサ」として利用することによる,高齢者(生活者)に合わせた生活の見守りを行う「IoT(HEMS)利用の高齢者高度見守りシステム」を提案する.第一段階として,本研究では実住宅を対象としたログデータ収集システムを構築し,収集ログデータから導出した高齢者見守りシステムの基盤技術となる生活行動推定の内容について検証と考察を実施する.

### Living behavior estimation in real house using smart meter and HEMS

YOSHIKI SANO<sup>1</sup> NAOKI MATSUKATA<sup>1</sup> TAKAHIRO SAKAI<sup>1</sup>  
RIKU MASUDA<sup>1</sup> MOE HAMAMOTO<sup>1</sup> HIROSHI SUGIMURA<sup>1</sup>  
MASAO ISSHIKI<sup>1</sup>

#### 1. はじめに

日本では 65 歳以上の高齢者世帯が全世帯の 48%,高齢者だけの住宅はその約半分である 28%を占めている.[1]単独世帯は全世帯の 27%と高齢社会,核家族化が進んでいる.さらに国立社会保障・人口問題研究所の世帯数の将来推計では,2040 年の世帯総数が 5075 万世帯となり,2015 年と比べて 4.8%減少している.世帯主が 75 歳以上の世帯は 2015 年の 888 万世帯から 1217 万世帯に増え,全世帯の 4 分の 1 を占めている.[2]同居する家族などがいない生活空間では,高齢者の体調の変化や異常の発見が遅れる危険性があるため孤独死予防も踏まえた「高齢者見守り」への期待が増加している.また核家族化により,高齢な親を離れた子供家族が見守るケースが増え,施設における個々の高齢者ケアは重要な課題になってきた.しかし,人手が足りなく機械式見守りが利用されているが,まだ異常検知能力が不足しており満足な見守りサービスが提供されていない.技術の進歩や交通整備が進み,交通事故は年々減少の傾向にあるが,高齢者の家庭内での事故は年々増加している.[3] これは住宅に関する技術の発展は省エネなどが多く,生活者に向けた技術の発展はあまり進んでいないことが要因であると考えている.

#### 2. 目的

高齢者見守りシステムの実現には,離れて暮らす見守り対象者の生活行動を知ることが重要となる.そこで実住宅を対象にスマートメーターと IoT 機器 (HEMS) から得られる動作ログデータから生活行動推定が可能であるかを実際に,ログデータ収集システムを構築して検証し,考察する.また行動推定に用いるセンサは高齢者の既存住宅にある物として,近年普及の進んでいるスマートメーターと IoT 機器を活用する.

#### 3. 関連研究行

先行研究として,住宅内における行動推定に関してこれまでに様々な研究が行われている.生活者の行動を認識する研究はカメラを用いて画像処理により認識する手法[4]と,接触センサや圧力センサなど用いて認識する手法[5][6]に大別できる.どちらの手法もセンサを新たに付けることを必要とする為,既存住宅で実装することが困難である.

<sup>†1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology

## 4. ログデータ収集システム

### 4.1 システム構成

ログデータ収集システムでは、一定間隔で収集対象機器にメーカーに影響されない通信プロトコルであるECHONET Lite を用いて接続し、ログデータの収集を行う。ログデータ収集システムの簡易図を図 1 に示す。収集したデータは PC を介して MySQL のデータベースに保存している。また、csv 型式でバックアップも行っている。

本システムで使用した ECHONET Lite とは、スマートハウスを実現する通信プロトコルである。現在、家庭内でも Wi-Fi 規格などの無線ネットワークが簡単に利用できる中、スマートフォンやコントローラから、家にあるエアコン、照明などを制御したい、あるいは電力の無駄遣いを抑えるために家の電気代を把握したいという要望が増えている。このように省エネ、快適、安全・安心な生活を実現するためには、どのメーカーの機器でも共通に理解できる約束（通信プロトコル）が必要で、その役割を果たすのが ECHONET Lite である。ECHONET Lite 規格は急速に普及したイーサネットに対応し、簡単で使いやすさを重視した通信プロトコルになっている。ECHONET Lite 規格はすでに 100 を超える種類の機器に対応し、今後全世界に設置されるスマート電力量メータにおいても採用されている。[7]

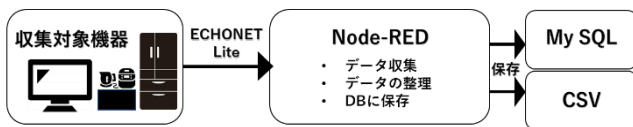


図 1 ログデータ収集システムの概略図

Figure 1 Schematic of Log data collection system.

### 4.2 制御方法

今回のシステムは Node-Red での制御を採用した。Node-Red とは、API やオンラインサービスなどの機能を繋げてアプリケーションを作成していくプラットフォームである。処理フローをブラウザの操作によって作成することができ、オープンソースソフトウェアで、Node.js が動く環境なら何処でも動かすことが可能である。

Node-Red では、収集対象機器との接続、データの保存の他、取得したデータを視覚的にわかりやすい形に変換する役割を担っている。Node-Red での処理内容を図 2、図 3 に示す。

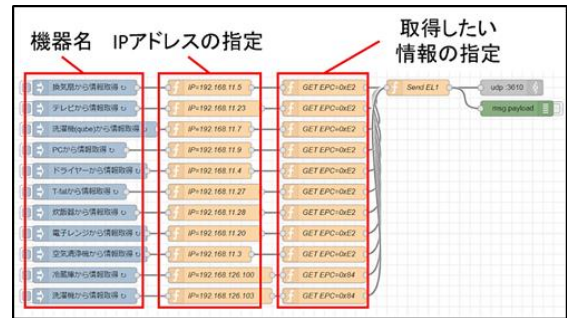


図 2 Node-Red での処理内容①

Figure 2 Processing details at Node-Red ①.

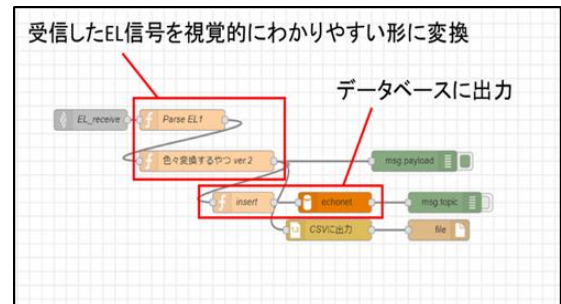


図 3 Node-Red での処理内容②

Figure 3 Processing details at Node-Red ②.

## 5. 実験環境

一軒家のキッチン、リビング、脱衣所の三部屋を対象に実験を実施した。各機器での瞬時電力とスマートメータから住宅全体の瞬時電力を取得した。家庭内のコンセントごとの消費電力を収集する為、encQube[10]を採用している。機器に対して 1 日の動作を記録した。収集間隔はネットワークの負荷を軽減し、処理の遅延による収集時のデータの欠落を減らす為、計測間隔を 3 分に設定した。各部屋の家電機器状況を図 4、図 5、図 6 に示す

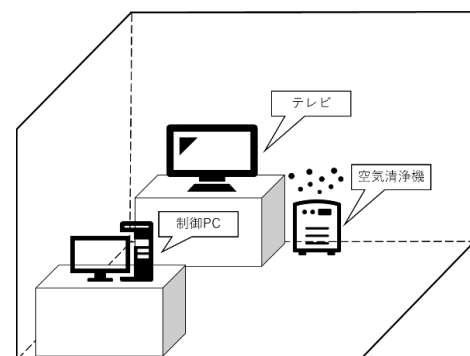


図 4 実験環境①リビング

Figure 4 Experiment environment ①

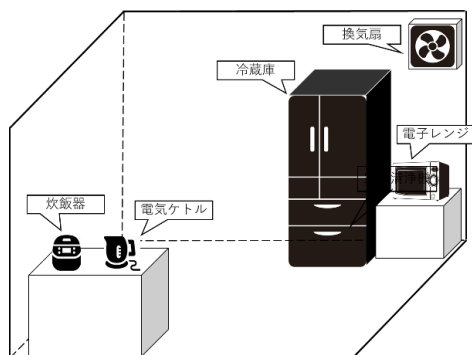


図 5 実験環境②キッチン

Figure 5 Experiment environment②

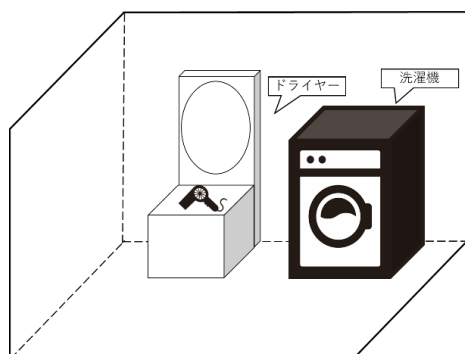


図 6 実験環境③脱衣所

Figure 6 Experiment environment③

## 6. 動作ログデータ

1日にIoT機器1機器当たり480件動作を収集することができた。停電やネットワークの遅延で欠落してしまうデータも全体の1%程発生した為、補填方法として前後データの平均値を採用した。動作ログデータは4月末時点で32万件以上収集できている。実際に収集した動作ログデータの1部を図7に例示する。

収集したログデータを基にして生活行動の推定を行う。MySQLに保存したログデータを日時、収集対象機器、消費電力量の値などでフィルターをかけ抽出をする。

日付	時刻	収集対象機器	識別IP			機器状態
2019/4/12	0:00:20	Ventilator	192.168.11.5	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:00:21	TV	192.168.11.23	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:00:22	Washing_machine_qube	192.168.11.7	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:00:23	PC	192.168.11.9	0x72	0xe2	0x00bc
2019/4/12	0:00:24	Hairdryer	192.168.11.4	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:00:25	T-fal	192.168.11.27	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:00:27	Rice_cooker	192.168.11.28	0x72	0xe2	0x0007
2019/4/12	0:00:27	Microwave	192.168.11.20	0x72	0x85	0x00007e5a
2019/4/12	0:00:29	Air_cleaner	192.168.11.3	0x72	0x84	0x0001
2019/4/12	0:03:20	Ventilator	192.168.11.5	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:03:21	TV	192.168.11.23	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:03:22	Washing_machine_qube	192.168.11.7	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:03:23	PC	192.168.11.9	0x72	0xe2	0x00bf
2019/4/12	0:03:24	Hairdryer	192.168.11.4	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:03:25	T-fal	192.168.11.27	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:03:27	Rice_cooker	192.168.11.28	0x72	0xe2	0x0007
2019/4/12	0:03:28	Microwave	192.168.11.20	0x72	0x85	0x00007e5a
2019/4/12	0:03:29	Air_cleaner	192.168.11.3	0x72	0x84	0x0001
2019/4/12	0:06:20	Ventilator	192.168.11.5	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:06:21	TV	192.168.11.23	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:06:22	Washing_machine_qube	192.168.11.7	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:06:24	PC	192.168.11.9	0x72	0xe2	0x00c8
2019/4/12	0:06:24	Hairdryer	192.168.11.4	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:06:25	T-fal	192.168.11.27	0x72	0xe2	0x0000
2019/4/12	0:06:27	Rice_cooker	192.168.11.28	0x72	0xe2	0x0007

図 7 動作ログデータ

Figure 7 Operation log data collection system.

### 6.1 機器動作状態

収集したログデータに対して各機器の消費電力の動きから機器動作状態の推定を行う。常時電源が入っている機器に対しては待機時の消費電力量を閾値に、その他の機器は0[w]を閾値にして機器の動作状態を High, Low を判断する。全収集機器に対して行うことで、同時に使用する機器の可視化が可能となる。テレビのログデータでの例を図8に示し1日の収集対象機器の機器動作状態を示したグラフを図9に示す。

日付	時刻	収集対象機器	機器状態	機器状態
2019/4/12	20:00:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:03:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:06:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:09:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:12:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:15:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:18:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:21:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:24:23	TV	0x0000	Low
2019/4/12	20:27:23	TV	0x0012	High
2019/4/12	20:30:23	TV	0x01b9	High
2019/4/12	20:33:23	TV	0x01b9	High
2019/4/12	20:36:23	TV	0x01b7	High
2019/4/12	20:39:23	TV	0x01b4	High
2019/4/12	20:42:23	TV	0x01b8	High
2019/4/12	20:45:23	TV	0x01ba	High
2019/4/12	20:48:23	TV	0x01b2	High
2019/4/12	20:51:23	TV	0x01b0	High
2019/4/12	21:05:25	TV	0x01b5	High
2019/4/12	21:08:25	TV	0x01b2	High
2019/4/12	21:11:01	TV	0x01aa	High
2019/4/12	21:14:01	TV	0x01b2	High
2019/4/12	21:17:01	TV	0x01ae	High
2019/4/12	21:20:01	TV	0x01b1	High
2019/4/12	21:23:01	TV	0x01b6	High

図 8 テレビの機器動作状態

Figure 8 TV operation status.

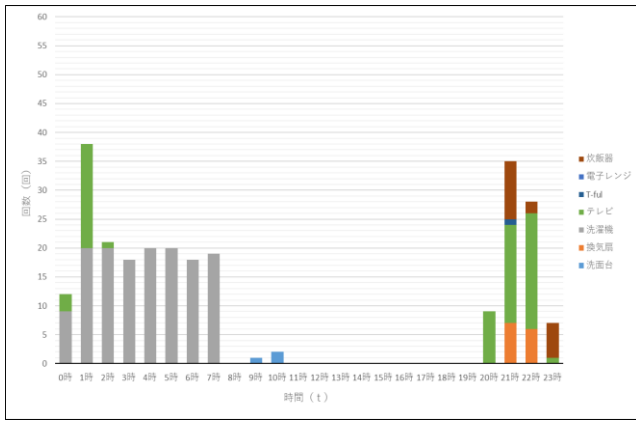


図 9 1日当たりの収集対象機器動作状態

Figure 9 Collected target equipment operation status per day.

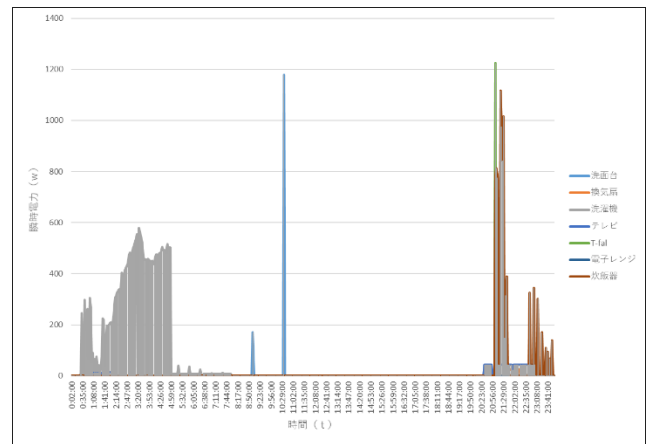


図 11 収集対象機器の合計瞬時電力

Figure 11 Total instantaneous power of collection target devices.

## 6.2 消費電力

各収集対象機器の消費電力とスマートメーターから得られる消費電力により実住宅の生活行動を推定する.図 10 のスマートメーターによる実住宅全体の消費電力により生活者が実住宅に滞在する時間帯や活発に活動する時間帯の可視化を行うことが可能となる.

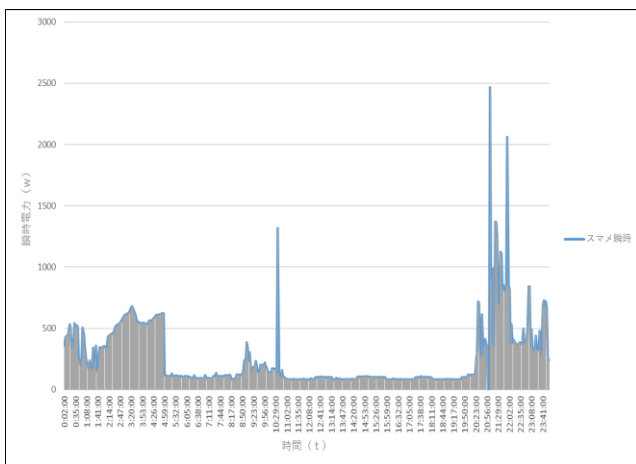


図 10 スマートメーターによる住宅全体の消費電力

Figure 10 Power consumption of the whole house by smart meter.

実住宅全体の消費電力に,図 11 の収集対象機器の合計消費電力を合わせることで,上記の活発に活動する時間帯に行っている生活行動が何かを推定することが可能となる.

また生活行動を推定する際,収集対象機器以外の消費電力が多く影響している場合が想定される.そのような場合は経済産業省資源エネルギー庁の省エネ機能カタログ 2018 年冬版[11]から作製した機器の「定格消費電力,待機時消費電力データ」と照合し生活行動の推定を試みる.

「定格消費電力,待機時消費電力データ」の例として図 12 にエアコンと液晶テレビを示す.

機種	タイプ	品番	定格消費電力(W)	待機時消費電力(W)	
冷暖房	エアコン	冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
		冷暖房用	1	0.26	37
液晶テレビ	液晶テレビ	液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87
		液晶テレビ	1	0.27	87

図 12 「定格消費電力,待機時消費電力データ」

Figure 12 "Rated power consumption, standby power consumption data".

## 7. 行動ルールの生成

複数の特徴量(動作状態,消費電力など)を基にして行動ルールを生成する.行動ルールは生活空間での見守り対象者が行う行動の因果性や相関性を推定したものである.例として同時に利用する家電機器の相関性があげられる.また1機器の昨日からの変化量の関係なども行動ルールといえる為,1個の特徴量に対して1次元以上の行動ルールを生成することができる.データマイニングのフリーソフトである Weka を使用して生成した家電機器の相関性例を以下にしめす.Weka とは java 言語により実装されたデータマイニングのオープンソースであり,データマイニングの主要 3

工程「データの事前処理」「マイニング」「結果の後処理」に関する多くのメソッドを提供し、様々なデータマイニングアプリケーションの開発できるプラットフォームである。

## Apriori

Minimum support: 0.1 (480 instances) // 最小支持度

Minimum metric <confidence>: 0.1 // 最小確信度

Number of cycles performed: 18 // 実行サイクル数

Generated sets of large itemsets:

Size of set of large itemsets L(1): 3

Size of set of large itemsets L(2): 2

Best rules found: // 抽出したルール

1. 洗濯機='B1of3' 599 ==> 炊飯器='B1of3' 583  
<conf:(0.97)> lift:(1.01) lev:(0) [7] conv:(1.37) // 洗濯機の消費電力が低いときは、炊飯器の消費電力が低い 確信度 0.97

2. テレビ='B3of3' 660 ==> 炊飯器='B1of3' 628  
<conf:(0.95)> lift:(0.99) lev:(-0) [-6] conv:(0.78) // テレビの消費電力が高いときは、炊飯器の消費電力が低い 確信度 0.95

3. 炊飯器='B1of3' 4613 ==> テレビ='B3of3' 628  
<conf:(0.14)> lift:(0.99) lev:(-0) [-6] conv:(1) // 炊飯器の消費電力が低いときは、テレビの消費電力が低い 確信度 0.14

4. 炊飯器='B1of3' 4613 ==> 洗濯機='B1of3' 583  
<conf:(0.13)> lift:(1.01) lev:(0) [7] conv:(1) // 炊飯器の消費電力が低い、洗濯機の消費電力が低い 確信度 0.13

## 8. 行動軌跡

### 8.1 昨年度の結果と問題点

昨年度収集したログデータを積み重ねることで、生活者の住宅内での行動が推定できる可能性を示す為、実際に収集したログデータを基に行動軌跡を作製した。作成手順のフローを以下に示す。またその手順から作成された生活者の行動軌跡を図 13 に示す。

住宅内の各セクションでの行動推定を組み合わせることで、生活者の 1 つのデータだけでは推定できない住宅全体での行動が可視化できた。今回の実験を実施した住宅では、キッチンから移動できる部屋はリビングのみであり、キッチンとリビングでの行動軌跡の割合は本来であればほとん

ど等しくなる筈である。しかし、TV や換気扇といった稼働させた後、一定時間稼働させたままにしておくことが多い機器でデータの収集を行っている性質上、一度稼働させた後の動作を正確に追跡する事が困難であり、往復の割合が大きく異なってしまうという結果となった。

- (1) 各収集対象機器の設置場所を設定する。
- (2) 収集対象機器の動作状態を参照して稼働時間と動作回数を算出する。
- (3) 全機器の合計稼働時間と合計動作回数を算出する。
- (4) 各機器の稼働時間率と動作回数率を合計稼働時間と合計動作回数から算出する。
- (5) 機器動作の遷移から生活者の移動回数と移動経路を推定する。
- (6) 稼働時間率と動作回数率の算出結果を基にして各場所での滞在時間をバブルの大きさと可視化する。
- (7) 移動回数と移動経路の算出結果から生活者の行動軌跡を矢印で可視化する。

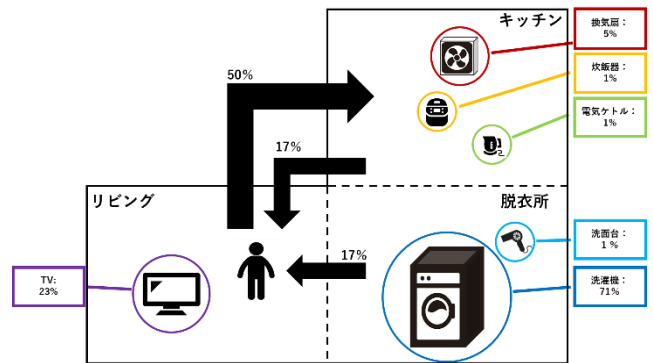


図 13 生活者の行動軌跡

Figure 13 Behavior trajectory of residents.

### 8.2 今回の結果

昨年度の行動軌跡作製手順の不確定要素を削減するべく各エリアの滞在率、未確定行動の推定を追加した。

本研究での作製手順を以下に示す。新たに機器の稼働時に生活者がその場にはいない場合は滞在時間から除く処理を加え行動推定の精度向上を試みた。その手順から作成された滞在率と機器稼働率のデータを図 14 に、生活者の行動軌跡を図 15 に示す。

- (1) 各収集対象機器の設置場所を設定する。
- (2) 収集対象機器の動作状態を参照して稼働時間と動作回数を算出する。
- (3) 全機器の合計稼働時間と合計動作回数を算出する。
- (4) 各機器の稼働時間率と動作回数率を合計稼働時間と合計動作回数から算出する。
- (5) 滞在率と未確定行動（外出、就寝など）を推定する。
- (6) 機器動作の遷移から生活者の移動回数と移動経路を推



定する。

(7) 稼働時間率と動作回数率の算出結果を基にして各場所での滞在時間をバブルの大きさで可視化する。

(8) 移動回数と移動経路の算出結果から生活者の移動率と滞在率の行動軌跡を矢印で可視化する。

滞在率 (%)			稼働率 (%)		
未確定行動	35.70	リビング→キッチン	2.30	総稼働	220 (回)
リビング滞在率	18.16	脱衣所→未確定	2.51	洗面台	1.36
脱衣所滞在率	7.72	脱衣所→リビング	0.42	換気扇	4.09
キッチン滞在率	5.85	脱衣所→キッチン	4.59	洗濯機	47.73
未確定→リビング	1.88	キッチン→未確定	4.59	テレビ	40.91
未確定→脱衣所	3.13	キッチン→リビング	2.51	電気ケトル	0.00
未確定→キッチン	4.18	キッチン→脱衣所	3.97	電子レンジ	0.00
リビング→未確定	2.09	合計	100.00	炊飯器	5.91
リビング→脱衣所	0.42			合計	100.00

図 14 滞在率と機器稼働率

Figure 14 Behavior trajectory of residents.

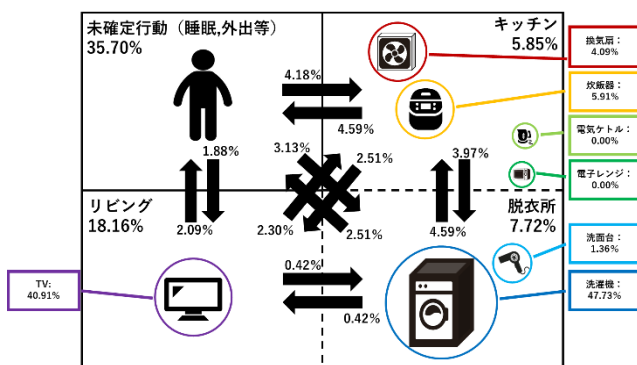


図 15 生活者の行動軌跡

Figure 15 Behavior trajectory of residents.

## 9. 結論

IoT 機器の動作状態だけでは推定できない IoT 機器の動作モード等も、家電の瞬時電力データと組み合わせることで推定する事が出来た。また、住宅全体の消費電力のグラフと収集対象機器全体の消費電力のグラフを比較することで、IoT に対応していない家電製品の消費電力が判断出来るので、IoT に対応していない家電製品の動きも推定できる。様々なデータ収集を行い、積み重ねることで生活者の行動や、住宅状況の可視化が可能になり、生活行動推定が出来る事が示せた。

## 10. 今後の展望

今後の展望として、データ収集対象機器の充実を図ると共に、現在のデータ収集システムは PC による制御を必要としている為、Raspberry Pi などを活用した小型なデータ収集システムを搭載したデバイスの開発研究を行っていく事を検討している。また、上記の課題として記載したが、停電

など想定外の異常が起きた際にも対応できる用、自動復帰システムの追加を検討している。

現時点では、収集システムと解析工程が個別に実施されているため、同一システムで全行程が完結できるよう改良を検討する。

見守りサービスに活用できる行動推定技術の可能性を示すことができたので、実住宅での見守りサービスのプロトタイプ作製に取り組んでいく。

## 参考文献

- [1] 内閣府,平成 30 年版高齢社会白書全体版,入手先,< [https://www.8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/html/zenbun/s1\\_1\\_3.html](https://www.8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/html/zenbun/s1_1_3.html)>
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所,日本の世帯数の将来推計(都道府県別推計),入手先,< <http://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2019/gaiyo/gaiyo.pdf>>
- [3] 厚生労働省, ”人口動態統計年報 主要統計表”, 入手先, < <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html> >
- [4] 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, 2015, vol. 57, no. 2, 1-10.
- [5] 上田博唯. センサネットワークと家電製品を結合したサービス提供 NICT ユビキタスホームにおける事例. 情報処理, 2006.
- [6] 石丸翔也, 心の状態を可視化するシステムの開発, < <https://www.ipa.go.jp/files/000052828.pdf>>
- [7] 経済産業省, スマートハイスビル標準化検討会 2012.2, 入手先, < [https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011\\_04\\_02.pdf](https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011_04_02.pdf)>
- [8] eneQube 九電テクノシステムズ株式会社(Q-tecno) < <https://www.q-tecno.co.jp/products/social13.html>>
- [9] 経済産業省 資源エネルギー庁: 省エネ性能カタログ 2018 年冬版, 入手先 < <https://seihinjyoho.go.jp/frontguide/pdf/catalog/2018/winter2018.pdf>>