

各種センサを用いた住宅内行動センシングに関する研究

○島田 樹*¹ 谷 明勲*²
 山邊 友一郎*³

キーワード：住宅内行動 センシング OSHW 各種センサ

1. 序

近年の日本は世界でも類を見ない高齢化社会を迎えつつあり^[1]、2065 年には国民の約 2.6 人に 1 人が 65 歳以上の高齢化社会が到来すると予想されている。それに伴い高齢者のみの世帯の割合は、平成 27 年には 56.9%にまで達し、孤独死件数なども増加している^[2]。孤独死が急増している要因として、近隣関係の希薄化があげられる。地域とのつながりが希薄になり、異変が近隣関係により察知されにくい状況になっていると考えられる。

そのため、離れて暮らす家族が高齢者の生活を見守る仕組みに対する要求の高まりにより、さまざまな研究が行われている。カメラによるモニタリングに関する研究では、映像から異常行動を判別するアルゴリズムに関する研究が行われている^[3]。しかし、プライバシーの観点から室内にカメラを設置することに抵抗感を持つ場合も多い。また、センサを人間に取り付けて人間の動作を測定する研究^[4]も行われているが、これは人の歩行や転倒などの動作の検出を目的としており、日常生活の動作や行動の計測を目的としたものではない。さらに、住宅に設置したセンサによる測定結果から、居室の利用を観測する研究^[5]は行われているが、種々のセンサの計測結果が実際の生活行動の判別にどの程度有効であるかという研究は十分には行われていない。

そこで、本研究では、生活行動センシングに関する基礎的知見を得るため、まずオープンソースハードウェア(以下 OSHW)である Arduino^{[6][7]}と市販の各種センサを用いた室内行動センシングシステムを構築し、実際の住宅でセンシング実験を行う。得られた計測結果と実際の生活行動との比較検討を行い、各種センサによる日常的な住宅内での行動の判別能力を検証し、高齢者の生活行動の見守りへの適用可能性を検討することを本研究の目的とする。さらに、生活行動の判別に効果的な各種センサの配置や配置の際の注意点に関する検討も併せて行う。

2. システム概要

本研究では OSHW の Arduino を用いて、温度センサ、湿度センサ、照度センサからなるシステム 1 と、加速度センサと人感センサからなるシステム 2 の 2 種類のセンシングシステムを用いて住宅内の行動を計測する。システム 1 はエアコン操作や入浴などの検出を、システム 2 は居室間の移動などの検出をそれぞれ目的とする。表 1 に温度^[8]、湿度^[9]、加速度センサ^[10]の仕様を、表 2、3 に

照度センサ^[11]と人感センサ^[12]の仕様をそれぞれ示す。システム 1 では、0.5 秒ごとに温度センサ、湿度センサ、照度センサによる計測を 10 回を行い、その平均値を記録する。また、システム 2 では 1 秒ごとに加速度センサと人感センサの計測を行い、その計測結果の値を記録する。なお、計測結果は全て SD カードに記録される。

表 1 温度、湿度、加速度センサの仕様

	電源電圧	測定範囲	精度	感度	オフセット
温度センサ	2.7~+10 (V)	-25~+85 (°C)	±3.0 (°C)	+10 (mV/°C)	+600 (mV)
湿度センサ	4~+5.8 (V)	0~+100 (%)	±3.5 (%)	+30.7 (mV/%)	+958 (mV)
加速度センサ	2.7~5.5 (V)	-2~+2 (g)		1000 (mV/g)	2.5 (V)

表 2 照度センサの仕様

	最大逆電圧	測定波長範囲	最大感度波長	動作温度	光電流*1
照度センサ	4~5.8 (V)	320~820 (nm)	560 (nm)	-30~80 (°C)	-0.18~0.34 (mA)

*1 測定条件：気温 25°C、電源電圧 5V、色温度 2856K、照度 100lx

表 3 人感センサの仕様

電源電圧	3.3V~12V
出力	オープンコレクタ(100mV まで)
最大検知距離	約 8m(気温等の環境条件による)
検知角度	約 120°(レンズ前面方向)

3. 検証実験 1

3.1 実験概要

本研究では先述したシステム 1、2 の 2 つのセンシングシステムを用いて、あるマンションの一室にて住宅内行動の計測を行った。図 1 に実験を行った住宅の間取りと各システムの配置を示す。実験は 2018 年 1 月 15 日 0 時

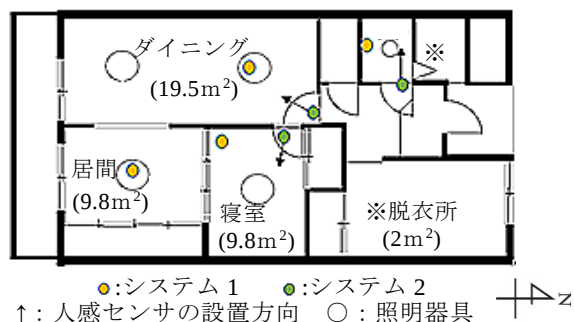


図 1 実験を行った住宅の間取りと各システムの配置

から1月16日24時までの2日間(48時間)で行った。なお、実験期間中この住宅では2名(高齢者86歳1名、青年22歳1名)が生活しており、天候は両日ともに晴れであった。なお、寝室と居間の間は扉にガラスがはめ込まれており、透過光が侵入するようになっている。表4に実験期間中の主な生活行動と、その行動が行われた時間を示す。なお、本研究では、表4中に示す大まかな生活行動の把握の可否の検証を行う。また表5に各室におけるシステム1の設置高さを示す。システム2に関しては全て扉の床上1.5mの箇所に設置した。

表4 主な生活行動と時間

	1月15日	1月16日
起床	5:00	7:00
洗濯	8:00	8:30
エアコン停止	9:00	9:30
昼食	12:00	11:00
夕食	17:00	18:00
入浴	21:00~22:30	19:00~20:30
エアコン起動	21:00	20:00
就寝	24:30	

表5 各室におけるシステム1の床上高さ

脱衣所	床上1.1m(棚上)
ダイニング	床上0.6m(机上)
寝室	床上1.1m(棚上)
居間	床上1.1m(机上)

3.2 実験結果および考察

今回の実験では2日間の生活行動を測定したが、本稿では主に2日目の測定結果を抜粋し、それらに対する検討を行う。図2、図4、図6に寝室における温度湿度、照度、加速度・人感センサの計測結果を、図3に脱衣所における温度湿度計測結果を、図5にダイニングの照度センサ計測結果をそれぞれ示す。図6の人感センサの計測結果は、感知した場合を1で、不感知の場合を0で示す。また、各図中には特徴的な生活行動を併せて示し、赤の範囲は睡眠時間帯を示している。なお、ダイニングに関しては、システムの不具合により、21時30分までの計測結果を示す。

(1) 温度、湿度の計測結果に関する考察

図2の寝室における温度・湿度測定結果より、エアコンを操作した時間帯(9時、20時)に温度と湿度が大きく変化していることがわかる。また、図3の脱衣所における温度・湿度測定結果より、入浴時間を特定することも可能であった。しかし、脱衣所以外の居室のうち、エアコンの影響が小さかったダイニングでは、温度・湿度の計測結果から生活行動の判別は難しいことがわかった。

(2) 照度に関する考察

図4、5に示す寝室とダイニングにおける照度測定結果より、今回の実験では日照による影響から、日照のな

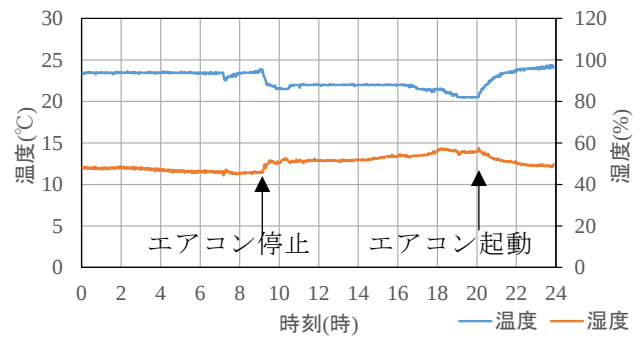


図2 寝室 温度湿度計測結果

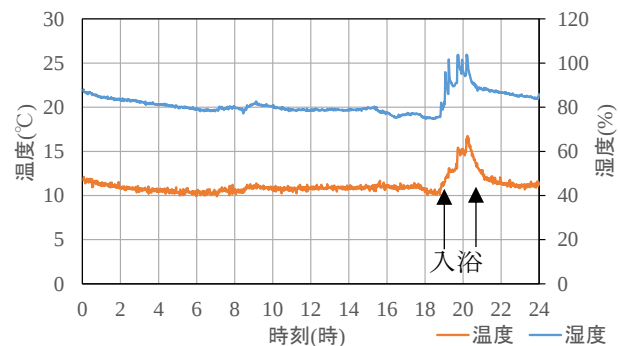


図3 脱衣所 温度湿度計測結果

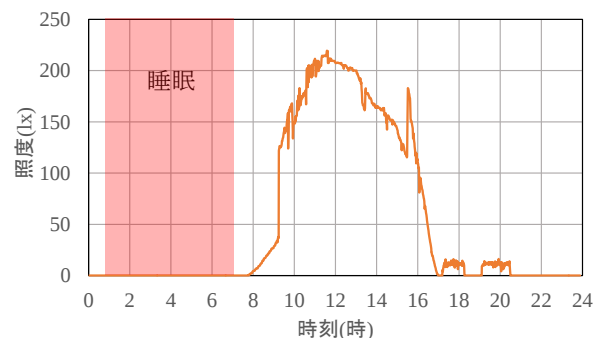


図4 寝室 照度計測結果

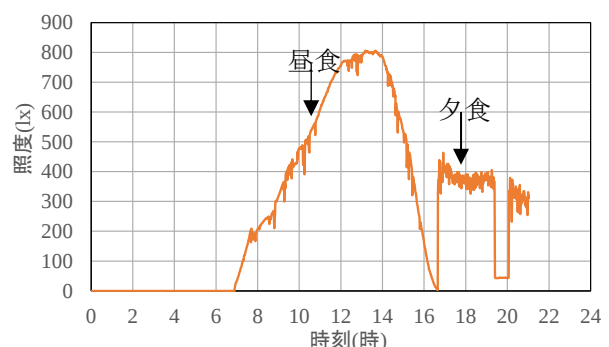


図5 ダイニング 照度計測結果

い脱衣所以外の居室では日中の生活行動を判別することはできなかった。このため、照度センサの設置には日照の影響を考慮する必要があることがわかる。しかし、日没後には、照度センサの計測結果で生活行動の判別が可能であった。また、日照のない居室(脱衣所)に関しては、照度センサの計測結果から一日を通して居室の利用を確

認することが可能であった。

図4、図5の18時過ぎの計測結果を比較すると、夕食の時間帯にはダイニングの照明のみが使われていることが確認でき、照度の計測結果を比較することで利用されている居室を特定することができる。

(3) 加速度、人感センサに関する考察

図6に示す寝室扉に設置した加速度、人感センサの測定結果から、0時30分頃から7時30分頃まで、扉加速度に変化が見られない時間が存在する。これより、およそその睡眠時間を特定することができる。しかし、人感センサに関しては寝返り等を検知したため睡眠時間の正確な把握ができなかった。このため、人感センサの設置では検知範囲に寝床が含まれないようにするなどの対策が必要となる。

また、その他の居室では、人感センサの計測結果から大凡の活動時間の把握が可能であった。しかし、人感センサを居室内向けて設置したため、居室内での動作をすべて検出する結果となった。また、人感センサを扉に設置した影響で、扉の開閉によりセンサの検出範囲の死角に入った場合に計測ができない時間帯があった。このため人感センサの設置には、扉の開閉で死角にならない場所に、検出範囲が居室全体とならない角度で設置する必要がある。

また、今回の加速度センサと人感センサの計測結果では、睡眠以外の具体的な生活行動を把握することはできなかった。しかし、トイレや玄関などの用途が限られた居室や扉の場合では、これら2種類のセンサだけでも生活行動を判別できると考えられる。

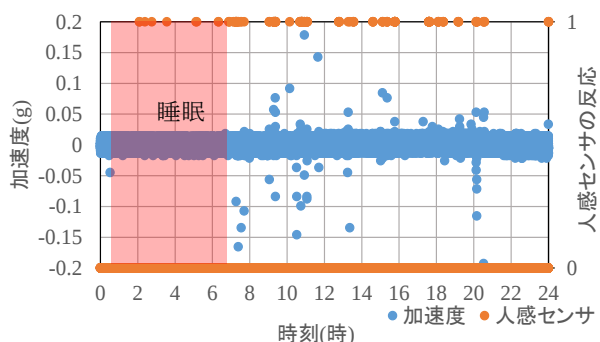


図6 寝室扉の加速度、人感センサ計測結果

(4) 検証実験1によるシステムの要改善点

検証実験1の計測結果から以下の点についてシステムの改善が必要であることがわかった。

①人感センサの計測結果による生活行動の判別では、その設置位置や設置方法でセンサの死角の発生や、設置範囲外の生活行動を感知する場合があります、設置位置や設置方法を改善する必要がある。

②照度センサの計測結果による生活行動の判別に、日照が大きく影響することが明らかとなったため、その設置には日照の影響を考慮する必要がある。

上記を踏まえたシステムの改善を行い、検証実験2を実施する。

4. 検証実験2

4.1 実験概要

検証実験1で得た結果を踏まえ、間取りの異なるアパートの一室でも検証実験を行った。図7に実験を行った住宅の間取りと各システムの配置を示す。実験は2018年6月24日0時から6月27日24時までの4日間(96時間)行った。なお、実験期間中この部屋では1名(青年23歳)が生活し、27日の21時頃から雨が降り始めた。表6に実験期間中の主な生活行動と、その行動が行われた時間を示す。なお、この実験でも表6中に示す大まかな生活行動の把握の可否の検証を行う。また今回の実験では、台所のシステム1は床上1mの壁面に貼り付け、寝室と居間に関しては床上0.6mの机の上に設置した。システム2に関しては各扉の床上2mの箇所に設置した。

検証実験1での改善点に対する対応を以下に示す。

- ① 人感センサの設置については、人感センサを扉に設置するのではなく、扉上部の床高2m程度の位置でセンサの周囲を覆うことで検出範囲を限定し、真下を向くように設置した。これにより居室内全体の動作の検出が防止され、居室間の移動などのより詳細な把握が可能になると考える。
- ② 照度センサに対する日照の影響に関しては、日照の影響の小さい部屋での計測を行い、照度センサの計測結果による生活行動の判別精度の検証を行う。さらに、追加した検討項目を以下に示す。
- ③ システム2を玄関にも設置し、外出、帰宅などの行動の判別も試みた。
- ④ 今回は浴室に脱衣所が併設されておらず、台所が脱衣所を兼ねているため、間取りの違いによる生活行動の判別精度の検証を行う。

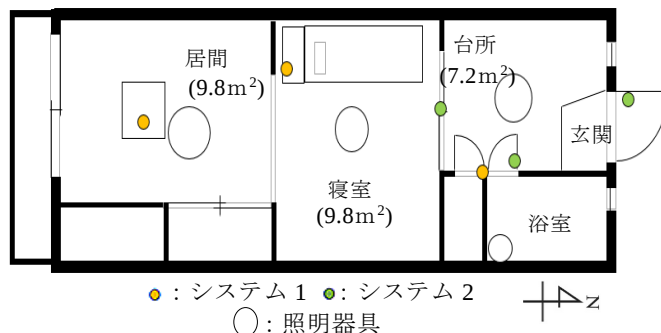


図7 実験を行った住宅の間取りと各システムの配置

4.2 実験結果及び考察

検証実験 2 では 4 日間の生活行動を計測したが、ここでは主に前回の検証実験 1 の計測結果と比べて大きな変化が見られた項目についてのみ検討を行う。

表 6 主な生活行動と時間

	24 日	25 日	26 日	27 日
就寝	5 : 00		2 : 30	5 : 00
起床	13 : 30		12 : 45	9 : 00
外出	17 : 00	8 : 30	13 : 00	16 : 00
帰宅	21 : 30	12 : 00	21 : 00	17 : 00
外出		17 : 45		
帰宅		21 : 30		
夕食				21 : 00
入浴	21 : 30	21 : 30	21 : 00	23 : 00

図 8、図 9 にそれぞれ実験 3 日目、4 日目の台所における温度・湿度計測結果を、図 10、図 11 にそれぞれ実験 4 日目の寝室及び居間の照度計測結果を、図 12 に実験 3 日目の玄関扉の加速度、人感センサの計測結果を示している。図 12 の人感センサの計測結果は、感知した場合を 1 で、不感知の場合を 0 で示す。なお、各図中の赤の範囲は睡眠時間帯を示し、黄色の部分は外出していた時間帯を示している。

(1) 温度、湿度に関する考察

検証実験 2 では 4 日間ともにエアコンを起動しなかったため、居間、寝室で生活行動に起因すると考えられる温度・湿度の変化を検出することができなかった。

図 8 に示す台所の温度・湿度計測結果より、湿度が急激に上昇している時刻から入浴時間が判別できる。しかし、図 3 の計測結果と比較すると、温度の急激な変化がないことが分かる。これは、今回の浴室には脱衣所が無いためと考えられる。脱衣所があった前回の実験では、風呂場からの熱が狭い脱衣所内にこもり温度が大きく変化した。今回の実験では台所が脱衣所に比べて広いために熱がこもらず、温度が上昇しなかったためと考える。

また 1 日目、2 日目ともに、入浴の時間帯には湿度が図 8 に示すように変化した。しかし図 9 に示すように、4 日目は前 3 日間と比較して湿度の上昇幅が小さい(3 日目の 10% 程度の上昇に対して 4 日目は 5% 程度の上昇)。これは雨により部屋の湿度が高かったためと考えられる。なお、現状では雨天時の計測結果が少ないため、今後、雨天時の温度・湿度センサの検出特性のより詳細な把握が必要となる。

(2) 照度センサの計測結果に関する考察

先述の通り、この住宅はアパートの一階に位置し、南側には高いマンションが建っているため、日中でも室内への日照が少ない。このため図 10、図 11 の計測結果を見ると、日中であっても日照による室内照度はかなり小さく、一日を通して照明器具の利用の判別が可能で、全

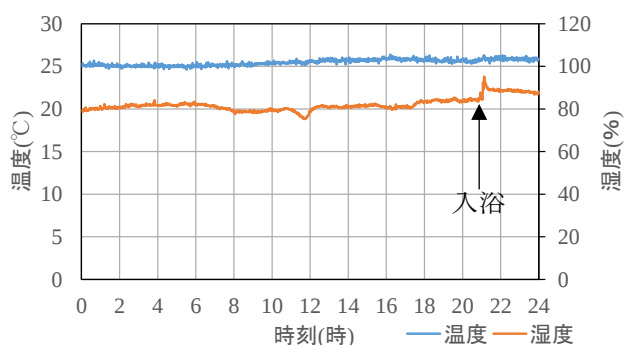


図 8 台所 3 日目 温度湿度測定結果

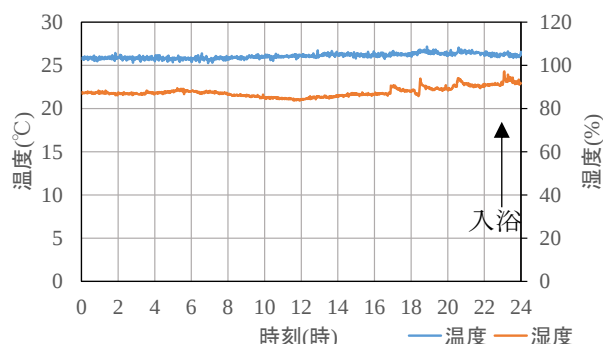


図 9 台所 4 日目 温度湿度測定結果

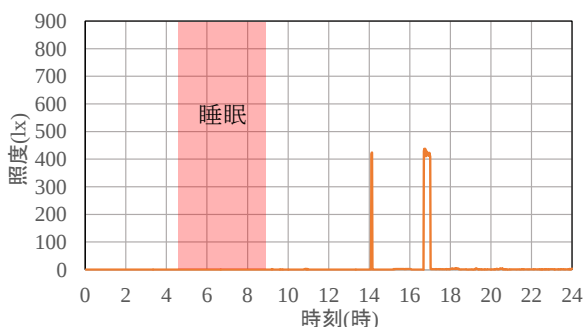


図 10 寝室 4 日目 照度測定結果

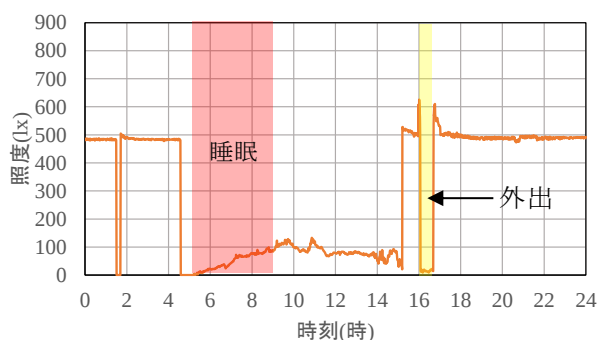


図 11 居間 4 日目 照度測定結果

ての実験日、全ての居室に同様の傾向が見られた。特に窓から離れている寝室ではその傾向が顕著に見られる。また、図 11 の 2 時頃に照度が 0lx になっているが、これは、この時間帯で試験的に照明器具の保安灯のみを点灯させたためで、今回使用したセンサでは照明との距離が離れると保安灯程度の明るさでは照明の使用を検出できなかった。

(3) 加速度、人感センサの計測結果に関する考察

図 12 の計測結果より、玄関扉の加速度の変化から、外出時間、帰宅時間を判別することができた。また、人感センサの計測結果からも在宅中か、不在かの判別が可能である。これより、用途が限られた扉では、これら 2 種類のセンサだけで在宅か不在かの生活行動を判別できることがわかった。また、検証実験 1 の人感センサの設置方法では広範囲に人の移動を感知したが、検証実験 2 で

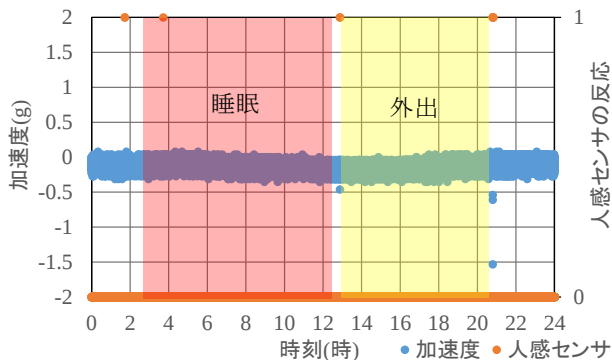


図 12 玄関扉 3 日目 加速度、人感センサ計測結果

は人感センサの検出範囲を限定するように設置したため、台所の利用に伴う移動はほとんど感知されず、図 6 の計測結果と比較して人感センサの反応回数が大幅に減少したことが分かる。この傾向は全ての実験日、全ての居室に同様に見られた。このため、今回の人感センサの設置方法を用いれば、より正確に特定の居室の利用や、扉の通過を判別可能と考えられる。

5. 結

本研究では、各種センサおよび OSHW の Arduino を用いた室内行動センシングシステムを構築し、間取りの異なる二つの実際の住宅での計測を行い、実際の生活行動と各種センサの計測結果との比較を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 温度センサ、湿度センサの計測結果から、入浴時間とエアコンの起動時間、停止時間を判断することが可能である。浴室を除いて、エアコンを使用しない場合やエアコンの影響が小さい居室においてはこれらのセンサの計測結果から生活行動を判別することは難しい。
- (2) 照度センサの計測結果から、照明の利用を観測することで日照のない居室や日没後の生活行動を把握することが可能であった。しかし、日照がある場合は日中の居室の利用や行動を把握することは難しく、照度センサの設置場所の決定には日照を考慮する必要がある。
- (3) 加速度センサと人感センサによる計測結果から、睡眠時間、居室の利用時間などの生活行動を判別する

ことが可能である。また、人感センサの検出範囲を制限することで、居室間の移動などのより詳細な生活行動を判別が可能になった。特に、玄関など用途が限られた居室や扉に関しては、これら 2 種類のセンサだけでも生活行動の判別が可能である。

以上より、本研究で構築したシステムを用いることで住宅内での大まかな生活行動を判別可能であることがわかった。しかし、用途が限定された居室や扉を除いて、生活行動を正確に把握するためには単一のセンサによる計測では不十分で、複数のセンサを組み合わせる必要がある。また、今回の検証実験は限定的であるため、今後は季節や天候の変化による各種センサの測定結果を用いた住宅内行動の判別精度の検証が必要と考える。

【参考文献】

- [1]総務省：平成 29 年度版 高齢社会白書(URL:http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/29pdf_index.html 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [2]東京都観察医務院ホームページ 平成 28 年版統計表：(URL:<http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kansatsu/database/28toukei.files/28toukei40-56.pdf>, 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [3]関弘和、堀洋一：高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出，電気学会論文誌．D，産業応用部門誌 122 巻，2 号，pp.182~188, 2002.2.
- [4]遠田敦，林田和人，渡辺仁志：スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡，日本建築学会計画系論文集，第 73 巻，第 630 号，pp.1847~1852, 2008.8.
- [5]松岡克典：宅内情報ネットワークを用いた生活行動モニタリングと生活見守り技術，日本建築学会情報システム技術委員会，2010 年度日本建築学会大会(北陸)情報システム部門研究協議会資料「スマートな情報通信技術で実現する建築性能モニタリングの未来像」，pp.63-68, 2010.9.
- [6]Arduino HP：(URL：<http://www.arduino.cc/>，平成 30 年 7 月 1 日閲覧)
- [7]神崎康宏：Arduino で計る、測る、量る，CQ 出版社，2013.12.
- [8]秋月電子通商 HP：製品情報，高精度 IC 温度センサ LM61BIZ データシート(URL:<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-09691/> 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [9]スイッチサイエンス HP：HIH-4030 データシート(URL:<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf> 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [10]秋月電子通商 HP：製品情報，フォト IC ダイオード S9648-20 OSB(URL：<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-12350/> 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [11]秋月電子通商 HP：製品情報，三軸加速度センサー KXM52-1050 データシート(URL：<http://akizukidenshi.com/download/KXM-52.pdf> 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)
- [12]秋月電子通商 HP：製品情報，焦電型赤外線センサモジュール SB612A データシート(URL：<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-08767/> 平成 30 年 7 月 11 日閲覧)

- *1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生
*2 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士(工学)
*3 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

Research on Behavior Sensing in Houses Using Various Sensors

○Tatsuki SHIMADA^{*1}

Akinori TANI^{*2}

Yuichiro YAMABE^{*3}

Keywords : Behavior in a house, Sensing, OSHW, Various sensors

Recently, in Japan, the number of solitary deaths has been increasing due to the declining birthrate and aging population. For this reason, demands for watching systems for elderly people for families living apart are increasing. In this research, two sensing systems using Open Source Hardware (OSHW) and various sensors are developed and sensing experiments in actual residences are performed. Furthermore, obtained measurement results are compared with actual human behaviors. The objective of this study is to clarify the detecting ability of human behaviors using measurement results by various sensors.

In this study, data on sensors such as temperature, humidity, illuminance, acceleration of doors, and motion detector are measured in two residences with different conditions such as layouts of rooms and effects of sunshine. System-1 is consisted with a temperature sensor, a humidity sensor and an illuminance sensor and installed in each room. System-2 is consisted with an acceleration sensor and a human sensor and installed in each door. Data on temperature, humidity, and illuminance are recorded every minute, and those on acceleration and motion detector are recorded every second. These data are stored in SD card.

In the first experiments performed in January, it is clarified that improvement of sensor installation methods is required. In the second experiments performed in June, problems clarified in the first experiment are improved. The followings are clarified by obtained results by two experiments.

1. Based on the measurement results using the temperature sensor and the humidity sensor, it is possible to judge the bath time, the start and stop time of the air conditioner. However, it is difficult to detect daily behaviors from the measurement results of these sensors in the case of not using the air conditioner or in the living room where the influence of the air conditioner is small except for the bathroom.
2. From the measurement results using the illuminance sensor, it is possible to detect human behavior in case of no influence of sunshine like after sunset. However, when there is sunshine like in day time, it is difficult to detect human behaviors in a room affected by sunshine, and it is necessary to consider sunshine to decide the installation location of the illuminance sensor.
3. It is possible to detect daily human behaviors such as approximate activity time, sleeping time, room usage time and so on from the measurement results of the acceleration sensor and the motion detector. Furthermore, regarding living rooms and doors with limited applications such as the entrance, it is possible to detect daily human behaviors by only these two kinds of sensors.

From the mentioned above, it is clarified that human behaviors in the residence can be roughly detected by using the system developed in this research. In the future, it is necessary to verify the detecting accuracy of human behaviors in the residence using the measurement results of various sensors due to the change of the season and the weather.

^{*1} Graduate Student, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University,

^{*2} Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

^{*3} Associate Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.