

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

空気品質センサを追加した場合の住宅内行動検知性能の検討

Research on Behavior Sensing in Houses using Various Sensors

A study on behavior detection performance in houses adding air quality sensor

○島田 樹^{*1}, 谷 明勲^{*2}, 山邊 友一郎^{*3}
Tatsuki Shimada^{*1}, Akinori Tani^{*2} and Yuichiro Yamabe^{*3}

*1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生

Graduate Student, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University.

*2 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 教授 博士(工学)

Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr.Eng.

*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)

Associate Professor, Department of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr.Eng.

Summary:

Recently, in Japan, the number of solitary death has been increasing due to the declining birthrate and aging population. For this reason, demands for systems on watching elderly people for families living apart are increasing. The authors have already proposed two sensing systems using Open Source Hardware (OSHW) and various sensors and performed sensing experiments in actual residences. As results, it is clarified that life behaviors in the residence can be roughly detected using proposed systems.

In this paper, aiming to improve detection abilities of life behaviors in a residence, an air quality sensor is added to the proposed sensing system as a new sensor. Newly employed sensor can measure 'Total Volatile Organic Compounds (TVOCs)' and 'Equivalent CO₂ (eCO₂)'. Sensing experiments in an actual residence are performed during 3 days (72 hours), and obtained results show that added air quality sensor can detect some life behaviors in a residence. Measurements results obtained by preceding and this papers show that detection abilities on life behaviors in residences are considered to be improved using the multiple sensors comprehensively. Therefore, it is necessary to clarify relationships between the combination of sensors and detectable life behaviors.

キーワード: 住宅内行動 ; センシング ; OSHW ; 各種センサ

Keywords: Behavior in a house; Sensing; OSHW; Sensors.

1. はじめに

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、異変が周辺住民に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、筆者らは、既に生活行動センシングに関する基礎的知見を得るための基礎的検討として、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^[8]を行った。提案システムで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、各種センサの住宅内での行動の判別能力を

検証し、その有効性を明らかにした。

本研究では、既往の研究^[8]に加えて、空気品質センサを追加して既報と同様の実験を行い、これらのセンサの生活行動把握への適用可能性を検討する。さらに、生活行動の判別に効果的な各種センサの配置や組合せの検討や、配置の際の注意点についても併せて行う。

2. システム概要

本研究では OSHW の Arduino を用いて、空気品質センサからなるシステム 1 と、温度センサ、湿度センサ、照度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にて計測を行った。空気品質センサは空気中の総揮発性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds, 以下 TVOCs)と等価 CO₂ 濃度(Equivalent CO₂, 以下 eCO₂)の計測が可能である。表 2 に空気品質センサ^[9]の仕様を、表 3 に温度^[10]、湿度^[11]センサの仕様を、表 4 に照度センサ^[12]の仕様をそれぞれ示す。なお、温度、湿度および eCO₂ 濃度に関しては市販のデータロガーと各センサで同時に計測を行い、計測精度の検証を事前に行ったところ、図 1~3 に示すように温度は 2~3°C 低く、湿度は約 3~5% 高いがほぼ同様の性状を示し、eCO₂ 濃度は 200ppm 程度高い結果となった。表 4 にデータロガーの仕様^[13]を示す。システム 1、2 ともに、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 回行い、その平均値を記録する。なお、計測結果は全て SD カードに記録される。

表 1 空気品質センサの仕様^[9]

電源電圧	1.8~3.6V
動作温度	-5~+50°C
eCO ₂ 測定範囲	400~8192ppm
TVOCs 測定範囲	0~1187ppb

表 2 温度、湿度、センサの仕様^{[10][11]}

	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)

表 3 照度センサの仕様^[12]

	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 (mV)

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

表 4 データロガーの仕様^[13]

	温度[°C]	湿度[%]	CO ₂ 濃度[ppm]
測定範囲	0~55	10~95	0~9,999
測定精度	±0.5	±5	±50+読み値の 5%

3. 検証実験

3.1 実験概要

本研究では、2 章で示したシステム 1、2 の 2 つのセンシングシステムを用いて、あるアパートの一室にて住宅内行動の計測を行った。

図 4 に実験を行った住宅の間取り、及び各システムの配置を示す。実験は、2019 年 7 月 4 日 0 時から 6 日 24 時までの 3 日間(72 時間)で行った。なお、実験期間中この住宅では成人男性 1 名が生活しており、天候は 4 日の夜のみ雨であった。

表 5 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。また、表 6 には各室におけるシステム 1、2 の設置高さを示す。深夜 0 時から未明までが雨で、それ以外の時間帯は晴れであった。

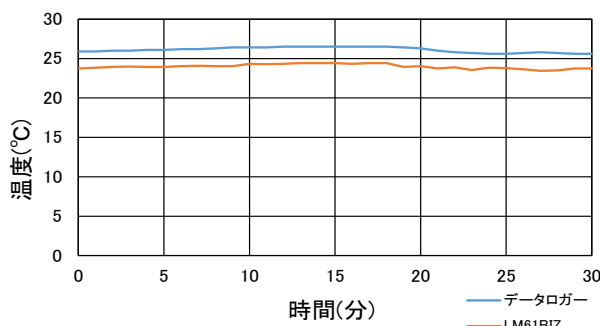


図 1 温度のデータロガーとの比較

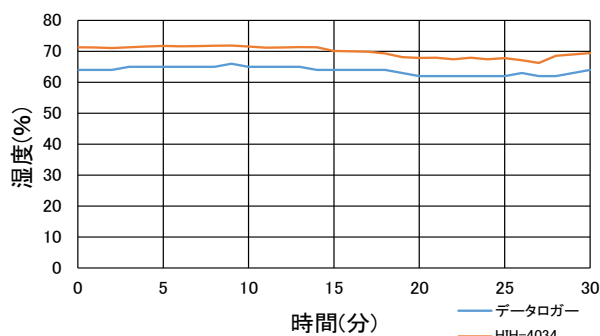


図 2 湿度のデータロガーとの比較

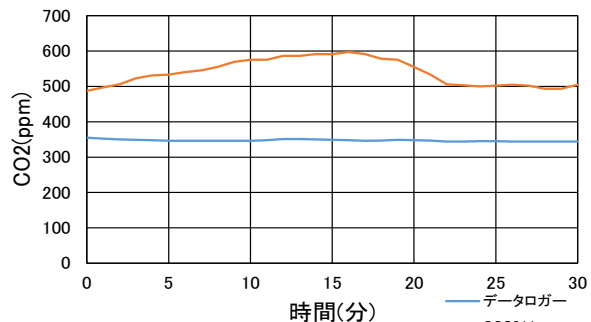


図 3 eCO₂ 濃度のデータロガーとの比較

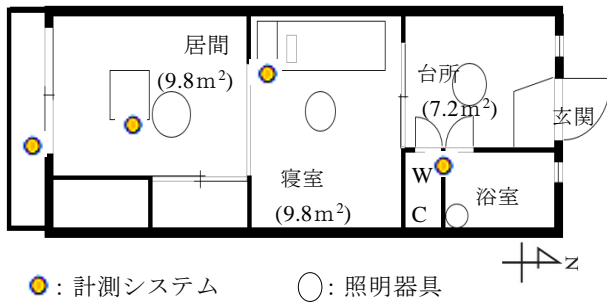


図 4 実験を行った住宅の間取りとシステムの配置

表 5 主な生活行動と時間

	1日目	2日目	3日目
就寝	0:30	1:30	3:30
起床	10:30	9:40	10:00
外出	12:00	11:00	10:15
帰宅	17:30	18:30	15:30
外出	18:30	19:15	
帰宅	22:45	23:45	
入浴	23:00	24:00	19:00
夕食	24:00		20:30

表 6 各室におけるシステムの床上高さ

ベランダ	床上 0.2m(台上)
居間	床上 0.6m(机上)
寝室	床上 0.6m(棚上)
台所	床上 1.0m(壁面)

3.2 実験結果及び考察

今回の実験では3日間の測定を行ったが、本稿では主に2日目と3日目一部の測定結果を抜粋して示し、特に、空気品質の変化に注目して検討および考察を行う。

図5~7に2日目の居間、寝室、台所、外気の、図9~10に3日目の居間、台所のeCO₂計測結果をそれぞれ示す。また、図11~14には2日目の居間、寝室、台所、外気の、図15~16に3日目の居間、台所のTVOCs計測結果をそれぞれ示す。なお、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、黄色の範囲は外出時間帯をそれぞれ示している。なお、寝室のシステム2の計測結果では、システムの不具合によりSDカードにデータが保存できていなかったため、今回は除外する。

(1)eCO₂濃度に関する考察

図5から図7に示す2日目の各場所におけるeCO₂計測結果で、共通して以下の傾向が観察された。

- ①外出先から帰宅した際に、住宅内の各地点のeCO₂濃度が急激に上昇する傾向がある。
- ②起床時、入浴後、帰宅時などに、台所の換気扇を起動した場合、住宅内の各地点のeCO₂濃度が急激に減少する傾向がある。
- ③就寝時は、居間の窓を開放した場合、緩やかに各地点のeCO₂濃度が減少していく傾向がある。

①に関しては、各図中の18時30分頃や23時45分頃などで値の変化が観察される。これより、空気品質センサで帰宅時間を判別することが可能であると考えられる。

②に関しては、特に18時30分頃の値の変化として、急激にeCO₂濃度が低下した後に上昇したことが確認できる。これは換気扇を停止したためと考えられる。また、換気が行われる事で在宅中である事が推測できるため、空気品質センサで間接的に在宅状況が判別可能と考える。

③に関しては、換気による影響に加えて、睡眠時は日中と比較して代謝量が低下し、eCO₂の排出が抑えられることが原因として考えられる。なお、上記の変化は3日間とも共通して見られた。

次に、図8のベランダのeCO₂濃度変化については、他の居室と比較して値の上限値は小さいものの、窓を開けて換気を行った時間帯に上昇することがわかる。これは、今回は窓の付近にセンサを設置したため室内の空気による影響を受けたと考えられる。それ以外の在室時間帯では、3日間ともeCO₂濃度に大きな変化は見られなかった。

さらに、図9、10に示す3日目の居間、台所のeCO₂度計測結果では、図9から居間で食事を行った21時頃にCO₂濃度の上昇が確認できる。このような急激な上昇は1日目の24時頃にも見られたため、食事によってその部屋のCO₂濃度が上昇したと推測できる。また図10では、台所で調理を行った20時30分頃にもeCO₂濃度の上昇が確認でき、空気品質センサが調理によるガスコンロの使用などの影響を受けたと考えられる。しかし、これらの上昇の傾向は帰宅時の上昇と類似しており、eCO₂濃度の変化だけでは、食事に関連した生活行動であると判断することは難しいと考える。また、図9の21時頃の値のように測定範囲外の値を検出する場面が見られたため、今後は、検出範囲外の計測値の処理の検討が必要と考える。

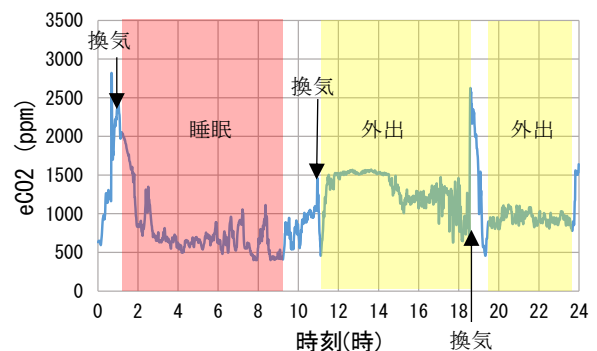


図 5 居間 eCO₂濃度計測結果(2日目)

(2)TVOCs濃度に関する考察

図11~14に示す実験2日目の各場所におけるTVOC濃度測定結果から、TVOCsの濃度変化についても、先述したeCO₂濃度と同様の傾向が見られ、帰宅時や食事の

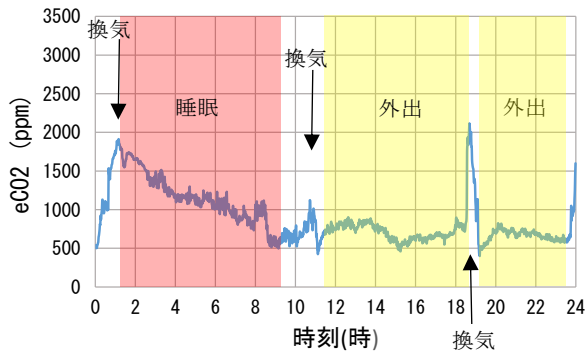


図 6 寝室 eCO₂ 濃度計測結果 (2 日目)

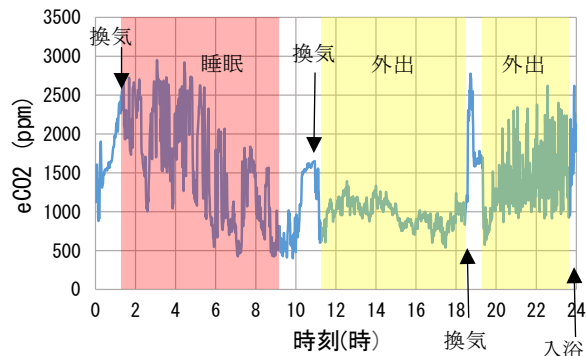


図 7 台所 eCO₂ 濃度計測結果 (2 日目)

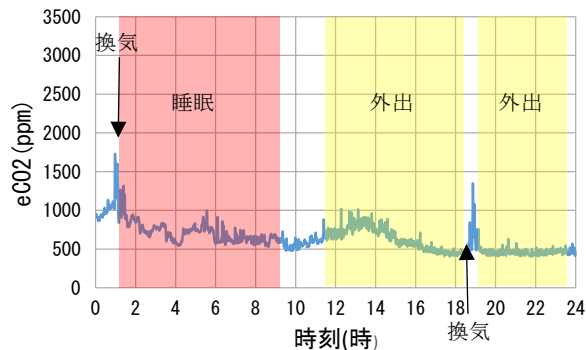


図 8 ベランダ eCO₂ 濃度計測結果 (2 日目)

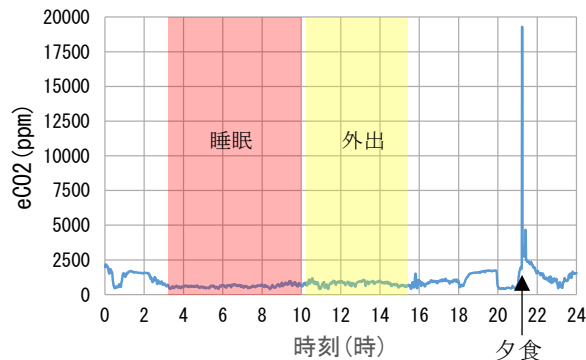


図 9 居間 eCO₂ 濃度計測結果 (3 日目)

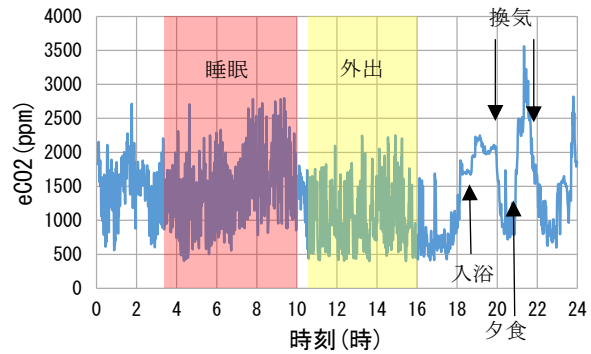


図 10 台所 eCO₂ 濃度計測結果 (3 日目)

時間帯などに急激な上昇が見られ、換気を行った時には濃度が急激に低下する結果が得られた。これより、TVOCs 濃度の変化でも、eCO₂ 濃度の変化と同様に帰宅時間、在宅状況の判別や食事時間の推測が可能と考える。

図 13、16 の台所の TVOCs 計測結果については、ともに他の計測箇所の濃度と比較して高い値を検出したことが確認された。これは、今回、空気品質センサをトイレ付近に設置したことにより、トイレ内の芳香剤に含まれるリモネンやピネンなどの有機化合物に影響を受けたと推測される^[14]。このため、今後、芳香剤などのセンサへの影響について検討する必要があると考える。さらに、TVOC の計測値に関しても eCO₂ 濃度同様に測定範囲外の値を検出する場合が見られたため、今後、検出範囲外の計測値の処理の検討が必要と考える。

(3) 温度、湿度、照度変化と生活行動の関連性

ここでは、eCO₂ 濃度、TVOC 濃度の変化と温度、湿度および照度の変化との関連について考察を行う。

温度に関しては今回の実験期間において、エアコンを使用しなかったこともあり大きな変化が見られなかった。そのため空気品質との関連性を確認できなかった。湿度に関しては入浴時の湿度の上昇とともに eCO₂ 濃度および TVOCs の濃度が上昇する傾向が 3 日ともに見られた。TVOC に関してはシャンプーや洗剤などの成分を検知したため濃度が上昇したと考えられる。

今後は、エアコン使用時の温湿度変化と空気品質の変化を比較し、検出特性を把握していく必要がある。

照度に関しては、たとえば図 5、図 11 の居間における帰宅時間前後(18 時 30 分から 19 時ごろ)の空気品質の変化と、図 18 の照度の同時間帯における計測結果をそれぞれの比較することで、おおよその帰宅時間を判別することが可能である。このことから、特に日没後の、在宅、帰宅、外出などの行動や、就寝中などの活動状況をより明確に判別することが可能と考えられる。また、日中に関しても、図 5、図 11 の起床時間後の居間における空気品質の変化と、図 18 の照度の計測結果を比較すること

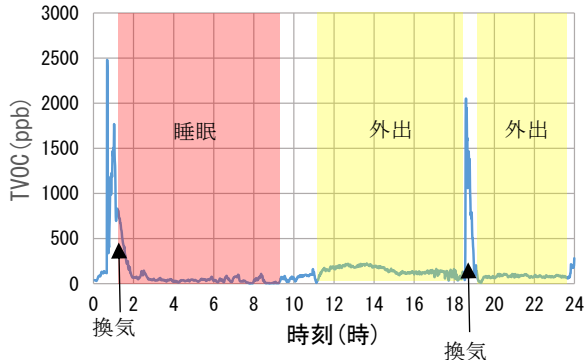


図 11 居間 TVOCs 濃度計測結果 (2 日目)

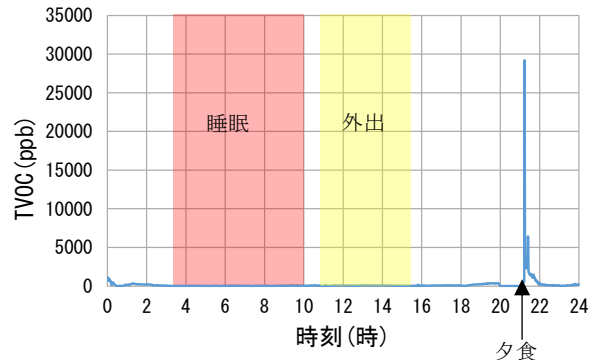


図 15 居間 TVOCs 濃度計測結果 (3 日目)

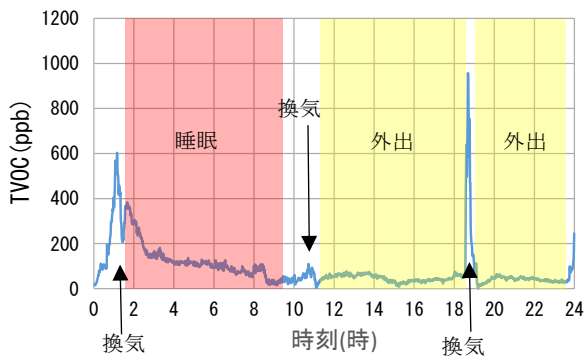


図 12 寝室 TVOCs 濃度計測結果 (2 日目)

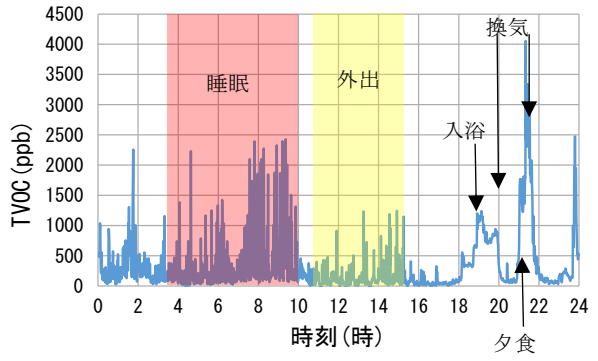


図 16 台所 TVOCs 濃度計測結果 (3 日目)

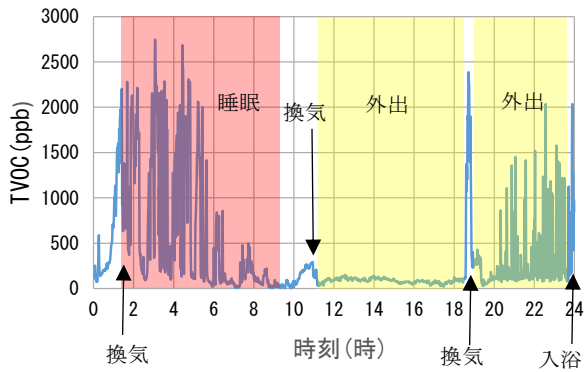


図 13 台所 TVOCs 濃度計測結果 (2 日目)

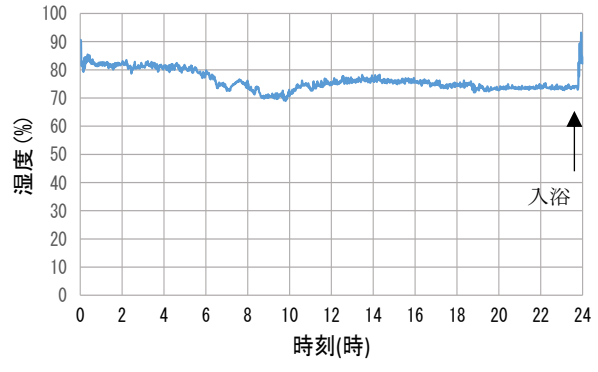


図 17 台所 湿度計測結果 (2 日目)

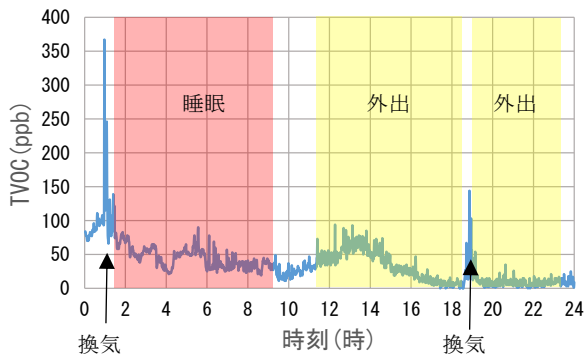


図 14 ベランダ TVOCs 濃度計測結果 (2 日目)

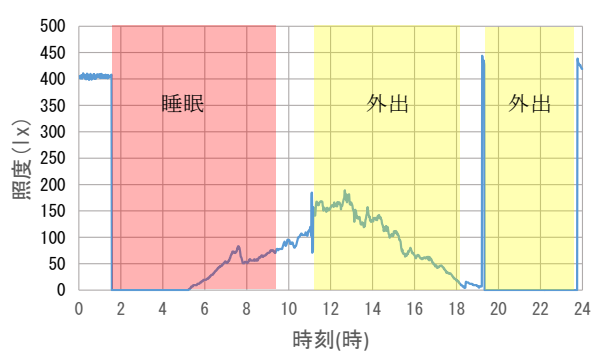


図 18 居間 照度計測結果 (2 日目)

で、これまで照度センサだけでは判別することが難しかった日中における住宅内での活動状況を判別することが出来ると考える。

4. 結

本研究では各種センサおよび OSHW の Arduino をもちいた室内行動センシングシステムを構築し、実際の住宅での計測を行い、特に、本報では空気品質センサを追加して実際の生活行動と各種センサの計測を行い、特に住宅内の空気品質の変化と生活行動の関係について比較・考察を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) eCO₂ 濃度計測結果から、住宅内の各部屋(計測地点)で、帰宅時、在宅中、起床時、調理、食事時に eCO₂ 濃度の上昇が確認できた。しかし、調理、食事による変化と帰宅時における eCO₂ 濃度の変化はほぼ同様の性状を示すため、eCO₂ 濃度のみではどの生活行動かを特定することは難しい。また、換気による eCO₂ 濃度の低下から、在宅中であることが推測可能であるなど、eCO₂ 濃度で間接的に在宅状況を判断可能であると考えられる。
- (2) TVOCs 濃度計測結果からは、おおむね eCO₂ 濃度の場合とほぼ同様の傾向が確認された。しかし、台所における TVOCs 濃度の計測結果から、芳香剤や消臭剤、シャンプーなどの成分による影響を受ける可能性が確認された。このため、これらの成分による TVOCs 濃度の検出特性への影響を検討する必要があると考える。
- (3) 温度、湿度、照度計測結果と空気品質の計測結果と生活行動判別可能性を比較した場合、温度、湿度に関して、今回はエアコンの起動がなくこれらの計測結果に大きな変化がなかったため、eCO₂ 濃度及び TVOCs 濃度の関連性を今後検討する必要があると考える。また、照度に関しては、日没後の在宅状況の判別だけでなく、これまで照度センサだけでは判別が難しかった日中における住宅内での活動状況を検出することがで、空気品質計測が生活行動判別に有効であることもわかった。以上より、本研究で構築した空気品質センサを加えたシステムを用いることで、住宅内における大まかな在宅状況や生活行動を判別もしくは推測可能であることがわかった。特に、これまで判別することが出来ていなかった食事に関する生活行動を検出する可能性が明らかとなったことは大きな知見であると考えられる。

一方、今回の実験では空気品質から在宅状況を判断することは可能であったが、空気品質の計測結果のみでは各室における在室状況を明確に判断することが出来なかった。これは、今回計測を行った住宅の間取りで、各室が直接つながっているため、空気がすぐに混ざってしまうことが原因と考える。このため、今後、廊下などによって各室が独立した間取りの住宅でも計測を行い、提案システムの間取りによる生活行動検出特性への影響を把

握する必要があると考える。

また、今回は使用しなかった人感センサなどとの組み合わせについても合わせて検証していく予定である。さらに、これまでの検討で各種センサの計測結果の変化から住宅内の生活行動を判別できることが明らかとなったので、今後は、各種センサの計測結果の変化と生活行動の関係をルール化することにより、提案システムによる生活行動自動的判別システムの構築を目指した検討と得られる予測精度の検証を行う予定である。

【参考文献】

- [1]総務省：平成 29 年度版 高齢社会白書(URL:<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/html/zenbun/index.html> 令和元年 7 月 8 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]松岡典克：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/>, 令和元年 7 月 8 日閲覧)
- [7]神崎康宏：Arduino で計る、測る、量る, CQ 出版社,2013.12.
- [8]島田樹, 谷明勲, 山邊友一郎：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, 日本建築学会, 第 41 回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 論文(論文番号 R56), pp.115+-120, 2018.12.
- [9]スイッチサイエンス HP：CCS811 データシート(URL:https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf 令和元年 7 月 10 日閲覧)
- [10]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/> 令和元年 7 月 11 日閲覧)
- [11]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> 令和元年 7 月 9 日閲覧)
- [12]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/> 令和元年 7 月 9 日閲覧)
- [13]T&D CORPORATION HP：TR-76Ui 仕様書(URL:http://cdn.tandd.co.jp/jp/product/outline-spec_tr76ui-jpn.pdf 令和元年 7 月 10 日閲覧)
- [14]神野透人, 香川(田中)聡子, 小濱とも子, 宮川真琴, 吉川淳, 小松一裕, 徳永裕司, 室内空気中の総揮発性有機化合物 (TVOC)に対する芳香剤・消臭剤の影響に関する研究, 国立医薬品食品衛生研究所報告, pp.72-78, 125 号, 2007