

平成 28 年度不動産流通経営協会 研究助成報告書

IoT センシングによる不動産物件価値の
定量化・可視化

東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻
山崎俊彦

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	2
1.3	構成	2
第 2 章	関連研究	3
2.1	不快指数	3
2.2	スマートハウス	3
2.3	100ninmap project	4
第 3 章	提案手法	5
3.1	概要	5
3.2	IoT センサ設計	5
3.3	計測方法	6
第 4 章	実験	7
4.1	概要	7
4.2	予備実験	7
4.3	マンション物件計測	12
第 5 章	結論	24
5.1	成果	24
5.2	課題と展望	24
	参考文献	25
	発表文献	27
	報道	27

第1章

序論

1.1 背景

不動産物件を購入する、または借りる際の判断基準として、物件の位置、値段、間取り、住みやすさなど様々なものがある。消費者は、位置に関しては駅や勤める会社に近い物件を探したり、値段に関しては安い物件を探したり、また間取りに関してはワンルームや2DKの物件を探したりすることができる。このように物件の位置、家賃、間取りに関しては消費者が定量的に評価できた。しかし、物件の住みやすさは、例えば物件が鉄道や国道に近いから騒音が大きい、南向きだから日当たりがよいなど、予想の範疇を出ることはなく、どの程度の騒音があるのか、一日のうちどのくらい日が当たるのかといったことを実際に計測し評価することはなかった。そのため、消費者が物件の住みやすさを定量的に評価することが難しいのが現状である。

また近年、金融業界のFinTech[1]など多くの分野についてIT化が進んでいる中、日本の不動産業界では情報の不公平性や不透明性を理由にIT化が十分進んでいるとは言えなかった。そこで、不動産とITの融合であるReal Estate Tech（不動産テック）[2]に多くの期待が集められている。米国を筆頭として海外ではすでにReal Estate Techの動きが進められており、不動産仲介、物件管理、エージェントマッチングなどに情報技術が取り入れられている。このような不動産業界に情報技術を導入していく取り組みが日本でも盛んに行われ始めている。

加えて、IoT (Internet of Things) も大きな注目を集めている。IoTとはあらゆるモノがインターネットを介して情報通信を行うことである。IoTによってモノの自動制御や遠隔操作などが進展し、新たな付加価値を生み出している。IHS社[3]によると、IoTデバイスの数は2013年時点で約158億個であり、2020年までに約530億個まで増大すると推定されている。こうしたIoTデバイスの爆発的な増加の背景には技術革新によるセンサ等の低コスト化が挙げられる。Fig. 1にあるように、センサの単価は2020年までに0.38ドルまで低下すると予測されている[4]。こうした安価なIoTデバイスの出現により物件の快適度が定量的に計測できる可能性がある。物件の快適度を定量的に評価できれば、快適度という点で複数の物件を比較することが容易になり、快適度は物件を選択する際のより確実な判断基準の一つとなりえるだろう。

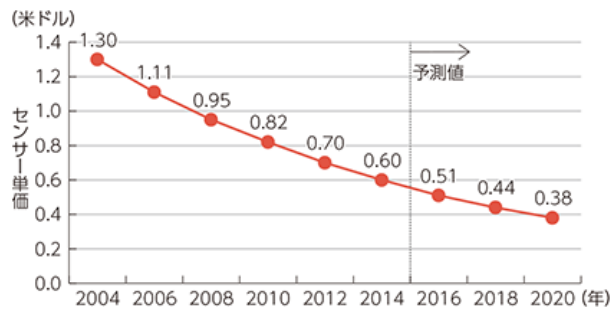


Fig. 1: センサ単価の推移 [5]

1.2 目的

不動産物件の快適度は温度や日当たりなど、様々な要因から決定されると考えられる。そういった快適度の要因をそれぞれ専用の装置や機器を用いて計測することは可能ではあるが、大変な手間とコストがかかる。そこで、安価なセンサ類を用いて、快適度の要因と考えられるものを一つの装置でまとめてかつリアルタイムに計測できるようなIoTセンサを設計する。そして設計したIoTセンサを用いて実際にある不動産物件において計測を行う。各センサの計測結果から、物件や部屋ごとに快適度を定量的に評価する。本研究では、特にマンション物件について同じ建物であるのにもかかわらず部屋ごとに快適度に違いがあることを定量的に示す。

1.3 構成

本論文の構成を述べる。

第1章では本研究の背景および目的について述べた。

第2章では本研究に関連する先行研究について述べる。

第3章では本研究の目的を達成するための提案手法を述べる。

第4章では提案手法を用いて行った実験について述べる。

第5章では本研究の成果についてまとめ、今後の展望についても述べる。

第 2 章

関連研究

2.1 不快指数

快適度を数値化する研究の一つとして E. C. Thom によって提案された不快指数 (Discomfort Index, DI)[6] というものがある。不快指数は冷房計画のための温度表示として提案されたものであり、夏季における蒸し暑さを表す指標となる。乾球温度を Td [°C], 湿球温度を Tw [°C] としたとき、不快指数 DI は式 (1) によって定義される。

$$DI = 0.72(Td + Tw) + 40.6 \quad (1)$$

$DI \geq 70$ でやや不快, $DI \geq 75$ で半数以上の人が不快, $DI \geq 85$ でほとんどの人が不快を感じるとされる。

また、不快指数を温度と湿度から算出したものを THI (Temperature-Humidity Index) と言う。温度を T [°C], 湿度を H [%] とすると、 THI は式 (2) により計算される。

$$THI = 0.81T + 0.01H(0.99T - 14.3) + 46.3 \quad (2)$$

しかし、蒸し暑さの指標だけでは物件の快適度を評価することはできない。

2.2 スマートハウス

情通信技術によりエネルギー消費の最適化を実現するスマートハウスは近年急速に普及しつつある。スマートハウスを実現する上で重要な役割を果たしているのは HEMS (Home Energy Management System)[7] と呼ばれる情報管理システムである。HEMS は家電機器の電力使用量を把握するだけでなく、ガスや水道とも連携でき、家で使うあらゆるエネルギーの見える化を可能にする。また、家電機器の消費電力量を設定値を超えないように自動制御することや、携帯端末により家電を操作することも可能にしている。

スマートハウスに関連して K. Yasumoto らはユーザの快適度の低下を最小限に抑えながら家電機器を制御して省エネを実現する手法を提案した [8]。K. Yasumoto らは読書、仕事、休憩などといったシチュエーションごとに消費電力量の削減の割合を変化させるとともに、例えば読書というシチュエーションであれば照明器具の消費電力量削減の割合を小さくするといったように、シチュエーションに応じて各家電の削減電力量を変化させている。彼らの研究によると、20% の省エネを達成するのに快適度低下率が従来では 44.84% であったのが、14.47% まで小さくすることができたという。

スマートハウスでは人が住んでいる状態で家電を操作して快適度を制御しているが、本研究では人が住む前の、家電もない状態で快適度を計測することを考える。

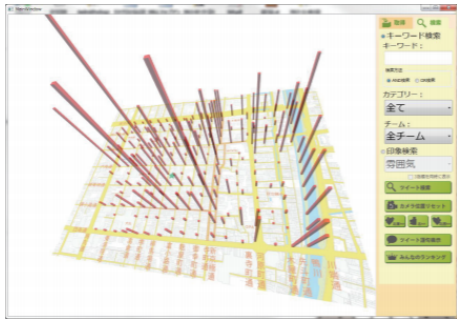


Fig. 2: 各地点のつぶやき数 [9]

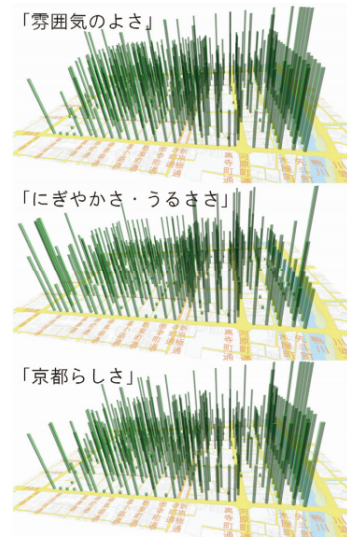


Fig. 3: 各地点の印象 [10]

2.3 100ninmap project

本研究では不動産物件の魅力进行调查しているが、地域の魅力进行调查したプロジェクトとして E. Aramaki, Y. Kita らの 100ninmap project[11] というものがある。「100 人でつくる京都地図」[12] というイベントとして 2013 年に京都府で二度開催された。このプロジェクトでは人々に街を歩いてもらい、100ninmappin という E. Aramaki らが独自に開発した情報発信システムによってその場で感じた事（つぶやき）を位置情報とともに送信してもらう。また、100ninmappin では人々が訪れた場所の印象を「雰囲気よさ」、「にぎやかさ・うるささ」、「京らしさ」という 3 つの指標について 4 段階で評価する機能ももつ。これらの情報を元に街の感じ方を地図化した。作成された様相地図の一例を Fig. 2 に示す。棒グラフの高さはつぶやきの数を表している。また、印象評価により得られた地図を Fig. 3 に示す。Fig. 3 により、人々が上述の 3 つの印象をどの場所で強く感じたかを視覚化し、分かりやすく表現している。

第 3 章

提案手法

3.1 概要

物件の快適度の要因となるものは様々なものがある。ここでは、温度、湿度、明るさ、におい、振動、音、物件の前の人通りを快適度の要因として定義し、これらをまとめて計測可能なデバイスを設計する。さらに、リアルタイムに計測結果を確認することができれば、快適度を計測する以外にも部屋の現在の状態を確認することができる等の利点がある。そこで、インターネットにつなぎ、クラウドに計測データを上げ続けるような IoT デバイスを設計することで上記を可能にする。以降、開発したデバイスを IoT センサと名付ける。開発した IoT センサを用いて不動産物件を計測し、快適度を評価する。

3.2 IoT センサ設計

快適度の各要因を計測するために使用したデバイスは Table 1 の通りである。加えて、これらのデバイスを制御するために Raspberry Pi 3[13] (Raspberry Pi 2[14] でも可)、および Arduino UNO[15] を用いる。設計した IoT センサの回路図を Fig. 4、外観を Fig. 5 に示す。本研究では株式会社フューチャースタANDARD [16] の SCORER[17] というサービスを利用した。I2C 通信が可能な温湿度センサ、照度センサ、加速度センサについては Raspberry Pi 3 側で計測を行い、I2C 通信ができないにおいセンサについては Arduino UNO 側で計測を行う。マイクとカメラは Raspberry Pi 3 で制御を行い、mp4 ファイルとして動画を出力するようにした。本実験では行ってはいないが mp4 ファイルから人通りの解析をすることが可能であるといえる。さらに mp4 ファイルから計測中の周辺の様子を確認することができる。また、今回使用した照度センサは赤外線計測も可能である。

この IoT センサでは電源を接続するだけで計測を開始する。温度、湿度、照度、においについては約 30 秒に 1 回計測するようにし、加速度は常に計測を行うように設定した。加速度はおよそ 80-90 Hz のペースで計測を行う。温度は℃、湿度は%、照度は lx、加速度は G の単位で計測される。においについては V の単位で計測結果が与えられ、値が小さいほどにおいが強いことを表す。またカメラとマイクにより、映像を常に録画し続けるようになっている。

この IoT センサでは計測データを Raspberry Pi 3 にある SD カードに溜めておき、データがある程度溜まった時点でクラウドに上げるという仕組みになっている。本研究では Amazon S3[18] を利用した。電源とインターネットが接続された状態であれば、この IoT センサを用いて長期的な計測が可能となる。さらに、必要であれば他のセンサを追加することも可能である。

Table 1: 使用デバイス一覧

計測対象	計測デバイス	品名
温度, 湿度	温湿度センサ	HDC1000 使用 温湿度センサーモジュール [19]
明るさ	照度センサ	TSL2561 Luminosity Sensor[20]
におい	においセンサ	TGS2450 硫黄化合物ガス検知 [21]
振動	加速度センサ	LSM9DS1 搭載 IMU Breakout(9DOF)[22]
騒音	マイク	MM-MCUSB16[23]
人通り	カメラ	Raspberry Pi 用カメラモジュール (Standard, Fish Lens)[24]

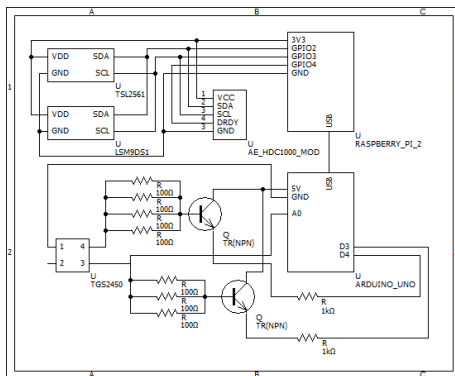


Fig. 4: IoT センサ回路図

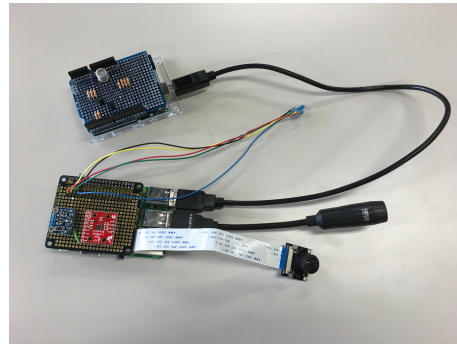


Fig. 5: IoT センサ外観

3.3 計測方法

計測方法は至ってシンプルである。開発した IoT センサは電源を繋げるだけで計測を開始するので、電源を接続した状態で IoT センサを計測したい物件や部屋に置いておくだけでよい。インターネットに接続した状態ならば、勝手にデータをクラウドに転送、蓄積してくれる。しかし、ほとんどの空き家物件ではインターネット環境を使用することができないため、長期的な計測には Wi-Fi ルーター等が必要となる。また、電源が使用できない場合はモバイルバッテリーを準備する必要がある。

第 4 章

実験

4.1 概要

実際の不動産物件で計測を開始する前に、まず予備実験として本実験で使用する 6 つの IoT センサについて同一の時間と場所で計測を行い、値の補正を行った。鉄道や国道沿いなどの屋外にて計測を行い、振動および騒音が開発した IoT センサで検出可能であることを確かめた。

予備実験の後、値の補正を行った 6 つの IoT センサを用いて実際にあるマンション物件で計測を行った。本研究では 3 つのマンション物件の各 2 部屋ずつを対象に計測を行い、計測結果から各部屋の特徴を考察する。

4.2 予備実験

4.2.1 計測値の補正

本研究では最大で 6 つの IoT センサを用いる。それぞれの IoT センサでは勿論 Table 1 にある通りの同じ種類のものを使用しているが、時間と場所が同一であっても計測値が異なることがある。そこで、各 IoT センサをセンサ 01～センサ 06 のように番号を振り、東京大学工学部 2 号館 113C1 室の半径 1 m 以内の同じ場所で 2 日間計測を行い、値を比較して各センサの補正を行う。

ここでは IoT センサ作成時に半田付けを必要とした、温湿度センサ、においセンサ、加速度センサを対象に補正を行う。照度センサについても半田付けを行ったが、照度は例えなるべく同じ場所に各センサを置いたとしても、光を正確に同じ程度当てるとということが難しいため、今回は補正を行っていない。

温湿度センサの補正には NETATMO パーソナル ウェザーステーション [25] という市販のデバイス（温度誤差: ± 0.3 °C, 湿度誤差: ± 3 %）を用いた。これは、電源を入れて部屋に置いておくだけで温度、湿度、気圧、騒音、二酸化炭素、空気の質を計測できるというものであり、この計測値との差を比較した。今回では計測値の差の平均が温度では 0.42 °C（標準偏差 0.30 °C）、湿度では 1.16 %（標準偏差 0.58 %）と、最も値の近かったセンサ 06 の値を基準とする。

においセンサについては参考となる市販のデバイスがなかったため、ある IoT センサを基準にして差異を評価することとする。本研究ではセンサ 02 の値を基準にした。Fig. 6(a) にあるように、センサ 06 のにおいの計測値は同じ場所に置いているのにも関わらず、他のセンサに比べ値がおかしい。センサ 06 のにおいセンサは故障したものとみなし、補正の対象から外した。

温湿度についてセンサ 06 と他のセンサの計測値の差は Table 2 のようになり、においについてセンサ 02 と他のセンサの計測値の差は Table 3 のようになった。以降の実験では Fig. 6 のように、計測値の差の平均を引くことで補正を行った。

加速度センサについては、計測値の平均からセンサの傾きを算出し [26]、センサの設置場所の傾きや半田付けの際に生じた傾きの影響を取り除いている。

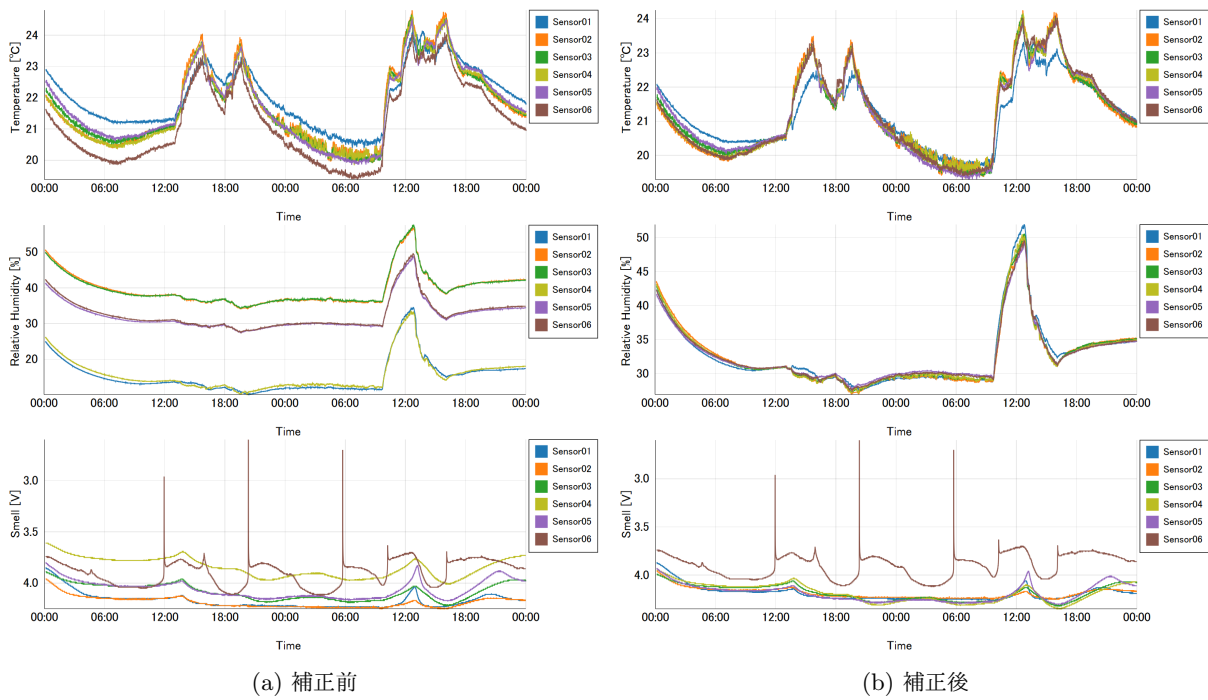


Fig. 6: 計測値の補正

Table 2: センサ 06 との温湿度差の平均と標準偏差

センサ番号	温度差 [°C]		湿度差 [%]	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
01	0.82	0.41	-17.43	0.77
02	0.55	0.18	7.06	0.48
03	0.53	0.15	7.04	0.37
04	0.50	0.14	-16.98	0.46
05	0.56	0.18	-0.39	0.26

Table 3: センサ 02 とのにおいの差の平均と標準偏差

センサ番号	においの差 [V]	
	平均	標準偏差
01	-0.018	0.029
03	-0.099	0.037
04	-0.338	0.053
05	-0.128	0.047

4.2.2 振動・騒音計測

振動、騒音があると考えられる場所では振動、騒音が開発した IoT センサで観測可能か、またどの程度の振動や騒音が計測されるのかを確認するため、屋外での計測実験を行った。本実験では比較のために振動・騒音があまりないと予想される千葉県総合スポーツセンター (Fig. 7(a)) の 1 地点と、振動・騒音があると予想される国道 16 号沿い (Fig. 7(b)), JR 総武線高架下 (Fig. 7(c)), 秋葉原万世橋 (Fig. 7(d)) の 3 地点を対象に計測を行った。いずれもセンサ 02 を用いて計測を行っている。

各地点での加速度の計測結果を基に震度を算出すると、Table 4 のようになった。いずれの地点も震度 2 という結果が出たが、計測震度についてスポーツセンター < 秋葉原万世橋 < 国道 16 号沿い < JR 総武線高架下となった。振動があまりないと想定されたスポーツセンターにおいても震度 2 となったのは、屋外に IoT センサを置いたため風などの影響を受けた可能性がある。



Fig. 7: 屋外の各計測地

Table 4: 屋外の各計測地の震度

計測地	震度 (計測震度)
スポーツセンター	2 (1.5)
国道 16 号沿い	2 (1.7)
JR 総武線高架下	2 (1.9)
秋葉原万世橋	2 (1.6)

4 地点の水平方向と鉛直方向の加速度の計測結果をそれぞれ Fig. 8, Fig. 9 に示す. いずれもある 32768 サンプル点 (約 6 分 50 秒) の計測結果である. Fig. 8 より水平方向の揺れの大きさが最も小さいのは平均値でも最大値でも想定通りスポーツセンターがであることがわかった. 水平方向の揺れの大きさの平均値では国道 16 号沿い最も大きいが, 最大値では JR 総武線高架下が最も大きかった. Fig. 9 より鉛直方向の計測結果にも水平方向と同様なことが言えた. 平均値と最大値で最も大きい地点が異なるのは, 電車通過時と車通過時では電車通過時の方が水平方向, 鉛直方向ともに揺れが大きいため最大値は鉄道の方が大きくなるが, 鉄道と国道では国道の方が車の通行の頻度が電車よりも高く, 揺れの平均値は国道の方が大きくなるためであると考えられる. 秋葉原万世橋での振動は国道 16 号沿いや, JR 総武線高架下ほど大きくなかった.

次に各地点の鉛直方向の加速度に FFT をかけ, 周波数スペクトル (Fig. 10) を求めた. Fig. 10(b) より, 国道 16 号沿いでは 10~15 Hz にかけて大きなスペクトルがあることがわかる. 人体に感じる振動の評価についての国際規格である ISO2631[27] によると, 鉛直方向において最も人間が感じやすい周波数範囲が 4~12.5 Hz であるとされている. そのことを踏まえると, Table 4 を見るだけでは各地点の揺れの大きさにそれほど大差はないが, 10 Hz 付近に大きなスペクトルのある国道 16 号沿いが最も振動を感じやすい地点であると言える.

また, 各計測地での計測時間に対する騒音 [dB] の割合を Fig. 11 に示す. Fig. 11(d) にあるように, 秋葉原万世橋での 80 dB 以上の音の割合が 3.58 % と最も大きく (2 位は 0.87 % の JR 総武線高架下), 他の地点に比べて最もうるさいことがわかる. 秋葉原万世橋では近くにある JR 中央線による騒音がよく伝わっており, 最大で 90 dB を超えていた. また, 60~70 dB の音の割合が最も大きくなっている国道 16 号沿い (Fig. 11(b)) では, 振動と同様に騒音の最大値では鉄道沿いに劣るが, 車の交通量が多いため平均としては最も騒がしい地点であると言える.

以上のように振動と騒音について, IoT センサを用いて各地点の特徴を計測可能であることがわかった.

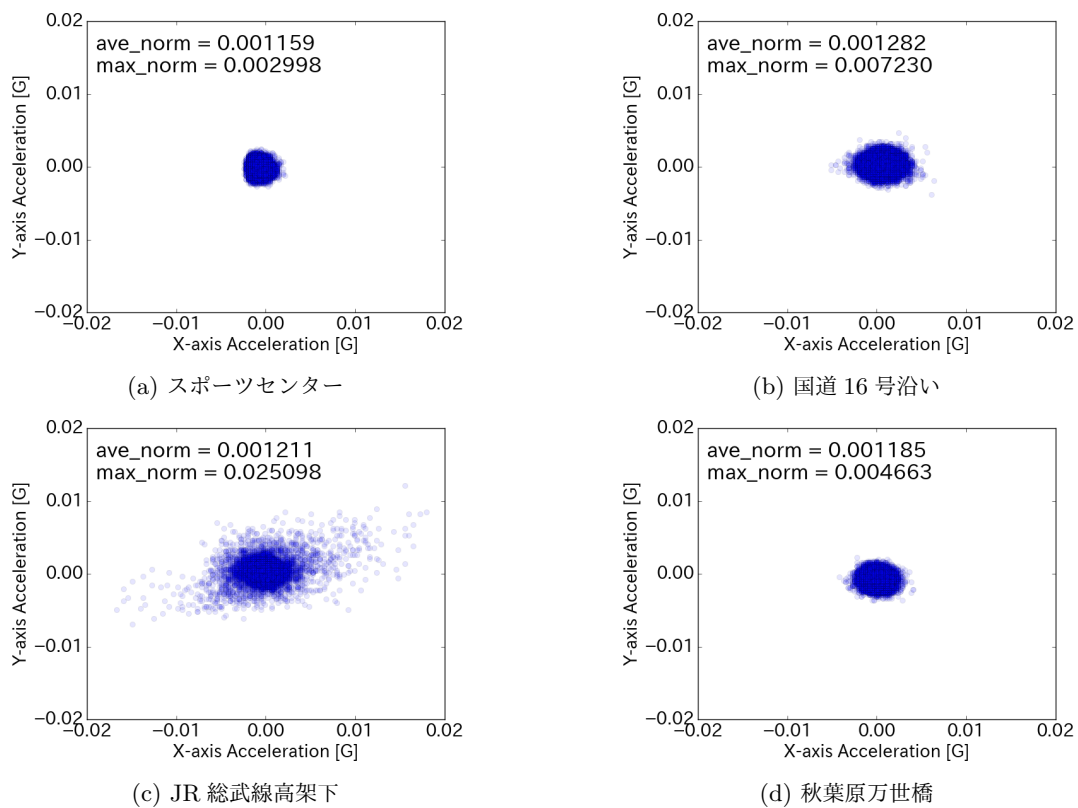


Fig. 8: 加速度の計測結果 (水平方向)

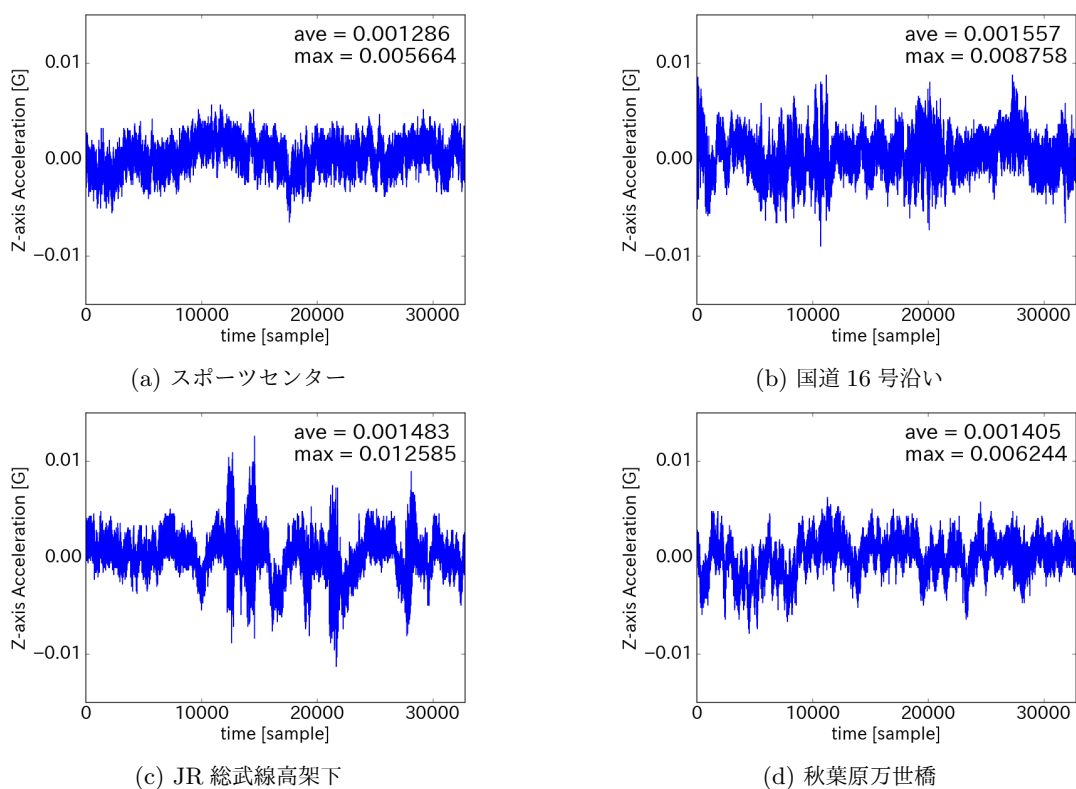


Fig. 9: 加速度の計測結果 (鉛直方向)

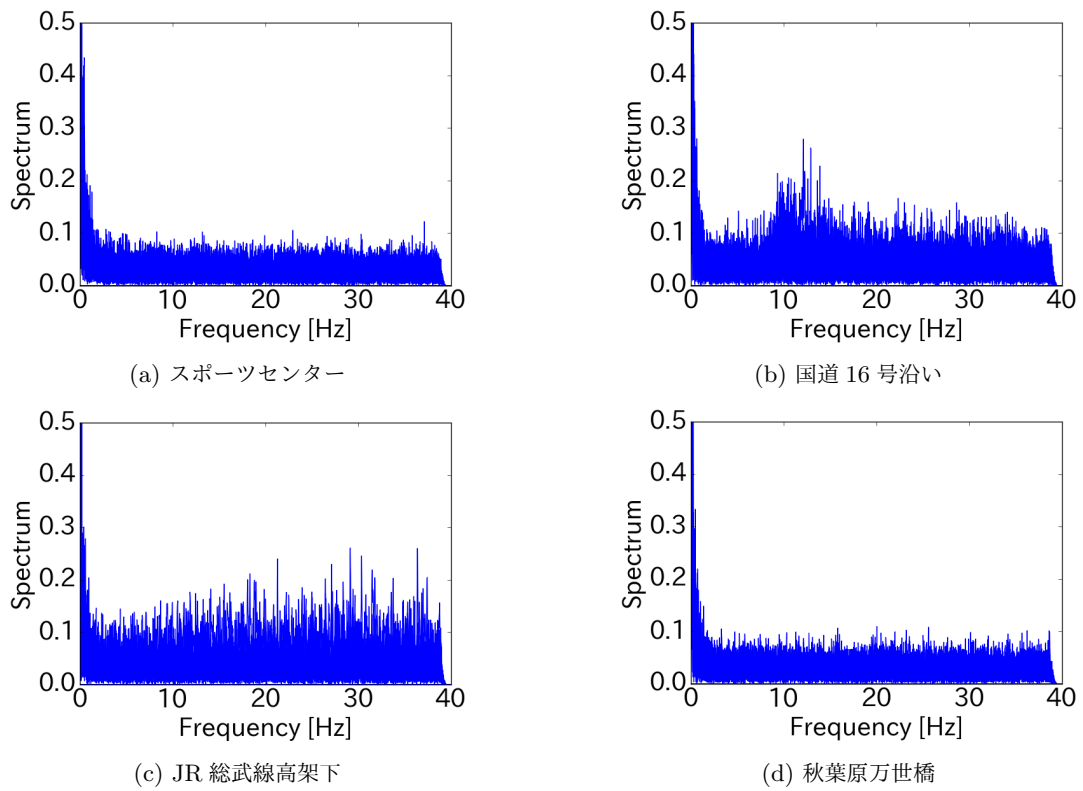


Fig. 10: 加速度（鉛直方向）の周波数スペクトル

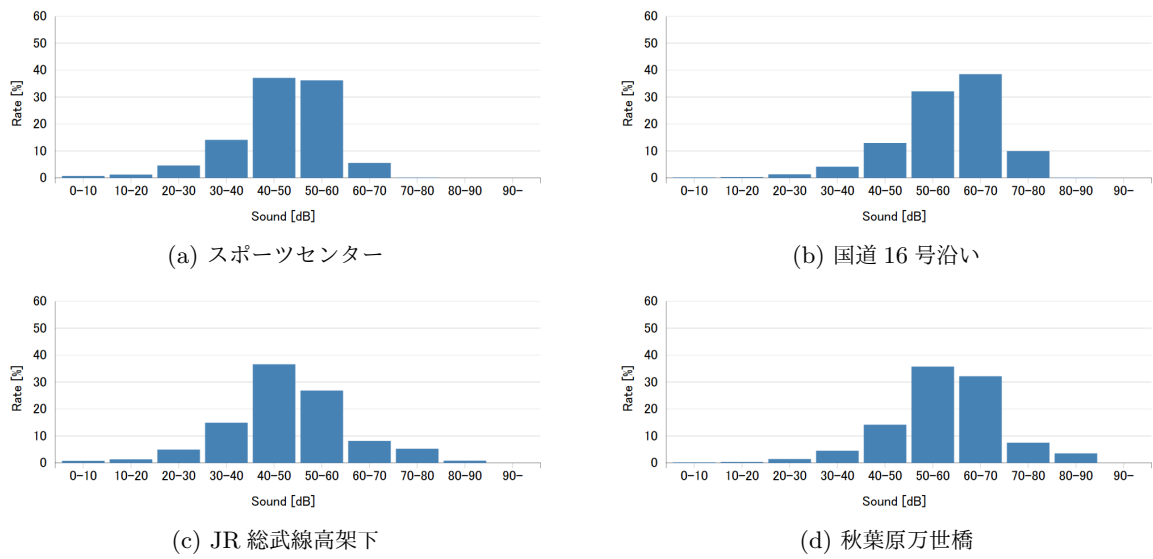


Fig. 11: 各計測地の騒音の割合



Fig. 12: 高輪のマンション物件



Fig. 13: 部屋の間取り図とセンサ配置 (高輪)

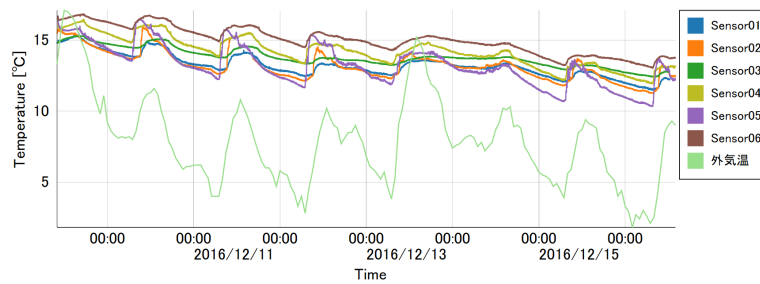
4.3 マンション物件計測

4.3.1 高輪のマンション

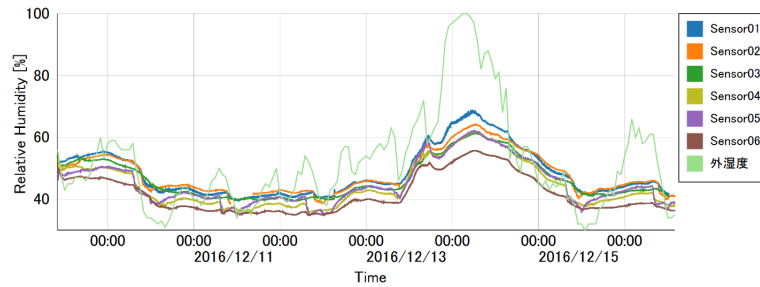
一つ目の計測物件は東京都港区高輪にあるマンション物件 (Fig. 12) である。築年数が 1971 年 3 月と築 40 年以上という古い物件であるが、2015 年 11 月に改修工事を行っている。鉄骨鉄筋コンクリート造の 11 階建である。この物件の 3 階と 10 階にある部屋を一部屋ずつ借りて 2016/12/09~2016/12/16 の間、計測を行った。

計測した部屋の間取り図を Fig. 13 に示す。間取り図はどちらも大差はなく、一つのリビングダイニングと二つの洋室を有している。開口部向きはともに東向きである。Fig. 13 にある色付きの数値 (01~06) がセンサ番号と設置した位置を表している。センサ 01, センサ 02, センサ 04, センサ 05 の置いた部屋には窓があるが、センサ 03 とセンサ 06 を設置した洋室には窓はない。

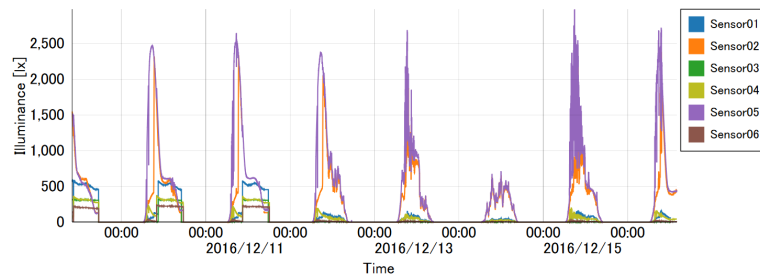
各部屋の温度、湿度、照度、においての計測結果を Fig. 14 に示す。今回の計測期間のうち、天気は 2016/12/13~2016/12/14 にかけて雨で、それ以外は晴れであった。晴れの日と比べ、雨の日は室内であっても昼夜の寒暖差が小さく、湿度が高く、また照度が小さくなっている様子が Fig. 14(a)-(c) から見てとれる。さらに窓のある部屋について晴れの日 (2016/12/10~2016/12/12) の照度の計測結果 (Fig. 15) を見ると、太陽の光が部屋に当たっている時間帯に照度が 2000 lx 程度まで急激に増加していると考えられる。しかし、3 階の部屋と 10 階の部屋とでは照度の増加する時間帯にずれがあることがわかる。このずれは晴れの日でも平均 1 時間 48 分あることがわかった。つまり 10 階の部屋の方が 3 階の部屋に比べて、約 2 時間ほど日が当たり始める時間が早いと言え、日当たりが 10 階の部屋の方が良いと考えられる。Fig. 12 の地図を見ると、この物件の東側には高層ではないものの建物がある。その建物により 3 階の部屋に当たるはずの日差しが遮断されていることが、原因として考えられる。また Fig. 15 より、どちらも東向きの部屋であるため日が当たるのは昼前までであり、昼 12 時以降は日が当たっていないことも計測された。



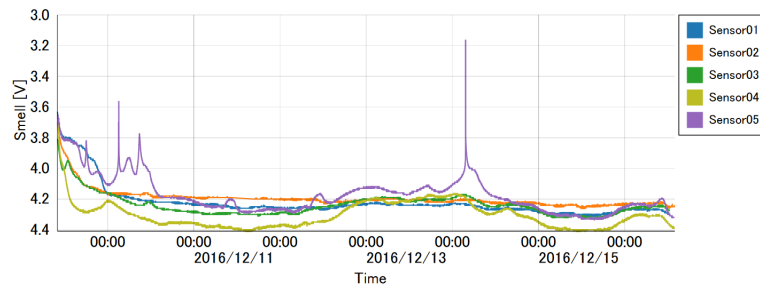
(a) 温度



(b) 湿度



(c) 照度



(d) におい

Fig. 14: 高輪のマンションの計測結果

窓のない部屋について10階と3階とで温度を比較すると、Fig. 16より一週間の計測期間で10階の部屋の方が3階より平均で1.21℃高いことがわかった。これは先ほど示したように、10階の方が日当たりが良いために暖かくなっていることが考えられる。この比較で用いたIoTセンサはセンサ03とセンサ06であり、1.21℃という値はTable 2にある標準偏差の3倍よりも大きく、誤差の範囲ではないことがわかる。

また、一般的には窓のある部屋の方が日当たりが良いため暖かいと考えられることが多いが、それとは逆の結果が得られた。それがFig. 17である。Fig. 17は10階の窓のある部屋と窓のない部屋の温度の結果をピックアップしたものであるが、全体的に窓のある部屋の方が室温が低いことがわかる。一週間の平均では1.8℃低いことがわかった。これは確かに窓側の方が日当たりは良いが、外気温の影響を受けやすく、特に冬場だと日が当たった後は温度が急に下がりやすいためであると言える。晴れの日について日が当たった後は、窓のない部屋では一時間あたり0.09℃の低下であったのに対し、窓のある部屋では一時間あたり0.19℃の低下であり、窓のない部屋よりも2倍以上温度低下が大きいことがわかった。

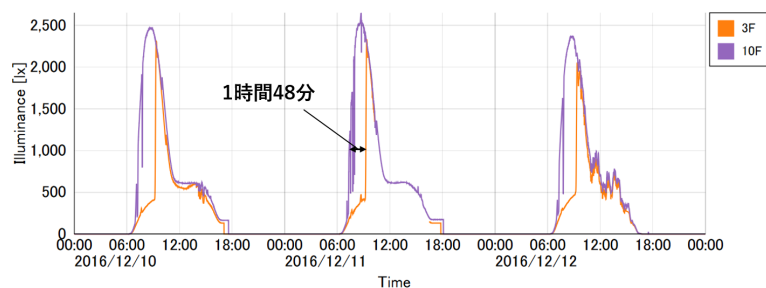


Fig. 15: 階数による照度の比較

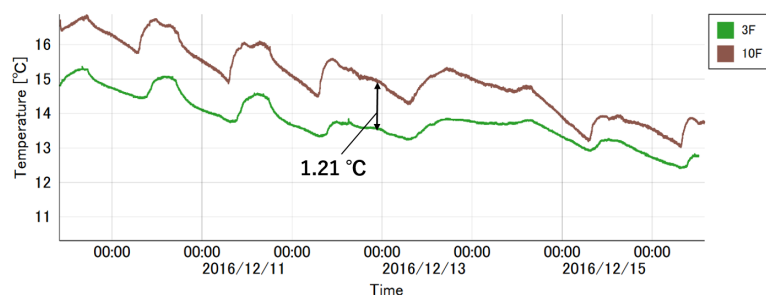


Fig. 16: 階数による温度の比較

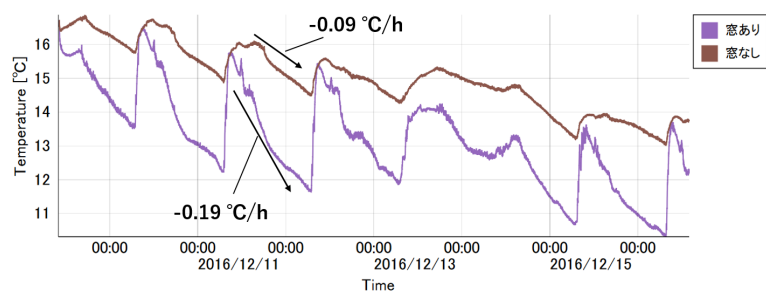
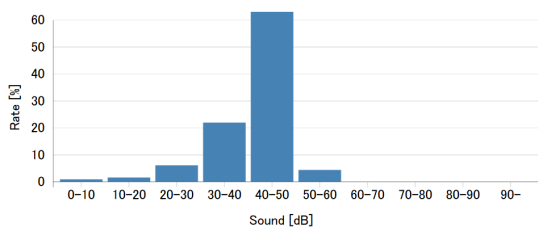
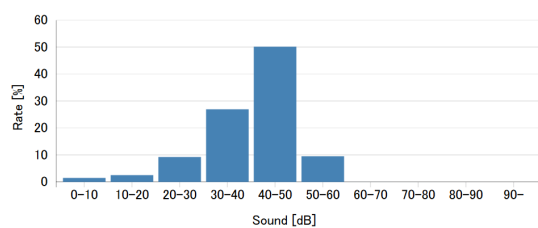


Fig. 17: 窓の有無による温度の比較



(a) 3F



(b) 10F

Fig. 18: 一日の騒音の割合

においについては、Fig. 14(d) よりセンサ 01～センサ 04 では一週間で検出気体はなかったといえる。センサ 05 では 2016/12/14 の午前 3 時頃に 3.2 V 程度の比較的大きな反応があるが、原因は不明である。今回使用したにおいセンサはにおいの強さは計測可能だが、何の気体のおいなのかははっきりとはわからないことが難点である。いずれにせよ 3.2 V 程度では、何か検出気体があったとしてもにおいは十分弱いとされる。

また 3 階と 10 階のリビングダイニングにおいて、計測された音 [dB] の一日あたりの割合を Fig. 18 に示す。60 dB 以上の音の割合が 3 階では 0.007%、10 階では 0.015% と非常に小さく、どちらもほぼ騒音のない静かな物件であると言える。しかし、隣の部屋のドアの開閉 (Fig. 19) により、最大 66 dB の音が聞こえ、振動も最大で震度 2 (計測震度 2.1) の揺れが計測された。

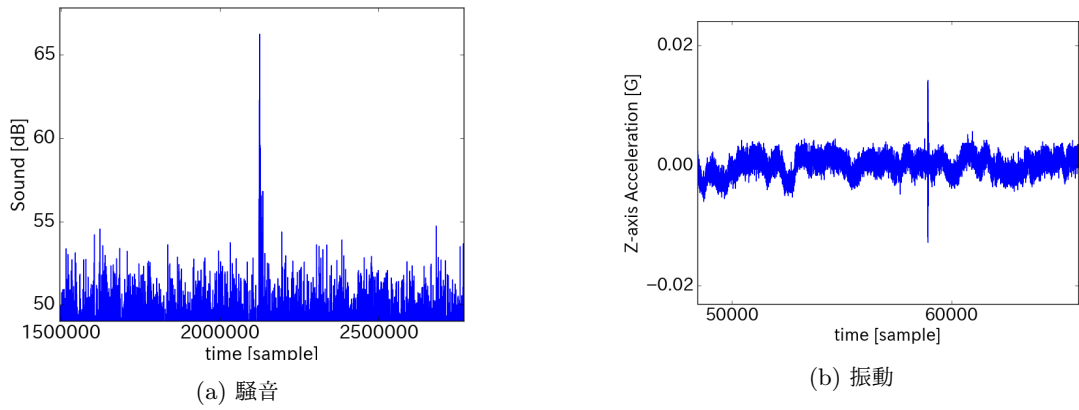


Fig. 19: 隣の部屋のドアの開閉時の様子

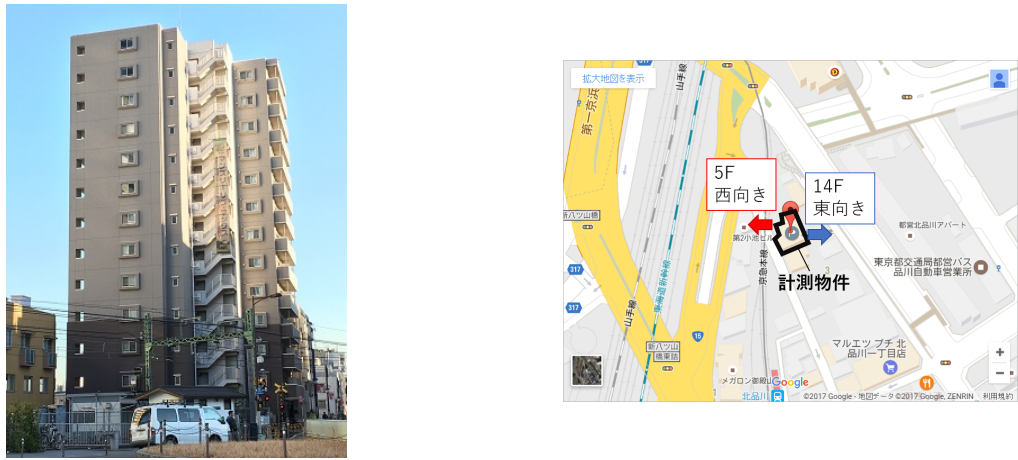


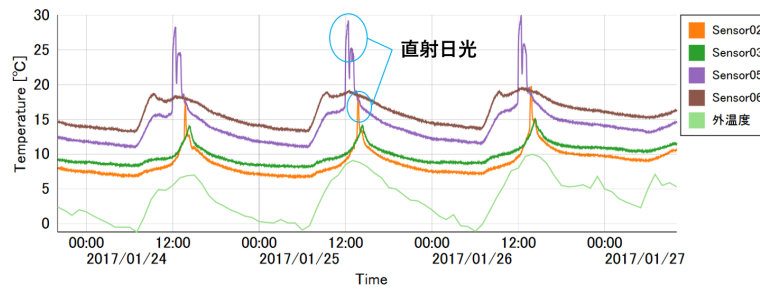
Fig. 20: 北品川のマンション物件



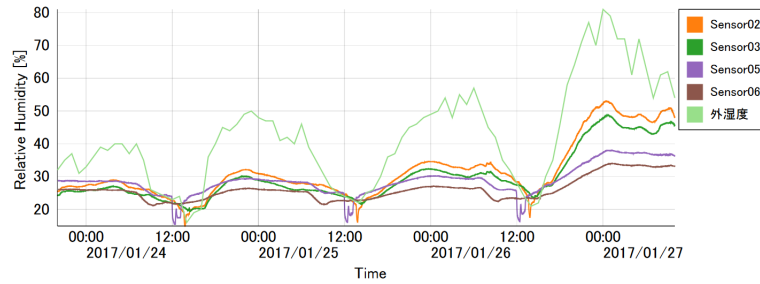
Fig. 21: 部屋の間取り図とセンサ配置 (北品川)

4.3.2 北品川のマンション

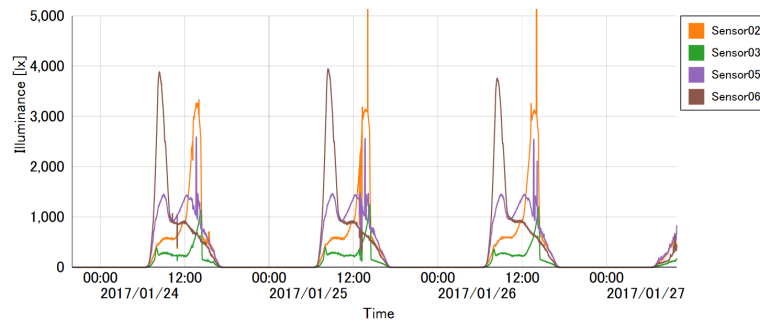
二つ目の計測物件は東京都品川区北品川にあるマンション物件である。築年数は2007年3月であり、鉄筋コンクリート造の15階建である。物件の写真と地図をFig. 20に示す。今回はこのマンション物件の5階と14階の部屋を借りて計測を行った。各部屋の間取り図はFig. 21の通りである。どちらの部屋も間取り図に大きな違いはなく、ワンルームの物件となっている。開口部向きは異なり、5階の部屋が西向き、14階の部屋が東向きである。また5階の部屋は北側にも窓があり、14階の部屋は南側にも窓がある。各部屋の窓側と窓から離れた位置の二か所にIoTセンサを設置して計測した。計測期間は2017/01/23~2017/01/27である。天気は常に晴れであった。



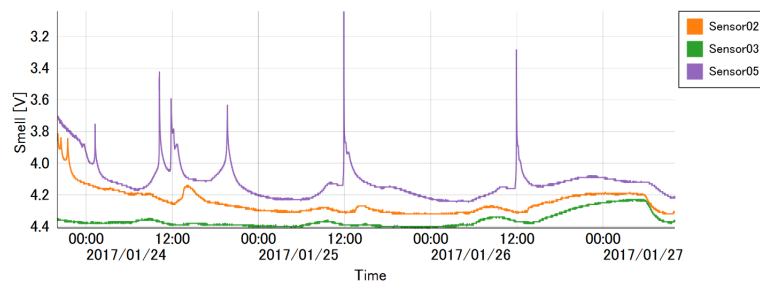
(a) 温度



(b) 湿度



(c) 照度



(d) におい

Fig. 22: 北品川のマンションの計測結果

温度、湿度、照度、においについての計測結果を Fig. 22 に示す。Fig. 22(a) より、14 階では 12 時頃に 5 階では 14 時頃に温度が急増していることが見られるが、これは温湿度センサに直射日光が当たってしまったためであると考えられ、正確な室内の温度であるとは言えない。以降ではこれらは評価の対象外として考察を行う。Fig. 23, Fig. 24 に各部屋の平均温湿度を加えて示す。湿度については 14 階の部屋の方が部屋全体で平均 3.55% 低い程度であるが、温度については 14 階の方が 5 階よりも平均 5.36 °C も高いことがわかった。14 階の部屋の方が明らかに暖かいと言える。このマンション物件内で 5 階の部屋は北西に、14 階の部屋は南東に位置している。この部屋の位置の違いがここまでの温度差を生じさせている原因の一つであると考えられる。

また、同じ部屋の窓側と内側で比較するとどちらも窓側の方が平均温度が低く、5 階の部屋で 1.25 °C、14 階の部屋で 2.20 °C の差があることが計測された。湿度についてはどちらも窓側の方が高く、5 階の部屋で 2.07%、14 階の部屋で 3.00% 窓側の方が湿度が高かった。

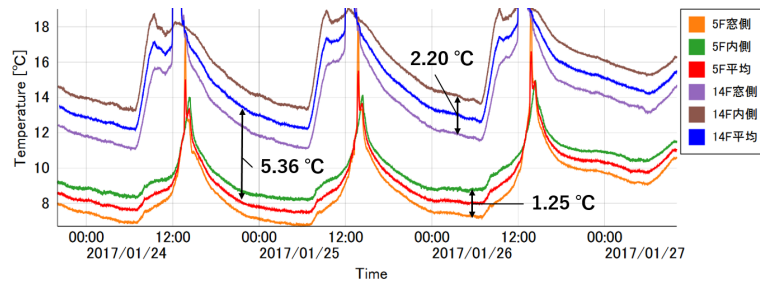


Fig. 23: 各部屋の平均温度と温度差（北品川）

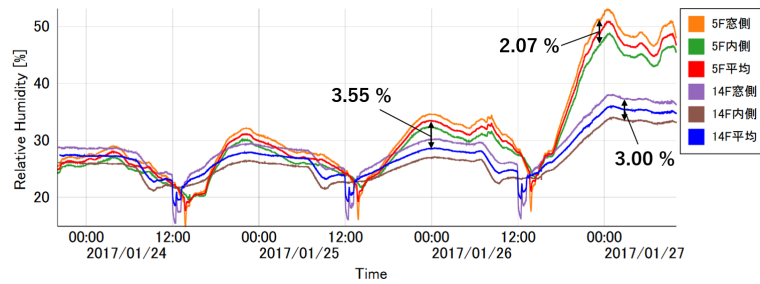


Fig. 24: 各部屋の平均湿度と湿度差（北品川）

Fig. 22(c) により、照度のピークが東向きである 14 階の部屋（センサ 02, 03）では午前中にあるのに対し、西向きである 5 階の部屋（センサ 05, 06）では午後にあることが計測された。また、14 階の部屋では午前中の照度のピークを過ぎた後も日が落ちるまで窓側内側ともに 500~1500 lx 程度の高い値を保っている。対して、5 階の部屋では午後にピークが訪れるまで、窓側（センサ 02）では 400~600 lx 程度あるが、内側（センサ 03）では 200~300 lx 程度と低く、日中でも照明が必要とされるレベルである。

Fig. 22(d) からのおいの計測結果を観察すると、センサ 05 に所々大きな反応があるがやはり原因はわからない。また大きな反応とは言っても 3 V 程度ではおいは十分弱い。

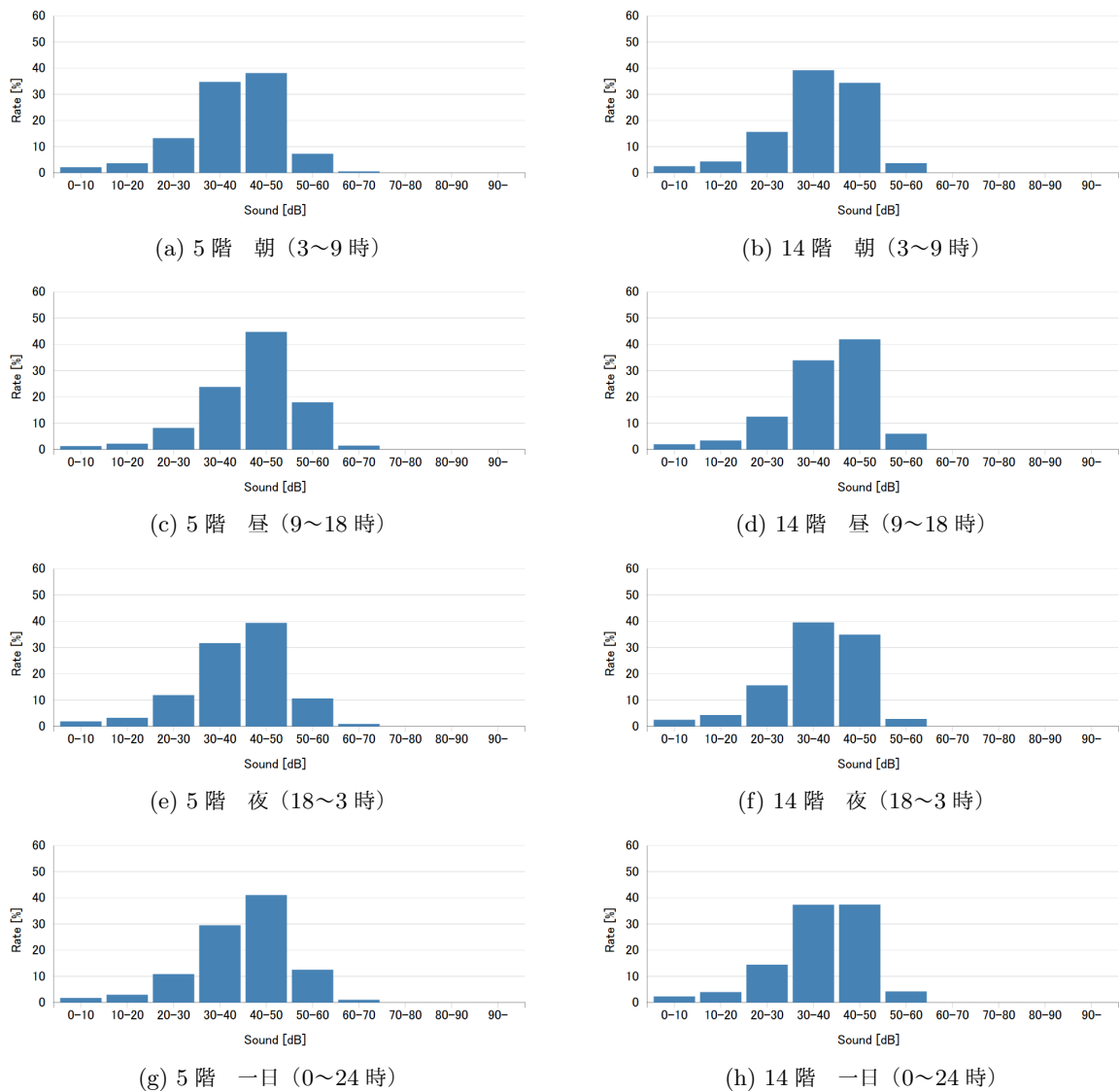


Fig. 25: 時間帯ごとの騒音の割合 (北品川)

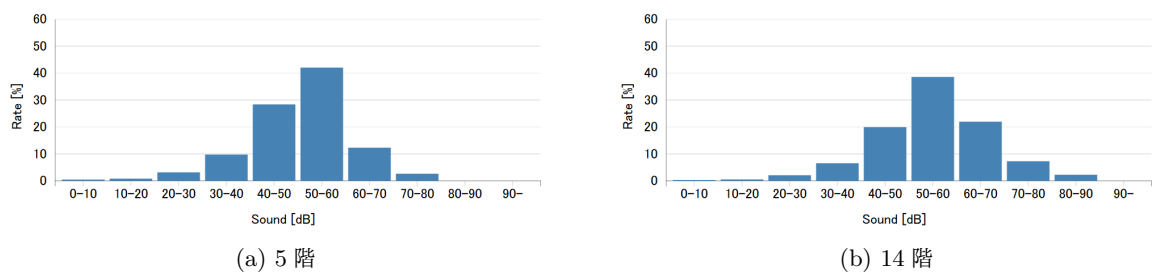
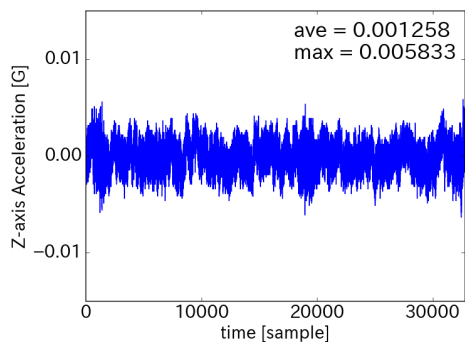


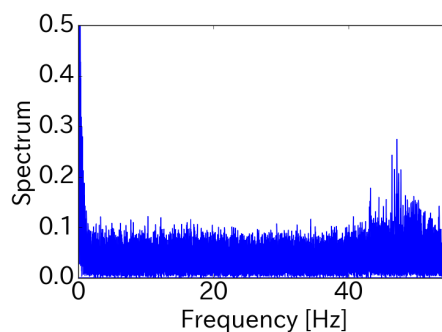
Fig. 26: 窓開放時の騒音の割合 (北品川)

また Fig. 20 の地図にあるように、北品川の物件の西側のそばに京急本線が通っており、特に西側の 5 階の部屋で電車の音が聞こえることが予想される。3~9 時を朝、9~18 時を昼、18~3 時を夜として、Fig. 25 に 2016/01/24 において各時間帯ごとに計測された騒音の割合を示した。いずれも窓を閉めた状態の結果である。想定通り 60 dB を超える音が 14 階の部屋ではほとんど観測されなかったのに対し、5 階の部屋では一日あたり 1.10% ほど 60 dB を超える騒音が観測された。5 階の部屋では昼間に限らず、朝や夜中でも 60 dB を超える騒音が観測されていることがわかる。窓を閉めた状態では 5 階の方が騒音が大きいことがわかった。

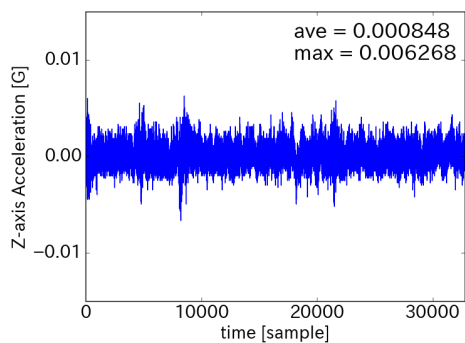
高輪の物件の結果 (Fig. 18) と合わせて 50 dB 以上の音の割合に着目すると、高輪の 3 階で 4.47%、10 階



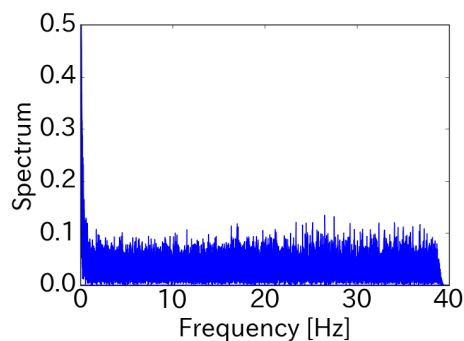
(a) 5階 鉛直方向の加速度



(b) 5階 周波数スペクトル



(c) 14階 鉛直方向の加速度



(d) 14階 周波数スペクトル

Fig. 27: 振動の計測（北品川）

で9.55%、北品川の5階で13.65%、14階で4.28%となっていた。つまり、北品川の5階の部屋は高輪の二つの部屋よりうるさいが、北品川の14階の部屋は近くに鉄道があるにもかかわらず、高輪の部屋より静かであるといえる。

さらに各部屋において、2017/01/27の14:30 15:30の間、窓を開けた状態で騒音を計測するとFig. 26のようになった。5階の部屋では電車の音がより伝わりやすくなり、60 dBを超える音の割合が15.08%まで増加した。しかし、60 dBを超える音が窓を閉めた状態ではほぼ0%であった14階の部屋では31.70%まで急増し、5階よりもうるさいという結果が得られた。この原因としては、高層では強風が吹きやすく風の音が非常に騒がしくなっていることや、高層階では低層階に比べ周辺の音が伝わりやすいことが考えられる。

また振動についてはどちらの部屋もあまりなかった。Fig. 27(a)(c)は電車の往来が3回あったとされるある期間についての鉛直方向の加速度の結果である。どちらも震度を算出すると震度1（計測震度1.2）であった。またそれぞれについて周波数スペクトルを求めると、Fig. 27(b)(d)のようになった。5階の方では40～50 Hzにおいて大きなスペクトルを示していることがわかる。しかし、人体に伝わりやすい振動は4～12.5 Hzであり、人が感じやすい振動はあまりなかったと考えられる。



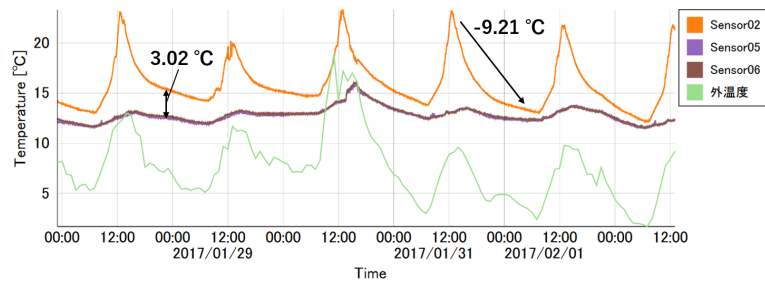
Fig. 28: 南青山のマンション物件



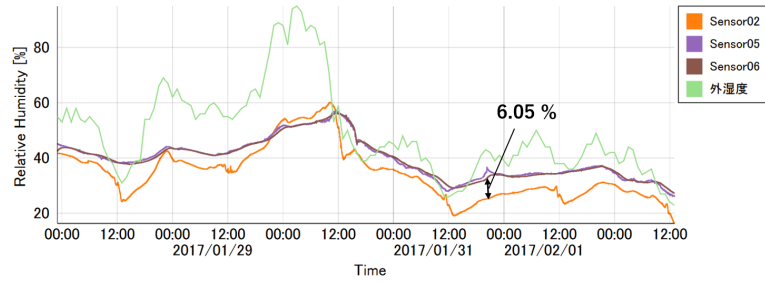
Fig. 29: 部屋の間取り図とセンサ配置 (南青山)

4.3.3 南青山のマンション

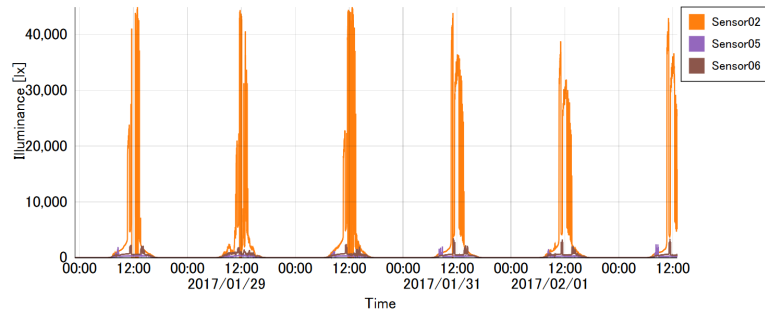
三つ目の計測物件は東京都港区南青山にあるマンション物件である。築年数は2012年9月であり、これまでの計測物件の中で最も築浅である。鉄筋コンクリート造の12階建である。物件の写真と地図をFig. 28に示す。この物件の5階にある部屋と6階にある部屋で計測を行った。各部屋の間取り図はFig. 29であり、今回は二つの部屋で間取り図が異なるが、どちらもワンルームである。開口部向きが5階の部屋が南東で、6階の部屋が北東となっている。Fig. 29にあるように5階の部屋では一か所、6階の部屋では二か所にIoTセンサを置いて、2017/01/27~2017/02/02の間計測を行った。天気は2017/01/29のみ一日中曇りであり、その日以外は晴れであった。



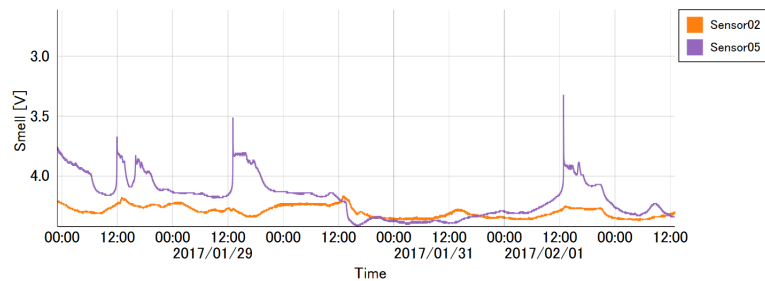
(a) 温度



(b) 湿度



(c) 照度



(d) におい

Fig. 30: 南青山のマンションの計測結果

温度、湿度、照度、においについての計測結果を Fig. 30 に示す。今回の計測では北品川での反省を活かし温度センサを白い箱で覆い、センサに直射日光が当たらないようにしてある。北東向きの6階の部屋の窓側と内側では温度と湿度の差がそれぞれ平均で $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ と 0.05% と、ともに Table 2 で求めた標準偏差よりも小さく、Fig. 30(a)(b) のグラフを見ても窓側と内側で温湿度に差はないと考えられる。湿度は6階の部屋が平均で 6.05% 高く、温度は南東向きの5階の部屋の方が平均で $3.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ 暖かいことがわかった。5階の部屋では日中 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ を超えている時間帯もあり、暖房をつけなくても十分過ごせるぐらい暖かいことがわかった。しかし、5階の部屋では昼と夜の寒暖差が大きく、晴れの日で平均で $9.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 昼から夜にかけて低下していることがわかった。これは今まで計測した部屋の中で昼と夜の寒暖差が最も大きい。

Fig. 30(c) により、南東向きの5階の部屋では日当たりがよく、最大で 40000 lx を超えていた。Fig. 31 に6階の結果のみを示した。6階の部屋は北東向きであるので、午前中に照度のピークがあると想定されるが、特に窓側のセンサ06の結果で、午後にも 2000 lx に達するピークがあることが計測された。これは、6階の部屋

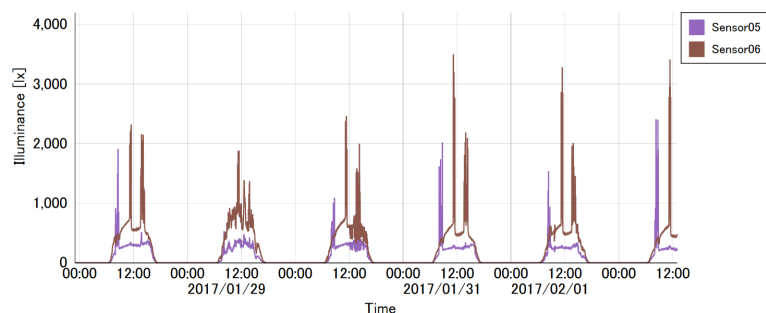


Fig. 31: 6階の部屋の照度

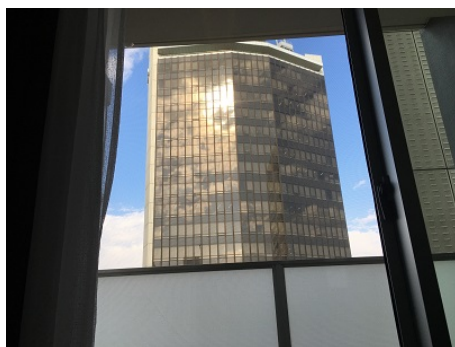
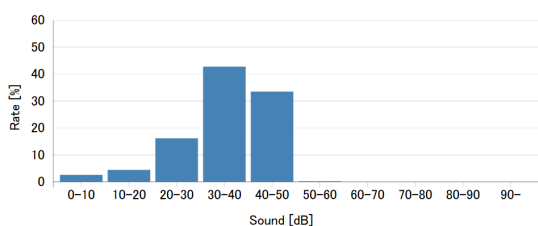
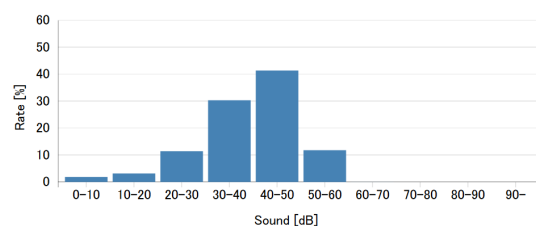


Fig. 32: 6階の部屋から見える高層ビル

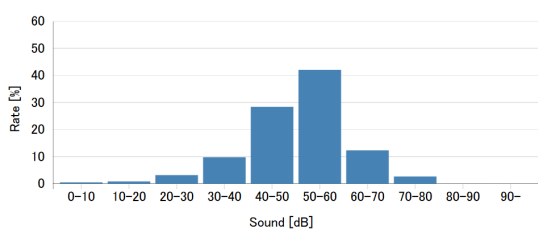


(a) 5階

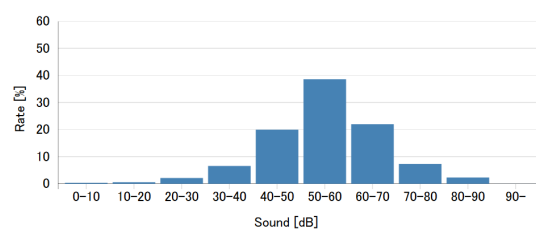


(b) 6階

Fig. 33: 一日あたりの騒音の割合 (南青山)



(a) 5階



(b) 14階

Fig. 34: 窓開放時の騒音の割合 (南青山)

の窓側の向かいに高層ビルがあり、太陽光がそのビルに反射することで、午後にも光が入ってきているものと考えられる。Fig. 32 を見ても、太陽光が反射している様子が見える。しかし、反射して太陽光が6階の部屋に当たるのは短期間であり、1000 lx を超えるのは一日あたり30分～1時間程度である。ピーク時以外の日中では窓側の照度は400～600 lx程度、内側は200～400 lx程度であり、内側では昼間でも照明が必要とされる。

Fig. 30(d) からのおいの結果を見ると、センサ 02、センサ 05 どちらも3 Vを下回る程度の大きな反応は見られない。またセンサ 05 の結果が Fig. 6 のセンサ 06 のにおいの結果と似ている所があり、センサ 05 のにおいセンサも故障した可能性がある。

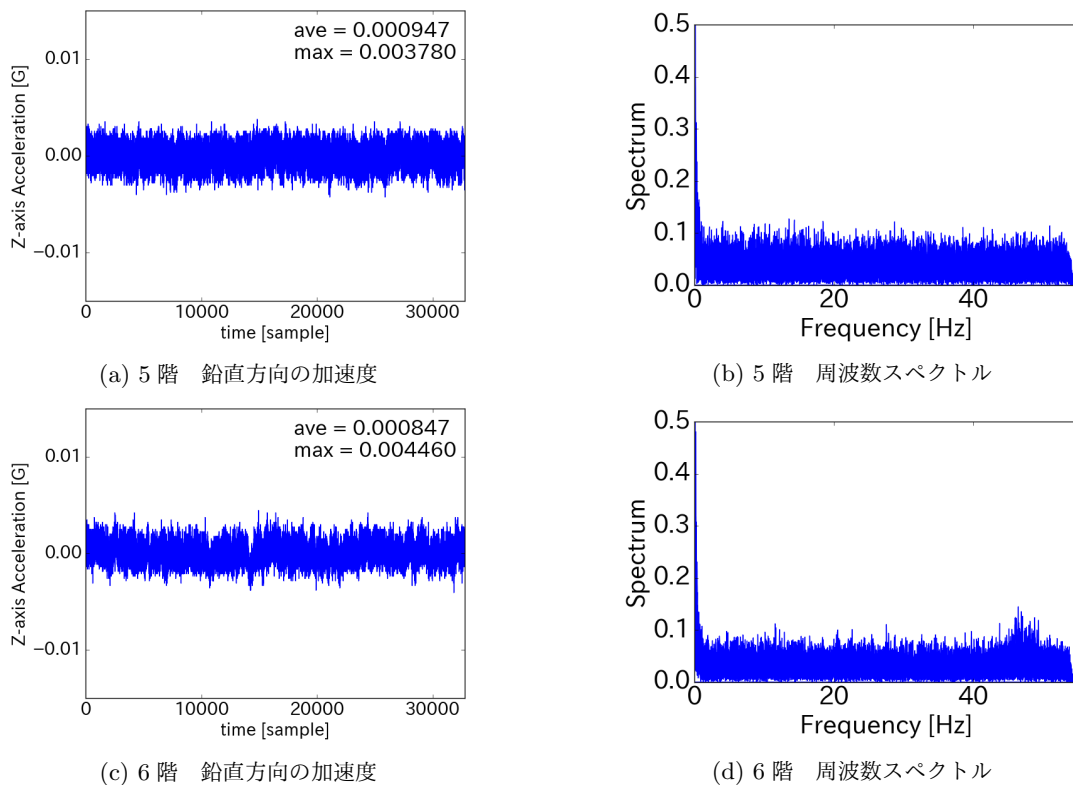


Fig. 35: 振動の計測（南青山）

Fig. 28 の地図にあるように、この物件の北側には高速道路が通っている。北東向きに 6 階の部屋のバルコニーからは高速道路を眺めることができるほど近くにあり、騒音がいくらかあると考えられる。Fig. 33 に 2017/01/29 に計測された騒音の割合を示した。いずれも窓を閉めた状態の結果である。50 dB 以上の騒音の割合が、5 階の部屋では 0.29% しかなかったが、6 階の部屋では 11.83% もあることがわかった。今までの部屋と一日あたりの 50 dB 以上の騒音の割合で比較すると、6 階の部屋は北品川の 5 階の部屋に次いで二番目に割合が高い。一方で、5 階の部屋はいずれの物件よりも最も割合が低く、高速道路が近いのにもかかわらず最も静かであるといえる。

さらに二つの部屋において、2017/01/30 の 15:00 16:00 の間、窓を開けた状態で騒音を計測した。結果が Fig. 34 である。6 階の部屋では窓を開けることで高速道路の音がよく聞こえるようになり、50 dB 以上の騒音の割合が 78.69%、60 dB 以上の騒音の割合は 41.17% と、北品川の 14 階で窓を開けた時よりも割合が高くなるさといえる。また、5 階の部屋では 50 dB 以上の騒音の割合が 56.64% まで増加していたが、この日は近くで工事が行われており、工事の騒音が入ってきたため、そこまで大きく割合が増加したものと考えられる。

築浅の物件であるためか、高速道路による振動はあまり計測されなかった。Fig. 35(a)(c) は 2017/02/01 の午前 9 時ごろについての鉛直方向の加速度の結果である。どちらも震度を算出すると震度 1（計測震度 1.1）であった。周波数スペクトルを求めると、Fig. 35(b)(d) のようになった。5 階では特徴的なスペクトルは見られなかったが、高速道路側の 6 階の部屋では人体に感じやすい周波数帯ではないが、45~50 Hz に大きなスペクトルがあることがわかる。

第5章

結論

5.1 成果

本研究では、これまで定性的にしか評価されてこなかった温度や日当たりといった不動産物件の快適度を、安価なセンサ類で作成した IoT センサを用いて計測することにより、快適度を定量的に評価するという手法を提案した。

温度、湿度、照度、において、振動の計測と同時に映像の録画を行う IoT センサを開発し、実際にあるマンション物件で計測を行った。高輪のマンション物件での計測では、開口部向きが同じ東向きであっても階数によって日が当たり始める時間に平均で1時間48分のずれがあること、窓のある部屋では冬場は昼から夜にかけての温度低下の度合いが窓のない部屋の2倍以上大きいことなどを示した。北品川のマンション物件の計測では、北西に位置する5階の部屋と南東に位置する14階の部屋で温度が平均5.36℃異なることや、南東の部屋では日中では照明が不要なほど明るい、北西の部屋では窓の近くでない日中でも200~300 lx程度と照明が必要なくらい暗いこと、14階の部屋では窓の開閉により騒音が大きく異なることなどを示すことができた。南青山のマンション物件計測では、南東向きの部屋が北東向きの部屋に比べ平均で3.02℃高いが、昼夜の温度差が9.21℃もあること、北東向きの部屋では向かいのビルの反射により太陽光が午後でも入ってくる時間帯が30分~1時間程度あるが、日中のほとんどは内側で200~400 lx程度と暗いことなどを示した。

このように温度、湿度、明るさ、騒音、振動について各部屋の違いを定量的に評価することができた。

5.2 課題と展望

実際の不動産物件で計測できたのが3件、6部屋のみと少なく、マンション物件に限った計測であった。また、マンション物件で計測した時期が冬場のみであり、夏場に計測できなかったことも課題である。

今回使用したにおいセンサでは多少の反応は計測されたが、本当に検出気体が少しあったのか、単にセンサの故障なのか、原因は不明であった。計測結果を評価するには、今回使用したにおいセンサ以外においを計測できるデバイスを用いて計測値を比較する必要があると考えられる。しかし、そもそも人が嫌がる程度においがある物件は非常に少ない可能性があり、においセンサの必要性は低いのかもしれない。

簡単にセンサを追加することができるのが今回設計した IoT センサのウリの一つである。低層階と高層階では紫外線量が異なるため、壁の痛む速度が大きく異なるという。紫外線センサを追加して紫外線量を計測することで壁の痛む速度などを算出できる可能性がある。また、CO₂ センサやNO_x センサを加えることで、物件やその周辺の空気の質を計測できるかもしれない。このようにセンサをさらに追加することで、開発した IoT センサの可能性を広げていきたい。

参考文献

- [1] 富士通総合研究所. フィンテック (fintech) とは. <http://www.fujitsu.com/jp/group/fri/business/topics/fintech/definition/>. (2017 年 2 月 7 日閲覧).
- [2] 谷山智彦. Real estate tech (不動産テック) とは? fintech に続く大改革. <https://thefinance.jp/fintech/160413>. (2017 年 2 月 7 日閲覧).
- [3] IHS Technology. <https://technology.ihs.com/>. (2016 年 9 月 9 日閲覧).
- [4] 平成 27 年版情報通信白書 (総務省). <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc254110.html>. (2016 年 9 月 9 日閲覧).
- [5] John Greenough. The internet of everything: 2015, 2014.
- [6] E. C. Thom. Discomfort index. In *Weatherwise*, Vol. 12, pp. 57–61. Taylor & Francis Group, 1959.
- [7] TEPCO 東京電力エナジーパートナー. HEMS. <http://www.tepco.co.jp/ep/private/smartlife/hems.html>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [8] K. Yasumoto, K. Ogura, S. Yamamoto, and M. Ito. Device control method for energy-saving with minimal degradation of users' comfort level. *Information Processing Society of Japan*, 2011.
- [9] 宮部真衣, 北雄介, 久保圭, 荒牧英治. 街歩きイベントを介した位置情報付きの様相記録収集の試み. 情報処理学会誌論文集, 第 56 巻, pp. 207–218. 情報処理学会, 2015.
- [10] Y. Kita, M. Miyabe, and E. Aramaki. Designing the urban feeling map based on collective intelligence: Through city walk event “100ninmap in kyoto”. In *Reports of the City Planning Institute of Japan*, No. 12, 2013.
- [11] E. Aramaki, Y. Kita, M. Miyabe, and Kyoto Entertainment Works Inc. 100ninmap project. <http://www.100ninmap.com/>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [12] Kyoto University Design School. 100 人で行く京都地図. <http://www.100ninmap.com/kyoto/>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [13] Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 3 model B. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. (2017 年 1 月 27 日閲覧).
- [14] Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 2 model B. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [15] ARUDUINO. Arduino UNO. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [16] FutureStandard. <http://www.futurestandard.co.jp/>. (2017 年 1 月 31 日閲覧).
- [17] FutureStandard. SCORER. https://peraichi.com/landing_pages/view/scorer. (2017 年 1 月 31 日閲覧).
- [18] amazon web services. Amazon S3. <https://aws.amazon.com/jp/s3/>. (2017 年 1 月 27 日閲覧).
- [19] TEXAS INSTRUMENTS. HDC1000 使用 温湿度センサーモジュール. <http://akizukidenshi.com/download/ds/akizuki/AE-HDC1000.pdf>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [20] Adafruit. TSL2561 Luminosity Sensor. <https://learn.adafruit.com/tsl2561?vw=all>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [21] フィガロ技研株式会社. TGS2450 硫黄化合物ガス検知. <http://www8.plala.or.jp/InHisTime/PIC-027/TGS2450.pdf>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [22] SWITCHSCIENCE. LSM9DS1 搭載 IMU Breakout(9DOF). <https://www.switch-science.com/catalog/2405/>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [23] SANWA SUPPLY. MM-MCUSB16. <https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=MM-MCUSB16>. (2016 年 9 月 10 日閲覧).
- [24] Raspberry pi 用カメラモジュール (standard, fish lens). <http://store.techshare.jp/shopdetail/>

00000000888/ct349/page1/recommend/. (2016年9月10日閲覧).

- [25] Netatmo. NETATMO パーソナル ウェザーステーション. <https://www.netatmo.com/product/weather/weatherstation>. (2017年2月1日閲覧).
- [26] Christopher J. Fisher. 加速度センサーによる傾きの検出. <http://www.analog.com/media/jp/technical-documentation/application-notes/AN-1057.jp.pdf>. (2016年10月10日閲覧).
- [27] ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements, 1997.

発表文献

- [1] 山崎俊彦, 大淵友暉, 高田祐樹, “不動産物件価値の定量化・可視化と検索体験の魅力化,” IDR ユーザフォーラム 2016, 国立情報学研究所 (NII) 19 階会議室, 東京都千代田区, Nov. 30, 2016. (予稿集なし、発表のみ)
- [2] 大淵友暉, 山崎俊彦, 相澤清晴, 鳥海哲史, 林幹久. 不動産物件の快適度評価のための IoT センサ実装と評価. 映像メディア学会冬季大会, Dec. 21-22, 2016.
- [3] 大淵友暉, 山崎俊彦, 相澤清晴, 鳥海哲史, 林幹久. IoT センサを用いたマンション物件計測と快適度評価. 人工知能学会全国大会 OS-15 「不動産と AI」, May 23-26, 2017. (発表予定)

報道

- [1] 2016/12/19(月) 発売, 週刊エコノミスト 2016 年 12 月 27 日号、エコノミストリポート「我が家の値段はいくら? 不動産版フィンテック ネット、AI 駆使して新ビジネス」(77 ページ目)