

IoT センシングによる住宅の室内環境評価 Indoor Environment Assessment of Apartments Using IoT Sensing

河野 徳郎, 池本 洋一 *1
Tokuro Kono, Yoichi Ikemoto

北垣 亮馬 *2
Ryoma Kitagaki

鳥海 哲史 *3
Satoshi Toriumi

山崎 俊彦 *4
Toshihiko Yamasaki

1. はじめに

不動産物件を選ぶ際の判断基準として、物件の場所、価格、間取り、室内の快適さなど様々なものがある。場所、価格、間取りについては、消費者が定量的・客観的に評価が可能である。室内の快適さについては物件情報から類推する、物件を扱う担当者に質問する、直接物件を見に行くなど、手間を掛けないと情報が得られないばかりか、定性的な評価が一般的であった。一方で、室内の快適さに影響する断熱・遮音性能については、入居後に優先順位が高くなることがわかっており、賃貸入居者へのアンケート結果では、検討時はそれぞれ 7 位と 6 位、入居後は 2 位と 1 位となっている [1]。

このような状況から、我々は不動産物件の室内の快適さに関係する様々な要因を計測可能な IoT センサを独自に設計し、定量的に評価する試みを行ってきた [2, 3, 4, 5]。また、温熱環境については材料学的な観点から「見かけの比熱」を組み込んだモデルと、夜間の室内外の温度降下の特長を想定した仮定から、粗視的な U_a 値(外皮平均熱貫流率)を得る手法を導出し、実測評価を行った [6]。

本稿では、IoT センサシステムの実用化に向けた計測方法の工夫と、新たに開発した温熱・音環境の定量評価方法について紹介する。

2. センサの構成

計測には独自開発した IoT センサ(図 1)を利用した。これは OMRON の 2JCIE-BL01 を利用し、温湿度、騒音(音量)、照度、気圧、加速度を 5 分毎に計測する。センサは Bluetooth を介して Raspberry Pi 3 Model B にデータを送信し、Raspberry Pi は移動体通信を介してサーバにデータを送信する。データ送信は逐次行われるため、データはほぼリアルタイムにサーバに蓄積される。センサデータの取得からサーバへの送信、およびデータ管理については、フューチャースタANDARD社の SCORER というプラットフォームを利用することで、手動データ収集が不要となっている。

センサの設置位置は主たる居室の屋内外の窓枠上部とし、特に温度が窓ガラスや床との距離の影響を受けるため、取付治具によりセンサと窓ガラスの距離を一定にした。また、屋外では雨の影響も受けるため、治具に屋根を設けることでセンサに雨が当たらないようにしている。



図 1 独自開発した IoT センサ

3. 評価指標

3.1 温熱指標

不動産物件の省エネ性能は、設計情報や計測から U_a 値や Q 値(熱損失係数)を算出することで評価可能である。設計情報から算出する場合、不動産物件の所有者や取扱業者のもつ物件の情報整備状態(図面、設備情報、施工状態)が必要となる。そのため既存住宅については、評価を実施することが現実的でなく、また改修や経年劣化など竣工後の変化を考慮することは難しい。計測から算出する場合、複雑な計測条件の設定や計測業者の手続きが必要となるため、コストの面で実施することが難しい。

そこで本研究では、IoT センサのデータから粗視的な U_a 値を算出する手法を用い、不動産取引において省エネ性の目安になる評価値とした。この手法では設計仕様情報が不要、改修や経年劣化などの実態を反映できる、現実的なコストと精度で実施できる可能性があるといった利点があり、特に既存住宅の評価に適している。

まず、時刻 t における室内外の温度 $T_i(t)$, $T_o(t)$ を計測することで、部屋の熱変動のしやすさを表す熱拡散パラメータ D_{para} を実験的に求める。

$$D_{para} = \frac{-\frac{dT_i}{dt}}{T_i(t) - T_o(t)} \quad (1)$$

ここから単位面積当たりの熱貫流を考えることで、推定 U_a 値を得る。

$$U_a = \frac{D_{para} C}{S_{exposed}} \quad (2)$$

ただし、 C は部屋に含まれる平均的な材料(空気を含む)の見かけの容積比熱、 $S_{exposed}$ は部屋の表面積と体積の比である。

3.2 音指標

本研究では、室内で観測される騒音レベルを逐次計測し、それを可視化することで音環境の評価とした。具体的には、室内音量が環境基準: 55dB(9-21 時), 45dB(21-9 時)を超えた回数に基づき、この回数が少ないほど静かな室内環境であるということができる。

*1 株式会社リクルート Recruit Ltd.

*2 北海道大学 Hokkaido University

*3 株式会社フューチャースタANDARD Future Standard Co., Ltd.

*4 東京大学 The University of Tokyo

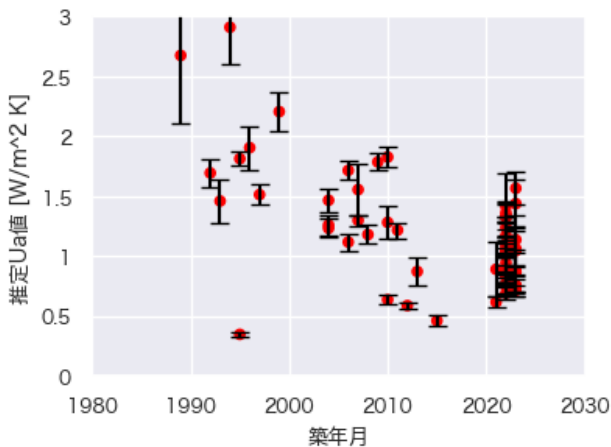


図2 Ua 値の推定結果

この手法では、電車や自動車の走行音などの屋外音源と、室内または隣室の声などの非屋外音源の影響を全て含めた室内音を評価対象としている。一方で、住戸の遮音性能を評価するには、屋外音源のみによる室内音を評価する必要がある。また、遮音性能は屋外音源の騒音レベル及び音の種類に依存するため、一般化は難しい。

簡易な音源分離方法として、屋外音量が 45dB 以上ならば屋外音源、屋外音量が 45dB 以下かつ室内音量が 45dB 以上ならば非屋外音源とすることが考えられる。また、屋外音と屋外音源の室内音について回帰分析を行い、屋外音量が 55dB のときの室内音の予測値との音量差を求めることで、簡易的に遮音性能を推定した。

4. 計測実験

鉄筋コンクリート造/鉄骨鉄筋コンクリート造、重量鉄骨造/軽量鉄骨造、木造の賃貸集合住宅 102 戸について計測を行った。2021 年 7 月から 2023 年 3 月にかけて、関東の空室物件についてそれぞれ 4 日間(3 晩)以上のデータを取得した。

例として、軽量鉄骨造の 55 戸についての、築年に対する推定 Ua 値を図 2 に示す。傾向として、築年が浅いほど推定 Ua 値が小さいことがわかる。冷暖房費はこの推定 Ua 値と部屋の広さ、用いる冷暖房器具がわかるとおよその参考値が出せるため、簡易な省エネ性の指標として利用できる。

2 物件についての騒音計測結果を図 3 に示す。左カラムが線路近くの住戸、右カラムが室内で施工作業のあった住戸である。上段が計測した屋内外の騒音の時系列変化を示し、下段が室内音量と屋外音量を散布図にしたもので、赤枠はそれぞれ屋外音源と非屋外音源の範囲を示している。

簡易な音源分離方法を適用することで、室内で施工作業のあった住戸において、非屋外音源のデータ点 14 個を抽出した。また、線路近くの住戸において屋外音源のデータ点 67 個を抽出し、回帰分析を行った結果、遮音性能は 17dB であると推定された。

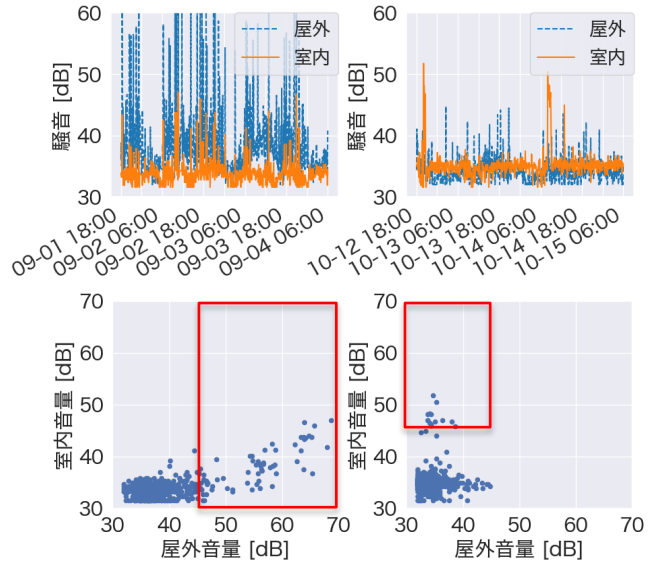


図3 騒音の計測結果

5. まとめ

本稿では、我々がこれまで開発してきた IoT センサシステムを用いて、温熱・音環境評価のための簡易的な定量化指標と実測例を示した。これらのセンサデータや指標は、これまで消費者には不明であり、物件同士の客観的な比較も難しかった。このような情報は消費者にとって有益な参考情報になる可能性がある。また、不動産物件所有者・管理者にとっても、リノベーションによる性能向上などを客観的に評価するための参考情報となりうる。現在も計測を実施中で、近い将来の社会実装を目指している。

参考文献

- [1] リクルート住まいカンパニー, 2015 年度 賃貸契約者動向調査, 2016.9
- [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,” ITE 冬期大会, 11C-4, 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,” JSAI, 1H2-OS-15a-4, 2017.
- [4] Yuki Obuchi, Toshihiko Yamasaki, Kiyoharu Aizawa, Satoshi Toriumi, Mikihiro Hayashi, “Measurement and Evaluation of Comfort Levels of Apartments Using IoT Sensors,” ICCE, pp.864-869, 2018.
- [5] 山崎俊彦, 大淵友暉, 林遠, 北垣亮馬, 鳥海哲史, 林幹久, 酒井藍, 芳賀宣仁, 野村眞平, 池本洋一, “IoT センシングによる不動産物件の断熱・防音性能評価,” 2019 年度人工知能学会全国大会(第 33 回), 1D2-OS-10a-01, 2019.
- [6] 河野徳郎, 池本洋一, 山崎俊彦, 鳥海哲史, 北垣亮馬, 夜間の室内温度降下と粗視化仮定を用いた外皮平均熱貫流率の導出と評価に関する実験的検証, 2023 年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会, 2023.9.12-15D, 2023.