

複数サーモパイルアレイセンサを利用した着席人数の推定 Estimating number of seated persons using thermopile array sensors

○緒方 大樹^{*1}, 大西 康伸^{*2}, 仲間 祐貴^{*3}, 繁戸 和幸^{*4}, 幡宮 祥平^{*4}

Hiroki Ogata^{*1}, Yasunobu Onishi^{*2}, Yuki Nakama^{*3}, Kazuyuki Shigeto^{*4} and Shohei Hatamiya^{*4}

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 前期博士課程
Graduate Student, GSST, Kumamoto University

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)
Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph.D.

*3 熊本大学工学部技術部
Graduate student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

*4 (株)安井建築設計事務所
Yasui Architects & Engineers, Inc.

キーワード：維持管理；IoT；FM；BIM；センシング；放射温度

Keywords: Operations and Maintenance; Internet of Things; Facility Management;
Building Information Modeling; Sensing; Radiation thermometer.

1. 研究の背景・目的・方法

現在、施設維持管理において、建物の長寿命化や省エネルギー、施設利用者の満足度の向上が求められている。これらを達成するためには、建物内での人の活動を把握・分析することで得られた知見を、建物の改修や運用等に活用することが重要である。現在カメラを利用して人の活動を記録・分析する手法が存在するが、画像処理による技術的限界やプライバシー、抵抗感等の問題から、それらを解決する手法が求められている。

一方、近年 IoT 技術の普及と共に、様々なセンサの開発が行われ、中でも素子数が数十素子程度のサーモパイルアレイセンサ（以下、サーモセンサ）の開発も活発に行われている。サーモセンサは熱源の検出に特化している点、開発コストが安価で大量に設置できる点から、人体検知や機器の制御等における活用が期待されている。

そこで本研究では建築空間において、複数のサーモセンサを利用した推定手法の提案を行い、試験運用する。またケーススタディにより、利点や改善点を整理・把握することを目的とする。研究のフローを図 1 に示す。

既往研究には電子タグを携帯した執務者の位置情報を取得し、それらをワークプレイスにおいて活用する研究¹⁾、天井に設置したカメラで撮影された画像から在室人数を

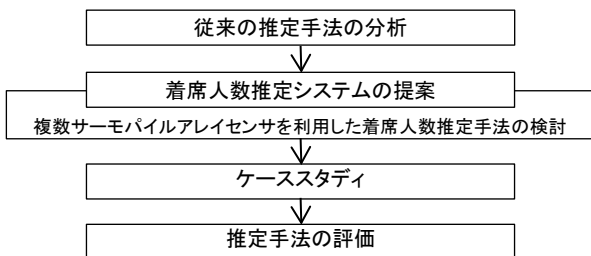


図 1 研究のフロー

検知し、照明や空調機器の制御を試みた研究²⁾がある。しかし、電子タグを常に携帯する煩わしさやカメラでの撮影による個人の特定等、プライバシーの問題を抱えている。

一方、サーモセンサを利用し、人の体温と室温との温度差から在室人数推定を行っている研究³⁾がある。この研究では単数のセンサのみを利用して推定が行われている。しかし、建築空間での運用には複数のサーモセンサを利用し、より広範囲での在室人数推定を行うことが求められる。

2. 既往研究の課題点の把握

既往研究³⁾では単数のサーモセンサを利用して在室人数推定を行い、評価を行っている（図 2）。4つの行動パターンについて推定を行っているが、4パターンの平均で正答率は約 50%程度に留まっている。また、単数のセンサによる決められた行動パターンのみでの推定、有線で取得データを送信していること等、建築空間での運用に適しているとはいえない。

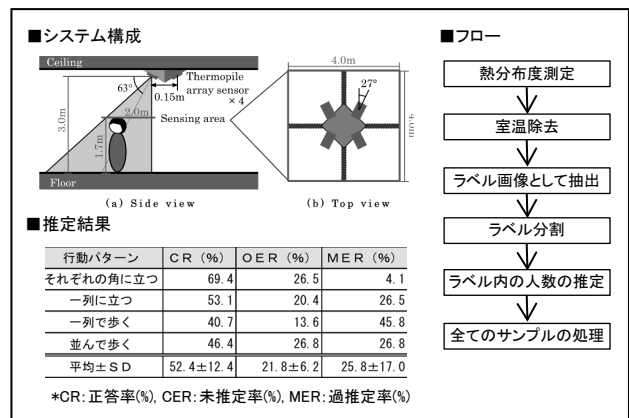


図 2 既往研究の推定手法

3. 着席人数推定システムの提案

本研究では既往研究での課題点を考慮した上で、複数のサーモセンサ^{注1)}を利用し、取得したセンサ毎の最低温度との温度差により在室人数推定を行う。しかし、複数のサーモセンサを利用し、取得した情報を無線で同時にデータベースへ送信するため、既往研究より測定間隔が長くなり、人の動線の推定が困難となる。そのため在室人数推定の中でも、特に着席人数推定手法の提案を行うこととする。

3.1. 着席人数推定システムの開発

着席人数推定手法の提案にあたり、サーモセンサで本社温度を取得後、着席人数推定を行い、その結果を表示する一連のシステムを開発した(図3)。子機のサーモセンサデバイスは Arduino 及びサーモセンサ等から構成され(図4)、ZigBee を用いて無線で親機に照射温度データが送信される。親機は RaspberryPi を使用し、子機からデータを受け取り、LAN を介してデータベースへ蓄積する。そして、蓄積したデータを元に着席人数推定を行った結果を表示するための Web ページを作成した。なお、データベースには MySQL を用いた。また、本研究では図5に示すサーモセンサデバイスを床面にに向けて天井に設置し、着席人数推定を行う。

3.2. 着席人数推定手法の精度向上のための検討

着席人数推定手法の精度向上のための検討を行う。推定はセンサから取得した温度分布からセンサ毎の最低温度との温度差(閾値)により推定を行う。本研究では、夏季空調機稼働下での検証実験より、温度差が 2.7°C以上となるグリッドを人と推定する。

1) 基準となる測定面に関する検討

既往研究において、基準となる測定面を 1.7m(日本人の成人男性の平均身長)と設定していたが、本研究では複数のサーモセンサを利用するため、既往研究と同様に測定基準面を設定すると、隣接するセンサの測定範囲の重複する範囲が大きくなり、配置するセンサ個数が多くなるため、基準となる測定面を床面と設定する(図6)。

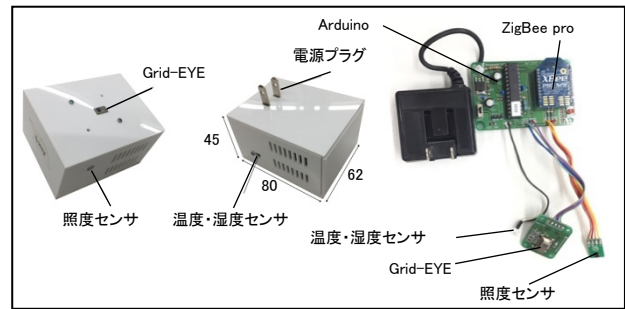


図4 自作したサーモセンサデバイス概要



図5 設置したセンサ

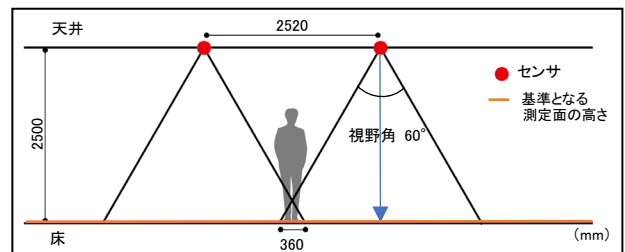


図6 基準となる測定面及び測定範囲の重複

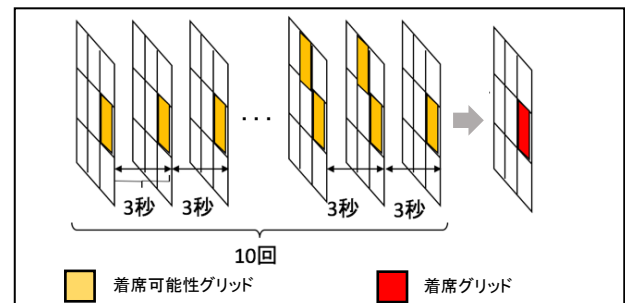


図8 着席グリッド推定手法

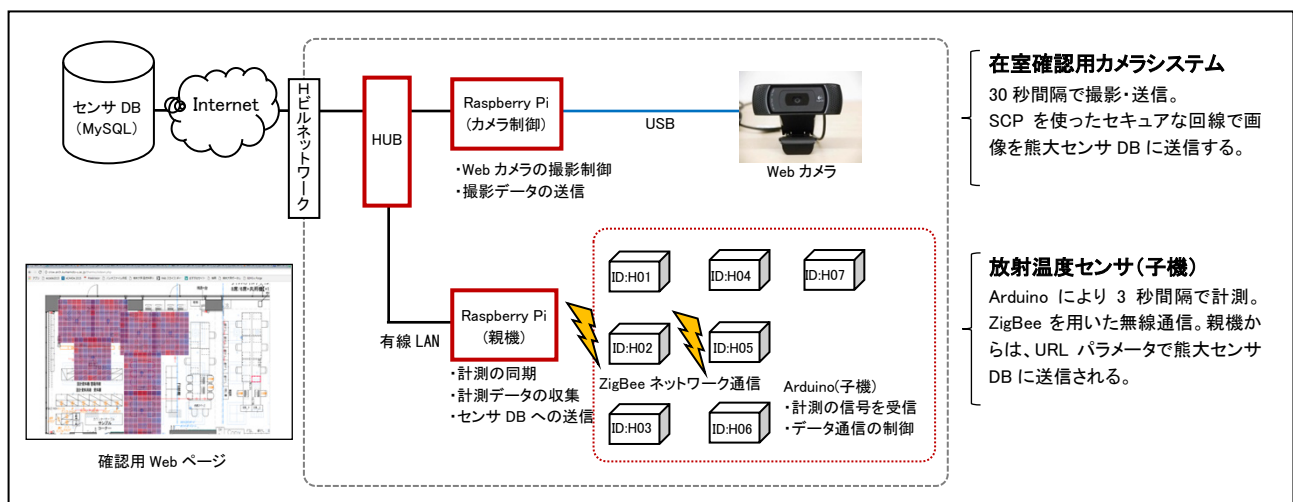


図3 開発した着席人数推定システム

2) 複数サーモパイルアレイセンサの測定範囲の重複

複数のサーモセンサを用いて人数推定を行う際、複数のサーモセンサの測定範囲の重複に考慮して推定を行う必要があるため、隣接するサーモセンサ同士の測定範囲の重複について検討を行う。検討は、I.測定範囲重複無し、II.1列グリッド分重複、III.2列グリッド分重複、IV.3列グリッド分重複の4項目で行った。検討の結果、隣接するサーモセンサの双方に反応が見られ、測定範囲の重複が小さく、より広範囲の測定を行うことができるII.1列グリッド分(8素子)を重複範囲として設定する(図6)。

3) グリッドの除去

サーモセンサを利用して着席人数推定を行う際、人以外の熱源(PC、プリンタ等)を人と誤推定することやセンシング範囲に対して素子数が十分に多くないことから、推定精度が低くなることが考えられる。そのため、什器レイアウトに応じて人のいる可能性のない場所のグリッドを除去し、推定に利用しないことで推定精度向上を図る(図7左)。なお、図はセンサから取得した温度分布から閾値により、人と推定したグリッドを黄色で表示する。また、人ごとにナンバリングを行う。

4) 隣接するグリッドの分割

隣接する人同士がサーモセンサに反応した際、推定されるグリッドが繋がることで実際的人数より少なく推定されることが考えられる。そのため、隣接するグリッドを分割することにより着席人数推定精度向上を図る。推定結果を利用し、隣接する人同士のグリッドが繋がった場合のグリッド数と人数を分析した上で分割を行うグリッド数を決定する(図7右)。本研究では検証実験の結果より、1~5を1人、6~10を2人、11~15を3人に分割する。

5) 着席グリッド推定手法に関する検討

既往研究ではサーモセンサが取得した1回分の測定データを二値化し、人と判断されたグリッドから在室人数推定を行っている。しかし、素子数が少なく推定が正しく行えない場合もあり、推定精度の低下に繋がっていると考えられる。そこで着席グリッドを定義する。着席グリッドとは10回分の測定データの中から人がいる可能性がある判断されたグリッド(着席可能性グリッド)がx回以上であった場合、その場所に人がいると推定するものである(図8)。本研究では10回分の測定データとxの関係をパラメータと呼びx/10と表記する。なお、本研究ではx=9とする。

4. ケーススタディ

4.1. ケーススタディ概要

提案した着席人数推定システムの推定精度の評価を目的としてケーススタディを行う。ケーススタディは中規模事務所ビル(Hビル)の打ち合わせスペースを対象に複数のサーモセンサを設置・運用し評価する。Hビル概要、ケーススタディ概要、ケーススタディ対象箇所を示す(表1、表2、図9)。評価は推定手法を導入しない場合と導入した場合の推定結果を比較し、評価指標は正答推定率、過少推定率、過大推定率を使用する。なお、グリッドの除去の他に、検証用カメラの撮影範囲の箇所及び執務空間は評価対象外とする。評価を行う時間は就業時間及びその前後1時間とする。推定間隔は30秒と設定し、30秒間静止していた場合、着席していると推定し、30秒未満の場合は着席していないとみなす。測定間隔は3秒、推定間隔は30秒で10回の測定結果を用いて30秒間の着席人数推定を行う。

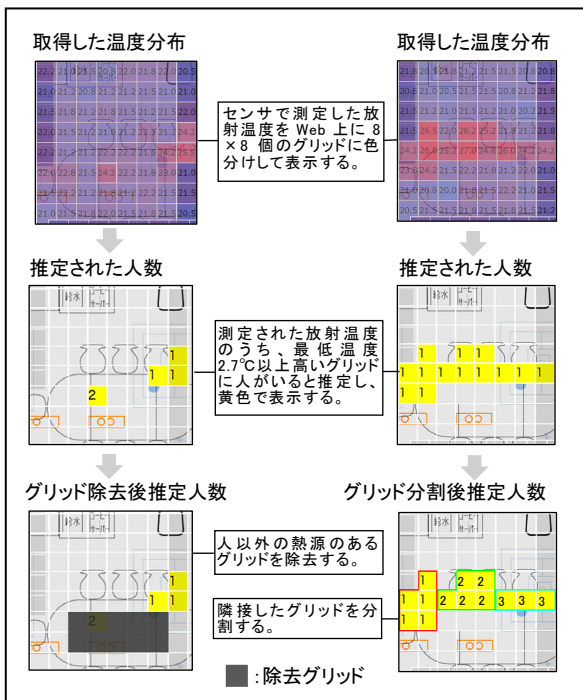


図7 グリッドの除去(左)、グリッドの分割(右)

表1 Hビル概要

Hビル概要	
所在地	東京都
竣工年	1990年
建物用途	事務所
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
規模	地上9階
建築面積	408㎡
延床面積	3423㎡
対象箇所	6階打ち合わせスペース(約100㎡)
対象箇所天井高さ	2500mm

表2 ケーススタディ概要

ケーススタディ概要	
期間	平成29年10月23日(月)、24日(火) 平成29年11月1日(水)、2日(木)
時間	8:00.00~17:59:30
センサ	Grid-EYE搭載子機7台(子機番号H01~H07)
測定間隔	3秒間隔
推定回数	30秒間隔
推定条件	10回分の測定結果を用いて推定
評価指標	正答推定率(%) = 正答回数/推定回数*100 過少推定率(%) = 過少推定回数/推定回数*100 過大推定率(%) = 課題推定回数/推定回数*100
比較方法	推定結果と写真との比較
閾値	2.7℃
グリッド分割	1人:1~5グリッド 2人:6~10グリッド 3人:11~15グリッド

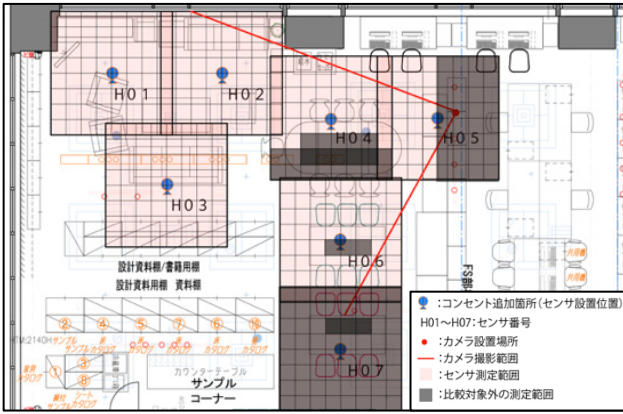


図9 ケーススタディの対象箇所

4.2. 考察

1) 推定結果の考察

ケーススタディ結果を図10に示す。提案手法を導入した場合、導入しない場合に比べ、正答推定率は48.3%から75.8%と27.5pt増加し、提案手法を導入することで推定精度は向上することが確認できた。過少推定率は20.4%と導入前の50.7%と比較し30.3pt減少した。また、検討項目の中でも隣接するグリッドの分割を行うことにより、推定精度が大幅に向上することが確認できた。

1) 提案システム全体の考察

サーモセンサの最外部のグリッドは、温度測定が正確に行えず、他のグリッドに比べ正確な推定が行えない状況が多く見られた。そのため、サーモセンサの最外部のグリッドを除いて推定を行うことが望ましいと考えられる。また、それに伴い測定範囲の重複については再検討する必要がある。さらに、推定精度は空調機器からの吹き出しや直射日光等の影響を大きく受けることがわかった。

全体として、提案手法を導入することで、過大推定率は増加する傾向が見られたが、過少推定率は減少し、正答推定率は向上したため、提案手法を導入することで着席者の位置及び人数の把握を概ね行うことができたといえる。

5. BIMモデル上での可視化

提案手法にて推定された人の人数及び位置情報について、本研究室で開発したWebページの維持管理支援システムであるBIMS (Building Information Management

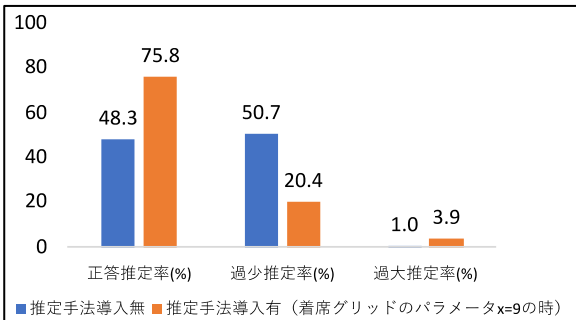


図10 推定結果

System) のBIMモデル上に人を示すアイコンを表示することで可視化し、他の施設維持管理情報(環境データ、劣化状況等)との一元化を行う(図11)。3Dで可視化することで人の着席位置や室利用の傾向等を直感的に把握することができ、時系列に沿った表示も可能となり、オフィスレイアウトやリノベーション等建築計画や修繕計画の際に活用できると考えられる。

6. 総括

本研究では、複数のサーモセンサを利用した着席人数推定手法の提案を行った。また、オフィスにおいてケーススタディを行うことにより、提案手法を導入することでより精度の高い推定を行うことができ、着席者の推定に有効であることが確認できた。それと同時に提案手法における問題点・改善点も明らかにすることができた。更に、提案手法により推定された人の人数及び位置をBIMSのBIMモデル上で可視化を行った。

今後の展望として、ケーススタディで明らかとなった提案手法の問題点の解決及びセンサ性能の向上等により、リアルタイムでの人の位置や動線の把握も行うことができると考えられる。また、ケーススタディではオフィスの打ち合わせスペースのみにセンサを配置したが、オフィス全体に配置することで、室全体の利用について把握することができるとともに、人数・位置情報をBIMS上に集約することで、建築計画等への利用が考えられる。

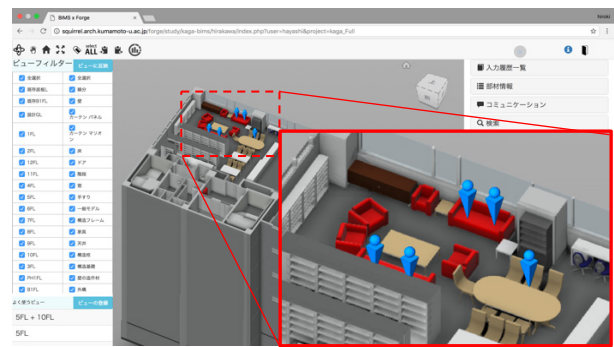


図11 BIMS上でのBIMモデルへの可視化

[注釈]

注1) 利用するサーモセンサはGrid-EYE(Panasonic株式会社)とする。画素数は64(8×8)、視野角60度と比較的広範囲での検知が可能。また、放射温度分解能も0.25℃と細かく、検知距離も最大約5mとなっている。

[参考文献]

- 1) 中嶋俊介、近本智行、李明香、太田涼平、「小規模業務ビルにおける省エネ・BCP対策(第2報)在室検知センサを用いた照明・空調制御の概要・実施計画」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.1255-1256、2015.9
- 2) 五十嵐雄哉、貞清一浩、「スマートワークプレイスの開発その2:ワークプレイスにおける人の位置情報システムの活用」、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.477-478、2011.8
- 3) 九鬼正人、中嶋宏、土屋直樹、田中純一、畑豊:サーモパイルセンサを用いた屋内用の人モニタリングシステム、システム制御情報学会論文誌、pp.149-159、2014