

厚生労働科学研究費補助金
健康安全・危機管理対策総合研究事業

IoT を活用した建築物衛生管理手法の
検証のための研究

令和4年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 金 勲
令和5(2023)年3月

目 次

I. 総括研究報告書	
IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究 金 勲	・・・1
II. 分担研究報告書	
1. 特定建築物の報告統計	・・・9
鍵 直樹	
2. 室内環境に関する現場調査	・・・14
2-1 建物概要	・・・15
下ノ菌 慧	
2-2 温度、相対湿度、気流速度	・・・17
下ノ菌 慧	
2-3 化学物質濃度（VOCs 及びカルボニル化合物）	・・・25
鍵 直樹	
2-4 浮遊粉じん及び粒子状物質（PM）	・・・29
金 勲	
2-5 一酸化炭素及び二酸化炭素濃度	・・・34
金 勲	
2-6 エンドトキシン（細菌）	・・・37
金 勲	
3. 温熱環境の測定	・・・40
3-1 ASHRAE 55-2020 における IoT を活用した計測技術に関する調査	・・・41
中野 淳太	
3-2 ASHRAE 55-2020 に準拠した手法による温熱環境評価	・・・44
中野 淳太	
3-3 IoT センサーによる温熱環境評価	・・・57
下ノ菌 慧	
4. 空気環境衛生管理に向けた IoT センサー活用手法の検討	・・・71
4-1 IoT センサーによる建築物衛生管理への適用可能性検討	・・・72
下ノ菌 慧	
4-2 小型 PM2.5 センサーの特徴調査	・・・92
鍵 直樹	

5. 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討 海塩 渉	・・・95
6. 水の衛生管理の実態調査と IoT 技術活用可能性に関する検討 三好 太郎、増田 貴則	・・・110
7. 水の衛生管理の改善に向けた BEMS データ活用可能性の検討 三好 太郎、増田 貴則	・・・118
8. IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の調査 金 勲、下ノ菌 慧	・・・124

令和4年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
総括研究報告書

IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

研究代表者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法の空気環境に関しては、「浮遊粉じん、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO₂)、温度、相対湿度、気流速度」に対して2ヶ月以内ごとに1回(1年に6回以上)の測定が義務づけられている。給水に関しても項目によって測定義務が定められている。

測定は測定技術者による現場測定が基本となるが、近年はIoTやセンシング技術の発展により、建築物環境衛生管理の人手不足や中小規模建築物の自主管理の可能性なども視野にこのような技術を活用すべきという声も上がっている。

本研究は、自動測定によるデータの精度を検証するとともに、自動測定で得られるデータを活用することによって、現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうかを検証する。加えて、自動測定が既存測定(手動測定)と同程度以上の精度であると判断できる条件(センサー精度、測定箇所、測定機器の校正の頻度等)を明確化することで、特定建築物のより適切な維持管理手法を確立することを目標とする。

本年度は2年計画の1年目として、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー4種類、PM_{2.5}センサー2種類を対象に長期間比較評価を行った。建物7施設(11フロア)に自動計測センサーを設置し、6施設9フロアに対して法定測定法による管理基準項目6項目の立入調査を実施した。また、BEMSデータ、測定技術者による報告調書を収集して、連続計測小型センサー及び法定立入調査結果と精度の比較検討を行った。また、国内IoT関連会社3社を対象にIoT技術の建物設備衛生管理への活用に関するヒアリング調査を実施した。また、建物設備の管理技術者らを対象に管理の現状、要望に関するヒアリングを行った。

本年度は、下記項目に関する研究を行いまとめた。

- ①特定建築物の報告統計
- ②室内環境に関する現場調査
- ③温熱環境の測定
- ④空気環境衛生管理に向けたIoTセンサー活用手法の検討
- ⑤空気環境管理に向けたBEMSデータ活用手法の検討
- ⑥水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討
- ⑦水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討
- ⑧IoT技術を活用した管理手法の調査

研究組織

研究分担者

樺田 尚樹 (産業医科大学)
鍵 直樹 (東京工業大学)
海塩 渉 (東京工業大学)
中野 淳太 (東海大学)
増田 貴則 (国立保健医療科学院)
三好 太郎 (国立保健医療科学院)
下ノ菌 慧 (国立保健医療科学院)

研究協力者

白根 和明 (アズビル (株))
原山 和也 (アズビル (株))
三浦 眞由美 (アズビル (株))
吉村 太志 (日本カノマックス (株))
内山 功 (日本カノマックス (株))
東山 泰造 (日本カノマックス (株))
小島 謙太郎 (柴田科学 (株))
檜山 功 (柴田科学 (株))
黒田 洋平 (ダイキン工業 (株))
笹井 雄太 (ダイキン工業 (株))
近藤 純史 (ダイキン工業 (株))
関内 健治 (全国ビルメンテナンス協会)
齋藤 敬子 (日本建築衛生管理教育センター)
杉山 順一 (日本建築衛生管理教育センター)
谷川 力 (日本ペストコントロール協会)

A. 研究目的

建築物衛生法の空気環境に関しては、浮遊粉じん、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO₂)、温度、相対湿度、気流速度が2ヶ月以内ごとに1回 (年に6回以上) の測定が義務づけられている。給水に関しても項目によって測定義務が定められている。特に測定頻度の高い、空気環境の6項目、水質の塩素濃度に関しては自動測定の必要性や要求があることから技術開発が進んでいる。

本研究はIoT技術を含む自動測定によるデータの精度を検証し、「現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうか」、また「自動測定と既存測定 (手動測定) が同程度以上の精度であると判断できる条件を明確化」することで、特定建築物のより適切な維持管理手法を確立することを目的とし、以下4項目の研究を遂行する。

- ① IoTを活用した建築物衛生管理基準関連の計測技術に関する調査
- ②自動測定と既存測定 (手動測定) によるデータ精度、測定位置、代表性に関する比較検証
- ③ BEMSデータの活用手法
- ④ 建築物衛生管理基準に対する適切な測定方法及び維持管理手法に関する提案

特に、空気環境6項目 (浮遊粉じん、CO、CO₂、温度、相対湿度、気流) 及び水質 (残留塩素濃度) など測定義務として頻度の高い項目を対象とする。

B. 研究方法

本年度は (2年計画の1年目)、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー4種類、PM2.5センサー2種類を対象に長期間比較評価を行った。

建物7施設 (11フロア) に自動計測センサーを設置し、6施設9フロアに対して法定測定法による管理基準項目6項目の立入調査を実施した。

また、BEMSデータ、測定技術者による報告調書を収集して、連続計測小型センサー及び法定立入調査結果と精度の比較検討を行った。

更に、国内IoT関連会社3社を対象にIoT技術の建物設備衛生管理への活用に関するヒアリング調査を実施した。また、建物設備の管理技術者らを対象に管理の現状、要望に関するヒアリングを行った。

B.1 特定建築物の報告統計

厚生労働省から公表されている全国の立ち入り調査のデータを用いた空気環境項目の不適合率の最新動向について整理した。

B.2 室内環境に関する現場調査

建物7施設11フロアにIoTセンサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温湿度、粒径2.5 μ m以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の連続自動測定を行っている。そのうち、建物6件9フロアを対象に建築物衛生法で定める立入測定を実施した。また、建物及び設備情報は担当者へのヒアリングや建築図面から収集した。

B.3 温熱環境の測定

ASHRAE 55は、ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）の温熱環境に関する基準であり、2020年版が最新となっている。中でも建物管理に使われるBAS (building automation system; 日本のBEMSに相当)による環境評価法も解説されており、連続測定値を用いた管理に参考になるため、関連部分を翻訳し整理した。

また、気候、季節、建物仕様の異なる建築物の実測調査を行い、ASHRAE55-2020に準拠して室内温熱環境特性を明らかにする。建物6件9フロアについて調査を行った。いずれもBEMSによる室内環境データの記録とモニタリングを行っていた。

B.4 空気環境衛生管理に向けたIoTセンサー活用手法の検討

4種類のIoTセンサーの測定値比較ならびにIoTセンサーと建築物衛生法に準じた現場立入測定の測定値比較により、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討した。対象項目は温度、相対湿度、CO₂濃度である。ここでは、①複数のIoTセンサーの測定値比較、②IoTセンサーと現場立入測定の測定値比較、③温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布の測定、を実施した。

B.5 空気環境管理に向けたBEMSデータ活用手法の検討

建築物の空気環境管理へのBuilding Energy Management System (BEMS) データの応用可能性の検討にあたって、BEMSの空調関連データとして通常取得しているデータを整理し、建築物環境衛生管理基準の項目との比較を行った。

BEMSには温度、相対湿度、二酸化炭素(CO₂)濃度の3項目が取得されていたため、このデータを空気環境管理に応用できる可能性について検討した。

B.6 水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討

特定建築物において実施されている衛生管理業務の実態（実際の作業頻度、検査方法、結果の取りまとめなど）に関する聞き取り調査を行った。また、特定建築物の水の衛生管理にIoT技術を活用するためには、自動、もしくは連続測定が可能な水質計測装置が不可欠となるため、6カ月毎に1回以上の頻度で検査が必要な項目に対し、自動もしくは連続測定が可能な測定装置に関する技術動向の調査した。

B.7 水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討

BEMSに集約されている情報を活用した建築物内の水の衛生管理の改善手法を検討した。

今回BEMSデータを提供してもらった建築物において集約対象となっていた項目のうち、上水流量に着目し、受水槽の水理的滞留時間 (hydraulic retention time: HRT) の評価に活用した。1時間毎の上水流量値が利用可能であった建築物を対象として、受水槽容量の聞き取りを行い、受水槽におけるHRTを算出した。

B.8 IoT技術を活用した管理手法の調査

自動調査・自動測定技術の建築物衛生管理への適用も見据えて、現時点で開発されている関連技術に関して調査を行うことを目的とし、ヒアリングを実施した。空気環境の調整に関する

IoT 技術が 2 件（IoT カメラによる日常点検と解析技術、画像データの 3 次元 CAD モデリング化と室内環境の数値シミュレーション技術）、ねずみ等の防除に関する IoT 技術が 1 件である。

C. 研究結果

C.1 特定建築物の報告統計

建築物衛生法においては対象となる特定建築物の維持管理手法として環境衛生管理基準値を定めており、2 ヶ月以内に 1 回以上の測定を行い適切な維持管理に努めている。

厚生労働省から公表されている全国の立ち入り調査の統計報告から、ここ 30 年間は特定建築物の空気環境 6 要素の中で二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率の経年変化はいずれも値が高く、上昇する傾向にあった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。一方、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移していた。

一方、新型コロナウイルス感染症による建築物衛生への影響として、2021 年度は二酸化炭素濃度の不適率が大幅に減少し、温度及び相対湿度は上昇している。二酸化炭素濃度の不適率が最も高かった 2017 年度は二酸化炭素、温度、湿度の不適率がそれぞれ 27.7%、31.9%、57.2%であったのに対し、2021 年度は 14.5%、34.6%、59.8%と二酸化炭素濃度は大幅に減少している反面、温度と相対湿度は過去最高値を更新した。原因は新型コロナ感染症防止対策として、換気量を増強したことによるものと考えられる。

C.2 室内環境に関する現場調査

建物 7 施設 11 フロアに IoT センサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温度、相対湿度、粒径 2.5µm 以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の測定を行っている。そのうち、建物 6 件 9 フロアを対象に建築物衛生法で定め

られる立入測定を実施した。同時に、化学物質（VOCs 及びカルボニル化合物）、PM_{2.5} 等の粒子状物質、エンドトキシン（細菌の内毒素）濃度の測定を行った。

(1) 6 件の建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造のほか、外皮断熱仕様や空気調和設備を整理した。

(2) 温度・相対湿度・気流に関して建築物衛生法に準拠した測定方法により、2 種類の環境測定モニター（ビル管セット）を用いて現場立入調査を実施した。温度と気流はいずれの建物でも建築物衛生管理基準値を満たしていた。相対湿度については一部の建物で管理基準値を下回る建物があったが、全体的には基準値と同等程度の建物が多かった。また、2 種類の測定機器による差は小さくなく、測定機器の差の最大値は温度が 0.3K、相対湿度が 2.7%RH、気流が 0.04m/s であった。

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度 0.15mg/m³ に比べると低濃度であった。測定機器間では平均 0.0043±0.0027 mg/m³ の差が見られた。

CO の外気濃度は 0.1 ppm 程度、室内 CO 濃度も 0.1ppm 程度と等しく、室内 CO 濃度は殆どが外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に対して低い水準であった。

CO₂ に関しては外気濃度平均 470ppm 程度に対して、室内平均 630～710ppm 程度であった。管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されていた。昨今の新型コロナ感染症による換気量の増大や在宅勤務による在室者数の縮小などが影響していると考えられる。

機器による測定値の差が見られ、CO は 0.026±0.015ppm、CO₂ は平均 75±40ppm で濃度差の範囲は 4～141ppm であった。

校正の問題や、機器によるセンサー感度の違いも見られた。

(3) 化学物質濃度の現状把握として、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質（13 個別物質及び TVOC）を中心にアクティブサンプリング法を用いて調査を行った。結果、ホルムアルデヒド及び個別指針物質については濃度を超過する建物はなかった。TVOC 濃度については、2 件の建築物において暫定目標値（ $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過した。これは、厚生労働省の指針物質は低濃度であったが、2E1H 及び芳香族炭化水素類の濃度が高かったことが原因である。

(4) 6 粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向が見られた一方、一部室内における $1.0\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所もあり、OA 機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減していた。

小さな粒径の粒子において IO 比 <1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持され、 $10\mu\text{m}$ の大きな粒子は IO 比 >1 の室内が多くなっている。細かい粒子は外気由来であり空調システムで一部除去されるため室内濃度は外気より低くなるのが一般的な傾向であるが、大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

C.3 温熱環境の測定

ASHRAE55-2020 には BAS (building automation system) による環境評価法が解説されている。ここに規定される測定機器の精度は現行の建築物衛生法で定められる精度と比較して高く、測定位置は室中央だけでなく極端な環境になる点も測定すること、測定高さは 1 点ではなく 3 点を測定することが規定されている。

測定精度を高く規定していることから ASHRAE55 に準拠した室内温熱環境の測定を行った。この測定結果より、①窓面方向で放射温度が下がりやすく不均一な放射環境となる、②階段室や開放された空間に隣接している場所では冷気の流入により足元の空気温度が低くなることもある、③建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることもある、といった室内環境の詳細分析が可能となる。

更に、この測定に IoT センサーを活用できるかを検証した。対象建物に設置した IoT センサーにより計測した室内環境のヒストグラム、特別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率（適合頻度）を算出した。結果、温度と CO_2 濃度はほとんどの時間帯で管理基準値を満たしていた。相対湿度は E ビルと F ビルでは全時間で基準を満たしていたが、その他の建物では基準値外となる時間率が高く、特に、北海道に建つ建物の相対湿度は低い傾向にあった。

IoT センサーは設置の自由度が高く、それらの連続的なデータ収集も簡便に行うことが可能となる。室内環境の平面分布、上下温度分布等の詳細分析が可能となるほか、定点測定結果ではなく連続計測結果を集計し統計処理した評価も可能になることから、現行の定点測定より適切な衛生環境管理ができる可能性がある。一方で、浮遊粉じん、 CO 、気流の連続測定が可能な手軽なセンサーはまだないのが現状である。

校正頻度等の課題もあることから引続き検討を行う必要がある。

C.4 空気環境衛生管理に向けた IoT センサー活用手法の検討

(1) IoT センサーの測定値比較では、3 件の建物（A ビル、D ビル、E ビル）に設置した 4 種の IoT センサー（センサー A、B、C、D）の

測定値を比較した。IoT センサーは CO₂ 濃度の手動校正・自動校正の有無等の機能が異なるほか、データ容量の有無等の IoT センサーの特徴がある。

温度についてはセンサーD の測定値が他の IoT センサーの測定値と比較して 0.5K 以上低くなっており、センサーD を除いた 3 種の IoT センサーの差は 0.5K 以内であった。

相対湿度についてはセンサーB の測定値が他の IoT センサーと比較して 10%RH 以上高くなることもあり、測定機器の個体差が見受けられた。

CO₂ 濃度については初期濃度から差が現れた建物においては 100ppm 以上の差異が見受けられたが、全体的には多くの時間帯で 100ppm 以下の差であった。

(2) IoT センサーと現場立入測定の測定値比較では、現場立入測定を実施した同時刻の瞬時値を比較した。

温度については IoT センサーと現場立入測定の結果は 1K 程度の差、相対湿度についてはセンサーB を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は ±5%RH 程度の差、CO₂ 濃度についてはセンサーC を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は ±100ppm 程度の差であった。

(3) 温湿度・CO₂ 濃度の平面分布の測定では、冬期の温度の平面分布については外皮に近いペリメータゾーンで低くなる傾向が見受けられた。また、相対湿度については多くの建物で平面分布は見られなかったが、測定値は温度に影響されることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。

以上の結果より、IoT センサーは現場立入測定の結果と概ね同等の結果が得られていると考えられるが、測定機器の個体差がある、CO₂ 濃度の初期値の設定、浮遊粉じんの量・CO 濃度・気流の連続測定センサーの開発、適切な測

定位置等の課題があることから、引続き調査・測定を行う予定である。

浮遊粉じん濃度について、大気環境の改善や空調性能の向上等により管理基準値より十分に低いことが知られている。また、連続測定が可能な小型センサーもまだ存在しない。一方、粒径 2.5μm 以下の粒子 (PM_{2.5}) については健康影響が大きいことから、室内環境測定に利用可能な測定機器の調査を行っている。小型センサーによる PM_{2.5} 濃度測定結果からは、センサー個体差、機器間の精度、換算係数、校正の方法等を考慮する必要性が示唆された。

C.5 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

BEMS を導入している 3 棟のオフィスビルを対象にデータ収集を行い、BEMS データの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域とインテリア壁面設置センサーで近い値を取るため、この 2 箇所は空気環境管理に利用できる可能性が高いが、ペリメータ壁面や還気ダクトへの設置センサーはゾーニングや空調方式の影響を受ける可能性があること、②相対湿度はセンサーの測定精度等の影響で一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高いこと、③CO₂ 濃度は空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取り、空気環境管理へ応用の可能性が高いが、センサーの校正の影響を大きく受けることが示唆された。

時系列分析の結果、①温度は朝の暖房立ち上がり時に低く、特に建物を使用していない連休明けに注意が必要であること、②CO₂ 濃度は朝から夕方にかけて上昇していく傾向を示し、夕方に 1000 ppm 以下を達成できるかがポイントとなることが示された。

従来の2か月以内に1回、午前と午後にスポットで測定する環境衛生管理手法では把握できない時刻変動が見えることで、基準を逸脱している場合の原因特定や対策立案が容易になること、基準を逸脱している時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMSによる空気環境管理の大きな長所と言える。一方で、通常BEMSデータとして測定している項目が温度、相対湿度、CO₂濃度の3項目しかなく、浮遊粉じん、CO濃度、気流の3項目については別途測定を行う必要があるため、人的コストの削減などは課題である。

C.6 水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討

衛生管理業務の実態に関して聞き取り調査を行った結果、水質検査においては担当者が採水箇所を訪問し、手動で採水もしくは原位置での分析を実施している項目が多く、自動もしくは連続測定装置による測定を採用している事例は調査した範囲では見られなかった。

自動もしくは連続測定技術の動向としては、残留塩素濃度など、電極を活用して測定できる項目に関しては、IoT化に向けて必要な通信機能(アナログ出力やデータ通信機能など)を備えた測定装置が多数販売されている。

一方で、定期検査が必要な水質項目の中には自動もしくは連続測定が困難と考えられる項目も含まれている。これらの項目に関しても、研究段階のものも含めるとほぼすべての水質項目について、測定可能な技術が検討されていた。IoT技術を活用した水の衛生管理の市場規模が拡大すると、関連する技術の開発が加速する可能性が期待される。

C.7 水の衛生管理の改善に向けたBEMSデータ活用可能性の検討

水に関連する項目としては流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目が中心となっていた。一方で、水質関

連の項目に関しては、調査対象とした建築物の範囲では収集事例が見られなかった。

BEMSによる連続データの収集項目のうち、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることによって受水槽の滞留時間管理に活用できる可能性が考えられる。特定建築物における上水流量の利活用状況を調査したところ、多くの建築物において上水流量の測定結果は活用されておらず、一部の建築物においては連続データの収集対象となっていなかった。調査対象とした建築物においては、上水流量の利活用は低調であるといえる。

上水流量測定結果を活用した受水槽滞留時間管理技術に関して、予備的な検討を実施した。

調査対象とした建築物の中から1建築物を選定し、受水槽有効容積と上水流量測定結果から受水槽内滞留時間の12時間平均値を算出した。受水槽設計指針より検討用の滞留時間管理目標値として12時間を設定した場合、深夜から早朝にかけて検討用管理目標値を超過する時間帯が認められた。

一方で、上水流量測定結果に応じ、自動的に捨水を実施する受水槽滞留時間自動制御技術を導入した場合を想定した滞留時間算出結果では、検討用管理目標値を超過する時間帯が大幅に減少していた。

このようなBEMSデータを活用した建築物衛生管理手法を導入した場合の効果(消毒副生成物関連項目の改善効果など)を検討することで、IoTを活用した建築物衛生管理手法の検討を促進させることができる可能性が考えられる。

C.8 IoT技術を活用した管理手法の調査

(1) IoTカメラによる日常点検と解析技術では、温湿度計・圧力計等の計器類の付近に電池だけで長期間稼働可能なカメラを設置し、計器盤などの定期的な撮影・画像の保存とAIによる解析を駆使して異常値を検出するなど日常

点検を可能にしていた。

(2) 3次元CADモデリング化とシミュレーション技術では、複雑で設計データがない建物や図面がない室内などで3次元CADデータが必要な場合に有用で、温熱・気流・汚染物質濃度・換気など室内環境の数値流体解析、建物や設備管理や改修計画、などに活用できる。

(3) ねずみ等の防除に関する事例では、赤外線暗視カメラ・粘着紙・振動板センサーによるねずみ等の生息調査が可能であった。飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成システムは、25種類の昆虫の自動同定+個体数判断がAI技術により可能で、捕虫紙で捕獲した昆虫の写真を転送のみで、同定・検数・報告書の自動作成も可能である。

人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の新技術の建築物衛生管理への適用は大きく期待できる。

D. まとめ

本研究では、自動測定によるデータの精度を検証するとともに、自動測定で得られるデータを活用することによって、現行の測定方法よりも適切な維持管理を行うことができるかどうかを検証している。

以下に結果と知見を纏める。

1) 統計報告から、ここ30年間は特定建築物の空気環境6要素の中でCO₂、温度、相対湿度の不適率の経年変化はいずれも値が高く、上昇する傾向にあった。2017年度に不適率はピークを示しそれ以降は横ばいの状態であるが、2021年度は新型コロナの影響により、CO₂濃度の不適率が14.5%と大幅に減少した反面、温度及び相対湿度は34.6%、59.8%と更に上昇している。

2) 現場立入測定では、温度、浮遊粉じん、気流、CO濃度については管理基準値を満足していた。相対湿度は一部建物で冬期湿度が40%RHを下回りやや低かったが、顕著に低い

物件はなかった。CO₂濃度は外気濃度平均470ppm程度に対して、室内平均630~710ppm程度であった。大きな差ではないものの測定機器による校正の問題や、センサー感度の違いも見受けられた。

化学物質では厚生労働省の指針物質の中で問題になる物質はなく、TVOCが暫定目標値を超える物件があった。また、指針物質ではないが2E1H濃度が高く観察される物件があった。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気濃度が室内濃度より高い傾向が見られた一方、一部室内における1.0μm以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所があった。OA機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減していた。

3) ASHRAE55に準拠した室内温熱環境の測定を行った。結果、窓面方向で放射温度が下がりやすく不均一な放射環境となる、②階段室や開放された空間に隣接している場所では冷気の流入により足元の空気温度が低くなることがある、③建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることがあった。

こちらに関連した測定にIoTセンサーを活用できるかを検証した結果、IoTセンサーは設置の自由度が高く、それらの連続的なデータ収集も簡便に行えた。室内環境の平面分布、上下温度分布等の詳細分析が可能となるほか、定点測定結果ではなく連続計測結果を集計し統計処理した評価も可能になることから、現行の定点測定より適切な衛生環境管理ができる可能性が示された。一方で、IoTセンサーは個体差や校正頻度等は課題である。

4) 温度、相対湿度、CO₂濃度用のIoTセンサー一間の比較では、温度と湿度に関しては概ね良

好な精度が確保できていた。CO₂センサーも全体的には100ppm未満の差が多かった。一方で、センサーの個体特性や初期設置（校正）によって測定値に差が開いてしまうことがあった。

立入測定とIoTセンサー測定の比較では大きな差異は生じず、概ね良好な結果が得られた。平面分布では、外皮に近いペリメータゾーンで冬期温度低くなる傾向が見られた一方、相対湿度の平面分布はほぼ見られなかった。しかしながら、測定値は温度に影響されることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。

5) BEMS データから空間分布分析の結果、温度は居住域とインテリア壁面設置センサーで近い値を取るため、この2箇所は空気環境管理に利用できる可能性が高いが、ペリメータ壁面や還気ダクトへの設置センサーはゾーニングや空調方式の影響を受ける可能性があった。相対湿度はセンサーの測定精度等の影響で一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高い。

CO₂濃度は室内空間とは離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取り、空気環境管理へ応用の可能性が高いが、センサーの校正の影響を大きく受けることが示唆された。

既存の法定測定法では把握できない時刻変動が見えるため、基準不適の原因特定や対策立案が容易になること、また不適の時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMSによる空気環境管理の大きな長所である。一方、BEMSは通常、温度、相対湿度、CO₂濃度の3項目しか対応していないのが課題である。

6) 水質検査においては自動・連続測定装置による測定を採用している事例は見られなかった。

一方、連続測定が困難と考えられる項目関し

ても、研究段階のものも含めるとほぼ全ての水質項目について、測定可能な技術が検討されていた。

水に関連するBEMS項目としては流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目が中心となっていた。特に、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることによって受水槽の滞留時間管理と水質改善に活用できる可能性が示された。

7) IoTカメラ画像とAIによる画像解析を建物設備の日常点検と異常値検出に利用する技術や、カメラ、振動センサーによるネズミ等の生息と行動調査、画像解析による昆虫の同定と報告書の自動作成など、建築物衛生分野でもIoT技術を駆使した技術が開発され、実際にサービスを提供している企業も増えており、人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の技術の建築物衛生管理への適用が期待できる。

E. 健康危険情報

該当なし。

F. 研究発表

該当なし。

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

該当なし。

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

1. 特定建築物の報告統計

分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学	教授
代表研究者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員
分担研究者	中野 淳太	東海大学	准教授
分担研究者	海塩 渉	東京工業大学	助教

研究要旨

建築物衛生法においては対象となる特定建築物の維持管理手法として、環境衛生管理基準値を定め、測定を行い基準値と比較して、適切な維持管理を行っているところである。近年の特定建築物における現状の把握については、全国の特定建築物の報告データを用いて行うことが可能である。本報告では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた空気環境項目の不適率の最新動向について整理を行った。

特定建築物の各環境要素について二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率の経年変化はいずれも値が高く、上昇する傾向となった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。一方、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移していた。

なお、新型コロナウイルス感染症による建築物衛生への影響として、2021年度は二酸化炭素濃度の不適率が大幅に減少する一方、温度及び相対湿度は上昇している。二酸化炭素濃度の不適率が最も高かった2017年度は二酸化炭素、温度、湿度の不適率がそれぞれ27.7%、31.9%、57.2%であったが、2021年度は14.5%、34.6%、59.8%と二酸化炭素濃度は大幅に減少している反面、温度と相対湿度は過去最高値を更新した。

原因は新型コロナ感染症防止対策として、換気量を増強したことによるものと考えられる。

研究協力者

増田 貴則	国立保健医療科学院
三好 太郎	国立保健医療科学院
樺田 尚樹	産業医科大学

は、17℃以上が、18℃以上となった。温度、相対湿度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素濃度、気流、浮遊粉じんの6項目について2カ月以内ごとに1回測定し、基準値との比較を行うことで、適切な維持管理を行うことになっている。ホルムアルデヒドについては、新築または大規模模様替えを行った後、最初に来る6月から9月の間に1回測定する。近年、温度、相対湿度、二酸化炭素の濃度の不適率が上昇する傾向にあることは本研究の関連研究で既に報告されている^{1,2)}。

本報告では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査

A. 研究目的

建築物衛生法では対象となる特定建築物の維持管理として、環境衛生管理基準値が表1-1のように定められている。なお、2022年から、一酸化炭素の基準値として10 ppm以下であるところが、6 ppm以下であることと、20 ppm以下の特例が削除された。さらに温度について

のデータを用いた全国都道府県の不適率の最新動向について整理を行った。

表 1-1 空気環境に関する建築物環境衛生管理基準

浮遊粉じんの量	0.15 mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	10 ppm 以下 (6 ppm 以下に改正)
二酸化炭素の含有率	1000 ppm 以下
温度	17°C以上 28°C以下 (18°C以上に改正)
相対湿度	40%以上 70%以下
気流	0.5 m/秒以下
ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m ³ 以下 (= 0.08 ppm 以下)

B. 研究方法

厚生労働省が各都道府県、保健所設置市、特別区における建築物衛生の実態を把握することを目的とし、毎年集計を行っているもので、独立行政法人統計情報センターで公表されている。そこで、公表されている全国の建築物の維持管理に関するデータを用いて、基準値に適合しなかった建物の割合、不適率の動向の整理を行うことにより、建築物における環境衛生の実態、不適率の状況について把握することができる。ここで示す建物維持管理のデータは、建築物の維持管理項目ごとの調査件数及び不適件数が集計されている。また、対象期間は平成 8 年度から令和 3 年度 (1996-2021 年度) までで、不適率の推移を見ることができる。なお、建築物の維持管理項目は、帳簿 (1 項目)、空気環境の調整 (16 項目)、給水の管理 (10 項目)、雑用水の管理 (9 項目)、排水設備 (1 項目)、清掃 (1 項目)、防除 (1 項目) に分けられている。用途は興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、旅館、その他と分かれており、それぞれの用途別ごとの不適率の比較をすることができる。これらのデータに基づき、用途別不適率及び不適率の経年変化を集計し、建物維持管理の問題点の抽出を行った。ここでは、空気環境の調整の内、空気環境の測定項目について述べる。

なお、令和 4 年 (2022 年) に一酸化炭素濃度と温度の建築物環境衛生管理基準値の改正が行われたが、本報においては改正前の調査結果である。

C. 研究結果および考察

C.1. 空気環境項目別の不適率の経年変化

図 1-1 に空気環境 7 項目 (浮遊粉じん、二酸化炭素、一酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒド) の不適率の経年変化を示す。浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移している。一方、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、いずれも値が高く、3 回の顕著な上昇が見られた。1 回目は平成 11 年度 (1996 年度) (相対湿度)、2 回目は平成 15 年度 (2003 年度) (温度、相対湿度、二酸化炭素濃度)、3 回目は平成 23 年度 (2011 年度) (温度、相対湿度、二酸化炭素濃度) であった。それぞれは省エネ法の改定と建築物衛生法改定の翌年、東日本大震災の年と重なる。省エネのために、設定温度・相対湿度の設定・制御の問題、換気量を削減することなどにより、基準値を逸脱する事例が増加したものと考えられる。また、平成 15 年度 (2003 年度) における建築物衛生法の改定により、個別空調方式の建物が特定建築物の適用範囲となったため、基準値の不適合の件数が増加したことが考えられる。なお、平成 25 年 (2013 年度) に相対湿度の不適率が一旦減少に転じているが、その原因として加湿器を設置してない建築物において、相対湿度との比較を行わなくてよいとの通知が提出されたことも関係すると考えられる。二酸化炭素については、平成 29 年度 (2017 年度) までは上昇傾向であったが、その後若干の減少に転じている。また、新型コロナウイルス感染症の流行が始まった令和 2 年度 (2020 年度) においては、感染症対策のため換気の増強、窓開け換気の励行を行っていたところである。二酸化炭素濃度の不適率については、前年から若干の低下が見られるとともに、温度については若干の増加に転じていた。さらに令和 3 年 (2021 年) には、二酸化炭素濃度の不適率が劇的に低下し、温度及び相対湿度の不適率も引き続き上昇していた。換気の増強、窓開け

換気の実施により、二酸化炭素濃度を低下させたとともに、特に夏期の空調時の温度が基準値の範囲に収まらなかったことが考えられる。なお、令和3年(2021年)においても在宅勤務の推進によって、室内の在室者数が減少したことも二酸化炭素濃度の不適率が改善されたことに寄与しているとも考えられる。

図1-2から図1-8に浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒドの用途別不適率の経年変化を示す。図1-1で示したように、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率を推移しており、用途によって特に特徴はない。ただし、ホルムアルデヒドにおいて、例えば平成27年度(2005年度)の百貨店で高い不適率となっているのは、対象となった30棟と建物数が少ないことで値が大きく変動したものと考えられる。

図1-4の二酸化炭素については、旅館を除けば、全ての用途で軒並みに上昇し続けている。特に学校と事務所の上昇が著しく、平成8年度(1996年度)の10%程度に比べ、令和元年度(2019年度)は4倍超となった。いずれの用途においても、新型コロナウイルス感染症の流行が始まった令和2年度(2020年度)に減少、令和3年度(2021年度)に大きく減少に転じており、どの用途においても、感染症対策のため換気の増強、窓開け換気の励行を行ったためと考えられる。学校については、学校保健安全法の学校環境衛生基準において、換気の基準として1500ppm以下であることが望ましいとしており、特定建築物となっている学校建築においては、同じ二酸化炭素濃度であっても、基準値が異なっていることも要因として考えられる。旅館において不適率が低い要因としては、計測場所・時間など測定条件に起因することも考えられる。例えば、宴会場において、宴会の最中に計測がされているかといえ、困難であることが想像される。

図1-5の温度については、いずれの用途も上昇傾向にあり、学校、百貨店、店舗の不適率が特に高い傾向であった。学校については二酸化炭素と同様に学校環境衛生基準に、望ましい基準として10℃以上、30℃以下であるとしていた

ため、建築物衛生法とは異なっていたことが原因の一つと考えられる。しかしながら、平成30年(2018年)に、17℃以上、28℃以下と改正され、建築物衛生法と一旦は同じ値になった。令和元年度(2019年度)には一旦不敵率に改善の傾向が見られたものの、新型コロナウイルス感染症の対策のため、2020年度は再度増加したものと考えられる。

図1-6の相対湿度については、どの用途も同様に上昇傾向が見られる。

ホルムアルデヒドについては、基準値として制定された当初から、低い不適率を推移している。住宅においては、気密性の向上による換気の減少、フローリングや壁紙に使用される接着剤などの多用から発生するホルムアルデヒドなどの化学物質の室内濃度が高くなることで、シックハウス症候群、化学物質過敏症の主要原因となっていた。その対応として、厚生労働省から化学物質の指針値を制定、建築基準法によりホルムアルデヒド発散建材の使用制限、24時間換気設備の設置義務化とともに、発生源である内装材料からの化学物質の発生が少なくなったことで、住宅室内の化学物質濃度が低下している。一方、特定建築物においては、二酸化炭素濃度の基準値より、一定の換気量が確保されていること、住宅とは異なる内装材料を用いていることからホルムアルデヒドの発生量は比較的少ないこともあり、不適率としても低いものとなっていると考えられる³⁾。

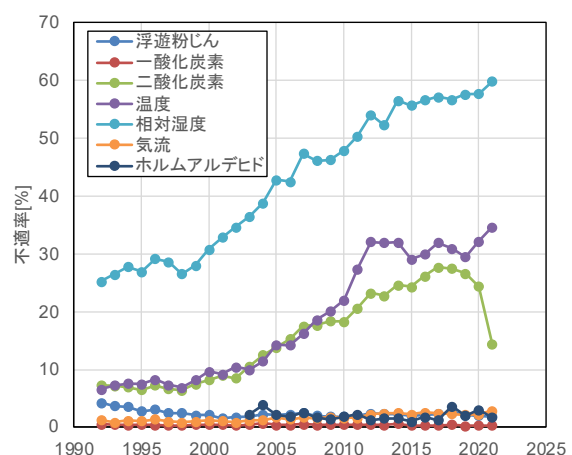


図1-1 空気環境7項目の不適率の経年変化

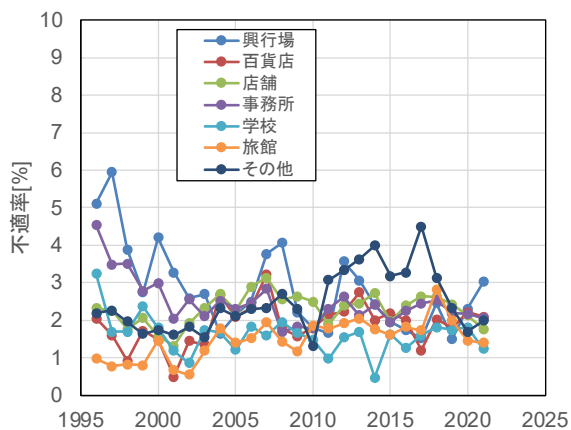


図 1-2 用途別の浮遊粉じん濃度不適率の経時変化

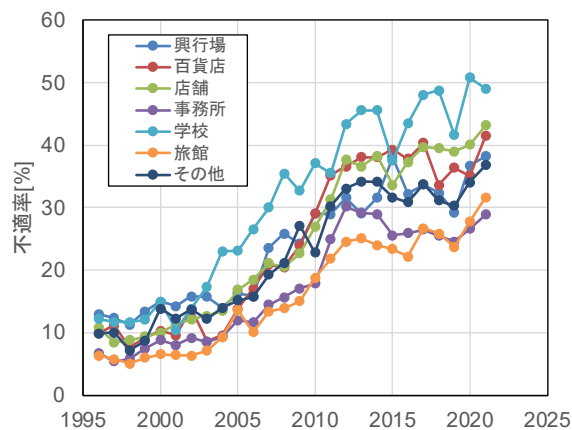


図 1-5 用途別の温度不適率の経時変化

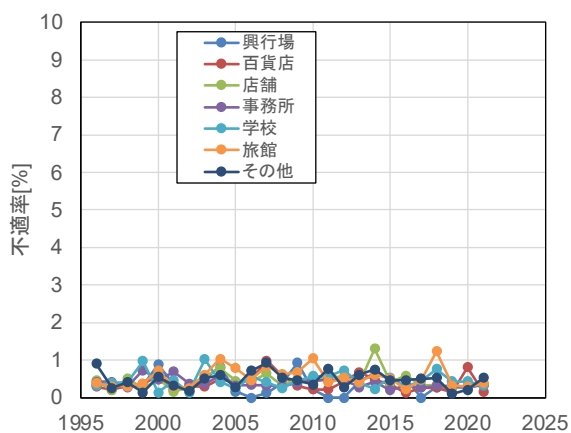


図 1-3 用途別の一酸化炭素濃度不適率の経時変化

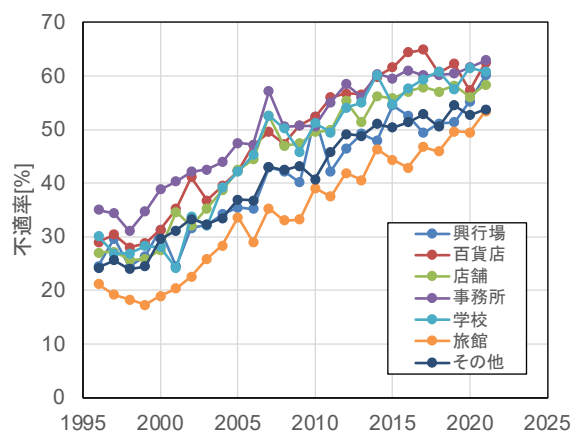


図 1-6 用途別の相対湿度不適率の経時変化

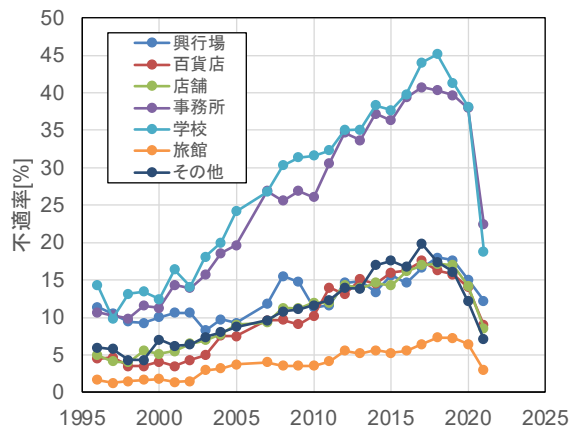


図 1-4 用途別の二酸化炭素濃度不適率の経時変化

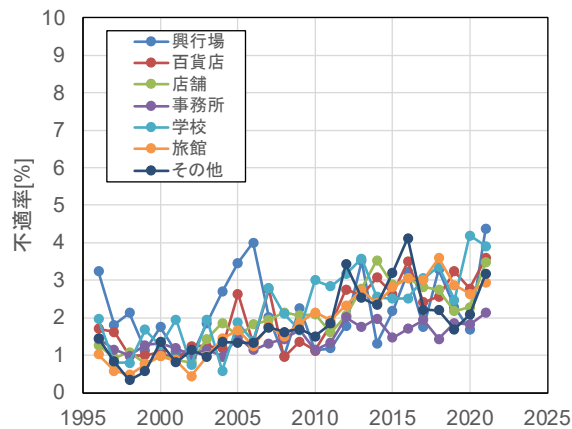


図 1-7 用途別の気流不適率の経時変化

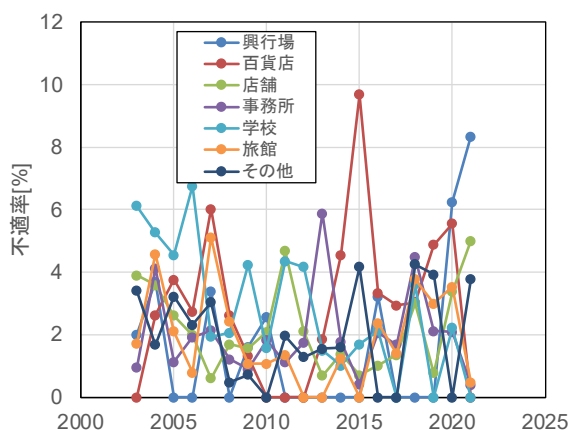


図 1-8 用途別のホルムアルデヒド濃度不適合率の経時変化

C.2 考察

空気環境項目別の不適合率の経年変化より、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度については、年々上昇する傾向となり、特に二酸化炭素濃度は換気に関わる項目であることから、室内空気質への影響が懸念される。しかしながら、ホルムアルデヒド濃度については、基準に制定されて以来、低い不適合率となっており、換気不足による濃度上昇の傾向は見られない。これには、住宅とは異なりホルムアルデヒドを多量に発生する建材を使っていないこと、ある程度の換気ができていることなどが挙げられる。なお、ホルムアルデヒド以外の化学物質については、二酸化炭素濃度の不適合率が高い傾向であることから、換気が十分とは言えず、ホルムアルデヒドとは異なる発生源であれば、室内濃度が高くなる可能性もある。新型コロナ対策として、窓を開けた換気を行ったことにより、二酸化炭素濃度の不適合率は令和3年度(2021年度)に大きく減少する傾向になったが、温度及び相対湿度の不適合率はさらに上昇しており、一過性のものと考えられるが、温熱環境への影響が課題である。

D. まとめ

これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた不適合率の最新動向について整理を行った。

特定建築物の各環境要素について二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適合率においては、

いずれも値が高く、上昇する傾向となった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。また、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適合率で推移している。なお、新型コロナウイルス感染症の対策の実施から、二酸化炭素濃度だけではなく、温度及び相対湿度の不適合率についても影響を及ぼしていることが示唆された。

E. 参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 大澤元毅, 鍵直樹, 柳宇, 斎藤秀樹, 鎌倉良太: 建築物における衛生環境とその維持管理に関する調査解析, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.37, No.179, pp. 19-26, 2012.9
- 2) 林基哉, 金勲, 開原典子, 小林健一, 鍵直樹, 柳宇, 東賢一: 特定建築物における空気環境不適合率に関する分析, 日本建築学会環境系論文集, Vol.84 No.765, pp.1011-1018, 2019.11
- 3) 鍵直樹, 池田耕一, 柳宇, 長谷川あゆみ, 藤井修二: パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討, 日本建築学会環境系論文集, 日本建築学会, Vol.74, No. 638, pp. 501-506, 2009.4

F. 研究発表

1. 論文発表

鍵直樹: 建築物環境衛生管理基準における空気環境の不適合率の状況, ビルと環境, No.178, pp. 53-57, 2022.9

2. 学会発表

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

2. 室内環境に関する現場調査

代表研究者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学	教授
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員

研究要旨

1年目では建物7施設11フロアにIoTセンサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温湿度、粒径2.5μm以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の測定を行っている。そのうち、建物6件9フロアを対象に建築物衛生法で定められる立入測定を実施した。

6件の建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造のほか、外皮断熱仕様や空気調和設備を整理した。

温度・相対湿度・気流に関して建築物衛生法に準拠した測定方法により、2種類の機器を用いて現場立入調査を実施した。温度と気流はいずれの建物でも建築物衛生管理基準値を満たしていた。相対湿度については一部の建物で建築物衛生管理基準値を満たしていない建物もあるが、測定機器の精度を考慮すると基準値と同等程度の建物も多かった。また、2種類の測定機器による差は大きくなく、測定機器の差の最大値は温度が0.3K、相対湿度が2.7%RH、気流が0.04m/sであった。

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度0.15mg/m³に比べると低濃度であった。測定機器間では平均0.0043±0.0027 mg/m³の差が見られた。

化学物質濃度の現状把握として、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質（13個別物質及びTVOC）を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。結果として、ホルムアルデヒドおよび指針物質については濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、2件の建築物において暫定目標値を超過した。厚生労働省の指針物質は低濃度であったが、2E1H及び芳香族炭化水素類の濃度が高かったことが原因であった。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向が見られた一方、一部室内における1.0μm以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所もあり、OA機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減していた。

COの外気濃度は0.1ppm程度、室内CO濃度も0.1ppm程度と大差なく、室内CO濃度は外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に比べると低い水準であった。

CO₂に関しては外気濃度平均470ppm程度に対して、室内平均630～710ppm程度であった。管理基準1000ppmを上回る建物はなく、いずれの建物も1000ppmより低いレベルで管理されていた。昨今の新型コロナ感染症による換気量の増大や在宅勤務による在室者数の縮小などが影響していると考えられる。

機器による測定値の差が見られ、COは0.026±0.015ppm、CO₂は平均75±40ppm、濃度差の範囲は4～141ppmであった。

校正の問題や、機器によるセンサー感度の違いも見られた。

2-1. 建物概要

A. 研究目的

本研究では、6件の建築物を対象にIoTセンサーによる二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温湿度、粒径2.5μm以下の微小粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の測定ならびに建築物衛生法で定められる立入測定を実施する。温度は外皮断熱仕様、相対湿度は加湿量、CO₂濃度は換気風量、PM_{2.5}濃度はフィルター性能に大きく影響されることから、本節では6件の建物概要を整理する。

B. 研究方法

建物の各種データは担当者へのヒアリング若しくは建築図面から収集した。収集した項目は建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造、室概要としてフロア・室面積・天井高・室容積・床材を調査した。外皮断熱仕様は外壁・屋根・1階床・サッシ別に種類と厚さを調査した。空気調和設備は空調方式・空調吹出位置・空調能力・空調風量・台数・フィルター性能・加湿方式・加湿量・換気風量を調査した。

C. 研究結果

建物概要の調査結果を表2-1-1に示す。立地は北海道2件、関東近郊4件の計6件であり、1件あたり最大で2フロアの測定を行った。竣工年月は最も古い建物がAであり、最も新しい建物がCであった。延床面積はAが1551.0m²、Cが1113.2m²であり、当2件は特定建築物には該当しない。その他の建物は延床面積3000m²以上であり、特定建築物に該当する。測定対象室の床面積は最小が92.9m²（B-1）、最大が1555m²（E）であり、E・Fは比較的大平面のプランとなっている。関東近郊の外皮断熱仕様は外壁に15mm程度の断熱材が施工されているが、北海道は外壁に100mmの断熱材が施工されるなど高い外皮性能を有している。特にCはZEB（net Zero Energy Building）を達成している建物である。なお、サッシには低放射ガラスを採用している建物が多い。空調設備は一部パッケージエアコンが採用されているが、いずれの建物でも中央管理室から発停・制御を

行う方式であった。また、D・Fにはペリメータ部の熱処理のためにファンコイルユニット方式が併用されていた。空調吹出し位置はA・C・Fが床、B・D・Eが天井であった。

D. まとめ

本節では、測定対象とした6件の建物の概要を示した。本研究では、6件を対象に小型センサーによるCO₂濃度・温湿度・PM_{2.5}濃度の測定、建築物衛生法に準じた空気環境測定、放射熱環境測定を行う。また、BEMSデータの収集や特定建築物に該当するB・D・E・Fでは、建築物衛生法に係る定期検査結果のデータを収集し、これらの比較検証により、小型センサーやBEMSデータが建築物衛生管理に利用できる条件を明らかにする予定である。

なお、表2-1-1の建物記号は以降の章・節で共通の記号とする。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

表 2-1-1 建物概要

建物記号		A-1	A-2	B-1	B-2	C	D-1	D-2	E	F
建物概要	立地	埼玉県三芳町		北海道旭川市		北海道札幌市	埼玉県和光市		神奈川県藤沢市	神奈川県藤沢市
	竣工年/月	1992 / 03		2002 / 04		2021 / 06	2002 / 04		2006 / 11	
	延床面積(m ²)	1 551.0		8 356.0		1 113.2	15 978.7		17 863.5	9 132.1
	階数(地上/地下)	3 / 0		4 / 1		2 / 0	8 / 1		7 / 0	5 / 0
	軒高(m)	12.08				11.86	33.05		32.3	21.6
	構造	RC		S+RC		RC	SRC	RC	S一部RC	
室概要	フロア	2	3	1	4	2	1	4	2	2
	室面積(m ²)	354.0	354.0	92.9	164.8	259.2	97.2	104.4	1555.2	1305.0
	天井高(m)	2.7	2.7	3.0	2.8	4.35	2.7	2.6	2.8	2.8
	室容積(m ³)	955.9	955.9	278.6	461.4		262.4	271.4	4 370.1	3 654.0
床材	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)
外皮断熱仕様	外壁	15mm(種別不明)		現場発泡ウレタン 100mm		ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号 100mm			吹付硬質ウレタンフォーム 15mm	
	屋根	硬質ウレタンフォーム 25mm		押出法ポリスチレンフォーム 3種 150mm		押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 100mm			硬質ウレタンフォーム保温板 2種 2号 30mm	
	1階床	30mm(種別不明)				押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 100mm			押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 b	
	サッシ	熱線吸収フロートガラス		Low-E 複層ガラス		Low-E 二層複層ガラス (4+16+4) ※空気層不明			Low-E 二層複層ガラス (6+6+6)	南: Low-E 二層複層ガラス (6+12+6.8) 北: 熱線反射ガラス
空調調和設備	空調方式	外気処理エアコン+水熱源パッケージエアコン (中央管理)		中央式放射冷温水パネル+個別パッケージエアコン (中央管理+個別管理)		全面床染み出し空調+床放射空調による置換空調(中央管理)	定風量単一ダクト方式+ファンコイルユニット方式 (中央管理)		変風量単一ダクト方式	変風量単一ダクト方式+ファンコイルユニット方式
	空調吹出位置	床		天井		床	天井		天井	床
	空調能力(kW)	冷房: 11.2 暖房: 12.5		冷房: 42 暖房: 466×2		冷房: 27 暖房: 22			冷房: 329 暖房: 268	冷房計: 1407 暖房計: 1144
	空調風量(m ³ /h)	1 920		-		4 000				
	台数	各 2	各 2	PAC: 2	PAC: 2	1	FCU: 4	FCU: 2	3	
	フィルタ(外調)	比色法 65%				質量法 80%				
	フィルタ(空調)	ロングライフ		-		比色法 65%			比色法 90% 質量法 82	計数法 87% 質量法 38%
	加湿方式	蒸発式		なし		気化式			水気化式	水気化式
	加湿量(kg/h)	2.9		なし		2.4×3				
換気風量(m ³ /h)	500×2		パッシブ換気 (冬期) 2 000 (冬期以外)		960					

2-2. 温度、相対湿度、気流

A. 研究目的

建築物衛生法では、延床面積が 3000m² 以上の特定建築物において、空気調和設備・機械換気設備を設けている場合の空気環境の基準が定められている。空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準は浮遊粉じんの量が 0.15mg/m³ 以下、一酸化炭素（以降、CO）の含有率が 6ppm 以下、二酸化炭素（以降、CO₂）の含有率が 1000ppm 以下、温度が 18°C 以上 28°C 以下、相対湿度が 40%以上 70%以下、気流が 0.5m/s 以下と定められており、2 か月以内ごとに 1 回の測定が義務付けられている。

本研究では、IoT センサーや BEMS 等による自動測定によるデータの精度を検証することを主目的としているが、はじめに、その精度検証のベンチマークとして建築物衛生法に係る測定方法による測定を行った。本節では、6 件で測定した温度、相対湿度、気流速度の結果を報告する。

B. 研究方法

測定機器概要を表 2-2-1 に示す。測定には柴田科学株式会社製の室内環境測定セット：IES-5000 と日本カノマックス株式会社製のオートビル III：Model 2100 を用いた。測定原理はいずれも同一の方式であるが、CO₂は IES-5000 の方が測定範囲は広く、その他の項目は Model 2100 の方が測定範囲は広い。また、温度・CO₂（at 1000ppm）・浮遊粉じんの測定精度はいずれも同等であるが、CO（at 6ppm）の測定精度は IES-5000 の方が高く、相対湿度・気流の測定精度は Model 2100 の方が高い。

測定は北海道の 2 件は 2022 年 12 月、関東近郊の 4 件は 2023 年 2 月に実施した。各建物の平面概要図と測定点を図 2-2-1～図 2-2-9 に示す。水色陰影部が測定対象室を示しており、赤丸プロットが測定点を示している。測定は室内・屋外ともに 15～30 分間程度の測定を行い、内 10 分間の平均値で整理した。また、測定時の喫煙の有無、ドアの開閉、窓の開閉、OA 機器の有無、卓上加湿器の有無、薬品臭の有無、在室

表 2-2-1 測定機器概要

測定機器		室内環境測定セット：IES-5000 (柴田科学株式会社)	オートビルセット III：Model 2100 (日本カノマックス株式会社)
測定原理	温度	白金抵抗体抵抗式	白金測温抵抗体方式
	相対湿度	高分子薄膜静電容量式	静電容量式
	気流	ブリッジ平衡型定温度差動作方式（熱線方式）	熱線方式
	CO	定電位電解方式	電気化学方式
	CO ₂	非分散型赤外線方式	非分散型赤外線方式
	浮遊粉じん	光散乱方式	光散乱方式
測定範囲	温度	-10～60°C	-20～60°C
	相対湿度	5～95%	2～98%
	気流	0.05～2.00m/s	0.05～5.00m/s
	CO	0～100ppm	0.1～500 ppm
	CO ₂	0～10000ppm	0～5000 ppm
	浮遊粉じん	0.000～4.000mg/m ³	0.001～10.000mg/m ³
測定精度	温度	全域±0.5°C	±0.5°C
	相対湿度	±4%RH @25°C	2～80%：±2.0%RH 80～98%：±3.0%RH
	気流	全域±0.2m/s	0.05～0.99m/s：±0.02m/s 1.00～5.00m/s：指示値の±2%又は0.015m/sの いずれか大きい方
	CO	0～10ppm：±2.5ppm 10.1～100ppm：±5ppm	指示値の±3%又は±3ppmのいずれか 大きい方 @20°C
	CO ₂	0～2000ppm：±50ppm 2001～5000ppm：±100ppm 5001～10000ppm：±500ppm	指示値の±3%又は±50ppmのいずれか 大きい方 @20°C
	浮遊粉じん	±10%	±(指示値の10%+1)カウント

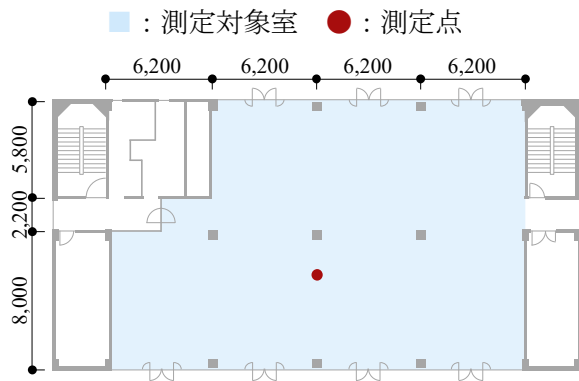


図 2-2-1 Aビル 2階平面概要図

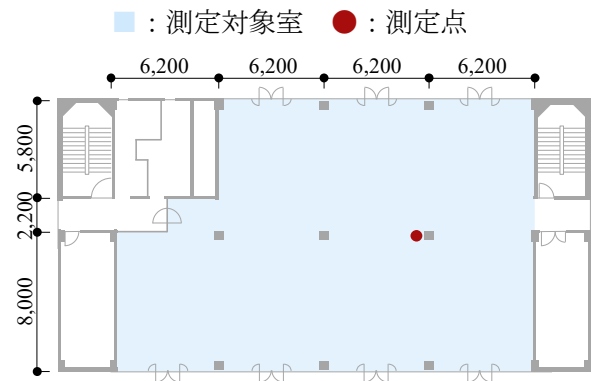


図 2-2-2 Aビル 3階平面概要図

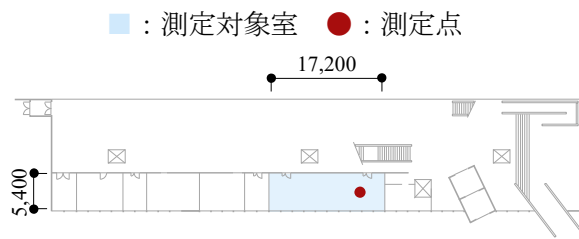


図 2-2-3 Bビル 1階平面概要図

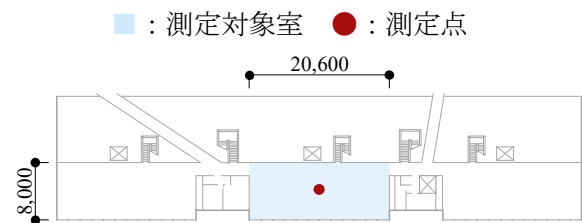


図 2-2-4 Bビル 3階平面概要図

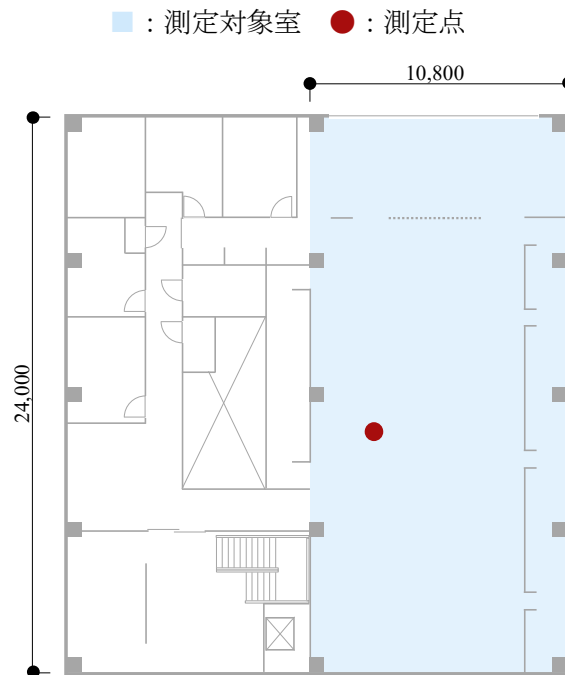


図 2-2-5 Cビル 2階平面概要図

■ : 測定対象室 ● : 測定点

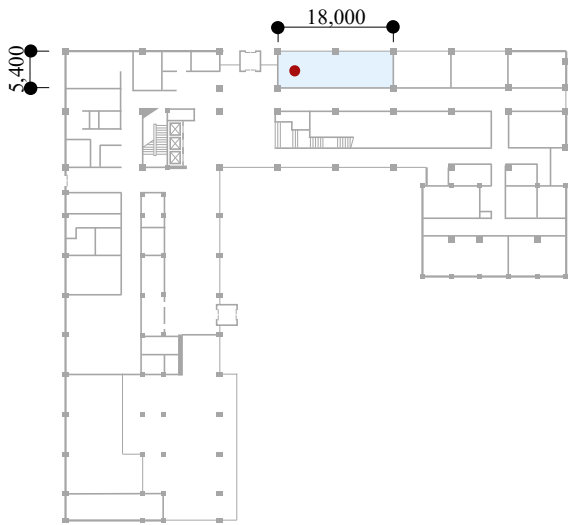


図 2-2-6 Dビル1階平面概要図

■ : 測定対象室 ● : 測定点

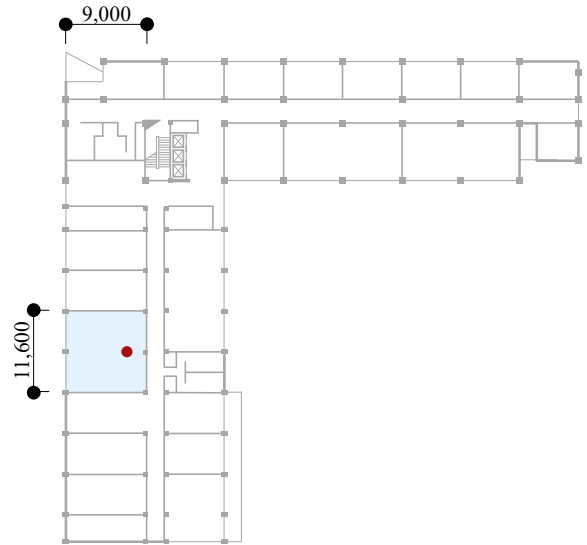


図 2-2-7 Dビル4階平面概要図

■ : 測定対象室 ● : 測定点

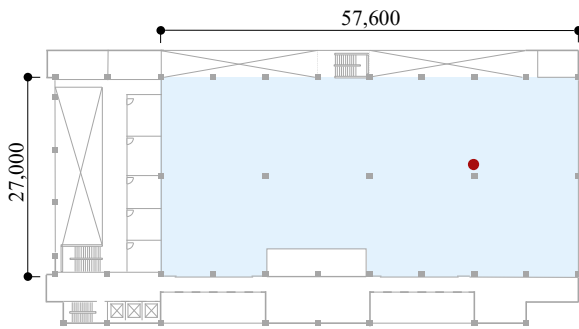


図 2-2-8 Eビル2階平面概要図

■ : 測定対象室 ● : 測定点

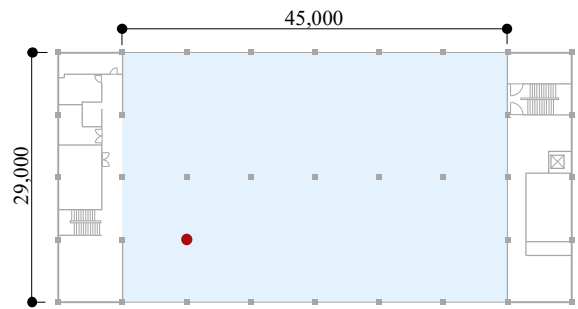


図 2-2-9 Fビル2階平面概要図

人数を目視にて調査した。

C. 研究結果

C.1. 測定時の各室状態

測定時の各室状態を表 2-2-2 に示す。室内の喫煙はすべての建物で無かった。また、冬期の調査であることからすべての建物で窓は閉鎖されていた。なお、B-2 については執務室とアトリウムが連続した空間となっており、ドアが無いという特徴がある。また、すべての建物で OA 機器は使用されており、卓上加湿器と薬品臭はすべての建物で無いという結果であった。なお、本結果は以降の節にも共通である。

C.2. 温度

温度の測定結果を図 2-2-10 に示す。1 分間隔の測定値に大きな変動は見られないが、B-2 において Model 2100 の結果が単調増加となっている。これは、測定機器を測定対象室に持ち込んだ直後に測定を開始したことによる影響と考えられる。10 分間平均温度を図 2-2-11 に示す。測定値が単調増加であった B-2 の Model 2100 の結果を除くと、最低値が 21.5°C (B-2)・最高値が 25.3°C (D-2) であり、いずれの建物も環境衛生管理基準を満たしていた。なお、IES-5000 と Model 2100 の結果は概ね同等であり、B-2 の結果を除くと測定機器の差の最大値は

0.3K (B-1) であった。

C.3. 相対湿度

相対湿度の測定結果を図 2-2-12 に示す。いずれの建物においても 1 分間隔の測定値に大きな変動は見られない。10 分間平均相対湿度を図 2-2-13 に示す。最低値が 23.9% (B-2)・最高値が 56.3% (F) であり、環境衛生管理基準を満たしていたのは E と F の 2 件であった。しかし、A-2・C・D-1 は約 40% であり、測定機器の精度を考慮すると概ね基準値と同等程度である。B-1・B-2 は相対湿度が 30% を下回っているが、北海道旭川市の低湿な気候が要因と考えられる。なお、IES-5000 と Model 2100 の結果は概ね同等であり、測定機器の差の最大値は 2.7%RH (A-2) であった。

C.4. 気流

気流の測定結果を図 2-2-14 に示す。D-2 は空調の影響により他の建物と比較して気流は大きい、最高値は 0.16m/s (D-2) であった。D-2 を除くといずれも多くは 0.1m/s 以下であった。10 分間平均気流を図 2-2-15 に示す。最低値が 0.02m/s (B-2)・最高値が 0.12m/s (D-2) であり、いずれの建物も環境衛生管理基準を満たしていた。なお、IES-5000 と Model 2100 の結果は概ね同等であり、測定機器の差の最大値は 0.04m/s (D-2) であったが、IES-5000

表 2-2-2 測定日時と測定時の各室状態

建物記号	A-1	A-2	B-1	B-2	C	D-1	D-2	E	F
測定日	23/2/17		22/12/8		22/12/9	23/2/22		23/2/16	23/2/16
室内測定 開始時刻	9:56	10:21	15:05	15:39	10:23	15:12	16:23	15:24	16:13
室内測定 終了時刻	10:13	11:01	15:19	16:00	10:39	15:26	16:37	15:40	16:32
分析開始時刻	10:00	10:25	15:07	15:40	10:25	15:15	16:25	15:28	16:17
分析終了時刻	10:10	10:35	15:17	15:50	10:35	15:25	16:35	15:38	16:27
屋外測定 開始時刻	11:17		未実施	未実施	未実施	16:43		16:59	
屋外測定 終了時刻	11:31		未実施	未実施	未実施	16:57		17:30	
喫煙の有無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
ドアの開閉	閉鎖	閉鎖	無	無	未確認	閉鎖	閉鎖	閉鎖	閉鎖
窓の開閉	閉鎖	閉鎖	閉鎖	閉鎖	閉鎖	開放	閉鎖	閉鎖	閉鎖
OA 機器の有無	有	有	有	有	有	有	有	有	有
卓上加湿器の 有無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
薬品臭の有無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

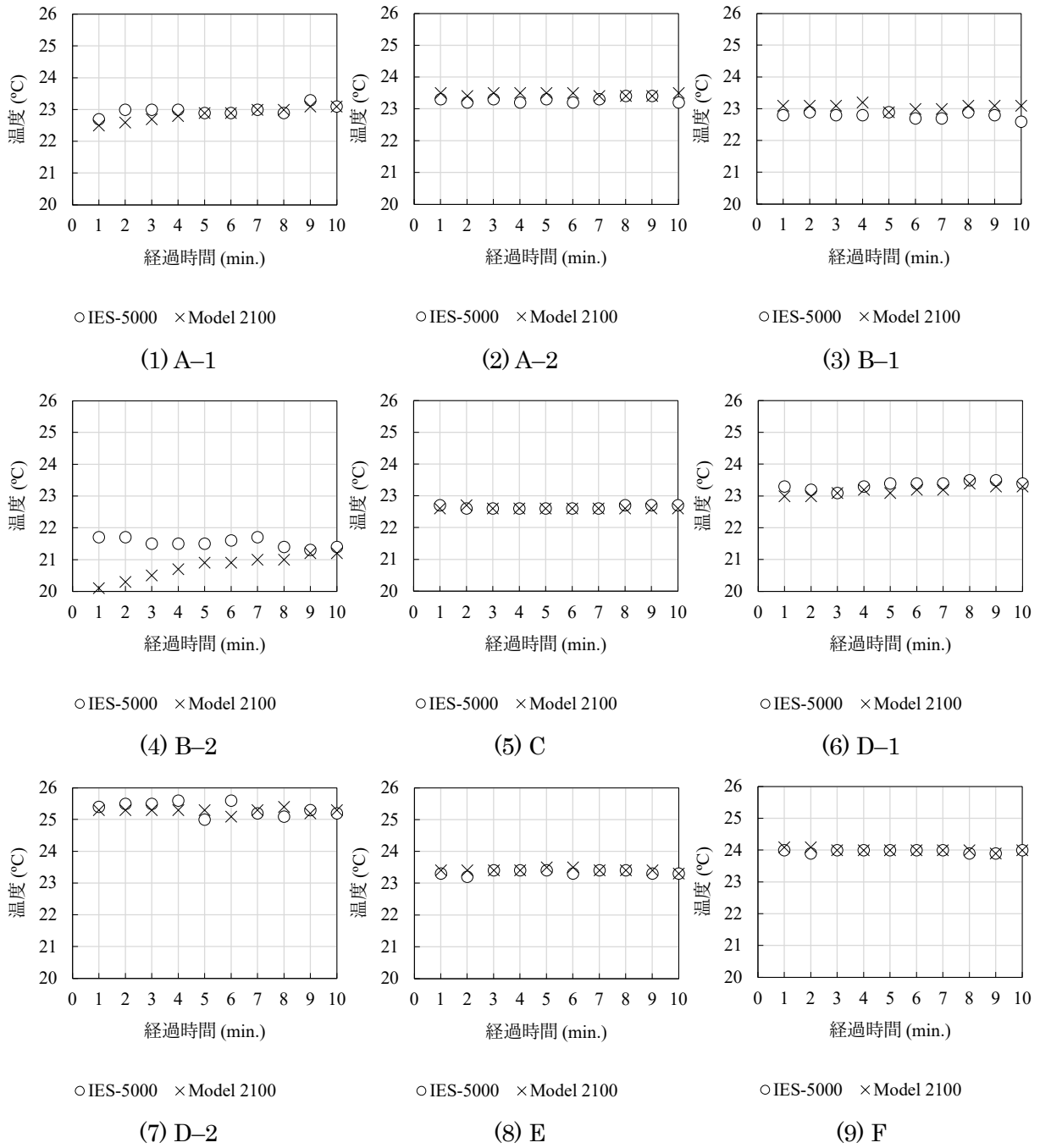


図 2-2-10 温度

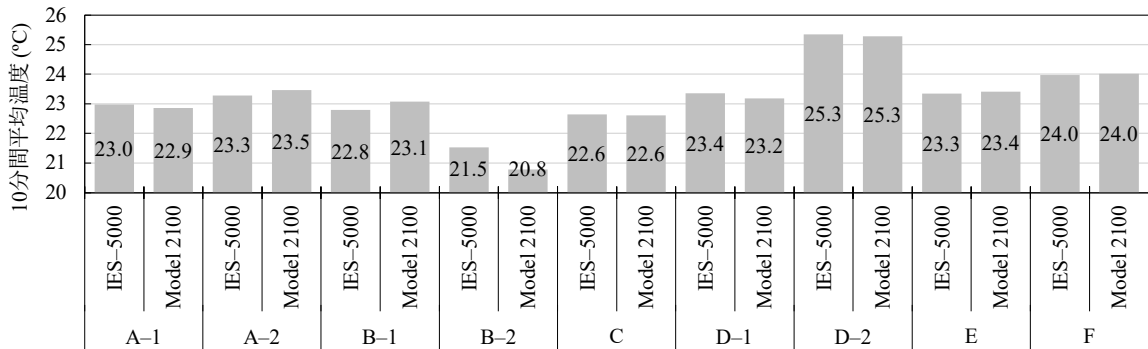


図 2-2-11 10分間平均温度

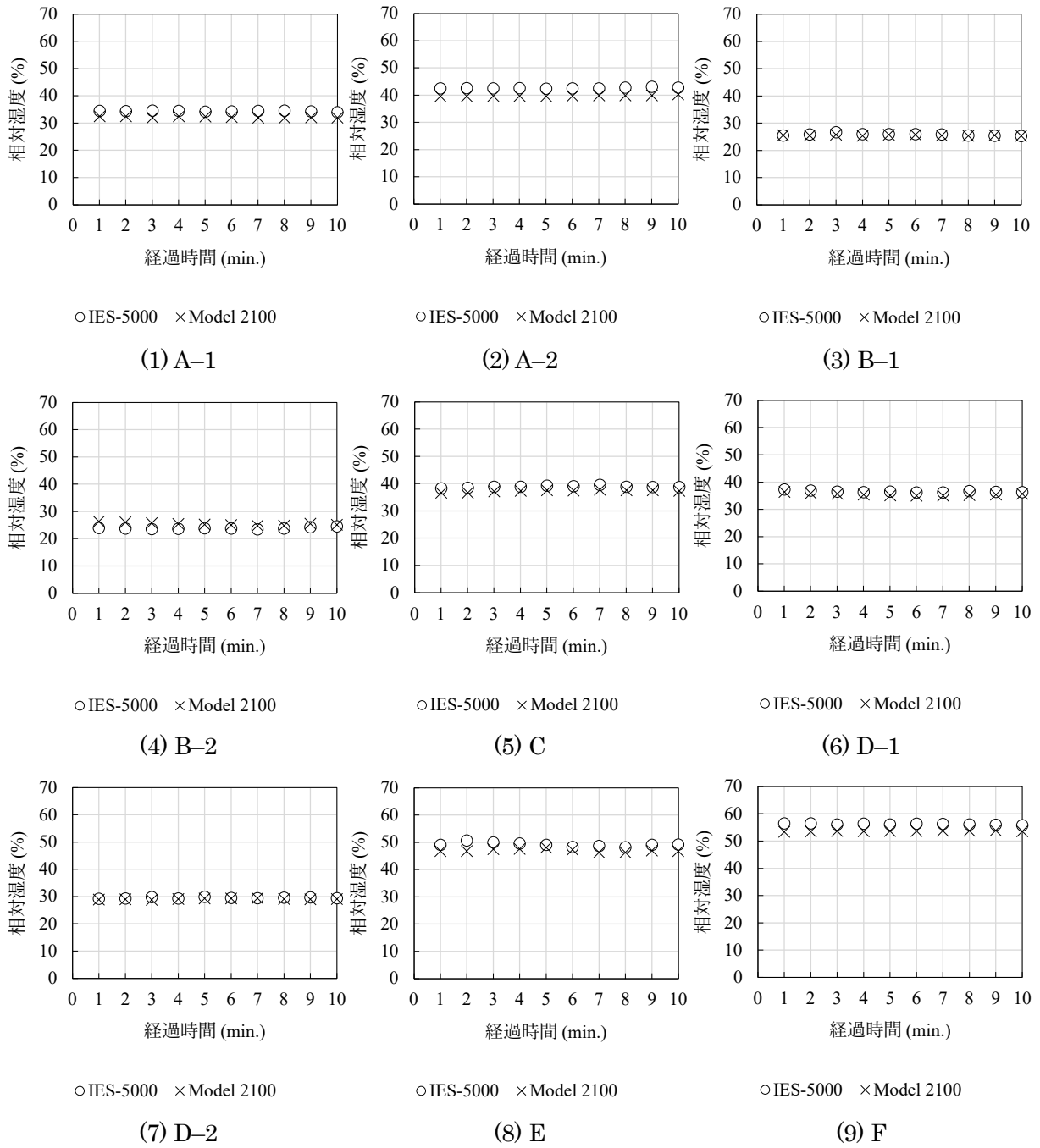


図 2-2-12 相対湿度

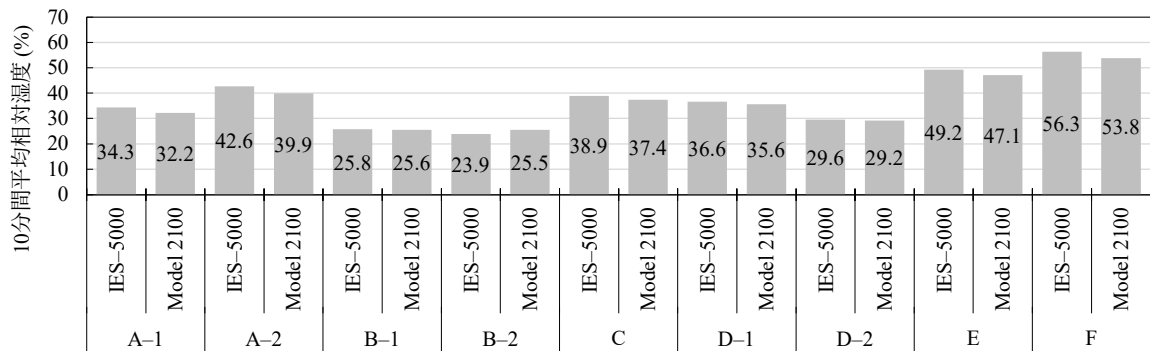


図 2-2-13 10分間平均相対湿度

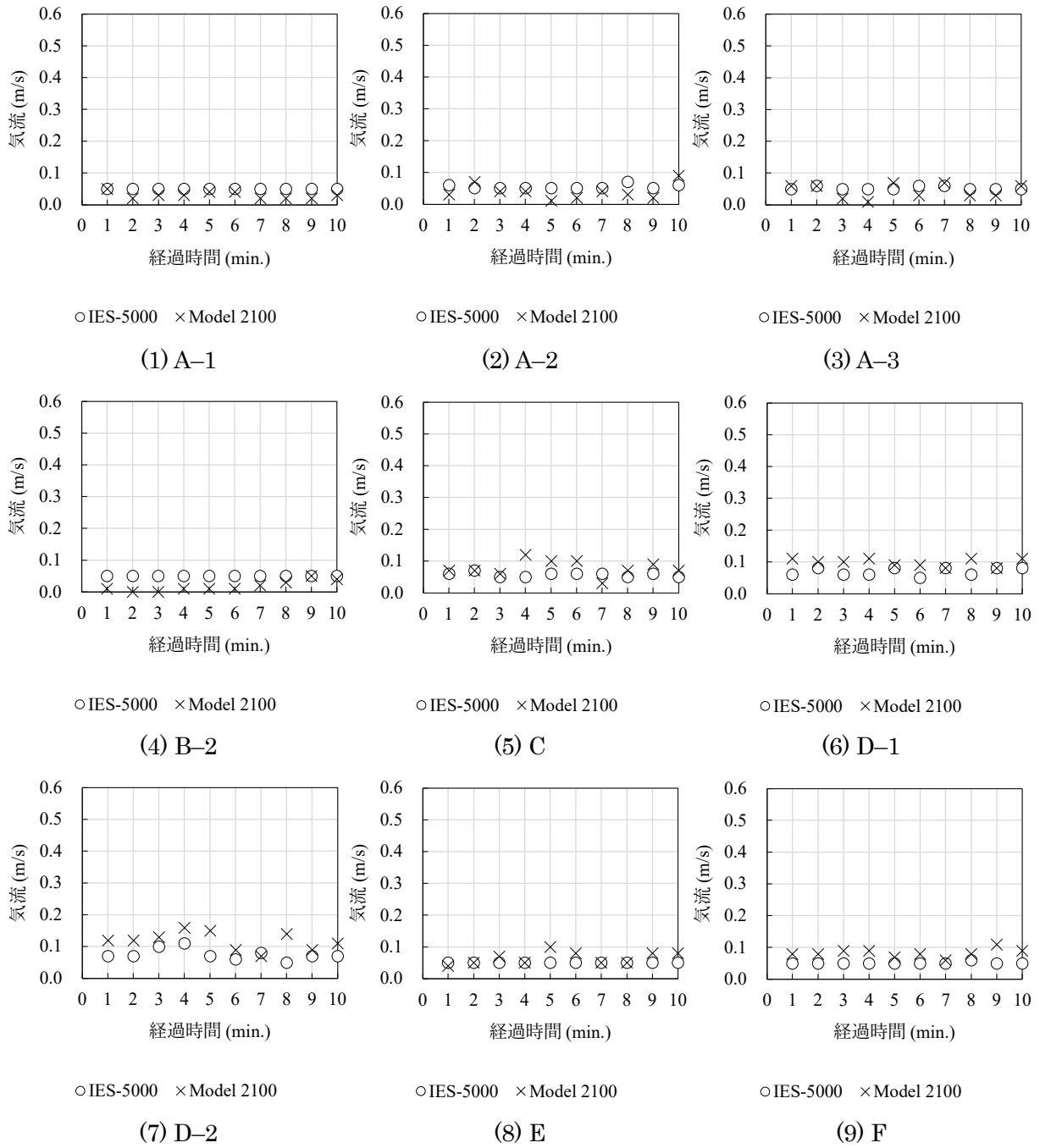


図 2-2-14 気流

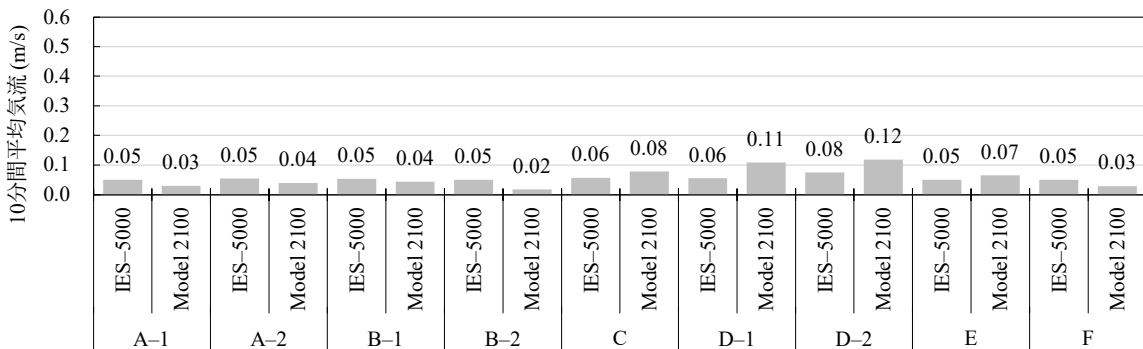


図 2-2-15 10分間平均気流

は無風時でも 0.05m/s と記録されていた。

D. まとめ

本節では、6 件の建物を対象として建築物衛生法に係る測定方法による測定を行い、温度、相対湿度、気流速度の結果を示した。温度と気流はいずれの建物でも建築物衛生管理基準値を満たしていた。相対湿度については一部の建物で建築物衛生管理基準値を満たしていない建物もあるが、測定機器の精度を考慮すると基準値と同等程度の建物も多かった。

測定には柴田科学社株式会社製の室内環境測定セット：IES-5000 と日本カノマックス株式会社製のオートビル III：Model 2100 を用いたが、測定機器による差は小さく、測定機器の差の最大値は温度が 0.3K、相対湿度が 2.7%RH、気流が 0.04m/s であった。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

2-3. 化学物質濃度 (VOCs 及びカルボニル化合物)

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、100 µg/m³である。シックハウスに関連して表 2-3-1 のようにホルムアルデヒドを含む 13 物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOC については暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。

その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H) は、塩ビ建材や接着剤、塗料などの建材から発生し、眼、皮膚への刺激、中枢神経系などに影響を与え、健康被害をもたらすことが指摘されている¹⁾。また、2E1H は特異臭があるため、建物内での悪臭の原因にもなり得る。これまで 2E1H は室内では未規制であったが、多くの建物で検出されるようになり、中には高濃度で検出される室内も存在することから、厚生労働省は 2017 年 4 月に、2E1H を揮発性有機化合物の室内濃度に関する指針値に追加する改定案を示し、指針値を 130 µg/m³ と定める予定であった²⁾。しかし、2018 年 12 月の第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会において、対策を講ずるにあたり科学的知見のさらなる収集が必要であり、また技術的観点から実効性に疑義のある値が提案されている可能性があるとの意見や、国際動向も踏まえて、指針値案は見直されることになった³⁾。

ここでは、事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

表 2-3-1 化学物質の濃度指針値

揮発性有機化合物	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	100 µg/m ³ (0.08 ppm)

アセトアルデヒド	48 µg/m ³ (0.03 ppm)
トルエン	260 µg/m ³ (0.07 ppm)
キシレン	200 µg/m ³ (0.05 ppm)
エチルベンゼン	3800 µg/m ³ (0.88 ppm)
スチレン	220 µg/m ³ (0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	240 µg/m ³ (0.04 ppm)
テトラデカン	330 µg/m ³ (0.04 ppm)
クロルピリホス	1 µg/m ³ (0.07 ppb) 小児の場合 0.1 µg/m ³ (0.007 ppb)
フェノブカルブ	33 µg/m ³ (3.8 ppb)
ダイアジノン	0.29 µg/m ³ (0.02 ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	17 µg/m ³ (1.5 ppb)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100 µg/m ³ (6.3 ppb)
TVOC (暫定目標値)	400 µg/m ³

B. 研究方法

対象とした建築物は表 2-1-1 に示した建築物 A から F の埼玉県、北海道、神奈川県にある事務所建築物である。建築物 A、B 及び D については、同じ建築物内で異なるフロアの居室 2 箇所を測定対象とし、建築物 C、E、F については、同じ部屋で複数箇所において測定対象とした。2022 年 10 月から 2023 年 2 月の暖房期において行った。

建築物衛生法によるホルムアルデヒドの測定については、2・4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 捕集-高速液体クロマトグラフ法により測定する機器、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1・2・4-トリアゾール (AHMT) 法により測定する機器又は厚生労働大臣が別に指定する測定器とされている。

厚生労働省による通知「室内空気中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について」によれば、ホルムアルデヒド濃度の指針値制定にあたっては、一般的な人達における明らかな刺激感覚を防ぐことを指標として、30 分平均値で 0.1 mg/m³ を指針値とすることが適当である、としている。

建築物衛生法においても、ホルムアルデヒド測定のタイミングを、新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回と規定している。これは、ホルムアルデヒドの発生が新しい建材から多く発生すること、温度上昇に伴って多く発生することを意識したものである。なお、ホルムアルデヒドの量の測定結果が管理基準を超過した場合は、空気調和設備又は機械換気設備を調整し、外気導入量を増加させるなど、室内空気におけるホルムアルデヒドの量の低減策に努める必要がある。さらに、翌年の測定期間中に1回、再度、当該測定を実施することが必要となる。

測定時間についての規定はないものの、上述のように30分平均値で0.1 mg/m³を指針値としていることから、30分の平均値が求められると考えられる。厚生労働大臣が別に指定する測定器においても、30分のサンプリング時間での測定値の一致を求めている。ただし、特定建築物などの室内においては、空調条件が定常であれば、室内濃度は定常状態となっているものと考えられる時点でのサンプリングを行うことを考慮することが重要である。

表2-3-2に示すように、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPHカートリッジを用いて30L捕集(30min at 1.0L/min)を行い、HPLCにより12成分の定量分析を行った。トルエンなどVOCsについては、Tenax-TA充填捕集管を用いて9L捕集(30min at 300 mL/min)し、GC/MSにより45成分の定量を行った。なお、TVOCの算出には、C6(ヘキサン)からC16(ヘキサデカン)に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表2-3-2 空气中化学物質の測定概要

測定項目	内容
アルデヒド類	DNPHカートリッジ 30L(at 1.0L/min) 溶媒抽出-HPLC
VOCs	Tenax-TA 9L(at 300 mL/min)

C. 研究結果および考察

各測定点における化学物質濃度を表2-3-3に示す。

アルデヒド類であるホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは建築物衛生法の基準値100 µg/m³及び厚生労働省指針値48 µg/m³に対し指針値を超過する室はなかった。室内濃度が外気濃度よりやや高くなっているが、普段の室内濃度レベルであり、室内に発生量の高い汚染源は存在しないと考えられる。

VOCsの中からも厚生労働省指針値を超過する物件はなく、TVOC暫定目標値を上回る物件が2件存在した。建築物B及びDについては、未検出の物質が多く、低濃度の環境であった。

厚生労働省で指針値が定められている13物質中、室内の建材からの発生源としてトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、テトラデカンが検出されたが、濃度としては低い水準であり、厚生労働省指針値を超えた物質はなかった。また、室内の持ち込みとなる防虫剤から発生するパラジクロロベンゼンについては検出限界以下であった。

TVOCも暫定目標値400 µg/m³を超える物件が2件あったが、厚生労働省の指針となっている物質については、それぞれ指針値以下であり、指針値以外の物質の濃度が高いことによる。建築物Fについては、2E1H濃度が比較的高い値で検出された。その他の高濃度の物質としては、複数種類の芳香族炭化水素が、特に1,3,5-trimethyl-Benzeneが、100 µg/m³以上で検出されていたことによるものである。高濃度の原因については、今後検討することとする。

2E1H濃度については、建築物A, B, C, Fで検出され、特に建築物Fにおいて高濃度で検出された。建材からの2E1H発生には、一次発生と二次発生が知られている。一次発生は建材の製造中に含有された2E1Hが発生することを示す。二次発生は、コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジエチルヘキシル(DEHP)がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水

表 2-3-3 揮発性有機化合物の測定結果

	A (2022/10/31)			B (2022/12/8)			C (2022/12/9)			E (2022/2/16)		
	A-1	A-2	OA	B-1	B-2	OA	C		OA	D		OA
							Exterior	Interior		East	West	
Formaldehyde	4.7	5.5	2.3							7.2	8.2	
Acetaldehyde	6.3	6.3	3.8							25.5	24.8	4.7
Benzene												2.1
Toluene	10.5	8.2	6.2	0.5			1.9	1.9		20.0	23.6	3.7
Ethylbenzene				0.9		1.0	1.2	1.2		9.2	1.2	0.5
Xylene				1.1		1.2	1.1	1.0		1.7	2.2	
Styrene				0.7		0.6	0.9	0.8		8.4	9.6	
p-dichlorobenzene												
Tetradecane	0.7	0.7					0.6	0.6		0.5		
2E1H	26.3	29.5		2.0		1.1	12.3	11.9				
TVOC	64.9	72.8	145.8	14.8	2.2	11.0	86.4	80.6	0.6	720.1	767.8	11.9

	F (2002/2/16)			A (2023/2/17)			D (2023/2/22)			
	E		OA	A-1	A-2	OA	D-1		D-2	OA
	North	South					West	East		
Formaldehyde	7.0	6.8		3.8	4.8	1.8	4.0	3.7	5.2	1.5
Acetaldehyde	35.3	27.8	4.7	7.5	6.7	4.7	6.3	6.5	7.5	5.2
Benzene	1.5	1.0	2.1	2.2	2.0	2.1				0.7
Toluene	5.2	10.8	3.7	9.5	8.5	2.5				
Ethylbenzene	1.4	5.1	0.5	2.6	2.1					
Xylene	1.4	4.5		2.5	2.0					
Styrene	1.1	3.4		1.6	1.3					
p-dichlorobenzene										
Tetradecane	0.7	35.1		7.6	10.0					
2E1H	40.9	101.5		23.7	37.8					
TVOC	118.6	1019.9	11.9	143.6	185.3	46.9	3.9	2.8	1.5	2.5

注：空欄は検出限界以下

分解されることで2E1Hを生成し、発生することを示す。タイルカーペットや塩化ビニルがコンクリート下地に直接敷かれている部屋では、2E1Hの濃度が高いと報告されており⁴⁾、室内の2E1H濃度が高い原因として二次発生を挙げているものが多く、コンクリート下地の含水率に着目した研究が多くなされている。通常の事務用途の建築物においては、床にタイルカーペットが敷かれており、床の下地はタイル地、コンクリートスラブ、金属製・コンクリート製・プラスチック製OAフロアの5種類に分類することができる。

建築物Aにおいては、コンクリート製OAフロアであることを確認しており、上述のコンクリート下地による二次生成物の可能性が考えられる。その他の建物についても、2E1Hの発生源についての解明を行う。

D. まとめ

事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび化学物質の指針値については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、2件の建築物において暫定目標値を超過し、厚生労働省の指針値は低濃度であるものの、2E1H及び芳香族炭化水素類の濃度が高濃度であったことが原因である。今後は夏期の測定とともに、発生源の検討を行う。

E. 参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 久留飛克明, 中川雅至, 長谷川あゆみ, 森有紀子, 山田裕巳: 建築に使用される化学物質事典, 株式会社風土社, 2006.5.1

- 2) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室：第 21 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録, 2017.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151.html> (参照: 2021.1.28)
- 3) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室(2018)：第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録,
https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151_00002.html (参照: 2021.1.28)
- 4) 上島通浩, 柴田英治, 酒井潔, 大野浩之, 石原伸哉, 山田哲也, 竹内康浩, 那須民江：2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染室内濃度, 発生源, 自覚症状について, 日本公衛誌 52(12), pp. 1021-1031, 2005

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

2-4 浮遊粉じん及び浮遊粒子状物質

A. 研究目的

建築物衛生法における空気中粒子濃度に関する室内基準は、浮遊粉じん濃度 0.15 mg/m^3 以下と設定されている。ここでの浮遊粉じんは粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子となるが粉じん計のカットオフ径に関する定義の違いから PM10 とは少し異なる。

また、環境省が定める大気環境基準は PM2.5 の1年平均が $15 \mu\text{g/m}^3$ 以下、1日平均が $35 \mu\text{g/m}^3$ と設定されているが、室内基準は存在しない。

本研究では、特定建築物における室内浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter) 濃度データの蓄積と実態把握を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

浮遊粉じん測定にはビル管セットと呼ばれる建築物衛生管理基準 6 項目を同時測定できる IES-5000 (SIBATA 社製) 及び Model 2100 (Kanomax 社製) を用いた。

粒径別の浮遊粒子濃度は Particle Counter (Kanomax Model 3889) を用いて、6 粒径 (0.3、0.5、1.0、3.0、5.0、 $10 \mu\text{m}$) に対する個数濃度を計測した。

浮遊粉じん、粒径別浮遊粒子ともに1分間の計測を15分間～30分間連続で行い、濃度が安定していると考えられる計測開始4分後から終了2分前までのデータを平均して用いた。

C. 測定結果

図 2-4-1 に浮遊粉じん濃度を、図 2-4-2 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、図 2-4-3 に代表粒径の個数濃度分布を示す。また、図 2-4-3 に粒径別 IO 比 (室内濃度/外気濃度) の結果を示す。

C.1. 浮遊粉じん濃度

浮遊粉じん濃度は小数第三位までが最大有効数字であるが、ここでは差を比較するために小数第4位までを記した。

浮遊粉じんの外気濃度は $0.0121 \pm 0.0042 \text{ mg/m}^3$ であり、室内濃度は IES-5000 (SIBATA 社) が $0.0044 \pm 0.0008 \text{ mg/m}^3$ 、Model 2100 (Kanomax 社) は $0.0001 \pm 0.0003 \text{ mg/m}^3$ で

あった。

いずれも管理基準濃度 0.15 mg/m^3 に比べると低濃度であり、管理基準を上回る建物はなかった。両機器間の測定値の差は平均 $0.0043 \pm 0.0027 \text{ mg/m}^3$ であった。IES-5000 は低濃度域で敏感に数値を表すが、Model 2100 は低濃度では測定値が 0 と表示されることが多い機器特性があり、両測定器間の差が生じている。

C.2. 浮遊粒子状物質濃度

建物 E 及び F は外気濃度が欠測だったため、外気濃度及び IO 比は表せない。

個数濃度の積算値として、空調や換気設備による部分的な低減効果があるため、建物 B を除けば全体的には外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向が見られる。一方で、A_3F、B_2F は室内空気が外気より顕著に高く、特に $1.0 \mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が高いことから OA 機器や個別式加湿器など発生源があると考えられる。

殆どの場合、室内濃度は外気濃度よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。

個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

C.3. 浮遊粒子状物質の IO 比

IO 比としては、建物 A_3F 及び B を除けば小さな粒径の粒子において IO 比 < 1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、 $10 \mu\text{m}$ の大きな粒子では IO 比 > 1 の室内が増加している。

大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることもある。

粒子の除去性能は中性能フィルターが導入されている中央式がよりよいとされているが²⁾、今回の測定はまだ物件数が少ないため、次年度の物件数を増やした測定で傾向が見えてくると考えられる。

D. 結論

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度 0.15 mg/m^3 に比べると低濃度であった。測定機器間では平均 $0.0043 \pm 0.0027 \text{ mg/m}^3$ の差が見られ

た。

6 粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向が見られた一方、一部室内における $1.0\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が顕著に高い測定箇所もあり、OA 機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっているが、外気濃度に追従して増減している。

小さな粒径の粒子において IO 比 <1 が多く外気由来の粒子が室内では低く維持され、 $10\mu\text{m}$ の大きな粒子は IO 比 >1 の室内が多くなっている。細かい粒子は外気由来であり空調経路で一部除去されるため室内濃度は外気より低くなるのが一般的な傾向である一方、大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

E. 参考文献

- 1) 環境省：微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書：粒子状物質の特性について、2008
- 2) 鍵直樹：事務所建築物における PM_{2.5} 濃度の実態と室内外濃度比、空気清浄、54(4)、258-262、2016
- 3) 小林健一、金勲、鍵直樹ほか：中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究、令和元年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2020.3

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

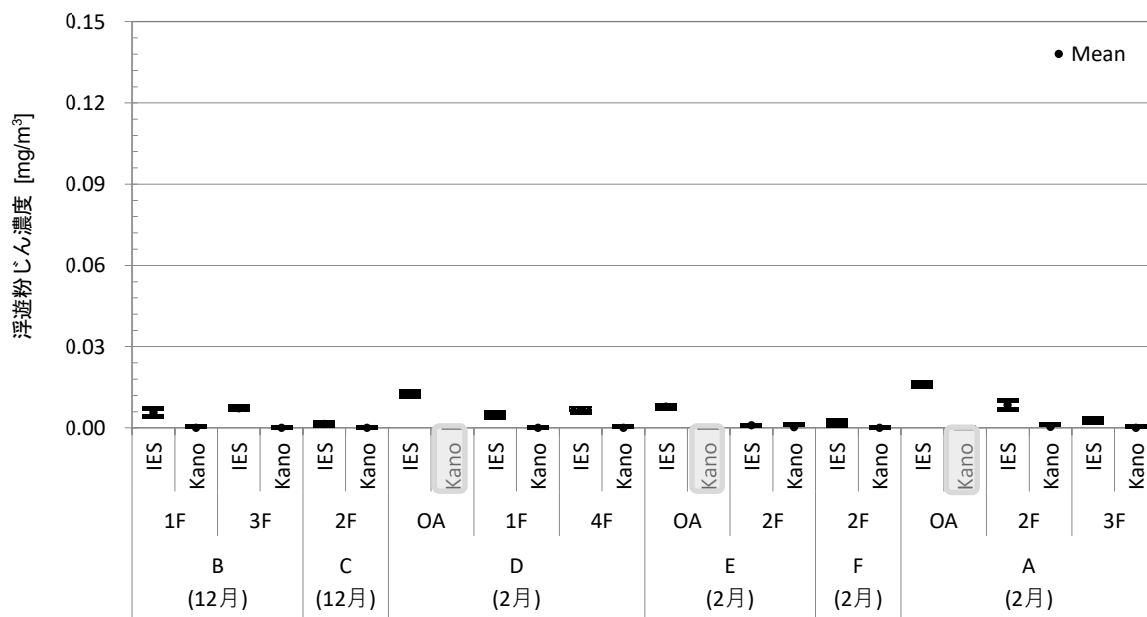


図 2-4-1 立入測定による浮遊粉じん濃度測定結果
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」
 ※ OA の陰影部分は測定無し

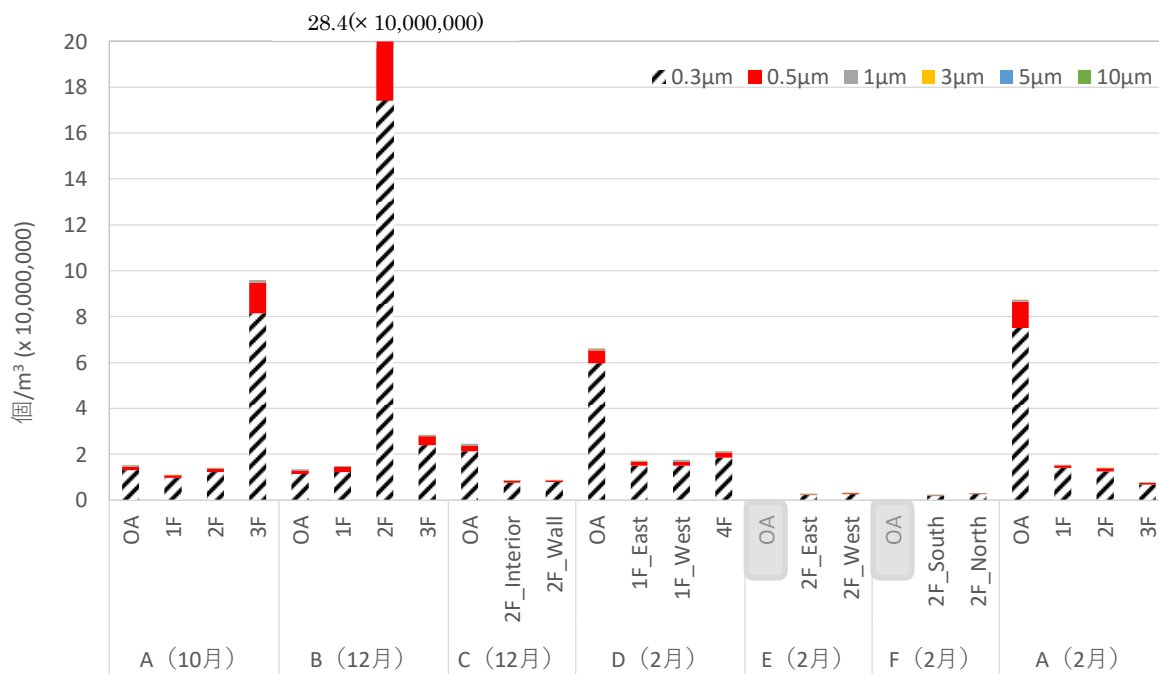


図 2-4-2 室内浮遊粒子の個数濃度積算値
 ※ OA の陰影部分は測定無し

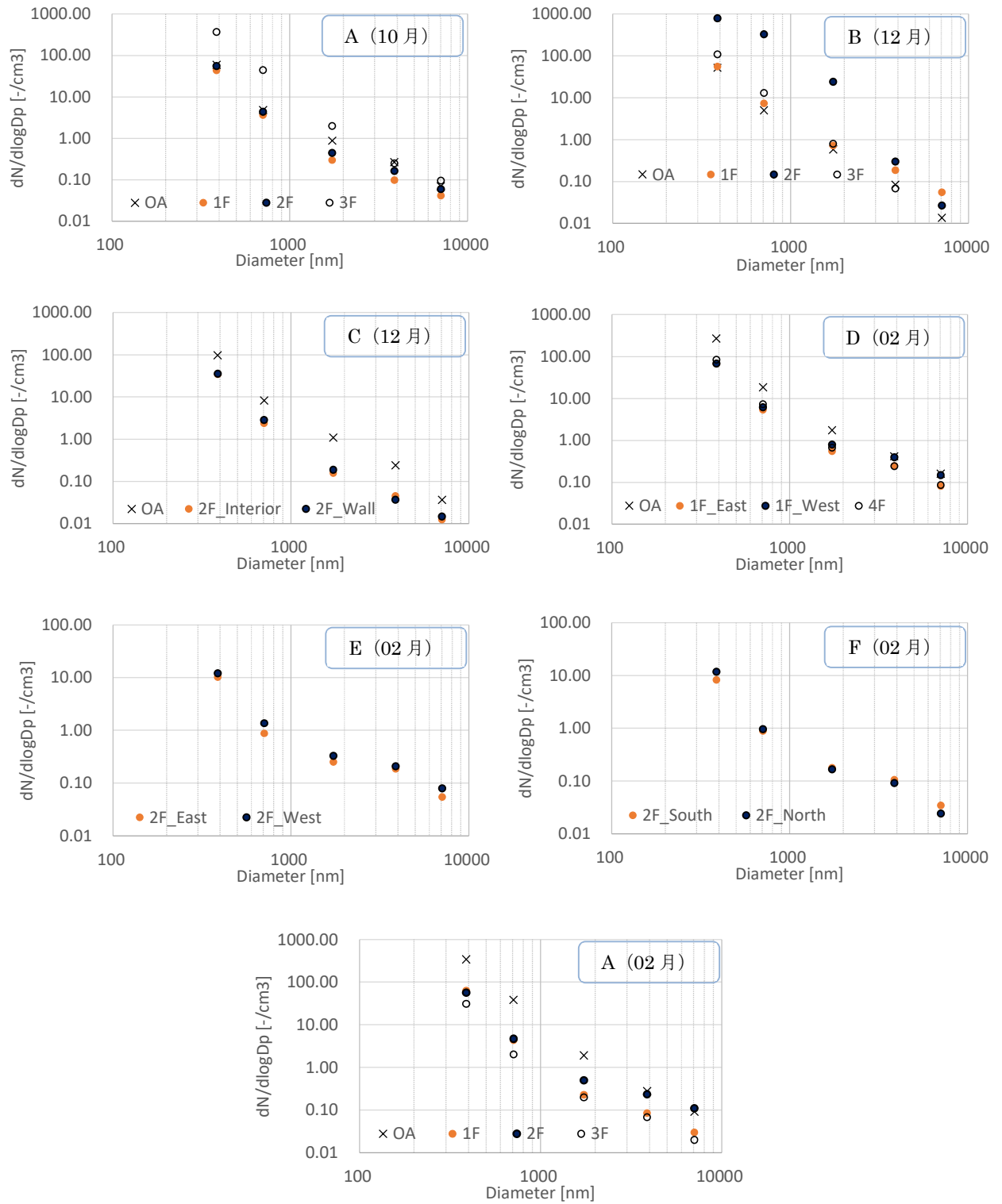
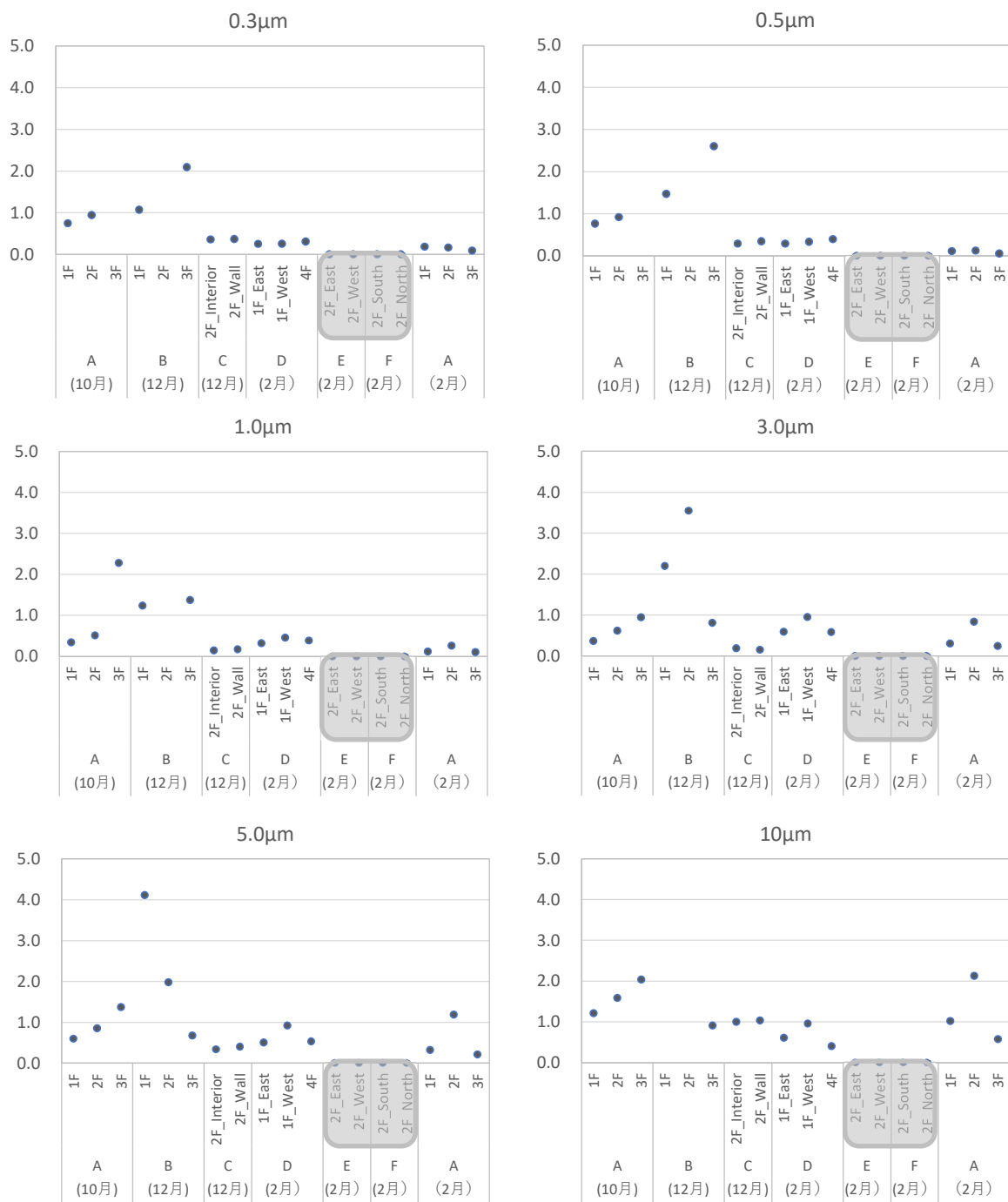


図 2-4-3 代表粒径の個数濃度分布



	A			B			C		D			E		F		A		
	1F	2F	3F	1F	2F	3F	2F Interi	2F Wall	1F East	1F West	4F	2F East	2F West	2F Sout	2F North	1F	2F	3F
0.3um	0.7	0.9	6.2	1.1	15.2	2.1	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	0.2	0.2	0.1
0.5um	0.8	0.9	9.3	1.5	65.7	2.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
1.0um	0.3	0.5	2.3	1.2	41.4	1.4	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4	-	-	-	-	0.1	0.3	0.1
3.0um	0.4	0.6	0.9	2.2	3.6	0.8	0.2	0.2	0.6	1.0	0.6	-	-	-	-	0.3	0.8	0.2
5.0um	0.6	0.9	1.4	4.1	2.0	0.7	0.3	0.4	0.5	0.9	0.5	-	-	-	-	0.3	1.2	0.2
10.0um	1.2	1.6	2.0	7.1	5.0	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0	0.4	-	-	-	-	1.0	2.1	0.6

図 2-4-4 粒径別 IO 比 (室内濃度 / 外気濃度)

※ E、F は外気が欠測のため IO 比は示せない。

2-5. 一酸化炭素及び二酸化炭素濃度

A. 研究目的

建築物衛生法における一酸化炭素 (CO) 及び二酸化炭素 (CO₂) 濃度に関する基準は、CO が 6ppm 以下、CO₂ は 1000ppm 以下と設定されている。CO は人体有害性から設定されている反面、CO₂ は換気の指標として設定されている。CO 濃度は従来の 10ppm 以下 (特例として外気がすでに 10ppm 以上ある場合には 20ppm 以下) だったものを令和 4 年 4 月から 6ppm 以下と引き下げると共に特例規定を廃止した¹⁾。

本報告書の「II-1. 特定建築物の報告統計」でも報告しているが、特定建築物における CO 濃度に不適している建物はほぼなく、CO 濃度が問題になることは殆どない。大気環境の改善や室内での禁煙/分煙化、また室内での燃焼器具の使用も減少していることが原因である。

一方で、CO₂ 濃度の不適合率は 3 割程度と高く、これは省エネによる換気量の削減が主な理由と考えられている。

本研究では、特定建築物における CO 及び CO₂ 濃度データの蓄積と実態把握を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

測定方法としては、両方とも検知管方式若しくはそれと同程度以上の性能を有する測定器を用いて測定することを可としている。

本研究では、浮遊粉じん測定にはビル管セットと呼ばれる建築物衛生管理基準 6 項目を同時測定できる IES-5000 (SIBATA 社製) 及び Model 2100 (Kanomax 社製) を用いた。両測定器ともに、CO 濃度に関しては定電位電解方式、CO₂ 濃度に関しては非分散型赤外線 (NDIR) 方式を採用している。

ガス濃度は 1 分間の計測を 15 分間~30 分間連続で行い、濃度が安定する計測開始 4 分後から終了 2 分前までのデータを平均して用いた。

但し、外気濃度のデータは IES-5000 による測定結果だけを示しており、建物 B (12 月) 及び C (12 月) は外気温が低すぎたため外気測定は行っていない。

C. 測定結果

図 2-5-1 に CO 濃度を、図 2-5-2 に CO₂ 濃度の測定結果を示す。

C.1. 一酸化炭素濃度

外気濃度は 0.117 ± 0.006 ppm であり、室内 CO 濃度は IES-5000 (SIBATA 社) が 0.126 ± 0.043 ppm、Model 2100 (Kanomax 社) は 0.100 ± 0 ppm であった。いずれも管理基準値に比べると低い水準である。

外気濃度と室内濃度が等しく、室内 CO 濃度は外気由来によるものと判断される。

機器による測定値の差は 0.026 ± 0.015 ppm であった。特にモデル Model 2100 は測定値にばらつきが殆ど見えない特徴があり、測定感度の違いによるものと考えられる。

C.2. 二酸化炭素濃度

外気濃度は 469 ± 14 ppm であり、室内 CO₂ 濃度は IES-5000 (SIBATA 社) が 712 ± 8 ppm、Model 2100 (Kanomax 社) は 637 ± 13 ppm であった。

管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されており、昨今の新型コロナ感染症による換気量の増大や在宅勤務による在室者数の縮小などが影響していると考えられる。

機器による測定値の差は平均 75 ± 40 ppm、濃度差の範囲は 4~141ppm と、IES-5000 よりモデル Model 2100 が全体的に低い濃度を示していた。ガスセンサーはゼロガスとスパンガスによる校正が重要であるが、今回の測定結果からは測定機器による特性も確認された。

D. 結論

一酸化炭素 (CO) 及び二酸化炭素 (CO₂) 濃度管理基準は、それぞれ 6ppm 以下及び 1000ppm 以下である。

CO の外気濃度は 0.1 ppm 程度、室内 CO 濃度も 0.1ppm 程度と大差なく、室内 CO 濃度は外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に比べると低い水準である。

CO₂ に関しては外気濃度平均 470ppm 程度に対して、室内平均 630~710ppm 程度であった。

管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されていた。昨今の新型コロナ感染症による換気量の増大や在宅勤務による在室者数の縮小など

が影響していると考えられる。

機器のよる測定値の差が見られ、COは 0.026 ± 0.015 ppm、CO₂は平均 75 ± 40 ppm、濃度差の範囲は4～141ppmであった。

校正の問題や、機器によるセンサー感度の違いも見られた。

E. 参考文献

- 1) 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準について、<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/> (accessed on 2023.2.20)

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

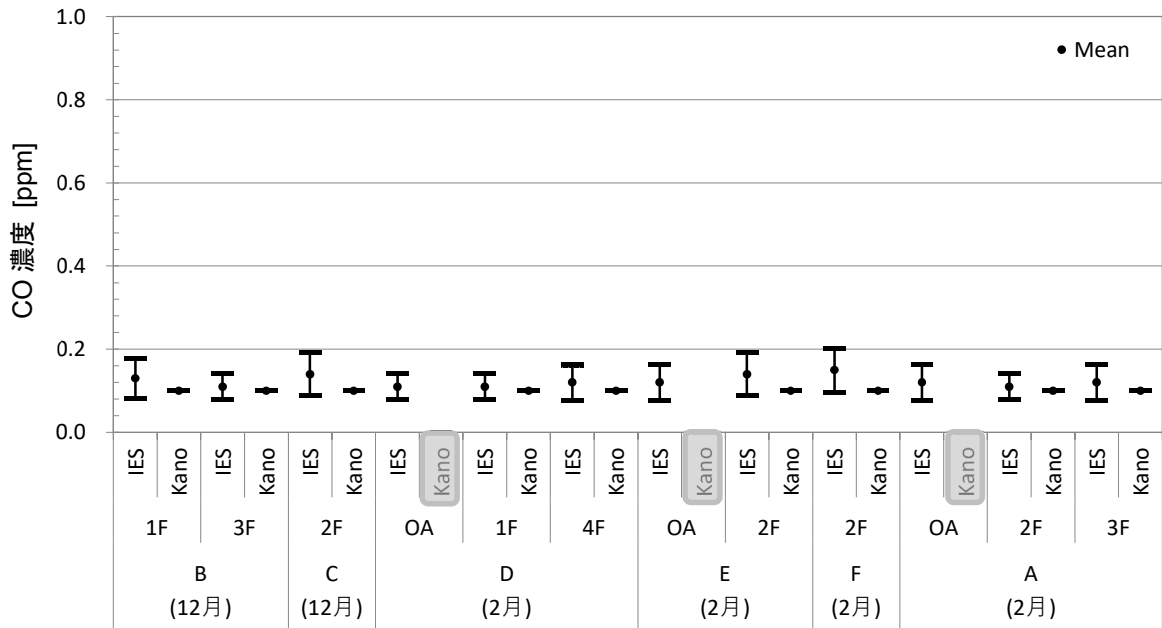


図 2-5-1 立入測定による CO 濃度測定結果
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

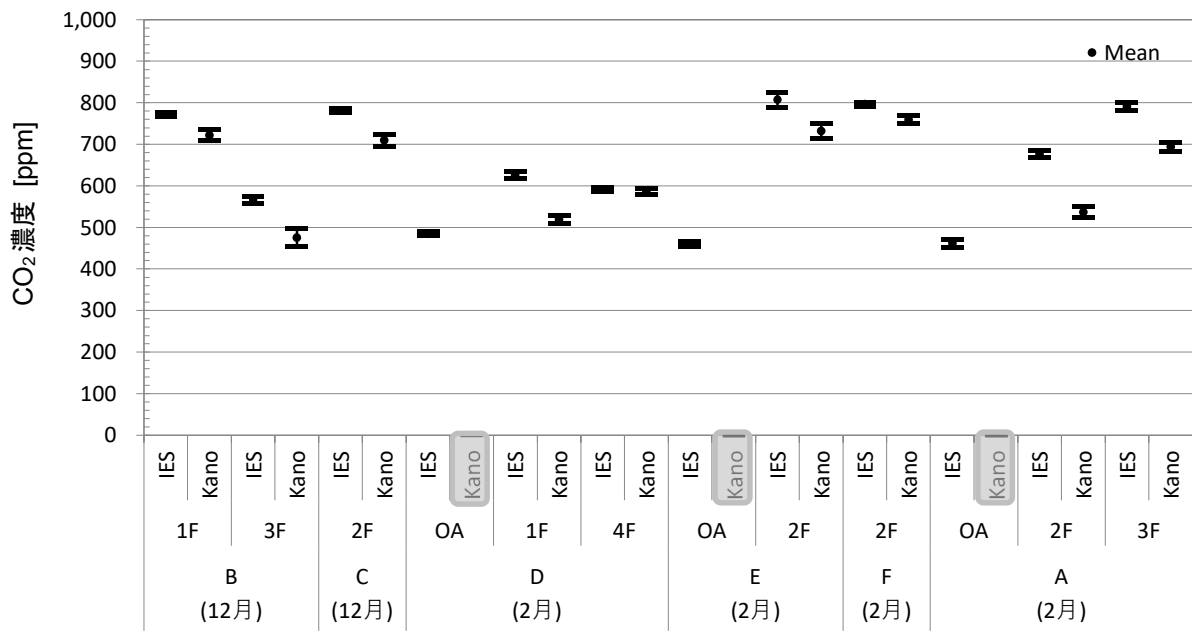


図 2-5-2 立入測定による CO₂ 濃度測定結果
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

2-6 エンドトキシン（細菌内毒素）

A. 研究目的

建築物環境衛生管理項目ではないが、空調機や加湿器などは微生物の汚染源になり得ることから、細菌汚染の指標としてエンドトキシン（Endotoxin；以下 ET）濃度の測定を行っている。

細菌の測定には培養法、ATP（adenosine triphosphate；アデノシン三リン酸）法、r-PCRを用いた DNA 解析などが利用されているが、現場測定にはいずれも長短がある。

一方、換気指標の CO₂ 濃度や化学物質汚染指標の TVOC のように、微生物に関してもそのような指標の存在は室内環境における汚染状況や環境改善の面で大変有意義であり、空气中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に着目して室内濃度の実態を調べている。

B. 研究方法

B.1. 調査対象

調査対象は前項「2-1」の建物概要と同様、オフィスビル 6 施設（室内 17 ヶ所＋外気 6）であった。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 2-1-1 に示している。

2022 年 10 月、2022 年 12 月～2023 年 2 月に測定を行った。

B.2. 調査方法

B.2.1. 空気サンプリング

図 2-6-1 に捕集用フィルター及び空気サンプリング風景を示す。空気試料として微生物の培地吸引では 100L を用いることが多く、ET サンプリングでも 100L（30min at 3.3L/min）を吸引・捕集した。

捕集用フィルターは直径 47mm の MCE フィルター（Mixed Cellulose Ester Membrane Filter）である。捕集後はγ線滅菌試験管に回収し冷暗所で保管する。分析時には蒸留水（注射用水；ET フリー）を添加し、ボルテックスミキサーで攪拌した後、上澄み液を分注・分析した。



図 2-6-1 捕集フィルター及びサンプリング

B.2.2. 濃度分析

分析装置として Toxinometer ET-7000（和光純薬）を用いて、吸光比濁法による定量計測を行った。リムルテスト（Limulus test）ではライセート（Limulus amoebocyte lysate）試薬と反応させた ET のゲル化に伴う濁度変化をカイネティック比濁法で測定し、検量線に基づいて定量した。ET 濃度が高いとゲル化反応が速く、低いと遅くなることを原理としている。

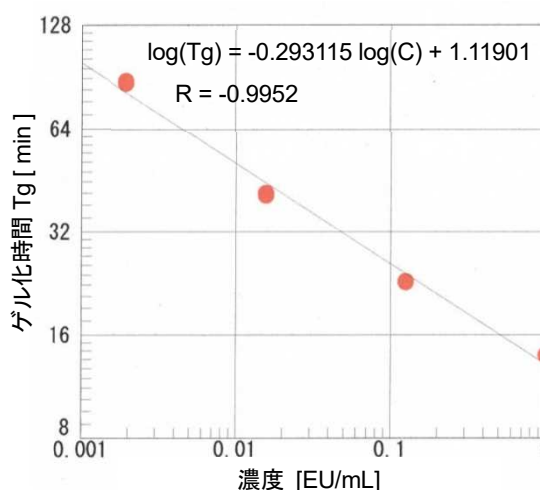
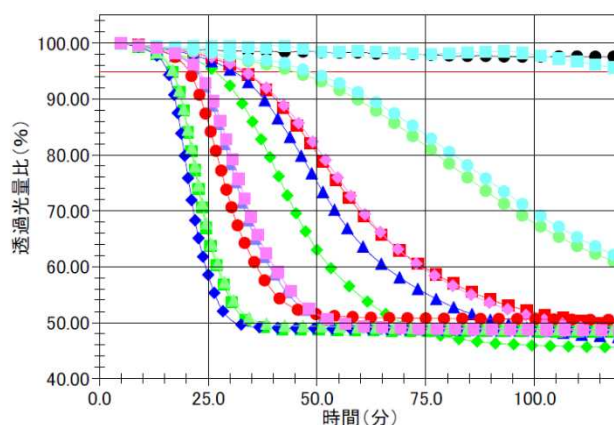


図 2-6-3 検量線例（4点、8倍稀釈）

図 2-6-2 のように、ゲル化に伴う透過光量比変化を計測し測定開始から設定閾値（94.9% at 37.0°C）に達するまでの時間（Tg：ゲル化時間）で ET 濃度が決定される。

定量のための検量線は、1.0、1/5、1/25、1/125 (=0.008) EU/mL の 4 段階の濃度標準を用いて作成した。

濃度単位としては、「EU/m³」：空気単位容積当たり濃度、EU は Endotoxin Unit（ET 活性値）である。

C. 測定結果

図 2-6-4 に空气中 ET 濃度の測定結果を示す。

外気濃度（OA）は多くが 1.0EU/m³ 以下であったが、A（10 月）、D（2 月）が高く、全体平均値が 2.7±4.0EU/m³ と高くなっている。この 2 件を除くと 0.6±0.4EU/m³ であり、既往研究と同等な結果となっている。外気濃度は土壌 2-6-3 や森林が多い地域特性、季節や雨・相対湿度・風などの気候による影響で変動するが、都心部では 1.0EU/m³ 以下が多い^{1),2)}。

室内濃度ではばらつきがあり、0.3～11.6EU/m³ まで幅広く分布していた。室内濃度平均は 4.1±3.5EU/m³ であった。特定建築物におけるオフィス室内濃度は 1.0EU/m³ 以下が多い¹⁾と報告されているが、今回はこれより高い結果となっている。A(10 月)、D（2 月）のように外気濃度が高い場合は外気由来による濃度上昇と考えられるが、B（12 月）や A（2 月）のように外気は低い室内濃度が高い場合は室内の発生源（汚染源）が考えられる。

特に、水道水を用いた加湿では水道水に含まれた ET が検出されることがあり、やや高くなる。更に、冬期に個別式の超音波加湿器を使用している場合は、加湿器内の細菌汚染による濃度上昇で高濃度になることがある^{1),2)}。

全体の IO 比（室内濃度／外気濃度）は 3.9±5.5、1.0 を超える測定個所は全測定点 17 ヶ所のうち 9 件あり、室内側に濃度上昇の原因がある物件が多数存在していることが示唆された。

D. 結論

室内濃度平均は 4.1±3.5EU/m³、濃度分布は

0.3～11.6EU/m³ まで幅広い結果となった。既往研究の平均濃度 1.0 EU/m³ 以下が多い結果に比べ高い濃度を示した。

B（12 月）や A（2 月）のように外気は低い室内濃度が高い場合は室内の発生源（汚染源）が考えられる。

全体の IO 比（室内濃度／外気濃度）は 3.9±5.5 と 1.0 を超える測定個所は 9 件（全測定点 17 ヶ所）あり、室内側に汚染源がある物件が多数存在していることが示唆された。汚染源は、水道水を用いた加湿で元々水道水に含まれている ET 成分が検出、或いは超音波加湿器の加湿器内の汚染による濃度上昇が考えられる。

E. 参考文献

- 1) 金勲、柳宇、鍵直樹、東賢一、Lim Eunsu、大澤元毅、林基哉、エンドトキシンの室内環境濃度、日本建築学会大会学術講演梗概集（環境系）、pp.719-722、2016.8.
- 2) 金勲、柳宇、鍵直樹、東賢一、林基哉、大澤元毅、空气中エンドトキシンの濃度と浮遊細菌濃度に関する基礎的研究、日本建築学会環境系論文集、Vol.83 No.749、2018.7； pp.581-588.

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

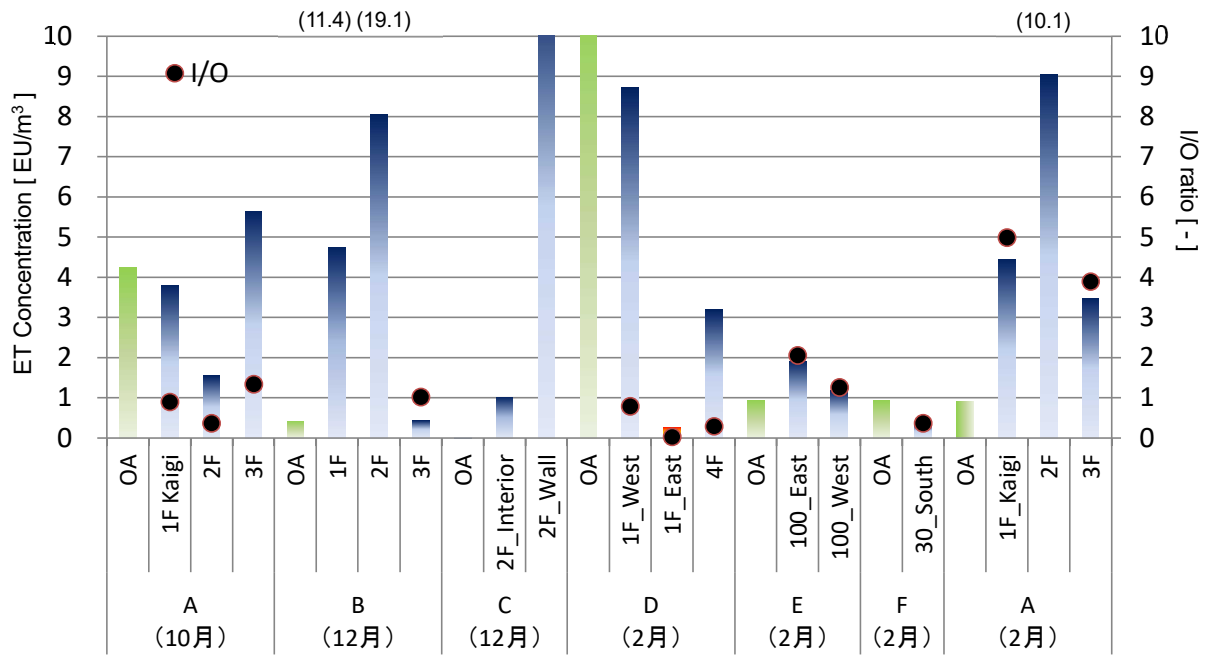


図 2-6-4 ET 濃度測定結果

3. 温熱環境の測定

分担研究者 中野 淳太 東海大学 准教授
分担研究者 下ノ菌 慧 国立保健医療科学院 研究員

研究要旨

ASHRAE55 は温熱環境に関する基準であり、熱的快適条件に関する推奨値のほか既存建築物の評価方法に関する記述もある。中でも建物管理に使われる BAS (building automation system) による環境評価法も解説されている。本章 1 節では連続測定値を用いた管理に関する規定を整理することを目的とし、関連部分を翻訳した。その結果、ASHRAE55 に規定される測定機器の精度は現行の建築物衛生法で定められる精度と比較して高いこと、測定位置は室中央だけではなく極端な環境になる点も測定すること、測定高さは 1 点ではなく 3 点を測定することが規定されていた。

本章 2 節では、2 章に示した 6 件の建物を対象に ASHRAE55 に準拠した室内温熱環境の測定を行った。ASHRAE55 に準拠した室内温熱環境の測定により、1) 窓面方向で放射温度が下がりやすく不均一な放射環境となる、2) 階段室や開放された空間に隣接している場所では冷気の流入により足元の空気温度が低くなることがある、3) 建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることもある、といった室内環境の詳細分析も可能となる。

建築物衛生法では空気調和機を設けている場合の空気環境の基準が定められており、2 か月以内ごとに 1 回の測定が義務付けられている。この測定に IoT センサーを利用することで、当該建物の室内環境を経時的にモニタリングすることが可能であり、建築物衛生法に定められる現行の手法と比較してより適切に建築物内の衛生環境を管理できる可能性がある。本章 3 節では 2 章に示した 6 件の建物に設置した IoT センサーにより室内温熱環境を評価することを目的とし、室内環境のヒストグラム、時別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率を算出した。その結果、建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度と CO₂ 濃度はほとんどすべての時間帯で基準を満たしていた。相対湿度は E ビルと F ビルでは全時間で基準を満たしていたもののその他の建物では基準値外となる時間率が高く、特に、北海道に建つ建物の相対湿度は低い傾向にあった。

IoT センサーは設置の自由度が高まり、それらの連続的なデータ収集も簡便に行うことが可能となる。室内環境の平面分布、上下温度分布等の詳細分析が可能となるほか、室内環境のヒストグラム、時別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率等による評価も可能となることから、建築物衛生法で定められる現行の手法と比較してより適切に建築物内の衛生環境を管理できる可能性がある。しかし、建築物衛生法で定められる環境衛生管理基準項目には浮遊粉じんの量、CO 濃度、気流もある。これらの連続測定が可能な測定機器の開発も望まれる。また、校正頻度等の課題もあることから引き続き検討を行う予定である。

3-1 ASHRAE 55-2020 における IoT を活用した計測技術に関する調査

A. 研究目的

ASHRAE 55¹⁾は、ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) の温熱環境に関する基準であり、2020年版が最新となっている。用語の定義や熱的快適条件に関する推奨値について解説されているが、既存建築物の評価方法に関する記述もある。中でも建物管理に使われる BAS (building automation system。日本の BEMS に相当) による環境評価法も解説されており、連続測定値を用いた管理に参考になるため、関連部分を翻訳した。

(以下、翻訳部分)

7. 既存建築物における熱的快適性評価

7.3 測定方法

7.3.2 建築物内の環境測定点

a. 平面

滞在者が滞在している、または滞在すると想定される代表点を選定する。同じ建築物内で類似した空間を複数評価する場合は、代表的な空間を1つ選定してよい。

出口、隅角部、出入り口近傍で、滞在が想定される点)

b. 床上高さ

滞在者が着座している場合は、空気温度と気流速度を 0.1m、0.6m、1.1m で測定する。滞在者が立っている場合は、空気温度と気流速度を 0.1m、1.1m、1.7m で測定する。作用温度または PMV を求める場合は、座位は 0.6m、立位は 1.1m で評価する。床表面温度が不快要因になると想定される場合は、接触温度計または赤外線温度計で測定する。

非対称放射を評価する場合は、その影響をうける居住者の位置にて、微小面温度差が最大となる方位を選定する。

7.3.3 環境測定のタイミング (一部抜粋)

測定時間は、評価対象期間 (年、月、日) の代表となる滞在時間帯、またはコアタイムと想定される時間帯の 2 時間以上とする。

測定間隔は、空気温度・平均放射温度・湿度は 5 分以下、気流速度は 3 分以下とする。

7.3.4 測定機器の仕様

測定機器は、表 7-1 に示す測定範囲と精度を

Table 7-1 Instrumentation Measurement Range and Accuracy

Quantity	Measurement Range	Accuracy
Air temperature	10°C to 40°C (50°F to 104°F)	±0.2°C (0.4°F)
Mean radiant temperature	10°C to 40°C (50°F to 104°F)	±1°C (2°F)
Plane radiant temperature	0°C to 50°C (32°F to 122°F)	±0.5°C (1°F)
Surface temperature	0°C to 50°C (32°F to 122°F)	±1°C (2°F)
Humidity, relative	25% to 95% rh	±5% rh
Air speed	0.05 to 2 m/s (10 to 400 fpm)	±0.05 m/s (±10 fpm)
Directional radiation	-35 W/m ² to +35 W/m ² (-11 Btu/h·ft ² to +11 Btu/h·ft ²)	±5 W/m ² (±1.6 Btu/h·ft ²)

滞在者の位置が不明な場合は、測定点は以下の 2 条件を満たすこととする。

1. 空間の中央
2. 各壁の中央から 1m 以上内側。窓のある外壁の場合は、最も大きな窓の中央から 1m 内側
最も極端な環境になる、またはそうなることが想定される点でも測定を行う。(例: 窓、吹

満たすこととする。空気温度センサーは、周囲からの放射の影響を防ぐ。

7.3.5 BEMS データによる環境評価

7.3.5.1 測定点 BEMS に用いる室内環境センサーは、7.3.2 に指定される測定点と比較できる点に設置する。

Table 5-12 Limits on Temperature Drifts and Ramps

Time Period, h	0.25	0.5	1	2	4
Maximum Operative Temperature t_o Change Allowed, °C (°F)	1.1 (2.0)	1.7 (3.0)	2.2 (4.0)	2.8 (5.0)	3.3 (6.0)

7.3.5.2 分解能 BEMS の室内環境センサーの分解能は、空気温度は 0.5°C 以下、湿度は ±5% とする。

7.3.5.3 測定時間 測定間隔 15 分以下で 30 日以上、室内環境の変動を記録できるものとする。

7.3.5.4 関連情報 室内環境評価と同じ期間の設備の運転状況、給還気温度、冷温水温度等を記録する。

7.4 評価方法 (抜粋)

7.4.2 環境測定データによる評価 以下に示す 7.4.2.1 または 7.4.2.2 により評価する。

7.4.2.1 特定の時間帯における快適性を評価する場合

a. 全館空調の建築物

1. 居住空間は、本基準で示される PMV または SET の快適域で評価する。
2. 局所不快は、本基準で示される許容範囲で評価する。

b. 滞在者が窓開けにより環境調節を行う建築物 (省略)

7.4.2.2 一定の期間における快適性を評価する場合

7.4.2.1 に示す手法を用い、対象期間の在室時間帯における快適域の不適時間数 (exceedance hour: EH) を評価する。

7.4.2.2.1 EH は PMV または adaptive model を用いて評価する：

- a. 任意の期間の在室時間帯について、不適時間数を積算する
- b. (adaptive model に関する記述のため、省略)
- c. 時間の単位は h とする。在室時間に対する不適時間の割合を用いてもよい。

7.4.2.2.2 不適時間数は、快適域、室温変動、局所不快等について求めてもよい。

【参考】

5.3.4 室温変動

5.3.2.1 適用範囲 本項で解説する室温変動は、居住者自身による制御によらないものとする

5.3.4.2 周期的変動 15 分未満の周期的な作用温度の変動は、振幅が 1.1°C を越えないようにする

5.3.4.3 非周期的変動 単調で非周期的な作用温度の変動、または 15 分を超える周期的変動は、以下の表の範囲を超えないようにする

(翻訳部分、以上)

B. まとめ

温熱環境評価に使用される測定器の精度は、建築物衛生法に指定される仕様よりも高いことがわかった。今後、IoT センサーを建築物衛生管理以外の用途 (快適環境管理・設備の運転管理・エネルギー管理等) に用いることが想定される場合は、ASHRAE 55 基準に推奨されるのと同程度の精度が望まれる。

室内を代表とする測定点の選定方法は、室中央だけでなく、極端な環境になると思われる点を追加で測定することが推奨されている。測定高さも 1 点ではなく、在室者の典型的な姿勢 (立位・座位) に応じた 3 点を測定することとなっている。

BEMS による連続的データで評価する場合も通常の評価と同程度の精度を持つ機器の使用が推奨されている。評価項目としては、室温変動や勤務時間中における快適範囲の不適 (逸脱) 時間を評価することとなっている。

IoT センサーを用いることでセンサーの設置の自由度が高まり、それらの連続的なデータ収集も簡便に行えるようになる。一方で、多くのデータを分析し、その結果を判断するための目安も必要となる。先行する基準を参考に、実際

の測定データを分析することで IoT を活用した建築物衛生管理手法の課題を整理していく。

C. 参考文献

- 1) ANSI/ASHRAE Standard 55-2020
"Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 2020

D. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

E. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

3-2 ASHRAE 55-2020 に準拠した手法による 温熱環境評価

A. 研究目的

本研究では、気候、季節、建物仕様の異なる建築物の実測調査を行い、ASHRAE55-2020 に準拠して室内温熱環境特性を明らかにする。そして、室内温熱環境特性を IoT センサーにて把握するためのセンサー位置や測定条件の課題を明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

北海道、埼玉県、神奈川県で計 6 件の建物について調査を行った。測定対象建物を表 3-2-1 に示す。いずれも BEMS により室内環境データの記録とモニタリングを行っていた。

建物 A は秋季 (10/31) と冬季 (2/17) に調査したが、その他の建物については冬季のみの調査であった。建物によっては、複数フロアを対象とした。快適性基準では執務者が滞在している、または滞在すると想定される居住域を評価対象に選定することとなっている。そのため、以下の基準で各フロアについて最低 2 点以上の測定点を設けた。環境特性の把握に必要と判断された場合は、同様の基準で追加の測定点を選定した。

(インテリア)

- ・最も大きな窓の中央から 1m 以内かつ座席近傍となる点 (ペリメータ)

各建物測定点を図 3-2-1~図 3-2-6 に示す。また、建物ごとの測定点数と調査日を表 3-2-2 に示す。

測定項目は空気温度、相対湿度、微小面放射温度、および気流速度とした。

空気温度と相対湿度は、居住域の代表となる以下の 4 点で 15 分間記録し、最後の 30 秒間の平均値を代表値とした。

- ・0.1m くるぶし
- ・0.6m 座位体中心
- ・1.1m 座位頭部・立位体中心
- ・1.7m 立位頭部

各空間の最も大きな窓のある方向を正面とし、高さ 1.1m にて上下左右前後の 6 方向について微小面放射温度を計測した。5 分間計測し、最後の 30 秒の平均を代表値とした。微小面放射温度は、微小平面に入射する放射束が実環境と同等になる均一な黒体閉空間の内表面温度である。逆となる 2 方向を測定することで、非対称放射温度による不均一環境の局所不快を評価

表 3-2-1 測定対象建物概要

建物	立地	竣工年	構造	延床面積 (m ²)	階数 地上/地下	測定階	室面積 (m ²)	天井高(m)	空調方式	空調吹出位置	加湿方式
A	埼玉県 三芳町	1992	RC	1 551.0	3 / 0	2	354	2.7	外気処理エアコン+ 水熱源 PAC	床	蒸発式
						3	354	2.7			
B	北海道 旭川市	2002	S+	8 356.0	4 / 1	1	92.9	3	中央式放射冷温水 パネル+個別 PAC	天井	なし
			RC			4	164.8	2.8			
C	北海道 札幌市	2021	RC	1 113.2	2 / 0	2	259.2	4.35	地中熱ヒートポンプ	床	気化式
D	埼玉県 和光市	2002	SRC	15 978.7	8 / 1	1	97.2	2.7	定風量単一ダクト 方式+FCU 方式	天井	
			RC			4	104.4	2.6			
E	神奈川県 藤沢市	2006	S+ RC	17 863.5	7 / 0	2	1555.2	2.8	変風量単一ダクト 方式	天井	水気化式
F	神奈川県 藤沢市			9 132.1	5 / 0	2	1305	2.8	変風量単一ダクト 方式+FCU 方式	床	水気化式

- ・部屋または空間の中央かつ座席近傍となる点

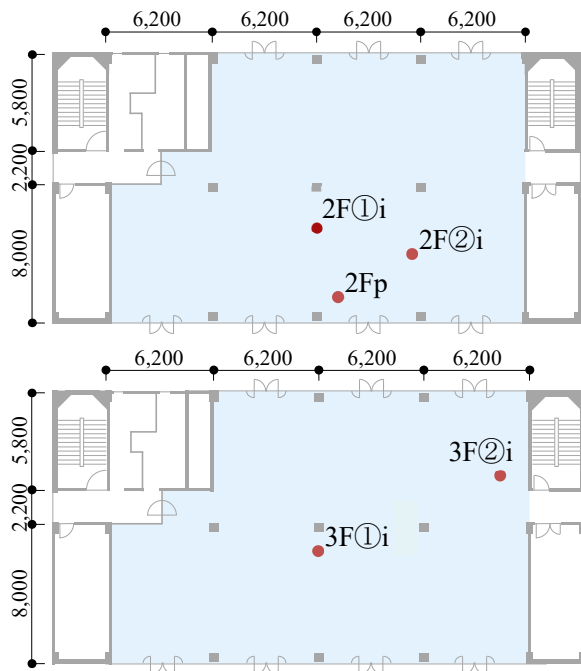


図 3-2-1 Aビル測定点 (上:2階、下:3階)

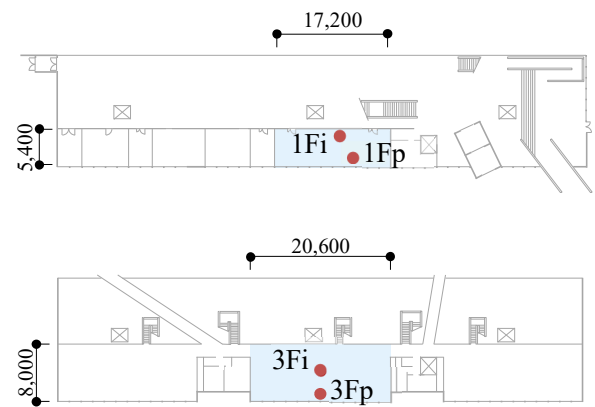


図 3-2-2 Bビル測定点 (上:1階、下:3階)

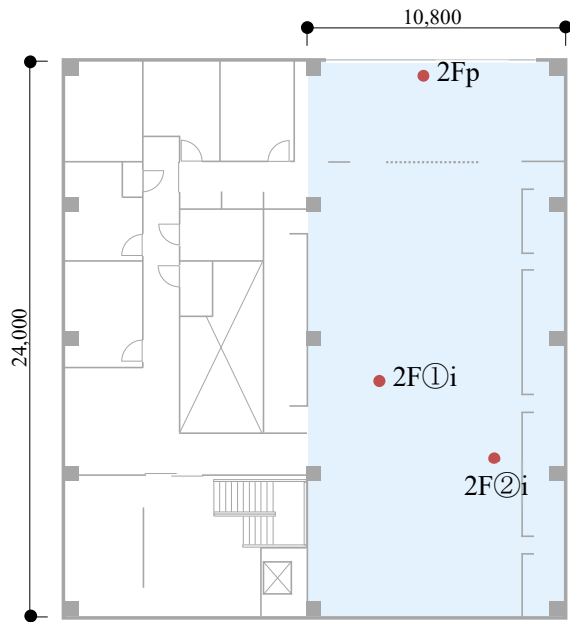


図 3-2-3 Cビル測定点 (2階)

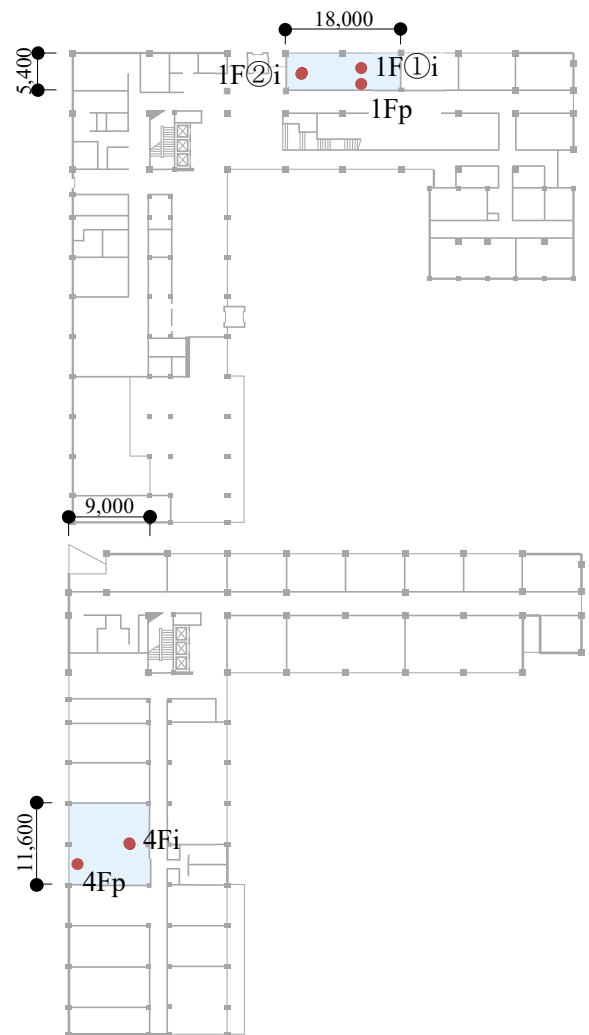


図 3-2-4 Dビル測定点 (上:1階、下:4階)

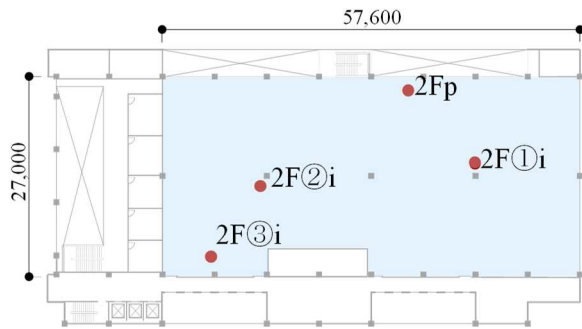


図 3-2-5 Eビル測定点 (2階)

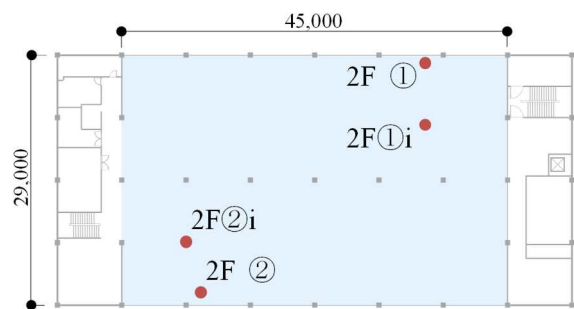


図 3-2-6 Fビル測定点 (2階)

表 3-2-2 調査日と測定点数

建物	測定対象階	測定点数	調査日
A	2F	3	2022/10/31
	3F	3	2023/2/17
B	1F	2	2022/12/8
	3F	2	
C	2F	3	2022/12/9
D	1F	3	2023/2/22
	4F	2	
E	2F	4	2023/2/16
F	2F	4	2023/2/16

できる。また、6方向を測定し、重み付け平均をすることで人体の形状を考慮した平均放射温度を求めることができる。座位の執務者が主であるため、以下の式を用いて平均放射温度を求めた。

$$t_{pr} = \frac{0.18(\text{上}+\text{下})+0.22(\text{右}+\text{左})+0.30(\text{前}+\text{後})}{2(0.18+0.22+0.30)}$$

また、高さ 1.1m にて気流速度を 3 分間計測し、その最大値、平均値、最小値を記録した。

C. 研究結果

C.1. A ビルの測定結果

図 3-2-7 に高さ 1.1m における空気温度を示す。秋季も冬季もすべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。場所による差も小さく、冬季の 3F のペリメータとインテリアで 1.4℃の

差が見られたが、その他の測定点の差は 1℃以下であった。

図 3-2-8 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの季節も衛生管理基準の 40% 付近の値が多く、秋季の全測定点の平均値は 38%、冬季は 35% であった。特に冬季の 2 階で基準値を約 10% 下回る結果となった。

図 3-2-9 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の 0.5 m/s を大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図 3-2-10 に秋季の、図 3-2-11 に冬季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。秋季の 6 方向の値はほぼ等しく、均一な放射環境であった。冬季は 2F、3F のペリメータにおける前と上方向の放射温度が後方向と比べて約 2℃高かった。前方向には南の窓面があり、ブラインドは閉鎖されていたものの、日射の影響で温度上昇が見られた。

図 3-2-12 に空気温度の上下温度差を示す。秋季は 3 階で足元 (0.1m) に比べて 1.7m の温度が高くなる傾向が見られたが、最大でも 3F②i の 1.5℃であった。冬季は同じ測定点において 3.7℃の差が見られ、ASHRAR 55 基準の推奨値の 3℃を超える値であった。この席の側に階段室があり、そこからの冷気が足元に流れ込んでいたためと考えられる。

図 3-2-13 に相対湿度の上下温度差を示す。秋季はどの測定点のどの高さでも差は見られなかった。冬季は 2 階と 3 階で差は見られたものの、高さ方向の差は見られなかった。

C.2. BビルおよびCビルの測定結果

BビルおよびCビルはいずれも冬季に北海道で調査を行ったため、結果をまとめて示す。

図3-2-14に高さ1.1mにおける空気温度を示す。すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。Bビルでは1Fに比べて人員密度の低かった3Fの温度が約2°C低かった。

図3-2-15に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。Bビルではいずれの測定点でも約20%となっており、管理基準値を大幅に下回っていた。Cビルは概ね基準値を満たしていた。

図3-2-16に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の0.5 m/sを大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図3-2-17にBビル、図3-2-18にCビルの6面微小面放射温度の結果を示す。Bビルの1Fインテリアは6方向がほぼ均一であったが、ペリメータでは前方向が20.7°Cで最も低く、下方向が25°Cと最も高かった。窓面方向は放射温度が低く、窓下のラジエータの影響でした方が高かった。3Fではそこまでの温度差は見られなかったものの、窓方向は約3°C低かった。Cビルでもペリメータの窓方向が低くなっており、寒冷地のペリメータの放射環境については、注意が必要と考えられる。

図3-2-19に空気温度の上下温度差を示す。放射温度で見られた温度差は空気温度では見られず、最大の差はBビルの1Fインテリアの高さ0.1mと1.7mにおける1.7°Cであった。Cビルでは、ペリメータでも1.2°Cであり、垂直方向に均質な温熱環境が形成されていた。

図3-2-20に相対湿度の上下温度差を示す。いずれの建物で高さ方向の差は5%未満であった。

C.3. Dビルの測定結果

図3-2-21に高さ1.1mにおける空気温度を示す。すべての測定点で衛生管理基準を満たしていたが、1Fに比べて4Fは約3°C高く、平均25.7°Cであった。

図3-2-22に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。1Fは約5%、4Fは約15%、衛生管理基準値の40%を下回っていた。4Fは室温が高かったため、相対湿度が低くなっていたためと考えられる。

図3-2-23に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の0.5 m/sを大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図3-2-24に1Fの、図3-2-25に4Fの6面微小面放射温度の結果を示す。1Fはいずれの測定点でも上方向と下方向の放射温度差が最も大きく、ペリメータでは5.5°Cに達していた。窓は北に面していたため、放射温度への影響は小さかった。4Fでも上下方向の放射温度差が最も大きく、ペリメータで4.3°Cであった。上下方向の放射温度差が大きくなるのは、他の建物では見られない特徴であった。

図3-2-26に空気温度の上下温度差を示す。1F、4Fのすべての測定点で高さ0.1mと1.7mの上下温度差がASHRAE 55推奨値の3°Cを越えていた。最大の温度差は1Fペリメータの5.1°Cであった。断熱性の低い建物で天井から暖房給気を行い、室内空気の十分な攪拌が行われない場合に、上下温度差が大きくなりやすい。このようなケースでは空調運用による改善は困難なため、サーキュレータ等で室内空気を攪拌する等の対策が望まれる。

図3-2-27に相対湿度の上下温度差を示す。1Fペリメータの高さ0.1mと1.7mで最大10%の差が見られたが、他の測定点では5%程度であった。

C.4. EビルおよびFビルの測定結果

EビルおよびFビルは神奈川県と同じ敷地内にあり、同じ日に調査を行ったため、結果をまとめて示す。

図3-2-28に高さ1.1mにおける空気温度を示す。いずれの測定点も概ね22~24°Cの範囲に保たれており、衛生管理基準を満たしていた。

図3-2-29に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。冬季に不適となりやすい相対湿度が、すべての測定点において管理基準値の40%を越えていた。

図3-2-30に高さ1.1mにおける相対湿度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の0.5 m/sを大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図3-2-31にEビル、図3-2-18にFビルの6面微小面放射温度の結果を示す。いずれの測定点でも上方向が最も高く、下方向が最も低くな

る傾向があるものの、その温度差は 1.5℃以内であり、均質な放射環境が形成されていた。

図 3-2-33 に空気温度の上下温度差を示す。E ビルの 2F ペリメータが吹き抜け空間と隣り合わせており、高さ 0.1m と 1.7m で最大 2.8℃の差が見られたが、その他の測定点では 1.5℃未満であり、垂直方向に分布の小さい環境が形成されていた。

D. まとめ

本節では、ASHRAE55-2020 基準に準拠した温熱環境の実測調査を行い、実際の空間での温熱環境特性を明らかにする上で、IoT センサーの設置位置や測定条件の課題を探った。

実測調査は、内外気温差が大きく、室内環境にも分布の生じやすい冬季に実施し、北海道、埼玉県、神奈川県 of 建物を選定した。測定対象室では、最低 2 点の測定を行った。

全体的な傾向として、すべての測定点において、空気温度および気流速度の管理基準に適合していた。相対湿度については、概ね基準値前後の値となっている建物が多かったが、10～20%下回る建物もあった。

今回調査した中で、温熱環境の分布の生じる要因として以下が明らかになった。冬季の窓際では、窓面方向で放射温度が下がりやすく、不均一な放射環境となる。また、階段室や開放された空間に隣接している場所では、冷気の流入により足元の空気温度が低くなることがある。また、建物の外皮熱性能が低く、暖房方式がそのような空間に対応していない場合は、垂直方向の空気温度分布が極端に大きくなることもある。

冬季はペリメータとインテリア、室下部と室上部などで温熱環境の分布が生じやすく、高さ 1 点の測定ではそのような不具合を特定できない。建築物衛生法の衛生管理基準を満たすことのみが目的であれば、居室の中央部での高さ 75 cm 以上 150 cm 以下の位置にセンサーを設置すれば良い。しかし、執務者に質の高い温熱環境を提供するという観点では、少なくとも高さ 0.1m と 1.1m の 2 点、また水平方向にも室中央と最も大きい窓際の 2 点を計測することが望ましい。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

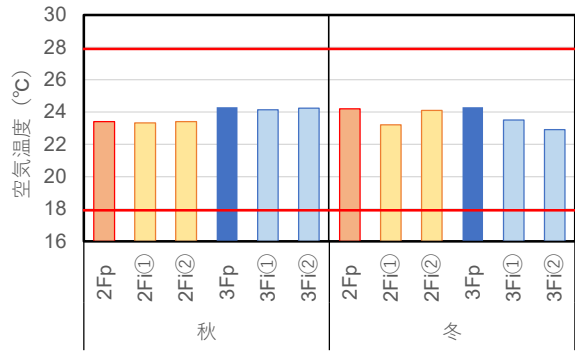


図 3-2-7 A ビル空気温度 (高さ 1.1m)

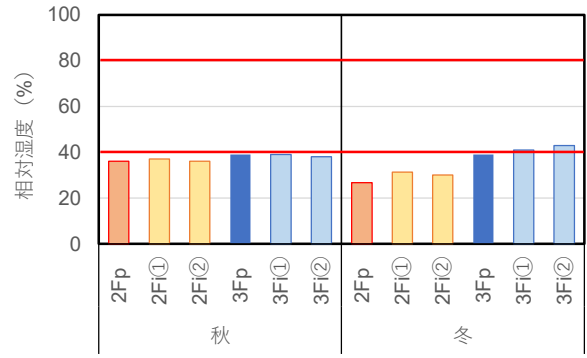


図 3-2-8 A ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

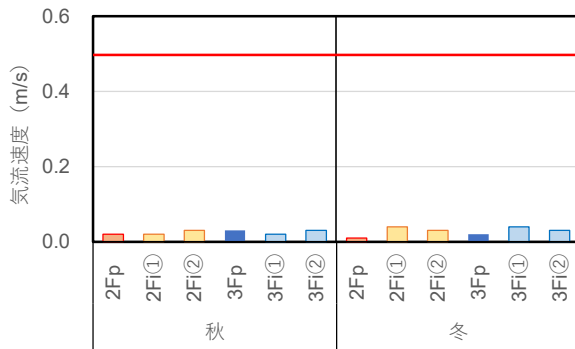


図 3-2-9 A ビル気流速度 (高さ 1.1m)

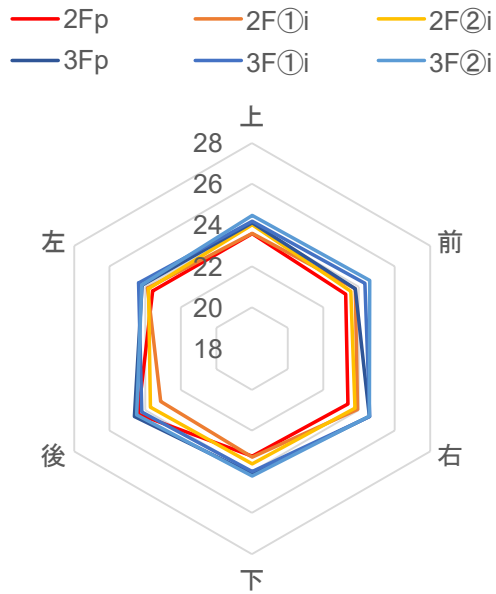


図 3-2-10 A ビル微小面放射温度 (秋季)

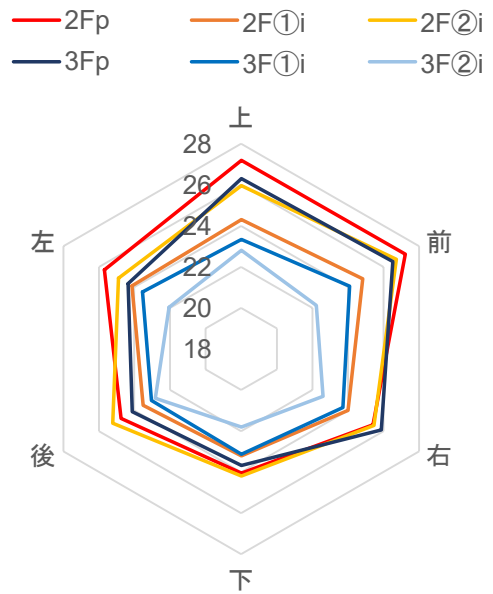


図 3-2-11 A ビル微小面放射温度 (冬季)

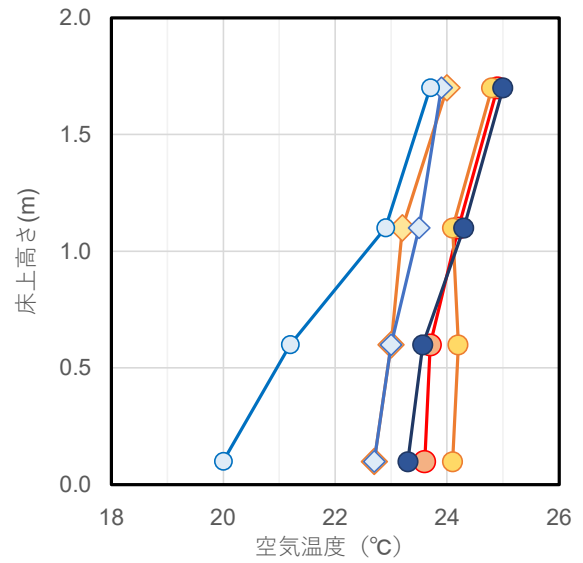
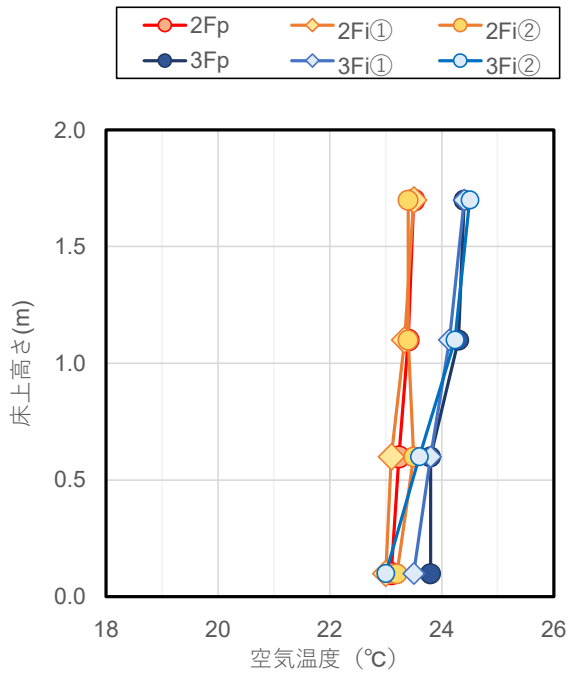


図 3-2-12 Aビル 上下温度差 (左: 秋季、右: 冬季)

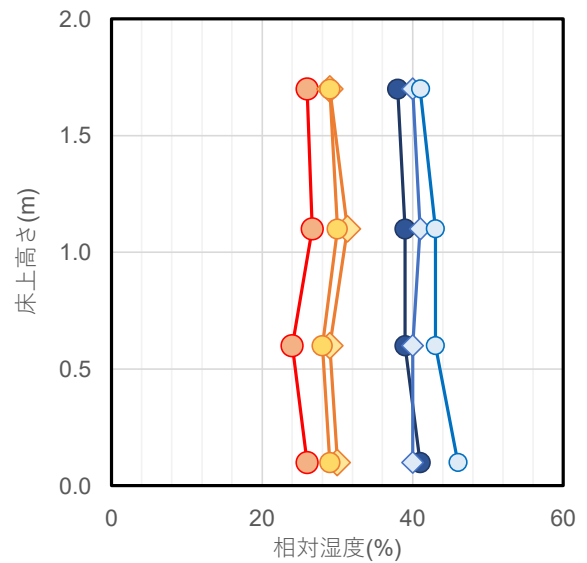
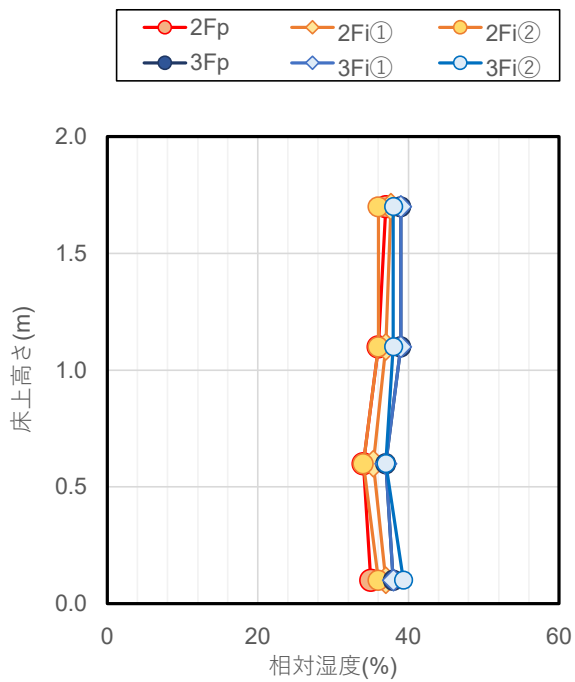


図 3-2-13 Aビル 上下湿度差 (左: 秋季、右: 冬季)

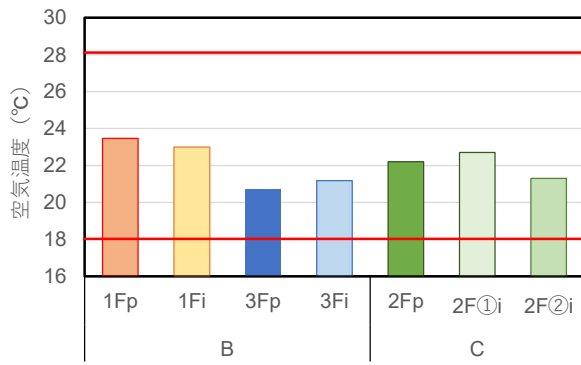


図 3-2-14 B,C ビル空気温度 (高さ 1.1m)

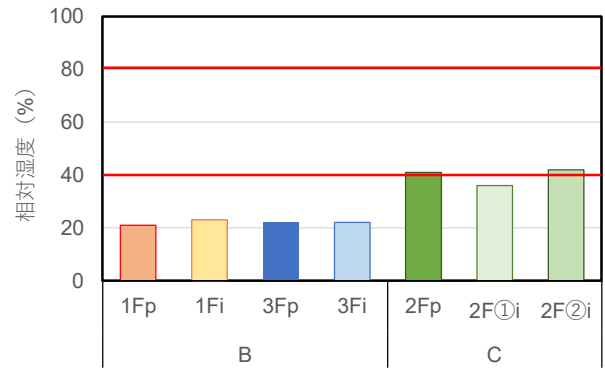


図 3-2-15 B,C ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

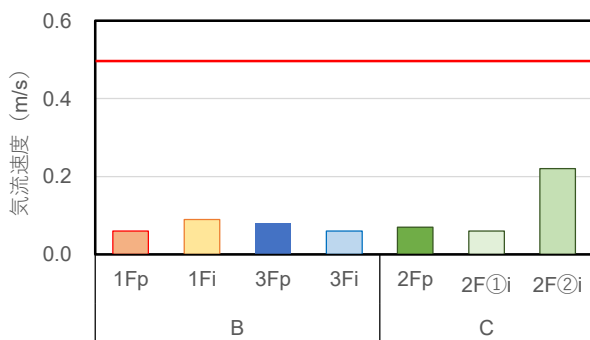


図 3-2-16 B,C ビル気流速度 (高さ 1.1m)

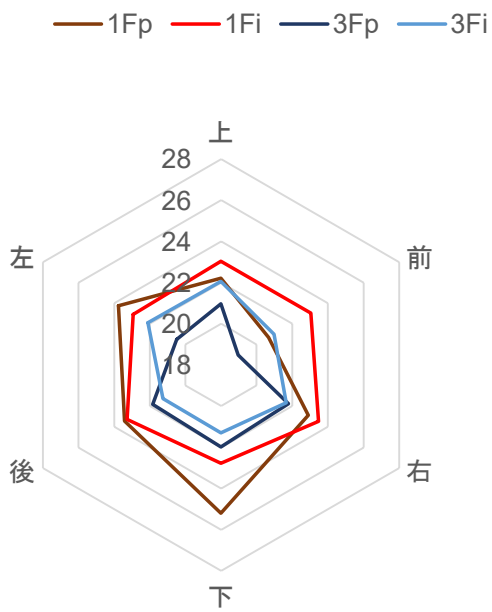


図 3-2-17 B ビル微小面放射温度

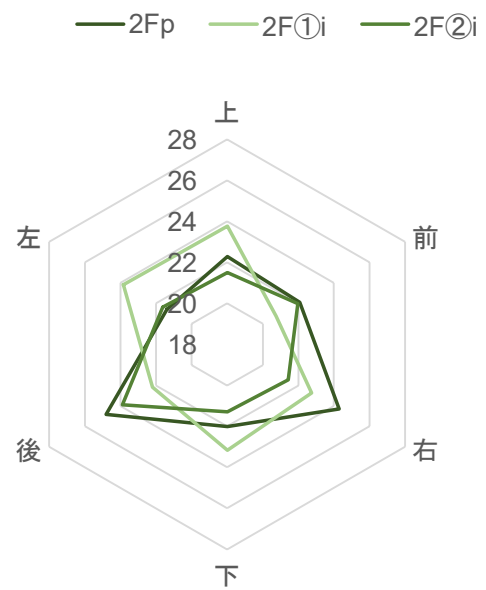


図 3-2-18 C ビル微小面放射温度

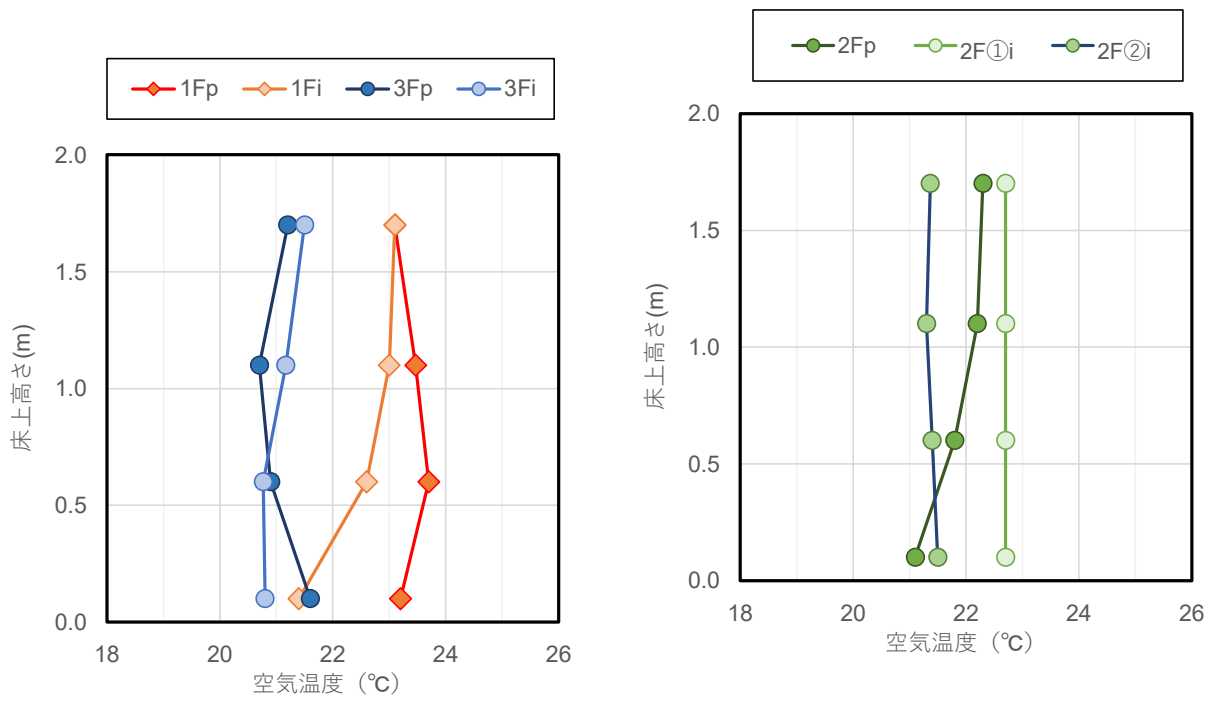


図 3-2-19 上下温度差 (左 : B ビル、右 : C ビル)

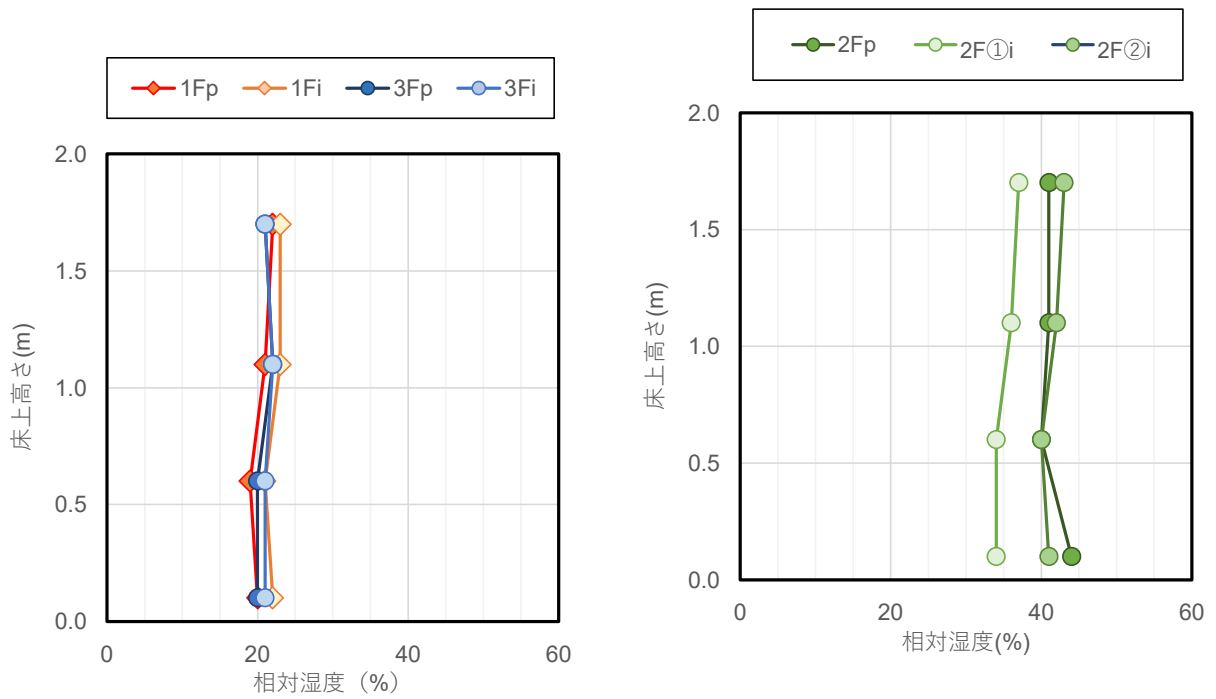


図 3-2-20 上下湿度差 (左 : B ビル、右 : C ビル)

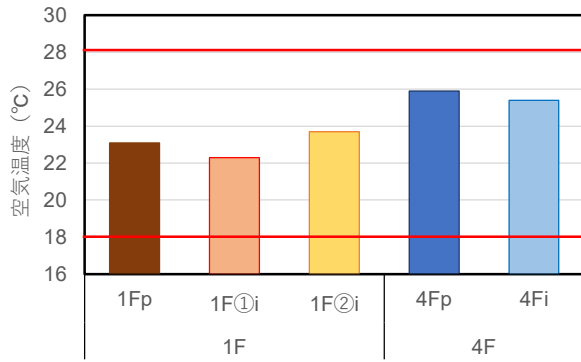


図 3-2-21 D ビル空気温度 (高さ 1.1m)

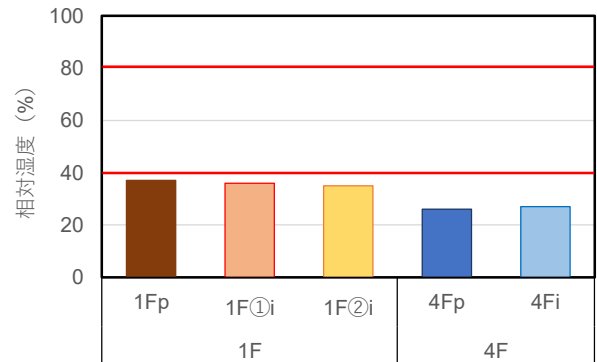


図 3-2-22 D ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

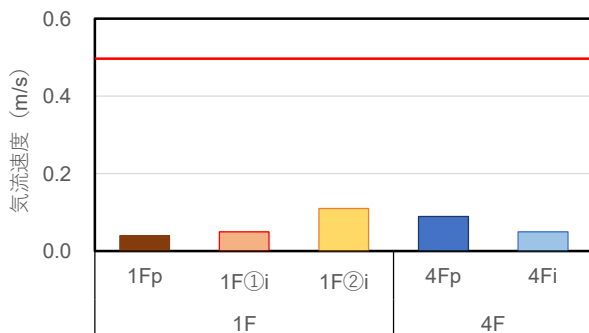


図 3-2-23 D ビル気流速度 (高さ 1.1m)

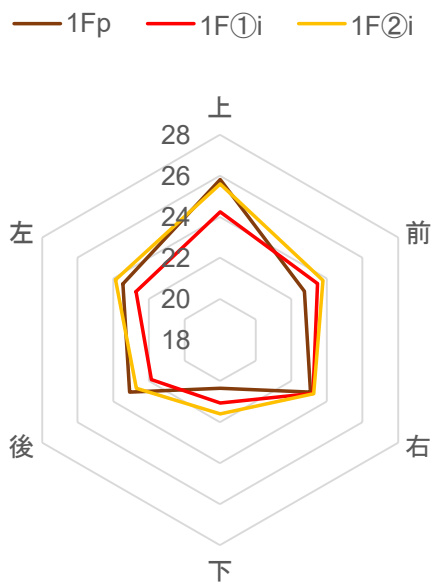


図 3-2-24 D ビル微小面放射温度(1階)

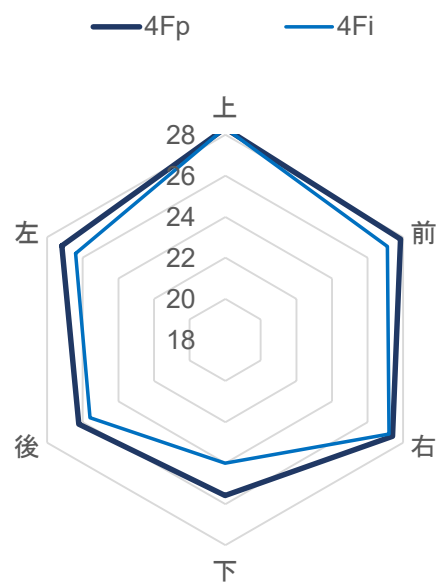


図 3-2-25 D ビル微小面放射温度(4階)

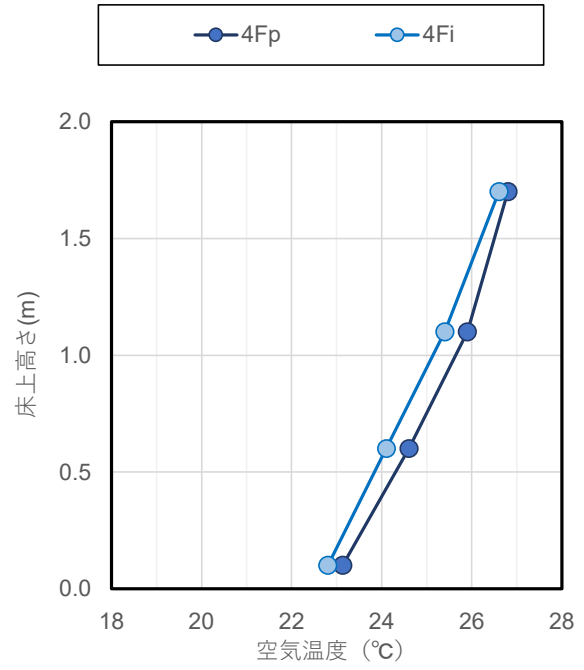
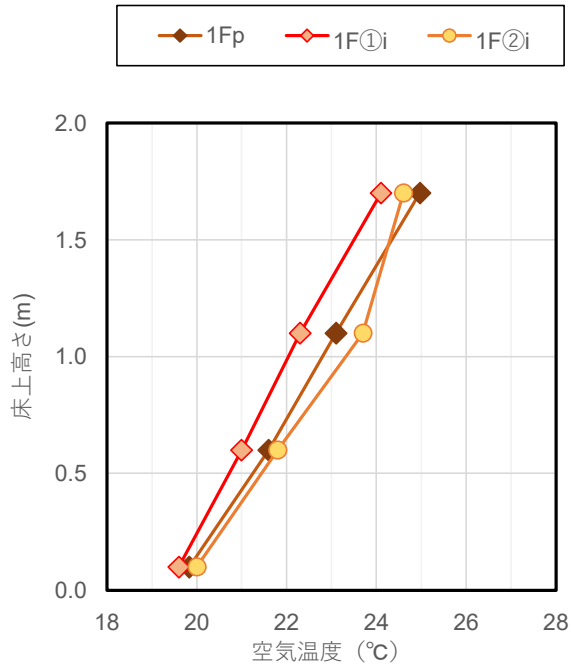


図 3-2-26 D ビル上下温度差 (左 : 1 階、右 : 4 階)

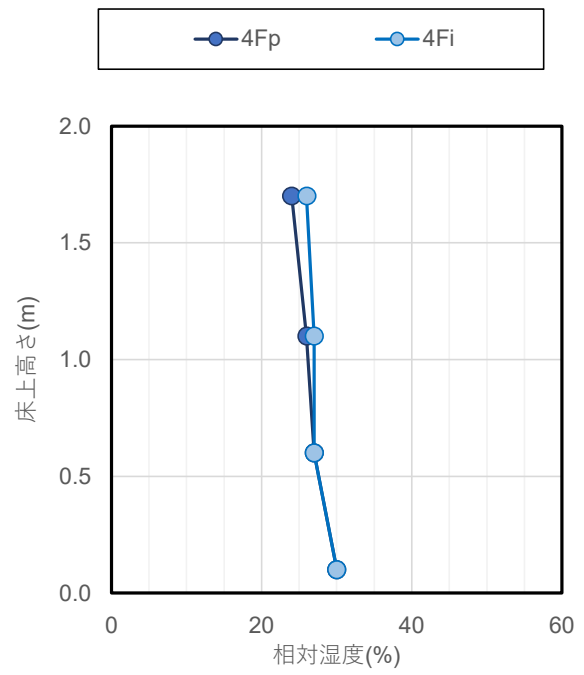
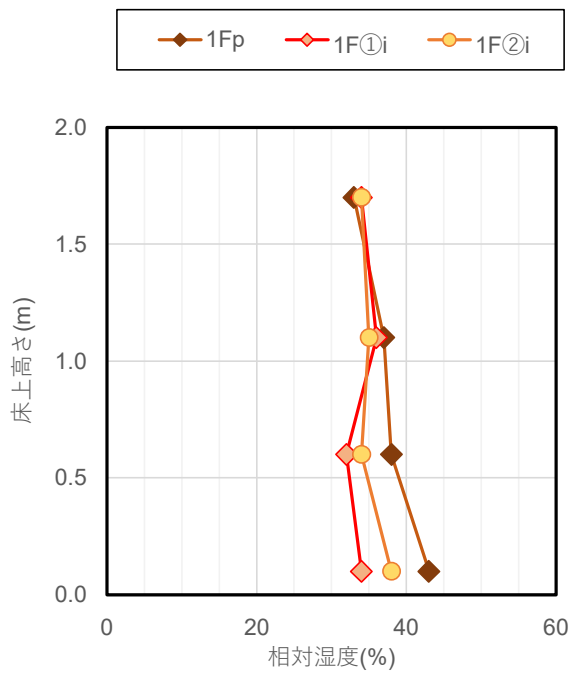


図 3-2-27 上下湿度差 (左 : 1 階、右 : 4 階)

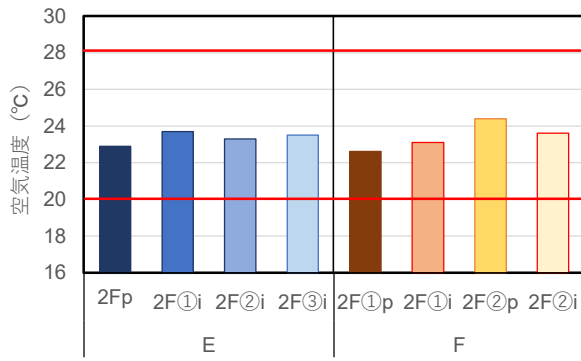


図 3-2-28 E,F ビル空気温度 (高さ 1.1m)

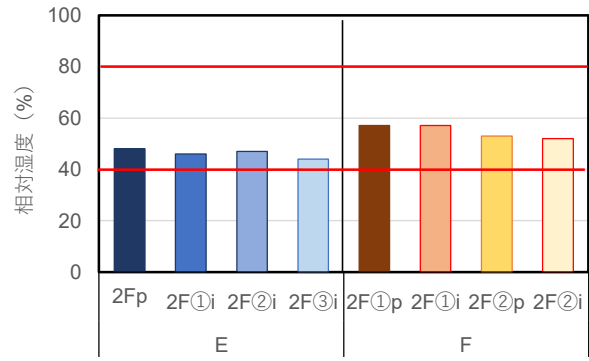


図 3-2-29 E,F ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

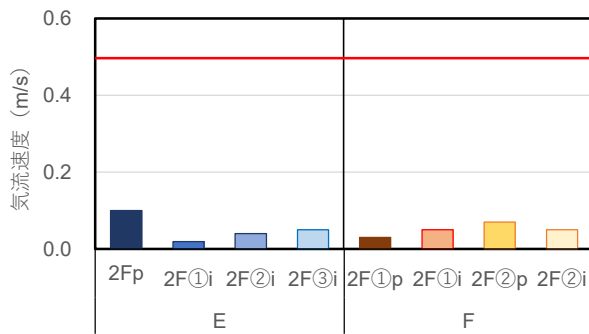


図 3-2-30 E,F ビル気流速度 (高さ 1.1m)

— 2Fp — 2F①i — 2F③i — 2F②i

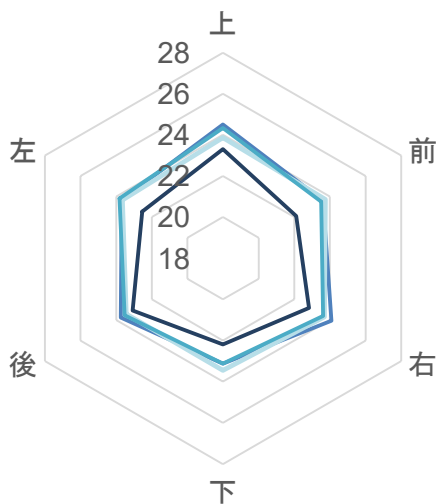


図 3-2-31 E ビル微小面放射温度

— 2F①p — 2F①i — 2F②p — 2F②i

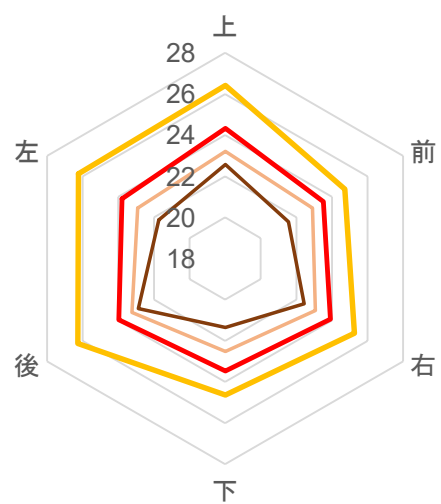


図 3-2-32 F ビル微小面放射温度

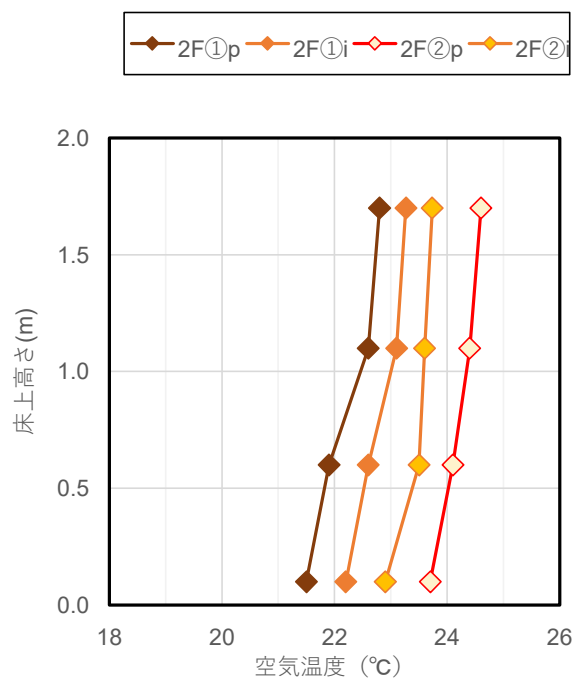
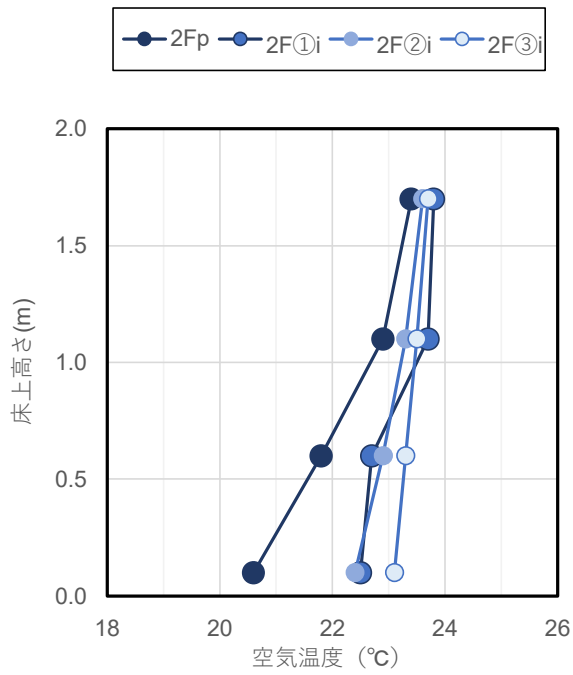


図 3-2-33 上下温度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

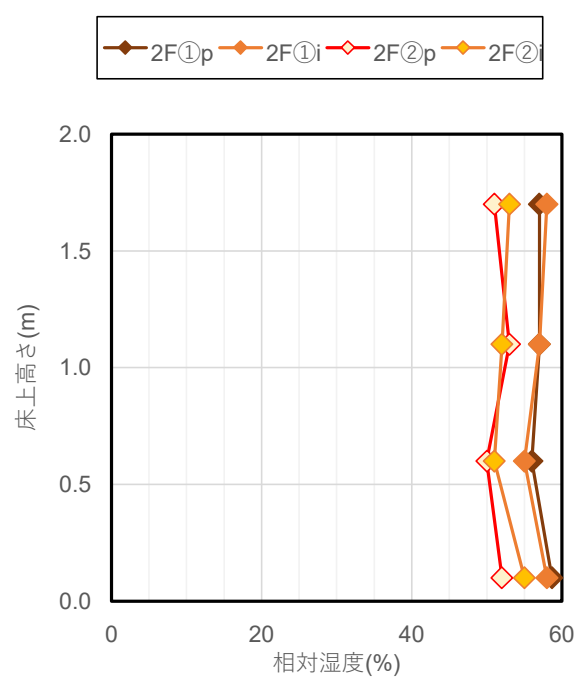
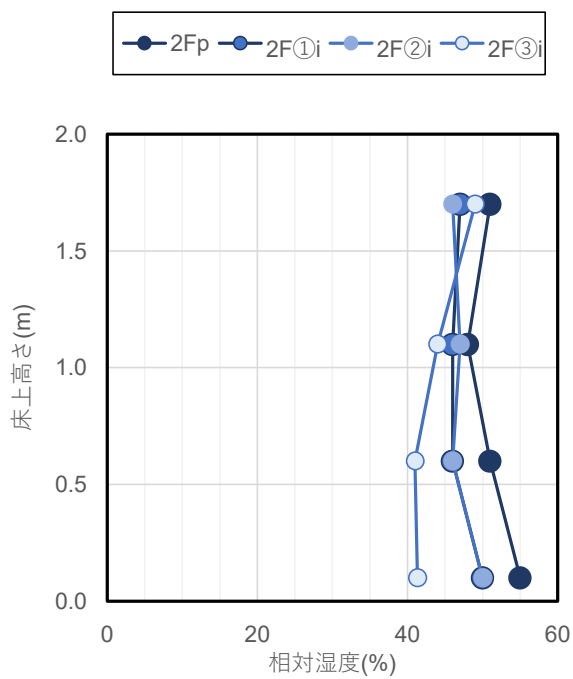


図 3-2-34 上下湿度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

3-3. IoT センサーによる温熱環境評価

A. 研究目的

建築物衛生法では空気調和機を設けている場合の空気環境の基準が定められており、2 か月以内ごとに1回の測定が義務付けられている。浮遊粉じんの量、一酸化炭素の含有率（以降、CO濃度）、二酸化炭素の含有率（以降、CO₂濃度）、温度、相対湿度、気流の6項目の測定が義務付けられているが、CO₂濃度、温度、相対湿度については、連続測定が可能な小型測定機器（以降、IoTセンサー）が普及しており、IoTセンサーによる建築物衛生管理への適用も期待されている。

IoTセンサーを利用することで、当該建物の室内環境を経時的にモニタリングすることが可能であり、建築物衛生法に定められる現行の手法と比較してより適切に建築物内の衛生環境を管理できる可能性がある。

本節では、IoTセンサーにより室内環境のヒストグラム、時別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率を算出し、当該建物の温熱環境を評価することを目的とする。

B. 研究方法

2章に示した6件の建物に設置したIoTセンサー（TR-76Ui）により温熱環境を評価する。各建物の平面概要図と測定点を図3-3-1～図3-3-9に示す。水色陰影部が測定対象室を示しており、丸プロットがIoTセンサーの測定点を示している。いずれの建物でも測定対象室の平面中央付近に設置するよう配慮したが、一部平面中央付近ではない建物も含まれる。

IoTセンサーは10月より設置している建物もあるが、令和4年度は冬期の温熱環境に着目し2022年12月～2023年2月の温熱環境を評価する。TR-76Uiにより5分間隔でCO₂濃度、温度、相対湿度で測定した。測定期間全体において平日9～18時のみ抽出してヒストグラム、1時間間隔の時別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率を評価する。

C. 研究結果

Aビルにおける温熱環境評価を図3-3-10～図3-3-17に示す。2階については温度は22～24°C、

相対湿度は30～40%、CO₂濃度は600～800ppmが最頻値となっている。1時間間隔の時別値によると温度は9～10時に13.8°Cまで低下している時間帯があるが、年始に記録されたものである。相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は32～34%であった。CO₂濃度は15～17時に高くなる傾向があり、在室人数が多くなっている可能性がある。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度は9～10時に発生している低温環境の影響により100%に達していないものの多くの時間帯で基準を満たしている。相対湿度は12月は40.4%の時間帯（約72時間）で基準を満たしているものの、1月と2月はそれぞれ8.2%（約14時間）、5.3%（約9時間）のみ基準を満たしていた。なお、CO₂濃度については全時間で基準を満たしていた。また、3階については温度は22～24°C、相対湿度は40～50%、CO₂濃度は600～800ppmが最頻値となっている。1時間間隔の時別値によると温度は9～10時に13.3°Cまで低下している時間帯があるが、年始に記録されたものである。相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は42～44%であった。CO₂濃度は午後に高くなる傾向があり、在室人数が多くなっている可能性がある。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度は9～10時に発生している低温環境の影響により100%に達していないものの多くの時間帯で基準を満たしている。相対湿度はすべての月で過半数の時間帯が基準を満たしており、最も基準値内である時間率が低い1月でも63.9%（約109時間）の時間帯で基準値を満たしていた。CO₂濃度については1月に基準値超となる時間帯が4.6%（約8時間）あるものの12月と2月は全時間で基準を満たしていた。

Bビルにおける温熱環境評価を図3-3-18～図3-3-25に示す。1階については温度は22～24°C、相対湿度は10～20%、CO₂濃度は600ppm以下が最頻値となっている。1時間間隔の時別値によると温度は9～10時に最低値を記録するが18.3°Cであり、各時間帯の中央値は22.0～24.5°Cであった。相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は15～18%であった。CO₂濃度も12～13時を除いて時間帯によらず変動は

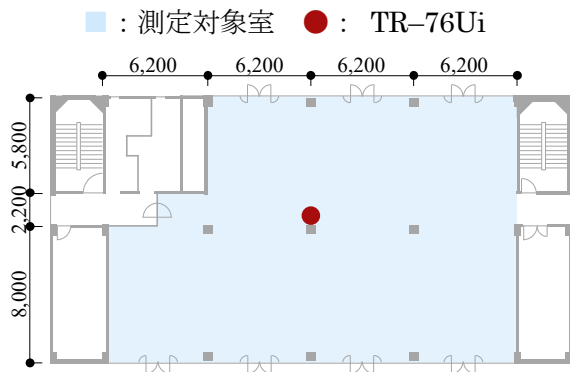


図 3-3-1 Aビル 2階平面概要図

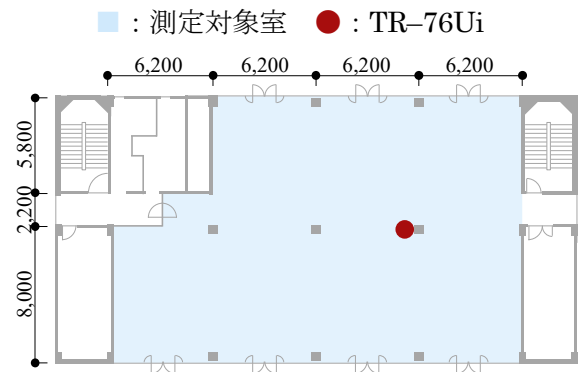


図 3-3-2 Aビル 3階平面概要図

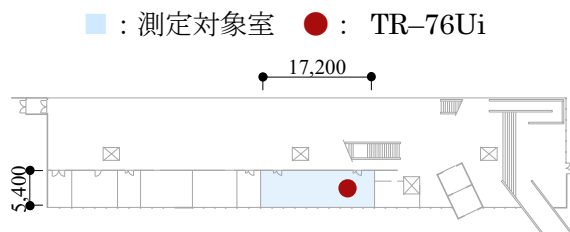


図 3-3-3 Bビル 1階平面概要図

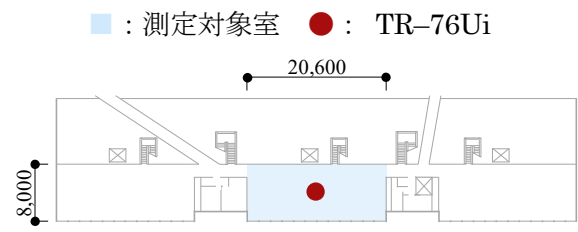


図 3-3-4 Bビル 3階平面概要図

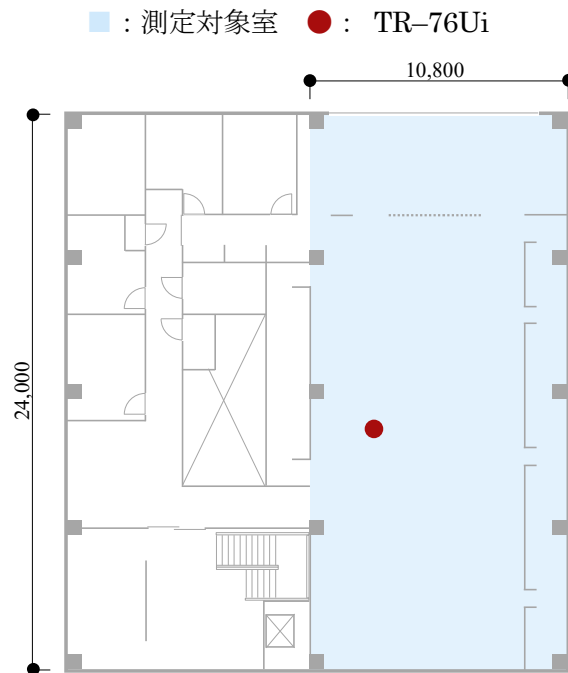


図 3-3-5 Cビル 2階平面概要図

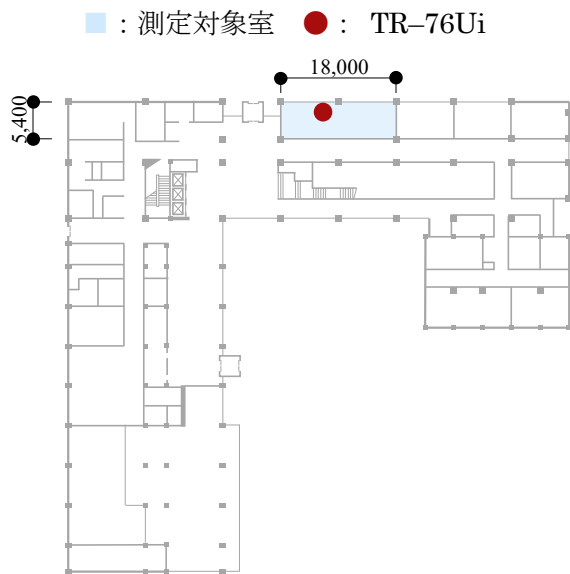


図 3-3-6 Dビル 1階平面概要図

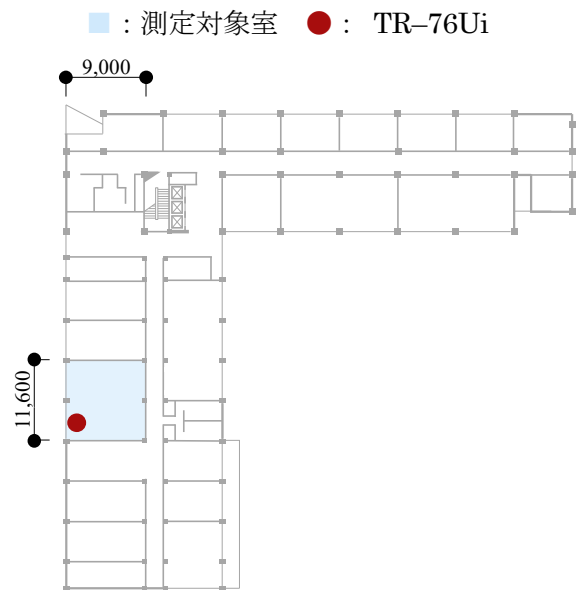


図 3-3-7 Dビル 4階平面概要図

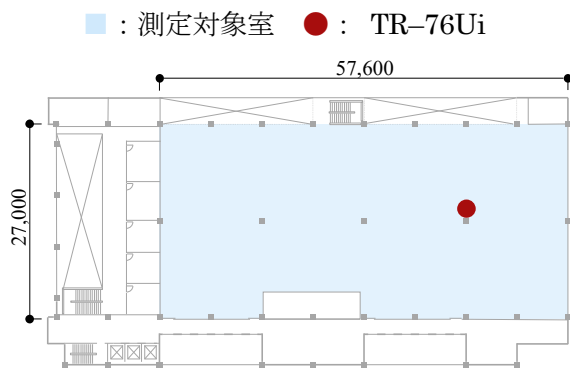


図 3-3-8 Eビル 2階平面概要図

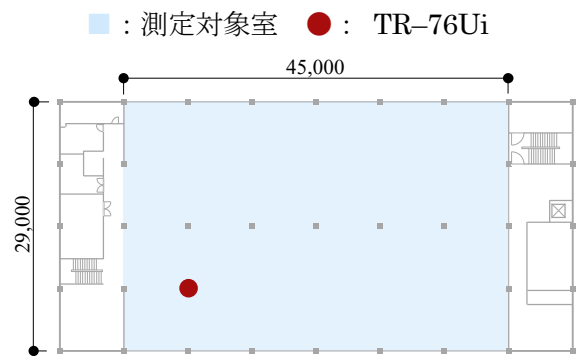


図 3-3-9 Fビル 2階平面概要図

小さく中央値は 587～616ppm であった。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度はほとんどすべての時間帯で基準を満たしていたが 14～15 時に 28.2°C まで上昇した時間帯があった。相対湿度は 12～2 月の最高値が 25% であり、すべての時間帯で基準を満たしていなかった。なお、CO₂ 濃度については全時間で基準を満たしていた。また、3 階については温度は 22～24°C、相対湿度は 10～20%、CO₂ 濃度は 600ppm 以下が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度は 9～10 時に 16.8°C まで低下している時間帯があるが、休日後の月曜日に記録されたものである。相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 12～16% であった。CO₂ 濃度は全時間帯で基準値を大幅に下回っており、最高値は 645ppm であった。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度はいずれの月も 80% 以上の時間帯で基準を満たしているが、基準値外となる時間帯の多くは 28°C を超過している影響である。当建物の 3 階は外皮面積に対する窓面積が大きく日射により室内温度が上昇することが影響していると考えられる。相対湿度は 12～2 月の最高値が 25% であり、すべての時間帯で基準を満たしていなかった。なお、CO₂ 濃度については全時間で基準を満たしていた。

C ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-26～図 3-3-29 に示す。温度は 22～24°C、相対湿度は 30～40%、CO₂ 濃度は 600～800ppm が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度・相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 22.1～23.1°C・36～38% であった。CO₂ 濃度は 17～18 時に 1000ppm を超過する時間帯があるものの中央値は 738～792ppm と時間帯によらず変動は小さい。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度は全時間で基準を満たしていた。相対湿度は 12 月は 42.0% の時間帯（約 53 時間）で基準を満たしているものの、1 月と 2 月はそれぞれ 7.8%（約 10 時間）、13.5%（約 23 時間）のみ基準を満たしていた。なお、CO₂ 濃度に 12 月に最高値 1095ppm となる時間帯があるもののほとんどすべての時間帯で基準を満たしていた。

D ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-30～図

3-3-37 に示す。1 階については温度は 22～24°C、相対湿度は 30～40%、CO₂ 濃度は 600ppm 以下が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度は 9～10 時に 15.5°C まで低下している時間帯があるが、休日後の月曜日に記録されたものである。相対湿度は温度が高くなる午後の方が低くなる傾向があるものの各時間帯の中央値は 32～38% であった。CO₂ 濃度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 536～586ppm であった。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度は基準値外となる時間帯はいずれの月も 5% 以下であった。相対湿度が基準値を満たす時間はいずれの月も約 10% 以下であった。なお、CO₂ 濃度については全時間で基準を満たしていた。4 階については温度は 22～24°C、相対湿度は 30～40%、CO₂ 濃度は 600ppm 以下が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度は 9～10 時に 17.0°C まで低下している時間帯があるが、休日後の月曜日に記録されたものである。相対湿度は温度が高くなる午後の方が低くなる傾向があるものの各時間帯の中央値は 32～37% であった。CO₂ 濃度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 503～527ppm であった。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度は 1 月に基準値外となる時間帯が 0.8% あるもののほとんどすべての時間帯で基準値を満たしていた。相対湿度が基準値を満たす時間は 12 月と 2 月に約 30%、1 月に 16.5%（約 28 時間）であった。なお、CO₂ 濃度については全時間で基準を満たしていた。

E ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-38～図 3-3-41 に示す。E ビルは 2023 年 2 月 16 日に IoT センサーを設置したため 13 日間（平日は 8 日間）のみの結果である。温度は 22～24°C、相対湿度は 40～50%、CO₂ 濃度は 600～800ppm が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度・相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 23.8～24.3°C・48～51% であった。CO₂ 濃度は午後に高くなる傾向にあり、在室人数が多くなっている可能性がある。なお、温度、相対湿度、CO₂ 濃度のいずれも全時間で建築物環境衛生管理基準値内であった。

F ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-42～図

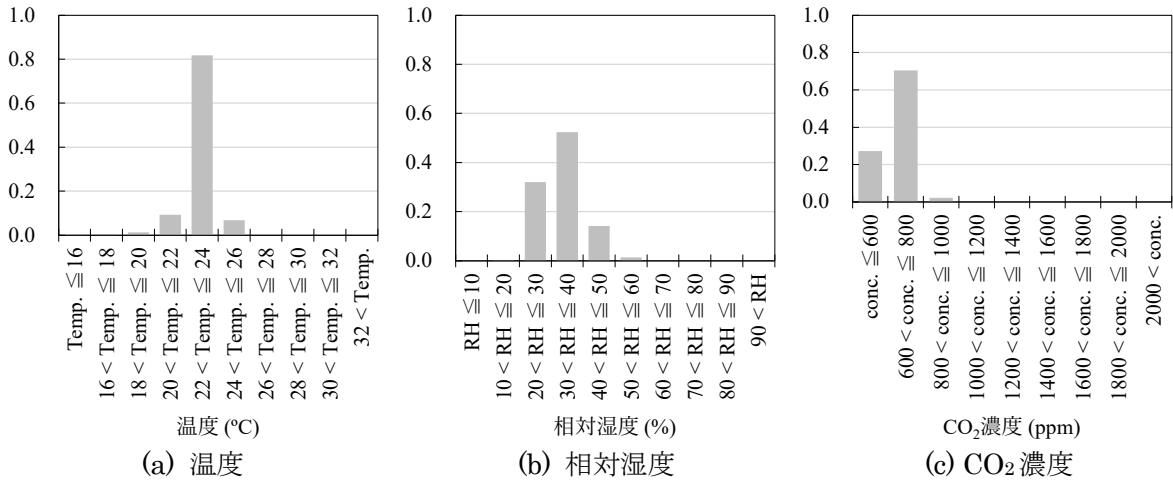


図 3-3-10 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Aビル2階, 12/1-2/28, 平日9-18時)

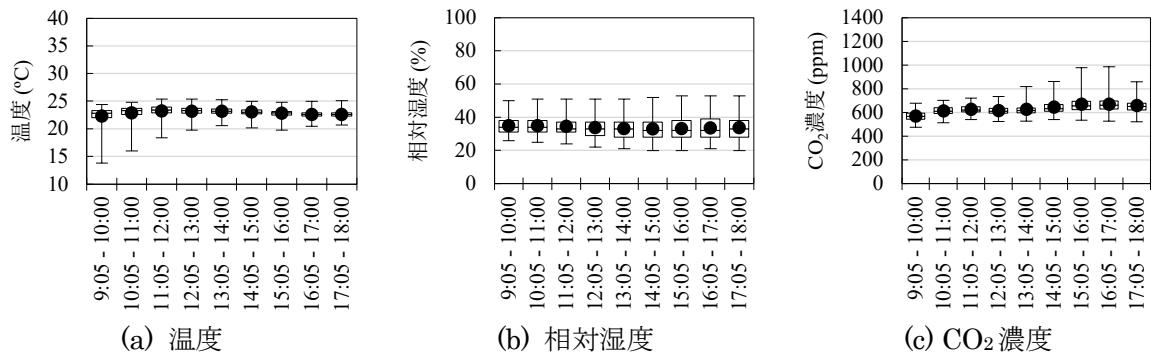


図 3-3-11 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Aビル2階, 12/1-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

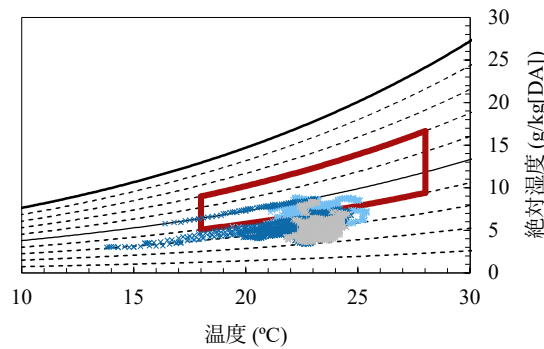


図 3-3-12 室内温湿度 (Aビル2階, 12/1-2/28, 平日9-18時)

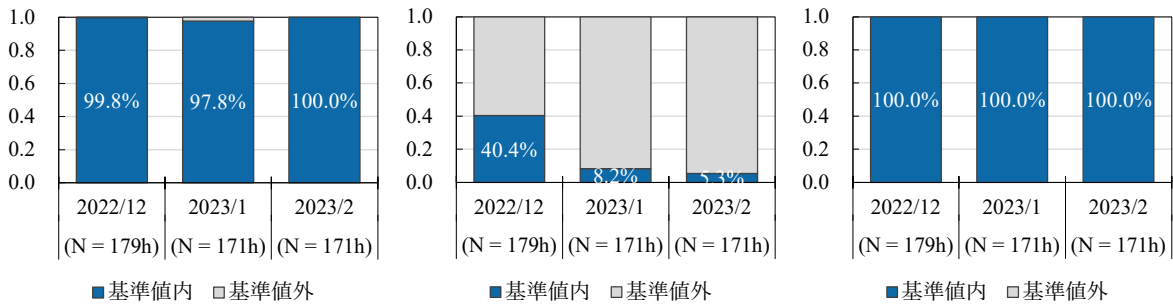


図 3-3-13 基準値内時間率 (Aビル2階, 12/1-2/28, 平日9-18時)

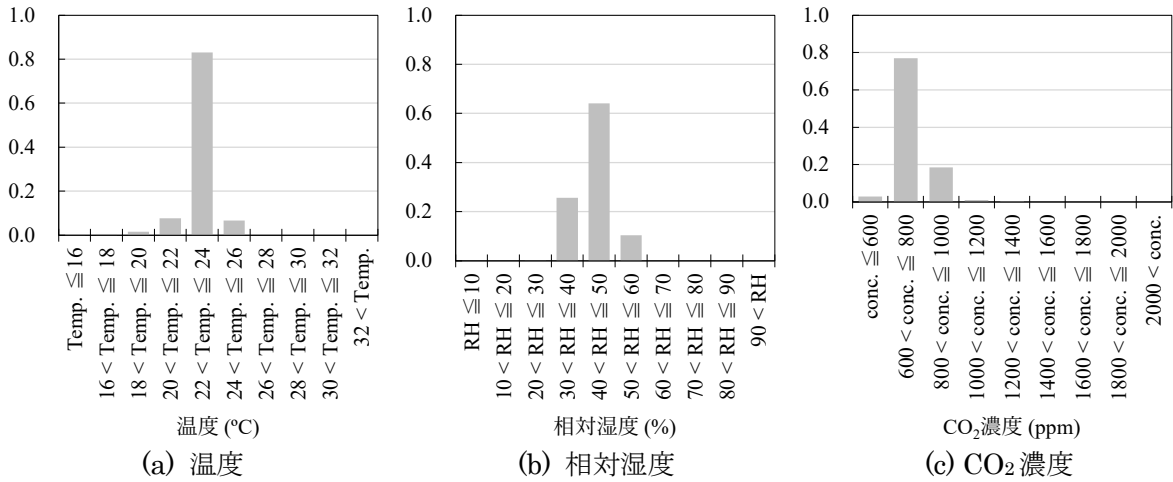


図 3-3-14 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

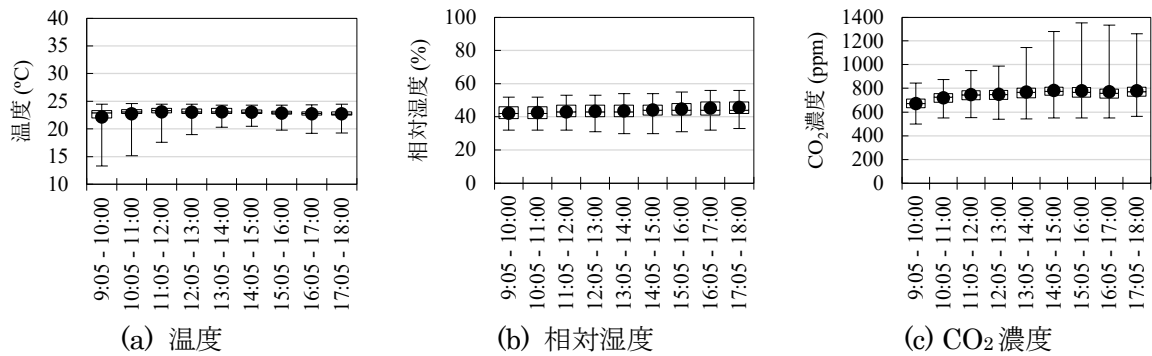


図 3-3-15 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Aビル3階, 12/1 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

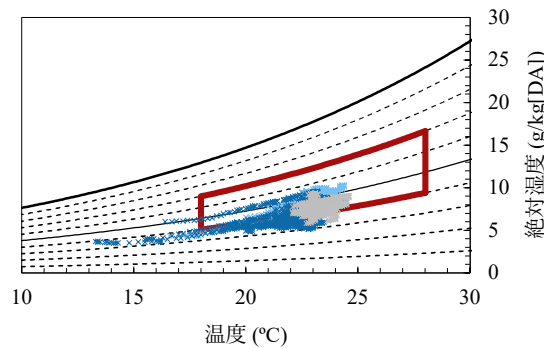


図 3-3-16 室内温湿度 (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

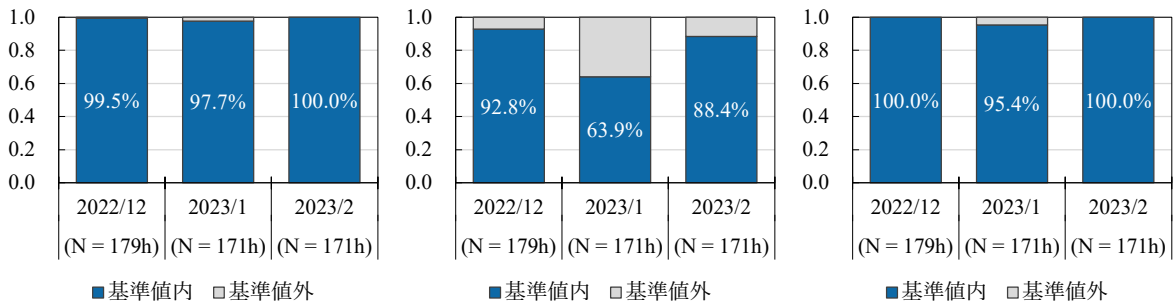


図 3-3-17 基準値内時間率 (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

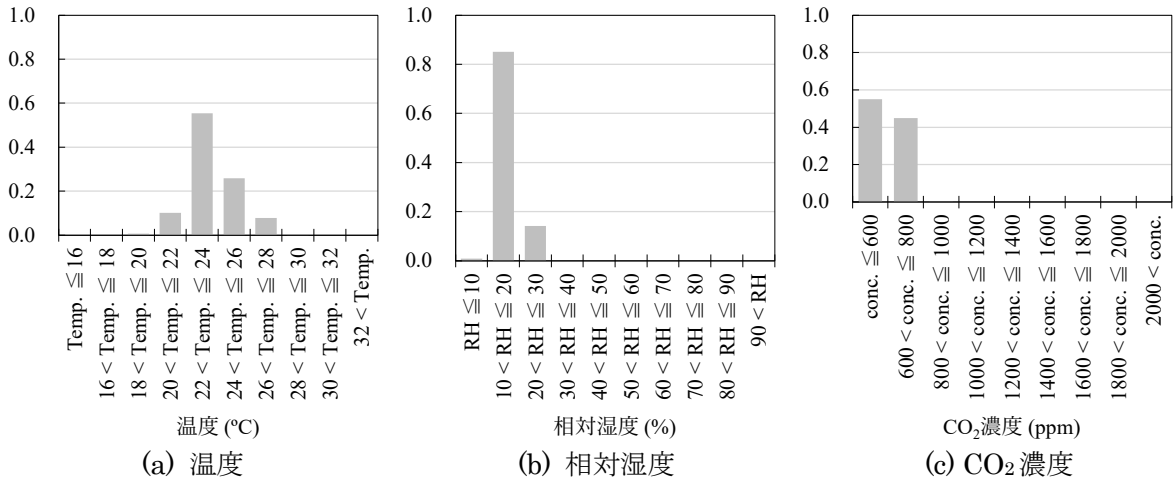


図 3-3-18 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

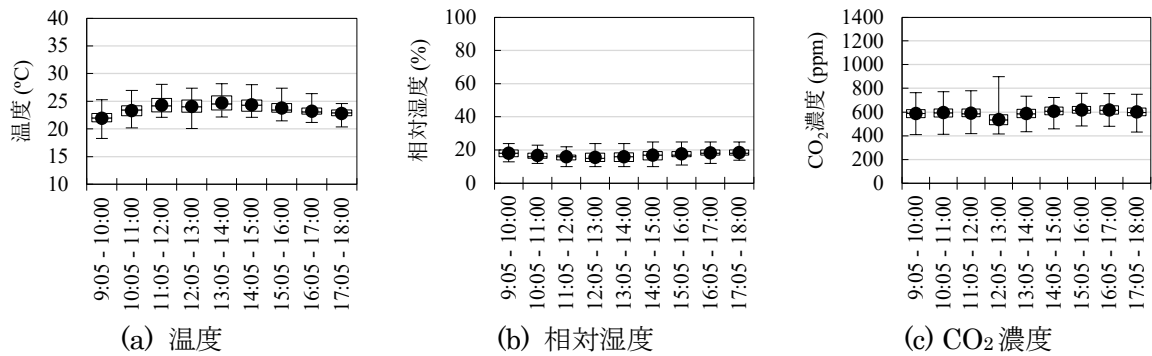


図 3-3-19 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Bビル1階, 12/8-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

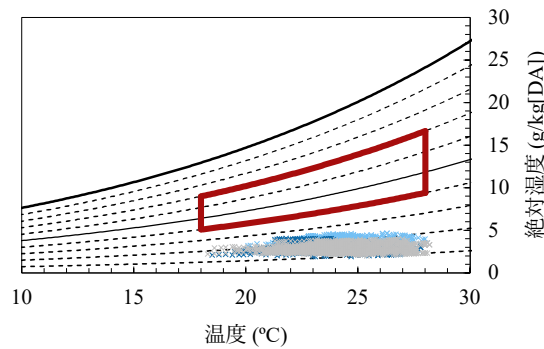


図 3-3-20 室内温湿度 (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

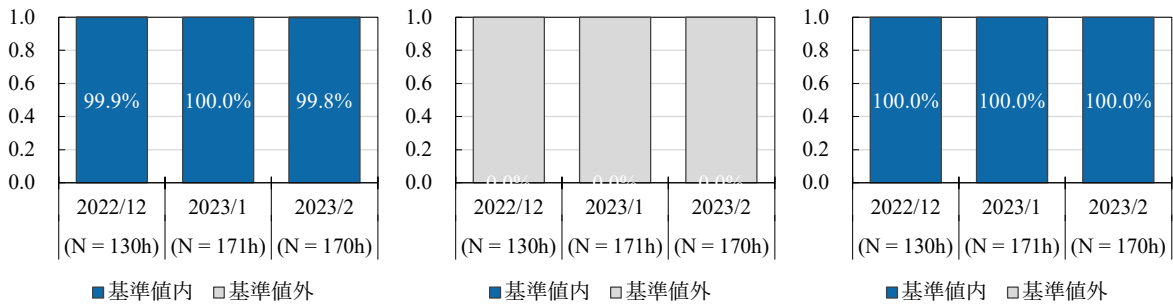


図 3-3-21 基準値内時間率 (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

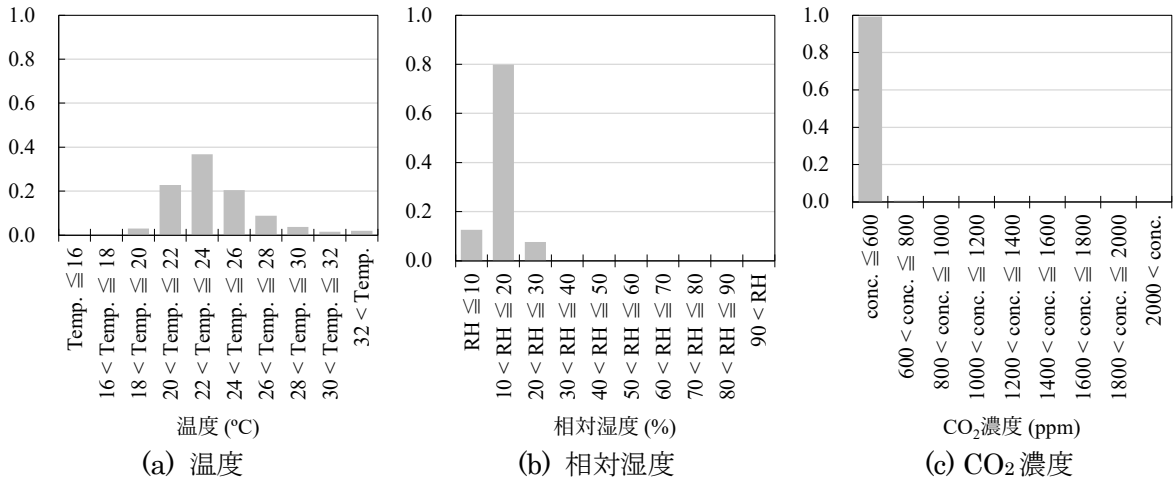


図 3-3-22 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Bビル3階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

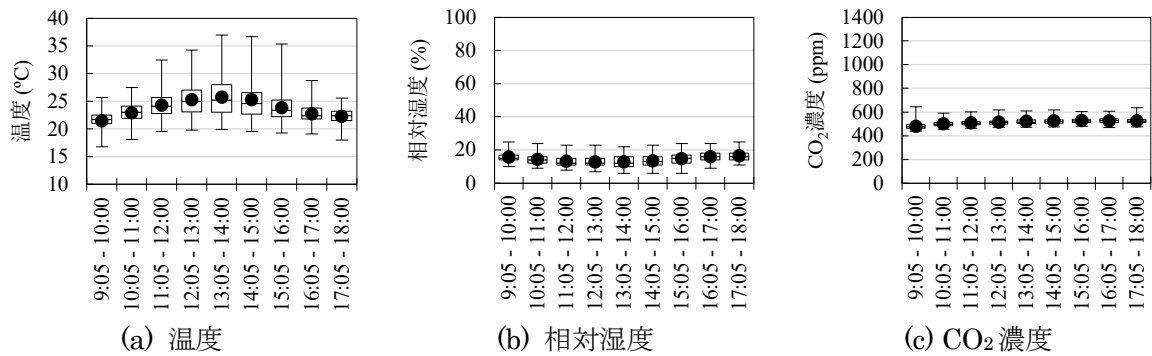


図 3-3-23 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Bビル3階, 12/8-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

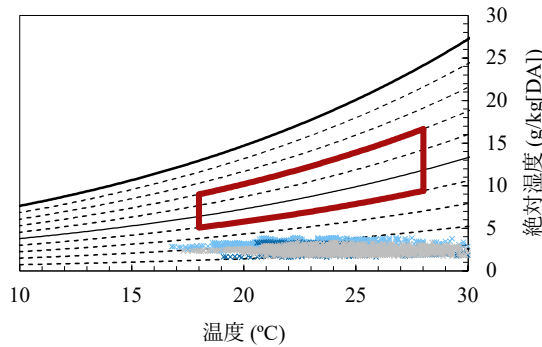


図 3-3-24 室内温湿度 (Bビル3階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

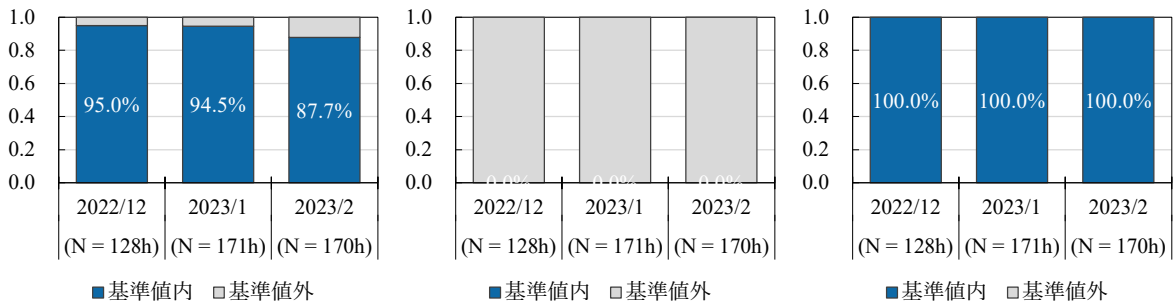


図 3-3-25 基準値内時間率 (Bビル3階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

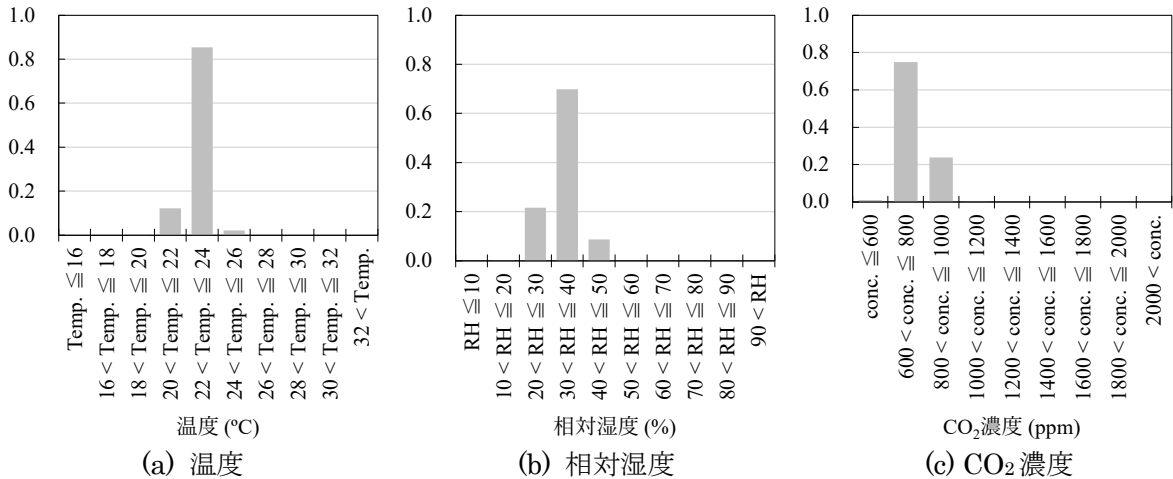


図 3-3-26 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

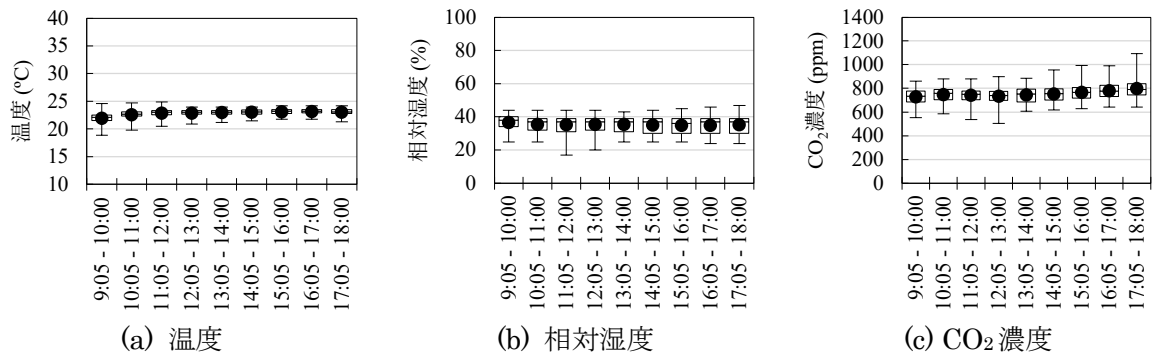


図 3-3-27 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Cビル2階, 12/9 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

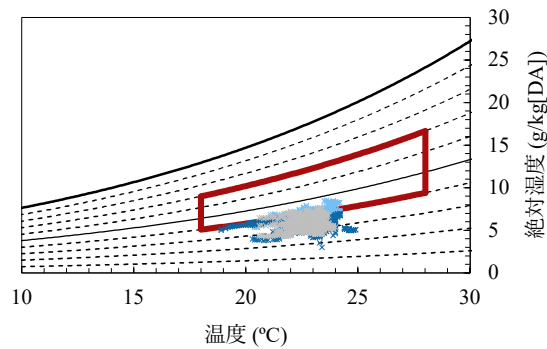


図 3-3-28 室内温湿度 (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

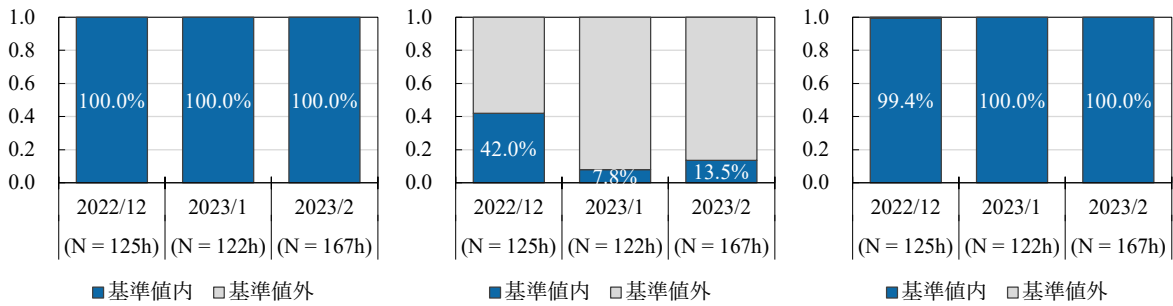


図 3-3-29 基準値内時間率 (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

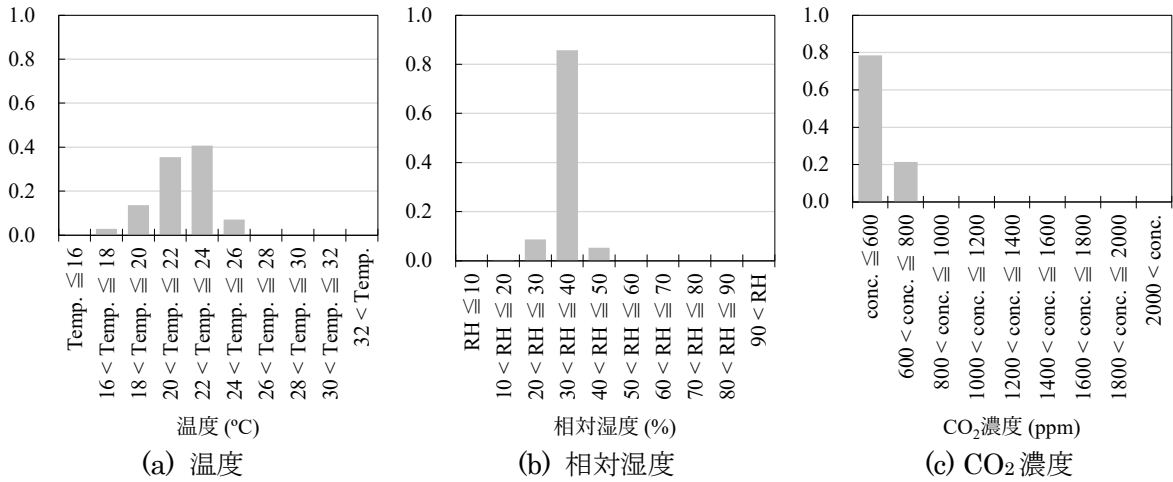


図 3-3-30 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

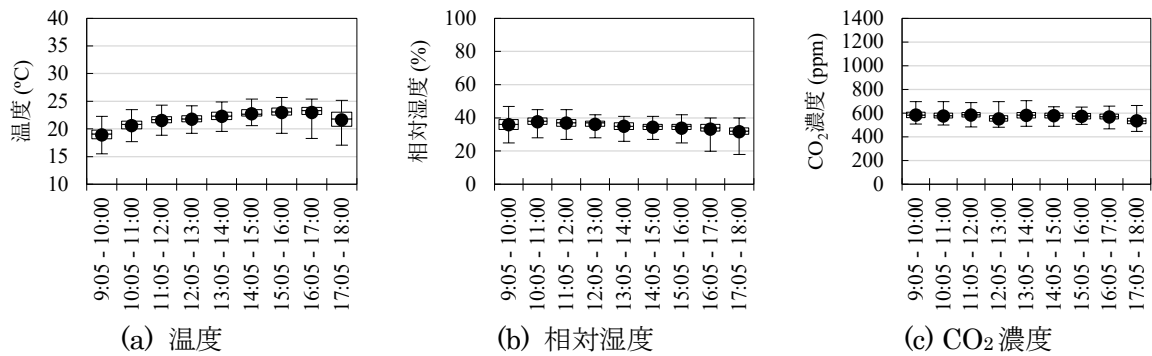


図 3-3-31 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

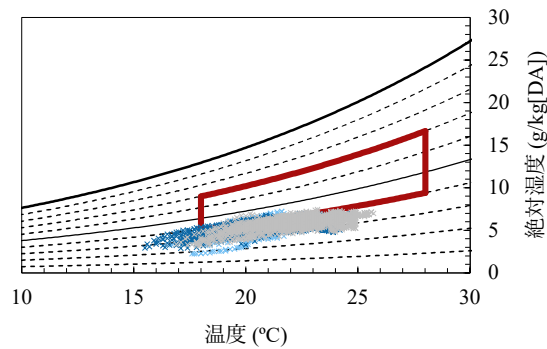


図 3-3-32 室内温湿度 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

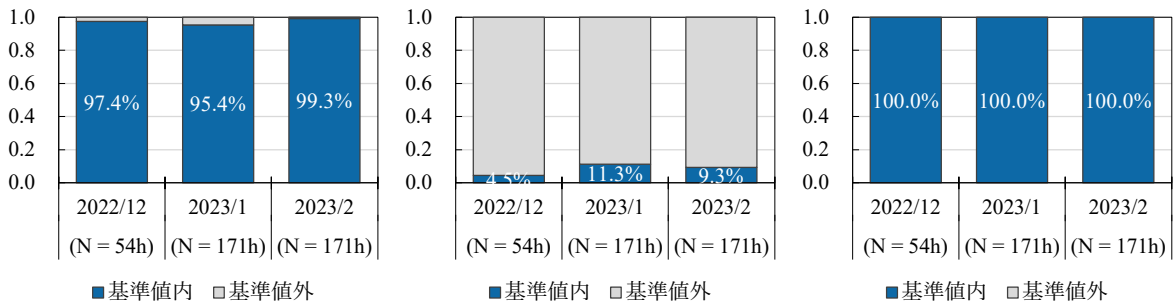


図 3-3-33 基準値内時間率 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

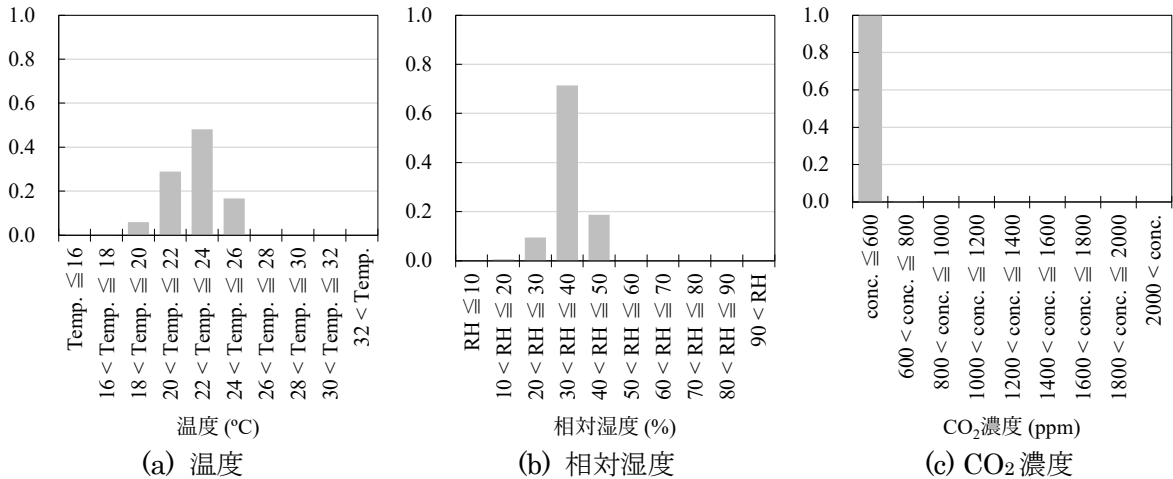


図 3-3-34 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

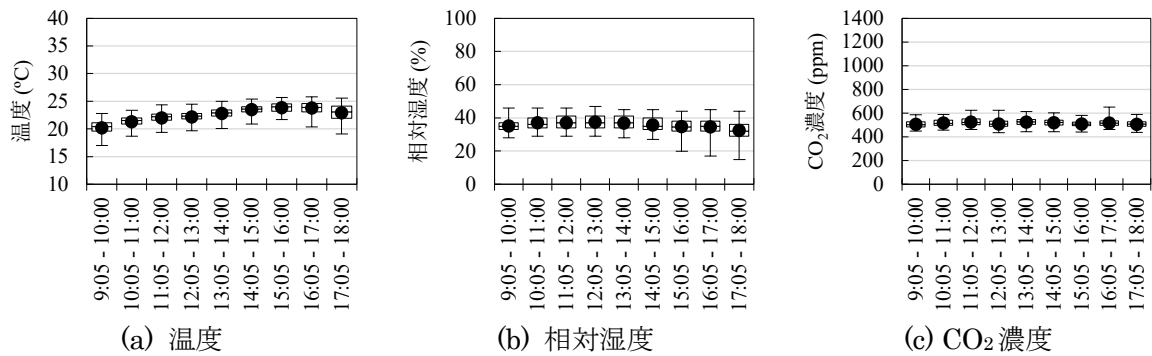


図 3-3-35 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

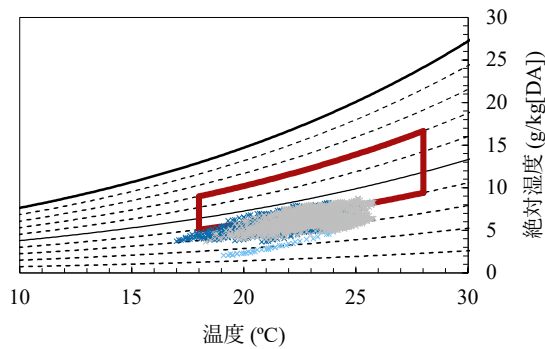


図 3-3-36 室内温湿度 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

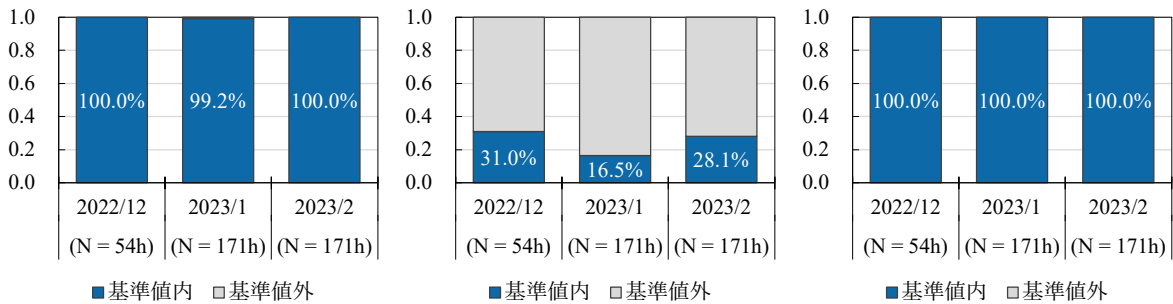


図 3-3-37 基準値内時間率 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

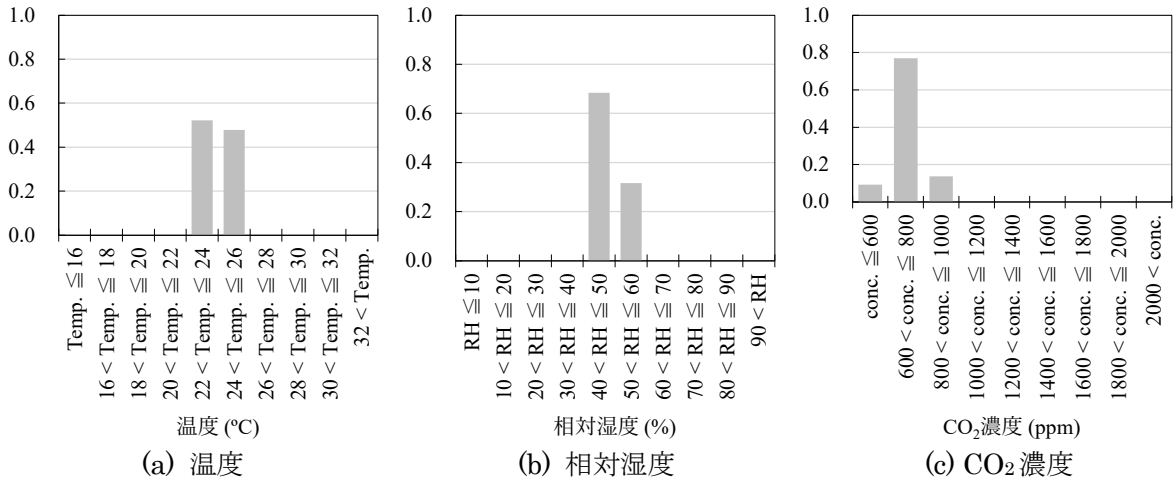


図 3-3-38 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

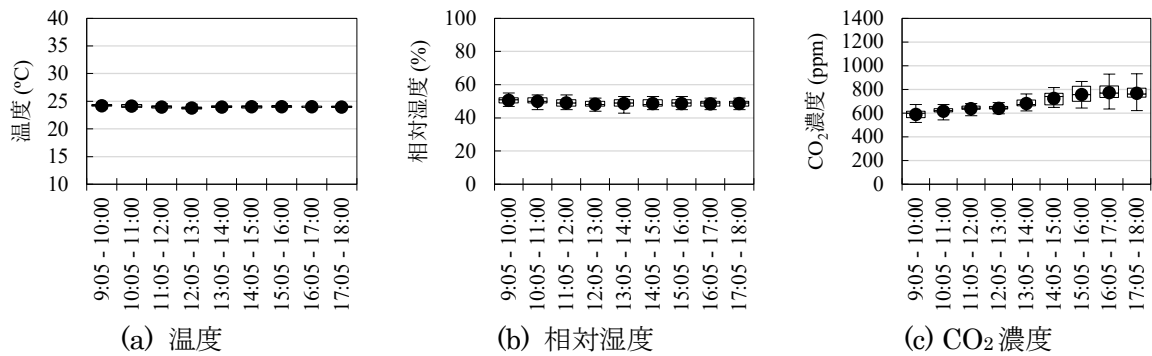


図 3-3-39 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Eビル2階, 2/16-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

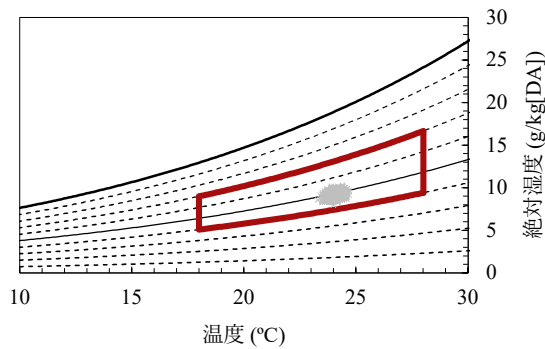


図 3-3-40 室内温湿度 (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

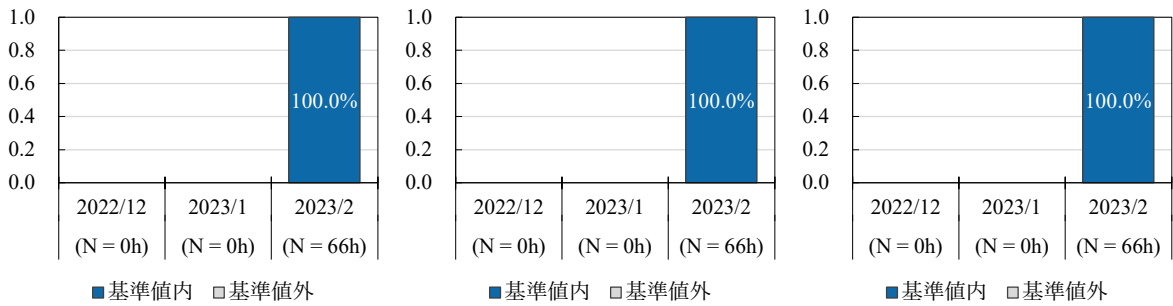


図 3-3-41 基準値内時間率 (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

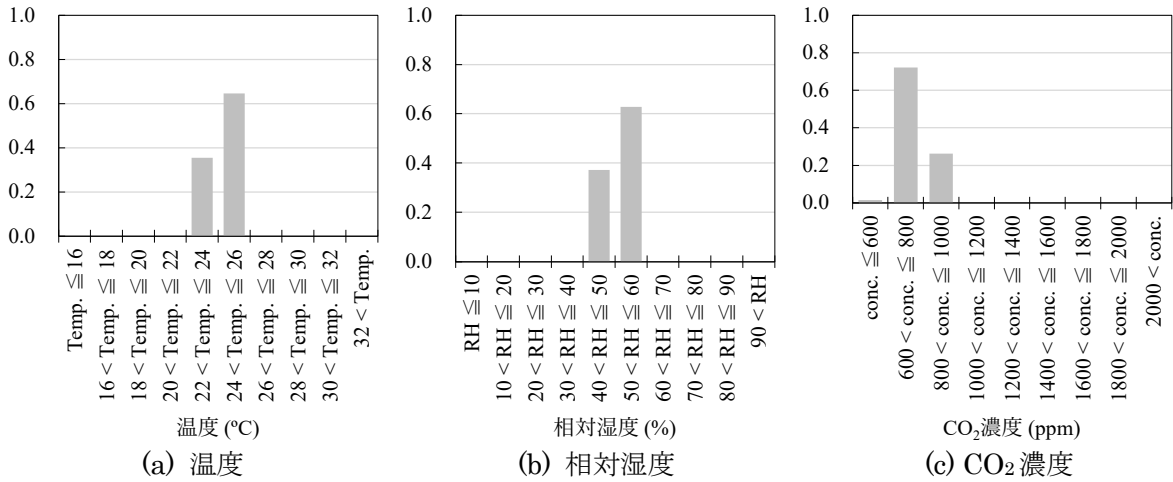


図 3-3-42 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

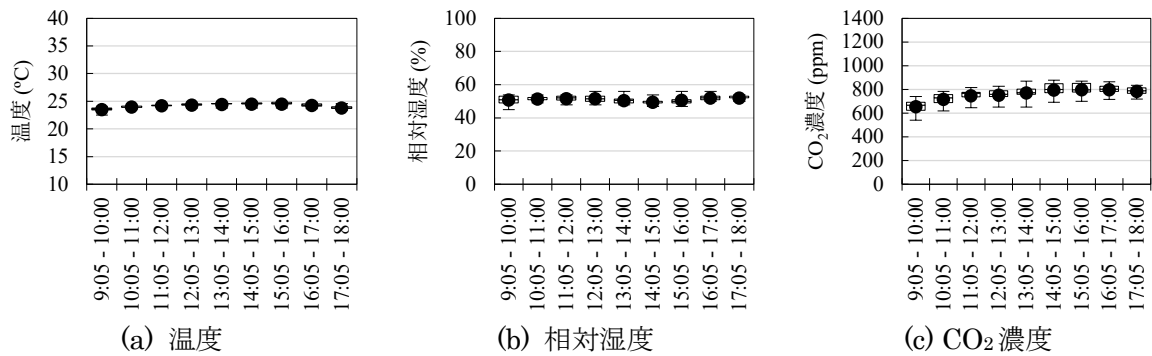


図 3-3-43 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Fビル2階, 2/16-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

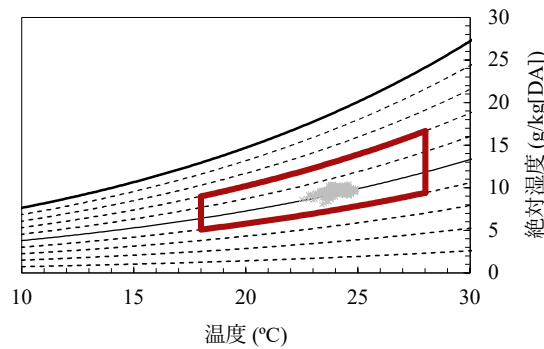


図 3-3-44 室内温湿度 (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

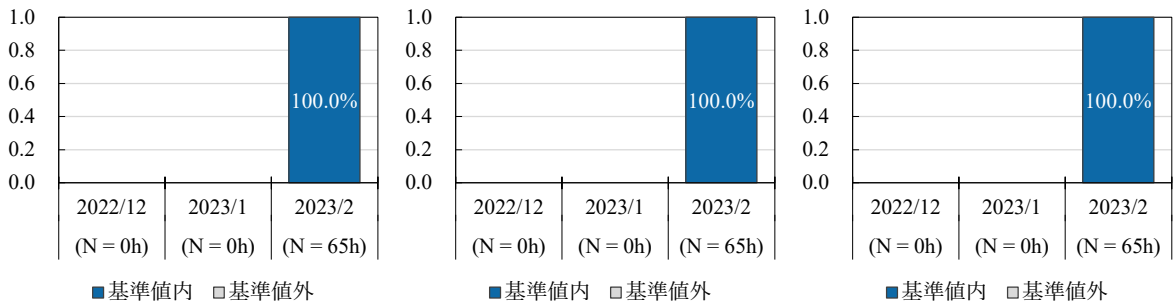


図 3-3-45 基準値内時間率 (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

3-3-45 に示す。F ビルは 2023 年 2 月 16 日に IoT センサーを設置したため 13 日間（平日は 8 日間）のみの結果である。温度は 24～26°C、相対湿度は 50～60%、CO₂ 濃度は 600～800ppm が最頻値となっている。1 時間間隔の特別値によると温度・相対湿度は時間帯によらず変動は小さく中央値は 23.6～24.6°C・49～52%であった。CO₂ 濃度は午後に高くなる傾向にあり、在室人数が多くなっている可能性がある。なお、温度、相対湿度、CO₂ 濃度のいずれも全時間で建築物環境衛生管理基準値内であった。

D. まとめ

本節では、IoT センサーにより室内温熱環境を評価することを目的とし、室内環境のヒストグラム、特別値、建築物環境衛生管理基準値内である時間率を算出した。温度は 22～24°C が最頻値、相対湿度は 30～40%が最頻値、CO₂ 濃度は 600～800ppm が最頻値となる建物が多い。1 時間間隔の特別値によると温度は 9～10 時に低くなる時間帯が見受けられたが、相対湿度と CO₂ 濃度は時間帯によらず変動は小さい建物が多い。建築物環境衛生管理基準値内である時間率は温度と CO₂ 濃度はほとんどすべての時間帯で基準を満たしていた。相対湿度は E ビルと F ビルでは全時間で基準を満たしていたもののその他の建物では基準値外となる時間率が高く、特に、北海道に建つ建物の相対湿度は低い傾向にあった。

本節では、IoT センサーにより室内温熱環境を評価したが、IoT センサーの精度や設置位置等の条件を満たすことで IoT センサーが建築物衛生管理に利用できる可能性がある。IoT センサーを利用することで室内環境のヒストグラムによる評価のほか、特別値や建築物衛生管理基準値内である時間率等による評価も可能となることから、建築物衛生法で定められる現行の手法と比較してより適切に建築物内の衛生環境を管理できる可能性がある。しかし、建築物衛生法で定められる環境衛生管理基準項目には浮遊粉じんの量、CO 濃度、気流もある。これらの連続測定が可能な測定機器の開発も望まれる。また、校正頻度等の課題もあることから引続き検討を行う予定である。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

4. 空気環境衛生管理に向けたIoTセンサー活用手法の検討

分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学	教授
代表研究者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法では空気調和機を設けている場合の空気環境の基準が定められており、2か月以内ごとに1回の測定が義務付けられている。浮遊粉じんの量、一酸化炭素の含有率(CO濃度)、二酸化炭素の含有率(CO₂濃度)、温度、相対湿度、気流の6項目の測定が義務付けられているが、CO₂濃度、温度、相対湿度については、連続測定が可能な小型測定機器(IoTセンサー)が普及しており、IoTセンサーによる建築物衛生管理への適用も期待されている。本章の1節では、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討することを目的とし、(1)複数のIoTセンサーの測定値比較と(2)IoTセンサーと現場立入測定の測定値比較、(3)温湿度・CO₂濃度の平面分布の測定の3点を実施した。(1)複数のIoTセンサーの測定値比較では、3件の建物(Aビル、Dビル、Eビル)に設置した4種のIoTセンサー(センサーA、B、C、D)の測定値を比較した。本研究で利用したIoTセンサーはCO₂濃度の手動校正・自動校正の有無等の機能が異なるほか、データ容量の有無等のIoTセンサーの特徴がある。温度についてはセンサーDの測定値が他のIoTセンサーの測定値と比較して0.5K以上低くなっており、センサーDを除いた3種のIoTセンサーの差は0.5K以内であった。相対湿度についてはセンサーBの測定値が他のIoTセンサーと比較して10%RH以上高くなる場合があり、測定機器の個体差が見受けられる場合があった。CO₂濃度については初期CO₂濃度に差異がある建物において100ppm以上の差異が見受けられたものの、多くの時間帯で100ppm以下の差であった。(2)IoTセンサーと現場立入測定の測定値比較では、2章に示したすべての建物を対象に現場立入測定を実施した時刻の瞬時値を比較した。温度についてはIoTセンサーと現場立入測定の結果は1K程度の差、相対湿度についてはセンサーBを除くとIoTセンサーと現場立入測定の結果は±5%RH程度の差、CO₂濃度についてはセンサーCを除くとIoTセンサーと現場立入測定の結果は±100ppm程度の差であった。(3)温湿度・CO₂濃度の平面分布の測定では、冬期の温度の平面分布については外皮に近いペリメータゾーンで低くなる傾向が見受けられた。また、相対湿度については多くの建物で平面分布は見られなかったが、測定値は温度に影響されることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。以上の結果より、IoTセンサーは現場立入測定の結果と概ね同等の結果が得られていると考えられるが、測定機器の個体差がある、CO₂濃度の初期値の設定、浮遊粉じんの量・CO濃度・気流の連続測定センサーの開発、適切な測定位置等の課題があることから、引続き調査・測定を行う予定である。

浮遊粉じん濃度について、大気環境の改善や空調性能の向上等により管理基準値より十分に低いことが知られている。また、連続測定が可能な小型センサーもまだ存在しない。一方、粒径2.5μm以下の粒子(PM_{2.5})については健康影響が大きいことから、室内環境測定に利用可能な測定機器の調査を行っている。小型センサーによるPM_{2.5}濃度測定結果からは、センサー個体差、機器間の精度、換算係数、校正の方法等を考慮する必要性が示唆された。

4-1. IoT センサーによる建築物衛生管理への適用可能性検討

A. 研究目的

建築物衛生法では空気調和機を設けている場合の空気環境の基準が定められており、2 か月以内ごとに1回の測定が義務付けられている。浮遊粉じんの量、一酸化炭素の含有率（以降、CO濃度）、二酸化炭素の含有率（以降、CO₂濃度）、温度、相対湿度、気流の6項目の測定が義務付けられているが、CO₂濃度、温度、相対湿度については、連続測定が可能な小型測定機器（以降、IoTセンサー）が普及しており、IoTセンサーによる建築物衛生管理への適用も期待されている。

本章では、市販されている複数のIoTセン

サーの測定値比較ならびにIoTセンサーと建築物衛生法に準じた現場立入測定の測定値比較により、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討することを目的とする。

B. 研究方法

表4-1-1にIoTセンサーの概要を示す。本研究で取扱うIoTセンサーは4種類であり、いずれもCO₂濃度、温度、相対湿度が測定可能である。CO₂濃度の測定精度はセンサーAとセンサーCが±50ppmであるのに対してセンサーBは±120ppm、センサーDは±70ppm（at 0 - 1000ppm）であった。なお、温度と相対湿度の測定精度は0.4~0.5°C、3~5%RHである。吸引方式はセンサーBがブラシレスファンによる強

表 4-1-1 IoT センサーの概要

機器名称		センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
外観写真					
測定範囲	CO ₂ 濃度	0 - 9 999ppm	360 - 4 000ppm	400 - 2 000ppm	0 - 5 000ppm
	温度	0 - 55°C	-10 - 100°C		-20 - 55°C
	相対湿度	10 - 95%RH	10 - 95%RH		5 - 95%RH
測定精度	CO ₂ 濃度	± 50ppm ± 読み値の 5%	± 120ppm ± 1digit	± 50ppm ± 読み値の 5%	1)0 - 1 000ppm ± 70ppm ± 読み値の 3% 2)1 001 - 5 000ppm ± 100ppm ± 読み値の 3% 3)2 001ppm - ± 180ppm ± 読み値の 3%
	温度	± 0.5°C	± 0.5°C	± 0.4°C	± 0.4°C (0 - 55°C)
	相対湿度	± 5%RH (at 25°C50%RH)	± 4%RH	± 3%RH (0 - 80%RH)	± 4%RH
吸引方式	自然	強制	自然	自然	
CO ₂ 濃度 手動校正	有 →現在 CO ₂ 濃度を 400ppm とする	有 →現在 CO ₂ 濃度を任意値 に変更する。	無	無	
CO ₂ 濃度 自動校正	有 →180 時間ごとに最低値 を 400ppm とする。	無	有 →7 日間ごとに最低値を 400ppm とする。	有 →180 時間ごとに最低値 を 400ppm とする。	
記録容量	8000 データ (5 分間隔の場合約 28 日)	98304 データ (5 分間隔の場合約 341 日)	無 →サーバー上に常時 アップロード	無 →ゲートウェイを介して 常時 PC に記録	
外部電源	要	要	要	不要	

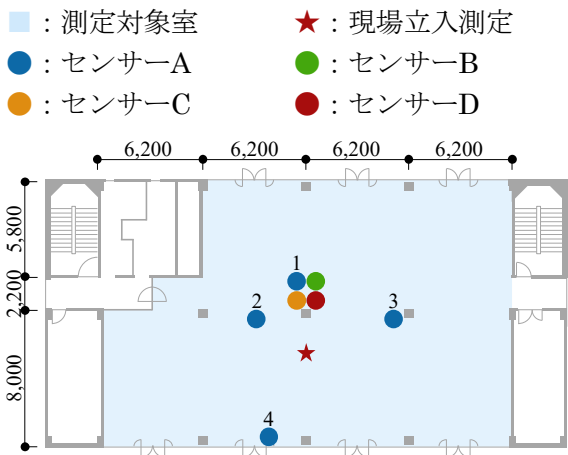


図 4-1-1 Aビル 2階平面概要図

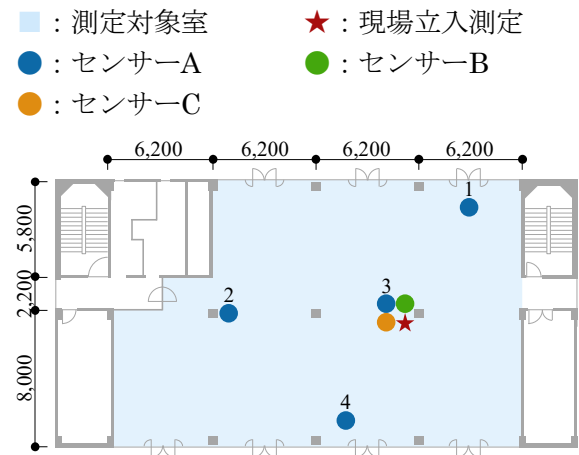


図 4-1-2 Aビル 3階平面概要図

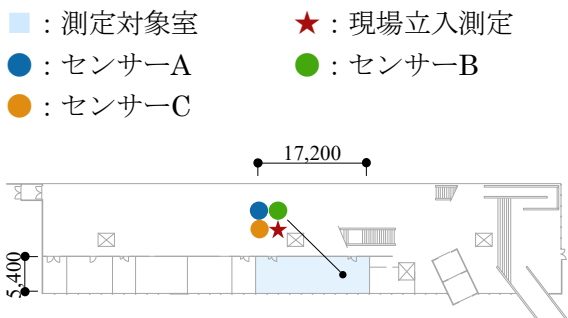


図 4-1-3 Bビル 1階平面概要図

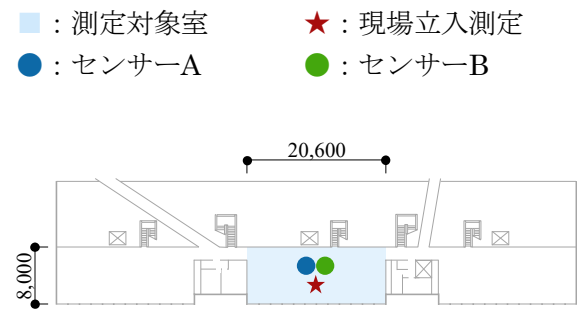


図 4-1-4 Bビル 3階平面概要図

■ : 測定対象室 ● : センサーA ● : センサーB ● : センサーC ★ : 現場立入測定

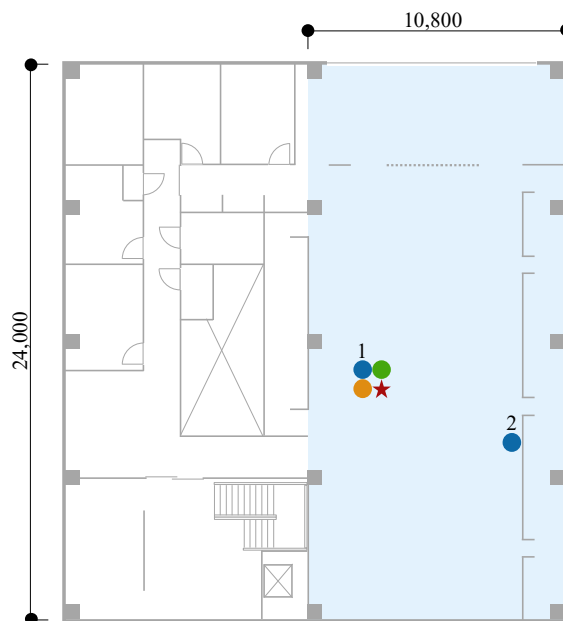


図 4-1-5 Cビル 2階平面概要図

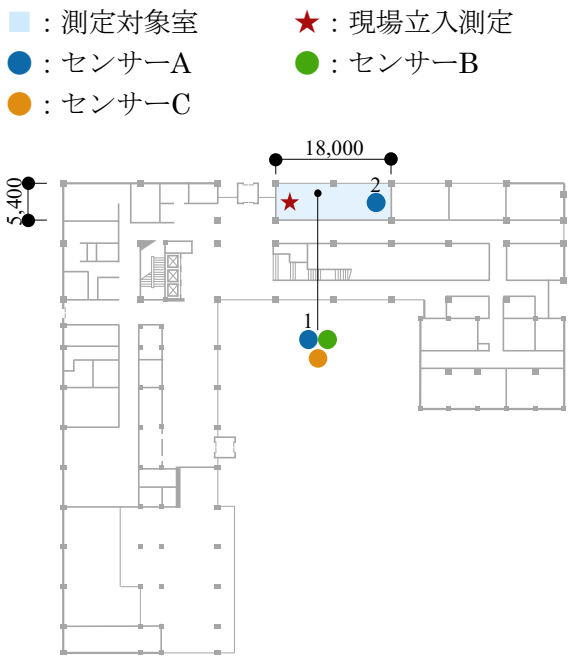


図 4-1-6 D ビル 1 階平面概要図

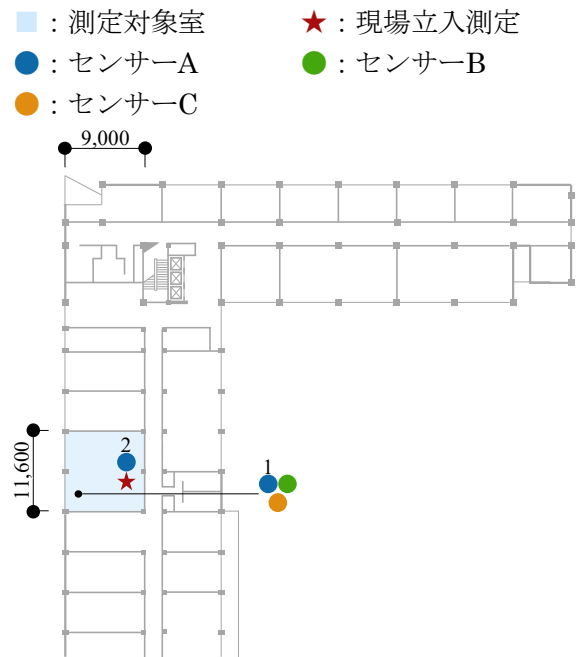


図 4-1-7 D ビル 4 階平面概要図

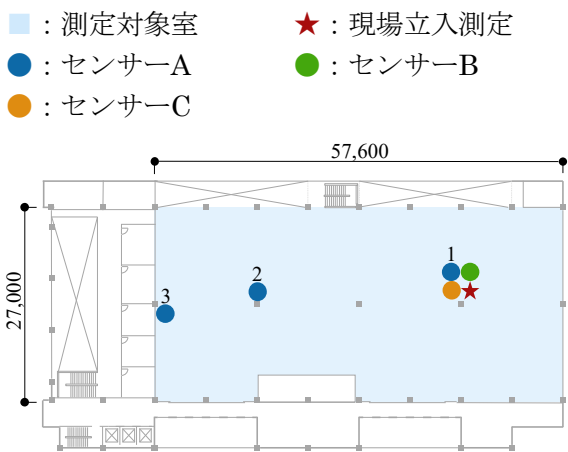


図 4-1-8 E ビル 2 階平面概要図

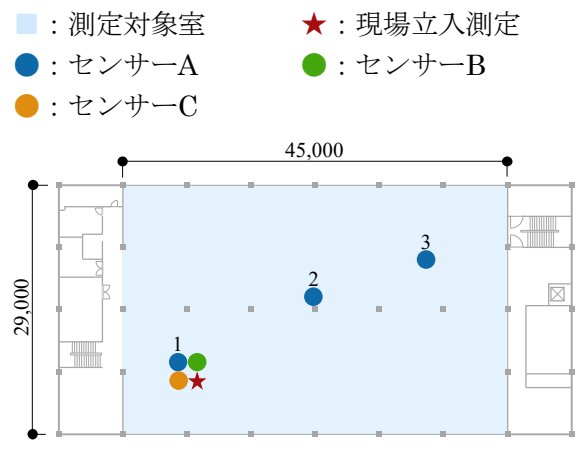


図 4-1-9 F ビル 2 階平面概要図

制吸引であるが、その他の IoT センサーは自然吸引である。また、CO₂濃度の自動校正機能はセンサーBを除いて搭載されており、いずれも約7日間ごとに最低値を400ppmに補正する機能となっている。記録容量はセンサーCとセンサーDには容量は無く、常時測定値がアップロードされるが、センサーAは8000データ、センサーBは98304データであり、5分間隔で測定する場合、それぞれ約28日間、約341日間で容量オーバーとなる。なお、外部電源はセンサーDを除いてACアダプタによる電源を要する。

上記のIoTセンサーを表2-1-1に示した6件の建物に設置した。各建物の平面概要図と測定点を図4-1-1～図4-1-9に示す。水色陰影部が測定対象室を示しており、丸プロットがIoTセンサーの測定点、星プロットが現場立入測定の測定点を示している。いずれの建物でも測定対象室の平面中央付近に設置するよう配慮したが、一部平面中央付近ではない建物も含まれる。また、IoTセンサーと現場立入測定の測定点も可能な限り近接するよう配慮したが、Aビル2階では2m程度、Dビル1階では3m程度、Dビル4階では6m程度離れた位置となっている。なお、センサーAは温湿度・CO₂濃度の平面分布を確認するため、Bビルを除いて複数点設置した。センサーDはAビルの2階のみ設置した。

本章では、以下の2つの事項を実施する。

(1) 複数のIoTセンサーの測定値比較

表4-1-1に示した4種のIoTセンサーの測定値を比較し、IoTセンサーの種類による測定値の差異を明らかにする。対象とする建物はセンサーDを設置したAビル2階、比較的小面積のDビル1階、比較的大面積のEビルとした。IoTセンサーの測定間隔はセンサーCが10分間隔であり、その他は5分間隔とした。また、CO₂濃度の手動校正が搭載されている機器は測定機器を外気に設置し、400ppm程度に校正した。CO₂濃度の自動校正が搭載されている機器はその機能を使用した。

(2) IoTセンサーと現場立入測定の測定値比較

IoTセンサーの測定値と現場立入測定の測定値を比較し、IoTセンサーの建築物衛生管理へ

の利用可能性について検討する。測定方法は2章と同様の方法である。なお、対象とする建物はすべての建物とした。

C. 研究結果

C.1. 複数のIoTセンサーの測定値比較

温度に関するIoTセンサー同士の比較を図4-1-10～図4-1-18・表4-1-2～表4-1-7、相対湿度に関するIoTセンサー同士の比較を図4-1-19～図4-1-27・表4-1-8～表4-1-13、CO₂濃度に関するIoTセンサー同士の比較を図4-1-28～図4-1-36・表4-1-14～表4-1-19に示す。各図は月別・全測定期間のIoTセンサー同士の比較と同測定時刻における各センサーの最高値と最小値の差のヒストグラムを示している。各表は月別・全測定期間の各IoTセンサーの最高値・中央値・最低値を示している。なお、いずれも平日の9～18時の結果を示している。

温度については最大温度差のヒストグラム(図4-1-12・図4-1-15・図4-1-18)によると、Dビル・EビルではIoTセンサーの各時刻の差が0.5K以下である時間率はそれぞれ62.6%・55.7%であり、各IoTセンサーの差異はほとんど無いと考えられる。一方で、AビルではIoTセンサーの各時刻の差が0.5K超1.0K以下となる時間率は84.3%であり、Dビル・Eビルと比較して大きな差異が見られた。この要因としてセンサーDの測定値が他のIoTセンサーと比較して低いことが挙げられる。11/1～3/31のIoTセンサー同士の比較(図4-1-11・表4-1-3)によると、各IoTセンサーの中央値はセンサーAが23.3°C、センサーBが23.6°C、センサーCが23.7°C、センサーDが22.8°Cとなっており、センサーDの温度は他のIoTセンサーと比較して0.5K以上低くなっている。

相対湿度については最大相対湿度差のヒストグラム(図4-1-21・図4-1-24・図4-1-27)によると、Aビルでは4～6%RHの差、Eビルでは2%RH以下の差が最頻値となっているが、Dビルでは16～18%RHの差が最頻値となっている。この要因としてセンサーBの相対湿度が他のIoTセンサーと比較して高いことが挙げられる。12/20～3/31のIoTセンサー同士の比較(図4-1-23・表4-1-11)によると、各IoTセンサー

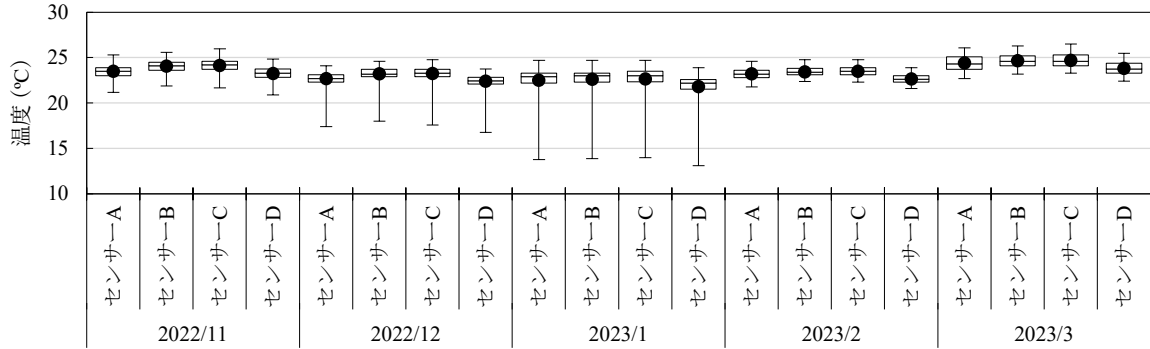


図 4-1-10 IoT センサー同士の月別温度比較 (A ビル 2 階, 平日 9 - 18 時)

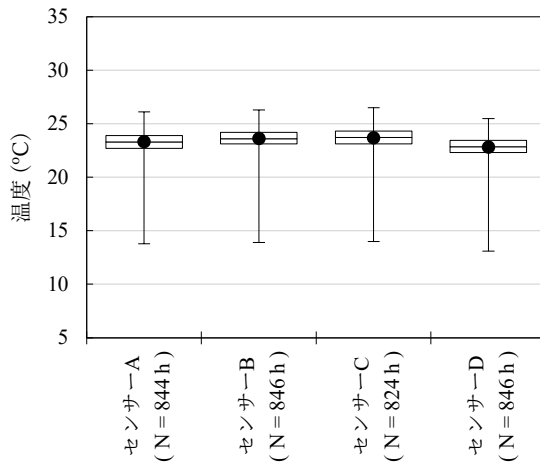


図 4-1-11 IoT センサー同士の温度比較
(A ビル 2 階, 11/1 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

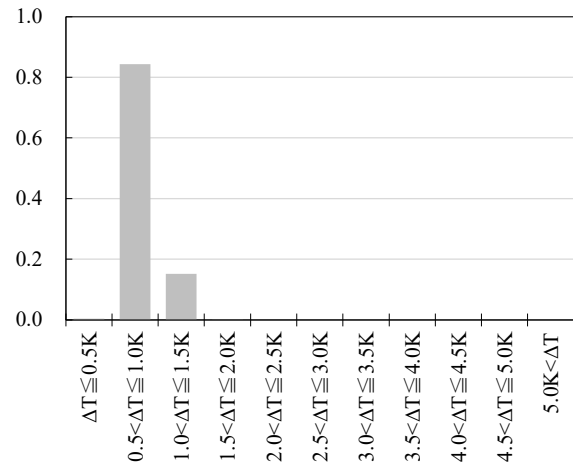


図 4-1-12 IoT センサー同士の最大温度差の
ヒストグラム (N = 846h)
(A ビル 2 階, 11/1 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

表 4-1-2-1 IoT センサー同士の月別温度比較 (A ビル 2 階) (1)

	2022/11				2022/12				2023/1			
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD
Max.	25.3	25.6	26.0	24.9	24.1	24.6	24.8	23.8	24.7	24.7	24.7	23.9
Med.	23.5	24.1	24.2	23.3	22.7	23.2	23.3	22.5	22.9	23.0	23.0	22.2
Min.	21.2	21.9	21.7	20.9	17.4	18.0	17.6	16.8	13.8	13.9	14.0	13.1

表 4-1-2-2 IoT センサー同士の月別温度比較 (A ビル 2 階) (2)

	2023/2				2023/3			
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD
Max.	24.6	24.8	24.8	23.9	26.1	26.3	26.5	25.5
Med.	23.2	23.4	23.5	22.6	24.3	24.6	24.6	23.7
Min.	21.8	22.4	22.3	21.6	22.7	23.2	23.3	22.4

表 4-1-3 IoT センサー同士の温度比較
(A ビル 2 階, 11/1 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
Max.	26.1	26.3	26.5	25.5
Med.	23.3	23.6	23.7	22.8
Min.	13.8	13.9	14.0	13.1

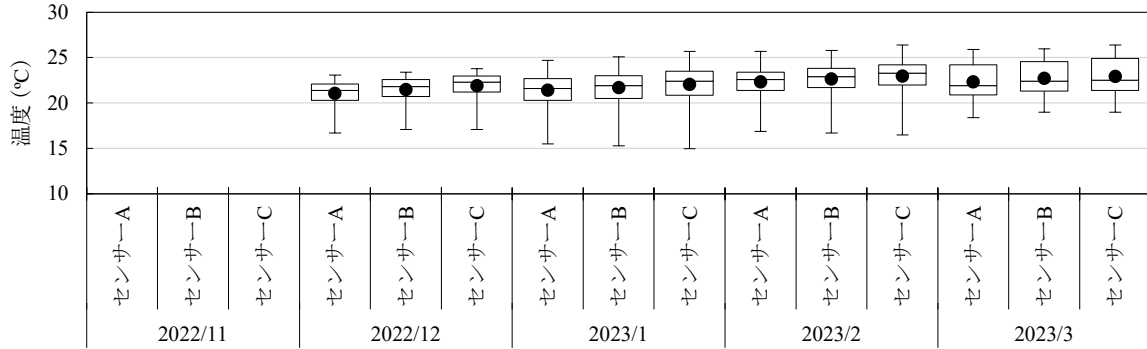


図 4-1-13 IoT センサー同士の月別温度比較 (D ビル 1 階, 平日 9 – 18 時)

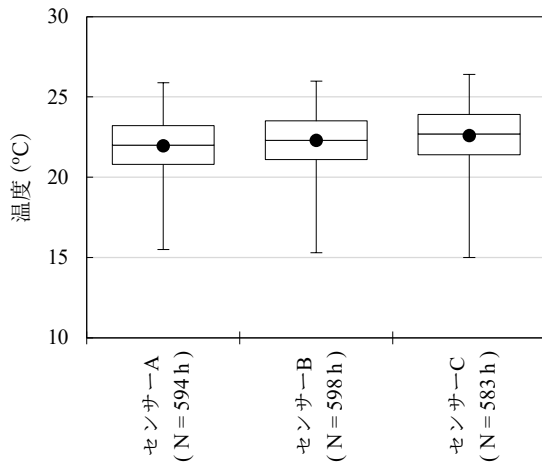


図 4-1-14 IoT センサー同士の温度比較
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

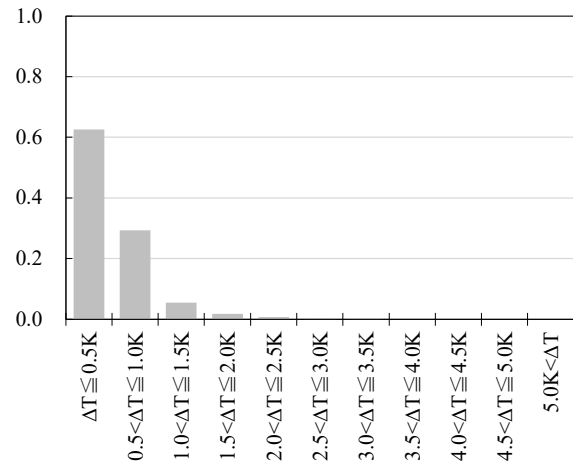


図 4-1-15 IoT センサー同士の最大温度差の
ヒストグラム (N = 596h)
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

表 4-1-4 IoT センサー同士の月別温度比較 (D ビル 1 階)

	2022/12			2023/1			2023/2			2023/3		
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC
Max.	23.1	23.4	23.8	24.7	25.1	25.7	25.7	25.8	26.4	25.9	26.0	26.4
Med.	21.4	21.8	22.3	21.6	21.9	22.4	22.6	22.9	23.3	21.9	22.4	22.5
Min.	16.7	17.1	17.1	15.5	15.3	15.0	16.9	16.7	16.5	18.4	19.0	19.0

表 4-1-5 IoT センサー同士の温度比較
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	25.9	26.0	26.4
Med.	22.0	22.3	22.7
Min.	15.5	15.3	15.0

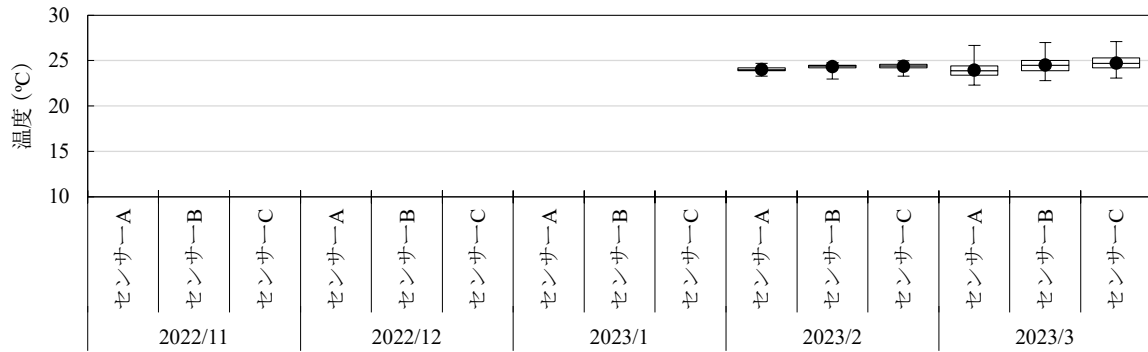


図 4-1-16 IoT センサー同士の月別温度比較 (E ビル 2 階, 平日 9 – 18 時)

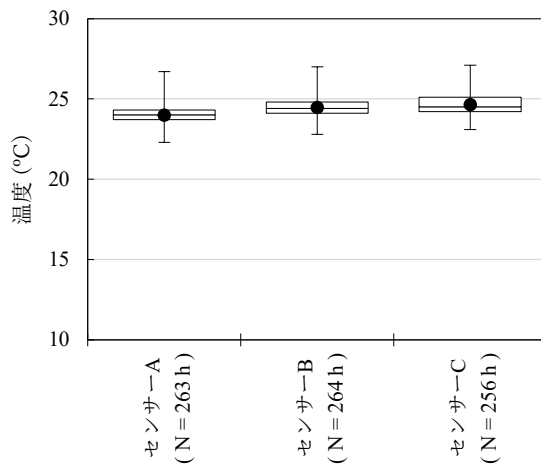


図 4-1-17 IoT センサー同士の温度比較 (E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

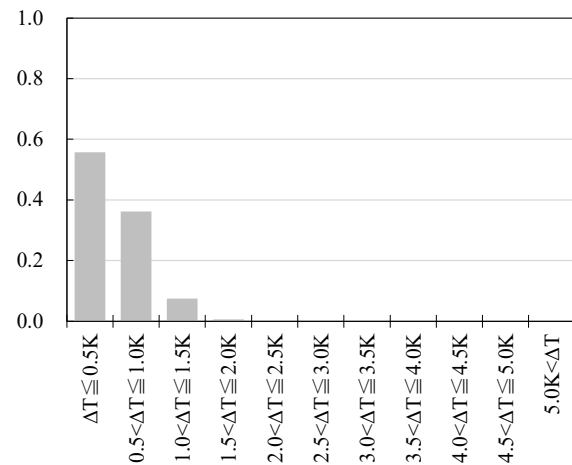


図 4-1-18 IoT センサー同士の最大温度差のヒストグラム (N = 194h) (E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

表 4-1-6 IoT センサー同士の月別温度比較 (E ビル 2 階)

	2023/2			2023/3		
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC
Max.	24.7	24.8	25.0	26.7	27.0	27.1
Med.	24.0	24.4	24.4	23.9	24.5	24.7
Min.	23.3	23.0	23.3	22.3	22.8	23.1

表 4-1-7 IoT センサー同士の温度比較 (E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	26.7	27.0	27.1
Med.	24.0	24.4	24.5
Min.	22.3	22.8	23.1

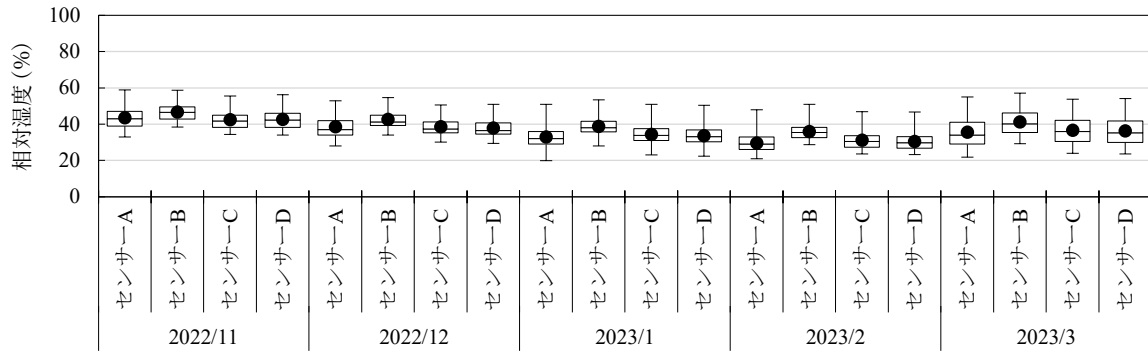


図 4-1-19 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Aビル2階, 平日9-18時)

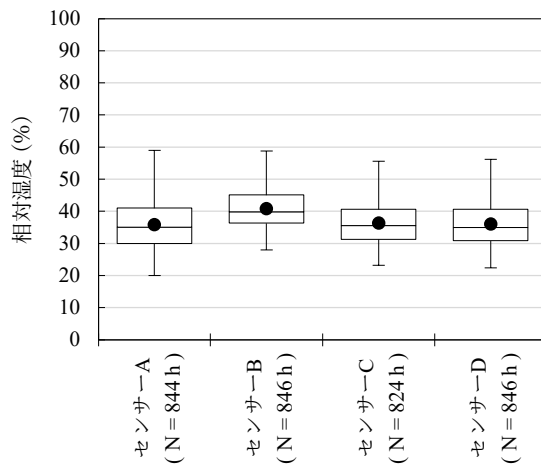


図 4-1-20 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Aビル2階, 11/1-3/31, 平日9-18時)

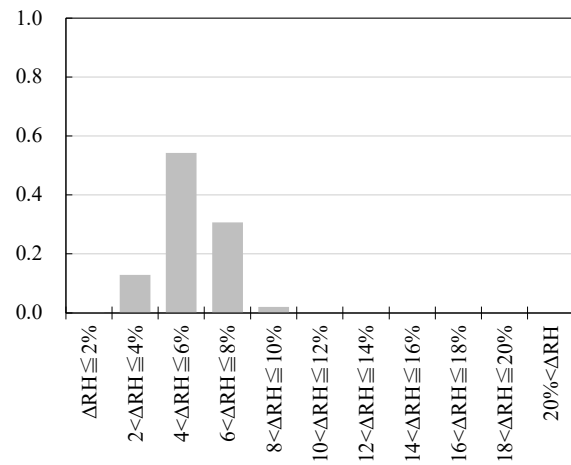


図 4-1-21 IoTセンサー同士の最大相対湿度差のヒストグラム (N=846h) (Aビル2階, 11/1-3/31, 平日9-18時)

表 4-1-8-1 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Aビル2階) (1)

	2022/11				2022/12				2023/1			
	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
Max.	59	59	56	56	53	55	51	51	51	54	51	50
Med.	43	47	42	42	37	41	37	36	32	38	34	33
Min.	33	39	34	34	28	34	30	30	20	28	23	22

表 4-1-8-2 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Aビル2階) (2)

	2023/2				2023/3			
	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
Max.	48	51	47	47	55	57	54	54
Med.	29	35	31	30	34	40	36	35
Min.	21	29	24	23	22	29	24	24

表 4-1-9 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Aビル2階, 11/1-3/31, 平日9-18時)

	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
Max.	59	59	56	56
Med.	35	40	36	35
Min.	20	28	23	22

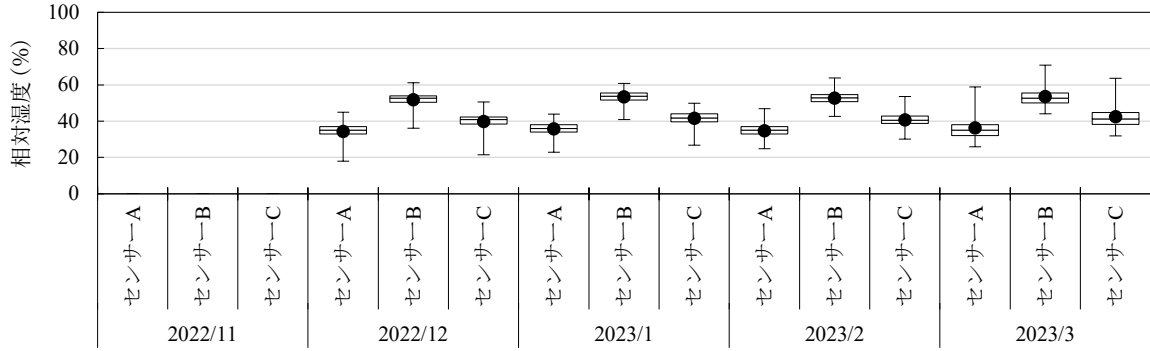


図 4-1-22 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Dビル1階, 平日9-18時)

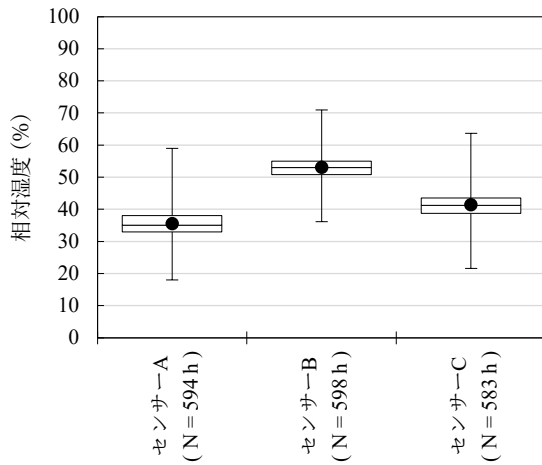


図 4-1-23 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Dビル1階, 12/20-3/31, 平日9-18時)

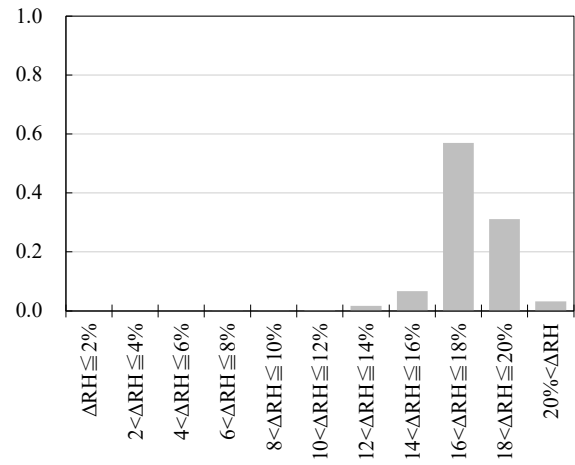


図 4-1-24 IoTセンサー同士の最大相対湿度差のヒストグラム (N=596h) (Dビル1階, 12/20-3/31, 平日9-18時)

表 4-1-10 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Dビル1階)

	2022/12			2023/1			2023/2			2023/3		
	センサーA	センサーB	センサーC	センサーA	センサーB	センサーC	センサーA	センサーB	センサーC	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	45	61	51	44	61	50	47	64	54	59	71	64
Med.	35	53	41	36	54	42	35	53	41	35	53	41
Min.	18	36	22	23	41	27	25	43	30	26	44	32

表 4-1-11 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Dビル1階, 12/20-3/31, 平日9-18時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	59	71	64
Med.	35	53	41
Min.	18	36	22

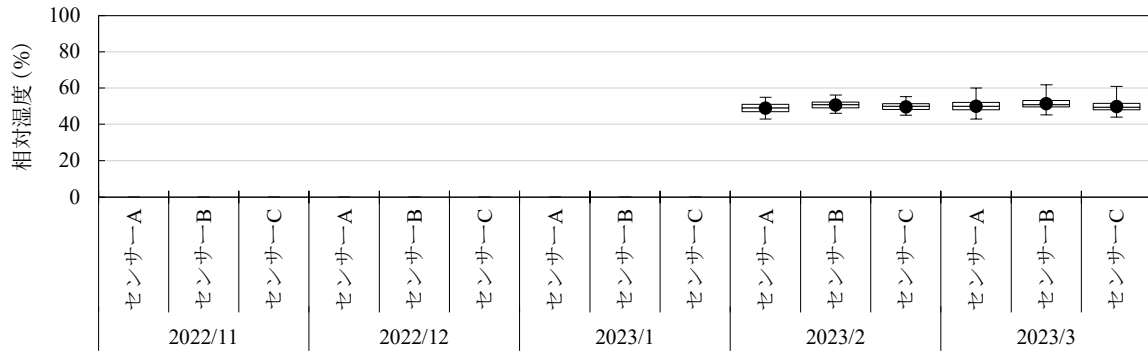


図 4-1-25 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Eビル2階, 平日9-18時)

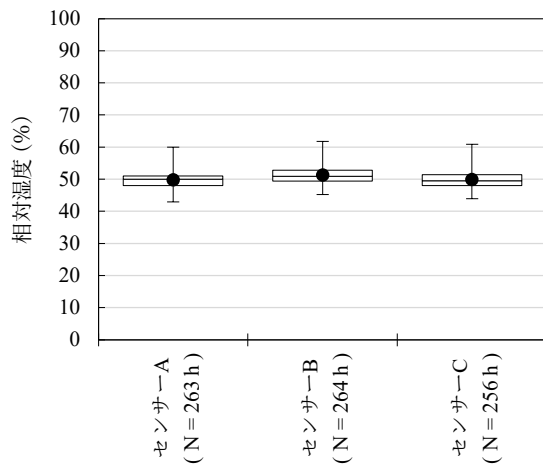


図 4-1-26 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Eビル2階, 2/16-3/31, 平日9-18時)

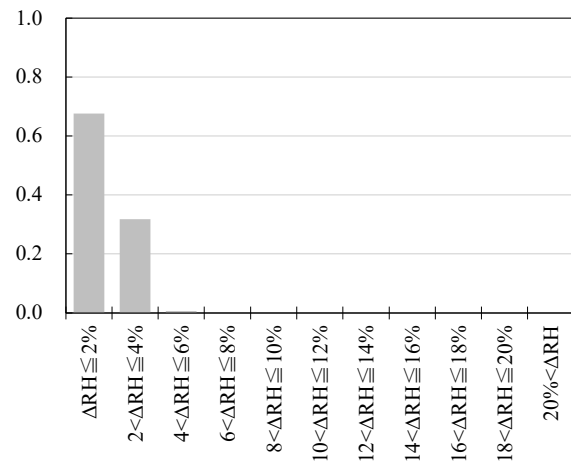


図 4-1-27 IoTセンサー同士の最大相対湿度差のヒストグラム (N=194h) (Eビル2階, 2/16-3/31, 平日9-18時)

表 4-1-12 IoTセンサー同士の月別相対湿度比較 (Eビル2階)

	2023/2			2023/3		
	センサーA	センサーB	センサーC	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	55	56	55	60	62	61
Med.	49	51	50	50	51	49
Min.	43	46	45	43	45	44

表 4-1-13 IoTセンサー同士の相対湿度比較 (Eビル2階, 2/16-3/31, 平日9-18時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	60	62	61
Med.	50	51	50
Min.	43	45	44

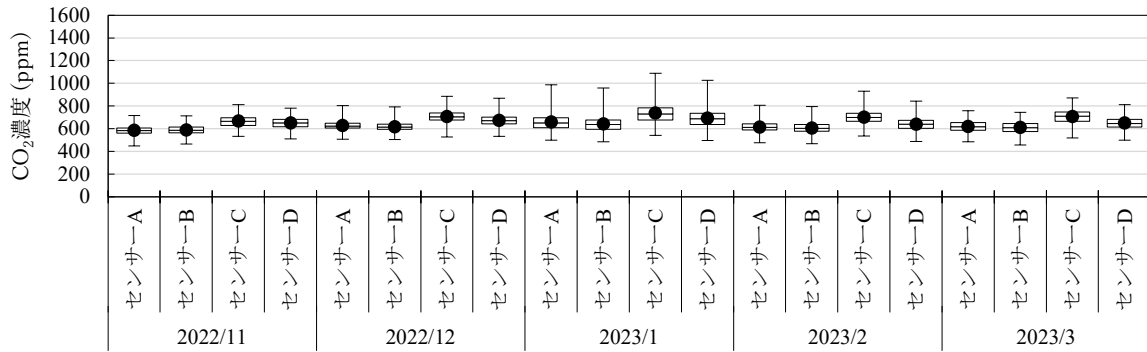


図 4-1-28 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (A ビル 2 階, 平日 9 – 18 時)

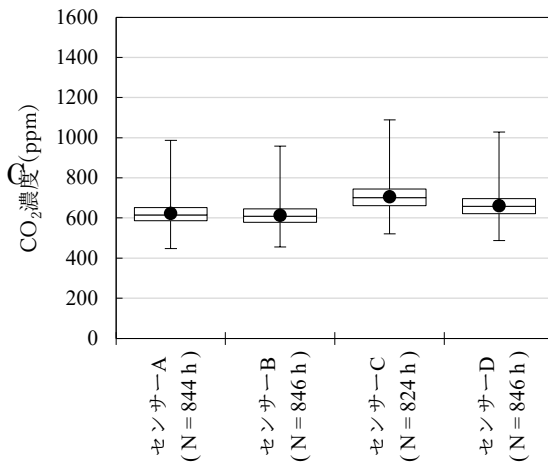


図 4-1-29 IoT センサー同士の CO₂濃度比較 (A ビル 2 階, 11/1 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

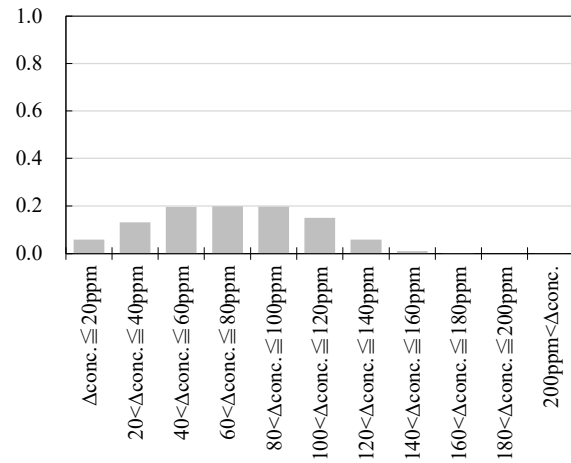


図 4-1-30 IoT センサー同士の最大 CO₂濃度差のヒストグラム (N = 846h) (A ビル 2 階, 11/1 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

表 4-1-14-1 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (A ビル 2 階) (1)

	2022/11				2022/12				2023/1			
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD
Max.	718	715	812	781	805	793	888	870	988	959	1 089	1 029
Med.	583	587	665	650	623	614	705	672	650	638	730	688
Min.	448	467	535	511	509	505	529	534	501	485	542	498

表 4-1-14-2 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (A ビル 2 階) (2)

	2023/2				2023/3			
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーD
Max.	809	797	933	843	761	745	873	812
Med.	613	604	700	641	616	608	710	646
Min.	477	469	538	488	485	457	521	501

表 4-1-15 IoT センサー同士の CO₂濃度比較 (A ビル 2 階, 11/1 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC	センサーD
Max.	988	959	1 089	1 029
Med.	615	609	701	658
Min.	448	457	521	488

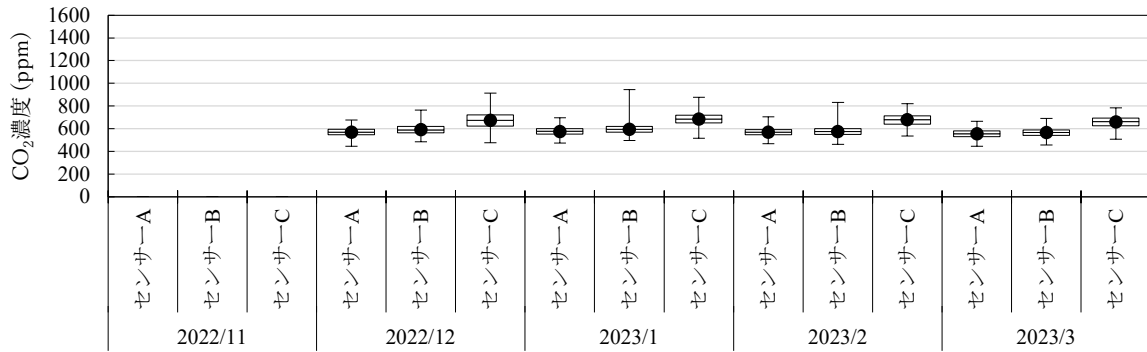


図 4-1-31 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (D ビル 1 階, 平日 9 – 18 時)

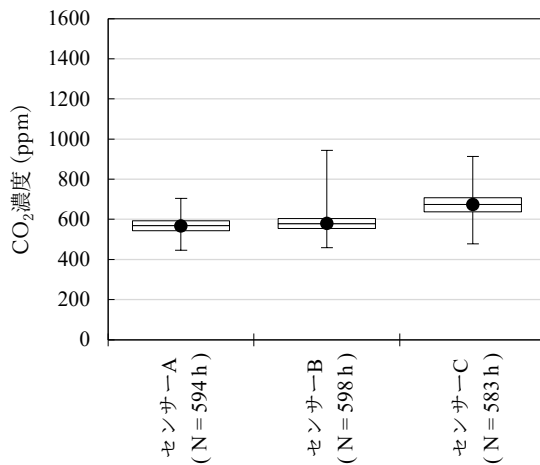


図 4-1-32 IoT センサー同士の CO₂濃度比較
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

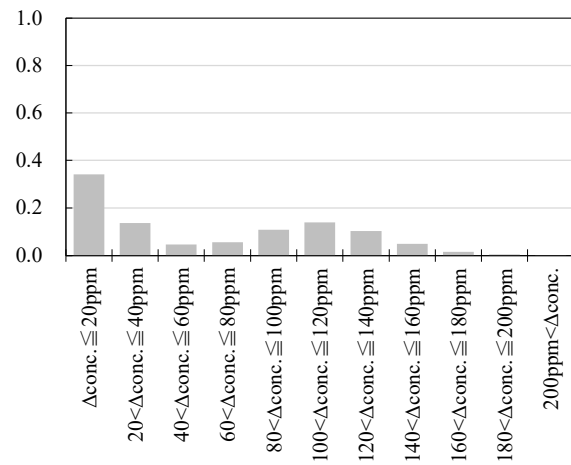


図 4-1-33 IoT センサー同士の最大 CO₂濃度
差のヒストグラム (N = 596h)
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

表 4-1-16 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (D ビル 1 階)

	2022/12			2023/1			2023/2			2023/3		
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC
Max.	679	764	914	699	945	879	705	834	823	666	692	785
Med.	570	589	673	578	594	685	571	575	678	556	567	663
Min.	447	486	478	475	496	516	470	464	537	447	459	509

表 4-1-17 IoT センサー同士の CO₂濃度比較
(D ビル 1 階, 12/20 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	705	945	914
Med.	568	579	674
Min.	447	459	478

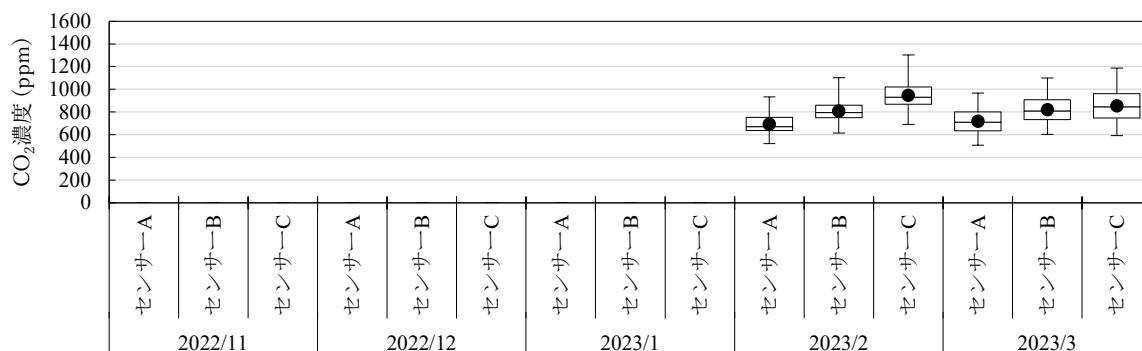


図 4-1-34 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較 (E ビル 2 階, 平日 9 – 18 時)

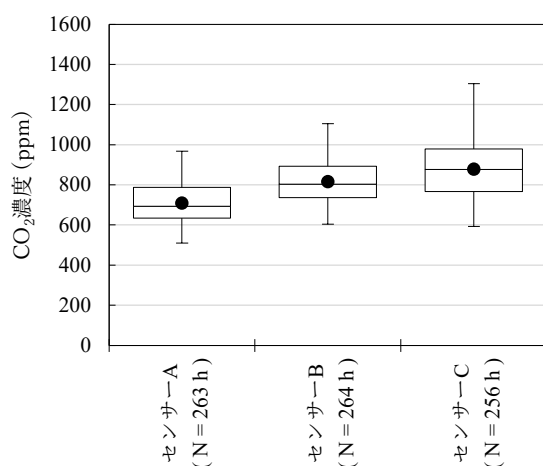


図 4-1-35 IoT センサー同士の CO₂濃度比較
(E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

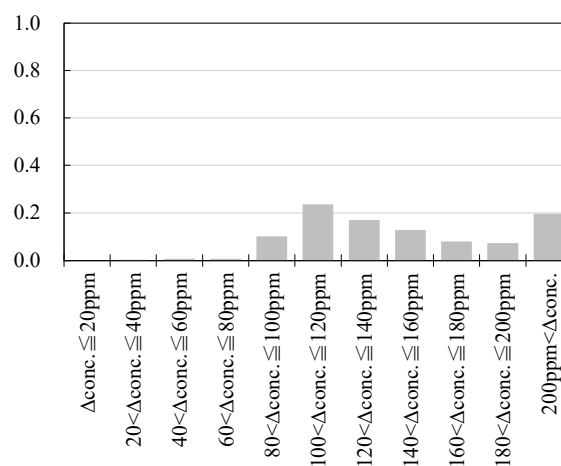


図 4-1-36 IoT センサー同士の最大 CO₂濃度
差のヒストグラム (N = 194h)
(E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

表 4-1-18 IoT センサー同士の月別 CO₂濃度比較
(E ビル 2 階)

	2023/2			2023/3		
	セン サーA	セン サーB	セン サーC	セン サーA	セン サーB	セン サーC
Max.	934	1 105	1 305	968	1 101	1 188
Med.	670	795	930	712	808	846
Min.	522	615	692	510	605	593

表 4-1-19 IoT センサー同士の CO₂濃度比較
(E ビル 2 階, 2/16 – 3/31, 平日 9 – 18 時)

	センサーA	センサーB	センサーC
Max.	968	1 105	1 305
Med.	693	804	877
Min.	510	605	593

の中央値はセンサーA が 35%、センサーB が 53%、センサーC が 41%となっており、センサーB の相対湿度は他の IoT センサーと比較して 10%RH 以上低くなっている。なお、A ビルにおいても 11/1~3/31 の IoT センサー同士の比較 (図 4-1-20・表 4-1-9) によると、各 IoT センサーの中央値はセンサーA が 35%、センサーB が 40%、センサーC が 36%、センサーD が 35%となっており、E ビルにおいても 2/16~3/31 の IoT センサー同士の比較 (図 4-1-26・表 4-1-13) によると、各 IoT センサーの中央値はセンサーA が 50%、センサーB が 51%、センサーC が 50%となっており、いずれもセンサーB が高くなっている。

CO₂ 濃度については最大 CO₂ 濃度差のヒストグラム (図 4-1-30・図 4-1-33・図 4-1-36) によると、A ビルでは 40~100ppm の差、D ビルでは 20ppm 以下の差が最頻値となっているが、E ビルでは約 90%の時間帯で 100ppm 以上の差となっている。2/16~3/31 の IoT センサー同士の比較 (図 4-1-35・表 4-1-19) によると、各 IoT センサーの中央値はセンサーA が 693ppm、センサーB が 804ppm、センサーC が 877ppm となっており、センサーA とセンサーC の差が 184ppm であった。なお、A ビルにおいても 11/1~3/31 の IoT センサー同士の比較 (図 4-1-29・表 4-1-15) によると、各 IoT センサーの中央値はセンサーA が 615ppm、センサーB が 609ppm、センサーC が 701ppm、センサーD が 658ppm となっており、D ビルにおいても 12/20~3/31 の IoT センサー同士の比較 (図 4-1-32・表 4-1-17) によると、各 IoT センサーの中央値はセンサーA が 568ppm、センサーB が 579ppm、センサーC が 674ppm となっており、いずれもセンサーC が高くなっている。また、E ビルの月別 CO₂ 濃度比較 (図 4-1-34・表 4-1-18) によると、2023 年 2 月の中央値はセンサーA が 670ppm、センサーB が 795ppm、センサーC が 930ppm となっているが 2023 年 3 月の中央値はセンサーA が 712ppm、センサーB が 808ppm、センサーC が 846ppm となっており、IoT センサー同士の差が小さくなっている。センサーB の中央値は 2 月と 3 月でほとんど差は無いが、センサーA は 3 月の方が高く、センサーC は 3

月の方が低くなっていることからセンサーA とセンサーC が有する自動校正機能によって IoT センサー同士の差が小さくなったと考えられる。即ち、E ビルに設置した初期 CO₂ 濃度には差異があったと考えられる。

C.2. IoT センサーと現場立入測定の測定値比較

各建物における IoT センサーと現場立入測定を比較した結果を図 4-1-37~図 4-1-45 に示す。本図は現場立入測定を実施した時刻の瞬時値で示している。

温度については F ビルにおいてセンサーC が現場立入測定結果と比較して 1.8K 低くなっており、本研究で対象とした建物において最大の差となった。その他の建物では IoT センサーと現場立入測定の結果が 1K 程度の差が多い。

相対湿度についてはセンサーB を除いてほとんどすべての建物で IoT センサーの相対湿度は現場立入測定結果の $\pm 5\%$ RH 以内となっていた。センサーB は A ビル・E ビル・F ビルでは他の IoT センサーと同等程度の測定値となっている一方で B ビル・D ビルでは他の IoT センサーと比較して 10~20%RH 程度高い測定値となっている。

CO₂ 濃度についてはセンサーC が高い測定値になっているのは前述のとおりであり、多くの建物でセンサーC の測定値が最高値となっている。IES-5000 と Model 2100 に差異がある建物もあるが、センサーC を除くと IoT センサーの CO₂ 濃度は現場立入測定結果の ± 100 ppm 以内となる建物が多い。

C.3. 温湿度・CO₂ 濃度の平面分布の測定

B ビルを除いた 5 件における温湿度・CO₂ 濃度の平面分布を確認するため、各室複数点に設置したセンサーA の測定結果を図 4-1-46~図 4-1-52 に示す。本図はいずれも測定期間中の平日の 9~18 時の結果を示している。

A ビルの 2 階においては No. 1~3 の温度の中央値は 22.9~23.3°C と差はないが、No. 4 は第一四分位点と第三四分位点の差が他の位置よりも大きくなっている。これは、No. 4 を南面の外皮近傍に設置したことが要因と考えられ、日射の影響による温度上昇や低外気温度による温度低下が挙げられる。一方、No. 1~4 の相対湿度の中央値は 31~35%、CO₂ 濃度の中央値は

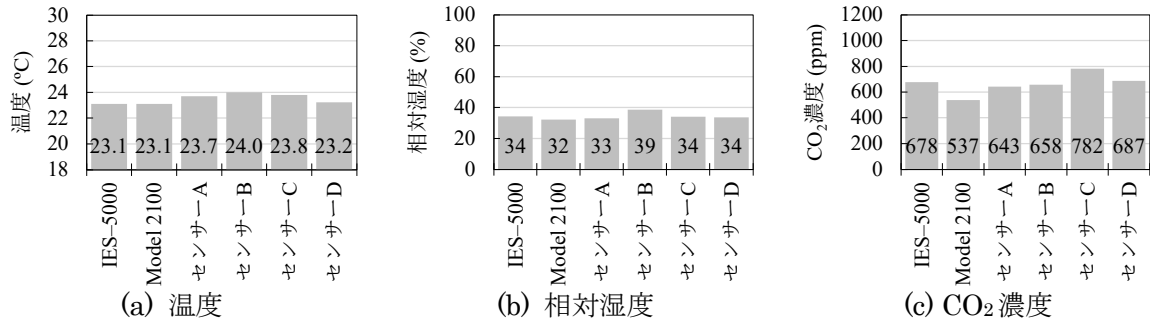


図 4-1-37 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Aビル2階, 2023/2/17 10:10)

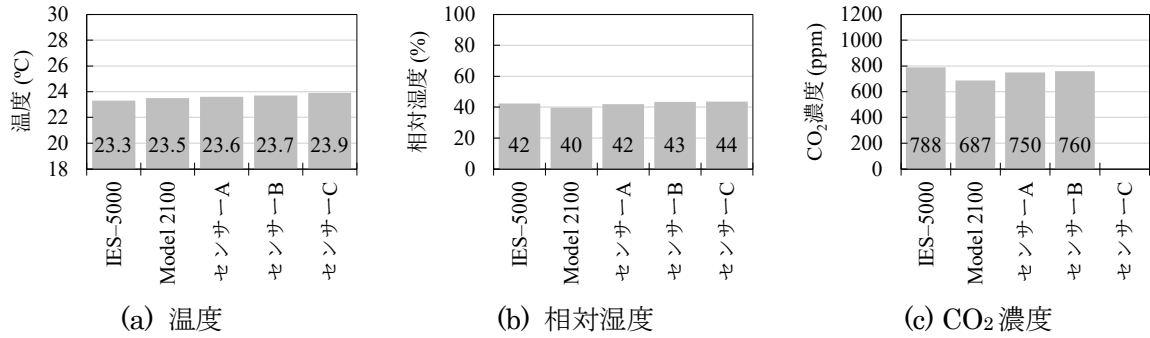


図 4-1-38 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Aビル3階, 2023/2/17 10:30)

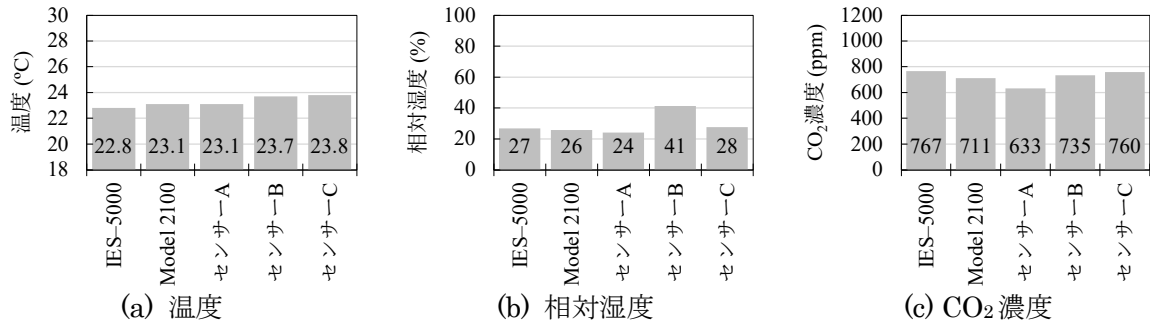


図 4-1-39 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Bビル1階, 2022/12/8 15:10)

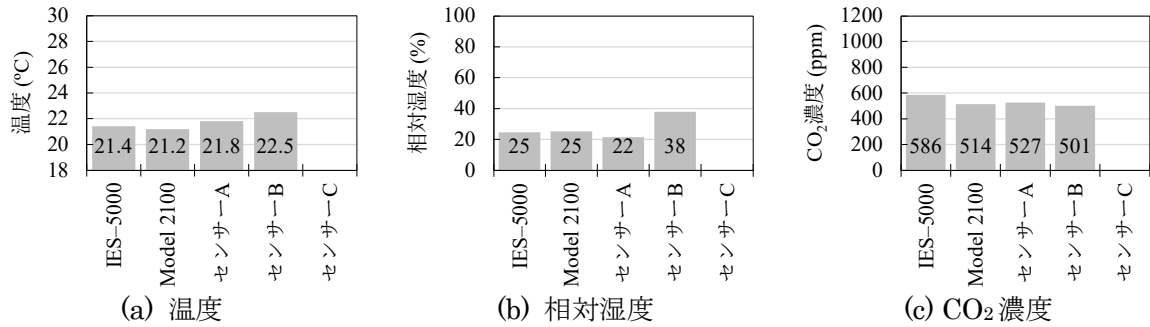


図 4-1-40 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Bビル3階, 2022/12/8 15:50)

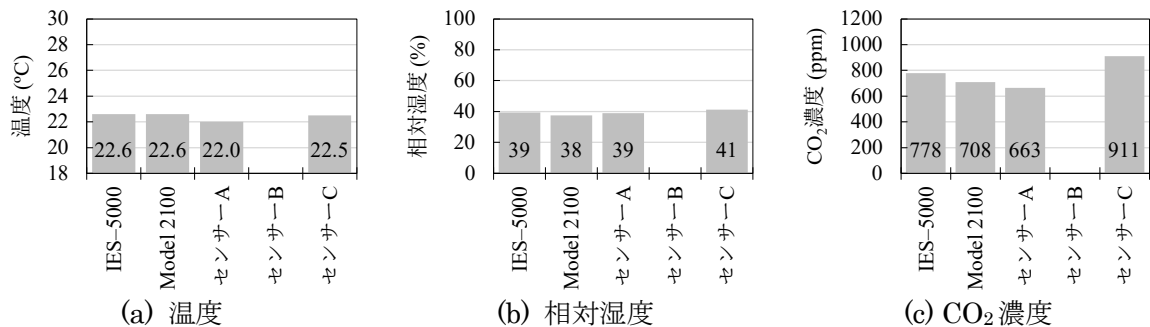


図 4-1-41 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Cビル2階, 2022/12/9 10:30)

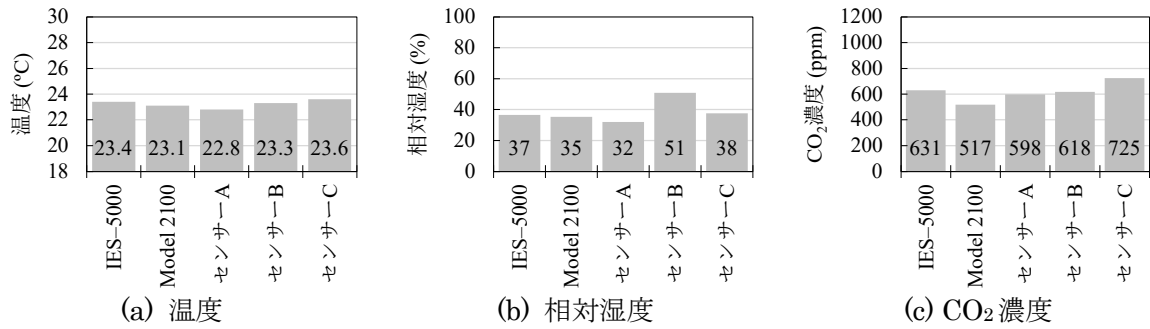


図 4-1-42 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Dビル1階, 2023/2/22 15:20)

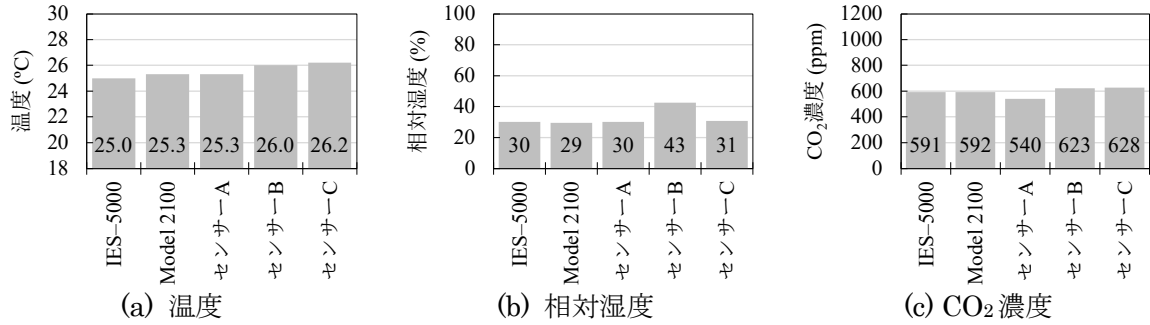


図 4-1-43 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Dビル4階, 2023/2/22 16:30)

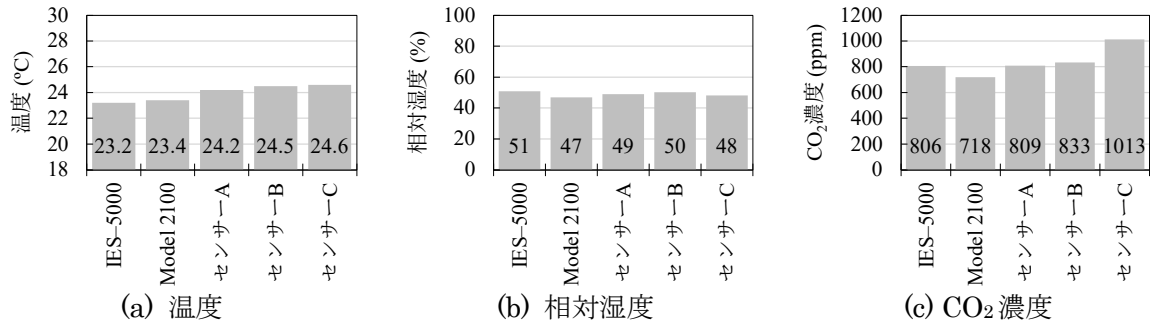


図 4-1-44 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Eビル2階, 2023/2/16 15:30)

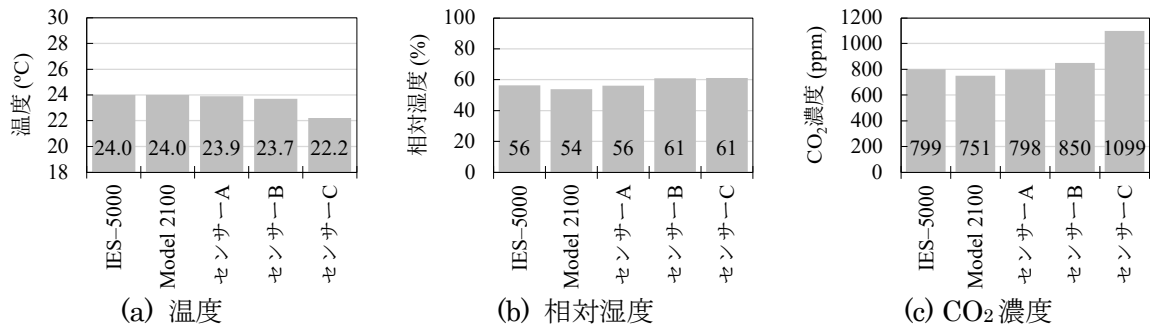


図 4-1-45 IoTセンサーと現場立入測定の比較 (Fビル2階, 2023/2/16 16:20)

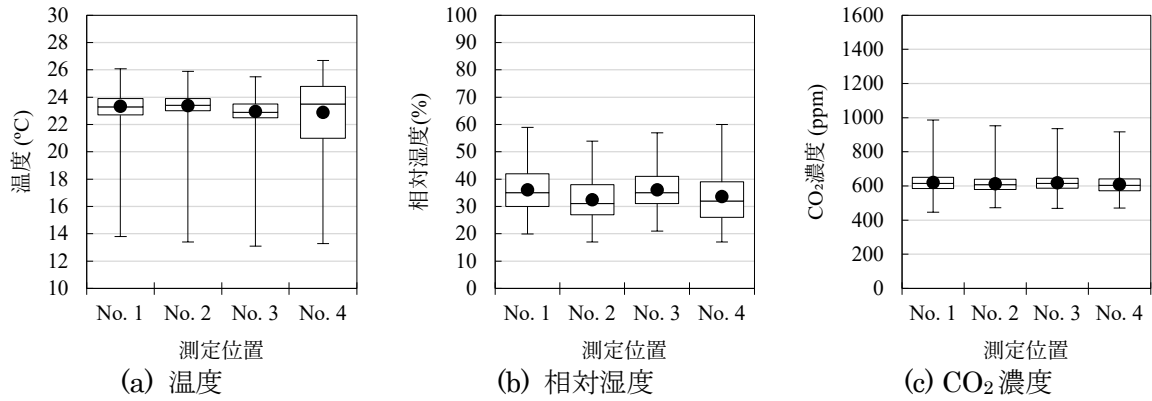


図 4-1-46 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (A ビル 2 階, 11/1 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

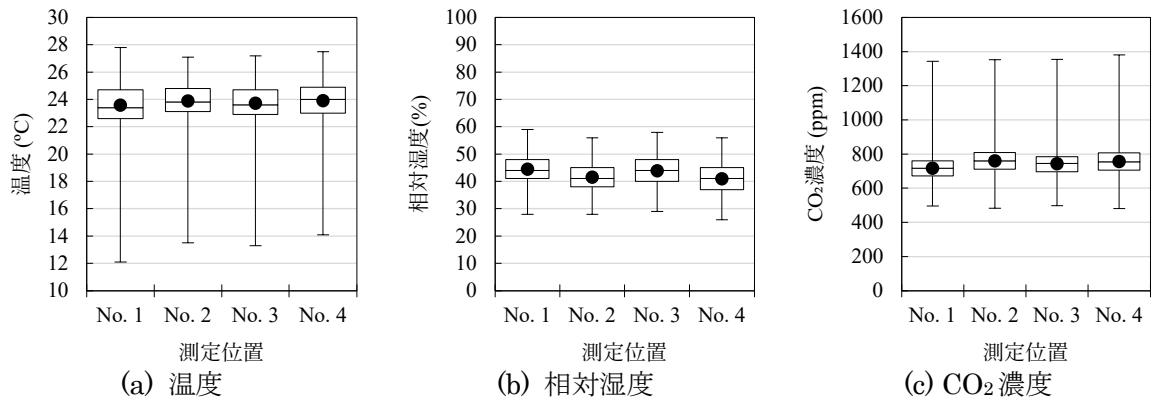


図 4-1-47 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (A ビル 3 階, 11/1 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

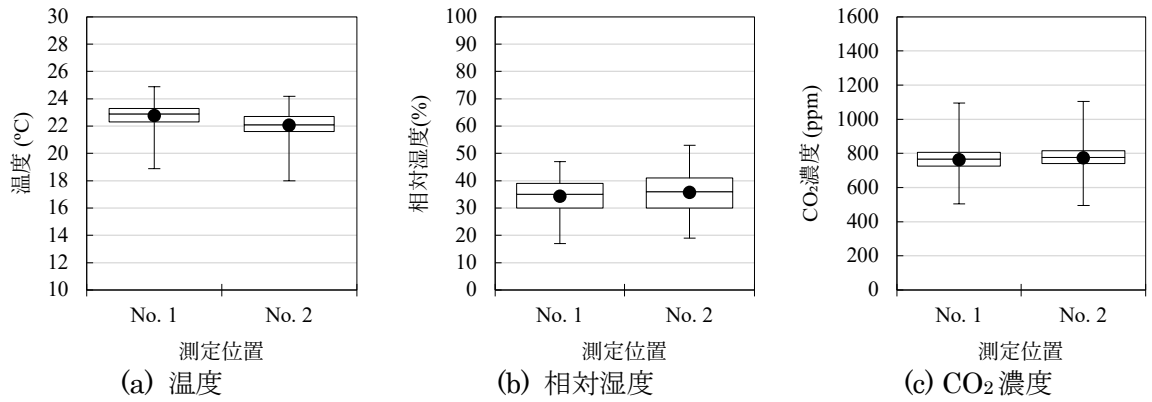


図 4-1-48 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (C ビル 2 階, 12/9 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

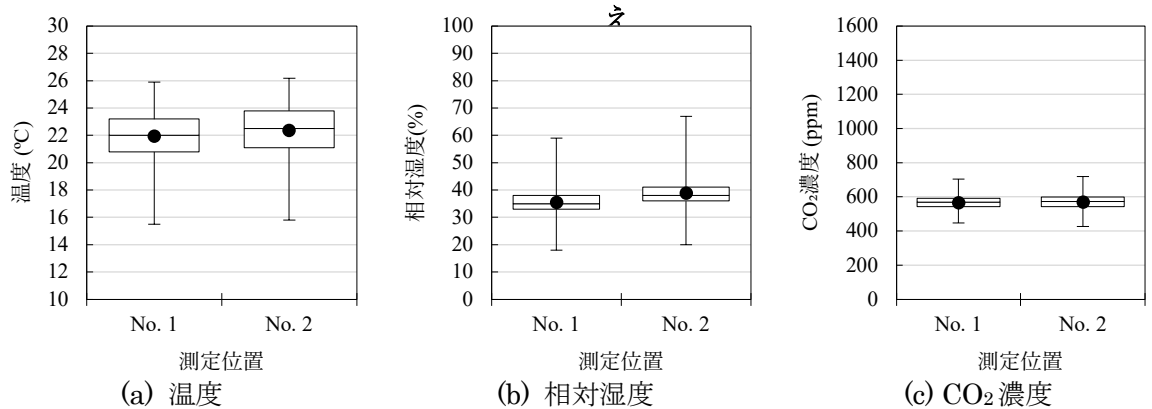


図 4-1-49 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (D ビル 1 階, 12/21 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

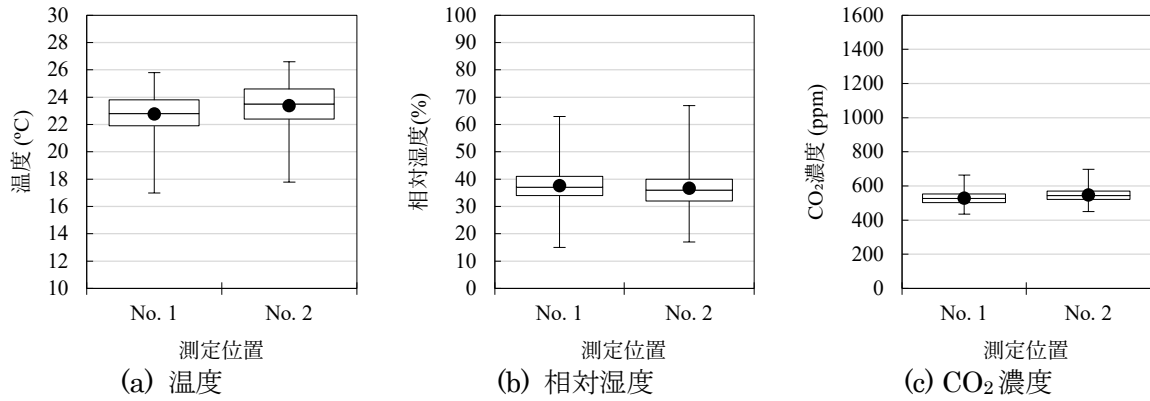


図 4-1-50 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (D ビル 4 階, 12/21 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

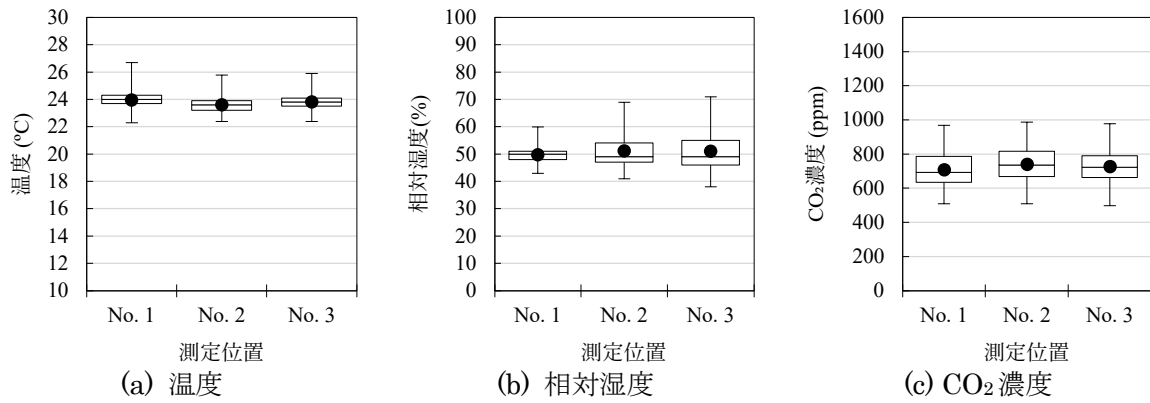


図 4-1-51 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (E ビル 2 階, 2/16 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

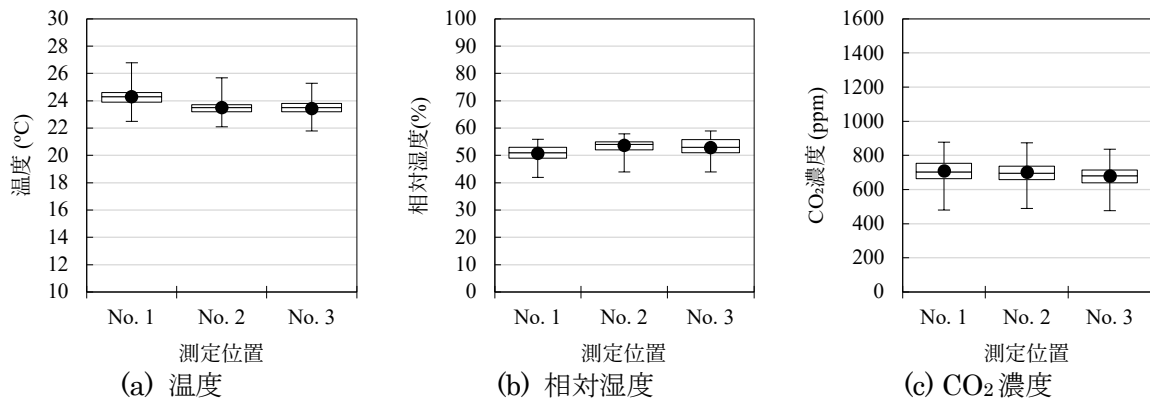


図 4-1-52 温度・相対湿度・CO₂濃度の平面分布 (F ビル 2 階, 2/16 - 3/31, 平日 9 - 18 時)

603～615ppm と差は見られなかった。

A ビルの 3 階においては No. 1 が北側ペリメータゾーン、No. 2～3 がインテリアゾーン、No. 4 が南側ペリメータゾーンに設置されているが、いずれも大きな差は見られなかった。

C ビルの 2 階においては CO₂ 濃度の中央値は 767ppm と 776ppm と差は見られないが、温度の中央値は No. 1 が 22.9°C、No. 2 が 22.1°C と 0.8K の差が見られ、最高値も 0.7K、最低値も 0.9K の差が見られた。これは比較的外皮に近い No. 2 の温度が低下したことが要因と考えられる。また、相対湿度も温度差が発生したことから差が生じており、相対湿度の最高値は No. 1 が 47%、No. 2 が 53%であった。

D ビルの 1 階においては CO₂ 濃度の中央値は 568ppm と 573ppm と差は見られないが、温度の中央値は No. 1 が 22.0°C、No. 2 が 22.5°C と 0.5K の差が見られた。これは比較的外皮に近い No. 1 の温度が低下したことが要因と考えられる。この傾向は同建物の 4 階においても観測されている。

E ビルの 2 階においては、温度の中央値の差は 0.4K 以内、相対湿度の中央値の差は 1%RH 以内、CO₂ 濃度の中央値の差は 43ppm 以内であり、測定位置による差は見られなかったが、温度の最高値には最大 0.8K、相対湿度の最高値には最大 11%RH の差が生じていた。No. 1 の温度の最高値は 26.7°C であり、3 点の測定位置の内では最高であった。一方、No. 1 の相対湿度の最高値は 60%であり、3 点の測定位置の内では最低であった。これらのことから空調吹出し空気が測定機器に当たる時間帯があり、温度上昇に伴う相対湿度の低下が一要因として考えられる。

F ビルの 2 階においては、温度の中央値は南側に設置した No. 1 が最も高く 24.3°C であり、No. 2 と No. 3 と比較して 0.8K 高い結果であった。一方で、相対湿度の中央値と CO₂ 濃度の中央値には大きな差は見られなかった。

D. まとめ

本章では IoT センサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討することを目的とし、(1)複数の IoT センサーの測定値比較、(2)IoT セン

サーと現場立入測定の測定値比較、(3)温湿度・CO₂ 濃度の平面分布の測定の 3 点を実施した。

(1)複数の IoT センサーの測定値比較では、3 件の建物 (A ビル、D ビル、E ビル) に設置した 4 種の IoT センサー (センサーA、センサーB、センサーC、センサーD) の測定値を比較した。温度については A ビルにおける 11/1～3/31 のセンサーD の温度の中央値が他の IoT センサーと比較して 0.5K 以上低くなっていたものの 4 種のセンサーは多くの時間で 0.5～1.0K の差に留まっており、センサーD を除いた 3 種のセンサーは約 0.5K 以下の差であった。相対湿度については同種のセンサーでも差の大小が見受けられた。具体的にはセンサーB の測定値は他の IoT センサーと比較して A ビルでは約 5%RH、E ビルでは 2%RH 高い結果であった一方で、D ビルでは 10%RH 以上高い結果であった。なお、センサーB を除いた 3 種のセンサーは約 5%RH 以内の範囲の測定値であった。CO₂ 濃度についてはセンサーC の測定値が他の IoT センサーと比較して高い傾向にあった。また、初期 CO₂ 濃度に差異があったと考えられる E ビルにおいて 100ppm 以上の差が見受けられたが、A ビルでは 40～100ppm、D ビルでは 20ppm 以下の差であった。なお、E ビルに設置した 3 種の IoT センサーの差異は 2023 年 2 月よりも 2023 年 3 月の方が小さくなっており、測定機器の自動校正機能によるものと考えられる。

(2) IoT センサーと現場立入測定の測定値比較では、現場立入測定を実施した時刻の瞬時値を比較した。温度については IoT センサーと現場立入測定の結果は 1K 程度の差、相対湿度についてはセンサーB を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は±5%RH 程度の差、CO₂ 濃度についてはセンサーC を除くと IoT センサーと現場立入測定の結果は±100ppm 程度の差であった。

(3)温湿度・CO₂ 濃度の平面分布の測定では、冬期の温度の平面分布については外皮に近いペリメータゾーンで低くなる傾向が見受けられた。また、相対湿度については多くの建物で平面分布は見られなかったが、測定値は温度に影響さ

れることから温度の平面分布が大きい建物においては相対湿度の測定値にも差が生じる可能性がある。一方で、CO₂濃度については、本研究で測定した5件では平面分布は見られなかった。

以上の結果より、IoTセンサーは現場立入測定の結果と概ね同等の結果が得られていると考えられる。しかし、センサーDの温度が低い、センサーBの相対湿度が高い、センサーCのCO₂濃度が高いといったIoTセンサーによって一部の数値が高く若しくは低く測定されることには留意する必要がある。また、センサーBの相対湿度は他のIoTセンサーと比較して同等となる場合や高く測定される場合があるといった測定機器の個体差があることにも留意する必要がある。さらに、Eビルにおいて観測された初期CO₂濃度の差異といった事項にも留意する必要がある。

また、冬期の温度の平面分布については外皮に近いペリメータゾーンで低くなる傾向が見受けられた。一方、CO₂濃度については本研究で測定した5件では平面分布は見られなかったが、在室人数の平面分布がある建物ではCO₂濃度も平面分布が生じる可能性がある。現行の建築物衛生法に準じた現場立入測定は代表点で測定することとなっており、平面分布を考慮した測定法ではないことから、簡易に設置可能なIoTセンサーは平面分布も測定できるという点で大きな利点となり得る。

なお、本研究では温度、相対湿度、CO₂濃度に着目し、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能性について検討したが、建築物衛生法で定められる環境衛生管理基準項目には浮遊粉じんの量、CO濃度、気流もあり、これらの連続測定が可能な測定機器の開発も望まれる。今後は国外の事例等も含めて測定機器の調査を行うとともに、6つの建物に設置したIoTセンサーを継続的に設置し、IoTセンサーの建築物衛生管理への利用可能な条件等を明らかにする予定である。特に、Eビルでは初期CO₂濃度の差異があったことから自動校正機能による差の低減にも注視して考察を進める予定である。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

4-2. 小型 PM_{2.5} センサーの特徴調査

A. 研究目的

建築物衛生法においては、建築物衛生管理基準として、粒径 10 μm 以下の浮遊粉じんについて基準値を設けている。現在の特定建築物における浮遊粉じん濃度は、室内における禁煙・分煙、大気汚染の低減化、空調機エアフィルタの性能向上などにより、基準値に比べても十分に低く、不適率についても問題がない状況である。一方大気においては、粒径 2.5 μm 以下の粒子を対象とした微小粒子状物質 (PM_{2.5}) について、粒径の小さな粒子の方が人への健康影響について深刻なことから環境基準を設けている。また、WHO においても、PM_{2.5} 濃度の強化が行われたところであるが、室内における基準及びその他各学会の規準などはないのが現状である。さらに、建築物衛生管理に関する検討会における報告書においても、国際機関における基準値等に関する調査において、PM_{2.5} について今後の検討の必要性について言及している。

そこで、建築物室内 PM_{2.5} 濃度の基準策定を念頭に、室内環境で適用できる測定機器の調査を行った。

B. 研究方法

ディーゼル排ガスなどの微小粒子が健康影響で問題となり、PM_{2.5} については、濃度と健康影響との関係が粗大粒子よりも大きいとの報告から注目された¹⁾。そこで、我が国でも一般大気環境において、その科学的知見を蓄積することを目的に、「微小粒子状物質曝露影響調査研究」が行われた²⁾。これに基づき、1年平均値が 15 μg/m³ であり、かつ、1日平均値が 35 μg/m³ 以下であることとなる、我が国における大気環境の PM_{2.5} の基準値が設定された。

微小粒子の特徴として、呼吸器系の深部まで到達しやすく、粒子表面に様々な有害成分が吸収・吸着されていること等から、この健康影響が懸念されている。表 4-2-1 は、WHO が公表した PM_{2.5}、二酸化硫黄、オゾンなどの大気汚染物質による短期及び長期曝露による健康影響をまとめたものである³⁾。短期曝露による健康影響指標として取り上げられるものとしては、死亡、医療機関への入院・受診、循環器系への

悪影響、呼吸器症状変化などである。長期影響については、心血管系・呼吸器疾患による死亡、喘息、肺がんなどの健康影響が示されている。日死亡と粒子状物質濃度についての知見が多くあり、EPA による北米の調査においては、総死亡の増加率は+0.29~1.21%、心血管疾患死亡は+0.30~1.03%、呼吸器疾患死亡は+1.01~2.2%と推計されている。よって、大気汚染濃度の異なる地域での長期調査の結果により、PM_{2.5} 濃度と全死亡および心肺死亡の相対リスクとの間に有意な正の関連性が認められている⁴⁾。

室内における基準値の制定については、以上のような検討結果と同様に行われることが考えられる。しかし、大気基準のように、1年平均値および1日平均値が建築物衛生に馴染むものではないため、測定のタイミングとともに、測定結果と比較する基準値については、検討する必要がある。

表 4-2-1 PM_{2.5}、二酸化硫黄、オゾンなどの大気汚染物質の健康影響³⁾

短期健康影響
<ul style="list-style-type: none">・日死亡(PM と日死亡には正の相関がある)・呼吸器系、心血管系疾患による入院、救急受診、プライマリケア受診・呼吸器系、心血管系薬の使用・活動制限が必要な日数・会社欠勤、学校欠席・急性症状(喘鳴、咳嗽、喀痰、呼吸器感染症)・生理機能変化(呼吸機能など)
長期健康影響
<ul style="list-style-type: none">・心血管系、呼吸器疾患による死亡・慢性呼吸器疾患の発症および罹患(喘息、慢性閉塞性肺疾患等)・慢性的な生理機能変化・肺がん・慢性心血管疾患・子宮内発育の制限(低体重児出産、子宮内発育遅延等)

C. 調査結果および考察

PM_{2.5} の測定方法については、大気環境に関するものが参考となる²⁾。これによれば、環境大気中に浮遊する粒子状物質のうち空気動力学

表 4-2-2 可搬型 PM_{2.5} 測定機器

	TSI DustTrak Model 8530等	柴田科学 PM2.5デジタル 粉じん計 LD-5R	TSI BlueSky Model 8143	ECOMESURE ECOMZEN	柴田科学 簡易PM2.5モニ ター “Chicco- iino” PS-2型	光明理化学工業 PM2.5テスター
センサー	90° 散乱光	光散乱方式	光散乱シングル 粒子カウント		光散乱方式	レーザー光散乱
カットオフ	2.5 μm	2.5 μm	-	-	-	-
粒径範囲	0.1-10 μm				0.3 μm以上	
粒子濃度範囲	0.001-400 mg/m ³	0.01-100 mg/m ³	0-1000 μg/m ³	0~1,000 μg/m ³	10~600 μg/m ³	0 ~ 1000 μg/m ³
精度		±10%	±10 % @100~1,000 μ g/m ³ ±10 μg/m ³ @0~100 μg/m ³			±15 μg/m ³ (0 ~ 100 μg/m ³), ± 15%(100 ~ 1000 μg/m ³)
分解能	±0.1%	0.01 mg/m ³	1 μg/m ³	1 μg/m ³		
ゼロ安定性	±0.002 mg/m ³		±10μg/m ³			
流量	3.0 L/min	1.7 L/min	0.3 L/min.	-	-	-
寸法	135 x 216 x 224	184 x 68 x 109.5	152 x 140 x 113	200 x 210 x 90	80 x 45 x 88	81 x 40 x 141
重量	2.0 kg	1.1 kg	160 g	1.2 kg	130 g	345 g
通信	USB	USB	Wi-Fi	イーサネット, Wi-Fi	Bluetooth通信	USB

的特性が粒径 2.5 μm で 50%のカット特性をもつ分粒装置により分粒された粒子状物質について、ロウボイウムエアサンプラを用いてフィルタ上に採取し、精密天秤によって質量を測定するものである。フィルタ上に捕集された粒子へのガス状物質の吸着や再揮発など様々な妨害要因や不確定要素を含んでおり、厳密な測定の困難さが指摘されている。また、秤量を行わない相対濃度計として、1 時間ごとの測定が可能なβ線吸収法、光散乱法、圧電天秤法が環境基準を評価する方法として存在する。

室内で測定を行う際には、上述のような大気環境を測定する装置を用いることは、装置の大きさ、騒音、吸引流量の多さなどの理由から、現実的ではない。また、昨今の室内粉じんの低濃度化により、秤量を行うのに可能となるサンプル流量、サンプル時間が多大となり、測定及び評価が困難となる場合がある。

室内において PM_{2.5} を測定する場合には、可搬型の PM_{2.5} 計として、表 4-2-2 に示すような装置を用いることが多い。例えば、TSI

DustTrak については、室内で用いている粉じん計と同様に、光散乱法を用いており、1 分毎の濃度を記録するものである。ただし、粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なることが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。これも、粉じん計と同様の考え方である。

我が国の製品についても、例えば柴田科学社製のデジタル粉じん計 LD-5R の標準採気口に PM_{2.5} 用サイクロン式分粒装置を取り付けることにより、PM_{2.5} 濃度を簡便に計測することはできる。こちらも、換算係数が重要となるので、標準的な方法となる秤量する方法との関係を検討しておかなければならない。

さらに小型の測定機器では、サンプリングにファンを持たないもので、インパクトターなどを用いて粒径 2.5 μm 以上の粒子を取り除かない測定機器が多くあり、同様に光散乱の原理を利用した相対濃度計である。その空間の粒子の性状（粒径分布や組成など）が同様であれば、ある程度の精度を有するものである。なお、いず

れも光散乱を用いているが、光源についても違いがある可能性がある。よって、それぞれの計測機器の検出の特性が異なることが考えられるため、校正が重要になる。また、WHO においては、AQG (Air quality guideline) level⁹⁾として、年平均を $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日平均を $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を提案しており、この濃度レベルになると可搬型測定器において、精度と校正が課題となるものと考えられる。

D. まとめ

建築物室内 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の基準策定を念頭に、室内環境で適用できる測定機器の把握を行った。測定機器については、測定精度とともに、粉じん計と同様に換算係数の設定が重要であること、 $2.5 \mu\text{m}$ カットを行わない測定機器の扱い、校正の方法などが課題となると考えられる。なお、測定結果はリアルタイムに結果を表示、記録を行うものが多いため、連続測定をしながら、監視を行える利点もあるため、今後検討に値すると思われる。

E. 参考文献

- 1) W.E. Wilson: The U.S. Environmental Protection Agency promulgates new standards for fine particles, 大気汚染学会誌, 33, A67-A76, 1998.
- 2) 環境省 :微小粒子状物質曝露影響調査報告書, 2007
- 3) WHO: Air Quality Guideline Global Update 2005, WHO, Geneva, 2006.
- 4) 武林亨, 朝倉敬子, 山田睦子 : $\text{PM}_{2.5}$ の疫学と健康影響 : 日本人のリスク評価の視点から, 大気環境学会誌, 46(2), 70-76, 2011
- 5) WHO: WHO global air quality guidelines, Particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, 2021.11

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

3. 著書
なし

- G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)
予定なし

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

5. 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

分担研究者	海塩 渉	東京工業大学	助教
代表研究者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員

研究要旨

通常、空調設備の自動制御に使用される BEMS データの計測項目は、建築物環境衛生管理基準の項目と、温度、相対湿度、CO₂濃度が重複しているが、当該データは空気環境管理に現状活用されていない。そこで、BEMS を導入している 3 棟のオフィスビルを対象にデータ収集を行い、BEMS データの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。対象ビルには、2022 年度の暖房期に温度、湿度、CO₂濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期の BEMS データ収集を依頼した。

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域とインテリア壁面設置センサで近い値を取るため、この 2 箇所は空気環境管理に利用できる可能性が高いが、ペリメータ壁面や還気ダクトへの設置センサはゾーニングや空調方式の影響を受ける可能性があること、②相対湿度はセンサの測定精度等の影響で一貫した結果が得られず、空気環境管理への応用に向けたハードルが高いこと、③CO₂濃度は空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも居住域と近い値を取り、空気環境管理へ応用の可能性が高いが、センサの校正の影響を大きく受けることが示唆された。

また時系列分析の結果、①温度は朝の暖房立ち上がり時に低く、特に建物を使用していない連休明けに注意が必要であること、②CO₂濃度は朝から夕方にかけて上昇していく傾向を示し、夕方に 1000 ppm 以下を達成できるかがポイントとなることが示された。

従来の 2 か月以内に 1 回、午前と午後にスポットで測定する環境衛生管理手法では把握できない時刻変動が見えることで、基準を逸脱している場合の原因特定や対策立案が容易になること、基準を逸脱している時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMS による空気環境管理の大きな長所と言える。一方で、通常 BEMS データとして測定している項目が温度、相対湿度、CO₂濃度の 3 項目しかなく、浮遊粉じんや CO 濃度、気流の 3 項目については別途測定を行う必要があるため、人的コストの削減には繋がりがづらく、まだまだ課題である。

研究協力者

原山 和也 アズビル (株)
橋本 翔 ダイダマン (株)

5-1 BEMS データ活用の趣旨

建築物の空気環境管理への Building Energy Management System (BEMS) データの応用可能性の検討にあたって、表 5-1 に示す通り、BEMS の空調関連データとして通常取得しているデータを整理し、建築物環境衛生管理基

準の項目との比較を行った。その結果、温度、相対湿度、二酸化炭素 (CO₂) 濃度の 3 項目が重複しているため、このデータを空気環境管理に利用できる可能性について検討していく。

初めに、コンセプトについて説明する。通常 BEMS データは図 5-1 に示す通り、空調設備の自動制御のために使用されている。具体的には①室内の温度に応じてコイルの冷温水バルブや変風量装置を調節し、冷温水流量や風量を調整する、②室内の相対湿度に応じて加湿バルブを開閉し、加湿量を調整する、③室内の CO₂濃度

に応じてダンパの開閉やファンのインバータを調整し、外気量を調整する、といった制御内容である。常時設置されている環境センサは連続測定をしているため、2 か月以内に1回、午前と午後にスポットで測定をする従来の環境衛生管理手法に比して、時間的なデータ解像度が高いという長所を有する。一方で、室内の壁面や還気ダクト内に設置されるケースも多々あり、その場合居住空間からセンサの設置位置が乖離するという短所もある。これらの長所や短所を踏まえた上で、BEMS センサによる空気環境管理が、従来手法と遜色ない、もしくは従来手法より優れた手段となり得るかを検討することが本章の趣旨である。

5-2 調査対象ビルの概要

関東地方に所在し、BEMS を導入している3棟のオフィスビルを対象にデータ収集を行った。表 5-2 に3棟のビルの基本情報を示す。3棟とも、空気調和機 Air Handling Unit (AHU) を基本とした空調方式であった。加湿方式は全て気化式であり、窓は閉状態であった。A, F ビルは OA フロアを利用した床吹出・天井吸込であり、E ビルのみ天井吹出・天井吸込であった。データを温度、相対湿度、CO₂濃度の3項目と、居住域、壁面(インテリア)、壁面(ペリメータ)、還気ダクトという4つのセンサ設置箇所で見ると、ビルによって測定項目と設置箇所は異なっていたため、それぞれのビルの特徴を活かしながら、以降の検討を行った。暖房期を対象とし、A ビルは1月、E, F ビルは2月のデータを分析した。また勤務時間を考慮し、平日の9~17時(12~13時の昼休憩除く)を分析対象とした。また、居住域に設置した連続測定小型データロガー(T&D社製おんどり TR-76Ui)のデータも比較対象として分析した。各ビルの平面図は2章を参照されたい。

5-3 空間分布に関する検討

(1) A ビル

A ビルでは、2F と 3F の2フロアを測定対象としたが、BEMS センサが居住域と壁面(ペリメータ)の2か所に設置されている2Fを分析対象とした。なお、A ビルにおいてはCO₂濃度

の BEMS データの取得はなかった。

図 5-2 に、設置箇所別の BEMS センサの温度、比較対象として居住域に設置した連続測定小型データロガー(T&D社製おんどり)の温度を示す。各センサにおいて、温度が15°C程度の低温域まで広範囲にわたっていた。図 5-3 に居住域に設置したデータロガーの温度を y 軸、BEMS センサの温度を x 軸とした場合の散布図を示す。居住域・壁面(ペリメータ)の BEMS センサとも、 $y=x$ のライン上にプロットが集中しており、データロガーと極めて良好な相関関係が確認された。

図 5-4, 5-5 に相対湿度の箱ひげ図と散布図を示すが、相対湿度も良好な対応が確認された。

(2) E ビル

E ビルの測定対象エリアは、オフィスの中央、北東、南東エリアで AHU のゾーンングがされていたが、そのうち、BEMS センサを居住域と壁面(インテリア)、還気ダクトの3か所に設置している中央エリアを分析対象とした。

図 5-6 に、設置箇所別の BEMS センサの温度と居住域のデータロガーの温度を示す。場所による明確な差は認められず、平均温度は±0.5°Cの範囲内に収まっていた。図 5-7 に散布図を示すが、プロットは $y=x$ 近傍に固まっていた。これは E ビルの空調が天井吹出・天井吸込であり、空気が攪拌されて温度ムラがほとんどなかったことが一因と考えられる。

図 5-8, 5-9 に還気ダクトの BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図と相関図を示す。温度は同程度であったが、BEMS センサの相対湿度の方が低く、8%RH の平均値の差であった。

図 5-10 に還気ダクトの BEMS センサとデータロガーの CO₂濃度の箱ひげ図を示す。平均値に約 50 ppm の差が認められた。図 5-11 の相関図を見ると、CO₂濃度が高い領域において、 $y=x$ から乖離していくプロット群と $y=x$ 上に乗っているプロット群の大きく2つに分かれていた。これは、データロガーの CO₂濃度自動校正機能が測定期間の途中で働いたことが原因であり、CO₂センサの校正は空気環境管理の精度に影響する重要な要素であることが示唆された。

(3) F ビル

F ビルの測定対象エリアは、AHU のゾーニングが北と南エリアに二分されており、ペリメータの負荷処理用にファンコイルユニット Fan Coil Unit (FCU) が別途設置され、ペリメータ壁面に FCU 制御用のセンサが設置されていた。

図 5-12 に、設置箇所別の BEMS センサとデータロガーの温度の箱ひげ図を示す。北・南エリアとも、居住域の BEMS センサとデータロガーは近い値を取った。北エリアの居住域の BEMS センサの温度は平均 23.5°C、データロガーの温度は平均 23.4°C であり、南エリアの BEMS センサは平均 24.4°C、データロガーは 24.2°C であった。一方で、北・南エリアともにその他の設置箇所では温度が大きく異なり、居住域、壁面（ペリメータ）、還気ダクトの順に平均温度が低くなっていった。居住域と壁面（ペリメータ）に設置された BEMS センサの平均温度の差は、冬の寒冷な屋外の影響を受けたものと考えられる。A ビルでも壁面（ペリメータ）に BEMS センサが設置されていながら、同様の差が認められなかったのは、F ビルでは FCU によってペリメータ負荷処理を行っており空調ゾーンが分かっていたものの、A ビルでは AHU のみで空調ゾーンが形成されていたことが一因と推察される。居住域より還気ダクトに設置された BEMS センサの平均温度が 2°C 低かったのは、F ビルは天井チャンバを介して還気が AHU に戻る構成となっており、暖房している室内と暖房していない天井裏の空気が混合したためと考えられる。E ビルも天井チャンバ方式であったものの同様の温度差がなかったのは、F ビルよりも築年数が浅く断熱性能が高かったため、天井裏の温度が比較的高く保たれていたものと推測される。

図 5-13 に居住域に設置したデータロガーと BEMS センサの温度の散布図を示す。居住域の BEMS センサとデータロガーは $y=x$ の線上にプロットが位置し、良好な対応を示しているが、壁面（ペリメータ）や還気ダクトのプロットは、傾きは 1 に近いが、 $y=x$ から平行移動しているような分布であった。事前測定等で切片の補正係数を把握しておくことで居住域の温度を推定できる可能性はあるが、上記 2 箇所の測定値をそのまま活用することは難しいことが示された。

図 5-14 に居住域の BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図、図 5-15 に散布図を示す。温度は 2 つのセンサでほぼ同等であったにもかかわらず、相対湿度には 5~6% の差異が認められ、データのバラツキが大きい結果であった。BEMS センサとデータロガーは、空間的には近い場所（どちらも居住域）に設置したため、センサ種別や個体による差が表れたものと考えられる。今回の 3 ビルの測定では、相対湿度について一貫した結果は得られなかった。

図 5-16、5-17 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの CO₂ 濃度の箱ひげ図と散布図を示す。空間的には大きな距離があったものの、データのバラツキ含めて非常に良い対応関係が見られた。これは CO₂ の拡散のしやすさ等によるものと考えられる。

5-4 時刻変動に関する検討

(1) A ビル

図 5-18、5-19 に、居住域の BEMS センサによって取得した、1 月の平日の日ごとの温度と相対湿度の時刻変動を示す（9~17 時の勤務時間中）。温度は 18°C を下回る時間帯があり、これは 1/10（火、3 連休の翌日）、1/16（月）、1/23（月）という連休明けの空調立ち上がり時間帯であった。このような結果は、午前と午後にスポットで測定をする従来の環境衛生管理手法では明らかにすることが難しいものであり、BEMS センサ活用の長所と言える。相対湿度は 40% を下回る時間も見られ、逸脱時間割合（＝基準を逸脱している時間／総測定時間）は、81.4% と高い割合であった。このような逸脱時間割合といった指標に基づいて建築物の空気環境管理ができる点も BEMS センサ活用の別の長所である。

(2) E ビル

図 5-20、5-21、5-22 に、BEMS センサによって取得した温度、相対湿度、CO₂ 濃度の時刻変動を示す。温度と相対湿度は一日を通して安定していたが、後者は基準範囲下限である 40% を下回る時間も見られた。逸脱時間割合は、36.4% であった。E ビルは還気ダクトに BEMS 湿度センサが設置されており、図 5-8 で居住域のデータロガーの相対湿度は基準範囲に収まってい

ることを踏まえると、基準の逸脱はセンサ種別や個体差に加え、設置箇所の影響を受けたものと考えられる。CO₂濃度は夕方にかけて徐々に上昇する挙動を示したが、環境基準は逸脱しなかった。

(3) F ビル

図 5-23 に、BEMS センサによって取得した温度の時刻変動を示す。朝の空調立ち上がり時に温度が上昇する挙動が確認されたものの、空気環境の基準である 18~28℃を逸脱する時間はなかった。図 5-24 には相対湿度の時刻変動を示すが、相対湿度についても 40~70%の基準範囲を逸脱しなかった。図 5-25 に CO₂濃度の時刻変動を示す。朝から夕方にかけて緩やかに上昇をするものの、E ビルと同様に 1000 ppm 以下の基準範囲を逸脱することはなかった。

5-5 BEMS データ活用の可能性

本章では暖房期の実物件データ分析を通じ、建築物の空気環境管理に対する BEMS データ（温度・相対湿度・CO₂濃度）の応用可能性を検討した。その結果、以下の成果が得られた。

1) 温度は居住域とインテリア壁面設置センサでは近い値を取るため、空気環境管理に利用できる可能性が高い。ただし窓際の FCU など、ペリメータの熱負荷処理用に居住域と空調ゾーニングが別となっている場合のペリメータ壁面センサや、天井チャンバ方式で天井内の空気と居住域の空気が混合する場合の還気ダクトセンサは、居住域と温度が乖離する可能性があるため注意が必要である。

2) 相対湿度は 3 ビルの BEMS データから一貫した結果が得られず、センサ個体に依存している可能性が示された。現在、空気環境の管理に使用されている測定セットの湿度センサの精度は±2.0% (2~80%RH) のものもあるが、例えば C ビルに設置されていた BEMS センサの測定精度は±5% (20~80%RH、15~35℃) と誤差範囲が広いため、値がずれる要因と考えられる。

3) CO₂濃度は、空間的に大きく離れた還気ダクトに設置されている場合でも、居住域と近い値を取った。これは CO₂等のガス状物質の拡散のしやすさによるものと考えられ、BEMS センサ

を空気環境管理へ活用できる可能性があると言える。ただし、CO₂濃度センサに搭載されている自動校正機能（一定期間中に計測された CO₂濃度の最も低い値を大気中の CO₂濃度であるとみなして、段階的に補正する機能）によっては値が大きくなる可能性があるため、予め校正の方法を明確にしておく必要がある。

4) 時系列分析の結果、温度は朝の空調立ち上がり時に低くなっており、特に建物を使用していない連休明けに注意が必要である。相対湿度は一日を通して安定しており、今回の測定で時刻別の特徴は認められなかった。温度は朝に注意が必要であった一方で、CO₂濃度は夕方にかけて上昇していくトレンドを示し、夕方に 1000 ppm 以下を達成できるかがポイントと考えられる。

以上のような BEMS データの分析を通して、①従来の午前午後のスポット測定では把握できなかった時刻変動が見え、基準を逸脱している場合の原因特定や対策立案が容易になること、②逸脱時間割合という新たな指標で環境を管理できることは、BEMS センサによる空気環境管理の大きな長所と言える。一方で、①通常の BEMS データとして測定している項目が温度、相対湿度、CO₂濃度の 3 項目しかなく、浮遊粉じんや一酸化炭素 (CO)、気流の 3 項目については別途測定を行う必要があり、人的コストの削減には繋がらないこと、②ペリメータ壁面や還気ダクトにセンサを設置する場合は、ゾーニングや空調方式等、様々な制約を受けること、③湿度センサの個体差や測定精度の幅が大きいこと、④CO₂濃度はセンサの校正方法の影響を大きく受けることなど、まだまだ課題も多いことが示唆された。来年度は別のオフィスビルや暖房期以外のデータを拡充し、データ活用の可能性について検討を深める予定である。

参考文献

1) 千葉 孝男、空調システムの自動制御、オーム社、2004.11、pp.153-174.

研究発表

無し

知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

表 5-1 BEMS の空調関連の一般的な監視・制御項目 1)

対象設備		監視・制御項目
ボイラ系	ボイラ	運転・停止・故障、バーナ燃焼状態、温水温度、蒸気圧力、蒸気流量、煙濃度、地震感知器
	燃料	油ポンプ、油タンク油面、油用緊急遮断弁、ガス圧、燃料消費量
	ポンプ	温水ポンプ、給水ポンプ、真空給水ポンプ
	給水	補給水量
冷凍機系	遠心冷凍機	運転・停止・故障、冷水温度（入口/出口）、冷水量、冷却水量、電力等
	吸収冷凍機	運転・停止・故障、吸収剤結晶、冷水温度（入口/出口）、冷水量、冷却水量、蒸気圧力、流量、温水温度（入口/出口）、温水量
	直焚き 冷温水発生機	運転・停止・故障、吸収剤結晶、異常燃焼、冷温水温度（入口/出口）、冷水量、冷却水量、ガス圧力・流量、燃料油量、油ポンプ、油タンク油面、油用緊急遮断弁
	冷水ポンプ	運転・停止・故障、電力量、冷却水温度（入口/出口）
冷却塔	冷却塔	送風機運転・停止・故障、電力量、冷却水温調節弁開度、水質調整装置
	冷却水ポンプ	運転・停止・故障、電力量、冷却水温度（入口/出口）
蓄熱槽	水蓄熱槽	水温、水位
	氷蓄熱槽	冷凍機の運転・停止・故障、電力量、運転時間、水温、氷量
空気調和機系	主送風機	運転・停止・故障
	エアフィルタ	差圧、巻き取り、故障
	外気取入れ 送風機	運転・停止・故障
	還気送風機	運転・停止・故障
	排気送風機	運転・停止・故障
	全熱交換器	運転・停止・故障
ファンコイル ユニット	運転・停止・故障、電源	
ビルマルチ	運転・停止・故障、電源、電力量	
パッケージ エアコン	運転・停止・故障、電源、電力量	
換気用 送風機	便所排気	運転・停止・故障、電源、電力量
	厨房給排気	運転・停止・故障、電源、電力量
	機械室給排気	運転・停止・故障、電源、電力量
	ボイラ室給排気	運転・停止・故障、電源、電力量
	電気室給排気	運転・停止・故障、電源、電力量
	発電機室給排気	運転・停止・故障、電源、電力量
環境計測	外気	乾球温度、湿球温度、相対湿度、比エンタルピー
	室内空気	乾球温度、湿球温度、相対湿度、比エンタルピー、二酸化炭素濃度
	空調用給気	乾球温度、露点温度、比エンタルピー

表 5-2 データ収集したオフィスビルの基本情報

ID	所在地	空調方式	加湿方式	吹出	吸込	窓	データ収集期間
A	埼玉県三芳町	AHU+水冷 PAC	気化式	床	天井	閉	2022/11~2023/1
E	神奈川県藤沢市	AHU	気化式	天井	天井	閉	2023/2 中旬~
F	神奈川県藤沢市	AHU+窓際 FCU	気化式	床	天井	閉	2023/2 中旬~

※ AHU (Air Handling Unit) : 空気調和機、FCU (Fan Coil Unit) : ファンコイルユニット
 PAC (Package Air Conditioner) : パッケージエアコン

表 5-3 各ビルで収集した BEMS データ項目とセンサの設置箇所

ID	温度				相対湿度				CO ₂ 濃度			
	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト	居住域	壁面		還気ダクト
		I	P			I	P			I	P	
A	○	—	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
E	○	○	—	○	—	—	—	○	—	—	—	○
F	○	—	○	○	○	—	—	—	—	—	—	○

※ I : インテリア、P : ペリメータ

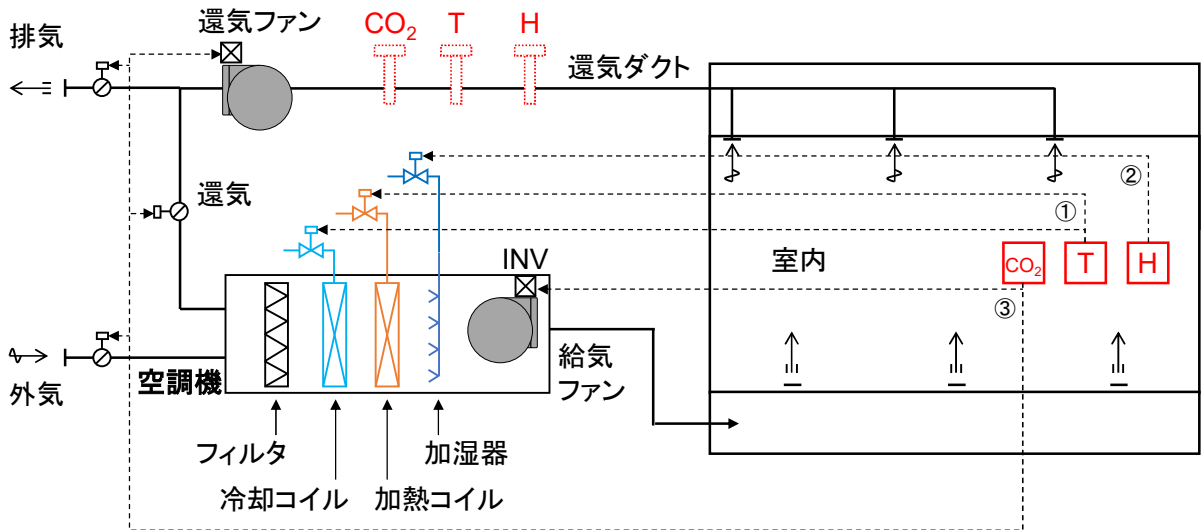


図 5-1 通常の BEMS データの使用状況 (T : 温度センサ、H : 湿度センサ)

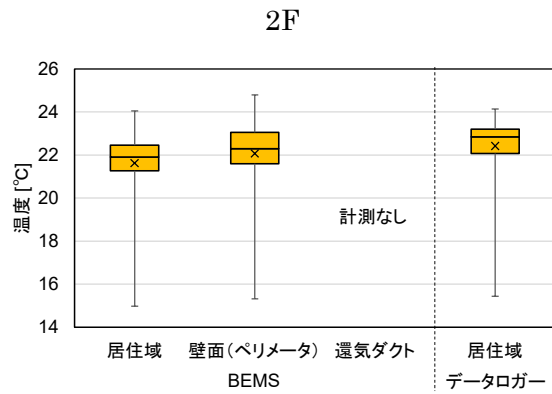


図 5-2 A ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの温度比較

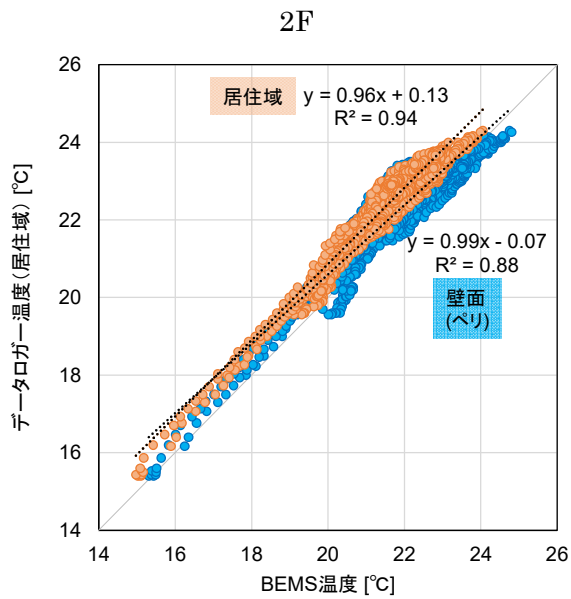


図 5-3 A ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の温度散布図

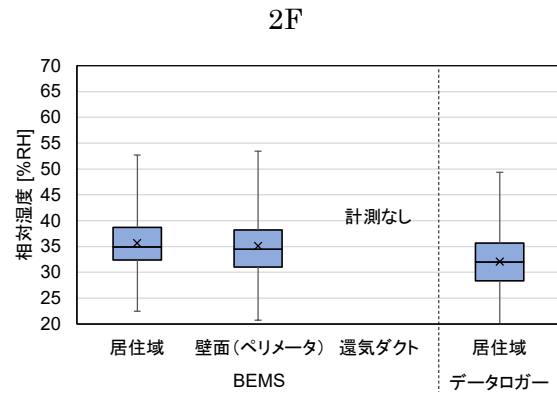


図 5-4 A ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

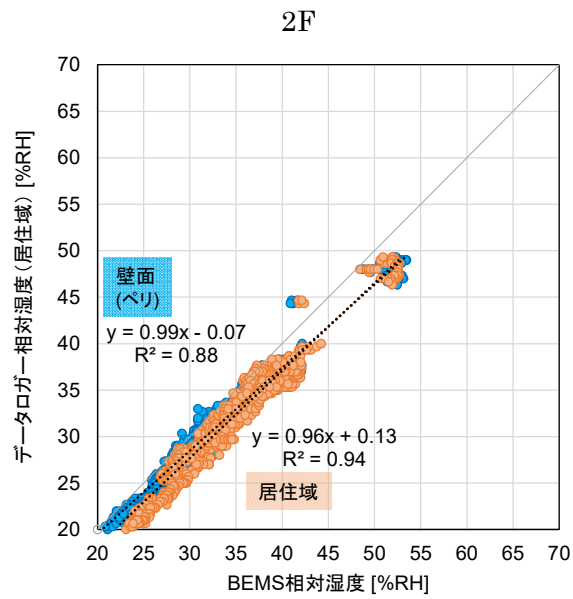


図 5-5 A ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

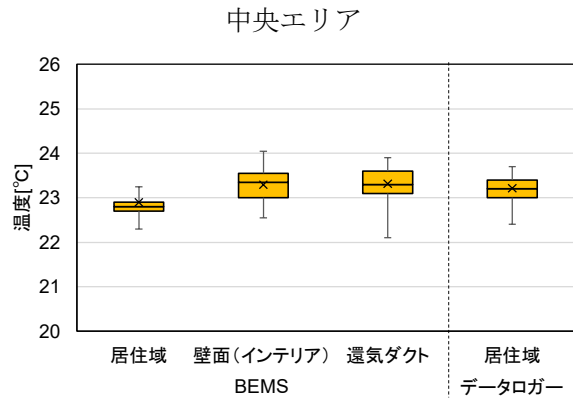


図 5-6 E ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの温度比較

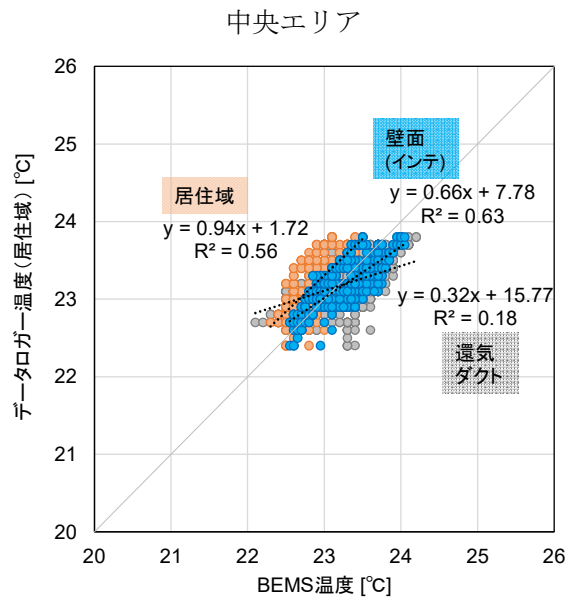


図 5-7 E ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の温度散布図

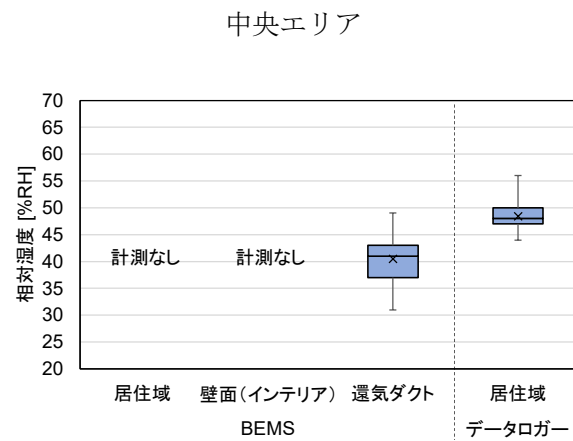


図 5-8 E ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの相対湿度比較

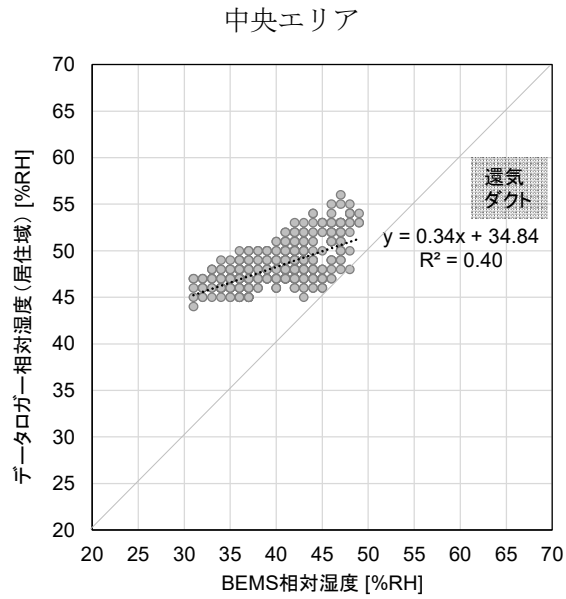


図 5-9 E ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の相対湿度散布図
中央エリア

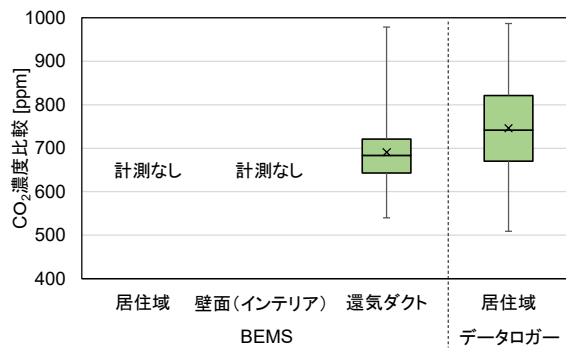


図 5-10 E ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの CO₂ 濃度比較

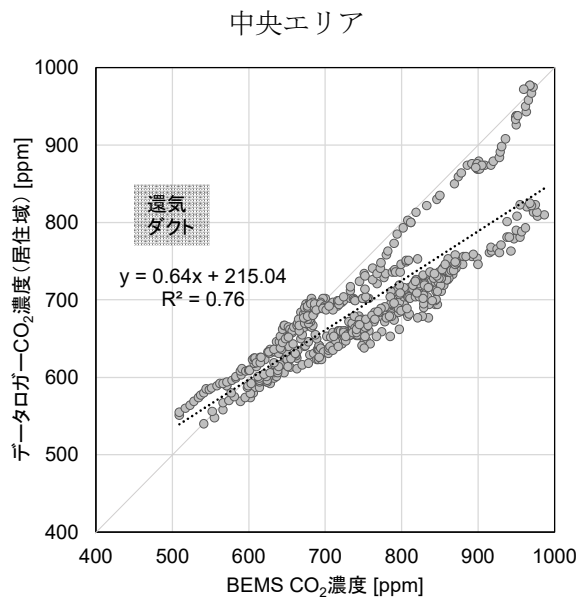


図 5-11 E ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の CO₂ 濃度散布図

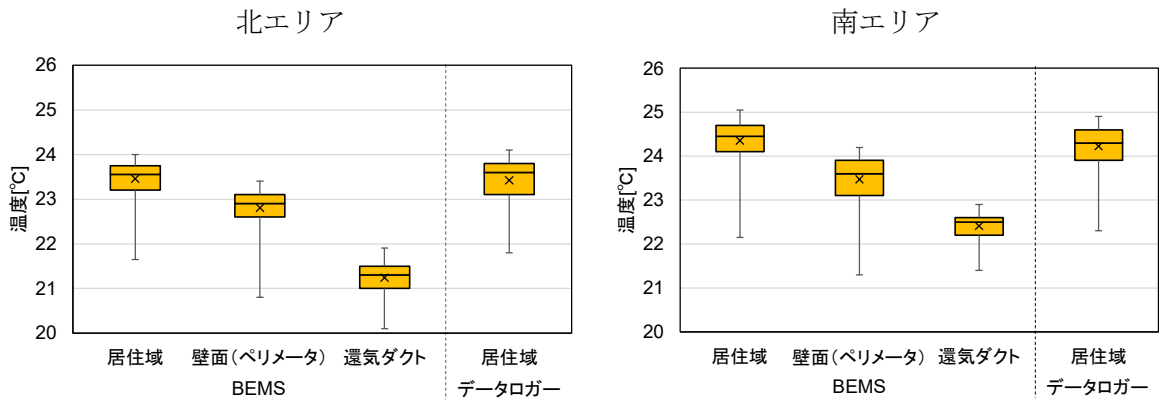


図 5-12 F ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの温度比較

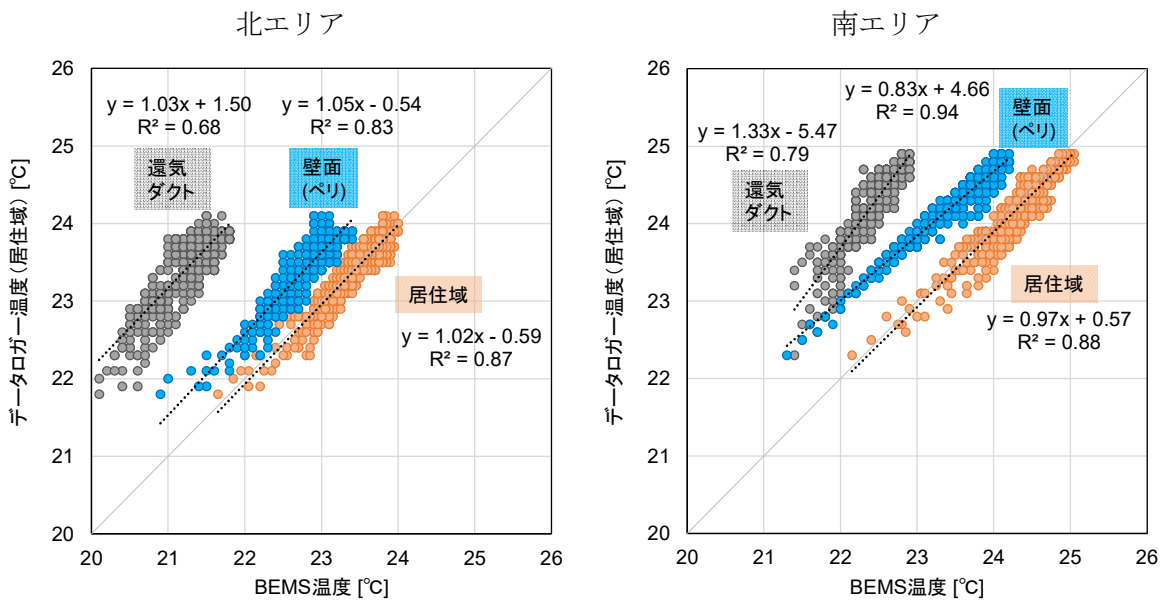


図 5-13 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の温度散布図

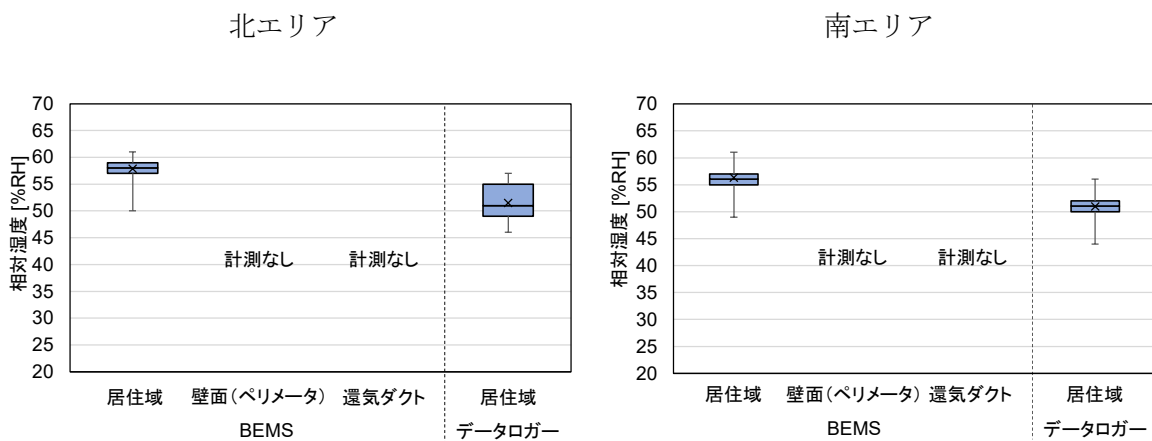


図 5-14 F ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの相対湿度比較

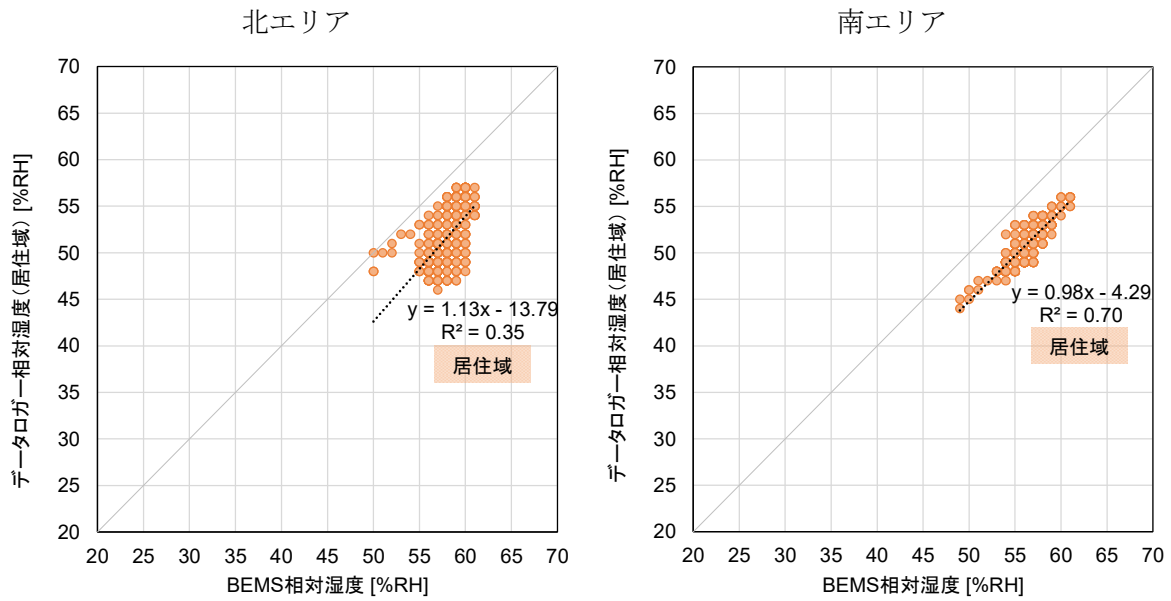


図 5-15 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の相対湿度散布図

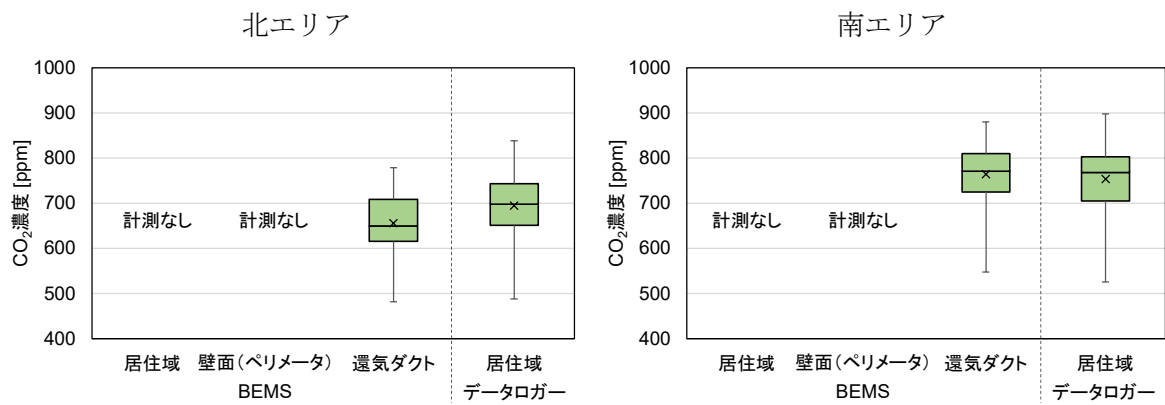


図 5-16 F ビルの BEMS センサ (設置箇所別) とデータロガーの CO₂ 濃度比較

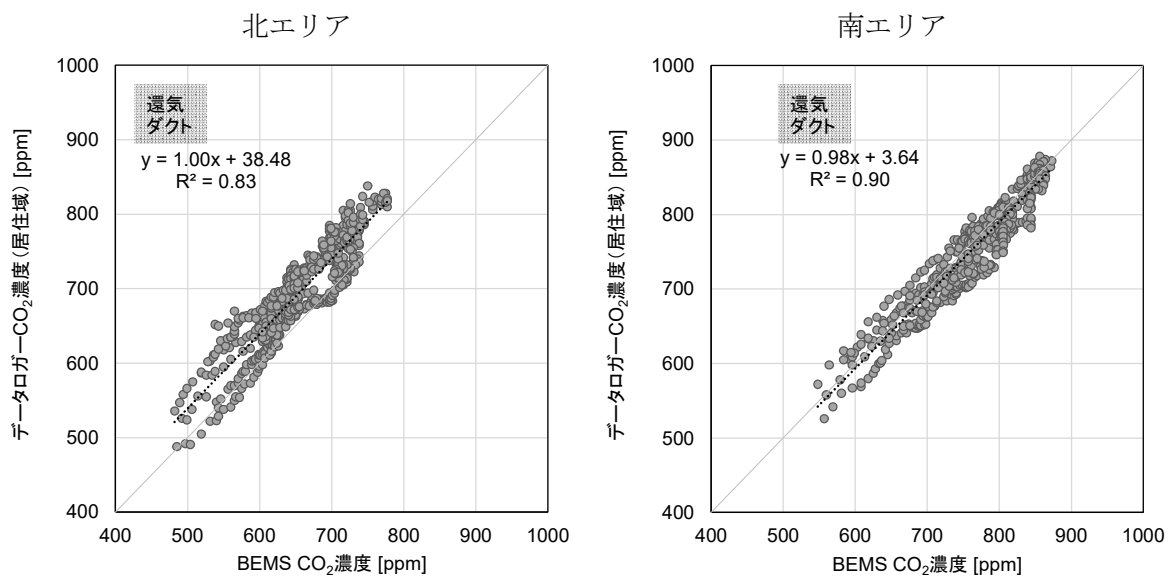
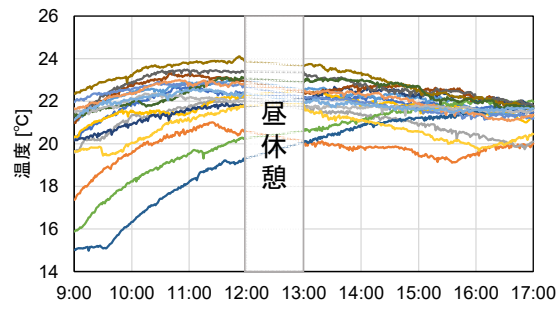


図 5-17 F ビルの BEMS センサ (横軸) とデータロガー (縦軸) の CO₂ 濃度散布図

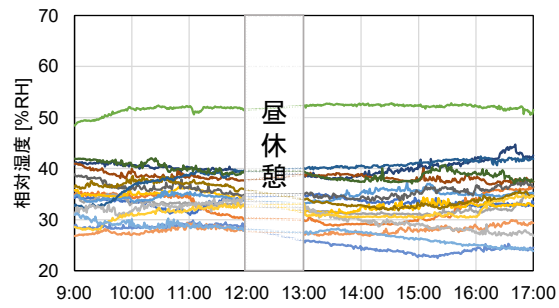
2F



— 1月6日 — 1月10日 — 1月11日 — 1月12日 — 1月13日 — 1月16日 — 1月17日 — 1月18日 — 1月19日
— 1月20日 — 1月23日 — 1月24日 — 1月25日 — 1月26日 — 1月27日 — 1月30日 — 1月31日

図 5-18 A ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

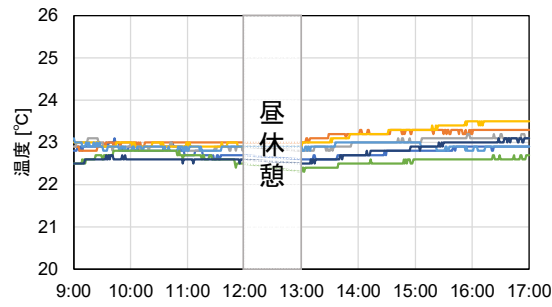
2F



— 1月6日 — 1月10日 — 1月11日 — 1月12日 — 1月13日 — 1月16日 — 1月17日 — 1月18日 — 1月19日
— 1月20日 — 1月23日 — 1月24日 — 1月25日 — 1月26日 — 1月27日 — 1月30日 — 1月31日

図 5-19 A ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動

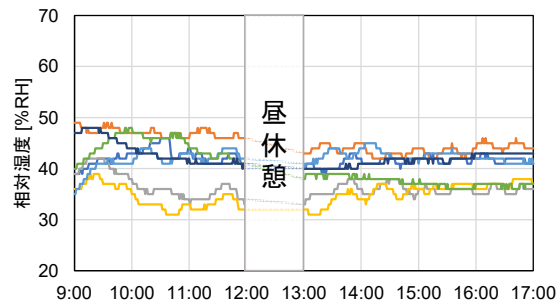
中央エリア



— 2月17日 — 2月20日 — 2月21日 — 2月22日 — 2月24日 — 2月27日 — 2月28日

図 5-20 E ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

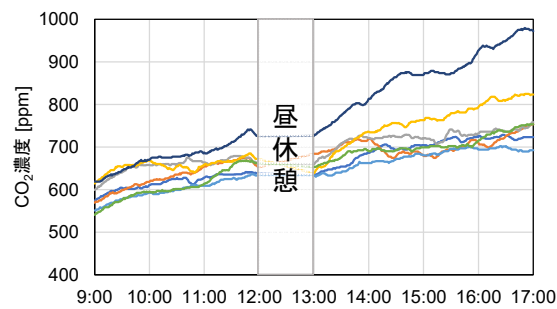
中央エリア



— 2月17日 — 2月20日 — 2月21日 — 2月22日 — 2月24日 — 2月27日 — 2月28日

図 5-21 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の相対湿度時刻変動

中央エリア



— 2月17日 — 2月20日 — 2月21日 — 2月22日 — 2月24日 — 2月27日 — 2月28日

図 5-22 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動

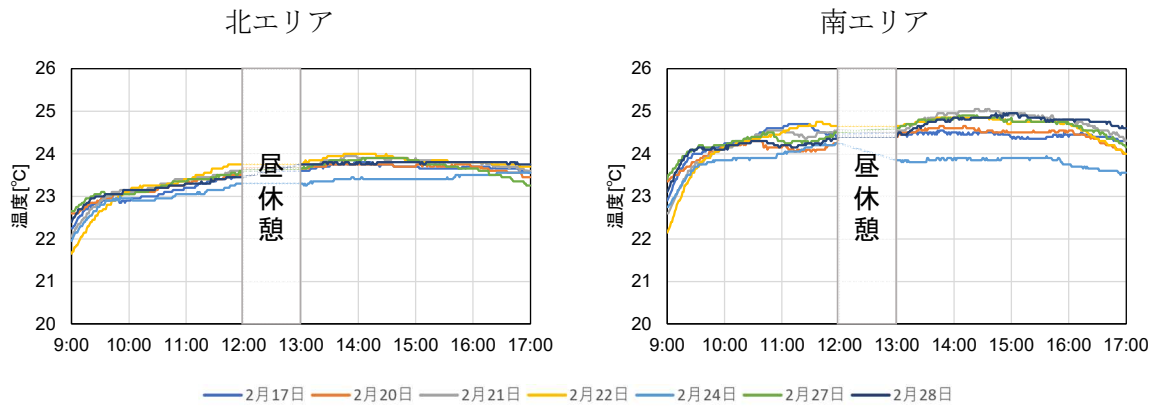


図 5-23 F ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動

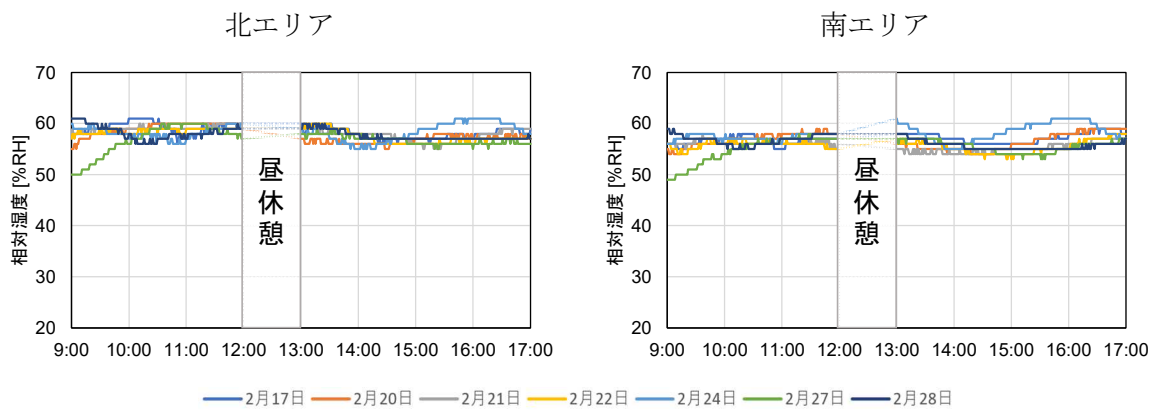


図 5-24 F ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動

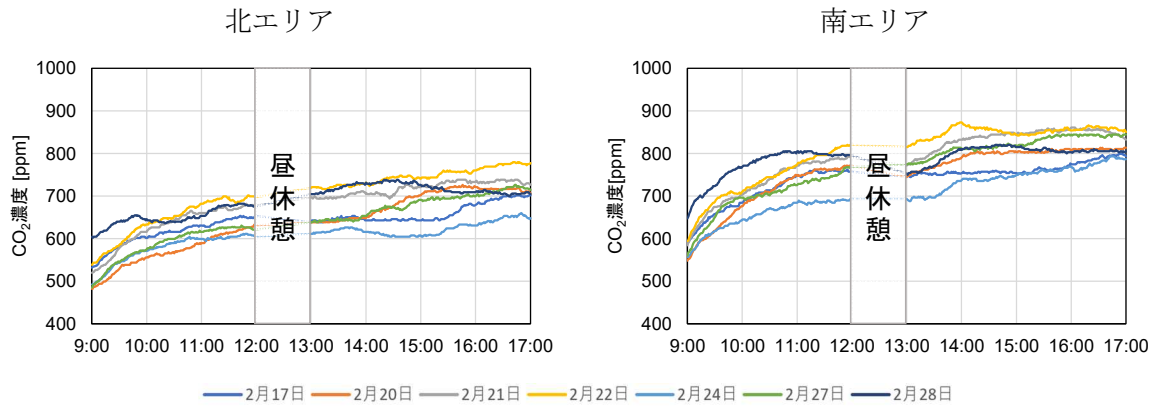


図 5-25 F ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

6. 水の衛生管理の実態調査とIoT技術活用可能性に関する検討

分担研究者 三好 太郎 国立保健医療科学院 主任研究官
分担研究者 増田 貴則 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

IoT 技術を有効に活用することで特定建築物における水の衛生管理を効率化できる可能性があるが、現段階で確立された技術体系ではないことから、衛生管理業務の実態や関連技術の研究、開発動向を踏まえた活用可能性の検討を実施することが必要である。そこで、実際の特定建築物において実施されている衛生管理業務の実態(実際の作業頻度、検査方法、結果の取りまとめなど)に関する聞き取り調査を行った。また、特定建築物の水の衛生管理に IoT 技術を活用するためには、自動、もしくは連続測定が可能な水質測定装置が不可欠となるため、6 カ月毎に 1 回以上の頻度で検査が必要となると定められている項目に対し、自動もしくは連続測定が可能な測定装置に関する技術動向の調査も実施した。

衛生管理業務の実態に関して聞き取り調査を行った結果、水質検査においては担当者が採水箇所を訪問し、手動で採水もしくは原位置での分析を実施している項目が多く、自動もしくは連続測定装置による測定を採用している事例は調査した範囲では見られなかった。担当者が測定した項目に関しては、測定結果は表計算ソフトを用いて手動で取りまとめられていた。そのほかの定期水質検査の分析業務に関しては、外部の試験期間に発注されており、分析結果は紙媒体の報告書形式で納品されている事例があった。取りまとめられた結果を保健所への提出以外の用途に活用している事例は調査した範囲では見られなかった。

自動もしくは連続測定技術の動向としては、残留塩素濃度など、電極を活用して測定できる項目に関しては、IoT 化に向けて必要な通信機能(アナログ出力やデータ通信機能など)を備えた測定装置が多数販売されている。一方で、定期検査が必要な水質項目の中には自動もしくは連続測定が困難と考えられる項目も含まれている。これらの項目に関しても、研究段階のものも含めるとほぼすべての水質項目について、測定可能な技術が検討されていた。IoT 技術を活用した水の衛生管理の市場規模が拡大すると、関連する技術の開発が加速する可能性が期待される。

研究協力者
徳安 真理奈 国立保健医療科学院

A. 研究目的

建築物の衛生管理においては、空気質の管理や適切な点検、清掃に加えて水の管理も重要である。特定建築物内で使用される水は飲料水、雑用水、及び冷却塔で使用される冷却水に区分され、それぞれの使用目的に応じて適切に管理されることが必要である。飲料水の管理に着目

すると、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(略称:建築物衛生法)によって定期検査が必要であると規定されている項目のうち、残留塩素濃度に関しては、必要な検査頻度が 7 日以内毎に 1 回と比較的高頻度である。また、ポーラログラフ法を採用した電極を用いた測定も水道法施行規則第十七条第二項の規定に基づき厚生労働大臣が定める遊離残留塩素及び結合残留塩素の検査方法(平成 15 年厚生労働省告示第 318 号)に定められており、技術的には連続測定が可能となっている。これらのことから、

IoT 技術を活用した建築物衛生管理の向上という観点では、技術的親和性が高い項目であるといえる。

一方で、残留塩素濃度以外の水質項目としては、一般細菌や大腸菌をはじめとする 16 項目が 6 か月ごとに 1 回以上、シアン化イオン及び塩化シアンや塩素酸などの 12 項目が 1 年に 1 回以上(6 月～9 月の間に実施)の頻度で定期検査を行う必要があると建築物衛生法で規定されており、実施頻度が低い(表 6-1)。また、検査方法に関しても、培養法や官能法など、一見すると自動測定、連続測定の実施が困難と思われる手法を活用する必要がある項目が含まれる。測定対象項目が多い、測定頻度が低い、及び自動測定・連続測定が技術的に困難であるといった特徴は、いずれも IoT 技術を活用した衛生管理手法の構築に向けては技術的、環境的な障壁となる可能性が高い。特定建築物の衛生管理の向上に IoT 技術を活用する際には、適用可能な技術の開発動向を念頭に置き、現在実施されている管理手法の実態も踏まえたうえで、詳細な適用可能性検討を行うことが重要であるといえる。

以上の背景から、本検討においては、特定建築物における飲料水、雑用水、及び冷却水の管理に関する実態調査並びに現在定められている定期検査項目に対し、自動測定・連続測定が可能となる技術の開発及び販売動向に関して調査を行った。

B. 研究方法

B1. 水の衛生管理における実態調査

本研究では、特定建築物 1 施設(建築物 A)に対し、現地調査を実施した。調査に際しては、水の衛生管理業務にかかる作業内容(実施頻度、検体採取方法、採取場所、並びに使用している測定機材を含む測定方法など)に加え、管理記録の保管方法や活用状況に関しても聞き取りを行った。調査は飲料水及び雑用水を対象とした調査を 2022 年 6 月に、冷却水を対象とした調査を 2022 年 9 月に実施した。

B2. 自動測定及び連続測定が可能な水質測定技術の開発動向調査

特定建築物の衛生管理に活用できる IoT 技術の可能性を調査する目的で、検査対象となる水

質項目に対する自動測定もしくは連続測定が可能な技術に関する調査を行った。調査対象は飲料水管理において検査対象の項目となる指標のうち、6 ヶ月毎に 1 回以上の検査が必要となる項目(表 6-1)とした。本検討においては、1 年に 1 回、水温の高い時期(6 月～9 月の間)に実施する必要のある検査項目に関しては、高水温期以外の時期においては連続測定を通じた管理を行う必要性が低いと考えられることから、検討対象より除外している。

調査は、各測定項目を直接測定できる技術を取りまとめることを原則としているが、測定原理は公定法に定められたものに限定せず、対象項目の測定が可能とされる技術に関しては一通り取り纏めの対象とした。本調査においては、自動測定もしくは連続測定が原理的に可能であるか否かを主要な判断基準としており、測定精度を担保するために必要となる校正頻度などの技術的側面や同様の検査を手動測定により実施する場合にかかる費用との比較などの経済的側面は取りまとめに際しては考慮していない。また、本来の測定対象として飲料水以外の水(下水、河川水、地下水、海水、製薬原水など)を対象とする技術も取りまとめの対象としており、特定建築物の衛生管理において想定される状況下において動作や測定精度が保証されている機器のみが対象ではないことには留意が必要である。

C. 研究結果および考察

C1. 水の衛生管理における実態調査

C1-1. 飲料水及び雑用水の水質管理

表 6-2 に建築物 A における飲料水及び雑用水の衛生管理にかかる水質測定実施状況を示す。飲料水の残留塩素濃度に関しては、建築物衛生法に規定されている頻度(7 日以内毎に 1 回)を上回る頻度で測定が行われている。測定方法は DPD 試薬を用いた比色法であり、検査担当者が手動で採水したうえで、手測定による検査が実施されている。測定結果の電子媒体での集約は行われていない。

雑用水に関して、週 1 回の頻度で実施されている pH の測定に関しては、ポータブル pH 計が使用されているものの、使用されている機材は電子信号を送受信できる機能を備えていない

機種であり、上述した残留塩素濃度と同様、検査担当者が手動で測定を実施する方式が採用されている。

定期水質検査は、指定されている期間(6ヶ月及び1年毎)に応じて実施されている。検査は、検査担当者が建築物内の採水箇所より手動で採水したのち、外部の試験機関で分析を実施し、分析完了後に結果を受領する形で進められている。結果は、報告書形式で納品され、紙媒体にて管理されている。

上記の項目に加え、検査頻度は明確に定められていないものの、異常が生じた際には都度対応することが必要となる水の色、濁り、臭い、及び味に関しては、残留塩素濃度と同様、毎日検査が行われている。これらの項目は、いずれも目視検査や官能検査により行われており、電子媒体による結果の集約は行われていない。

C1-2. 冷却塔冷却水の衛生管理

建築物 A においては、開放式冷却塔が採用されている。当該冷却塔では、冷却水が気化する際の気化熱を活用して冷却を行うことから、冷却に伴い冷却水が濃縮される。また、冷却水が外気と直接接触するため、冷却水の外気由来の汚染が生じやすいことが特徴となる。これらの特徴から、スケール形成(主として冷却水の濃縮に起因)や冷却水内における生物増殖への対処が重要となる。なお、後者に関しては、病原性微生物であるレジオネラの発生と冷却塔の運転管理上の問題と関連する藻類の増殖が課題となるが、発生時の影響が異なることから、検出された際の対応も異なるものとなる。

冷却水の濃縮に起因するスケール形成への対応としては、自動ブロー装置が設置されている。当該装置は、冷却水の電気伝導率(水中の電解質濃度の代替指標)を連続で測定し、電気伝導率が一定水準以上となった場合に自動的に冷却水の一部を入れ替える装置である。このような装置を活用することによって、スケール形成を引き起こしやすいイオン類(カルシウムイオンやマグネシウムイオンなど)の濃度の上昇も防ぐことができるため、スケール形成の抑制が可能となる。自動ブロー装置においては、電気伝導率の連続測定が実施されているものの、本装置は独立して運用されており、電子信号を用い

て電気伝導率の測定結果や排水実施状況を中央監視システムに集約するといった機能は設けられていない。

生物増殖に関連する事項のうち、藻類増殖に関しては、一定の範囲内であれば運用上、重篤な影響は生じないものの、藻類が大量に増殖した場合に関しては配管閉塞の原因となることが懸念される。一方、レジオネラに関しては、検出された段階で冷却水の全量入替が必要となる。いずれの項目も、定期点検の一環として実施される水質検査の結果に基づいて管理されており、測定結果を中央監視システム等に自動的に集約するようなシステムは採用されていない。

C2. 自動もしくは連続水質測定技術に関する調査

表 6-3 に水中の残留塩素濃度自動測定装置の一覧を示す。表中に取りまとめた装置は飲料水用に販売されている装置に限定されていないことに留意が必要ではあるが、ポーラログラフ方式を採用する連続測定装置が多数販売されている。表 6-3 に示した装置のほかにも、株式会社イワキ、日本電色工業株式会社、荏原商事株式会社、株式会社日立ハイテク、東亜 DKK 株式会社より同様の装置が販売されている。いずれの装置もアナログ出力もしくは有線・無線のデータ通信が可能な機能を有しており、連続監視を可能とするための通信手段が設けられている。

残留塩素濃度を除く測定項目に対する自動もしくは連続水質測定装置の一覧を表 6-4 に示す。残留塩素濃度の場合とは異なり、表 6-4 には現在開発中であり、販売に至っていない測定技術も含まれている。鉄及びその化合物並びに蒸発残留物に関しては、当該項目を直接測定できるとする測定装置並びに技術は調査した範囲では見られなかった。概観すると、イオン選択電極やポーラログラフ法など、電極を用いた測定が可能である項目に関して、測定技術が充実している。イオン態の成分しか測定対象とならない分析においても、測定前段で前処理を実施することで、測定対象のイオンを含む化合物の測定も可能としている技術も見られた。電極が活用できない測定項目に関しても、ポンプでの自動採水を組み合わせることで、自動測定を可能としている装置も複数認められた。

培養を介する微生物試験やヒトの感覚器官を活用した官能法などは自動化や連続監視が困難であると考えられたが、いずれにおいても測定技術の開発は進められている。前者に関しては、培養操作を自動で実施する装置のほかに、培養を介さない方法で微生物を検出する装置も開発されており、いずれもすでに測定装置が販売されている。後者に関しては、現在も開発が進められている技術も多いものの、AI味覚センサーや臭気センサーの開発が進められている。

C3. 考察

C3-1. 飲料水及び雑用水の水質管理

建築物 A においては、建築物衛生法に定められた水質検査の結果は表計算ソフトを活用して担当者が手入力にて取りまとめており、自動集約は行われていない。取り纏められた検査結果は、維持管理実施状況の一環として年に1度取り纏められ、管轄の保健所に提出されている。また、検査結果は5年間の保管義務(保健所の立入検査の際に必要な応じて提示する)があるが、建築物 A においては、検査結果は紙媒体で保管されており、各年の検査結果が独立して管理されている。上述した保健所への提出以外については、検査結果はほとんど活用されていなかった。

IoT 技術の活用という観点では、毎日測定が実施されている残留塩素濃度の測定が、重要性が高いと考えられる。また、同様に毎日検査が実施されている水の色、濁り、臭い、味といった項目に関しても、IoT 技術を導入することができれば建築物内の水の衛生管理の効率化に大きく貢献するものと考えられる。残留塩素濃度に関しては、センサーを用いた連続測定技術が確立しており、導入に向けた課題としては測定結果の妥当性を担保するために必要な校正頻度をはじめとする運用面の課題や設置費用を上回る効果を得るための経済面での課題が中心となると考えられる。一方、目視確認や官能法による検査が実施されている項目に関しては、全く同一の検出機構を機械的に再現することは困難であると考えられる。代替となる検出機構の採用も含めて検討を進めることが必要といえる。これらの項目を含む自動、もしくは連続水質測

定技術の開発動向については後段で議論する。

IoT 技術には該当しないものの、建築物衛生管理のデジタル化という観点では、定期水質検査結果の有効活用も検討する価値があるものと考えられる。手入力で集計されている検査結果を統合し、各指標の経時変化を可視化することにより、異常の早期検出が容易となる可能性が考えられる。担当者の作業負荷を低減するため、入力した検査結果を経時変化作成と報告資料作成で共有できる機能を備える管理システムの構築ができれば、このような管理法の採用が加速するものと期待される。一方、上述のようなシステムを採用する際には、入力後、保管されているデータの改竄を防止するための対策(外部からのアクセスに対するセキュリティ、既入力情報へアクセスできる管理権限の限定など)に関する検討も進めていくことが必要となると考えられる。

C3-2. 冷却塔冷却水の衛生管理

上述したように、冷却塔の管理においては、スケール形成への対応と生物増殖に対する対応が主要な業務となっている。前者に関しては、電気伝導率測定を通じた自動ブロー装置が活用されている。しかし、ここで評価項目として採用されている電気伝導率は、水中に存在するすべての電解質が測定対象となることから、水中に含まれる各種イオン種の溶解度の差異は考慮されない。従って、電気伝導率が高いもののスケール形成の危険性が乏しい状況や、その逆として電気伝導率が低いにも関わらず深刻なスケール形成が発生する状況が生じる可能性が懸念される。電気伝導率は電極を活用した測定技術が確立しており、電気信号を通じた連続測定結果の集約に容易に対応できる測定機器もすでに市販されていることから、IoT 技術を活用した管理との技術的な親和性は高いものと考えられるが、電気伝導率測定結果と冷却水のスケール形成能の関連については、精査が必要となると考えられる。冷却水のスケール形成能の評価においては、カルシウムイオンやマグネシウムイオンなど、スケール形成に強く関与しているイオンを選択的に測定することで精度が向上することが期待される。カルシウムイオンに関しては、すでにイオン選択電極を活用した測定装置

が販売されており、そのような技術を活用した管理の効率化についても、検討を行う価値があるものと考えられる。

C3-3. 自動もしくは連続水質測定装置

残留塩素濃度に関しては、ポーラログラフ法を採用した測定装置がすでに様々な製造者より販売されている。それらの多くはアナログ出力もしくはデータ通信機能を有しており、IoT 技術と容易に組み合わせることが可能である。残留塩素濃度の測定技術に関しては、技術的な水準としてはすでに IoT を活用した建築物衛生管理に活用可能な水準に到達していると考えられる。当該技術については、導入コストや測定精度を保証するために必要な校正頻度などの影響を受ける維持管理コストといった費用面の課題、さらには設置場所、設置方法、測定対象となる水の取り扱い(採水や排水など)といった運用面の課題が実用化に向けた課題の中核となると考えられる。

電極を活用して測定が可能な項目(pH、硝酸・亜硝酸性窒素濃度、塩化物イオン濃度、各種重金属イオン濃度など)も IoT を活用した建築物衛生管理においては有望な選択肢となることが期待される。pH や硝酸・亜硝酸性窒素濃度に関しては、すでに連続測定が可能な装置が販売されており、残留塩素濃度と同様、導入に向けた課題は費用面や運用面の課題が中核となるものと考えられる。鉛、亜鉛、銅といった重金属イオン濃度の測定に関しても、連続測定可能な装置は販売されている。一方で、これらの項目に関しては、検査対象となる成分は単体のイオンのみではなく、それらの成分を含む化合物も検査対象となる。化合物も測定対象とするための前処理を測定工程として含んでいる測定装置も市場内で散見されるものの、現段階ではすべての項目に対応可能な状況とはなっていない。IoT を活用した水質管理技術の市場規模の拡大が見込まれれば、これらの技術の研究及び開発が加速する可能性が考えられる。

その他の項目に関しては、自動測定や連続測定への適用が困難であるものと考えられる項目が多く含まれているものの、自動採水装置との組み合わせを含め、概ねすべての項目において、自動もしくは連続測定を可能とする測定技術の

研究もしくは開発が進行している。現段階では実用化に至っていない技術も含まれるものの、上述した重金属化合物に対する前処理技術と同様、IoT を活用した技術の市場規模の拡大に応じて、これらの技術の研究及び開発も加速することが期待される。

D. まとめ

IoT を活用した建築物衛生管理の効率化に向け、現状の衛生管理に関する実態調査と IoT 化に向けて必須となる自動もしくは連続測定技術の動向調査を行った。調査対象とした建築物では、担当者が採水箇所を訪問する手動採水と手測定に基づく水質検査手法が採用されており、測定結果の自動集約は実施されていなかった。また、測定結果は、表計算ソフトに担当者が直接入力し、印刷後、紙媒体として管理されており、維持管理実施状況の報告として保健所に提出される以外では、ほとんど活用されていなかった。IoT 技術の活用を含むデジタル化の進行を通じ、蓄積されている記録が有効に活用できるようになることで、衛生管理の効率が改善することが期待される。

測定技術に関しては、測定項目ごとに技術水準が大きく異なっていた。電極を活用して測定することのできる項目においては、残留塩素濃度計をはじめとして、すでに連続測定が可能な製品が多数販売されており、技術的な観点では、IoT 化に向けて活用可能な水準に到達しているものと考えられた。一方、重金属化合物を測定対象とするための前処理を組み込んだ測定技術や官能法を用いた評価が実施されている項目に関しては、自動もしくは連続測定が可能な測定装置が実用化されていない項目も見られた。ただ、これらの項目の多くにおいて、測定技術に関する基礎研究は少なくとも実施されており、実用化に向けた要求が高まった際には研究及び開発が加速する可能性が考えられる。

E. 研究発表

該当なし

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

表 6-1 6ヶ月毎もしくは1年毎に実施が必要な検査項目

検査頻度	6ヶ月毎に1回	1年毎に1回
検査項目	一般細菌 大腸菌 鉛及びその化合物※ 亜硝酸態窒素 硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 亜鉛及びその化合物※ 鉄及びその化合物※ 銅及びその化合物※ 塩化物イオン 蒸発残留物※ 有機物（全有機炭素（TOC）の量） pH 値 味 臭気 色度 濁度	シアン化物イオン及び塩化シアン 塩素酸 クロロ酢酸 クロロホルム ジクロロ酢酸 ジブロモクロロメタン 臭素酸 総トリハロメタン トリクロロ酢酸 ブロモジクロロメタン ブロモホルム ホルムアルデヒド

表 6-2 建築物 A における飲料水及び雑用水の水質検査実施状況

作業内容	実施頻度		測定方法
	飲料水	雑用水	
残留塩素	毎日	週1回	DPD 法(比色法)
色、濁り、臭気、味	毎日	週1回	色、濁りは目視
pH	—	週1回	ポータブル pH 計
定期水質(6ヶ月毎)	6ヶ月毎		外部機関に発注
定期水質(1年ごと)	1年毎		外部機関に発注 (夏季に実施)

表 6-3 残留塩素濃度自動測定装置の例

機器名	メーカー名	測定原理
無試薬型残留塩素計 IR-11-35-22	オブテックス株式会社	ポーラログラフ方式（静止型 3 電極方式）
水質総合監視装置 優	株式会社ショウエイ	ポーラログラフ方式（相互診断方式）
自動水質監視装置 WM400	横河電機株式会社	回転電極式ポーラログラフ方式
水質監視装置 QW-3000/4000, QW-6PHT シリーズ	JFE アドバンテック株式会社	ポーラログラフ法（3 電極固定式）
自動水質測定装置 TW-100	株式会社堀場アドバンスドテクノ	ポーラログラフ方式
残留塩素計 HR-480P	株式会社堀場アドバンスドテクノ	3 極ポーラログラフ式
残留塩素計 RM	株式会社 タクミナ	ポーラログラフ方式
自動残留塩素濃度計	株式会社あけぼの科学	ポーラログラフ式 (ビーズ洗浄型 3 電極方式)

いずれの機器もアナログ出力(DC4~20 mA)が可能

表 6-4 自動・連続水質測定装置一覧(残留塩素濃度測定装置を除く)

測定項目	機器名	メーカー名	主な特徴
一般細菌	自動一般細菌・大腸菌検査装置	一般分析 太平環境科学センター	培地への接種から培養器への搬入までを完全自動化
	MEDIA CLAVE10, MEDIA JET360, Scan Station	株式会社 セントラル科学貿易	培地作製・分注、微生物培養、コロニーカウントを自動化
	据置型、オンライン微生物分析装置	メトラー・トレド 株式会社	レーザー誘起蛍光を活用した微生物カウント法、リアルタイム検出が可能
大腸菌	自動一般細菌・大腸菌検査装置	一般分析 太平環境科学センター	培地への接種から培養器への搬入までを完全自動化
	MEDIA CLAVE10, MEDIA JET360, Scan Station	株式会社 セントラル科学貿易	培地作製・分注、微生物培養、コロニーカウントを自動化
鉛及びその化合物	微量重金属イオン連続測定装置	株式会社 アナテック・ヤナコ	ポーラログラフ法式を活用した重金属イオン濃度の連続監視装置
	EcaMon-SaFIA (Pb)	株式会社 ジェイ・エム・エス	ストリッピングボルタンメトリ法を活用 鉛化合物分析用の前処理も実施可能
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	AONA-10	JFE アドバンテック 株式会社	採水、前処理、分析を実施可能な連続分析装置(海水用)
	spectro::lyser(スペクトロライザ)	荏原実業 株式会社	紫外・可視光吸光度法を活用した連続監視が可能
	ポータブル イオン 分析キット	Clean Grow 社(アイルランド) 輸入総発売元: 株式会社 センコム	イオン選択電極を用いた測定機 測定結果は E メール送信可能
亜鉛及びその化合物	微量重金属イオン連続測定装置	株式会社 アナテック・ヤナコ	ポーラログラフ法式を活用した重金属イオン濃度の連続監視装置
	EcaMon-SaFIA (Zn)	株式会社 ジェイ・エム・エス	ストリッピングボルタンメトリ法を活用 亜鉛化合物分析用の前処理も実施可能
鉄及びその化合物	該当なし		
銅及びその化合物	微量重金属イオン連続測定装置	株式会社 アナテック・ヤナコ	ポーラログラフ法式を活用した重金属イオン濃度の連続監視装置
塩化物イオン	K82 型水質自動監視装置 (国土交通省仕様)	株式会社 アナテック・ヤナコ	水中ポンプを用いた採水と測定・洗浄の間欠的な反復が可能(塩化物イオンはイオン電極法で測定)
	ポータブル イオン 分析キット	Clean Grow 社(アイルランド) 輸入総発売元: 株式会社 センコム	イオン選択電極を用いた測定機 測定結果は E メール送信可能
	塩化物イオン/硫酸塩分析装置 アナライザ 3000CS	メトラー・トレド 株式会社	マイクロ流体キャピラリー電気泳動技術による連続監視装置
蒸発残留物	該当なし		
有機物 (TOC)	TOC-4200	株式会社 島津製作所	680℃燃焼触媒酸化方式を採用したオンライン測定装置(オプション)

			ン付加により TN も測定可)
	spectro::lyser(スペクトロライザ)	荏原実業 株式会社	紫外・可視光吸光度法を活用した連続監視が可能
pH	測定可能機器多数		
味	HyperTaste	長瀬産業 株式会社	米 IBM 社が開発した AI 味覚センサーを活用した分析装置(開発中)
臭い	臭いセンサー SS-1	環境電子 株式会社	カビ臭、油臭、その他異臭を検知可能だが、臭気種類の特定は不可 ジェオスミン、2-MIB は水道水質基準値で検知可能
	LIMOS (リモス)	株式会社 カルモア	気相中の臭気を検出する装置(工場の臭気管理で利用実績蓄積)
	MSS (Membrane-type Surface stress Sensor)	国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS)	センサチップのみで臭いを識別可能(ポンプ等が不要)(開発中)
色	スマフロプラス SMF-P01	住友重機械エンバイロメント 株式会社	毎日水質検査項目(色度・濁度・残留塩素濃度)の自動監視装置(管理配水作業の自動化機能も有する)
	TW-100	愛知時計電機 株式会社	無試薬・省令準拠測定法を採用 最大7項目の同時測定が可能
濁度	測定可能機器多数		他項目と同時測定が可能な機器が多い

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

7. 水の衛生管理の改善に向けた BEMS データ活用可能性の検討

分担研究者 三好 太郎 国立保健医療科学院 主任研究官
分担研究者 増田 貴則 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

特定建築物等におけるエネルギー利用効率の改善を目的として、近年導入が進んでいるビル・エネルギー管理システム(Building Energy Management System: BEMS)に集約されている情報を活用した建築物内の水の衛生管理の改善手法を検討した。BEMS 集約情報のうち、水に関連する項目としては流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目が中心となっていた。一方で、水質関連の項目に関しては、調査対象とした建築物の範囲では収集事例が見られなかった。

BEMS で連続データの収集が実施されていた項目のうち、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることによって受水槽の滞留時間管理に活用できる可能性が考えられる。従って、特定建築物における上水流量の利活用状況を調査したところ、多くの建築物において上水流量の測定結果は活用されておらず、また、一部の建築物においては連続データの収集対象となっていなかった。調査対象とした建築物においては、上水流量の利活用は低調であったといえる。

上水流量測定結果を活用した受水槽滞留時間管理技術に関しても、予備的な検討を実施した。調査対象とした建築物の中から1建築物を選定し、受水槽有効容積と上水流量測定結果から受水槽内滞留時間の12時間平均値を算出した。受水槽設計指針より検討用の滞留時間管理目標値として12時間を設定した場合、深夜から早朝にかけて検討用管理目標値を超過する時間帯が認められた。一方で、上水流量測定結果に応じ、自動的に捨水を実施する受水槽滞留時間自動制御技術を導入した場合を想定した滞留時間算出結果では、検討用管理目標値を超過する時間帯が大幅に減少していた。このような BEMS データを活用した建築物衛生管理手法を導入した場合の効果(消毒副生成物関連項目の改善効果など)を検討することで、IoT を活用した建築物衛生管理手法の検討を促進させることができる可能性が考えられる。

A. 研究目的

前章においては、IoT 技術を活用した特定建築物内の水の衛生管理の改善に向けて、衛生管理業務の実態調査及び要検査項目に対して適用可能な技術の研究、開発及び製品化の動向調査を実施した。技術的な観点においては、今後の適用拡大が期待される状況であることが確認できた一方で、現段階においては特定建築物内の水の衛生管理において IoT 技術が導入されている事例は乏しいものと考えられる。IoT 技術の導入に際しては、連続測定装置並びに各種測定装置と中央監視システムを接続する通信設備の

整備が不可欠である。水質測定装置の追加設置においては、設置場所の確保に加え、採水及び排水設備を増設することが必要となる場合もある。現段階で、測定装置並びに通信設備を備えている建築物が限定されることを考慮すると、IoT 技術を活用した水の特定建築物内の衛生管理手法を採用するためには大幅な設備の改修が必要となる事例が少なくないと考えられ、当該技術の社会実装には一定の時間を要することが予想される。

一方で、特定建築物にすでに設置されている設備、機器を使用した衛生管理改善手法を提案

することができれば、社会実装に要する期間を大幅に短縮することができるものと考えられる。近年、特定建築物においては、ビル・エネルギー管理システム (Building Energy Management System: BEMS) が積極的に導入されている。BEMS は建築物内のエネルギー利用効率の改善を目的に導入されるシステムであり、建築物内に設置された各種センサー等により測定された情報を集約することで建築物内のエネルギー使用の実態を可視化し、改善策の検討に活用できるようにすることができる。BEMS で活用されるセンサー類としては、エネルギー管理を効率化とする導入目的から、室内の温熱環境や設備の稼働状況に関するものが主要なものとなっている。一方で、空調に活用される温冷水の水温やポンプ稼働状況と密接に関連する各種配管における流量のような、建築物内の水使用に関するデータも部分的ではあるものの集約されている。このような BEMS の一環としてすでに設置されているセンサー等から集約される情報を活用した水の衛生管理効率化方を提案できれば、建築物内の水の衛生管理への IoT 技術活用の好事例となるだけでなく、BEMS のプラットフォームを活用して水の衛生管理に必要な情報を集約するシステムの開発につながることで、当該分野における IoT 技術の実装を円滑に進めることができるようになる可能性があるなど、波及効果大きい。

以上の背景から、本検討においては BEMS 集約情報を活用した建築物内の水の衛生管理改善手法を検討するために、既存建築物にすでに導入されている BEMS における水関連の情報集約状況に関する調査並びに実際に集約されている情報を活用した衛生管理改善手法の提案を行うことを目的とした。

B. 研究方法

B1. 水管理関連情報の BEMS 集約状況の調査

空気環境測定において現地調査対象とした物件で、BEMS を運用している建築物に対し、BEMS 集約情報の提供を依頼した。提供された情報の中から水に関連付けられる項目を抽出した。抽出された項目の中から、水の衛生管理に活用できる可能性のある項目を選定し、BEMS

データを提供していただいた建築物におけるこれらのデータの活用状況についても調査を行った。

B2. BEMS データを活用した水の衛生管理手法の検討

上述の調査において、BEMS 集約情報を提供していただいた複数の建築物において集約対象となっていた項目のうち、上水流量に着目し、受水槽の水理学的滞留時間 (hydraulic retention time: HRT) の評価に活用した。1 時間毎の上水流量が利用可能であった建築物を対象として、受水槽容量の聞き取りを行い、(式 1) により受水槽における HRT を算出した。なお、上水流量は時間変動が著しく大きいことから、12 時間の単純移動平均値を算出することで算出される HRT の平滑化を行った。

$$HRT = \frac{V}{Q} \cdot \dots \text{(式 1)}$$

HRT: 水理学的滞留時間(h)、

V: 受水槽有効容積(m³)、Q: 上水流量(m³/h)

受水槽の容量は、計画一日使用水量の 4/10～6/10 程度が標準であるとされている¹⁾。このことを踏まえ、受水槽内 HRT の本検討における管理目標値として 12 時間(一日使用水量標準値の中間値である 5/10 を達成することのできる滞留時間)を設定した(以後、検討用管理目標値と称す)。また、提供を受けた BEMS データを活用して算出した HRT において、検討用管理目標値として設定した 12 時間を超過している時間帯が認められたことから、BEMS に接続されている計量器の記録データを活用した受水槽滞留時間の管理方法についても検討を行うこととした。

C. 研究結果および考察

C1. 水管理関連情報の BEMS 集約状況

特定建築物より提出していただいた BEMS データに集約されている水関連の項目としては、各種ポンプの稼働状況、水槽の水位情報(満水・渴水検知情報など)、漏水検知情報、空調機等に使用される温冷水の水温、流量制御用の弁開度

情報、温冷水・上水の流量が確認できた。多くの項目は、エネルギー使用量と関連付けられる項目であった。一方で、残留塩素濃度をはじめとする水質情報に関しては、調査した範囲では BEMS へ集約されている事例は見られなかった。BEMS への集約実績がある項目の中で、上水の流量に関しては、受水槽前後の流量が把握できる場合、受水槽容積を考慮して受水槽内の HRT を算出することが可能となる。HRT は建築物衛生法で規定される管理項目ではないものの、HRT が極端に長くなった場合、受水槽内における塩素消費が進行すると同時に消毒副生成物(disinfection by-products: DBP)の生成が促進される可能性が懸念される。HRT の時間変動を把握し、それに応じた対策をとることができれば、飲料水の微生物汚染及び DBP の生成に起因する健康リスクの管理が容易になるものと考えられる。以上のことから、受水槽における HRT の時間変動を評価できる頻度で受水槽流入部もしくは流出部の上水流量の連続データ収集が実施されている物件がどの程度存在しているかを調査した。

特定建築物 5 物件に対し、受水槽前後の上水流量の集約状況を調査したところ、1 物件では 2 ヶ月間の総使用量のみが手動で取りまとめられており、上水流量の自動取得は行われていなかった。残る 4 施設では、上水流量の自動取得は実施できる設備構成となっていたものの、4 施設のうちの 1 施設では設備不良に起因すると考えられる不具合により、適切な流量が記録されていなかった。残る 3 施設では、1 時間ごとの上水流量が記録されており、受水槽 HRT の時間変動の評価に活用できる状況となっていると判断された。一方、流量記録設備に不具合が認められた建築物を含め、いずれの建築物においても集約された流量情報は活用されていなかった。上水流量連続データの活用は現段階においては低調であると判断される。

C2. 上水流量を活用した受水槽滞留時間管理方法にかかる検討

図 7-1 に BEMS データを提供していただいた建築物 A における受水槽前後の配管系統図を示す。受水槽は有効容積 13.5 m³ の水槽が 2 槽

設けられているが、提供していただいた BEMS データを取得した時期においては、1 槽のみを使用して施設が運用されていたことから、HRT の算出に活用する受水槽容積としては 13.5 m³ を採用した。建築物 A においては、受水槽のほかに高置水槽も設置されているが、受水槽から高置水槽の間においては上水の総流量は同一であり、かつ高置水槽は受水槽と比較して容積が小さいことから、滞留時間が長期化する懸念の大きい受水槽のみを検討対象とした。

図 7-2 に建築物 A における 1 日の上水使用量の変化及び受水槽内 HRT の 12 時間平均を示す。図 7-2 に示されるように、記録された上水使用量は時間的な変動が大きく、1 時間ごとの滞留時間を算出する方式とした場合、数値が大幅に変動することが見込まれた。一方で、HRT の管理目標値を 12 時間と設定した場合、水使用量が発生していない時間帯(この時間帯の受水槽 HRT は無限大となる)があったとしても、前後の時間帯において十分な水使用が発生していれば、十分な水の置換が行われていると判断することも可能であると考えられる。この点を鑑み、HRT の 12 時間平均値を算出することで算出される HRT の平滑化を図った。なお、提供を受けた BEMS データにおいては、記録されていた上水流量データは 24 時間分に限定されていたことから、算出を行った日の前半 12 時間分に関しては、データ採取日の前日も同一の水使用量となっていたことを仮定して計算を行っている。

図 7-2 より、水使用量が低下する深夜から早朝の時間帯において、受水槽 HRT の 12 時間平均値が大幅に上昇していることがわかる。また、HRT の 12 時間平均値が検討用管理目標値として設定した 12 時間を下回っているのは水使用量が少なかった時間帯を平均算出期間に含む夕方から夜にかけての一部の時間帯にとどまり、その他の大半の時間帯においては、目標を超過した状態となっていた。

そこで、受水槽内の滞留時間の短縮に向けて、BEMS に記録される上水流量の変化に応じて捨水を実施することによる滞留時間管理手法を検討した。本検討では、直近 12 時間平均 HRT が 12 時間を超過した場合に 1.125 m³ (12 時間

平均 HRT を 12 時間とするために必要となる 1 時間当たりの水使用量)を自動的に捨水する設備を設けた場合を想定し、受水槽滞留時間の変化と必要となる捨水量を検討した。結果を図 7-3 に示す。自動捨水設備を設けた場合、深夜から早朝にかけての一部の時間帯において、依然として検討用管理目標値として設定した 12 時間を超過する時間帯は認められるものの、図 7-2 に示した自動捨水未実施の場合と比較すると超過時間並びに超過幅のいずれも大幅に改善されていた。捨水が実施されたのは深夜から早朝にかけての一部の時間帯に限定され、通常の水使用のみで平均 HRT の長期化を防げる時間帯においては、不必要な捨水は実施されていなかった。

本検討において採用した HRT の検討用管理目標値(12 時間)に関しては、現行法令で規制対象となっている項目ではない。しかし、受水槽の HRT を適切に管理することにより、残留塩素濃度の低下や DBPs の生成を抑制する効果は少なからず得られるものと考えられる。当該設備の実装に際しては、受水槽滞留時間と残留塩素濃度や DBPs 生成量との関連性に関して、詳細な事前調査を実施することが必要である。本検討では、自動捨水設備の運用条件として直近 12 時間における平均 HRT に基づく捨水を実施することと設定したが、この運用条件に関しても最適化の余地が残っている。捨水要否判定に採用する平均算出時間や捨水指示が発生した場合の捨水量の最適化など、受水槽 HRT の管理目標値を満足させつつ、捨水量を最小化できる運用方針の検討に関しては、今後の課題となる。一方で、前述したように BEMS データを活用する場合、すでに設置されている測定装置や通信設備を活用できることから、実装に向けて必要となる追加投資が限定されることは利点である。本検討で想定した自動捨水設備では、捨水を行うための電動弁(給水末端付近に設けることが望ましい)と電動弁へ指示を伝達する通信設備、さらには排水設備を設けるだけで、設備面での整備は完了する。このように導入に対する障壁が比較的小さいと考えられる項目から連続データ取得並びに取得したデータの利活用方針の検討を進めていくことによって、IoT 技術

を活用した建築物衛生管理の構築に向けた設備整備や知見・経験の蓄積が進むと考えられる。その結果として、建築物衛生法で規制されている項目に対する IoT 技術の導入も促進することができるようになる可能性が考えられる。建築物衛生法で規制されている DBPs 関連項目(総トリハロメタン濃度など)の制御に対する受水槽滞留時間管理技術導入の効果などを明らかにすることができれば、BEMS データを活用した管理技術の検討並びに導入が加速する可能性が考えられる。上記の例に限らず、建築物衛生法で定期的な水質検査が必要と定められている項目の管理に向けた BEMS データ利用技術の活用効果に関しては、今後、様々な視点からの検討を実施することが望ましい。

D. まとめ

特定建築物に導入されている BEMS に関して、水に関連する情報の収集状況を調査したところ、流量、水温、ポンプ稼働状況など、エネルギー消費量に影響を及ぼす項目を中心として、すでに実際に連続データが収集されている項目があった。一方で、水質関連の情報に関しては、調査した範囲では BEMS への連続データ収集事例は見られなかった。

連続データの収集が少なくとも一部の特定建築物で実施されていた項目のうち、上水流量に関しては、受水槽有効容積と組み合わせることで受水槽の滞留時間管理に活用することが可能である。上水流量データの利活用状況としては、調査対象とした一部の建築物において上水流量の連続データ収集が実施されておらず、また、連続データが収集されていた建築物においても、収集したデータが活用されていた事例は調査した範囲においては見られなかった。上水流量の活用は現段階においては低調であるといえる。

上水流量を活用した受水槽滞留時間管理技術に関しても、予備的な検討を実施した。検討用の HRT 管理目標値として 12 時間を設定し、HRT の 12 時間平均値を評価対象とした場合、検討対象とした特定建築物においては、深夜から早朝の時間帯を中心に多くの時間帯において検討用管理目標値を超過する結果となった。こ

の結果を踏まえ、上水流量測定結果に応じた自動捨水設備を導入した場合を仮定した 12 時間平均 HRT 値も算出したところ、自動捨水設備を導入することで検討用管理目標値超過時間を大幅に短縮することが可能であるものと見込まれた。すでに測定設備、通信設備、並びにデータ集約設備が設置されている BEMS データを活用した建築物衛生管理改善手法を検討することで、建築物衛生法で規定されている管理項目への IoT 技術の導入も促進させることができる可能性が考えられる。

E. 参考文献

- 1) 厚生労働省給水装置データベース、給水装置標準計画・施工方法(2023年4月閲覧)
<https://www.mhlw.go.jp/kyusuidb/kyusui/sys2-3.htm>.

F. 研究発表

該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

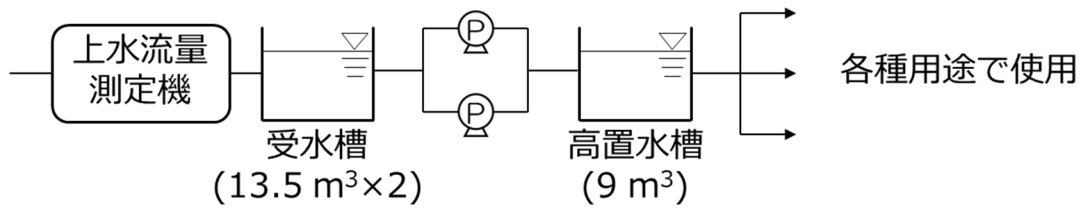


図 7-1 建築物 A における受水槽前後の配管系統図

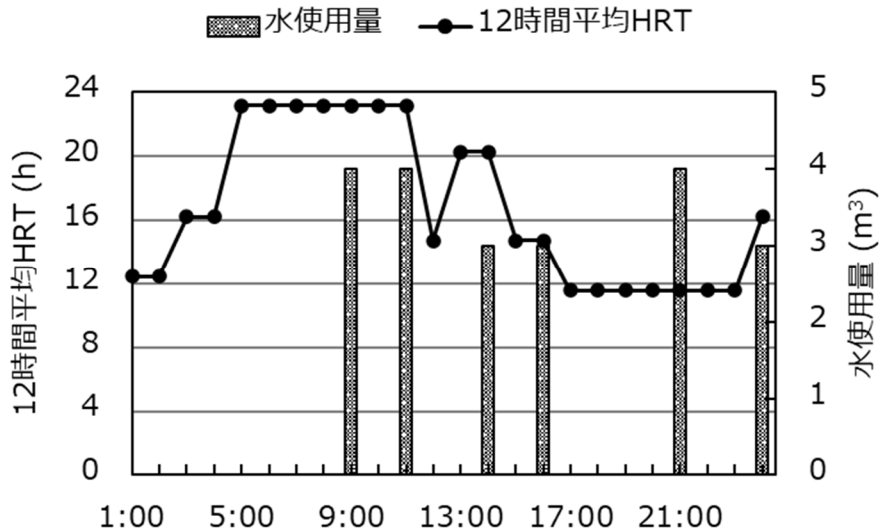


図 7-2 建築物 A における水使用量及び受水槽平均滞留時間

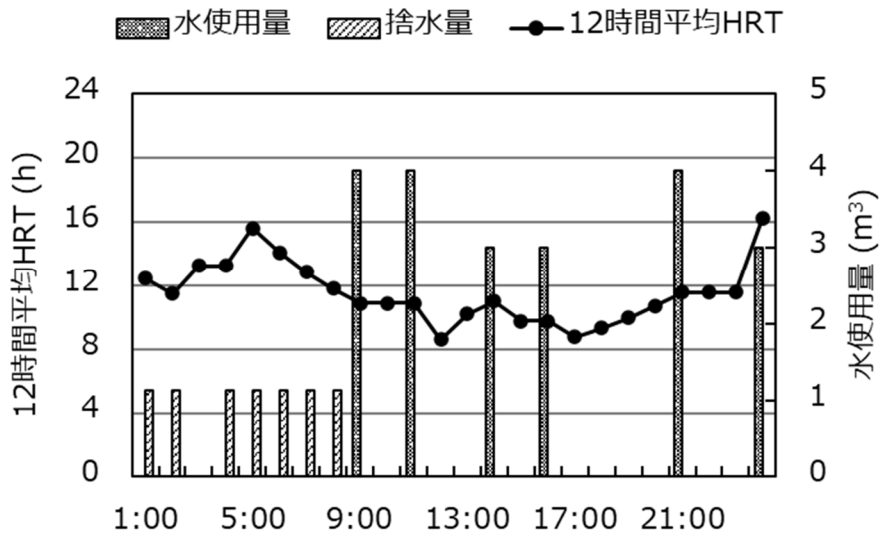


図 7-3 建築物 A において自動捨水を実施した場合の水使用量、捨水量及び受水槽平均滞留時間

令和4年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

8. IoT技術を活用した建築物衛生管理技術の調査

研究代表者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官
分担研究者 下ノ菌 慧 国立保健医療科学院 研究員

研究要旨

建築物衛生法では、延床面積が3000m²以上の特定建築物において、空気環境の調整、給水の管理、排水の管理、清掃等、ねずみ等の防除の方法が定められている。これらの項目に対して現行の手法は測定技術者等が現地で調査・測定を実施しているが、IoT (Internet of Things) 技術の発展に伴い、自動調査・自動測定による建築物衛生管理への適用も期待されている。本章では、自動調査・自動測定の建築物衛生管理への適用も見据えて、現時点で開発されている自動調査・自動測定の技術に関して調査を行うことを目的とし、関連企業に対するヒアリングを実施した。

ヒアリングした企業は3社であり、空気環境の調整に関するIoT技術が2件 (IoTカメラによる日常点検、画像データの3次元CADモデリング化と室内環境の数値シミュレーション技術)、ねずみ等の防除に関するIoT技術が1件である。

IoTカメラによる日常点検の事例では、温湿度計・圧力計等の計器類の付近にカメラを設置し、定期的な撮影・画像の保存による日常点検が可能であった。3次元CADモデリング化とシミュレーション技術では、複雑で設計データがない建物や図面がない室内などで3次元CADデータが必要な場合に有用で、温熱・気流・汚染物質濃度・換気など室内環境の数値流体解析、建物や設備管理や改修計画、などに活用できる。ねずみ等の防除に関する事例では、赤外線暗視カメラ・粘着紙・振動板センサーによるねずみ等の生息調査が可能であった。飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成システムは、25種類の昆虫の自動同定+個体数判断がAI技術により可能で、捕虫紙で捕獲した昆虫の写真を転送のみで、同定・検数・報告書の自動作成も可能である。

人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の技術の建築物衛生管理への適用が期待できる。

研究協力者

日本ペストコントロール協会 谷川 力
鵬図商事株式会社 芝生 圭吾

本章では自動調査・自動測定の建築物衛生管理への適用も見据えて、現時点で開発されている自動調査・自動測定の技術に関して調査を行うことを目的とする、

A. 研究目的

建築物衛生法では、延床面積が3000m²以上の特定建築物において、空気環境の調整、給水の管理、排水の管理、清掃等、ねずみ等の防除の方法が定められている。これらの項目に対して現行の手法は測定技術者等が現地で調査・測定を実施しているが、IoT (Internet of Things) 技術の発展に伴い、自動調査・自動測定による建築物衛生管理への適用も期待されている。

B. 研究方法

調査は関連企業に対するヒアリングにより実施した。ヒアリングした企業は3社であり、空気環境の調整に関するIoT技術が2件、ねずみ等の防除に関するIoT技術が1件である。

C. 研究結果

C.1. IoTカメラによる日常点検の事例

IoT カメラによる日常点検のフロー図を図8-1に示す。本図はヒアリング対象企業(以降、A社)のホームページから引用したものである¹⁾。当事例は温湿度計・圧力計等の計器類の付近にカメラを設置し、定期的な撮影・画像の保存による日常点検を目的としている。当事例のフローは下記のとおりである。

Step 1：専用IoTカメラの設置

撮影対象となる計器付近にカメラを設置する。A社が提供する専用IoTカメラの主な仕様を表8-1に示す。通信方式はBluetoothであり、A社が提供するルーターを用いることで同時に8台のカメラと接続することが可能である。カメラとクラウドを接続することにより画像データのアップロードのほか、遠隔撮影シャッターとして利用することも可能である。また、連続

作動時間は1日3回の撮影で3年程度である。なお、専用IoTカメラ以外のカメラでもクラウドと連携することにより、同システムを利用することは可能である。

Step 2：初期設定

専用アプリ(iOSのみ)により、撮影解像度・撮影スケジュール・計器種類等を設定する。計器種類は円型(時計回り/反時計回り)・矩形状(時計回り/反時計回り)・ナナセグ型・カウンタ型・レベル型・フロート型・ランプ型に対応している。これらの計器の種類によらず、計器の値をデジタル値として読み取ることが可能であり、クラウド上に保存される。

Step 3：リモート点検

クラウド上に保存された画像を基にリモート点検が実施可能である。なお、計器の読み取



図8-1 IoTカメラによる日常点検のフロー¹⁾

表8-1 専用IoTカメラの主な仕様¹⁾

通信方式	Bluetooth 5.0/LTE Cat. 1	
外形寸法	125.5 x 139.9 x 24.5mm	
質量	約 360g	
解像度	3段階 (2592x1936/1296x960/640x480)	
内部電源	リチウムイオン電池	
外部電源	マグネット充電方式	
連続作動時間	1日3回撮影で3年程度持続 (解像度による)	
初期設定	iOS アプリ	

り値に誤りがある場合には手動による調整が可能であり、機械学習により読み取り値の精度向上に寄与する。

当事例は計器の数値をデジタル化し、日常点検を目的としている。建築物衛生管理への適用に向けては建築物環境衛生管理基準で定められる項目を測定可能な計器の付近にIoTカメラを設置し管理基準値の逸脱有無を点検するなどが考えられる。

C.2. 画像データの3次元CADモデリング化と室内環境の数値シミュレーション技術

画像を点群化して3次元のCADモデリングを作成した後、CFD（Computational Fluid Dynamics、数値流体解析）などシミュレーション計算をして提供する²⁾。

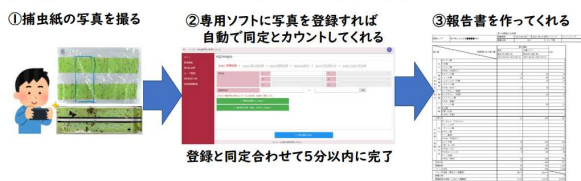
建物や室内、物体などにレーザーを当て、その反射で情報を読み取って形を点群化する。精度は少し劣るがiPadに取り付けた機器でも可能である。

温熱や気流のシミュレーションが強みであり、気流のシミュレーションができるので、浮遊粉じん、PM_{2.5}など粒子状物質、換気にも活用できる。最適な換気方策をシミュレーションするというので、昨今のコロナ対策にも資することができる。

建築物衛生法における空気関連の環境衛生管理6項目のなかで、温度、湿度、気流、CO濃度、CO₂濃度、浮遊粉じんの挙動把握のためのシミュレーションに対応できる。建物や設備の結露把握にも活用できるが、温度・湿度だけに比べると計算難易度は高くなる。

すでに存在する建築物の運用管理に加え、建

飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成(日本)



AI(人口知能)が虫の特徴を学習し、種の同定と計数をやってくれる。チョウバエ、ノミバエ、チャタテムシなど25種を判別し、精度は80~95%

●同定できる対象種(25種) 分類できない虫はその他で表示される。
ゴキブリ類、クモ類、トビムシ類、チョウバエ類、ノミバエ類、ショウジョウバエ類、ハネカクシ類、チャタテムシ(無翅)、チャタテムシ(有翅)、ヒメマキムシ類、シバンムシ類、甲虫類、ガ類、ダンゴムシ・ワラジムシ、ゲジ・ムカデ、ハサミムシ類、オサムシ類、アリ(無翅)、アリ(有翅)、ユスリカ類、大型ハエ類、その他ハエ目、カメムシ目。

図8-2 飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成システム

築物を設計する段階、つまり空調機を何台取り付けたら空気の挙動がどうなるのか、それは適正な換気となるのかなどの予測にも活用できると考えられる。設計段階ならBIM(Building Information Modeling)やBEMS(Building and Energy Management System)と組み合わせの相性が良さそうである。

複雑で設計データがない都市環境や室内構成物などの3次元モデリングに強みがある。図面がないなどでCADデータ化するのが難しい場合にモデリングしてデータ提供してもらえると、建物や設備管理や改修設計、CFD解析などに活用できる。

このような技術の普及にはシミュレーションをした上で対策を取るなどより精緻な取り組みをしている建物は、測定回数を緩和するなどの優遇策が必要と考えられる。

C.3. ねずみ等の防除に関する事例

飛翔昆虫のAI自動同定・報告書作成システムの事例を図8-2に示す。当事例はAIを活用して25種類の昆虫の自動同定+個体数判断が可能であり、捕虫紙で捕獲した昆虫の写真を転送のみで、種の同定・検数・報告書の自動作成が可能である。

ねずみ遠隔監視システムの事例を図8-3に示す。当事例は米国の事例である。振動板センサーを設置し、ねずみ等が振動板上を通過することで生息調査するシステムである。24時間365日生息調査し、生息確認時はメールで通知が送付される。

ネズミ遠隔監視システム(米国)

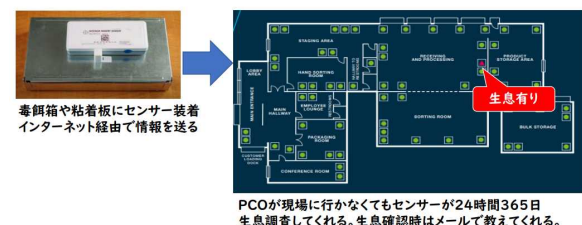


図8-3 ねずみ遠隔監視システム

動物がカメラの前を通ると自動で写真・動画を撮影するカメラです。
 ネズミの生息調査、鼠穴探し、顧客への提案などに大活躍!



商品仕様	
商品名/商品CD	トロフィーカムXLT30MPノグロウ / 0000762
画素数 / 撮影範囲角度	3,000万画素 / 約38度
センサー反応速度/感知距離	0.2秒 / 24m
寸法/重量	148mm×103mm×75mm / 440g
電源 / 記録媒体	単3電池×6本 / SDカード(別売り)
その他	カメラ用三脚取付穴有り、テスト撮影機能有り

QRコードを読み取るとトロフィーカムで撮影した動画のビデオを見る事が出来ます。

QRコードとは・・・バーコードに変わる新しい二次元コードの規格です。スマートフォン向けにQR読み取りアプリが無料配布されています。

Youtubeで動画公開しています! Youtubeで「**隣国商事**」と検索して下さい



壁内など狭所の生息調査に!
 手軽に静止画・動画撮影が出来る!

製品仕様

ケーブル長	3,500mm	ケーブル径	先端8mm
光源	LED 8灯	LED光量切替	無段階調節
防水防塵規格	IP68	記録メディア	スマホの画像フォルダに保存
画質(Pixel)	1,600×1,200, 1,280×720, 640×480	バッテリー	リチウムイオンバッテリー 連続稼働90分
焦点範囲	約70mm	画角	70度

充電はパソコンのUSB接続もしくはスマホ充電器をご利用下さい。
 ※当商品に充電器は同梱しておりません。

■対応スマートフォンは、以下のOS搭載機種となります。



図 8-4 センサー感知式暗視カメラ³⁾

センサー感知式暗視カメラの事例を図 8-4 に示す。当事例は動物・ねずみ監視のための感知機能があり、感知されると自動的に撮影される仕様となっている。赤外線センサーの感知距離は 20m、角度は 50～60° 程度であり、乾電池で半年程度作動する。当カメラの設置により、ねずみの生息調査や粘着板の回避行動経路等の調査が可能となる。

これらの事例は建築物内のねずみ等の防除の調査の際に利用できる可能性がある。特に、飛翔昆虫の AI 自動同定・報告書作成システムは報告書の自動作成まで実施できるシステムが国内で開発されていることから有用性は高いと考えられる。しかし、現時点で当事例は食品工場における採用事例が多いことからオフィスにおける捕虫紙の設置位置等に関するガイドライン等が示されれば建築物衛生管理への適用可能性も高いと考えられる。

D. まとめ

本章では、自動調査・自動測定 of 建築物衛生

管理への適用も見据えて、現時点で開発されている自動調査・自動測定 of 技術に関して調査を行うことを目的とし、関連企業に対するヒアリングを実施した。

IoT カメラによる日常点検の事例では、温湿度計・圧力計等の計器類の付近にカメラを設置し、定期的な撮影・画像の保存による日常点検が可能であった。当事例の建築物衛生管理への適用に向けては建築物環境衛生管理基準で定められる項目を測定可能な計器の付近に IoT カメラを設置し管理基準値の逸脱有無を点検するなどが考えられる。

画像の 3 次元モデリング化と数値シミュレーション技術の事例では、画像を点群化して 3 次元の CAD モデリングをした後、CFD (Computational Fluid Dynamics、数値流体解析) などシミュレーション計算をして依頼者に提供する。特に、熱や気流のシミュレーションが強みであり、気流解析ができるため、建築物衛生法における温度、湿度、気流、CO 濃度、CO₂ 濃度、浮遊粉じんの挙動把握のためのシミュレーションに対応できる。複雑で設計デー

タがない都市環境などのモデリングや図面がない建物などをCADデータ化する場合に有用で、建物や設備管理や改修設計、CFD解析などに活用できる。

ねずみ等の防除に関する事例では、赤外線暗視カメラ・捕虫紙・振動板センサーによるねずみ等の生息調査が可能であった。報告書の自動作成が可能なシステムも国内で開発されており、センサーや捕虫紙の設置位置等に関するガイドライン等が示されれば建築物衛生管理への適用可能性も高いと考えられる。

人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定技術の建築物衛生管理への適用は大きく期待されている。自動調査・自動測定に関する技術は国内外問わず開発されていることから今後も引き続き自動調査・自動測定に関する技術を調査し、建築物衛生管理に適用可能な条件等を明らかにする予定である。

E. 参考文献

- 1) <https://lilz.jp/lilzgaugue>
- 2) <https://www.datalabs.jp>
- 3) <https://premium.ipros.jp/hohto/catalog/detail/557410/?hub=164+2783651>

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

厚生労働科学研究費補助金
健康安全・危機管理対策総合研究事業

IoT を活用した建築物衛生管理手法の
検証のための研究

令和 4 年度

研究成果の刊行に関する一覧

「2022 年度」

本年度無し。

－以上－

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職 名 院長

氏 名 曾根 智史

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 生活環境研究部・上席主任研究官

(氏名・フリガナ) 金 勲・キム フン

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職 名 院長

氏 名 曾根 智史

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業2. 研究課題名 IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究3. 研究者名 (所属部署・職名) 水管理研究分野・統括研究官(氏名・フリガナ) 増田 貴則・マスダ タカノリ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職 名 院長

氏 名 曾根 智史

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 生活環境研究部・主任研究官

(氏名・フリガナ) 三好 太郎・ミヨシ タロウ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職 名 院長

氏 名 曾根 智史

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 生活環境研究部・研究員

(氏名・フリガナ) 下ノ菌 慧・シモノソノ ケイ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和5年5月10日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 東京工業大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 益 一 哉

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 環境・社会理工学院・教授

(氏名・フリガナ) 鍵 直樹・カギ ナオキ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和5年5月10日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 東京工業大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 益 一 哉

次の職員の令和4年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 環境・社会理工学院・助教

(氏名・フリガナ) 海塩 渉・ウミシオ ワタル

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 東海大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 山田 清志

次の職員の令和 4 年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 建築都市学部・准教授

(氏名・フリガナ) 中野 淳太 (ナカノ ジュンタ)

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 産業医科大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 上田 陽一

次の職員の令和 4 年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

3. 研究者名 (所属部署・職名) 産業保健学部・教授

(氏名・フリガナ) 樺田 尚樹・クヌギタ ナオキ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。