

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～令和5年度 総括・分担総合研究報告書

研究代表者 金 勲
令和6(2024)年3月

目 次

| | | |
|-------------------------------------|-----|-----|
| I. 総括総合研究報告書 | ・・・ | 1 |
| 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 | ・・・ | 2 |
| II. 分担総合研究報告書 | ・・・ | 12 |
| 1. 特定建築物の報告統計 | ・・・ | 13 |
| 鍵 直樹 | | |
| 2. 室内環境に関する現場調査 | ・・・ | 18 |
| 2-1 建物概要 | ・・・ | 19 |
| 下ノ菌 慧 | | |
| 2-2 温度、相対湿度、気流 | ・・・ | 23 |
| 下ノ菌 慧 | | |
| 2-3 化学物質濃度（VOCs 及びカルボニル化合物） | ・・・ | 41 |
| 鍵 直樹 | | |
| 2-4 浮遊粉じん及び浮遊粒子状物質 | ・・・ | 46 |
| 金 勲 | | |
| 2-5 一酸化炭素及び二酸化炭素濃度 | ・・・ | 51 |
| 金 勲 | | |
| 2-6 エンドトキシン | ・・・ | 56 |
| 金 勲 | | |
| 2-7 ASHRAE 55-2023 に準拠した手法による温熱環境評価 | ・・・ | 60 |
| 金 勲 | | |
| 3. 空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討 | ・・・ | 85 |
| 3-1 小型測定器による室内平面分布と夏期・冬期の室内環境評価 | ・・・ | 86 |
| 下ノ菌 慧 | | |
| 3-2 現場立入測定・法定測定と小型測定器の比較検討 | ・・・ | 128 |
| 下ノ菌 慧 | | |
| 3-3 小型 PM _{2.5} センサーの特徴調査 | ・・・ | 143 |
| 鍵 直樹 | | |
| 4. 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討 | ・・・ | 147 |
| 海塩 渉 | | |

| | |
|--|--------|
| 5. 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 | ・・・158 |
| 6. IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査 及びデジタル技術の活用に関するアンケート調査 金 勲 | ・・・171 |
| Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表 | ・・・178 |

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～令和5年度 総括総合研究報告書

研究代表者 金 勲

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

昨今の人手不足に加えデジタル技術の発展により、建築物衛生法においても管理・点検・検査業務に対してデジタル技術を活用した効率化の検討が行われている。

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た。そのための研究内容は以下の4項目と設定している。

- (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討
- (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

本研究では 2022 年度～2023 年度の2年間、下記項目に関する研究を遂行した。

- 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空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討
- ④空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討
- ⑤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
- ⑥IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査及びデジタル技術の活用に関するアンケート調査

連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー3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。2022年度は建物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。2023年度は建物10施設16室に自動計測センサーを設置するとともに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、建築物環境衛生管理に携わっている技術者を対象に、業務上負担の実情、業務効率化のためのデジタル技術の活用に関する認識と需要を設問するアンケート調査を行った。建築物衛生管理における IoT 技術の現状と動向把握として関連会社25社以上のヒアリング調査を行う、そのうち建築・設備・環境衛生関連12社、水管理関連の4社の内容を整理した。

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 (法政大学)
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)
鎌倉 良太 (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

昨今の人手不足に加えデジタル技術の発展により、建築物衛生法においても管理・点検・検査業務に対してデジタル技術を活用した効率化の検討が行われている。

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 (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。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項目の研究を遂行した。

- 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した。

B. 研究方法

連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO₂濃度センサー3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。

2022年度は建物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。2023年度は建物10施設16室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。

建築物環境衛生管理技術者や建築物の環境衛生全般に関する維持管理に携わっている関係者の、業務上負担の実情と、業務効率化のためのデジタル技術の活用に関する認識と需要を把握する目的でアンケート調査を行った。

更に、IoT 技術の建物設備衛生管理への活用、現状と動向に関する企業ヒアリング調査を実施し、そのうち建築・設備・環境衛生関連 12 社、水管理関連の 4 社の内容を整理した。

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

2022 年度は建物 7 施設（11 フロア）に小型連続測定器を設置し、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。2023 年度は建物 10 施設 16 室に小型測定器を設置するとともに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。対象建物及び設備に関する情報は担当者へのヒアリングや建築図面から収集した。

現場立入測定では空気環境の管理項目 6 項目を同時に測定できる 2 種類の環境測定モニター（ビル管セット）を用いて、建築物衛生法で定める測定項目に加え、化学物質濃度、浮遊粒子状物質濃度及びエンドトキシン濃度の測定を行った。

また、小型連続測定器を設置して二酸化炭素（CO₂）濃度、温湿度、粒径 2.5 μ m 以下の微小粒子状物質（PM_{2.5}）の連続自動測定を行っている。更に、温熱環境に関する最新の基準 ASHRAE55-2023 に準拠して室内温熱環境の特性を調査した。

B.3 空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討

小型連続測定器（温度、相対湿度、CO₂ 濃度）の測定値比較ならびに小型測定器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、小型測定器の建築物衛生管理への利用可能性について検討した。初年度は 4 種のセンサー、2 年目は 3 種のセンサー間の比較を行った。

ここでは、①複数の小型測定器の測定値比較、②小型測定器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、などを実施した。

初年度は 6 件（北海道 2 件、関東近郊 6 件）で 9 室、2 年目は 10 件（北海道 2 件、関東近郊 6 件、近畿圏 2 件）で 16 室を対象に小型測定器の設置している。

B.4 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。

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とした。3 棟とも、空調機 Air Handling Unit (AHU) を基本とした空調方式であった。窓は閉状態で運用されていた。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。

B.5 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

(1) 水の衛生管理における実態調査

全国の特定制建築物の統括管理者(グループA)並びに空調給排水管理者(グループB)に対して、水の衛生管理の実態に関するアンケートを実施した。

(2) 自動測定及び連続測定が可能な水質測定技術の動向に関する調査

水質分析装置を販売している企業4社に対してヒアリングを実施した。ヒアリングでは、各社が販売している水質の連続測定が可能な装置の測定項目、各測定装置において想定されている適用先、出力・通信機能、正確な測定のために必要な校正頻度、並びに建築物の衛生管理への導入状況に関して情報を収集した。また、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ヵ月毎に1回以上の検査が必要となる項目とした。

(3) BEMSデータを活用した水の衛生管理手法の検討

BEMSデータを提供していただいた建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.6 IoT技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査及びデジタル技術の活用に関するアンケート調査

(1) IoT技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査

空衛学会の関連委員会、ビルメンテナンス協会、建築衛生管理教育センターの協力の下、建

築・設備・環境衛生関連企業、空調機・エアコンメーカー、測定機器メーカーなどに対象にヒアリング調査を行った。本報告では、そのなかから12社の結果を纏めた。

ヒアリング内容は以下通りである。

- ① 保有又は活用している技術、製品、サービス
- ② 建築物衛生管理におけるデジタル技術の活用に係る課題
- ③ デジタル技術を活用した建築物衛生管理の見直しに向けた提案・要望
- ④ 無線(Bluetooth, Wi-fi, 5G)による計測結果収集の安定性、クラウドへのデータ集約とデータ解析の現状、データの解析とフィードバックの事例(AI、クラスター分析、手動)、等。

(2) デジタル技術の活用に関する認識調査

建築物環境衛生管理の有資格者を対象にアンケート調査を行った。想定する管理建物としては「現在管理されているか、最近管理された特定建築物」とした。

設問内容は以下通りである。

- ・建築物の所在地
- ・建築物を管理していた時期
- ・業務内容(現場管理者や管理会社職員など)
- ・建物属性(用途、所有区分、使用状況、延床面積、階数、竣工年)
- ・設備概要(空調方式、水源、給湯方式)
- ・帳簿の作成、管理及び報告方法(電子・紙媒体)
- ・身体的、精神的、時間的な負担が大きな作業
- ・水の管理(検査実施頻度及び実施方法、検査に要する時間など)
- ・中央監視システムやBEMS(Building Energy Management System)の導入状況
- ・中央監視システムやBEMSの活用状況、等を設問した。

C. 研究結果

C.1 特定建築物の報告統計

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る。

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、2022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、2022年度は12.5%、36.4%、60.2%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、換気量を増強した事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

(1) 2種の空気環境6項目測定器を用いて現場立入測定を行った結果、ガラス面積率が大きい建築物においては夏期に28°Cを超過する場合があります。冬期は相対湿度が40%RHを下回る建築物も存在した。なお、夏期・冬期含めたすべての測定において2種の測定器の差の平均値は温度が0.2K、相対湿度3%RH、気流0.02m/sであり、相対湿度は測定機器によって40%RHの適・不適合が分かれる建築物もあったことから、測定精度が重要である。

(2) TVOC (Total Volatile Organic Compounds) が暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過する建築物が1件のみあったが、厚生労働省の指針となっている13物質については全て指針値以下であった。

(3) 浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度0.15 mg/m^3 に比べて低濃度であった。計測機器によっては感度や測定周期の違いによる測定値に差が生じることが確認された。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に1.0 μm 以下の小さな粒子では室内濃度が外気より低い傾向が見られる一方、5 μm 以上の大きな粒子においては室内が外気より高くなる室がより増えた。1.0 μm 以下の細かい粒子はOA機器や個別式加湿器などの影響が考えられるが、殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっており、外気濃度に追従して増減していた。

(4) COの外気と室内濃度は0.1ppm程度と大差なく、室内CO濃度はその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比べると低い水準であった。

CO₂に関しては管理基準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。2022年度は外気濃度平均470ppm程度に対して、室内平均630~710ppm程度、2023年度は外気濃度平均400ppm程度に対して、室内平均は389~989ppmであった。

機器による測定値の差は、COは2022年度0.026 \pm 0.015ppm、2023年度測定では0.032 \pm 0.049ppmであった。CO₂濃度では2022年度75 \pm 40ppm、濃度差の範囲は4~141ppm、2023年度は38 \pm 24ppm、濃度差範囲は0~87ppmであった。

(5) 室内エンドトキシン濃度は検出限界以下~10EU/ m^3 超まで幅広く分布し、夏期より冬期の室内濃度平均がやや高くなっていった。平均濃度としても既往研究の1.0EU/ m^3 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。また、外気の湿度が高く、雨天の日は外気ET濃度が高い傾向が見られた。

(6) ASHRAE (アメリカ暖房冷凍空調学会)

の温熱環境基準である ASHRAE 55 の最新版の 2023 年版の文献調査を行い、ASHRAE 55 に準拠した室内温熱環境測定を行った。ASHRAE 55 の旧版（2020 年版）から「居住者の温熱調整レベル」が追加され、パーソナル空調など個人による温度調節を前提とした空調システムが導入されている場合は 2023 年版に基づいて評価する必要がある。また、室中央のインテリアと窓近傍のペリメータを比較したときに、大差が見られない建物がある一方、ペリメータで上下温度差が大きくなり、放射環境の分布が大きくなる建物も見られた。また、冬期は上下方向の空気温度や放射温度に大きな差が生じることもあるため少なくとも高さ 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。

C.3 空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討

(1) 小型測定器の建築物衛生管理への適用可能性検討として性能の異なる 3 種の小型測定器を比較したうえで、小型測定器の設置の容易さから複数点に設置した時の平面分布を把握するとともに、連続測定が可能であることから 2023 年夏期（6～8 月）と 2024 年冬期（12～2 月）の室内環境評価と建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価を行った結果を示した。

3 種の小型測定器の比較では、相対湿度は他の小型測定器と比較して 5%RH 以上差が生じる小型測定器があるほか、経年的に測定値が上昇する小型測定器が見られたことから、定期的な交換・校正の必要性が示された。CO₂ 濃度は自動校正機能が搭載された 2 機種 of 測定値が約 1 年経過後 100ppm 以上の差が生じていた。一方、自動校正機能が有効に働く例も示されたことから、自動校正の方法やタイミングを十分に検討した上で有効に活用できることも示さ

れた。夏期・冬期の室内環境評価では、平日 9～18 時の室内環境ヒストグラム・時別集計値・空気線図・建築物環境衛生管理基準値内である時間率を示した。現行の建築物衛生法では午前と午後 1 回ずつ空気環境 6 項目測定を実施するが、小型測定器を利用することで多様な評価が可能となる。特に、建築物環境衛生管理基準値内である時間率は適合・不適合のみではなく、空調が稼働していない時期に建築物環境衛生管理基準値を逸脱する時間帯があった傾向を把握できた。

(2) 第 2 章に示した現場立入測定の結果と小型測定器と比較するとともに、2 か月以内ごとに 1 回実施されている法定測定による測定値が入手できた 5 件の特定建築物では法定測定による測定値とも比較した。相対湿度は約 90% の一致率であったが、ガラス面積率が大きい建築物では夏期の温度の一致率が低下した。また、室内の CO₂ 濃度が 400ppm まで下がらない環境下に設置された CO₂ 測定器は自動校正が稼働すると一致率が低下することが確認された。比較的大平面な建築物においては測定点によっても結果が大きく変わることがあり、平面代表性についても留意が必要である。

(3) 室内 PM_{2.5} 濃度の測定に際しては測定精度、換算係数の設定、2.5 μm カットを行わない測定機器、校正の方法等に関して適切なものを選択する必要性が示唆された。

C.4 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域と壁面（インテリア・ペリメータ）、還気ダクトに設置されたセンサーで近い値を取るが、空調ゾーニングや還気方式に注意が必要であること、②相対湿度は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るが、センサーの精度をいかに保つかが重要であることが示唆された。

時系列分析では、温度が朝の空調立ち上がり時に逸脱すること、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が示された。

以上より、温度とCO₂濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたが、相対湿度の活用には課題があり、同時にBEMSでは通常測定されない浮遊粉じんやCO、気流の測定が必要であることを考慮すると、人的コストの削減に繋げることは現段階では難しい。

一方で、従来のスポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるというBEMSセンサーの長所は積極的に活用すべきである。連続測定ができるため、管理基準を逸脱している場合の原因特定が容易になることは勿論、空気環境の良し悪しが「適合か不適合か」の2値ではなく、「どれだけの時間、基準を逸脱しているか」という時系列でも評価が可能となる。このBEMSの有意性を活用することで、建築物衛生法の目的である「公衆衛生の向上及び増進」への更なる貢献が期待される。

C.5 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

(1) 衛生管理実態調査においては、残留塩素濃度、濁度、色度、pHといった検査項目において、建築物衛生法で規定されている検査頻度を上回る頻度で検査を実施している建築物が少なからず存在していることが明らかとなった。このような事例においては、IoT技術を活用した連続測定装置を導入した場合の検査費用削減効果が大きくなるものと考えられる。

(2) メーカーヒアリングにおいては、建築物衛生法で定期検査が必要であると規定されている水質測定項目のうち、残留塩素濃度、濁度、色度、pHに関しては、連続測定が可能な装置

がすでに多くのメーカーから実用化されていることが明らかとなった。特定建築物への導入に向けては、費用面や運用面の課題が残るものの、技術的な観点では連続測定の実施は可能である。一方で、味や臭いといった項目については、連続測定が可能な技術はいずれのメーカーからも実用化されていなかった。水質の自動測定、もしくは連続測定技術に関する技術開発動向を調査したところ、適用対象を上水道に限定しない場合、建築物衛生法にて定期検査が必要とされている項目に関しては、上述した味や臭いを含む多くの項目において自動、もしくは連続測定技術の研究、もしくは開発が進められていた。IoT技術の活用に向けて、連続測定のニーズが増加した場合には、実用化に向けた開発が加速する可能性が考えられる。

(3) BEMSデータの活用に関しては、取得した上水流量を活用して受水槽の滞留時間を評価したところ、上水使用量の少ない時間帯で滞留時間が過剰となっていたが、上水流量測定結果に基づく捨水を実施することで、過剰な滞留を軽減できる可能性が示された。

C.6 IoT技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査及びデジタル技術の活用に関するアンケート調査

(1) 空調設備に関してはBAS、BEMSの導入とそれに伴う設備側の管理・運用の自動化は進んでいるが空気環境の衛生に関連するデジタル化は実例が少ない。空調機やエアコンのドレンパンの監視に関しては需要が高いことから固定カメラ+AI判読による汚れ度判定技術が開発され、導入事例もあった。この技術はコンパクトエアハンの加湿装置やドレンパンの監視にも活用例があった。

温度・湿度・CO₂は建物や設備側で連続モニタリングされることも多く、法定測定の代用の可能性があった。浮遊粉じん、CO、気流速度

は連続測定に向いているセンサーがまだ開発されていない状況であった。センサー精度確保のためにはメンテナンスと校正が必要である認識は共通しており、CO₂センサーの場合は1年に1回以上が勧められていた。

冷却塔・冷却水においては、現状では薬注の自動制御が行われている他のデジタル化は難しいという評価が多かった。

清掃業では人手不足が深刻で清掃ロボットの導入がかなり進んでいた。ロボットは上下階移動、平面レイアウトによっては効率が低下、通行の妨げ、などが課題として挙げられた。

建築物衛生法における帳簿管理の効率化と電子化も必要とされている。メーター検診と台帳管理の効率化に加え、人的ミス、間違い（誤検針と誤請求）を減らしたいというニーズが強かった。

(2) 建築物環境衛生管理技術者などを対象に行ったアンケート調査では、管理業務の期間は平均 8.3±1.2 年で、4~6 年が最も多く、10 年以下が大多数を占めていた。業務内容としては、管理会社や部署の職員が 48%と最も多く、次に建物の現場管理者 39%、自社ビル管理会社（組合）職員が 8%であった。

中央監視システム+BEMS の導入は 17%と少なく、中央監視システムのみ導入が 45%、両方導入無しも 24%あった。中央監視や BEMS データの空気環境管理への活用としては、温度 47%、相対湿度 41%と両項目がやや高い活用度を示した。水管理への活用は項目毎に 2 割未満と高くはないが、貯水槽水量、流量、減水量申請、水温、水質などに活用しているところがあった。

管理技術者業務の効率化を考えると帳簿関連が最も需要が多く、他にはネズミ・衛生害虫、貯水槽の点検、冷却塔・冷却水・加湿装置の点検と空調のドレンパン点検などに需要があると判断される。

帳簿関連業務に関しては電子ファイルも認められているが、未だに紙媒体が多く、特に行政報告は紙が 75%、紙・電子媒体両方が 25%と電子媒体のみは 0%と、業務方式の改善が必要である。

D. まとめ

建築物環境衛生管理分野における人手不足や昨今のデジタル技術の発展により、建築物衛生法においても管理・点検・検査業務に対してデジタル技術を活用した効率化が求められている。

本研究では 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、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かつ効率的な維持管理手法を調べることを目的とした。

得られて結果及び知見を以下に纏める。

(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、上昇する傾向にある。ただ、CO₂濃度、温度、相対湿度の不適率は 2017 年度 27.7%、31.9%、57.2%に対し、2022 年度は 12.5%、36.4%、60.2%と CO₂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。コロナ対策で換気が励行されたことが原因と見られる。

(2) 室内環境に関する現場測定から、夏期に 28°C を超過する場合があります、冬期は相対湿度が 40%RH を下回る建築物も存在した。CO₂に関しては管理基準 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。浮遊粉じん、CO、気流、化学物質濃度は基準値や指針値より低く管理されていた。温熱環境では平面上の測定位置、上下温度さが生じる物件があり、特に冬期は上

下方向の空気温度や放射温度に大きな差が生じることもあるため少なくとも高さ 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。

(3) 小型測定器の比較では、相対湿度で 5%RH 以上差が生じる小型測定器があるほか、経年的に測定値が上昇する小型測定器が見られた。CO₂濃度は自動校正機能が搭載された 2 機種で約 1 年経過後 100ppm 以上の差が生じていた。一方、自動校正機能が有効に働く例も示されたことから、自動校正の方法やタイミングを十分に検討した上で有効に活用できることも示された。現行の建築物衛生法では午前と午後 1 回ずつ空気環境 6 項目測定を実施し適合・不適合を判断するが、小型測定器を利用することで時系列の評価ができるなど、より多様な評価が可能となる。

法定測定による測定値と小型測定器との比較では、相対湿度は約 90%の一致率であったが、ガラス面積率が大きい建築物では夏期の温度の一致率が低下した。また、室内の CO₂ 濃度が 400ppm まで下がらない環境下に設置された CO₂ 測定器は自動校正が稼働すると一致率が低下することが確認された。比較的大平面な建築物においては測定点によっても結果が大きく変わることがあり、平面代表性についても留意が必要である。

(4) BEMS データは温度と CO₂ 濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたが、相対湿度の活用には課題が示された。一方、BEMS では通常測定されない浮遊粉じんや CO、気流などの項目があることは課題である。更に、従来のスポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるという BEMS センサーの長所は公衆衛生の向上及び増進の面からも積極的に活用すべきである。

(5) 水質測定項目のうち、残留塩素濃度、濁度、色度、pH に関しては、連続測定が可能な

装置がすでに多くのメーカーから実用化されていることが明らかとなった。技術的な観点では連続測定の実施は可能である項目も一方で、味や臭いといった項目については連続測定が可能な技術はまだ実用化されていなかった。BEMS データの活用に関しては、取得した上水流量を活用して受水槽の滞留時間を評価したところ、上水使用量の少ない時間帯で滞留時間が過剰となっていたが、上水流量測定結果に基づく捨水を実施することで、過剰な滞留を軽減できる可能性が示された。

(6) 空調設備に関しては BAS、BEMS の導入とそれに伴う設備側の管理・運用の自動化は進んでいるが空気環境の衛生に関連するデジタル化は実例が少なかった。空調機やエアコンのドレンパンの監視に関しては需要が高いことから固定カメラ+AI 判読による汚れ度判定技術が開発され、導入事例があった。

温度・湿度・CO₂ は建物や設備側で連続モニタリングされることも多く、法定測定の代用の可能性があった。浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定に向いているセンサーがまだ開発されていない状況であった。センサー精度確保のためにはメンテナンスと校正が必要である認識は共通していた。

帳簿管理の効率化と電子化も求められており、メーター検診と台帳管理の効率化に加え、人的ミス、間違い（誤検針と誤請求）を減らしたいというニーズも強かった。

管理技術者業務の効率化を考えると帳簿関連が最も需要が多く、他にはネズミ・衛生害虫、貯水槽の点検、冷却塔・冷却水・加湿装置の点検と空調のドレンパン点検などに需要があると判断される。帳簿関連業務に関しては電子ファイルも認められているが、未だに紙媒体が多く、特に行政報告は紙が 75%、紙・電子媒体両方が 25%と電子媒体のみは 0%と、業務方式の改善が必要である。

E. 健康危険情報

該当なし。

F. 研究発表

1) 金 勲、下ノ 藺 慧、増田 貴則、三好 太郎、鍵 直樹、海塩 渉、中野 淳太、樺田 尚樹、建築物衛生法の空気環境衛生管理に向けた小型連続測定センサーの活用に関する検討、第 82 回日本公衆衛生学会総会；2023.10.31-11.2；つくば。抄録集 O-21-1-5、p. 319.

2) 金勲、鍵直樹、富田怜、海塩渉、下ノ 藺慧、中野淳太。建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考（第 1 報）建築物環境衛生管理におけるデジタル技術の活用及び小型 CO₂ センサーの精度。令和 5 年度空気調和・衛生工学会；2023.9.6-8；福井。同学術講演論文集。E-46 p.185-188.

3) 海塩渉、鍵直樹、富田怜、金勲、下ノ 藺慧、中野淳太。建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考（第 2 報）空気環境管理へのビルエネルギーマネジメントシステム活用手法の検討。令和 5 年度空気調和・衛生工学会；2023.9.6-8；福井。同学術講演論文集。E-47 p.189-192.

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

該当なし。

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～令和5年度 分担総合研究報告書

令和4年度～令和5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)
分担総合研究報告書

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 |
| 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 |
| 分担研究者 | 中野 淳太 | 法政大学 | 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る。

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、2022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、2022年度は12.5%、36.4%、60.2%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

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)}。

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は、17℃以上が、18℃以上となった。温度、相

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℃以上 28℃以下 (18℃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、空気環境の測定の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 27.7% と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、令和 4 年度 (2022 年度) に 12.5% にまで不適率が低下した。一方、温度及び相対湿度については、平成 29 年度 (2017 年度) に 31.9%、57.2% であったが、さらに不適率が上昇し、令和 4 年度 (2022 年度) に 36.4%、60.2% と過去最高値を更新している。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4年(2022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、対象となった建物件数が30棟と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)には一旦不適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年度以降は再度増加したのとも考えられる。

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⁾。

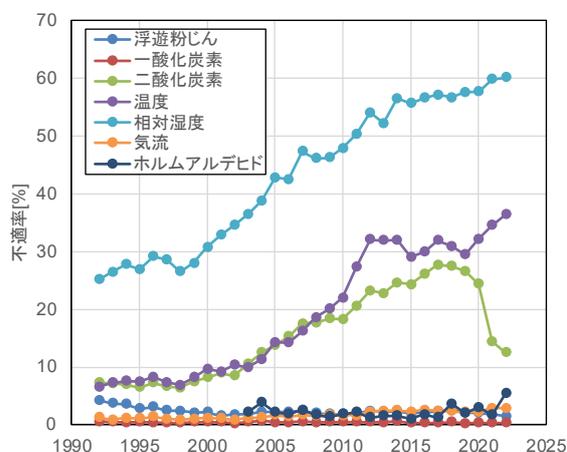


図1-1 空気環境7項目の不適率の経年変化

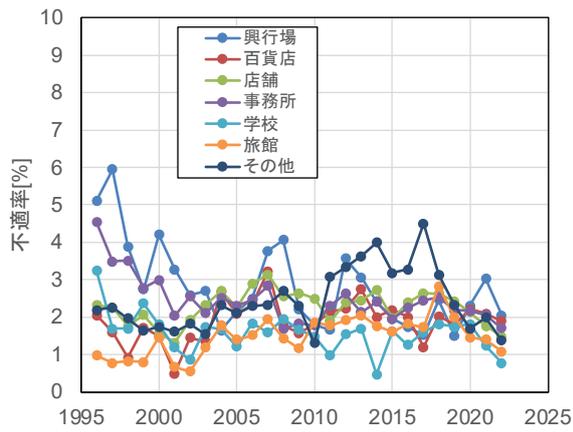


図 1-2 用途別の浮遊粉じん濃度不適率の経時変化

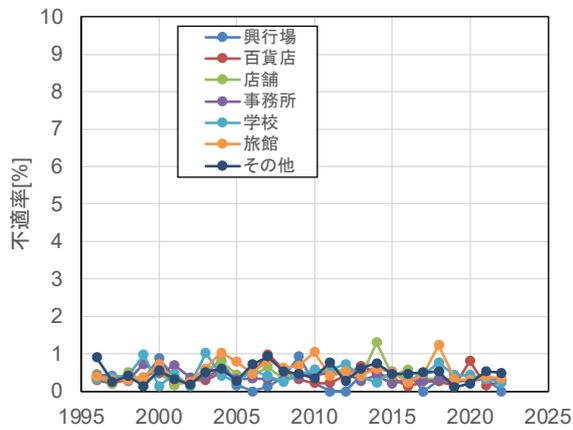


図 1-3 用途別の一酸化炭素濃度不適率の経時変化

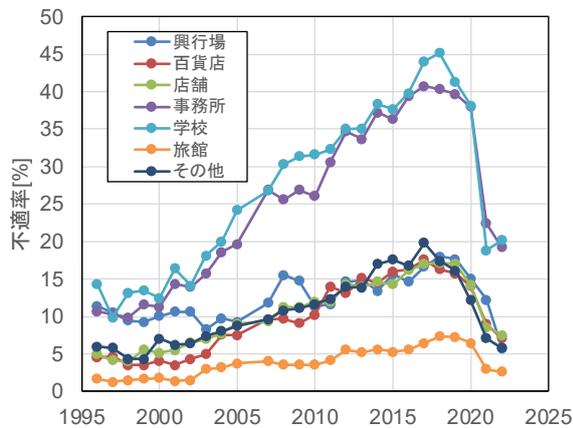


図 1-4 用途別の二酸化炭素濃度不適率の経時変化

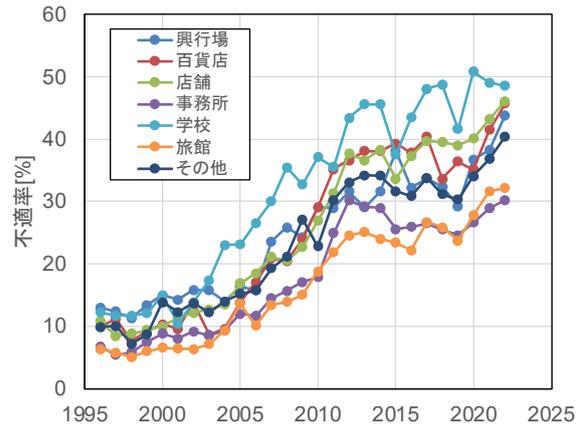


図 1-5 用途別の温度不適率の経時変化

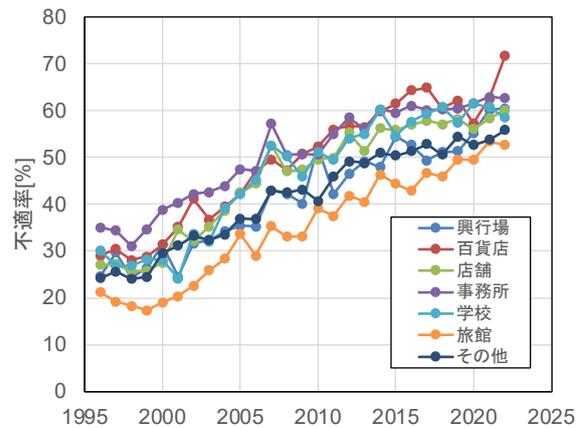


図 1-6 用途別の相対湿度不適率の経時変化

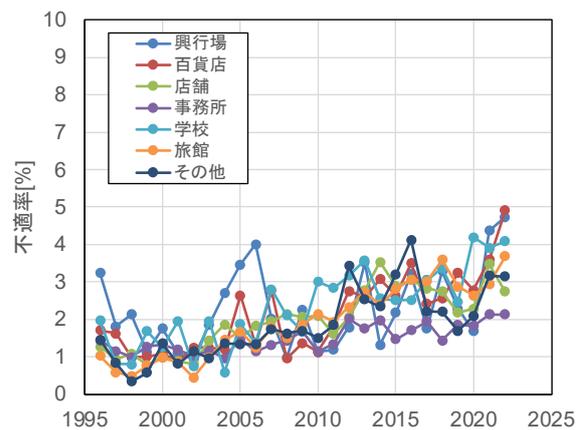


図 1-7 用途別の気流不適率の経時変化

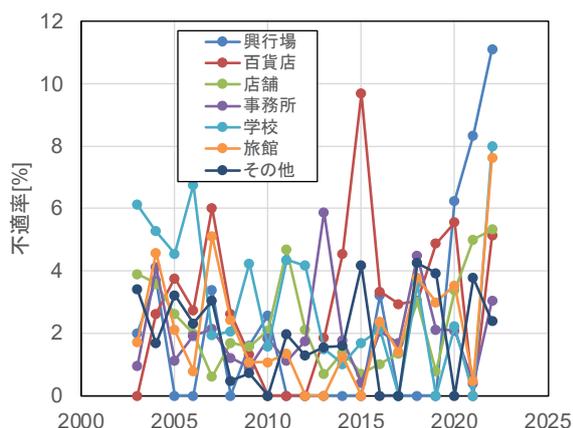


図 1-8 用途別のホルムアルデヒド濃度不適合率の経時変化

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)に大きく減少し、令和4年度(2022年度)においても維持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～令和5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

| | | | |
|-------|-------|-----------|---------|
| 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 |
| 分担研究者 | 鍵 直樹 | 東京工業大学 | 教授 |
| 分担研究者 | 中野 淳太 | 法政大学 | 教授 |

研究要旨

1年目では6件(北海道2件、関東近郊6件)で9室、2年目では10件(北海道2件、関東近郊6件、近畿圏2件)で16室を対象に小型測定器の設置、空気環境6項目測定、化学物質濃度・浮遊微粒子個数濃度の測定を実施した。

本章1節：建物の断熱性能や空調設備が異なる10件の建物概要を示した。

本章2節：空気環境6項目のうち、温度、相対湿度、気流について現場立入測定を実施した。2種の空気環境6項目測定器を用いて2023年2月に6件9室、2023年8～9月に8件13室、2024年2～3月に7件11室を対象に各室15～30分間測定した結果を示した。ガラス面積率が大きい建築物においては夏期に28℃を超過する場合があります、冬期は相対湿度が40%RHを下回る建築物もある。なお、夏期・冬期を含めたすべての測定において2種の空気環境6項目測定器の差の平均値は温度が0.2K、相対湿度が3%RH、気流が0.02m/sであり、相対湿度は測定機器によって40%RHの適・不適合が分かれる建築物もあったことから、測定精度が重要と考えられる。

本章3節：2022年10月～2024年2月の期間に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実測調査した結果を示した。TVOC(Total Volatile Organic Compounds)が暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過する建築物が1件のみあったが、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った。

本章4節：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。計測機器によっては感度や測定周期の違いによる測定値に差が生じることが確認された。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に1.0 μm 以下の小さな粒子では室内濃度(IA)が外気(OA)より低い傾向が見られる一方、5 μm 以上の粒子においては室内(IA)が外気(OA)より高くなる室がより増える。1.0 μm 以下の細かい粒子はOA機器や個別式加湿器などの影響が考えられるが、殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっており、外気濃度に追従して増減している。

本章5節：COの外気と室内濃度は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。2022年度は外気濃度平均470ppm程度に対して、室内平均630～710ppm程度であった。2023年度は外気濃度平均400ppm程度に対して、室内平均は389～989ppm程度であった。

機器のよる測定値の差は、COは2022年度0.026 \pm 0.015ppm、2023年度測定では0.032 \pm 0.049ppmであった。CO₂濃度では2022年度75 \pm 40ppm、濃度差の範囲は4～141ppm、2023年度は38 \pm 24ppm、濃度差範囲は0～87ppmであった。

本章6節：室内ET濃度は検出限界以下～10EU/m³を超えまで幅広く分布し、夏期より冬期の室内濃度平均がやや高くなっていった。平均濃度としても既往研究の1.0EU/m³以下が多い結果に比べや

や高い濃度となった。また、外気の湿度が高く、雨天の日は外気 ET 濃度が高い傾向が見られた。

本章 7 節：ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) の温熱環境基準である ASHRAE 55 の最新版の 2023 年版の文献調査を行い、7 件の建築物において ASHRAE 55 に準拠した室内温熱環境評価を行った結果を示した。ASHRAE 55 の旧版 (2020 年版) から「居住者の温熱調整レベル」が追加され、パーソナル空調など個人による温度調節を前提とした空調システムが導入されている場合は 2023 年版に基づいて評価する必要がある。また、室中央のインテリアと窓近傍のペリメータを比較したときに、大差が見られない建物がある一方、ペリメータで上下温度差が大きくなり、放射環境の分布が大きくなる建物も見られた。また、冬期は上下方向の空気温度や放射温度に大きな差が生じることもあるため少なくとも高さ 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。

研究協力者

| | |
|-------|----------|
| 原山 和也 | アズビル (株) |
| 橋本 翔 | ダイダン (株) |

2-1. 建物概要

A. 研究目的

本研究では、10 件の建築物を対象に小型測定器による二酸化炭素 (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 10 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 と表 2-1-2 に示す。立地は北海道 2 件、関東近郊 6 件、近畿圏 2 件の計 10 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 I であり、最も新しい建物が C であった。A

ビルが 1551m²、C ビルが 1113m²、I ビルが 1368m² であり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・G-1 が床、B・D・E・G-2・H・I・J が天井であった。

D. まとめ

本節では、測定対象とした 10 件の建物の概要を示した。本研究では、10 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 D・E・F・G・H 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 と表 2-1-2 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 1

| 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) |
| | 外壁 | 15mm(種別不明) | | 現場発泡ウレタン 100mm | | | | | 吹付硬質ウレタンフォーム 15mm | |
| 外皮断熱仕様 | 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 | | ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号 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+A6+6) | 南: Low-E 二層複層ガラス (6+A12+6.8) 北: 熱線反射ガラス |
| | 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) | AHU (CAV) + FCU(中央管理) | | AHU (VAV) | AHU (VAV) + FCU |
| 空調調和設備 | 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 | | | | | |

表 2-1-2 建物概要 2

| 建物記号 | | G-1 | G-2 | H-1 | H-2 | I-1 | I-2 | J |
|--------|-------------------------|---------------------------|---|----------------------------|------------------------|---------|-----|--|
| 建物概要 | 立地 | 千葉県印西市 | | 東京都千代田区 | | 大阪府吹田市 | | 大阪府摂津市 |
| | 竣工年/月 | 1993 (2019 改修) | | 2018 / 02 | | | | 2015 / 11 |
| | 延床面積(m ²) | 39 150.9 | | 9 810.16 | | | | 47 912 |
| | 階数(地上/地下) | 4 / 1 | | 13 / 1 | | | | 6 / 1 |
| | 軒高(m) | 18 | | | | | | 39.9 |
| | 構造 | RC | | 地上 S, 地下 SRC | | | | S 一部 SRC |
| 室概要 | フロア | 1 | 3 | 4 | 6 | 2 | 2 | 5 |
| | 室面積(m ²) | 1 195.4 | 491.9 | 507.9 | 211.2 | 計 189.0 | | 1 199.0 |
| | 天井高(m) | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | | | 3.5 |
| | 室容積(m ³) | 3 108.0 | 1 278.9 | 1 422.1 | 591.4 | | | 4 196.5 |
| | 床材 | タイル カーペット | タイル カーペット | OA床 50mm, スラブ 165mm | OA床 50mm, スラブ 165mm | | | OA床コンク リート下地 |
| 外皮断熱仕様 | 外壁 | 押出法ポリスチレンフォーム 断熱材 25mm | | 現場発泡ウレタン 20mm | | | | スチレン発砲板 25mm |
| | 屋根 | 押出法ポリスチレンフォーム 断熱材 25mm | | 硬質ウレタン保温材 20mm | | | | |
| | 1階床 | フェノールフォーム断熱材 20mm | | | | | | |
| | サッシ | PWG ガラス(10+A8+10) | | Low-E 二層複層ガラス (8+A12+8) | | | | Low-E 複層 ガラス(Ar) |
| 空調調和設備 | 空調方式 | AHU (CAV) | 放射冷温水 パネル + チルドビーム + FCU | AHU (CAV, VAV) | | | | 空冷マルチ エアコン + ヒートポンプ式 デンカント 外気処理方式 |
| | 空調吹出位置 | 床 | 天井 | 天井 | | 天井 | | 天井 |
| | 空調能力(kW) | 冷房: 191.2 暖房: 125.4 | 冷房: 64.3 暖房: 100.3 | 冷房: 計 92.8 暖房: 計 64.3 | 冷房: 37.5 暖房: 27.4 | | | PZ: 6+7 IZ: 12+13 |
| | 空調風量(m ³ /h) | 47 340 | 11 200 | 12 600 | 4 700 | | | |
| | 台数 | 6 | 冷放射パネル 184 枚 + チルドビーム 28 台 + FCU5 台 | 5 | 2 | | | |
| | フィルタ(外調) | 比色法 65~90 | | - | | | | 標準 |
| | フィルタ(空調) | 質量法 20 | | NBS65% + AFI80% | | | | 標準 |
| | 加湿方式 | 気化式 | | 自然蒸発式 | | | | DESICA |
| | 加湿量(kg/h) | 20 | 15.2 | 31.0 | 14.0 | | | 9.44×6 |
| | 換気風量(m ³ /h) | 4 660 | 2 000 | 2 250 | 1 000 | | | 1000×6 |

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、小型測定器や 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、10 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。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。

測定日時を表 2-2-2～表 2-2-4 に示す。測定は 2023 年冬期（2022 年 12 月～2023 年 2 月）、2023 年夏期（8～9 月）、2024 年冬期（2～3 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 2-2-15 に示す。水色部が測定対象室を示しており、赤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。

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 |

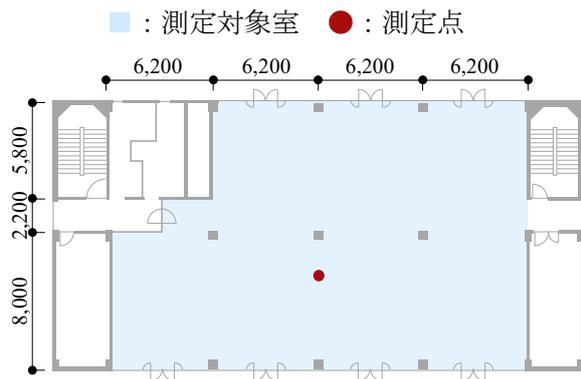


図 2-2-1 A ビル 2 階平面概要図

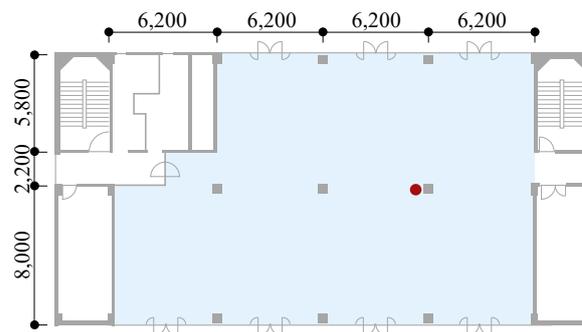


図 2-2-2 A ビル 3 階平面概要図

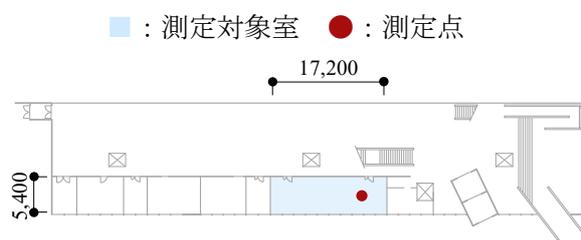


図 2-2-3 B ビル 1 階平面概要図

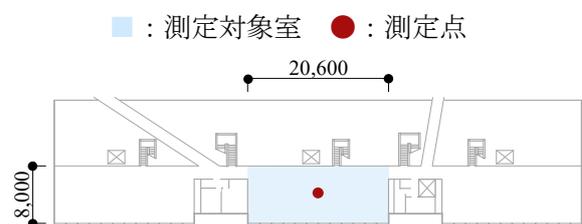


図 2-2-4 B ビル 3 階平面概要図

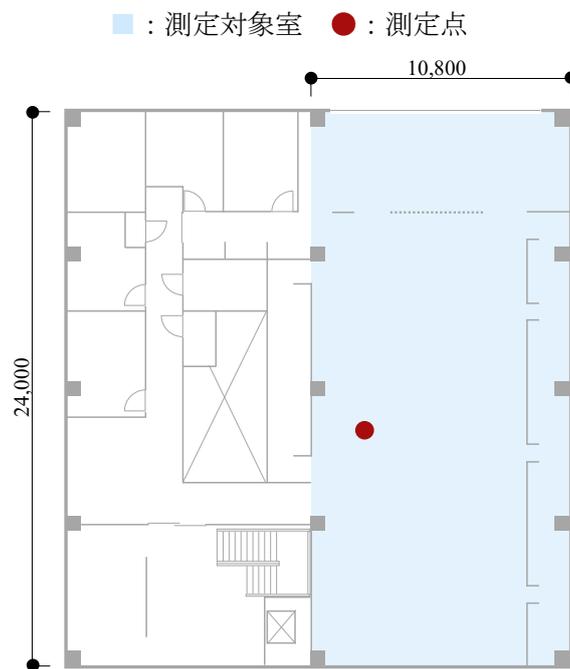


図 2-2-5 C ビル 2 階平面概要図



図 2-2-6 D ビル 1 階平面概要図

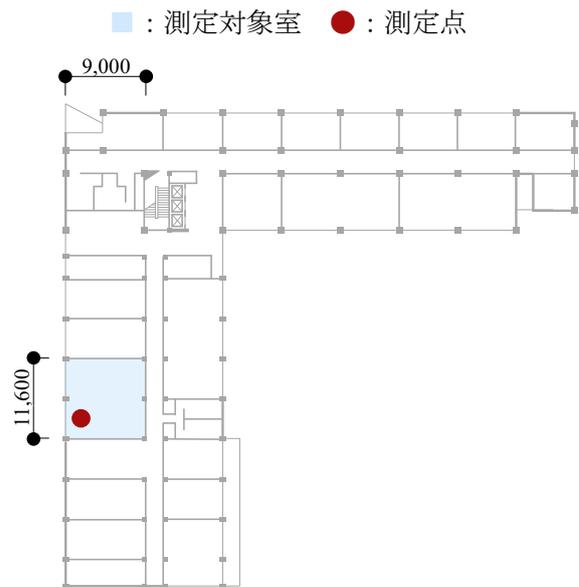


図 2-2-7 D ビル 4 階平面概要図

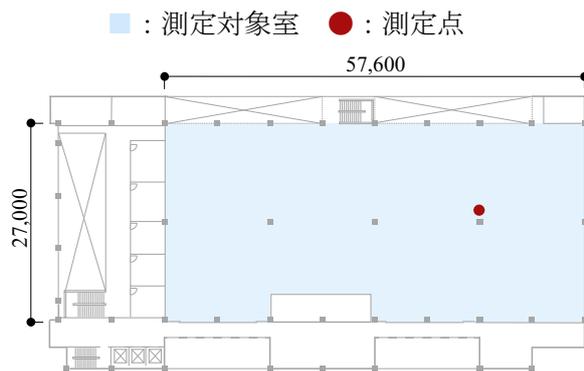


図 2-2-8 E ビル 2 階平面概要図

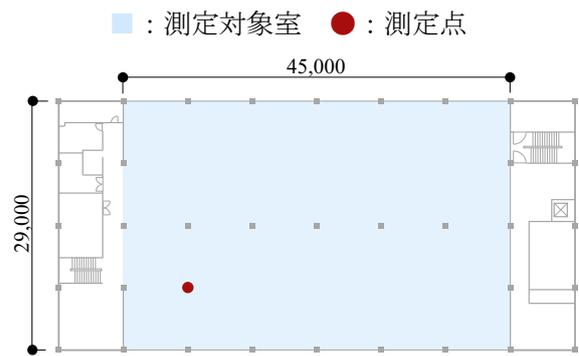


図 2-2-9 F ビル 2 階平面概要図

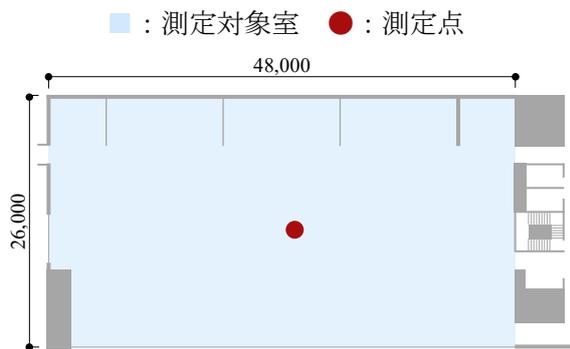


図 2-2-10 G ビル 1 階平面概要図

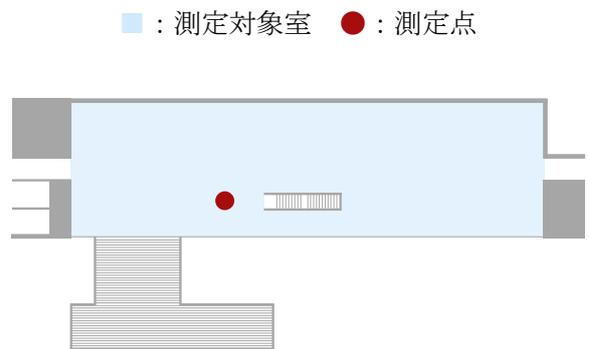


図 2-2-11 G ビル 3 階平面概要図

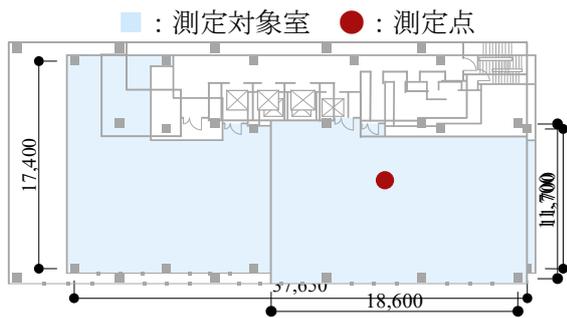


図 2-2-12 H ビル 4 階平面概要図

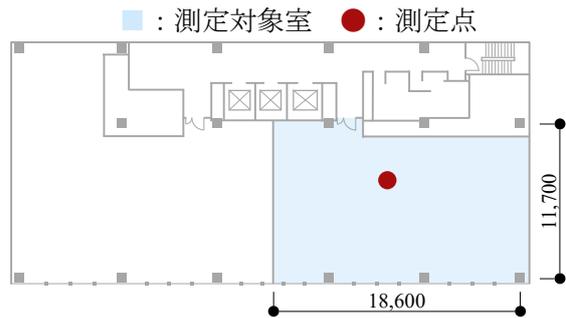


図 2-2-13 H ビル 6 階平面概要図

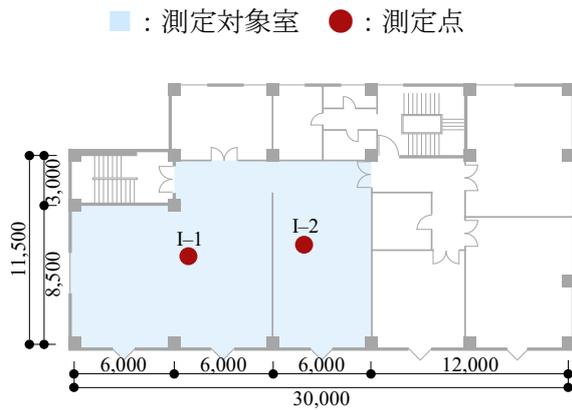


図 2-2-14 I ビル 2 階平面概要図

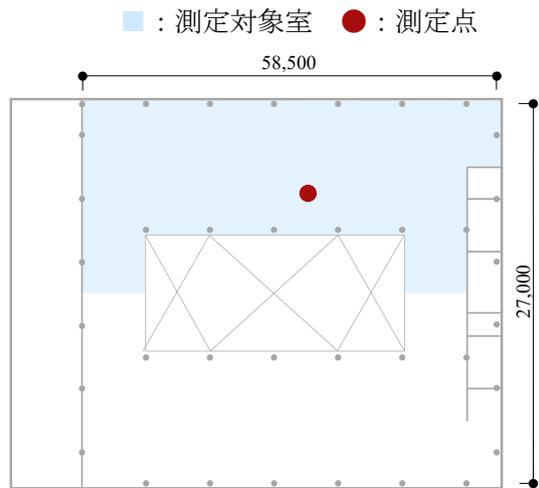


図 2-2-15 J ビル 5 階平面概要図

表 2-2-2 測定日時 (2023 年冬期)

| 建物記号 | A-1 | A-2 | B-1 | B-2 | C | D-1 | D-2 | E | F |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 測定日 | 2/17 | | 12/8 | | 12/9 | 2/22 | | 2/16 | 2/16 |
| 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 |

表 2-2-3 測定日時 (2023 年夏期)

| 建物記号 | A-1 | A-2 | B-1 | B-2 | C | D-1 | D-2 | E | F | G-1 | G-2 | H-1 | H-2 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 測定日 | 8/31 | | 8/23 | | 8/24 | 8/31 | | 8/28 | 8/28 | 8/28 | | 9/4 | |
| 分析開始時刻 | 14:25 | 14:50 | 14:40 | 15:10 | 10:10 | 10:35 | 11:30 | 15:40 | 16:40 | 10:35 | 09:55 | 14:30 | 15:10 |
| 分析終了時刻 | 14:35 | 15:00 | 14:50 | 15:20 | 10:20 | 10:45 | 11:40 | 15:50 | 16:50 | 10:45 | 10:05 | 14:40 | 15:20 |

表 2-2-4 測定日時 (2024 年冬期)

| 建物記号 | D-1 | D-2 | E | F | G-1 | G-2 | H-1 | H-2 | I-1 | I-2 | J |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 測定日 | 2/22 | | 2/29 | 2/29 | 2/29 | | 2/22 | | 3/5 | | 3/5 |
| 分析開始時刻 | 14:40 | 15:35 | 09:50 | 10:55 | 16:00 | 16:25 | 10:35 | 9:25 | 10:25 | 11:50 | 13:55 |
| 分析終了時刻 | 14:50 | 15:45 | 10:00 | 11:05 | 16:10 | 16:35 | 10:45 | 9:35 | 10:35 | 12:00 | 14:05 |

C. 研究結果

C.1. 温度

2023 年冬期における温度の測定結果を図 2-2-16 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。

2023 年夏期における温度の測定結果を図 2-2-17 に示す。1 分間隔の測定値に大きな変動は見られておらず、測定前の前室測定の影響はないと考えられる。B-1 は測定前半 5 分は 28°C 以上となっているが、測定後半 5 分は 28°C 未満となっている。これは、パッケージエアコンの気流の影響と考えられる。また、B-2 と G-2 は外皮ガラス面積が大きく日射熱の影響が大きく 28°C を超えており、特に B-2 の測定日の最高外気温度は 34.9°C (15:00) であったことから室内温度は 32°C 程度まで上昇している。その他の建築物では特定建築物に該当しない A-2 を除いて建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

2024 年冬期における温度の測定結果を図 2-2-18 に示す。I-2 では比較的小規模な室であったことからパッケージエアコンの影響により、10 分間の測定内で変動が大きい、その他の建築物では 1 分間隔の測定値に大きな変動は見られておらず、測定前の前室測定の影響はないと考えられる。I-1 と I-2 において 21°C 程度まで低下する時間帯があるものの、すべての建築物で環境衛生管理基準値を満たしていた。

C.2. 相対湿度

2023 年冬期における相対湿度の測定結果を図 2-2-19 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。建築物環境衛生管理基準値を満たしていたのは E・F のみであり、A-2 は測定機器によって適合・不適合が分かれる結果となった。

2023 年夏期における相対湿度の測定結果を図 2-2-20 に示す。相対湿度は温度の影響も受けるが、いずれの測定においても IES-5000 の測定値が Model 2100 の測定値と比較して高い傾向が見られた。この影響により、B-1 と F では Model 2100 の測定値は建築物環境衛生管理基

準値を満たしているものの、IES-5000 の測定値は満たしていない状況が発生した。その他の建築物ではいずれの測定機器においても建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

2024 年冬期における相対湿度の測定結果を図 2-2-21 に示す。2023 年夏期と同様にいずれの測定においても IES-5000 の測定値が Model 2100 の測定値と比較して高い傾向が見られた。この影響により、D-1 と I-1 では Model 2100 の測定値は建築物環境衛生管理基準値を満たしているものの、IES-5000 の測定値は満たしていない状況が発生した。I-2 ではいずれの測定機器においても 40%以下であったが、その他の建築物では建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

C.3. 気流

2023 年冬期における気流の測定結果を図 2-2-22 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時間帯で 0.1m/s 以下であった。

2023 年夏期における気流の測定結果を図 2-2-23 に示す。空調方式や空調吹出位置・換気口位置の影響も大きく、B-1・B-2・D-1・D-2・G-2 では 0.1~0.2m/s の時間帯が多いものの、その他の建築物では 0.1m/s 以下の時間帯が多い。

2024 年冬期における気流の測定結果を図 2-2-24 に示す。H-1 と J では 0.1~0.2m/s の時間帯が多いものの、その他の建築物では 0.1m/s 以下の時間帯が多い。

C.4. 10 分間平均値

2023 年冬期の 10 分間平均値を図 2-2-25 に示す。温度は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。相対湿度は最低値が 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。気流は最低値が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は無風時でも0.05m/sと記録されていた。

2023年夏期の10分間平均値を図2-2-26に示す。温度は測定日の最高気温が34.9°Cであり、ガラス面積率が大きいBにおいて建築物環境衛生管理基準値を超えているが、その他の建築物では基準値を満たしていた。相対湿度はB-1とFにおいて測定機器によって適合・不適合が分かれる結果となったが、その他の建築物では基準値を満たしていた。

2024年冬期の10分間平均値を図2-2-27に示す。温度は22~24°Cである建築物が多く、いずれの建築物も建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。一方、相対湿度はD-1とI-1とI-2が不適となっているが、その他の建築物では適合していた。

なお、測定値が単調増加であった2023年冬期のB-2を除いて測定機器間の差に着目すると、温度は最大で0.6K(夏期のB-1とB-2)、相対湿度は最大で7%RH(冬期のD-1)、気流は最大で0.05m/s(冬期のJ)の差が生じており、2023年冬期・2023年夏期・2024年冬期含めた全平均では温度が0.2K、相対湿度が3%RH、気流が0.02m/sの差であった。

D. まとめ

本節では、10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。多くの建築物で建築物環境衛生管理基準値を満たしていたが、相対湿度は測定機器によって適合・不適合が分かれる建築物があったため、測定機器の精度も重要であると考えられる。なお、測定機器による差の平均値は温度が0.2K、相対湿度が

3%RH、気流が0.02m/sの差であった。

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

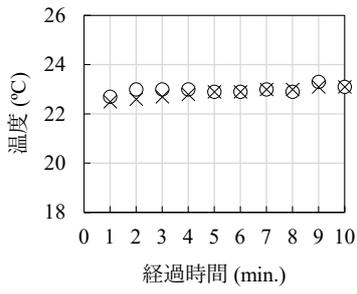
3. 著書

なし

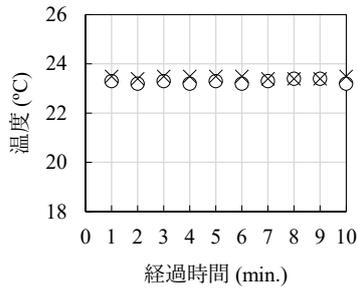
G. 知的財産権の出願・登録状況(予定含む)

予定なし

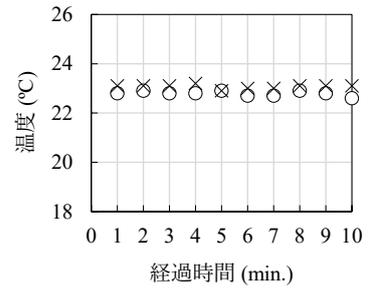
○IES-5000 ×Model 2100



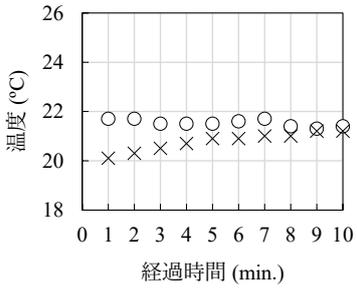
(1) A-1



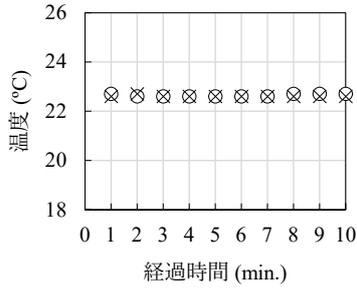
(2) A-2



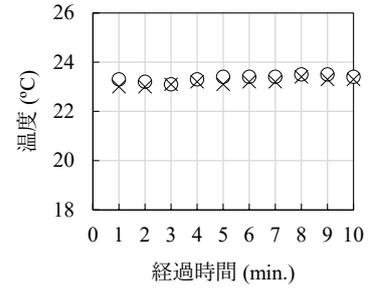
(3) B-1



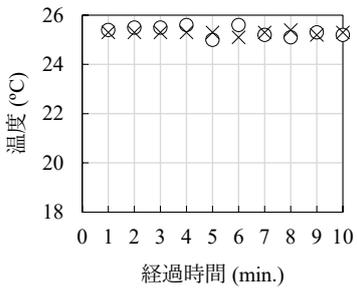
(4) B-2



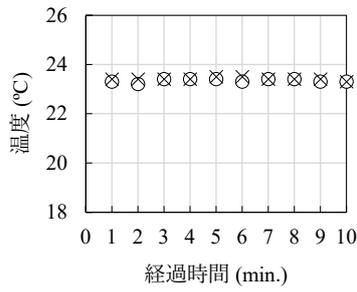
(5) C



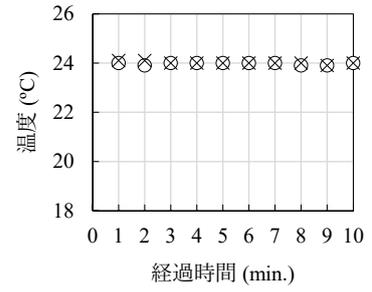
(6) D-1



(7) D-2



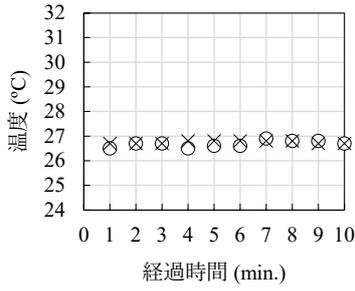
(8) E



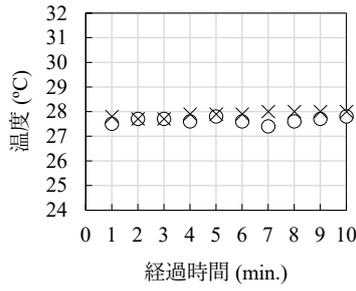
(9) F

図 2-2-16 温度 (2023 年冬期)

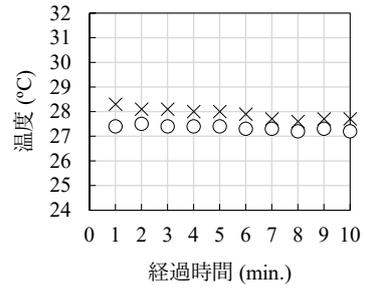
○IES-5000 ×Model 2100



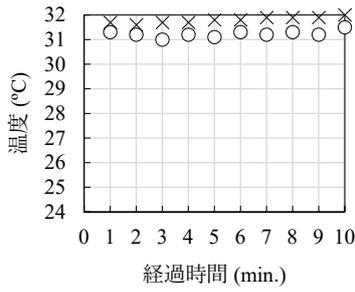
(1) A-1



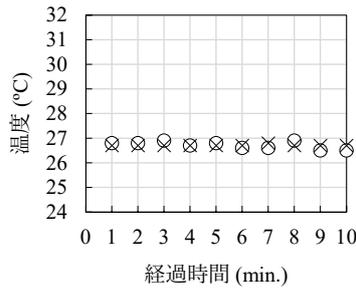
(2) A-2



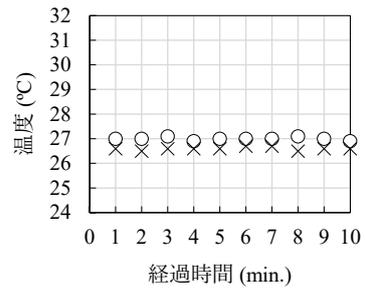
(3) B-1



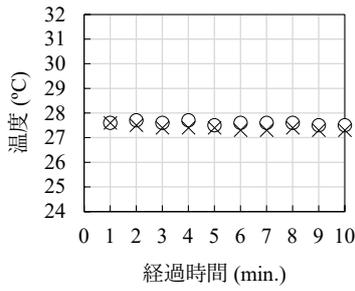
(4) B-2



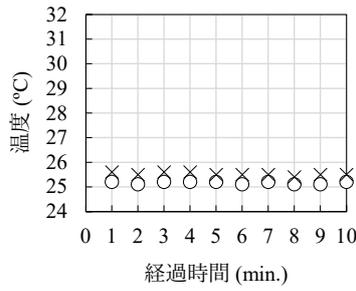
(5) C



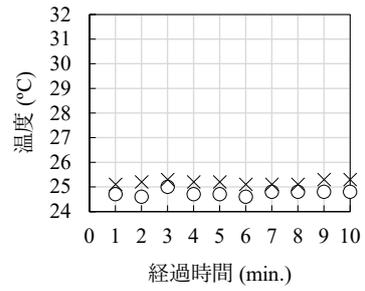
(6) D-1



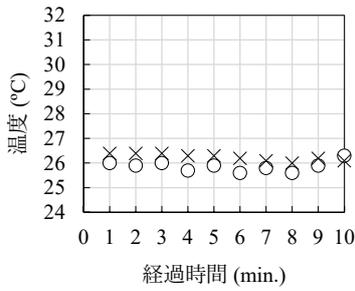
(7) D-2



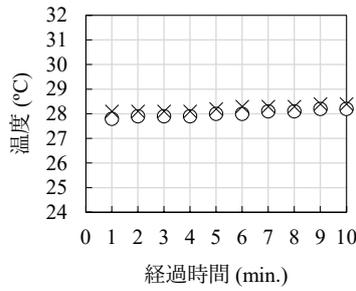
(8) E



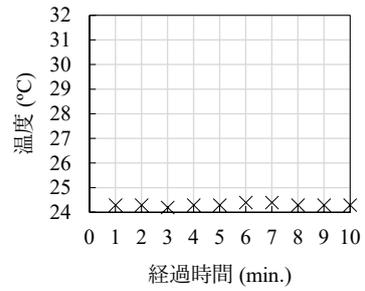
(9) F



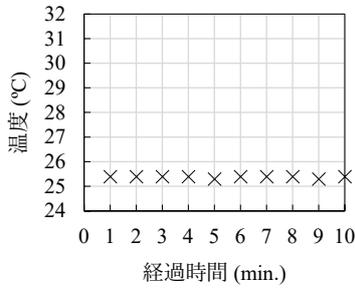
(10) G-1



(11) G-2



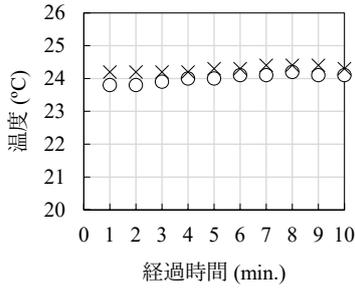
(12) H-1



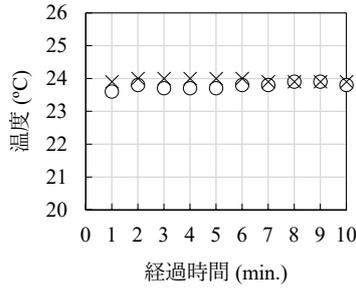
(13) H-2

図 2-2-17 温度 (2023 年夏期)

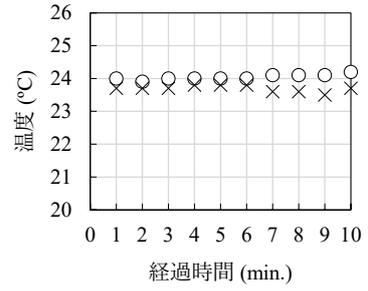
○IES-5000 ×Model 2100



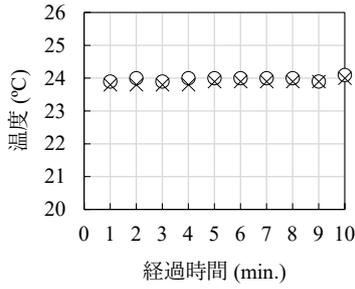
(1) D-1



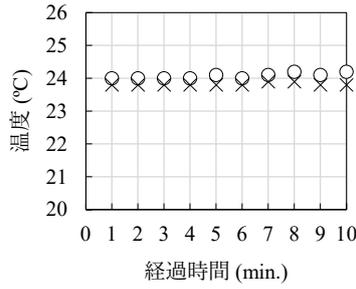
(2) D-2



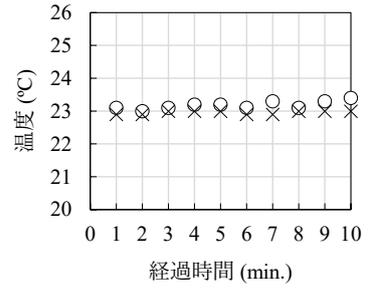
(3) E



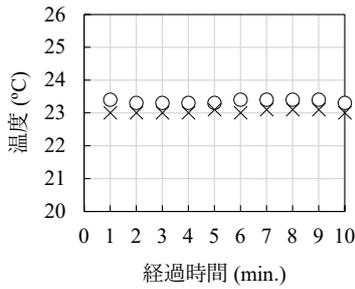
(4) F



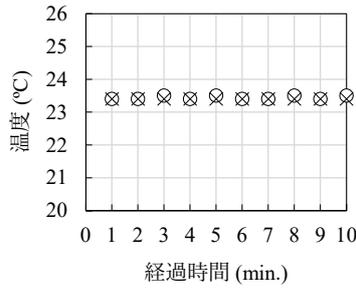
(5) G-1



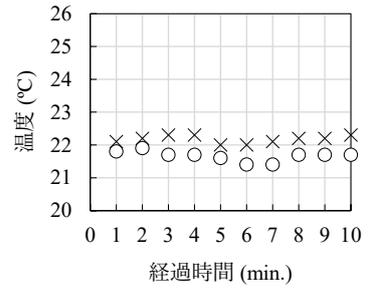
(6) G-2



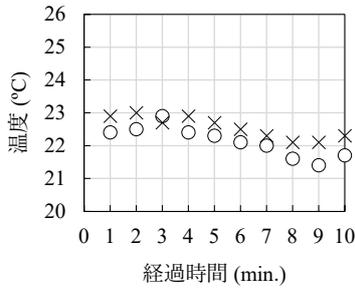
(7) H-1



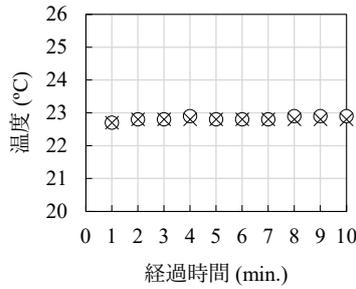
(8) H-2



(9) I-1



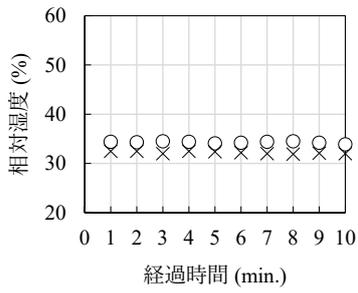
(10) I-2



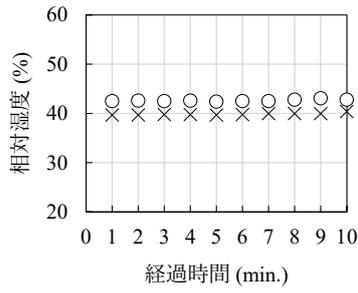
(11) J

図 2-2-18 温度 (2024 年冬期)

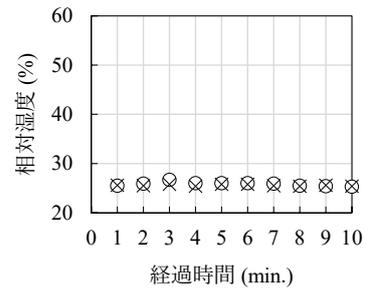
○IES-5000 ×Model 2100



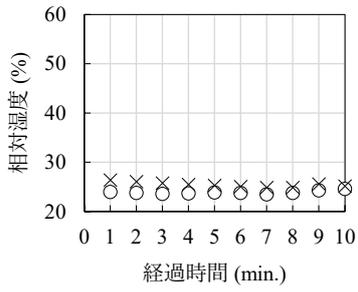
(1) A-1



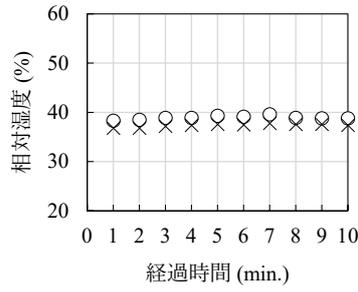
(2) A-2



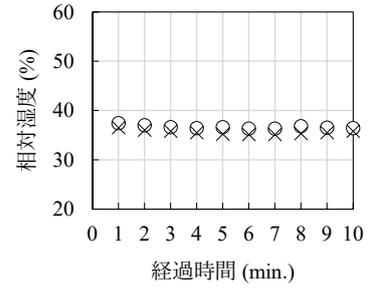
(3) B-1



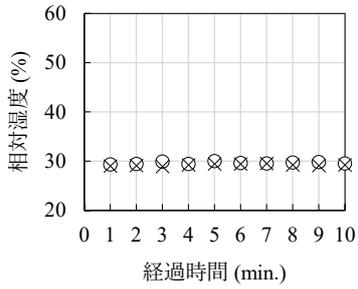
(4) B-2



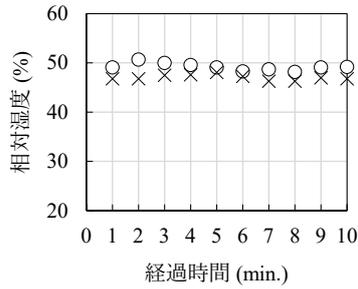
(5) C



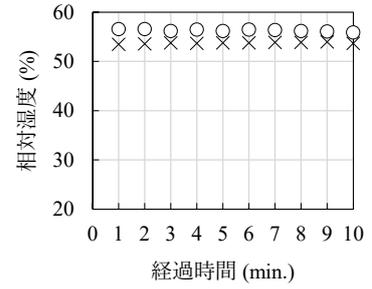
(6) D-1



(7) D-2



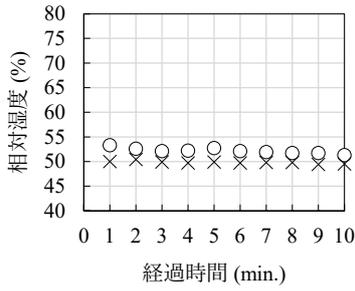
(8) E



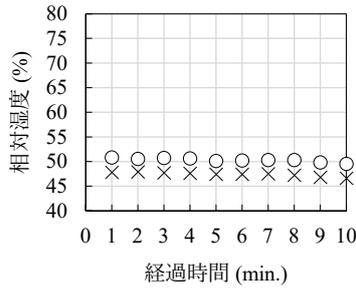
(9) F

図 2-2-19 相対湿度 (2022 年冬期)

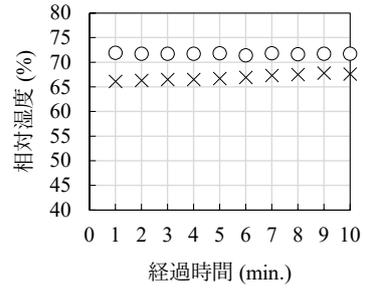
○IES-5000 ×Model 2100



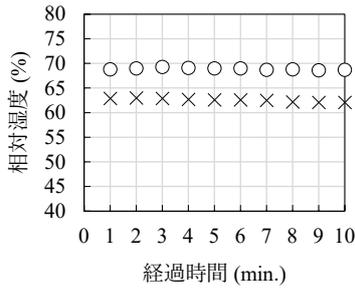
(1) A-1



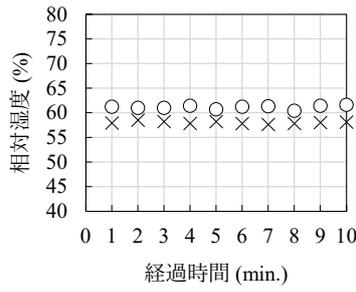
(2) A-2



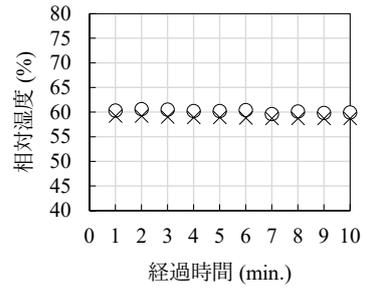
(3) B-1



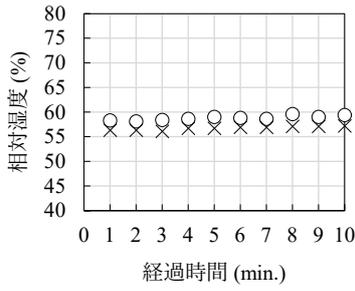
(4) B-2



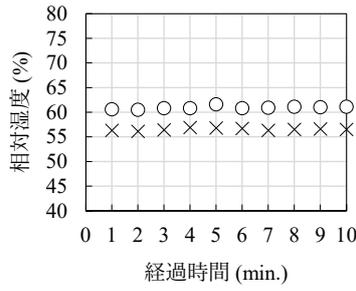
(5) C



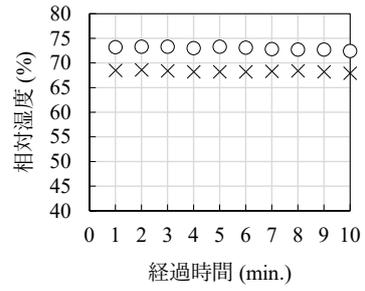
(6) D-1



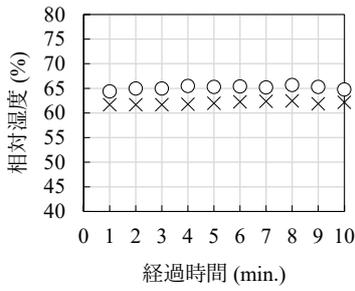
(7) D-2



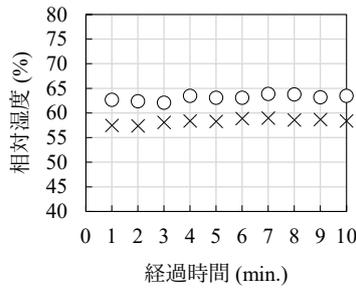
(8) E



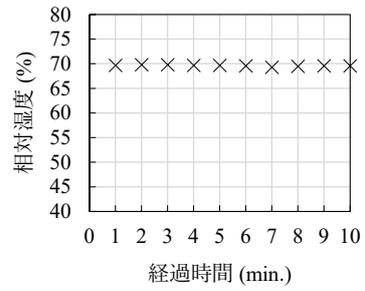
(9) F



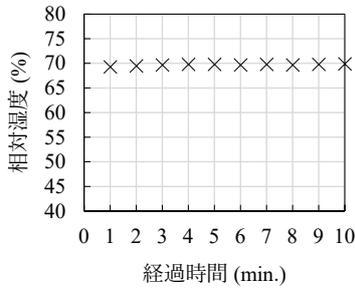
(10) G-1



(11) G-2



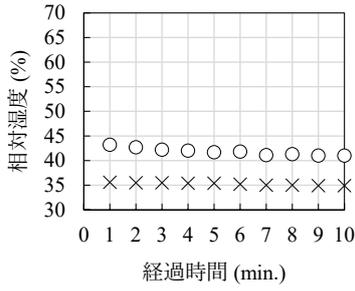
(12) H-1



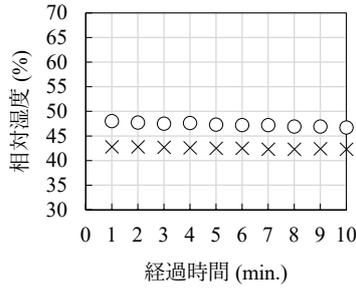
(13) H-2

図 2-2-20 相对湿度 (2023 年夏期)

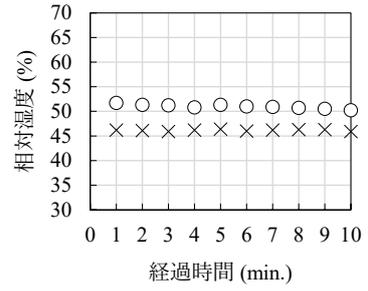
○IES-5000 ×Model 2100



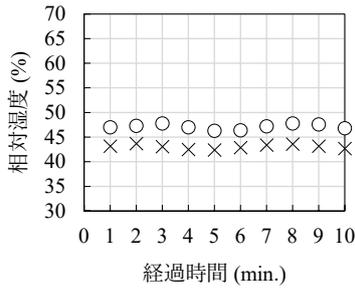
(1) D-1



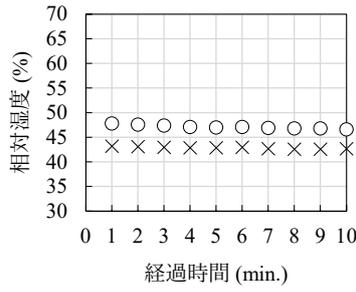
(2) D-2



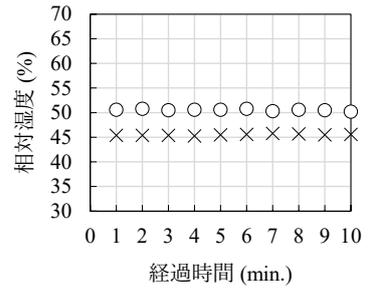
(3) E



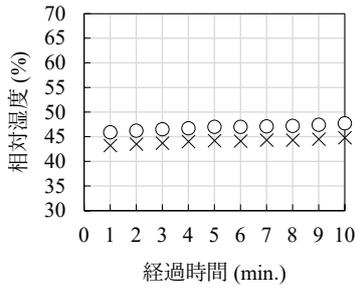
(4) F



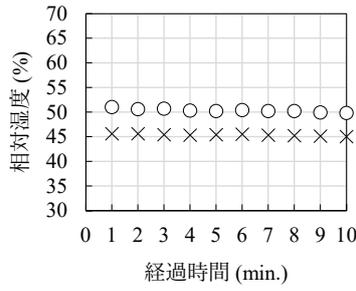
(5) G-1



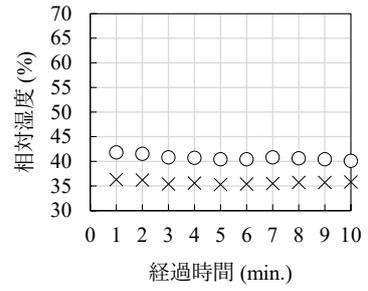
(6) G-2



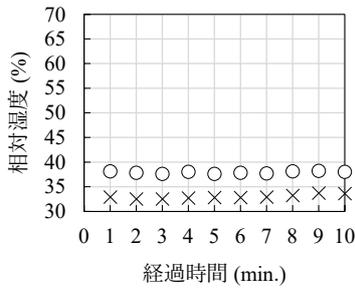
(7) H-1



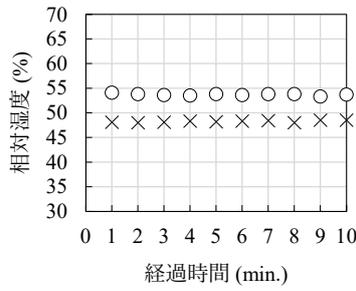
(8) H-2



(9) I-1



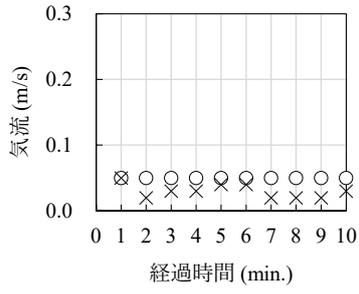
(10) I-2



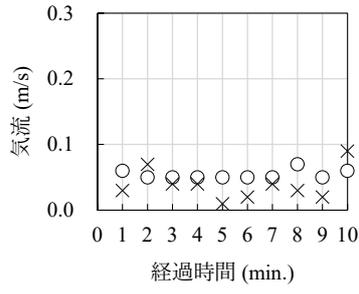
(11) J

図 2-2-21 相对湿度 (2024 年冬期)

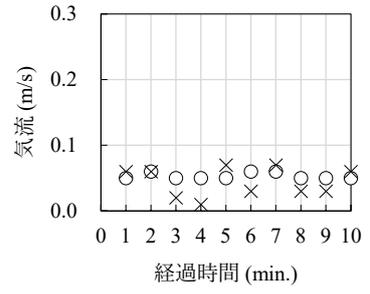
○IES-5000 ×Model 2100



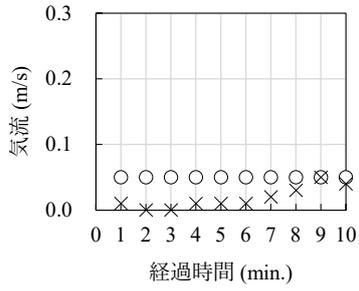
(1) A-1



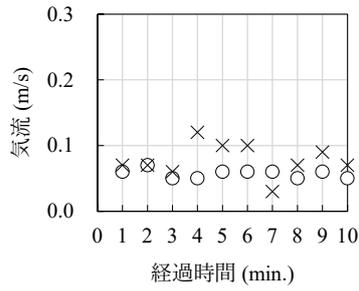
(2) A-2



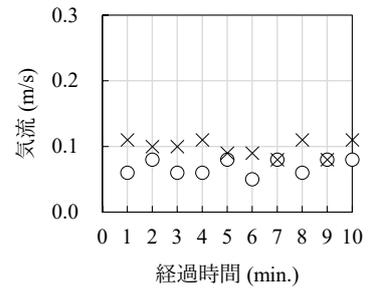
(3) A-3



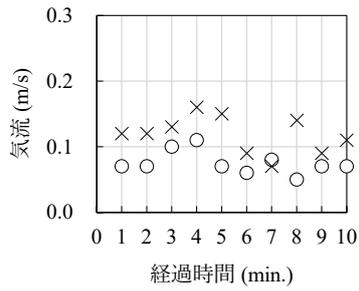
(4) B-2



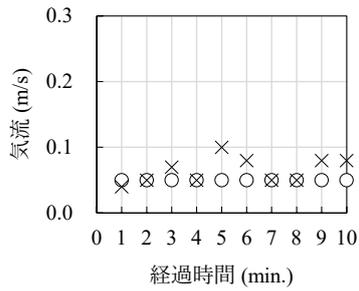
(5) C



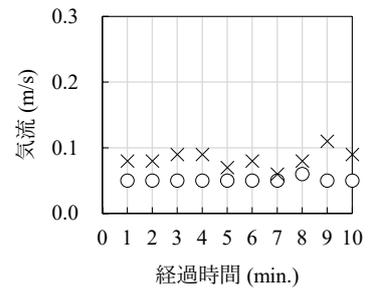
(6) D-1



(7) D-2



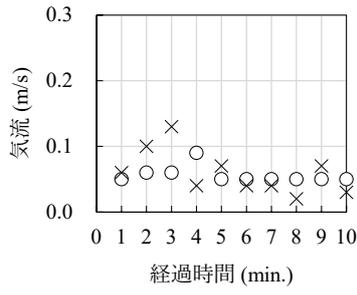
(8) E



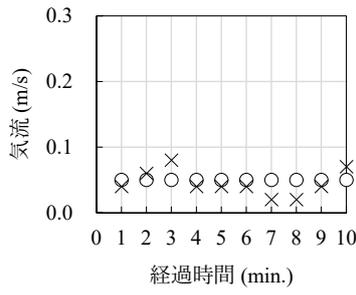
(9) F

図 2-2-22 気流 (2023 年冬期)

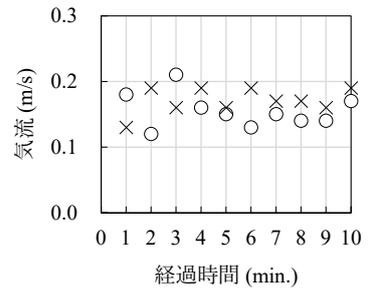
○IES-5000 ×Model 2100



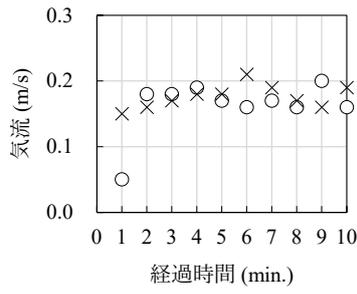
(1) A-1



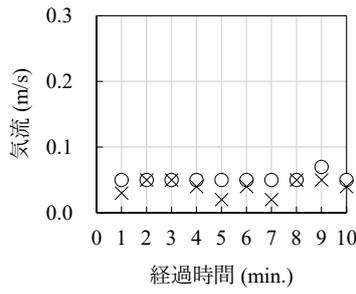
(2) A-2



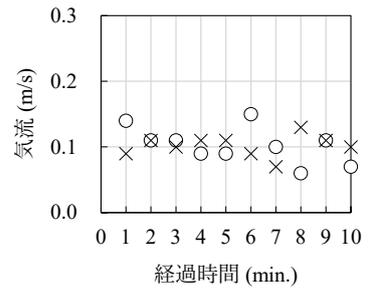
(3) B-1



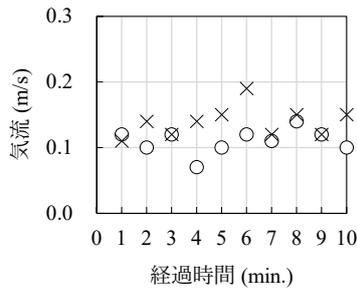
(4) B-2



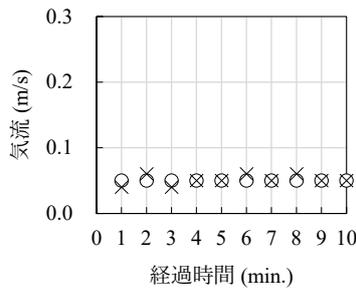
(5) C



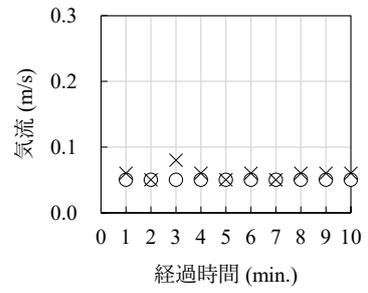
(6) D-1



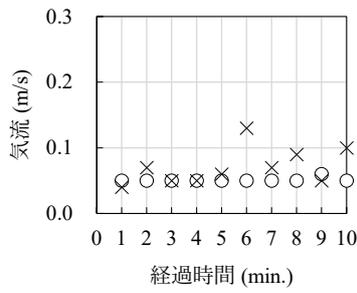
(7) D-2



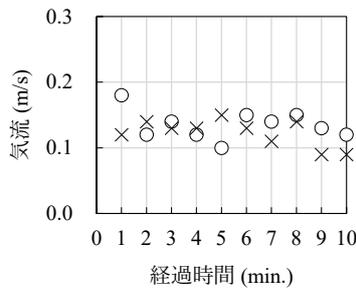
(8) E



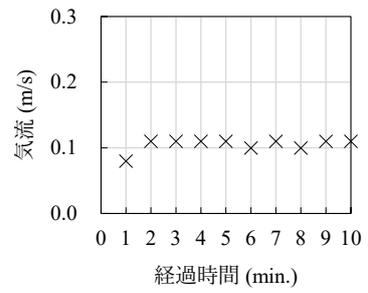
(9) F



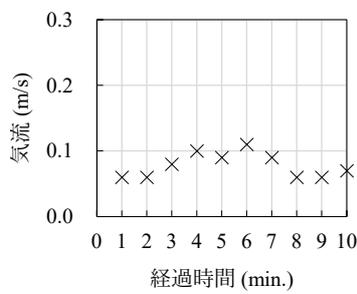
(10) G-1



(11) G-2



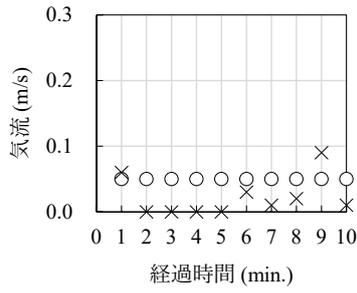
(12) H-1



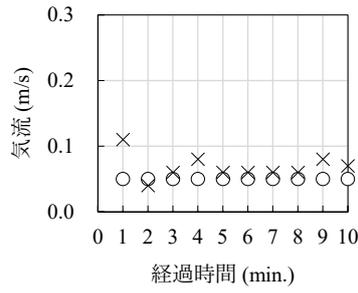
(13) H-2

図 2-2-23 気流 (2023 年夏期)

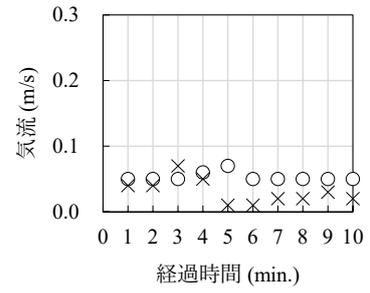
○IES-5000 ×Model 2100



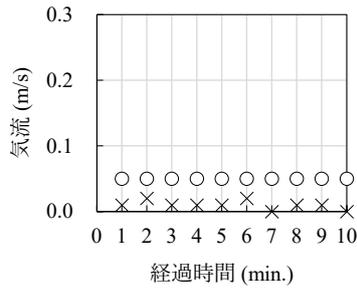
(1) D-1



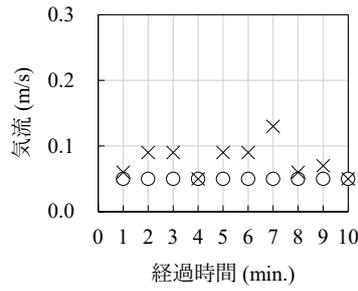
(2) D-2



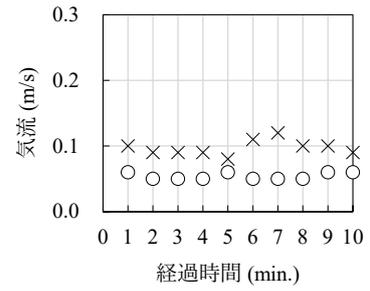
(3) E



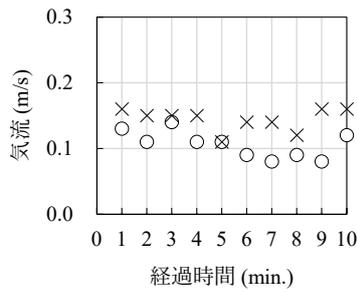
(4) F



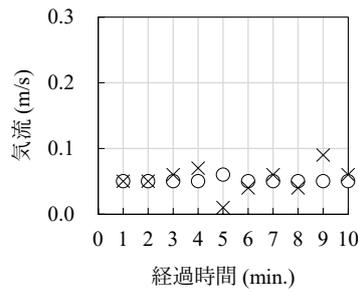
(5) G-1



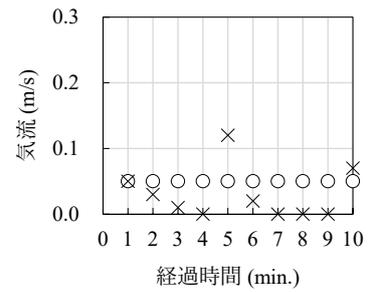
(6) G-2



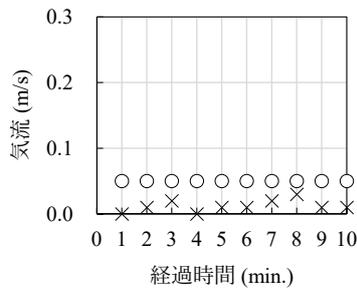
(7) H-1



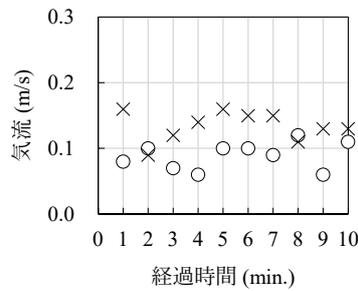
(8) H-2



(9) I-1

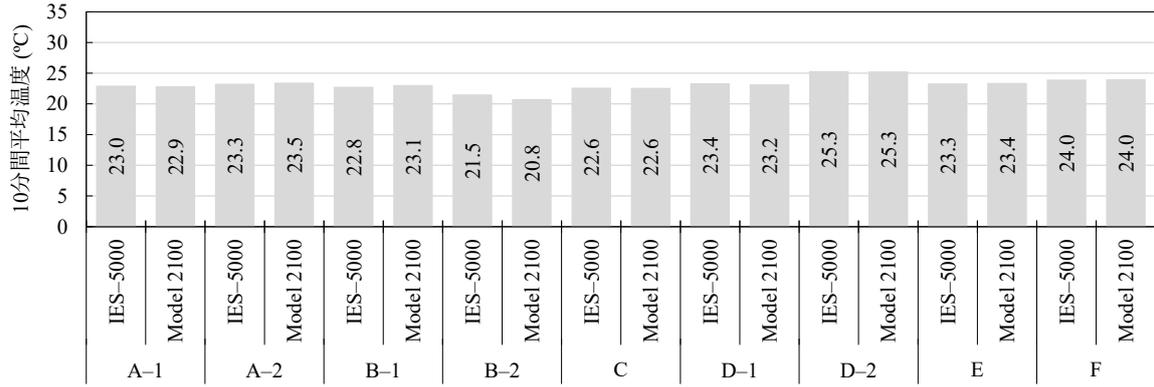


(10) I-2

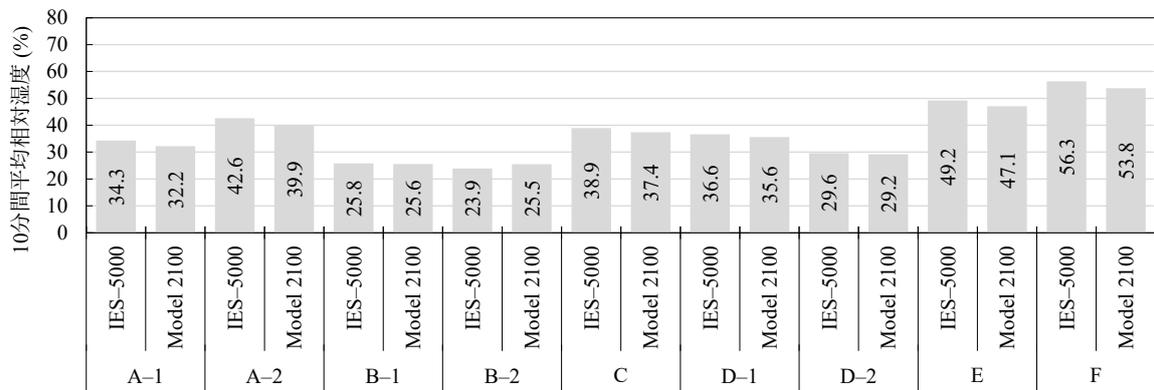


(11) J

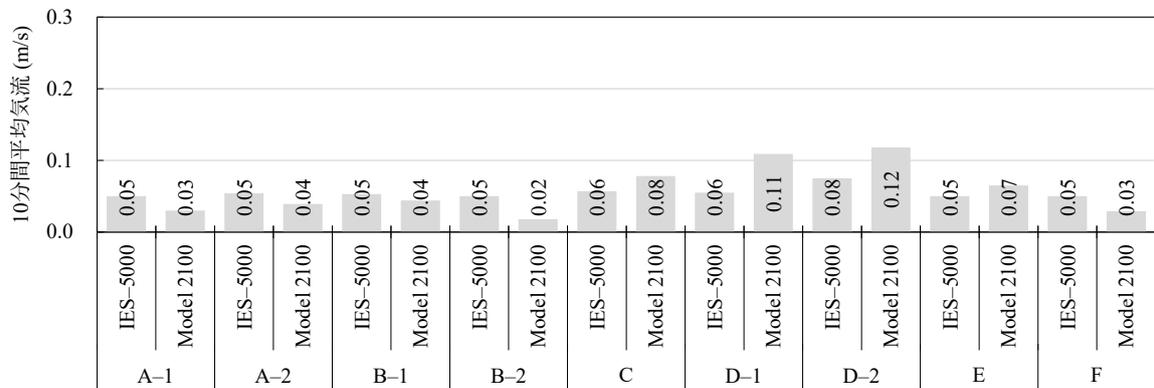
図 2-2-24 気流 (2024 年冬期)



(1) 温度

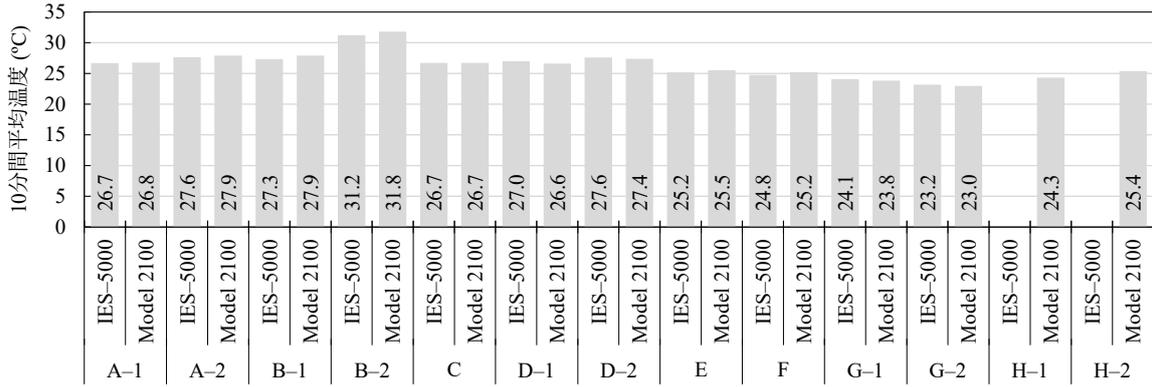


(2) 相对湿度

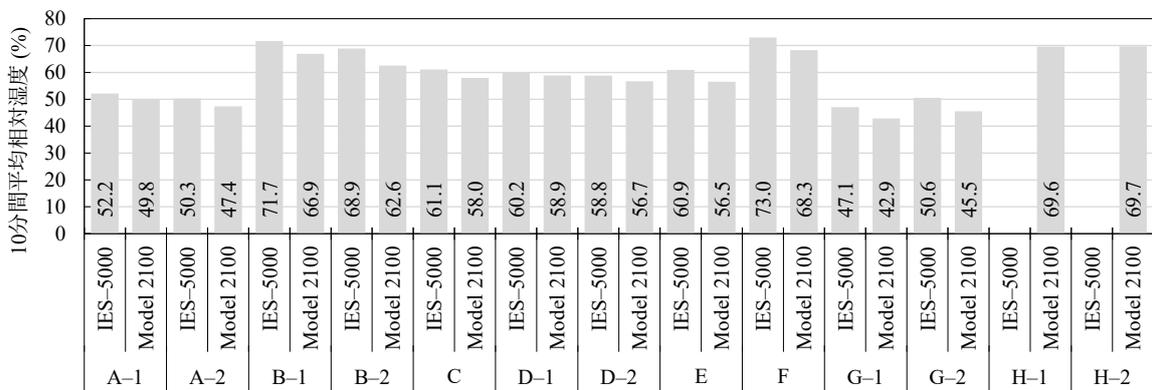


(3) 気流

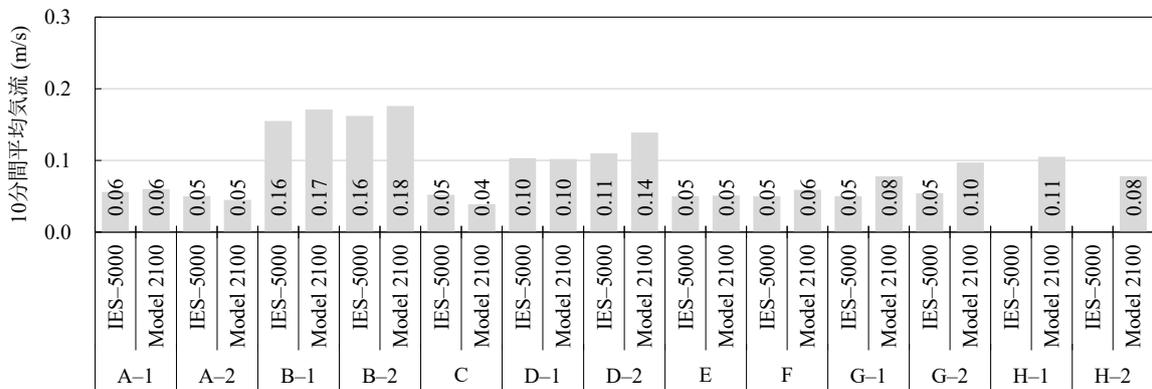
図 2-2-25 2023 年冬期測定結果 (10 分間平均値)



(1) 温度

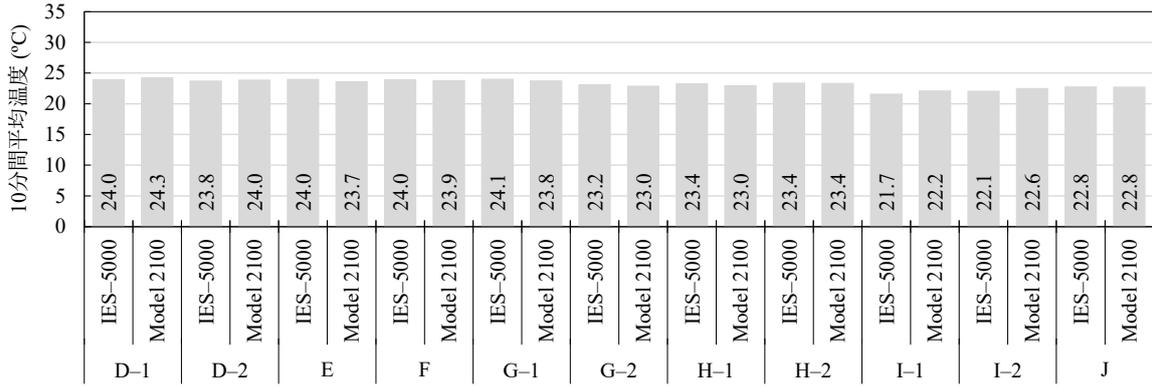


(2) 相对湿度

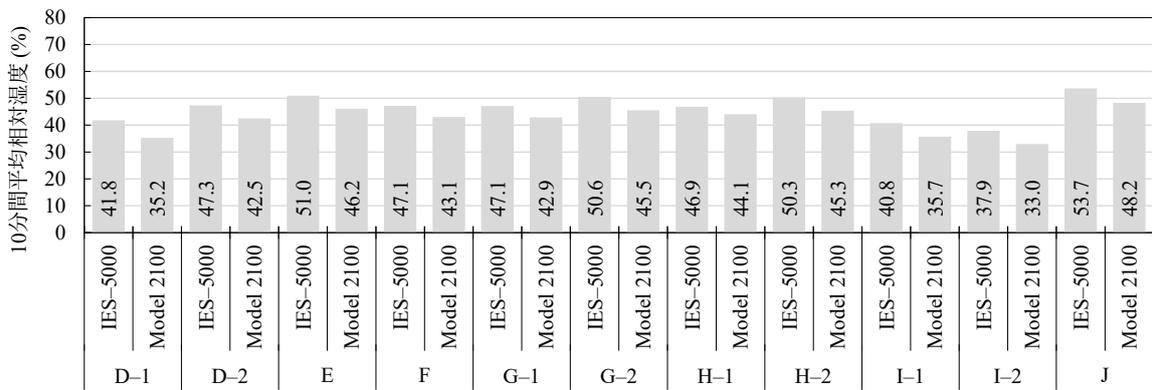


(3) 気流

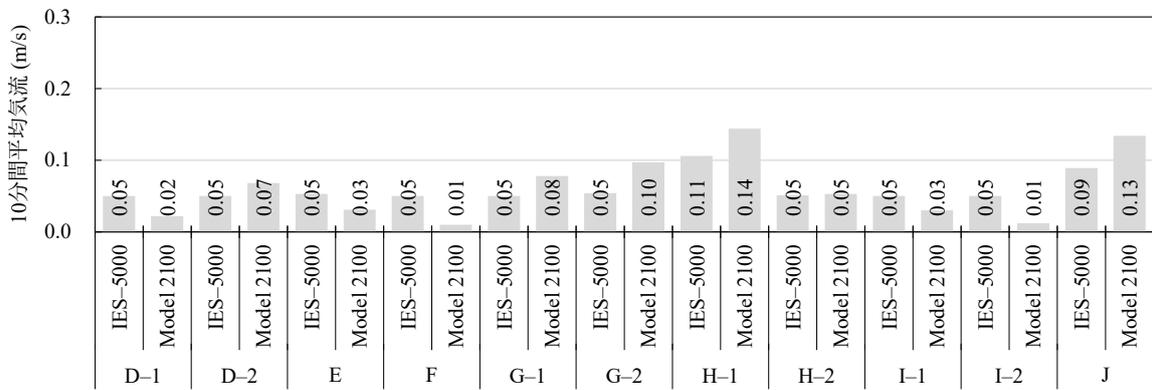
図 2-2-26 2023 年夏期測定結果 (10 分間平均値)



(1) 温度



(2) 相对湿度



(3) 気流

図 2-2-27 2024 年冬期測定結果 (10 分間平均値)

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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⁾。さらに、2024 年 2 月 22 日の第 26 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、初期リスク評価を行った結果、国内における実態調査により測定された室内空気中の 2-エチル-1-ヘキサノール濃度が維持される限りは、人健康影響 (一般毒性、生殖発生毒性、発がん性) に関するリスクは高くないと考えられる、としている⁴⁾。しかし、この検討会で参照している実態調査は、住宅となっており、建築物につい

ては別途検討する必要があると考えられる。なおこの検討会では、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート (テキサノール)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート (TXIB) においても同様の初期リスク評価を行っており、現在の住宅の室内濃度が維持されれば、人健康影響に関するリスクは高くはないとしている。

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm) |
| アセトアルデヒド | 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm) |
| トルエン | 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm) |
| キシレン | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm) |
| エチルベンゼン | 3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm) |
| スチレン | 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm) |
| パラジクロロベンゼン | 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm) |
| テトラデカン | 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm) |
| クロルピリホス | 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 小児の場合 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb) |
| フェノブカルブ | 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb) |
| ダイアジノン | 0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb) |
| フタル酸ジ-n-ブチル | 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 ppb) |
| フタル酸ジ-2-エチルヘキシル | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.3 ppb) |
| TVOC (暫定目標値) | 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

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 J の北海道、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府にある事務所建築物である。建築によっ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、同じ部屋で複数箇所において測定対象としているところもある。2022 年 10

月から2024年3月において行った。

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「室内空气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、室内空气中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) 加熱脱着-GC/MS |

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4箇所存在した。

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4箇所あったが、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った。建築物E、F(2023年2月)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。建築物 E, Fについてはその後2023年8月、2024年2月にも測定を行い、TVOC濃度としては、400 µg/m³以下となっていた。量建物は同じ敷地内に立地する建物で、2023年2月には敷地内において工事を行っており、それが室内に侵入した事によるものと考えられる。

2E1H濃度については、2023年2月の建築物 D, E以外の建築物で検出され、特に建築物 Fにおいては比較的高濃度で、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⁵⁾、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種類に分類する事ができる。

建築物 A, B, D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。Fについては木質OAフロアであったため、上述の分類以外の下地の影響についても、検討が必要である。

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、

1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: 建築に使われる化学物質事典, 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) 厚生労働省 医薬局医薬品審査管理課: 化学物質安全対策室第26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/content/001231839.pdf>, (参照: 2024.5.3)

5) 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

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 (2023/2/16) | | |
|-------------------|----------------|------|-------|---------------|-----|------|---------------|----------|-----|---------------|-------|------|
| | A-1 | A-2 | OA | B-1 | B-2 | OA | C | | OA | D | | OA |
| | | | | | | | Peri | 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 (2023/2/16) | | | A (2023/2/17) | | | D (2023/2/22) | | | |
|-------------------|---------------|--------|------|---------------|-------|------|---------------|------|-----|-----|
| | E | | OA | A-1 | A-2 | OA | D-1 | 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 |

| | B (2023/8/23) | | | C (2023/8/24) | | | G (2023/8/28) | | | | E (2023/8/28) | | |
|-------------------|---------------|------|-----|---------------|----------|------|---------------|-------|-------|------|---------------|------|------|
| | B-1 | B-2 | OA | C | | OA | G-1 | G-1 | G-2 | OA | D | | OA |
| | | | | Peri | Interior | | West | East | | | East | West | |
| Formaldehyde | 21.5 | 12.0 | 3.7 | 9.8 | 11.2 | 8.5 | 15.3 | 15.2 | 21.5 | 4.2 | 11.2 | 10.2 | 2.2 |
| Acetaldehyde | 17.0 | 7.0 | 4.0 | 13.2 | 14.2 | 6.0 | 13.0 | 12.5 | 12.7 | 6.7 | 31.8 | 29.2 | 4.5 |
| Benzene | | | | | | 0.8 | | | | | | | |
| Toluene | 2.0 | | | 7.7 | 7.4 | 9.1 | 3.8 | 3.4 | 4.3 | | 0.9 | 0.7 | |
| Ethylbenzene | 7.3 | 2.6 | | 4.9 | 4.7 | 2.0 | 3.7 | 3.2 | 4.5 | | 0.8 | 0.4 | |
| Xylene | 7.5 | 2.5 | | 5.7 | 4.4 | 4.2 | 4.2 | 3.6 | 4.4 | | 1.5 | | |
| Styrene | 5.3 | 1.2 | | 4.6 | 3.7 | 1.3 | 2.5 | 1.9 | 2.5 | | 1.0 | 0.3 | |
| p-dichlorobenzene | | | | | | | | | | | | | |
| Tetradecane | 1.2 | | | 3.5 | 2.5 | | 0.8 | 0.8 | 2.2 | | | | |
| 2E1H | 8.8 | 2.3 | | 69.1 | 57.2 | | 31.7 | 38.8 | 30.0 | | 4.9 | 3.8 | |
| TVOC | 104.3 | 36.2 | | 411.2 | 367.2 | 32.4 | 225.3 | 148.7 | 257.4 | 16.8 | 43.0 | 35.8 | 11.9 |

| | F (2023/8/28) | | | D (2023/8/31) | | | | A (2023/8/31) | | |
|-------------------|---------------|-------|-----|---------------|------|------|-----|---------------|-------|-----|
| | E | | OA | D-1 | D-1 | D-2 | OA | A-1 | A-2 | OA |
| | North | South | | West | East | | | | | |
| Formaldehyde | 6.7 | 7.7 | 2.2 | 12.8 | 13.2 | 14.7 | 2.3 | 7.2 | 8.5 | 2.7 |
| Acetaldehyde | 32.7 | 27.2 | 4.5 | 7.5 | 7.7 | 6.5 | 4.2 | 10.8 | 9.2 | 3.8 |
| Benzene | | | | | | | | | | |
| Toluene | 1.9 | 1.5 | | 1.2 | 1.2 | 1.1 | | 1.8 | 1.7 | |
| Ethylbenzene | 0.6 | 0.9 | | 0.8 | 0.7 | 0.5 | | 1.8 | 2.0 | |
| Xylene | 0.8 | 1.5 | | 1.5 | 1.3 | 0.4 | | 1.5 | 2.2 | |
| Styrene | | 1.0 | | 0.8 | 0.8 | 0.3 | | 0.7 | 1.3 | |
| p-dichlorobenzene | | | | | | | | | | |
| Tetradecane | 1.4 | 1.8 | | 8.0 | 8.1 | 0.8 | | | 0.6 | |
| 2E1H | 118.4 | 135.1 | | 10.1 | 10.7 | 10.0 | | 72.0 | 91.7 | |
| TVOC | 174.0 | 199.5 | 5.8 | 53.8 | 58.8 | 39.5 | 0.4 | 104.1 | 138.1 | 0.4 |

表 2-3-3 揮発性有機化合物の測定（続き）

| | H (2023/9/4) | | | | H (2024/2/22) | | | D (2024/2/22) | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|---------------|------|-----|---------------|------|-----|
| | H-1 | H-1 | H-2 | OA | H-1 | H-2 | OA | D-1 | D-2 | OA |
| | Center | | | | | | | West | | |
| Formaldehyde | 9.3 | 9.2 | 10.7 | 6.5 | 3.7 | 6.3 | 0.0 | 5.7 | 7.3 | 0.0 |
| Acetaldehyde | 8.3 | 8.0 | 6.5 | 7.2 | 5.3 | 10.7 | 3.3 | 4.2 | 4.3 | 3.8 |
| Benzene | | | | | | | 0.6 | | | 0.5 |
| Toluene | 2.6 | 3.2 | 2.8 | 3.6 | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 2.7 | 2.3 | 1.9 |
| Ethylbenzene | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 1.1 | 0.8 | 0.4 |
| Xylene | 1.6 | 3.6 | 0.9 | 1.4 | 0.5 | 0.3 | | 1.4 | 0.7 | 0.3 |
| Styrene | 1.1 | 2.1 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | | | 1.2 | | |
| p-dichlorobenzene | | | | | | | | | | |
| Tetradecane | 1.0 | 1.0 | 0.8 | | 0.2 | | | 0.5 | 0.3 | |
| 2E1H | 4.5 | 5.3 | 2.8 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | | 2.4 | 3.5 | |
| TVOC | 46.9 | 52.3 | 28.0 | 21.8 | 14.2 | 10.1 | 6.4 | 25.1 | 18.7 | 6.8 |

| | E (2024/2/29) | | F (2024/2/29) | | G (2024/2/29) | | | I (2024/3/5) | | | J (2024/3/6) | |
|-------------------|---------------|-----|---------------|-----|---------------|------|-----|--------------|-----|-----|--------------|-----|
| | D | OA | E | OA | G-1 | G-2 | OA | I-1 | I-2 | OA | I-1 | OA |
| | East | | North | | West | | | | | | | |
| Formaldehyde | 9.7 | 0.0 | 4.8 | 0.0 | 6.2 | 9.0 | 0.0 | 5.2 | 4.2 | 0.0 | 6.0 | 0.0 |
| Acetaldehyde | 8.0 | 4.3 | 26.8 | 4.3 | 6.7 | 8.3 | 4.3 | 6.2 | 5.8 | 4.2 | 7.0 | 4.3 |
| Benzene | | 0.4 | | 0.4 | | | 0.3 | 0.4 | 0.5 | | | 0.8 |
| Toluene | 1.5 | | 2.2 | | 1.3 | 1.2 | | 2.0 | 2.1 | | 2.4 | 1.9 |
| Ethylbenzene | 0.4 | | 0.5 | | 0.6 | 0.6 | | 0.4 | 0.4 | | 0.8 | 0.7 |
| Xylene | 0.3 | | 1.1 | | 0.7 | 0.6 | | 0.5 | 0.5 | | 0.6 | 0.4 |
| Styrene | | | | | 1.0 | 0.7 | | | | | 0.9 | |
| p-dichlorobenzene | | | | | | | | | | | | |
| Tetradecane | | | 0.3 | | | | | | | | | |
| 2E1H | 1.6 | | 29.4 | | 6.4 | 4.9 | | 1.0 | 0.8 | | 2.4 | |
| TVOC | 11.2 | 3.6 | 49.1 | 3.6 | 50.5 | 30.3 | 0.3 | 14.8 | 8.5 | 2.7 | 48.2 | 8.1 |

注：空欄は検出限界以下

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¹⁾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、図 2-4-2 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、表 2-4-1 に粒径別 IO 比 (室内濃度/外気濃度) の集計結果を示す。

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。

浮遊粉じん濃度はいずれの建物でも管理基準濃度 0.15 mg/m^3 を大きく下回っていた。

初年度 (2022 年度) 測定結果において、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。

2 年目 (2023 年度) の夏期における外気濃度平均は IES-5000 が $0.0166 \pm 0.0077 \text{ mg/m}^3$ 、Model 2100 が $0.0090 \pm 0.0085 \text{ mg/m}^3$ であり、室内濃度平均はそれぞれ $0.0034 \pm 0.0043 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.0020 \pm 0.0023 \text{ mg/m}^3$ であった。また、冬期における外気濃度平均は IES-5000 が $0.0143 \pm 0.0093 \text{ mg/m}^3$ 、Model 2100 が $0.0050 \pm 0.0042 \text{ mg/m}^3$ であり、室内濃度平均はそれぞれ $0.0118 \pm 0.0195 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.0050 \pm 0.0098 \text{ mg/m}^3$ であった。

両機器間の測定値の差は 2022 年度測定で平均 $0.0043 \pm 0.0027 \text{ mg/m}^3$ 、2023 年度は $0.0058 \pm 0.0068 \text{ mg/m}^3$ であった。IES-5000 が Model-2100 より若干高い値を示しているが、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原因である。

C.2. 浮遊粒子状物質濃度

2022 年度結果において、粒子濃度は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。

2023 年度結果において、建物 B 及び建物 I を除けば全体的には外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向を示している。一方、夏期の B_1F、B_3F、D_1F 及び冬期の I_2F Office は室内濃度と外気濃度がほぼ同じかやや高く、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 機器や冬期の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

2022 年度結果から、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。

2023 年度結果からも、小さな粒径の粒子においては IO 比 <1 が多く、外気より室内で低く維持されている。一方、 $5\mu\text{m}$ と $10\mu\text{m}$ の大きな粒子では IO 比 >1 の室内が増加している。

特に 2023 年度の夏期 B_1F は全ての粒径において IO 比 >1 と他の建物とは異なる傾向を示している。同じ建物の 3F ではそのような傾向は見えないが小さな粒径では IO 比が 1 に近い値を示していることから、フィルターなどによる粒子状物質の浄化は行われておらず、外気の影響と室内発生分共に室内濃度に影響していると考えられる。冬期の I_2F Office でも同様な傾向が見られるが、在室密度が高いことと建築年数が古く換気設備が古いことが原因と考えられる。

室内におけ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いと濃度が高くなる。

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⁾ ³⁾、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 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ に比べると低濃度であった。計測機器によっては感度や測定周期の違いによる測定値に差が生じることが確認された。

6 粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に $1.0\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子では室内濃度 (IA) が外気 (OA) より低い傾向が見られる一方、 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子においては室内 (IA) が外気 (OA) より高くなる室がより増える。

但し、一部室内における $1.0\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が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おり、外気濃度に追従して増減している。

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こと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 PM2.5 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

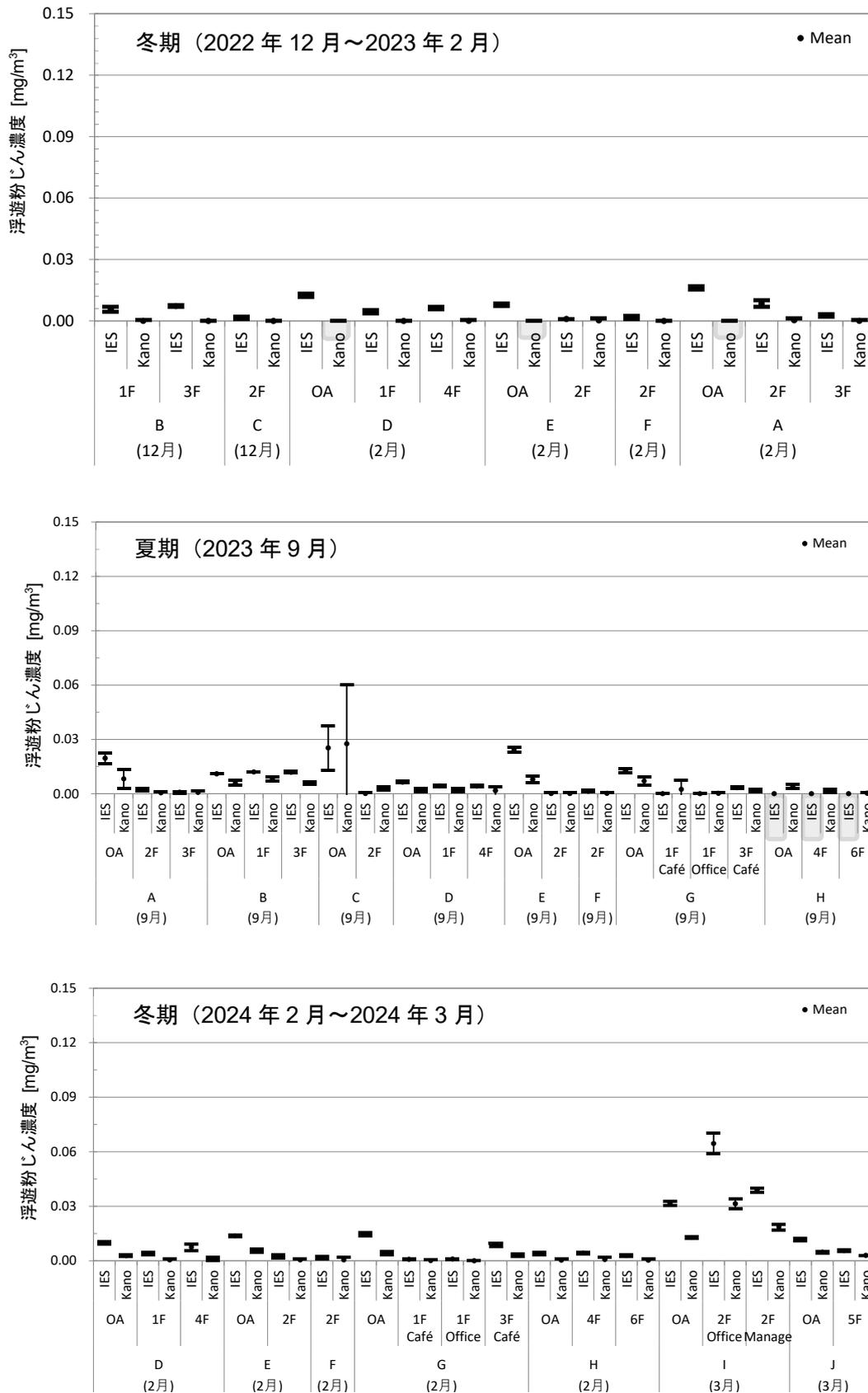


図 2-4-1 立入測定による浮遊粉じん濃度測定結果
「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」
※ 陰影部分は測定無し

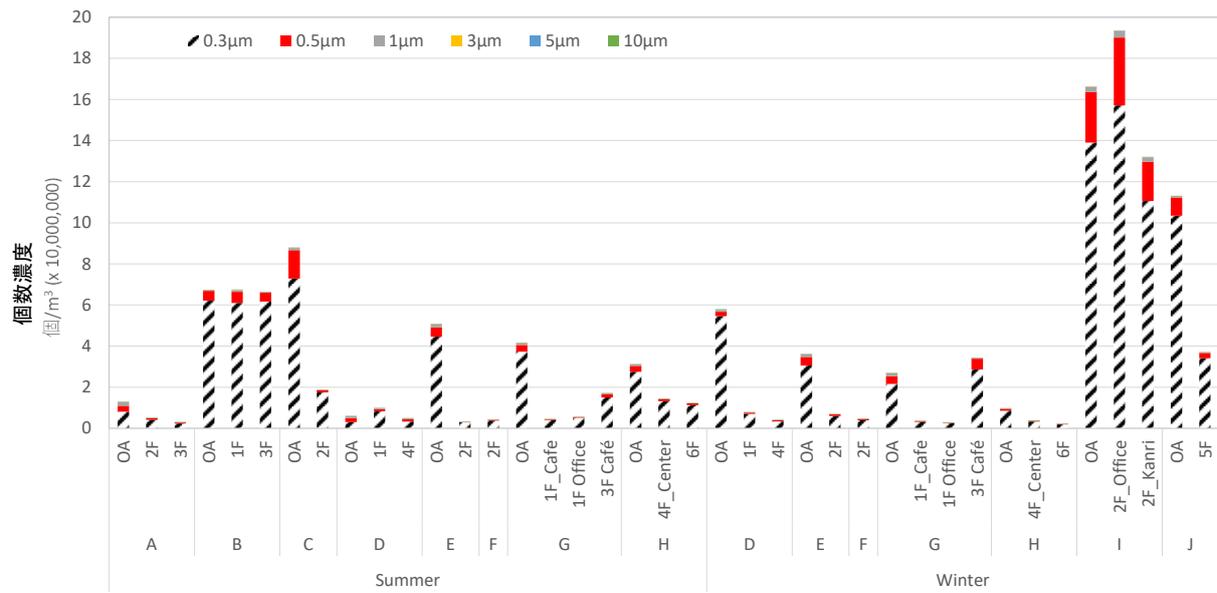
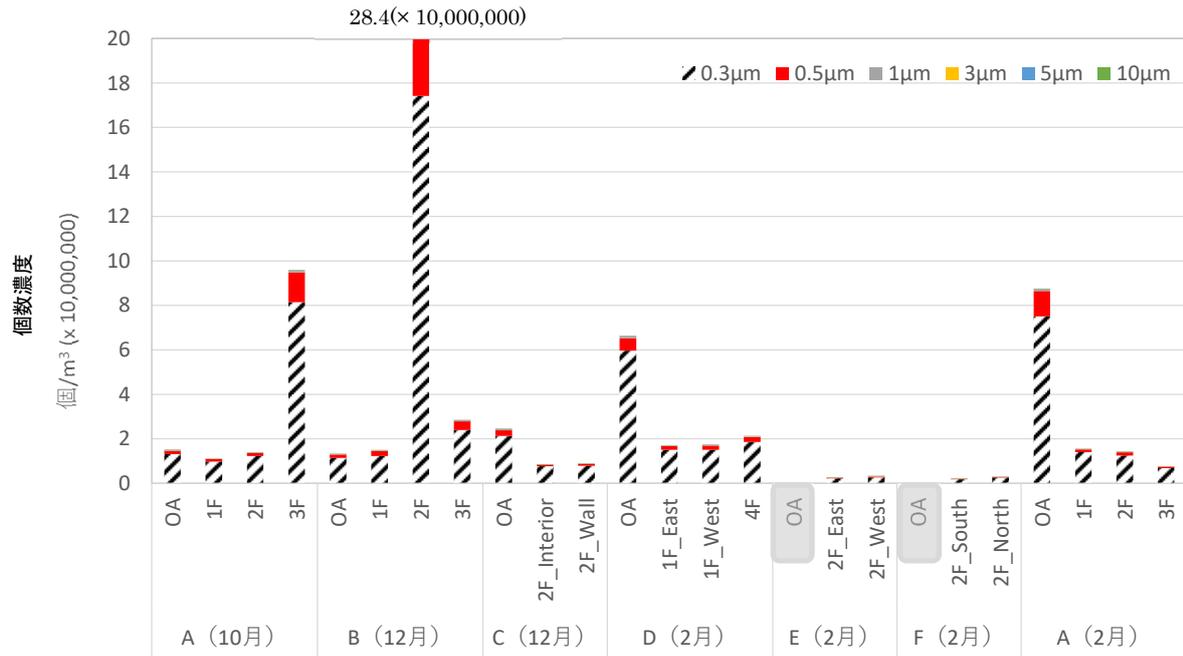


図 2-4-2 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

※ OAの陰影部分は測定無し

表 2-4-1 粒径別 IO 比 (室内濃度/外氣濃度)

| Winter | A | | | B | | | C | | D | | | E | | F | | A | | | Mean | S.D. | Max | Median | Min |
|--------|----------|-----|-----|----------|------|-----|-----------|---------|---------|---------|-----|---------|---------|----------|----------|-----|-----|-----|------|------|------|--------|-----|
| | 2022年10月 | | | 2022年12月 | | | 2023年2月 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1F | 2F | 3F | 1F | 2F | 3F | 2F Interi | 2F Wall | 1F East | 1F West | 4F | 2F East | 2F West | 2F South | 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 | 2.0 | 4.1 | 15.2 | 0.4 | 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 | 5.9 | 17.4 | 65.7 | 0.4 | 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 | 3.5 | 10.9 | 41.4 | 0.4 | 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 | 0.9 | 0.9 | 3.6 | 0.6 | 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 | 1.0 | 1.0 | 4.1 | 0.6 | 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 | 1.8 | 1.9 | 7.1 | 1.0 | 0.4 |

| Summer | A | | B | | C | | D | | E | F | G | | | H | | Mean | SD | Max | Median | Min |
|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|----------|---------|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|
| | 2023年9月 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2F | 3F | 1F | 3F | 2F | 1F | 4F | 2F | 2F | 2F | 1F Café | 1F Offic | 3F Café | 4F | 6F | | | | | |
| 0.3um | 0.5 | 0.3 | 1.0 | 1.0 | 0.2 | 2.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 2.7 | 0.4 | 0.1 |
| 0.5um | 0.3 | 0.2 | 1.2 | 0.9 | 0.1 | 0.5 | 0.6 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | |
| 1.0um | 0.2 | 0.1 | 2.0 | 0.8 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | |
| 3.0um | 0.2 | 0.2 | 2.8 | 0.8 | 0.4 | 1.2 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.2 | 0.6 | 0.7 | 2.8 | 0.3 | 0.1 | |
| 5.0um | 0.2 | 0.3 | 1.8 | 0.6 | 0.5 | 2.7 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 1.8 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 2.7 | 0.5 | 0.1 | |
| 10.0um | 0.4 | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 2.7 | 1.5 | 0.5 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 1.3 | 4.7 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 4.7 | 0.6 | 0.2 | |

| Winter | D | | E | F | G | | | H | | I | | | J | Mean | SD | Max | Median | Min |
|--------|---------|-----|-----|-----|---------|----------|---------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|
| | 2024年2月 | | | | | | | | | | 2024年3月 | | | | | | | |
| | 1F | 4F | 2F | 2F | 1F Café | 1F Offic | 3F Café | 4F | 6F | 2F Offic | 2F Kanri | 5F | | | | | | |
| 0.3um | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1.3 | 0.4 | 0.2 | 1.1 | 0.8 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 1.3 | 0.2 | 0.1 | |
| 0.5um | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1.4 | 0.4 | 0.3 | 1.3 | 0.8 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 1.4 | 0.3 | 0.1 | |
| 1.0um | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 1.4 | 0.9 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 1.4 | 0.3 | 0.0 | |
| 3.0um | 0.4 | 0.8 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1.2 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 1.2 | 0.4 | 0.1 | |
| 5.0um | 1.1 | 2.0 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.8 | 1.3 | 1.1 | 0.7 | 2.6 | 1.1 | 0.9 | 2.8 | 0.9 | 0.1 | |
| 10.0um | 6.1 | 9.0 | 0.8 | 0.7 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 3.5 | 2.9 | 4.6 | 4.0 | 7.0 | 3.3 | 2.9 | 9.0 | 3.2 | 0.3 | |

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 20 分間連続で行う事を原則とし、濃度が安定する計測開始 8 分後から終了 2 分前までの 10 分間のデータを平均して用いた。但し、現場の状況によっては 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物件も存在する。

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、また表 2-5-1 に立入測定による CO 及び CO₂ 濃度の集計を示す。

C.1. 一酸化炭素濃度

2022 年度実測における外気濃度は 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。

2023 年度実測では、外気濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 0.12 ± 0.01 ppm、Model-2100 (Kanomax 社) が 0.10 ± 0.00 ppm、冬期はそれぞれ 0.12 ± 0.01 ppm、 0.10 ± 0.00 ppm であった。

室内 CO 濃度はいずれも管理基準値に比べると低い水準であり、季節による違いも殆どみられなかった。

また、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 2022 年度が 0.026 ± 0.015 ppm、2023 年度計測では 0.032 ± 0.049 ppm であった。

特に 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

2022 年度調査における外気濃度は 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。

2023 年度調査における外気濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 378 ± 14 ppm、Model-2100 (Kanomax 社) が 447 ± 43 ppm、冬期はそれぞれ 438 ± 12 ppm、 437 ± 5 ppm であった。室内 CO₂ 濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 665 ± 145 ppm、Model 2100 (Kanomax 社) は 710 ± 141 ppm であった。冬期はそれぞれ 752 ± 107 ppm、 777 ± 104 ppm であった。

平均値、最大値共に管理基準 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が、最大値としては 989ppm が観察され、管理基準に近いところで制御されている物件もあった。室内濃度の最小値

として 389ppm が観察された室があったが、在室者が殆どいない状況であった。

機器による測定値の差は 2022 年度が平均 75 ±40ppm、濃度差の範囲は 4～141ppm と、IES-5000 より Model 2100 が全体的に低い濃度を示していた。2023 年度は 38 ±24ppm、濃度差の範囲は 0～87ppm と、IES-5000 より Model 2100 が全体的に高い濃度を示していた。

初年度と 2 年目で機器測定値の傾向が逆になっており、機器特性というよりは校正によって差が生じたと考えられる。

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った。

CO₂ に関しては 2022 年度は外気濃度平均 470ppm 程度に対して、室内平均 630～710ppm 程度であった。2023 年度は外気濃度平均 400ppm 程度に対して、室内平均は 389～989ppm 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。2022 年度は新型コロナウイルス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が、2023 年度は 5 類に移行したことからコロナ前の室内状況に戻りつつあることから室内 CO₂ 濃度も徐々に上昇していると考えられる。

機器による測定値の差は、CO は 2022 年度 0.026 ±0.015ppm、2023 年度測定では 0.032 ±0.049ppm であった。

CO₂ 濃度平均は 2022 年度 75 ±40ppm、濃度差の範囲は 4～141ppm、2023 年度は 38 ±24ppm、濃度差範囲は 0～87ppm であった。

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/seikatsu-eisei10/> (accessed on 2024.3.20)

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
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

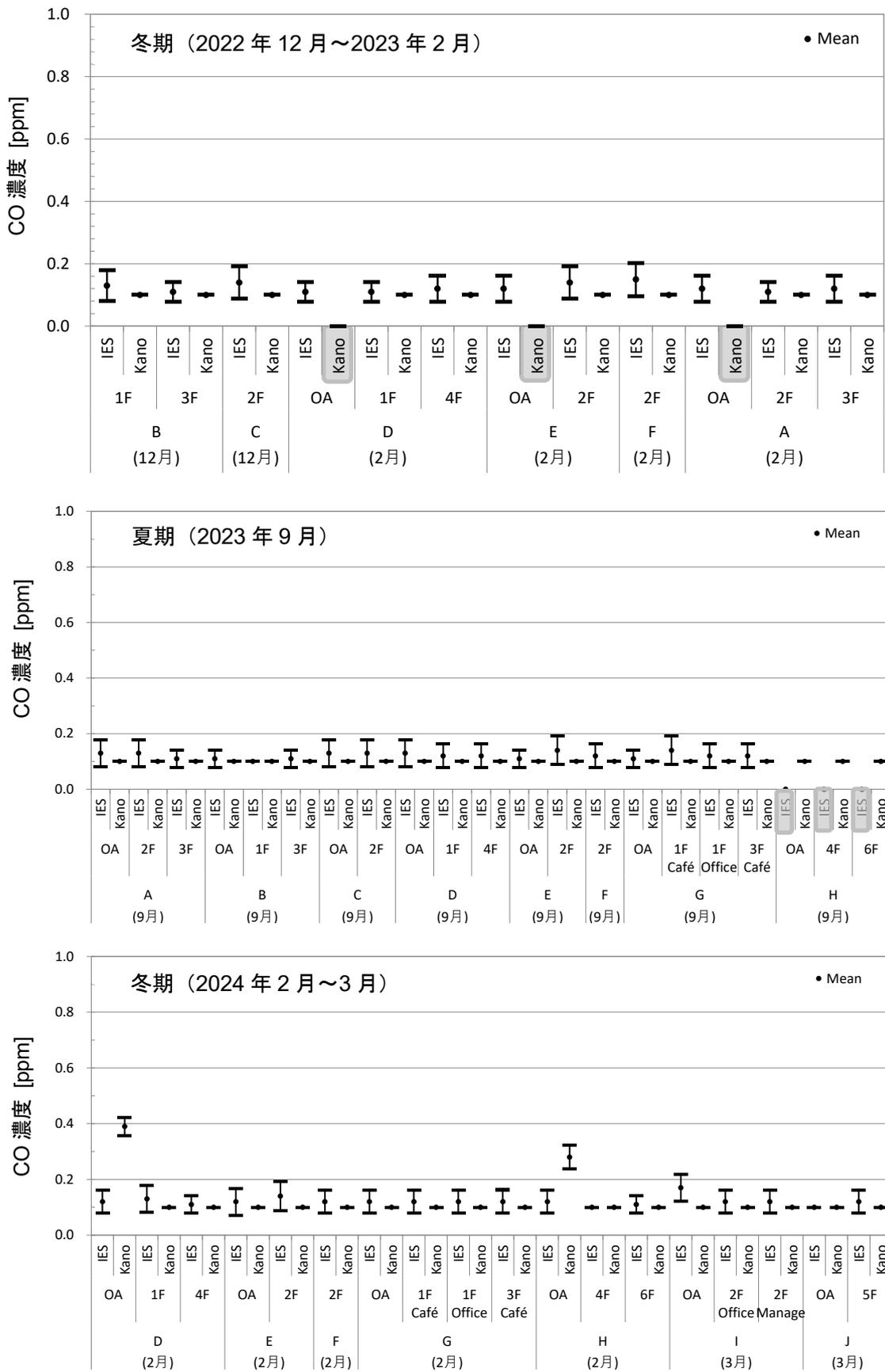


図 2-5-1 立入測定による CO 濃度測定結果
「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

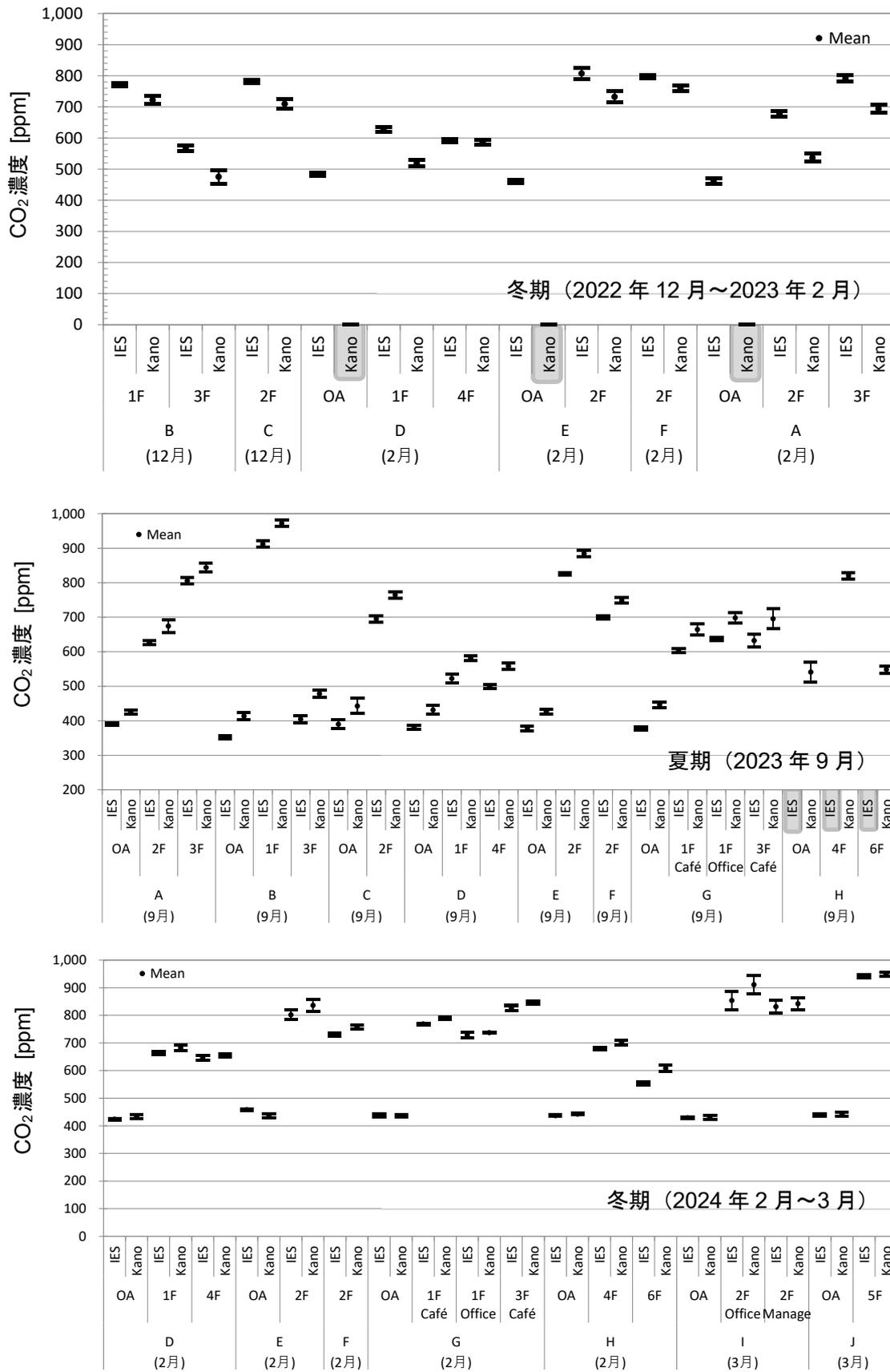


図 2-5-2 立入測定による CO₂濃度測定結果
「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

表 2-5-1 立入測定による CO 及び CO₂ 濃度の集計
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

| | | 2022年度 Winter | | | | 2023年度 Summer | | | | 2023年度 Winter | | | |
|--------------------------|------|---------------|------|------|----|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|
| | | IES | | Kano | | IES | | Kano | | IES | | Kano | |
| | | IA | OA | IA | OA | IA | OA | IA | OA | IA | OA | IA | OA |
| CO [ppm] | Mean | 0.13 | 0.12 | 0.10 | / | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.18 |
| | SD | 0.02 | 0.01 | 0.00 | / | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.13 |
| | Max | / | / | / | / | 0.20 | 0.20 | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.10 | 0.40 |
| | Min | / | / | / | / | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| CO ₂ [ppm] | Mean | 712 | 469 | 637 | / | 655 | 378 | 710 | 447 | 752 | 438 | 777 | 437 |
| | SD | 97 | 14 | 108 | / | 145 | 14 | 141 | 43 | 107 | 12 | 104 | 5 |
| | Max | / | / | / | / | 923 | 413 | 989 | 587 | 952 | 463 | 959 | 453 |
| | Min | / | / | / | / | 389 | 347 | 463 | 401 | 545 | 421 | 591 | 419 |

2-6 エンドトキシン

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

対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 2-1-1 及び表 2-1-2 に示している。

2022 年度はオフィスビル 6 施設 (室内 17 ヶ所+外気 6) を対象にした。2022 年 10 月、2022 年 12 月~2023 年 2 月に測定を行った。

2023 年度の夏期測定はオフィスビル 8 施設 (室内 20 ヶ所+外気 7)、冬期はオフィスビル 7 施設 (室内 17 ヶ所+外気 6) であった。夏期測定は 2023 年 8~9 月、冬期測定は 2024 年 2 月~3 月に行った。

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 ET フリーの 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。リムルステスト (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。

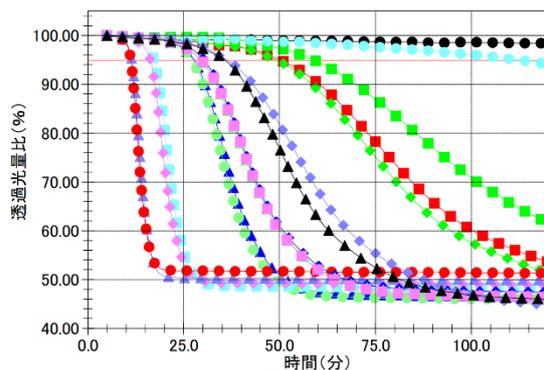


図 2-6-2 試料分析のタイムコース

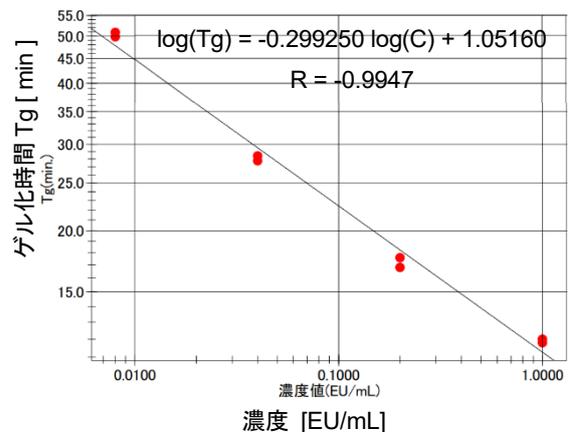


図 2-6-3 検量線例 (4 点、5 倍稀釈)

図 2-6-2 はカイネティック比濁法のタイムコースであるが、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. 研究結果

図 2-6-4 に空气中 ET 濃度の測定結果を、表 2-6-1 に集計表を示す。

2022 年度測定における外気濃度 (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。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。

2023 年度測定における外気濃度 (OA) は半数程度が 1.0EU/m³ 以下であったが、残り半数程度は最大で 6 EU/m³ 超えが観察され、全体平均は夏期 1.8±2.1EU/m³ と、冬期 2.1±2.6EU/m³ とやや高くなっている。

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。

外気濃度は土壌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)}。今回の測定でも、2023 年度夏期 D 及び G は湿度が高く、冬期 H 及び I は雨の日であった。

また、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)}。

IO 比 (室内濃度/外気濃度) は 2022 年度で 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。

2023 年度は夏期 IO 比 2.2±2.9、冬期 11.7±16.8EU/m³ と冬期が大きくなっている。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になるか、冬期に特に IO 比が高くなったのは外気濃度が極端に低く計測されている物件では相対的に IO 比が高く算定されたためである。

D. 結論

室内 ET 濃度は検出限界以下~10 EU/m³ 超えまで幅広く分布し、夏期より冬期の室内濃度平均がやや高くなっていた。

平均濃度としても既往研究の 1.0 EU/m³ 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。また、外気の湿度が高く、雨天の日は外気 ET 濃度が高い傾向が見られた。

IO 比 (室内濃度/外気濃度) から外気は低い室内濃度が高い (I/O>1) 場合は、加湿器の使用、人間からの発生、水回りの汚染など室内発生源 (汚染源) 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

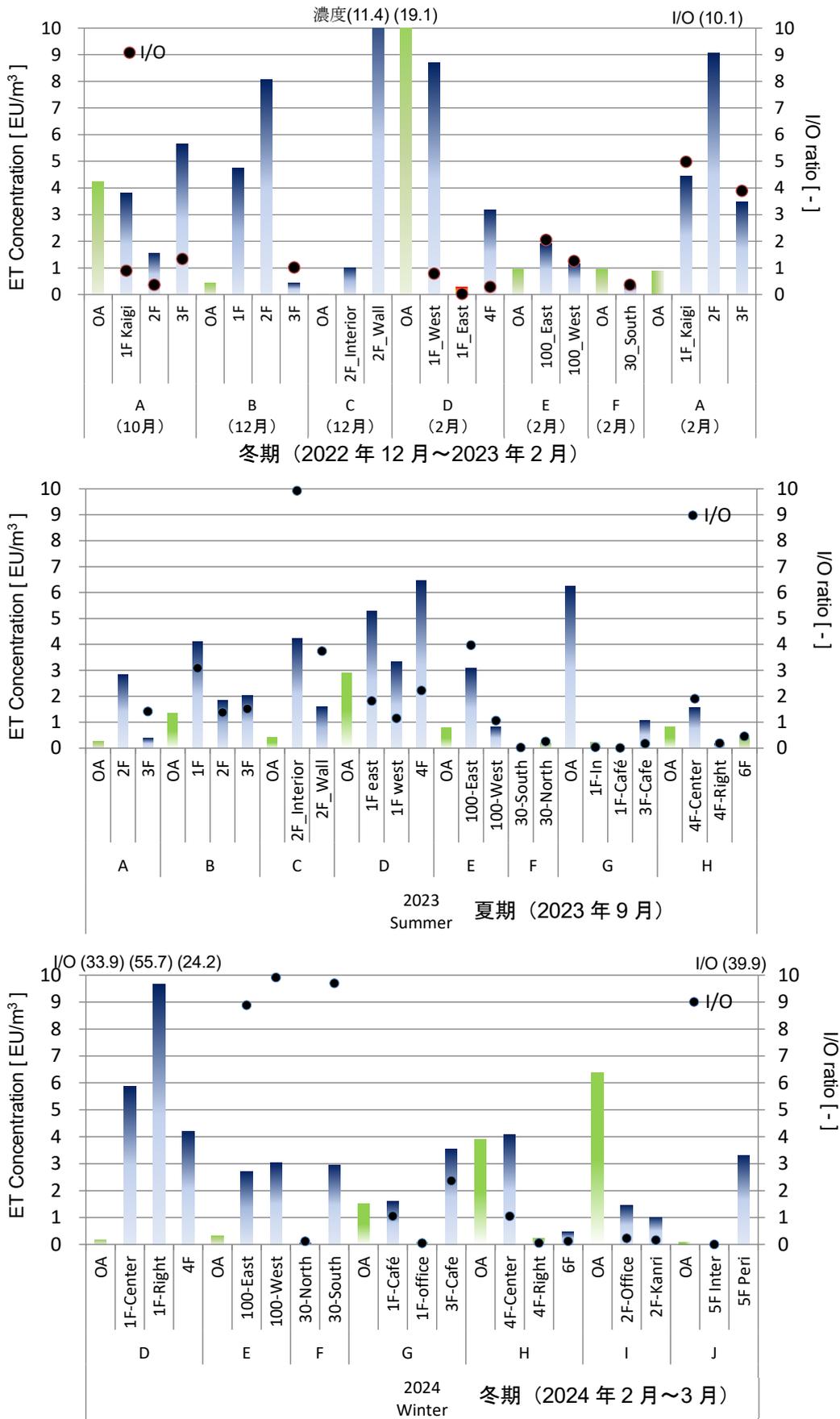


図 2-6-4 ET 濃度測定結果

表 2-6-1 ET 濃度測定結果の集計

| | 2022年度 Winter | | | 2023年度 Summer | | | 2023年度 Winter | | |
|--------|---------------|------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | OA | IA | I/O | OA | IA | I/O | OA | IA | I/O |
| Mean | 2.6 | 4.1 | 3.9 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.1 | 2.8 | 11.7 |
| SD | 4.0 | 3.5 | 5.5 | 2.1 | 1.9 | 2.9 | 2.6 | 2.4 | 16.8 |
| Max | 11.1 | 11.6 | 19.1 | 6.2 | 6.5 | 10.7 | 6.4 | 9.7 | 55.7 |
| Median | 0.9 | 3.5 | 1.3 | 0.8 | 1.6 | 1.4 | 0.9 | 2.8 | 1.7 |
| Min | < 0.1 | 0.3 | < 0.1 | 0.3 | < 0.1 | < 0.1 | 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |

2-7 ASHRAE 55-2023 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、まず米国暖房冷凍空調学会の温熱環境基準である ASHRAE 55 の最新版、2023 年版の文献調査を行った。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、ASHRAE55-2023 に準拠して室内温熱環境評価を行った。季節による室内温熱環境特性の違いを把握するためのセンサ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

まず ASHRAE 55 基準の最新版である ASHRAE 55-2023 の文献調査を行い、2020 年版からの温熱環境評価方法の変更点を整理した。

次に、同測定基準に基づき、北海道、埼玉県、神奈川県、千葉県にて計 7 件の建物について、2022 年度秋季から 2023 年度冬季にかけて調査を行った。神奈川県、千葉県の 3 件の建物については冬季のみ調査を行った。測定対象建物を表 2-7-1 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、冬季、夏季に調査したが、建物 B、C、D については冬季と夏季の調査であった。建物 E、F、G は冬季測定のみであったが、

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。

- ・ 部屋または空間の中央かつ座席近傍となる点 (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 2-7-1～図 2-7-6 に示す。また、建物ごとの測定点数と調査日を表 2-7-2 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

表 2-7-1 測定対象建物概要

| | 立地 | 竣工年/月 | 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 |
|---|---------|------------------|--------|------------------------|------------|-----|-----------------------|--------|------------------|--------|
| A | 埼玉県三芳町 | 1992/3/1 | RC | 1 551.0 | 3 / 0 | 2 | 354 | 2.7 | 外気処理エアコン+水熱源PAC | 床 |
| | | | | | | 3 | 354 | 2.7 | | |
| B | 北海道旭川市 | 2002/4/1 | S+RC | 8 356.0 | 4 / 1 | 1 | 92.9 | 3 | 放射冷温水パネル+個別PAC | 天井 |
| | | | | | | 4 | 164.8 | 2.8 | | |
| C | 北海道札幌市 | 2021/6/1 | RC | 1 113.2 | 2 / 0 | 2 | | | 床染出し空調+床放射 | 床 |
| D | 埼玉県和光市 | 2002/4/1 | 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 | 2006/11/1 | S一部RC | 17 863.5 | 7 / 0 | 2 | 1555.2 | 2.8 | 変風量単一ダクト方式 | 天井 |
| 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 |
| G | 千葉県印西市 | 1993竣工 2019改修 | RC+SRC | 39 150.9 | 4/0 | 1 | 1195 | 2.8 | 定風量単一ダクト方式 | 床 |
| | | | | | | 3 | 492 | 2.8 | 放射冷温水パネル+FCU | 天井 |

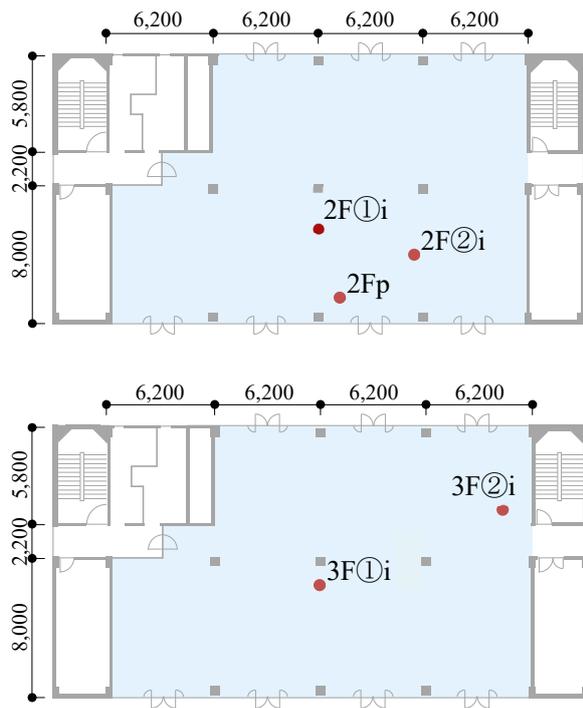


図 2-7-1 Aビル測定点 (上:2階、下:3階)

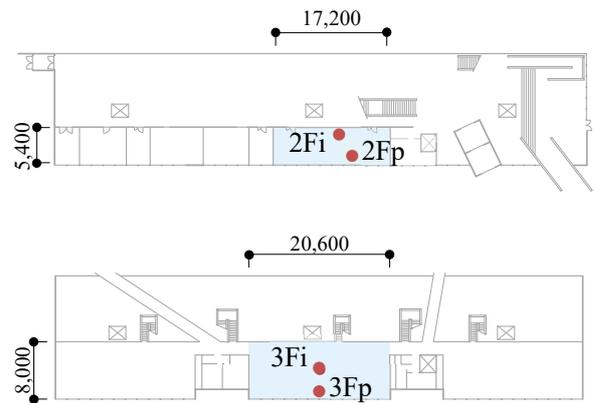


図 2-7-2 Bビル測定点 (上:2階、下:3階)

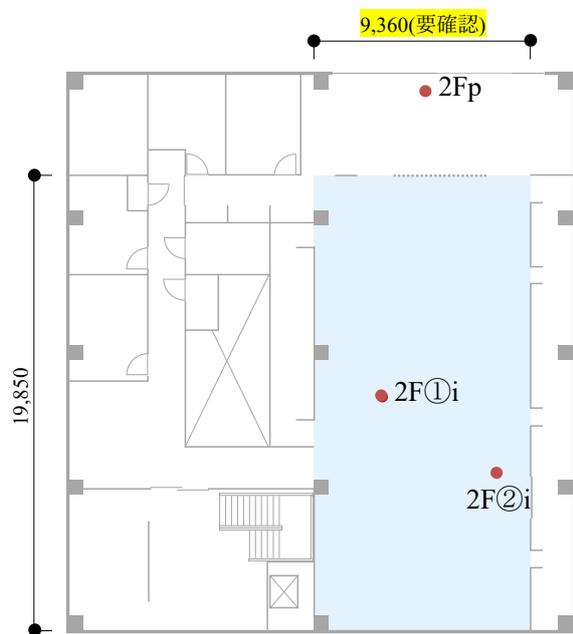


図 2-7-3 Cビル測定点 (2階)

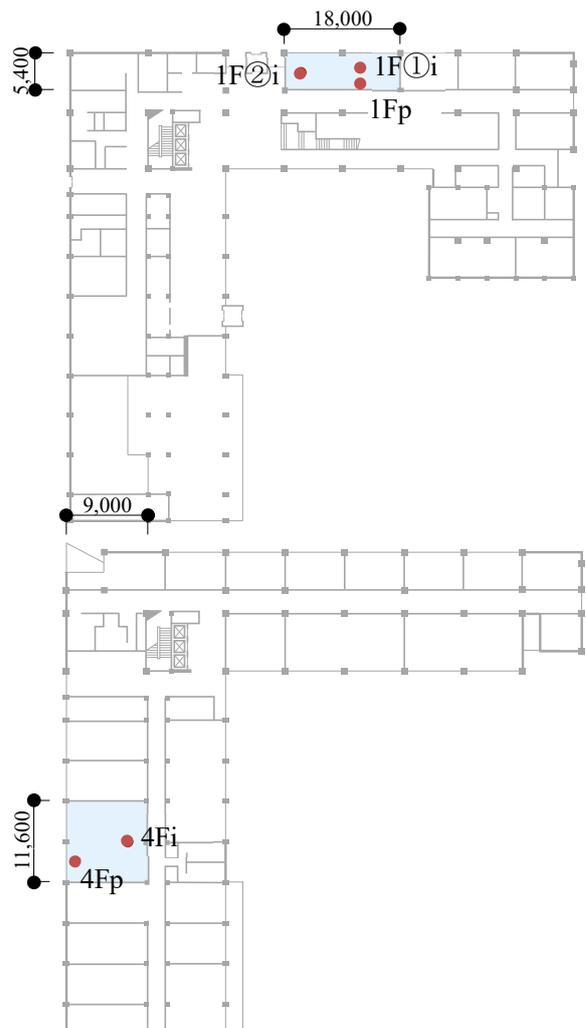


図 2-7-4 Dビル測定点 (上:1階、下:4階)

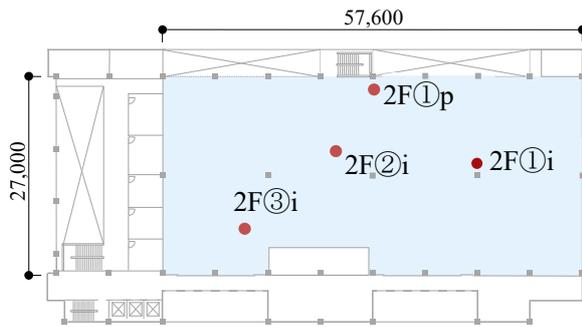


図 2-7-5 E ビル 2 階平面概要図

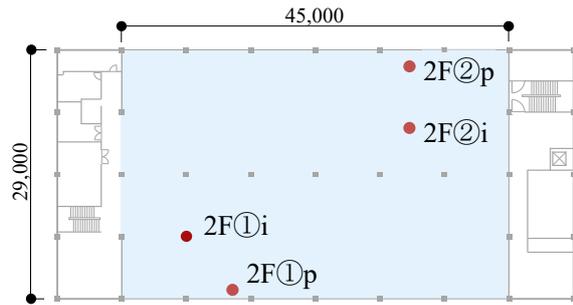


図 2-7-6 F ビル 2 階平面概要図

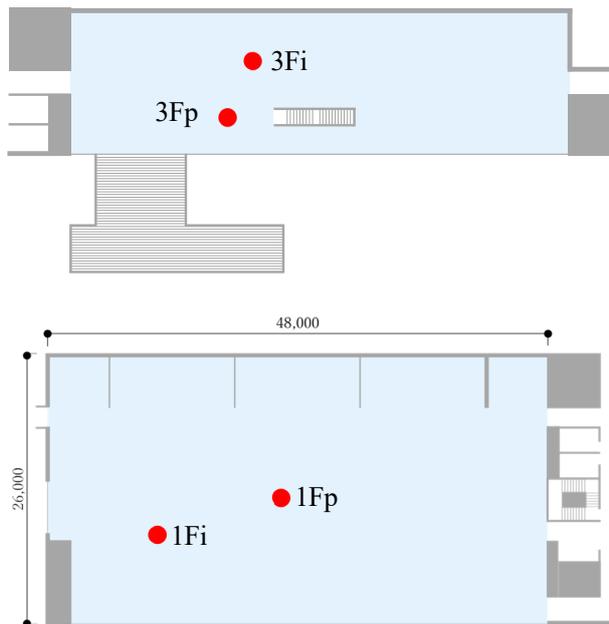


図 2-7-7 G ビル測定点（上:3 階、下:1 階）

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

表 2-7-2 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 |
| | | | 2023/2/17 |
| | 3F | 3 | 2023/8/31 |
| B | 1F | 2 | 2022/12/8 |
| | 3F | 2 | 2023/8/23 |
| C | 2F | 3 | 2022/12/9 |
| D | 1F | 3 | 2023/2/22 |
| | | | 2023/8/31 |
| | 4F | 2 | 2024/2/22 |
| E | 2F | 4 | 2023/2/16 |
| F | 2F | 4 | 2023/2/16 |
| G | 1F | 2 | 2024/2/29 |
| | 3F | 2 | |

称放射温度による不均一環境の局所不快を評価できる。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。

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

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 2-7-8 に高さ 1.1m における空気温度を示す。3 季節の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 2-7-9 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%、夏季は 43%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 2-7-10 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 2-7-11 に秋季の、図 2-7-12 に冬季の、図 2-7-13 に夏季の 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°C 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。夏季は床吹き出し空調方式のために下方向の放射温度が低くなっていた。

図 2-7-14 に空気温度の上下温度差を示す。秋季は 3 階で足下 (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°C であった。冬季は同じ測定点において 3.7°C の差が見られ、ASHRAR 55 基準の推奨値の 3°C 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下に流れ込んでいたためと考えられる。夏季は 3 階ペリメータと 3 階インテリア 3F②i で 3°C を超える温度差が見られた。

図 2-7-15 に相対湿度の垂直分布を示す。秋季および夏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 ビルの測定結果

図 2-7-16 に高さ 1.1m における空気温度を示す。冬季はすべての測定点で衛生管理基準を満たしており、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。夏季は上限の 28°C を超える測定点が 4 点中 3 点見られた。夏季測定日は記録的猛暑であり、特にアトリウムと仕切られずに連続していた 3 階で約 32°C に達していた。

図 2-7-17 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季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。夏季は全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-18 に高さ 1.1m における気流速度を示す。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 2-7-19 に冬季、図 2-7-20 に夏季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。B ビルの冬季の 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下の方が高かった。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。夏季はペリメータの窓方向が高くなっており、下方向が低くなる傾向が見られた。

図 2-7-21 に空気温度の上下温度差を示す。冬季に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 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。夏季も 1 階ペリメータの高さ 0.1m を除き、垂直方向に均質な温熱環境が形成されていた。

図 2-7-22 に相対湿度の垂直分布を示す。夏季の 1 階ペリメータの高さ 0.1m を除き、建物で高さ方向の差は 5% 未満であった。

C.3. C ビルの測定結果

図 2-7-23 に高さ 1.1m における空気温度を示す。いずれの季節もすべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-24 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季はいずれの測定点でも概ね管理基準値を満たしていた。

図 2-7-25 に高さ 1.1m における気流速度を示す。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 2-7-26 に冬季、図 2-7-27 に夏季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。冬季は場所により放射環境が大きく異なっており、いずれの測定点でも水平方向で約 3°C の差が見られた。一方、夏季はほぼ均一であったが、床吹き出し空調のため、下方向が低くなる傾向が見られた。

図 2-7-28 に空気温度の上下温度差を示す。冬季は上下方向の放射温度差の結果と同様に空気温度の垂直温度差は見られず、最大の差は 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。夏季は高さ 0.1m の空気温度が低く、2F①i では高さ 1.7m と比較して 3.3°C 低かった。

図 2-7-29 に相対湿度の垂直分布を示す。冬季、夏季ともに高さ方向の差は 5%未満であった。

C.4. D ビル 1F の測定結果

図 2-7-30 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。

図 2-7-31 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季は衛生管理基準値の 40%を若干下回っていたものの、夏季は基準値を満たしていた。

図 2-7-32 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 2-7-33 に 2022 年度冬季の、図 2-7-34 に 2023 年度夏季の、図 2-7-35 に 2023 年度冬季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。冬季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℃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。2022 年度と 2023 年度冬季の傾向は一致していたものの、空気温度の違いによる差が見られた。夏季は 6 方向でほぼ均一であった。

図 2-7-36 に空気温度の上下温度差を示す。2022 年度の冬季は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℃を越えており、特に高さ 0.1m の空気温度が約 20℃と低かった。最大の温度差は 1F ペリメータの 5.1℃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。一方、2023 年度冬季は高さ 1.7m の空気温度に差はないものの 0.1m、0.6m、1.1m の温度が全体的に上昇しており、0.1m と 1.7m の温度差が 3℃を超えたのは 1F ペリメータのみであった。両年度の測定日は 2/22 であったが、2023 年度は 2 月の最低気温の平均値が 2022 年度と比べて約 2℃高かった。2022 年度の方が RC 造建築物の蓄冷効果で冷えていたと考えられる。

夏季は高さ方向の温度差は見られなかった。

図 2-7-37 に相対湿度の垂直分布を示す。冬季

の 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.5. D ビル 4F の測定結果

図 2-7-38 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。

図 2-7-39 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季は衛生管理基準値の約 10%を下回っていたが、夏季は全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-40 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 2-7-41 に 2022 年度冬季、図 2-7-42 に 2023 年度夏季、図 2-7-43 に 2023 年度冬季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。いずれの季節も上下方向の放射温度差が最も大きく、2022 年度冬季のペリメータで最大 4.3℃の差が見られた。夏季は 2℃弱であった。

図 2-7-44 に空気温度の上下温度差を示す。2022 年度冬季は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℃を越えていた。2023 年度冬季は温度差が小さくなっており、1F 同様、建物の蓄冷効果の違いと考えられる。夏季は高さ 0.1m の温度が低くなる傾向が見られたものの、高さ 1.7m との差は 2℃未満であった。

図 2-7-45 に相対湿度の垂直分布を示す。いずれの季節でも全ての測定点で高さ方向の差は 5%未満であった。

C.6. E、F ビルの測定結果

図 2-7-46 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。

図 2-7-47 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの測定点も管理基準値の 40%を満たしていた。

図 2-7-48 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも 0.1m/s 以下であり、問題は見られなかった。

図 2-7-49 に E ビル、図 2-7-50 に F ビルの 6

面微小面放射温度の結果を示す。E ビルは下方向がやや低い傾向にあるものの、六角形のプロファイルを示しており、方向による放射温度の差は小さかった。F ビルは建物の長手方向である南北面に窓があり、測定時間帯は 16～17 時であった。そのため、六角形に近いプロファイルは見られたものの、場所による温度の違いが顕著であった。この差は、高さ 1.1m の空気温度でも確認できる。南面では西日の影響もあり、2F②p にて 6 方向の平均が 25.6℃と最も高く、特に上方向と南窓に面する後方向の微小面放射温度が高かった。

図 2-7-51 に空気温度の上下温度差を示す。E ビルでは吹き抜け階段の近傍である 2F①p の高さ 0.1m の温度が 20.6℃と低く、高さ 1.7m と 2.8℃の温度差が見られた。しかし、その他の測定点では 1.5℃未満であった。F ビルの高さ 0.1m と 1.7m の温度差は 1.5℃未満の小さかったものの、測定点間で約 0.5℃ごとの差が見られた。

図 2-7-52 に相対湿度の垂直分布を示す。E ビル、F ビル共に高さ方向の差は 5%未満であった。

C.7. G ビルの測定結果

図 2-7-53 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。

図 2-7-54 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季であったが、全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-55 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも 0.15 m/s 未満であり、問題は見られなかった。

図 2-7-56 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。3F のペリメータはガラスに面した前方向が低く、最も高かった上方向との差が 2.0℃であった。1F のペリメータはアトリウムのガラス面の下であったが、極端に低い放射温度は見られなかった。

図 2-7-57 に空気温度の上下温度差を示す。すべての冬季測定点で高さ 0.1m と 1.7m の上下温度差が 1℃以下であった。

図 2-7-58 に相対湿度の垂直分布を示す。いず

れの測定点も高さ方向の差は 5%未満であった。

D. まとめ

本節では、ASHRAE55-2023 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 センサの設置位置や測定条件の課題を探った。

ASHRAE 55 基準は 2023 年に改定版が公開されたが、2020 年版からの変更点は「居住者による環境調節レベル」が追加された点であり、その他の変更点はなかった。パーソナル空調など、個人による環境調節を前提としたシステムでは、2023 年度版に基づいた評価の検討が必要である。

同測定基準に基づき、北海道、埼玉県、神奈川県、千葉県にて計 7 件の建物について、2022 年度秋季から 2023 年度冬季にかけて調査を行った。神奈川県、千葉県の 3 件の建物については冬季のみ調査を行った。測定対象室では、最低 2 点の測定を行った。

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下の空気温度が低くなることもある。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。一方で、夏季にも冷房方式やペリメータの影響により上下方向の空気温度や放射温度に大きな差が生じる測定点も見られ。建物によっては夏季にも問題となる場合があることがわかった。室内温熱環境に影響を与えるのは空調条件だけでなく、建築外皮の断熱性能、遮熱性能、熱容量の影響を無視できない。衛生管理基準では建築物の熱性能に関して考慮することが求められていないものの、空気環境の管理には建物の特性を把握しておく必要がある。

いずれの季節でも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ている可能性があり、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 75cm 以上 150cm 以下の位置にセンサを設置すれば良い。

しかし、ASHRAE 55 基準に基づいた温熱環境評価を行うことで、建築物および空調方式の特性を踏まえた温熱環境の特徴を知ることができる。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

ASHRAE: ASHRAE Standard 55-2023, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2023

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

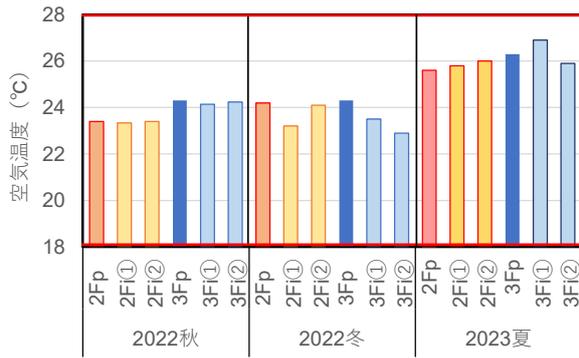


図 2-7-8 A ビル空気温度 (高さ 1.1m)

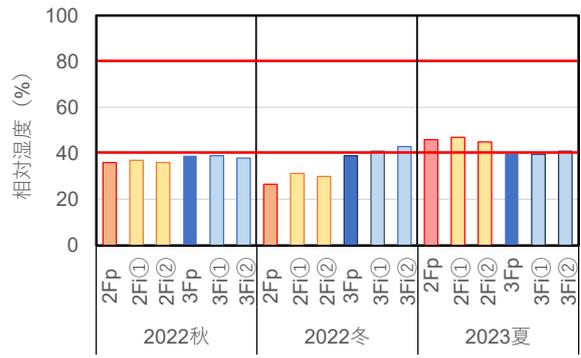


図 2-7-9 A ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

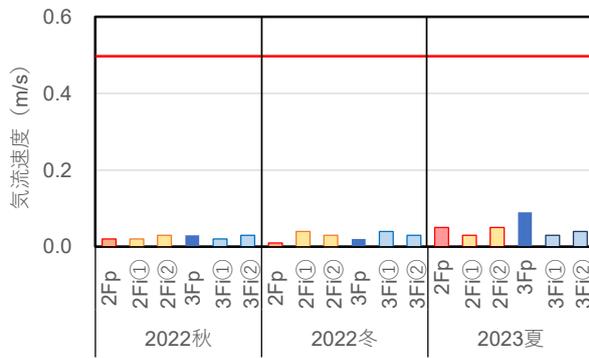


図 2-7-10 A ビル気流速度 (高さ 1.1m)

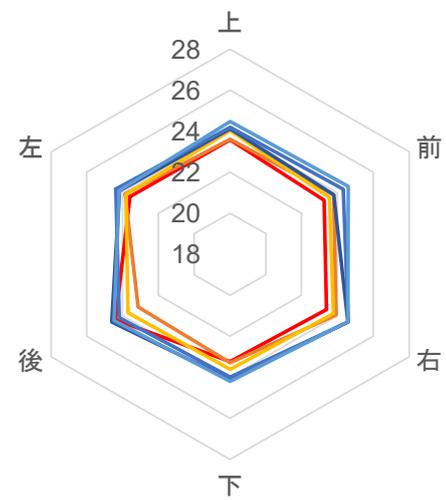


図 2-7-11 A ビル微小面放射温度(2022 秋季)

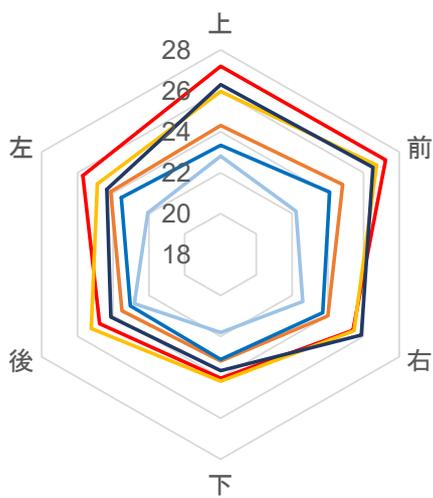


図 2-7-12 A ビル微小面放射温度(2022 冬季)

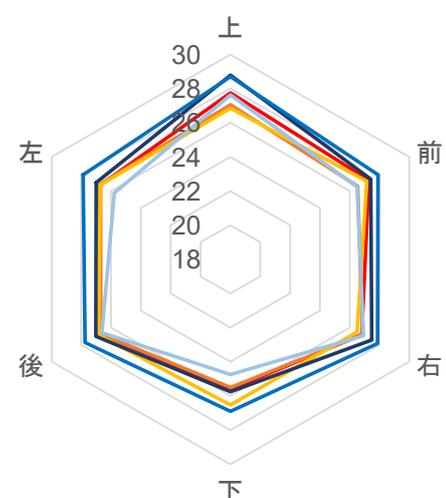


図 2-7-13 A ビル微小面放射温度(2023 夏季)

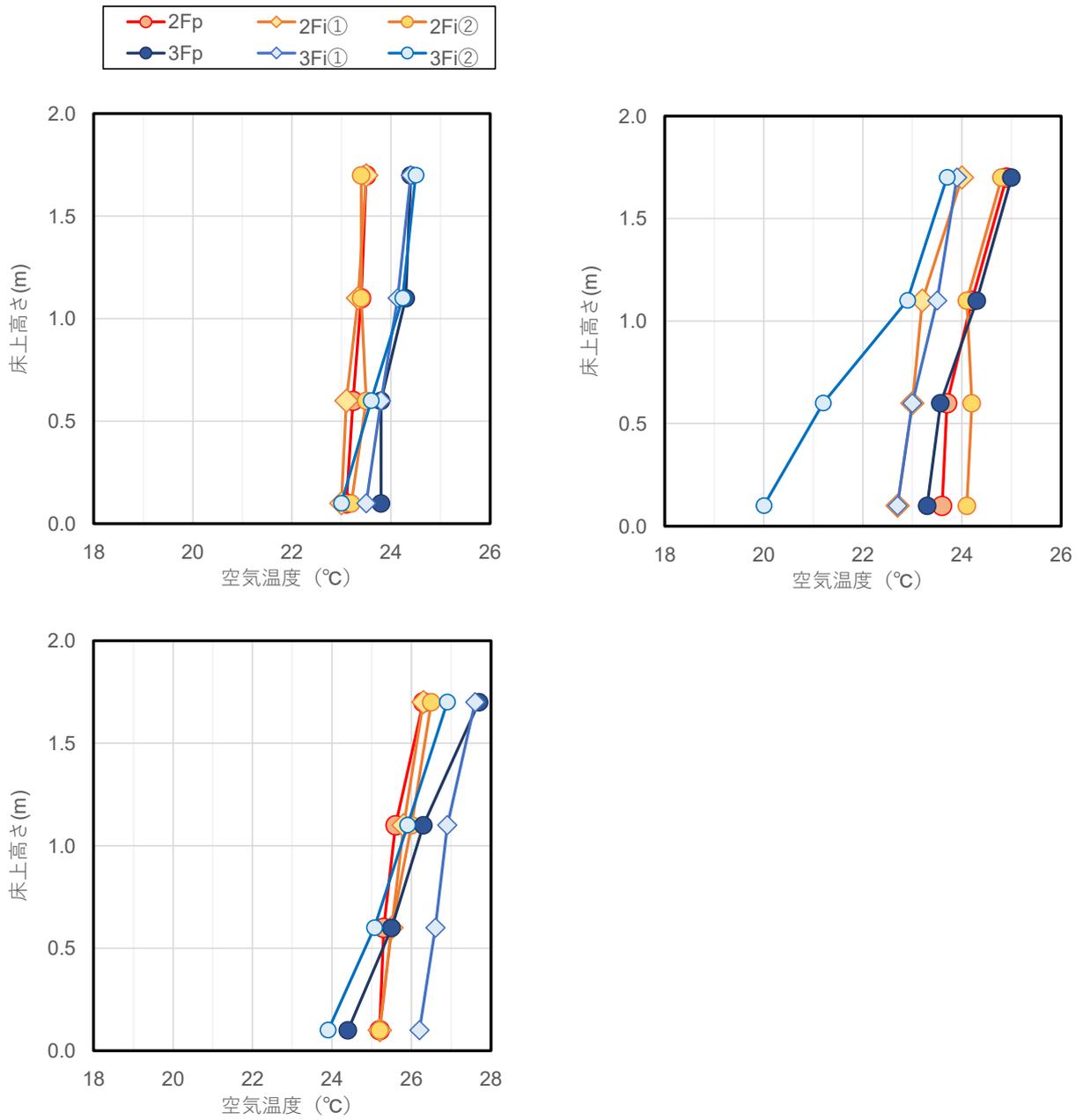


図 2-7-14 A ビル 上下温度差 (左上 : 2022 秋季、右上 : 2022 冬季、左下 : 2023 夏季)

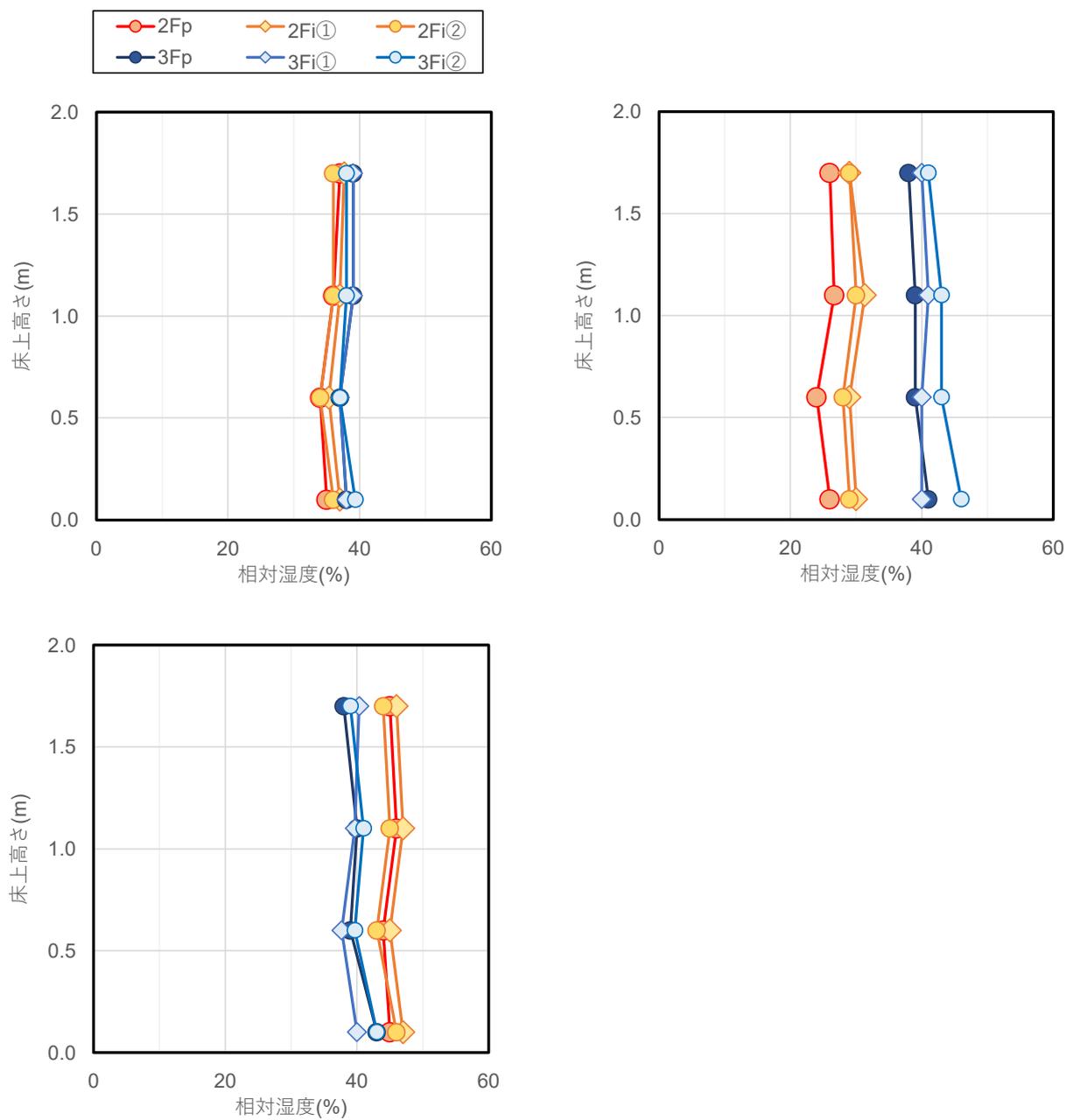


图 2-7-15 Aビル 上下湿度差 (左: 2022 秋季、右: 2022 冬季、左下: 2023 夏季)

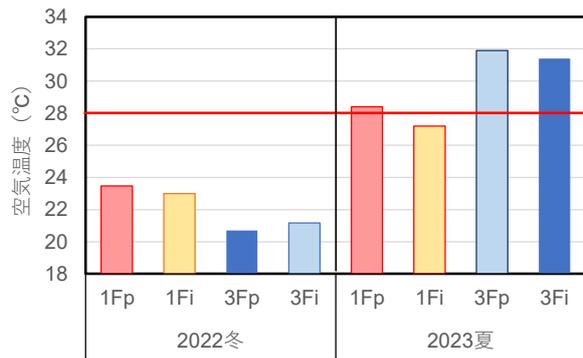


図 2-7-16 B ビル空気温度 (高さ 1.1m)

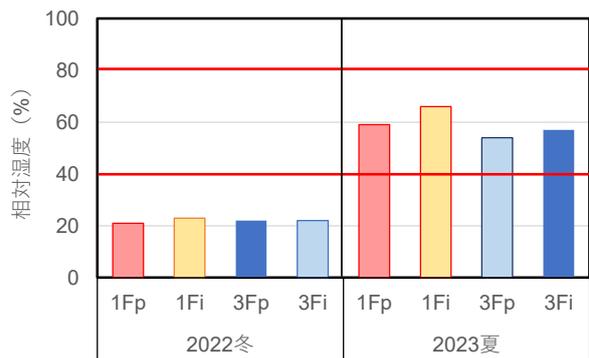


図 2-7-17 B ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

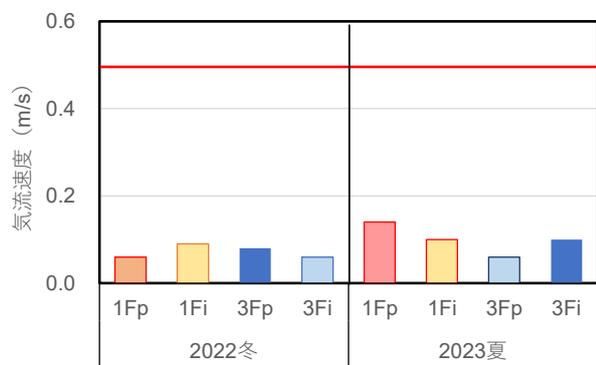


図 2-7-18 B ビル気流速度 (高さ 1.1m)

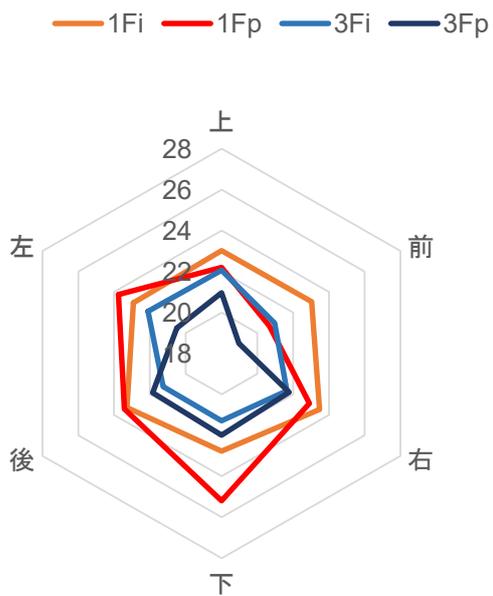


図 2-7-19 B ビル微小面放射温度(2022 冬季)

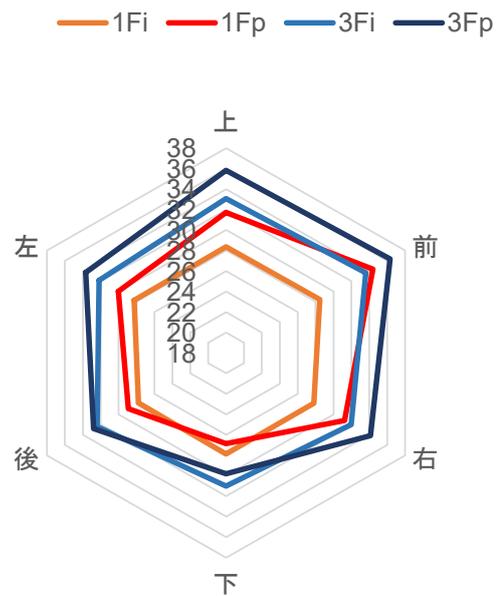


図 2-7-20 B ビル微小面放射温度(2023 夏季)

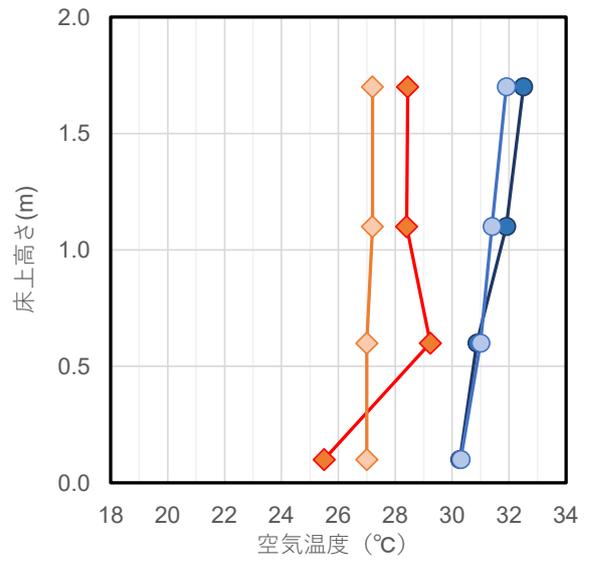
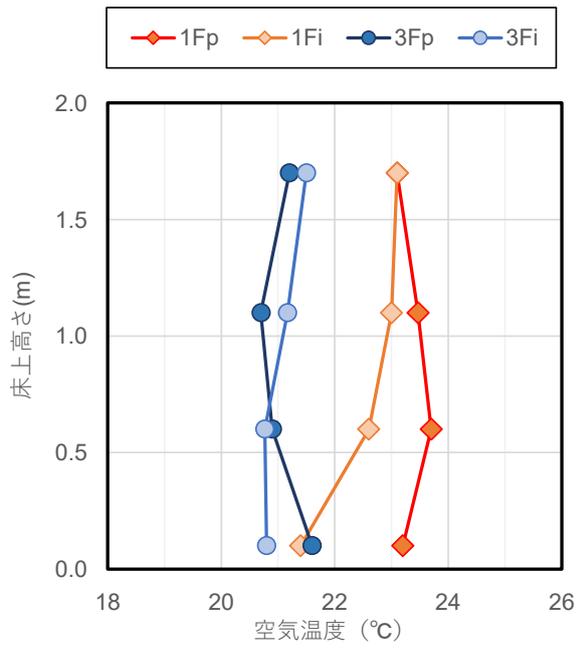


図 2-7-21 B ビル上下温度差 (左 : 2022 冬季、右 : 2023 夏季)

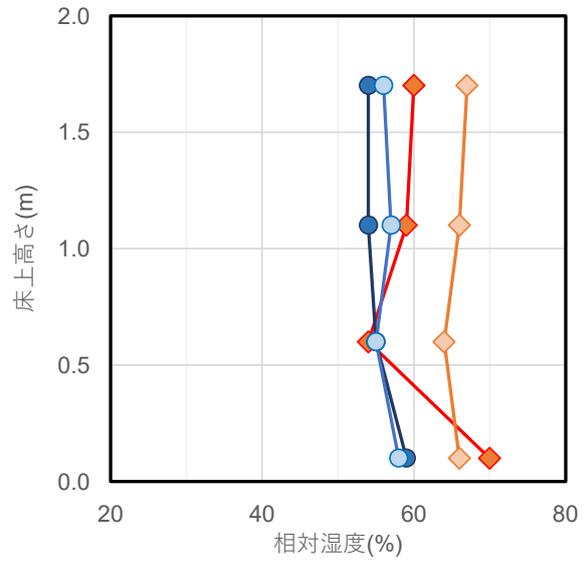
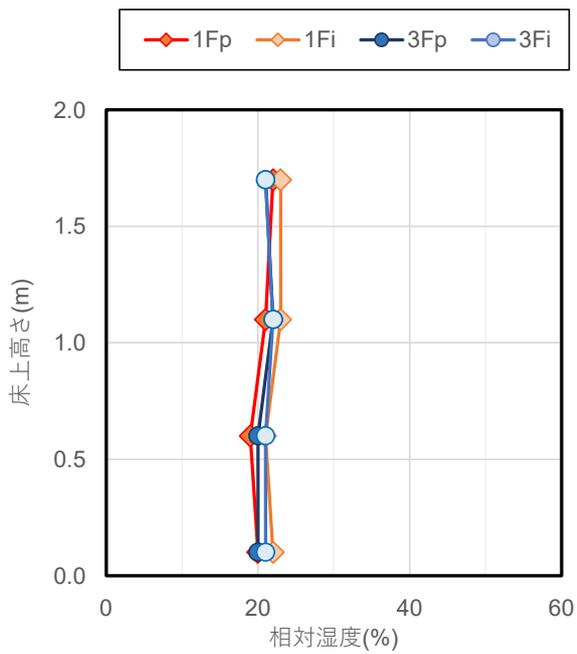


図 2-7-22 B ビル上下湿度差 (左 : 2022 冬季、右 : 2023 夏季)

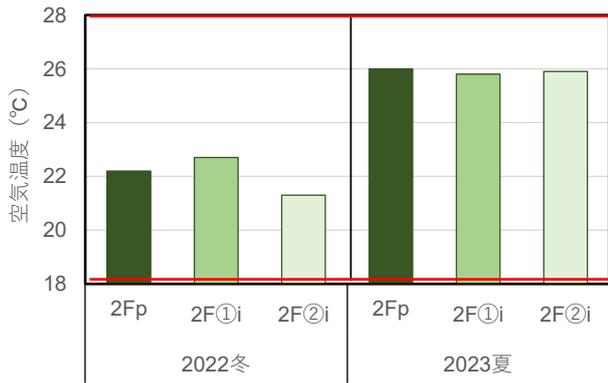


図 2-7-23 Cビル空気温度 (高さ 1.1m)

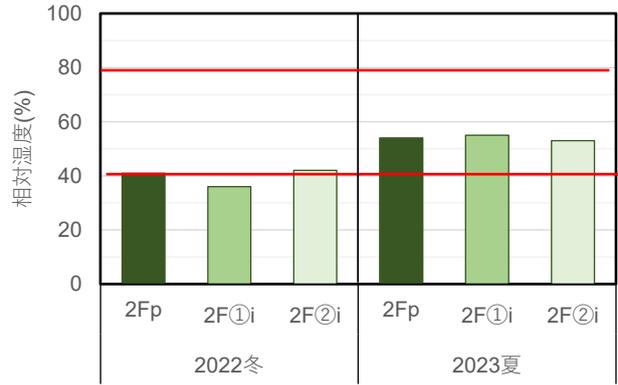


図 2-7-24 Cビル相対湿度 (高さ 1.1m)

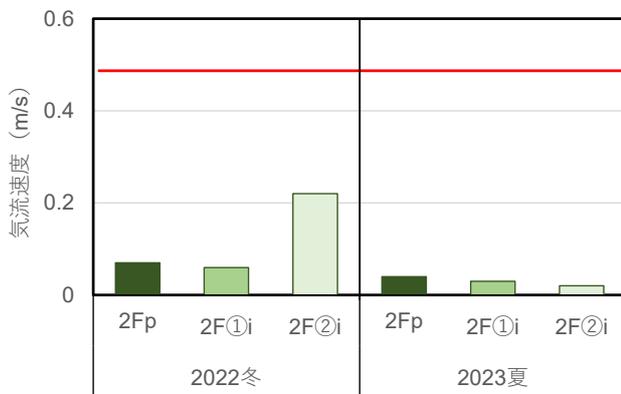


図 2-7-25 Cビル気流速度 (高さ 1.1m)

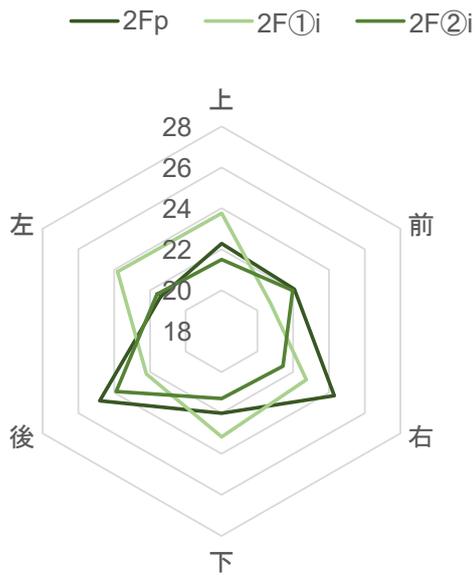


図 2-7-26 Cビル微小面放射温度(2022 冬季)

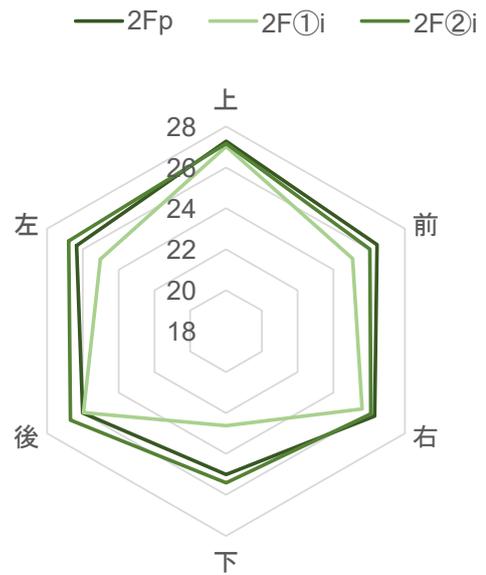


図 2-7-27 Cビル微小面放射温度(2023 夏季)

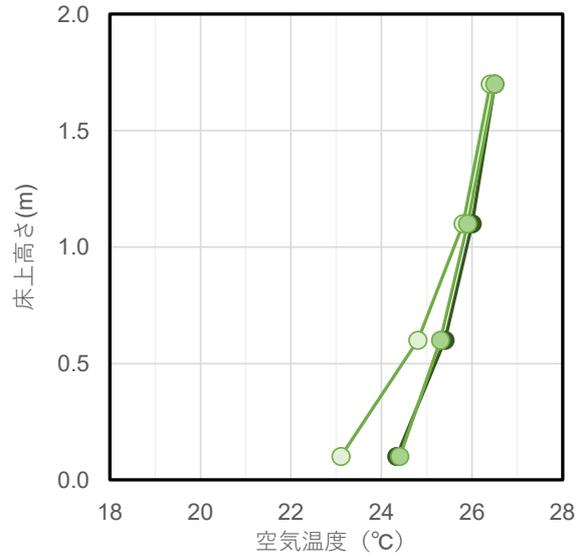
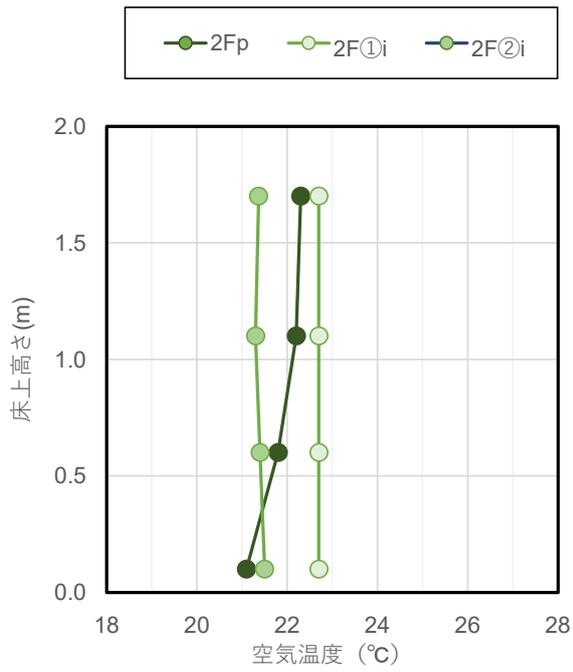


図 2-7-28 C ビル上下温度差 (左 : 2022 冬季、右 : 2023 夏季)

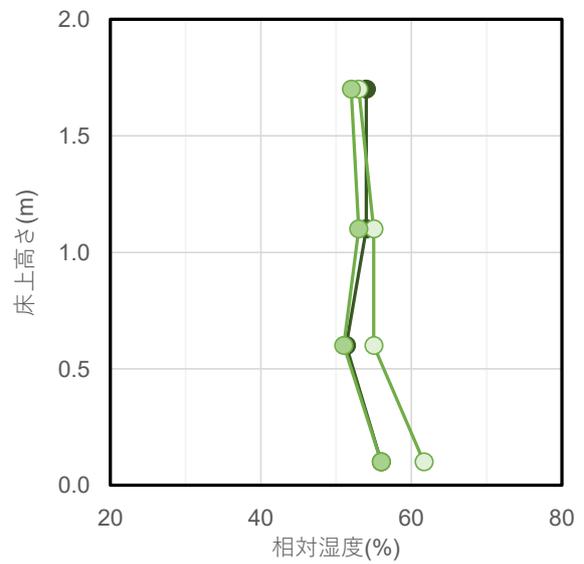
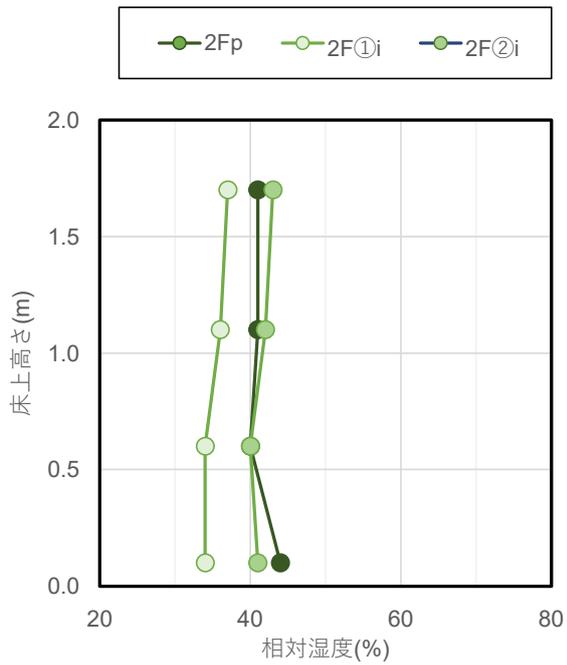


図 2-7-29 C ビル上下湿度差 (左 : 2022 冬季、右 : 2023 夏季)

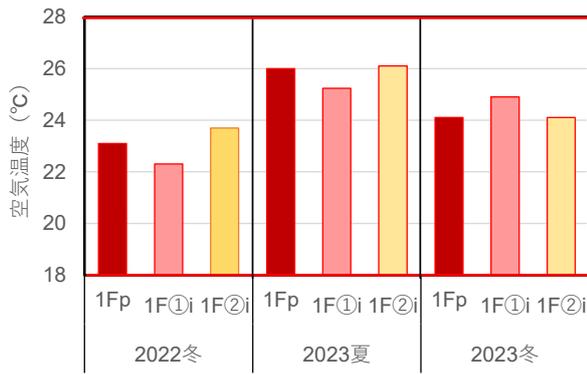


図 2-7-30 D ビル 1F 空気温度 (高さ 1.1m)

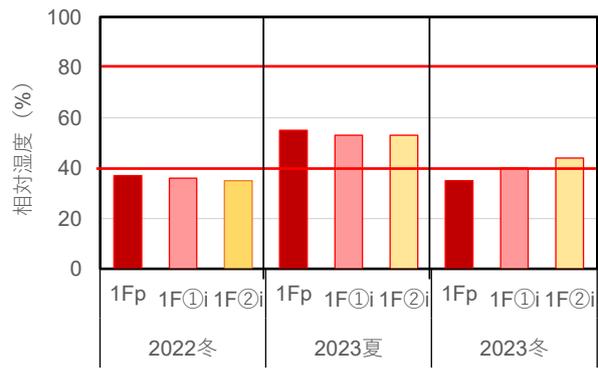


図 2-7-31 D ビル 1F 相対湿度 (高さ 1.1m)

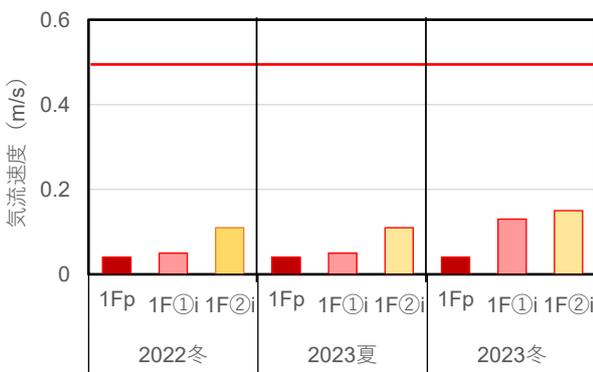


図 2-7-32 D ビル 1F 気流速度 (高さ 1.1m)

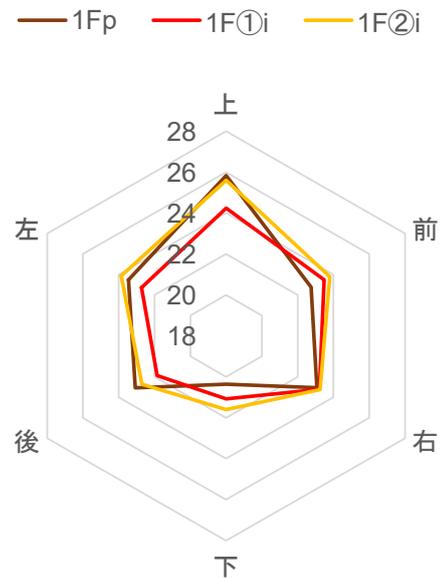


図 2-7-33 D ビル 1F 微小面放射温度(2022 冬季)

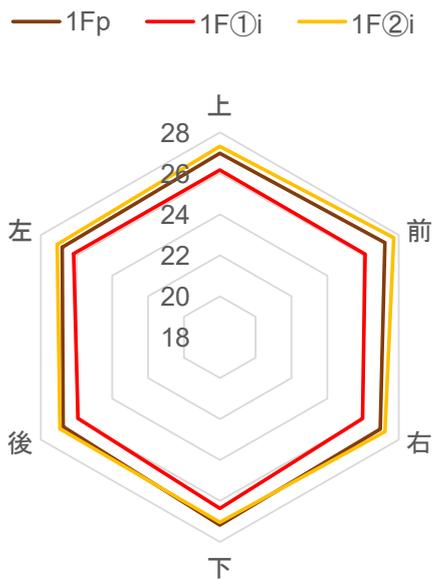


図 2-7-34 D ビル 1F 微小面放射温度(2023 夏季)

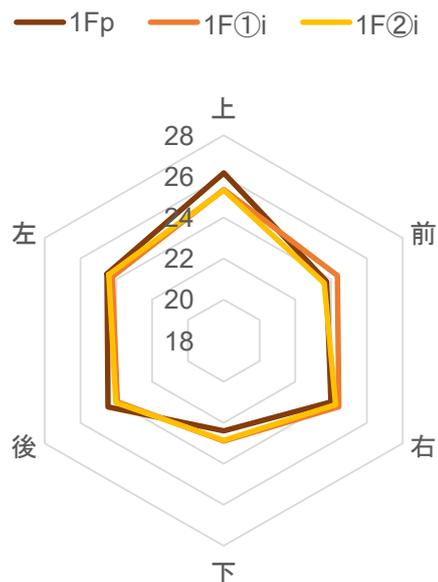


図 2-7-35 D ビル 1F 微小面放射温度(2023 冬季)

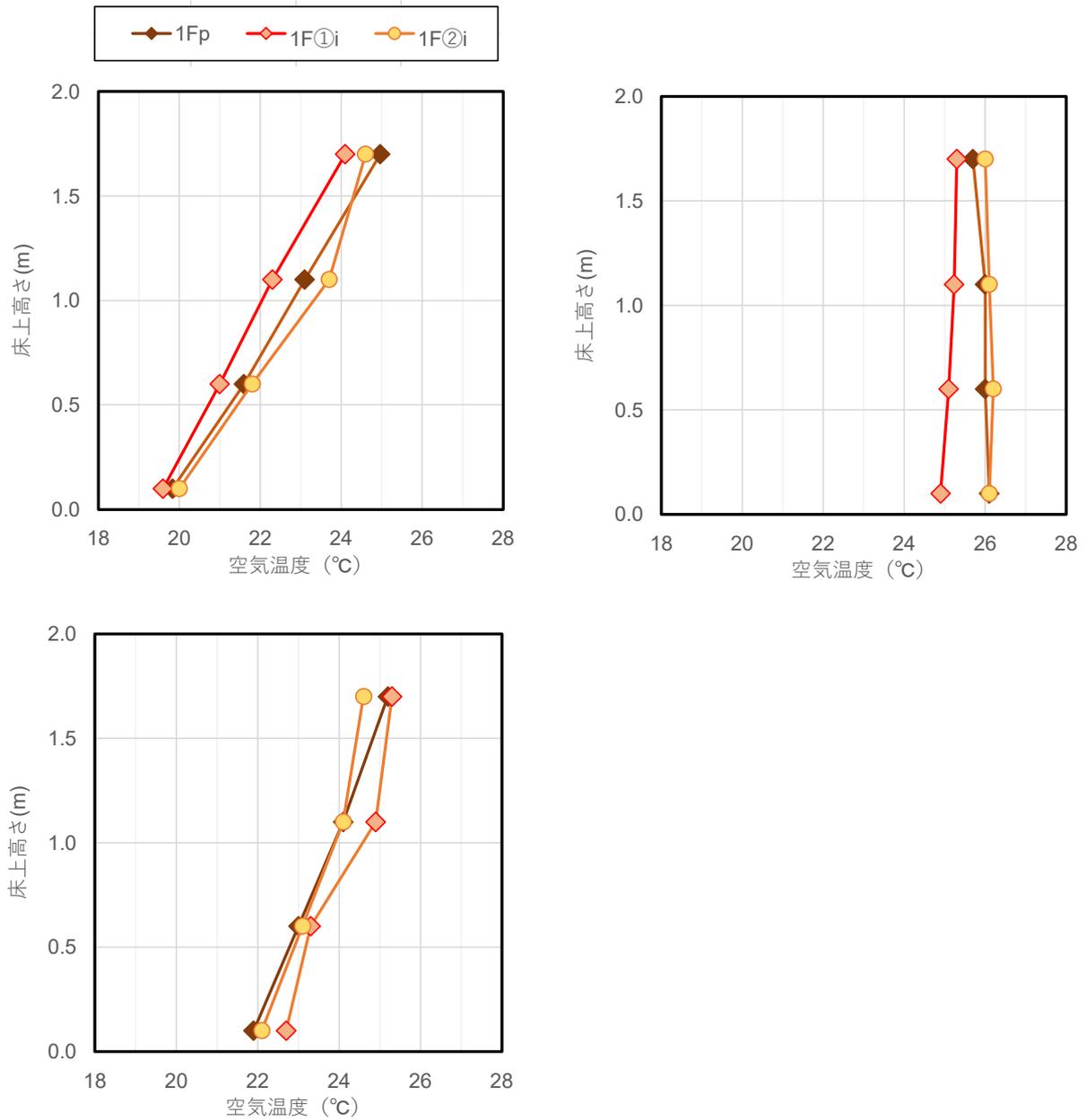


図 2-7-36 D ビル 1F 上下温度差 (左上 : 2022 冬季、右上 : 2023 夏季、左下 2023 冬季)

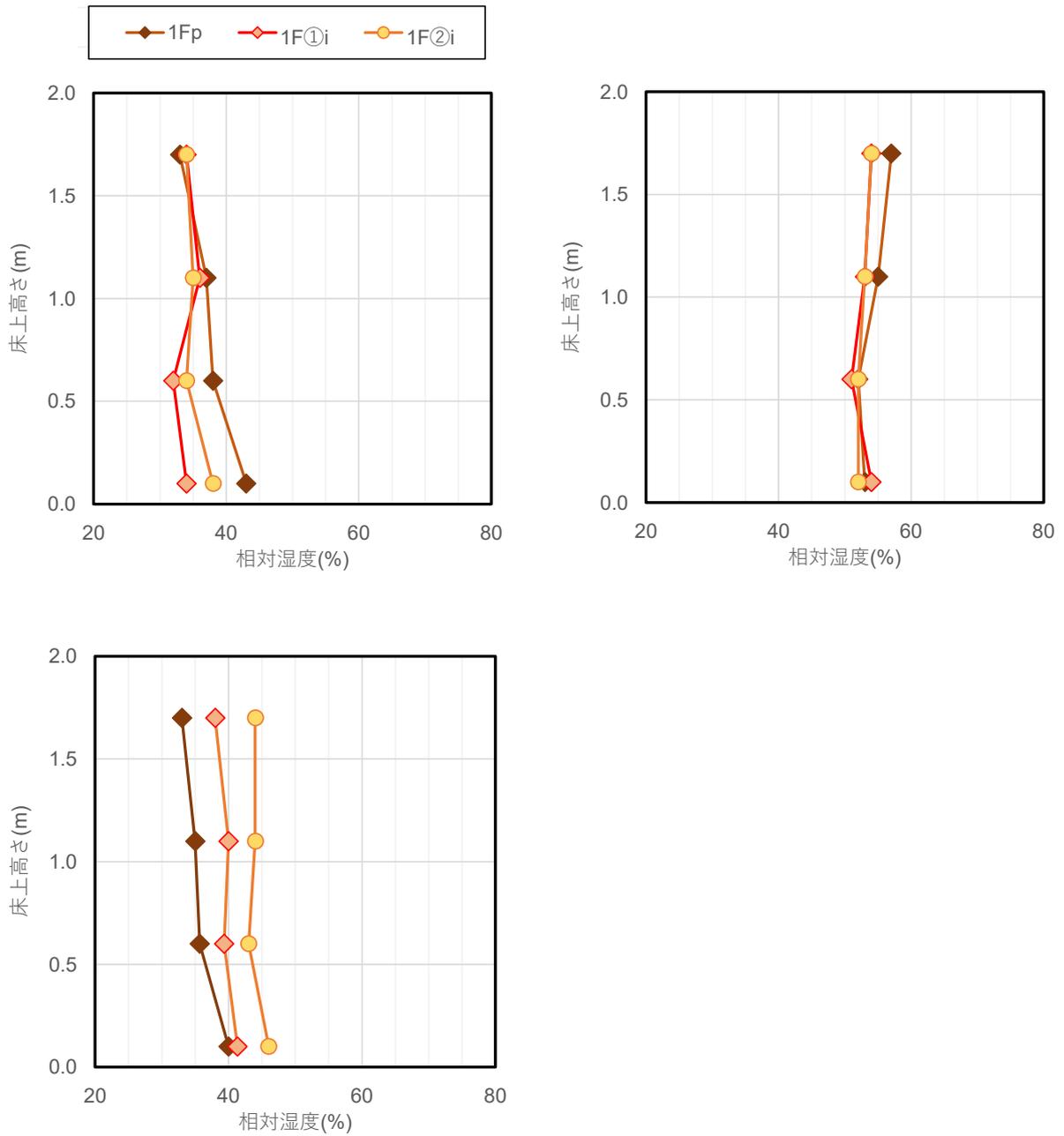


図 2-7-37 D ビル 1F 上下湿度差 (左上 : 2022 冬季、右上 : 2023 夏季、左下 : 2023 冬季)

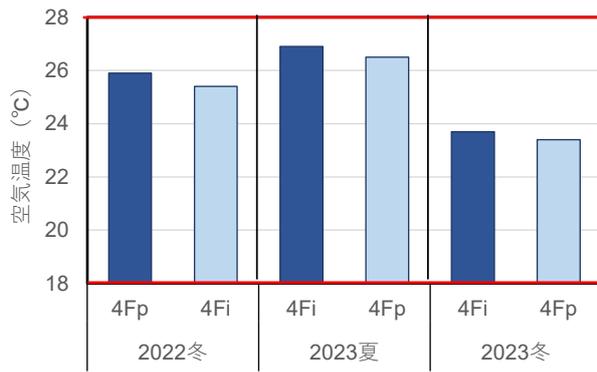


図 2-7-38 D ビル 4F 空気温度 (高さ 1.1m)

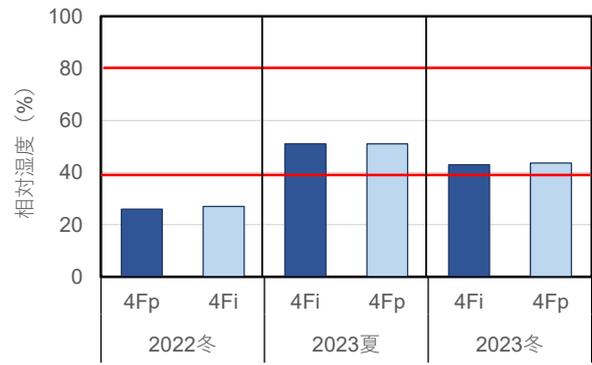


図 2-7-39 D ビル 4F 相対湿度 (高さ 1.1m)

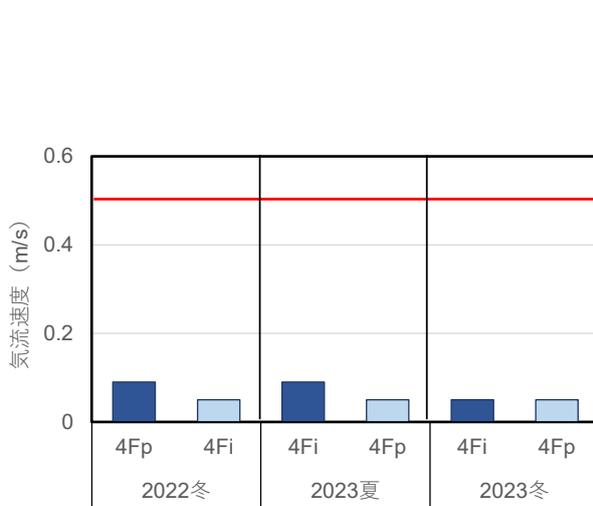


図 2-7-40 D ビル 4F 気流速度 (高さ 1.1m)

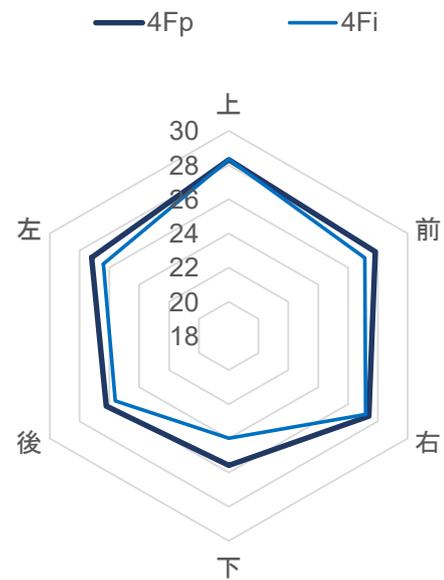


図 2-7-41 D ビル 4F 微小面放射温度(2022 冬季)

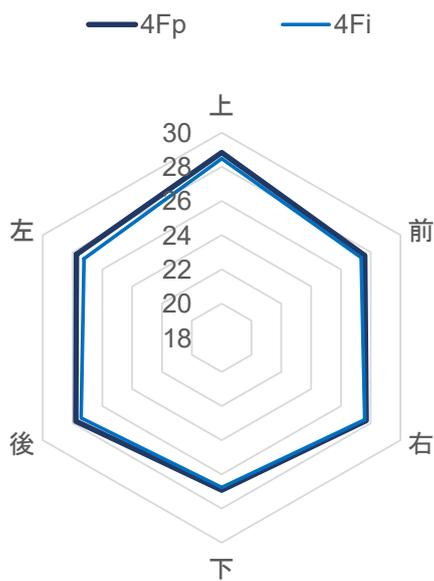


図 2-7-42 D ビル 4F 微小面放射温度(2022 夏季)

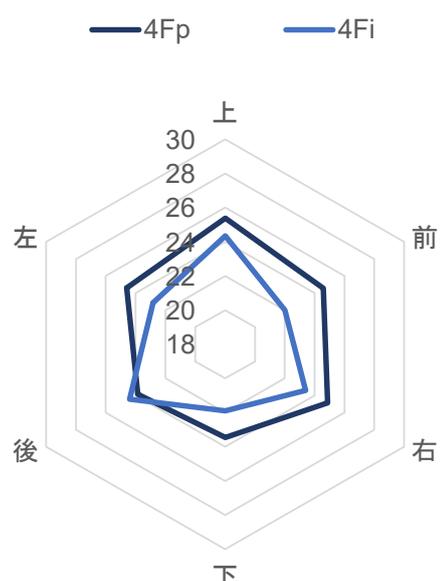


図 2-7-43 D ビル 4F 微小面放射温度(2023 冬季)

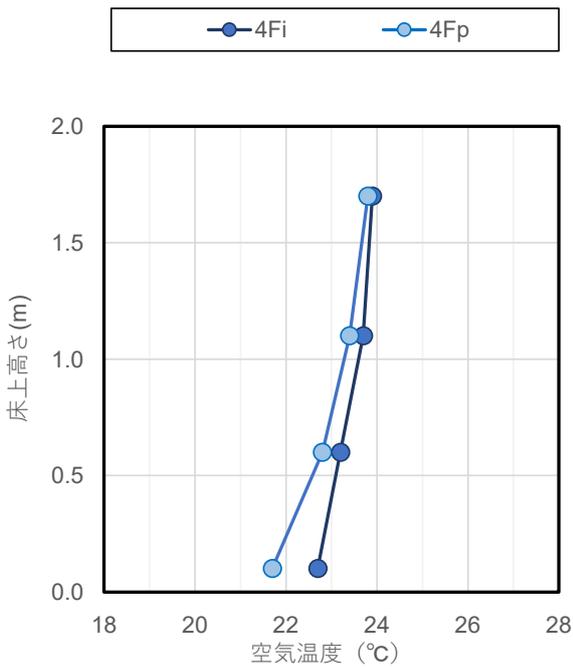
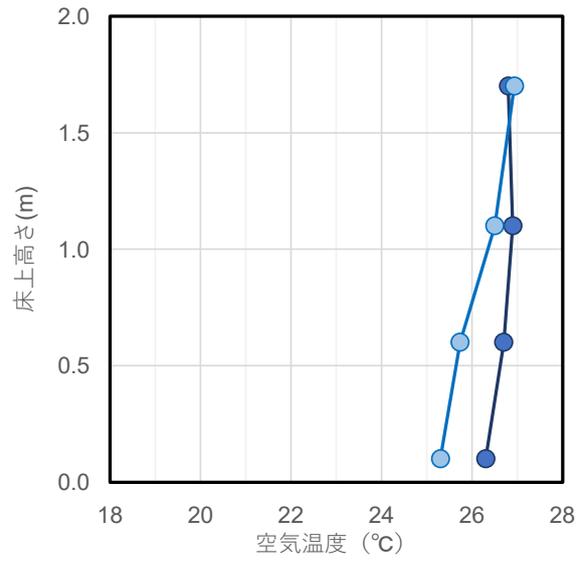
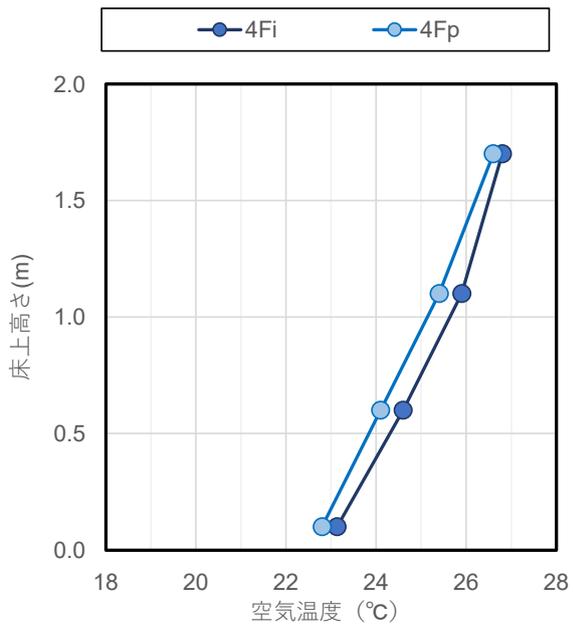


図 2-7-44 Dビル 4F 上下温度差 (左上 : 2022 冬季、右上 : 2023 夏季、左下 : 2023 冬季)

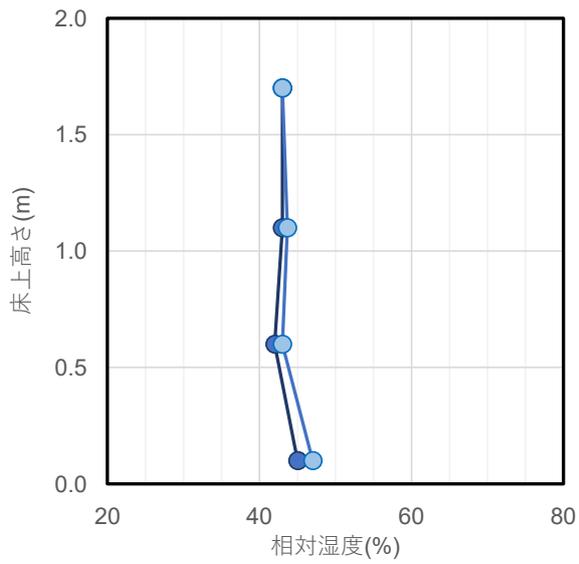
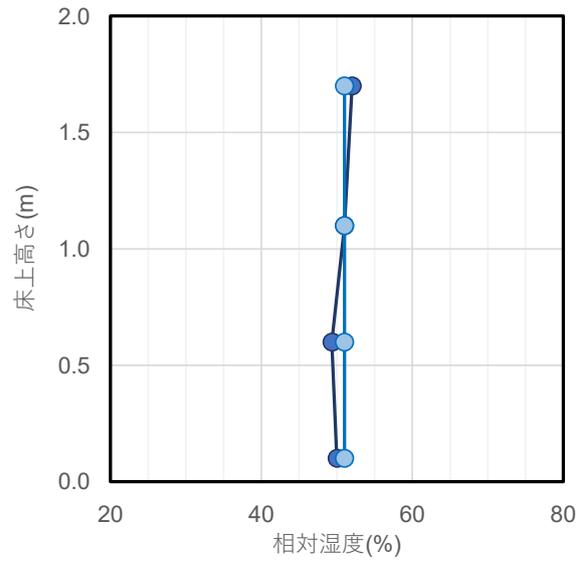
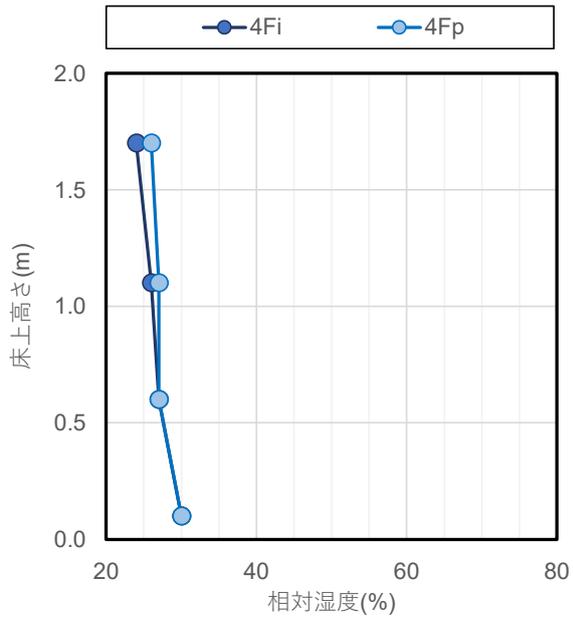


図 2-7-45 Dビル 4F 上下湿度差 (左上 : 2022 冬季、右上 : 2023 夏季、左下 : 2023 冬季)

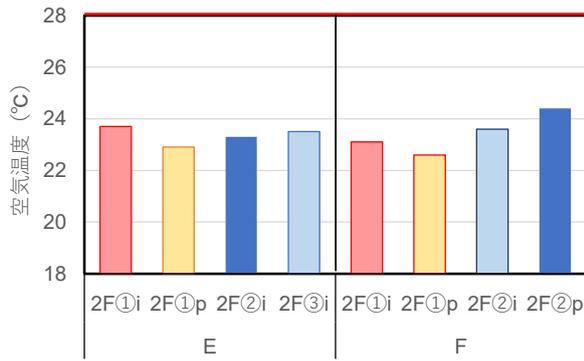


図 2-7-46 E、F ビル空気温度 (高さ 1.1m)

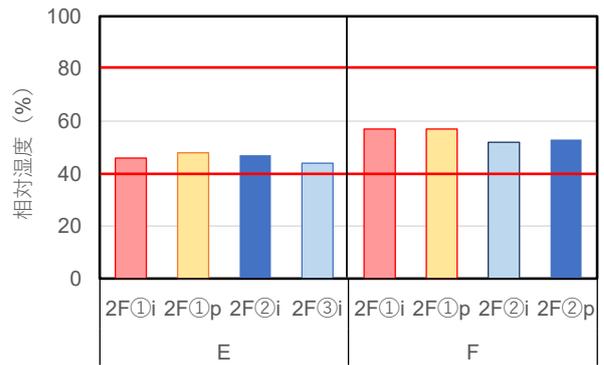


図 2-7-47 E、F ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

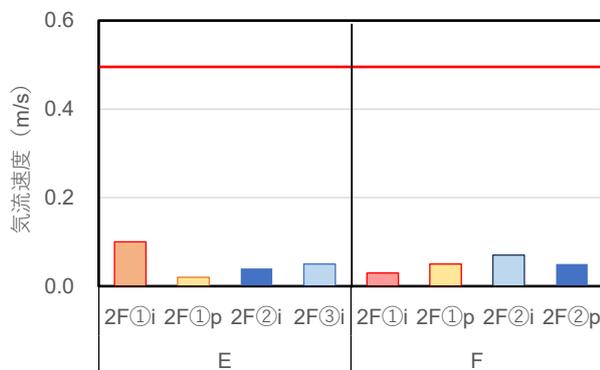


図 2-7-48 E、F ビル気流速度 (高さ 1.1m)

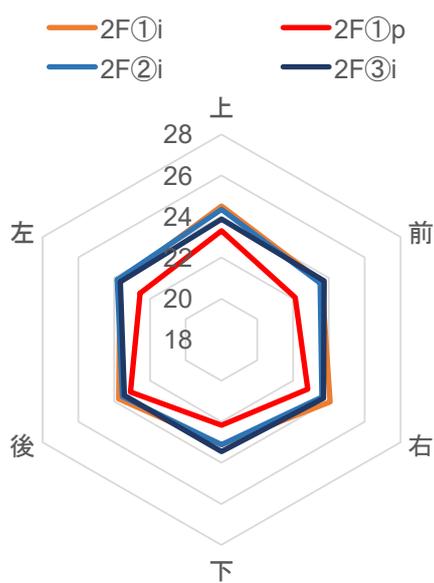


図 2-7-49 E ビル微小面放射温度 (冬季)

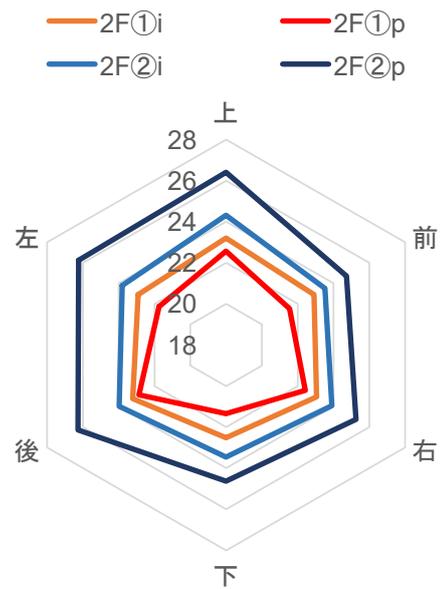


図 2-7-50 F ビル微小面放射温度 (冬季)

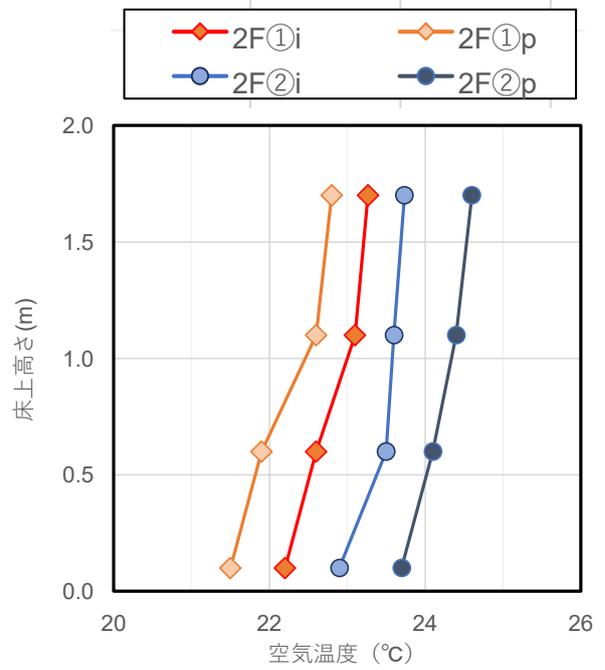
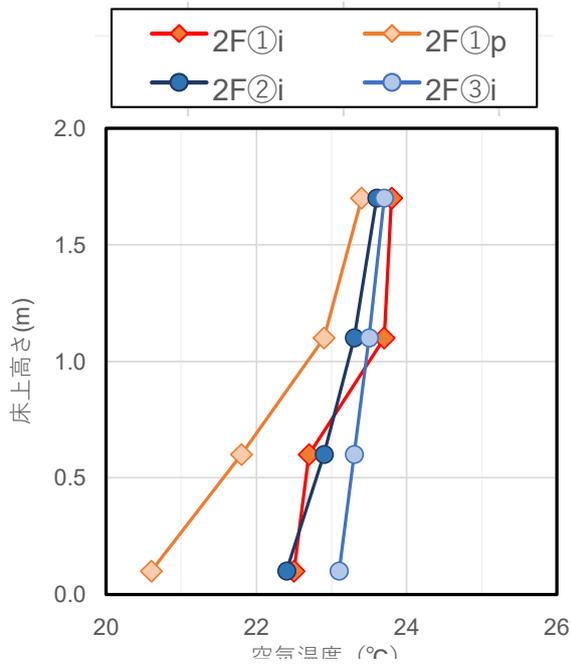


図 2-7-51 E、F ビル上下温度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

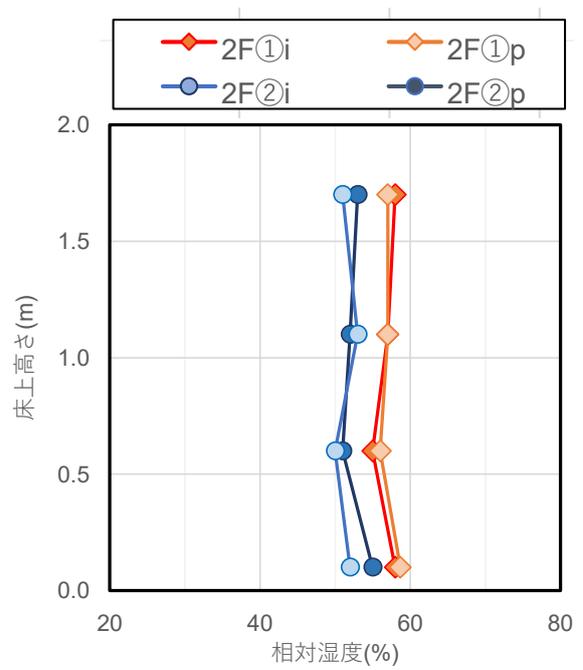
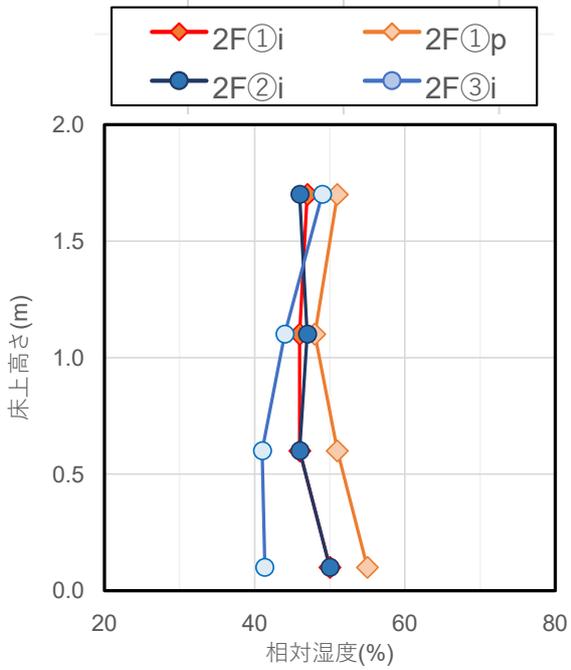


図 2-7-52 E、F ビル上下湿度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

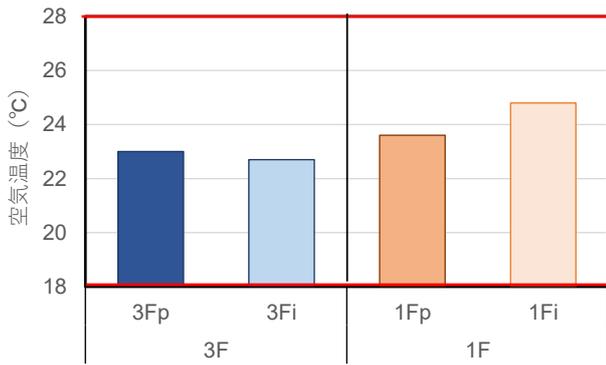


図 2-7-53 G ビル空気温度 (高さ 1.1m)

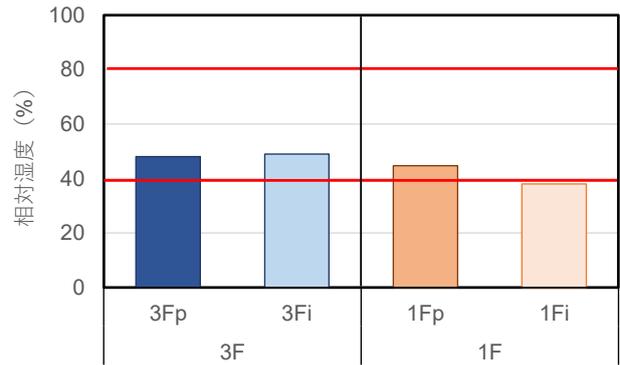


図 2-7-54 G ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

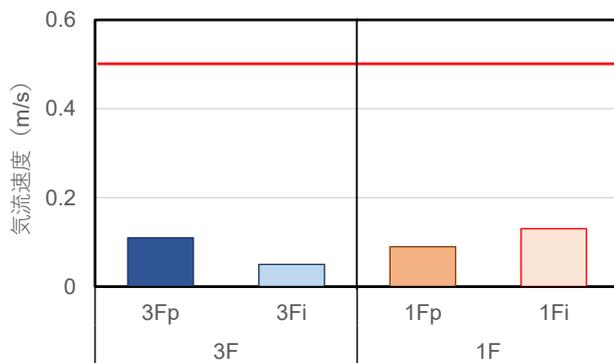


図 2-7-55 G ビル気流速度 (高さ 1.1m)

— 3Fp — 3Fi — 1Fp — 1Fi

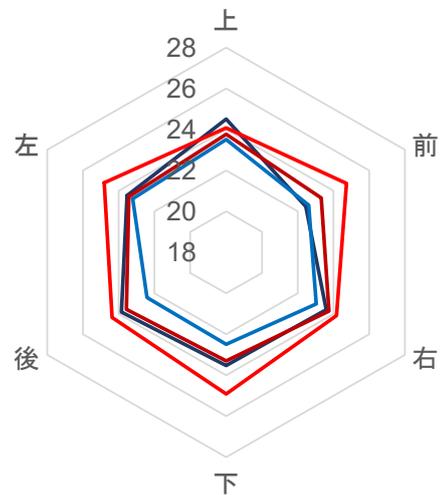


図 2-7-56 G ビル微小面放射温度 (冬季)

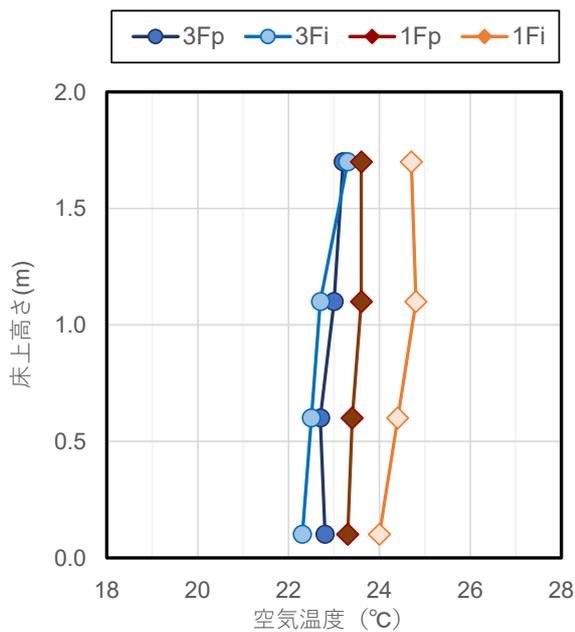


図 2-7-57 G ビル上下温度差

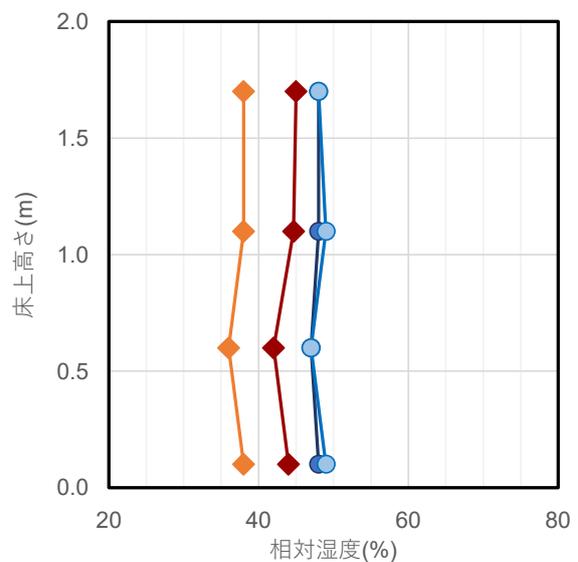


図 2-7-58 G ビル上下湿度差

付録

ASHRAE 55-2023 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
環境測定による熱的快適性評価手法に関連する部分の抜粋

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、2023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。

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。

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2時間以上とし、評価対象期間(年、月、日)の代表となる滞在時間帯、または滞在時間中において影響が大きいと判断された時間帯に実施する。

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。

居住者による環境調節レベルの評価は、6.1節の要求事項に適合しているかを評価する。調節手段へのアクセス性、応答速度、および PMV の影響の大きさを含め、第 6.1.1 項の要求事項に適合していること。

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満たすこととする。空気温度センサは、周囲からの放射の影響を防ぐ。

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) |

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 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。

7.3.5.2 分解能 BEMS の室内環境センサの分解能は、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 分未満で 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、本基準の 5.3 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、本基準の 5.3.5 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

令和4年度～令和5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

3. 空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討

| | | | |
|-------|-------|-----------|---------|
| 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 |
| 研究代表者 | 金 勲 | 国立保健医療科学院 | 首席主任研究官 |

研究要旨

1年目では6件（北海道2件、関東近郊6件）で9室、2年目では10件（北海道2件、関東近郊6件、近畿圏2件）で16室を対象に小型測定器の設置、空気環境6項目測定、化学物質濃度・浮遊微粒子個数濃度の測定を実施した。

本章1節では、小型測定器の建築物衛生管理への適用可能性検討として性能の異なる3種の小型測定器を比較したうえで、小型測定器の設置の容易さから複数点に設置した時の平面分布を把握するとともに、連続測定が可能であることから2023年夏期（6～8月）と2024年冬期（12～2月）の室内環境評価と建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価を行った結果を示した。3種の小型測定器の比較では、相対湿度は他の小型測定器と比較して5%RH以上差が生じる小型測定器があるほか、経年的に測定値が上昇する小型測定器が見られたことから、定期的な交換・校正の必要性が示された。CO₂濃度は自動校正機能が搭載された2機種の測定値が約1年経過後も100ppm以上の差が生じていた。一方、測定初期にCO₂濃度が低く測定されるよう校正されていた場合には自動校正機能は有効にはたらくことも示されたことから、自動校正の方法やタイミングを十分に検討したうえで有効に活用できる可能性も示された。夏期・冬期の室内環境評価では、平日9～18時の室内環境ヒストグラム・時別集計値・空気線図・建築物環境衛生管理基準値内である時間率を示した。現行の建築物衛生法では午前と午後1回ずつ空気環境6項目測定を実施するが、小型測定器を利用することで多様な評価が可能となる。特に、建築物環境衛生管理基準値内である時間率は適合・不適合のみではなく、空調が稼働していない時期に建築物環境衛生管理基準値を逸脱する時間帯があるといった傾向を把握できた。

本章2節では、2章に示した現場立入測定の結果を用いて小型測定器と比較するとともに、建築物衛生法の環境衛生管理基準に従って2か月以内ごとに1回実施されている測定（法定測定）による測定値が入手できた6件の特定建築物では、法定測定による測定値とも比較した。本研究で測定した建物においては相対湿度は約90%の一致率であったが、ガラス面積率が大きい建築物では夏期の温度の一致率が低下する、400ppmまで下がらない状況下でCO₂濃度の自動校正機能が稼働すると一致率が低くなるという課題が見られた。また、比較的大平面な建築物においては測定点によっても結果が大きく変わることから、これらの点に留意する必要がある。

本章3節では、大気では粒径2.5μm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ことに着眼し、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ならびにPM_{2.5}濃度の測定機器の計測値の比較を行った結果を示した。室内PM_{2.5}濃度の測定に際しては測定精度、換算係数の設定、2.5μmカットを行わない測定機器、校正の方法等に関して適切なものを選択する必要性が示唆された。

3-1. 小型測定器による室内平面分布と夏期・冬期の室内環境評価

A. 研究目的

建築物における衛生的環境の確保に関する法律（以降、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、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器が普及しており、小型測定器による建築物衛生管理への適用も期待されている。

本節では、市販されている複数の小型測定器の測定値比較ならびに小型測定器による空気環境管理手法について検討することを目的とする。

B. 研究方法

表 3-1-1 に小型測定器の概要を示す。本研究で取扱う小型測定器は3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Cが±50ppmであるのに対してセンサーBは±120ppm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制吸引であるが、その他の小型測定器は自然吸引である。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、すべての小型測定器はACアダプタによる電源を要する。

上記の小型測定器を表 2-1-1 と表 2-1-2 に示した10件の建物に設置した。各建物の平面概要図と測定点を図 3-1-1～図 3-1-13 に示す。水色陰影部が測定対象室を示しており、丸プロットが小型測定器の測定点、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。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。

表 3-1-1 小型測定器の概要

| 機器名称 | | センサーA | センサーB | センサーC |
|----------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 測定範囲 | CO ₂ 濃度 | 0 - 9 999ppm | 360 - 4 000ppm | 400 - 2 000ppm |
| | 温度 | 0 - 55°C | -10 - 100°C | |
| | 相対湿度 | 10 - 95%RH | 10 - 95%RH | |
| 測定精度 | CO ₂ 濃度 | ± 50ppm ± 読み値の 5% | ± 120ppm ± 1digit | ± 50ppm ± 読み値の 5% |
| | 温度 | ± 0.5°C | ± 0.5°C | ± 0.4°C |
| | 相対湿度 | ± 5%RH (at 25°C50%RH) | ± 4%RH | ± 3%RH (0 - 80%RH) |
| 吸引方式 | 自然 | 強制 | 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 | |
| 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。 | |
| 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 | |
| 外部電源 | 要 | 要 | 要 | |

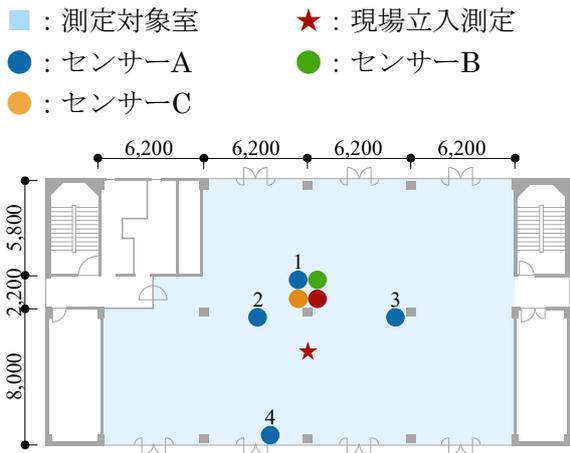


図 3-1-1 A ビル 2 階平面概要図

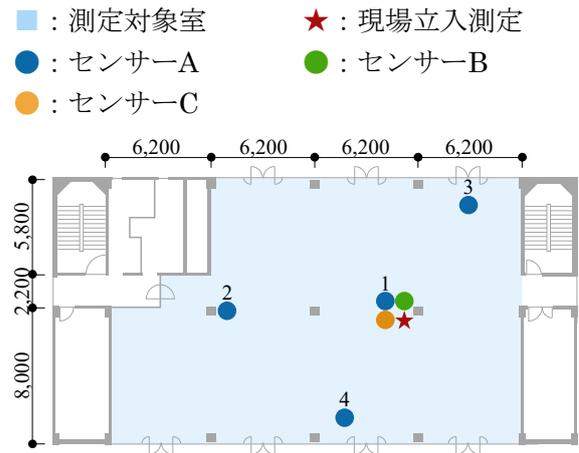


図 3-1-2 A ビル 3 階平面概要図

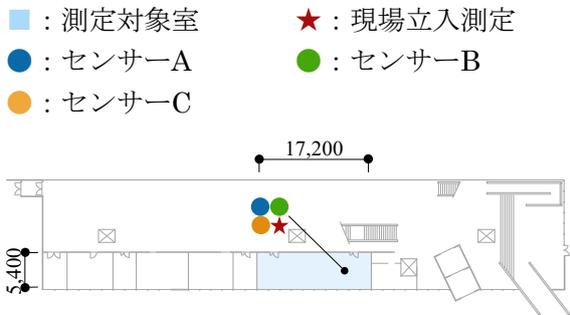


図 3-1-3 B ビル 1 階平面概要図

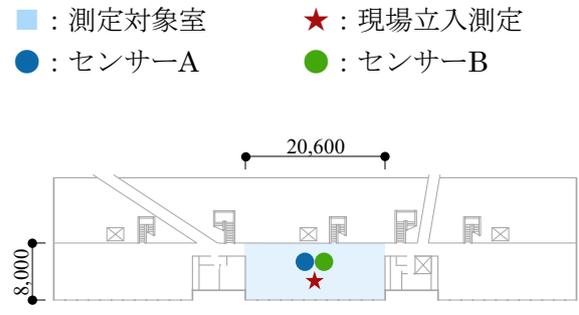


図 3-1-4 B ビル 3 階平面概要図

■ : 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

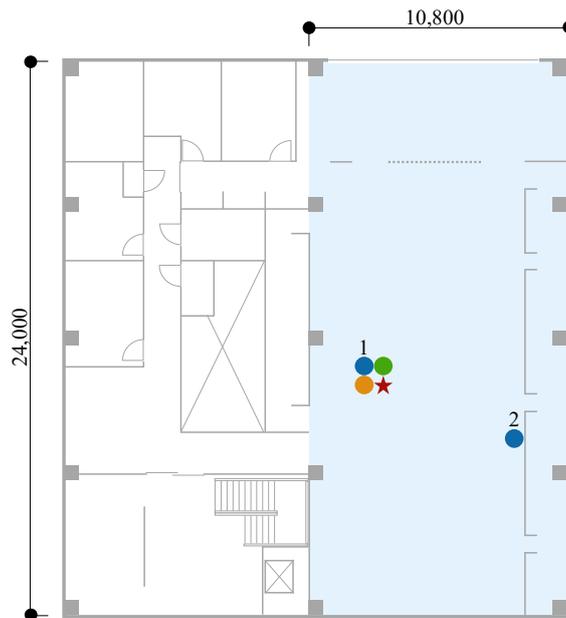


図 3-1-5 C ビル 2 階平面概要図

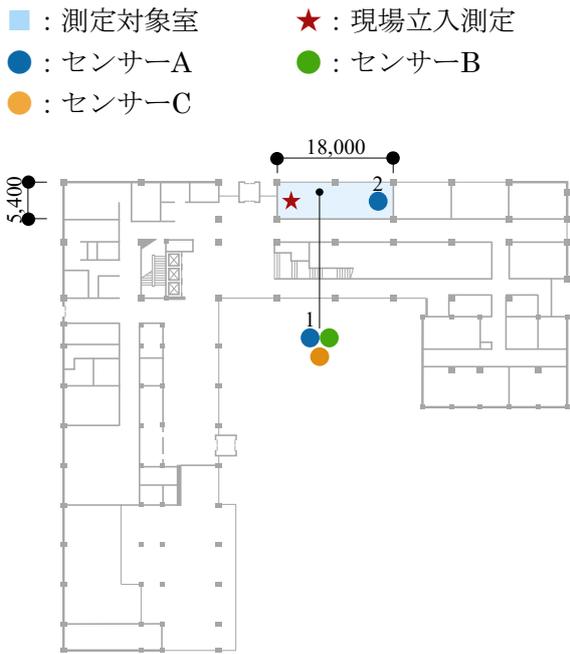


図 3-1-6 D ビル 1 階平面概要図

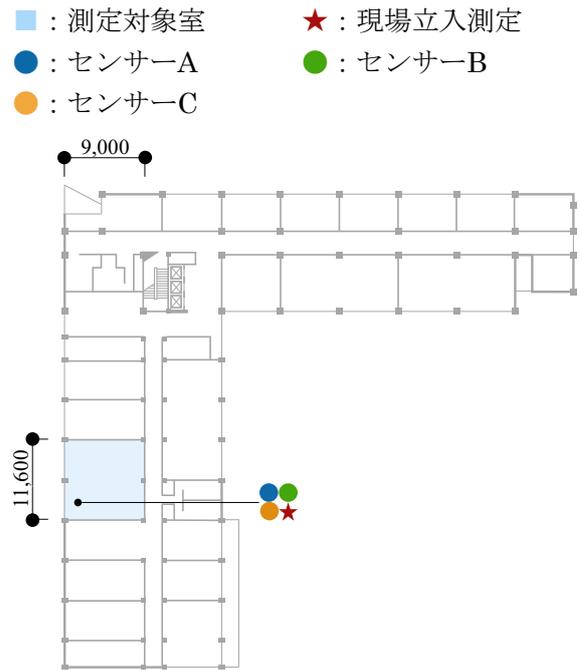


図 3-1-7 D ビル 4 階平面概要図

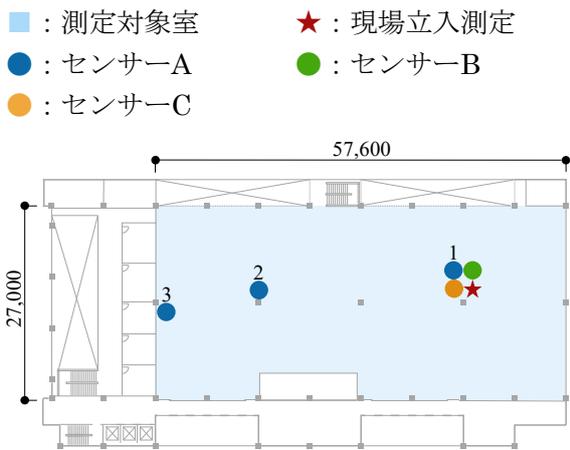


図 3-1-8 E ビル 2 階平面概要図

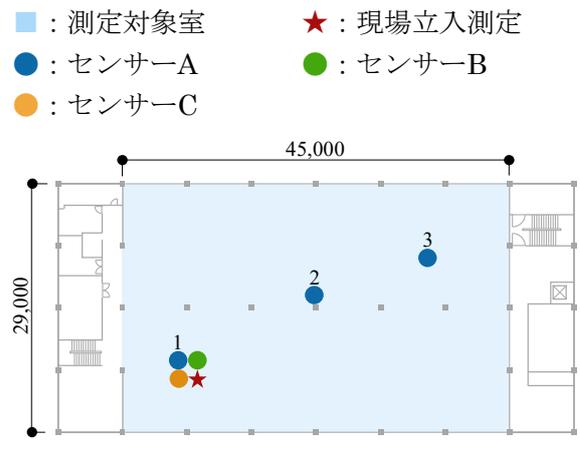


図 3-1-9 F ビル 2 階平面概要図

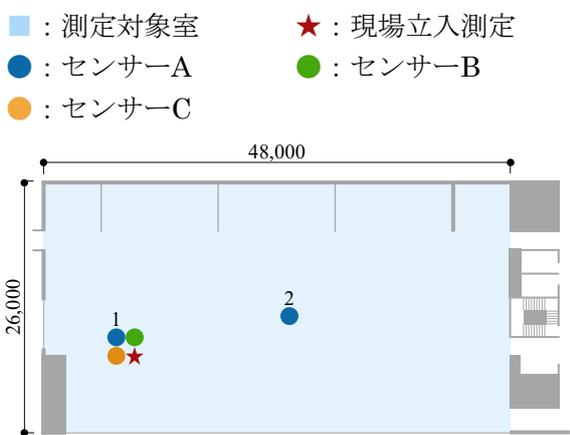


図 3-1-10 G ビル 1 階平面概要図

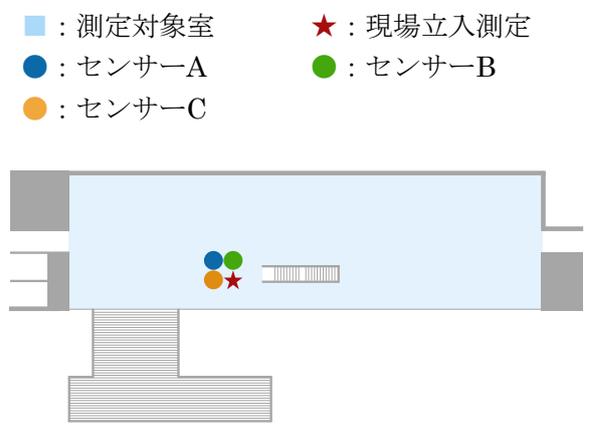


図 3-1-11 G ビル 3 階平面概要図

- : 測定対象室
- : センサーA
- : センサーC

- ★ : 現場立入測定
- : センサーB

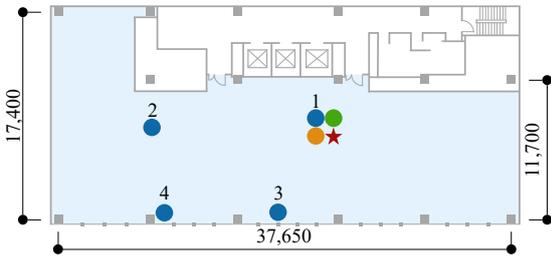


図 3-1-12 H ビル 3 階平面概要図

- : 測定対象室
- : センサーA
- : センサーC

- ★ : 現場立入測定
- : センサーB

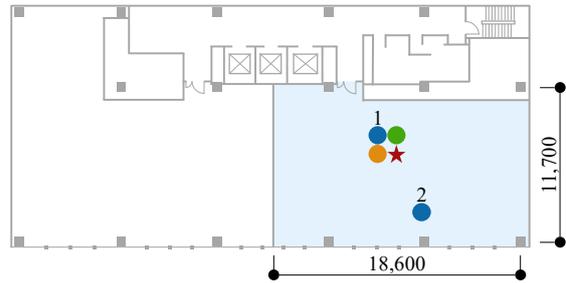


図 3-1-13 H ビル 3 階平面概要図

本節では、以下の3つの事項を実施する。

(1)3種の小型測定器の比較

表 3-1-1 に示した3種の小型測定器の測定値を比較し、小型測定器の種類による測定値の差異を明らかにする。対象とする建物は比較的欠測の少ないAビルとEビルとした。測定値は平日9～18時の日平均値で集計し、経年変化の傾向も把握するために2023年3月から2024年2月の期間で3か月ごとに比較した。また、CO₂濃度の手動校正が搭載されている機器は測定開始前に測定機器を外気に設置し、400ppm程度に校正し、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)小型測定器による平面分布の把握

小型測定器は設置の容易さから室の空間分布を測定することが可能である。Bビルを除いて1室あたりに2以上のセンサーAを設置しており、2023年夏期(6～8月)と2023～2024年冬期(12～2月)を対象に平日9～18時の日平均値で集計し、温湿度・CO₂濃度の平面分布を比較した。

(3)夏期・冬期の室内環境評価

2023年夏期(6～8月)と2024年冬期(12～2月)を対象に平日9～18時の温湿度・CO₂濃度のヒストグラム、特別集計値、t-x線図により室内環境を評価するとともに、平日9～18時の全時間数に対して建築物環境衛生管理基準値内である時間数の比(以降、基準値内時間率)により評価した。

(4)建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価

小型測定器は最長で2022年11月から設置していることから2024年3月までの期間において各月の建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価を行った。

C. 研究結果

C.1. 3種の小型測定器の比較

Aビルにおける3種の小型測定器の比較結果を図3-1-14に示す。温度は6～8月を除いてセンサーAがその他の小型測定器と比較して約0.3～0.5K低い。相対湿度は中央値で比較すると、3～5月ではセンサーBがその他の小型測定器と比較して有意に高く、約5%RH高い。一方で、

9月以降はセンサーAがその他の小型測定器と比較して有意に低く、約3～6%低い。6～8月も含めて考察するとセンサーCの測定値が経年的に高くなっていると考えられる。CO₂濃度は測定時期によらず傾向が一致しており、センサーCがその他の小型測定器と比較して有意に高く、いずれの期間においても約100ppm高い。なお、センサーAは自動校正有、センサーBは自動校正無の仕様であるが、両測定値の差に経年的な変化はなく、いずれの期間においても両測定値の中央値の差は10～20ppm程度であった。

Eビルにおける3種の小型測定器の比較結果を図3-1-15に示す。Aビルにおける結果と同様に温度はセンサーA、相対湿度はセンサーBが他の測定器と比較して有意な差があり、センサーCの相対湿度は経年的に上昇している傾向が見受けられる。一方、CO₂濃度は3～8月にはすべての小型測定器に有意差が見られたものの、9月以降はセンサーAとBの有意差は無くなった。これは、測定初期におけるセンサーAの値が小さく測定されるよう校正されてしまっていたが、自動校正機能によりセンサーBと同程度の値になったと推察される。また、センサーCにも自動校正機能は搭載されているものの、センサーAとCには約1年経過後も100ppm以上の乖離が生じていることから、自動校正の方法やタイミングについては引続き検討が必要であると考えられる。

C.2. 小型測定器による平面分布の把握

2023年夏期(6～8月)における温度、相対湿度、CO₂濃度の平面分布結果を図3-1-16～図3-1-18に示す。本図は平日9～18時の日平均値として集計して示している。温度は開口部近傍に設置したAビル2階のNo.4とHビル4階のNo.3は外気の影響により他の測定位置と比較して四分位範囲が広い、発熱源が比較的少ない内壁近傍に設置したEビルのNo.3は他の測定位置と比較して低くなっているといった特徴が挙げられる。その他、Aビル2階のNo.2は他の測定位置と比較して0.5K以上低くなっているが、空調吹出位置との関係による影響も考えられるため、小型測定器の設置位置については十分な検討が求められる。相対湿度温度にも影響されるが、特に、Hビル4階のNo.2とNo.

4 が低くなっており、室西側が低く測定されており、No. 1 と No. 2 の平均値には 5%RH の差が生じていたため、前述のように測定位置による影響と考えられる。CO₂濃度は人体の呼気が主な発生源であるため、内壁近傍に設置した E ビルの No. 3 発生源が少ないと考えられ、他の測定位置と比較して低くなっているといった特徴が挙げられる。

2023～2024 年冬期（12～2 月）における温度、相対湿度、CO₂濃度の平面分布結果を図 3-1-19～図 3-1-21 に示す。本図は平日 9～18 時の日平均値として集計して示している。温度は開口部近傍に設置した A ビル 2 階の No. 3 が 19°C 程度まで低下していることや隣室との内壁近傍に設置した C ビルの No. 2 の温度が No. 1 と比較して低下している傾向が見られた。通常、BEMS 等のセンサーは外壁、内壁、柱等に設置されることが多いことから、BEMS を衛生管理に利用する際には注意が必要と考えられる。相対湿度については E ビルに示されるように温度が低い No. 3 ほど相対湿度が高い傾向が見られるなど、温度の影響により変動することに留意する必要がある。

C.3. 夏期・冬期の室内環境評価

夏期の室内環境評価として図 3-1-22～図 3-1-65 に各建物・各フロアに対して平日 9～18 時の室内環境ヒストグラム・特別集計値・空気線図・基準値内時間率を示す。現行の建築物衛生法では午前と午後 1 回ずつ空気環境 6 項目測定を実施するが、小型測定器を利用することで多様な評価が可能となる。特に、各頁の最下部に示した基準値内時間率は適合・不適合のみではなく、適合である時間率という評価が可能であり、建築物間の評価も可能となると考えられる。各建物・各フロアの特徴は下記のとおりである。

(1)A ビル 2 階

24～28°C となる時間率が多く、CO₂濃度は 1000ppm を超過する時間帯は無かった。特別集計値によると、温度の中央値は午前 9 時頃に高いが、冷房の効果が顕れる午後に低くなる傾向が見られた。基準値内時間率は温度と CO₂濃度が 95%を超えているものの、7 月の相対湿度は 22%の時間帯で不適合であった。

(2)A ビル 3 階

A ビルの 3 階は最上階であることから 28°C を超過する時間帯も 20%程度あった。そのため、基準値内時間率は 7 月の温度が低く 57 であった。

(3)B ビル 1 階

温度が 28°C を超過する時間帯が 20%以上ある、かつ、相対湿度が 70%を超過する時間帯が 10%程度あることが特徴である。当該建物はガラス面積率が大きいことから、日射の影響により、高温高湿状況となった。基準値内時間率である時間率は温度が各月とも約 70%であった。

(4)B ビル 3 階

温度が 30°C を超過する時間帯があり、基準値内時間率は温度が全建築物で最も低い結果であった。当該建物はガラス面積率が大きいことに加えて、オープンアトリウムと隣接していることが要因である。

(5)C ビル

当該建物は ZEB を達成する建物であり、建物外皮性能が高い。そのため、特定建築物には該当しないが、基準値内時間率は温度が 100%であった。また、気密性が高い建物であると考えられるが、計画的な換気により CO₂濃度も 1000ppm を超過する時間帯が少ない。

(6)E ビル

当該建物は 24～26°C、50～60%RH、800ppm 以下である時間率が高く、特別集計値によると時間的変動も小さい。そのため、基準値内時間率はいずれの項目でも 100%であった。

(7)F ビル

当該建物は 24～26°C、60～70%RH、800ppm 以下である時間率が高く、特別集計値によると時間的変動も小さい。そのため、基準値内時間率はいずれの項目でも 100%であった。

(8)G ビル 1 階

当該建物は 24～26°C、60～70%RH、800ppm 以下である時間率が高い。特別集計値によると温度と相対湿度の時間的変動は小さいが、CO₂濃度は午後に高くなる傾向が見られた。しかし、基準値内時間率はいずれの項目でも 100%であった。

(9)G ビル 3 階

当該フロアは開口部が比較的近接しており、

特に太陽高度が低くなる 8 月頃に室内温度が 32°C を超えていることから日射の影響を排除できる位置に小型測定器を設置する必要がある。この影響により、基準値内時間率は 8 月に 76% まで低下した。

(10)H ビル 4 階

当該フロアは在室人数が多く 1000ppm を超過する時間帯もある。特別集計値によると、9 時時点では 600~700ppm であるのに対して午前中に増加し、お昼休憩時に低下し、午後増加するトレンドが見られた。基準値内時間率は温度と相対湿度が 100%であったが、8 月は 4%の時間で基準を超過していた。

(11)H ビル 6 階

4 階と比較して在室人数が極端に少ないことから、基準値内時間率はいずれの指標も約 100%であった。

冬期の室内環境評価として図 3-1-66~図 3-1-117 に各建物・各フロアに対して平日 9~18 時の室内環境ヒストグラム・特別集計値・空気線図・基準値内時間率を示す。各建物・各フロアの特徴は下記のとおりである。

(1)A ビル 2 階

温度は 22~26°C、CO₂濃度は 800ppm 以下となる時間帯が多く、いずれの指標も基準値内時間率は 100%であった。しかし、特別集計値によると 9~10 時の温度が比較的低温で 21°C まで低下していることが確認された。また、相対湿度は 40%RH を下回る時間帯が多く、基準値内時間率は特に 1 月が 7%と低い結果であった。

(2)A ビル 3 階

A ビルの 3 階は最上階であり、外皮面積が大きいことから 2 階と比較して温度が低い傾向が見られたが、温度と CO₂濃度の基準値内時間率はいずれも 100%であった。また、2 階と比較して温度が低くなったことから相対湿度は 40%RH を超える時間帯も多く、基準値内時間率は最も低い 1 月でも 70%であった。

(3)B ビル 1 階

温度は 20~28°C、CO₂濃度は 800ppm 以下となる時間帯が多く、いずれの指標も基準値内時間率はほぼ 100%であった。しかし、特別集計値によると、温度の時間的変動が大きく、9~

10 時には 18°C を下回っていることが確認された。また、相対湿度は 30%RH を超えることはなく、基準値内時間率はいずれの月も 0%であった。北海道は低湿外気であることに加えて加湿装置が無いことが要因と考えられる。

(4)B ビル 3 階

温度は 20~28°C、CO₂濃度は 600ppm 以下となる時間帯が多く、いずれの指標も基準値内時間率はほぼ 100%であった。しかし、特別集計値によると、温度の時間的変動が大きく、10~11 時においても 18°C 程度の時間帯があることが確認された。当該建物はガラス面積率が大いことに加えて、オープンアトリウムと隣接していることが要因である。また、相対湿度は 1 階と同様に低い環境であった。

(5)C ビル

当該建物は ZEB を達成する建物であり、建物外皮性能が高い。そのため、特定建築物には該当しないが、基準値内時間率は温度が 100%であった。また、気密性が高い建物であると考えられるが、計画的な換気により CO₂濃度も 1000ppm を超過する時間帯が少ない。一方、北海道の低湿外気の影響により相対湿度は低く、基準値内時間率は特に 1 月が 5%と低い結果であった。

(6)D ビル 1 階

温度は 22~26°C、CO₂濃度は 800ppm 以下となる時間帯が多く、いずれの指標も基準値内時間率はほぼ 100%であった。しかし、特別集計値によると、温度の時間的変動が大きく、10~11 時においても 20°C 以下の時間帯があることが確認された。また、相対湿度は 40%RH 以上となる時間帯が 11%あるものの、これは午前中に室内温度が低くなっていることが要因であり、午後は 40%RH 以下となる時間帯が多い。

(7)D ビル 4 階

温度は 22~26°C、CO₂濃度は 600ppm 以下となる時間帯が多く、いずれの指標も基準値内時間率はほぼ 100%であった。しかし、1 階と同様、温度の時間的変動が大きく、11~12 時においても 20°C 以下の時間帯があることが確認された。これは当該建物のガラスが単板ガラスである影響が大きく、空調稼働後も熱損失が大いことが懸念される。また、相対湿度は 40%RH

を下回る時間帯が多く、基準値内時間率は2月に44%であるが、12月は32%、1月は17%であった。

(8)E ビル

当該建物は22～26°C、40～50%RH、800ppm以下である時間率が高く、特別集計値によると時間的変動も小さい。そのため、基準値内時間率はいずれの項目でもほぼ100%であった。相対湿度は40%RH程度の測定値であり、測定器の精度を考慮すると概ね基準値内であったと考えられる。

(9)F ビル

当該建物は22～26°C、40～50%RH、800ppm以下である時間率が高く、基準値内時間率は温度とCO₂濃度が100%、相対湿度が90%程度であった。しかし、特別集計値によると、温度の時間的変動が大きく、9～10時には20°Cを下回っていることが確認された。また、15時以降は空調が稼働していない可能性が示され、同時に加湿が行われないことにより15時以降に40%RH以下となる時間帯が多くなっている可能性がある。

(10)G ビル1階

当該建物は22～26°C、40～50%RH、800ppm以下である時間率が高く、基準値内時間率は温度とCO₂濃度が100%、相対湿度が70～90%程度であった。また、特別集計値によると、温度の時間的変動が大きく午前中は上昇傾向、12～15時は下降傾向、15時以降は上昇傾向が確認された。

(11)G ビル3階

温度は22～28°C、CO₂濃度は800ppm以下となる時間帯が多く、基準値内時間率はほぼ100%であった。特別集計値によると、午後は空調が停止されている可能性があり、室内温度の低下に伴い、相対湿度が上昇している傾向が見られた。また、3階はガラス面積率が大きく日射の影響により28°Cを超える時間帯があったと考えられる。

(12)H ビル4階

温度は22～26°Cとなる時間帯が多く、基準値内時間率は100%であった。当該フロアは在室人数が多く1000ppmを超過する時間帯もあったが、基準値内時間率はいずれの月も90%

を超えていた。特別集計値によると、いずれの指標も時間的変動は比較的小さく良好な環境であると考えられるが、相対湿度は約半数の時間帯で40%RH以下であった。

(13)H ビル6階

当該フロアは24～26°C、40～50%RH、600ppm以下である時間率が高く、基準値内時間率はすべての指標で95%を超えていた。特別集計値によると、いずれの指標も時間的変動は比較的小さく良好な環境であると考えられる。

C.4. 建築物環境衛生管理基準値内である時間率（基準値内時間率）による年間評価

基準値内時間率による年間評価を行った結果を図3-1-118～図3-1-128に示す。各建物・各フロアの特徴は下記のとおりである。

(1)A ビル2階

温度とCO₂濃度はいずれの月もほぼ100%であったが、相対湿度は冬期のほか4～5月、10～11月といった中間期においても約半数の時間帯で基準値を逸脱していた。

(2)A ビル3階

温度は2023年7月に約半数の時間帯で基準値を逸脱していたが、その他の月は約90%以上であった。相対湿度は時期によらず基準値を逸脱する時間帯があり、夏期は室内温度が高温であることから相対湿度が低くなったことが要因で基準値を逸脱する時間帯が多い。

(3)B ビル1階

CO₂濃度はいずれの月もほぼ100%であるが、ガラス面積率が大きいことから夏期は日射の影響により基準値を逸脱する時間帯がある。また、相対湿度は北海道の低湿外気の影響により、6～10月を除いてほぼすべての時間帯で基準値を逸脱していた。

(4)B ビル3階

CO₂濃度はいずれの月もほぼ100%であるが、ガラス面積率が大きいことに加えて、オープンアトリウムと隣接していることからいずれの月も温度が基準値を逸脱する時間帯がある。特に、夏期の高温の影響が大きく、7～8月は半数以上の時間帯で基準値を逸脱していた。また、相対湿度は1階と同様に低い環境であった。

(5)C ビル

温度と CO₂濃度はほぼ 100%であるが、相対湿度は北海道の低湿外気の影響により、6～10月を除いて半数以上の時間帯で時間帯で基準値を逸脱していた。

(6)E ビル

いずれの指標もほぼ 100%であった。

(7)F ビル

11～12月と2～3月に相対湿度が低下するものの、温度と CO₂濃度はいずれの月も 100%であった。

(8)G ビル 1 階

温度と CO₂濃度はいずれの月も 100%であった。相対湿度は冬期に低下する傾向があるもののいずれの月も基準値内である時間率は 70%を超えていた。

(9)G ビル 3 階

CO₂濃度はいずれの月も 100%であったが、当該フロアはガラス面積率が大きいことから7～11月に高温環境となる時間帯があった。相対湿度は 11月に半数以上の時間帯で基準値を逸脱しているものの、その他の月の基準値内時間率は 60%を超えていた。

(10)H ビル 4 階

温度はいずれの月も 100%であった。7月は末日に測定機器を設置し、測定機器設置者の影響も含まれていることから、当該月を除外すると CO₂濃度は 90%を超えていた。相対湿度は 10月以降に約半数の時間帯で基準値を逸脱していた。

(11)H ビル 6 階

温度と CO₂濃度はいずれの月も 100%であった。相対湿度は 10月を除いてほぼすべての時間帯で基準値を満たしていたが、空調が稼働していない 10月に約半数の時間帯で基準値を逸脱していた。

D. まとめ

本節では、①性能の異なる 3種の小型測定器の比較、②小型測定器による平面分布の把握、③夏期・冬期の室内環境評価、④建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価を実施した。①では、平日 9～18時の日平均値で集計し、経年変化も把握するために 3か月ごと

に比較した。相対湿度は小型測定器 C が経年的に測定値が上昇している傾向があった。CO₂濃度は自動校正機能が搭載されている小型測定器 A・C においても 1年経過後も測定値に差が生じていることから、定期的な交換・校正の必要性や自動校正機能の方法やタイミングについて検討の余地があると考えられる。②では、小型測定器の設置容易性に着目して平面分布を把握した。開口部近傍に設置した温湿度は外気の影響を受けやすいことはもちろん、空調ゾーンによっても温湿度が異なる傾向も見られた。③では、室内環境のヒストグラム、時別集計値・空気線図・建築物環境衛生管理基準値内である時間率（基準値内時間率）を用いて夏期・冬期の室内環境評価を実施した。特に、基準値内時間率は適合・不適合のみではなく、適合である時間率という評価が可能であり、建築物間の評価も可能となると考えられる。④では、中間期も含めた年間評価を行うことで、H ビルの 6階のように空調が稼働していない時期に建築物環境衛生管理基準値を逸脱する時間帯があるといった傾向を把握できた。

E. 参考文献

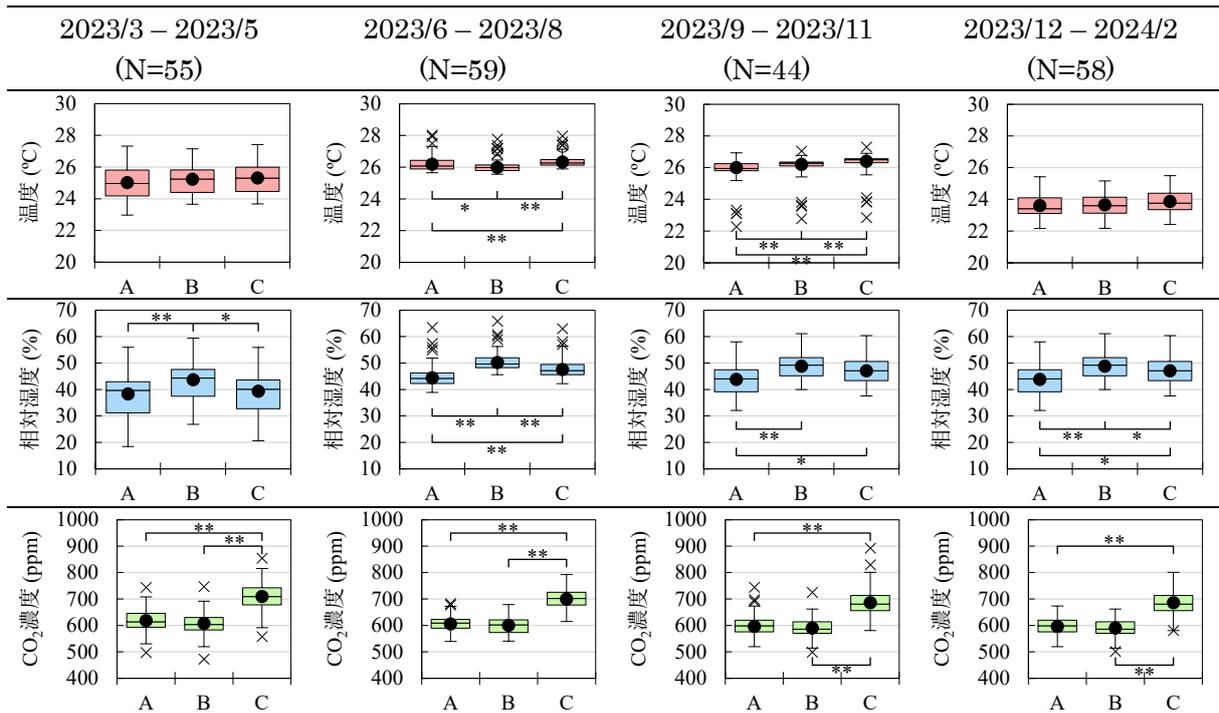
なし

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）

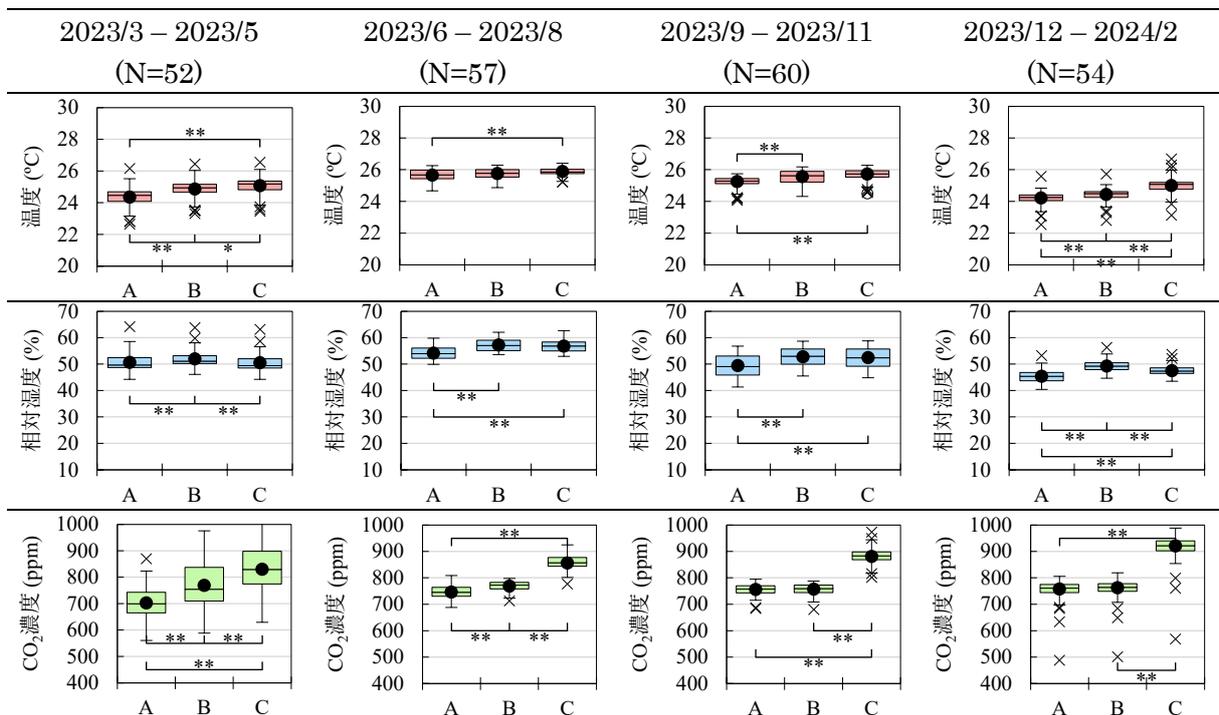
予定なし



【図 3-1-14 注記】

- 1)箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●プロットは平均値、×プロットは外れ値を示している。
- 2)多重比較検定には外れ値を除外して Steel-Dwass 検定を用いた。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

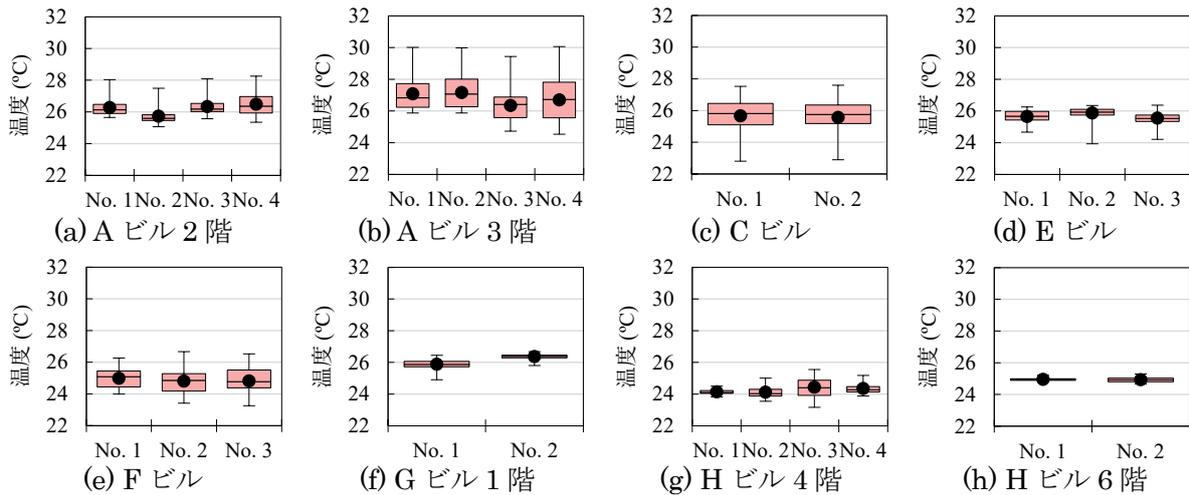
図 3-1-14 3種の小型測定器の比較 (Aビル2階)



【図 3-1-15 注記】

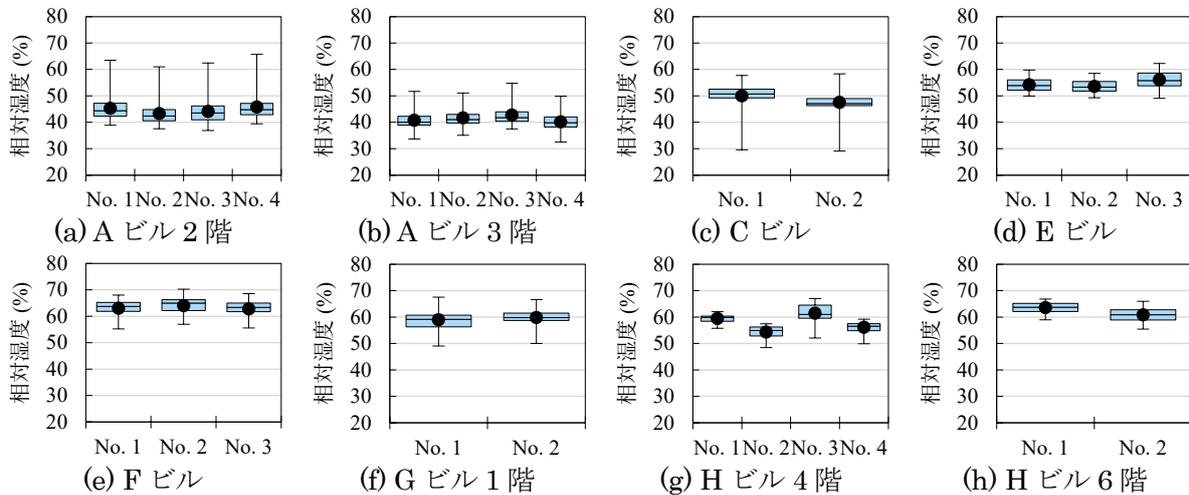
- 1)箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●プロットは平均値、×プロットは外れ値を示している。
- 2)多重比較検定には外れ値を除外して Steel-Dwass 検定を用いた。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

図 3-1-15 3種の小型測定器の比較 (Eビル2階)



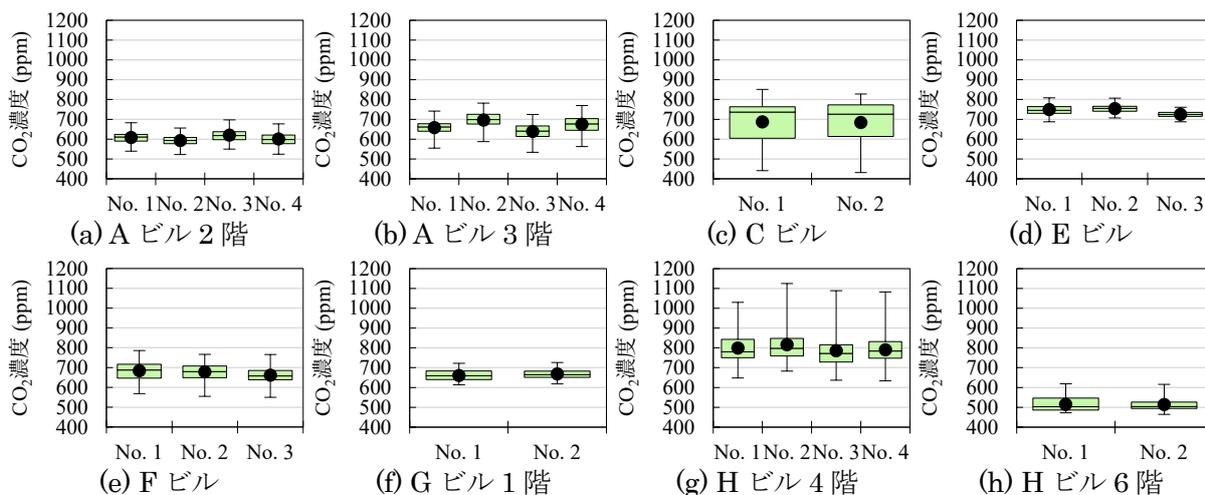
【図 3-1-16 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-16 温度の平面分布 (2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時の日平均値)



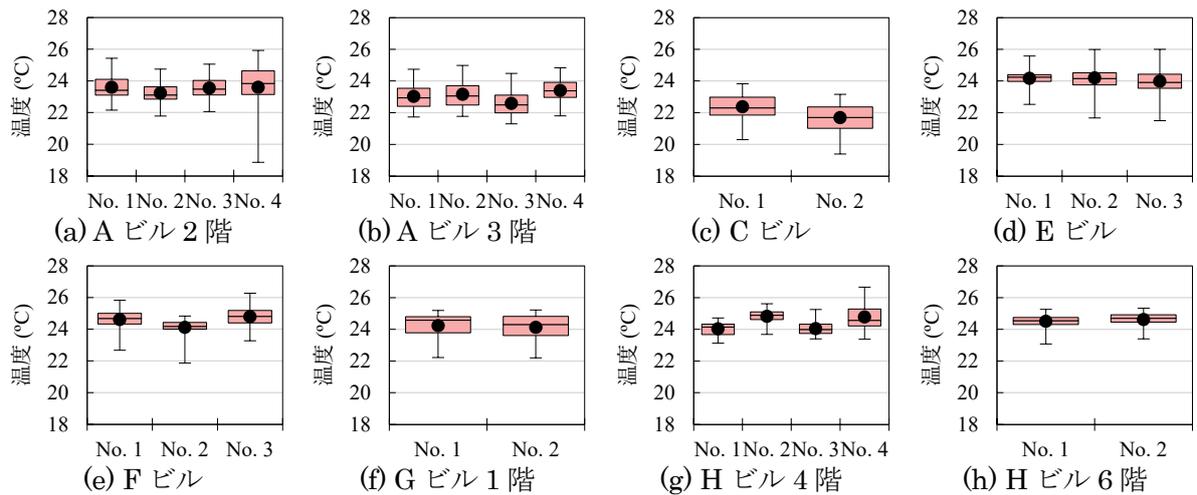
【図 3-1-17 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-17 相対湿度の平面分布 (2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時の日平均値)



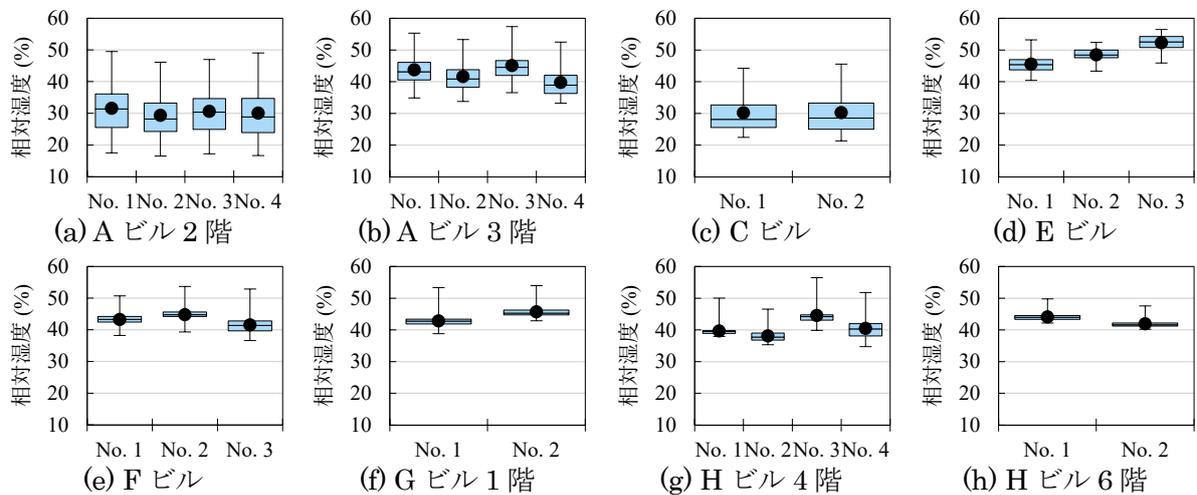
【図 3-1-18 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-18 CO₂濃度の平面分布 (2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時の日平均値)



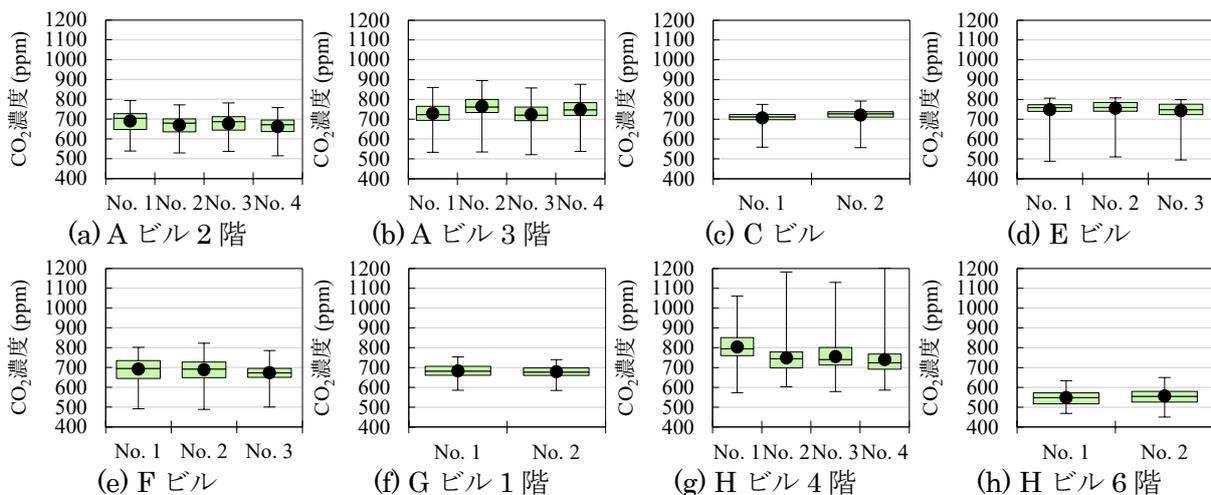
【図 3-1-19 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-19 温度の平面分布 (2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時の日平均値)



【図 3-1-20 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-20 相対湿度の平面分布 (2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時の日平均値)



【図 3-1-21 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-21 CO₂濃度の平面分布 (2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時の日平均値)

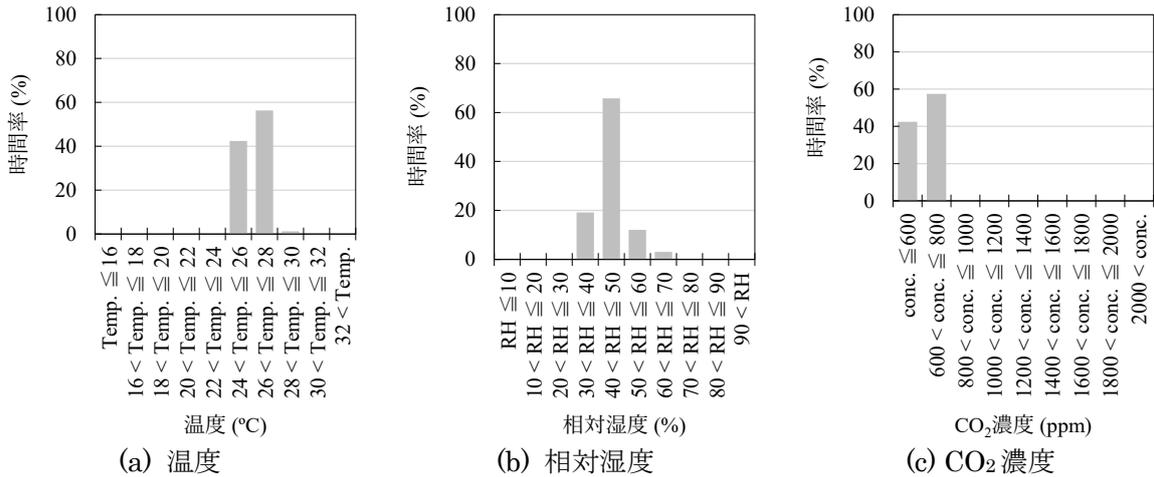


図 3-1-22 室内環境ヒストグラム (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

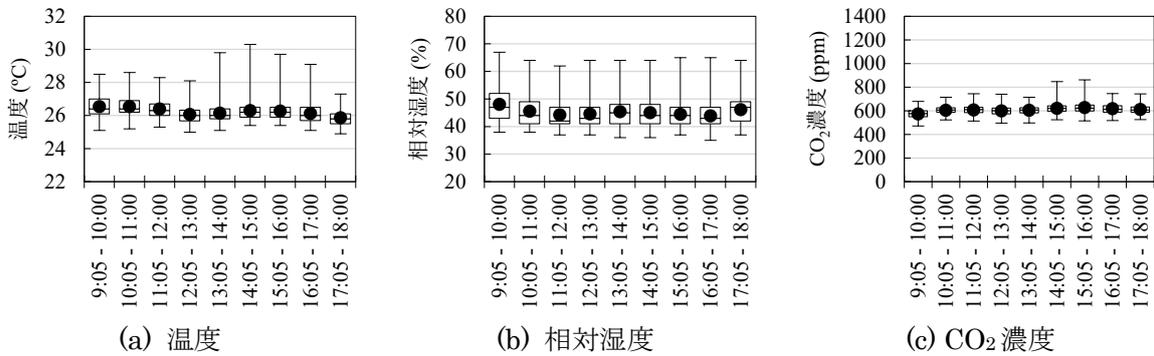


図 3-1-23 室内環境の特別結果 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

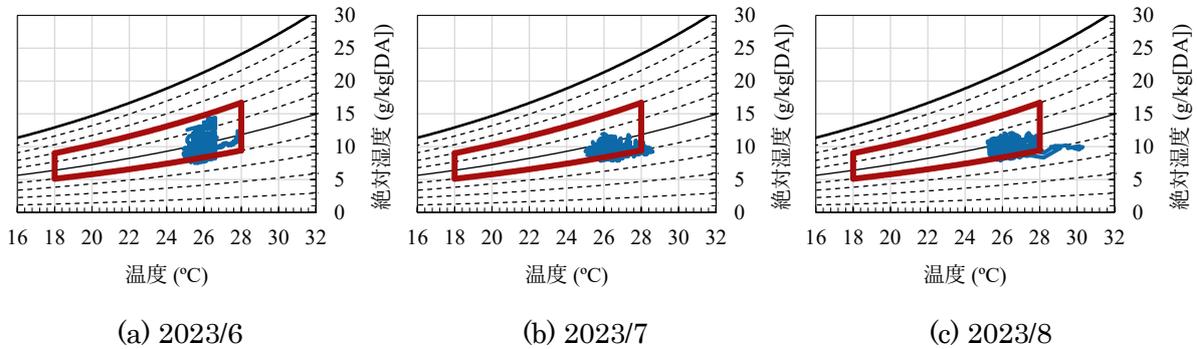


図 3-1-24 室内温湿度 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

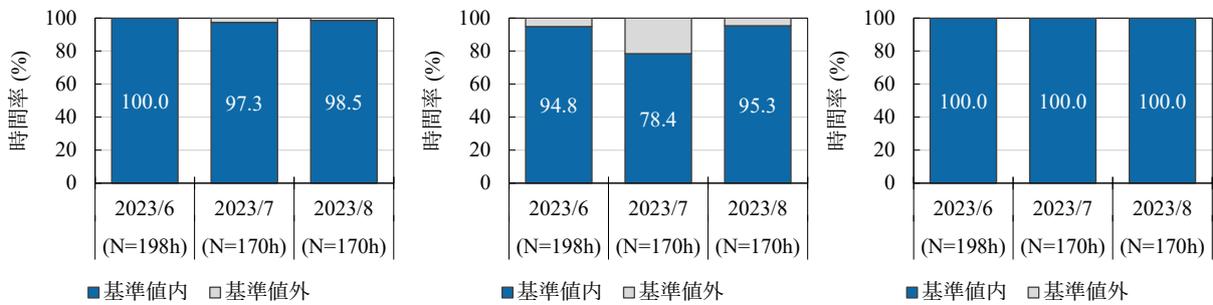


図 3-1-25 基準値内時間率 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

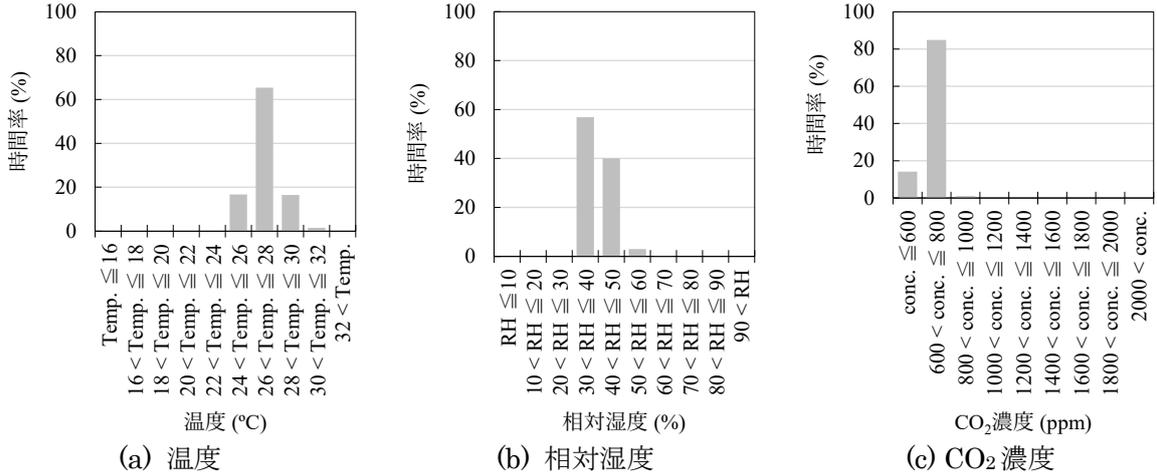


図 3-1-26 室内環境ヒストグラム (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

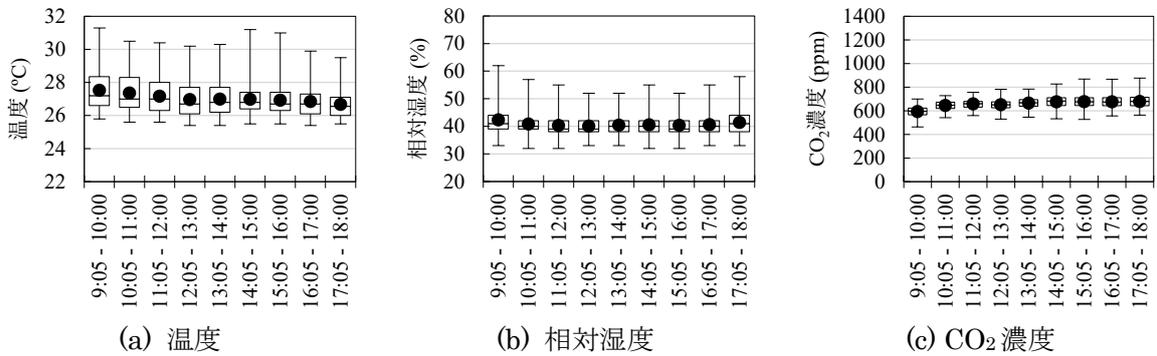


図 3-1-27 室内環境の特別結果 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

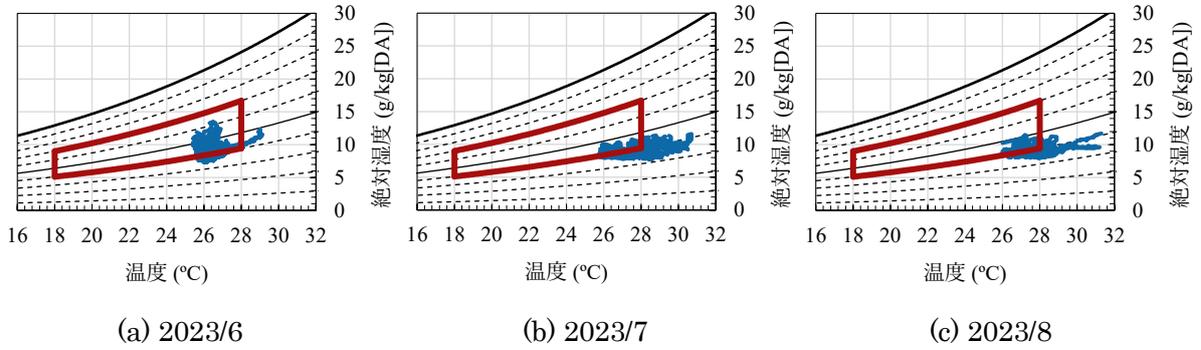


図 3-1-28 室内温湿度 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

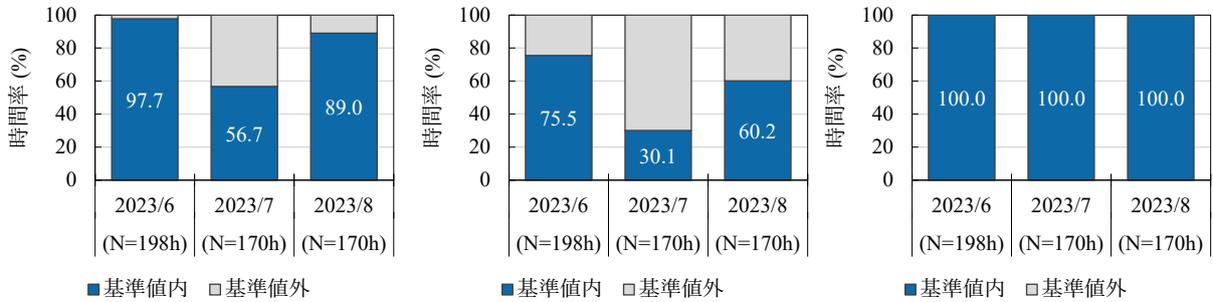


図 3-1-29 基準値内時間率 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

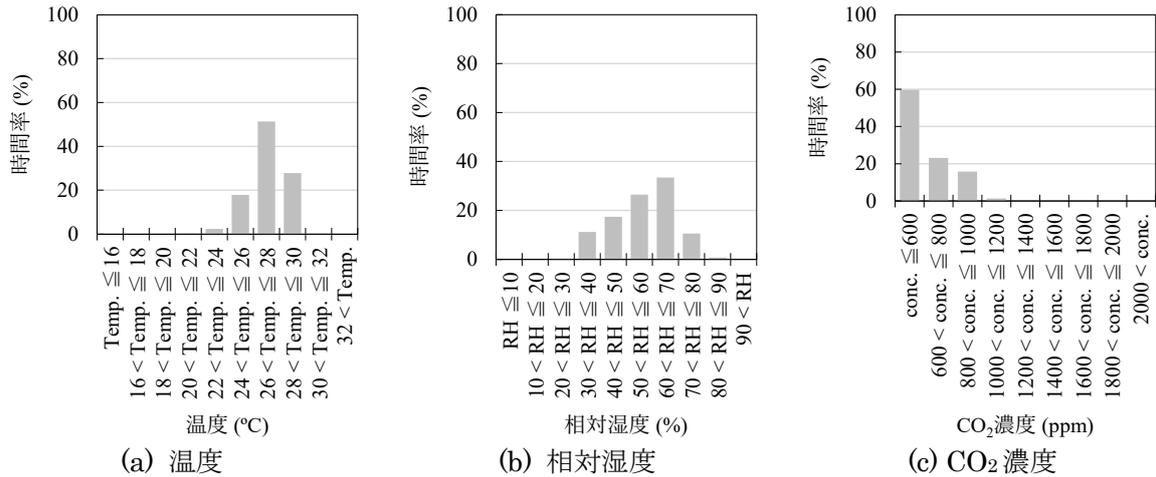


図 3-1-30 室内環境ヒストグラム (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

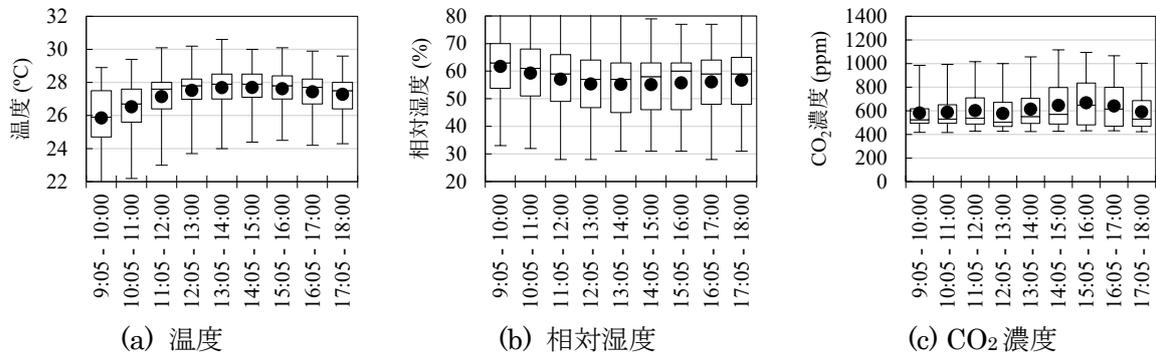


図 3-1-31 室内環境の特別結果 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

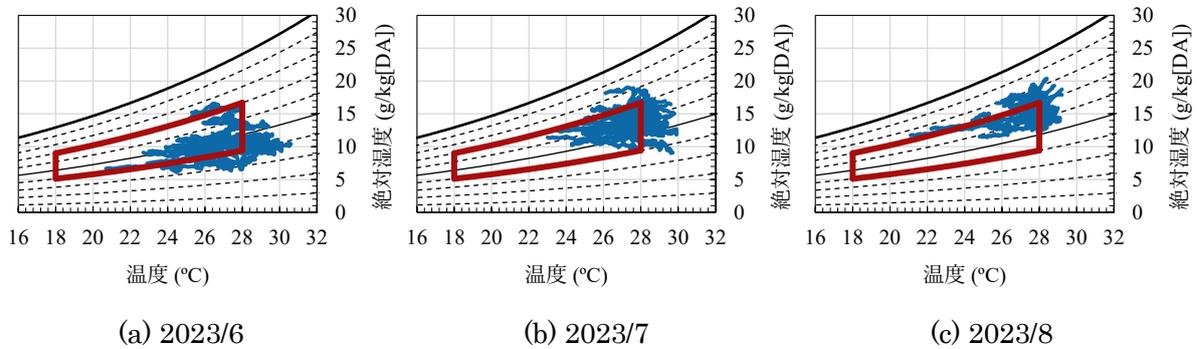


図 3-1-32 室内温湿度 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

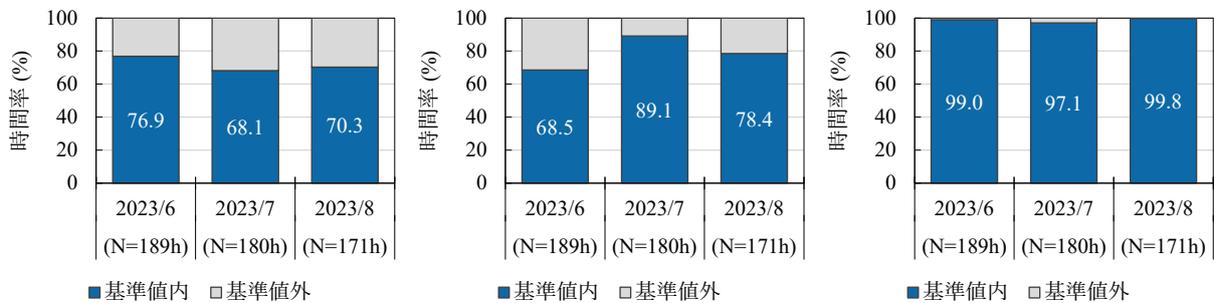


図 3-1-33 基準値内時間率 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

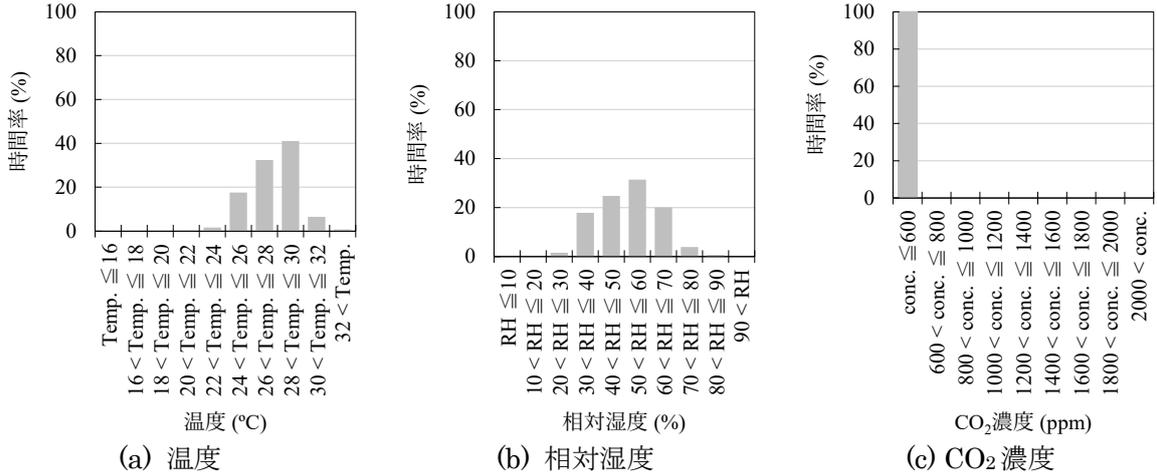


図 3-1-34 室内環境ヒストグラム (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

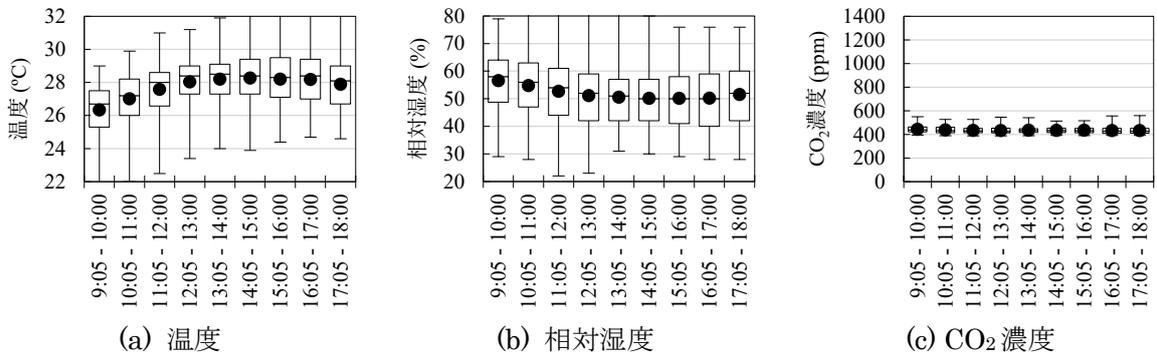


図 3-1-35 室内環境の特別結果 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

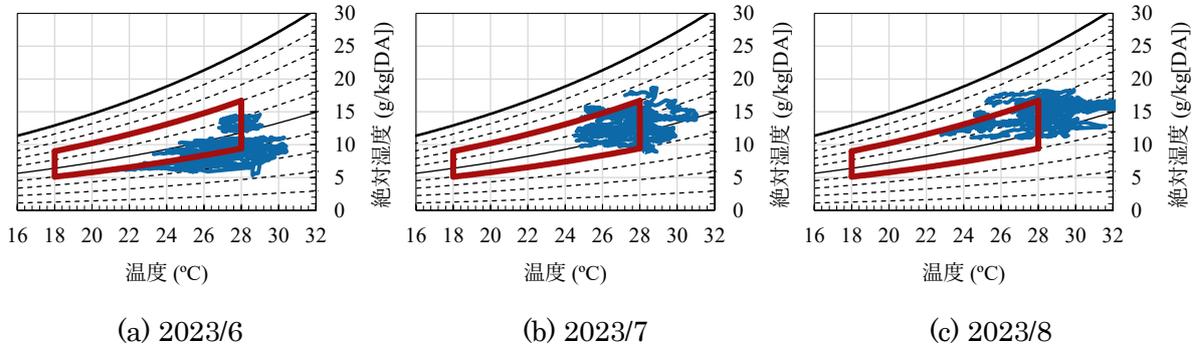


図 3-1-36 室内温湿度 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

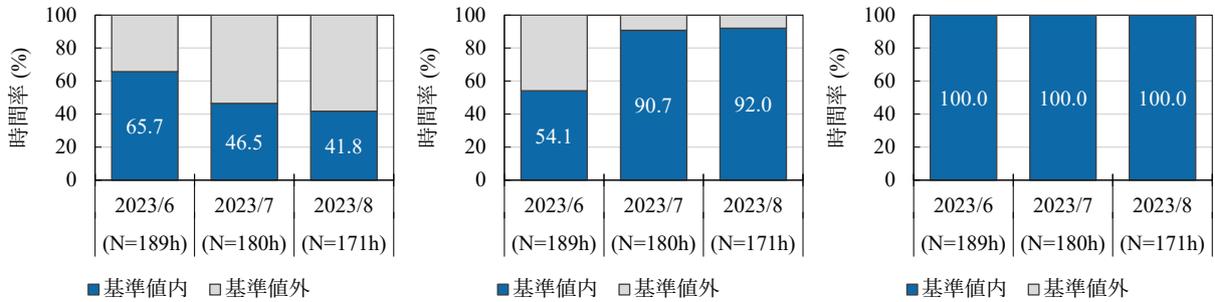


図 3-1-37 基準値内時間率 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

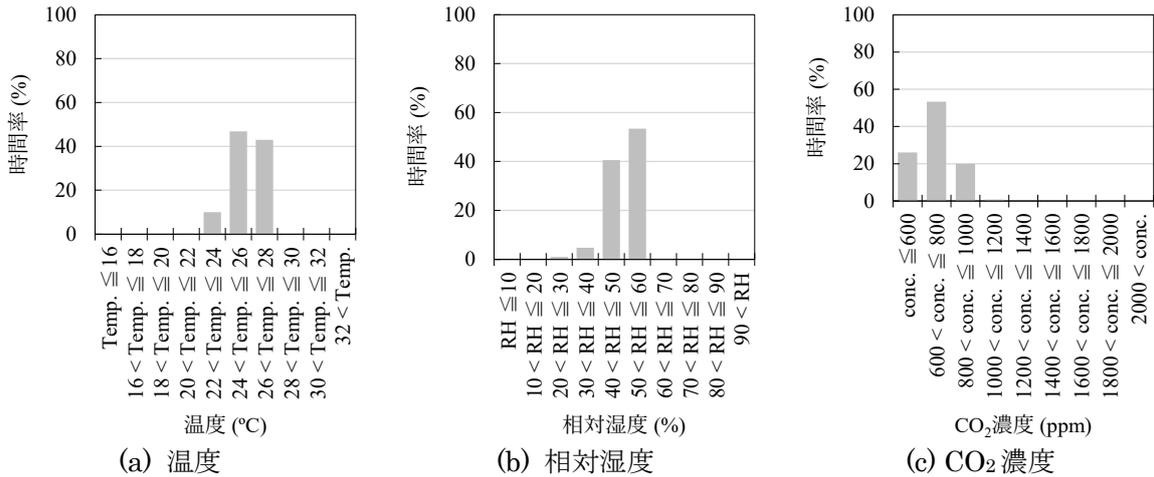


図 3-1-38 室内環境ヒストグラム (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

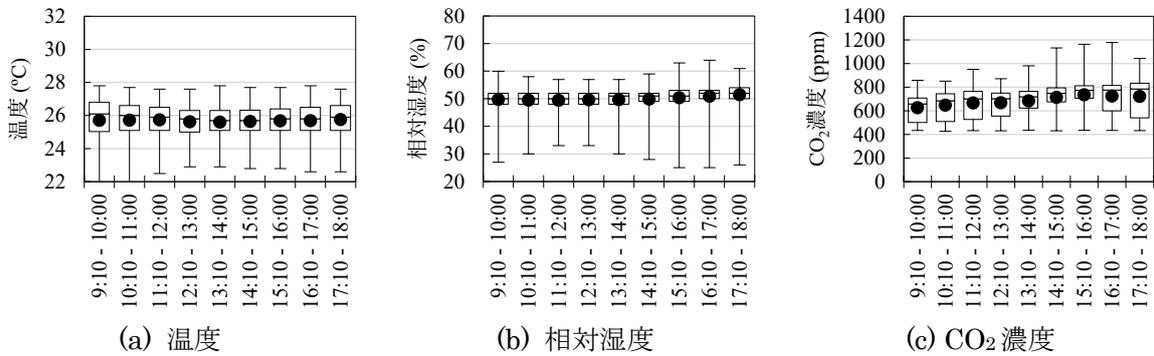


図 3-1-39 室内環境の特別結果 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

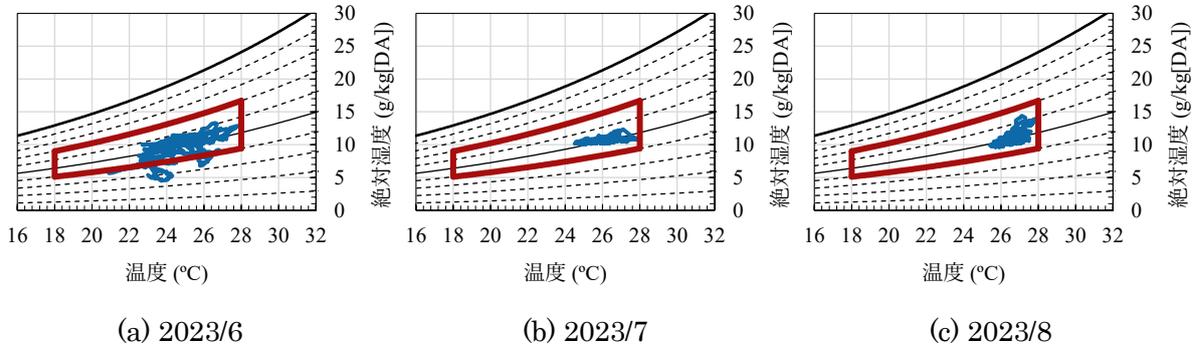


図 3-1-40 室内温湿度 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

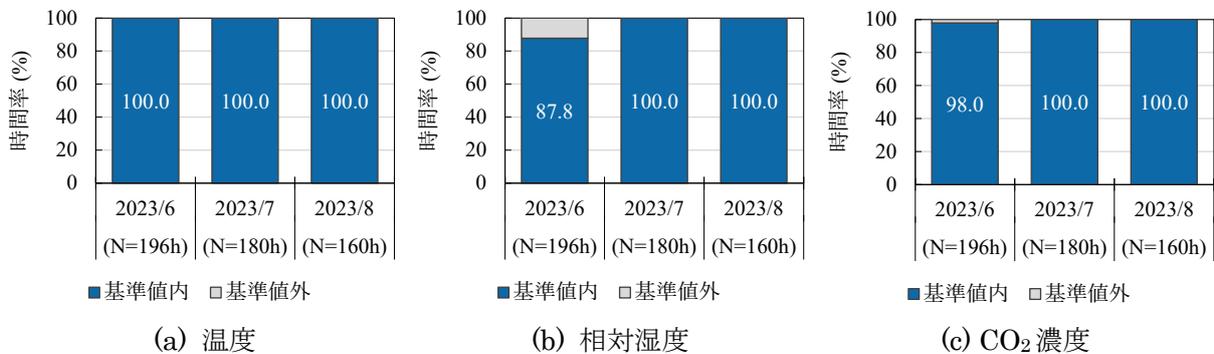


図 3-1-41 基準値内時間率 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

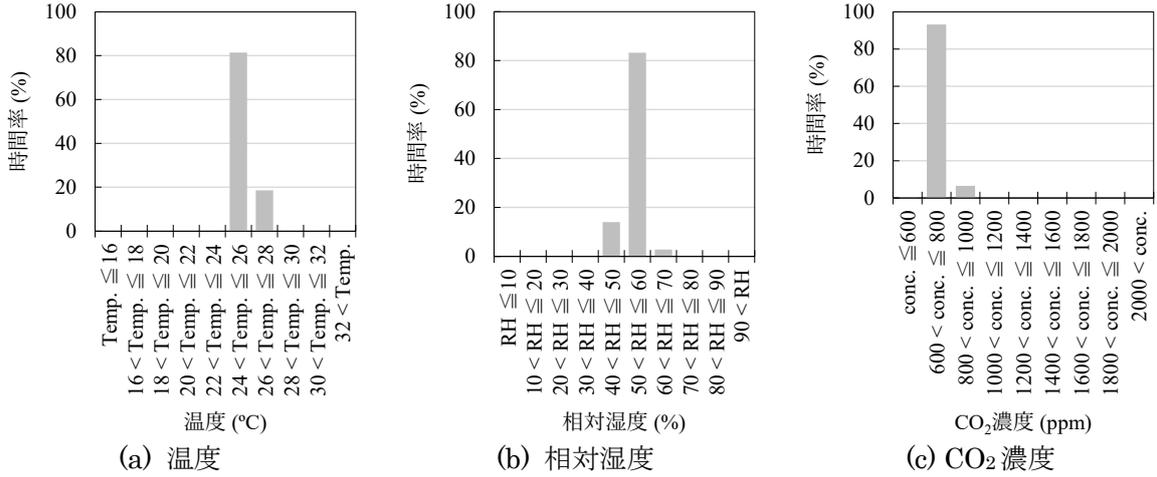


図 3-1-42 室内環境ヒストグラム (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

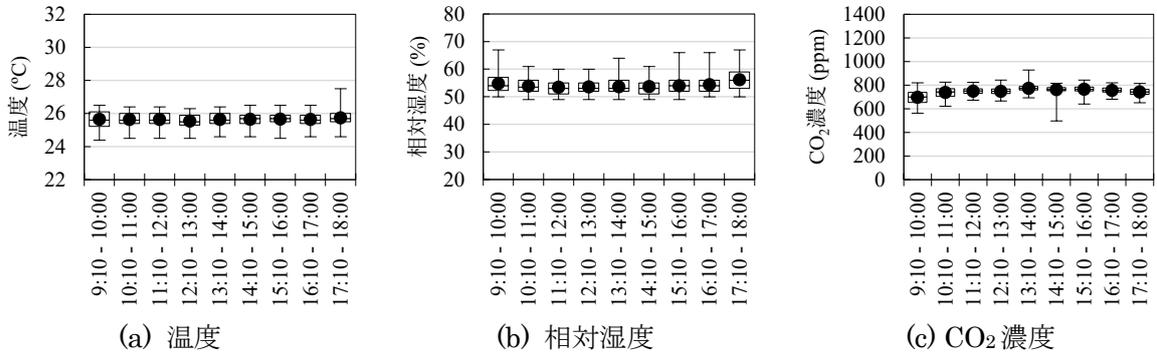


図 3-1-43 室内環境の特別結果 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

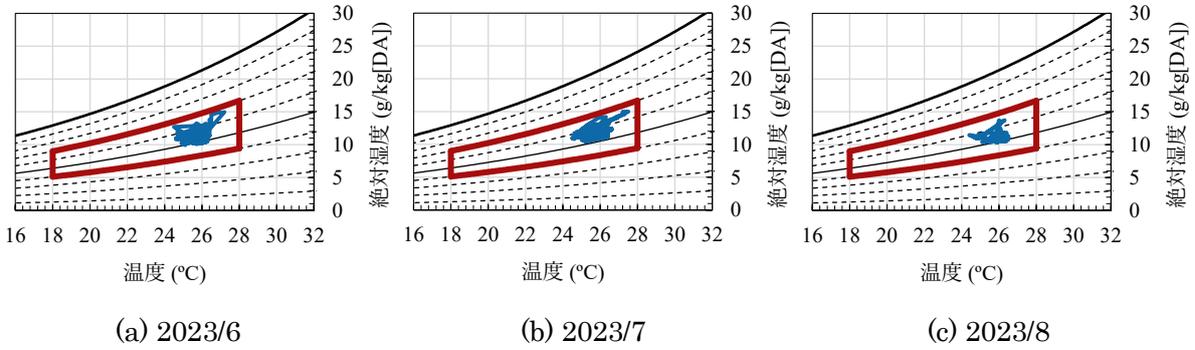


図 3-1-44 室内温湿度 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

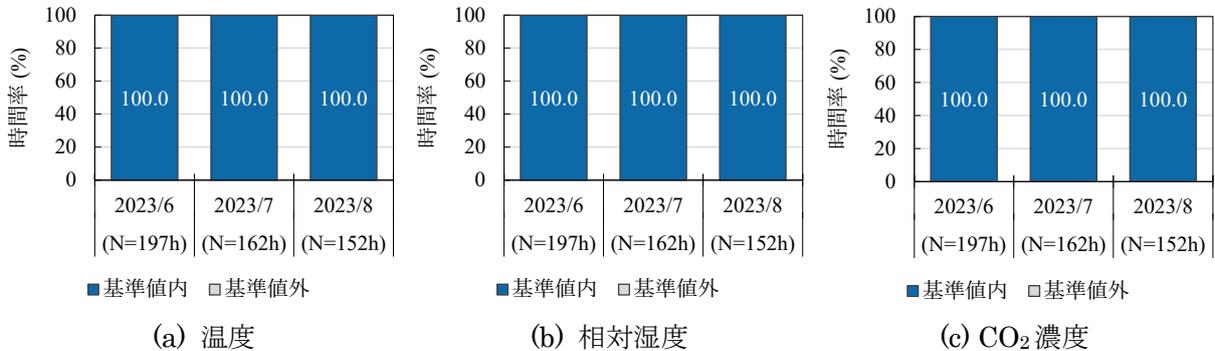


図 3-1-45 基準値内時間率 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

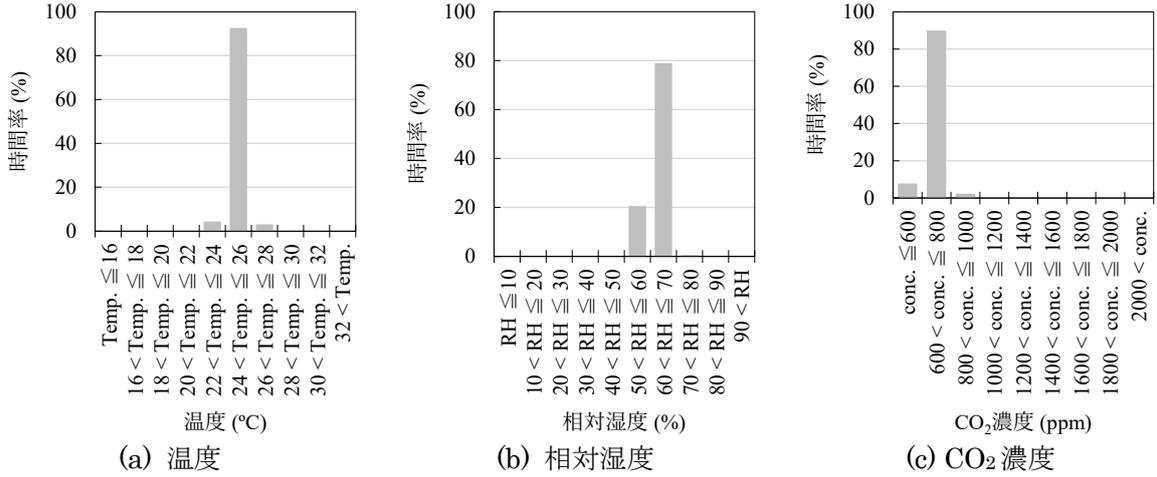


図 3-1-46 室内環境ヒストグラム (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

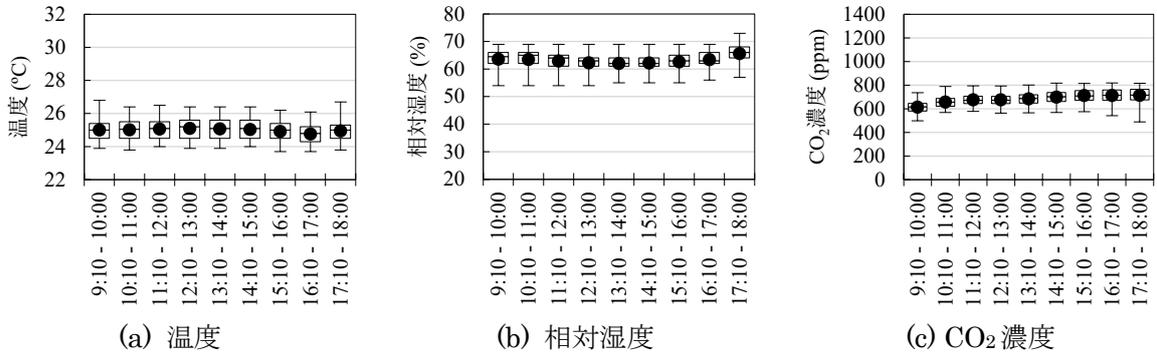


図 3-1-47 室内環境の特別結果 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

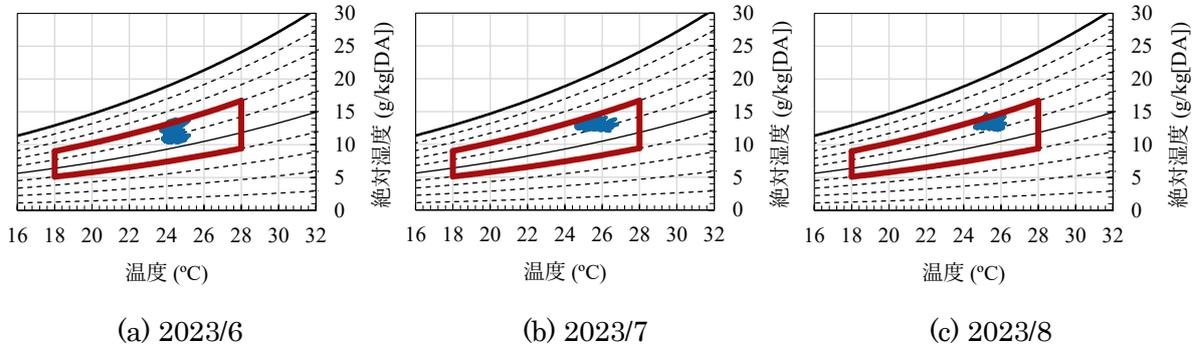


図 3-1-48 室内温湿度 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

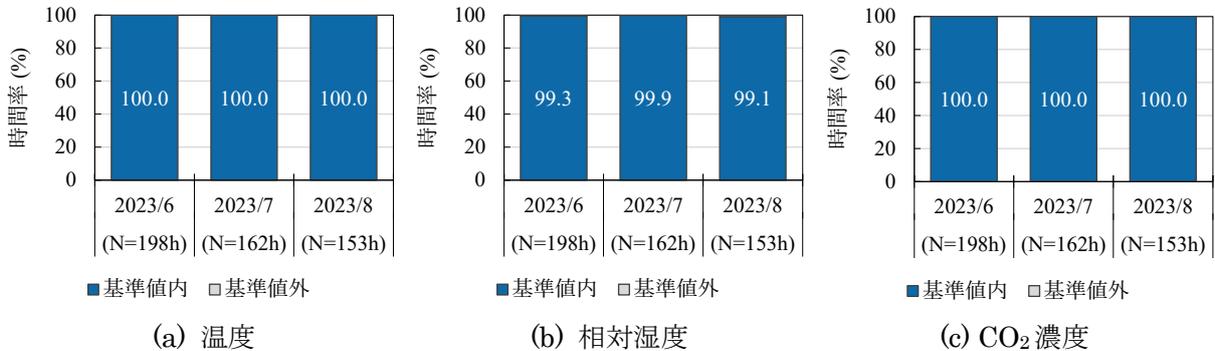


図 3-1-49 基準値内時間率 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

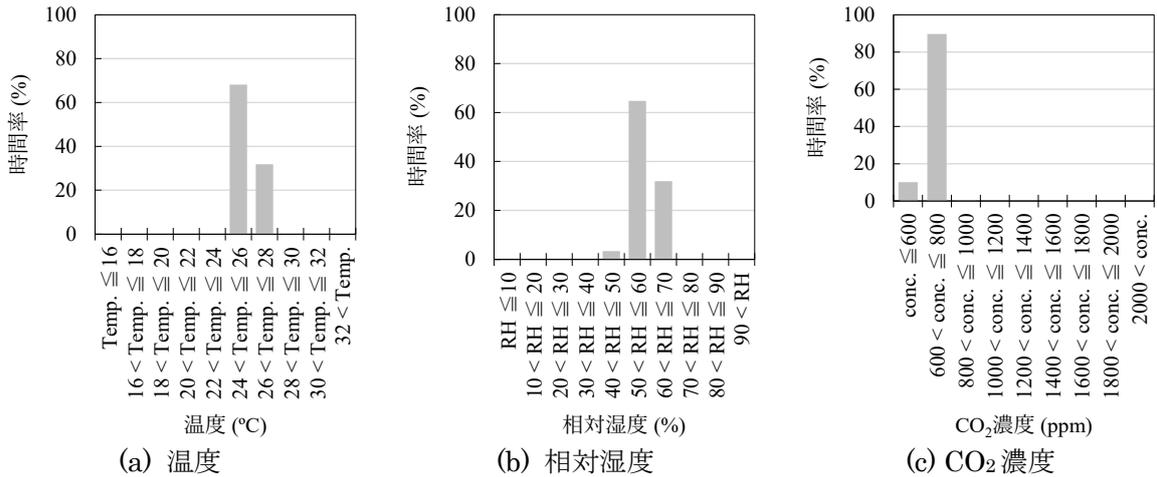


図 3-1-50 室内環境ヒストグラム (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

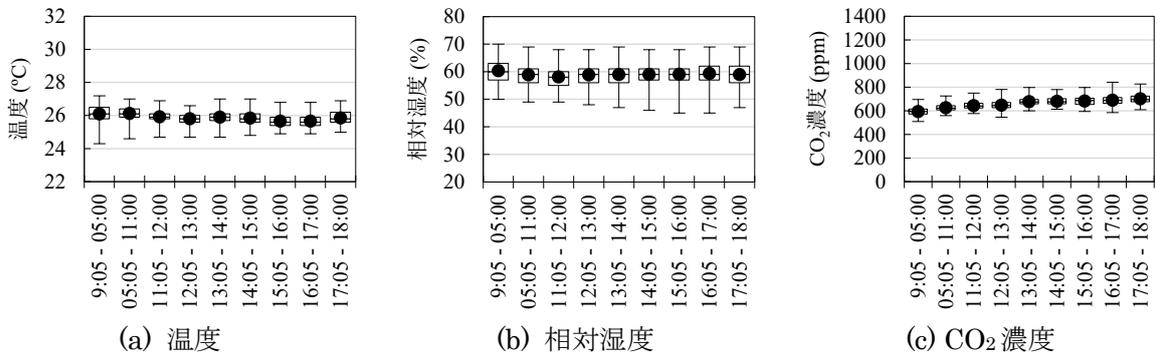


図 3-1-51 室内環境の特別結果 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

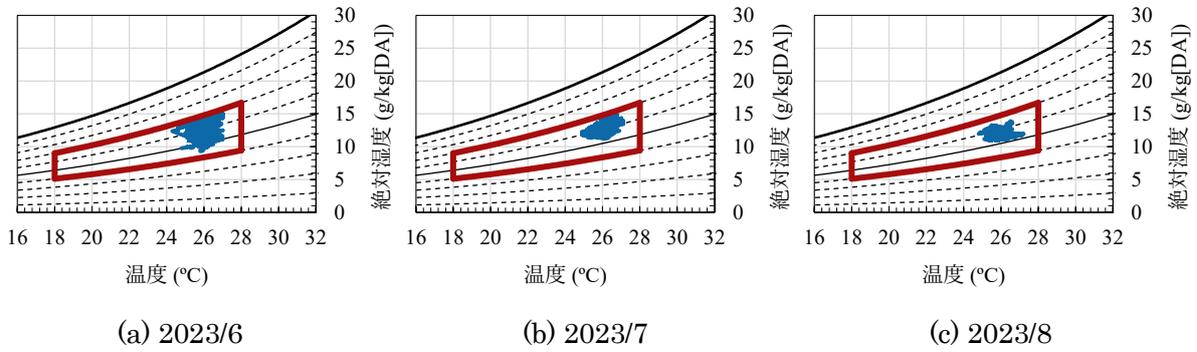


図 3-1-52 室内温湿度 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

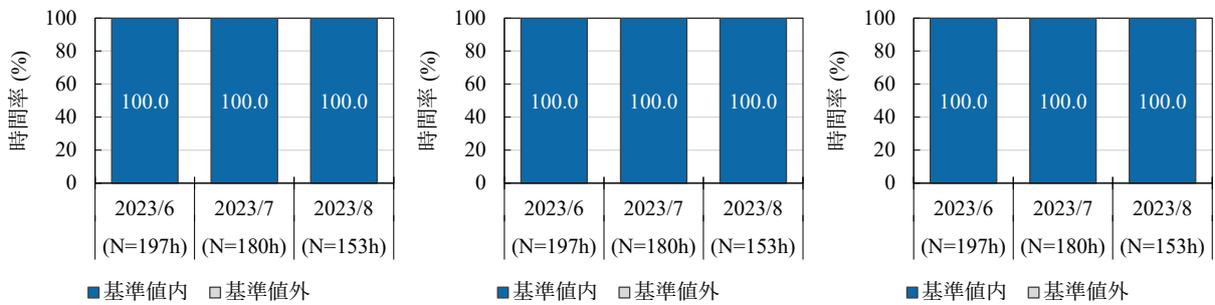


図 3-1-53 基準値内時間率 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

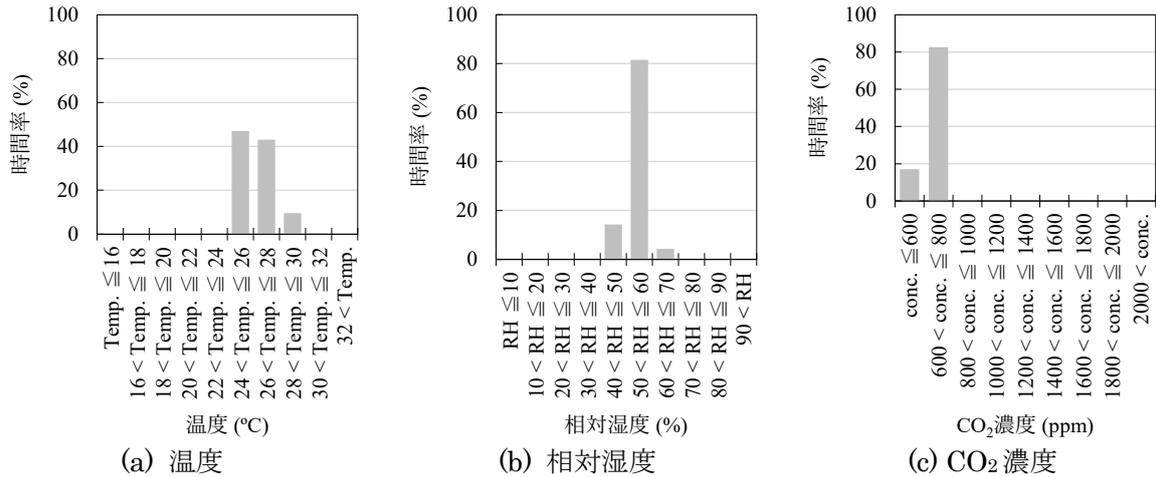


図 3-1-54 室内環境ヒストグラム (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

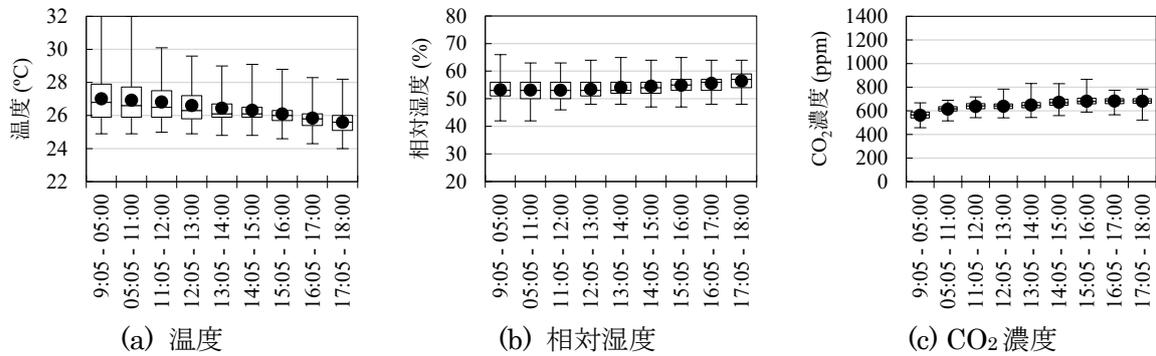


図 3-1-55 室内環境の特別結果 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

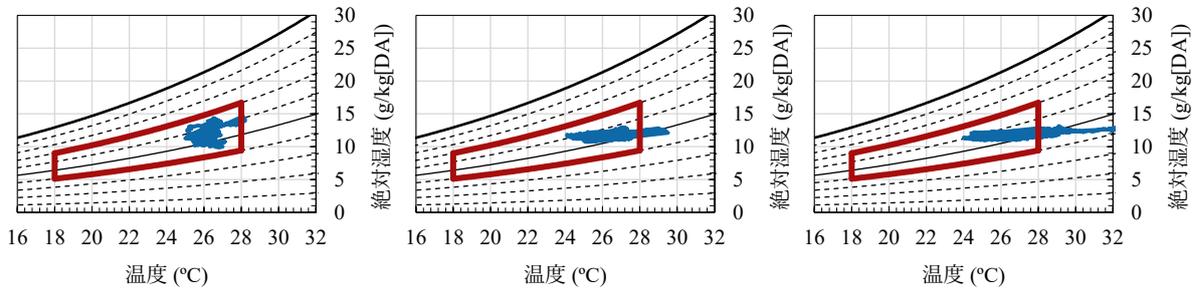


図 3-1-56 室内温湿度 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

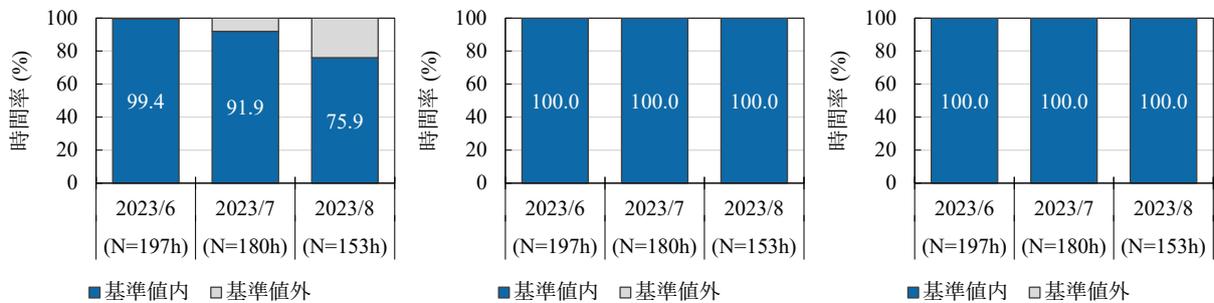


図 3-1-57 基準値内時間率 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

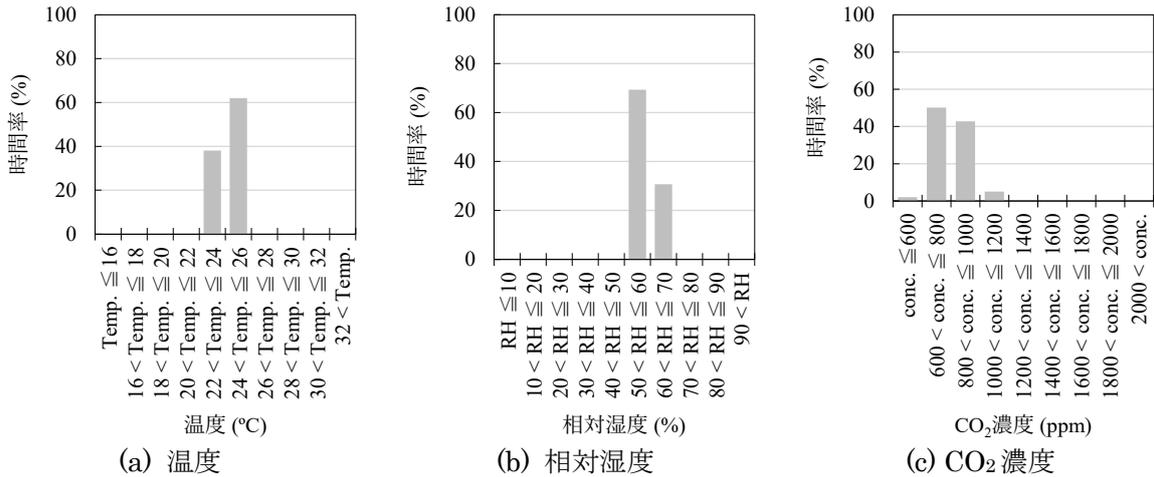


図 3-1-58 室内環境ヒストグラム (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

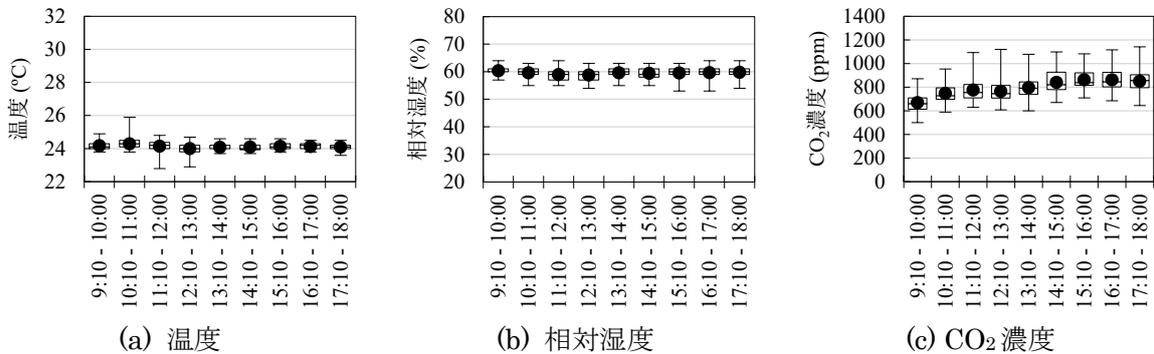
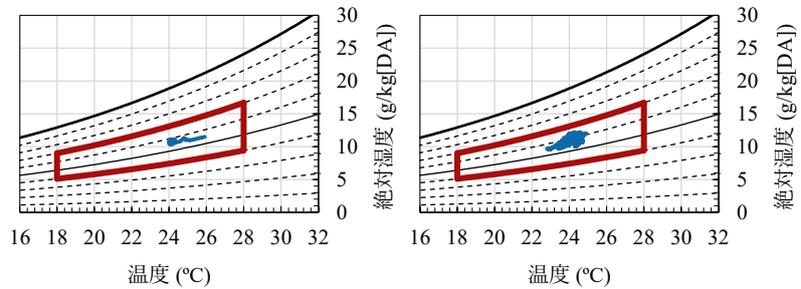
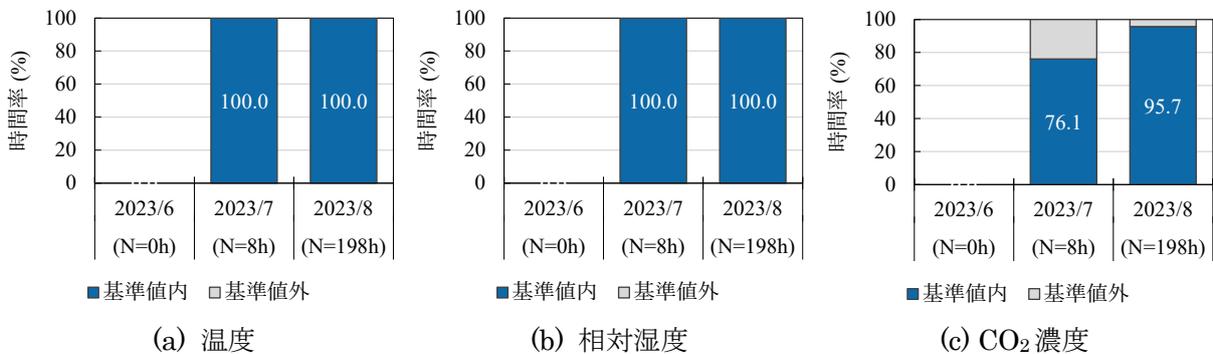


図 3-1-59 室内環境の時別結果 (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)



(a) 2023/6 (b) 2023/7 (c) 2023/8
図 3-1-60 室内温湿度 (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)



(a) 温度 (b) 相対湿度 (c) CO₂濃度
図 3-1-61 基準値内時間率 (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

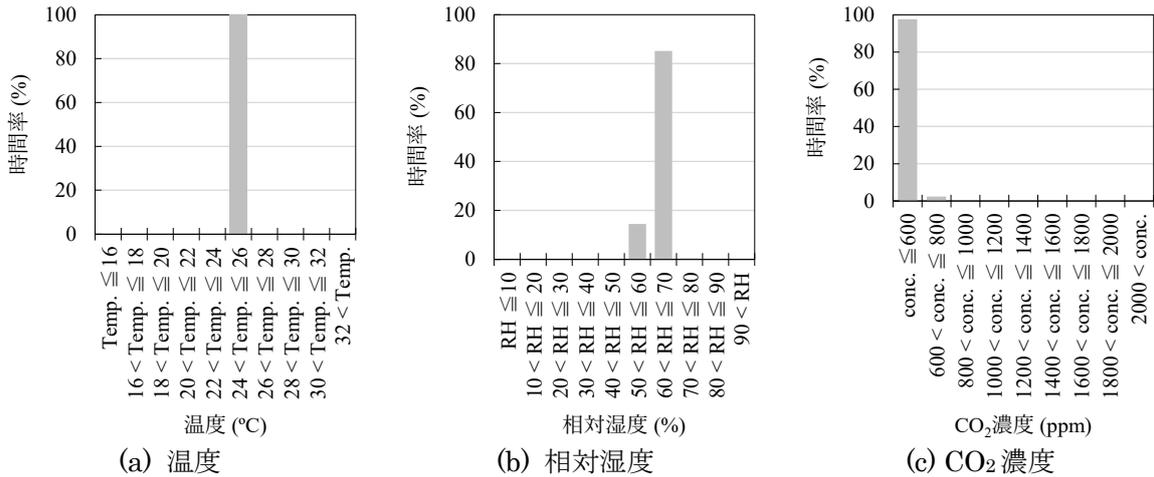


図 3-1-62 室内環境ヒストグラム (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

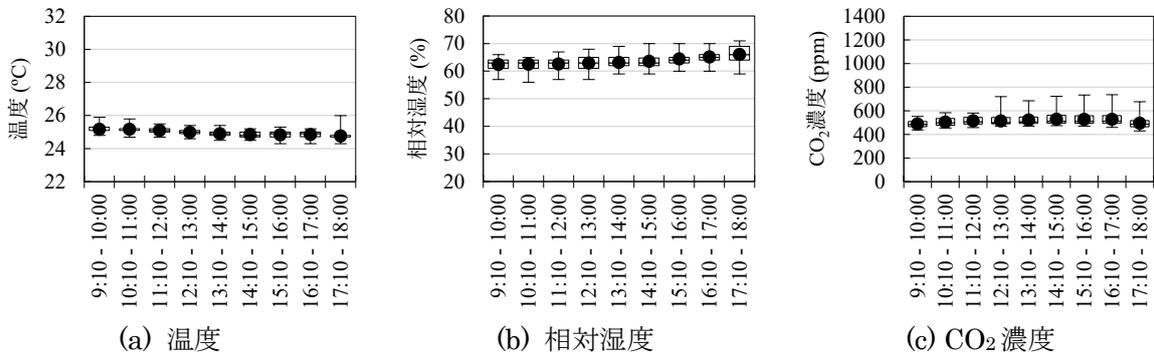


図 3-1-63 室内環境の時刻別結果 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

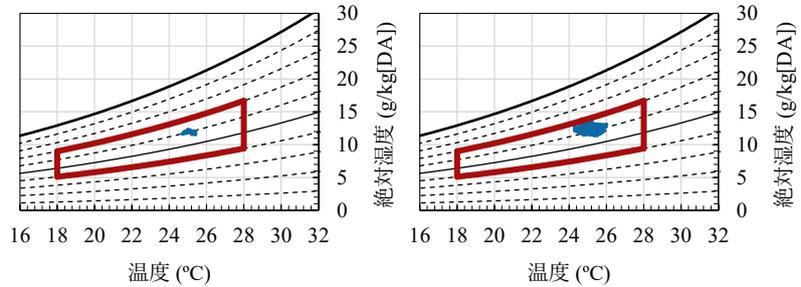


図 3-1-64 室内温湿度 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

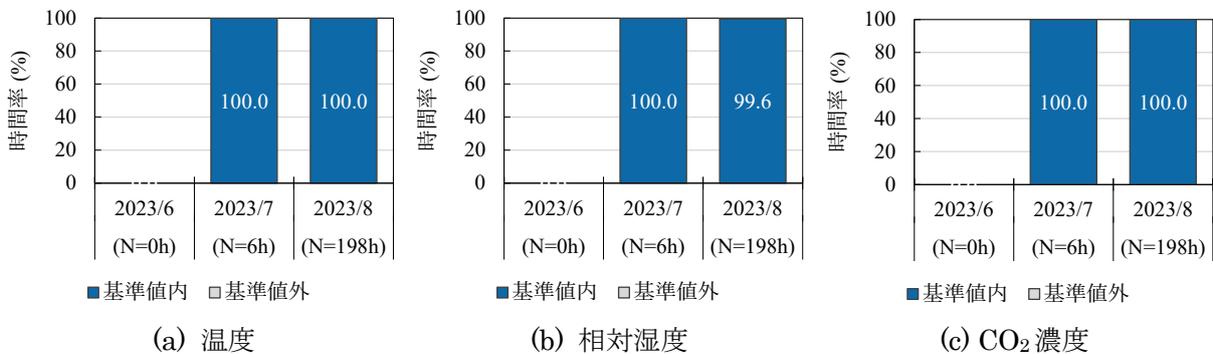


図 3-1-65 基準値内時間率 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

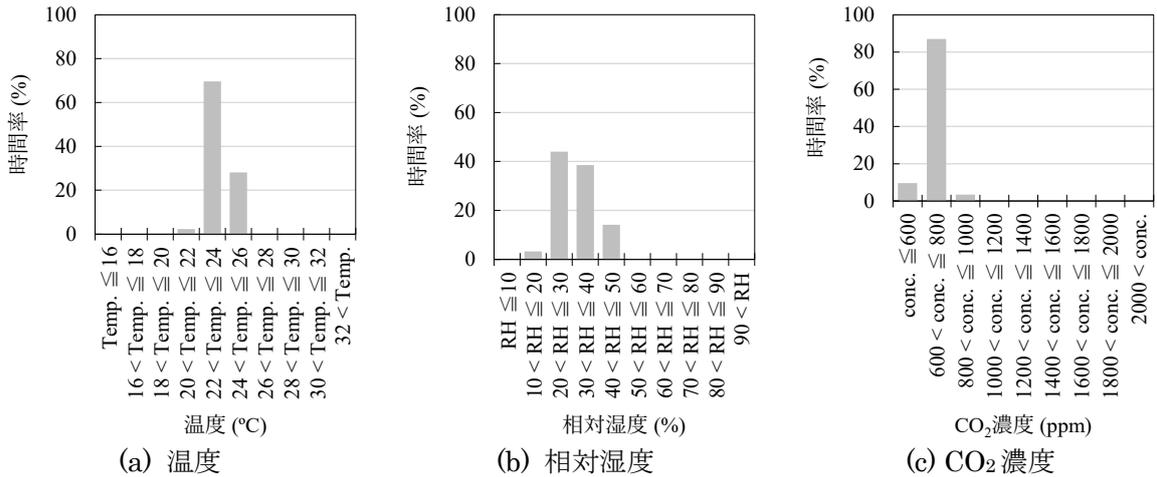


図 3-1-66 室内環境ヒストグラム (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

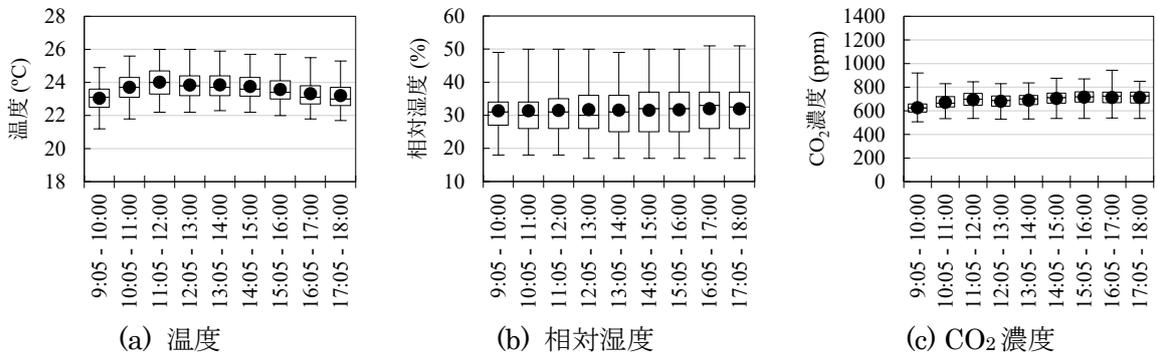


図 3-1-67 室内環境の時別結果 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

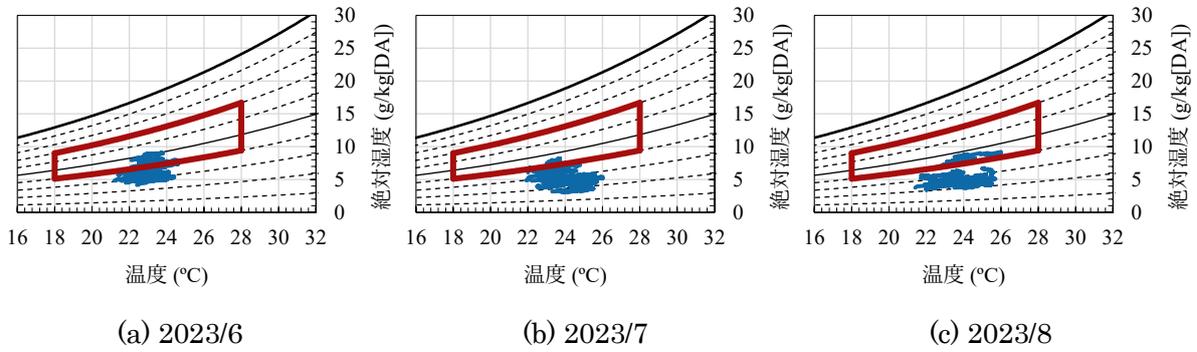


図 3-1-68 室内温湿度 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

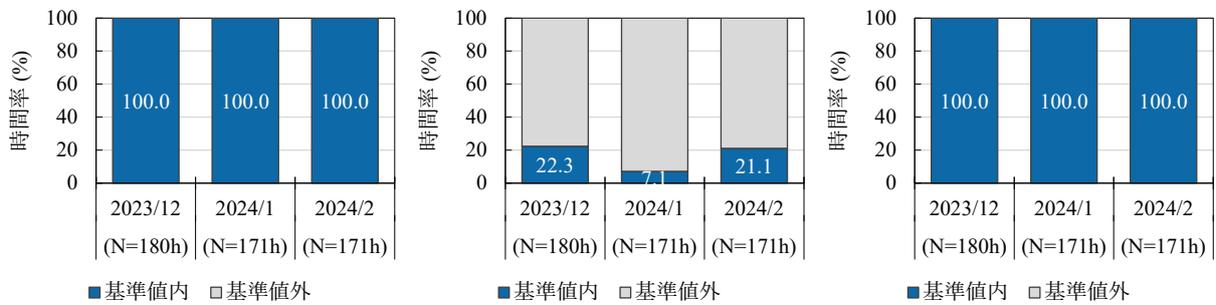


図 3-1-69 基準値内時間率 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

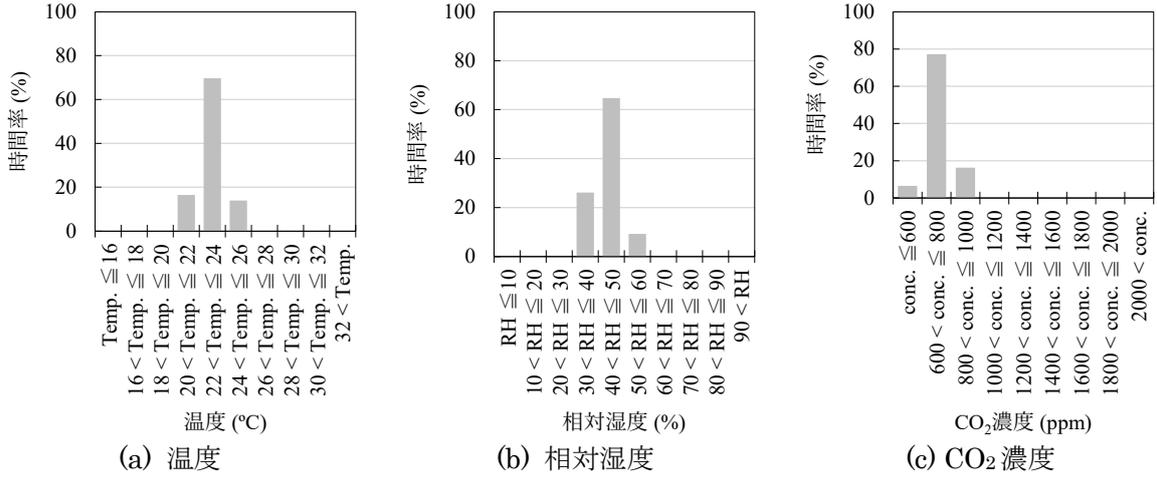


図 3-1-70 室内環境ヒストグラム (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

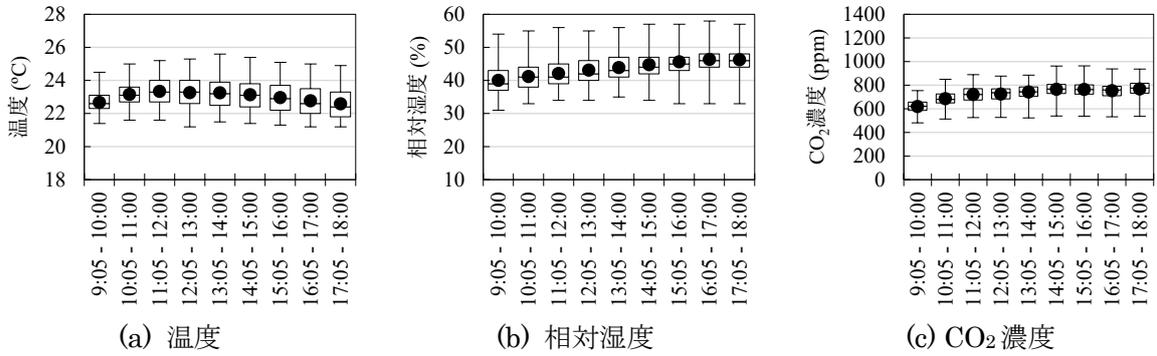


図 3-1-71 室内環境の時別結果 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

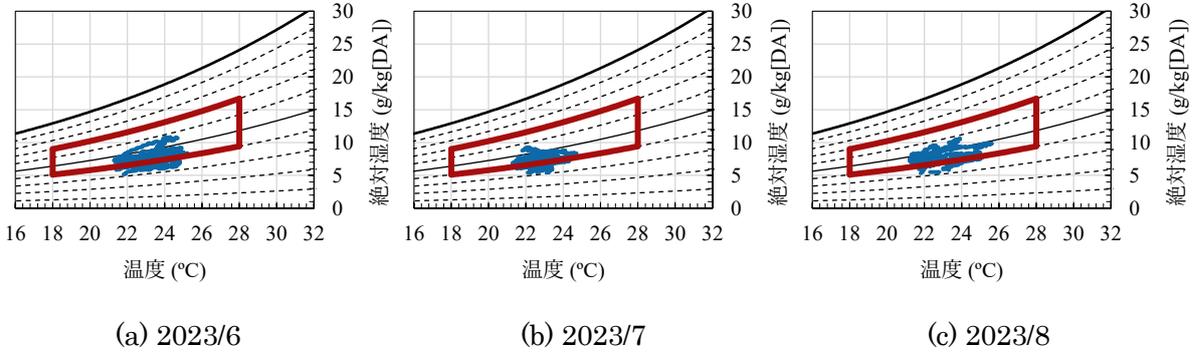


図 3-1-72 室内温湿度 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

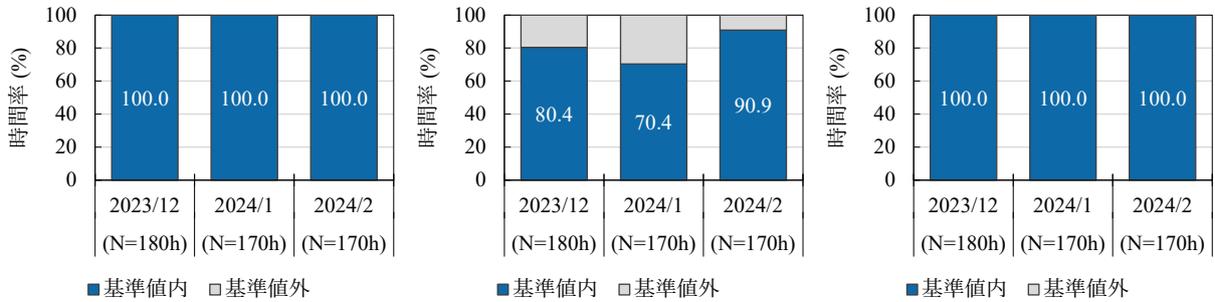


図 3-1-73 基準値内時間率 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

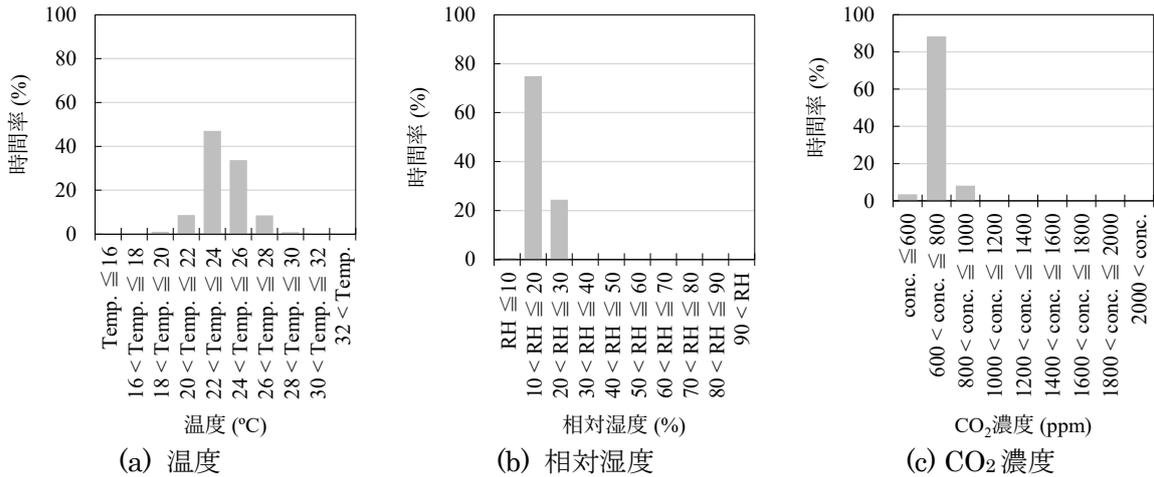


図 3-1-74 室内環境ヒストグラム (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

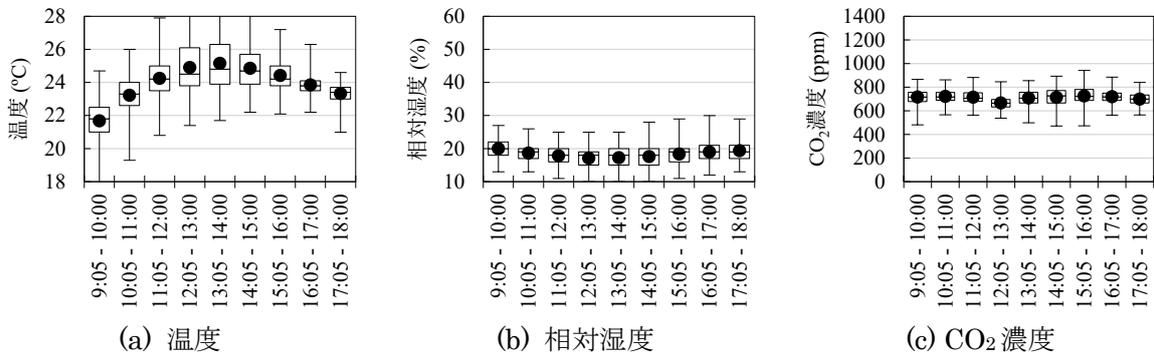


図 3-1-75 室内環境の時別結果 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

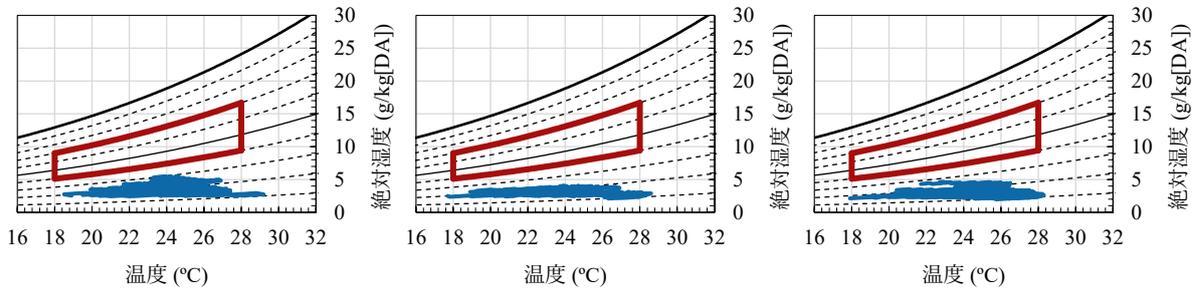


図 3-1-76 室内温湿度 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

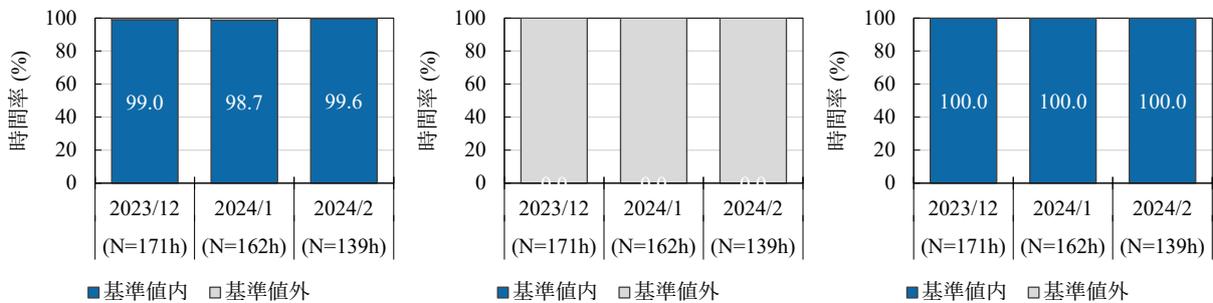


図 3-1-77 基準値内時間率 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

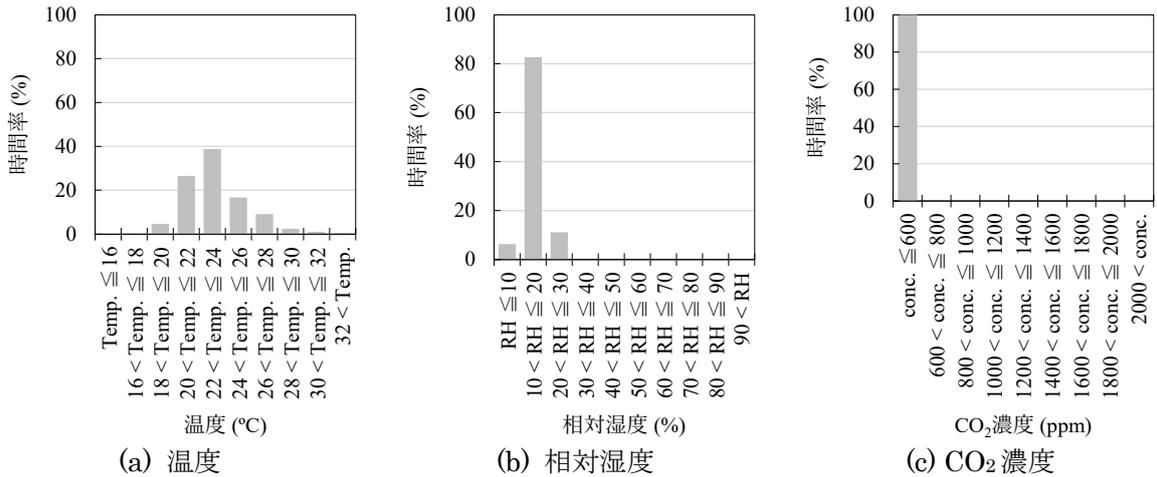


図 3-1-78 室内環境ヒストグラム (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

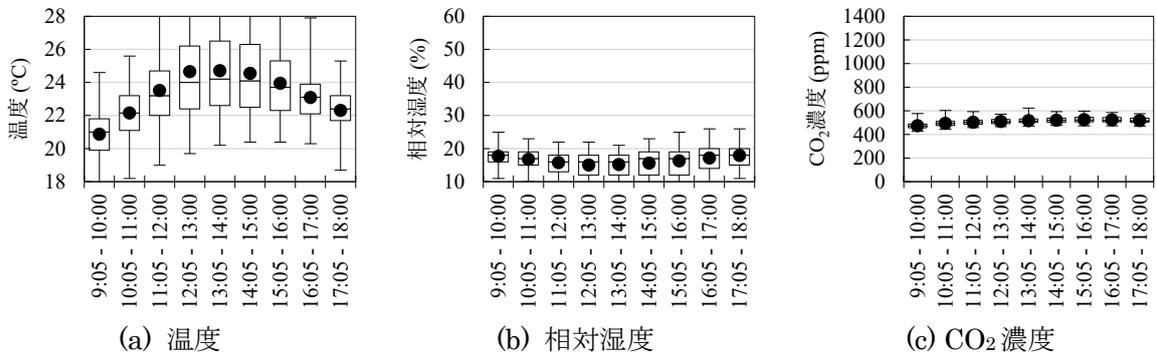


図 3-1-79 室内環境の特別結果 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

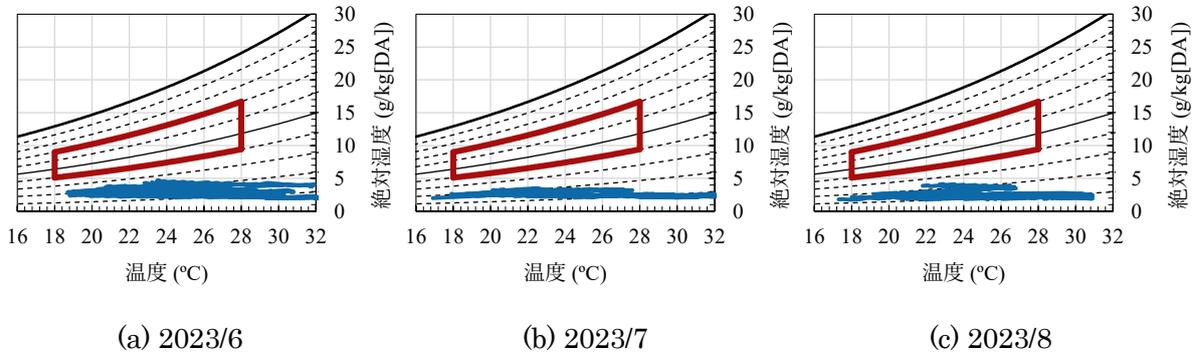


図 3-1-80 室内温湿度 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

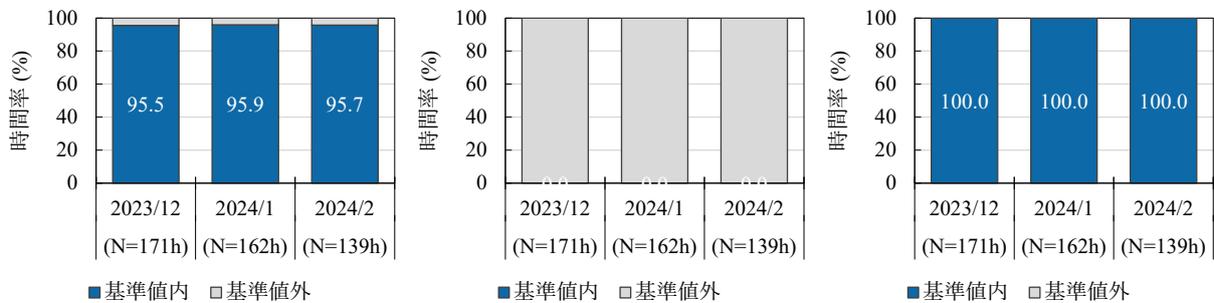


図 3-1-81 基準値内時間率 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

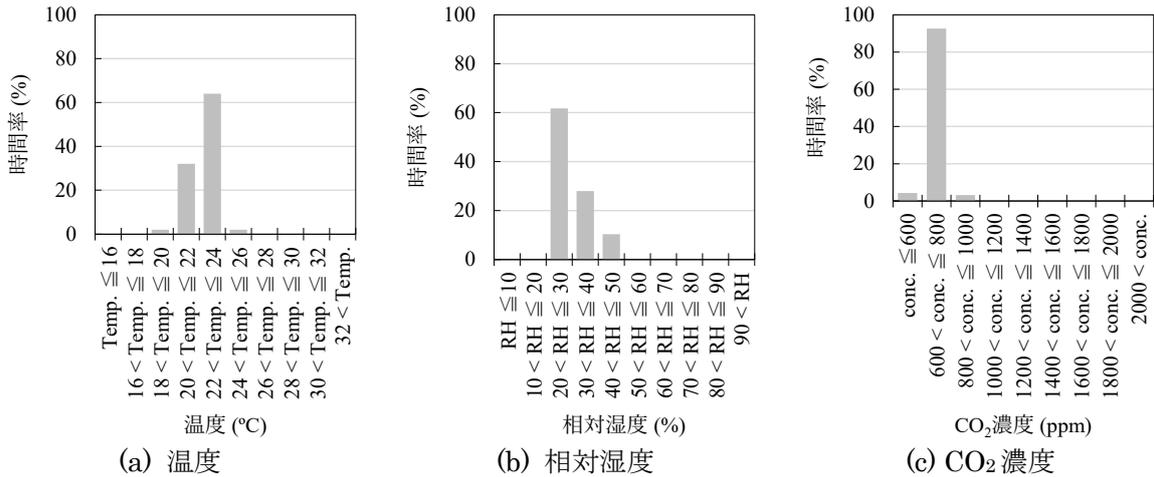


図 3-1-82 室内環境ヒストグラム (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

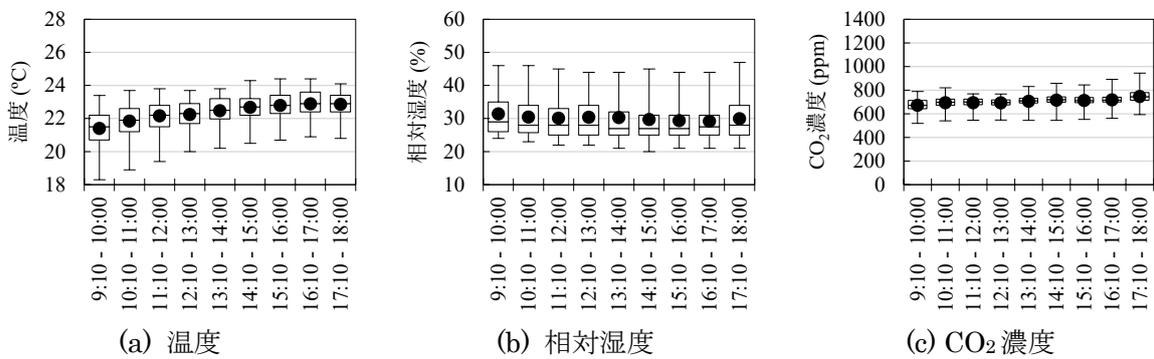


図 3-1-83 室内環境の特別結果 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

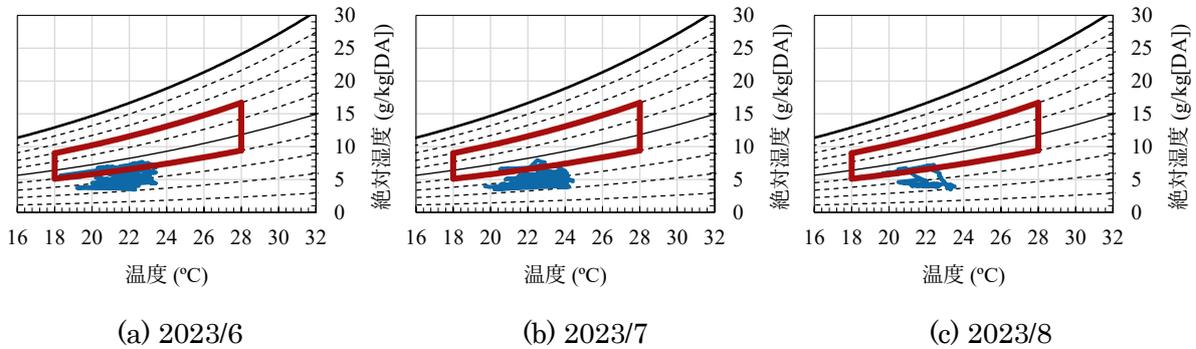


図 3-1-84 室内温湿度 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

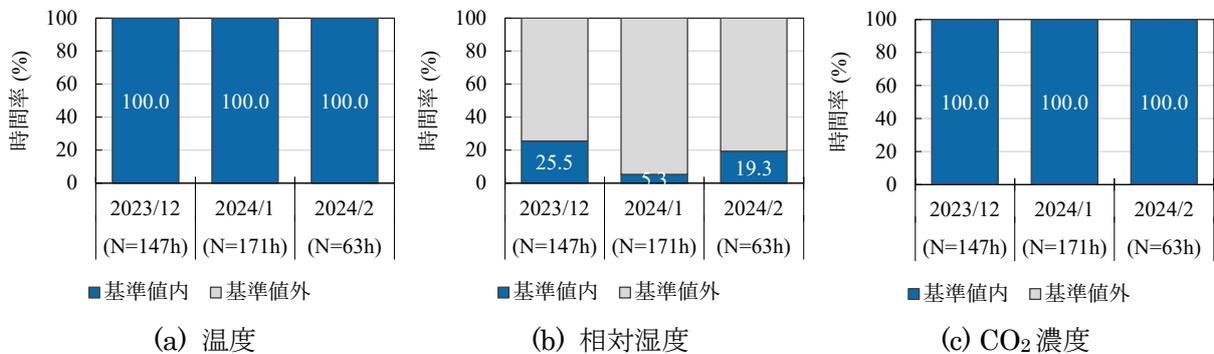


図 3-1-85 基準値内時間率 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

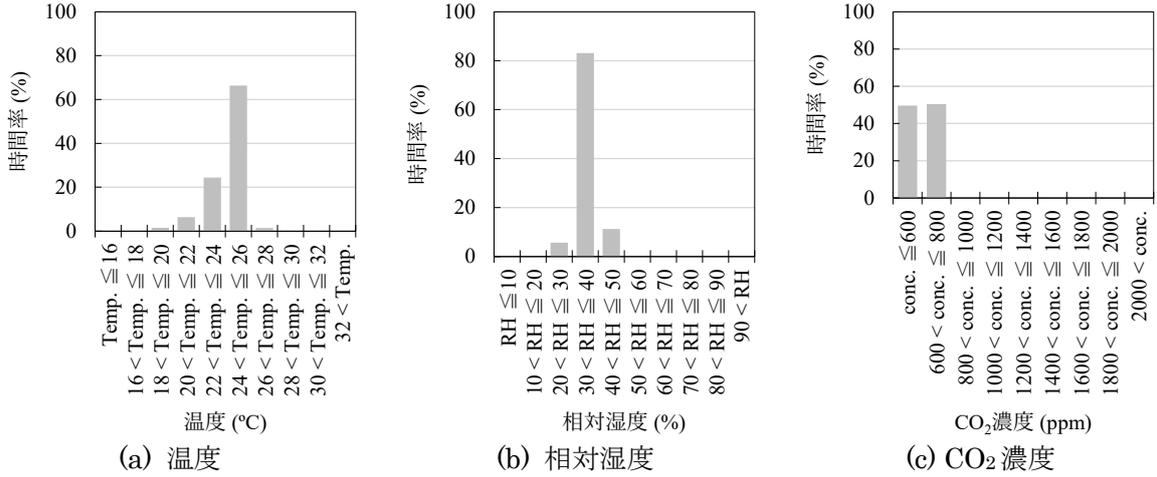


図 3-1-86 室内環境ヒストグラム (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

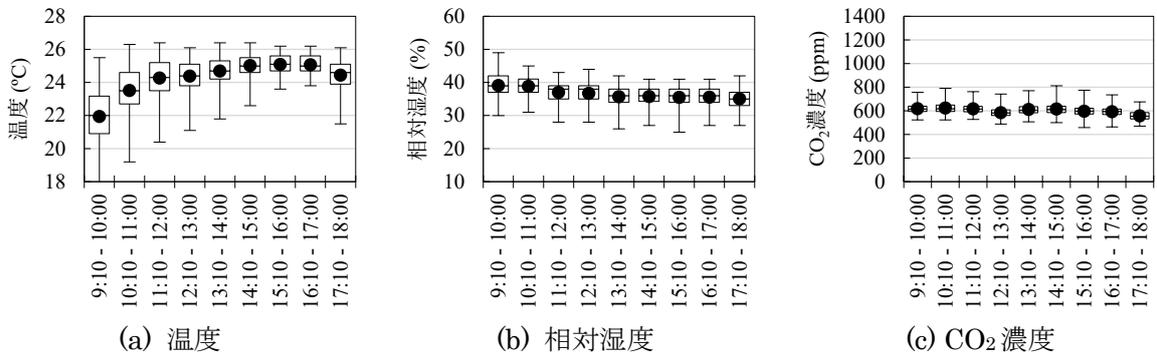


図 3-1-87 室内環境の時別結果 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

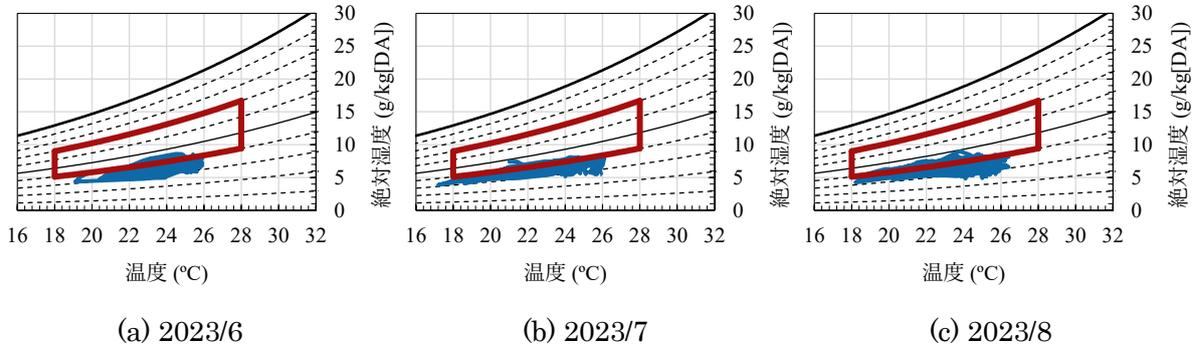


図 3-1-88 室内温湿度 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

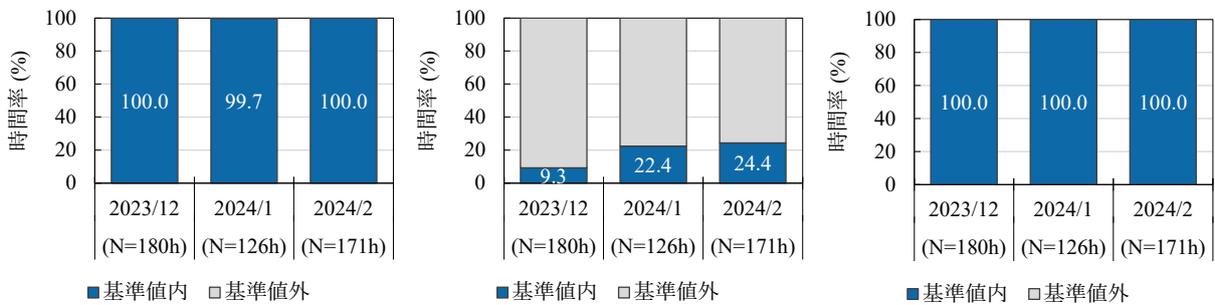


図 3-1-89 基準値内時間率 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

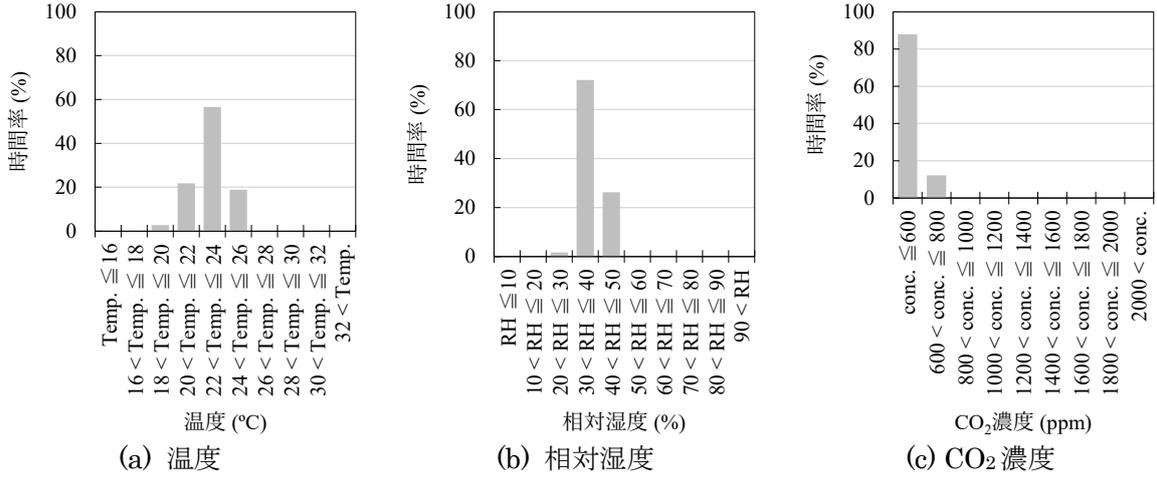


図 3-1-90 室内環境ヒストグラム (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

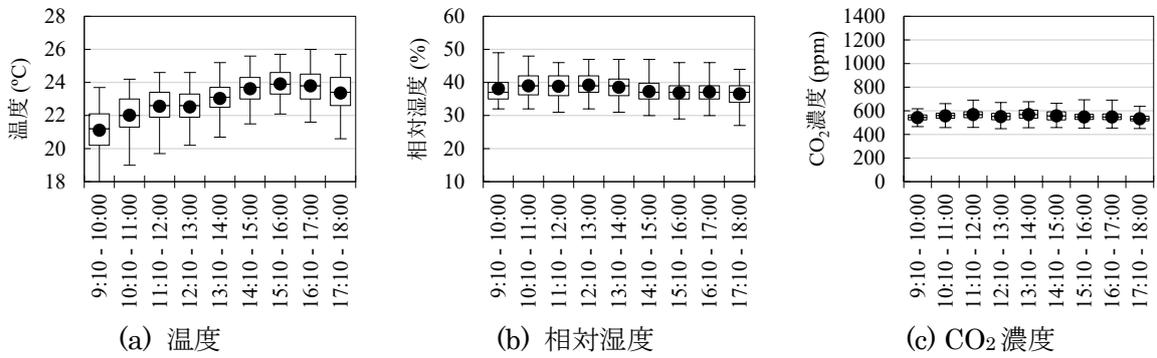


図 3-1-91 室内環境の時別結果 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

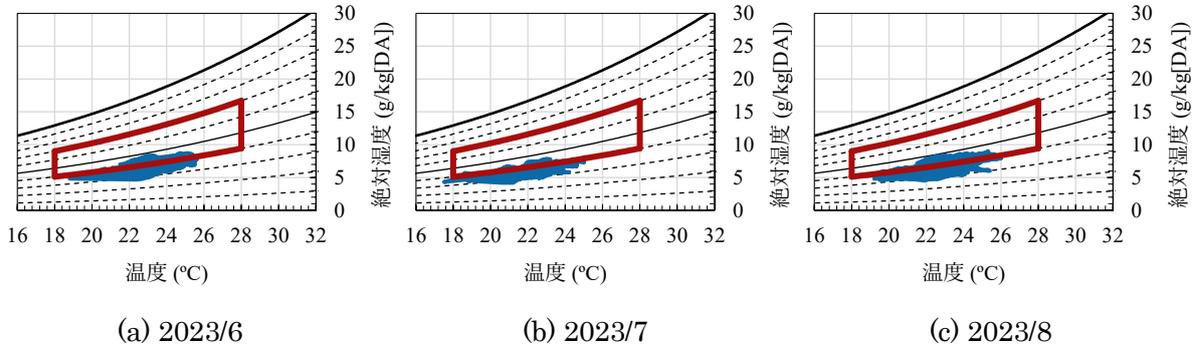


図 3-1-92 室内温湿度 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

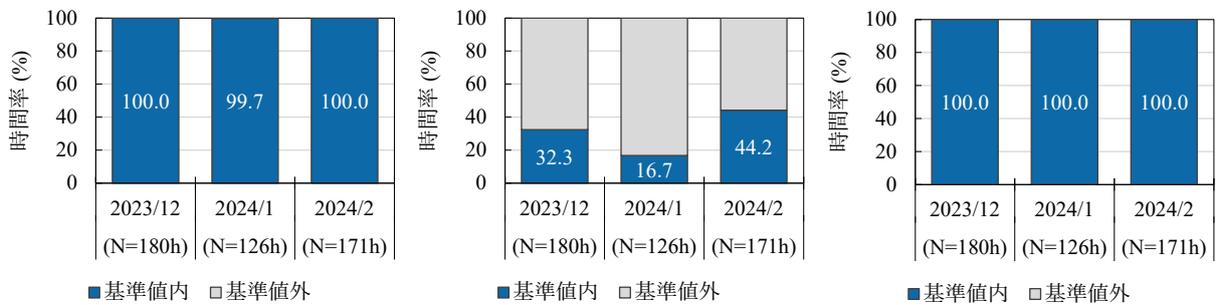


図 3-1-93 基準値内時間率 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

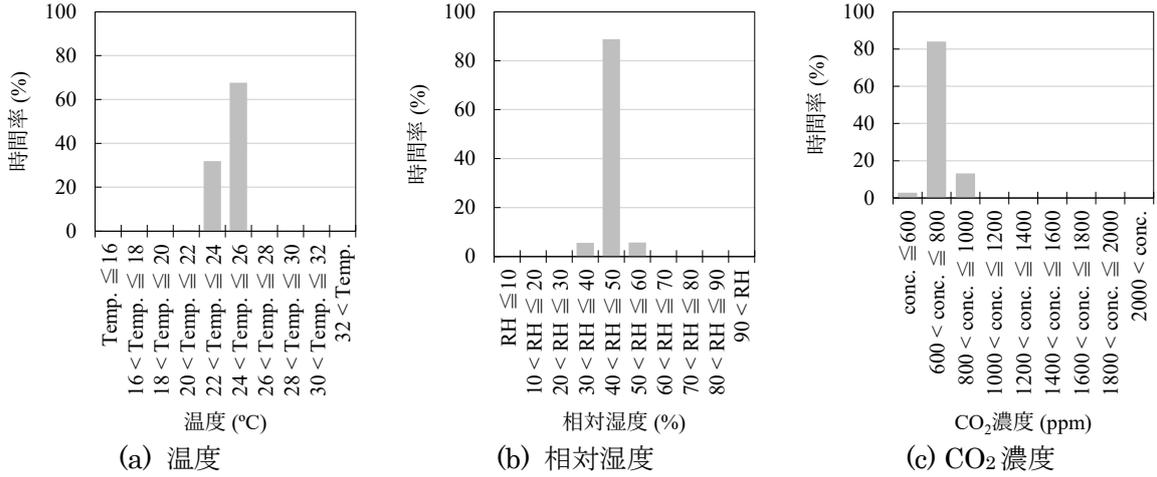


図 3-1-94 室内環境ヒストグラム (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

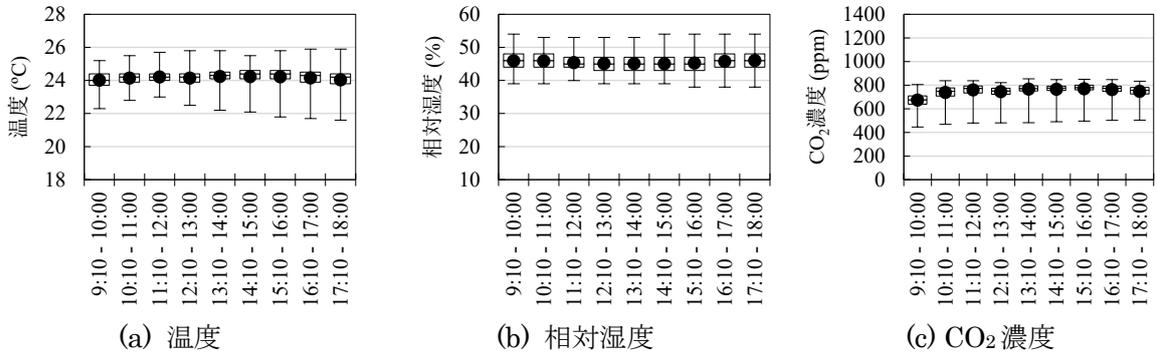


図 3-1-95 室内環境の特別結果 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

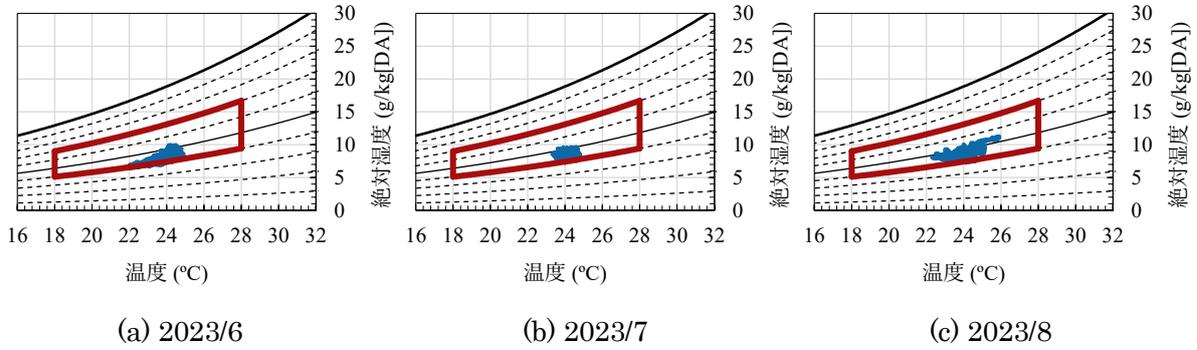


図 3-1-96 室内温湿度 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

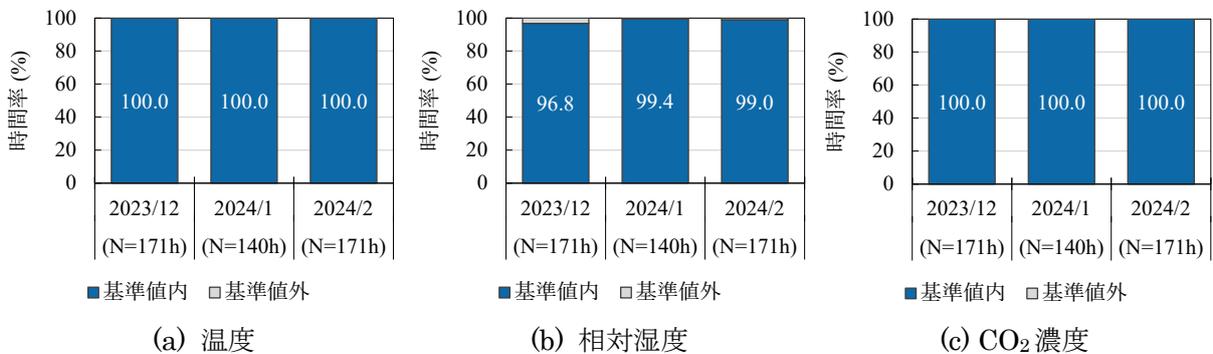


図 3-1-97 基準値内時間率 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

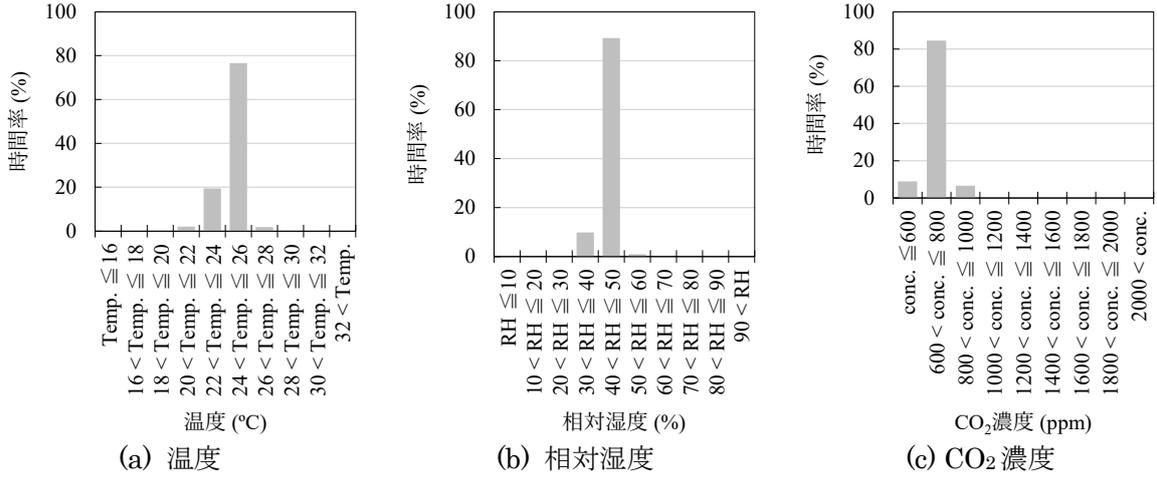


図 3-1-98 室内環境ヒストグラム (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

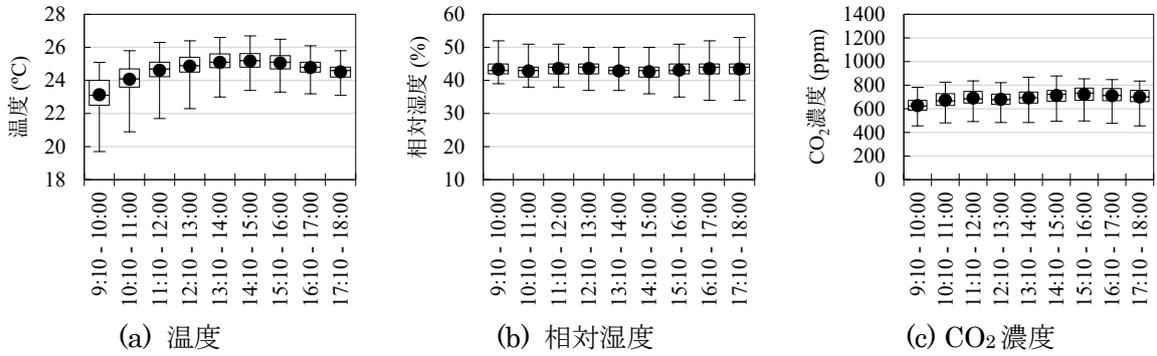


図 3-1-99 室内環境の特別結果 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

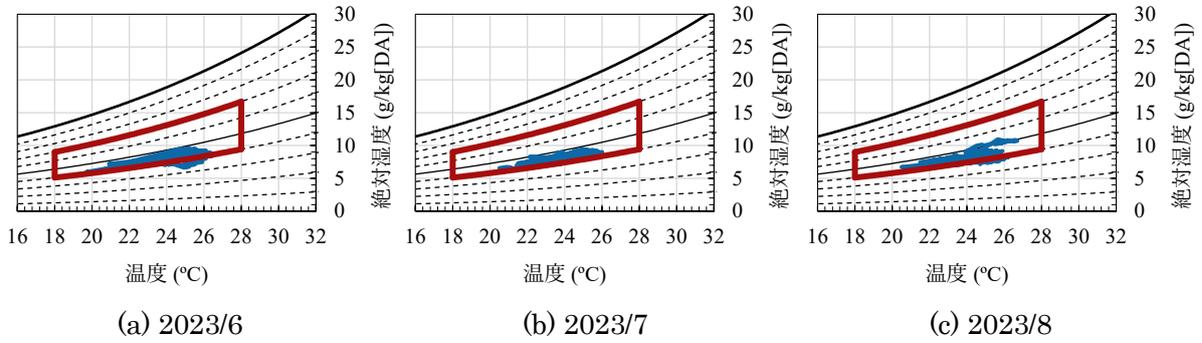


図 3-1-100 室内温湿度 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

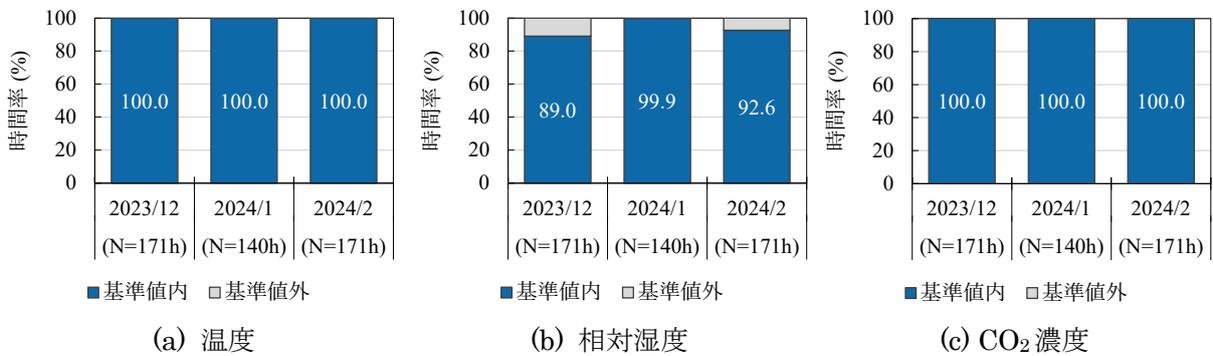


図 3-1-101 基準値内時間率 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

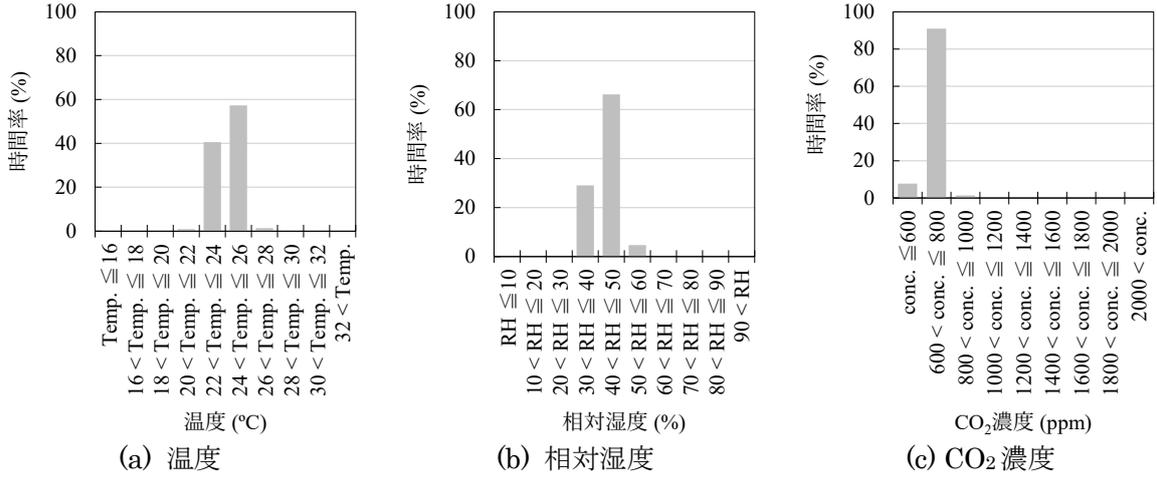


図 3-1-102 室内環境ヒストグラム (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

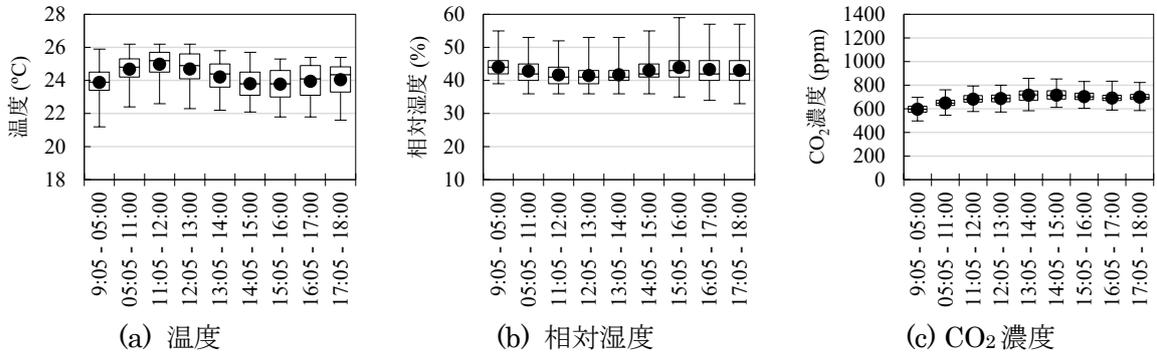


図 3-1-103 室内環境の特別結果 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

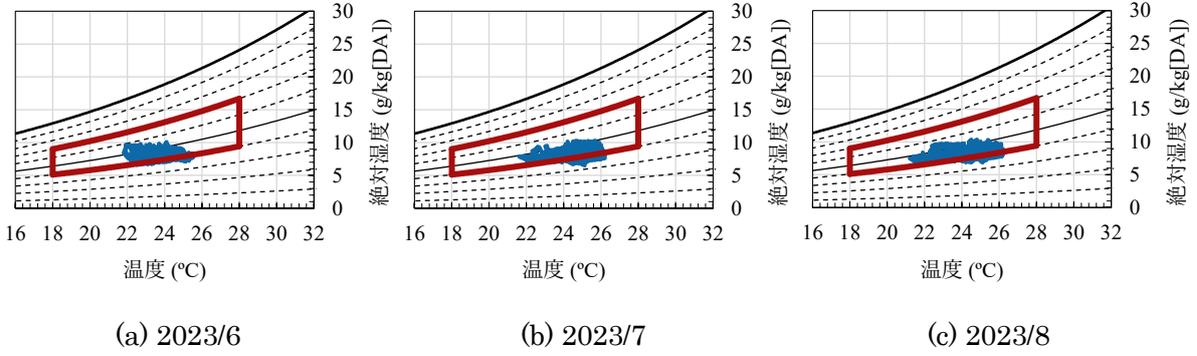


図 3-1-104 室内温湿度 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)



図 3-1-105 基準値内時間率 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

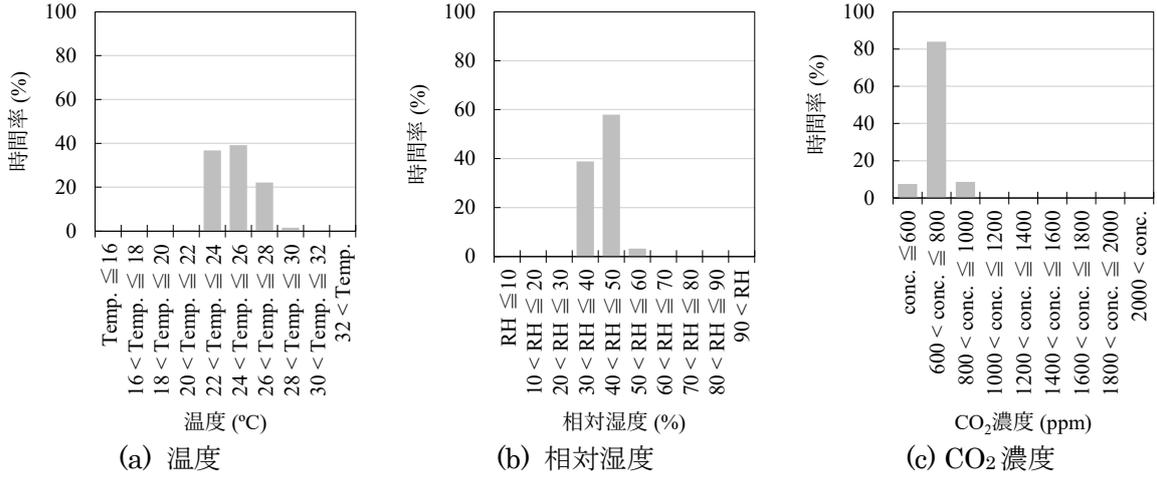


図 3-1-106 室内環境ヒストグラム (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

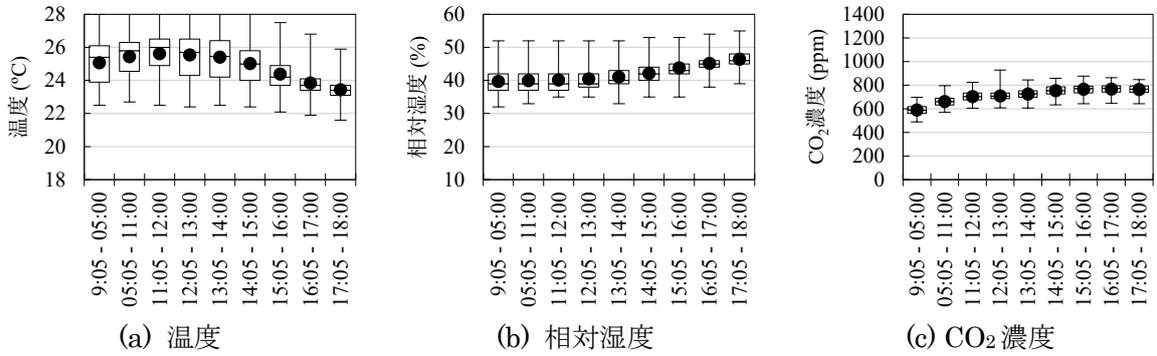


図 3-1-107 室内環境の特別結果 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

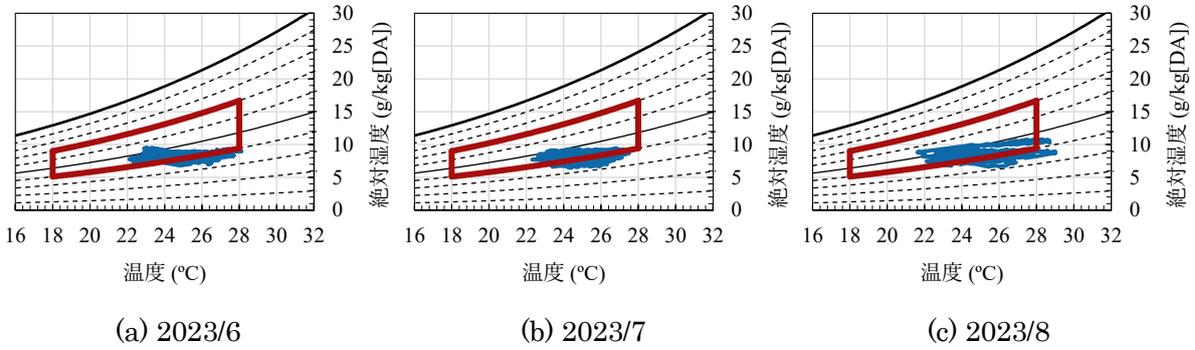


図 3-1-108 室内温湿度 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

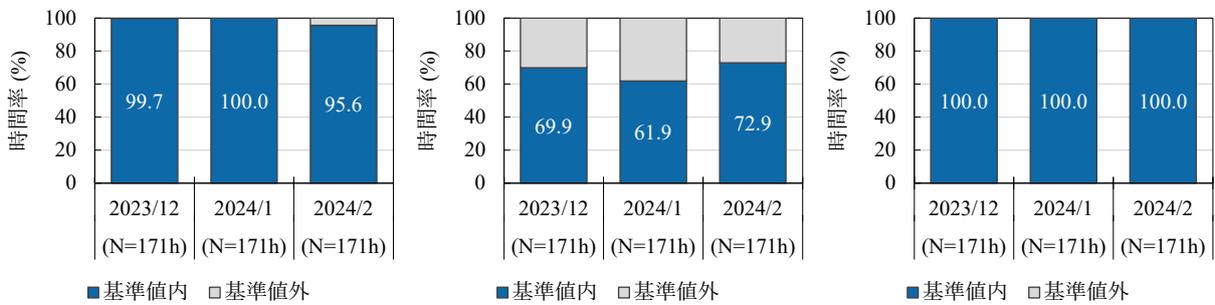


図 3-1-109 基準値内時間率 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

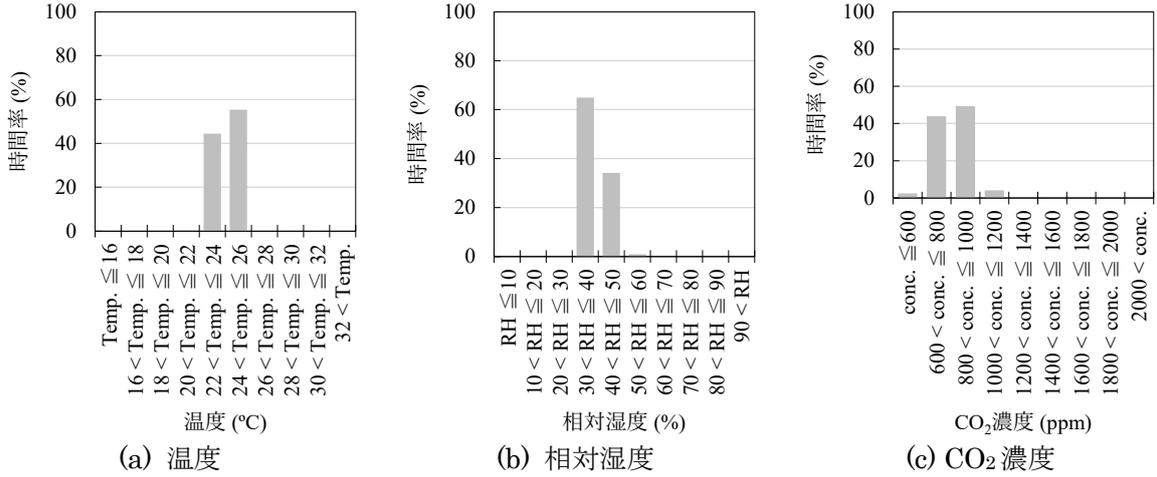


図 3-1-110 室内環境ヒストグラム (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

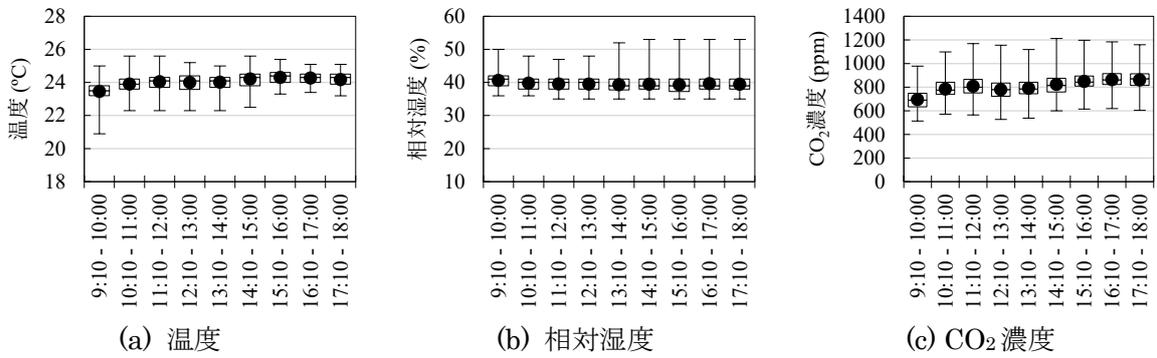


図 3-1-111 室内環境の特別結果 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

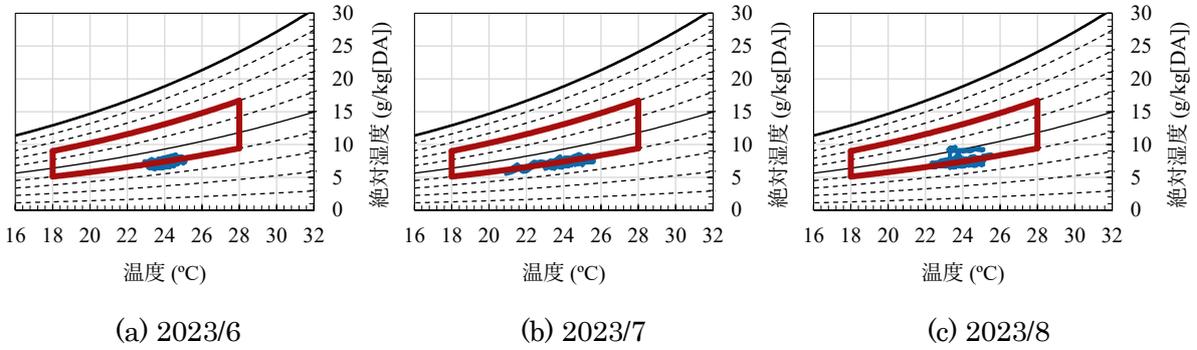


図 3-1-112 室内温湿度 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

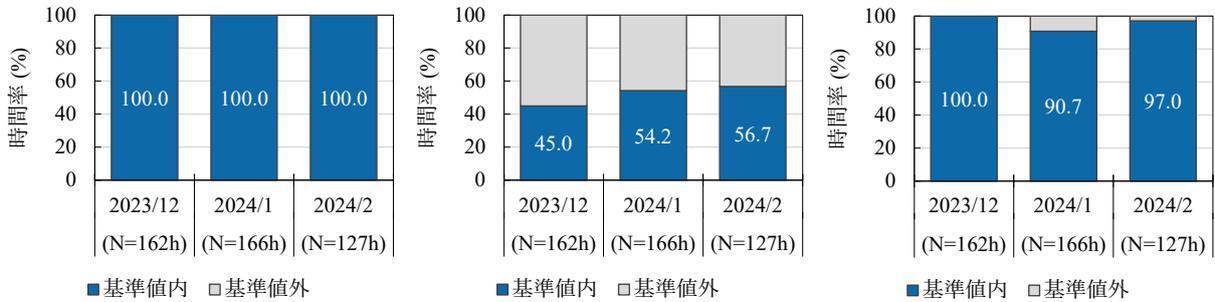


図 3-1-113 基準値内時間率 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

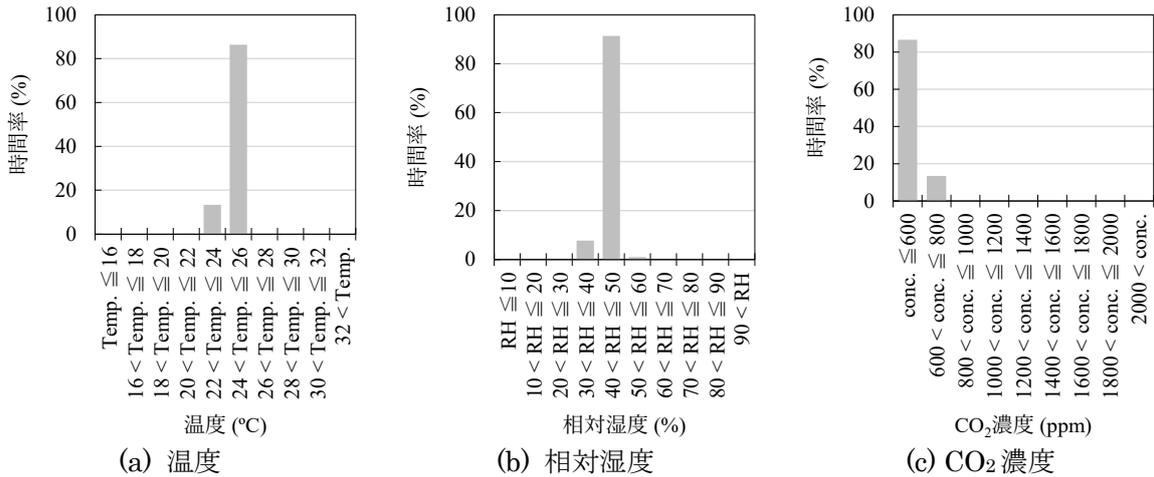


図 3-1-114 室内環境ヒストグラム (Hビル6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

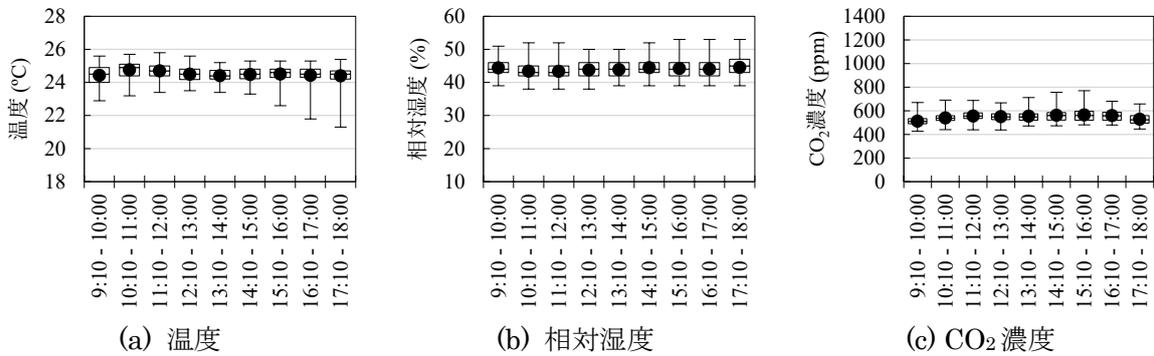


図 3-1-115 室内環境の特別結果 (Hビル6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

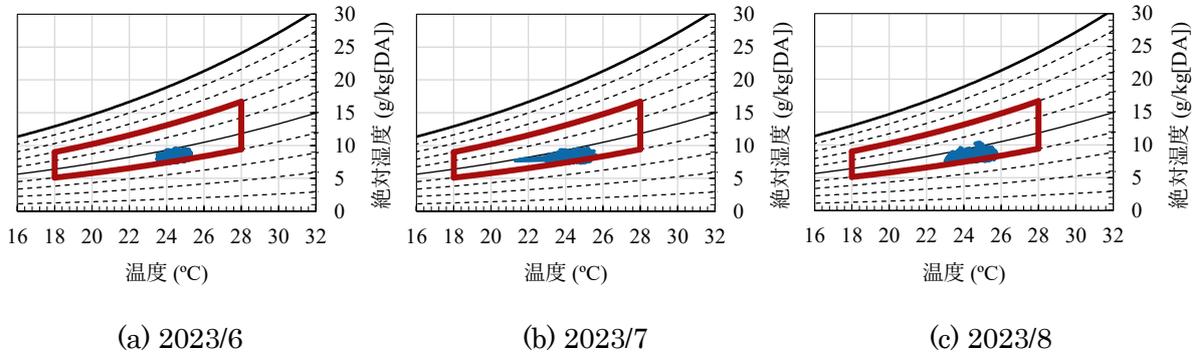


図 3-1-116 室内温湿度 (Hビル6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

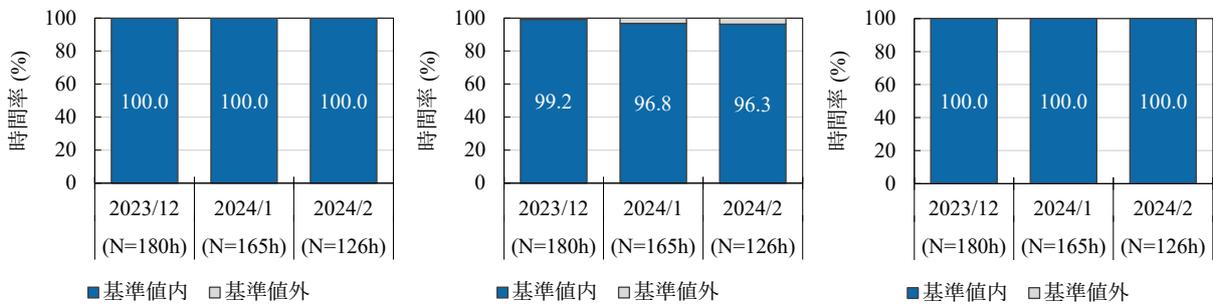
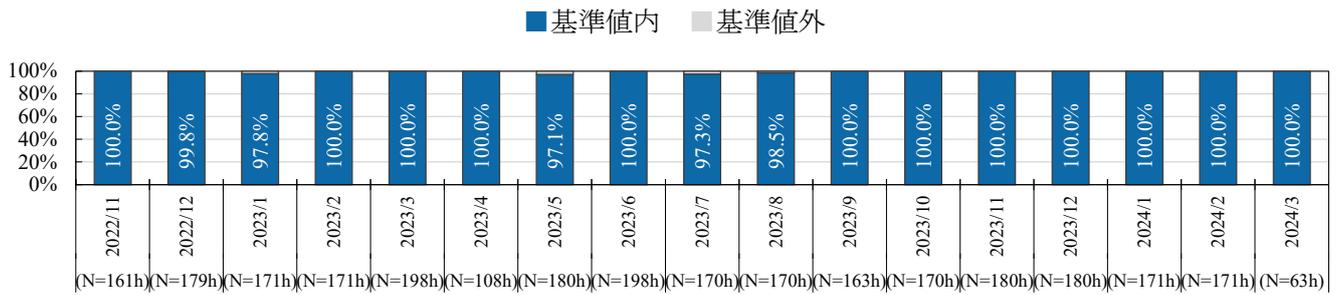
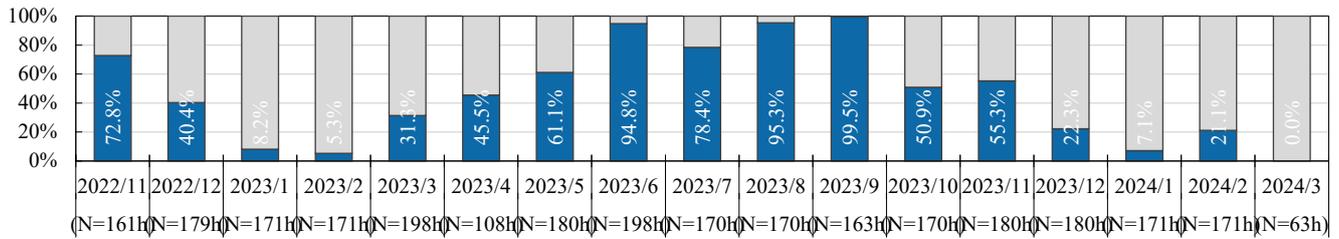


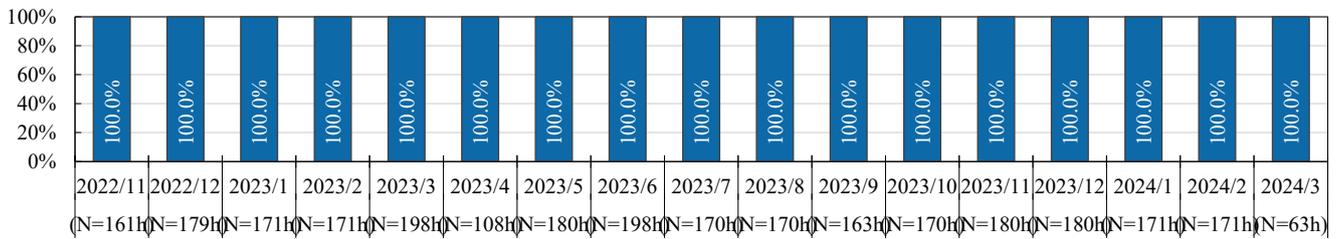
図 3-1-117 基準値内時間率 (Hビル6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)



(1) 温度

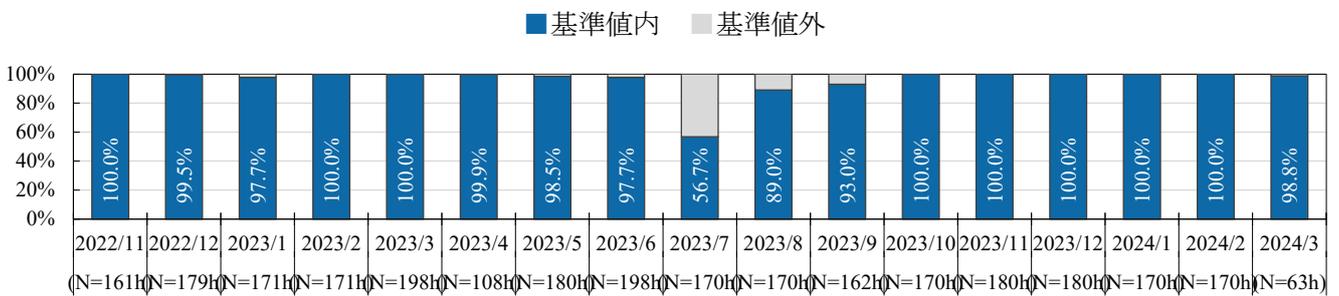


(2) 相対湿度

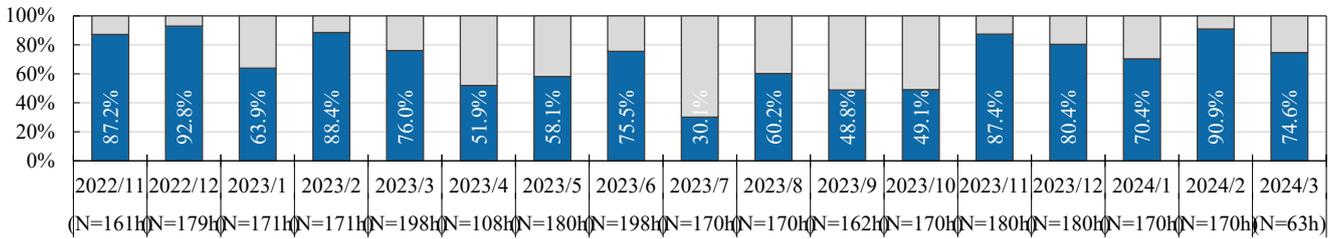


(3) CO₂濃度

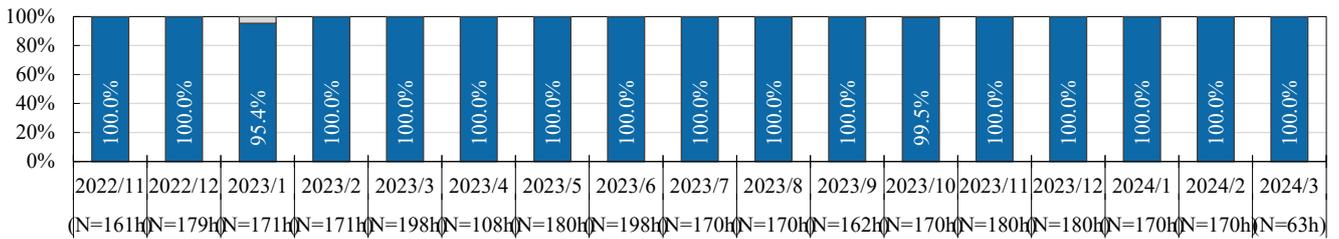
図 3-1-118 基準値内時間率 (Aビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

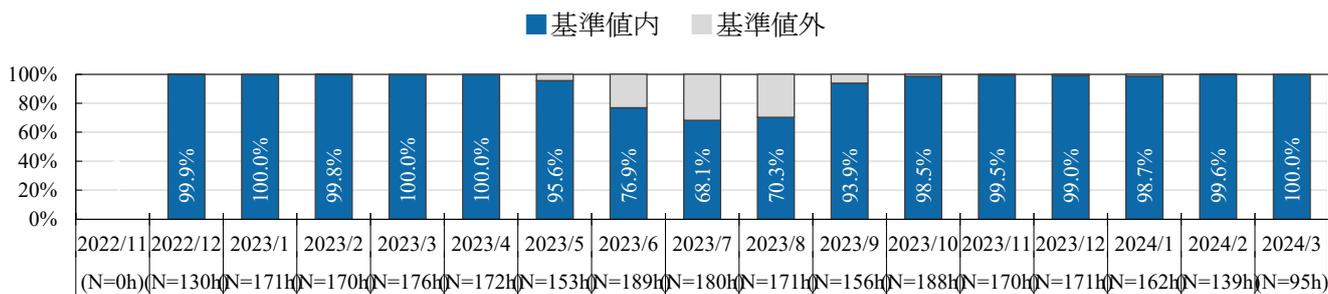


(2) 相対湿度

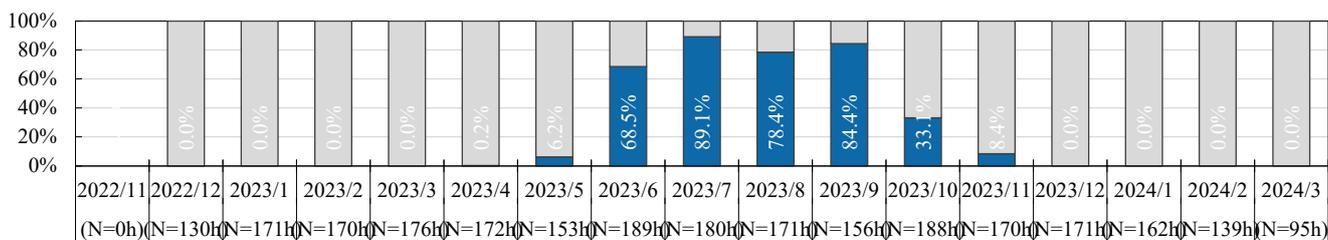


(3) CO₂濃度

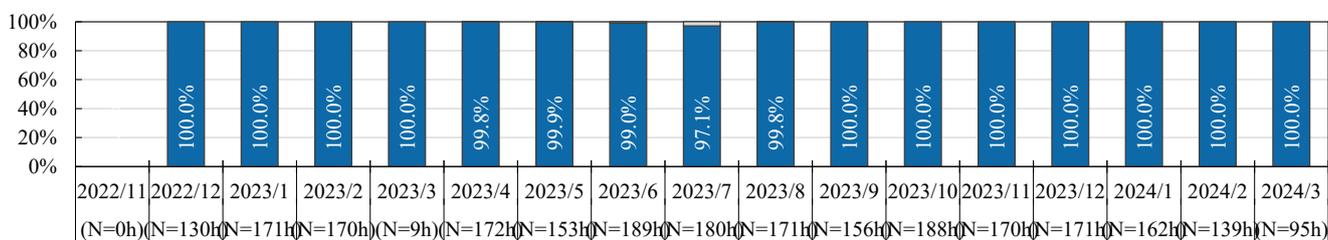
図 3-1-119 基準値内時間率 (Aビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度

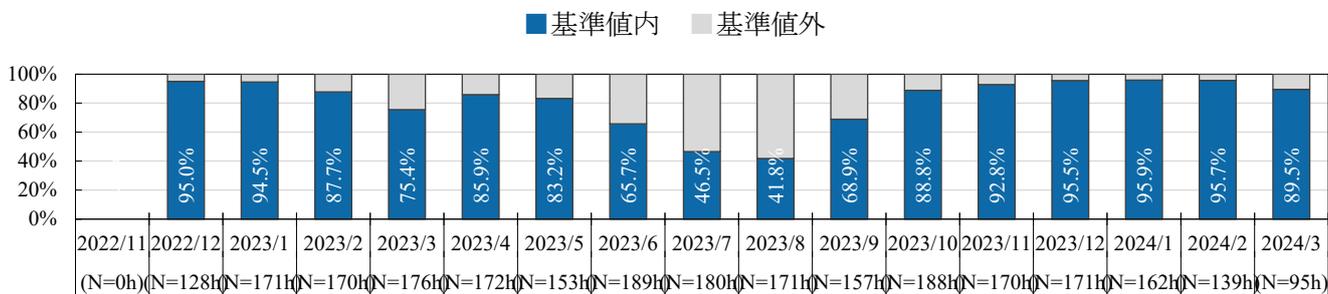


(2) 相対湿度

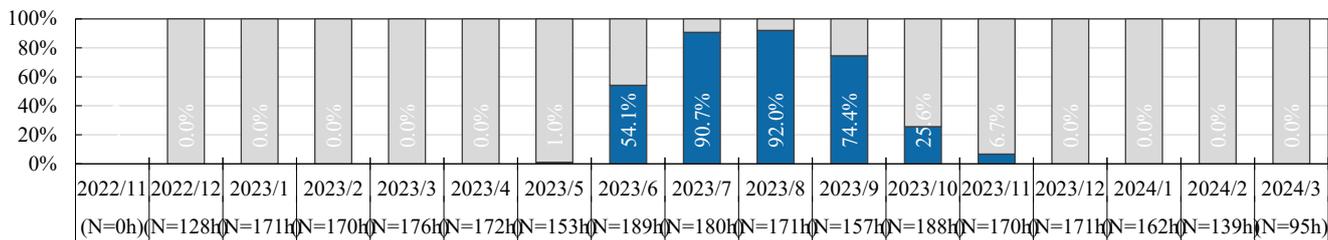


(3) CO₂濃度

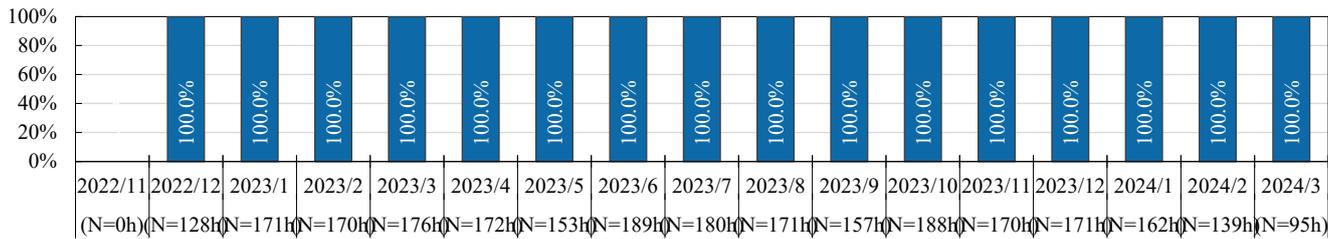
図 3-1-120 基準値内時間率 (Bビル1階, 平日9-18時)



(1) 温度

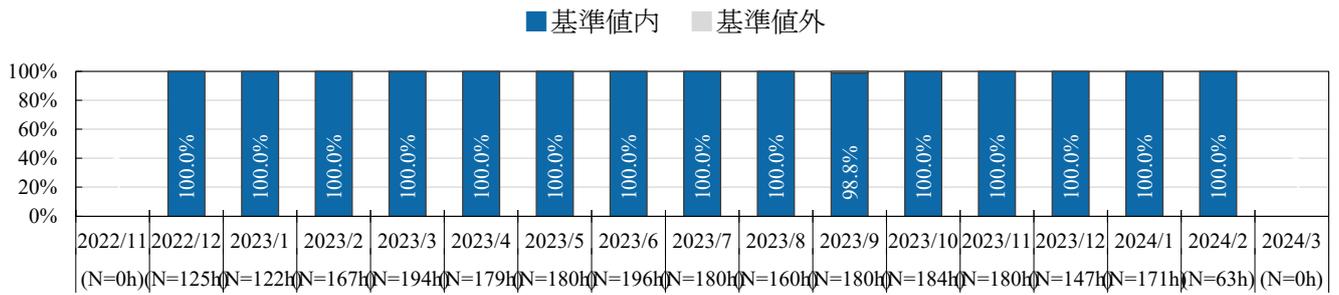


(2) 相対湿度

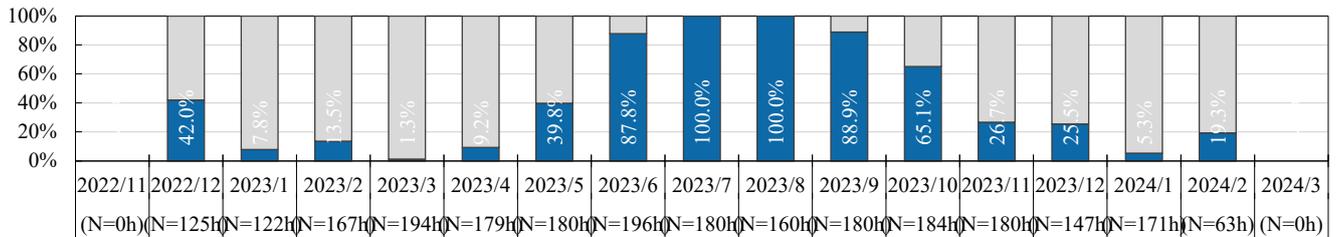


(3) CO₂濃度

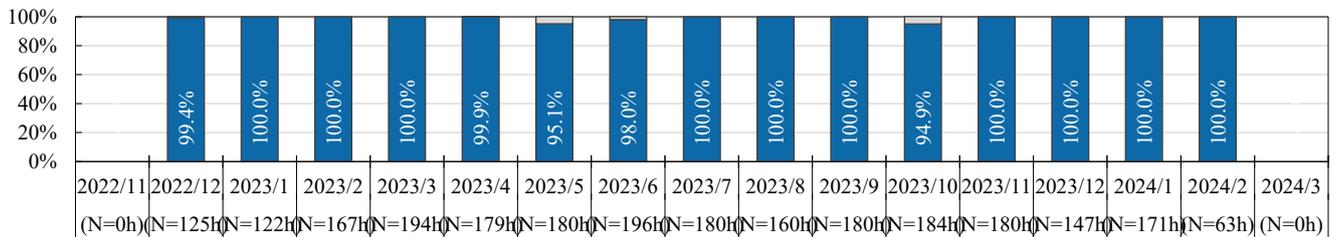
図 3-1-121 基準値内時間率 (Bビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度



(2) 相対湿度

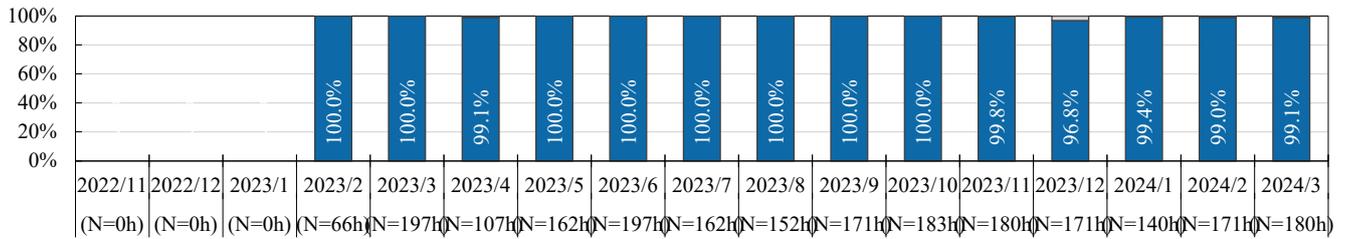


(3) CO₂濃度

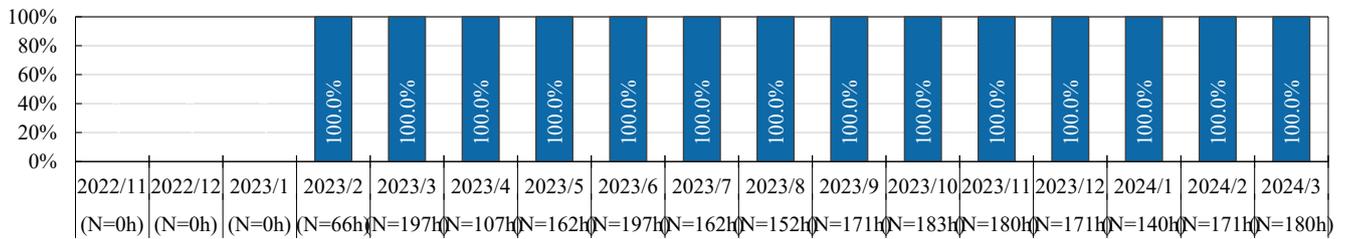
図 3-1-122 基準値内時間率 (Cビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

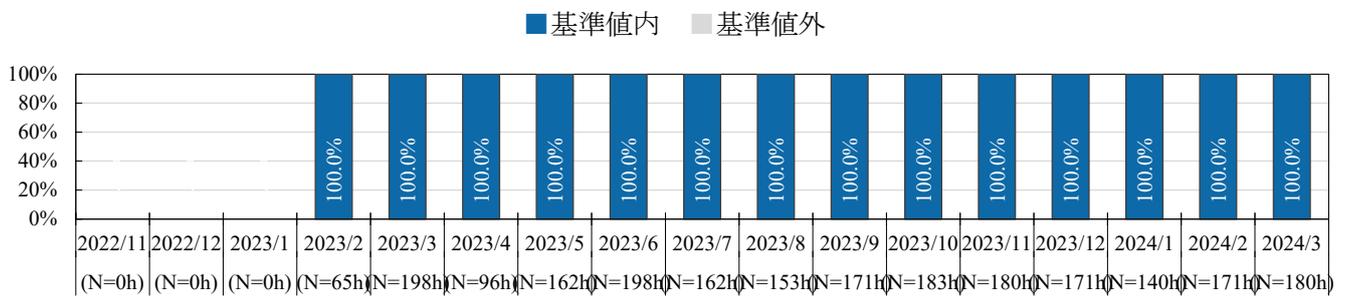


(2) 相対湿度

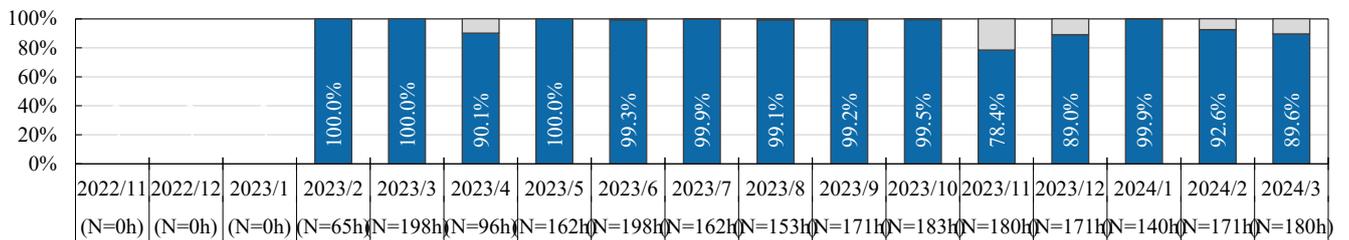


(3) CO₂濃度

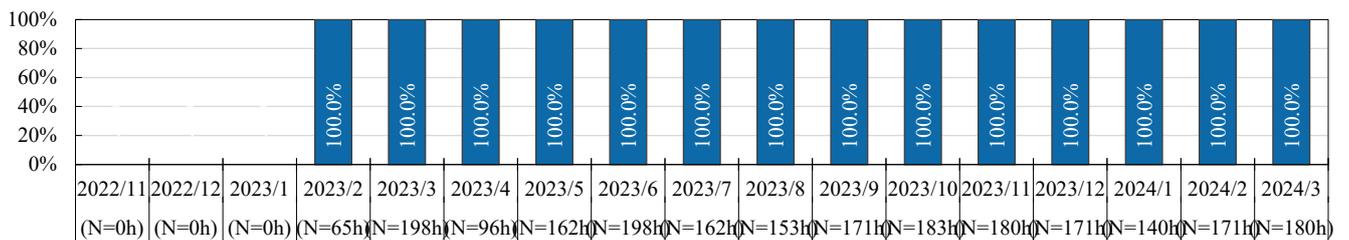
図 3-1-123 基準値内時間率 (Eビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

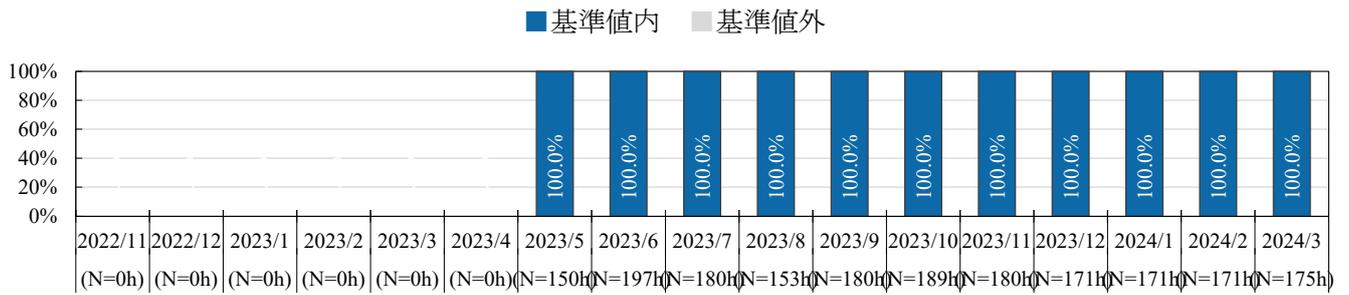


(2) 相対湿度

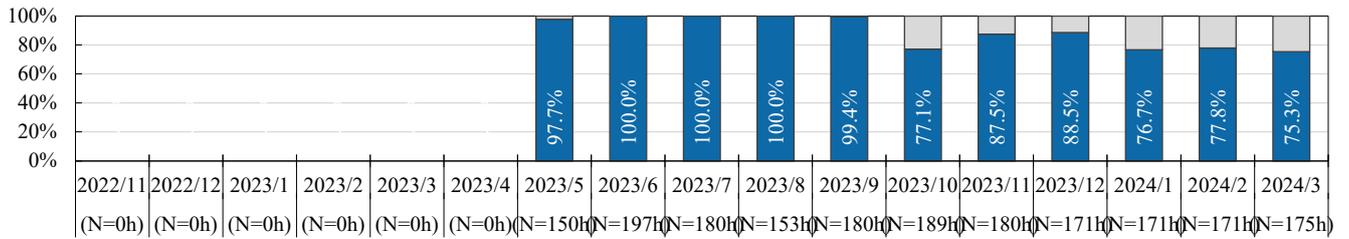


(3) CO₂濃度

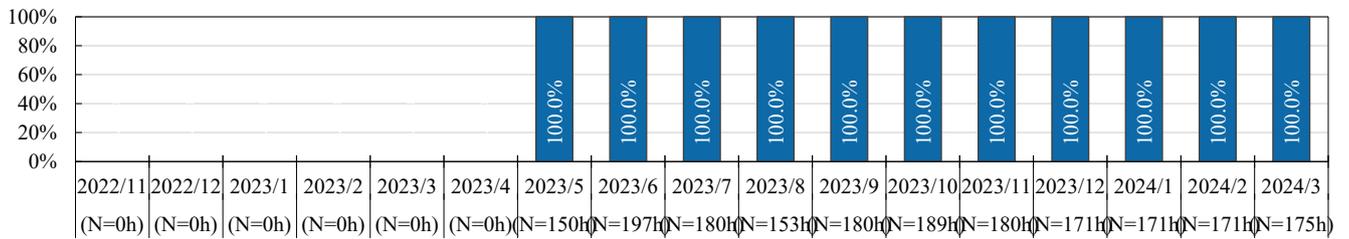
図 3-1-124 基準値内時間率 (Fビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度



(2) 相対湿度

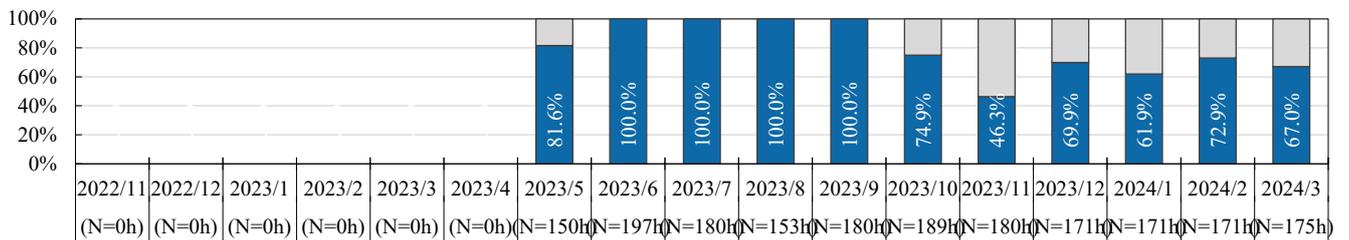


(3) CO₂濃度

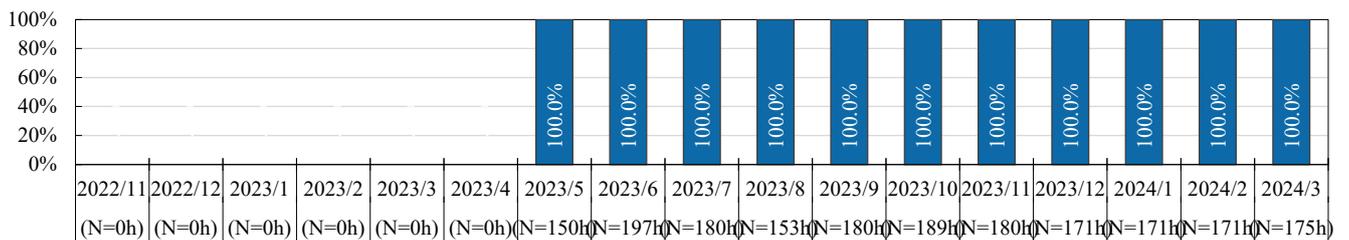
図 3-1-125 基準値内時間率 (Gビル1階, 平日9-18時)



(1) 温度

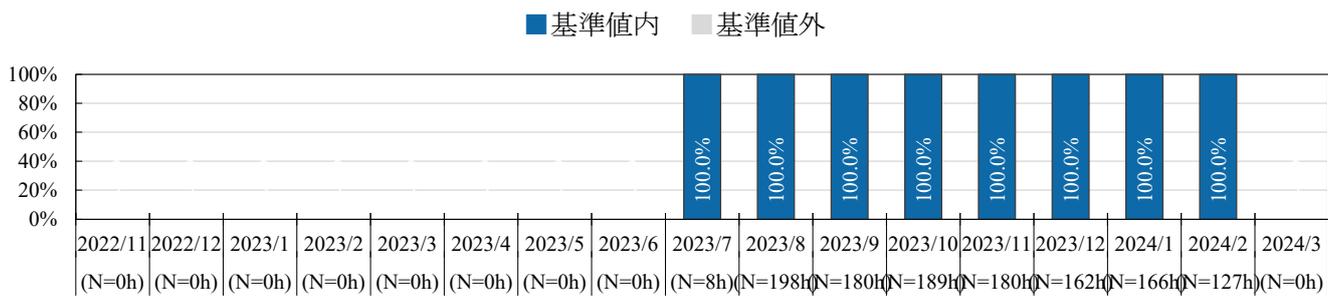


(2) 相対湿度

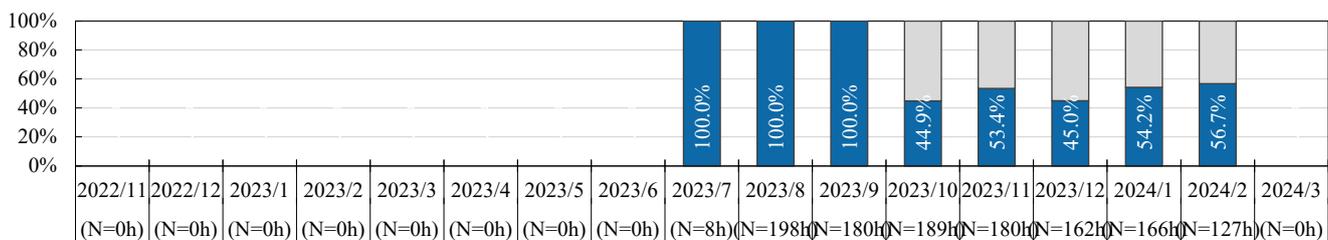


(3) CO₂濃度

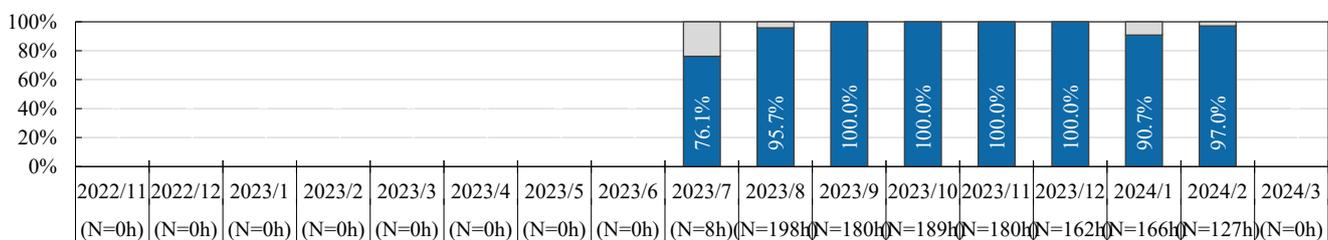
図 3-1-126 基準値内時間率 (Gビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度

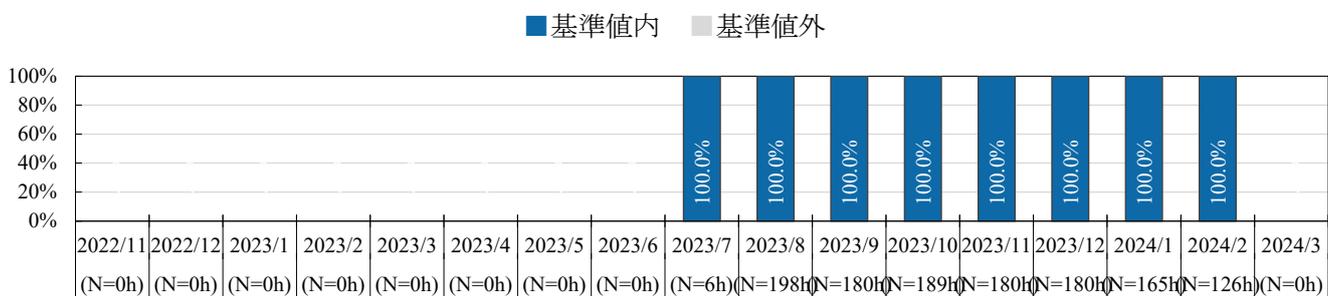


(2) 相対湿度

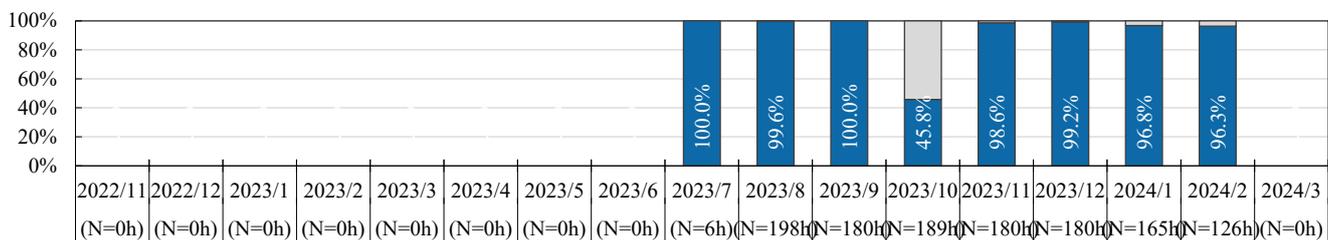


(3) CO₂濃度

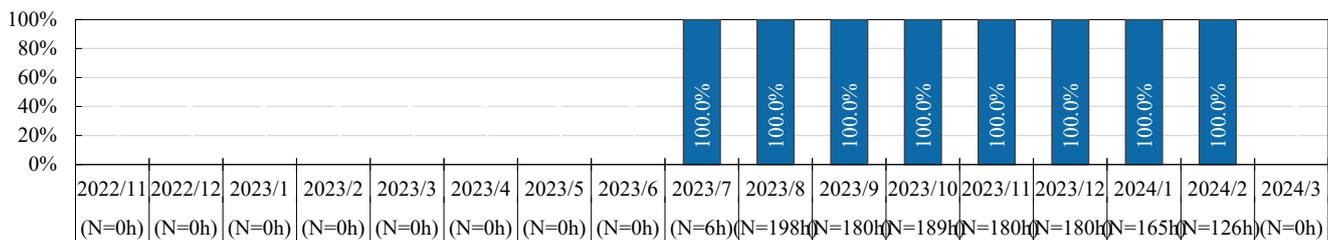
図 3-1-127 基準値内時間率 (Hビル4階, 平日9-18時)



(1) 温度



(2) 相対湿度



(3) CO₂濃度

図 3-1-128 基準値内時間率 (Hビル6階, 平日9-18時)

3-2. 現場立入測定・法定測定と小型測定器の比較検討

A. 研究目的

建築物における衛生的環境の確保に関する法律（以降、建築物衛生法）では、特定用途に供する部分の延床面積が 3000m² 以上の建築物（以降、特定建築物）において、空気環境の調整、給水及び排水の管理、清掃、ねずみ、昆虫等の防除に関して必要な措置を定めることが規定されており、空気環境の調整については建築物環境衛生管理基準に従い、2 か月以内ごとに 1 回、定期の測定が義務付けられている。現行の空気環境測定は測定技術者の立入により行われているが、連続測定が可能な小型測定器普及といった背景から、これらの測定器の建築物環境衛生管理への活用可能性について検討が求められている。

本研究に関連した研究として、西村らによる事務所建築の BEMS データを利用した室内環境分析¹⁾がある。中間期の空調稼働時間帯に温度が不適合となる時間が多くなることや冬期の温度上昇時間帯に相対湿度が不適合となる時間が多くなることが判別可能となるなど BEMS を用いた空気環境管理の有用性が示されている。また、松浦らや伊藤らは無線通信技術を活用して小型測定器による空気環境の連続測定を実施し、松浦らは PMV (Predicted Mean Vote)、伊藤らは温湿度・CO₂濃度を指標とし、小型測定器を用いた空気環境管理の有用性が示されている^{2) 3)}。さらに、山口らにより、半導体センサーを用いた室内 TVOC (Total Volatile Organic Compounds) の連続測定の可能性検討⁴⁾が行われるなど空気環境管理への小型測定器の活用に向けた知見は蓄積されつつある。しかし、小型測定器の測定値と現行測定法の測定値の比較検証は十分に成されておらず、更なる検討が求められている。

そこで、本節では、連続測定が可能な小型測定器と現行測定法の測定値の比較により、建築物環境衛生管理への小型測定器の活用可能性について検討する。

B. 研究方法

表 2-1-1 と表 2-1-2 に示す 10 件を対象に 2023

年冬期 (2022/12 - 2023/2) 2023 年夏期 (2023/8 - 2023/9)、2024 年冬期 (2024/2 - 2024/3) の代表 1 日に現場立入による現行測定法に準じた空気環境 6 項目測定（以降、現場立入測定）を実施した。現場立入測定には柴田科学社製の「室内環境測定セット IES-5000」と日本カノマックス社製の「オートビルセット III Model 2100」を用い、1 分間隔で 15~20 分測定した。

分析は小型測定器による測定値と現場立入測定による測定値の比較に加えて、7 件の特定建築物うち、建築物衛生法の環境衛生管理基準に従って 2 か月以内ごとに 1 回実施されている測定（以降、法定測定）による測定値が入手できた 6 件の特定建築物 (D・E・F・G・H・J ビル) では、法定測定による測定値とも比較した。これらの比較は現場立入測定若しくは法定測定の測定値に対して小型測定器の温度が±0.5K、相対湿度が±5%RH、CO₂濃度が±50ppm 以内の値である場合に両者は同値であると見なし、全測定回数に対する同値である測定回数の比率（以降、一致率）で評価した。

C. 研究結果

C.1. 現場立入測定と小型測定器の比較

2023 年冬期の各建物の測定結果を図 3-2-1~図 3-2-9、2023 年夏期の各建物の測定結果を図 3-2-10~図 3-2-21、2024 年冬期の各建物の測定結果を図 3-2-22~図 3-2-30 に示す。また、2023 年冬期に測定したすべての建物の結果を図 3-2-31、2023 年夏期に測定したすべての建物の結果を図 3-2-32、2024 年冬期に測定したすべての建物の結果を図 3-2-33 に示す。図 3-2-31~図 3-2-33 は 1 回の測定を 1 プロットで示しており、現場立入測定の測定値は 2 機種 of 平均値、小型測定器の測定値は 3 種の小型測定器の中央値をプロット、最高値・最低値をエラーバーで示している。3 種の小型測定器の中央値に着目すると、2023 年冬期・2023 年夏期・2024 年冬期の一致率は温度が 50%・42%・67%、相対湿度が 88%・92%・89%、CO₂濃度が 75%・83%・44%であり、最高値と最低値も含めた 2023 年冬期・2023 年夏期・2024 年冬期の一致率は温度が 52%・44%・58%、相対湿度が 74%・62%・71%、CO₂濃度が 55%・56%・39%であった。

中央値のみに着目すると相対湿度の一致率は時期を問わず、約 90%程度であったが、温度の一致率は 42~67%、CO₂濃度の一致率は 2024 年冬期に低い結果となった。夏期の温度については小型測定器の温度が高い傾向にあった。B ビルと G ビルの 3 階はガラス面積率が大きく日射が入りやすい形状であったことから小型測定器の温度上昇の要因となった可能性がある。また、2024 年冬期の CO₂ 濃度については小型測定器の CO₂ 濃度が低い傾向が見られた。なお、各指標で中央値となることが多い測定器は 2023 年冬期の場合に温度が小型測定器 B (86%)、相対湿度が小型測定器 C (57%)、CO₂ 濃度が小型測定器 B (100%)、2023 年夏期の場合に温度が小型測定器 B (50%)、相対湿度が小型測定器 C (80%)、CO₂ 濃度が小型測定器 A (55%)、2024 年冬期の場合に温度が小型測定器 B (50%)、相対湿度が小型測定器 C (83%)、CO₂ 濃度が小型測定器 B (80%) であった。温度と相対湿度は季節を問わず中央値となることが多い測定器は同じであるが、CO₂ 濃度は夏期に小型測定器 A が中央値となることが多くなるが、冬期はほとんどすべての測定で小型測定器 A の CO₂ 濃度が最低値となった。これは、小型測定器 A に自動校正機能が搭載されていることが考えられる。冬期は外気 CO₂ 濃度が高いことから室内 CO₂ 濃度も高くなる傾向にあり、室内 CO₂ 濃度が 400ppm まで下がらない状況下で自動校正されている可能性がある。

C.2. 法定測定と小型測定器の比較

法定測定と小型測定器の比較結果を表 3-2-1 ~ 表 3-2-3 と図 3-2-34 に示す。図 3-2-34 も 1 回の測定を 1 プロットで示しており、小型測定器の測定値は 3 種の小型測定器の中央値を示している。3 種の小型測定器の中央値の一致率は温度が 26%、相対湿度が 61%、CO₂ 濃度が 53% であった。建物別では、最も一致率が低かったのは温度が D ビルの 1 階と 4 階で 0%、相対湿度が H ビルの 6 階で 25%、CO₂ 濃度が E ビル 29% であった。D ビルの温度については表 3-2-1 によると、法定測定の結果が 16.2°C の時に小型測定器の中央値が 18.1°C であり 1.9K の差が生じている。冬期に差が顕著に大きくなっていることも示されているが、これは測定前の室の

温度影響によるものであると考えられる。D-1 の執務室内の測定の 10 分以内にエントランスホールに連続したエレベータホールで測定を行っており、15°C 以下の場合もある。そのため、D-1 の執務室測定時にエレベータホールの温度影響が残っていたことから法定測定の結果が低くなったと考えられる。同様の理由により D-2 の執務室の法定測定の結果が低くなっている。H ビル 6 階の相対湿度については図 3-1-14 や図 3-1-15 に示すように小型測定器 B の相対湿度が 10%RH 以上高いことが要因として考えられる。また、H-2 の執務室では温度の一致率も 25% と低く相対湿度は温度にも影響されることから、一致率が低くなった可能性もある。

なお、本研究では法定測定と小型測定器の比較は行っているものの、必ずしも同位置ではないことに留意されたい。比較的大平面である F ビルにおいては温度の一致率が 17% と比較的低いため、測定位置による差異の影響も考えられる。小型測定器の設置場所についても日射の影響や空調・換気吹出の影響を排除できる室の代表点に設置されることが望ましい。

D. まとめ

本節では、現場立入測定・法定測定の結果と小型測定器の測定値を一致率という指標を用いて比較することにより小型測定器による建築物衛生管理への適用可能について検討した。本研究で測定した建物においては相対湿度は約 90% の一致率であったが、ガラス面積率が大きい建築物では夏期の温度の一致率が低下する、400ppm まで下がらない状況下で CO₂ 濃度の自動校正機能が稼働すると一致率が低くなるという課題が見られた。また、比較的大平面な建築物においては測定点によっても結果が大きく変わることから、これらの点に留意する必要がある。

E. 参考文献

- 1) 西村晃, 射場本忠彦, 百田真史, 大澤元毅, 鍵直樹, 田島昌樹, 久合田由美, 池田耕一, 柳宇. 建築物における室内環境と省エネルギーに関する研究 (第 3 報) 事務所建築における BEMS データによる室内環境の

解析. 平成 22 年度空気調和・衛生工学会大会; 2010.9.1-3; 山口. 同学術講演論文集. p.1227-1230.

- 2) 松浦大介, 楊鎮浩, 鈴木宏和. IoT を利用した簡易 BEMS の開発と空調設備の制御方法に関する研究 (第 1 報) IoT センサの開発と環境測定. 令和 2 年度空気調和・衛生工学会大会; 2020.9.9-30; オンライン. 同学術講演論文集. p.21-24.
- 3) 伊藤圭汰, 矢次健一, 菊田弘輝, 林基哉. 特定建築物における空気環境測定方法に関する研究～個別空調方式を用いた事務所における検証～. 令和 4 年度空気調和・衛生工学会大会; 2022.9.14-16; 神戸. 同学術講演論文集. p.141-144.
- 4) 山口一, 富岡一之, 大塚俊裕, 中山正樹, 真継常義, 竹林芳久. 実建物における室内化学物質モニタリングシステムの検証. 室内環境 . 2010;13(2):119 - 129. <https://doi.org/10.7879/siej.13.119>

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 下ノ菌慧, 海塩渉, 鍵直樹, 中野淳太, 金勲. 建築物環境衛生管理への小型連続測定器・BEMS の活用可能性に関する検証. 第 57 回空気調和・冷凍連合講演会. 2024.4.18-19;東京. 同講演論文集. pp. 147-152. 2024.

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

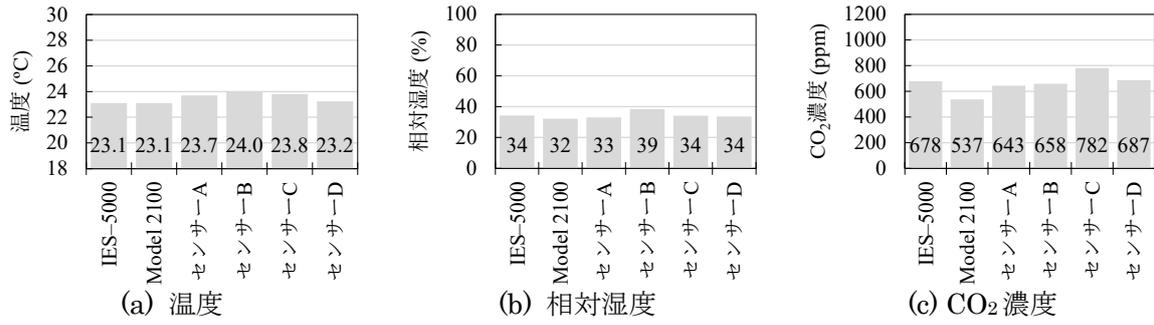


図 3-2-1 小型測定器と現場立入測定の比較 (A ビル 2 階, 2023/2/17 10:10)

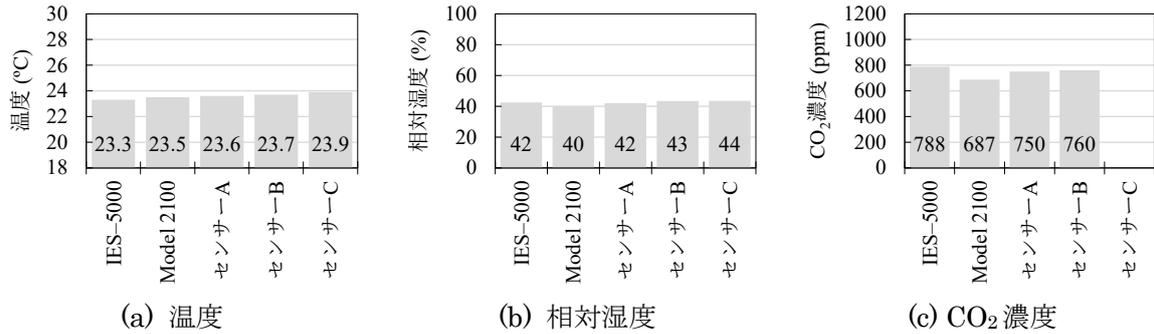


図 3-2-2 小型測定器と現場立入測定の比較 (A ビル 3 階, 2023/2/17 10:30)

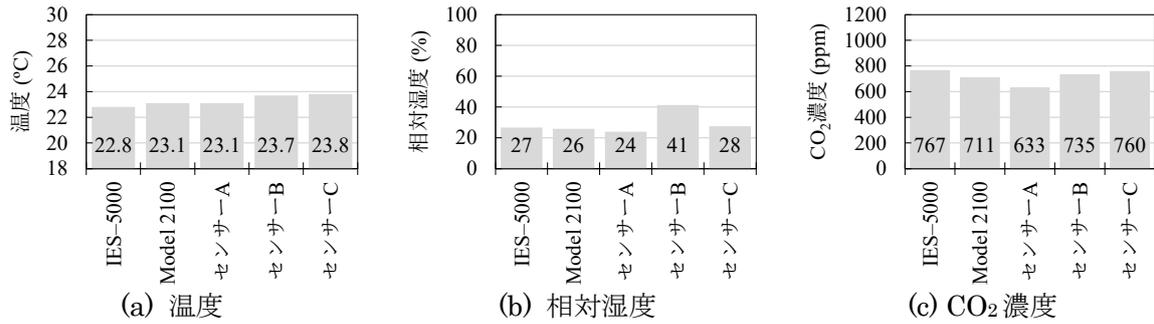


図 3-2-3 小型測定器と現場立入測定の比較 (B ビル 1 階, 2022/12/8 15:10)

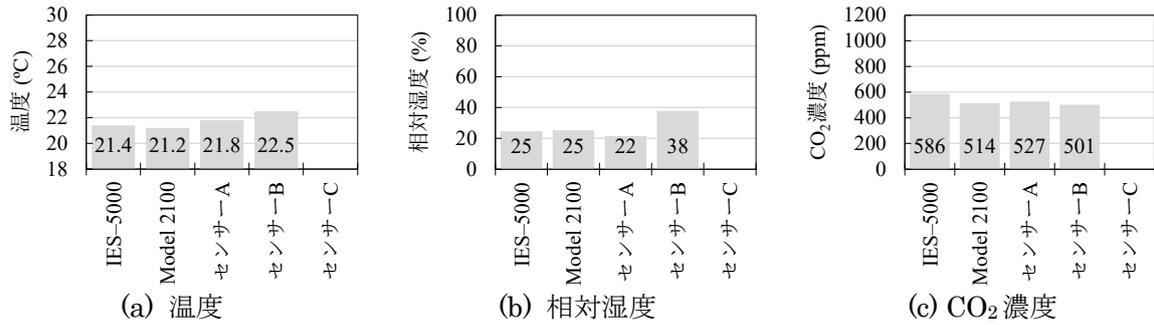


図 3-2-4 小型測定器と現場立入測定の比較 (B ビル 3 階, 2022/12/8 15:50)

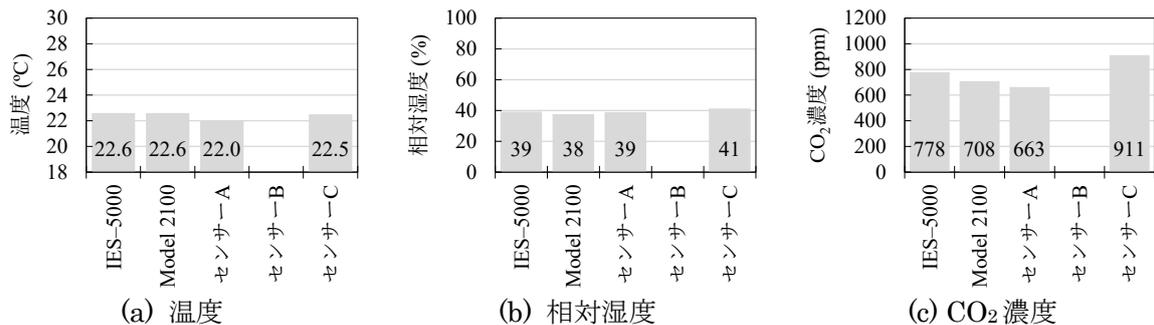


図 3-2-5 小型測定器と現場立入測定の比較 (C ビル 2 階, 2022/12/9 10:30)

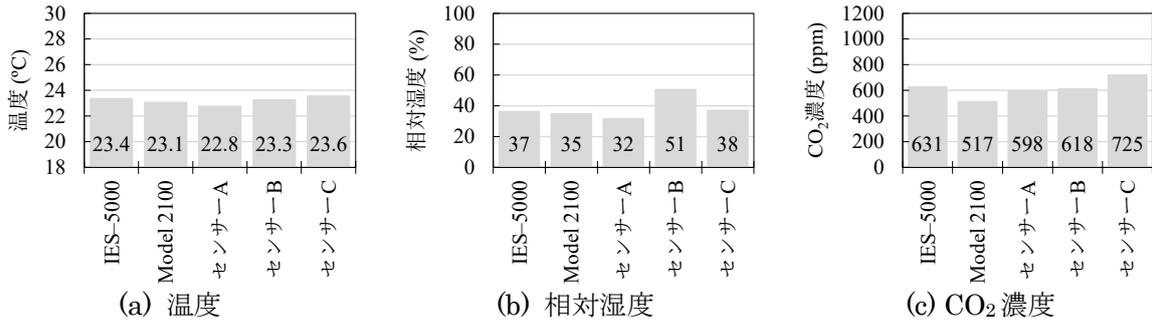


図 3-2-6 小型測定器と現場立入測定の比較 (D ビル 1 階, 2023/2/22 15:20)

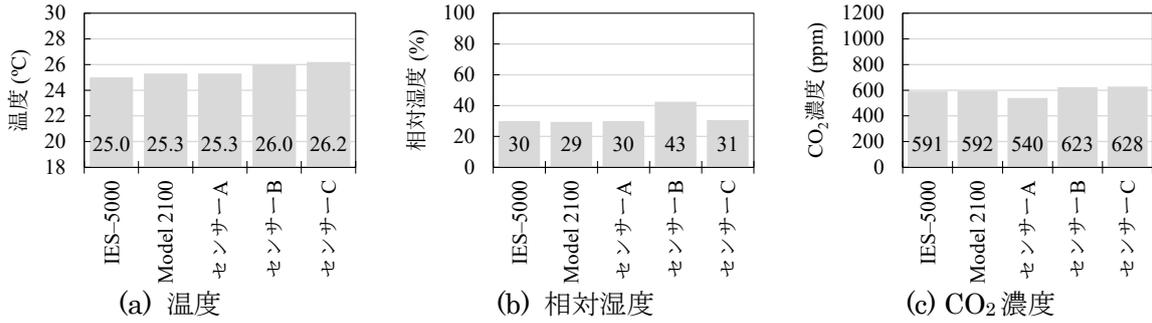


図 3-2-7 小型測定器と現場立入測定の比較 (D ビル 4 階, 2023/2/22 16:30)

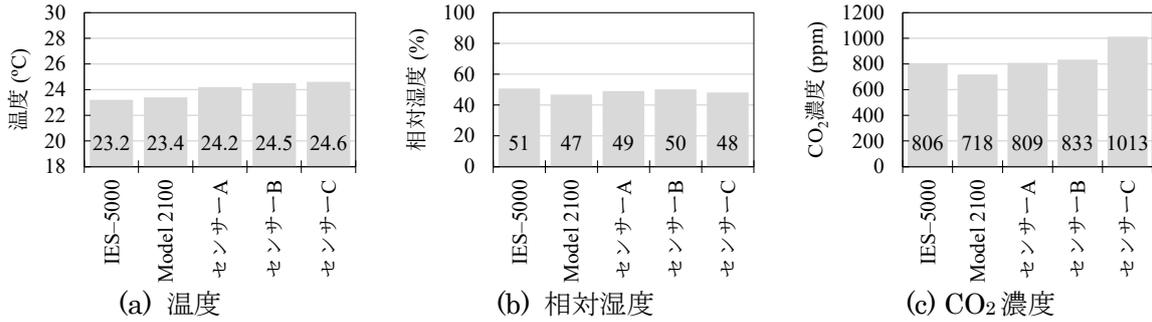


図 3-2-8 小型測定器と現場立入測定の比較 (E ビル 2 階, 2023/2/16 15:30)

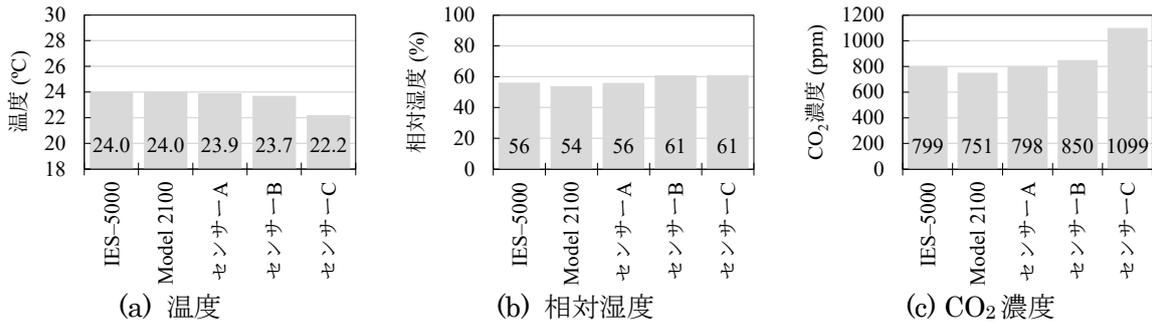


図 3-2-9 小型測定器と現場立入測定の比較 (F ビル 2 階, 2023/2/16 16:20)

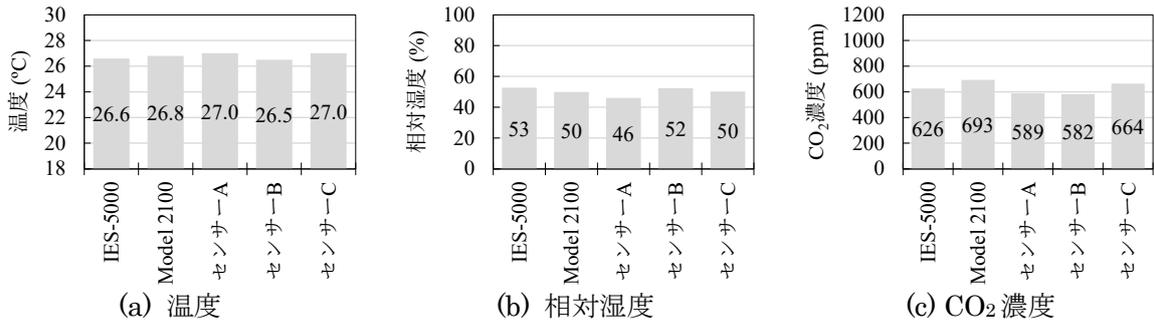


図 3-2-10 小型測定器と現場立入測定と比較 (A ビル 2 階, 2023/8/31 14:30)

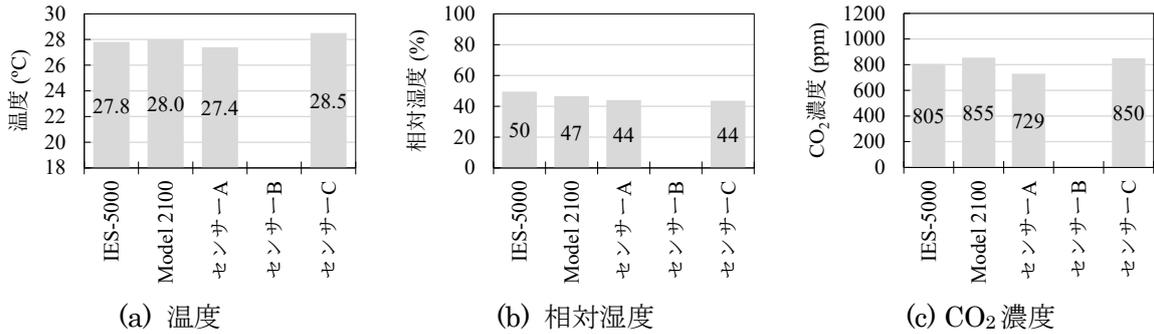


図 3-2-11 小型測定器と現場立入測定と比較 (A ビル 2 階, 2023/8/31 15:00)

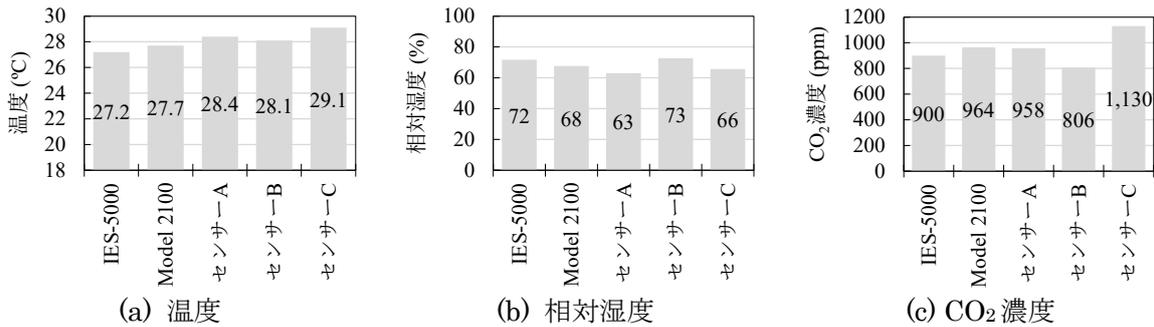


図 3-2-12 小型測定器と現場立入測定と比較 (B ビル 1 階, 2023/8/23 14:50)

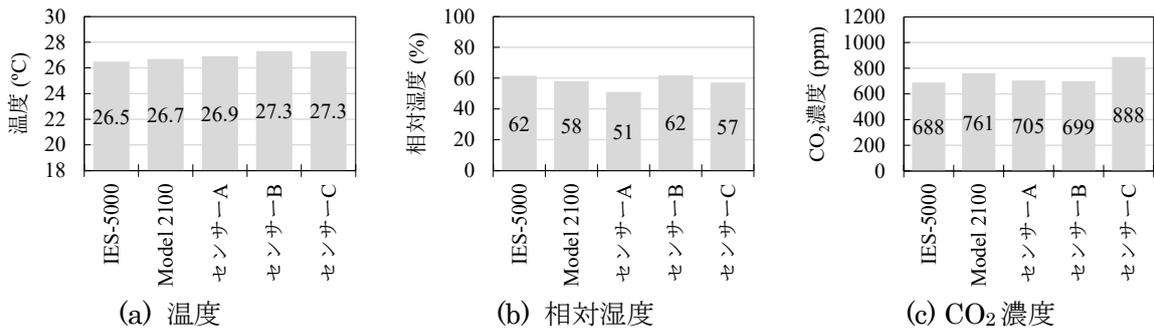


図 3-2-13 小型測定器と現場立入測定と比較 (C ビル 2 階, 2023/8/24 10:20)

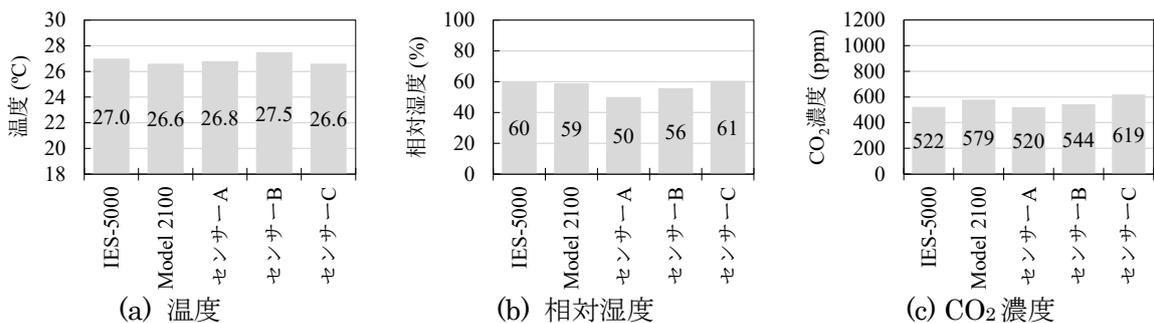


図 3-2-14 小型測定器と現場立入測定と比較 (D ビル 1 階, 2023/8/31 10:40)

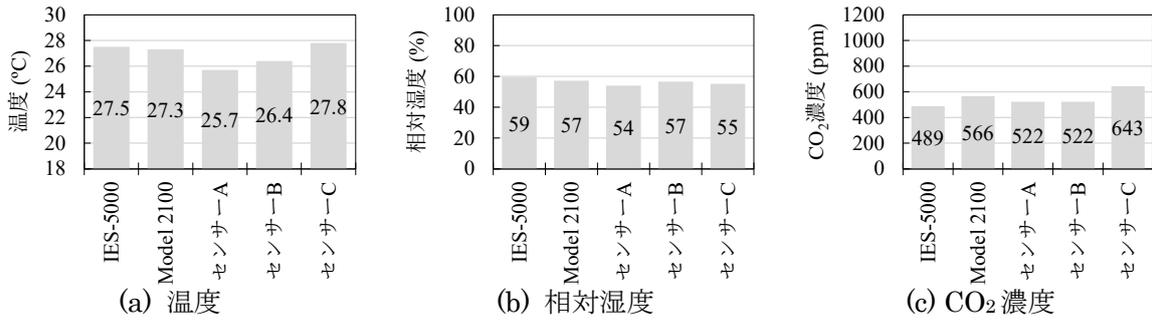


図 3-2-15 小型測定器と現場立入測定と比較 (Dビル 4階, 2023/8/31 11:40)

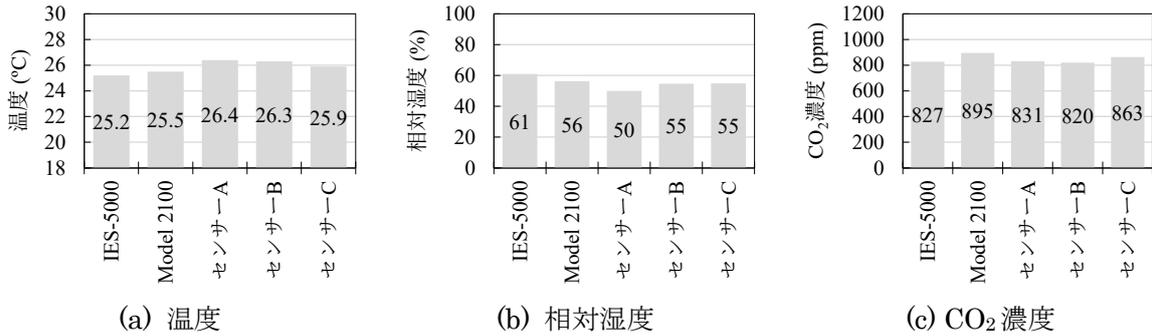


図 3-2-16 小型測定器と現場立入測定と比較 (Eビル 2階, 2023/8/28 15:40)

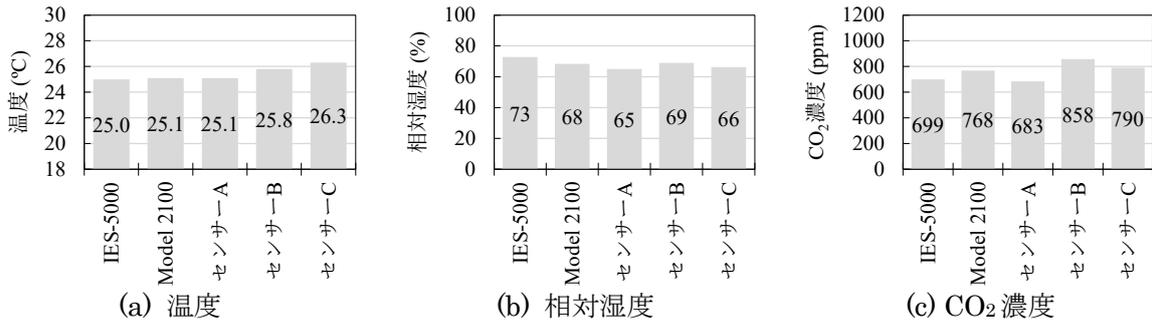


図 3-2-17 小型測定器と現場立入測定と比較 (Fビル 2階, 2023/8/28 16:40)

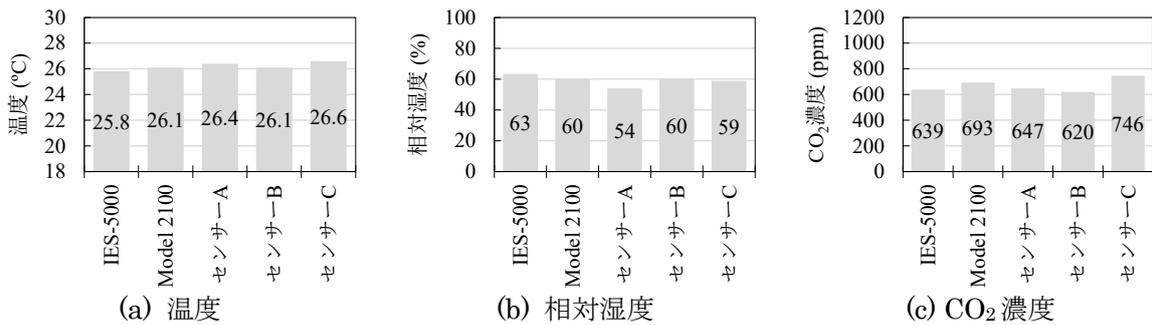


図 3-2-18 小型測定器と現場立入測定と比較 (Gビル 1階, 2023/8/28 11:00)

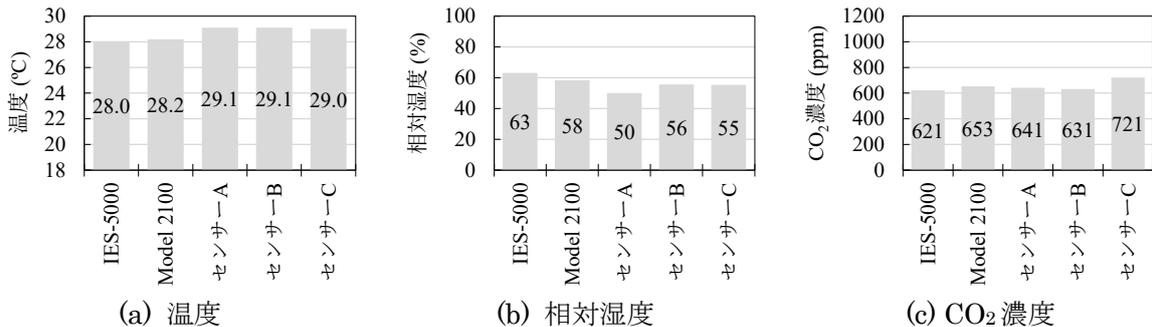


図 3-2-19 小型測定器と現場立入測定と比較 (Gビル 3階, 2023/8/28 10:00)

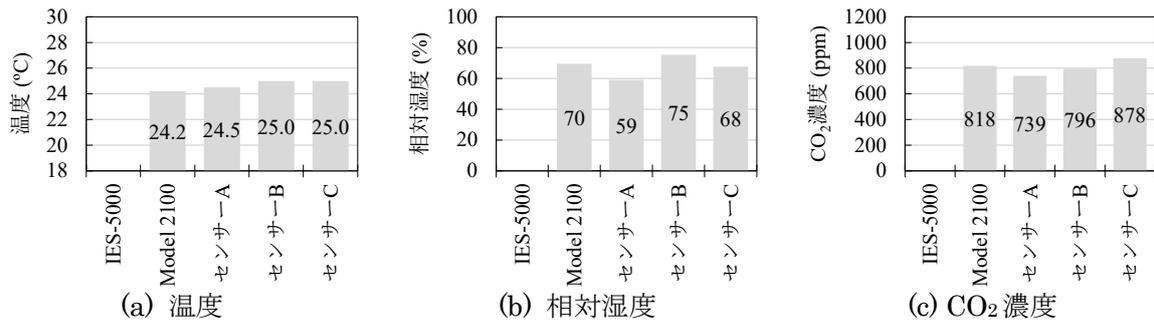


図 3-2-20 小型測定器と現場立入測定と比較 (H ビル 4 階, 2023/9/4 14:30)

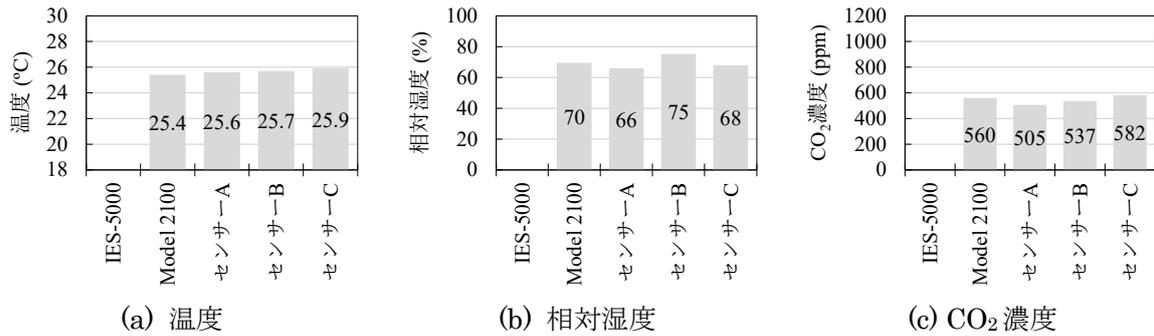


図 3-2-21 小型測定器と現場立入測定と比較 (H ビル 6 階, 2023/9/4 15:10)

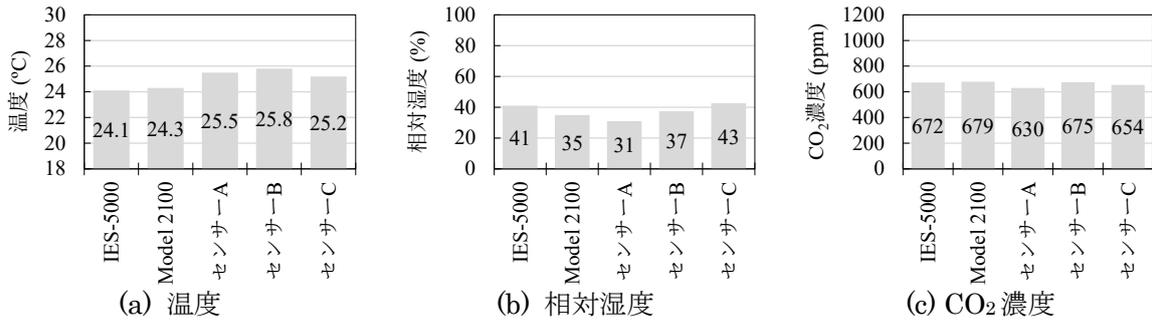


図 3-2-22 小型測定器と現場立入測定と比較 (Dビル 1階, 2024/2/22 14:50)

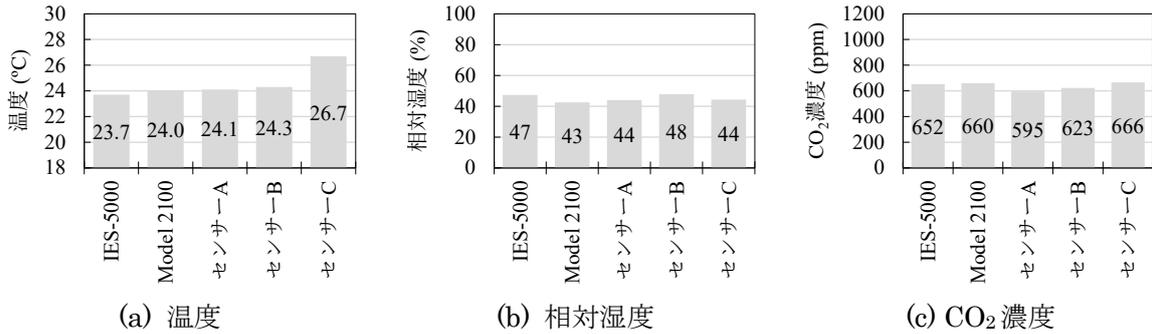


図 3-2-23 小型測定器と現場立入測定と比較 (Dビル 4階, 2024/2/22 15:40)

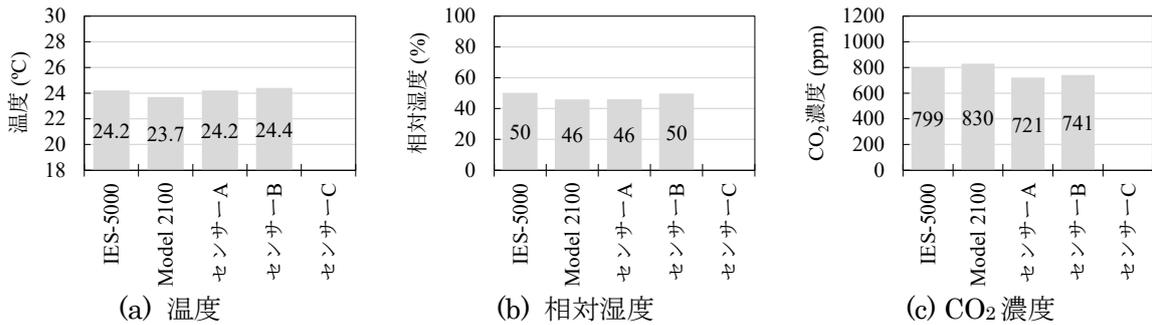


図 3-2-24 小型測定器と現場立入測定と比較 (Eビル 2階, 2024/2/29 10:00)

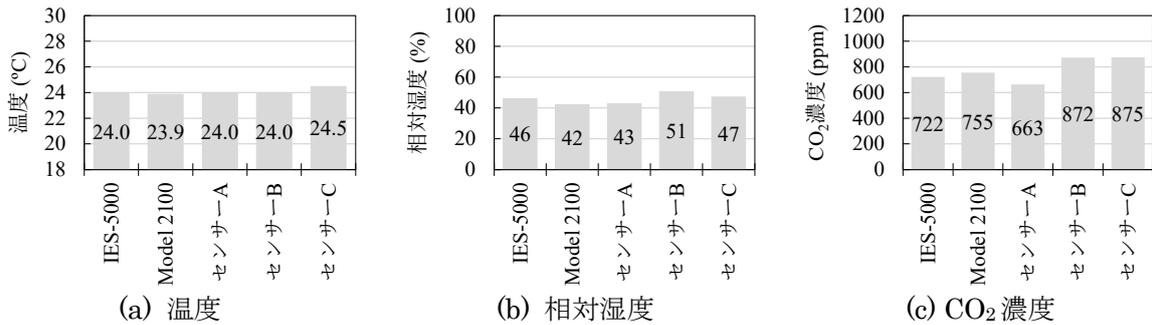


図 3-2-25 小型測定器と現場立入測定と比較 (Fビル 2階, 2024/2/29 11:00)

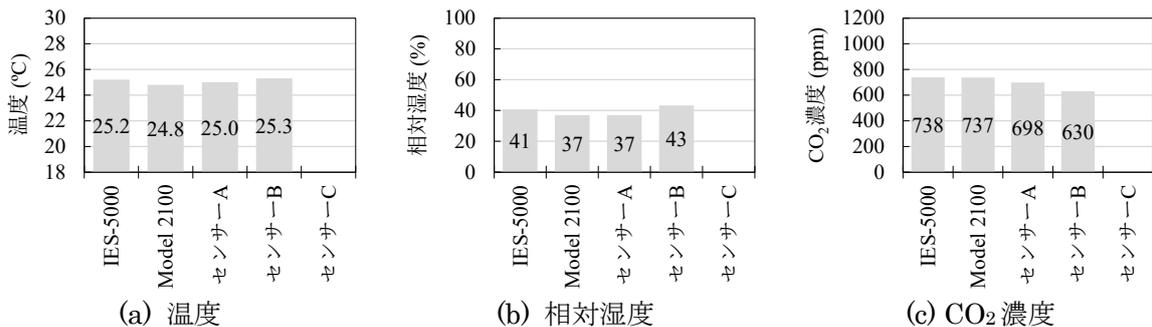


図 3-2-26 小型測定器と現場立入測定と比較 (Gビル 1階, 2024/2/29 16:30)

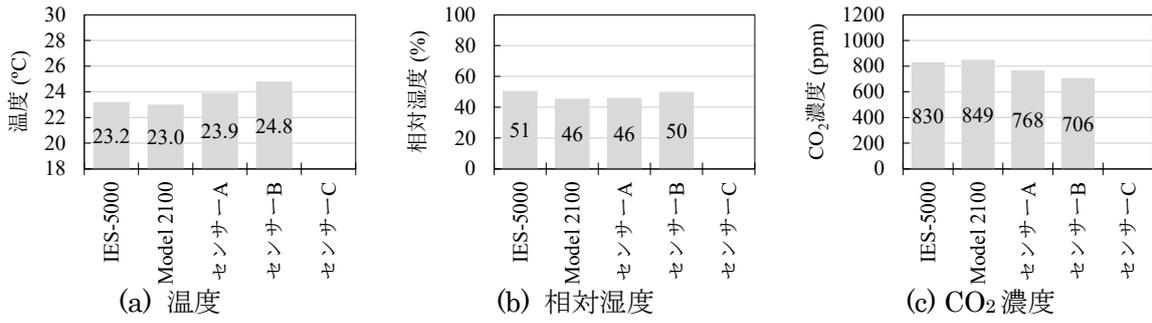


図 3-2-27 小型測定器と現場立入測定と比較 (Gビル 3階, 2024/2/29 15:30)

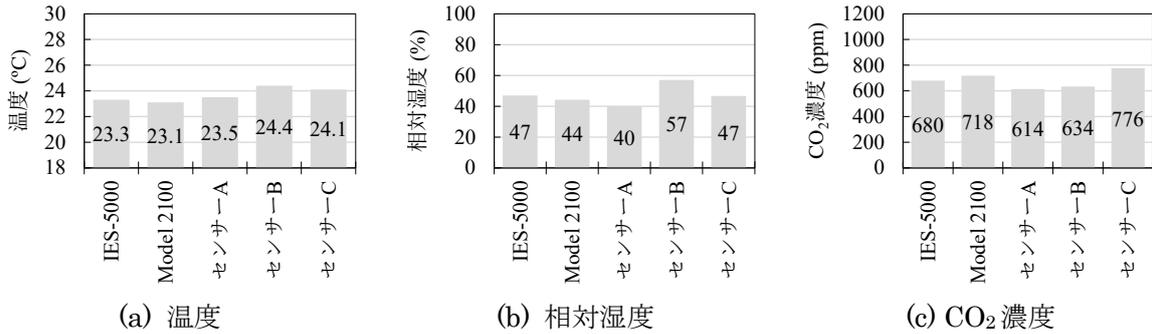


図 3-2-28 小型測定器と現場立入測定と比較 (Hビル 4階, 2024/2/22 10:40)

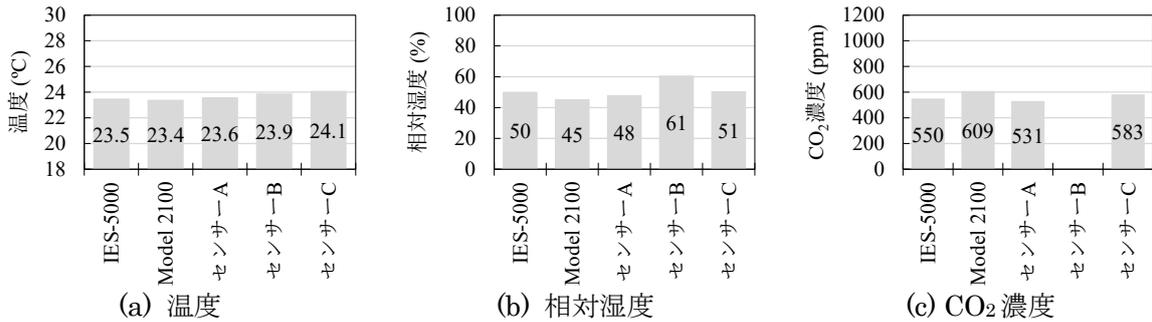


図 3-2-29 小型測定器と現場立入測定と比較 (Hビル 6階, 2024/2/22 09:30)

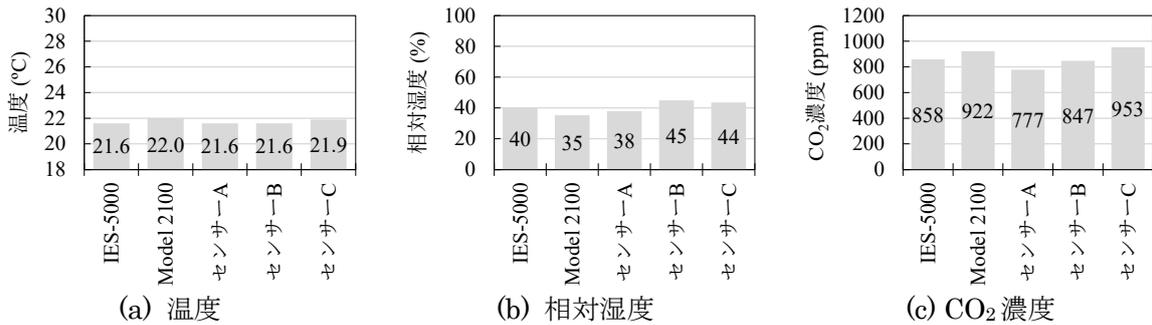
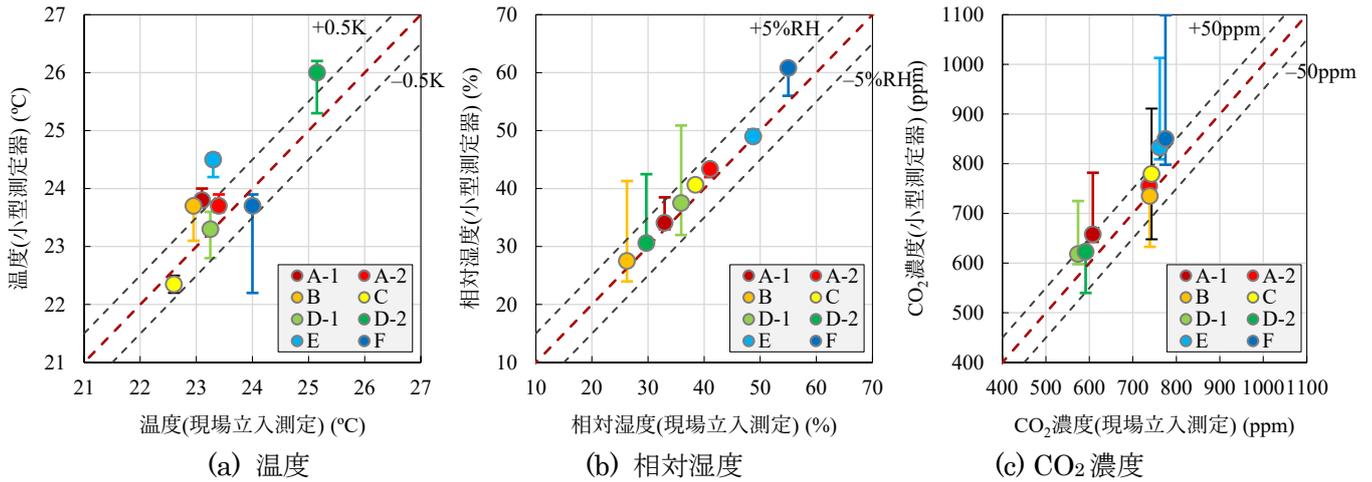


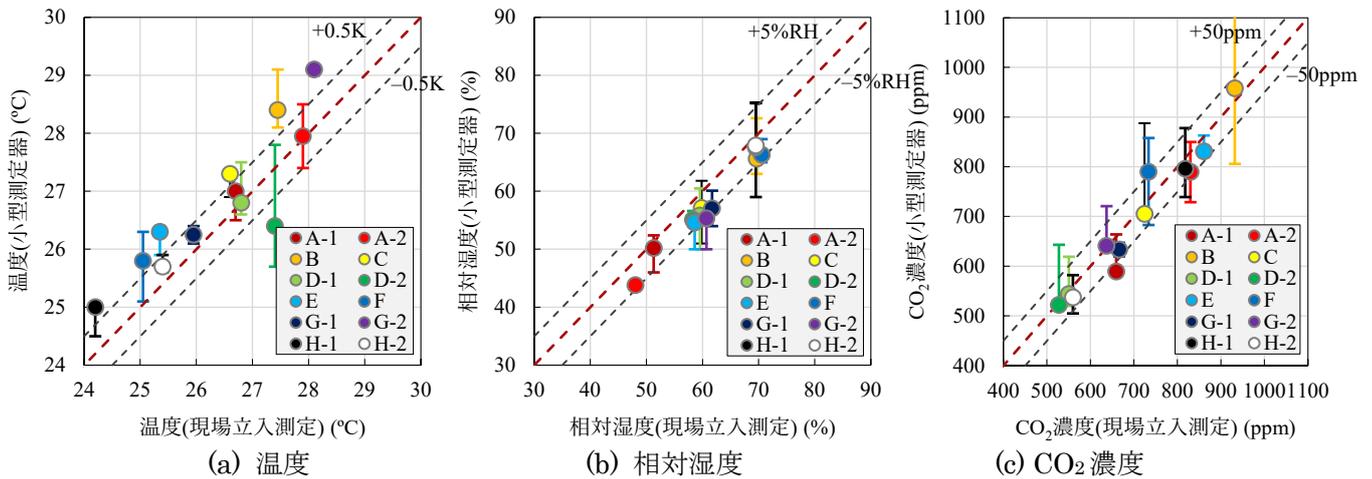
図 3-2-30 小型測定器と現場立入測定と比較 (Iビル 2階, 2024/3/5 10:30)



【図 3-2-31 注記】

- 1) 現場立入測定は 15-20 分間の測定結果から代表瞬時値を選択し、2 種の空気環境 6 項目測定器の平均値を示している。小型測定器の値は現場立入測定で選択した瞬時値と同時刻の測定値を用い、3 種の小型測定器の中央値をプロット、最高値・最低値をエラーバーで示している。
- 2) 一部欠測のため、2 種の小型測定器で表示している建物もある（以降同様）。
- 3) 凡例は建物記号を示しており、枝番号が小さい方から表 2-2-1~2-2-2 中の測定階のうち低層階を示している（以降同様）。

図 3-2-31 小型測定器と現場立入測定の比較（2023 年冬期）



【図 3-2-32 注記】

- 1) H ビルの現場立入測定は IES-5000 で測定できていないため、Model 2100 の結果を示している。

図 3-2-32 小型測定器と現場立入測定の比較（2023 年夏期）

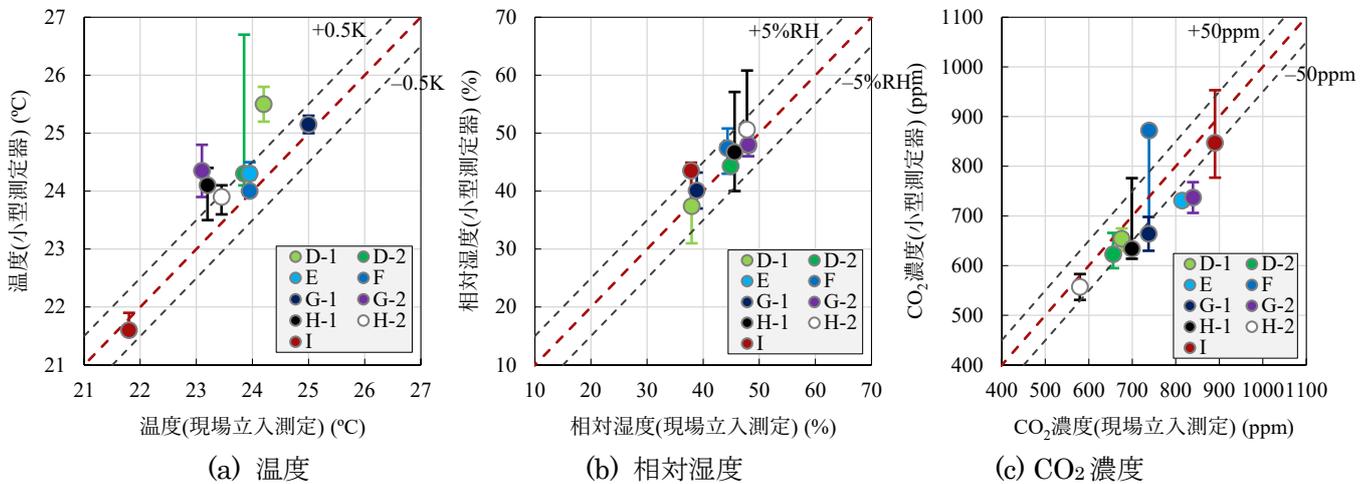


図 3-2-33 小型測定器と現場立入測定の比較（2024 年冬期）

表 3-2-1 法定測定と小型測定器の比較 (温度)

| 建物 記号 | 日時 | 法定測定 の結果 | 小型測定器の結果 | | | 中央値 |
|----------|------------------|-------------|----------|------|------|------|
| | | | A | B | C | |
| D-1 | 2023/1/30 10:13 | 16.2 | 18.2 | 18.1 | 18.0 | 18.1 |
| | 2023/1/30 13:24 | 18.5 | 21.1 | 21.2 | 21.4 | 21.2 |
| | 2023/3/27 10:15 | 18.3 | 19.5 | 19.9 | 20.0 | 19.9 |
| | 2023/3/27 13:38 | 19.1 | 20.2 | 20.7 | 21.2 | 20.7 |
| | 2023/9/27 10:25 | 25.6 | 26.3 | #N/A | #N/A | 26.3 |
| | 2023/9/27 13:33 | 24.9 | 25.3 | #N/A | 26.7 | 26.0 |
| | 2023/11/27 10:17 | 22.0 | 23.7 | #N/A | 22.5 | 23.1 |
| | 2023/11/27 13:09 | 20.7 | 22.7 | #N/A | 23.9 | 23.3 |
| | 2024/1/29 10:12 | 18.6 | 21.1 | 20.9 | 21.1 | 21.1 |
| | 2024/1/29 13:48 | 21.3 | 24.1 | 24.3 | 23.1 | 24.1 |
| D-2 | 2023/1/30 10:45 | 17.8 | 19.8 | 20.3 | 20.6 | 20.3 |
| | 2023/1/30 13:49 | 19.4 | 22.6 | 22.9 | 23.2 | 22.9 |
| | 2023/3/27 10:47 | 19.0 | 20.8 | 21.5 | 21.2 | 21.2 |
| | 2023/3/27 13:59 | 19.3 | 21.2 | 21.9 | 21.8 | 21.8 |
| | 2023/9/27 10:48 | 25.1 | 26.0 | #N/A | #N/A | 26.0 |
| | 2023/9/27 13:47 | 25.0 | 26.0 | #N/A | #N/A | 26.0 |
| | 2023/11/27 10:44 | 21.1 | 22.6 | #N/A | #N/A | 22.6 |
| | 2023/11/27 13:30 | 21.5 | 23.9 | #N/A | #N/A | 23.9 |
| | 2024/1/29 10:37 | 19.5 | 21.2 | 21.2 | 22.3 | 21.2 |
| | 2024/1/29 14:10 | 21.4 | 23.2 | 23.3 | 24.4 | 23.3 |
| E | 2023/2/17 11:02 | 22.9 | 24.4 | 24.6 | 24.5 | 24.5 |
| | 2023/2/17 14:44 | 23.2 | 24.1 | 24.4 | 24.3 | 24.3 |
| | 2023/4/21 10:34 | 24.4 | 24.6 | 24.9 | 25.1 | 24.9 |
| | 2023/4/21 14:29 | 24.6 | 24.6 | 25.0 | 25.2 | 25.0 |
| | 2023/6/19 10:40 | 25.4 | 26.2 | 26.1 | 25.9 | 26.1 |
| | 2023/6/19 14:35 | 25.8 | 25.9 | 25.9 | 25.8 | 25.9 |
| | 2023/8/25 10:45 | 25.3 | 25.9 | 26.0 | 26.1 | 26.0 |
| | 2023/8/25 14:34 | 25.2 | 25.8 | 25.9 | 25.7 | 25.8 |
| | 2023/10/23 10:33 | 24.5 | #N/A | 25.1 | 25.2 | 25.2 |
| | 2023/10/23 14:22 | 25.0 | #N/A | 25.5 | 25.8 | 25.7 |
| | 2023/12/18 11:04 | 24.0 | 24.1 | 24.3 | 24.4 | 24.3 |
| | 2023/12/18 14:45 | 23.5 | 23.5 | 23.9 | 24.1 | 23.9 |
| | 2024/2/26 11:00 | 24.2 | 24.4 | 24.4 | #N/A | 24.4 |
| | 2024/2/26 14:55 | 24.3 | 24.6 | 24.7 | 25.1 | 24.7 |
| F | 2023/2/17 9:51 | 22.9 | 23.8 | 23.8 | 23.9 | 23.8 |
| | 2023/2/17 13:37 | 23.4 | 24.5 | 24.6 | 25.0 | 24.6 |
| | 2023/6/19 9:37 | 24.4 | 24.2 | 24.3 | 24.5 | 24.3 |
| | 2023/6/19 13:33 | 25.4 | 24.2 | 24.3 | 25.0 | 24.3 |
| | 2023/8/25 9:38 | 25.3 | 25.2 | 25.4 | 25.5 | 25.4 |
| | 2023/8/25 13:33 | 24.8 | 25.4 | 25.2 | 25.9 | 25.4 |
| | 2023/10/23 9:33 | 23.7 | #N/A | 25.2 | 25.5 | 25.4 |
| | 2023/10/23 13:29 | 24.6 | #N/A | 26.0 | 27.0 | 26.5 |
| | 2023/12/18 9:52 | 22.8 | 23.5 | 23.9 | #N/A | 23.7 |
| | 2023/12/18 13:38 | 24.6 | 25.6 | 26.0 | 26.5 | 26.0 |
| | 2024/2/26 9:43 | 22.5 | 23.1 | 22.8 | 23.4 | 23.1 |
| | 2024/2/26 13:40 | 24.0 | 25.0 | 24.8 | 25.6 | 25.0 |
| G-2 | 2023/7/4 9:43 | 25.8 | 26.0 | 26.7 | 26.3 | 26.3 |
| | 2023/7/4 14:50 | 26.2 | 26.3 | 26.8 | 26.5 | 26.5 |
| | 2023/9/4 10:25 | 26.5 | 26.7 | 27.7 | 27.3 | 27.3 |
| | 2023/9/4 14:16 | 26.0 | 25.3 | 26.3 | 26.5 | 26.3 |
| | 2023/11/1 9:34 | 25.4 | 28.0 | 27.8 | 27.8 | 27.8 |
| | 2023/11/1 13:39 | 25.6 | 27.0 | 28.3 | 27.5 | 27.5 |
| | 2024/1/5 10:42 | 23.3 | 25.4 | 26.0 | 25.4 | 25.4 |
| | 2024/1/5 13:43 | 23.2 | 25.3 | 25.9 | 24.9 | 25.3 |
| | 2024/3/1 10:15 | 21.7 | 23.8 | 24.4 | 24.5 | 24.4 |
| H-1 | 2023/8/30 10:34 | 25.1 | 24.7 | 25.1 | 25.4 | 25.1 |
| | 2023/8/30 14:47 | 24.4 | 23.9 | 24.4 | 24.6 | 24.4 |
| | 2023/10/25 10:55 | 24.4 | 24.3 | 24.9 | 25.0 | 24.9 |
| | 2023/10/25 14:35 | 24.4 | 24.4 | 24.9 | 24.9 | 24.9 |
| | 2023/12/19 10:36 | 23.5 | 23.9 | 24.4 | 24.2 | 24.2 |
| | 2023/12/19 14:40 | 23.8 | 24.6 | 25.2 | 25.0 | 25.0 |
| | 2024/2/28 10:44 | 23.5 | 24.0 | 25.0 | 24.2 | 24.2 |
| | 2024/2/28 14:46 | 23.4 | 23.8 | 24.7 | 24.2 | 24.2 |
| H-2 | 2023/8/30 10:29 | 25.7 | 24.9 | 25.5 | 25.7 | 25.5 |
| | 2023/8/30 14:42 | 25.2 | 24.4 | 25.0 | 25.5 | 25.0 |
| | 2023/10/25 10:50 | 24.9 | 25.5 | 25.3 | 25.8 | 25.5 |
| | 2023/10/25 14:29 | 24.2 | 25.2 | 25.0 | 25.6 | 25.2 |
| | 2023/12/19 10:30 | 23.8 | 24.1 | 24.4 | 24.6 | 24.4 |
| | 2023/12/19 14:34 | 23.8 | 24.3 | 24.6 | 24.6 | 24.6 |
| | 2024/2/28 10:38 | 23.7 | 24.7 | 24.9 | #N/A | 24.8 |
| J | 2024/2/1 10:18 | 22.9 | 23.5 | 23.5 | #N/A | 23.5 |
| | 2024/2/1 14:13 | 23.0 | 23.3 | 23.6 | #N/A | 23.5 |

【表 3-2-1 注記】 #N/A は欠測を示す。

表 3-2-2 法定測定と小型測定器の比較 (相対湿度)

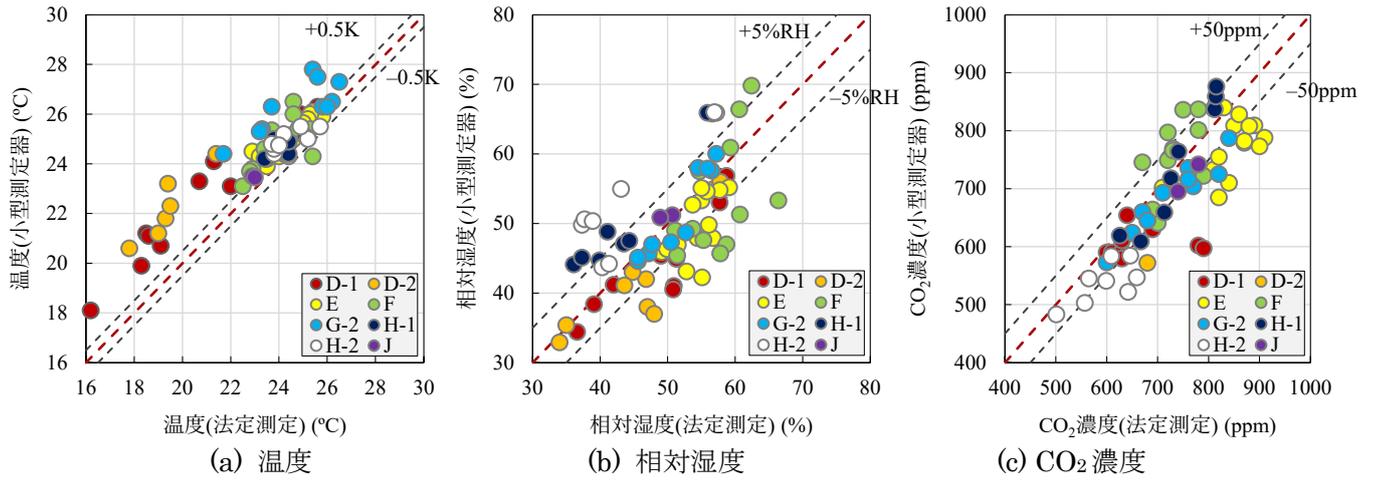
| 建物 記号 | 日時 | 法定測定 の結果 | 小型測定器の結果 | | | 中央値 |
|-----------------|------------------|-------------|----------|------|------|-----|
| | | | A | B | C | |
| D-1 | 2023/1/30 10:13 | 51 | 42 | 59 | 48 | 48 |
| | 2023/1/30 13:24 | 51 | 40 | 57 | 45 | 45 |
| | 2023/3/27 10:15 | 39 | 31 | 49 | 38 | 38 |
| | 2023/3/27 13:38 | 37 | 29 | 47 | 34 | 34 |
| | 2023/9/27 10:25 | 58 | 53 | #N/A | #N/A | 53 |
| | 2023/9/27 13:33 | 59 | 55 | #N/A | 59 | 57 |
| | 2023/11/27 10:17 | 49 | 41 | #N/A | 50 | 45 |
| | 2023/11/27 13:09 | 42 | 35 | #N/A | 47 | 41 |
| | 2024/1/29 10:12 | 51 | 41 | 47 | 40 | 41 |
| | 2024/1/29 13:48 | 51 | 38 | 43 | 41 | 41 |
| D-2 | 2023/1/30 10:45 | 47 | 38 | 38 | 37 | 38 |
| | 2023/1/30 13:49 | 48 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| | 2023/3/27 10:47 | 35 | 33 | 33 | 35 | 35 |
| | 2023/3/27 13:59 | 34 | 31 | 31 | 33 | 33 |
| | 2023/9/27 10:48 | 57 | 55 | 55 | #N/A | 55 |
| | 2023/9/27 13:47 | 58 | 56 | 56 | #N/A | 56 |
| | 2023/11/27 10:44 | 49 | 46 | 46 | #N/A | 46 |
| | 2023/11/27 13:30 | 47 | 42 | 42 | #N/A | 42 |
| | 2024/1/29 10:37 | 45 | 38 | 38 | 47 | 43 |
| | 2024/1/29 14:10 | 44 | 36 | 36 | 45 | 41 |
| E | 2023/2/17 11:02 | 57 | 47 | 49 | 48 | 48 |
| | 2023/2/17 14:44 | 54 | 47 | 49 | 48 | 48 |
| | 2023/4/21 10:34 | 59 | 55 | 56 | 55 | 55 |
| | 2023/4/21 14:29 | 58 | 54 | 56 | 55 | 55 |
| | 2023/6/19 10:40 | 55 | 50 | 53 | 54 | 53 |
| | 2023/6/19 14:35 | 54 | 49 | 53 | 53 | 53 |
| | 2023/8/25 10:45 | 56 | 52 | 55 | 55 | 55 |
| | 2023/8/25 14:34 | 55 | 53 | 55 | 57 | 55 |
| | 2023/10/23 10:33 | 52 | #N/A | 47 | 47 | 47 |
| | 2023/10/23 14:22 | 49 | #N/A | 46 | 46 | 46 |
| | 2023/12/18 11:04 | 56 | 46 | 50 | 50 | 50 |
| | 2023/12/18 14:45 | 50 | 43 | 47 | 46 | 46 |
| | 2024/2/26 11:00 | 55 | 40 | 45 | #N/A | 42 |
| | 2024/2/26 14:55 | 53 | 40 | 45 | 43 | 43 |
| F | 2023/2/17 9:51 | 66 | 53 | 59 | 53 | 53 |
| | 2023/2/17 13:37 | 61 | 51 | 57 | 51 | 51 |
| | 2023/6/19 9:37 | 59 | 58 | 64 | 61 | 61 |
| | 2023/6/19 13:33 | 55 | 56 | 62 | 58 | 58 |
| | 2023/8/25 9:38 | 62 | 65 | 71 | 70 | 70 |
| | 2023/8/25 13:33 | 61 | 63 | 69 | 66 | 66 |
| | 2023/10/23 9:33 | 54 | #N/A | 51 | 48 | 49 |
| | 2023/10/23 13:29 | 51 | #N/A | 51 | 47 | 49 |
| | 2023/12/18 9:52 | 59 | 44 | 50 | #N/A | 47 |
| | 2023/12/18 13:38 | 51 | 42 | 50 | 45 | 45 |
| | 2024/2/26 9:43 | 58 | 41 | 49 | 46 | 46 |
| 2024/2/26 13:40 | 55 | 44 | 52 | 48 | 48 | |
| G-2 | 2023/7/4 9:43 | 57 | 56 | 58 | 58 | 58 |
| | 2023/7/4 14:50 | 55 | 56 | 58 | 58 | 58 |
| | 2023/9/4 10:25 | 56 | 56 | 58 | 58 | 58 |
| | 2023/9/4 14:16 | 57 | 60 | 60 | 59 | 60 |
| | 2023/11/1 9:34 | 47 | 40 | 47 | 46 | 46 |
| | 2023/11/1 13:39 | 48 | 44 | 47 | 47 | 47 |
| | 2024/1/5 10:42 | 46 | 39 | 45 | 45 | 45 |
| | 2024/1/5 13:43 | 46 | 40 | 45 | 46 | 45 |
| | 2024/3/1 10:15 | 53 | 46 | 50 | 49 | 49 |
| H-1 | 2024/3/1 14:05 | 51 | 44 | 47 | 47 | 47 |
| | 2023/8/30 10:34 | 57 | 59 | 75 | 66 | 66 |
| | 2023/8/30 14:47 | 56 | 58 | 74 | 66 | 66 |
| | 2023/10/25 10:55 | 44 | 41 | 59 | 47 | 47 |
| | 2023/10/25 14:35 | 44 | 41 | 59 | 48 | 48 |
| | 2023/12/19 10:36 | 40 | 36 | 55 | 45 | 45 |
| | 2023/12/19 14:40 | 41 | 40 | 59 | 49 | 49 |
| | 2024/2/28 10:44 | 36 | 36 | 54 | 44 | 44 |
| H-2 | 2024/2/28 14:46 | 37 | 38 | 55 | 45 | 45 |
| | 2023/8/30 10:29 | 57 | 62 | 73 | 66 | 66 |
| | 2023/8/30 14:42 | 57 | 59 | 74 | 66 | 66 |
| | 2023/10/25 10:50 | 40 | 40 | 56 | 44 | 44 |
| | 2023/10/25 14:29 | 41 | 40 | 56 | 44 | 44 |
| | 2023/12/19 10:30 | 37 | 46 | 58 | 50 | 50 |
| | 2023/12/19 14:34 | 38 | 47 | 60 | 51 | 51 |
| | 2024/2/28 10:38 | 39 | 44 | 57 | #N/A | 50 |
| J | 2024/2/28 14:35 | 43 | 49 | 61 | #N/A | 55 |
| | 2024/2/1 10:18 | 51 | 48 | 54 | #N/A | 51 |
| | 2024/2/1 14:13 | 49 | 48 | 54 | #N/A | 51 |

【表 3-2-2 注記】 #N/A は欠測を示す。

表 3-2-3 法定測定と小型測定器の比較 (CO₂濃度)

| 建物 記号 | 日時 | 法定測定 の結果 | 小型測定器の結果 | | | 中央値 |
|-----------------|------------------|-------------|----------|------|------|-------|
| | | | A | B | C | |
| D-1 | 2023/1/30 10:13 | 780 | 602 | 596 | 701 | 602 |
| | 2023/1/30 13:24 | 790 | 597 | 581 | 702 | 597 |
| | 2023/3/27 10:15 | 600 | 555 | 590 | 618 | 590 |
| | 2023/3/27 13:38 | 610 | 572 | 590 | 652 | 590 |
| | 2023/9/27 10:25 | 630 | 591 | #N/A | #N/A | 591 |
| | 2023/9/27 13:33 | 630 | 603 | #N/A | 619 | 611 |
| | 2023/11/27 10:17 | 690 | 611 | #N/A | 649 | 630 |
| | 2023/11/27 13:09 | 630 | 555 | #N/A | 604 | 579.5 |
| | 2024/1/29 10:12 | 630 | 595 | 611 | 682 | 611 |
| | 2024/1/29 13:48 | 640 | 599 | 654 | 683 | 654 |
| D-2 | 2023/1/30 10:45 | 680 | 520 | 586 | 572 | 572 |
| | 2023/1/30 13:49 | 670 | 551 | 617 | 604 | 604 |
| | 2023/3/27 10:47 | 540 | 557 | 629 | 606 | 606 |
| | 2023/3/27 13:59 | 560 | 560 | 612 | 604 | 604 |
| | 2023/9/27 10:48 | 540 | 561 | #N/A | #N/A | 561 |
| | 2023/9/27 13:47 | 530 | 546 | #N/A | #N/A | 546 |
| | 2023/11/27 10:44 | 560 | 520 | #N/A | #N/A | 520 |
| | 2023/11/27 13:30 | 530 | 531 | #N/A | #N/A | 531 |
| | 2024/1/29 10:37 | 520 | 560 | 575 | 750 | 575 |
| | 2024/1/29 14:10 | 580 | 537 | 577 | 690 | 577 |
| E | 2023/2/17 11:02 | 710 | 618 | 702 | 791 | 702 |
| | 2023/2/17 14:44 | 830 | 748 | 840 | 999 | 840 |
| | 2023/4/21 10:34 | 810 | 697 | 733 | 791 | 733 |
| | 2023/4/21 14:29 | 820 | 729 | 755 | 827 | 755 |
| | 2023/6/19 10:40 | 840 | 697 | 710 | 790 | 710 |
| | 2023/6/19 14:35 | 910 | 754 | 788 | 867 | 788 |
| | 2023/8/25 10:45 | 870 | 779 | 756 | 889 | 779 |
| | 2023/8/25 14:34 | 890 | 809 | 806 | 937 | 809 |
| | 2023/10/23 10:33 | 850 | #N/A | 735 | 882 | 808.5 |
| | 2023/10/23 14:22 | 860 | #N/A | 759 | 897 | 828 |
| | 2023/12/18 11:04 | 880 | 808 | 808 | 970 | 808 |
| | 2023/12/18 14:45 | 870 | 782 | 778 | 943 | 782 |
| | 2024/2/26 11:00 | 820 | 677 | 693 | #N/A | 685 |
| | 2024/2/26 14:55 | 900 | 730 | 773 | 911 | 773 |
| F | 2023/2/17 9:51 | 730 | 694 | 769 | 952 | 769 |
| | 2023/2/17 13:37 | 810 | 762 | 838 | 1039 | 838 |
| | 2023/6/19 9:37 | 700 | 590 | 751 | 641 | 641 |
| | 2023/6/19 13:33 | 790 | 663 | 847 | 722 | 722 |
| | 2023/8/25 9:38 | 720 | 645 | 765 | 749 | 749 |
| | 2023/8/25 13:33 | 780 | 692 | 816 | 801 | 801 |
| | 2023/10/23 9:33 | 670 | #N/A | 783 | 708 | 745.5 |
| | 2023/10/23 13:29 | 750 | #N/A | 868 | 804 | 836 |
| | 2023/12/18 9:52 | 690 | 559 | 769 | #N/A | 664 |
| | 2023/12/18 13:38 | 730 | 596 | 809 | 766 | 766 |
| | 2024/2/26 9:43 | 720 | 638 | 819 | 797 | 797 |
| 2024/2/26 13:40 | 780 | 662 | 863 | 837 | 837 | |
| G-2 | 2023/7/4 9:43 | 650 | 616 | 624 | 685 | 624 |
| | 2023/7/4 14:50 | 760 | 719 | 736 | 828 | 736 |
| | 2023/9/4 10:25 | 600 | 573 | 530 | 637 | 573 |
| | 2023/9/4 14:16 | 670 | 660 | 616 | 741 | 660 |
| | 2023/11/1 9:34 | 710 | 693 | 636 | 829 | 693 |
| | 2023/11/1 13:39 | 770 | 704 | 660 | 843 | 704 |
| | 2024/1/5 10:42 | 760 | 716 | 629 | 844 | 716 |
| | 2024/1/5 13:43 | 840 | 787 | 705 | 924 | 787 |
| | 2024/3/1 10:15 | 680 | 645 | 584 | 706 | 645 |
| 2024/3/1 14:05 | 820 | 725 | 672 | 837 | 725 | |
| H-1 | 2023/8/30 10:34 | 741 | 694 | 764 | 831 | 764 |
| | 2023/8/30 14:47 | 812 | 763 | 837 | 926 | 837 |
| | 2023/10/25 10:55 | 626 | 597 | 619 | 735 | 619 |
| | 2023/10/25 14:35 | 726 | 691 | 718 | 836 | 718 |
| | 2023/12/19 10:36 | 814 | 811 | 859 | 1035 | 859 |
| | 2023/12/19 14:40 | 815 | 824 | 876 | 1072 | 876 |
| | 2024/2/28 10:44 | 667 | 600 | 609 | 751 | 609 |
| 2024/2/28 14:46 | 713 | 645 | 659 | 810 | 659 | |
| H-2 | 2023/8/30 10:29 | 565 | 498 | 545 | 598 | 545 |
| | 2023/8/30 14:42 | 599 | 529 | 541 | 600 | 541 |
| | 2023/10/25 10:50 | 557 | 503 | 495 | 569 | 503 |
| | 2023/10/25 14:29 | 501 | 483 | 474 | 533 | 483 |
| | 2023/12/19 10:30 | 609 | 525 | #N/A | 642 | 583.5 |
| | 2023/12/19 14:34 | 646 | 526 | #N/A | 643 | 584.5 |
| | 2024/2/28 10:38 | 659 | 547 | #N/A | #N/A | 547 |
| 2024/2/28 14:35 | 642 | 522 | #N/A | #N/A | 522 | |
| J | 2024/2/1 10:18 | 740 | 664 | 726 | #N/A | 695 |
| | 2024/2/1 14:13 | 780 | 706 | 778 | #N/A | 742 |

【表 3-2-3 注記】 #N/A は欠測を示す。



【図 3-2-34 注記】

- 1) 法定測定値は検査帳簿に記載されている値を用いた。小型測定器の値は法定測定時刻以降の直近の測定値を用い、3 種の小型測定器の中央値で示している（一部欠測のため、1 種若しくは 2 種の小型測定器の平均で表示している建物もある）。
- 2) 法定測定の測定位置は小型測定器の設置位置と必ずしも一致していない。
- 3) 凡例は建物記号を示しており、枝番号が小さい方から表 1 中の測定階のうち低層階を示している。

図 3-2-34 小型測定器と現場立入測定と比較（2023 年冬期～2024 年冬期）

3-3 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および本研究班で実測対象とした建築物において、PM_{2.5} 濃度の測定を行い、測定機器の計測値の比較を行った。

B. 研究方法

B.1 PM_{2.5} 測定機器の調査

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 3-3-1 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 3-3-1 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) |

B.2 立入測定時の測定値の比較

表 3-3-2 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 |

対象とした建築物は表 2-1-1 に示した建築物 A~F において、DustTrak (TSI 製) により立入測定を行ったタイミングにおいて、連続測定を行っている PS-2 (柴田科学製)、PM_{2.5} テスター (光明理化学工業製) の計測データを抽出し、濃度の比較を行った。立入測定では、連続測定を行っている近傍において、20 分程度 DustTrak を設置して測定を行っている。それぞれの測定器は、1 分ごとに記録されている。

C. 調査結果および考察

C.1 PM_{2.5} 測定機器の調査

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力学的特性が粒径 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 3-3-2 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。

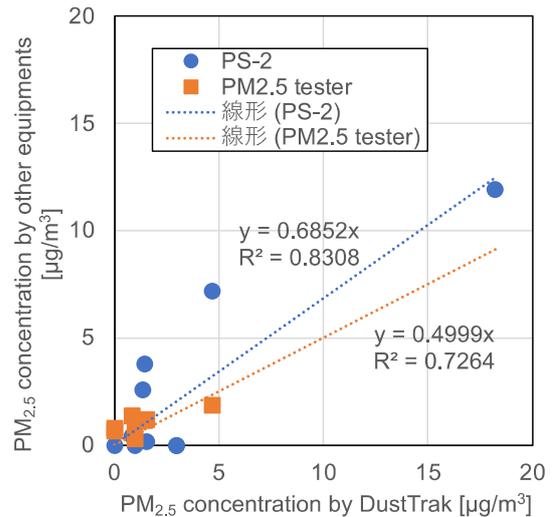
我が国の製品についても、例えば柴田科学社製のデジタル粉じん計 LD-5R の標準採気口に PM_{2.5} 用サイクロン式分粒装置を取り付けることにより、PM_{2.5} 濃度を簡便に計測することはできる。こちらも、換算係数が重要となるので、標準的な方法となる秤量する方法との関係を検討しておかなければならない。

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) level⁵⁾として、年平均を 5 μg/m³、日平均を 15 μg/m³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。

C.2 立入測定時の測定値の比較

図 3-3-1 に各建築物で立ち入り測定を行ったタイミングの DustTrak による PM_{2.5} 濃度の測定値と PS-2 (柴田科学製)、PM_{2.5} テスター (光明理化学工業製) の計測データの比較を示す。比較的 low 濃度の状況であった。10 μg/m³ よりも高い濃度である時があるが、これは冬期の暖房期であり、事務所内の卓上で超音波加湿器を使用していたため、そのミストを計測していたものによる。

低濃度であるため、検出されず、データとして 0 μg/m³ と記録されることが多く、5 μg/m³ 以下ではばらつきが大きい傾向となった。ある程度濃度の高い環境の方が、これらの測定機器の適用が可能となると考えられるが、低濃度環境では精度の検証を何らかの方法で行うことが必要となる。



5) WHO: WHO global air quality guidelines, Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), 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～令和5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)
分担総合研究報告書

4. 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 |
| 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

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 データの空気環境管理への応用可能性について年間を通じた検討を行うことを目的として、BEMS を導入している3棟のオフィスビルを対象に、暖房期と冷房期のデータ収集を行った。対象ビルには BEMS データ収集を依頼するとともに、温度、湿度、CO₂濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期のオフィス環境の実測を行った。

空間分布に関するデータ分析の結果、①温度は居住域と壁面（インテリア・ペリメータ）、還気ダクトに設置されたセンサで近い値を取るが、空調ゾーニングや還気方式に注意が必要であること、②相対湿度は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るが、センサの精度をいかに保つかが重要であることが示唆された。時系列分析では、温度が朝の空調立ち上がり時に逸脱すること、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が示された。

以上より、温度と CO₂濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたが、相対湿度の活用は難しく、同時に BEMS センサで通常測定されることがない浮遊粉じんや一酸化炭素（CO）、気流の測定が必要であることを考慮すると、人的コストの削減に繋げることは現段階では難しい。一方で、従来のスポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるという BEMS センサの長所は積極的に活用すべきである。基準を逸脱している場合の原因特定が容易になることは勿論、空気環境の良し悪しが「基準を逸脱しているか否か」の2値ではなく、「どれだけの時間、基準を逸脱しているか」という連続値で評価可能となる。この BEMS の有意性を活用することで、建築物衛生法の目的である「公衆衛生の向上及び増進」への更なる貢献が期待される。

研究協力者

原山 和也 アズビル（株）
橋本 翔 ダイダマン（株）

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の衛生管理が、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。

4-1 BEMS データ活用の趣旨

初めに BEMS データ活用の趣旨について説明する。通常 BEMS データは空調設備の自動制御のために使用されているが、空気環境の管理には活用されていない。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

4-2 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4-1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。窓は閉状態で運用されていた。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を表4-2のように分類すると、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、以降の分析を行った。データ収集は暖房期（1~2月）および冷房期（7月）を対象とし、年間を通じた検討を行った。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。各ビルの解析対象エリアとセンサ設置箇所を図4-1に示す。

4-3 空間分布に関する検討

(1) Aビル

図4-2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。暖房期と冷房期の両期間について、居住域・壁面（ペリメータ）のBEMSセンサの両方とも、傾きが1に近く、 $y=x$ の直線上にプロットが乗っており、居住域に設置したデータロガーと良好な相関関係を示した。

図4-3に相対湿度の散布図を示すが、相対湿度も温度と同様に良好な相関関係が確認された。

(2) Eビル

図4-4に、Aビルと同様の温度の散布図を示す。近似直線のみに着目すると、傾きは1から、切片は0から大きく乖離していたが、全てのプロットは $y=x$ 近傍に集中していた。しかし床吹出のAビル（図4-2）と異なり、プロットが $y=x$ のラインに沿って整然と並んでおらず、団子状に固まっている様子が観察される。これは、Eビルの空調が天井吹出であり、床吹出と比較して

吹出風速が早く、空気が攪拌されていたことが一因として考えられる。このように空調方式によって、各場所のBEMSセンサと居住域のデータロガーの測定値の対応関係が変化することが示唆された。

図4-5に還気ダクトのBEMSセンサと居住域のデータロガーの相対湿度の相関図を示す。暖房期は低湿度側で値の対応関係が悪くなった（例：BEMSセンサが約30%RHを示した時に、データロガーは約45%RHであった）ものの、冷房期の50%RH以上の範囲では対応関係が比較的良好であった。低湿度側の値の乖離は、BEMSセンサは還気ダクト内、データロガーは居住域というように設置場所が異なっていたため、発湿源である人がいる領域か否かが一因で、居住域側の値が高くなった可能性がある。

図4-6に、還気ダクトのBEMSセンサと居住域データロガーのCO₂濃度の散布図を示す。暖房期（左図）はプロット群が $y=x$ 上に沿っている群と高濃度側で乖離していく群の2つに分かれており、これはデータロガーの自動校正（オートキャリブレーション）機能の稼働前後でCO₂濃度が大きく変化したことが原因である。冷房期（右図）では、暖房期のように測定期間中に自動校正がかかることはなかったが、BEMSセンサとデータロガーの値に約70ppmの差が認められた。冷房期の近似直線の決定係数は高く、綺麗な相関関係が認められたため、切片の補正によって還気ダクトのCO₂濃度から居住域の値を推定することが可能と考えられる。一方で、暖房期のようにCO₂の校正によっては値が大きく異なってくるため、BEMSによって空気環境を管理する場合には、初期校正やセンサの校正頻度などを予め規定しておくことが重要である。

(3) Fビル

Fビルは、Aビルと同様に床吹出・天井吸込の空調方式であるが、図4-1に示す通り、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) が別途設置されており、空調ゾーンが分かれている点の特徴である。

図4-7に、設置箇所別のBEMSセンサとデータロガーの温度の相関図を示す。まずプロットの形状に着目すると、Aビルと同様にプロット

トが団子状にならずにライン上に整然と並んでいる様子が観察される。これは床吹出空調のビルの特徴と推察される。冷房期（右図）は居住域、壁面（ペリメータ）、還気ダクトの BEMS センサとデータロガーは近しい値を取った（ $y=x$ の線上にプロットが位置していた）が、暖房期（左図）は壁面（ペリメータ）と還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの対応は $y=x$ から平行移動する形状を示していた。これはペリメータが AHU の空調ゾーンと独立していたために値がズレたこと、本ビルの還気方式が天井チャンバ方式であり、空調空間である居室と非空調空間である天井裏の空気が混合したことが原因と考察される。従って、壁面（ペリメータ）に設置されている BEMS センサを使用する際には空調ゾーニングを確認すること、還気ダクトの BEMS センサを使用する際には還気方式を把握することが重要と考えられる。

図 4-8 に、居住域の BEMS センサとデータロガーの相対湿度の散布図を示す。BEMS センサとデータロガーの測定箇所は空間的に近かった（どちらも居住域であった）にもかかわらず、暖房期は約 6%RH、冷房期は約 7%RH の差異があり、データのバラツキが大きい結果であった。これはセンサ種別や個体差が表れたものと考えられる。

図 4-9 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの CO₂ 濃度の散布図を示す。空間的には大きな距離があったものの、良好な相関関係が見られた。これは CO₂ の拡散のしやすさ等によるものと考えられ、BEMS センサによる CO₂ 濃度管理は比較的可能性が高いものとする。

4-4 時刻変動に関する検討

(1) A ビル

図 4-10 に、居住域の BEMS センサによって取得した、暖房期と冷房期それぞれの平日の日ごとの温度の時刻変動を示す（9～17 時の勤務時間中、1 つの線が 1 日を示す）。暖房期について温度が建築物環境衛生管理基準の下限である 18℃を下回る時間があり、冷房期について温度が上限である 28℃を上回る時間帯があった。こ

の逸脱は、いずれも連休明けの空調立ち上がり時間帯に発生していたため、構造体等への蓄熱負荷が原因と考えられる。このように BEMS の時系列データを詳細に解析すると、逸脱している原因の特定に繋がることがあり、BEMS 活用による環境衛生管理の有意性の一つと考える。

図 4-11 に暖冷房期の相対湿度の時刻変動を示す。基準を逸脱している時間の割合（逸脱時間割合＝基準を逸脱している時間／総測定時間）を見ると、暖房期は 81.4%であった。外気が高温である冷房期にも相対湿度が 40%RH を下回る時間が見られ、逸脱時間割合は 25.8%であった。従来の午前・午後のスポット的な測定からでは「基準を逸脱しているか否か」という 2 値による判断しかできないが、BEMS の長期的な測定に基づき「逸脱時間割合 0～100%」という形で空気環境の良し悪しを判断できることは極めて有益であり、こちらも BEMS 活用による環境衛生管理の有意性と考えられる。

(2) E ビル

図 4-12、4-13、4-14 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。暖房期の相対湿度だけ基準を逸脱しており、逸脱時間割合は 36.4%であった。図 4-12 の温度推移からも明らかのように、本ビルは厳格な自動制御がなされており、気化式加湿を採用していたものの、低湿な冬季の外気に対して加湿能力が不足していた可能性がある。

(3) F ビル

図 4-15 に、BEMS センサによって取得した温度の時刻変動を示す。暖房期と冷房期ともに温度の基準範囲である 18～28℃を逸脱することはなかったが、冷房期の 4 連休明けの 7/25 に 28℃近傍を推移していたため、A ビルと同様に連休明けの蓄熱負荷対応は留意が必要と考えられる。図 4-16 に相対湿度の時刻変動を示す。暖房期に基準範囲である 40～70%RH を逸脱することはなかったが、冷房期に範囲を超過する時間が僅かにあり、逸脱時間割合は 1.8%であった。図 4-17 に CO₂ 濃度の時刻変動を示す。暖房期と冷房期ともに朝から夕方にかけて緩やかに上昇をする傾向が確認されたが、1000 ppm 以下の基準範囲を逸脱することはなかった。

4-5 BEMS データ活用の可能性

本章では暖房期と冷房期の実物件のデータ収集と分析を通じ、年間を通して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) 温度は床吹出と天井吹出の空調方式で、散布図のプロット形状に違いが認められたものの、居住域と壁面（インテリア・ペリメータ）、還気ダクトに設置されたセンサで近い値を示すケースが多く、空気環境管理に利用できる可能性が高い。ただし、暖房期において、ペリメータ壁面の BEMS センサを使用する際には空調ゾーニングを確認する必要があり、還気ダクト内の BEMS センサを使用する際には還気方式を考慮する必要がある。
- 2) 相対湿度は暖房期と冷房期ともに 3 ビルの BEMS データから一貫した結果が得られなかったため、空気環境管理への活用に向けては更なる検討が必要と判断される。
- 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、居住域と良い相関関係を示した。しかし、校正の状態によっては値が大きくずれることがあるので、初期の校正や継続的な精度管理が重要である。
- 4) 時刻変動に関する検討の結果、暖房期と冷房期ともに、朝の空調立ち上がり時の温度の基準範囲からの逸脱に注意が必要であることが示唆された。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。
- 5) 相対湿度について、逸脱時間割合という形で評価を行った結果、特に暖房期の加湿に課題を抱えているビルが多い結果であった。

以上のような BEMS データの分析を通して、温度と CO₂濃度については空気環境管理への活用可能性が示唆されたものの、相対湿度の活用は現段階では難しく、同時に BEMS センサで通常測定されることがない浮遊粉じんや一酸化炭素（CO）、気流の測定が必要であることを考慮すると、人的コストの削減に繋げることは難しいと考えられる。一方で、従来の午前午後スポット測定では得られない、時間的解像度の高いデータが得られるという BEMS センサの長所は積極的に活用すべきである。これまで

のように「基準を逸脱しているか否か」という 2 値で空気環境の良し悪しを判断するだけではなく、「逸脱時間割合」という形で 0~100%の段階で空気環境を評価することは有益である。具体的には、基準を逸脱していた場合に、ギリギリ空気環境基準を満たしていないのか、全く基準を満たしていないのか、といった判断が可能となり、特に注意が必要なビルの特定に繋がるといったメリットがある。従って、BEMS の長所を活用した空気環境管理は、建築物衛生法の目的でもある「公衆衛生の向上及び増進」に繋がる重要な取り組みになると考える。

研究発表

1) 海塩 渉, 鍵 直樹, 富田 怜, 金 勲, 下ノ菌 慧, 中野 淳太: 建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考 (第 2 報) 空気環境管理へのビルエネルギーマネジメントシステム活用手法の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2023

知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)
予定なし

表 4-1 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 | 吹出 | 吸込 | 窓 | データ分析期間 |
|----|---------|------------|----|----|---|------------------------|
| A | 埼玉県三芳町 | AHU+水冷 PAC | 床 | 天井 | 閉 | 暖房期：2023/1, 冷房期：2023/7 |
| E | 神奈川県藤沢市 | AHU | 天井 | 天井 | 閉 | 暖房期：2023/2, 冷房期：2023/7 |
| F | 神奈川県藤沢市 | AHU+窓際 FCU | 床 | 天井 | 閉 | 暖房期：2023/2, 冷房期：2023/7 |

※ 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 4-2 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

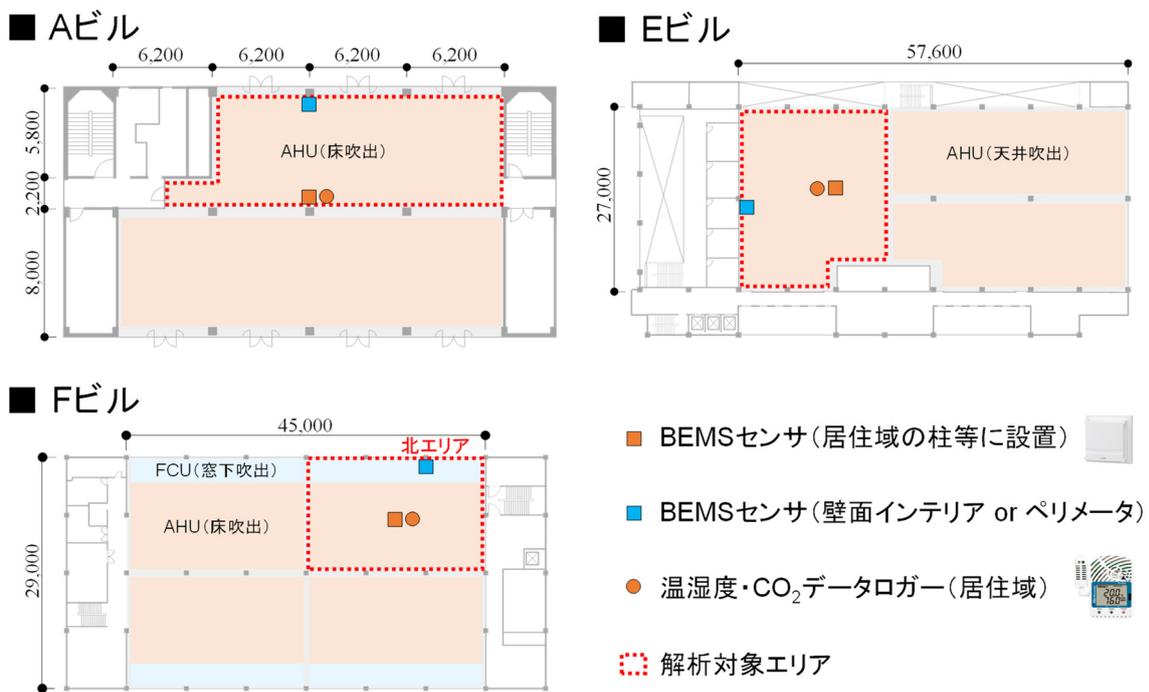


図 4-1 各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

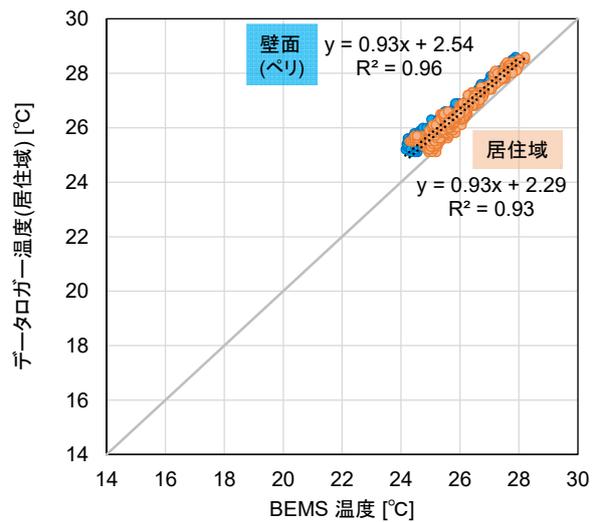
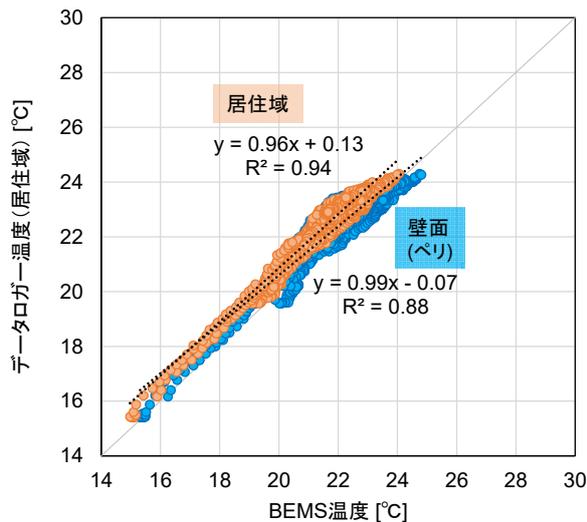


図 4-2 A ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

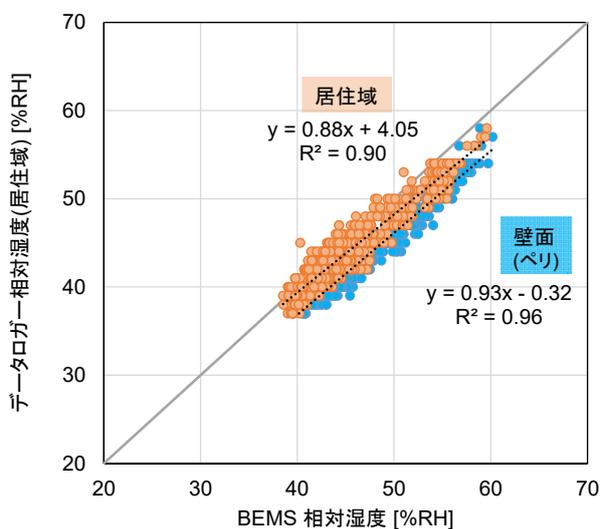
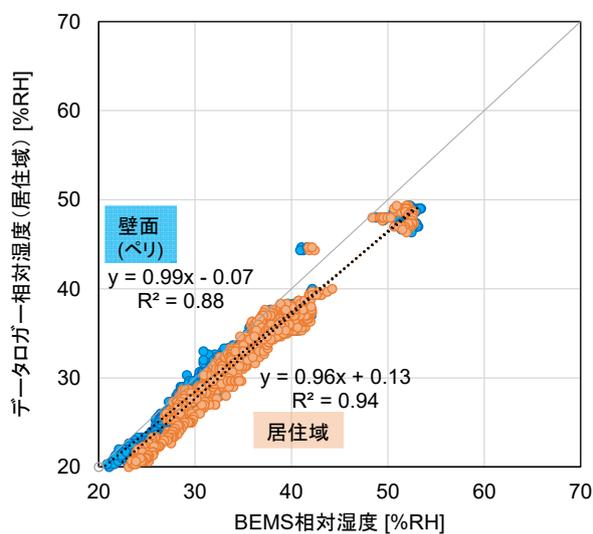


図 4-3 A ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

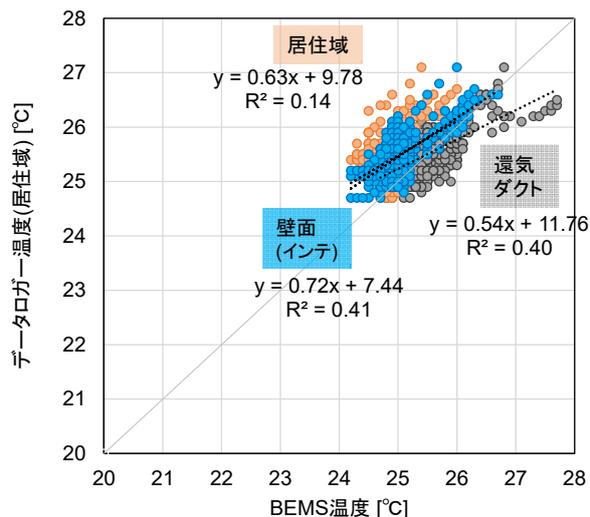
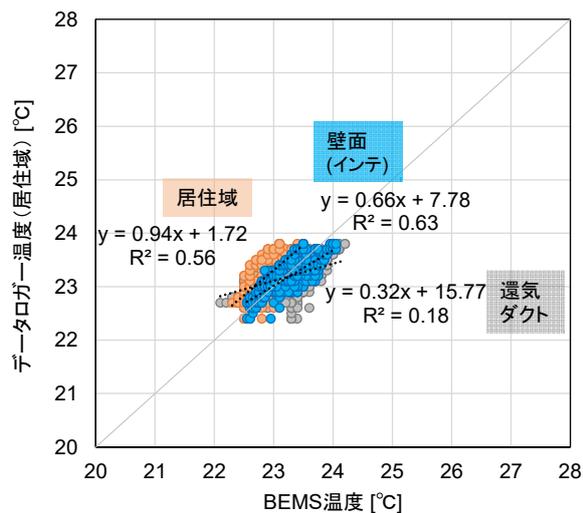


図 4-4 E ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

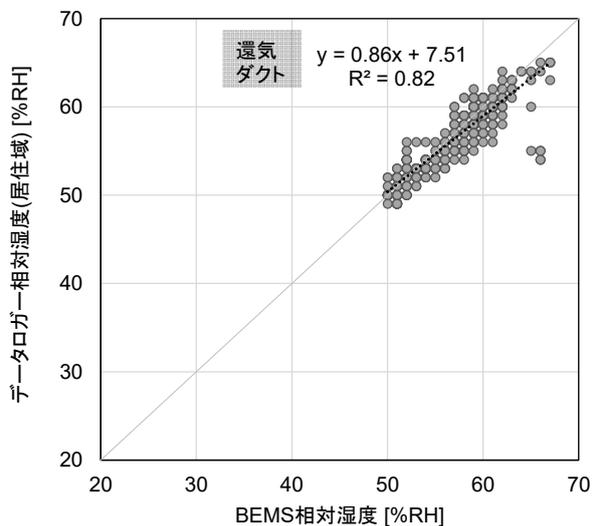
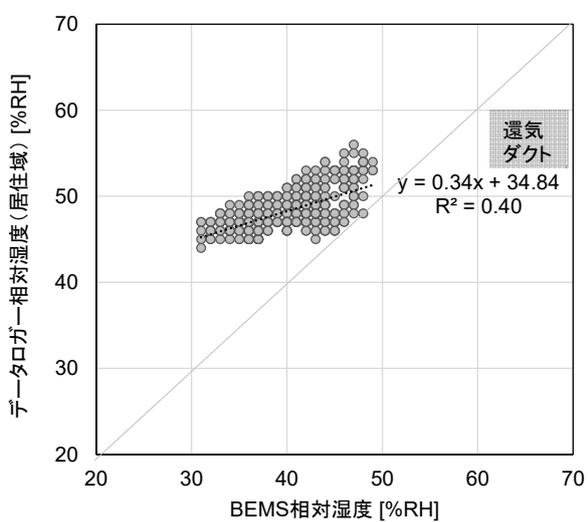


図 4-5 E ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

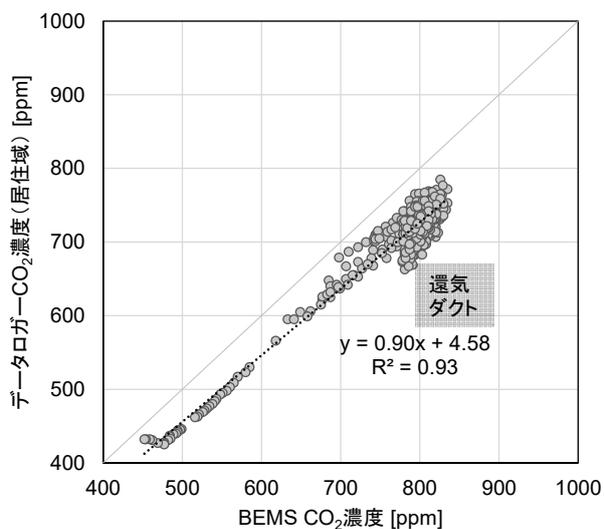
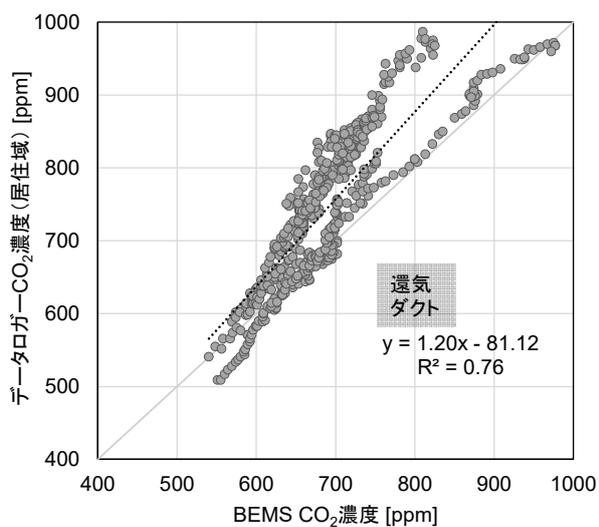


図 4-6 E ビルの BEMS センサとデータロガーの CO₂ 濃度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

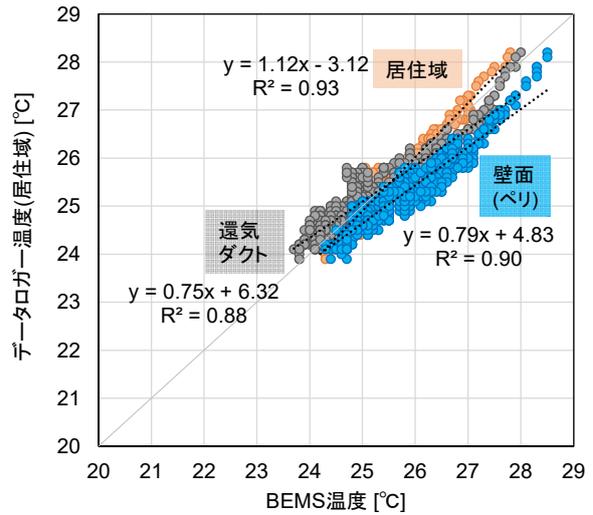
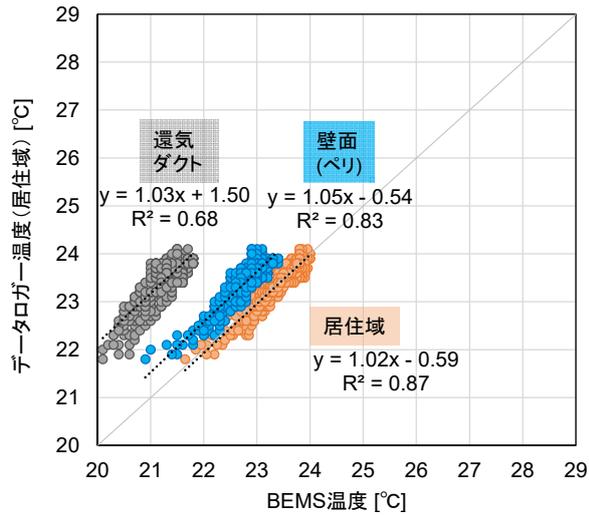


図 4-7 F ビルの BEMS センサとデータロガーの温度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

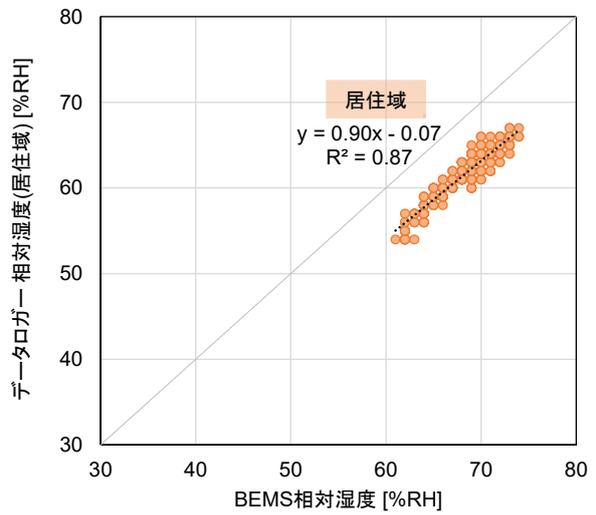
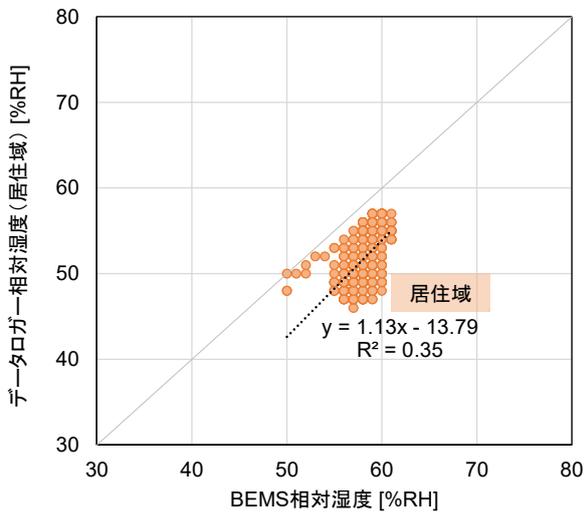


図 4-8 F ビルの BEMS センサとデータロガーの相対湿度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

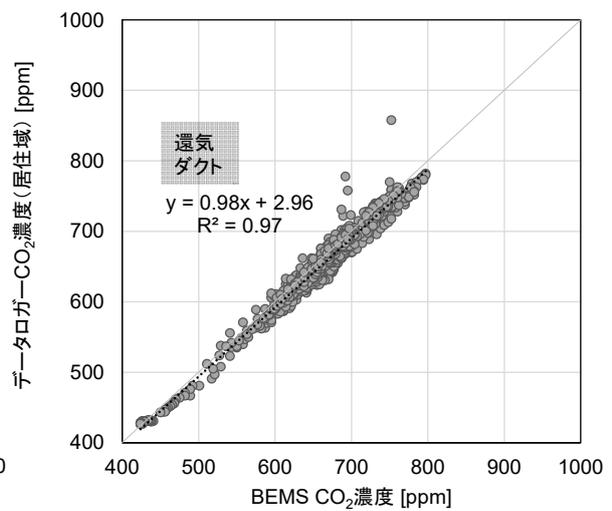
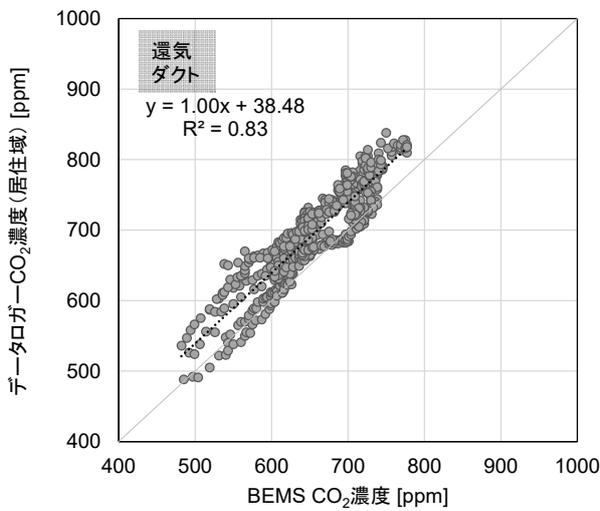


図 4-9 F ビルの BEMS センサとデータロガーの CO₂ 濃度散布図 (左：暖房期、右：冷房期)

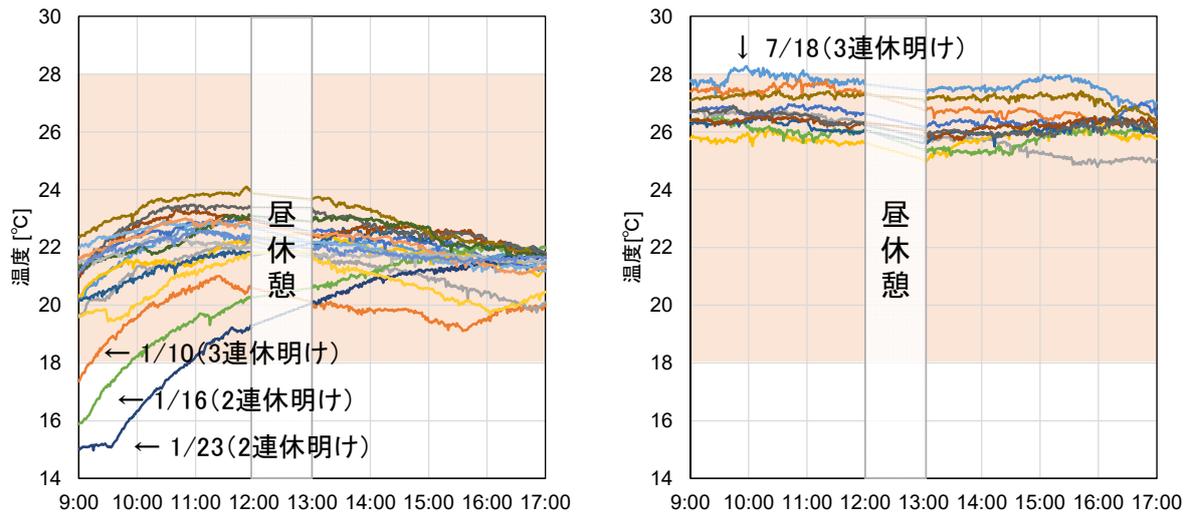


図 4-10 A ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左：暖房期、右：冷房期)

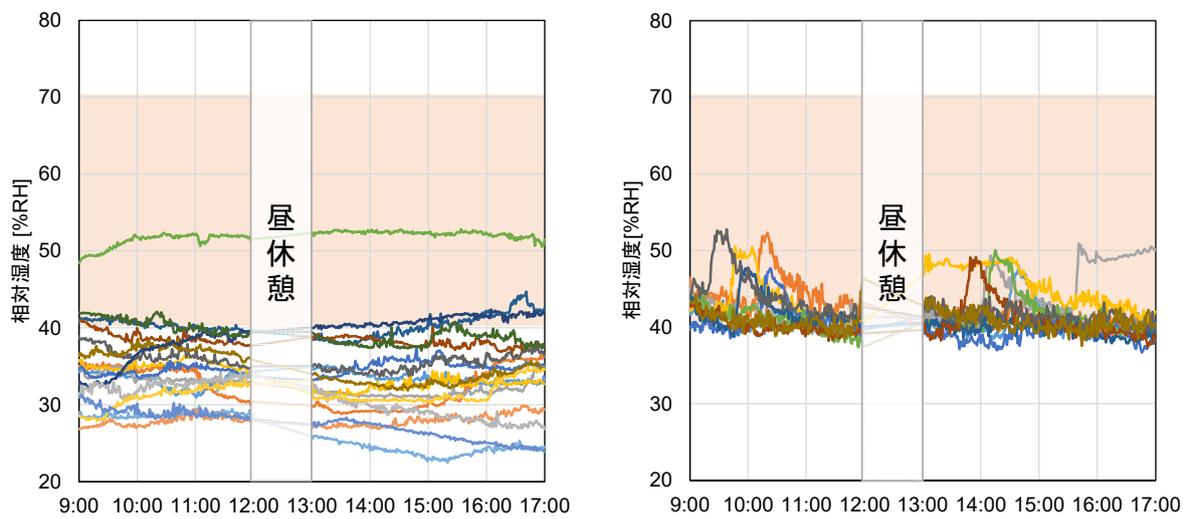


図 4-11 A ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動 (左：暖房期、右：冷房期)

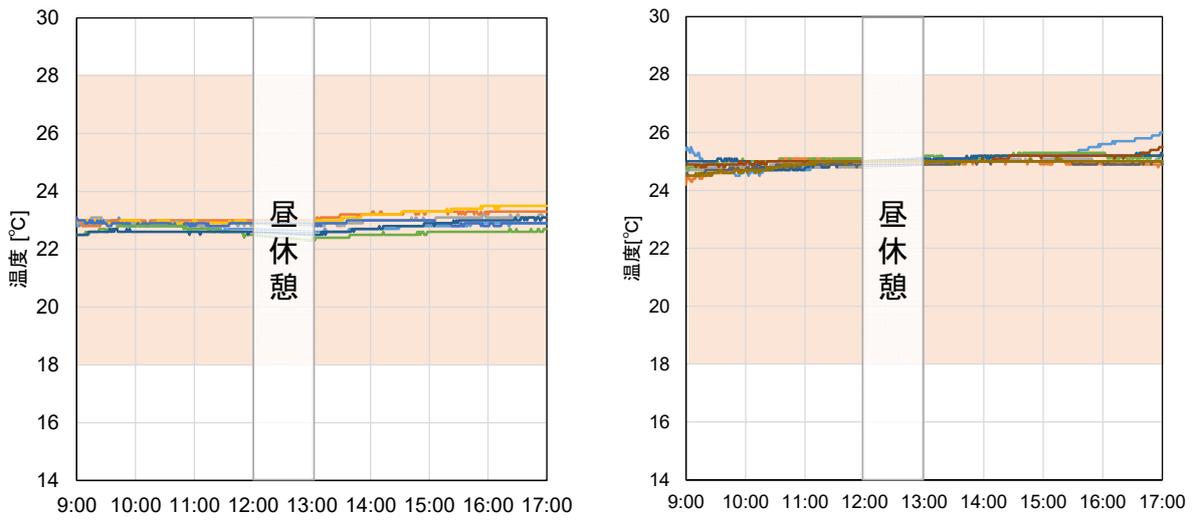


図 4-12 E ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

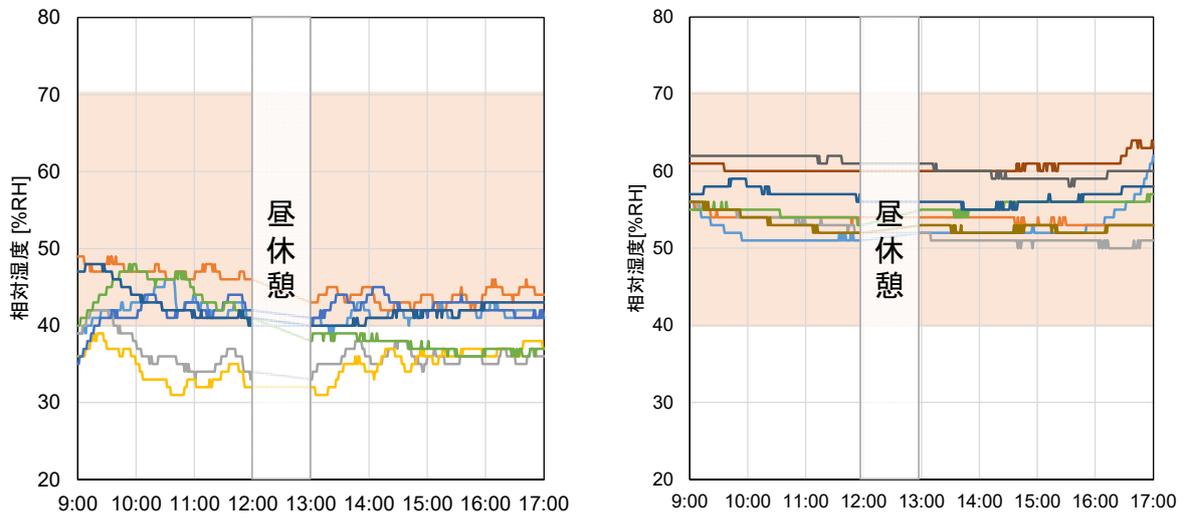


図 4-13 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の相対湿度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

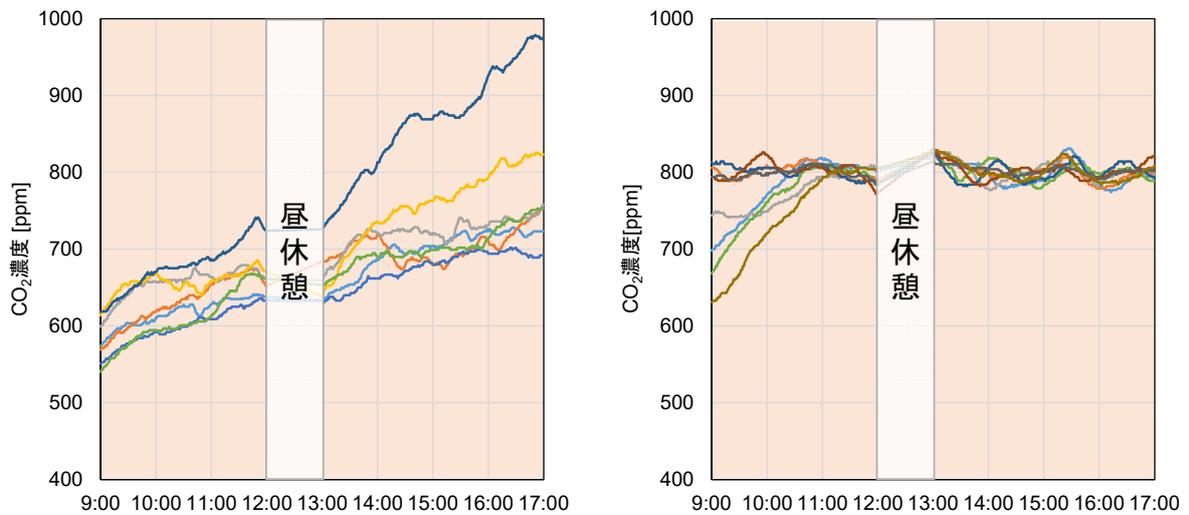


図 4-14 E ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

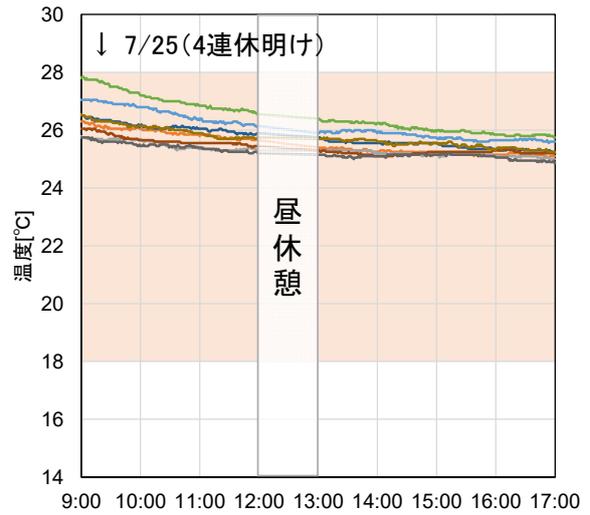
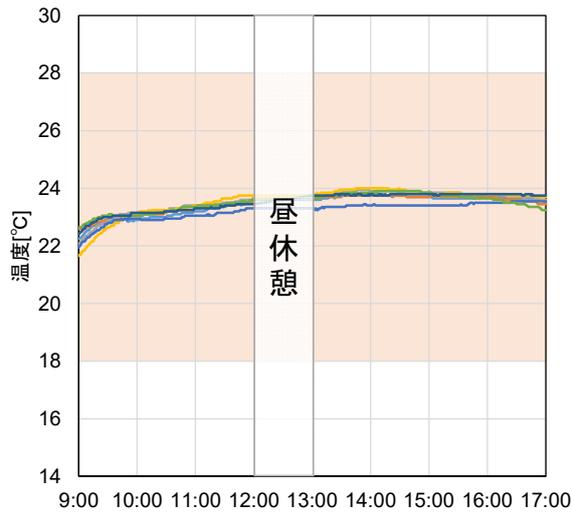


図 4-15 F ビルの BEMS センサ (居住域) の温度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

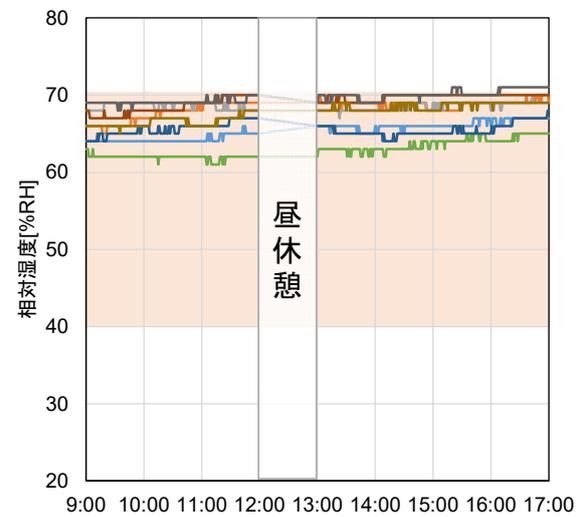
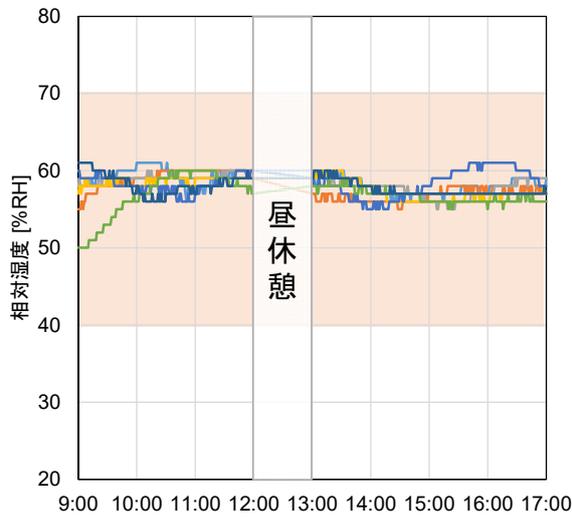


図 4-16 F ビルの BEMS センサ (居住域) の相対湿度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

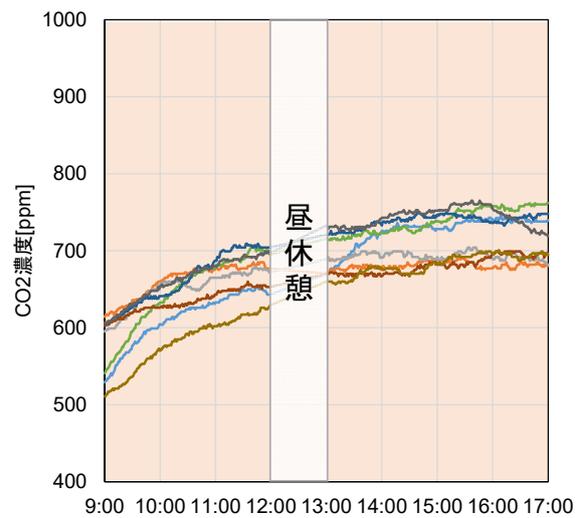
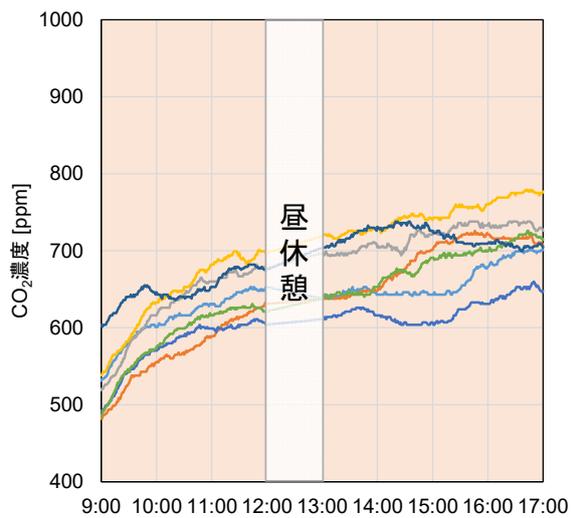


図 4-17 F ビルの BEMS センサ (還気ダクト) の CO₂ 濃度時刻変動 (左: 暖房期、右: 冷房期)

令和4年度～令和5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)
分担総合研究報告書

5. 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

本研究では、特定建築物における水の衛生管理へのIoT技術の活用可能性を検討するため、実際の特定建築物における衛生管理の実態調査に加え、IoT技術を活用した連続測定に活用できる可能性のある測定装置を販売しているメーカーに対するヒアリング並びに水質の自動・連続測定技術の開発動向に関する技術調査を実施した。また、すでに設置されている測定器材等を活用した衛生管理の改善方策を検討するため、ビル・エネルギー管理システム(Building Energy Management System: BEMS)に集約されている上水流量を活用した受水槽滞留時間管理方法についても検討を行った。衛生管理実態調査においては、残留塩素濃度、濁度、色度、pHといった検査項目において、建築物衛生法で規定されている検査頻度を上回る頻度で検査を実施している建築物が少なからず存在していることが明らかとなった。このような事例においては、IoT技術を活用した連続測定装置を導入した場合の検査費用削減効果が大きくなるものと考えられる。一方、少数ではあったものの、建築物衛生法で規定されている検査頻度を満足していない事例も認められた。このような事例においては、水質検査実施体制を見直す必要が生じる可能性が高いが、そのような場合においても連続測定装置の導入は有効な対応策となる可能性が考えられる。メーカーヒアリングにおいては、建築物衛生法で定期検査が必要であると規定されている水質測定項目のうち、残留塩素濃度、濁度、色度、pHに関しては、連続測定が可能な装置がすでに多くのメーカーから実用化されていることが明らかとなった。特定建築物への導入に向けては、費用面や運用面の課題が残るものの、技術的な観点では連続測定の実施は可能であるといえる。一方で、味や臭いといった項目については、連続測定が可能な技術はいずれのメーカーからも実用化されていなかった。水質の自動測定、もしくは連続測定技術に関する技術開発動向を調査したところ、適用対象を上水道に限定しない場合、建築物衛生法にて定期検査が必要とされている項目に関しては、上述した味や臭いを含む多くの項目において自動、もしくは連続測定技術の研究、もしくは開発が進められていた。IoT技術の活用に向けて、連続測定のニーズが増加した場合には、実用化に向けた開発が加速する可能性が考えられる。BEMSデータの活用に関しては、取得した上水流量を活用して受水槽の滞留時間を評価したところ、上水使用量の少ない時間帯で滞留時間が過剰となっていたが、上水流量測定結果に基づく捨水を実施することで、過剰な滞留を軽減できる可能性が示された。

研究協力者

徳安 真理奈 国立保健医療科学院

鎌倉 良太 (公財) 日本建築衛生管理教育センター

杉山 順一 (公財) 日本建築衛生管理教育センター

A. 研究目的

建築物の衛生管理においては、空気質の管理や各種設備の適切な点検、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。

飲料水に着目すると、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回と比較的高頻度となっている。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、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。

本検討においては、建築物管理者に対するアンケートを通じて特定建築物における水の衛生管理の実態を調査すると同時に、IoT技術を活用した建築物衛生管理の向上に適用可能な

測定技術に関して、メーカーへのヒアリング並びにインターネット上における公開情報の収集を通じた調査を実施した。また、特定建築物において、すでに収集が可能となっている情報の活用法の検討として、ビル・エネルギー管理システム(Building Energy Management System: BEMS)により集約されている各種測定機材による測定結果を活用した建築物衛生管理の改善に向けた方策についても検討を行った。本検討を通じて得られた成果は、特定建築物における水の衛生管理に向けたIoT技術の活用に向けた現状と課題を明らかにするものであり、今後の生活衛生行政における施策の立案に寄与するものである。

B. 研究方法

B1. 水の衛生管理における実態調査

全国の特定建築物の統括管理者(グループA)並びに空調給排水管理者(グループB)に対して、水の衛生管理の実態に関するアンケートを実施した。アンケートでは、管理している特定建築物の仕様に加え、飲料水及び雑用水の水源、給湯方式、各種水質検査の頻度並びに実施方法(自己測定もしくは外部委託など)、水質等の定期検査に要する時間、中央監視・BEMS等に集約されている情報の水の衛生管理への活用などについて設問した。

B2. 水質測定機器メーカーへのヒアリング

特定建築物における水の衛生管理に活用できるIoT技術の開発動向を調査するため、2023年11月から12月にかけて、水質分析装置を販売している企業4社に対してヒアリングを実施した。ヒアリングでは、各社が販売している水質の連続測定が可能な装置の測定項目、各測定装置において想定されている適用先、出力・通信機能、正確な測定のために必要な校正頻度、並びに建築物の衛生管理への導入状況に関し

て情報を収集した。

B3. 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。

B4. BEMS データを活用した水の衛生管理手法の検討

BEMS データを提供していただいた建築物

(建築物 A)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。当該建築物の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. 結果と考察

C.1 水の衛生管理における実態調査

図 6-1 に飲料水及び雑用水の残留塩素濃度の測定頻度に対する回答結果を示す。本項目は、建築物衛生法においては飲料水、雑用水とも 7 日以内に 1 回の頻度で検査を実施することが必要であると定められている。飲料水、雑用水とも「週 1 回」の頻度で検査を実施していると回答が大半を占めていたが、法定検査頻度

を上回る「週5回」や「週7回」という回答も多くみられた。また、図6-2及び図6-3に示した濁度、色度、pHの検査頻度に関しても、飲料水に関しては、建築物衛生法で定められた検査頻度が6ヶ月ごとに1回であるのに対し、法定検査頻度を超過する月1回以上の頻度で検査を実施しているとする回答が70~80%程度を占めた。これらの結果は、飲料水の衛生管理をより厳格に実施している建築物が多いことを示すものである。検査頻度を増やすことにより、検査作業員の労務費など、検査にかかるコストも増大することから、IoTを活用した連続測定に対するニーズも大きくなるものと考えられる。

一方で、少数ではあるものの、法定検査頻度に満たない頻度で検査を実施しているとの回答も認められた。飲料水の残留塩素濃度に関しては、「月1回」とする回答があったほか、濁度、色度、pHにおいても、6ヶ月ごとに1回とする法定検査頻度を下回る「年1回」もしくは「未実施」との回答が得られた。また、雑用水に関しては、外観、pHについては用途に関わらず7日以内ごとに1回の検査を実施することが規定されているが、月1回未満の頻度で実施、あるいは未実施とする回答がいずれのグループにおいても認められた。特にグループAにおいては、これらの項目を週1回以上の頻度で実施しているとする回答が60%程度にとどまるなど、衛生管理の改善が必要な事例が一定数存在していることが明らかとなった。このような事例では、検査体制実施から再整備を行う必要性が生じる可能性が考えられる。そのような場合においても、IoT技術を活用した衛生管理システムの導入は、衛生管理の改善に大きく貢献できるものと考えられる。

図6-4に示した味及び臭いに関しては、後述する企業ヒアリングにおいて、連続測定装置の実用化事例が認められず、かつ開発に向けた技

術的障壁も高いとの回答が多く得られた項目である。これらの項目については、少なくとも当面の期間においては、手動での採水を通じた検査の実施が不可欠となるものと考えられる。飲料水中の味の検査については、建築物衛生法によって6ヶ月ごとに1回の検査を実施することと定められている。臭いについては、飲料水に関しては、6ヶ月に1回ごとに臭気の検査を実施することが必要であり、この検査を実施することで年2回の検査は実施していることが想定される。雑用水に関しては、臭気検査を7日以内ごとに1回の頻度で実施することが定められており、週1回は臭いに関する検査を実施していることが想定される。

飲料水に関しては、味、臭いとも法定検査頻度を大幅に上回る週1回以上の頻度で検査を実施しているとする回答が大半を占めた。これらの項目に対する検査頻度を同等に維持する場合、他項目において、IoT技術を活用した連続測定を導入したとしても、採水が必要となる頻度は減少しないこととなる。IoT技術の活用を通じた定期検査の見直しを行う際には、これらの項目のように連続測定が困難な項目に対する対応も検討することが必要となる。

C.2 分析装置メーカーヒアリング

今回、ヒアリング対象としたメーカーにおいては、いずれのメーカーも残留塩素濃度を連続測定できる装置を保有していた。残留塩素濃度については、他項目と比較して法定検査頻度が高く設定されていることから、連続測定に関してもニーズの大きな項目であるものと考えられる。また、同様に連続測定が技術的に可能である濁度、色度、pHといった項目に関しても、オプションとして選択可能である場合も含めると、多くのメーカーで連続測定に対して対応可能な製品が販売されていた。これらの項目は、飲料水に関しては、法定検査頻度が6ヶ月ごと

に 1 回となっているものの、前項で述べた通り、法定検査頻度を上回る頻度で検査が実施されている事例が多く、連続測定に対するニーズは残留塩素濃度の検査と同様、高いものとなっていることが見込まれる。一方で、味や臭といった官能分析により評価される項目に関しては、現段階で連続測定が可能となる技術は実用化されていなかった。ヒアリングを行った範囲においては、実用化に向けた技術的な障壁が大きいことを指摘する回答が多く、実用化が可能であるとしても、技術開発には相当の時間を要するものと考えられる。

ヒアリングを行ったメーカーが保有している測定装置は、いずれも DC 4-20 mA のアナログ出力機能を有しており、データロガーや制御盤への測定結果の出力が可能構成となっていた。また、多くのメーカーにおいて、ほかの通信手段も選択可能であるとの回答があり、出力並びに通信機能に関しては、特定建築物で適用される場合においても障害とならない状況であるといえる。一方で、現状、販売されている装置は浄水処理施設、給配水システムといった上水道関連施設や簡易水道、さらには水源として利用されている地下水に対して適用が想定されている製品が中心であった。比較的大型で、販売価格も高価な装置となっているとの回答が多かったことから、特定建築物の衛生管理に適用するにあたっては、測定機器の設置スペースの確保、並びに導入した際の費用対効果に関して、入念な検討が必要となるものと考えられる。

C.3 水質の自動・連続測定技術開発動向

前項で述べたメーカーヒアリングにおいては、分析装置メーカーがすでに実用化している、あるいは実用化の見込みが得られている製品が主たる調査対象となっているが、ヒアリング対象とならなかった測定項目についても、実用

化に向けた技術開発動向に関する調査を実施することとした。本項で述べる調査においては、実用化に向けた開発進捗段階は評価対象とせず、今後実用化される可能性のある技術を把握することを主眼とした。また、上水道関連設備で適用される技術が主要な調査対象となるものの、上水道以外の事業にて活用が検討されている技術も調査対象に含むこととした。一方で、前項で述べた企業ヒアリングにおいて、実用化が達成されていた測定項目(残留塩素濃度、濁度、色度、pH)については、本項での調査対象からは除外した。

調査結果を表 6-2 に示す。pH 同様、電極を活用した測定が可能な項目(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。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装置が販売されており、連続測定を実施することは技術的には可能であると考えられる。これらの項目に関する水質事故が発生した事例³⁾もあることから、連続測定を実施することができれば、水の衛生管理の観点では改善が期待できるといえる。硝酸・亜硝酸性窒素に関しては、建築物衛生法で規定されている検査頻度を超える頻度で検査を実施している事例は少ない模様であり、連続分析装置を導入することで、定期検査にかかる費用の縮減を図ることができる余地は限定されるものと考えられるが、これらの項目における水質汚染を受ける可能性の高い建築物等において、連続測定装置の導入を検討することは技術的な観点では可能であるといえる。

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。連続測定の実現に向けた要素技術の開発は進んでいることから、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、前項で述べた味や臭いのように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。しかし、自動採水装置との組み合わせを含めると、これらの項目の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。

C.4 BEMS データ活用方法の検討

図 6-5 に建築物 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 m^3 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 m^3 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 6-6 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 6-6 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 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 6-6 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多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 m^3 (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 6-7 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 6-6 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滞留中におけるトリハロメタンをはじめとする消毒副生成物(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、BEMS データを活用できるようになった場合、BEMS が導入されている建築物においては、すでに設置されている測定装置や通信設備を活用することから、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施設整備や知見・経験の蓄積が進むと考えられる。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. 結論

特定建築物における水の衛生管理の実態調査、水質測定装置メーカーへの連続測定技術に関するヒアリング、水質の自動・連続測定技術の開発動向調査、並びに BEMS データを活用した受水槽滞留時間管理方策に関する検討を実施した。衛生管理の実態調査においては、残留塩素濃度、濁度、色度、pH といった項目で、建築物衛生法で規定されている検査頻度を上回る頻度で検査が実施されている事例が少なからず認められた。これらの事例では、連続測定装置の導入を通じた検査コスト削減余地が大きいものと考えられる。一方、必要な検査頻度を満足していない事例も少数ではあるものの認められた。このような事例では、検査体制の見直しが必要となる可能性も考えられるが、そのような場合においても、IoT 技術を活用した連続測定技術は有効な選択肢となるものと考えられた。メーカーヒアリングにおいては、建築物衛生法で検査対象となっている水質項目のうち、残留塩素濃度、濁度、色度、pH に関しては、連続測定が可能な装置が多くメーカーから販売されていた。技術的な観点では、

これらの項目の連続測定は十分に可能であるといえる。一方、味や臭いといった項目に関しては、連続測定が可能な装置はいずれのメーカーからも販売されていなかった。水質の自動、もしくは連続測定技術に関する技術開発動向を調査したところ、建築物衛生法で検査対象となっている項目については、上述の味や臭いを含む多くの測定項目において、自動、もしくは連続測定技術に関する研究、もしくは開発が実施されていた。IoT技術の活用に向けて、自動・連続測定に関するニーズが増大した場合には、実用化に向けた開発が加速する可能性が考えられる。BEMSデータの活用に関しては、取得した上水流量を活用して受水槽滞留時間を評価したところ、上水使用量の少ない時間帯で、一部、滞留時間が過剰となっているものと考えられたが、上水流量の測定結果に基づいた捨水を行うことで、受水槽における過剰な滞留を軽減できる可能性が示された。

E. 参考文献

1) 東京都水道局. 給水装置設計・施工基準（給水装置編）（2024年5月閲覧）

https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20227/File/202004_06.pdf

2) 横浜市. 給水装置の基本計画（2024年5月閲覧）

<https://www.city.yokohama.lg.jp/business/bunyabetsu/suido/kyuusui->

[souchi/202404kyuusui-](https://www.city.yokohama.lg.jp/business/bunyabetsu/suido/kyuusui-shishin.files/0132_20240319.pdf)

[shishin.files/0132_20240319.pdf](https://www.city.yokohama.lg.jp/business/bunyabetsu/suido/kyuusui-shishin.files/0132_20240319.pdf)

3) 国土交通省. 水質汚染事故等の発生状況（2024年5月閲覧）

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply/stf_seisakunitsuite_bunya_topics_bukyou_kenkou_suido_kikikanri_03.html

F. 知的財産権の出願・登録状況

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 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 |
| 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 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 |
| 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) |

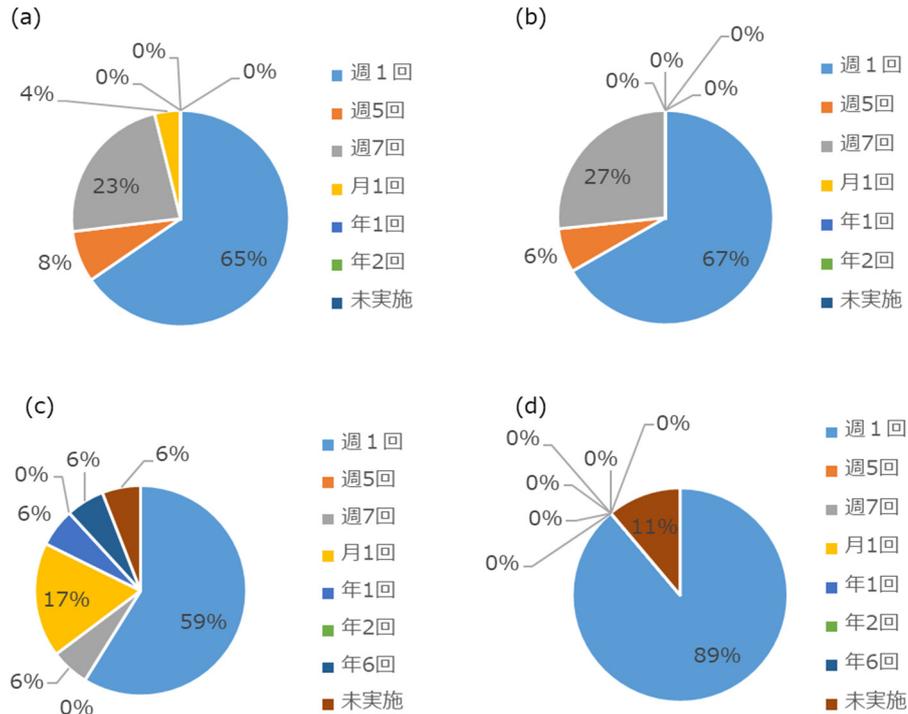


図 6-1 飲料水及び雑用水の残留塩素濃度の検査頻度、(a) グループ A-飲料水、(b) グループ B-飲料水、(c) グループ A-雑用水、(d) グループ B-雑用水

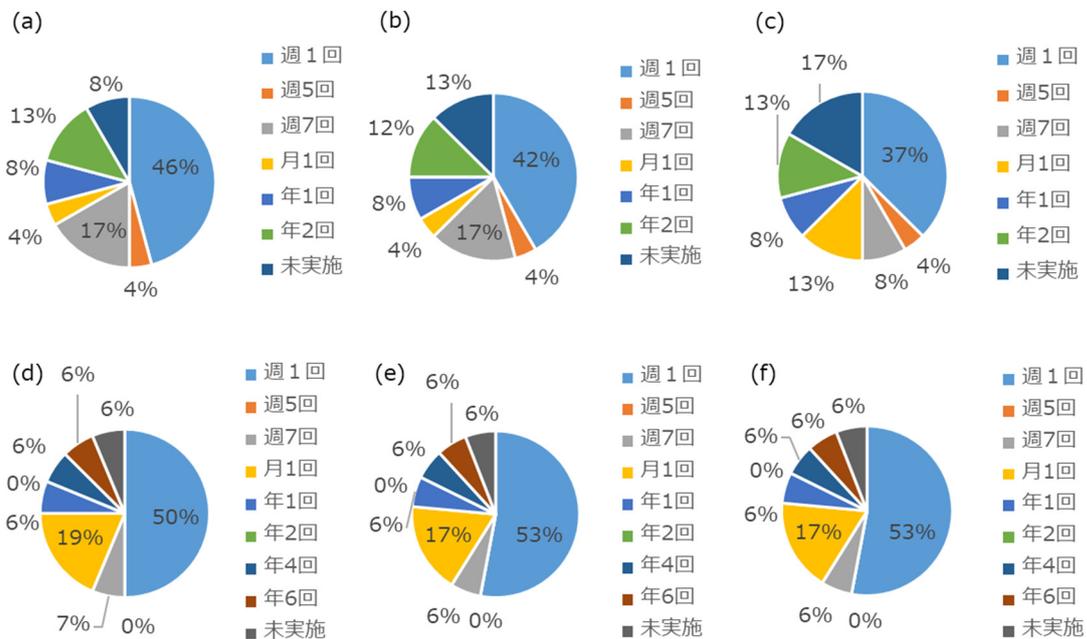


図 6-2 グループ A における飲料水と雑用水の濁度、色度(雑用水においては外観)、pH の検査頻度、(a) 飲料水-濁度、(b) 飲料水-色度、(c) 飲料水-pH、(d) 雑用水-濁度、(e) 雑用水-色度、(f) 雑用水-pH

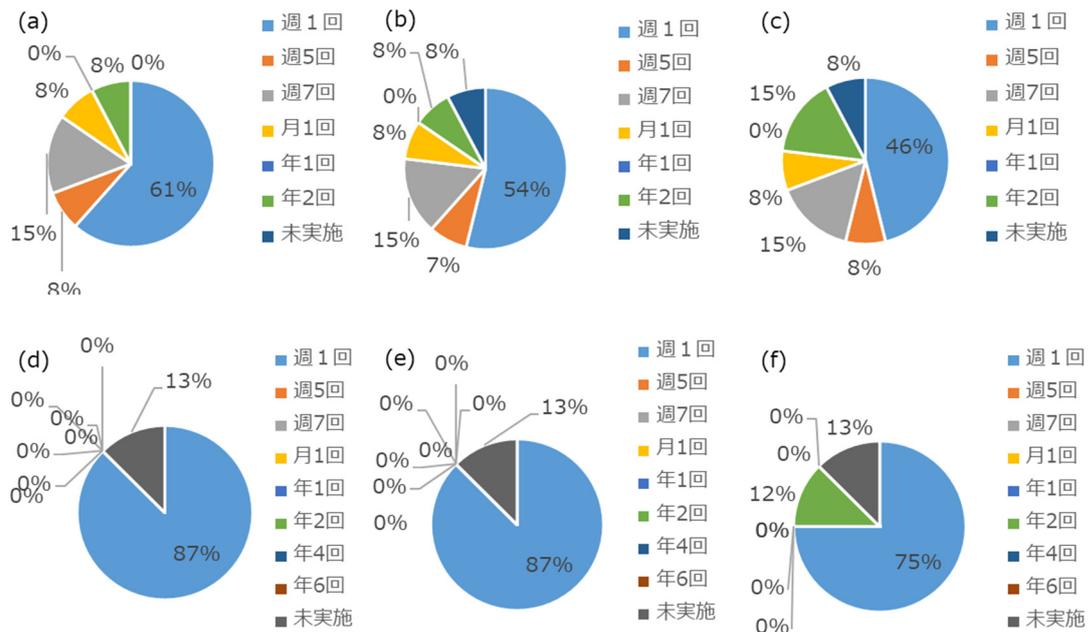


図 6-3 グループ B における飲料水と雑用水の濁度、色度(雑用水においては外観)、pH の検査頻度、(a) 飲料水-濁度、(b) 飲料水-色度、(c) 飲料水-pH、(d) 雑用水-濁度、(e) 雑用水-色度、(f) 雑用水-pH

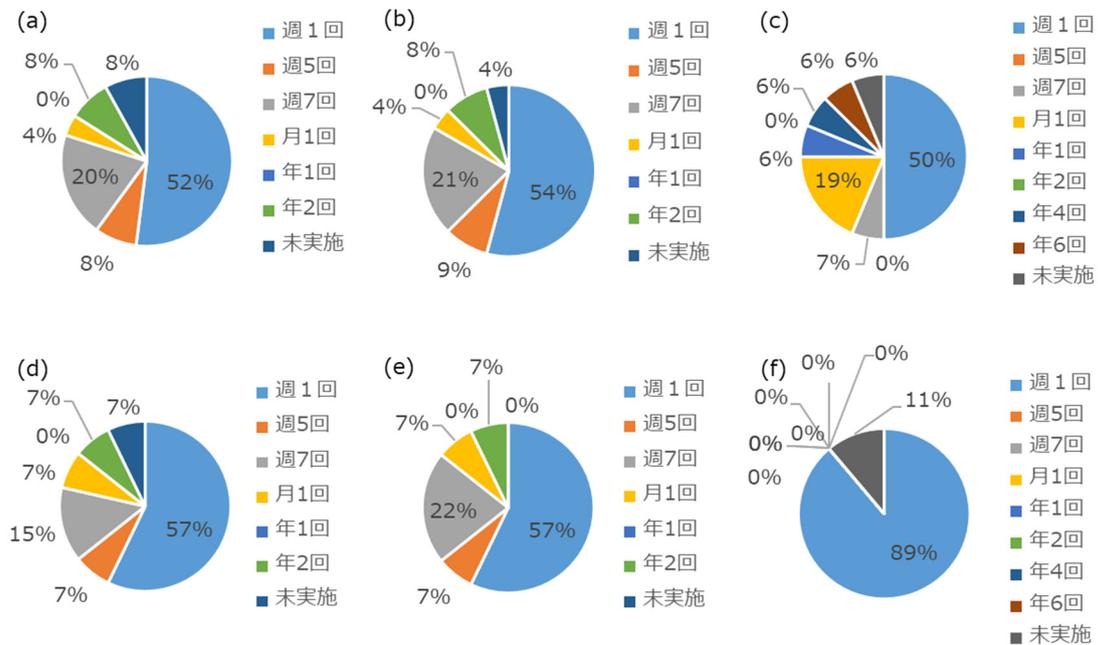


図 6-4 両グループにおける飲料水及び臭い、並びに飲料水、雑用水の臭いの検査頻度、(a) 飲料水-味(グループ A)、(b) 飲料水-臭い(グループ A)、(c) 雑用水-臭い(グループ A)、(d) 飲料水-味(グループ B)、(e) 飲料水-臭い(グループ B)、(f) 雑用水-臭い(グループ B)

令和4年度～令和5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. IoT技術を活用した建築物衛生管理技術のヒアリング調査
及びデジタル技術の活用に関するアンケート調査

研究代表者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

(1) 建築物の衛生管理に関するデジタル技術の動向と現状、計測器の使用状況、並びにIoTを活用した計測技術と事例調査を目的として、建築・設備・環境衛生関連企業、空調機・エアコンメーカー、測定機器メーカーなど12社を対象にヒアリングを実施した。

空調設備に関してはBAS、BEMSの導入とそれに伴う設備側の管理・運用の自動化は進んでいるが空気環境の衛生に関連するデジタル化は実例が少ない。空調機やエアコンのドレンパンの監視に関しては需要が高いことから固定カメラ+AI判読による汚れ度判定技術が開発され、導入事例もあった。この技術はコンパクトエアハンの加湿装置やドレンパンの監視にも活用例があった。

空気環境の管理項目6項目のうち、温度・湿度・CO₂は建物や設備側で連続モニタリングされることも多く、法定測定の代用の可能性があった。浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定に向いているセンサーがまだ開発されていない状況であった。但し、某空調機メーカーではこの6項目が同時測定できる小型環境測定器の開発に取り組んでいた。センサー精度確保のためにはメンテナンスと校正が必要である認識は共通しており、CO₂センサーの場合は1年に1回以上が勧められていた。

冷却塔・冷却水においては、現状では薬注の自動制御が行われている他のデジタル化は難しいという評価が多かった。

清掃業では人手不足が深刻で清掃ロボットの導入がかなり進んでいた。ロボットは上下階移動、平面レイアウトによっては効率が低下、通行の妨げ、などが課題として挙げられた。

建築物衛生法における帳簿管理の効率化と電子化も必要とされている。メーター検診と台帳管理の効率化に加え、人的ミス、間違い(誤検針と誤請求)を減らしたいというニーズが強かった。

(2) 建築物環境衛生管理技術者など関係者の業務上負担の実情と、業務効率化のためのデジタル技術の活用に関する認識と需要を把握する目的でアンケート調査を行った。

管理業務の期間は平均8.3±1.2年で、4～6年が最も多く、10年以下が大多数を占めていた。業務内容としては、管理会社や部署の職員が48%と最も多く、次に建物の現場管理者39%、自社ビル管理会社(組合)職員が8%であった。

中央監視システム+BEMSの導入は17%と少なく、中央監視システムのみ導入が45%、両方導入無しも24%あった。中央監視やBEMSデータの空気環境管理への活用としては、温度47%、相対湿度41%と両項目がやや高い活用度を示した。水管理への活用は項目毎に2割未満と高くはないが、貯水槽水量、流量、減水量申請、水温、水質などに活用しているところがあった。

管理技術者業務の効率化を考えると帳簿関連が最も需要が多く、他にはネズミ・衛生害虫、貯水槽の点検、冷却塔・冷却水・加湿装置の点検と空調のドレンパン点検などに需要があると判断される。帳簿関連業務に関しては電子ファイルも認められているが、未だに紙媒体が多く、特に行政報告は紙が75%、紙・電子媒体両方が25%と電子媒体のみは0%と、業務方式の改善が必要である。建築物衛生法における帳簿管理の効率化と電子化も必要とされている。

研究協力者

鎌倉 良太 (公財) 日本建築衛生管理教育センター
杉山 順一 (公財) 日本建築衛生管理教育センター

A. 研究目的

建築物の衛生管理に関する自動計測技術の動向と現状、計測器の使用状況、並びに IoT を活用した計測技術と事例調査を目的とし、関連企業にヒアリング調査を行った。

また、特定建築物の運用・点検・維持管理において建築物環境衛生管理技術者や建築物の環境衛生全般に関する維持管理に携わっている関係者の、IoT 技術の現状と活用に関する認識を把握する目的で、特定建築物の管理技術者の業務上負担の実情と、業務効率化のためのデジタル技術の活用に関する認識と需要を設問するアンケート調査を行った。

B. 研究方法

B.1. IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の調査

空衛学会の関連委員会、ビルメンテナンス協会、建築衛生管理教育センターの協力の下、建築・設備・環境衛生関連企業、空調機・エアコンメーカー、測定機器メーカーなど 12 社を対象にヒアリングを実施した。

ヒアリング内容は以下通りである。

- ① 保有又は活用している技術、製品、サービス
- ② 建築物衛生管理におけるデジタル技術の活用に係る課題
- ③ デジタル技術を活用した建築物衛生管理の見直しに向けた提案・要望
- ④ 無線 (Bluetooth, Wi-fi, 5G) による計測結果収集の安定性、クラウドへのデータ集約とデータ解析の現状、データの解析とフィードバックの事例 (AI、クラスター分析、手動)、等。

B.2. デジタル技術の活用に関する認識調査

建築物環境衛生管理の有資格者である統括管理者及び空調給排水管理技術者を対象にアンケート調査を行った。想定する管理建物としては「現在管理されているか、最近管理された特

定建築物」とした。

設問内容は以下通りである。

- ・ 建築物の所在地
- ・ 建築物を管理していた時期
- ・ 業務内容 (現場管理者や管理会社職員など)
- ・ 建物属性 (用途、所有区分、使用状況、延床面積、階数、竣工年)
- ・ 設備概要 (空調方式、水源、給湯方式)
- ・ 帳簿の作成、管理及び報告方法 (電子・紙媒体)
- ・ 身体的、精神的、時間的な負担が大きな作業
- ・ 水の管理 (検査実施頻度及び実施方法、検査に要する時間など)
- ・ 中央監視システムや BEMS (Building Energy Management System) の導入状況
- ・ 中央監視システムや BEMS の活用状況、等を設問した。

C. 研究結果および考察

C.1. IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の調査

空調設備に関しては BAS、BEMS の導入とそれに伴う設備側の管理・運用の自動化は進んでいるが空気環境の衛生に関連するデジタル化は実例が少ない。空調機やエアコンのドレンパンの監視に関しては需要が高いことから固定カメラ+AI 判読による汚れ度判定技術が開発され、導入事例もあった。この技術はコンパクトエアハンの加湿装置やドレンパンの監視にも活用例があった。

空気環境の管理項目 6 項目のうち、温度・湿度・CO₂ は建物や設備側で連続モニタリングされることも多く、法定測定への代用の可能性があった。浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定に向いているセンサーがまだ開発されていない状況であった。但し、某空調機メーカーではこの 6 項目が同時測定できる小型環境測定器の開発に取り組んでいた。

センサー精度の確保と校正に関しては、メンテナンスと校正が必要である認識は共通しており、CO₂ センサーの場合は 1 年に 1 回以上は勧められていた。

冷却塔・冷却水においては、現状では薬注の

自動制御が行われている他のデジタル化は難しいという評価が多かった。

6項目同時測定の実験セットでも、現在の人力によるデータ管理がメインとなっているが、各メーカーは無線やクラウド通信によるデータ収集と自動化されたデータ処理の必要性については共感していた。

清掃業では人手不足が深刻で清掃ロボットの導入がかなり進んでいた。ロボットは上下階移動、平面レイアウトによっては効率が低下、通行の妨げ、などが課題として挙げられた。

また、現場配置の人員が足りないことから、新人教育や現場監視にデジタル技術を駆使した遠隔システムを活用するケースも増えているようである。

建築物衛生法における帳簿管理の効率化と電子化も必要とされている。スマートフォンで撮影した画像をAIで解析し、メーター検診と台帳管理を行うサービスは建築・設備・ビルメンテナンス業界からの導入依頼も多かったようで、効率化に加え、人的ミス、間違い（誤検針と誤請求）を減らしたいというニーズが強いそうである。

その他意見としては、業務的には巡回点検が全体の業務量の4割近くあり、人手不足が著しい。某企業ではIoTツールを入れる前後で業務が4割くらい削減できたことを検証している。特に、カメラとAI技術を活用して読み取り技術は積極的に取り入れている。目視で見ても読み取っていたものを、固定カメラとAI技術によりデータ化してくれるものであり、ピットなどの狭い場所でも使える。また、設定した閾値を超えた場合はレッド表示で送られてくる。

C.2. デジタル技術の活用に関する認識調査

建築物環境衛生管理の有資格者である統括管理者73名、空調給排水管理技術者70を対象にアンケートを実施し、回答は統括管理者38（回収率52%）、空調給排水23（回収率33%）の合計61件が得られた。

C.2.1. 回答者の基本属性

管理業務の期間（図6-1）は平均8.3±1.2年で、度数としては4～6年が最も多く、次に2～

4年、0～2年となっている。四分位が10年と10年以下が大多数を占めていた。また、20年以上という回答も複数あり、25年以上が90パーセント、最大は34年であった。

業務内容（図6-2）としては、管理会社や部署の職員が48%と最も多く、次に建物の現場管理者39%、自社ビル管理会社（組合）職員が8%であった。

C.2.2. 建物概要

建物の主な用途（図6-3）としては、事務所が64%、店舗（百貨店）13%、旅館・ホテル5%、学校（研修所）10%、興行場2%、その他が7%であった。

所有区分は官公庁23%、民間67%、その他及び官公庁と民間の区分所有が10%であった。

建物規模（図6-4）は、5000m²未満が31%と最も多く、5000～10000m²が26%、10000～50000m²が22%であった。また、50000m²以上が21%あった。階数としては7～9階が47%と最も多く、次いで10～19階が25%あった。

C.2.3. 帳簿の作成、管理及び報告方法

帳簿の作成・管理及び報告方法（図6-5）は管理技術者の重要な業務として負担も大きいとされている。従来の紙媒体としての作成・保管・報告が今は電子ファイルでも認められている。

一方、回答からは、電子媒体のみは2～3件と僅かであり、作成と保管を紙媒体で行っているところが44%、紙・電子媒体両方を用いているところが50%程度となっている。特に自治体への報告は紙媒体が75%、紙・電子媒体両方が25%であり、電子媒体のみの回答は0であった。

C.2.4. 負担が大きな作業

IoT、映像解析、自動測定センサーなどデジタル技術を活用した維持管理・点検の効率化が検討されていることを説明した上で、身体的、精神的、時間的な負担が大きな作業は何かについて以下内容を設問（複数選択可）した。

1. 帳簿の管理と報告
2. 空気環境6項目の測定（浮遊粉じん、一酸

- 化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流)
3. 冷却塔、冷却水の点検
 4. 加湿装置の点検
 5. 排水受け（ドレンパン）の点検
 - 5-1. 空調機（AHU）
 - 5-2. パッケージエアコン（PAC）
 6. 飲料水（給湯を含む）の管理
 - 6-1. 遊離残留塩素（7日以内ごとに1回）
 - 6-2. 水質検査（6ヶ月ごとに1回：一般細菌、大腸菌、金属等項目、pH、味、臭気、色度、濁度など）
 - 6-3. 水質検査（1年ごとに1回：シアン化物イオン及び塩化シアン、塩素酸、クロロホルムなど）
 - 6-4. 貯水槽の点検
 7. 雑用水の管理
 - 7-1. 遊離残留塩素（7日ごとに1回）
 - 7-2. 雑用水水槽の点検
 - 7-3. pH、臭気、外観
 - 7-4. 大腸菌、濁度など
 8. 清掃
 - 8-1. 清掃作業（ロボットなどを利用した室内側の清掃のみ）
 - 8-2. 清掃器具の維持管理
 - 8-3. 汚れの遠隔・自動監視
 - 8-4. 収集・運搬設備、貯留設備その他の廃棄物処理設備の点検
 9. ねずみ・衛生害虫等の生育調査と監視

帳簿の管理と報告が 64%と最も多く、ネズミ・衛生害虫 30%、飲料水_貯水槽の点検 28%、次いで冷却塔・冷却水の点検／加湿装置の点検／排水受け_空調機（AHU）／清掃作業がそれぞれ 26%の回答であった。空気環境 6 項目の測定は 23%であった。

こちらの結果は、管理技術者が自分で行う業務に対する回答であるため帳簿作成と管理などの負担が大きく、空気環境の測定や水質検査など委託が多い業務に対する需要は低くなっていると考えられる。

C.2.5. 中央監視システム及び BEMS の導入と活用状況

図 6-7 に中央監視システム及び BEMS の導

入状況を、図 6-8 に中央監視や BEMS データの空気環境管理及び水管理への活用状況について示す。

最近では中央監視システムが導入されている建物が多く、加えて一部には電気やガス、熱量、水量、エネルギー使用などのデータ収集・記録と分析及びその管理に主眼をおいた BEMS（Building Energy Management System）が導入されている。

中央監視システム+BEMS の導入は 17%と少なく、中央監視のみが 45%で、中央監視システムが導入されているのは 6 割強となっている。両方導入無しが 24%であったが、管理技術者を対象にした設問にもかかわらず「分からない」が 12%あった。

中央監視や BEMS データの活用（図 6-8）では、温度 47%、相対湿度 41%と両項目がやや高い活用度を示したが、CO₂・気流・CO・浮遊粉じんは 2 割に満たない。中央監視や BEMS データとして常時取得される項目は温度、相対湿度、CO₂ の 3 項目が多いと想定され、CO・気流・浮遊粉じんに関してはシステムでデータ取得しているとは考えにくいことから、法定の定期測定結果を反映しているのではないかと推察される。

水管理への活用は全項目 2 割未満と高くはないが、貯水槽水量 19%、流量 16%、減水量申請 14%、水温 12%、水質 9%と活用しているところがあった。

D. 結論

(1) 建築物の衛生管理に関するデジタル技術の動向と現状、計測器の使用状況、並びに IoT を活用した計測技術と事例調査を目的として、建築・設備・環境衛生関連企業、空調機・エアコンメーカー、測定機器メーカーなど 12 社を対象にヒアリングを実施した。

空調設備に関しては BAS、BEMS の導入とそれに伴う設備側の管理・運用の自動化は進んでいるが空気環境の衛生に関連するデジタル化は実例が少ない。空調機やエアコンのドレンパンの監視に関しては需要が高いことから固定カメラ+AI 判読による汚れ度判定技術が開発され、導入事例もあった。この技術はコンパクト

エアハンの加湿装置やドレンパンの監視にも活用例があった。

空気環境の管理項目 6 項目のうち、温度・湿度・CO₂ は建物や設備側で連続モニタリングされることも多く、法定測定の代用の可能性があった。浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定に向いているセンサーがまだ開発されていない状況であった。但し、某空調機メーカーではこの 6 項目が同時測定できる小型環境測定器の開発に取り組んでいた。

センサー精度の確保と校正に関しては、メンテナンスと校正が必要である認識は共通しており、CO₂ センサーの場合は 1 年に 1 回以上は勧められていた。

冷却塔・冷却水においては、現状では薬注の自動制御が行われている他のデジタル化は難しいという評価が多かった。

6 項目同時測定のビル管セットでも、現在の人力によるデータ管理がメインとなっているが、各メーカーは無線やクラウド通信によるデータ収集と自動化されたデータ処理の必要性については共感していた。

清掃業では人手不足が深刻で清掃ロボットの導入がかなり進んでいた。ロボットは上下階移動、平面レイアウトによっては効率が低下、通行の妨げ、などが課題として挙げられた。

また、現場配置の人員が足りないことから、新人教育や現場監視にデジタル技術を駆使した遠隔システムを活用するケースも増えているようである。

建築物衛生法における帳簿管理の効率化と電子化も必要とされている。スマートフォンで撮影した画像を AI で解析し、メーター検診と台帳管理を行うサービスは建築・設備・ビルメンテナンス業界からの導入依頼も多かったようで、効率化に加え、人的ミス、間違い（誤検針と誤請求）を減らしたいというニーズが強いそうである。

(2) 管理技術者のデジタル技術の活用に関する認識に関するアンケート調査を行った。

管理業務の期間は平均 8.3±1.2 年で、度数としては 4~6 年が最も多く、10 年以下が大多数を占めていた。業務内容としては、管理会社や部署の職員が 48% と最も多く、次に建物の現場

管理者 39%、自社ビル管理会社（組合）職員が 8% であった。

負担が大きな業務内容として、帳簿の管理と報告が 64% と最も多く、ネズミ・衛生害虫 30%、飲料水_貯水槽の点検 28%、次で冷却塔・冷却水の点検/加湿装置の点検/排水受け_空調機 (AHU) /清掃作業がそれぞれ 26% の回答となった。空気環境 6 項目の測定は 23% であった。帳簿関連業務は管理技術者が自分で行う業務であり、空気環境の測定や水質検査などは業務委託が多いことが原因と考えられる。

中央監視システム+BEMS の導入は 17% と少なく、中央監視システムのみ導入が 45%、両方導入無しも 24% あった。中央監視や BEMS データの空気環境管理への活用としては、温度 47%、相対湿度 41% と両項目がやや高い活用度を示した。水管理への活用は全項目 2 割未満と高くはないが、貯水槽水量 19%、流量 16%、減水量申請 14%、水温 12%、水質 9% と活用しているところがあった。

管理技術者業務の効率化を考えると帳簿関連が最も需要が多く、他にはネズミ・衛生害虫、貯水槽の点検、冷却塔・冷却水・加湿装置の点検と空調のドレンパン点検などに需要があると判断される。帳簿関連業務に関しては電子ファイルも認められているが、未だに紙媒体が多く、特に行政報告は紙が 75%、紙・電子媒体両方が 25% と電子媒体のみは 0% であり、業務方式の改善が必要である。

E. 参考文献

F. 研究発表

1. 論文発表
2. 学会発表
3. 著書

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

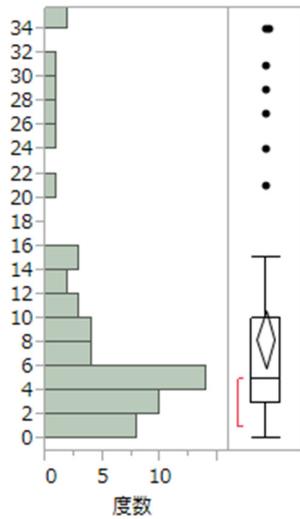
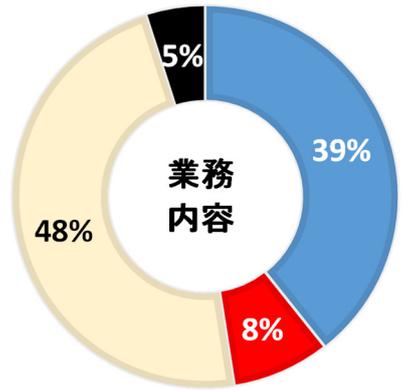
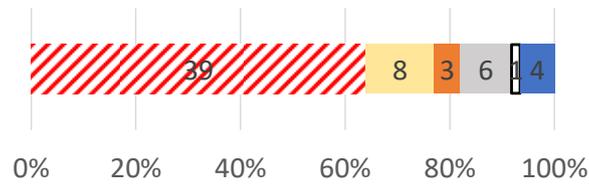


図 6-1 管理（業務）期間



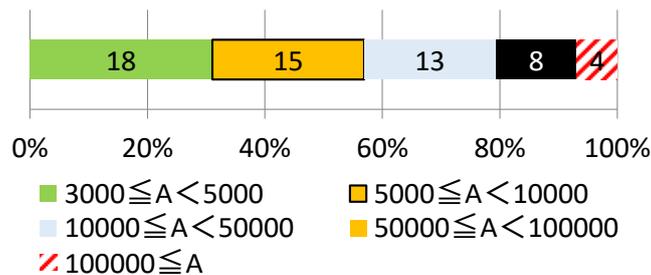
- 建築物の現場管理者
- 自社ビル管理会社（組合）職員
- 管理会社や部署の職員
- その他

図 6-2 業務内容



- 事務所
- 店舗（百貨店）
- 旅館・ホテル
- 学校（研修所）
- 興行場
- その他

図 6-3 建物用途



- $3000 \leq A < 5000$
- $5000 \leq A < 10000$
- $10000 \leq A < 50000$
- $50000 \leq A < 100000$
- $100000 \leq A$

図 6-4 建物規模

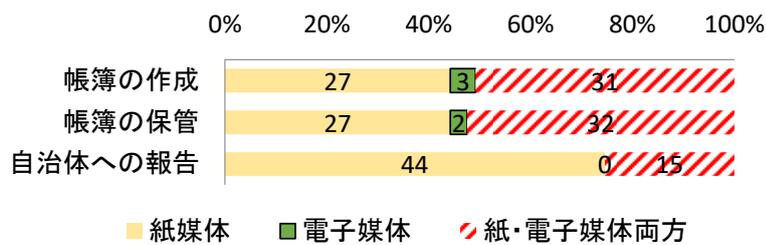


図 6-5 帳簿の作成、管理及び報告方法

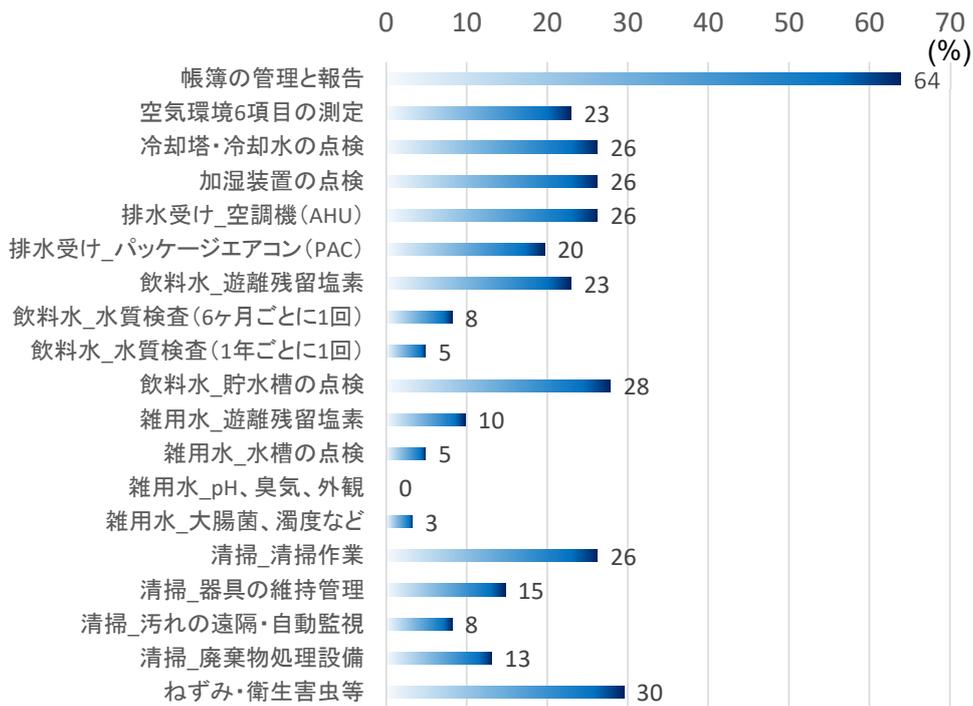


図 6-6 身体的、精神的、時間的な負担が大きな作業（複数選択可）

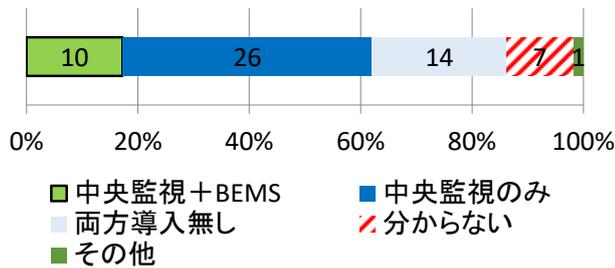


図 6-7 中央監視システム及び BEMS の導入状況

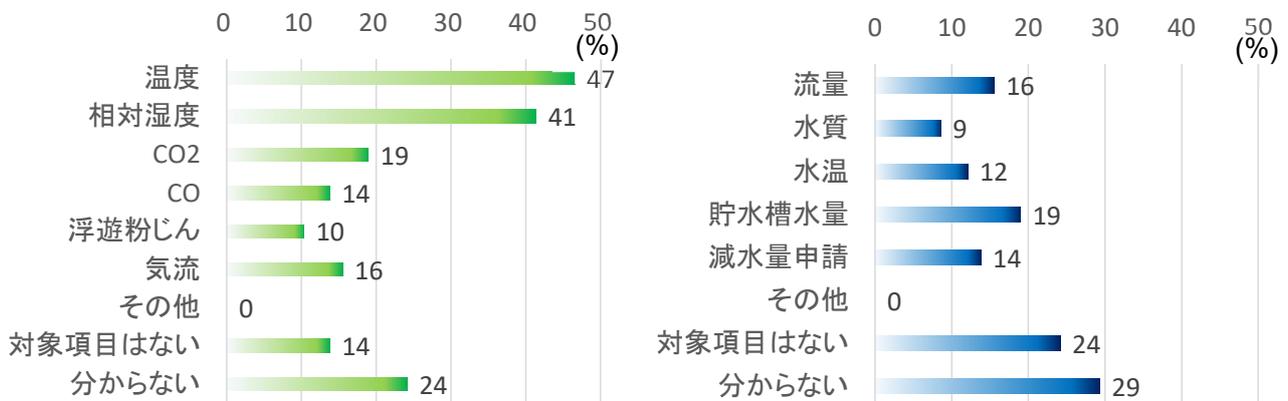


図 6-8 中央監視や BEMS データの空気環境管理及び水管理への活用

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～令和5年度

研究成果の刊行に関する一覧

「2022 年度」

本年度無し。

「2023 年度」

本年度無し。

－以上－