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 5 年度　総括・分担研究報告書

研究代表者　金　勲
令和 6（2024）年 3 月

目　次

Ⅰ．総括研究報告書 ・・・ 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 ・・・ 2
金　勲

Ⅱ．分担研究報告書 ・・・ 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
下ノ薗　慧
2-2　温度、相対湿度、気流 ・・・ 22
下ノ薗　慧
2-3　化学物質濃度（VOCs 及びカルボニル化合物） ・・・ 36
鍵　直樹
2-4　浮遊粉じん及び浮遊粒子状物質 ・・・ 40
金　勲
2-5　一酸化炭素及び二酸化炭素濃度 ・・・ 46
金　勲
2-6　エンドトキシン（細菌内毒素） ・・・ 51
金　勲
2-7　ASHRAE 55-2023 に準拠した手法による温熱環境評価 ・・・ 54
中野　淳太

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 ・・・ 70
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・・・ 71
下ノ薗　慧
3-2 現場立入測定・法定測定と小型測定器の比較検討 ・・・105
下ノ薗　慧
3-3 小型 $PM_{2.5}$ センサーの特徴調査 ・・・118
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 ・・・122
海塩　渉

５．建築物衛生管理へのデジタル技術の活用に関するアンケート調査　・・・136
金　勲、三好　太郎、増田　貴則

６．IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の現状と動向　・・・147
金　勲、三好　太郎、増田　貴則

Ⅲ．研究成果の刊行に関する一覧表　・・・ 163

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5年度　総括研究報告書

研究代表者　金　勲

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)
総括研究報告書

IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

研究代表者　　金　勲　　国立保健医療科学院　上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法の空気環境に関しては、「浮遊粉じん、一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（CO_2）、温度、相対湿度、気流速度」に対して 2 ヶ月以内ごとに 1 回（1 年に 6 回以上）の測定が義務づけられている。給水に関しても項目によって測定義務が定められている。

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

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

本年度は 2 年計画の 2 年目として、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO_2 濃度センサー3 種類、$PM_{2.5}$ センサー2 種類を選定し、特定建築物を対象に長期間比較評価を行った。建物 10 施設 16 室を対象に自動計測センサーの設置と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。

本年度は、下記項目に関する研究を行いまとめた。

①特定建築物の報告統計
②室内環境に関する現場調査
③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建築物衛生管理へのデジタル技術の活用に関するアンケート調査
⑥IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の現状と動向

研究組織

研究分担者

欅田　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）
下ノ薗　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。

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

また、本研究では空気環境6項目（浮遊粉じん、CO、CO_2、温度、相対湿度、気流）及び水管理（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

本年度は（2年計画の2年目）、連続計測用小型センサーとして、温湿度・CO_2濃度センサー3種類、$PM_{2.5}$センサー2種類を選定し、特定建築物における長期間の比較評価を行った。

本年度は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夏期及び冬期測定を実施した。

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率の最新動向について整理した。

B.2　室内環境に関する現場調査

建物 10 施設（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を設置して二酸化炭素（以降、CO_2）濃度、温湿度、粒径 2.5μm 以下の微小微粒子状物質（以降、$PM_{2.5}$）の連続自動測定を行っている。また、建築物衛生法で定める 6 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夏期及び冬期測定を実施した。

また、温熱環境の関する最新の基準 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

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。

3 種類の小型測定器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。対象項目は温度、相対湿度、CO_2 濃度である。ここでは、①3 種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・CO_2 濃度の平面分布の測定、を実施した。

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（CO_2）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。

本年度は 2022 年度に実施した暖房期の調査に引き続き BEMS を導入している 3 棟のオフィスビルを対象に冷房期のデータ収集を行い、BEMS データの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。対象ビルには、温度、湿度、CO_2 濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期の BEMS データの収集を依頼した。

B.5　建築物衛生管理へのデジタル技術の活用に関するアンケート調査

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。回答で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。

B.6　IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の現状と動向

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、水質分析関連会社を対象にヒアリングを実施した。

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CO_2、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、CO、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CO_2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。CO_2濃度の不適率が最も高かった 2017 年度はCO_2、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CO_2濃度は大幅に減少している反面、温度と相対湿度は過去最高値を更新した。

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

C.2　室内環境に関する現場調査

（1）10 件の建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造のほか、外皮断熱仕様や空気調和設備を整理した。

（2）空気環境管理項目 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結果を示した。2 種の空気環境 6 項目測定器（ビル管セット）を用いて各室 15～30 分間測定した。ガラス面積率が大きい建築物においては夏期に 28ºC を超過する場合があり、冬期は相対湿度が 40%RH を下回る建築物もある。2 種の空気環境 6 項目測定器の差の平均値は温度が 0.3K、相対湿度が 4%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、精度管理が重要である。

（3）ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値物質を中心に調査した。TVOC 暫定目標値（400μg/m^3）を超過する建築物が 1 件のみあったが、個別物質はそれぞれの指針値以下であった。

（4）浮遊粉じん濃度及び浮遊粒子状物質 6 粒径の計測結果を報告した。浮遊粉じんはいずれの建物も管理基準濃度 0.15mg/m^3 に比べると低濃度であり、計測機器間では平均 0.0058±0.0068 mg/m^3 の差が見られた。

6 粒径浮遊粒子状物質では、全体的に 1.0μm 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、5μm 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傾向を示した。

（5）CO の外気濃度は約 0.1 ppm、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。CO_2に関しては外気濃度平均 400ppm 程度に対して、室内平均は 389～989ppm 程度と管理基準 1000ppm を上回る建物はなかった。

機器による測定平均値の差が見られ、CO は 0.03±0.05ppm、濃度差の範囲は 0～0.02ppm、CO_2は 38±24ppm、濃度差範囲は 0～87ppm であった。

（6）室内濃度平均は 2～3EU/m^3、濃度分布は定量限界以下～10EU/m^3 程度まで幅広い。既往研究の室内濃度は 1.0 EU/m^3 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。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。

（7）ASHRAE（アメリカ暖房冷凍空調学会）の ASHRAE 55 の最新版（2023 年）の文献調査を行い、5 件の建築物において ASHRAE 55 に準拠した温熱環境評価を行った。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。結果、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。空調設備のほか外皮断熱性能も把握する必要がある。

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）2023 年夏期（6～8 月）と 2024 年冬期（12～2 月）の室内環境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。

CO_2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 CO_2 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働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上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に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、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。

（2）第 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 5 件の特定建築物では比較結果を示した。

本研究で測定した建物において、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温度の一致率が低下する。また、室内最低 CO_2 濃度が 400ppm まで下がらない状況下で CO_2 濃度の自動校正機能が稼働すると一致率が低下する課題が見られた。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。

（3）屋外では微小粒子状物質（$PM_{2.5}$）の大気環境基準が設けられているが、建築物衛生法では浮遊粉じんだけとなっている。$PM_{2.5}$ はほぼ 100%肺胞まで到達するため健康への影響も大きいことから、室内環境で適用できる小型連続測定機器の調査ならびにその計測値の比較を行った。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、2.5 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

冷房期において、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ため、空気環境管理に利用できる可能性が高いこと、②相対湿度は一貫した結果が得られないこと、③CO_2 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ことが示唆された。

また、時系列データによる検討の結果、温度は朝の冷房立ち上がり時に高く、特に建物を使用していない連休明けに管理基準の逸脱に注意が必要であることが示された。また、暖房期に比べて、冷房期の相対湿度の逸脱時間割合は

小さかったことから、夏季の高湿度環境よりも冬季の低湿度環境に注意を払う必要がある。

以上より、冷房期の温度とCO_2濃度については空気環境管理への活用が可能であると考えられるが、相対湿度の活用は難しいと考えられる。これは暖房期と同様の傾向であった。今後は暖房期を含む年間を通じた検討によって、季節や空調方式（床吹出 or 天井吹出）等の違いを考慮しつつ、BEMS 活用可能性について更に検討を深めるとともに、活用する場合の注意点を整理していく必要がある。

C.5　建築物衛生管理へのデジタル技術の活用に関するアンケート調査

（1）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。建物の主な用途は、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。

（2）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。

（3）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・衛生害虫等が 30%、飲料水_貯水槽の点検が 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%の回答があった。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委託が多いことが原因と考えられる。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。

（4）水の衛生管理関連では、残留塩素濃度、濁度、色度、pH といった項目において、建築物衛生法で規定された検査頻度を上回る頻度で検査を実施しているとの回答が一定数得られた。これらの項目に関しては、連続測定技術の導入による検査費用削減効果が大きくなるものと考えられる。一方、官能検査による評価が必要となる味、臭いなどは採取作業が必須であるが、採水にかかる作業負荷の低減は限定されたものと考えられる。建築物衛生法で定められている頻度を満足している範囲において適切な検査頻度を改めて検討していくことが必要となるものと考えられる。

C.6　IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の現状と動向

（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・普及しつつある。

（2）空気環境の管理項目 6 項目のうち、温度・湿度・CO_2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る一方、浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定には向かない認識が多かったが、空調機メーカーで 6 項目同時測定用の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、CO_2センサーの場合は 1 年に 1 回以上は勧められていた。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統一フォーマット、自動化されたデータ処理の必要性については共感があった。

（3）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。

（4）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。

（5）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。

（6）水管理の測定項目については、必要となる検査頻度が高く、かつ連続測定技術が確立している残留塩素濃度については、ヒアリングした全企業が連続測定装置を取り扱っていた。販売されている連続測定装置には、定期検査項目である濁度、色度、pHに加え、電気伝導率や水温、圧力といった項目も同時測定できるものが含まれていた。原理的に連続測定が可能な項目については、適用可能な技術がすでに開発・販売されていることが明らかとなった。

一方で、味や臭いといった官能分析による評価が必要な項目に関しては、技術開発の途上であり、現段階で実用可能な技術を有しているとの回答は得られなかった。適用先に関しては、上水道関連施設、簡易水道、地下水などで、特定建築物への導入事例は少ない。校正頻度に関しては、月1回程度の校正は最低限必要となるとの回答が主流であった。

D. まとめ

本研究では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を目的にし、以下内容の研究を実施した。

① 特定建築物の報告統計

2022年度は12.5%、36.4%、60.2%とCO_2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。

CO_2濃度、温度、相対湿度の不適率の経年変化は、いずれも値が高い傾向にあった。一方、浮遊粉じん、CO、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。

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CO_2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。

② 室内環境に関する現場調査

空気環境6項目に関しては2種類の6項目同時測定器（ビル管セット）を用いて測定した。ガラス面からの影響が大きい建築物においては夏期に28ºCを超過する場合があり、冬期は加湿不足により相対湿度が40%RHを下回る建築物がある。2種の測定器の差の平均値は温度が 0.3K、相対湿度が 4%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。

ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値物質13物資で指針値を超える成分はなかった。

浮遊粉じん濃度はいずれの建物でも管理基準値を大きく下回っている。6粒径浮遊粒子状物質では、全体的に1.0μm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、5μm 以上の大きな粒子においては在室者の影響によって室内が外気より高い室が増える傾向を示した。

室内 CO 濃度は 0.1ppm 程度と殆どが外気由来によるものと判断された。CO_2 に関しては、外気濃度平均 400ppm 程度に対して、室内平均は 389〜989ppm 程度と管理基準 1000ppm を上回る建物はなかった。機器のよる測定平均値の差が見られ、CO は 0.03±0.05ppm、濃度差の範囲は 0〜0.02ppm、CO_2 は 38±24ppm、濃度差範囲は 0〜87ppm であった。

エンドトキシンの室内濃度平均は 2〜3EU/m^3、濃度分布は定量限界以下〜10EU/m^{3}程度まで幅広かった。既往研究の室内濃度は 1.0 EU/m^3 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。

ASHRAE 55 に準拠した温熱環境評価を行った。結果、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。空調設備のほか外皮断熱性能も把握する必要がある。

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

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。

CO_2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、自動校正が有効に機能するセンサーもある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可能性も示された。

小型測定器を利用することで多様な評価が可能となり、定点における適合・不適合のみではなく、適合時間率などの評価や建物性能といった建築物間の評価も可能になると考えられる。

現場立入測定、小型測定器測定と共に、2 ヶ月に 1 回以上の法定検査結果が得られた 5 件の建築を比較した。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温度の一致率が低下し、室内 CO_2 の最低濃度が 400ppm まで下がらない環境下では自動校正機能でむしろ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があった。

建築物衛生の管理項目ではないが健康影響への重要性から、室内環境で適用できる $PM_{2.5}$ 小型連続測定機器の調査ならびにその計測値の比較を行った。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。

④ 空気環境管理に向けた BEMS データ活用手法の検討

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ため、空気環境管理に利用できる可能性が高いこと、相対湿度は一貫した結果が得られないこと、CO_2 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ことが示唆された。

冷房期の温度と CO_2 濃度については空気環境管理への活用が可能であると考えられるが、相対湿度の活用はまだ課題があると考えられる。

⑤ 建築物衛生管理へのデジタル技術の活用に関するアンケート調査

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。

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、次にネズミ・衛生害虫等が 30%、飲料水_貯水槽の点検が 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%の回答があった。空気環境 6 項目の測定は 23%であった。

水の衛生管理関連では、残留塩素濃度、濁度、色度、pH といった項目において、建築物衛生法で規定された検査頻度を上回る頻度で検査を実施しているとの回答が一定数得られた。味、臭いなどは採取作業が必須であるが、採水にかかる作業負荷の低減は限定されたものと考えられる。建築物衛生法で定められている頻度を満足している範囲において適切な検査頻度を改めて検討していくことが必要となるものと考えられる。

⑥ IoT 技術を活用した建築物衛生管理技術の現状と動向

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・普及しつつある。

温度・湿度・CO_2 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る一方、浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定には向かない認識が多かった。

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。

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た。こちらは、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。

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。

水管理の測定項目については、残留塩素濃度や濁度、色度、pH、電気伝導率や水温、圧力といった項目も同時測定できるものが含まれていた。一方で、味や臭いといった官能分析に関連する項目は技術開発の途上であり、現段階で実用可能な技術は確認できなかった。また、導入先は上水道関連施設、簡易水道、地下水などで、特定建築物への導入例は少なかった。校正頻度に関しては、月 1 回程度の校正は最低限必要となるとの回答が主流であった。

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事例が増えていることが確認された。

関連しては、報告書の自動作成など、建築物衛生分野でも IoT 技術を駆使した技術が開発され、実際にサービスを提供している企業も増えており、人員削減・コスト削減の観点から自動調査・自動測定の技術の建築物衛生管理への適用が期待できる。

一方で、現場技術者の業務負担としては帳簿関連が最も大きかったが、未だに紙媒体を使用することが多く、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ことが浮き彫りとなった。

E. 健康危険情報

該当なし。

F. 研究発表

1) 金 勲、下ノ薗 慧、増田 貴則、三好 太郎、鍵 直樹、海塩 渉、中野 淳太、欅田 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、 下ノ薗慧、 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 CO_2 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、 下ノ薗慧、 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5年度　分担研究報告書

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

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　下ノ薗 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

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

本報告では，これまでの研究結果を踏まえて，厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査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/m³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/m³ 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，新型コロナ感染症の流行が始まった令和 2 年度（2020 年度）においては，感染症対策のため換気の増強，窓開け換気の励行を行っていたところである。二酸化炭素濃度の不適率については，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1500 ppm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ば，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，新型コロナ感染症の対策のため，2020年度以降は再度増加したものとも考えられる。

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が，シックハウス症候群，化学物質過敏症の主原因となっていた。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]。

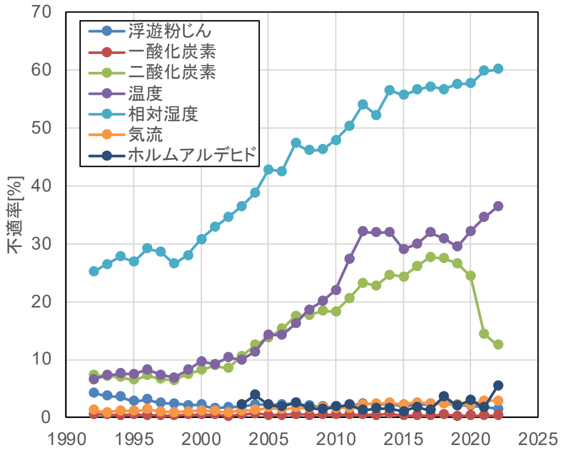


図1-1 空気環境7項目の不適率の経年変化

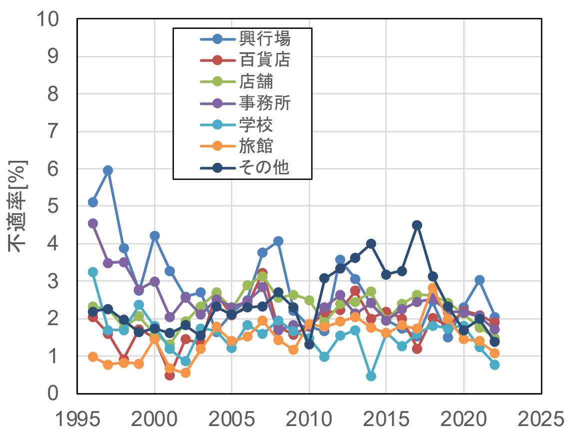


図 1-2　用途別の浮遊粉じん濃度不適率の経時変化

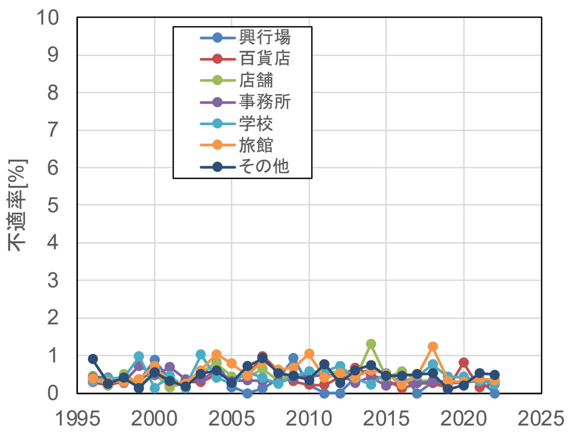


図 1-3　用途別の一酸化炭素濃度不適率の経時変化

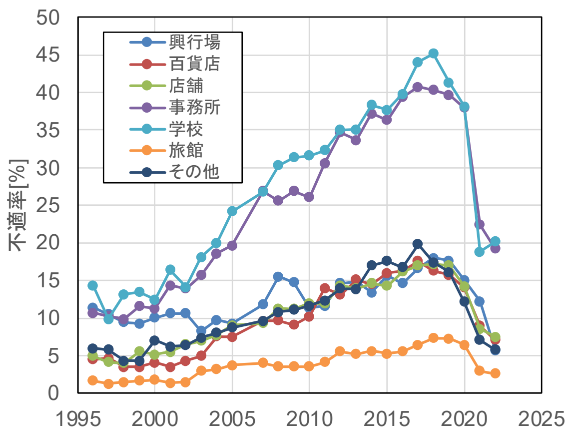


図 1-4　用途別の二酸化炭素濃度不適率の経時変化

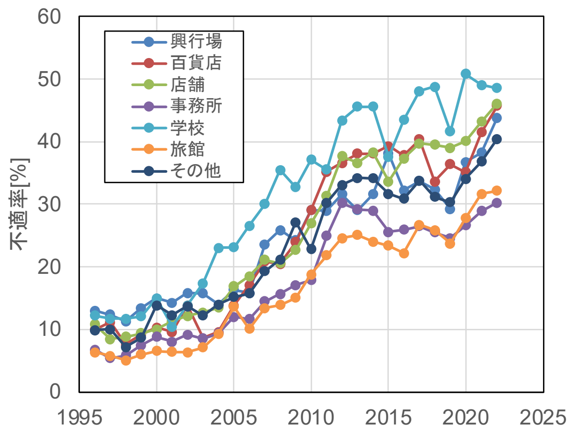


図 1-5　用途別の温度不適率の経時変化

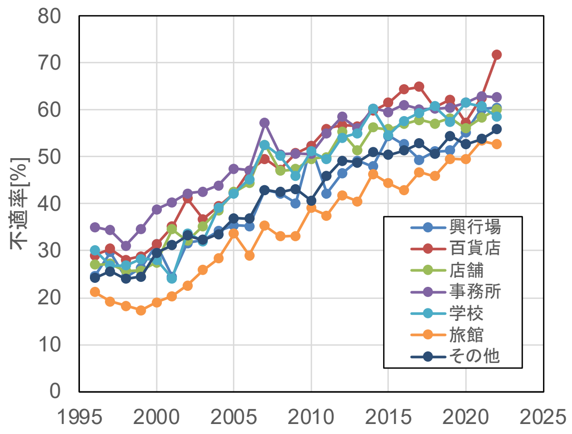


図 1-6　用途別の相対湿度不適率の経時変化

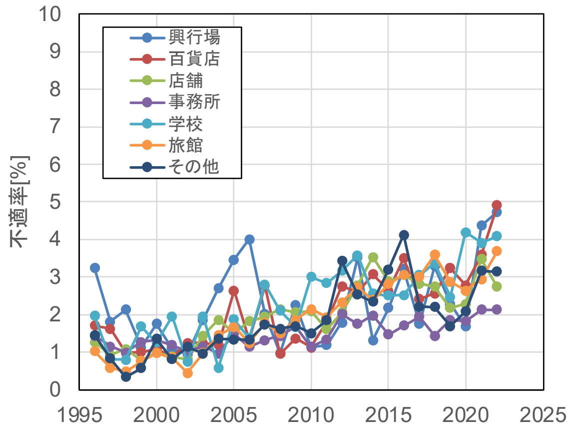


図 1-7　用途別の気流不適率の経時変化

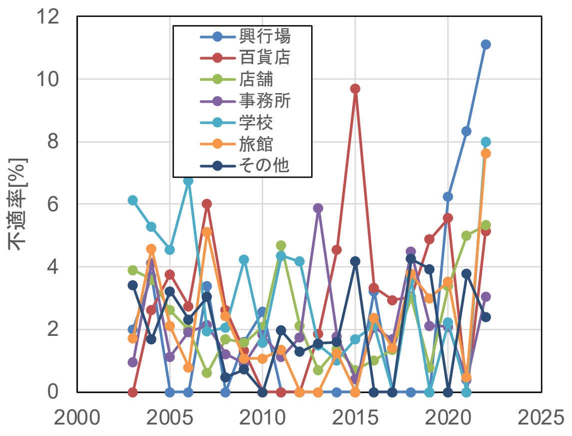


図 1-8　用途別のホルムアルデヒド濃度不適率の経時変化

C.2 考察

空気環境項目別の不適率の経年変化より，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
   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	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
分担研究者	下ノ薗　慧	国立保健医療科学院	研究員

研究要旨

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夏期及び冬期測定を実施した。

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：空気環境管理項目 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（ビル管セット）を用いて各室 15～30 分間測定した。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、冬期は相対湿度が 40%RH を下回る建築物もある。2 種の空気環境 6 項目測定器の差の平均値は温度が 0.3K、相対湿度が 4%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、精度管理が重要である。

本章 3 節：ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値物質を中心に調査した。TVOC 暫定目標値（400μg/m^3）を超過する建築物が 1 件のみあったが、個別物質はそれぞれの指針値以下であった。

本章 4 節：浮遊粉じん濃度及び浮遊粒子状物質 6 粒径の計測結果を報告した。浮遊粉じんはいずれの建物も管理基準濃度 0.15mg/m^3 に比べると低濃度であり、計測機器間では平均 0.0058±0.0068 mg/m^3 の差が見られた。6 粒径浮遊粒子状物質では、全体的に 1.0μm 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、5μm 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傾向を示した。

本章 5 節：CO の外気濃度は約 0.1 ppm、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。CO_2 に関しては外気濃度平均 400ppm 程度に対して、室内平均は 389～989ppm 程度と管理基準 1000ppm を上回る建物はなかった。機器による測定平均値の差が見られ、CO は 0.03±0.05ppm、濃度差の範囲は 0～0.02ppm、CO_2 は 38±24ppm、濃度差範囲は 0～87ppm であった。

本章 6 節：室内濃度平均は 2～3EU/m^3、濃度分布は定量限界異界～10EU/m^3 程度まで幅広い。既往研究の室内濃度は 1.0 EU/m^3 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。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 節では、ASHRAE（アメリカ暖房冷凍空調学会）の ASHRAE 55 の最新版（2023 年）の文献調査を行い、5 件の建築物において ASHRAE 55 に準拠した温熱環境評価を行った。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。結果、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。空調設備のほか外皮断熱性能も把握する必要がある。

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、CO_2）濃度、温湿度、粒径2.5μm以下の微小微粒子状物質（以降、$PM_{2.5}$）の測定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、CO_2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件を対象に小型測定器によるCO_2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、小型測定器や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)
外皮断熱仕様	外壁	15mm(種別不明)		現場発泡ウレタン 100mm		ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号 100mm			吹付硬質ウレタンフォーム 15mm	
	屋根	硬質ウレタンフォーム 25mm		押出法ポリスチレンフォーム 3 種 150mm		押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種 100mm			硬質ウレタンフォーム保温板 2 種 2 号 30mm	
	1 階床	30mm(種別不明)				押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種 100mm			押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種 b	
	サッシ	熱線吸収フロートガラス		Low–E 複層ガラス		Low–E 二層複層ガラス (4+16+4) ※空気層不明			Low–E 二層複層ガラス (6+A6+6)	南: Low–E 二層複層ガラス (6+A12+6.8) 北: 熱線反射ガラス
空気調和設備	空調方式	外気処理エアコン+水熱源パッケージエアコン(中央管理)		中央式放射冷温水パネル+個別パッケージエアコン(中央管理+個別管理)		全面床染み出し空調+床放射空調による置換空調(中央管理)	AHU (CAV) + FCU(中央管理)		AHU (VAV)	AHU (VAV) + FCU
	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		1974 / 02		2015 / 11
	延床面積(m²)	39 150.9		9 810.16		1 368.2		47 912
	階数(地上/地下)	4 / 1		13 / 1		4 / 0		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(m²)	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(m³)	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)
空気調和設備	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 デシカント 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(m³/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(m³/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 3000m^2 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/m^3 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、CO_2）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。測定には柴田科学社株式会社製の室内環境測定セット IES–5000 と日本カノマックス株式会社製のオートビル III Model 2100 を用いた。測定原理はいずれも同一の方式である。また、温度・CO_2（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 と表 2-2-3 に示す。測定は A・B・C ビルが 2023 年 8 月、D・E・F ビルが 2023 年 8 月と 2024 年 2 月、G ビルが 2023 年 8 月と 2024 年 2 月、H ビルが 2023 年 9 月と 2024 年 2 月、I・J ビルが 2024 年 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

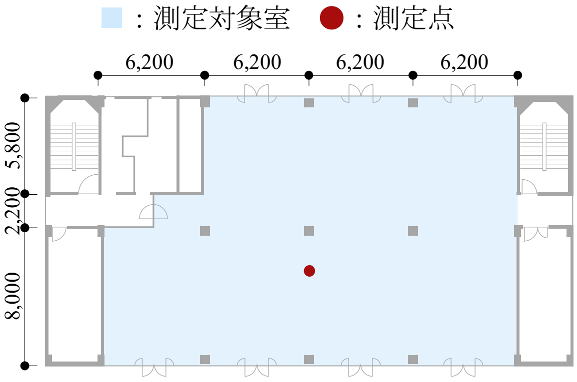


図 2-2-1　A ビル 2 階平面概要図

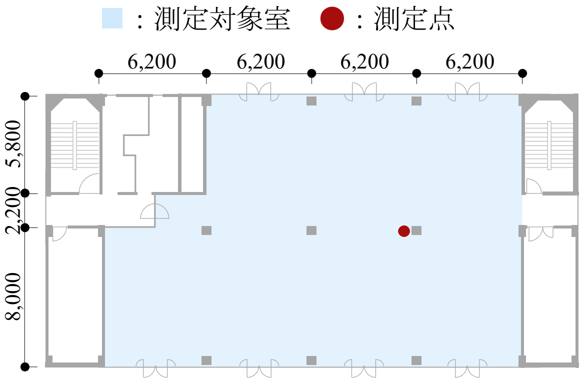


図 2-2-2　A ビル 3 階平面概要図

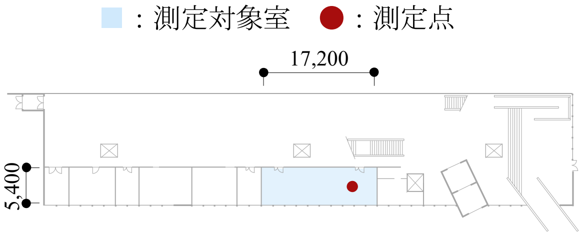


図 2-2-3　B ビル 1 階平面概要図

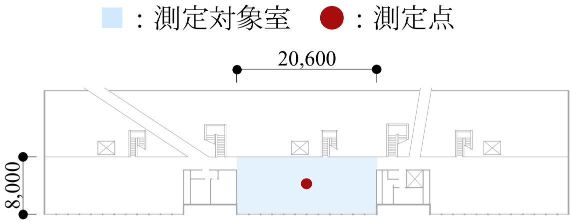


図 2-2-4　B ビル 3 階平面概要図

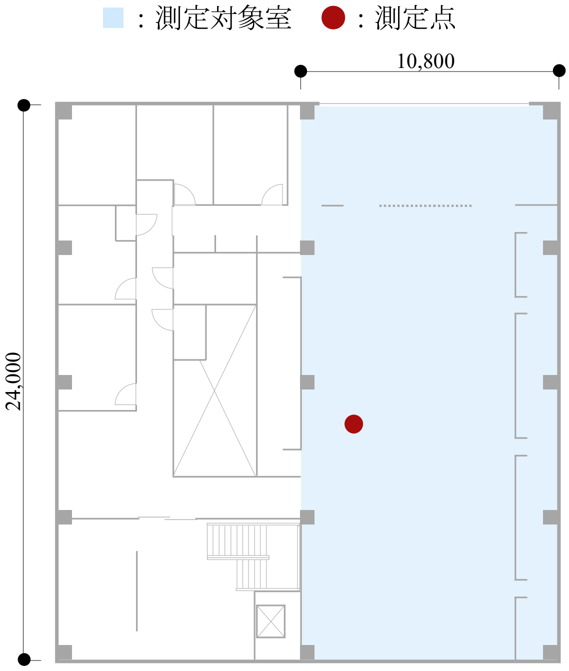


図 2-2-5　C ビル 2 階平面概要図

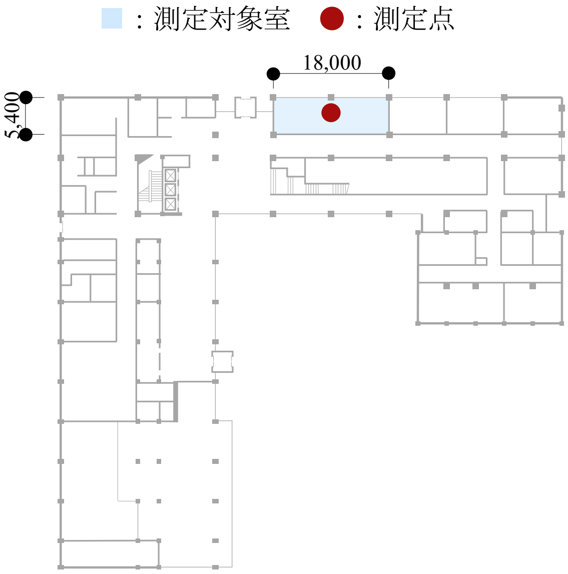


図 2-2-6　D ビル 1 階平面概要図

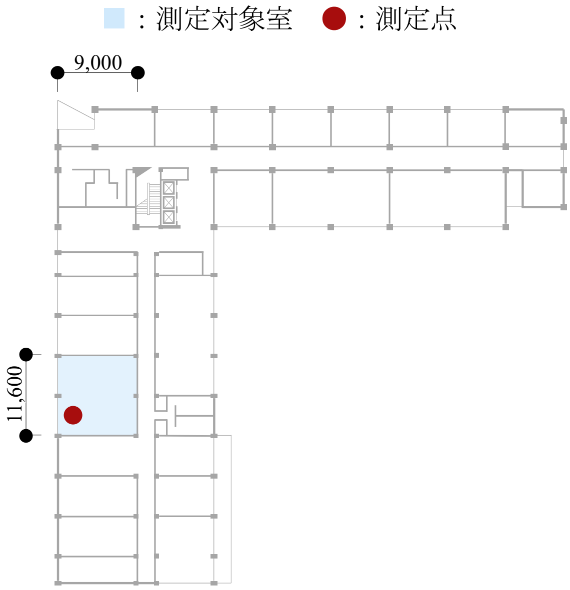


図 2-2-7　D ビル 4 階平面概要図

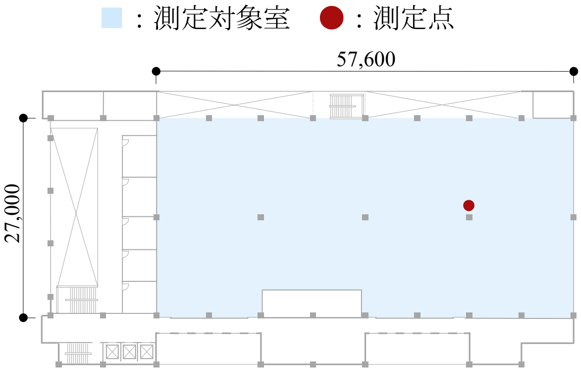


図 2-2-8　E ビル 2 階平面概要図

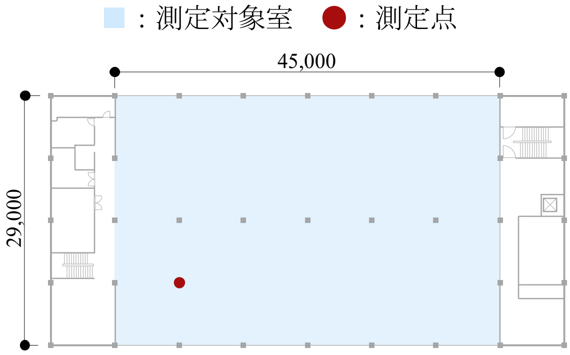


図 2-2-9　F ビル 2 階平面概要図

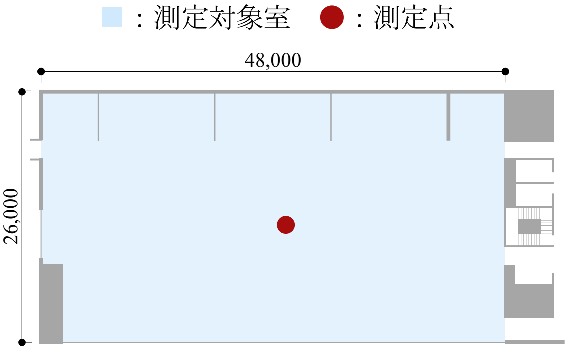


図 2-2-10　G ビル 1 階平面概要図

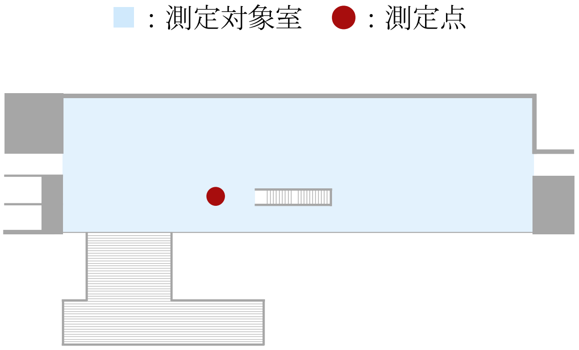


図 2-2-11　G ビル 3 階平面概要図

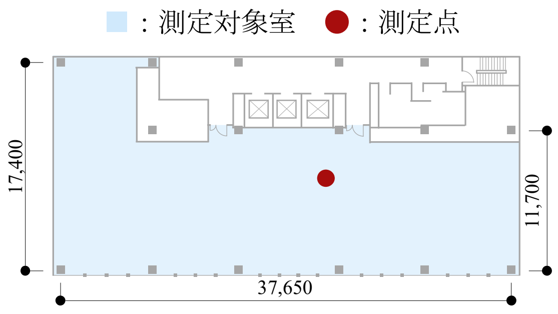


図 2-2-12　H ビル 4 階平面概要図

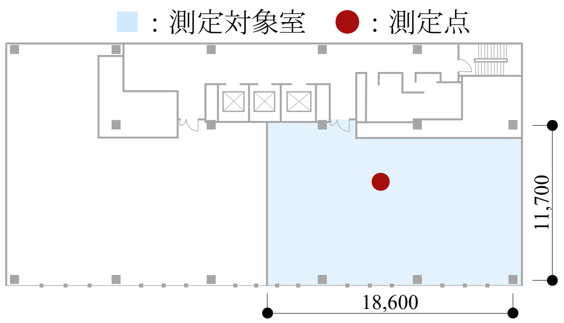


図 2-2-13　H ビル 6 階平面概要図

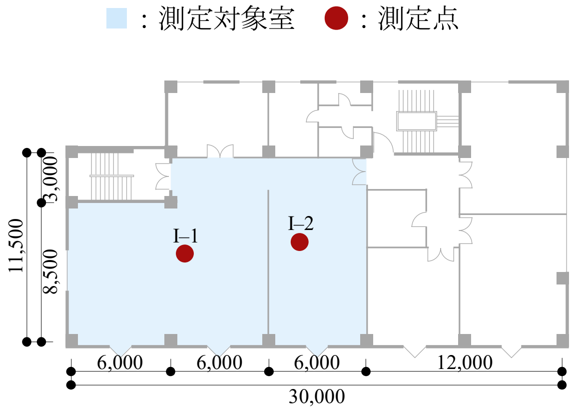


図 2-2-14　I ビル 2 階平面概要図

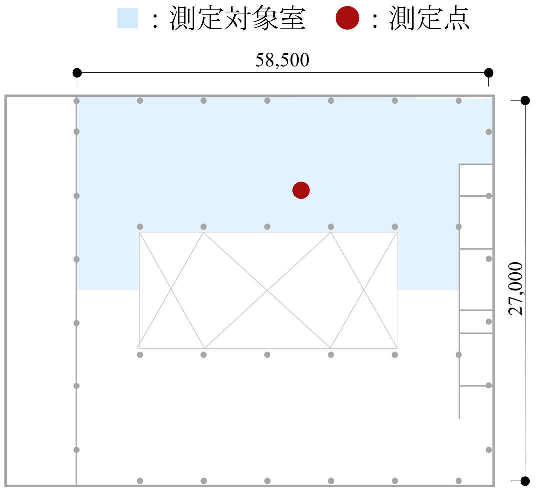


図 2-2-15　J ビル 5 階平面概要図

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 2-2-3　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	11:00	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	11:10	14:05

C. 研究結果

C.1. 温度

夏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 では測定前半 5 分は 28ºC 以上となっているが、測定後半 5 分は 28ºC 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 28ºC を超えており、特に B–2 の測定日の最高外気温度は 34.9ºC（15:00）であったことから室内温度は 32ºC 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。

冬期における温度の測定結果を図 2-2-17 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が、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 21ºC 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

夏期における相対湿度の測定結果を図 2-2-18 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。

冬期における相対湿度の測定結果を図 2-2-19 に示す。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築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

C.3. 気流

夏期における気流の測定結果を図 2-2-20 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。

冬期における気流の測定結果を図 2-2-21 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

夏期の 10 分間平均値を図 2-2-22、冬期の 10 分間平均値を図 2-2-23 に示す。建築物衛生管理基準値に着目すると、温度は夏期の B–2、相対湿度は夏期の B–1 と F・冬期の 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。また、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、夏期・冬期含めた全平均では温度が 0.3K、相対湿度が 4%RH、気流が 0.02m/s の差であった。

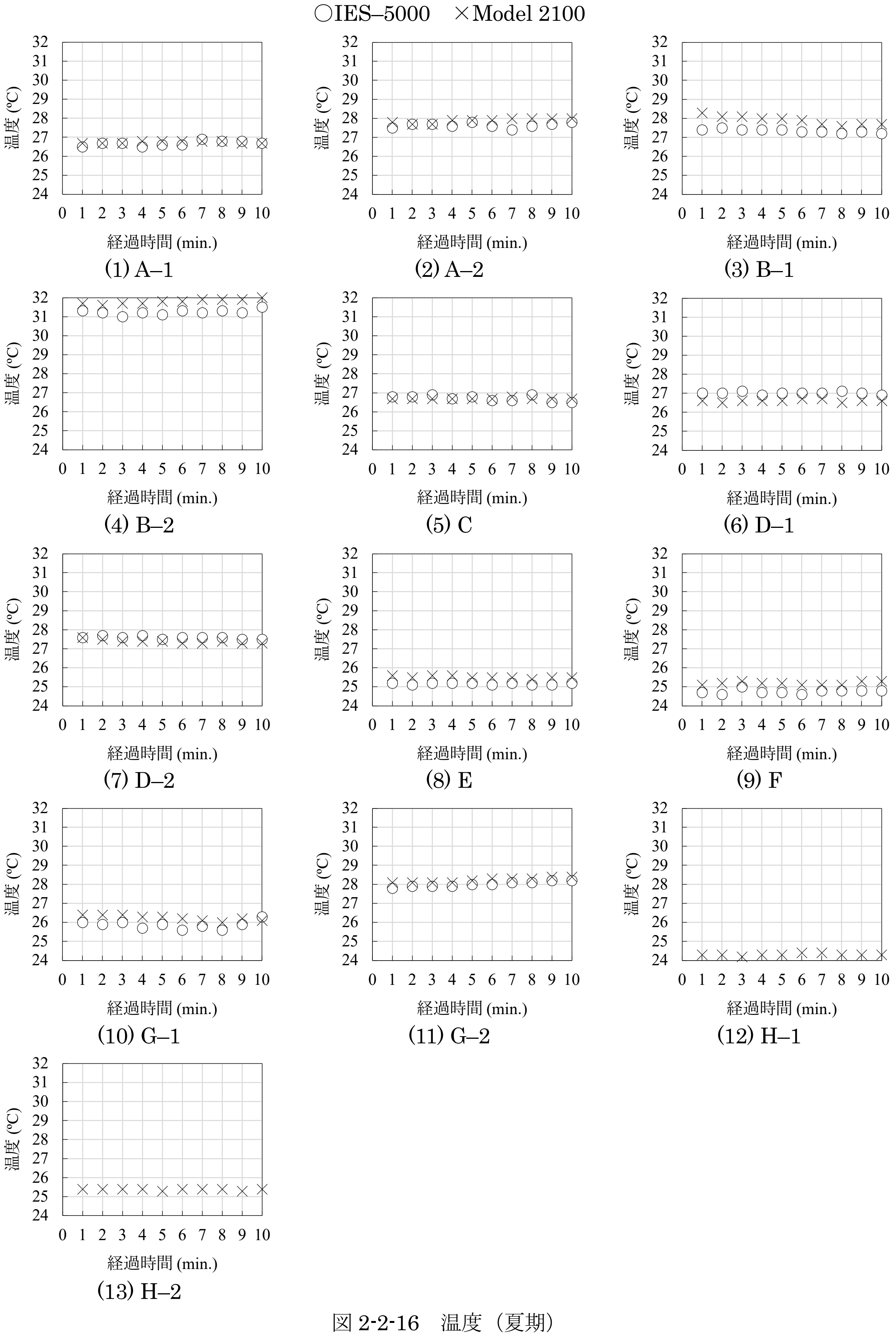

○IES–5000　×Model 2100
温度 (℃)
経過時間 (min.)
(1) A–1
(2) A–2
(3) B–1
(4) B–2
(5) C
(6) D–1
(7) D–2
(8) E
(9) F
(10) G–1
(11) G–2
(12) H–1
(13) H–2

図 2-2-16　温度（夏期）

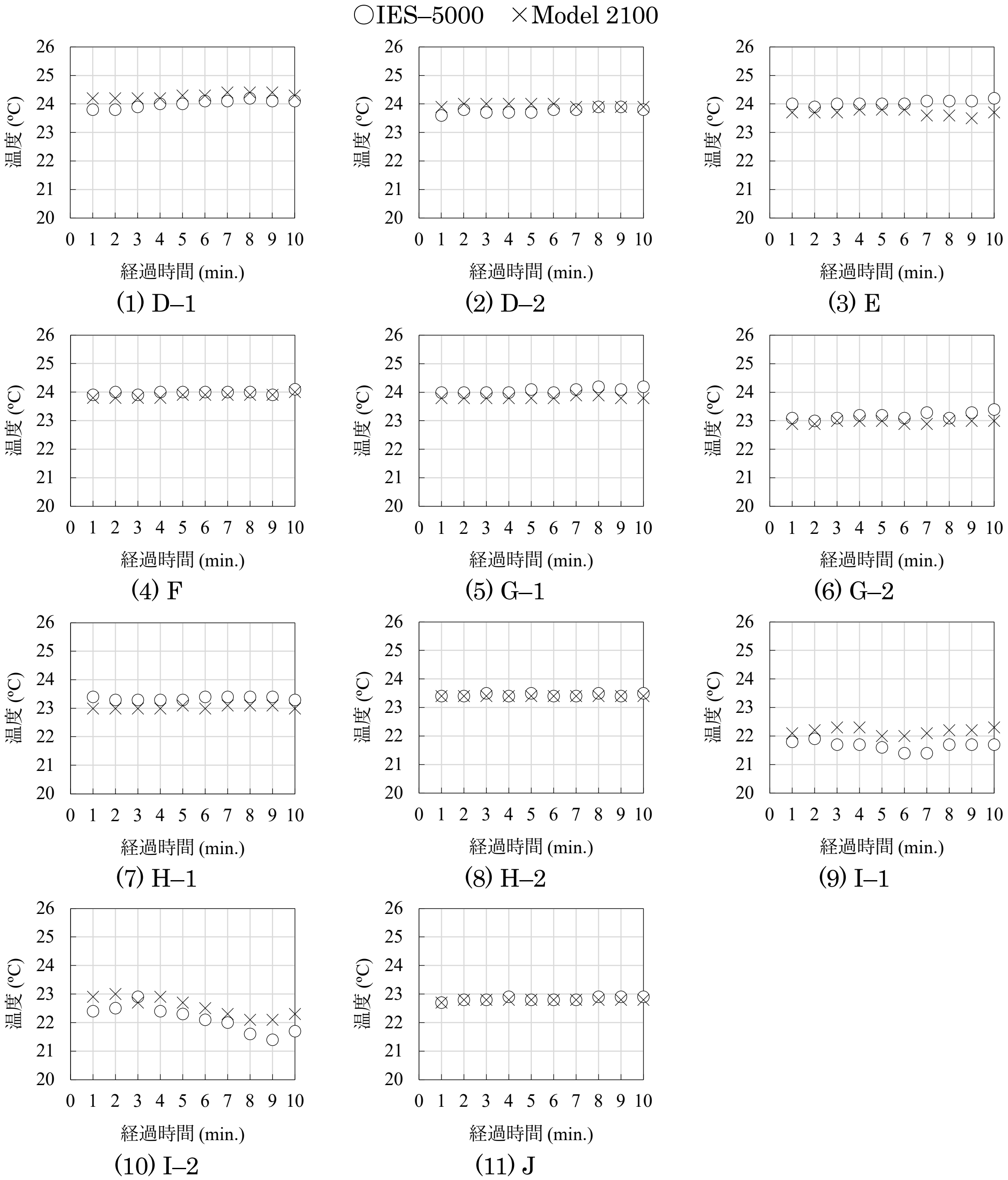

○IES–5000　×Model 2100
温度 (ºC)
経過時間 (min.)
(1) D–1
(2) D–2
(3) E
(4) F
(5) G–1
(6) G–2
(7) H–1
(8) H–2
(9) I–1
(10) I–2
(11) J

図 2-2-17　温度（冬期）

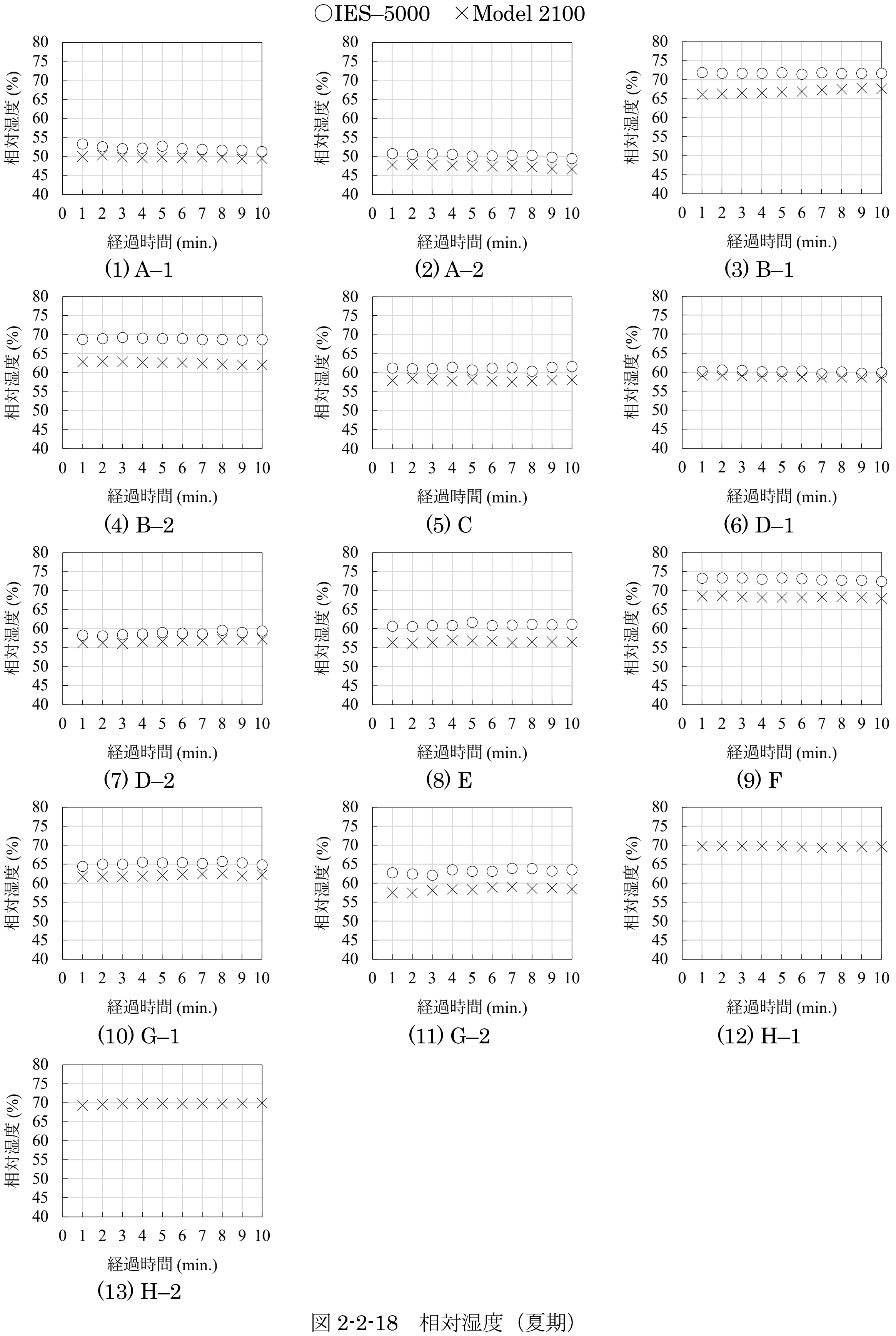


図 2-2-18　相対湿度（夏期）

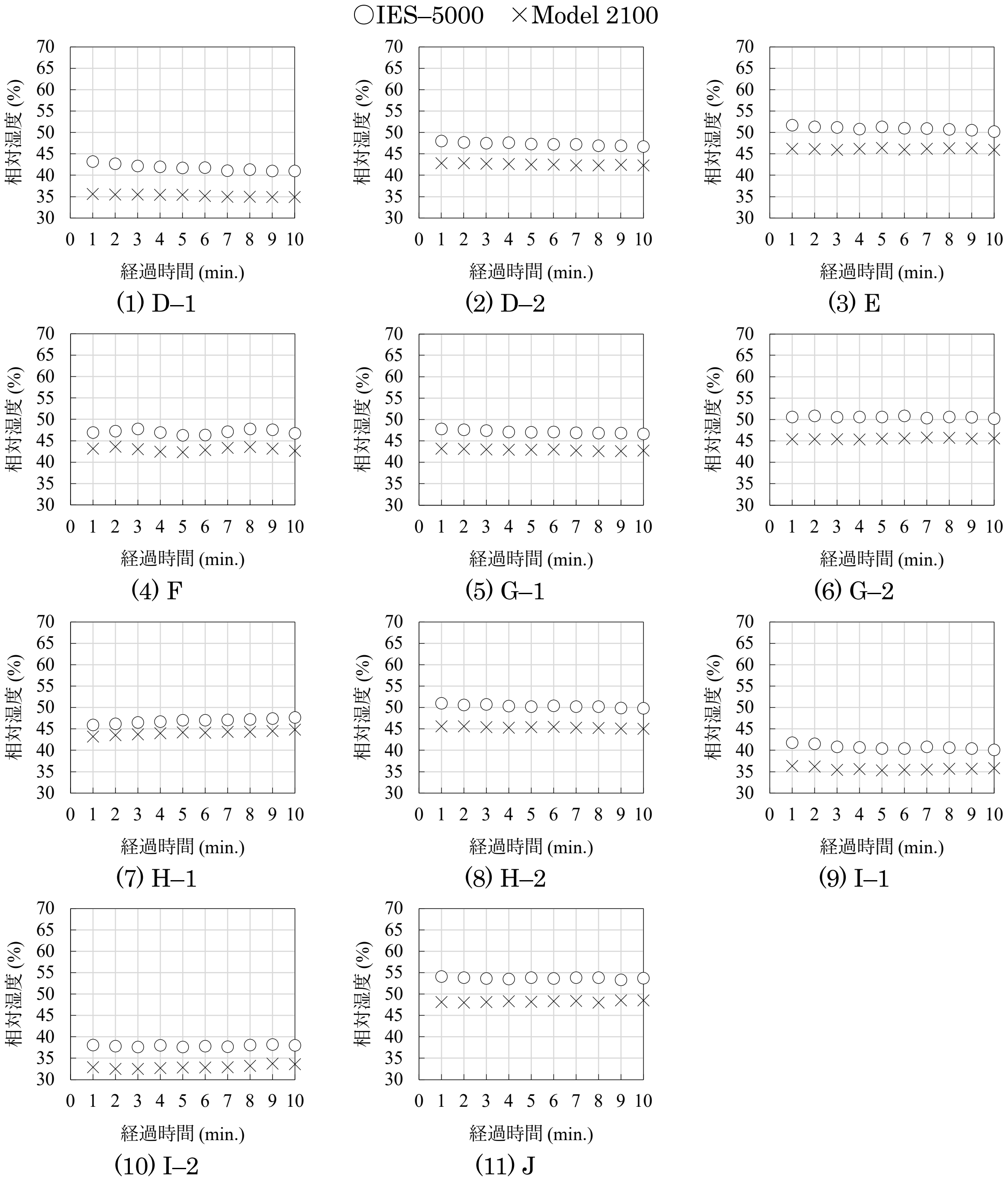


図 2-2-19　相対湿度（冬期）

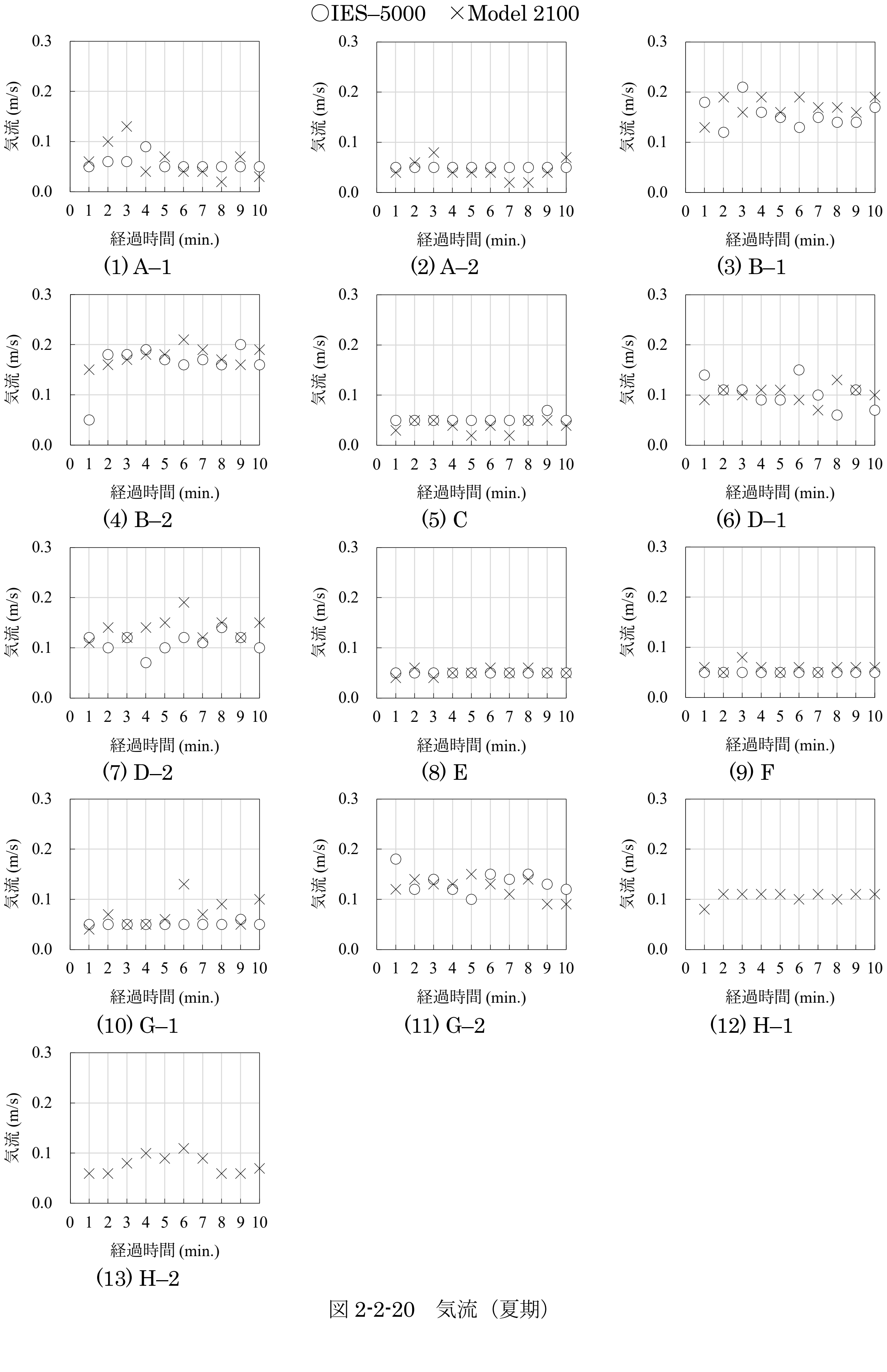

○IES–5000　×Model 2100
気流 (m/s)
経過時間 (min.)
(1) A–1
(2) A–2
(3) B–1
(4) B–2
(5) C
(6) D–1
(7) D–2
(8) E
(9) F
(10) G–1
(11) G–2
(12) H–1
(13) H–2

図 2-2-20　気流（夏期）

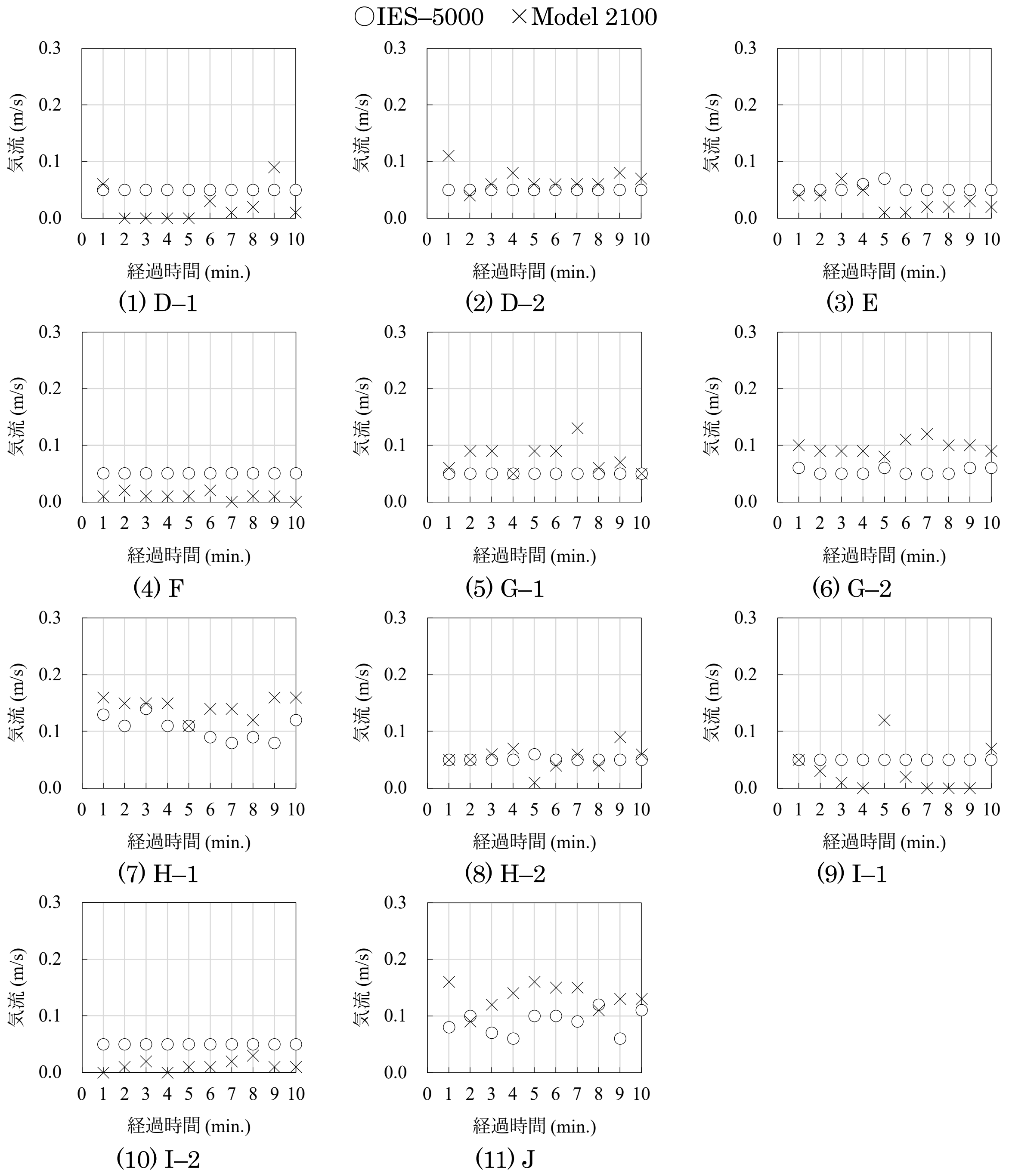
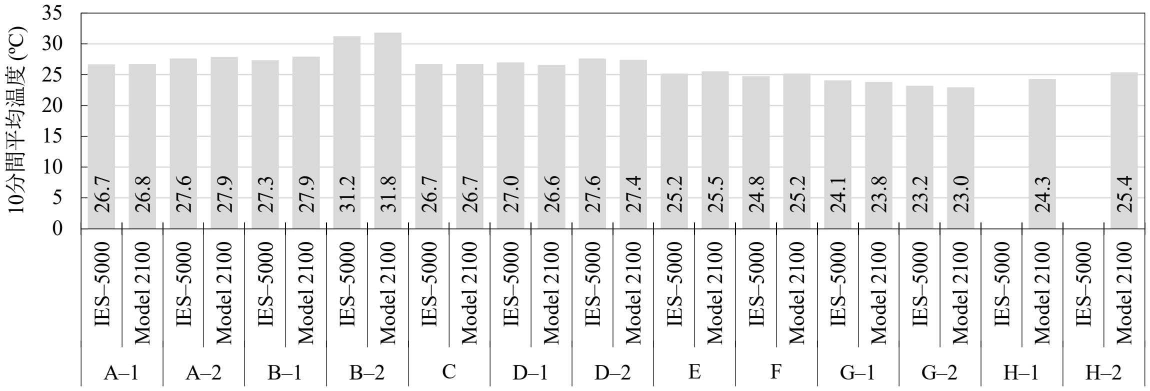
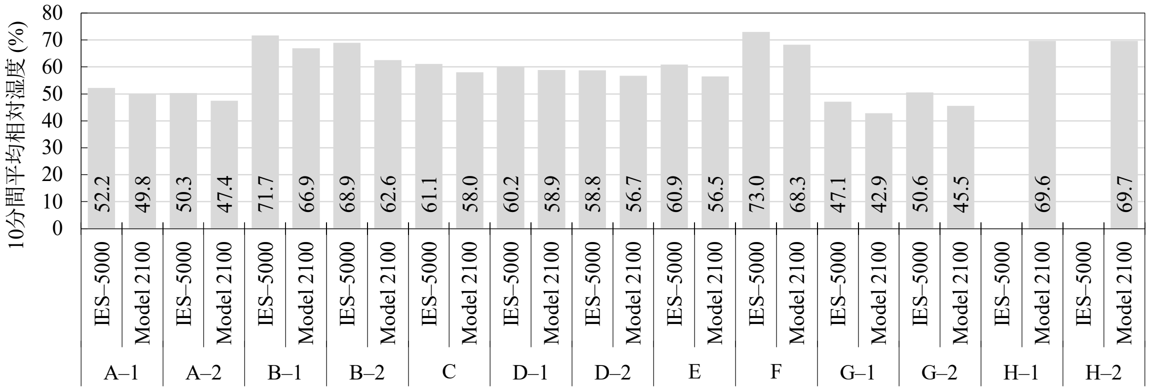

○IES–5000　×Model 2100
気流 (m/s)
経過時間 (min.)
(1) D–1
(2) D–2
(3) E
(4) F
(5) G–1
(6) G–2
(7) H–1
(8) H–2
(9) I–1
(10) I–2
(11) J

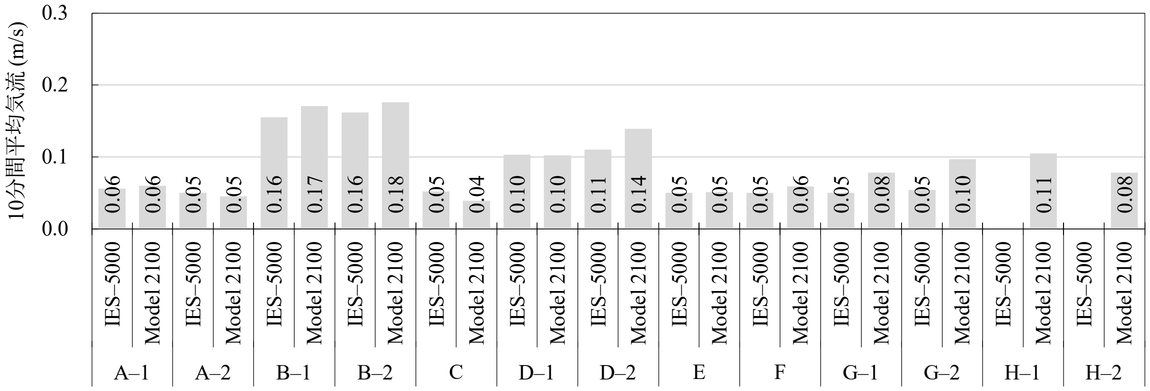
図 2-2-21　気流（冬期）



(1) 温度

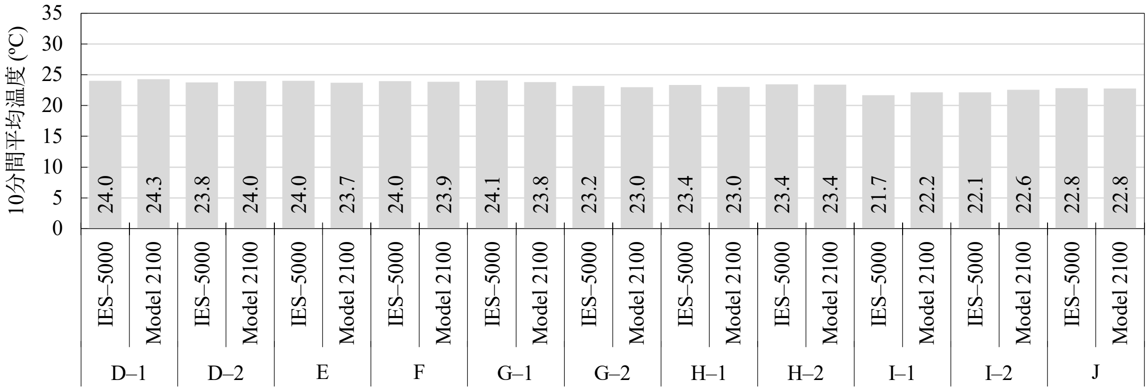


(2) 相対湿度

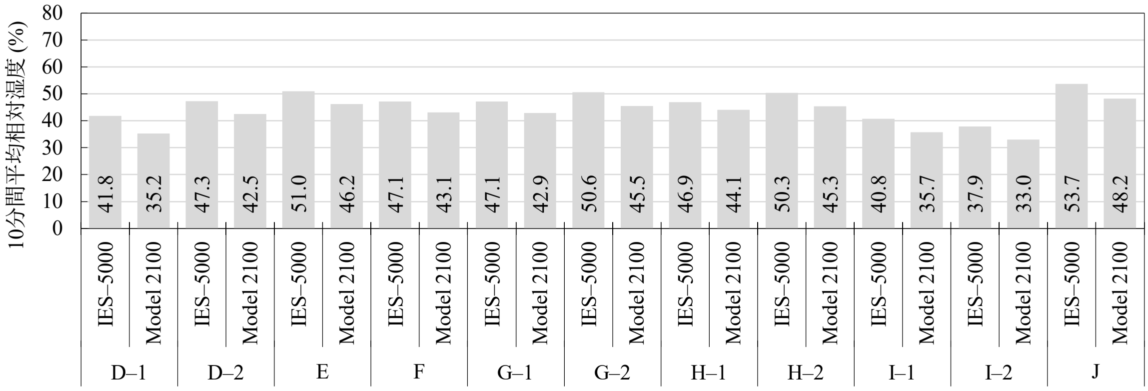


(3) 気流

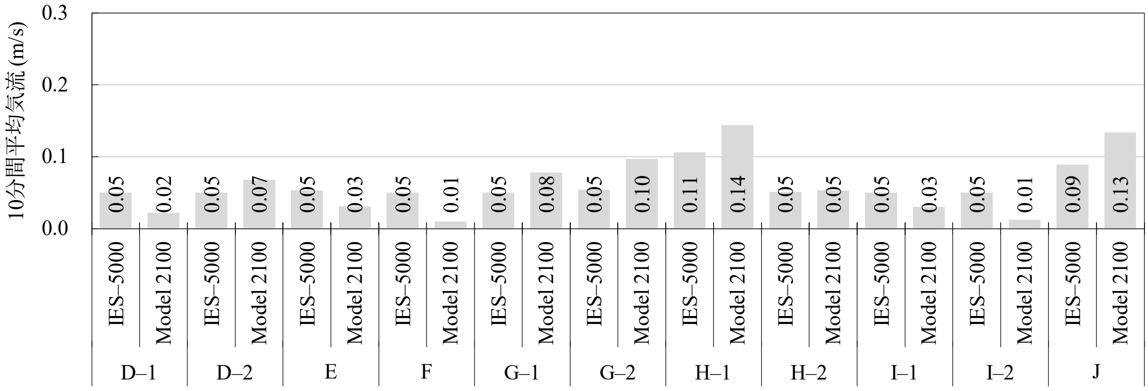
図 2-2-22　夏期測定結果（10 分間平均値）



(1) 温度



(2) 相対湿度



(3) 気流

図 2-2-23　冬期測定結果（10 分間平均値）

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 0.3K、相対湿度が 4%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

2-3　化学物質濃度（VOCs 及びカルボニル化合物）

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は，100 μg/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 μg/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 μg/m^3 (0.08 ppm)
アセトアルデヒド	48 μg/m^3 (0.03 ppm)
トルエン	260 μg/m^3 (0.07 ppm)
キシレン	200 μg/m^3 (0.05 ppm)
エチルベンゼン	3800 μg/m^3 (0.88 ppm)
スチレン	220 μg/m^3 (0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	240 μg/m^3 (0.04 ppm)
テトラデカン	330 μg/m^3 (0.04 ppm)
クロルピリホス	1 μg/m^3 (0.07 ppb) 小児の場合 0.1 μg/m^3 (0.007 ppb)
フェノブカルブ	33 μg/m^3 (3.8 ppb)
ダイアジノン	0.29 μg/m^3 (0.02 ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	17 μg/m^3 (1.5 ppb)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100 μg/m^3 (6.3 ppb)
TVOC （暫定目標値）	400 μg/m^3

B. 研究方法

対象とした建築物は表 2-1-1 と表 2-1-2 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。

2023年8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「室内空気中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について」によれば，ホルムアルデヒド濃度の指針値制定にあたっては，一般的な人達における明らかな刺激感覚を防ぐことを指標として，30分平均値で0.1 mg/m^{3}を指針値とすることが適当である，としている。

建築物衛生法においても，ホルムアルデヒド測定のタイミングを，新築，増築，大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し，その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回と規定している。これは，ホルムアルデヒドの発生が新しい建材から多く発生すること，温度上昇に伴って多く発生することを意識したものである。なお，ホルムアルデヒドの量の測定結果が管理基準を超過した場合は，空気調和設備又は機械換気設備を調整し，外気導入量を増加させるなど，室内空気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/m^{3}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30 L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9 L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　空気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/m^{3}及び厚生労働省指針値48 µg/m^{3}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1件存在した。

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/m^{3}を超える物件が1件あったが，厚生労働省の指針となっている物質については，それぞれ指針値以下であり，指針値以外の物質の濃度が高いことによった。建築物C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

表 2-3-3　揮発性有機化合物の測定結果

	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	E		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)		
	F (2023/8/28)		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

	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)	
	E	OA	(2024/2/2	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

は，アルカン類検出されていたことによるものである。昨年度TVOC濃度が高濃度となった建築物E, Fについては，400 μg/m³以下となっていた。この建築物は同じ敷地内に立地し，昨年度は敷地内で工事が行われており，その汚染物質が室内に侵入したものと考えられる。

2E1H濃度については，建築物A, C, Fで検出され，特に建築物Fにおいて高濃度で検出された。建材からの2E1H発生には，一次発生と二次発生が知られている。一次発生は建材の製造中に含有された2E1Hが発生することを示す。二次発生は，コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジエチルヘキシル（DEHP）がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水分解されることで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。通常の事務所用途の建築物においては，床にタイルカーペットが敷かれており，床の下地はタイル地，コンクリートスラブ，金属製・コンクリート製・プラスチック製OAフロアの5種類に分類することができる。

建築物A, 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

2-4　浮遊粉じん及び浮遊微粒状物質

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 µm 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 $\mu g/m^3$ 以下、1 日平均が 35 $\mu g/m^3$ 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、10µm）に対する個数濃度を計測した。

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

C. 測定結果

図 2-4-1 に浮遊粉じん濃度を、図 2-4-2 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、図 2-4-3 及び図 2-4-4 に代表粒径の個数濃度分布を示す。また、図 2-4-5 に粒径別 IO 比（室内濃度／外気濃度）の結果を示す。

C.1. 浮遊粉じん濃度

浮遊粉じん濃度（図 2-4-1）は小数第三位までが最大有効数字であるが、ここでは差を比較するために小数第 4 位までを記した。

浮遊粉じんの夏期における外気濃度平均は IES-5000（SIBATA 社）が 0.0166±0.0077mg/m^3、Model 2100（Kanomax 社）が 0.0090 ± 0.0085mg/m^3 であり、室内濃度平均はそれぞれ 0.0034±0.0043 mg/m^3、0.0020±0.0023 mg/m^3 であった。また、冬期における外気濃度平均は IES-5000（SIBATA 社）が 0.0143±0.0093mg/m^3、Model 2100（Kanomax 社）が 0.0050±0.0042mg/m^3 であり、室内濃度平均はそれぞれ 0.0118±0.0195 mg/m^3、0.0050±0.0098 mg/m^3 であった。

いずれも管理基準濃度 0.15mg/m^3 に比べると低濃度であり、管理基準を上回る建物はなかった。

両機器間の測定値平均の差は 0.0058±0.0068 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

個数濃度の積算値（図 2-4-2）として、空調や換気設備による部分的な低減効果があるため、建物 B 及び建物 I を除けば全体的には外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向を示す。

一方で、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 1.0µm 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

IO 比としては、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、5µm と 10µm の大きな粒子では IO 比>1 の室内が増加している。

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 [2),3)]。

特に夏期 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。

D. 結論

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度0.15mg/m^{3}に比べると低濃度であった。測定機器間では平均0.0058±0.0068 mg/m^{3}の差が見られた。

6粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に1.0μm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、5μm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。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。

但し、一部室内における1.0μm以下の細かい粒子濃度が高い測定個所もあり、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。

E. 参考文献

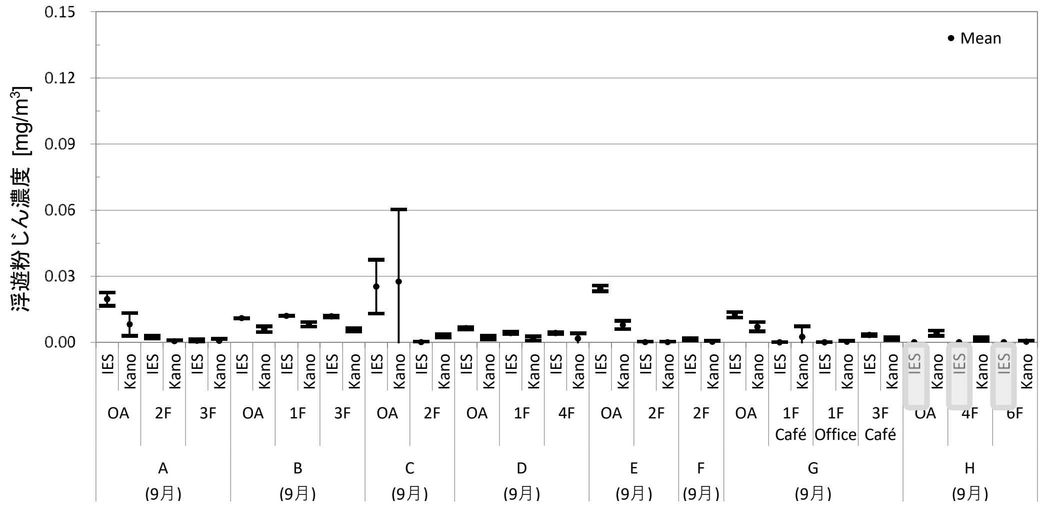
1) 環境省 : 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書 : 粒子状物質の特性について、2008
2) 鍵直樹 : 事務所建築物におけるPM2.5濃度の実態と室内外濃度比、空気清浄、54(4)、258-262、2016
3) 小林健一、金勲、鍵直樹ほか : 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究、令和元年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業)、2020.3

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



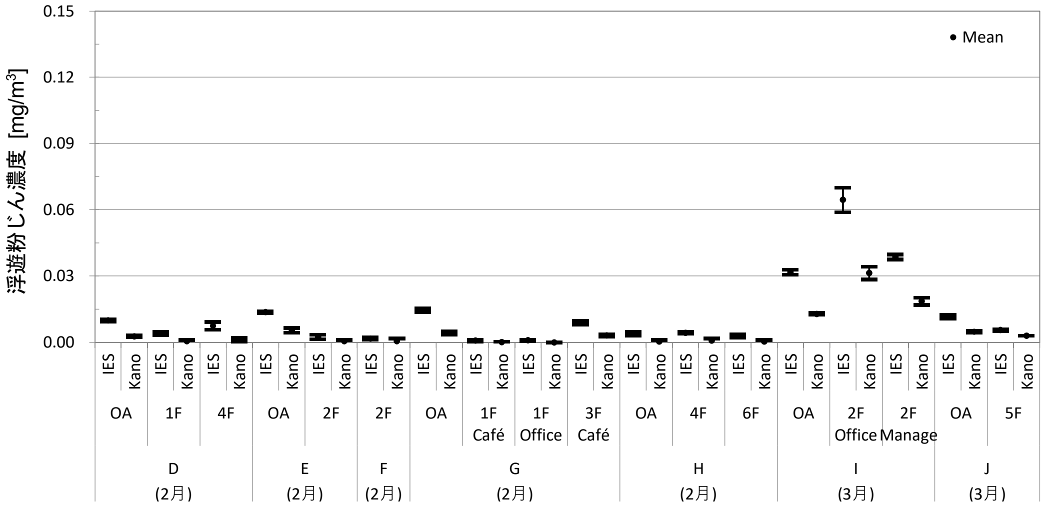


図 2-4-1　立入測定による浮遊粉じん濃度測定結果

「IES：IES-5000（SIBATA 社）、Kano：Model 2100（Kanomax 社）」

※ 陰影部分は測定無し

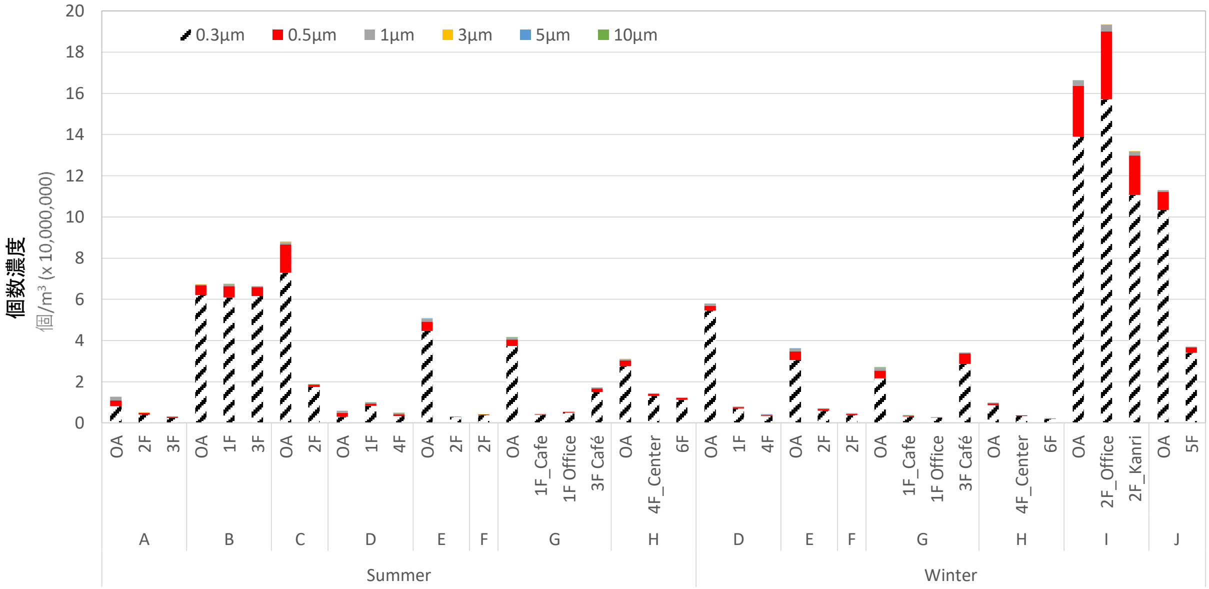


図 2-4-2　室内浮遊粒子の個数濃度積算値

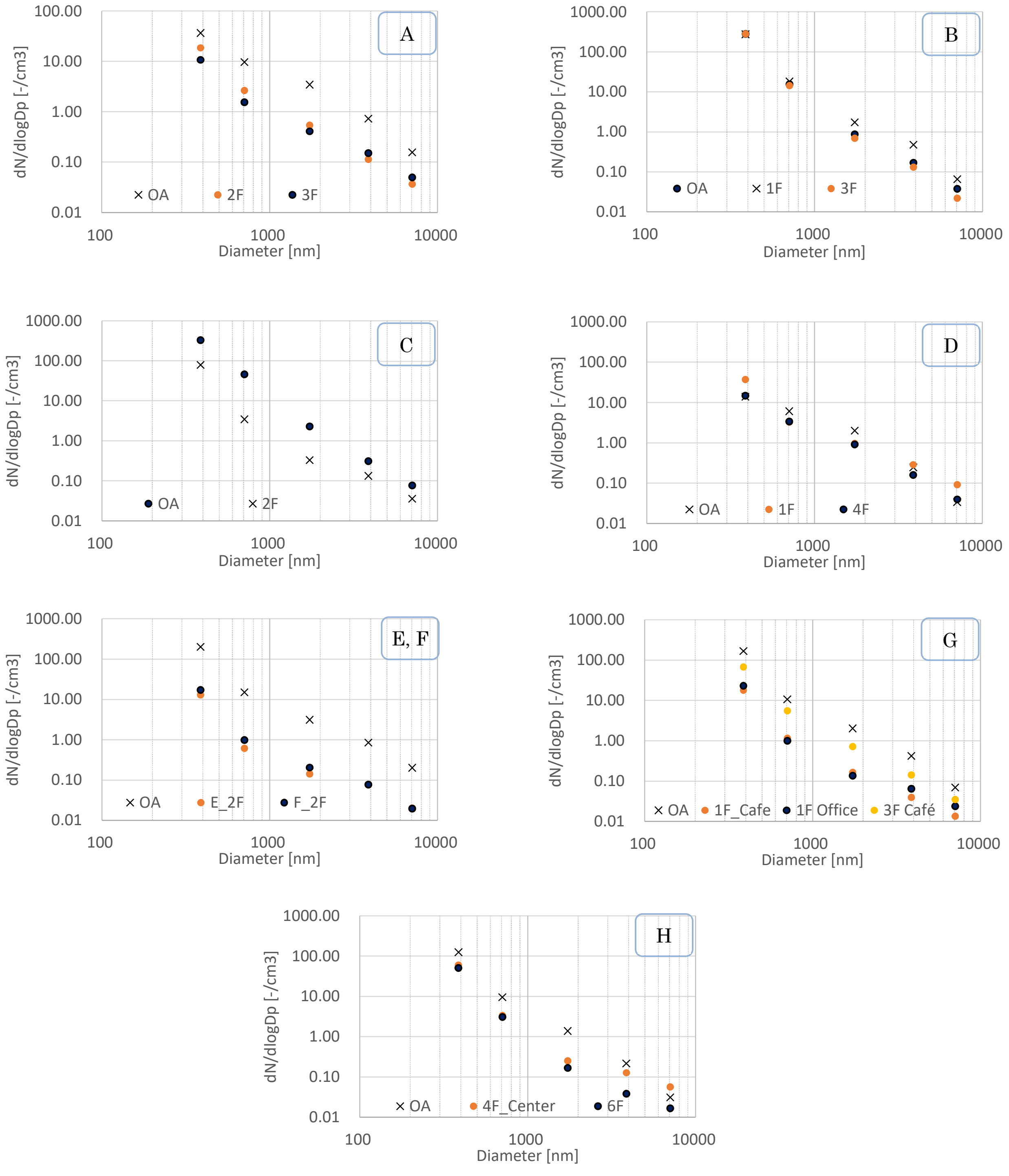


図 2-4-3　代表粒径の個数濃度分布（夏期）

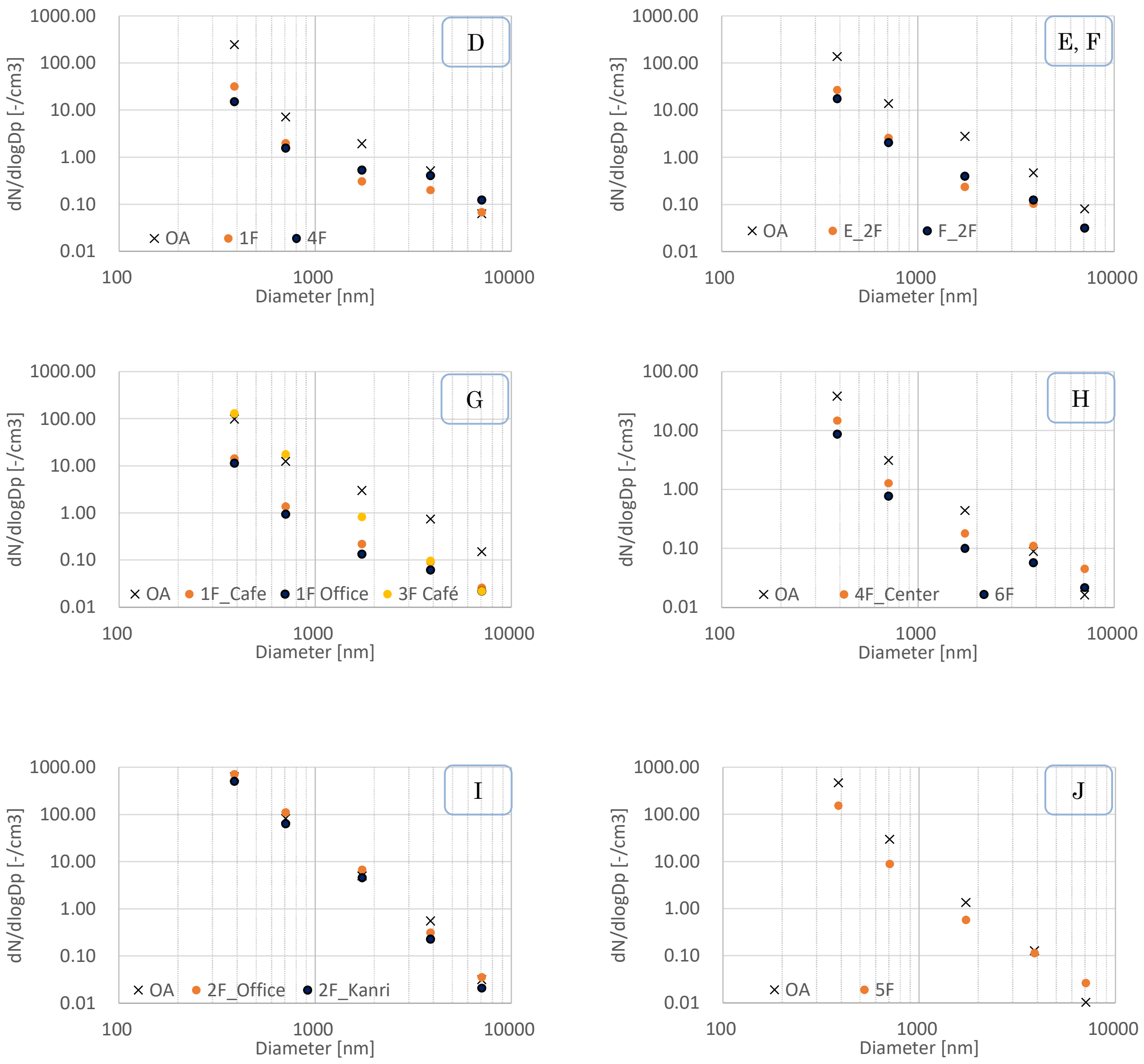


図 2-4-4　代表粒径の個数濃度分布（冬期）

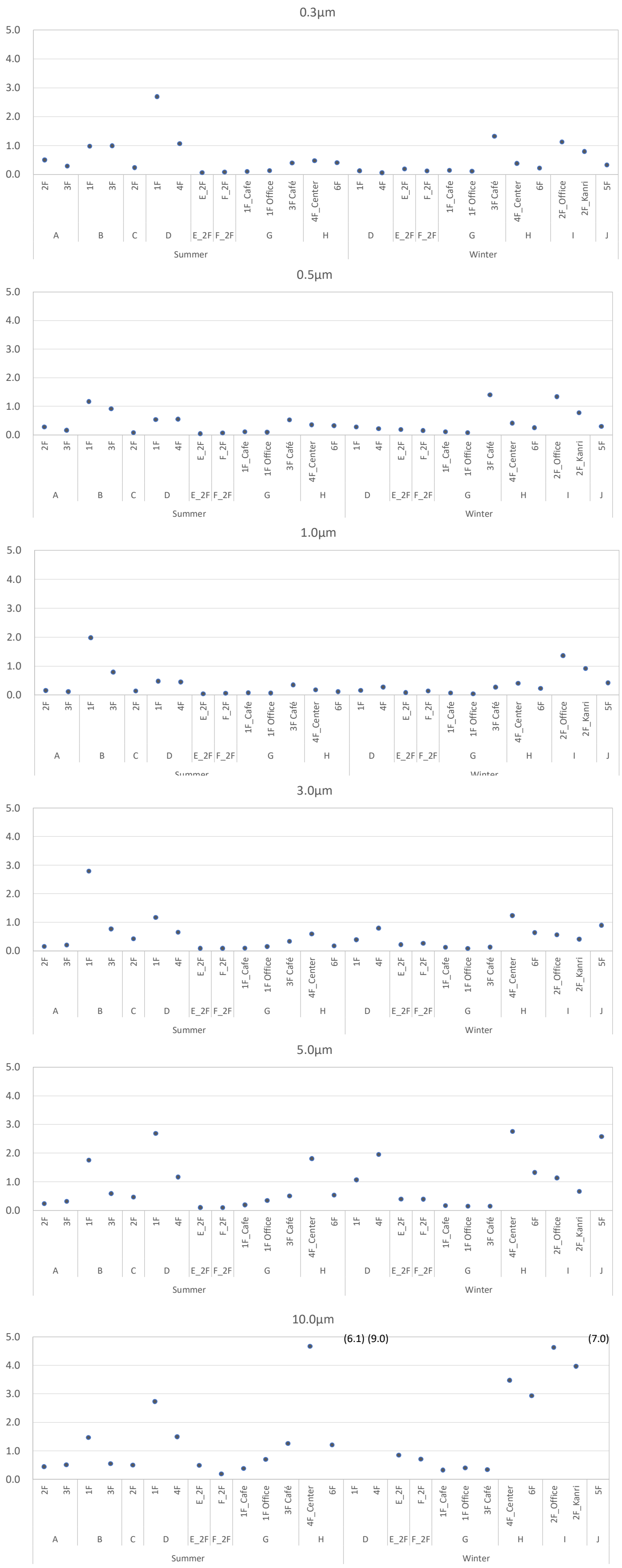


図 2-4-5　粒径別 IO 比（室内濃度／外気濃度）

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（CO_2）濃度に関する基準は、CO が 6ppm 以下、CO_2 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、CO_2 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)]。

本研究では、特定建築物における CO 及び CO_2 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、CO_2 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 分間連続で行い、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、建物 H（9 月）に対しては IES-5000 の較正上の問題により欠測となっている。

C. 測定結果

図 2-5-1 に CO 濃度を、図 2-5-2 に CO_2 濃度の測定結果を示す。また、集計表を表 2-5-1 に示す。

C.1. 一酸化炭素濃度

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。

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。

機器のよる測定値の差は 0.03±0.05ppm 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ったが、測定感度の違いによるものと考えられる。

C.2. 二酸化炭素濃度

外気濃度平均は夏期 IES-5000（SIBATA 社）が 378±14ppm、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 CO_2 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。

機器のよる測定値平均の差は 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。ガスセンサーはゼロガスとスパンガスによる校正による誤差や測定機器によるセンサー特性も考えられる。

D. 結論

一酸化炭素（CO）及び二酸化炭素（CO_2）濃度管理基準は、それぞれ 6ppm 以下及び 1000ppm 以下であった。

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

CO_2 に関しては外気濃度平均 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が、1000ppm に近い物件も存在していた。

機器のよる測定平均値の差が見られ、CO は 0.03±0.05ppm、濃度差の範囲は 0〜0.02ppm、

CO_2は 38±24ppm、濃度差範囲は 0～87ppm であった。

校正による誤差や、機器によるセンサー感度の違いが見られた。

E. 参考文献

1) 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準について、https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/ （accessed on 2024.3.20）

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1) 金 勲、下ノ薗 慧、増田 貴則、三好 太郎、鍵 直樹、海塩 渉、中野 淳太、欅田 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，下ノ薗慧，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 CO_2 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.

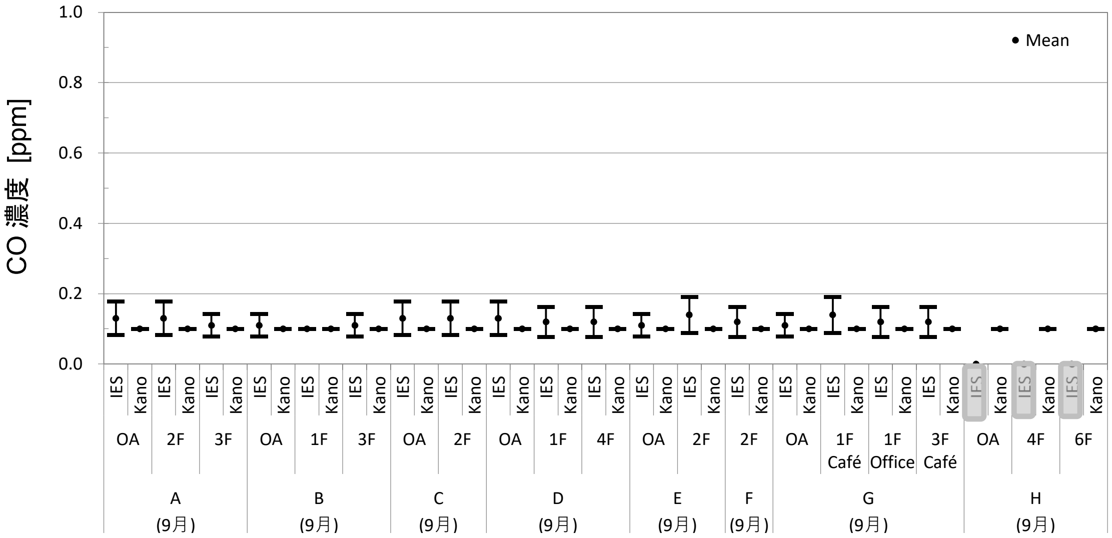
3) 海塩渉，鍵直樹，富田怜，金勲，下ノ薗慧，中野淳太．建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考（第２報）空気環境管理へのビルエネルギーマネジメントシステム活用手法の検討．令和 5 年度空気調和・衛生工学会；2023.9.6-8；福井．同学術講演論文集．E-47 p.189-192.

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



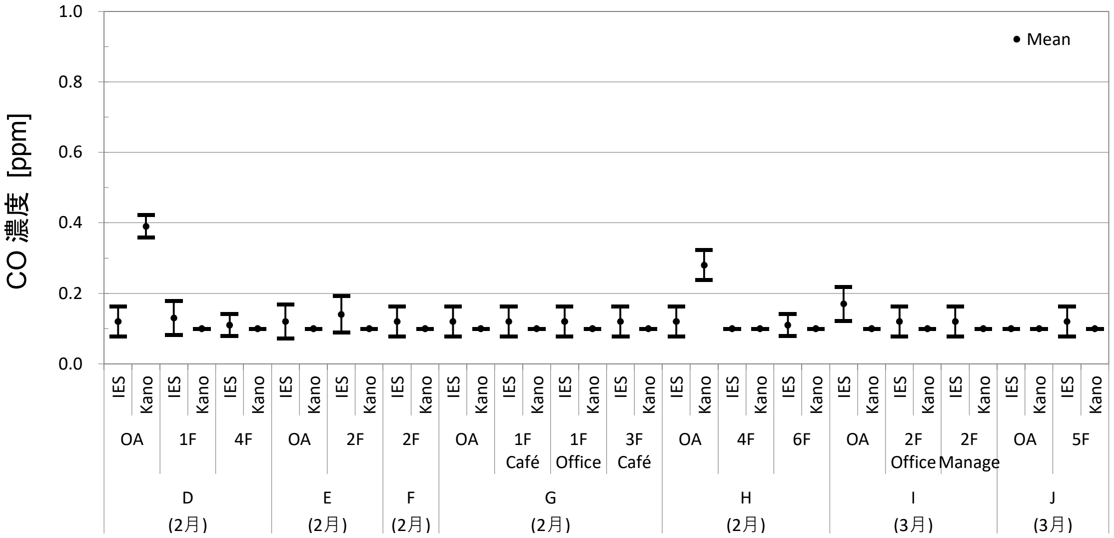
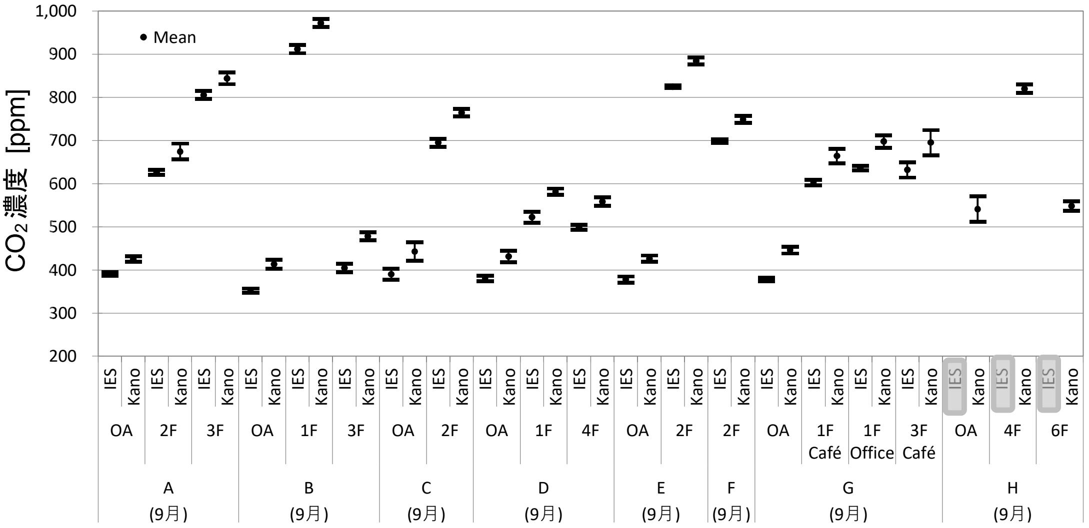


図 2-5-1　立入測定による CO 濃度測定結果
「IES：IES-5000（SIBATA 社）、Kano：Model 2100（Kanomax 社）」



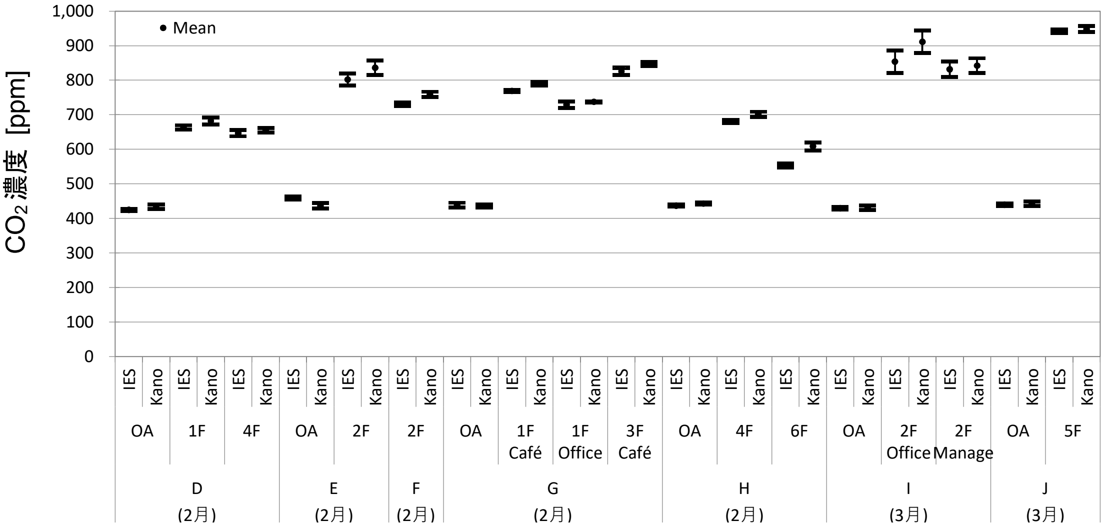


図 2-5-2　立入測定による CO_2 濃度測定結果

「IES：IES-5000（SIBATA 社）、Kano：Model 2100（Kanomax 社）」

表 2-5-1　立入測定による CO 及び CO_2 濃度測定結果の集計
「IES：IES-5000（SIBATA 社）、Kano：Model 2100（Kanomax 社）」

		Summer				Winter			
		IES		Kano		IES		Kano	
		IA	OA	IA	OA	IA	OA	IA	OA
CO [ppm}	Mean	0.12	0.12	0.10	0.10	0.12	0.13	0.10	0.18
	SD	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
CO2 [ppm}	Mean	655	378	710	447	752	438	777	437
	SD	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
浮遊粉じん [mg/m^3]	Mean	0.0034	0.0166	0.0020	0.0090	0.0118	0.0143	0.0050	0.0050
	SD	0.0043	0.0077	0.0023	0.0085	0.0195	0.0093	0.0098	0.0042
	Max	0.0120	0.0420	0.0160	0.1060	0.0740	0.0330	0.0360	0.0130
	Min	0.0000	0.0060	0.0000	0.0010	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000

2-6　エンドトキシン（細菌内毒素）

A. 研究目的

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

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

一方、換気指標の CO_2 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、空気中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に着目して室内濃度の実態を調べている。

B. 研究方法

B.1. 調査対象

調査対象は前項「2-1」の建物概要で説明しているが、夏期はオフィスビル 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。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 2-1-1、表 2-1-2 および表 2-2-2、表 2-2-3 に示している。

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撹拌した後、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 amebocyte 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。

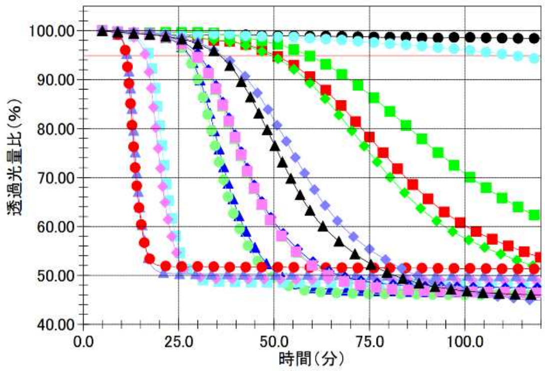


図 2-6-2　試料分析のタイムコース

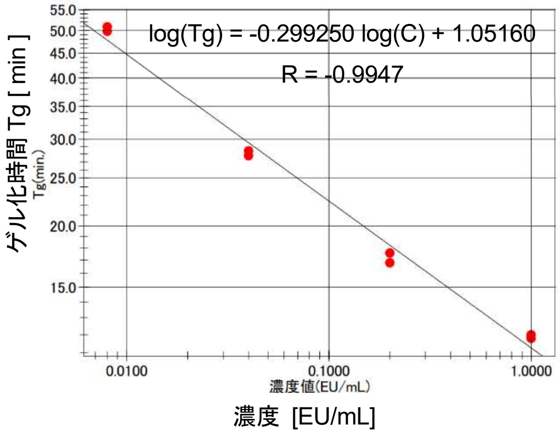


図 2-6-3　検量線例（4 点、5 倍稀釈）

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℃）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/m^3」: 空気単位容積当たり濃度、EU は Endotoxin Unit（ET 活性値）である。

C. 測定結果

図 2-6-4 に夏期及び冬期の空気中 ET 濃度の測定結果を示す。

外気濃度（OA）は半数程度が $1.0EU/m^3$ 以下であったが、残り半数程度は最大で 6 EU/m^3 超えが観察され、全体平均は夏期 $1.8±2.1EU/m^3$、冬期 $2.1±2.6EU/m^3$ とやや高くなっている。

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 $1.0EU/m^3$ 以下が多い[1),2)]。今回の測定でも、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。

室内濃度ではばらつきがあり、夏期に定量限界以下〜$6.5EU/m^3$ まで、冬期は定量限界以下〜$9.7EU/m^3$ まで幅広く分布していた。室内濃度平均は夏期 $2.0±1.9EU/m^3$、冬期 $2.8±2.4EU/m^3$ であった。特定建築物におけるオフィス室内濃度は $1.0EU/m^3$ 以下が多い[1)]と報告されているが、今回はそれよりやや高い室内が多い結果となった。夏期の D や冬期の H、I のように外気濃度が高い場合は外気由来による濃度上昇と考えられるが、冬期の D のように外気は低いが室内濃度が高い場合は室内の発生源（汚染源）が考えられる。

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。また、個別式の超音波加湿器を使用する場合は、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）は夏期 2.2±2.9、冬期 11.7±16.8 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い測定日があり相対的に IO 比が高く算定されたためである。

D. 結論

室内濃度平均は 2〜$3EU/m^3$、濃度分布は定量限界異界〜$10EU/m^3$ 程度まで幅広い。既往研究の室内濃度は 1.0 EU/m^3 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。

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。

一方、夏期より冬期の室内濃度平均がやや高く、IO 比は冬期が顕著に高くなっている。冬期は、室内で加湿器の使用や換気量の低下など ET 濃度を高める要素が存在することも想定されるが、IO 比が顕著高くなったのは冬期は外気濃度が低い物件が多数存在するため相対的に IO 比が高く算定されたためである。

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.

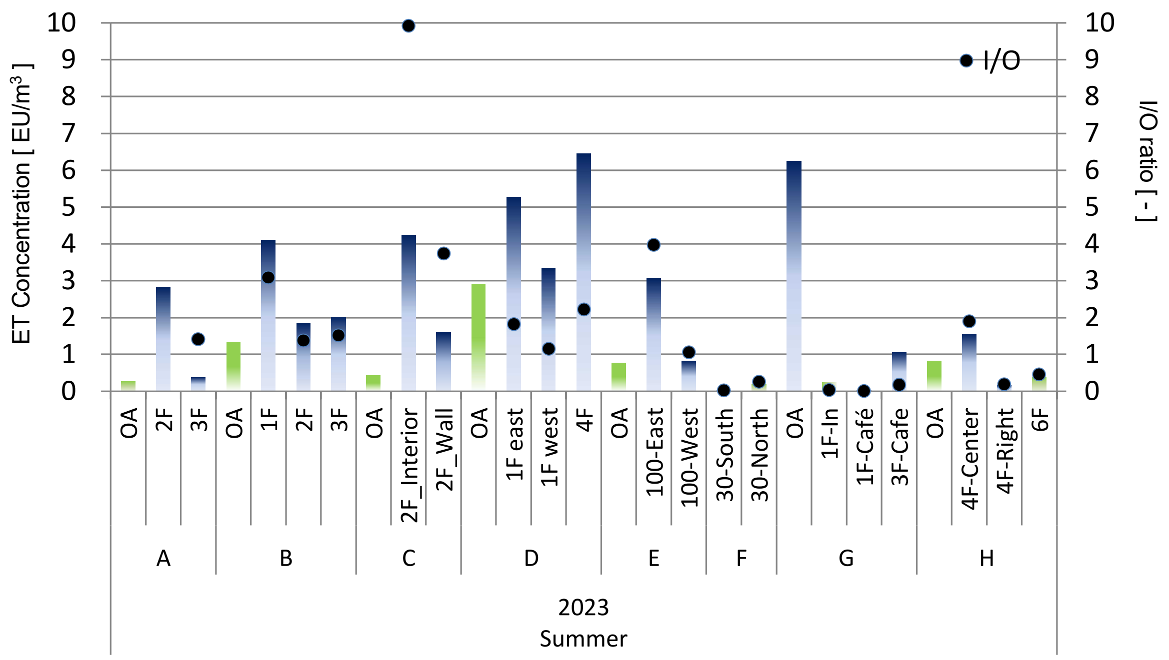
2) 金勲，柳宇，鍵直樹，東賢一，林基哉，大澤元毅，空気中エンドトキシン濃度と浮遊細菌濃度に関する基礎的研究，日本建築学会環境系論文集，Vol.83 No.749，2018.7； pp.581-588.

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



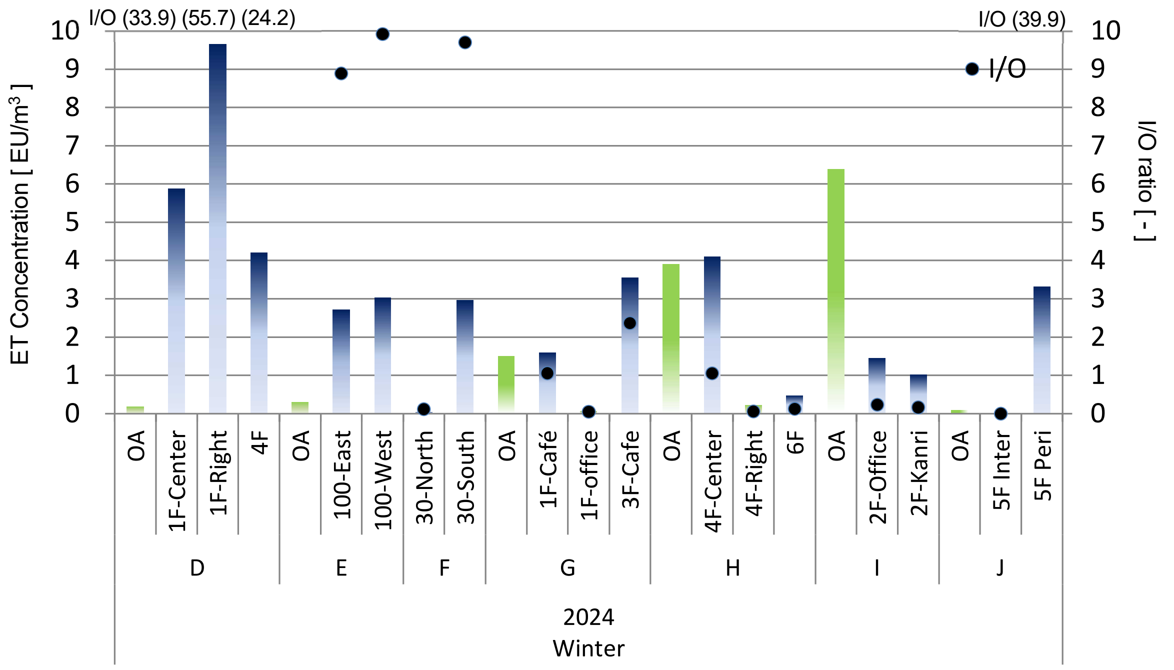


図 2-6-4　ET 濃度測定結果

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、千葉県における計 5 件の建物について、環境測定を行った。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。

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

・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：i の測定点）
・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：p の測定点）

各建物測定点を図 2-7-1～図 2-7-5 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し、高さ 1.1m にて上下左右前後の 6 方向について微小面放射温度を計測した。5 分間計測し、最後の 30 秒の平均を代表値とした。微小面放射温度は、微小平面に入射する放射束が実環境と同等になる均一な黒体閉空間の内表面温度である。逆となる 2 方向を測定することで、非対称放射温度による不均一環境の局所不快を評価できる。また、6 方向を測定し、重み付け平均

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		
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

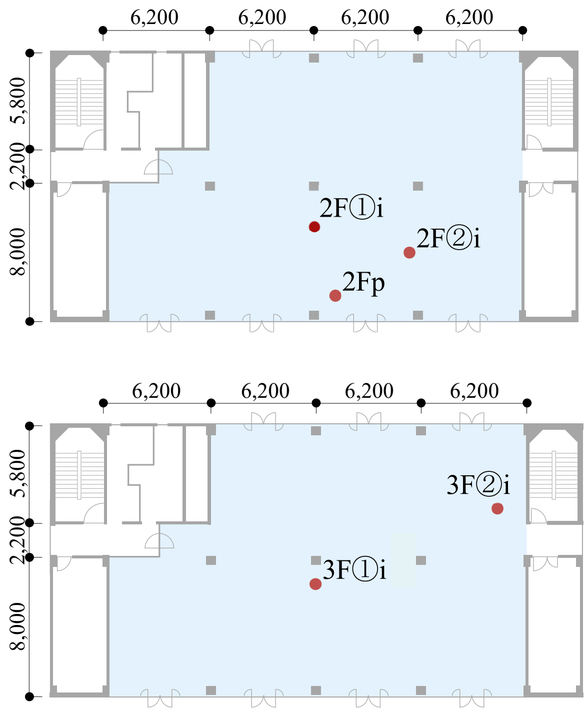


図 2-7-1　A ビル測定点（上:2 階、下:3 階）

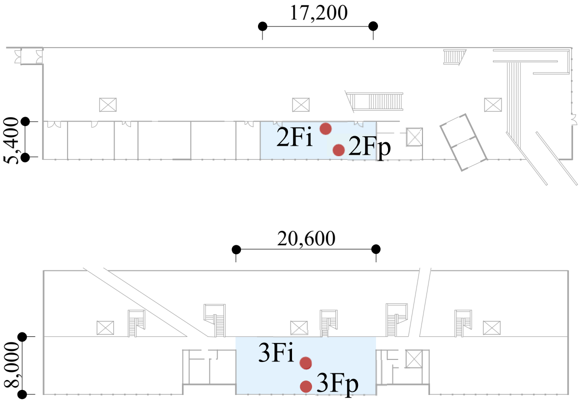


図 2-7-2　B ビル測定点（上:2 階、下:3 階）

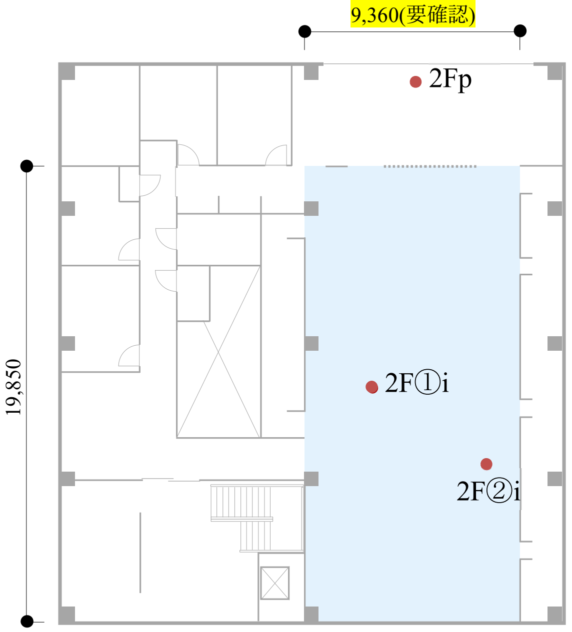


図 2-7-3　C ビル測定点（2 階）

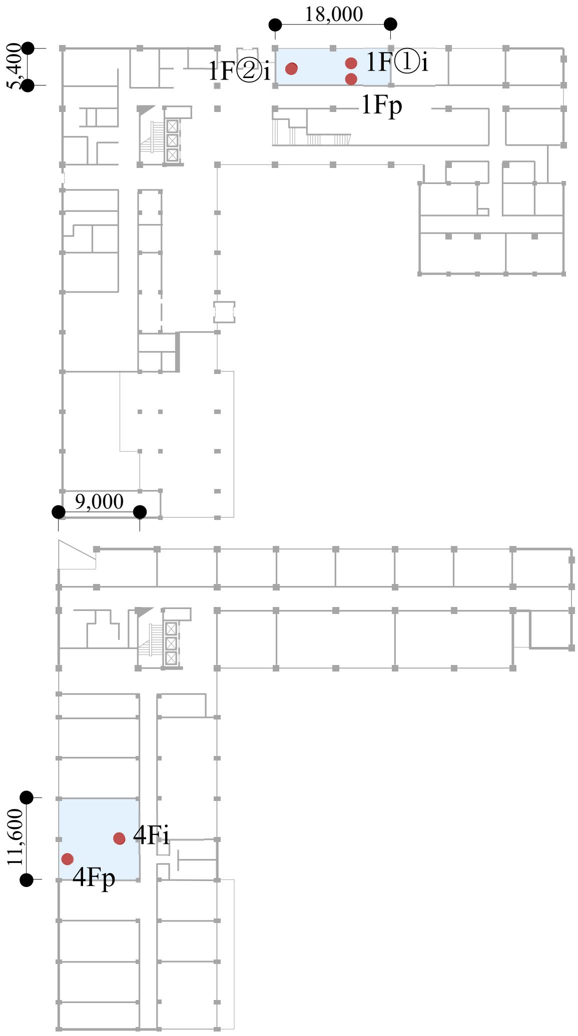


図 2-7-4　D ビル測定点（上:1 階、下:4 階）

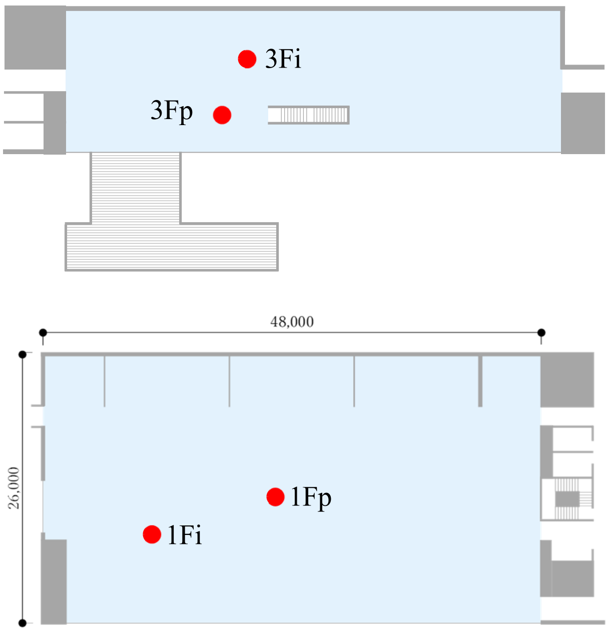


図 2-7-5　G ビル測定点（上:3 階、下:1 階）

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。

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

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。

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	2023/2/17
	3F	3	2023/8/31
B	1F	2	2023/8/23
	3F	2	
C	2F	3	2023/8/24
D	1F	3	2023/8/31
	4F	2	2024/2/22
G	1F	2	2024/2/29
	3F	2	

C. 研究結果

C.1.　文献調査

2020 年版と 2023 年版の変更点は 7.3 における「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。

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

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

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。

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

IoT センサを用いることでセンサの設置の自由度が高まり、それらの連続的なデータ収集も簡便に行えるようになる。一方で、多くのデータを分析し、その結果を判断するための目安も必要となる。先行する基準を参考に、実際の測定データを分析することで IoT を活用した建築物衛生管理手法の課題を整理していく。

C.2.　A ビルの測定結果

図 2-7-6 に高さ 1.1m における空気温度を示す。調査時の外気温は 32℃を超えていたが、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、最大の差は 2Fp と 3Fi ①で 1℃であった。

図 2-7-7 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。衛生管理基準の 40%付近の値が多く、全測定点の平均値は 43.1%であった。

図 2-7-8 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 0.10 m/s を下回ってお

り、問題は見られなかった。

図2-7-9に6面微小面放射温度の結果を示す。他の方向と比較して上方向が高く、下方向が低い傾向が見られ、特に 3F でその傾向が顕著であった。床吹き出し方式のために床付近が冷え、天井付近の空気温度が高かったためと考えられる。

図 2-7-10 に空気温度の上下温度差を示す。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、3Fp と 3F②i で ASHRAE55 基準の推奨値である 3℃に達していた。

図 2-7-11 に相対湿度の垂直分布を示す。いずれの測定点のどの高さでも差は見られなかった。

C.3.　B ビルの測定結果

図 2-7-12 に高さ 1.1m における空気温度を示す。夏季は上限の 28℃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℃に達していた。

図 2-7-13 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。夏季は全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-14 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 2-7-15 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。ペリメータの窓面に当たる前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 2-7-16 に空気温度の上下温度差を示す。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 2-7-17 に相対湿度の垂直分布を示す。空気温度の低かった 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.4.　C ビルの測定結果

図 2-7-18 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 2-7-19 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概ね管理基準値を満たしていた。

図 2-7-20 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 2-7-21 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。ほぼ均一であったが、床染み出し空調のため、床面が冷え、下方向が低くなる傾向が見られた。

図 2-7-22 に空気温度の上下温度差を示す。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℃低かった。

図 2-7-23 に相対湿度の垂直分布を示す。空気温度の低い高さ 0.1m は若干高めであったものの、高さ方向の差は 5%未満であった。

C.5.　D ビル 1F の測定結果

図 2-7-24 に高さ 1.1m における空気温度を示す。調査時における夏季外気温は 33℃を超え、冬季外気温は 6℃を下回っていたいが、すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-25 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 2-7-26 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 2-7-27 に夏季の、図 2-7-28 に冬季の 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 2.4℃であった。夏季は 6 方向でほぼ均一であった。

図 2-7-29 に空気温度の上下温度差を示す。冬季は 1F の測定点で高さ 0.1m と 1.7m の上下温度差が 2.5℃を越えていた。最大の温度差は 1F ペリメータの 3.3℃であった。断熱性の低い建物で天井から暖房給気を行い、室内空気の十分な撹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撹拌する等の対策が望まれる。夏季は高さ方向の温度差は見られなかった。

図 2-7-30 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 7%の差が見られたが、他の測定点では 5%程度であった

C.6.　D ビル 4F の測定結果

図 2-7-31 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 2-7-32 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの季節も全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-33 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 2-7-34 に夏季の、図 2-7-35 に冬季の 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、冬季のペリメータで最大 2.4℃の差が見られた。夏季は 2℃弱であった。

図 2-7-36 に空気温度の上下温度差を示す。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℃を下回っていた。

図 2-7-37 に相対湿度の上下湿度差を示す。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.7. G ビルの測定結果

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 2-7-40 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 2-7-41 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 2-7-42 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 2-7-43 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。

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、千葉県における計 5 件の建物について、環境測定を行った。空気温度、湿度、気流速度について、概ね全ての測定点で衛生管理基準を満たしていた。しかし、調査時に記録的な猛暑となった北海道の建物では、階によって空気温度が 31℃を超える場合もあった。今後、いわゆる寒冷地でも夏季の外気温上昇が見込まれ、熱負荷が冷房能力の想定を超えることも考えられる。対策に向けた注意喚起が望まれる。

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。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。

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。居室の代表点における高さ 1 点の測定のみでは、問題点の特定が困難である。

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

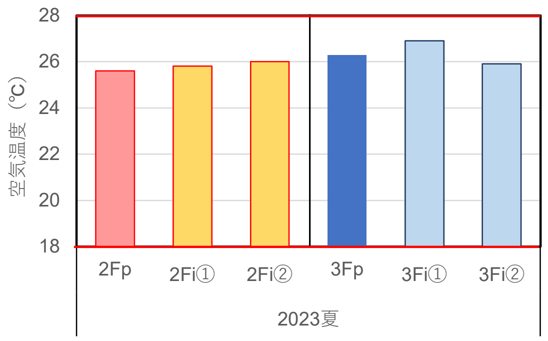


図 2-7-6　A ビル空気温度（高さ 1.1m）

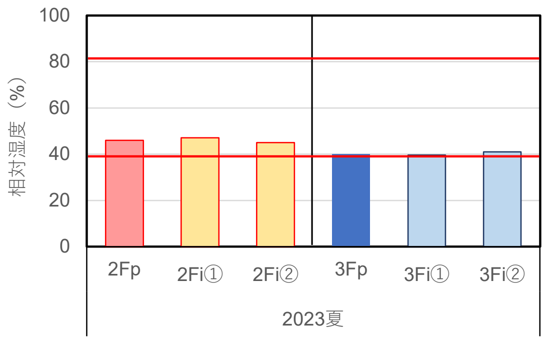


図 2-7-7　A ビル相対湿度（高さ 1.1m）

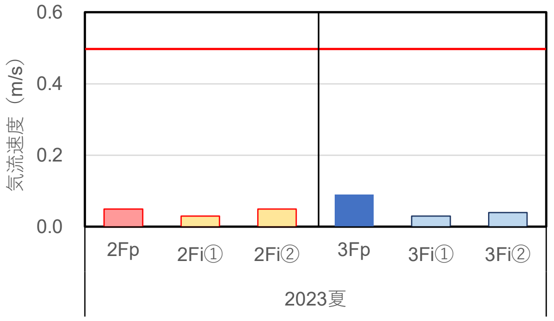


図 2-7-8　A ビル気流速度（高さ 1.1m）

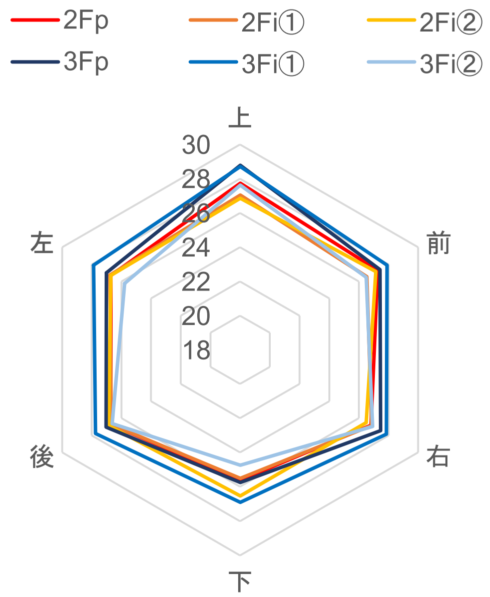


図 2-7-9　A ビル微小面放射温度（夏季）

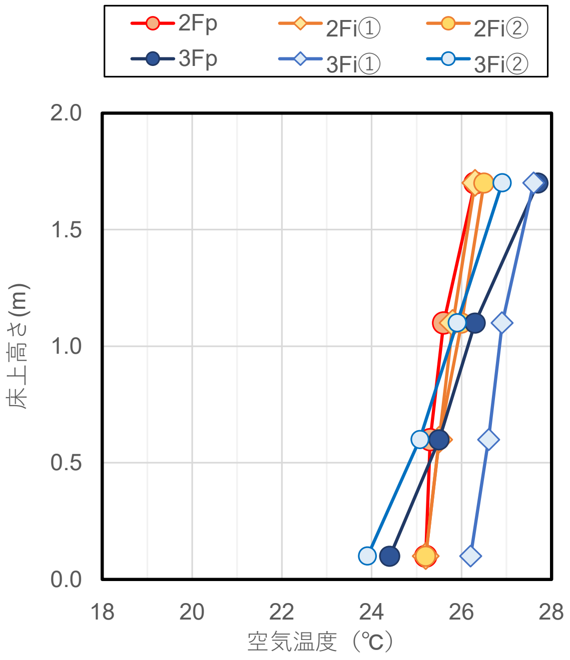


図 2-7-10　A ビル　上下温度差

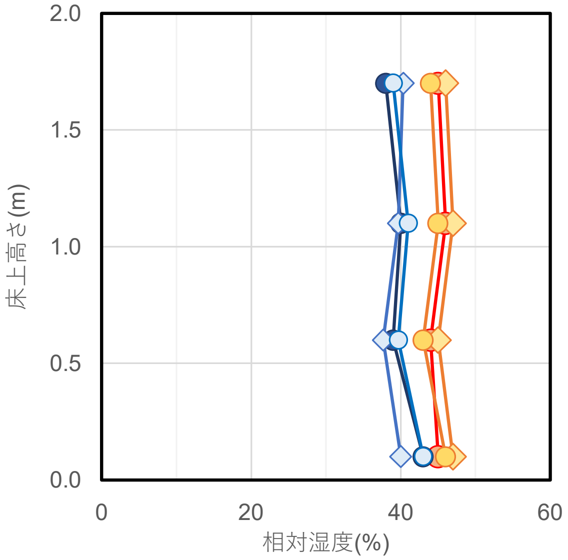


図 2-7-11　A ビル　上下温度差

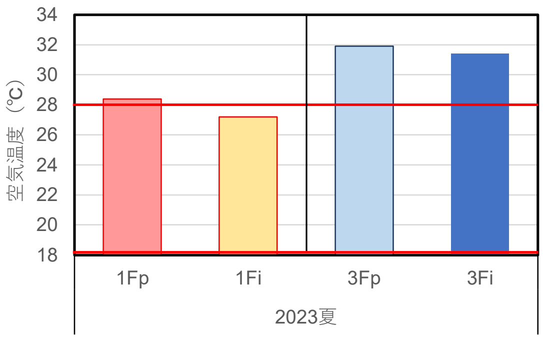


図 2-7-12　B ビル空気温度（高さ 1.1m）

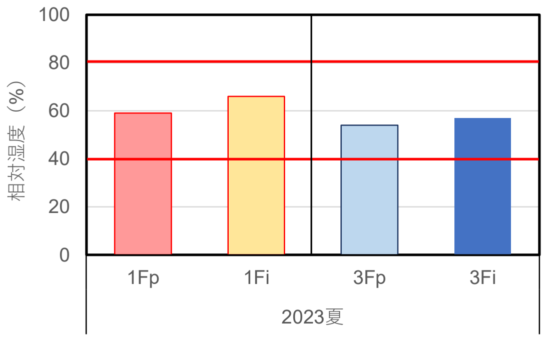


図 2-7-13　B ビル相対湿度（高さ 1.1m）

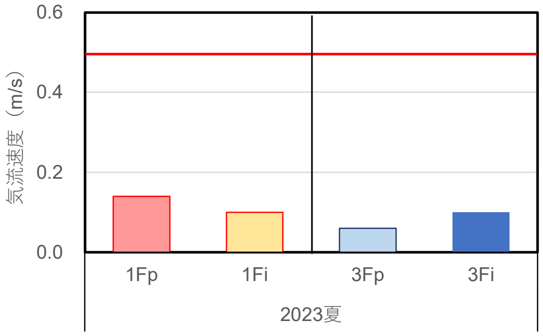


図 2-7-14　B ビル気流速度（高さ 1.1m）

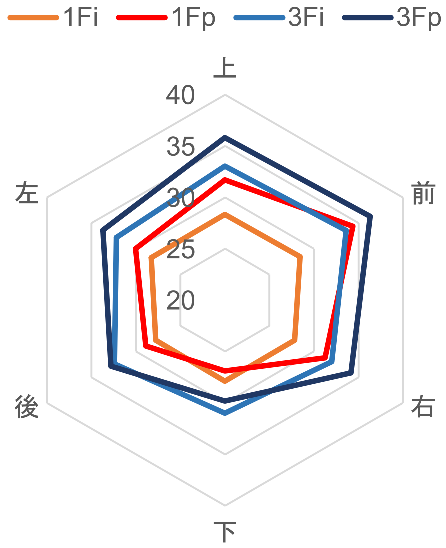


図 2-7-15　B ビル微小面放射温度（夏季）

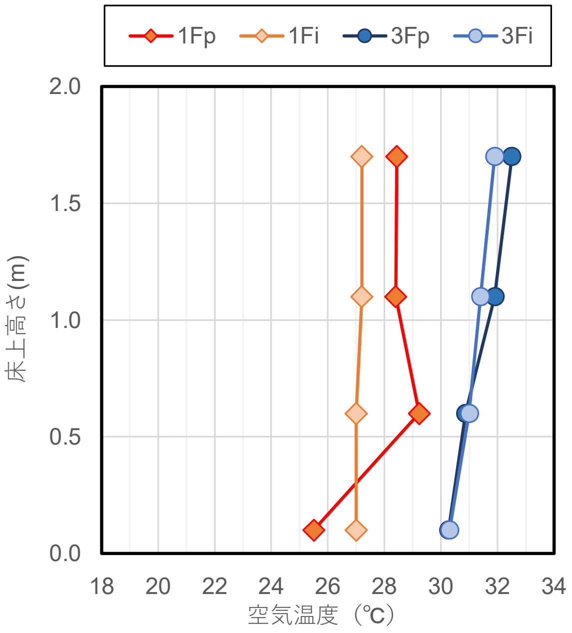


図 2-7-16　B ビル上下温度差

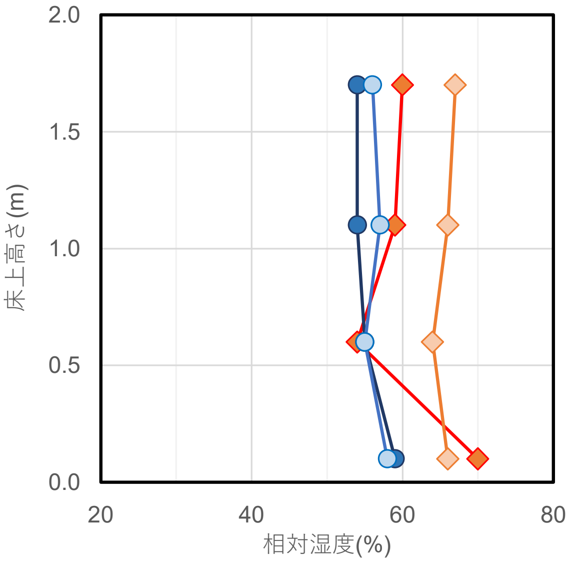


図 2-7-17　B ビル上下温度差

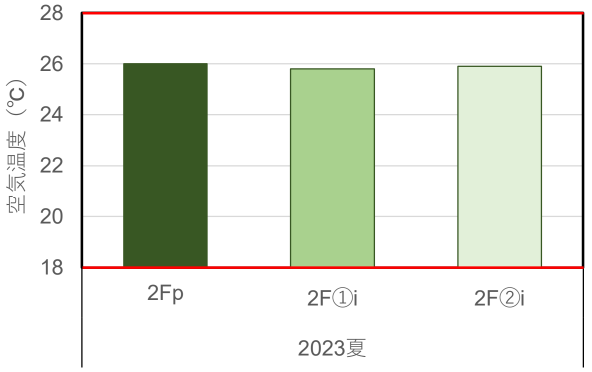


図 2-7-18　C ビル空気温度（高さ 1.1m）

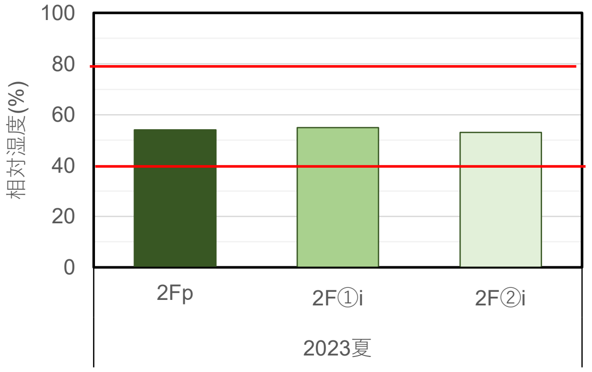


図 2-7-19　C ビル相対湿度（高さ 1.1m）

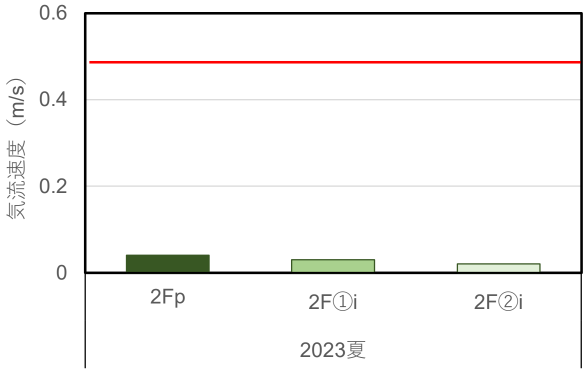


図 2-7-20　C ビル気流速度（高さ 1.1m）

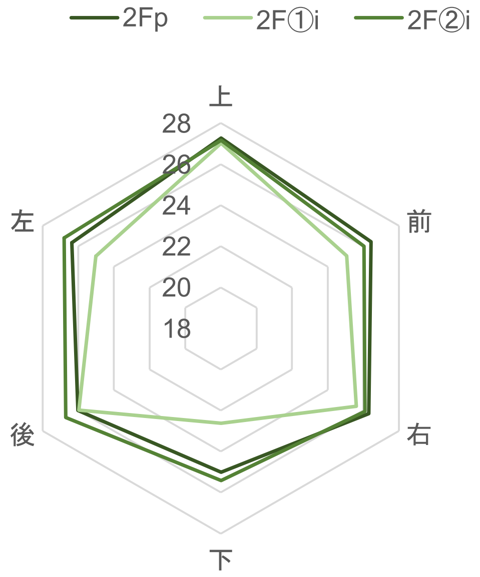


図 2-7-21　C ビル微小面放射温度（夏季）

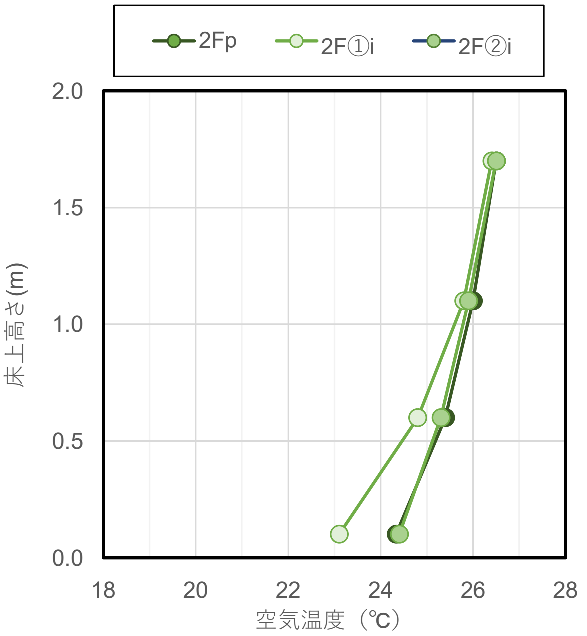


図 2-7-22　C ビル上下温度差

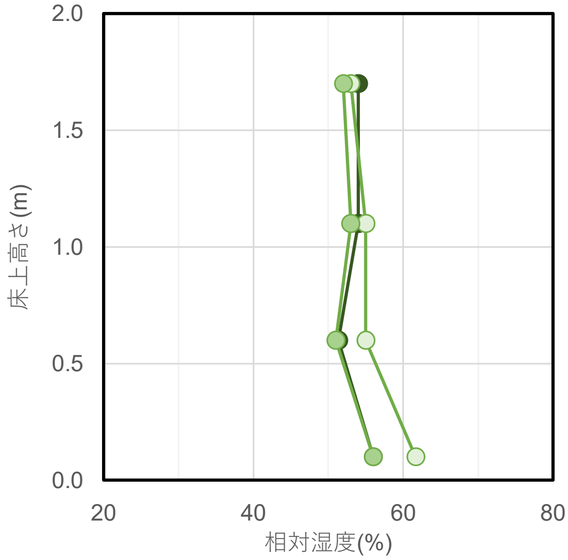


図 2-7-23　C ビル上下湿度差

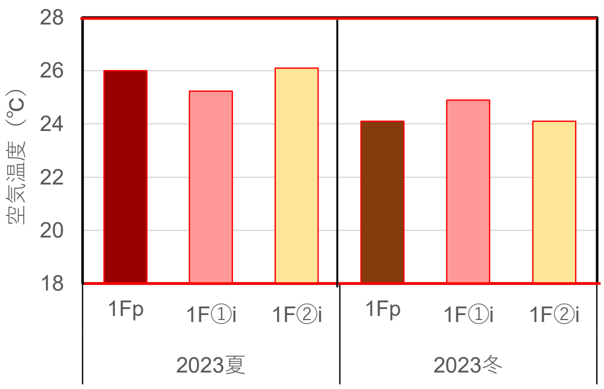


図 2-7-24　D ビル 1F 空気温度（高さ 1.1m）

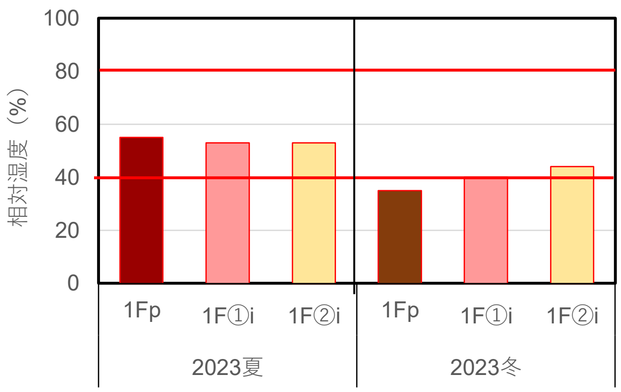


図 2-7-25　D ビル 1F 相対湿度（高さ 1.1m）

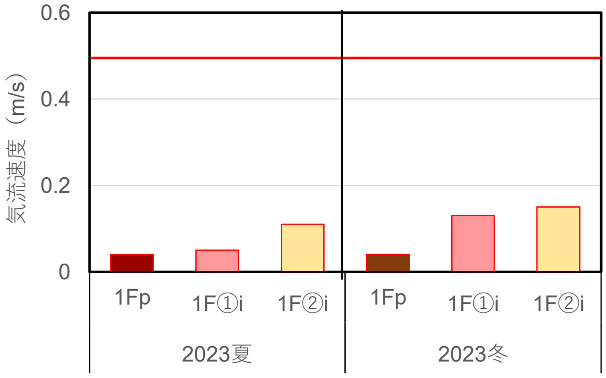


図 2-7-26　D ビル 1F 気流速度（高さ 1.1m）

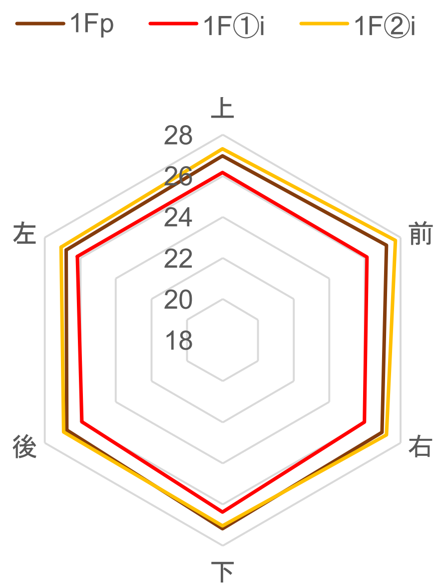


図 2-7-27　D ビ 1F ル微小面放射温度（夏季）

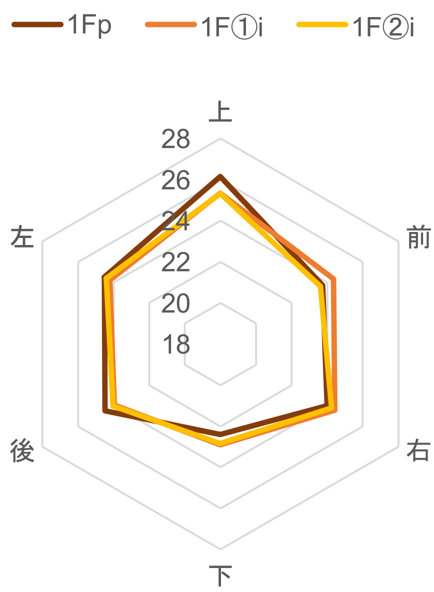


図 2-7-28　D ビル 1F 微小面放射温度(冬季)

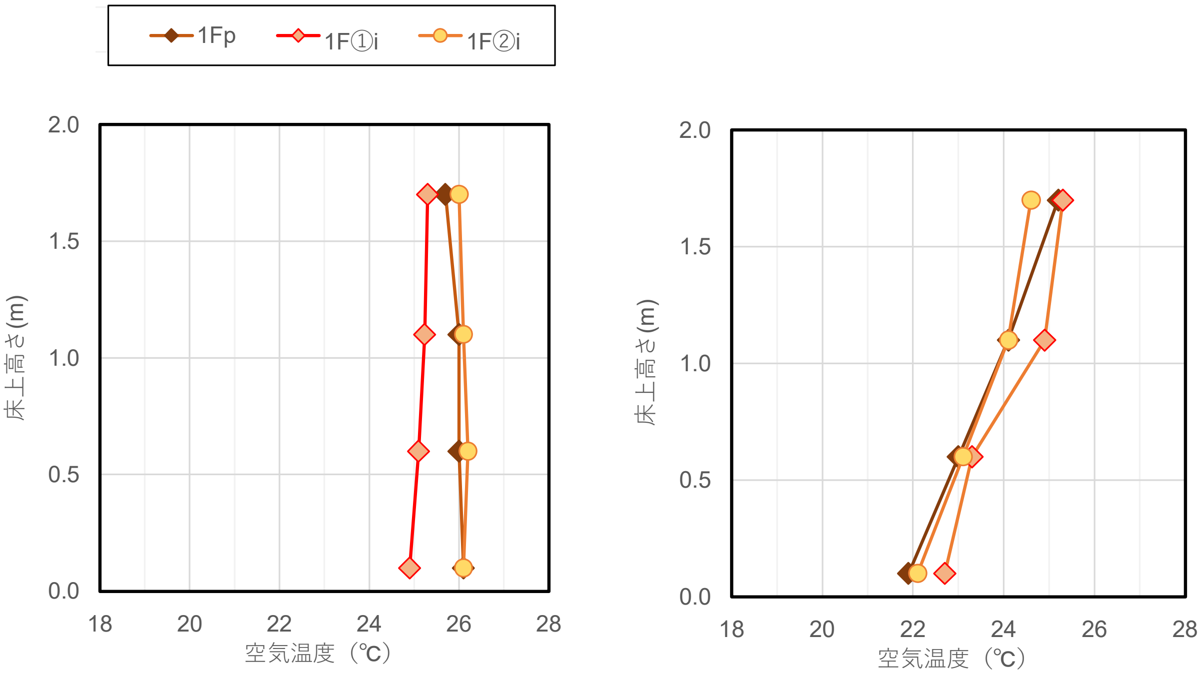


図 2-7-29　D ビル 1F 上下温度差（左：夏季、右：冬季）

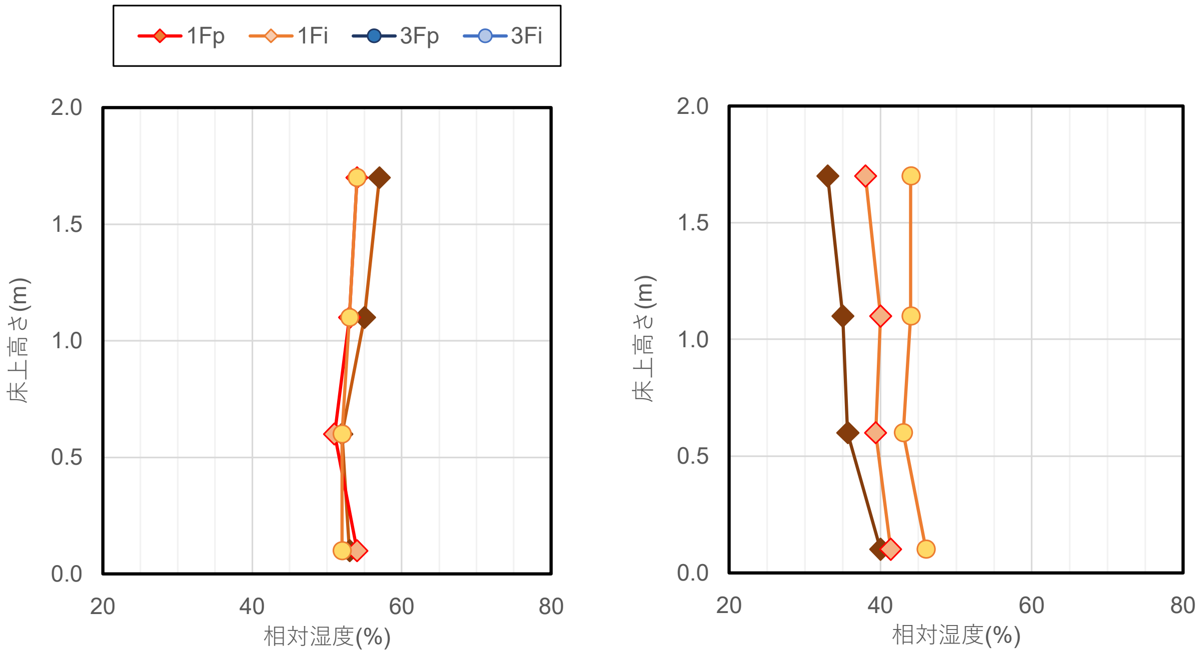


図 2-7-30　D ビル 1F 上下湿度差（左：夏季、右：冬季）

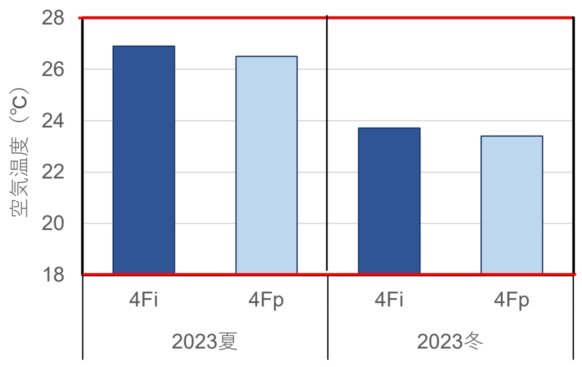


図 2-7-31　D ビル 4F 空気温度（高さ 1.1m）

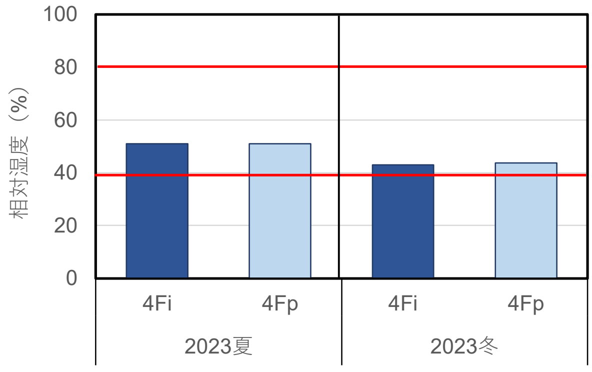


図 2-7-32　D ビル 4F 相対湿度（高さ 1.1m）

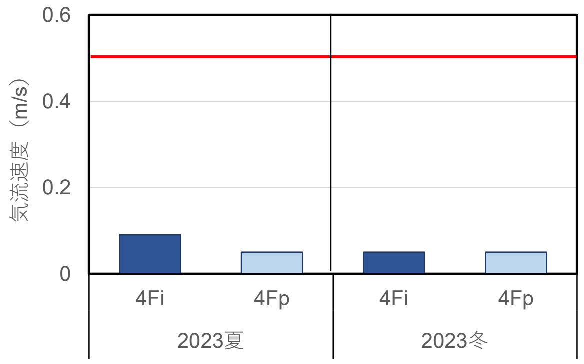


図 2-7-33　D ビル 4F 気流速度（高さ 1.1m）

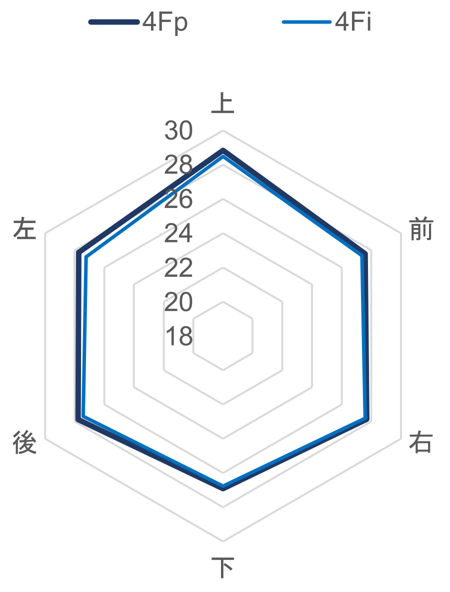


図 2-7-34　D ビル 4F 微小面放射温度（夏季）

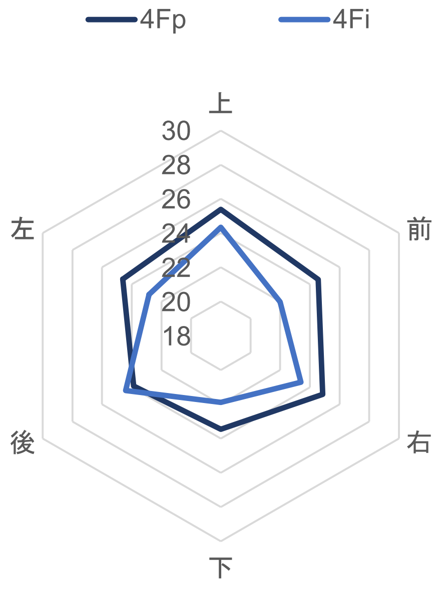


図 2-7-35　D ビル 4F 微小面放射温度（夏季）

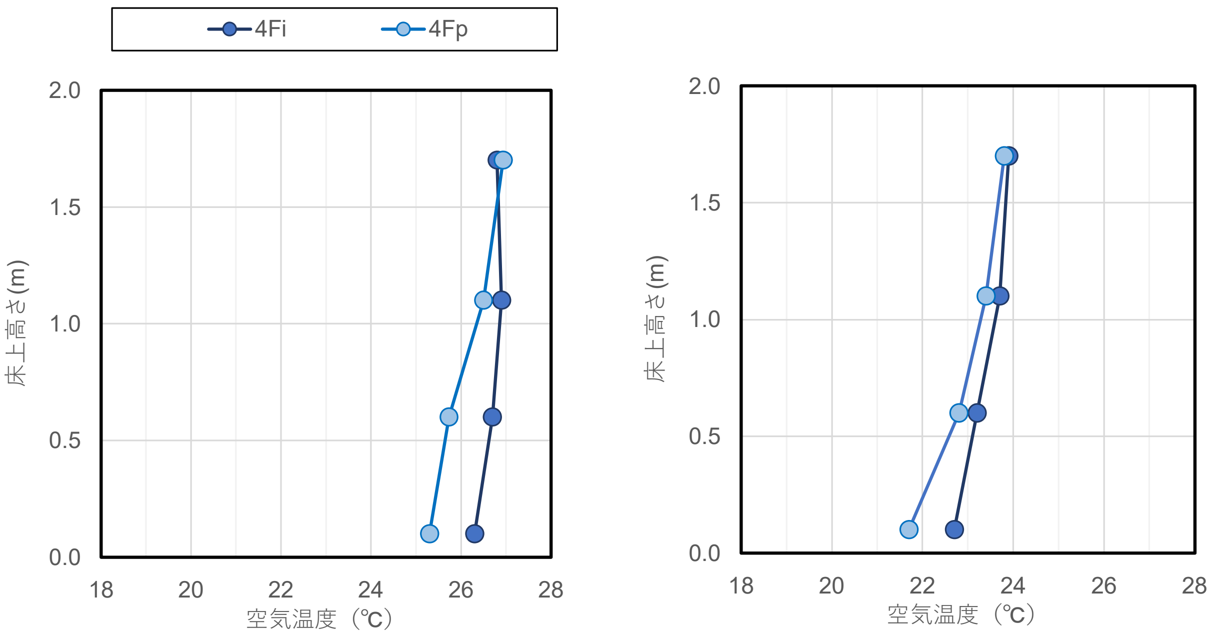


図 2-7-36　D ビル 4F 上下温度差（左：夏季、右：冬季）

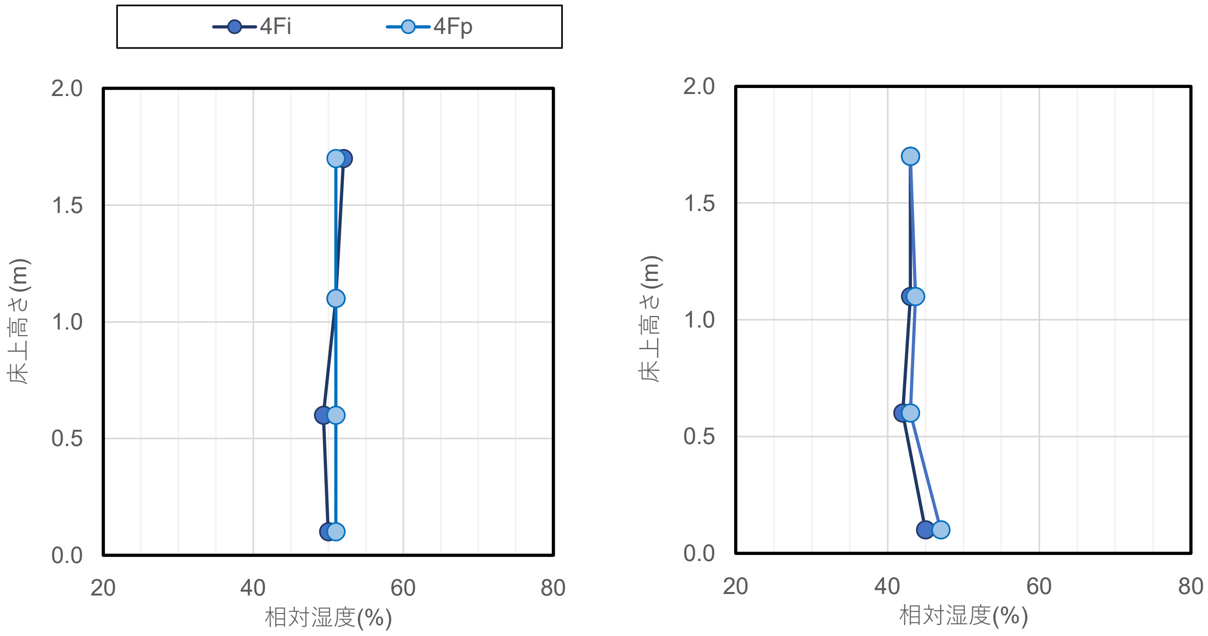


図 2-7-37　D ビル 4F 上下湿度差（左：夏季、右：冬季）

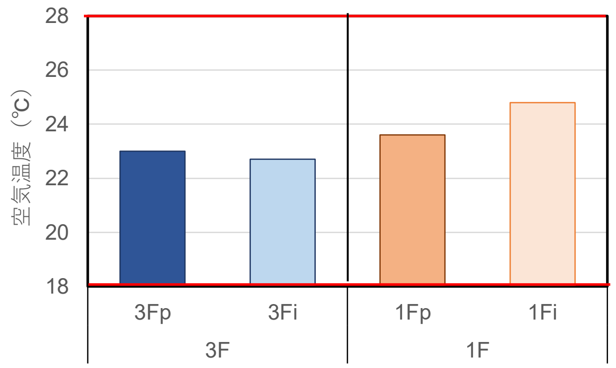


図 2-7-38　G ビル空気温度（高さ 1.1m）

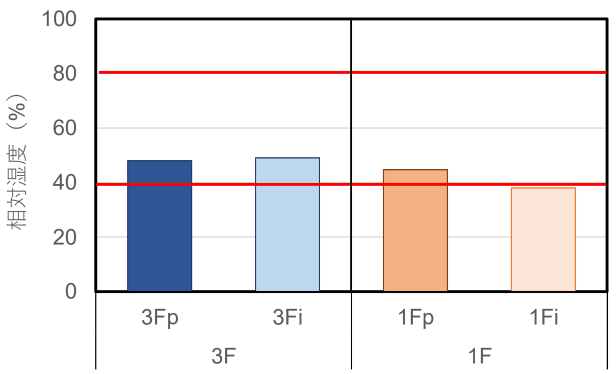


図 2-7-39　G ビル相対湿度（高さ 1.1m）

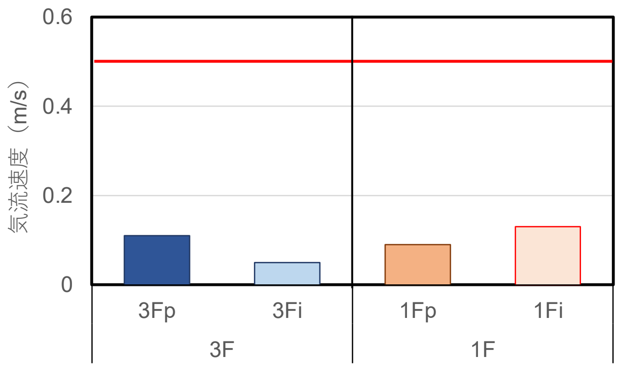


図 2-7-40　G ビル気流速度（高さ 1.1m）

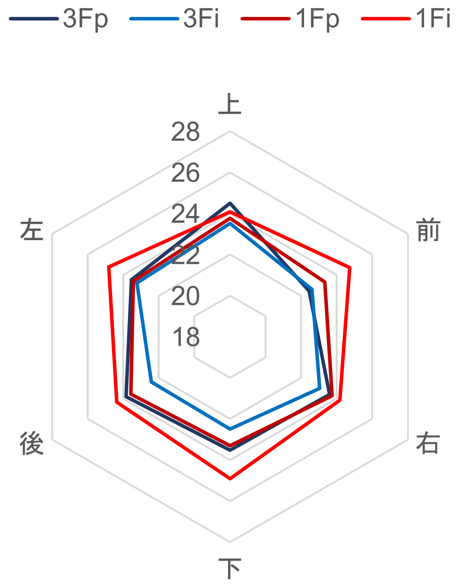


図 2-7-41　G ビル微小面放射温度（冬季）

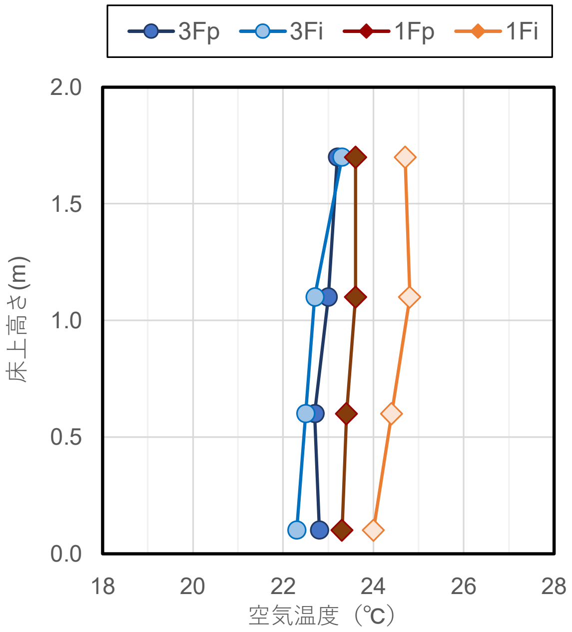


図 2-7-42　G ビル上下温度差

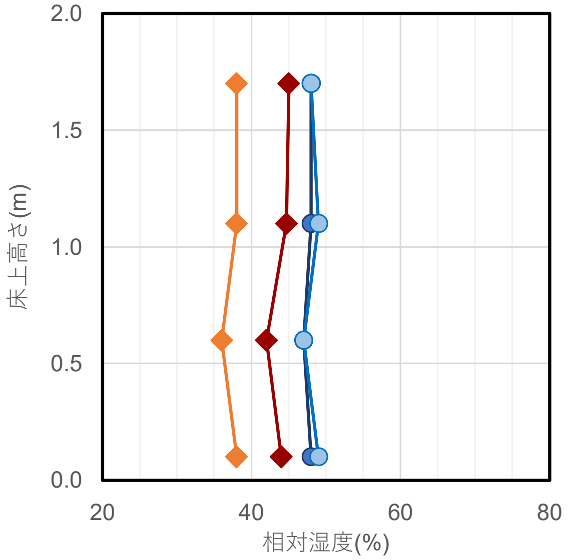


図 2-7-43　G ビル上下湿度差

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）の温熱環境の関する基準であり、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℃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℃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　下ノ薗　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　上席主任研究官

研究要旨

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）の室内環境を評価した。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。CO_2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CO_2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に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、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。

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CO_2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2.5 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、2.5 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。

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、CO_2 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、CO_2 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 CO_2 濃度、温度、相対湿度が測定可能である。CO_2 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℃、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、CO_2 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・CO_2 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℃	-10 – 100℃	
	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℃	± 0.5℃	± 0.4℃
	相対湿度	± 5%RH (at 25℃50%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

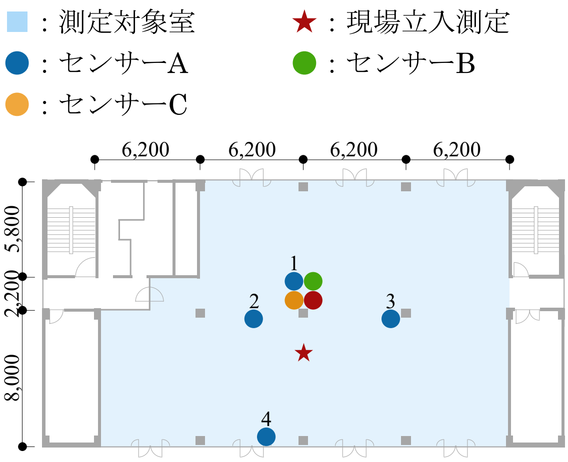


図 3-1-1　A ビル 2 階平面概要図

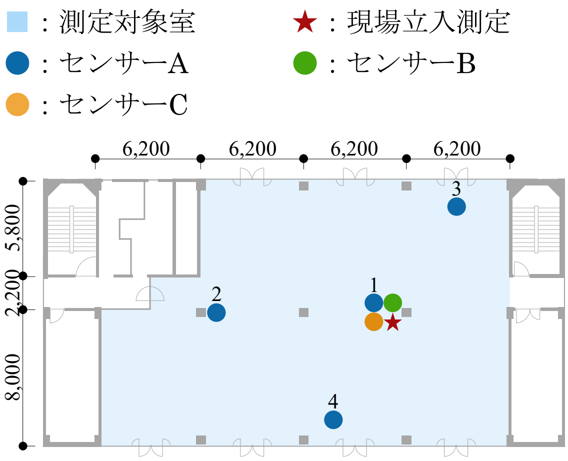


図 3-1-2　A ビル 3 階平面概要図

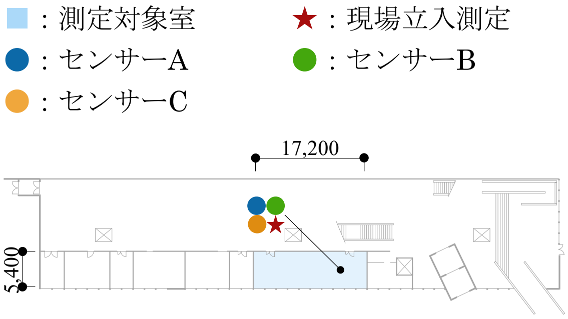


図 3-1-3　B ビル 1 階平面概要図

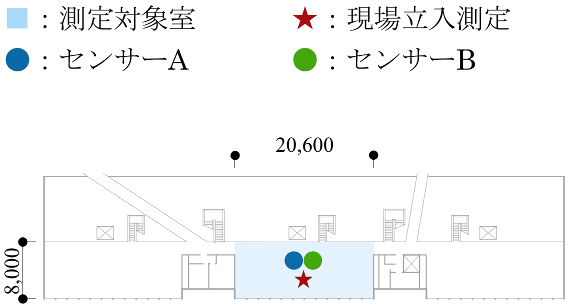


図 3-1-4　B ビル 3 階平面概要図

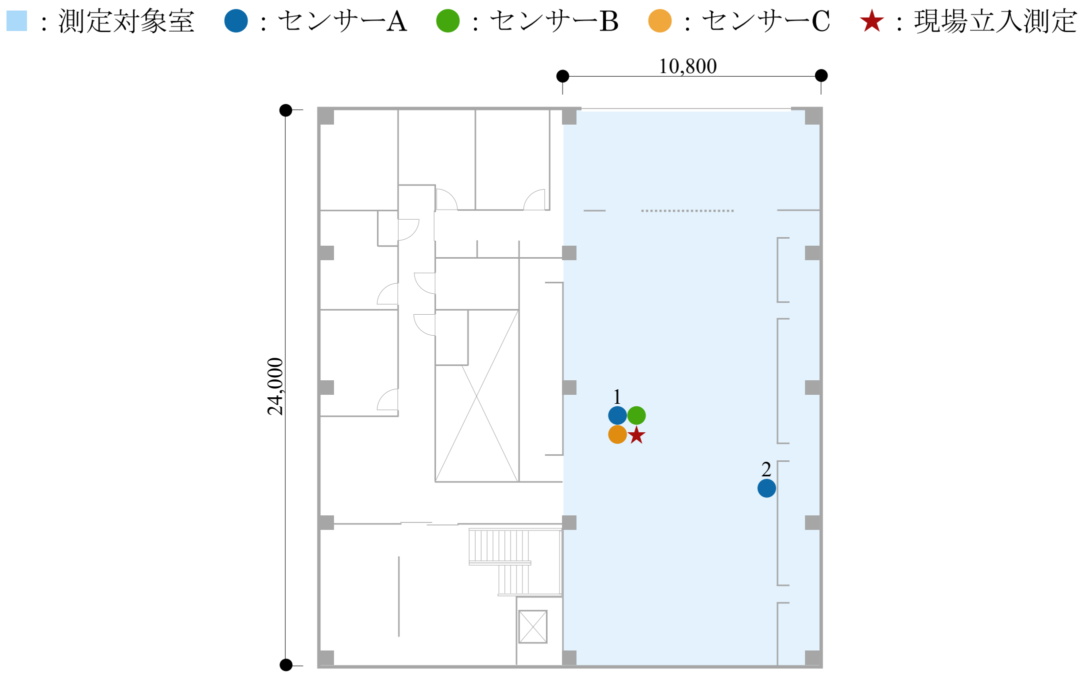


図 3-1-5　C ビル 2 階平面概要図

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

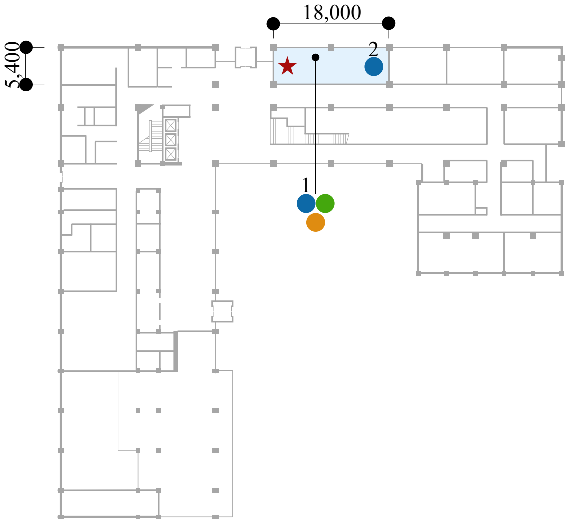


図 3-1-6　D ビル 1 階平面概要図

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

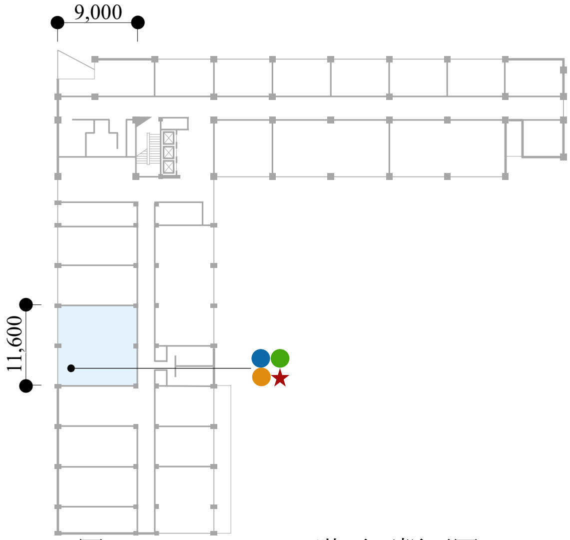


図 3-1-7　D ビル 4 階平面概要図

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

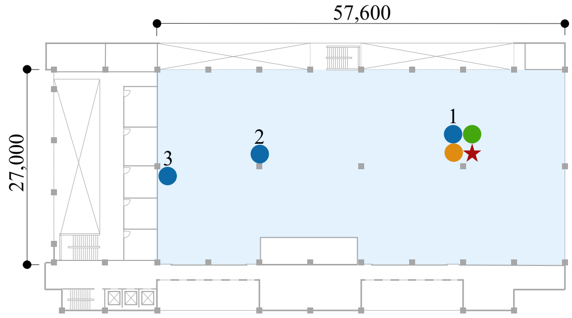


図 3-1-8　E ビル 2 階平面概要図

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

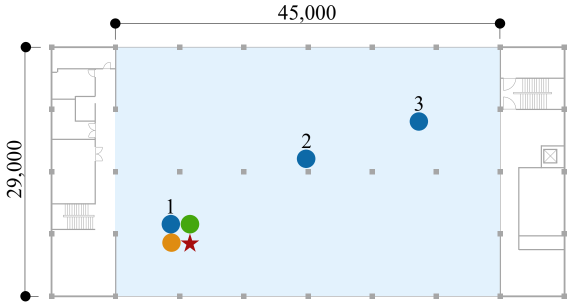


図 3-1-9　F ビル 2 階平面概要図

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

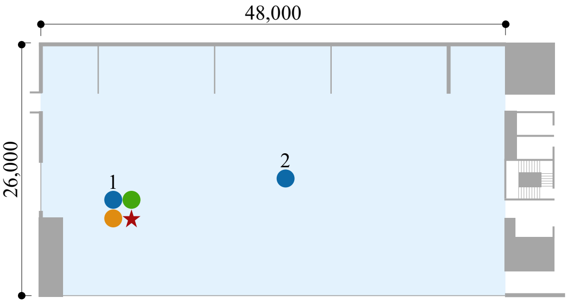


図 3-1-10　G ビル 1 階平面概要図

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

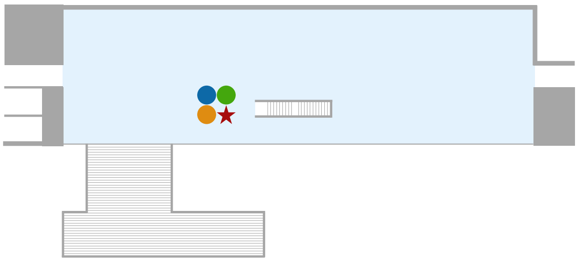


図 3-1-11　G ビル 3 階平面概要図

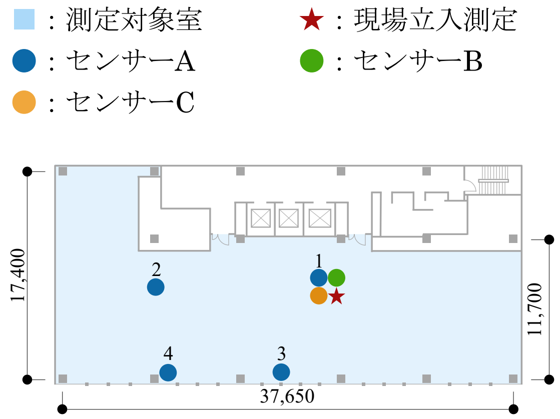


図 3-1-12　H ビル 3 階平面概要図

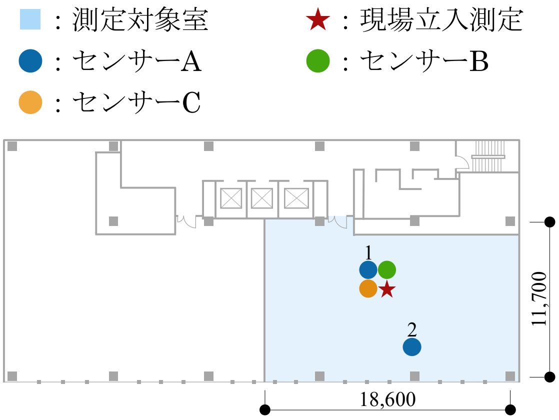


図 3-1-13　H ビル 3 階平面概要図

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、CO_2 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、CO_2 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・CO_2 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・CO_2 濃度のヒストグラム、時別集計値、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。

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。CO_2 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、CO_2 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、CO_2 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。相対湿度は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。CO_2 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、CO_2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・時別集計値・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に 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

24～28ºC となる時間率が多く、CO_2 濃度は 1000ppm を超過する時間帯は無かった。時別集計値によると、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 CO_2 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 28ºC 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 28ºC 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。基準値内時間率は温度が各月とも約 70%であった。

(4)B ビル 3 階

温度が 30ºC 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 CO_2 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 24～26ºC、50～60%RH、800ppm 以下である時間率が高く、時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 24～26ºC、60～70%RH、800ppm 以下である時間率が高く、時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 24～26ºC、60～70%RH、800ppm 以下である時間率が高い。時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、CO_2 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 32ºC 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。時別集計値によると、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、午後に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 時のみ集計し、室内環境ヒストグラム・時別集計値・空気線図・基準値内時間率を示す。各建物の特徴の記述は割愛するが、多くの建築物において相対湿度の基準値内時間率が低くなっており、北海道に所在する B ビルではいずれの月も 0%であった。また、早朝の暖房立ち上がり時刻による影響により、午前 9 時時点の空気温度が低くなっていることから、時別集計値を描画することで運用改善にも資することが可能と考えられる。

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。相対湿度はセンサーC が経年的に測定値が上昇している傾向があった。CO_2 濃度は自動校正機能が搭載されいているセンサー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。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

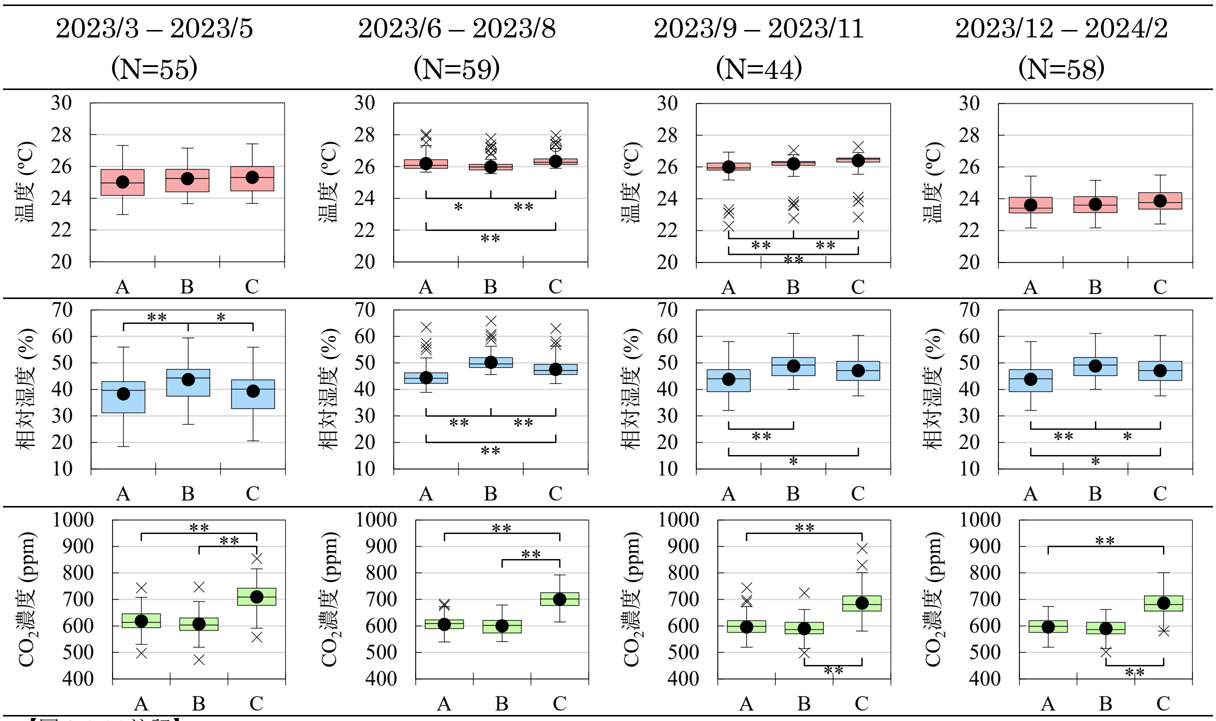
なし

3. 著書

なし

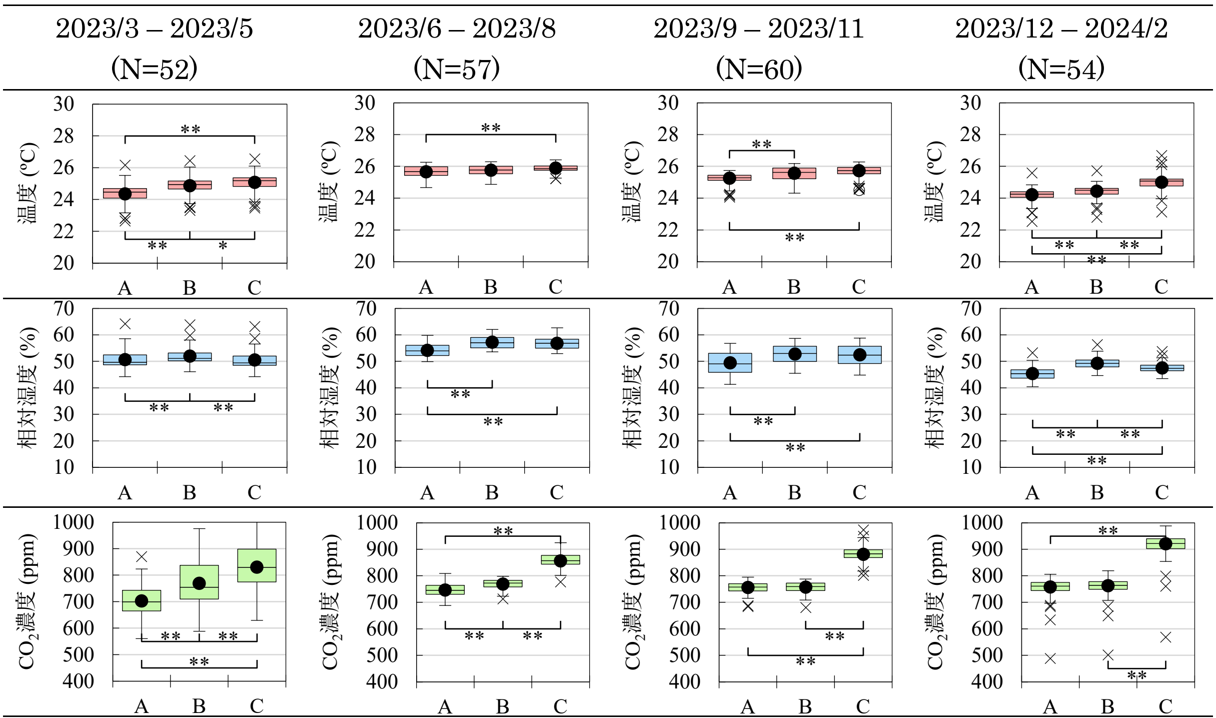
G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし



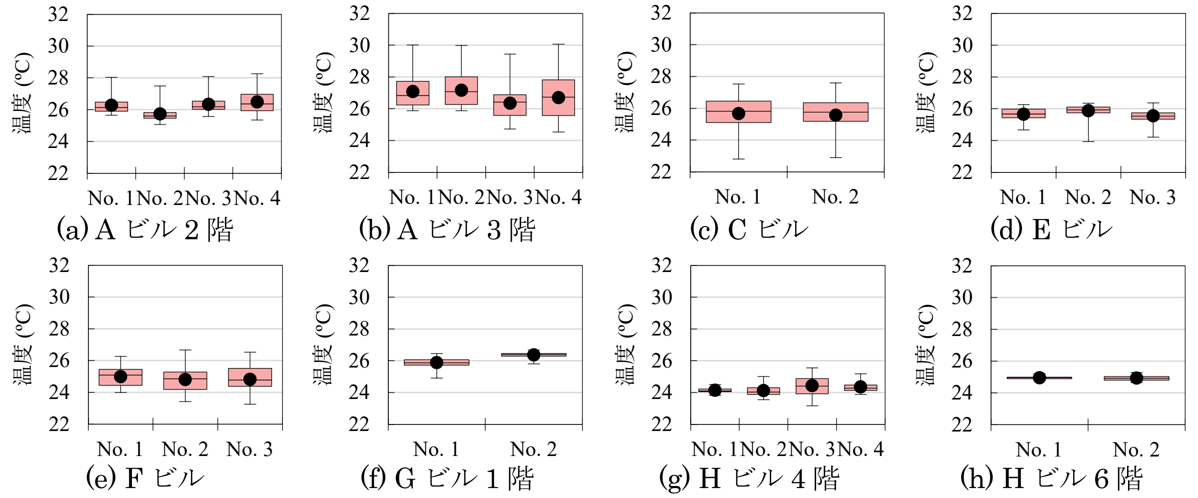
【図 3-1-14 注記】
1)箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●プロットは平均値、×プロットは外れ値を示している。
2)多重比較検定には外れ値を除外して Steel–Dwass 検定を用いた。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

図 3-1-14　3 種の小型測定器の比較（A ビル 2 階）



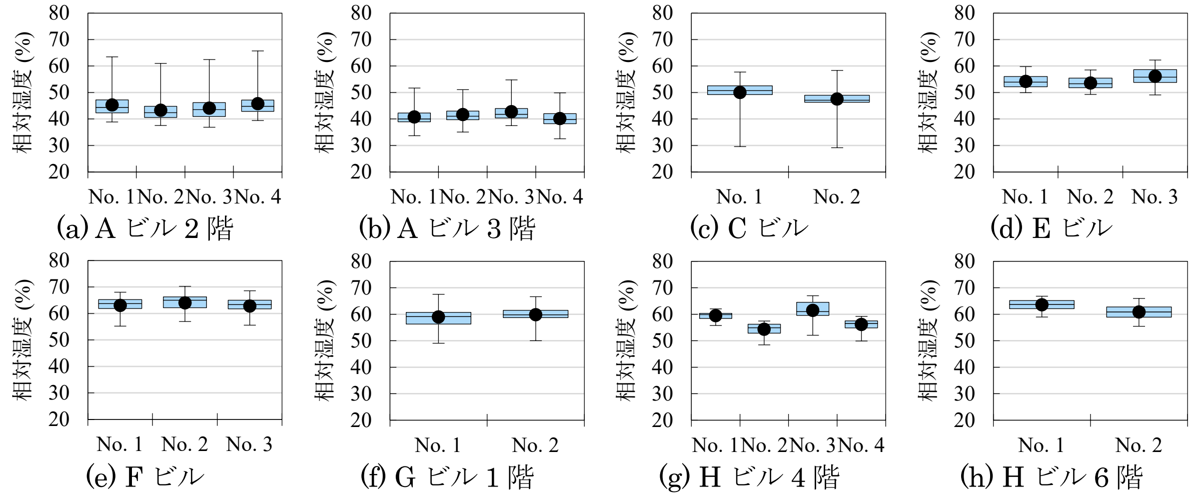
【図 3-1-15 注記】
1)箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●プロットは平均値、×プロットは外れ値を示している。
2)多重比較検定には外れ値を除外して Steel–Dwass 検定を用いた。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

図 3-1-15　3 種の小型測定器の比較（E ビル 2 階）



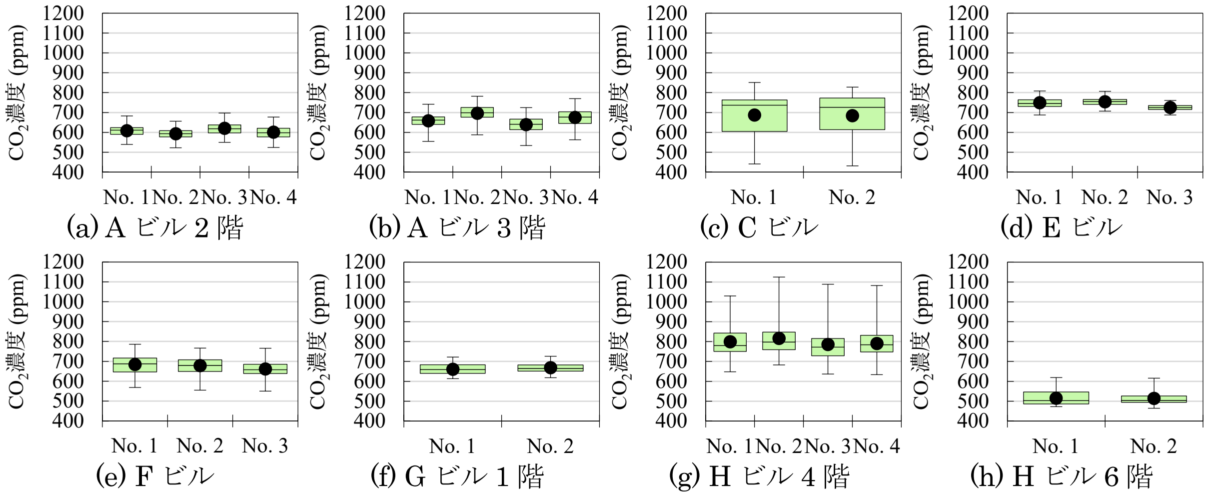
【図 3-1-16 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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）



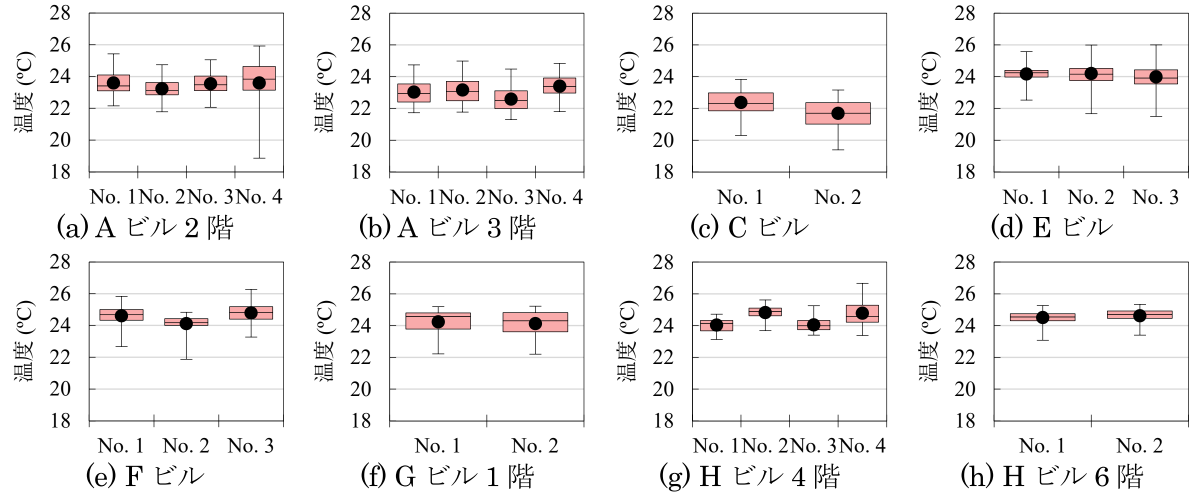
【図 3-1-17 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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）



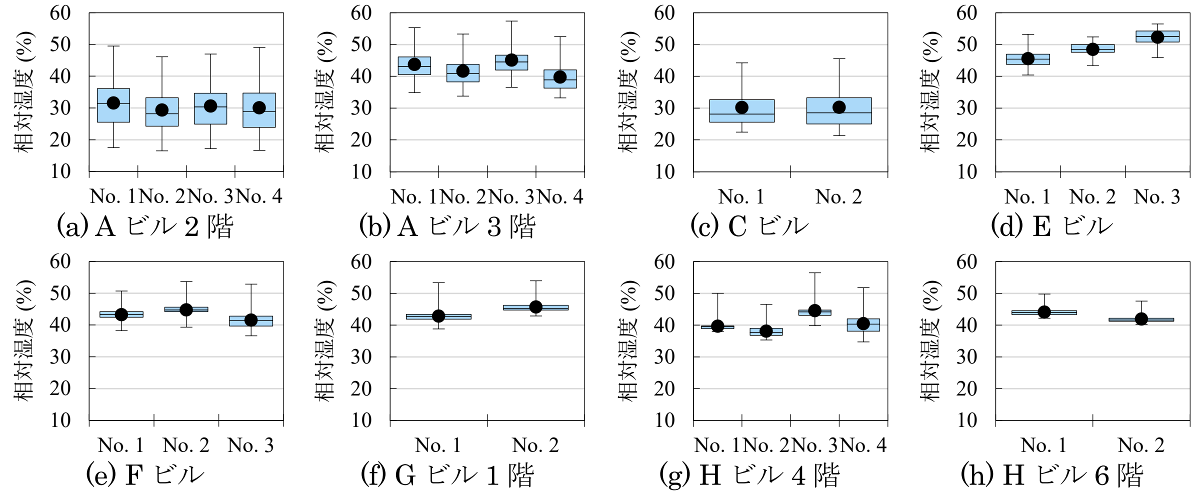
【図 3-1-18 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-18　CO_2 濃度の平面分布（2023/6 – 2023/8, 平日 9 – 18 時の日平均値）



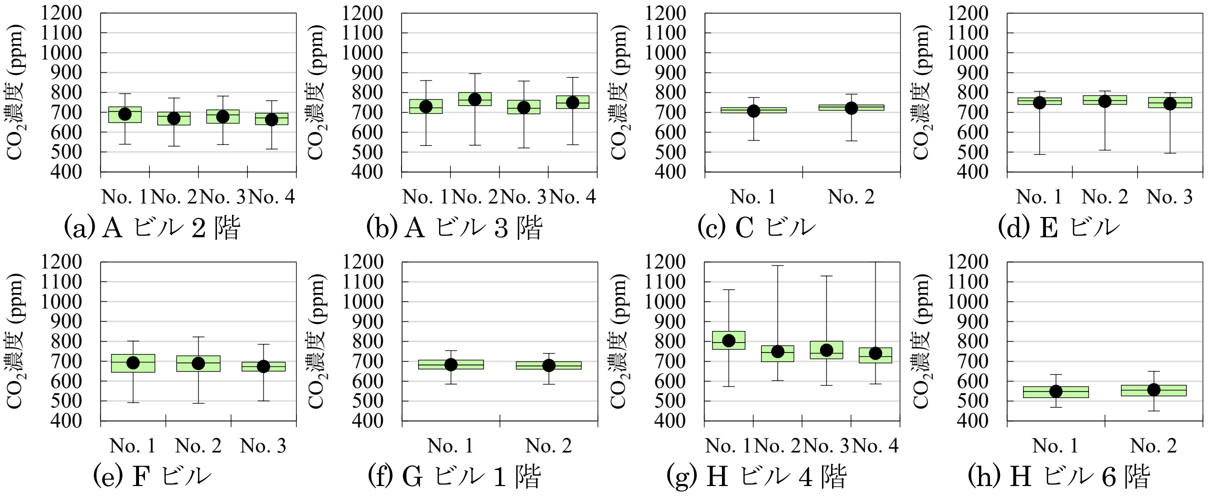
【図 3-1-19 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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）



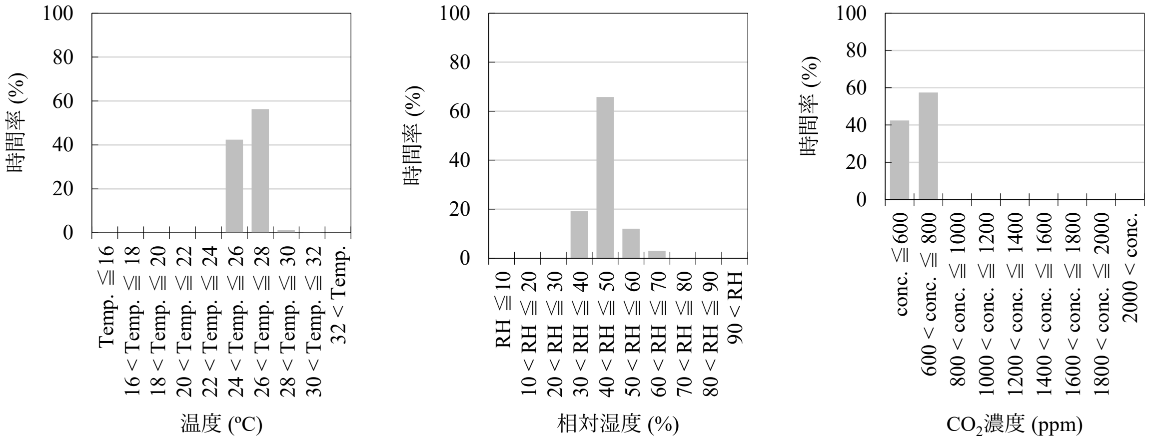
【図 3-1-20 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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）



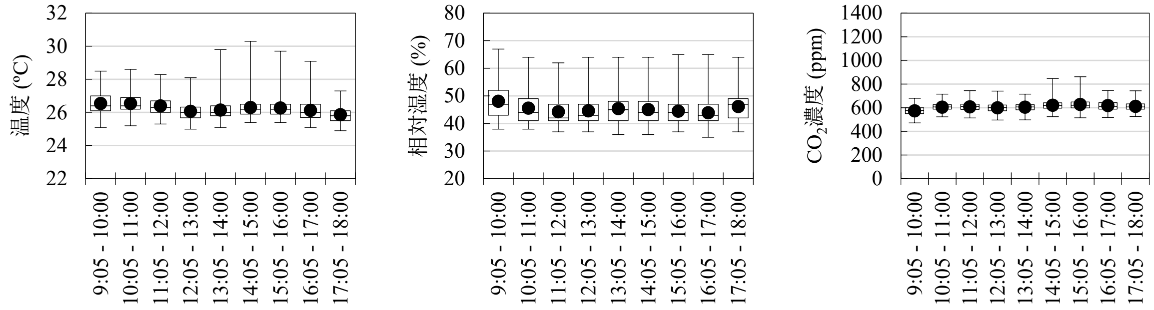
【図 3-1-21 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

図 3-1-21　CO_2 濃度の平面分布（2023/12 – 2024/2, 平日 9 – 18 時の日平均値）



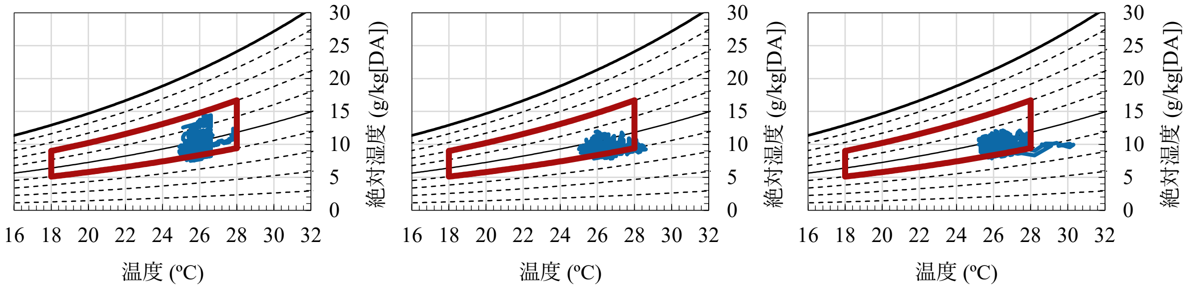
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



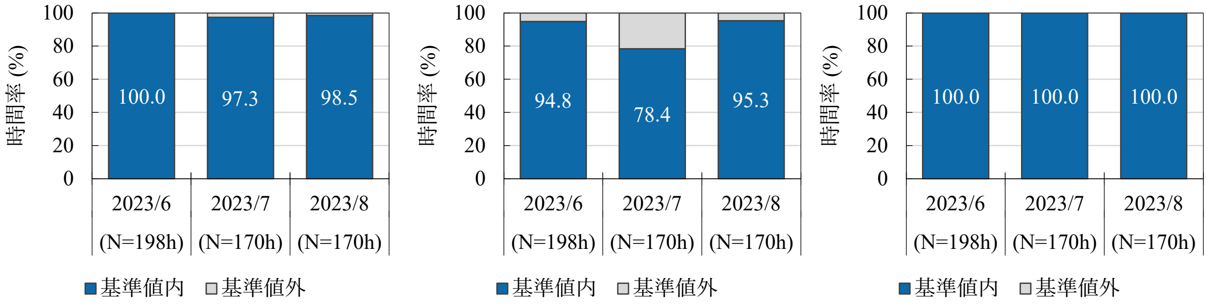
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



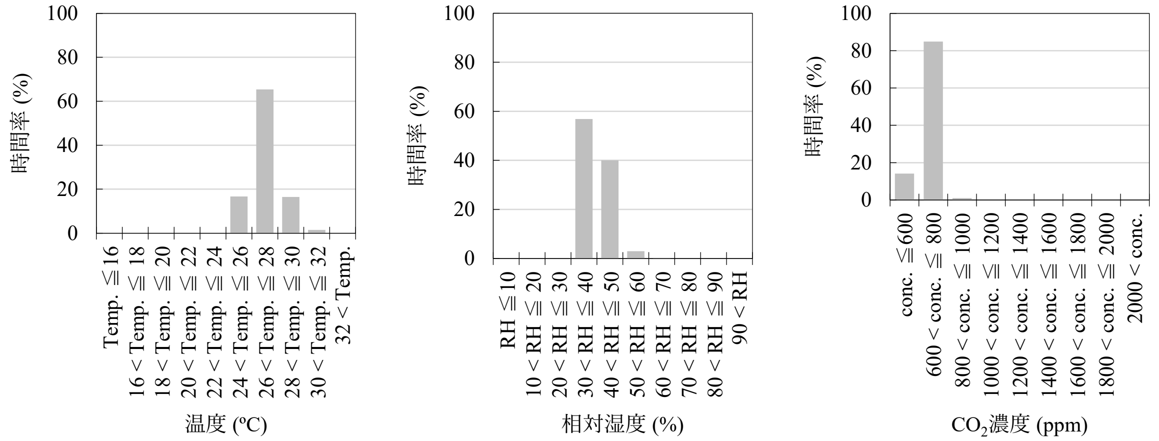
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



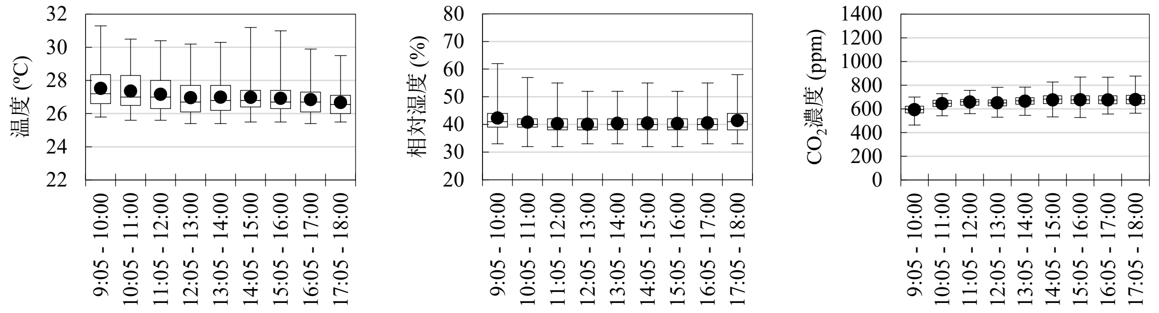
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



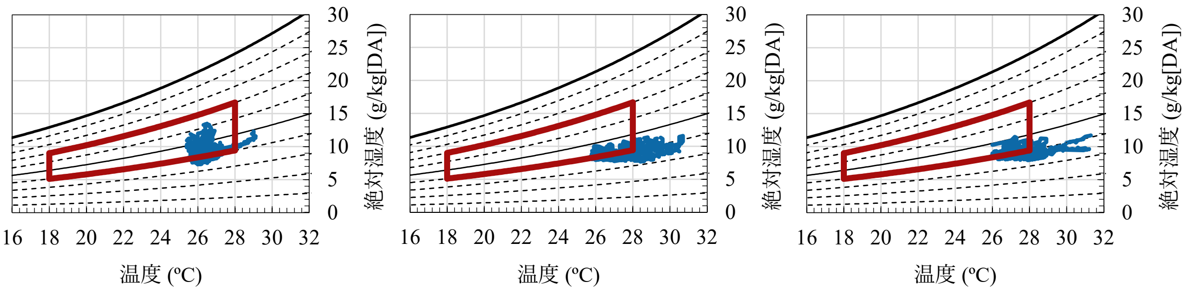
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



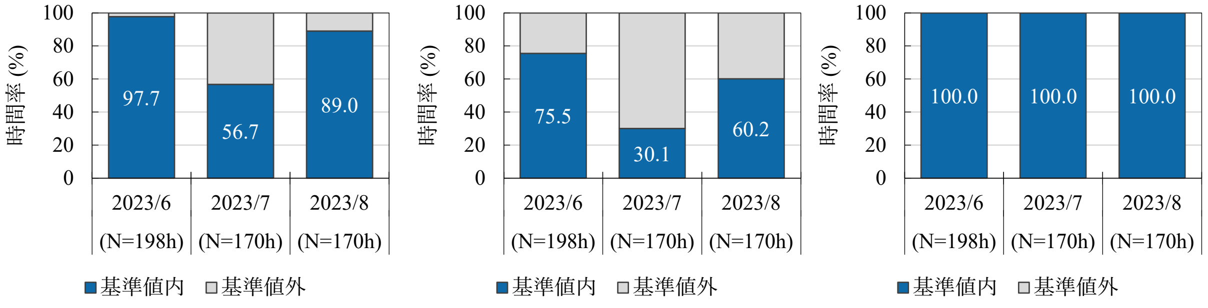
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



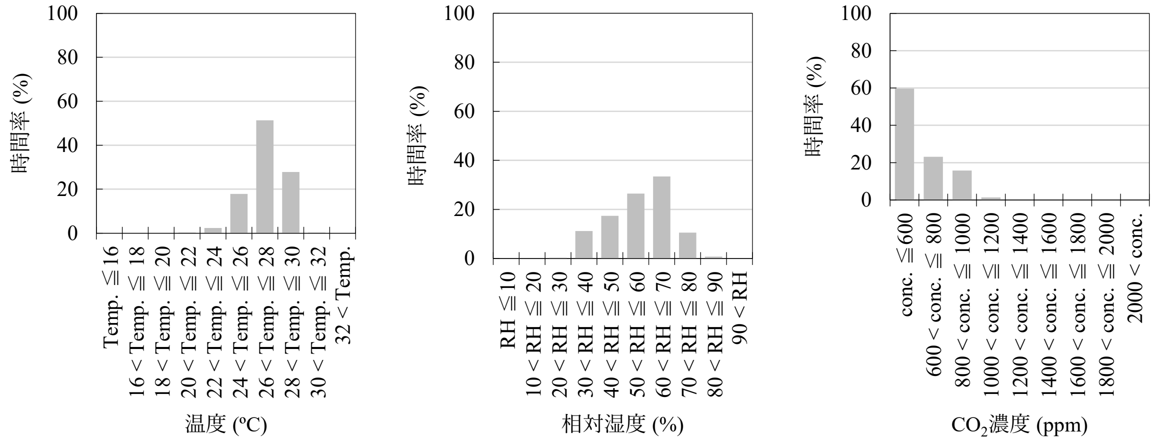
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



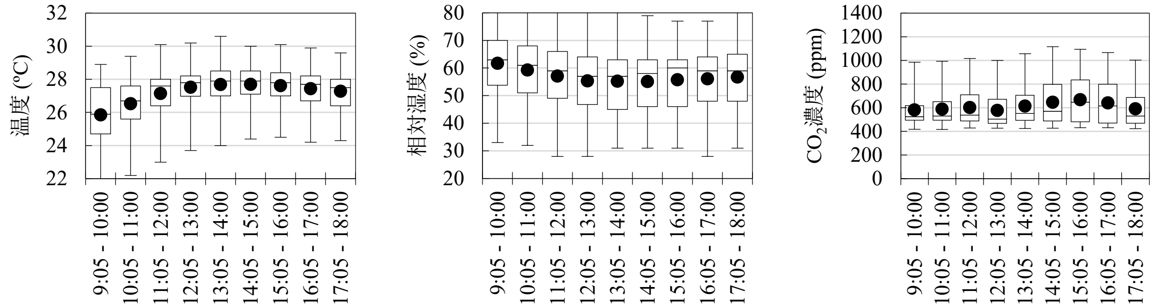
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



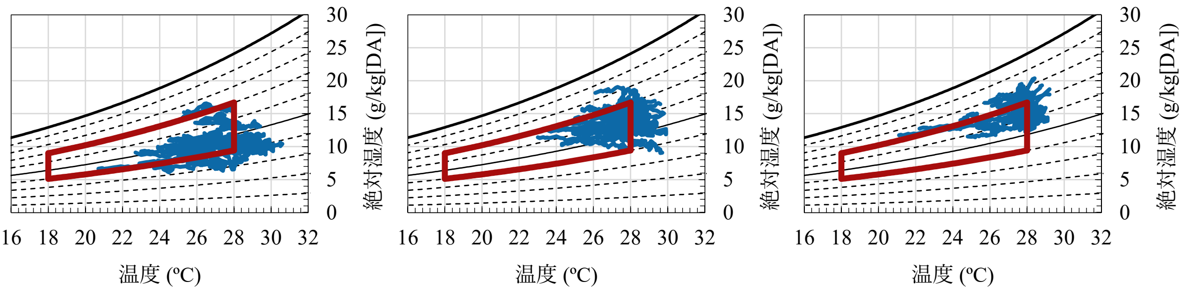
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



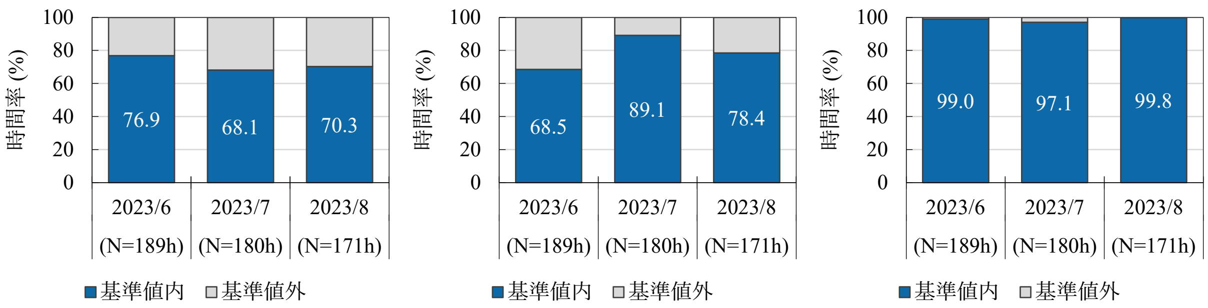
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



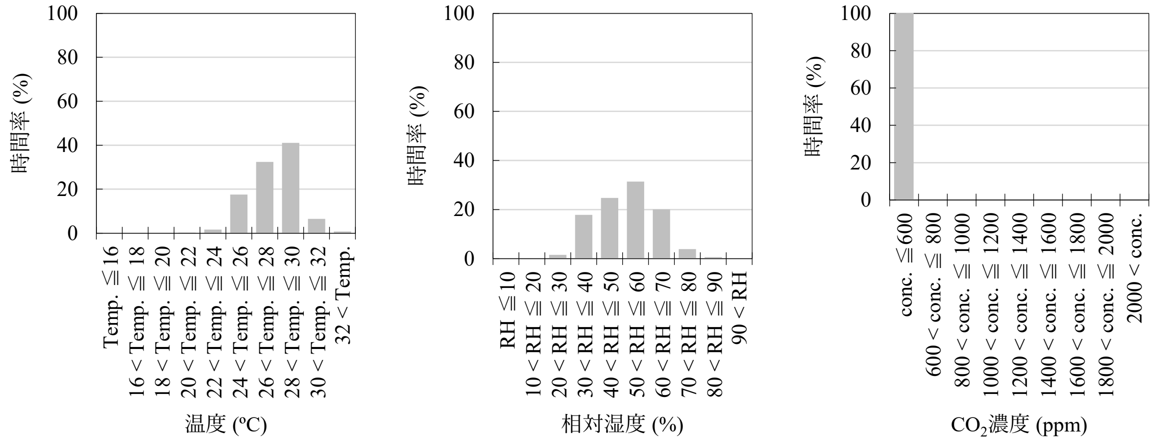
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



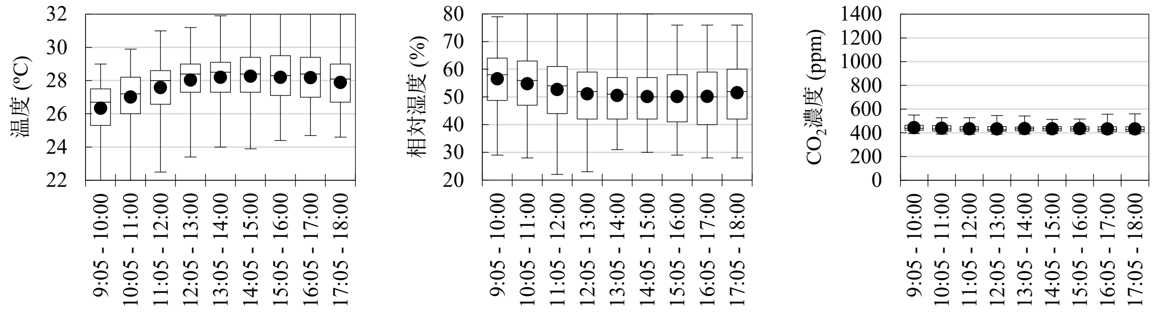
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



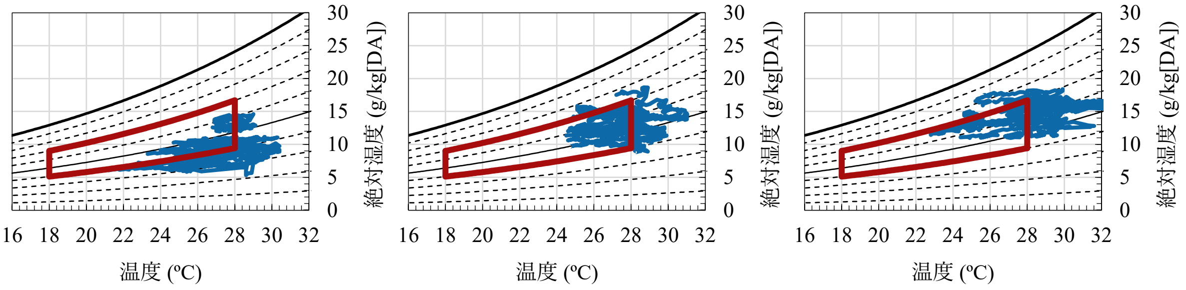
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



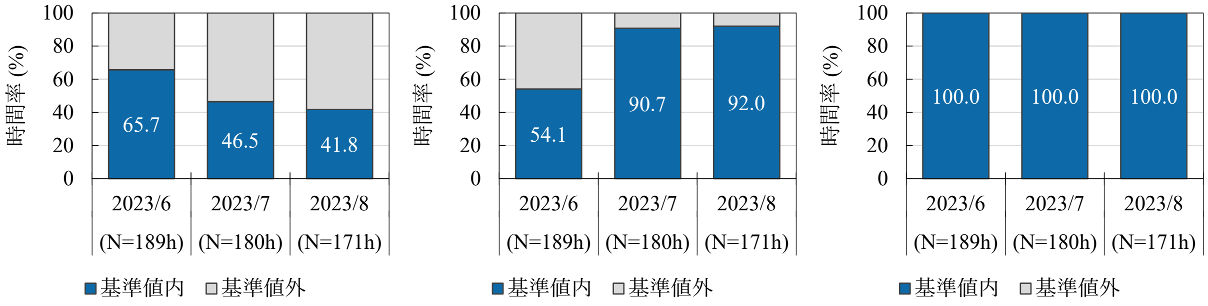
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



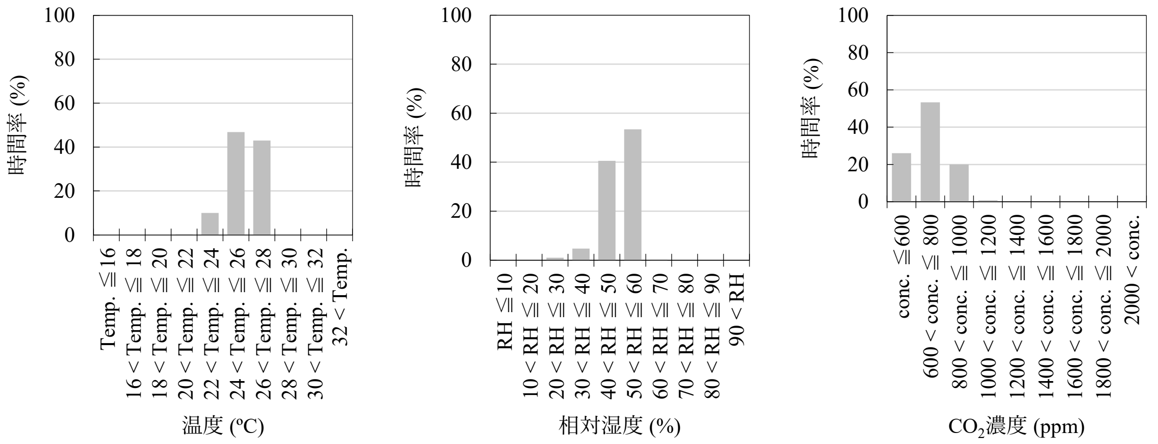
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



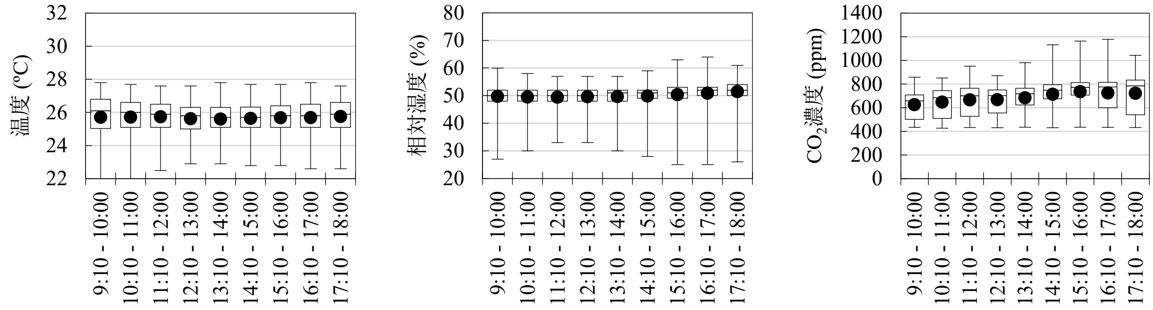
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



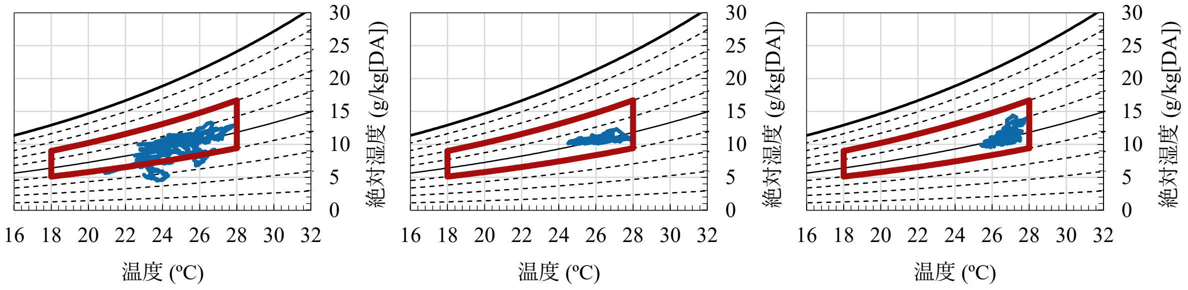
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2濃度

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）



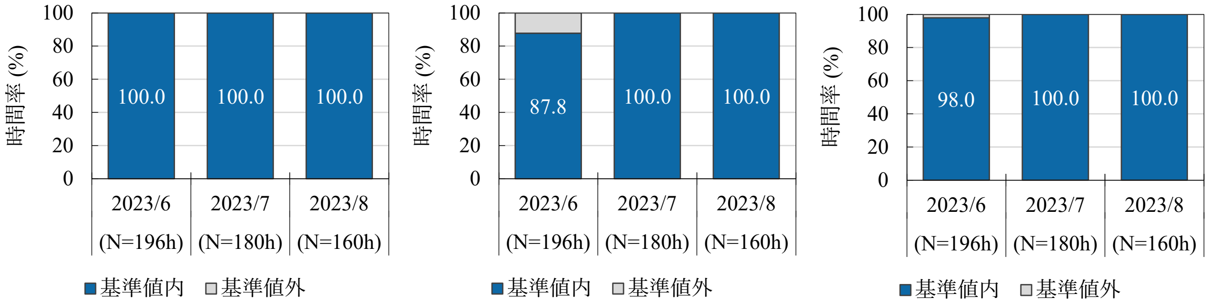
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2濃度

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



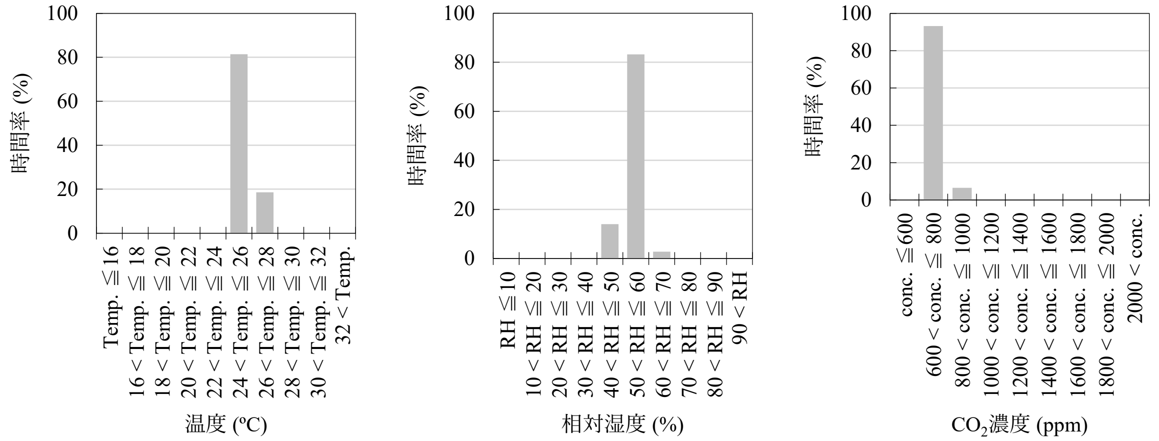
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



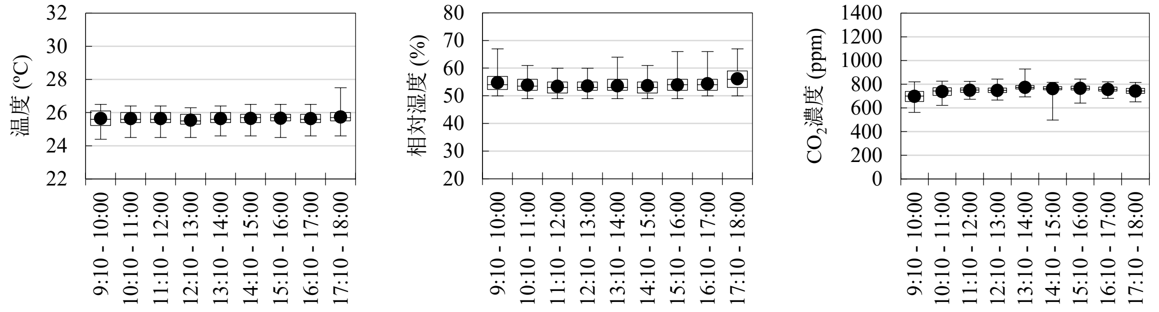
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2濃度

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



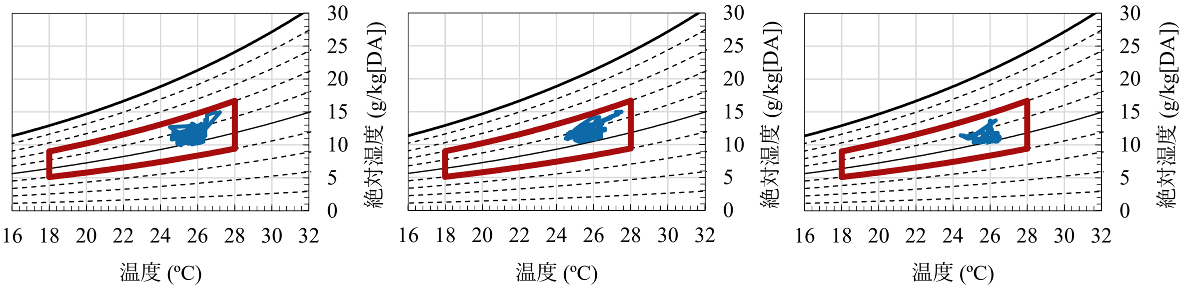
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



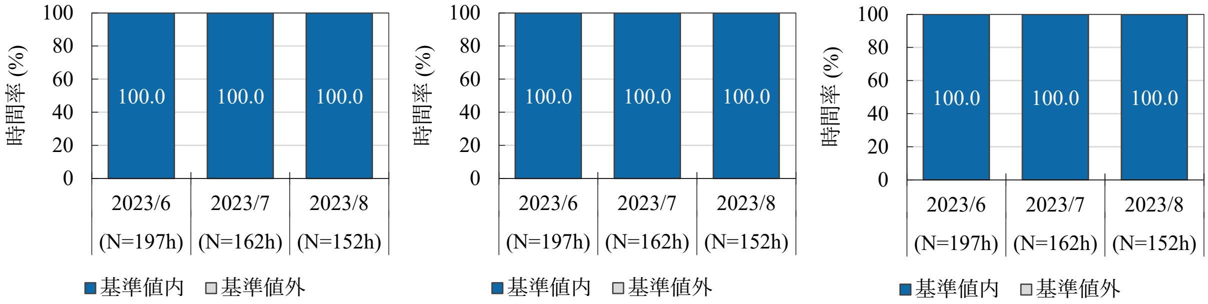
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



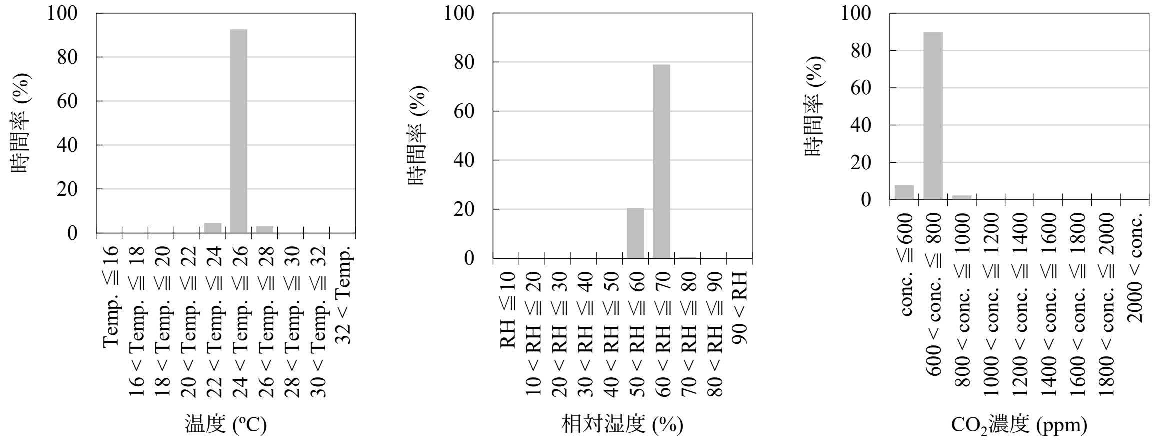
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



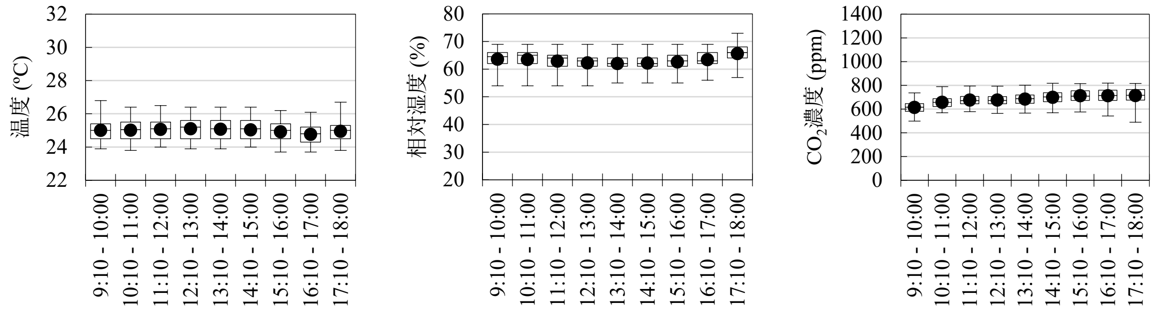
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



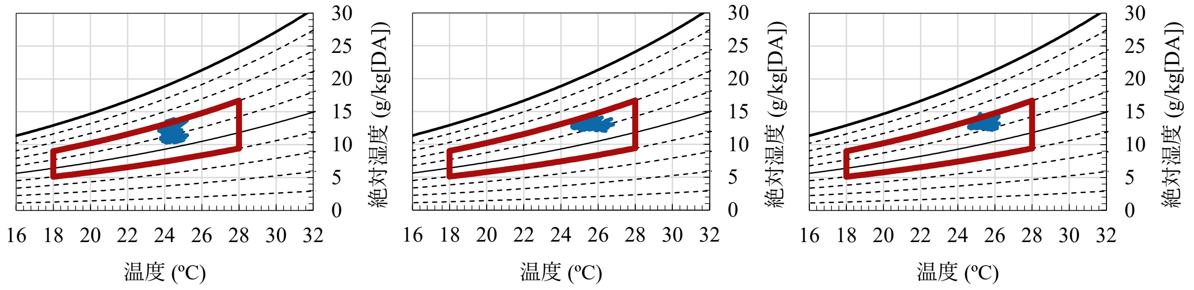
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



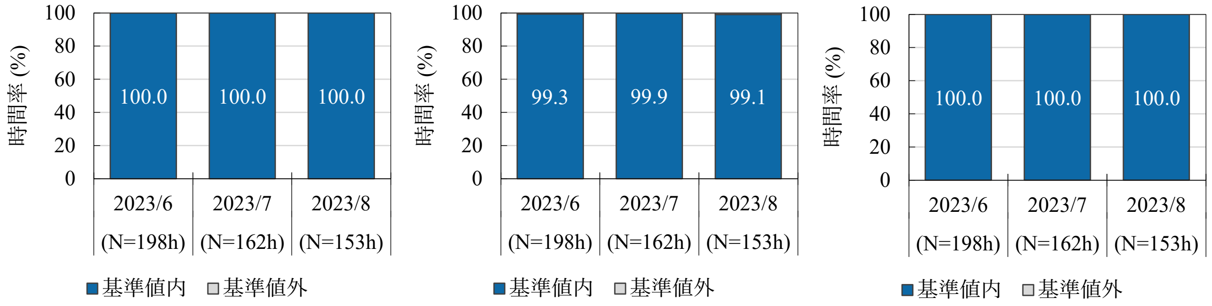
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



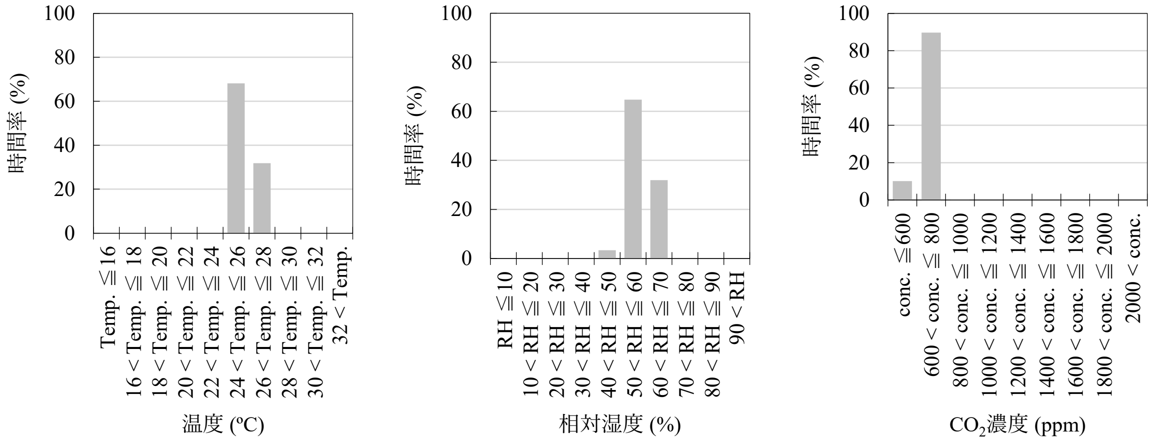
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



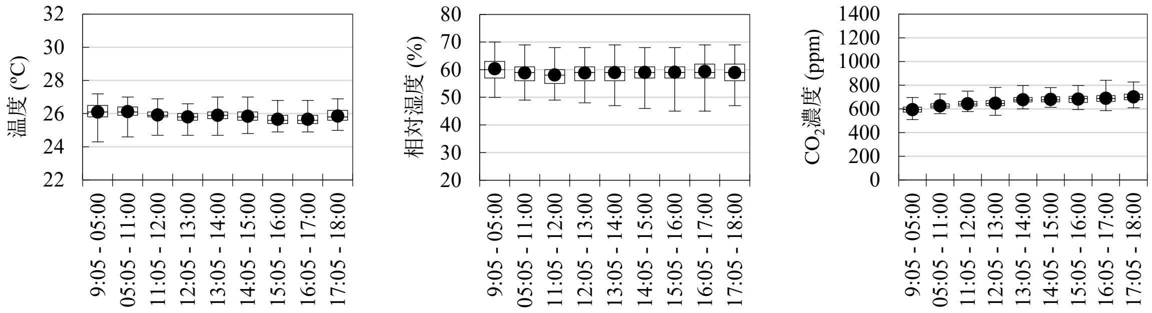
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



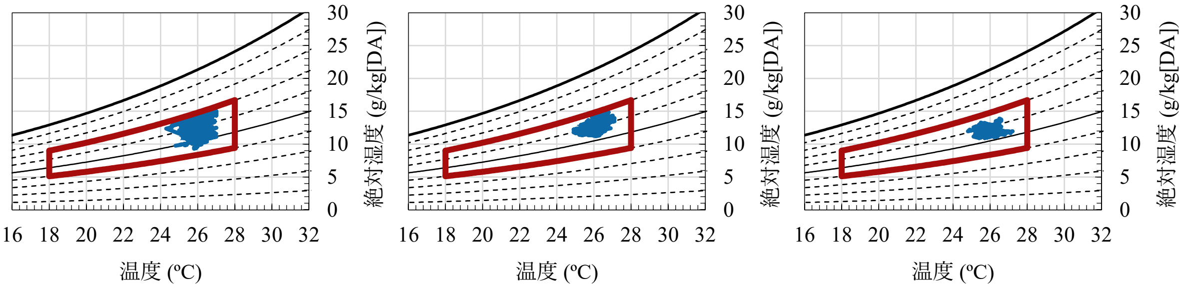
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



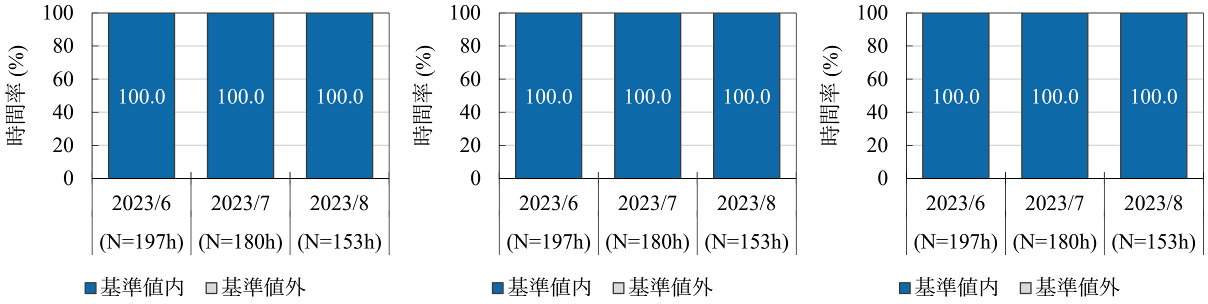
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



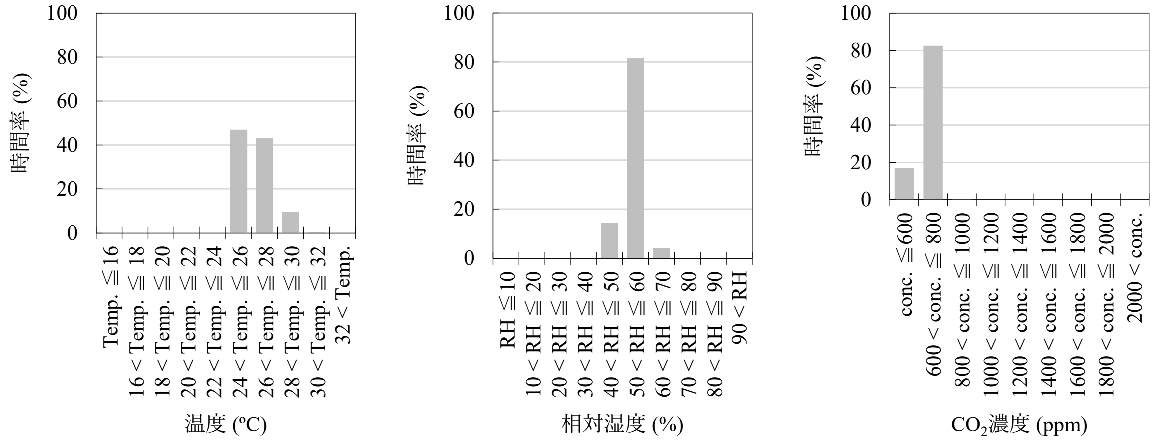
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



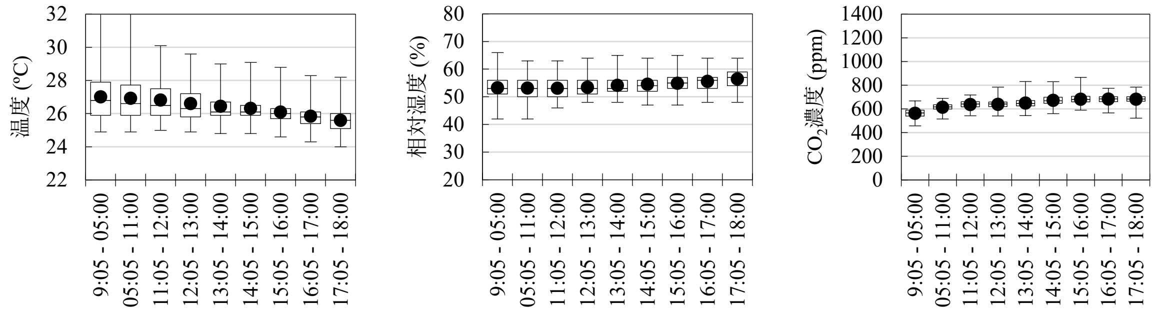
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



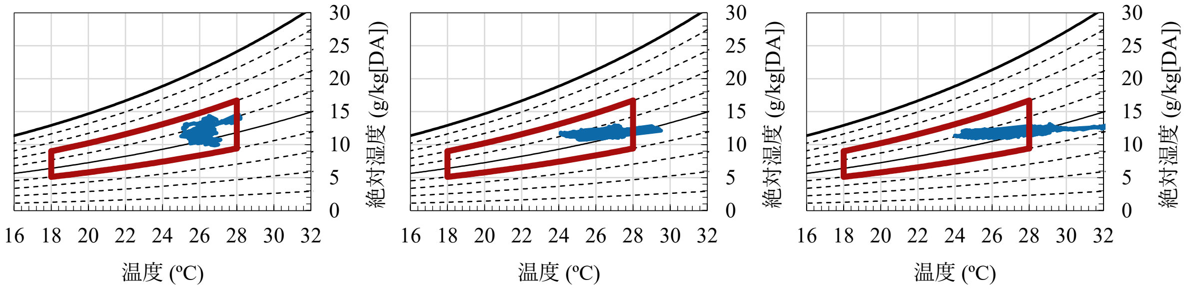
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



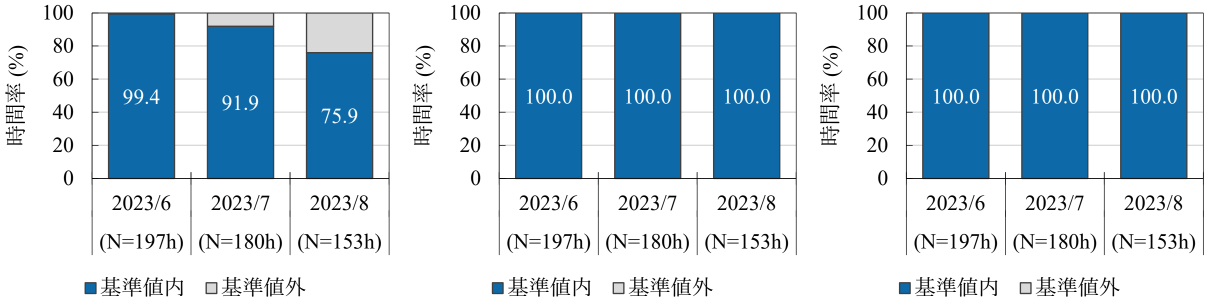
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



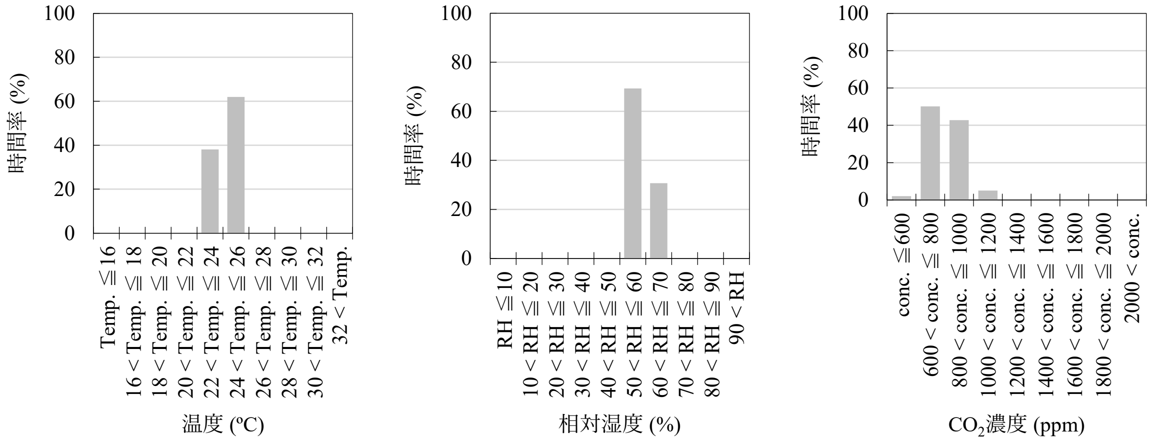
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



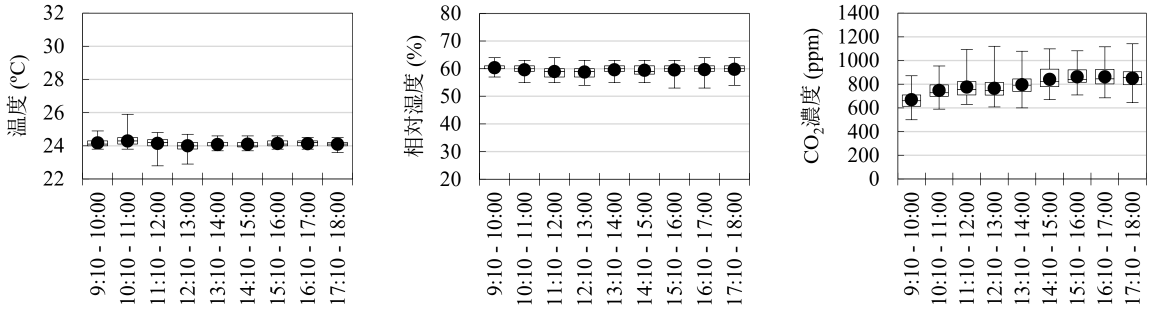
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



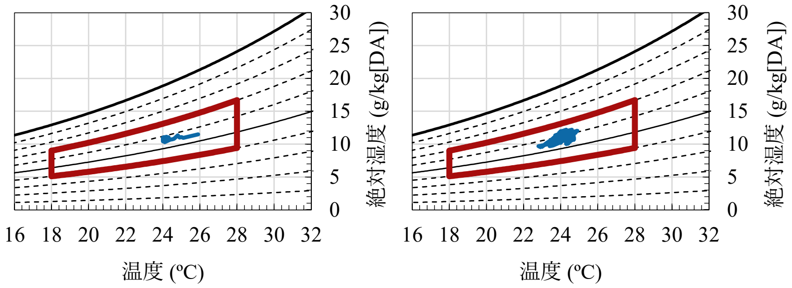
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



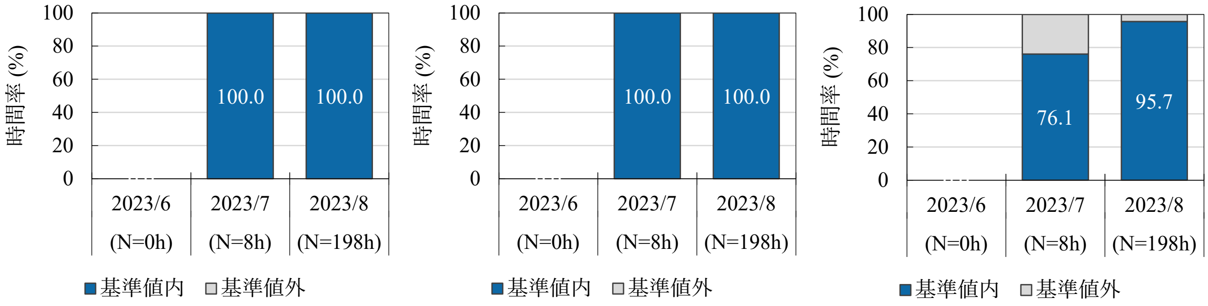
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



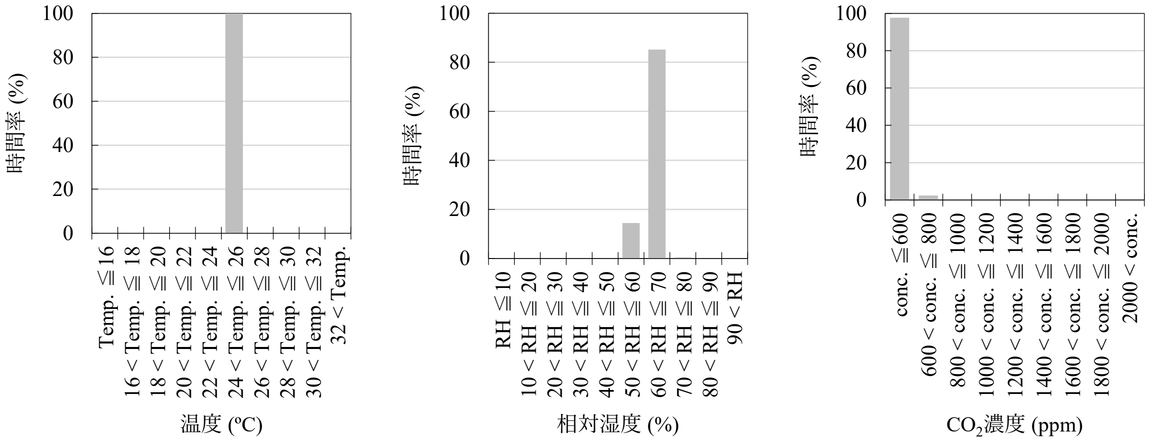
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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）



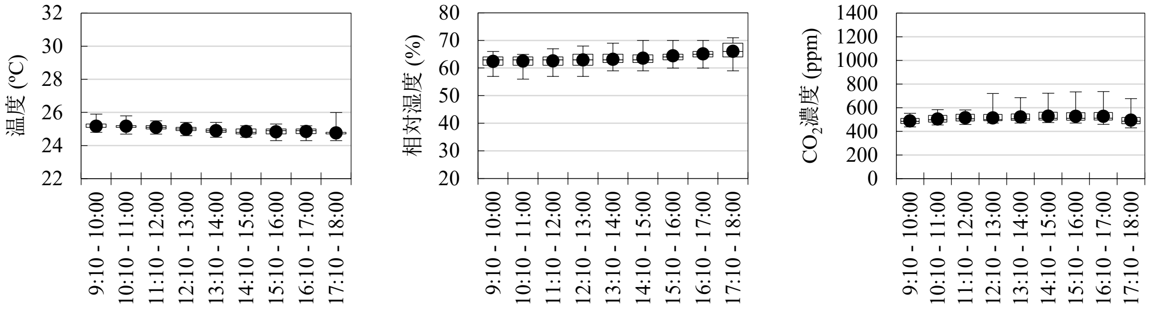
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



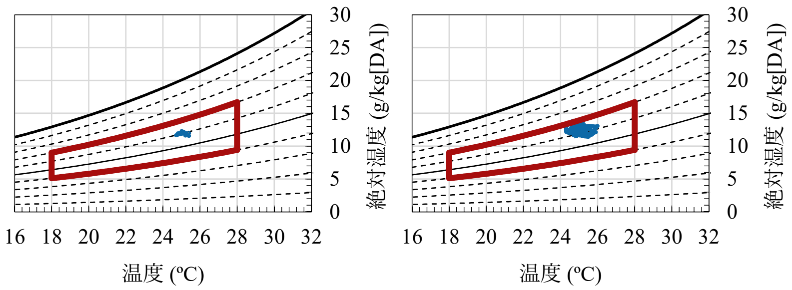
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



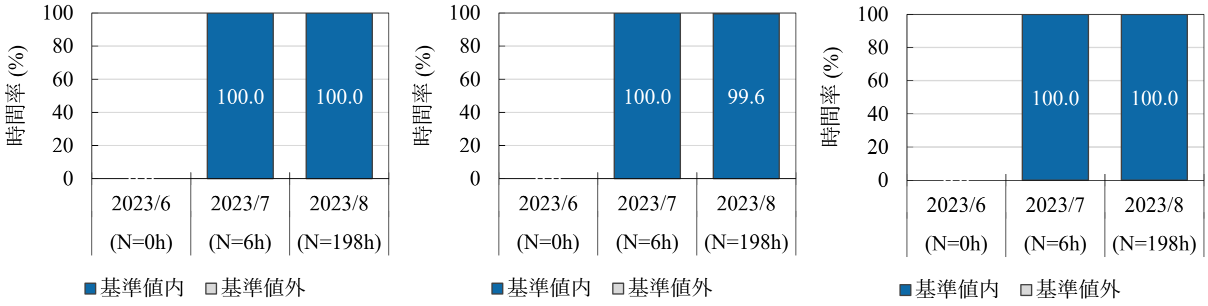
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



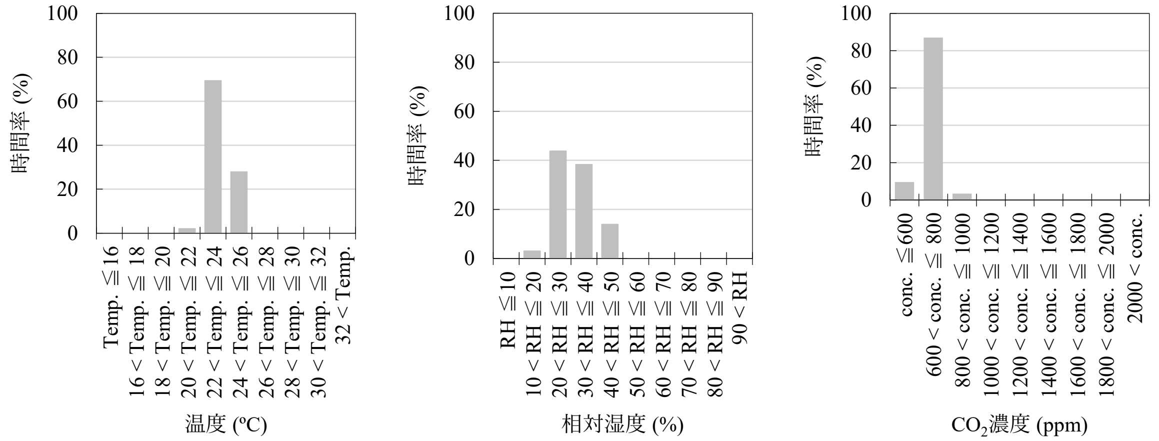
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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）



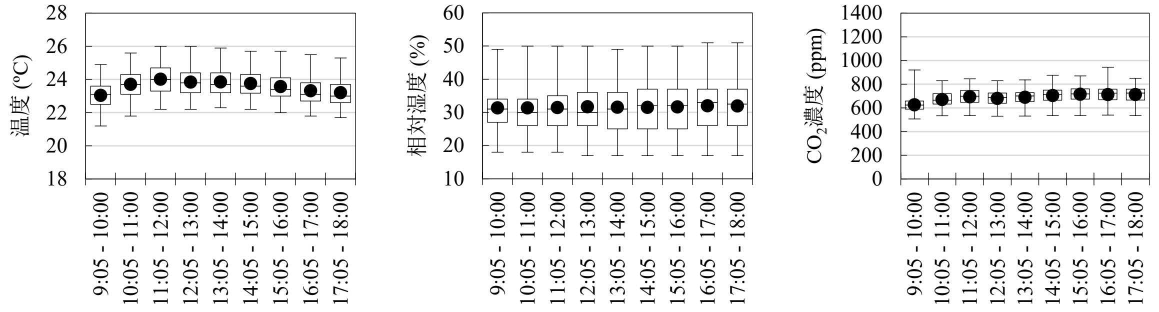
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



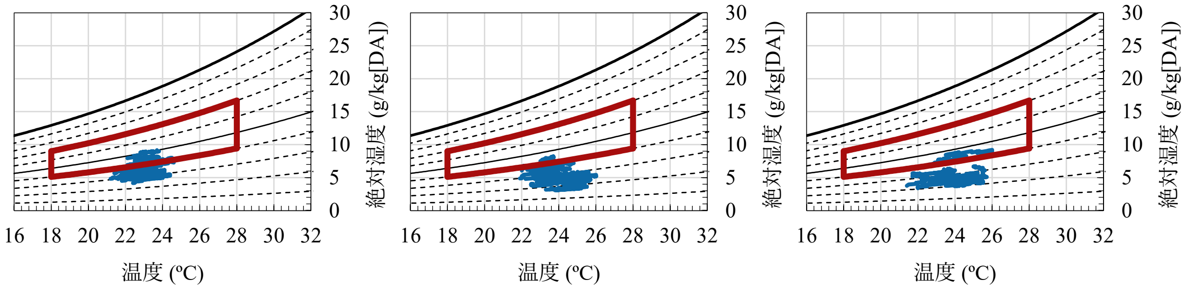
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



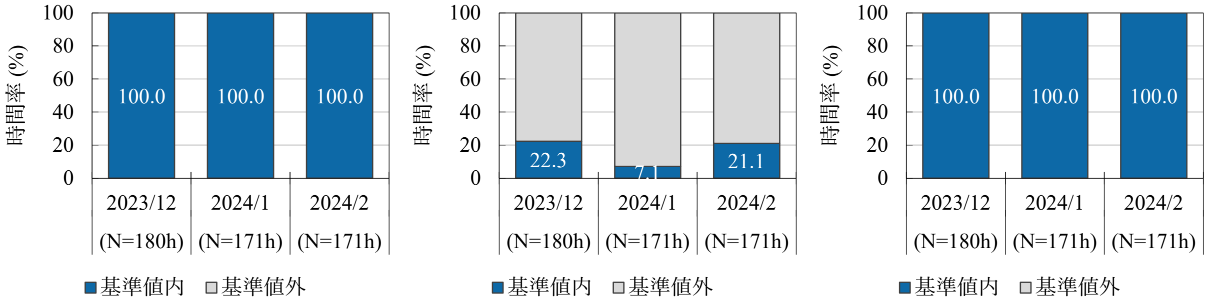
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



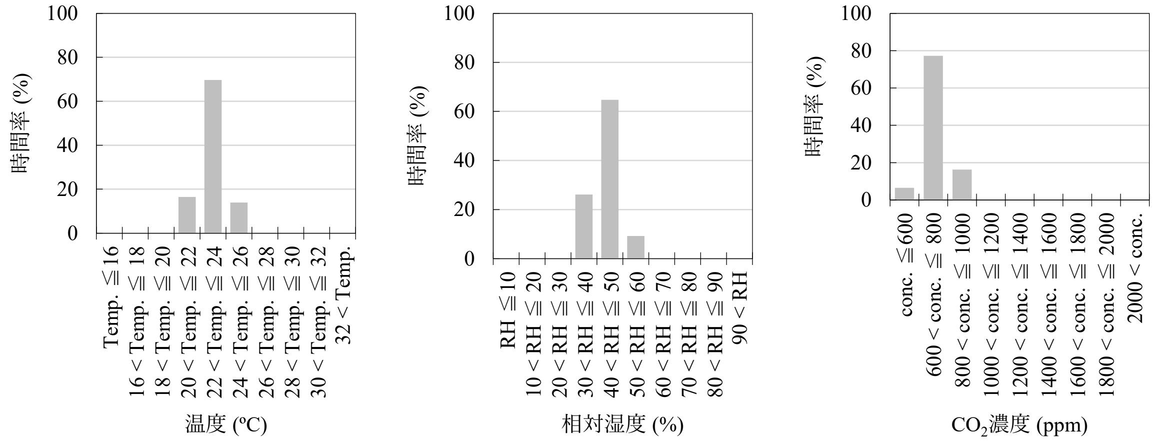
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



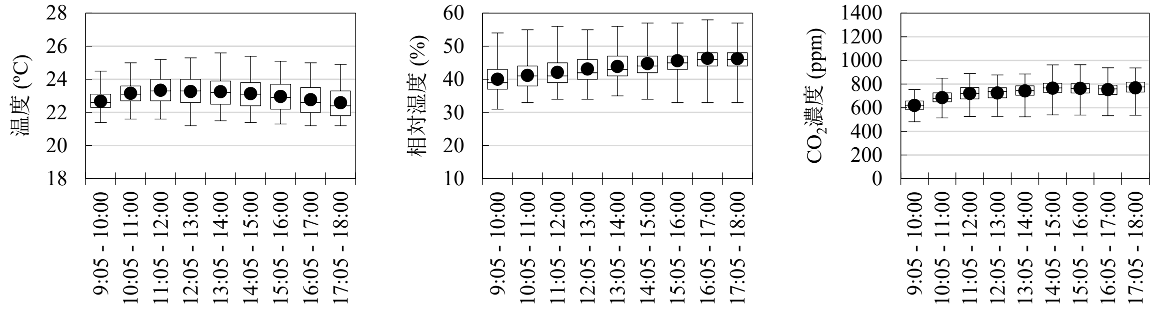
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



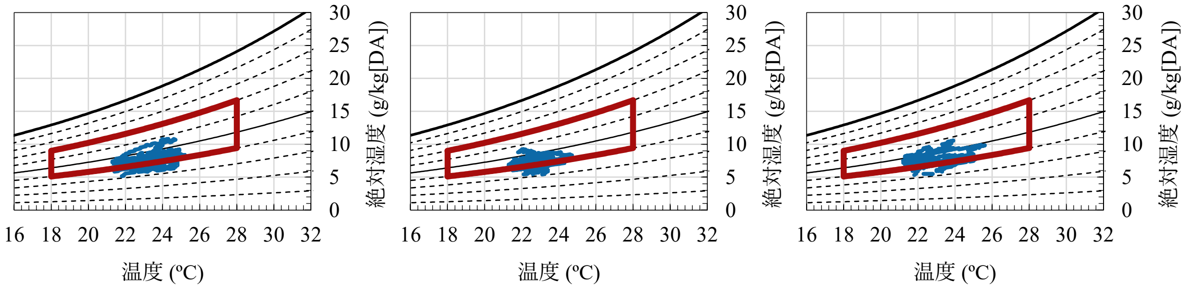
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO₂ 濃度

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）



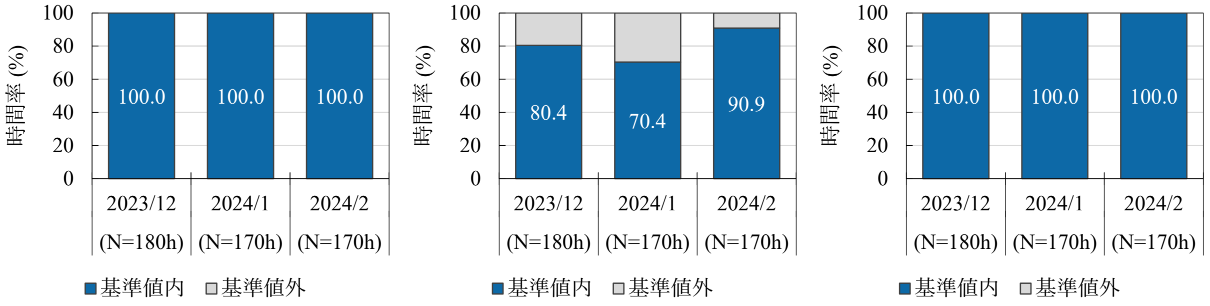
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO₂ 濃度

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）



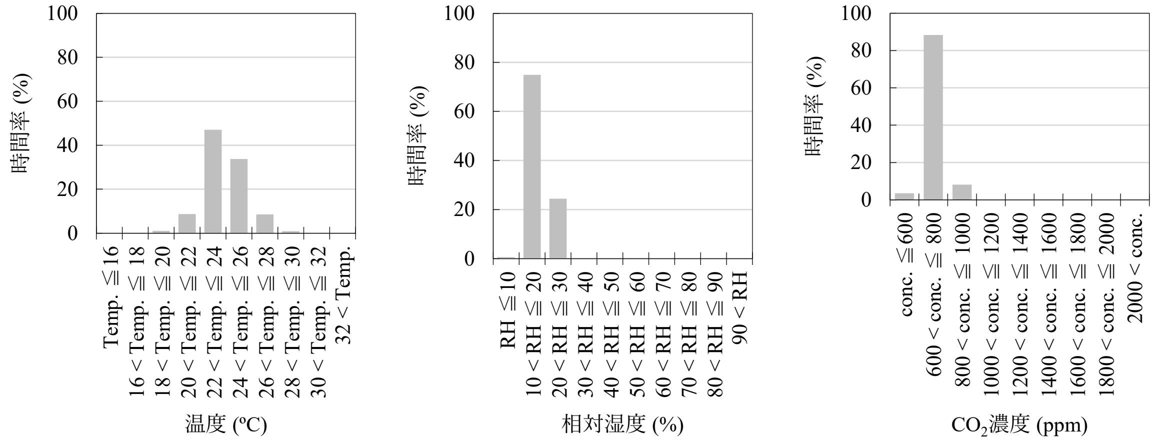
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



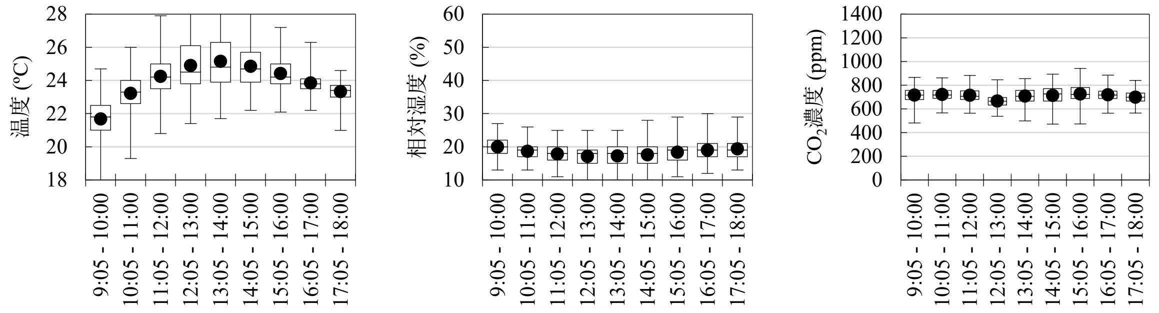
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO₂ 濃度

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）



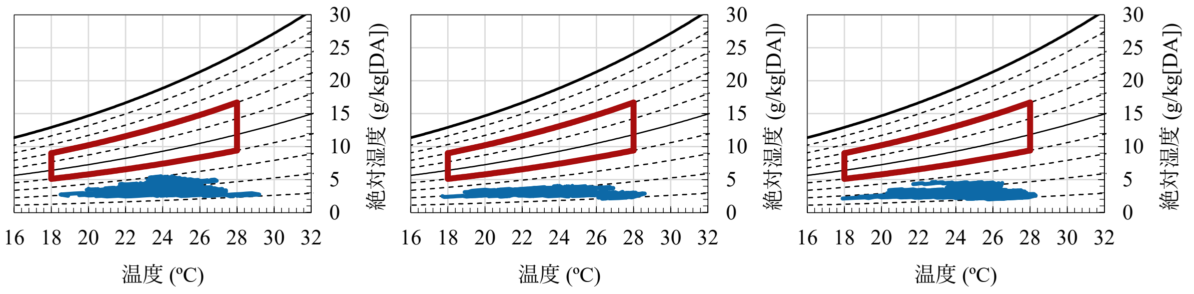
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



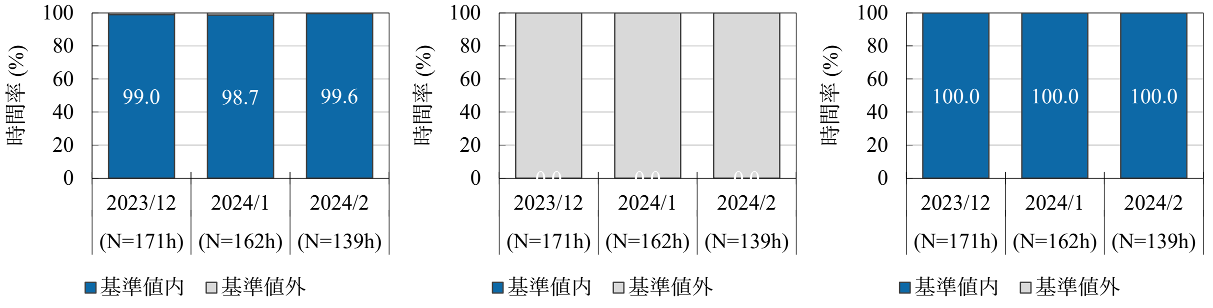
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



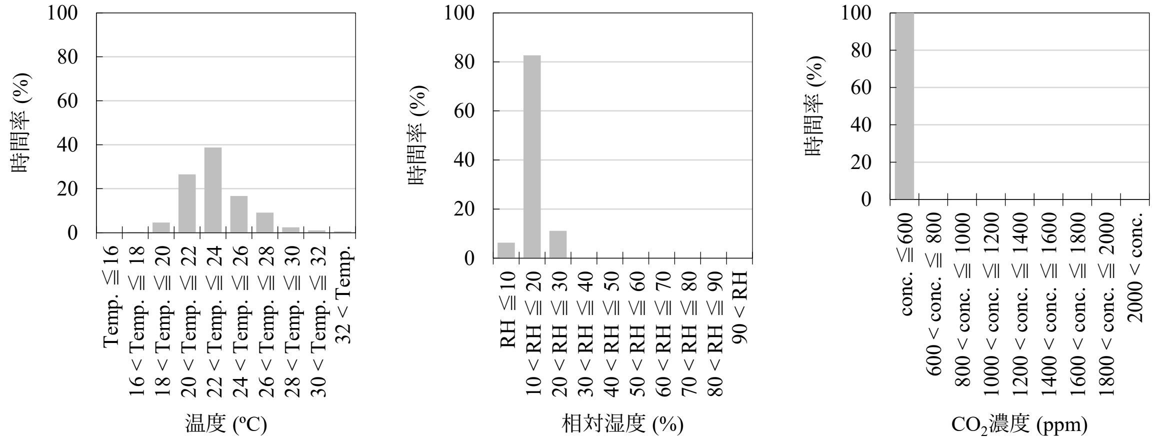
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



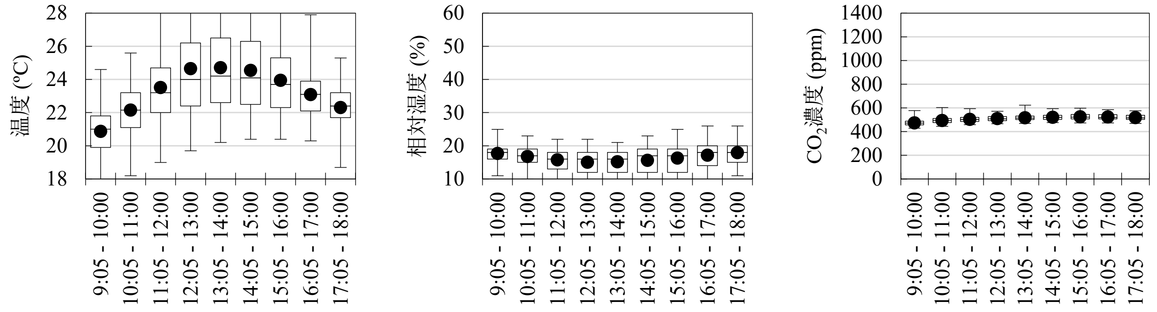
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



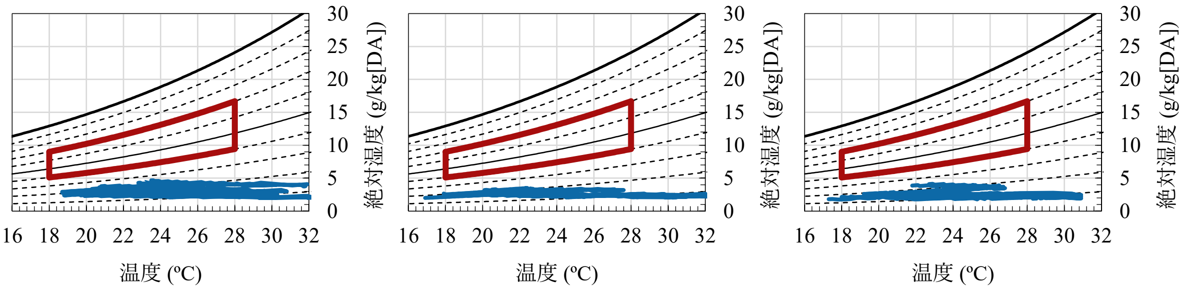
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



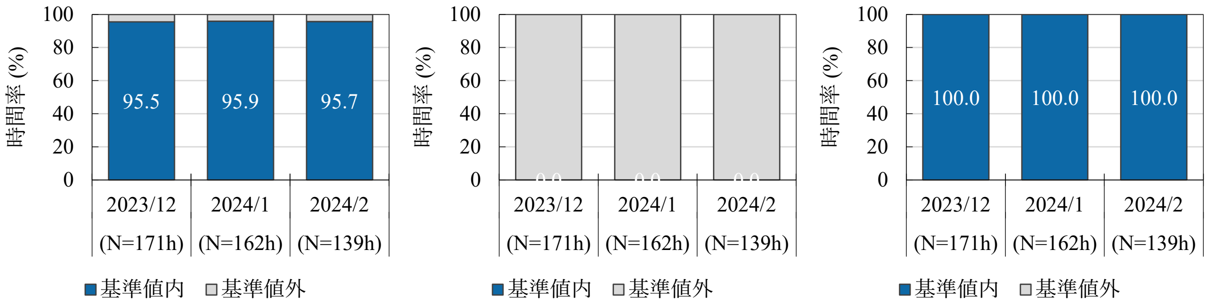
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



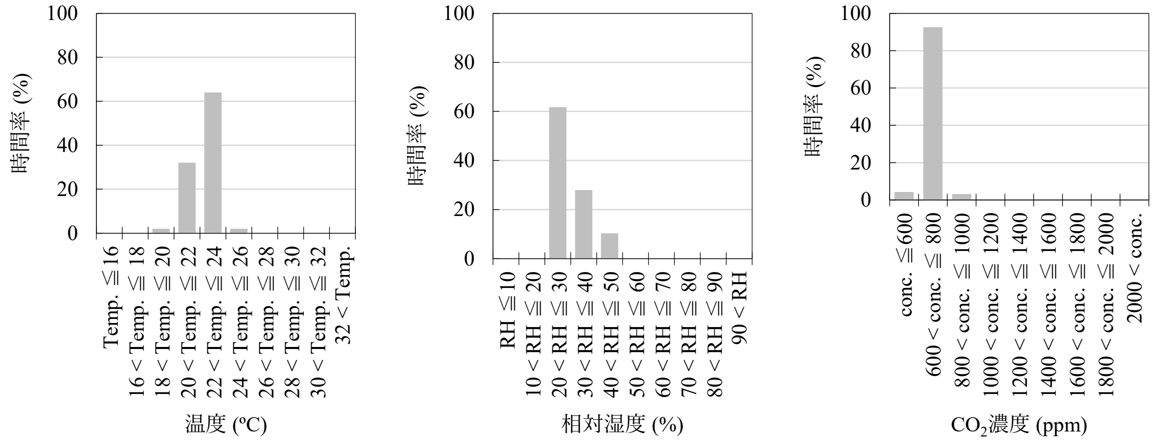
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



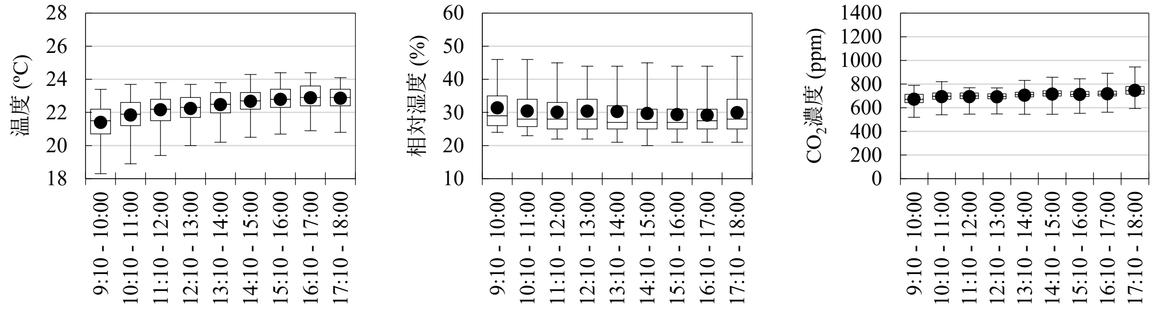
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



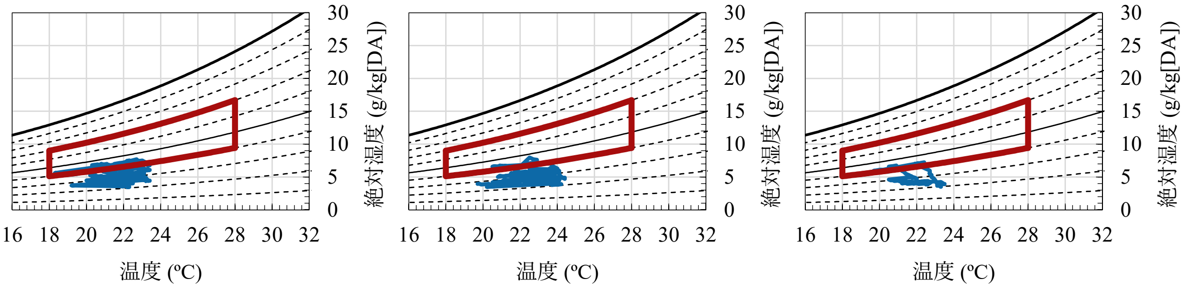
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



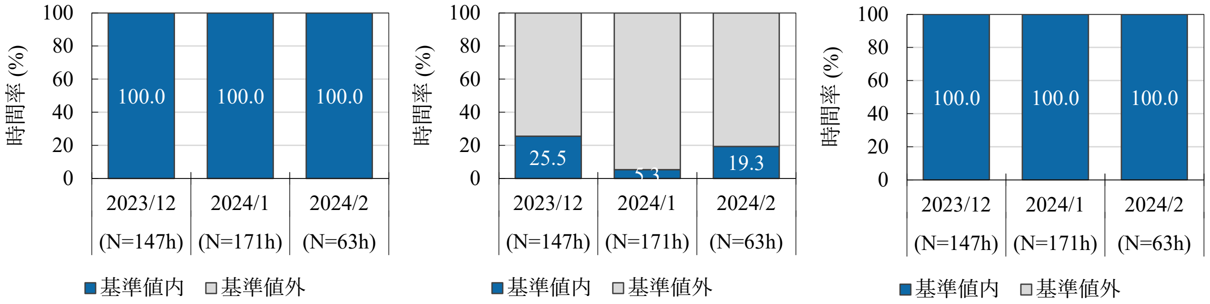
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



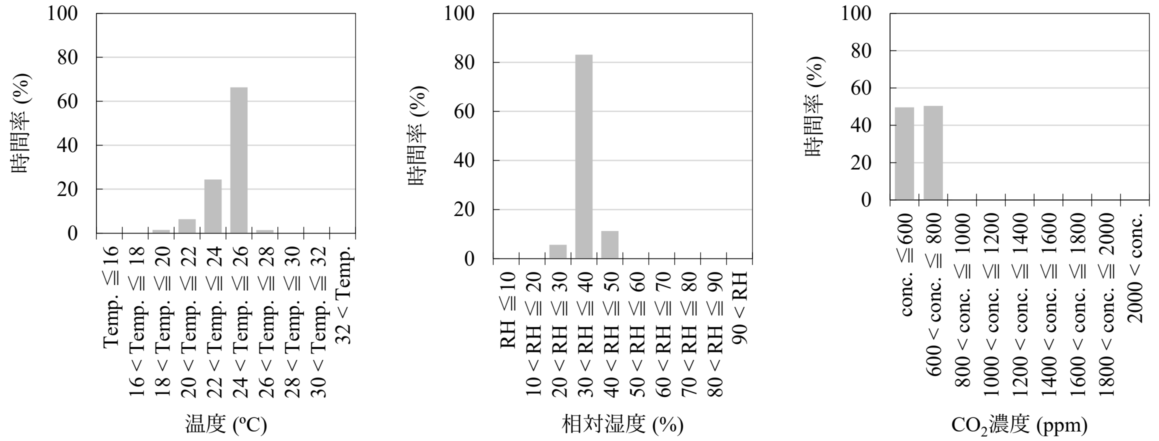
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



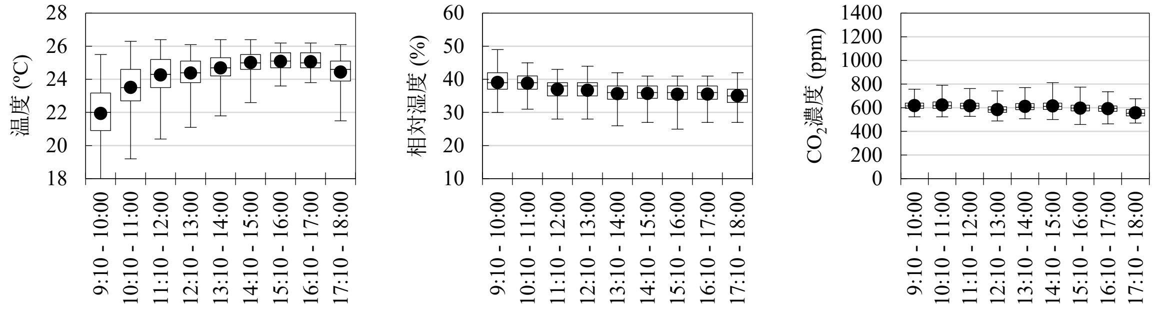
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



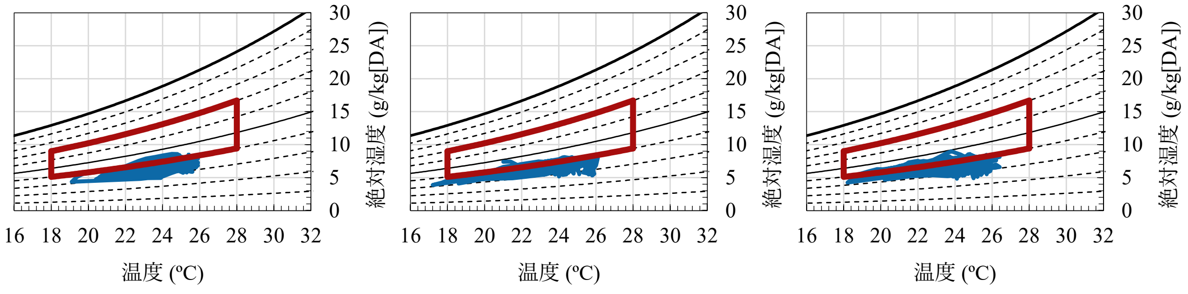
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



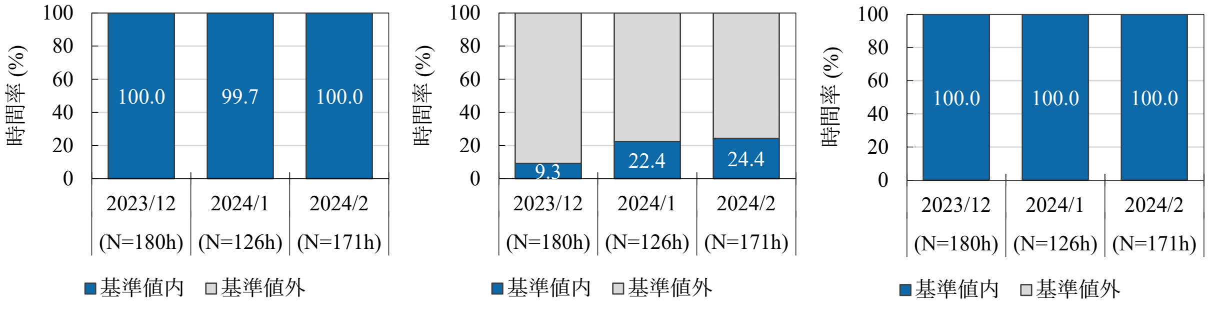
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



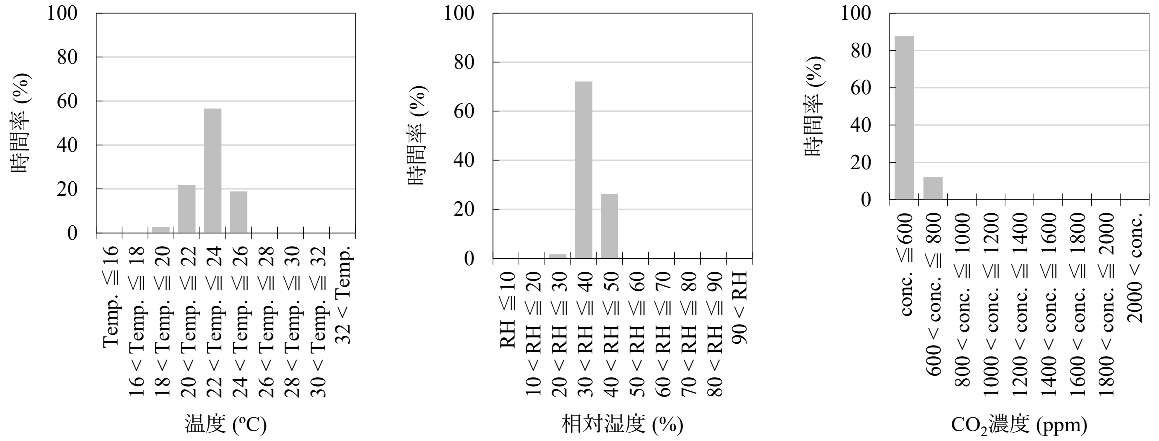
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



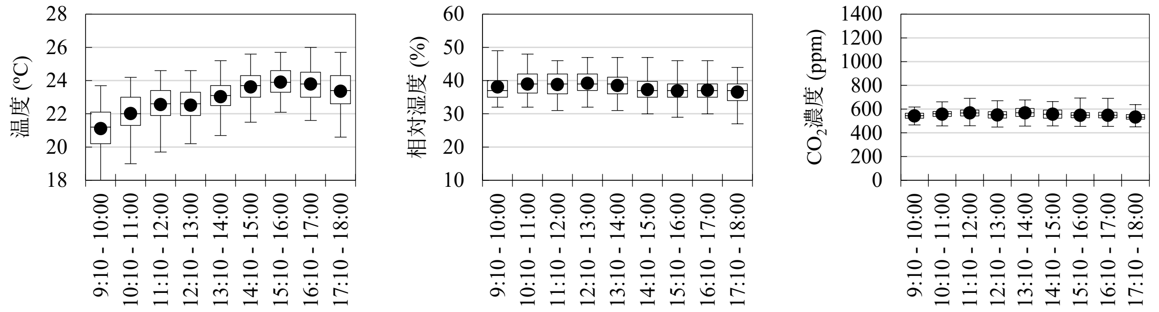
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



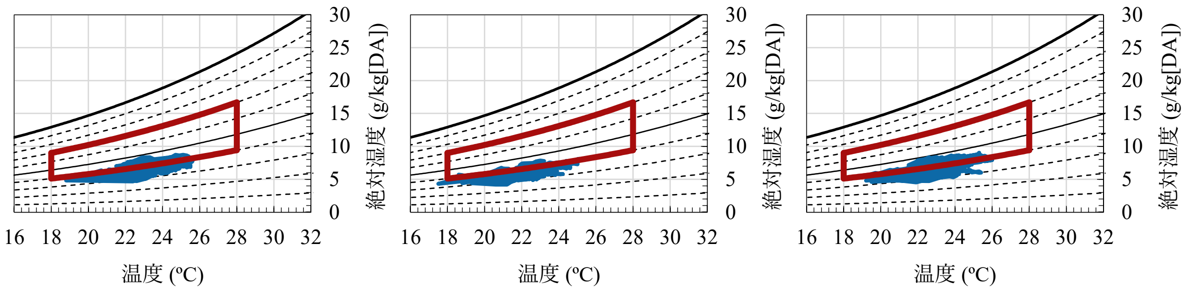
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



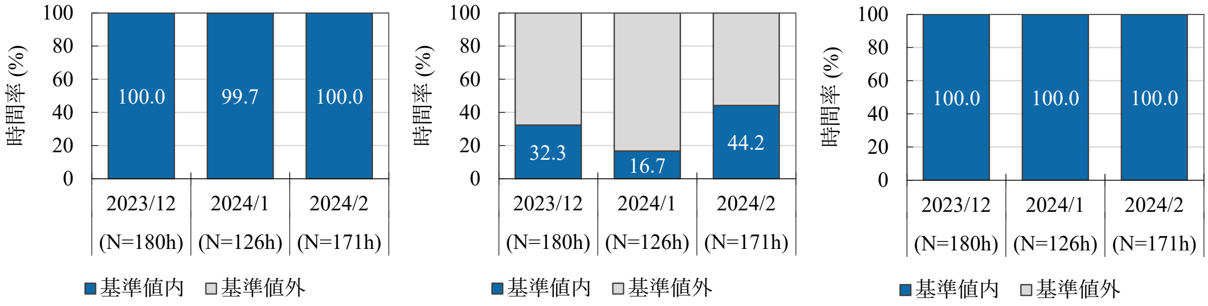
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



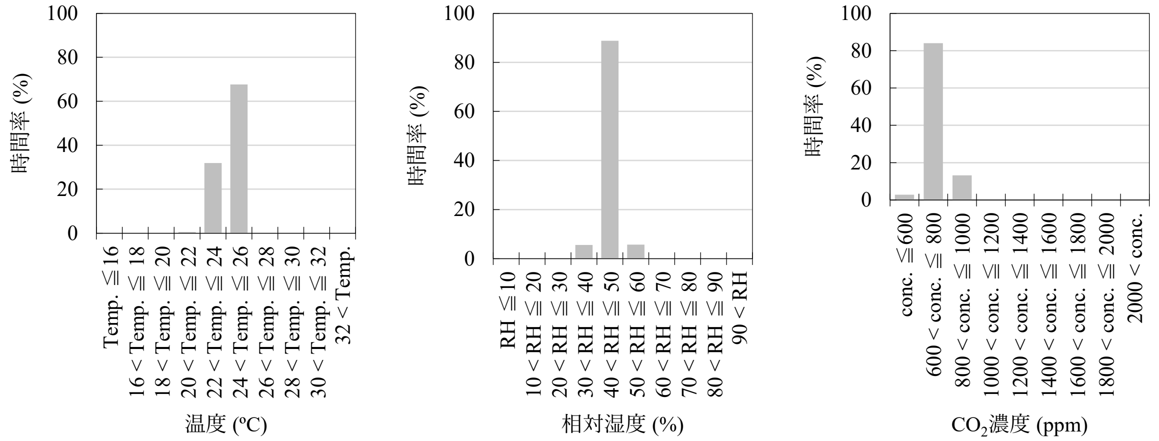
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



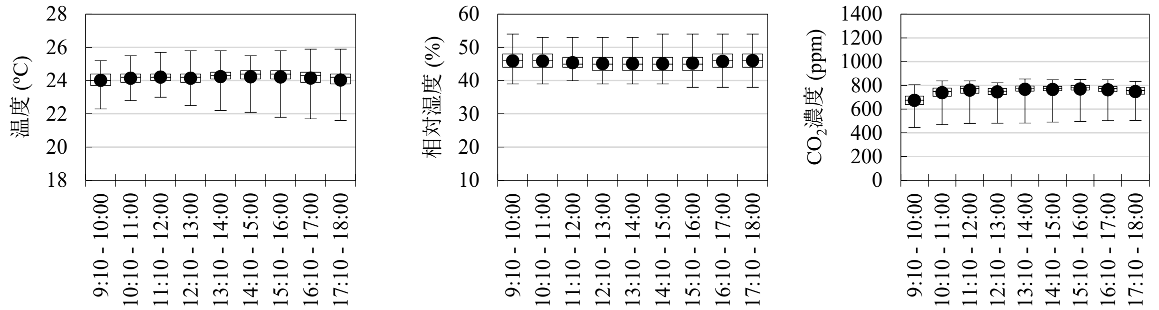
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



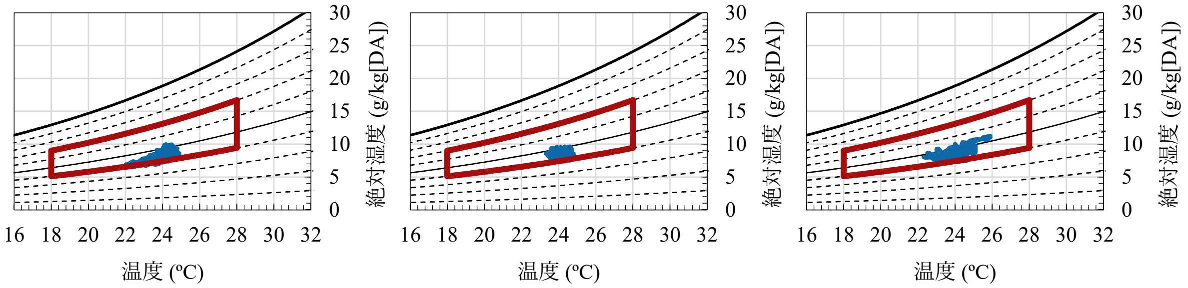
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



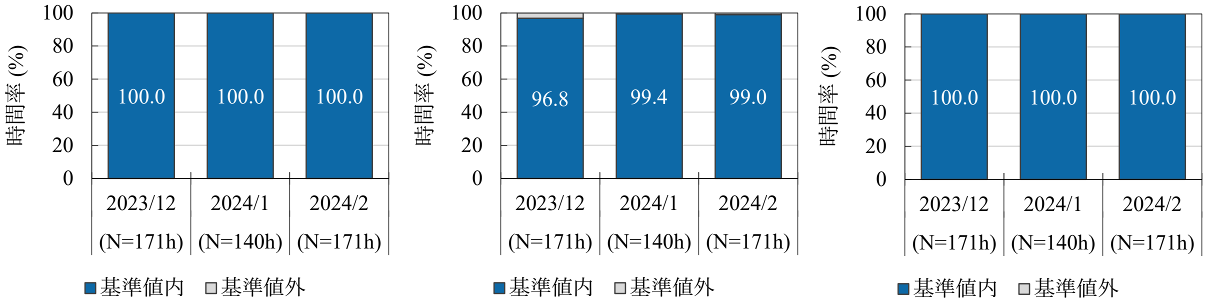
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



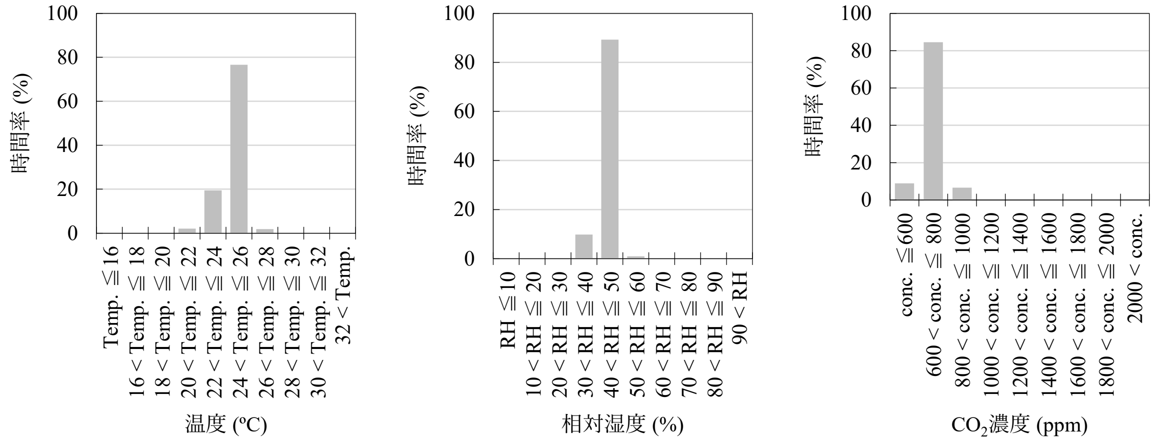
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



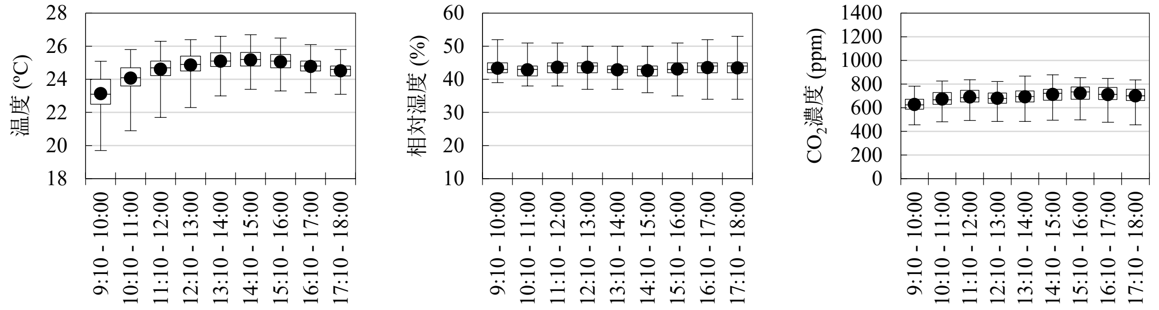
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



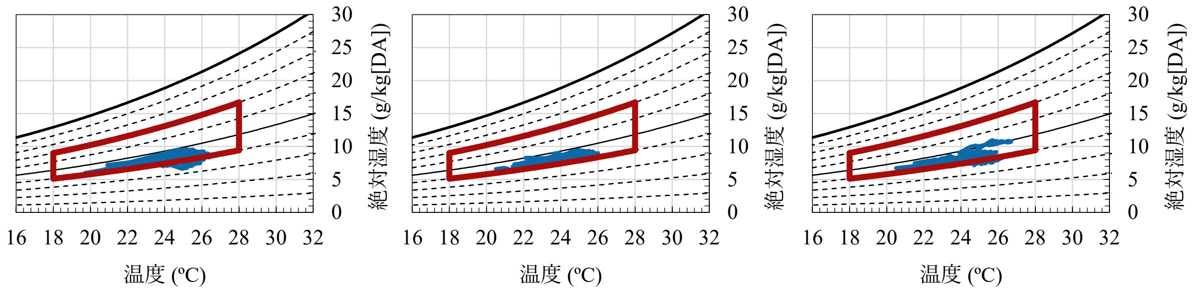
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



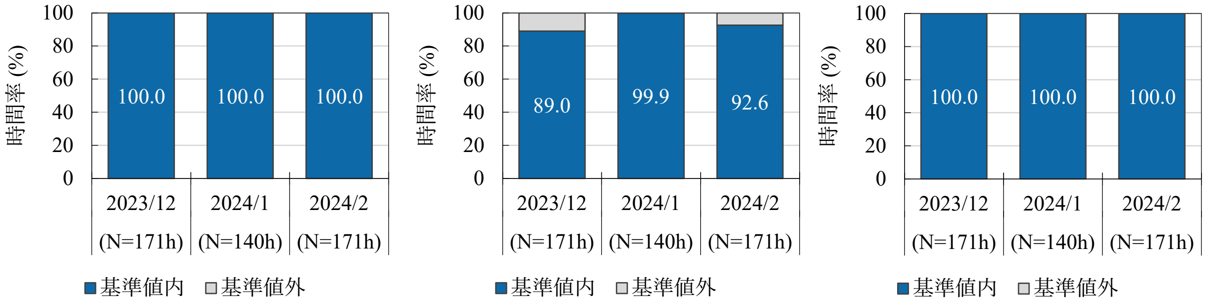
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



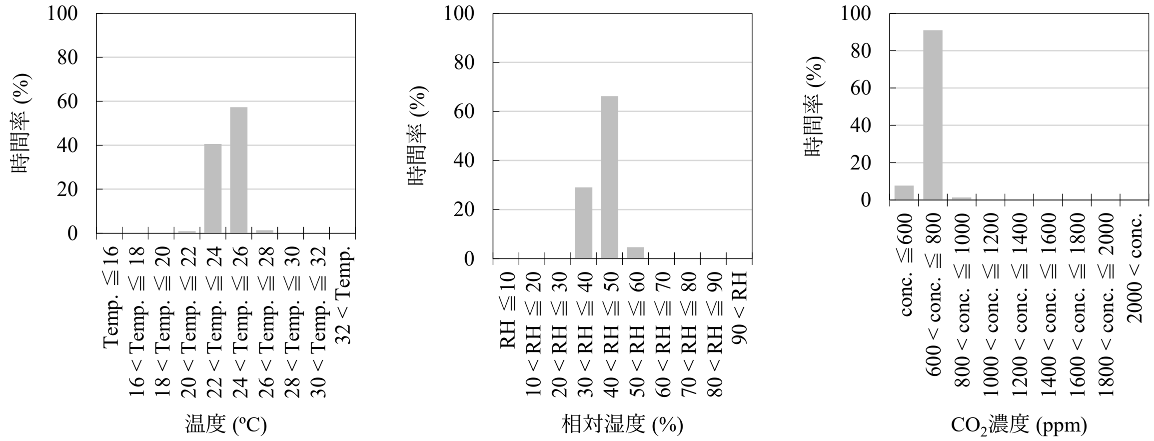
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



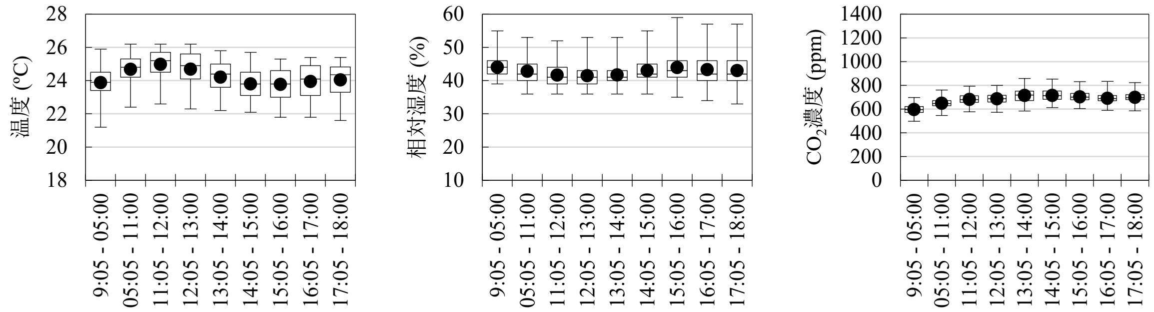
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



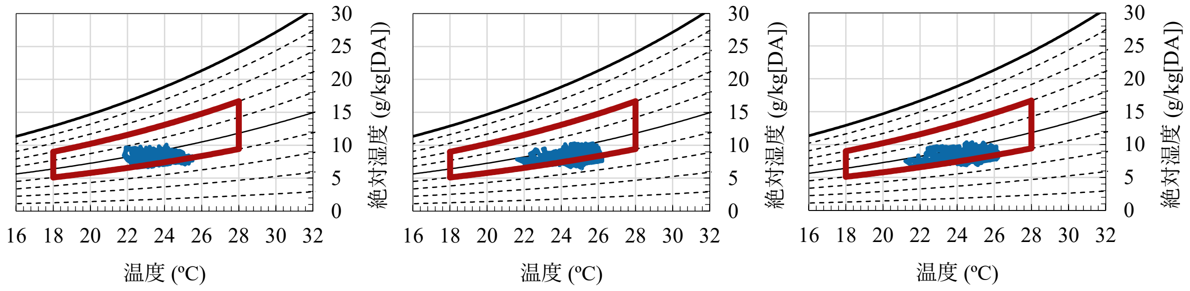
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



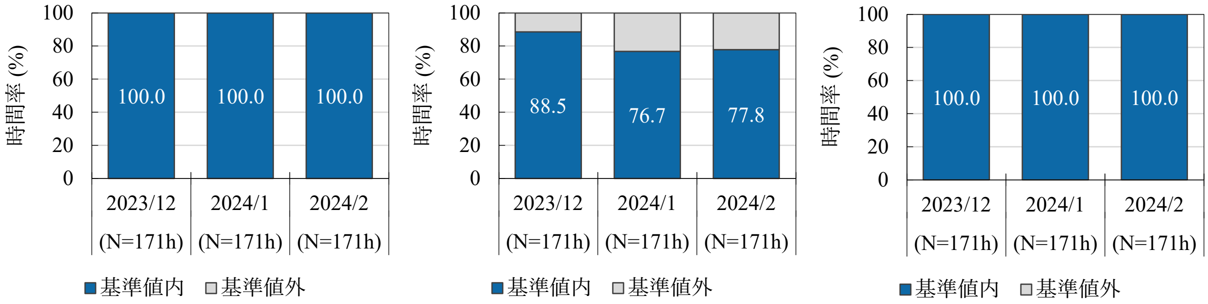
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



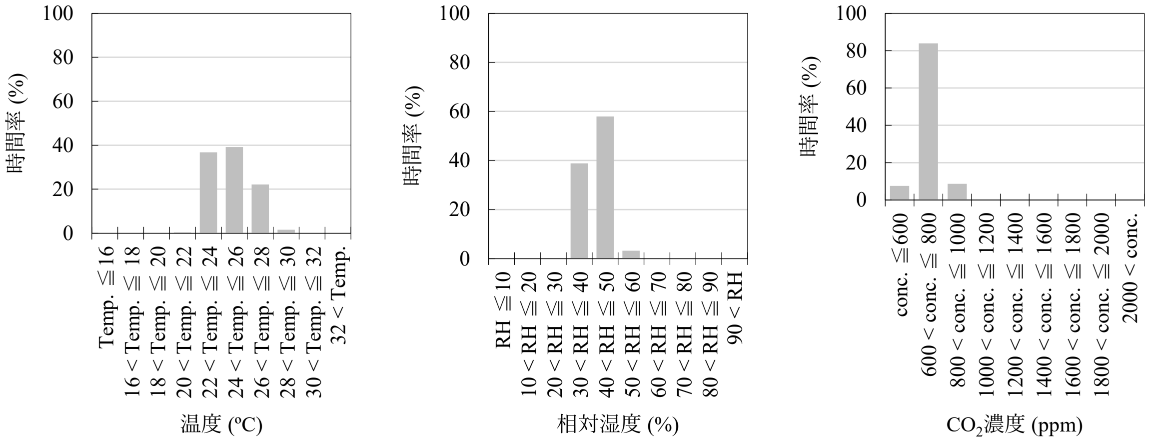
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



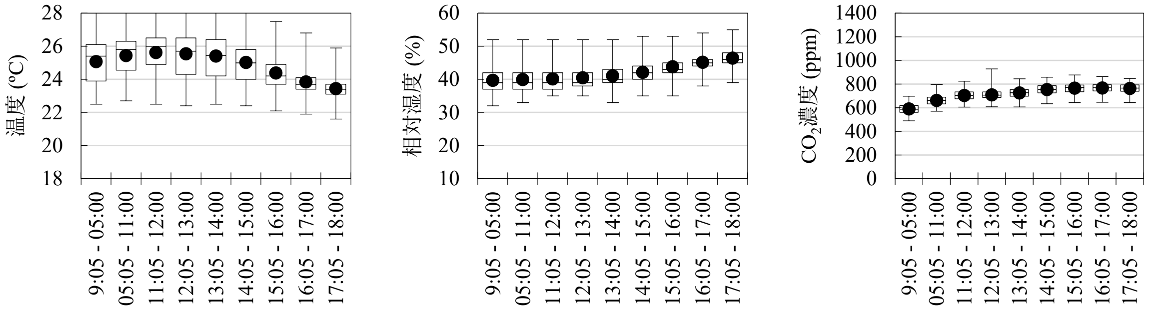
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



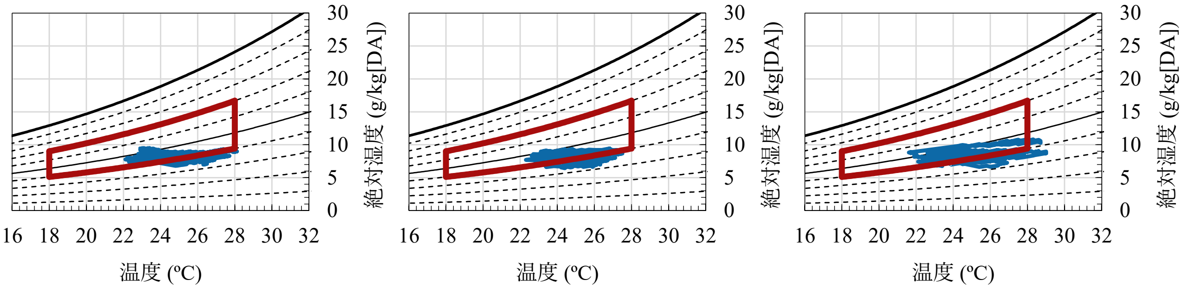
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



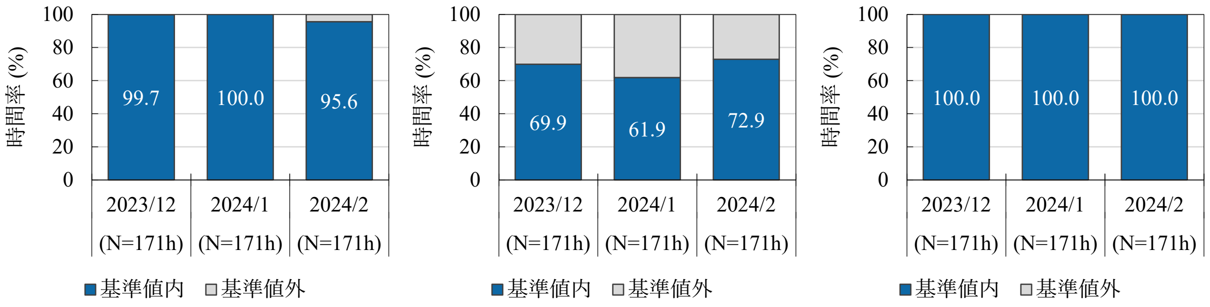
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



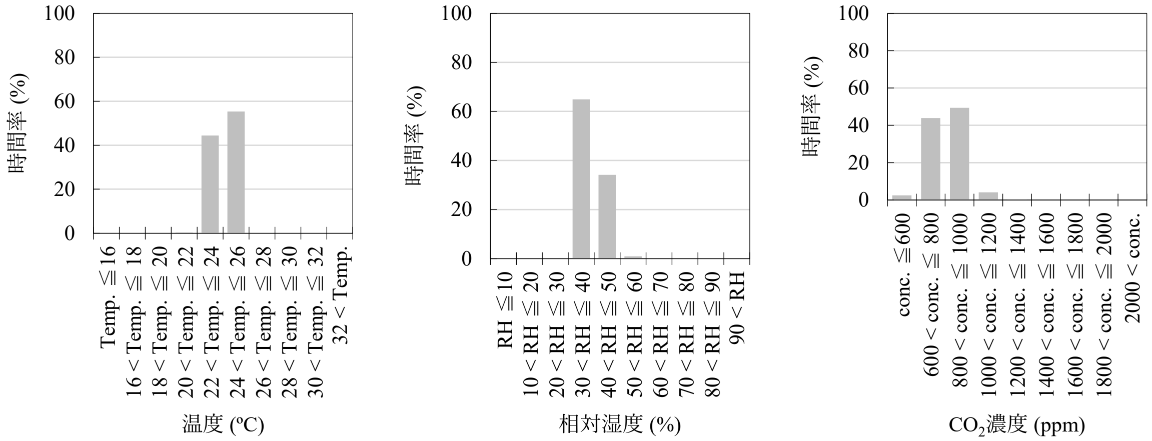
(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



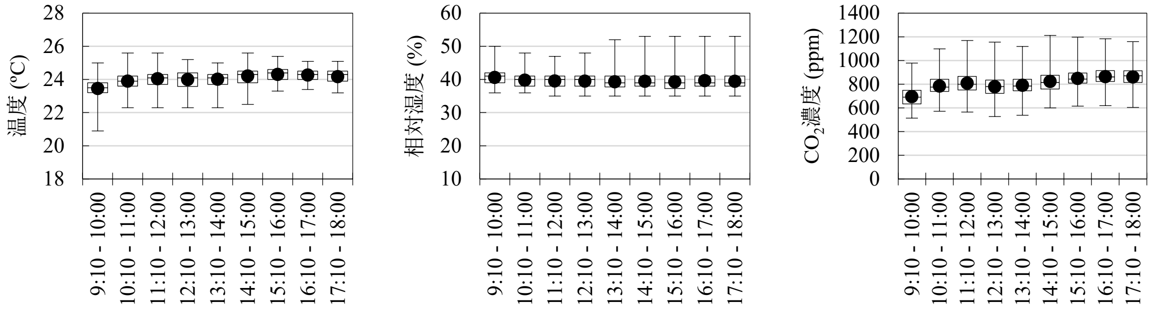
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



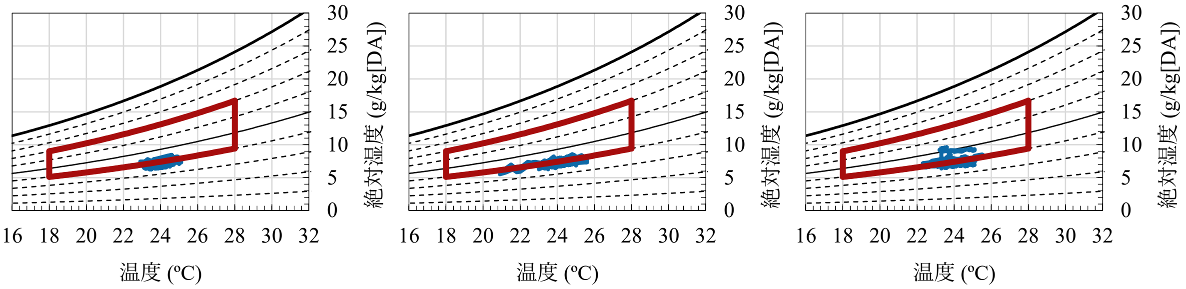
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



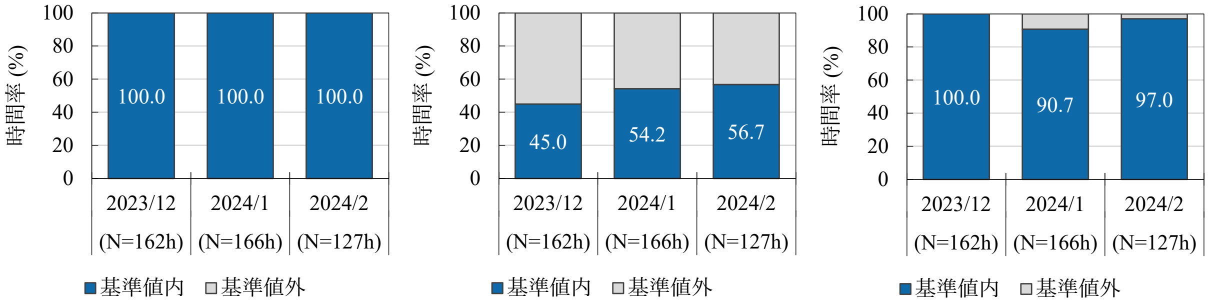
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



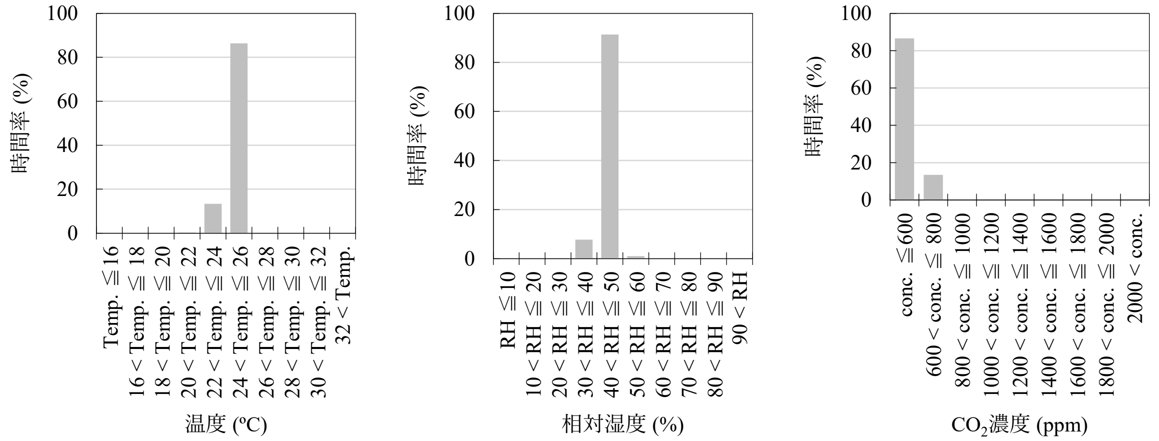
(a) 2023/6　　(b) 2023/7　　(c) 2023/8

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



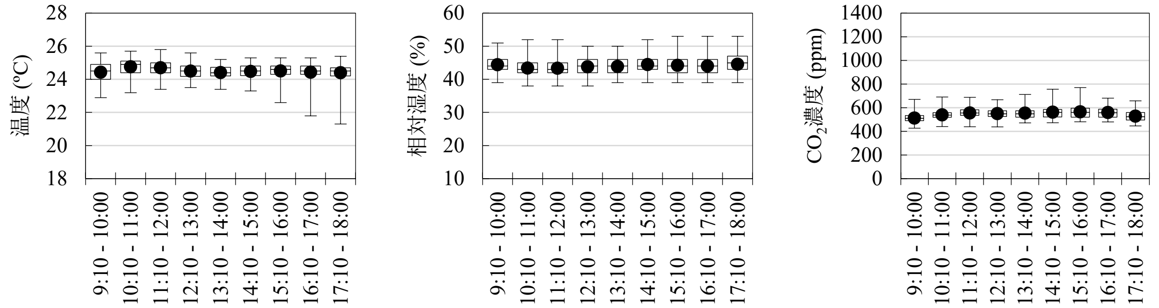
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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）



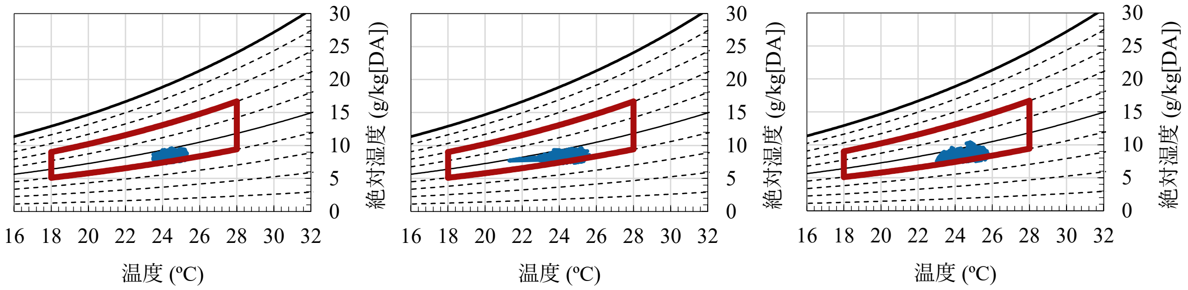
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）



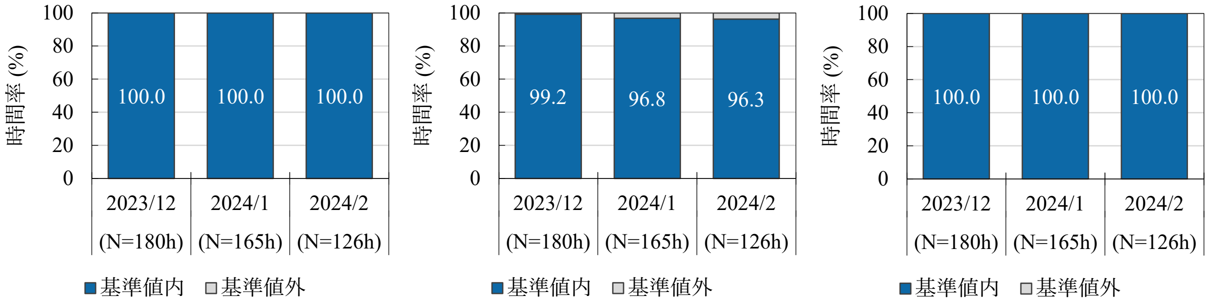
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



(a) 2023/6　(b) 2023/7　(c) 2023/8

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



(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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）

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。中間期の空調非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・CO_2 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 件を対象に夏期（2023/8 – 2023/9）と冬期（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、CO_2 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 年夏期の各建物の測定結果を図 3-2-1～図 3-2-12、2024 年冬期の各建物の測定結果を図 3-2-13～図 3-2-21 にに示す。また、2023 年夏期に測定したすべての建物の結果を図 3-2-22、2024 年冬期に測定したすべての建物の結果を図 3-2-23 に示す。図 3-2-22 と図 3-2-23 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 機種の平均値、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、夏期・冬期の一致率は温度が 42%・67%、相対湿度が 92%・89%、CO_2 濃度が 83%・44%であり、最高値と最低値も含めた夏期・冬期の一致率は温度が 44%・58%、相対湿度が 62%・71%、CO_2 濃度が 56%・39%であった。相対湿度の一致率は夏期・冬期問わず、約 90%程度であったが、夏期においては温度、冬期においては CO_2 濃度が高い傾向が見られた。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、冬期の CO_2 濃度については小型測定器の CO_2 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%）、CO_2 濃度が小型測定器 A（55%）であり、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%）、CO_2 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、CO_2 濃度は冬期に小型測定器 A が中央値となることが無くなり、ほとんどすべての測定で小型測定器 A の CO_2 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 CO_2 濃度が高いことから室内 CO_2 濃度も高くなる傾向にあり、室内 CO_2 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 3-2-24 に示す。図 3-2-24 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%、CO_2 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%、CO_2 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 16.2ºC の時に小型測定器の中央値が 18.1ºC 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、15ºC 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 CO_2 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, 冨岡一之, 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

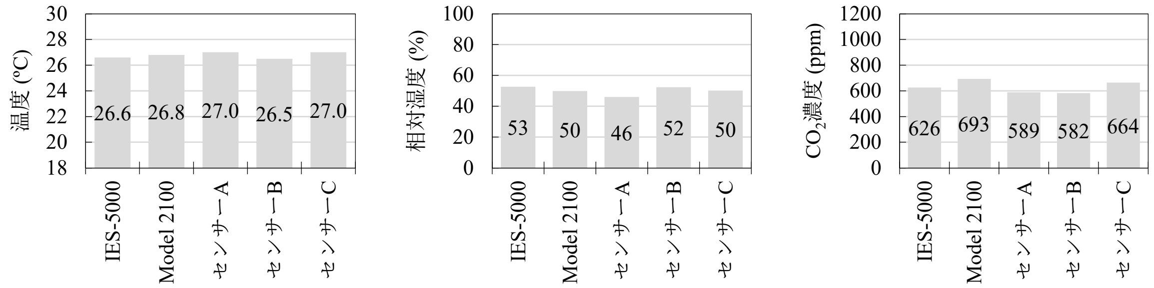
１）下ノ薗慧, 海塩渉, 鍵直樹, 中野淳太, 金勲. 建築物環境衛生管理への小型連続測定器・BEMS の活用可能性に関する検証. 第 57 回空気調和・冷凍連合講演会. 2024.4.18-19;東京. 同講演論文集. pp. 147–152. 2024.

3. 著書

なし

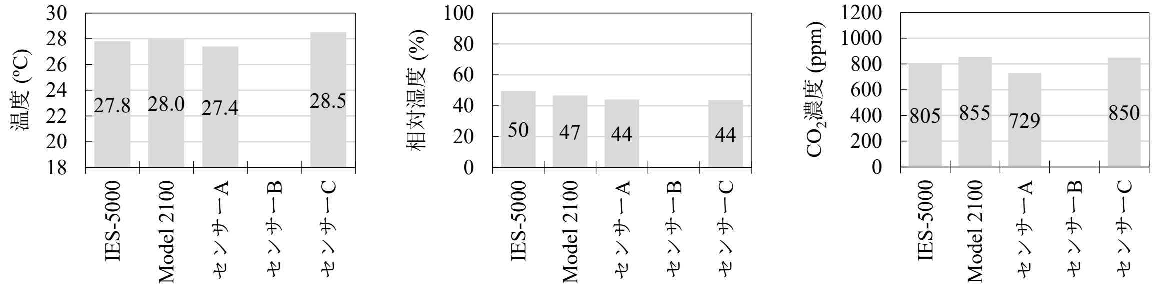
G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし



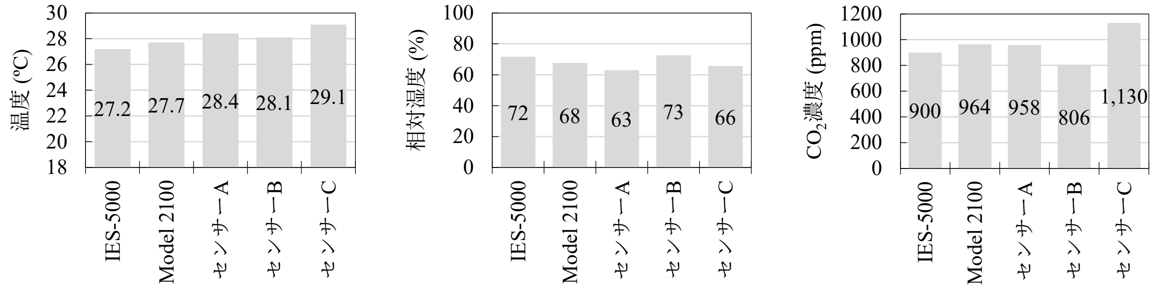
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

図 3-2-1　小型測定器と現場立入測定の比較（A ビル 2 階, 2023/8/31 14:30）



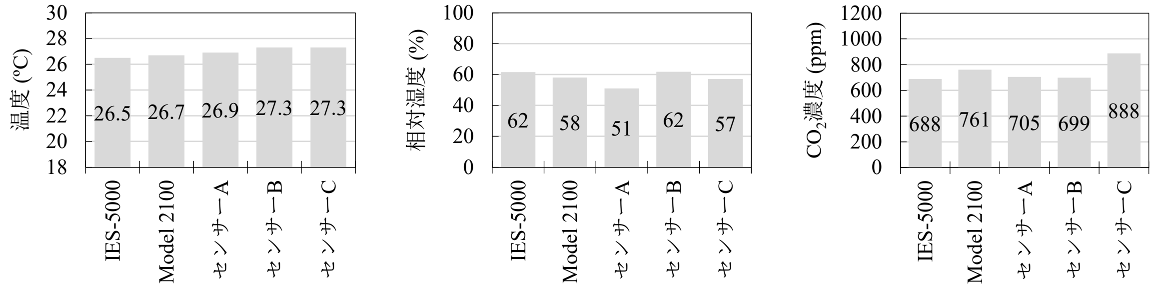
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



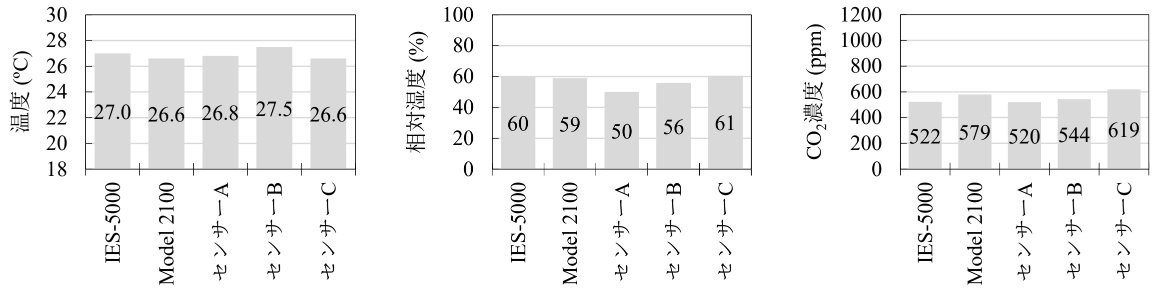
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

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



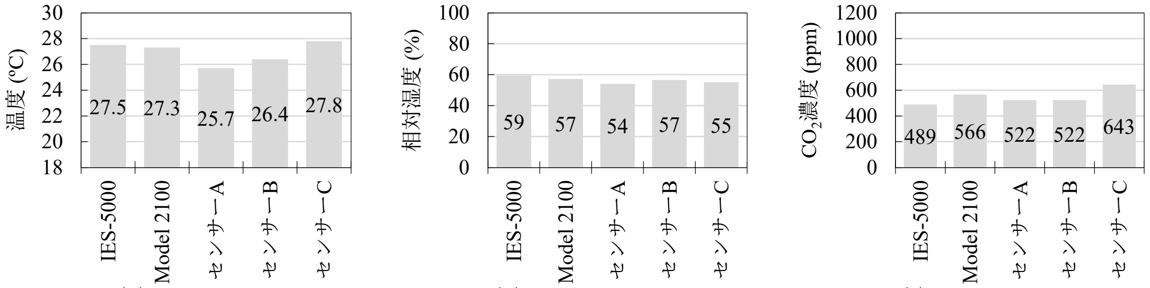
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

図 3-2-4　小型測定器と現場立入測定の比較（C ビル, 2023/8/24 10:20）



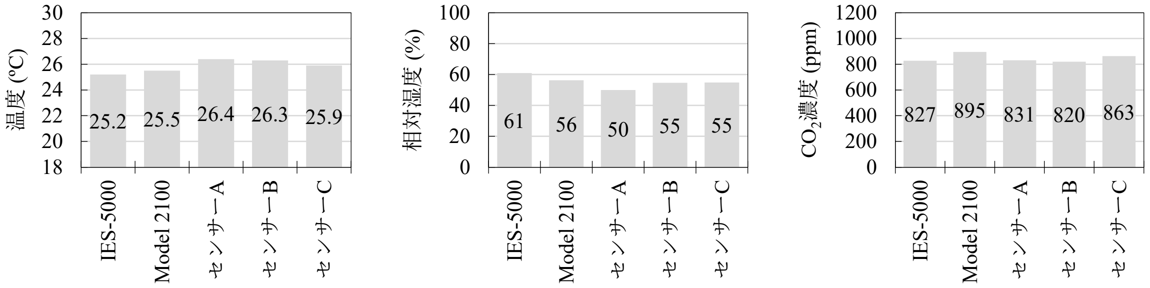
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

図 3-2-5　小型測定器と現場立入測定の比較（D ビル 1 階, 2023/8/31 10:40）



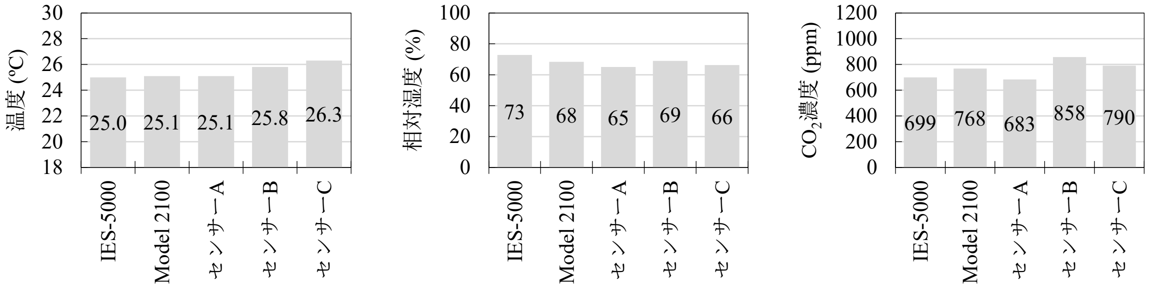
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-6　小型測定器と現場立入測定の比較（D ビル 4 階, 2023/8/31 11:40）



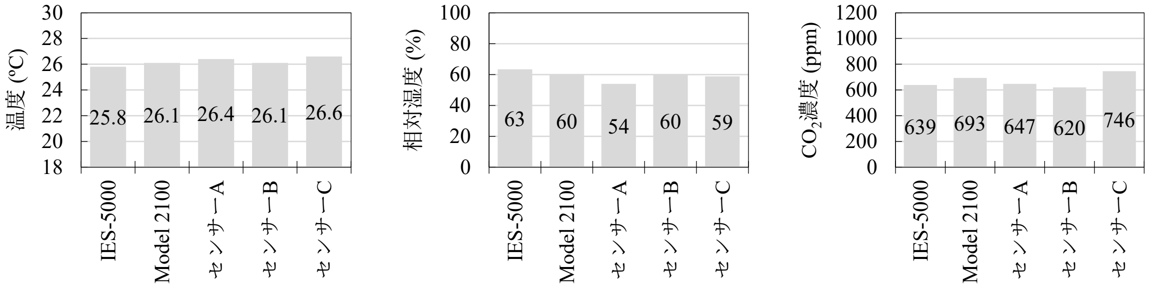
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-7　小型測定器と現場立入測定の比較（E ビル, 2023/8/28 15:40）



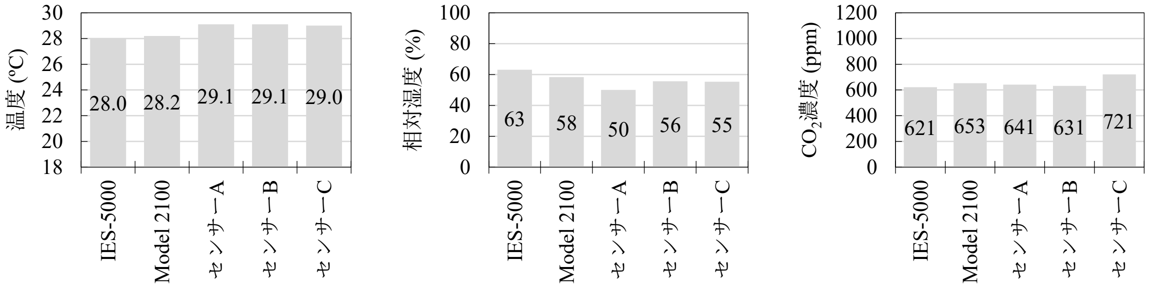
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



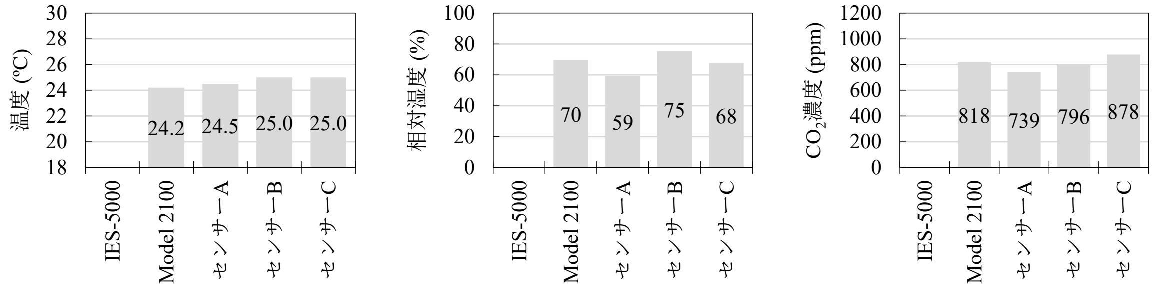
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-9　小型測定器と現場立入測定の比較（G ビル 1 階, 2023/8/28 11:00）



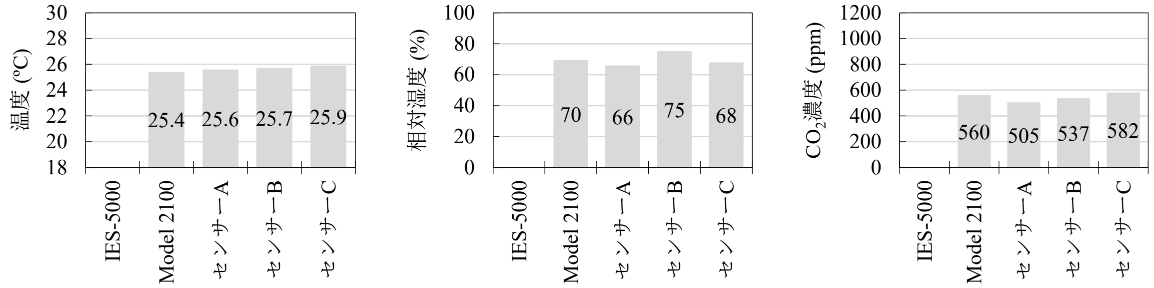
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

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



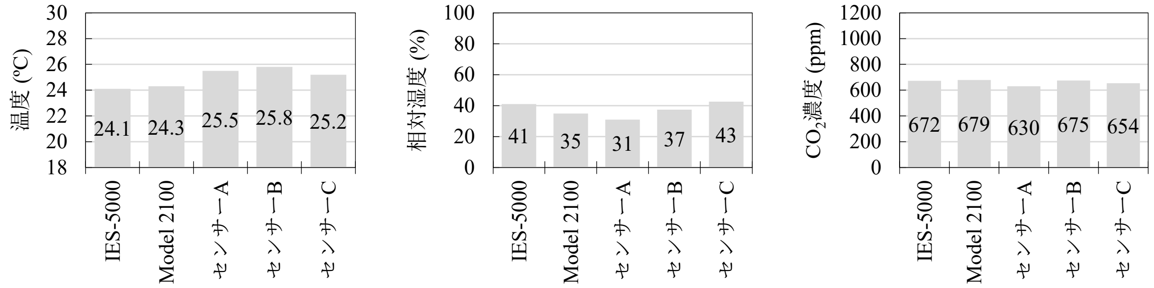
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

図 3-2-11　小型測定器と現場立入測定の比較（H ビル 4 階, 2023/9/4 14:30）



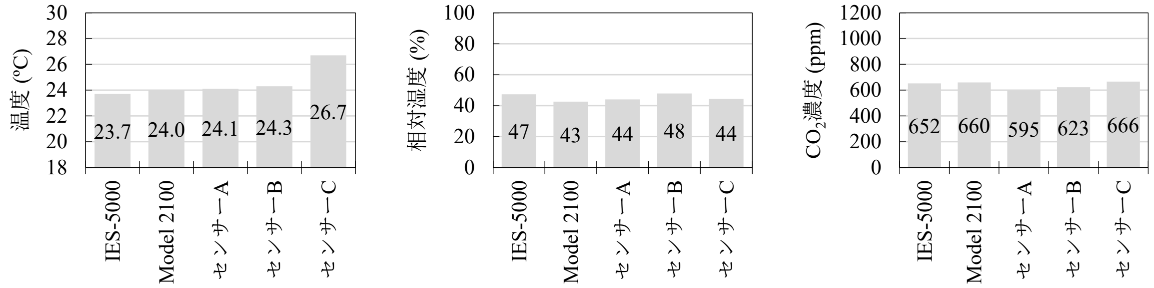
(a) 温度　　(b) 相対湿度　　(c) CO_2 濃度

図 3-2-12　小型測定器と現場立入測定の比較（H ビル 6 階, 2023/9/4 15:10）



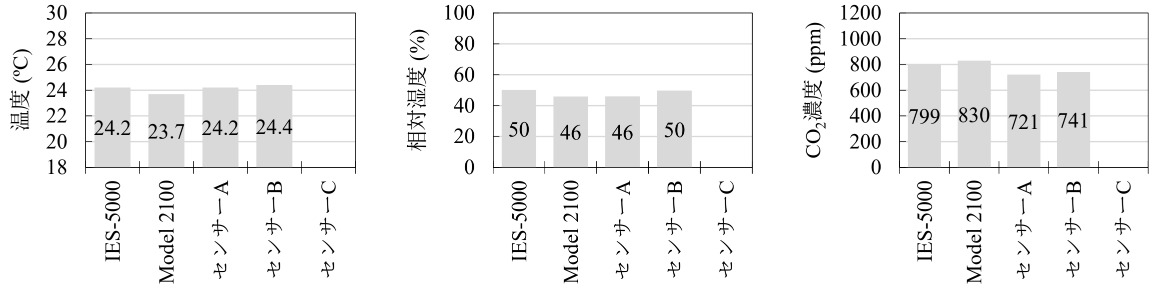
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-13　小型測定器と現場立入測定の比較（D ビル 1 階, 2024/2/22 14:50）



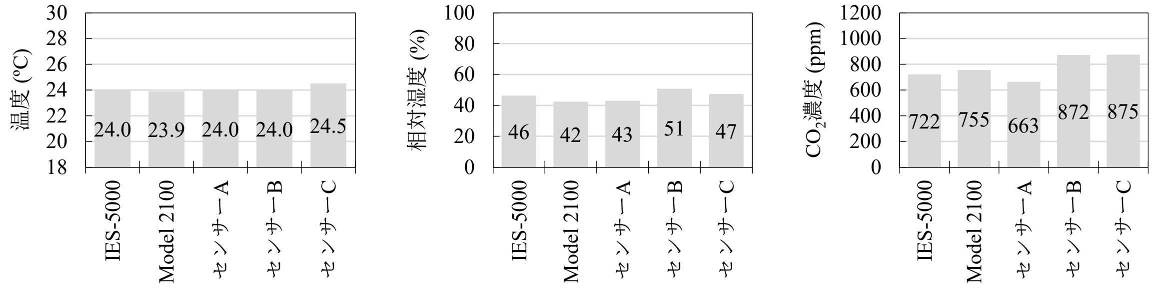
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-14　小型測定器と現場立入測定の比較（D ビル 4 階, 2024/2/22 15:40）



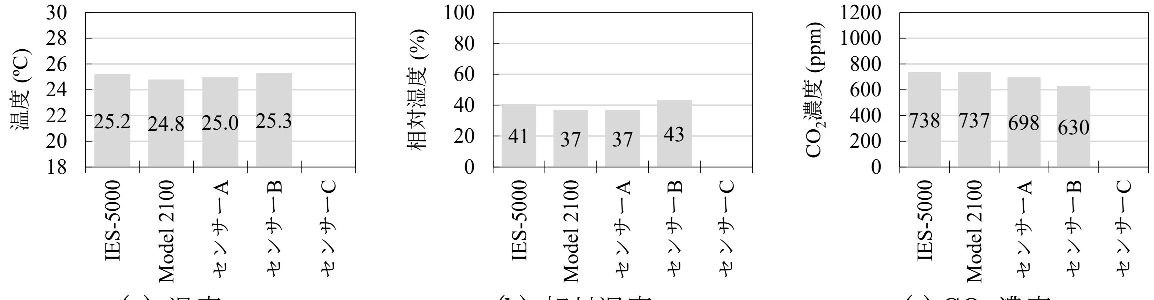
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-15　小型測定器と現場立入測定の比較（E ビル, 2024/2/29 10:00）



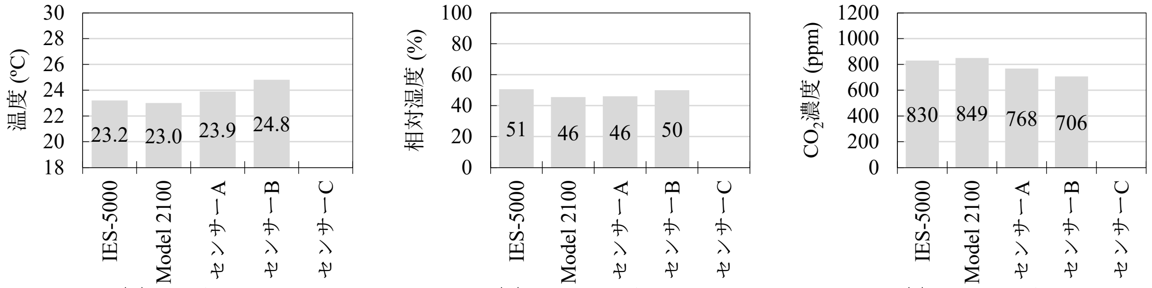
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-16　小型測定器と現場立入測定の比較（F ビル, 2024/2/29 11:00）



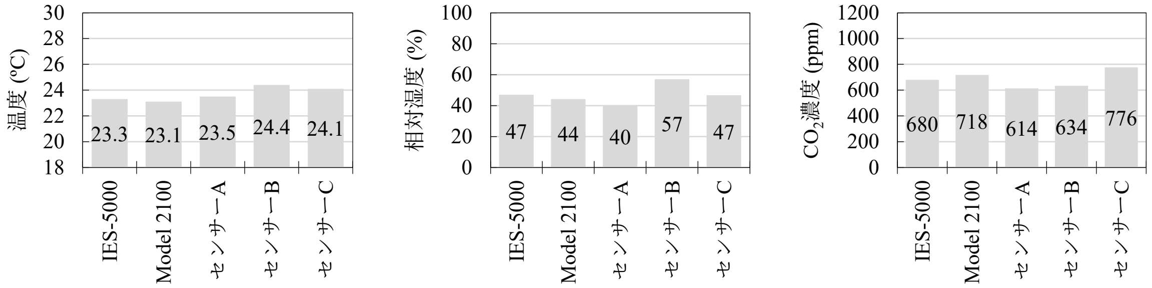
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-17　小型測定器と現場立入測定の比較（G ビル 1 階, 2024/2/29 16:30）



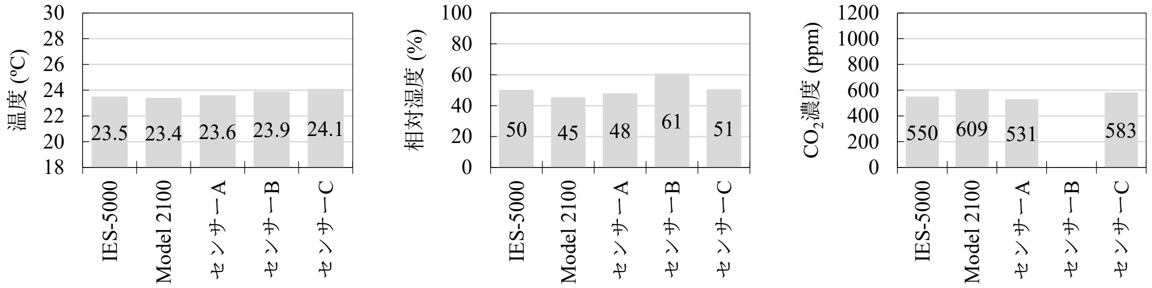
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-18　小型測定器と現場立入測定の比較（G ビル 3 階, 2024/2/29 15:30）



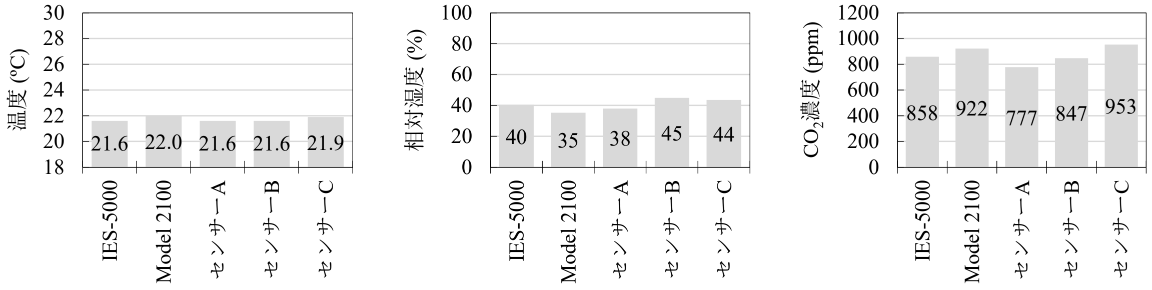
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-19　小型測定器と現場立入測定の比較（H ビル 4 階, 2024/2/22 10:40）



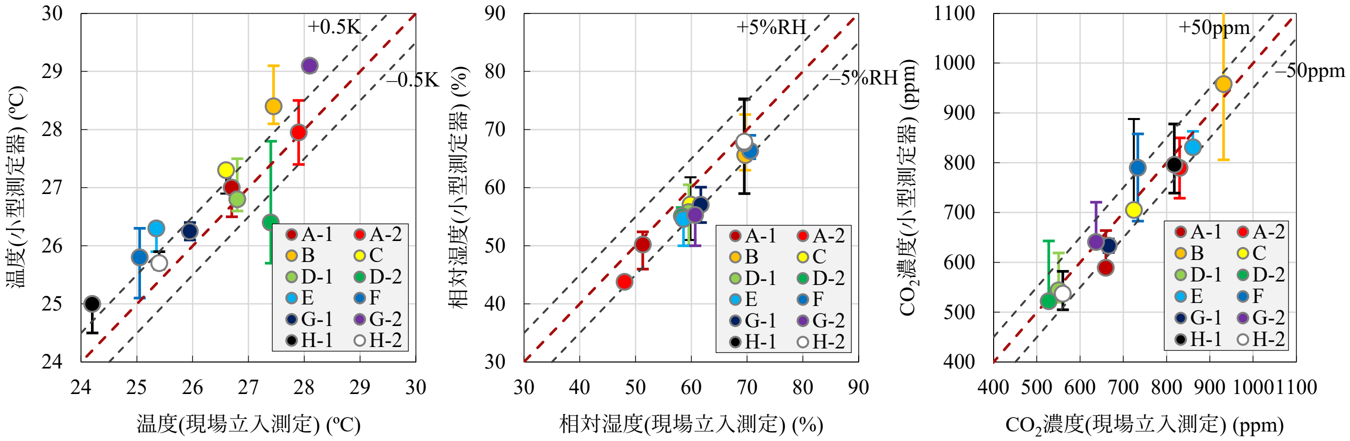
(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-20　小型測定器と現場立入測定の比較（H ビル 6 階, 2024/2/22 09:30）



(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

図 3-2-21　小型測定器と現場立入測定の比較（I ビル 2 階, 2024/3/5 10:30）



(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

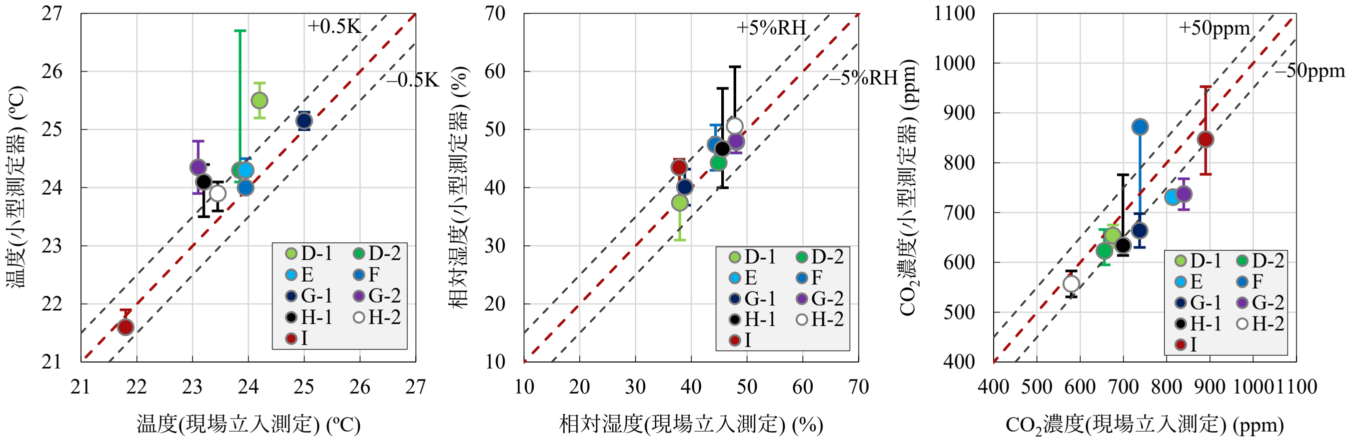
【図 3-2-22 注記】

1)現場立入測定の値は 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（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）。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。

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、表 2-2-2 中の測定階のうち低層階を示している。

図 3-2-22　小型測定器と現場立入測定の比較（2023 年夏期）



(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

【図 3-2-23 注記】

1)現場立入測定の値は 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。

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、表 2-2-2 中の測定階のうち低層階を示している。

図 3-2-23　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 A	小型測定器の結果 B	小型測定器の結果 C	中央値
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
	2024/3/1 14:05	23.7	25.5	26.6	26.3	26.3
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
	2024/2/28 14:35	24.0	24.6	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）

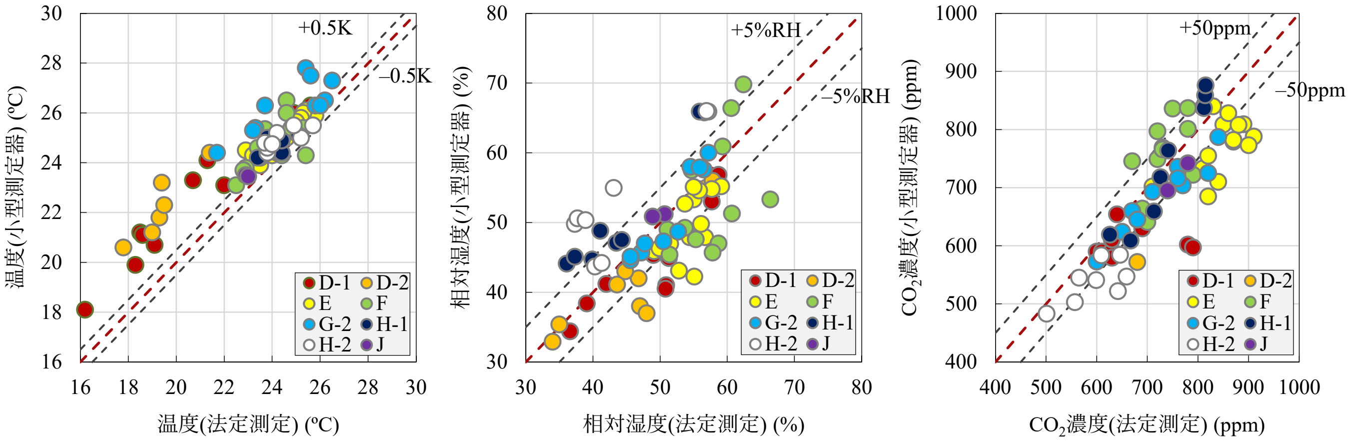
建物記号	日時	法定測定の結果	小型測定器の結果			中央値
			A	B	C	
D–1	2023/1/30 10:13	51	42	59	48	48
	2023/1/30 13:24	51	40	57	45	45
	2023/3/27 10:15	39	31	49	38	38
	2023/3/27 13:38	37	29	47	34	34
	2023/9/27 10:25	58	53	#N/A	#N/A	53
	2023/9/27 13:33	59	55	#N/A	59	57
	2023/11/27 10:17	49	41	#N/A	50	45
	2023/11/27 13:09	42	35	#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
	2024/3/1 14:05	51	44	47	47	47
H–1	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
	2024/2/28 14:46	37	38	55	45	45
H–2	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
	2024/2/28 14:35	43	49	61	#N/A	55
J	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（CO_2 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。



(a) 温度　(b) 相対湿度　(c) CO_2 濃度

【図 3-2-24 注記】

1)法定測定の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 3-2-24　小型測定器と現場立入測定の比較（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/m^3 であり，かつ，1 日平均値が 35 μg/m^3 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暴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 ・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 ・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 µg/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	80×45×88	81×40×141
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動力学的特性が粒径 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) level[5]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。比較的低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。

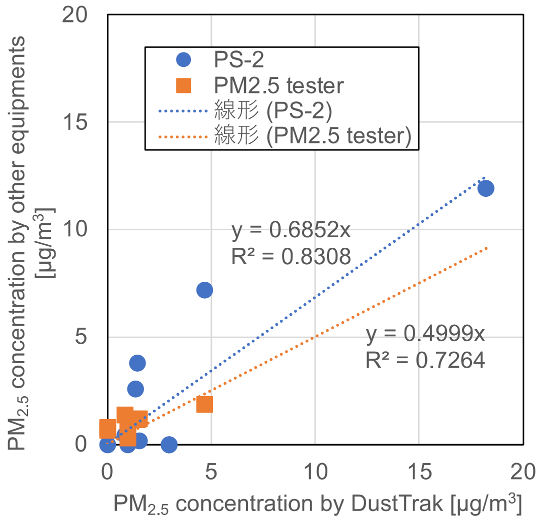


図 3-3-1 DustTrak と連続測定機器の $PM_{2.5}$ 濃度の比較

D. まとめ

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把握を実際の建築物において測定を行い，測定値について検討を行った。低濃度環境においては，機器同士のばらつきが大きいことが測定機器については，測定精度とともに，粉じん計と同様に換算係数の設定が重要であること，2.5 µm カットを行わない測定機器の扱い，校正の方法などが課題となると考えられる。なお，測定結果はリアルタイムに結果を表示，記録を行うものが多いため，連続測定をしながら，監視を行える利点もあるため，今後検討に値すると考えられる。

E. 参考文献

1) W.E. Wilson: The U.S. Environmental Protection Agency promulgates new standards for fine particles，大気汚染学会誌，33，A67-A76，1998.

2) 環境省 :微小粒子状物質曝露影響調査報告書，2007

3) WHO: Air Quality Guideline Global Update 2005, WHO, Geneva, 2006.

4) 武林亨，朝倉敬子，山田睦子：$PM_{2.5}$ の疫学と健康影響：日本人のリスク評価の視点から，大気環境学会誌，46(2)，70-76，2011

5) WHO: WHO global air quality guidelines, Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, 2021.11

F. 研究発表
1. 論文発表
　なし
2. 学会発表
　なし
3. 　著書
　なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）
　予定なし

令和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

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	下ノ薗　慧	国立保健医療科学院	研究員

研究要旨

2022年度に実施した暖房期の調査に引き続きBEMSを導入している3棟のオフィスビルを対象に冷房期のデータ収集を行い、BEMSデータの空気環境管理への応用可能性について検討を行った。対象ビルには、温度、湿度、CO_2濃度の連続測定データロガーを設置し、同時期のBEMSデータの収集を依頼した。

分析の結果、冷房期において、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しい値を取るため、空気環境管理に利用できる可能性が高いこと、②相対湿度は一貫した結果が得られないこと、③CO_2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ことが示唆された。また時系列データによる検討の結果、温度は朝の冷房立ち上がり時に高く、特に建物を使用していない連休明けに基準の逸脱に注意が必要であることが示された。しかし暖房期に比べて、冷房期の相対湿度の逸脱時間割合は小さかったことから、夏季の高湿度環境よりも冬季の低湿度環境に注意を払う必要があると示された。

以上より、冷房期の温度とCO_2濃度については空気環境管理への活用が可能であると考えられるが、相対湿度の活用は難しいことが示唆された。これは暖房期と同様の傾向であった。今後は暖房期を含む年間を通じた検討によって、季節や空調方式（床吹出 or 天井吹出）等の違いを考慮しつつ、BEMS活用可能性について更に検討を深めるとともに、活用する場合の注意点を整理していく必要がある。

研究協力者
原山 和也　　アズビル（株）
橋本 翔　　ダイダン（株）

4-1 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。窓は閉状態であった。A, F ビルはOA フロアを利用した床吹出・天井吸込であり、E ビルのみ天井吹出・天井吸込であった。データを温度、相対湿度、CO_2濃度の3項目と、居住域、壁面（インテリア）、壁面（ペリメータ）、還気ダクトという4つのセンサ設置箇所で表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、以降の検討を行った。今年度は冷房期を対象とし、A, E, F ビルとも7月のデータを分析した。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社製おんどとり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。

4-2 空間分布に関する検討

(1) A ビル

図 4-2 に、設置箇所別の BEMS センサの温度、比較対象として居住域に設置した連続測定小型データロガーの温度を示す。BEMS センサの平均温度は、居住域：25.9℃、壁面（ペリメータ）: 26.1℃と近しい値を示し、居住域に設置したデータロガーは 26.5℃と僅かに温度が高かった。図 4-3 に居住域に設置したデータロガーの温度を y 軸、BEMS センサの温度を x 軸とした場合の散布図を示す。居住域・壁面（ペリメータ）の BEMS センサとも、切片が僅かにプラス側に振れているが、傾きが 1 に近く、データロガーと良好な相関関係が確認された。

図 4-4 に相対湿度の箱ひげ図を示す。温度に依存するため単純な比較は難しいが、居住域、壁面（ペリメータ）の BEMS センサの平均値はそれぞれ 46%RH, 44%RH であり、大きな差異は認められなかった。図 4-5 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対応関係が確認された。

(2) E ビル

図 4-6 に、設置箇所別の BEMS センサの温度と居住域のデータロガーの温度を示す。約 0.5℃還気ダクトの平均温度が高かったものの、3 か所の BEMS センサに大きな差は認められなかった。図 4-7 に散布図を示す。近似直線の傾きは 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。これは昨年度報告した暖房期と同様の傾向であり、床吹出の A ビル（図 4-3）と異なり、プロットが整然と並んでいない様子が観察される。その一因として、E ビルの空調が天井吹出で、空気が撹拌されていたことが考えられる。

図 4-8, 4-9 に還気ダクトの BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図と相関図を示す。BEMS センサとデータロガーの設置場所が異なっているものの、平均相対湿度は両センサとも 57%RH であり、暖房期と比較して良好な相関関係が認められた。

図 4-10 に還気ダクトの BEMS センサと居住域データロガーの CO_2 濃度の箱ひげ図を示す。平均値に約 70 ppm の差が認められた。図 4-11 の相関図の決定係数は高く、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 CO_2 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、居住域の CO_2 濃度はデータロガーを設置した 1 箇所を代表点として扱っているため、その設置箇所の代表性については注意が必要であり、居住域の濃度ムラを考慮する必要がある。

(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が特徴である。

図 4-12 に、設置箇所別の BEMS センサとデータロガーの温度の箱ひげ図を示す。居住域の BEMS センサとデータロガーは近しい値を取ったが、壁面（ペリメータ）の BEMS センサの温度は平均 25.7℃で他の場所に比して僅かに高かった。夏の屋外の暑熱環境の影響を受けたものと考えられる。図 4-13 に居住域に設置したデータロガーと BEMS センサの温度の散布図を示す。暖房期のデータでは、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は y=x から平行移動する形状を示していたが、冷房期の本データにおいては y=x の線上にプロットが位置し、良好な対応を示した。

図 4-14 に居住域の BEMS センサとデータロガーの相対湿度の箱ひげ図、図 4-15 に散布図を示す。温度は 2 つのセンサでほぼ同等であったにもかかわらず、相対湿度には約 7%RH の差異が認められ、データのバラツキが大きい結果であった。BEMS センサとデータロガーは、空間的には近しい場所（どちらも居住域）に設置したため、センサ種別や個体による差が表れたものと考えられる。

図 4-16, 4-17 に、還気ダクトの BEMS センサと居住域のデータロガーの CO_2 濃度の箱ひげ図と散布図を示す。空間的には大きな距離があったものの、データのバラツキ含めて非常に良い対応関係が見られた。これは CO_2 の拡散のしやすさ等によるものと考えられる。

4-3 時刻変動に関する検討

(1) A ビル

図 4-18 に、居住域の BEMS センサによって取得した、7 月後半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）。温度が建築物環境衛生管理基準の上限である 28℃を上回る時間帯があり、これは 7/18（火、3 連休の翌日）という連休明けの空調立ち上がり時間帯であった。暖房期も連休明けに 18℃を下回る状況が確認されたため、A ビルにおいては暖冷房期ともに空調立ち上げ時の基準の逸脱に注意する必要があることが示唆された。図 4-19 に相対湿度の時刻変動を示す。冷房期にもかかわらず相対湿度が 40%RH を下回る時間も見られ、逸脱時間割合（＝基準を逸脱している時間／総測定時間）は、25.8%であった。

(2) E ビル

図 4-20, 4-21, 4-22 に、BEMS センサによって取得した温度、相対湿度、CO_2 濃度の時刻変動を示す。本ビルにおいては 7/21 と 7/24 が休業であったため、当該データを除外している。温度は約 25℃、相対湿度は 50～60%RH の範囲で、CO_2 濃度は 800 ppm 付近で一日を通して安定していた。各項目の挙動から、E ビルは厳格な自動制御がなされていたものと考えられる。

(3) F ビル

本ビルも 7/21 と 7/24 が休業であったため、当該データを除外した。図 4-23 に、BEMS センサによって取得した温度の時刻変動を示す。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、朝の空調立ち上がり時に温度が徐々に低下する挙動が確認され、特に 4 連休明けの 7/25 にその挙動が顕著に現れていた。図 4-24 に相対湿度の時刻変動を示す。相対湿度は基準範囲である 40～70%RH 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 5-25 に CO_2 濃度の時刻変動を示す。暖房期と同様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。

4-4 BEMS データ活用の可能性

本章では冷房期の実物件データ分析を通じ、建築物の空気環境管理に対する BEMS データ（温度・相対湿度・CO_2 濃度）の応用可能性を検討した。その結果、以下の成果が得られた。

1) 温度は居住域と壁面（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しい値を示し、空気環境管理に利用できる可能性が高い。ただし 28℃に近い温度領域においては、当然のことながら、少しの差で基準範囲である 28℃以下を満足するか否かが分かれるので、28℃近傍で運用しているオフィスでは BEMS センサの設置箇所による僅かな差にも注意を払う必要がある。翻って、26℃近傍で運用しているオフィスにおいては、居住域から離れた箇所（ペリメータ壁面や還気ダクト）に設置されているセンサを活用して、28℃以下か否かという環境管理をすることも可能と考えられる。

2) 相対湿度は 3 ビルの BEMS データから一貫した結果が得られなかった。具体的には、居住域のデータロガーと空間的に近い居住域に設置された BEMS センサであっても値が大きく異なっているケース、反対に還気ダクトに設置された BEMS センサの値が居住域のデータロガーと良好な対応関係を示すケースなど様々であった。

3) CO_2 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の絶対値がずれることがあるので、初期の校正や継続的な管理が必要である。

4) 時刻変動に関する検討の結果、暖房時と同様に温度は朝の空調立ち上がり時の基準範囲からの逸脱、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唆された。

以上のような BEMS データの分析を通して、温度と CO_2 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いことが示された。これは暖房期と同様の結果であった。今後は、暖房期を含む年間を通じた検討によって、季節や空調方式（床吹出 or 天井吹出）等の違いを考慮しつつ、BEMS 活用可能性について更に検討を深めるとともに、活用する場合の注意点を整理していく予定である。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1) 海塩 渉，鍵 直樹，富田 怜，金 勲，下ノ薗 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

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 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	データ収集期間
A	埼玉県三芳町	AHU＋水冷 PAC	床	天井	閉	2023/7
E	神奈川県藤沢市	AHU	天井	天井	閉	2023/7
F	神奈川県藤沢市	AHU＋窓際 FCU	床	天井	閉	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

<table>
<tr><th rowspan="3">ID</th><th colspan="4">温度</th><th colspan="4">相対湿度</th><th colspan="4">CO_2 濃度</th></tr>
<tr><th rowspan="2">居住域</th><th colspan="2">壁面</th><th rowspan="2">還気ダクト</th><th rowspan="2">居住域</th><th colspan="2">壁面</th><th rowspan="2">還気ダクト</th><th rowspan="2">居住域</th><th colspan="2">壁面</th><th rowspan="2">還気ダクト</th></tr>
<tr><th>I</th><th>P</th><th>I</th><th>P</th><th>I</th><th>P</th></tr>
<tr><td>A</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>E</td><td>○</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>○</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>○</td></tr>
<tr><td>F</td><td>○</td><td>－</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>○</td></tr>
</table>

※ I : インテリア、P : ペリメータ

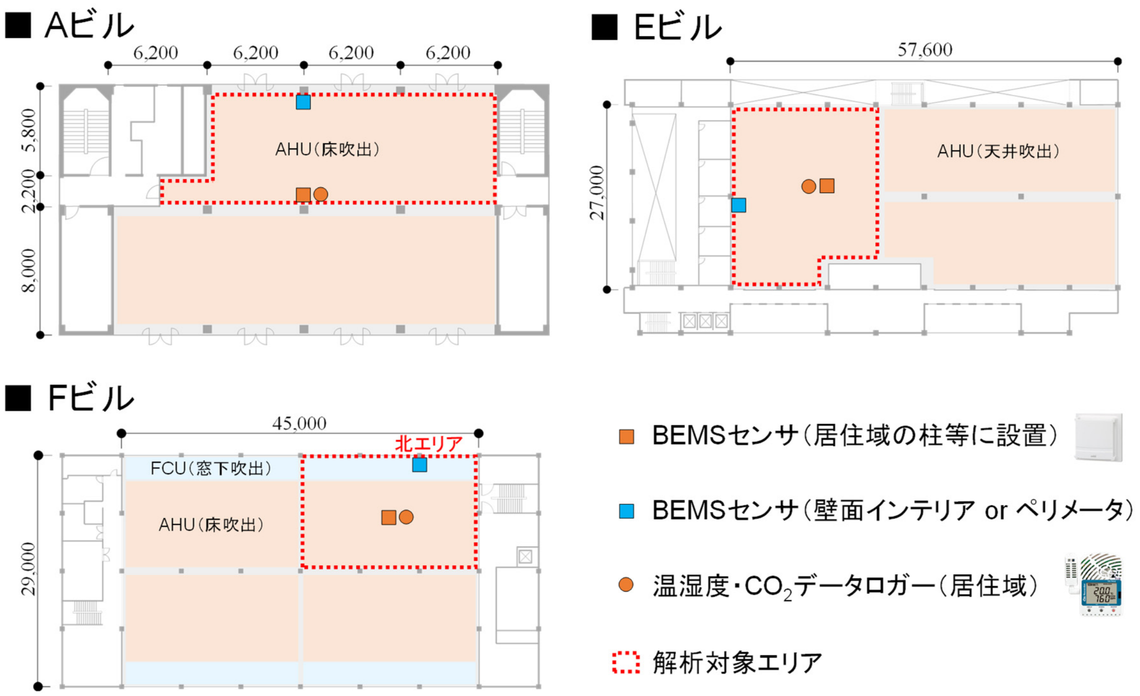


図 4-1　各ビル解析対象エリアとのセンサ設置箇所

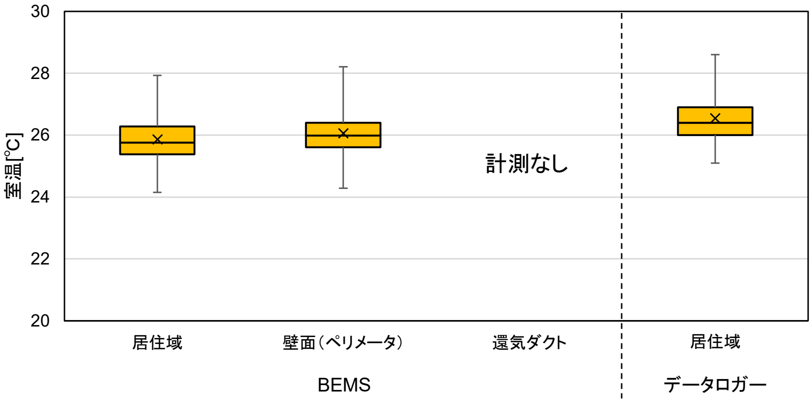


図 4-2　A ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの温度比較

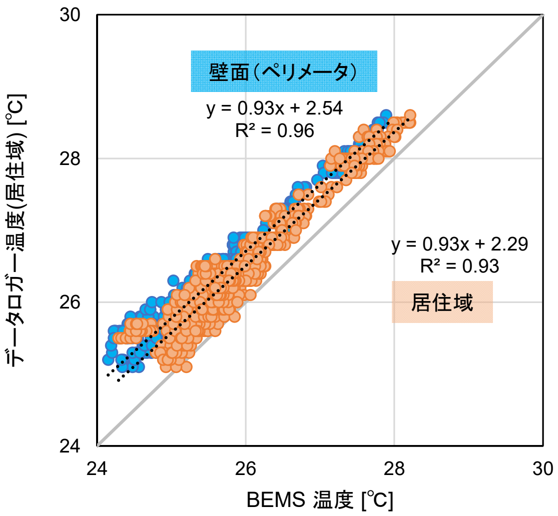


図 4-3　 A ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の温度散布図

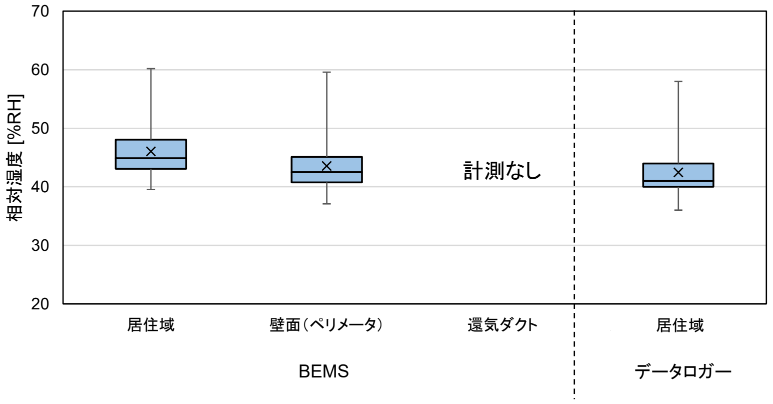


図 4-4　A ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

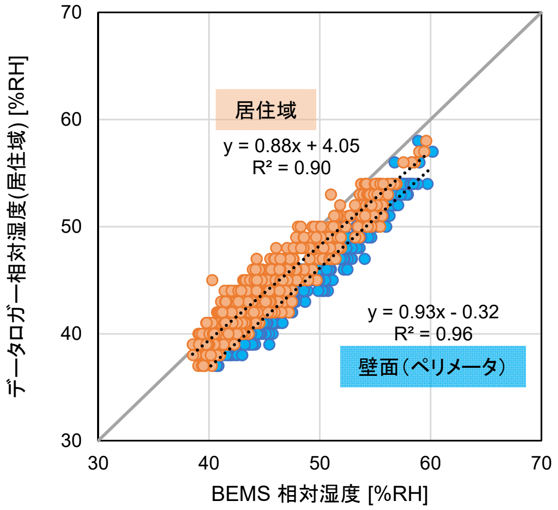


図 4-5　A ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

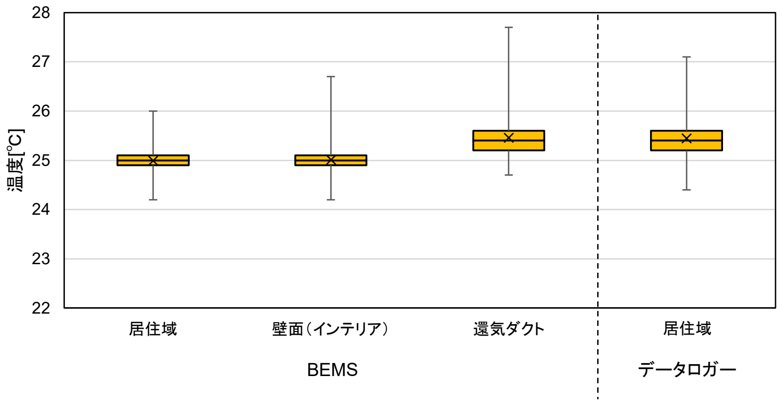


図 4-6　E ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの温度比較

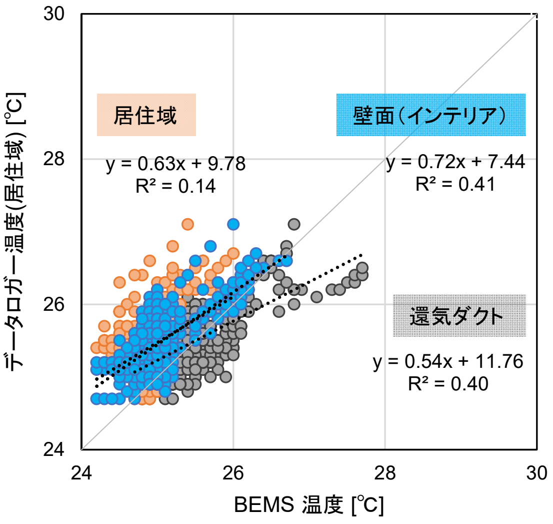


図 4-7　E ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の温度散布図

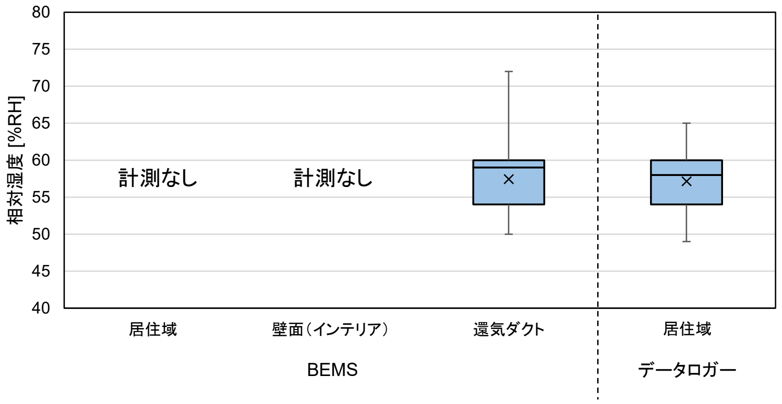


図 4-8　E ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

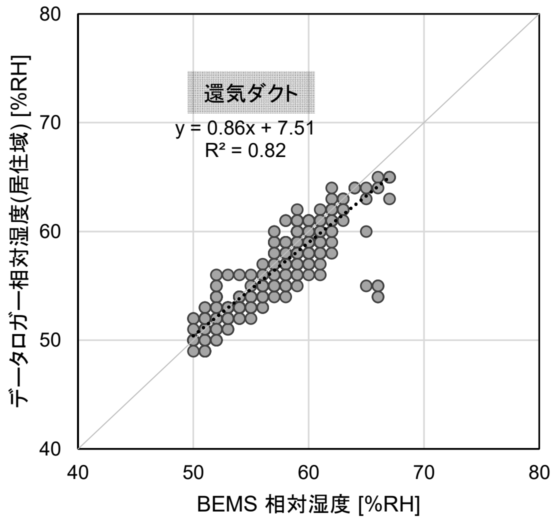


図 4-9　E ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

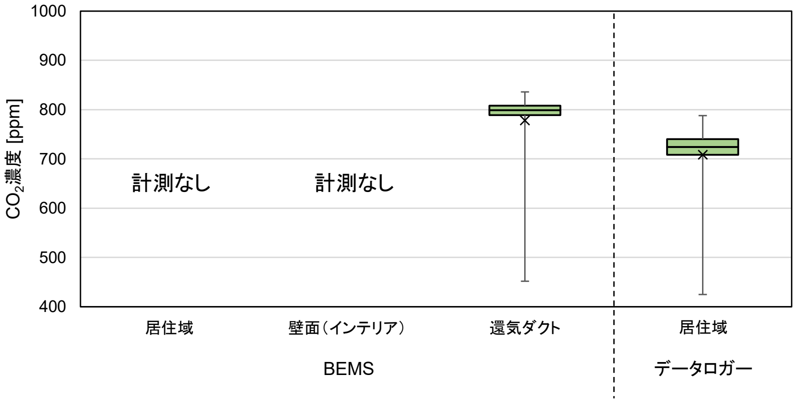


図 4-10　E ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの CO_2 濃度比較

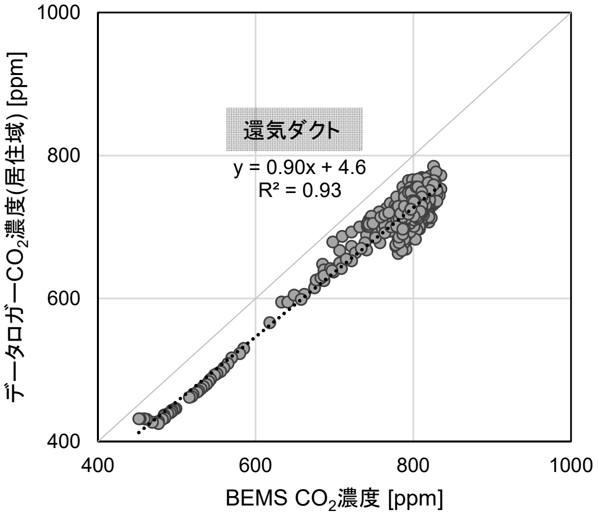


図 4-11　E ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の CO_2 濃度散布図

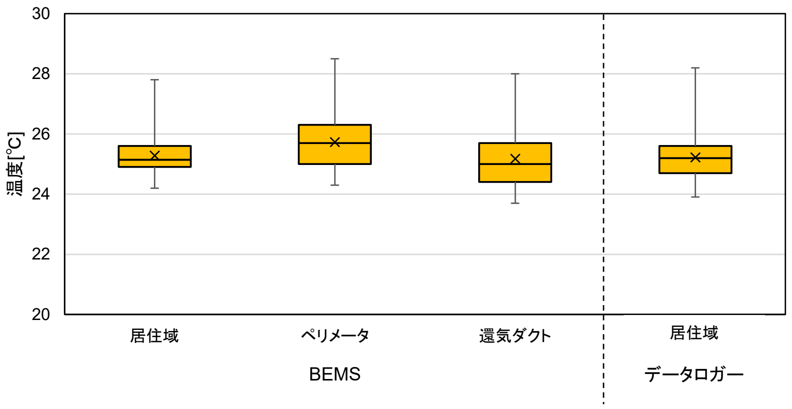


図 4-12　F ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの温度比較

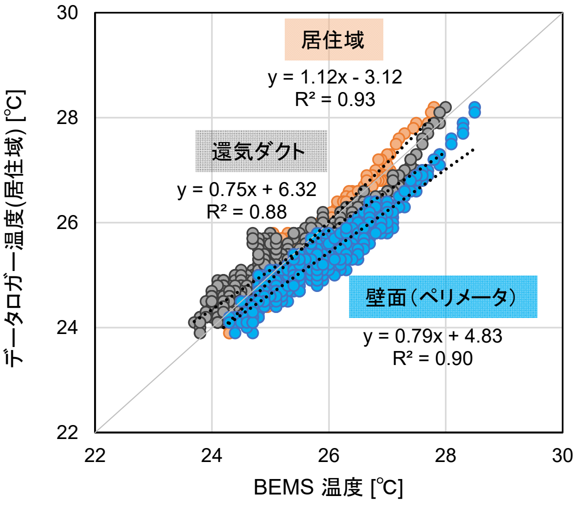


図 4-13　F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の温度散布図

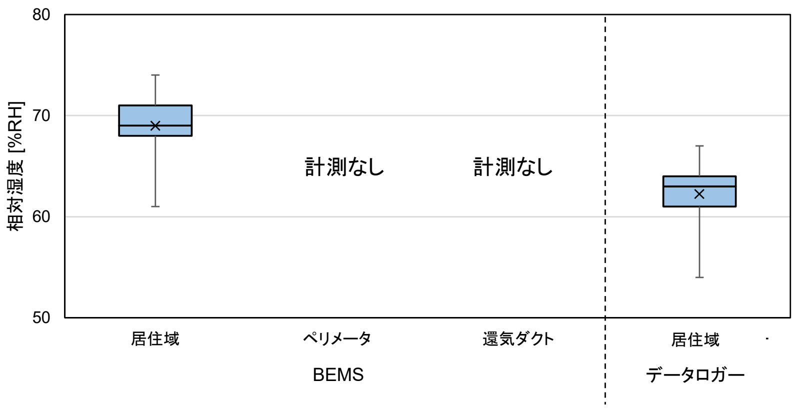


図 4-14　F ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの相対湿度比較

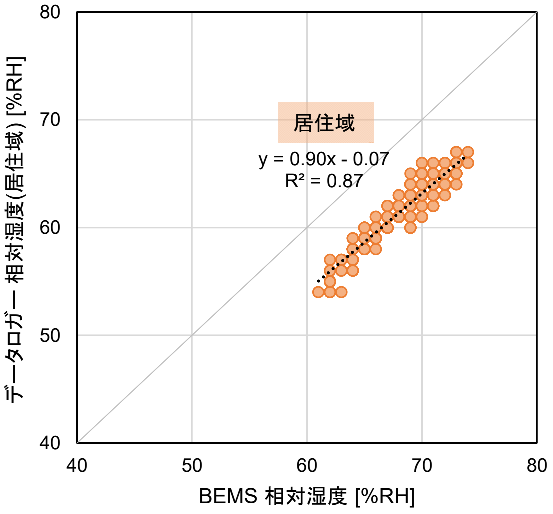


図 4-15　F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の相対湿度散布図

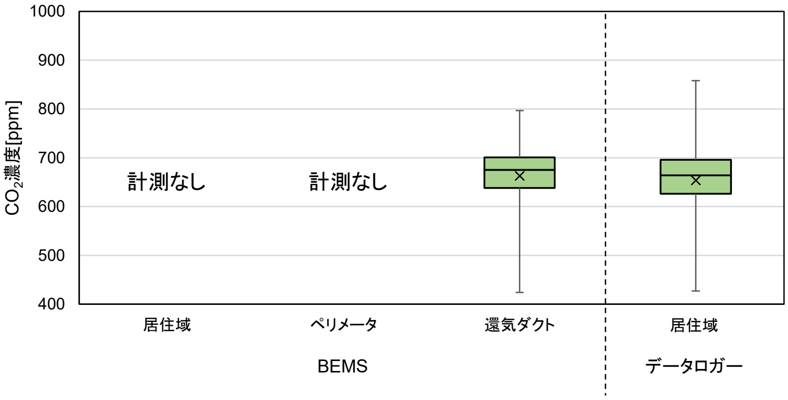


図 4-16　F ビルの BEMS センサ（設置箇所別）とデータロガーの CO_2 濃度比較

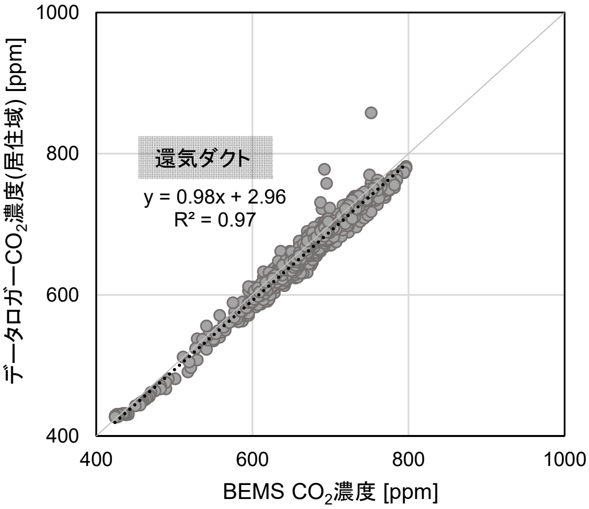


図 4-17　F ビルの BEMS センサ（横軸）とデータロガー（縦軸）の CO_2 濃度散布図

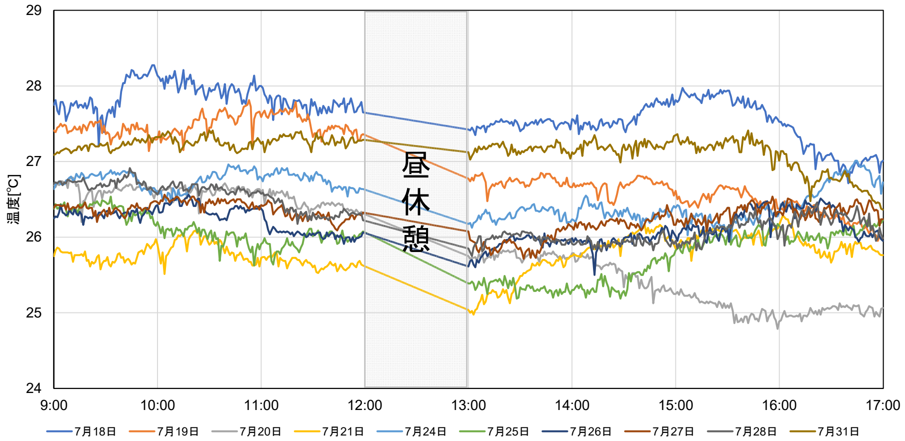


図 4-18　A ビルの BEMS センサ（居住域）の温度時刻変動

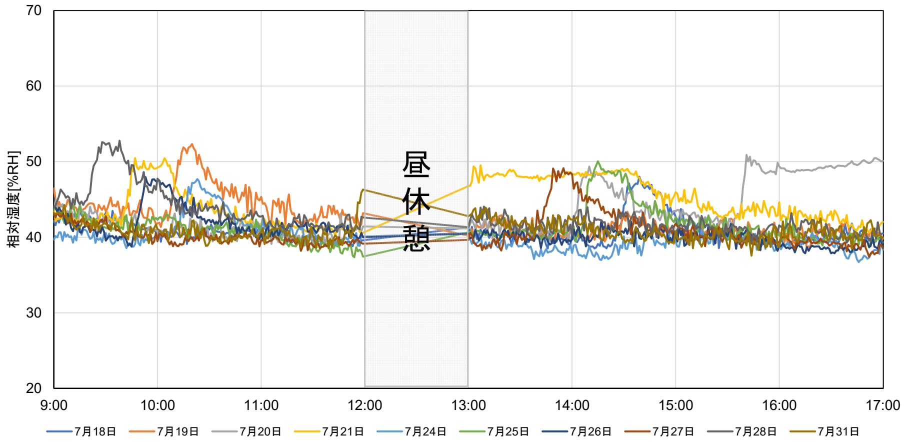


図 4-19　A ビルの BEMS センサ（居住域）の相対湿度時刻変動

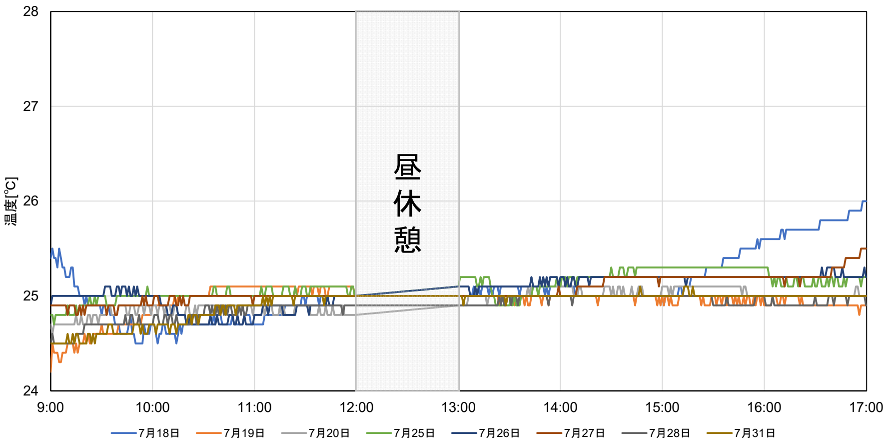


図 4-20　E ビルの BEMS センサ（居住域）の温度時刻変動

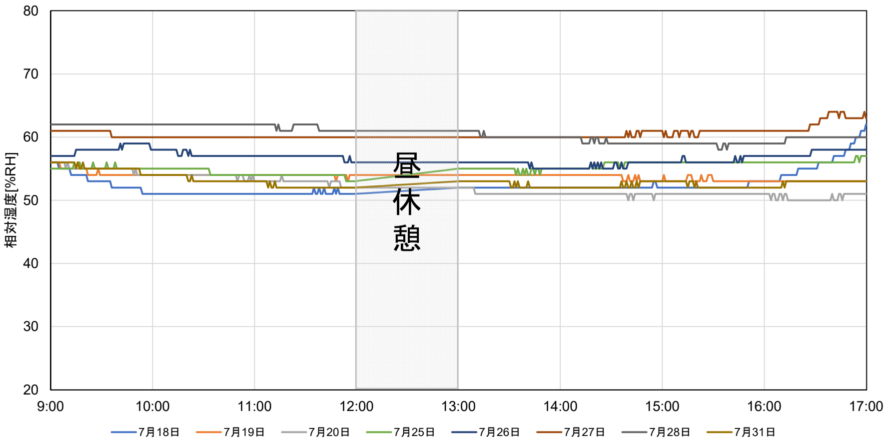


図 4-21　E ビルの BEMS センサ（還気ダクト）の相対湿度時刻変動

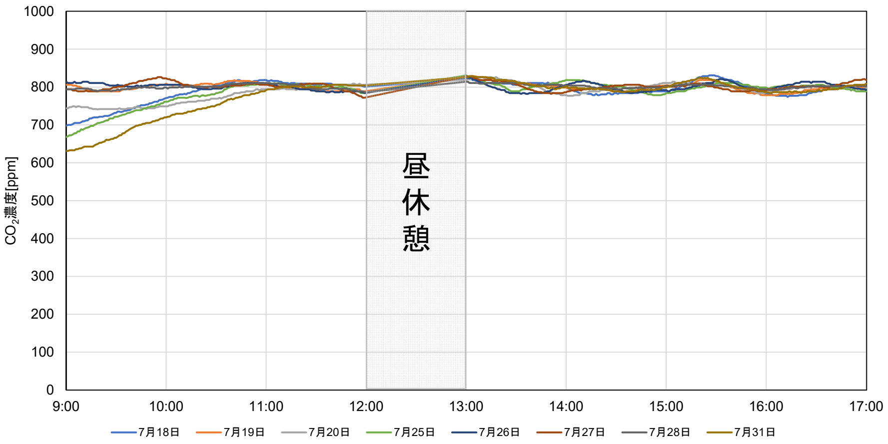


図 4-22　E ビルの BEMS センサ（還気ダクト）の CO_2 濃度時刻変動

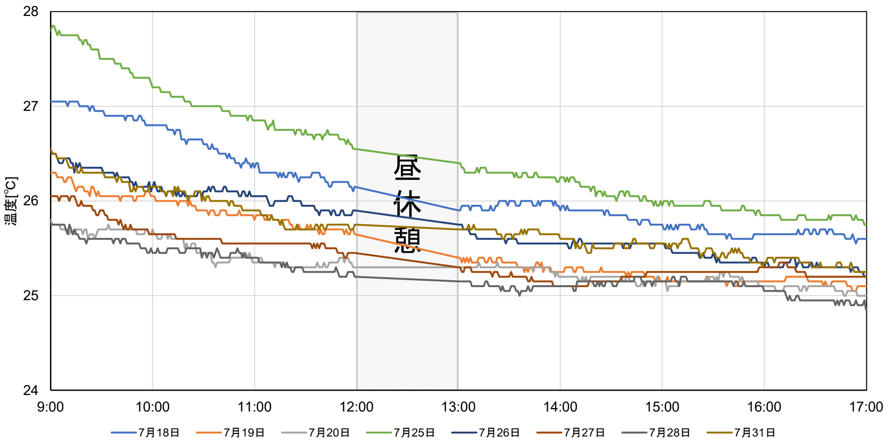


図 4-23　F ビルの BEMS センサ（居住域）の温度時刻変動

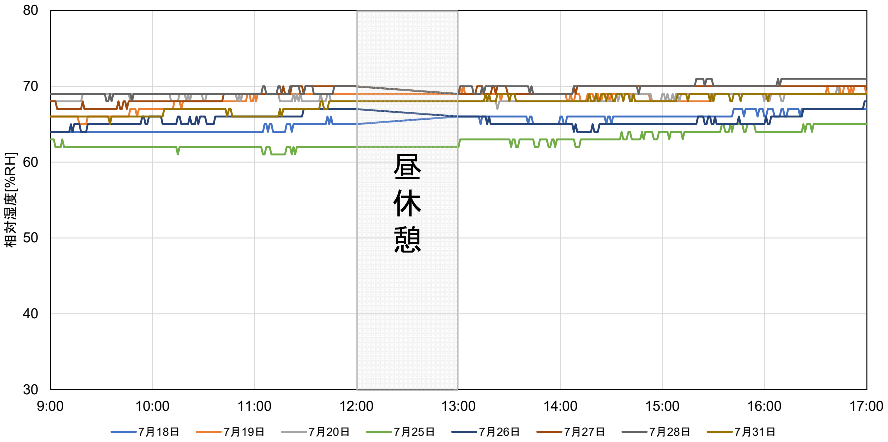


図 4-24　F ビルの BEMS センサ（居住域）の相対湿度時刻変動

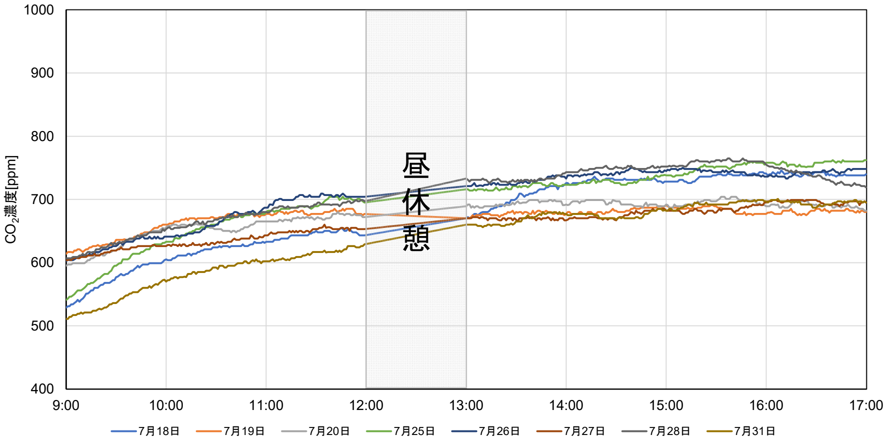


図 4-25　F ビルの BEMS センサ（還気ダクト）の CO_2 濃度時刻変動

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

5. 建築物衛生管理への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
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

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。

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。建物の主な用途は、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。

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。

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・衛生害虫等が30%、飲料水_貯水槽の点検が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%の回答があった。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委託が多いことが原因と考えられる。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。

水の衛生管理関連では、残留塩素濃度、濁度、色度、pHといった項目において、建築物衛生法で規定された検査頻度を上回る頻度で検査を実施しているとの回答が一定数得られた。これらの項目に関しては、連続測定技術の導入による検査費用削減効果が大きくなるものと考えられる。一方、官能検査による評価が必要となる味、臭いなどは採取作業が必須であるが、採水にかかる作業負荷の低減は限定されたものと考えられる。建築物衛生法で定められている頻度を満足している範囲において適切な検査頻度を改めて検討していくことが必要となるものと考えられる。

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
徳安 真理奈　国立保健医療科学院

A. 研究目的

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調査を行う必要がある。

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把握するための基礎調査としてアンケート調査を行った。

B. 研究方法

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 名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

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 件であった。

C. 研究結果および考察

C.1. 概要

C.1.1. 管理（業務）期間及び業務内容

管理業務の期間（図 5-1）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 パーセンタイル、最大は 34 年であった。

業務内容（図 5-2）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.1.2. 建物概要

主な用途（図 5-3）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（図 5-4）としては官公庁 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。

建物全体を所有者が使用しているのが 38%、全体をテナントが使用している建物が 37%とほぼ同数となった（図 5-5）。また、自社とテナントが一緒に使用している物件が 23%であった。

建物規模（図 5-6）としては、3000～5000m^2 が 31%と最も多く、5000～10000 m^2 が 26%、10000～50000 m^2 が 22%であった。また、50000 m^2 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。

築年数（図 5-7）は 20～30 年が 16%、30～40 年が 31%、40 年以上が 20%となっており、20 年以上の建物が全体の 67%を占めていた。また、10～20 年が 24%、10 年未満は 9%のみであった。

C.2. 建築物環境衛生の管理業務

C.2.1. 帳簿の作成、管理及び報告方法

帳簿の作成、管理及び報告業務（図 5-8）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.2.2. 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

結果（図 5-9）として、帳簿の管理と報告が64%と最も多く、ネズミ・衛生害虫等が 30%、飲料水_貯水槽の点検が 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.2.3. 空調方式

空調方式（図 5-10）としては、中央式空調が23%、個別式26%であり、併用式は51%であった。併用式を中央式と見なすと 74%が中央式空調となる。

C.2.4. 中央監視システム及び BEMS の導入と活用状況

図 5-11 に中央監視システム及び BEMS の導入状況を、図 5-12 に中央監視や BEMS データの空気環境管理への活用状況について示す。

最近は中央監視システムが導入されている建物が多く、加えて一部建物には電気やガス、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＋BEMS 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%あることは気になるところである。

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が、CO_2、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、CO_2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。

C.3. 水の衛生管理にかかる実態調査

C.3.1. 残留塩素濃度

本項においては、統括管理者と空調給排水管理技術者から得られた回答を区別して解析を実施した。以降においては、統括管理者をグループ A、空調給排水管理技術者をグループ B として取り扱う。図 5-13 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。回答結

果を見ると、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する回答が大半を占めており、求められる検査頻度と整合している。今回の調査においては、いずれのグループにおいても、求められる検査頻度を上回る「週5回」、もしくは「週7回」の頻度で検査を実施しているとする回答が合計で 30%以上を占めていた。飲料水の安全性を確保するために、残留塩素濃度の保持が極めて重要であることを考慮すると、残留塩素濃度の管理をより厳格に実施しようとしている建築物が一定以上存在することがわかる。一方で、一部ではあるものの、実施頻度が「月1回」であるとの回答も得られた。この頻度は、法定頻度を下回るものであり、改善が必要な状況であるといえる。

雑用水に関しては、前述したように「週1回」の頻度で点検を実施しているとする回答がいずれのグループにおいても主であったものの、実施されている検査の頻度自体は飲料水と比較すると大幅に低い水準となっていた。法定点検頻度を超過する回答は全体を通じて「週7回」の頻度で実施しているとする回答が1件あったのみで、飲料水の場合と比較すると大幅に少なかった。また、法定検査頻度を満足する検査頻度が確保されていない事例(「未実施」の事例も含む)はグループAにおいては35%(うち「未実施」が 6%)、グループ B においては 11%(すべてが「未実施」)存在していた。雑用水に関しては、飲料水と比較すると、衛生管理の水準が低くなる傾向が認められた。また、「未実施」との回答が少なからず認められたが、このような事例においては、雑用水の残留塩素濃度の検査が日常の点検業務計画に含まれていない事例が含まれている可能性が考えられる。そのような事例においては、雑用水の残留塩素濃度の定期検査は、新たに検査体制を構築しなおす必要性を生じさせるものであるため、追加実施に向けた障壁がかなり高いものとなる可能性がある。このような事例においては、追加検査体制構築にかかる負担低減に向けてIoT技術をはじめとした検査支援ツールの導入が有効となる可能性が高いといえる。

C.3.2. 濁度、色度(外観)、pH

図5-14及び図5-15にグループA及びグループ 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 の検査頻度をそれぞれ示す。これらの項目は、いずれも常設センサーを用いた連続測定が技術的に可能である項目である。法定検査頻度は、すべての項目において6ヶ月ごとに1回となっている。飲料水に関しては、グループAにおける pH を除くすべての項目で週1回以上の頻度で検査が実施されている事例が全体の 3/4 程度を占めた。一方で、多くの項目において、法定検査頻度を下回る「年1 回」もしくは「未実施」とする回答も得られた。グループ B においては、図 5-14 に示したすべての項目において、基準適合率がグループAよりも高かったが、飲料水の濁度を除くすべての項目において、「未実施」とする回答もあった。前述した残留塩素濃度と同様、衛生管理において改善が必要な事例があることが明らかとなった。

図 5-14 に示した項目に関する定期的な検査が実施されている事例においては、法定検査頻度を超える「週1回」とする回答が大半を占めた。これらの項目の検査を、残留塩素濃度をはじめとする他項目の検査と同時に実施している可能性が推察されるが、必要な検査頻度を考慮するとこれらの項目の検査に過大なコストをかけている事例が相当数存在することが明らかになった結果であるともいえる。

図5-14に示した項目に関しては、企業ヒアリングの中でも、複数の製造者より市販されている多項目連続測定装置の測定項目の中に含まれているものである。このような装置を特定建築物臭いおいても活用できるようになれば、十分な水準の衛生管理が実施されていない事例の解消に資するとともに、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においても、検査コストの低減に貢献できるものとなる可能性が高いといえる。

C.3.3. 味、臭い

図 5-16 に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を示す。これらの項目に関しては、企業ヒアリングにおいて、連続測定技術の開発が困難である

との回答が複数の製造者より得られている。味の検査については、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。

いずれの項目に関しても、両グループにおいて週1回以上の検査を実施している事例が大半を占めた。飲料水に関しては、法定検査頻度を大幅に上回る頻度で検査が実施されていることが明らかとなった。これらの検査は、前述した残留塩素濃度をはじめとする他項目の検査と同時に実施されている可能性が高いが、前述の項目にて連続測定を導入した場合、それらの項目の検査に向けて採水を行う必要性がなくなる。他項目における連続測定技術が導入された場合、味や臭いの検査に関しても実施様態が変化する可能性が高いといえる。上述したように、建築物衛生法で定められている「味」及び「臭気」の検査頻度は6ヶ月ごとに1回であることから、現状よりも検査頻度が下がった場合においても、建築物衛生法で定められている頻度を満足している範囲において適切な検査頻度を検討していくことが必要となるものと考えられる。

雑用水に関しては、「臭気」の検査頻度が7日以内ごとに1回と定められており、週1回以上の採水調査が不可欠な状況となっている。このような状況においては、他項目についてのみ連続測定技術を導入したとしても、定期的な採水の必要性が消失しないことから、連続測定技術を導入することによる費用負担の低減度合いが限定的となる可能性が高い。現状では、技術的な障壁は非常に高いものの、臭気に関する連続測定技術が開発されない限り、雑用水の衛生管理への連続測定技術の適用は難易度が高いものとなる可能性が高いと考えられる。

D. まとめ

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、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ための基礎調査として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。

主な用途は、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。

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・衛生害虫等が30%、飲料水_貯水槽の点検が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%の回答があった。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。

水の衛生管理関連では、残留塩素濃度、濁度、色度、pHといった項目において、建築物衛生法で規定された検査頻度を上回る頻度で検査を実施しているとの回答が一定数得られた。これらの項目に関しては、連続測定技術の導入による検査費用削減効果が大きくなるものと考えられる。一方で、回答数は少なかったものの、必要な検査頻度を満足していない回答も認められた。このような事例においては、検査体制の整備から対応する必要がある可能性が考えられるが、そのような場合においても、連続測定技術の導入は有効な対応策となる可能性が考えられる。

水質検査項目のうち、官能検査による評価が必要となる味、臭いといった項目についても、建築物衛生法で規定される検査頻度を上回る頻度で検査が実施されているとの回答が得られた。

これらの項目に関しては、現段階において、連続測定技術が実用化されておらず、検査を実施するには採水を行うことが必須である。これらの項目の検査を現況と同等の頻度で実施する場合､他項目で連続測定技術を導入したとしても、採水にかかる作業負荷等の低減は限定されたものとなる可能性が考えられる。建築物衛生法で定められている頻度を満足している範囲において適切な検査頻度を改めて検討していくことが必要となるものと考えられる。

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

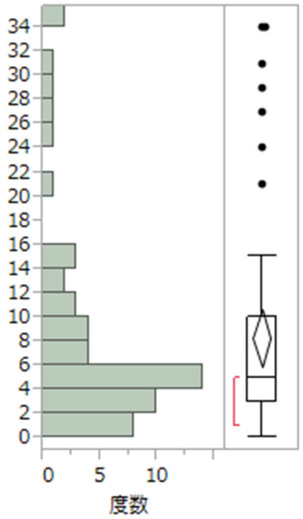


図 5-1　管理（業務）期間

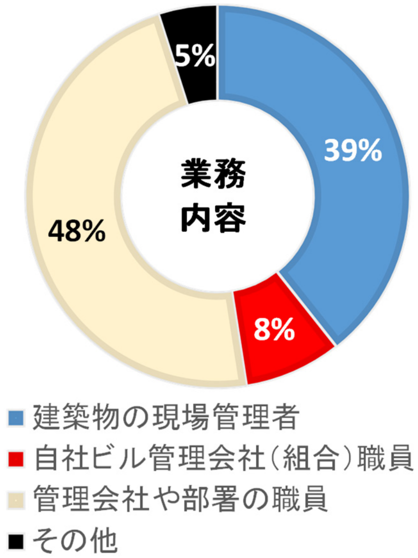


図 5-2　業務内容

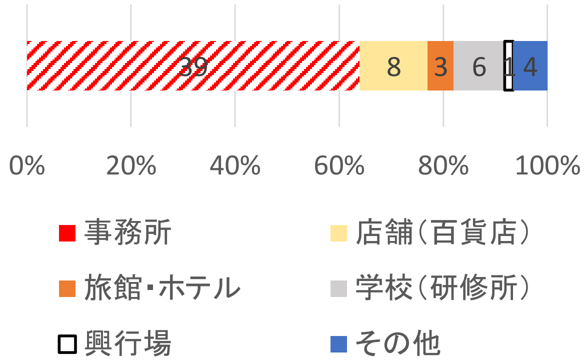


図 5-3　建物用途

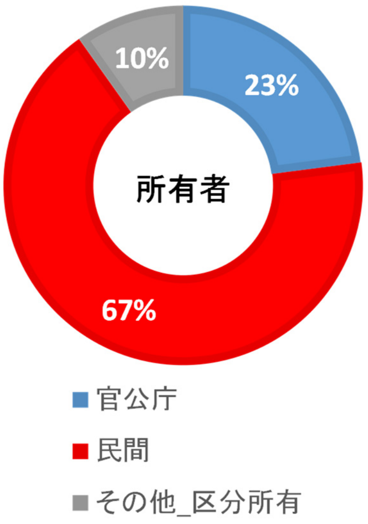


図 5-4　所有形態

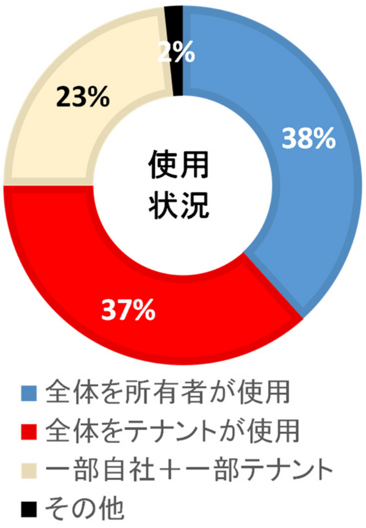
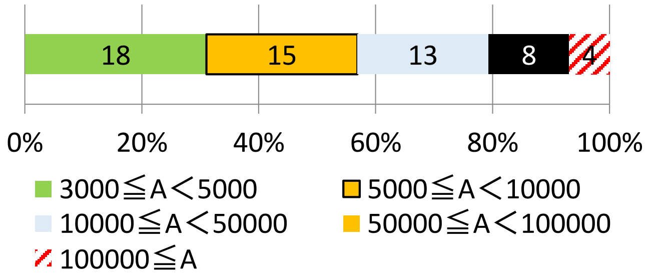


図 5-5　使用状況



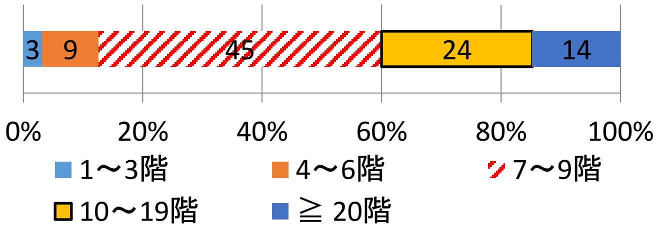


図 5-6　建物規模

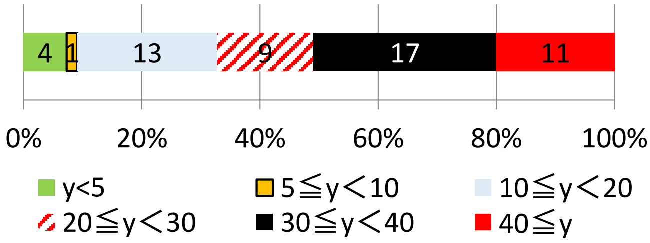


図 5-7　築年数

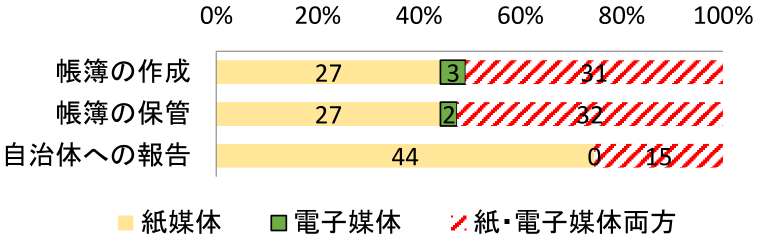


図 5-8　帳簿の作成、管理及び報告方法

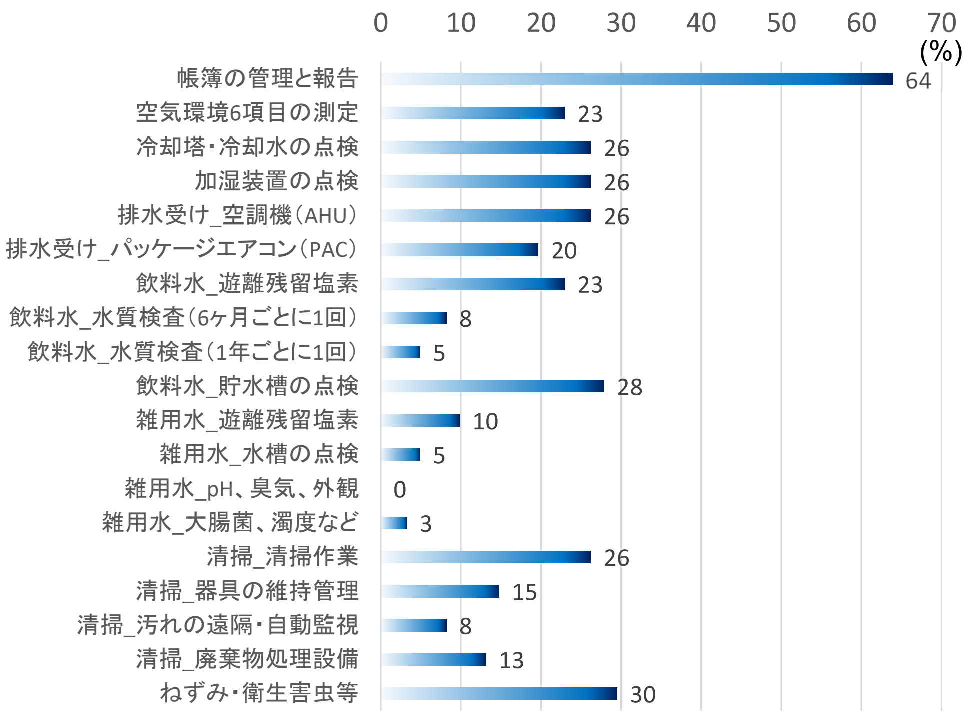


図 5-9　身体的、精神的、時間的な負担が大きな作業（複数選択可）

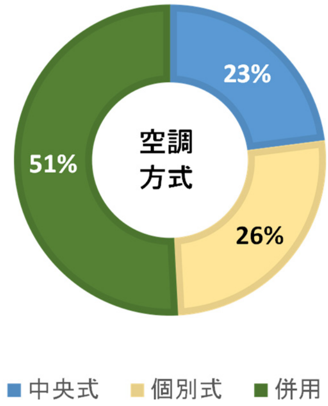


図 5-10　空調方式

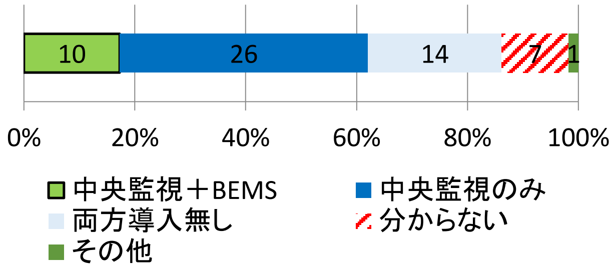


図 5-11　中央監視システム及び BEMS の導入状況

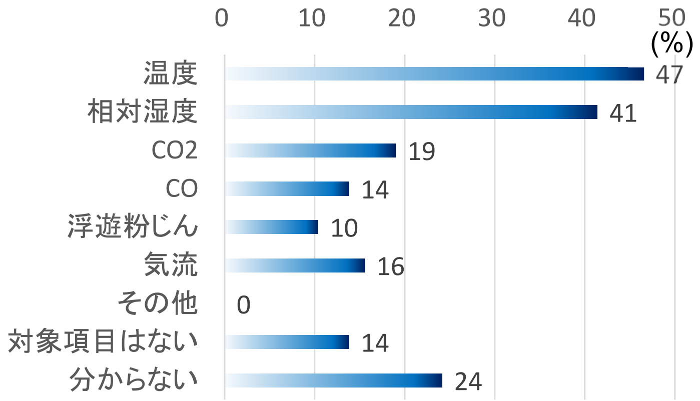


図 5-12　中央監視や BEMS データの空気環境管理への活用

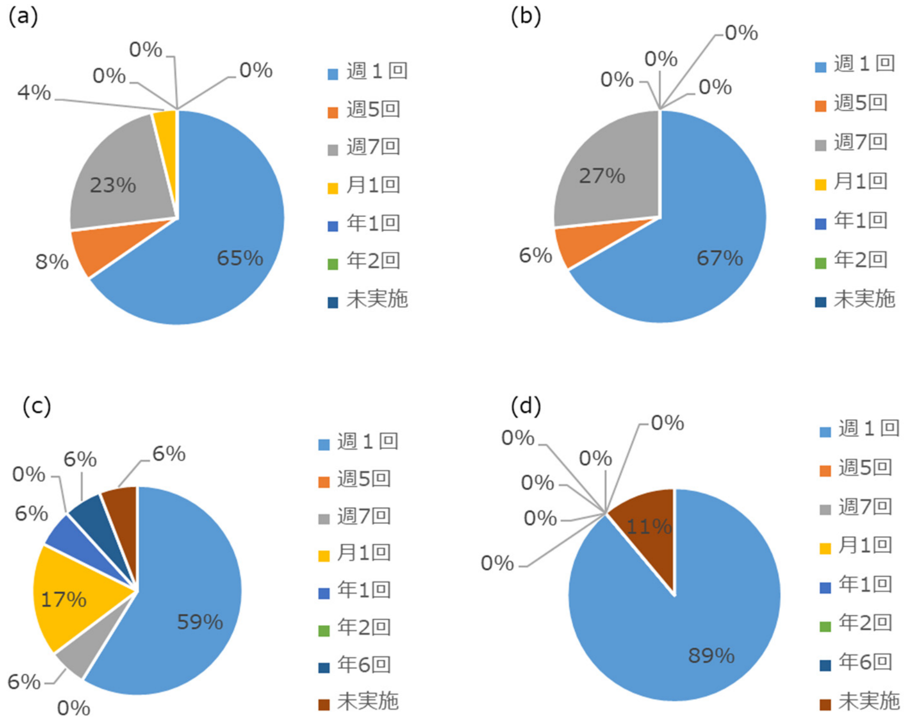


図 5-13　飲料水及び雑用水の残留塩素濃度の検査頻度、(a) グループ A-飲料水、(b) グループ B-飲料水、(c) グループ A-雑用水、(d) グループ B-雑用水

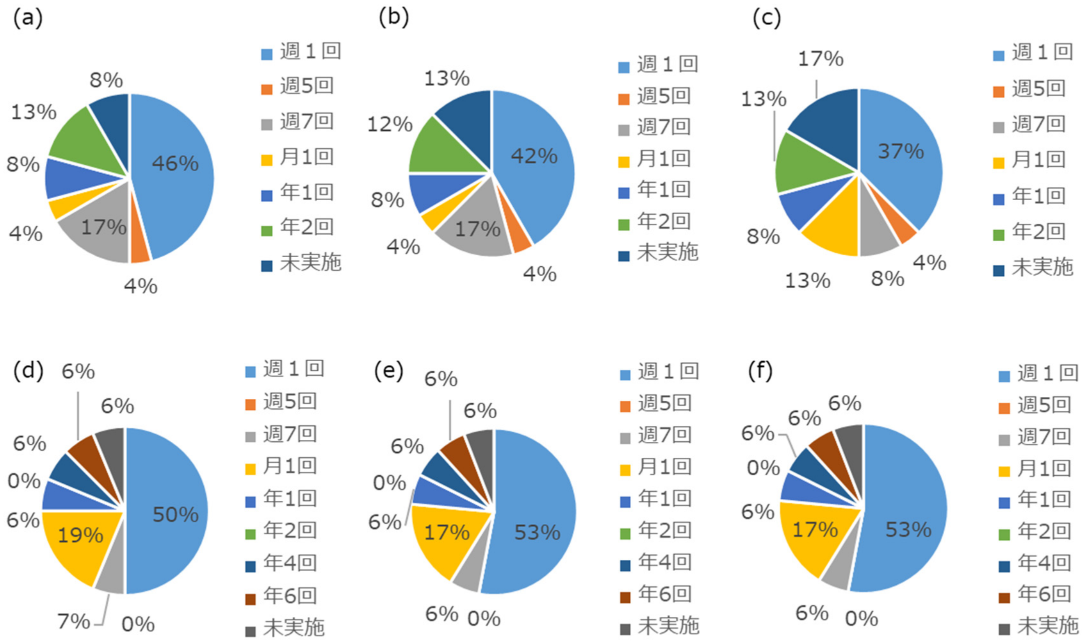


図 5-14　グループ A における飲料水と雑用水の濁度、色度(雑用水においては外観)、pH の検査頻度、(a) 飲料水-濁度、(b) 飲料水-色度、(c) 飲料水-pH、(d) 雑用水-濁度、(e) 雑用水-色度、(f) 雑用水-pH

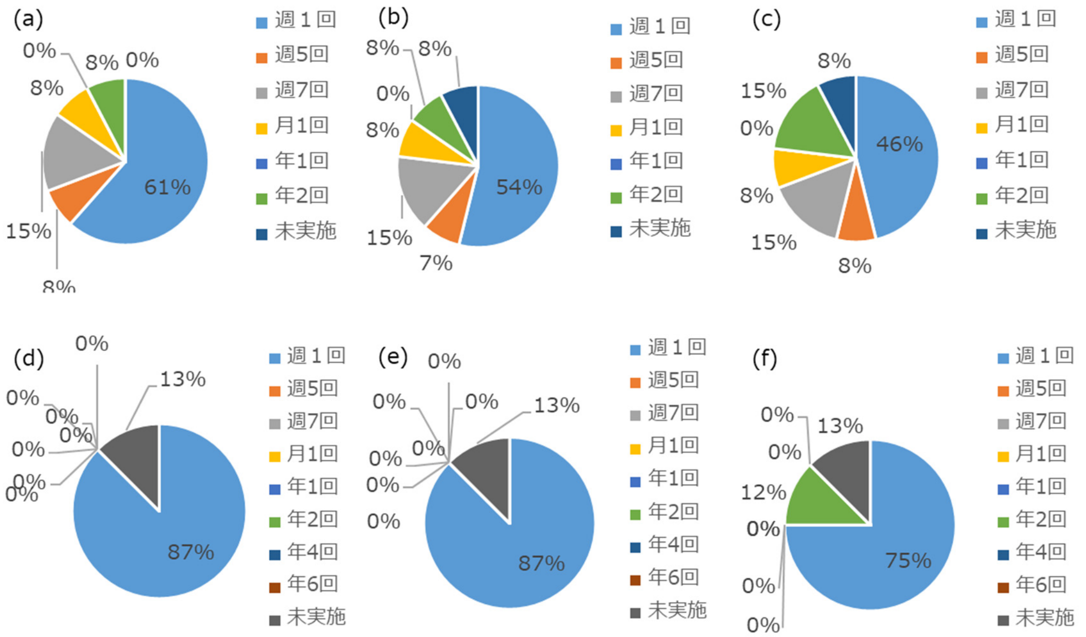


図 5-15　グループ B における飲料水と雑用水の濁度、色度(雑用水においては外観)、pH の検査頻度、pH の検査頻度、(a) 飲料水-濁度、(b) 飲料水-色度、(c) 飲料水-pH、(d) 雑用水-濁度、(e) 雑用水-色度、(f) 雑用水-pH

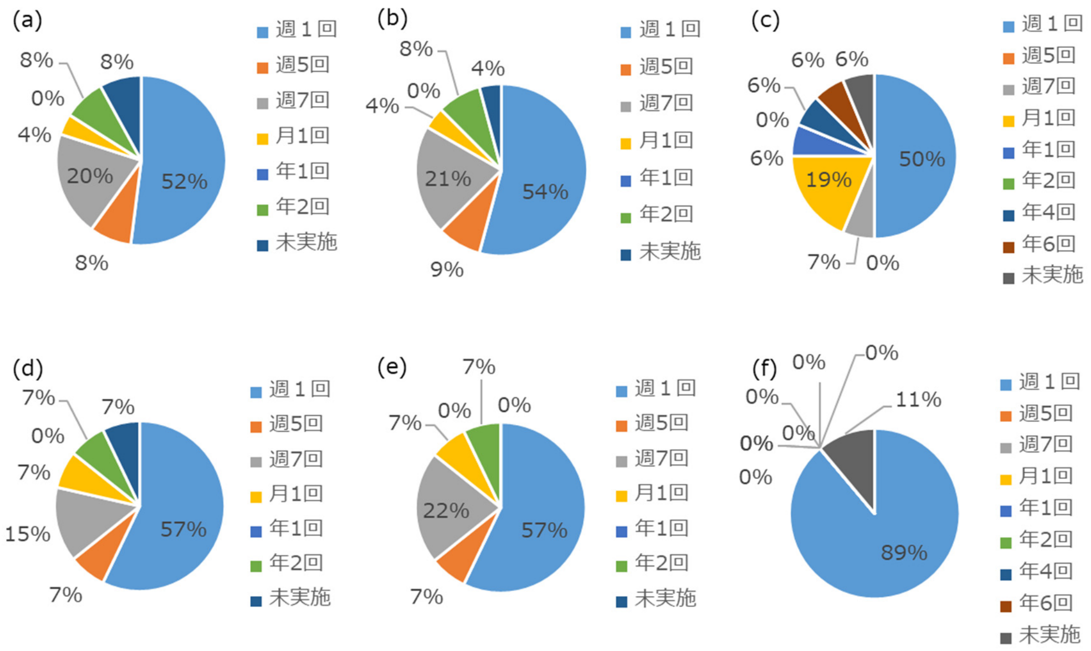


図 5-16　両グループにおける飲料水及び臭い、並びに飲料水、雑用水の臭いの検査頻度、(a) 飲料水-味(グループ A)、(b) 飲料水-臭い(グループ A)、(c) 雑用水-臭い(グループ A)、(d) 飲料水-味(グループ B)、(e) 飲料水-臭い(グループ B)、(f) 雑用水-臭い(グループ B)

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現状と動向

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　　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

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、水質分析関連会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・普及しつつある。空気環境の管理項目 6 項目のうち、温度・湿度・CO_2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る一方、浮遊粉じん、CO、気流速度は連続測定には向かない認識が多かったが、空調機メーカーで 6 項目同時測定用の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、CO_2センサーの場合は 1 年に 1 回以上は勧められていた。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統一フォーマット、自動化されたデータ処理の必要性については共感があった。

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。

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。

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。

水管理の測定項目については、必要となる検査頻度が高く、かつ連続測定技術が確立している残留塩素濃度については、ヒアリングした全企業が連続測定装置を取り扱っていた。販売されている連続測定装置には、定期検査項目である濁度、色度、pH に加え、電気伝導率や水温、圧力といった項目も同時測定できるものが含まれていた。原理的に連続測定が可能な項目については、適用可能な技術がすでに開発・販売されていることが明らかとなった。

一方で、味や臭いといった官能分析による評価が必要な項目に関しては、技術開発の途上であり、現段階で実用可能な技術を有しているとの回答は得られなかった。適用先に関しては、上水道関連施設、簡易水道、地下水などで、特定建築物への導入事例は少ない。校正頻度に関しては、月 1 回程度の校正は最低限必要となるとの回答が主であった。

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。

B. 研究方法

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、水質分析関連 4 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の通りである。

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。

C. 研究結果および考察

C.1. ビルメンテナンス業

① ビルメンテナンス会社（A）

＜清掃業務＞

設備管理、警備、清掃の事業をしているが、設備管理＞警備＞清掃で賃金が安く、従って設備管理＜警備＜清掃の順番で人が集まりにくい。

ロボットに関しては、清掃、警備、配送ロボットと 3 つに分けているが、清掃業務は人が集まりにくいのでロボットの積極的活用をしている。つまり、欠員の補充のためにロボットを投入している。清掃ロボットはバキュームタイプと、床洗浄タイプの二種類がある。

清掃員（パート）が 1 時間で担当できる面積は 400～450 ㎡と考えているが、900 ㎡以上のバキューム対象面積（※）があり、週 3 回程度の清掃頻度があれば、ロボットを投入しても人件費とロボットの月額のランニングコストで利益が出ると見込んでいる。ただし、人を雇えない時には条件に見合わなくてもロボットを導入する。

※エレベーターホールや共用部ホールの合算である。学校は、廊下や階段などできるところとできないところがある。

ロボットは、フロアの上下移動は難しいため、人が移動させなければならない。自動で行き来するためにはエレベーターとロボットを繋ぐシステムが必要である。新築の段階で提案があれば導入できるが、既存の建築物ではどのような仕様にはなっていない。システム導入には高額な費用がかかる。

清掃ロボットを導入するなら、清掃対象範囲をマッピングしておく必要がある。机などの障害物を躱すことはできるか、障害物が沢山あると自動検知に時間がかかり障害を迂回するための待機時間もかかるので非効率になる。

特定建築物の基準最小値である 3000 ㎡だと清掃だけになり、専用部の清掃も請け負わないとメリットがない。1 万㎡を超えると設備員をおけるので、夜間対応でできる。

その他に、試行運用中であるが、人流センサーとのコラボ（例えば、ゴミ箱にセンサーを付け、ゴミのカサが増えた段階で、清掃しに行く）も考えている。

シフト管理・勤怠管理では、会社独自の管理システムがあり、専用のシステムで実施している。

＜空調設備＞

天井にある隠蔽型のドレンバンをすべて確認するのは負担が大きい。実態としてはしっかりやっていないところも多いのではないか。保健所の立ち入りがあった時は、保健所の職員と相談し模索しながらやっている。東京都の場合は、同じ環境であれば代表機の確認を行っている。個別空調の場合、一つのビルに何百～数千台もあるため、全機器にセンサーを付けると膨大な費用になり現実的ではない。

ビルの稼働のデータを取りながら、取るべきセンサーの数を限定するような基準を示してもらえると助かる。

現状の空気環境測定も測定点は任意でビルメン会社が決めているし、デジタル化をすることで代表点は増やせるのではないか。個別空調の場合、点検のしやすさや、人の多さによって

汚染の度合いも変わってくる。また、センサーが取り外し可能なら、定期的にチェックする空調機を変えることができる。

冷却塔は外にある場合が多いし、様々な要因で汚れやすいため、目視確認の必要がある。冷却塔を置いていることは、常駐の管理者がいるのが通常の状態であり、現状も現地の常駐スタッフがやっている。冷却塔は個々にセンサーを取り付けることはあり得るとは思うが、常駐管理者がいるのでデジタル化しなくても良いのではないかと考える。

加湿装置は難しくて、個別式加湿器の加湿バルブが天井裏にあるが、加湿装置は個別空調 4 台くらいに一つの割合くらいとなる。ただ、年 2 回はバルブの開け閉めのため、機械のところに行く必要があり、加湿エレメントの管理も含め、その時に清掃をしている（年 1 回の清掃は必須)。現状、加湿装置の維持管理には人の手が必要である。

＜水質検査＞

水質検査は、「給水栓における水の色、濁り、臭い、味その他の状態により供給する水に異常を認めたとき」とあるが、東京都では毎日確認するように指導されている。臭い、味などのアナログな部分があり、人がやるのが前提になっている。3000 ㎡程度やそれ未満のビルの給水栓の残留塩素の確認は、清掃員が行っているのが現状である。

＜貯水槽等＞

貯水槽の点検は人の手でやっている状態でデジタル化は進んでいない。

管理技術者がいると巡回点検を行うので、検針は毎回やっている。点検の際に、外観点検もやっており。デジタル化するなら、設備巡回をなくすぐらいのことをしないと意味が無いのではないか。ボイラ、冷凍機などの匂い、等々の検知が機械化できない限り、人力による作業は残る。

＜ネズミ等の防除＞

ホテルは開放空間が多いので害虫が多いため自社対応しているが、本格的な防除は外注が殆どである。

② ビルメンテナンス会社（B)

現在、力を入れているのは警備ロボットである。既に 10 台以上を導入し、全国で実証実験を行っており、警備員と警備ロボットによるハイブリッド警備を目指しているところである。

＜空気環境の測定＞

ビル管セットと呼ばれる 6 項目の同時測定機を持って作業員が現場で測定している。

今後、警備ロボットに環境センサーをつけて運用できないか考えている。

＜清掃業務＞

清掃ロボット（他社製品）は数台が人 1 名の代替ができるだろうと思っている。ソフトバンク社のロボット、アマノ社の大型ロボットなどを使って、セントラルパークやビルの共用部に活用している。人からロボットへの置き換えが進んでいる。専用部については、室内のレイアウトによって難しい場合も多く、例えば椅子の移動や段ボールが持ち込まれるなど日々レイアウトが変わるのでプログラム通りに動けず、活用に至っていない。

＜空調設備の維持管理＞

現状は、設備員で対応をしている。

2017 年か 2018 年に設備のセンサー事業を某大企業とベンチャー企業とコラボして実施したことがあり、空調設備の温度、振動、音、加速度などを検知するセンサーを取り付け、閾値を決めてアラート設定をすることで、問題が生じた場合だけ人が現地に向かう試みであった。また、熟練工のノウハウを学習させ、こういった事象が発生したら、こういう対応をするということを画像・動画ベースのマニュアルを作成してソリューションを開発しようとした。

課題としては、まずは電波の問題があり、地下 4～5 階など電波が入りにくいところをどうするかというもの（メッシュビーコンを導入する方法があるがコストがかかる）と、もう一つはコストの問題である。点検項目として、加速度、温度をとっても頻繁には検知されないし、コストメリットが出しづらい上、設備機械にすべてセンサーを着けるのはコスト的に無理と判断した。

＜水質検査＞

管理カメラとして、360 度カメラ（広角 20 倍、ズーム可能）を導入したことがあるが、イニシ

ャルコスト、ランニングコストの観点から、常駐している設備員がいるなら、その設備員が見に行けば良いことになる。通信料を上回るメリットが出るところまでまだ達していない。

＜貯水槽等＞

設備員の対応に留まっている。

＜ネズミ等の防除＞

ねずみの侵入経路に、赤外線搭載のカメラを付けてやってみたことがある。動体検知機能もつけて、ネズミの動きを検知したら写真を撮影することができるものである。また、屋外の使用になるが、ソーラーパネル搭載のカメラ（SIM型ゼロエネルギーカメラ）を使ってできないだろうか。

③　ビルメンテナンス会社（C）

電力・空調・照明・防災・防犯等の各種設備については、防災センターに監視システムを設置し、一貫して管理している。

数年前から建設したビルには最初から設置しており、築年数が古いビルにも順次システムを追加している。

集めたデータの活用は、電力、照明、空調は過去の振り返りに使っているだけであり、予測や故障予知には至っていない。空調機データの自動化の実証実験で、センサーを追加して、将来予測ができないか考えている。

運転時間の予測は、更新の目安に活用が期待できる。

その他、力を入れていることは、全ての現場にベテランを配置できないため、若手にウェアラブルカメラを装備させて現場に向かわせ、ベテランがアドバイスすると言った方法で、個々の業務を対象に、全般的に建物の維持管理として、遠隔作業に取り組んでいる。

正直なところ、建築物衛生法の点検はデジタル化できている部分はない。

＜空気環境測定＞

建築物衛生法が求める6項目を測定できるビル管セットで測定している。常時測定できるモニター等は使用していない。

＜空調設備＞

空調設備に関して、コンパクト式の中央管理方式を運用しているが、センサーの置き換えには至っていない。20年～30年前は、空調機の台数が少なかったが、昨今は、各階7～10台のコンパクト型中央型管理方式の空調設備があるため、ビル1棟に300台くらいのドレンパンがある状態である。また、構造的にドレンパンは受け皿に過ぎず、水深も薄いため、センサーを置くことも難しく、一個一個センサーを置くとなるとコストが大変なことになる。

空調機点検の自動化の検証もあるが、冷却塔は内部の汚れをカメラで見るのは無理だと思っている。加湿装置は、水質維持、薬液を維持、スライム発生など、抑制剤を混ぜているなかでの薬液の自動投入をしているとのことであるが、点検は人による目視となっている。

＜水の衛生管理＞

水質管理もアナログ対応。

＜ねずみ等の防除＞

ねずみ昆虫の防除は、狭いところの裏側を覗いたり、トラップを仕掛けたりするため、そもそもとしてデジタル化の発想はなかった。

＜その他要望＞

空調点検の排水受けにフォーカスして検討している。平成27年に生活衛生課が出した、個別空調については代表機をもって全体の管理とみなすという通知があるが、現在は中央管理方式（コンパクトエアハン）でも非常に台数が多いため、転用できると良いと思っているところである。

すべての機器にセンサーを付けるとなると、数が増えコストも増大するので、代表機1台にセンサーと AI の判別機器を取り付けることで運用できればデジタル化は進むのではないか。

毎年1回、保健所等に建物の維持管理報告書を出しているが、これに関して受付システムを作ってもらえると助かる。

居室や事務室に CO_2 センサーを導入しており、省エネを図っているが、ビルの監視全てには適用できない。

BEMSデータを取ったり、CO_2デマンドコントロールはビルの運用側になるが、室内環境に代用できるようになれば、監視項目を緩和できるのではないか。

建物自体も大型化しており、機械室から機械室に移動するのも大変で、AIを活用した監視シ

ステムがあれば助かる。

AI やカメラを活用し、各点検の故障時のみ駆けつけるという対応はどうかという議論を、ここ半年くらい社内で話し合っている。懸念事項として挙がっているのは、何かあった時だけ駆けつけるという運用では、平時の状態が分からなくなるため、いざ有事になった時に現場に行ってもすぐに対応できないのではないかということである。

＜清掃業務に関して＞

清掃ロボット製造メーカーと協働し、施設内清掃への本格導入に向けて実証試験中である。

現時点で知見は以下の通りである。

・オフィスエントランス等、ある程度の広さがある部位については、ロボット清掃への置き換えが容易。

・商業店舗階においては、ロボット自体に安全装置（衝突防止等）は付加されているものの、安全への懸念から、営業時間中のロボット稼働には至っておらず、深夜帯に稼働。

・商業施設においては、イベントで共用部の配置物の位置などが変わる、大規模商業施設だとテナントの入れ替えが頻繁にあり、共用部の仮囲いの設置場所が変わる。つどつど手間のかかる設定変更（清掃ロボット／ルート設定）が必要になり、かえって手間がかかるため運用が定着していない。

・オフィス階では廊下幅が狭く、メーカーによっては清掃ロボット自体のサイズが廊下幅の半分程度であり通行に支障を来すため、利用人数の多い時間帯（平日日中）では稼働させられない。また、フロア移動（上下階移動）の際には、人手による移動が前提のため、大幅な人員削減に至っていない。

※一部メーカーでは清掃ロボット単体で ELV 移動が可能なものもあるが、ELV との連動等設備投資が大きくなる。

・専用部清掃（テナント入居部分）においても、平日日中の在室者多数の状況において、清掃ロボットによる清掃作業（発生騒音の影響度合、作業対象面積全てが作業可能か）について、当社で実証試験を行い検証結果を纏め中である。

・どの部位（共用部、専用部問わず）においても、清掃ロボットが対応できない部屋の四隅など最も塵埃が滞留する箇所は、必ず人手による清掃が必須であり、ロボット稼働中も異常停止に備え清掃員の配置が必須となる。

・現状の清掃ロボットの購入やリースはコストが高く、作業品質では全面的なロボット置き換えに至っていない。ロボット導入に係る費用低減、機能向上を“待ち”の状態である。

＜課題＞

・ロボット清掃への置き換えが容易な対象面積の閾値、及び室用途の設定。

・清掃ロボット置き換えが可能な室用途の拡大。

・許容すべき作業品質の設定もしくは品質に対する考え方を整理する必要がある。

④　ビルメンテナンス会社（D）

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。某企業のイノベーションセンターでは、IoT ツールを入れる前後で業務が 4 割くらい削減できた。積極的に入れているのはカメラと AI 技術を活用した読み取り技術である。目視で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。このツールは、1 日 3 回の写真撮影で 3 年間バッテリーが持ち、リクエスト撮影も可能である。また、複数の計器をワンショットで見ることも出来る。最近はサーモカメラで異常発熱や漏水検知も出来るようになった。また、防爆対応のカメラも出る予定。

当社ではこのカメラを 43 事業所で約 2000 台使っている。人員削減ができるし、地下ピットや遠隔地も見ることができる。ドレンパンや加湿器、冷却塔の点検にも使えると思っており、漏水の前の検知も出来るのではないかと考えている。

温湿度は各部屋で取られているし、最近は二酸化炭素の濃度センサーもある。一酸化炭素や気流については、測定できる機器がなかなか無く、安価に導入できれば良いが、空調という観点からは需要が薄い。

ロボットに環境センサーを搭載したものを試行的に運用している。

清掃業務、ネズミ衛生害虫対策のデジタル化

事例は少ない。ロボットの清掃は主流になっており、省人化している。

ネズミの話で、駆除するときに天井内にカメラを設置して、駆除した事例がある。

中性能フィルターについては圧力損失を検知して交換する。プレフィルターには自動で回るロールフィルターを導入しているケースもあるが、大きいので一定以上の大きさの空調機が必要となる。

C.2. 設備設計・施工業及び空調メーカー

① 設備設計・施工会社（E）

建築設備を提供する企業で、空調、給排水、電気設備が主力である。ビルの情報を必要とされる方たちに、クラウド環境を介して、提供するサービスがある。

クラウドサービスとして、ビルの中に入っている各種システム、センサー、様々な設備が多様な情報を持っており、それをインターネットを介して必要な部署に必要なデバイスで提供している。

建築物衛生法に合わせたサービスを提供した経験は無いが、水質を測る、空気質を測るためのセンサーがビルには張り巡らされていないため、現在は専門の業者がスポット対応しているのが現状である。

ビル管理の中での中央監視室で人がやっていたビル管理業務をデジタル化に置き換えるだけでは、イノベーションが無いと思っている。デジタル化されたデータに第三の付加価値を加えないと新しいサービスとして成り立たない。

空気調和衛生の他、下水処理場やゴミ処理場の中のプラント建設に携わっている。処理場設備の設計、施工はもちろん、特にゴミ処理の中では労働環境が大変なためデジタル技術を活用できないかと工夫している。例えば、ゴミ焼却時に人力でクレーン操作を行っているが、これをステレオカメラと AI に代替するゴミクレーンがある。ゴミ焼却施設では、焼却炉が 365 日運転していて、人手不足で募集をかけても来ない状態であるため、人間が操作するクレーンを自動化できないかという課題があった。

申し送り支援ツールがある。例えば、三交代の場合、少なくとも一班は引き継ぎの場にはいないため、紙でのノートやメモでは検索が出来ない。これを解決するために、産業総合技術研究所の技術移転を受けて使用している。また、このツールでは、管理者の目からも管理することができ、引き継ぎ事項が多かった内容をグラフ化したり、キーワード同士の関係性を図示したりできる。こういうことで、トラブルの予兆を把握できる。

② 設備設計・施工会社（F）

環境モニタリングによる自動計測／中央監視設備によるデータ収集を提供している。

・建物をモニタリングする装置（空気環境設備）

・空気環境をセンサーにて計測：温湿度、CO_2以外のセンサーを付けて自動計測することは少ない。

・計測したデータは中央監視設備にて一元管理

・手動計測データの管理も可能

○中央監視設備

・ローカルで計測した温湿度やCO_2を取り込んで管理するが様々な機能がある。

・空調設備を持つ「特定建築物」にはこうした中央監視設備が設置されていることが多い。

・建物全体の空調や設備運用システムを分かりやすく表示している。

・収集データのグラフ化・分析が可能

　－省エネ、環境負荷低減策にも利用

　－データの傾向により設備不具合等の発見、改善が可能。

・データ傾向（トレンド）を見て設備不具合の発見、改善については、AI ではなく人が判断している。まだ導入はしていないが、今後は AI での判定ができるようになっていくと考えている。

○エアコンについて

・最近は中央式空調より個別式空調（エアコン）システムが多い。そういったものはエアコンメーカー（ダイキン、三菱電機など）が監視システムを使っているので、そちらを入れることも多い。

・例えばエアコンメーカーが提供する管理サービスなどと契約し、エアコンの集中監視を行い、トラブルが起これば駆けつけるような契約を結んでいるケースもある。

＜モニタリング項目＞

○中央監視システムが入っているような大規模・中規模のビルではほぼ温湿度を測定している。殆どの建物では CO_2 濃度も測定している。
○測定機器の定期点検
・環境測定センサーを利用する場合でも、定期的な校正は必要で費用対効果が課題。
○温度・湿度・二酸化炭素のモニタリング
・一般ビルでは、温度・湿度・二酸化炭素はモニタリングしていることが多く、この3項目は環境衛生の維持管理と言うよりは空調の制御のためにモニタリングしている。CO_2 を空調の管理に使っているのは、外気導入量をコントロールするためである。
○浮遊粉じん、一酸化炭素、気流
・費用対効果の点から常時モニタリングすることはほぼない。これらの項目は空調の制御にも関係が無い。
・一般的なビルでは一酸化炭素の発生はほぼなく、気流についても、温度コントロールで済む。
・浮遊粉じんは、ほこりが製品に影響する工場などでは計測しコントロールしているが、一般ビルではほぼ関係ない要素。
○空気調和・衛生管理
・冷却塔・冷却水及び加湿装置の点検が主。
・冷却塔、冷却水は一般的に薬注装置を付けていて、薬注管理のために導電率を計測することが多い。これは、空調設備におけるレジオネラやスライム発生などの汚染状況を薬剤濃度で管理していれば、概ねコントロールできる。
○ファンコイルユニットのドレンパンの点検
・数は多いが需要がない。そのため、常時監視はしていない。
○空調のフィルター点検、送風機等の点検
・フィルター差圧の測定は、遠隔にてモニタリングしている場合も多いが、大型空調（中央式空調）のみ。
・風量計測はセンサーにて可能であるが、通常はほぼ計測しない。
○送風機・排風機点検
・振動計を利用した機器の故障予知をする技術を導入している場合がある。（付加価値の高い設備／工場など）
・常時監視方式は費用対効果の理由から、主に
　－重要な機械
　－常時稼働
　－人が近寄れない場所
　－劣化が早い
　、といった条件のものについて実施することが多い。
＜センサー＞
○較正について
環境センサーの較正についてはあまり聞かない。最近は空調用 CO_2 センサーで無校正で 5 年程度は大丈夫なセンサーもある。
＜BIM について＞
○BIM による維持管理
・DX 推進に伴い、BIM 導入の動きも加速している。建築分野だが、データを活用して容易に最適な維持管理に利用していこうという動きがある。3D モデル＋機器情報や部材情報を入力し、履歴などを残して管理していこうというもの。
・BIM については建築など、3D の取り合い調整はほぼ現場でやっていて、それらのデータに情報を付与していく意味での DX を行っている。
・詳細な稼働データなどの入れ込みについてはトライアル中で一般的ではない。
・BIM から情報を取ってきて、維持管理システムと連携できるようなものもある。
・建物管理者が通常使っている維持管理のソフトウェアとの連携が取れればベストと思う。
・BIM に全ての情報を一括で入れると重すぎて使い物にならないため、BIM と様々なアプリケーションを連動していく、データ連携が重要になると考えている。
＜AI 活用／AI カメラ＞
○AI カメラ等の利用による遠隔監視
・現場管理などに AI カメラを利用しだしている。
・AI カメラは、現在は工事の進捗を管理するために置いている。
・現場管理を遠隔で行うためであり、建築物衛生の用途では使用できていない。

③　建築・設備システム会社（G）
　建物・設備の運用管理システム（BAS：Building Automation System）、BEMS（Building and Energy Management System）、

センサーなどを提供している。
〇BEMS
事務所ビル、病院、学校、ホテル、商業ビルなどを対象に建物のエネルギー消費量を管理・分析するシステムであり、計測、制御、設備保全、遠隔管理などのエネルギーマネジメントを実現する。
〇BAS のデータを活用して建物エネルギーフローを分析し、デマンド制御や最適化などを行う。
・設備ごとに制御を行っている。
・CO_2センサーで室内環境を計測するのは、外気導入量を最小限にするためである。
〇保守点検
・中央監視装置、自動制御機器
　－リモートメンテナンスを組み込んだ保守点検サービスを提供している。
〇中央監視システム・ビル向けクラウドサービス：エネルギー管理者、設備管理者、オフィスユーザー向け、設備管理者向け（熱源最適化）
〇遠隔監視での監視業務代行
－警報発生時に電話で通知
＜センサー技術＞
〇温度センサーが中心：建築物衛生法、WELL認証では空気質、快適性なら温冷感、将来的には人体の状態の計測も必要であると考えている。
〇室内環境やダクト／配管用センサー（壁・天井取り付けなど）：設置場所に応じたタイプ（挿入型や目詰まりセンサーなど）がある。
〇センサーで集めたデータを保持して運用している。
・室内用（壁取り付け・天井取り付け）
　－温度、湿度、CO_2（0～2,000ppm）
・ダクト挿入用
　－温度、湿度、露点温度、CO_2（0～2,000ppm）
・その他：駐車場向け CO 濃度センサー、微差圧センサー、電力計、流量計、水質、排煙濃度計、熱量計など
〇今後
・WP センサー（卓上での温湿度、照度センサー）
・赤外線アレイセンサー（表面温度、人の位置・数）
・顔認証（顔、体温）
・温冷感申告アプリ：温度設定ではなく、「暑い」「寒い」で温冷感を検知し自動制御を行うもの。
〇計測目的の違いによるデータの特徴
・BEMS データは空調制御＋見える化に使われることが多い。
・BEMS データについて、見える化のみを目的としたものは少ない。計測周期や欠測時の対応など、データの特徴が異なる。
・空調制御などでは、短い周期、欠測時アラート発生、有線が好まれるなどの特徴がある。
〇CO_2センサー
・較正などのメンテナンスが必要：ある期間の最低値を 400ppm にする自動較正が一般的だが、密閉性の高い建物では無人時に濃度が下がりきらないことがあるため、当社製品には自動較正機能を導入していない。これは今後の開発面での課題。会社としては、1 年に 1 回の較正が必要と説明している。
・CO_2センサーで長期間無較正の製品：ドリフトしにくい製品というのもあるが、高価なためあまり売れていない。
〇定期的な点検・較正の必要
・温度センサー：素子にほこりや有機溶剤が付着することで経年劣化する。
・センサー素子を洗浄でき、製品や素子ユニットのみを交換できるものも提供。
〇現在の BEMS での計測値と建築物衛生法の適合について
・CO_2濃度、温度、相対湿度
・一酸化炭素は△（駐車場などは計測機器あり）
・浮遊粉塵と気流センサー：技術的なハードルはないが、自動制御に対するニーズが今までなかった。
・CO_2などは換気のために計測しているが、やはり浮遊粉塵も、発生源がそこまであるわけではなく、また室内でも課題にはなっていない。ケースが少ないので、ニーズとして求められてこなかったため特段実装していない。
・CO_2センサーの較正：センサーの寿命（素子）は 8 年～10 年持つが、較正頻度は年 1 回を推奨としている。
－連続通電時　±150ppm/年（@1000ppm）
－無通電放置時（参考）±15ppm/48 時間 50%RH 時

・温度・湿度の較正頻度：契約の内容次第で較正頻度はある程度変わる。温度についてはあまりドリフトはしない。湿度については、使っている環境によって、センサー素子にほこりや有機溶剤がたまってしまって経年劣化する。このため、例えばCO_2センサーを年1回更新するといった契約の際に、一緒に較正する契約になっていることが多い。品質保証部が出してきた数値になるので、通常の使い方をすればおおよそこれ以上にはならないという製品保証の範囲である。

〇水に関しては排水の水素イオン濃度や受水槽などの残留塩素濃度についても BEMS 計測はない。

〇室内環境測定結果の報告方法について（案）

・マルチセンサー・無線技術・クラウドアプリを活用することで、計測作業、報告の省力化や人周辺の計測に対応できるのではないか。

・どの場所で、どのような連続データをどのように分析して報告することになるのか検討したい。

〇遠隔監視サービス

・大規模ビルでは中央監視設備に常駐員がいることが前提であり、遠隔監視サービスは中小規模のビル向けである。中小ビルではそもそも常駐人員（昼間だけなど）がいないケースもあり、そういった場合に監視を代行するようなサービスであり、イメージ的にはセコムやALSOKのようなサービスに近い。大型のビルだとおおよそ24時間人がいるか、警備員だけ置いて、警備員から顧客に連絡を入れるなどの運用になっている。遠隔前提の運用というのはあまりない。

〇BEMS導入ビル

・新築ベースで BEMS 導入の物件は延床 1 万㎡を超えた施設には大体入っている。2 万㎡であればほぼ確実に入っている。区立の小中学校でも入っているケースがある。しかし、個別空調制御であれば、BEMS を入れる意味はない。85%ぐらいが個別空調（500 ㎡から 1000 ㎡などの小規模含む）である。外気処理だけやって室内はビルマルチ、といった建物もそれなりにある。ハイブリッドな形もそれなりにあるので、数字だけで実態をご説明できない。

〇BEMSセンサーの較正

・BEMSが導入されている建物で、実際にきちんと較正している割合：製品を納めたが、保守契約を結んでいるかは別である。省エネのために入れている部分もあるので、品質を担保するためにも保守に加入していただくようお願いしているが、実態としては半数程度しか保守契約を交わしていない。

・BEMS製品をリモートメンテナンス（ネットワークで接続し、自己診断など）にてデータを集めている。保守契約を結んでいなくてもデータ自体は集めているので、ドリフトしているから較正を提案しても、せいぜい半数程度の印象がある。

④　空調機・エアコンメーカー（H）

空調機（エアコン）製造メーカーで設備補修管理や監視サービスなども行っている。

・カメラ映像と AI によるドレンパン監視システムを提供している。顧客から「空気環境測定をIoT化できないか」という依頼から始まった。

・6 項目の精度を確認したうえで寄せ集めセンサーを自作した。小型の室内環境計測器を1,000台試作（非売品）、約50物件、600台を設置して試験中である。

・風速・CO についてはセンサー精度の課題を認識している。測定センサー精度は問題ないが、構造上の問題がある。

〇小型の室内環境計測器

・試作品・試験のため積めるセンサーを積んでいる。

・温湿度センサー：本体内部と外部に実装。基盤の温度を測定しているため温度追従性が悪い。ファンを付けていないので内部センサーは部品の自己発熱の影響を受ける。

・粉じんセンサー：本体内部。空気通路の設計の影響でセンサー単品より感度が低下。奥の方に搭載してしまうと感度が低下する。

・CO_2センサー：自動較正タイプを実装。自動較正に約1週間かかるので、設置直後は精度が保証されない。振動などに弱い。建屋でCO_2濃度が外気まで低下しない場合はドリフトする。

・CO センサー：ガス漏れ検知機器のセンサーを利用。低濃度での誤差が大きく実質的には利用し難い。

・風速センサー：水平 0〜15°の範囲は精度がいい。斜め・垂直方向の精度は低下。

・その他、PM2.5、磁気、加速度等を搭載している。

○建築物衛生法 6 項目の測定に対応するセンサーをメーカー協力のもと検討している。

・CO_2：NDRI 方式、ZEB 対応（CO_2 濃度制御により 400ppm まで下がらない場所）で使えるようなセンサーを選択すれば解消できそう。

・CO センサー：フィガロ CMM5141

○新型の環境測定器を開発中

・セルラー通信でクラウドにデータ保管

・温湿度センサー：MEMS 素子

－超コンパクトで消費電力が低い。基盤温度を拾う。

・CO_2 センサー

－フィガロ（光学式を採用）

－CO_2 濃度は気圧の影響を受けるため気圧補正が必要。気圧センサー内蔵の CO_2 センサーはないため注意が必要・

・PM センサー：筐体に入っているとセンサー単独より精度が低下する。

・CO センサー：困難。専門のセンサーメーカじゃないと作れないと思う。

・風速センサー

－小型の IoT 化を考えているが、熱線式のため若干消費電力が大きい。

－KOA、SGLab は手動でデータ処理して、手動で補正計算をしている。

－IoT 風速センサーの需要があるかセンサーメーカーから聞かれる。

○建築物衛生法 6 項目をセンサーユニット化する場合の課題

・温湿度、CO_2 は安価で高性能なセンサーが流通している。

・粉じんセンサーは日本建築衛生管理教育センターの基準を満たすと思われる。

・CO、風速はセンサーと回路が一体化したモジュールでないと自社開発できるメーカー以外はユニット製作に負荷が大きい。

・センサー性能自体が良くとも、パッケージ化（筐体）してまとめる中で性能劣化が起こることがある。

＜環境センサーでの自動計測＞

・常時計測

－24h 計測可能で計測周期は自由に設定が可能。期間を定めて平均化、MAX、MIN が出せる。

・データ遠隔取得

－LPWA 技術が普及し低価格化が進んでいる。

－データ蓄積サーバも普及している（AWS などのクラウドサービス）

○空間測定を人でやっているコスト

－IoT に置き換えるうえでのコスト感も考えなければならない。

＜ドレンパン点検＞

・定期点検作業をカメラと AI 技術で IoT 化。

－同フロア／系統で代表 1 台に搭載されるケースがほとんど。

－画像診断・AI で自動判断できるようにしてほしいというニーズがあった。

－人の作業を削りたいと考えている。現在 2000 台ほど販売済み。

・加湿エレメントも一部見ているが、ほぼドレンパンがメイン。

・汚れ判断

－商品としては AI でサポートはしている。

－実際の運用では、月に 1 回の点検時には点検者が確認している。

－AI 画像解析により、画像変化で汚れ自体の度合いを判定している。

－カメラ自体は後付け。サイズ感は車のバックモニターサイズ。1.5〜2cm 角のカメラ。

－水にぬれても良い製品を流用している。

・ろ材や集塵部などの汚れ

－こうした技術を応用して IoT 化できるよう開発を進めている。

－向き不向きがあるので、すべてがカメラでなく、例えば集塵部であれば風量計を付けるなど、カメラに拘らず応用できる部分は応用していけばできると思う。

・1 フロア／系統に 1 台

－大体そういう感じで設置している。2000 台のうち大半を某社が占めている。

・IoT ツールで問題ないという共通認識が進めば、もっと一気に進むのではないかと考えている。

・据え付けのイニシャルコスト
　－ランニングコストで回収している。
・カメラの給電
　－空調機などの機械から引っ張っている。
・カメラの耐久性、動作担保
　－ある程度監視できているが、今後問題がありそうなものについては自動検知し、画像をスタッフに確認してもらっている。

⑤　ソフトウェアソルーション開発社（I）

　インフラ側のメーカーでセンサーを使用した使用状況調査、画像解析を利用したDX化に着手している。
・人が現場に行くことには変わりないが、現場情報をデジタルデータとして正確に蓄積していくことが狙い。
・固定のネットワークカメラを用いて完全無人化・効率化するつもりで検討を始めたが、コストと設置位置（網羅性のなさ）に課題があった。
・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を行う製品をリリースした。製造メーカーの他、ビルメンテナンス会社などから導入申込みがあった。
・効率化というニーズもあるが、それ以上に人的ミス、間違いを減らしたいというニーズが強かった。（誤検針による誤請求などを減らしたい）
・従来では目視確認、手書きで台帳へ転載というプロセスを経るが、本サービスではアプリを導入したスマホで撮影すれば、数字を読み込んでデータ化し、弊社が用意するクラウド上で保管、帳簿で確認できる。これにより、見間違い、誤記入、転記ミスも同時に回避（時間・手間・コスト削減）
・アナログメーター／デジタルメーター／回転式／電流値／横メモリ（アナログ）などに対応している。苦手なものもあるが、バージョンアップで対応を進めている。
・メーターを読み取って拾い集めた情報を視覚的に集約する機能があり、短いペースで更新がかかっており、異常値のアラートが出るようになっている。
・数字の認識精度は98.9%程度
・点検と合わせてその他事項についても記録できるオプションを提供している。
・アクセス権限さえあれば、メーター点検アプリ+WEB台帳が利用できる。
・インターフェースが簡便で IT 知識がなくても覚えてしまえば誰でも使える。
・クラウド上のデータサーバーで解析して、数値を返している。
・対象の写真撮影も行い、記録として保存できるが､汚染状況の自動判別や画像解析はできな・い。

C.3. 測定器・センサーメーカー

①　測定器・センサーメーカー（J）

　ハンディタイプの風速計、常設の風速計などを製造・販売している。まだ Bluetooth で今すぐ繋がるわけではないが、常時監視できるような測定機器を出していこうと考えている。
○遠隔監視
・遠隔監視ができるサービスは、今のところ CO_2 等も含め提供していない。
・現在は量産品で提供できているのは手持ちで持ち込める風速計や CO_2 計などが主体。
○ビル管セット
・30年ほど前から、それぞれの項目に対応して複数台必要だった空気環境測定機を一つにまとめた機材を提供しており、ビル管セットと呼ばれている。
・最新は一体型の機械を使うだけになっており、現場に持ち込んでタッチパネルを押すだけで計測ができる。
・結果も報告書がデータで自動的に出てくる。csv ファイルをレポートにコンバートできるツールも用意している。
・電源（コンセント）さえ用意できれば長時間稼働自体は可能であるが、連続稼働してデータを連続記録していくとキャリブレーション（較正）が必要となってくる。このため、1 日程度ならともかく、長期間稼働させるのは想定していない。
○データ転送について
・インターフェースとしてポートは複数用意している。USB ポートからの出力が基本。
・USB ポート以外に、LAN ポートなどハードウェア的には用意はしてあり、将来な拡張には対応できるように準備してある。

・データは測定場所縦軸／測定項目横軸や、測定時間縦軸／項目横軸などの配列で出力できるようになっている。
・ワイヤレス LAN や Bluetooth は実装していない。
＜運用面など＞
〇ユーザーの側でロボットに乗せての検査の取り組みが始まっている。一日に一回のユーザー較正さえしていれば、問題なく使えると思われる。
＜技術的な障壁＞
〇粉じん計や風速計の小型センサーは実用化に至っていない。将来を考えた取り組みとしては考えているが、ニーズについては正直未知数。
〇常設のものについては、どの程度まで製品寿命を持たせるべきなのか、どれだけの期間較正しなくてよいか､メンテナンスはどうするのか、が課題。
〇風速計であれば、閾値がドリフトしやすいなど、長期間安定して計測するには技術的なハードルがまだまだ存在する。
〇低コスト化・小型化を行う上で一番ハードルが高いのが一酸化炭素計である。定電位電解法を採用しているが、化学物質を利用していることもあり、寿命とコストが課題になっている。ほかのメーカーもほとんど同じ状況である。
＜廉価な市販品について＞
温湿度センサーなどが一般的に流通しているが、精度の担保が最大の問題である。キャリブレーションはしているだろうが、ズレていないか、どう較正して精度を担保していくかが課題と思う。
低コストセンサー類は建築物衛生法で求められている 0.5m/s の微風速の感知などが難しく、廉価品では求められる品質が担保できない部分がある。

② 測定器・センサーメーカー（K）
測定器、センサーやガラス器具を提供しているメーカーである。
＜空気質に関しての取り組み＞
〇IoT 化の取り組み
・近距離中継器を用いた粉じん計の遠隔監視など、顧客からの要望に応じてカスタマイズして都度提供している。
・動作状況の定期的なメール送信を行うサービスや、異常発生メールなどを実施している。
・センサーからクラウドサービスへの展開を行っている。
・精度重視のスタンスであるが、測定精度よりコストを優先した製品群によるクラウドデータ共有について、現在検証を進めている。
・Wifi での接続＞ルーター＞携帯電波＞サーバー
・SIM を使ったデータ集約も検討中である。
・デジタル情報のため、加工すればアラートを出す、メールを出す、データを保管するといったことが可能。
〇課題
・技術的には可能だが、設置にかかるコストが課題。測定準備費がアップする。
・使う側の IoT スキル力（ユーザ、メーカーともに）
・コスト回収の仕組み（マネタイズ方法）
・精度とコストの優先度（トレードオフ）が課題であるが、当社としてはどちらかというと精度を重視している。
・測定する前に校正作業を行い、ゼロガスにより調整してから測定をする。
・常時監視になると、誤差をどうするのかが大きな課題になっている。
＜データ通信、センサー自体の課題＞
・Bluetooth を使った短距離通信で実機
－PC へデータを飛ばすことは成功している。
・ビル管セットは Bluetooth でつなげるか：もともとビル管作業員専用に作っているので、直接 Bluetooth でデータを転送して、直接報告書の形で出力できるようになっている。丸一日（24 時間）測定してデータを吐き出すといったことも可能であり、1 分置き、10 分置きなど、情報取得スパンによって情報を取得できる期間が変わる。
・粉じん計であれば、測定前に較正を行ってから実施している。
・常時通信は技術的に問題ないが、センサーそのものが常時稼働に伴う課題が多い。
・ローコストな CO_2 センサーは精度が落ちる。
・電源を入れたままにしてしまうと、ドリフト

（ベースラインの低下）が起きてしまう。それの処理をどうするのか､通信以外の課題がある。
・粉じん計は汚れをセンサーで拾うので、汚れそのものが溜まっていく。
・一酸化炭素と気流： CO と CO_2 両方測れる機材を近日中に出す予定｡気流はまた別なので、測定機としては分ける必要がある。
・ビル管セットは、気流も含め一式化しているが、付け足せば付け足すほど大型化・ハイコスト化する。
・CO_2 センサーの較正頻度：連続稼働の場合、定期的な較正をどうするかが問題。頻度について厳密にいうと、毎日較正しないと数値はずれる。一週間ぐらいなら大きなずれはない。1 ヶ月もするとベースラインがどんどん下がっていく。急激にずれるわけではなく、許容値をどうするか、どこまで精度を担保するのかで相当変わる。一番低いところを 400ppm として自動で較正する自動較正機能があるが、下がりきった数値が本当に 400ppm かどうか担保できない。そのため、毎日較正を推奨している。CO_2 であればゼロガスと 800ppm のスパンガスでしている。気流と粉じんが一番難しい。
＜気流＞
・気流の測定値のばらつき：風速精度という意味で考えるのであれば、精度が高い。
・風速センサーは常時監視に耐えられると思われるが、常時監視に使用したことはない。
・定期的な較正を行うことが大前提ではある。なお、センサー部位が熱線式の風速計なので壊れやすい。気象庁で使っている超音波式など、常時監視となるとそちらに行ってしまう。技術的にはやればできるが、どこまでやりこんで、どこまで妥協するのかが問題である。
・気流速度は 0.5m/s 未満であればただ「未満」として処理することは可能か。そもそも常時監視は必要かという問題もある。省令上は、0.5m/s 以下にするとしか書いていない。：それくらいの精度であれば、下の方（0.5m/s 以下）についての較正がいらなくなるのでコストを抑えることが出来る。
＜水質＞
・水の残留塩素：水温や pH など諸条件が同じで無ければ、精度よく測定できない。常温（25～10℃）レベルの変化でも、測定値に影響は出てしまう。
・建築物衛生法上の水関係の測定項目について常時監視：外観と濁度はほぼ同様と思われる。臭気はにおいセンサーがあるので、これに対応できるかはテストしてみないと不明。pH はできる。残留塩素は、常時監視する機器自体は存在しているが、センサー部を定期的に変えなければならないため、その都度図るものが主流になっている。水と接触し続けることで、センサー部分自体が劣化するなどし、精度が落ちてしまう。
・排水受けや冷却塔などの濁度（汚れ）：A：基準値をどうするのかによるが、できることはできる。また、菌のセンサーはほぼ存在しないと思っていい。染色・発色させるなどで拾うことができれば可能かもしれない。

③　測定器・センサーメーカー（L）

学校では 3000ppm を超えるような事態が多く眠くなり、集中力持続などのデータ取得に活用しようと開発したがコロナで CO_2 センサーへの需要が高まった。可搬性、設置のしやすさに優れている。

＜環境モニタリングシステム（本体）＞
・搭載センサー：CO_2（NDIR 方式）／温度／湿度
・通信方式　　：Bluetooth（BLE）
・連続稼働時間：リチウムイオンバッテリーで（フル充電時）1 年間稼働。再充電でさらに 1 年稼働可能。
・小型軽量
＜アプリケーションまたはクラウド連携＞
・その場で直に iOS 端末にデータを飛ばしアプリケーションで確認可能。
・アプリケーションはサブスクリプションでの利用をお勧めしたいが、実際は要望により買い切りでも提供している。
・その場で写真を撮ると、同時に字幕の形式で日時・温湿度・CO_2 濃度が併せて記録できる。
・病院等でセンサーを持って巡回しながら測定･撮影することで記録していく等を想定した。
・実際の事例として飲食店での事例。
　－千代田区の保健所がまとめて購入し、補助

金の条件として設置場所を指示して置かせている。
<クラウド版>
・センサー>ゲートウェイ>クラウド。
・アラート配信、CO_2 濃度の推移をグラフ化。
　－図面と合わせて複数個所の表示ができる。
　－図面は自前のものを用意して弊社に提供することで、マップ形式で表示可能。
・大学での利用事例として、各教室に設置してリアルタイムで監視を行っている。
・規程 ppm を超えた際のアラートなども送信する。
<センサーの精度管理>
・出荷時にキャリブレーションしている。出荷後の使用中においては、自動補正機能があり、最低値を430ppmとして長期スパンで自動較正をかけている。6 か月内の最低値を補正データとして参照し、一度に大きく下げるのでは無く、なだらかに較正を行っている。
・1 年に 1 回はメンテナンスで較正を行うことを推奨している。
　－ユーザー側からのメンテナンスは実際はあまりいない。むしろ長期間利用いただいているユーザーにはサービスで行ったことがある。
　－普通の環境であれば100ppm未満のずれ程度に収まっているため、余計に較正を依頼されない。
・要望があれば自動補正オフにして提供する。

C.4. 水管理

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。

C.4.1. 各社保有機器における測定項目

特定建築物における水質管理においては、残留塩素濃度の検査は飲料水、雑用水ともに 7 日以内ごとに 1 回の検査が規定されており、検査実施頻度が高い。今回、調査対象としたすべての企業において、残留塩素濃度の連続測定機能を有する測定装置が販売されていた。そのほか、濁度、色度、pH についても、オプションとしての追加装備も含めると、いずれの企業が保有する測定装置においても連続測定が可能であるとの回答があった。上述した測定項目に関しては、連続測定を通じた衛生管理が技術的には可能な水準に到達しているといえる。

上記の項目に加え、複数の企業が保有する測定装置において、電気伝導率、水温、及び水圧の連続測定も可能であるとの回答があった。これらの項目は、定期検査項目ではないものの、水関連施設が健全であることを確認するために活用することができる指標である。

一方で、特定建築物における定期水質測定項目に含まれている味及び臭気に関しては、連続測定が可能な測定装置を保有しているとの回答はなかった。これらの項目は、官能分析により評価される項目であり、特定の物質に着目した測定による評価が困難な指標である。技術開発のニーズを把握している企業はあったものの、いずれの企業からも、技術的な障壁が高いことから実用化に至っている、あるいは実用化が見込まれる技術は保有しているとの回答は得られなかった。

C.4.2. 各社保有装置の想定適用先

ヒアリング対象とした企業からは、現在販売中の装置に関しては、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されているとの回答が主流であった。これらの適用先においては、比較的大規模な設備を設けることが可能であることが多いため、現在販売中の装置の多くは比較的大型であり、販売価格も高価なものとなる傾向が認められた。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.4.3. 出力及び通信機能

今回検討対象とした連続測定装置においては、すべての企業の装置において DC 4-20 mA のアナログ出力機能が備えられていた。この出

力を活用することで、スケーリング機能を有するデータロガーによる記録や制御盤内の入力装置による測定結果の取り込みが可能となる。ヒアリングした企業の中でも、制御盤に出力信号を送信したうえで、制御に活用されているとの事例も複数紹介された。また、納入先の要望に応じてデジタル出力をはじめとする複数の出力方式を採用可能とする回答が主流であった。連続測定装置においては、測定結果の活用が念頭に置かれることから、出力や通信の機能に関しては、各社とも柔軟な対応ができる状況が構築されていた。

C.4.4. 校正頻度

連続測定に使用する想定装置の場合、使用時間が長くなるに従い、真の値と測定値の乖離が拡大することから､定期的な校正が必要となる。今回調査対象とした測定装置の中では、残留塩素濃度に関しては、定期的な手動測定(DPD 法による)による測定結果との突合を通じた校正を行う必要があるとの回答が得られた。

必要となる校正頻度については、測定対象とする水の水質によって変動するため、導入後、測定値の乖離状況を監視しながら校正頻度を定めることが望ましいとする回答が複数得られた。水道水を対象とする場合は、少なくとも1カ月に一度の頻度で校正を実施することが必要となるとの見解も複数の企業より得られており、特定建築物における水の衛生管理に適用する場合の校正頻度のとしては、最低限上記の水準を確保することを想定しておく必要があるものと考えられる。

特定建築物においては、残留塩素濃度の測定は7日以内ごとに1回の頻度で実施することが規定されている。1カ月ごとに1回の頻度で校正が必要となる場合、残留塩素濃度検査4回分にかかる費用が校正1回にかかる費用を十分に下回っていることが必須となる。一方で、前章で述べた通り、実際の建築物においては、建築物衛生法で規定されている頻度を上回る頻度で残留塩素濃度の検査を実施している事例が一定数存在している。そのような管理を実施している建築物においては、連続測定装置を有効に活用できる可能性が高くなる。

C.4.5. 建築物衛生管理への導入状況

調査対象とした企業の中からは、塩素追加設備と併用される形で、受水槽にて連続測定技術が活用される事例があるとの回答も得られたが、連続水質測定技術の販売先として特定建築物における水の衛生管理を販売戦略に位置付けているとの回答は得られなかった。連続水質測定技術の適用先の市場として、特定建築物における水の衛生管理が十分に認知されていないものと考えられる。連続水質測定装置を販売している企業にとって、特定建築物における水の衛生管理が有望な市場となると認知されれば、特定建築物への適用を念頭に置いた測定装置の開発も加速する可能性が考えられる。

D. まとめ

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、水質分析関連 4 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・CO_2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、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、CO_2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。

水の衛生管理に関連する項目としては、連続水質測定装置を取り扱っている企業に対し、ヒアリングを実施した。得られた回答を取り纏めたところ、必要となる検査頻度が高く、かつ連続測定技術が確立している残留塩素濃度については、ヒアリング対象としたすべての企業において連続測定装置を取り扱っていた。販売されている連続測定装置には、定期検査項目である濁度、色度、pH に加え、電気伝導率や水温、圧力といった項目も同時測定できるものが含まれていた。原理的に連続測定が可能な項目については、適用可能な技術がすでに開発・販売されていることが明らかとなった。一方で、味や臭いといった官能分析による評価が必要な項目に関しては、技術開発の途上であり、現段階で実用可能な技術を有しているとの回答は得られなかった。適用先に関しては、上水道関連施設、簡易水道、地下水などの回答があったものの、特定建築物の衛生管理については、いずれの企業も市場として十分に認知している状況ではなかった。いずれの企業の測定装置も、出力機構として DC 4-20 mA のアナログ出力機能を有しているのに加え、適用先の要望に応じていくつかの通信手段を選択できるとの回答が多かった。校正頻度に関しては、月 1 回程度の校正は最低限必要となるとの回答が主流であった。当該校正期間内に実施する水質検査の回数を考慮の上、費用対効果を判断することが必要となると考えられる。

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

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 5 年度

研究成果の刊行に関する一覧

「2023 年度」

本年度無し。

－以上－

令和６年３月２９日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　国立保健医療科学院

所属研究機関長　職　名　院長

氏　名　曽根　智史

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　生活環境研究部・上席主任研究官

（氏名・フリガナ）　金　勲・キム　フン

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和６年３月２９日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　国立保健医療科学院

所属研究機関長　職　名　　院長

氏　名　　曽根　智史

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　統括研究官

（氏名・フリガナ）　増田　貴則・マスダ　タカノリ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和６年３月２９日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　国立保健医療科学院

所属研究機関長　職　名　　院長

氏　名　　曽根　智史

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　　IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　生活環境研究部・主任研究官

（氏名・フリガナ）　三好　太郎・ミヨシ　タロウ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和６年３月２９日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　国立保健医療科学院

所属研究機関長　職　名　　院長

氏　名　　曽根　智史

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　　IoTを活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　生活環境研究部・研究員

（氏名・フリガナ）　下ノ薗　慧・シモノソノ　ケイ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和６年３月２１日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　国立大学法人東京工業大学

所属研究機関長　職　名　学長

氏　名　益 一哉

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　環境・社会理工学院・教授

（氏名・フリガナ）　鍵 直樹・カギ ナオキ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和６年３月２１日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　国立大学法人東京工業大学

所属研究機関長　職　名　　学長

氏　名　　益 一哉

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　　IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　環境・社会理工学院・助教

（氏名・フリガナ）　海塩 渉・ウミシオ ワタル

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

（※2）未審査に場合は、その理由を記載すること。

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　未受講 □

６．利益相反の管理

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

（留意事項）　・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和６年５月８日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　学校法人法政大学

所属研究機関長　職　名　　総長

氏　名　　廣瀬 克哉

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）　デザイン工学部・教授

（氏名・フリガナ）　中野 淳太・ナカノ ジュンタ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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

令和 6 年 5 月 16 日

国立保健医療科学院長　殿

機関名　　産業医科大学

所属研究機関長　職　名　　学長

氏　名　　上田　陽一

次の職員の令和５年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

１．研究事業名　健康安全・危機管理対策総合研究事業

２．研究課題名　IoT を活用した建築物衛生管理手法の検証のための研究

３．研究者名　（所属部署・職名）産業保健学部・教授

（氏名・フリガナ）欅田　尚樹・クヌギタ　ナオキ

４．倫理審査の状況

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

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

その他（特記事項）

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

５．厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ■　未受講 □

６．利益相反の管理

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

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