

令和6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自動計測センサーの活用手法の検討

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

研究要旨

【目的】建築物衛生法では空気調和機を設けている場合の空気環境の基準が定められており、2か月以内ごとに1回の測定が義務付けられている。現行の空気環境の維持管理については測定技術者による立入測定（現行測定）が行われているが、近年では小型かつ軽量で空気環境が連続的に測定可能な自動計測用小型センサー（以下、小型測定器）が普及しており、建築物衛生管理の省力化が期待されている。本章では、CO₂濃度の自動校正機能の検証を行った上で、小型測定器による環境評価ならびに現行測定と小型測定器の比較による小型測定器の精度検証を行った。

【方法】CO₂濃度の自動校正機能の検証については、2種の小型測定器に対して自動校正機能をOnとした機器とOffとした機器を隣接させて設置した。小型測定器による冬期の室内環境評価については、2024年度の冬期（12～3月）を対象に平日9～18時の空気温湿度とCO₂濃度の特別集計値、基準値内時間率等で評価した。現行測定と小型測定器の比較については、秋期（2024/10）と冬期（2025/1–2025/3）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（現場立入測定）を実施するとともに、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）による測定値を入手し、当該時刻の小型測定器の値と比較した。この比較には、現場立入測定若しくは法定測定の測定値に対して小型測定器の温度が±0.5K、相対湿度が±5%RH、CO₂濃度が±50ppm以内の値である場合に両者は同値であると見なし、全測定回数に対する同値である測定回数の比率（一致率）で評価した。

【結果】CO₂濃度の自動校正機能の検証については、経時的に両者の差が大きくなる傾向が見受けられる場合と不規則な差の推移を示す場合があった。また、自動校正機能を利用しない場合には304ppmとなる時間帯もあることから、測定の精度が低下している可能性がある。小型測定器による冬期の室内環境評価については、基準値内時間率という指標により、現行測定よりも詳細な評価が可能となると考えられる。現場立入測定と小型測定器の比較では、冬期の相対湿度の一致率は88%と高い結果であったが、空気温度とCO₂濃度の一致率はいずれも50%以下であった。特に、冬期のCO₂濃度の一致率が低くなっているが、小型測定器による測定値が全体的に低い傾向が見られ、小型測定器の自動校正の値が400ppmであることが一要因と考えられる。法定測定と小型測定器の比較では、一致率は空気温度が37%、相対湿度が77%、CO₂濃度が43%であった。法定測定では、外気測定後に室内測定を実施している、CO₂濃度の校正が成されていない可能性があり、一致率の低下の要因につながったと考えられる。

【結論】本章では、建築物衛生管理における小型測定器の活用に向けて小型測定器による室内環境評価ならびに現行測定と小型測定器の結果を比較した。小型測定器を活用することで室内環境を詳細に評価可能となるほか、現行測定の課題（前室の測定の影響やCO₂濃度の校正）への対応が可能となる等の利点がある。なお、現場立入測定と小型測定器による比較ではCO₂濃度は小型測定器の方が低い値となったが、自動校正値が400ppmであることが要因と考えられ、近年の大気中のCO₂濃度に合わせて校正することが望ましい。

3-1. CO₂濃度の自動校正機能の検証と自動計測センサーによる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¹⁾。浮遊粉じんの量、一酸化炭素の含有率、二酸化炭素の含有率（以降、CO₂濃度）、温度、相対湿度、気流の6項目の測定が義務付けられている。近年、CO₂濃度、温度、相対湿度については、連続的に自動計測が可能な小型センサー（以下、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に対してCO₂濃度の自動校正機能の検証と冬期の室内環境を評価することを目的とする。

B. 研究方法

表3-1-1に小型測定器の概要を示す。本研究で取扱う小型測定器は3種類であり、いずれもCO₂濃度、温度、相対湿度が測定可能である。CO₂濃度の測定精度は小型測定器AとCが±50ppmであるのに対して小型測定器Bは

±120ppmであった。なお、温度と相対湿度の測定精度は0.4～0.5°C、3～5%RHである。また、CO₂濃度の自動校正機能はいずれも搭載されており、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。記録容量は小型測定器Cには容量は無く、常時測定値がアップロードされるが、小型測定器Aは8000データ、小型測定器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に示した7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3-1-8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。本節では、以下の2つの事項を実施する。

(1)CO₂濃度の自動校正機能の検証

Aビル・Bビル・Cビルを対象に2024年10月下旬に小型測定器AとBについて自動校正機能をOnとした機器とOffとした機器を設置した。設置時のCO₂濃度は両者で概ね同等とな

表3-1-1 小型測定器の概要

| 機器記号 | 小型測定器 A | 小型測定器 B | 小型測定器 C | |
|----------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 測定範囲 | CO ₂ 濃度 | 0 - 9 999ppm | 360 - 4 000ppm | 400 - 5 000ppm |
| | 温度 | 0 - 55°C | -10 - 60°C | 10 - 60 °C |
| | 相対湿度 | 10 - 95%RH | 10 - 95%RH | 10 - 90%RH |
| 測定精度 | CO ₂ 濃度 | ± 50ppm ± 読み値の 5% | ± 120ppm ± 1digit | ± 30ppm ± 読み値の 3% |
| | 温度 | ± 0.5°C | ± 0.5°C | ± 0.2°C |
| | 相対湿度 | ± 5%RH (at 25°C50%RH) | ± 4%RH | ± 2%RH |
| 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。 | 有 | |
| CO ₂ 濃度 自動校正 | 有 →180 時間ごとに最低値を 400ppm とする。 | 有 →7 日間ごとに最低値を 400ppm とする。 | 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 | |

るように手動校正により調整した。なお、2025年3月下旬に小型測定器Cについても自動校正機能をOnとした機器とOffとした機器を設置しているが、十分なデータが蓄積できていないため、令和6年度の報告書としては小型測定器AとBのデータを利用して分析した。

分析はCO₂濃度について平日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2024年10月から2025年3月の期間で月別に最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値、平均値を示した。

(2) 小型測定器による冬期の室内環境評価

小型測定器Aの結果を利用して2024年度の冬期(12～3月)を対象に平日9～18時の空気温湿度とCO₂濃度の特別集計値、曜日別集計値ならびにt-x線図により室内環境(1～3月のみ)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. CO₂濃度の自動校正機能の検証

自動校正の有無によるCO₂濃度の測定比較を図3-1-1～図3-1-3に示す。Aビルの小型測定器Aの結果によると2024年10月時点の平均値は597ppm(自動校正あり)と598ppm(自動校正なし)であり、差はほとんど見られなかったが、2025年3月時点の平均値は817ppm(自動校正あり)と785ppm(自動校正なし)であり、32ppmの差が生じていた。BビルとCビルの小型測定器Aの結果によると手動校正により調整していたものの2024年10月時点で平均値の差はそれぞれ50ppm(Bビル)、53ppm(Cビル)であった。その後、Bビルでは2024年11月に自動校正の有無で大小が逆転する、2025年1月に82ppmの差が生じるといった不規則な差の推移を示した。Cビルでは経時的に差が小さくなる傾向を示しており、2025年2月には32ppmの差となった。

Bビルに設置した小型測定器Bを例に自動校正の有無によるCO₂濃度のトレンドグラフを示した結果を図3-1-4に示す。2024年12月中旬頃までは両者の値は概ね同等であるが、12月

下旬以降の夜間や休日のCO₂濃度が300ppm台を記録することが多く、2025年1月27日に最低値304ppmを記録した。NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)がMauna Loaで測定している外気CO₂濃度によると2024年11月は423.85ppmであった²⁾。即ち、室内CO₂濃度が外気CO₂濃度と比較して低いことになり、測定の精度が低下している可能性がある。

C.2. 小型測定器による冬期の室内環境評価

小型測定器による冬期の室内環境評価結果を図3-1-5～図3-1-36に示す。以下に各建物における室内環境の概要を示す。

(1) Aビル 2F

特別集計値については9時台の空気温度の平均値が20.9°Cと最も低く、18°Cを下回る日もあった。経時的に空気温度は上昇し、16時台の平均値が23.9°Cと最も高かった。相対湿度は空気温度の上昇に伴い低下した。CO₂濃度は9時台の平均値が711ppmと最も低く、12時台に低下する傾向があったが、経時的な変動は大きくなかった。なお、曜日による空気温湿度とCO₂濃度の差は小さい。

基準値内時間率については空気温度とCO₂濃度はいずれの月も概ね100%であったが、相対湿度は12月と1月が0%、2月が8%であるのに対して3月は46%まで増加していた。

(2) Aビル 8F

特別集計値については9時台の空気温度の平均値が21.4°Cと最も低いが、経時的に空気温度は上昇し、16時台の平均値が23.6°Cと最も高かった。相対湿度の平均値は時間によらず約40%RHを推移していた。CO₂濃度は9時台の平均値が811ppmと最も低く、その後は概ね900ppm台を推移していたが、いずれの時刻の最高値も1000ppmを超過していた。なお、曜日による空気温湿度とCO₂濃度の差は小さい。

基準値内時間率については空気温度はいずれの月も100%であったが、相対湿度は1月が95%、3月が62%であり、他の建築物と異なる傾向があった。CO₂濃度は概ね7割程度の基準値内時間率であった。

(3) Bビル

特別集計値については9時台の空気温度の平

均値が 24.1°C と最も低い、経時的に空気温度は上昇し、11 時台の平均値が 25.6°C と最も高かった。その後の空気温度は経時的に低下し、9 時台と 17 時台は概ね同等であった。相対湿度は空気温度に伴い変動した。CO₂濃度は 9 時台の平均値が 629ppm と最も低く、その後は概ね 900ppm 台を推移していたが、いずれの時刻の最高値も 1000ppm を超過していた。なお、曜日による空気湿度と CO₂濃度の差は小さい。

基準値内時間率については空気温度と CO₂濃度はいずれの月も概ね 100%であったが、相対湿度は 12～2 月が 4%未満であるのに対して 3 月は 45%まで増加していた。

(4)C ビル

特別集計値については 9 時台の空気温度の平均値が 23.6°C と最も低い。経時的に平均空気温度は上昇するが、9 時台から 1K 以上上昇することはなかった。相対湿度は 26～27%RH であり変動は小さい。9 時台の CO₂濃度の平均値は 641ppm であったが、経時的に上昇し、15 時台の平均値は 765ppm であった。なお、曜日による空気湿度には大きな差は見られなかったものの、木曜日と金曜日の CO₂濃度の差は 40～50ppm であった。

基準値内時間率については空気温度と CO₂濃度はいずれの月も概ね 100%であったが、相対湿度は 12～2 月が 2%未満であるのに対して 3 月は 37%まで増加していた。

(5)D ビル 1F

特別集計値については 9 時台に 20°C 程度となっている時間帯がある。また、空気温度の平均値が午前中は上昇しているものの、終日の変動は小さい。当該ビルの測定開始日が 2 月下旬であったことから相対湿度の平均値はすべての時間帯で 40%RH 以上であるが、午後には最低値が 30%RH 程度まで低下している時間帯もある。9 時台の CO₂濃度の平均値は 574ppm であったが、午後はおよそ 700ppm 程度を推移していた。なお、曜日による空気湿度と CO₂濃度の差は小さい。

基準値内時間率についてはいずれの項目も概ね 100%であった。

(6)D ビル 3F

特別集計値については空気温度の平均値が

13 時頃まで上昇し、その後は低下する傾向があった。また、11～14 時には最高値が 30°C 程度となる時間帯がある。これは、窓面積率(=窓面積/外壁面積)が大きく、日射による影響が大きいと考えられる。相対湿度は空気温度に伴い変動した。9 時台の CO₂濃度の平均値は 604ppm であったが、経時的に上昇し、午後は 750～800ppm を推移していた。曜日別集計値については空気温度が 26°C 以下と時間率は月曜日から水曜日が約 70%であるのに対して、木曜日と金曜日は約 40%であった。また、金曜日の CO₂濃度は他の曜日と低い傾向が見られた。

基準値内時間率については CO₂濃度はいずれの月も 100%であったが、空気温度は高温環境により、基準値内時間率は 2 月が 72%、3 月が 91%であった。また、高温環境により相対湿度が低下し、基準値内時間率は 2 月が 31%、3 月が 75%であった。

(7)F ビル

特別集計値については 10 時以降に空気温度の平均値の推移はほとんど見られなかったが、各時刻の最高値・最低値の幅が大きく季節変動が大きい結果であった。相対湿度は経時的に低下する傾向が見られたが、すべての時間帯で平均値は 40%RH 以上であった。9 時台の CO₂濃度の平均値は 688ppm であったが、その後は 730～750ppm を推移していた。なお、曜日による相対湿度と CO₂濃度には大きな差は見られなかったものの、月曜日の空気温度は他の曜日と比較して低い傾向が見られた。

基準値内時間率については空気温度と CO₂濃度は時期を問わず 100%であったが、相対湿度は 12 月 96%であり、その他の月は 98%以上であった。

(8)G ビル

特別集計値については 9 時台の空気温度の平均値が 23.8°C と最も低い、14 時台に 26.1°C と最高値となり、その後は低下する傾向が見られた。また、各時刻の最高値・最低値の幅が大きく季節変動が大きい結果であった。相対湿度の平均値は時間によらず約 40%RH を推移していた。CO₂濃度は 9 時代の平均値が 629ppm と最も低く、12 時台に低下する傾向があったが、経時的な変動は大きくなかった。なお、曜日に

よる相対湿度には大きな差は見られなかったものの、月曜日の空気温度が他の曜日と比較して低く、火曜日と水曜日の CO₂ 濃度が他の曜日と比較して 100ppm 程度高い傾向が見られた。

基準値内時間率については空気温度と CO₂ 濃度はいずれの月も概ね 100%であったが、相対湿度は 12 月が概ね 0%、1 月と 2 月が 40%程度、3 月が 61%であった。

D. まとめ

本節では、1)CO₂ 濃度の自動校正機能の検証、2)冬期の室内環境評価を実施した。1)では、3 件の建築物 (A ビル・B ビル・C ビル) を対象に平日 9~18 時の日平均値で CO₂ 濃度を集計し、経年変化も把握するために月別に比較した。A ビルでは経時的に両者の差が大きくなる傾向が見受けられたが、B ビルのように不規則な差の推移を示す例もあった。また、自動校正機能を利用しない場合には 304ppm となる時間帯もあることから、測定の精度が低下している可能性がある。2)では、時別集計値、曜日別集計値、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) を用いて冬期の室内環境を評価した。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

- 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/> (2025/1/22 アクセス)
- 2) NOAA. Earth's CO₂ Home Page.
<https://www.co2.earth/> (2025/2/15 アクセス)

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 下ノ 藺慧, 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測定器の活用に向けた CO₂ 濃度の自動校正に関する検討. 第 58 回空気調和・冷凍連合講演会; 2025.4.17-18; 東京. 同講演論文集. 9. p.49-52.

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

■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B ■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B
● 小型測定器 C ★ 現場立入測定 ● 小型測定器 C ★ 現場立入測定

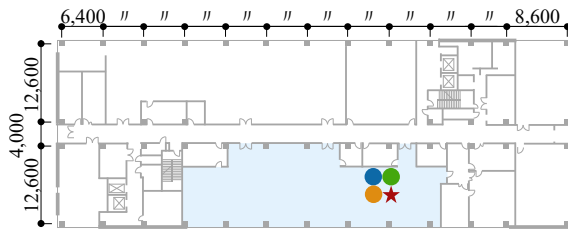


図 3-1-1 A ビル (2F) 平面概要図

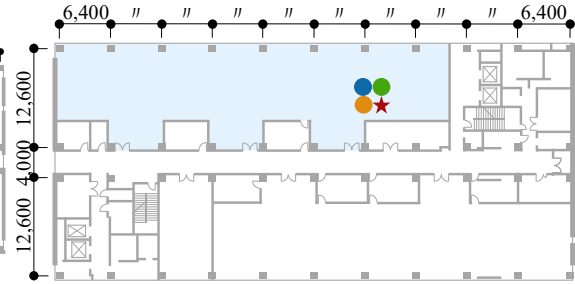


図 3-1-2 A ビル (8F) 平面概要図

■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B ■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B
● 小型測定器 C ★ 現場立入測定 ● 小型測定器 C ★ 現場立入測定

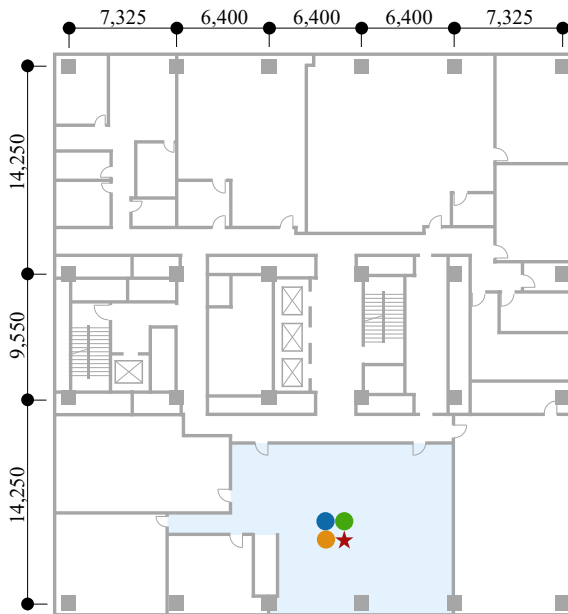


図 3-1-3 C ビル平面概要図

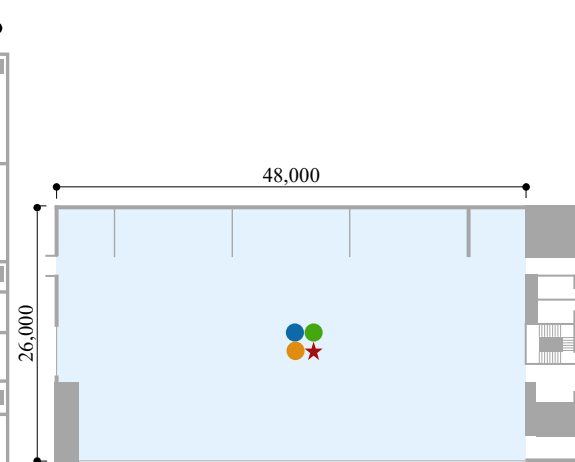


図 3-1-4 D ビル (1F) 平面概要図

■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B ■ 測定対象室 ● 小型測定器 A ● 小型測定器 B
● 小型測定器 C ★ 現場立入測定 ● 小型測定器 C ★ 現場立入測定

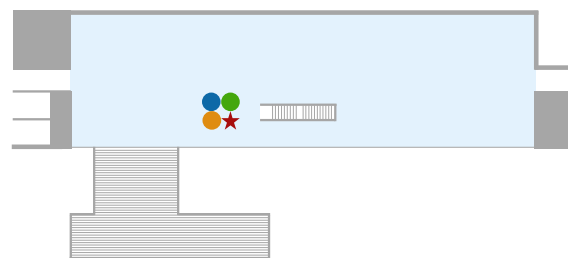


図 3-1-5 D ビル (3F) 平面概要図

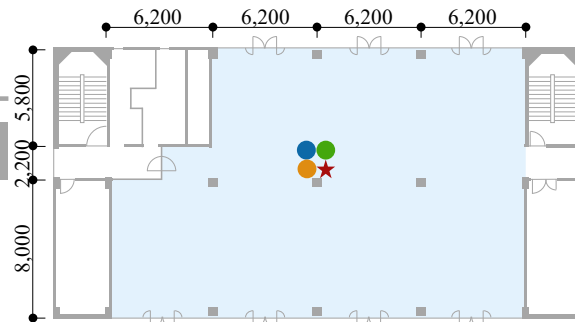


図 3-1-6 E ビル (2F・3F) 平面概要図

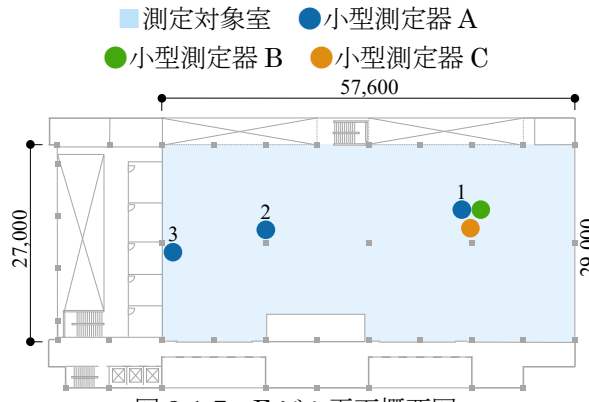


図 3-1-7 F ビル平面概要図

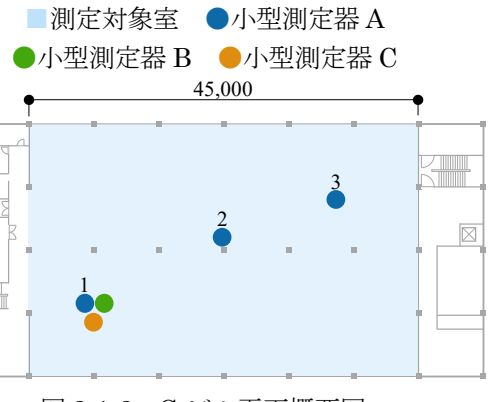


図 3-1-8 G ビル平面概要図

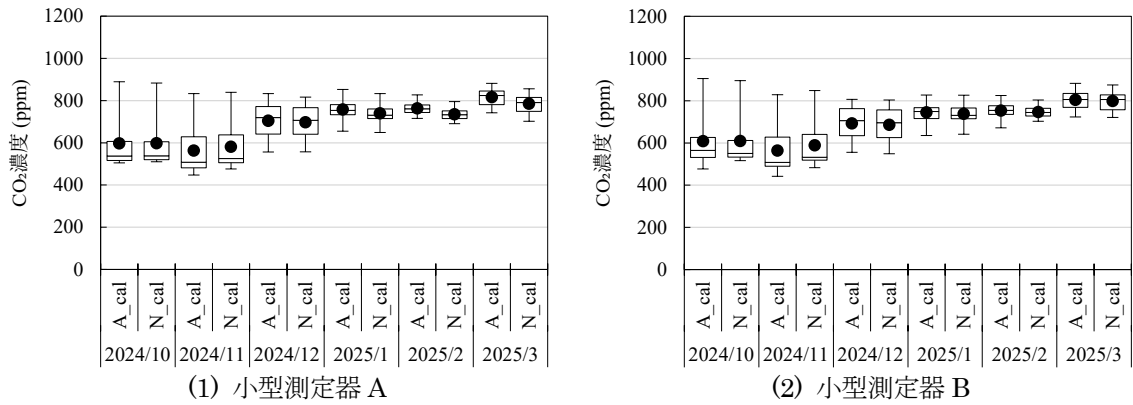


図 3-1-1 自動校正の有無による CO₂ 濃度の測定比較 (A ビル 2F)

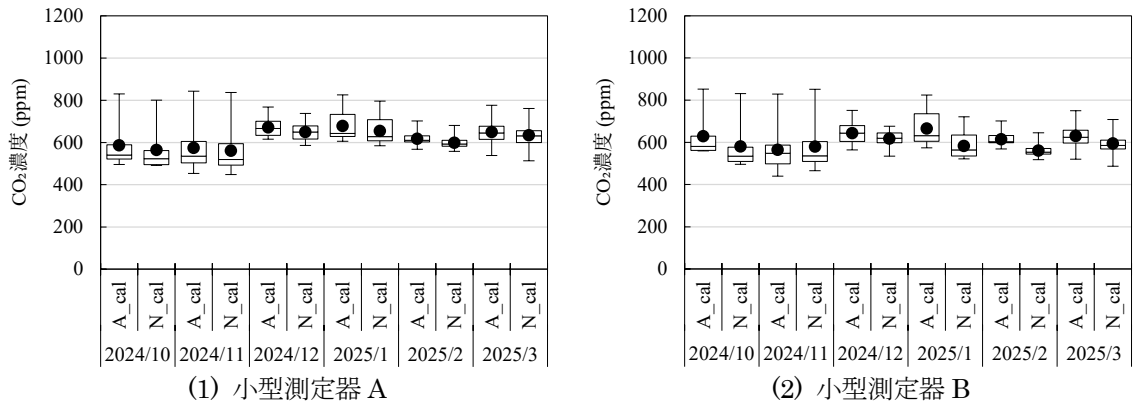


図 3-1-2 自動校正の有無による CO₂ 濃度の測定比較 (B ビル)

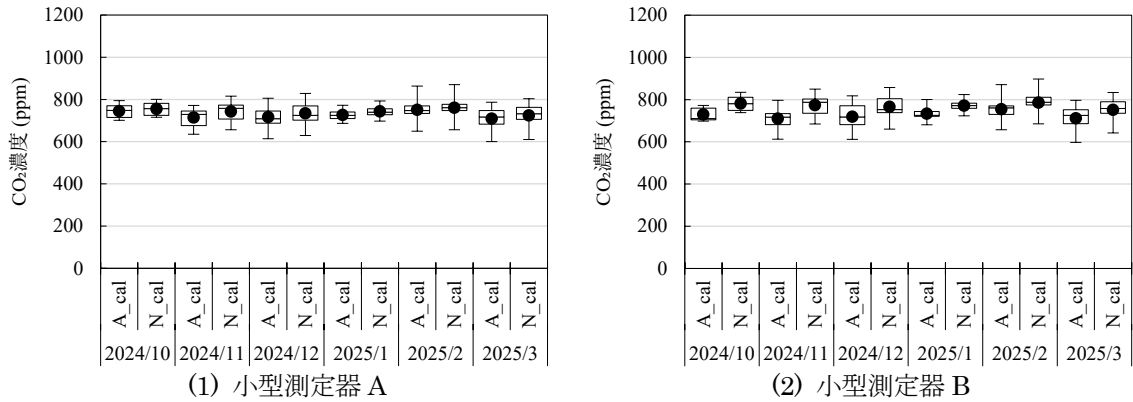


図 3-1-3 自動校正の有無による CO₂ 濃度の測定比較 (C ビル)

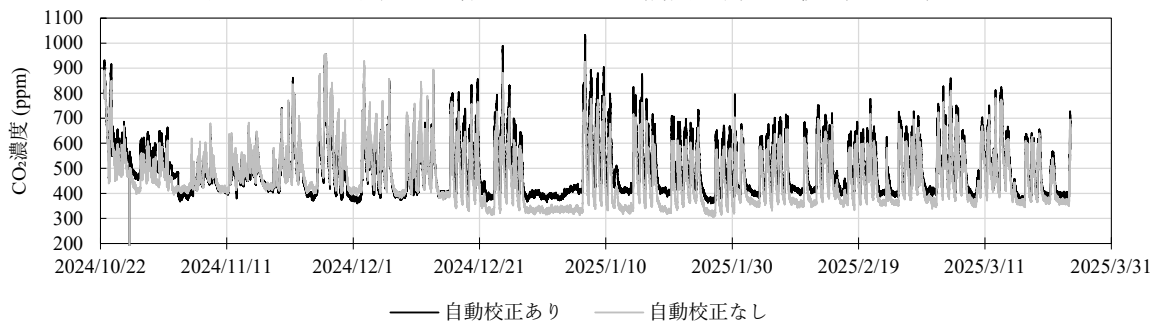


図 3-1-4 自動校正の有無による CO₂ 濃度のトレンドグラフ例 (B ビル, 小型測定器 B)

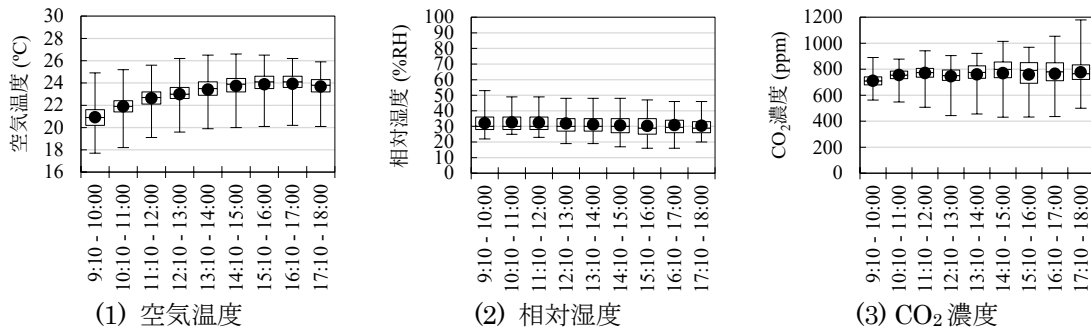


図 3-1-5 室内環境の特別結果 (A ビル 2F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

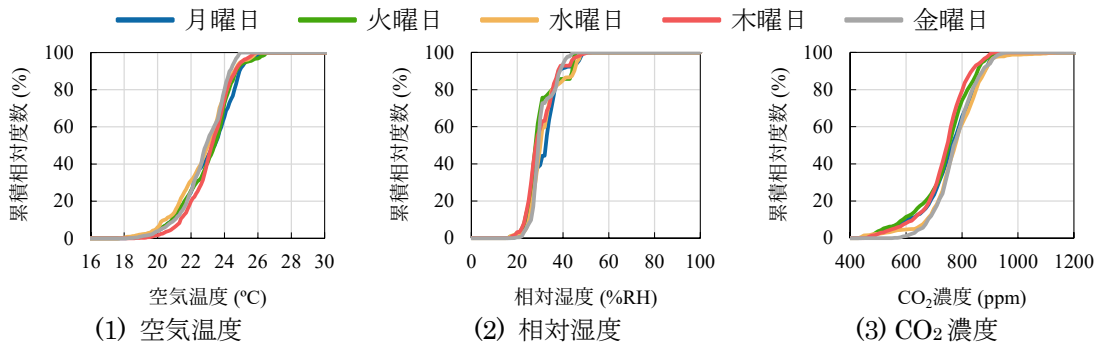


図 3-1-6 室内環境の曜日別結果 (A ビル 2F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

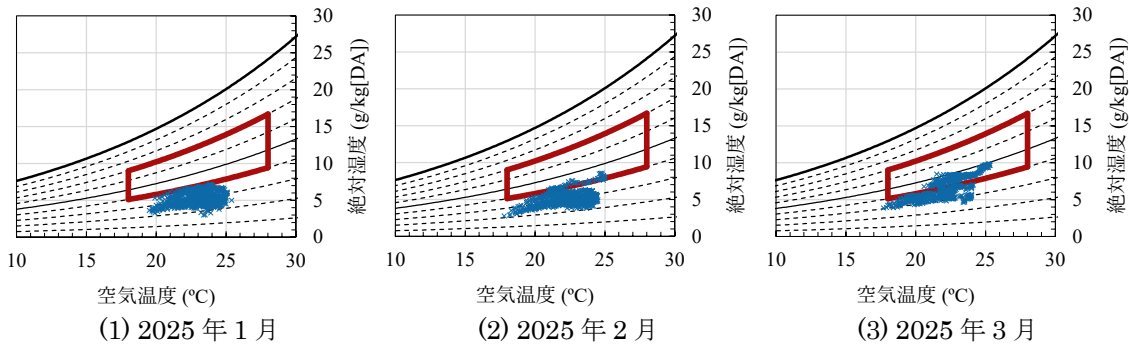


図 3-1-7 室内空気温湿度 (A ビル 2F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

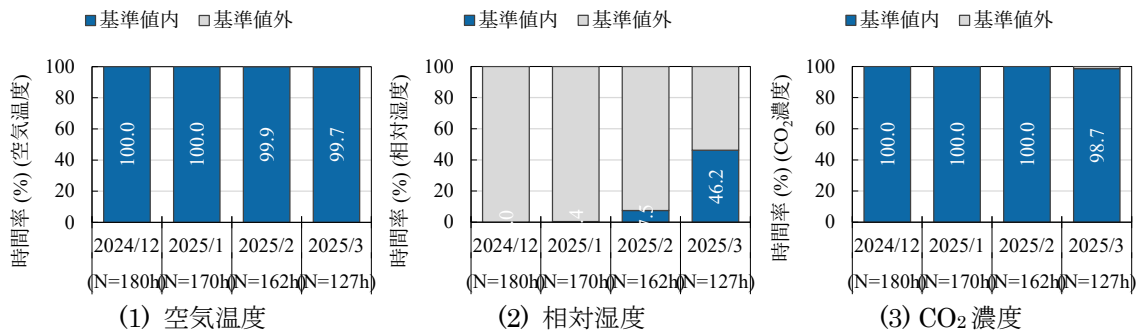


図 3-1-8 基準値内時間率 (A ビル 2F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

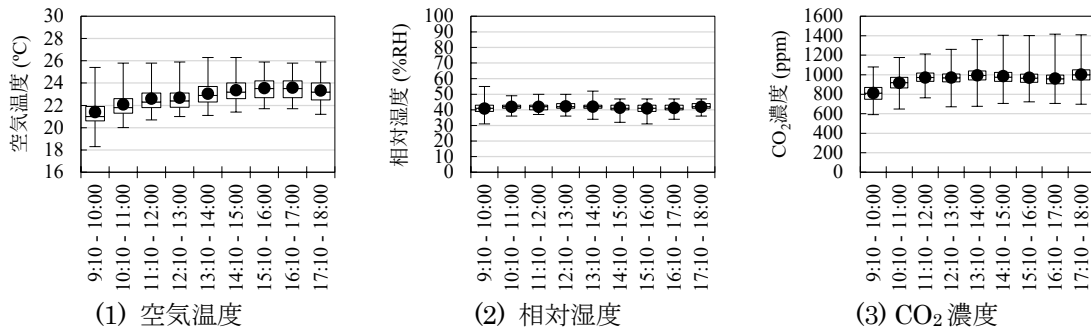


図 3-1-9 室内環境の特別結果 (A ビル 8F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

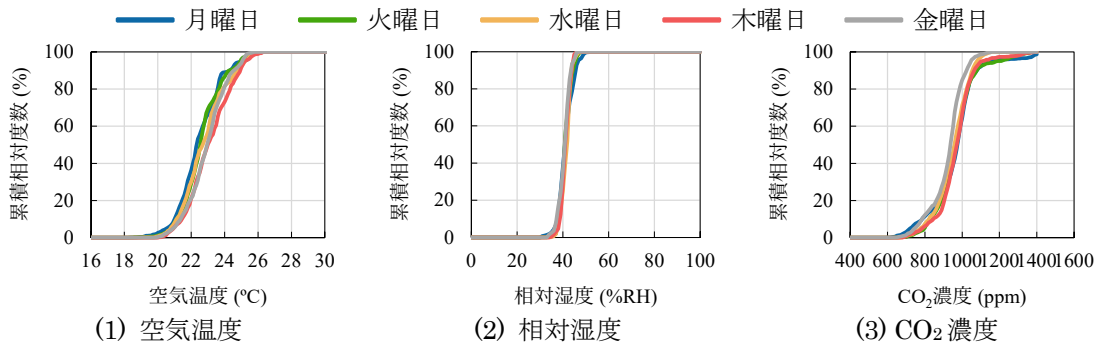


図 3-1-10 室内環境の曜日別結果 (A ビル 8F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

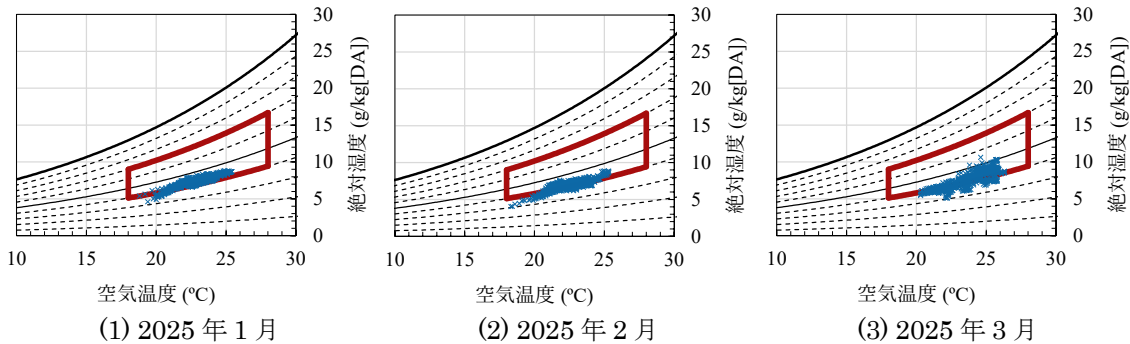


図 3-1-11 室内空気温湿度 (A ビル 8F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

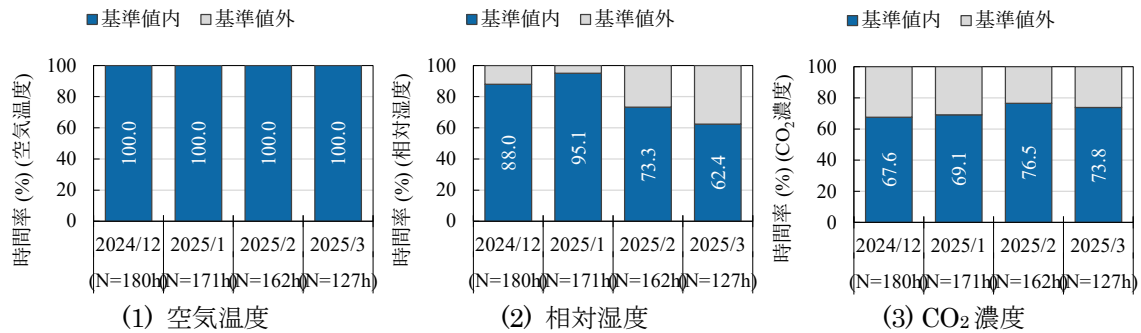


図 3-1-12 基準値内時間率 (A ビル 8F, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

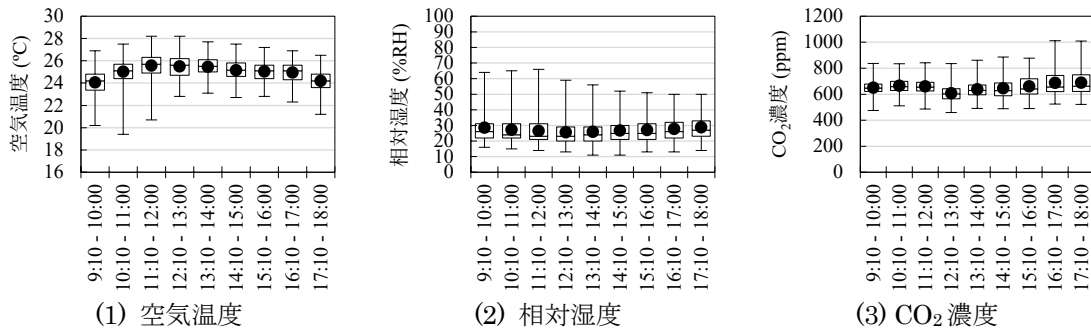


図 3-1-13 室内環境の特別結果 (Bビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18時)

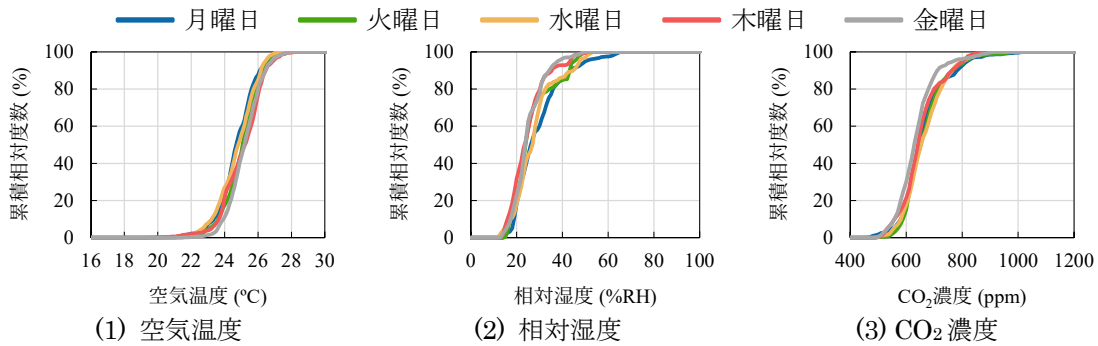


図 3-1-14 室内環境の曜日別結果 (Bビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18時)

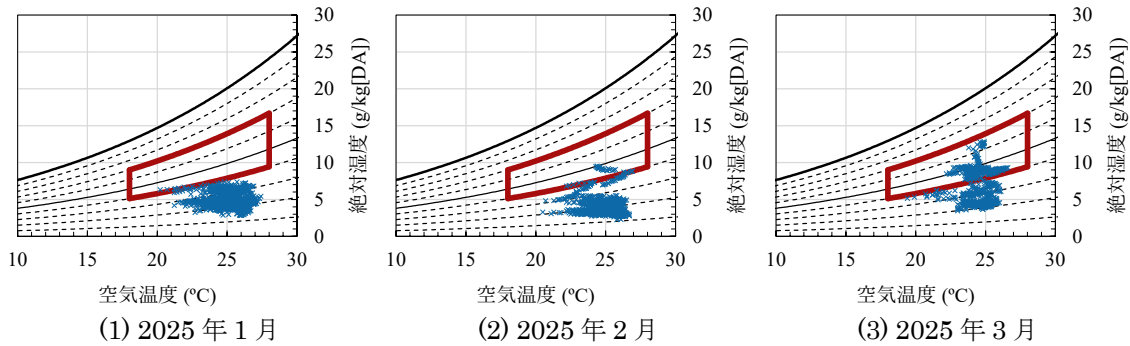


図 3-1-15 室内空気温湿度 (Bビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18時)

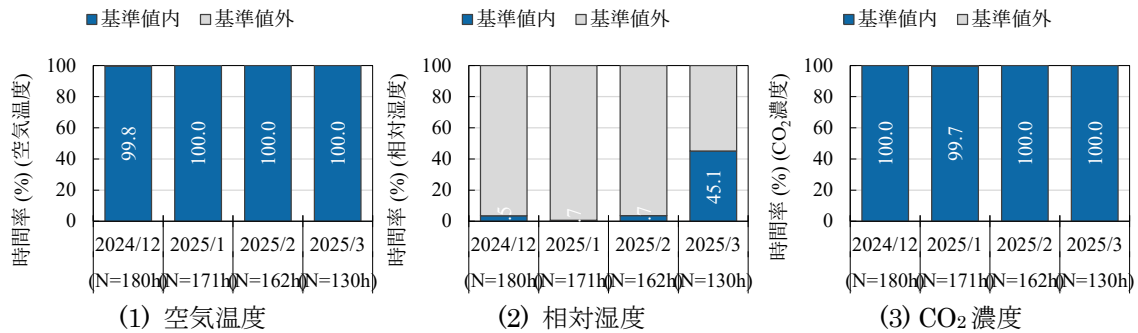


図 3-1-16 基準値内時間率 (Bビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18時)

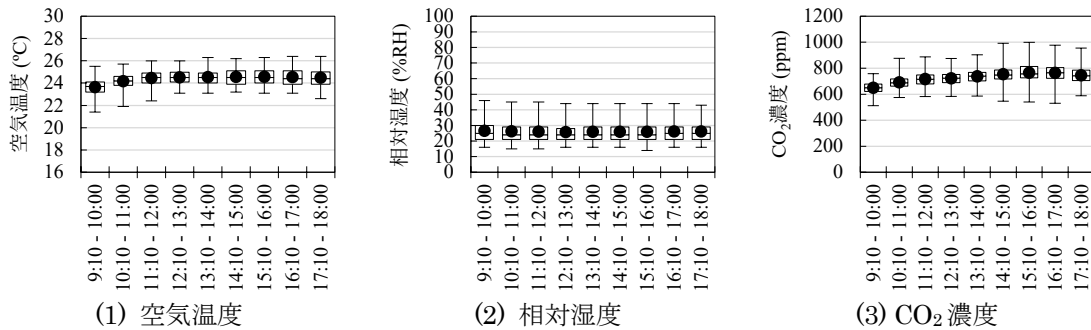


図 3-1-17 室内環境の特別結果 (C ビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

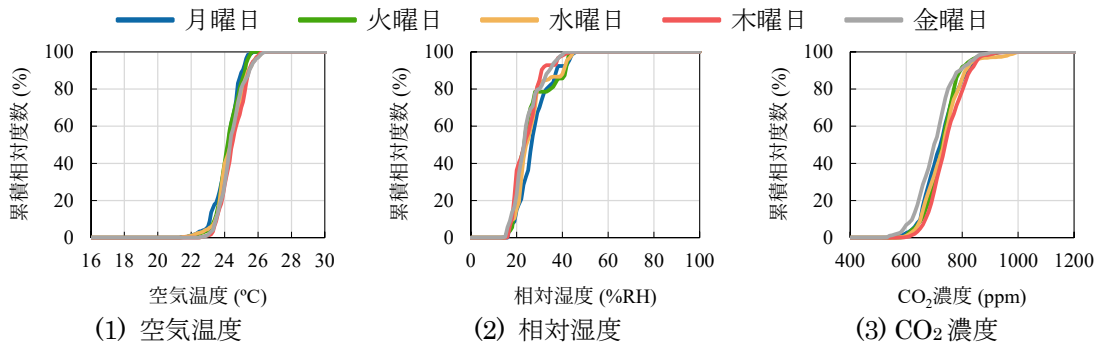


図 3-1-18 室内環境の曜日別結果 (C ビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

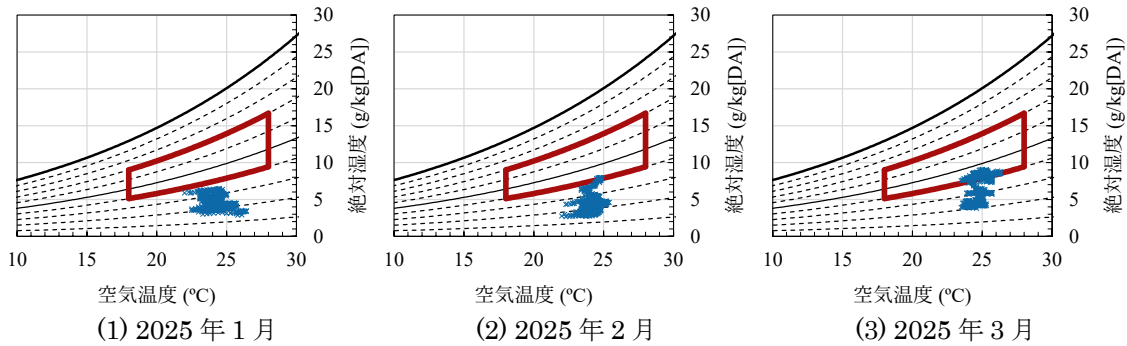


図 3-1-19 室内空気温湿度 (C ビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

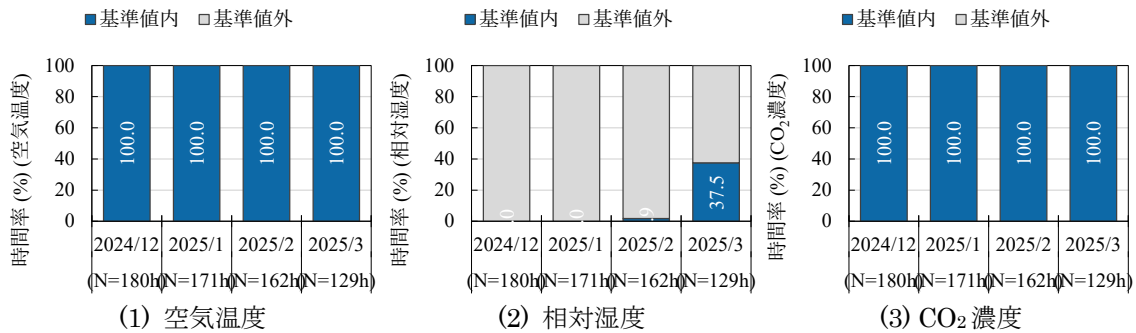


図 3-1-20 基準値内時間率 (C ビル, 2024/12/1 - 2025/3/24, 平日 9 - 18 時)

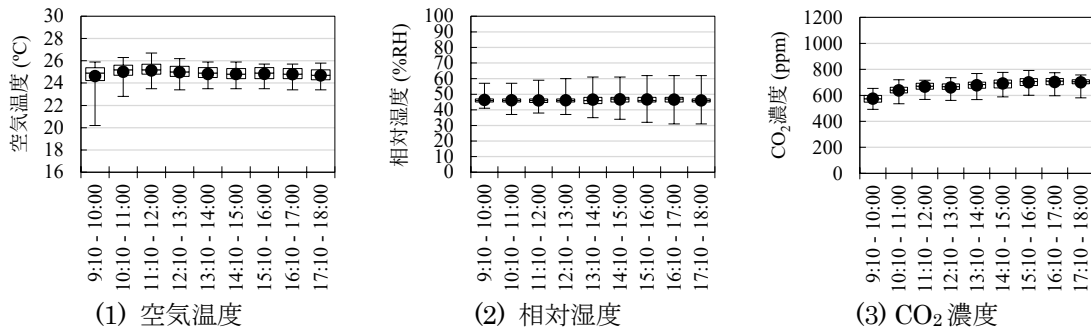


図 3-1-21 室内環境の特別結果 (D ビル 1F[1], 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

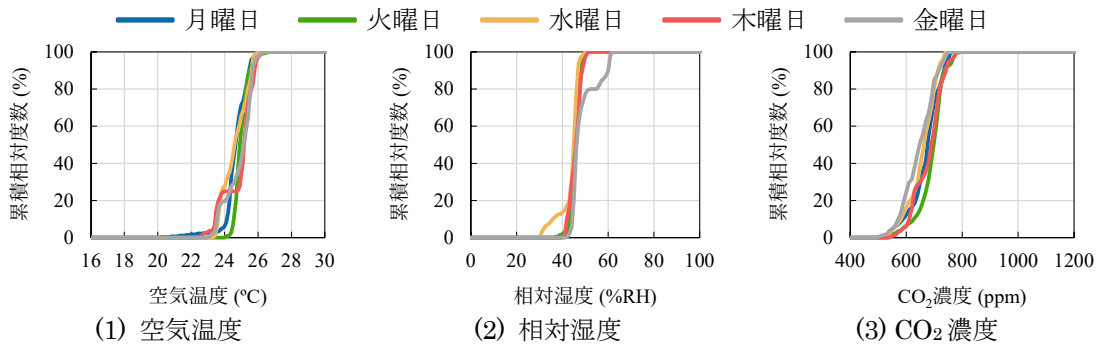


図 3-1-22 室内環境の曜日別結果 (D ビル 1F[1], 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

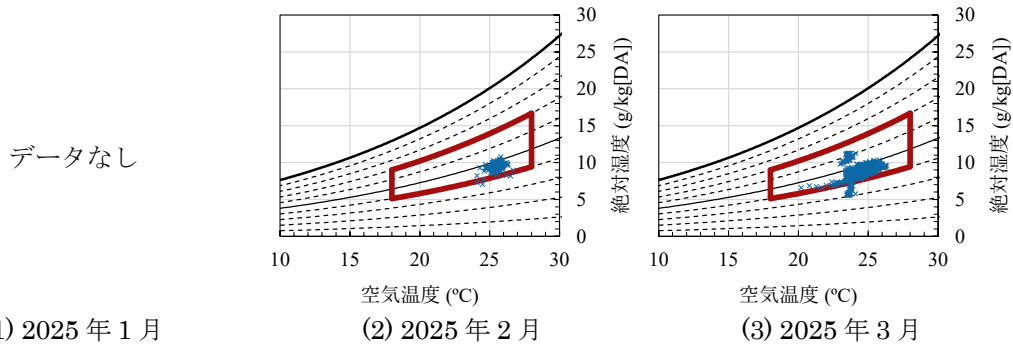


図 3-1-23 室内空気温湿度 (D ビル 1F[1], 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

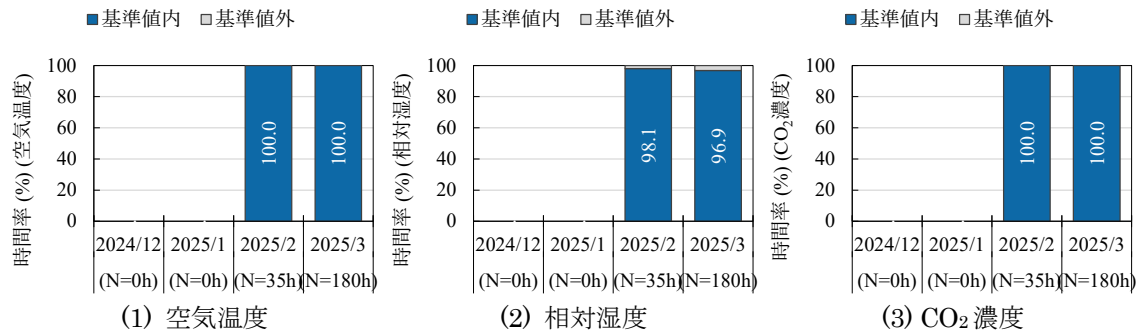


図 3-1-24 基準値内時間率 (D ビル 1F[1], 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

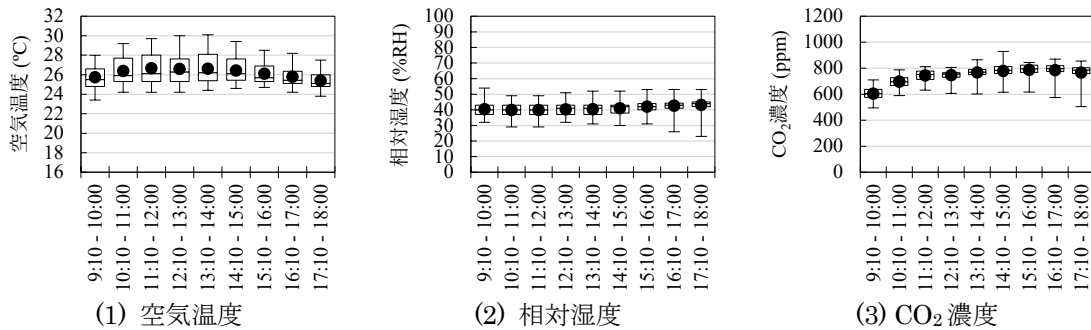


図 3-1-25 室内環境の特別結果 (D ビル 3F, 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

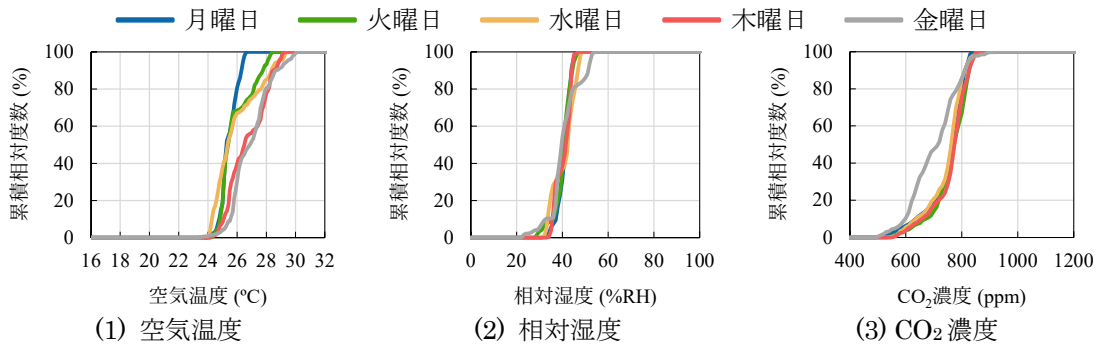


図 3-1-26 室内環境の曜日別結果 (D ビル 3F, 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

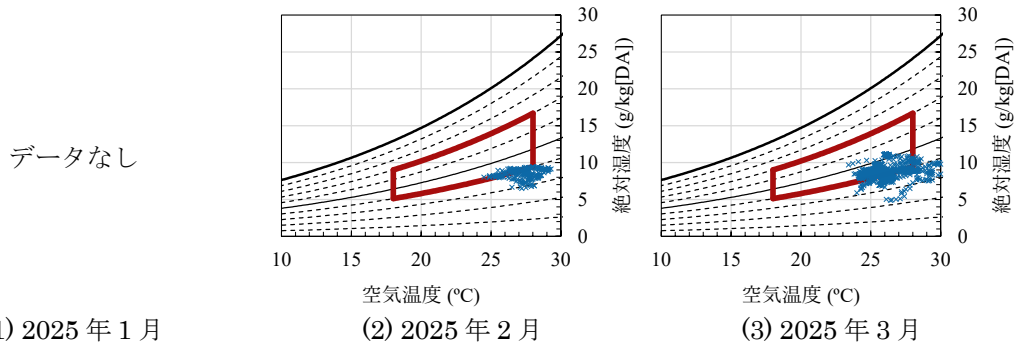


図 3-1-27 室内空気温湿度 (D ビル 3F, 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

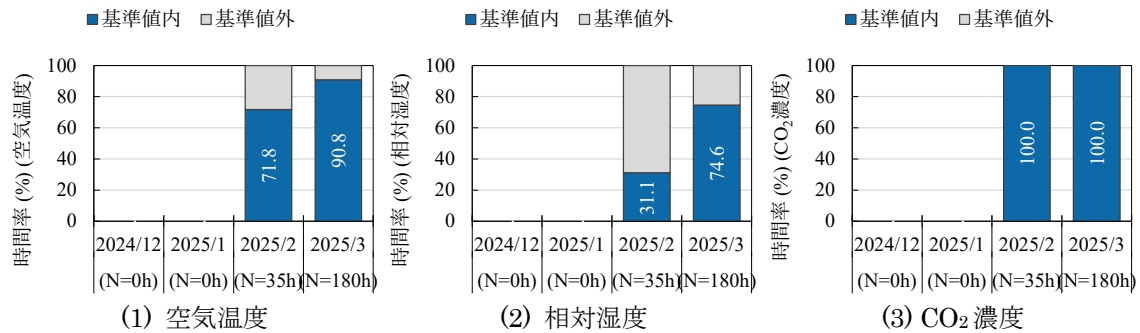


図 3-1-28 基準値内時間率 (D ビル 3F, 2025/2/25 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

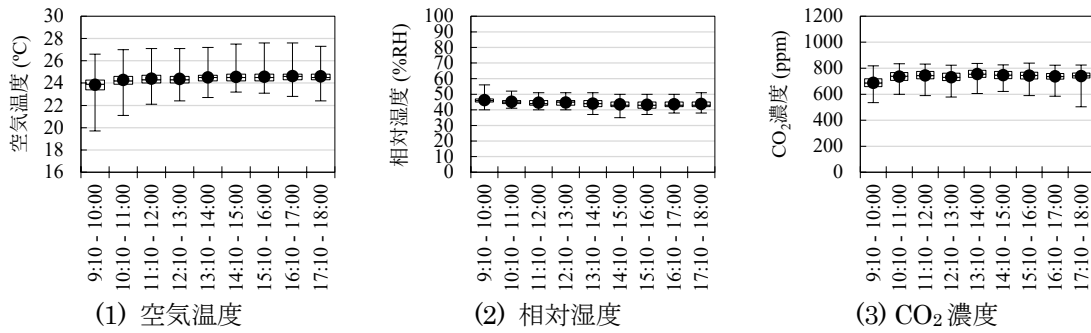


図 3-1-29 室内環境の特別結果 (Fビル[1], 2024/12/1 – 2025/3/31, 平日 9 – 18時)

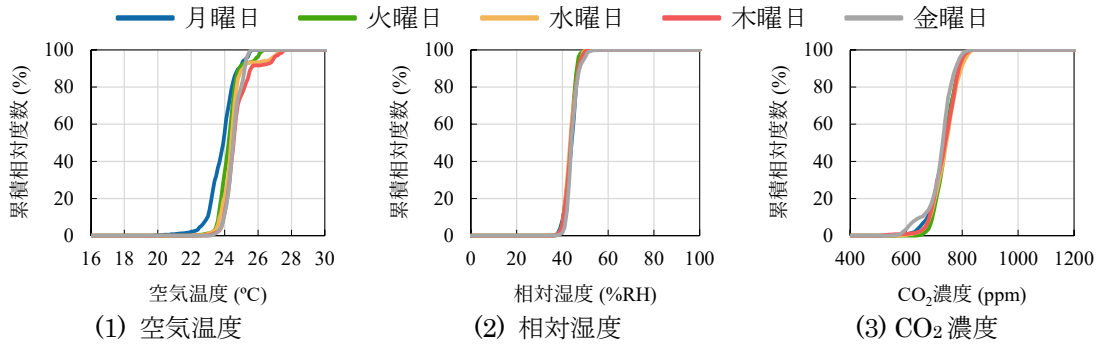


図 3-1-30 室内環境の曜日別結果 (Fビル[1], 2024/12/1 – 2025/3/31, 平日 9 – 18時)

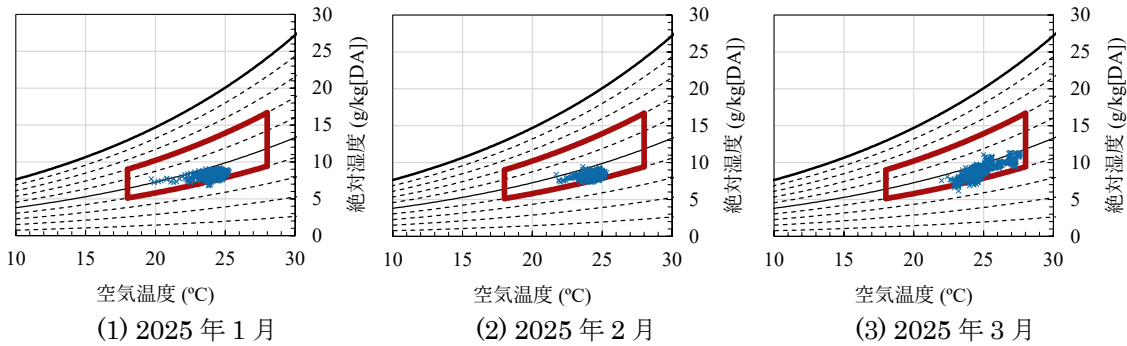


図 3-1-31 室内空気温湿度 (Fビル[1], 2024/12/1 – 2025/3/31, 平日 9 – 18時)

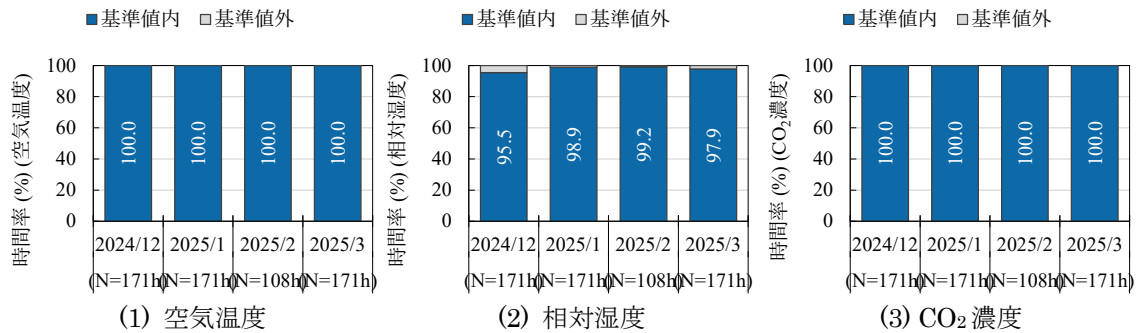


図 3-1-32 基準値内時間率 (Fビル[1], 2024/12/1 – 2025/3/31, 平日 9 – 18時)

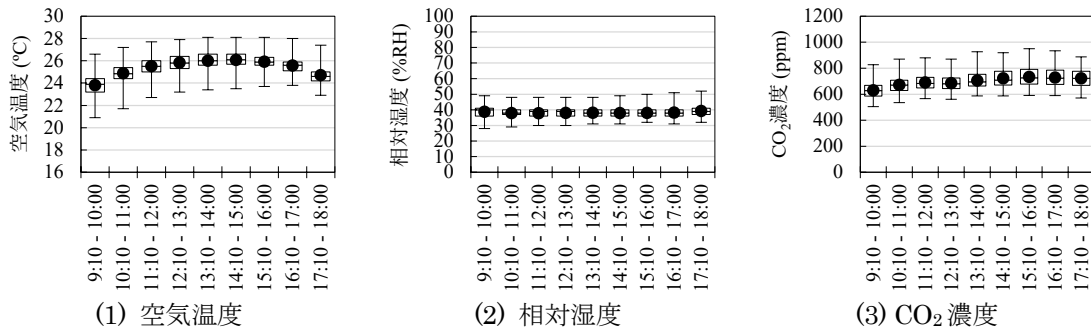


図 3-1-33 室内環境の特別結果 (G ビル[1], 2024/12/1 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

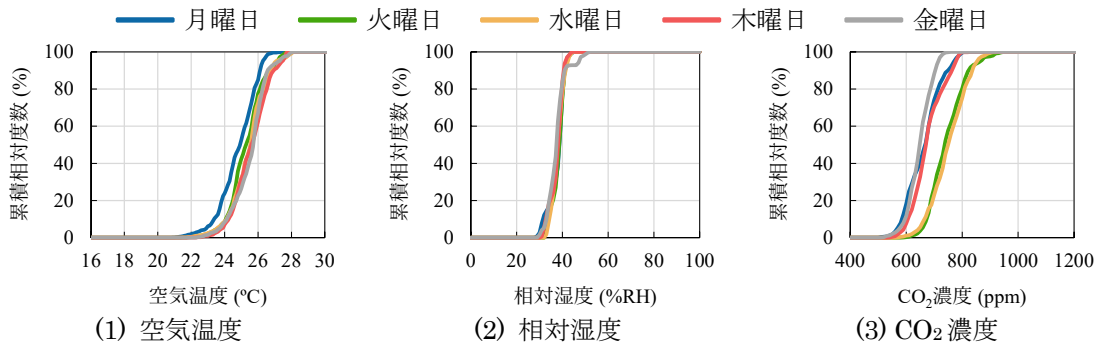


図 3-1-34 室内環境の曜日別結果 (G ビル[1], 2024/12/1 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

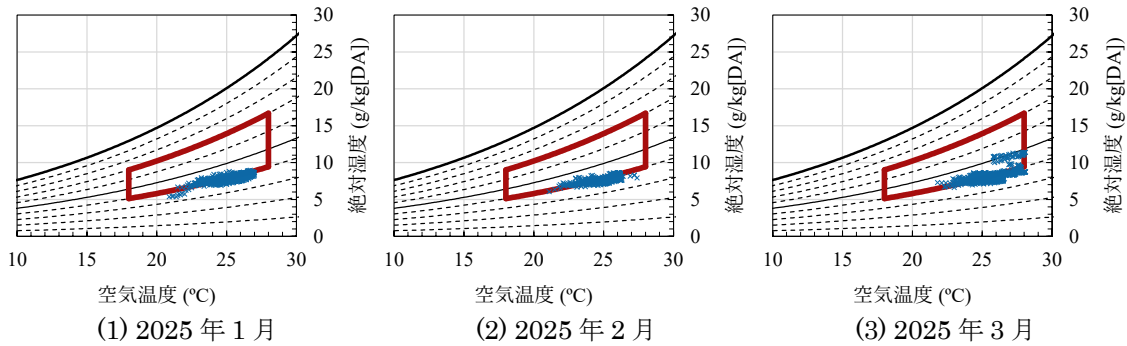


図 3-1-35 室内空気温湿度 (G ビル[1], 2024/12/1 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

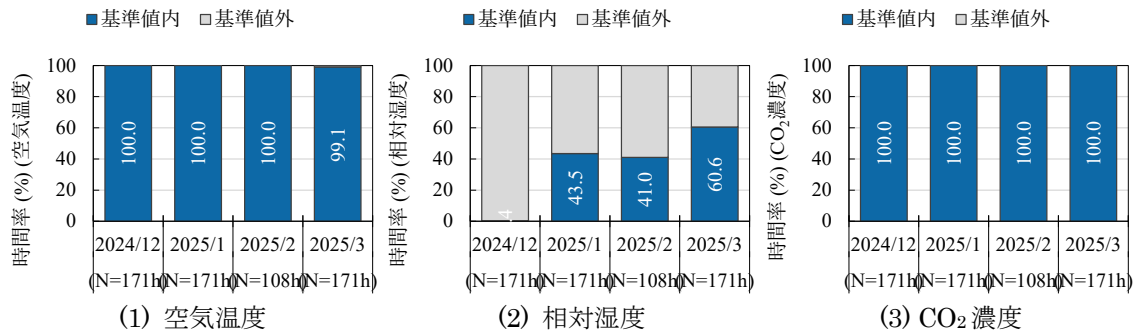


図 3-1-36 基準値内時間率 (G ビル[1], 2024/12/1 - 2025/3/31, 平日 9 - 18 時)

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、興行場、百貨店、店舗、事務所、学校等に供され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いる¹⁾。空気環境の調整については、建築物環境衛生管理基準の7項目の内、6項目を2か月以内ごとに1回測定することとなっている。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、小型かつ軽量で連続的に空気環境が測定可能な「小型測定器」の普及といった背景から、小型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。

衛生行政報告例によると、二酸化炭素の含有率（以降、CO₂濃度）、温度、湿度の不適合率（=不適合件数/調査件数）が高く、2023年度はCO₂濃度が22.8%、温度が35.0%、湿度が63.9%であった²⁾。これらの項目は小型測定器の普及により比較的容易にデータが取得可能であり、筆者らの先行研究では現行の建築物衛生法に規定される測定法（以降、現行測定法）と小型測定器による測定法は多くの場合で空気温度が±0.5K、相対湿度が±5%RH、CO₂濃度が±50ppm以内の精度で測定できることを示した³⁾。また、海塩らは、BEMS（Building Energy Management Systems）は測定の時間的解像度が高いという利点を活用し、逸脱時間割合（=基準を逸脱している時間/総測定時間）により空気環境を評価している⁴⁾。これは小型測定器でも評価可能であり、小型測定器やBEMSによる空気環境管理の活用可能性を示してきた。

本節では、先行研究に引き続き、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に示す7件の内、FビルとGビルを除く建築物を対象に秋期（2024/10）と冬期（2025/1-2025/3）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20分測定した。また、表2-1-1に示す7件の内、特定建築物ではないEビルを除く建築物6件の建築物から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）による測定値を入手した。

分析は現場立入測定・法定測定による測定値と小型測定器による測定値を比較した。これらの比較は現場立入測定若しくは法定測定の測定値に対して小型測定器の温度が±0.5K、相対湿度が±5%RH、CO₂濃度が±50ppm以内の値である場合に両者は同値であると見なし、全測定回数に対する同値である測定回数の比率（以降、一致率）で評価した。なお、本比較を行う小型測定器はCO₂濃度の自動校正機能をOnとしたものを対象とした。

C. 研究結果

C.1. 現場立入測定と小型測定器の比較

2024年秋期の各建物の測定結果を図3-2-1～図3-2-4、2025年冬期の各建物の測定結果を図3-2-5～図3-2-12に示す。また、2024年秋期に測定したすべての建物の結果を図3-2-13、2025年冬期に測定したすべての建物の結果を図3-2-14に示す。図3-2-13と図3-2-14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2種の小型測定器の平均値をプロット、最高値・最低値をエラーバーで示している。2種の小型測定器の平均値に着目すると、秋期・冬期の一致率は空気温度が25%・50%、相対湿度が50%・88%、CO₂濃度が25%・13%であり、最高値と最低値も含めた秋期・冬期の一致率は空気温度が38%・38%、相対湿度が50%・88%、CO₂濃度が38%・13%であった。冬期の相対湿度の一致率は88%と高い結果であったが、空気温度とCO₂濃度の一致率はいずれも50%以下であった。特に、冬期のCO₂濃度の一致率が低くなっているが、小型測定器による測定値が全体的に

低い傾向が見られた。これは、小型測定器の自動校正の値が 400ppm であり、近年の外気 CO₂ 濃度と比較して低い値で校正していることが一致率低下の一要因と考えられる。外気 CO₂ 濃度は夏期よりも冬期の方が高く、冬期の比較ではその影響が大きく表れた可能性がある。

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図 3-2-15 に示す。図 3-2-15 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 2 種の小型測定器の平均値を示している。2 種の小型測定器の中央値の一致率は空気温度が 37%、相対湿度が 77%、CO₂ 濃度が 43%であった。建物別では、最も一致率が低かったのは空気温度が A ビルの 2 階と 8 階、B ビルで 0%、相対湿度が C ビルで 50%、CO₂ 濃度が A ビルの 2 階と 8 階、B ビルで 25%であった。A ビルと B ビルの空気温度についてはいずれも法定測定の値が低い結果となっているが、法定検査帳簿によると、特に A ビルではエントランスの測定を実施してから室内の測定を実施しており、外気の影響が測定に影響を及ぼしている可能性がある。また、A ビルの CO₂ 濃度については法定測定の値が 356ppm となっている場合もあった。当該日の法定測定の検査帳簿によると外気 CO₂ 濃度は 300ppm を下回っていたことから、測定の精度が低下している可能性がある。現行の建築物衛生法では浮遊粉じんの量の測定に使用される較正機器にあつては 1 年以内ごとに 1 回、較正を受けることとされているものの、CO₂ 濃度については規定がない。CO₂ 濃度が測定可能な小型測定器には自動校正機能が搭載されているものも多く、このような課題にも対応できると考えられる。

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性について検討した。本研究で測定した建物においては相対湿度は比較的高い一致率であったが、400ppm まで下らない状況下で CO₂ 濃度の自動校正機能が稼働すると一致率が低くなるという課題が見られた。

一方、CO₂ 濃度が測定可能な小型測定器には自動校正機能が搭載されているものも多く、現行の建築物衛生法と比較して精度が高く測定できる可能性を示すことができた。

今後もデータを蓄積し、小型測定器による建築物衛生管理への適用可能性についてエビデンスを示す予定である。

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/sei-katsu-eisei10/> (2025/1/22 アクセス)
- 2) 総務省統計局. 衛生行政報告例.
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00450027&stat=000001031469> (2025/2/6 アクセス)
- 3) 下ノ菌慧, 海塩渉, 鍵直樹, 中野淳太, 金勲. 建築物環境衛生管理への小型連続測定器・BEMS の活用可能性に関する検証. 第 57 回空気調和・冷凍連合講演会; 2024.4.18-19; 東京. 同講演論文集. 20. p.147-152.
- 4) 海塩渉, 鍵直樹, 金勲, 下ノ菌慧, 中野淳太. 建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考 (第 3 報) ビルエネルギーマネジメントシステム活用による暖冷房期の空気環境管理. 令和 6 年度空気調和・衛生工学会大会; 2024.9.11-13; 佐賀. 同学術講演論文集. E-41. p.117-120.

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
 - 1) 下ノ菌慧, 海塩渉, 鍵直樹, 中野淳太, 金勲. 建築物環境衛生管理への小型測定器の活用に向けた CO₂ 濃度の自動校正に関する検討. 第 58 回空気調和・冷凍連合講演会; 2025.4.17-18; 東京. 同講演論文集. 9. p.49-52.
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

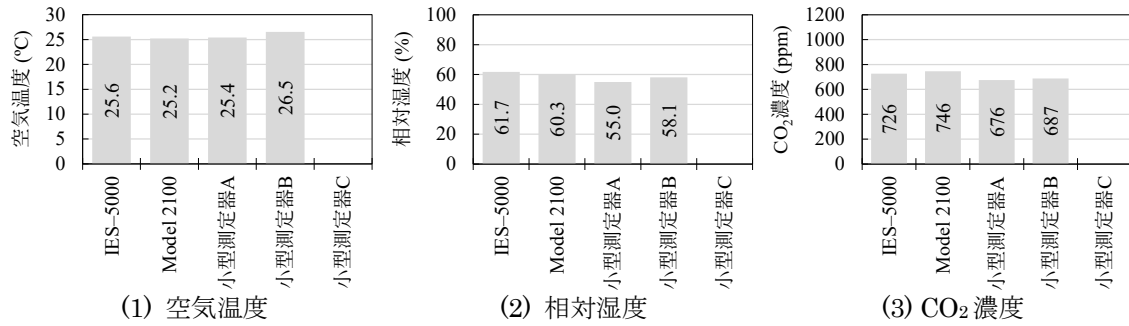


図 3-2-1 現場立入測定と小型測定器の比較 (Aビル 2F, 2024/10/22 10:50)

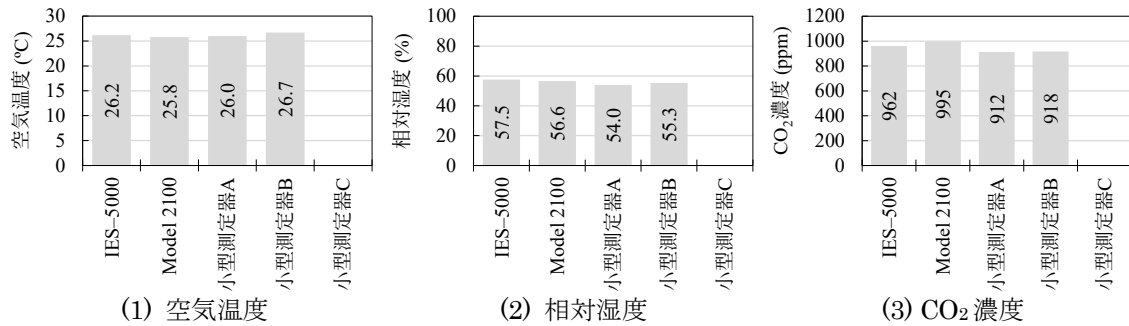


図 3-2-2 現場立入測定と小型測定器の比較 (Aビル 8F, 2024/10/22 11:30)

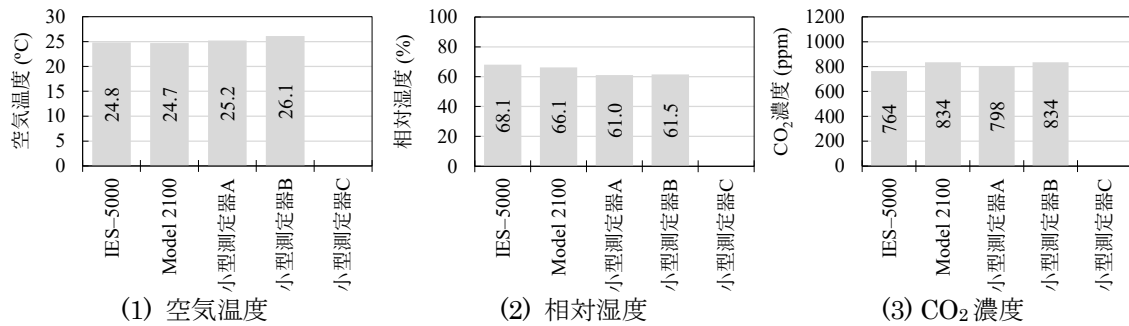


図 3-2-3 現場立入測定と小型測定器の比較 (Bビル, 2024/10/22 14:40)

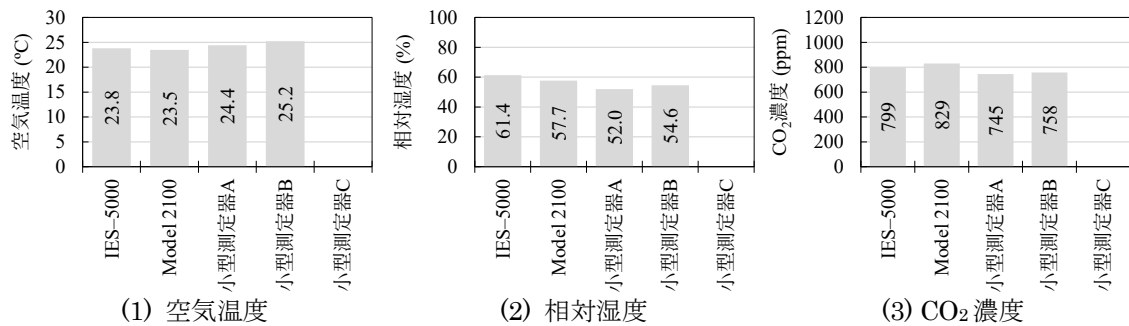


図 3-2-4 現場立入測定と小型測定器の比較 (Cビル, 2024/10/23 11:40)

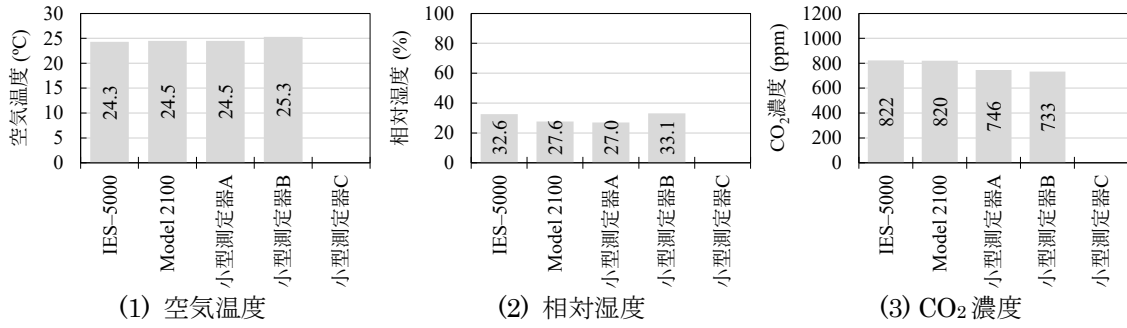


図 3-2-5 現場立入測定と小型測定器の比較 (A ビル 2F, 2025/1/29 16:00)

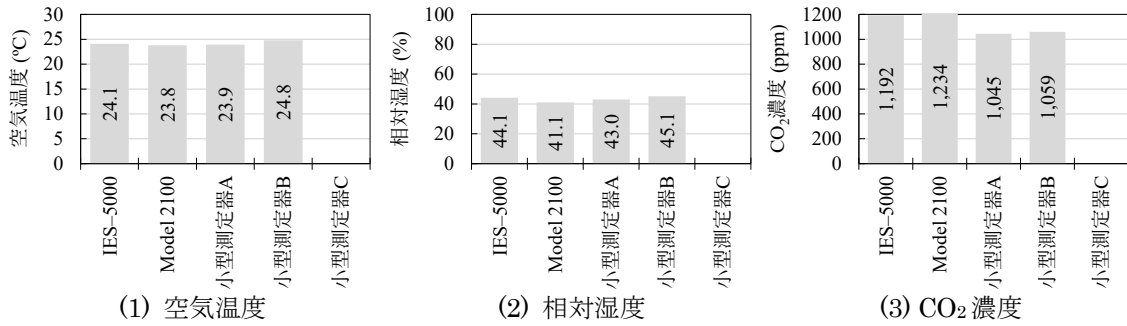


図 3-2-6 現場立入測定と小型測定器の比較 (A ビル 8F, 2025/1/29 16:30)

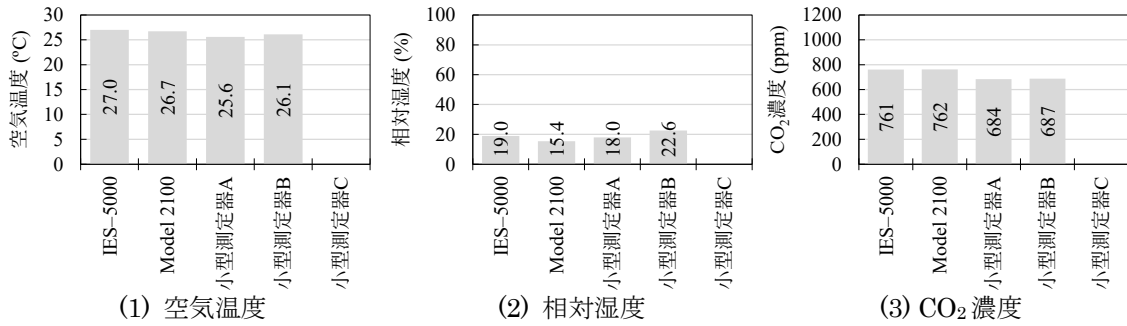


図 3-2-7 現場立入測定と小型測定器の比較 (B ビル, 2025/1/30 10:30)

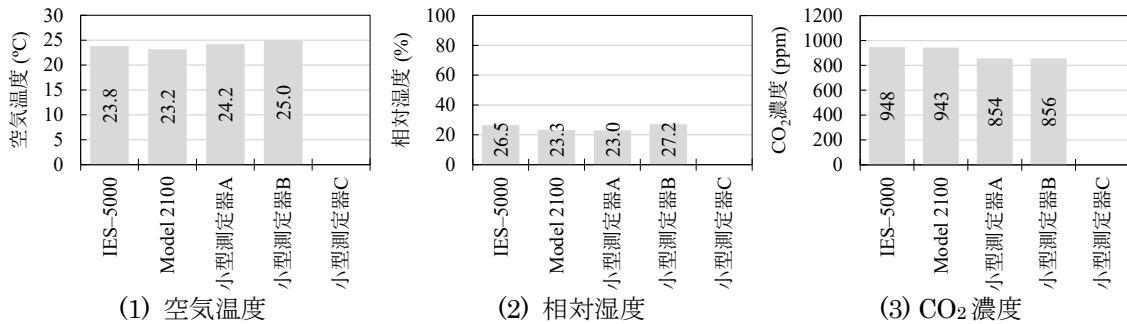


図 3-2-8 現場立入測定と小型測定器の比較 (C ビル, 2025/1/29 13:50)

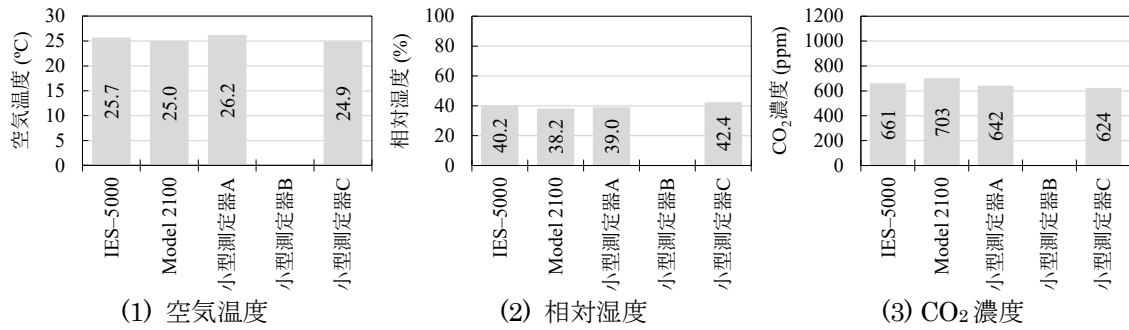


図 3-2-9 現場立入測定と小型測定器の比較 (D ビル 1F, 2025/2/25 11:20)

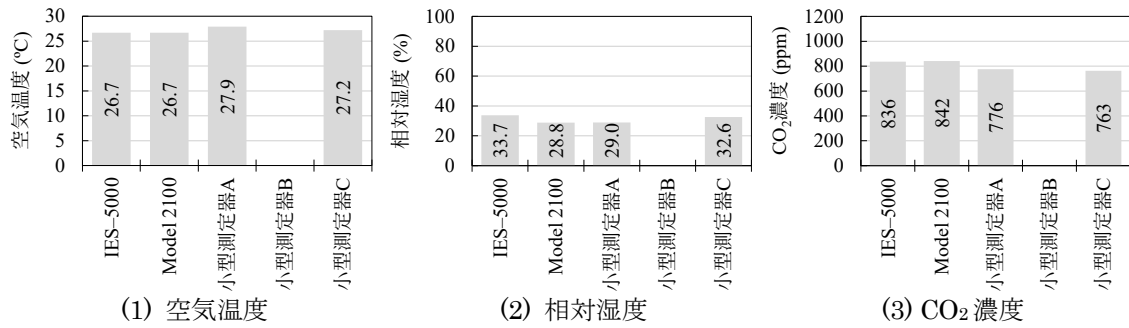


図 3-2-10 現場立入測定と小型測定器の比較 (D ビル 3F, 2025/2/25 11:00)

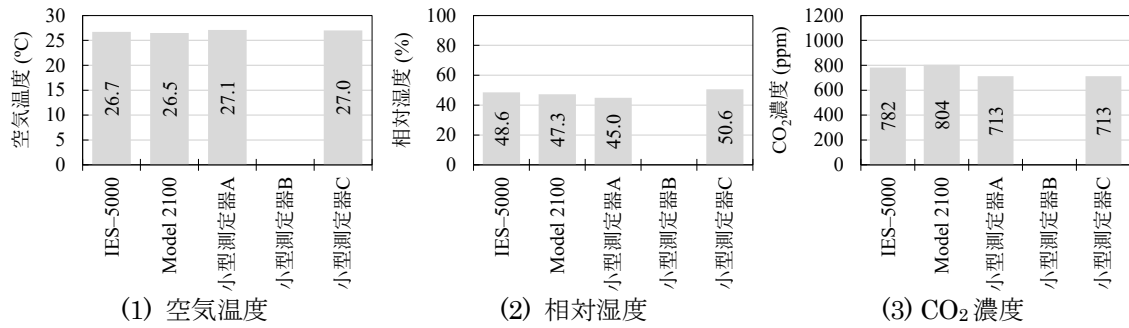


図 3-2-11 現場立入測定と小型測定器の比較 (E ビル, 2025/3/28 16:10)

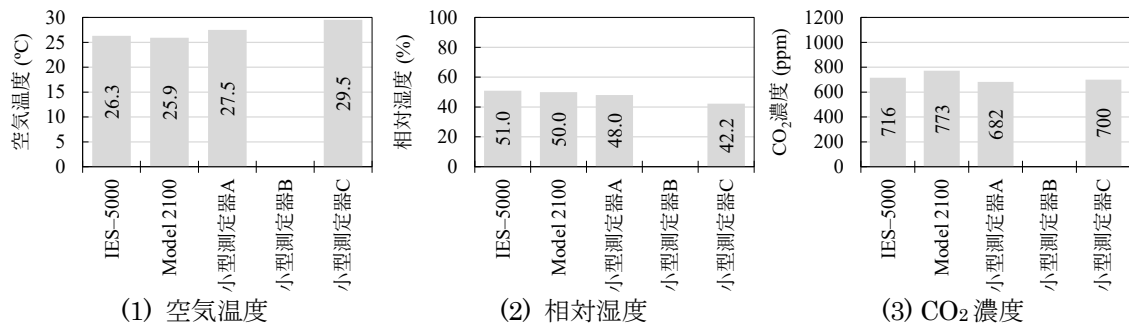
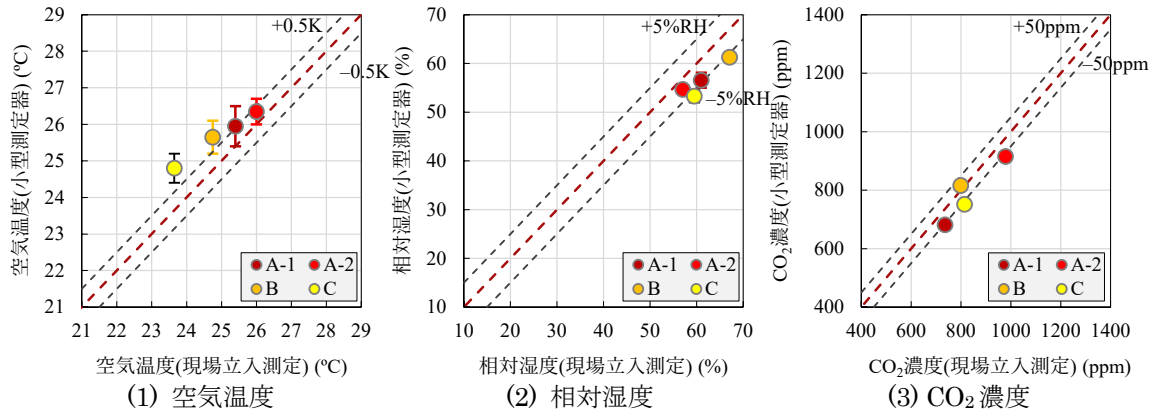


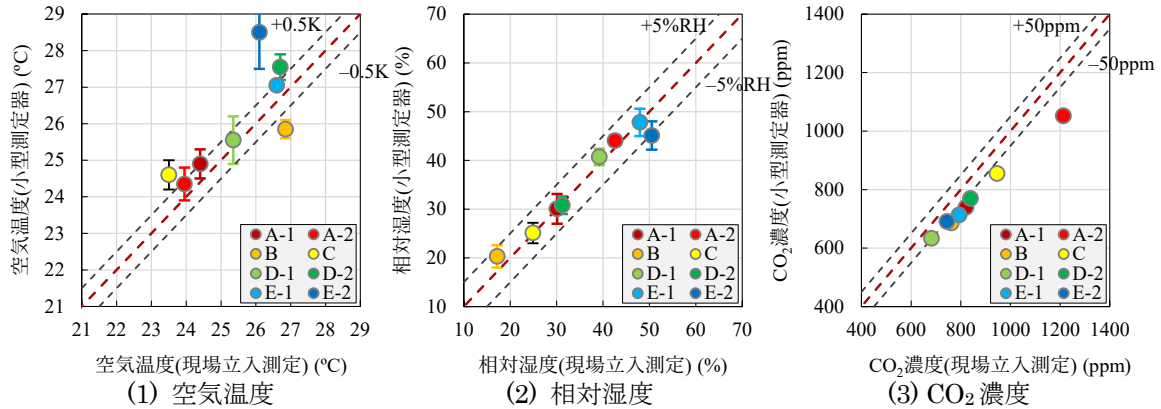
図 3-2-12 現場立入測定と小型測定器の比較 (F ビル, 2025/3/28 15:40)



【図 3-2-13 注記】

- 1)現場立入測定値は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、2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)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 中の測定階のうち低層階を示している。

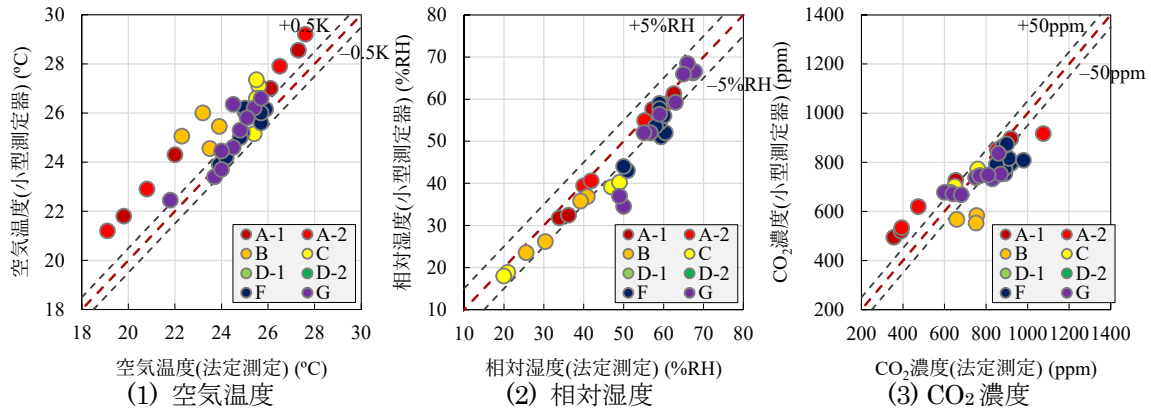
図 3-2-13 現場立入測定と小型測定器の比較 (2024 年秋期)



【図 3-2-14 注記】

- 1)現場立入測定値は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、2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)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 中の測定階のうち低層階を示している。

図 3-2-14 現場立入測定と小型測定器の比較 (2025 年冬期)



【図 3-2-15 注記】

- 1)法定測定値は検査帳簿に記載されている値を用いた。小型測定器の値は法定測定時刻の直近の測定値を用い、2種の小型測定器の平均値で示している（一部欠測のため、1種の小型測定器の値で表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 2-2-1 中の測定階のうち低層階を示している。

図 3-2-15 法定測定と小型測定器の比較