

令和4年度～令和5年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

3. 空気環境衛生管理に向けた小型測定器の活用手法の検討

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

研究要旨

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

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

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

本章3節では、大気では粒径2.5μm以下の粒子を対象とした微小粒子状物質(PM_{2.5})について、粒径の小さな粒子の方が人への健康影響について深刻なことから環境基準を設けていることに着眼し、建築物室内PM_{2.5}濃度の基準策定を念頭に室内環境で適用できる測定機器の調査ならびにPM_{2.5}濃度の測定機器の計測値の比較を行った結果を示した。室内PM_{2.5}濃度の測定に際しては測定精度、換算係数の設定、2.5μmカットを行わない測定機器、校正の方法等に関して適切なものを選択する必要性が示唆された。

3-1. 小型測定器による室内平面分布と夏期・冬期の室内環境評価

A. 研究目的

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

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

B. 研究方法

表 3-1-1 に小型測定器の概要を示す。本研究で取扱う小型測定器は3種類であり、いずれもCO₂濃度、温度、相対湿度が測定可能である。CO₂濃度の測定精度はセンサーAとCが±50ppmであるのに対してセンサーBは±120ppmであった。なお、温度と相対湿度の測

定精度は0.4～0.5°C、3～5%RHである。吸引方式はセンサーBがブラシレスファンによる強制吸引であるが、その他の小型測定器は自然吸引である。また、CO₂濃度の自動校正機能はセンサーBを除いて搭載されており、いずれも約7日間ごとに最低値を400ppmに補正する機能となっている。記録容量はセンサーCには容量は無く、常時測定値がアップロードされるが、センサーAは8000データ、センサーBは98304データであり、5分間隔で測定する場合、それぞれ約28日間、約341日間で容量オーバーとなる。なお、すべての小型測定器はACアダプタによる電源を要する。

上記の小型測定器を表 2-1-1 と表 2-1-2 に示した10件の建物に設置した。各建物の平面概要図と測定点を図 3-1-1～図 3-1-13 に示す。水色陰影部が測定対象室を示しており、丸プロットが小型測定器の測定点、星プロットが現場立入測定の測定点を示している。いずれの建物でも測定対象室の平面中央付近に設置するよう配慮したが、一部平面中央付近ではない建物も含まれる。なお、センサーAは温湿度・CO₂濃度の平面分布を確認するため、Bビルを除いて複数点設置した。

表 3-1-1 小型測定器の概要

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

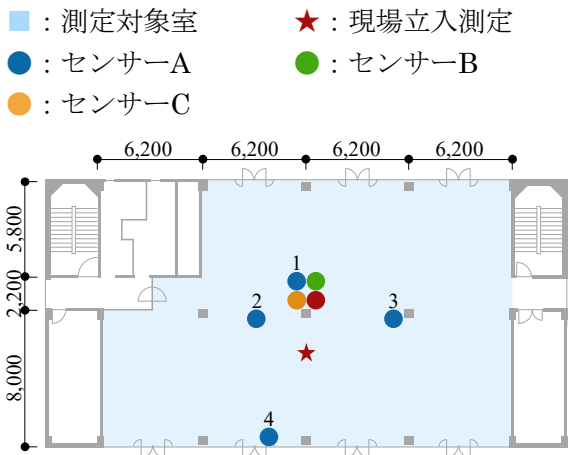


図 3-1-1 A ビル 2 階平面概要図

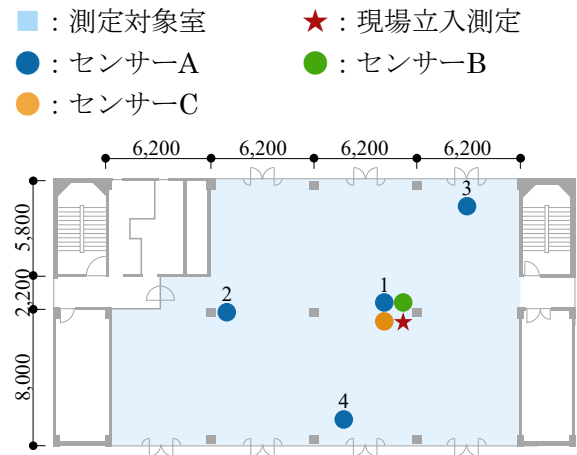


図 3-1-2 A ビル 3 階平面概要図

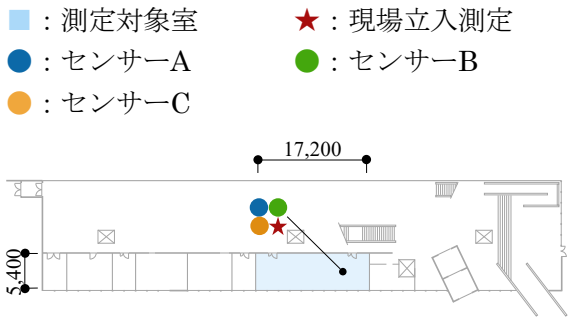


図 3-1-3 B ビル 1 階平面概要図

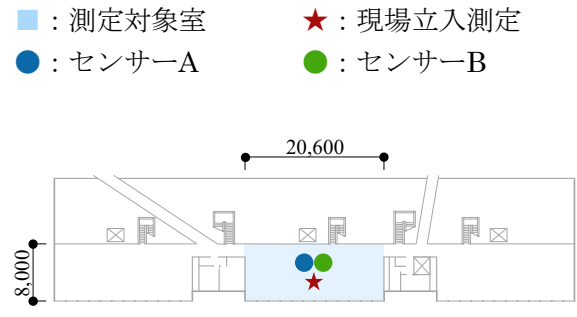


図 3-1-4 B ビル 3 階平面概要図

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

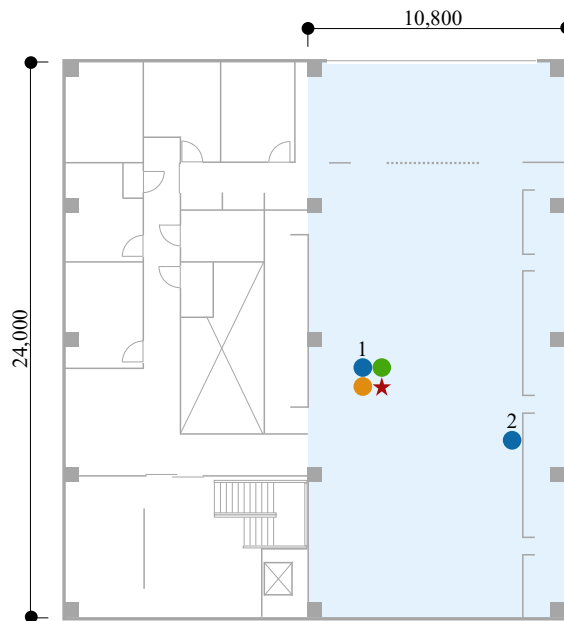


図 3-1-5 C ビル 2 階平面概要図

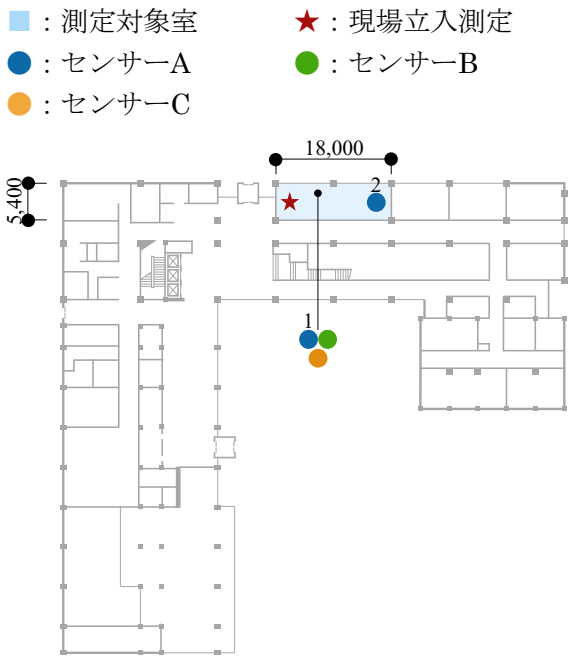


図 3-1-6 D ビル 1 階平面概要図

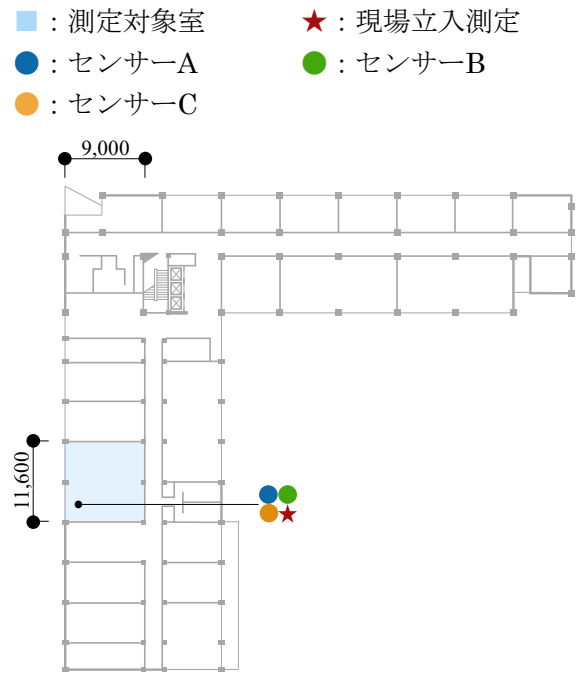


図 3-1-7 D ビル 4 階平面概要図

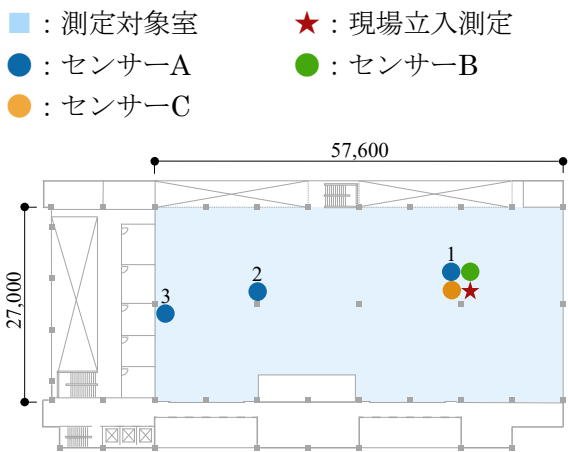


図 3-1-8 E ビル 2 階平面概要図

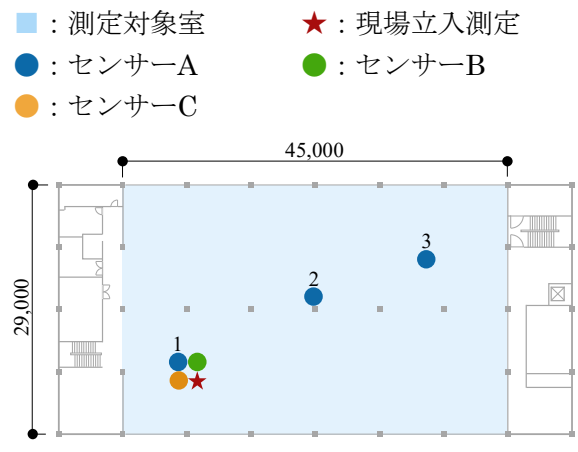


図 3-1-9 F ビル 2 階平面概要図

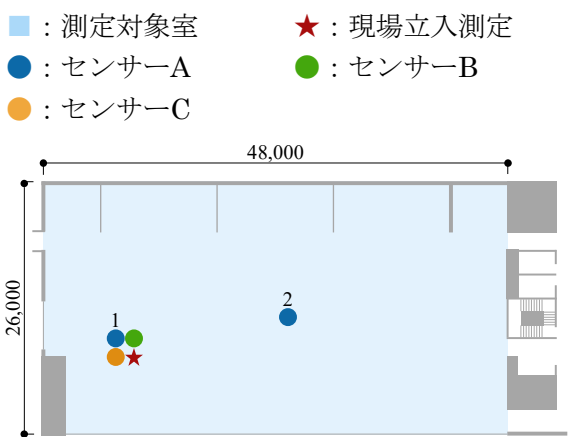


図 3-1-10 G ビル 1 階平面概要図

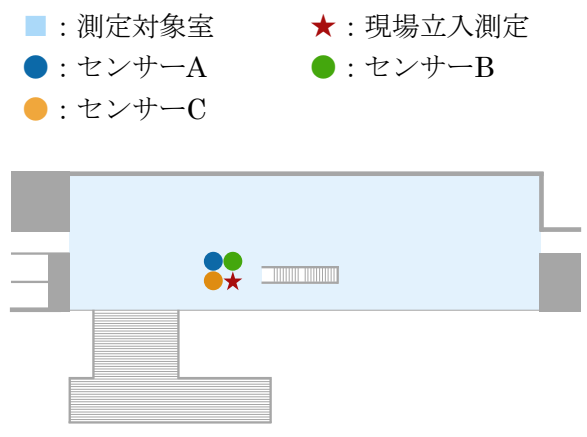


図 3-1-11 G ビル 3 階平面概要図

- : 測定対象室
- : センサーA
- : センサーC

- ★ : 現場立入測定
- : センサーB

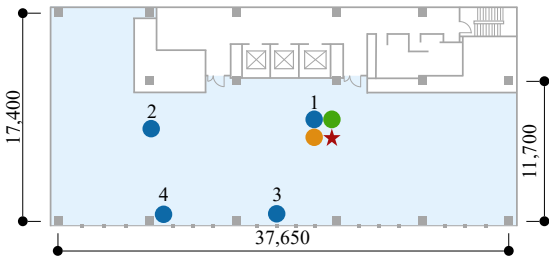


図 3-1-12 H ビル 3 階平面概要図

- : 測定対象室
- : センサーA
- : センサーC

- ★ : 現場立入測定
- : センサーB

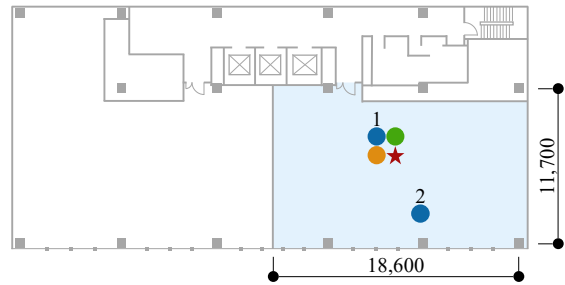


図 3-1-13 H ビル 3 階平面概要図

本節では、以下の3つの事項を実施する。

(1)3種の小型測定器の比較

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

(2)小型測定器による平面分布の把握

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

(3)夏期・冬期の室内環境評価

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

(4)建築物環境衛生管理基準値内である時間率による年間評価

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

C. 研究結果

C.1. 3種の小型測定器の比較

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

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

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

C.2. 小型測定器による平面分布の把握

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

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

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

C.3. 夏期・冬期の室内環境評価

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

(1)A ビル 2 階

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

(2)A ビル 3 階

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

(3)B ビル 1 階

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

(4)B ビル 3 階

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

(5)C ビル

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

(6)E ビル

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

(7)F ビル

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

(8)G ビル 1 階

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

(9)G ビル 3 階

当該フロアは開口部が比較的近接しており、

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

(10)H ビル 4 階

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

(11)H ビル 6 階

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

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

(1)A ビル 2 階

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

(2)A ビル 3 階

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

(3)B ビル 1 階

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

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

(4)B ビル 3 階

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

(5)C ビル

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

(6)D ビル 1 階

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

(7)D ビル 4 階

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

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

(8)E ビル

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

(9)F ビル

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

(10)G ビル1階

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

(11)G ビル3階

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

(12)H ビル4階

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

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

(13)H ビル6階

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

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

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

(1)A ビル2階

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

(2)A ビル3階

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

(3)B ビル1階

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

(4)B ビル3階

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

(5)C ビル

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

(6)E ビル

いずれの指標もほぼ 100%であった。

(7)F ビル

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

(8)G ビル 1 階

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

(9)G ビル 3 階

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

(10)H ビル 4 階

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

(11)H ビル 6 階

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

D. まとめ

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

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

E. 参考文献

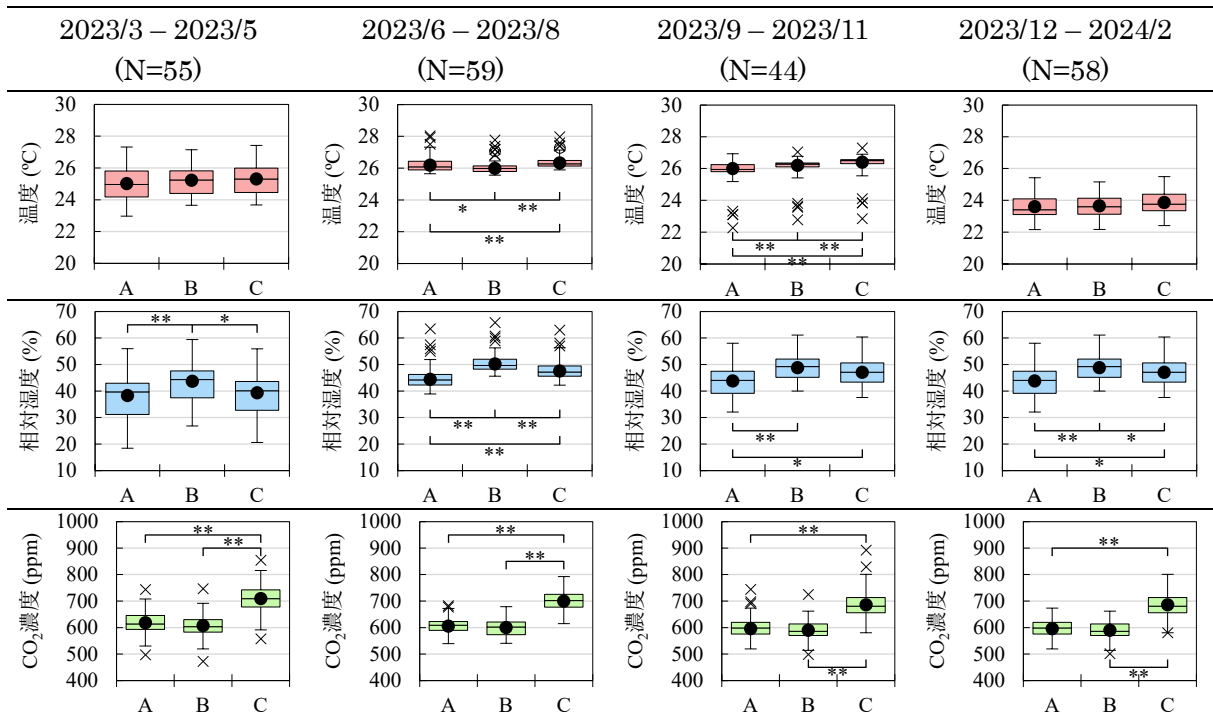
なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

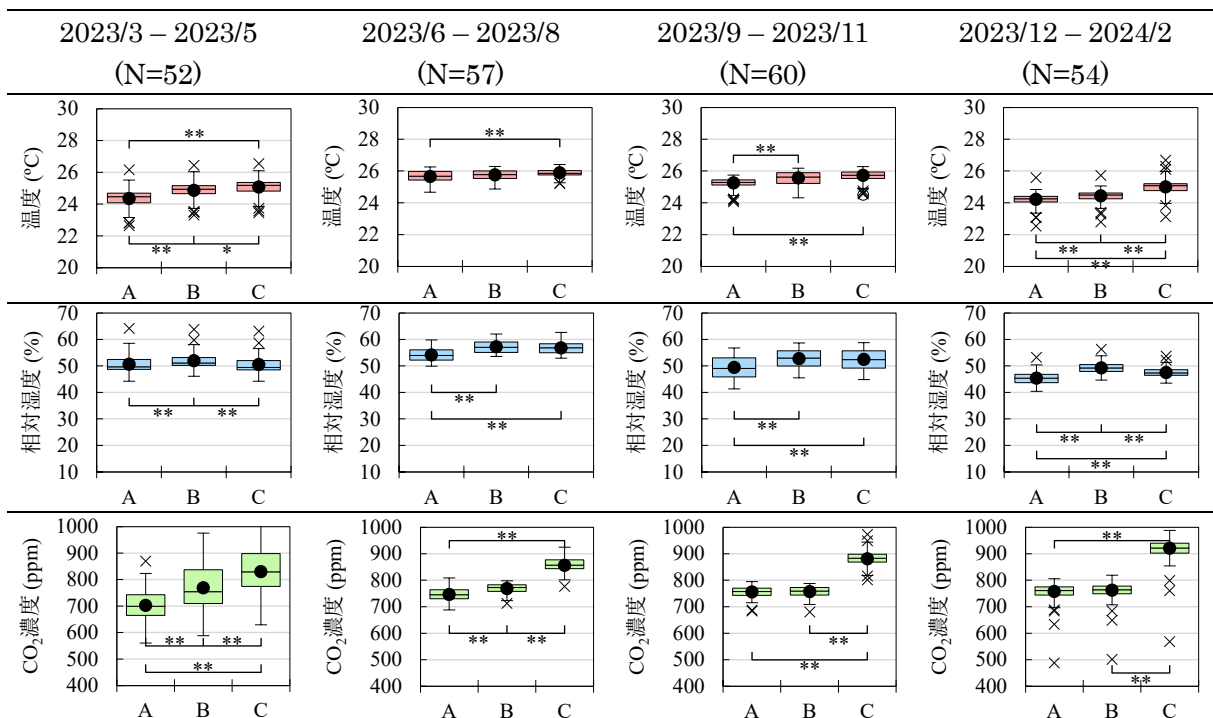
予定なし



【図 3-1-14 注記】

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

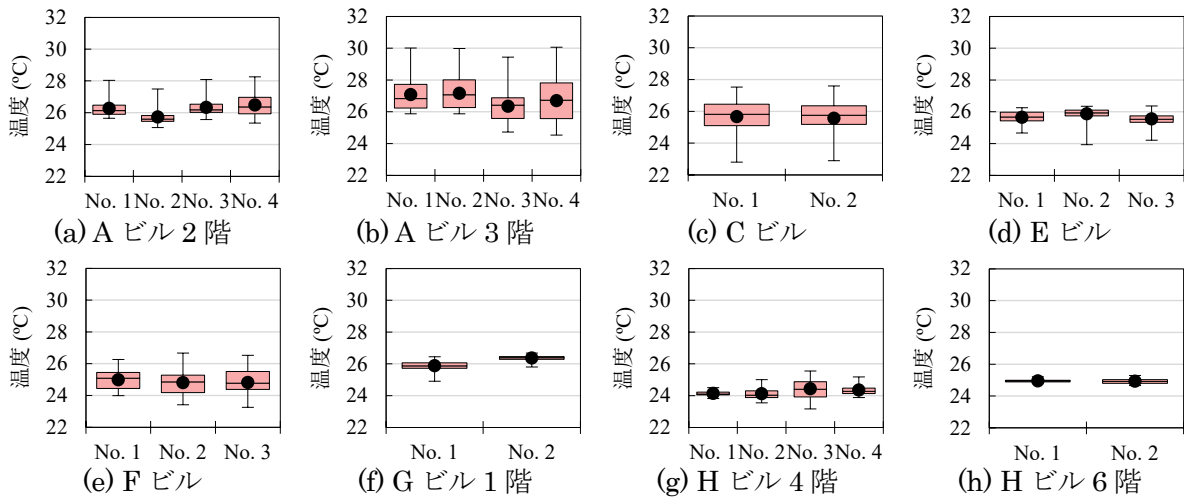
図 3-1-14 3種の小型測定器の比較 (Aビル2階)



【図 3-1-15 注記】

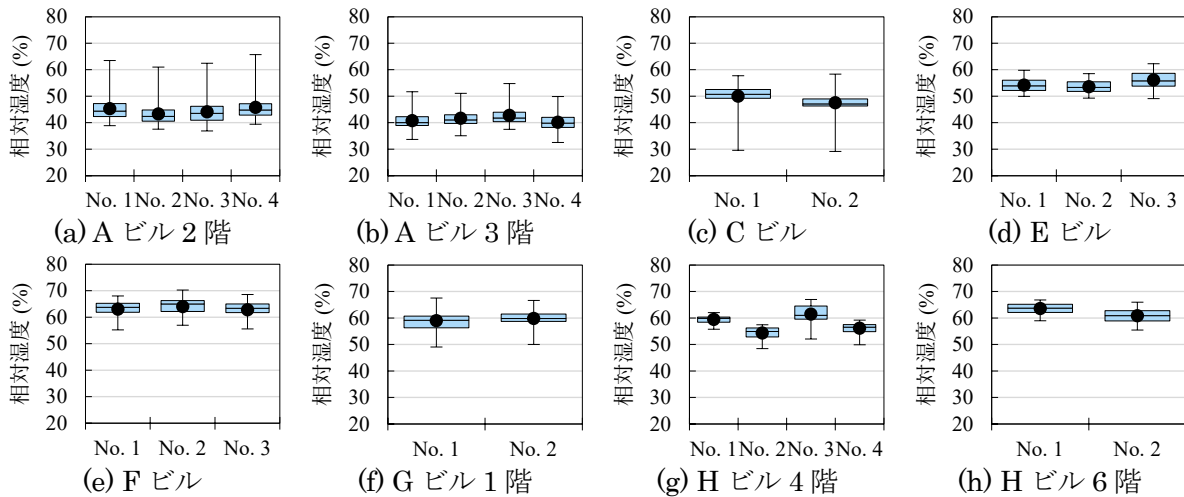
- 1)箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●プロットは平均値、×プロットは外れ値を示している。
- 2)多重比較検定には外れ値を除外して Steel-Dwass 検定を用いた。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

図 3-1-15 3種の小型測定器の比較 (Eビル2階)



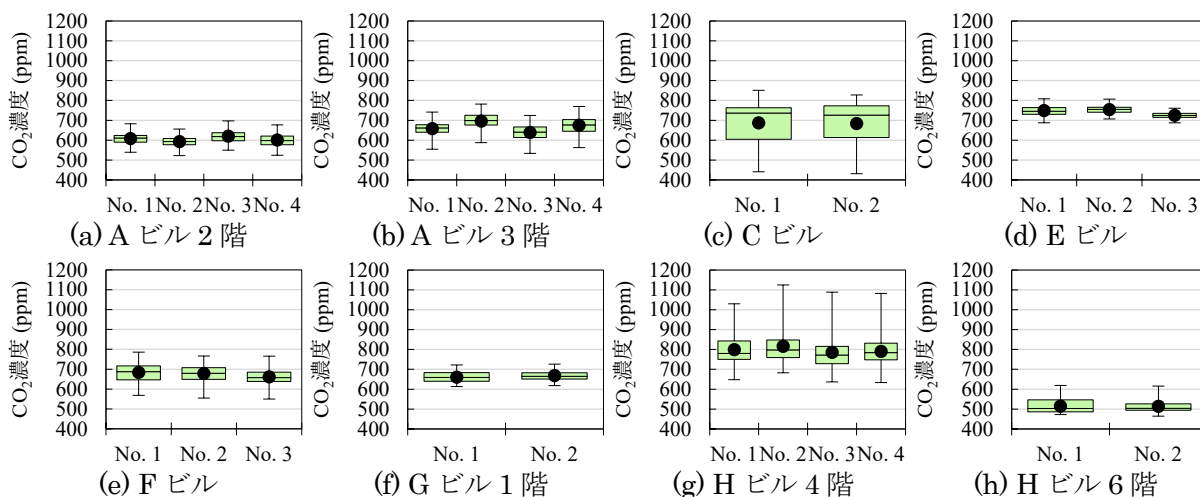
【図 3-1-16 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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



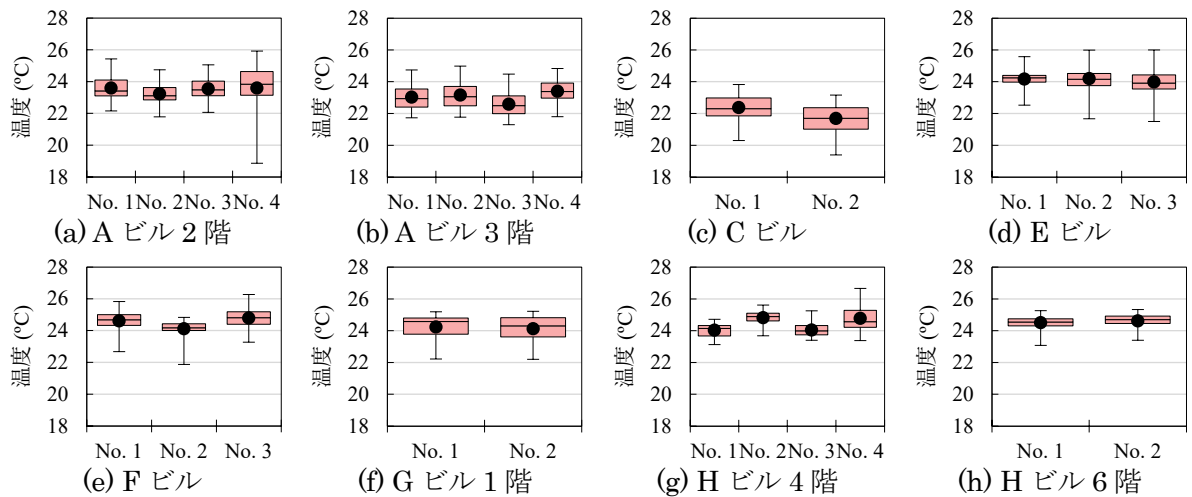
【図 3-1-17 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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



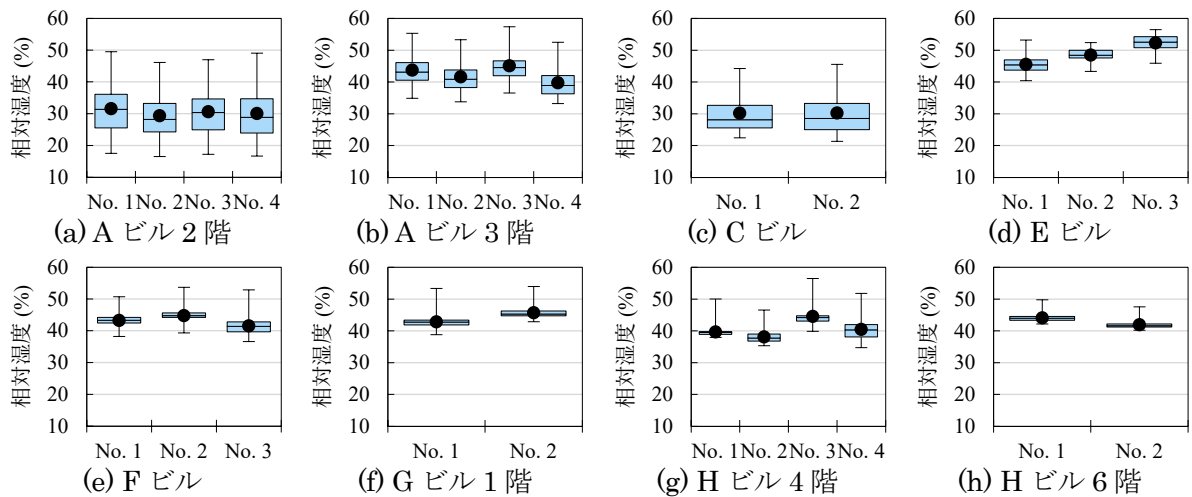
【図 3-1-18 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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



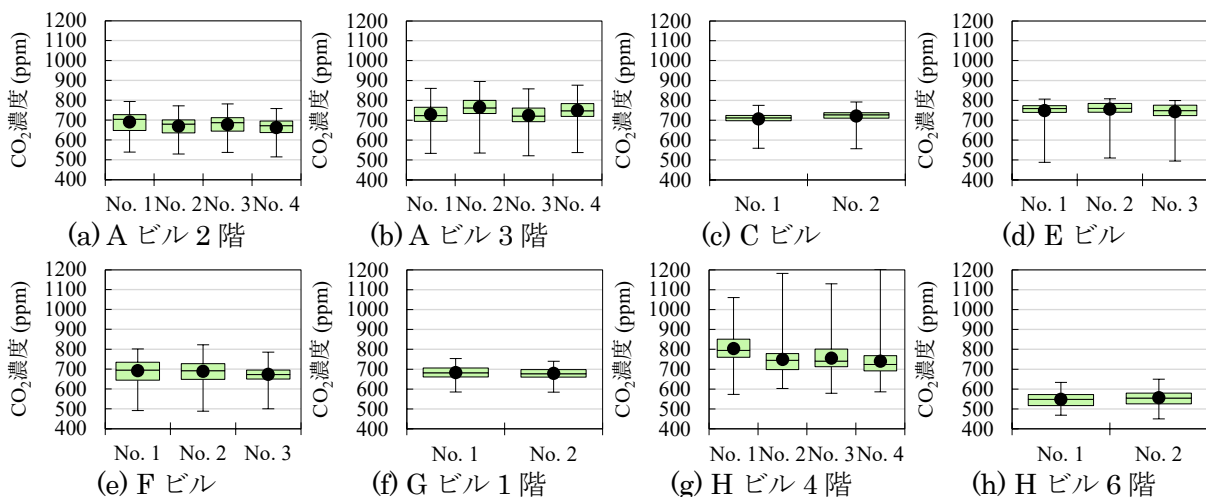
【図 3-1-19 注記】
箱ひげ図は上から最高値、第三四分位点、中央値、第一四分位点、最低値を示している。●は平均値、×は外れ値を示している。

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



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

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



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

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

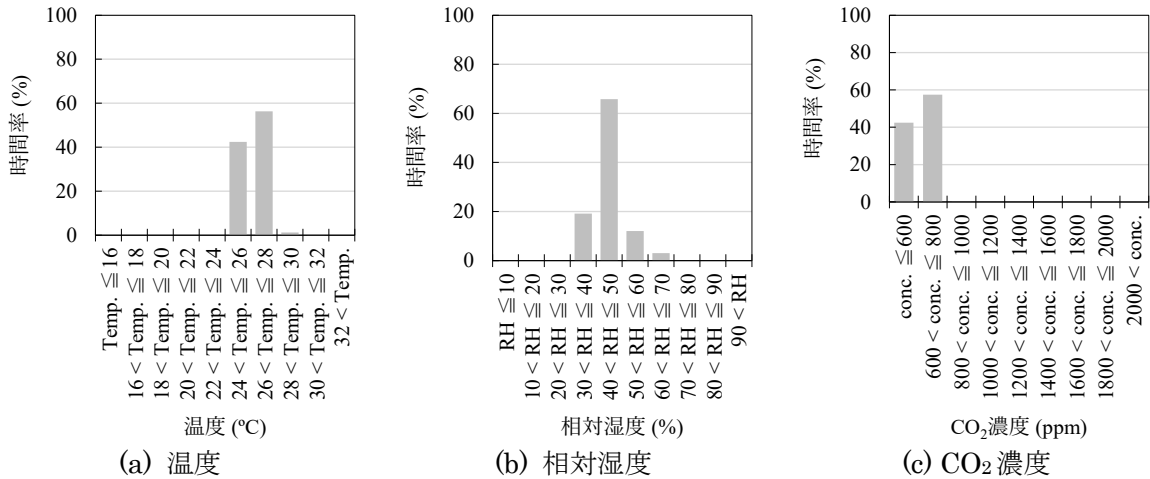


図 3-1-22 室内環境ヒストグラム (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

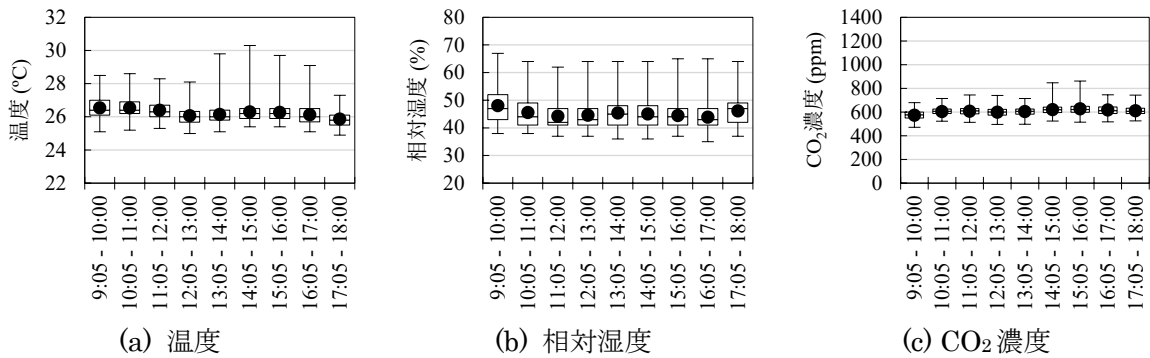


図 3-1-23 室内環境の特別結果 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

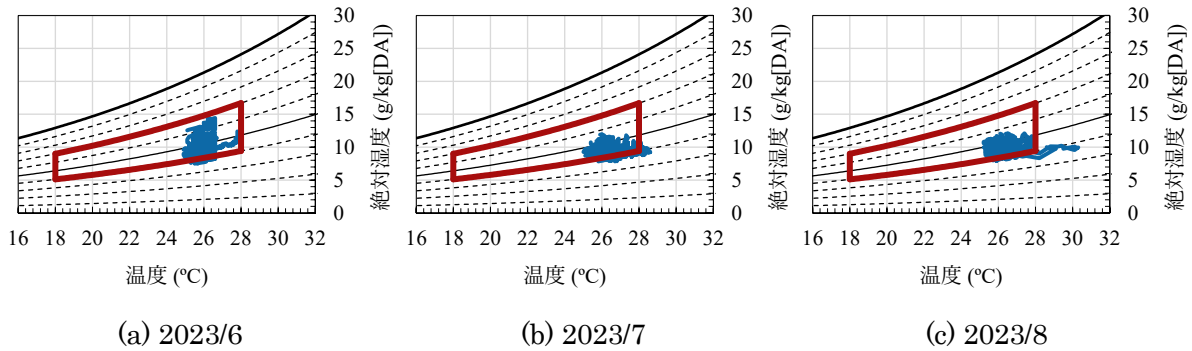


図 3-1-24 室内温湿度 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

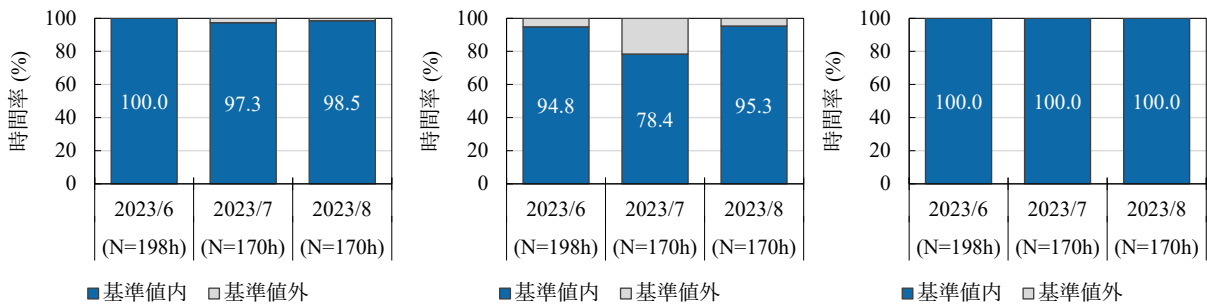


図 3-1-25 基準値内時間率 (A ビル 2 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

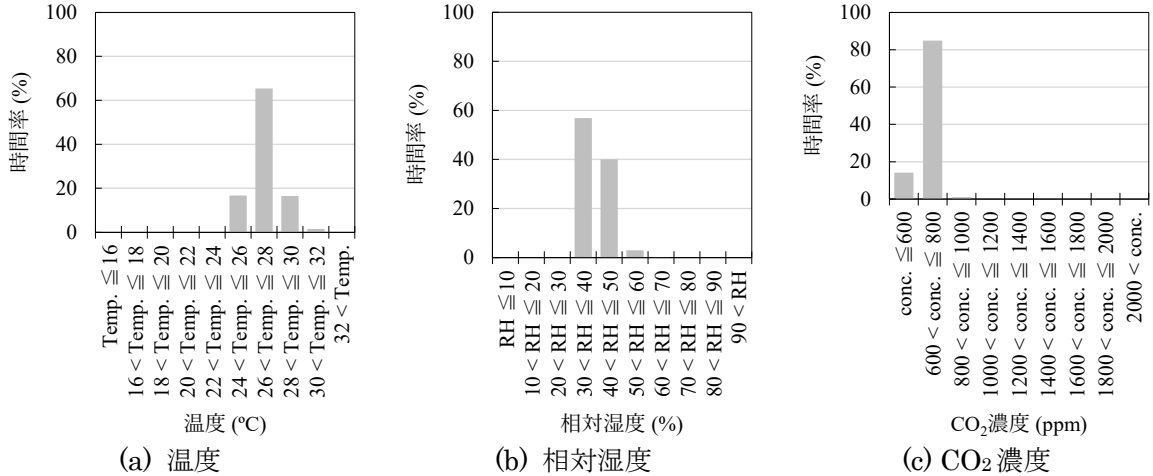


図 3-1-26 室内環境ヒストグラム (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

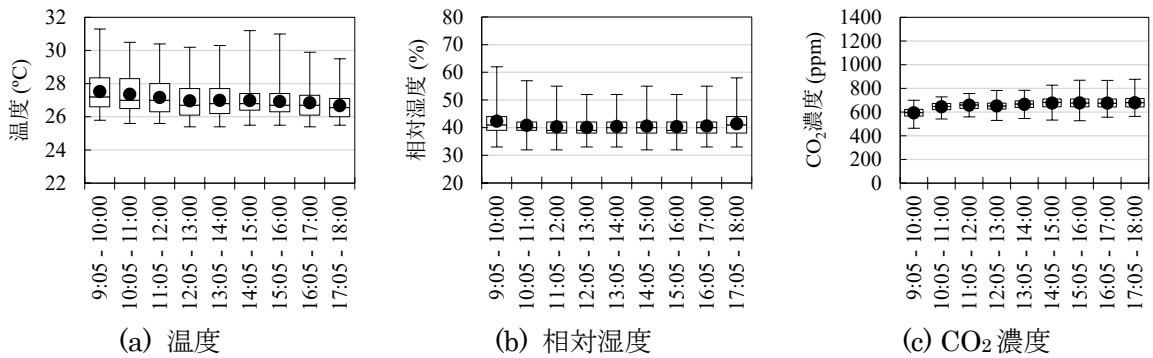


図 3-1-27 室内環境の特別結果 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

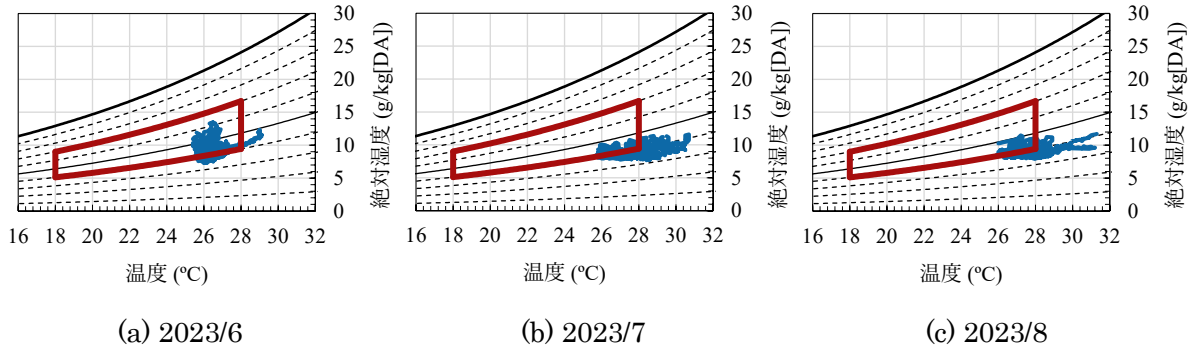


図 3-1-28 室内温湿度 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

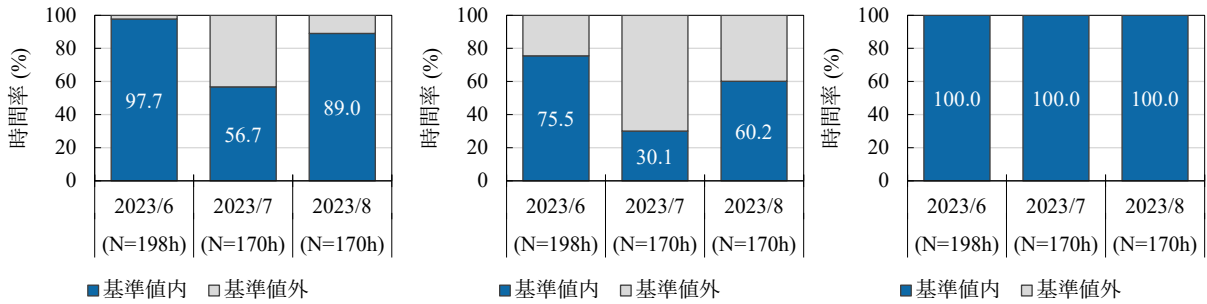


図 3-1-29 基準値内時間率 (A ビル 3 階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

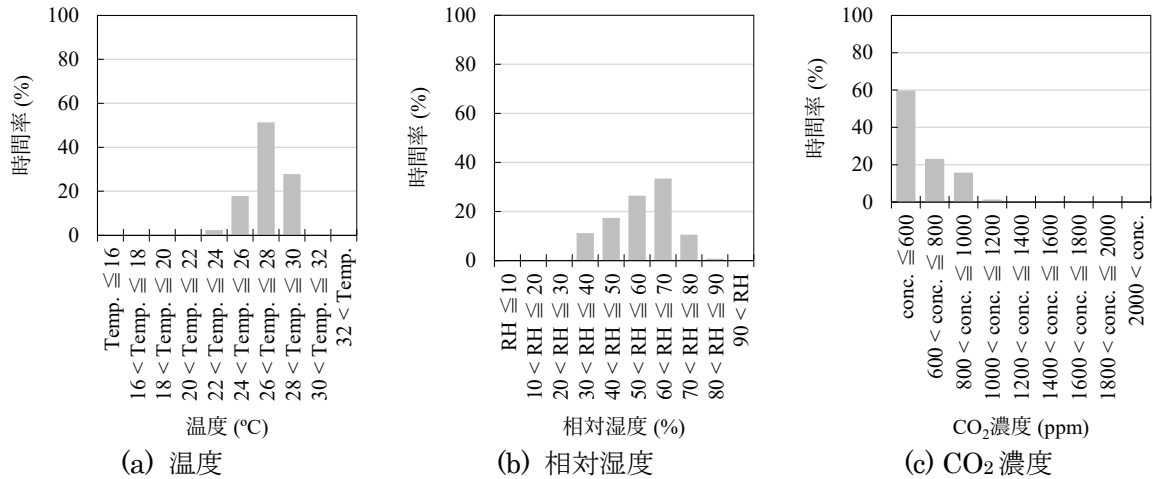


図 3-1-30 室内環境ヒストグラム (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

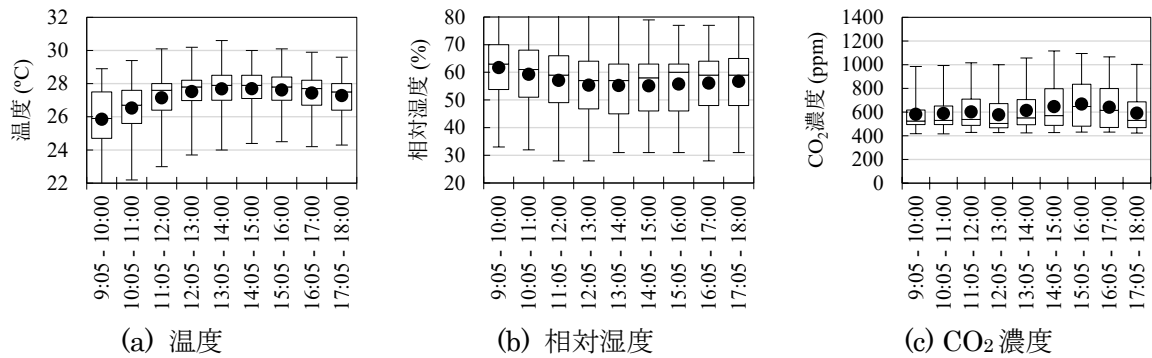


図 3-1-31 室内環境の特別結果 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

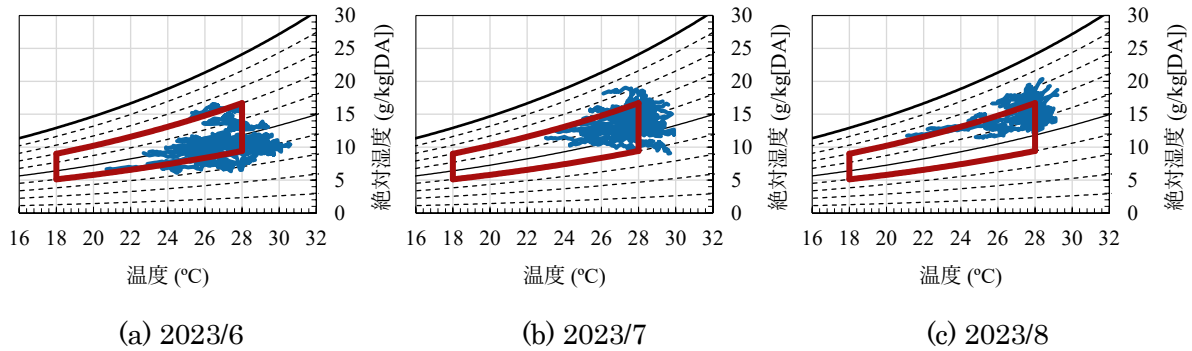


図 3-1-32 室内温湿度 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

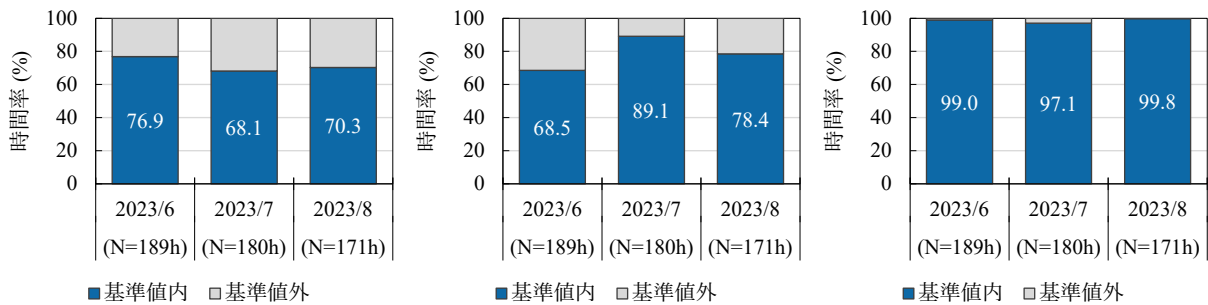


図 3-1-33 基準値内時間率 (Bビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

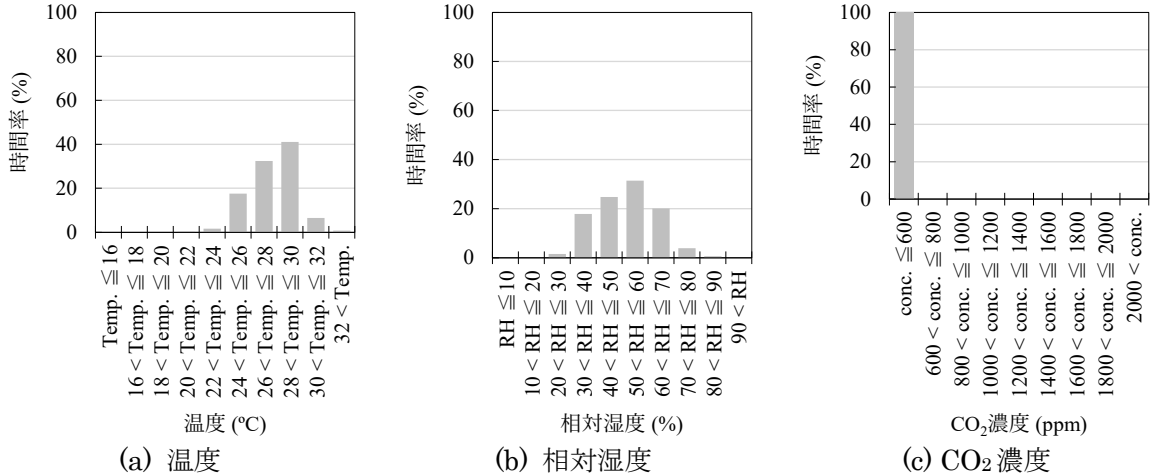


図 3-1-34 室内環境ヒストグラム (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

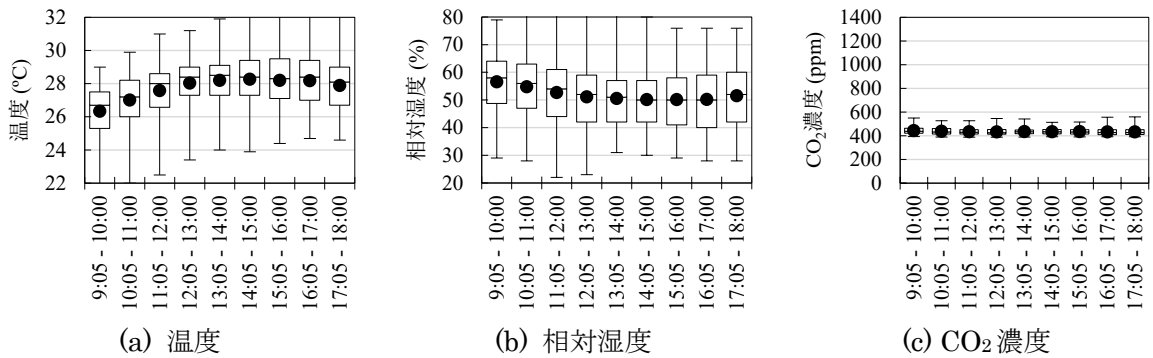


図 3-1-35 室内環境の特別結果 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

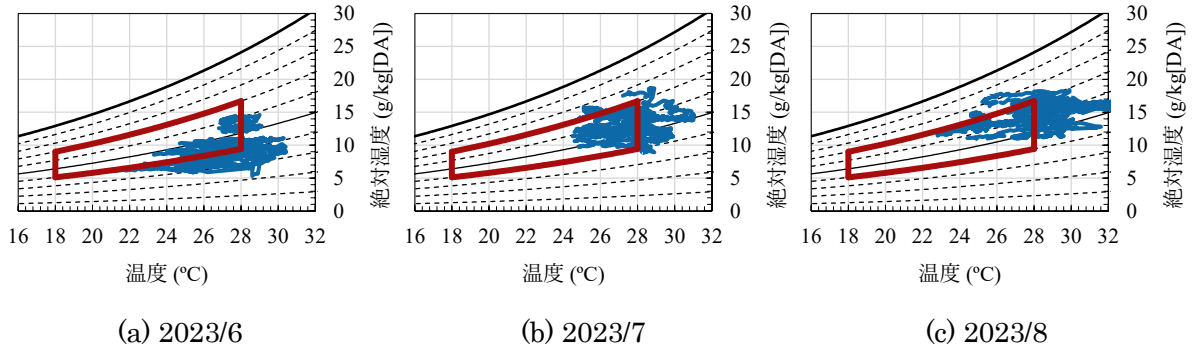


図 3-1-36 室内温湿度 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

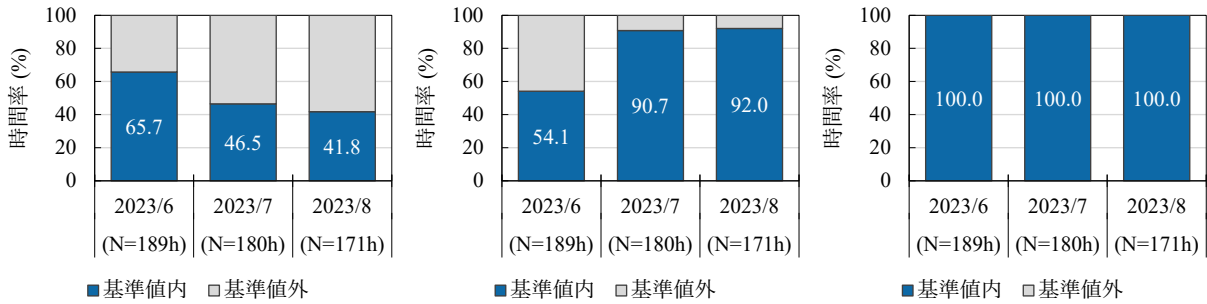


図 3-1-37 基準値内時間率 (Bビル3階, 2023/6-2023/8, 平日9-18時)

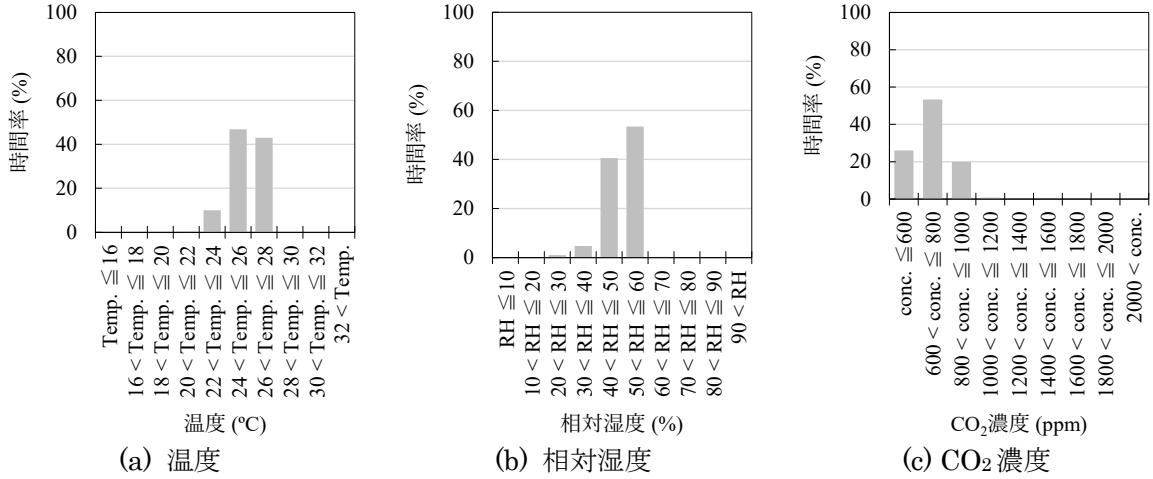


図 3-1-38 室内環境ヒストグラム (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

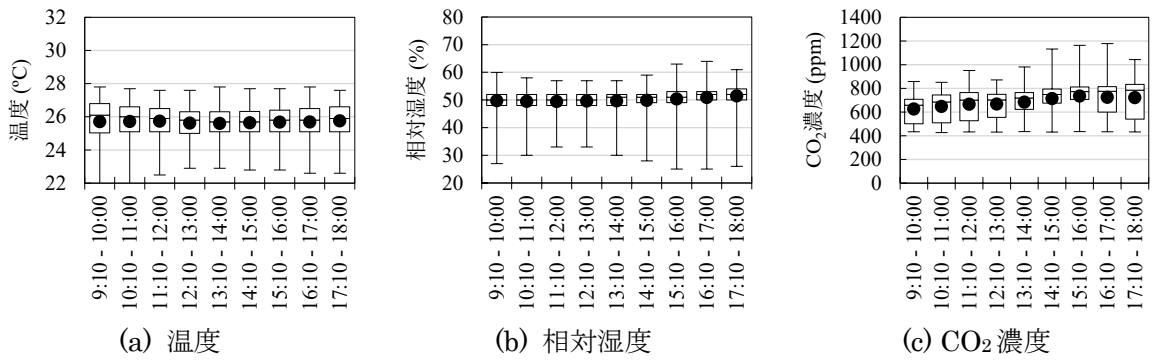


図 3-1-39 室内環境の特別結果 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

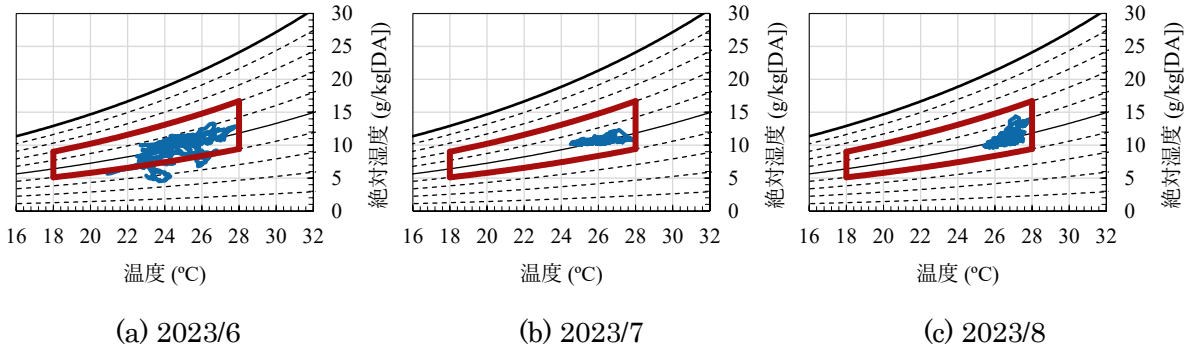


図 3-1-40 室内温湿度 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

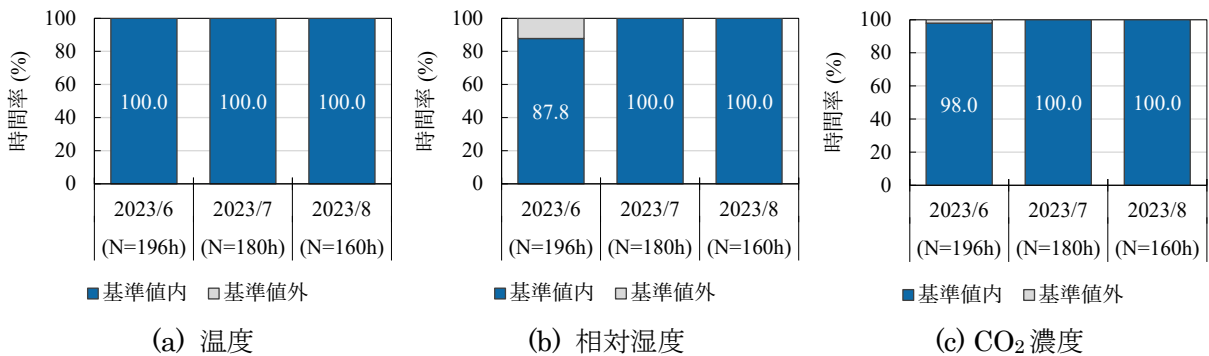


図 3-1-41 基準値内時間率 (Cビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

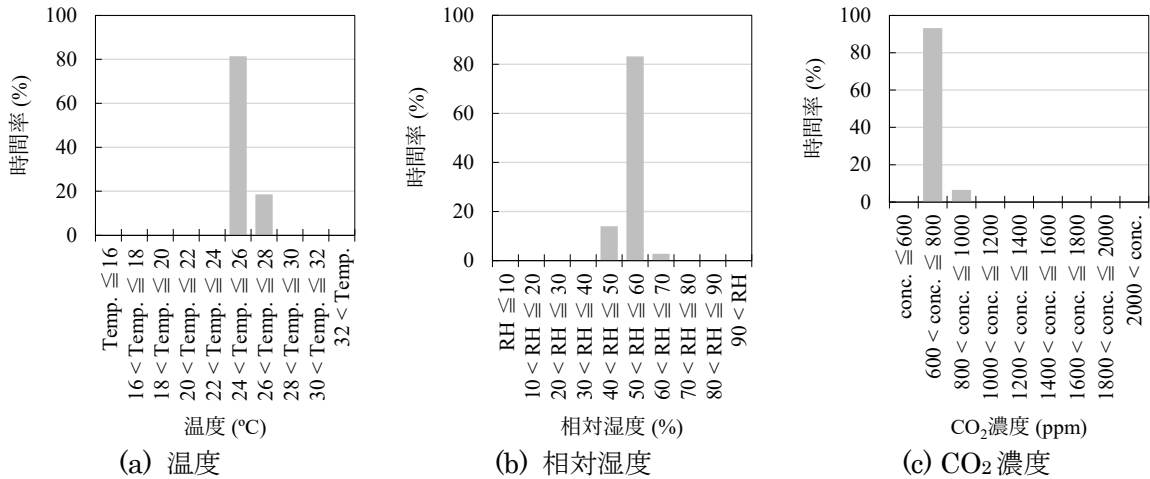


図 3-1-42 室内環境ヒストグラム (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

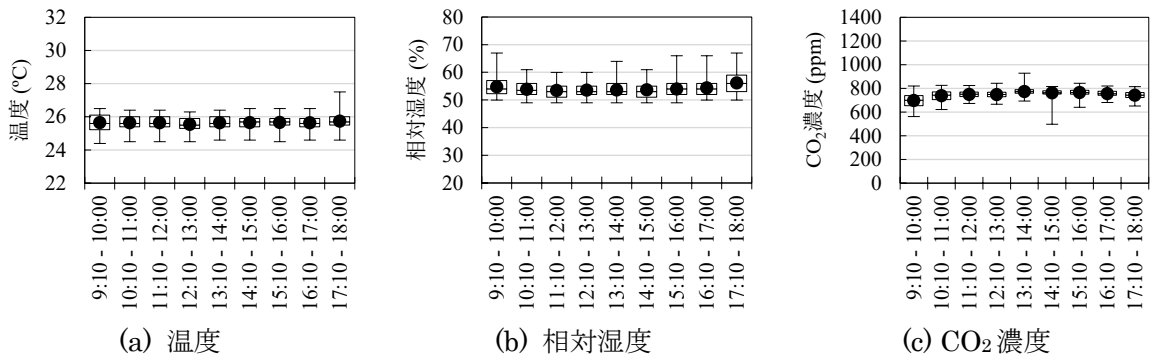


図 3-1-43 室内環境の特別結果 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

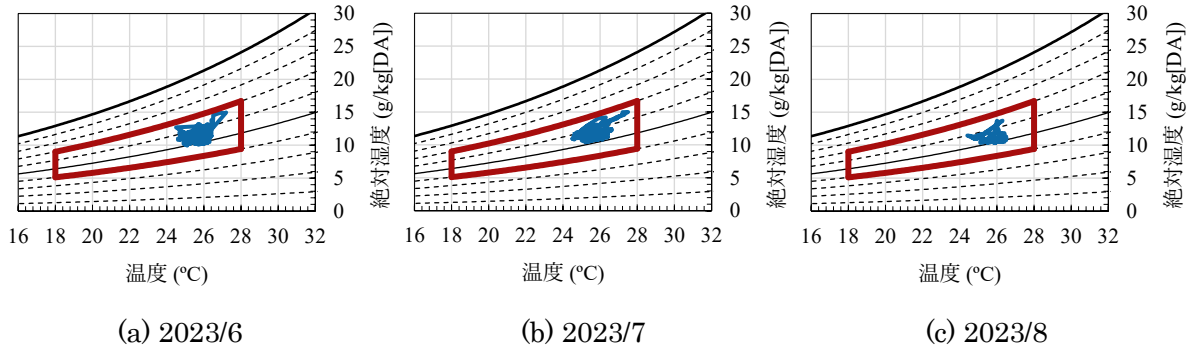


図 3-1-44 室内温湿度 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

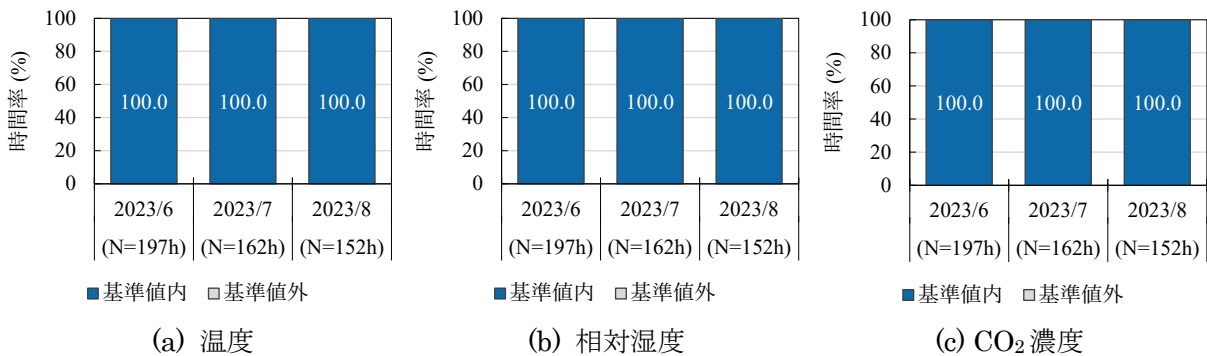


図 3-1-45 基準値内時間率 (Eビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

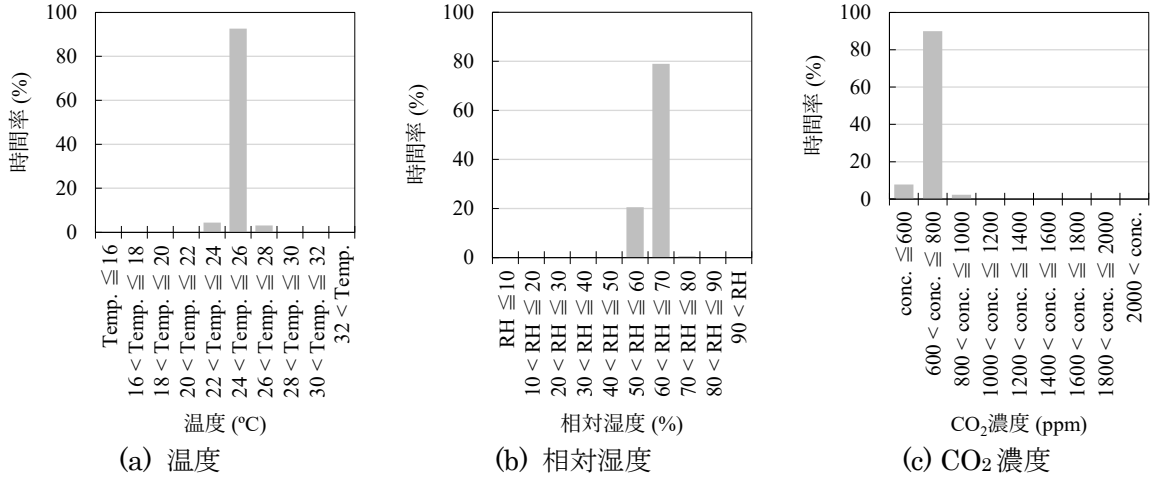


図 3-1-46 室内環境ヒストグラム (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

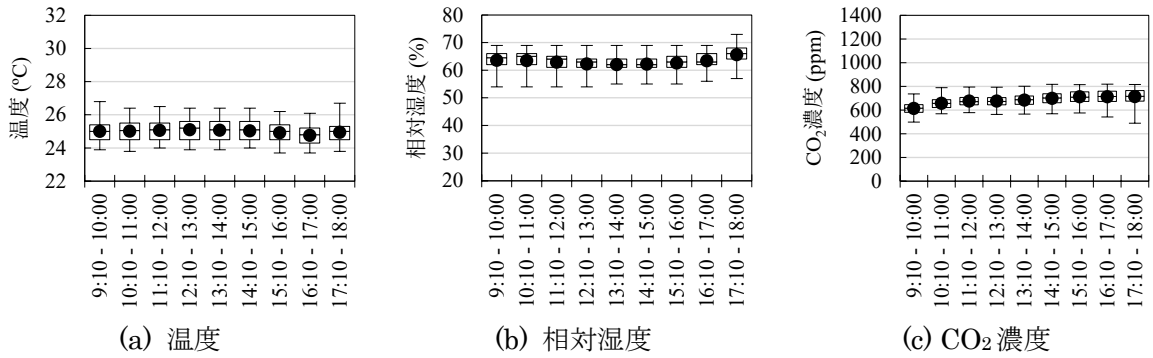


図 3-1-47 室内環境の特別結果 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

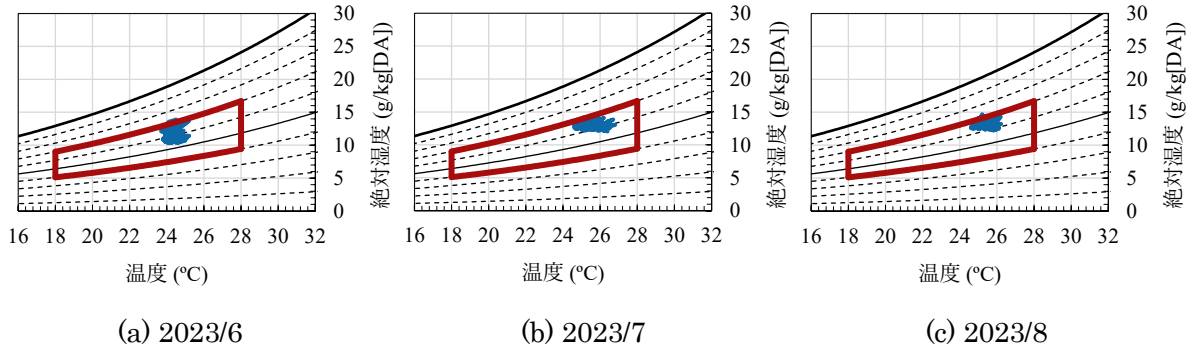


図 3-1-48 室内温湿度 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

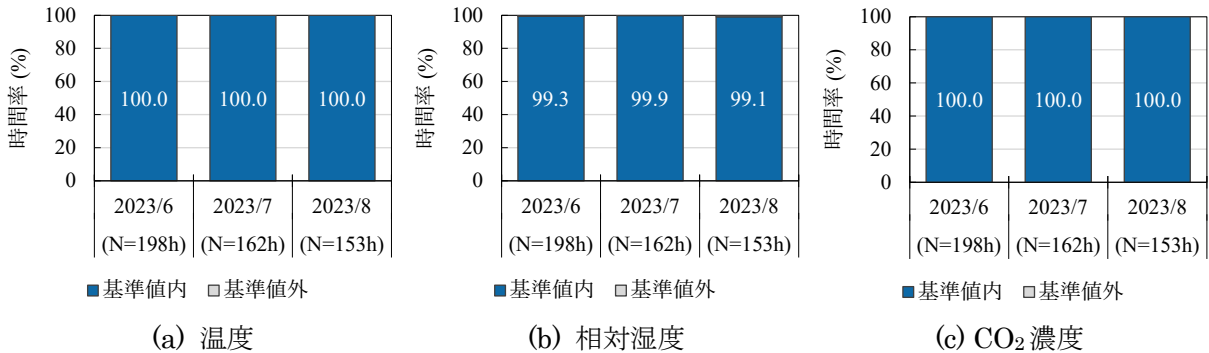


図 3-1-49 基準値内時間率 (Fビル, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18 時)

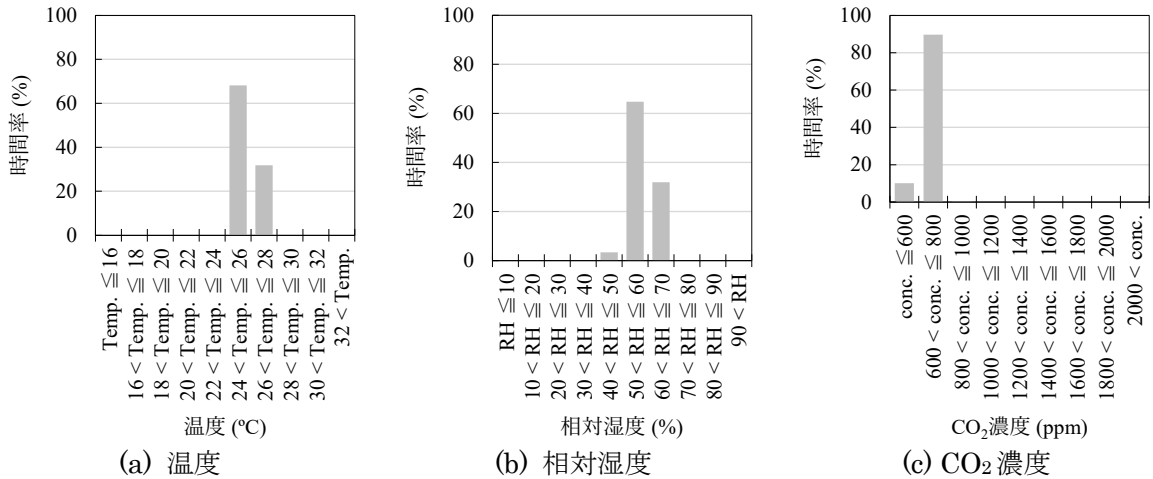


図 3-1-50 室内環境ヒストグラム (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

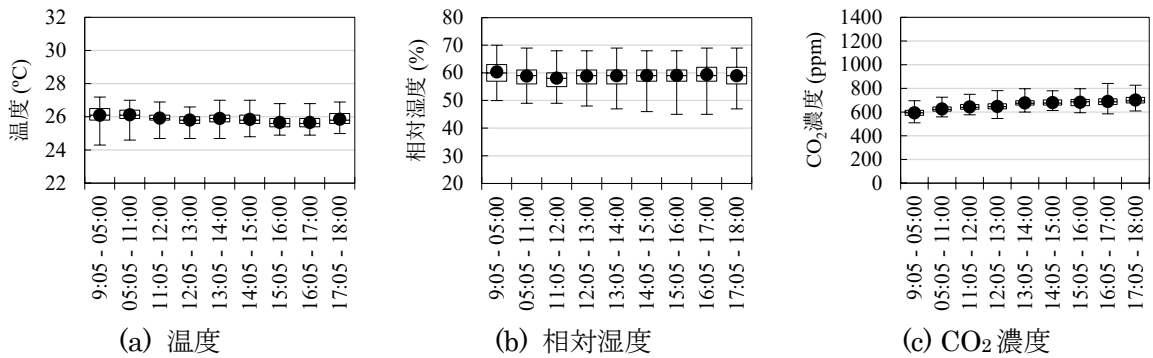


図 3-1-51 室内環境の特別結果 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

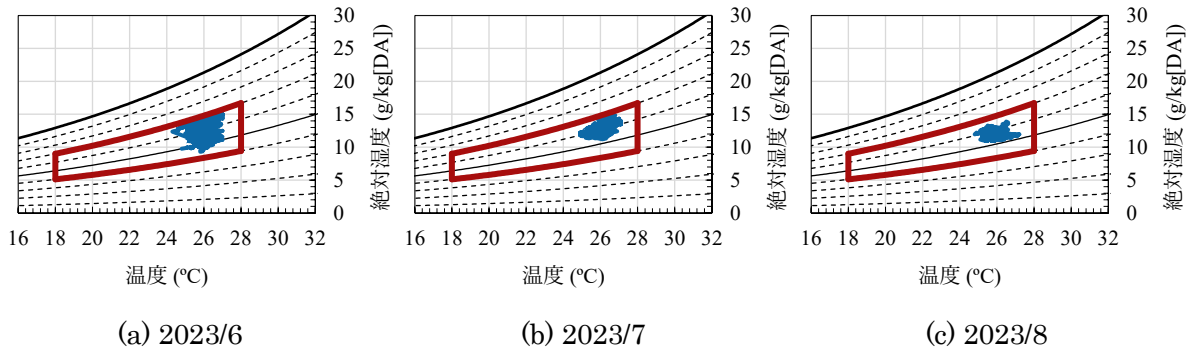


図 3-1-52 室内温湿度 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

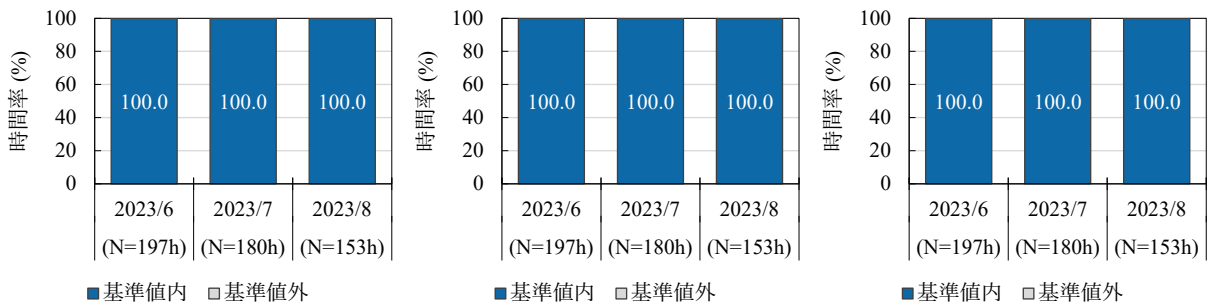


図 3-1-53 基準値内時間率 (Gビル1階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

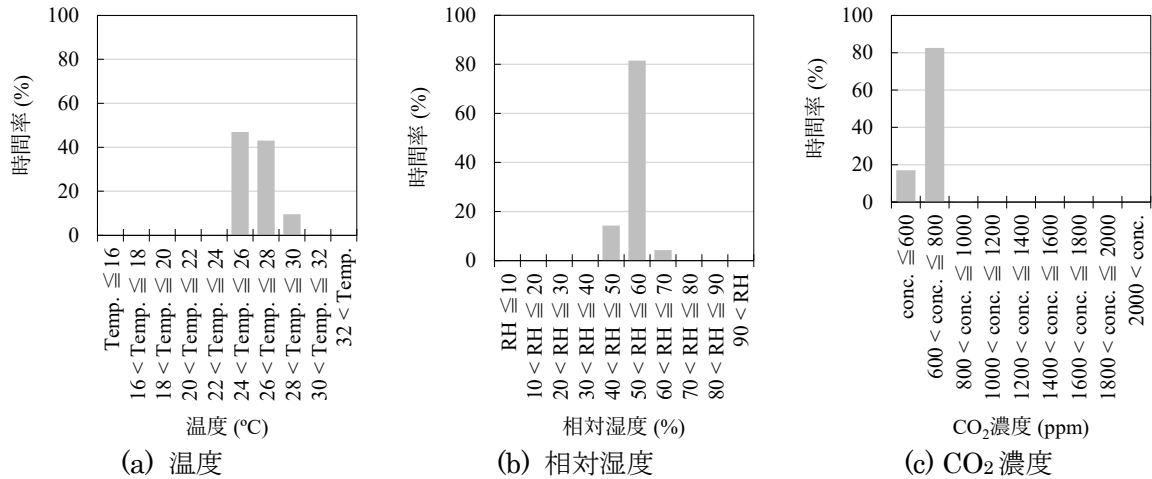


図 3-1-54 室内環境ヒストグラム (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

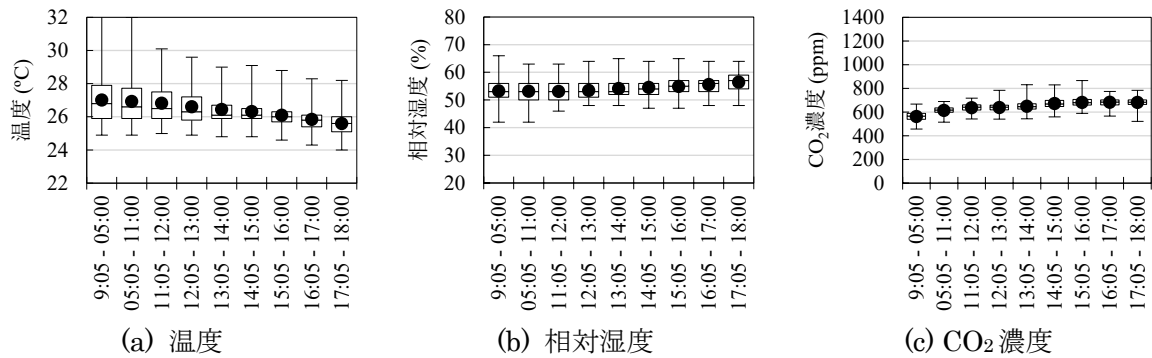


図 3-1-55 室内環境の特別結果 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

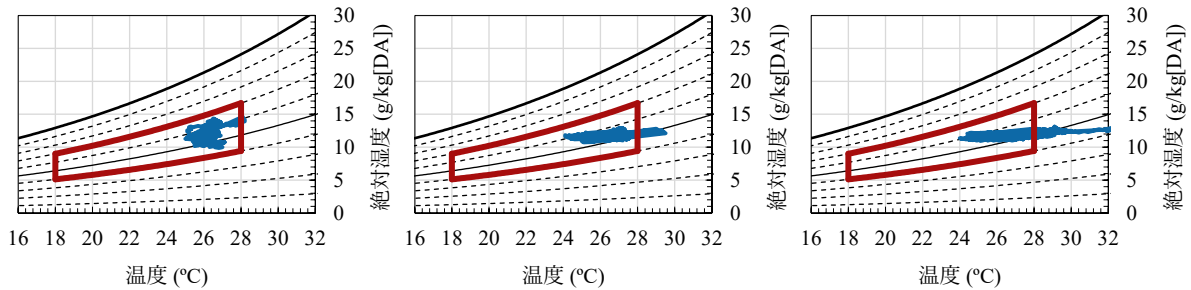


図 3-1-56 室内温湿度 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

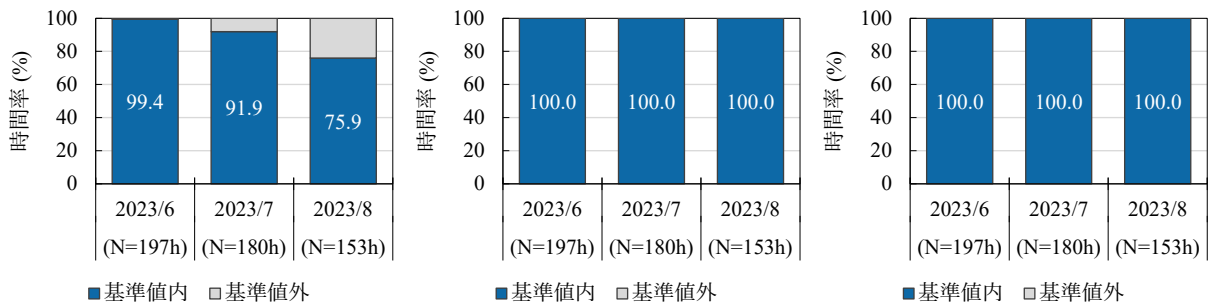


図 3-1-57 基準値内時間率 (Gビル3階, 2023/6 - 2023/8, 平日 9 - 18時)

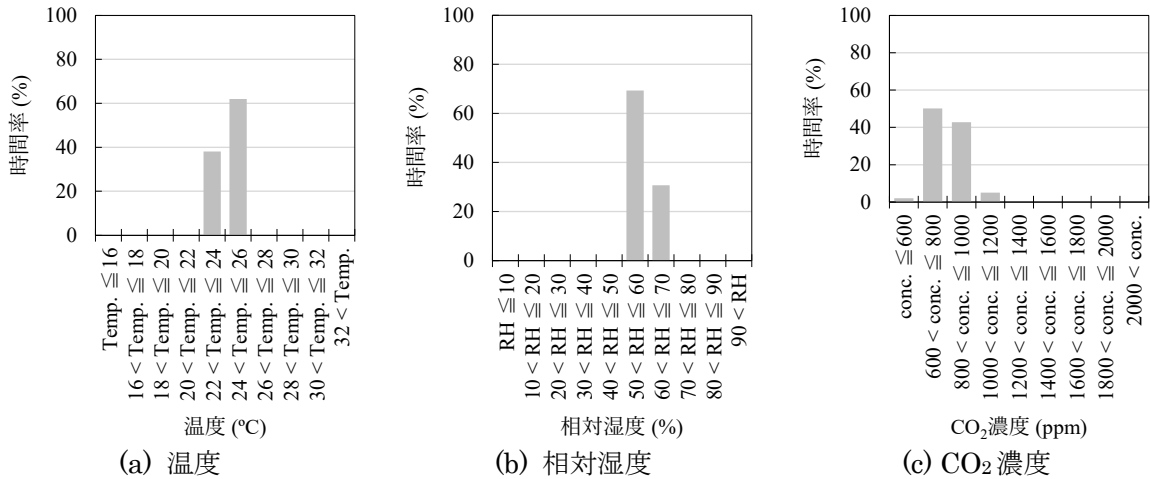


図 3-1-58 室内環境ヒストグラム (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

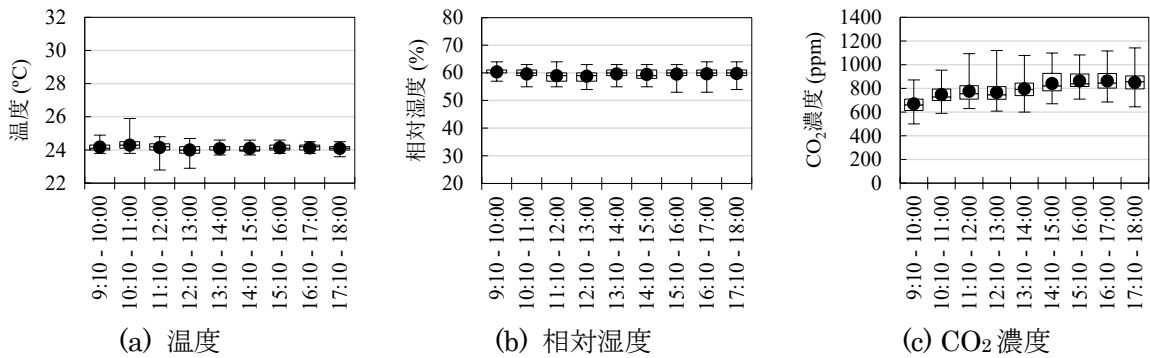
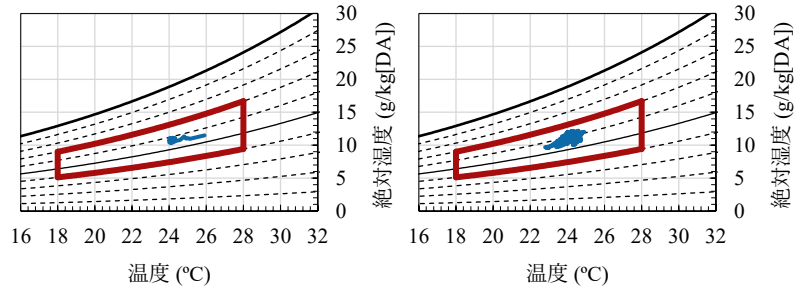


図 3-1-59 室内環境の時別結果 (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)



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

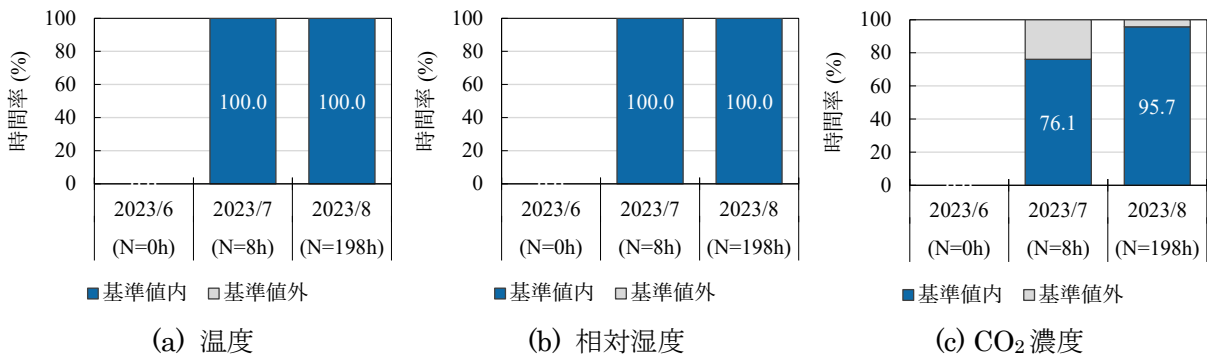


図 3-1-61 基準値内時間率 (Hビル4階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日 9 - 18時)

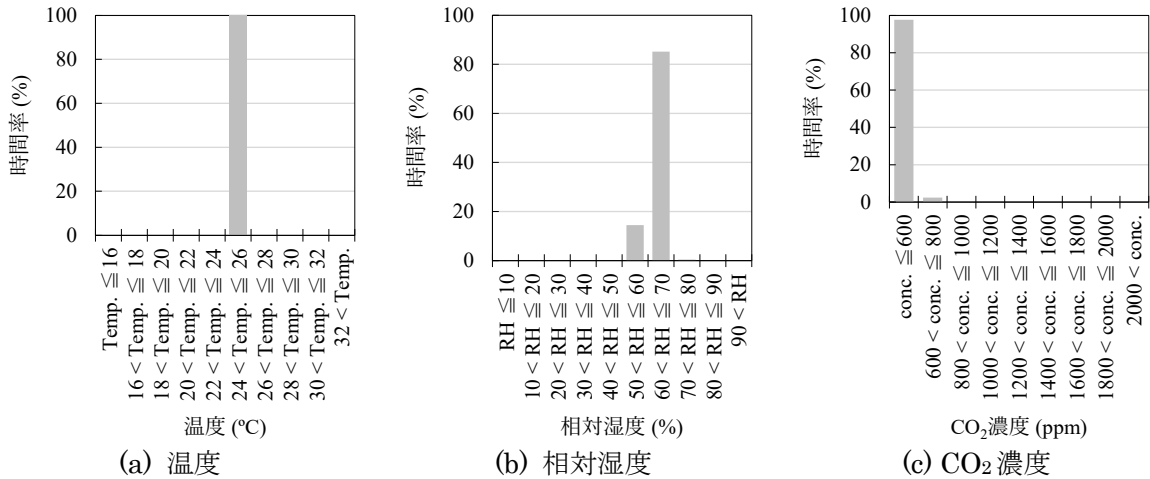


図 3-1-62 室内環境ヒストグラム (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日9 - 18時)

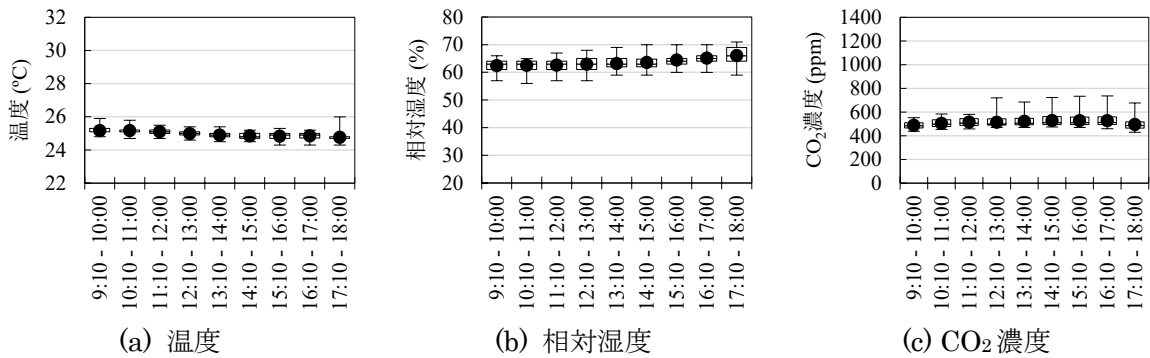


図 3-1-63 室内環境の時別結果 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日9 - 18時)

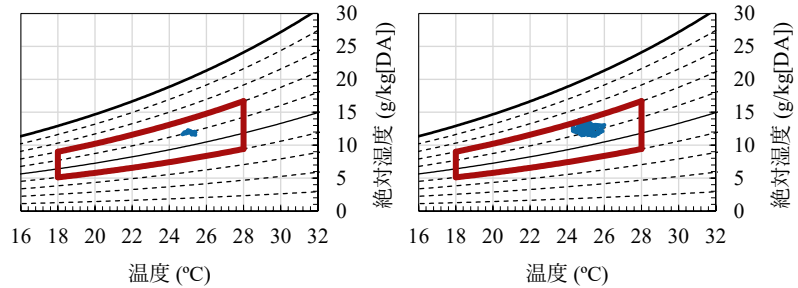


図 3-1-64 室内温湿度 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日9 - 18時)

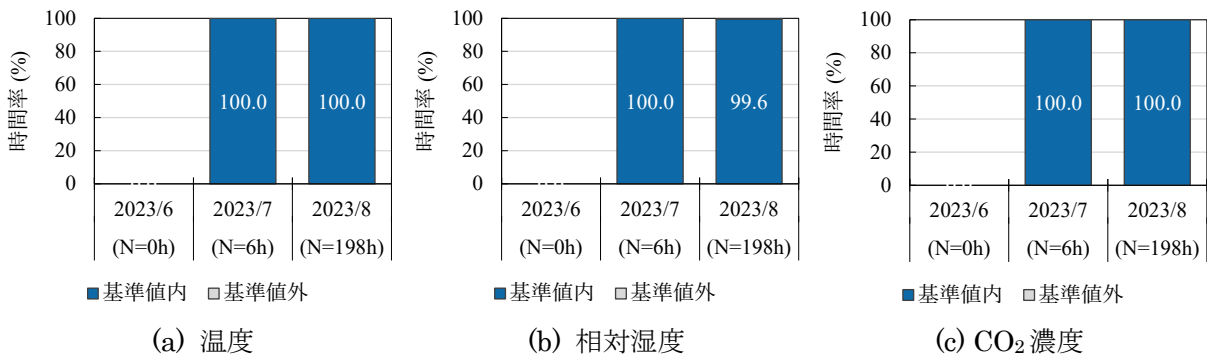


図 3-1-65 基準値内時間率 (Hビル6階, 2023/7/31 - 2023/8/31, 平日9 - 18時)

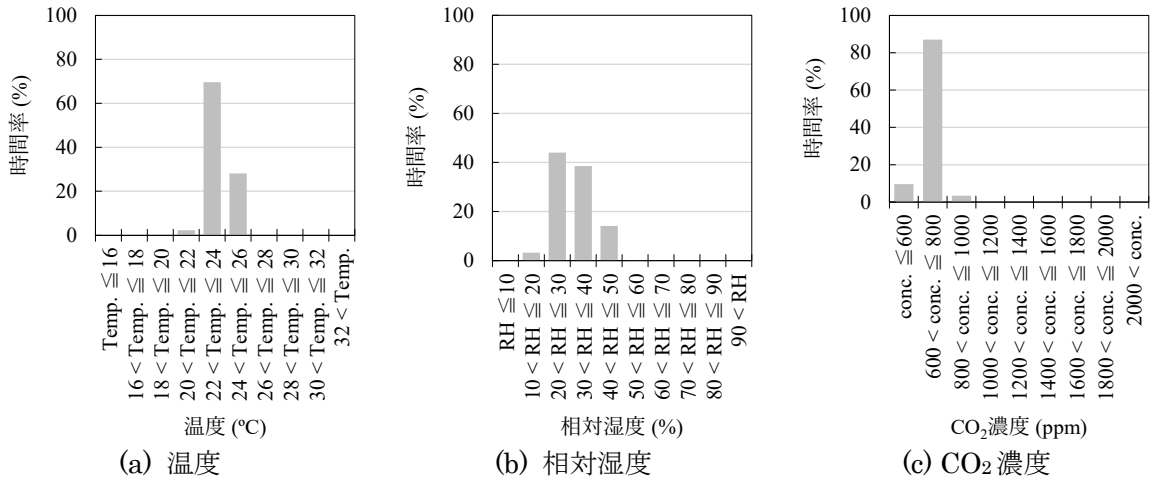


図 3-1-66 室内環境ヒストグラム (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

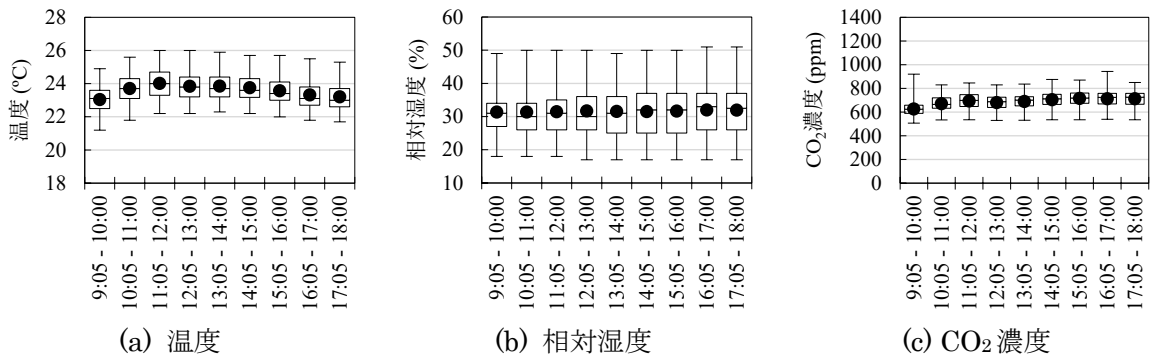


図 3-1-67 室内環境の時別結果 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

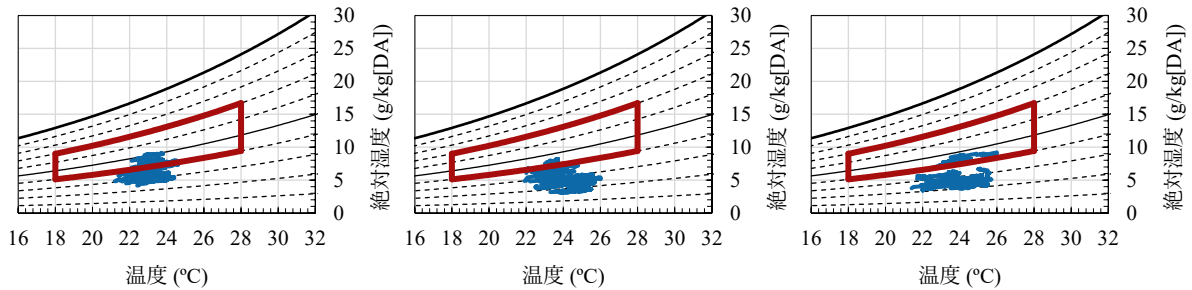


図 3-1-68 室内温湿度 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

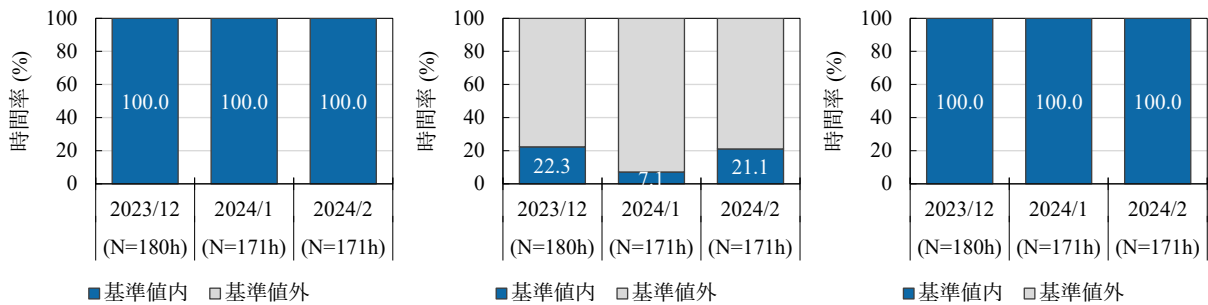


図 3-1-69 基準値内時間率 (Aビル2階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

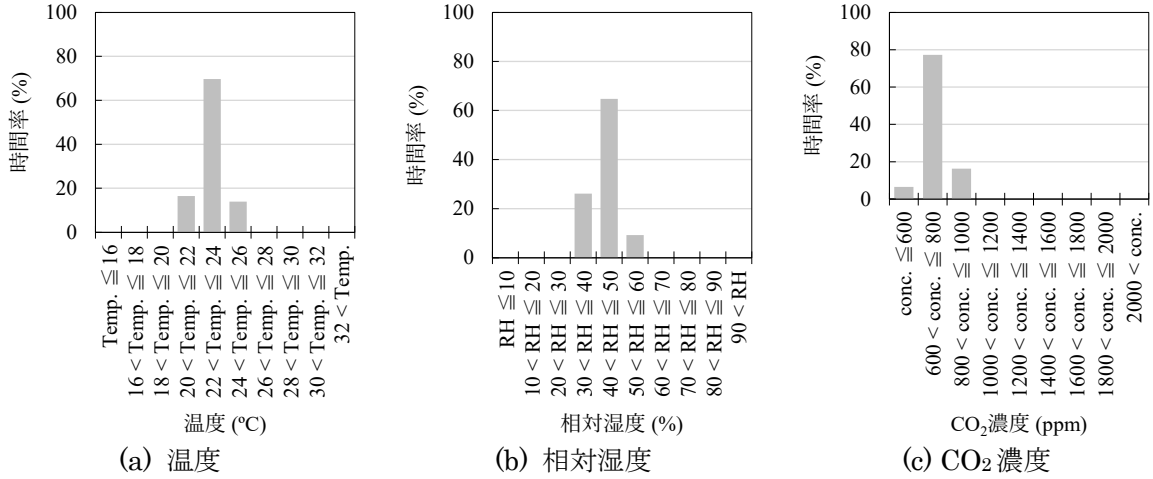


図 3-1-70 室内環境ヒストグラム (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

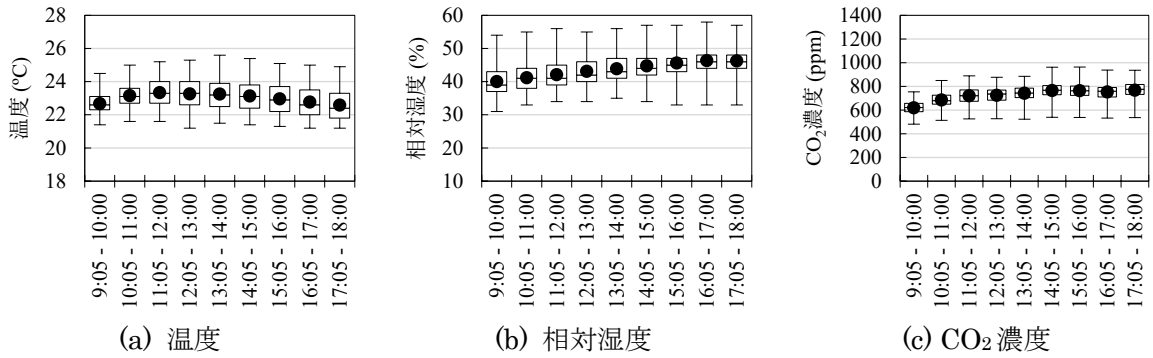


図 3-1-71 室内環境の時別結果 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

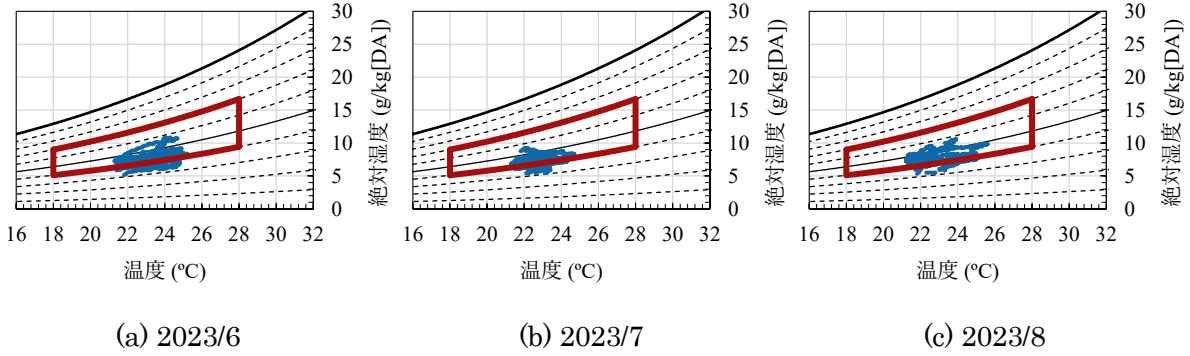


図 3-1-72 室内温湿度 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

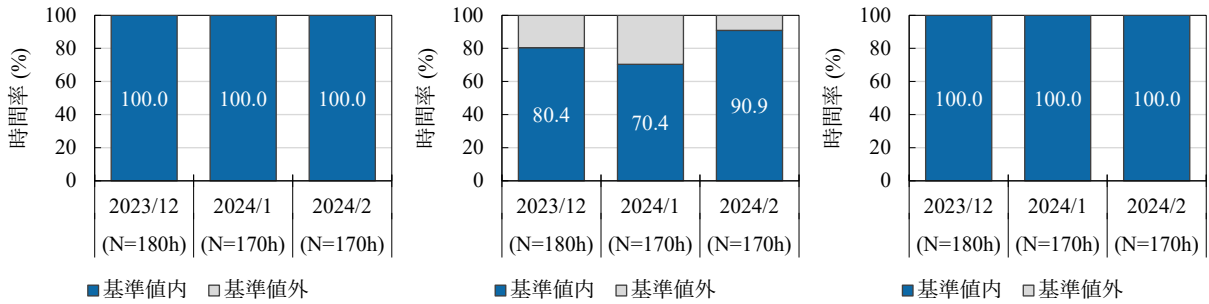


図 3-1-73 基準値内時間率 (Aビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日9 - 18時)

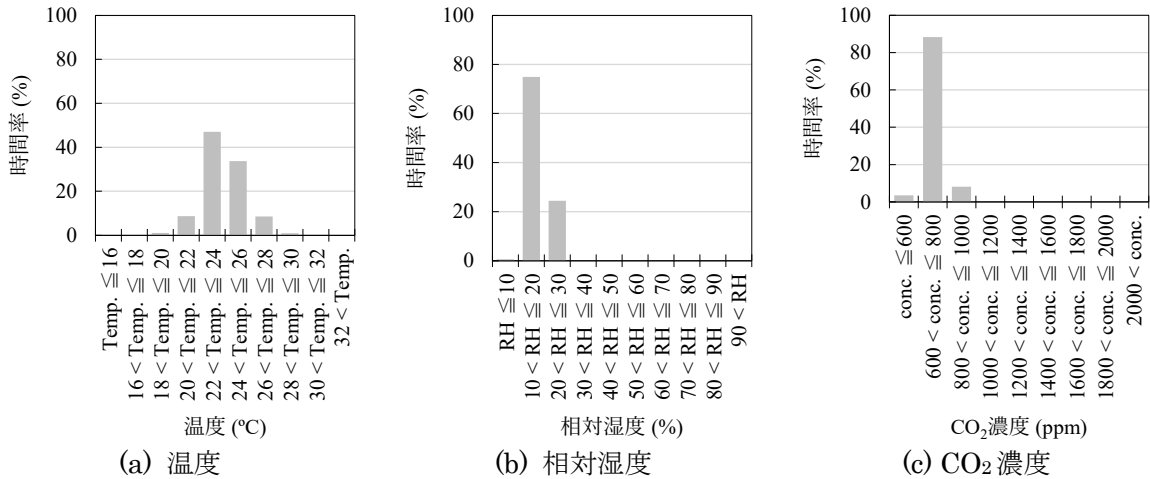


図 3-1-74 室内環境ヒストグラム (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

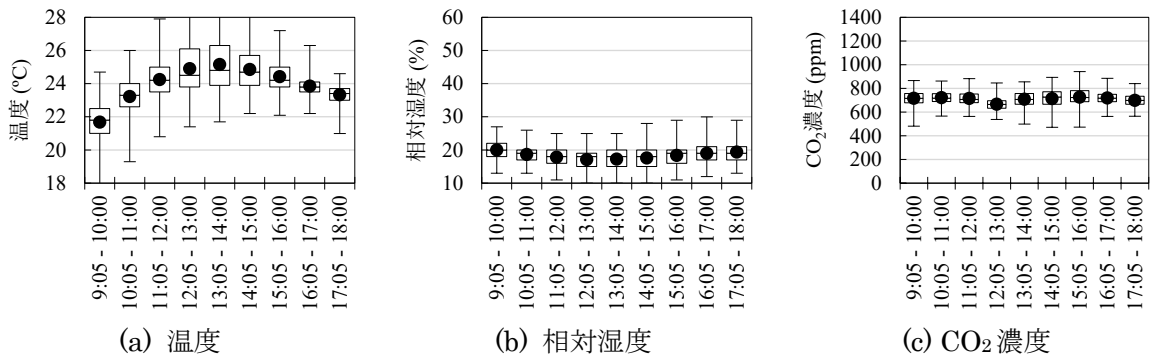


図 3-1-75 室内環境の時別結果 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

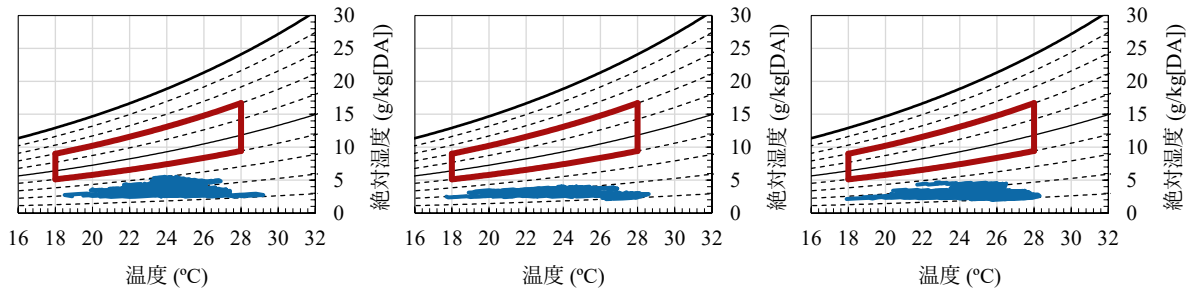


図 3-1-76 室内温湿度 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

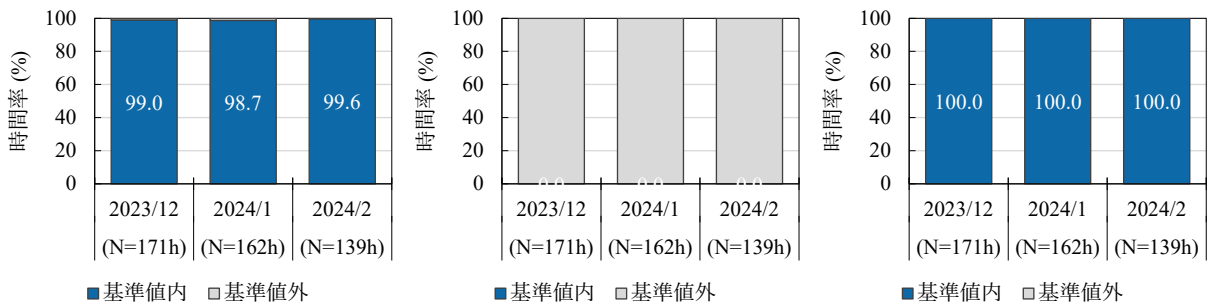


図 3-1-77 基準値内時間率 (Bビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

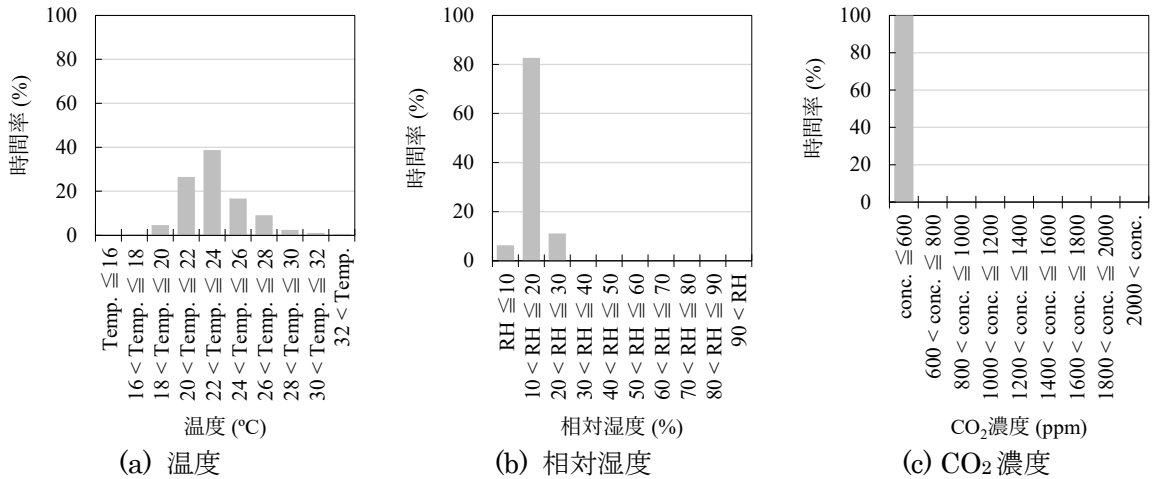


図 3-1-78 室内環境ヒストグラム (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

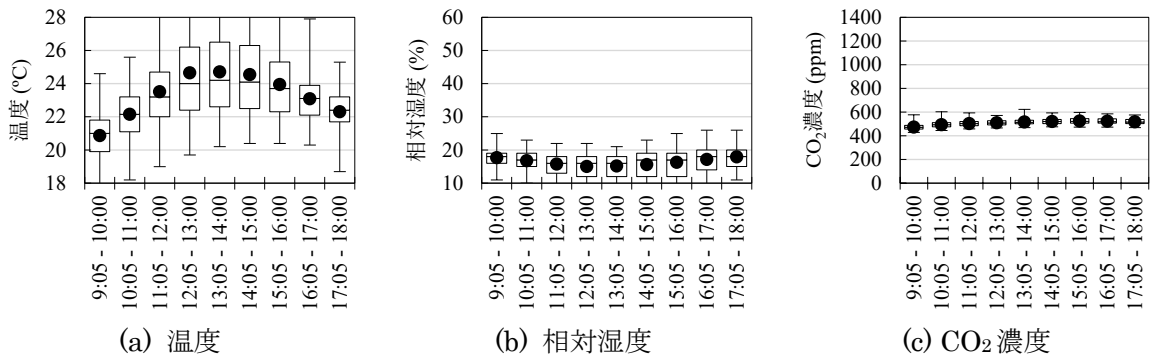


図 3-1-79 室内環境の特別結果 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

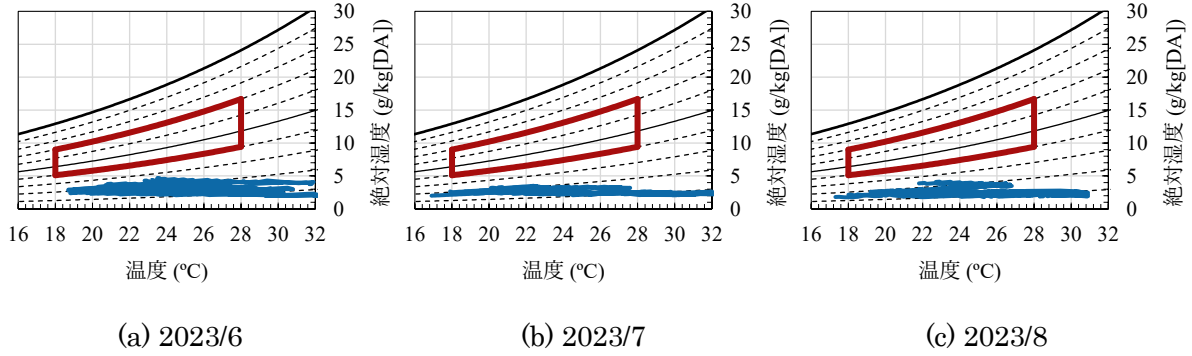


図 3-1-80 室内温湿度 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

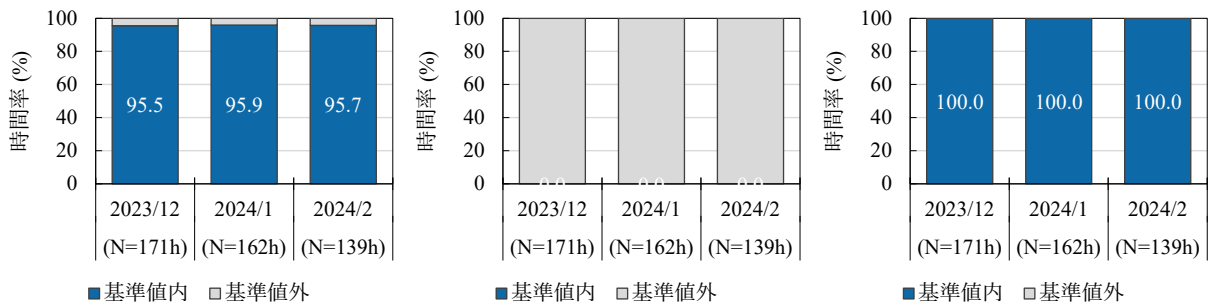


図 3-1-81 基準値内時間率 (Bビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

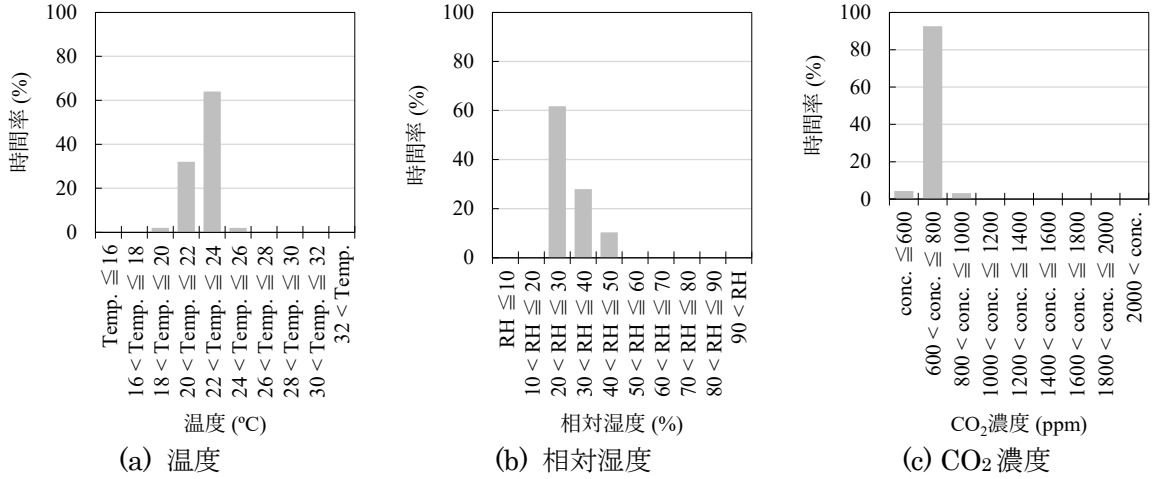


図 3-1-82 室内環境ヒストグラム (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

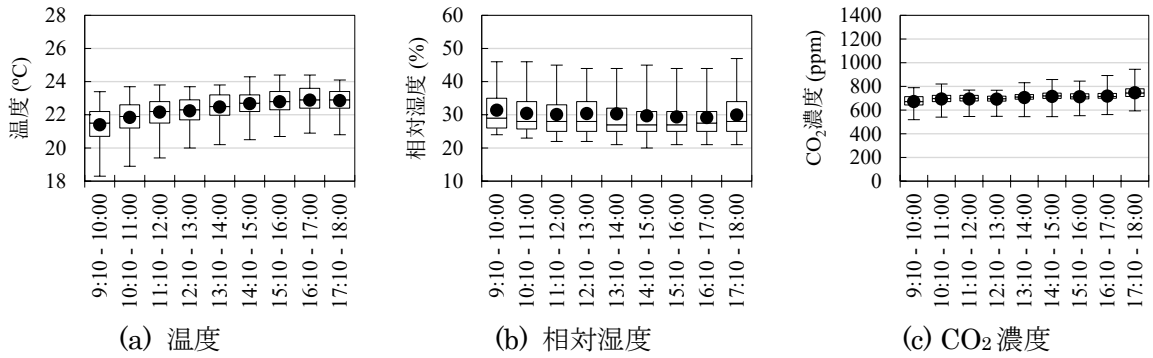


図 3-1-83 室内環境の特別結果 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

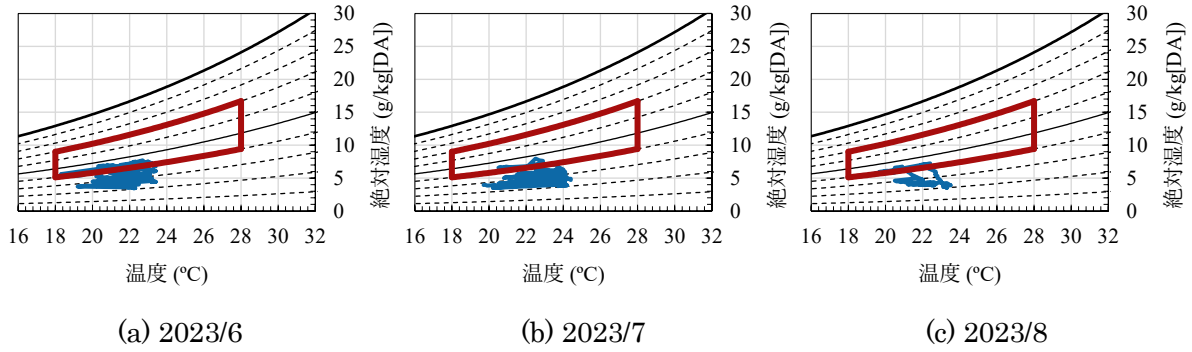


図 3-1-84 室内温湿度 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

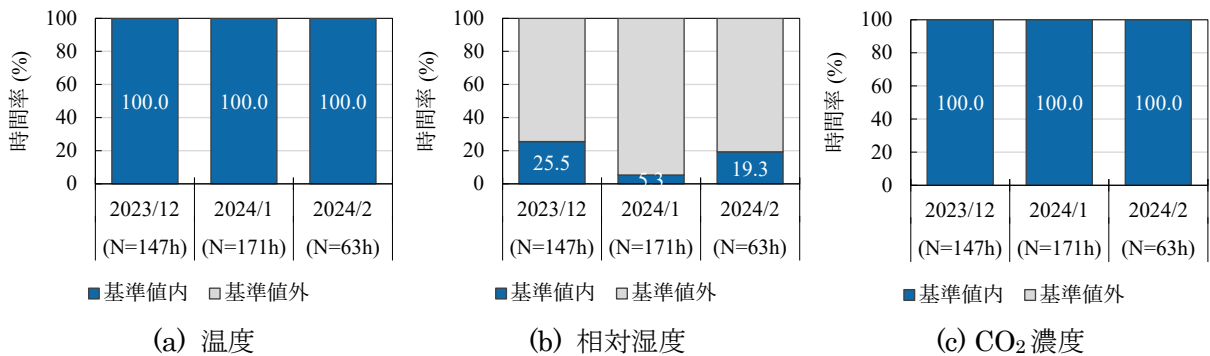


図 3-1-85 基準値内時間率 (Cビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

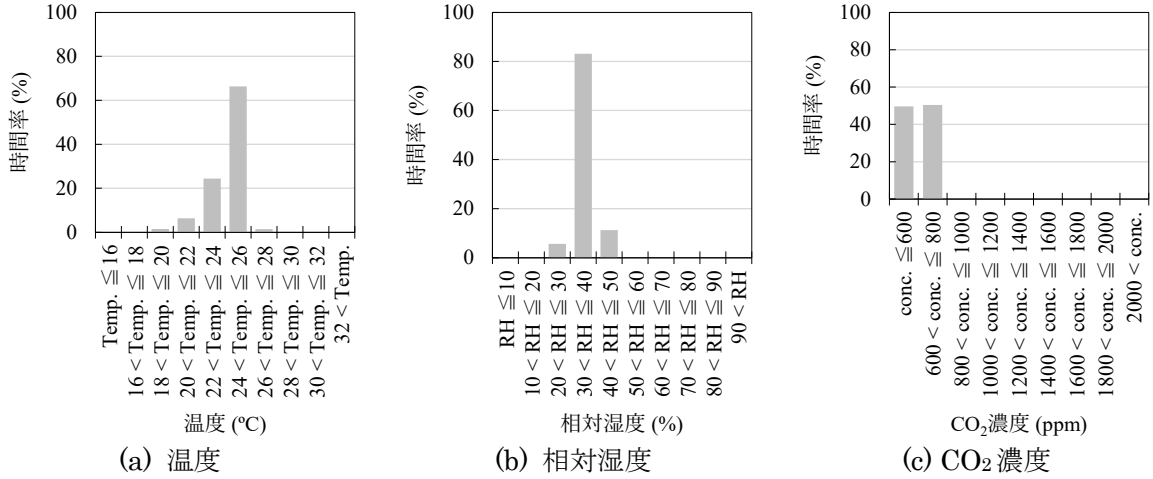


図 3-1-86 室内環境ヒストグラム (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

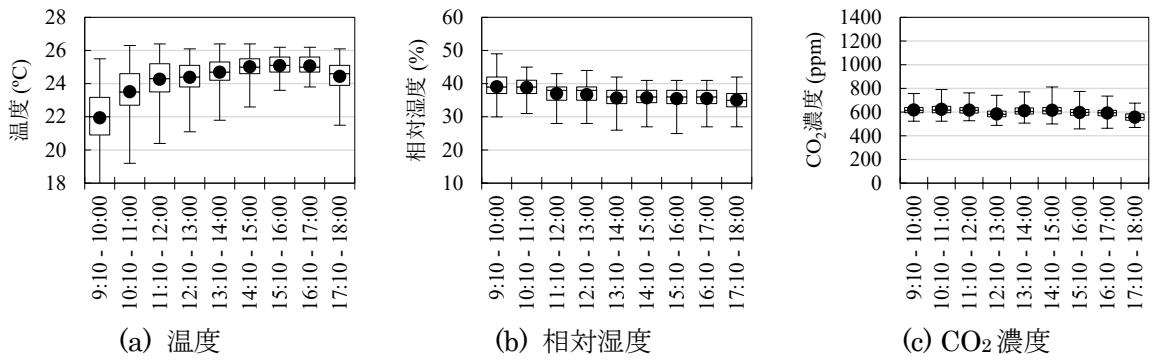


図 3-1-87 室内環境の時別結果 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

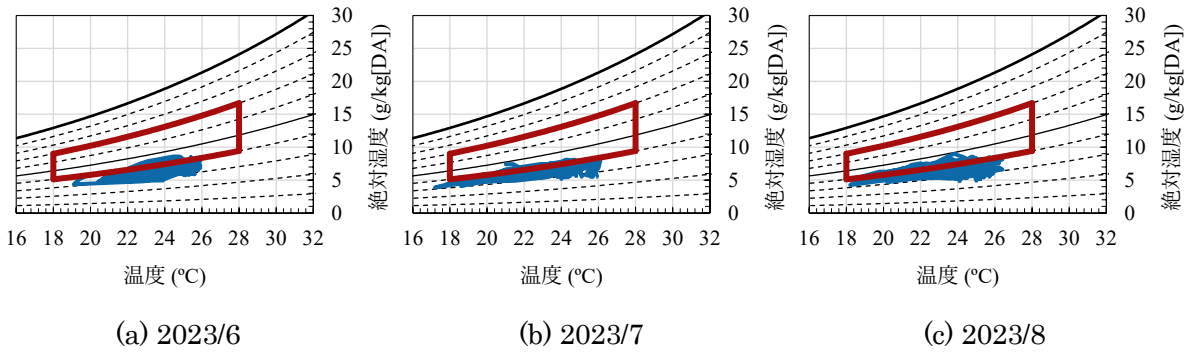


図 3-1-88 室内温湿度 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

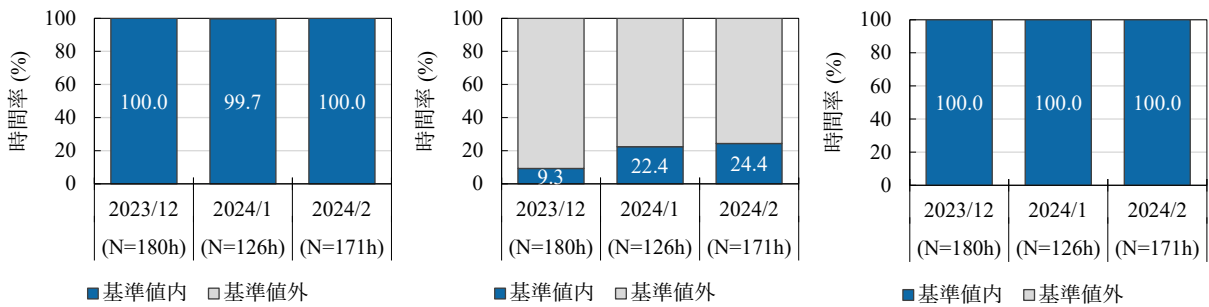


図 3-1-89 基準値内時間率 (Dビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

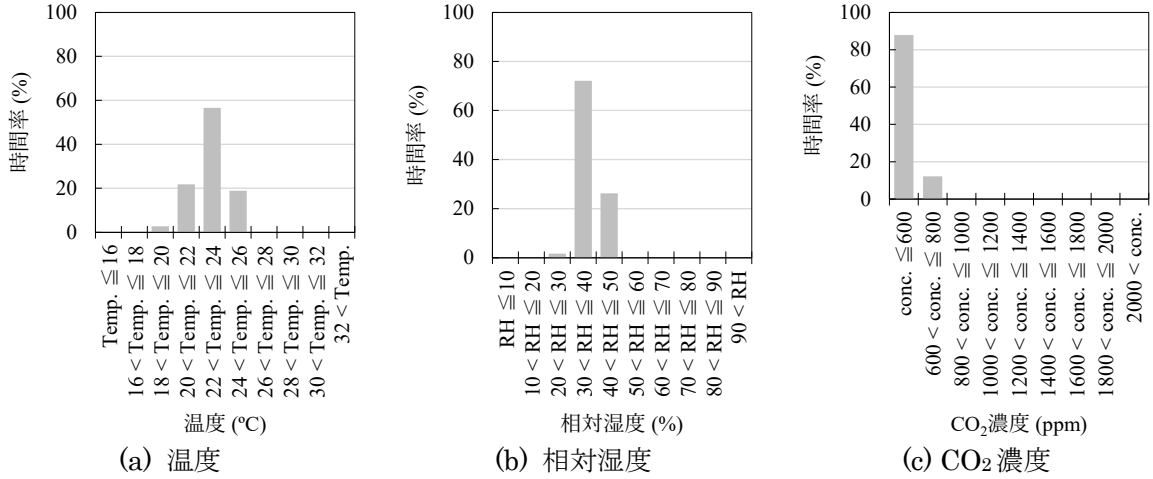


図 3-1-90 室内環境ヒストグラム (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

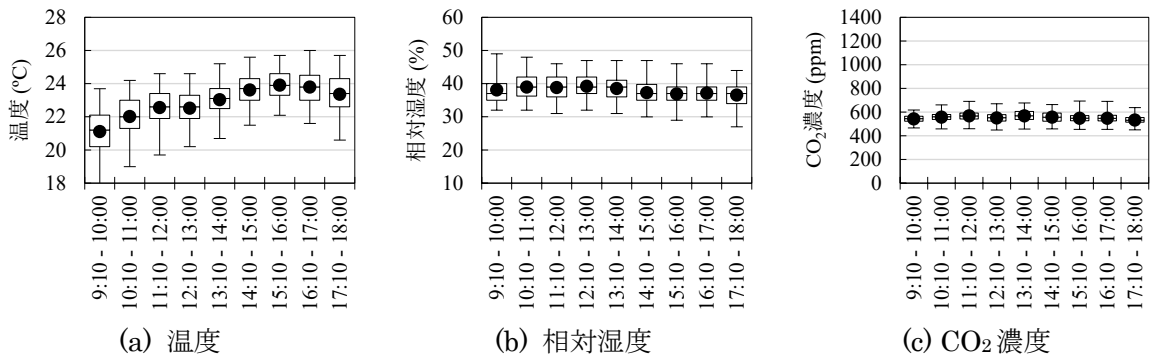


図 3-1-91 室内環境の特別結果 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

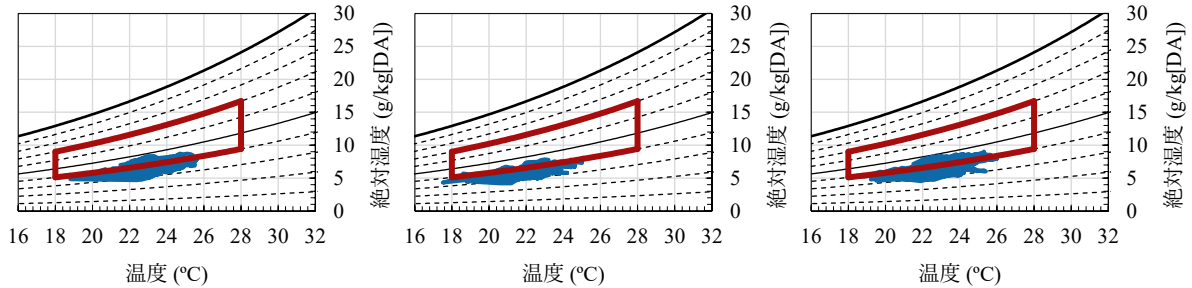


図 3-1-92 室内温湿度 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

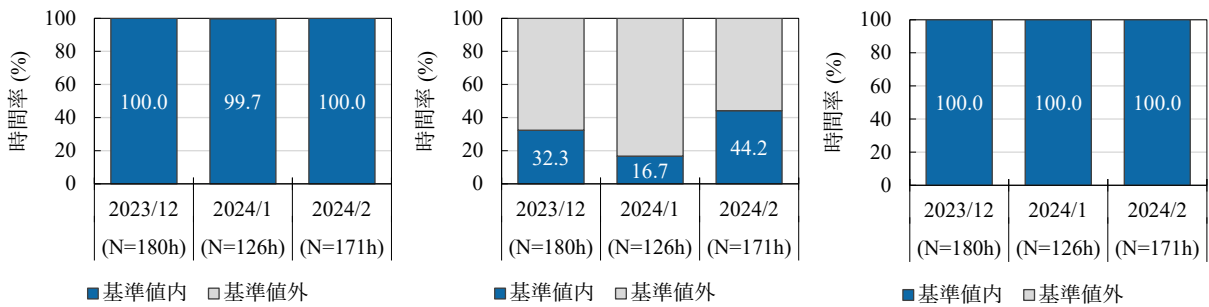


図 3-1-93 基準値内時間率 (Dビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

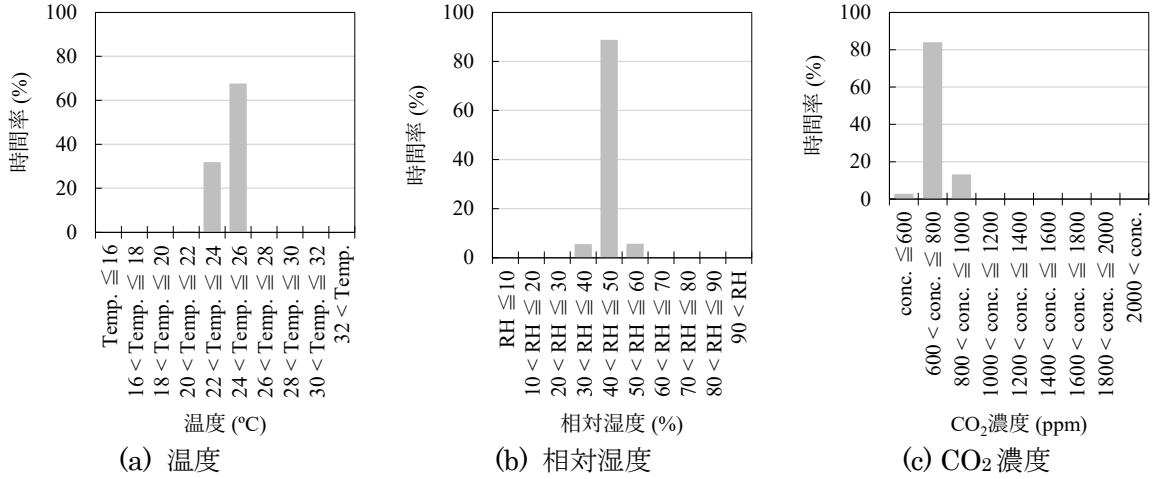


図 3-1-94 室内環境ヒストグラム (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

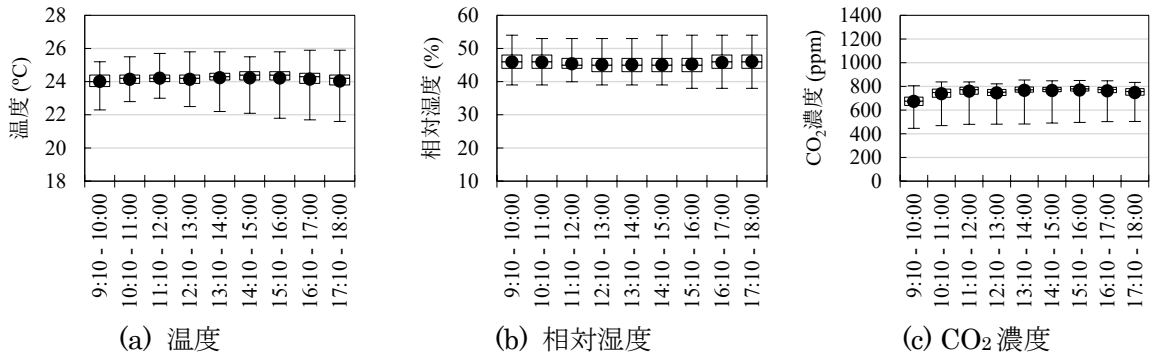


図 3-1-95 室内環境の特別結果 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

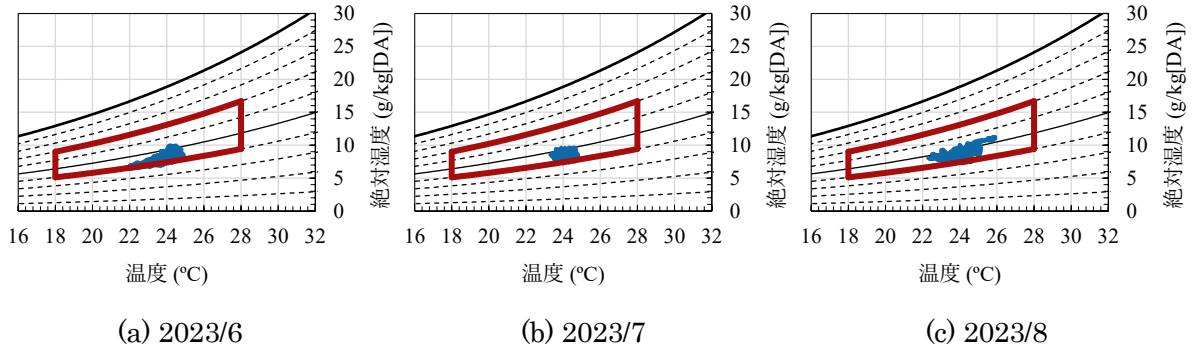


図 3-1-96 室内温湿度 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

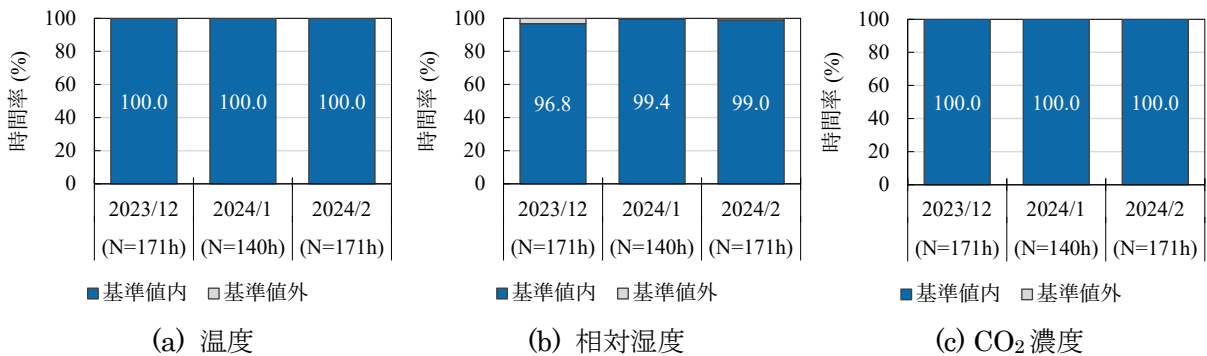


図 3-1-97 基準値内時間率 (Eビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

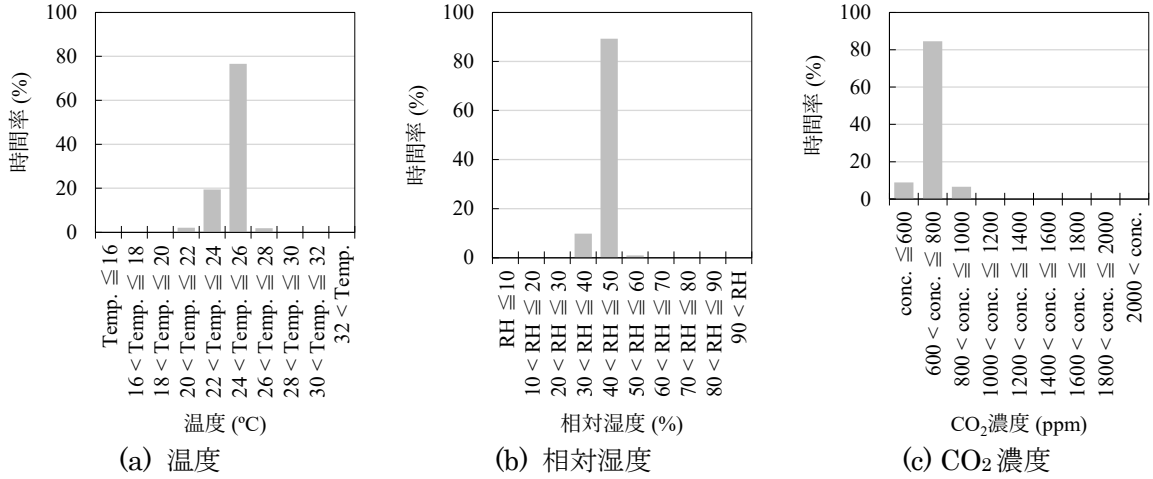


図 3-1-98 室内環境ヒストグラム (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

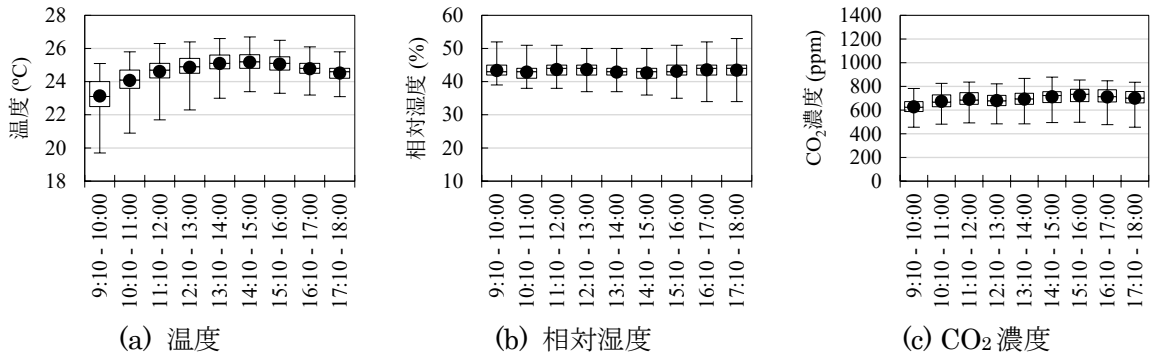


図 3-1-99 室内環境の特別結果 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

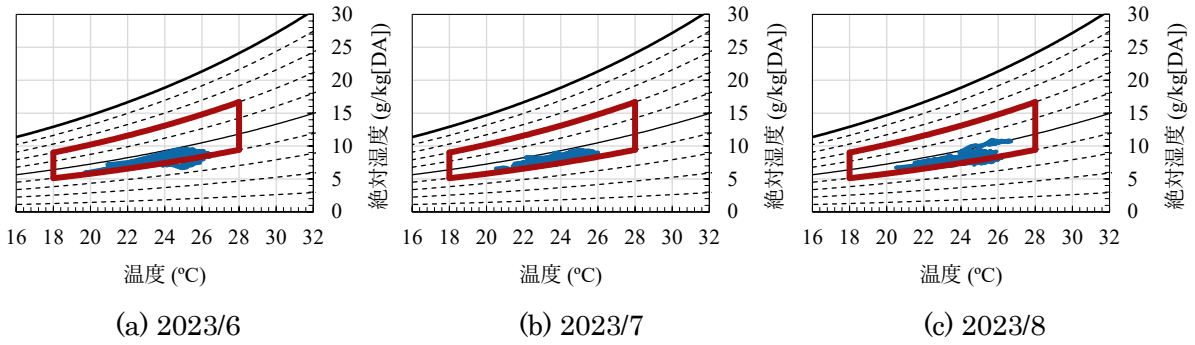


図 3-1-100 室内温湿度 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

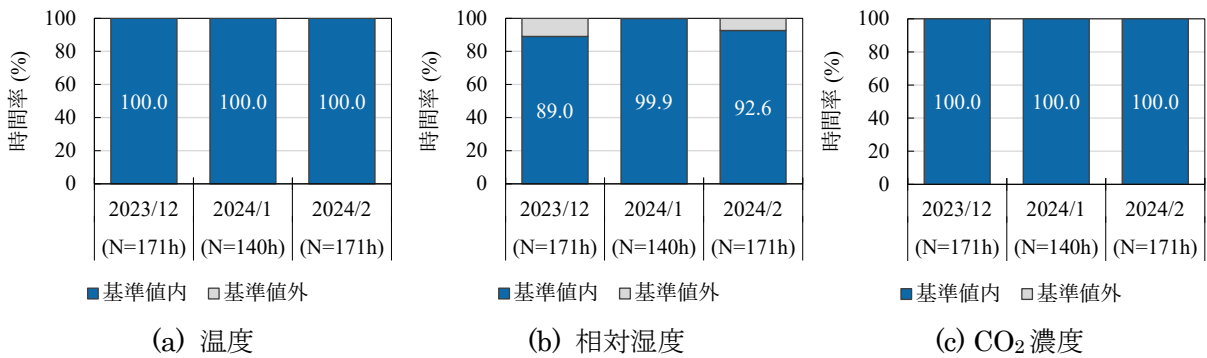


図 3-1-101 基準値内時間率 (Fビル, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

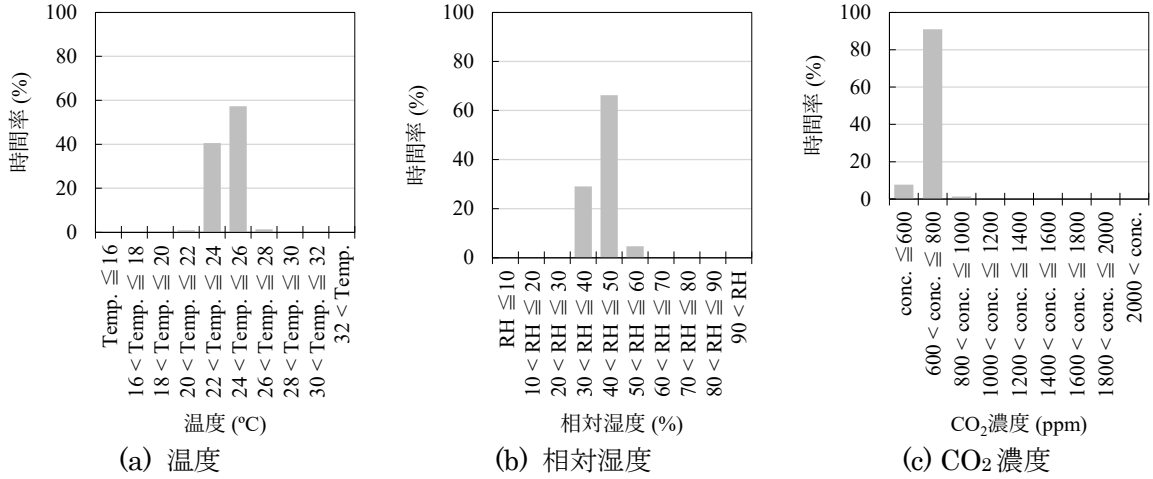


図 3-1-102 室内環境ヒストグラム (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

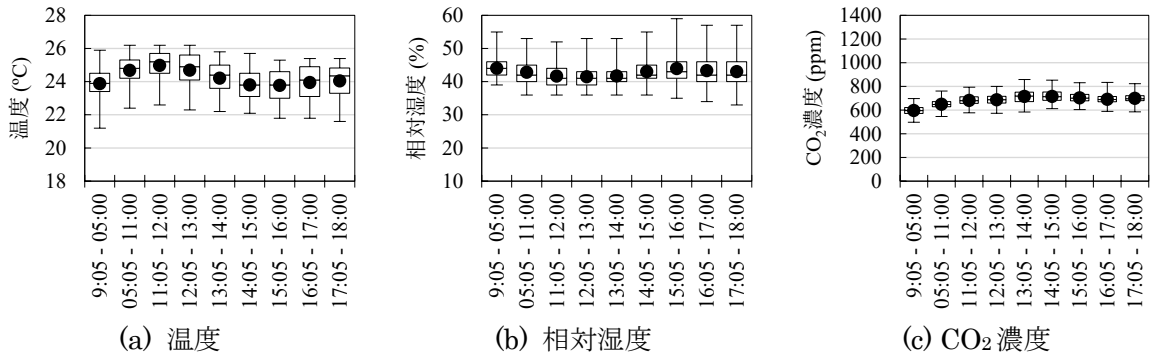


図 3-1-103 室内環境の特別結果 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

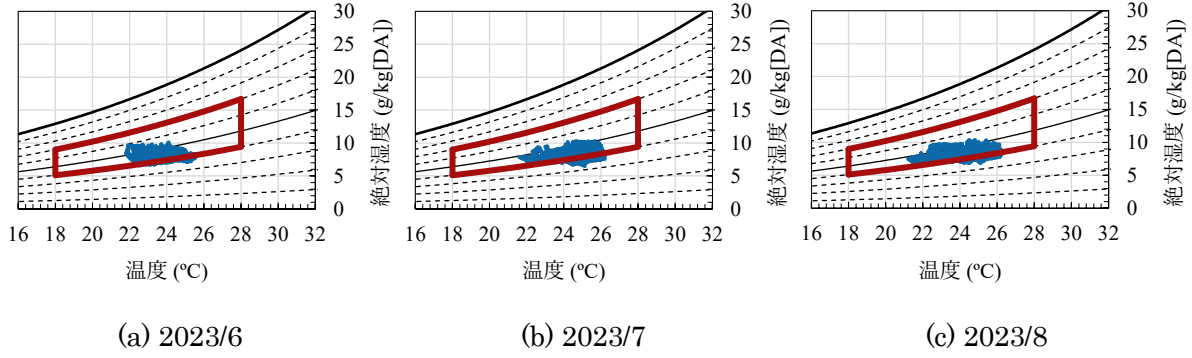


図 3-1-104 室内温湿度 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

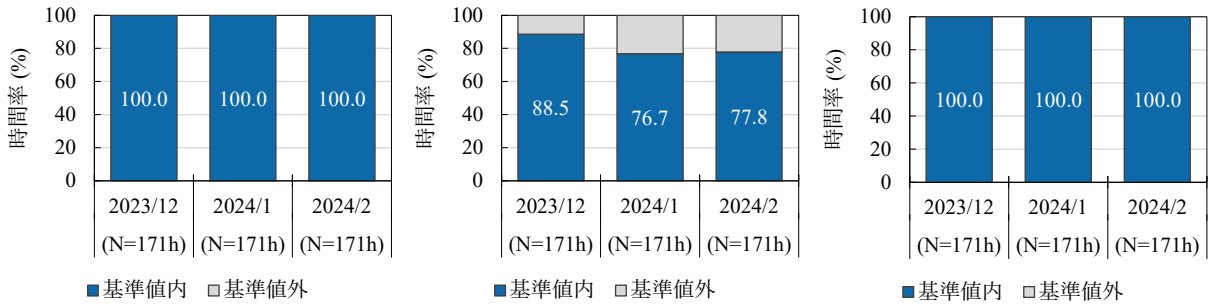


図 3-1-105 基準値内時間率 (Gビル1階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

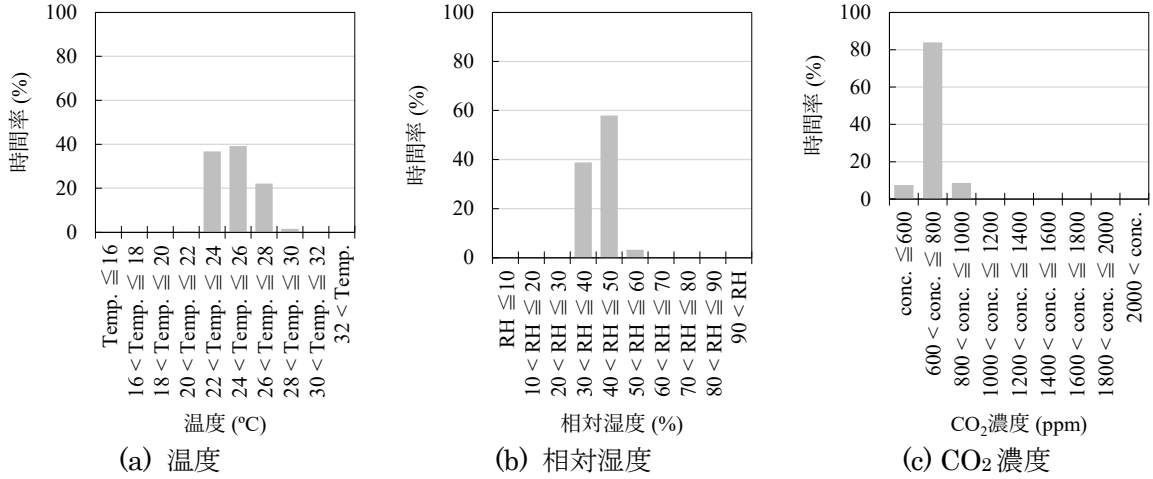


図 3-1-106 室内環境ヒストグラム (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

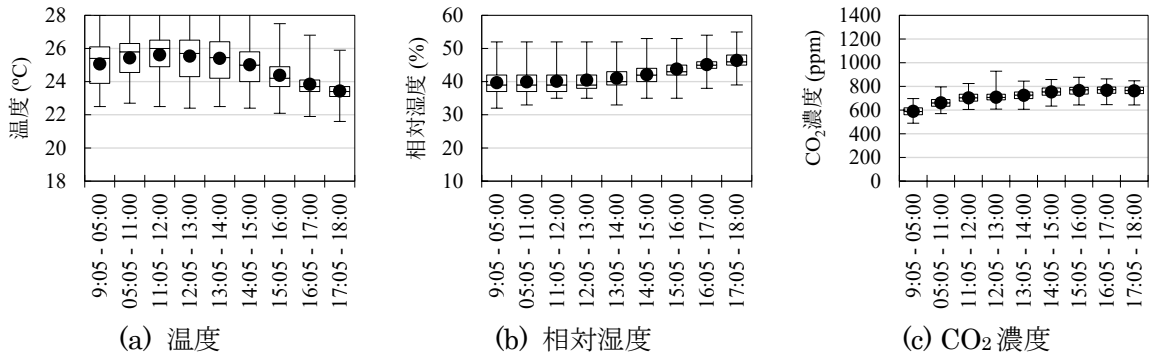


図 3-1-107 室内環境の特別結果 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

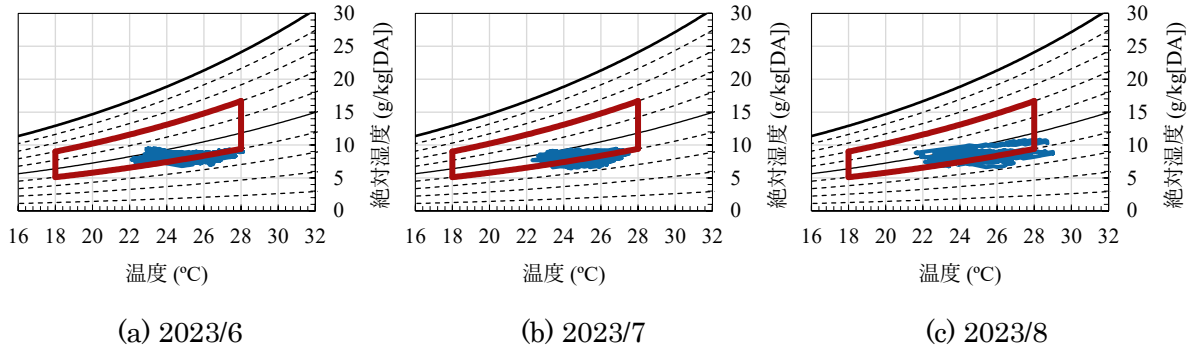


図 3-1-108 室内温湿度 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

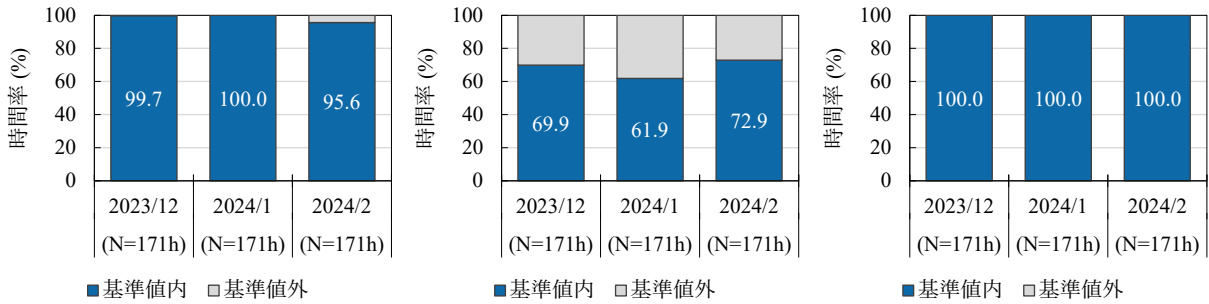


図 3-1-109 基準値内時間率 (Gビル3階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18 時)

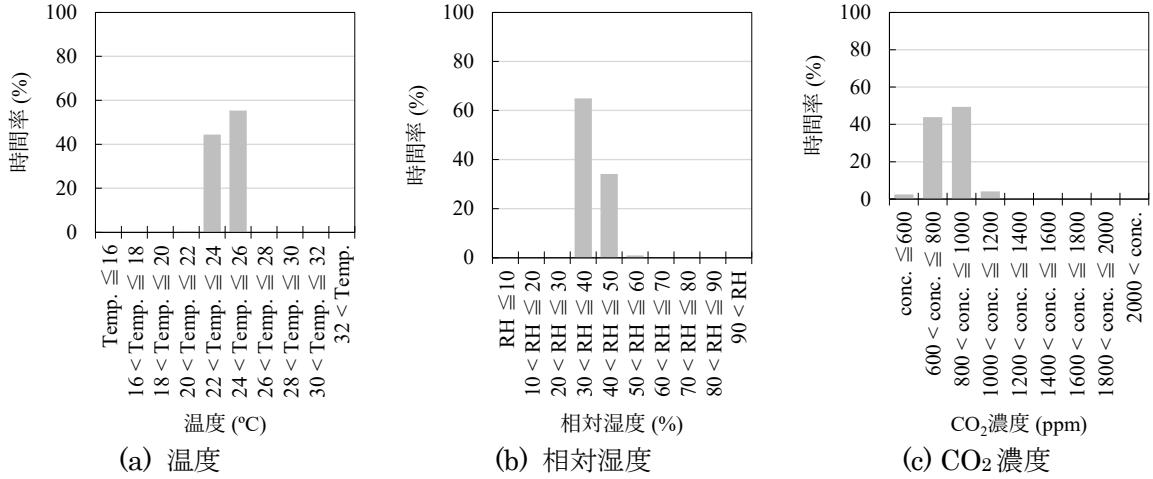


図 3-1-110 室内環境ヒストグラム (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

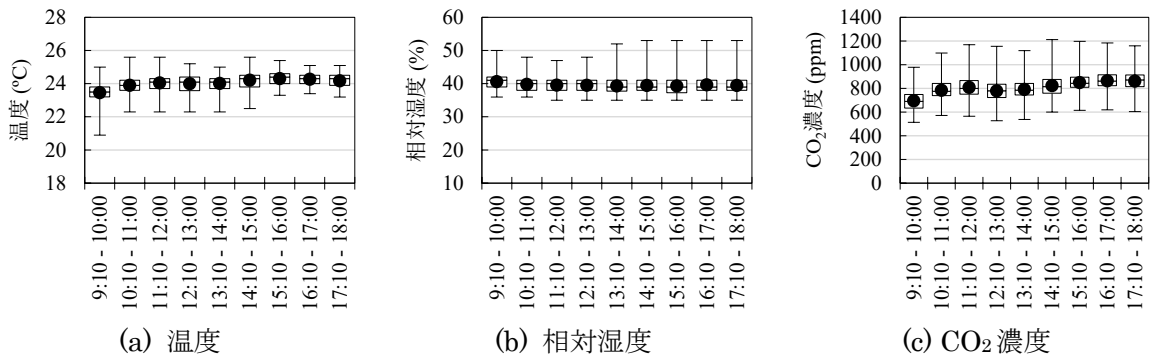


図 3-1-111 室内環境の特別結果 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

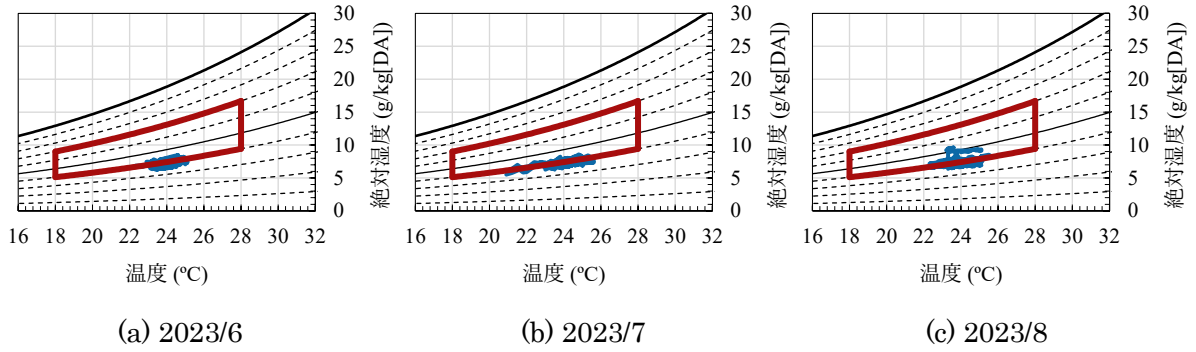


図 3-1-112 室内温湿度 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

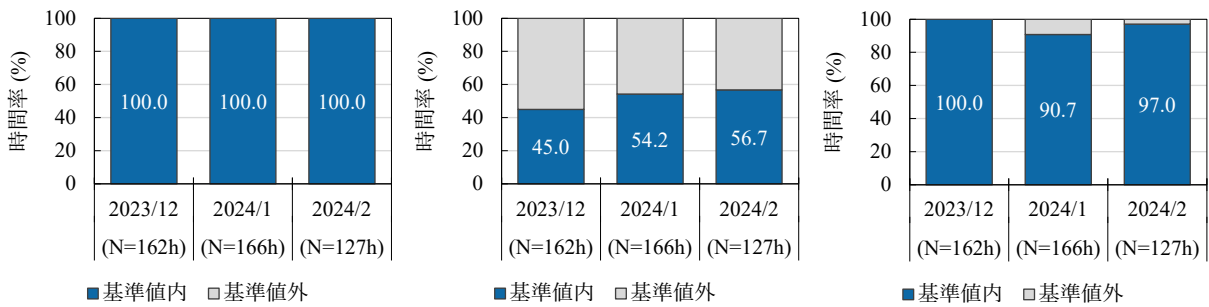


図 3-1-113 基準値内時間率 (Hビル4階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

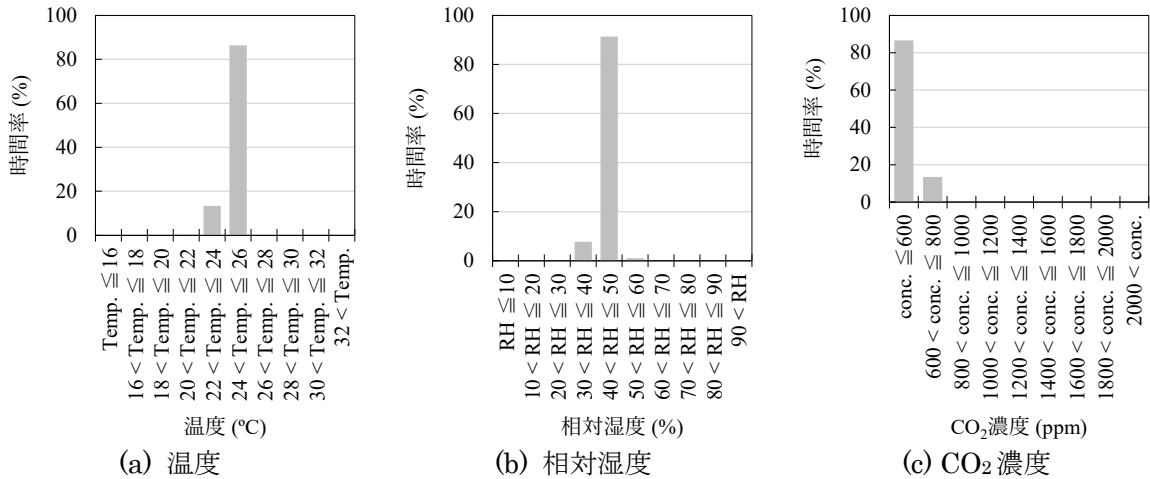


図 3-1-114 室内環境ヒストグラム (Hビル 6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

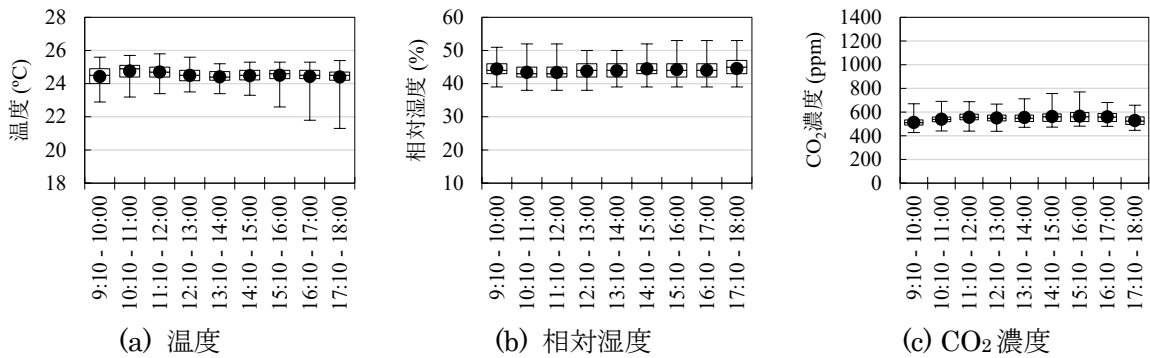


図 3-1-115 室内環境の特別結果 (Hビル 6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

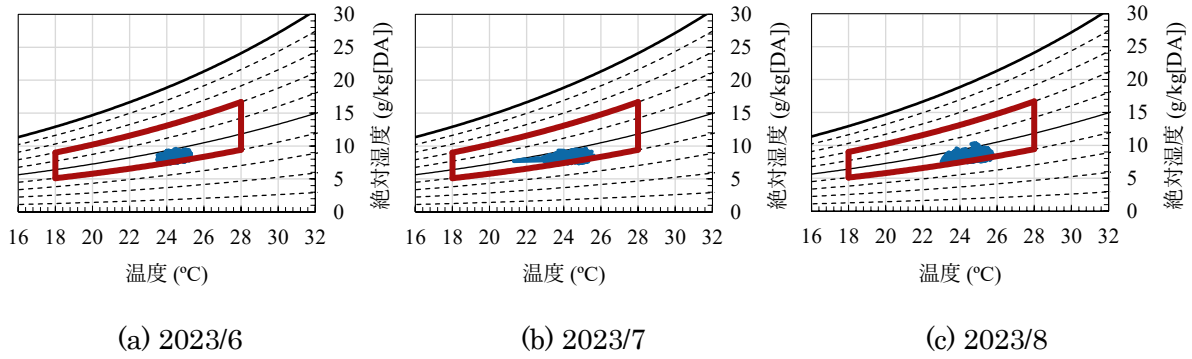


図 3-1-116 室内温湿度 (Hビル 6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)

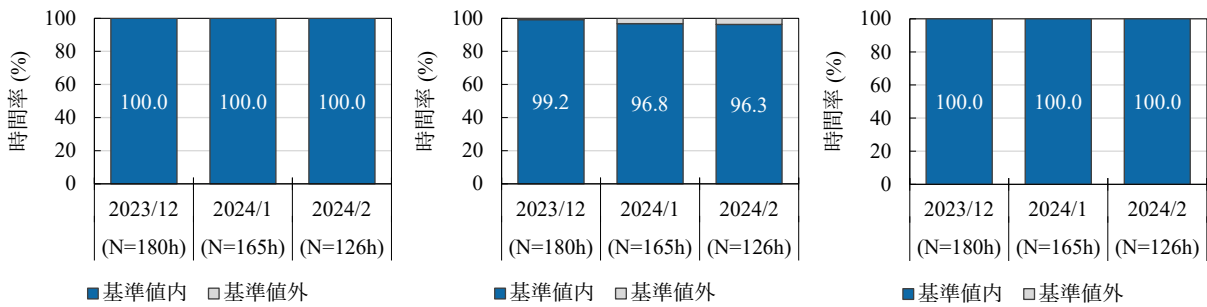
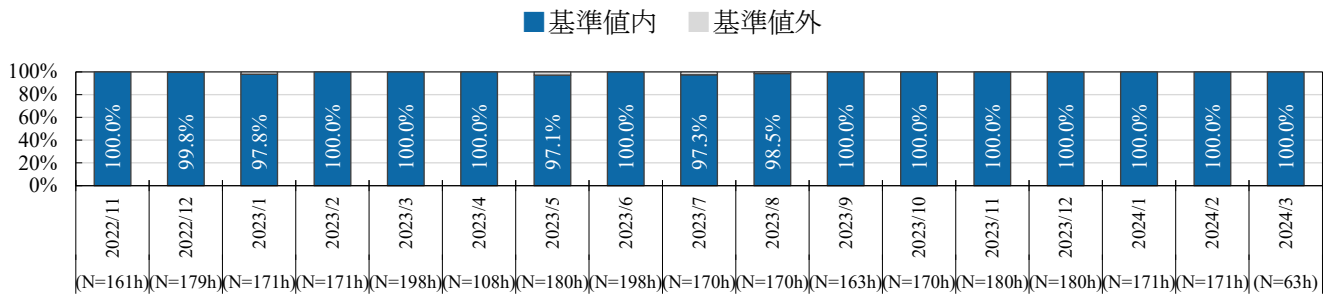
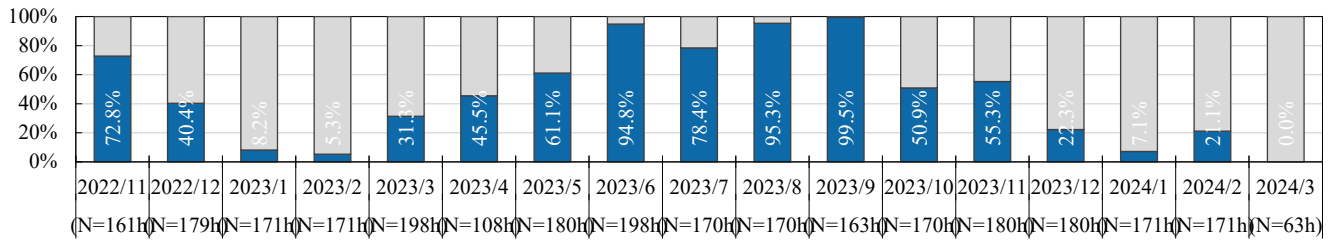


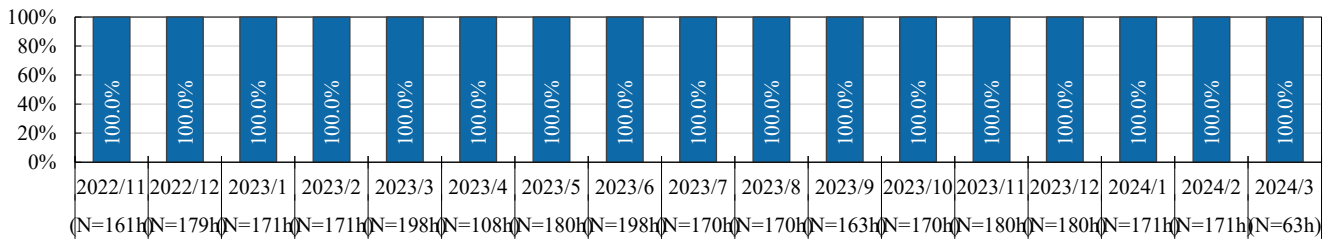
図 3-1-117 基準値内時間率 (Hビル 6階, 2023/12 - 2024/2, 平日 9 - 18時)



(1) 温度

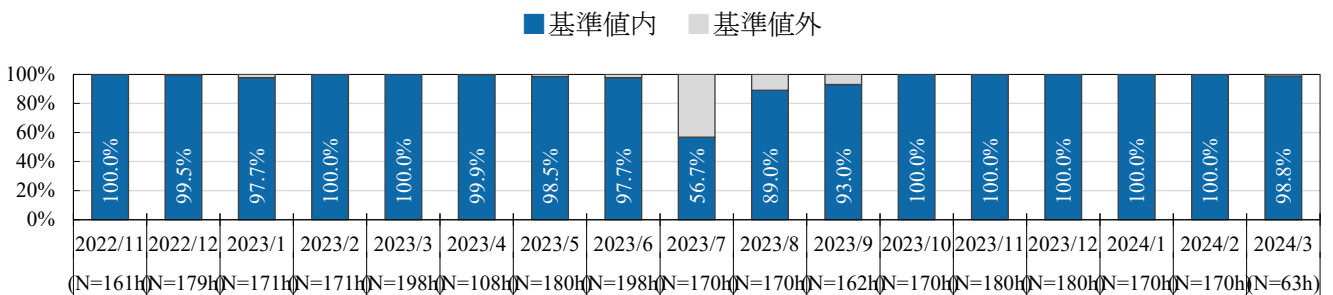


(2) 相対湿度

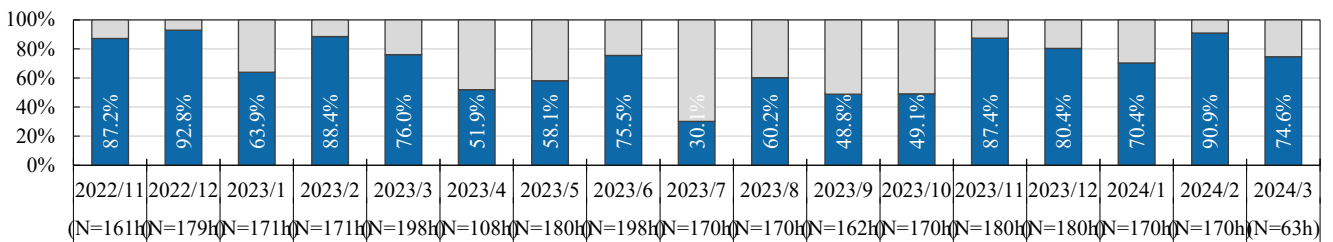


(3) CO₂濃度

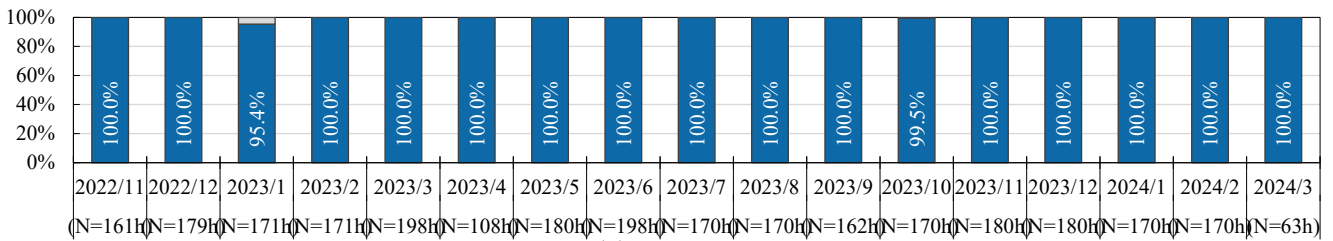
図 3-1-118 基準値内時間率 (Aビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

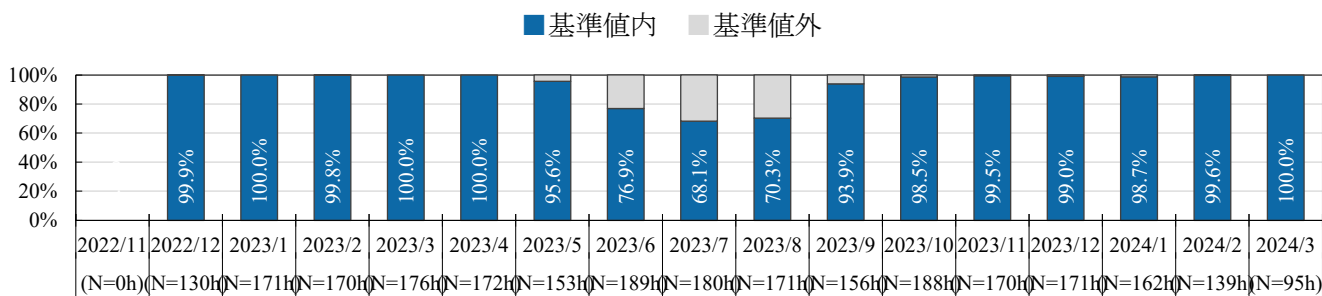


(2) 相対湿度

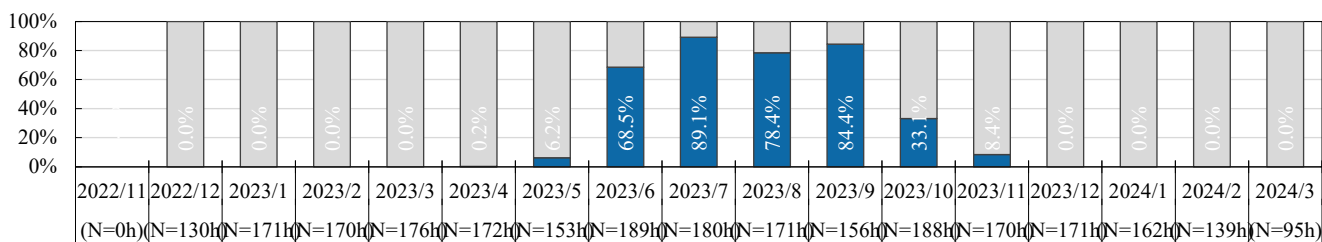


(3) CO₂濃度

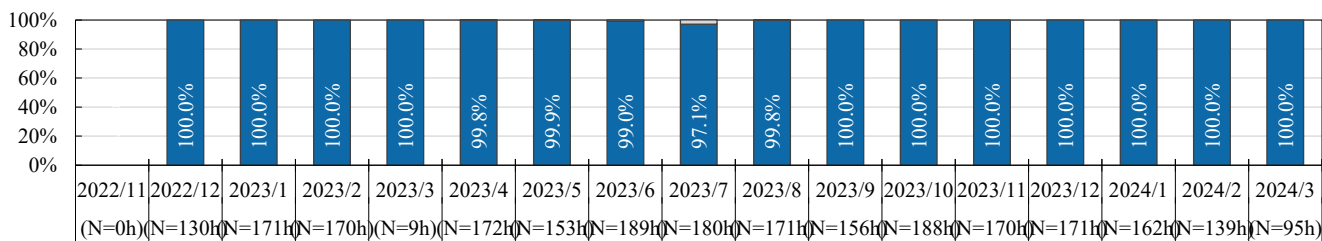
図 3-1-119 基準値内時間率 (Aビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度

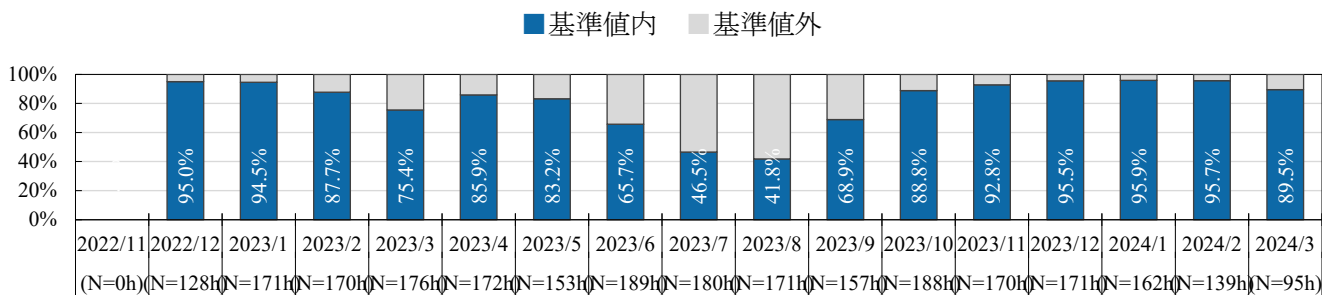


(2) 相対湿度

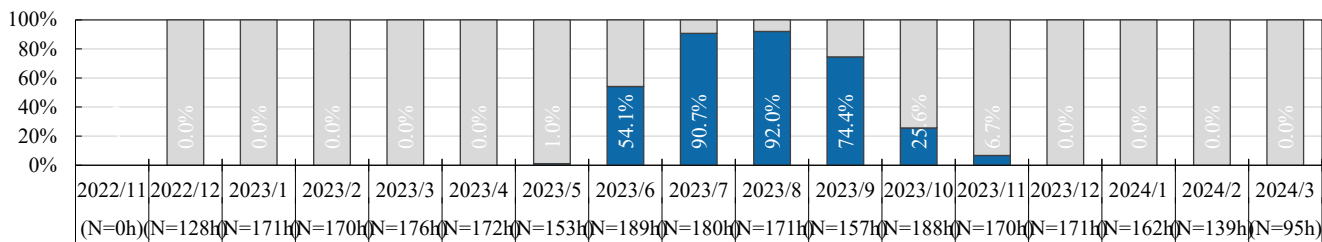


(3) CO₂濃度

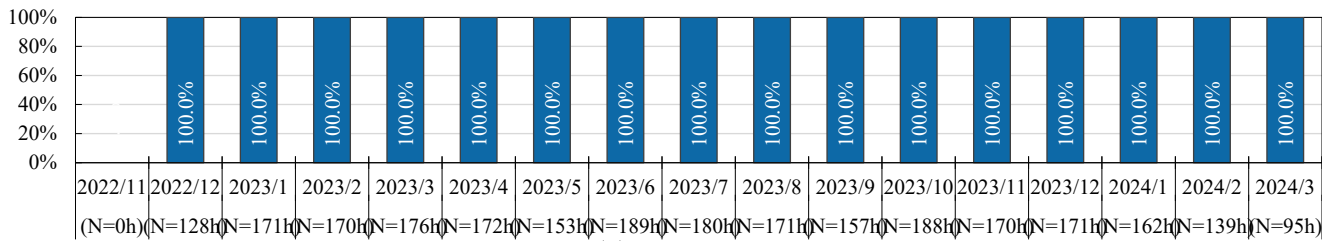
図 3-1-120 基準値内時間率 (Bビル1階, 平日9-18時)



(1) 温度

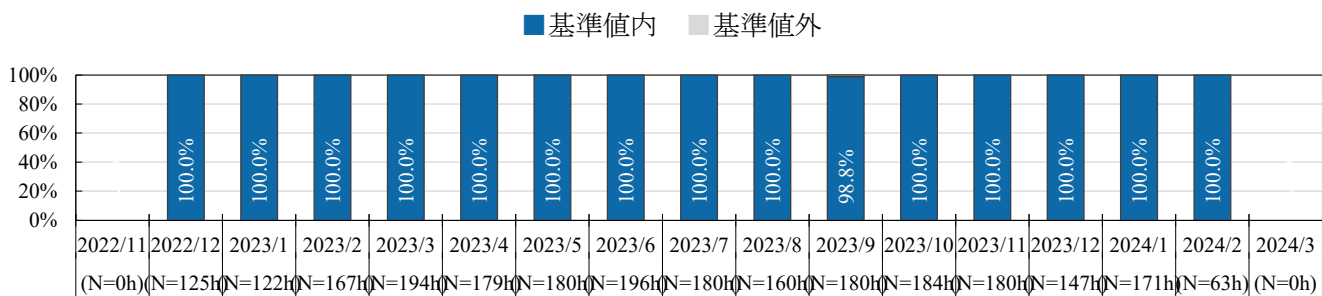


(2) 相対湿度

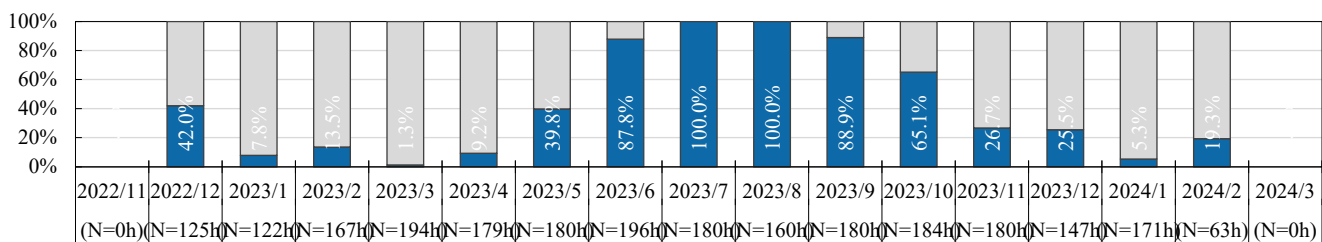


(3) CO₂濃度

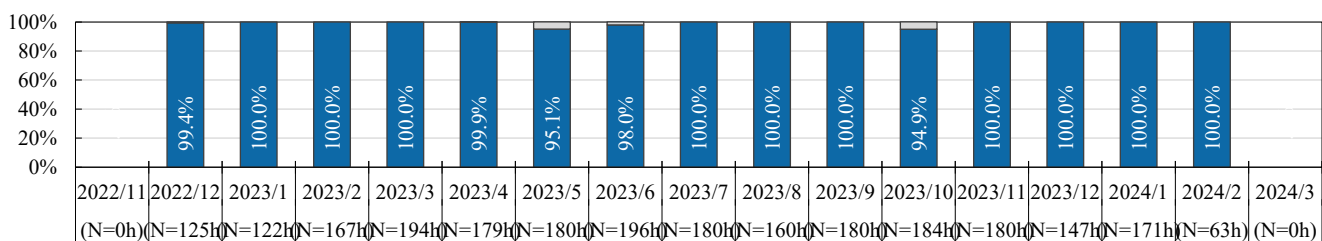
図 3-1-121 基準値内時間率 (Bビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度

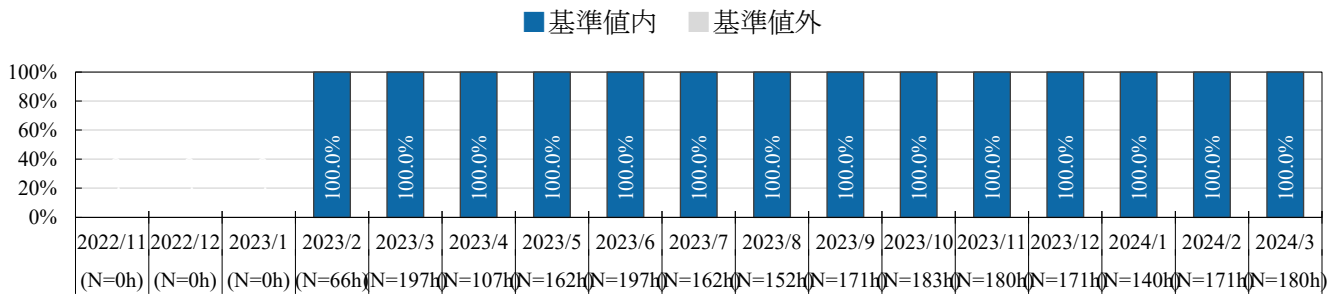


(2) 相对湿度

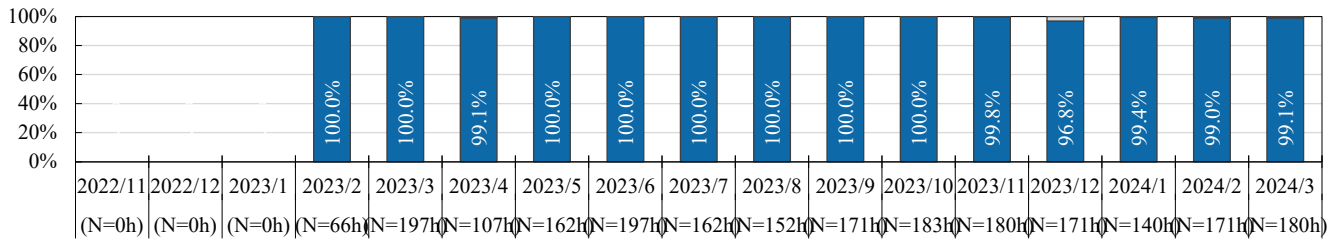


(3) CO₂濃度

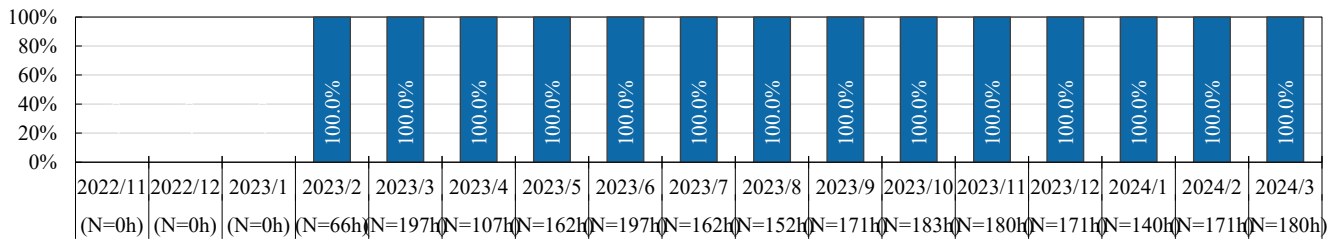
図 3-1-122 基準値内時間率 (Cビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

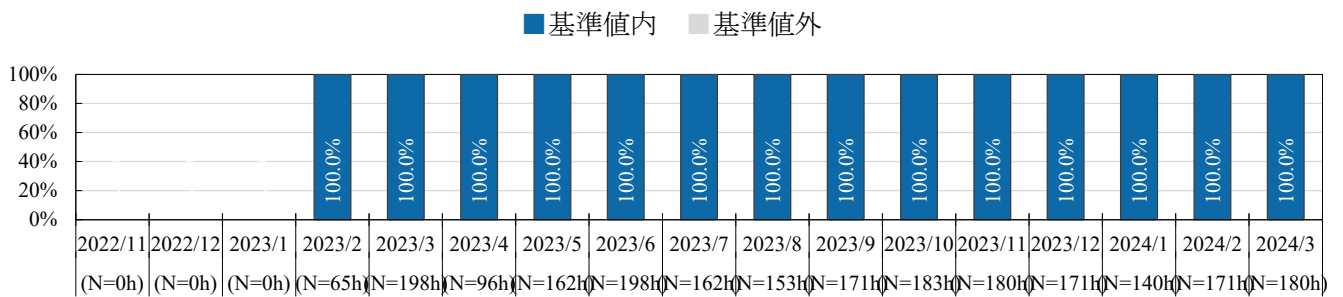


(2) 相対湿度

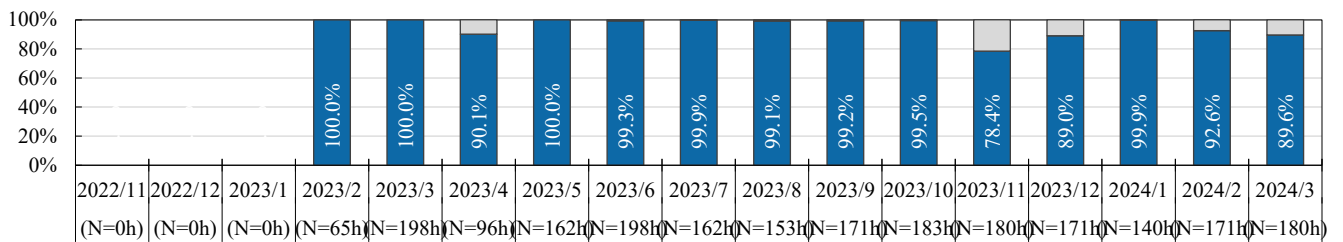


(3) CO₂濃度

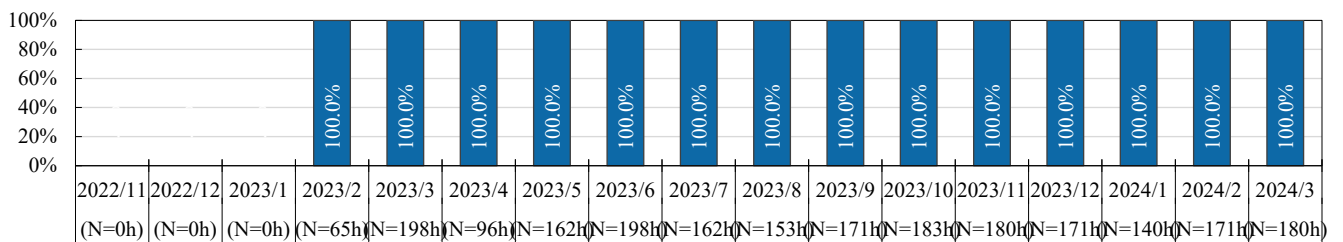
図 3-1-123 基準値内時間率 (Eビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

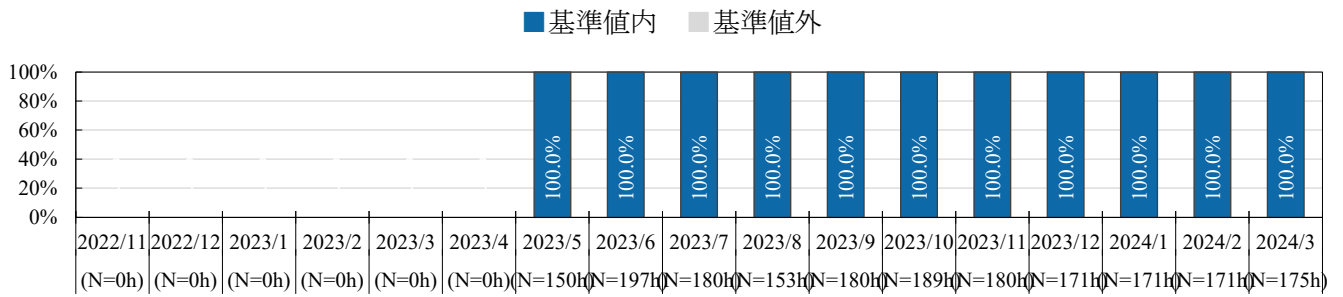


(2) 相対湿度

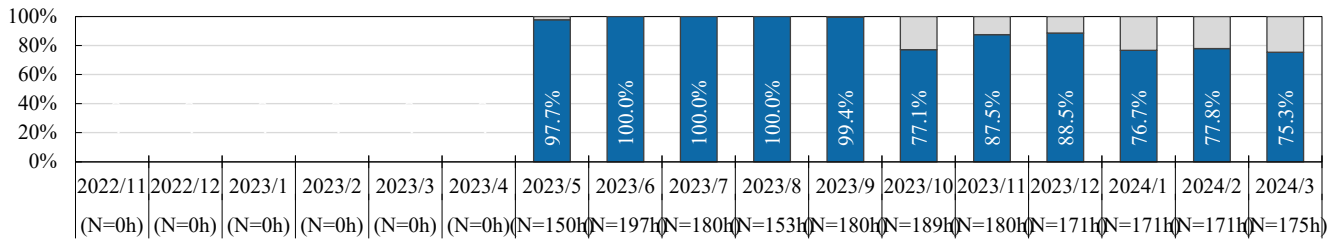


(3) CO₂濃度

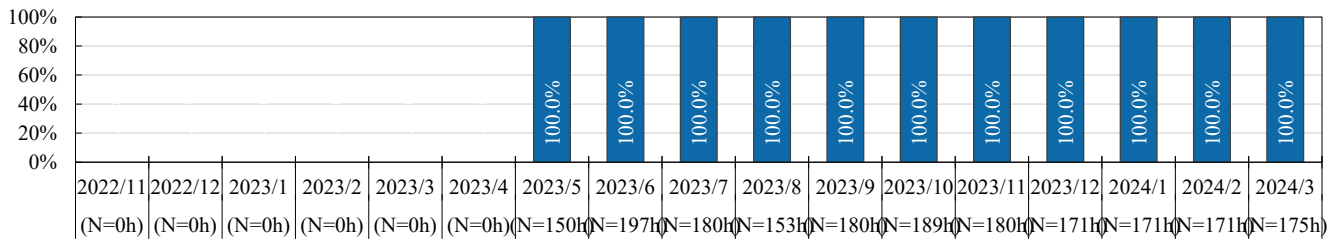
図 3-1-124 基準値内時間率 (Fビル2階, 平日9-18時)



(1) 温度

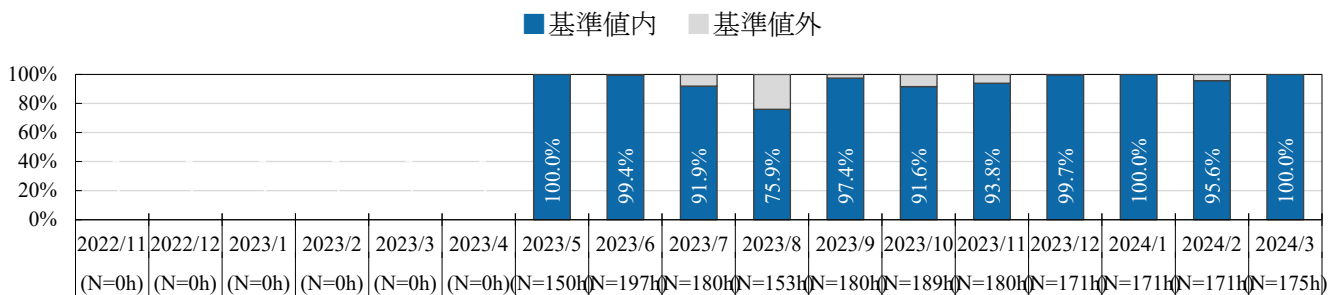


(2) 相対湿度

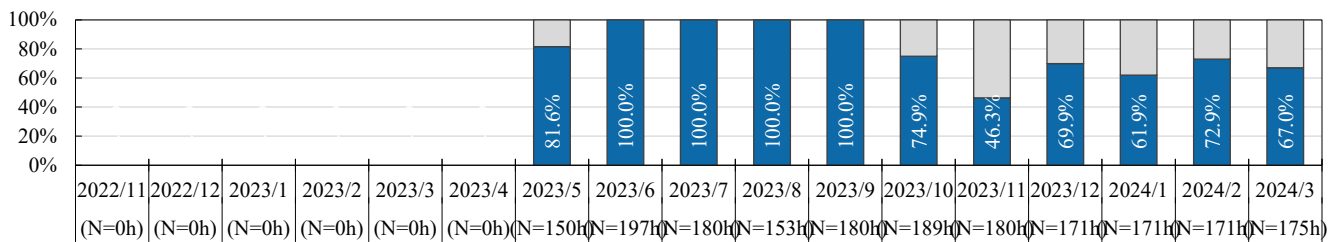


(3) CO₂濃度

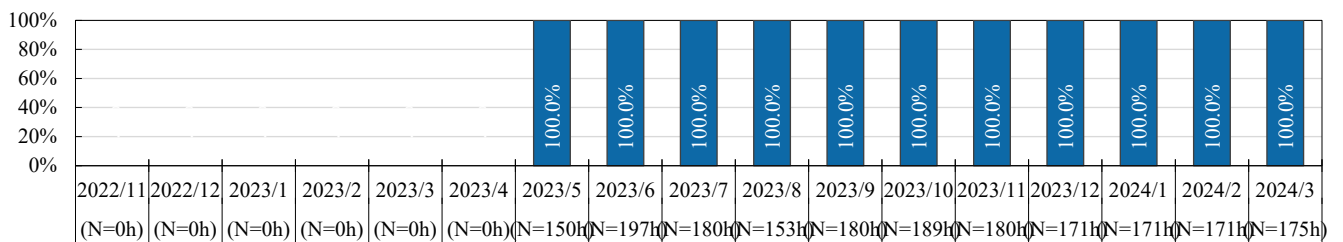
図 3-1-125 基準値内時間率 (Gビル1階, 平日9-18時)



(1) 温度

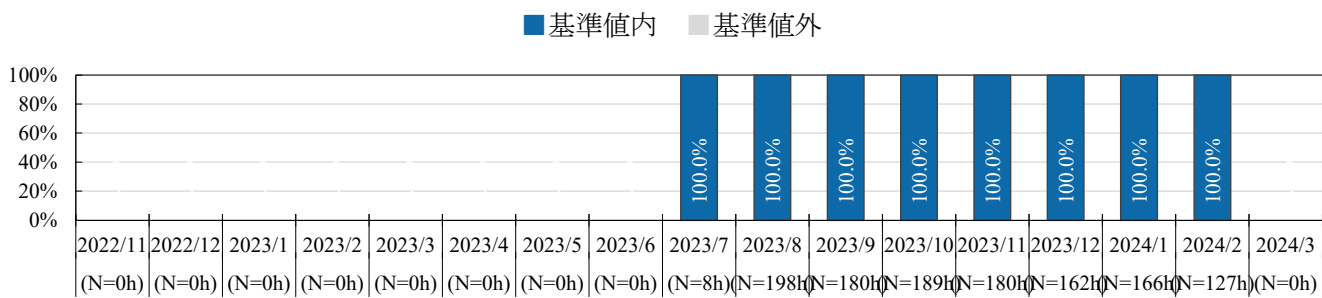


(2) 相対湿度

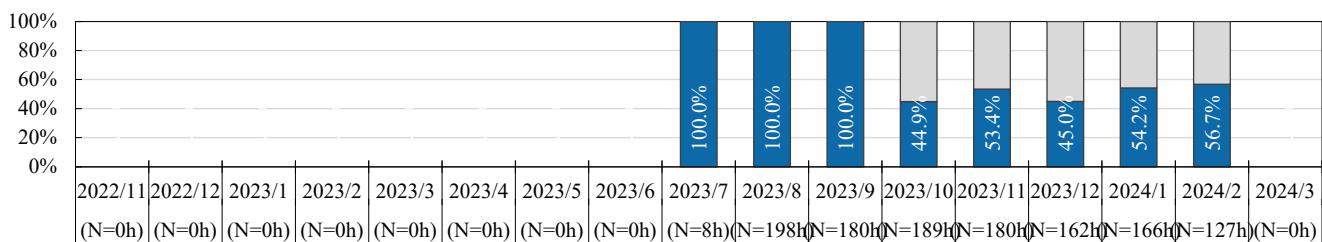


(3) CO₂濃度

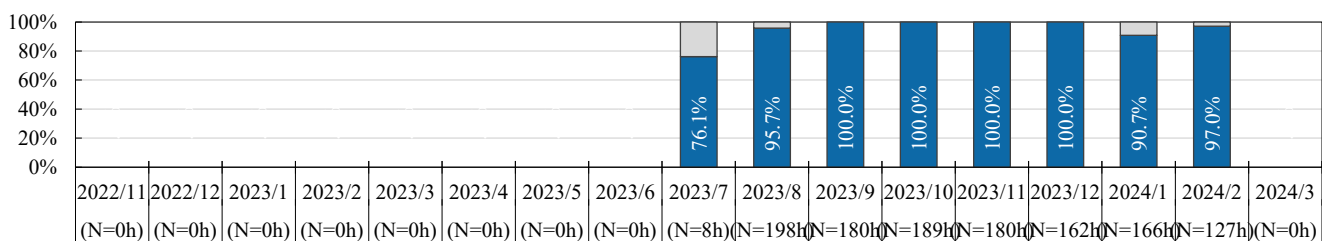
図 3-1-126 基準値内時間率 (Gビル3階, 平日9-18時)



(1) 温度

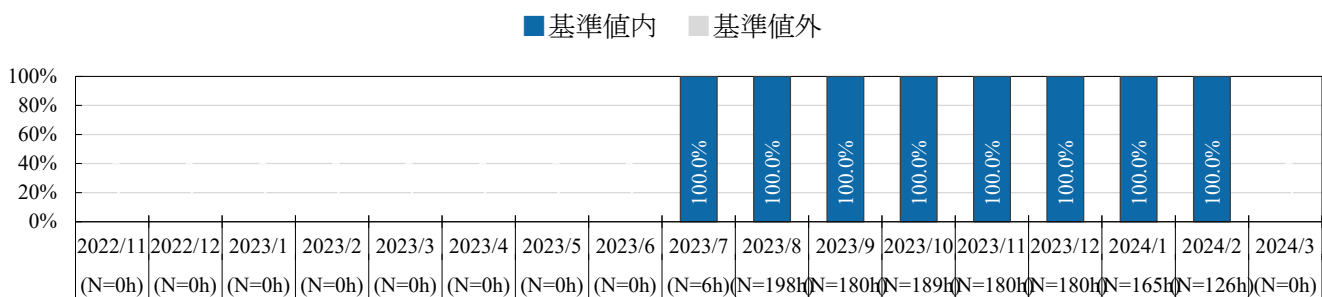


(2) 相対湿度

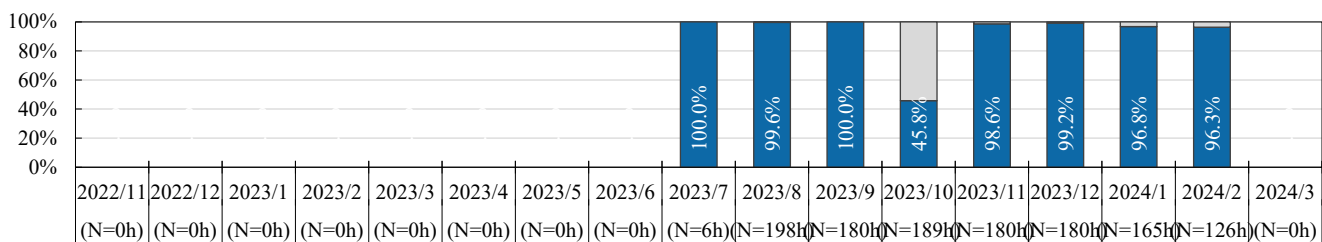


(3) CO₂濃度

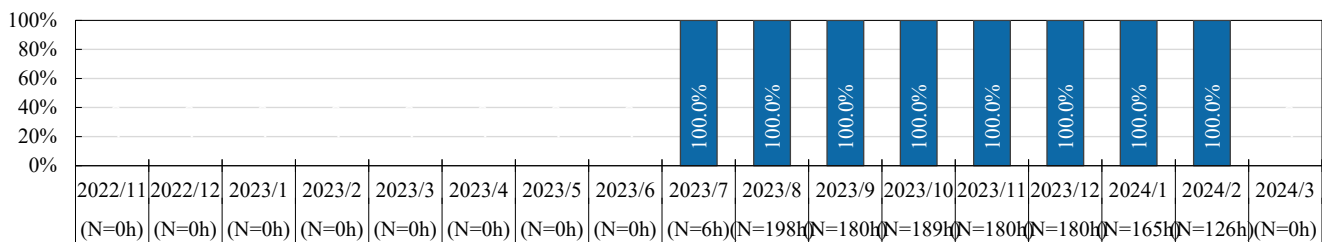
図 3-1-127 基準値内時間率 (Hビル4階, 平日9-18時)



(1) 温度



(2) 相対湿度



(3) CO₂濃度

図 3-1-128 基準値内時間率 (Hビル6階, 平日9-18時)

3-2. 現場立入測定・法定測定と小型測定器の比較検討

A. 研究目的

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

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

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

B. 研究方法

表 2-1-1 と表 2-1-2 に示す 10 件を対象に 2023

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

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

C. 研究結果

C.1. 現場立入測定と小型測定器の比較

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

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

C.2. 法定測定と小型測定器の比較

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

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

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

D. まとめ

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

E. 参考文献

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

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

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

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

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

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

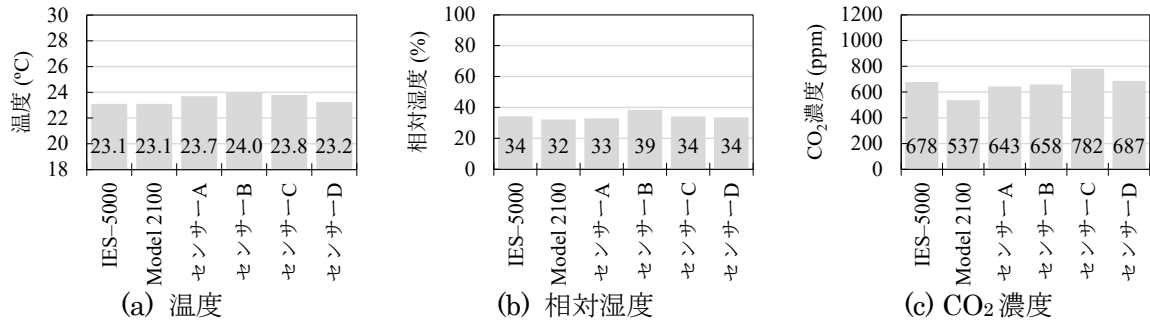


図 3-2-1 小型測定器と現場立入測定の比較 (A ビル 2 階, 2023/2/17 10:10)

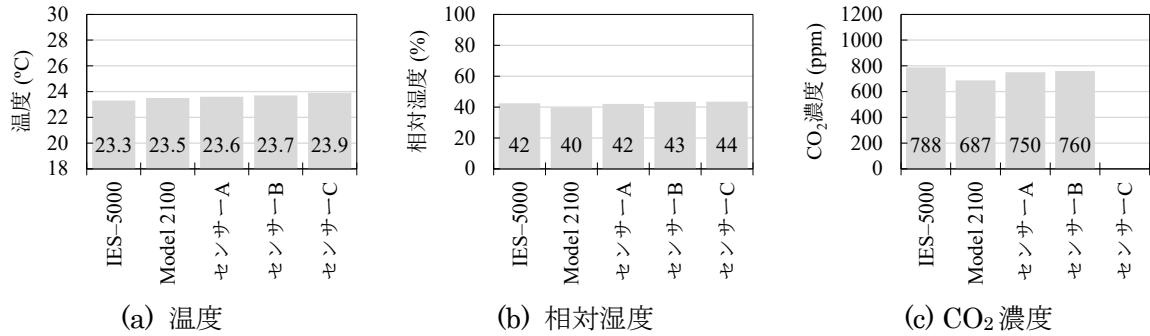


図 3-2-2 小型測定器と現場立入測定の比較 (A ビル 3 階, 2023/2/17 10:30)

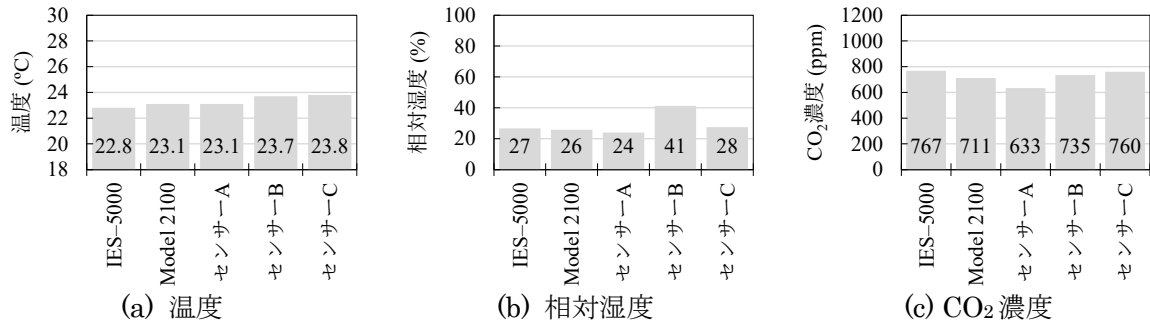


図 3-2-3 小型測定器と現場立入測定の比較 (B ビル 1 階, 2022/12/8 15:10)

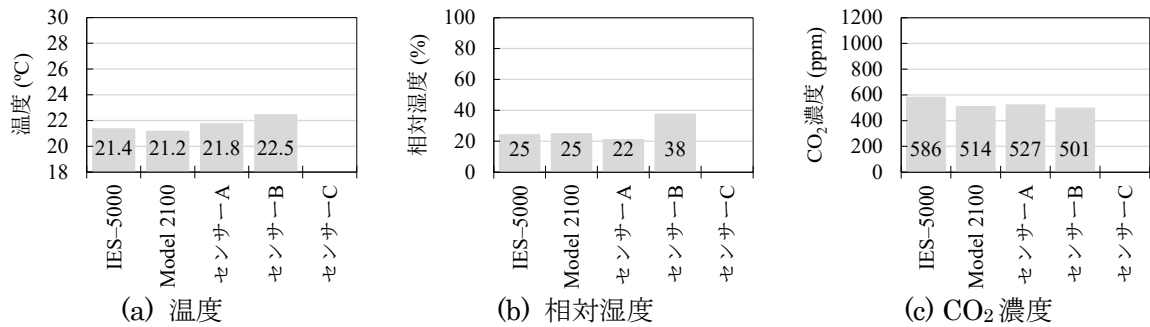


図 3-2-4 小型測定器と現場立入測定の比較 (B ビル 3 階, 2022/12/8 15:50)

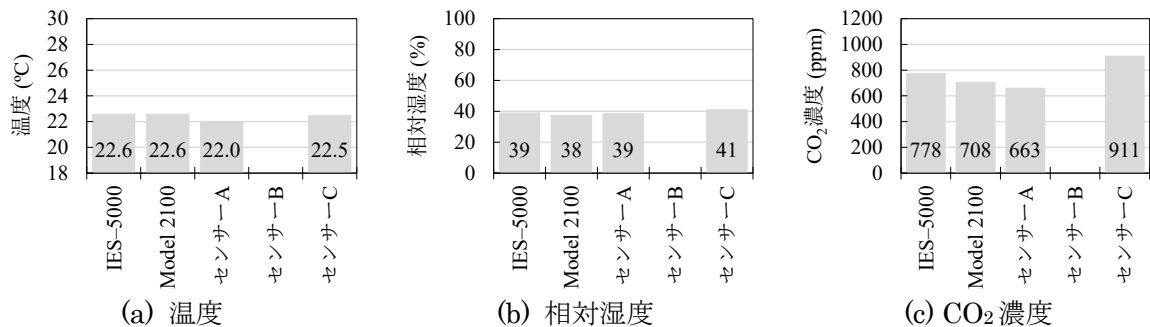


図 3-2-5 小型測定器と現場立入測定の比較 (C ビル 2 階, 2022/12/9 10:30)

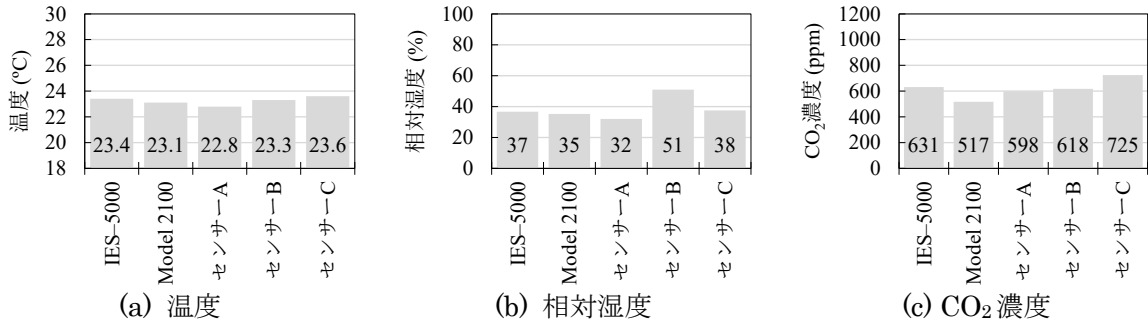


図 3-2-6 小型測定器と現場立入測定の比較 (D ビル 1 階, 2023/2/22 15:20)

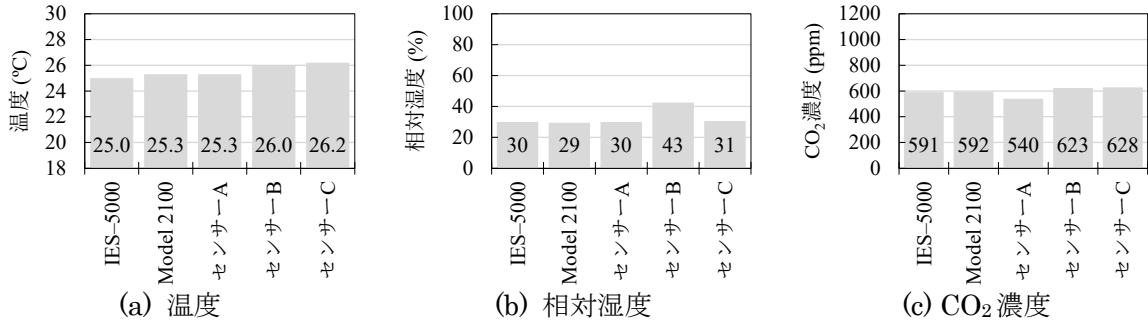


図 3-2-7 小型測定器と現場立入測定の比較 (D ビル 4 階, 2023/2/22 16:30)

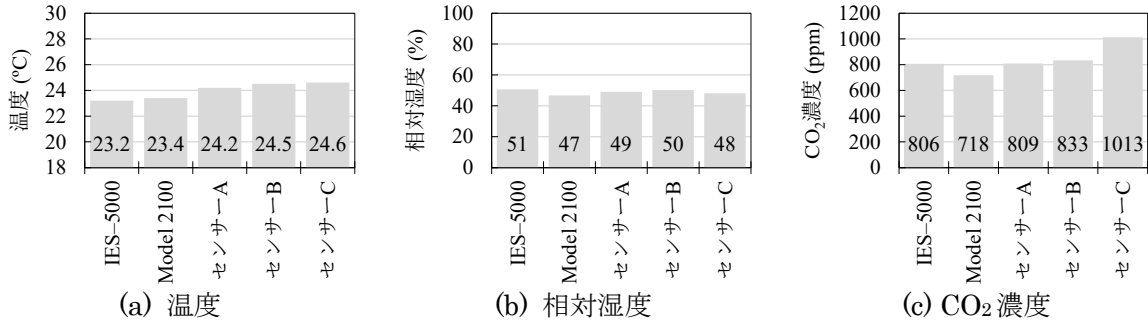


図 3-2-8 小型測定器と現場立入測定の比較 (E ビル 2 階, 2023/2/16 15:30)

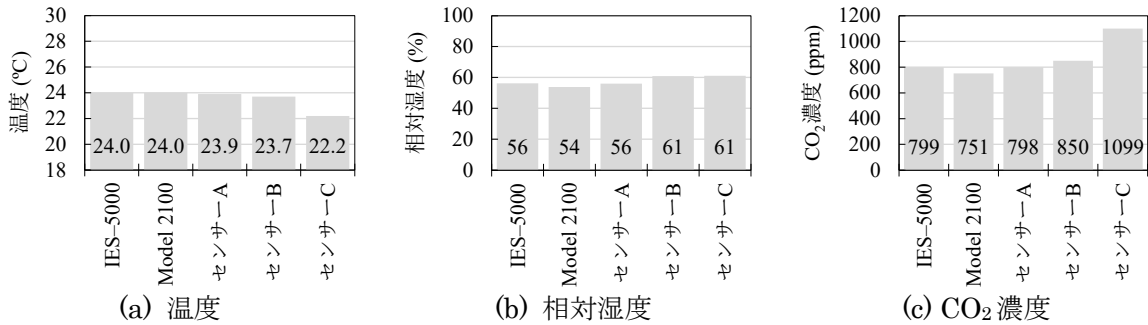


図 3-2-9 小型測定器と現場立入測定の比較 (F ビル 2 階, 2023/2/16 16:20)

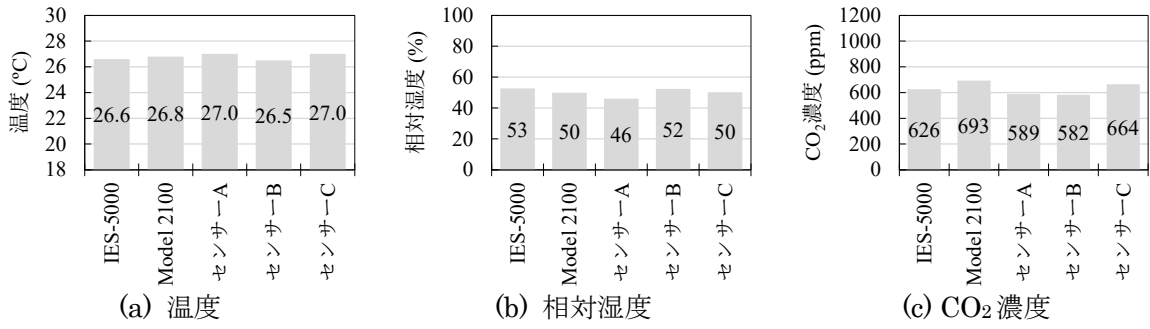


図 3-2-10 小型測定器と現場立入測定と比較 (A ビル 2 階, 2023/8/31 14:30)

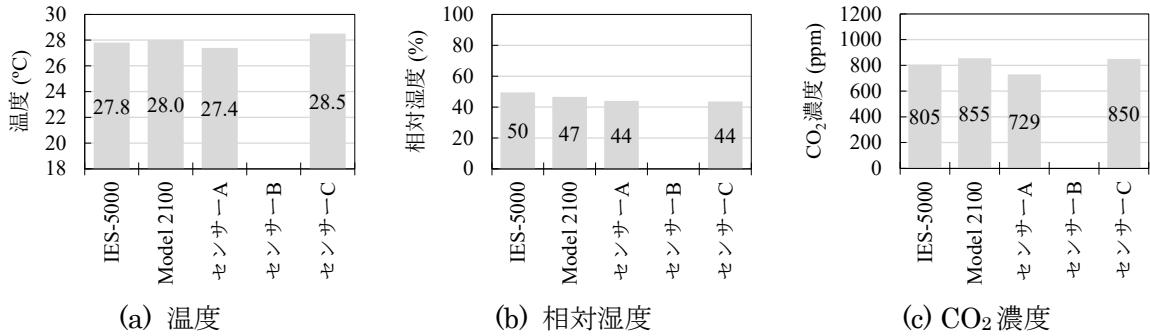


図 3-2-11 小型測定器と現場立入測定と比較 (A ビル 2 階, 2023/8/31 15:00)

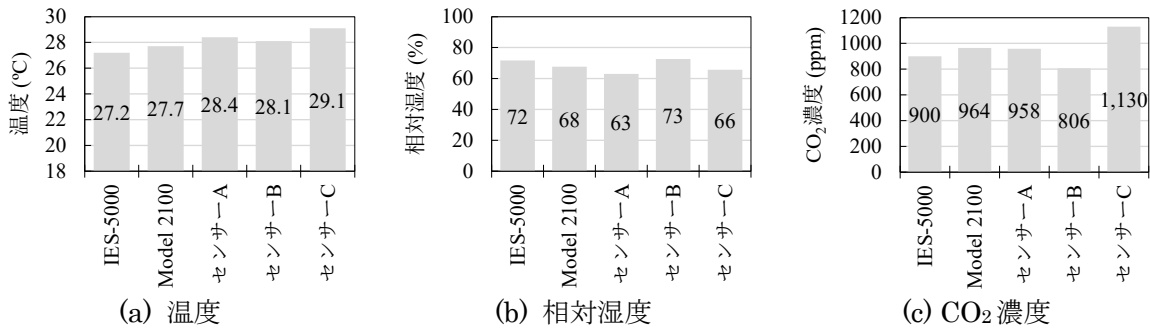


図 3-2-12 小型測定器と現場立入測定と比較 (B ビル 1 階, 2023/8/23 14:50)

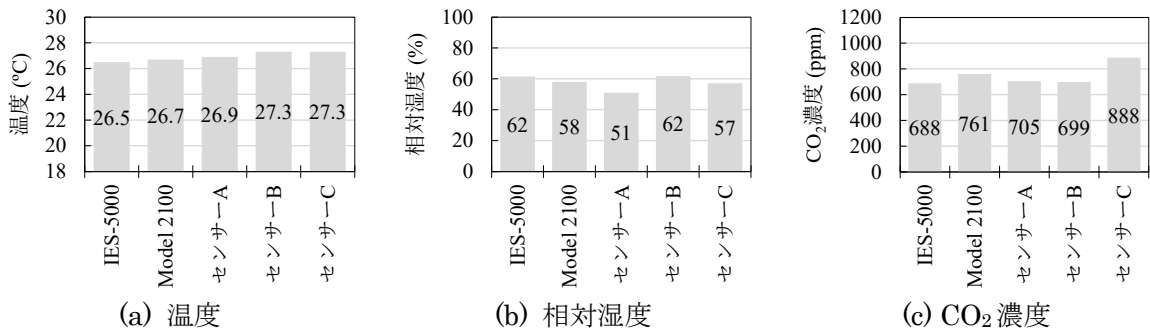


図 3-2-13 小型測定器と現場立入測定と比較 (C ビル 2 階, 2023/8/24 10:20)

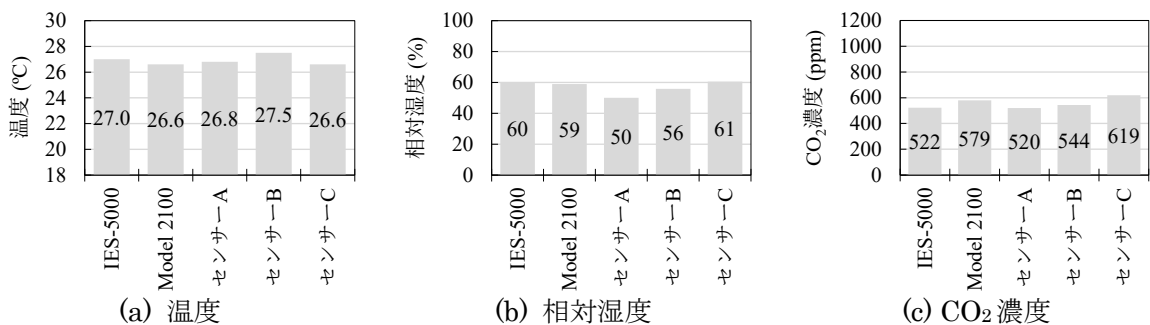


図 3-2-14 小型測定器と現場立入測定と比較 (D ビル 1 階, 2023/8/31 10:40)

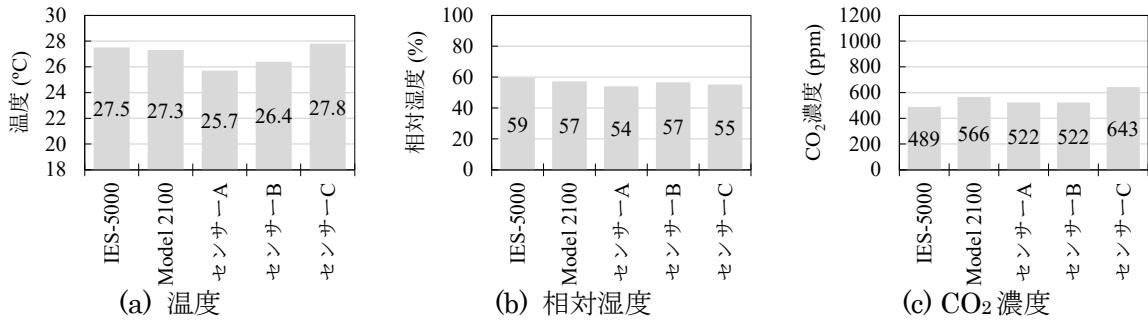


図 3-2-15 小型測定器と現場立入測定と比較 (D ビル 4 階, 2023/8/31 11:40)

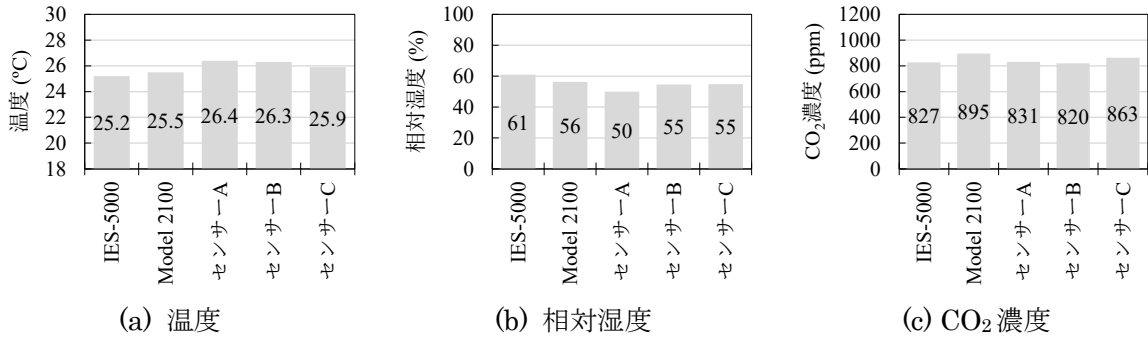


図 3-2-16 小型測定器と現場立入測定と比較 (E ビル 2 階, 2023/8/28 15:40)

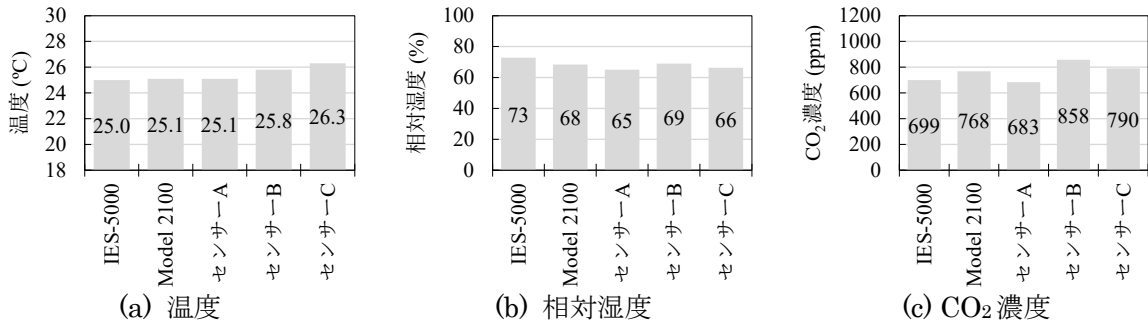


図 3-2-17 小型測定器と現場立入測定と比較 (F ビル 2 階, 2023/8/28 16:40)

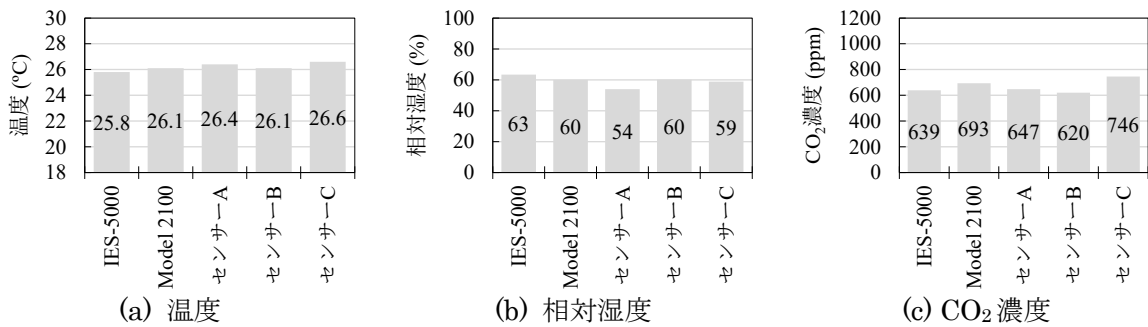


図 3-2-18 小型測定器と現場立入測定と比較 (G ビル 1 階, 2023/8/28 11:00)

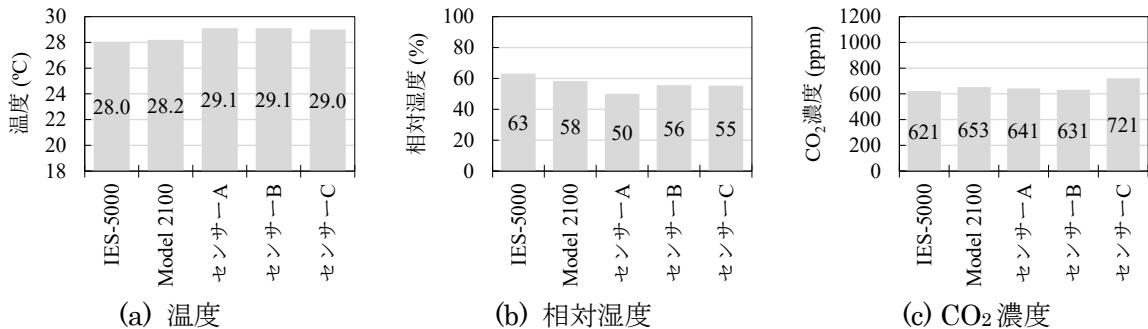


図 3-2-19 小型測定器と現場立入測定と比較 (G ビル 3 階, 2023/8/28 10:00)

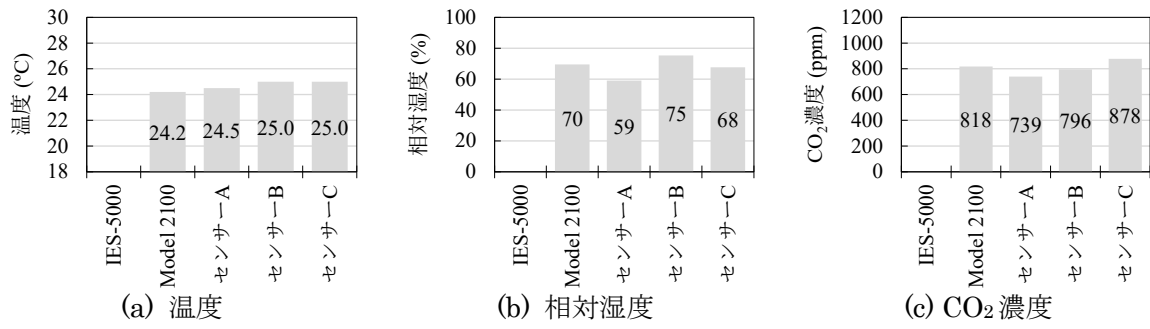


図 3-2-20 小型測定器と現場立入測定と比較 (H ビル 4 階, 2023/9/4 14:30)

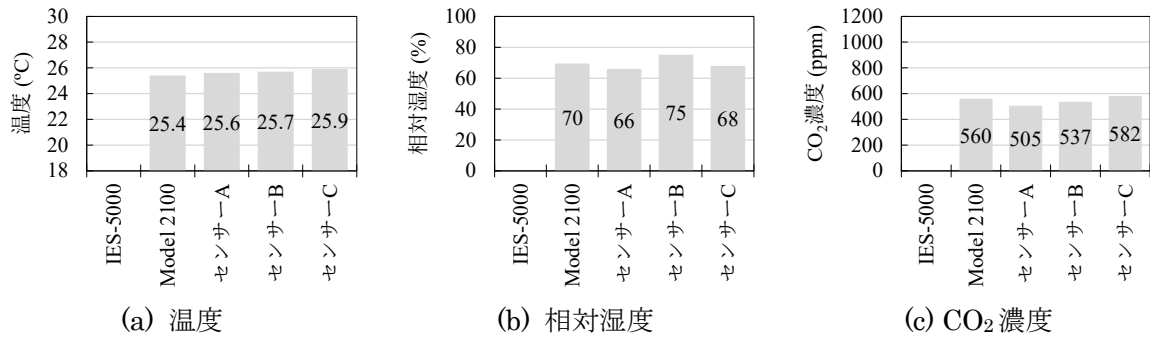


図 3-2-21 小型測定器と現場立入測定と比較 (H ビル 6 階, 2023/9/4 15:10)

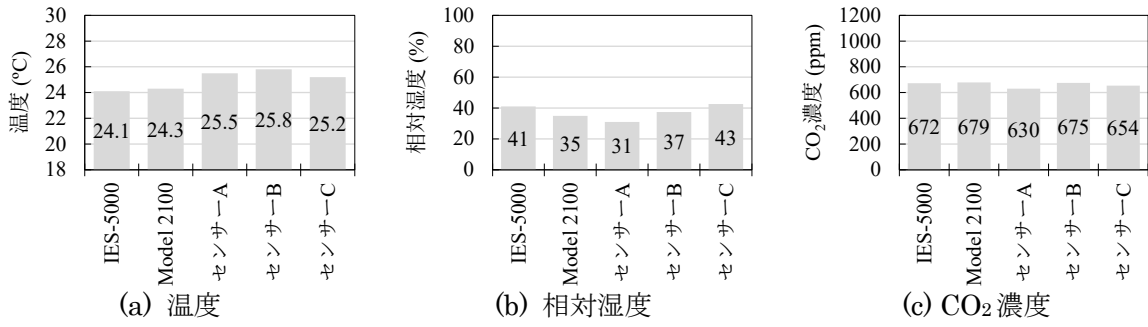


図 3-2-22 小型測定器と現場立入測定と比較 (D ビル 1 階, 2024/2/22 14:50)

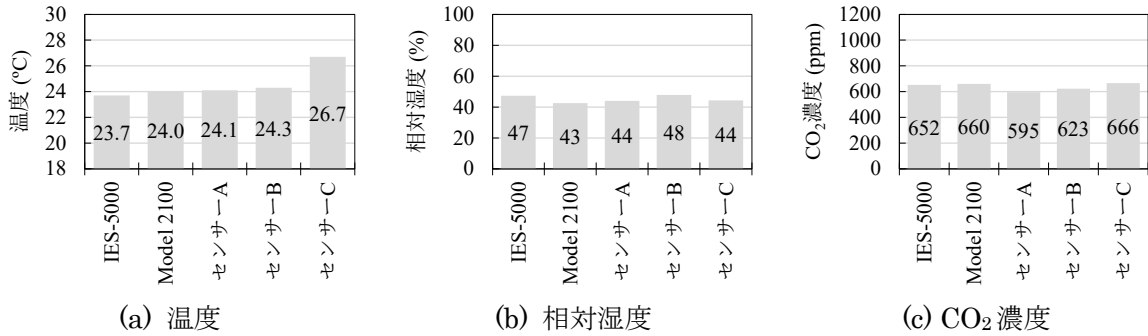


図 3-2-23 小型測定器と現場立入測定と比較 (D ビル 4 階, 2024/2/22 15:40)

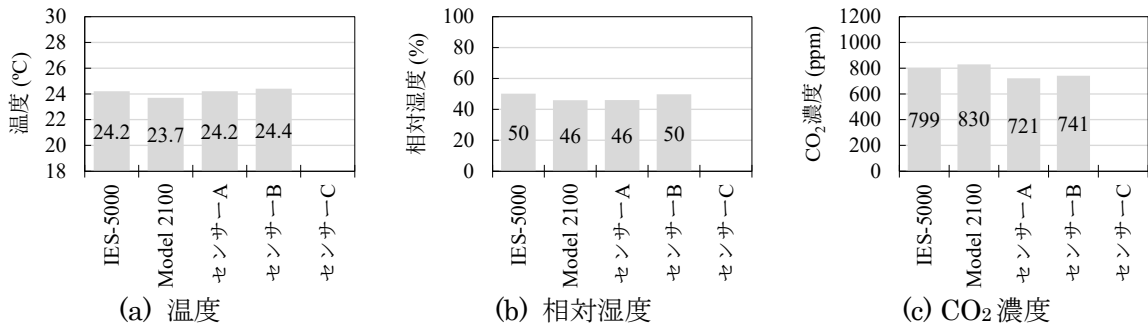


図 3-2-24 小型測定器と現場立入測定と比較 (E ビル 2 階, 2024/2/29 10:00)

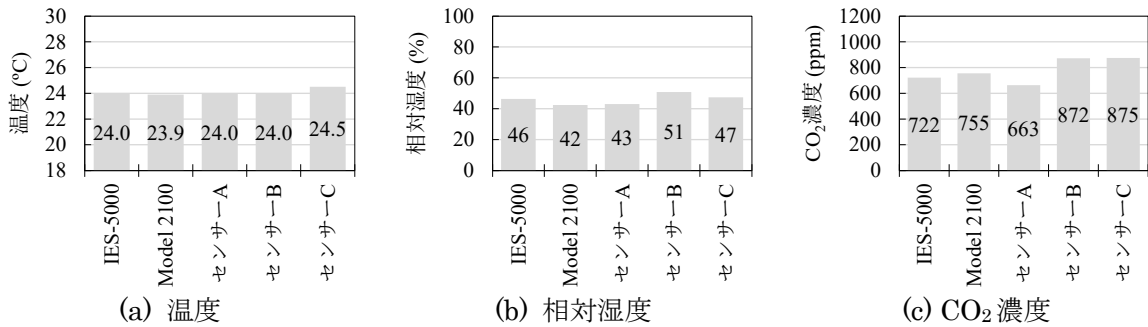


図 3-2-25 小型測定器と現場立入測定と比較 (F ビル 2 階, 2024/2/29 11:00)

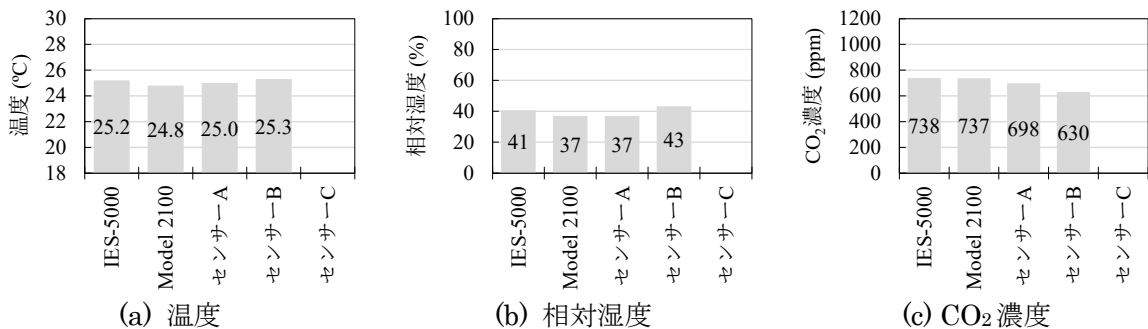


図 3-2-26 小型測定器と現場立入測定と比較 (G ビル 1 階, 2024/2/29 16:30)

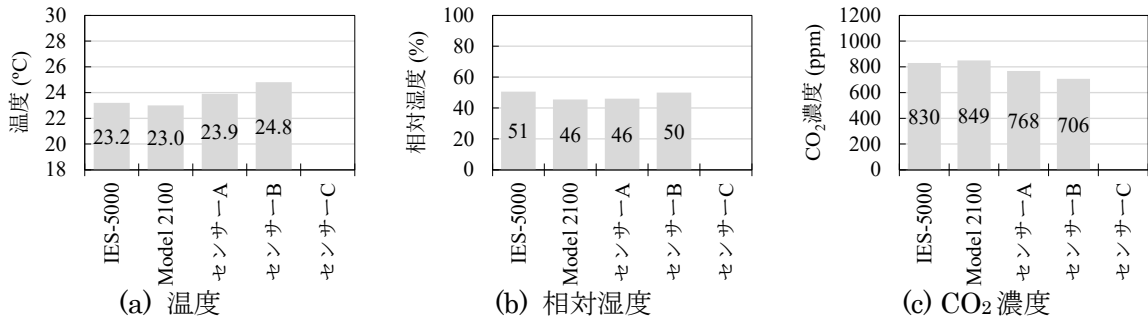


図 3-2-27 小型測定器と現場立入測定と比較 (Gビル 3階, 2024/2/29 15:30)

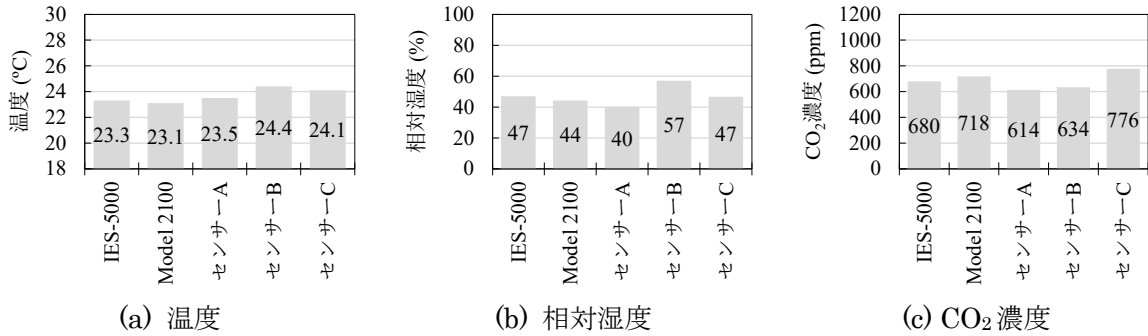


図 3-2-28 小型測定器と現場立入測定と比較 (Hビル 4階, 2024/2/22 10:40)

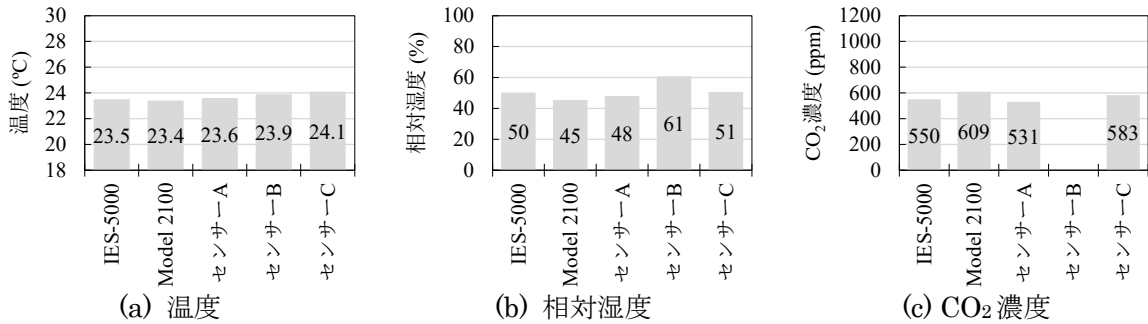


図 3-2-29 小型測定器と現場立入測定と比較 (Hビル 6階, 2024/2/22 09:30)

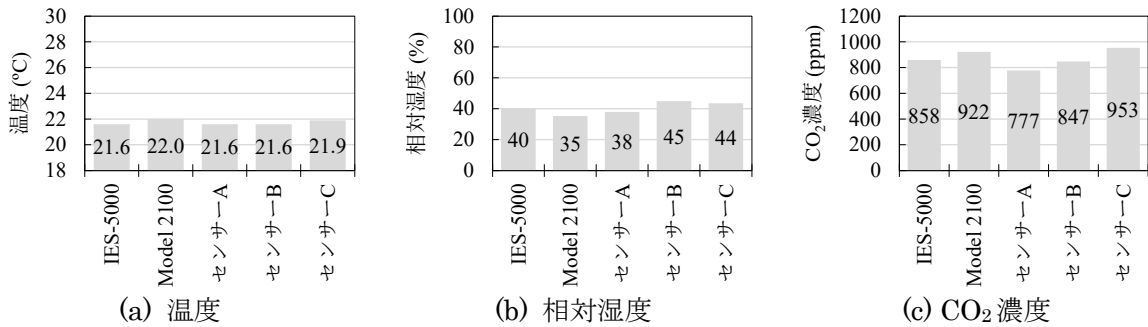
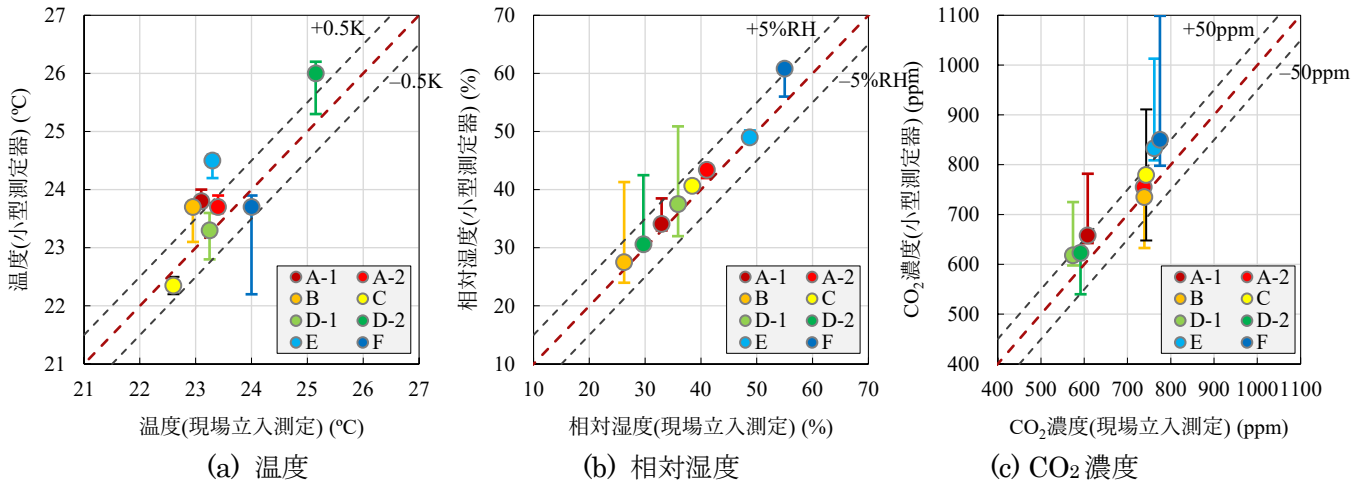


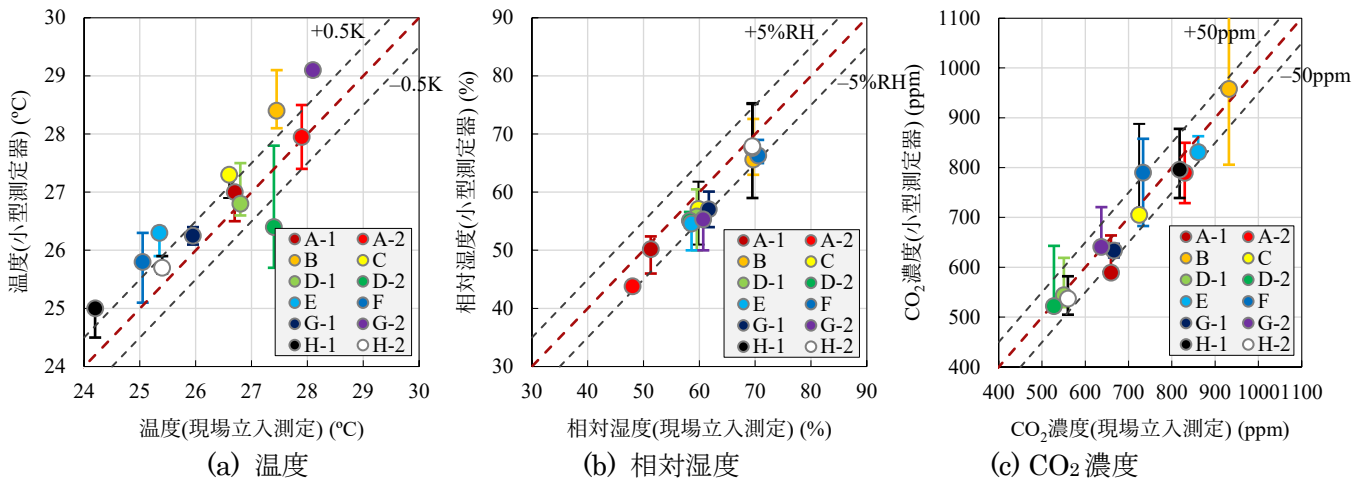
図 3-2-30 小型測定器と現場立入測定と比較 (Iビル 2階, 2024/3/5 10:30)



【図 3-2-31 注記】

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

図 3-2-31 小型測定器と現場立入測定の比較（2023 年冬期）



【図 3-2-32 注記】

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

図 3-2-32 小型測定器と現場立入測定の比較（2023 年夏期）

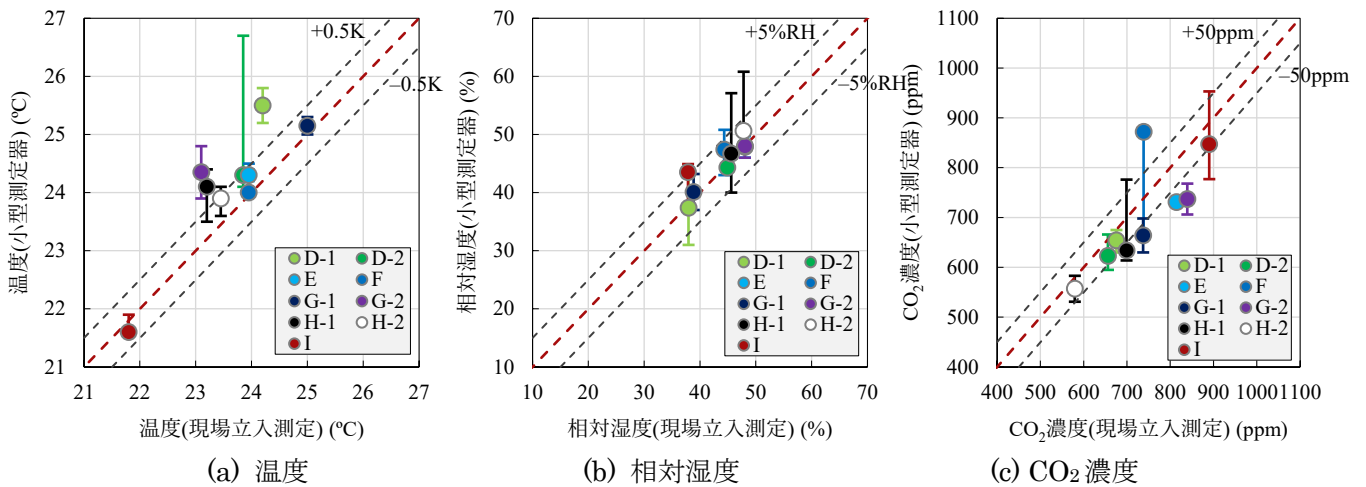


図 3-2-33 小型測定器と現場立入測定の比較（2024 年冬期）

表 3-2-1 法定測定と小型測定器の比較 (温度)

建物 記号	日時	法定測定 の結果	小型測定器の結果			中央値
			A	B	C	
D-1	2023/1/30 10:13	16.2	18.2	18.1	18.0	18.1
	2023/1/30 13:24	18.5	21.1	21.2	21.4	21.2
	2023/3/27 10:15	18.3	19.5	19.9	20.0	19.9
	2023/3/27 13:38	19.1	20.2	20.7	21.2	20.7
	2023/9/27 10:25	25.6	26.3	#N/A	#N/A	26.3
	2023/9/27 13:33	24.9	25.3	#N/A	26.7	26.0
	2023/11/27 10:17	22.0	23.7	#N/A	22.5	23.1
	2023/11/27 13:09	20.7	22.7	#N/A	23.9	23.3
	2024/1/29 10:12	18.6	21.1	20.9	21.1	21.1
	2024/1/29 13:48	21.3	24.1	24.3	23.1	24.1
D-2	2023/1/30 10:45	17.8	19.8	20.3	20.6	20.3
	2023/1/30 13:49	19.4	22.6	22.9	23.2	22.9
	2023/3/27 10:47	19.0	20.8	21.5	21.2	21.2
	2023/3/27 13:59	19.3	21.2	21.9	21.8	21.8
	2023/9/27 10:48	25.1	26.0	#N/A	#N/A	26.0
	2023/9/27 13:47	25.0	26.0	#N/A	#N/A	26.0
	2023/11/27 10:44	21.1	22.6	#N/A	#N/A	22.6
	2023/11/27 13:30	21.5	23.9	#N/A	#N/A	23.9
	2024/1/29 10:37	19.5	21.2	21.2	22.3	21.2
	2024/1/29 14:10	21.4	23.2	23.3	24.4	23.3
E	2023/2/17 11:02	22.9	24.4	24.6	24.5	24.5
	2023/2/17 14:44	23.2	24.1	24.4	24.3	24.3
	2023/4/21 10:34	24.4	24.6	24.9	25.1	24.9
	2023/4/21 14:29	24.6	24.6	25.0	25.2	25.0
	2023/6/19 10:40	25.4	26.2	26.1	25.9	26.1
	2023/6/19 14:35	25.8	25.9	25.9	25.8	25.9
	2023/8/25 10:45	25.3	25.9	26.0	26.1	26.0
	2023/8/25 14:34	25.2	25.8	25.9	25.7	25.8
	2023/10/23 10:33	24.5	#N/A	25.1	25.2	25.2
	2023/10/23 14:22	25.0	#N/A	25.5	25.8	25.7
	2023/12/18 11:04	24.0	24.1	24.3	24.4	24.3
	2023/12/18 14:45	23.5	23.5	23.9	24.1	23.9
	2024/2/26 11:00	24.2	24.4	24.4	#N/A	24.4
	2024/2/26 14:55	24.3	24.6	24.7	25.1	24.7
F	2023/2/17 9:51	22.9	23.8	23.8	23.9	23.8
	2023/2/17 13:37	23.4	24.5	24.6	25.0	24.6
	2023/6/19 9:37	24.4	24.2	24.3	24.5	24.3
	2023/6/19 13:33	25.4	24.2	24.3	25.0	24.3
	2023/8/25 9:38	25.3	25.2	25.4	25.5	25.4
	2023/8/25 13:33	24.8	25.4	25.2	25.9	25.4
	2023/10/23 9:33	23.7	#N/A	25.2	25.5	25.4
	2023/10/23 13:29	24.6	#N/A	26.0	27.0	26.5
	2023/12/18 9:52	22.8	23.5	23.9	#N/A	23.7
	2023/12/18 13:38	24.6	25.6	26.0	26.5	26.0
	2024/2/26 9:43	22.5	23.1	22.8	23.4	23.1
	2024/2/26 13:40	24.0	25.0	24.8	25.6	25.0
G-2	2023/7/4 9:43	25.8	26.0	26.7	26.3	26.3
	2023/7/4 14:50	26.2	26.3	26.8	26.5	26.5
	2023/9/4 10:25	26.5	26.7	27.7	27.3	27.3
	2023/9/4 14:16	26.0	25.3	26.3	26.5	26.3
	2023/11/1 9:34	25.4	28.0	27.8	27.8	27.8
	2023/11/1 13:39	25.6	27.0	28.3	27.5	27.5
	2024/1/5 10:42	23.3	25.4	26.0	25.4	25.4
	2024/1/5 13:43	23.2	25.3	25.9	24.9	25.3
	2024/3/1 10:15	21.7	23.8	24.4	24.5	24.4
H-1	2024/3/1 14:05	23.7	25.5	26.6	26.3	26.3
	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
H-2	2024/2/28 14:46	23.4	23.8	24.7	24.2	24.2
	2023/8/30 10:29	25.7	24.9	25.5	25.7	25.5
	2023/8/30 14:42	25.2	24.4	25.0	25.5	25.0
	2023/10/25 10:50	24.9	25.5	25.3	25.8	25.5
	2023/10/25 14:29	24.2	25.2	25.0	25.6	25.2
	2023/12/19 10:30	23.8	24.1	24.4	24.6	24.4
	2023/12/19 14:34	23.8	24.3	24.6	24.6	24.6
	2024/2/28 10:38	23.7	24.7	24.9	#N/A	24.8
J	2024/2/28 14:35	24.0	24.6	24.9	#N/A	24.8
	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)

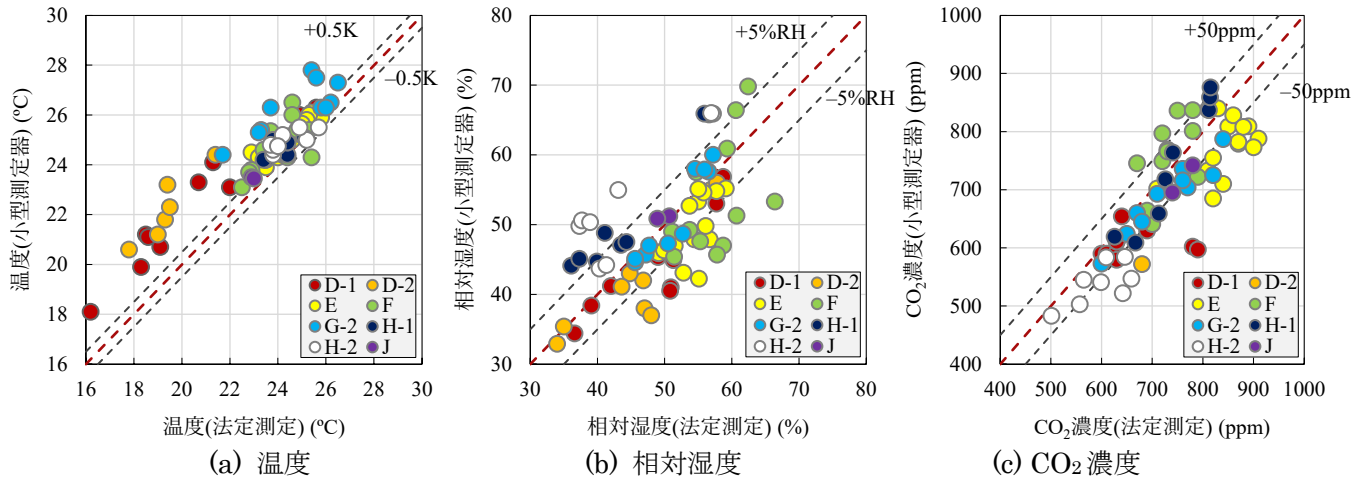
建物 記号	日時	法定測定 の結果	小型測定器の結果			中央値
			A	B	C	
D-1	2023/1/30 10:13	51	42	59	48	48
	2023/1/30 13:24	51	40	57	45	45
	2023/3/27 10:15	39	31	49	38	38
	2023/3/27 13:38	37	29	47	34	34
	2023/9/27 10:25	58	53	#N/A	#N/A	53
	2023/9/27 13:33	59	55	#N/A	59	57
	2023/11/27 10:17	49	41	#N/A	50	45
	2023/11/27 13:09	42	35	#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
G-2	2024/2/26 9:43	58	41	49	46	46
	2024/2/26 13:40	55	44	52	48	48
	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
H-1	2024/3/1 10:15	53	46	50	49	49
	2024/3/1 14:05	51	44	47	47	47
	2023/8/30 10:34	57	59	75	66	66
	2023/8/30 14:47	56	58	74	66	66
	2023/10/25 10:55	44	41	59	47	47
	2023/10/25 14:35	44	41	59	48	48
	2023/12/19 10:36	40	36	55	45	45
	2023/12/19 14:40	41	40	59	49	49
	2024/2/28 10:44	36	36	54	44	44
	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 (CO₂濃度)

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

【表 3-2-3 注記】 #N/A は欠測を示す。



【図 3-2-34 注記】

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

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

3-3 小型 PM_{2.5} センサーの特徴調査

A. 研究目的

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

そこで、建築物室内 PM_{2.5} 濃度の基準策定を念頭に、室内環境で適用できる測定機器の調査および本研究班で実測対象とした建築物において、PM_{2.5} 濃度の測定を行い、測定機器の計測値の比較を行った。

B. 研究方法

B.1 PM_{2.5} 測定機器の調査

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

微小粒子の特徴として、呼吸器系の深部まで到達しやすく、粒子表面に様々な有害成分が吸収・吸着されていること等から、この健康影響が懸念されている。表 3-3-1 は、WHO が公表した PM_{2.5}、二酸化硫黄、オゾンなどの大気汚染物質による短期及び長期曝露による健康影響

をまとめたものである³⁾。短期曝露による健康影響指標として取り上げられるものとしては、死亡、医療機関への入院・受診、循環器系への悪影響、呼吸器症状変化などである。長期影響については、心血管系・呼吸器疾患による死亡、喘息、肺がんなどの健康影響が示されている。日死亡と粒子状物質濃度についての知見が多くあり、EPA による北米の調査においては、総死亡の増加率は+0.29~1.21%、心血管疾患死亡は+0.30~1.03%、呼吸器疾患死亡は+1.01~2.2%と推計されている。よって、大気汚染濃度の異なる地域での長期調査の結果により、PM_{2.5} 濃度と全死亡および心肺死亡の相対リスクとの間に有意な正の関連性が認められている⁴⁾。

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

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

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

B.2 立入測定時の測定値の比較

表 3-3-2 可搬型 PM_{2.5} 測定機器

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

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

C. 調査結果および考察

C.1 PM_{2.5} 測定機器の調査

PM_{2.5} の測定方法については、大気環境に関するものが参考となる²⁾。これによれば、環境大気中に浮遊する粒子状物質のうち空気力学的特性が粒径 2.5 μm で 50% のカット特性をもつ分粒装置により分粒された粒子状物質について、ロウボイウムエアサンプラを用いてフィルタ上に採取し、精密天秤によって質量を測定するものである。フィルタ上に捕集された粒子へのガス状物質の吸着や再揮発など様々な妨害

要因や不確定要素を含んでおり、厳密な測定の困難さが指摘されている。また、秤量を行わない相対濃度計として、1 時間ごとの測定が可能なβ線吸収法、光散乱法、圧電天秤法が環境基準を評価する方法として存在する。

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

室内において PM_{2.5} を測定する場合には、可搬型の PM_{2.5} 計として、表 3-3-2 に示すような装置を用いることが多い。例えば、TSI DustTrak については、室内で用いている粉じん計と同様に、光散乱法を用いており、1 分毎の濃度を記録するものである。ただし、粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なることが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。これも、

粉じん計と同様の考え方である。

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

さらに小型の測定機器では、サンプリングにファンを持たないもので、インパクターなどを用いて粒径 2.5 μm 以上の粒子を取り除かない測定機器が多くあり、同様に光散乱の原理を利用した相対濃度計である。その空間の粒子の性状（粒径分布や組成など）が同様であれば、ある程度の精度を有するものである。なお、いずれも光散乱を用いているが、光源についても違いがある可能性がある。よって、それぞれの計測機器の検出の特性が異なることが考えられるため、校正が重要になる。また、WHO においては、AQG (Air quality guideline) level⁵⁾として、年平均を 5 μg/m³、日平均を 15 μg/m³を提案しており、この濃度レベルになると可搬型測定器において、精度と校正が課題となるものと考えられる。

C.2 立入測定時の測定値の比較

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

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

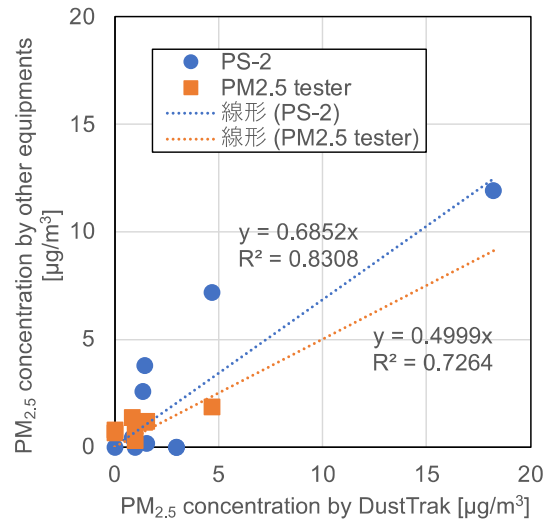


図 3-3-1 DustTrak と連続測定機器の PM_{2.5} 濃度の比較

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思われる。

E. 参考文献

- 1) W.E. Wilson: The U.S. Environmental Protection Agency promulgates new standards for fine particles, 大気汚染学会誌, 33, A67-A76, 1998.
- 2) 環境省 : 微小粒子状物質曝露影響調査報告書, 2007
- 3) WHO: Air Quality Guideline Global Update 2005, WHO, Geneva, 2006.
- 4) 武林亨, 朝倉敬子, 山田睦子: 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 PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, 2021.11

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし