

3. 温熱環境の測定

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

研究要旨

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

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

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

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

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

A. 研究目的

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

(以下、翻訳部分)

7. 既存建築物における熱的快適性評価

7.3 測定方法

7.3.2 建築物内の環境測定点

a. 平面

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

出口、隅角部、出入り口近傍で、滞在が想定される点)

b. 床上高さ

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

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

7.3.3 環境測定のタイミング (一部抜粋)

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

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

7.3.4 測定機器の仕様

測定機器は、表 7-1 に示す測定範囲と精度を

Table 7-1 Instrumentation Measurement Range and Accuracy

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

滞在者の位置が不明な場合は、測定点は以下の 2 条件を満たすこととする。

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

満たすこととする。空気温度センサーは、周囲からの放射の影響を防ぐ。

7.3.5 BEMS データによる環境評価

7.3.5.1 測定点

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

Table 5-12 Limits on Temperature Drifts and Ramps

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

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

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

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

7.4 評価方法 (抜粋)

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

7.4.2.1 特定の時間帯における快適性を評価する場合

a. 全館空調の建築物

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

b. 滞在者が窓開けにより環境調節を行う建築物 (省略)

7.4.2.2 一定の期間における快適性を評価する場合

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

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

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

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

【参考】

5.3.4 室温変動

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

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

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

(翻訳部分、以上)

B. まとめ

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

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

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

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

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

C. 参考文献

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

D. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

E. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

3-2 ASHRAE 55-2020 に準拠した手法による 温熱環境評価

A. 研究目的

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

B. 研究方法

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

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

(インテリア)

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

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

測定項目は空気温度、相対湿度、微小面放射温度、および気流速度とした。

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

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

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

表 3-2-1 測定対象建物概要

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

- ・部屋または空間の中央かつ座席近傍となる点

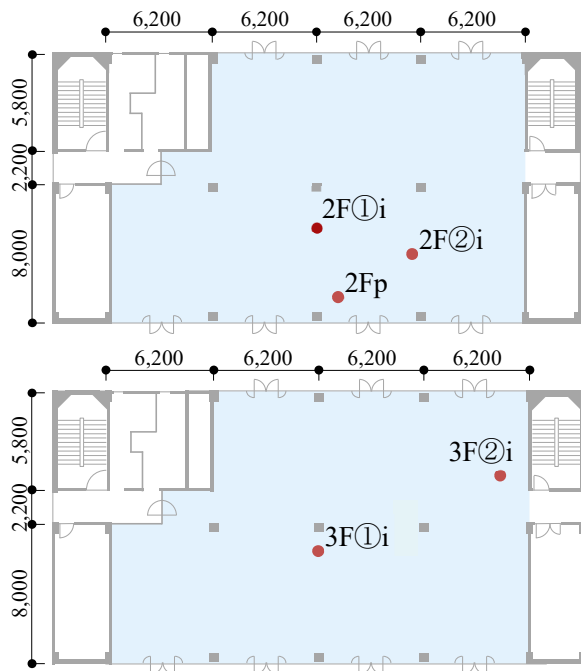


図 3-2-1 Aビル測定点 (上:2階、下:3階)

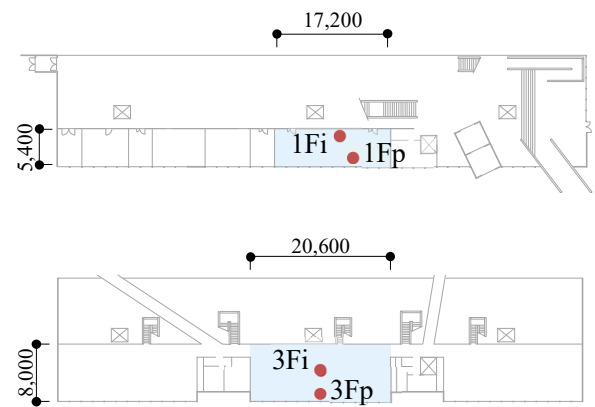


図 3-2-2 Bビル測定点 (上:1階、下:3階)

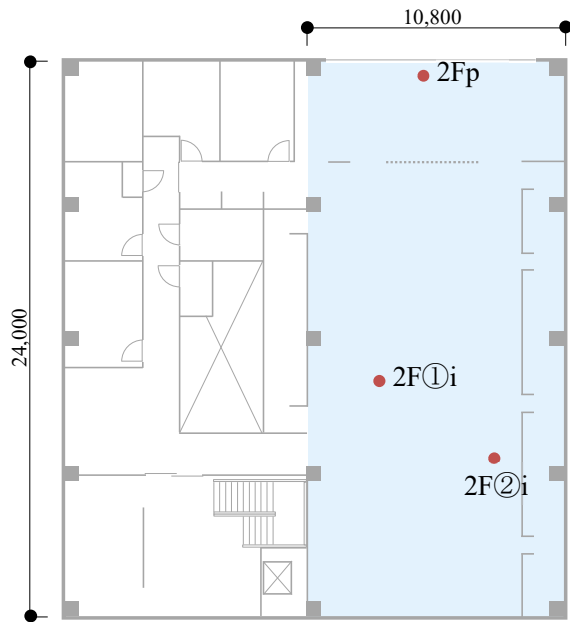


図 3-2-3 Cビル測定点 (2階)

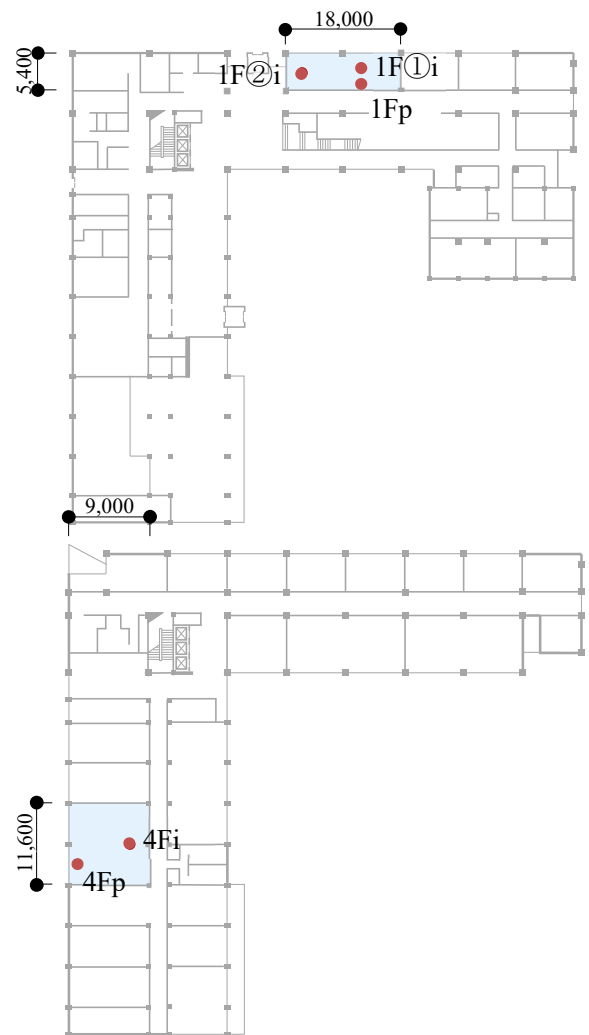


図 3-2-4 Dビル測定点 (上:1階、下:4階)

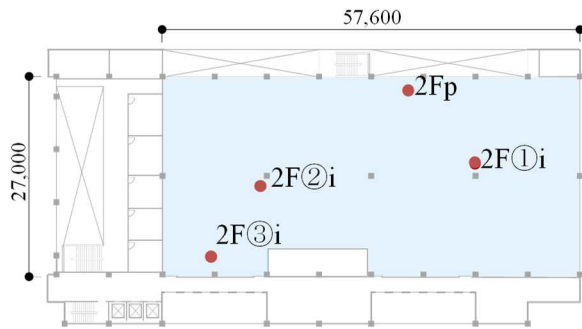


図 3-2-5 Eビル測定点 (2階)

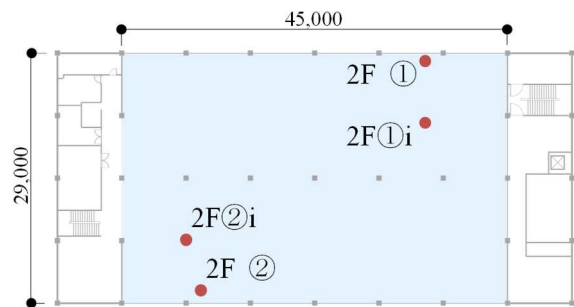


図 3-2-6 Fビル測定点 (2階)

表 3-2-2 調査日と測定点数

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

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

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

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

C. 研究結果

C.1. Aビルの測定結果

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

差が見られたが、その他の測定点の差は 1℃以下であった。

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

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

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

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

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

C.2. BビルおよびCビルの測定結果

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

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

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

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

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

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

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

C.3. Dビルの測定結果

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

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

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

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

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

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

C.4. EビルおよびFビルの測定結果

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

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

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

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

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

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

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

D. まとめ

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

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

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

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

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

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

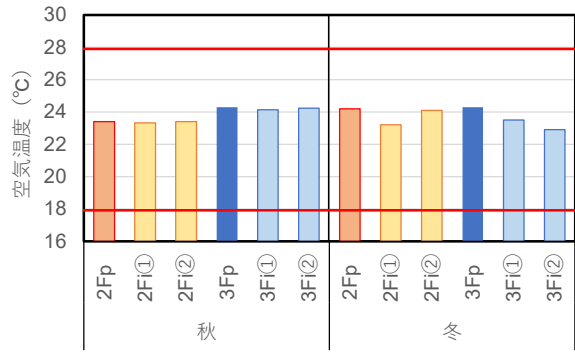


図 3-2-7 A ビル空気温度 (高さ 1.1m)

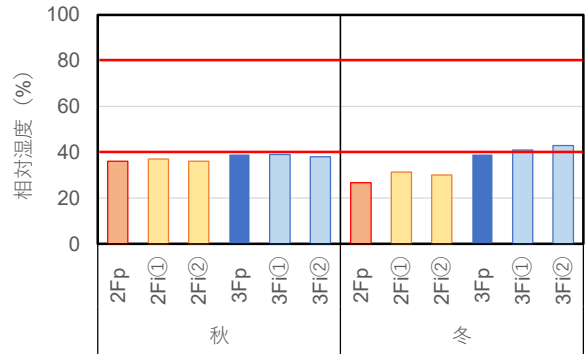


図 3-2-8 A ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

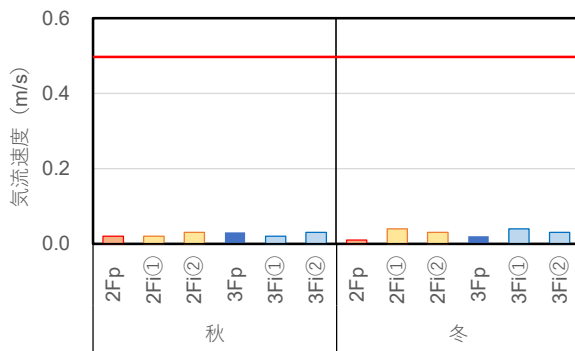


図 3-2-9 A ビル気流速度 (高さ 1.1m)

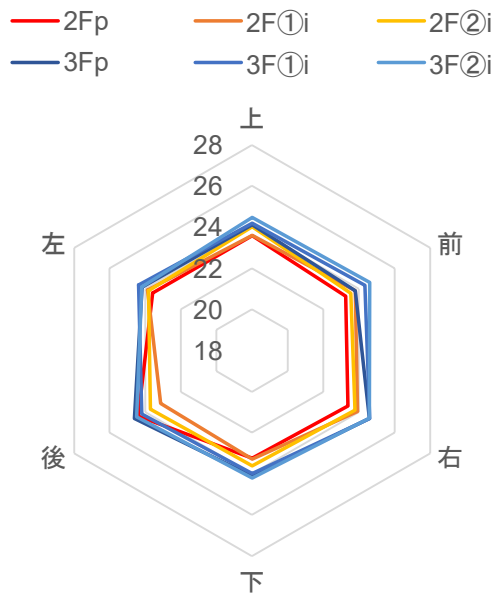


図 3-2-10 A ビル微小面放射温度 (秋季)

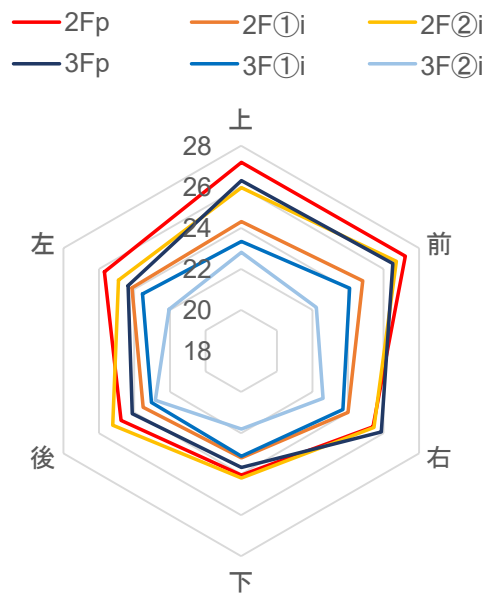


図 3-2-11 A ビル微小面放射温度 (冬季)

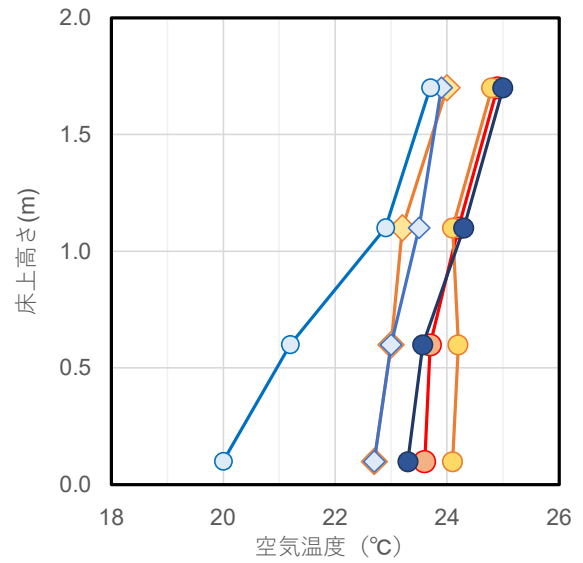
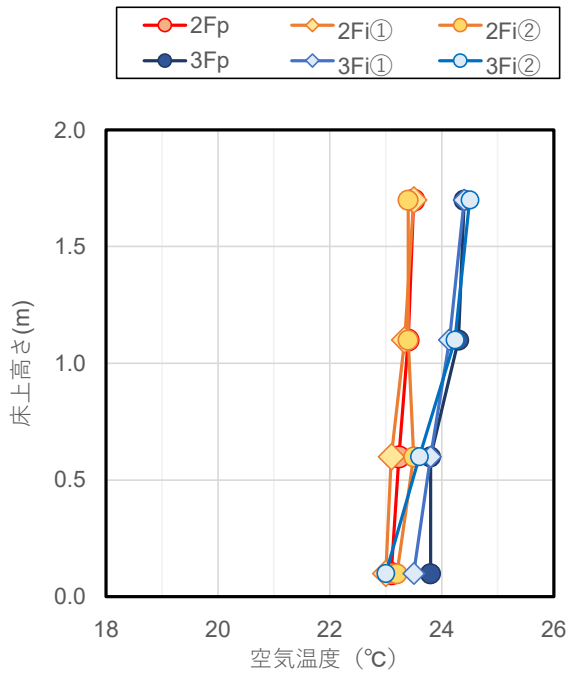


図 3-2-12 Aビル 上下温度差 (左: 秋季、右: 冬季)

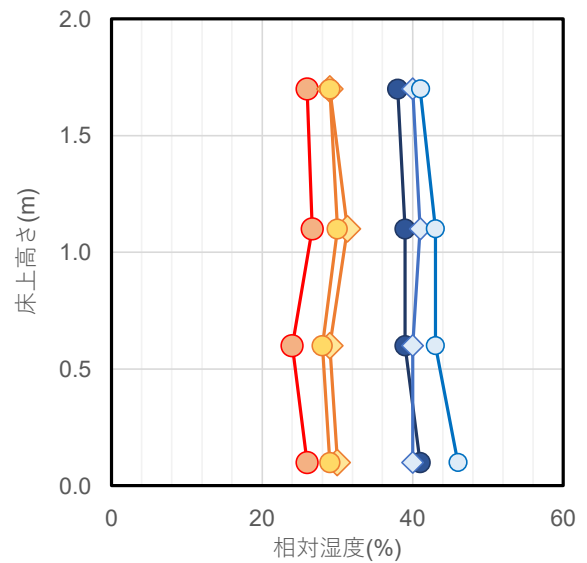
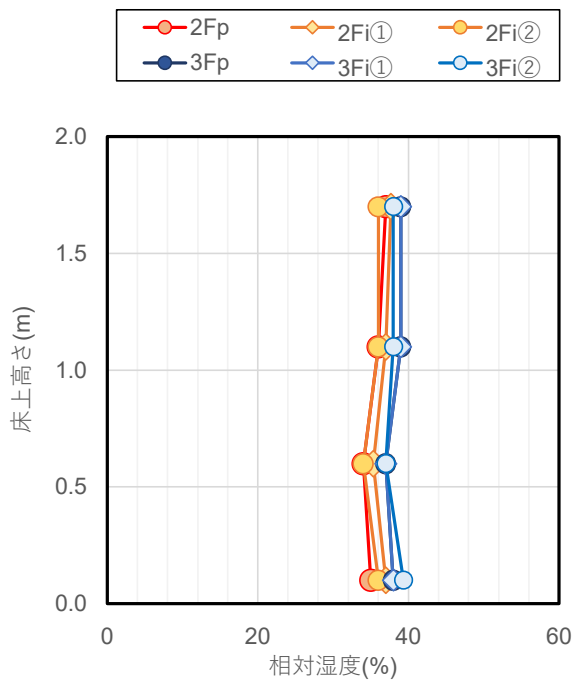


図 3-2-13 Aビル 上下湿度差 (左: 秋季、右: 冬季)

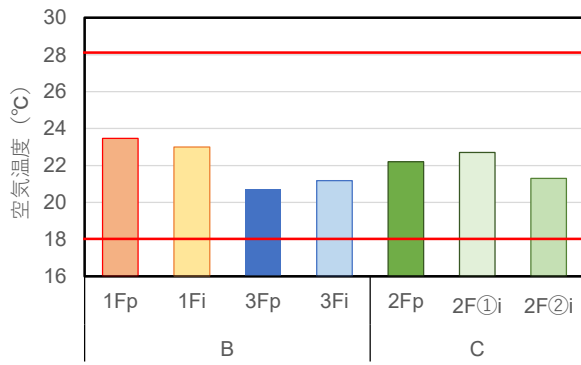


図 3-2-14 B,C ビル空気温度 (高さ 1.1m)

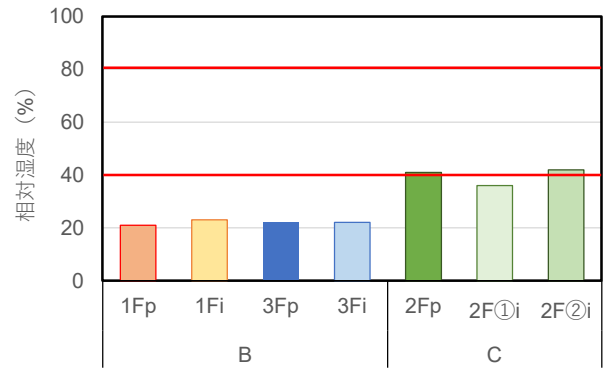


図 3-2-15 B,C ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

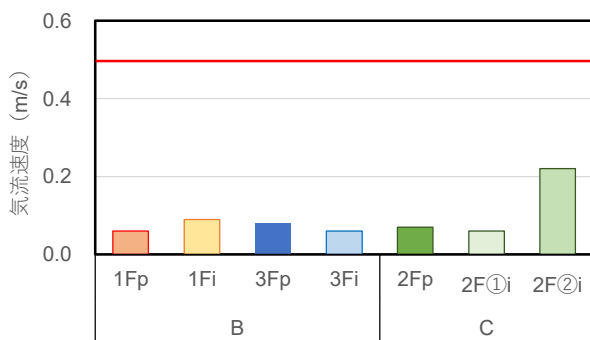


図 3-2-16 B,C ビル気流速度 (高さ 1.1m)

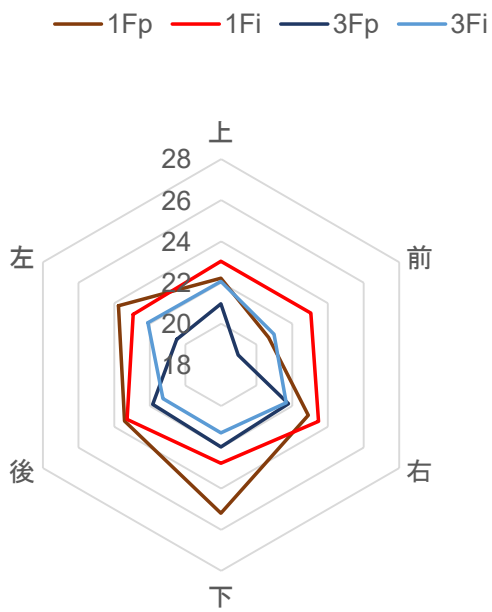


図 3-2-17 B ビル微小面放射温度

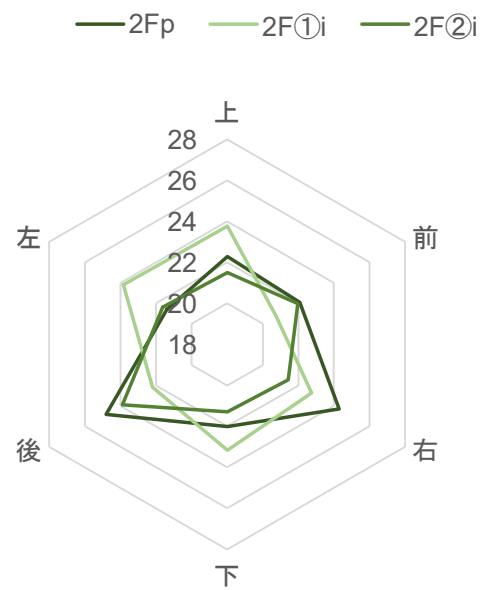


図 3-2-18 C ビル微小面放射温度

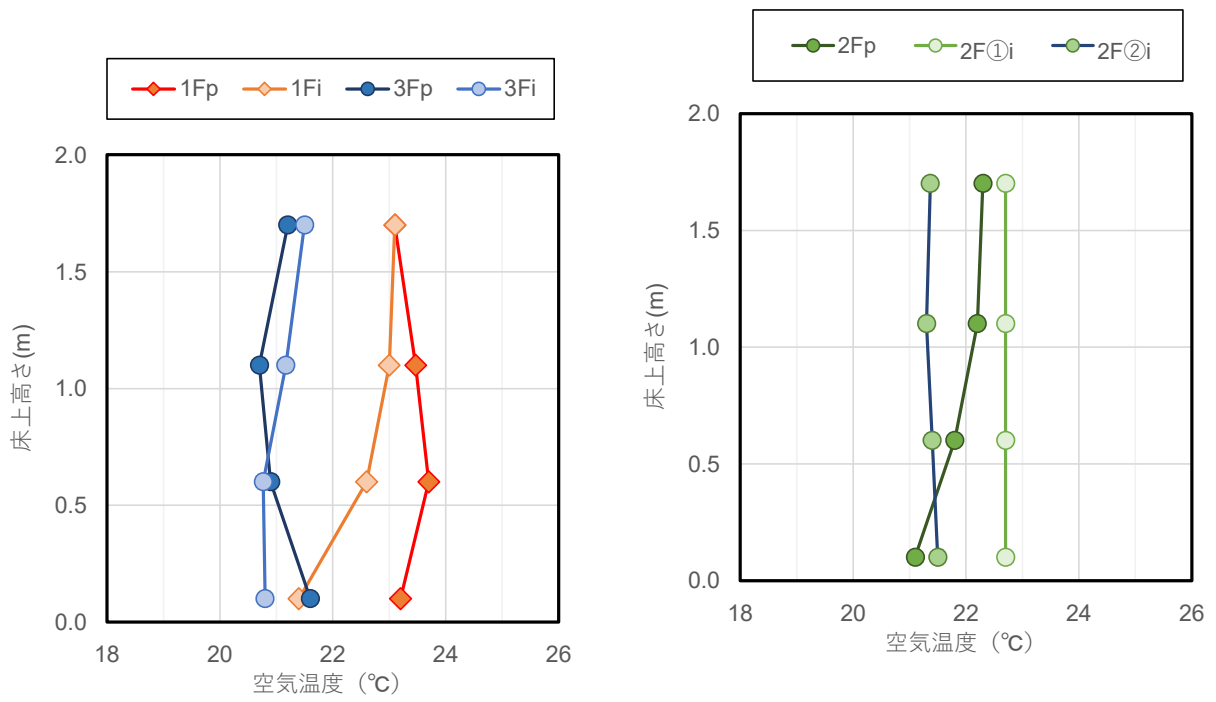


図 3-2-19 上下温度差 (左 : B ビル、右 : C ビル)

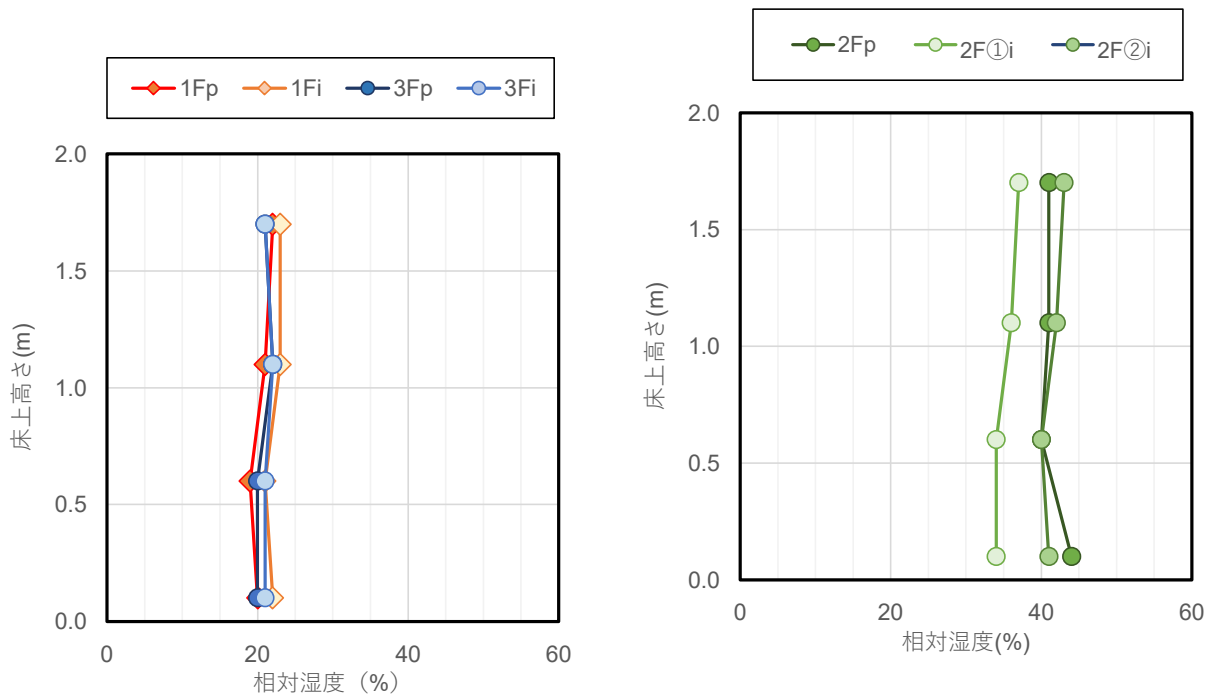


図 3-2-20 上下湿度差 (左 : B ビル、右 : C ビル)

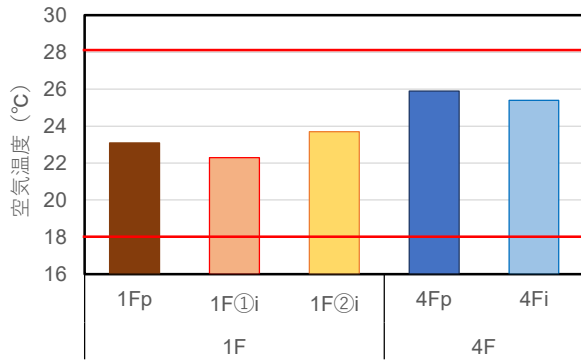


図 3-2-21 D ビル空気温度 (高さ 1.1m)

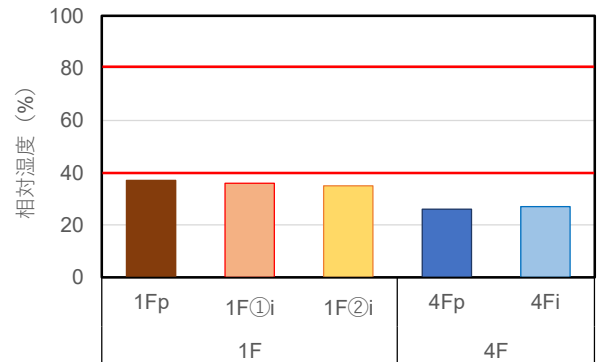


図 3-2-22 D ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

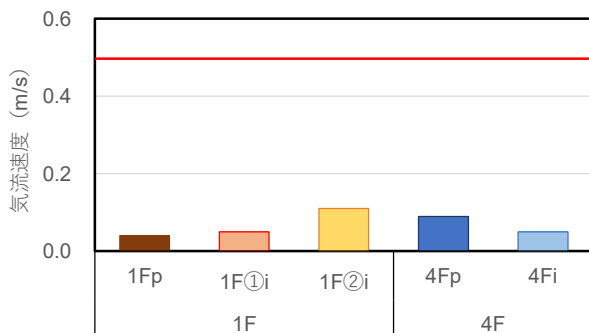


図 3-2-23 D ビル気流速度 (高さ 1.1m)

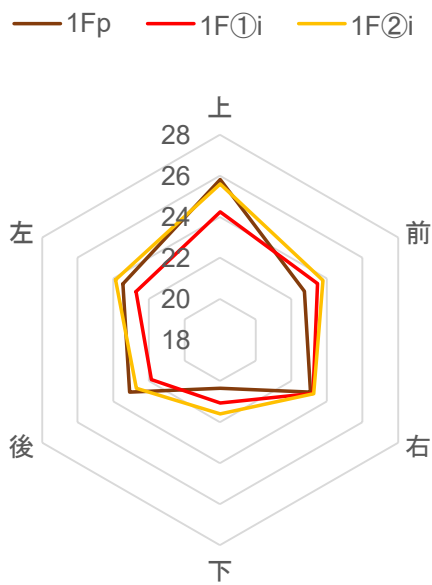


図 3-2-24 D ビル微小面放射温度(1階)

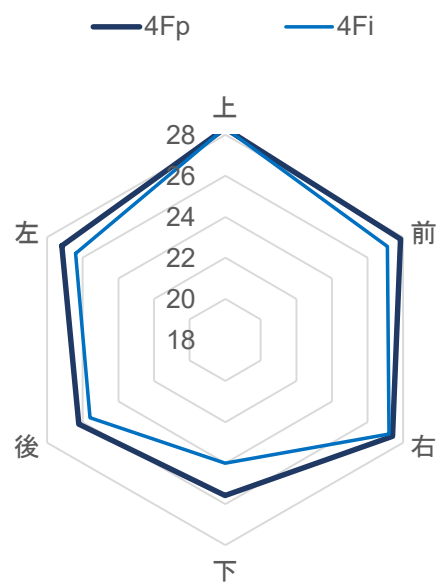


図 3-2-25 D ビル微小面放射温度(4階)

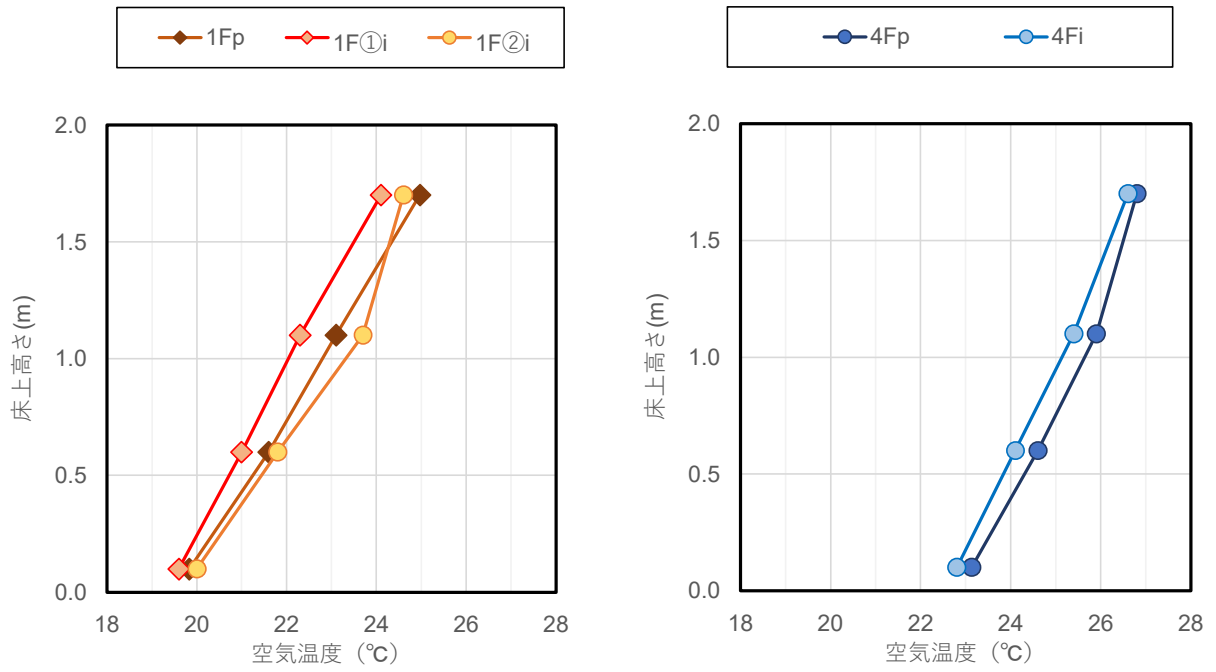


図 3-2-26 D ビル上下温度差 (左 : 1 階、右 : 4 階)

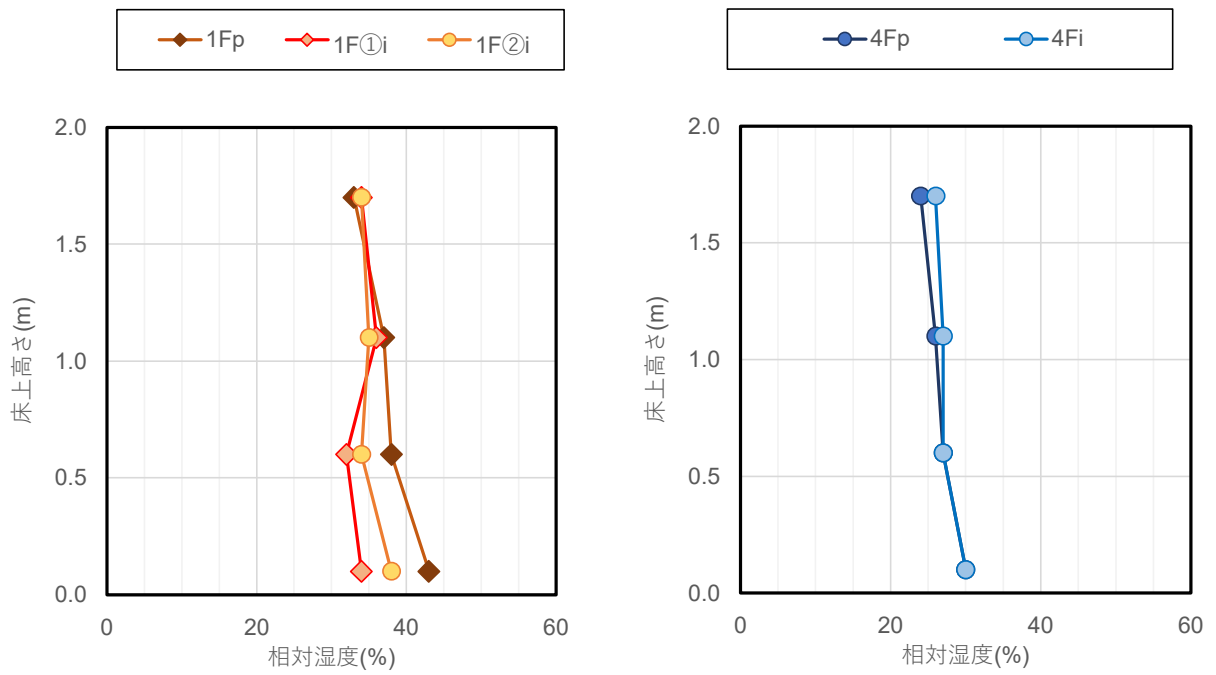


図 3-2-27 上下湿度差 (左 : 1 階、右 : 4 階)

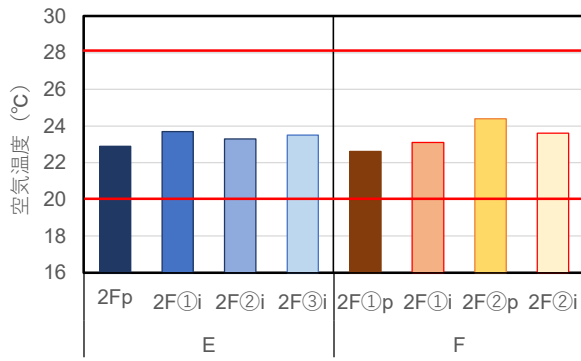


図 3-2-28 E,F ビル空気温度 (高さ 1.1m)

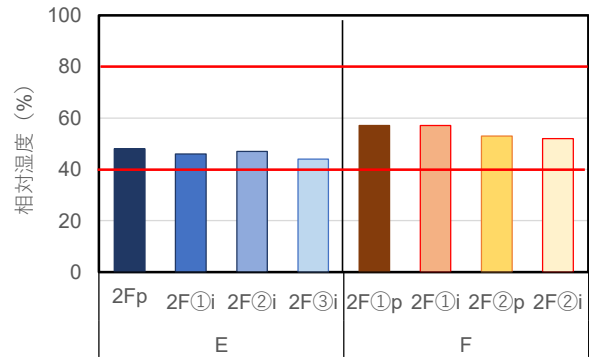


図 3-2-29 E,F ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

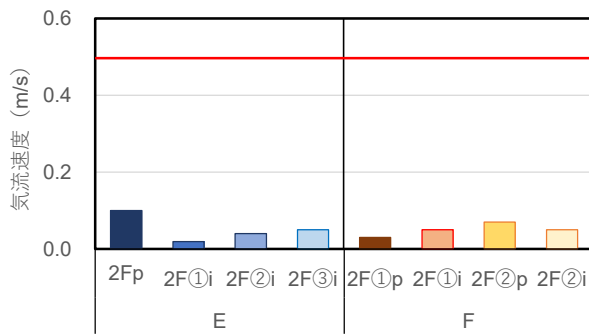


図 3-2-30 E,F ビル気流速度 (高さ 1.1m)

— 2Fp — 2F①i — 2F③i — 2F②i

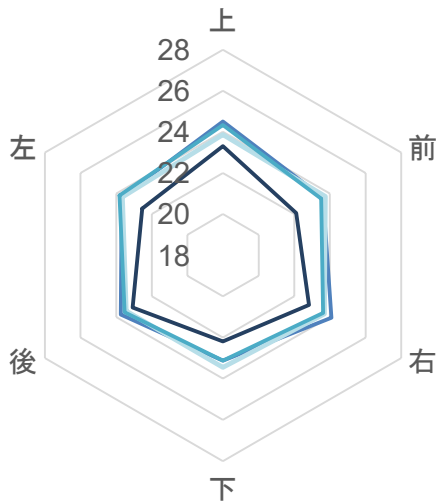


図 3-2-31 E ビル微小面放射温度

— 2F①p — 2F①i — 2F②p — 2F②i

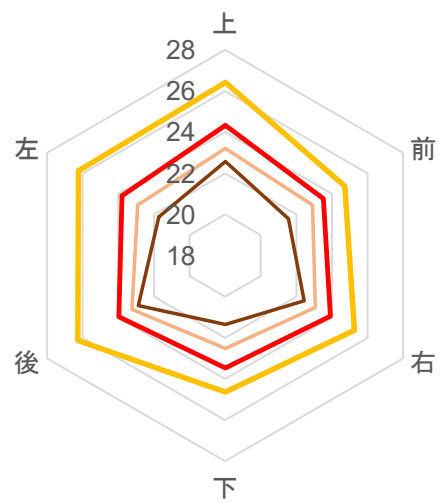


図 3-2-32 F ビル微小面放射温度

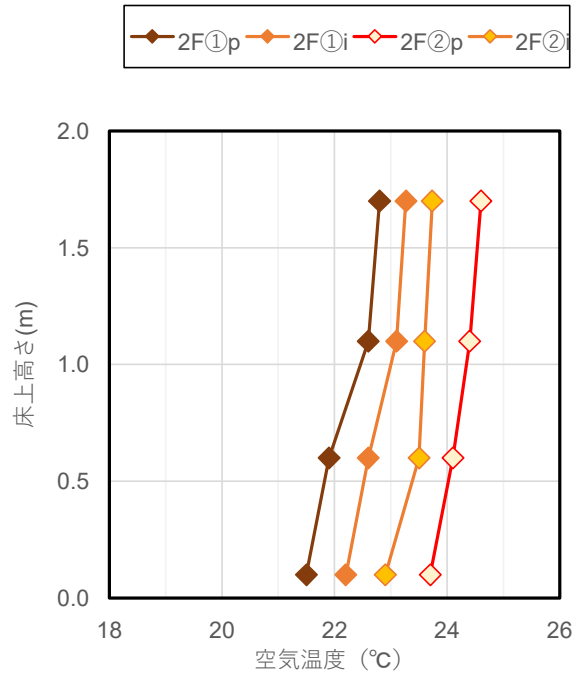
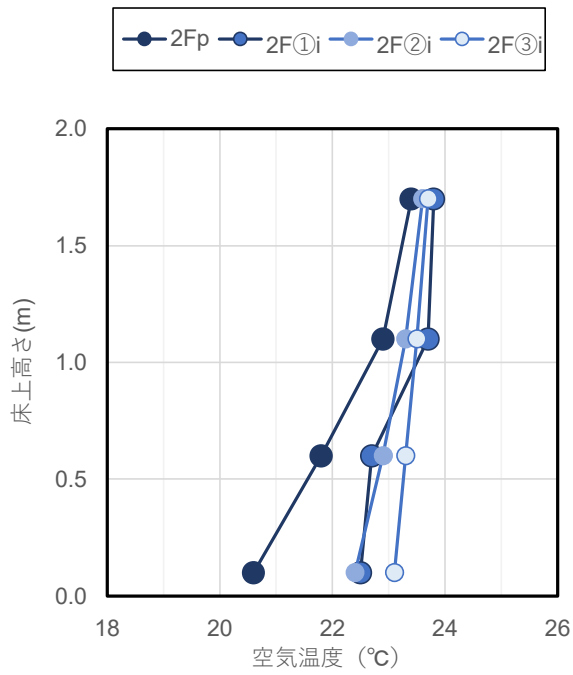


図 3-2-33 上下温度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

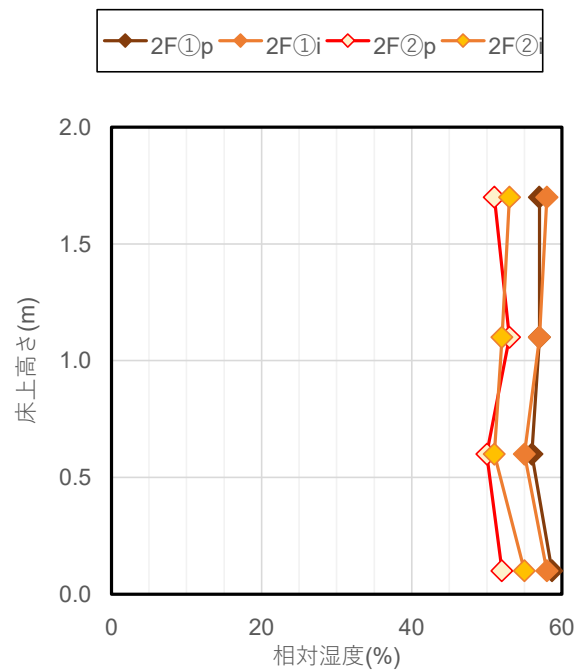
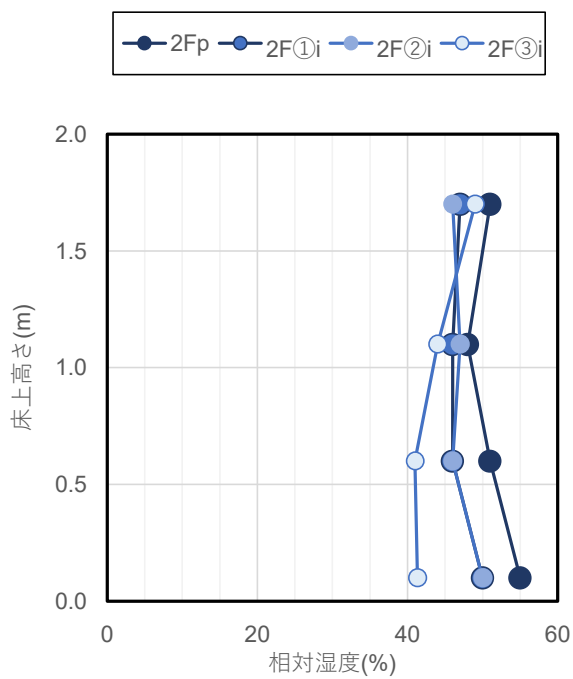


図 3-2-34 上下湿度差 (左 : E ビル、右 : F ビル)

3-3. IoT センサーによる温熱環境評価

A. 研究目的

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

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

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

B. 研究方法

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

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

C. 研究結果

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

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

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

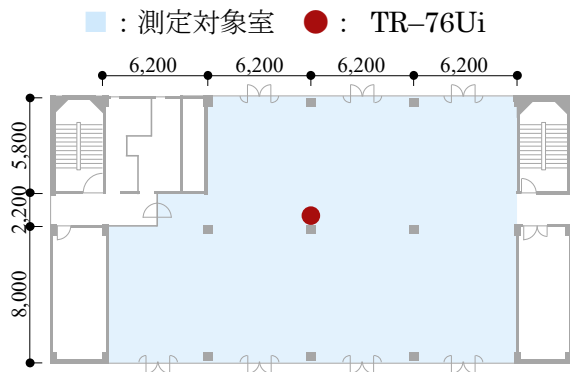


図 3-3-1 Aビル 2階平面概要図

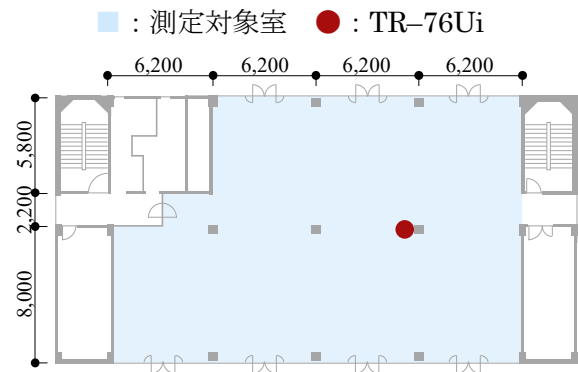


図 3-3-2 Aビル 3階平面概要図

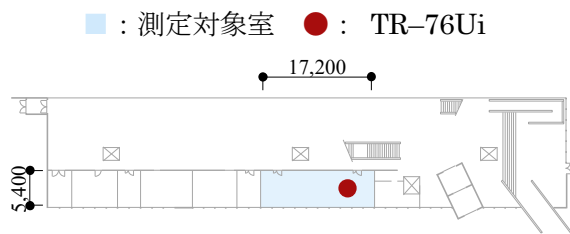


図 3-3-3 Bビル 1階平面概要図

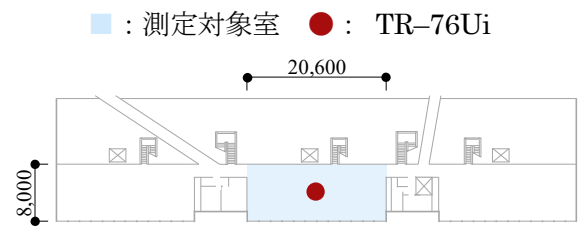


図 3-3-4 Bビル 3階平面概要図

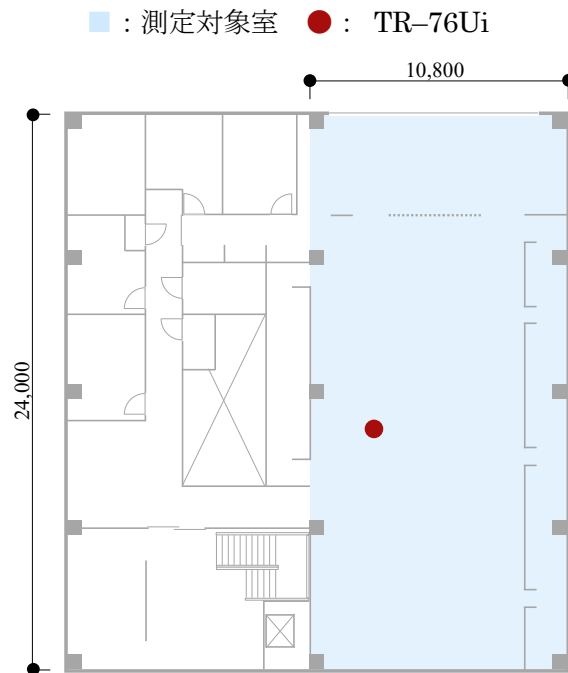


図 3-3-5 Cビル 2階平面概要図

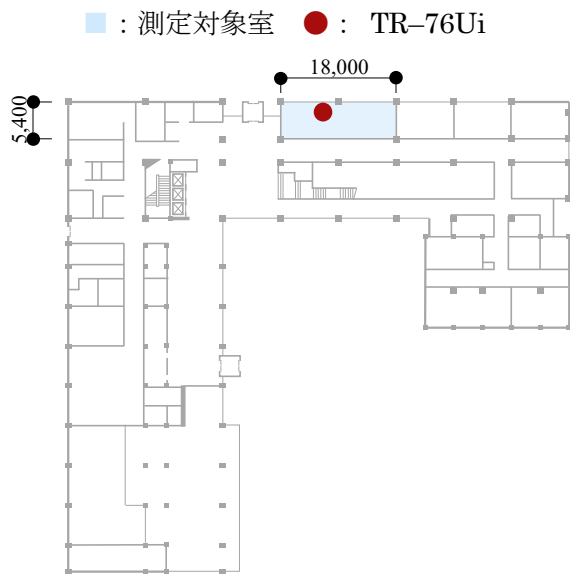


図 3-3-6 Dビル 1階平面概要図

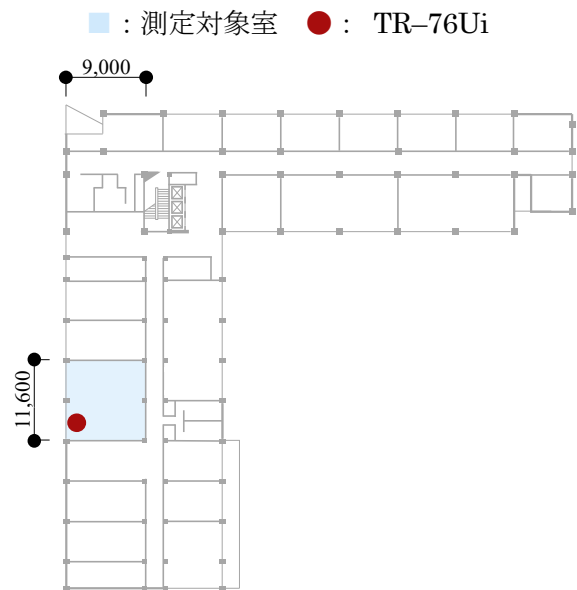


図 3-3-7 Dビル 4階平面概要図

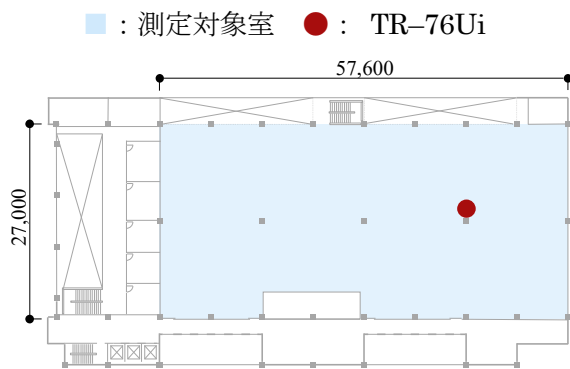


図 3-3-8 Eビル 2階平面概要図

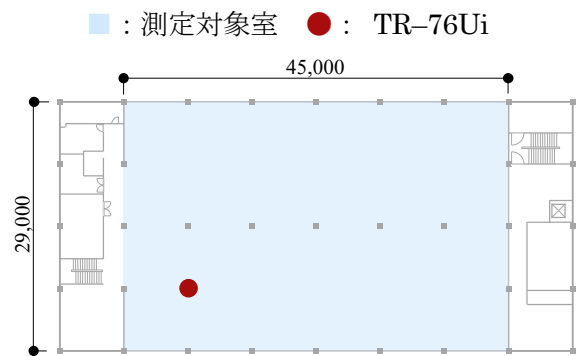


図 3-3-9 Fビル 2階平面概要図

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

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

D ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-30～図

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

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

F ビルにおける温熱環境評価を図 3-3-42～図

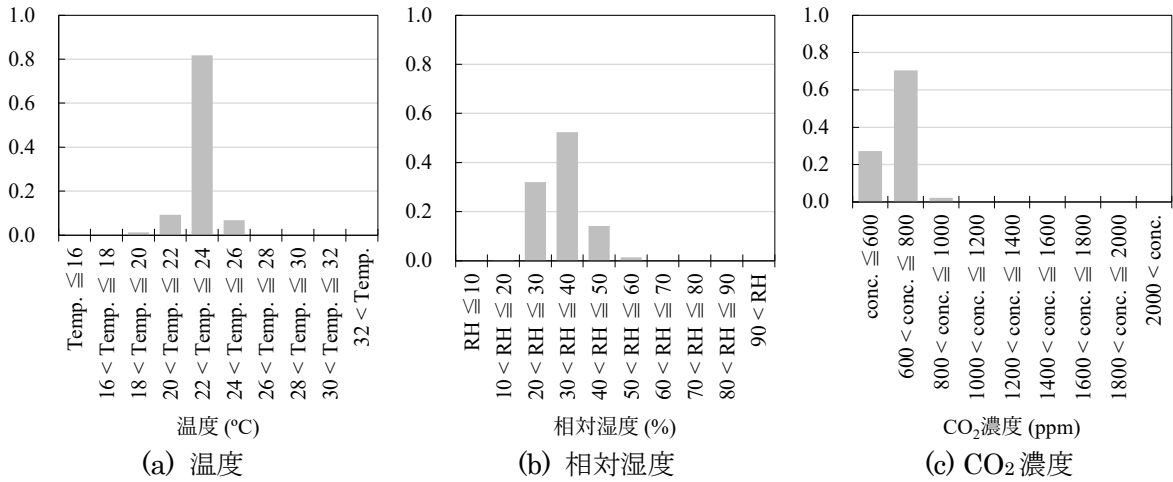


図 3-3-10 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Aビル2階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

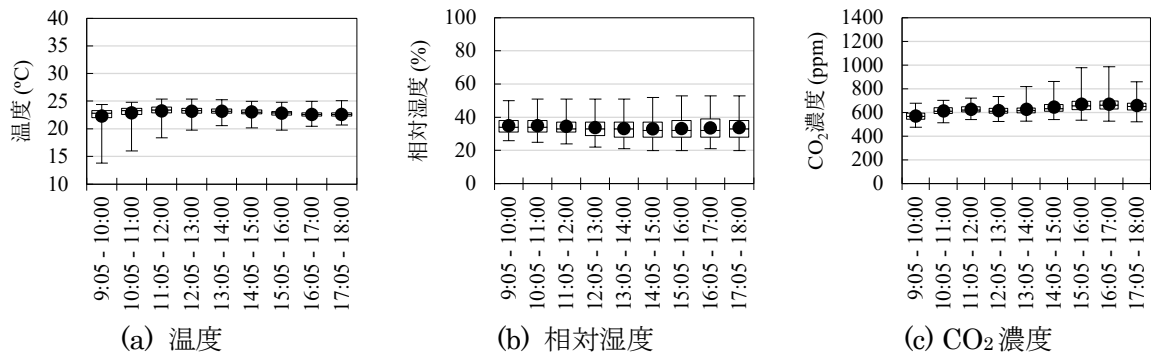


図 3-3-11 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Aビル2階, 12/1 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

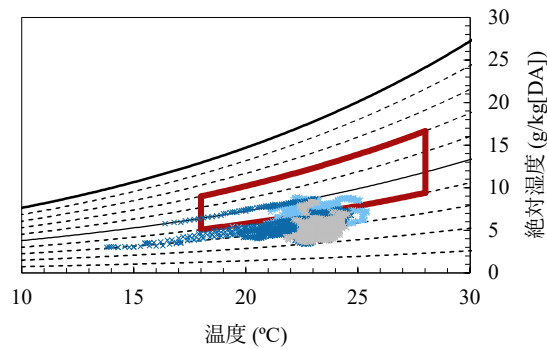


図 3-3-12 室内温湿度 (Aビル2階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

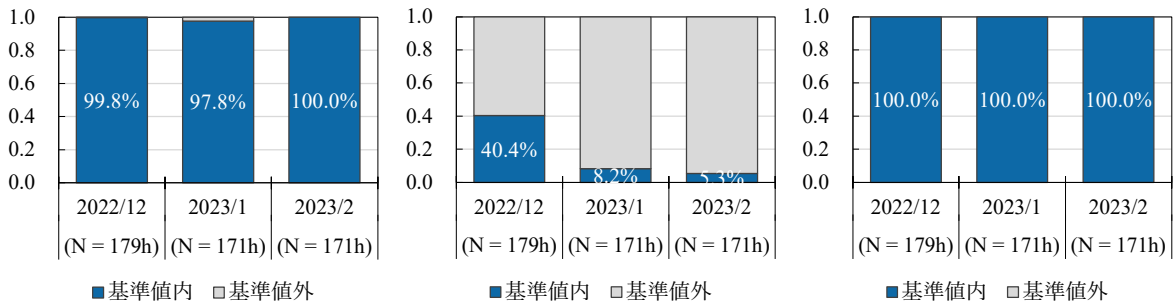


図 3-3-13 基準値内時間率 (Aビル2階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

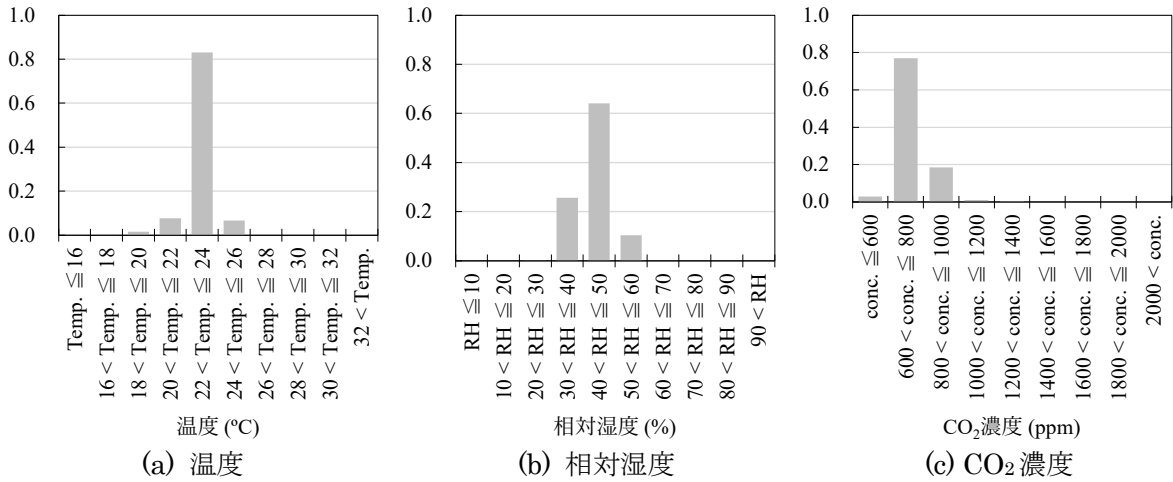


図 3-3-14 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

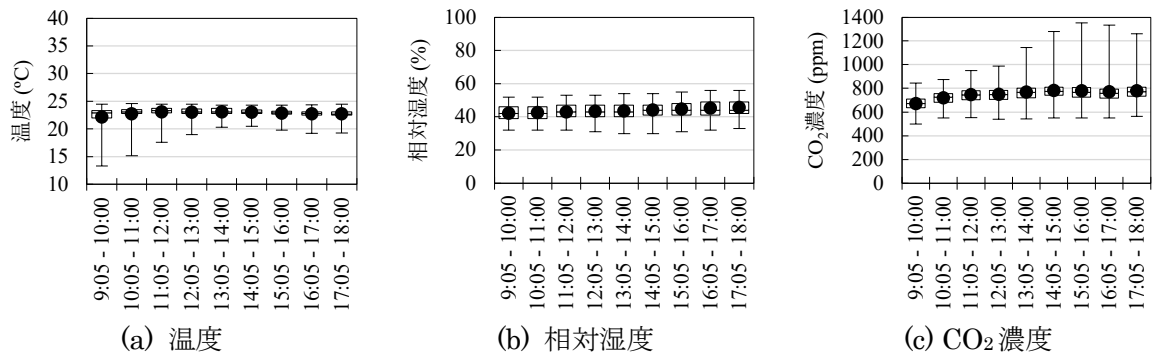


図 3-3-15 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Aビル3階, 12/1 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

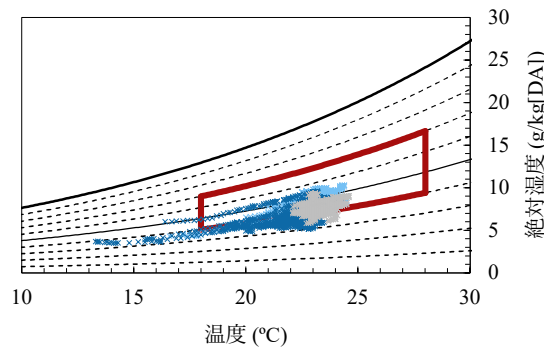


図 3-3-16 室内温湿度 (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

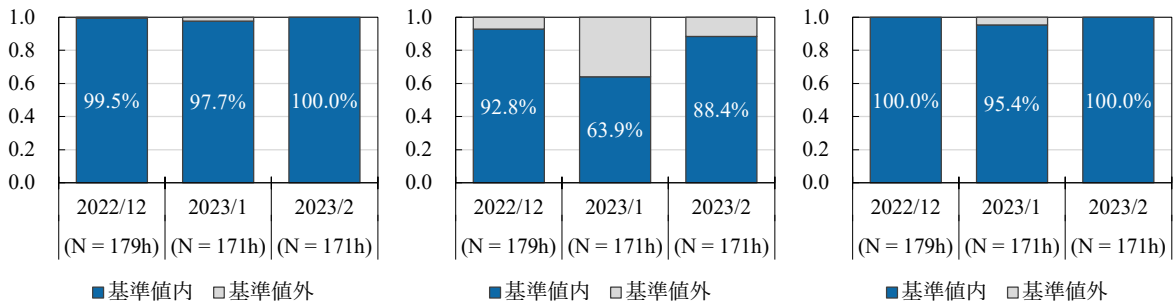


図 3-3-17 基準値内時間率 (Aビル3階, 12/1 - 2/28, 平日 9 - 18時)

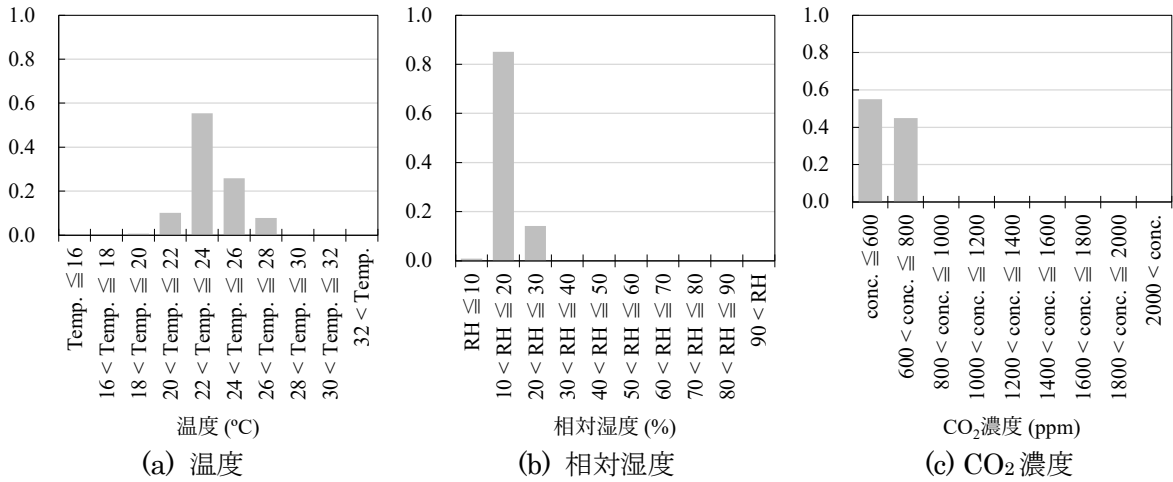


図 3-3-18 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

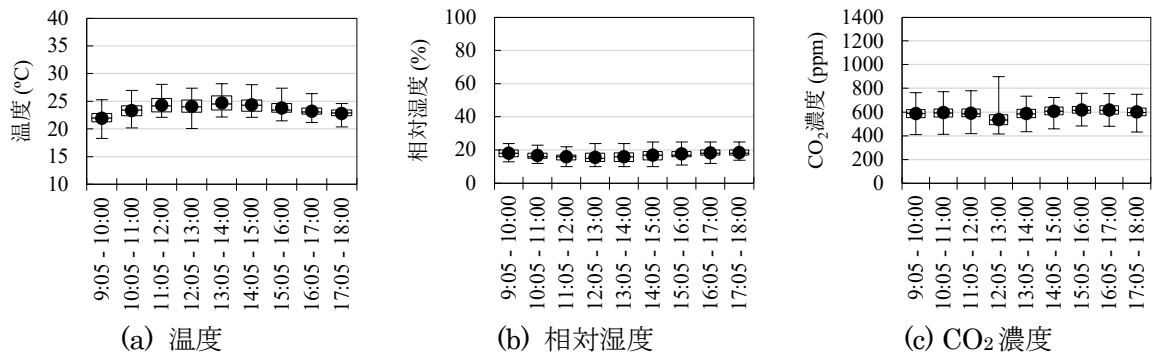


図 3-3-19 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Bビル1階, 12/8-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

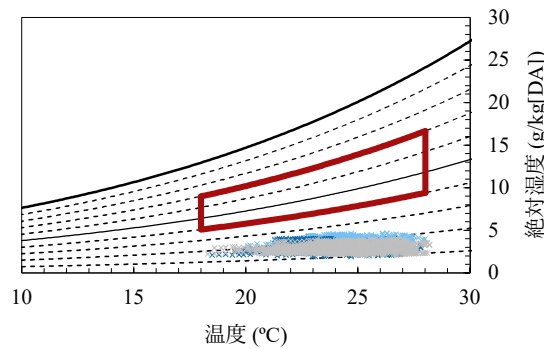


図 3-3-20 室内温湿度 (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

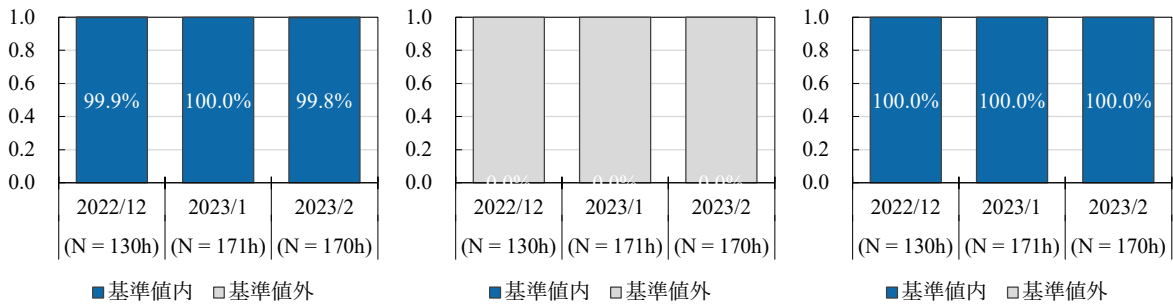


図 3-3-21 基準値内時間率 (Bビル1階, 12/8-2/28, 平日9-18時)

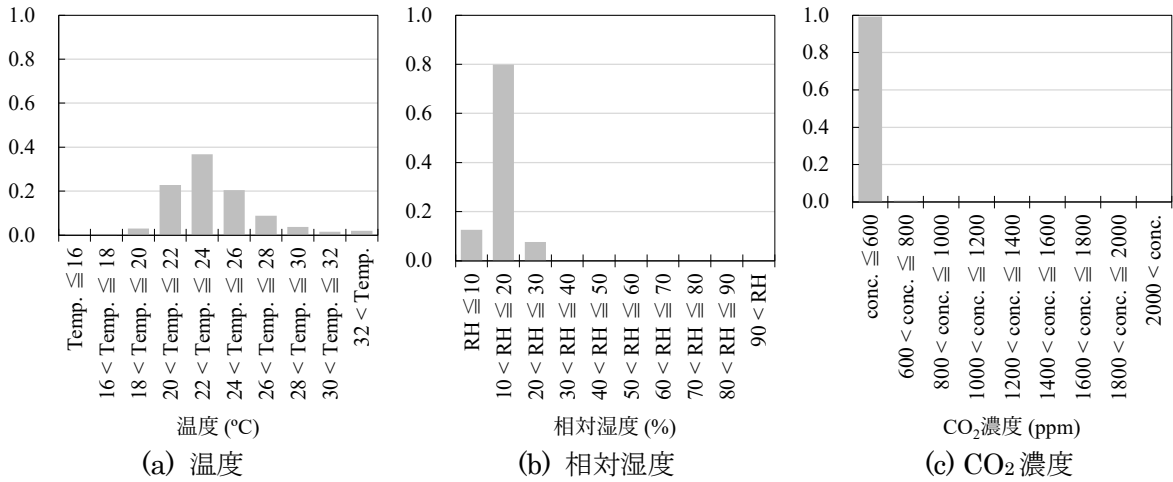


図 3-3-22 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Bビル3階, 12/8 - 2/28, 平日 9 - 18時)

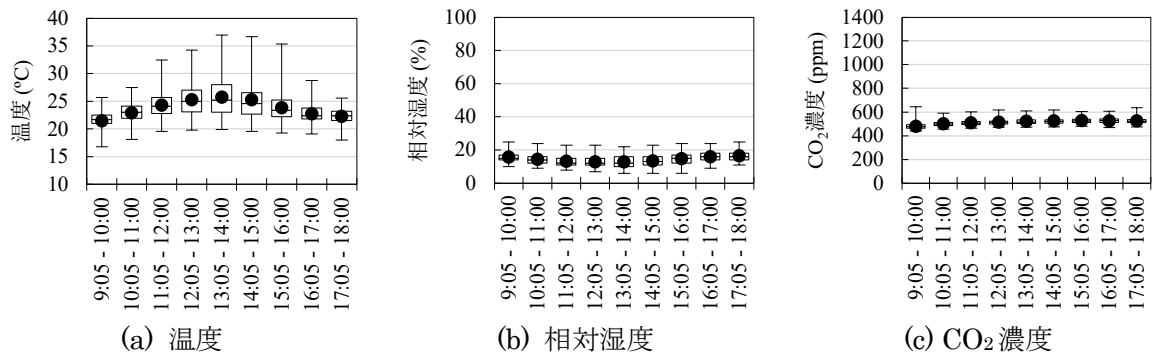


図 3-3-23 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Bビル3階, 12/8 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

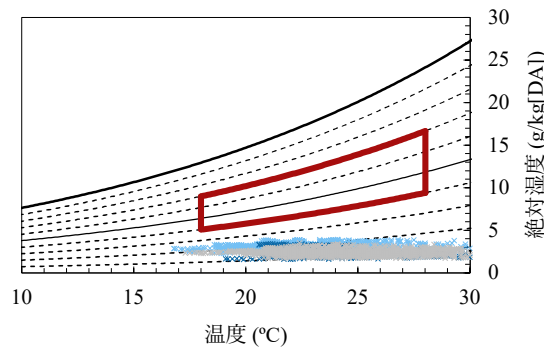


図 3-3-24 室内温湿度 (Bビル3階, 12/8 - 2/28, 平日 9 - 18時)

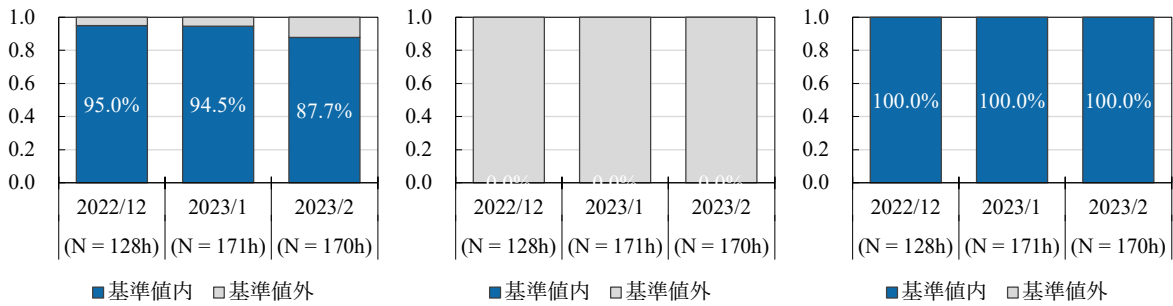


図 3-3-25 基準値内時間率 (Bビル3階, 12/8 - 2/28, 平日 9 - 18時)

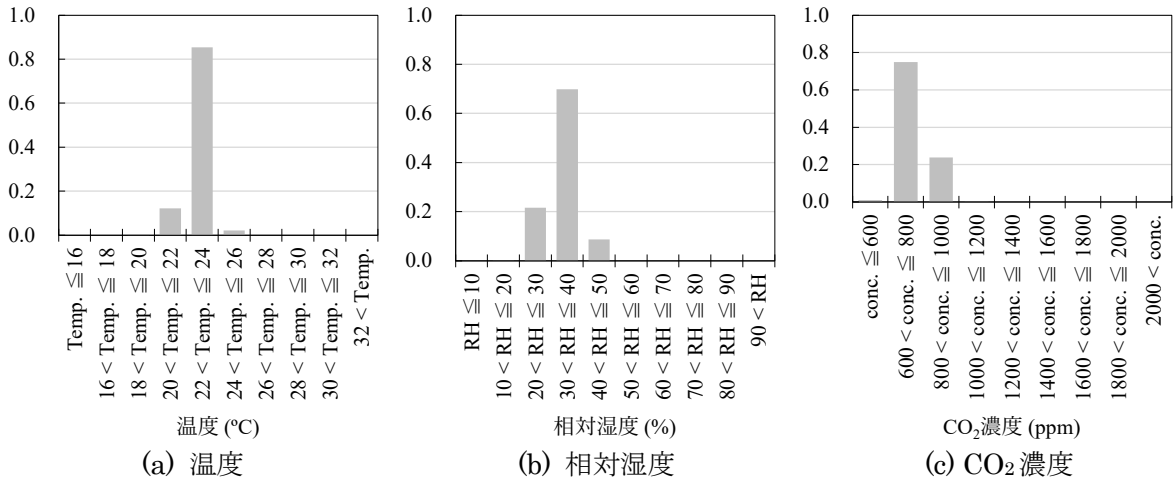


図 3-3-26 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

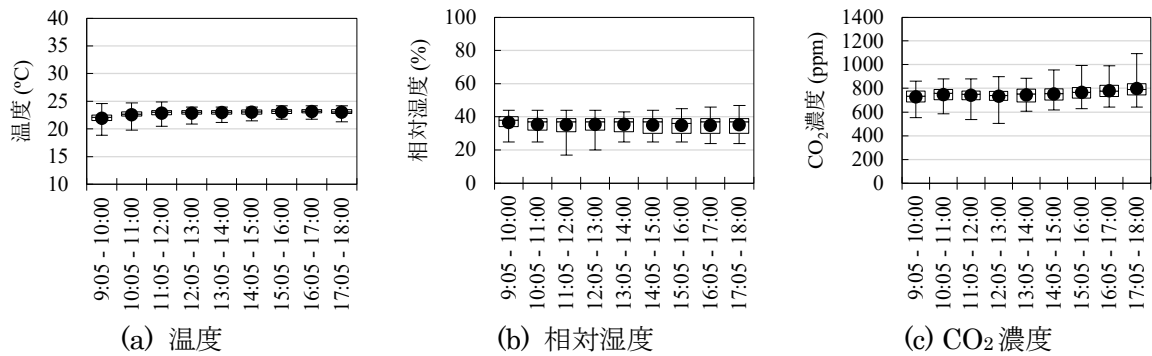


図 3-3-27 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Cビル2階, 12/9 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

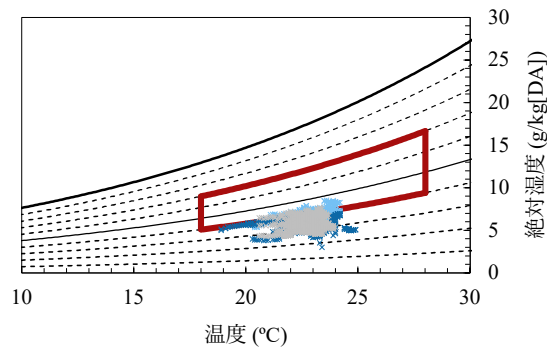


図 3-3-28 室内温湿度 (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

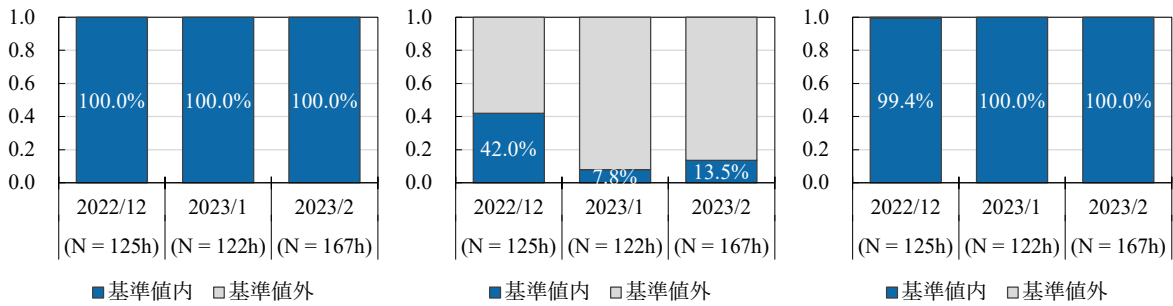


図 3-3-29 基準値内時間率 (Cビル2階, 12/9 - 2/28, 平日 9 - 18時)

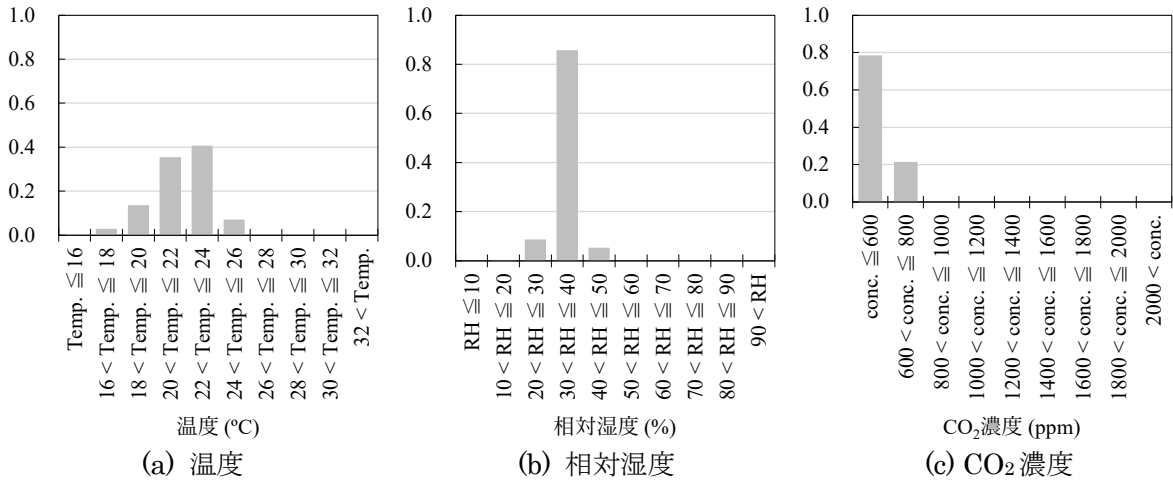


図 3-3-30 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

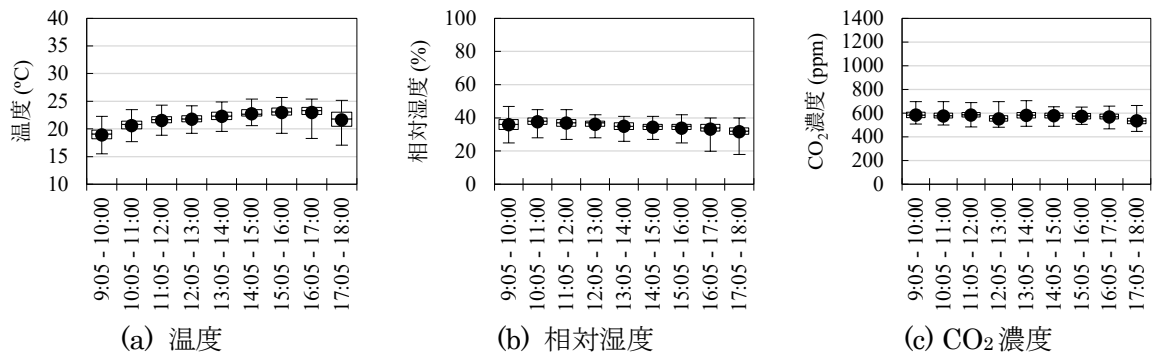


図 3-3-31 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

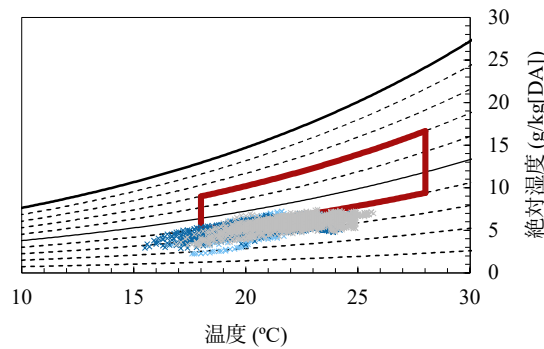


図 3-3-32 室内温湿度 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

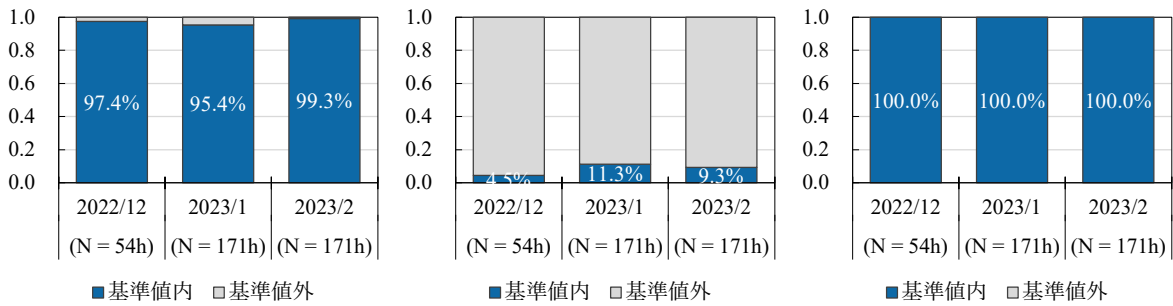


図 3-3-33 基準値内時間率 (D ビル 1 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

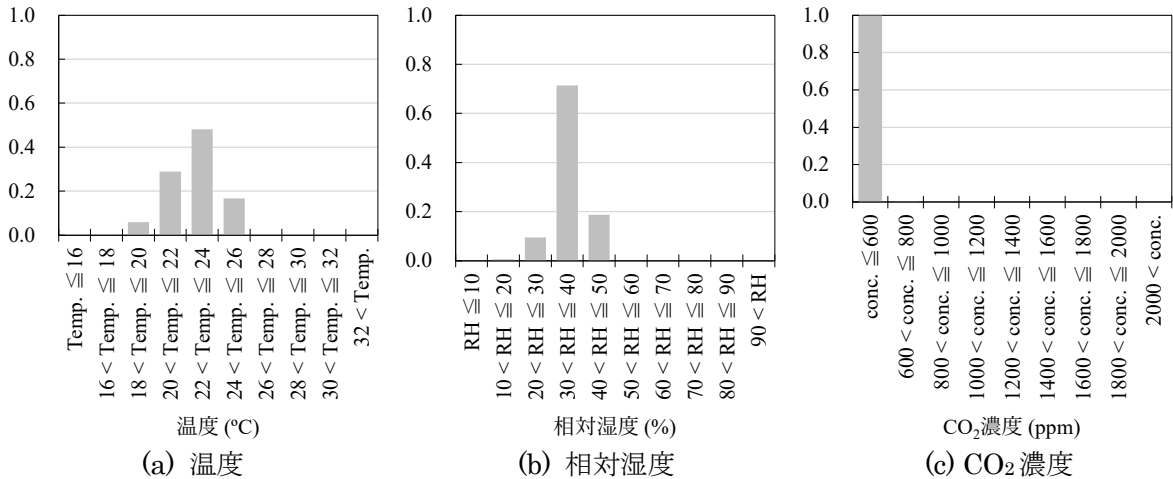


図 3-3-34 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

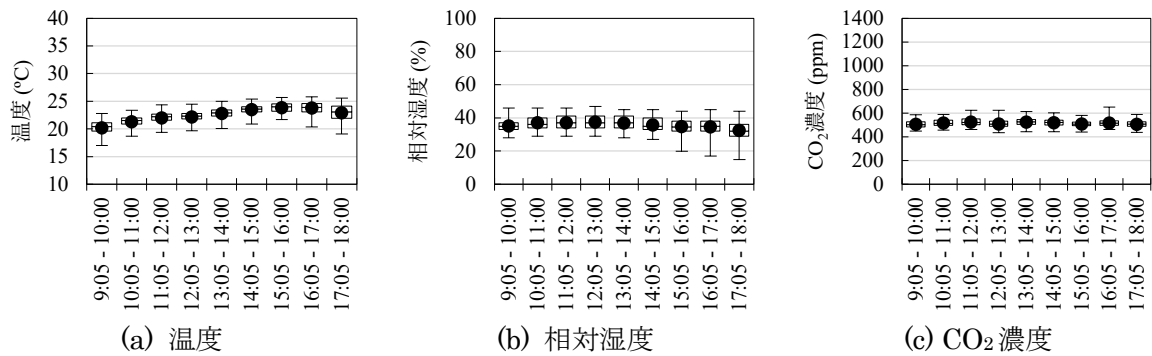


図 3-3-35 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

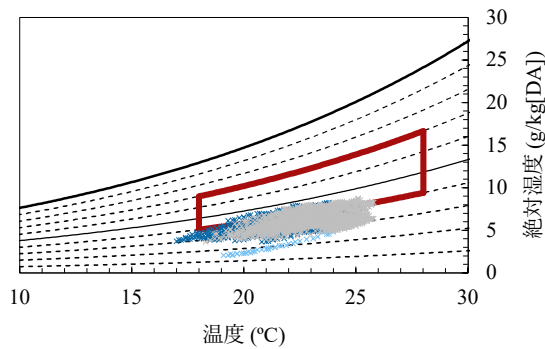


図 3-3-36 室内温湿度 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

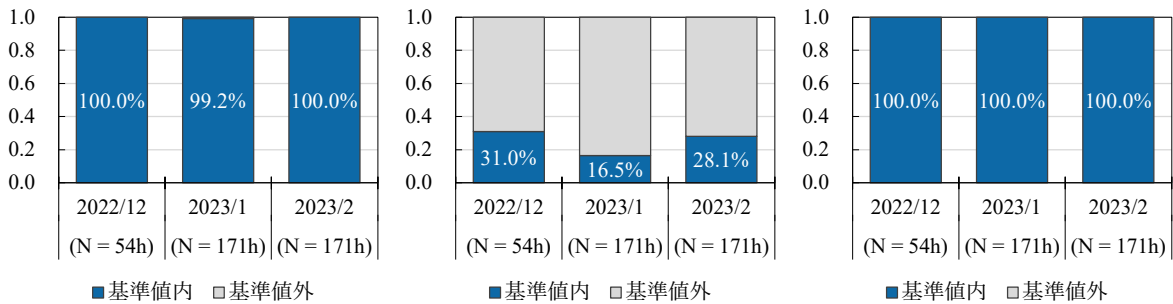


図 3-3-37 基準値内時間率 (D ビル 4 階, 12/21 - 2/28, 平日 9 - 18 時)

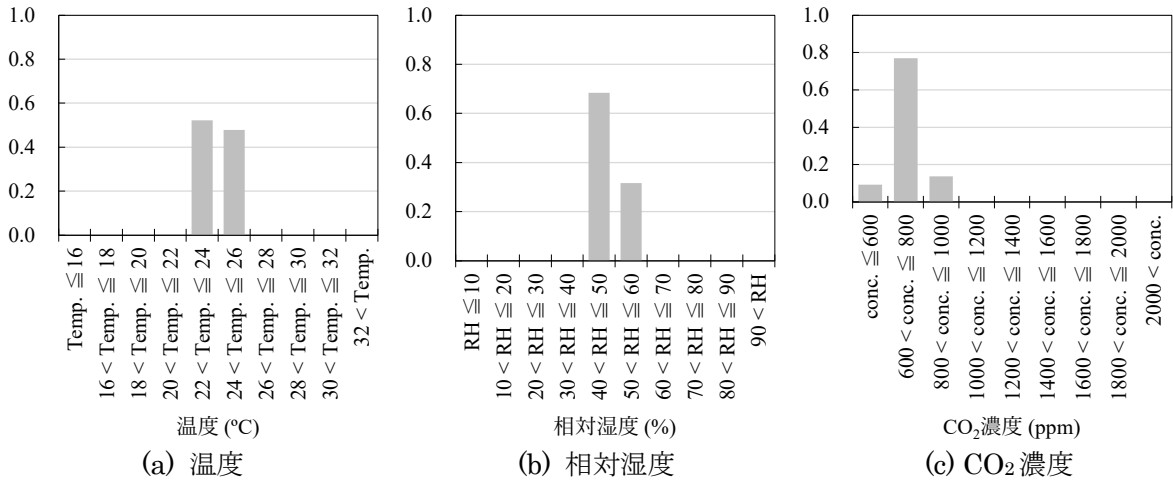


図 3-3-38 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

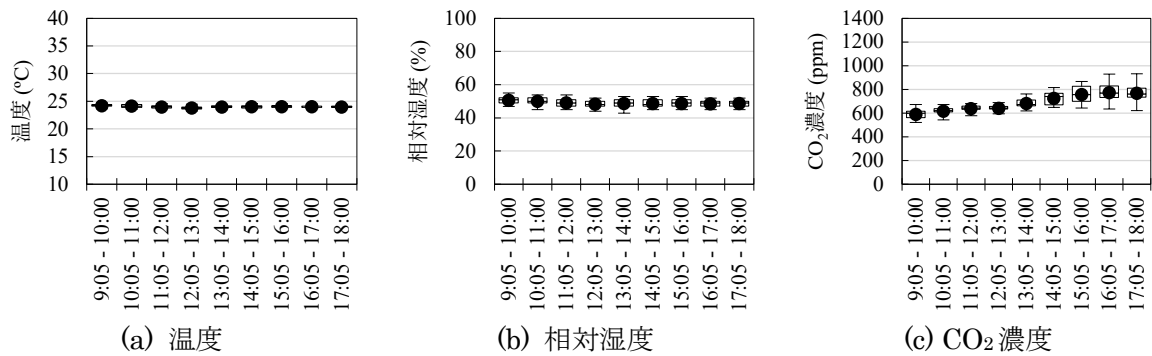


図 3-3-39 温度・相対湿度・CO₂濃度の特別結果 (Eビル2階, 2/16-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

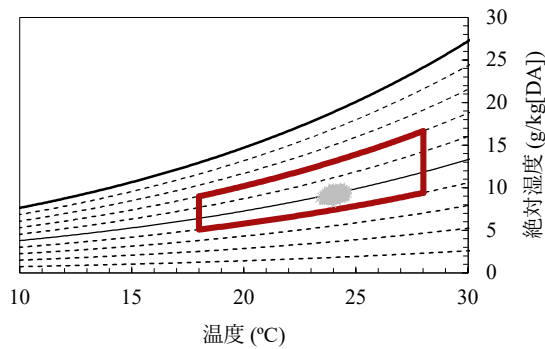


図 3-3-40 室内温湿度 (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

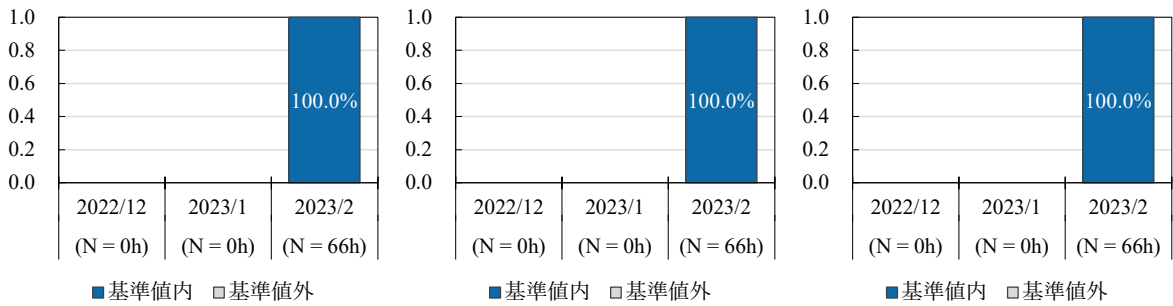


図 3-3-41 基準値内時間率 (Eビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

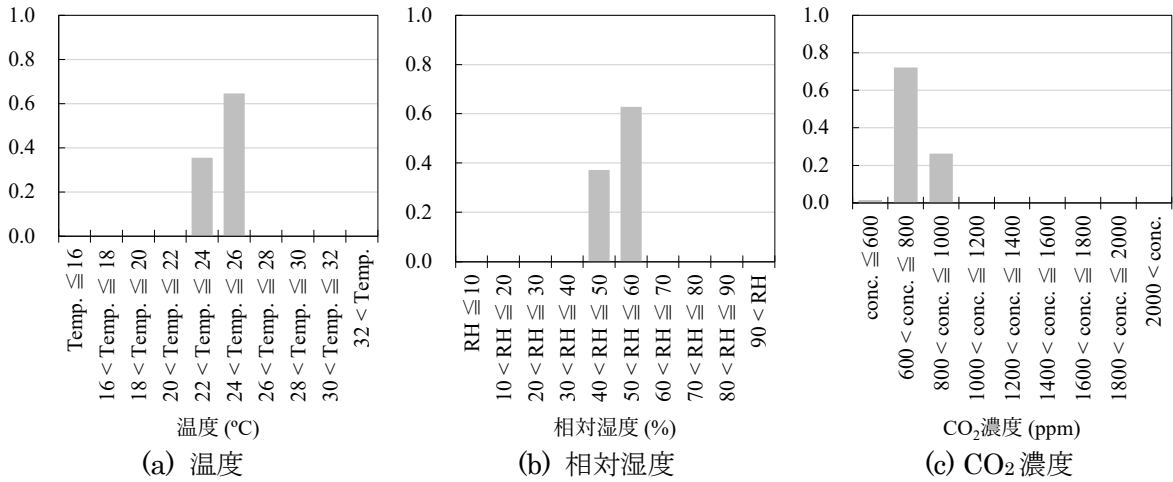


図 3-3-42 温度・相対湿度・CO₂濃度ヒストグラム (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

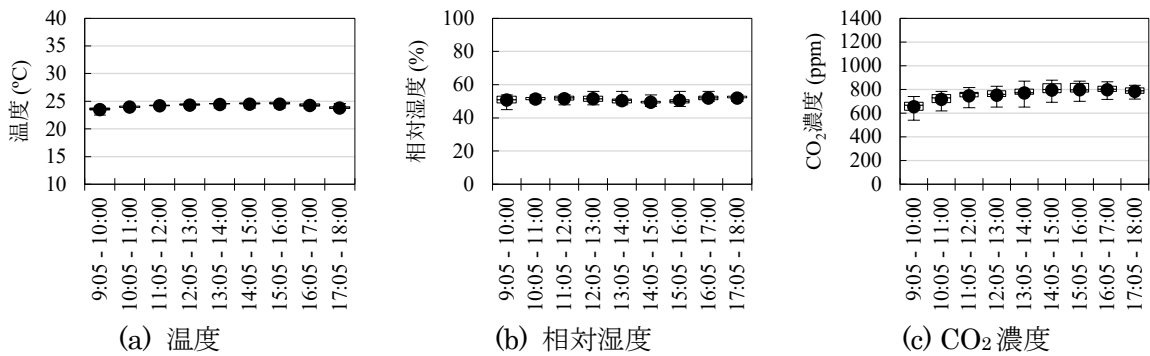


図 3-3-43 温度・相対湿度・CO₂濃度の時別結果 (Fビル2階, 2/16-2/28)

× 2022/12 × 2023/1 × 2023/2

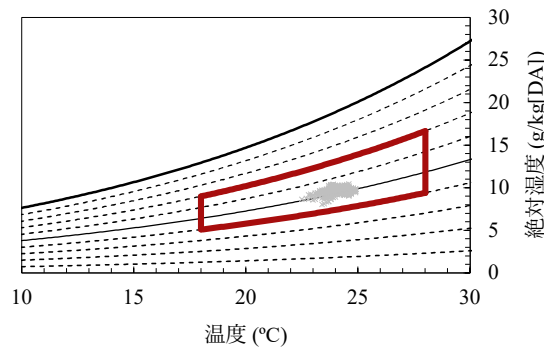


図 3-3-44 室内温湿度 (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

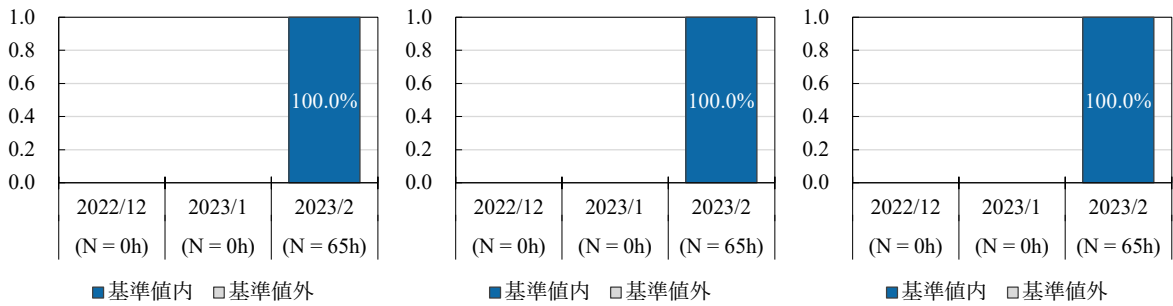


図 3-3-45 基準値内時間率 (Fビル2階, 2/16-2/28, 平日9-18時)

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

D. まとめ

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

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

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし