

厚生労働省科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「中規模建築物所有者等による自主的な維持管理手法の検証のための研究」
分担研究報告書

温湿度・光・音・空気環境の実測調査結果および執務者の主観評価手法に関する検討

代表研究者	本間 義規	国立保健医療科学院	統括研究官
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員
分担研究者	島崎 大	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	阪東美智子	国立保健医療科学院	上席主任研究官

研究要旨

建築物環境における物理的要因には、温湿度、空気、光、音・振動、化学的要因には化学物質等の空気汚染質が、(微)生物学的要因にはウイルスを含む浮遊微生物やレジオネラ属菌等の影響が考えられる。こうした要素は適切な測定及び定量的評価をすればよいが、一般の建築物利用者が専用の機器を利用して環境評価を行うことは難しい。一方で、常にその場において人間の感覚（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚、温熱感覚等）をセンサー替わりにすることができれば、建築物衛生管理のバリエーションは拡大する。以上のような背景のもと、既存建築物オフィス内（全国7件）の温湿度、照度、騒音レベルの長期実測を行うとともに、執務者の主観評価を同時に行って、物理要素と人間の感覚との整合性あるいは相関関係・因果関係を明らかにすることを目的とする。

室内温湿度の長期連続測定結果から、中規模建築物は18-28℃の範囲に収まらない場合もあり、相対湿度に関しては、低湿側で空気環境衛生基準を満たしていないことが明らかとなった。中規模以下建築物は感染症対策としての窓開けを実施している例が多く、そのことが要因である。主観温湿度申告はばらつきが多く、81%の回答者が室内温度よりも低い申告をしており、逆に相対湿度は81%の回答者が実際の室内相対湿度よりも高いと感じていること、さらに湿度の満足度は絶対湿度との相関が確認できた。

光環境は、労働安全衛生法・事務所衛生基準規則で照度の基準がある。今回測定した物件はLED光源が多く、相関色温度も白色（4000～5000K）の範囲が多かった。クルイトフ曲線（相関色温度と照度とから光環境の快適性を判断する曲線）上では、すべての測定物件で快適範囲に入っていた。一方、一部で平均演色性評価数が80を下回る物件があった。心理的温熱感に対する光環境のクロス影響は引き続き検討を行う。

音環境に関しては、等価騒音レベルで50～60dB(A)となっており、小声会話が存在するレベルの騒音状態であった。空調機器騒音やプリンター等のモーター機器に対する不満率は18～26%程度で高くなく、音環境全体の不満率は19%とそれほど高くなかった。また、等価騒音レベルと会話時間、CO₂濃度とから換気量の推定を試みた。

空気環境に関しては、CO₂濃度、浮遊微粒子濃度、浮遊微生物濃度と執務者の空気質に対する主観評価を用いて分析を行った。執務者のCO₂呼出量から換気量を推定し、すべての測定建物で30m³/h/personを満たしていることを確認した。浮遊微粒子濃度は粒径1.0～3.0μmの範囲で換気量と有意に相関があり、また中性能フィルタが利用されていない換気設備を使っている建築物では、窓開放を併用していることもあり個数濃度が高めであることがわかった。浮遊微生物に関しては日本建築学会規準の基準値以下であった。空気質に関しては空気の汚れ感と換気量は有意に相関があり、満足度とも関連することがわかった。臭いに関して不満率は低く、微生物濃度の低さや換気量が確保されている状況から判断すると妥当な評価であることが示された。

2-1. 建物概要と長期室内環境測定

A. 研究目的

本研究では、7件の建物を対象として室内環境の測定ならびに執務者を対象とした主観評価調査を実施する。本節では7件の建物概要ならびに冬期の室内環境測定結果を示す。

B. 研究方法

B.1. 建物概要

本研究で対象とする建物概要を表 2-1-1 に示す。室内環境測定と主観評価調査を実施する。本研究では全国各地に建つ7件の建物を対象に室内環境の測定ならびに執務者に対する主観評価調査を実施した。A から C は特定建築物、D から G は中小規模建築物に該当する。いずれも用途は事務所であり、A と C は中央管理空調方式、その他は個別管理空調方式であった。換気方式は A と D が第1種熱交換換気、B が外調機、その他は第3種換気であった。

B.2. 室内環境測定

室内環境測定の概要を表 2-1-2、各建物における長期測定用の測定機器設置位置を図 2-1-1 に示す。長期測定ではCO₂濃度・温度・相対湿度、照度、騒音レベルを測定した。また、温度と相対湿度から Tetens の式¹⁾(式 2-1)より、飽和水蒸気圧・水蒸気分圧を算出し、絶対湿度に換算した。2022年の夏期から測定している建物もあるが、本報では冬期として2022年12月

から2023年3月までの結果を集計した。

C. 研究結果

C.1. 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度

はじめに、温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の月別測定値を図 2-1-2 に示す。本図は A～C が営業(月～金)の9～18時の結果、D～F が営業日(月・火・木・金・土)の9～18時の結果、G が営業(月～金)の10～18時の結果を示している(営業日・営業時刻については以降の章・節で共通)。

A においては時期による変動は小さく、各中央値は温度が約25°C、相対湿度が約40%、絶対湿度が約8g/kg[DA]、CO₂濃度が約650～770ppmであった。

B においては温度の中央値は時期に変動は小さく24～25°Cであった。一方で相対湿度・絶対湿度は時期による変動が大きく2月の相対湿度の中央値は25%、絶対湿度の中央値は4.8g/kg[DA]であり、月別では最低値であった。なお、CO₂濃度の中央値は12月が717ppmであったが、1～3月は800ppmを超えており、12月と比較して高くなっていた。

C においては温度・相対湿度・絶対湿度の時期による変動は小さく、各中央値は温度が約25°C、相対湿度が約35%、絶対湿度が約7g/kg[DA]であった。一方でCO₂濃度の中央値は1月が928ppm、3月が808ppmと時期による変動が見られた。

表 2-1-1 調査建物の概要

建物	所在地	延床面積(m ²)	竣工年	階数	測定階数	空調 ^{*1}	換気 ^{*2}
A	北海道札幌市	25 289.2	1995	B1-16F	10F	AHU+CAV	第1種 HEX
B	宮城県仙台市	6 799.6	1991	B1-8F	7F	PAC	OHU
C	東京都新宿区	93 996.5	2011	B2-35F	22F	AHU+VAV	不明
D	北海道札幌市	1 372.7	2018	3F	2F	PAC	第1種 HEX
E	熊本県熊本市	973.4	不明	3F	3F	PAC	第3種
F	石川県金沢市	805.5	不明	1F	1F	PAC	第3種
G-1	東京都中央区	472.5	不明	3F	2F	PAC	第3種
G-2					3F		

※1 AHU: 空気調和機, CAV: 定風量単一ダクト方式, PAC: パッケージエアコン, VAV: 変風量単一ダクト方式

※2 OHU: 外調機, HEX: 全熱交換器

表 2-1-2 長期室内環境測定の概要

【長期測定】

- 1) CO₂濃度・温度・相対湿度: T&D TR-76Ui, 10分間隔, 1点設置
- 2) 照度: Onset CO-MX1104, 1分間隔, 1点設置 →前10分間平均値として集計
- 3) 騒音レベル: DAIKIN, 10分間隔, 1点設置

Dにおいては温度の中央値は約26~27°Cであったが、1月は30.4°Cまで上昇している時間帯もあった。相対湿度の中央値は約20%であるが、12~2月の各月平均値は約16~18%、3月の平均値は約22%と12~2月と比較してやや高い傾向であった。なお、CO₂濃度の中央値は800~900ppmと時期による変動は小さい。

Eにおいては温度の中央値は12月が25.2°C、3月が26.7°Cと上昇傾向であり、3月の最高値は29.8°Cであった。相対湿度の中央値は各月とも約30%であるが、3月の上旬と下旬では相対湿度に差があったことから、第一四分位点と第三四分位点の差が他の月と比較して大きくなっている。なお、なお、CO₂濃度の中央値は約600~700ppmと時期による変動は小さい。

Fにおいては温度の中央値は12月が23.1°C、3月が24.1°Cと上昇傾向であった。一方で対湿度の中央値は各月とも約30%であるが、3月の下旬では相対湿度が上昇していた。なお、CO₂濃度の中央値は約600ppmと時期による変動は小さい。

Gにおいては2階の温度の中央値は約22~23°C、3階の温度の中央値は約24°Cであり、3階の温度は2階の温度と比較して高い。この要因の一つとして階段室を経路とした隙間風が挙げられる。相対湿度の中央値は各回とも20~30%であり、時期による変動は小さい。なお、CO₂濃度については在室人数による影響が大きく2階の中央値が約550~650ppmであるのに対して3階の中央値は約600~750ppmと3階の方が高くなった。また、3階のCO₂濃度の中央値は12月が580ppm、2月が759ppmと上昇傾向であった。

次に、12~3月の営業日・営業時刻における温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の測定結果を図2-1-3に示す。中央管理空調方式であるAとCは温度の幅が小さいが、個別管理空調方式である建物は温度の幅が大きく、Dでは30°C超、Gでは16°C未満となる時間帯もあった。また、AとCの相対湿度・絶対湿度の平均値は他の建物と比較して高い結果であった。CO₂濃度は在室人数の影響もあるが、B・C・Dの中央値が800ppmを超えており他の建物と比較して高い傾向にあった。

最後に、温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の時刻別測定結果を図2-1-4に示す。本図は1時間につき6回の計測値を12~3月で集計し、箱ひげ図で示している。

Aにおいては9~10時の温度の中央値が24.4°Cと営業時刻内では最低値であったものの、営業時刻内の中央値はいずれも約25°Cと変動は小さい。また、相対湿度は温度変化に伴って変動しており、9~10時の相対湿度の中央値が44%と最高値であった。なお、CO₂濃度の中央値はいずれも約700ppmと変動は小さい。

Bにおいては温度の中央値はいずれも約24~25°Cと変動は小さいが、20.6°Cまで低下する日や27.5°Cまで上昇する日など日によって温度に差がある。CO₂濃度の中央値は12~13時に低下するが午前・午後のいずれも上昇傾向にある。なお、相対湿度・絶対湿度の中央値は30~35%・約6~7g/kg[DA]と変動は小さい。

Cにおいては時期による変動は小さく、各中央値は温度が約25°C、相対湿度が約35%、絶対湿度が約7g/kg[DA]、約800~900ppmであった。なお、3月下旬に相対湿度が50%程度となっていたことから相対湿度・絶対湿度の最高値が高くなっている。

Dにおいては温度は11~12時をピークに変動している。営業時刻内の中央値はいずれも26~27°Cと変動は小さいが、11~12時に30.4°Cまで上昇する日もある。CO₂濃度は12~14時に低下しているが、午前・午後のいずれも上昇傾向にある。なお、相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の中央値は約20%・約3.5~4.0g/kg[DA]と変動は小さい。

Eにおいては9~10時の温度の中央値が24.3°Cと営業時刻内では最低値であり、当該時刻に19.8°Cまで低下する日もあった。10時以降の温度は約25~26°Cで推移している。相対湿度の中央値は約30%で変動は小さいが、温度が上昇しているため絶対湿度は時間とともに上昇傾向にある。CO₂濃度は12~14時に低下しているが、午前・午後のいずれも上昇傾向にある。

Fにおいては9~10時の温度の中央値が21.7°Cと営業時刻内では最低値であり、当該時刻に17.1°Cまで低下する日もあった。11時以

降の温度は約 24°C で推移している。相対湿度は時間とともに低下傾向にあるが、絶対湿度は温度が上昇していることから変動は小さい。なお、CO₂濃度の中央値は約 600ppm と変動は小さい。

G においては 2 階の温度の中央値は約 22°C であり変動は小さいが、3 階の 10~11 時の温度の中央値は 21.3°C と営業時刻内では最低値であり、15.7°C まで低下する日もあった。11 時以降の温度の中央値は単調増加であり、17~18 時には 24.7°C であった。相対湿度・絶対湿度の中央値は各階とも約 20%、約 3~4g/kg[DA] と変動は小さい。CO₂濃度の中央値は約 600~700ppm で変動は小さい。

C.2. 照度

照度の時刻別測定結果を図 2-1-5、照度のヒストグラムを図 2-1-6 に示す。時刻別測定結果は 1 時間につき 6 回の平均計測値を 12~3 月で集計し、箱ひげ図 (95%ile, 75%ile, 50%ile, 25%ile, 5%ile) で示している。ヒストグラムは 12~3 月の営業日・営業時刻の結果を示している。

A においては照度の中央値は 11~12 時をピークに変動している。これは人工照明を基本としながら自然照明の影響が表れていると考えられるが、11~12 時の中央値は 832lx、18 時の中央値は 783lx と変動は小さい。また、ヒストグラムによると、750~1000lx となる時間が 608 時間の内、約 99%を占めている。

B においては 12~13 時、18 時を除いて照度の中央値は 877~892lx と変動は小さい。12~13 時は休憩時間の消灯、18 時は 18 時前の退勤日があることが影響しており、5%ile 値も小さくなっている。また、ヒストグラムによると、750~1000lx となる時間が 607 時間の内、約 82%となっているが、前述の消灯を除けばほとんどすべての時間で 750~1000lx となっている。

C においては 12~13 時を除いて照度の中央値は 520~553lx と変動は小さい。12~13 時は休憩時間の消灯が影響しており、5%ile 値も小さくなっている。また、ヒストグラムによると、500~750lx となる時間が 205 時間の内、約 90%となっているが、前述の消灯を除けばほとんどすべての時間で 500~750lx となっている。

D においては照度の中央値は約 800lx であるが、11~12 時をピークに変動している。これは人工照明を基本としながら自然照明の影響が表れていると考えられる。ヒストグラムによると、750~1000lx となる時間が 628 時間の内、約 94%となっている。

E においては照度の中央値は約 800lx であるが、15 時以降に照度の中央値が低下する傾向が見られた。これは自然照明の影響が表れていると考えられる。ヒストグラムによると、750~1000lx となる時間が 702 時間の内、約 97%となっている。

F においては照度の中央値は約 750lx であり、変動は小さい。照度の 5%ile が約 400lx となっているが、2 月中旬頃に一定期間の 400lx の時間が続いていたことから当該期間は測定機器直近の照明が消灯されていた可能性がある。この影響もあり、ヒストグラムによると、601 時間の内、約 82%が 750~1000lx であったものの 500lx 以下の時間帯が約 7%あった。

G においては照度の中央値は約 700lx であり、変動は小さい。ヒストグラムによると、500~750lx となる時間が 365 時間の内、約 79%となっている。

C.3. 等価騒音レベル

騒音レベルの時刻別測定結果を図 2-1-7、騒音レベルのヒストグラムを図 2-1-8 に示す。時刻別測定結果は 1 時間につき 6 回の計測値を 12~3 月で集計し、箱ひげ図で示している。ヒストグラムは 12~3 月の営業日・営業時刻の結果を示している。

時刻別測定結果によると、B の 12~13 時・17 時以降、G-1 の 16 時以降に騒音レベルの低下が見られるものの、多くの建物において時間的変動は見られなかった。

ヒストグラムによると、A・B・D・E・G-1 において 50~55dB[A]、C・F・G-2 において 55~60dB[A]が最頻値であった。60dB[A]以上が観測される建物もあり、その比率は F では 708 時間の内、約 13%、G-2 では 364 時間の内、約 10%であった。

D. まとめ

本節では、本研究で対象とする建物の概要と

長期室内環境測定の結果を示した。

対象とする建物は日本全国に建つ7件（特定建築物：3件、中小規模建築物3件）である。なお、特定建築物3件の内、2件が中央管理方式の空調であった。

長期室内環境測定は2022年12月から2023年3月の結果を集計した。長期室内環境測定結果によると、温度は中央管理空調方式の建物において変動の小さい環境が形成されていた一方で、その他建物は9～10時に20°Cを下回る建物があった。また、相対湿度についても中央管理空調方式の2件は中央値が約40%であり、その他の建物と比較して高い傾向にあった。CO₂濃度は在室人数による影響が多いが、時間の経過とともに上昇する建物も見られた。照度は測定位置の影響もあるが自然照明の影響はほとんどなく時間的変動は見られなかった。なお、期間平均照度が最も低かった建物で498lx、最も高かった建物で861lxであった。騒音レベルも時間的変動は見られなかった。なお、期間平均騒音レベルが最も低かった建物で51.3dB[A]、最も高かった建物で58.0dB[A]であった。

本結果は後述の主観評価の分析の際に利用する予定である。

E. 参考文献

- 1) Tetens, O.: Uber einige meteorologische Begriffe. Z Geophys. 6, pp. 297–309, 1930.

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

■測定対象エリア ●CO₂濃度・温度・相対湿度 ●照度 ●騒音レベル

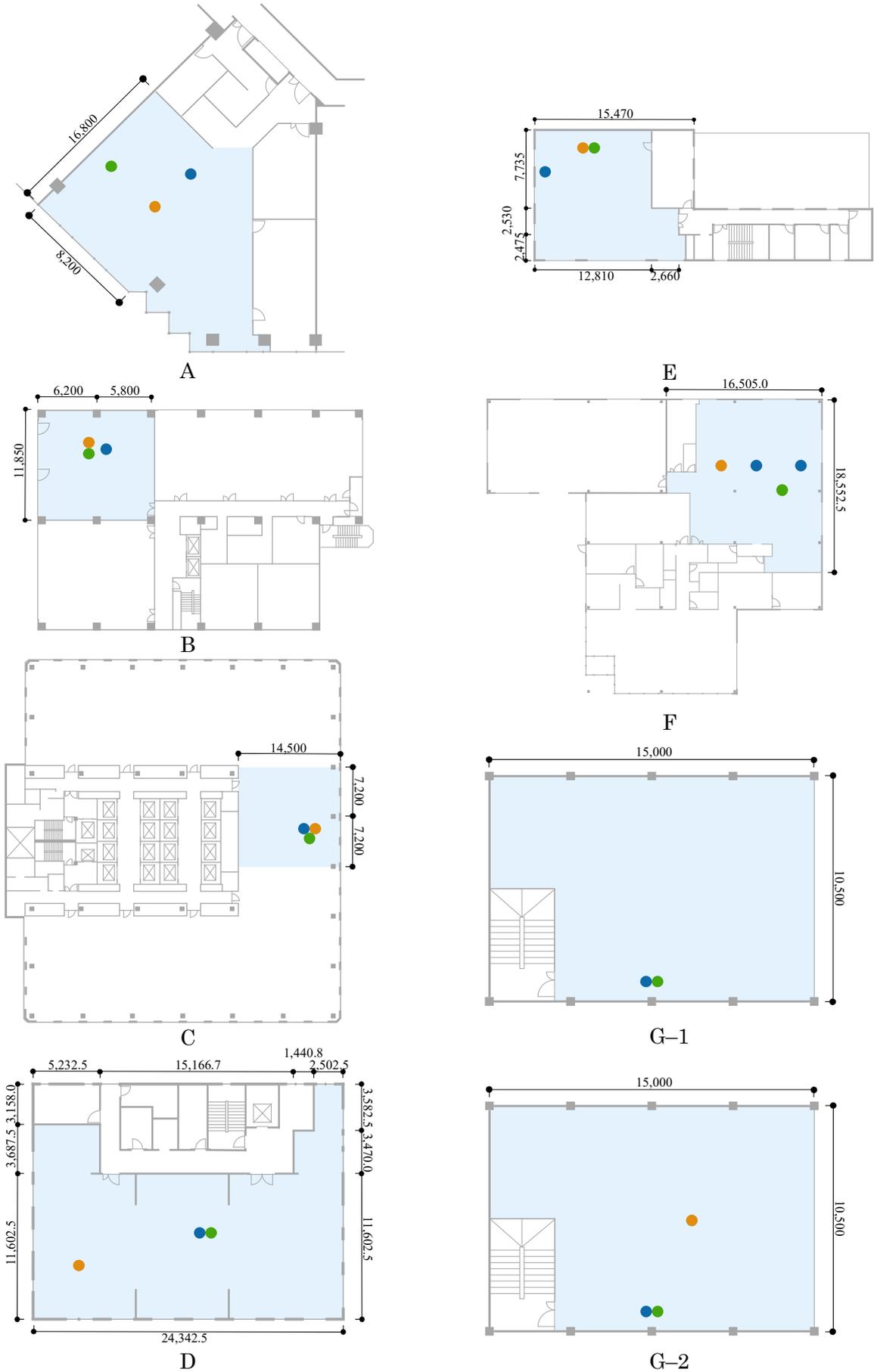
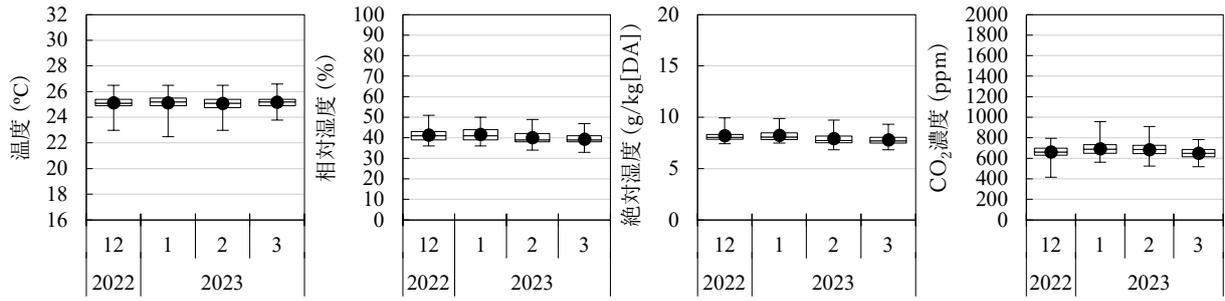
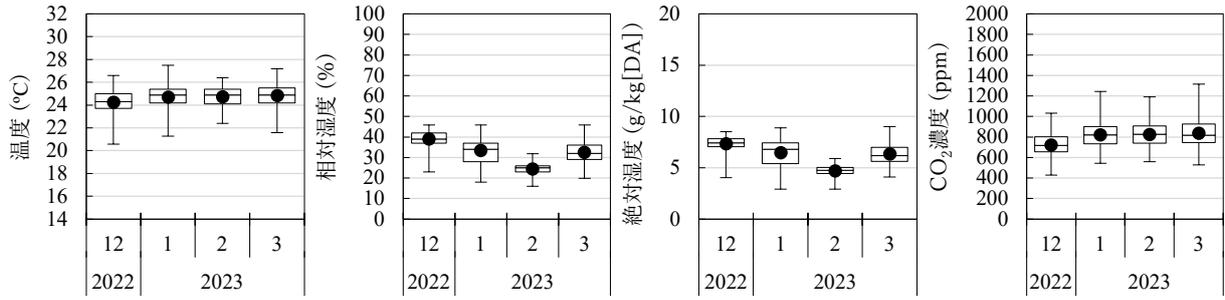


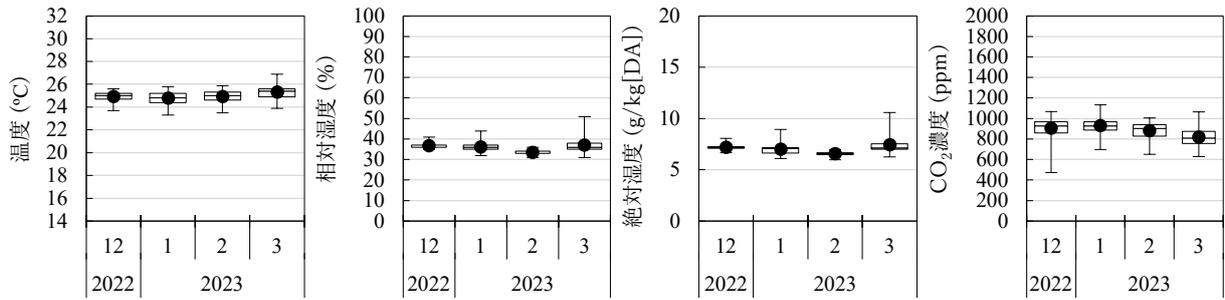
図 2-1-1 長期測定用の測定機器設置位置



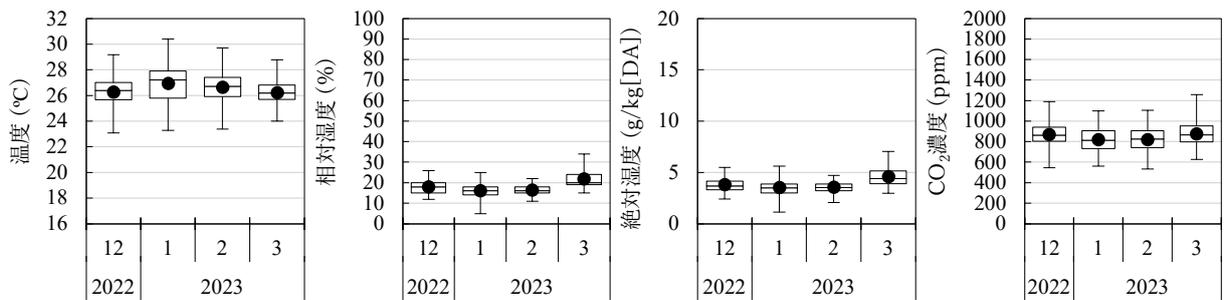
A (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 718h)



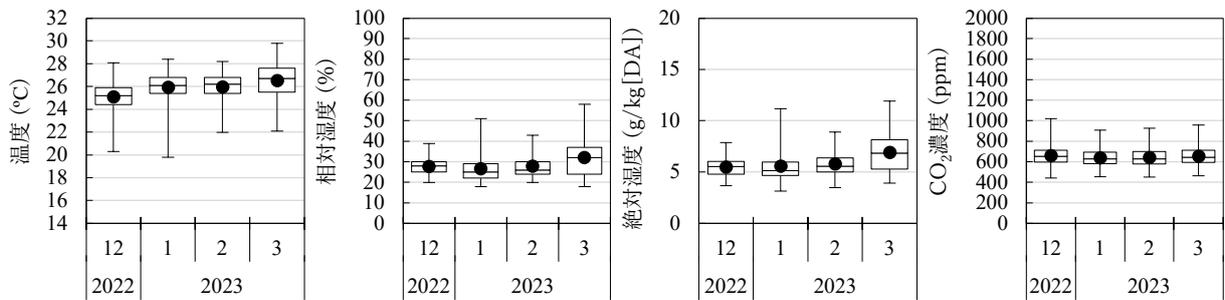
B (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 719h)



C (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 719h)

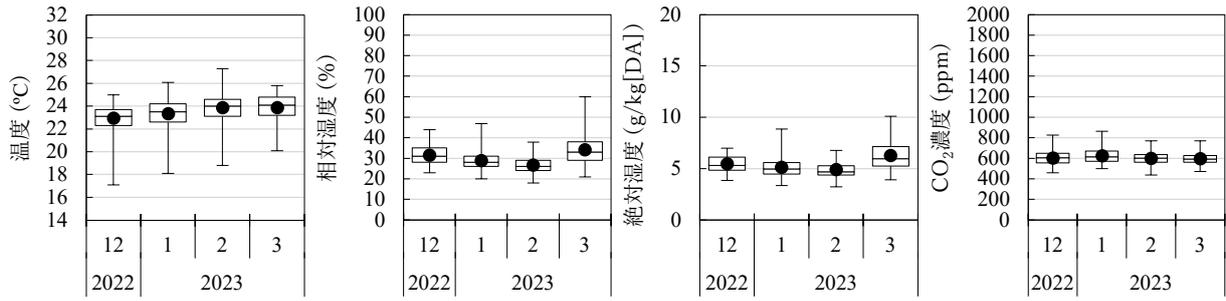


D (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 684h)

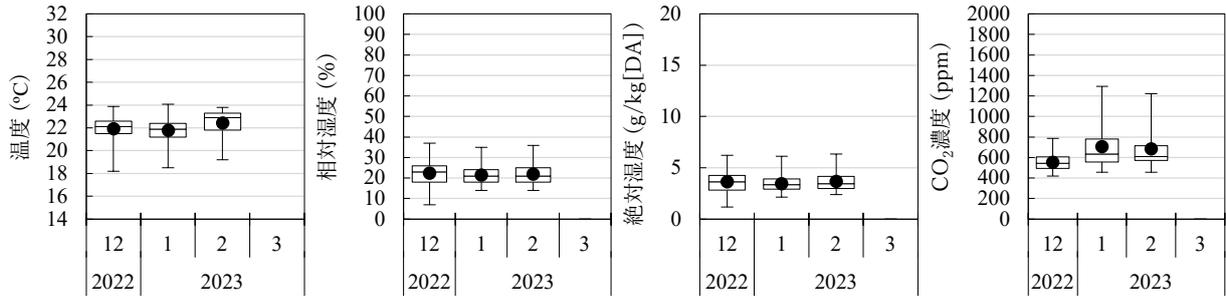


E (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 702h)

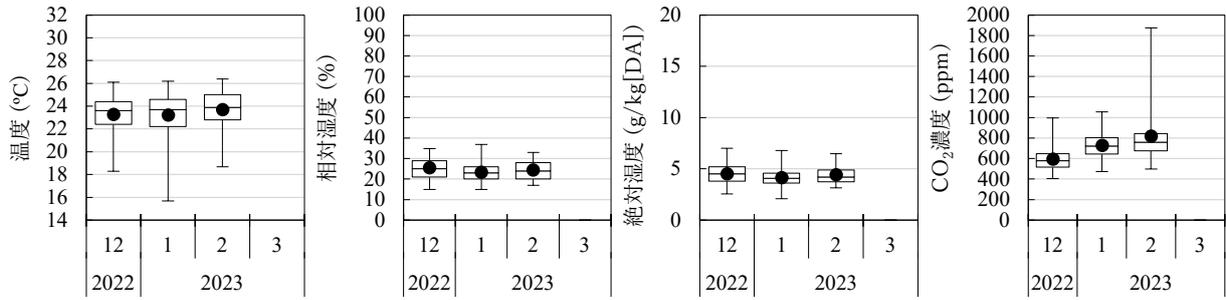
図 2-1-2-1 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の月別測定結果 (A - E)



F (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時, N = 709h)



G-1 (2022/12/7 - 2023/2/15, 営業日 10 - 18時, N = 366h)



G-2 (2022/12/7 - 2023/2/15, 営業日 10 - 18時, N = 366h)

図 2-1-2-2 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の月別測定結果 (F - G)

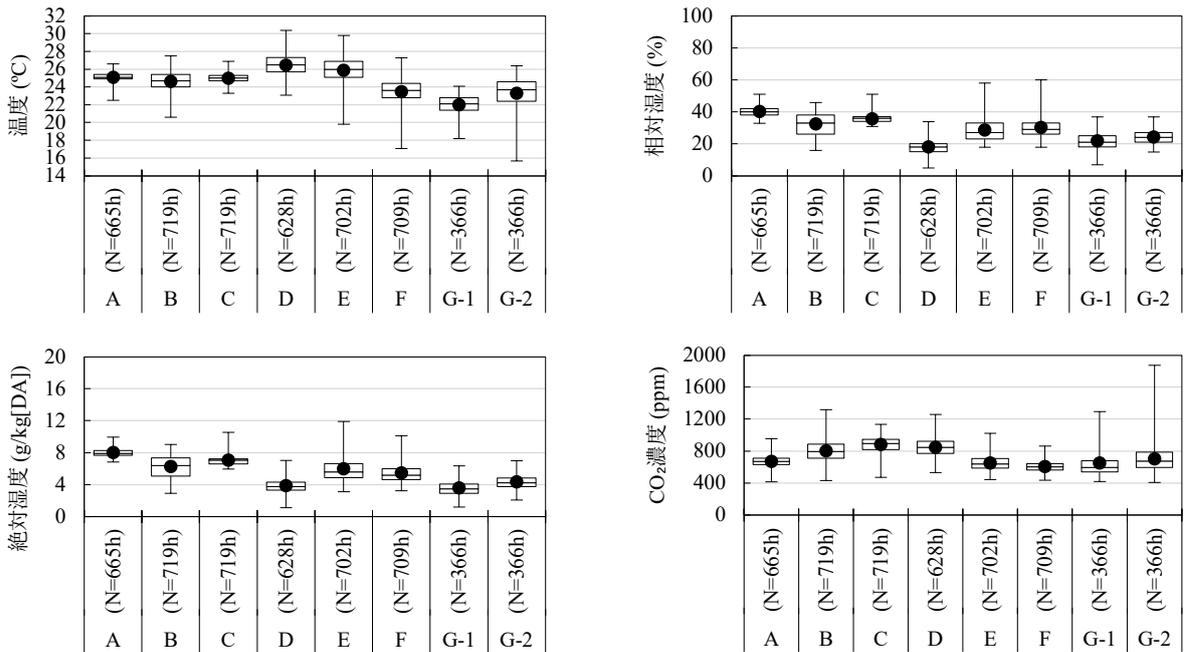
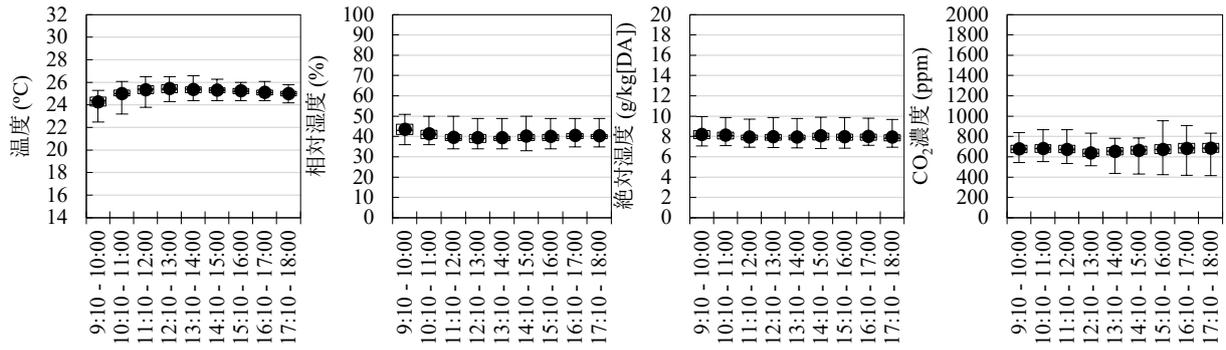
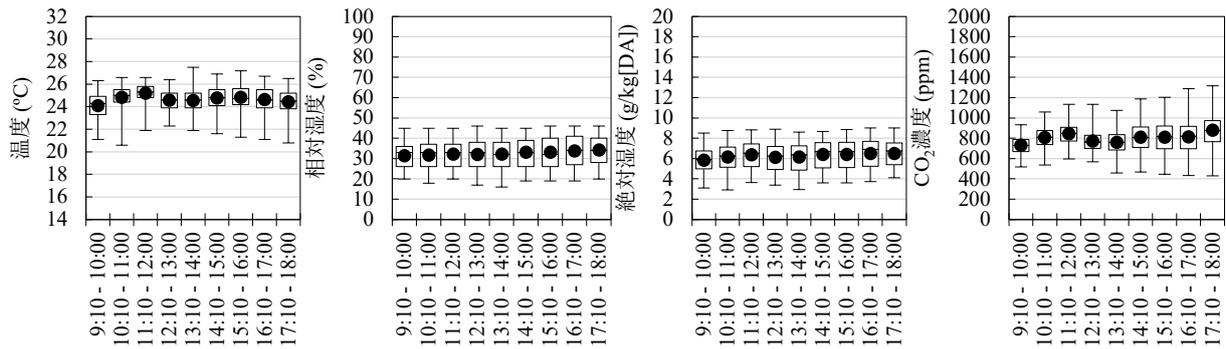


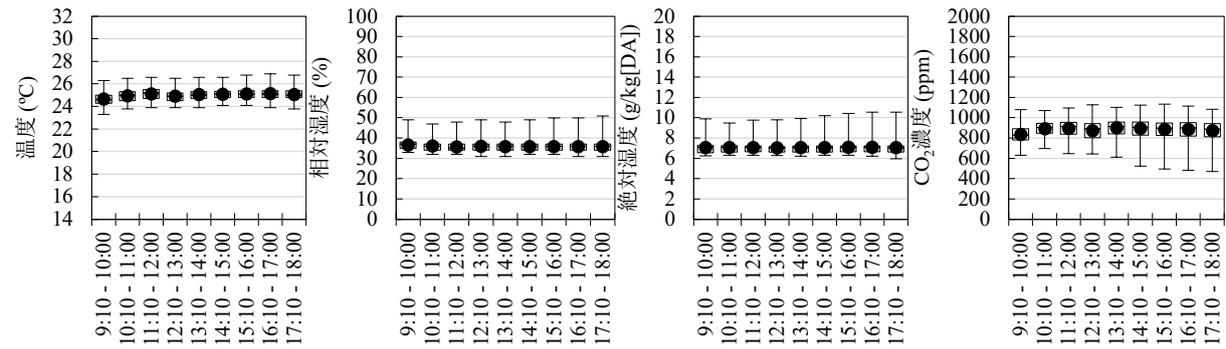
図 2-1-3 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の測定結果 (12 - 3月, 営業日・営業時刻)



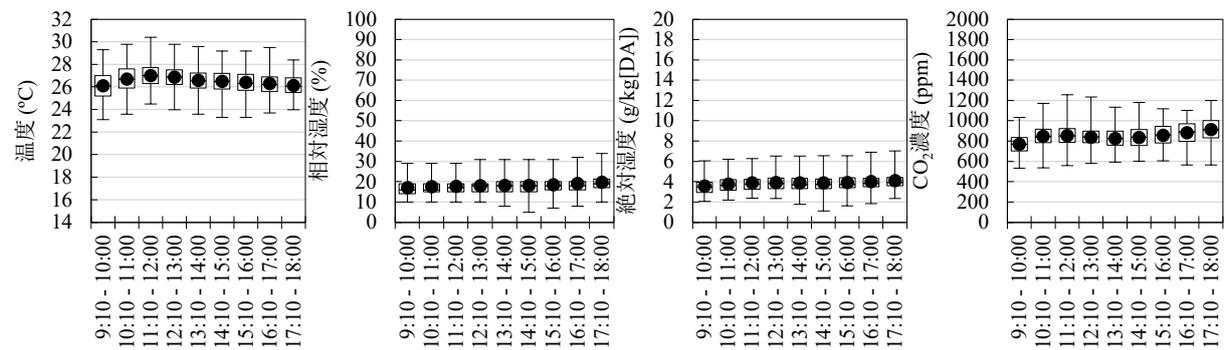
A (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)



B (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)

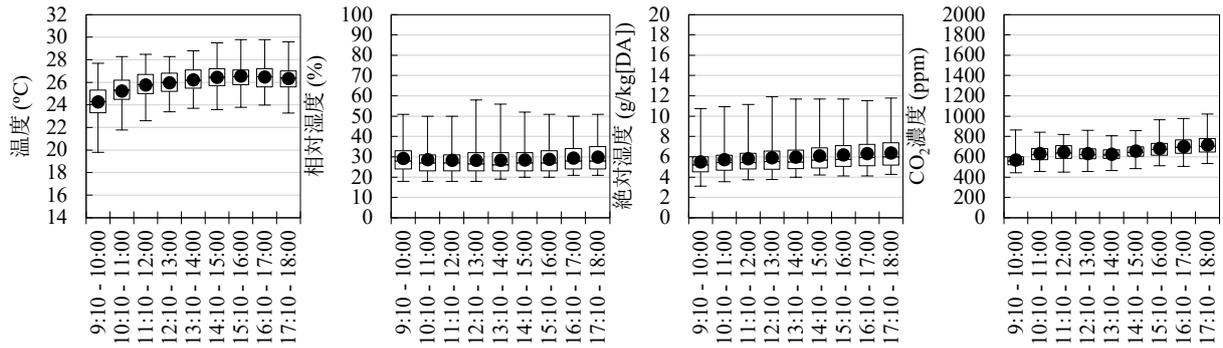


C (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)

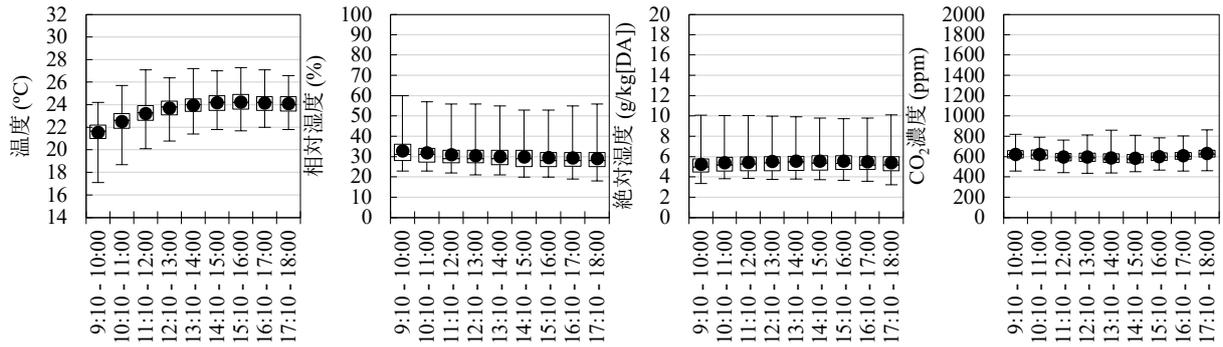


D (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)

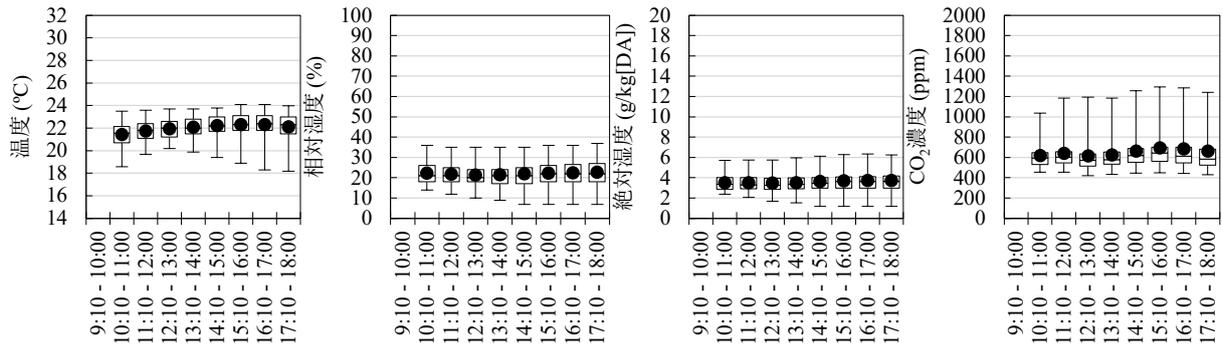
図 2-1-4-1 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の時刻別測定結果 (A - D)



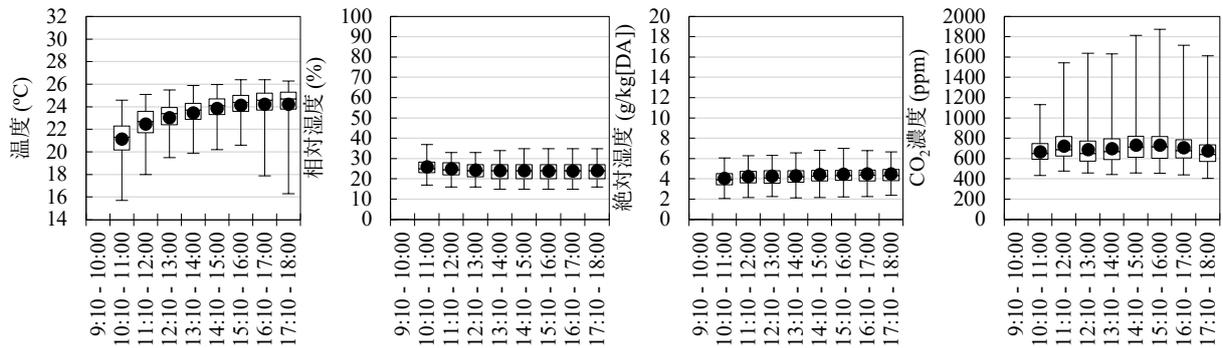
E (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)



F (2022/12/1 - 2023/3/31, 営業日 9 - 18時)



G-1 (2022/12/7 - 2023/2/15, 営業日 10 - 18時)



G-2 (2022/12/7 - 2023/2/15, 営業日 10 - 18時)

図 2-1-4-2 温度・相対湿度・絶対湿度・CO₂濃度の時刻別測定結果 (E - G)

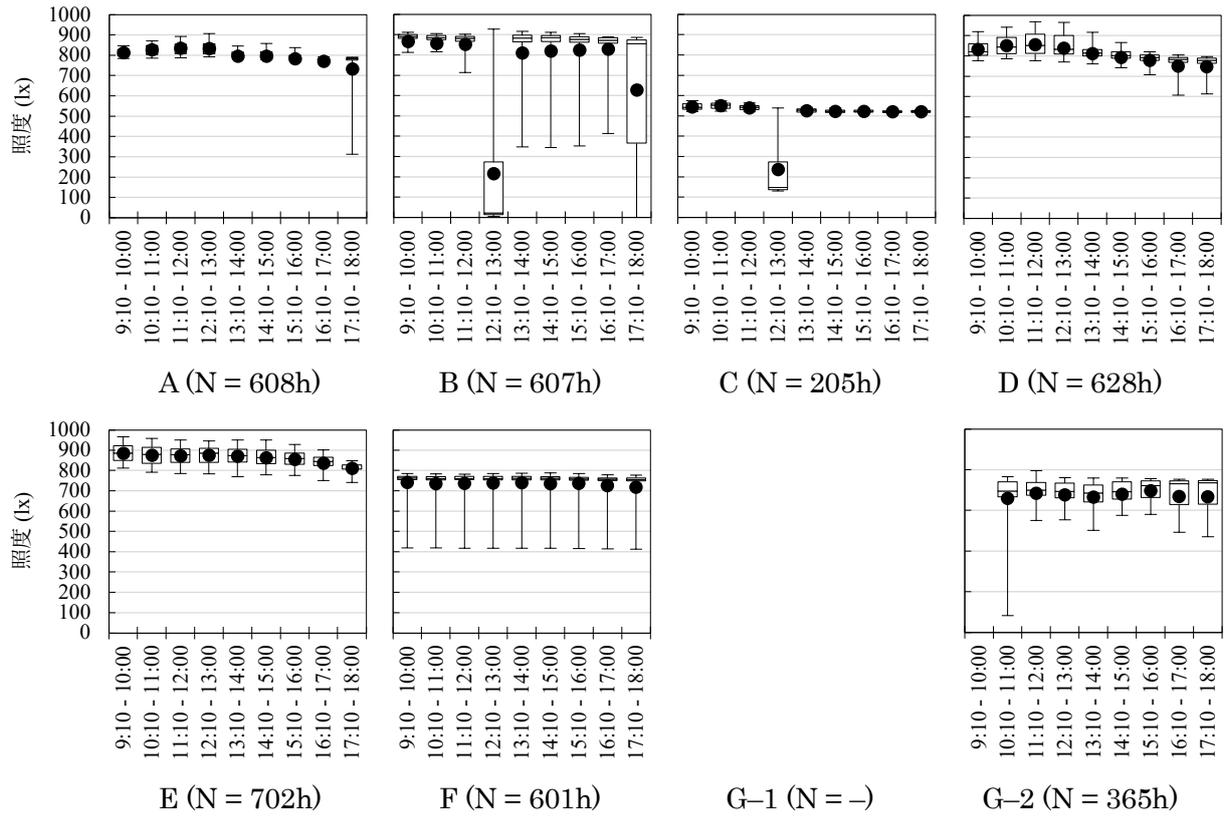


図 2-1-5 照度の時刻別測定結果 (12-3月)

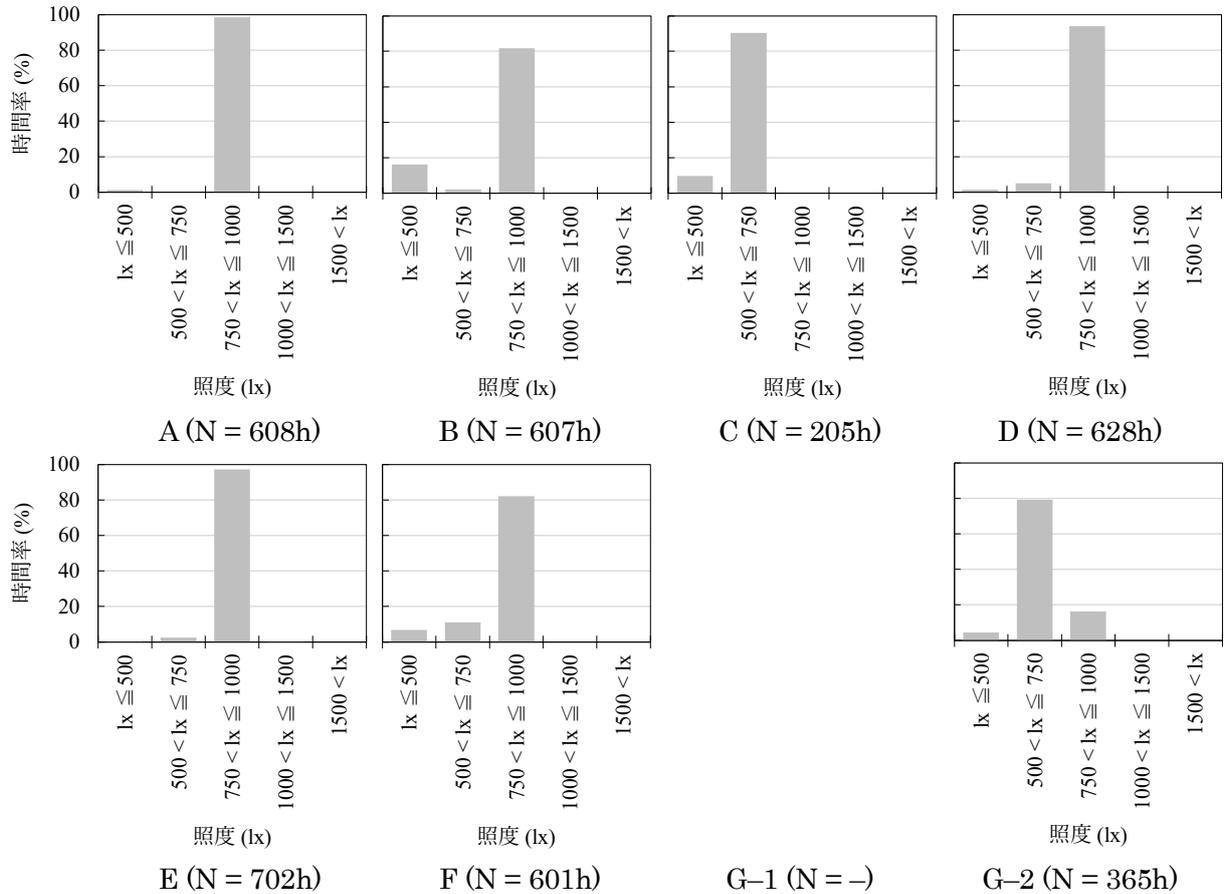


図 2-1-6 照度のヒストグラム (12-3月, 営業日・営業時刻)

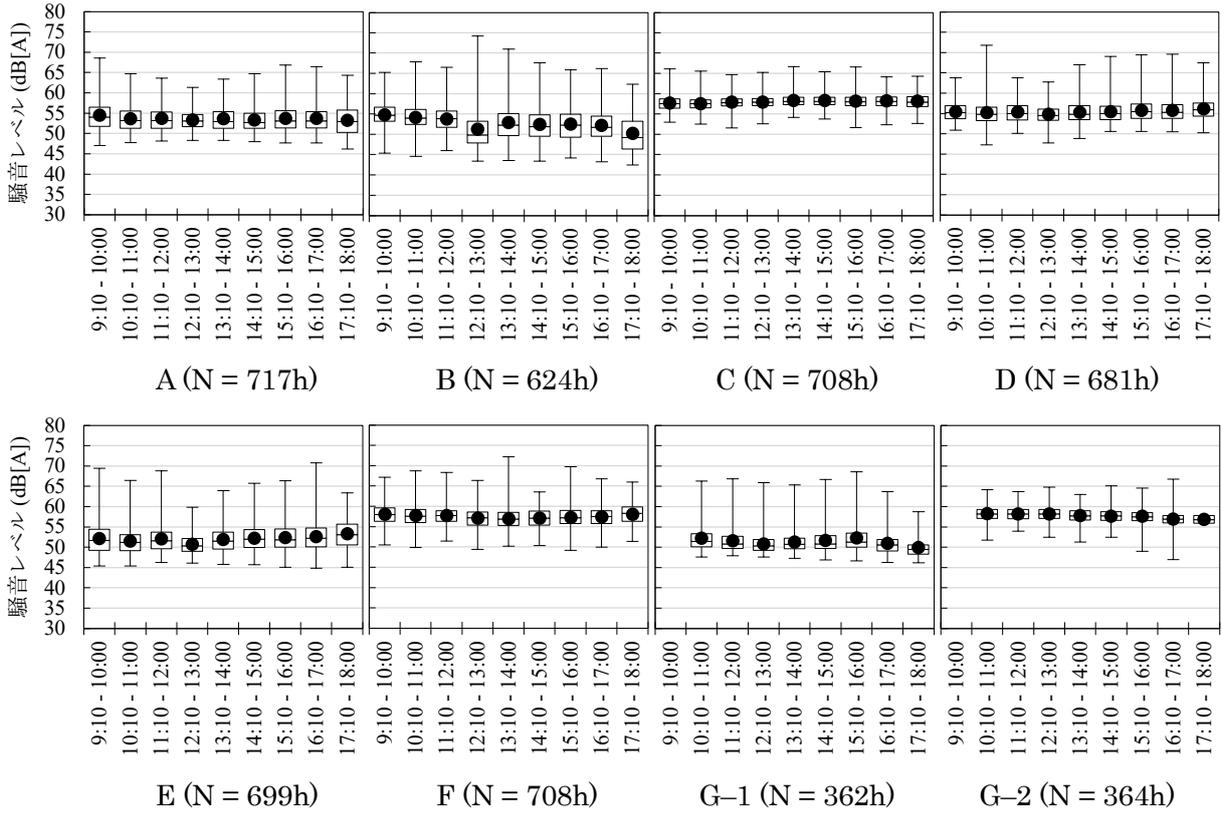


図 2-1-7 騒音レベルの時刻別測定結果 (12-3月)

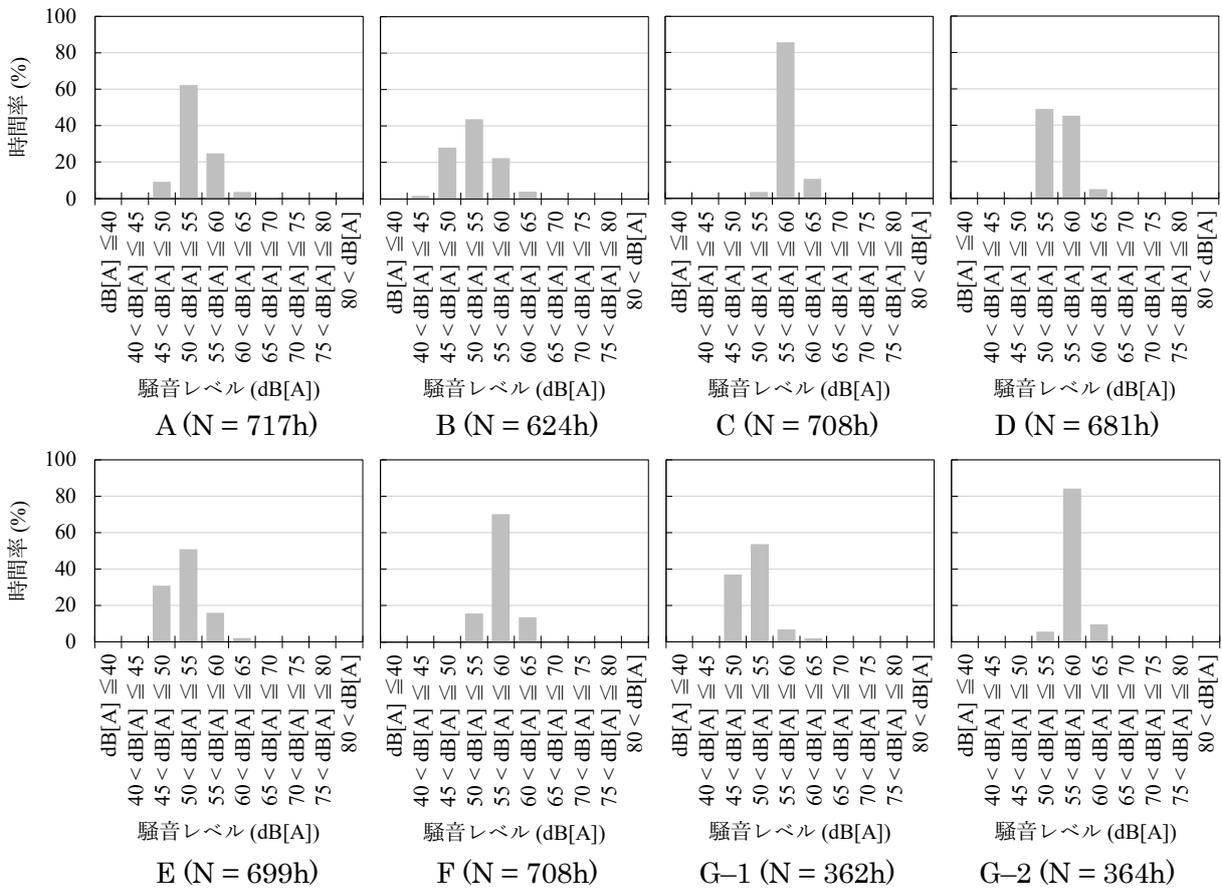


図 2-1-8 騒音レベルのヒストグラム (12-3月, 営業日 9-18時)

2-2. 温湿度に関する詳細測定と主観評価結果

A. 研究目的

本節では温湿度に着目して室内環境の詳細測定ならびに主観評価調査を実施した。本節の前半では室内の温湿度平面分布・上下温度分布・黒球温度を測定した結果を報告する。本節の後半では主観評価調査の集計結果を報告するとともに温湿度に着目して執務者の主観評価により適切に室内環境を評価可能な項目を検討した。

B. 研究方法

室内環境測定の概要を表 2-2-1 に示す。詳細測定は 2023 年 2 月から 3 月の期間の内、1 日を選定して 10～16 時に測定した。温湿度は平面分布を把握するため、複数点に機器を設置し 1 分間隔で測定した。また、上下温度分布と黒球温度はペリメータとインテリアに各 1 点設置し 1 分間隔で測定した。なお、本節では平均放射温度による評価を実施しているが、平均放射温度 (\bar{t}_r) は下記式から算出した。

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0.6}}{\varepsilon_g \cdot d^{0.4}} (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

ここに、 t_g : 黒球温度(°C)
 v_a : 気流速度(m/s)
 ε_g : 平均放射率
 d : 黒球の直径
 t_a : 空気温度(°C)

式中の気流速度は空気環境 6 項目測定で測定した平均値を使用した。なお、図 2-2-1 には、各建物における長期測定用の測定機器設置位置を示すが、温湿度は最大で 7 点設置しており、「長期」と記載されているものは本章 1 節で設置している長期室内環境測定用の測定機器である。A・B・C・D・F では当機器も 1 分間隔で測定したデータがあるため併せて分析する。

主観評価調査の概要(温湿度環境、個人特性のみ)を表 2-2-2 に示す。主観評価調査は詳細測定と同日に実施し、温湿度環境のほか、着座位置と回答者属性を調査した。121 名から回答を得たが、G-2 は 2 名である。調査票については別紙の Q-1、Q-2、Q-10 を参照されたい。な

表 2-2-1 室内環境詳細測定の概要(温湿度環境に関する項目のみ)

【詳細測定】
1) CO ₂ 濃度・温度・相対湿度：T&D TR-76Ui, 1分間隔, 最大7点設置
2) 上下温度分布：ESPEC RSW-21S, F.L.+100, F.L.+600, F.L.+1 100, F.L.+1 700, 1分間隔, ペリメータ・インテリア各1点設置
3) 黒球温度：柴田科学 グローブサーモメーター75mm・T&D TR-71Ui, F.L.+1 100, 1分間隔, ペリメータ・インテリア各1点設置
4) 空気環境 6 項目：柴田科学 IES-5000, 1分間隔, 1点設置

表 2-2-2 主観評価調査の概要(温湿度環境・個人特性)

【温度環境】
1) 現在居る空間の予想温湿度：記述回答
2) 足元の温度環境：7件法・単一回答
3) 手の温度感覚：7件法・単一回答
4) 気流の有無：4件法・単一回答
5) 温度環境の満足度：7件法・単一回答 → 「不満側」の場合、理由：5件法・単一回答
【湿度環境】
1) 乾燥感の有無：2件法 → 「有」の場合、乾燥部位：9件法・複数回答
2) 空間の湿り程度：7件法・単一回答
3) 静電気の有無：4件法・単一回答
4) 湿度環境の満足度：7件法・単一回答 → 「不満側」の場合、理由：5件法・単一回答
【個人特性】
1) 年齢層 2) 性別 3) 勤務年数 4) 勤務地以前の居住地 5) 主観評価調査当日の体調
6) 主観評価調査直前の行動 7) 暑がり・寒がり 8) 着衣状態 9) 回答者本人の喫煙の有無
10) 回答者の同居人の喫煙の有無 11) 既往症歴 12) 業務の集中度 13) 終業時の疲労の有無 14) 住居形態
15) 自宅の築年数 16) 自宅居間の暖房装置 17) 自宅居間の設定温度 18) 自宅居間の暖房利用時間
19) 自宅の温熱環境の満足度 20) 通勤時間 21) 主観評価調査当日の出勤時刻
22) 主観評価調査当日の退勤予定時刻

お、主観評価調査は121名から回答を得た。しかし、G-2は回答者数が2名であったことから「C.2. 主観評価調査」では結果を示すが、「C.3. 主観評価による温湿度管理手法の検討」では分析対象外とし、単純にGと示している。

C. 研究結果

C.1. 室内環境の詳細測定

温度・相対湿度・絶対湿度の詳細測定結果を図2-2-2に示す。本図は測定点毎に10～16時の平均値を算出し、全測定点の内、最高値・中央値・最低値を示している。

Aにおいては温度の最低値が22.9°Cであるが、これは6番(図2-2-1参照、以降同様)の測定値である。6番は休憩スペースであり、他の測定点よりも温度が低くなった可能性がある。6番を除けば24.5～25.0°Cであった。相対湿度の最高値は48%であるが、これは6番の測定値である。前述のとおり温度が低い点であったため、相対湿度が高くなったと考えられる。6番を除けば39～42%であった。

Bにおいては平面分布が小さく、温度は25.0～25.2°C、相対湿度は31～34%であった。

Cにおいては温度の最低値が24.8°Cであり、他の点よりも低くなっているが、これは4番の測定値である。4番は休憩スペースであり、他の測定点よりも温度が低くなった可能性がある。4番を除けば25.4～25.6°Cであった。なお、相対湿度は35～37%であった。

Dにおいては温度の最高値が25.8°C(長期測定用機器)、最低値が24.7°C(5番)であり、測定点により1K程度の差があった。25°Cを下回ったのは1番、2番、5番であるが、いずれも室入口付近の測定点であることから廊下からの冷氣による影響である可能性がある。なお、相対湿度は29～33%であった。

Eにおいては温度の最高値が26.5°C(5番)、最低値が25.8°C(4番)であった。詳細測定日の最高外気温度が約23°Cであったことからペリメータに設置した5番が最高値を記録している。なお、相対湿度は38～39%であった。

Fにおいては平面分布が小さく、温度は23.7～24.2°C、相対湿度は29～31%であった。

Gの2階においては温度の最高値が27.3°C

となっているが、これは2番の測定値である。2番は机上面に測定機器を設置していたが、直上に空調機器が設置されていたことから空調吹出し空気の影響によるものと考えられる。2番を除けば20.6～21.2°Cであった。相対湿度の最高値は12%であるが、これは2番の測定値である。前述のとおり温度が高い点であったため、相対湿度が低くなったと考えられる。2番を除けば18～21%であった。Gの3階においては平面分布が小さく、温度は21.9～22.4°C、相対湿度は22～25%であった。

平均放射温度の測定結果を図2-2-3に示す。本図は10～16時に測定した温度・黒球温度・気流速度の平均値から平均放射温度を算出して示している。本測定は冬期に実施していることから多くの建物でペリメータの温度が低くなっている。一方でEにおいては詳細測定日の最高外気温度が約23°Cであったことからペリメータの方が高くなった。

上下温度分布の測定結果を図2-2-4に示す。温図は10～16時の最高値・平均値・最低値を示している。測定時期の影響もあるが、GのF.L.+100mm(ペリメータ)の平均温度は17.7°Cであった。その他の建物のF.L.+100mm(ペリメータ)でも平均温度は22°C以上であった。また、ASHRAE(米国暖房冷凍空調学会)のASHRAE55¹⁾では、上下温度分布は着座状態でF.L.+100mmとF.L.+1,100mmの位置の温度差が3K以内となるよう推奨しているが、Gを除いた6件で達成している。

C.2. 主観評価調査

C.2.1. 温度環境

温度環境に関する主観評価結果を図2-2-5～図2-2-9に示す。足元の温度環境は全体で38%の回答者が寒冷側の回答であった。特にB・F・Gでは過半数の回答者が寒冷側の回答であった。手の温度感覚は全体で27%が寒冷側・42%が温暖側であり、温暖側の方が高い結果であった。特にAでは75%の回答者が温暖側の回答であった。一方でF・Gでは過半数の回答者が寒冷側の回答であった。気流の有無は全体で36%の回答者が気流感有の回答であった。気流感有の回答率が最も高いのはGであり、窓開け換気を実施していたことが要因と考えられる。温度

環境の満足度は全体で 40%の回答者が不満側・39%が満足側の回答であった。満足度側の回答率が最も高いのは E (82%)、最も低いのは G (0%) であった。なお、不満側の回答であった 60 名の理由については図 2-2-9 に示すとおりであり、F と G では「暖かくしたい」という回答が最多であった一方で、C・D・E は「涼しくしたい」・「やや涼しくしたい」という回答が最多であった。

C.2.2. 湿度環境

湿度環境に関する主観評価結果を図 2-2-10～図 2-2-14 に示す。乾燥感の有無は全体で 49%の回答者が乾燥感有の回答であった。特に B と G で乾燥感有の回答が多く、B では 75%の回答者が乾燥感有の回答であった。空間の湿り程度は全体で 58%の回答者が乾燥側の回答であった。また、B と G で乾燥側の回答が多いことから乾燥感の有無と概ね同等の結果であると考えられる。静電気の有無は全体で 31%の回答者が静電気有の回答であった。湿度環境の満足度は全体で 35%の回答者が不満側・36%の回答者が満足側の回答であった。満足側の回答率が最も高いのは E (82%)、最も低いのは G (0%) であった。なお、不満側の回答であった 51 名の理由については図 2-2-14 に示すとおりであり、ほとんどの回答者が「加湿したい」・「やや加湿したい」という回答であった一方で、「やや除湿したい」・「除湿したい」と回答した回答者は 4 名であった。

C.3. 主観評価による温湿度管理手法の検討

C.1.および C.2.で得られた結果を基に、執務者の主観評価により適切に室内環境を評価可能な項目を検討する。はじめに、回答者が室内温湿度環境を正しく認識しているかを判定するために、温湿度の測定値と回答者の予想温湿度の相関を図 2-2-15～図 2-2-16 に示す。有効な回答が得られた 112 名の内、約 57%が±3K・約 88%が±5K 以内の回答、相対湿度も 112 名の内、約 36%が±5%RH・約 61%が±10%RH 以内の回答であり、概ね回答者は温湿度環境を正しく認識していると考えられる。しかし、D において室内温度が 26.5°C であるのに対して 18°C と回答がある場合や F において室内相対湿度が 27%であるのに対して 70%と回答があ

る場合など個人差が大きい結果となった。また、温度は約 81%の回答者が室内温度よりも低く回答している一方で、相対湿度は約 81%の回答者が室内相対湿度よりも高い回答であり、冬期の湿度環境を管理するうえでは危険側の回答であった。

次に、満足度に影響する因子を判定するために、室内温湿度と満足側回答率の相関を図 2-2-17、足元の温度環境・手の温度感覚・気流感の有無と満足度の相関を図 2-2-18～図 2-2-20・表 2-2-3～表 2-2-6、空間の湿り程度と満足度の相関を図 2-2-21・表 2-2-6 に示す。室内温度と満足側回答率の相関には正の相関が見られ、満足側回答率は平均温度が最も高い E では 82%、平均温度が最も低い G では 0%であった。室内相対湿度・室内絶対湿度と満足度の相関には正の相関が見られ、満足側回答率は平均絶対湿度が最も高い E では 82%、平均絶対湿度が最も低い G では 0%であった。また、足元の温度環境・手の温度感覚・気流感の有無と満足度の関係ならびに空間の湿り程度と満足度の関係によると、有意水準を 0.05 としたときのカイ二乗検定の独立性の検定によると、温度環境の満足度は「足元の温度環境」・「気流感の有無」と有意な相関があり、湿度環境の満足度も「空間の湿り程度」と有意な相関があった。また、残差分析によると足元の温度環境で寒冷側の申告をする回答者の不満側の回答は有意に高く、空間の湿り程度で乾燥側の申告をする回答者の不満側の回答も有意に高い。

最後に、全回答者数に対する足元の温度環境が寒冷側の回答・空間の湿り程度が乾燥側の回答である回答者数の比と平均温湿度の相関を図 2-2-22 に示す。F.L.+100mm の温度が最も低い G では寒冷側申告率が高く、特にペリメータでは全回答者が寒冷側の申告であった。また、いずれの建物においてもペリメータの寒冷側申告率がインテリアの寒冷側申告率よりも高く、平均放射温度・上下温度分布の測定値と相関が見受けられる。さらに、温度と寒冷側申告率・相対湿度と乾燥感申告率にはいずれも負の相関が見られた。例えば、図 2-2-23 によると、A では平均相対湿度が約 40%RH の時に乾燥側申告率が約 50%となっていることから、構築するレー

ティングシステムにおいて乾燥側申告率が50%を超過したときに対策を講じる等が考えられることから、これらの申告率は温湿度の維持管理に利用できる可能性がある。

D. まとめ

本節では温湿度に着目して執務者の主観評価により適切に室内環境を評価可能な項目を検討するために、(1)室内環境の詳細測定、(2)主観評価調査、(3)主観評価による温湿度管理手法の検討を実施した。

(1)室内環境の詳細測定では温湿度の平面分布、平均放射温度、上下温度分布を測定した。本研究で対象とした7件の建物では休憩スペースを除いて温湿度の平面分布は大きくなく最大でも1.1K(D)であった。平均放射温度は冬期に実施していることから多くの建物でペリメータの温度が低くなっている。上下温度分布は多くの建物でF.L.+100mmとF.L.+1,100mmの位置の温度差が3K以内となっているが、F.L.+100mmの位置で17.7°Cとなる建物もあった(G)。

(2)主観評価調査では足元の温度環境、手の温度感覚、気流感の有無、乾燥感の有無、空間の湿り程度、静電気の有無に関して集計結果を示すとともに温湿度環境の満足度を示した。温度環境の満足度は121名の回答者の内、40%の回答者が不満側・39%が満足側の回答であった。湿度環境の満足度は121名の回答者の内、35%の回答者が不満側・36%の回答者が満足側の回答であった。

(3)主観評価による温湿度管理手法の検討では、執務者の予想温湿度、温湿度環境の満足度、寒冷側申告率・乾燥側申告率に着目した温湿度管理手法を検討した。執務者の予想温湿度については概ね回答者は温湿度環境を正しく認識していると考えられるが、個人差が大きいことや相対湿度は危険側の予想をする回答者が多いことが課題として挙げられた。温湿度環境の満足度については室内温湿度と正の相関が見られ、温度環境の満足度は「足元の温度環境」・「気流感の有無」と有意な相関があり、湿度環境の満足度も「空間の湿り程度」と有意な相関があった。寒冷側申告率・乾燥側申告率については室

内平均温湿度と負の相関があり、例えば、構築するレーティングシステムにおいて乾燥側申告率が50%を超過したときに対策を講じる等の運用の可能性が示された。

本節では、温湿度に着目して執務者の主観評価により適切に室内環境を評価可能な項目を検討したが、温度の管理には「足元の温度環境の寒冷側申告率」、相対湿度の管理には「空間の湿り程度」が有効である可能性が示された。しかし、物件数は7件、回答者数は121名であり、汎用的に適用するためには更なる調査が必要である。今後は夏期の調査も実施し、中小規模建築物における衛生的環境の維持管理手法を構築する予定である。

E. 参考文献

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

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

■ 測定対象エリア ● CO₂濃度・温度・相対湿度 ● 上下温度分布・黒球温度

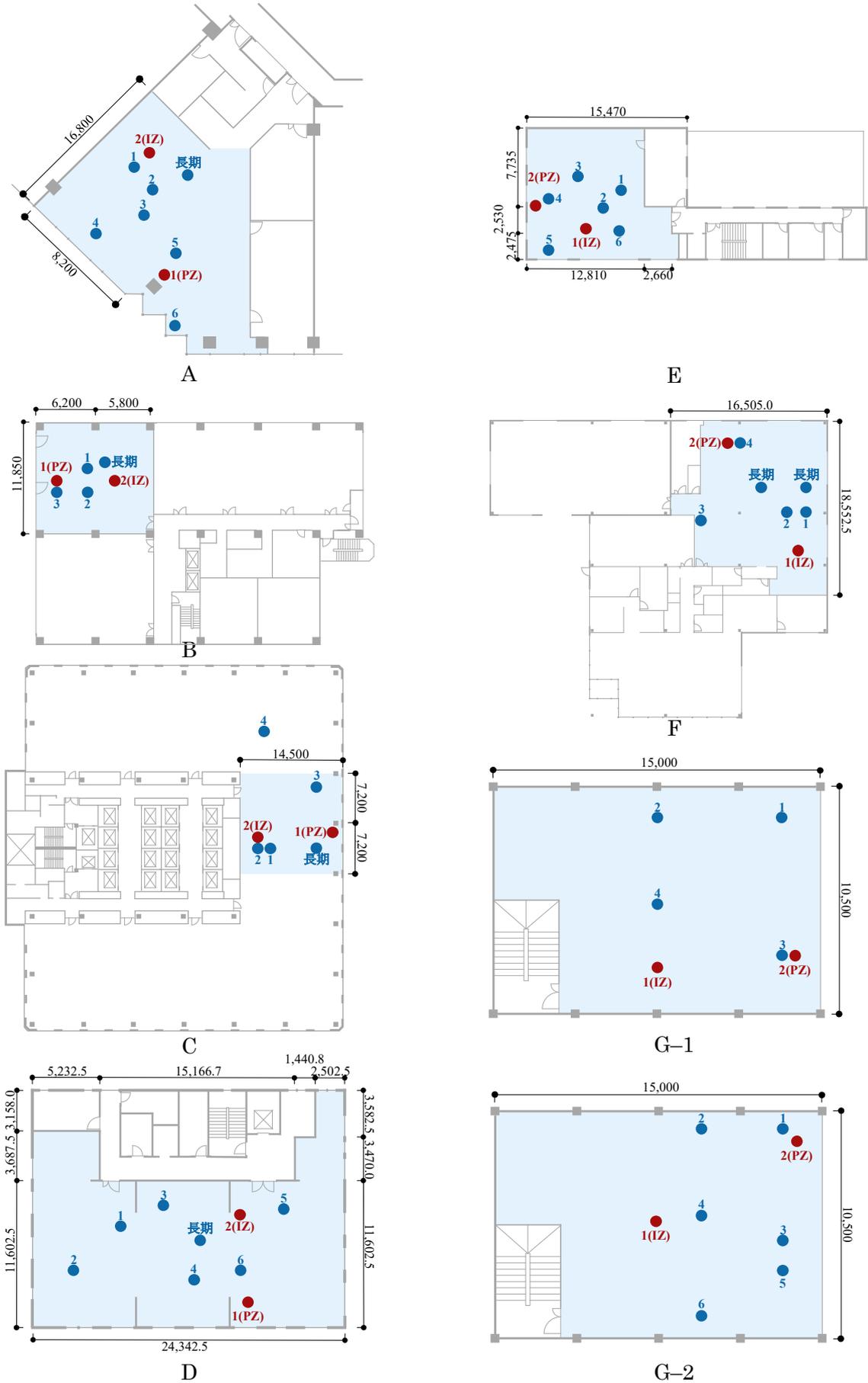


図 2-2-1 長期測定用の測定機器設置位置

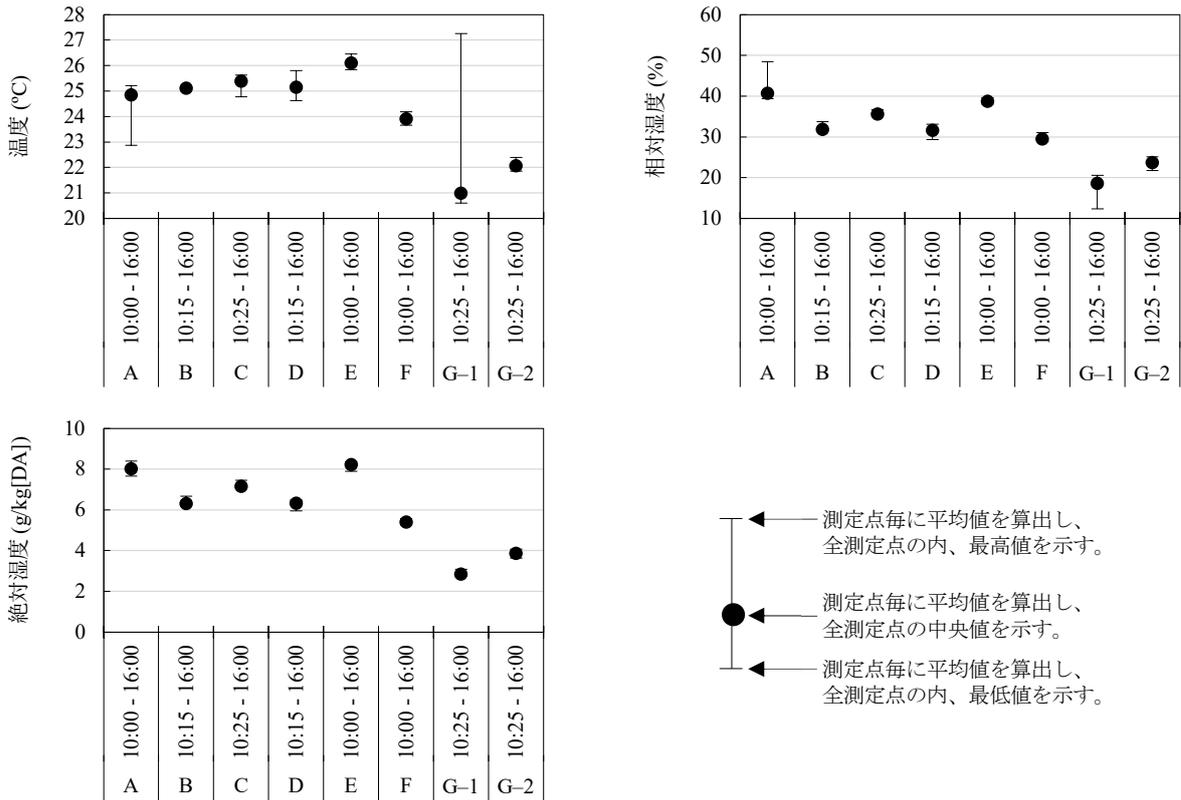


図 2-2-2 温度・相対湿度・絶対湿度の詳細測定結果 (10 - 16 時)

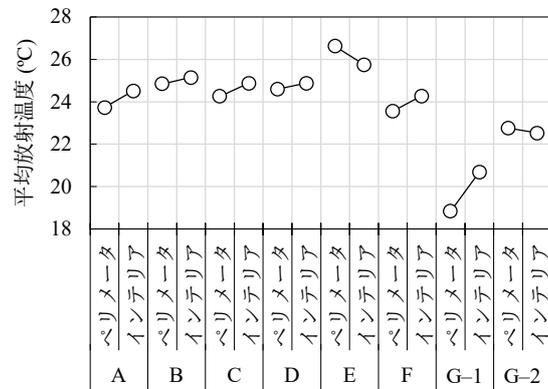


図 2-2-3 平均放射温度 (10 - 16 時の平均値)

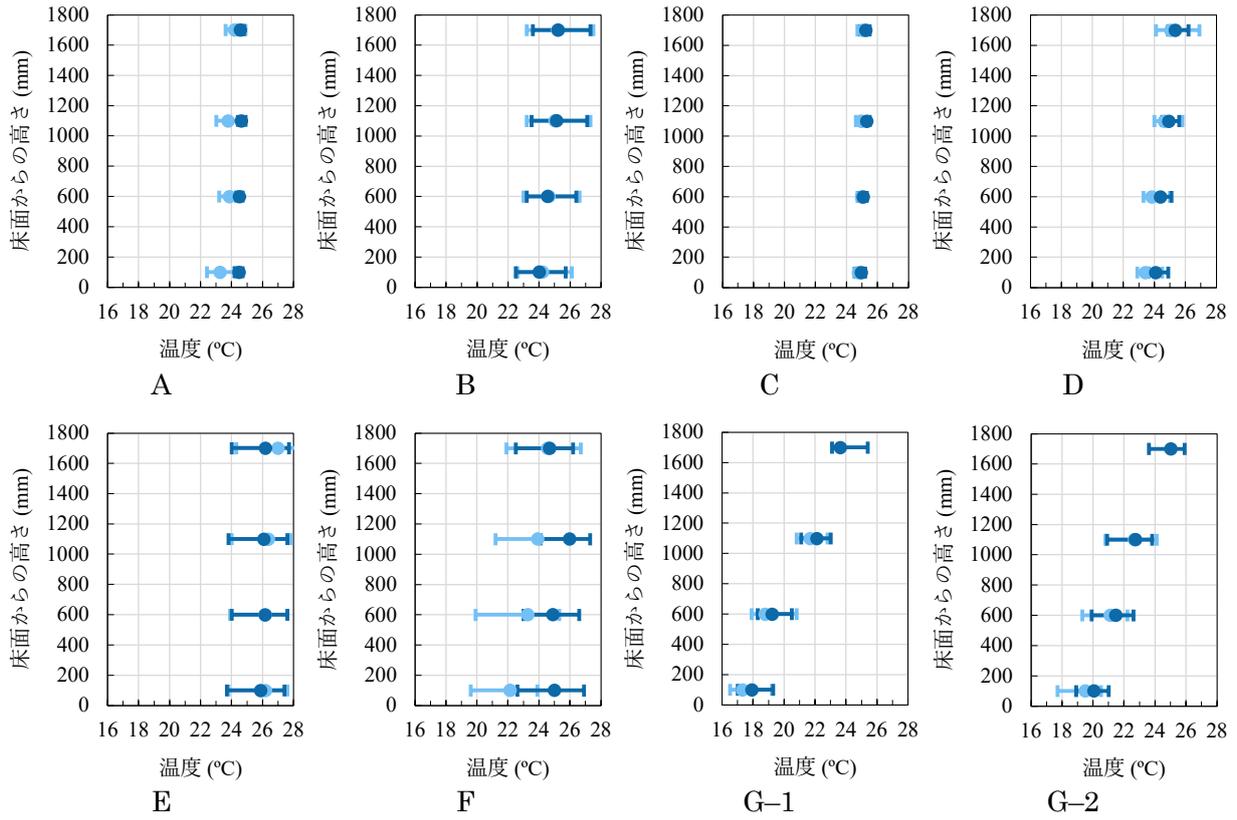


図 2-2-4 上下温度分布 (10-16時)

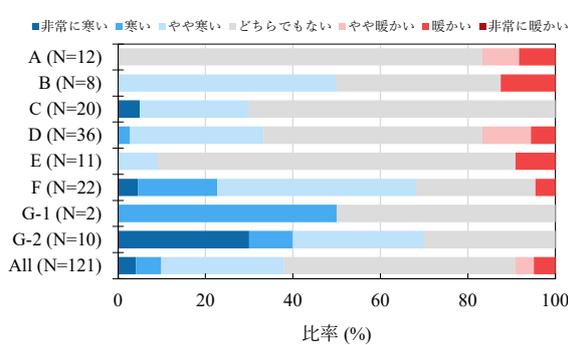


図 2-2-5 足元の温度環境

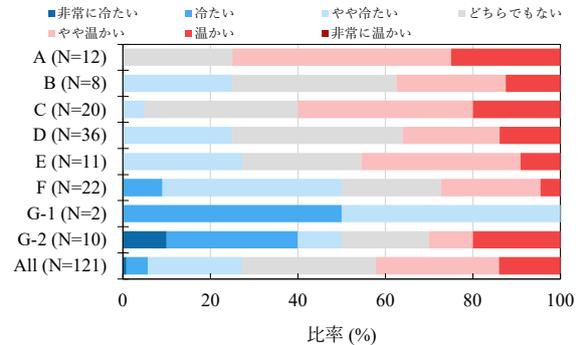


図 2-2-6 手の温度感覚

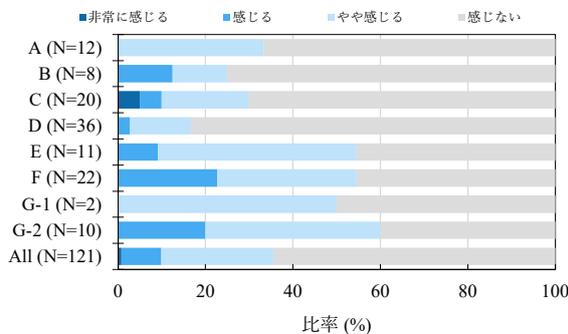


図 2-2-7 気流の有無

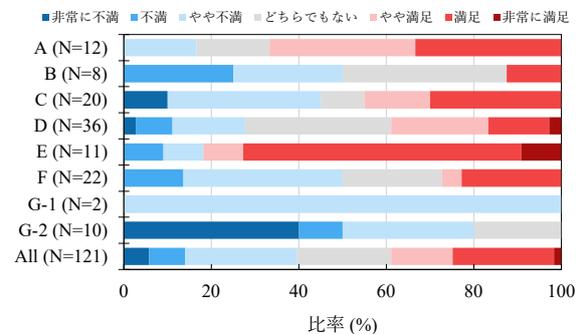


図 2-2-8 温度環境の満足度

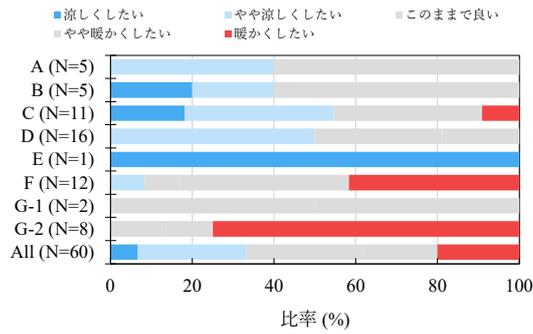


図 2-2-9 温度環境不満側回答者の理由

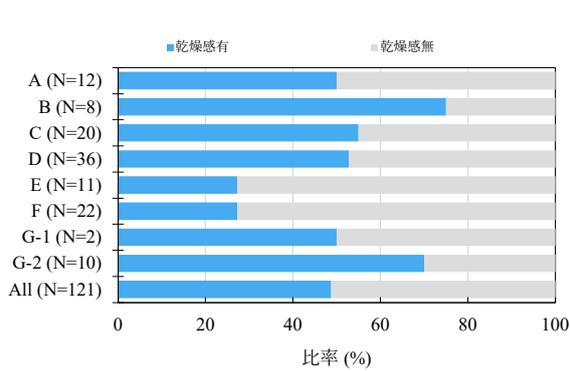


図 2-2-10 乾燥感の有無

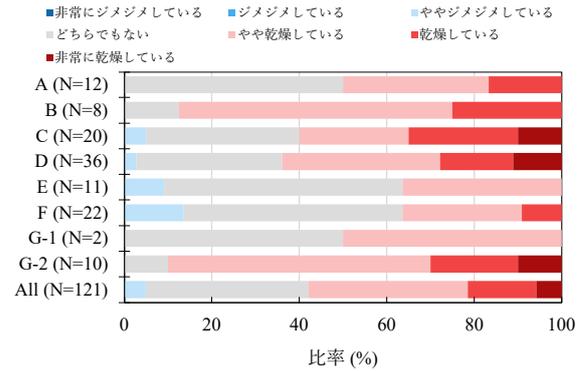


図 2-2-11 空間の湿り程度

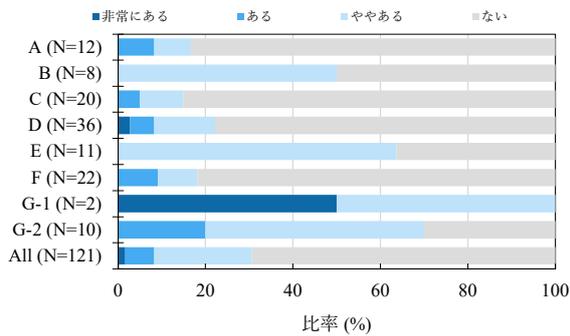


図 2-2-12 静電気の有無

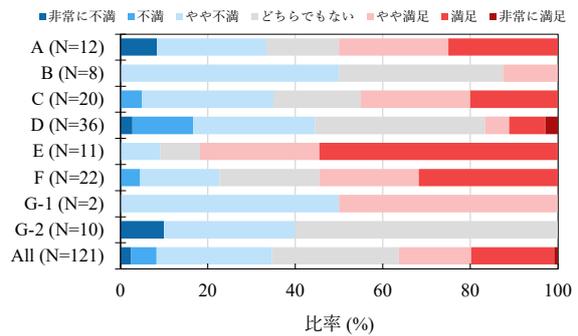


図 2-2-13 湿度環境の満足度

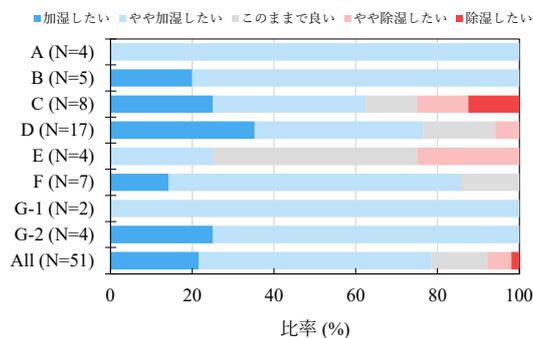


図 2-2-14 湿度環境不満側回答者の理由

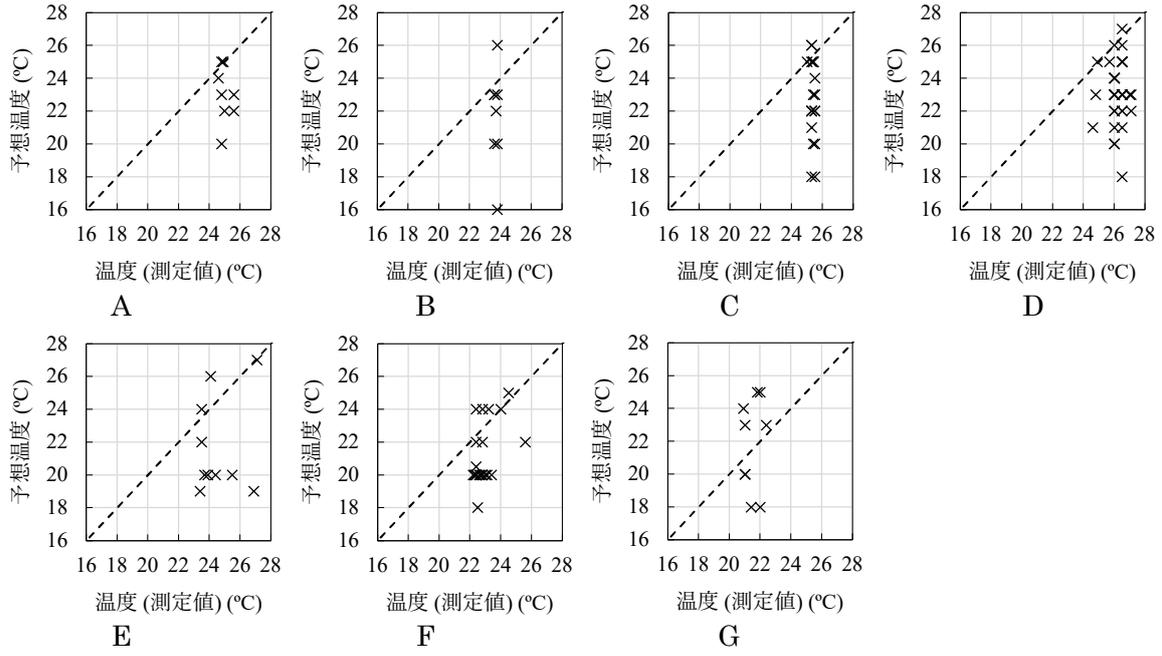


図 2-2-15 室内温度測定値と回答者の予想温度

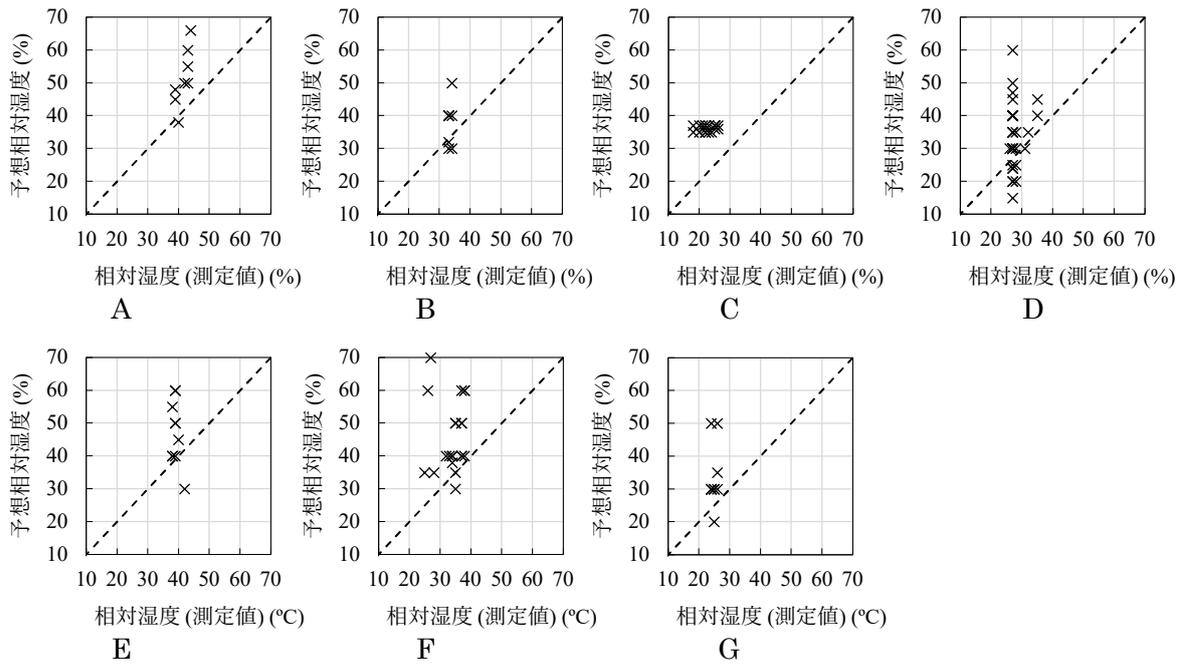


図 2-2-16 室内相対湿度測定値と回答者の予想相対湿度

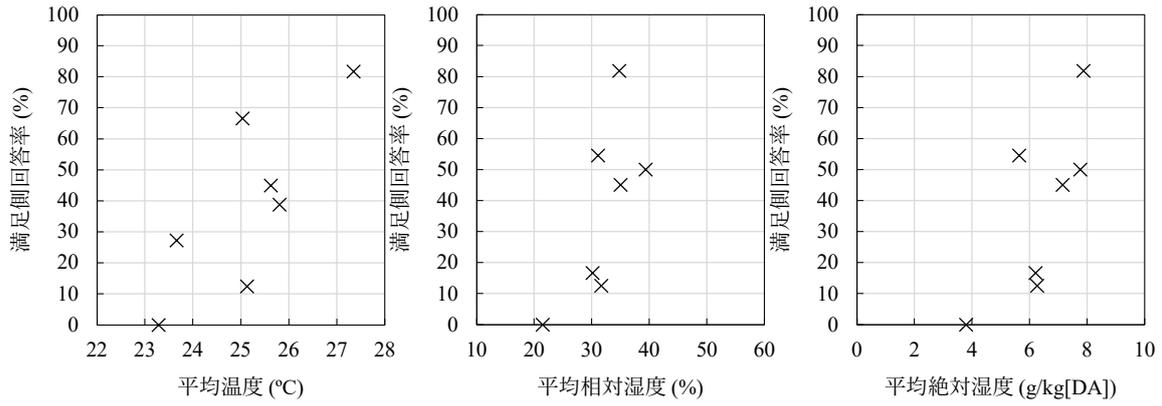


図 2-2-17 室内温湿度と満足側回答率

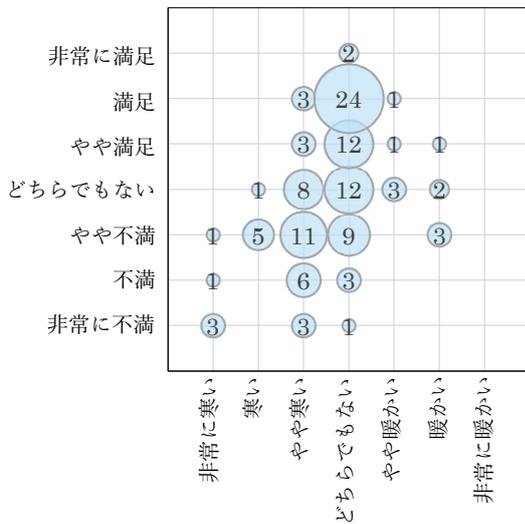


図 2-2-18 足元の温度環境と満足度

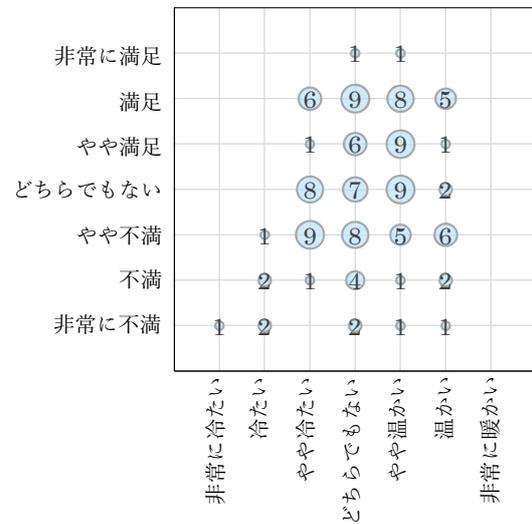


図 2-2-19 手の温度感覚と満足度

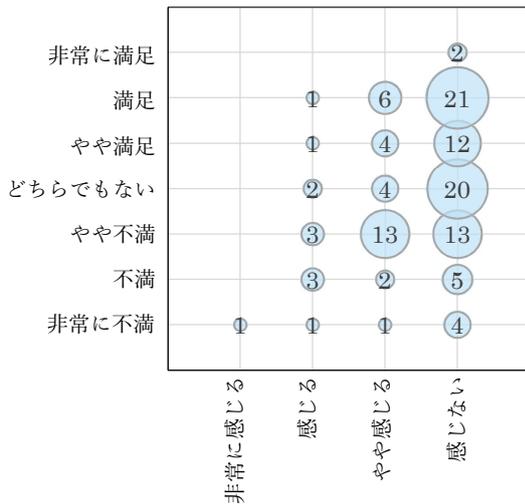


図 2-2-20 気流感と満足度

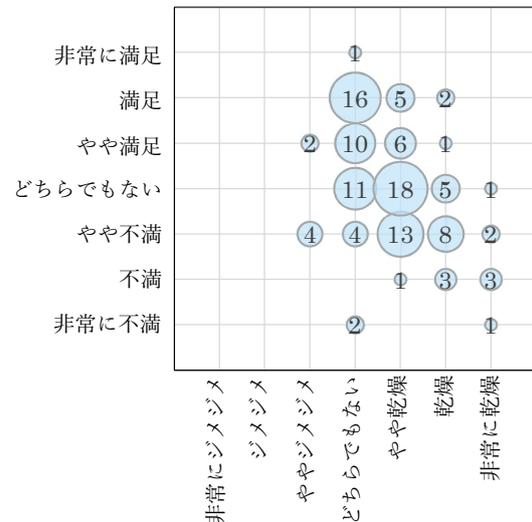


図 2-2-21 空間の湿り程度と満足度

表 2-2-3 温度環境の満足度と
足元の温度環境

		温度環境の満足度		
		不満側	中立	満足側
足元の 温度 環境	寒冷側	30 (+)	9	6 (-)
	中立	13 (-)	12	38 (+)
	温暖側	3	5	3

カイ二乗検定(独立性の検定) : $p < 0.001$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表 2-2-4 温度環境の満足度と
手の温度感覚

		温度環境の満足度		
		不満側	中立	満足側
手の 温度 感覚	寒冷側	16	8	7
	中立	14	7	16
	温暖側	16	11	24

カイ二乗検定(独立性の検定) : $p = 0.236$
残差分析 未実施

表 2-2-5 温度環境の満足度と
気流感の有無

		温度環境の満足度		
		不満側	中立	満足側
気流感 の有無	有	24 (+)	6	12
	無	22 (-)	20	35

カイ二乗検定(独立性の検定) : $p = 0.009$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

表 2-2-6 湿度環境の満足度と
空間の湿り程度

		湿度環境の満足度		
		不満側	中立	満足側
空間の 湿り 程度	湿潤側	4	0	2
	中立	6 (-)	11	27 (+)
	乾燥側	31 (+)	24	14 (-)

カイ二乗検定(独立性の検定) : $p < 0.001$
残差分析 (+) : 有意に高い (-) : 有意に低い

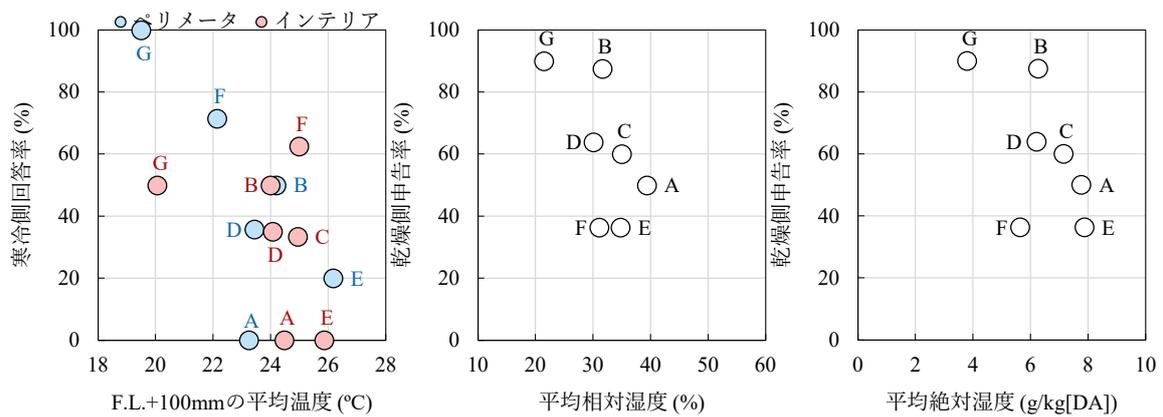


図 2-2-22 室内平均温湿度と寒冷側申告率・乾燥側申告率

2-3. 光環境に関する詳細測定と主観評価結果

A. 研究目的

光環境については建築物衛生法上の制約はないが、労働安全衛生法（昭和47年法律第57号）に基づく事務所衛生基準規則（昭和47年労働省令第43号）では、事務所作業を前提とした空気環境、照度、騒音及び振動、清潔、休養、救急用具等に関する規定が定められている¹⁾。

令和4年3月1日厚生労働省令第29号では、照度の基準について、『室の作業面の照度を一般的な事務所作業300ルクス以上、付随的な事務所作業150ルクス以上に適合させること』に改正された。事務所側で定める照度の基準は、明るさ不足に伴う眼精疲労や視環境の悪さに伴う悪姿勢による上肢障害等の健康障害を防止する観点から、面積要件等に関わらず全ての事務所に対して適用される。

平成4年には、事業者が講ずべき快適な職場環境の形成ための措置に関する指針（平成4年労働省告示第59号、以下、「快適職場指針」）が示され、視環境を快適な状態に維持管理するための措置が取り上げられている（図2-3-1）。照度、輝度対比、不快グレアに言及しているものの具体的な数値基準は示されていない。

『作業に適した照度を確保するとともに、視野内に過度な輝度対比や不快なグレアが生じないように必要な措置を講ずること。また、屋内作業場については、採光、色彩環境、光源の性質などにも配慮した措置を講ずることが望ましいこと。』

図 2-3-1 作業環境を快適な状態に維持管理するための措置（3）視環境

デスクワークにおける光環境すなわち視環境の良否は、心理的ストレス或いは知的生産性低下に影響する。オフィス空間は常に人工光源を利用することから光源選択が重要であるが、建築的要件である昼光利用の有無、内装反射・グレアなどの適切な設計のほか、情報機器作業の衛生管理も重要である。

本研究では、全国7か所のオープンプランニングオフィス（OPO）の照明環境について、照度、相関色温度、色度偏差、演色性評価数を測定するとともに、合計121名の執務者に対して

光環境に対する5つの主観評価調査を行い、オフィススペースの光環境の状況と執務者の明るさ感を把握することを目的とする。

B. 研究方法

長期測定は表2-1-2に示す照度計（ONSET HOBO MX1104 0~167,731 lux, 精度±10%）を用いて、オフィス内の代表点1点に設置、1分間隔で照度（Lux）のサンプリングを行った。詳細測定では、さらにオフィス内の執務者デスク上の照度をオフィス床面積に応じて2~3点の追加測定を行った。また、相関色温度、色度偏差、演色性評価数はスペクトロメーター（SEKONIC SPECTROMETER C700, 定常光 照度 1~200,000lux, 相関色温度 1,600~40,000K, 確度, 照度指示値の±5%, 相関色温度±4MK-1）を用いて、オフィスの床面積に応じて執務者デスク上6~10点の測定を行った。

光環境に関する主観評価質問項目を表2-3-1に示す光環境に関して、明るさ感や満足度等、5項目について質問した（表2-3-1）。

このうちQ4-2（光環境に対する違和感）、Q4-4（パソコン画面のまぶしさ）、Q4-5（光環境の満足度）は、マイナス評価をした回答者に、違和感やまぶしさの原因を質問、不満に思っている回答者にはどのように改善したいかについても回答を求めた。

デスクワークでは、対象がクリアに見えることが第一条件である。これが確保されなければストレスや心理的不安を引き起こし知的生産性低下につながることも懸念される。空間の明るさ評価は作業面照度のみからは推定できないため、輝度やグレアで評価する必要がある。また、人工光源下では、ランプ光色の心理的効果も重要であり、その意味で相関色温度や演色性評価数も照明設計で扱う要素となっている。照明環境基準・同解説（日本建築学会環境基準）で推奨されている事務所設計規準の抜粋を表2-3-2に示す²⁾。同文献では、好ましい色温度と照度の関係としてクルイトフ曲線が用いられており、今回測定したオフィス空間がクルイトフ曲線の好ましい範囲に入っているかどうか確認する。また、色度偏差 duv の許容幅は、相関色温度に応じた色度偏差の設定値±0.006 となって

おり⁵⁾、この点についても確認する。

C. 研究結果

C1. 相関色温度・照度・色度偏差

今回測定した7件の建築物のオフィスの空間の相関色温度および照度の測定結果をクルイトフ曲線(図2-3-2)にプロットした。7件とも望ましい範囲に含まれていることがわかる。E及びGは空間平均的に暖かみを帯びた雰囲気に近い一方、A、B、Fは相関色温度の変化が少ないかわりに照度の幅が大きいと、一部に冷たい雰囲気に近い場所が存在することがわかる。

図2-3-3に測定した7件のオフィスの色度偏差の状況を示す。色度偏差の許容値はJIS Z9112-2019に規定されており、(1)式で計算できる。

$$duv = 57700 \times \left(\frac{1}{T}\right)^2 - 44.6 \times \left(\frac{1}{T}\right) + 0.0085 \pm 0.006 \quad (1)$$

duvが黒体放射軌跡より上側すなわちプラス側の場合、光色は緑味を帯び、マイナス側の場合赤紫味を帯びるため、同じ色温度でも印象が変化する。

測定したduvを見てみると、ほぼプラス側すなわち緑味側になっていることがわかる。このうち、BおよびGは比較的緑味を帯びる側にあり、Eは黒体放射軌跡に近いことがわかる。

C2. 光環境主観評価 明るさ感

現在居るスペースの明るさ感7地点121名全体の結果を図2-3-4に示す。「4暗くも明るくもない」が全体の57%を占めており、「6明るい」21%、「3やや暗い」11%と続くが、明るい側(選択肢5以上)が32%で「暗い側」(選択肢3以下)の12%より多い。

図2-3-5に7つのオフィスの空間の明るさ感申告を示す。多重比較(Steel-Dwass法)では、オフィス間に有意差は認められなかった。またQ10-1回答者の年代とのクロス集計結果について χ^2 乗検定(独立性検定)を実施したところ、 $p=0.905$ (互いに独立)という結果になった。図2-3-6に各オフィスの照度分布、図2-3-7に

相関色温度、図2-3-8に色度偏差、図2-3-9に平均演色評価数を示す。各々多重比較(Tukey-Kramer法)を行っている。

非常に明るいという申告のあるD、Eについてみると、Dについては、照度は平均的であるが色温度4900Kでむらが極めて小さく、色度偏差が小さめという特徴があり、Eについては照度が高く(平均値1387Lx)、色度偏差が小さく、平均演色性評価数が高い(平均87.4Ra)。逆に「2. 暗い」という申告のあるBは平均1130Lxで低いものの、色度偏差が大きめで平均演色性評価数が低い(平均81.2Ra)。

Q4-2-1で光環境の違和感の要因を聞いているが、窓から光の入り具合(40%)、天井の照明器具の配置(47%)となった。視野角内の輝度分布、天井面輝度は重要な設計項目であり、32%の執務者にとっては(ここでは中小規模建築物D、Eが対象)照明器具配置あるいは開口部からの採光方法を工夫することが必要と考えられる。

D. 考察

表2-3-3にスペースの明るさ感と光環境の違和感のクロス集計結果を示す。 χ^2 乗検定の結果、両者は独立ではなく有意に関連性があることがわかる。図2-3-10にパソコン画面のまぶしさについて聞いているが、85%はまぶしくないと申告しており、また光環境の違和感とパソコン画面のまぶしさのクロス集計結果から、両者は関連性がみられない(独立である)ことから、違和感の原因はパソコン画面ではないと推測できる。

表2-3-4にスペースの明るさ感と光環境の満足感のクロス集計結果を示す。 χ^2 乗検定の結果、両者は独立ではない(有意に関連がある)ことが示された。

E. 結論

7つのオフィスの空間の光環境を測定した結果、暗くも明るくもないと評価した執務者が57%、やや明るい以上が32%となり、その要因はパソコン画面ではなく開口部あるいは天井照明器具の配置であることがわかった。物理測定の結果、中小規模建築物は開口部からの採光も

取り入れているため、全体的に照度が高めであることも要因であること、明るさ感から評価すればもう少し暗くても問題ない様子が伺えた。暗いと申告のあるオフィスは色度偏差が大きめで平均演色性評価数が低い傾向にある。これはランプ光源の問題である。さらに光環境の満足感はスペースの明るさ感と関連があることがわかった。省エネルギーの観点から昼光照明も推奨されているものの、適正範囲に照度をコントロールすること、また輝度分布への配慮が必要であることがわかった。

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

参考文献

- 1) 事務所衛生基準規則（昭和 47 年労働省令第 43 号）令和 4 年 4 月 1 日施行
- 2) 照明環境規準・同解説，日本建築学会環境基準, AIJES-L0002-2016, 日本建築学会, 2016 年
- 3) 日本産業規格, JIS Z9125-2007 屋内作業場の照明基準, 2007 年
- 4) 照明学会, JIEG-008 オフィス照明設計技術指針, 2002 年
- 5) 日本産業規格, JISZ9112-2019 蛍光ランプ・LED の光源色及び演色性による区分, 2019 年
- 6) 勝浦哲夫：光の室で人間の生理反応は影響されるのか，照明学会誌 第 84 巻第 6 号, 350-353,2012 年

表 2-3-1 光環境に関する主観評価質問項目

Q4 現在の光環境についてお伺いします。

Q4-1 現在居るスペースの明るさをどのように感じますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に暗い
2. 暗い
3. やや暗い
4. 暗くも明るくもない
5. やや明るい
6. 明るい
7. 非常に明るい

Q4-2 現在居るスペースの光環境に違和感がありますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に違和感がある
2. 違和感がある
3. やや違和感がある
4. あまり違和感はない
5. 違和感はない

上記質問 (Q4-2) で「1. 非常に違和感がある」、「2. 違和感がある」、「3. やや違和感がある」を選択した方に質問します。

Q4-2-1 違和感の原因を全て選んでください。(該当するもの全てに○)

1. 窓からの光の入り具合
2. 天井の照明器具の配置
3. 天井照明の色
4. タスクライティング (デスクのライトスタンド) の位置
5. タスクライティングの色
6. その他 ()

Q4-3 デスクで行う作業でパソコンに向かう時間は1日の執務時間の何%を占めますか。(該当するもの1つに○)

1. 20%未満
2. 20~39%
3. 40~59%
4. 60~79%
5. 80%以上

Q4-4 パソコン画面のまぶしさを教えてください。(該当するもの1つに○)

1. 非常にまぶしい
2. まぶしい
3. ややまぶしい
4. まぶしくない

上記質問 (Q4-4) で「1. 非常にまぶしい」、「2. まぶしい」、「3. ややまぶしい」を選択した方に質問します。

Q4-4-1 まぶしさの原因を全て選んでください。(該当するもの全てに○)

1. モニター自体
2. 窓からの光の映り込み
3. 天井照明の映り込み
4. タスクライティング (デスクのライトスタンド) の映り込み
5. その他 ()

Q4-5 現在居るスペースの光環境に満足していますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不満
2. 不満
3. やや不満
4. どちらでもない
5. やや満足
6. 満足
7. 非常に満足

上記質問 (Q4-5) で「1. 非常に不満」、「2. 不満」、「3. やや不満」を選択した方に質問します。

Q4-5-1 現在居るスペースの光環境をどうしたいですか。(該当するもの1つに○)

1. 今より暗くしたい
2. 今よりやや暗くしたい
3. そのままでよい
4. 今よりやや明るくしたい
5. 今より明るくしたい

表 2-3-2 照明環境の設計規準- 事務 2)

作業、活動または用途	対応する室又は空間の例	Lwm 壁面平均輝度 (cd/m ²)	Lcm 天井面平均輝度 (cd/m ²)	UGR グレア	ターゲット面	Et ターゲット面照度 (lx)	Ra 平均演色評価数	備考
設計・製図	設計室、製図室	30	20	16	机上面	750	80	ターゲット面の照度均斉度 0.7
事務	事務室	20	15	19	机上面	500	80	キーボード面 500lx, ディスプレイ面は低照度が望ましい。

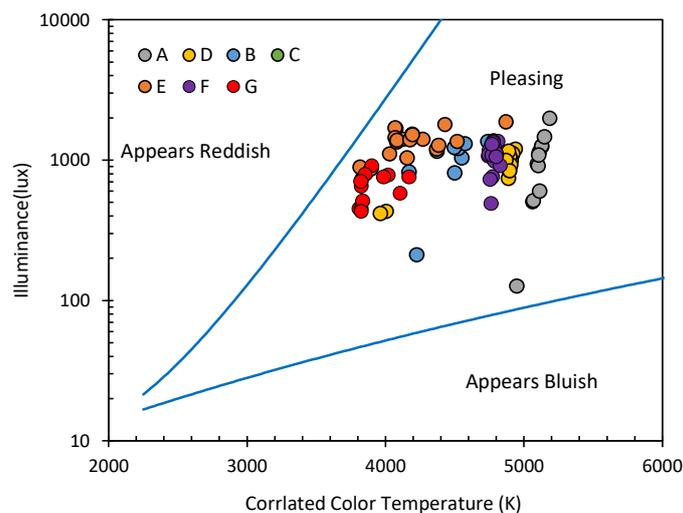


図 2-3-2 オフィス空間の相関色温度と照度

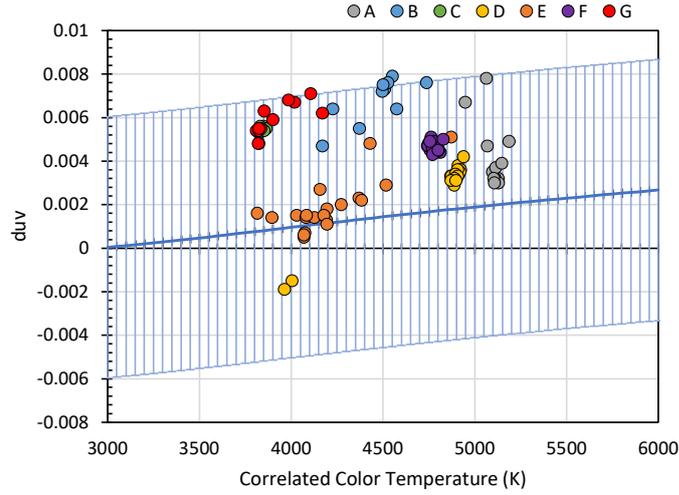


図 2-3-3 測定したオフィス空間の色度偏差の状態

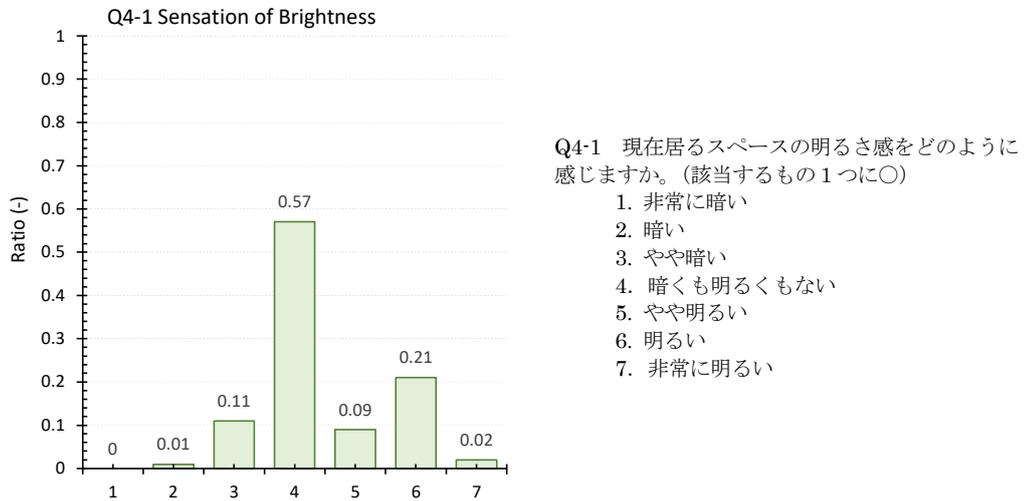


図 2-3-4 現在居るスペースの明るさ感 (n=121)

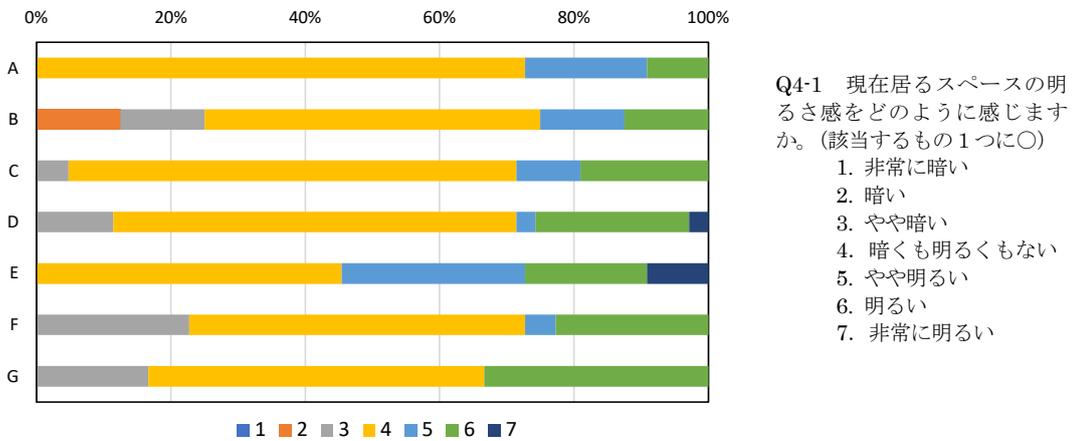


図 2-3-5 7つのオフィス空間の明るさ感申告

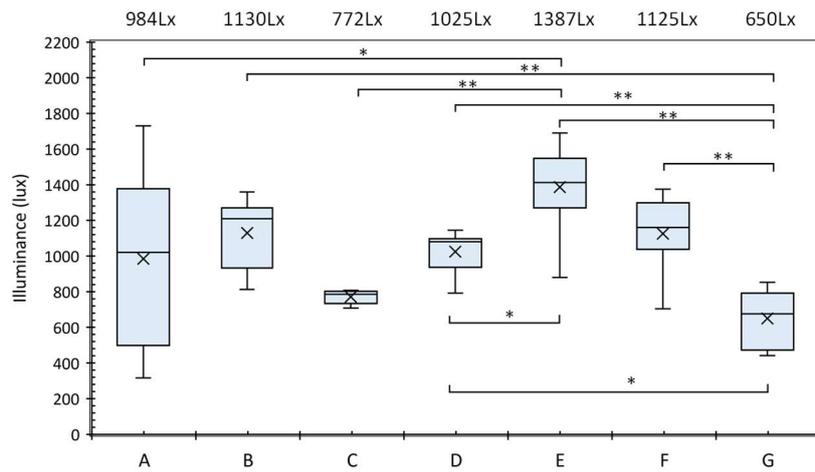


図 2-3-6 照度測定値のオフィス間比較

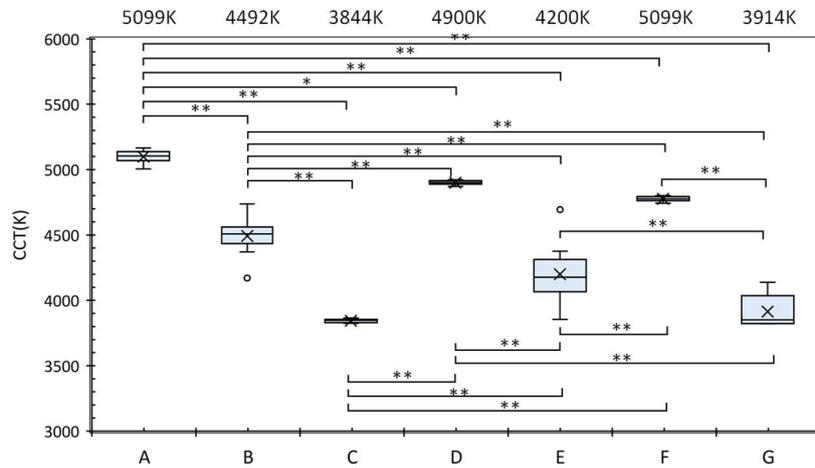


図 2-3-7 相関色温度のオフィス間比較

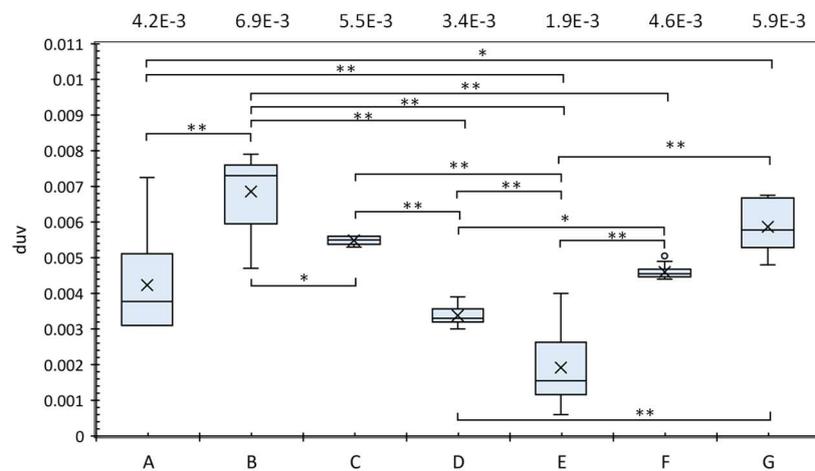


図 2-3-8 色度偏差のオフィス間比較

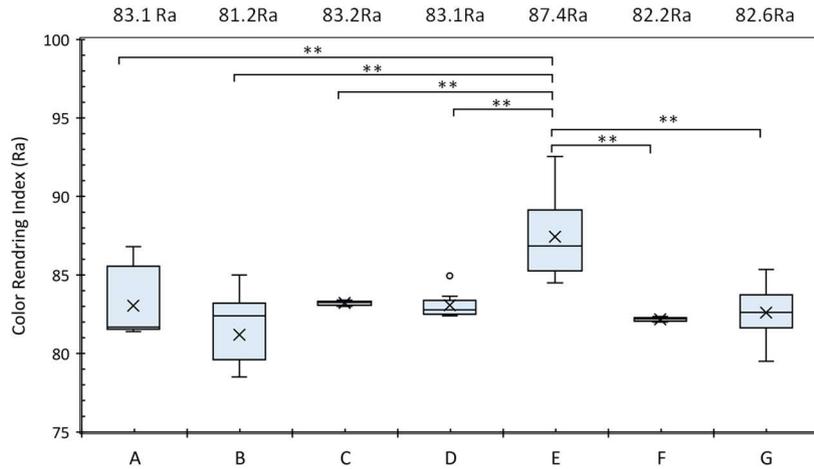


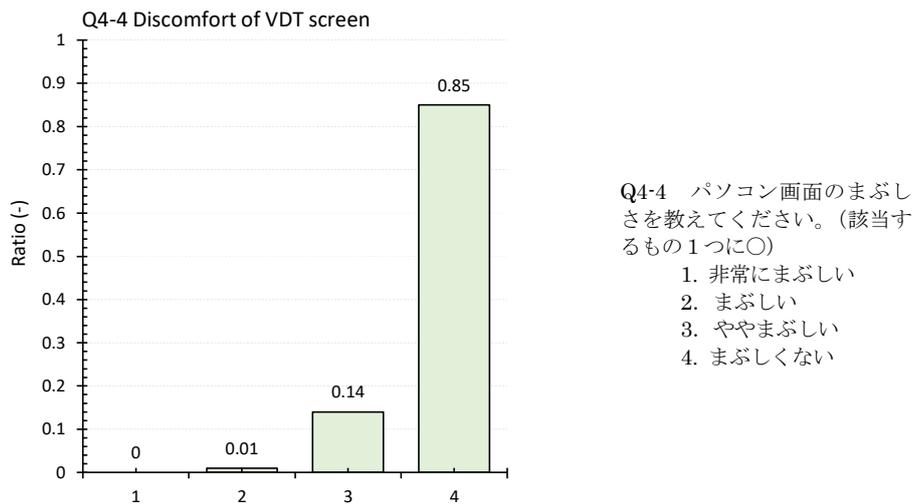
図 2-3-9 平均演色性評価数のオフィス間比較

表 2-3-3 光環境の違和感とスペースの明るさ感のクロス集計結果

		スペースの明るさ感						
		非常に不満	不満	やや不満	どちらでもない	やや満足	満足	非常に満足
光環境の違和感	非常に違和感がある	0	0	0	0	0	0	0
	違和感がある	0	0	0	0	0	0	0
	やや違和感がある	0	1 [*]	8 [***]	2 [//]	0	2	0
	あまり違和感はない	0	0	5	23	8 [*]	6	0
	違和感はない	0	0	0 [///]	44 [*]	3	17	2

χ²乗検定(独立性の検定): p<0.001

残差分析 有意に高い: p<0.05 [*], p<0.01 [**], p<0.001 [***], 有意に低い: p<0.05 [/], p<0.01 [//], p<0.001 [///]



Q4-4 パソコン画面のまぶしさを教えてください。(該当するもの1つに○)
 1. 非常にまぶしい
 2. まぶしい
 3. ややまぶしい
 4. まぶしくない

図 2-3-10 パソコン画面のまぶしさ (n=121)

表 2-3-4 光環境の違和感とスペースの明るさ感のクロス集計結果

		光環境の違和感				
		非常に違和感がある	違和感がある	やや違和感がある	あまり違和感はない	違和感はない
パソコン画面のまぶしさ	非常にまぶしい	0	0	0	0	0
	まぶしい	0	0	0	1	0
	ややまぶしい	0	0	5	7	5
	まぶしくない	0	0	8	34	61

χ^2 乗検定(独立性の検定): $p=0.536$

表 2-3-5 スペースの明るさ感と光環境の満足感のクロス集計結果

		スペースの明るさ感						
		非常に不満	不満	やや不満	どちらでもない	やや満足	満足	非常に満足
光環境の満足感	非常に不満	0	0	0	1	0	0	0
	不満	0	0	0	0	0	0	0
	やや不満	0	1 [*]	8 [***]	1 [///]	1	1	0
	どちらでもない	0	0	5	23	3	9	0
	やや満足	0	0	0	12 [*]	4	2	0
	満足	0	0	0	31	3	13	1
	非常に満足	0	0	0	1	0	0	1

χ^2 乗検定(独立性の検定): $p<0.001$

残差分析 有意に高い: $p<0.05$ [*], $p<0.01$ [**], $p<0.001$ [***], 有意に低い: $p<0.05$ [/], $p<0.01$ [//], $p<0.001$ [///]

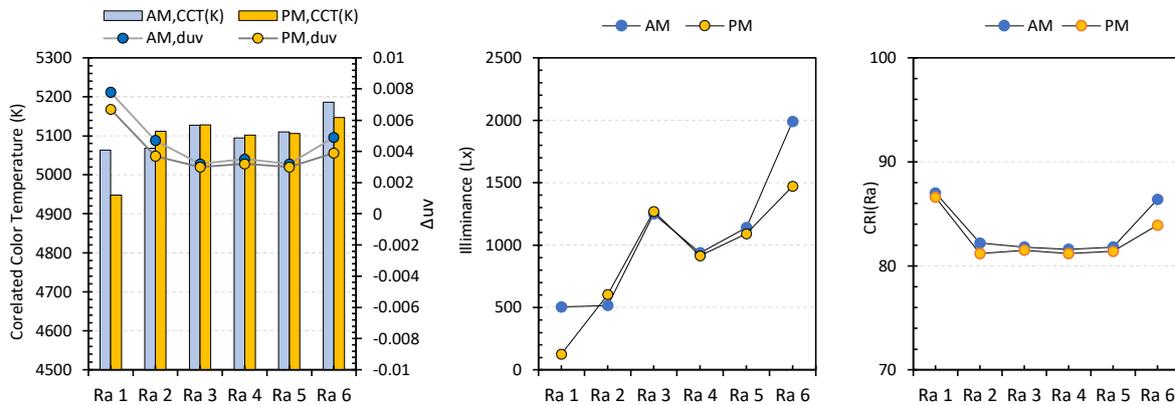


図 2-3-11 A の測定点毎の相関色温度, Δ duv,照度, 平均演色性評価数

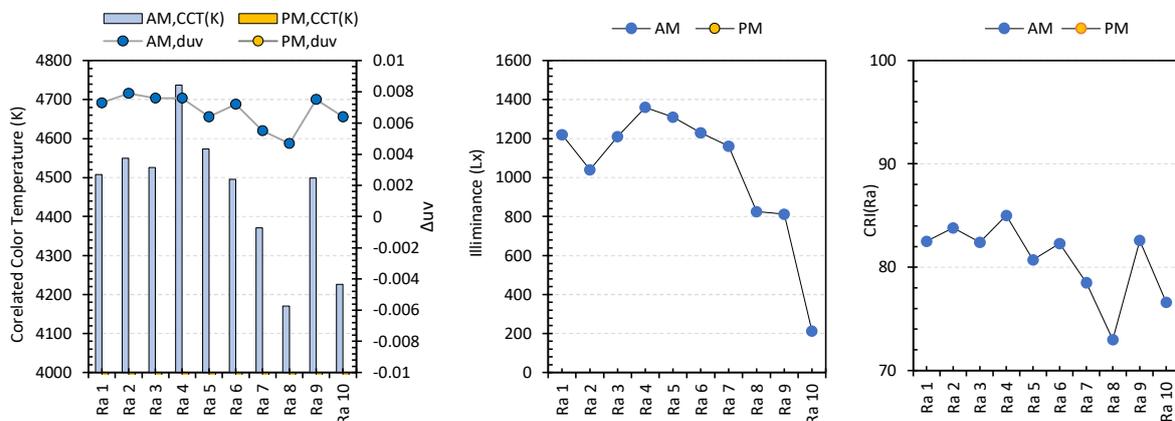


図 2-3-12 B の測定点毎の相関色温度, Δ duv,照度, 平均演色性評価数

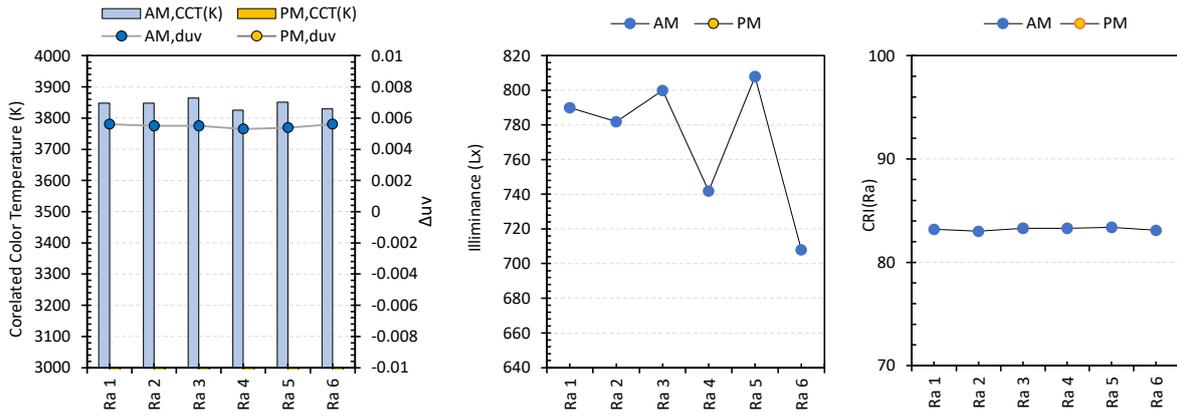


図 2-3-13 C の測定点毎の相関色温度, Δuv ,照度, 平均演色性評価数

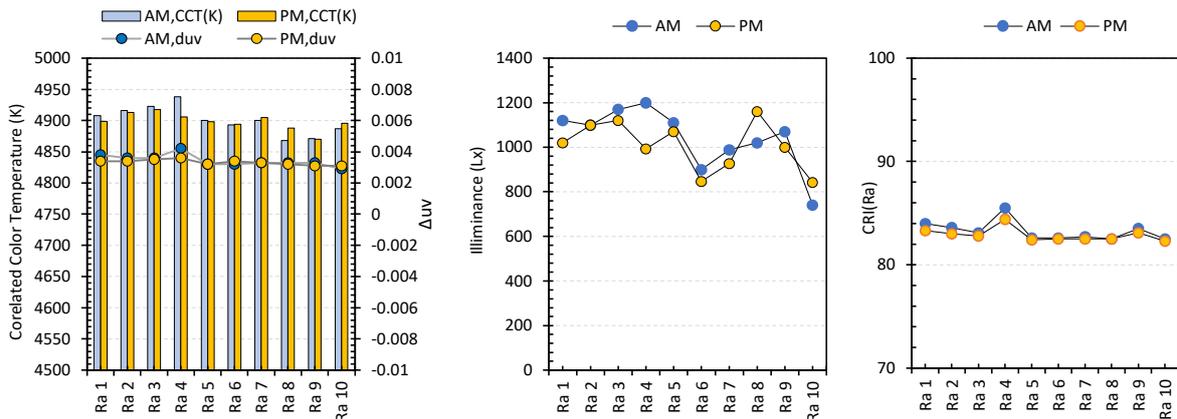


図 2-3-14 D の測定点毎の相関色温度, Δuv ,照度, 平均演色性評価数

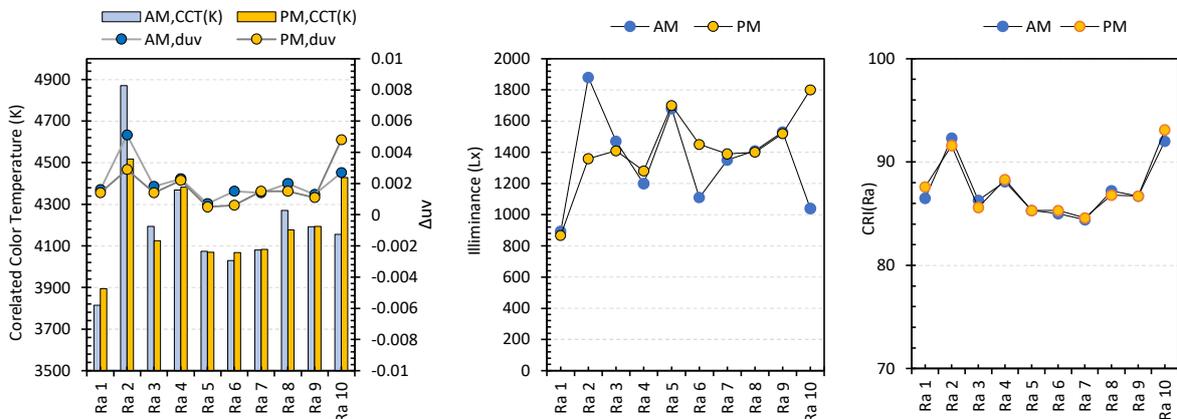


図 2-3-15 E の測定点毎の相関色温度, Δuv ,照度, 平均演色性評価数

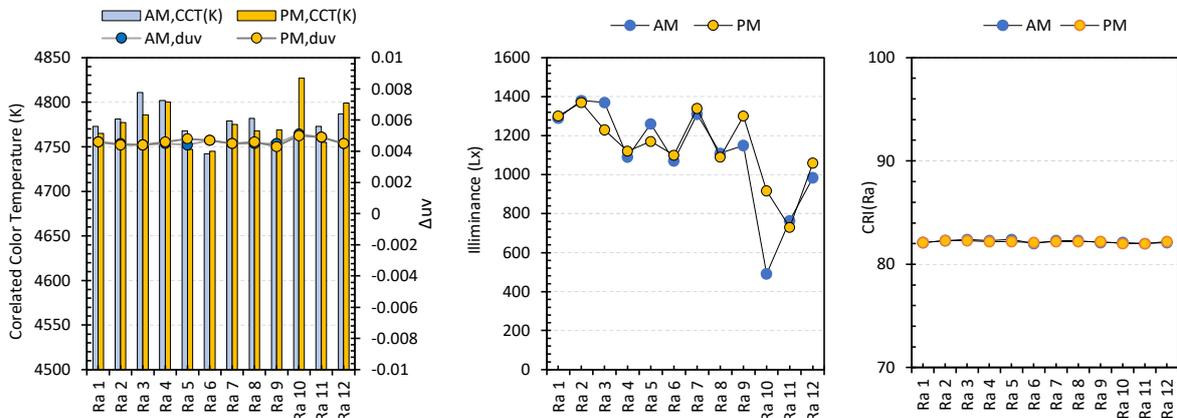


図 2-3-16 F の測定点毎の相関色温度, Δuv ,照度, 平均演色性評価数

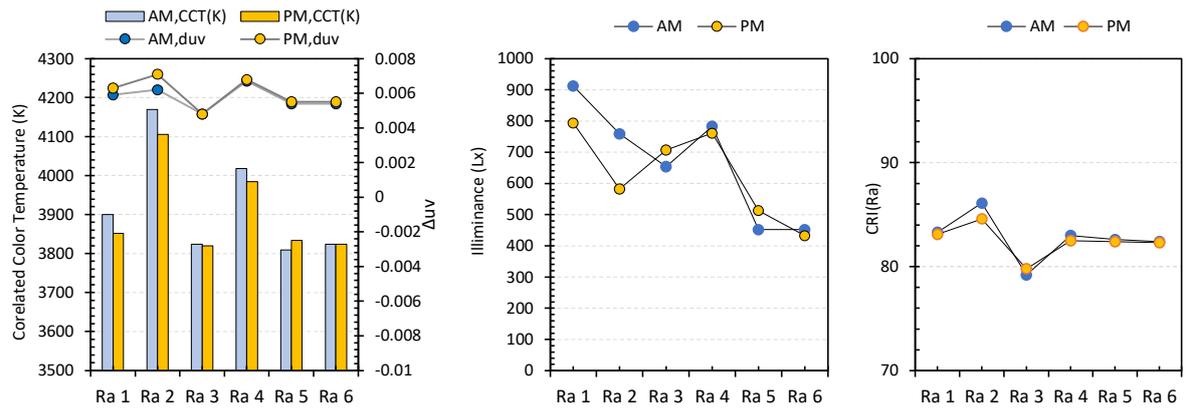


図 2-3-17 G の測定点毎の相関色温度, Δ_{duv} , 照度, 平均演色性評価数

2-4. 音環境に関する詳細測定と主観評価結果

A. 研究目的

執務環境のレイアウトはスペースの有効活用や部署間の連携の促進などから、オープンプランオフィス（OPO）が一般化している。最近では、ペーパーレス化やクラウド活用等、場所に依存しない業務も増加し、またモバイル PC レベルでの業務が比較的容易になったことから ABW（Activity Based Working）に伴うフリーアドレス化なども行われるようになってきた。

一方で、音声による作業妨害や打合せ等の会話、電話による会話等による情報漏洩が問題として取り上げられることが増えてきている。1950年代に OPO が導入され、1962年には W. J. Cavanaugh らの行ったオフィス空間の不満足度調査では、侵入してくる会話の明瞭性と関連があると指摘されている¹⁾。アメリカでは、スピーチプライバシーという用語は、特に他人との会話が邪魔にならない執務空間の音環境評価を指し、スピーチセキュリティは会話の内容の秘匿性の確保等に係る音環境評価で使われている²⁾。

事務所衛生基準規則第 11 条では「事業者は、室内の労働者に有害な影響を及ぼすおそれのある騒音または振動について、隔壁を設ける等その伝ばを防止するため必要な措置を講ずるようにならなければならない。」とあり、また第 12 条では「事業者は、タイプライターその他の事務用機器で騒音を発生するものを、5 台以上集中して同時に使用するときは、騒音の伝播を防止するため、遮音及び吸音の機能を持つ天井及び壁で区画された専用の作業室を設けなければならない」とある³⁾。令和 2 年 8 月には事務所衛生基準の見直しに関する検討会が開かれているが、タイプライター等の用語の古さについて指摘はあったものの、第 11 条、第 12 条はおもな論点として取り上げられなかった⁴⁾。日本音響学会や日本建築学会等ではスピーチプライバシー研究がすすめられ、日本建築学会環境規準も作成されており、労働生産性という観点で注目されはじめ対策を検討している企業もあるようである。

以上のようにオフィス空間に関する音環境研究では、OPO の課題として執務者の会話を重

視しているが、空気衛生環境の観点からの応用を考えると、会話に伴う執務者の CO₂ 呼出量は、等価騒音レベルを高めると同時に換気量推定に利用できる点に着目する。すなわち空間内の等価騒音レベルを把握することで CO₂ 呼出量を推定し換気量の良否を判断できる。また空気感染対策に関連する呼気エアロゾル放出量が等価騒音レベルによって推定することができれば、CO₂ 濃度測定以外の感染リスク評価の一要素となり得る。

本研究では、等価騒音レベルを用いた空気清浄度管理の可能性を探ること、また、事務所衛生基準規則でも言及している音環境について、等価騒音レベルを測定することによりその実態を把握することを目的とする。

B. 研究方法

等価騒音レベル測定は、RION NL-42（計量法普通騒音計、JIS C1509-1 クラス 2, A 特性：25～138dB、サンプリング周波数 48kHz）を用いて、各オフィスの室中央 1 点で 10:00～15:00 の間測定を行った。1 分毎の時間平均サウンドレベル LAeq を考察に用いる。

音環境に関する主観評価質問項目は、オフィスの音環境に関して、会話やオンライン会議、機器騒音、外部騒音等と音環境の満足度にかかる主観評価について 7 項目の質問を行った（表 2-4-1）。

C. 研究結果

騒音評価はアメリカで用いられている Speech Interference Level (SIL; 500, 1000, 2000, 4000Hz の 4 つのオクターブバンドレベルの算術平均値) や NC および NCB 曲線 (NC 曲線 1957 年, NCB 曲線は NC 曲線を修正したもの, 1988 年) が知られている。周波数特性による評価が行われているが、SIL と同等の表現とすれば、小事務室は 38～48dB(A)、大事務室は 43～53dB(A) となる⁵⁾。

佐藤らによれば、オフィスの音環境は OA 機器の変化により 1980 年代初頭は LAeq,10min で 50～59dB(A) 程度であったものが携帯電話等の情報通信技術が大幅に向上した 1990～2000 年代には 50～57dB(A)、さらに現代では

44～52dB(A)にまで下がってきているという。情報通信機器が静粛化してきている分、なかなか設備更新しない（できない）空調機騒音が暗騒音として注目されやすくなっている点、また会話等の作業妨害にフォーカスされているように思われる。一方海外事例では、Yadav らが行った OPO 測定では、平均 53.6dB(A)、カーペット敷の有無で-2.7dB(A)、カーペット敷の有無プラス天井吸音の有無で-4.1dB(A)の効果があることが示されている⁸⁾。以上のように、OPO では、凡そ 45～55dB(A)となると想定される。Well v2 Q4 2022 では、9つの評価項目がある（S01 サウンドマッピング、S02 最大騒音レベル、S03 防音、S04 残響時間、S05 吸音、S06 最小暗騒音、S07 単発騒音管理、S08 会話了解度等へのオーディオデバイスの活用、S09 聴覚保護など、細かな評価が規定されている。このうち、一指標として S02 最大騒音レベルの指標を示す（表 2-4-2）。

図 2-4-1 に各オフィスの平均等価騒音レベルの測定結果を示す。サンプリングレートは 48 kHz でそれを 1 分間平均したものを 5 時間（G に関しては 2 時間）サンプリングしたデータである。WELL v2（表 2-4-2）の評価指標と比較すると、A および F の平均等価騒音レベルは SPL50dB(A)を超えており、他は超えていない。また最大 SPL が 60dB(A)を超えているのは A、E、F、G であり、B、C、D については平均 50dB(A)以下、最大 60dB(A)以下であるので、2 ポイントを得られる性能であることがわかる。多重比較検定（Tukey-Kramer 法）の結果、A と B、C、D、E、G との間に 1%有意水準で差があり、A と F の間に 5%有意水準で差がある。また F と B、E、G には 1%有意水準で差があることがわかった。

執務者の主観評価に関しては、7 地域合計 120 名からデータが得られた。Q5-1 に同僚との会話時間を、Q5-2 に電話・オンライン会議時間を 5 件法で質問した。同僚との会話については、A オフィスに 3 時間以上の人がいるため、平均値が高くなる要因となっている（本来、2 人以上出てくるべきであるが、従業員全てから回答を得ているわけではないので、異常値とは判断しないことにする）。A オフィスと B オフィスとで

は会話量に有意に差がある（図 2-4-2）。図 2-4-3 に電話・オンライン会議時間の結果を示す。ここでも A オフィスが他と異なる状況であることが伺える。なお、Q6-8 でミーティング場所を聞いているが、自席でオンライン会議をする執務者はほとんどいなかった。その時間も含まれているため、自席での電話による会話時間は推測することができない。

現在居るスペースの音環境の満足度について 7 段階尺度で質問した（図 2-4-4）。E のオフィスは「3. やや不満」と評価した執務者が 1 名居るが、ほかは「6. 満足」と評価している（平均 5.73）。一方、最も評価が低いのが G（平均 3.42）であった。建築形態でいうと、E は中規模建築物であるが執務階は 3F にあること、一人当たりの床面積が比較的広いこと（平均 15.9m²/人）、業務内容が影響しているのか等価騒音レベルが低いことが要因として考えられる。一方、G に関しては窓・ドア等の開口部開放による換気を行っており、外部交通騒音を気にする執務者が多いこと、また等価騒音レベルは E、G 間で有意な差はないが、文章を集中して読む業種のため、より静寂を求めていることが推測される。

D. 考察

D1. 粒子個数濃度と平均等価騒音レベルの関係

会話が増えるということは、それだけ口腔からの飛沫がオフィス空間内に排出されるということである。空気感染に係る感染症予防の観点からすると、エアロゾル量（微粒子個数濃度）は低く維持できることが望ましい。適切な換気方法で換気量を確保することによって粒子個数濃度は低下するが、在室人数或いは在室密度が大きくなると一人当たり換気量が減少するため濃度は上昇する。今回測定したオフィス空間の換気量は別に推定を行っているが（2-5. 空気環境に関する詳細測定と主観評価結果）、その換気量（m³/h）と粒径毎の微粒子個数濃度（#/m³）を乗じることで、1 時間当たりの除去粒子個数（人体からの供給粒子個数）が算出できる。平均等価騒音レベルと粒径毎の 1 時間あたり除去粒子個数の関係を図 2-4-5 に示す。

この結果にも示されている通り、粒径で 0.5

μm ～ $3\mu\text{m}$ の相関が比較的高く ($0.5\sim 1.0\mu\text{m}$: $R=0.658$, $p=0.054$, $1.0\sim 3.0\mu\text{m}$: $R=0.680$, $p=0.046$), 呼気により排出される微粒子と呼応していることが確認できた。

D2. 平均等価騒音レベル及び会話時間を用いた換気量の推定

Q5-1 の各選択肢の時間中央値を用いてオフィス毎の平均会話時間を推定する (選択肢 5, 3 時間以上は 3 時間としそれ以外は中央値とする)。2.5. に示すように、換気量の推定は、平均 CO_2 発生量 (m^3/h) と室内および外気 CO_2 濃度 (平均値) からザイデル式を用いて容易に算出することができる。しかし CO_2 自体無臭であるため、執務者は、その発生量もしくは濃度を感知することができない。

一方、うるささ感は人間の聴覚を利用することができ、それが空気汚染レベルと相関するのであれば、補助手段として空気清浄度の推定に利用することも可能である。等価騒音レベル (dB(A)) と会話時間 (h), 及び内外 CO_2 濃度差を説明変数として、重回帰分析により推定換気量 (m^3/h) を予測した結果が図 2-4-6 である。

G のオフィスでの予測誤差が大きいものの、補正決定係数 0.7713, 分散分析による有意確率は $p=0.0634$ となり、一定程度の予測をすることができそうである。G のオフィスに関しては、等価騒音レベルの測定箇所が 2,3F で機械換気プラス自然換気が加味されているため、換気経路自体単純ではないこと、今回、執務者の多い 3F のデータを利用していることから、2F の空気も合流するような複雑な流れになっているとすると煙突効果を考慮した換気回路網による換気量推定が必要となる (今回の検討ではそのレベルの検討はしていない)。

また、変数選択は、多重共線性に一定の配慮が必要であることを承知で、敢えて等価騒音レベルと会話時間を説明変数として加えている。会話時間は CO_2 発生量と相関すること、騒音計位置によって会話の音圧レベルは異なること、会話のボリューム等の要素を考慮すると、明確な相関関係にないものと判断している。オフィス空間の音環境も空気環境もそれぞれシミュレーションが可能 (すなわち物理モデル或いは

数理モデルが存在している) なので、今後、単純な線形回帰で良いかどうかも含め、引き続き検討する。

E. 結論

オフィス空間の音環境の満足度からオフィス空間の衛生環境を含めた質を把握・推定するため、騒音計を用いて実測調査するとともに主観者評価を行った。

その結果、今回測定した 7 つのオフィスの等価騒音レベルは平均値で 55dB(A) を下回り、WELL 認証では 1 ポイントを得られること、また B, C, D の 3 オフィスについては 2 ポイント得られるレベルにあることがわかった。

主観者評価では、オフィス毎に他人の会話・電話・オンライン会議や交通騒音を気にする人が見られたが、コピー機等の OA 機器や空調騒音は気にならない執務者が多かった。また、これらの騒音要素と音環境の満足度については、会話・電話等が影響しているものの有意差は得られなかった。

一方で、空気清浄度の評価項目である微粒子個数濃度と等価騒音レベルの関連については、粒径 $0.5\sim 3.0\mu\text{m}$ の微粒子個数と相関が高いこと、また等価騒音レベルと平均会話時間とで、一人当たり換気量を推定できる可能性があることを示した。

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

参考文献

- 1) W. J. Cavanaugh, W. R. Farrell, P. W. Hirtle and B. G. Watters, “Speech privacy in buildings”, Journal Acoustical Society of America, vol.34, 475-492,1962
- 2) 佐藤洋, 清水寧:スピーチプライバシー研究の歴史と近年の動向, 日本音響学会誌 64 卷 8 号,475-480,2008
- 3) 事務所衛生基準規則, 昭和 47 年労働省令第 43 号, 令和 4 年 3 月 1 日厚生労働省大 29 号, 令和 4 年 4 月 1 日施行
- 4) 事務所衛生基準のあり方に関する検討会報告書,
- 5) スピーチプライバシーの評価規準と設計指針 - 音声による情報漏洩防止 -, 日本建築学会環境基準, AIJES-S0003-2021, 日本建築学会, 2021 年
- 6) 前川純一・森本政之・坂上公博: 建築・環境音響学第 3 版, 共立出版, 2011
- 7) 佐藤考浩・辻村壮平・小林真人・三浦太郎・科部元浩: ワーカーのオフィス環境の評価構造と音環境評価における判断要因に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, 第 85 卷, 第 772 号, 445-453, 2020 年 6 月
- 8) Manuj Yadav, Dencil Cabera, Jungsoo Kim, Janina Fels, Richard de Dear: Sound in occupied open-plan offices: Objective metrics with a review of historical perspectives, Applied Acoustics, 177,107493, 2021
- 9) WELL v2 Q4 2022, Sound, <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/sound> (令和 5 年 5 月 20 日閲覧)

表 2-4-1 音環境に関する主観評価質問項目

Q5 現在の音環境についてお伺いします。

Q5-1 普段、同僚と会話している時間は1日合計どのくらいですか（会議、電話を除く）。（該当するもの1つに○）

1. 30分未満 2. 30分以上1時間未満 3. 1時間以上2時間未満
4. 2～3時間未満 5. 3時間以上

Q5-2 普段、電話やオンライン会議をしている時間は1日合計どのくらいですか。（該当するもの1つに○）

1. 30分未満 2. 30分以上1時間未満 3. 1時間以上2時間未満
4. 2～3時間未満 5. 3時間以上

Q5-3 他人の会話、電話・オンライン会議、ミーティング（会議室以外）等の声が気になりますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. 気にならない

Q5-4 現在居るスペースにおいて、空調機やエアコンの音が気になりますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. 気にならない

Q5-5 現在居るスペースにおいて、プリンターやコピー機の音は気になりますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. 気にならない

Q5-6 現在居るスペースにおいて、建物外の騒音（交通騒音等）は気になりますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. 気にならない

Q5-7 現在居るスペースの音環境に満足していますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. どちらでもない
5. やや満足 6. 満足 7. 非常に満足

上記質問（Q5-7）で「1.非常に不満」、「2.不満」、「3. やや不満」を選択した方に質問します。

Q5-7-1 現在居るスペースの音環境の不満の原因は何ですか。不満なものを全て選択してください。（該当するもの全てに○）

1. 他人の会話 2. 電話・オンライン会議等の話声 3. 空調機やエアコンの音
4. プリンターやコピー機の音 5. 外部の騒音 6. その他（ ）

表 2-4-2 WELL v2 オープンワークスペースの平均最大等価騒音レベル

	Point 3	Point 2	Point 1
平均 SPL (dB(A))	45	50	55
最大 SPL (dB(A))	55	60	-

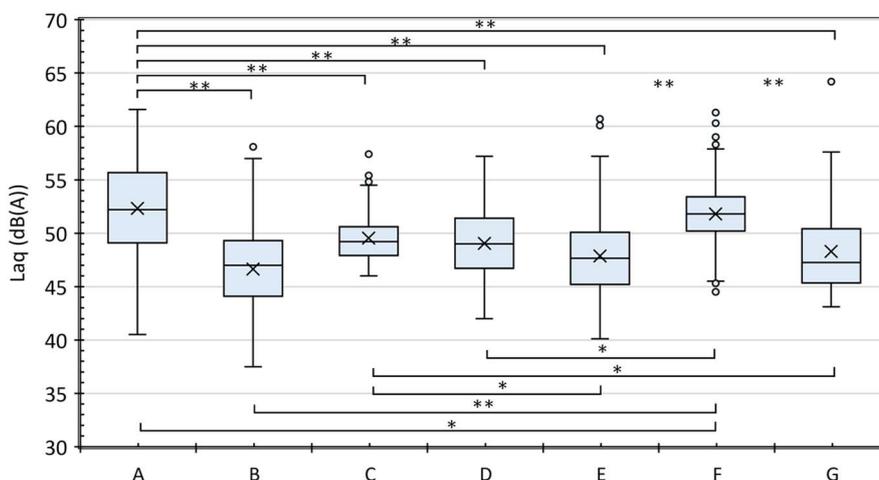
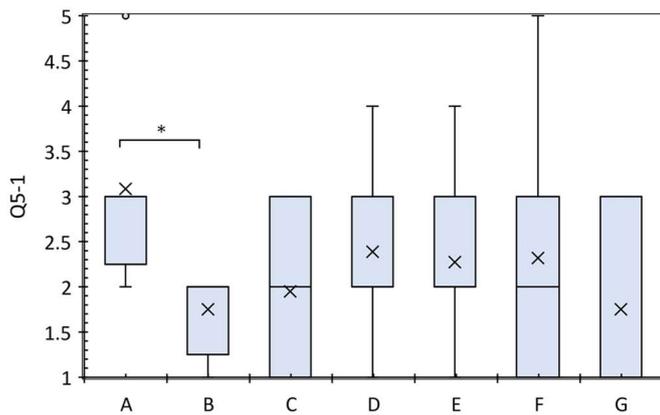


図 2-4-1 オフィス毎の平均等価騒音レベル (LAeq,5h)

表 2-4-3 オフィス毎の平均等価騒音レベル(dB(A))の平均値・最大値・最小値・標準偏差

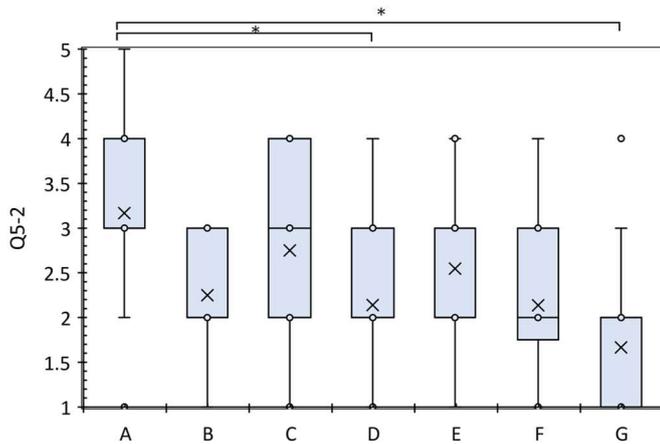
	A	B	C	D	E	F	G
Average	52.3	46.6	49.5	49	47.9	51.8	48.3
Max	61.6	58.1	57.4	57.2	60.7	61.3	64.2
Min	40.5	37.5	46	42	40.1	44.5	43.1
S.D.	4.4	4.1	2.1	3.1	3.7	2.8	4



Q5-1 普段、同僚と会話している時間は1日合計どのくらいですか（会議、電話を除く）。（該当するもの1つに○）

1. 30分未満
2. 30分以上1時間未満
3. 1時間以上2時間未満
4. 2～3時間未満
5. 3時間以上

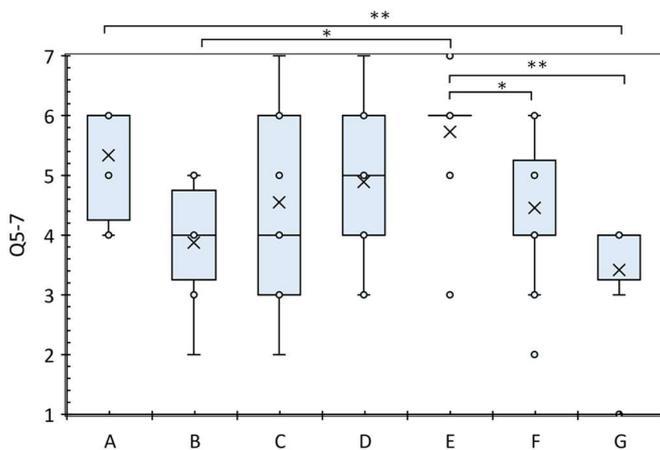
図 2-4-2 オフィス毎の同僚と会話している時間



Q5-2 普段、電話やオンライン会議をしている時間は1日合計どのくらいですか。（該当するもの1つに○）

1. 30分未満
2. 30分以上1時間未満
3. 1時間以上2時間未満
4. 2～3時間未満
5. 3時間以上

図 2-4-3 オフィス毎の電話及びオンライン会議時間



Q5-7 現在居るスペースの音環境に満足していますか。（該当するもの1つに○）

1. 非常に不満
2. 不満
3. やや不満
4. どちらでもない
5. やや満足
6. 満足
7. 非常に満足

図 2-4-4 オフィス空間の音環境の満足度

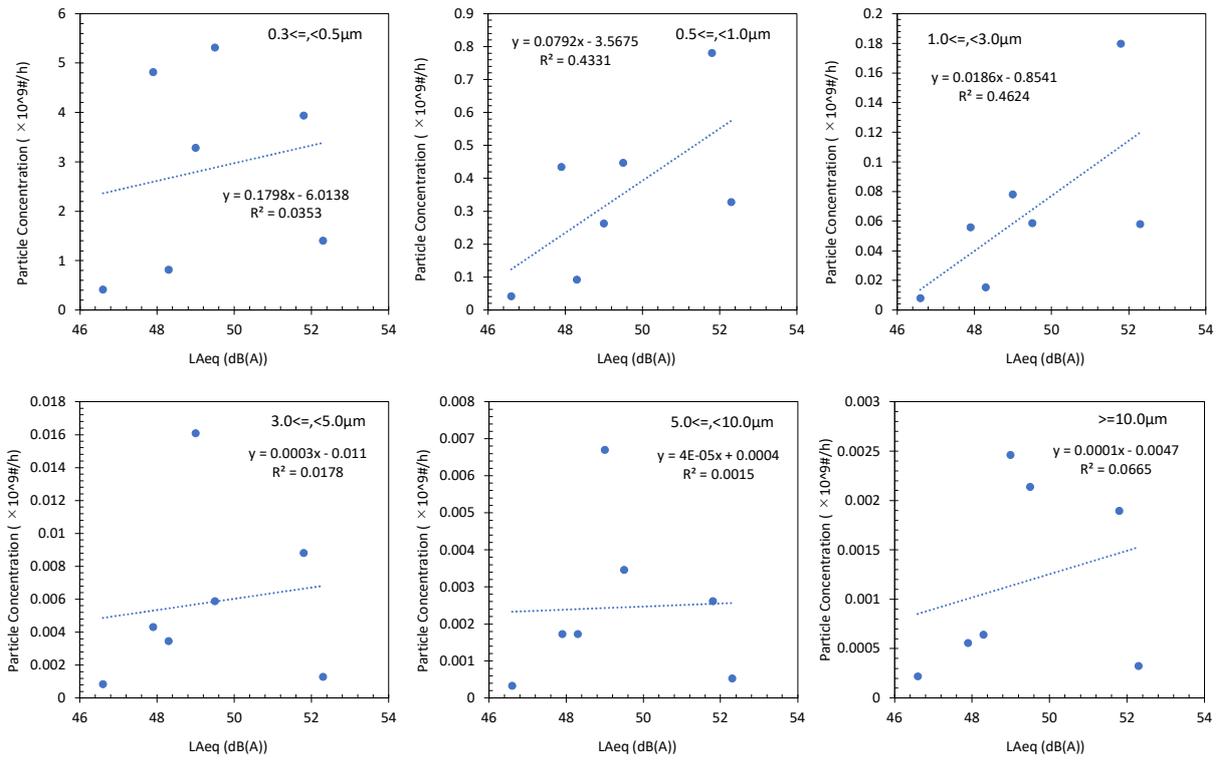


図 2-4-5 平均等価騒音レベルと粒径毎の1時間あたり除去粒子個数

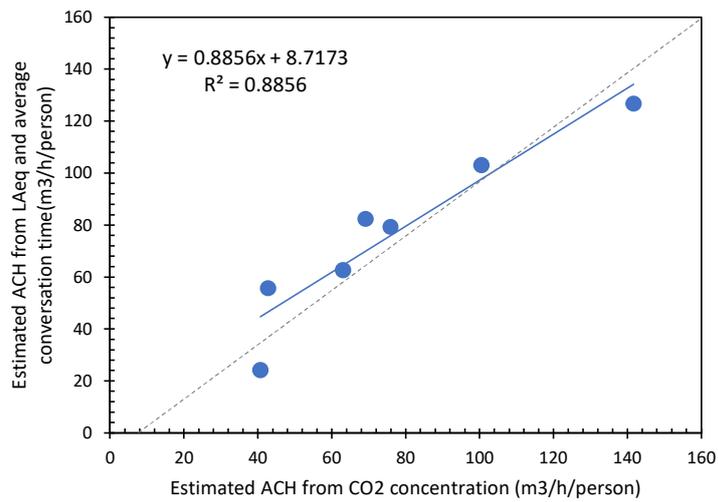


図 2-4-6 等価騒音レベル及び会話時間を説明変数とした換気量推定

2-5. 空気環境に関する詳細測定と主観評価結果

A. 研究目的

3000m² 未満の建築物は、建築物衛生法に基づく衛生管理の制約を受けないため、自主的に維持管理することが求められる。建築物を自ら所有する場合もしくはテナントとして賃貸する場合も、程度の差はあれ自主的もしくは業者委託により一定水準の衛生管理が行われていると予測するが、建築物・設備そのものに起因する構造的課題は責任の所在も含め解決が難しい場合もある。

衛生環境の不適状態を検知する手法として、IoT 活用を検討しているが、重装備なセンサーネットワークは多大なコストとともに一定頻度のメンテナンスが発生する。一方、不具合検知については利用者による評価が最も簡便である。協力さえ得られれば、活動範囲内でユビキタスにデータを取得することができるが、物理センサーと同等な評価を得ることができるかどうかの確認が必要である。環境不動産分野等で利用されている評価手法（例えば CASBEE_WO や WELL 認証）¹⁾は、建物評価のほか、健康性、知的生産性を一定水準でレーティングできるため、本研究で検討しているシステムと有機的に関係させることにより、より精度の高い評価システムの構築も期待できる。

本研究では、冬期・春期のオフィス内空気環境の状態を把握するとともに、建物利用者（執務者）による空気環境の主観評価について検討する。

B. 研究方法

表 2-5-1 に空気環境測定の概要を、表 2-5-2 に主観評価調査の質問内容(空気環境)を示す。空気環境の詳細測定は 2023 年 2 月から 3 月の特定の 1 日を選定して、執務時間中の 10~16 時に測定を実施した。

B1.換気量の推定方法

CO₂ 濃度測定結果と在室者の CO₂ 呼出量から換気量を推定する。CO₂ 呼出量は田島(2016)らの提案している 1 式²⁾を用いた。また活動量は METs=1.3 と仮定した³⁾。

換気量推定にあたっては、CO₂ 濃度の勤務時間中の濃度変動の少ない時間帯の濃度平均値および在室者人数を用いて、ザイデル式で算出した(2 式)。このうち、C はフロア全体の一部のみを測定対象としたため、フロア全体人数は推計値であること、また G に関しては 2F と 3F の両方を対象として別々に算出している。

特定建築物規模に該当する A, B, C は窓開け換気ができないが、D, E, F, G は窓(或いは開口部)開け換気が可能であり、特に F, G は詳細実測中に窓開け換気を行っている時間帯があった。

$$P_{CO_2} = 1.601 \times 10^{-4} (60.63 \times A_D \times Met \times C_a \times C_g) \quad (1 \text{ 式})$$

$$Q = P_{CO_2} / (p_{ave} - p_{out}) \quad (2 \text{ 式})$$

但し、PCO₂ : CO₂ 呼出量(m³/h), AD : 体表面積(m²), Ca : 年齢係数(年代別基礎代謝量と基礎代謝量の比), Cg : 性別係数(男性 1.00, 女性 0.73) pave : 空間平均室内 CO₂ 濃度(-), pout : 外気 CO₂ 濃度(-)

B2. 浮遊微生物(真菌・細菌)測定概要

浮遊微生物量は、オフィス内 2 箇所、廊下、外気の 4 か所について、表 2-5-1 に示すバイオサンプラー MBS-1000(N)を用いて 100L 吸引採取した。その後、インキュベーターにて培養した。真菌に関しては 25°C 5 日間、細菌に関しては 32°C 48 時間培養し、その後コロニー数をカウントした。1m³ あたりのコロニー数は、目視観測されたコロニー数に Feller による統計学補正を行ったものに対して 10 倍した。なお、浮遊真菌は DG18 培地を、浮遊細菌は SCD 培地を用いた。

C. 研究結果

C1. 換気量の推定結果

各建物の換気量の推定結果(空間全体および一人当たり換気量)を表 2-5-3 に示す。簡易かつ間接的な推定方法であるが、設計図書的设计風量が判明している建物については約 70% 程度の値になることを確認しており、概ね妥当と

考えている。結果として、各建物の一人当たり換気量の推定値は 40.7~141.7m³/h となり、30m³/h/person (COVID19 対策の一人当たり換気量推奨値⁴⁾)は満たしていると推定された。今回の実測では小規模建築物(D, E, F, G)は全体1社占有であり、特にGのように窓開け換気をしながら複数階で執務する場合、煙突効果による空気流れが想定されるため、特に3階のCO₂濃度は高くなる可能性がある。

C2. 浮遊微生物(真菌・細菌)の測定結果

真菌のカウント結果を図2-5-1に、細菌のカウント結果を図2-5-2に示す。オフィス内の浮遊真菌量の維持管理規準⁵⁾は50CFU/m³であるが、今回測定したすべての物件は0~35CFU/m³の範囲にあり、すべての測定物件で規準値を下回っていた。I/Oに関しては、A, B, C, Dは外気の方が高いにも関わらず室内の方が低く維持されている。一方、D, Fは外気よりも室内が高い。冬期から初春にかけて外気浮遊真菌は少ないながら徐々に増加する時期でもあり、夏期測定では注視が必要である。

一方、オフィスにおける浮遊細菌量の維持管理規準⁵⁾は500CFU/m³であり、こちらもすべての測定物件で規準値以下であった。一方、D, Eは外気濃度よりも室内濃度が高くなっていることが特徴といえる。

C3. 浮遊微粒子個数濃度の測定結果

浮遊微粒子測定は Kanomax Model3889 (6粒径)を用いた。図2-5-3に粒径別の粒子個数濃度(片対数表示)を示す。全体的な傾向としてオフィス内の浮遊微粒子は廊下や外気よりも低く、かつ午前から午後にかけて低下していく傾向にある。また、全ての粒径で、フィルタを有する空調機を利用している特定建築物A, B, Cの粒子個数濃度が中小規模建築物より低い傾向にある。中小規模建築物は、換気システムで差異がみられ、D(熱交換換気システム)、E, F(3種)、G(3種+窓開け)の順で個数濃度が大きくなった。表2-5-4は一人当たり換気量と粒径毎の粒子個数濃度との相関分析結果である。統計的有意性はないが、粒径が3μm以下は一人当たり換気量が増えると粒子個数濃度が大きくな

る傾向にあり、逆に3μm以上の粒子個数濃度は一人当たり換気量が増えると減少する傾向にある。今回は、室内におけるプリンター等の稼働状況や空気清浄機の詳細データを取得していないため、粒径毎の個数濃度特性をこれ以上考察できない、この点については今後データ数を増やしてさらに検証を進める必要がある。

C4. 空気環境に関する主観評価結果

今回、対象とした7件の建物は、札幌市から熊本市まで全国に点在しているため、環境要素によっては気候的・住文化等の影響を受ける可能性がある。しかし、室内空気環境(空気清浄度や健康性)の観点では、空気管理基準も基準値以下に制御するという考え方は、基本的にその個体差はあっても地域差があってはならない。表2-5-2に示した質問項目に対し、全体で121名の回答を得ており、室内空気環境の主観評価、すなわち臭いや空気の汚れ、感覚的な換気量の大小、空気質の満足度についてクロス集計し独立性の検定(χ²乗検定)を行った。

Q3-1 常に気になる臭いは全体の7%が「ある」と回答し、Q3-2 出勤時に気になる臭いは7%が「ある」、16%が「ときどきある」と回答している。ただし、Q3-1(気になる臭い)とQ3-4(換気量の大小に関する感覚)は、換気量が不足している側に寄ってはいるものの、統計的有意差が見られなかった。一方、Q3-1(気になる臭い)とQ3-5(空気質の満足度)には統計的有意差(p<0.001)が見られた。臭いは換気量と関連付けられていない可能性を意味する。しかし、Q3-3(空気の汚れ)とQ3-4(換気量の大小に関する感覚)、Q3-4とQ3-5は各々統計的有意であり(p<0.001)、空気の汚れや換気量の不足感は、空気質の満足度と関連性があることが分析結果から読み取ることができる。

図2-5-6にQ3-3 空気汚れの建物別スコアを、図2-5-7にQ3-3の結果と一人当たり換気量の推定値の散布図を示す。

多重比較(Steel-Dwass法)の結果、FとGの間で統計的に有意な差が認められた。中小規模建築物は業務用といえども住宅設備に近いものが使われることが多く、そうしたことが影響した可能性はある。また、Fは平屋に対しGは

3階建て（執務階が2F及び3F）にあり、接地型でありながら煙突効果の影響を受けているという特徴がある。また、当初よりGは古いというイメージを持っている回答者が多く、そうした築年数も影響した可能性がある。

D. 考察

オフィスの換気量は、空調吹出口および排気口における風量測定で把握することができる。しかしアネモディフューザーのサイズが合わない、スリット型吹出口で既存の風量計では測定できないなどの測定上の困難さがある。この意味では執務者のCO₂呼出量から換気量が推定できることは有用であろう。またオープンプランニング型のオフィスの場合、天井面吹出、天井面排気であることが多く、ショートサーキットや局所的に長い空気齢になってしまう等の問題が発生する。呼吸域局所換気効率を確認することは感染症予防の意味でも重要であり、今後さらに検討を進める。

浮遊微生物の測定結果は、日本建築学会環境規準の数値を超えることがなく、清浄な状態であることが確認できた。夏期に関しては令和5年度に確認を行う。

パーティクルカウンターによる浮遊微粒子個数濃度については、特定建築物であるA、B、Cと非特定建築物である中小規模建築物のD、E、F、Gとで粒径毎の性状が異なることが明らかとなった。この違いは中央式空調によるプレフィルタおよび中性能フィルタが粒径の大きな微粒子を除去しているからである。外気の浮遊微粒子濃度が高い場合（交通量の多い幹線道路に隣接する建築物など）は、窓開け換気よりも安全な空気環境になっているものと考えられる。

主観評価で確認しなかったポイントは、臭いによる空気環境評価が可能かどうかである。換気量が不足している建築物は臭いがするため、執務者が換気不足を判断するセンサー替わりになり得る。嗅覚の順応を確認するため出勤時の臭いを確認したが、今回は殆ど匂いを感じないという結果になった。浮遊微生物濃度も低く、VOC類やMVOC等の濃度が低かったということなのかも知れない。湿度状況も影響するため、令和5年度の夏期等に改めて調査検討を行う予

定である。

E. 結論

3000m²未満の中小規模建築物の衛生環境の維持管理手法の構築に向け、特に空気環境について実測調査と主観者評価調査を実施した。一人当たり換気量は一定レベル確保されていることが推定され、また浮遊微生物汚染もなく、全体として空気環境に問題点は見られなかった。ただし、従前から指摘されているように中小規模建築物のほうが空気汚染の可能性があることは今回の実測からも伺うことができた。この原因は換気設備の差（フィルタ）や接地型で住宅に近い設備や換気対応（窓開け等による自主的な調整）等の違いが考えられ、今後、維持管理する際のポイントになり得ると考えられる。主観者評価では、空気汚れが換気量や空気質と関連があることが推測された。体質、健康状態や温熱・湿気環境等の他の物理要素の複合影響も含め、今後さらに検討を進める。

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

参考文献

- 1) 本間義規・東賢一・小林健一・島崎大・阪東美智子・下ノ蘭慧：国内外における既存建物の環境性能レーティングシステムの収集・整理、第46回人間・生活環境系シンポジウム報告集、2022.12；pp.147-150
- 2) 田島昌樹・井上貴之・大西裕治：換気測定のための在室者の二酸化炭素呼出量の推定、日本建築学会環境系論文集、第81巻、第728号、885-892、2016年10月

- 3) 国立健康・栄養研究所：改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』, 2012 年 4 月 11 日改訂
- 4) 厚生労働省, 換気の悪い密閉空間を改善するための換気の方法, 令和 4 年 6 月 30 日改訂,
- 5) <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf> (令和 5 年 5 月 9 日閲覧)
- 6) 日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013, 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説, 日本建築学会, 2013
- 7) 鍵直樹・並木則和：建築物の空調機及びエアフィルタの超微粒子捕集特性, 日本建築学会環境系論文集 第 84 巻 第 755 号, 65-71, 2019 年 1 月

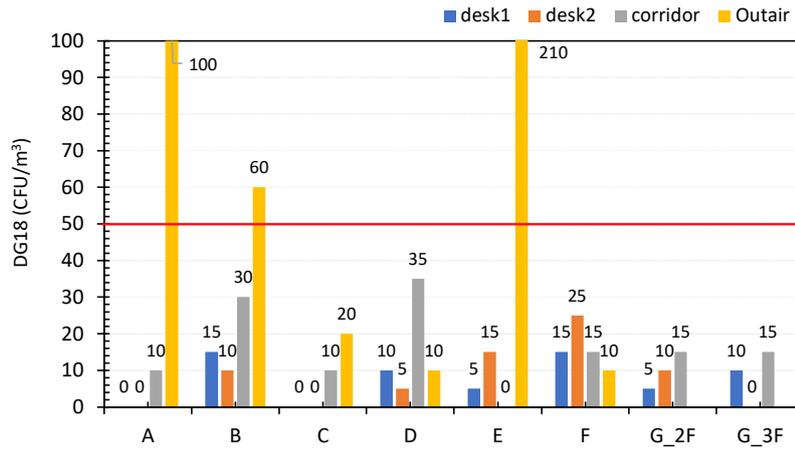


図 2-5-1 各オフィスの浮遊真菌量 (総数)

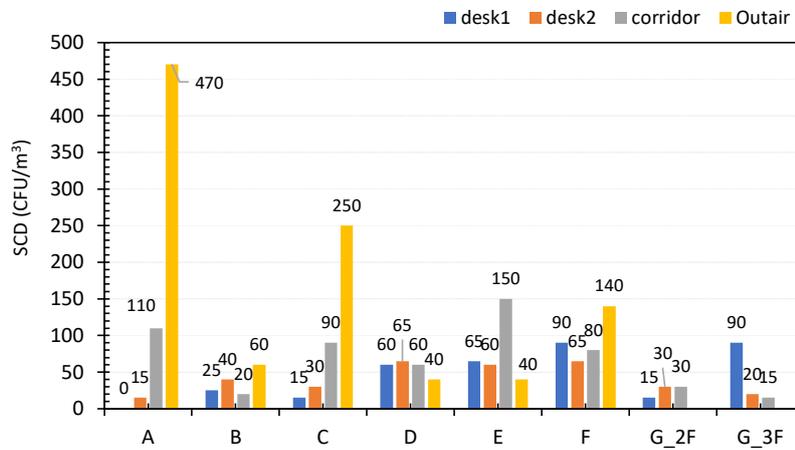


図 2-5-2 各オフィスの浮遊細菌量 (総数)

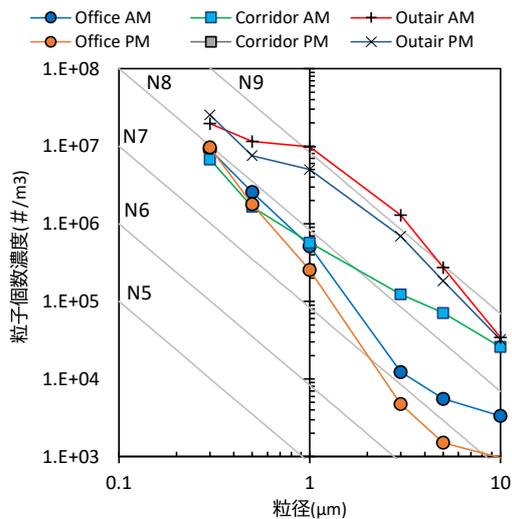


図 2-5-3(1) A の浮遊微粒子個数濃度

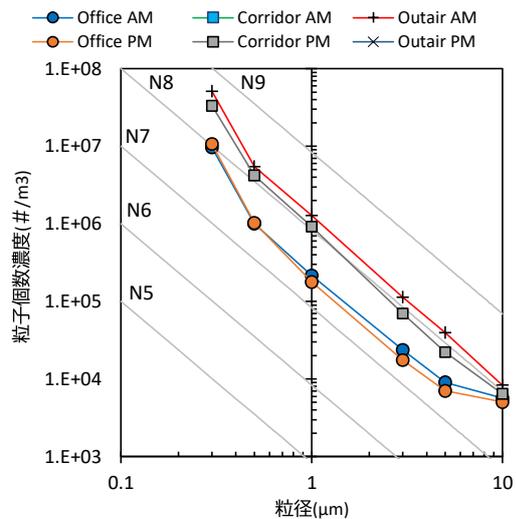


図 2-5-3(2) B の浮遊微粒子個数濃度

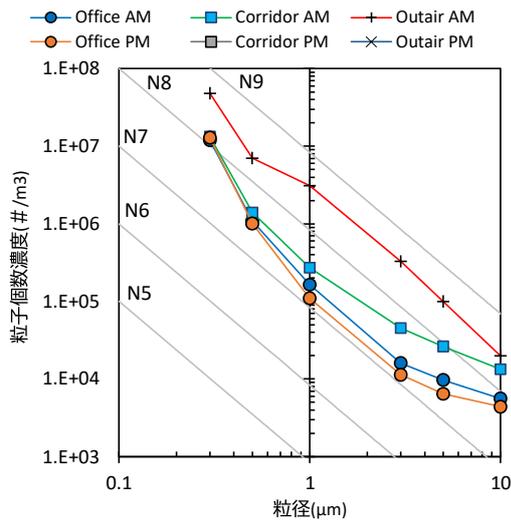


図 2-5-3(3) C の浮遊微粒子個数濃度

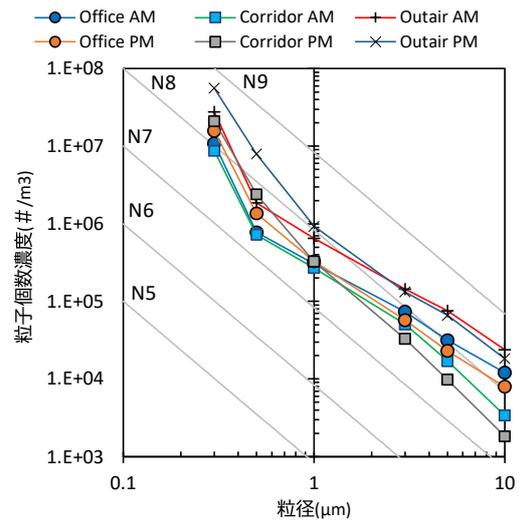


図 2-5-3(4) D の浮遊微粒子個数濃度

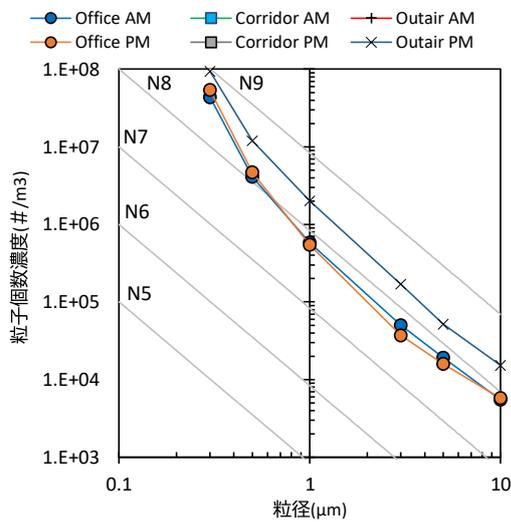


図 2-5-3(5) E の浮遊微粒子個数濃度

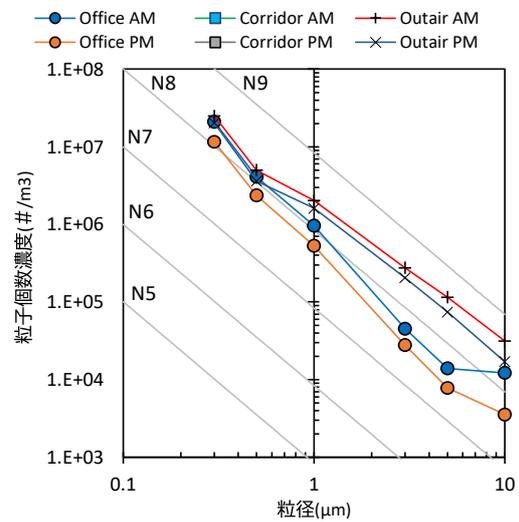


図 2-5-3(6) F の浮遊微粒子個数濃度

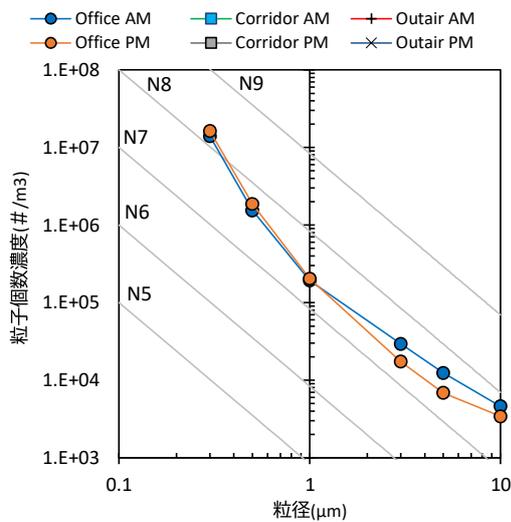


図 2-5-3(7) G_2F の浮遊微粒子個数濃度

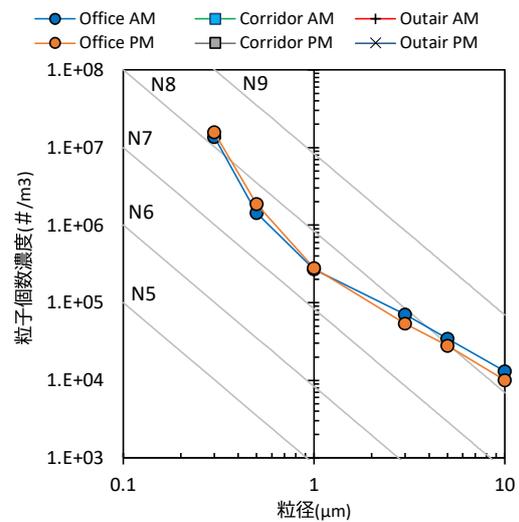


図 2-5-3(8) G_3F の浮遊微粒子個数濃度

表 2-5-4 一人当たりの換気量と浮遊微粒子個数濃度の相関分析結果

	Particle diameter (μm)					
	0.3-0.5	0.5-1.0	1.0-3.0*	3.0-5.0	5.0-10	>10
Correlation Coefficient	0.0453	0.5243	0.7288	-0.265	-0.442	-0.287
t-value	0.1111	1.5081	2.6071	0.6733	1.207	0.7338
p-value	0.9151	0.1823	0.0403	0.5258	0.2729	0.4907

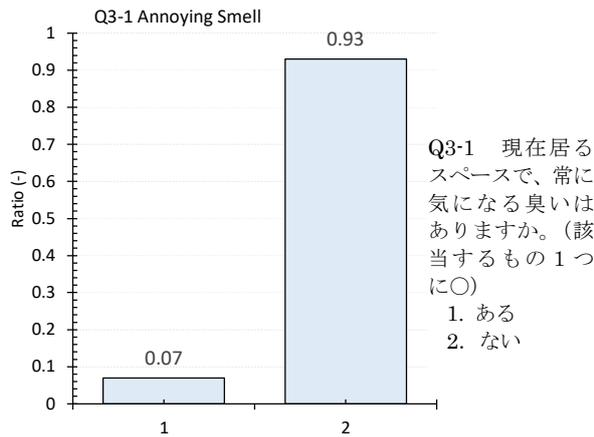


図 2-5-4 常に気になる臭い

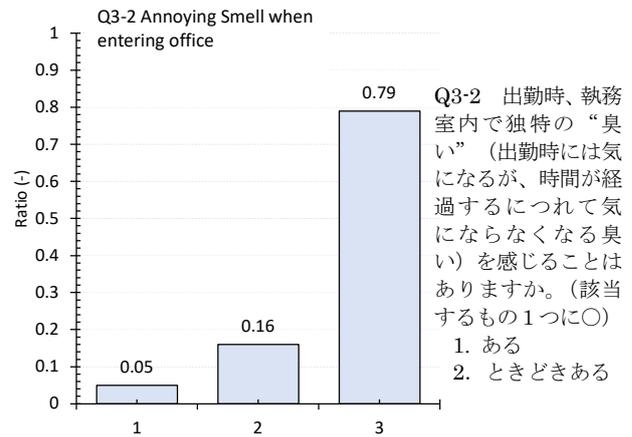


図 2-5-5 出勤時の室内の独特な臭い

表 2-5-5 Q3-1 常に気になる臭いと Q3-4 換気量の過不足感覚のクロス集計結果

	非常に不足している	不足している	やや不足している	ちょうどよい	やや多い	多い	非常に多い
気になる臭い_ある	0	3	3	2	0	0	0
気になる臭い_ない	5	12	34	59	3	0	0

χ^2 乗検定 (独立性の検定) : p=0.4063

残差解析 有意に高い: p<0.05 [*], p<0.01[**], 有意に低い: p<0.05[/], p<0.01[//]

Q3-1 現在居るスペースで、常に気になる臭いはありますか。(該当するもの1つに○)

1. ある 2. ない

Q3-4 現在居るスペースの換気量についてどのように感じますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不足している 2. 不足している 3. やや不足している 4. ちょうどよい 5. やや多い 6. 多い 7. 非常に多い

表 2-5-5 Q3-3 空気の汚れと Q3-4 換気量の過不足感覚のクロス集計結果

	非常に不足している	不足している	やや不足している	ちょうどよい	やや多い	多い	非常に多い
非常に気になる	2 [**]	1	0	1	0	0	0
気になる	2 [**]	4 [**]	3	0 [/]	0	0	0
やや気になる	0	4	14 [**]	7 [/]	1	0	0
あまり気にならない	0	4	16	22	2	0	0
気にならない	1	2	4 [/]	31 [**]	0	0	0

χ^2 乗検定 (独立性の検定) : p<0.001

残差解析 有意に高い: p<0.05 [*], p<0.01[**], 有意に低い: p<0.05[/], p<0.01[//]

Q3-3 現在居るスペースの空気の汚れが気になりますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. あまり気にならない 5. 気にならない

Q3-4 現在居るスペースの換気量についてどのように感じますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不足している 2. 不足している 3. やや不足している 4. ちょうどよい 5. やや多い 6. 多い 7. 非常に多い

表 2-5-6 Q3-1 常に気になる臭いと Q3-5 空気質の満足感のクロス集計結果

	非常に不足している	不足している	やや不足している	ちょうどよい	やや多い	多い	非常に多い
気になる臭い_ある	1 [**]	1	4	2	0	0	0
気になる臭い_ない	0 [/]	5	20	52	11	23	2

χ^2 乗検定 (独立性の検定) : p<0.001

残差解析 有意に高い: p<0.05 [*], p<0.01[**], 有意に低い: p<0.05[/]: p<0.01[/]

Q3-1 現在居るスペースで、常に気になる臭いはありますか。(該当するもの1つに○)

1. ある 2. ない

Q3-5 現在居るスペースの空気質に満足していますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. どちらでもない 5. やや満足 6. 満足 7. 非常に満足

表 2-5-7 Q3-4 換気量の過不足感覚と Q3-5 空気質の満足感のクロス集計結果

	非常に不満	不満	やや不満	どちらでもない	やや満足	満足	非常に満足
非常に不足している	0	4 [**]	0	1	0	0	0
不足している	0	0	6 [*]	8	0	1	0
やや不足している	0	1	14 [**]	20	2	0 [/]	0
ちょうどよい	1	1	3 [/]	23	9 [*]	22 [**]	2
やや多い	0	0	1	2	0	0	0
多い	0	0	0	0	0	0	0
非常に多い	0	0	0	0	0	0	0

χ^2 乗検定 (独立性の検定) : p<0.001

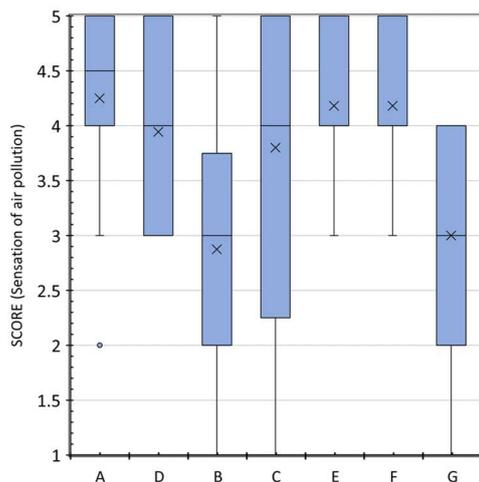
残差解析 有意に高い: p<0.05 [*], p<0.01[**], 有意に低い: p<0.05[/]: p<0.01[/]

Q3-4 現在居るスペースの換気量についてどのように感じますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不足している 2. 不足している 3. やや不足している 4. ちょうどよい 5. やや多い 6. 多い 7. 非常に多い

Q3-5 現在居るスペースの空気質に満足していますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に不満 2. 不満 3. やや不満 4. どちらでもない 5. やや満足 6. 満足 7. 非常に満足



Q3-3 現在居るスペースの空気の汚れが気になりますか。(該当するもの1つに○)

1. 非常に気になる 2. 気になる 3. やや気になる 4. あまり気にならない 5. 気にならない

図 2-5-6 Q3-3 各オフィスの空気の汚れ感覚

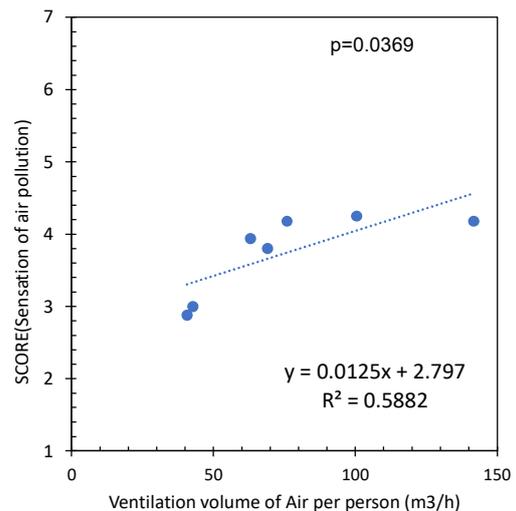


図 2-5-7 Q3-3 空気の汚れ感覚と一人当たり換気量の関係

