

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

建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究
 空気環境不適合率上昇に関する事務所建築の調査と分析

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

7 事務所ビル 9 執務室の夏期と冬期における室内空気環境の測定結果より、夏期と冬期の室内温度、二酸化炭素濃度、夏期の相対湿度は総じて良好であったが、冬期に 8 室の相対湿度が 40% を下回った。また、1 室ではあるが、機械換気を止めており、その室内二酸化炭素濃度の中央値が 1200ppm、最大値が 1600ppm であった。換気運転を行うように啓発する必要性が示唆された。たばこ煙による室内浮遊微粒子濃度の上昇や、加湿器と考えられる浮遊微粒子と浮遊細菌濃度の異常な上昇がみられたことから、運用時における適切な衛生管理は必要であることが示された。

A. 研究目的

本研究は、個別空調・換気方式における室内の温湿度、二酸化炭素濃度、粒径別浮遊微粒子濃度、浮遊細菌濃度、浮遊真菌濃度の実態を把握することを目的としている。

0.5 μ m～) の粒径が測定できるパーティクルカウンタを用い、室内と屋外においてそれぞれ 1 分間隔計 30 分間の連続測定を行った。

B. 研究方法

B1. 測定対象ビルの概要

2021 年 12 月～2023 年 2 月の間の冬期と夏期に、東京都内にある A～C ビル、札幌市内にある D、E ビル、秋田市内にある E ビル（4 階と 8 階）、G ビル（2 階と 5 階）を対象に測定を行った。測定対象ビルの概要を表 1 に示す。A～G ビルの測定対象室の空調と換気方式を図 1～4 に示す。

表 1 測定対象ビルの概要

対象ビル	対象室	所在地	空調・換気方式	フィルタ性能	測定日	
					冬期	夏期
A	事務室	東京都港区	OAHU+PAC	中性能	2021年12月	2022年8月
B	事務室	東京都足立区	PAC+HEX	そ應用	2021年12月	2022年8月
C	事務室	埼玉県さいたま市	AHU	中性能	2021年12月	2022年8月
D	事務室	北海道札幌市	PAC+換気扇	そ應用	2023年1月	2022年9月
E	事務室	北海道札幌市	PAC+換気扇	そ應用	2023年1月	2022年9月
F	事務室8F	秋田市	PAC+HEX	そ應用	2023年2月	2022年9月
	事務室4F		PAC+HEX	そ應用		
G	事務室2F	秋田市	OAHU+PAC	中性能	2023年2月	2022年9月
	事務室5F		OAHU+PAC	中性能		

B2. 測定項目と方法

B2.1. 立ち入り測定

立ち入り測定の項目を浮遊細菌、浮遊真菌、浮遊微粒子とした。細菌の培養に SCD 培地、真菌の培養に DG18 培地を用いた。培養条件はそれぞれ 32 $^{\circ}$ C の 2 日間と 25 $^{\circ}$ C の 5 日間であった。

浮遊微粒子の測定に 6 段階（0.3～0.5 μ 、0.5～0.7 μ m、0.7～1.0 μ m、1.0～2.0 μ m、2.0～5.0 μ m、

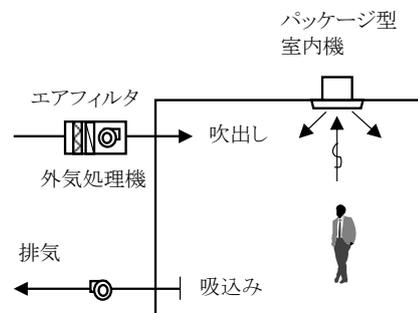


図 1 A、F ビルの空調・換気方式（個別熱源・中央換気方式）

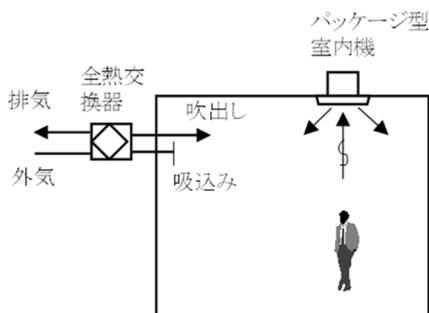


図2 B、Gビルの空調・換気方式
(個別熱源・個別換気方式)

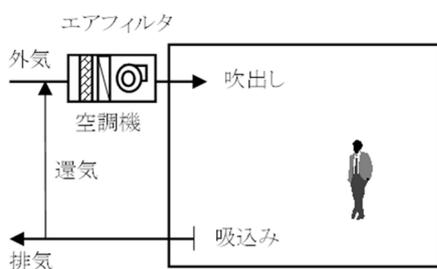


図3 Cビルの空調・換気方式
(中央熱源・中央換気方式)

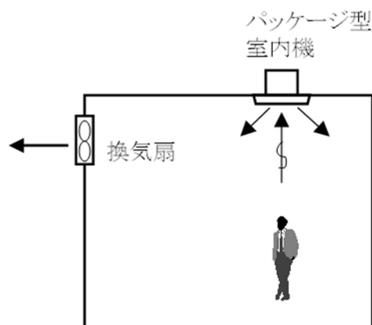


図4 D、Eビルの空調・換気方式
(個別熱源・個別換気方式)

B2.2. 温湿度・CO₂濃度の連続測定

上記の立ち入り測定が終了した後に、測定対象室に温湿度・CO₂センサーを設置し、5分間隔の計10日間の連続測定を行った。

C. 研究結果

C1. 温湿度・CO₂濃度

図5~7に各ビルにおける9:00~18:00の温度、相対湿度、CO₂濃度の測定値から求めた四等分値を示す。

温度について、夏期では建築物衛生法の上限值28℃を上回ったのは、Eビル(11%)とGビル(3%)であった。一方、冬期では建築物衛生法の下限値を下回ったのはGビルの5階であった。それが2月17日の9:00-9:20の時間帯で、当日空調運転開始時間が遅かったためと考えられる。

相対湿度について、夏期では建築物衛生法上限値70%を上回ったのは夏期のCビル(1%)とDビル(5%)であり、総じて良好であった。一方、冬期ではCビルを除けば、他のビルの中央値が全て40%を下回った。測定9対象室のうち8室(約90%)が建築物衛生法の管理基準値を満たしておらず、冬期の低湿度問題が再確認された。

CO₂濃度について、夏期では建築物衛生法管理基準値1000ppmを上回ったのはEビル(1%)、Fビル(20%)、Gビル(18%)であった。FビルはZEB ready(再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から、50%以上の一次エネルギー消費量を削減した建築物)ビルであり、省エネのため換気量がしばしば十分に導入されていないためであると推察される。一方、冬期ではFビル4階の中央値が約1200ppm、最大値は約1600ppmであった。写真1に示す通り、当該室の換気扇スイッチがOFFになっていたため、機械換気が行われていないことが分かった。

C2. 粒径別浮遊微粒子濃度

図8と図9に各ビルにおける立ち入り時に測定した粒径別浮遊粒子濃度から求めた<1μmと>1μmの浮遊粒子濃度四等分値、図10と図11に<1μmと>1μm浮遊粒子平均濃度のI/O(室内/屋外濃度)比を示す。

<1μm浮遊粒子濃度について、SPSS Ver29を用いたノンパラメトリックMann-Whitney U検定の結果、DビルとGビル5階を除いた他の対象室においては夏期が冬期より有意に高かった($p<0.001$)。一方、DビルとGビル5階の対象

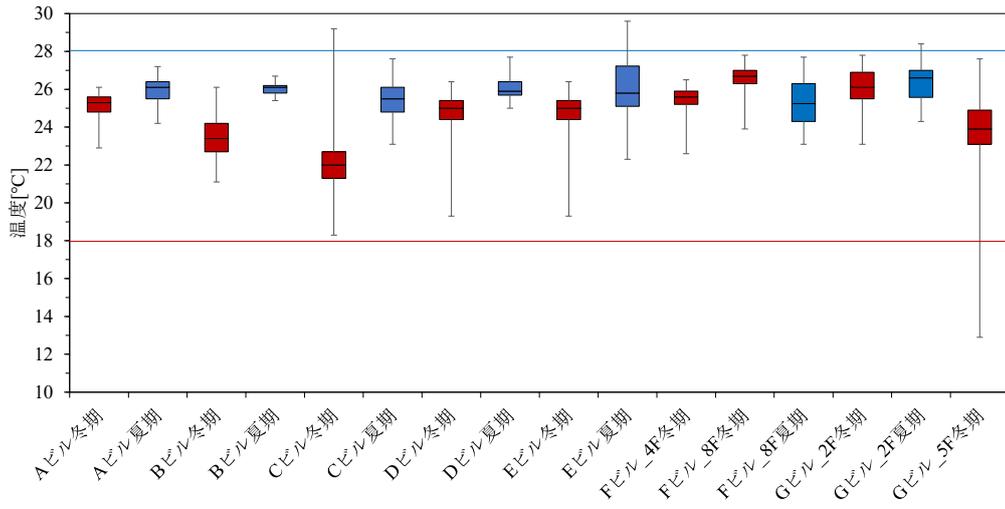


図 5 各ビルの冬期と夏期の温度分布

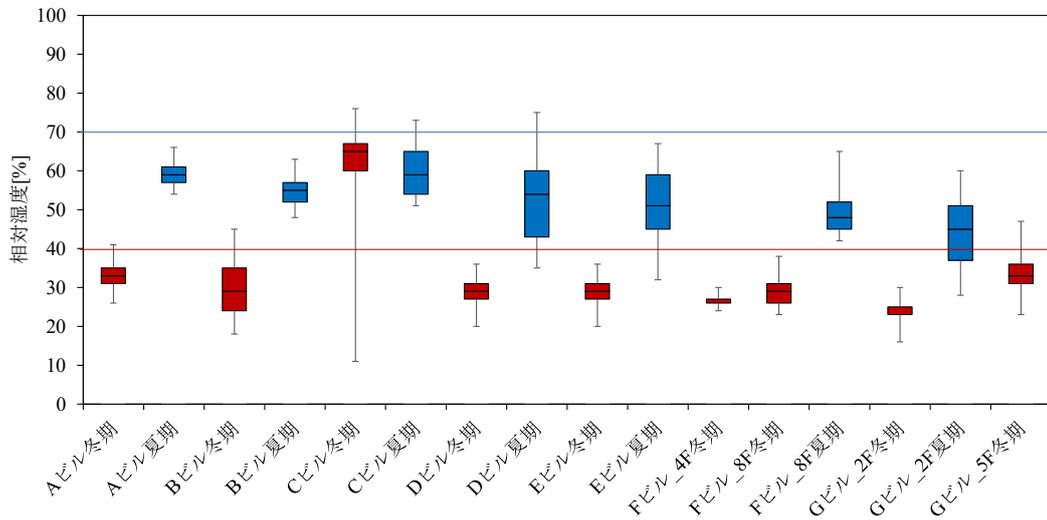


図 6 各ビルの冬期と夏期の相対湿度分布

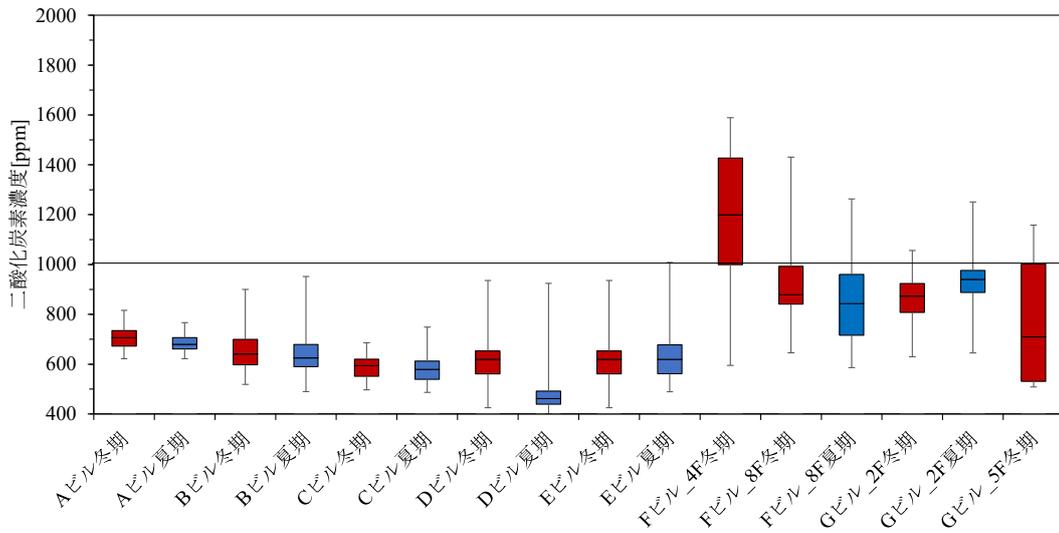


図 7 各ビルの CO₂ 濃度分布



写真1 換気扇スイッチ

室は冬期の方が有意に高かった ($p<0.001$)。D と E ビルはポータブル加湿器を使用している。G ビル 5 階の I/O 比は 1 より顕著に大きい (図 10)、室内に発生源があることが示唆された。I/O

について、夏期の E ビルの I/O 比は 1 より遥かに高い値を示し、室内に発生源があることが示唆された。測定当日の当該ビルは換気運転を OFF になっており、窓も閉めていた。また、測定対象室 (2 階) のドアが開放されていたため、1 階の喫煙場からのたばこ煙の影響を受けたものと考えられる。なお、冬期の測定時は喫煙場所が外の駐車場に変更したため、I/O 比は 1 より小さい値を示した。上記の冬期 G ビル 5 階と夏期 E ビルを除いた他の対象室の I/O 比概ね 1 以下であった。

>1 μm 浮遊粒子濃度について、Mann-Whitney U 検定の結果、D ビルにおいては冬期と夏期の間には有意な差が認められなかった ($p=0.234$)。G ビル 5 階は前述した <1 μm の浮遊粒子濃度と同様に、

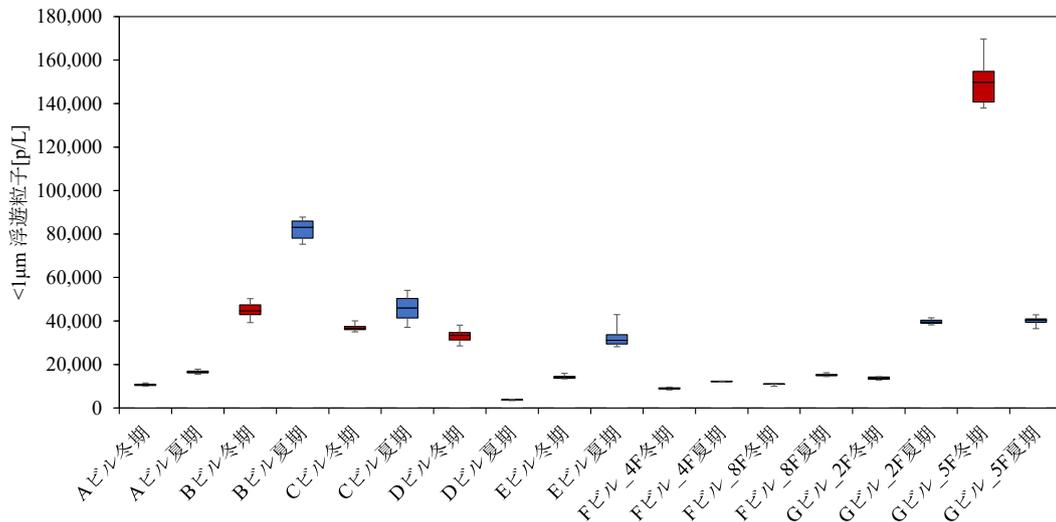


図8 各ビルの<1 μm 浮遊粒子濃度分布

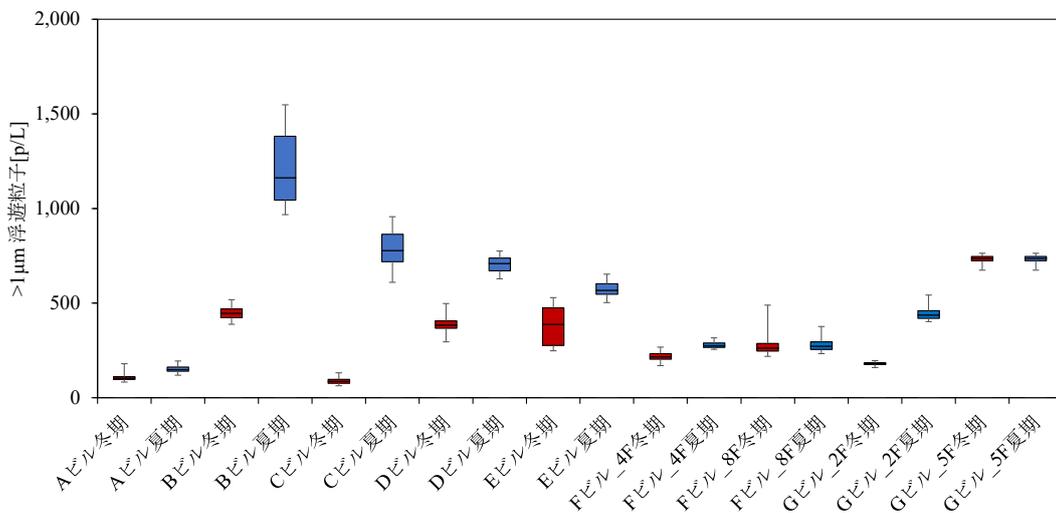


図9 各ビルの>1 μm 浮遊粒子濃度分布

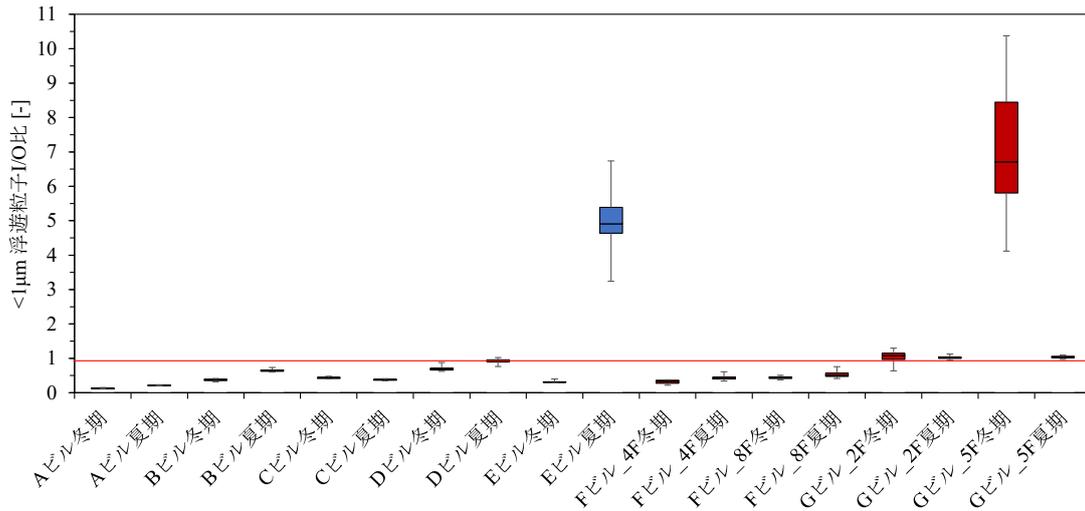


図 10 各ビルの<1μm 浮遊粒子濃度 I/O 比分布

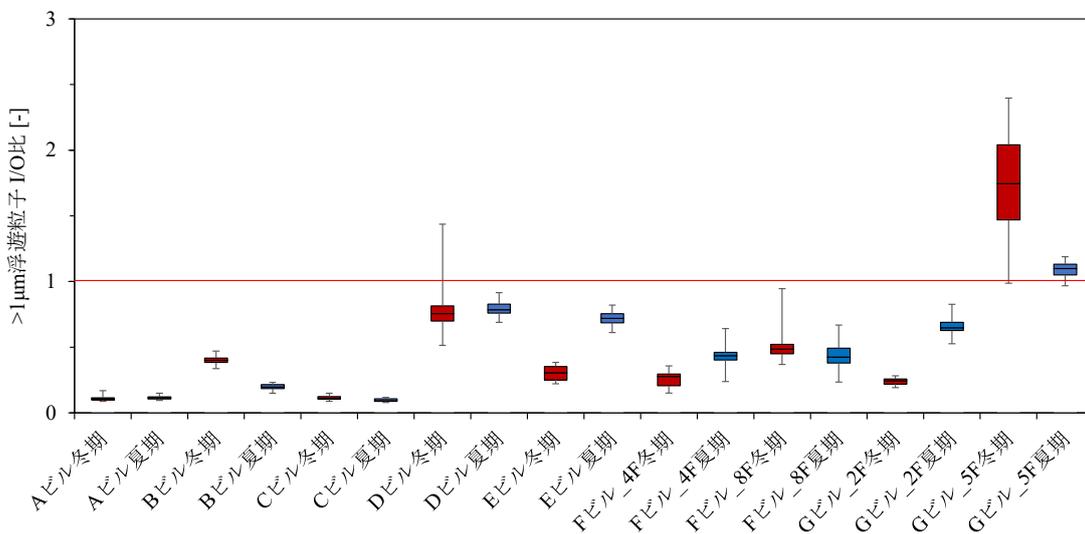


図 11 各ビルの>1μm 浮遊粒子濃度 I/O 比分布

冬期が夏期より有意に高かった ($p<0.001$)。I/O 比も 1 より大きかったことから、室内に発生源あることが示唆された。他の全ての対象室の I/O 比は概ね 1 以下であった。

C3. 浮遊細菌・浮遊真菌

図 12～13 に浮遊細菌と浮遊真菌濃度の分布を示す。図中に日本建築学会 (AIJ) のオフィスビルの管理基準値を併せて示している。

室内浮遊細菌濃度については、G ビル 5 階が最も高い値を示した ($1485\text{cfu}/\text{m}^3$)。他の全ては日本建築学会の管理基準値 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ を下回った。また、夏期の室内は屋外より、夏期の外気は冬期の

外気より有意に高かった ($p<0.05$)。冬期の室内は屋外より有意に高かったが ($p<0.05$)、それは G ビル 5 階が大きく寄与したためである。G ビル 5 階を除けば、冬期と夏期間に有意な差が認められなかった ($p=0.083$)。

浮遊真菌について、冬期では日本建築学会の管理基準値の $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を満足した。一方、夏期では A ビルと F ビル 4 階を除いた他の対象室は $50\text{cfu}/\text{m}^3$ を超えていた。それは、室内真菌濃度が外気濃度より低く、菌叢も似ていることから外気の影響を受けたものと考えられる。また、冬期より夏期の室内と外気濃度が有意に高かった。

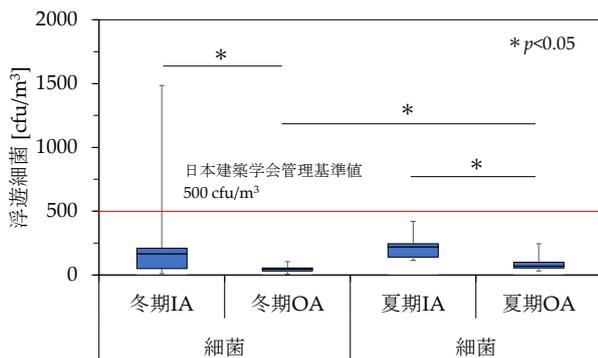


図 12 浮遊細菌濃度の四等分値

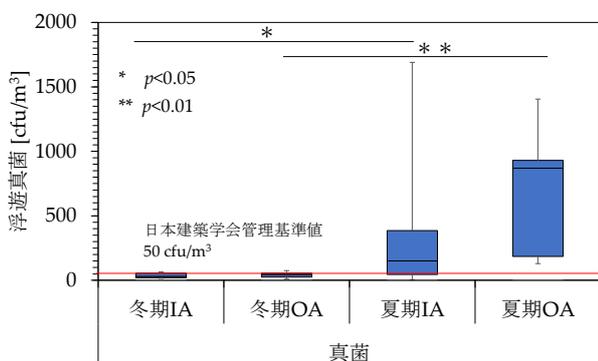


図 13 浮遊真菌濃度の四等分値

D. 考察

温度については、各ビルの75%のタイル値が建築物衛生法の管理基準値を満たしており、総じて良好であった。一方、冬期の朝立ち上げ時の低い温度がみられた(Gビル5階)。夏期測定結果では、EビルとGビルの一部時間帯(それぞれ11%と3%)が建築物衛生法管理基準値の上限値28℃を超えていた。Eビルは午後の時間帯でしばしば28~29℃の温度が測定された。Gビルは午後の一部時間帯が28℃を少し超えていた(28.1~28.4℃)。

相対湿度については、冬期に9対象室のうち8室の75%タイル値が40%を下回っており、冬期の低湿度問題が再確認された。

CO₂濃度については、冬期のFビル4階を除いた他の対象室の中央値が全て建築物衛生法管理基準値の1000 ppmを満たしている。Fビルは機械換気を止めていた。個別空調方式の空調は換気と

連動していないため、換気運転の必要性に関する啓発が重要であることが示唆された。

室内の粒径別浮遊粒子濃度に室内の発生源、フィルタの捕集性能、外気濃度が影響を及ぼす。このことは今回の測定結果からも説明できる。室内の発生源においては、たばこ煙の影響を受けるEビルの<1μm浮遊粒子濃度とI/O比が高い値を示した(夏期)。フィルタの捕集性能において、東京の3ビル(A、B、C)では、昨年冬期と同様に個別換気方式のBビルは最も高い値を示した。外気の影響において、秋田にある道路を挟む向かい側の2ビル(F、G)では、窓開け換気のGビルがFビルより高い値を示した(夏期)。冬期のGビル5階の<1μmの浮遊粒子濃度が異常に高かった。<1μmと>1μm浮遊粒子濃度のI/O比が1より遥かに高いことから、室内に発生源あることが示唆された。

浮遊細菌について、その主な発生源は室内にあることが知られている。前述したCO₂の測定結果も分かるように、測定対象室の殆どは在室人員密度が低く、また必要な換気量を取り入れているため、室内浮遊細菌濃度は高くなかった。しかし、冬期のGビル5階の浮遊細菌濃度は1485cfu/m³であった。前述した浮遊微粒子濃度も異常に高く、I/O比も1より遥かに高いことから、加湿器からの微粒子と細菌の発生があったことが考えられる。既往の厚生労働科学研究の調査では、ポータブル加湿器からの細菌の発生がみとめられた¹⁾。そのケースでは、室内中央の浮遊細菌濃度が160cfu/m³であるのに対し、加湿器付近の浮遊細菌濃度は2305cfu/m³であった。また、次世代シーケンサーを用いた菌叢解析の結果、加湿器内と加湿器付近の空中から*Flavobacterium*属、*Methylobacterium*属、*Mycoplana*属の細菌が検出されている。

真菌については、その主な発生源は外気であるため、AIJの維持管理基準値50cfu/m³より高い濃度示したビルは多かったが、Bビルを除いた他のビルは外気による影響であり、さほど問題ではない。一方、夏期のBビルにおいては室内から異常

に高濃度の耐乾性のアオカビが検出された。クリーニングなどによる室内カビの対策が必要である。

E. 結論

本研究では、7ビル9室における冬期と夏期の室内温湿度、CO₂濃度、粒径別浮遊粒子濃度、浮遊細菌濃度、浮遊真菌濃度の測定結果について述べた。本研究より下記の事柄が分かった。

- ① 温度については、EビルとGビルのごく一部時間帯を除けば、建築物衛生法管理基準上限値を満たしている。
- ② 相対湿度について、夏期は総じて良好であったが、冬期は6室全てが40%を下回っており、冬期の低湿度問題が再確認された。
- ③ CO₂濃度については、総じて良好であったが、冬期のGビル5階は機械換気が行われなかったため、中央値が1200ppm、最大値1600ppmであった。個別方式空調は換気と連動していないため、換気運転を行うように啓発することが必要である。
- ④ 室内粒径別浮遊粒子濃度は室内の発生源、フィルタの捕集性能、外気濃度の影響を受ける。室内に発生源がある場合、フィルタの捕集性能が低い場合、窓開けによる自然換気を行う場合は室内浮遊微粒子濃度が有意に高い。殆どのビルは冬期より夏期の室内浮遊微粒子濃度が有意に高かった ($p<0.001$)。一方、冬期の1対象室(Gビル5階)ではあるが、室内浮遊微粒子濃度が異常に高くなっており、浮遊細菌の結果と総合して考えると、加湿器からの微粒子と細菌の発生があったことが考えられる。
- ⑤ 上記のGビル5階を除いた他の対象室内の浮遊細菌濃度は日本建築学会の管理基準値 500 cfu/m³を満足した。
- ⑥ 室内浮遊真菌濃度は日本建築学会の管理基準値を超えるビルは少なくなかったが、殆ど外気の影響を受けたためである。一方、夏期のBビルの室内から異常な高濃度の *Penicillium* (アオカビ) が検出されたことか

ら、クリーニングなどによる室内カビの対策が必要である。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 柳 宇：コロナウイルス対策として空調・換気設備ができること、住まいと電気, 第34,, 第8号, 5-8. 2022. ISSN 2187-8412.

2. 学会発表

- 1) 柳 宇, 林基哉, 中野淳太, 菊田弘輝, 本間義則, 長谷川兼一：建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その1 空調・換気方式別における空気環境の比較, 公衆衛生学会, 2022.
- 2) 林基哉, 菊田弘輝, 柳 宇, 中野淳太, 鍵直樹, 長谷川兼一, 東賢一, 本間義規, 小林健一, 阪東美智子, 金 勲, 開原典子：建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その2 COVID-19 事例における空調換気の調査, 公衆衛生学会, 2022.
- 3) 開原典子, 柳 宇, 林基哉：建築物における空気調和設備の維持管理に関する調査, 2022年室内環境学会学術大会講演要旨集, 150-151, 2022.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) 志摩輝治, 柳 宇, 鍵直樹, 金 勲, 東賢一, 大澤元毅：オフィスビルにおける室内浮遊微生物濃度の長期測定 その2, 第34回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.80-83, 2017.

