

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

個別空調方式の室内空気環境の実態調査

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

この十数年間で温度、相対湿度、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度の不適率が上昇し続けており、個別方式空調が建築物衛生法の適応対象になったことがその一因であるといわれている。現在では、個別方式空調がビルの規模を問わず多く採用されてきている。居住者による個別運転ができるなどの長所がある一方、その運転実態と室内微生物、温湿度、CO<sub>2</sub>濃度などの空気質に関する実態が把握されているとは言えない現状である。

ここでは、主として室内温湿度、CO<sub>2</sub>濃度、浮遊微粒子、浮遊細菌・真菌に関する実態を把握するために行った調査の結果について報告する。

本研究では、冬期におけるオフィスビルの室内温湿度、CO<sub>2</sub>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。

温度については、何れも建築物衛生法管理基準値下限値の18°Cを上回った。AビルとCビルは一般に用いられている設計値よりそれぞれ3°Cと1.5°Cが高かった。それは室内低湿度の原因になっている。Aビルにおいては、設定温度を22°Cに下げれば、ほぼ40%を満足できるようになる。相対湿度については、Cビルが常に40%を大きく上回った。AとBビルはほとんどすべてが40%を下回った。それは温度が高めであるほか、多くの外気量による湿気のロスにも一因がある。CO<sub>2</sub>濃度については、Covid-19流行期間中のこともあって、何れのビルはかなり低い濃度で運用されている。これも冬期低湿の一因になっている。相対湿度を改善するために、ウォームビズの励行による室内設定温度を22°C、外気量について1000ppmを維持する前提で、外気を取り入れすぎないようにすることが重要である。≤1μmの浮遊粒子濃度は、エアフィルタの捕集性能の差による室内濃度の差が顕著にみられた。一方、≥1μmの浮遊粒子濃度は、在室者の活動などに影響されるため、在室者数最も低いCビルは低い値を示した。SARS-CoV-2の粒径が1μm以上のものも多いため、感染症流行期間中に補助設備としての空気清浄機を活用することは有効である。室内の浮遊細菌と浮遊真菌濃度はおおむね日本建築学会の管理基準値を満足したが、Bビルの吹出口中に高濃度の浮遊真菌が検出されたことから、空気搬送系内に真菌の汚染源があることが示唆された。

A. 研究目的

この十数年間で温度、相対湿度、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度の不適率が上昇し続けており、個別方式空調が建築物衛生法の適応対象になったことがその一因であるといわれている。現在では、個別方式空調がビルの規模を問わず多く採用されてきている。居住者による個別運転ができるなどの長

所がある一方、その運転実態と室内微生物、温湿度、CO<sub>2</sub>濃度などの空気質に関する実態が把握されているとは言えない現状である。

ここでは、主として室内温湿度、CO<sub>2</sub>濃度、浮遊微粒子、浮遊細菌・真菌に関する実態を把握するために行った調査の結果について報告する。

## B. 研究方法

### (1) 測定対象ビルの概要

測定対象ビルの概要を表 1 に示す。また、本分担報告書で詳細に報告する A～C ビルの測定対象室の空調と換気方式を図 1～3 に示す。

### (2) 測定項目と方法

#### 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。浮遊細菌と浮遊真菌の測定にダブルサンプリングを行った。

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℃の 2 日間と 25℃の 5 日間であった。

浮遊微粒子の測定に 6 段階（0.3～0.5 $\mu$ m, 0.5～0.7 $\mu$ m, 0.7～1.0 $\mu$ m, 1.0～2.0 $\mu$ m, 2.0～5.0 $\mu$ m, 0.5 $\mu$ m $\sim$ ）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。

#### 2) 温湿度・CO<sub>2</sub>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・CO<sub>2</sub>センサーを設置し、5 分間隔計 10 日間の連続測定を行った。

以下に、本分担研究が主担当する A～C ビルの温湿度、CO<sub>2</sub>濃度、粒径別浮遊粒子濃度のほか、A～G ビルの浮遊細菌と浮遊真菌濃度の測定結果について報告する。

## C. 研究結果

### (1) 温湿度

図 4～9 に A～C ビルそれぞれの温度、相対湿度、温度と相対湿度の測定値から求めた絶対湿度の経時変化を示す。図中塗りつぶしている時間帯（9:00～18:00）は平日の就業時間帯を表している。なお、対象ビルの業種によって残業や休日出勤もあった。以下に主として 9:00～18:00 の時間帯における温湿度、絶対湿度の測定結果について述べる。

温度については、A ビルは約 25℃、B ビルは

23～24℃、C ビルは約 22℃で運用されていることを図から読み取れる。A ビルと B ビルは立ち上りに時間がかかるが、日によらずほぼ同様な変動パターンを示している。C ビルは日によって、温度の変動パターンが大きく異なっている。A ビルと B ビルの測定対象室は一般事務室であるが、C ビルは訓練センターの事務室で日によって使用状況が異なると考えられる。

相対湿度については、A ビルは 12 月 17 日に 40%を満たしているが、他の日は 30～40%であった。B ビルは全ての日が 40%を下回っており、最も低かった（約 20%）のは 12 月 23 日であった。C ビルは全ての日が 40%を大きく上回った。

絶対湿度については、A～C ビルのそれぞれの図中に 22℃と 25℃を運用する場合における相対湿度 40%以上に必要な絶対湿度（それぞれ 0.006 と 0.0079kg/kg(DA)）を示している。A ビルは相対湿度 40%を満たしている 12 月 17 日が 0.0079kg/kg(DA)を超えているが、他の日は全て下回っている。B ビルは 12 月 17 日以外の全ての日が 0.0066kg/kg(DA)を下回っている。C ビルは全て 0.0079kg/kg(DA)を超えている。

### (2) CO<sub>2</sub>濃度

図 10～12 に A～C ビルの CO<sub>2</sub>濃度を示す。何れも建築物衛生法の管理基準値 1000ppm を大きく下回った。A ビルはデマンド換気量制御を行っており、800ppm を超えないよう制御されていることを図から読み取れる。

B ビルは 600～800ppm の範囲にあった。B ビルは室内の数か所に CO<sub>2</sub>センサーを設置しており、室内 CO<sub>2</sub>濃度を常時にモニタリングを行い、必要に応じて換気量を調整していた。

C ビルの室内 CO<sub>2</sub>濃度が 500～600ppm であった。C ビルの在室者は 2～3 名で、一人当たりの気積が大きいことが低い CO<sub>2</sub>濃度に寄与した。

以上の結果より、Covid-19 流行期間中に換気が積極的に行われたことが窺える。

### (3) 粒径別浮遊粒子濃度

図 13~15 に A~C ビルにおける立ち入り時に測定した 30 分間の粒径別浮遊粒子濃度、室内と屋外の  $\leq 1\mu\text{m}$ 、 $\geq 1\mu\text{m}$  の浮遊粒子濃度を示す。室内粒径別浮遊粒子濃度の変動が小さく、また何れのビルも屋外濃度より室内濃度が低くなっている。外調機+パッケージ型空調機室内機 (A ビル)、パッケージ型空調機室内機 (B ビル)、エアハンドリングユニット (C ビル) のエアフィルタによるろ過効果が確認された。

図 16 に A~C ビルの粒径別浮遊粒子濃度の四等分値、図 17 に I/O 比の四等分値を示す。図中に粒径別の中央値を併せて示している。 $1\mu\text{m}$  以下の浮遊粒子濃度の低い順は A ビル、C ビル、B ビルであった。 $1\mu\text{m}$  以上の粒子濃度については、B ビルが最も高い値を示し、在室者数の少ない C ビルは最も低い値を示した。

I/O 比は何れも 1 以下であったが、 $1\mu\text{m}$  以下の粒子は A ビルが最も低かった。 $1\mu\text{m}$  以上の粒子は B ビルが最も高い値を示した。室内濃度と I/O 比の何れにおいても中性能フィルタが備えられていない B ビルは最も高い値を示した。

### (4) 浮遊微生物

図 18 と図 19 のそれぞれに各ビルの浮遊細菌濃度と浮遊真菌濃度を示す。図中に日本建築学会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、C ビル 2F を除いた各ビルの室内濃度が基準値の  $500\text{cfu}/\text{m}^3$  を満たした。細菌の主な発生源は在室者であることが知られている。C ビルの 2F は小さい工作室であり、浮遊細菌濃度高いのは測定時に在室者が多かったためであると考えられる。

室内浮遊真菌濃度については、A ビル、C ビル 2F が基準値の  $50\text{cfu}/\text{m}^3$  を上回った。また、B ビルと C ビルの 3F の給気濃度が室内濃度より高かった。真菌の主な発生源が外気由来であることが知られている。B ビルは外気の影響を受けている

と考えられる。一方、C ビル 3F の AHU には中性能エアフィルタが備えられており、前述した粒径別浮遊粒子濃度が B ビルより低いことから、空気搬送系に真菌の発生源があることが示唆された。

## D. 考察

### (1) 温湿度

近年温度と相対湿度の不適合率が上昇している。温度に関しては、夏期の高湿 ( $28^\circ\text{C}$  越え)、相対湿度に関しては冬期の低湿度 (40% を下回る) の問題が存在している。以下に、本研究の測定結果に対する考察を示す。

温度については、対象ビル A、B、C の平日 9:00~18:00 の平均値と標準偏差は下記の通りである。

A ビル :  $25.2 \pm 0.6^\circ\text{C}$

B ビル :  $23.5 \pm 1.1^\circ\text{C}$

C ビル :  $22.1 \pm 1.5^\circ\text{C}$

建築物衛生法の温度の管理基準値は  $18\sim 28^\circ\text{C}$  であり、何れのビルはその基準値を満たしている。また、オフィスビルにおける冬期の室内温湿度の設計条件は一般に  $22^\circ\text{C}$  と 45% である。それに比べると、A と B ビルはそれぞれ  $3^\circ\text{C}$  と  $1.5^\circ\text{C}$  高い。

相対湿度については、対象ビル A、B、C の平日 9:00~18:00 の平均値と標準偏差は下記の通りである。

A ビル :  $33 \pm 4\%$

B ビル :  $30 \pm 6.8\%$

C ビル :  $61 \pm 11\%$

建築物衛生法の湿度の管理基準値は 40~70% であり、A と B ビルはその基準値を下回っている。A ビルは  $22^\circ\text{C}$  で運用すれば、室内の相対湿度はほぼ 40% を満足するが (図 5)、B ビルは  $22^\circ\text{C}$  で運用しても 40% を下回るため (図 7)、加湿量の不足が一因になっていることが示唆された。

### (2) $\text{CO}_2$ 濃度

$\text{CO}_2$  濃度については、対象ビル A、B、C の平日

9:00~18:00の平均値と標準偏差は下記の通りである。

Aビル：694±40 ppm

Bビル：655±74 ppm

Cビル：563±40 ppm

近年CO<sub>2</sub>濃度の不適率も温湿度と同様に上昇しているが、本研究の測定結果ではA、B、Cビルの何れにおいても建築物衛生法管理基準値の1000ppmを大きく下回っている。これはCovid-19流行期間中に積極的に換気が行われたためと考えられる。一方、SARS-CoV-2やインフルエンザウイルスは低湿度環境中にその活性が維持する時間が長くなり、感染リスクが高くなる。冬期に換気量が多いことは湿気のロスに繋がる。冬期の換気と湿度のバランスを取れた運用が重要である。すなわち、冬期において、室内CO<sub>2</sub>濃度を1000ppm以下になるように換気量を確保しつつ、室内相対湿度を40%以上に維持することは重要である。

### (3) 浮遊粒子と微生物

浮遊微粒子については、本研究測定対象のA、B、Cビルの空調・換気方式が異なっているが、どれも外気濃度より室内濃度が低くなっていることから、空調機内に備えられているエアフィルタによるろ過効果が確認された。また、エアハンドリングユニット外調機（中性能フィルタ）とパッケージ型空調機室内機（粗塵用フィルタ）が備えられているAビル、エアハンドリングユニット（中性能フィルタ）が備えられているCビルの室内 $\leq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度は、パッケージ型空調機室内機（粗塵用フィルタ）しか備えられていないBビルより遥かに低いことは中性能フィルタと粗塵用フィルタの捕集効率の差によるものであると考えられる。

一方、在室者からも多く発生する $\geq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度については、在室者最も少ないCビルの濃度が低くなっている。コロナウイルス感染症流

行期間中に浮遊粒子濃度の低減に補助設備としての空気清浄機を活用することは有効な方法である。図20と図21に、中央熱源・中央換気方式（中性能フィルタ）の大学学習ラウンジにおけるHEPAフィルタ付きの空気清浄機による $\leq 1\mu\text{m}$ と $\geq 1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度に対する低減効果を示す<sup>1)</sup>。空気清浄機は有効であることが実証されている。

浮遊細菌については、Cビルの2Fの作業室を除けば、室内濃度は日本建築学会の維持管理基準値500cfu/m<sup>3</sup>を満たしている。室内の細菌の主な発生源が在室者由来することが知られている。Cビル2Fの作業室は狭く、測定当時在室者数が多かったことが原因であると考えられる。

浮遊真菌については、室内主な発生源が外気由来することが知られている。室内では、AビルとCビルの2Fが日本建築学会の維持管理基準値50cfu/m<sup>3</sup>を超えていた。Aビルは24時間自然換気を併用しており、Cビル2Fは外気を全熱交換機経由で導入しているため、室内濃度が高くなっているのは外気による影響であると考えられる。一方、BビルとCビルの給気濃度は室内濃度より明確に高くなっていることから、空気搬送系に真菌の汚染源があることが推察された。

## E. 結論

本研究では、冬期におけるオフィスビルの室内温湿度、CO<sub>2</sub>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、どれも建築物衛生法管理基準値下限値の18℃を上回った。AビルとCビルは一般に用いられている設計値よりそれぞれ3℃と1.5℃が高かった。それは室内低湿度の原因になっている。Aビルにおいては、設定温度を22℃に下げれば、ほぼ40%を満足できるようになる。
- ② 相対湿度については、Cビルが常に40%を大きく上回った。AとBビルはほとんどすべ

てが40%を下回った。それは温度が高めであるほか、多くの外気量による湿気のロスにも一因がある。

- ③ CO<sub>2</sub>濃度については、Covid-19 流行期間中のこともあって、何れのビルはかなり低い濃度で運用されている。これも冬期低湿の一因になっている。相対湿度を改善するために、ウォームビズの励行による室内設定温度を22℃、外気量について1000ppmを維持する前提で、外気を取り入れすぎないようにすることが重要である。
- ④  $\leq 1\mu\text{m}$  の浮遊粒子濃度は、エアフィルタの捕集性能の差による室内濃度の差が顕著にみられた。一方、 $\geq 1\mu\text{m}$  の浮遊粒子濃度は、在室者の活動などに影響されるため、在室者数最も低いCビルは低い値を示した。  
SARS-CoV-2の粒径が $1\mu\text{m}$ 以上のものも多いため、感染症流行期間中に補助設備としての空気清浄機を活用することは有効である。
- ⑤ 室内の浮遊細菌と浮遊真菌濃度はおおむね日本建築学会の管理基準値を満足したが、Bビルの吹出口中に高濃度の浮遊真菌が検出されたことから、空気搬送系内に真菌の汚染源があることが示唆された。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) 柳 宇, エアフィルタ, 空気清浄機, 紫外線殺菌照射 (UVGI), ビルと環境, No.173, pp.18-24, 2021.
- 2) 柳 宇, ウイルス感染拡大を抑えるために設備設計者ができること, MET, 第32号, pp.4-9, 2021.
- 3) 渡邊健介, 柳 宇, 殷 睿, HEPA フィルタ付きの空気清浄機による大空間空気浄化性能の実証, 2021年室内環境学会学術大会講演用要旨集, pp.82-83, 2021.
- 4) 殷 睿, 柳 宇, 渡邊健介, COVID-19 に関

する自宅療養のリスク低減方法の実証, 2021年室内環境学会学術大会講演用要旨集, pp.80-81, 2021.

## 2. 学会発表

なし

## 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) 渡邊健介、柳 宇、殷 睿, HEPA フィルタ付きの空気清浄機による大空間空気浄化性能の実証、2021年室内環境学会学術大会講演用要旨集、pp.82-83、2021.

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	測定時期
A	事務室	東京都港区	OAHU+PAC	中性能	2022年12月
B	事務室	東京都足立区	PAC+HEX	?	2021年12月
C	事務室	埼玉県さいたま市	AHU	中性能	2021年12月
D	事務室	北海道札幌市	AHU+PAC	中性能	2021年12月
E	事務室	北海道札幌市	AHU+FCU	?	2021年12月
F	事務室	福島県郡山市	PAC+HEX	ロングライフフィルタ	2022年2月
	休憩室		PAC+HEX	ロングライフフィルタ	2022年2月
G	倉庫	北海道札幌市	PAC+HEX	ロングライフフィルタ	2022年2月
	事務室		PAC+HEX	ロングライフフィルタ	2022年2月
	研修室		PAC+HEX	ロングライフフィルタ	2022年2月

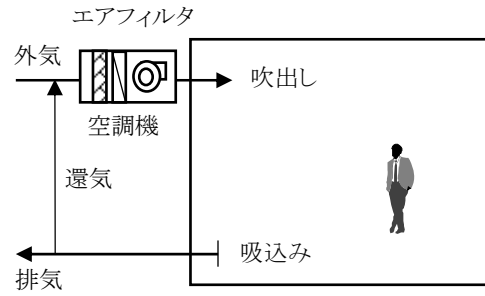


図 3 Cビルの空調・換気方式  
(中央熱源・中央換気方式)

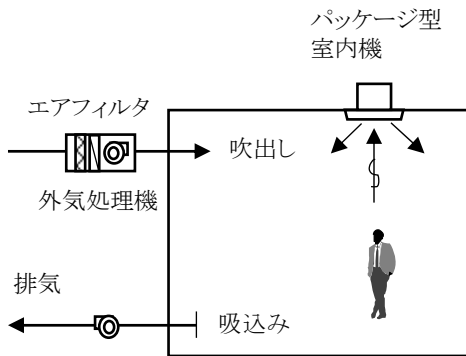


図 1 Aビルの空調・換気方式  
(個別熱源・中央換気方式)

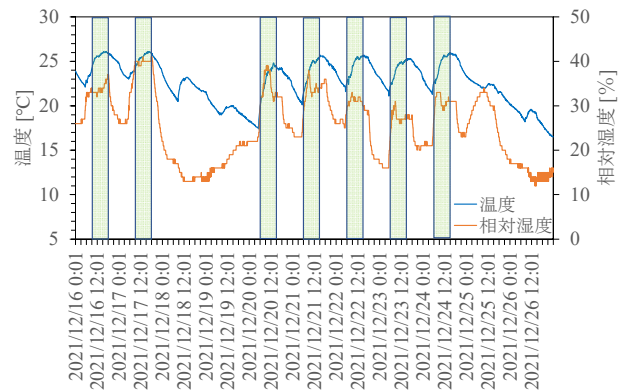


図 4 温湿と相対湿度(Aビル)

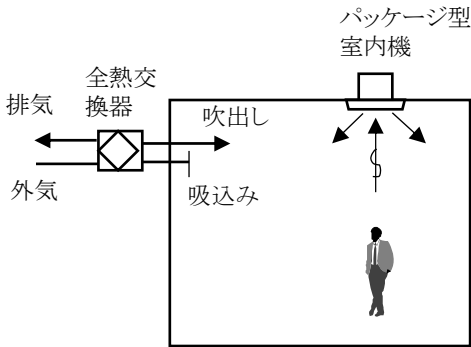


図 2 Bビルの空調・換気方式  
(個別熱源・個別換気方式)

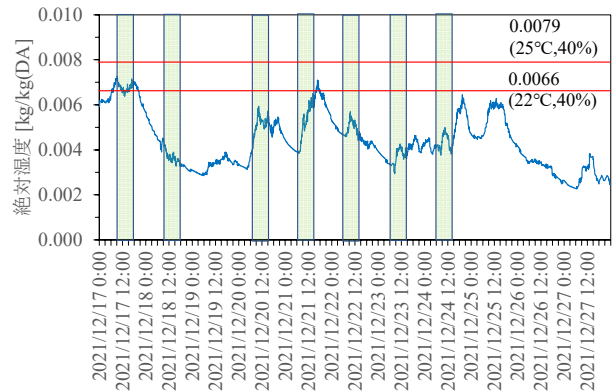


図 5 絶対湿度(Aビル)

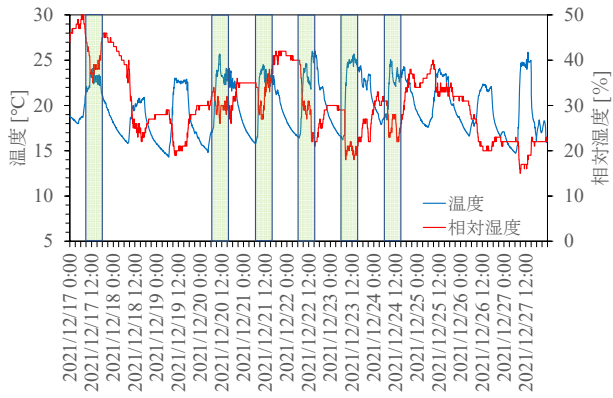


図 6 温湿と相対湿度 (B 빌)

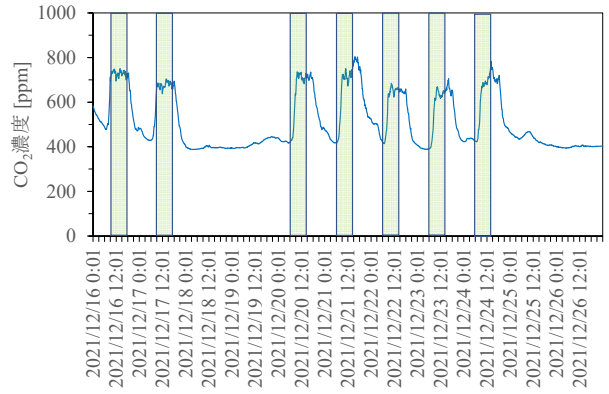


図 10 CO<sub>2</sub> 濃度 (A 빌)

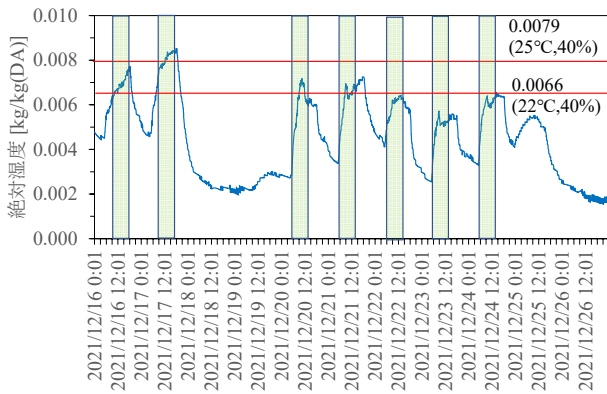


図 7 絶対湿度 (B 빌)

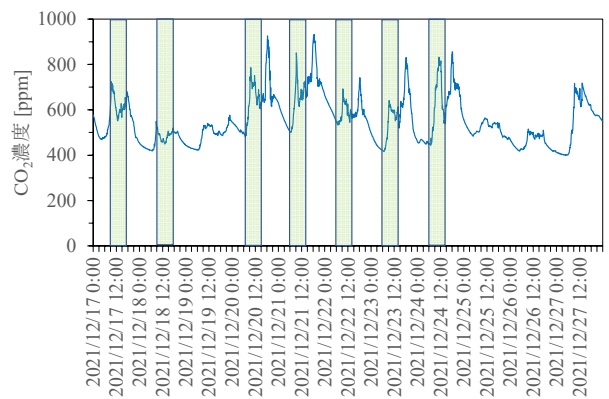


図 11 CO<sub>2</sub> 濃度 (B 빌)

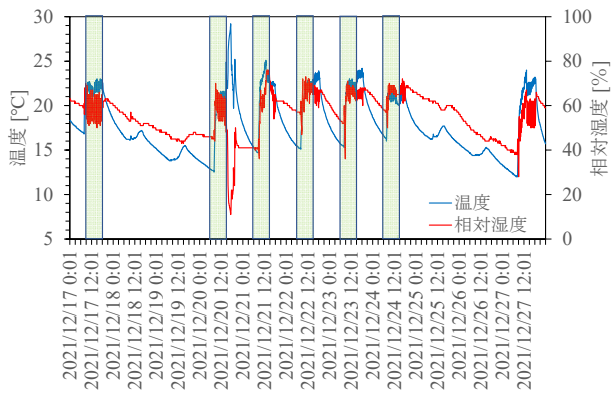


図 8 温湿と相対湿度 (C 빌)

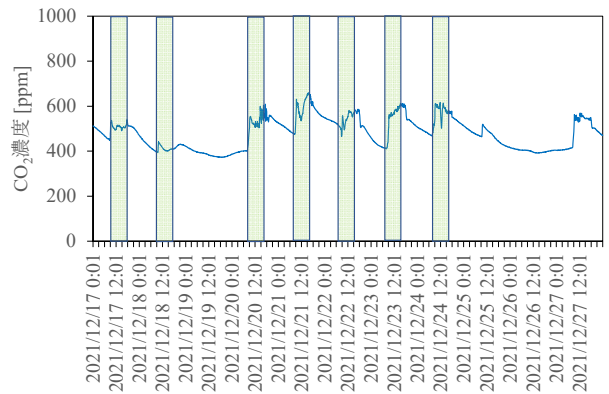


図 12 CO<sub>2</sub> 濃度 (C 빌)

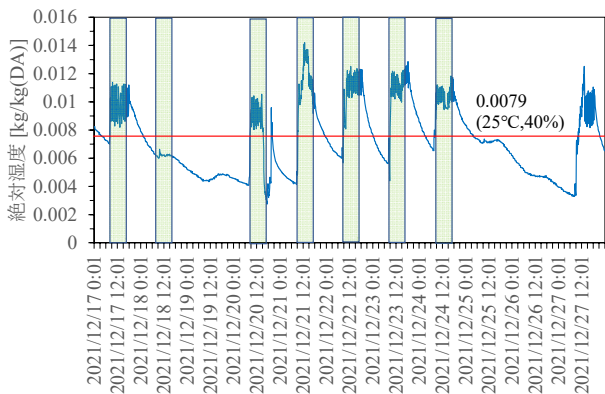
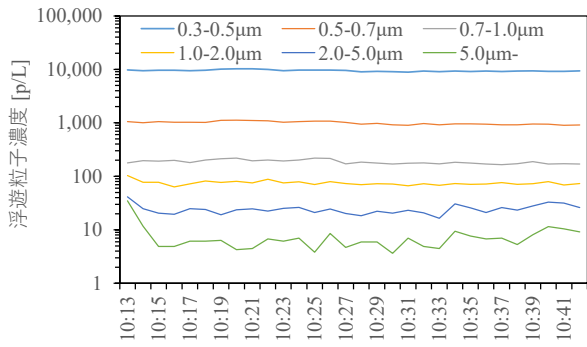
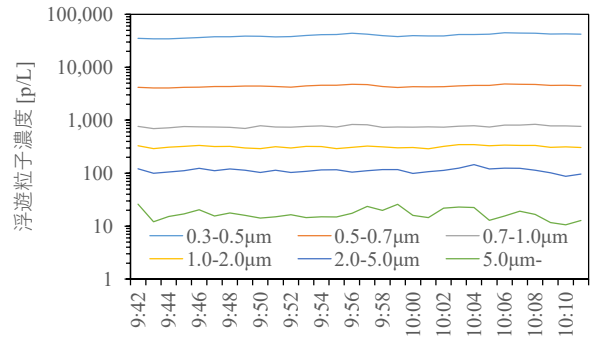


図 9 絶対湿度 (C 빌)

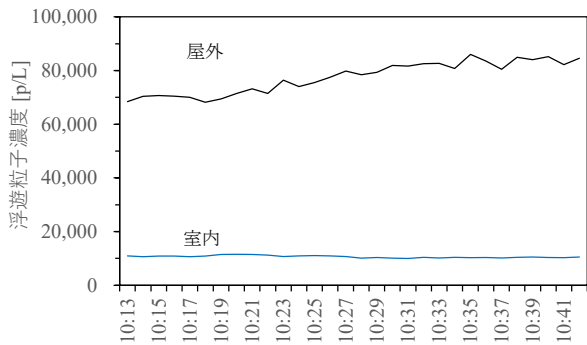




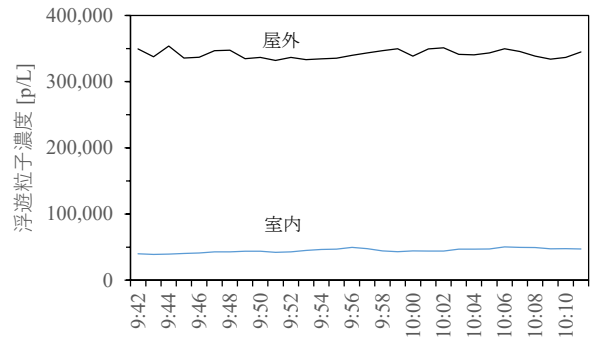
粒径別浮遊粒子濃度



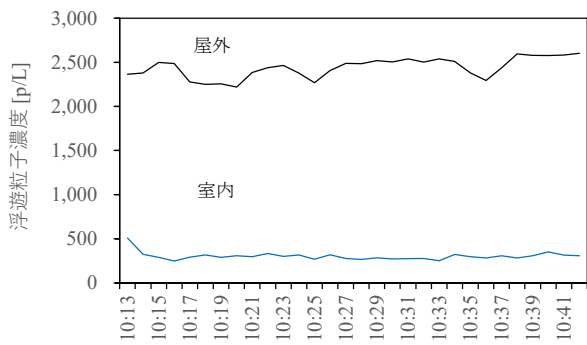
粒径別浮遊粒子濃度



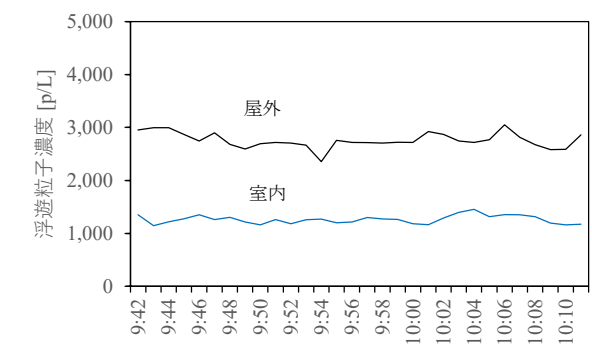
$\geq 1\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度



$\geq 1\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度



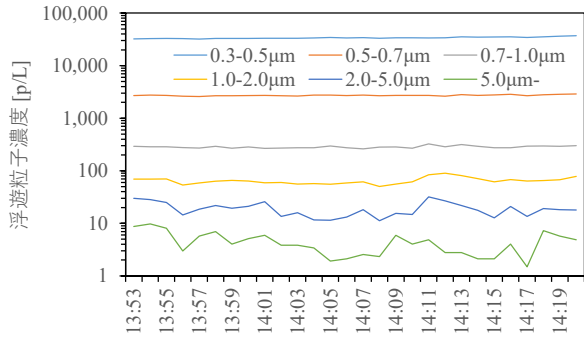
$\geq 1\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度



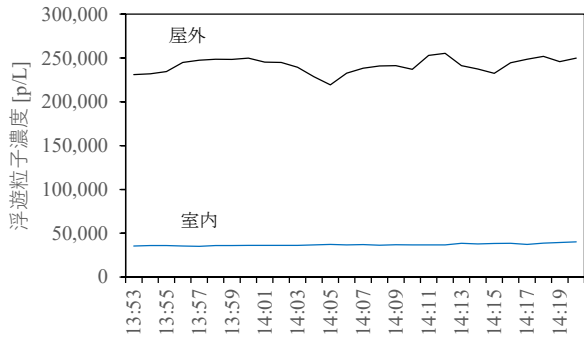
$\geq 1\mu\text{m}$  浮遊粒子濃度

図 13 浮遊粒子濃度(Aビル)

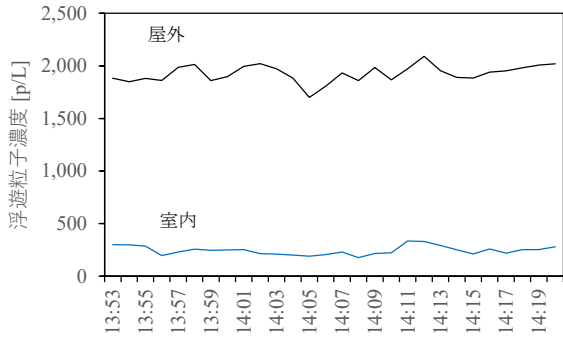
図 14 浮遊粒子濃度(Bビル)



粒径別浮遊粒子濃度



≧1μm 浮遊粒子濃度



≧1μm 浮遊粒子濃度

図 15 粒径別浮遊粒子濃度 (Cビル)

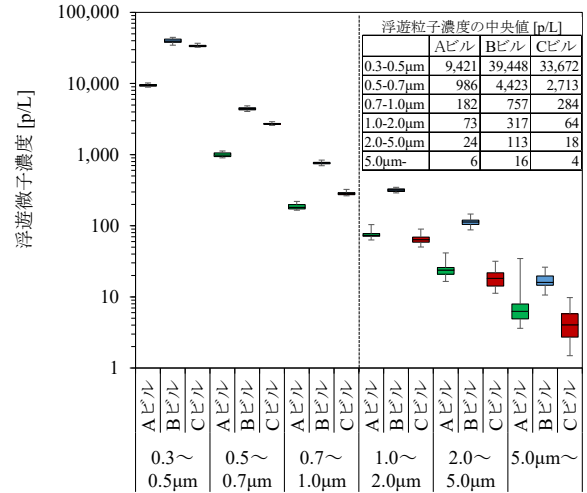


図 16 粒径別浮遊粒子濃度四等分値

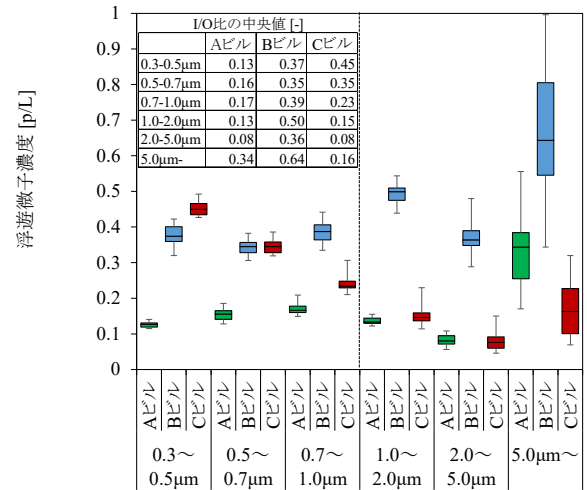


図 17 粒径別浮遊粒子濃度 I/O 比の四等分値

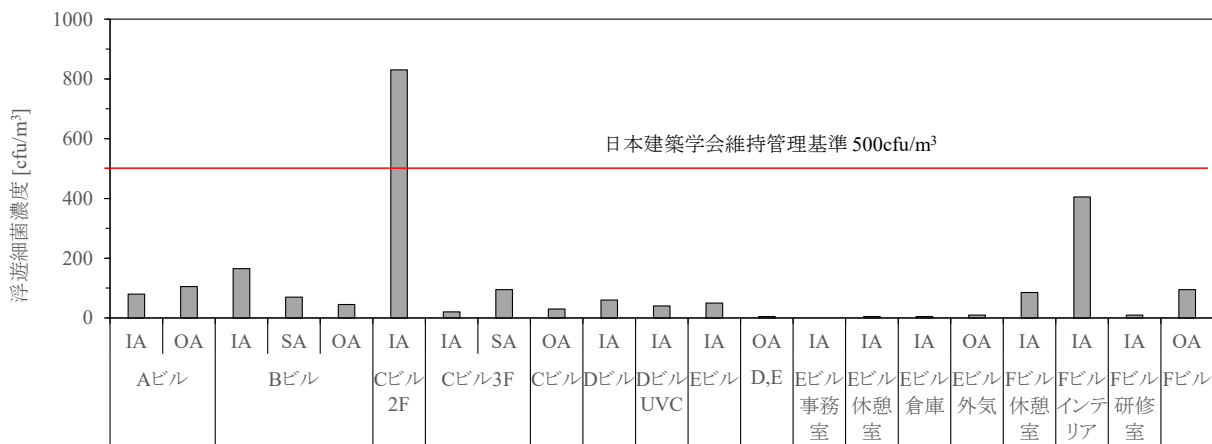


図 18 浮遊細菌濃度

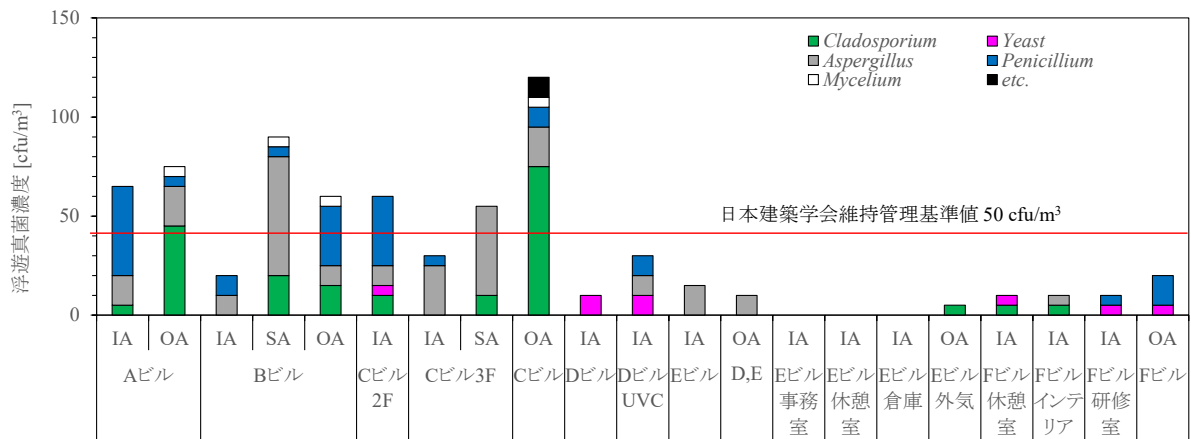


図 19 浮遊真菌濃度

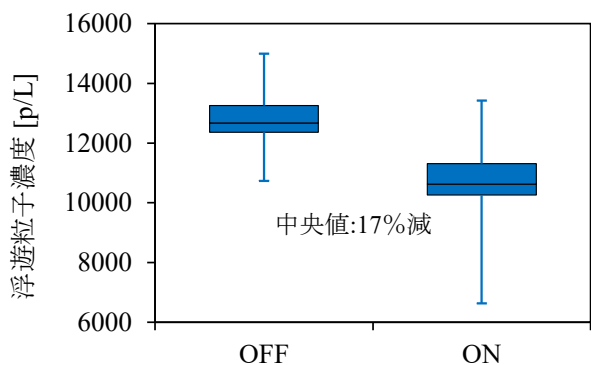


図 20 空気清浄機の効果(≤ 1μm)

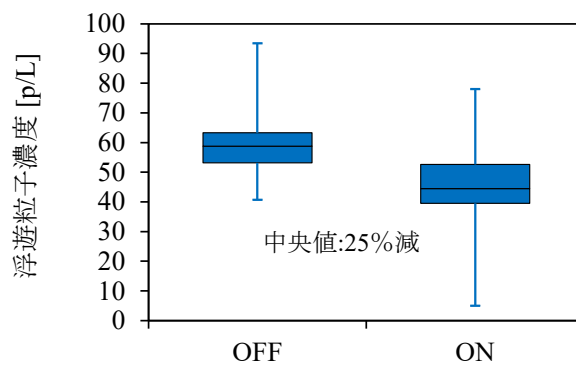


図 21 空気清浄機の効果(≥ 1μm)

