

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  
個別方式におけるろ過清浄向上方法の検証

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

昨年度は、H26年度～R1年度に行った個別方式と中央方式空調を有するオフィスビル室内空気環境に関する測定結果を解析し、浮遊粒子について季節を問わず、中央方式より個別方式の室内粒径別浮遊粒子濃度が高い値を示すことが明らかになった。また、浮遊微生物の測定結果からも、個別方式を採用した室内の浮遊粒子状物質に対するろ過性能が劣っているが強く示唆された。

今年度は、Covid-19の拡大により9月末までに2回の緊急事態宣言が出されたため、実態調査が遅れている。現在12月中旬から東京と北海道の実態調査を行うことになっている。ここでは、現時点まで行った個別方式を有するビルにおける浮遊粒子濃度の低減策に関する検討の結果を報告する。

個別方式室内機のフィルタが中性能にアップグレードができれば、中央方式と同等な捕集性能を有することが実証された。アップグレードができない場合、HEPAフィルタ付きのポータブル空気清浄機で適用床面積の条件を満足すれば粒径別浮遊粒子濃度を低下させることが実証された。

A. 研究目的

昨年度では、H26年度～R1年度に行った個別方式と中央方式空調を有するオフィスビル室内空気環境に関する測定結果を解析し、浮遊粒子について季節を問わず、中央方式より個別方式の室内粒径別浮遊粒子濃度が高い値を示すことが明らかになった。また、浮遊微生物の測定結果からも、個別方式を採用した室内の浮遊粒子状物質に対するろ過性能が劣っているが強く示唆された。

今年度では、Covid-19の拡大により9月末までに2回の緊急事態宣言が出されたため、実態調査が遅れている。現在12月中旬から東京と北海道の実態調査を行うことになっている。ここでは、現時点まで行った個別方式を有するビルにおける浮遊粒子濃度の低減策に関する検討の結果を報告する。

B. 研究方法

B1. 個別方式空調室内機フィルタグレードアップによる対策効果の検討

エアフィルタは主として、粒子が大きいほど効果が大きくなる慣性衝突、粒子が小さいほど効果が大きくなる拡散、及び遮り、静電気、重力沈降のメカニズムにより、ろ材近傍の浮遊粒子を捕集するが、0.2 $\mu$ m前後の粒子に対する総合的な捕集率が最も低い。

図1～3に中央方式と個別方式の概要、表1に粒径別浮遊粒子に対するエアフィルタの捕集率を示す。表中に塗りつぶしている箇所は一般にオフィスビル等の中央方式空調機（エアハンドリングユニット、AHU）に使用される中性能フィルタである。一方、個別方式のパッケージ型空調機には一般に標準仕様として質量法50%程度のフィルタ（MERV1相当）が備えられているが、中には中性能までグレードアップすることができる機種もあ

る。個別方式における室内浮遊粒子濃度の低減に室内機のフィルタをグレードアップすることが有効な対策になる。

## B2. 空気清浄機による浄化効果

### (1) 空気清浄機の種類と空気浄化原理<sup>1)</sup>

前述した個別方式の室内機において、フィルタのグレードアップができないものについては、補助設備としての空気清浄機の利用が有効である。

浮遊粒子に対する空気清浄機の浄化性能は主としてろ過式と電気式であるが、ここでは、最も多く使用されているろ過式の捕集率について述べる。室内にポータブル空気清浄機を設置した場合の室内浮遊粒子濃度は式(1)より表される(マスバランス)。式(1)の指数項 $q\eta/V$ は換気回数 $Q_{nr}/V$ と同じ次元を持つため、相当換気回数と呼ぶことがある。また、空気清浄機でろ過された空気量をCARD (Clean Air Delivery Rate、清浄空気供給量)と呼ぶ場合がある。

$$C = C_0 e^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t} + \frac{Q_{ns} C_{oa}}{q\eta + Q_{nr}} \left(1 - e^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t}\right) + \frac{M}{q\eta + Q_{nr}} \left(1 - e^{-\left(\frac{q\eta}{V} + \frac{Q_{nr}}{V}\right)t}\right) \quad (1)$$

$M$ : 室内浮遊粒子発生量 (p/h)、 $V$ : 室容積 (m<sup>3</sup>)、 $Q_{ns}$ : 自然給気量 (m<sup>3</sup>/h)、 $Q_{nr}$ : 自然排気量 (m<sup>3</sup>/h)、 $C$ : 室内浮遊粒子濃度 (p/m<sup>3</sup>)、 $C_{oa}$ : 外気中浮遊粒子濃度 (p/m<sup>3</sup>)、 $C_0$ : 室内浮遊粒子初期濃度 (p/m<sup>3</sup>)、 $\eta$ : 空気清浄機捕集率 (-)、 $t$ : 経過時間 (h)、 $q$ : 空気清浄機の処理風量 (m<sup>3</sup>/h)

フィルタ式空気清浄機のろ過原理はビルなどの空調機に使用されるエアフィルタと同じであるが、空調機に備えられているエアフィルタの場合リークはあるが、ほとんどの給気がエアフィルタを通して室内に供給される。これに対して、空気清浄機は室内の空気を攪拌しながら空気中の浮遊粒子をろ過するしくみとなっている。従って、ろ過式

空気清浄機の浄化性能はフィルタの捕集率 $\eta$ のみならず、その風量 $q$ と室容積 $V$ にも関係する。ろ過式空気清浄機の空気浄化性能は相当換気回数 $q\eta/V$ で決まる。

### (2) 適用床面積<sup>1、2)</sup>

空気清浄機の浄化性能はその空気清浄機の気流が影響を及ぼす空間によって異なってくる(図4)。即ち、空気清浄機の性能が適用容積または床面積に関係する。

ここでは、空気清浄機を作動させてから1時間後、室内濃度は定常状態(ここでは、理論的な定常濃度の95%になる濃度とし、その時点での室内状態を定常状態と見なす)になることを目標とする。仮に、自然換気量 $Q_{ns} = Q_{nr} = 0$ 、室内初期濃度 $C_0 = 0$ とすると、式(1)より式(2)と式(3)が得られる。 $q$ の単位はm<sup>3</sup>/minである。仮に天井高が2.6mとすると、式(3)は式(4)になる。

$$1 - e^{-\frac{q\eta}{V} \times 60} = 0.95 \quad (2)$$

$$V = 20q \quad (3)$$

$$A = 7.7q \quad (4)$$

図5に適用床面積と、空気清浄機の捕集率および送風量との関係を示す。例えば、送風量5m<sup>3</sup>/min、捕集率90%の空気清浄機の適用床面積は約35m<sup>2</sup>になる。これは、35m<sup>2</sup>(91m<sup>3</sup>)の空気を完全攪拌する前提になっている。実際の場合、空気清浄機の気流性状のほか、室内の家具などの配置で完全攪拌になることはあまりないと考えられる。

### (3) 実空間における空気清浄機の適用事例<sup>3)</sup>

#### 1) 空気清浄機の性能

図6に床面積114m<sup>2</sup>のK大学学習ラウンジの平面図を示す。図中のAとBの箇所にHEPAフィルタ付きの空気清浄機写真1)各1台(空気清浄機AとB)を設置した。パーティクルカウンタを用いた空気清浄機の捕集率を測定した結果、

0.3 $\mu\text{m}$ 以上の何れの粒径に対しても99.97%以上の捕集率を示すことが確認された。また、AとBの風量 $q$ (モード:中)の実測値はそれぞれ392 $\text{m}^3/\text{h}$ と408 $\text{m}^3/\text{h}$ であった(合計800 $\text{m}^3/\text{h}$ 、13 $\text{m}^3/\text{min}$ )。その適応床面積は100 $\text{m}^2$ であり(式4)、対象室の114 $\text{m}^2$ と同程度である。

## 2) 空気清浄機効果の実証方法

空気清浄機による浄化効果とその影響範囲を把握するために、1m間隔の計70点(図7)の粒径別浮遊粒子濃度を空気清浄機OFFとモード中で稼働させた30分後に測定を行った。

## C. 研究結果および考察

### C1. 個別方式空調室内機フィルタグレードアップによる対策効果

図8と表2にパッケージ型空調機室内機におけるフィルタをグレードアップする前(プレフィルタ)と後(比色法60%、90%)の粒径別浮遊粒子濃度の捕集率を示す<sup>4)</sup>。比色法65%フィルタはMERV11、比色法90%はほぼMERV13に相当することが実証された。

また、感染症流行期間中にグレードアップすることがとくに有効な対策になる。これまで、SARS-CoV-2の粒径に関していくつかの測定結果が報告されている。ここではウイルスのcopy数が多い測定結果の粒径分布(<1 $\mu\text{m}$  ND ; 1-4 $\mu\text{m}$  1384 RNA copies/ $\text{m}^3$  (40%) ; >4 $\mu\text{m}$  2000 RNA copies/ $\text{m}^3$  (60%))を用いて試算すると、MERV13のフィルタのシングルパスの捕集率は88%になる(=40% $\times$ 85%+60% $\times$ 90%=88%)。

### C2. 空気清浄機による浄化効果

図9~11に空気清浄機OFF(上)とON(下)の状態における浮遊粒子濃度の平面分布とその濃度の四等分値を示す。空気清浄機OFFの状態でも、当該室に外調機による全外気運転が行われるが、学習机近辺に0.3-5.0 $\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度の高い域がみられた。一方、空気清浄機を稼働させた30分

後に、対象室全体において粒径別浮遊粒子濃度の低下が確認された。とくに、空気清浄機の近傍では浮遊粒子濃度が著しく低下した。

昨年度の研究で比較した中央方式個別方式空調の室内粒径別浮遊粒子濃度の比較を図12(冬期)と図13(夏期)に示す。空調方式別における浮遊粒子濃度の差においては、空気清浄機の利用により対応できることが分かった。

## D. 結論

個別方式室内機のフィルタが中性能にアップグレードができれば、中央方式と同等な捕集性能を有することが実証された。

アップグレードができない場合、HEPAフィルタ付きのポータブル空気清浄機で適用床面積の条件を満足すれば粒径別浮遊粒子濃度を低下させることが実証された。

個別方式室内機のフィルタが中性能にアップグレードができれば、中央方式と同等な捕集性能を有することが実証された。

アップグレードができない場合、HEPAフィルタ付きのポータブル空気清浄機で適用床面積の条件を満足すれば粒径別浮遊粒子濃度を低下させることが実証された。

## 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.

## 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) 柳 宇, 空気清浄機, 空気清浄, 第46巻, 第6号, pp.40-45, 2009.
- 2) 柳 宇, 室内空気清浄便覧, オーム社, 2000.
- 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) 古澤明里朱, 倉淵隆, 金政一, 阿式信英, 田口遥樹, 活動に伴う飛沫発生量とその捕集効率に関する研究, 2021年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1203-1206.

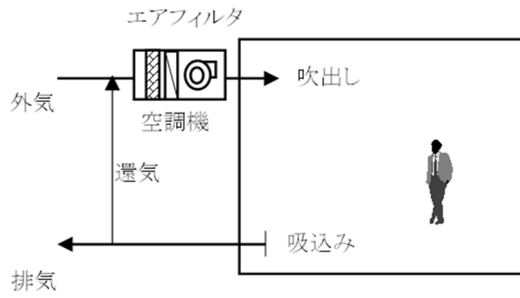


図1 中央冷暖房・中央換気方式

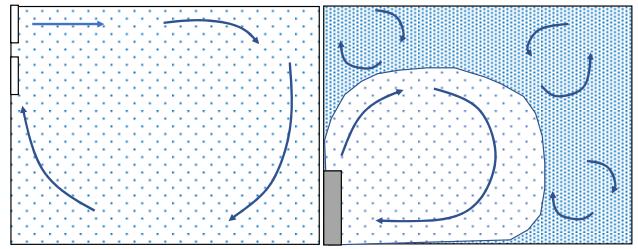


図4 空調用エアフィルタによるろ過(左)と空気清浄機による浄化(右)の違い

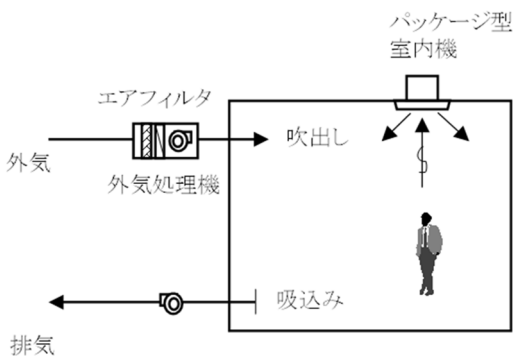


図2 個別冷暖房・中央換気方式

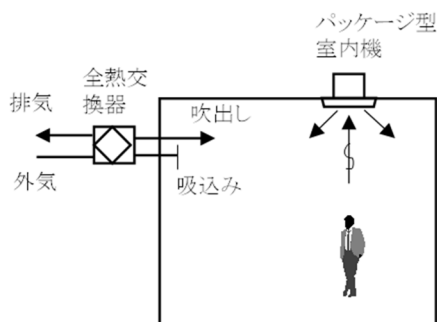


図3 個別冷暖房・個別換気方式

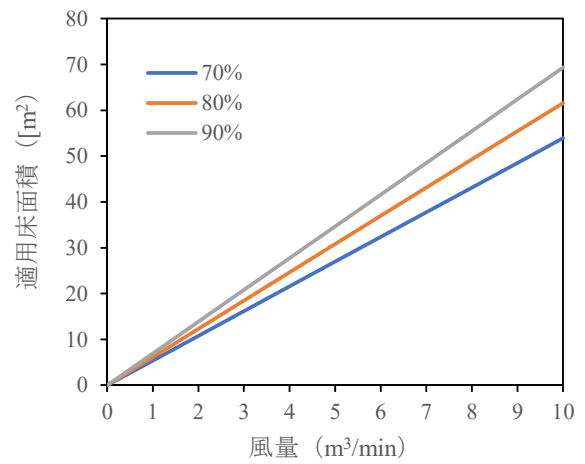


図5 空気清浄機の風量と適用床面積の関係

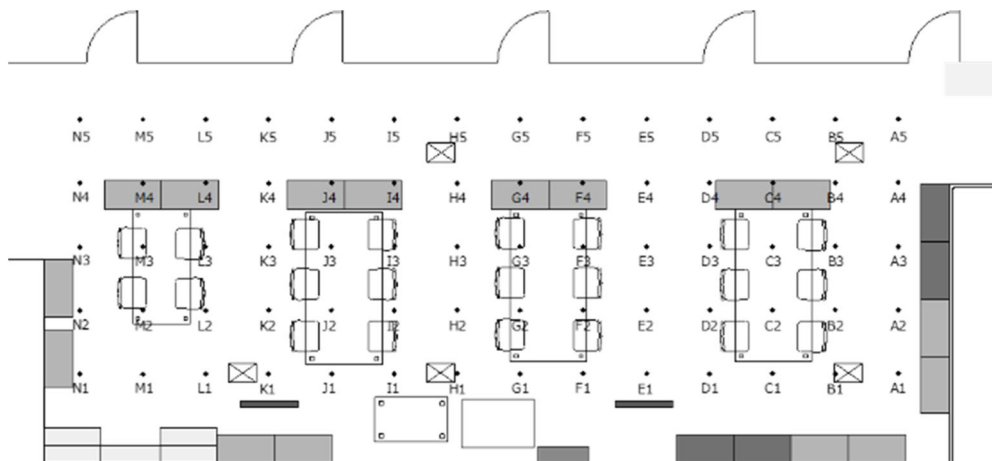


図 6 実証対象の平面図

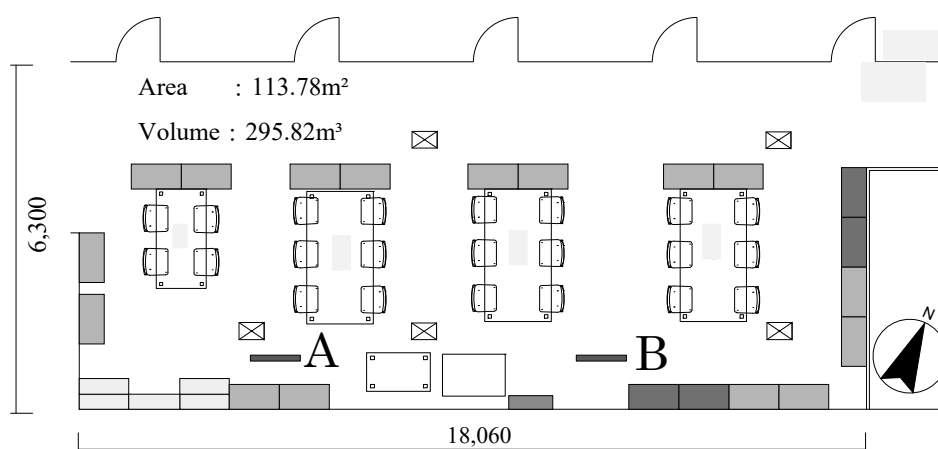


図 7 平面分布測定点

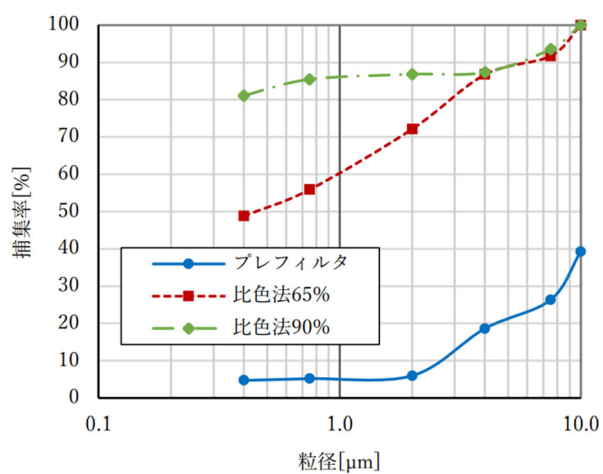


図 8 個別空調室内機 粒径別捕集率

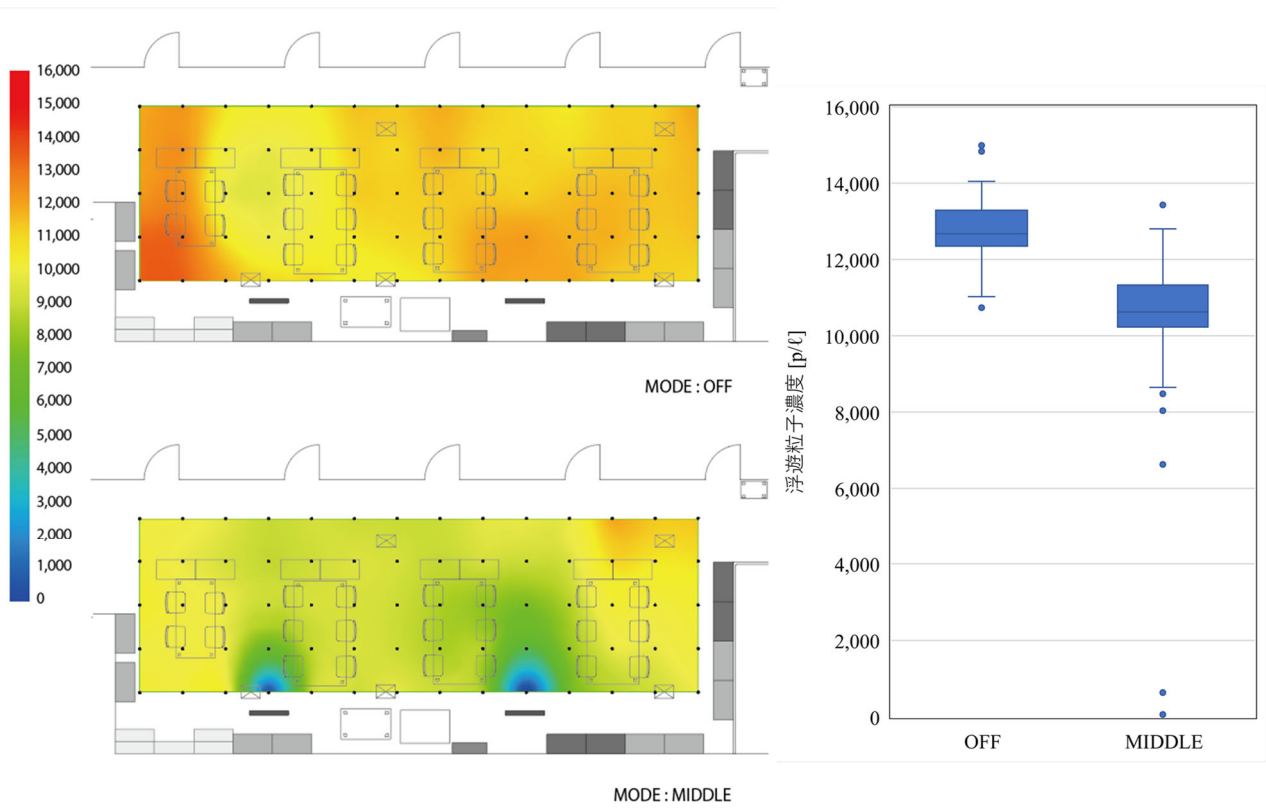


図 9 空気清浄機 OFF(上)と ON(下)の状態における 0.3-1.0 $\mu\text{m}$  粒子の濃度の平面分布と四等分値

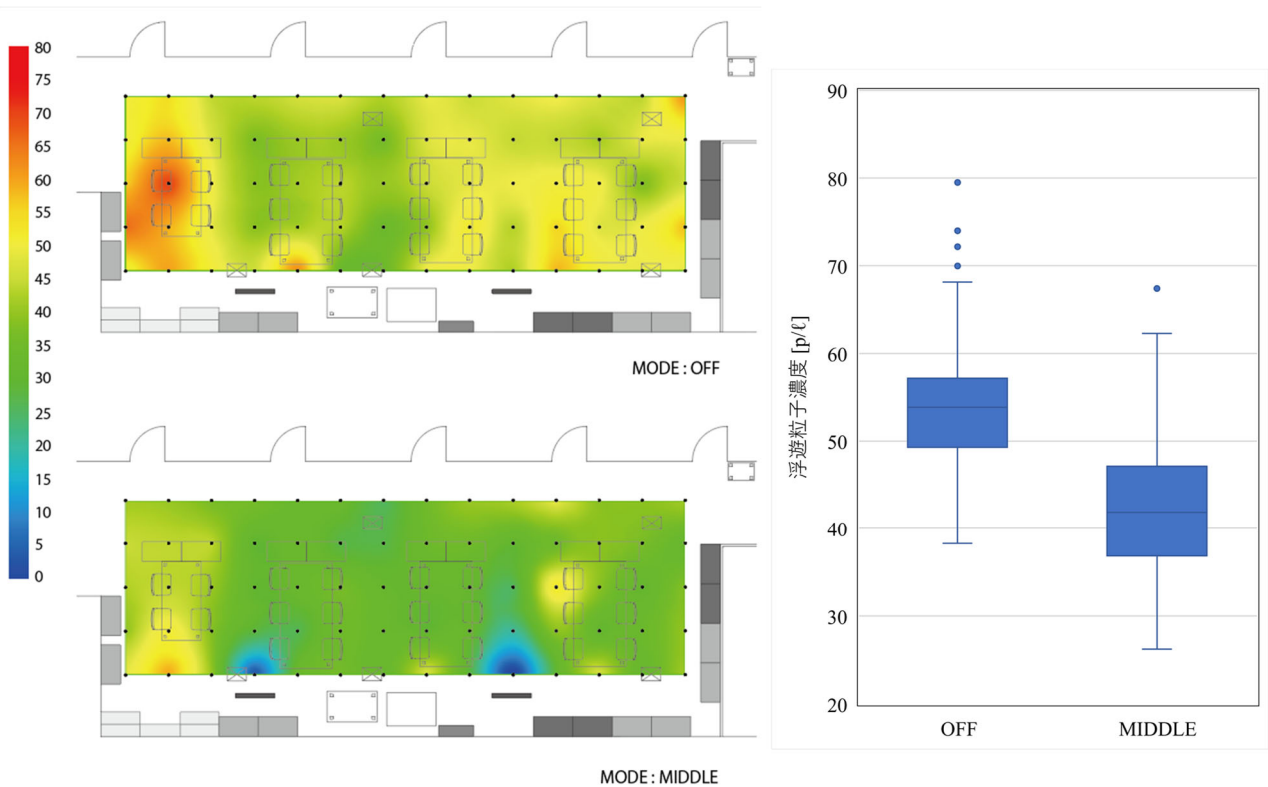


図 10 空気清浄機 OFF(上)と ON(下)の状態における 1.0-5.0 $\mu\text{m}$  粒子の濃度の平面分布と四等分値

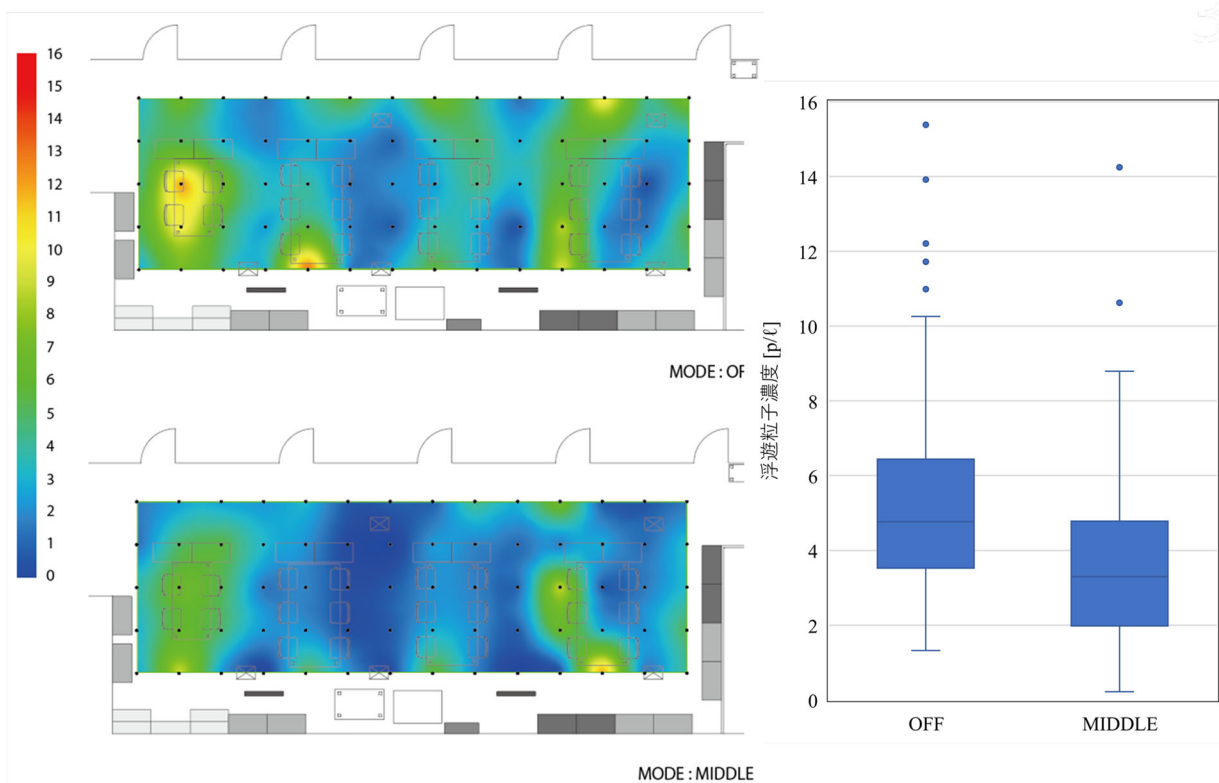


図 11 空気清浄機 OFF(上)とON(下)の状態における 5.0μm 粒子の濃度の平面分布と四分値

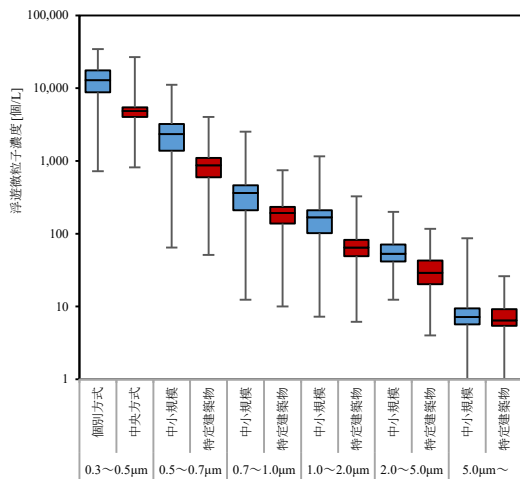


図 12 冬期の室内浮遊粒子濃度四分値

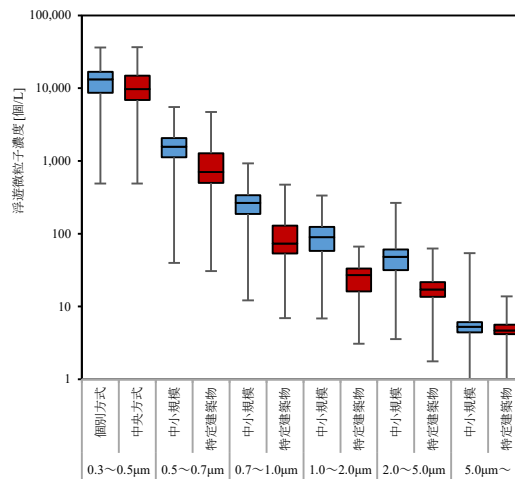


図 13 夏期の室内浮遊粒子濃度四分値



表 1 粒径別最小捕集率報告値 (MERVs) と比色法の捕集率

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm	質量法	比色法
1	n/a	n/a	E3<20	<65	-
2	n/a	n/a	E3<20	65	-
3	n/a	n/a	E3<20	70	-
4	n/a	n/a	E3<20	75	-
5	n/a	n/a	20 ≤ E3	80	-
6	n/a	n/a	35 ≤ E3	80	-
7	n/a	n/a	50 ≤ E3	90	40
8	n/a	20 ≤ E <sub>2</sub>	70 ≤ E3	90	40
9	n/a	35 ≤ E <sub>2</sub>	75 ≤ E3		50
10	n/a	50 ≤ E <sub>2</sub>	80 ≤ E3		50
11	20 ≤ E <sub>1</sub>	65 ≤ E <sub>2</sub>	85 ≤ E3		60
12	35 ≤ E <sub>1</sub>	80 ≤ E <sub>2</sub>	90 ≤ E3		75
13	50 ≤ E <sub>1</sub>	85 ≤ E <sub>2</sub>	90 ≤ E3		90
14	75 ≤ E <sub>1</sub>	90 ≤ E <sub>2</sub>	95 ≤ E3		95
15	85 ≤ E <sub>1</sub>	90 ≤ E <sub>2</sub>	95 ≤ E3		98
16	95 ≤ E <sub>1</sub>	95 ≤ E <sub>2</sub>	95 ≤ E3		-

n/a: not available,

Source: ASHRAE Standard 52.2-2017.



写真 1 空気清浄機の外観

表 2 個別空調室内機 MERV 比較(%)

粒径[μm]	0.3~1	1~3	3~10
<b>MERV13</b>	<b>50 以上</b>	<b>85 以上</b>	<b>90 以上</b>
プレフィルタ	5	6	20
比色法 65%	50	72	88
比色法 90%	82	87	88

