

空気感染リスク低減のための空調設備について

(一財) 建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

新型コロナウイルス感染者が、日本を始め世界各国において、ワクチン接種普及にもかかわらず増加傾向にある中でも、その決定的な感染防止策は明確になっていない状況にあります。ウイルス等の病原体の感染経路¹⁾には、飛沫感染、接触感染、空気感染があり(図1)、主要な感染経路は未だ明らかとなっていません。集団感染の発生リスクとして、換気の悪い密閉空間が挙げられており、空気感染のリスク低減のために空調設備の適切な運用が求められています。

また、世界保健機関(WHO)はウイルスを含むエアロゾルの一定量の吸引による感染の可能性は否定できないという見解を示しており、空気調和・衛生工学会(以下、「SHASE」という)やアメリカ暖房冷凍空調学会(以下、「ASHRAE」という)からは、換気やエアフィルタ、室内の温湿度の制御についての重要性が提言されています²⁾。

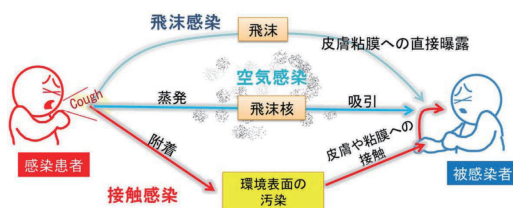


図1 飛沫感染・接触感染・空気感染三つのルート¹⁾

今回、室内空気を循環処理し、温湿度の制御を行う循環空調のある事務室を対象に、換気回数・エアフィルタ・加湿がもたらす浮遊粉塵除去の効果に関する検証実験の報告をします。

2 一般事務室における浮遊粉塵の実態

実験にあたり事務室に浮遊する5 μ m以下の粒

径分布の実態を把握するために、事務室内の浮遊粉塵量を粒径別にパーティクルカウンターで測定しました(表1)。因みに、ウイルス核は約0.1 μ m、ウイルス飛沫は約2 μ mです。

表1 パーティクルカウンター仕様

メーカー、型式	パーティクルプラス、Model 8306
粒径区分	6粒径 (0.3、0.5、1.0、2.5、5.0、10.0 [μ m])
吸引流量	0.1CFM (2.83L/min)
最大可測濃度	15,000,000個/ft ³
使用環境	温度0~50℃、湿度98%RH以下

測定を約1週間行い、浮遊粒子数の積算値から求めた5 μ m以下の粒径別の割合の結果は、0.3 μ mが測定した5粒径の中で約9割を占め、事務室内に浮遊する粒径としては支配的であることが分かりました(図2)。把握した粒径別割合の実態から、実験では0.3 μ mの粒径を浮遊粉塵除去の評価対象としました。

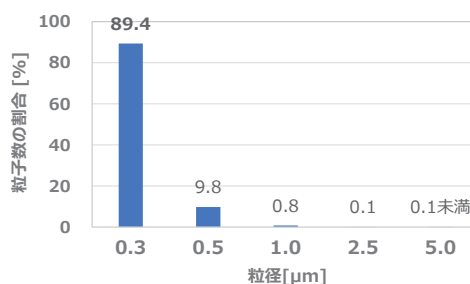


図2 事務室における浮遊粉塵の粒径別割合

3 浮遊粉塵除去に関する実証実験

3.1 実験の環境

実験環境は、事務室内を間仕切りして室面積5m \times 4m=20m²、天井高2.7m、室容積54m³の空間に対して、天井には給排気用の換気口を設置し、部屋の中央には循環空調を模してフィルタユ

ニットを配置しました（写真1、写真2、表2、図3）。

実験では市販の線香を用いて空間内に浮遊粉塵を常時発生させ、毎秒サンプリングする0.3μmの浮遊粒子数が安定するまで測定を継続しました。

3.2 実験の条件

実験は全9ケースで実施しました（表3参照）。

ケース1は一般事務室の換気を模した実験条件で、換気量120m³/h、循環風量600m³/hです（本体上部の天板を除去したため、フィルタユニットの処理風量が記載仕様より増加しています）。

なお、ケース1の換気量は建築物衛生法にて室内のCO₂の濃度基準1,000ppm以下から1人当たりの必要換気量30m³/hで、人員数は4人とし、換気回数は2回/h程度の標準的な設計に基づいた値です。

ケース2、3は、ケース1よりも換気回数を増大した実験条件で、ケース2が約7.7回/hで換気量420m³/h、循環風量300m³/h、ケース3が約

13.3回/hで換気量720m³/hとし、プレフィルタのみ搭載しました。厚生労働省が奨励する新型コロナウイルス感染拡大防止の3密の回避のうち、密閉とは窓がない換気ができない空間で、回避のためには空間の広さではなく、換気の確保が重要と言われています。ケース2、3では換気回数が増大による除去効果を把握します。

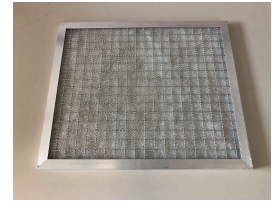


写真1 フィルタユニット

写真2 内蔵プレフィルタ

表2 フィルタユニット仕様

メーカー、型式	日本無機株式会社、PFF-0091-PDH
処理風量	0～540m ³ /h（連続可変式）
換気回数	最大15回/h（室容積36m ³ ）
外形、重量	W690×L1,000×D390mm、約70kg
電源	単相100V

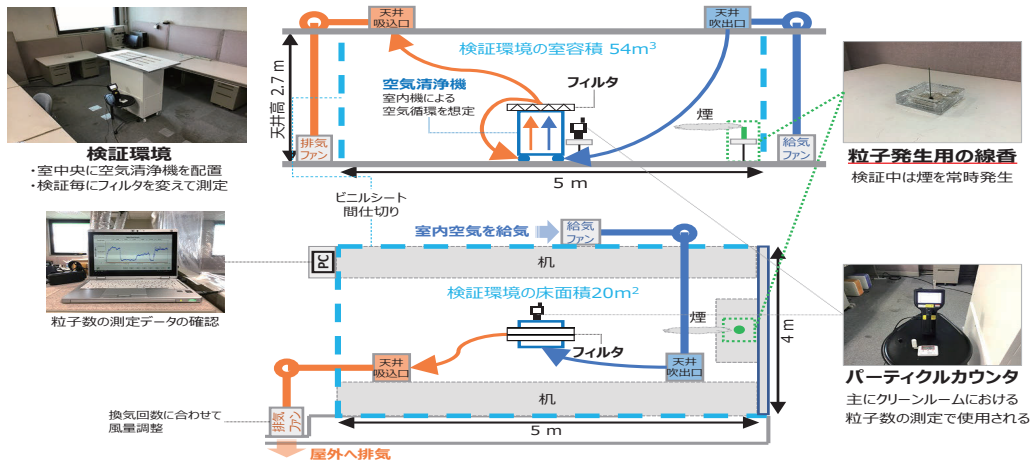


図3 実験環境概略

表3 実験の条件一覧

ケース	想定した条件	換気量、換気回数	循環風量	エアフィルタ	室内湿度 (室温22℃相当)
1	一般事務室換気を模擬	120m ³ /h、2.2回/h	600m ³ /h	プレフィルタのみ	25～30%RH
2	換気回数の増大	420m ³ /h、7.7回/h	300m ³ /h		
3		720m ³ /h、13.3回/h	0m ³ /h		
4	中性能フィルタの追加	120m ³ /h、2.2回/h	600m ³ /h	中性能フィルタ（比色法65%）	
5				中性能フィルタ（比色法90%）	
6	HEPAフィルタユニット設置	120m ³ /h、2.2回/h	600m ³ /h	HEPAフィルタ	40%RH 50%RH 70%RH
7	加湿による湿度上昇	120m ³ /h、2.2回/h	600m ³ /h	プレフィルタのみ	
8					
9					

ケース4、5は、プレフィルタでは捕集できないより細かい^{じんあい}塵埃等を捕集できる中性能フィルタ（写真3、写真4、表4）を追加した実験条件で、両ケースとも換気量、循環風量はケース1と同じです。プレフィルタに加えて、ケース4は比色法65%、ケース5は比色法90%の中性能フィルタを追加しました。

ケース6は、HEPAフィルタ（写真5、写真6、表5）を内蔵した別置フィルタユニットを追加した実験条件でケース1と同様の換気量、循環風量としました。

比色法とは、日本産業規格が定めているエアフィルタの試験方法の一つで、対象粒径は0.4 μ mと0.7 μ mです。また、ASHRAE基準に基づく捕

集率から比色法60～95%はMERV11～14に相当しますが、捕集率はシングルパスでの結果です（表6）。

※MERV：ASHRAEで規定されたフィルタクラス

HEPAフィルタは、日本産業規格では定格風量時に粒径0.3 μ mを99.97%以上の効率で捕集する性能を持つエアフィルタと定められており、空気清浄が要求されるクリーンルームなどの用途で使用されます。

ケース7、8、9は、建築物衛生法の室内湿度の基準40～70%RHを考慮して、室内用蒸気式加湿器により湿度を上昇させた実験条件で、ケース1の実験条件に加えて室内湿度を40、50、70%RHとしました。室内に浮遊するエアロゾルは、



写真3 中性能フィルタ



写真4 フィルタ設置状況



写真5 HEPAフィルタ



写真6 フィルタ搭載状況

表4 中性能フィルタ仕様

メーカー	ダイキン工業株式会社	
型式	KAF552D80	KAF553D80
比色法	65%	90%
通過風量	1410 m^3/h	
耐用時間	2,500時間	1,800時間
外形	W560×L560×D45mm	
使用条件	温度0～50℃、湿度40～90%RH	

表5 HEPAフィルタ仕様

メーカー	日本無機株式会社
型式	ATMC-Z-E42TBK
捕集率	99.97%（粒径0.3 μ m）
通過風量	1410 m^3/h
耐用時間	約1,500時間（6ヵ月に1回の交換）
外形	W305×L585×D295mm
使用条件	温度60℃以下、湿度95%RH以下

表6 MERV・比色法の捕集率

MERV	粒径別最小捕集率報告値			比色法の捕集率		
	0.3～1.0 μ m	1.0～3.0 μ m	3.0～10 μ m	平均捕集率	0.4 μ m	0.7 μ m
9	使用不能	35%以上	75%以上	50%	30%以上	40%以上
10		50%以上	80%以上	50%	30%以上	40%以上
11	20%以上	65%以上	85%以上	60%	40%以上	50%以上
12	35%以上	80%以上	90%以上	75%	55%以上	65%以上
13	50%以上	85%以上	90%以上	90%	70%以上	80%以上
14	75%以上	90%以上	95%以上	95%	80%以上	90%以上
15	85%以上	90%以上	95%以上	98%	90%以上	95%以上
16	95%以上	95%以上	95%以上	-	-	-

高温低湿の環境では飛沫が速く乾燥するためより多く形成され、長時間浮遊しやすい傾向にあります。

ケース7、8、9では加湿による蒸発抑制の効果を把握することが配慮されています。

3.3 実験の結果

実験結果は、パーティクルカウンターで測定した浮遊粒子数をもとに安定した時間帯の平均粒子数、ケース1の平均粒子数に対してケース1と各ケースの差分の割合である除去率が比較されています(図4)。

一般事務室を模擬したケース1の浮遊粒子数は 13.5×10^6 個/ft³に対して、換気回数を増大したケース2が 5.7×10^6 個/ft³、ケース3が 2.3×10^6 個/ft³で減少し、除去率はケース2が58%、ケース3が83%となりました。実験結果から一般事務室の標準的な設計の換気回数2回/hから8回/hに増大したところ、室内の浮遊粉塵を半分以上除去しています。また、全ケースの中で換気回数13回/hのケース3の浮遊粒子数が最小で除去率が最大となっています。換気回数の増大、即ち室内空気を頻繁に入れ替えることは、室内の浮遊粉塵を除去する上で最も有効と考えられます。

中性能フィルタを追加したケース4、5の除去率をみると、比色法65%のケース4が 9.6×10^6 個/ft³、除去率29%、比色法90%のケース5が 7.6×10^6 個/ft³除去率46%、HEPAフィルタ追加のケース6は 5.3×10^6 個/ft³除去率61%となり、いずれもプレフィルタのみ搭載した一般事務室模擬のケース1よりも除去率は大きくなっています。

HEPAフィルタ追加のケース6の除去率はケー

ス2とほぼ同等であり、HEPAフィルタによる浮遊粉塵の捕集は換気回数8回/hに相当する除去効果です。また、中性能フィルタ追加のケース4、5の除去率はHEPAフィルタの結果と比較すると、約50%、約75%に相当する結果となっています。本実験では室内空気が繰り返しエアフィルタを通過する循環空調においてフィルタを追加することの有効性が確認できました。

加湿による湿度を上昇させたケース7、8、9における浮遊粒子数は40%RHのケース7は 12.7×10^6 個/ft³除去率6%、50%RHのケース8は 11.8×10^6 個/ft³除去率13%、70%RHのケース9は 7.6×10^6 個/ft³除去率44%となり、湿度が高くなるほど浮遊粒子数は減少しています。飛沫核の形成や飛散防止の観点で加湿が有効と言われるのは飛沫の蒸発が抑制されることによるものです。

実験結果から加湿による有効性があったと思われる、特に低湿環境になりやすい冬期における室内の温湿度の制御は重要と考えられます。

4 浮遊粉塵除去の可視化

実験ケース1、2、4、5、6の粉塵が除去されていく経過を観察するため、実験環境にスモークを充填させた後にフィルタユニット・換気を稼働し、5分毎の静止画で撮影し、各ケースの経過5分毎の静止画を比較することで、換気回数の増大やエアフィルタの追加による粉塵除去効果向上の可視化を行いました(図5)。

ケース1の換気回数は2回/hであり、計算上では室内空気は30分で1回入れ替わりますが、実

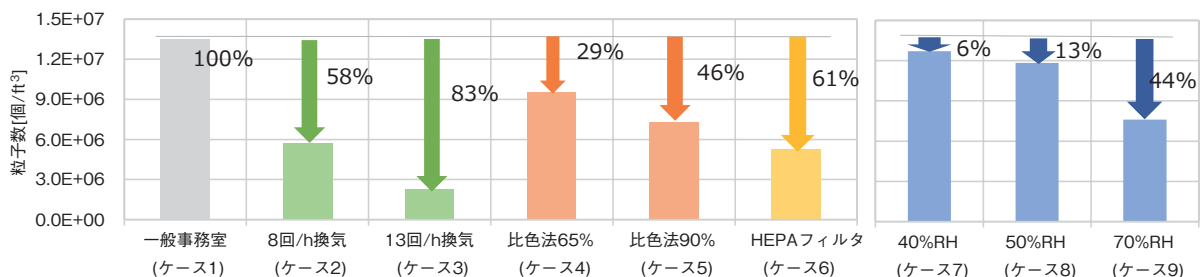


図4 浮遊粒子数と除去率の比較

験では30分を経過しても静止画では分かりにくいもののスモークは残留していました。

一方、ケース2は換気回数が8回/hで実験環境に導入する外気量と排気量が増大したことで20分後にスモークは消失していました。

ケース4、5、6は、換気回数は2回/hでケース1と同じですが、中性能フィルタ・HEPAフィルタの追加によりスモークが捕集され、ケース4、5は30分後、ケース6は20分後にスモークは消失していました。

5 必要換気量に関する近年の動向

今回報告した浮遊粉塵除去に関する実験でケース1の換気量は、建築物衛生法における室内CO₂濃度の管理基準1,000ppmから1人当たりの必要換気量30m³/hで算定した値です。この必要換気量の算定について、2021年5月にSHASEから提言³⁾があったので紹介します。

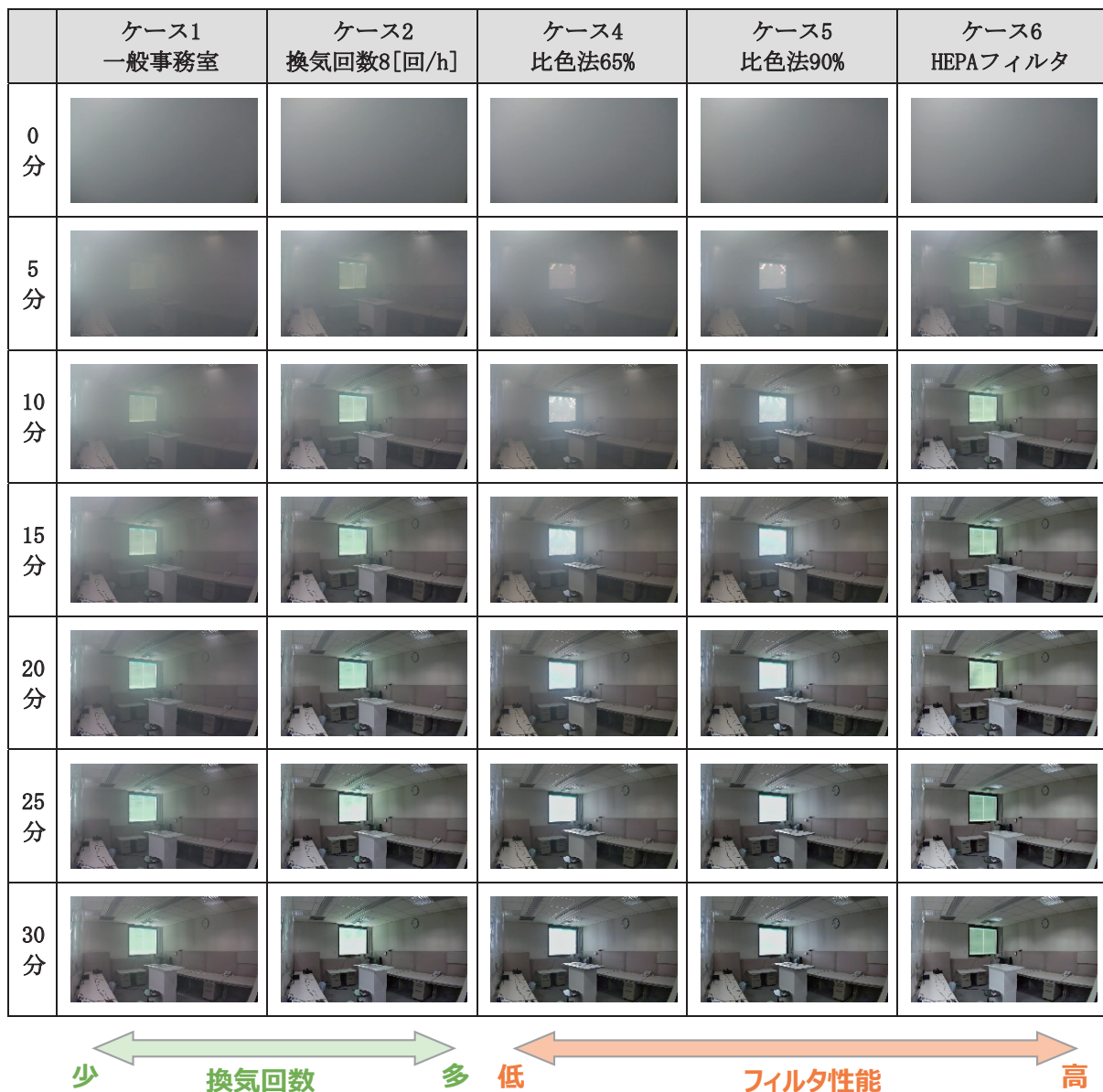


図5 浮遊粉塵除去を経過観察した静止画

<提言>

必要換気量算定のための二酸化炭素の設計基準濃度（総合的指標）は外気濃度+700ppmとすることが望ましい。

SHASEによると本提言は、同学会で設置された室内空気質小委員会がCO₂と必要換気量について国内・海外関連文献の調査結果より、CO₂の室内濃度の実態、人の健康への影響、基準値、必要換気量設計のための濃度などについて、歴史的経緯を踏まえた上で、最新の研究動向に基づき検討を行い、換気設計のためのCO₂設計基準濃度の改訂を提案するものとしています。

現行の換気設計における必要換気量は、後述の式7-1から、建築物衛生法や建築基準法より室内CO₂濃度基準1,000ppm、外気中のCO₂濃度と在室者からのCO₂発生量は仮定して算定します。近年の地球温暖化に伴い、外気中のCO₂濃度が上昇傾向にあり（図6）、それに伴い算定される必要換気量も増大することになりますが、それは空調設備の外気導入量の増大となり、省エネルギーや脱炭素への取組みの中で、空調の消費エネルギーの増大を招きます。そのため室内のCO₂濃度基準を固定的に規定する現行の基準に対してSHASEでは再検討が示唆されています。

室内のCO₂濃度基準値については、SHASEの規格で総合指標1,000ppmと健康影響の観点から決められた単独指標の3,500ppmの2種類があります。このうち総合指標1,000ppmとは、人体からの空気汚染物を始めとする様々な汚染物の総合的指標として位置づけられており、CO₂自体の毒性によって決められたものではありません。

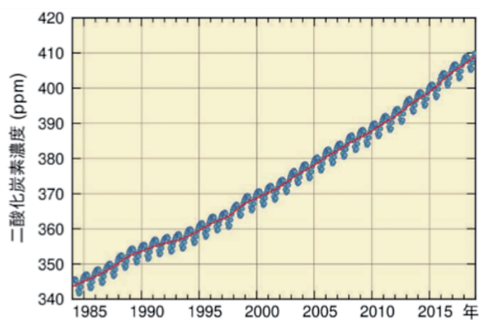


図6 外気のCO₂濃度の経年変化（世界平均）³⁾

$$Q = \frac{M}{C_i - C_o} \quad (7-1)$$

C_i：室内CO₂濃度 [ppm]

C_o：屋外CO₂濃度 [ppm]

M：CO₂濃度発生量 [L/h]

Q：換気量 [m³/h]

6 まとめ

循環空調のある事務室で浮遊粉塵の除去を定量的に把握する検証実験の結果から、特定条件下ではありますが、一般的な事務室に対して、換気回数を増やし、エアフィルタを追加し、室内を加湿することで浮遊粉塵は減少し、その除去効果の有効性が示されています。空調設備を運用する上で、フィルタの追加は圧力損失、搬送動力の増大を招き、更に換気回数の増加、即ち必要換気量の増加は空調設備の消費エネルギーの増加を招きます。しかし、今後は浮遊粉塵の除去効果と空調設備の運用コストを総合的に評価し、空気感染リスク低減を実施することは安全安心な生活を送るために必要であると考えます。

本レポートが読者の空調設備における空気感染リスク低減についての理解に役立てば幸いです。

最後に、このレポートをまとめるにあたり、日比谷総合設備(株)様に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

なお、同社では、今回の検証の報告⁴⁾がホームページのニュース一覧で公開されています。動画を含めて参考にしてください。

(参考文献)

- 1) 新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して緊急会長談話（2020年3月23日、空気調和・衛生工学会）
- 2) 新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について（2021年4月1日、空気調和・衛生工学会、新型コロナウイルス対策特別委員会）
- 3) 必要換気量算定のための室内二酸化炭素設計基準濃度の考え方（2021年5月31日、空気調和・衛生工学会、必要換気量検討特別委員会）
- 4) 一般的な循環空調における浮遊粉塵の除去に関する検証を実施 換気回数・エアフィルタ・加湿による浮遊粉塵の除去効果の定量把握（2021年10月15日、日比谷総合設備(株)）
<https://www.hibiya-eng.co.jp/ja/news/news-15154297126927142345.html>