

第42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

2025年4月22日 @ 早稲田大学国際会議場

(主催 公益社団法人日本空気清浄協会)

A-9

小型飛沫除去装置の設置状況による 飛沫除去性能の変化

○秋吉 優史

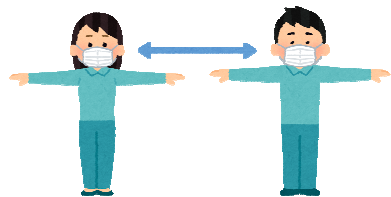
大阪公立大学 工学研究科、放射線研究センター、
大阪国際感染症研究センター兼任

E-Mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp

<https://bigbird.stars.ne.jp/>



ソーシャルディスタンス



感染拡大の原因と三密とは？



うちで過ごす

~~密集~~



マスクをしよう

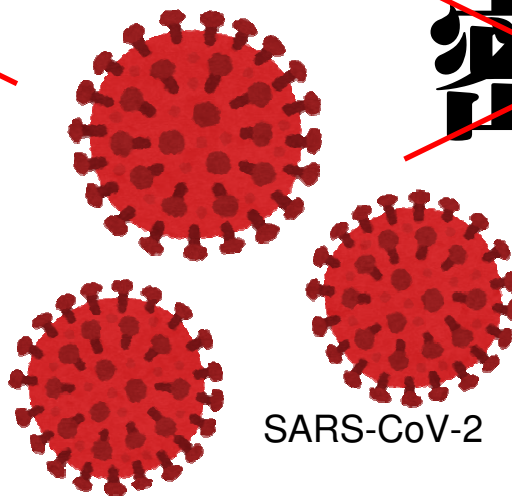
エアロゾル



換気しよう

~~密閉~~

飛沫



SARS-CoV-2

~~密接~~

表面への接触

口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴。
感染者から2m程度の範囲で飛散。
マスクを付けていても20%程度が放出される。

$5\mu\text{m}$ 以下の微粒子で、数分間
空气中に滞留し、広い範囲に拡
散する。喋るだけでも飛散する。
一般的なマスクを付けていても
50%程度が飛散する。



手を洗おう



消毒しよう

どこに潜んでいるか分からない
トラップ。

材質によっては数日間感染力を
持ったまま付着している可能性
がある。

飛沫とエアロゾル

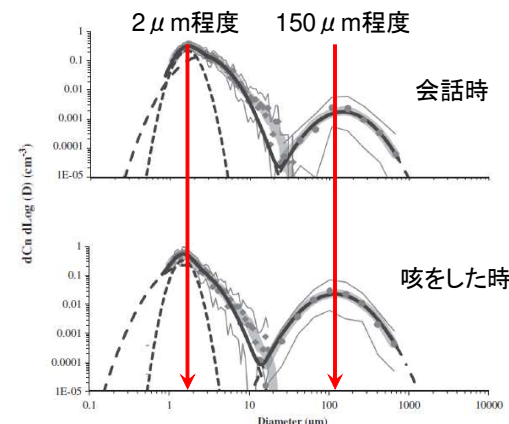
医学的には口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴を**飛沫**と呼び、それ以下の物を**エアロゾル**と呼ぶが、 $5\mu\text{m}$ を境に急に物性が変化するわけではなく、落下速度などは連続的に変化する。

しかし、口腔から出る液滴の粒径が示す2つのピーク、 $2\mu\text{m}$ 程度と $150\mu\text{m}$ 程度では明らかに物性は異なり、同一の扱いとすることには無理がある。

様々な報道に於いて**飛沫による感染リスクを軽視**する意見が出ている。マスクやパーティションなどの対策をした上で**残るリスクがエアロゾル**というのは賛同できるが、そういった前提条件無しに軽視することは市民に誤ったメッセージを送ることになる。また、マスクをしていても一定の割合で飛沫は漏出し、吸い込む側は隙間からほぼフリーパスで吸入される。また、飛沫が乾燥して出来る飛沫核がエアロゾルとなる場合や、落下した飛沫が接触感染や飲食物に付いた場合経口感染のリスクとなる可能性も無視できない。

なお、液滴の体積を考えると、100万個のウイルスが口腔から放出されたとしてエアロゾルとして滞空するウイルスは100個程度という見積りが成されている(*)。

(*) 野村 俊之, 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染経路に関する微粒子工学的検討, 日本接着学会誌, 57(2021)427-431.



G.R. Jhonson et al., Modality of human expired aerosol size distributions, J. Aerosol Science, 42(2011)839-851.

・屋外での飲食 (BBQなど)

・屋外のスポーツ観戦

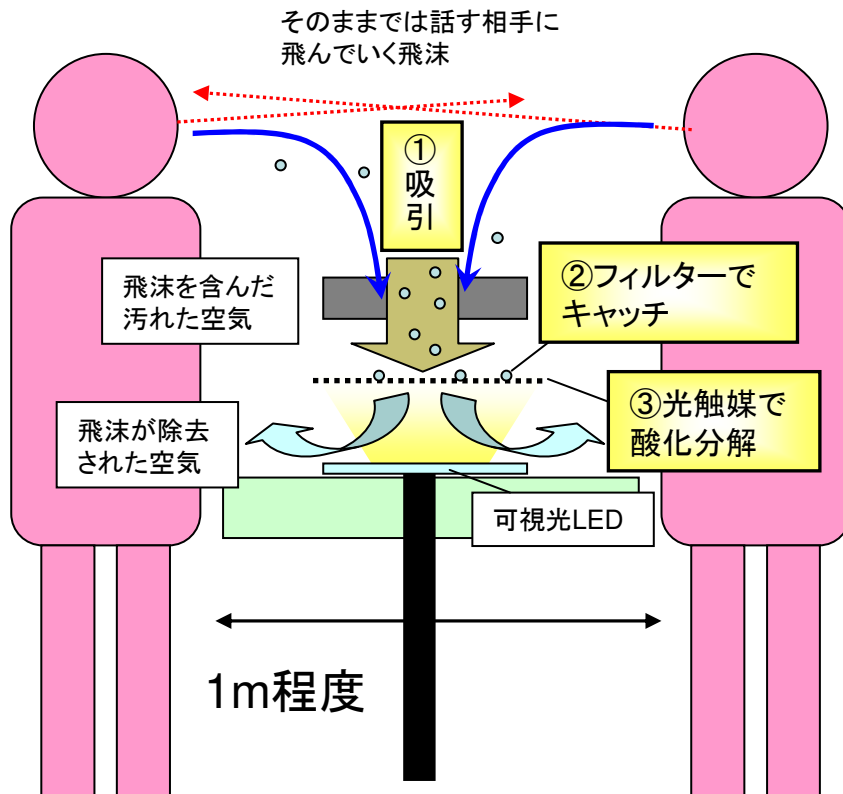
でのクラスターの発生は、マスクをしていない状況ではいかに換気がよくても飛沫感染のリスクが存在することを示唆してる。

気流、マスクの有無、会話のトーンなど、様々な状況で支配的となるリスクは変わり、対策も変える必要がある。

人と人の間を飛び交う「飛沫」の除去 に特化した飛沫除去装置

5 μ mよりも**大きい**液滴 → **飛沫**
飛程が短いが**大量のウイルス**

5 μ mより**小さい**粒子 → **エアロゾル**
長時間滞留するが**ウイルス量は少ない**



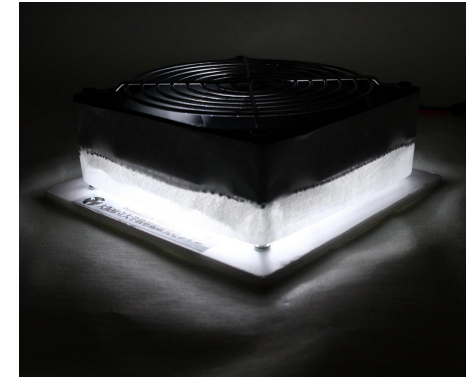
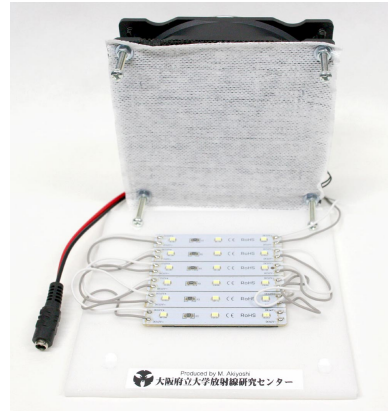
会話によって放出された飛沫は**最大で 2m 程度**飛び、マスクをしていても2割程度が漏洩するとの報告もあります。口腔からの飛沫の粒径は、最も数が多いもので150 μ m程度で、エアロゾルで最も多い2 μ mの粒子の**42万倍の体積**があり、含まれているウイルスもその分多いと考えられます。**マスクを付けずに近距離で会話をする会食は、お互いにこの大きな飛沫をぶつけ合うことになり、感染リスクが高い**と言えるわけです。

大型の空気清浄機は部屋の中を漂うエアロゾルの除去には効果がありますが、近距離を数秒程度で飛び交う飛沫にはほとんど効果は期待できません。

卓上に設置できる小型で静音の空気清浄機であれば、「**人と人の間**」に設置することが可能で、飛び交う飛沫を①「**吸引**」し、②「**フィルターでキャッチ**」することで、会話の相手に到達する飛沫の数を減らすことが可能です。

キャッチした飛沫中に含まれるウイルスは、③「**光触媒により酸化分解**」し、再放出される可能性を減らします。また、フィルターでキャッチできないエアロゾル中のウイルスの不活化や、さらに小さい有機ガスの分子も分解できることが確認されています。

可視光応答光触媒を用いた超低価格な 小型空気清浄機「ひかりクリーナー」



和紙による漏れ光の遮光

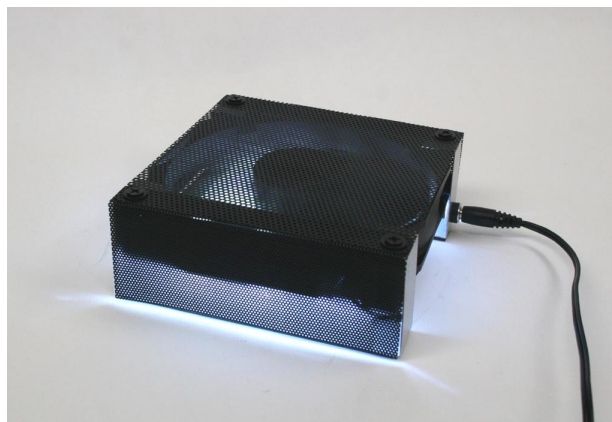


12cm角、高さ5cm、ファンの騒音19dB、消費電力5W以下で、モバイルバッテリーでの駆動も可能

可視光応答の光触媒を使用しているため、漏れ光を完全に遮蔽する必要が無く、簡易な構造での動作が可能。当初開発した標準型はPC用のパーツなどを組み合わせて、極めて安価で製作が可能。価格が安価であれば、その分多数台でのネットワーク構築が可能となる。中学生程度でも工作可能で、半田付けなどの危険な作業も不要。光触媒フィルターは、不織布と市販されている東芝「ルネキャット」スプレーにより製造が可能で、より強力なファンを使用すれば性能向上も可能。

これまでに700台程度を市民に提供し、実際に使用してもらっている。

可視光応答光触媒を用いた小型飛沫除去装置 「ひかりクリーナー2020」



メタルフレームと樹脂メッシュにより見た目を大幅に改善し、持ち運びも可能で、マグネットプレートによりスチール什器壁面への貼付けも可能。

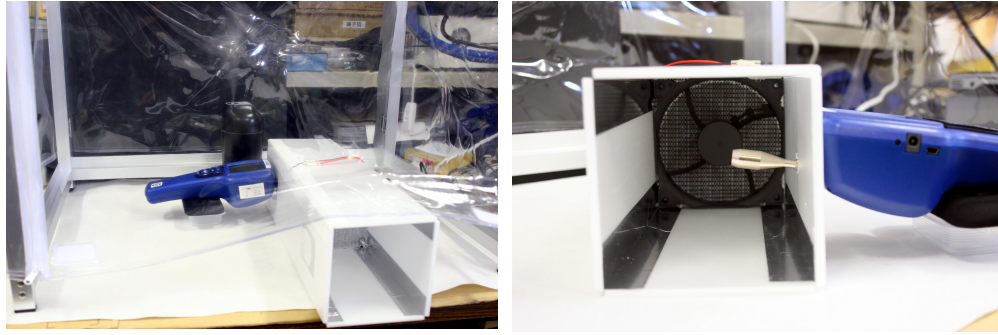
通常は12VのACアダプターで駆動するが、アップコンバーターを使用するとモバイルバッテリーなどのUSB給電でも駆動可能でモバイルでの使用が可能。



2022型

AMED事業で得られた成果を元にした高性能フィルターを使用した製品の産学連携での商品化に向けて、試作機を制作中。試験的な提供を開始しています。

フィルターによる飛沫の捕獲率



HEPAフィルターを使用したクリーンブース内にダクトを設置し、口腔からの飛沫を模擬した超音波加湿器からの液滴がどの程度フィルターに捕獲されるかを評価しました。

その結果、**5 μm 以上の飛沫に関しては、ほぼ完全に捕集**できていることが確認されました。

条件	粒子径	粒子濃度		透過率
		上流側	下流側	
	μm	m^{-3}	m^{-3}	
デュアルノズル噴霧	0.3~1	4.1×10^8	4.6×10^8	1.14
	1~5	1.2×10^7	3.6×10^6	0.30
	5~25	3.7×10^6	2.1×10^2	5.8×10^{-5}
シングルノズル噴霧 1回目	0.3~1	2.8×10^8	2.5×10^8	0.87
	1~5	2.6×10^6	1.0×10^6	0.40
	5~25	3.0×10^5	1.8×10^1	6.0×10^{-5}
シングルノズル噴霧 2回目	0.3~1	2.7×10^8	2.7×10^8	0.99
	1~5	2.0×10^6	1.5×10^6	0.76
	5~25	1.1×10^5	5.3×10^1	4.7×10^{-4}

キャッチしてゆっくり分解

一般に**5 μm 以上の液滴**を飛沫、それ以下の物をエアロゾルと呼んでいます。

1 μm 以下の液滴は計測可能な濃度を超過しており捕獲率が評価できませんでした。

特殊画像撮影による飛沫吸引の可視化

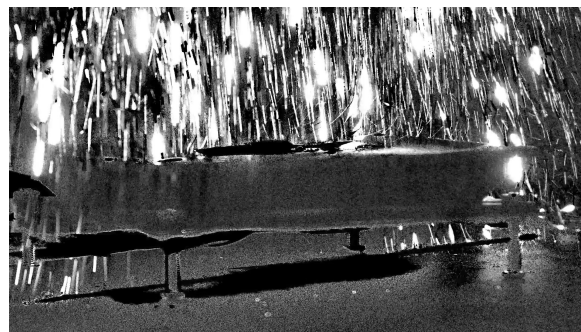


空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

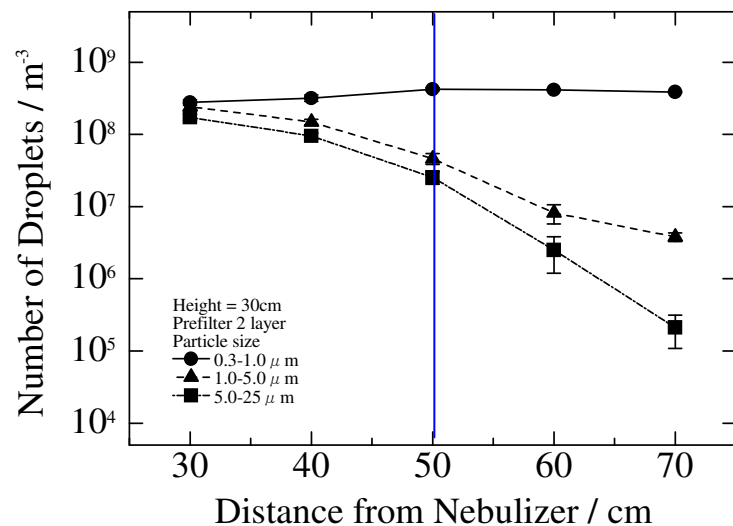
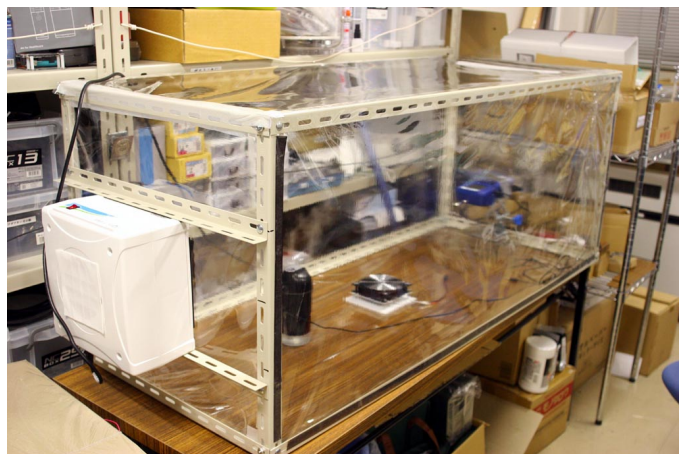
1m 程度の範囲に於いて、口から発声に伴って出た飛沫や、スプレーからの模擬飛沫、エアロゾルを模した電子タバコのベーパーなどが吸い込まれていき、なおかつフィルターによってマスクと同じように止められていることが確認出来るかと思っています。



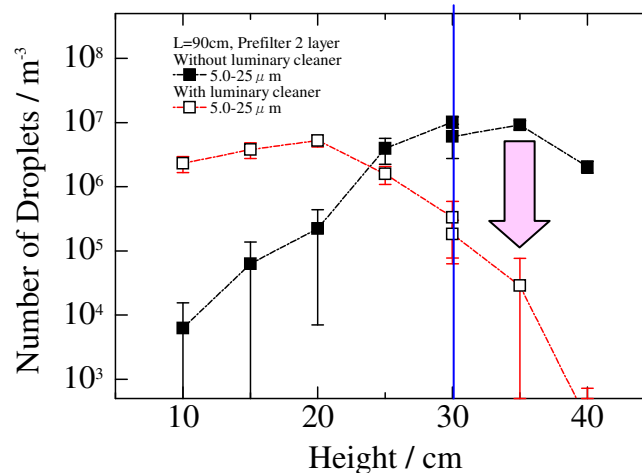
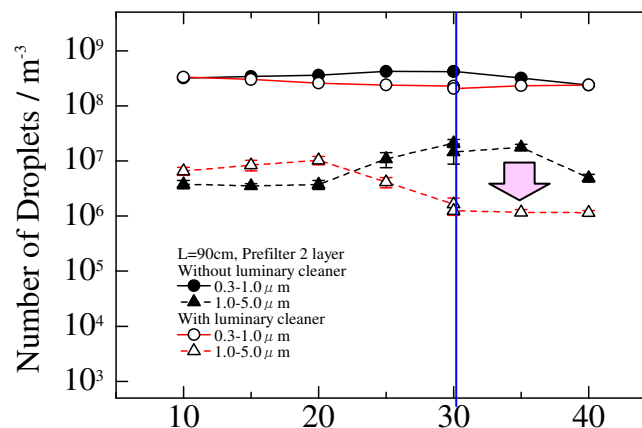
発声に伴う飛沫の撮影に際しては、「ブーブー」と言う破裂音により意図的に大量の飛沫を出しています。



空間を飛ぶ飛沫の捕集率



粒径毎の飛沫数の飛距離依存性



風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集試験。

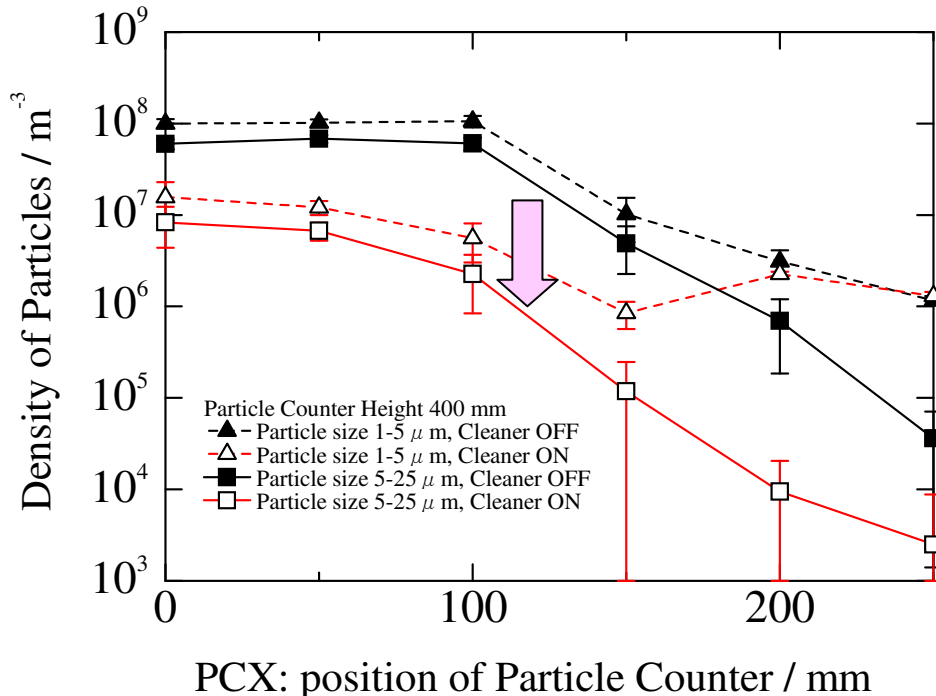
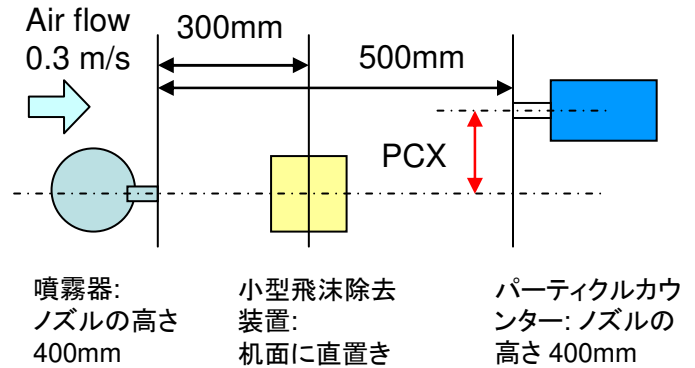
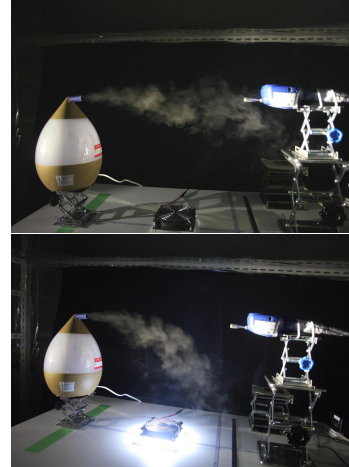
大きな粒子は距離と共に数が減少した。重力で落下するのと蒸発による縮小の双方が考えられる。50cm離れた位置での垂直分布はミストが立ち上がる高さ付近で最大であったため、余り下に落ちてはいないらしい。

ひかりクリーナー作動で、着席時顔の高さの40cm程度の飛沫は大幅に減少することが確認できた。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(1)



HEPA フィルターを使用した大型
クリーンブース: 1.5 × 1.5 × 2.4m



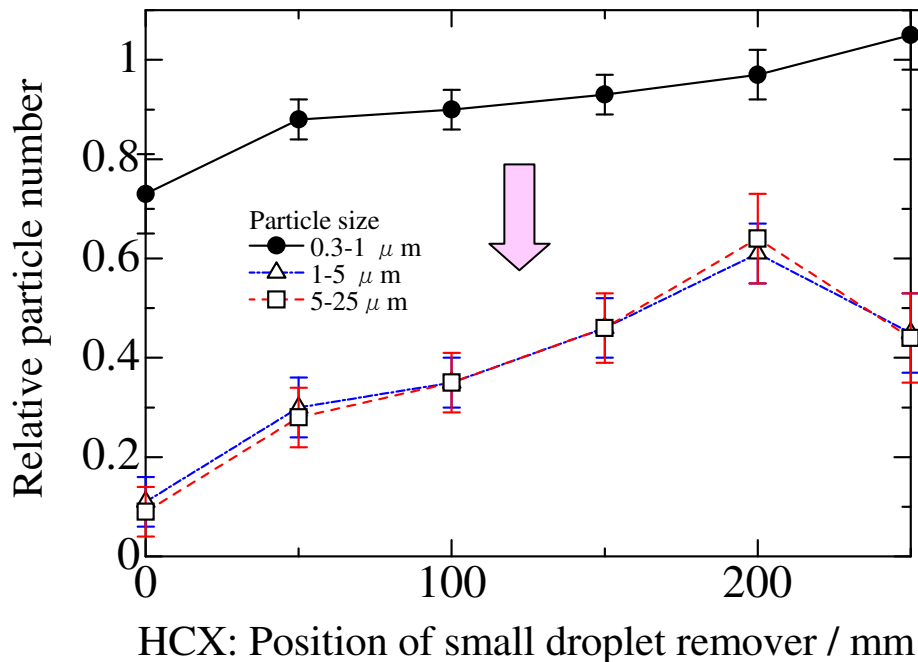
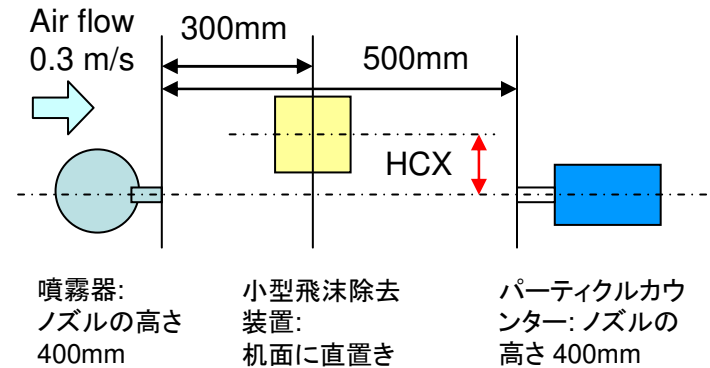
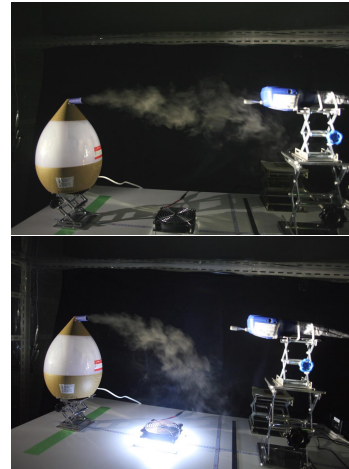
直線的配置だけでなく、対象者が飛沫除去装置からずれた位置にいる場合の模擬を行った。元々大気中を飛ぶ埃の影響を避けるために大型のクリーンブースをセミクリーンルームに設置した。噴霧器に水平に設置したノズルからのミストはHEPAフィルターユニットからの追い風(0.3m/s程度)によってほぼ水平に飛行するよう調整した。噴霧器、パーティクルカウンターとも、着座した際の机面から口の高さ程度である400mmにノズルの高さを設定した。

5.0 ~ 25 μm の飛沫は、中心軸から250mmの範囲で一様に概ね1桁程度減少を示した。また、口腔から放出されるエアロゾルのピークサイズに相当する1.0 ~ 5.0 μm の粒子も、150mm 程度の範囲までは1桁程度減少した。一方、0.3 ~ 1.0 μm の粒子は1割程度の減少に留まった。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(2)

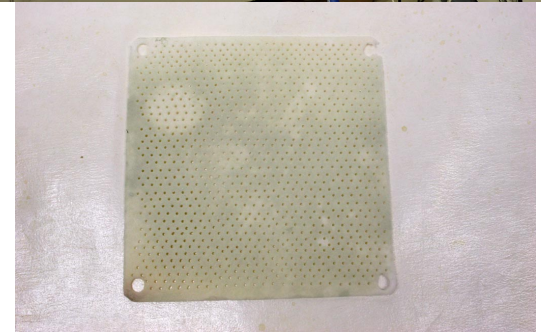
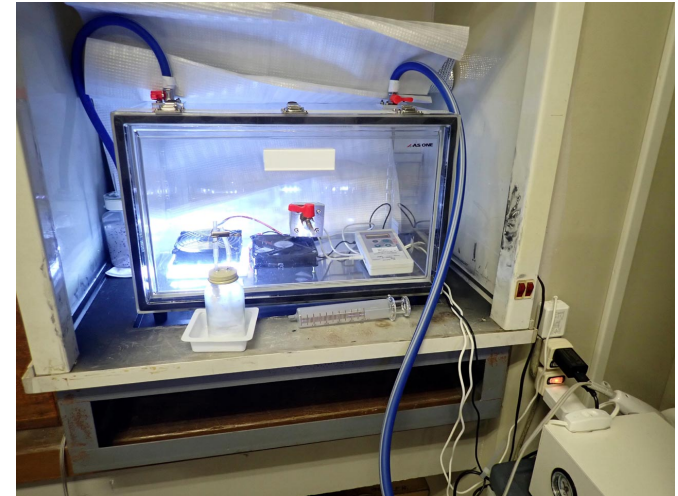
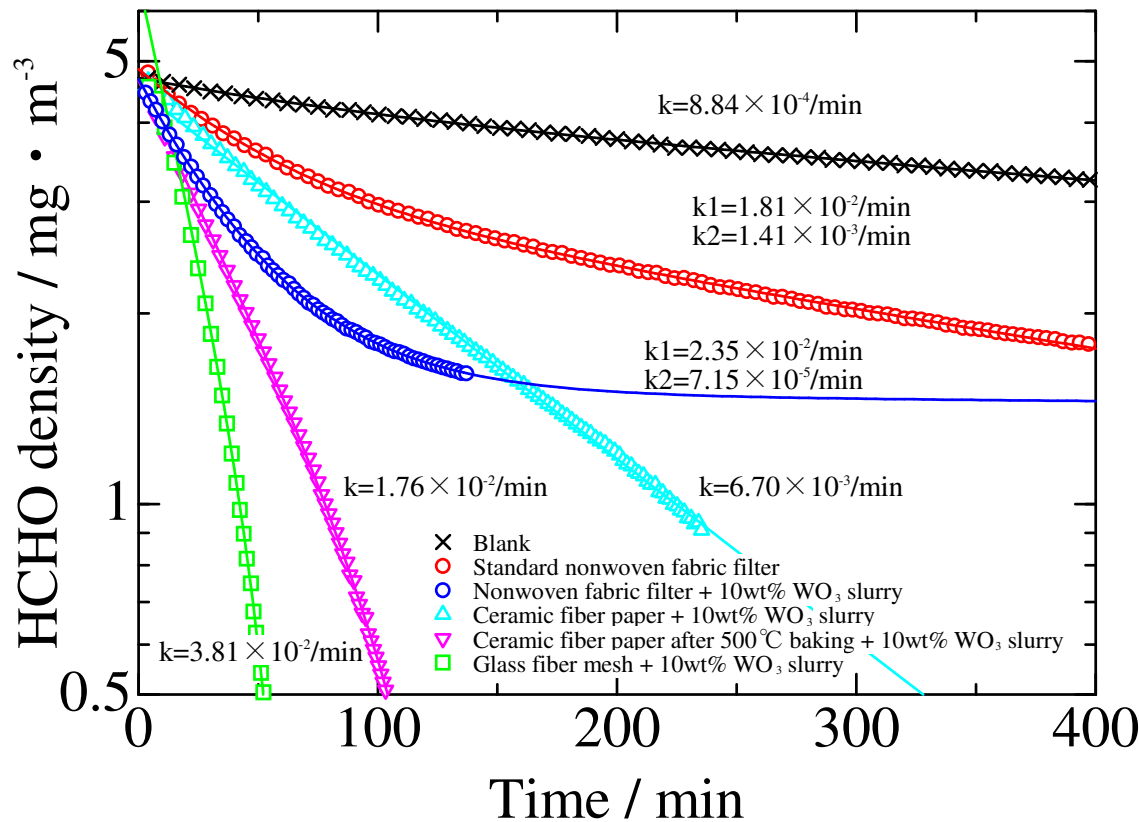


HEPA フィルターを使用した大型
クリーンブース: $1.5 \times 1.5 \times 2.4\text{m}$



同様に、大型クリーンブースを使用して発生源と対象者を結ぶ直線から小型飛沫除去装置がずれた位置に設置された場合の模擬を行った。
5.0 ~ 25 μm の飛沫は、小型飛沫除去装置が中心軸上に設置された場合1/10程度に減少しているが、設置位置が離れるにつれて除去率は減少したが、**250 mmまでの範囲で概ね半分程度に減少できていることが確認された**。また、口腔から放出されるエアロゾルのピークサイズに相当する1.0 ~ 5.0 μm の粒子も、全く同じ挙動を示す一方、0.3 ~ 1.0 μm の粒子は1割程度の減少に留まった。

ホルムアルデヒド分解実験



38L サイズのアクリルデシケーターを使用して、有機ガスの一種であるホルムアルデヒド(HCHO)濃度の変化をホルムアルデメータ htV-m を使用して測定した。

簡易な構造かつ低価格で、教育現場などでの自作による普及を検討しているひかりクリーナー標準機でも確実な分解性能が確認されると共に、さらに高濃度の光触媒と無機系の材料を使用したフィルターを用いた試作機は、市販の小型空気清浄機をはるかに凌ぐ性能を発揮した。現在、さらに高性能のフィルターが量産可能となっている。

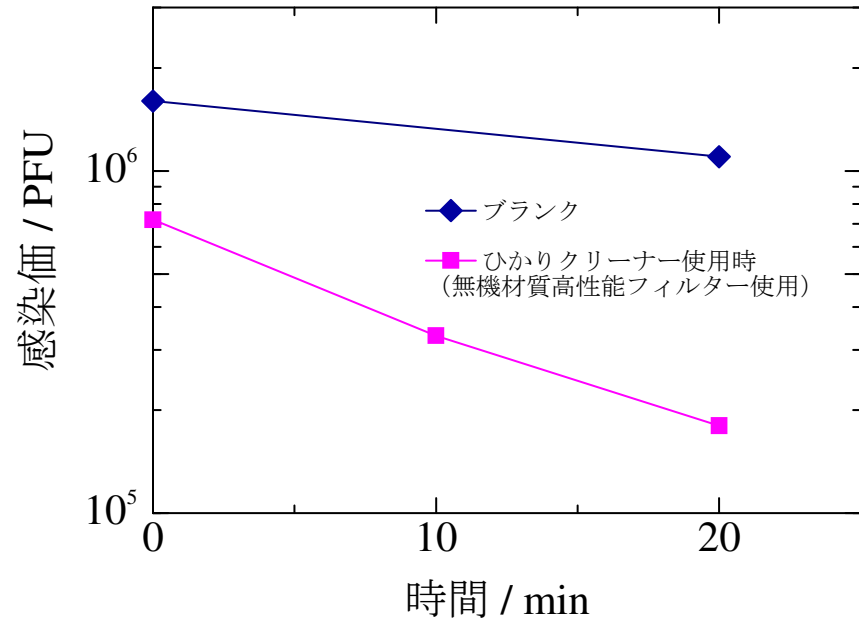
ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

370 L のグローブボックス中でネブライザーを用いてバクテリオファージQ β を含む溶液を噴霧、ファンで攪拌しながら 10 L をゼラチンフィルターでサンプリングし、プラーク法に依り感染価を評価した。

その結果、ブランクでは 1.6×10^6 PFUであったのが 20分で 1.1×10^6 PFU となり、**30% 程度減少した**。一方無機材質高性能フィルターを使用したひかりクリーナーを使用することによりスタート時に 7.2×10^5 PFU であったのが 10分後には 3.3×10^5 PFU、20分後には 1.8×10^5 PFU と、**10分でおおよそ半分、20分で 1/4 に減少した**。

ただし、光触媒により不活化したかどうかは、光触媒を塗布していないフィルターも使用して比較を行う必要がある。

実環境は 370L のチャンバーよりもずっと体積が大きい、エアロゾルはガスなどと異なり気流が無ければ余り遠くまで拡散しない事が知られている。人と人の間に設置する事を考慮するとたとえば机の上の直径1mの半球の体積は 262 L 程度になり、現実的な実験と言える。



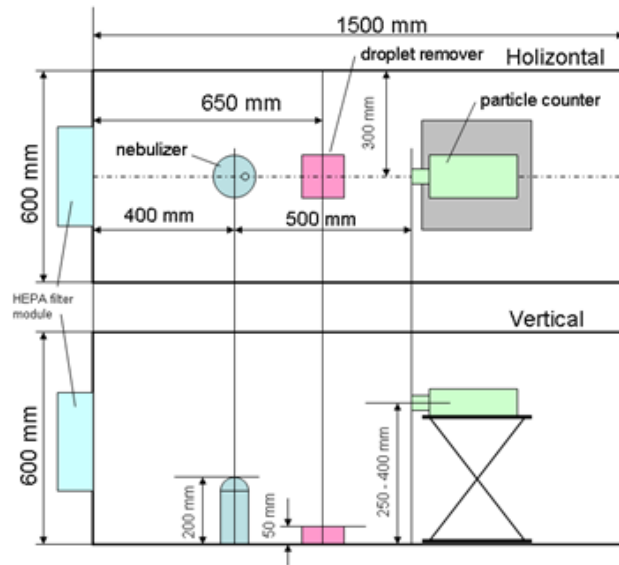
フィルターでキャッチすることは出来ない、長時間空中に浮遊するエアロゾルに含まれるウイルスも除去できることが示唆された。

東芝「ルネキャット」のSARS-CoV-2
に対する効果

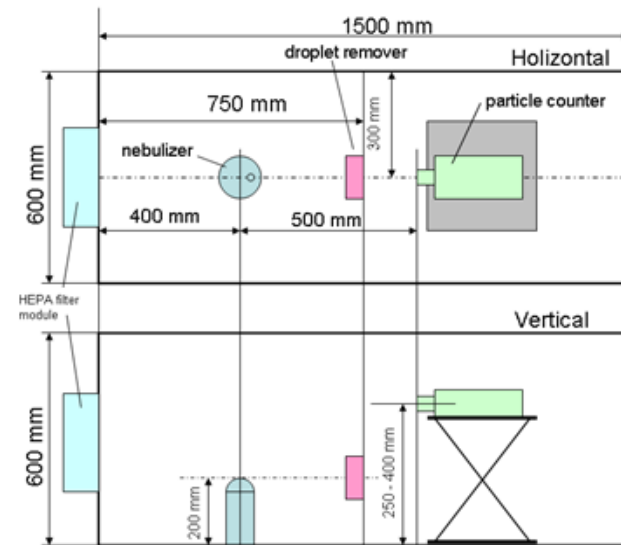
Masashi Uema et al., "Effect of Photocatalyst under Visible Light Irradiation in SARS-CoV-2 Stability on an Abiotic Surface", Biocontrol Science, 26 (2021) 119-125.

査読付論文として公開されている

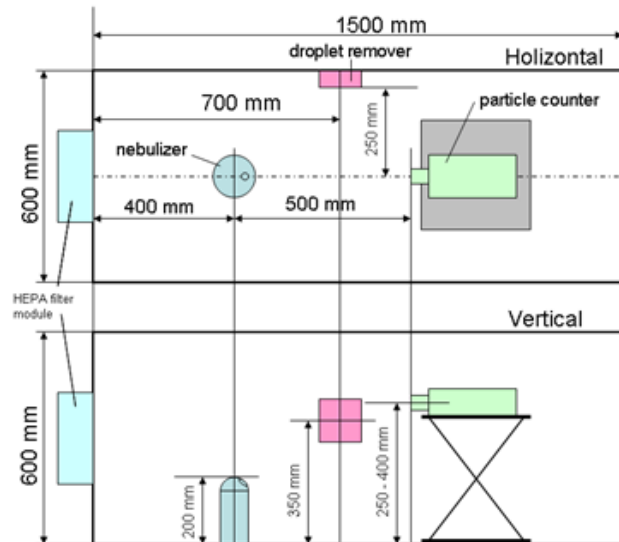
小型飛沫除去装置の設置状況による飛沫除去性能の変化



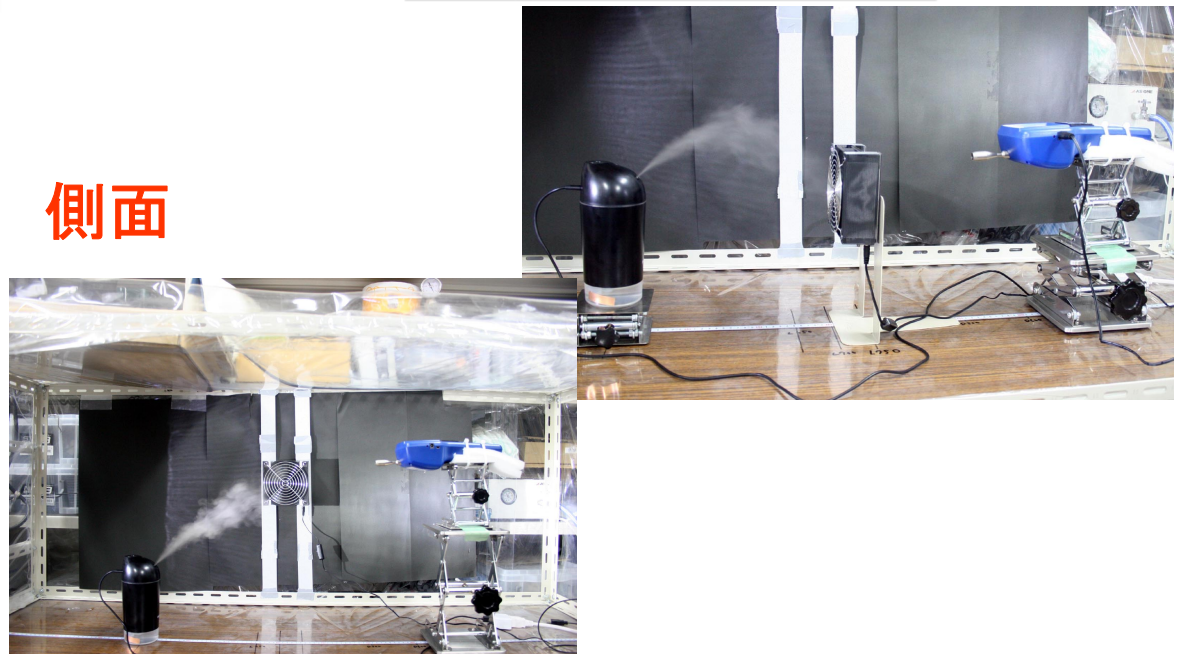
底面



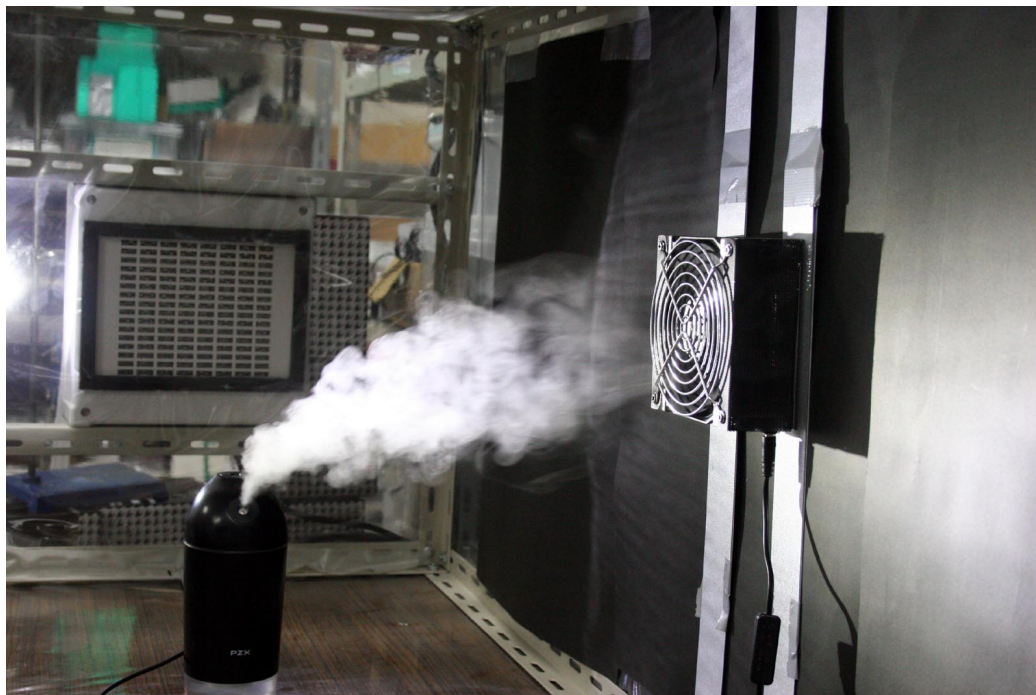
正面



側面



小型飛沫除去装置の設置状況による飛沫除去性能の変化

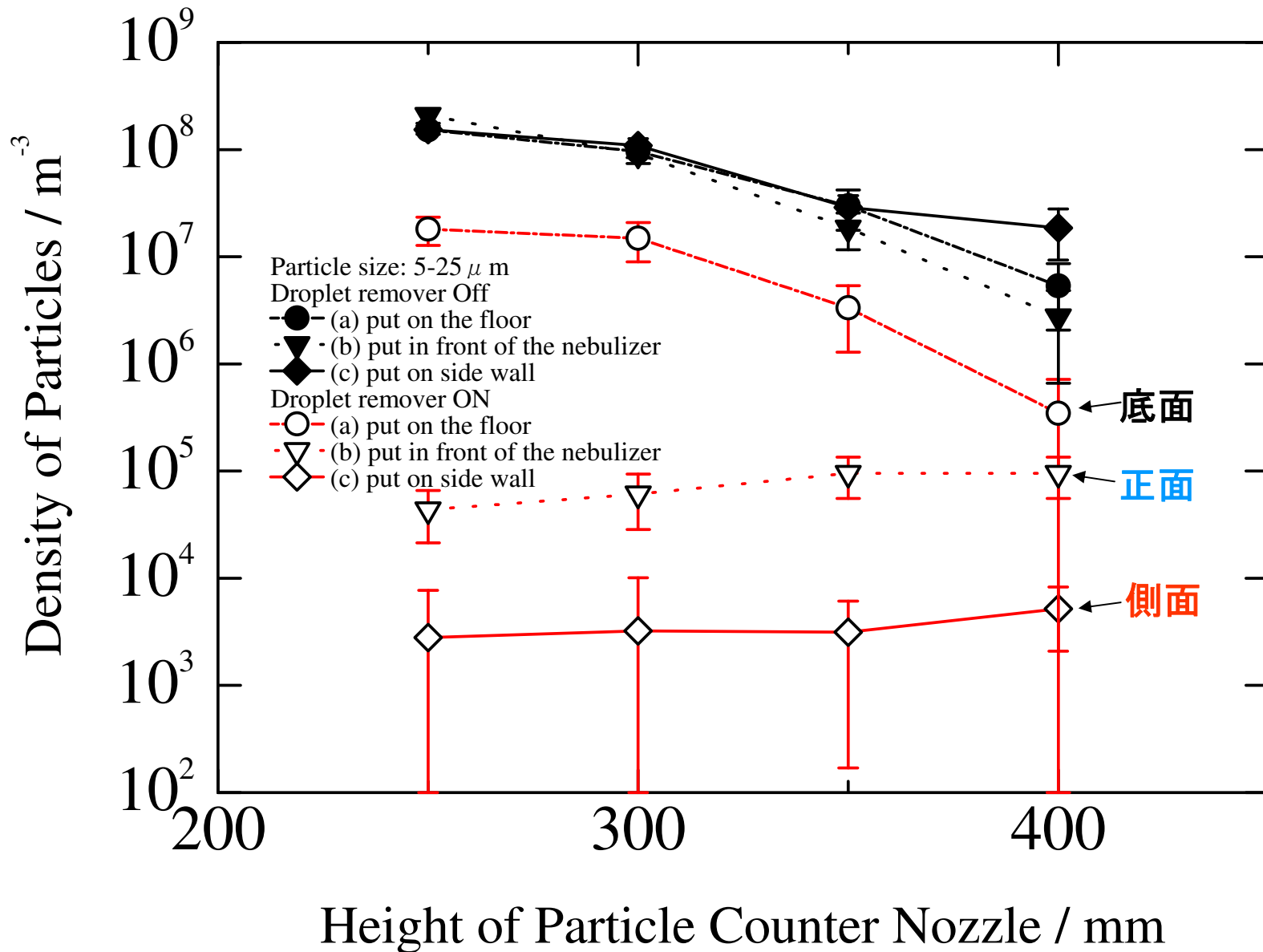


側面



正面

小型飛沫除去装置の設置状況による飛沫除去性能の変化



小型飛沫除去装置の設置状況による飛沫除去性能の変化

