

ひかりクリーナー説明資料

I: 光触媒と飛沫除去の概念

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

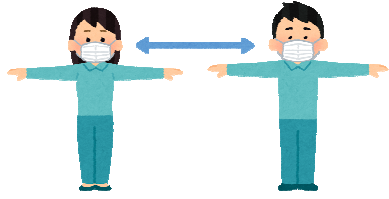
② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

大阪公立大学 国際感染症研究センター

准教授 秋吉 優史

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

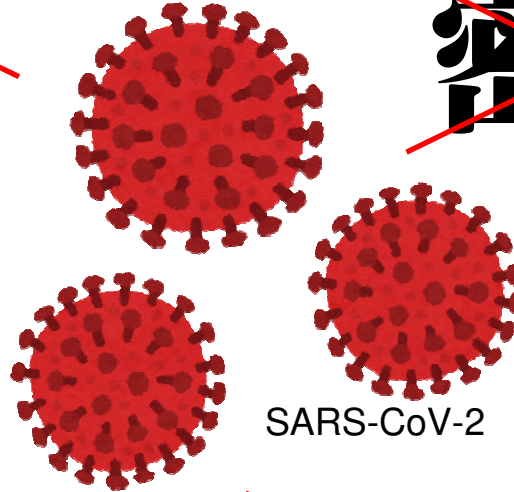
エアロゾル



換気をしよう

~~密閉~~

飛沫



SARS-CoV-2

5 μ m以下の微粒子で、数分間
空気中に滞留し、広い範囲に拡
散しうる。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。

~~密接~~



手を洗おう



消毒しよう

表面への接触

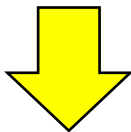
どこに潜んでいるか分からない
トラップ。

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。

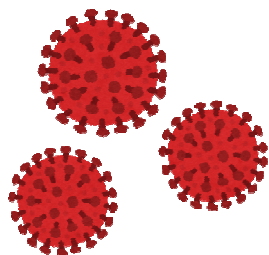
口腔から放出される5 μ m以上の液滴。
感染者から2m程度の範囲で飛散。
マスクを付けていても20%程度が放出
される。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

~~密閉~~

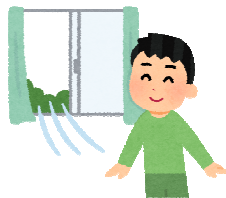


エアロゾル



マスクをしていても、繊維の間や顔との隙間から**半数近く**のエアロゾルは飛散している。長時間滞留するため、換気が悪いと徐々に濃度が高くなる。

換気の状態は二酸化炭素濃度が一つの指標となる。



換気しよう

どうしても換気が悪い場所もある

長時間空気中に滞留し風に乗って遠くまで移動する

5 μ m以下の微粒子で飛沫核とも呼ばれる。数分間空気中に滞留し、広い範囲に拡散しうる。

空気清浄機

△二酸化塩素・オゾンを空間に噴霧するアクティブな「空間除菌」は、有効な濃度と人体に悪影響を与える濃度が近く制御が困難なため推奨しない。

光触媒、紫外線、高性能フィルターを使用したものなど、様々なタイプが販売されており、エアロゾルの捕集、エアロゾルに含まれるウイルスの不活化を行う。

高温になる、ファンヒーターやストーブでも不活化は可能。(エアコンでは不可)



うがいしよう

粘膜に付着してから15~20分で感染するため、うがいが出来ない状況であればこまめに飲み込んでしまい胃酸で不活化の方が better。感染者が居る状況で飲食しても大丈夫と言うことでは無い(飲み込む途中で感染する可能性はゼロでは無く、鼻や目からの感染は防げない)。

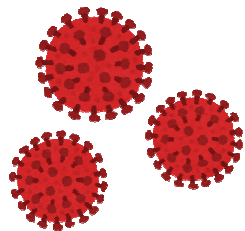
人の居ない空間への紫外線照射

不活化の効果の高い UV-C は人体に対して有害(眼の角膜、皮膚に強い炎症)であるため、**人に当たらないよう**上方の空間に向けて UV-C を照射することで空気中のウイルスを不活化できるため食品工場などでは古くから用いられている。米国疾病予防管理センター、CDCでは公式サイトで Upper-room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) を推奨している。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(2)

飛沫が物体表面にばらまかれて乾燥

~~密接~~

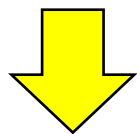


手を洗おう



消毒しよう

コロナウイルスは脂質の膜、エンベロープを表面に持つタイプであるため、「あぶら」を溶かすことが重要。物理的に洗い流すだけでも効果的。次亜塩素酸なども効果がある。



どこに潜んでいるか分からない
ブービートラップ

環境によっては物体表面に付着したウイルスが数日間感染力を保持していることも。飛沫が落下した後もウイルスは感染力を保持していて、接触感染の原因となりうる。

物体表面からの接触感染

手袋、衣類への
光触媒塗布

防護具へのUV-C照射

感染症対策の医療現場では、防護具を脱装する際のリスクが高いため、Cold エリアへの境界で防護具に対してUV-C照射を行う事で感染リスクを低下させる。

物体表面へのUV-C照射

短時間でSARS-CoV-2の不活化が可能なが様々な論文で確認されている。

人体に有害なため人が居るところでは使用することが出来ない。(Care222などは極めて人体への影響が小さい製品も存在するが、まだ完全に安全とは認められていない)

距離の二乗に反比例して弱くなる、透過力が極めて低い、斜め照射では弱くなる、有機物を劣化させるなどの様々な問題を理解して使用する必要がある。

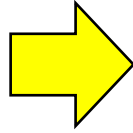
共有物品表面への光触媒や、銅・銀などの金属微粒子の塗布

物体表面への塗布により、常に少しずつ不活化の効果を発揮する。蛍光灯と異なりLED照明は紫外線を放出しないため屋内では可視光応答の光触媒が必要。銅などの金属含有の光触媒は暗くなくても一定期間不活化の効力を発揮する物もある。

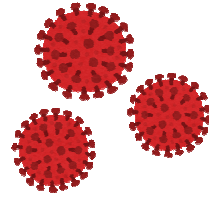
最も簡単には、銅箔テープの貼付けなどでも一定の効果がある。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(3)

~~密集~~

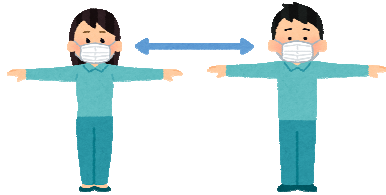


飛沫



ソーシャルディスタンス

大きな液滴に大量のウイルス



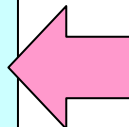
飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴を飛沫と呼び、 $120\text{-}150\mu\text{m}$ 程度に分布のピークを持つ。数秒の間に2m程度までの範囲に飛び散る。咳やくしゃみだけで無く、普通にしゃべっているだけでも飛散する。

小型飛沫除去装置

フィルターと光触媒の組み合わせで飛沫をキャッチしてウイルスを酸化分解。

対面する人と人との間、飛沫の飛ぶ距離の範囲に設置されていないと意味が無いいため、たくさんの台数が必要。



飛沫の放出を防ぐためにはマスクが有効で、不織布や布製のマスクでは8割程度の飛沫を止めることが出来るが、残りの2割程度は隙間などから飛散する。このため、飛程よりも近くに座ってのミーティングや窓口などでの会話で感染リスクがある。また、食事中にマスクは困難で会食時のリスクが高い。



「感染を広げない」
目的で全員が着用

光触媒とは

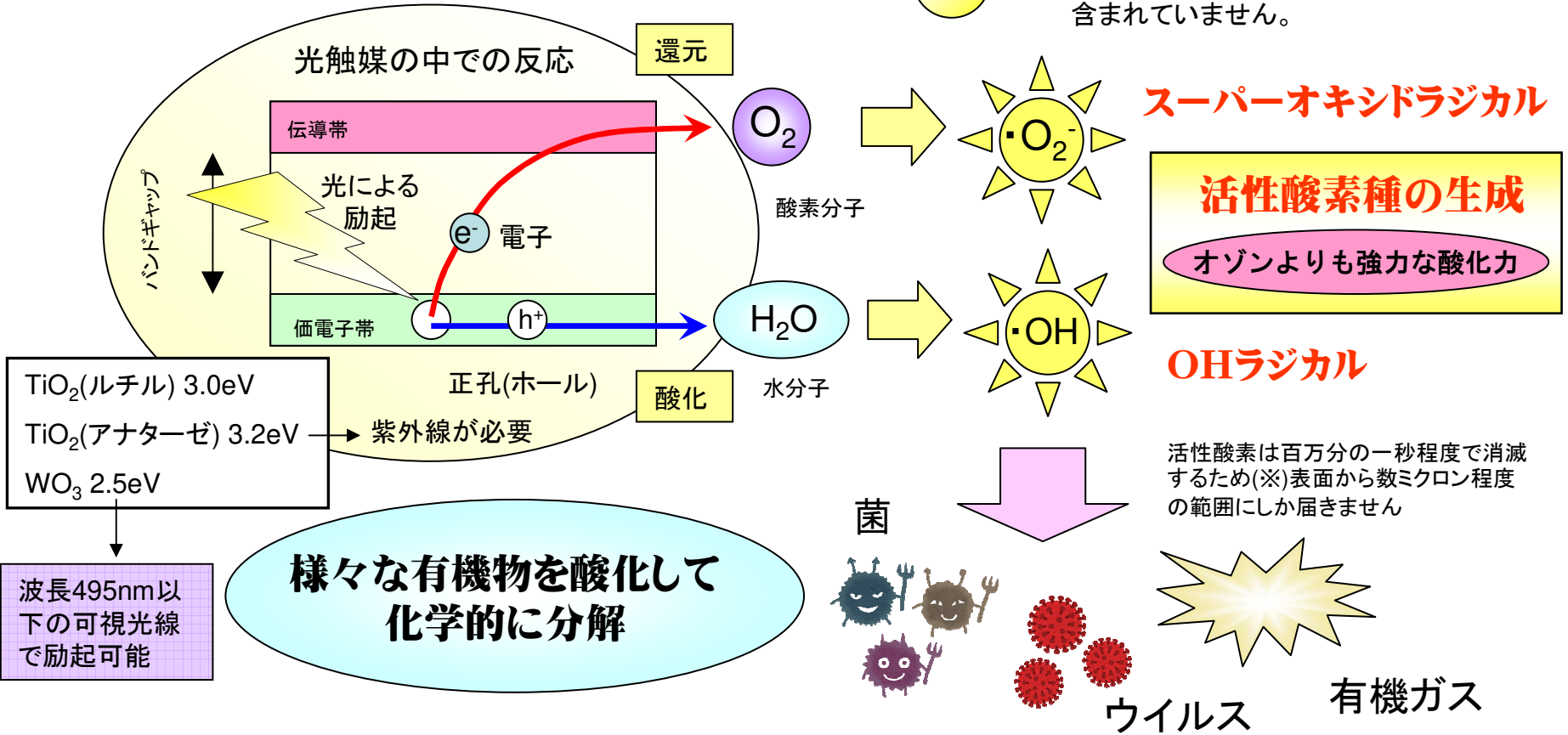
- ・光(Photon)には、目に見える光(可視光)の他に、目に見えない赤外線、紫外線、さらにはX線やガンマ線などの、様々なエネルギーの物があります。
- ・目に見える光、可視光も、植物の光合成や太陽電池による発電など、非常に大きな役割を果たしています。
- ・1967年に本多・藤嶋効果によって水が酸素と水素に分解することが発見されて以降、日本発の技術として「光触媒」が注目され、開発が続けられています。光触媒は半導体の一種で、光が当たることで太陽電池のように電気エネルギーが発生します。そのエネルギーを電流として取り出すのではなく、小さな粒子の表面でスーパーオキシドアニオンやOHラジカルなどの活性酸素を作り出し、非常に強い酸化力によって有機物を分解して、最終的には水と二酸化炭素にまで完全分解します。ウイルスや菌も例外ではなく、これまで効果が無かったという報告は成されていません。
- ・従来から使われている二酸化チタン(アナターゼ型)はバンドギャップが3.2eVあるため可視光線への応答が小さく、紫外線の照射が必要でした。その一方で近年実用化された三酸化タングステンベースの光触媒は、480nm(緑→青の可視光領域)以下の波長の光に応答します。
- ・二酸化チタン、三酸化タングステンいずれについても既にSARS-CoV-2を不活化する効果が学術論文として報告されています。
- ・この可視光応答のタングステンベースの光触媒と、可視光のLEDを組み合わせることで、シンプルな構造で安全な空気清浄機の製造が実現しました。

光触媒とは

目に見える可視光線
(400nm~, 3.1eV~)



蛍光灯の光には400nm以下の波長の紫外光成分も含まれていましたが、一般的な可視光LEDは440nm程度をピークの青色LEDと黄色の蛍光体の組み合わせで出来ていて、400nm以下の紫外線は含まれていません。

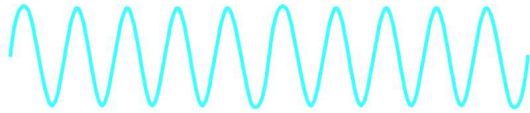


最終的には水と二酸化炭素にまで分解される(完全分解)。

※ 一瞬で大量の有機物を分解するわけではありません

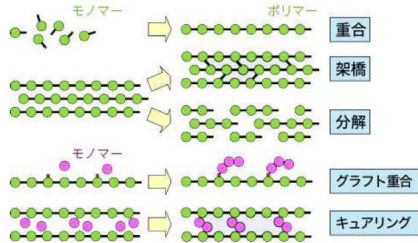
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



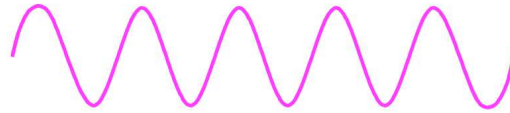
電離作用

原子核
電子
放射線



エネルギーの大きいガンマ線やエックス線は、物体の中を突き抜けていき、その途中の原子の周りの電子を弾き飛ばす働きがあります。この力を使って、注射器などの医療用の器具を滅菌したり、様々な機能を持った高分子化合物を作ったりすることが出来ます。

紫外線



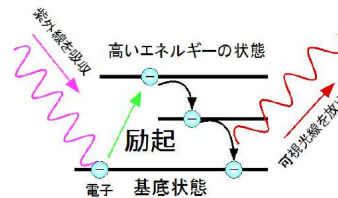
< 太陽光線の種類 >

UVC はオゾン層で吸収されるため地表には届かない。

200 280 320 400 760 nm

1nm (ナノメートル)=100万分の1mm

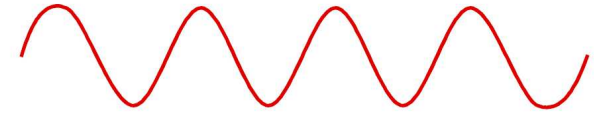
※イメージ図



可視光線よりも少しエネルギーの高い紫外線は、目には見えませんが、物体の中の電子に少しだけエネルギーを与えて「励起(れいき)」させることが出来、日焼けの原因になったり、「UVレジン」と言う接着剤を固めてアクセサリーを作ったり、ウランガラスなどの蛍光体を光らせることが出来ます。

エネルギー 小

可視光線



CO₂ → O₂

H₂O

目で見える光、可視光線は波長が長くエネルギーの低い赤から、波長が短くエネルギーの高い紫までの間で、虹の七色のように見え方が異なります。光も電磁波の一種ですから少し電子を励起して、写真フィルムを感光させたり、太陽光発電を行ったり、植物の葉緑体の中で光合成を行うなどのパワーを持っています。波長(波の長さ)と位相(波の位置)の揃った光のことを、レーザー光線と言い、強度(波の高さ)がとても強く、遠くまでまっすぐ飛ぶなどの性質があります。

飛沫とエアロゾル

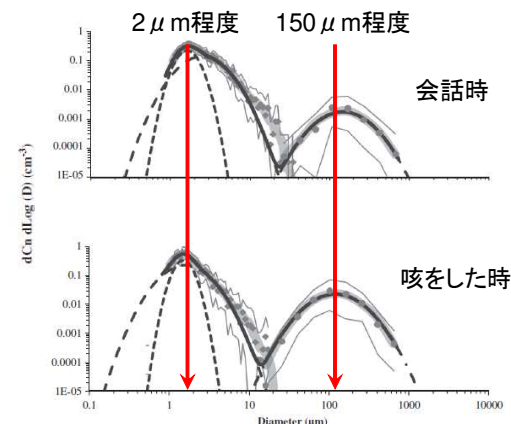
医学的には口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴を**飛沫**と呼び、それ以下の物を**エアロゾル**と呼ぶが、 $5\mu\text{m}$ を境に急に物性が変化するわけではなく、落下速度などは連続的に変化する。

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

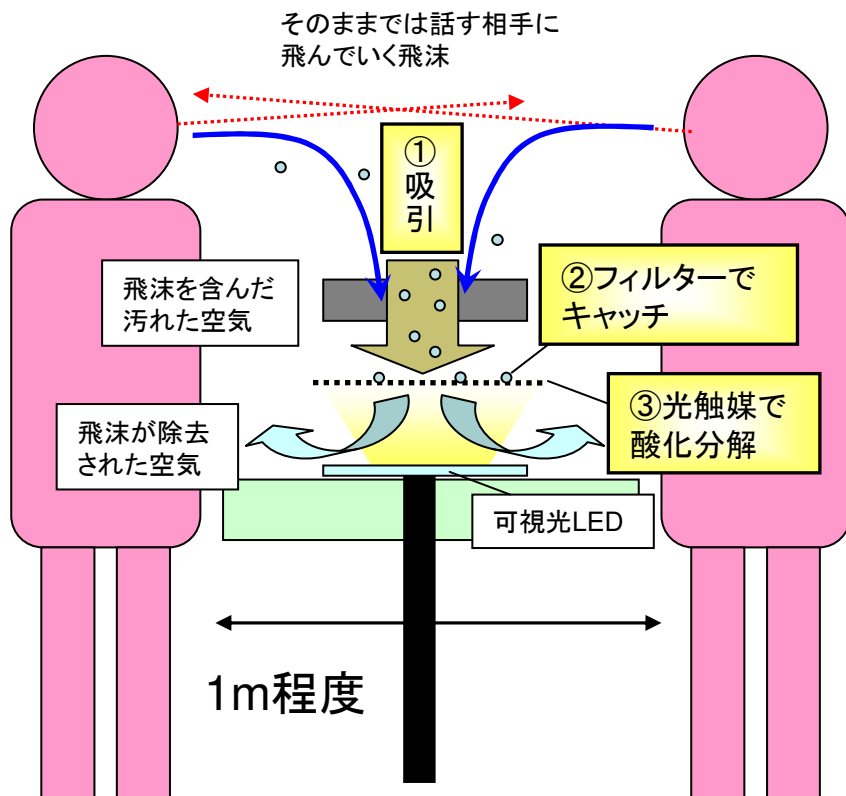
でのクラスターの発生は、マスクをしていない状況ではいかに換気がよくても飛沫感染のリスクが存在することを示唆してる。

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。

人と人之间を飛び交う「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、「人と人之间」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。

人と人の間に設置するための要件

安全

ひかりクリーナーでは三酸化タンゲステンベースの光触媒と、440nm程度にピークを持つ青色LEDと黄色い蛍光体の組み合わせの一般的な**可視光LED**を使用しており、**紫外線は一切放出していないため、漏れ光が目に入っても安全です。**

静音

ひかりクリーナーではエアロゾルまでキャッチするような高性能フィルターは使用せず、**5 μ m以上の粒径の飛沫の除去に特化**しています。このため強力なファンは必要なく、メーカー公称値19dBの静音ファンを使用することで、**静かな会議室での使用も可能**としました。

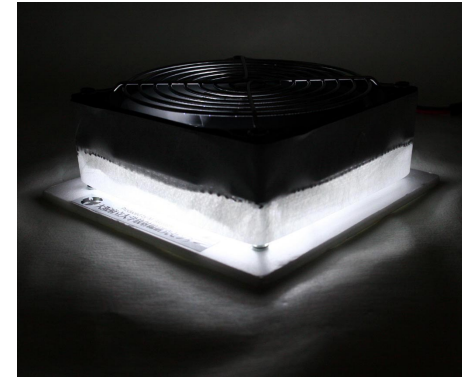
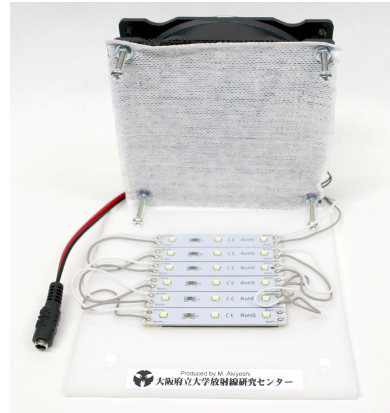
小型

飲食店などでは限られたスペースのテーブルに、料理のお皿などと共に設置する必要があります。ひかりクリーナーでは十分な吸引力と静音性を兼ね備えた12cmファンを使用しており、**コンパクトにまとめられています。**

低価格

窓口やレジ、飲食店のテーブルなど、人と人の間に設置するためには一台だけでなく多数の機体が必要になります。ひかりクリーナーは市販のPC用のパーツを使用するなどコストダウンを突き詰めており、**非常に低価格**での提供を行っています。

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

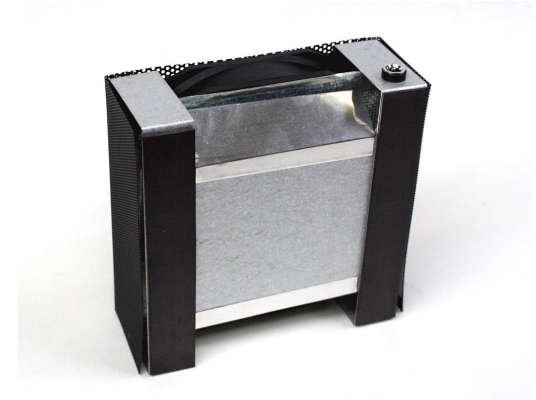
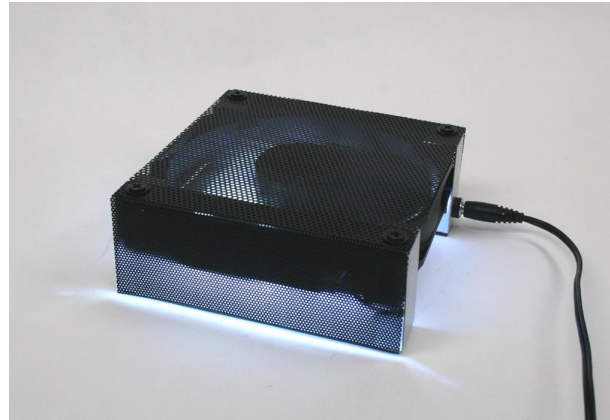


12cm角、高さ5cm、ファンの騒音19dB、消費電力5W以下で、モバイルバッテリーでの駆動も可能

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。

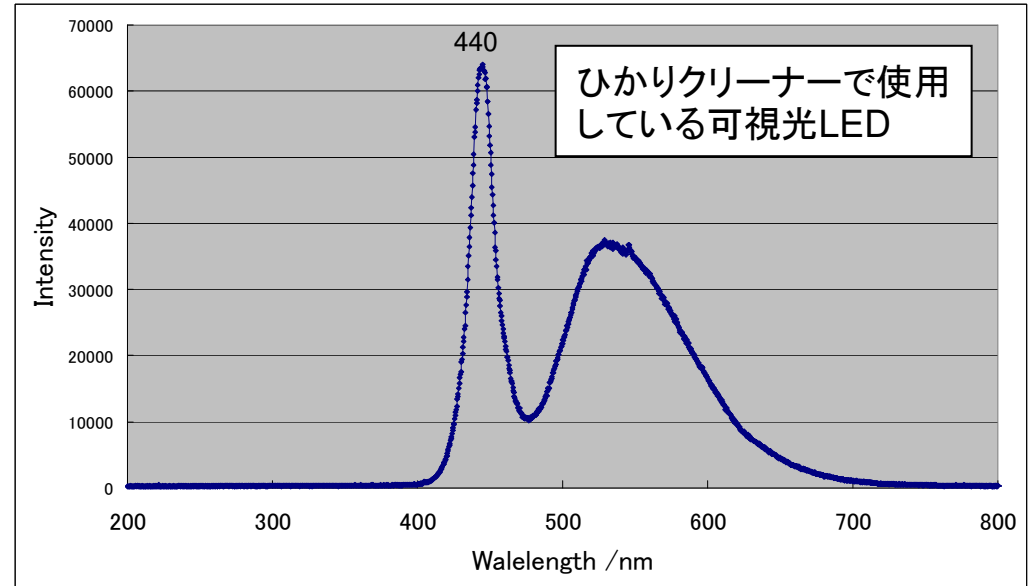
通常は12VのACアダプターで駆動するが、アップコンバーターを使用するとモバイルバッテリーなどのUSB給電でも駆動可能でモバイルでの使用が可能。



2022型

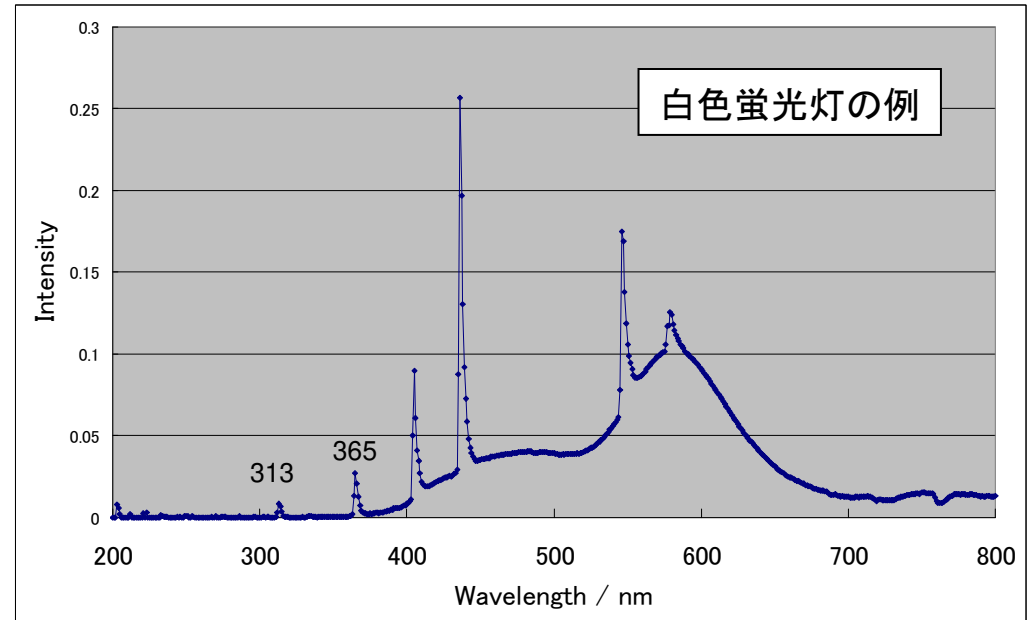
AMED事業で得られた成果を元にした高性能フィルターを使用した製品の産学連携での商品化に向けて、試作機を制作中。試験的な提供を開始しています。

安全な可視光LEDを使用



室内照明として蛍光灯が使われていた頃は、若干含まれる紫外領域の成分で二酸化チタンも励起することが出来、光触媒活性を得ることが出来ました。しかし近年急速に室内照明は可視光LEDに置き換わりつつあり、単純な二酸化チタンの光触媒では活性を発揮できなくなりました。このため、**400nm以上の波長の可視光でも活性を示す可視光応答光触媒**が開発され、その一つとして三酸化タングステンをベースとした光触媒が販売されています。

ひかりクリーナーではこの三酸化タングステンベースの光触媒と、440nm程度にピークを持つ青色LEDと黄色い蛍光体の組み合わせの一般的な可視光LEDを使用しており、**紫外線は一切放出していないため、安全に人と人の間に設置することが出来ます。**



0次元接続: Personal Defense

1ユニット独立での使用



不特定多数との接客現場
をピンポイントで防衛。

1次元接続: Zone Defense

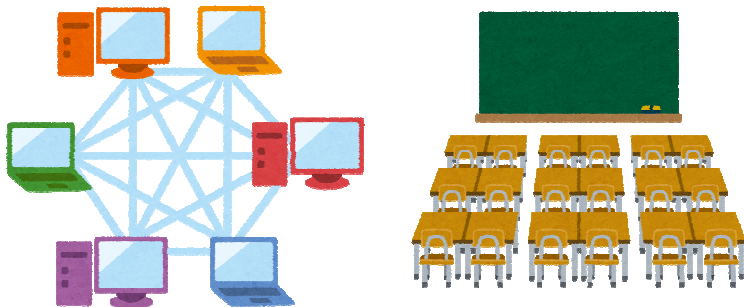
複数ユニットを直列接続して能力拡張



ある程度広い空間を必要
に応じた出力で防衛。

2次元接続: Area Defense

1ユニットを分散して多数配置



広い範囲で密集した教室などの各所に一定間隔でユニットを設置して防衛ネットワークを構築、面制圧を行う。
(個々の発生源からの飛沫、エアロゾルの到達範囲は狭い)

モバイルバッテリーなどでの駆動も可能で、配線が不要。

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

特殊画像撮影による飛沫吸引の可視化

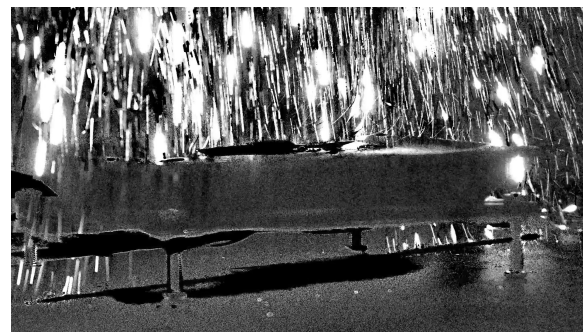


空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

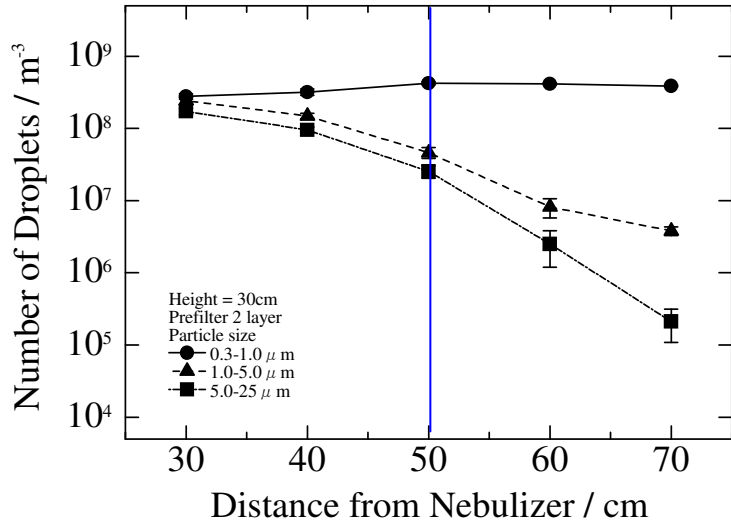
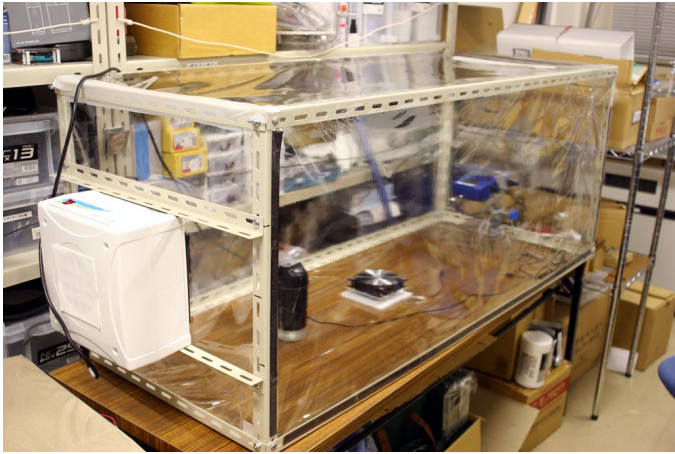
1m 程度の範囲に於いて、口から発声に伴って出た飛沫や、スプレーからの模擬飛沫、エアゾルを模した電子タバコのベーパーなどが吸い込まれていき、なおかつフィルターによってマスクと同じように止められていることが確認出来るかと思えます。



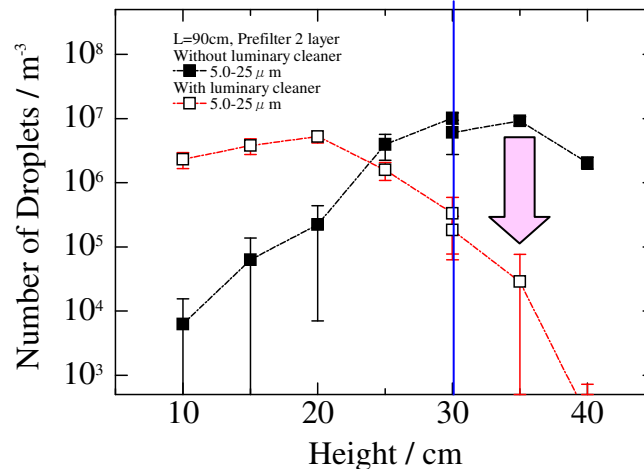
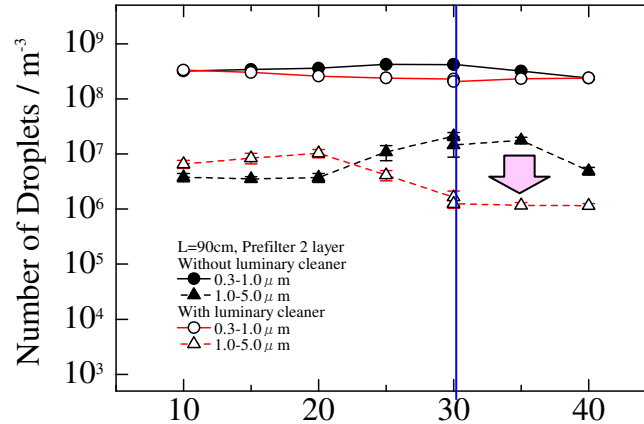
発声に伴う飛沫の撮影に際しては、「ブーブー」と言う破裂音により意図的に大量の飛沫を出しています。



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

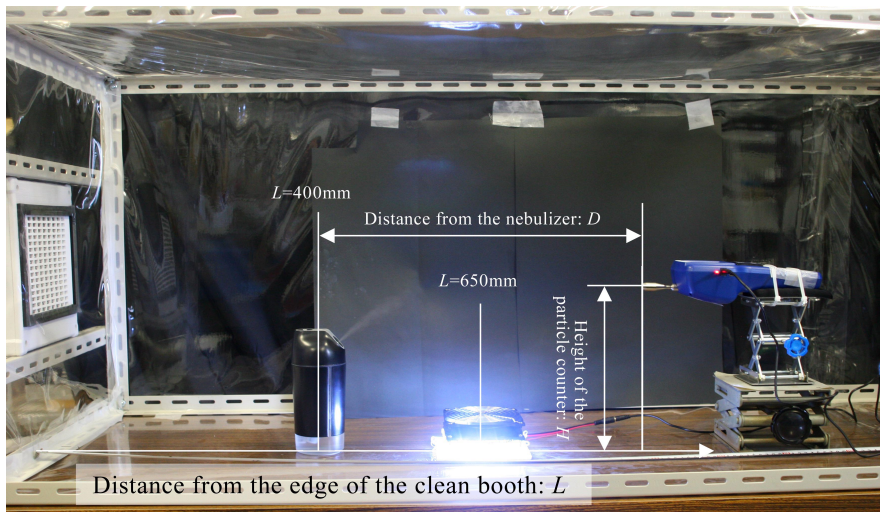


風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集試験。

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。

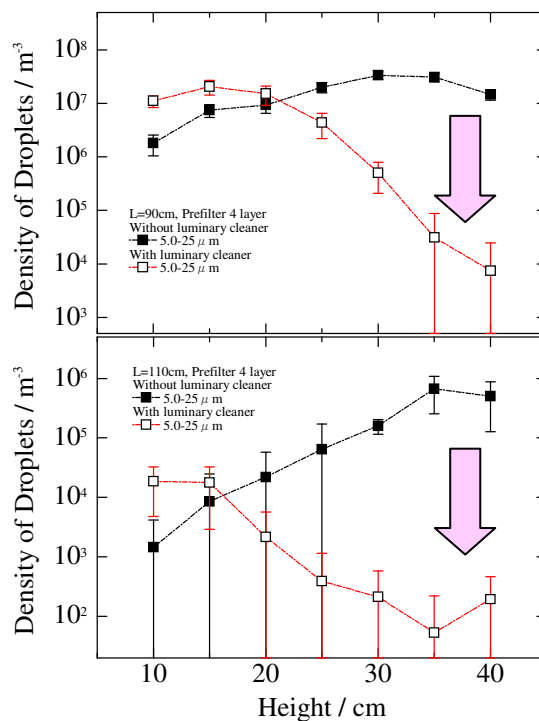
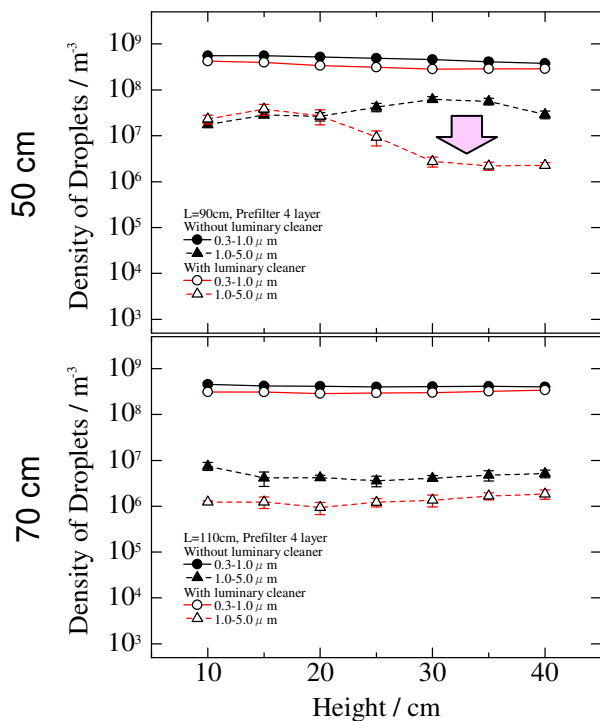
ひかりクリーナー作動で、着席時顔の高さの40cm程度の飛沫は大幅に減少することが確認できた。

空間を飛ぶ飛沫の捕集率



風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集試験を行った。超音波加湿器からの水道水の液滴を、下流側に設置したパーティクルカウンターで測定する。液滴は斜めに噴射され、40cm程度の高さで水平に飛行した。

噴霧器からの距離



噴霧器からの距離50cm, 70cm の位置にパーティクルカウンターを設置し、粒子数の高さ依存性を評価した。

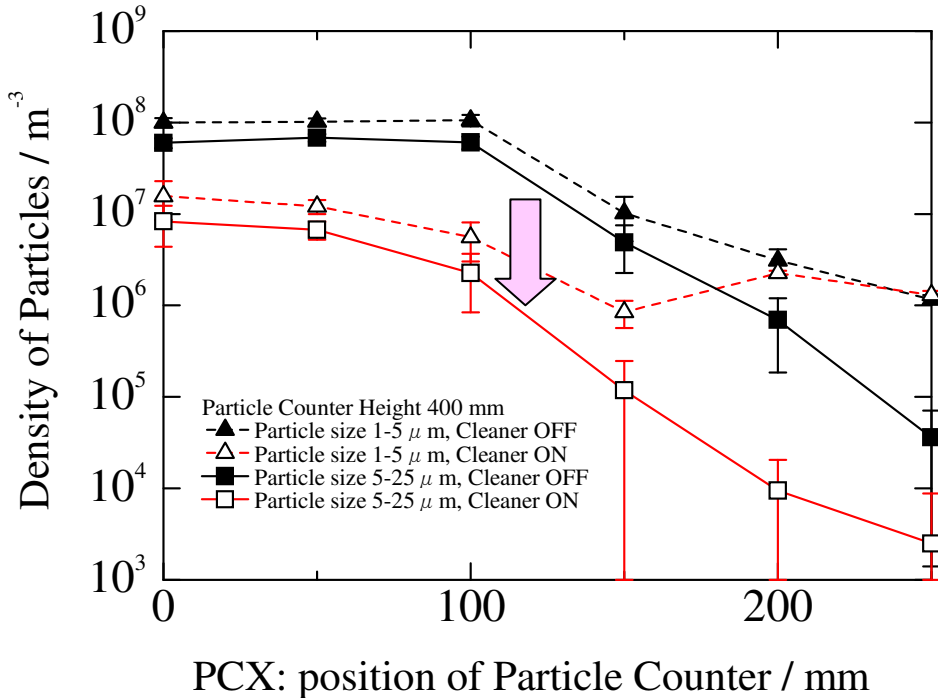
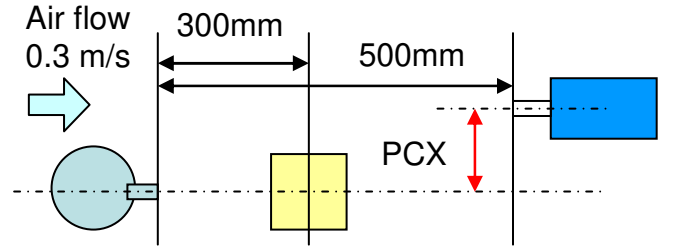
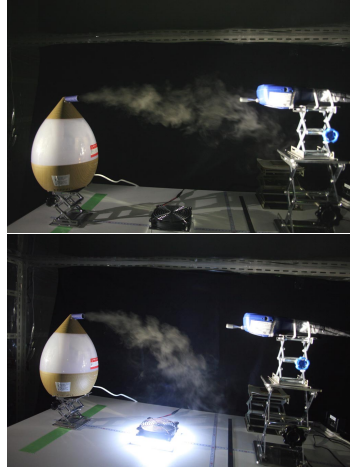
いずれの距離でも、5.0~25 μm の粒径の大きな「飛沫」は、飛沫除去装置の作動によって着席時の顔の高さである40cm程度の高さでは大幅に減少することが確認できた。

0.3~1.0 μm のエアロゾルは測定可能な粒子数を超えており評価できていないが、別途粒子数を落とした測定でも減少は見られなかった。その間の1.0~5.0 μm のエアロゾルについては1桁程度の減少が見られた。

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



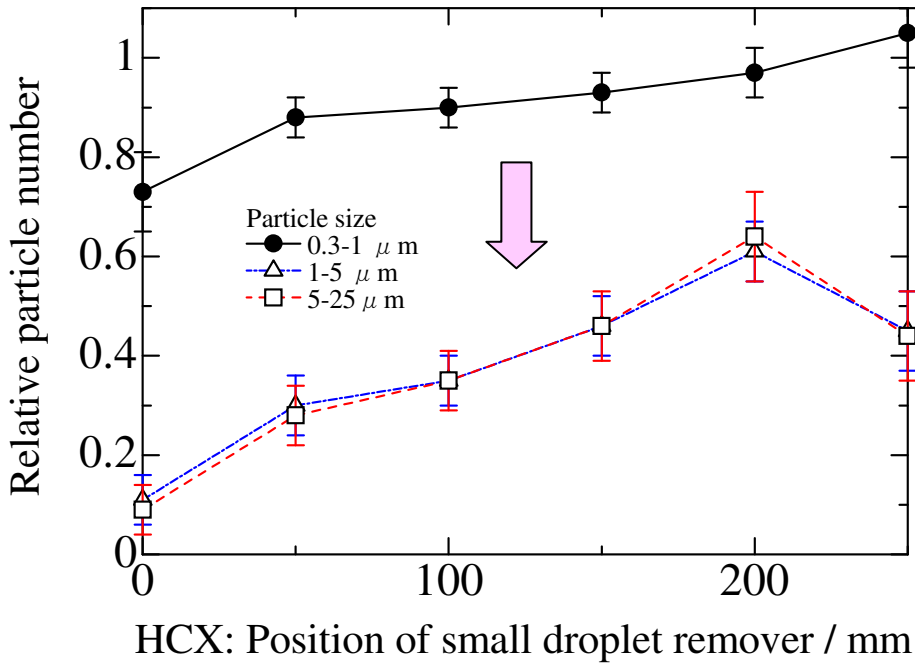
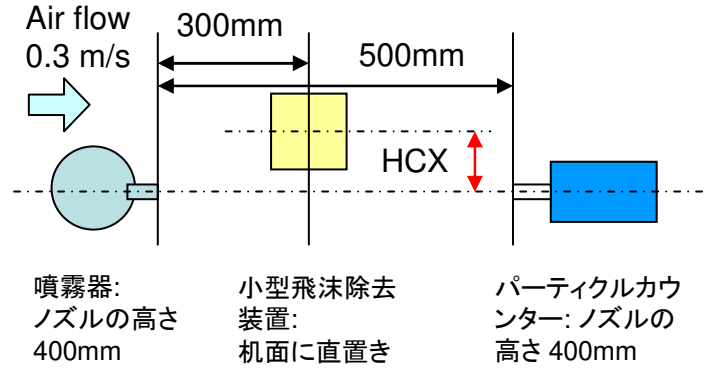
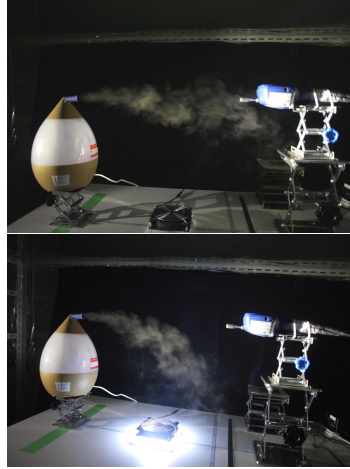
直線的配置だけでなく、対象者が飛沫除去装置からずれた位置にいる場合の模擬を行った。元々大気中を飛ぶ埃の影響を避けるために大型のクリーンブースをセミクリーンルームに設置した。噴霧器に水平に設置したノズルからのミストはHEPAフィルターユニットからの追い風(0.3m/s程度)によってほぼ水平に飛行するよう調整した。噴霧器、パーティクルカウンターとも、着座した際の机面から口の高さ程度である400mmにノズルの高さを設定した。

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)

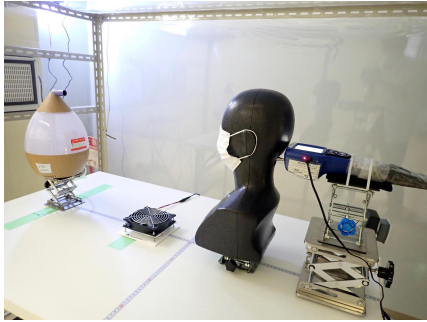


HEPA フィルターを使用した大型
クリーンブース: 1.5 × 1.5 × 2.4m



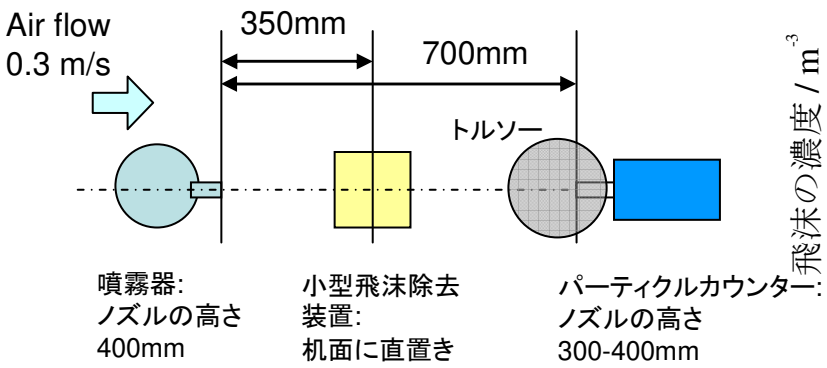
同様に、大型クリーンブースを使用して発生源と対象者を結ぶ直線から小型飛沫除去装置がずれた位置に設置された場合の模擬を行った。5.0 ~ 25 μm の飛沫は、小型飛沫除去装置が中心軸上に設置された場合1/10程度に減少しているが、設置位置が離れるにつれて除去率は減少したが、250 mmまでの範囲で概ね半分程度に減少できていることが確認された。また、口腔から放出されるエアロゾルのピークサイズに相当する1.0 ~ 5.0 μm の粒子も、全く同じ挙動を示す一方、0.3 ~ 1.0 μm の粒子は1割程度の減少に留まった。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(3)

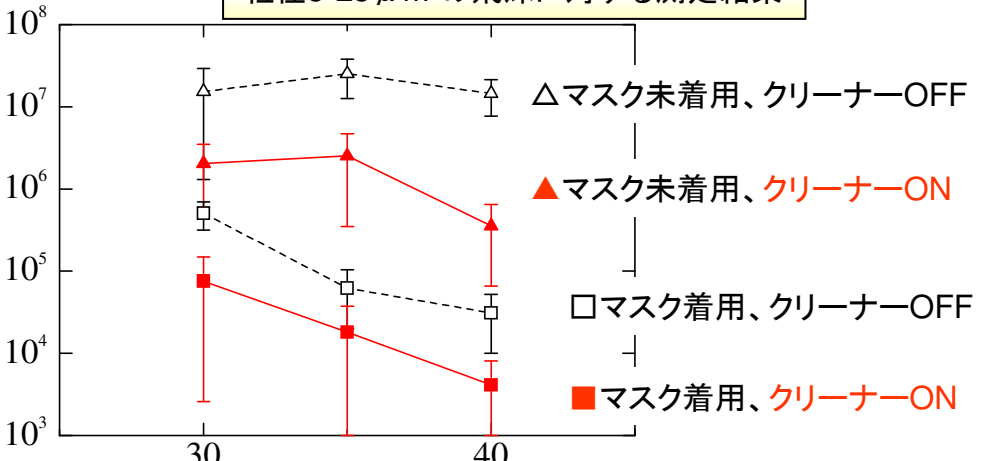


マスク着用が可能なトルソーの後方からパーティクルカウンターのノズルを入れ、一般的な3層不織布マスク着用による飛沫低減効果を検証した。

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)中に設置した実験レイアウト。

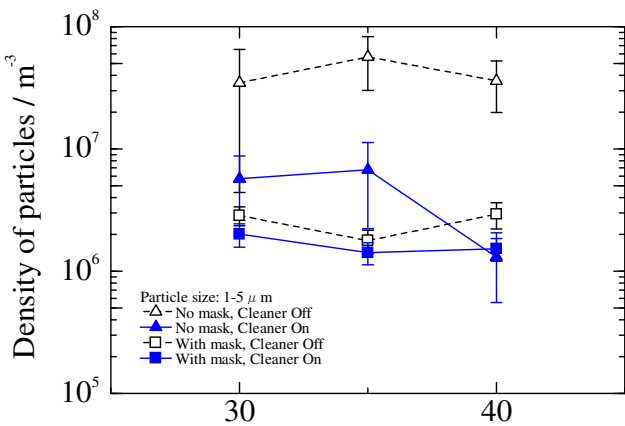


粒径5-25 μm の飛沫に対する測定結果



パーティクルカウンターの高さ / cm

粒径1-5 μm の飛沫に対する測定結果



Height of Particle Counter / cm

測定の結果、マスク着用により1-5 μmのエアロゾルに対しては1/10~1/30、5-25 μmの飛沫に対しては2~3桁程度、粒子が除去されることが確認された。マスクを着用した状態で小型飛沫除去装置も使用することで、1-5 μmのエアロゾルに対しては30~50%、5-25 μmの飛沫に対しては70~80%程度、さらに粒子数を低減することが出来た。

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

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。

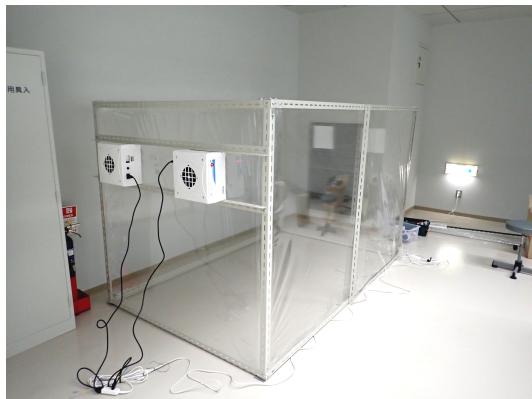
測定条件	Particle Size	上流側 粒子濃度	下流側 粒子濃度	透過率
	μm	$/\text{m}^3$	$/\text{m}^3$	
目張り無しクリーンベンチ内	0.3~1	7.4E+06	2.7E+06	0.37
	1~5	5.1E+04	1.7E+04	0.34
	5~25	9.0E+02	1.8E+02	0.20
目張りしたクリーンベンチ内	0.3~1	1.2E+04	6.7E+03	0.54
	1~5	1.4E+02	1.8E+01	0.13
	5~25	2.0E+01	0.0E+00	0
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用(1回目)	0.3~1	4.1E+08	4.6E+08	1.14
	1~5	1.2E+07	3.6E+06	0.30
	5~25	3.7E+06	2.1E+02	5.76E-05
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用(2回目)	0.3~1	2.8E+08	2.5E+08	0.87
	1~5	2.6E+06	1.0E+06	0.40
	5~25	3.0E+05	1.8E+01	5.99E-05
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用(3回目)	0.3~1	2.7E+08	2.7E+08	0.99
	1~5	2.0E+06	1.5E+06	0.76
	5~25	1.1E+05	5.3E+01	4.73E-04

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。

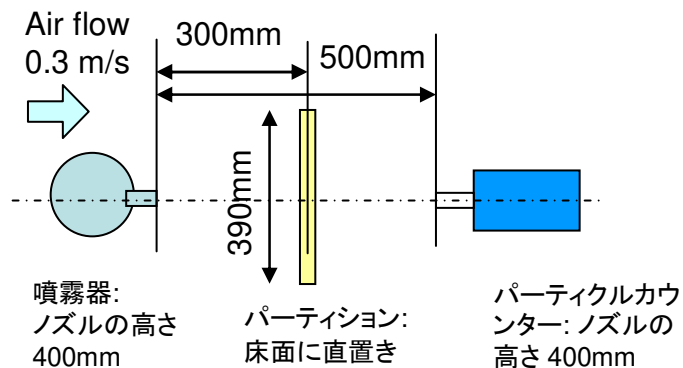
パーティションの有用性



クリーンルーム周辺のセミクリーン廊下(ダスト量 $0.3\sim 1\mu\text{m}$: $1.9\times 10^5/\text{m}^3$, $1\sim 5\mu\text{m}$: $6.3\times 10^3/\text{m}^3$, $5\sim 25\mu\text{m}$: $2.3\times 10^2/\text{m}^3$)に、HEPA フィルターユニットを装着した大型クリーンブース ($1.5\times 1.5\times 2.4\text{m}$) を設置した。30分運転後の内部のダスト量は、 $0.3\sim 1\mu\text{m}$: $1.5\times 10^3/\text{m}^3$, $1\sim 5\mu\text{m}$: $1.2\times 10^2/\text{m}^3$, $5\sim 25\mu\text{m}$: ND であった。

この大型クリーンブース中に、水平にミストが飛ぶよう調整した超音波噴霧器と、パーティクルカウンターを設置し、その間に幅390mm, 高さ500~700mmの発泡スチロール板をパーティションとして設置した。噴霧器のノズル、パーティクルカウンターのノズルの高さはいずれも床面から400mmとした(着座したときの机面から口までの高さを模擬)。

Partition Height cm	Particle density /m ³	Standard deviation /m ³	Transmittance	Standard deviation
Particle size: 0.3~1 μm				
0	1.7E+08	6.2E+07		
50	2.4E+08	2.0E+07	1.45	0.55
55	2.9E+08	3.8E+07	1.76	0.70
60	2.3E+08	2.1E+07	1.36	0.52
65	2.3E+08	1.7E+07	1.36	0.52
70	2.4E+08	3.3E+07	1.42	0.57
Particle size: 1~5 μm				
0	1.8E+07	1.7E+07		
50	7.1E+05	1.2E+05	0.04	0.04
55	1.0E+06	3.0E+05	0.06	0.06
60	1.1E+06	2.4E+05	0.06	0.06
65	3.8E+05	5.9E+04	0.02	0.02
70	4.2E+05	1.2E+05	0.02	0.02
Particle size: 5~25 μm				
0	7.7E+06	8.2E+06		
50	2.7E+02	3.8E+02	0.00	0.00
55	2.1E+02	2.6E+02	0.00	0.00
60	4.6E+02	7.3E+02	0.00	0.00
65	1.4E+02	2.9E+02	0.00	0.00
70	8.8E+01	1.2E+02	0.00	0.00



その結果、口腔から放出される液滴の小さい方のピークである $2\mu\text{m}$ 前後ではパーティションが口の高さより10cm高いだけでも95%程度除去された。より大きな $5\sim 25\mu\text{m}$ の飛沫はほぼ完全に除去されるため、口腔から放出される液滴の大きい方のピークである $150\mu\text{m}$ 程度では完全に除去できると考えられる。

パーティションの有用性

これまでマスク以外の飛沫対策として一般にはアクリル板などのパーティションの設置が行われおり、内閣官房新型コロナウイルス対策推進室が取りまとめた政府の感染予防対策でも飲食店におけるパーティション設置が強く推奨されている。

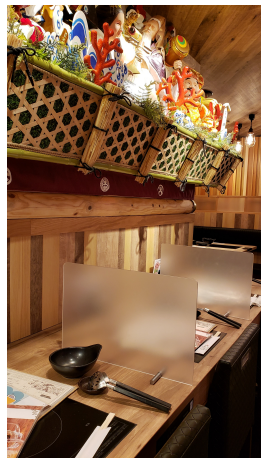
しかしながらその飛沫を防ぐ効果について実験的データは少ない。また換気を行う気流を妨げる要因となることも以前から指摘が成されている。さらに、コミュニケーションが困難になるため設置が困難な場合もあり、パーティションの有用性とその弊害を改めて検討する必要がある。



一般的なパーティションの設置例



パーティションをあえて設置していない例



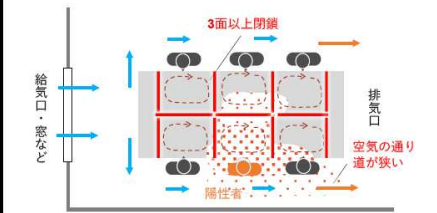
パーティションの設置に意味がない例

<換気が阻害される例>

- パーティションにより給排気口のないエリアが発生し、エアロゾル濃度が高まる。



- 人との離隔が狭く、3面以上のパーティションにより囲まれている。壁との間で空気の通り道が狭くなっている。



新型インフルエンザ等対策推進会議 基本的対処方針分科会
2022/7/14 第28回会議資料より

マスクやパーティションは飛沫拡散防止に効果を発揮しているが、同時に声の伝播も一定に妨げてしまう事はこれまで大きな問題になって来なかった。しかし、此处に来て高齢者の会話の聞き取りや意志疎通に大きな弊害を与えている事が徐々に社会問題として認知され出している。その為、やむを得ずパーティションを撤去しているのが左の真ん中の図のケースとなる。その他、快適性の観点からパーティションを撤去した飲食店も徐々に増えてきている実態がある。しかしながら、それらの飲食店がパーティションの代案となる感染対策を適切に施しているかと問われれば、多くの場合で同意する事は難しい。

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

ひかりクリーナーでの有機色素分解実験

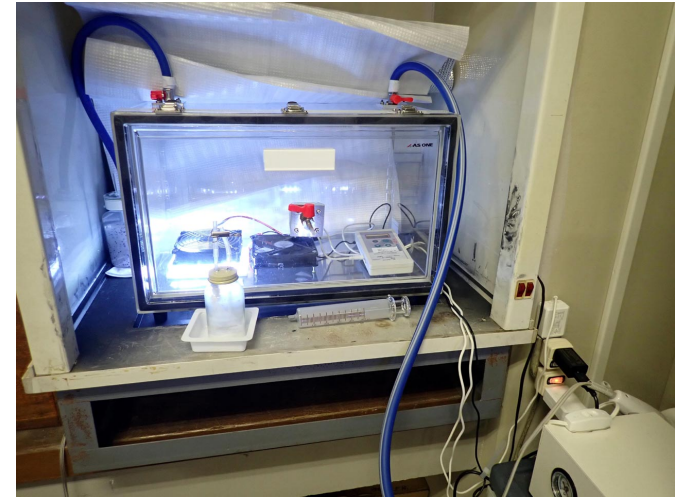
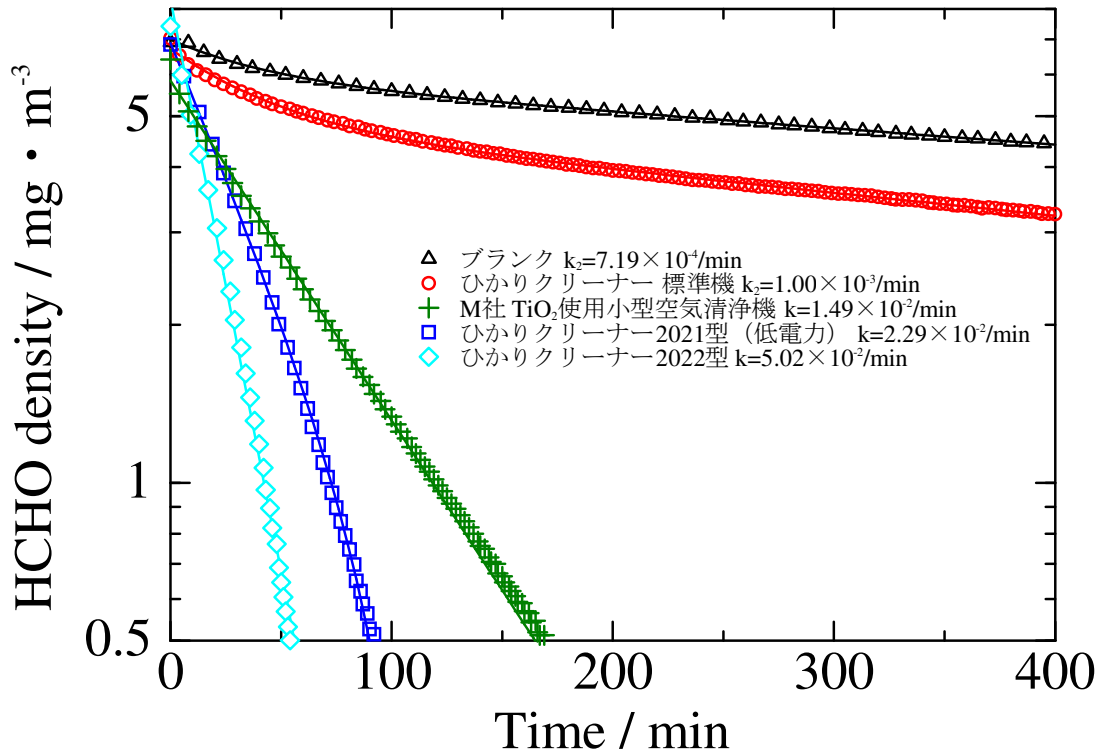
・メチレンブルーという有機色素を用いて、ひかりクリーナーの光源と光触媒フィルターを用いての実験では、 $30\mu\text{g}$ 程度の有機色素が3時間程度で分解されていることが確認され、光の量によって分解の程度が異なることも確認できました。



・コロナウイルスは直径 100nm 程度の大きさで、密度をざっくりと $1\text{g}/\text{cm}^3$ とすると、 $5.2 \times 10^{-7}\mu\text{g}$ しかないため、単純に重さで比較すると上記と同じ時間で1億個程度のウイルスを分解出来ることになります。不活化するだけであればさらに短時間で済むはずですが、もちろん、物質によって酸化のされやすさなども異なるため単純に色素とウイルスを比較することは出来ませんが、桁(オーダー)レベルで考えて比較を行います。

・くしゃみ1回でまき散らされるウイルスは200万個程度で、通常の会話などでエアロゾルとして空気中を漂うウイルスの数はずっと少なく、マスクを着用していればさらに少なくなります。残念ながらどの程度の数を摂取すると感染するのかというデータが見当たらないのですが、ノロウイルスはわずか100個程度で感染するとして恐れられているため、それよりずっと沢山取込まないと感染しないと思われれます。

ホルムアルデヒド分解実験



改良版ホルムアルデヒド分解測定
38L チャンバー

量産型高性能無機
材質フィルター

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市販製品用試作機は、既存の光触媒式小型空気清浄機をはるかに凌ぐ性能を発揮した。

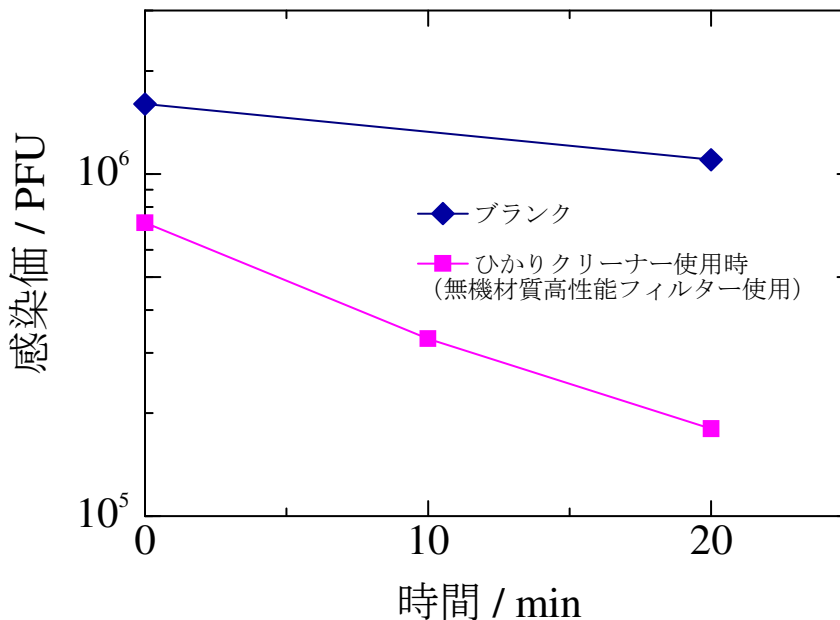
ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

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

可視光応答光触媒によるウイルスの不活化

東芝ルネキャットウェブサイトより

新型コロナウイルス
(SARS-CoV-2)

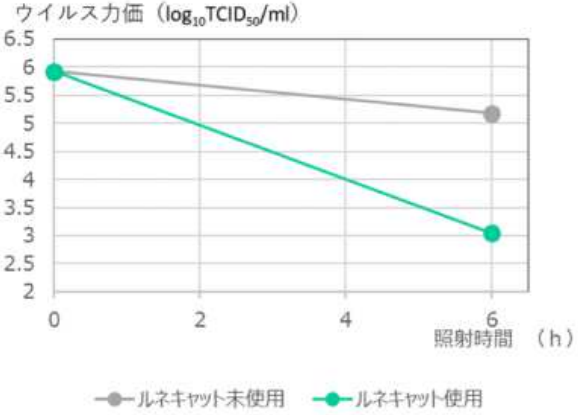
Masashi Uema et al., "Effect of Photocatalyst under Visible Light Irradiation in SARS-CoV-2 Stability on an Abiotic Surface", Biocontrol Science, 26 (2021) 119-125.

査読付論文として公開されている

・ウイルスカ価：実験的に測定されるウイルスの細胞感染能力
(数値が低いほど感染能力があるウイルスの存在が少ない)

試験条件

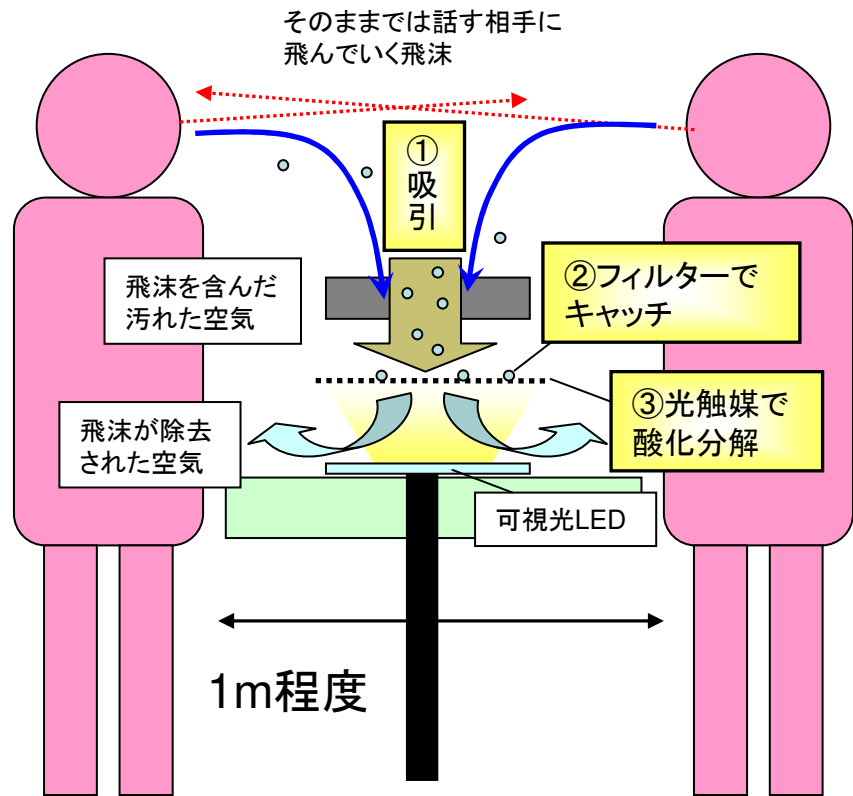
抗ウイルス性試験方法	フィルム密着法 ISO 18071:2016ファインセラミックス(先進セラミックス, 先進技術セラミックス) – 屋内照明環境下の半導体光触媒物質の抗ウイルス活性の求め方 – バクテリオファージQ-ベータを使用する試験方法を参考に実施
光源	白色蛍光灯 3000lx (380nm以下の紫外光はフィルターでカット)
作用時間	6h
試料塗布量	4g/m ²
サンプルサイズ	30mm×30mm



※グラフは下記論文データから当社にて作成しました
「Biocontrol Science 2021 Volume 26 Issue2 p.123 FIG.2 (A)」

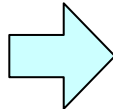
光触媒の塗布量はひかりクリーナーの標準仕様でおよそ 0.7g/m² 程度であるが、大量生産が可能な高性能フィルターでは 17g/m² 程度となる。

光の強度も全く異なり、ひかりクリーナーでは 68,500 lux にもなる。このため、ひかりクリーナーでは上記の条件よりも速い速度で不活化すると考えられる。



サブミクロンの飛沫をキャッチしようとする
とHEPAフィルターなどの高性能フィル
ターが必要で、十分な吸引を行うため
には高出力のファンが必要となり、騒音のた
め人のそばには置けない。

サブミクロンのエアロゾルは
キャッチしないという割り切り



**飛沫除去に特化した小型飛沫除去装置
というコンセプトを実現**

① 吸引

発生源と対象者の間にひかりクリーナー
を設置した場合、口の高さ程度を飛ぶ
5 μ m以上の飛沫を1/100程度にまで吸
引除去

② フィルターでキャッチ

吸引した5 μ m以上の飛沫については、
ほぼ完全にフィルターでキャッチ

③ 光触媒で酸化分解

紫外線を放出せず安全な高輝度可視光
LED と、可視光応答光触媒を使用した
無機材質ベースの高性能フィルター(特
許出願準備中)により、高い酸化分解力
を実現。フィルターではキャッチできない
エアロゾル中のウイルスについても除去
できることを確認。