

日本医療機器学会 第96回大会
2021年 12月 13日 ~ 2022年 1月 12日 (オンライン)

**人と人との間の飛沫除去に特化した
可視光光触媒式小型空気清浄機の開発**

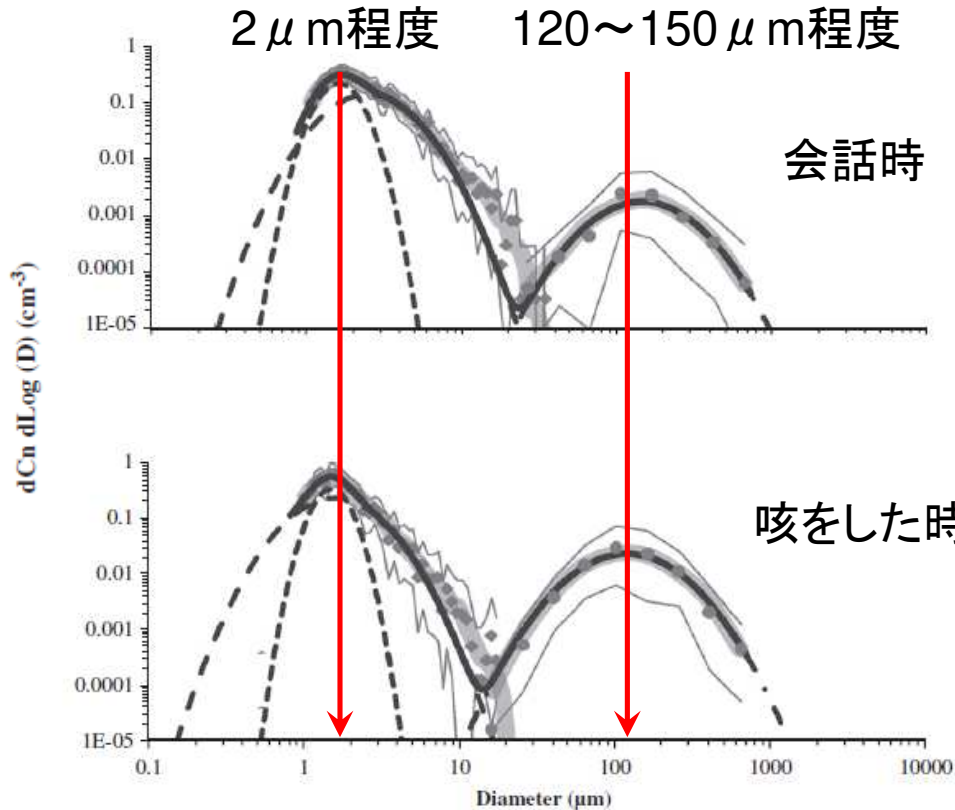
**大阪府立大学 研究推進機構 放射線研究センター
及び 同機構 大阪国際感染症研究センター
秋吉 優史、古田 雅一**

E-Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp

<http://anticovid19.starfree.jp/>

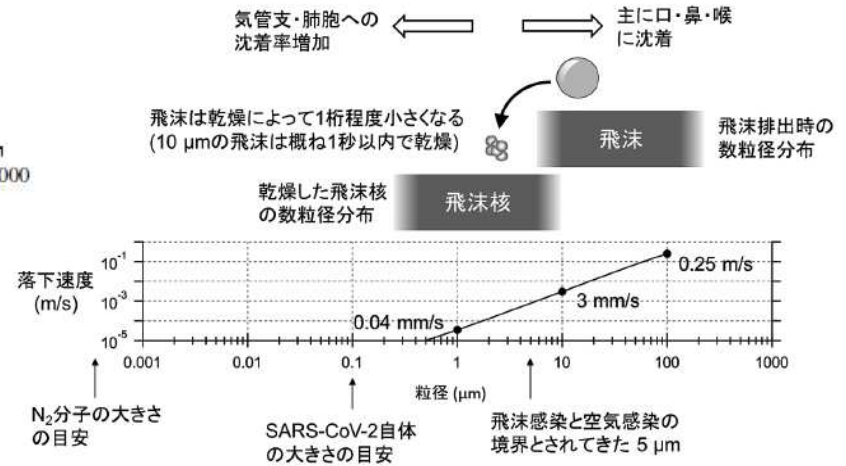


口腔から放出される液滴の粒度分布



口腔から放出される液滴粒径分布は2コブのピークとなっており、150 μ m程度の「飛沫」は2秒程度で落下し、1~2m程度までしか届かないが、2 μ m程度の「エアロゾル」は長時間空中を漂っている(気流が無ければ余り移動もしない)。飛沫が蒸発してエアロゾルサイズの飛沫核となる場合もある。

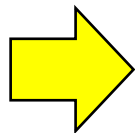
G.R. Jhonson et al., Modality of human expired aerosol size distributions, J. Aerosol Science, 42(2011)839-851.



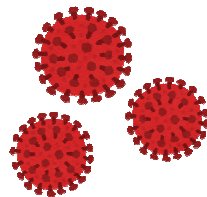
竹川 暢之, エアロゾルと飛沫感染・空気感染, エアロゾル研究, 36(2021)65-74.

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

~~密集~~

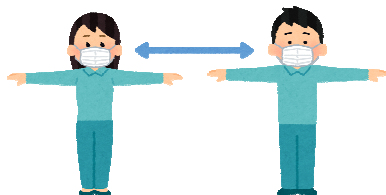


飛沫



ソーシャルディスタンス

大きな液滴に大量のウイルス



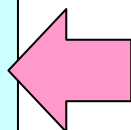
飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

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。



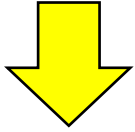
飛沫の放出を防ぐためにはマスクが有効で、不織布や布製のマスクでは8割程度の飛沫を止めることが出来るが、残りの2割程度は隙間などから飛散する。このため、飛程よりも近くに座ってのミーティングや窓口などでの会話で感染リスクがある。また、食事中にマスクは困難で会食時のリスクが高い。



「感染を広げない」
目的で全員が着用

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(2)

~~密閉~~



エアロゾル

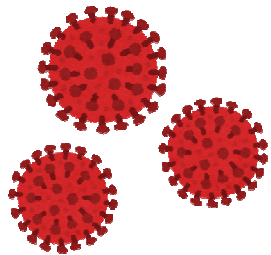


換気しよう

どうしても換気が
悪い場所もある

換気の状態は二酸化炭素濃度
が一つの指標となる。

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。



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。

高性能空気清浄機

部屋の空気を攪拌するとエア
ロゾルが拡散してしまう恐れも。
発生源の近くに設置する小型
機によるネットワークの必要性。

△二酸化塩素・オゾン(刺激臭)

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)

長時間飛び回り風に乗って 遠くまで移動する



うがいしよう

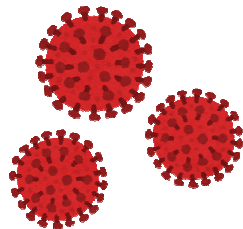
粘膜に付着してから15~20分で感染する
ため、うがいが出来ない状況であればこま
めに飲み込んでしまい胃酸で不活化する
方が better。感染者が居る状況で飲食し
ても大丈夫と言うことでは無い(飲み込む
途中で感染する可能性はゼロでは無く、
鼻や目からの感染は防げない)。

人の居ない空間への紫外線照射

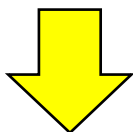
不活化の効果の高い UV-C は人体に対して有害(眼の角膜、
皮膚に強い炎症)であるため、人にあたらないよう上方の空間
に向けて UV-C を照射することで空気中のウイルスを不活化
できるため食品工場などでは古くから用いられている。米国疾
病予防管理センター、CDCでは公式サイトで Upper-room
Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) を推奨している。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(3)

~~密接~~



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

物体表面からの接触感染

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。手にウイルスが付着しただけでは感染しないが、口腔、鼻腔や目の粘膜に存在するACE2受容体から感染しやすい。

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っ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。

日本照明工業会/照明学会からの 「紫外線殺菌 ご利用上の注意」

紫外線殺菌

ご利用上の注意

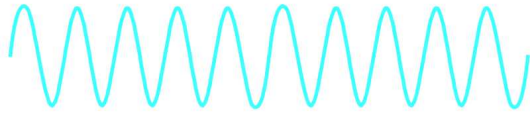
(一社) 日本照明工業会
(一社) 照明学会

2021/08 に、東海大学の竹下 秀先生と、照明工業会加盟各社の皆様のWGに秋吉も参加を行い、一般人向けに「紫外線殺菌 ご利用上の注意」という形でパンフレットの作成を行いました。モデルのアリスムカイデさんの非常に被ばく紫外線量の多い事故については、消費者庁に重大事故として本人と共に同行し周知して頂けるなど、上手に使用すれば有用な紫外線利用上の注意点についての周知を行っています。

このパンフレットは科学的な論文を元に記述されており、学会公認のパンフレットとすることで「**厚労省 医療機関における院内感染対策について(H26)**」における、「**紫外線照射等については、効果及び作業者の安全に関する科学的根拠**並びに想定される院内感染のリスクに応じて、慎重に判断すること」での科学的根拠と捉えることができます。

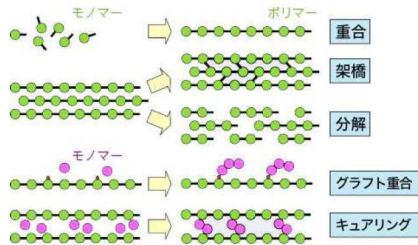
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



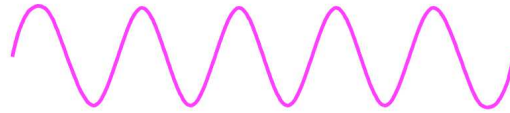
電離作用

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



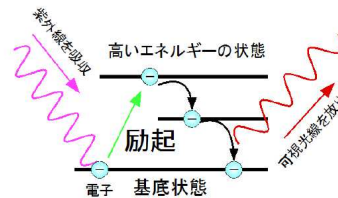
< 太陽光線の種類 >

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
UVC	UVB	UVA	可視光線	赤外線	
短波長紫外線	中波長紫外線	長波長紫外線	可視光線	赤外線	
殺菌作用	皮膚炎の原因	皮膚老化の原因	目覚まし	暖かくなる	

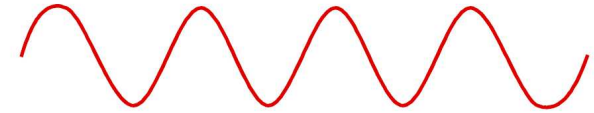
1nm (ナノメートル)=100万分の1mm

※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



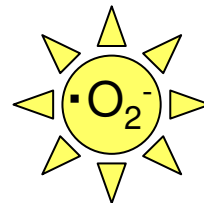
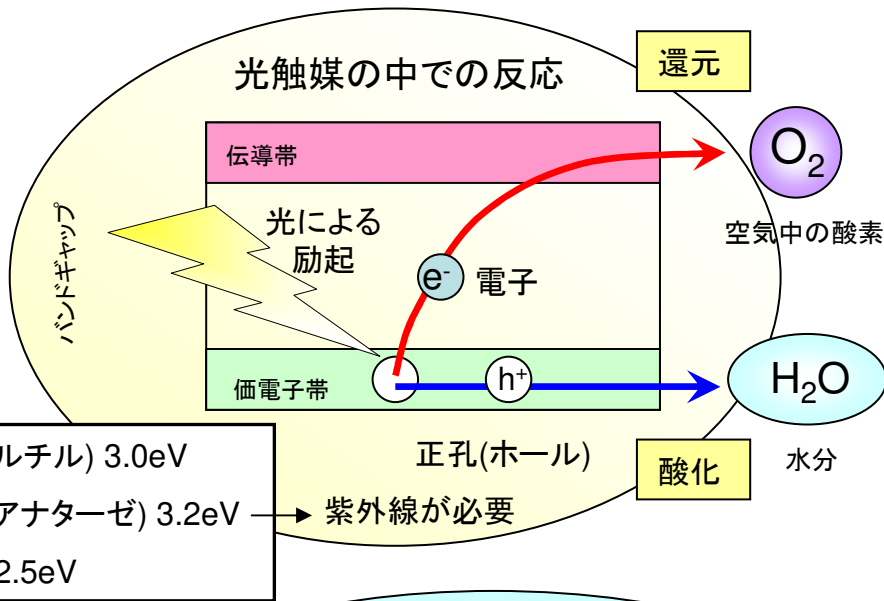
CO₂ → O₂

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。

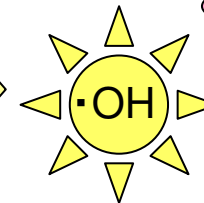


光(Photon)
目に見える可視光線
(380nm~, 3.1eV~)



活性酸素

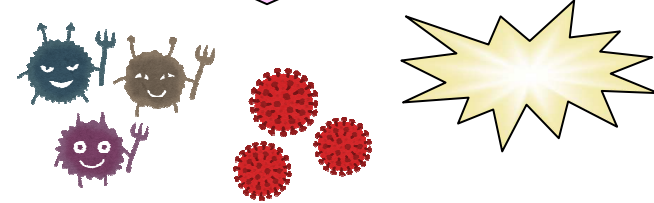
オゾンよりも強力な酸化力



OHラジカル

活性酸素などは百万分の一秒程度で消滅するため(※)表面から数ミクロン程度の範囲にしか届きません

様々な有機物を酸化して
化学的に分解



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

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

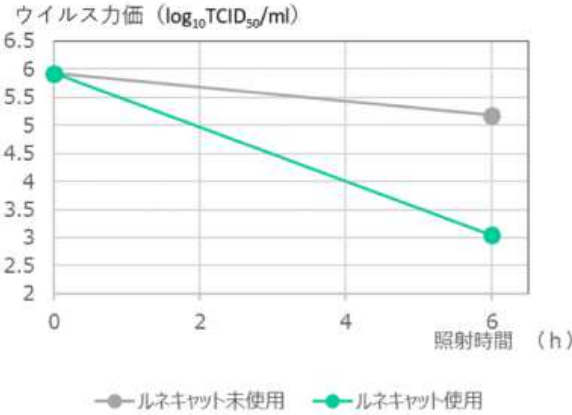
新型コロナウイルス
(SARS-CoV-2)

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.

・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)」

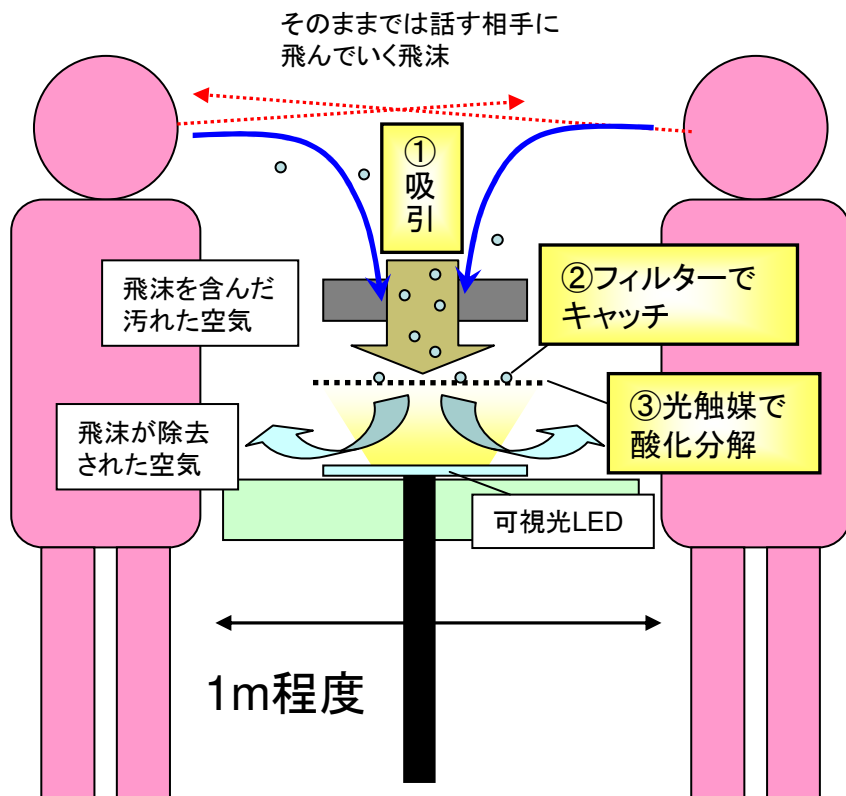
光触媒の塗布量はひかりクリーナーの標準仕様でおよそ 0.7mg/m² 程度であるが、大量生産が可能な高性能フィルターでは 17g/m² 程度となる。

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。

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より小さい液滴や液滴が蒸発して出来た粒子 → 飛沫核、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。

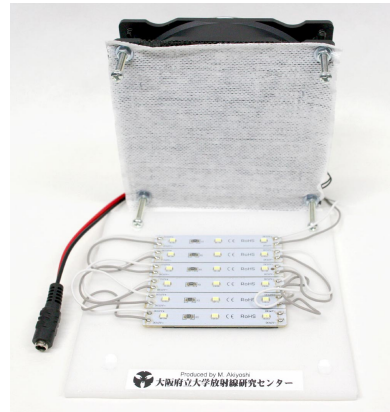
大型の空気清浄機は部屋の中を漂うエアロゾルの除去には効果がありますが、近距離を数秒程度で飛び交う飛沫にはほとんど効果は期待できません。

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」

製造技術を無償提供
致します。



和紙による漏れ光の遮光

人と人の間に、安心の光を。

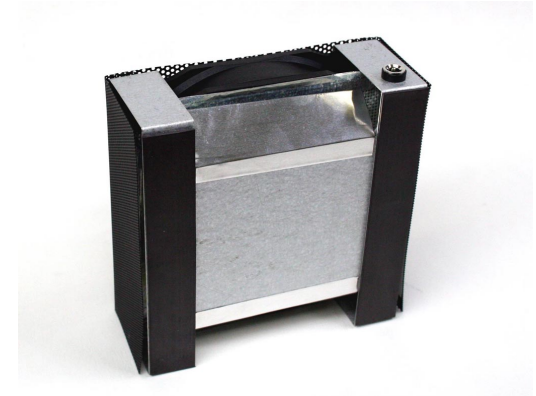
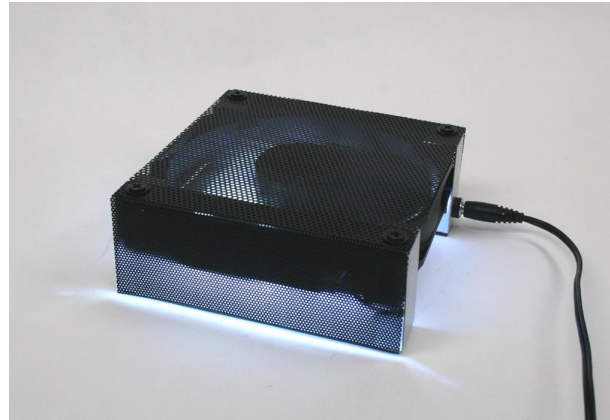
可視光応答の光触媒を使用しているため、漏れ光を完全に遮蔽する必要が無く、簡易な構造での動作が可能。PC用のパーツなどを組み合わせて、**1台1,200円程度**で製作が可能。中学生程度でも工作可能で、半田付けなどの危険な作業も不要。光触媒フィルターは、市販されている東芝「ルネキャット」スプレーにより製造が可能で、より強力なファンを使用すれば性能向上も可能。

これまでに有償・無償併せて700台程度を提供し、実際に使用してもらっている。



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

可視光応答光触媒を用いた小型飛沫除去装置 「ひかりクリーナー2020」



マグネットプレートによりスチール
什器壁面への貼り付けも可能



12cm角、高さ5cm、
ファンの騒音19dB、
消費電力5W以下

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。

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。

現在は手作りのため遮光に樹脂メッシュを使用しているが、メタルメッシュに粉体塗装を施し、クオリティを上げた製品を製造予定。不織布のフィルターの30倍程度の反応速度定数(ホルムアルデヒド分解実験による)を示す無機材質高性能フィルターも量産済。

フィルターによる飛沫の捕集

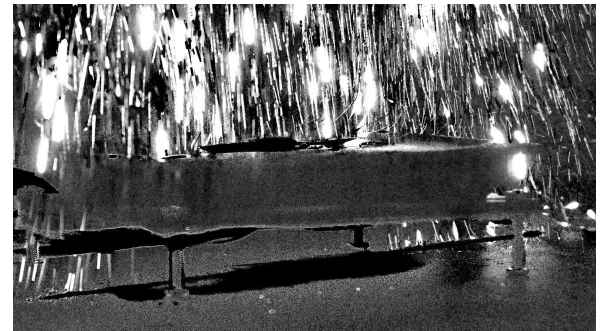


空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

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。



フィルターによる飛沫の捕集(2)



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、フィルターによる口腔からの飛沫を模擬した超音波加湿器ミスト捕集率を評価しました。**5 μ m以上の飛沫に関しては、ほぼ完全に捕集**できています。

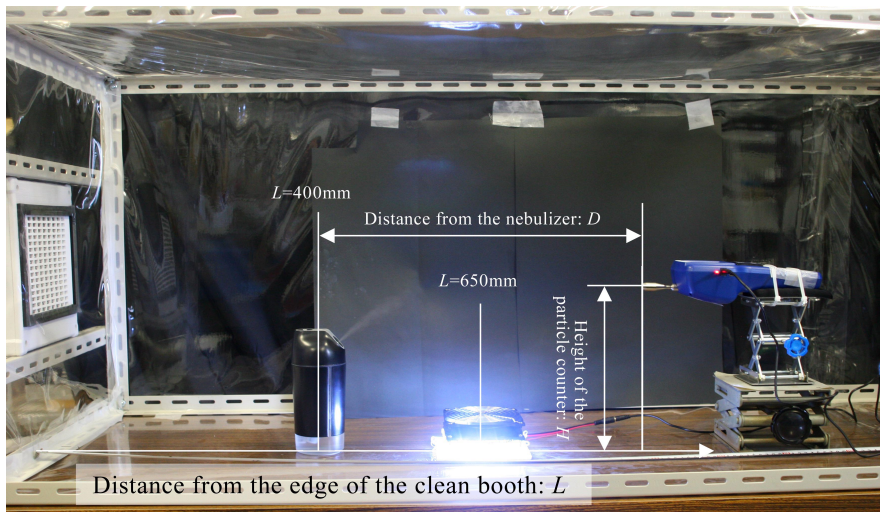
キャッチしてゆっくり分解

一般に**5 μ m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 μ m以下の液滴は計測可能な濃度を超えており透過率が評価できませんでしたが、空気中の埃は6割以上捕集されており、さらに小さいホルムアルデヒド分子が分解されることから、光触媒による不活化は期待できます(カルテック社の実験で実証されています)。

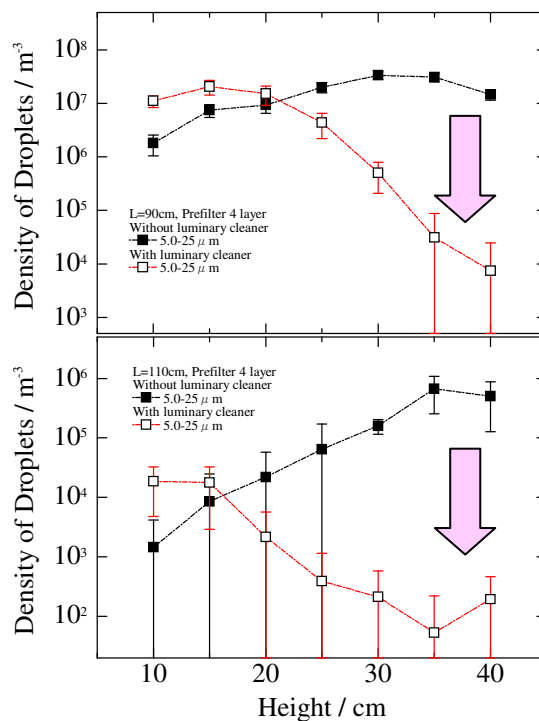
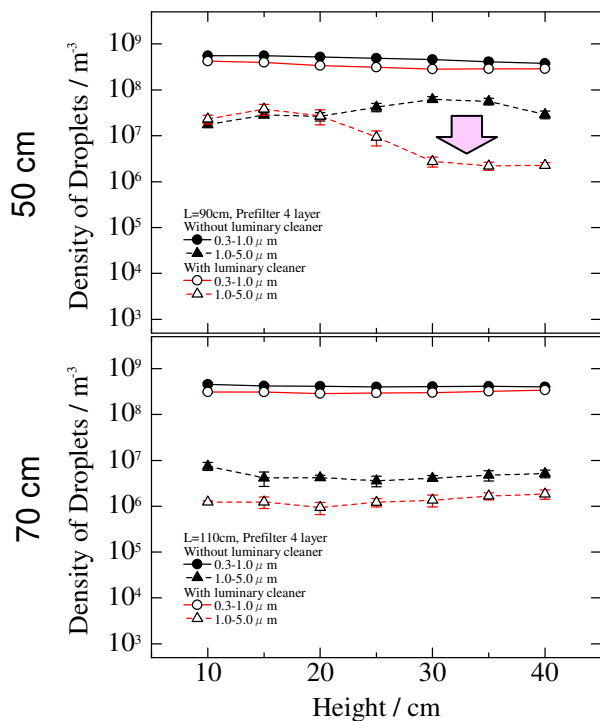
測定条件	Particle Size	上流側 粒子濃度	下流側 粒子濃度	透過率
	μ m	/m ³	/m ³	
目張り無しクリーンベンチ内	0.3~1	7.4E+06	2.7E+06	0.37
	1~5	5.1E+04	1.7E+04	0.34
	5~25	9.0E+02	1.8E+02	0.20
目張りしたクリーンベンチ内	0.3~1	1.2E+04	6.7E+03	0.54
	1~5	1.4E+02	1.8E+01	0.13
	5~25	2.0E+01	0.0E+00	0
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用(1回目)	0.3~1	4.1E+08	4.6E+08	1.14
	1~5	1.2E+07	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

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

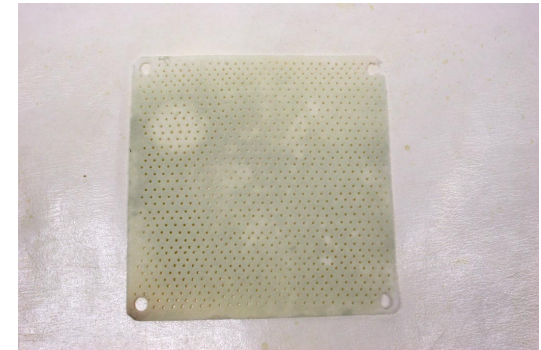
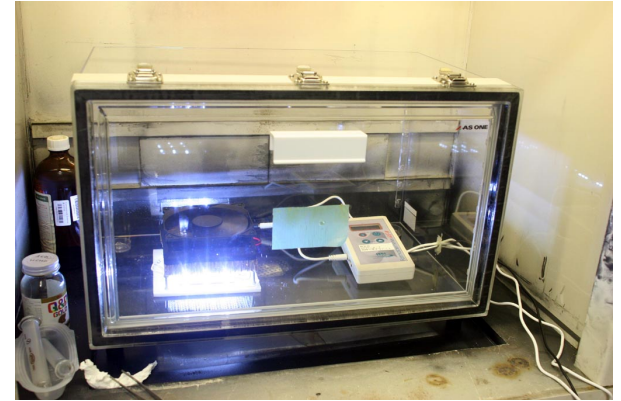
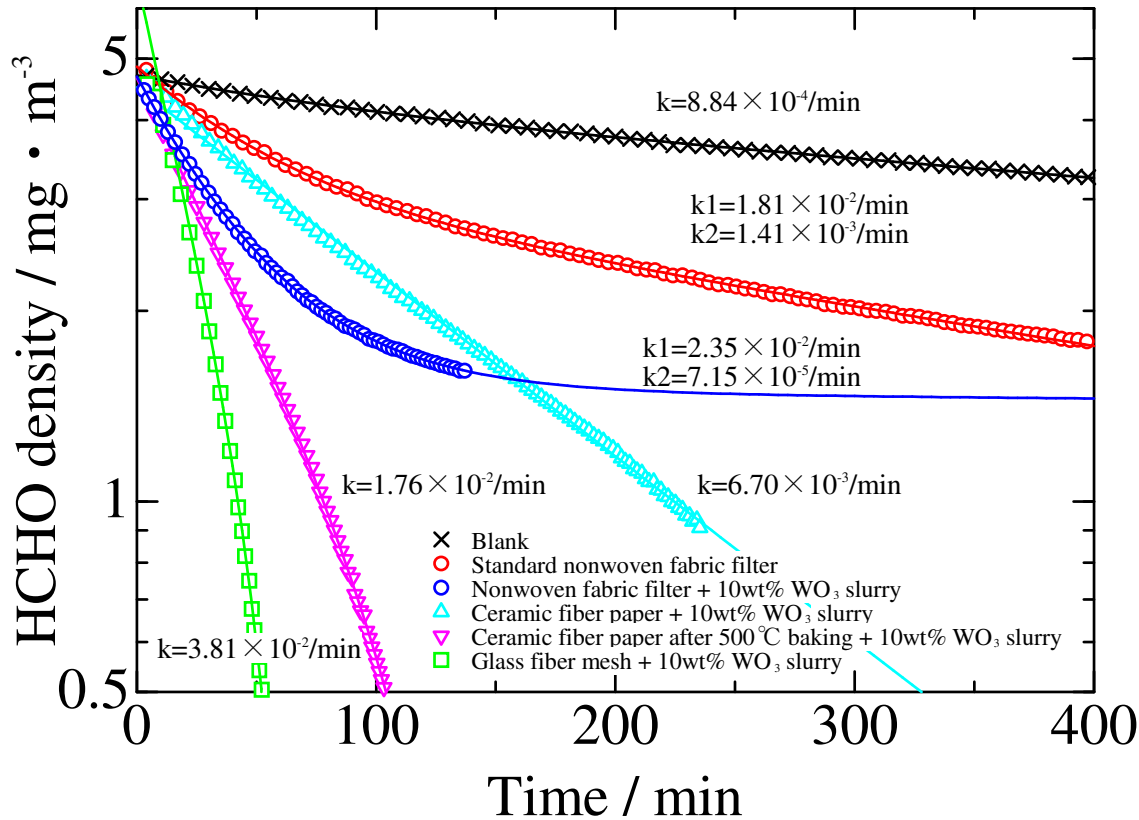


噴霧器からの距離50cm, 70cm の位置にパーティクルカウンターを設置し、粒子数の高さ依存性を評価した。

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。

ホルムアルデヒド分解実験



38L サイズの亚克力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。