

空気のみらいEXPO ～ヒトと地球に、キレイな空気を～
2022年 3月 15-16日 (インテックス大阪)

人と人の間に設置する 小型飛沫除去装置 という新概念の提案

大阪府立大学

(4月より

大阪公立大学
に変わります)

工学研究科 量子放射線系専攻

研究推進機構 放射線研究センター

大阪国際感染症研究センター

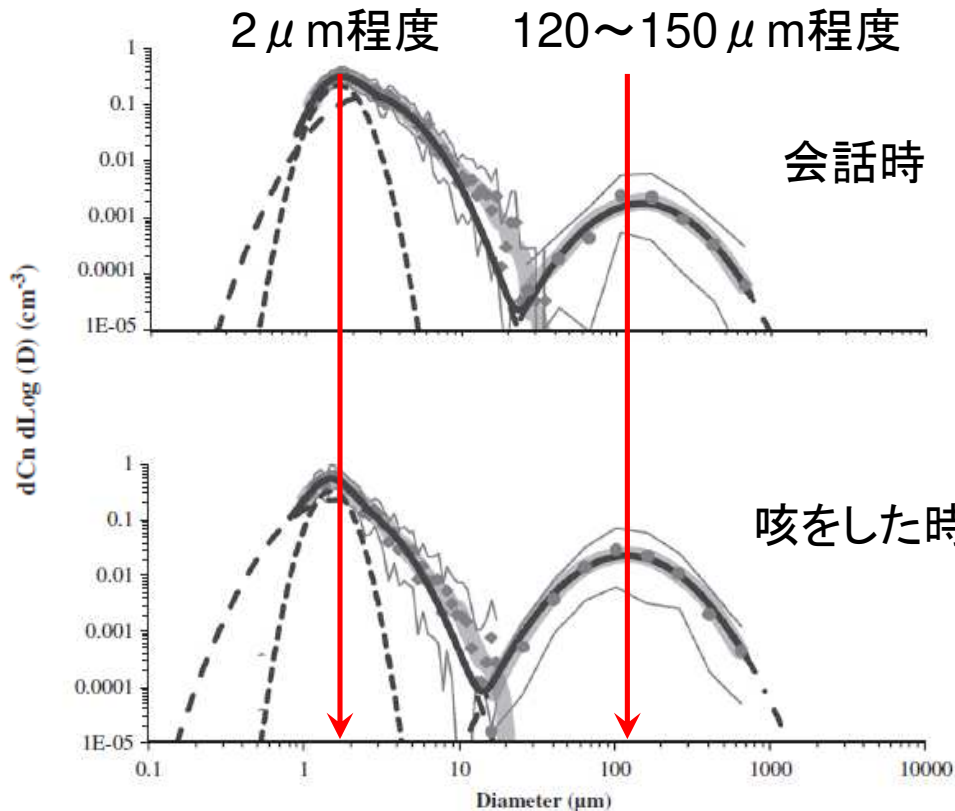
准教授 秋吉 優史

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

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

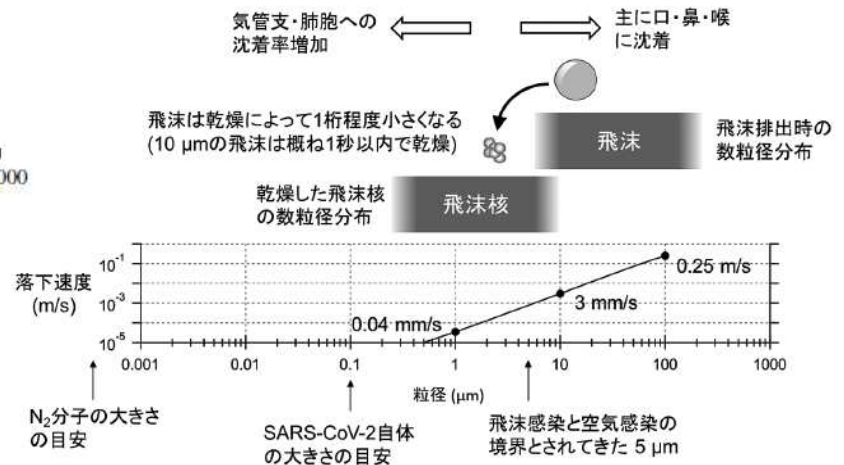


口腔から放出される液滴の粒度分布



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」は長時間空気中を漂っている(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。

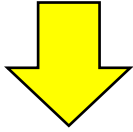
G.R. Jhonson et al., Modality of human expired aerosol size distributions, J. Aerosol Science, 42(2011)839-851.



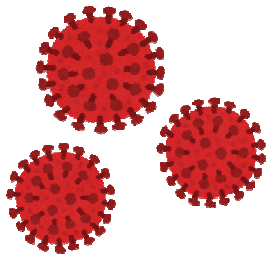
竹川 暢之, エアロゾルと飛沫感染・空気感染, エアロゾル研究, 36(2021)65-74.

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(2)

~~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)



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。

工学的対策事例

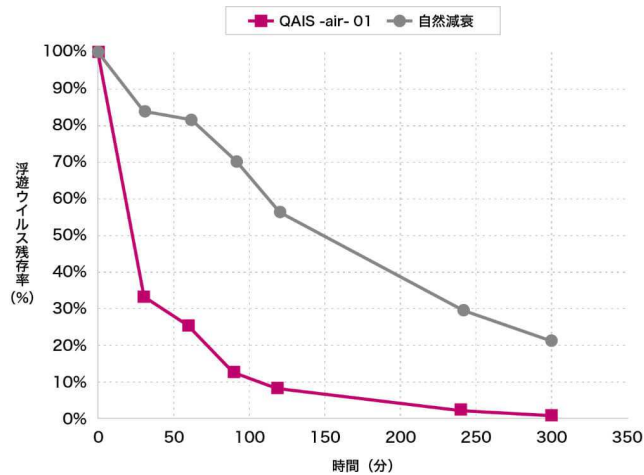
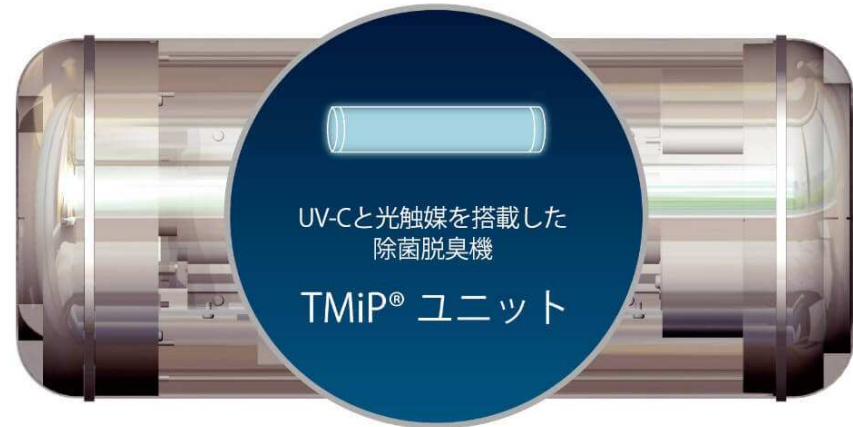
UV-C + TiO₂ 光触媒両方を
使用した空気清浄機

サンスター技研 QAIS -air- 01

<https://www.sunstarqais.com/>

254nm 殺菌灯からのUV-C に
よる強力な消毒効果と、光触
媒による脱臭効果を実現。

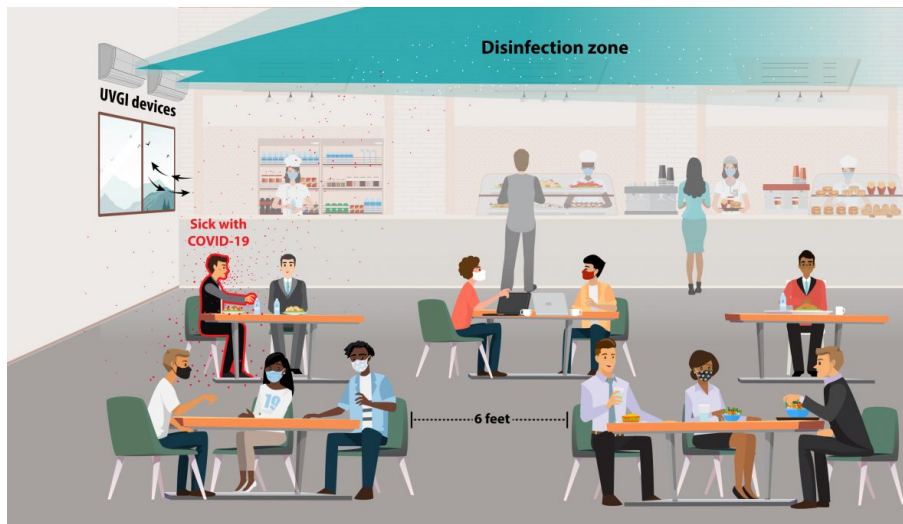
DNA/RNA に損傷を与えるUV-C と、
表面のスパイクタンパクなどを分解
する光触媒が相乗効果を生まない
か? → 共同研究を実施中



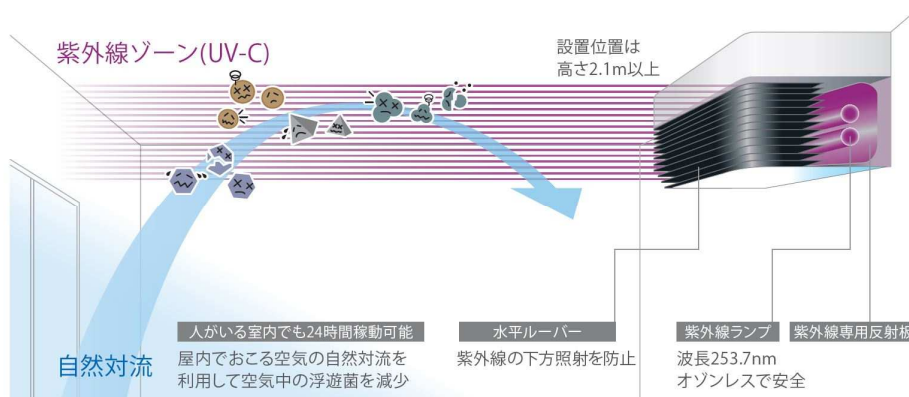
(一財)北里環境科学センターにおいて、25m³試験
チャンバー(幅2.7m×奥行き3.8m×高さ2.4m)を用い
て、JEM1467「家庭用空気清浄機」の付属書D「浮遊
ウイルスに対する除去性能評価試験」に準じてウイル
スをネブライザーで噴霧、所定時間後にチャンバー
内の浮遊ウイルスを捕集し、ウイルス数を測定した。

工学的対策事例

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) をエアロゾル対策として推奨しています。



殺菌力の強いUV-Cは一般的に（222nmの光源を用いた製品を除いて）皮膚、角膜に強い炎症を与え、人の居る空間で使用することは出来ないが、2.1m以上の高さで水平に照射を行うUVGIは、人体に影響を与えず室内を浮遊するエアロゾルに含まれる菌・ウイルスを殺菌・不活化することが可能。



<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/uvgi.html>

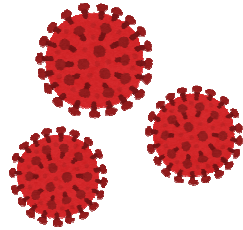
エアロシールド株式会社
エアロシールドの紹介図

<https://www.aeroshield.co.jp/>

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(3)

飛沫が物体表面にばらまかれて乾燥

~~密接~~

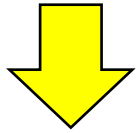


手を洗おう



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を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。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。

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。

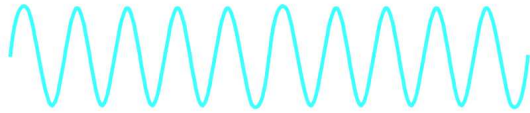
共有物品表面への光触媒や、銅・銀などの金属微粒子の塗布

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。

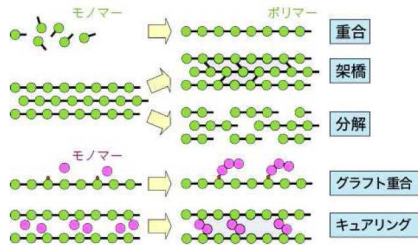
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



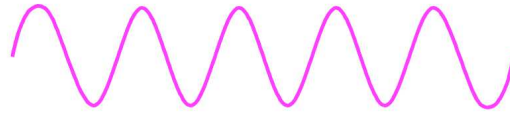
電離作用

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



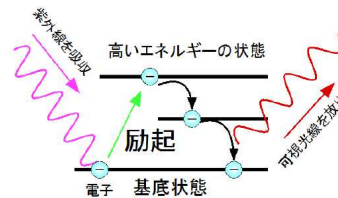
< 太陽光線の種類 >

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

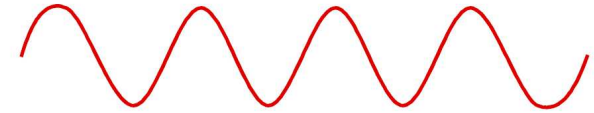
1nm (ナノメートル)=100万分の1mm

※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。

学協会からの公式なオーサライズ

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⁽¹⁾。

紫外線の有用性の周知だけでなく、紫外線による事故について取り上げると共に、透過力が低い等の弱点や、いい加減な製品も存在することなど、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」という記述における**科学的根拠**と捉えることが出来ます。

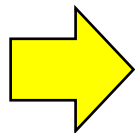
また米国疾病予防管理センター、CDCでは公式サイト⁽²⁾で Upper-room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) をエアロゾル対策として推奨しています。

(1) https://www.jlma.or.jp/siry/pdf/pamph/notice_UV-light-emitting.pdf

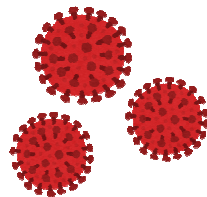
(2) <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/uvgi.html>

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

~~密集~~

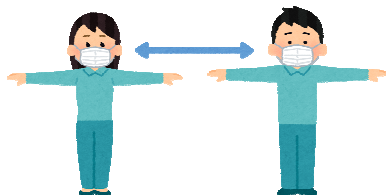


飛沫



ソーシャルディスタンス

大きな液滴に大量のウイルス



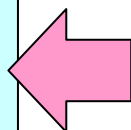
飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

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。

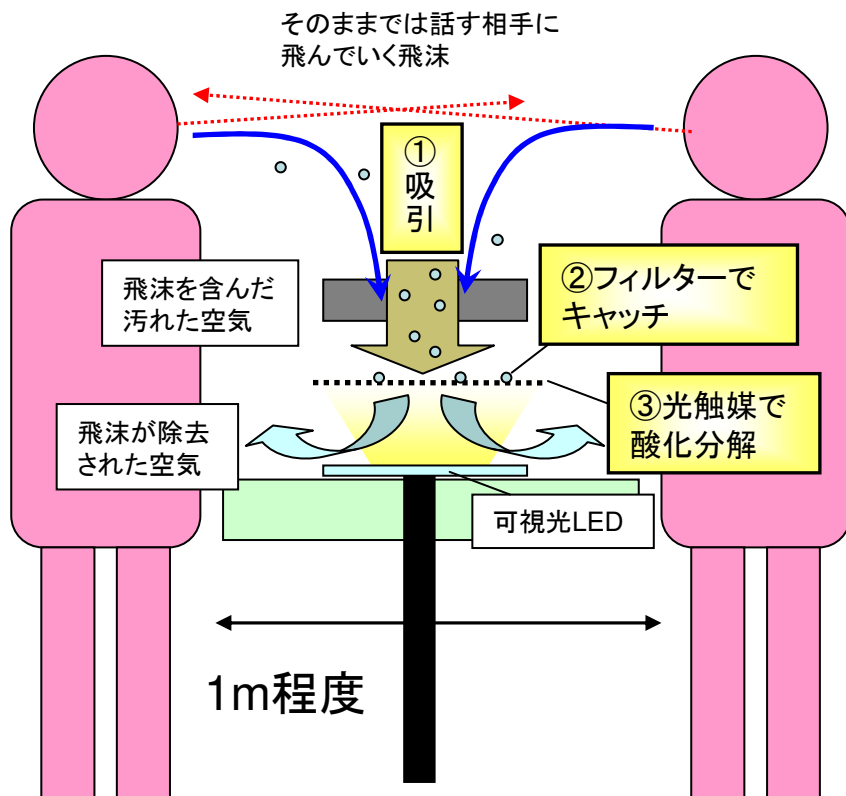


「感染を広げない」
目的で全員が着用

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」



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。

これまでに全国の医療機関や一般の方に合計で700台程度を提供し、実際に使用してもらっている。

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。本年度中に試験的な提供を目指しています。

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

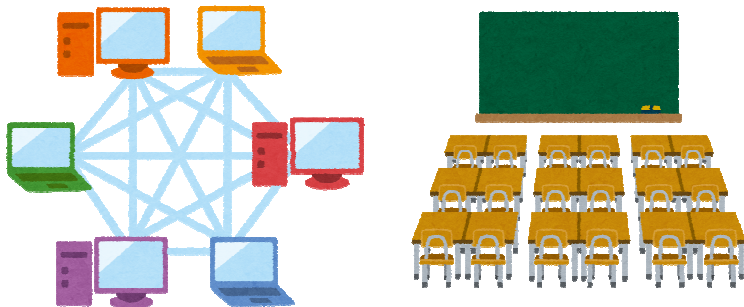
複数ユニットを直列接続して能力拡張



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)

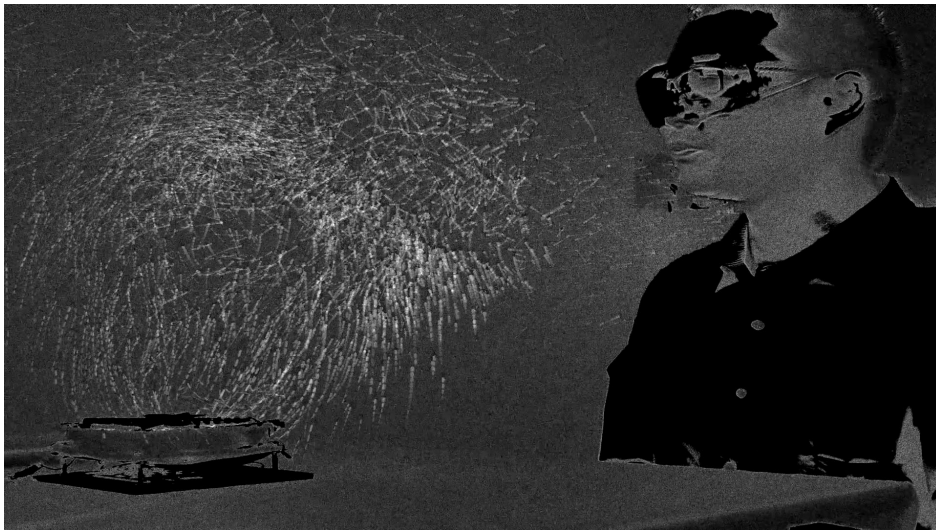
モバイルバッテリーなどでの駆動も可能で、配線が不要。

特殊画像撮影による飛沫吸引の可視化

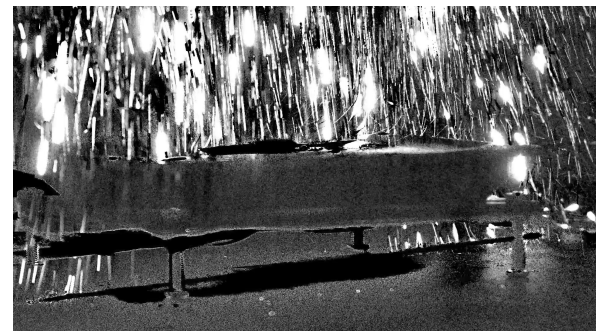


空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

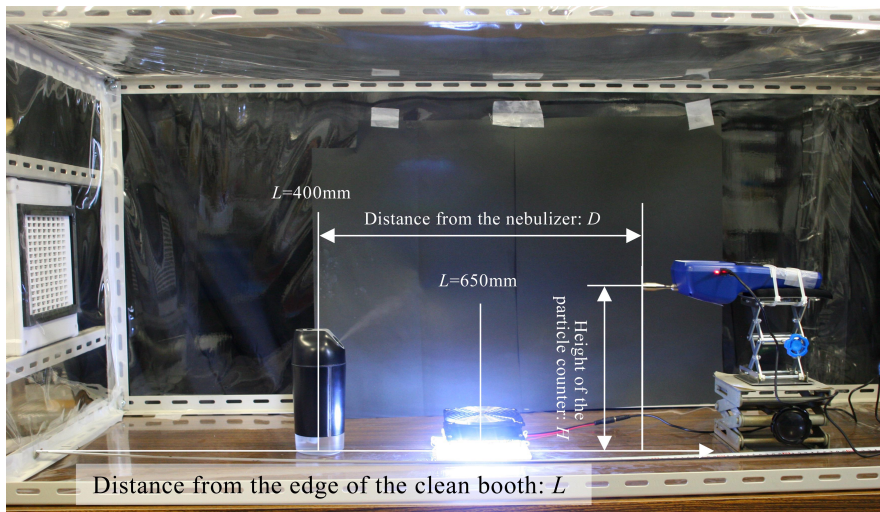
1m 程度の範囲に於いて、口から発声に伴って出た飛沫や、スプレーからの模擬飛沫、エアゾルを模した電子タバコのベーパーなどが吸い込まれていき、なおかつフィルターによってマスクと同じように止められていることが確認出来るかと思えます。



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。

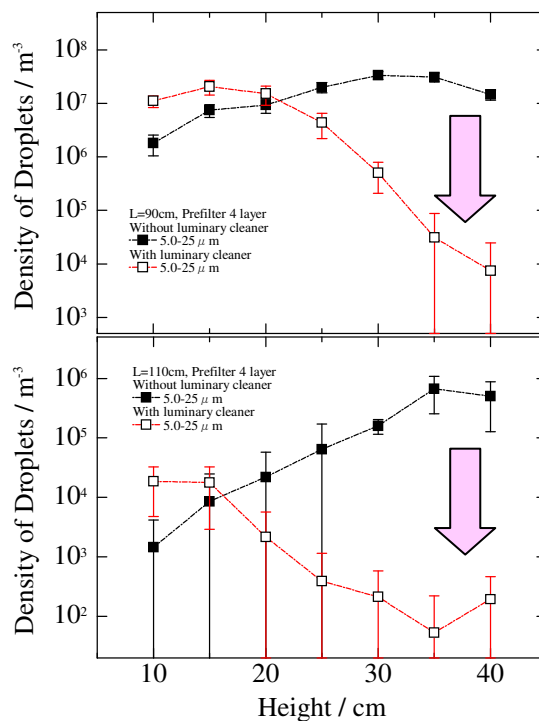
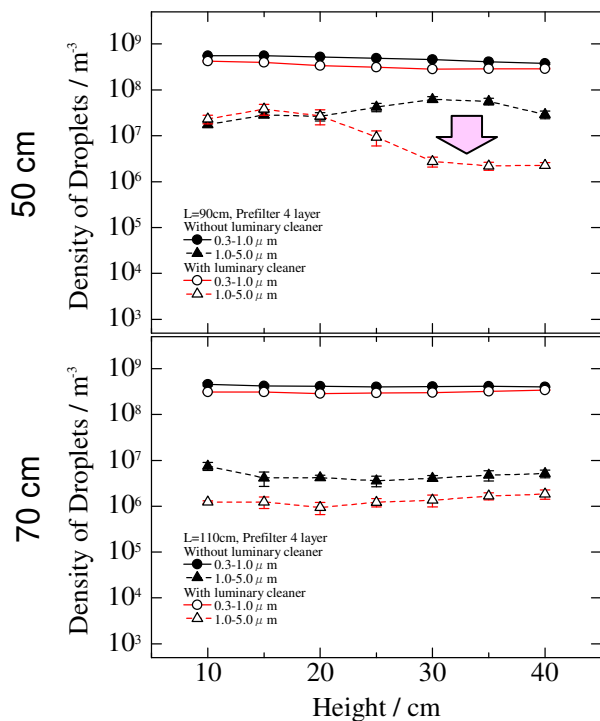


空間を飛ぶ飛沫の捕集率



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過し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。

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。

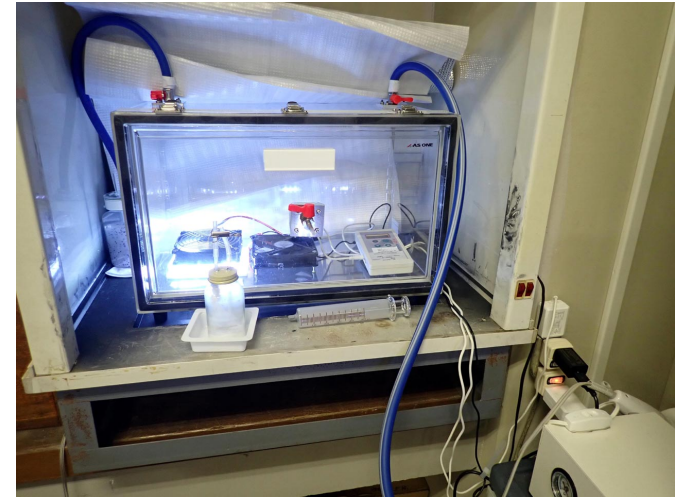
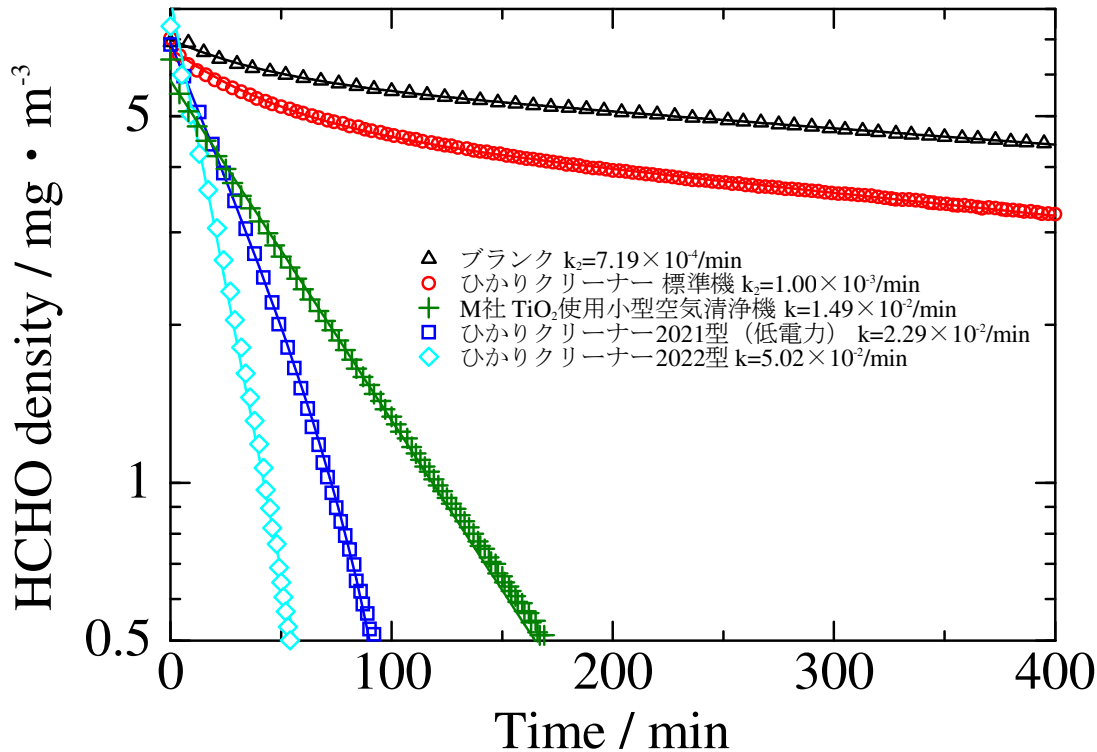
| 測定条件 | Particle Size | 上流側 粒子濃度 | 下流側 粒子濃度 | 透過率 |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| | μm | $/\text{m}^3$ | $/\text{m}^3$ | |
| 目張り無しクリーンベンチ内 | 0.3~1 | 7.4E+06 | 2.7E+06 | 0.37 |
| | 1~5 | 5.1E+04 | 1.7E+04 | 0.34 |
| | 5~25 | 9.0E+02 | 1.8E+02 | 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。

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。

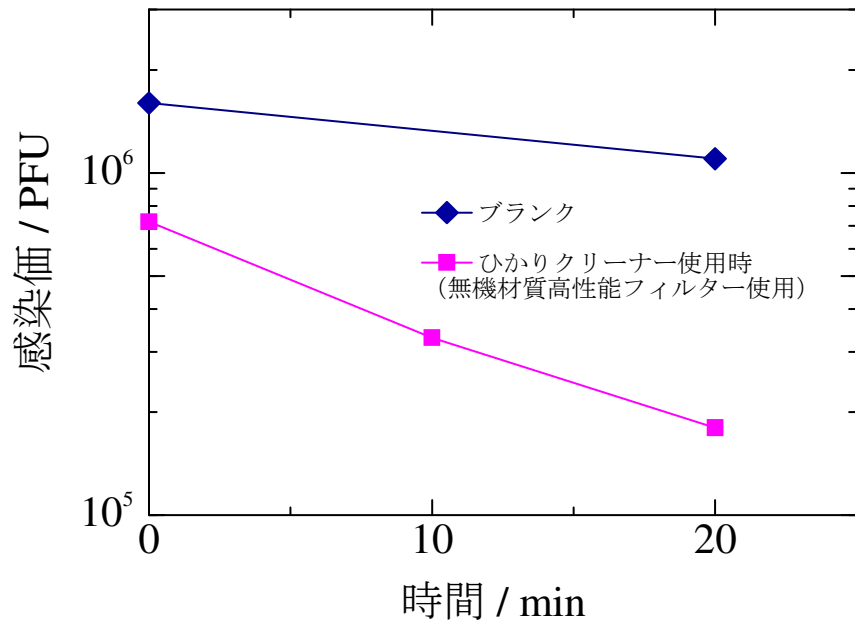
ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

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)

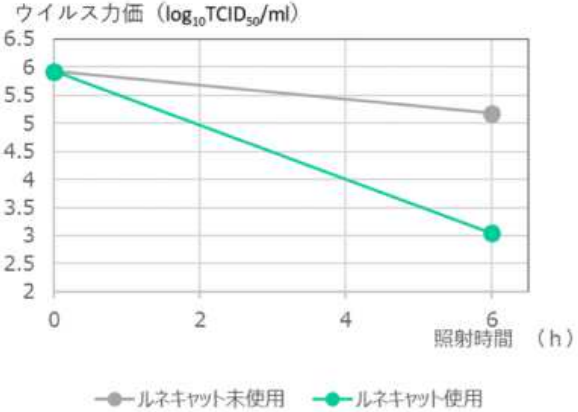
Masashi Uema et al., "Effect of Photocatalyst under Visible Light Irradiation in SARS-CoV-2 Stability on an Abiotic Surface", Biocontrol Science, 26 (2021) 119-125.

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

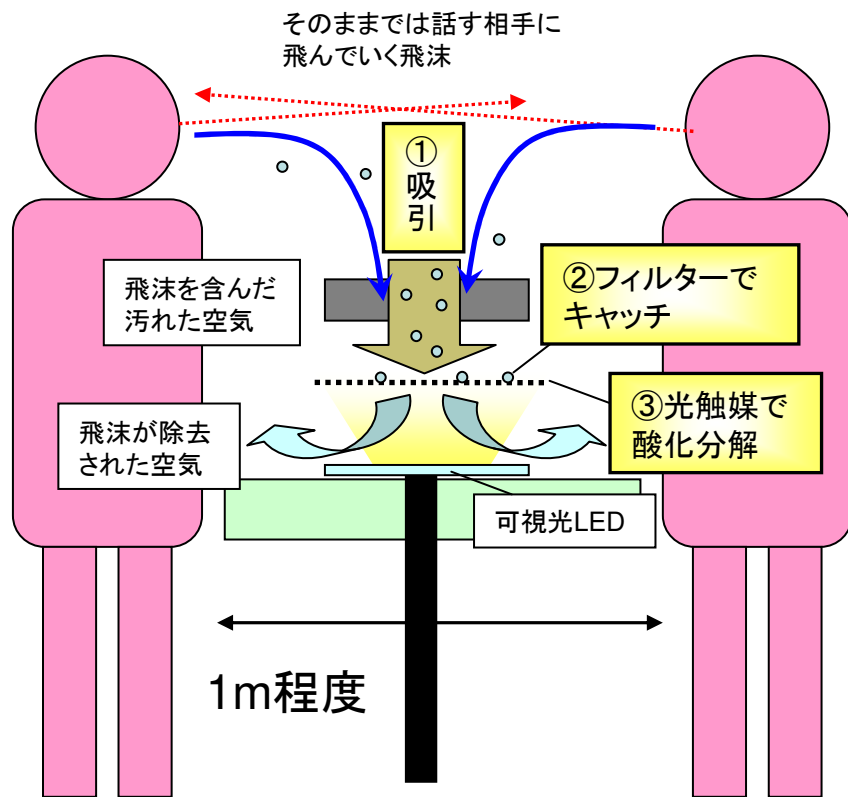
| | |
|------------|--|
| 抗ウイルス性試験方法 | フィルム密着法 ISO 18071:2016ファインセラミックス(先進セラミックス, 先進技術セラミックス) – 屋内照明環境下の半導体光触媒物質の抗ウイルス活性の求め方 – バクテリオファージQ-ベータを使用する試験方法を参考に実施 |
| 光源 | 白色蛍光灯 3000lx (380nm以下の紫外光はフィルターでカット) |
| 作用時間 | 6h |
| 試料塗布量 | 4g/m ² |
| サンプルサイズ | 30mm×30mm |



※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。



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 $5\mu\text{m}$ 以上の飛沫を1/1000程度にまで吸引除去

② フィルターでキャッチ

吸引した $5\mu\text{m}$ 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

安全で高輝度の可視光 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。

小型飛沫除去装置 というコンセプトを実現