大阪公立大学
大阪国際感染症研究センター

小型飛沫除去装置 ひかりクリーナー
概念説明

准教授 秋吉　優史

akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp　https://www.omu.ac.jp/eng/akiyoshi/

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

大きな液滴に大量のウイルス

ソーシャルディスタンス

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5μm以上の液滴を飛沫と呼び、120-150μm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。

「感染を広げない」目的で全員が着用

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三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。

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ため、たくさんの台数が必要。

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

換気の状況は二酸化炭素濃度が一つの指標となる。

どうしても換気が悪い場所もある

△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。

空気清浄機

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）

長時間空気中に滞留し風に乗って遠くまで移動する

5μm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。

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）。

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。

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)

飛沫が物体表面にばらまかれて乾燥

~~密接~~ ➡ どこに潜んでいるか分からない ブービートラップ

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。

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の不活化が可能なこと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点を理解して使用する必要がある。

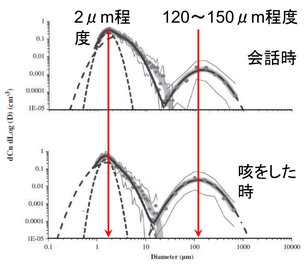
共有物品表面への光触媒や、銅・銀などの金属微粒子の塗布

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。

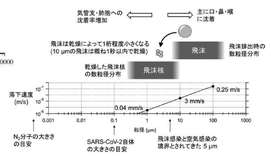
人と人の間を飛び交う「飛沫」の除去に特化した飛沫除去装置

口腔から放出される液滴の粒度分布



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

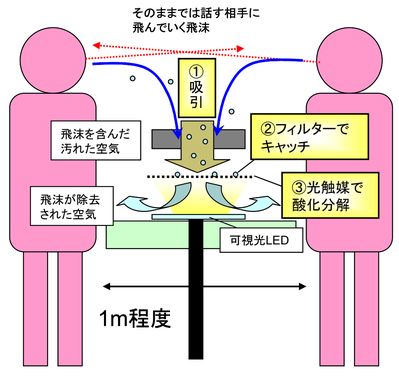
口腔から放出される液滴粒径分布は2コブのピークとなっており、150μm程度の「飛沫」は2秒程度で落下し、1～2m程度までしか届かないが、2μm程度の「エアロゾル」は長時間空気中を漂っている（気流が無ければ余り移動もしない）。飛沫が蒸発してエアロゾルサイズの飛沫核となる場合もある。



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.

5μmよりも大きい液滴 → 飛沫
飛程が短いが大量のウイルス

5μm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150μm程度で、エアロゾルで最も多い2μm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有機ガスの分子も分解できることが確認されています。

小型、低コストのユニットのモジュール化により、利用シーンに応じた柔軟な運用

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。

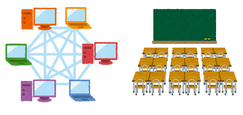
1次元接続: Zone Defense

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

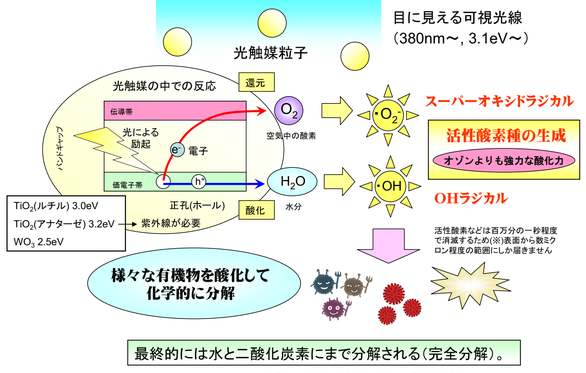
1ユニットを分散して多数配置



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。

光触媒とは



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

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サイドアニオンや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。

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」

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。

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。

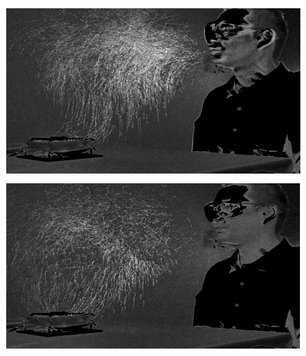
これまでに全国の医療機関や一般の方に合計で700台程度を提供し、実際に使用してもらっている。

大阪公立大学
大阪国際感染症研究センター
（主担 工学研究科） 准教授 秋吉 優史

小型飛沫除去装置 ひかりクリーナー
測定データ紹介

E-mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp　Web Site: https://www.omu.ac.jp/eng/akiyoshi/

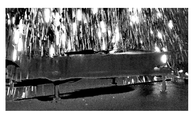
特殊画像撮影による飛沫吸引の可視化



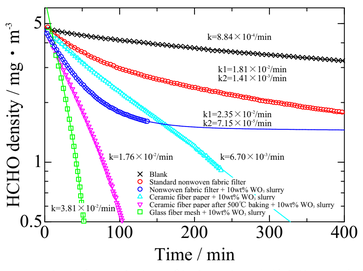
空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

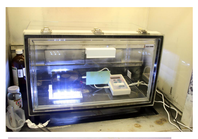
1m 程度の範囲に於いて、口から発声に伴って出た飛沫や、スプレーからの模擬飛沫、エアロゾルを模した電子タバコのベーパー などが吸い込まれていき、なおかつフィルターによってマスクと同じように 止められていることが確認出来るかと思います。

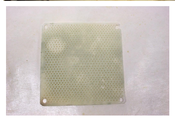
発声に伴う飛沫の撮影に際しては、「ブーブー」と言う破裂音により 意図的に大量の飛沫を出しています。



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。

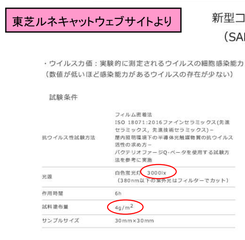
可視光応答光触媒によるウイルスの不活化

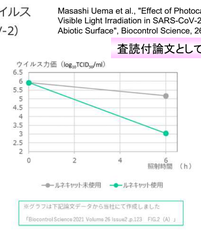
東芝ルネキャットウェブサイトより

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

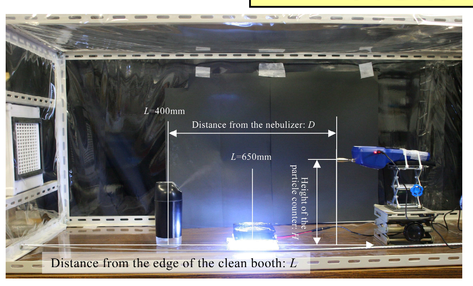




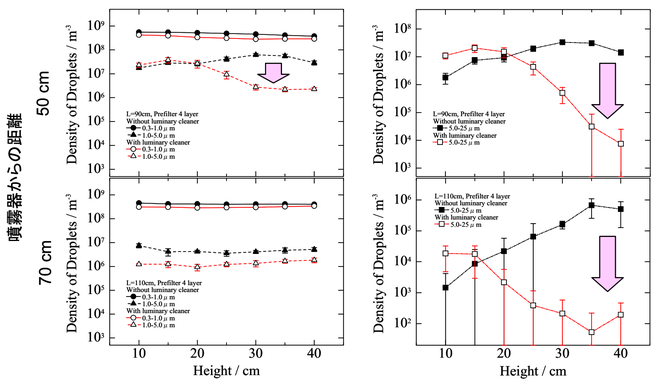
光触媒の塗布量はひかりクリーナーの標準仕様でおよそ 0.7g/m² 程度であるが、大量生産が可能な高性能フィルターでは 17g/m² 程度となる。

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。

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、5.0～25μm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。

0.3～1.0μm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1.0～5.0μm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、5μm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。

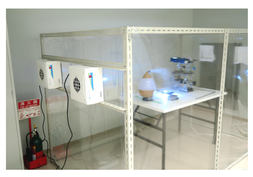
測定条件	Particle Size	上流側粒子濃度	下流側粒子濃度	透過率
	μm	/m³	/m³	
目張り無しクリーンベンチ内	0.3～1	7.4E+06	2.7E+06	0.37
	1～5	5.1E+04	1.7E+04	0.34
	5～25	9.0E+02	1.8E+02	0.20
目張りしたクリーンベンチ内	0.3～1	1.2E+04	6.7E+03	0.54
	1～5	1.4E+02	1.8E+01	0.13
	5～25	2.0E+01	0.0E+00	0
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用（1回目）	0.3～1	4.1E+08	4.6E+08	1.14
	1～5	1.2E+07	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5μm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。

1μm以下の液滴は計測可能な濃度を超えており捕獲率が評価できませんでした。

現在クリーンルーム周辺のセミクリーンエリアに設置した大型のクリーンブースを使用して、実空間に近い環境で、立体的な空間的広がりの中での飛沫の除去効率を評価中。

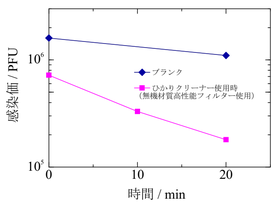


ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

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Qβ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。

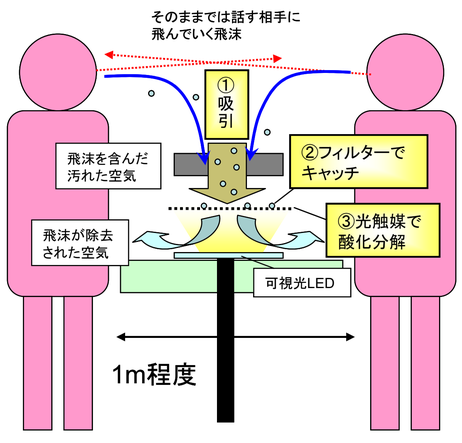
その結果、ブランクでは1.6×10⁶ PFUであったのが 20分で 1.1×10⁶ PFU となり、30% 程度減少した。一方無機材質高性能フィルターを使用したひかりクリーナーを使用することによりスタート時に 7.2×10⁵ PFU であったのが 10分後には3.3×10⁵ PFU、20分後には 1.8×10⁵ PFU と、10分でおよそ半分、20分で 1/4 に減少した。

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。



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。

実環境は 370L のチャンバーよりもずっと体積が大きいが、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。



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5μm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5μm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