

東京理科大学 第26回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」
2022年3月3日（オンライン）

可視光応答光触媒を用いた 人と人の間における 小型飛沫除去装置の開発

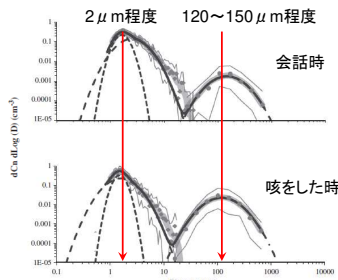
○秋吉 優史¹⁾²⁾、綿野 哲¹⁾²⁾、落合 剛³⁾

1) 大阪府大 工学研究科、2) 大阪府大 大阪国際感染症研究センター、
3) 神奈川県立産業技術総合研究所

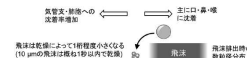
E-Mail: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp
http://anticovid19.starfree.jp/



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度分布は2コブのピークとなっており、150 μm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 μm程度の「エアロゾル」は長時間空気を漂っている（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. Johnson et al., Modality of human expired aerosol size distributions, J. Aerosol Science, 42(2011)1939-951.

竹川 輔之, 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



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によって飛沫から身を守れる

大きな液滴に大量のウイルス

口腔から放出される5 μm以上の液滴を飛沫と呼び、120-150 μm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。

対面する人と人の間、飛沫の飛び距離の範囲に設置されていないと意味が薄いため、たくさんのが必要。

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

換気の状態は二酸化炭素濃度が一つの指標となる。



換気しましょう

エアロゾル

どうしても換気が悪い場所もある
長時間空気に滞留し風に乗って遠くまで移動する
5 μm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

△二酸化炭素・オゾン空間に滞留するエアロゾル(空間滞留率)は、有効な換気と人体に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)

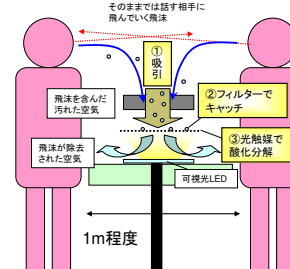
粘結に付着してから15~20分で感染するため、うがいが出ない状況であればこまめに飲み込んでしまえば胃酸で不活化する方が「安全」。感染が肺に到達できずとも大丈夫と考えることは無い(飲み込む途中で感染する可能性はゼロでは無く、鼻や目からの感染は防げない)。



換気しましょう

人と人の中を飛び交う「飛沫」の除去に特化した飛沫除去装置

5 μmよりも大きい液滴 → 飛沫
飛程が短い大量のウイルス
5 μm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、マスクを着いても2割程度が通過するとの報告もあります。口腔からの飛沫の粒径は、最も多いのも約150 μm程度で、エアロゾルで最も多い2 μm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。マスクを付せずに近距離で会話をする食事は、お互いにこの大きな飛沫をぶつ合うことになり、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、「人と人の中」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。

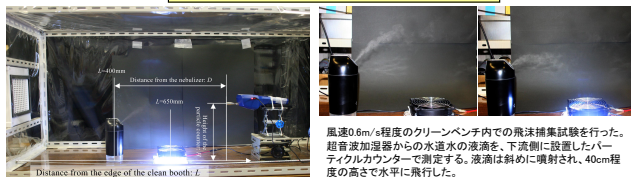
可視光応答光触媒を用いた超低価格な小型空気清浄機「ひかりクリーナー」



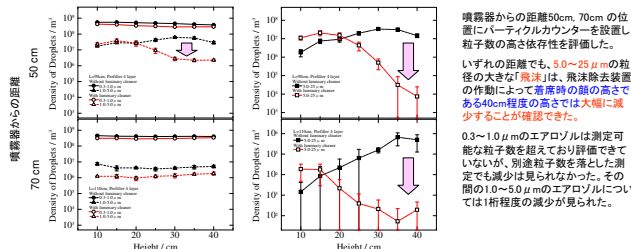
人と人の間に、安心の光を。

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、簡単な構造での動作が可能。PC用などのパーツを組み合わせて、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「ルネキヤット」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。

空間を飛ぶ飛沫の捕集率



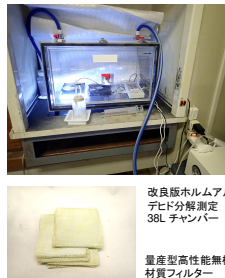
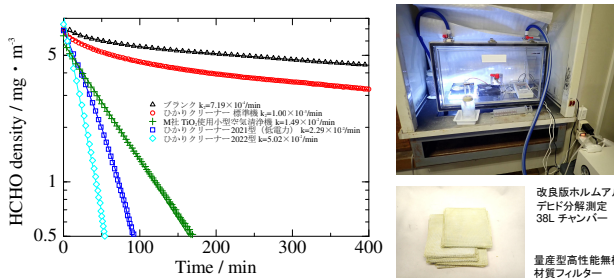
風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集実験を行った。超音波加湿器からの水道水の液滴を、下側面に設置したパーティクルカウンターで測定する。液滴は斜めに噴射され、40cm程度の高さで水平に飛行した。



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、5.0~25 μmの粒径の大きな「飛沫」は、飛沫除去装置の作用によって着床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、別途粒子数を測った測定でも減少は見られなかった。その間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

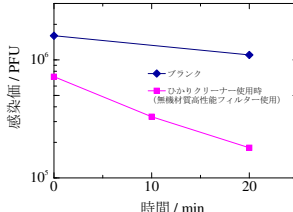


38Lサイズのアクリルデシケーターを使用して、有機ガスの一種であるホルムアルデヒド(HCHO)濃度の変化をホルムアルデメータhtV-mを使用して測定した。

簡単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、フランクでは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、20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。

実験場は370Lのチャンバ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乱れやすく拡散しにく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、長時間空気に滞留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「ルネキヤット」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", Biocatalysis, 26 (2021) 119-125.

査読付論文として公開されている

東京理科大学 第26回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」

2022年3月3日（オンライン）

可視光応答光触媒を用いた 人と人の間における 小型飛沫除去装置の開発

○秋吉 優史^{1) 2)}、綿野 哲^{1) 2)}、落合 剛³⁾

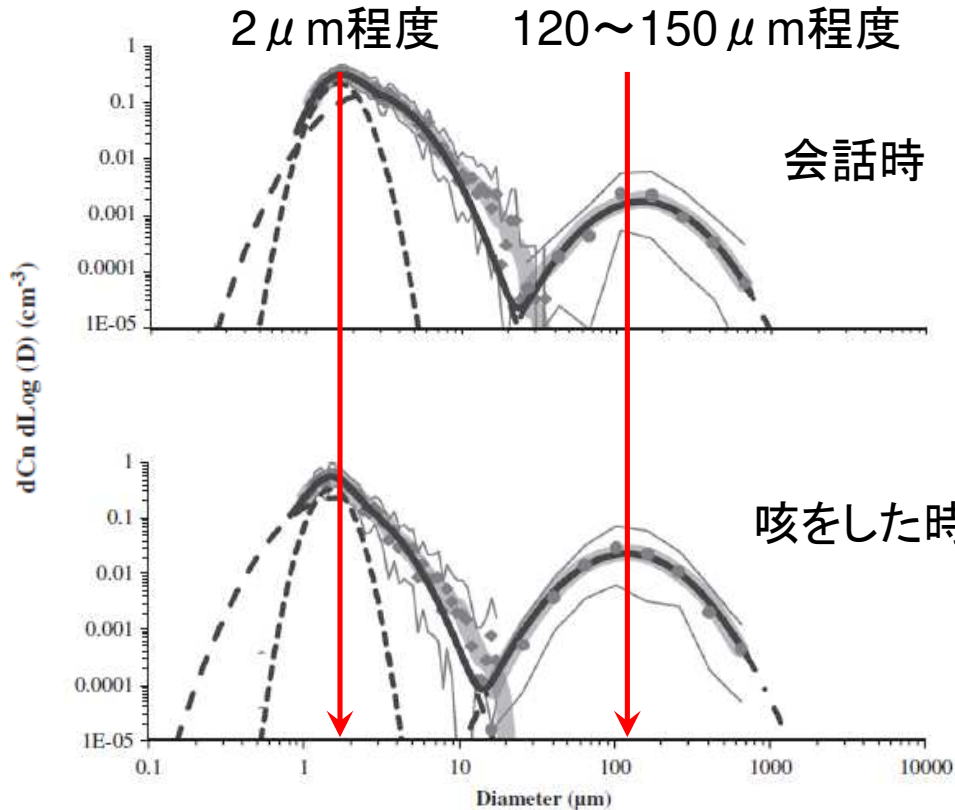
1) 大阪府大 工学研究科、2) 大阪府大 大阪国際感染症研究センター、
3) 神奈川県立産業技術総合研究所

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

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

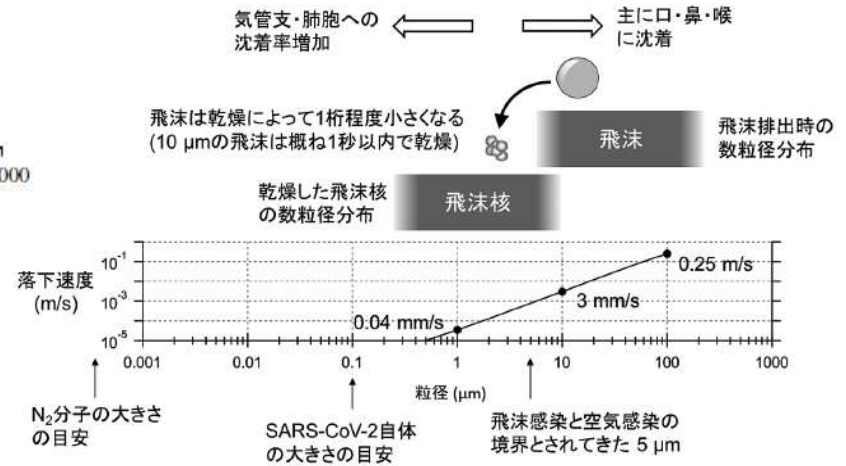


口腔から放出される液滴の粒度分布



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。

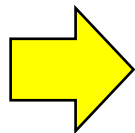
G.R. Jhonson et al., Modality of human expired aerosol size distributions, J. Aerosol Science, 42(2011)839-851.



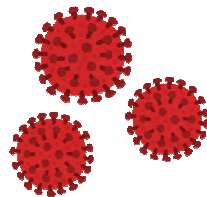
竹川 暢之, エアロゾルと飛沫感染・空気感染, エアロゾル研究, 36(2021)65-74.

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

~~密集~~

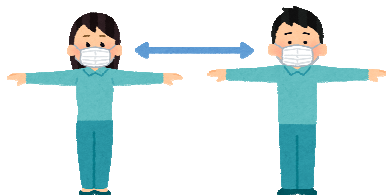


飛沫



ソーシャルディスタンス

大きな液滴に大量のウイルス



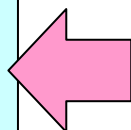
飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

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。



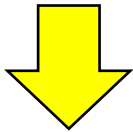
飛沫の放出を防ぐためにはマスクが有効で、不織布や布製のマスクでは8割程度の飛沫を止めることが出来るが、残りの2割程度は隙間などから飛散する。このため、飛程よりも近くに座ってのミーティングや窓口などでの会話で感染リスクがある。また、食事中にマスクは困難で会食時のリスクが高い。



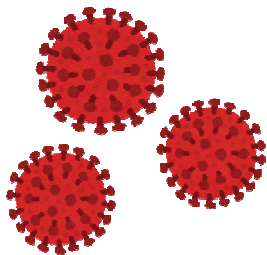
「感染を広げない」
目的で全員が着用

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



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)。

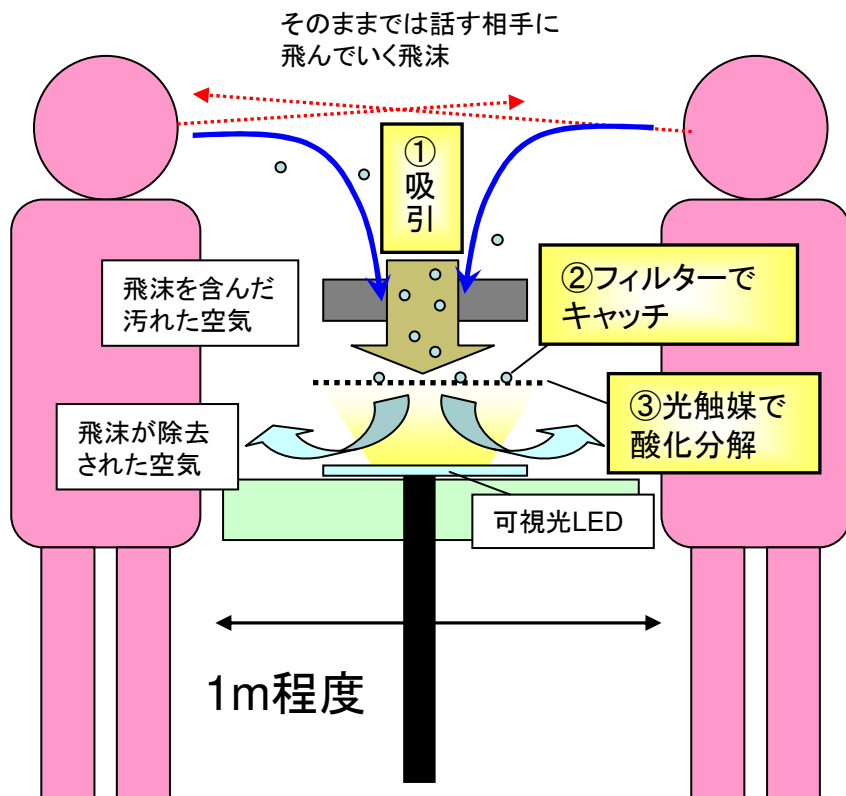
人の居ない空間への紫外線照射

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。

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



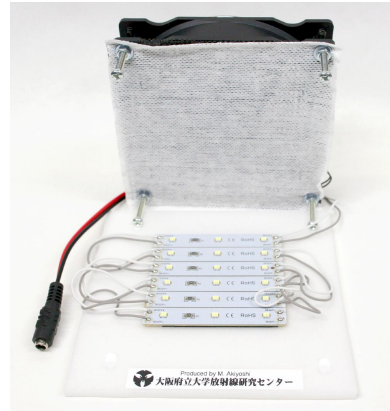
会話によって放出された飛沫は最大で2m程度飛び、マスクをしていても2割程度が漏洩するとの報告もあります。口腔からの飛沫の粒径は、最も数が多いもので150 μ m程度で、エアロゾルで最も多い2 μ mの粒子の42万倍の体積があり、含まれているウイルスもその分多いと考えられます。マスクを付けずに近距離で会話をする会食は、お互いにこの大きな飛沫をぶつけ合うことになり、感染リスクが高いと言えるわけです。

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」



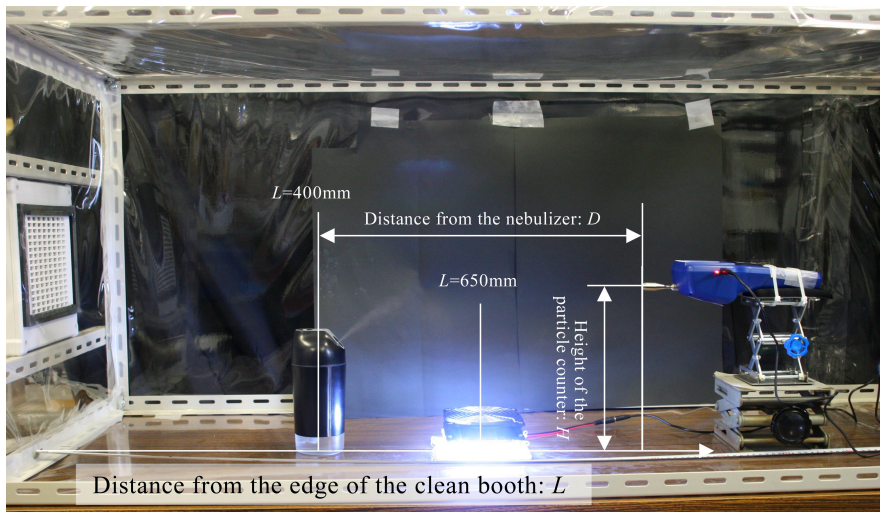
人と人の間に、安心の光を。

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。

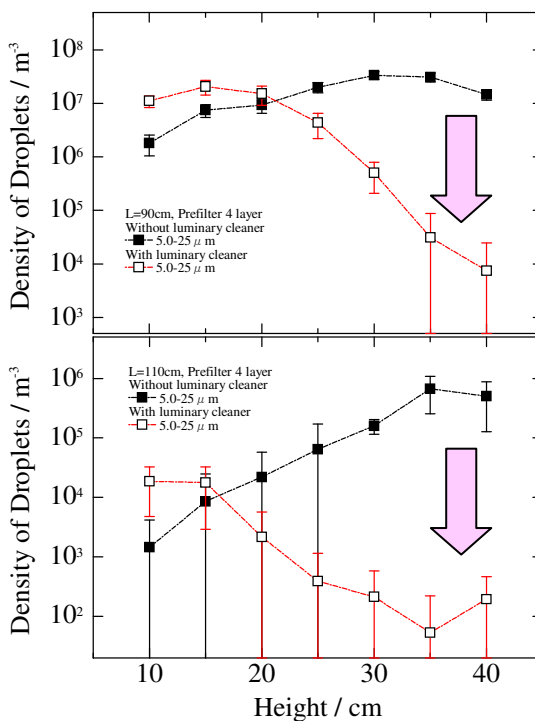
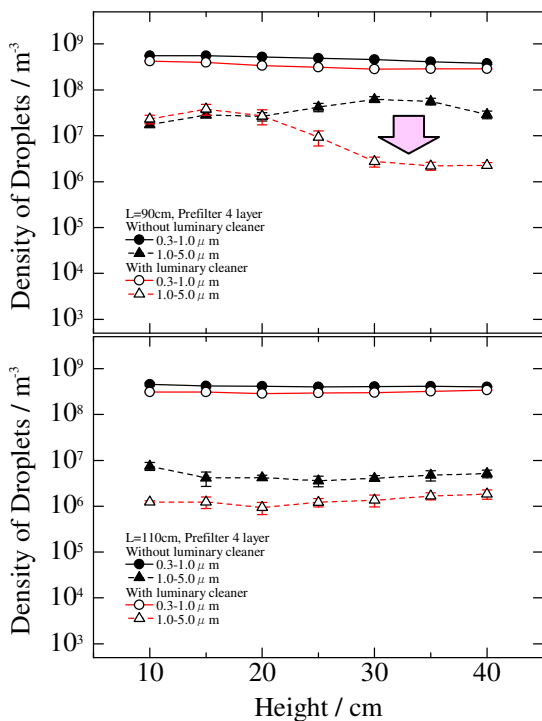
空間を飛ぶ飛沫の捕集率



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

50 cm

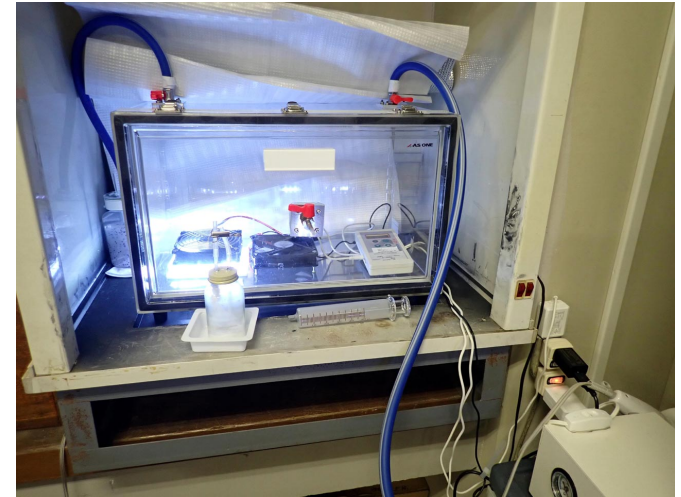
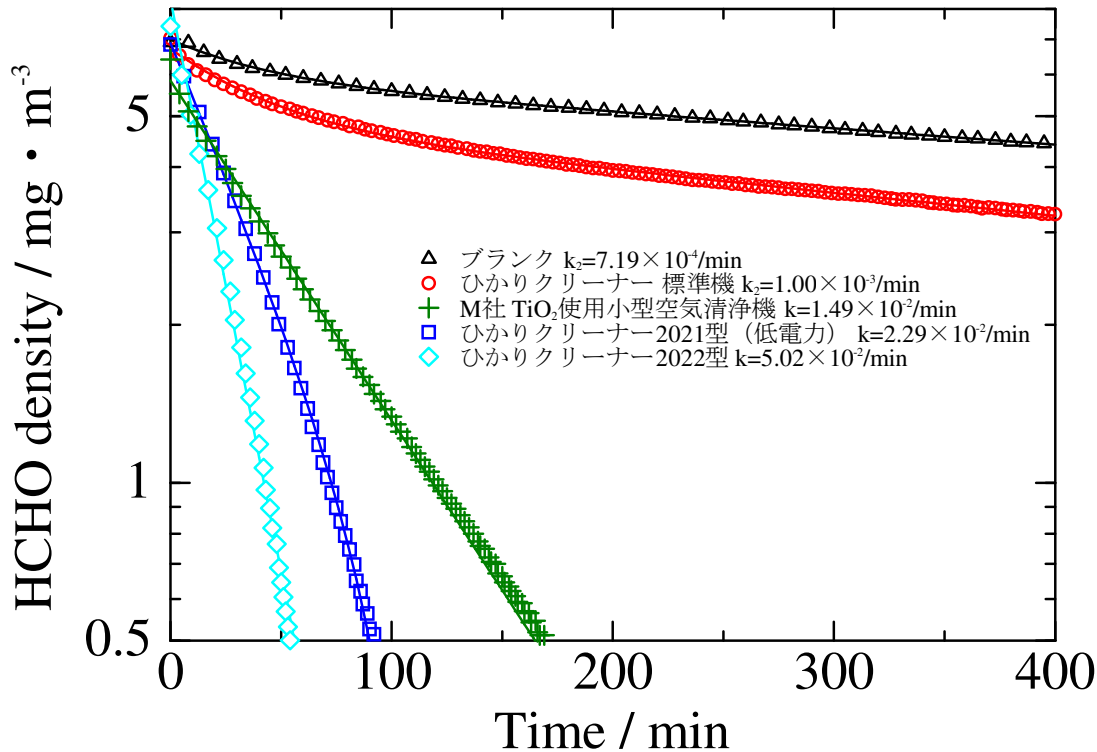


噴霧器からの距離50cm, 70cm の位置にパーティクルカウンターを設置し、粒子数の高さ依存性を評価した。

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。

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。

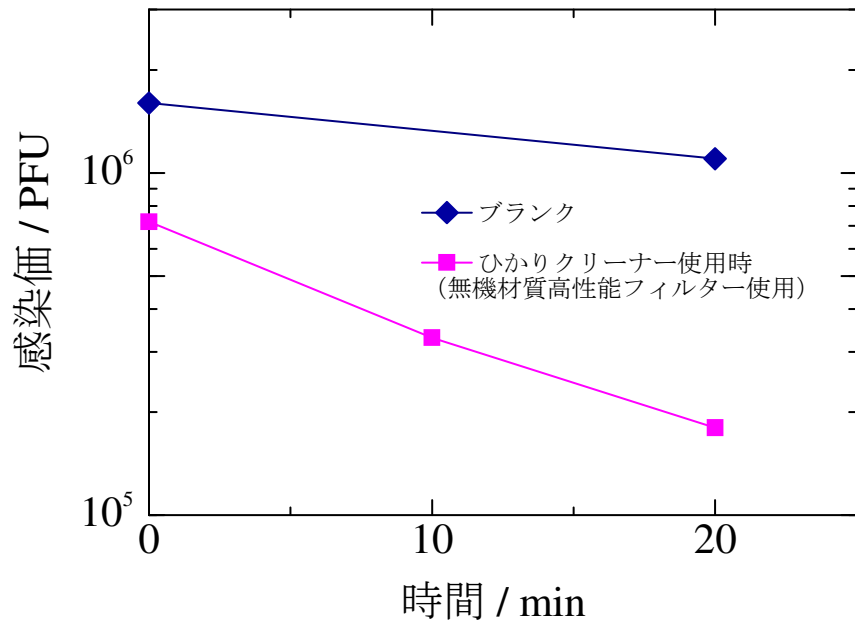
ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

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