

**第8回国際ユニヴァーサルデザイン会議 2021
in ザ クラウド 2021/2/26**

基調講演 1

**様々な感染症に対応可能な
工学的感染制御技術の活用**

***Practical use of the engineering control technology
for various infection***

**大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

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



従来から行われてきた新型コロナウイルスへの対抗策



うちで過ごそう

人と人が近付かない→
ソーシャルディスタンス



換気をしよう



うがいをしよう

「感染を広げない」
目的で全員が着用



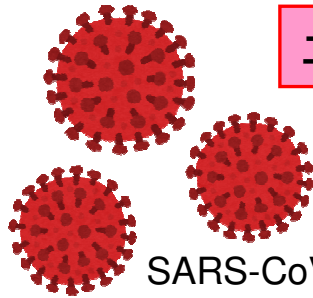
マスクをしよう

5μm以上の液滴の飛程は2m程度。
マスクを付けていても20%程度が飛散する。

~~密集~~

~~密閉~~

エアロゾル



SARS-CoV-2

+こまめに水等を飲む。

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)。

元々5μm以下の液滴や、飛沫が蒸発して出来た「飛沫核」は数分間空气中に滞留し、広い範囲に拡散しうる。喋るだけでも飛散する。

マスクをしていても半分程度が漏れ出てきてしまう。

表面の接触

~~密接~~

脂質の膜、エンベロップを溶かすことが重要。物理的に洗い流すだけでも効果的。



手を洗おう



消毒しよう

どこに潜んでいるか分からないトラップ。消毒をしても、その後に触った人が無症状の感染者かも知れない。材質によっては数日間感染力を保っている。

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受容体まで運んでしまうと感染する。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

マスクリーン

高性能フィルターにきちんと紫外線を照射できるかが問題となる

UV-C 殺菌灯 or
光触媒 + UV-Aランプ or
100℃ 5分などの加熱処理
で滅菌・不活化して再利用



世界的な
供給不足



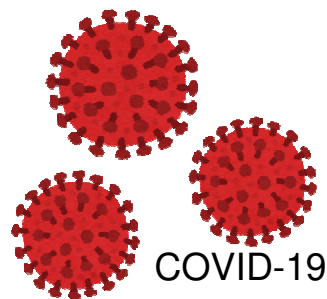
「感染を広げない」
目的で全員が着用

+フェイスガード、
ゴーグル等
(防御用)



飛沫

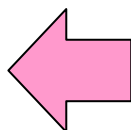
感染者から2m程度の範囲に飛び散る。咳やくしゃみだけでなく、普通にしゃべっているだけでも飛散する。



~~密集~~

小型の光触媒空気清浄機

フィルターと光触媒の組み合わせでキャッチして分解。
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



サージカルマスクには、防御の力はほぼ無い(フィルター以外の隙間がふさがれないため)。

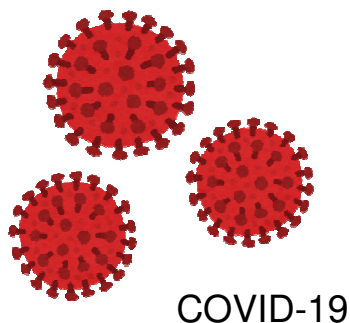
自分からの飛沫を防ぐだけならば布マスクでも十分で、いずれも8割程度を止めることができるが、2割程度は隙間などから飛散する。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(2)



どうしても換気が
悪い場所もある

~~密閉~~



COVID-19

エアロゾル

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。

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。

光触媒空気清浄機

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。

密閉容器内での
紫外線照射式
空気清浄機

高温になるガス・石
油ファンヒーター、
ストーブなど

人が居ない高いところ
へ照射するタイプもある

×エアコンは不活化するほ
ど温度が上がらず攪拌して
しまうだけ



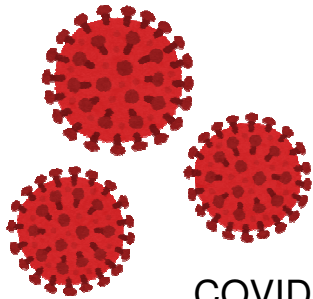
絶対に近距離で人に照射
されることが無いような工
夫が必要

マスク表面への光触媒塗布

光触媒は、可視光線での活性の高い酸化
タングステン系の製品などが望ましい

LED照明では紫外線が出ていない

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(3)



COVID-19

~~密接~~

最も対策が難しい。

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。

物体表面への接触

どこに潜んでいるか分からないブービートラップ

手袋、衣類への
光触媒塗布

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

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。

定期的なUV-C照射

距離の二乗に反比例して弱くなるためロボット技術の活用などで広い範囲に照射する必要性

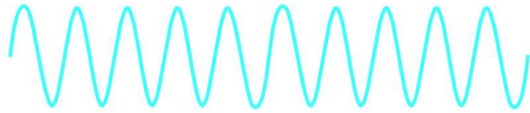
金属含有の光触媒は暗くなっても一定期間不活化の効力を発揮

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。

UV-C はわずかでも皮膚、眼に当たると強い炎症を生じるため、絶対に人体に直接照射しないように安全対策が必要。

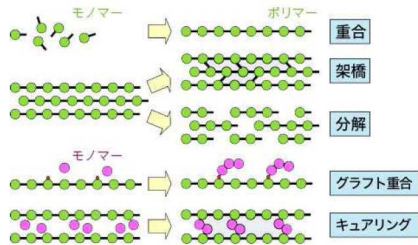
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



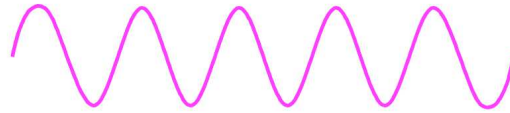
電離作用

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

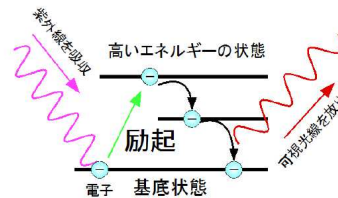


< 太陽光線の種類 >

UVC はオゾン層で吸収されるため地表には届かない。

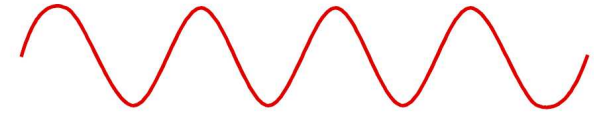
200	280	320	400	760	nm
UVC	UVB	UVA	可視光線	赤外線	
短波長紫外線	中波長紫外線	長波長紫外線	可視光線	赤外線	
殺菌作用	皮膚炎の原因	皮膚老化の原因	目覚まし	暖かくなる	

1nm (ナノメートル)=100万分の1mm



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



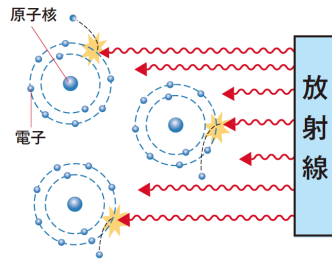
目で見える光、可視光線は波長が長くエネルギーの低い赤から、波長が短くエネルギーの高い紫までの間で、虹の七色のように見え方が異なります。光も電磁波の一種ですから少し電子を励起して、写真フィルムを感光させたり、太陽光発電を行ったり、植物の葉緑体の中で光合成を行うなどのパワーを持っています。波長(波の長さ)と位相(波の位置)の揃った光のことを、レーザー光線と言い、強度(波の高さ)がとても強く、遠くまでまっすぐ飛ぶなどの性質があります。

紫外線による遺伝子損傷



放射線を被ばくすることにより細胞中のDNAの鎖が切断されてしまう場合がある。 γ 線や β 線では**一本鎖切断**が主であるが、LETの大きい α 線では二本とも切断してしまう**二本鎖切断**が起こる場合がある。いずれの場合もバックアップデータから修復が行われるが二本鎖切断ではより困難であり、修復ミスが最終的に発がんにつながる。

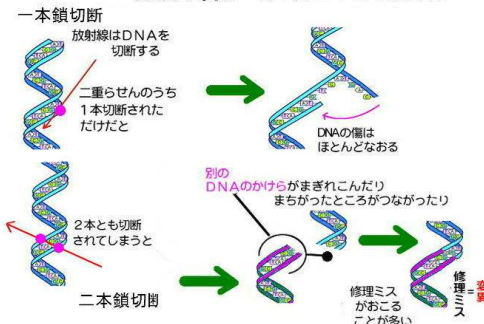
電離作用



紫外線は電離放射線には分類されず(法令上空気を電離できるエネルギーを有する光子、荷電粒子を電離放射線と呼ぶ)、DNAの主鎖を切るだけのエネルギーは無いが、配列している塩基同士を**励起**して接合してしまう場合がある。特に、**ピリジミン二量体**の生成が紫外線による損傷の主たる物と言われており、DNAの複製を妨げる遺伝子損傷となるが、ほとんどの細胞はこれらの損傷を修復する酵素を持っている。

ところがウイルスは自分自身では生命活動を行えず、これらの損傷は感染先の細胞に入って初めて修復される。また、コロナウイルスは**1鎖RNA**ウイルスであり、バックアップを持つ二重鎖では無い。このため比較的紫外線に弱いのでは無いか、と言うのが研究を始めたきっかけ。結局、1鎖RNAタイプのウイルスが系統的に紫外線に弱いというようなことは無いようだが、吸収線量の正確な評価など更なる検討が必要。

放射線によるDNA切断



さらに、波長 254 nm の紫外線は 4.9 eV 程度のエネルギーを持ち、酸化還元電位 2.42 eV のスーパーオキシドや同じく 2.85 eV のOHラジカルなどの活性酸素を生成可能で、間接作用も起こりうる。

UV-A / UV-B による滅菌・不活化

私の知っている限りで UV-A/UV-B によるウイルス不活化のデータは、徳島大学の高橋先生のインフルエンザウイルスに対する論文のみです。この論文のデータ元に、太陽光線によるウイルスの不活化にどれぐらい時間がかかるかを計算してみました。

UV-A のみの場合 (高橋先生は365nmのLEDで実験)

UV-A では 1/100 に減らすのに $50\text{J}/\text{cm}^2$ が必要です。紫外線強度が一番強い場合でおおよそ $2.5\text{mW}/\text{cm}^2$ ですので、 $50 / 2.5 \times 10^{-3} = 20,000\text{sec}$ 、**5.5時間ほど必要**です。12月では(日照時間を一日として) 1.4日ほどかかる計算になります。

UV-B のみの場合 (高橋先生は310nmのLEDで実験)

UV-B では 1/100 に減らすのに、 $0.45\text{J}/\text{cm}^2$ が必要です(UV-A のおおよそ1/100)。7-8月では、 $25\text{kJ}/\text{m}^2/\text{day}$ となっており、0.18day, ピーク時であれば**1.6時間程度**で済みます。が、UV-B は UV-A よりも吸収されやすく冬場は 1/5 程度に大きく落ち、ほぼ丸一日必要、と言う計算になります。

UV-Cによるウイルスの不活化

インフルエンザウイルスのデータを元によると、 $4.4\text{mJ}/\text{cm}^2$ で 1/100に (UV-B の 1/100の照射量)、 $6.6\text{mJ}/\text{cm}^2$ で $99.9\% = 1/1,000$ 、 $8.8\text{mJ}/\text{cm}^2$ で 1/10,000 まで不活化が可能。

国産の殺菌灯及び器具を使用すると、8 W のランプではトータルの紫外線出力は 2.5 W 程度であり、計算からも実測からも、15 cmの距離ではおよそ $0.9\text{mW}/\text{cm}^2$ となる。この紫外線強度では、およそ10秒で 1/10,000 までインフルエンザウイルスの不活化が可能。新型コロナウイルスについても既に査読の済んだ論文が出てきており、インフルエンザウイルスよりも不活化されやすいと考えられる。

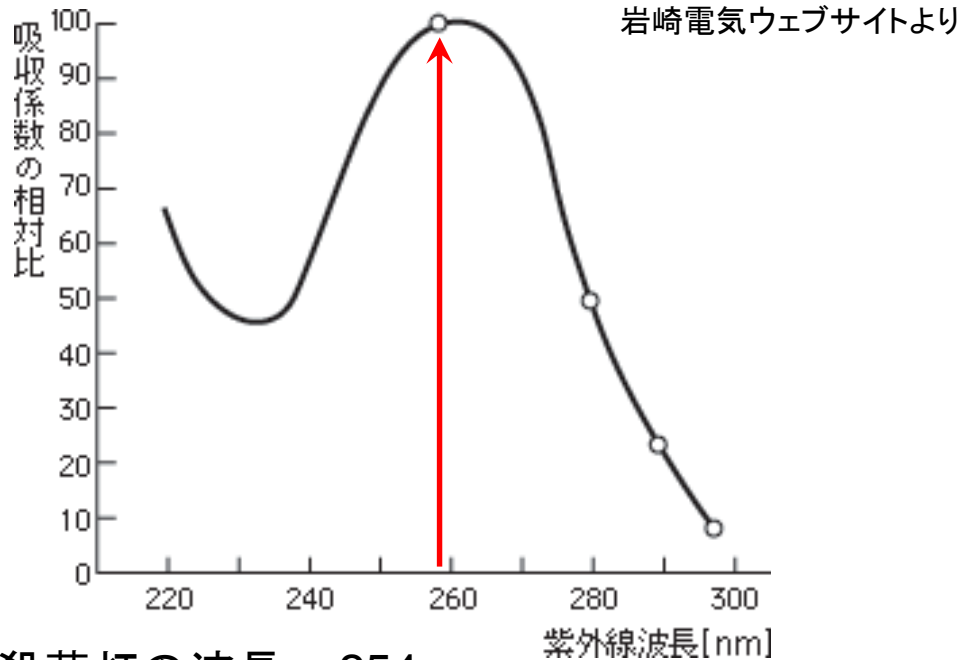
安全側に考え、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ で 1/10,000 まで不活化出来るとして暫定的な指標とすることを提唱している。

なお、現在大阪府立大学りんくうキャンパスにあるBSL3 実験室により新型コロナウイルスを用いた実験が予定されている。新型コロナウイルスに対する 254 nm UV-C 殺菌灯による不活化影響を定量的に評価する予定である。また同様にUV-B, UV-A についても影響を評価する予定である。

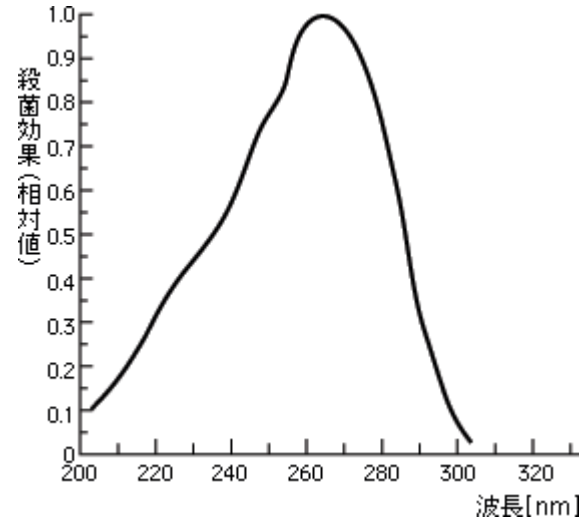
本研究では、このコロナウイルスを用いた実験と同一のセットアップで、大腸菌やバクテリオファージQ β など既存のデータが得られている対象についてのUV-Cでの実験を行い、実験セットアップの妥当性を検証する。

UV-C によるウイルスの不活化

DNAに対する紫外線吸収の波長依存性



殺菌作用の紫外線波長依存性



UV-C	UV-B	UV-A
200-290nm	290-320nm	320-400nm

殺菌灯の波長 = 254nm

紫外線に対する殺菌、ウイルスの不活化の研究はほぼ全てが波長254nmの殺菌灯について行われている。様々な菌、ウイルスについて横断的なデータが存在する。

太陽光に含まれるUV-Bについては古くから殺菌効果が知られているが、定量的研究は極めて限られている。

近年話題になっている222nmの遠紫外光は、透過力が極めて小さく、皮膚ごく表面の20 μ m程度の厚さの角質層などで止まってしまう細胞にまで到達せず、炎症や皮膚癌などを引き起こさない。その一方で物体の表面に付着した直径0.1 μ m程度のウイルスの中までは届くため、遺伝子に損傷を与えて不活化できる。ウイルスよりも大きい菌(直径1 μ m程度)の場合細胞質の中のDNAまで到達する量が少なくなるため効果は小さくなる。

UV-Cによるウイルスの不活化

既に世界中で研究が進められており、SARS-CoV-2 に対しても複数の研究者からデータが出てきている。2), 3), 5) については査読が終了しています。

No	1)	2)	3)	4)	5)
グループ	イタリア Biancoら	ボストン大 Stormら	スタンレー電気	宮崎大 Inagakiら	広島大 Kitagawaら
光源	254nm殺菌灯	254nm殺菌灯	265nm LED	280nm LED	222nm エキシマランプ
99.9%まで不活化に 必要な線量 (mJ/cm ²)	3.7	Wet: 5.3 Dry: 4.1	5.1	37.5	3.6
査読	査読中	査読済	査読無し	査読済	査読済

インフルエンザウイルスの 254nm 殺菌灯 6.6mJ/cm² で 99.9% まで不活化、よりも低い値となっており、**新型コロナウイルスの紫外線耐性は低い**と言える。

査読が完了している280nmLEDに対しても、高橋先生のインフルエンザに対する実験では99.9% まで不活化に75mJ/cm² (最新の論文では 60mJ/cm²) となっており、10倍程度殺菌灯波長よりも積算照度が必要と、整合性が取れている。

紫外線の弱点

距離の二乗に反比例して強度が下がる

広い範囲に照射するために光源を遠くに設置すると、強度が非常に弱くなり、同じ量を照射するのに必要な時間が長くなります。

ほとんどの物質に対して透過力が非常に小さい

石英ガラスや水などの一部の物を除いて、数 $10\mu\text{m}$ 程度しか透過できません。ゴム手袋や紙一枚で完全に止まります。照射できるのは表面に付着している物に限られますし、光源から影になる部分には効果がありません。

皮膚や目に強い炎症を起こし、人体に有害

波長が短くエネルギーの高いUV-Cは皮膚や目に強い影響を与えます。このため、人がいる場所での使用が基本的に出来ません。JIS Z8812では、UV-Cに対する許容限界値基準は $6\text{mJ}/\text{cm}^2$ となっています。

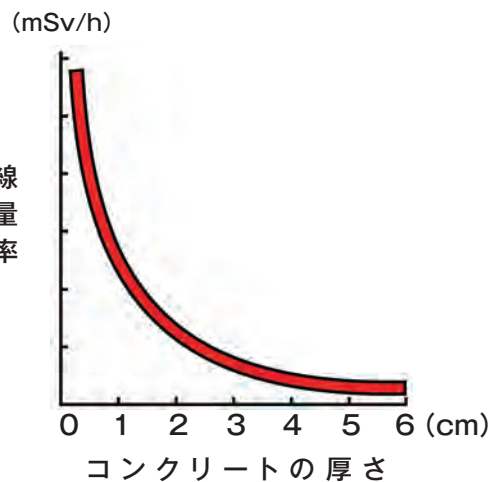
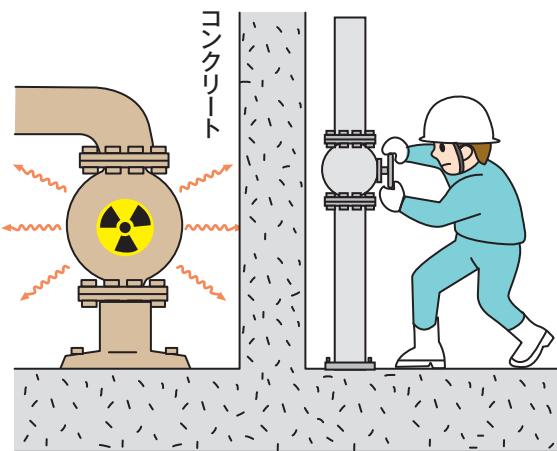
殺菌灯の入手が困難

2019年4月以降、省エネと水銀に対する規制のために蛍光灯器具の販売がほとんどのメーカーで終了しています。その一方でUV-C波長のLEDは出力が 100mW 以下と小さく、エネルギー変換効率も数%程度で高価であり、代換できていません。

放射線防護の基本

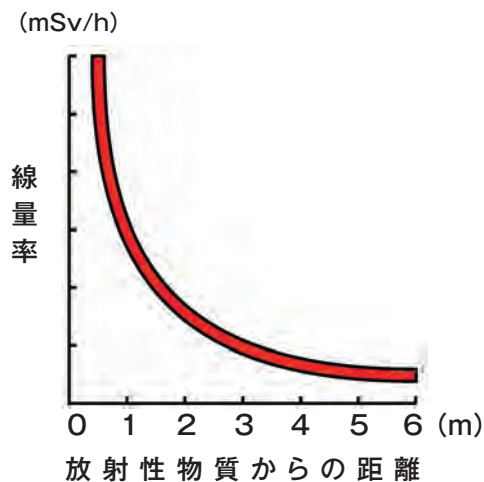
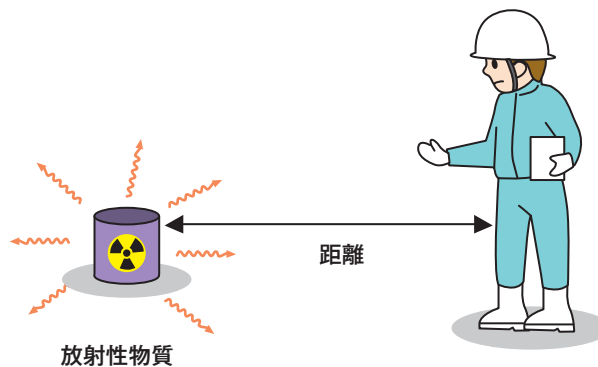
1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



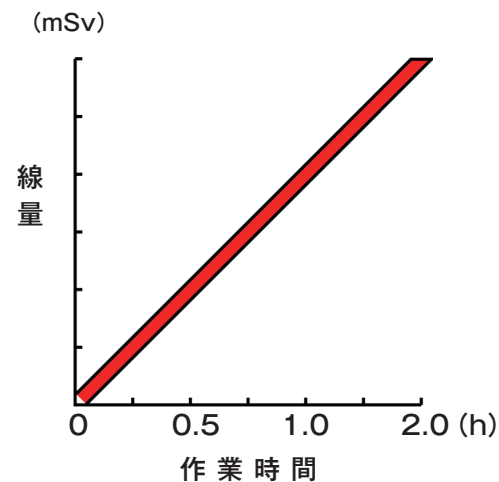
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例



3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



市販されている様々な紫外線グッズ(1)

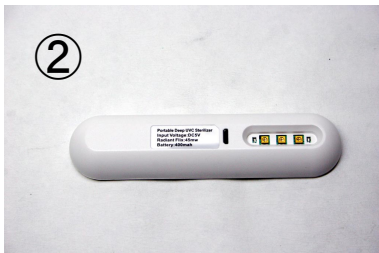
7月頃にイベント関係の音響担当大手S社から担当者が訪問してマイクなどの紫外線滅菌について相談を受け、いくつかの製品の評価を行った。その中で、市販されているLEDを使った製品は非常に照射強度が弱かったり(マスクリーンスの1/100程度)、場合によってはUV-Aも含めて紫外線が検出限界(0.001 mW/cm²) 以下となる製品もあつたりするなど、極めて悪質であることが明らかになった。

そもそもの程度照射すれば良いのかというガイドラインが存在しない事も問題。

(ケニス SDカード式紫外線強度計 YK-37UVSD で測定)



この製品は、BOX 底面中央では全く紫外線を検出できませんでした。LED にベタ付けで測定すると、UV-C 3mW/cm² 程度が測定されるが、実際にBOXに物品を入れて謳い文句の通り表面のウイルスを99.9% 不活化するとしたら、7.5mJ/cm² 必要であり、仮に0.001 mW/cm² としても7500秒ほどかかり、非現実的。



ウェブサイトでの謳い文句

距離5cm での照射強度

- | | |
|---|-------------------------|
| ① 僅か10分間 殺菌率は99.99%に達します。 → | 検出限界以下 |
| ② 10秒即効 99.9%細菌消滅(距離の記載無し) → | 0.03 mW/cm ² |
| ③ 10秒以内に 99.99%の滅菌率(距離の記載無し) → | 0.02 mW/cm ² |
| ④ 10秒快速殺菌、99%細菌消滅、推奨距離は2cm → | 0.04 mW/cm ² |
| ⑤ 「紫外線は、99%殺菌機能を科学的に証明されています。」
距離、時間記載無し → | 検出限界以下 |



④の製品は「推奨距離は2cmで、照射範囲は直径4cmで、最大距離は5cmを超えないでください、5cmの場合、照射範囲は直径10cmです」と謳っていて、比較的良心的だが実測とは乖離が有り、至近距離で長時間照射し続けるのは非現実的。

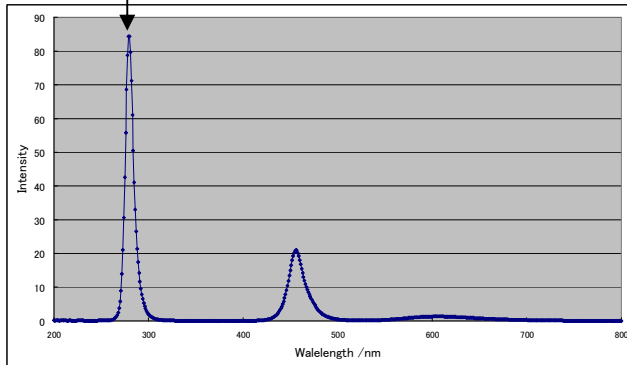
市販されている様々な紫外線グッズ(2)



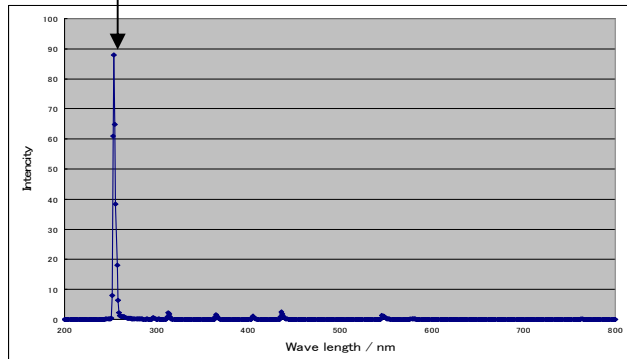
以前はUV-C光源として低圧水銀ランプについてのみ考えれば良かったが、近年260nm程度までの波長のLED光源が販売されるようになった。しかし、多くの製品で使用されている280nmでは不活化の効果は254nmの場合の1/10程度であり、分光放射照度計での測定、補正が必要。

UVのピーク波長は
280nmでやや幅が広い

そもそもこういったUV-C LEDを使用した製品は絶対的な強度が弱く、使い物にならない。



低圧水銀ランプのピーク
波長は 254nmでシャープ



Σ 各波長毎の照度 × 不活化効果相対値

と言う形で表わされる、放射線と言うところの実効線量のような指標が必要。

菌に対しては、JIS Z8811 (1968) で既に与えられている。
(G-ワットという名称)

ウイルスに対しては公式な物が与えられていない。

ハンディな放射照度計は、254nmを前提に校正されているが、それすら製品規格が存在せず、メーカーにより値が異なる。

分光放射照度計
USHIO USR45 で測定

市販されている様々な紫外線グッズ(3)



蛍光管式の物ならば大丈夫かという、左の商品は蛍光管を謳っているがユーザーのレビューによると実測値がゼロとのこと。サイズの的にGL8 だと思われるのでランプを交換すれば使えるかも知れないが、写真はどう見ても蛍光管では無く、仮にちゃんと出ていたとすると非常に危険な持ち方をしている。



左の写真のように、衣類などを詰め込んだ状態で殺菌している例も見受けられるが、UV-Cは透過率が低いため表面近傍しか殺菌されず、ほとんど意味が無い。

右の写真2枚はマスク用の薄型の除菌器だが、上の製品は中央部に2灯、下の製品はケース側面に2灯のLEDを配しているが、どう見ても全面に紫外線が当たらない構造になっている。また、「0.5Wの超強力UV-C LED」など、LEDの性能を消費電力で表記しているようである。



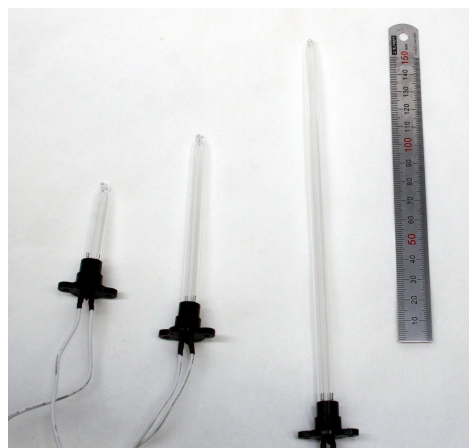
市販されている様々な紫外線グッズ(4)



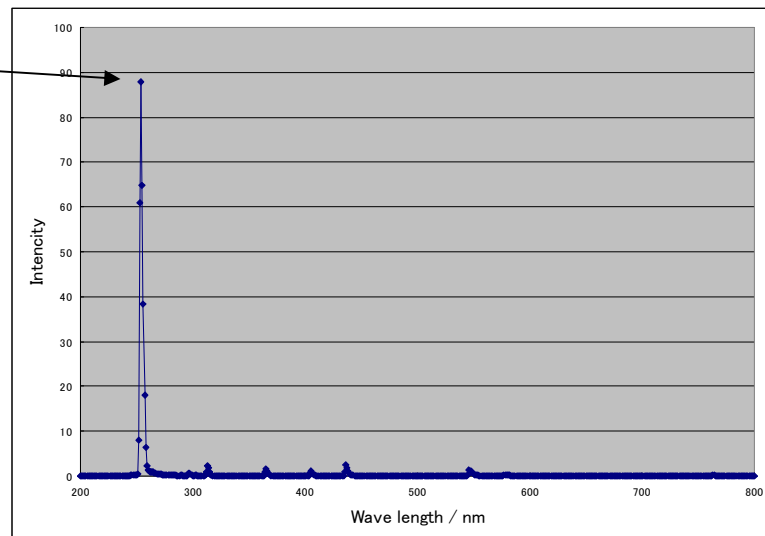
この製品はCCFL(冷陰極管)を使用した製品であり、熱陰極を利用した蛍光灯同様に水銀からの254nm殺菌線を出している。蛍光灯よりも水銀使用量が少ないとの事で現在でも製造が続けられている。12V電源などでインバータ回路を駆動するため、バッテリーでの利用も現実的で、左の写真のようなポータブルな製品も売られている(CCFL管の部分が100mm)。

5cmの距離でランプと平行な面に $0.5\text{mW}/\text{cm}^2$ の照度があり、LEDと比べると出力が高く十分実用的。逆に、人体に当たると危険であるため、タイマーをセットして10秒後に点灯、15分後に自動消灯するようになっている。

ピークは 254nm



50mm, 100mm, 200mm
のランプ長さの製品が
販売されている。水銀
使用量が少なく、規制
対象外で現在でも生産
されている。



リスクの考え方

放射線に関しても同様であるが、一般公衆のリスクの捉え方は実態からかなり乖離している場合が多い。安全か危険かの、0か1で考えている例が多く見られる。

しかしながら当然絶対の安全も危険も存在せず、程度の問題に帰結する。コロナウイルスの場合、個人から見ると感染するかしないかの0か1と言うこともできるが、社会全体で考えると個々人がわずかでも感染するリスクを下げることが重要である。小さいことの積み重ねでも、一人の感染者が何人の次の感染者を生み出すかという実効再生算数が少し下がるだけで系全体の感染者数の動向は大きく左右される。

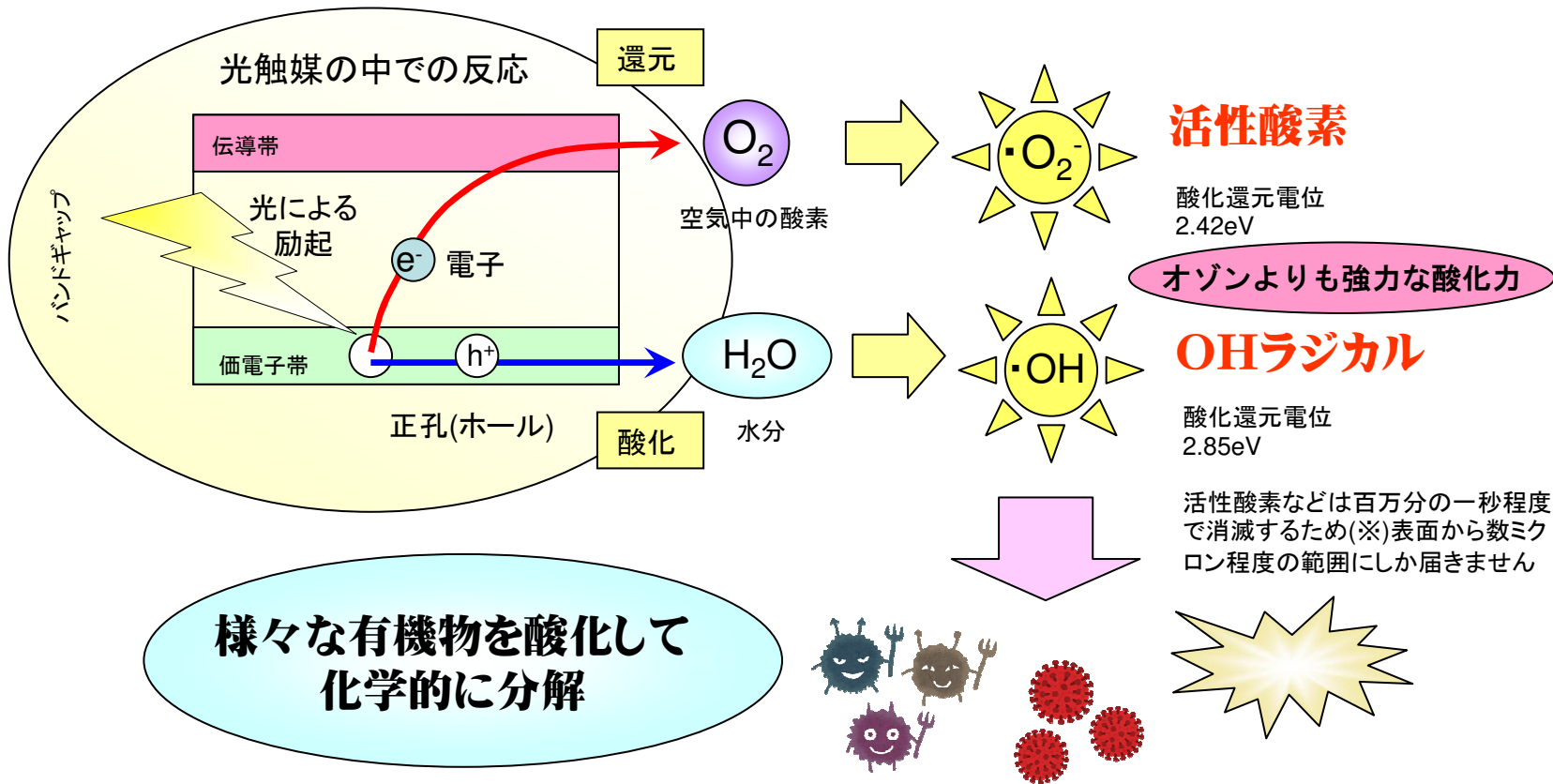
紫外線でも、光触媒でも、空気清浄機などはその効果を定量的に示すことは非常に困難であり、実際に使われる環境の換気の状態や人の配置などで効果は大きく左右される。当然完全に感染リスクを0にする製品というのは絶対に存在し得ない。しかし少しでもリスクを低減する措置を積極的に進めていくべきである。もちろん、より性能の高い製品、コストの低い製品の開発を進め、それを何らかの指標で評価することも必要である。

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。それぞれが、様々な相互作用で身の回りの役に立っています。
- ・赤外線はエネルギーは低いですが熱を運ぶ働きをし、紫外線やガンマ線などエネルギーの高い光は殺菌に使われたり、化学合成などに使われています。
- ・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、とても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、光が当たることで小さな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水と二酸化炭素にまで完全に分解します。ウイルスや菌も不活化、殺菌され分解され、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。
- ・二酸化チタンを使用した光触媒では、既に新型コロナウイルスに対する効果が実証されています。



光(Photon)
目に見える可視光線

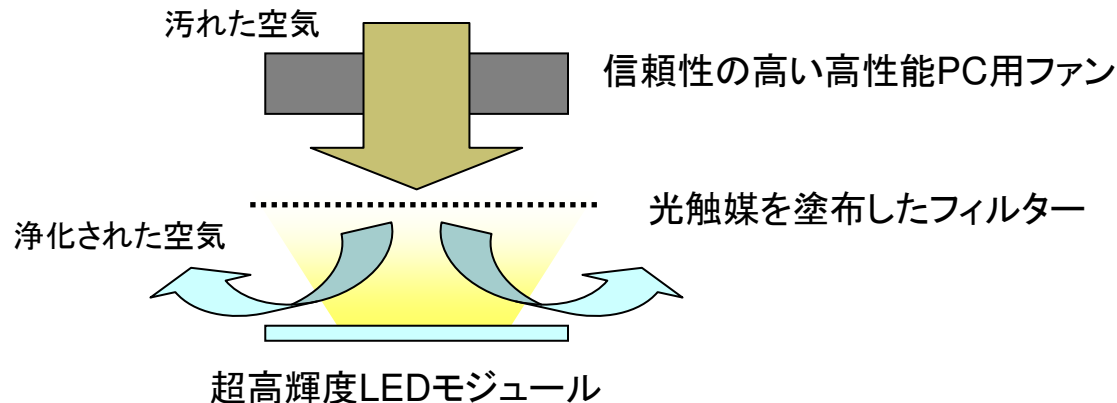


最終的には水と二酸化炭素にまで分解される(完全分解)。

※ 一瞬で大量の有機物を分解するわけではありません

光触媒の応用

- ・光触媒の一番分かりやすい応用例が**脱臭**です。空気中の様々な臭いの元になる物質や、ホルムアルデヒドなどのシックハウス症候群の元になる有害物質などを、酸化分解してしまいます。光の当たるカーテンなどに塗布すると効果的です。部屋干しの臭いの付いたタオルなども、繊維の奥まで脱臭されます。
- ・ドアノブやつり革、机などの物品の表面や、マスクや上着に塗布する事で付着したウイルスを徐々に不活化する事が出来るため、接触感染を抑制することが出来ます。
- ・光触媒自体は反応の前後で変化しないため、粒子が洗い流されたりしない限り**半永久的に使用出来ます**。
- ・フィルターに塗布して強い光を当て、そこに空気を流し込むことで空気清浄機を作ることが出来ます。活性酸素は寿命がマイクロ秒オーダーで、一瞬で反応して消滅するため、活性酸素がまき散らされることはありません。

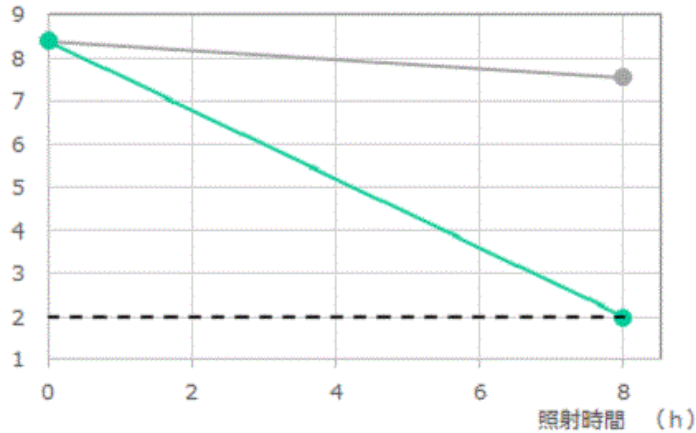


ひかりクリーナー

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

ウイルス力価 (log₁₀PFU/試験片)



—●— ルネキャット未使用 —●— ルネキャット - - - 検出限界値

A型インフルエンザウイルス(H1N1)

抗ウイルス性試験方法	フィルム密着法 (JIS R 1756:2013を参考に実施)
光源	白色蛍光灯 2000lx (400nmの紫外光はフィルターでカット)
作用時間	8h
試料塗布量	5mg/2.5 × 5cm

試験機関：北里環境科学センター

光触媒の塗布量はひかりクリーナーの標準仕様で 727mg/m²、2.5x5cm に換算すると0.91mgだが、試作している高性能フィルターでは27.7g/m² で、2.5x5cm に換算すると34.6mgにもなる。

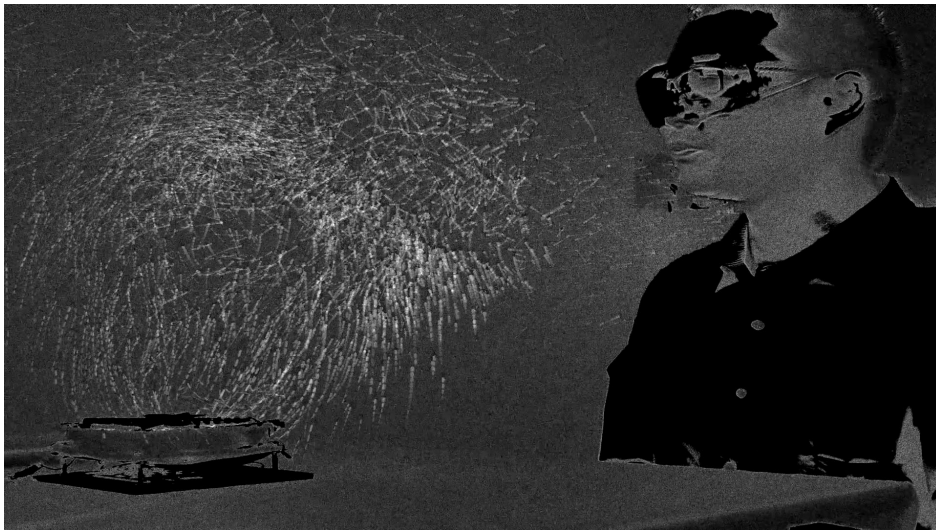
光の強度も全く異なり、ひかりクリーナーでは 68,500 lux にもなる。このため、ひかりクリーナーでは上記の条件よりも速い速度で不活化すると考えられる。

フィルターによる飛沫の捕集

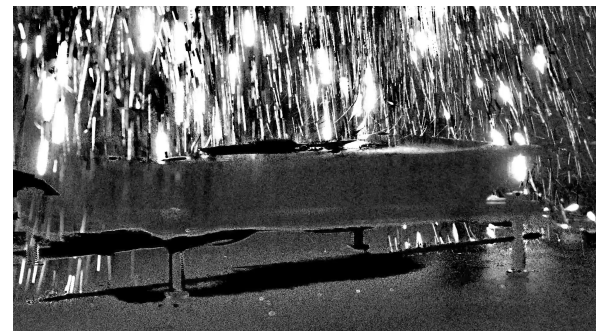


空気中の微粒子を可視化する特殊動画撮影を実施しました。

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。

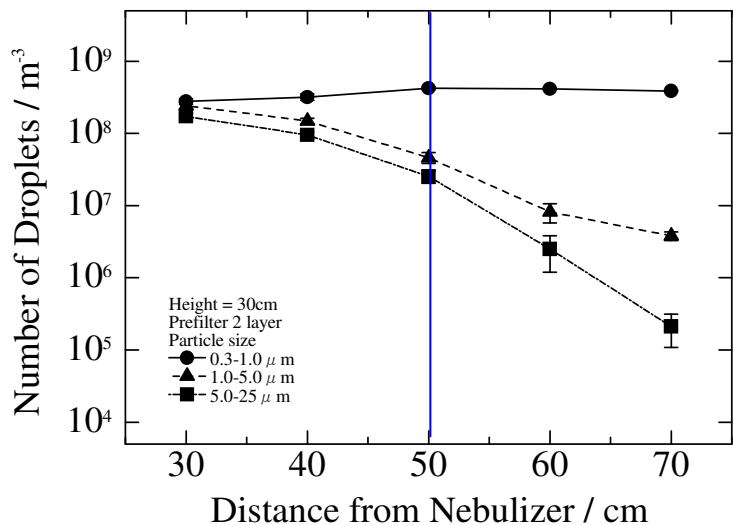
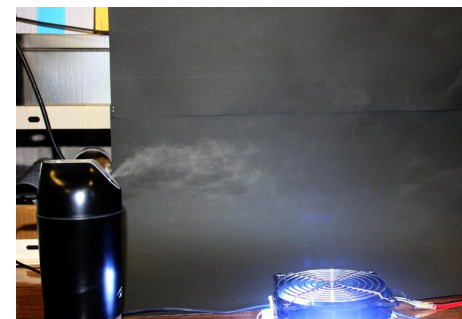
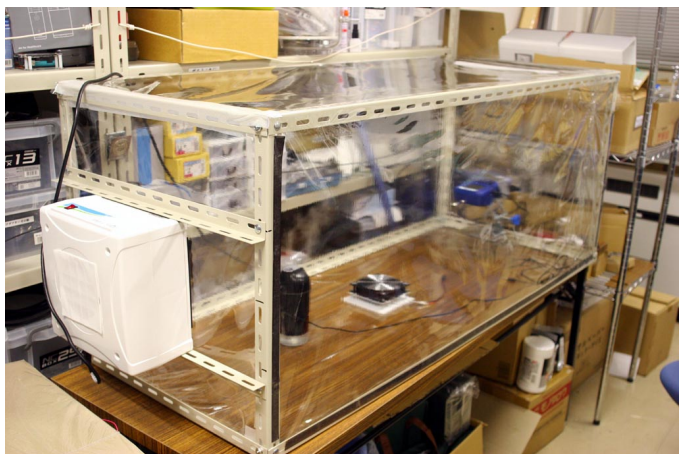
キャッチしてゆっくり分解

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。

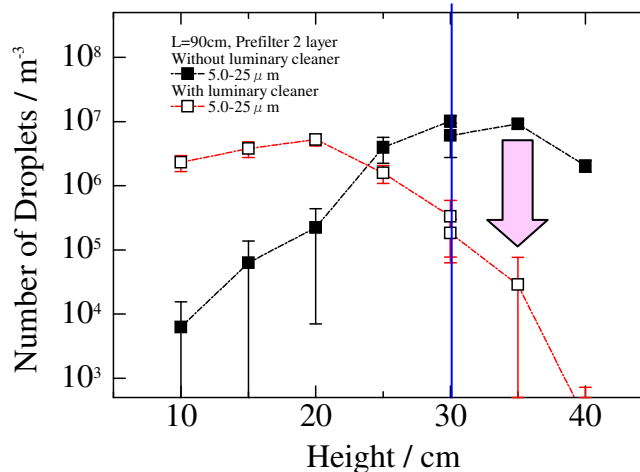
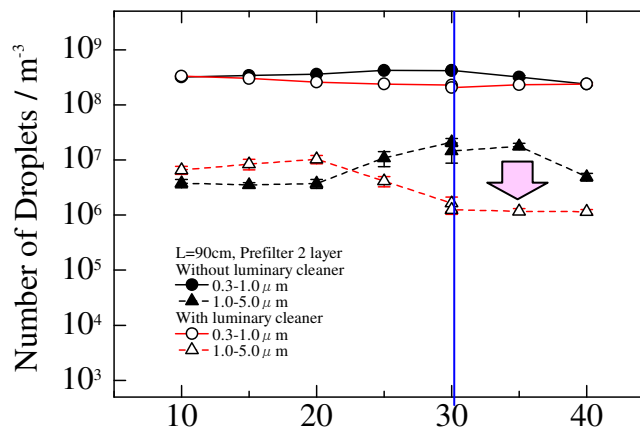
1 μ m以下の液滴は計測可能な濃度を超えており透過率が評価できませんでしたが、空気中の埃は6割以上捕集されており、さらに小さいホルムアルデヒド分子が分解されることから、光触媒による不活化は期待できます(カルテック社の実験で実証されています)。

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

フィルターによる飛沫の捕集(3)



粒径毎の飛沫数の飛距離依存性

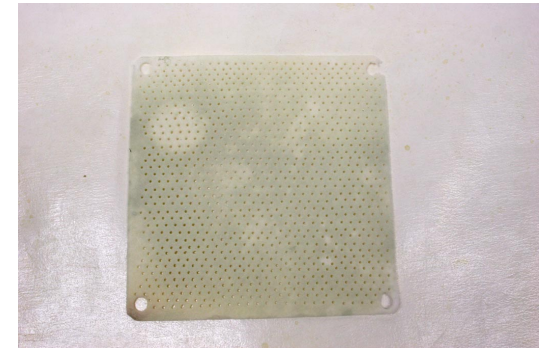
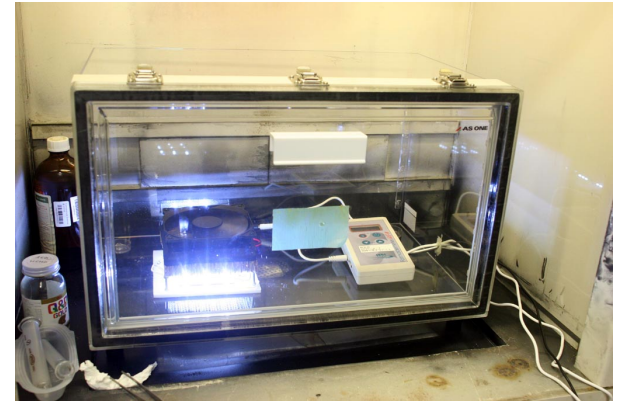
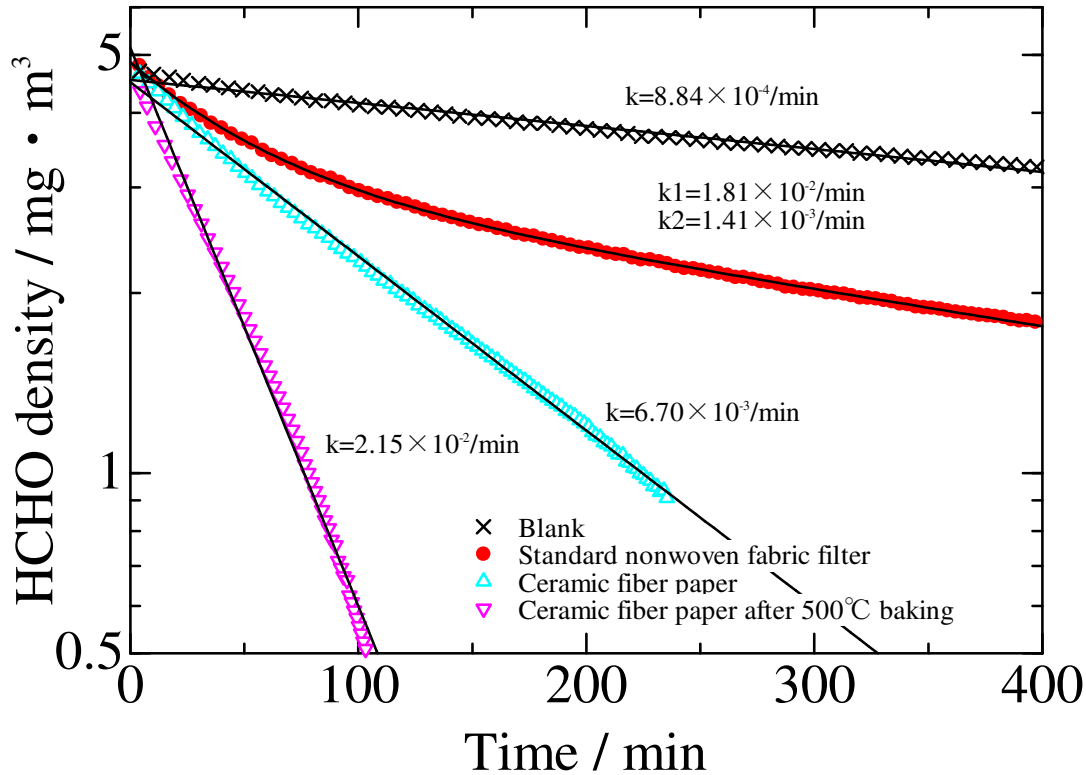


風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集試験。

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げ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。

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ヒドメータ 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ました。現在、さらに高性能のフィルターを開発中です。

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量

光触媒による分解反応速度は対象物の濃度と反応速度定数に比例する、**濃度律速**になっていますので、単位時間あたりの分解量は簡単には言えません。今回の標準機の結果を考えると、 4.8mg/m^3 から1時間で 3.3mg/m^3 まで下がりました。光触媒無しの場合での測定でも 0.7mg/m^3 程度下がっていますから、正味 0.8mg/m^3 の減少です。アクリルデシケーターの容積は38Lですから、絶対量に換算すると $30\mu\text{g}$ が分解された計算になります。コロナウイルスを $5.2 \times 10^{-7} \mu\text{g}$ とすると、**5,800万個** に相当します。もちろん、ホルムアルデヒドガスとウイルスは分解のされ方が違います。ホルムアルデヒドは還元性を示し、酸化されやすい化合物ですので、実際にはもっと少ないはずですが、**完全に分解しなくてもウイルスは不活化**されてしまいます。無機材質の特別仕様フィルターは、15倍以上の反応速度定数となっており、紫外線と二酸化チタンを使用した高性能フィルターTMiPを使用したM社の小型空気清浄機をはるかに凌ぐ性能を示しています。くしゃみ1回でばらまかれるウイルスは**200万個**程度とされていますので、分解性能的には余裕があると言えます。

実際のウイルスを噴霧しての実験は極めてハードルが高いのですが、カルテック社が日本大学、理化学研究所と共同で行った実験では、**噴霧されたSARS-CoV-2 ウィルスに対して光触媒は明確な効果を示しています**。光触媒自体が様々なウイルスを不活化するデータは各社から公開されており、酸化分解というウイルスの微妙な違いに関わらない反応では、それらのデータが参考になります。特に、大腸菌のみに感染する安全なマクロファージQ β ウィルスなどを指標とした試験が光触媒工業会などで推奨されています。