

大阪公立大学 公開講座 @ I-Site なんば
人類と感染症との戦い
～国際感染症研究センターの挑戦～

感染拡大の原因から考える 新しい感染対策の提案

○准教授 秋吉 優史
大阪公立大学 工学研究科、放射線研究センター、
国際感染症研究センター兼任

E-Mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp
<http://anticovid19.starfree.jp/>



第一部：概要説明

第二部：紫外線消毒

第三部：光触媒と飛沫除去

なぜ感染制御研究を？



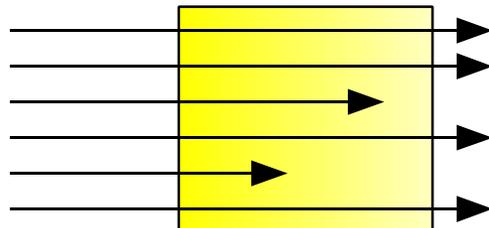
非密封のRI(放射性同位元素)を取り扱う上での汚染拡大防止と、感染制御は共通点が多い。

防護着として用いられているタイベックスーツはRI用と生物用で同じ物。

教育現場で使われるクルックス管の安全管理を行う上で、中途半端なエネルギーのX線の線量評価をしている。

強透過性放射線

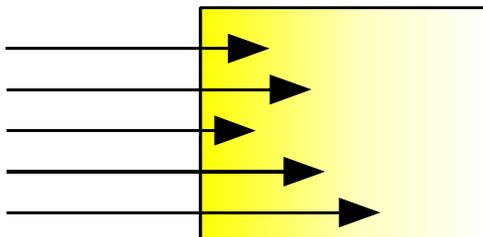
$$H_p(0.07) \leq 10 H_p(10)$$



整列拡張場

ほとんど素通りでほぼ均一にエネルギーを与え、入射エネルギーでは無く物質が受け取ったエネルギーで評価(J/kg = Gy)。

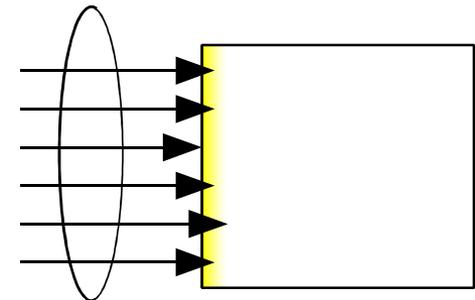
低エネルギーX線



20keVのX線は1cmで半分に減衰して、体内でのエネルギー付与が均一では無く、実効線量の評価が困難。

紫外線の正確な線量評価

紫外線



数10μmの範囲で完全に吸収されてしまい、その範囲での微小体積へのエネルギー付与の評価が困難なため、単位面積あたりの入射エネルギー(J/m²)で評価。

先生、ご存じですか？

理科の授業で使っているクルックス管からは
高い強度のX線が漏洩している場合があります！



現行の教科書にも記載されているクルックス管は、製品によっては 15cmの距離で、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率が 200mSv/h にも達する高い線量率の低エネルギーX線が放出されている場合があります。知らないで近付いたりすると非常に危険です。

・20keV程度とエネルギーが低いので普通のサーベイメーターは役に立ちません

でも、心配はいりません！

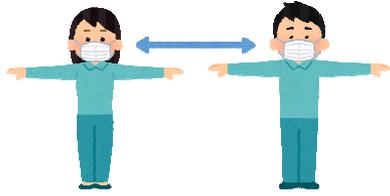
・ごく基本的な誘導コイルの設定と、距離を取って時間を短くするなどの簡単な運用法の改善で、劇的に線量を小さくすることができます。

本当に大丈夫なのか心配・・・

暫定ガイドラインで本当に問題無いか、実証試験を行っています。
ガラスバッジを用いた簡単な測定を各学校で行うことができます。詳しくはホームページをご覧ください ↓



ソーシャルディスタンス



感染拡大の原因と三密とは？



~~密集~~

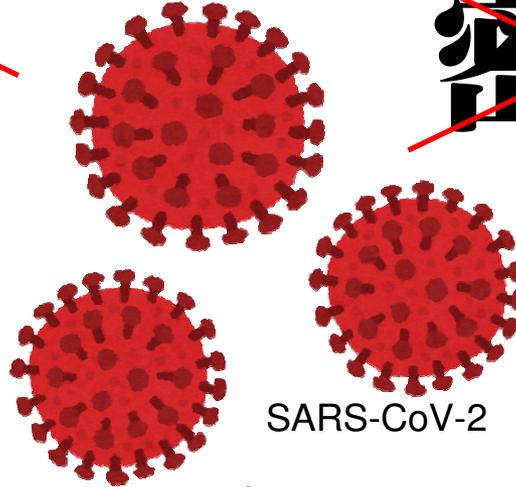


エアロゾル



~~密閉~~

飛沫



SARS-CoV-2

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。

一般的なマスクを付けていても
50%程度が飛散する。

~~密接~~



表面への接触

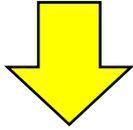
どこに潜んでいるか分からない
トラップ。

材質によっては数日間感染力を
持ったまま付着している可能性
がある。

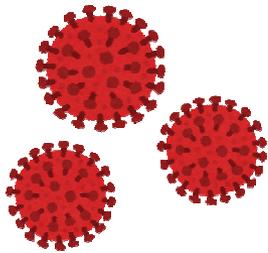
口腔から放出される5 μ m以上の液滴。
感染者から2m程度の範囲で飛散。
マスクを付けていても20%程度が放出
される。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(1)

~~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)。

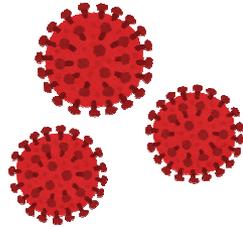
人の居ない空間への紫外線照射

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。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(2)

飛沫が物体表面にばらまかれて乾燥

~~密接~~

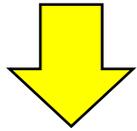


手を洗おう



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

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。飛沫が落下した後もウイルスは感染力を保持していて、接触感染の原因となりうる。

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。

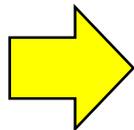
共有物品表面への光触媒や、銅・銀などの金属微粒子の塗布

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くても一定期間不活化の効力を発揮する物もある。

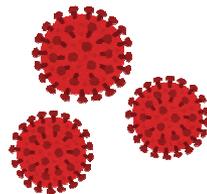
最も簡単には、銅箔テープの貼付けなどでも一定の効果がある。

新型コロナウイルスへの工学的対抗策の検討(3)

~~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



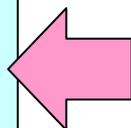
飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

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。

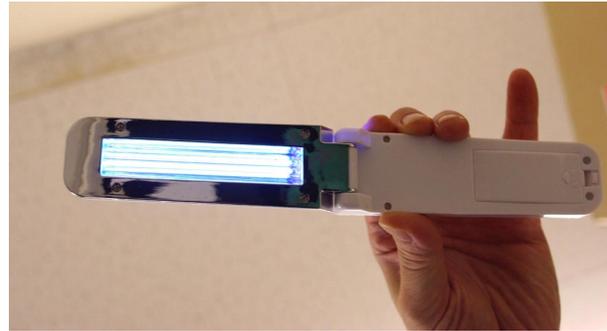


飛沫の放出を防ぐためにはマスクが有効で、不織布や布製のマスクでは8割程度の飛沫を止めることが出来るが、残りの2割程度は隙間などから飛散する。このため、飛程よりも近くに座ってのミーティングや窓口などでの会話で感染リスクがある。また、食事中にマスクは困難で会食時のリスクが高い。



「感染を広げない」
目的で全員が着用

第二部：紫外線消毒

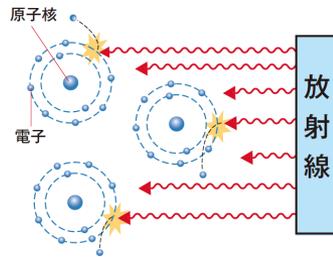


紫外線による遺伝子損傷

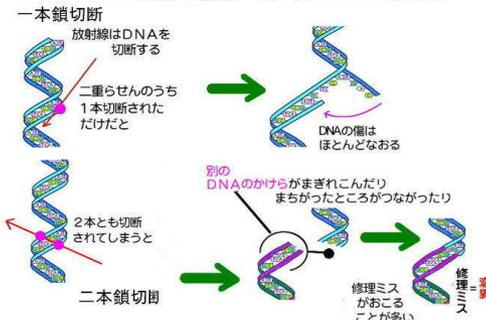


放射線を被ばくすることにより細胞中のDNAの鎖が切断されてしまう場合がある。 γ 線や β 線では**一本鎖切断**が主であるが、LETの大きい α 線では二本とも切断してしまう**二本鎖切断**が起こる場合がある。いずれの場合もバックアップデータから修復が行われるが二本鎖切断ではより困難であり、修復ミスが最終的に発がんにつながる。

電離作用



放射線によるDNA切断

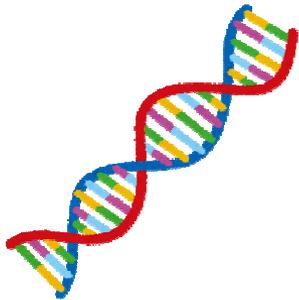


紫外線は電離放射線には分類されず(法令上空気を電離できるエネルギーを有する光子、荷電粒子を電離放射線と呼ぶ)、DNAの主鎖を切るだけのエネルギーは無いが、配列している塩基同士を**励起**して接合してしまう場合がある。特に、**ピリジミン二量体**の生成が紫外線による損傷の主たる物と言われており、DNAの複製を妨げる遺伝子損傷となるが、ほとんどの細胞はこれらの損傷を修復する酵素を持っている。

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。

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。

紫外線による殺菌・不活化効果

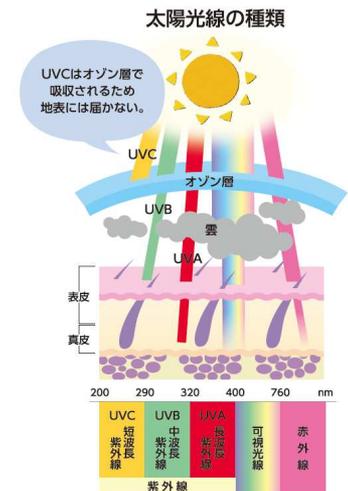


太古の昔から生物にとって紫外線は大敵で、オゾン層が出来るまで生物は陸上に上がることが出来ませんでした。紫外線は、放射線のように直接遺伝子を傷つけ、不活化します。菌、ウイルスの種類を問わずに紫外線は有効で(多少の強い、弱いはありますが)、**新型コロナウイルスも紫外線で不活化されることが様々な論文で報告されています。**

紫外線は波長によって長い方から UV-A (400-315nm), UV-B (315-280nm), **UV-C (280nm未満)** と分類されます。

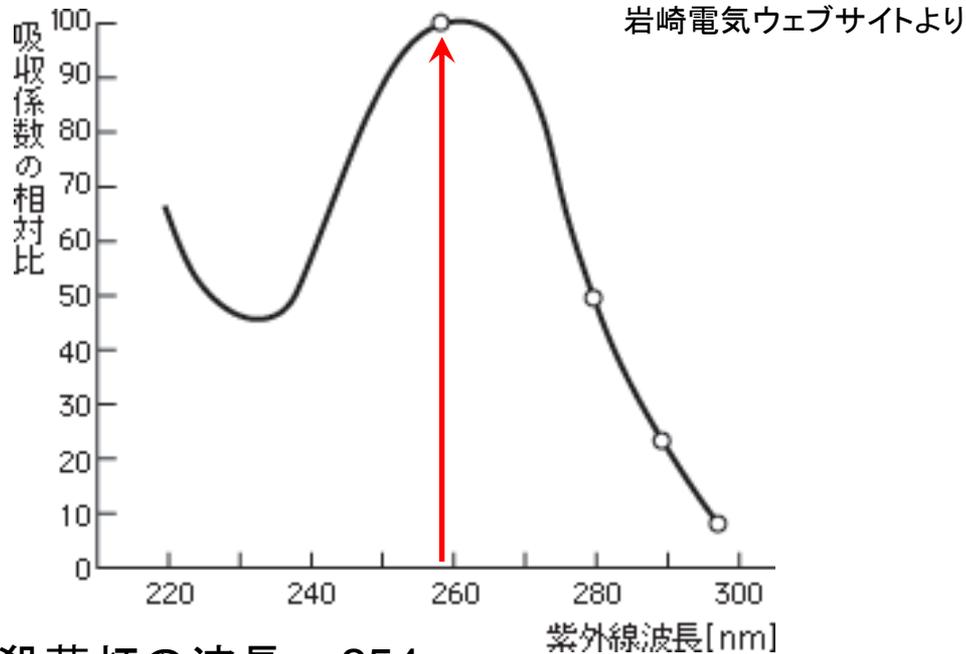
紫外線による殺菌効果のピークは **260nm** 程度で、DNA/RNAに直接損傷を与えます。310nm 程度になるとほとんど効果が無くなり、UVレジンなどで使用する UVライトは **375nm** 程度で殺菌の目的ではほとんど使えません。太陽光では、5%程含まれるUV-B 成分によって、**最も条件の良い場合2時間弱で1/100**にまでインフルエンザウイルスを不活化できます。

論文として報告されている新型コロナウイルスのデータ(*)を元にする
と、8W のUV-C 殺菌灯からの紫外線量を実際に測定してみた結果、
正面位置15cmの距離でおよそ **3秒で99.9%** が不活化可能であるという
計算となりました。 *Mara Biasin et al., Scientific reports, 11 (2021) 6260.

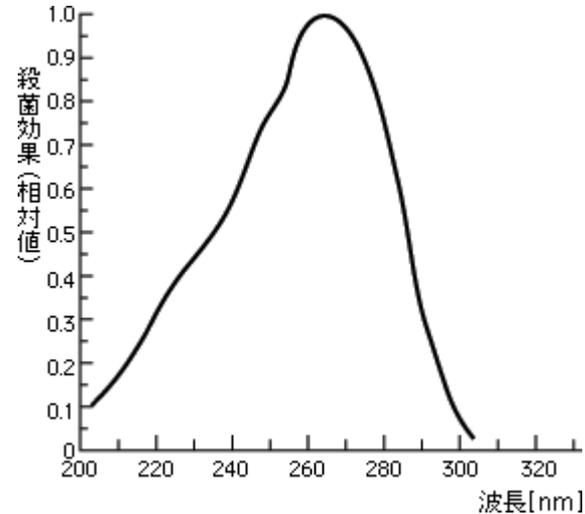


UV-C によるウイルスの不活化

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

200-290nm

UV-B

290-320nm

UV-A

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-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、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ を暫定的な指標とすることを提唱している。

なお、既に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 254 nm UV-C 殺菌灯による不活化影響の定量的評価が完了しており、十分に実験条件を考慮した上で既報の論文より低い積算照度で不活化されることが明らかとなっている。さらに、この新型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 などについての実験を行っている。これらの指標生物を紫外線照度を求めるバイオドシメーターとして利用し、実際に新型コロナウイルスを使用しなくても様々な紫外線応用製品の検証を行うプロトコルの標準化を目指している。

UV-Cによるウイルスの不活化

様々なデータソースによる紫外線による不活化に必要な照射量の比較。

紫外線は表面ごく近傍で吸収されるため、単位面積あたりのエネルギー束という単位で照射量を表わす。

特定の殺菌灯を規定距離での比較実験値

ソース	徳島大学 高橋先生論文	岩崎電気	スタンレー 電気	Panasonic	Wintec
低減率	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	不明
単位	mJ/cm ²	mJ/cm ²	sec	mJ/cm ²	mJ/cm ²
大腸菌		5.4	4.7	10.8	6.6
緑膿菌		16.5	4.8	16.5	10.5
レジオネラ菌		7.5	3.3		7.6
インフルエンザ	75	6.6	6.3		8
ヒトコロナ			1.7		

280nm のUV-C LED
を使用

コロナウイルスは3倍
以上感受性が高い？

実験条件によって倍・半分
程度値が変化する。

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。

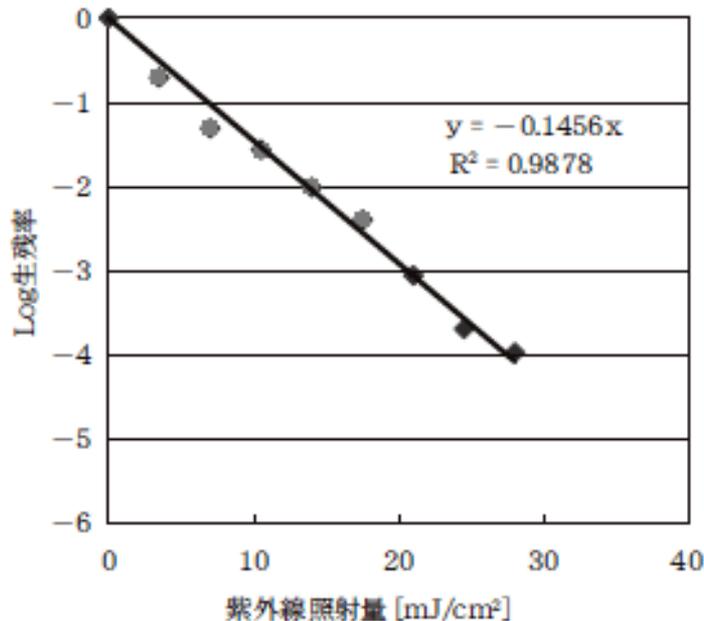
No	1)	2)	3)	4)	5)
グループ	ミラン大 Biasinら	ボストン大 Stormら	スタンレー電気	宮崎大 Inagakiら	広島大 Kitagawara
光源	254nm殺菌灯	254nm殺菌灯	265nm LED	280nm LED	222nm エキシマランプ
99.9%まで不活化に必要な線量 (mJ/cm ²)	3.7	Wet: 5.3 Dry: 4.1	5.1	37.5	3.6
査読	査読済	査読済	査読無し	査読済	査読済

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。

280nm LED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 254nm での照射よりも積算照度が必要で、上記のSARS-CoV-2の結果と整合性が取れている。

紫外線積算照度と生残曲線

放射線の場合は吸収線量(Gy)などの単位で、どの程度照射を行うとどの程度影響が出るかを評価します。同様に、紫外線の場合は単位面積に単位時間あたり与えるエネルギーを**照度**(SI単位系では W/m^2 、慣例的に mW/cm^2 が良く用いられる)と呼び、照射時間で積分したトータルのエネルギーを**積算照度**(J/m^2 、 mJ/cm^2)と呼び、積算照度が増えるに従って、殺菌や不活化されずに生き残っている菌やウイルスの数は、指数関数的に減少していきます。この様子を**生残曲線**と呼びます。効果が有る/無しではなく、**照射する量によって効果が変わります**。

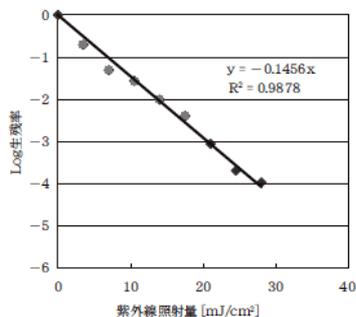


生残曲線の例。横軸に紫外線積算照度(mJ/cm^2)、縦軸にどれだけ生き残っているかという生存率の**対数值**(-3で $10^{-3} = 0.1\%$ で、99.9%まで殺菌/不活化されたことを意味する)をプロットした物。必ずしも直線的になるわけではなく、最初なかなか下がらない、肩を持つ場合も多い。また、対象となる微生物によってこの曲線の傾きが異なり、どの程度照射すれば良いかが変わってくる。

なお、高い照度で短時間照射も、低い照度で長時間照射も、**積算照度が同じであれば効果は同じ**である(極端に高い照度の場合を除く)。

バイオドシメーターの考え方

- ① 評価を行いたい生物種(今回は新型コロナウイルス)に対して、紫外線の積算照度とどの程度殺菌/不活化されたかの割合をプロットした生残曲線を取得する。
- ② 同じ波長の紫外線に対して、安全に取り扱いを行える指標生物種(バクテリオファージ Q β など)についても生残曲線を別途取得しておく。
- ③ 評価を行いたい装置で指標生物種に紫外線照射を行い、どの程度指標生物種が殺菌/不活化されたかを調べる。
- ④ プロセス ② で取得した生残曲線から、紫外線積算照度を求めることが出来る。
- ⑤ プロセス ① で取得した、評価を行いたい生物種に対する生残曲線から、その装置でどの程度殺菌/不活化されるかが評価できる。
- ⑥ 新たな感染症が発生し、別の生物種に対する製品の効果を評価したい場合でも、その生物種に対する生残曲線を信頼できる機関が一度取得すれば、④ のプロセスで既已取得している積算照度を用いてその生物種に対する効果をすぐに評価可能。



生残曲線の例。横軸に紫外線積算照度(mJ/cm²)、縦軸にどれだけ生き残っているかという生存率の対数値(-3で10⁻³ = 0.1%で、99.9%まで殺菌/不活化されたことを意味する)をプロットした物。必ずしも直線的になるわけではなく、最初なかなか下がらない、肩を持つ場合も多い。

なお、高い照度で短時間照射も、低い照度で長時間照射も、積算照度が同じであれば効果は同じである(極端に高い照度の場合を除く)。

工学的対策事例

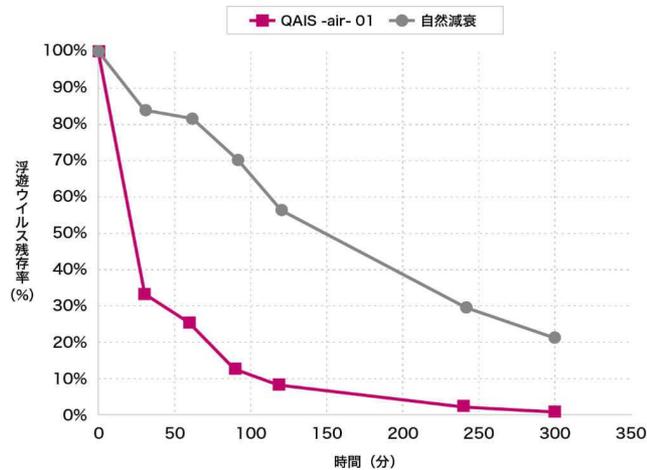
UV-C + TiO₂ 光触媒両方を
使用した空気清浄機

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。

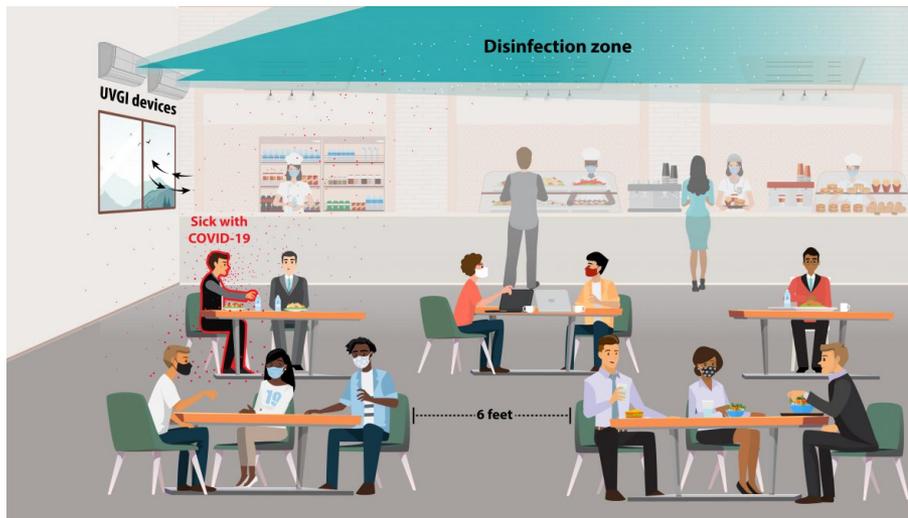
DNA/RNA に損傷を与えるUV-C と、
表面のスパイクタンパクなどを分解
する光触媒が相乗効果を生まない
か? → 共同研究を実施中



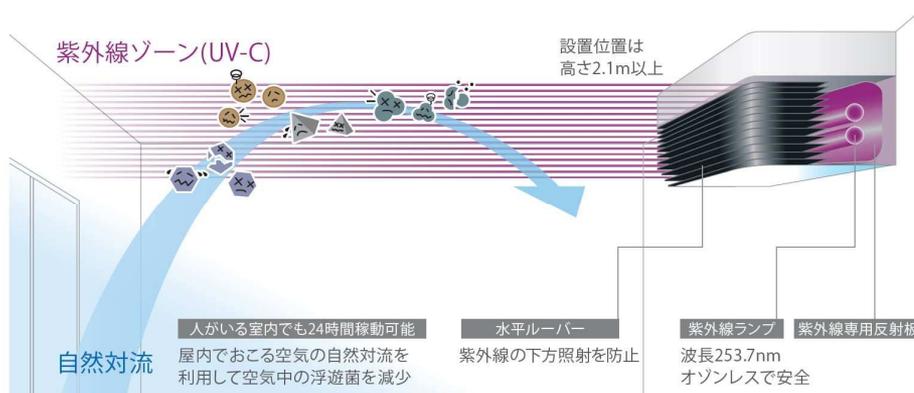
(一財)北里環境科学センターにおいて、25m³試験
チャンバー(幅2.7m×奥行き3.8m×高さ2.4m)を用い
て、JEM1467「家庭用空気清浄機」の付属書D「浮遊
ウイルスに対する除去性能評価試験」に準じてウイル
スをネブライザーで噴霧、所定時間後にチャンバー
内の浮遊ウイルスを捕集し、ウイルス数を測定した。

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/>

工学的対策事例

手袋をした医療従事者向け手先消毒器
「Raise your hands in me」



UV-C 照射により、物体表面に付着した菌・ウイルスを殺菌・不活化することで、接触感染リスクを低減する。

影になる部分については効果が無いため、完璧に消毒することは出来ないが、リスクを低減することが重要。

両面に殺菌灯を配置し、下から手を入れてフットスイッチで点灯、10秒で $1.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度の照射が可能。ゴム手袋一枚で完全に 254nm UV-C は遮蔽されるため安全。



株式会社Fu-tech
旅客向け手荷物消毒器
「パッケージクリーナー」

ローディングから照射まで全自動で、20秒間の照射で最も積算照度の低い持ち手の内側で $2.9\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、表面は $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の照射が可能。

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>

紫外線の弱点

距離の二乗に反比例して照度が下がる

広い範囲に照射するために光源を遠くに設置すると、照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。また、透過力の高い放射線と異なり**斜めに入射するとコサイン則に従って照度が低下**します。

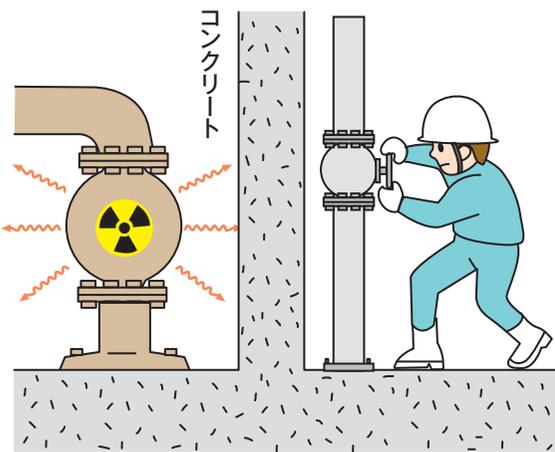
皮膚や目に強い炎症を起こし、人体に有害

波長が短くエネルギーの高いUV-Cは**皮膚や眼の角膜に強い炎症を与えます**。その場ですぐには気が付かず後になって皮膚癌や失明を引き起こす可能性があります。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。また、プラスチックや繊維、塗料などの有機物も大量の照射により次第に劣化していきます。

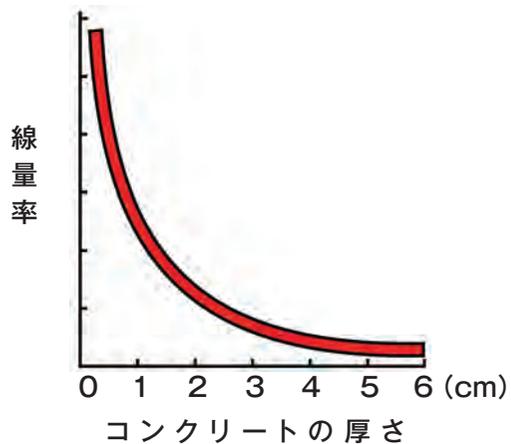
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下

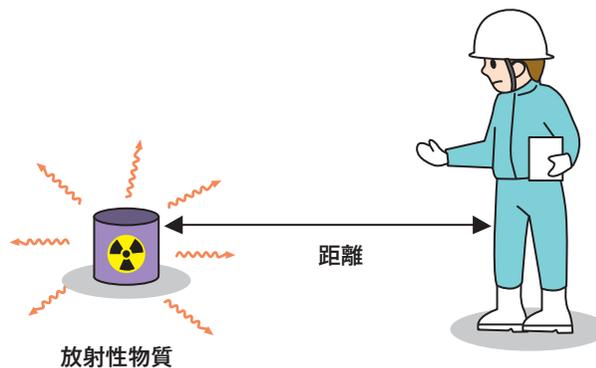


(mSv/h)

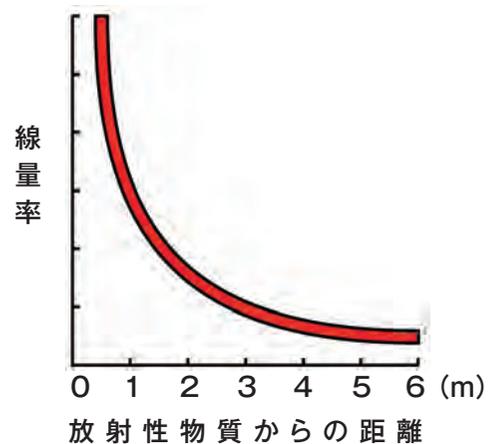


2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

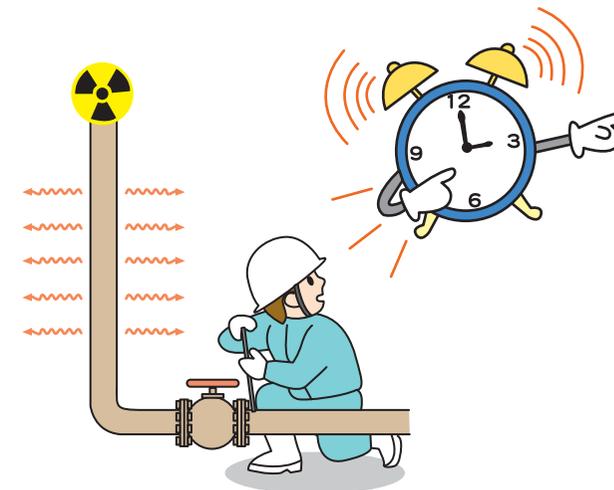


(mSv/h)

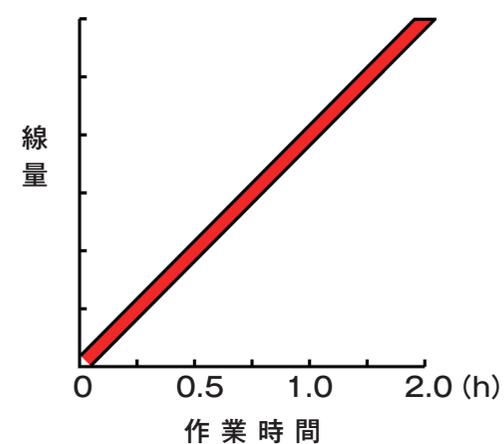


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



(mSv)

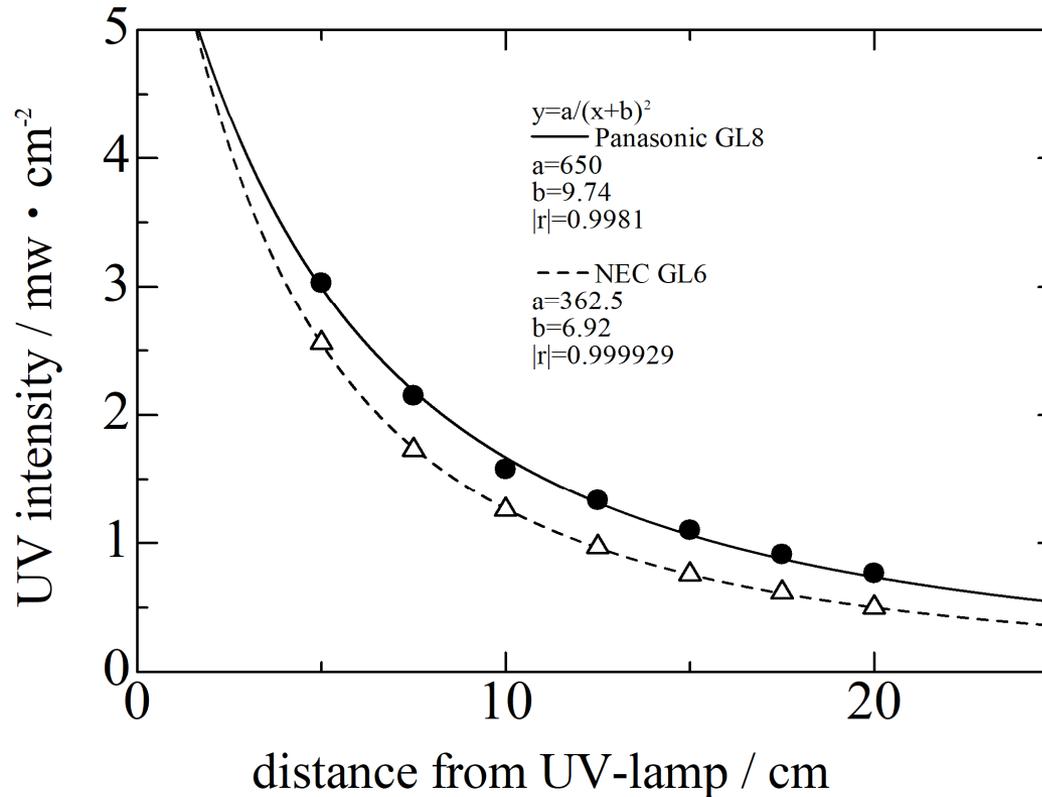


色々な物質に対する透過力

透明なプラスチックであってもほとんど紫外線は透過しない。ポリプロピレンは若干透過したため、マスクリーン4はきっちりと目張りをする必要があった。ガラスは非常に透過率が低いですが石英ガラスは透過率が高いため、殺菌灯に用いられている。通常は天然の水晶を溶解した熔融石英が使われるが、化学的に合成したSiO₂で作成した合成石英はさらに透過率が高く、185nmの成分も一部透過してオゾンが発生させる。

遮蔽物	遮蔽前 I ₀	遮蔽後 I	透過率
	mW/cm ²	mW/cm ²	%
メガネ(プラレンズ)	1.10	0.000	0.0
ペットボトル横置き(空)	1.10	0.000	0.0
ポリスチレン(1.4mm厚コレクションケース)	1.10	0.000	0.0
ポリプロピレン(1.5mm厚コンテナケース)	1.11	0.288	25.9
コンテナ遮蔽用アルミシート	1.12	0.003	0.3
サージカルマスク(平面)	1.10	0.080	7.3
サージカルマスク(プリーツ開いて)	1.10	0.140	12.7
塩ビラップ 6μm厚 1枚	1.11	0.952	85.8
塩ビラップ 6μm厚 2枚	1.11	0.900	81.1
塩ビラップ 6μm厚 4枚	1.11	0.660	59.5
ニトリル手袋(モノタロウ、青)生地1枚	1.70	0.000	0.0
クアラテック手袋(アズワン)生地1枚	1.70	0.000	0.0
コピー用紙(再生紙)	0.70	0.000	0.0
コピー用紙(高白色)	0.70	0.000	0.0

紫外線強度の評価



紫外線の強度は、放射線と全く同様に距離の二乗に反比例して減衰する。

ランプの出力のみでは照射量を決定することが出来ず、対象物との距離、時間を考慮して積分された照射量の評価が必要。

紫外線を利用した機器普及上の問題点

- ・現在感染症対策として紫外線消毒が注目されており、様々な UV-C 紫外線照射機器が販売されている。また光触媒を使用した機器でも UV-A 紫外線を照射して励起する物が存在する。
- ・個々の微生物に対する効果を広告などで表示することは薬機法の規制により出来ないが、市場には〇秒で99%除菌などと言う広告があふれている(実測の結果ほとんどがパチ物)。信頼できる機器の普及のため、**客観的な効果を示すために物理的な紫外放射照度の表示義務化**が望ましい。



10秒以内に 99.9%の滅菌率
(距離の記載無し) →
5cm で 0.02 mW/cm²



10秒即効 99.9%細菌消滅
(距離の記載無し) →
5cm で 0.03 mW/cm²

市場で販売されていた製品の例と、謳い文句、紫外放射照度計(ケニス YK-37UVSD)UV-C プローブでの実測値。

この当時は紫外分光放射照度計がなかったため分光照度は不明。

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S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)



①

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。



②



③

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



⑤

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)



ウェブサイトでの謳い文句

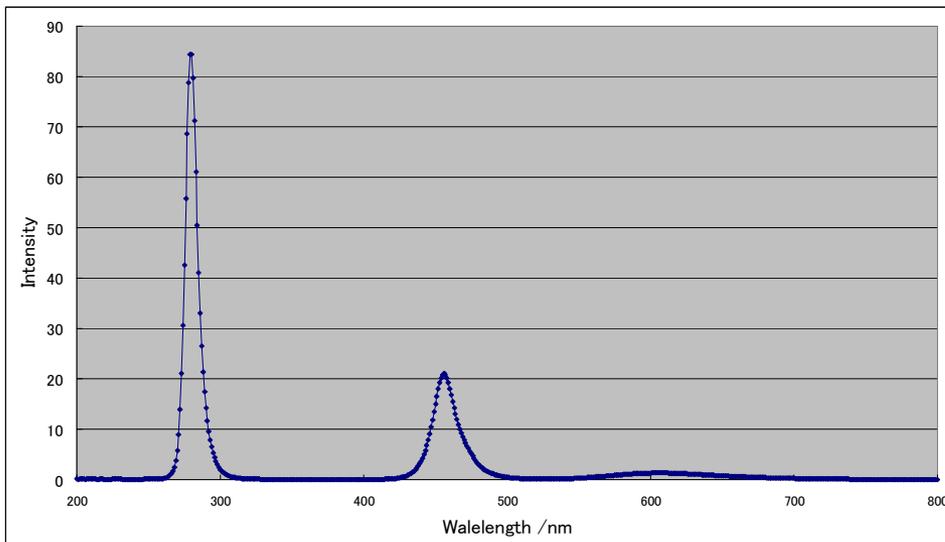
距離5cm での照度

④ 10秒快速殺菌、99%細菌消滅、推奨距離は2cm → 0.04 mW/cm^2
(ケニス SDカード式紫外線強度計 YK-37UVSD で測定)

そもそもの紫外線照度が低い事に加えて、放出される紫外線波長は殺菌灯の254nmよりも長い、280nm程度の場合がほとんど。

インフルエンザウイルス、さらに新型コロナウイルスに於いて、280nmの紫外線の効果は、殺菌灯の場合の1/10程度と評価されており、さらに大幅に効果が小さい製品と言える。

UV のピーク波長は **280nm**



Σ 各波長毎の照度 × 不活化効果相対値
という形で表わされる、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。ウイルスに対しては、徳島大学高橋先生などのグループが、 R_{AE} という指標を提唱。

USHIO USR45 で測定

市販されている様々な紫外線グッズ(3)

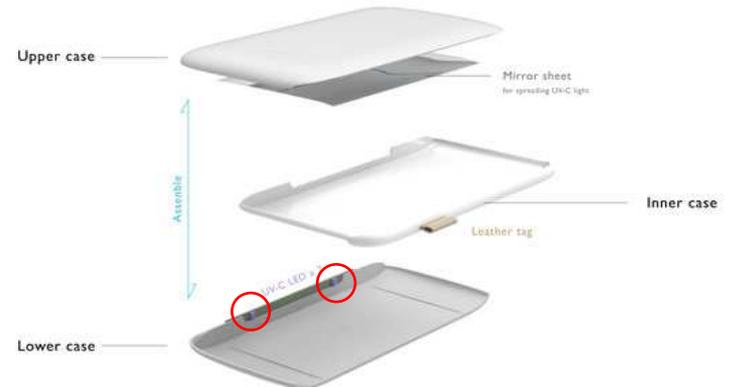


蛍光管式の物ならば大丈夫かという、左の商品は蛍光管を謳っているがユーザーのレビューによると実測値がゼロとのこと。サイズの的にGL8 だと思われるのでランプを交換すれば使えるかも知れないが、写真はどう見ても蛍光管では無く、仮にちゃんと出ていたとすると非常に危険な持ち方をしている。



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。



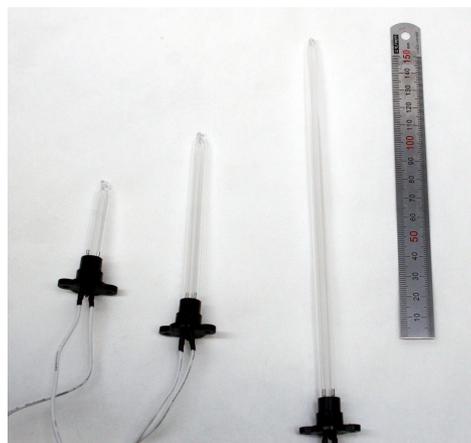
市販されている様々な紫外線グッズ(4)



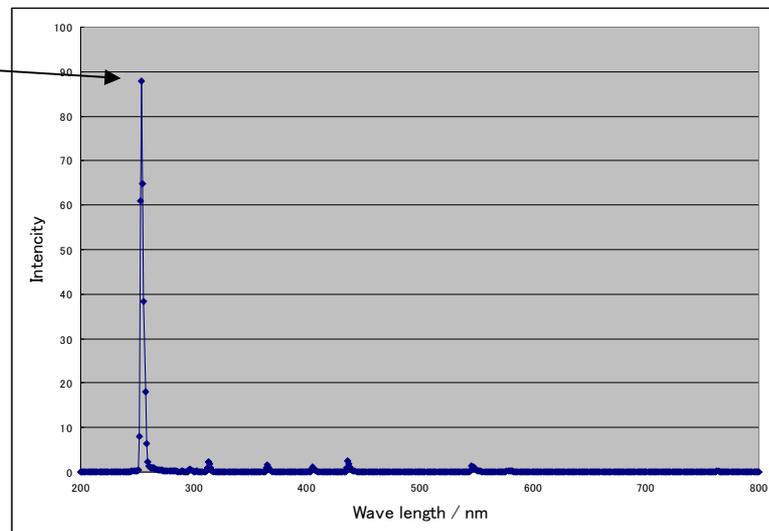
この製品はCCFL(冷陰極管)を使用した製品であり、熱陰極を利用した蛍光灯同様に水銀からの254nm殺菌線を出している。蛍光灯よりも水銀使用量が少ないとの事で現在でも製造が続けられている。12V電源などでインバータ回路を駆動するため、バッテリーでの利用も現実的で、左の写真のようなポータブルな製品も売られている(CCFL管の部分が100mm)。

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

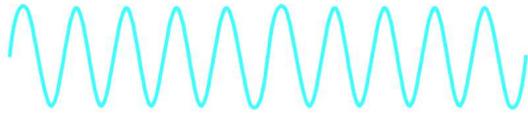


50mm, 100mm, 200mm
のランプ長さの製品が
販売されている。水銀
使用量が少なく、規制
対象外で現在でも生産
されている。



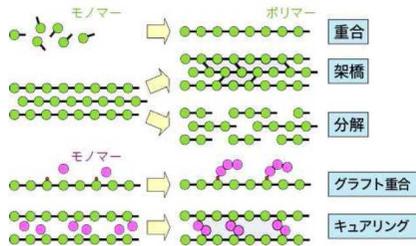
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



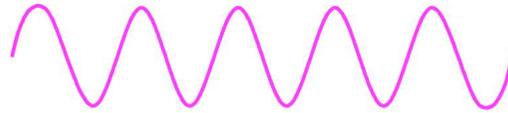
電離作用

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

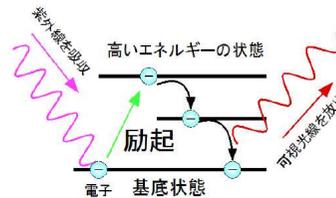


< 太陽光線の種類 >

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

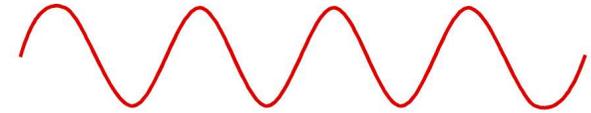
1nm (ナノメートル)=100万分の1mm



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。

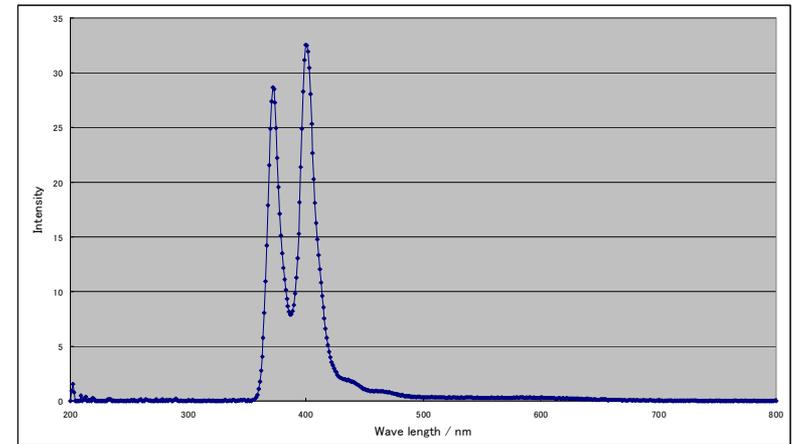
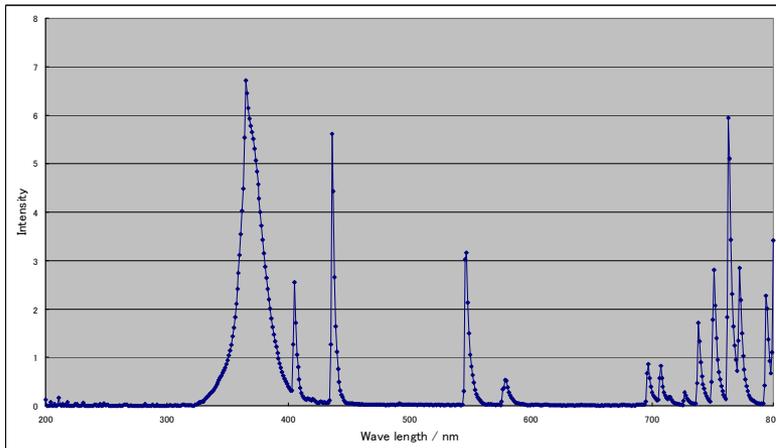
エネルギー 小

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。

UV レジン工作で使用される UV照射器



9W蛍光管を4本使用した照射器は、試料板表面位置に放射照度計(ケニス SDカード式紫外線強度計 YK-37UVSD)のUV-A 用のプローブ表面が来るように設置したところ、中央付近でおおよそ 2.4mW/cm^2 程度の照度であった。漏れ光を評価するために入口に向けて垂直にプローブを設置したところ、本体入口直近で 1.5mW/cm^2 、10cm, 20, 30cm 離れるとそれぞれ 0.3, 0.09, 0.03 mW/cm^2 程度となった。

LED 式照射器では、試料板表面位置で最大 5.1mW/cm^2 (中央付近では 2mW/cm^2 程度) で、入口付近垂直面では 2.0mW/cm^2 、10cm, 20, 30 cm 離れるとそれぞれ 0.85, 0.36, 0.20 mW/cm^2 程度となった。

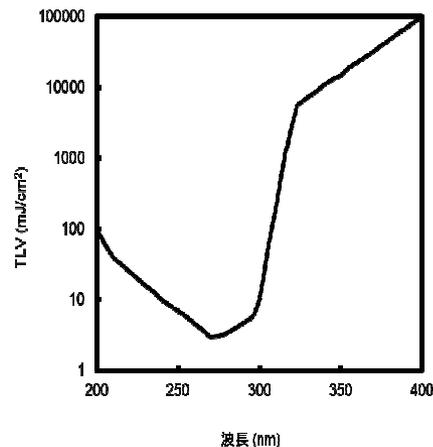
なお、太陽光に含まれる紫外線では最も強い場合で 2.5mW/cm^2 程度である。

許容限界値 TLV とは

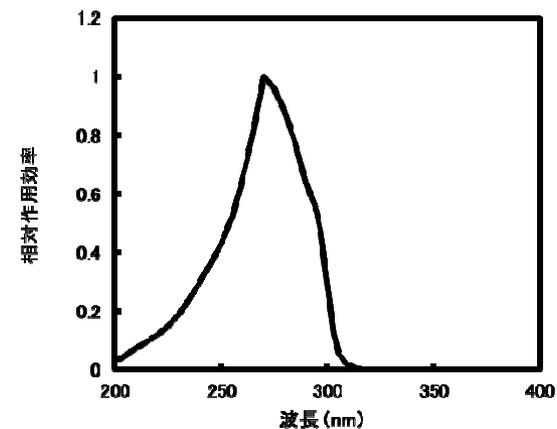
TLV (Threshold Limit Value)、許容限界値とは、ACGIH (米国労働衛生専門官会議) が決めた、労働者を労働環境から発生する様々な障害から守るために定められた値であり、一日8時間あたりの許容値となっている。国際的に受け入れられており、我が国でも紫外線については JIS Z8811, Z8812 に取り入れられている。

この許容限界値の逆数を取り、270nm を1として規格化した物は紫外線による障害の作用関数と呼ばれており、JIS C7550 によって様々な紫外線を用いた装置の安全評価に用いられている。

TLV 波長依存性のグラフから、UVレジン硬化用の360-380nm程度の波長のUV-A領域の紫外線に対する TLV は20~30J/cm² にも達し、安全側に考えTLVを20 J/cm² としてもこの値に達するためには**LED 式の照射器の入口直近(2mW/cm²)で凝視し続けたとしても、10,000秒必要**ということになり、少し離れたところで作業を行う一般的なレジン工作などでは全く問題無いということが出来る。



許容限界値 (TLV)

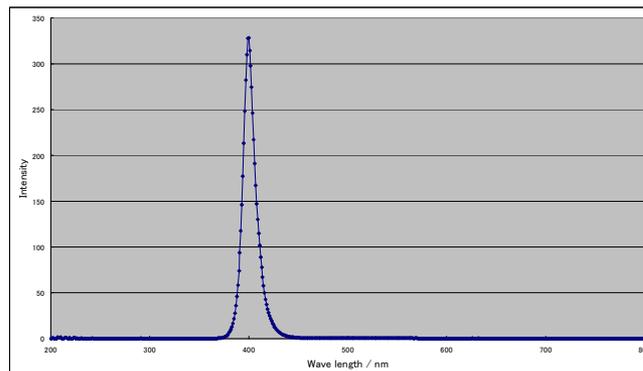


紫外線による障害の作用関数

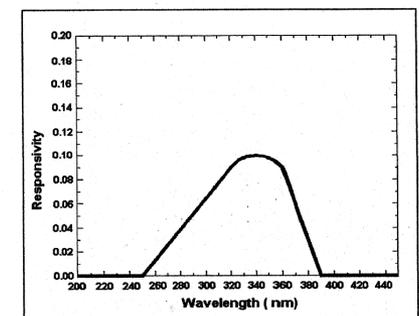
UVペンの測定と放射分光照度

同様に一般の子供向けに販売されているUVペン(スパイペンなどの名称で販売されており、可視光では見えない蛍光インクを光らせて秘密のメッセージをやりとりする)は、**ピーク波長が400 nm とほとんど可視光の領域であり、TLV は100 J/cm² にもなる。**紫外分光放射照度計(オプトシリウス USB2000+ にコサインコレクタ CC-3-UV-S を装着、メーカーで放射分光感度校正)での測定では1cm程度の距離でも**ピーク波長での分光照度は2.4 mW/cm²/nm 程度**であり、TLVに達するには**直視したとしても420,000秒程度(11時間半程度)を要する。**このため通常の使用方法では紫外線に関する安全性には全く問題がないと言える。

なお、UVペンの放射照度を YK-37UVSD の UV-A 用プローブを用いて測定した場合、0.2 mW/cm²程度との値になっていたが、これは可視光を拾わないために390 nm 以上では感度が殆ど無くなっており、ブロードなスペクトルの裾野をわずかに測定していたため極端に照度が小さかったようである。一方UVレジンの照射器に対しては、放射照度計(UV-A用プローブ装着時)が365 nm で校正されているため、大きな差はない。このように使用する紫外放射照度計と測定する光源の波長によっては実際の値とかけ離れた値が出てしまうことがあるため、**使用する紫外放射照度計を校正した波長以外の光源を測定する際は、紫外放射分光照度計を用いる必要がある。**



UVA sensor spectrum

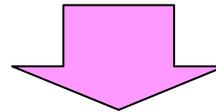


紫外線照度評価標準化の重要性について

・この問題について内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室と2020年9月からコンタクトを取り、産総研イノベーション推進本部、製品評価技術基盤機構(NITE)バイオテクノロジーセンター等と現状について意見交換し、**紫外放射照度計について製品の標準化がされておらず、測定の信頼性が担保できないことが紫外線照射技術や製品を普及及び規制する上で最大のネックとなっている**ことが2020年末頃に確認された。

・紫外放射照度計に関する製品規格が存在しないことは東海大学竹下先生により以前から問題提起されており(*)、実際に様々な照度計について調査を行い機器間での大きなばらつきが問題視されている(**)。

2021年7月以降、
JCSS校正により
紫外放射照度計の
校正ができるようになった。



登録(認定)に係る区分: 光
法律に基づく初回登録年月日: 2021年7月20日
国際MRA対応初回認定発効日: 2021年7月20日
校正手法の区分の呼称 [登録(認定発効)年月日]: 光度標準電球等 [2021年7月20日]
恒久的施設で行う校正/現地校正の別: 恒久的施設で行う校正
校正測定能力

校正手法の区分の呼称#	種類	校正範囲	拡張不確かさ (信頼の水準約 95%)
光度標準電球等	分光応答度標準器 (フォトダイオード)	250 nm 以上 380 nm 未満	2.5 %
		380 nm 以上 655 nm 未満	1.6 %
		655 nm 以上 800 nm 以下	1.1 %

#校正の方法は、全て自社で開発された手順です。

JCSS校正事業者登録された事業者により校正された機器により、信頼できる測定が可能になっている。

(*)照明ハンドブック(第3版)、照明学会、オーム社、2020年。

(**) 紫外放射の産業界における使用例とその実用測定機器・方法の現状、照明学会、JIEG-007-a、1994。

学協会の対応

- ・照明学会では1994年に紫外放射の放射照度測定方法特別研究委員会において報告書「紫外放射の産業界における使用例とその実用測定機器・方法の現状(JIEG-007-a)」「紫外放射の標準と校正技術(JIEG-007-b)」を取りまとめているが、その後の光源及び計測器の進化を反映させるため、2022年度より「UV-C領域殺菌用途の紫外放射研究調査委員会」が立ち上がっている(委員長: 東海大学竹下先生)
- ・消費者庁事故調査室に赴き UV-C 消毒器による健康被害の報告を行い、Twitter の公式アカウントから紫外線消毒器利用上の注意について2021年3月にツイートが出された。
- ・一般公衆への注意喚起として、日本照明工業会/照明学会連名で「紫外線殺菌ご利用上の注意」リーフレットを2021年7月に作成。
- ・電気用品安全法での取扱いは、2020年度末からの日本照明工業会 消毒殺菌用UV放射小委員会において提言がなされ、2021年12月に電気用品の範囲等の解釈についての改正が行われた。これにより庫外に紫外線を放射する機器についても電安法の対象となりOPSEマークの表示が必要となった。

紫外線照度評価上の更なる問題点

- ・以前は UV-C 光源として殺菌灯(低圧水銀ランプ)しか存在せず、水銀励起に伴う輝線であるため製品間のスペクトルの差異はなかったが、現在は UV-C LED やエキシマランプなど、様々な光源が存在しており、それぞれの製品によって波長、半値幅などのスペクトル特性が異なる。このため、デジタルで単一の数値を表示する紫外放射照度計ではその光源の特性を評価することが出来ない(フラットな感度特性は現時点では実現不可能)。
- ・様々な感染症対策機器では、狭い機器内に光源を仕込み至近距離で照射を行う。この場合どうしても光源から斜めに入射したり反射して入射する成分が生じるため、斜入射特性の悪い検出器では大幅に測定値が小さくなる。また、光源からの距離の二乗に反比例して照度低下するが、検出器のプロープは一般に2cm程度の厚みを有しており、光源から至近距離では照射面との距離の差が極めて大きく反映され、過大評価される。
- ・広い範囲を照射する場合光源から離れ照度が弱くなると紫外放射照度計の測定下限(一般に $1 \mu W/cm^2$)以下となり測定することが出来ないか測定精度が低くなる。遮蔽した形で使用する装置に関しても、長時間曝露する可能性があるため照度計測定下限以下の漏れ光の評価が求められる。

紫外線照射による殺菌・不活化評価の問題点

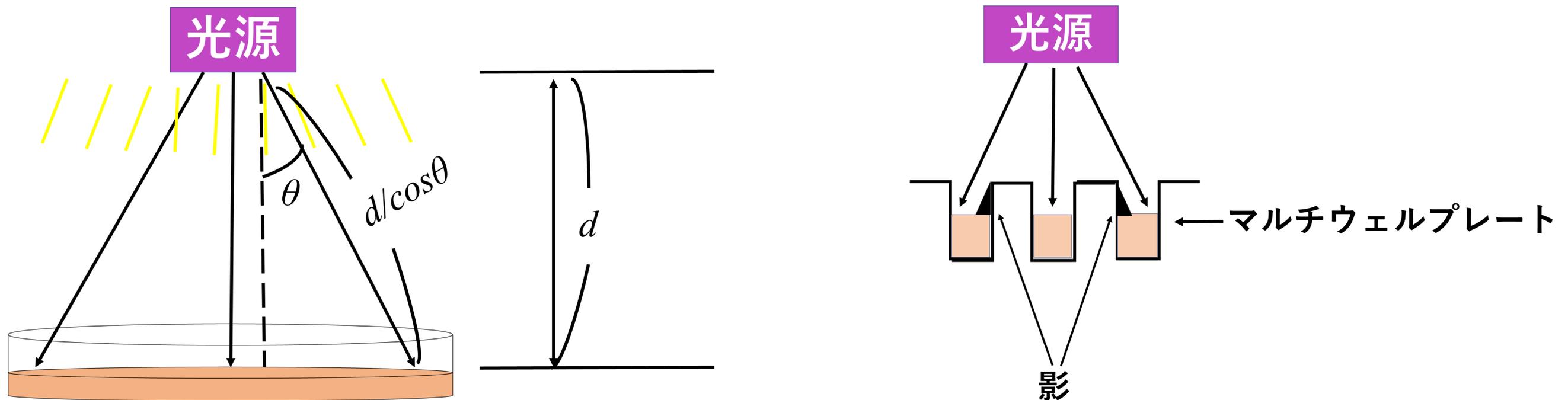
紫外線照射による殺菌・不活化は二次汚染がなく、菌種に対して選択性が少ないため不活化・殺菌手段として有効

→SARS-CoV-2では波長254nmの紫外線を4mJ/cm²程度の照射で99.9%不活化可能であることが明らかになっている¹⁾

・問題点

試料表面での積算照度【mJ/cm²】やマルチウェルプレート上での照射量の均一性を考慮されていない研究報告が多く存在

- ・紫外線は距離の二乗に反比例して照度【mW/cm²】が変化する
- ・積算照度に対して生菌数は指数的に変化する
- ・UV-C領域(100-280nm)では波長によって不活化効果が大きく異なる

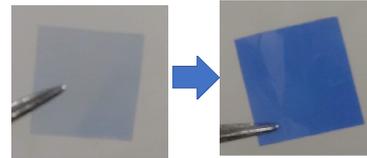


正確な紫外線による殺菌・不活化評価には
紫外線波長・照射面での積算照度の測定が非常に重要

1) Mara Biasin et al : UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication, Scientific Reports, 11 (2021)

化学線量計の活用

放射線計測で用いられる**化学線量計は斜入射特性や光源至近での測定の問題を解決可能**である。



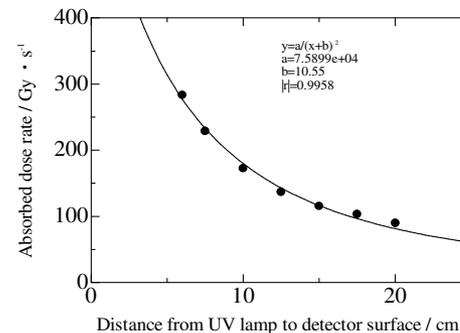
ラジオクロミック線量計:

γ 線、電子線などの放射線計測で用いられるラジオクロミック線量計は、 $50\mu\text{m}$ 程度の厚さのフィルムの 600nm 及び 510nm での吸光度が吸収線量に応じて変化し、吸光度計により吸収線量が評価出来る。JIS Z 4575「ラジオクロミックフィルム線量計測システムの使用方法」によって放射線計測時の使用法が標準化されている。

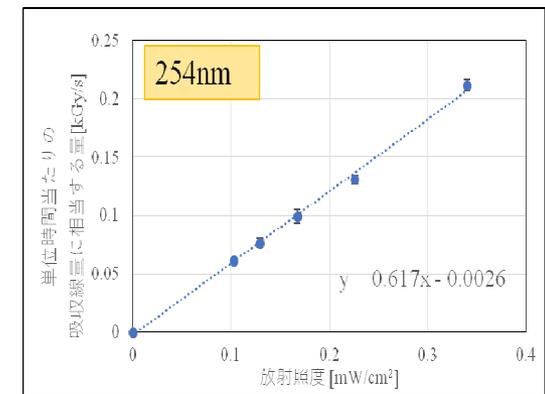


紫外放射照度計と、ラジオクロミックフィルムにより評価された吸収線量率の距離依存性の相関から、吸収線量 I (kGy) と、紫外線の積算照度 D (mJ/cm^2) の間で $D = 1.62 I$ と言う簡単な校正式を導いた。透過試験から、 $45\mu\text{m}$ フィルム内で完全にUV-Cは吸収されており、 $16.2\mu\text{m}$ までの範囲で均等に吸収されたとするとこの校正式が説明出来る。

この薄く小さなフィルムにより、立体形状の物体表面への積算照度を実験的に評価可能となる。



ラジオクロミック線量計で測定した、光源からフィルムまでの距離と、吸収線量として評価された値の相関。

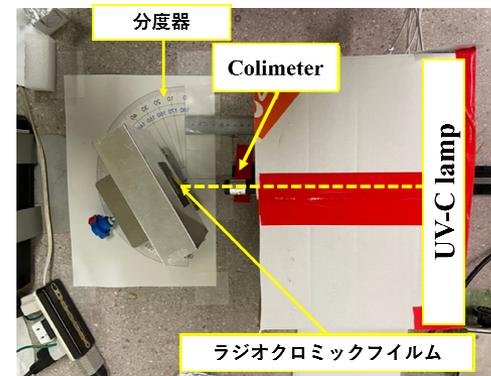
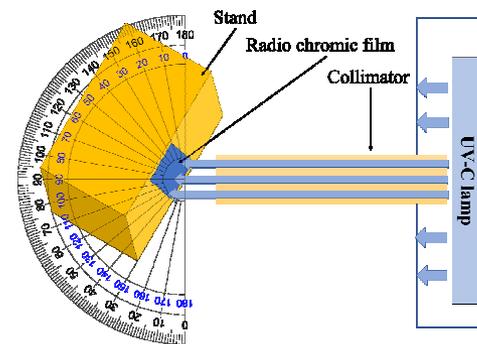
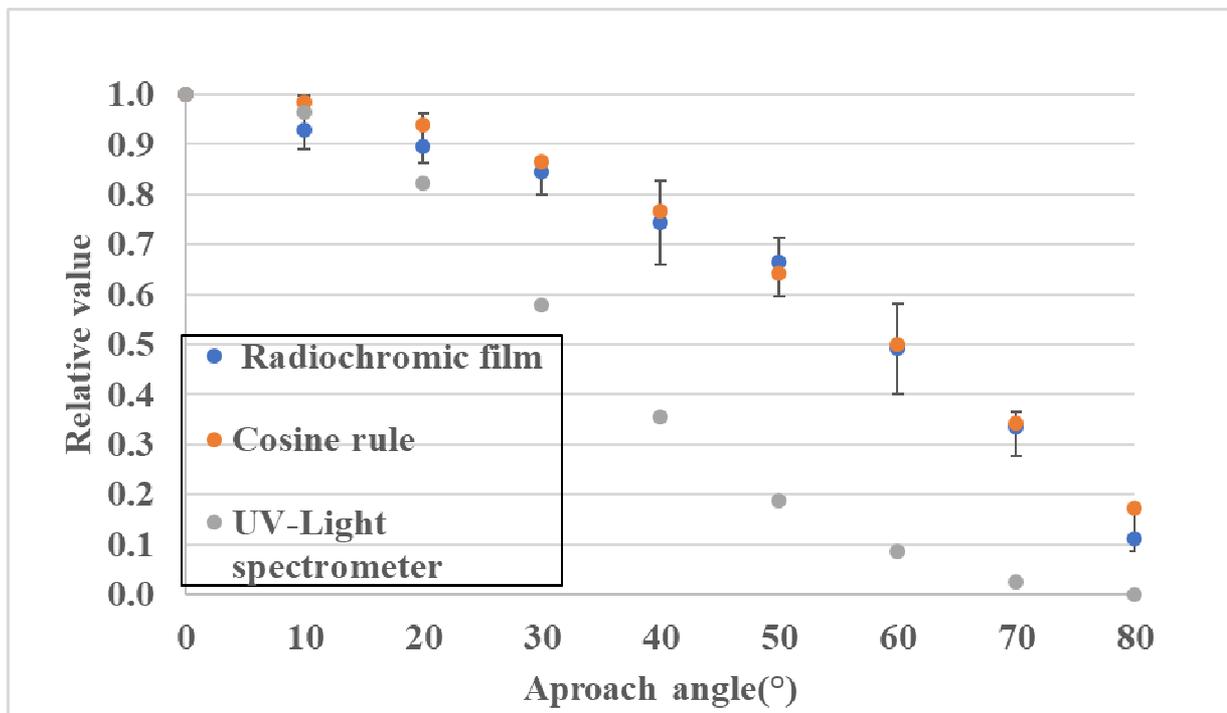


放射照度の増加に伴う吸収線量率として評価された値の線系的な増加。

ラジオクロミック線量計の斜入射特性

ラジオクロミックフィルム(東洋メディック FWT-60-00)にコリメートした低圧水銀ランプ(GL-6)からの254nm紫外線(照度0.20~0.23mW/cm²、積算照度20~23mJ/cm²)を、0°(垂直入射)~80°まで10°おきに角度を付けて入射し、斜入射特性を評価した(n=3)。専用のリーダー(FWT-92D)により600nmにおける吸光度を読み取り、各種補正を行う計算式にフィルム厚さ43.5μmとして吸光度を入力し、吸収線量を評価した。各角度に於ける評価値を垂直入射の場合の相対値としてプロットした。

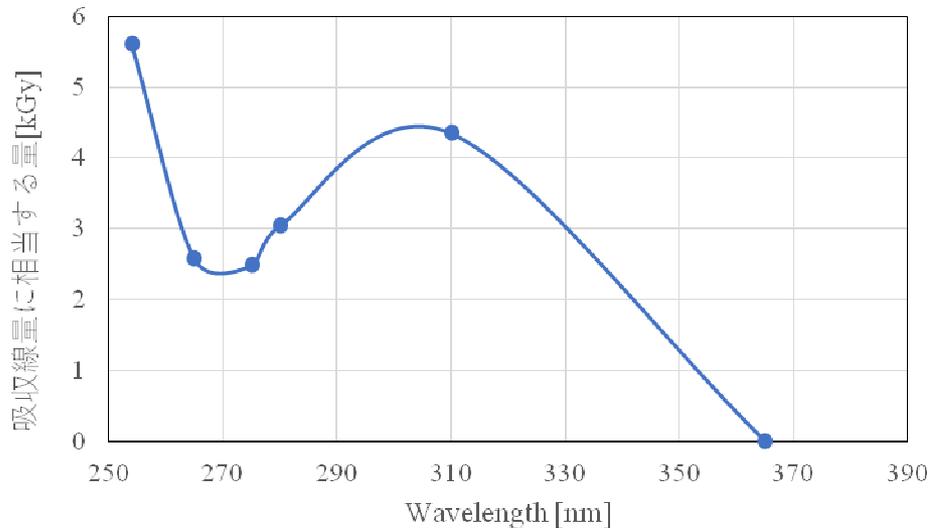
ただし、この吸収線量はフィルム全体が一様に着色することを前提としているため正しくなく、吸光度測定などから適切な厚さを設定する必要がある。



ラジオクロミック線量計感度の波長依存性

様々な波長の紫外光源に対し、紫外放射分光照度計(大塚電子 IL100)により測定した分光照度スペクトルから、(ピーク値の1/100までの照度となる波長範囲を積分して、各光源の照度と定義した。

光源名	波長[nm]	傾き
GL-6	254	6.2×10^{-1}
中国製低圧水銀ランプ	254	5.6×10^{-1}
KLARAN	265	2.6×10^{-1}
スタンレー電気	265	2.8×10^{-1}
seoulviosys	275	2.5×10^{-1}
VEEAPE	280	3.0×10^{-1}
日亜UVB	310	4.3×10^{-1}
日亜UVA	365	0.5×10^{-4}
サンスターUVA	365	0.2×10^{-4}



各波長に於いて検量線を取得し、その検量線に 10 mJ/cm^2 を付与した場合の評価された吸収線量に相当する量[kGy]を評価した。

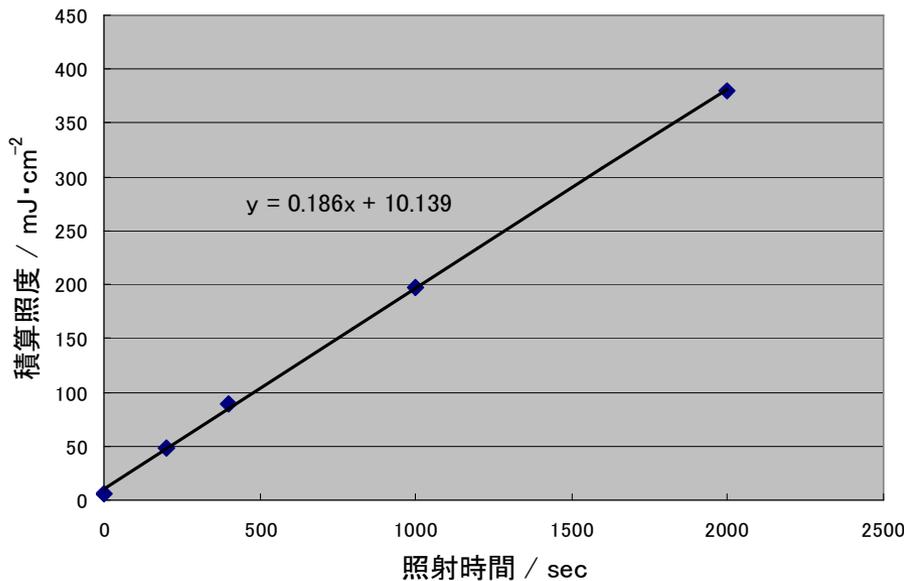


ラジオクロミック線量計は波長によって感度が異なることが明らかになった。

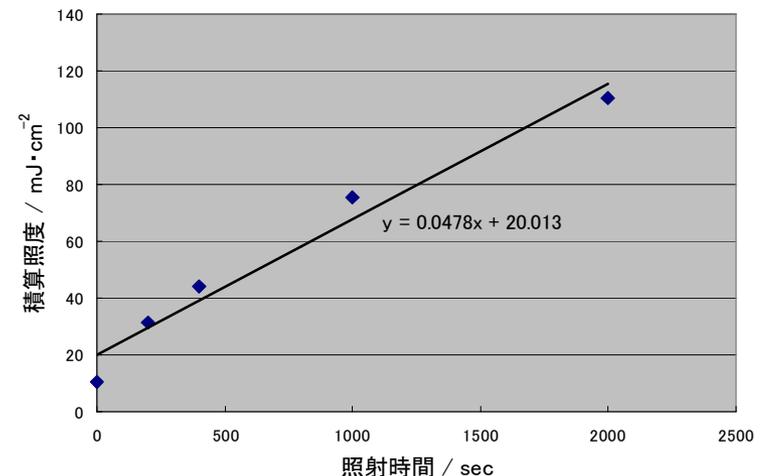
UVスケールの活用

富士フィルムから提供されている紫外線測定用の感光紙、UVスケールを用いた定量評価を行った。低圧水銀ランプ(GL-6)からの254nm紫外線をコリメートして、平行光を入射。紫外放射照度計(ケニスSDカード式紫外線強度計 YK-37UVSD)の測定では照射位置に於ける照度は $0.23\text{mW}/\text{cm}^2$ でUVスケールLに200, 400, 1000, 2000秒照射した。

専用のスキャナーと、解析ソフトとキャリブレーションシートを組み合わせた解析システムFUD-7010J Ver 1.3 を使用して、矩形領域の平均値として定量評価を行った。



FUD-7010Jを使用せず、製品添付の発色標準チャートとUVスケールを同時に普通のスキャナで取り込み、グレースケール化、標準色見本の彩度評価による検量線作成で定量化を試みたが、標準色見本がグラビア印刷であるためか実際の積算照度と大きく異なる結果となった。



これまでに報告されている紫外線の人体影響

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、日本照明工業会・照明学会から一般人向けの「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が行われました⁽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る。

しかし、その中でもUV-Cによる影響は一時的な炎症についての記載に留まっている。

皮膚専門誌に於いても、強い紅斑や水疱形成は起きず、淡紅色の紅斑に留まると記載されている(**)。

紫外線の種類	UV-A	UV-B	UV-C
波長領域 (nm)	400 ~ 315	315 ~ 280	280 ~ 100
人体への影響	即時黒化 黒化増強	ビタミンD ₃ 生成 DNA損傷反応 (殺菌作用) 日焼け (サンバーン、サンタン) 皮膚がん・良性腫瘍 角結膜炎(雪目) 白内障・翼状片	DNA損傷反応 (殺菌作用) 紅斑生成 (サンバーン) 角結膜炎
	光線過敏症、免疫機能低下、しみ・しわ		

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

(**) 市橋正光, -綜説- 太陽光と皮膚 基礎編紫外線に対する皮膚反応:損傷と修復, 皮膚, 27 (1985) 951-968.

事件事例

コロナ禍の中、ある飲食店ではコロナ対策として低圧水銀灯を客席やトイレなどに設置して、人が居る状況で使用していた。このため、非常に重度の紫外線被ばく事故が発生した。特に足下の至近距離（15 cm程度）の場所に設置されていた殺菌灯により2時間半もの間、素足に照射され続け、概算で $3,600 \text{ mJ/cm}^2$ という、許容限界値基準（TLV, 254nmでは 6 mJ/cm^2 ）の600倍にもなる被ばくとなる。それでも照射時には症状は現れず、数時間後の夜中に痛み、赤みが出てきたとのこと。

当日深夜→足の痛みと赤みに気付く

翌朝→足に異常な痛さ、目も終日痛み開けづらい

翌々日→顔の皮がめくれ、赤いことに気付く

紫外線による皮膚及び角膜に対する炎症は、**その場ですぐには現れず、数時間程度経ってから現れる**ため、被ばくしている自覚が無く、症状が重篤化してしまうという特徴があります。



← 事故から2日後の症状。
右足の白い部分は足を組んでいて陰になっていたとのこと。

→ 事故から14日後の症状。別の部分に日光を浴びたところ水ぶくれのような症状が出たとのこと。これまでUV-Cでは報告されていないが、光線過敏症を誘発している可能性がある。



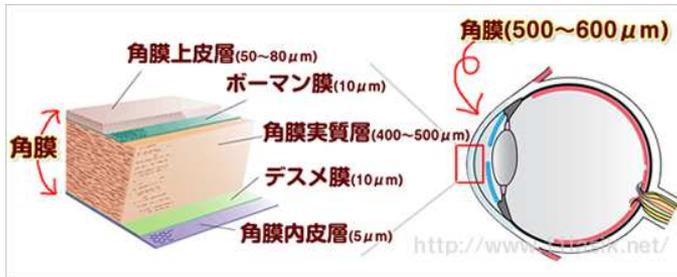
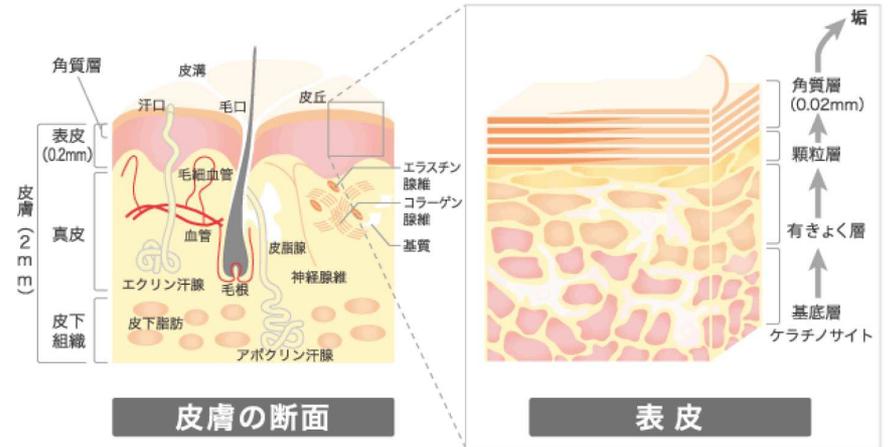
これまで事件事例として、2004年に発生した病院の病室の殺菌に使われている殺菌灯が患者と家族がいる状態で30分間作動してしまったという事故が論文として報告されている(*)ほか、日本生物工学会では「研究における事故」として3件紹介しています。しかし、**いずれも短期的な炎症の報告のみで長期的影響の報告はありません。**

*城戸真希子他、紫外線C発生装置(クリーンライザー®)による皮膚障害事故-UVCによる角層障害についての検討を含めて、日皮会誌, 114(12), 1911-1916(2004).

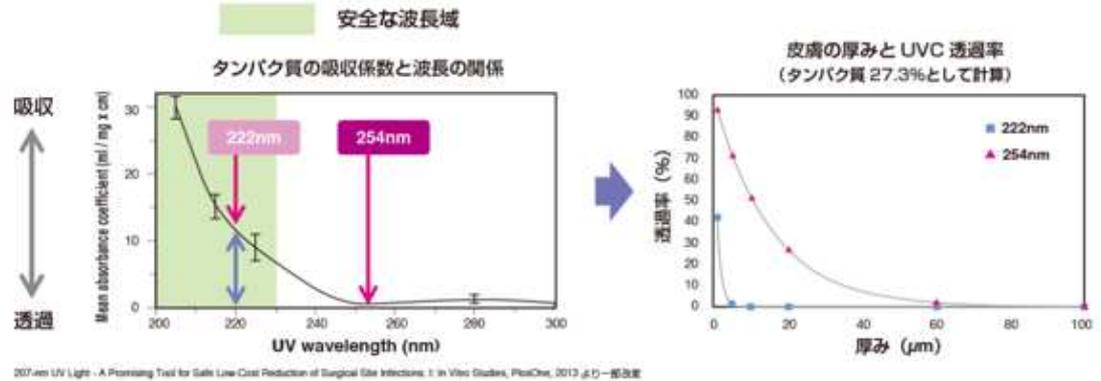
皮膚の構造と紫外線の透過率

紫外線は一般的に波長が短くなるほど吸収されやすくなり、透過率が下がる。UV-Aでは真皮や皮下組織、水晶体にまで到達するのに対して、殺菌灯の波長254nmでは皮膚の内側60 μ m程度までであるが、顆粒層や有きょく層、眼では角膜上皮の内側の細胞に炎症を発生させる。

一方で近年話題となっている222nmの波長では、厚さが20 μ m程度の角質層(死んだ細胞の層)や角膜上皮でほぼ完全に止められるため、炎症が発生しないと言われている。



角膜の構造。角膜全体で0.5mm程度の厚みがあり、最上層の角膜上皮は極めて新陳代謝が活発なのに対し、角膜実質細胞は数が大変少なく傷の治りが遅いと言われている。



1. 222nmは254nmと比較すると、タンパク質の吸収係数で10倍以上高い。
2. 厚み20 μ mでの生体透過率は、222nmで0.01%以下、254nmでは30%程度。

第三部：光触媒と飛沫除去

I：光触媒と飛沫除去の概念

II：飛沫除去装置の開発

- ① 飛沫の吸引**
- ② フィルターでの捕集**
- ③ 光触媒での分解**

光触媒とは

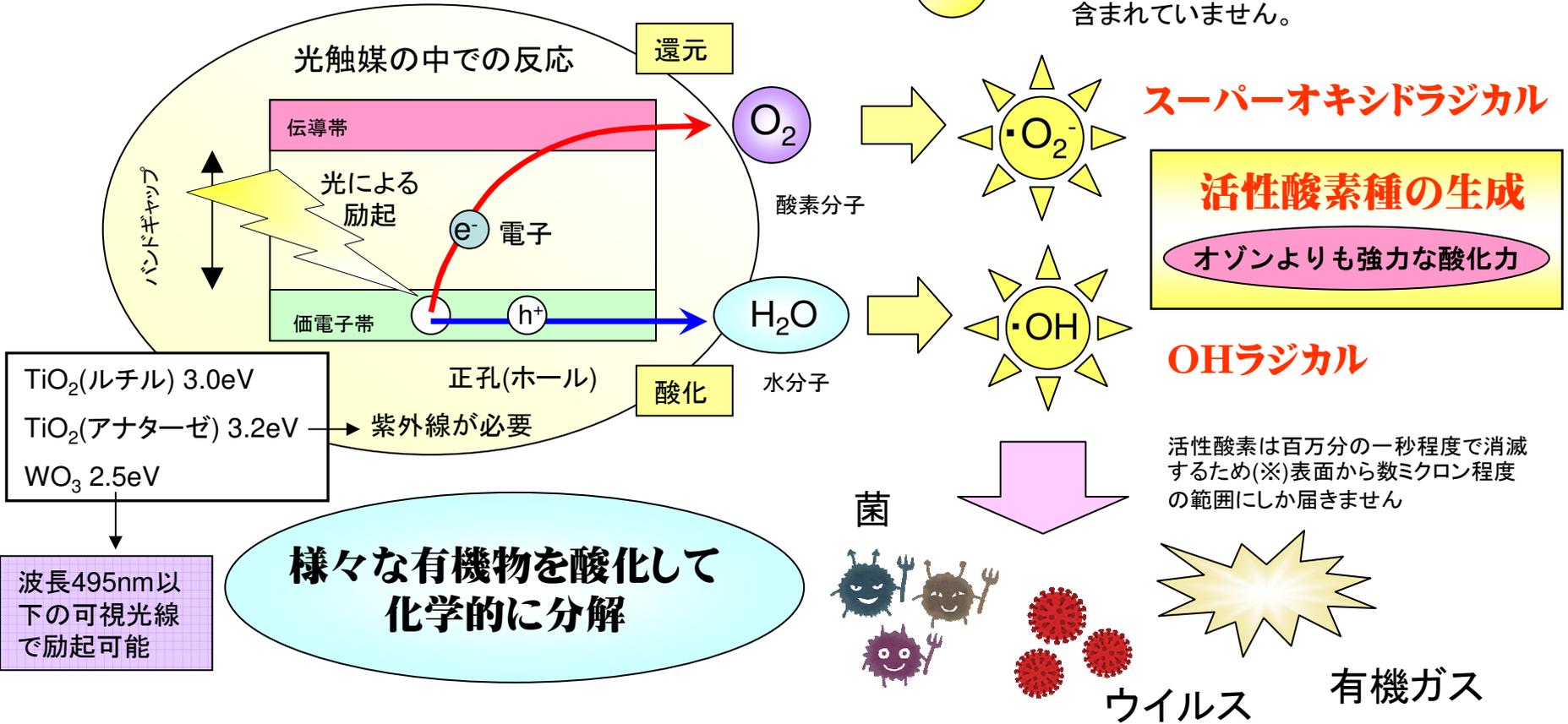
- ・光(Photon)には、目に見える光(可視光)の他に、目に見えない赤外線、紫外線、さらにはX線やガンマ線などの、様々なエネルギーの物があります。
- ・目に見える光、可視光も、植物の光合成や太陽電池による発電など、非常に大きな役割を果たしています。
- ・1967年に本多・藤嶋効果によって水が酸素と水素に分解することが発見されて以降、日本発の技術として「光触媒」が注目され、開発が続けられています。光触媒は半導体の一種で、光が当たることで太陽電池のように電気エネルギーが発生します。そのエネルギーを電流として取り出すのではなく、小さな粒子の表面でスーパーオキシドアニオンやOHラジカルなどの活性酸素を作り出し、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でした。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。

光触媒とは

目に見える可視光線
(400nm~, 3.1eV~)



蛍光灯の光には400nm以下の波長の紫外光成分も含まれていましたが、一般的な可視光LEDは440nm程度をピークの青色LEDと黄色の蛍光体の組み合わせで出来ていて、400nm以下の紫外線は含まれていません。

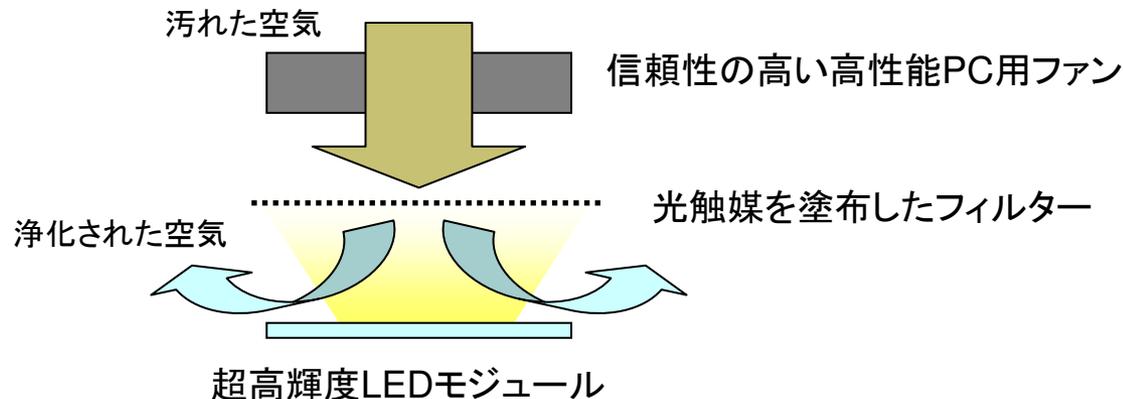


最終的には水と二酸化炭素にまで分解される(完全分解)。

※ 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

飛沫とエアロゾル

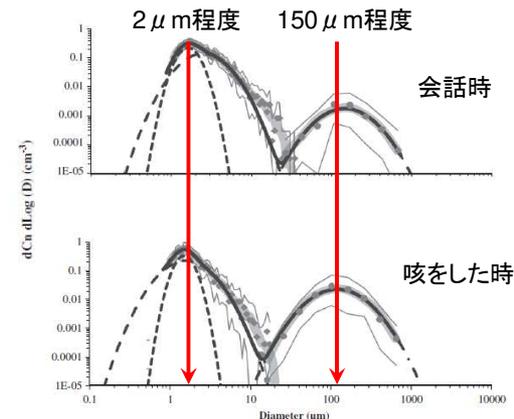
医学的には口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴を**飛沫**と呼び、それ以下の物を**エアロゾル**と呼ぶが、 $5\mu\text{m}$ を境に急に物性が変化するわけではなく、落下速度などは連続的に変化する。

しかし、口腔から出る液滴の粒径が示す2つのピーク、 $2\mu\text{m}$ 程度と $150\mu\text{m}$ 程度では明らかに物性は異なり、同一の扱いとすることには無理がある。

様々な報道に於いて**飛沫による感染リスクを軽視**する意見が出ている。マスクやパーティションなどの対策をした上で**残るリスクがエアロゾル**というのは賛同できるが、そういった前提条件無しに軽視することは市民に誤ったメッセージを送ることになる。また、マスクをしていても一定の割合で飛沫は漏出し、吸い込む側は隙間からほぼフリーパスで吸入される。また、飛沫が乾燥して出来る飛沫核がエアロゾルとなる場合や、落下した飛沫が接触感染や飲食物に付いた場合経口感染のリスクとなる可能性も無視できない。

なお、液滴の体積を考えると、100万個のウイルスが口腔から放出されたとしてエアロゾルとして滞空するウイルスは100個程度という見積りが成されている(*)。

(*) 野村 俊之, 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染経路に関する微粒子工学的検討, 日本接着学会誌, 57(2021)427-431.



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

- 屋外での飲食 (BBQなど)
- 屋外のスポーツ観戦

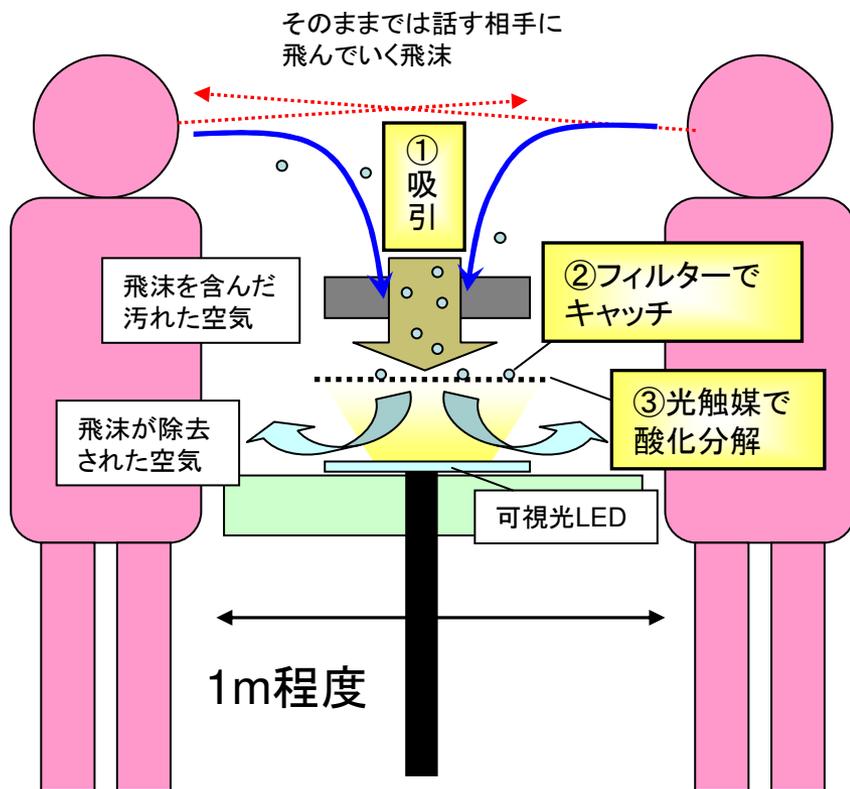
でのクラスターの発生は、マスクをしていない状況ではいかに換気がよくても飛沫感染のリスクが存在することを示唆してる。

気流、マスクの有無、会話のトーンなど、様々な状況で支配的となるリスクは変わり、対策も変える必要がある。

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より小さい粒子 → 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、「人と人之间」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エアロゾル中のウイルスの不活化や、さらに小さ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。

人と人の間に設置するための要件

安全

ひかりクリーナーでは三酸化タンゲステンベースの光触媒と、440nm程度にピークを持つ青色LEDと黄色い蛍光体の組み合わせの一般的な**可視光LED**を使用しており、**紫外線は一切放出していないため、漏れ光が目に入っても安全です。**

静音

ひかりクリーナーではエアロゾルまでキャッチするような高性能フィルターは使用せず、**5 μ m以上の粒径の飛沫の除去に特化**しています。このため強力なファンは必要なく、メーカー公称値19dBの静音ファンを使用することで、**静かな会議室での使用も可能**としました。

小型

飲食店などでは限られたスペースのテーブルに、料理のお皿などと共に設置する必要があります。ひかりクリーナーでは十分な吸引力と静音性を兼ね備えた12cmファンを使用しており、**コンパクトにまとめられています。**

低価格

窓口やレジ、飲食店のテーブルなど、人と人の間に設置するためには一台だけでなく多数の機体が必要になります。ひかりクリーナーは市販のPC用のパーツを使用するなどコストダウンを突き詰めており、**非常に低価格**での提供を行っています。

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」



和紙による漏れ光の遮光



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。当初開発した標準型はPC用のパーツなどを組み合わせて、極めて安価で製作が可能。価格が安価であれば、その分多数台でのネットワーク構築が可能となる。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、不織布と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700台程度を市民に提供し、実際に使用してもらっている。

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」



メタルフレームと樹脂メッシュにより見た目を大幅に改善し、持ち運びも可能で、マグネットプレートによりスチール什器壁面への貼付けも可能。

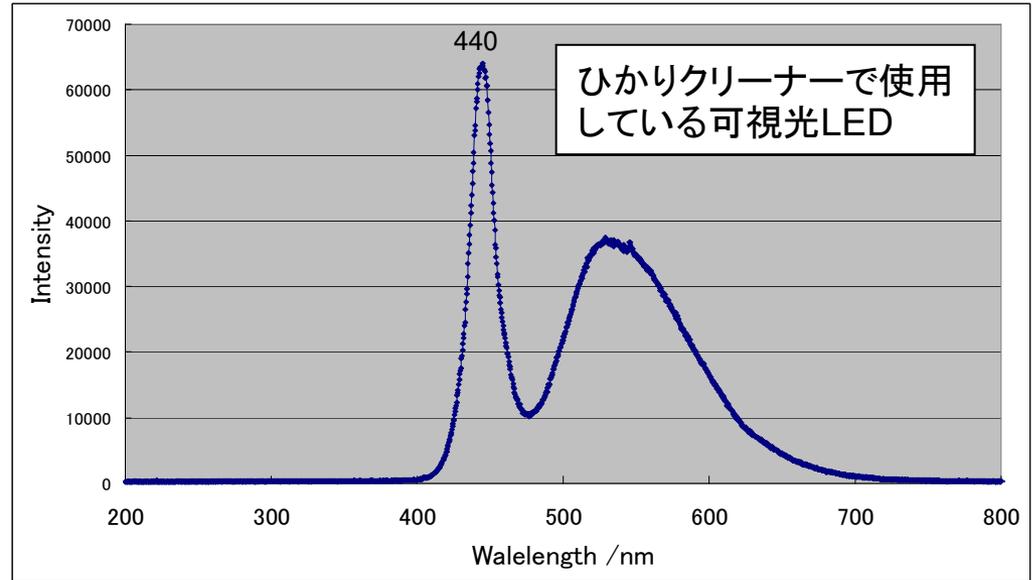
通常は12VのACアダプターで駆動するが、アップコンバーターを使用するとモバイルバッテリーなどのUSB給電でも駆動可能でモバイルでの使用が可能。



2022型

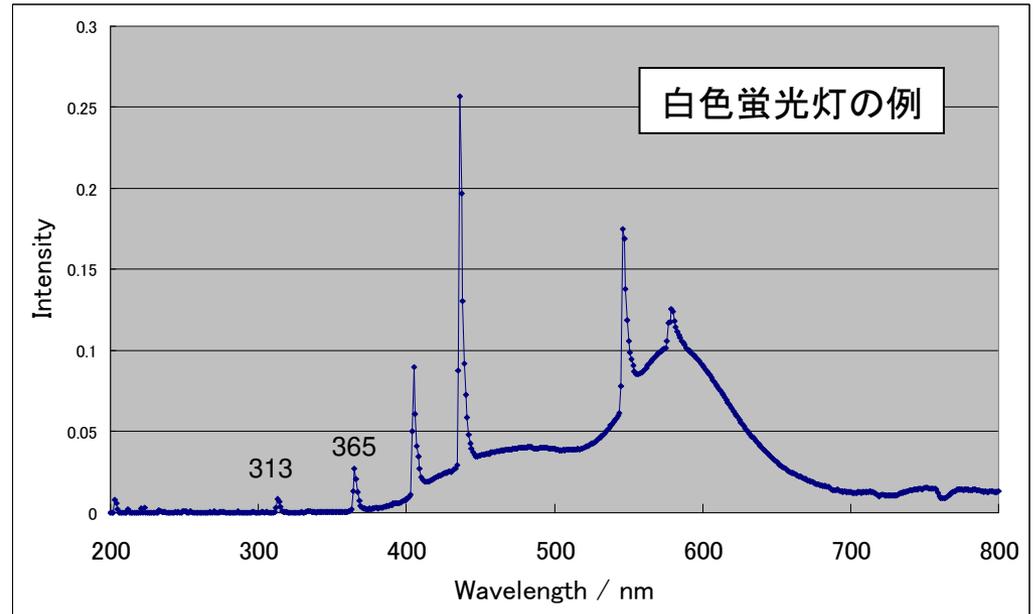
AMED事業で得られた成果を元にした高性能フィルターを使用した製品の産学連携での商品化に向けて、試作機を制作中。試験的な提供を開始しています。

安全な可視光LEDを使用



室内照明として蛍光灯が使われていた頃は、若干含まれる紫外領域の成分で二酸化チタンも励起することが出来、光触媒活性を得ることが出来ました。しかし近年急速に室内照明は可視光LEDに置き換わりつつあり、単純な二酸化チタンの光触媒では活性を発揮できなくなりました。このため、**400nm以上の波長の可視光でも活性を示す可視光応答光触媒**が開発され、その一つとして三酸化タンゲステンをベースとした光触媒が販売されています。

ひかりクリーナーではこの三酸化タンゲステンベースの光触媒と、440nm程度にピークを持つ青色LEDと黄色い蛍光体の組み合わせの一般的な可視光LEDを使用しており、**紫外線は一切放出していないため、安全に人と人の間に設置することが出来ます。**



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

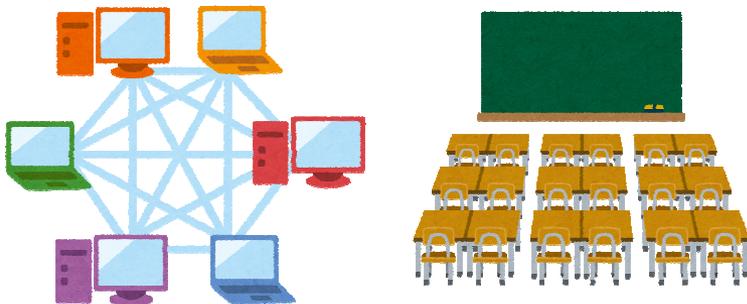
複数ユニットを直列接続して能力拡張



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。

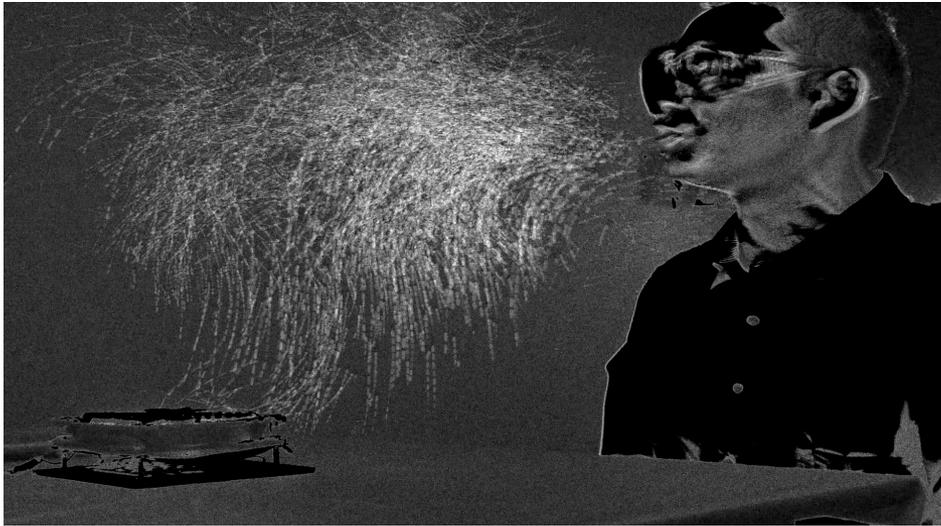
II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

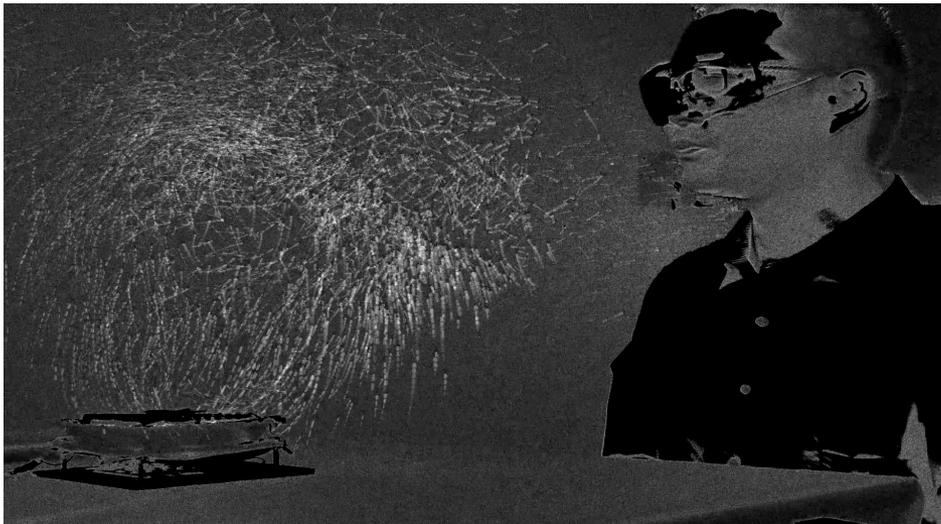
③ 光触媒での分解

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。

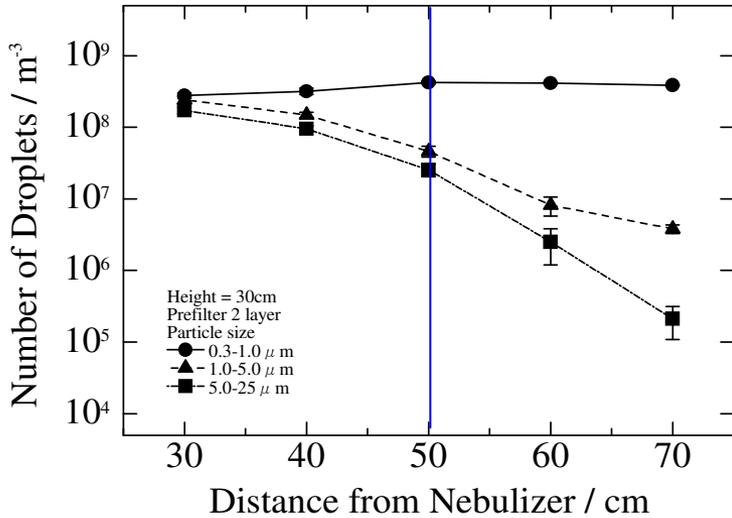
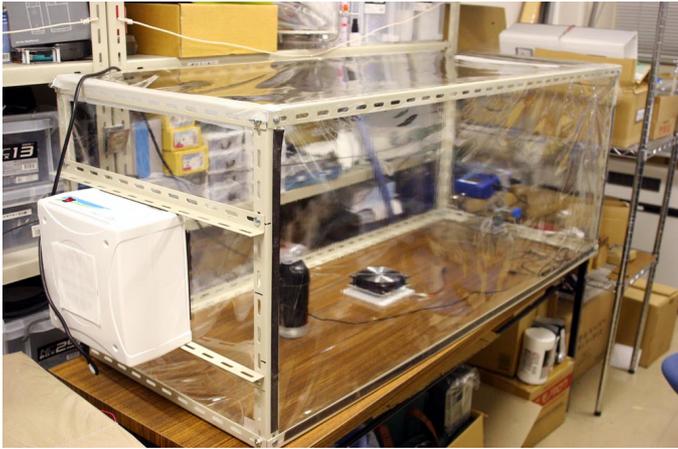
1m 程度の範囲に於いて、口から発声に伴って出た飛沫や、スプレーからの模擬飛沫、エアゾルを模した電子タバコのベーパーなどが吸い込まれていき、なおかつフィルターによってマスクと同じように止められていることが確認出来るかと思えます。



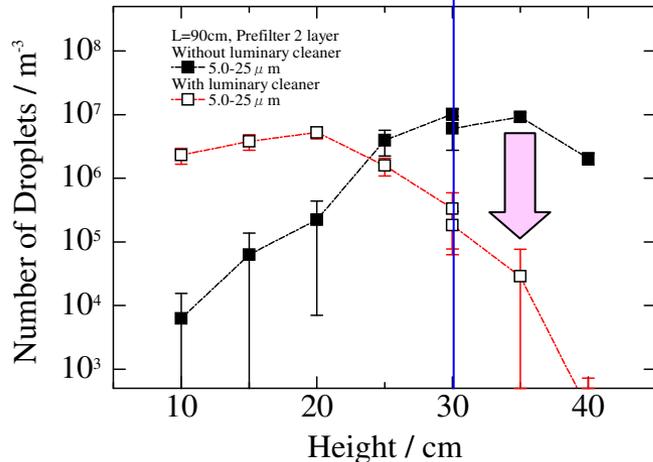
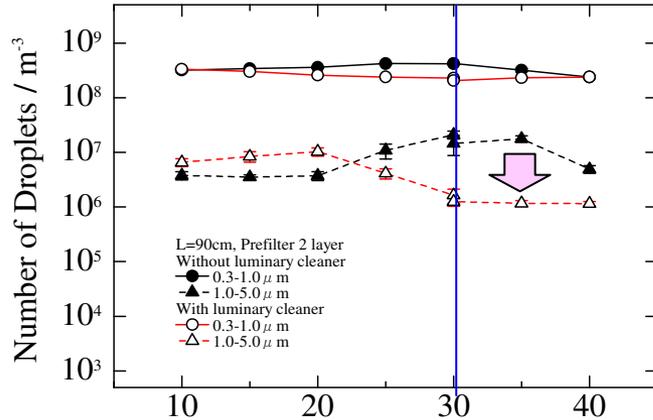
発声に伴う飛沫の撮影に際しては、「ブーブー」と言う破裂音により意図的に大量の飛沫を出しています。



空間を飛ぶ飛沫の捕集率



粒径毎の飛沫数の飛距離依存性

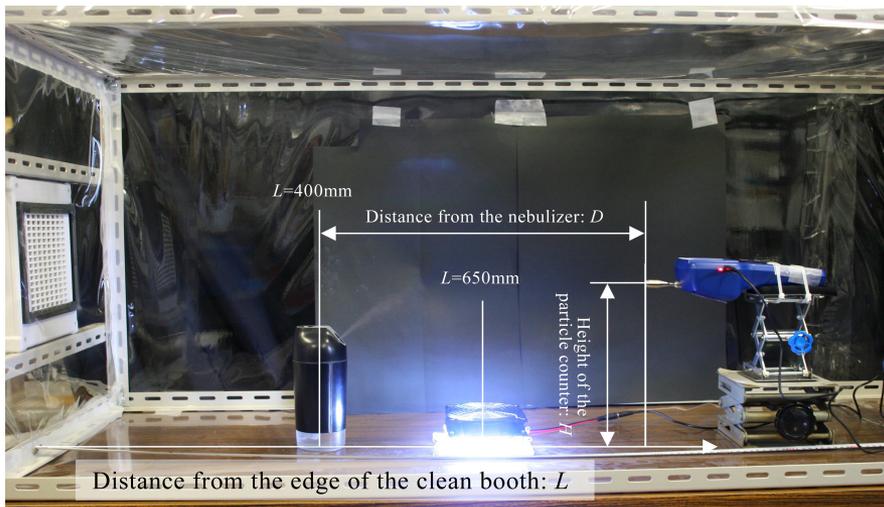


風速0.6m/s程度のクリーンベンチ内での飛沫捕集試験。

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。

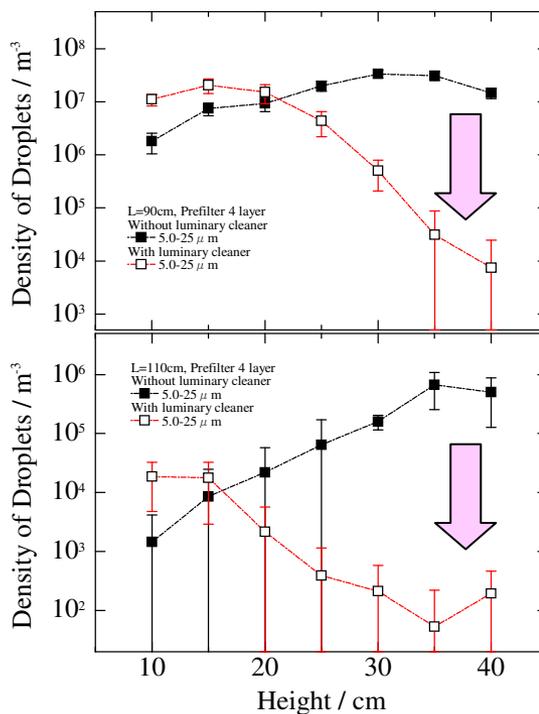
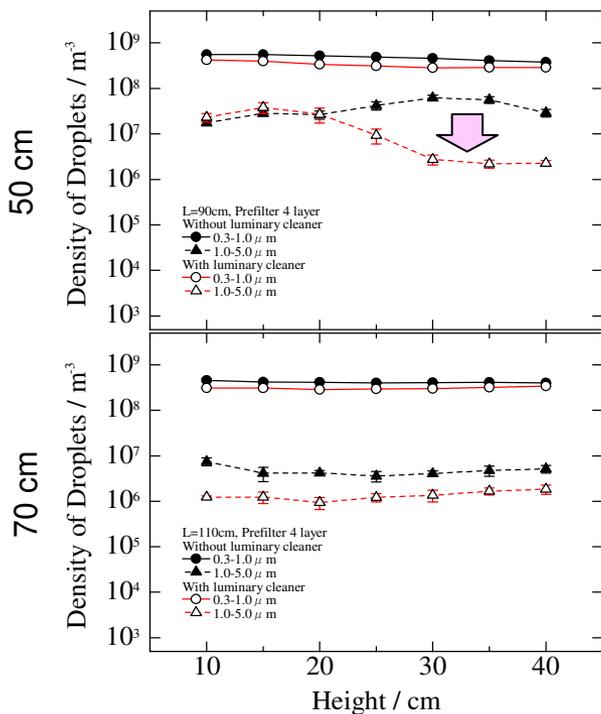
ひかりクリーナー作動で、着席時顔の高さの40cm程度の飛沫は大幅に減少することが確認できた。

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。

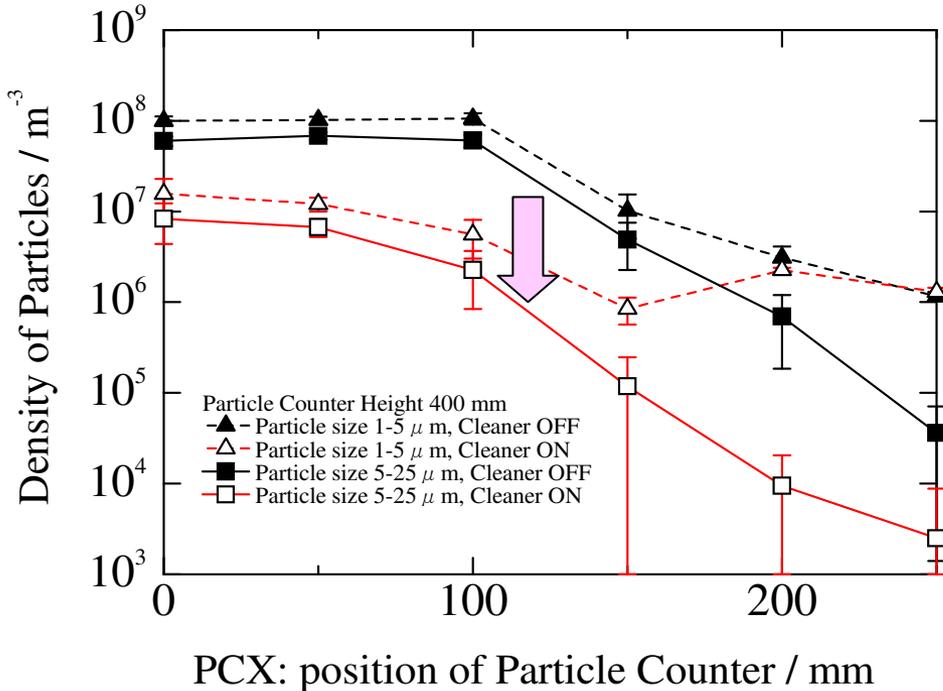
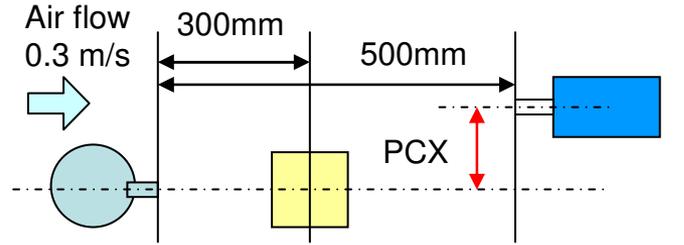
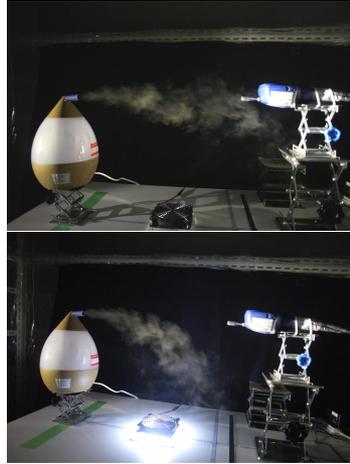
いずれの距離でも、5.0~25 μmの粒径の大きな「飛沫」は、飛沫除去装置の作動によって着席時の顔の高さである40cm程度の高さでは大幅に減少することが確認できた。

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。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(1)



HEPA フィルターを使用した大型
クリーンブース: 1.5 × 1.5 × 2.4m



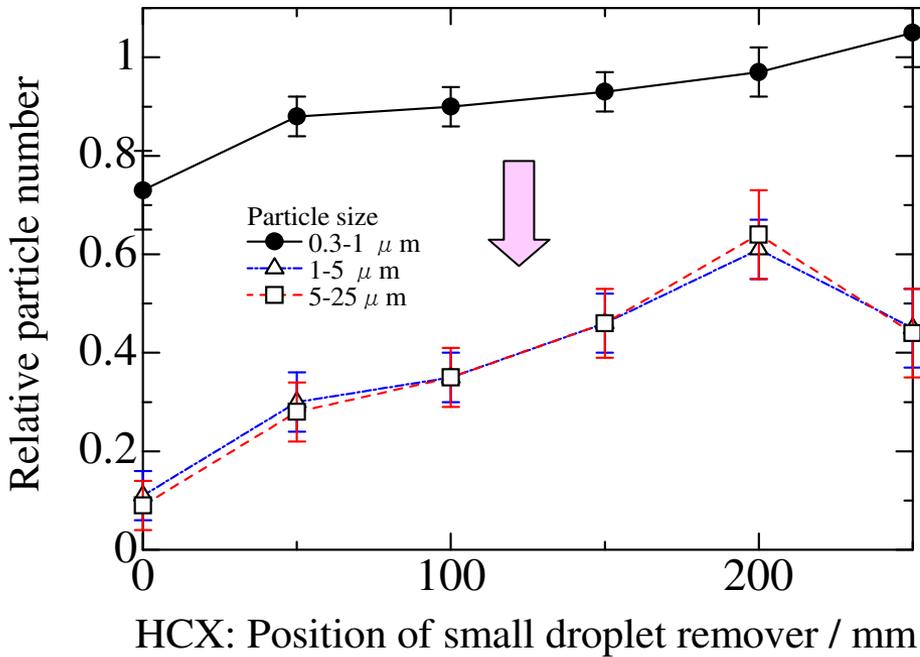
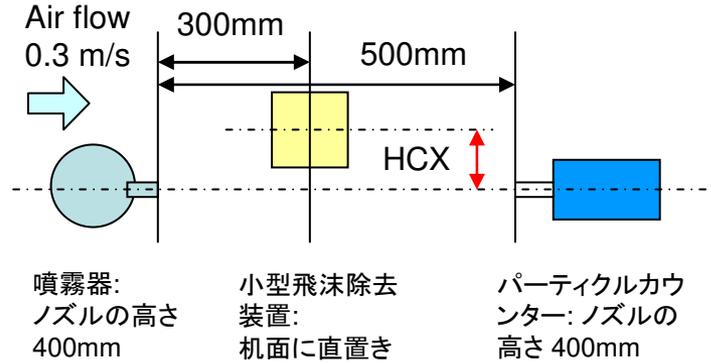
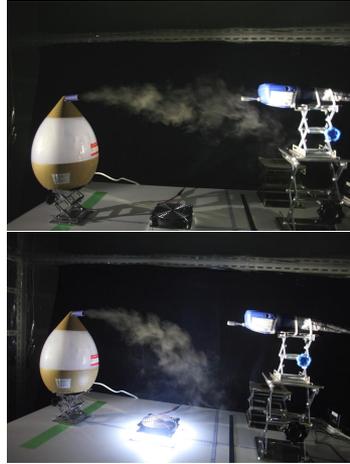
直線的配置だけでなく、対象者が飛沫除去装置からずれた位置にいる場合の模擬を行った。元々大気中を飛ぶ埃の影響を避けるために大型のクリーンブースをセミクリーンルームに設置した。噴霧器に水平に設置したノズルからのミストはHEPAフィルターユニットからの追い風(0.3m/s程度)によってほぼ水平に飛行するよう調整した。噴霧器、パーティクルカウンターとも、着座した際の机面から口の高さ程度である400mmにノズルの高さを設定した。

5.0 ~ 25 μm の飛沫は、中心軸から250mmの範囲で一様に概ね1桁程度減少を示した。また、口腔から放出されるエアロゾルのピークサイズに相当する1.0 ~ 5.0 μm の粒子も、150mm 程度の範囲までは1桁程度減少した。一方、0.3 ~ 1.0 μm の粒子は1割程度の減少に留まった。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(2)

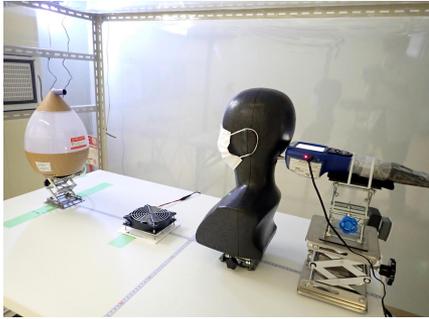


HEPA フィルターを使用した大型
クリーンブース: 1.5 × 1.5 × 2.4m



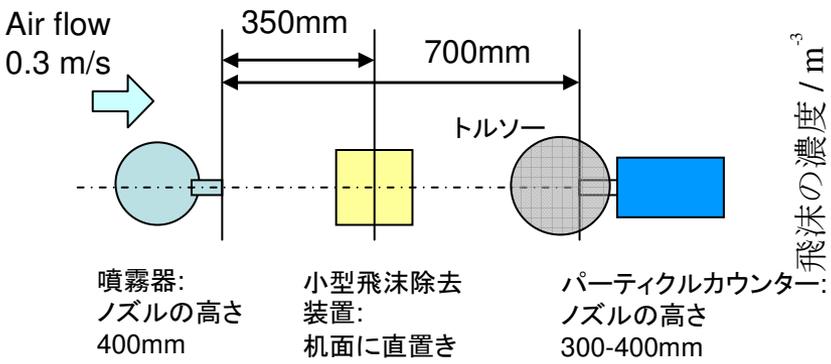
同様に、大型クリーンブースを使用して発生源と対象者を結ぶ直線から小型飛沫除去装置がずれた位置に設置された場合の模擬を行った。5.0 ~ 25 μm の飛沫は、小型飛沫除去装置が中心軸上に設置された場合1/10程度に減少しているが、設置位置が離れるにつれて除去率は減少したが、250 mmまでの範囲で概ね半分程度に減少できていることが確認された。また、口腔から放出されるエアロゾルのピークサイズに相当する1.0 ~ 5.0 μm の粒子も、全く同じ挙動を示す一方、0.3 ~ 1.0 μm の粒子は1割程度の減少に留まった。

大型クリーンブースによる飛沫除去性能評価(3)

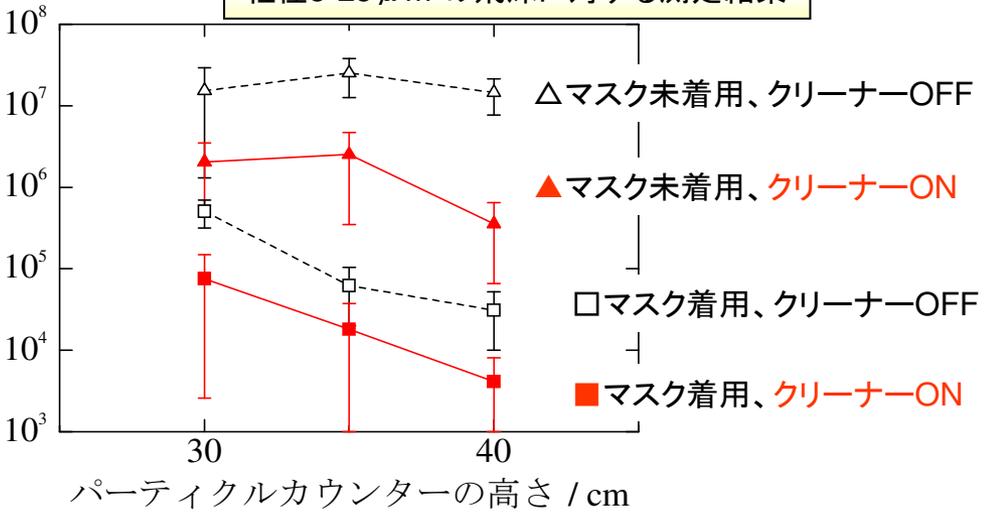


マスク着用が可能なトルソーの後方からパーティクルカウンターのノズルを入れ、一般的な3層不織布マスク着用による飛沫低減効果を検証した。

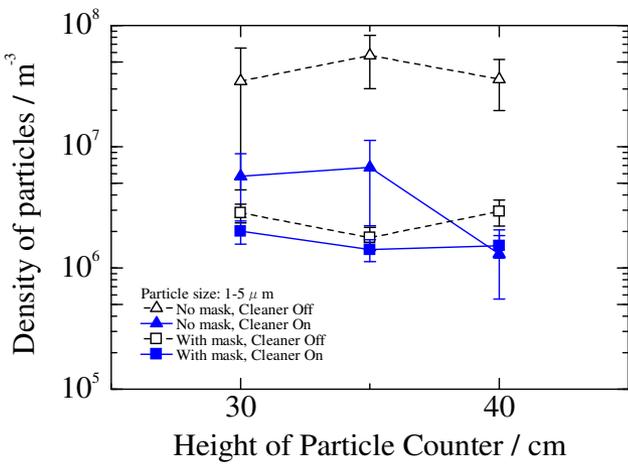
HEPA フィルターを使用した大型クリーンブース (1.5 × 1.5 × 2.4m)中に設置した実験レイアウト。



粒径5-25 μm の飛沫に対する測定結果

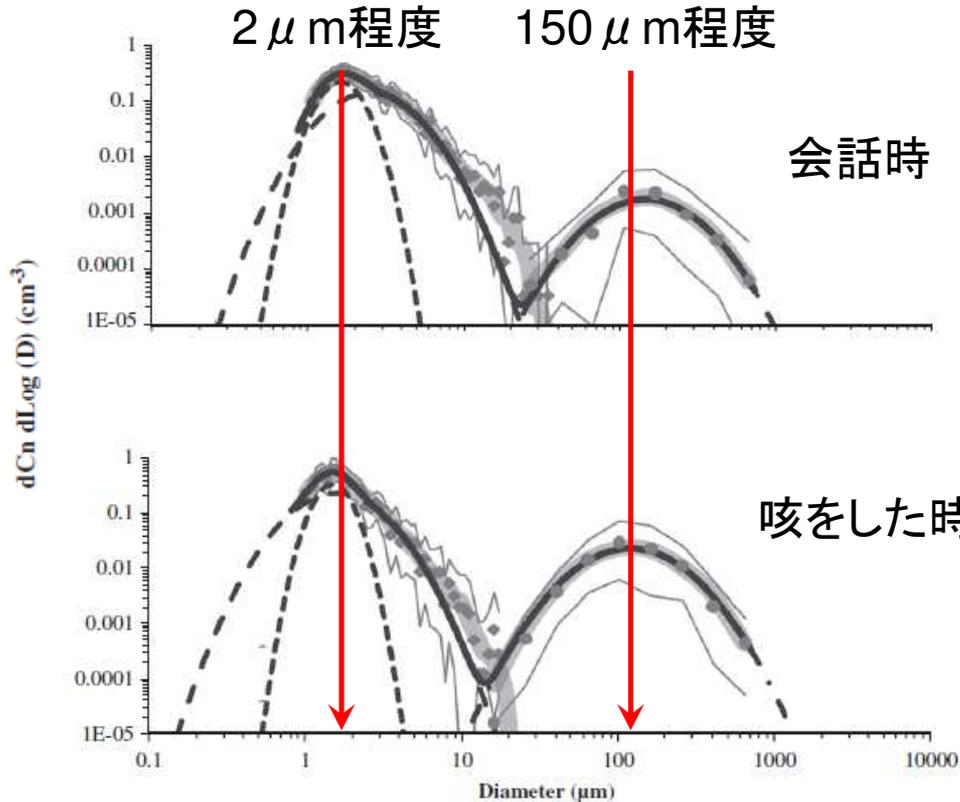


粒径1-5 μm の飛沫に対する測定結果



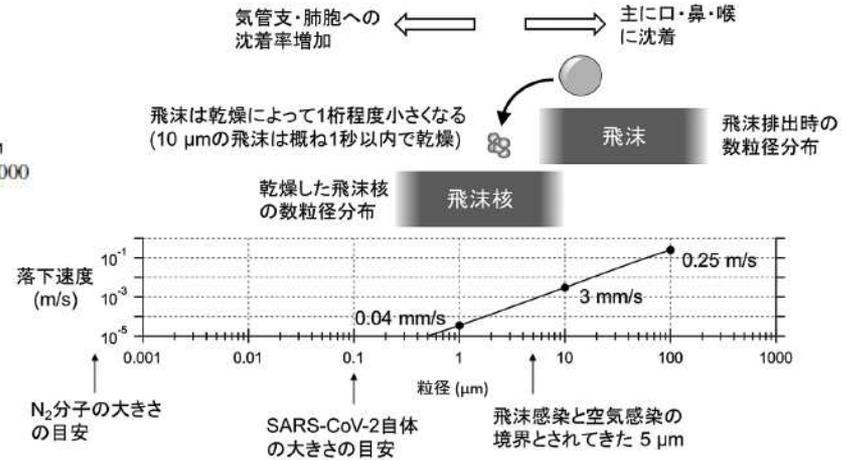
測定の結果、マスク着用により1-5 μmのエアロゾルに対しては1/10~1/30、5-25 μmの飛沫に対しては2~3桁程度、粒子が除去されることが確認された。マスクを着用した状態で小型飛沫除去装置も使用することで、1-5 μmのエアロゾルに対しては30~50%、5-25 μmの飛沫に対しては70~80%程度、さらに粒子数を低減することが出来た。

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 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.

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

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 μ m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。

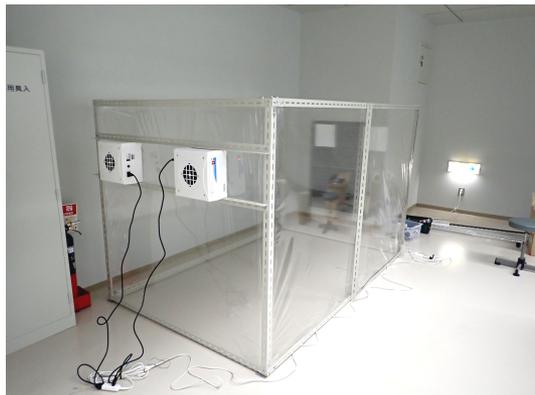
測定条件	Particle Size	上流側 粒子濃度	下流側 粒子濃度	透過率
	μ m	/m ³	/m ³	
目張り無しクリーンベンチ内	0.3~1	7.4E+06	2.7E+06	0.37
	1~5	5.1E+04	1.7E+04	0.34
	5~25	9.0E+02	1.8E+02	0.20
目張りしたクリーンベンチ内	0.3~1	1.2E+04	6.7E+03	0.54
	1~5	1.4E+02	1.8E+01	0.13
	5~25	2.0E+01	0.0E+00	0
目張りしたクリーンベンチ内 加湿器使用(1回目)	0.3~1	4.1E+08	4.6E+08	1.14
	1~5	1.2E+07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

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過しており捕獲率が評価できませんでした。

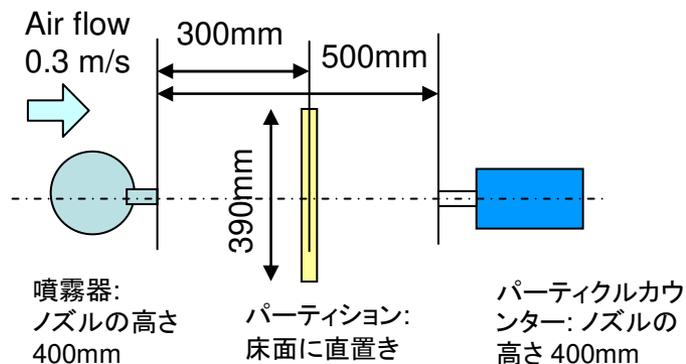
パーティションの有用性



クリーンルーム周辺のセミクリーン廊下(ダスト量 $0.3\sim 1\mu\text{m}$: $1.9\times 10^5/\text{m}^3$, $1\sim 5\mu\text{m}$: $6.3\times 10^3/\text{m}^3$, $5\sim 25\mu\text{m}$: $2.3\times 10^2/\text{m}^3$)に、HEPA フィルターユニットを装着した大型クリーンブース ($1.5\times 1.5\times 2.4\text{m}$) を設置した。30分運転後の内部のダスト量は、 $0.3\sim 1\mu\text{m}$: $1.5\times 10^3/\text{m}^3$, $1\sim 5\mu\text{m}$: $1.2\times 10^2/\text{m}^3$, $5\sim 25\mu\text{m}$: ND であった。

この大型クリーンブース中に、水平にミストが飛ぶよう調整した超音波噴霧器と、パーティクルカウンターを設置し、その間に幅390mm, 高さ500~700mmの発泡スチロール板をパーティションとして設置した。噴霧器のノズル、パーティクルカウンターのノズルの高さはいずれも床面から400mmとした(着座したときの机面から口までの高さを模擬)。

Partition Height cm	Particle density /m ³	Standard deviation /m ³	Transmittance	Standard deviation
Particle size: 0.3~1 μm				
0	1.7E+08	6.2E+07		
50	2.4E+08	2.0E+07	1.45	0.55
55	2.9E+08	3.8E+07	1.76	0.70
60	2.3E+08	2.1E+07	1.36	0.52
65	2.3E+08	1.7E+07	1.36	0.52
70	2.4E+08	3.3E+07	1.42	0.57
Particle size: 1~5 μm				
0	1.8E+07	1.7E+07		
50	7.1E+05	1.2E+05	0.04	0.04
55	1.0E+06	3.0E+05	0.06	0.06
60	1.1E+06	2.4E+05	0.06	0.06
65	3.8E+05	5.9E+04	0.02	0.02
70	4.2E+05	1.2E+05	0.02	0.02
Particle size: 5~25 μm				
0	7.7E+06	8.2E+06		
50	2.7E+02	3.8E+02	0.00	0.00
55	2.1E+02	2.6E+02	0.00	0.00
60	4.6E+02	7.3E+02	0.00	0.00
65	1.4E+02	2.9E+02	0.00	0.00
70	8.8E+01	1.2E+02	0.00	0.00



その結果、口腔から放出される液滴の小さい方のピークである $2\mu\text{m}$ 前後ではパーティションが口の高さより10cm高いだけでも95%程度除去された。より大きな $5\sim 25\mu\text{m}$ の飛沫はほぼ完全に除去されるため、口腔から放出される液滴の大きい方のピークである $150\mu\text{m}$ 程度では完全に除去できると考えられる。

パーティションの有用性

これまでマスク以外の飛沫対策として一般にはアクリル板などのパーティションの設置が行われおり、内閣官房新型コロナウイルス対策推進室が取りまとめた政府の感染予防対策でも飲食店におけるパーティション設置が強く推奨されている。

しかしながらその飛沫を防ぐ効果について実験的データは少ない。また換気を行う気流を妨げる要因となることも以前から指摘が成されている。さらに、コミュニケーションが困難になるため設置が困難な場合もあり、パーティションの有用性とその弊害を改めて検討する必要がある。



一般的なパーティションの設置例



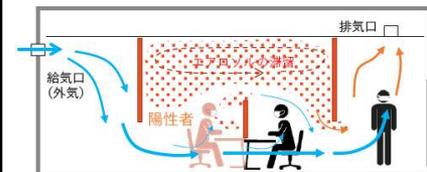
パーティションをあえて設置していない例



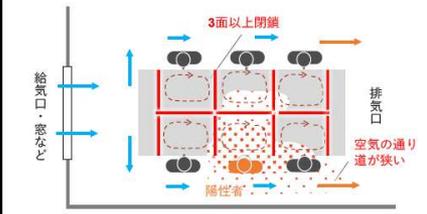
パーティションの設置に意味がない例

< 換気が阻害される例 >

- パーティションにより給排気口のないエリアが発生し、エアロゾル濃度が高まる。



- 人との離隔が狭く、3面以上のパーティションにより囲まれている。壁との間で空気の通り道が狭くなっている。



新型インフルエンザ等対策推進会議 基本的対処方針分科会
2022/7/14 第28回会議資料より

マスクやパーティションは飛沫拡散防止に効果を発揮しているが、同時に声の伝播も一定に妨げてしまう事はこれまで大きな問題になって来なかった。しかし、此処に来て高齢者の会話の聞き取りや意志疎通に大きな弊害を与えている事が徐々に社会問題として認知され出している。その為、やむを得ずパーティションを撤去しているのが左の真ん中の図のケースとなる。その他、快適性の観点からパーティションを撤去した飲食店も徐々に増えてきている実態がある。しかしながら、それらの飲食店がパーティションの代案となる感染対策を適切に施しているかと問われれば、多くの場合で同意する事は難しい。

II: 飛沫除去装置の開発

① 飛沫の吸引

② フィルターでの捕集

③ 光触媒での分解

ひかりクリーナーでの有機色素分解実験

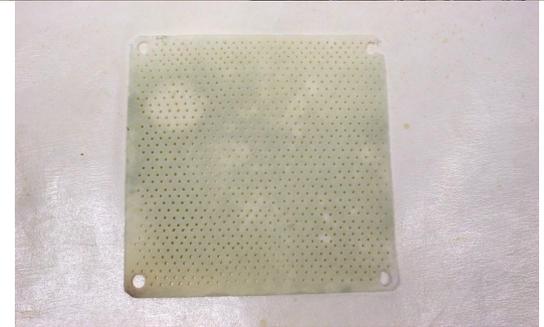
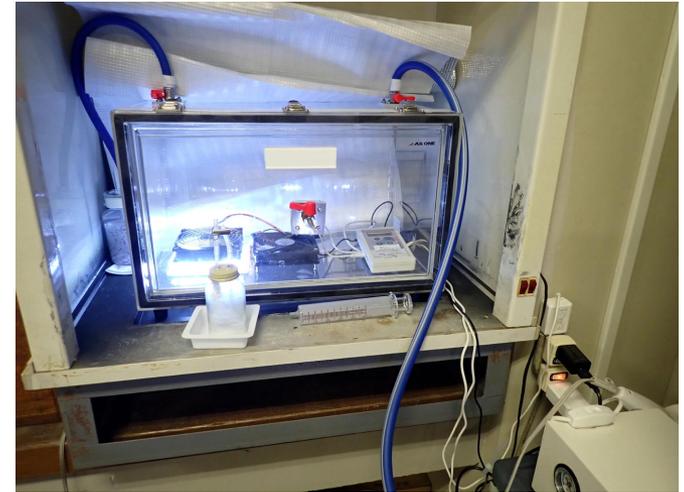
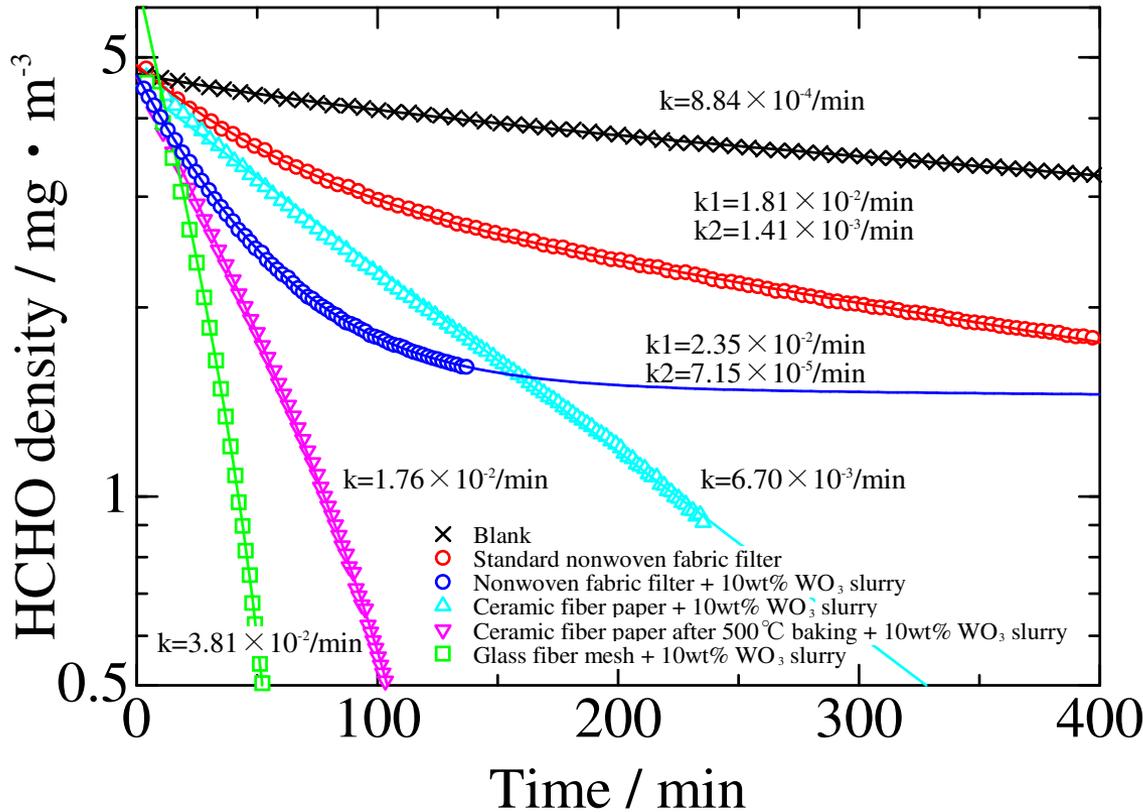
・メチレンブルーという有機色素を用いて、ひかりクリーナーの光源と光触媒フィルターを用いての実験では、 $30\mu\text{g}$ 程度の有機色素が3時間程度で分解されていることが確認され、光の量によって分解の程度が異なることも確認できました。



・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。

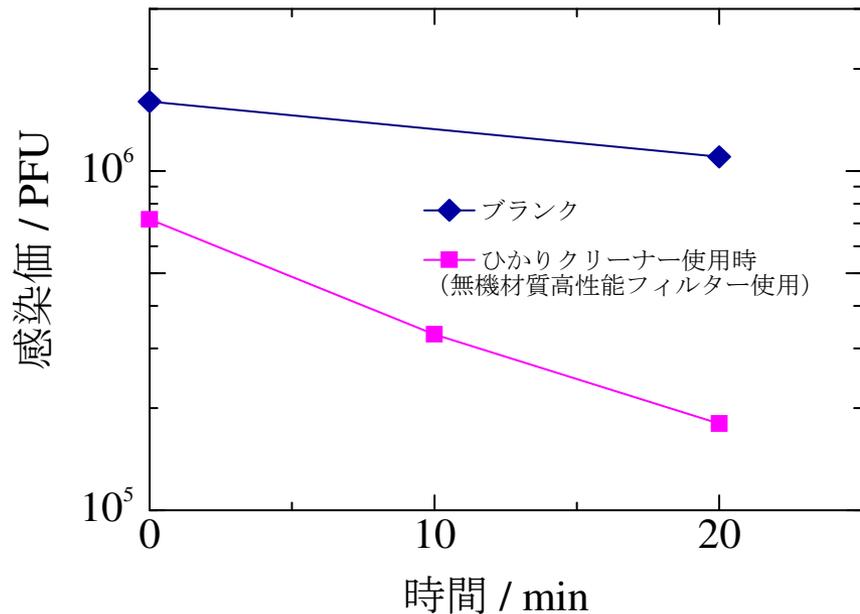
ひかりクリーナーによるエアロゾル中のウイルス除去

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)

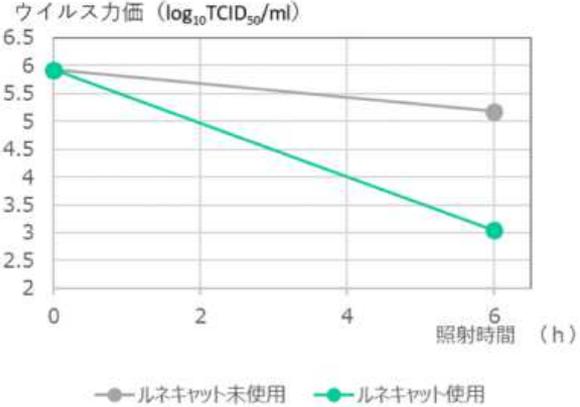
Masashi Uema et al., "Effect of Photocatalyst under Visible Light Irradiation in SARS-CoV-2 Stability on an Abiotic Surface", Biocontrol Science, 26 (2021) 119-125.

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

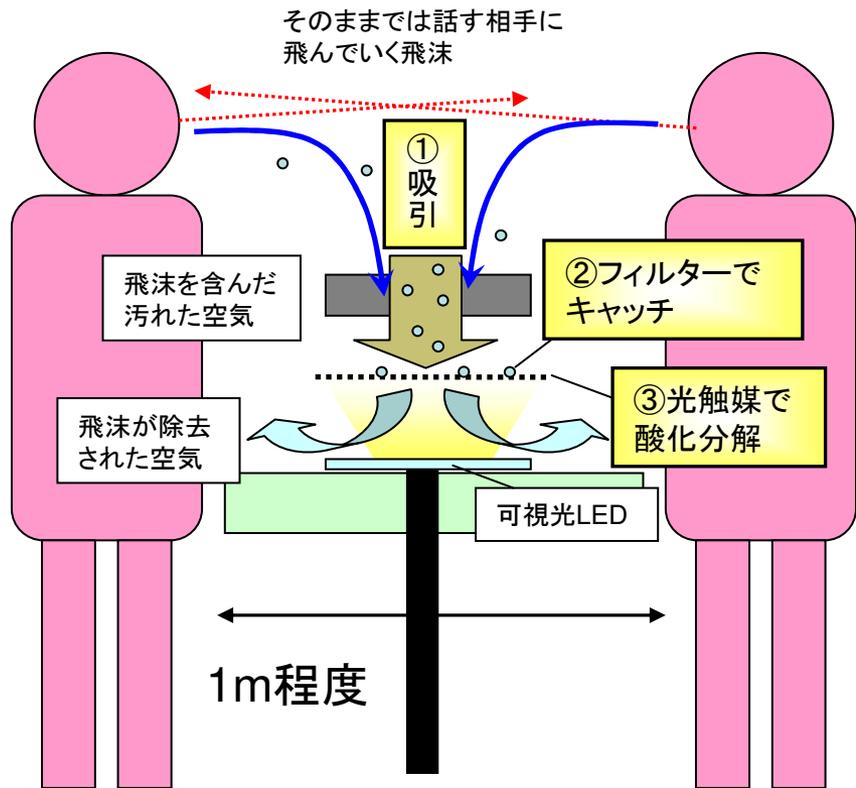
抗ウイルス性試験方法	フィルム密着法 ISO 18071:2016ファインセラミックス(先進セラミックス, 先進技術セラミックス) – 屋内照明環境下の半導体光触媒物質の抗ウイルス活性の求め方 – バクテリオファージQ-ベータを使用する試験方法を参考に実施
光源	白色蛍光灯 3000lx (380nm以下の紫外光はフィルターでカット)
作用時間	6h
試料塗布量	4g/m ²
サンプルサイズ	30mm×30mm



※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)」

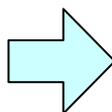
光触媒の塗布量はひかりクリーナーの標準仕様でおよそ 0.7g/m² 程度であるが、大量生産が可能な高性能フィルターでは 17g/m² 程度となる。

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。



サブミクロンの飛沫をキャッチしようとする
とHEPAフィルターなどの高性能フィル
ターが必要で、十分な吸引を行うため
には高出力のファンが必要となり、騒音のた
め人のそばには置けない。

サブミクロンのエアロゾルは
キャッチしないという割り切り



**飛沫除去に特化した小型飛沫除去装置
というコンセプトを実現**

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 μ m以上の飛沫を1/100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 μ 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

紫外線を放たせず安全な高輝度可視光
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。

リスクの考え方

放射線に関しても同様ですが、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く、安全か危険かの、0か1で考えている例が多く見られます。

しかしながら当然**絶対の安全も危険も存在せず、程度の問題に帰結します**。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と言うこともできますが、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**ことが重要です。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のです。

かといって、経済を全て止めて全員が隔離状態に置かれるというのもまた非現実的な話で、**リスクとベネフィットのバランス**を考える必要があります。放射線防護の世界では、**ALARAの原則**(as low as reasonably achievable)という考え方があります。何を持って**reasonable**なのかというのは人それぞれであり、社会全体として考える必要があります。**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**ですが、**経済を回しながら合理的にリスクを低減する**措置を積極的に進めていくべきだと考えます。そのためには何らかの指標で合理的に評価することが必要です。