

消毒に包括的なアプローチを取り入れるには

クリフォード・ヤーンケ

光源の寿命、殺菌の有効性、部屋の使用方法や表面や占有状況の性質は、部屋全体を消毒するシステムの設計と適用に影響を与えるはずである。本稿では、主要な項目と、それらの項目を実験環境の外で考察しなければならない理由について、概説する。

二部構成記事の後編である本稿では、紫外線 (UV) と 405nm の照明技術の光源寿命、環境及び運用上の影響、有効性について解説する。前編では、UV 照明の課題を吟味し、標準規格と測定基準の必要性を議論し、部屋全体を消毒する方法の比較について解説した。2つの記事はどちらも、「Nature」誌の出版社が刊行する「Scientific Reports」に2021年9月30日に公開された論文「The virucidal effects of 405nm

visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus」(新型コロナウイルスとインフルエンザ A ウイルスに対する 405nm の可視光の殺ウイルス効果) に記されている研究に基づいている⁽¹⁾。

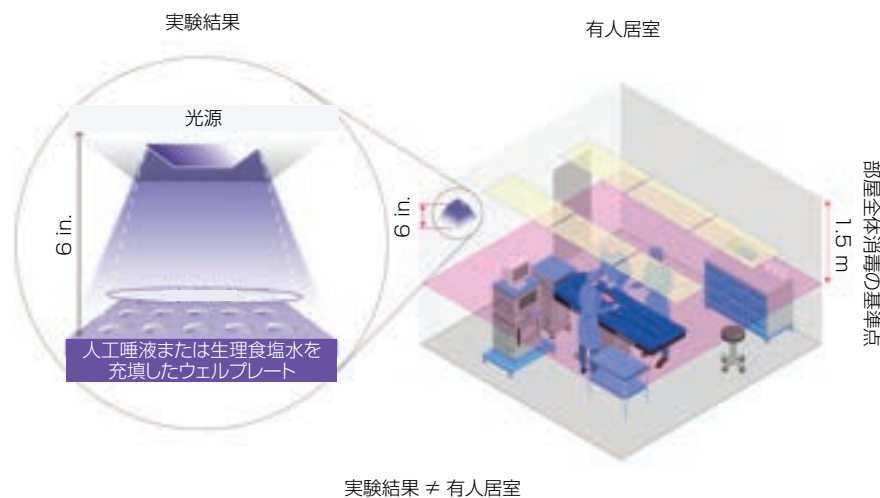
部屋全体を消毒するシステムは何年も前から、感染症の感染リスクを緩和するために医療現場で利用されている (bit.ly/3yqmUWX)。新型コロナのパンデミックにより、学校やクルーズ船や商用オフィスといった、医療以外の

施設を管理する多くの人々が、これらのシステムの導入を検討するようになっている。しかし、商業分野の購入者やエンドユーザーは通常、消毒システムとその検討項目 (安全性、有効性、光源寿命、環境的影響) について、そうした技術を一般的に導入する医療機関と同程度の経験を持ち合わせていない。前編では、安全性に関するガイドラインと測定基準について説明した (bit.ly/3IepHWw)。本稿では、安全性以外の検討項目 (システムの機能、空間の使用状態、表面、占有状況など) を、一般的な観点で取り上げて、潜在的エンドユーザーがより多くの情報に基づいて決断できるようにしたいと思う。

光源の寿命

光源は、使用とともに経年劣化する。劣化のペースは、機器の動作出力に大きく左右される可能性がある。従って、検討する製品の最大出力条件下での耐用年数を、メーカーの仕様書で確認する必要がある。例えば、手術設備で使用される UV-C 光源には、標準、ディープ、ターミナルクリーニングに関連する設定があり、ランプの寿命は、それぞれ 18年、9年、4.5年で、各設定の1日の使用時間は、30分、1時間、2時間に相当する場合がある。

従来の UV-C ランプの光源寿命が



実験環境と有人居室の測定方法を比較すると、実験環境でははるかに短い距離で測定が行われていることがわかる。これは一般的に、消毒効果を過大評価しており、部屋の中にいる人の寄与を無視している。(提供:ケノール社とヤーンケ氏)

9000時間程度であるのに対し、それよりも新しい遠UV-C光源(国際紫外線協会 [International Ultraviolet Association]によると、放射波長は200～230nm)は、光源寿命は3000時間として提供されている。連続的に使用する場合は、約4～12カ月おきに光源の交換が必要になる。ちなみに、UV-A(315～400nm)と青色可視波長(450～495nm)のLEDは、出力、熱設計、使用されているLEDパッケージ構造によって異なるが、1万～10万時間の動作が可能である(概要は表1のとおり)。ユーザーは、特定の製品設計やアプリケーションに関連するL70(光源寿命)のデータを、各製品のメーカーに問い合わせる必要がある。

光源の寿命がわかれば、消毒システムの有効性と総所有コストに対する寿命の影響を評価することができる。光源を時々消灯すれば、交換間隔は長くなるが、消毒は非連続的になる。この場合は、一時的(非連続的)な使用方法に基づく有効性のデータを、メーカーに問い合わせる必要がある。環境消毒システムを検討する際にメーカーに問い合わせなければならないその他の項目としては、以下のものが挙げられる。

- ・光源の交換時期を判断する方法。
- ・光源の交換方法。
- ・交換までにシステム性能がどの程度低下するか。
- ・光源交換の部品や人件費を含めたコスト。

システム設計に関する項目

環境消毒システムは、部屋の設計、室内にいる人、空間内の素材に影響を与える可能性がある。部屋に組み込む方法や運用に関する複数の項目を、システムの設計及び評価作業の一環とし

表1 殺菌照明の光源と照明器具の寿命の間のトレードオフの例(データ提供:ケノール社)。

光源の種類	光源の寿命	使用時間	照明器具の寿命
遠UV-C	3000時間以上	24/7	約4カ月
UV-C	9000時間以上		
標準		1日に30分	約18年
ディーブ		1日に1時間	約9年
ターミナル		1日に2時間	約4.5年
連続		24/7	約1年
UV-A	1万～10万時間	24/7	1～10年
可視光	1万～10万時間	24/7	1～10年

*値の範囲は、光源の種類、出力設定、使用期間によって異なる。

て、考察する必要がある。

まず、殺菌光源は既存照明に組み込まれているのか、それとも、後から追加するのか。後付けである場合は、その設置には、追加の電源、制御、天井に取り付けるためのハードウェアが必要となり、設置コストは、実際の製品コストと比べて高くなる可能性がある。

消毒機能は、室内に人がいるときに連続的に適用できるか、それとも、部屋を閉鎖して一時的に適用する必要があるか。24時間体制または1日のうちの特定の時間に使用する必要のある部屋は、無人状態にして閉鎖することが、収入減による経済的な影響を運用者に与える可能性がある。例えば、手術室を閉鎖する場合である。これに対し、連続消毒は、部屋の中にいる人が空間内にいる間に生成する汚染に対応する。





システムに対して、どのような種類

の保守がどのような頻度で必要で、実施の際に部屋を閉鎖する必要があるか。ここでも、部屋の種類によっては、保守による部屋の閉鎖が費用対効果に影響を与える可能性がある。

消毒剤によって、室内の素材が損傷または劣化するか。UV光が布地やプラスチックに損傷を与える可能性があることが、研究によって明らかにされている(bit.ly/3b7mXe8)。最近発表された研究では、新生児集中治療室(NICU)において青色の布地見本にUV-A光を照射した場合の影響が示された⁽²⁾。多くのインクが現在、UV光を使用して硬化されており、対応する波長のUV光にさらされると、経時とともに薄くなる可能性がある。現在のところ、この効果は可視光では文書化されていない⁽³⁾。

最後に、消毒が室内にいる人に与え

表2 環境消毒システムのメリットを実証するために用いられるエビデンスタイプの比較(データ提供:ケノール社)

 <p>エビデンスタイプ</p>	 <p>実験</p>	 <p>有人居室</p>	 <p>殺菌効果/伝播経路</p>
<p>認められる効果</p>	<p>消毒</p>	<p>消毒</p>	<p>感染予防</p>
<p>メリット</p>	<p>収集が比較的容易</p>	<p>部屋のパラメータと居室者が消毒に与える影響を評価</p>	<p>製品の実際の効果を評価</p>
<p>制約</p>	<p>製品の実際の使用方法を反映していない 実験した種類の有機物に限定される</p>	<p>実際の効果を測定するものではない 中間的な手段である</p>	<p>製品の効果を収集して隔離するのが難しい</p>

る影響について、慎重に考察する必要がある。UV殺菌光が使用される室内に、人間は安心していられるだろうか。そうだと思いついてはいけぬ。可視光をUVと混同している場合も多いが、大抵の人々が、UV光の潜在的危険性を認識している。可視光は、標準的な白色LED照明のように組み込むことが可能だが、UV-A光の場合は、それはできない。布地に対するUV-Aの影響を明らかにした研究論文⁽²⁾にも、室内にいる人に対する悪影響が、「(UVが)あらゆるものの色を変えてしまうのが気に入らない」とか、「13週間前に目の手術をしたばかりなので、UV光にさらされたくない。目が痛くなる感じがする」といったコメントとともに記載されている。新しい技術を一般の人々に紹介する際に、このような意見の重要性を過小評価してはいけぬ。適切な導入を促進するには、さまざまな利用者層(ユーザー、施設、医療スタッフ、上層幹部など)にわたる同意を得る必要がある。

システムの有効性を判定する方法

安全性を含む、システムの運用パラ

メータが決まれば、実験データ、有人居室のサンプリング、殺菌効果または伝播経路の調査の3つのうちのいずれかの方法で、その有効性を判定することができる。

実験データは、最も一般的な方法だが、最も簡単に操作できる。また、有人居室や、数日間や数週間といった長い期間の有効性に、直接変換できるものではない。この種類のデータは、UV光や、漂白剤などの化学消毒剤を使用する、一時的(非連続的)な消毒システムにより適している。

実験データは通常、バイオセーフティフードの物理的制約に基づき、短い距離(6~10インチ[15~25cm])で収集される。p.14の図に示すように、そのようにして収集されたデータは、実際の部屋環境での性能と比べて、システムの性能を過大評価したものになる可能性がある。

前編で説明したように、サンプルにおける放射照度は、サンプルと光源の間の距離の二乗に比例して低下する。例えば、天井の高さが9フィート(約2.7m)で作業面の高さが3フィート(約0.9m)の部屋では、放射照度は実験設

備の1/144になる可能性がある。この照度低下は、部屋全体のデータを取らずにメーカーの実験データをうのみにする事の危険性を物語っている。有人居室に変換可能な実験データの例として、Scientific Reportsで公開された、新型コロナウイルスに対する可視光の殺ウイルス効果を調べる研究は、高さ3フィートの作業面のレベルに放射照度を落とした実験設備を使って行われている⁽¹⁾。

有人居室のサンプリングは、実験データの収集よりも難しい。モップがけをしたり、空気サンプルを採取したり、ペトリ皿を使用したりして、環境から有機物を回収することが必要になるためである。空間内の殺菌効果の特性を評価するには、所定の時間をかけて採取した多数のサンプルを蓄積することが必要である。占有状態の合間の空間に対してサンプリングが行われるとしても、人間が環境汚染に与える影響がおそらく加味されることが、この方法の利点である。有人居室のサンプリングは、可視光システムや過酸化水素蒸気の自動噴射システムなど、連続的な消毒システムにより適している。

殺菌効果または伝播経路の調査は、最も高いレベルのエビデンスとなるもので、医療機関では一般的に、これが求められる。このような調査では、部屋に関連する感染への介入効果、または、室内の有機物の伝播経路の特性を評価することができる。この調査には、高度な科学的手法と高いレベルの科学的厳密性が必要になる他、他の交絡因子に対する影響を統計的に定量化するために長い時間がかかる場合が多い。

殺菌効果または伝播経路のデータは、個別に比較することが複雑であったり困難であったりする製品に対し、メーカーの主張を検証するための究極的な手段であり、放射量、時間、距離、範囲、適用方法など、あらゆる変数が加味されている。このデータは、部屋全体を考慮して、対象技術の空間全体を消毒する能力に着目するものでもある。この種類の調査結果は、一時的に使用される携帯型のUV-Cデバイスと、連続可視光消毒に対して、提供されている⁽⁴⁾、⁽⁵⁾。

病原菌の種類による違い

有効性は、有機物の種類によってさらに分類することが可能で、微生物学の予備知識がない人にとっては難しい可能性がある。新型コロナウイルスのパンデミックが始まる前は、植物性細菌(黄色ブドウ球菌[MRSA]など)や芽胞(デオフィシル菌[C.diff]など)を対象に、環境消毒効果が主に分類されていた。実際、芽胞は消毒剤に対する生存率と耐性が高いため、多くの環境消毒システムが、芽胞を特に対象とした出力設定を備えている。UV-Cと可視光は、C.diffの芽胞に対する有効性が示されているが⁽⁶⁾、⁽⁷⁾、UV-Aはまだ示されていない⁽⁸⁾。システム運用者は、さまざまな製品を評価する際に、特定

の病原菌に対する有効性に着目する必要があるかどうかを判断する必要がある。特にUV LED光源は、高い出力で動作させると、光源の寿命が著しく低下する。また、通常は無人環境で使用できない。

新型コロナのパンデミックを受けて、今では急性医療以外の応用環境においても、部屋全体を消毒する製品が検討されている。これにより、ウイルスと細菌の間の微生物学的な違いだけでなく、それらの有機物が伝播する複数のメカニズム(空気感染と接触感染)にも注目が集まっている。上述のScientific Reportsの研究論文では、可視光によって、新型コロナウイルスやインフルエンザAなどのエンベロープウイルスが不活性化できることが示されている。ノロウイルスなどのノンエンベロープウイルスに対する過去の測定結果

に基づき、かつてはそれは不可能だと思われていた⁽¹⁾。これは、パンデミックが収束しつつあるとはいえ、室内にいる人の安全性を高めたいと考える利用者にとって、重要な研究成果である。

この論文に記載されているように実施すれば、部屋全体に関する主張に加えて、より具体的な主張の根拠としての役割を果たす、実験データを得ることができる。この研究では、可視光殺菌で、部屋の上部2フィート(約60cm)の範囲内の新型コロナウイルスの90%をわずか2時間で除去できるとされている。空気中の新型コロナウイルスの半減期が2~3時間とされていることから、これは臨床的に意義のある結果である。適切に設計されて設置された可視光消毒システムは、1日を通して部屋が使われている間に、室内にいる人を保護することができる。

参考文献

- (1) R. Rathnasinghe et al., "The virucidal effects of 405nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus," Scientific Reports, 11:19470(2021).
- (2) J.A. Brons et al., "An assessment of a hybrid lighting system that employs ultraviolet-A for mitigating healthcare-associated infections in a newborn intensive care unit," Lighting Res Technol, 0:1-18(2020).
- (3) D. Irving et al., "A comparison study of the degradative effects and safety implications of UVC and 405nm germicidal light sources for endoscope storage," Poly Deg Stab, 133:239-254(2018).
- (4) D. J. Weber et al., "Effectiveness of ultraviolet devices and hydrogen peroxide systems for terminal room decontamination: Focus on clinical trials," Am J Infect Control, 44:e77-84(2016).
- (5) L.J. Murrell et al., "Influence of a visible-light continuous environmental disinfection system on microbial contamination and surgical site infections in an orthopedic operating room," Am J Infect Control, 47:804-810(2019).
- (6) B. Casini et al., "Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas," Int J Environ Res Public Health, 16:3572(2019).
- (7) W.A. Rutala et al., "Antimicrobial activity of a continuous visible light disinfection system," Infect Control Epidemiol, 39:1250-1253(2018).
- (8) S.H. Livingston et al., "Efficacy of an ultraviolet-A lighting system for continuous decontamination of health care-associated pathogens on surfaces," Am J Infect Control, 48:337-339(2020).

著者紹介

クリフォード・ヤーンケ博士(CLIFFORD J. YAHNKE, PhD)は、医療、クリーンルーム/コンテナメント、食品加工、輸送、過酷環境、矯正施設用照明の市場を対象に可視光システムを開発する、仏ルグラン社(Legrand)傘下の米ケノール社(Kenall)のチーフサイエンティスト兼臨床事項責任者。URL: kenall.com