

新興感染症の感染リスクを低減する UVC-LED 空調ダクトの開発

和田 聡^{*1}, 上條隆明^{*1}

Development of UVC-LED Air Conditioning Duct That Reduces the Risk of New Infectious Diseases

Satoshi Wada^{*1}, Takaaki Kamijo^{*1}

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症の流行が記憶に新しい。近い将来、新たな感染症が流行する可能性がある。特に室内環境においては、空気感染、飛沫感染のリスクがある。表-1に粒径の小さな空気感染ウイルスの一例を示す。粒径の小さなウイルスは空調機を介して広範囲に拡散し易いため、感染リスクが増加する¹⁾。

空気感染対策として空調ダクト途中に HEPA フィルタ（ウイルス捕集率 99.99%）を配置しウイルスを捕集する方法がある。HEPA フィルタは小さなウイルスを捕獲するため、非常に細かい網目構造になっており、圧損上昇と目詰まりによる交換コスト増が懸念される²⁾。

図-1に示すようなダクト途中に設置可能で、ウイルスへの不活化効果のある UVC-LED を使用し、フィルタを使用せず、感染リスクを低減できる UVC-LED を搭載した空調ダクト（以降、UV デバイス）を開発した³⁾。インフルエンザウイルスの増殖を抑制する効果（不活化効果）を実証したので、その結果を報告する。

表-1 空気感染ウイルス病原菌と大きさ

病名	病原菌・ウイルス	大きさ	引用
結核	結核菌	長さ2~10 μm 幅0.3~0.6 μm	※
麻疹	麻疹ウイルス	直径 0.1~0.25 μm	※
水痘	水痘帯状疱疹ウイルス	直径 0.1~0.25 μm	参考値
インフルエンザ	インフルエンザウイルス	直径 0.08~0.12 μm	参考値

※国立感染症研究所 HP



図-1 UV デバイス設置イメージ

2. UV デバイス

2-1. UVC-LED の不活化効果

深紫外線は 300nm よりも波長の短い光であり、特に 280nm より波長の短いものは UVC と分類されている。図-2に紫外線領域での核酸（RNA、DNA）に対する吸光度の関係を示す。ウイルス内部の核酸が深紫外線を吸収し、やがては原形質破壊し、それ以上のウイルス増殖を阻害する（図-3）。

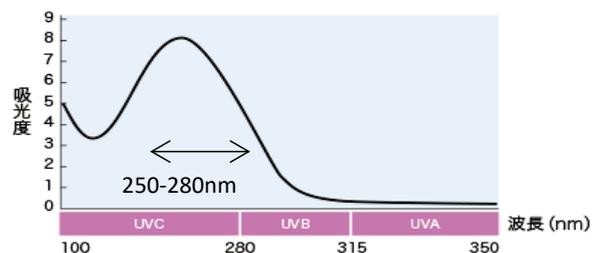


図-2 紫外線領域での核酸に対する吸光度

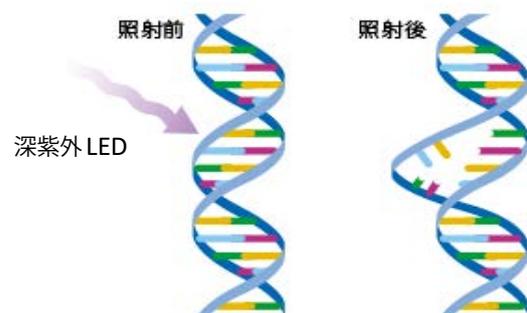


図-3 核酸破壊のイメージ

*1 ライフソリューション第1技術部 製品技術室

ウイルスの不活化効果は紫外線が照射された量（積算線量）（式-1）と吸光度を掛け合わせた量で求められる。吸光度は 250～280nm の範囲で高い値をとる。

$$\text{積算線量}(\text{mJ}/\text{cm}^2) = \text{照度}(\text{mW}/\text{cm}^2) \times \text{照射時間}(\text{s}) \quad (\text{式-1})$$

照度は LED の出力向上により高まり、また、ダクト内を通過する空気の流速を下げ、通過時間を延長すると照射時間が増加し、積算線量が増加する。

2-2. UV デバイス構造

本開発では豊田合成開発の 200mW 級狭角 UVC-LED（配光角 45 度、波長 275nm）をデバイス内に複数個設置している。さらに UV デバイス内面を高反射材料で構成し、反射する光を効率よく利用することでさらに照度を高めている。

UV デバイスの模式図を図-4、殺菌試験に使用した実機を図-5 に示す。また、断面積、長さ、UVC 光源モジュール（複数の UVC-LED を搭載した装置）の全放射束を表-2 に示す。積算線量は数値シミュレーションにより算出した。

インフルエンザウイルスを 99% 以上不活化するのに必要な積算線量は約 5mJ/cm² より、本 UV デバイスを使用することで、125m³/h の流量で、UV デバイスを 1 回通過するごとに、通過する空気内のインフルエンザウイルスの 99% を不活化することが可能と予測した。実際にインフルエンザウイルスを用いた試験を実施し、効果を検証する。

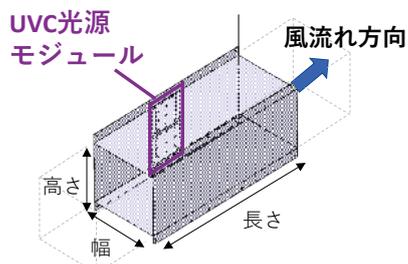


図-4 UV デバイス模式図



図-5 UV デバイス実機

表-2 UV デバイススペック

項目	UV デバイス
流量 (m ³ /h)	125
長さ (mm)	375
断面積 (m ²)	0.0375
全放射束 (W)	3.52
積算線量 (mJ/cm ²)	5.62

3. 実証試験

3-1. 実測方法

A型インフルエンザウイルスH1N1（A/PR/8/34株）を使用した UV デバイスによる不活化性能の実測を図-6 に示す試験スペースで行った。試験機の動作水準を表-3 に示す。測定①は試験機を設置しない試験室内に噴霧したインフルエンザウイルスが自重による落下や壁面への付着等での減衰、測定②は試験機内への付着等での減衰など、UV による効果以外の自然減衰を評価している。測定②を基準に測定③の減衰率を比較することでインフルエンザウイルスの残存率を評価することができる。実測方法は日本電機工業会の家庭用空気清浄機の性能評価規格（JEM1467）に基づいて実施した。

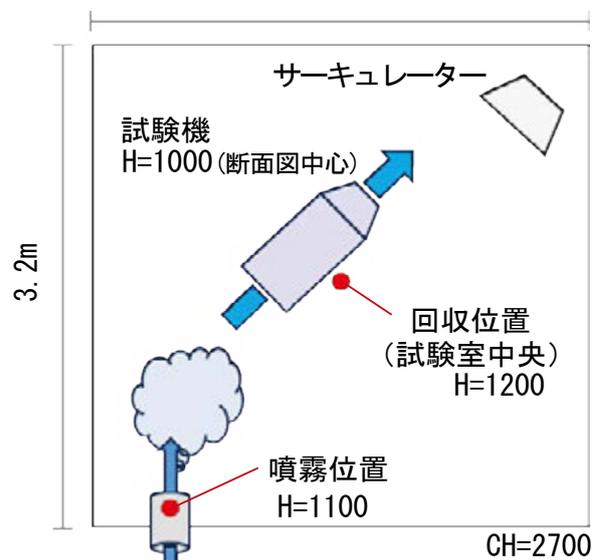


図-6 試験系模式図

表-3 試験機動作水準

	試験機
測定①	無
測定②	有 (UV なし)
測定③	有 (UV あり)

3-2. 測定方法

測定手順を以下に示す。

1. インフルエンザウイルスを噴霧後、サーキュレーターで2分間攪拌し、停止。
2. 回収位置で10L/minの流量で10分間浮遊ウイルスを回収し、これを0分の値と設定。
3. サーキュレーター及び試験機を稼働させ、15分、45分、90分経過毎に2と同様の条件でウイルスを回収。

3-3. 実測結果

実測結果を表-4に示す。測定①、測定②は噴霧したインフルエンザウイルスが自重で落下して減衰する自然減衰を示している。LEDを点灯させた測定③では試験開始45分後採取した検体でインフルエンザウイルス残存率は1%未満となった。

表-4 インフルエンザウイルス減衰率

	測定時点			
	0分	15分	45分	90分
測定①	100	25.12	15.85	10
測定②	100	39.81	10	6.31
測定③	100	3.98	1 >*	1 >*

*検出限界以下

測定③のインフルエンザウイルス減衰率には測定②の自然減衰が含まれているため、測定③から自然減衰による減衰分を除外した各時間でのUV効果を表-5に示す。

表-5 UVありインフルエンザウイルス残存率

測定時点			
0分	15分	45分	90分
100	23.3	12.6	0

3-4. UVデバイス効果の算出

本試験系におけるウイルス残存率は式-2にて表される。

$$K = \exp(-\epsilon Vt/R) \dots \text{(式-2)}$$

K : 試験室内のインフルエンザウイルス残存率
 ϵ : 1回通過あたりの不活化率 t : 時間 (h)
 V : 風量 (m^3/h) R : 部屋容積 (m^3)

表-5に示す測定点に対し、式-2の ϵ : 1回通過あたりの不活化率を変数としてフィッティング曲線を求めた。結果を図-7に示す。これより、1回通過あたりの不活化率 ϵ は99%と算出した。

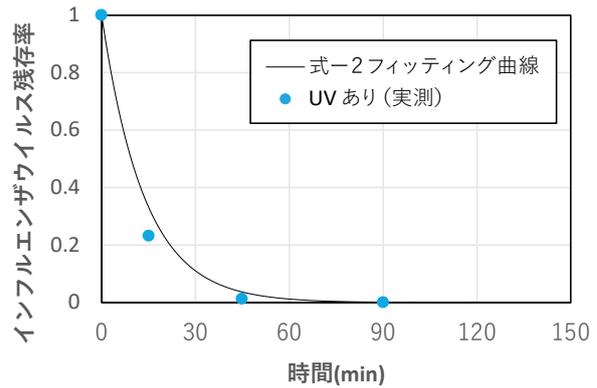


図-7 予想減衰カーブと実測

4. まとめ

今後予測される新興感染症対策としてフィルターレスUVデバイスの開発を行い、1回通過あたり不活化率99%を実証した。HEPAフィルタのウイルス捕集効果より低いものの、低圧損でメンテナンス頻度が低く十分なウイルス不活化効果が期待できる。また、本デバイスは様々な空気循環システムへ適用が可能であると考えられる。

謝辞

本開発は清水建設株式会社のご協力のもと実験を実施した。また、本研究の一部は環境省「革新的な省CO₂型感染症対策技術等の実用化加速のための実証事業」の援助を受けた。

参考文献

- 1) 中上ら, 「感染症の安全域と空調デザイン抗ウイルス空調機に関する研究」空気調和衛生工学会 2022
- 2) 塚原ら, 「抗ウイルス空調機に関する研究 (第3報) 実用化に向けたモデル変更検討」空気調和衛生工学会 2023
- 3) 和田ら, 豊田合成技報「UVC-LEDによる空調機向け抗ウイルスダクトに関する研究」

著 者



和田 聡



上條 隆明