

# UVC-LED による空調機向け抗ウイルスダクトに関する研究

和田 聡<sup>\*1</sup>, 上條隆明<sup>\*1</sup>

## UVC-LED Antiviral Ducts for Air Conditioners

Satoshi Wada<sup>\*1</sup>, Takaaki Kamijo<sup>\*1</sup>

### 要旨

全世界的な新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の広がりも影響し、ウイルスや細菌を不活化する深紫外線（UVC）光源を用いた装置のニーズが高まっている。特に不特定多数が利用する小部屋等の感染リスクの高い空間において、天井隠蔽型エアコンのダクト途中に UVC 光源を配置し、通過ウイルスを不活化する UV デバイスが有効であると考え、開発を進めている。ダクト内を通過するウイルスに対して、ダクト内流路、LED 配置方法について、効果的な形態を導出するため、シミュレーション及び実機での検証を行ったので、結果を報告する。

### Abstract

The global spread of the novel coronavirus disease (COVID-19) has affected the world, and the need for devices using deep ultraviolet (UVC) light sources that inactivate viruses and bacteria is increasing. We are developing a UV device that inactivates passing viruses by placing a UVC light source in the middle a ceiling-concealed air conditioner duct in spaces with a high risk of infection, such as small rooms used by unspecified large numbers of people. In order to derive effective forms for the flow path and method of arranging the LEDs in the duct with respect to the virus passing through the duct, simulations and verification with an actual machine were performed. The results are reported herein.

## 1. はじめに

近年流行している新型コロナウイルス感染症（COVID-19）などに対する感染症の低減対策として、空調機内へ深紫外光を配置することで、感染源を含む空気を除菌できることが数々の研究で報告されている。特に室内では循環式空調機によりエアロゾルが拡散するため、室内循環によるエアロゾル拡散を防止することが重要となる。

今回、天井隠蔽型エアコンなどへ汎用的に使用できることを考慮し、ダクトの途中へ組込み可能な UVC を用いた抗ウイルスダクトを考案、検証を実施した。

本稿では、効果の高い形状、LED 配置などをシミュレーション及び実測での検証をしたため、その検証結果を報告する。

## 2. UV 光による不活化効果

### 2-1. 不活化のメカニズム

不活化作用は、生物中の核酸（DNA, RNA）

の紫外線吸収により発現します。核酸の光吸収のしやすさ（吸光度）は光の波長によって変化し、280nm 以下の UVC 領域で高まる（図-1）。ウイルス、細菌内部の核酸が紫外線吸収し、DNA や RNA が損傷することにより、不活化すると考えられている（図-2）。

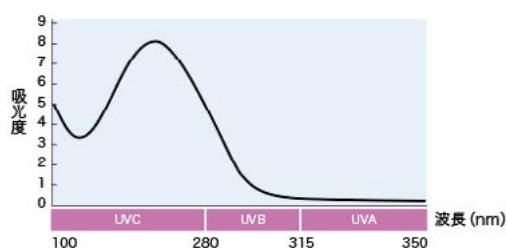


図-1 核酸（DNA, RNA）の分光吸光度

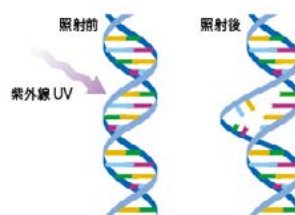


図-2 核酸（DNA, RNA）の損傷イメージ図

\*1 ライフソリューション第1技術部

### 2-2. 不活化能力の算出

紫外線の不活化は、菌の種類、温度や湿度などの環境条件によって変わるが、積算線量 (mJ/cm<sup>2</sup>) は、放射照度 E と照射時間 t の積 (式-1) によってあらわせる。

$$\begin{aligned} \text{積算線量 (mJ/cm}^2\text{)} \\ = \text{放射照度 E (mW/cm}^2\text{)} \times \text{照射時間 t (秒)} \\ \text{(式-1)} \end{aligned}$$

## 3. UV-LED 配置と風流れ検討

### 3-1. 目標設定

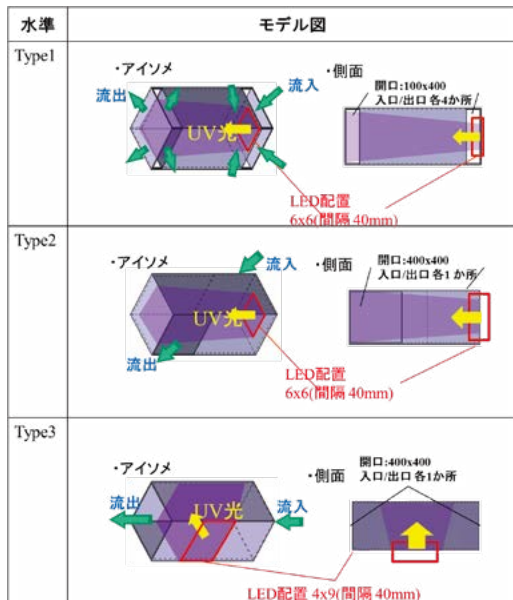
目標性能として、新型コロナウイルスがダクト内を通過したときの不活化率を 99% と設定した。本性能を達成するのに必要な積算線量 (以下、有効殺菌線量) を 5mJ/cm<sup>2</sup><sup>1)</sup> とした。

### 3-2. シミュレーション条件

ダクトへの設置を想定し、UV デバイスの寸法を、断面 400 × 400mm (内寸法)、長さ 1000mm、流量を 300m<sup>3</sup>/h と設定した。UVC-LED は出力 90mW、波長 275nm、配光角 35 度を使用し、UVC-LED は 36 個搭載した。ダクト内は UVC 光を効率よく反射する材料とし、反射率 92% を想定した。

表-1 に UV デバイスの形状タイプを示す。Type1 は、風向と平行に UV 光を照射し、ダクト側面から流入及び流出し、ダクト内は UV 光と平行になる気流とした。Type2 は、ダクト内風向が UV 光に対し斜めになるようにした。Type3 はダクトに対して平行な風向とし、UV 光が直交するように LED を配置した。

表-1 解析モデル



### 3-3. シミュレーション結果

表-2 に各水準の流速分布、表-3 に有効殺菌線量分布を示す。分布データから得られた流速及び有効殺菌線量について、図-3 に流速の最大、平均、図-4 に有効殺菌線量の最大、最小、平均を示す。

表-2 解析結果 (流速分布)

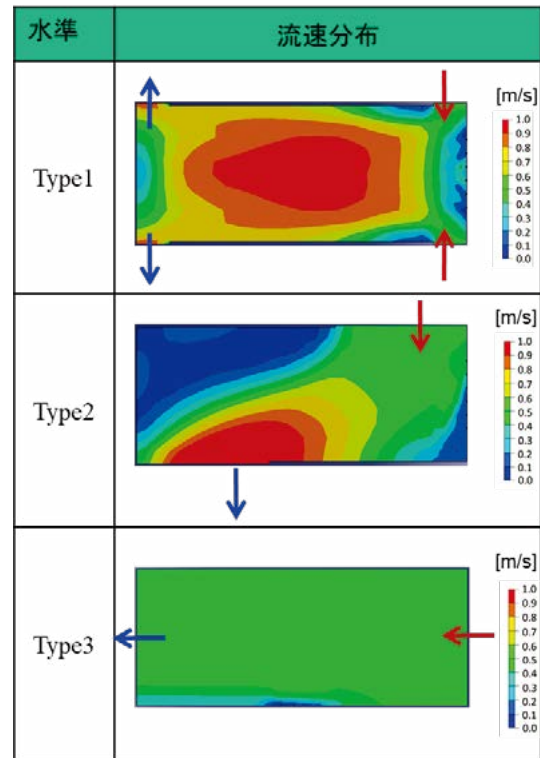
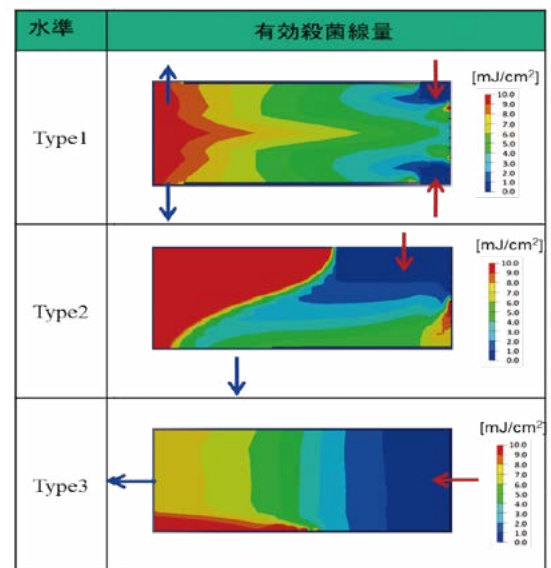


表-3 解析結果 (有効殺菌線量分布)



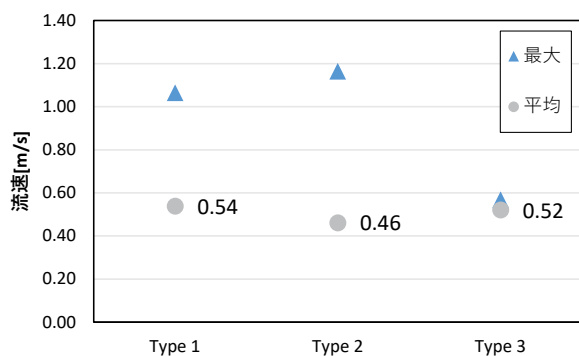


図-3 流速結果

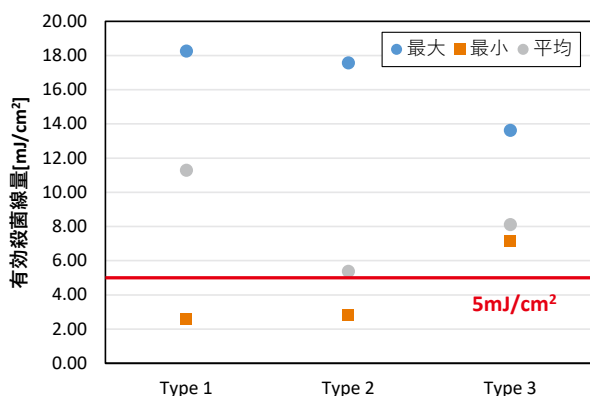


図-4 有効殺菌線量結果

図-4より、Type1は有効殺菌線量の最大値が最も大きい結果となった。UV光の光軸上にも反射面があり、反射した光も有効に利用できる光閉じ込め構造になっているためと考える。一方で、最小値が目標の5mJ/cm<sup>2</sup>を下回る結果となった。ダクト中央部を通過する空気は十分なUV照射を受けるが、壁面近くを流れる空気は照射時間が短く、UV光の照射時間が不足したと考える。

Type2もType1と同様に有効殺菌線量の最大値は高いが、最低値が5mJ/cm<sup>2</sup>を下回り、平均も3水準の中で最も低くなった。表-3のType2分布より、空気のおどみが発生していることがわかる。光照射時間が短い空気と長い空気が流出したため、本結果になったと考える。

Type3は最大と最小の差が最も狭く、最低値も5mJ/cm<sup>2</sup>を上回る結果となった。空気の流れと光照射がともに安定しており、バラつきが少ない結果になったと考える。

本結果より、Type3をベースとした構造で、効果実証を行う。

## 4. 縮小モデルによる効果実証

### 4-1. モデル概要と妥当性検証

実証試験を実施するにあたり、試験室の大きさに合わせ、1/8サイズの縮小モデルを製作した。

図-5に縮小モデルの概略図、表-4にType3と縮小モデルのスペックを示す。縮小モデルのスペックは、照度と流速の関係から設定した。比較のため、シミュレーションを実施した結果を図-6に示す。本結果より、縮小したことによるダクト内流速低下の影響が若干みられるが影響は小さく、縮小モデルは妥当であることを確認した。

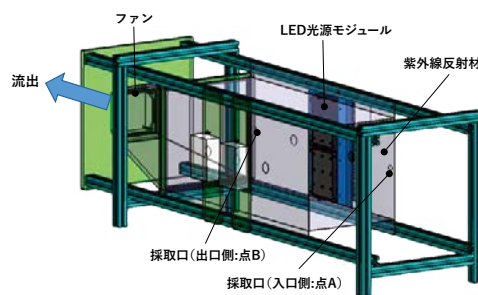


図-5 縮小モデル図

表-4 モデルスペック比較

項目	Type3	縮小モデル
流量 [m <sup>3</sup> /h]	300	37.5
流速 [m/s]	0.52	0.26
長さ [mm]	1000	500
断面積 [m <sup>2</sup> ]	0.16	0.04
LED 総出力 [W]	3.24	0.8
LED 個数 [個]	36	18

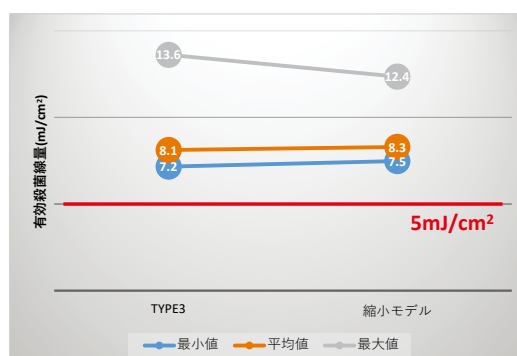


図-6 縮小モデル妥当性シミュレーション結果

### 4-2. 空間除菌試験条件

縮小モデルの不活化効果検証を行うため、35m<sup>3</sup>実大空間にて空間除菌試験を実施した。空間除菌の試験概略図を図-7に示す。試験には、指標菌として乳酸菌を使用した。本乳酸菌と新型コロナウイルスの不活化に必要な紫外線積算量の関係より、新型コロナウイルスでの不活化率を導出した。

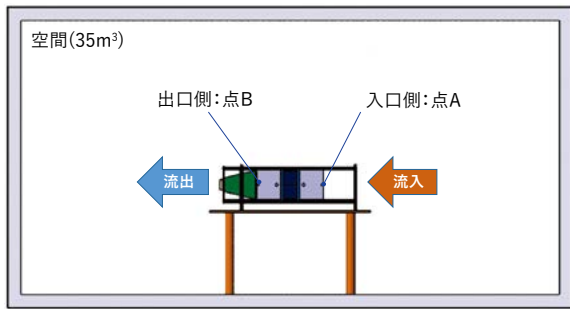


図-7 実大空間と試験設置イメージ

試験は、乳酸菌を含む希釈液を試験室内に噴霧、拡散させたのち、試験装置を動作し、乳酸菌を含む空気を入口側：点 A と出口側：点 B から吸引し、培養評価し菌数 (CFU) をカウントし効果を求めた。

#### 4-3. 空間除菌試験結果

本試験結果を表-5に示す。入口側：点 A の乳酸菌数は18CFUで、出口側：点 B は0CFUで乳酸菌は検出されず、UV照射による不活化効果が実証された。0CFUは1CFUとして不活化率を算出し、94.4%の効果があることがわかった。乳酸菌の不活化率を元に新型コロナウイルスへ換算すると99%以上となり、目標を達成することができた。

表-5 空間除菌試験結果

各地点の乳酸菌数		不活化率
入口側：点 A	出口側：点 B	
18CFU	0CFU	94.4%



新型コロナウイルス換算で、不活化率 99% 以上

※乳酸菌の不活化に関する有効殺菌線量  
(14mJ/cm<sup>2</sup>で99.9%不活化)

## 5. まとめ

天井隠蔽型エアコンのダクト途中に UV デバイスを設置する方式にて、ダクト構造、UV デバイス配置に対して効果検証を実施した。本検討により、Type3 構造にて有効殺菌線量が 5mJ/cm<sup>2</sup> を超えることを確認した。

縮小モデルを製作し、実測による効果検証を行い、新型コロナウイルスで 99% 以上の不活化率が得られることを確認した。

今後も技術検討を継続実施し、より高効率かつ小型化することを目標とし、開発を推進する。

## 謝辞

本稿に掲載された深紫外 LED を用いた抗ウイルスダクト開発は、環境省の「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」の援助を受けておこなった。

プロジェクト運営をいただいている環境省、名城大学 竹内先生、東京大学 小熊先生、並びに開発にご協力いただいているライフソリューション第 1 技術部のスタッフ一同に、この場を借りて改めて感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Yoshiki Saito, "Efficiency improvement of AlGaIn-based deep ultraviolet light-emitting diodes and their virus inactivation application", Japanese Journal of Applied Physics 60, 202
- 2) 和田ら, 豊田合成技報, Vol.63,P66 (2021)
- 3) 中村ら, "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" (2022 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文)

## 著者



和田 聡



上條 隆明