

空調ダクト接続形 空気清浄ユニットの開発

<エアロゾル捕集+ウイルス不活化「ベストUVエア」>

木村工機(株) 石田 貴之

■はじめに

新型コロナウイルスの流行により、空調調和における換気や清浄に対する認識が大きく様変わりしている。またアフターコロナ禍においても新たな感染症に備えた、罹患リスクを低減し生活や生産を維持できる空調システムの導入検討が必然となる。そこで当社と中部電力(株)および中部電力ミライズ(株)は業務用ビル空調システムとの親和性に優れ、省エネと環境負荷低減にも寄与する新たなソリューションを目標として、2020年11月よりダクト接続形空気清浄ユニットの共同開発をスタートした。本稿では、製品の特長と試験によって得られた効果などについて紹介する。

■背景（共有した課題）

感染症対策へのニーズが高まる中、家庭向けを中心とした空気清浄機のラインアップが増えている。しかし業務用オフィスビルを代表とする大空間スペースへの適用は十分に気流が行きわたらない、音がうるさい、設置台数が増え動線を邪魔するといったような声があがっている。また窓開け換気による対策は、当然ながら空調負荷と空調エネルギーの増大を招くため持続性のある対策ではない。

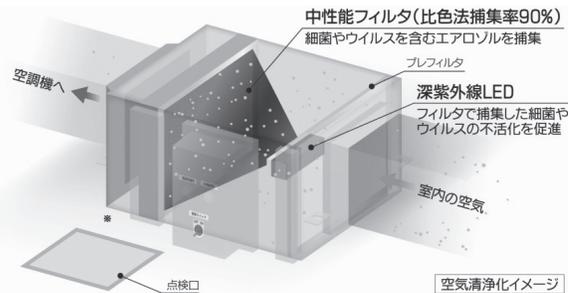
一方、業務用ビル空調システムの中に取り込むことができるこれまでの対策手法としては、ダクト経路内へ殺菌灯や電気集塵機、HEPAフィルタを設置するといった提案があるが、導入・維持コストや安全性、環境性、設置スペースなどといった個別の課題も存在している。そこで本開発では、本来ビル空調において不可欠な空気清浄フィルタの概念を活かし、捕集率の検討、さらに深紫外線照射を組み合わせることで細菌やウイルスの削減と不活化促進効果の確認を行い、汎用性のある空気清浄ユニットの開発を目指した。

■製品特長「ベストUVエア」

本製品は前述の通り、フィルタによる捕集と深紫外線による殺菌効果を組み合わせることで、

- ① 室内空気の清浄化
- ② 捕集した微生物の不活化促進

といった二つの清浄効果を持ち合わせている(第1図)。また、本体高さを350mmに抑えた天井内設置ダクトイン構造で、天井吸込口から空調機までの循環空気(レタン)ダクト経路に接続し、空調機運転と連動させて使用する設計としている。このほか代表的な特長を以下に示す。



第1図 製品イメージ

(1) 捕集フィルタ

捕集フィルタは比色法捕集率90%の中性能フィルタとし、平均粒子捕集率は $0.4\mu\text{m}$ で70%以上、 $0.7\mu\text{m}$ で80%以上を有する。ウイルス自体の大きさはおよそ $0.1\mu\text{m}$ 程度以下とされるが、感染経路としては人の呼吸器系に由来するエアロゾル（ $2\sim 3\mu\text{m}$ 程度以下）に含まれて長く気中を浮遊することなどが要因として報告されており、本フィルタでも捕集することが可能な領域である。

また、一般的なフィルタ材質は樹脂系の繊維であるが、紫外線に弱く高出力の殺菌灯などを直近照射すると短期間で劣化が進む。そのため本製品では、繊維材質を無機素材として紫外線耐性を高め、劣化促進試験などの確認を経て開発した（第2図）。



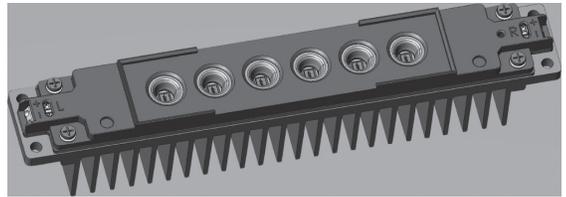
第2図 捕集フィルタ

(2) 深紫外線照射

深紫外線（UVC）は紫外線の中でも最も波長の短い領域（ $100\sim 280\text{nm}$ ）に位置し、 260nm をピーク⁽¹⁾としてあらゆる細菌やウイルス内部のDNA、RNAを破壊する強い殺菌作用があることが分かっている。なお殺菌効果を高めるには、紫外線の波長と照射線量 [mJ/cm^2] が重要であり、照射線量は照度 [mW/cm^2] と照射時間 [秒] の積によって決まる。

本製品の深紫外線光源には最終的に波長 265nm のLED方式を採用した。現時点で実用化さ

れている深紫外線LEDは出力が低いものの、多灯並列点灯させることで有効性のある照度を確保することができた（第3図）。



第3図 深紫外線LEDモジュール

また、フィルタ捕集面に対し、上流側から効果的に照射するための配置や配光に工夫を施し、特に高反射リフレクターを用いた広配光設計により照度ムラの少ない照射を実現している。

さらに深紫外線LEDは従来殺菌灯と比べると以下のような利点を備えており環境負荷低減にも寄与することができる。

<深紫外線LEDの利点>

- 長寿命
- 瞬時点灯可（点灯／消灯による劣化無し）
- 水銀フリー、廃棄コスト低減

(3) 環境性、安全性

深紫外線LEDは水銀を含まないため、廃棄時の特殊な扱いが不要である。また長寿命で、断続的に照射する設計も可能であるため、本製品においては交換の目安を約7年（ $2,500$ 時間/年の空調運転時間とした場合）とすることができた。

このほか深紫外線を暴露すると人体に対しても有害な作用を及ぼすが、パッケージングを図ったことで外部へ漏れリスクをなくし安心して使用することができる。さらにメンテナンス用の点検扉には安全スイッチを設け、開動作の際には強制遮断する回路としている。

(4) 選定について

本製品の据付場所は、空調システムの天井吸込口から空調機までのレタダクト経路とし、設計上のダクト風量に合わせて選定する。定格

処理風量として700、1,400、2,100m³/h用の3型番をラインアップし、各型番が処理できる風量範囲内で空調機が確保できる機外静圧を考慮して決定する（写真1、第1表）。



写真1 製品外観

また本製品は、空調機と連動させて使用するため、インターロック回路を設け空調機が運転している条件下において深紫外線LEDが点灯する。さらに動作許可スイッチ（オプション）を併用することで感染症流行期に限定して使用することなども可能である。

■清浄効果の評価試験

空間に浮遊するウイルスの除去性能に関しては中部電力先端技術応用研究所において、日本電機工業会規格JEM1467「家庭用空気清浄機」が定める試験室と試験手順に基づいて実施した。

(1) 試験条件

試験を実施するにあたり、紫外線光源の種類や配置、フィルタ捕集率、処理風速など幾つかの条件を設定し相対的な比較を行っていった。また紫外線は使用せずHEPAフィルタ単体を使用したケースの参考比較なども行った。

(2) 試験方法

JEM1467附属書D「空気清浄機の浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験方法」に基づき、26m³の試験空間においてネブライザーにて試験ウイルスを噴霧したのち試験ユニットに接続した送風機を運転、一定時間ごとに試験室内空気の回収を行い、捕集したウイルスをプラーク法にて測定した。

【プラーク法】

残存ウイルスの定量化手法。シート状に培養した宿主細胞にウイルス液を接種したあと、全体を寒天のようなゲルで被い培養する。ウイルスが隣り合った細胞のみに限定されて感染拡大することで一定時間経過後に肉眼で確認できる斑点（プラーク）を測定する試験方法（写真2）。

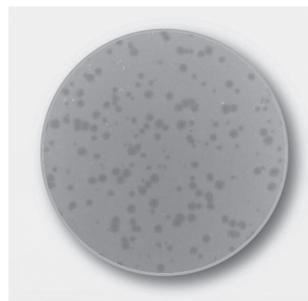


写真2 ウイルスプラーク

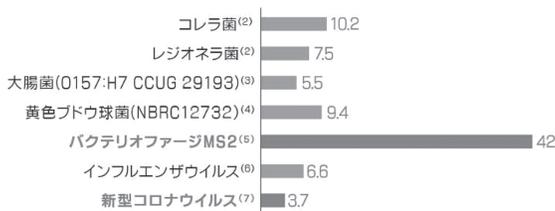
第1表 製品諸元

型番	CCUV7	CCUV14	CCUV21
定格風量	700m ³ /h(430~1090m ³ /h)	1400m ³ /h(850~2180m ³ /h)	2100m ³ /h(1300~3270m ³ /h)
本体寸法	W400×L650×H350(mm)	W800×L650×H350(mm)	W1200×L650×H350(mm)
重量	19kg	28kg	42kg
消費電力	20W	40W	60W
空気抵抗	約100Pa(定格風量時)		
電源	単相AC100V 50/60Hz		
フィルタ	プレフィルタ:ポリオレフィン		
	中性能フィルタ:比色法90% 専用品		
深紫外線LED	広配光UVモジュール 265±5nm		

(3) 試験ウイルス

試験に使用したウイルスは同規格が定めるバクテリオファージMS2ウイルスを用いた。大腸菌を宿主として感染するため、試験においては、大腸菌に接種させて減少量の確認を行った。

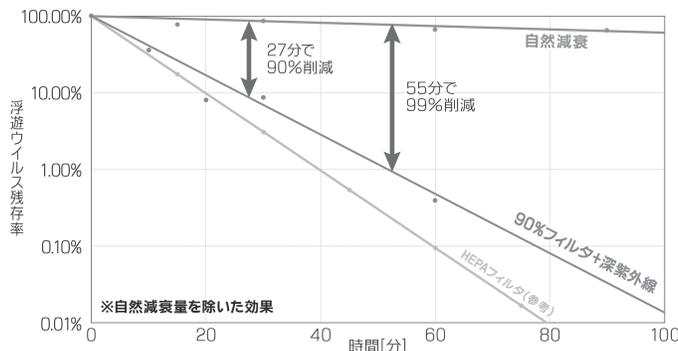
また、各種細菌やウイルスを不活化するために必要な紫外線照射線量 [mJ/cm²] の目安は、これまでの外部機関実験等によって確認されており、第4図は99.9%不活化するために必要とされる照射線量の目安である。MS2ウイルスは新型コロナウイルスよりも紫外線耐性が強いウイルスであることなどが確認できる。



第4図 99.9%不活化に必要な (mJ/cm²) 目安^{(2)~(7)}

(4) 試験結果

最終的な製品仕様において得られた室内浮遊ウイルス削減効果を第5図に示す。こちらでは循環風量を250m³/hとし、浮遊ウイルスの自然減衰量を除いた効果を示しており、55分で99%の削減効果を確認した。自然減衰量とは試験室内を浮遊するエアロゾルが時間経過とともに壁面や



第5図 試験結果

床面等に付着して減少することを示している。

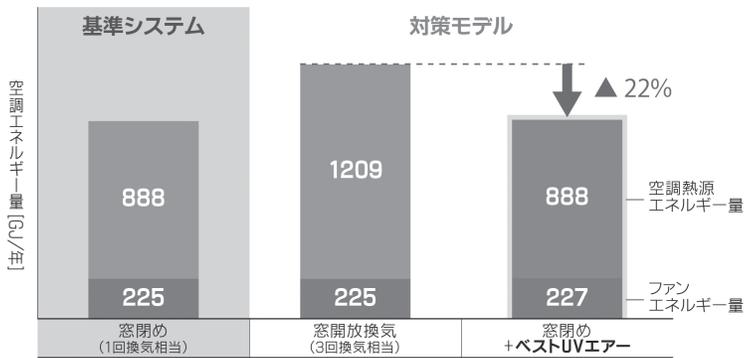
本試験においてはHEPAフィルタ (0.3μmで99.97%以上の捕集率) 単体を使用した浮遊ウイルス残存量比較なども実施したが、削減時間については若干及ばないものの、省エネ性やコストを含む実用面においては本方式に優位性があることなどを確認することができた。

■省エネルギー性試算

応急的な感染症対策として実施される窓開放による自然換気を行った場合、室温や湿度、快適性を維持するために必要な空調エネルギーの増加を招く。第6図はThe BEST Program (Building Energy Simulation Tool) を用いた事務所ビルを想定した省エネ性シミュレーションの結果を示す。本条件においては、基準システムに対し窓開放換気を実施した場合の空調エネルギーと比べ、約22%省エネとなる試算結果となった。本方式の採用は、ファン動力およびLEDの消費電力の増加を伴うものの、その増加分は僅かであることなどが反映された結果と言える。

【試算条件】

- ・名古屋地区3階建て事務所ビル (3,000m²)
- ・12時間/日 (8~20時) × 20日 × 12ヶ月
- ・ビル用マルチエアコン+外調機
- ・基準システムは1回換気、窓開放時は3回換気相当を想定



第6図 省エネルギー性

■おわりに

空気清浄は空気調和システムが果たすべき役割の一つであり、今後は感染症対策についても同システム設計範囲において検討することが優先される。なお本製品は空調用循環空気に焦点を絞り効果を狙ったものであるが、換気や気流設計なども考慮し複合的な対策をとることが大切となる。

空調機メーカーとしては本製品の提案と共に、新しい時代の空調を目指した開発にも尽力し微力ながら貢献していく所存である。

<参考文献>

- (1) JIS Z 8811:1968 殺菌紫外線の測定方法
- (2) Water Environment Federation, Wastewater Disinfection. Manual of Practice FD-10 (1996)
- (3) Sommer et al. 2000
- (4) 吉野 潔：紫外線殺菌における指標微生物の紫外線感受性 (その3), IWASAKI技報, No.26, pp.8-14 (2012)
- (5) 平田 強編：紫外線照射-水の消毒への適応性, 技報堂出版, pp.101-116 (2008)
- (6) Kaufman, J.E, IES Lighting Handbook 5th Ed. (1972)
- (7) University of Milano

【筆者紹介】

石田 貴之
木村工機(株) 技術開発一部 部長