

殺菌用UV-C LED技術は行き詰ったか— 専門家の見解は「ノー」

クリスティン・レウォトスキ

UV-C LEDは、キャズムを乗り越えて殺菌分野における大規模導入の初期段階に入ると予想されていた。本稿では、同市場の展望に関する誤解と、個々の応用分野によって違いがある理由について、市場関係者と専門家の意見を紹介する。

新型コロナウイルスの感染拡大は、ある種の熱狂を殺菌市場にもたらした。多くの人々が、一般照明用の白色光のLEDで見られた最近の飛躍的な性能の向上が、そのままUV-C LEDで再現されると考えた。照明メーカーは、紫外線照射製品に力を入れ始めた。アナリストは、同市場が2けたのCAGR（年平均成長率）で数十億ドル規模に成長すると予測した。

残念ながら、そのような飛躍的な成長は、直ちには実現されなかった。「誰

もが考えていたよりもはるかに難しかった。UV-Cエネルギーを供給するだけにとどまらない、はるかに多くの科学的問題がある。安全性の懸念も関与してくる。一攫千金を狙って企業が殺到したのはおそらく6カ月間だけで、その後は多くの照明メーカーが撤退した」と、米国ミシガン州ウィクソムを拠点とする日亜化学工業の米国法人日亜アメリカ (Nichia America) で副社長を務めるエリック・スウェンソン氏 (Erik Swenson) は述べた。

1つの見方は、チャンスはそこに存在しないというものだ。もう1つの仮説は、コロナバブルは、2000年代初頭から続けられているUV-C LEDの着実な開発から、人々の注意をそらしたにすぎないというものである。米国ケンタッキー州アーランジャーを拠点とするアクイセンス・テクノロジーズ社 (AquiSense Technologies) の最高経営責任者 (CEO) を務めるオリバー・ラワル氏 (Oliver Lawal) は、「市場は予測どおりではなかったという話を聞く

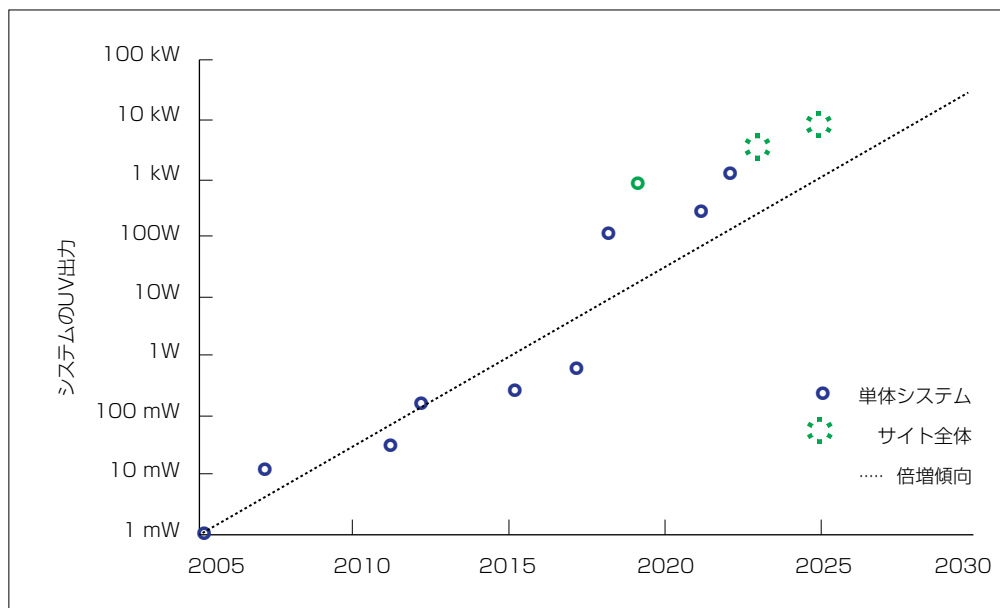


図1 UV-C LEDに基づくシステムの出力の時系列推移。商用化が始まって以来、139%のCAGRで成長している(図提供:アクイセンス社)

と、もやもやする。私の見解では、市場はまさに当社の予測どおりだからだ」と述べた。実際、同氏の企業は、予想していた市場シェアと、達成する必要があったデバイス性能について、目標どおりの成果を上げていると、同氏は確信している(図1)。

技術的進歩と商用展開が進行する今こそ、UV-C LEDのこれまでの進捗状況と今後の展望を正しく理解するために、殺菌市場について再考する良いタイミングではないだろうか。

UV-C LEDと水銀蒸気光源の比較

青色LEDの成功を、直ちにUV-C LEDの殺菌用途に結び付けることの問題は、それらの材料と市場がほぼ全く異なることにある。青色LEDの材料は窒化インジウムガリウム(InGaN)だが、UV-C LEDの材料は窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)である。AlGaNは、特に量子効率と光子抽出の分野において、いくつかの課題がある。UV-C LEDの電力変換効率(Wall Plug Efficiency: WPE)はまだ1ケタで、殺菌市場におけるUV-C LEDの主な競合

光源である、青色LEDの約80%と水銀蒸気ランプの35%と比べてかなり低い。

有望な点は、UV-C LEDの現在の効率が、AlGaN系材料の物理的限界には程遠いことである。メーカー各社は、白色光LEDに対して開発した多くの設計手法を適用してきたが、この主要な問題を解決するための新たな方法の開発も進めている。

「その経過は非常に興味深い。当社の最新UV-C LEDは、1年前の前製品の2倍のWPEで動作する。UV-C LEDの理論的な最大値は青色LEDよりもはるかに低いが、今後数年間は、白色光LEDの初期の進歩に似た、興味深い状態が続き、WPEと寿命の面で、急激なホッケースティックの成長曲線を描くだろう」と、日亜のスウェンソン氏は述べた。同氏は、ジャンクション温度90℃で1万時間後に80%の出力を維持するデバイスを挙げた。

米国カリフォルニア州リバモアを拠点とするUV-C LEDの新興企業であるボルブ社(Bolb)で、最高収益責任者(CRO)を務めるフランク・ハーダー氏

(Frank Harder)は、10%近いWPEを達成するデバイスを宣伝している。その技術的進歩によって、内部量子効率は70%近くとなり、光子抽出が向上したと、同氏は主張した。

ただし、UV-C LEDと水銀蒸気ランプをデバイスレベルで比較しても、その競争力の全体像は把握できないと、スウェンソン氏は指摘した。システムレベルでは、バラストなどの追加部品によって、水銀蒸気光源のWPEが低下する。また、水銀蒸気ランプはほぼ無指向性の放射パターンを生成するのに対し、LEDは指向性の高い出力を生成するため、より効率的にエネルギーを使用することができる。水銀蒸気ランプにはウォームアップ時間が必要で、頻繁なパワーサイクルが早期故障につながるのに対し、UV-C LEDは瞬時に点灯し、頻繁にパワーサイクルしても寿命は短縮しない。「このような利点のすべてが積み重なって、システムレベルではUV-C LEDの効率は、一般的に考えられているよりもかなり水銀蒸気の効率に近い」と、スウェンソン氏は述べた。

米ソリッド・ステート・ライティング・サービス社 (Solid State Lighting Services) のLED技術コンサルタントで、米エネルギー省のアドバイザーを務めるモーガン・パティソン氏 (Morgan Pattison) は、もう少し懐疑的な見方を示した。「どちらもシステムレベルの出力はそもそもそこまで高くない。実際には具体的な用途に依存する」と同氏は反論した。

LEDのその他の利点は、水銀を含有しないことである。これによって、「水銀に関する水俣条約」(Minamata Convention on Mercury)の目標を満たすための各国の手間が省かれる。また、超小型LEDのアレイによって、用途の目標に最も適したより小さなフォームファクタの製品を設計することができる。

3つの市場

UV-C LEDの殺菌市場は、水、表面、空気の3つの応用分野に分類することができる。3つの応用分野は、それぞれに要件、課題、現行技術、成熟度が異なる。

水殺菌。水処理は、UV-C LEDの殺菌用途の中で群を抜いて成熟している。ラワル氏によると、現在実装されているアクイセンス社の製品は、1日あたり130万ガロン(1.3MGD: million gallons per day)の合計流量に対応するという。複数の要因が、この市場におけるUV-C LEDの成功につながった。まず、病原菌に関する水質基準は十分に確立されている。また、水銀蒸気技術による水殺菌が既に広く利用されていることから参入のハードルが低く、小さなフォームファクタや「瞬時点灯」といったUV-C LEDのシステムレベルの利点が、アピールしやすい状態にある。



図2 POUのUV-C LED水処理装置は、毎分3ガロンを処理できる(写真提供: アクイセンス社)

これまでのところ、ほとんどのUV-C LED水殺菌システムが、使用ポイント (Point Of Use: POU、図2) と入口ポイント (Point Of Entry: POE) に実装されているが、この技術はスケーラブルである。多数のシステムが世界中の自治体の水道局によって設置されており、例えばラスベガスには、6MGDもの流量に対応するものが実装されている。

「小さなシステムについては、早期導入の段階は過ぎている。自治体や大規模な産業設備については、早期導入の段階にある。今後5年の間に、当社はかなりの市場シェアを獲得することになると私は考えている」と、ラワル氏は述べた。

表面殺菌。殺菌用UV (germicidal ultraviolet: GUV) は、特に医療施設において、表面殺菌における役割を確立している。現在市場を占有するのは水

銀蒸気光源だが、安全性に関する懸念から、GUVシステムは、ロボットまたは定置型装置によって無人空間に適用する必要がある。UV-C LEDは、ビームステアリング技術に対応する指向性の高い光源であるため、より安全に稼働させるための代替策となる。「水銀蒸気ランプでは生じる無駄な光をなくして、はるかに効率的に光を表面に照射することができる。エネルギー消費量は低下し、フォームファクタは薄くすることができる。このようなロボットの全体的な操作性が格段に好ましいレベルになれば、大規模導入の機会が生まれる」と、ハーダー氏は述べた。

空気殺菌。UV-C LEDの空気殺菌市場は、現時点で最も開発が遅れており、いくつかの障害が存在する。まず、機械的な過や、外気との換気の促進など、病原菌を除去するための空気処理技術が既にかなり導入されている。UV-Cの導入以前に、GUV自体がビル業界にとっては新しい技術である。2つ目は、UV-C照射は目や皮膚に対する健康上のリスクがあるが、病害対策の最大の機会は、有人空間の処理にあることだ。3つ目に、水処理とは異なり、建物内の空中浮遊菌の制御に関する基準は、現時点で存在しない。

しかし、これら3つのすべての障害に対して、対策が進められている。規制面では、米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) が現在、室内空気質 (Indoor Air Quality: IAQ)の病原菌低減基準を早急に定めるべく作業を進めており、2023年夏に公表が予定されている。このような基準は、建築基準法に組み込まれるため、大きな変化を引き起こすきっかけになる可能性がある。

米パシフィックノースウェスト国立研究所 (Pacific Northwest National Laboratory) のシステムエンジニアで

あるゲイブ・アーノルド氏(Gabe Arnold)によると、従来のHVACシステムは、1時間に約2~4回の空気交換を行うように設計されていて、換気回数の増加に伴って、システムコストとエネルギーコストが大幅に増加する可能性があるという。ASHRAEの新しい基準で、予想されているとおりに、より高い換気回数が推奨されれば、従来のHVAC技術では対応が難しくなる。「そのような場合に、GUV技術は優れた効果を発揮すると私たちは期待している。実際、実装できるものの中で最も有効な手段かもしれない」と、アーノルド氏は述べた。

「UV-C LEDによる殺菌は、1時間あたりの有効換気回数に対するエネルギー使用量が、HVACの12分の1である」と、サンフランシスコでUVシステム開発を手掛けるR-ゼロ社(R-Zero)のCEOを務めるジェニファー・ナックルズ氏(Jennifer Nuckles)は述べた。

最も有効な方法は、室内にいる人から隔離してUV照射を行う、上層空気殺菌であると考えられる(図3)。室内上層空気殺菌システムには、散乱や反射を引き起こすことなく部屋全体にUVエネルギーを行き渡らせるためのビームステアリングまたはビーム制限が必要である。「低圧水銀ランプを使用する場合は、ビームをそのようにうまく制御することはできず、あらゆる種類の損失が伴う。したがって、UV-C LEDシステムが使用され始めることになる」と、アーノルド氏は述べた。

広く受け入れられるまでには時間がかかる。「早期導入者は必ず存在するが、大多数はまだ答えを探している。技術の大規模実装に向けた市場の準備が整う、大規模導入の段階に入るには何年もの時間がかかる」と、米国マサ



図3 室内上層空気殺菌において、装置は天井全体に水平方向にUVを照射する。自然対流によって病原菌は殺菌ビームの方向に移動し、清浄化された空気は部屋の下方向に移動する(図提供:エクセリタス社)

チューセッツ州ウォルサムを拠点とするエクセリタス・テクノロジーズ社(Excelitas Technologies)でUV-C製品管理担当ディレクターを務めるマーク・ガストン氏(Mark Gaston)は述べた。学区などのターゲット市場は、予算循環に時間がかかるため、さらに導入が遅れる。それでも、市場規模は拡大していくと予想される。

市場の見通しは有望だが、普及は段階的に

技術が向上し、事業や規制の枠組みが整備されるにつれて、3つすべての分野で市場シェアは増加するだろう。特に、POU/POEのUV-C LED水殺菌

市場は、今後2~3年のうちに大規模導入の初期段階に入ると予想される。大規模な産業設備や自治体の工業用水設備への導入には、おそらく5年近い年月が必要で、表面殺菌はその直後に続くと考えられる。空気殺菌も引き続き進歩するが、本当に確立された状態になるまでにはおそらく10年近くかかるだろう。

パットyson氏でさえも、UV-C LED殺菌市場全体の見通しは有望と考えている。「時間はかかり、すべての分野で成功することにはならない。しかし、技術の性能とコストの観点から、用途によっては魅力的な選択肢になっていくだろう」と同氏は述べた。

著者紹介

クリスティン・レウォトスキ(KRISTIN LEWOTSKY)は、エンジニアリングの経歴とB2Bメディアの豊富な経験を持つ、米国ニューハンプシャー州在住のフリーランス技術ライター。URL: chzhardy.com