



# UV-C LEDの殺菌寿命を、開発時判断に基づいて再考する

オーエン・コノリー

UV-Cを利用して殺菌・消毒を行う製品の仕様化と設計の際に、用途におけるその使い方を考慮することが重要であること、また、LED寿命の一般的な指標にとらわれると、判断を誤る可能性があることを説明する。

紫外線(UV: ultraviolet)LEDは、人間には見えない光であるにもかかわらず、産業や生命科学の分野に明るい未来が開けている。特にUV-C域(一般的に100~280nm)のLEDは、殺菌・消毒に革新的な変化をもたらす見込みで、世界中の人々に安全な水を届け、医療施設により安全な環境を維持できる可能性がある(図1)。LEDs Magazineは実際、今年に入ってそのような用途向けに設計された米クリスタルIS社(Crystal IS)のLED



図1 上に示すようなUV-C LEDを、写真に示したようなコンパクトな浄水システムに組み込むことにより、POUにおける水の安全性を確保することができる。

を取り上げた(<http://bit.ly/2J1Q301>)。しかし、市場に広く普及するには、より性能が高く寿命が長いLEDがそのような用途で必要だという話も耳にする。しかし、UV製品の開発者はLED寿命を、設計工程における新たな変数として再考する必要がある。

「どれだけの製品寿命があるか」というのが、殺菌用にLEDベースのUV-C光源を検討するエンジニアがUV-C LEDメーカーに問い合わせる、共通の質問であることは言うまでもない。一般的に、低圧殺菌灯などの従来のUV-C光源で現在設計を行っている場合や、可視光LED製品が念頭にある場合に、そのような疑問が沸く。しかし、その疑問は直ちに断ち切られる。LEDの寿命は固定の仕様ではない。それは、UV-C LEDがどのように使われるかを検討したあとに、エンジニアが制御できる変数項目である。

アジアのポイントオブユース(POU: Point Of Use)の給水市場では、水道水の微生物品質に関する実質的な懸念が、卓上型/携帯型の消費者や商業施設用の浄水製品の爆発的な成長を促進している。新興企業と確立されたブランド企業の両方が、このトレンドからの収益化を図っている。殺菌灯に対す

る従来の偏見がなく、イノベーションと差別化を必要とする新興企業は、UV-C LEDの評価と採用に直ちに取り掛かろうとする傾向にある。

確立された浄水器OEMメーカーは、何十年も前から低圧殺菌灯によって、実証されたUV殺菌機能を提供してきた。しかし2017年8月、日常製品における水銀の使用を段階的に廃止することを目標として掲げた、水銀に関する水俣条約(Minamata Convention on Mercury)が発効した。将来的には、製造した製品に使用した水銀の廃棄処理費用を、メーカーが負担する責任を負うことになるかもしれないと憶測する声もある。このような規制障壁の可能性、非毒性の製品を求める消費者の嗜好、そして新興企業からの競争圧力が、確立された浄水器OEMメーカーによるUV-C LEDの検討を促す、強い動機となっている。

## 動作時間との関連で寿命を再考する

これらの市場で従来から使用されてきた低圧殺菌灯の寿命は、一般的に8000~1万時間とされている。従って、UV-C LEDの寿命が同等またはそれ以上か、エンジニアが尋ねたり期待したりするのも無理はない。しかし、ランプの仕様を見てみると、その寿命は、オン/オフの切り替えが一定回数以下

の場合しか達成できない。たとえば、連続的に稼働する商業用浄水装置に使われる殺菌灯は、信頼できる殺菌性能を維持するために、年に一度ランプ交換されるのが一般的である。消費者向けの浄水器のように、低圧殺菌灯が頻繁かつ断続的にオン/オフされる場合は、寿命は50時間未満でよい。24時間年中無休で稼働する装置と同様に、信頼できる殺菌性能を維持するには、年に一度のランプ交換が必要である。

UV-C LEDは固体デバイスであるため、数万回のオン/オフを繰り返しても、性能に目立った違いや劣化は生じない。またUV-C LEDは、ウォームアップ時間が不要で、ほぼ瞬時に最大定格出力を供給することができる。つまり、LEDはオンデマンド方式で使用することができ、オン時間のみが累積動作時間としてカウントされ、殺菌能力が劣化することはない。

殺菌性能の信頼性を犠牲にすることなく、年に一度のランプ交換が不要な次世代製品を検討しているエンジニアが決まって尋ねるのは、UV-C LEDが2万5000時間、4万時間か、さらには10万時間の寿命を達成できるかという質問である。しかし、UV-C LEDのオンデマンドの能力を理解すれば、会話は直ちに、システムの実際の使用事例の検討へと移行するはずだ。

たとえば、商業用POUシステム(炭酸水ディスペンサーなど)は四六時中電源に接続されているが、一般的に、実際の浄水時間は年間200時間未満である。5年という標準的な商業用浄水システムの使用期間の間に、低圧殺菌灯は5回のランプ交換が必要となり、常時オンの状態で、エネルギーを消費し、廃熱を生成する。一方、LEDシステムは5年間使用し続けることができ、累積使用時間は1000時間に満た

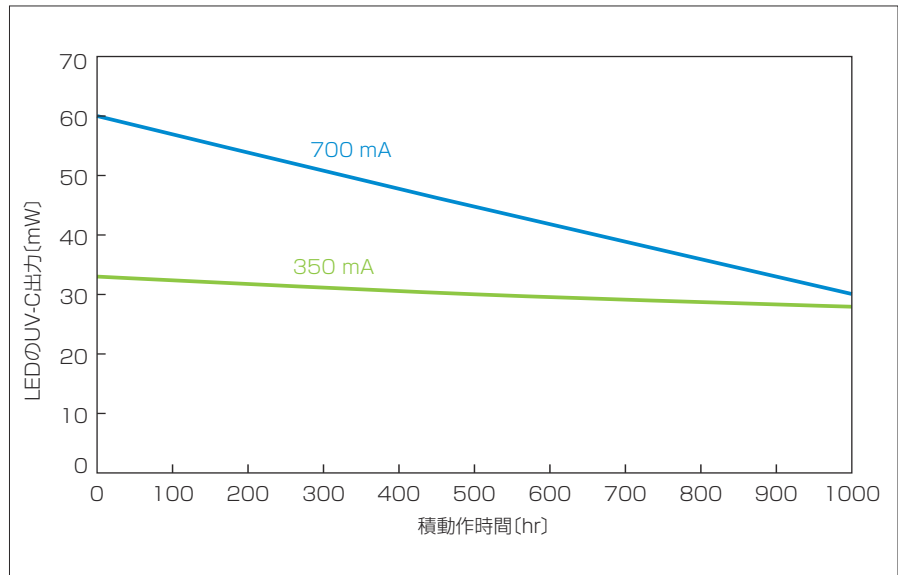


図2 周辺温度35°Cで、異なる動作電流で使用した場合のLEDのUV-C出力の経時変化。

ない可能性が高い。

消費者市場の場合、標準的なPOUシステムは、年間最大6000リットルの浄水を供給できる程度のサイズである。ボトルやグラスへの給水速度が毎分2～4リットルとすると、LED動作時間は年間25～50時間となる。10年間という標準的な家電製品の使用期間の間に、低圧殺菌灯ならば10回のランプ交換が必要になる。一方、LEDを採用するシステムは、家電製品の使用期間全体を通して動作し、累積使用時間は500時間未満である。

### 空気殺菌と表面殺菌

感染予防は、院内感染(HAI:Healthcare Acquired Infection)の減少と、拡大するスーパー耐性菌の脅威撲滅に関心を寄せる、多くの疫学者が大々的に訴える項目である。薬剤耐性(AMR:antimicrobial resistance)は、差し迫った問題となりつつある。抗菌薬が効かなくなり、さらに強力な化学物質を表面殺菌に使用しなければならなくなるためである。この市場において、UV-C光は、1900年代初頭から空気清

浄の目的に使用されてきた確かな実績がある。実際、UV-Cランプは今でも、待合室などの共有スペースの空気清浄に使われている。待合室では、病気の患者がほかの患者や病院スタッフと接触するので、複数の併存疾患を誘発するリスクが高まる。

米国では、疾病管理予防センター(CDC:Centers for Disease Control and Prevention)から、院内感染の防止に実質的な改善が見られたが、なすべき作業はまだ多いとの報告があった。これを受けて医療装置供給メーカーは、UV-Cによる感染の防止と管理を検討し始めている。それを、個人用電子機器、医療用カート、診断装置など、医療専門家が臨床現場または高頻度接触面の消毒に使用する携帯型機器に搭載できる可能性がある。

携帯可能とするために、小型かつ軽量で、バッテリー動作可能で、オンデマンドでの使用に耐えられる技術が重視される。低圧殺菌灯では、これらの要件の多くが満たされないのが、医療装置の設計エンジニアは、UV-C LEDが適していると考えている。ここでの

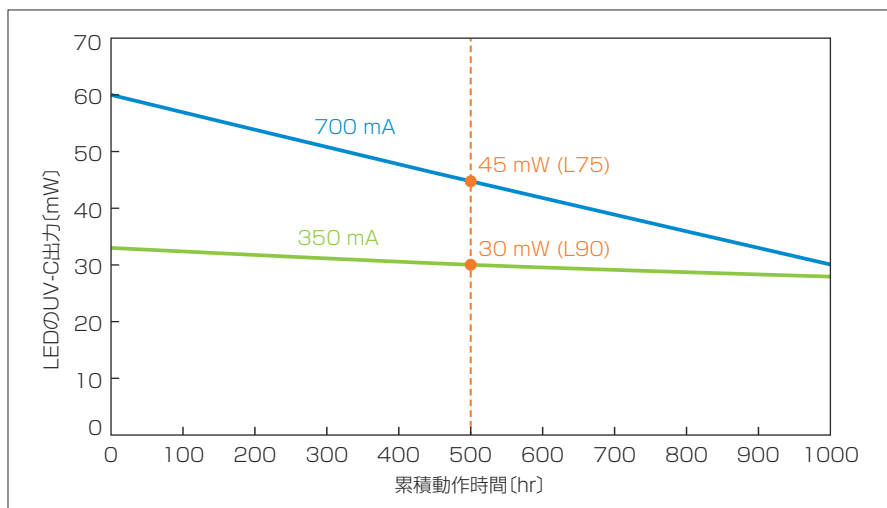


図3 500時間経過時点で、UV-C出力と、初期出力に対するその割合(L値)は、デバイスの駆動電流によって異なる。

問題は、UV-Cを携帯型医療装置に組み込む作業が、多くのOEMにとって初めての試みであり、オンライン検索で簡単に見つかる情報は、可視光LEDの特性に基づいていることである。

### UV-C LEDの出力を寿命よりも優先する

可視光LEDの場合、消費者は一般的に、寿命が長いことを最大の価値とみなす。実際、米環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)のEnergy Starのガイドラインでは、可視光LEDの寿命を2万5000時間以上とすることが求められており、業界規格(IES LM-80とTM-21、<http://bit.ly/2J0TZ17>)では、LED供給メーカーが製品寿命を記載するには、6000時間以上の製品テストを実施しなければならないと定められている。

可視光LEDと同様に、UV-C LEDも本質的には定電流デバイスである。ダイオードに印加される順方向電流が変わると、ダイオードのUV-C出力がそれに比例して増減する。加えて、LEDのUV-C出力は経時とともに劣化する。劣化の速度は、その特定の

UV-C LEDと動作条件の両方に依存する。中でも大きな影響因子は、温度(LEDは低温では緩やかに劣化し、高温ではそれよりも急速に劣化する)、順方向電流(劣化は、駆動電流が低いと緩やかで、高いと急速)、材料特性である。これらの因子のバランスを図ることにより、設計者は、寿命よりも出力(あるいは出力よりも寿命)を優先させたシステムを構築することができる。

図2は、2つの異なる順方向電流レベルで動作させた場合のLED出力の経時変化の例である。UV-C LEDメーカーが標準規定条件とする350mAでは、LEDの初期放射出力は33mWで、1000時間使用してもほとんど劣化しない。一方、700mAで動作させた場合、LEDの放射出力は60mW近くにもなるが、すぐに劣化してしまう。

では、どのように寿命を定義または優先付けすればよいのか。UV-C LEDの寿命終了を規定する1つの一般的な基準は、放射出力が初期値の何%まで劣化したときとするものである。この指標は「L値」として表される。光束維持期間は時間数で測定される。L50という表記は、平均的な光束維持特性

を表すために用いられる場合が多く、出力が初期性能から50%低下したことを意味する。L70などのL値も一般的に使用されている。

図3は、前出のLEDを700mAで動作させた場合に、L75寿命が500時間であることを示している。つまり、このLEDは500時間経過した時点で、初期UV-C出力(60mW)の75%(45mW)を出力することを意味する。一方、350mAで動作させた場合は、L90が500時間となっている。つまり、500時間経過時点の出力は、初期出力(33mW)の90%(30mW)である。

このデータが製品設計にどのような情報をもたらすかを理解することが重要である。たとえば、医療施設でスマートフォンや聴診器の表面殺菌を行う殺菌室では、30秒以内に病原菌を大きく低減させる必要がある(大腸菌6log)。1日あたり30回で毎日稼働した場合、LEDシステムの年間使用時間は92時間で、5年という標準的な製品使用期間で500時間未満となる。

この用途では、30秒間のUV-Cの量と強度を高くすることのほうが、寿命をさらに延長することよりも優先度が高い。累積動作時間を理解して、それをLED特性と比較することにより、設計エンジニアは、LEDを700mAで動作させて、350mAの場合よりもUV-C出力を50%高くするという判断を下すことができる。

### UV-C LEDの信頼性を実証する

当然ながら開発エンジニアは、コンポーネントごとに性能と寿命が本質的に異なることも考慮する必要がある。LEDのサンプルセットを無作為に選んだ場合に、一定の順方向電流と温度条件の下で、その劣化の速度は自然な統計的分布を示す。母集団の中で定めら



れた目標値以下まで劣化するサンプルの割合をB値と呼ぶ。B50という表記は、平均的な寿命挙動を表すために用いられることが多い。図4は、ある母集団の中のB値が異なるLEDの挙動を示している。青色のラインは、特定の動作条件下で500時間が経過すると、サンプル母集団の50% (平均)は45mWの出力を維持するが、残り50%の出力は45mWを下回ることを表している。

多くの用途に対し、母集団の50%の挙動が明らかになるだけでは不十分である。その理由としては、健康管理に関する市場リスクや、POU給水系統に使用されるLEDの数を減らしたいというコスト圧力が挙げられる。製品の使用期間全体を通して殺菌性能が達成されていることを示す、明らかな信頼水準を設けることが不可欠である。設計エンジニアは、図4の赤色のラインのような、低いB値における性能を確認することによって、LEDが目標値以下まで劣化する確率を抑える。このデータによると、500時間後に、初期出力の60%に当たる36mWを下回るのは、サンプル母集団の10%のみである。これを、L60B10値という。

## 寿命指標と累積動作時間

POU給水の消毒源か、臨床現場で使われる携帯型の医療機器かにかかわらず、製品の使用期間全体を通して信頼できる殺菌性能を達成するために、UV-C LEDの採用が促進されている。こうした用途ではオンデマンドの動作が一般的なもので、その目的はさらに達成しやすいということになる。しかし、可視光LEDで採用されている従来の寿命指標は、エンジニアを誤った方向に導く恐れがある。UV-C LED製品の選定、使用、比較という観点とは相反する特性に目が行き、根本的に必要な

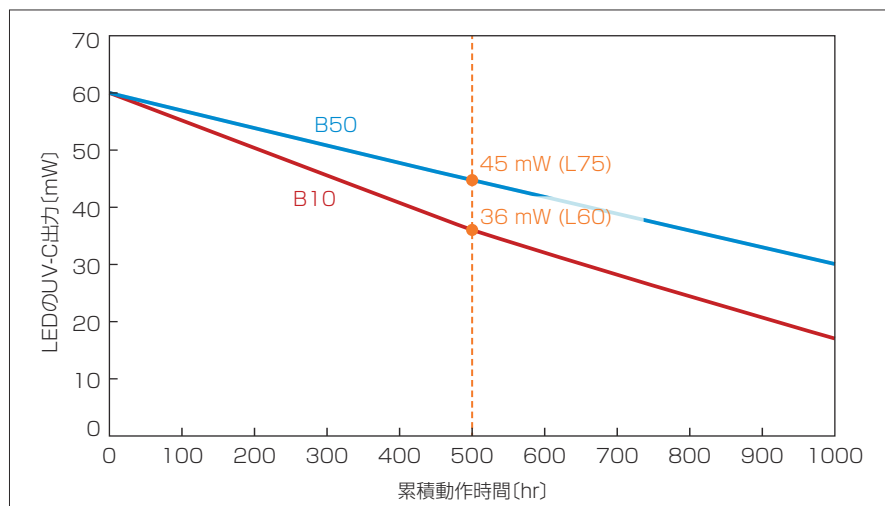


図4 周辺温度35℃、駆動電流700mAで動作させた場合のデバイス集合のUV-C出力。グラフは、信頼性の値がB50とB10の場合の母集団データを示している。

属性を見誤る可能性がある。

特定の製品寿命目標を達成するために、デバイスの順方向電流と温度構成の両方をどのように制御すればよいかを明らかにすることによって、システム設計エンジニアは、UV-C LEDの動作を調整し、定められた使用期間を通して求められる性能を、最小限のコストで達成することができる。つまり、オンデマンドの消毒システムという特定の用途に限定すれば、UV-C LEDの寿命を、信頼性を維持したまま使用できる期間の終わりにUV-C LEDが達するまでの累積動作時間として定義する方が有効である。

## 実際の条件下で寿命を測定する

浄水器と医療機器のOEMメーカーが、卓上型から携帯型にいたるまでのさまざまな製品に対してUV-C LEDの評価を進める中、理想的な条件下での寿命ではなく、実際の応用条件下での寿命末期の性能という実用的な情報を示すことが重要になってくる。

固体デバイスであるUV-C LEDは、さまざまな動作条件に対応し、出力や寿命のパラメータが調整可能で、オンデマンド方式でオン/オフが数万回繰り返されるような使用方法に対応できる。寿命末期の状態をL値とB値の両方で明確に規定することが不可欠である。用途に基づく正しい温度条件でこれを行うことが、製品に使用されるLEDの数と、寿命末期の性能目標を達成するために必要な結果とを一致させるうえでも、重要なことである。

「どれだけの製品寿命があるか」という冒頭の質問に対する回答として、まずはLEDの寿命を、製品開発者がある程度制御可能な出力変数として捉えることから始めてほしい。その値は、環境要件、動作条件、UV-C LEDの製品特性という、標準化されていない入力値によって左右される。本当に明らかにしなければならない質問は、「どれだけの製品寿命があるか」ではなく、「どれだけの寿命を達成する必要があるか」である。

### 著者紹介

オーエン・コノリー (EOIN CONNOLLY) は、米クリスタルIS社 (Crystal IS) 製品管理担当副社長。  
URL: <http://cisuv.com>