

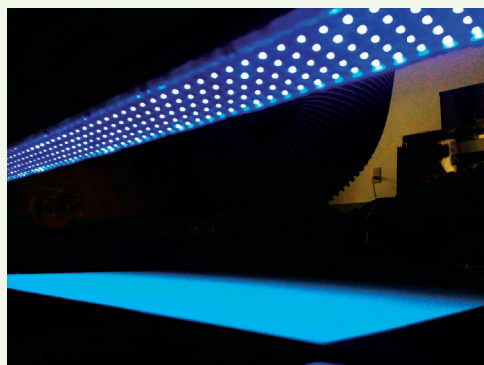
紫外線殺菌装置の設計技術 ～光学解析技術と殺菌検証技術の応用～

紫外線を照射することで、食中毒の原因となる微生物を殺菌できることが広く知られている。Hitz日立造船では紫外線発光ダイオードを用いて、食品や医薬品の容器を殺菌する装置を開発し、提供している。

当社の紫外線殺菌装置は、光学解析技術や微生物を用いた殺菌検証技術をベースに、容器の形状や殺菌対象の微生物種、殺菌基準などに合わせて設計しており、効率的に殺菌できる。本稿では、これらの技術について事例を含め紹介する。

キーワード

紫外線, UV, LED, 発光ダイオード, 殺菌, 滅菌, 不活化, 光学解析, 微生物, 食中毒, 包装容器, 充填機, 液体充填, 設計



はじめに

光は波長によって特徴が異なる。波長260 nm近辺の紫外線を微生物やウイルスに照射することで、DNAやRNAが損傷して正常な代謝や増殖ができなくなり、最終的に死滅させることができる。この原理を利用して、太陽光より強力な紫外線が照射できる水銀ランプを使った殺菌装置は、産業界をはじめ広く用いられている。

近年、殺菌効果のある紫外線が照射できる発光ダイオード (UV-LED) が登場した。水銀ランプに比べて長寿命、高速応答、オゾンなど有毒なガスが生じないといった様々な特長があり、新たな紫外線光源として期待されている。当社では、このUV-LEDを用いて食品や医薬品の容器を殺菌する装置を開発し、食品、医薬メーカーへ提供している。

紫外線殺菌装置を設計する上で重要な点は、対象の微生物を基準値まで殺菌する性能である。しかし、顧客によって対象容器の形状や微生物の種類、殺菌する基準など、要求仕様は異なる。Hitz日立造船は、光学解析によるUV-LED配置の最適化と、微生物を用いた殺菌効果の検証試験により最適照度を算出すること、およびこれらの仕様を満たす装置の設計を行っている。

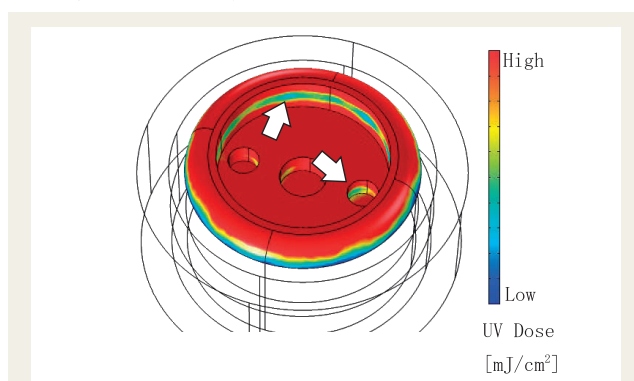
光学解析

UV-LEDは、1チップの出力が数mW～数10mWと小さく、殺菌装置として用いる場合は、複数のチップを実装して装置とすることが多い。このため、殺菌対象物の形状や照射距離に応じてUV-LEDの照射構造を工夫することで効率的に紫外線は照射され、殺菌装置を低コスト化できる。その手段として、当社は光学解析を行っている。

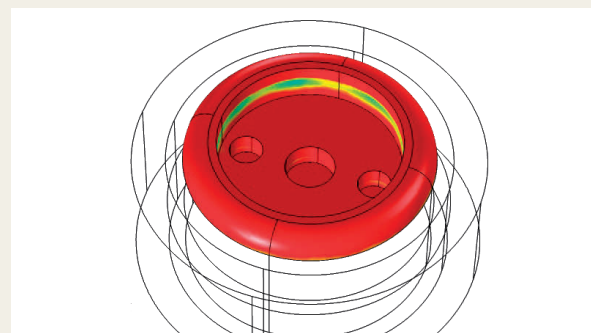
以下に医薬液用ボトルのキャップを対象とした光学解析例を示す。キャップには、 $\phi 1\sim 3$ mm、深さ1 mm程度の穴がある。

図1に解析結果を示す。キャップに対して図1(a) LEDチップを格子状に等間隔配置して照射した場合と、図1(b)

キャップ形状に合わせてLEDの位置・間隔・角度を変え、さらに光学素子を用いて照射した場合の照度を解析した。なお、UV-LEDとキャップの距離、個数は同じである。本結果が示すように、図1(a)の条件では矢印で示す穴や内外の側壁部分において照度が低い。一方で、図1(b)の条件では穴部分を含めたキャップ表面に紫外線を十分に照射できることが分かる。



(a) UV-LEDの一般的な格子状配置による照度

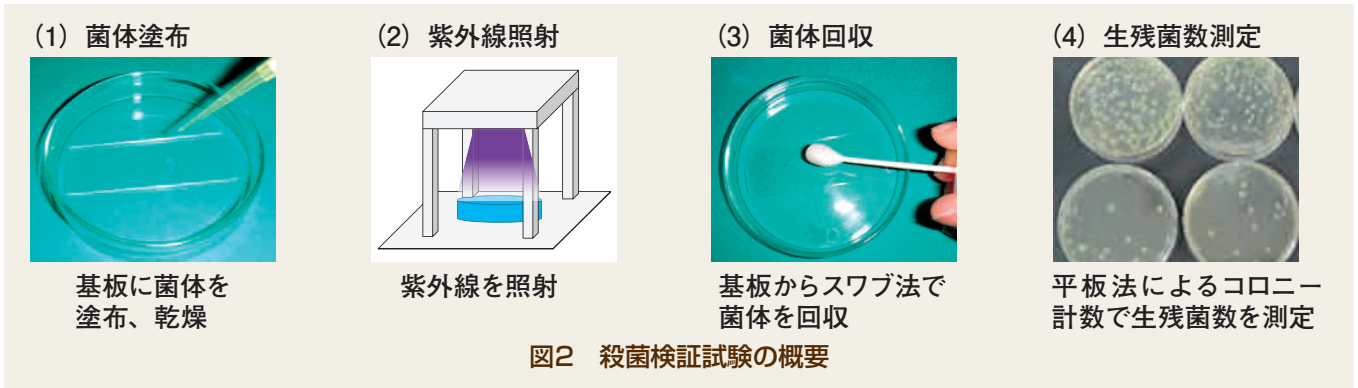


(b) UV-LEDの配置・角度調整後の照度

図1 光学解析の例

殺菌効果の検証

紫外線を微生物に照射すると、DNA内のチミンが紫外線を吸収して二量体化する。これにより微生物は複製や



代謝機能を失い死滅する。これが紫外線による殺菌メカニズムである^{1)~4)}。

従来、殺菌光源として主に用いられてきた水銀ランプは、水銀の輝線である253.7 nmの紫外線が照射できる。しかしUV-LEDは発光層を構成する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の組成比(xはAlの濃度)によって波長がシフトするため、各メーカーによって組成比は変わり、様々な波長のUV-LEDが存在する。そして微生物の紫外線耐性は、この波長によって異なる。また、微生物の種類によっても紫外線耐性は異なる。表1に、各微生物とUV-LEDの波長、99.9%殺菌するのに必要な照射量を示す⁵⁾。顧客によって殺菌対象となる微生物や殺菌基準が異なるため、それに合わせて装置を設計する必要がある。その手段として当社では、微生物を用いた紫外線による殺菌効果の検証データの蓄積を行っている。

表1 99.9%殺菌となる紫外線照射量

微生物の種類	UV-LED 波長 [nm]	UV Dose [mJ/cm ²]
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	269	17
<i>Bacillus atrophaeus</i> ATCC 9372	260	14
<i>Escherichia coli</i> ATCC 11229	275	7.7
<i>Escherichia coli</i> ATCC 29425	265	17
<i>Escherichia coli</i> B ATCC 13035	260	4.7

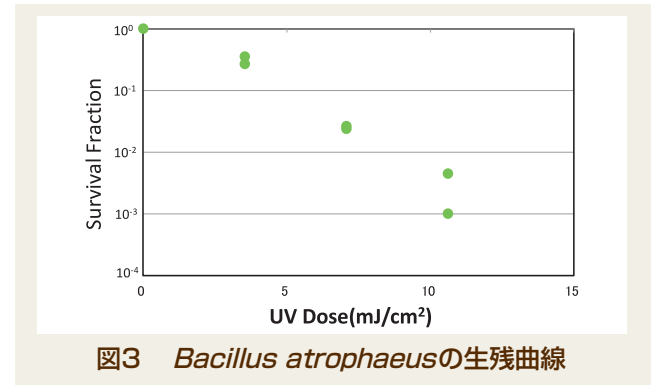
図2に検証試験の手順を示す。最初に対象である微生物を培養し、サンプル液を準備する。次に、サンプル液を基板上に滴下して乾燥させ、紫外線を一定量照射する。その後、基板上から微生物を回収し、寒天培地を用いた平板法によって微生物の生残率を算出する。このようにして得た*Bacillus atrophaeus*の生残率のグラフを図3に示す。なお、光源には波長280 nmのUV-LEDを用いた。

この結果から、90%殺菌には4.2 mJ/cm²、99.9%殺菌には12.6 mJ/cm²の紫外線照射量が必要であることが分かる。

また、本検証試験は最終製品の性能検証の際にも行っ

ている。具体的には、殺菌対象である容器に微生物を塗布し、紫外線を照射して期待通りの殺菌効果が得られていることを確認している。

以上のように、紫外線殺菌装置の設計において、光学解析ならびに殺菌検証試験は重要な役割を担っている。引き続き、これらの技術による確実な技術立証に基づいた殺菌装置の提供を行っていく。



SDGsに貢献する技術

当社は、食品/飲料や医薬品の安全を守るため、容器を殺菌する装置を提供している。食品/飲料・医薬品メーカーの生産性向上を図るべく、殺菌する容器の形状と殺菌対象の微生物の種類に合わせて効率的に殺菌できる深紫外線装置を設計している。

参考文献

- 1) 武部啓: DNA修復, 東京大学出版会, 1983, p.119.
- 2) 山口彦之: 放射線と絵師物, 啓学出版, 1981, pp.51-140.
- 3) 江上信雄: 生き物と放射線, 東京大学出版会, 1986, pp.104-114.
- 4) 江崎勲: 防菌防黴, 1986, Vol.14, pp.251-260.
- 5) AH Malayeri, et.al.: IUVA News, 2016, 18 (3), 4-6.

【問い合わせ先】

Hitz日立造船株式会社
事業企画・技術開発本部 技術研究所
知能機械研究センター
生杉浩一
e-mail : ikesugi@hitachizosen.co.jp