

UVC-LED の測定に最適な紫外放射照度計のためのアプローチ

-ラボ校正からフィールド計測への橋渡し-

宮坂 勝也 保科 光平 片岡 智史 芹澤 和泉 木下 健一 神門 賢二
(株式会社オーク製作所) (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

1.はじめに

紫外放射照度計は分光放射照度計と比較して安価、小型軽量、取り扱いの容易さから、製造機器、殺菌用途など幅広いアプリケーションでの紫外線露光量管理に用いられる。特に近年では UV-LED を組み込んだ装置の放射照度計測で用いられる場合が多い。一般にフィールド(ユーザが実際に使用する場所・装置)での測定精度が最も高く得られるのは、メーカーや校正機関において行われる紫外放射照度計の校正条件とフィールドでの測定条件が一致する時である。紫外放射照度計の校正は、ある限定された測定条件(例えば、光の強度、スペクトル等)で実施するため不確かさを小さくすることができるが、末端のフィールド測定は校正条件から大きく外れる条件下で行われることが多い。紫外放射照度計の特性が、校正条件からフィールド計測の測定条件まで広く対応できるかが、測定結果に大きく影響する。

本講演では、近年殺菌用途で利用が拡大している UVC-LED について、フィールドでの放射照度測定の精度向上を目指して開発した紫外放射照度計(図 1)と、開発の際に検討したフィールド計測における課題とその解決方法を紹介する。

2. フィールド計測における課題とその解決方法

①スペクトルミスマッチ誤差

校正機関で用いる校正光源と測定対象光源の分光分布の違いにより発生する誤差を、スペクトルミスマッチ誤差と呼ぶ。従来の水銀放電ランプ用紫外放射照度計では、必要な帯域の輝線スペクトルを、バンドパスフィルター等を利用することで選択している。水銀放電ランプからの輝線スペクトルは、波長既知のスペクトルであり限定されている。このため校正時に用いられる水銀放電ランプとフィールドで実際に測定する水銀放電ランプの分光分布の違いは小さく、スペクトルミスマッチ誤差が小さくなる場合が多い。一方、UV-LED の分光分布は、半値全幅が十数 nm と水銀放電ランプの輝線スペクトルよりも広い。更に UV-LED の中心波長は、千差万別であり 10 nm 毎に市販されている。校正時に用いた校正光源が UV-LED であったとしても、実際に測定する UV-LED のスペクトルと一致しているとは限らない。従来の水銀放電ランプ用紫外放射照度計の分光応答度は一様ではなく、ある特定の波長を中心・最大応答度とした放物曲線となる事が多い。この紫外放射照度計を用いて UV-LED を測定した場合、許容できないスペクトルミスマッチ誤差が発生することが予想されるが、フィールドでの補正は困難である。このため、様々な UV-LED の放射照度を測定するフィールド計測では、UV-LED の波長帯域において、平坦な分光応答度を持つことが望ましい。このため、UVC 域で平坦な分光応答度を持つ紫外放射照度計の開発を目指し、分光応答度が平坦化な受光器ヘッドの開発を行った。図 2 で示す通り、市販されている UVC-LED の中心波長範囲(254 nm-295 nm)で分光応答度が均一な受光器ヘッドの開発に成功した。

②フィールド計測における光の入射特性

紫外放射照度計の受光器ヘッドの斜入射特性が、理想的に余弦則に従えば放射照度面へ入射する光の入射角の影響を受けずに、正確な測定を行うことができる。しかし、実際に余弦則に完全に従った斜入射特性を実現することは難しい。一般に校正機関では、斜入射特性の影響を避けるために校正光源から紫外放射照度計までの測定距離を十分に大きくと



図 1: UVC-LED 用紫外放射照度計

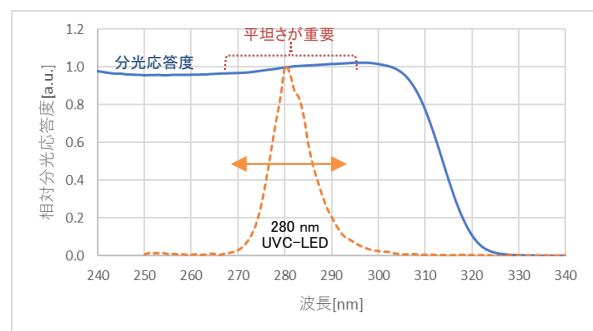


図 2: UVC-LED の分光分布と分光応答度

り、平行光に近い条件で校正を実施する。一方、フィールド計測では照射対象物への放射照度レベルを確保するために照射距離すなわち測定距離が短くなり、測定対象光源からの斜入射光の影響を大きく受ける。開発した受光器ヘッドは鉛直入射を 0° としたときに、 $\pm 60^\circ$ までの斜入射光が放射照度に大きく影響することに着目し、少なくとも $\pm 60^\circ$ の範囲で余弦測に従うことを重視して開発した。また、受光面積を最小化することで、受光面の感度の不均一性の影響を軽減した。

③応答の直線性

フィールド計測では、測定する放射照度範囲は数桁に及ぶ。このため紫外放射照度計の放射照度測定範囲はできるだけ広い方がよい。更に校正では、上述の余弦特性を考え比較的測定距離を長くする場合が多く、測定位置で十分な放射照度を有する校正光源を用意するのが難しいという課題がある。実際のフィールド計測における放射照度に対して $1/100$ 以下の低放射照度で校正される場合がある。受光器ヘッドが理想的な応答の直線性を有していれば、低い放射照度で校正された受光器ヘッドをそのままフィールド測定に使用することができる。応答の直線性に大きく影響を与える要因は、受光素子自身の応答直線性、受光素子の温度依存性である。これを解決するためには、受光器ヘッドの応答の直線性評価が不可欠であるため、UVC 領域での直線性を 10^{-5} W/cm^2 から 10^{-1} W/cm^2 までオーバーフィル条件で測定できる評価手段を開発し、応答の直線性確保に成功した。これにより低放射照度レベルで行われた校正結果をフィールドで実際に測定される放射照度範囲まで拡張することができるようになった。

④校正方法の確立

校正およびこれに基づいた目盛設定において、トレーサビリティや校正方法はフィールド計測における測定値に大きな影響を与える。我々は紫外放射照度計の校正光源として波長可変光源を用いる独自手法の開発を行った。この方法は、Xe ランプからの光をダブルモノクロメータに導入し、出射される準単色光の波長幅を、UV-LED の半値全幅(約 10 nm)に一致させることで、任意の中心波長の UV-LED のスペクトルを模擬した光を校正光源として利用する方法である(図 3)。そして、この方法では測定方法との相性・不確かさ低減を考え、分光応答度標準にトレーサブルな体系となっている。開発した紫外放射照度計は 5 nm ごとに上記方法で校正を実施し、これに基づいた応答度校正結果を紫外放射照度計内に保持する。フィールド測定では、ユーザは測定する UVC-LED の中心波長にあわせ、校正結果を呼び出すことで、スペクトルミスマッチング誤差をさらに低減することができる。

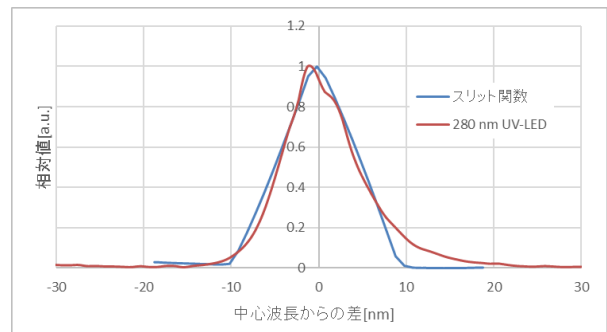


図 3：波長可変光源からのスペクトル

3.まとめ

フィールド測定は、その測定精度に課題があることが認識されていたが、測定結果が安定していればその用途に不足が無いことが多かった。しかし、昨今では様々な規格での信頼性の要求や社会情勢により紫外放射照度計においても高い信頼性が要求されることが多くなった。我々は紫外放射照度計の諸特性の改善、校正方法を工夫することで、幅広いアプリケーションで高精度な測定が実現できる UVC-LED 用紫外放射照度計の開発に成功した。この紫外放射照度計は、UVC-LED 用に開発したが、応答が均一であることから、副次的な要素として、低圧水銀ランプ(殺菌灯)の 253.7 nm の輝線スペクトルに対しても高精度に測定することが可能となり、技術的課題の多い、低圧水銀ランプと UVC-LED の比較計測が容易に実現できる(図 4)。

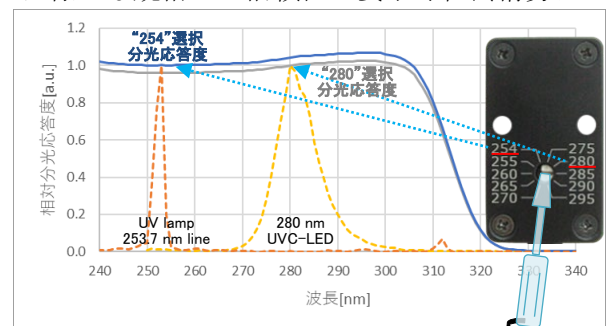


図 4：低圧水銀ランプと UVC-LED の比較測定

Approach to develop an ideal irradiance meter for UVC-LEDs measurement.

Katsuya Miyasaka, Kohei Hoshina, Satoshi Kataoka, Izumi Serizawa, Kenichi Kinoshita, Kenji Godo