

UV-LED 照射面積の広範囲化

(株)センテック 中宗憲一

1. はじめに

近年、紫外線硬化樹脂の進歩と共に多種多様な工業製品に紫外線硬化樹脂が利用展開されるところであり、脱溶剤化、品質レベルの向上、生産性のスピードアップ等の目的に使用量が拡大し続けている。その中で、環境問題、省エネルギーの観点から進歩のめざましい高強度UV-LEDを使用し広範囲を均一照射できるUV-LEDパネルについて以下に述べる。

2. 長所

近年LEDの進歩についてもめざましいものがあるが、紫外線硬化樹脂の硬化に使える高強度UV-LEDの開発も進み、大面積を均一照射できるパネルも出現しつつある。紫外線硬化にLEDを使うメリットとしては以下の通りである。

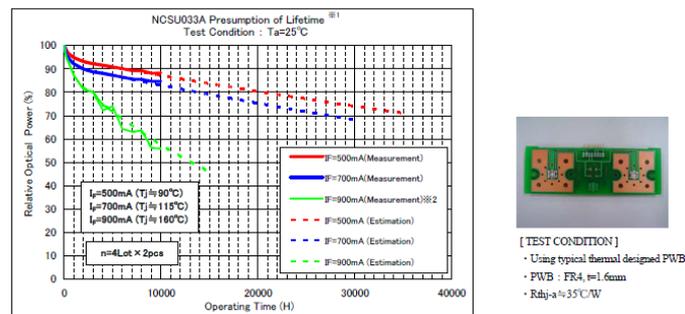
1) 省コスト

高い消費電力と都度発生する水銀ランプの交換、破棄が大きな課題であるが、LEDでは交換の必要がなく、低電力、CO₂排出量の削減にも大きく寄与する。

2) 長寿命

一般に推定値発光量 30%減まで 36000Hr(日亜 NCSU033A)と長寿命であり、メンテナンスフリーと言える

NCSU033A
Presumption of Lifetime



※1 このデータは推定値ですので、この特性が保証できるものではありません。参考データとしてお取り扱い下さい。
This data is the presumption value, hence Nichia cannot make a guarantee these characteristics. Please treat this data as the reference.

※2 絶対最大定格を超過しているため、予期せぬモードで故障する可能性があります。
There is a possibility to fail with unexpected failure mode due to exceeding the absolute maximum rating.

Fig.1 Lifetime of UV-LED

3) 照射面に熱放射がない

Fig.2-1 に示すように単一波長のために、長波長側の熱放射もなく、発光量が電流量に比例するので照射エネルギーが電流量で簡単に調整可能であり、点灯、消灯が瞬時にできる特徴がある。Fig.2-2はLEDチップの放射特性を示すものであり、60°の角度での放射エネルギーも60%程度に減少する事がわかる。均一照射を実現する為には、LEDの適正配置と照射距離の関係及びレンズ等により均一光を実現する技術が必要になる。また照射面には熱が出ないが、基板面には熱放射が大きく、基板面を冷却する技術の確立を各社が競っているのが現状である

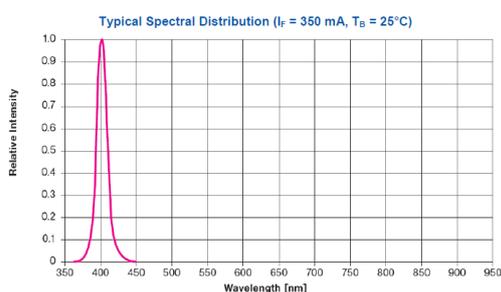


Fig2-1

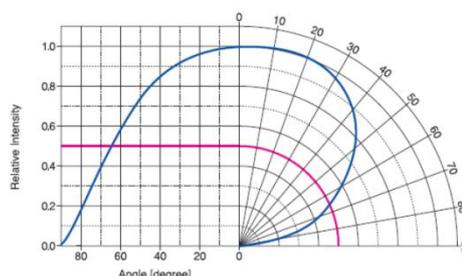


Fig2-2

Fig.2 Typical Spectral Distribution

4) 省スペース(薄く作れる)

水冷、空冷の差にもよるが、LED自体が厚み3~5mm程度のチップであるために放熱部分を入れても50mm程度に厚みを抑える事ができる。その為に新たなスペースを設ける事なく、既存装置の設備改造を最小限に抑え隙間等に設置が可能である。

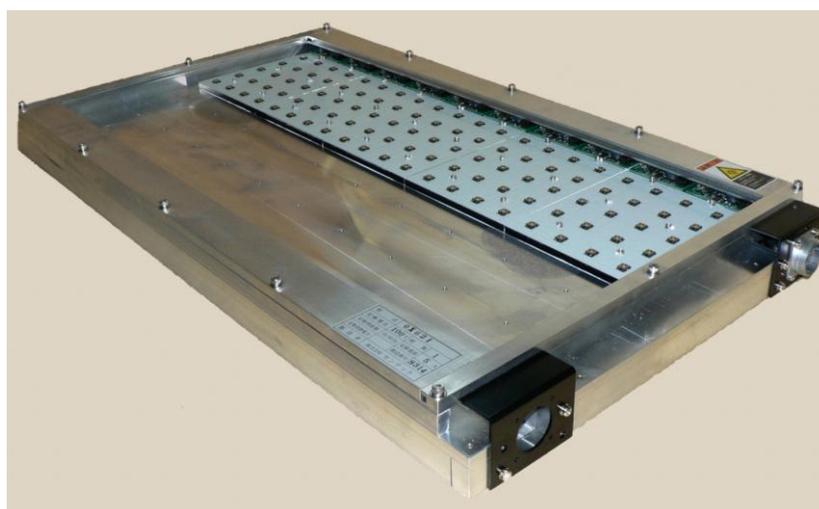


Fig.3 UV-LED PANEL

5) 放射エネルギーが簡単に調整できる

順電流に対して相対放射束特性がリニアに変化するために、容易に発光量が連続可変できる。また温度に対してもその変化量が小さいために、高速度での点滅も可能である。

6) 均一照射が可能

LEDは Fig.4 に示すように $d=5\text{mm}$ では図の一番上のように波打ち、放射強度に格子状のムラができる。 D が大きくなると、図中の下の線に移り、 $d=10\sim 25\text{mm}$ ではほぼ均一になる。それ以上距離が大きくなると、端の方が若干照射強度は低くなる。一般的なUVランプに比べて、放射照度のムラが少ない為に照射面と発光面の距離を小さくできる特徴がある。

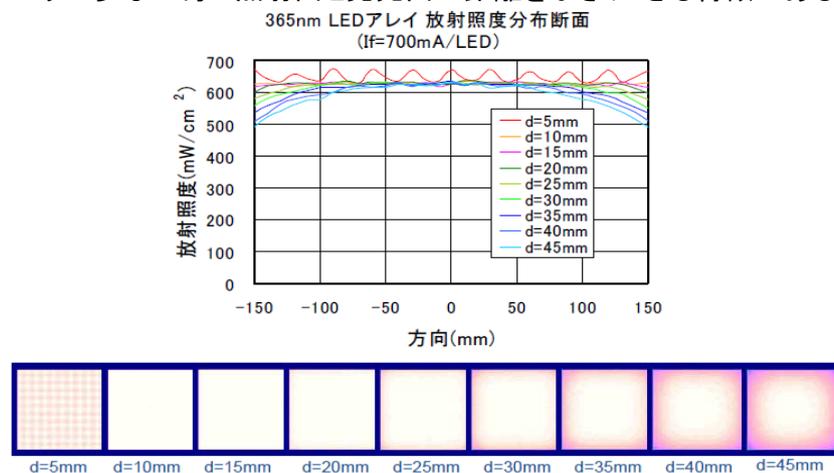


Fig.4 UV-LED の放射照度分布

3. 設計上の注意点

1) 照射角度

広範囲均一照射を目的とする中で指向性設計は考慮しなければならない事柄のひとつである。例えば、小出力 LED である砲弾型 (Fig.5) は指向性特性が小さいために、照射角度を一定にしたい時に有効である。またキャップ型 LED は指向性が大きい為に、高密度実装と共に均一照射に向く。



Fig5-1 砲弾型 UV-LED



Fig5-2 キャップ型 UV-LED

現状の UV-LED のラインアップの中で高出力タイプはキャップ型のみであり、指向性は約 70° である為に指向性が必要な場合にはレンズの外付け等の工夫が必要になる。



Fig6-1 日亜化学製高出力 UV-LED

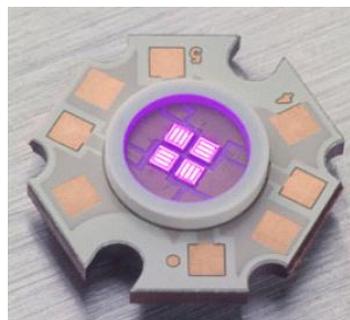


Fig6-2 パーキンエルマー製高出力 UV-LED

2) 放熱設計

UV-LED の大面積化における設計の中で一番重要なのが放熱設計である。LED は発熱の影響で光出力が低下する。よって接合部温度を超えない放熱設計をする事が不可欠になる。例えば日亜化学製の NCSU03Xa では絶対最大定格が 130°C となっている。従って、信頼性を考えて設計する時、動作範囲を 120°C 以下に抑える事が必要でありその為の注意点を以下に述べる。まず LED 取付基板の材質をどうするか？

例えば材質をアルミ(3.5%Mg)とすると熱伝導率は 127(W/m.k)、熱伝導率は 127(W/m.k)、銅(0.5T)であるならば 355(W/m.k)、またエポキシ樹脂ならば 2.0×10^{-1} (W/m.k) というように大きく違ってくる。その次に実装基板と放熱板との間の密着性能を向上させる為に各種の部材がある。熱伝導性のシリコンラバー、伝熱グリース、グラファイトシート等の材料を適時選ぶ必要がある。以下に実際の計算例を記す。

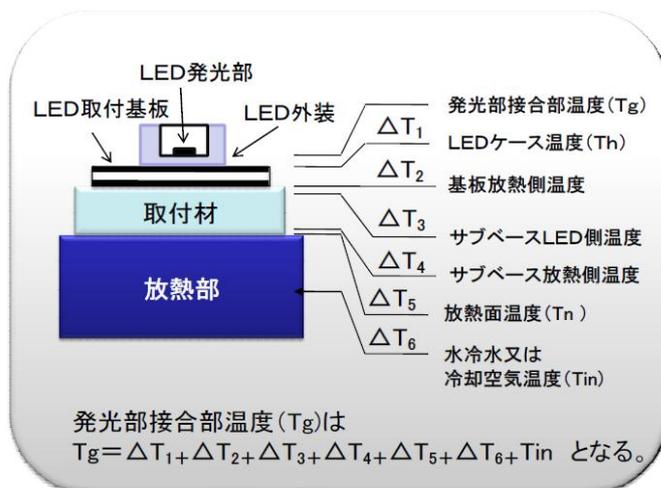


Fig.7 放熱積算

1. LEDの取付ピッチを10mm
2. LEDの発熱をVF=3.5V IF=500mA 光出力250mAとすると1個あたりの発熱量は
 $P=(3.5 \times 0.5) - 0.25 = 1.5W$

以下計算式に当てはめて計算すると $\Delta T_1=9^\circ C$ 、発光部 T_g とLEDケースとの熱抵抗 $6^\circ C/W$ 、 $\Delta T_2=10^\circ C$ 、基板SEM-3($t=1.0$) $\alpha=0.15W/cm^2.K$ 、 $\Delta T_3=2.5^\circ C$ 、 $\Delta T_4=0.8^\circ C$
 $\Delta T_3=2.5^\circ C$ 、アルミニウムの厚みを10tとすると $2 W/cm^2.K$ として
 放熱部の温度差は $1.5W/cm^2$ にて

$\Delta T_{1\sim 4} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 = 25^\circ C$ となる。

上記結果からも判るようにパネル設計の方針として

1. 信頼性を考慮した T_g の設定
2. 実装LEDの数による合計発熱量
3. 設置場所等の制約上、可能な冷却方法の選択が必要となる。

3) 照射光の特性とUV-LEDの配置

- (1) 大面積での照射において均一照射部における照射エネルギー密度は、その取付面積で取付けられたLEDの全放射エネルギーを割った値になる。
- (2) LED取付ピッチに対して被照射面積の距離を小さくすると照射エネルギーの凹凸は大きくなる。
- (3) 浅い角度で入射する光がガラスのレンズまたはフレネルレンズにて照射角度を調整する。
- (4) 周囲に反射板を立てる事により均一照射面を大きくできる。

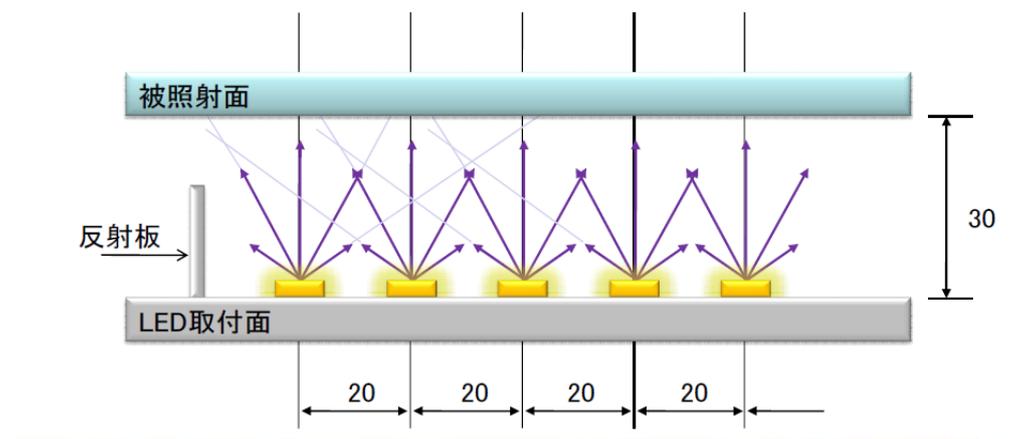


Fig.8 照射光の特性

4) 照射光の特性とLED配置

次に均一照射をする場合、LEDの配列ピッチと照射距離に配慮する必要がある。一例として30mmピッチで配列したLEDの照射分布を測定した結果を下記に示す。

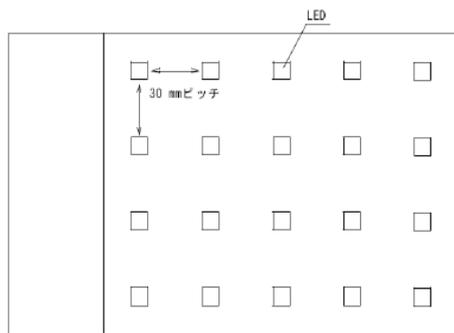


図1 UV-LEDパネル模式図

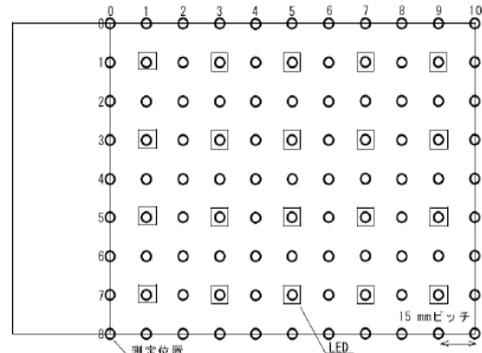


図2. 測定位置

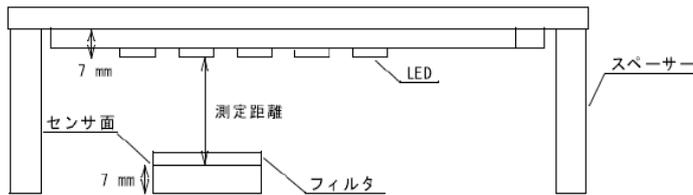


図3. 測定距離模式図

Fig.9 照射パネル配置と測定

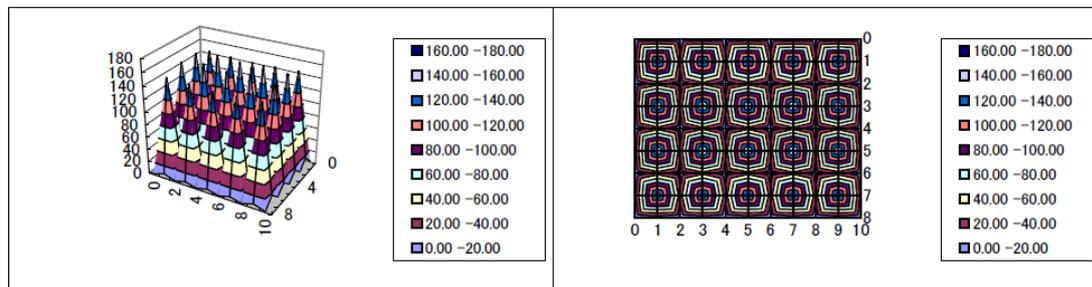


Fig.10 照射距離 10mm での照度分布

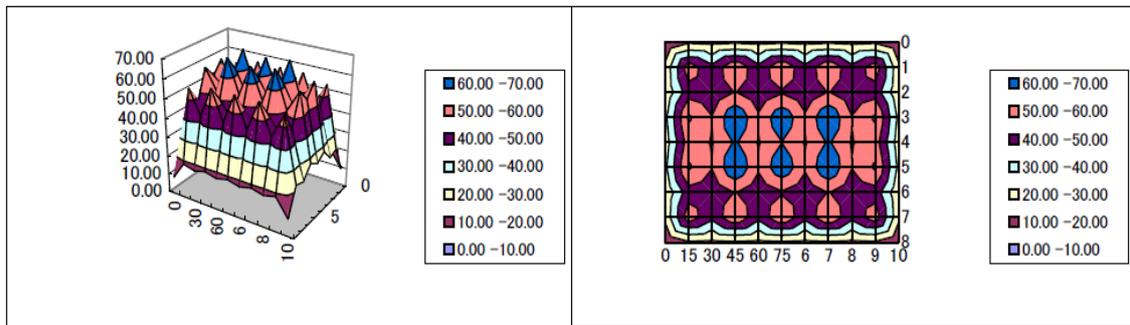


Fig.11 照射距離 20mm での照度分布

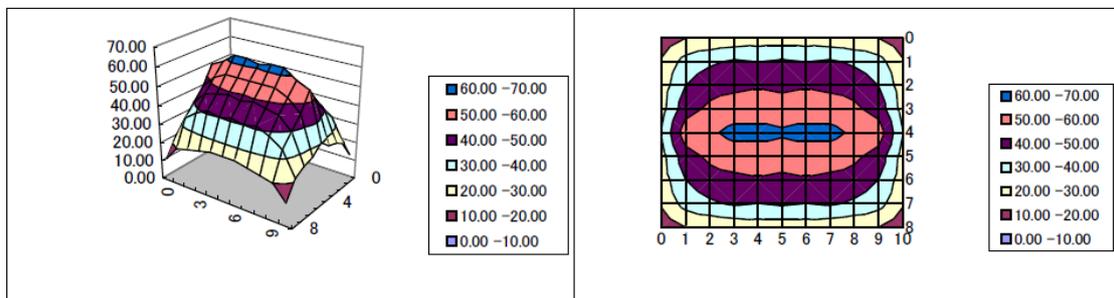


Fig.12 照射距離 30mm での照度分布

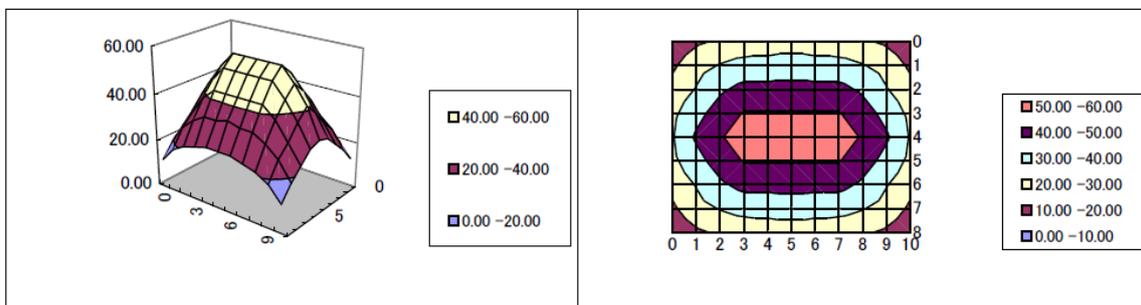


Fig.13 照射距離 50mm での照度分布

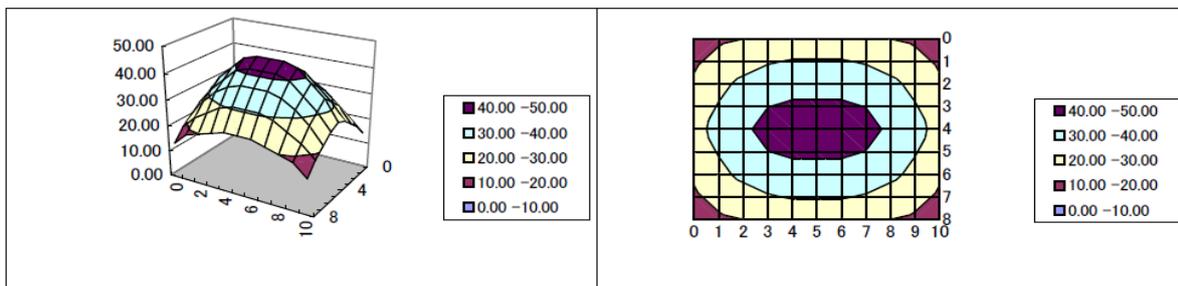


Fig.14 照射距離 70mm での照度分布

上記グラフからも判るように、LEDピッチよりも短い照射距離では、LED直下が最も照射エネルギーが強くなり、LED直下とLEDとLEDとの間でのエネルギー差が大きくなりムラとして現れる。次にLEDピッチと照射距離とが同等になって初めて均一照射となり、パネル中心部での照射エネルギー量が一番大きくなる。距離を離すにつれ均一照射になるが照射エネルギーは落ちていく。LEDパネルを設計するにはこのLEDピッチとLEDから照射面までの距離との関係が非常に重要になる。あまり強い照射エネルギーを必用としない場合は拡散版等を置いて、均一照射を作り出す方法があるが、エネルギーロスがあり、LEDの能力を最大限引き出す方法としては得策とは言えない。以下に大面積照射についてまとめる。

1. 均一照射部における照射エネルギー密度は、その取付面積で取付られたLEDの全放射エネルギーを割った値
2. LED取り付けピッチに対して、被照射面の距離を小さくすると、照射エネルギーの凹凸は大きくなる。
3. 浅い角度で入射する光が不都合な場合は、ガラスレンズまたはプラスチックフレネルレンズにて照射角度を小さくする。
4. 周囲に反射板を立てる事により、均一照射面を大きくできる。

10. おわりに

UV-LEDは省エネルギー、コンパクト、CO₂削減等、日本の国際競争力の確保の為にUV-LED技術は不可欠な技術であり環境に優しい技術として、今後飛躍的に導入が進むと思われる。大事なことはランプからの置き換えという単純な考えではなく、高効率化を視野に入れた転換が必要である。硬化させる樹脂性能とLED側の性能をいかにマッチングさせて高効率な生産方式を生み出すかが性急の課題である。

参考文献

1. 日亜化学工業株式会社 カタログ
2. パーキンエルマージャパン カタログ