

光測定と単位について

目次

1. 概要
2. 色とは
3. 放射量と測光量
4. 放射束
5. 視感度
6. 放射束と光束の関係
7. 光度と立体角
8. 照度
9. 照度と光束の関係
10. 各単位の関係
11. まとめ

1. 概要

LED の性質を表すには、光の強さ、明るさ等が重要となり、これらはその LED をどのようなアプリケーションに使用するかを決定するために必須のものになることが殆どです。しかし、測定の方法は多種存在し、何をどのような測定器で測定するかにより、測定結果が異なってきます。

本書では、光測定とその単位について説明していきます。

2. 色とは

太陽光をプリズムに通すと、紫・藍・青・緑・黄・橙・赤の 7 色の光に分かれます。これらの 7 色の光はそれ以上分けることができません。このような、それ以上分けることのできない光を単色光といいます。

スペクトルとは、光を単色光成分に分解して波長の順に並べたものです。図 1 が単色光のスペクトル、図 2 が日亜化学工業の白色 LED のスペクトルを表したものです。図 1 のグラフからわかるように、単色光は単一の波長で表すことができ、図 2 からわかるように、白色 LED の光はスペクトル幅を持った分布になります。

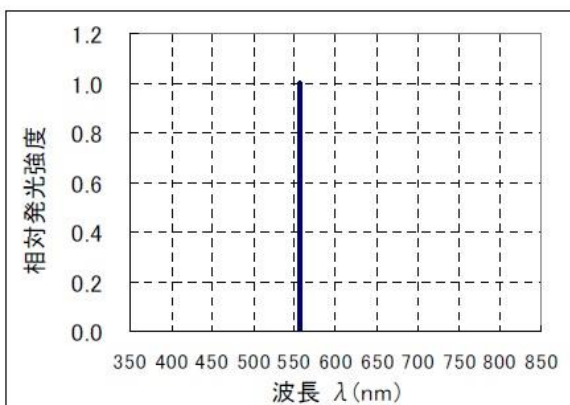


図 1. 555nm の単色光のスペクトル分布

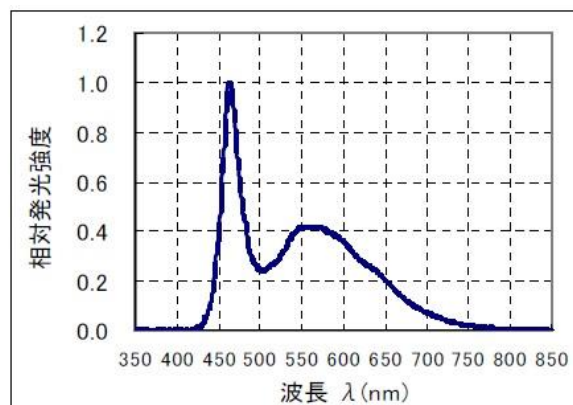


図 2. 白色 LED 光のスペクトル分布

3. 放射量と測光量

発光素子の量(光の強さ、明るさ)を表す単位には 2 つの系統があります。光をエネルギー(物理量)として扱う放射量と、放射量に人間の目の感覚による特性を考慮した測光量です。

4. 放射束

放射束とは、単位時間内にある面を通過する放射エネルギーで、単位は W(ワット)で表されます。放射束は光をエネルギー(物理量)として扱う単位なので、人間の目にどう見えるかは考慮されていません。例えば放射束が大きいからといって、その光が明るいとは限りませんし、赤外線や紫外線はどれだけ大きなエネルギーを持っていたとしても、人間の目には見えません。人間の目の光に対する感度は、光の波長により異なるからです。

5. 視感度

人間は 380~780nm の波長の光を感じることができ、目の光に対する感度は、前述のとおり、光の波長により異なります。この波長による目の感覚を視感度と呼び、CIE(国際照明委員会)が 1924 年に標準分光比視感度 $V[\lambda]$ を決めました。図 3 がその標準比視感度曲線です。

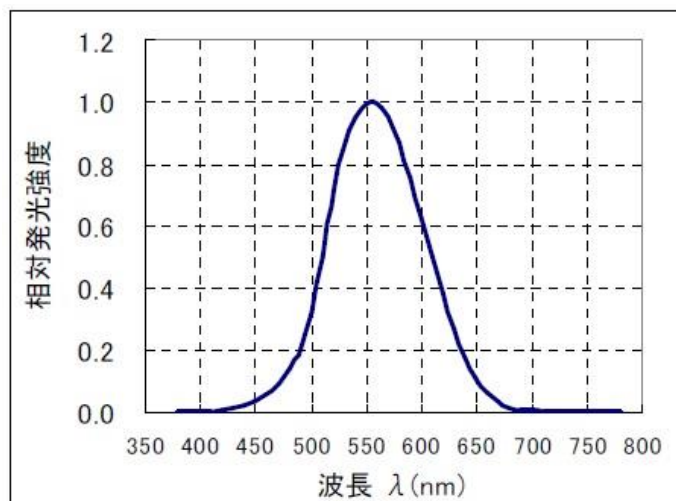


図 3. 標準比視感度

人間の目は明所視の場合、555nm の光を一番明るく感じます(暗所視は 507nm)。図 3 の標準比視感度曲線の縦軸は、波長 555nm の光に対して感ずる明るさを 1 としたときの、同じ強度の光の波長に対する視感度の比を表しています。つまり、物理的に同じ放射束 1mW の光があったとしても、グラフに表されるように 470nm 付近の青色光だと 555nm の緑色光に比べ 10 分の 1 の明るさには感じません。

6. 放射束と光束の関係

光束とは、放射束に人間の目の光に対する感度を考え合わせたもので、単位は lm(ルーメン)で表されます。放射束と光束は、同じものを物理量として扱うか測光量として扱うかの違いです。

測光量とは、放射束 Φ_e を標準分光比視感度 $V[\lambda]$ 及び最大視感効果度 K_m (明所視では 555nm のときに最大となり、 $K_m=683[\text{lm/W}]$) によって評価した量で、

$$\text{測光量} = K_m \times \Phi_e[\lambda] \times V[\lambda]$$

で表されます。したがって、波長 555nm の緑色光(図 1 のとき) 1mW の光束は、

$$683 \times 1 \times 10^{-3}[\text{W}] \times 1.000 = 0.683[\text{lm}]$$

となります。

555nm 以外の波長のときは、各波長で図 3 に示される標準比視感度係数を掛けなければなりません。例えば波長 600nm の単色光で放射束が 3mW の光源があったとすると、600nm の標準比視感度係数は図 1 より 0.631 なので、このときの光束は、

$$683 \times 3 \times 10^{-3}[\text{W}] \times 0.631 = 1.292919[\text{lm}]$$

となります。

ただし、LED のようにスペクトル幅を持った光源の場合(単色光ではない場合)は、各波長で標準比視感度係数を掛けて足し合わせる、つまり積分しなければなりませんので、白色光等の場合の光束は次のように定義されます。

$$\Phi_v[\text{lm}] = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e[\lambda] V[\lambda] d\lambda$$

つまり、図 4 において棒グラフで表される部分を全部足し合わせることで全光束を算出しているということになります。

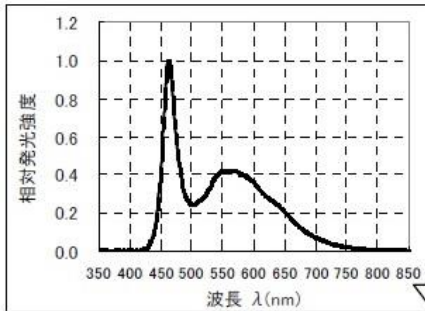


図2. 白色LED光のスペクトル分布

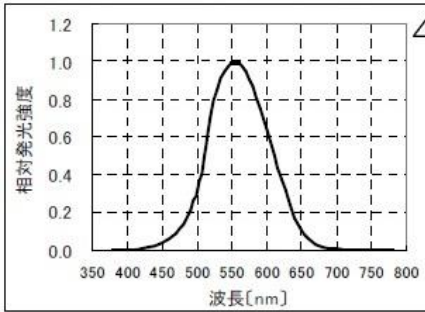


図3. 標準比視感度

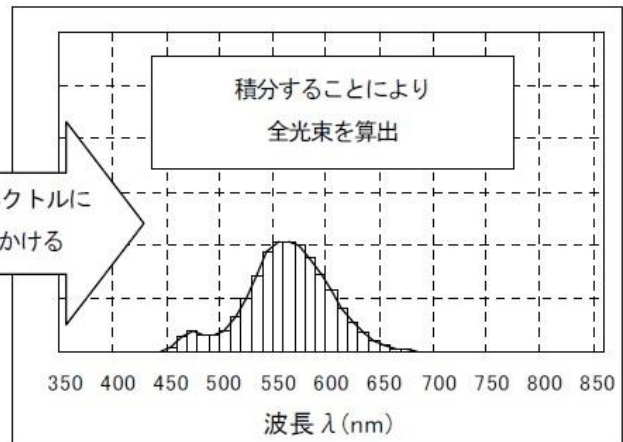
 LEDのスペクトルに
比視感度をかける


図4. 全光束

7. 光度と立体角

光度とは、点光源から発する光の単位立体角当たりの光束で、単位は cd(カンデラ)で表されます。光束を立体角で割ったものなので、 $cd = lm / sr$ です。

立体角(ステラジアン: sr)とは、立体における角度のことです。半径 r の球面上の面積 $A [m^2]$ を r^2 で割った値と定義されており、立体角を $\omega [sr]$ とすると、

$$\omega [sr] = A / r^2$$

となります。すなわち、1sr とは、半径 r の球面上で照射面積 A が r^2 となる立体角のことです。(図5)

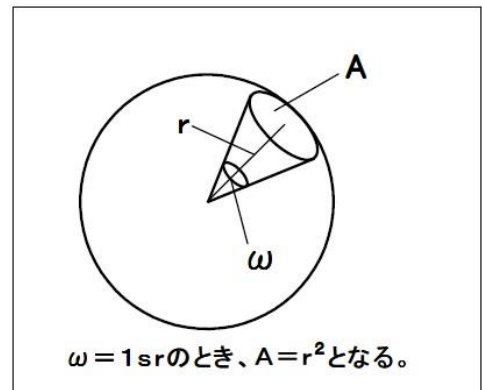
また、球全体で考えると球の表面積が $4\pi r^2$ なので、このときの立体角は、

$$\omega [sr] = A / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi [sr]$$

となります。

話を光度に戻すと、光度とは単位立体角内に放射される光の量のことですから、図6のようなイメージ図で表すことができます。

光度は、単位立体角内、すなわち図6で円すい内を通る光束(矢印)で表されます。



$\omega = 1sr$ のとき、 $A = r^2$ となる。

図5. 立体角

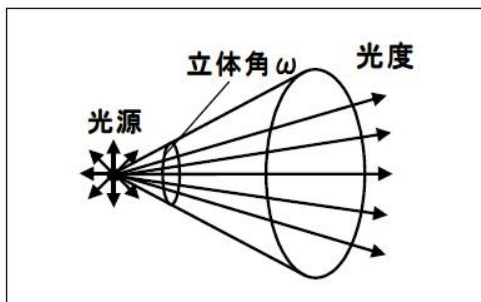


図6. 光度

点光源の場合、円すいの大きさが変わったとしても、立体角が変わらなければ、円すい内を通る光の量は変わりません。また、このとき、光源から四方八方に出る全ての光がルーメンで表される全光束ですから、光度をすべての立体角で足し合わせると(積分すると)、全光束の値を導き出すことができます。

8. 照度

照度とは、光源から離れた位置にある面に入射する光の単位面積当たりの光束で、単位は lx(ルクス)で表されます。つまり、1m²にどれだけの光束(ルーメン)が入ってきているかを示す値です。よって、lx=lm/m²です。

図7に照度のイメージ図を示します。

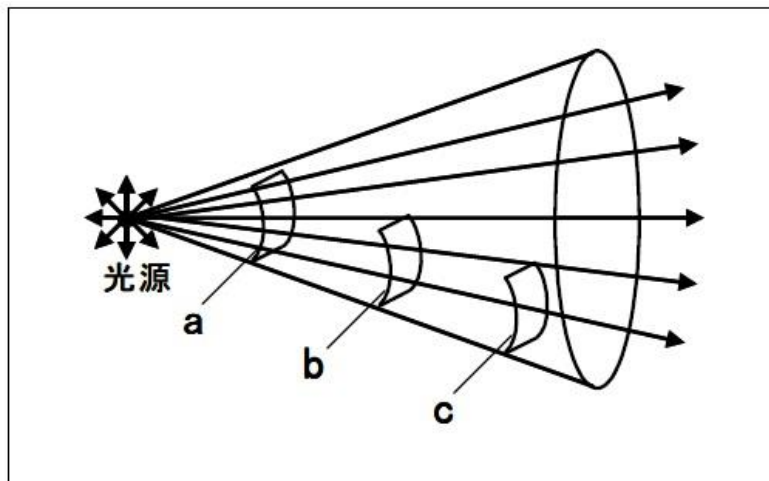


図7. 照度

図7の a、b、c が、それぞれ 1m²の面積を持っているとすると、照度は a、b、c を貫く光束(矢印)の量で表されます。光源から離れるにつれて、単位面積当たりに入射する光束の量が少なくなっていることがわかります。

9. 照度と光束の関係

四方八方に均一な光を放ち、全体の光束を足し合わせると1ルーメンになる光源の、1m離れたところでの照度はどのように表されるのでしょうか。

照度とは前述のとおり 1m²にどれだけの光束(ルーメン)が入ってきているかを示す値ですので、まず照射面積が 1m²のときの立体角を求めてみると、

$$\omega [\text{sr}] = A / r^2 = 1 / 1^2 = 1 [\text{sr}]$$

となります。

今、全体の光束が1ルーメンですので、このときの 1sr あたりの光束は、全光束を全立体角すなわち 4π [sr] で割ることによって求められます。よって、1sr あたりの光束は、 $1[\text{lm}] / 4\pi$ [sr] です。

以上より、1sr のとき、1m 離れたところでの照射面積は 1m² であり(図8)、入射する光束は $1/4\pi$ [lm] です。

lx=lm/m² ですから、

$$\text{lx} = 1/4\pi [\text{lm}] \div 1[\text{m}^2] = 1/4\pi [\text{lx}]$$

となります。

このとき、1m ではなく、2m 離れたところでの照度はどのようになるのでしょうか。距離が 2m で、照射面積が 1m² のときの立体角は、

$$\omega [\text{sr}] = A / r^2 = 1 / 2^2 = 1/4 [\text{sr}]$$

となり、このときの光束は、

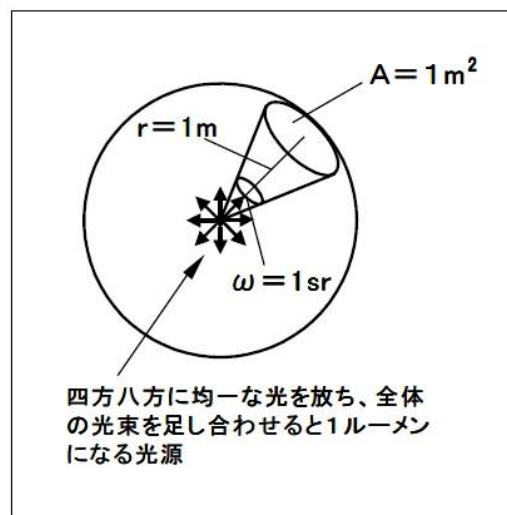


図8. 照度と光束

$$1/4\pi [\text{lm}] \times 1/4 = 1/16\pi [\text{lm}]$$

であり、よって、距離が 2m のときの照度は、

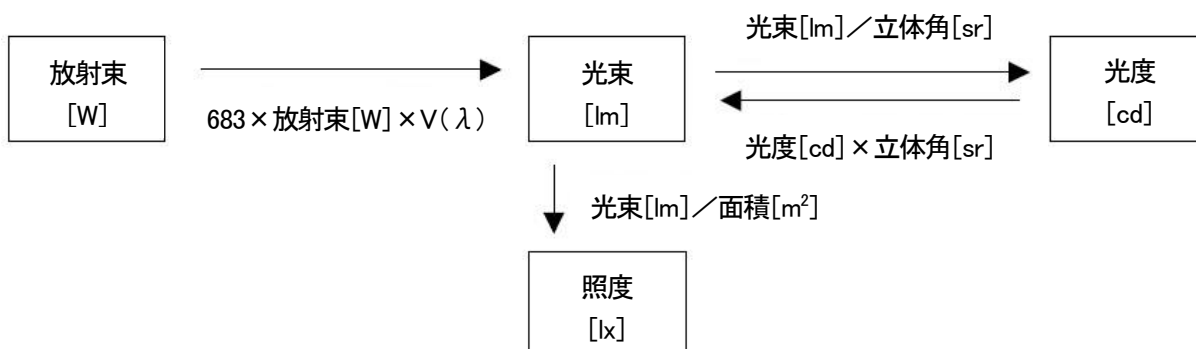
$$\begin{aligned} \text{lx} &= 1/16\pi [\text{lm}] \div 1[\text{m}^2] \\ &= 1/16\pi [\text{lx}] \end{aligned}$$

となります。

照射距離が 2 倍になると、照度が 1/4 になっていますが、これを「照度の逆二乗の法則」といいます。

10. 各単位の関係

以上の単位関係をまとめると下図のようになります。



11. まとめ

光を測定する方法、光の性質を表す方法は多数存在しますが、どのような場面で何を表したいかによって測定方法や単位を使い分けることで、有意義な情報としてその値を活用することができるようになります。また、それらの単位が他の単位とどのような関係にあるかを理解することで、より一層、情報活用の範囲が広がると思われます。