

光測定と単位について

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。

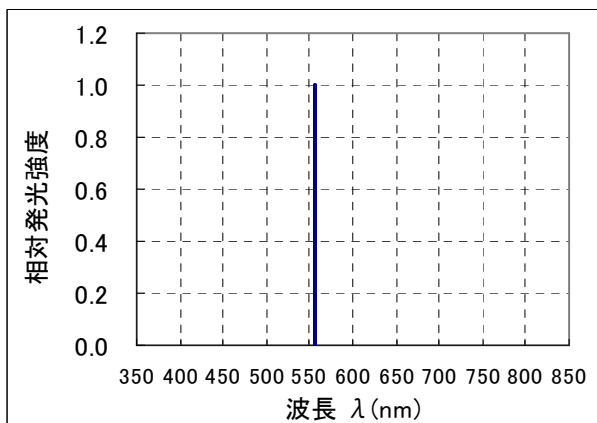


図1 555 nmの単色光のスペクトル分布

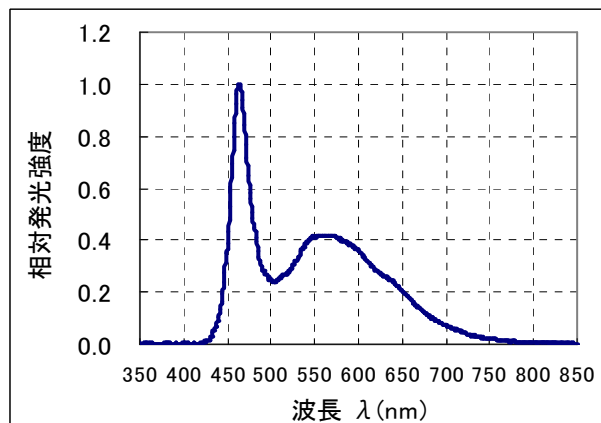


図2 白色LED光のスペクトル分布

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380～780 nm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_λを定めました。図3がその標準比視感度曲線です。

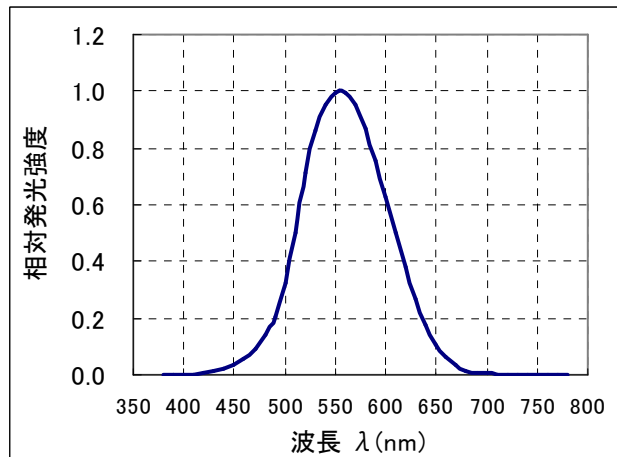


図3 標準比視感度

人間の目は明所視の場合、555 nmの光を一番明るく感じます（暗所視は507 nm）。

図3の標準比視感度曲線の縦軸は、波長555 nm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1 mWの光があったとしても、グラフに表されるように470 nm付近の青色光だと555 nm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1 m (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 [λ] 及び最大視感効果度K_m (明所視では555 nmのときに最大となり、K_m=683 [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555 nmの緑色光 (図1のとき) 1 mWの光束は、

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

となります。

555 nm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600 nmの単色光で放射束が3 mWの光源があったとすると、600 nm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。

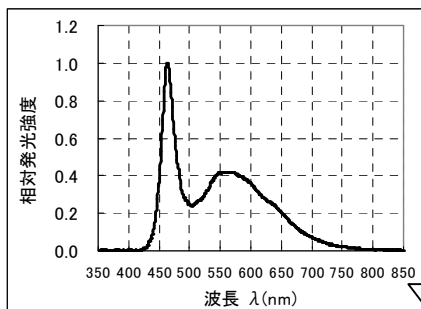


図2 白色LED光のスペクトル分布

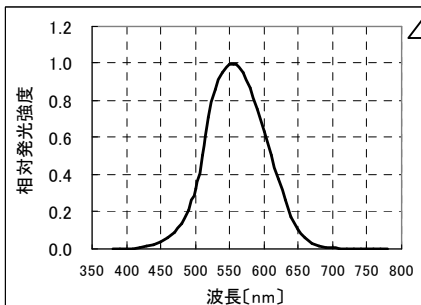


図3 標準比視感度

LEDのスペクトルに
比視感度をかける

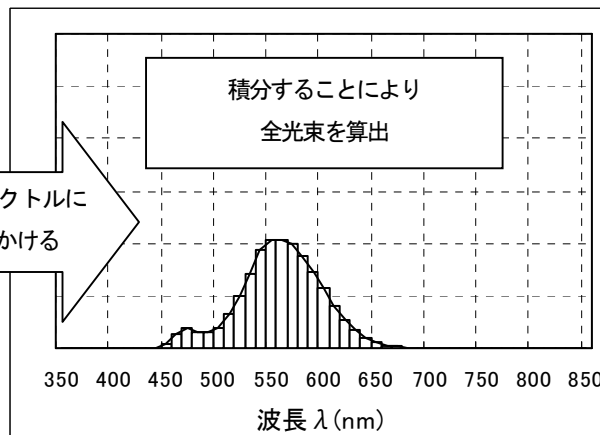


図4 全光束

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、 $1 sr$ 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、

$$\begin{aligned} \omega [sr] &= A / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 \\ &= 4\pi [sr] \end{aligned}$$

となります。

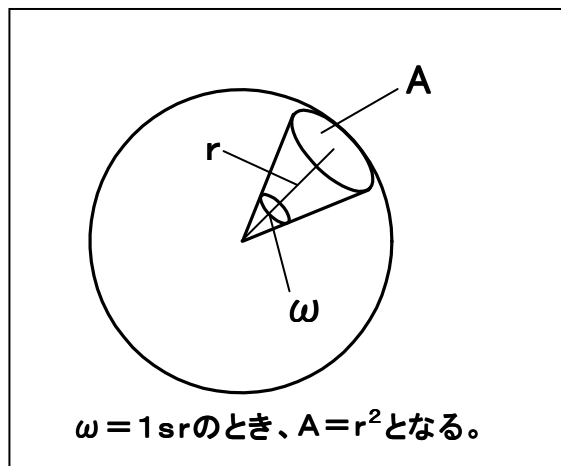


図5 立体角

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。

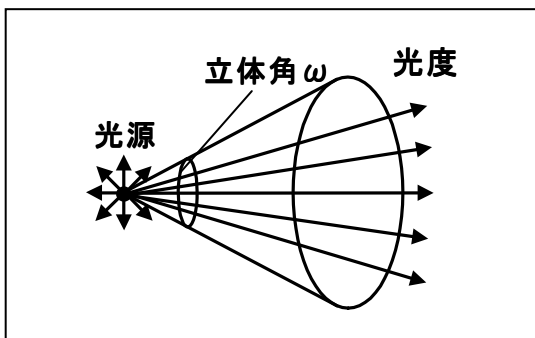


図6 光度

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、1lx = 1lm/m²です。
図7に照度のイメージ図を示します。

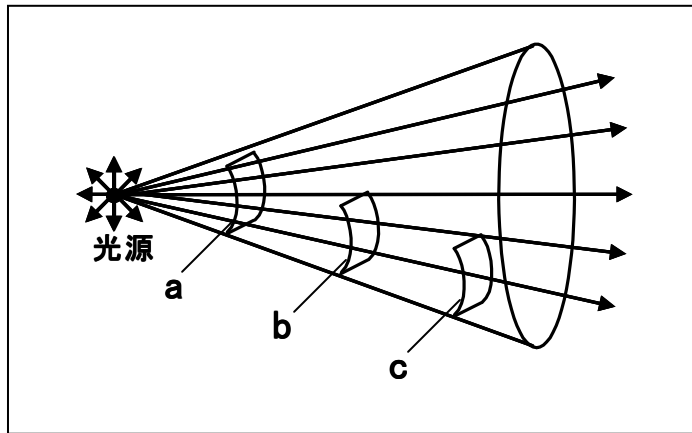


図7 照度

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、

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

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[lm] / 4π[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 / 4π[lm]です。

1lx = 1lm/m²ですから、

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

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、

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

となり、このときの光束は、

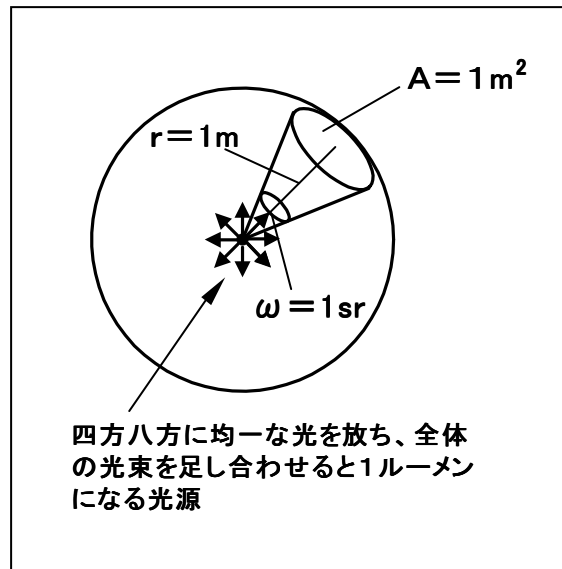


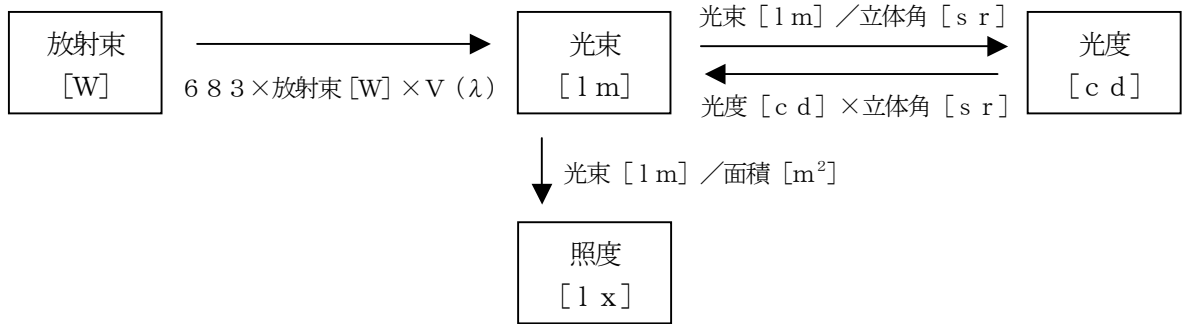
図8 照度と光束

$1/4\pi [lm] \times 1/4 = 1/16\pi [lm]$
 であり、よって、距離が2mのときの照度は、
 $lx = 1/16\pi [lm] \div 1 [m^2]$
 $= 1/16\pi [lx]$

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。