

## LED 照明 ノーツ 11

### 照明系設計・シミュレーションソフトについて 2

#### そこで用いられる明るさの単位について

株式会社タイコ  
 牛山善太

前回から、照明系設計時には重要な役割を果たす照明系設計・シミュレーションソフトについて解説させていただいている。今回はそこで、扱われる光・明るさの単位について触れさせていただく。こうしたソフトによる計算結果は全てこれらの単位を介して表現される。

#### 1. 放射量、視感度そして測光量

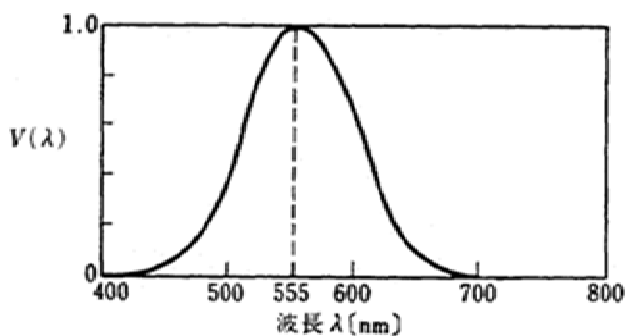


図1 標準比視感度曲線

目が明るさを感じる波長域（可視域）は通常、380 から 780 nm であるとされ、視感度を考慮した単位時間あたりに透過するエネルギー量（目が感じられるエネルギー量）、光束  $L_v$  は、変換の際の係数を  $K_M$  として、以下の如くなる。物理的な単位時間あたりのエネルギー  $L_e$  に目の感度によるウエイト  $V(\lambda)$  (図1) が乗せられ積分される形となる。

$$L_v = K_M \int_{380}^{780} L_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

また、1979年に、波長555nmにおいて、放射束1ワットに対し光束が683ルーメンと定義されたので（明るさの単位については下の項をご参照ください）、変換係数は、

$$K_M = 683 \left( \frac{\text{lumen}}{\text{watt}} \right) \quad (2)$$

となる。一般的に物理的なエネルギー量を基にした照明系の単位を放射量、視感度を考慮した光束を基にした単位を測光量と呼ぶ。一般照明の様に人間が光を感じるための器具であれば、紫外線や赤外線などの人が感知できない波長領域のエネルギーはカットして明るさを考えた方が都合の良い事になる。

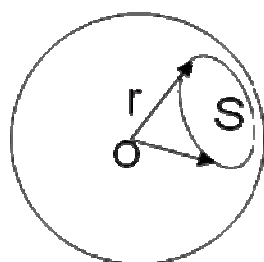
例えば480nmで放射量1ワットの発光は、図1に示された分布  $V(\lambda)$  より、555nmと480nmにおける値の比を  $V(480)$  に代入して、測光量では約95ルーメンと計算できる。この様に、光源からの光に含まれるすべての波長域について物理量を元にし(1)式による積分（コンピュータ上では波長域を細かく分けた離散的な、上述のような計算の和になるが）を行い、測光量の光束が得られることになる。

現在の照明系設計ソフトにおいては、これらの2つの単位系の相互の変換は簡単に行える。

## 2. 立体角

光の明るさを定量的に表す場合には、どうしても光の広がり角度を3次元的に表す必要が生じ、その役割を果たす立体角は以下の通り定義される。半径  $r$  の球表面  $S$  を切り取ってできる立体を考え場合に、この球中心からの広がりが立体的な角度を表す。（図2）

図2 立体角



$$\text{立体角} \Omega = S/r^2$$

$$= S/r^2 \quad (3)$$

本来、面積  $S$  は球表面上であればどのような形でも良いが、オーソドックスに球表面上の円と考えれば、球中心から（照明系設計では光源から、と考えても良い）の2次元的な広がり角度（半角）と、立体角との関係は

$$S = 2\pi r^2 \int_0^{\theta} \sin \delta d\delta$$

なので、

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \theta) \quad (4)$$

となる。

### 3. 重要な測光諸量の定義

ここで、放射量・測光量の単位について説明させて頂く。数式がある方が理解し易い方もおられると思われるので定義式を挙げておく。 $d$ はその直後に記されている量の微小な値であることを表している。例えば  $dS$  であれば微小な面積と理解して頂いて結構である。

物理的な放射量で記述すると、(測光量名称については[]内に示す。)

$$* \text{ 放射束 [光束]} \quad F = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{Watt} = \text{J/t}) \quad [\text{lumen}] \quad (5)$$

$Q$  は放射エネルギーであって、電磁波(或いは粒子)として伝播されるエネルギー、 $t$  は時間である。光源の周り総ての方向に放射されている単位時間当たりのエネルギーを全光束[lumen]と言ふ。光源カタログには多くの場合、発光総エネルギーとしてこの値が記載されている。以下の単位もこの値が元となり、何の量でこの放射束[光速]を割るかによって、定義が異なる。

$$* \text{ 放射照度 [照度]} \quad E = \frac{dF}{dS'} \quad (\text{W/m}^2) \quad [\text{lux}] \quad (6)$$

$S$  は被照明面上の面積。ある面積にどのくらいの放射束が到達しているのか? を表す単位であって、そこには光の方向性の概念は含まれていない。であるから、見る方向で明るさが大きく異なるような非照明面の評価には適さない。

$$* \text{ 放射発散度 [光束発散度]} \quad M = \frac{dF}{dS} \quad (\text{W/m}^2) \quad [\text{lumen/m}^2] \quad (7)$$

S は光源面上の面積。照度の裏返しで、単位面積あたりどのくらいの放射束が射出しているかを表す量である。

$$I = \frac{dF}{d\Omega} \quad (\text{W/sr}) \quad [\text{candela}] \quad (8)$$

\* 放射強度 [光度]

は光源から放射される光の形成する立体角（既述）である。光源のどこから光が出ているかという概念は含まれていない。ただ、角度だけに注目する単位である。実際の光源は必ず面積を持っている訳であるが、その光源を非常に遠方（光の放射角度分布のみが顕著になるくらいの）から観察した量であると考えれば理解し易い。既述の全光束は総ての方向への単位時間当たりのエネルギー量であるが、それを特定の方向で限定して考えるのが放射強度[光度]である。これまでの光源カタログには殆どの場合、指向特性として記載されている値である(図3)。

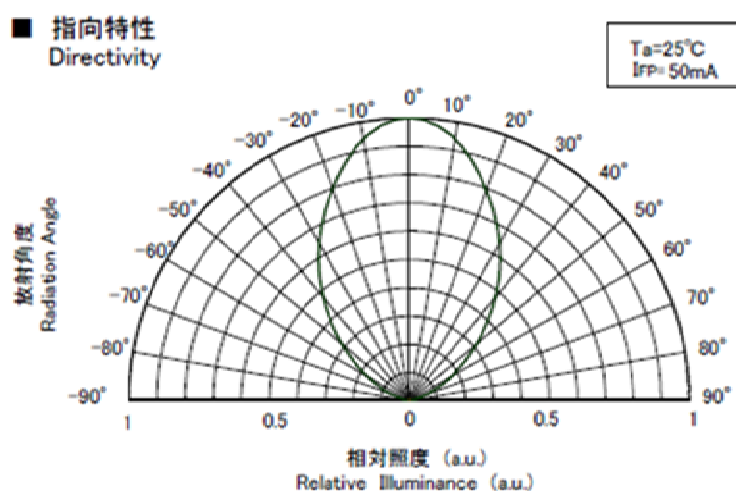


図3 光源光度分布 日亜化学工業株式会社、HPより

また、光源特性を照明系設計ソフトにマニュアル入力する場合には、この放射強度[光度]と、放射[光速]発散度の分布を求められることが多い。

$$B = \frac{dF}{d\Omega dS \cos \theta} \quad (\text{w}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2)) \quad [\text{candela}/\text{m}^2, \text{nit}] \quad (9)$$

\* 放射輝度 [輝度]

は光源面法線と輝度方向の為す角度である。光源の単位面積あたりから放射し、測定したい方向の単位立体角あたりに含まれる放射束を表す。光源の（LCD画面の様なものと考えていただいてもかまわないが）どの場所が、どの方向から見ると、どの様に明るく見

えるのか？と言う事を知るためには輝度という概念が不可欠になる。この場合、微小面積  $dS$  に  $\cos$  が掛かっていると言う事は、分母となる光源面積が、測定方向から角度  $\theta$  で光源を覗き見たときに歪んで見える光源の大きさ、であることを意味している。人間の網膜には大略この見た目の大きさに比例して光源の微小区的面積が結像する。そこでの照度が等しいと言う事は、人間にとっては同じ明るさに見えると言う事になる。照度は既述の通り像面積に反比例するので、見た目の面積がたいへん重要になる。また、人間は数ミリ程度に制限された直径の絞り、虹彩によって立体角的に制限された放射束を受け取るわけであるから（立体角をむやみに大きくとれない）、人間の網膜上の像照度を上げるためには輝度を上げる事が必要になる。

人間が見た方向においての等輝度光源とは、同じ照度の光源像が網膜に得られるもの、或いはカメラで撮影した場合には同様な均一照度分布の光源像が得られるものと考えられよう。他の単位と比べると、少し理解しづらい、この輝度については次回以降でさらに詳しく触れさせていただきたい。

#### 参考文献

- 1) 龍岡静夫:光工学の基礎(昭晃堂、東京、1990)
- 2) 辻内順平:光学概論 (朝倉書店、東京、1979)
- 3) 谷田貝豊彦:例題で学ぶ光学入門(森北出版、東京、2010)
- 4) 牛山善太、草川 徹:シミュレーション光学(東海大学出版会、東京、2003)