



明るさと色について

目次

1. 概要.....	2
2. 光の性質.....	2
3. 明るさの単位.....	2
4. 色の表現方法.....	5
5. まとめ.....	6

1. 概要

LEDは照明器具や家電製品、自動車など様々な分野の製品で使用されています。アプリケーションが異なれば使用環境や使い方も異なるため、LEDには様々な性能が求められます。弊社では、性能を最大限発揮できるようにアプリケーションごとに専用設計されたLEDを取り揃えています。

器具設計においても同様に、アプリケーションに適した設計・評価手法を取り入れる必要がありますが、そのためには光の性質や性能を示す単位の取り扱いを十分に理解し、使い分ける必要があります。

本書では、光の性質を示すうえで最も基本的な要素となる「明るさ」と「色」についてご説明します。

2. 光の性質

光の性質を示す基本的な概念として、「明るさ」と「色」があります。

「明るさ」は、光源から直接発せられる光や床・壁などで反射された光の強さを表します。全く光がない状態、すなわち暗闇では、人間は物体を視認することができず満足に活動できません。人間が生活するためには環境や状況に応じた明るさが必要になります。

「色」は、「リンゴは赤い」というような物体表面の見え方を表します。具体的には、物体表面で反射された光の波長ごとの強度差を人間は色として認識します。よって、色は照射される光の成分とともに物体表面の反射特性にも依存します。住宅やオフィスなどでは一般的に白色照明が使用されますが、この白色光とは様々な色（波長）の光を含み、人間が物体の色を違和感なく認識することができる光色のことを指します。反対に、赤や青など単色の光は演出や表示用として特定の色を際立たせるために使用されます。

第3章と第4章で、明るさと色を表す単位や表現方法についてご紹介します。

3. 明るさの単位

3.1. 光束(全光束)

3.1.1. 光束とは

光源から放射される光の量を評価したい場合に光束[lm(ルーメン)]を使用します。LEDや照明器具の明るさを示す際に最も使用される単位であり、弊社製品も光束値を使用して明るさの管理(ランク選別^{※1})を行っています。

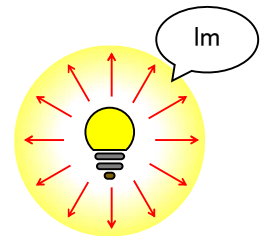


図 1. 光束イメージ図

3.1.2. 光束の定義

光束を求めるためには、まず光源から発せられ単位時間にある面を通過する放射エネルギー量を測定する必要があります。これを放射束[W]と言います。この放射束のうち可視光の波長領域である380~780nmの範囲にあるものに対して人間の目の視感度(波長における光の感じやすさ)をかけたものが光束となります。すなわち、光源から放射された光をエネルギー量として扱う場合は放射束、人間の目の感度を考慮し明るさとして扱う場合は光束という単位を使用します。光束の計算式を式1に、計算イメージを図3に示します。

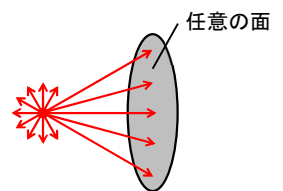


図 2. 光束の定義

$$\text{光束 } \Phi_v [\text{lm}] = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \dots (\text{式 1})$$

K_m は最大視感効果度を指し、分光視感効率の最大値1.0となる波長555nm(暗所視では507nm)において $K_m=683\text{lm/W}$ となります。 $\Phi_e(\lambda)$ はある波長における放射強度、 $V(\lambda)$ はある波長における比視感効率です。

^{※1} 設定ランクは製品により異なります。詳しくは製品仕様書を参照ください。

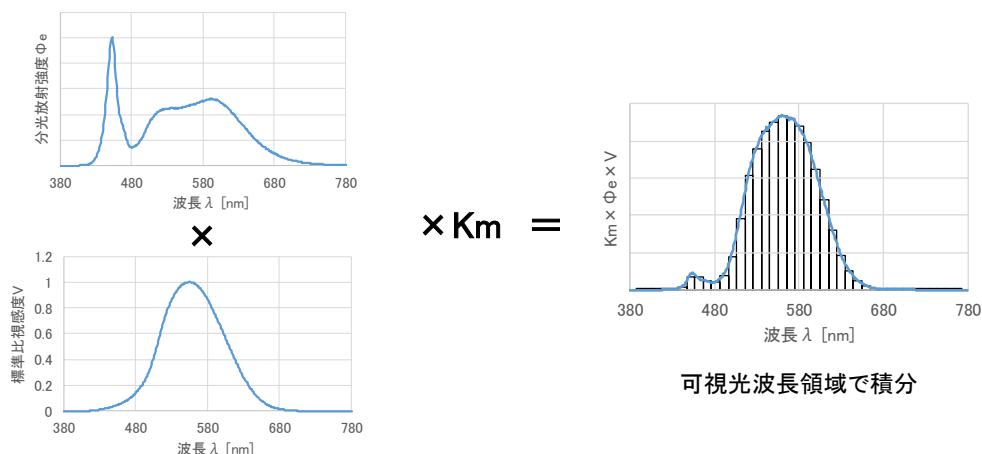


図 3. 光束計算のイメージ

なお、光源を中心とした全方向の面に対する光束を「全光束」といい、一般的に光束というと全光束のことを指します。また、発光効率 $[\text{lm}/\text{W}]$ は全光束を消費電力で割った値を指すことが多いです。(式 2 参照)

$$\text{発光効率}[\text{lm}/\text{W}] = \text{全光束}[\text{lm}] / \text{消費電力}[\text{W}] \quad \dots(\text{式 } 2)$$

3.2. 光度

3.2.1. 光度とは

ある方向に放射される光の強さを評価したい場合に光度 $[\text{cd}(\text{カンデラ})]$ を使用します。懐中電灯のように指向性(照射方向によって明るさが異なる性質)を持つ光源において、任意の照射方向に対して目的の明るさが出ているかを評価することができます。

なお、LED も指向性を持ちます。製品によって特性が異なるため各製品仕様書を参照してください。また、製品によっては製品発光面に対して垂直方向の最大光度値(代表値)を記載している場合もあります。

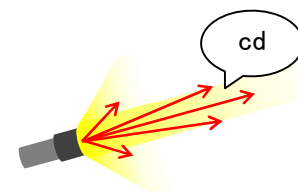


図 4. 光度イメージ図

3.2.2. 光度の定義

光度はある方向における単位立体角内を通る光束で定義されます。(図 5 参照) 立体角 $\omega[\text{sr}(\text{ステラジアン})]$ とは、半径 $r[\text{m}]$ の球面上の面積 $A[\text{m}^2]$ を r^2 で割った値と定義されており(式 3 参照)、単位立体角は $1[\text{sr}]$ のときの立体角のことを指します。

$$\text{立体角 } \omega[\text{sr}] = \text{面積 } A[\text{m}^2] / (\text{半径 } r[\text{m}])^2 \quad \dots(\text{式 } 3)$$

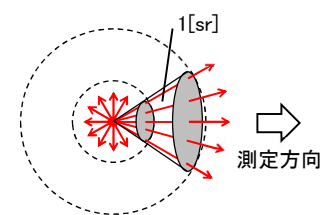


図 5. 光度の定義

なお、全球面上では球の表面積は $4\pi r^2[\text{m}^2]$ となるので立体角は $4\pi[\text{sr}]$ となります。全方向に対して明るさが均一な光源の場合、全光束を 4π で割ることで $1[\text{sr}]$ あたりの光束、すなわち光度を求めることができます。(式 4 参照)

$$\text{指向性を持たない光源の光度}[\text{cd}] = \text{全光束 } \phi_v[\text{lm}] / 4\pi[\text{sr}] \quad \dots(\text{式 } 4)$$

光度が均一ではなく指向性を持つ光源の場合は、式 4 のように全光束から光度を算出することはできませんが、逆に全方向の光度を測定し立体角で積分することで全光束を求めることが可能です。

3.3. 照度

3.3.1. 照度とは

光が照射された面の明るさを評価したい場合に照度[lx(ルクス)]を使用します。照度は光束や光度とは異なり光源の性能を示す単位ではありませんが、空間の照明設計などではよく使用される単位です。

例えば、一般的なオフィスに照明器具を設置する場合、JIS(日本工業標準化規格)において推奨されている机上照度 750[lx]を満たすように照明器具の設置数や設置間隔を決定することになります。

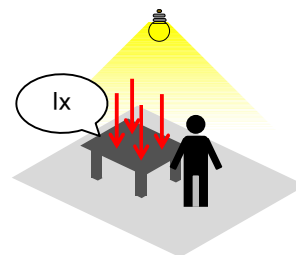


図 6. 照度イメージ図

3.3.2. 照度の定義

照度は単位面積(1[m²])当たりに入射する光束で定義されます。ただし図 7 のような点光源^{※2}で考えた場合、光源から離れるほど単位面積に入射する光の量は少なくなるため照度は下がります。

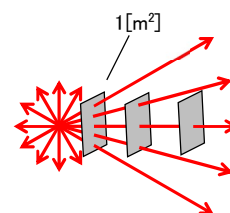


図 7. 照度の定義

距離と照度の関係として、全方向の光度が均一で全光束が 1[lm]の光源における照度を例として考えます。(図 8 参照)

まずは照射距離 1[m]の場合の照度を求めます。半径 r が 1[m]の球面上において、面積 A が 1[m²](単位面積)となる立体角 ω は以下の式 5 で求められます。

$$\omega [\text{sr}] = A/r^2 = 1/1^2 = 1 [\text{sr}] \quad \dots(\text{式 } 5)$$

この立体角 1[sr]の中を通る光束が単位面積に入射する光束、すなわち照度ということになります。全光束が 1[lm]なので、1[sr]あたりの光束は全立体角 4π [sr]で割った値の 1/4 π [lm]となります。

よって、光源から 1[m]離れたところの照度は 1/4 π [lx]となるのがわかります。

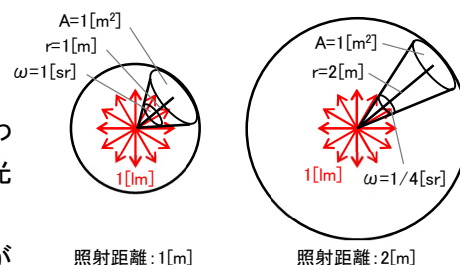


図 8. 照度の計算例

同じ手順で光源から 2m 離れた場合の照度を計算します。半径 r が 2[m]となるので単位面積 A における立体角 ω は 1/4[sr]となります。全光束 1[lm]に対して立体角 1/4[sr]を通る光束は全立体角 4π [sr]で割った値の 1/16 π [lm]となるため照度は 1/16 π [lx]となるのがわかります。

距離が 1m から 2m と 2 倍になると、照度は 1/4 π [lx]から 1/16 π [lx]と 1/4 倍になります。距離に対して照度が 2 乗の逆数倍になることから、この現象を「照度の逆二乗の法則」と言います。ただし、指向性が強い場合や測定距離が近い場合など条件によっては必ずしも当てはまらないことがあります。

3.4. 輝度

3.4.1. 輝度とは

光源の発光面を見た時のまぶしさを評価する場合に輝度[cd/m²(カンデラ毎平方メートル)]を使用します。ディスプレイなど発光面の大きさが無視できず、かつ発光面を直視するような光源の評価で使用されます。光度との大きな違いは、点光源ではなく面光源として評価するところです。

なお、ディスプレイでは[nit(ニット)]という単位を使用することがありますが、呼び方が異なるだけで全く同じ単位です。(1[nit] = 1[cd/m²])

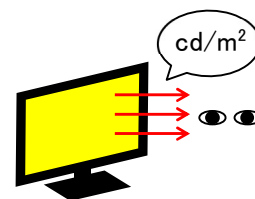


図 9. 輝度のイメージ

※2 実際の光源面は大きさ(面積)を持ちますが、測定距離が光源の大きさよりも十分大きい場合は、点光源として扱うことができます。

3.4.2. 輝度の定義

光源が点光源ではなく大きさを持つ面光源である場合、輝度は単位面積あたりの光度で定義されます。図 10 のように面光源を点光源の集まりであるとして、ある方向における光度を発光面の見かけの面積で割った値が輝度となります。

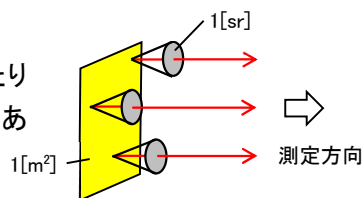


図 10. 輝度の定義

$$\text{輝度}[\text{cd}/\text{m}^2] = \text{光度}[\text{cd}] / \text{見かけの面積}[\text{m}^2] \quad \dots(\text{式 } 6)$$

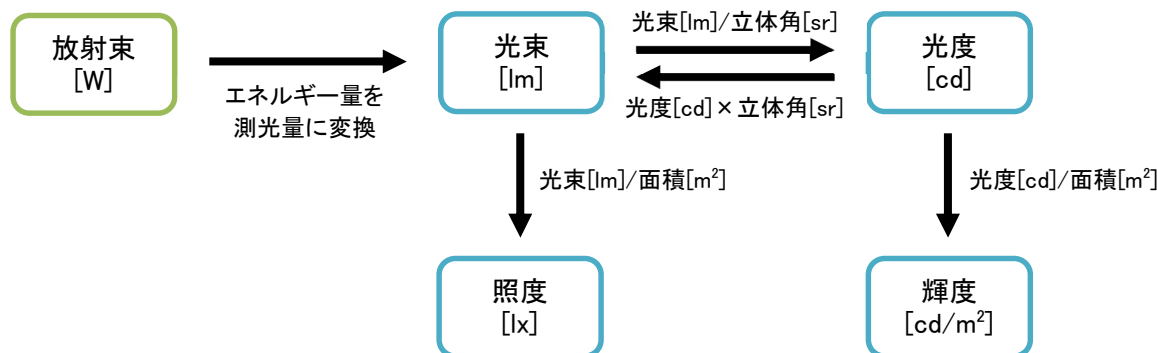
なお、見かけの面積とは測定方向から見た場合の発光面の大きさを指します。図 11 のように同じ発光面積の光源でも見る方向が異なれば見かけの面積は変化します。



図 11. 見かけの面積

3.5. 明るさの単位の関係性

各単位においては以下のような関係がなり立ちます。



※輝度のみ面光源として評価

図 12. 明るさの単位の関係性

4. 色の表現方法

4.1. XYZ 表色系(xy 色度図)

光源の色を表す際に最もよく使用されているのが XYZ 表色系の xy 色度図です。弊社製品もこの xy 色度座標で色度ランク管理を行っています。

XYZ 表色系は 1931 年に国際照明委員会 (CIE) で承認された表色方法です。元は光の三原色を使用した RGB(赤緑青)表色系として定義されたものですが、負の値をとるなどの不都合が生じたため見直されたものが XYZ 表色系です。この XYZ の三刺激値を正規化したものが xyz 色度で、このうち z を省略し xy 色度を座標図上に表したものが xy 色度図となります。

この xy 色度図は自然界に存在する全ての色を表すことができ、その色度座標は図 13 に示す釣鐘形の内側に収まります。この釣鐘形の縁に近い部分は色純度の高い単色を示し、中心に近づくほど純度の低い色、すなわち白色に近い色を示します。

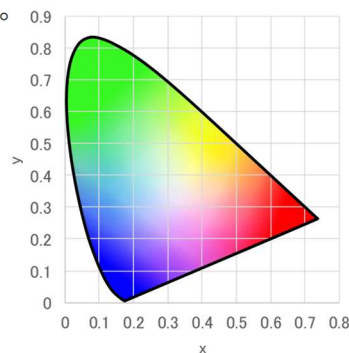


図 13. xy 色度図※3

このように座標で色を表現することができますが、2 色間の色差においては座標間距離と視覚が一致しないという現象が起こります。具体的には、緑色に近い領域の 2 色間と青色に近い領域の 2 色間では、座標間距離が同じでも肉眼では緑色に近い 2 色間の方が色の差を感じにくいということです。この色差の不均等を改善するため様々な表色方法が XYZ 表色系から派生し誕生しましたが、依然として xy 色度図が一般的に使用され続けています。

※3 参考に着色しているものであり、実際の色とは異なります。

4.2. 色温度

白色光の色味を表現する際に色温度[K(ケルビン)]という単位を使用します。色温度は黒体^{※4}を熱した際に放射される光の色に対する黒体の絶対温度として定義され、図 14 のように温度が高くなるほど赤→黄→白→青と放射する色は変化していきます。他の表色系とは異なり一つの数値で色を表すことができるため、直感的に色をイメージしやすく、簡易的に白色光を表現したい場合によく使用されます。

例えば、家庭用照明では色温度 2700~4000K の赤っぽい光色を電球色や温白色と言い、落ち着いた雰囲気やリラックスを演出します。色温度 5000K~6500K の青っぽい光色は昼白色や昼光色と言い、引き締まった色でオフィスや作業場など活動的な場面で使用されます。

理想的な放射特性を持つ黒体の放射色の色度点は、図 15 に示す黒体放射軌跡上に表されます。しかし、現実存在する様々な白色光は黒体とは異なる放射特性を持ち、多くの場合は黒体放射軌跡から離れた色度点をとることになります。定義上、色温度は黒体放射軌跡上の色のみ適用されますが、それ以外の色についても便宜的に一番近い色温度を対応させたものを相関色温度と言います。この相関色温度とともに、黒体放射軌跡からどれだけ離れているかを示す偏差(duv)を使用することで、より正確に白色を表現することができます。

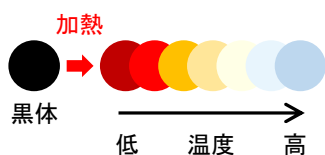


図 14. 黒体による放射色のイメージ

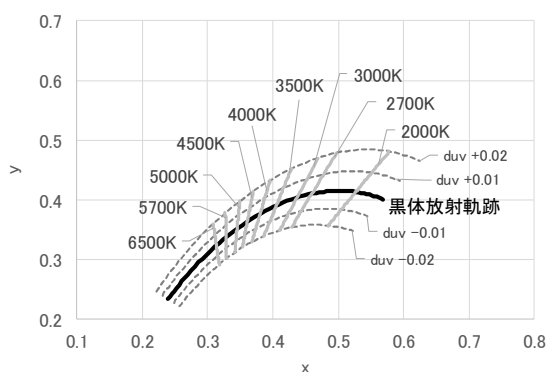


図 15. xy 色度座標と色温度

4.3. 演色性

演色性は色そのものを表す単位ではありませんが、光の照射対象の色をどれだけ忠実に再現できるかを示すことができる指標です。太陽光に近い特性を持つ基準光源で照らされた場合の色を基準とし、照明器具の色再現性を数値で示します。色再現性が高いほど数値は高くなり、最大で 100 になります。一般的な住宅用 LED 照明であれば、平均演色性 Ra は概ね 80 程度となりますが、近年では Ra が 100 に近い超高演色照明なども出てきています。

詳細はアプリケーションノート「SE-AP00053: 照明用 LED の演色性について」を参照してください。

5. まとめ

本書では明るさや色を表す様々な単位をご紹介しました。いずれも器具設計において重要な単位であり、単位の意味や違いを十分に理解しておくことで LED の性能を最大限引き出すことができます。

弊社では照明用に光束(効率)の高いものやディスプレイ用に輝度の高いものなど、各アプリケーションに適した LED を取り揃えています。LED の選定に際しては営業担当までご相談ください。

※4 あらゆる電磁波を完全に吸収できる理想的な物体として定義されています。

参考文献

- ・JIS C 8152 照明用白色発光ダイオード(LED)の測光方法
- ・JIS Z 8113 照明用語
- ・JIS Z 8781 測色
- ・JIS Z 9110 照明基準総則

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
 本書を利用される場合は、以下の注意点を御読みいただき、ご了承いただいた上でご利用ください。

- ・本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社
<http://www.nichia.co.jp>

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148