

ライトアナライザーの測定項目の説明

1. 相関色温度 (CCT)

色温度 (color temperature [CT]) は、黒体を加熱した時の色を温度で表現したもので、単位は絶対温度 K (ケルビン) です。実際の物質は黒体ではありませんので、普通は相関色温度 (correlated color temperature [CCT]) で表示します。例えば鉄は 800°C 付近で赤色ですが、1300°C 付近では白っぽくなります。このように色温度は色を大雑把に表現するのに便利な指標になります。ちなみに、弊社のプラントフレックの電球色の色温度は 3100K ± 100K で、薄桃色は 2200K ± 100K です。

2. 照度 (lux) / フートキャンドル (fc)

照度は人間の感じる光の量を表す心理物理量の一つで、国際単位系 (SI) における単位は lx または lm/m^2 が用いられています。人間の眼は 555 nm の波長の光を最も強く感じるということが知られており、CIE (国際照明委員会) では各波長の比視感度 (係数) を公表しています。ライトアナライザーでは、各波長の分光放射照度 ($\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$) に比視感度を乗じ、更に換算係数 683/1000 を乗じて 380 nm から 780 nm まで波長で数値積分して照度を算出しております (10. 放射照度を参照)。なお、米国ではメートル (m) ではなく、フィート (ft) を用いていますので、照度もフィートを用いたフートキャンドル (fc: 単位は lm/ft^2) で表示されます。1 m = 3.28084 ft で、1 m^2 = 10.76391 ft^2 です。で、1 lx は約 10.76 fc に相当します。

3. 演色性評価数 (CRI/R1~R15)

演色性とは、ランプなど発光する道具・装置が、ある物体を照らしたときに、その物体の色の見え方に及ぼす光源の性質のことです。例えば、衣服の色は蛍光灯下で見ると太陽光 (自然光) 下で見ると色合いが違って見えます。一般的に自然光を基準として、近いものほど「良い」「優れる」、かけ離れたものほど「悪い」「劣る」と判断されますが、演色性に正確性を要求されるような専門的分野においては、数値化された客観的判断基準が設定されていることが多く、演色評価数 (Color Rendering Index、略称: CRI) がこれに当たります。(出典: ウィキペディア 演色性)

値 100 は光源の品質が自然光と比べて最高であることを表し、値 0 は光源の品質が最低であることを表します。ライトアナライザーでは、15 種類の標準色に対する演色評価数 $\text{CRI}(\text{Ri})$ を求め、そのうち R1~R8 の平均値を求め $\text{CRI}(\text{Ra})$ としております。

4. スペクトル分布図

横軸に波長 (nm)、縦軸に分光放射照度 ($\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$) をプロットしたものです。

5. CIE 色度座標

色を表すために、人間の感覚的な 3 原色である RGB の色光の強さをそのまま使えば、

一つの色を表すのに 3 つの数値が必要になります。しかし、色そのものは RGB の光の混合比で決まるので、RGB 全部の光の強さの和を 1 として R と G の光の相対比を使えば、残りの B の相対比は自動的に決まり、2 つの数値で色を決めることができます。この 2 つの数値を使って座標で色を表したものが xy 色度図です。

(出典 : https://www.shokabo.co.jp/sp_opt/spectrum/color3/color-d.htm)

6. ピーク波長／主波長（ドミナント波長）

ピーク波長 (λ_p) とは、分光放射照度が最大値を示す波長であり、主波長 (λ_d) とはスペクトル下面積が最も大きなピークで放射照度が最大値を示す波長です。

7. Δx , Δy , $\Delta u'$, $\Delta v'$

ある温度で光っている（熱放射・黒体放射している）物体の色を測定して、温度と色の関係を色度図上に描くことができます。この曲線は黒体放射の色軌跡と呼びます。 Δx と Δy は CIE1931 座標（色度図）上で同じ色温度におけるプランクの黒体放射の x 値と y 値との差です。 $\Delta u'$ と $\Delta v'$ は、同じく CIE1976 座標における黒体放射との差です。

8. Duv, Purity

Duv は大雑把には黒体の色温度からのズレを表します。例えば、同じ 3000K と示されている光源であるのに、LED や蛍光灯が白色ランプと異なった光色に見えるのは Duv の値が異なるためであることが多くあります。

(出典 : https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/69/9/69_707/_pdf)

Purity は、色純度 (color purity) を表しています。通常の光源は、一定の波長の幅を持った発光スペクトルを示しますが、その幅が広ければ、さまざまな色（波長）の光が混合していることになり、色純度が低くなります。発光スペクトルの幅が狭ければ、単色光に近づき色純度が高くなります。

(出典 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20160212-2/index.html#YOUGO1>)

9. PFD, PPFD

ライトアナライザーで表示される PFD (photon flux density) は、各波長の分光光量子束密度を 380nm から 780nm まで波長で数値積分したものです。PPFD (photosynthetic photon flux density) は、植物が光合成に利用できる波長である 400nm から 700nm まで分光光量子束密度を波長で数値積分したものです。単位はいずれも $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ です。PFD 及び PPFD は分光放射照度から計算で求めます（10. 放射照度を参照）。

10. 放射照度（IRR）

放射照度 (irradiance) とは、物体に時間あたり面積あたりに放射されるエネルギーを表す物理量で単位は W/m^2 ($\text{J}/\text{s}/\text{m}^2$) です。

ライトアナライザーは、まず 1nm 間隔で 380nm～780nm の波長毎の分光放射照度 ($\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$) を実測し、下式を用いて放射照度 (IRR) を算出しています。

$$\text{IRR (W/m}^2\text{)} = \sum_{i=380}^{i=780} ([R_i + R_{i+1}]/2)/1000$$

R_i : 波長 i における分光放射照度 (単位は mW/m²/nm)

なお、PPFD、PPFD、及び Lux については分光放射照度から下式により算出します。詳細は『[ライトアナライザーの Q&A](#)』の Q1 を御参照下さい。

$$\text{PPFD} = \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} P(\lambda) d\lambda$$

$$P(\lambda) = \frac{f(\lambda)}{(h \cdot c / \lambda \cdot N_A)}$$

f(λ) : 分光放射照度 (波長の関数) [(mW/m²/nm)]

h : プランク定数(Js)

c : 光速(m/s)

λ : 波長(nm)

N_A : アボガドロ数 (無単位)

実際は P(λ)が不明ですので、下式のように台形公式を用いて数値積分しております。

$$\text{PPFD (}\mu\text{mol/m}^2\text{/s)} = \sum_{i=380}^{i=780} ([P_i + P_{i+1}]/2)$$

$$\text{PPFD (}\mu\text{mol/m}^2\text{/s)} = \sum_{i=400}^{i=700} ([P_i + P_{i+1}]/2)$$

P_i : 波長 i における分光光量子束密度 (単位は μmol/m²/s/nm)

$$\text{照度 (Lx)} = \sum_{i=380}^{i=780} [S(\lambda_i) \cdot f(\lambda_i) + S(\lambda_{i+1}) \cdot f(\lambda_{i+1})]/2 \times 683/1000$$

S(λ_i) : 波長 λ_i の時の比視感度 (無単位)

f(λ_i) : 波長 λ_i の時の分光放射照度 (mW/m²/nm)

比視感度 $S(\lambda_i)$ のデータは (<http://www.cvrl.org/cie.htm>) のページの中ほどにある Luminous efficiency functions の CIE (1924) Photopic $V(\lambda)$ にあります。

[E/W]のアイコンをクリックすれば 1 nm 単位で 360nm~830nm の比視感度のエクセルデータをダウンロードすることができます。

なお、エクセルで実際に分光放射照度から放射照度、PFD、及び照度を算出した結果をエクセルファイル『[ライトアナライザーで分光放射照度から放射照度、光量子束密度、照度を計算する方法](#)』に示しております。