

LED 照明の生体安全性について

～ブルーライト（青色光）の正しい理解のために～

平成26年10月1日 版

一般社団法人 日本照明工業会
一般社団法人 日本照明委員会
特定非営利活動法人 LED 照明推進協議会
一般社団法人 照明学会

はじめに

あかりは人類の文化的かつ健康的な生活に大きく寄与してきました。しかし、強すぎる光は、生体および人体（以下、「生体」と略す）に影響を与えることがわかっています。自然な光である太陽光ですら、過度の日焼けが火傷になったり、「皆既日食の観察には、太陽を直視せず正しい保護メガネを付けましょう」と言われたりします。また、心理的な効果として、「ポケモンショック」と言われた事件がありましたが、ある周波数域での明暗の繰り返しが、光過敏性発作を起こすことがあります。

重要な点は、生体に与える影響項目毎に、その光が強すぎるか否かを正しく知ることです。

1. 自然光、人工光を問わず、光を正しく測定し、その値に基づいて、正しい対処をすること
2. 光が生体に与える影響(症状)は、さまざまであり、それぞれの対処法が必要であること

光を正しく測定することとは、光を波長毎(色毎)に分けて数値化することです。それを示したグラフを「光スペクトル」と言います。あらゆる光源は光スペクトルで特定することができます。自然光源としては、太陽光、月光、炎、蛍の光などありますが、照明器具に使用される人工光源としては、白熱電球、蛍光灯、LEDの3つが代表的です。

この3種類の照明用光源は、それぞれ発光原理が異なりますので、その光スペクトルは異なります。

光源による光スペクトルの差を比較する場合、例えば人間の眼に入る光を測定する場合は、ディスプレイなら直視配置、天井照明ならば視線の上方に配置など、光源の位置と眼の位置をモデル化し、再現性ある数値を得ることが必要です。

次に、生体への影響を考える場合は、光の波長によって各部位（(眼、皮膚、脳(生理的))）の反応（感度）が異なりますので、光の波長毎の感度を示した「作用スペクトル」を得ることが必要です。

作用スペクトルを定めることができれば、光スペクトルと作用スペクトルを掛け合わせることで、モデル条件下の光源が生体反応をどの程度引き起こすかの「指標値」が算出できます。実際には、その状態に曝されていた「時間」を掛けたものが影響量に相当します。

この指標値と症状の度合いに応じた区分を決め、区分毎に表示や防護をすることと、区分が下がる製品設計をすることが生体の安全・安心を図る基本の考え方です。

光に対する生体安全性に関して、現在7種類の作用スペクトル（傷害）についてリスク評価の方法、区分がJIS規格により規定されています。サーカディアンリズムに関しては国際的に医学・生物学・環境工学の観点で重要な作用から順にさらに検討が続けられています。

生体への影響は、大きく以下の2つに分けられます。

① 傷害(細胞が損傷を起こし、ひどいと細胞が復元されない)：網膜傷害など

網膜剥離傷害については、既に光スペクトルの測定方法、リスクランク区分が規格化されており、リスクランクに応じた対応が規定されています。

② 障害(心理的作用を引き起こす)：サーカディアンリズム障害など

サーカディアンリズムを乱すことによる睡眠障害は、近年研究が活発になってきています。但し、心理的な影響もあり、個人差もあって、定量化は難しい状況です。

サーカディアンリズムについては、脳を覚醒・活性化させるために明け方から昼過ぎまで青色光の多い光を浴び、睡眠促進させるために夕方以降は青色光の少ない光を浴びる方が良いということが判ってきています。

まとめますと、光源の種類を問わず、極度に強い光を浴びることに対して注意が必要なことは言うまでもありませんが、生体に対する光の傷害については、光を正しく測定し、その値に基づいて正しく対処することが重要です。サーカディアンリズムからは「適度な青色光を適切な時間帯に浴びることは好ましい」ということであり、青色光がすべて悪いという訳ではありません。自然光にも青色光が含まれています。詳細は次項以下を参照下さい。

1. 光放射の効果と影響

生体に及ぼすリスクのことを表わす専門用語に「しょうがい」という用語があります。日本語では、この「しょうがい」に対する漢字用語が2つ－「傷害」と「障害」－があります。「傷害」と「障害」とは、読みが同じ「しょうがい」であり、共にリスクに関係している用語なので、区別されないで使用される場合がありますが、専門用語的には異なった概念を表しています。それらをまとめると**表 1.1** の通りとなります。

即ち、(光放射 (光) の) 生体への「しょうがい」(リスク) は、生体に損傷を及ぼす場合 (傷害) と機能に支障を来たす場合 (障害) とに区別されます。

表 1.1 生体に対する「傷害」と「障害」の定義

用語	定 義
傷害	生体の臓器や細胞の一部または全部が、生理的、生化学的、生物物理的、機械的または、機能的に損なわれること。損なわれた結果、病気を発症したり、生活機能が低下したりすること。
障害	体調や生活リズムが変調になったり、生活そのものが異常になったり、正常でない状態になったりすること。

1.1 光による傷害

「傷害」とは、生体の臓器または臓器を構成する細胞に何らかの「損傷」を生じる場合をいいます。この場合、「損傷」とは、**表 1.1** に示したように、臓器または構成する細胞が機械的、生物学的もしくは生化学的に正常な状態とは異なった状態になることをいい、その結果として、人間の正常な行動の妨げの原因になるような場合のことをいいます。

光放射 (光) はエネルギーが伝達または移動する際の様態のことをいいます。(光放射 (光) はエネルギーです。) 光放射が生体に照射され、吸収されると、その吸収された部位にエネルギーが供給されることになります。エネルギーは何らかの作用力を持っていますので、照射された部位において、光放射のエネルギーにより、何らかの作用効果がもたらされることになります。この作用効果には生体に正の効果 (メリット) をもたらすものもありますが、負の効果 (リスク) を及ぼす場合もあります。この負の作用効果が「しょうがい」的作用です。(前項で述べたように「傷害」的作用と「障害」的作用とに区分されます。)

光放射による生体への「傷害」的作用の中で、主として青色光が関連している傷害が、“青色光による網膜への傷害” (以下、“青色光網膜傷害”) です。以下に、この“青色光網膜傷害”について述べます。

● 青色光と網膜への傷害の発生機構

青色光網膜傷害とは、青色光により光化学的に引き起こされる網膜の損傷のことをいいます。網膜の損傷を引き起こす光化学的作用の機構は以下のように説明されています。網膜に入射した光エネルギーは電気エネルギー（電気信号）に変換され、脳で視覚信号として知覚されます。このエネルギー変換過程を経ると、エネルギー変換に関わった網膜の細胞が次第に疲労し、その機能が低下してきます。

この細胞を疲労させる度合いは、光のエネルギー積算量（エネルギー強度と時間の積）に比例します。光のエネルギー強度は波長の短い光の方が大きいですが、人間の目の場合、紫外線（ほぼ 400 nm 以下）は目の水晶体で吸収されて、網膜には到達しません。したがって、網膜に到達する光の中で最も波長の短い青色光（波長がほぼ 400 nm～500 nm の光）が網膜損傷を引き起こしやすいことになります。そのため、“青色光網膜傷害”と言われます。

通常の状態では、細胞が疲労しても、新陳代謝の過程を通じて細胞が修復されて疲労が回復し、その機能は維持されます。しかしながら、光の入射が長時間継続したり、光の強度が大き過ぎると細胞の疲労が十分回復せず、その機能が回復する前に悪化する過程をたどり、視力低下やひどい場合には失明のリスクを生じることがあります。

● 青色光網膜傷害の作用スペクトル

光による網膜への「傷害」についてリスクアセスメントを正確に行うためには、作用スペクトル（作用の波長特性）が必要です。“青色光網膜傷害”については、リスクアセスメントを行うための国際規格（IEC 規格）¹⁾ 及び JIS 規格²⁾が制定公布されています（図 1.1）。

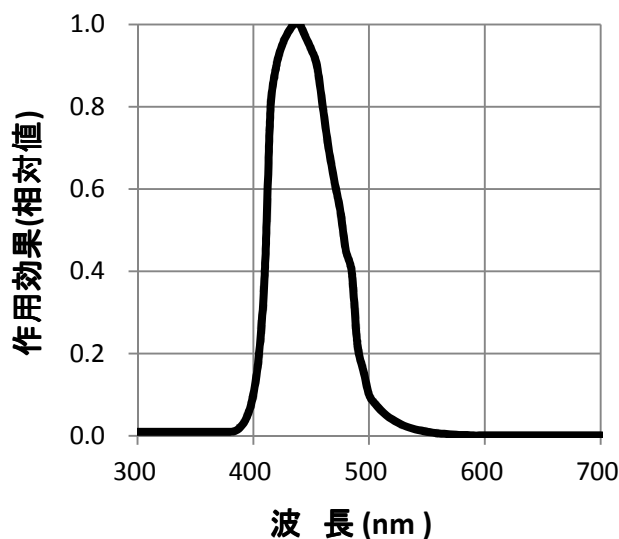


図 1.1 青色光網膜傷害の作用スペクトル

（注）IEC 62471/CIE S009 に数値で規定されて作用スペクトルをグラフ化したもの。

1.2 光による障害

● サークアディアンリズムへの影響

近年、目から入る光が、人のサーカディアンリズム（概日リズム）を調整する役割を果たしており、健康と密接な関係があることが分かってきました。これにも作用スペクトルがあり、光の色や次世代の省エネ照明である LED との関係性が注目されています。

● サークアディアンリズムと光

サーカディアンリズムとは、ラテン語で「およそ」という意味の“サーカ”と「1日」という意味の“ディアン”から成り、文字通り、約 24 時間周期の生体リズムのことです。脳の視交叉上核がその生物時計機構の中核として機能し、夜間の睡眠による休息と日中の活発な活動というメリハリのある生命活動の根幹を形成する役割を果たしています。このサーカディアンリズムは、外界の光の変化で日々調整されていることから、健全なサーカディアンリズム、すなわち夜間の快眠と日中の十分な覚醒のために光環境を考えることは重要です。

● サークアディアンリズムの作用スペクトル

夜間、メラトニンというホルモンが脳から分泌されます。このメラトニンは朝から日中にかけてはほとんど分泌されず、深夜に集中的に分泌され、サーカディアンリズムや睡眠と深い関係があると考えられています。ところが、このメラトニン分泌時に目から一定の光が入ると、分泌が抑制されることが分かっています。このことから、夜遅い時間帯（例えば、習慣的起床時刻から 14 時間後以降）に強い光を受けることは、サーカディアンリズムや睡眠に影響を及ぼす可能性があり、近年、その光の波長（すなわち光の色）によって、その抑制度合に差が生じることが分かってきました。

具体的には、青色光でその抑制が生じやすくなります（図 1.2）。

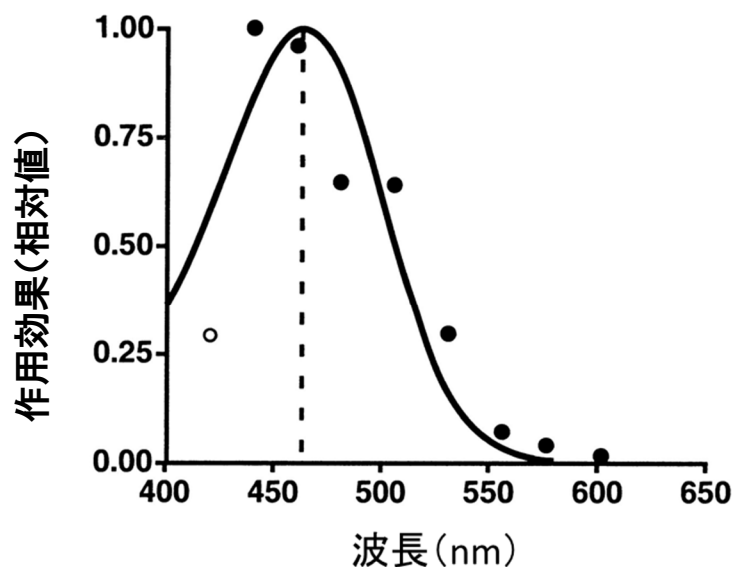
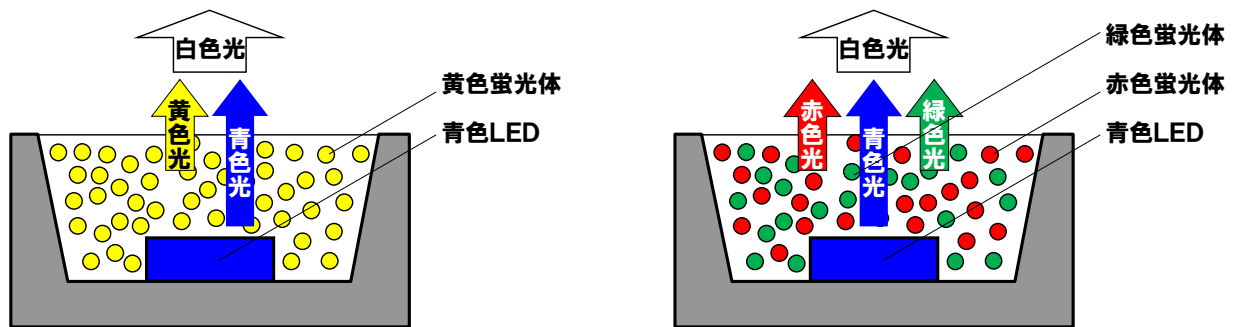


図 1.2 メラトニン分泌抑制の作用スペクトル³⁾

2. LED 照明と「しょうがい」

● LED 照明とは

照明に用いられる白色 LED には大きく分けて 2 種類あります。一つは、赤色、緑色、青色の LED を同時に点灯し、3 色の光を混色することによって白色の光を取り出すもので、もう一つは、紫色や青色の LED と黄色、赤色、緑色の蛍光体の光を混色することによって白色の光を取り出すものです。現在、一般的には青色の LED と黄色の蛍光体あるいは赤色と緑色の蛍光体を組み合わせたものが多く用いられています。(図 2.1)。



青色LEDと黄色蛍光体を組み合わせた白色LED

青色LEDと赤色・緑色蛍光体を組み合わせた白色LED

図 2.1 白色 LED の発光原理

● 傷害レベルの計算結果

家庭、事務所、工場、店舗などの一般的な空間において、LED のほかに白熱電球や蛍光ランプ、HID（高輝度放電）ランプなど、いろいろな種類の光源が用いられています。これらの光源はそれぞれ異なった光のスペクトルを有しており、光の色も様々です。また、発光面積と発光部の輝度も種々異なっていますので、目への影響も光源によって異なります。

ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性については、IEC 62471/CIE S009 及び JIS C 7550 : 2011 「ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性」で計算方法と評価方法が定められており、青色光網膜傷害についてもこの中で定められています。

各種光源の青色光による網膜傷害のリスクの度合いを表す実効放射輝度の一例を図 2.2 に示します。この図は、発光面積と発光部の輝度を同じ条件にして比較した結果で、自然光（6500 K の昼光）の実効放射輝度を 1 とした場合の相対的なリスクの度合いを示しています。

白熱電球、電球色の 3 波長形蛍光ランプと電球色の LED ランプ（青色 LED + 黄色蛍光体）はほぼ同等のリスクの度合いであり、自然光（6500 K の昼光）と昼光色の 3 波長形蛍光ランプ、昼光色の LED（青色 LED + 黄色蛍光体）もほぼ同等のリスクの度合いであることがわかります。

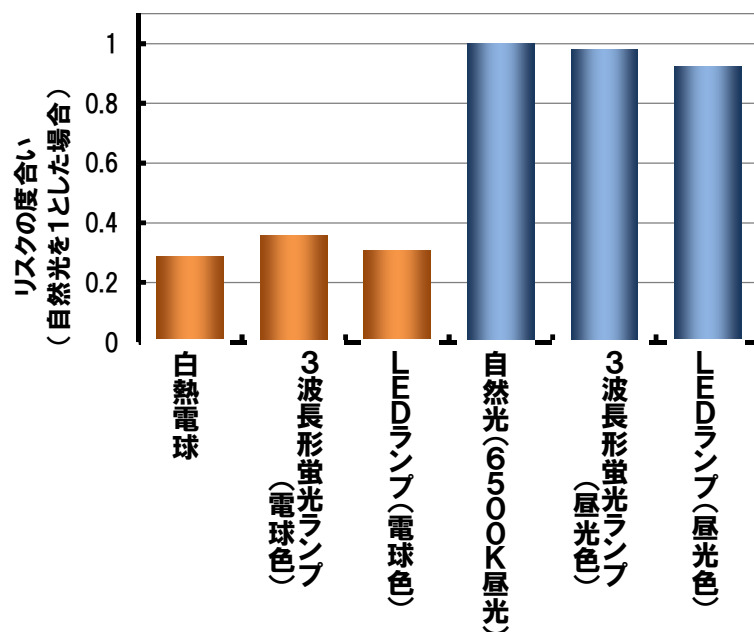


図 2.2 各種光源の青色光網膜傷害のリスク比較（一例）

（注）市販製品の分光分布を JIS Z 8724 にて測定し、平均的な製品のリスクの度合いを JIS C 7550 に基づいて計算したもの。

● 障害レベルの計算結果

近年、メラトニン分泌抑制の作用スペクトルが提案されており、それを用いることで各種光源の作用の強さを予測することができます。照明学会の「光のサーカディアンリズムへの影響を考慮した夜間屋内照明指針に関する研究調査委員会」では、白熱電球、蛍光灯ランプ、電球形 LED ランプの作用の強さについて、ドイツ規格協会規格の作用量予測モデル（DIN 5031-100）⁴⁾を用いて検証を行いました。その結果、以下のことが確認されました。

- ◇ 光源の相関色温度が高くなるにつれて、メラトニン分泌抑制作用は強くなる。
- ◇ 上記傾向は光源の種類にほとんど依存せず、LED 照明の作用が従来照明と比べて特異的に高いというわけではない（図 2.3）。

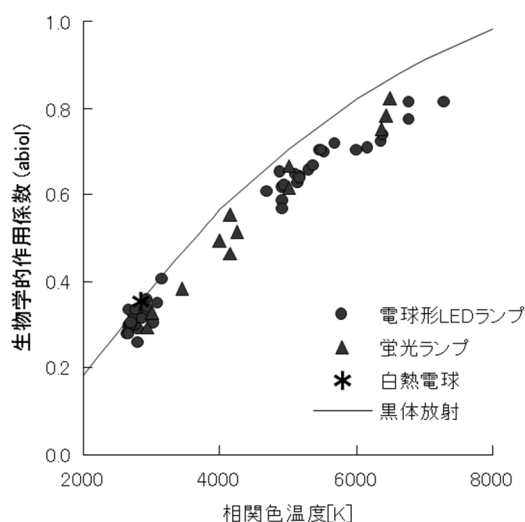


図 2.3 各種光源とメラトニン分泌抑制効果の比較（一例）⁵⁾

3. 照明器具およびランプ使用等の配慮

● 夜間のメラトニン分泌抑制への対処

最近の研究結果⁶⁾では、比較的暗い生活照明の照度（50 lx～100 lx 程度）においても、メラトニン分泌が抑制されたり、そのタイミングが遅れたりといった影響が生じることも報告されています。その対処法は、以下の内容が考えられます。

☆ 習慣的起床時刻から 14 時間後以降は照明設定に配慮する⁷⁾

メラトニン分泌開始の目安は、普段の起床時刻が朝 7 時であれば、21 時以降の照明設定が重要となります。

☆ 必要以上に明るくしない

一般的な屋内照明の範囲では、明るければ明るいほどメラトニン分泌が抑制される可能性は高くなります。不必要に明るくすることは避けましょう。

☆ 相関色温度の低い照明を使用する

電球色など、低色温度の照明には青色光が相対的に少ないため、メラトニン分泌抑制のリスクを低減できます。

☆ スタンド照明（局部照明）を活用する

就寝前の読書時など、視覚情報を適切に得るために十分な明るさを確保することも快適な生活には欠かせません。そのような場合にはスタンド照明などの局部照明を活用しましょう（図 3.1）。

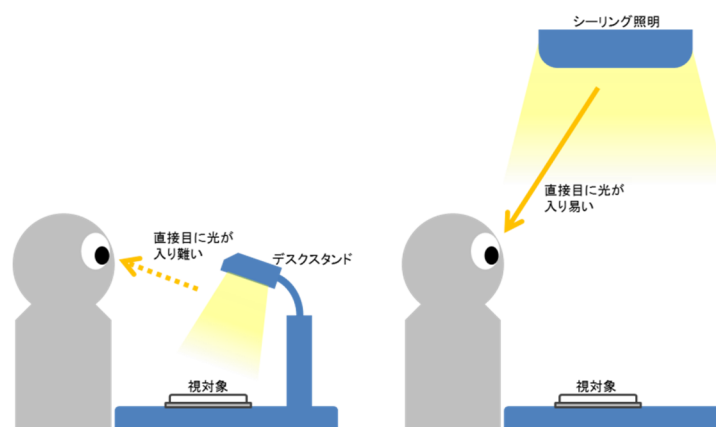


図 3.1 スタンド照明の活用

私たち人の脳は、1 日を通しての光の変化、とくに青色光の変化を検出して昼夜を識別し、サーカディアンリズムを制御しています。つまり、夜間に青色光を減らすことと併せて、日中は青色光を目から取り込むことも健全なサーカディアンリズム維持のためには重要です。日中は、青色光を相対的に多く含む昼白色・昼光色などの高色温度照明を用いて明るく照明し、夜間は低色温度照明で必要以上に明るくしない、というメリハリのあるダイナミックな照明の使い方が理想です。

従来の照明では、調光は可能なものの、色温度まで変化させることは簡単ではありませんでした。しかし、一つ一つの光源が小さい LED 照明では、色温度まで併せて制御する機能が普及しつつあります。この点においても、LED 照明は健全なサーカディアンリズム維持に適した照明であるとも言うことができます。

● その他

子供は大人よりも青色光に対して多少敏感であるとの報告があります⁸⁾。しかし、LED 照明の「傷害」、「障害」への影響が従来のランプと変わらないことは、大人と同様です。

4. 海外の動向

海外（欧州、アメリカ、中国など）でも白色 LED における青色光網膜傷害についての関心は高く、様々な団体から見解が発表されています。いずれの見解においても、“一般的な環境・使用方法であれば、白色 LED が従来光源に比べて、青色光による傷害の影響が特別高いということはない” との内容が記されています。詳しくは下記各文書を参考にしてください。

- ◇ European Lamp Companies Federation(ELC), “Questions & Answers document” (2010)
URL:http://www.elcfed.org/documents/QA_LEDs_blue_light_in_relation_to_other_light_sources_v101109.pdf
※日本語訳 ANSES 「LED 照明システムの生理的影響」のレポートに関する欧州ランプ工業会 Q&A(PDF)
(一般社団法人 日本照明工業会) http://jlma.or.jp/led/pdf/LED_ELC_QandA.pdf
- ◇ Global Lighting Association(GLA), “Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources”, A White Paper of the Global Lighting Association (2012)
- ◇ U.S. Department of Energy(DOE), “Building Technologies Office SOLID-STATE LIGHTING TECHNOLOGY FACT SHEET” (2013)
- ◇ International SSL Alliance(ISA), China Solid State Light Alliance(CSA) and China Illuminating Engineering Society(CIES), “White Paper on LED general Lighting and Blue light” (2013)

参考文献

- 1) IEC 62471 /CIE S009: Photobiological safety of lamps and lamp systems (2006)
- 2) JIS C 7550 : ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性 (2011)
- 3) G C Brainard et al. : Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor, J. Neurosci, 21, pp.6405-6412 (2001) より一部改編
- 4) DIN V 5031-100 : Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelözeichen und Wirkungsspektren (2009)
- 5) 予測作用量は DIN 5031-100 に基づき、以下の光スペクトル（分光分布）データより算出
 - ・電球形 LED ランプ：国内市販品 46 品番の実測
 - ・蛍光ランプ：JIS Z 8719-1996 における F1～12
 - ・白熱電球：JIS Z 8720 における標準の光 A
- 6) J M Zeitzer, D J Dijk, R Kronauer, E Brown and C Czeisler : Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light:melatonin phase resetting and suppression, J Physiol., 526, pp.695-702 (2000).
- 7) H J Burgess, N Savic, T Sletten, G Roach, S S Gilbert and D Dawson : The relationship between the dim light melatonin onset and sleep on a regular schedule in young healthy adults, Behav Sleep Med., 1(2), pp.102-114 (2003)
- 8) Global Lighting Association(GLA), “Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources”, A White Paper of the Global Lighting Association (2012)

その他関連情報

・ 関連情報サイト

LED 照明に関する正しい情報 Q&A 照明学会 (URL: <http://www.ieij.or.jp/what/LED.html>)

LED 照明の導入で、安全・安心、健康生活の実現を

東海大学 竹下 秀

我が国では、LED 照明が急速に普及し、家電量販店などでは蛍光灯や蛍光灯を使った照明器具よりも電球形 LED ランプや LED 照明器具を多く見かけるようになりました。また、街中でも LED を使った照明を見かける機会が増えたのではないのでしょうか？このように LED 照明は一般家庭などの主力照明として我が国ではその地位を確立しつつあります。これは、LED 照明が従来の照明よりも省エネルギーであるという理解が広く一般に浸透したためと考えられます。しかし、LED 照明の長所は単に省エネルギーであることだけではありません。従来の照明と比較すると数多くの長所があります。LED 照明の長所を生かした照明を導入することで、私たちの生活空間の安全を確保し、私たちが安心して暮らせるだけでなく、私たちにとって健康的な生活を実現できます。

LED 照明の最大の長所は光の色を変えられることです（調色と呼びます）。リビングの天井中央にシーリングライトが取り付けられているご家庭が多いと思います。LED を使った高機能型シーリングライトの場合、シーリングライト付属のリモコンで簡単に調色できます。さらに、明るさを変えることができます（調光と呼びます）。これは、生活の場面に応じた生活空間の雰囲気や、照明によって私たち自身の手で簡単に変えられることを意味しています。従来の照明で生活空間の雰囲気を変える場合には、照明器具本体や照明器具に組み込まれている光源を取り換えなければならず大変な作業が必要です。それでは、私たちにとって健康的な生活を実現するためには、基本的にどの様に光の色と明るさを変えればよいのでしょうか？

私たちは体の中に時計を持っており、準 24 時間周期の生活リズムを生まれながらに持っています。しかし、この生活リズムは準 24 時間とある通り、地球の 24 時間周期ではなく、24 時間よりも若干長いことが知られています。これを地球の 24 時間周期のリズムに合わせる働きをしているのが、朝の太陽光に含まれる青色の光です。この太陽光の働きは LED 照明で簡単に実現できます。私たちがすっきりした目覚めを得るためには、朝目覚める少し前から青色成分の多い光を徐々に明るくすればよいのです。具体的には、昼光色・昼白色と呼ばれる光を徐々に明るくなるようにすればよいでしょう。さらに、青色成分の多い照明は作業効率を高めることが知られています。朝から夕方までの労働時間帯は青色の成分の多い照明にするとより一層仕事ははかどるでしょう。一方、夕方から消灯・就寝までの時間帯は一日の仕事から解放され、睡眠に至るまでの安息時間です。この時間帯は青色の成分を少ない光を使用し、少し暗くすると効果的です。例えば電球色と呼ばれる光を選択し、こころもち暗めに点灯すればよいでしょう。LED 照明は、このような調色・調光を簡単に実現可能なのです。この推奨する光の色や明るさの変化は、地上に到達する太陽光の一日の色や明るさの変化とよく似ています。すなわち、LED 照明を使って調色・調光することは、一日の太陽光の変化を人工的に実現することであり、地下街などの太陽光の届かない空間で仕事をしている人にとって大切な照明なのです。

LED 照明のこの他の長所として、ランプ外郭にガラスを使用していないので割れないという特長を持っています^{1*}。小さなお子さんが長い棒でチャンバラごっこなどをして、天井に取り付けられている

^{1*} ランプ外郭にガラスを使っている製品も散見します。ご使用の際に製品ラベルをご確認ください。

蛍光灯を割って怪我をしたという話を聞いたことがあります。**LED 照明**は、このような事故を防ぐことができます。

以上の様に、**LED 照明**は、単に省エネルギーではありません。調色・調光ができるので、私たちの体のリズムを整えて健康的で、かつ効率的な生活が実現できるのです。さらに、蛍光灯のように割れることがないので、特に小さなお子さんをもつご家庭や学校にとって優しい照明なのです。**LED 照明**を導入して生活空間の安全を実現し、さらに、安心して健康的な生活を手にしてほしいと思います。

照明設計参考事例（学校教室）

文部科学省の「学校環境衛生の基準」では、教室及び黒板の照度は 500 lx 以上であることが望ましいとされています（表 1）。生徒が黒板を見た時に光源がまぶしくないように、また、最近では電子黒板やホワイトボードの使用が増えていますので、それらに照明器具が映り込まないよう適切に輝度を抑えた照明器具を使用することが大切です（図 1）。日本照明工業会では、JIL 5004-2012 公共施設用照明器具の改正追補を 2014 年 3 月に発行し、教室向けの LED 照明器具を標準化しています¹⁾²⁾（図 2）。

表 1 学校環境衛生基準（抜粋）

第1 教室等の環境に係る学校環境衛生基準

(10) 照度

(ア) 教室及びそれに準ずる場所の照度の下限値は、300 lx（ルクス）とする。

また、教室及び黒板の照度は、500 lx 以上であることが望ましい。

(11) まぶしさ

(ウ) 見え方を妨害するような電灯や明るい窓等が、テレビ及びコンピュータ等の画面に映じていないこと。

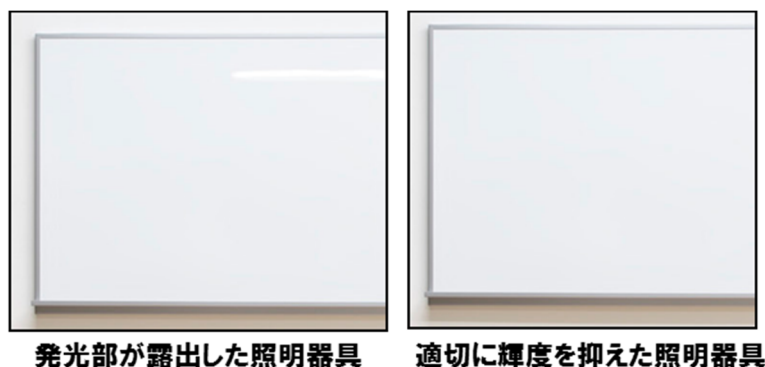


図 1 ホワイトボードへの映り込みの比較

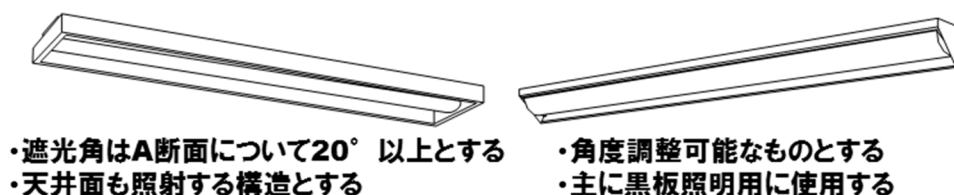
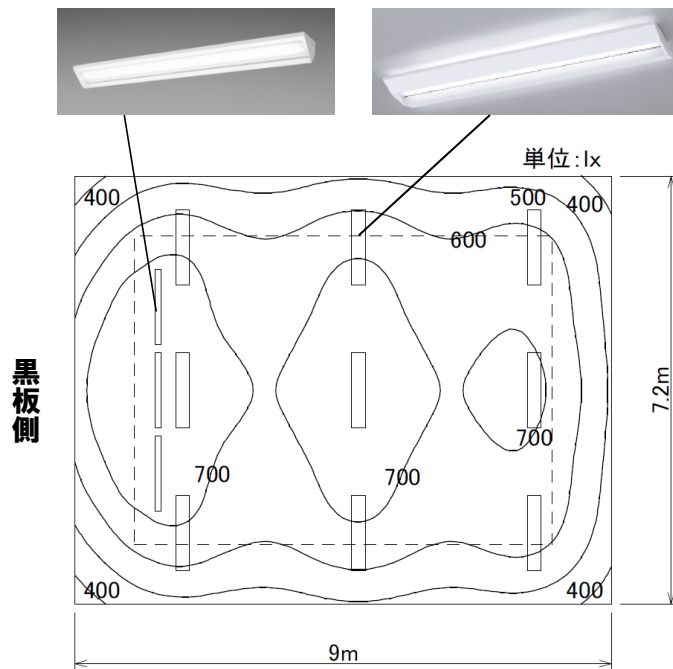


図 2 教室向けの公共施設用 LED 照明器具

上記の器具を使用した教室の照明設計例を図 3 に、経済比較例を図 4 に示します。LED 照明器具は、初期費用は高いものの、従来の蛍光灯器具に比べて約 40 % 省エネであり、約 5 年で償却が可能です。

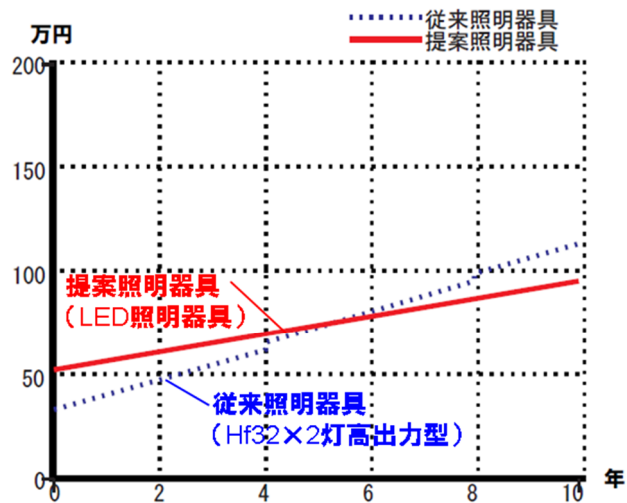


<計算条件>

- ・平均照度: 700 lx
- ・部屋の大きさ: 間口 9 m、奥行 7.2 m、天井高さ 3 m
- ・天井に設置の照明器具の光束: 6180 lm
- ・反射率: 天井 70 %、壁 50 %、床 30 %
- ・保守率: 0.77

(注)照明器具の配置は黑板に平行に配置する

図 3 照明配置 (一例)



<計算条件>

- ・年間点灯時間: 3000 h ・新電力料金目安単価: 27円/kWh(税込)
- 従来器具(Hf32×2灯高出力型)と比較して、
- ・約40 %省エネ
- ・約5年で償却可能

図 4 経済比較 (一例)

参考文献

- ¶ 1 JIL 5004-2012 公共施設照明器具 2013 年版 2012.12.15 発行
- ¶ 2 JIL 5004-2012 公共施設照明器具 2013 年版 改正追補 (LED 照明器具追加) 2014.03.20 発行