

タスクライト用LED照明モジュールの開発

Development of an LED Lighting Module for an Eye-Friendly Task Light

清水佳恵*
Yoshie SHIMIZU

北川幸代*
Sachiyo KITAGAWA

吉井洋美*
Hiromi YOSHII

谷尻靖*
Yasushi TANIJIRI

岸本卓也*
Takuya KISHIMOTO

村井俊之*
Toshiyuki MURAI

松井直樹*
Naoki MATSUI

要旨

近年、地球温暖化防止と電力不足への懸念に起因する節電意識の高まりから、電気製品には優れた省エネ性能が求められている。照明器具においては、光源として省エネかつ長寿命であるLight Emitting Diode(以下LED)が多く用いられるようになってきた。

タスクライト用照明モジュールとしては、LEDと導光板を組み合わせ、LED特有のグレアを低減させた目に優しい面状光源モジュールが提案されている。

我々は、導光板の形状や表面粗さ等により、光の拡散特性を最適にコントロールすることで、配向特性を持ち、直下より手前側に最大輝度を有する高効率な面発光照明モジュールの開発に成功した。併せて本モジュールは、LEDの光をより効率的に外部に取り出せるように設計されている。また、明るさが必要な作業領域のみに集中して光を照射することにより、大幅な省エネを実現した。開発した面発光モジュールを搭載したタスクライトは机の奥に置いて手元まで明るく照明できるため、ヘッド部が邪魔になることがなく、作業領域を広く確保できる。また、手元を照らす場合でもヘッド部を上へ傾ける必要がないので、発光面からの光が直接目に入ることがなく、眩しさを感じにくい。

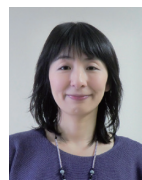
執筆者



清水佳恵



北川幸代



吉井洋美



谷尻靖



岸本卓也



村井俊之



松井直樹

Abstract

In recent years, concerns over global warming and limited energy sources have resulted in a need for consumer electronics with superlative energy efficiency. Because light emitting diodes (LEDs) save energy and have a long lifetime, they have become widely used in lighting apparatuses as a light source. A common light illumination module for LED task lights has been a surface-emitting lighting module that combines LEDs with a light guide plate. This module is an eye-friendly light source with none of the characteristic glare of an LED.

We developed a highly efficient surface-emitting lighting module task light in the form of a desk lamp which orients maximum illuminance to the front, i.e. toward the seated viewer, rather than directly down. The module accomplishes this by optimizing the shape and surface roughness of the task light's light guide plate, resulting in optimally controlled light diffusion. Further, the module is designed to emit LED light efficiently. In addition, we have achieved significant energy savings by illuminating only the necessary work area.

Because the task light, incorporating our surface-emitting lighting module, brightly illuminates the work area of a seated viewer at a computer keyboard even when the task light is positioned in back of the computer monitor, the head of the task light does not obstruct the viewer's view, and a wide, unobstructed work space opens up. At the same time, the viewer suffers no glare because there is no need to tilt the head of the task light upward, so that light from the light-emitting surface does not shine directly into the eyes of the viewer.

* コニカミノルタテクノロジーセンター(株)
システム事業開発部 LL事業推進室

1 はじめに

タスクライトは、机の上に配置し手元の照度を補う役割を担っている。作業領域全体を均一に明るく照らすだけでなく、使用者が快適に作業できるように、グレア（眩しさ）を感じない、不要な影ができない、ちらつきを感じないといった性能も必要である。

Fig. 1 に一般的なタスクライトの照明の様子を示す。照明モジュールから照射される光は、発光面の鉛直方向（直下）で最も輝度が高く、周辺に行くに従って輝度は下がる。従って、照明モジュールを下向きに使用したとき、直下が最も明るく、そこから離れるに従って照度も下がる。このとき作業領域の中心直上に照明モジュールを配置しなければ、作業領域全体を広く照明することができず、作業領域の手元が暗くなってしまう。照明モジュールが作業の邪魔になるときは、照明モジュールを作業領域の奥に配置し、作業領域全体を広く照明するために、照明モジュールを上向きに傾けて使用していた。しかしこの場合、発光面からの光が直接、作業者の視界に入ることになり、眩しさを感じ、目が疲れるなどの問題が発生していた。

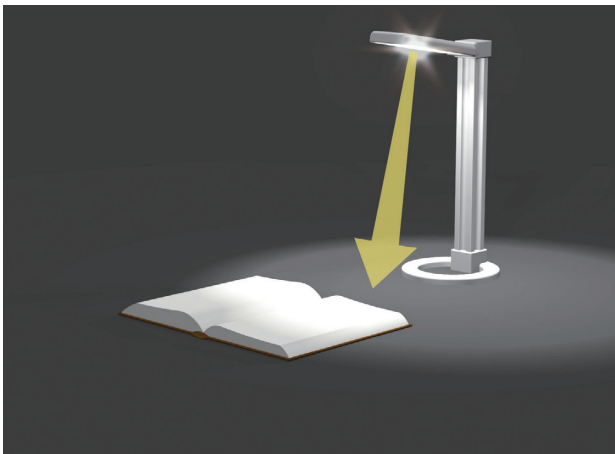


Fig. 1 Conventional task light. Maximum illuminance is directly beneath the task light, while the work space is dark.

2 LED照明ユニットの特長と仕様

2.1 LED照明ユニットの特長

開発した照明モジュールは、机の奥に配置しても作業領域の手元まで広く照明でき、さらに作業者が眩しさを感じ難い作業環境を実現した。

Fig. 2 に開発モジュールを搭載したタスクライトの照明の様子を示す。このモジュールは、発光面を水平に配置した状態で、照明光の最大輝度方向を発光面の鉛直方向から、作業者の手前側に30°傾けた設定とした。照射方向を傾けることにより、机の奥にタスクライトを配置しても、作業領域を広く手元まで照明することを可能にした。作業領域の直上にモジュールを配置する必要がないので、作業の邪魔にならず、また手元が作業者自身の影になることもない。モジュールを上向きに傾ける必要

がないので、作業者の目に直接光が入ることがなく、眩しさを感じずに快適な作業が可能となる。

また発光面はほぼ均一な輝度分布をもつ面発光光源であるため、被照明物が光沢面の場合でも、不要な照り返しによる眩しさを感じることもない。

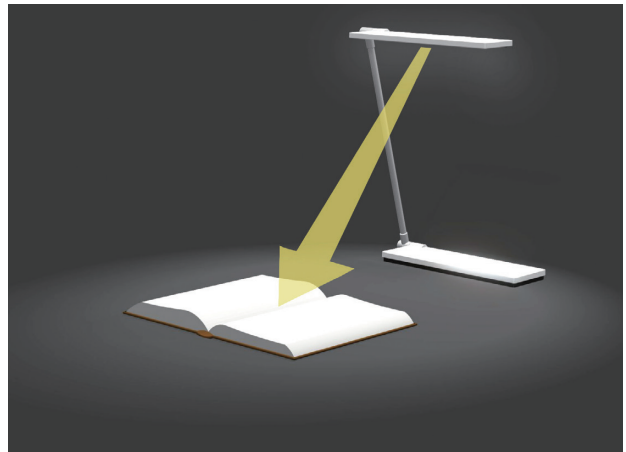


Fig. 2 Developed task light. Maximum illuminance is thrown forward to illuminate the work space.

2.2 照明モジュールの仕様

LED照明モジュールの仕様をTable 1 に示す。照明モジュールサイズは、タスクライトのデザイン性を考慮し、薄型の板状とし、最薄部は7.5mmを実現した。照度分布は、40cm下方面で、最大1400Lux、光源直下から30cm離れた位置で800Lux、50cm離れた位置で250Luxを確保した。これは、JIS規格照度AA形¹⁾に相当し、事務・学習作業だけでなく、精密作業に対しても十分な明るさが確保できる。一方、最大消費電力はわずか7.7Wで、同等明るさの蛍光灯スタンドの約1/3である。

Table 1 Main specifications of the LED lighting module.

Maximum illuminance, 1,400 lux, was measured at a point approximately 12 cm toward the viewer from the point centered 40 cm directly below the light source. At 30 cm from that centered point, illuminance was 800 lux, and at 50 cm, it was 250 lux.

Dimensions	280 W x 68 D x 9.5 H (mm)
Illuminance	Max. : 1400 (lux)
	r 30 cm : 800 (lux)
	r 50 cm : 250 (lux)
Maximum power consumption	7.7 (W)
Life	Over 40,000 hours

3 照明ユニットの設計

3.1 構成

2章に記載の特長と仕様を実現するために、導光板の一つの側面にLEDを配置したエッジライト方式の照明光学系を採用した。照明モジュールの断面図をFig. 3 に示す。照明モジュールは、LEDチップを長手方向（＝紙面

に垂直方向)に直線状に配列したLED基板, 上面に断面が三角形のV溝を有するV溝導光板, 導光板の上側に配置される拡散反射板, 下側に配置される拡散板, 及び, これらを保持するためのフレームで構成される。

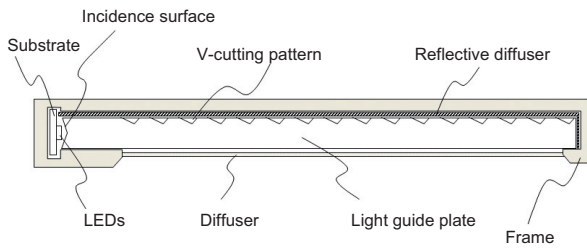


Fig. 3 Cross-section of LED lighting module.

導光板の入射面から入った光は, 対向する上下の平面で全反射しながら導光板中を進む。導光板の上面には, 光を外部に取り出すための光取り出し構造としてのV溝が等間隔に配置されている。導光中にV溝斜面に入射した光は, 主に2つの光路を介して外部へ射出される。1つ目は, V溝斜面で屈折し, 導光板の上側へ射出され, 拡散反射板で反射され下側へ向きを変えたのち, 導光板, 拡散板の順に透過, 拡散し, 照明光として外部に射出される。2つ目は, V溝斜面で全反射され下側へ向きを変え, 直接, 導光板外へ射出され, 拡散板を通過することで拡散光として外部に射出される。

3.2 配光コントロール

手前方向に傾いた配光特性と高い取り出し効率を実現するために, 導光板のV溝斜面の拡散度を最適化した。

Fig. 4 にV溝斜面の面性を, 完全拡散面(ランバート拡散面), 最適拡散面(表面ヘイズ率81.5%), 鏡面としたときの, 照明モジュールから40cm下方面上における照度分布を示す。横軸は, 照明モジュール発光面中心直下位置を原点(0mm)としたとき, 原点を通る前後方向の位置を示す。正の方向が作業領域の手前側である。

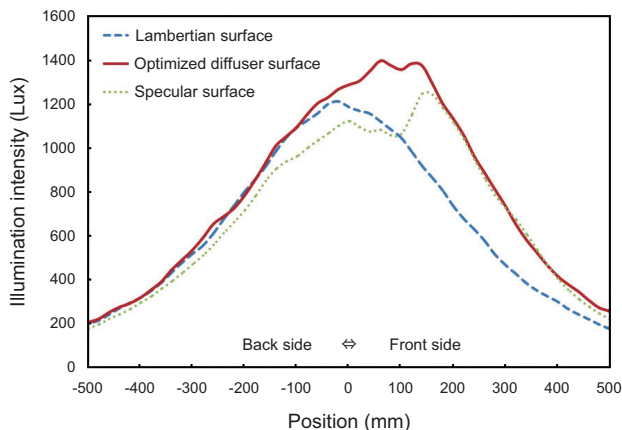


Fig. 4 Illumination distribution curves of the lighting module having various surface characteristics on a surface 40 cm below the lighting module. Position zero is directly below the center of the lighting module. The positive position indicates the viewer's work area.

V溝斜面が完全拡散面の場合, 最大照度位置は, ほぼ原点位置にあり前後対称の照度分布を有する。従って作業領域の手元まで明るく照明するための所望の配光特性を得ることができないだけでなく, 作業領域外の奥側へ照射される照明光が多く, 照明効率が悪くなる。反対にV溝斜面が鏡面の場合, 最大照度位置は手前160mmにあるが, 最大照度付近に急激なピークが存在し, 照度分布の変化にムラがあるので, 照明器具としては不適切である。一方, 最適拡散面では, 手前100~150mmに最大照度を有し, 周辺照度が徐々に低くなっているため, 作業領域の手元まで明るく, 最適な照明を提供することができる。また, V溝斜面が完全拡散面や鏡面と比較し, 最大照度が高い。言い換えれば, 光源の光を作業領域に効率的に照射できていることがわかる。

3.3 光取り出し効率の向上

消費電力を低く抑えるためには, 電源回路部でのロス低減, 発光効率の高いLEDの採用の他に, 光利用効率の高い照明光学系の設計が重要である。

開発の照明光学系においては, 導光板に入射したLED光を効率的に外部に取り出すため, 導光板の入射面形状を工夫した。Fig. 5 に導光板の入射面部の拡大図を示す。

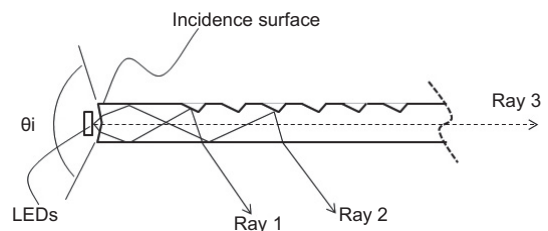


Fig. 5 Enlarged view of light guide.

導光板の入射面は, 図に示す通り, 頂角が θ_i のV字構造である。LEDは, 一般に発光面の鉛直方向に最大の輝度を有する。従って, 導光板の入射面が平面では, LEDから鉛直方向に出射した光線(Ray3)は, 導光板へ入射した後, 導光板内部をそのまま直進して対向する端面に到達するため, 導光板外部に効率的に取り出すことができない。入射面をLEDの発光面に対して傾けることにより, 発光面の鉛直方向に出射した最大輝度を有する光線(Ray1, Ray2)は, 入射面の傾きにに応じてそれぞれ屈折し, 導光板の上下の平面で全反射しながら導光し, 導光光路中でV溝斜面に入射し, 屈折または全反射して導光板外部へ取り出される。V字構造の頂角 θ_i は, 導光板の厚さと導光方向の長さから決定される。

4 製品の紹介

4.1 製品の構成

開発した照明モジュールは, Symfos LED-TASKLIGHT に搭載され商品化されている。Symfos LED-TASKLIGHT をFig. 6 に示す。



Fig. 6 Symfos LED-TASKLIGHTs with developed LED lighting modules.

Symfos LED-TASKLIGHTは、ユーザビリティの優れた商品とするために、商品企画段階でQE (Quality Engineering) を取り入れたバーチャル設計を導入し、デザインを決定した²⁾。Symfos LED-TASKLIGHTは、ベース部、アーム部、及び、ヘッド部で構成される。Fig. 7にアーム部、及び、ヘッド部の角度調整範囲を示す。アーム部は、ベース部に対し、垂直方向から手前25°まで調整可能である。また、ヘッド部は、上下に45°調整可能である。これら調整機構を組み合わせることにより、ユーザーは簡単に照明位置を調整することができる。

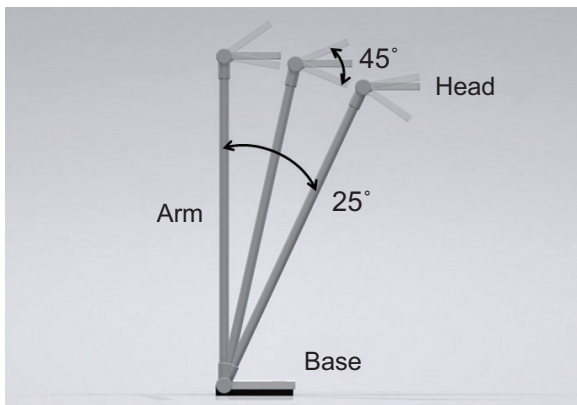


Fig. 7 Adjustment range of Symfos LED-TASKLIGHT.

4.2 照明性能

4.2.1 照度分布と輝度角度分布

Symfos LED-TASKLIGHTのヘッド部発光面から40cm下方面の照度分布をFig. 8に示す。発光面は、照度測定面と平行に配置した。原点は発光面中心直下である。図中の破線はヘッド部位置を示す。横軸 (X軸) はヘッドの長辺方向と平行方向、縦軸 (Y軸) はヘッドの短辺と平行方向である。Y軸は、負の方向が作業員から見て奥、正の方向が手前側となる。

照度分布は、ヘッド直下より12cm程度手前に照度ピーク1400Luxを有し、30cm手前で800Lux、50cm手前で250Luxを有することがわかる。

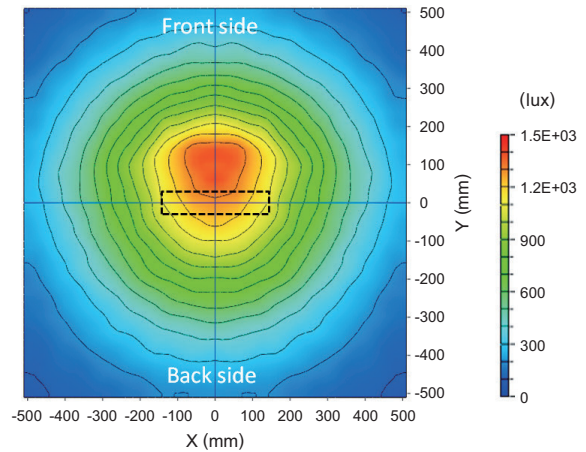


Fig. 8 Illumination distribution on a surface 40cm below the lighting module of a Symfos LED-TASKLIGHT.

ヘッド部発光面の輝度角度分布をFig. 9に示す。 θ_x は、発光面中心を原点とし原点の垂線を基準としたとき、垂線とY軸を含む平面内の垂線からの傾きを示す。 θ_x は、負の方向が奥、正の方向が手前側である。数値は、最大輝度で規格化した値である。 $\theta_x=30^\circ$ 、即ち、発光面の垂線から30°手前側に傾いた方向に最大輝度を有することがわかる。

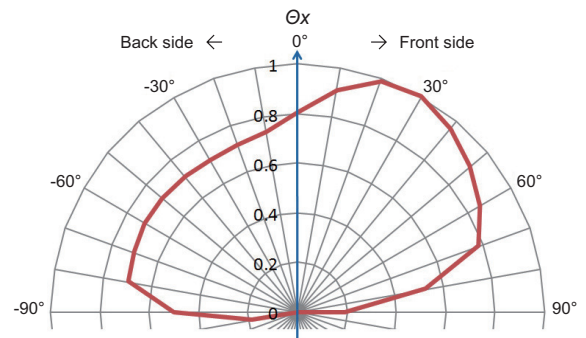


Fig. 9 Luminance distribution curve of a Symfos LED-TASKLIGHT.

上述の照度分布、輝度角度分布を持つことにより、ヘッドを水平にした状態でも、ヘッドよりも手前側を広く明るく照明することができる。従って、タスクライトを机の奥に配置してもヘッドを上向きに傾けることなく手元まで広く明るく照明することができる。さらにヘッドを水平に保って使用できるので、作業員の視野に発光面が入ることがなく、作業員が眩しさを感じることはないグレアレスの目に優しいタスクライトを実現できた。

4.2.2 マルチシャドウレス

LEDは指向性の強い光源であるために、単にLEDチップを複数個並べただけで構成した照明モジュールでは、Fig. 10の左図に示すように手元にマルチシャドウ (多重影) が発生する。マルチシャドウは作業員にとって不快だけでなく作業面の視認性が低下するために作業効率を落とすこともある。開発の照明モジュールは、ほぼ均一な輝度分布を有する面発光光源であるため、Fig. 10の

右図に示すようにマルチシャドウを大幅に軽減することができた。マルチシャドウがなくなることにより、快適に作業を行うことができる。

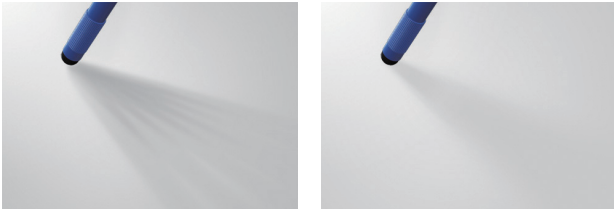


Fig. 10 Photos with multiple shadows (left) and without multiple shadows (right).

4.3 オフィスでの使用事例

オフィスのデスク上でSymfos LED-TASKLIGHTを使用した事例写真をFig. 11に示す。タスクライトを邪魔にならないように机の奥側に配置しても、手元まで広く明るく照明されていることがわかる。



Fig. 11 Symfos LED-TASKLIGHT on an office desk. Even though the task light is positioned behind the monitor, it still fully illuminates the keyboard.

5 まとめ

独自形状の導光板を用い、その拡散特性を最適にコントロールすることにより、手前側に最大輝度を有するLED照明モジュールを開発した。この照明モジュールをタスクライトに搭載することで、本体後方の不要な光を前方にシフトし、作業者の手元を効率的に照明することで、低消費電力でありながら、JIS-AA形相当の明るさを実現した。

今後も、様々な特長を有するLED光源と最適な照明光学系を組み合わせることにより、ユーザーに喜ばれる照明モジュールの開発を積極的に進めていく。

●参考文献

- 1) JIS-C8112, 蛍光灯卓上スタンド (勉学・読書用)
- 2) 中垣保孝他, 商品企画のためのバーチャル設計の研究~Symfos LED-TASKLIGHTのユーザビリティ向上を例にして~, 第20回品質工学研究発表大会論文集, 品質工学会, pp.6-9(2012)