ＬＥＤ照明による工作機械の操作安全性の飛躍的向上

池田 昌順[*1]　延廣 正毅[*1]　藤谷 繁年[*1]　錦 朋範[*1]

Significant improvement of operational safety of machine tools by installing the LED illumination units

Shojun Ikeda[*1], Masaki Nobuhiro[*1] , Shigetoshi Fujitani[*1] and Tomonori Nishiki[*1]

Abstract - For industrial machines such as machine tools, appropriate illuminance is required for the worker to work safely, but, as with conventional illumination equipment, the large size sometimes makes it diificult to secure appropriate illuminance. The LED illumination has the good point that installation is possible in the space that I am small while being power-saving, longer life, and is small in comparison with the conventional fluorescent lamps. In addition, the light distribution characteristics can be changed as required by using optical components such as lenses making use of the directivity of the LED. This paper reports the development of LED illumination equipment with the structure that can realize the most suitable light distribution characteristics demanded by large and small industrial machines.

Keywords: LED, Lens, Machine tools and Fluorescent lamp

1.　はじめに

昨今、地球温暖化防止対策として二酸化炭素の排出量削減についての取組みが各分野で行われている。照明分野もその一つである。近年、発光効率の上がった白色 LED を使用したLED照明は、従来の蛍光灯や白熱球と異なり、長寿命・省エネ・クリーンなどの特長をもつ、環境への負荷を大幅に低減できる照明として注目されている。[1-7]

工作機械などの産業用機械では、加工空間において工具、被加工材料および加工工程の視認性を高めるために照明が設置されており、通常この照明を「機内照明」と呼ぶ。機内照明の設置される加工空間は、油や切削クズが飛散する劣悪な環境であり、耐環境性を重視する照明が必要であった。従来の照明は、蛍光灯を強化ガラスの筒の中に入れたものがほとんどであったが次の問題があった。

①サイズが大きい
②照度のコントロールができない
③光が全方位に放射されるため光のロスが大きい

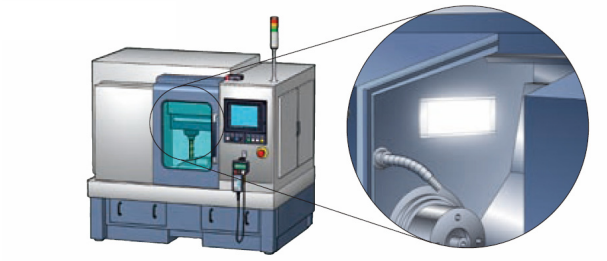


図 1　工作機械の機内照明
Fig.1 Illumination in the machine tool

LED 照明は従来の蛍光灯などに比べ小型で狭い空間にも取付けが可能な特長を持ち、また、LED の指向性を利用してレンズなどの光学部品により配光特性を効率良く自在に変更することができる。本報告では大小さまざまな産業用機械に要求される最適な配光特性を実現し必要照度を確保できる構造を持ったLED照明の開発について報告する。

2.　蛍光灯と LED 照明の比較

はじめに、蛍光灯と LED 照明の比較を表 1 に示す。蛍光灯と LED 照明の寿命を比較した場合、蛍光灯が約 8,000 時間であるのに対し LED 照明は、約 50,000 時間であり長寿命である。ここで LED 照明の寿命は、LED 輝度が初期の値から、70%になるまでの総点灯時間を寿命と定義している。このため、寿命時間を過ぎても、蛍光灯や電球のように点灯しなくなる事（球切れ）がない。また、蛍光灯は環境負荷物質の水銀を含んでおり、割れると多量の水銀蒸気が大気中に飛散してしまい、人体に害を及ぼす危険性がある。また振動、衝撃で故障しやすく、頻繁に取替える必要もあった。工作機械内の非定常作業は危険が伴う可能性があるため、振動、衝撃に強く作業中の球切れの心配もないLED照明はより安全性が高いと言える。表 2 に示すように明るさの均一性やイニシャルコスト面で蛍光灯の方がLED照明より勝っている面は若干あるが、LED 照明の方がより多くのメリットを有しており、機内照明として適していると言える。4 章でその点に関して詳しく述べる。

*1: IDEC 株式会社
*1: IDEC Corporation

表 1　蛍光灯と LED 照明の比較表
Table1 Characteristics fluorescent lamp and LED illumination

項目		蛍光灯	LED 照明
環境への配慮	寿命	△ 約 8,000 時間	○ 約 50,000 時間
	消費電力	×	○
	省スペース	×	○
	環境負荷 （RoHS 対応）	× 水銀使用	○
安全性	明るさ	○	○
	明るさの均一性	○	△
	配光の自由度	×	○
	電圧の安全性	× AC100V	○ DC24V（安全電圧）
	耐振動・衝撃	×	○
	形状の自由度	×	○
コスト	保守・メンテンス	×	○
	イニシャルコスト	○	△

3.　国際規格における必要照度の要求事項

前述のように、機内照明は工作機械の加工空間、非加工材料付近を照射するための器具であり、作業者が安全に作業を行うために、適正な照度の確保が必要である。この適切な照度の基準として、表 1 に示す、欧州規格 EN1837 の 4.2 照明項に、500 lx 以上の照度確保が必要であると述べられている。[8] また、その他、JIS Z9125 規格においても同様に 500 lx 以上の照度確保の必要性が述べられている。[9]

これは照明の取付位置に関らず、確保しなければならない値であるが、照度は距離の 2 乗に反比例するため、工作機械の大小によって照明の取付位置と必要照度を適切にコントロールする必要がある。

4.　工作機械用 LED 照明の開発

4.1　開発概要

我々は、このような工作機械の機内照明に要求される機能を分析し、最適な LED 照明の開発を行った。

表 2　作業安全のために必要な照度の国際規格
Table2 International standards of illumination required for safety

規格	条件の内容抜粋
EN1837*1	4.2 Illuminance 安全で快適な認識を可能にするには、少なくとも 500 lx の照度が必要である
JIS Z9125*2	5.表 7 金属加工業　精密機械加工 研磨（交差 0.1mm 未満）500 lx の照度が必要である

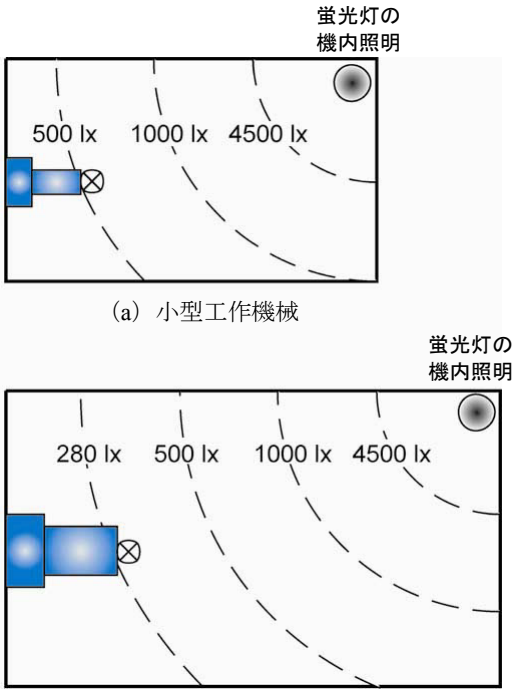
*1: Safety of machinery integral lighting of machines
*2: 屋内作業場での照度基準

開発にあたっては次のようなポイントを重視した。

①レンズによる最適な配光制御
②堅牢な筐体による耐環境性向上
③取付け自由度拡大

工作機械は様々な大きさが存在するため、取付が可能な位置や必要照度を確保したい場所までの距離も様々であり、必要な照度は単純には実現できない。

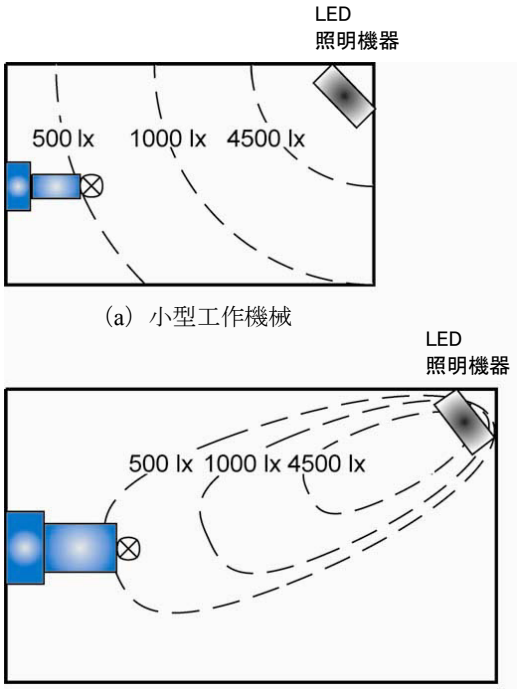
図 2 に、蛍光灯の照明器具を用いた場合の工作機械内での照度分布を示す。図 2（a）は小型の工作機械を模式



（a）小型工作機械

(b) 大型工作機械

図 2　既存の照明器具を用いた場合の工作機械内での照度分布
Fig.2 Distribution of illumination in the machine tool



（a）小型工作機械

（b）大型工作機械

図 3　LED 照明器具を用いた場合の
工作機械内での照度分布
Fig.3 Distribution of LED illumination in the machine

的に示したものである。図示の位置に照明器具が設置されており、⊗ で示した目的とする場所において必要照度 500 lx を確保できている。これに対して図 2（b）は大型工作機械を表した図であり、同一の照明器具を用いた場合には ⊗ で示した場所において必要照度 500 lx を確保できていないことがわかる。これは、照明器具の取付位置と測定ポイントまでの距離が長くなり照度が低下するからである。これまで多くの工作機械には、蛍光灯が照明器具として使用されていたが、装置内を均一に照らすことができる一方、必要とされる領域の照度が十分に確保できていない場合が多かった。

図 3 に、LED 照明器具を用いた場合の工作機械内での照度分布を示す。図 3（a）は小型の工作機械における分布を表している。図示の位置に照明器具が設置されており、⊗ で示した場所において必要照度 500 lx を確保できている。また、図 3（b）は大型の工作機械の場合を示した図であるが、照明器具の取付位置との距離が変わった場合も、組換え可能なレンズを用いて配光制御し、光を有効利用することにより必要照度 500 lx が確保できている。

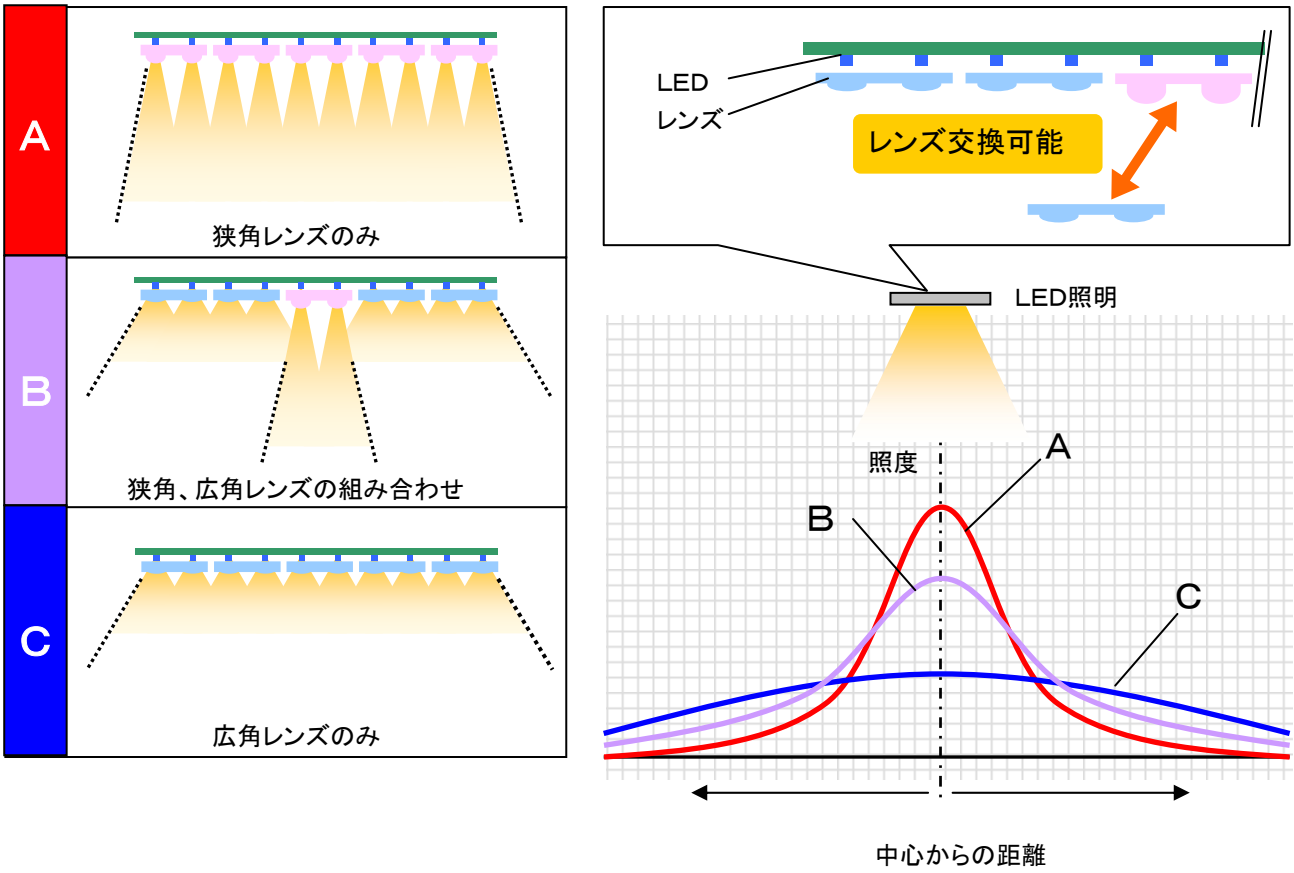


図 4　レンズの組み合わせ違いによる配光特性の違い
Fig.4 Difference of light distribution characteristic by combination of various lenses

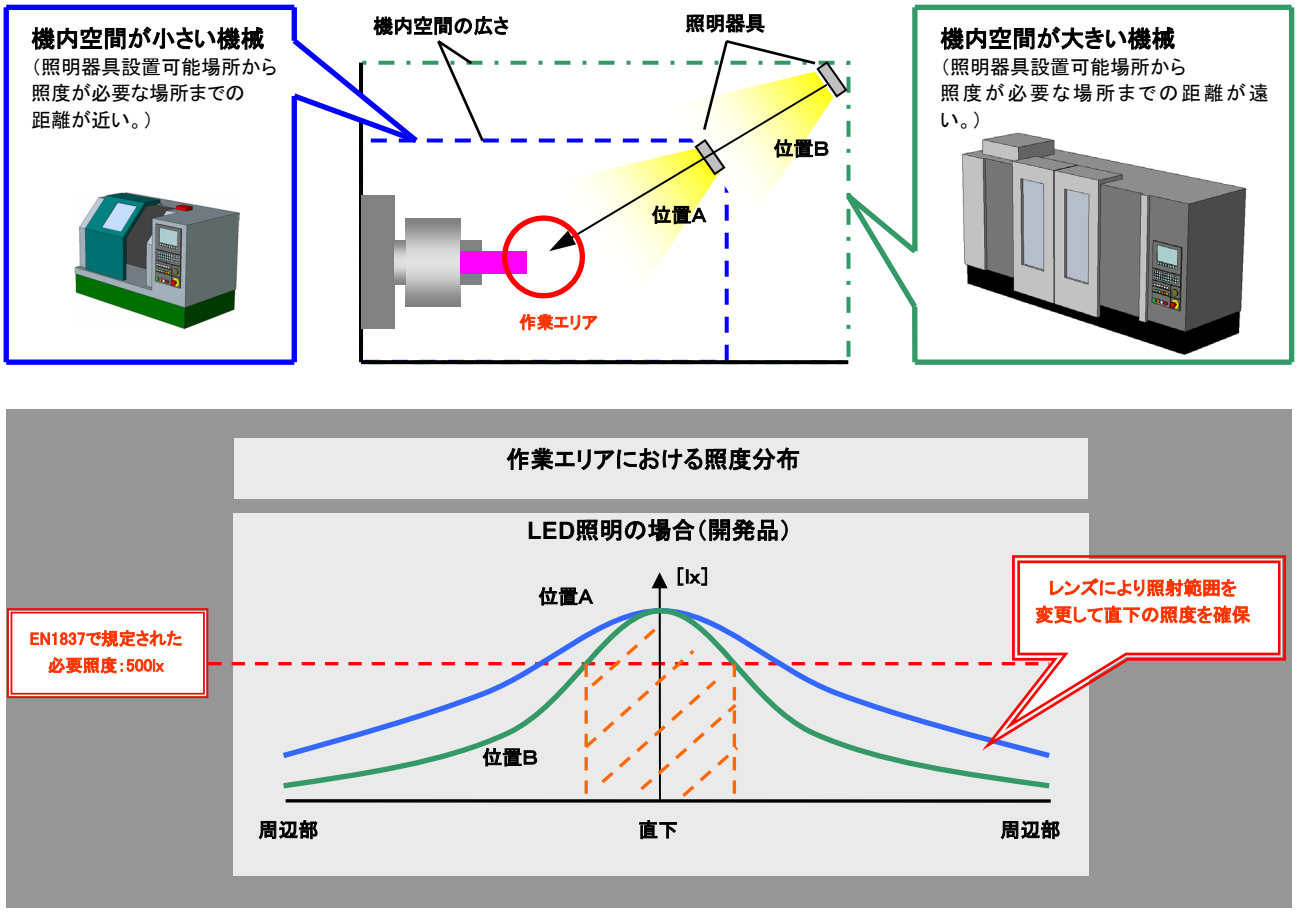


図 5　LED 照明による照度確保のしやすさ

Fig.5 Illuminance of LED lighting

4.2　レンズによる最適な配光制御

前項で述べたように、指向性を持つ LED の特徴を利用し、配置するレンズの形状を変更すれば、LED 照明の場合は異なる配光特性に変更ができる。LED 照明では LED 単体の光量が小さいため、通常複数個の LED を搭載する。この複数の LED それぞれに対してレンズの組み合わせを変えれば、原理上は組み合わせの種類だけ様々な配光ができる。図 4 は、開発した LED とレンズの模式図である。LED の光源自体の出力が同じ場合でも、レンズの組み合わせにより図 4 に示すグラフのように A、B、C で示す様な配光パターンを実現することが可能である。パターン A は狭角レンズをすべての LED に配置し、直下照度を高く維持することにより、大型の工作機械であっても必要照度が確保できる配光パターンである。パターン B は、狭角レンズ、広角レンズの組み合わせであり、中央の LED に狭角レンズを配置することにより、中型の工作機械において必要とする直下照度を確保できるとともに、周辺照度も確保できる配光パターンである。パターン C は、すべての LED に広角レンズを配置し、小型の工作機械における必要照度を確保するとともに、周辺照度も高めた配光パターンである。このように、我々が開発した LED 照明は、狭角レンズと広角レンズの組み合わせにより様々な配光パターンを実現し、大小様々な工作機械、取付位置に対応できる。

図 5 に LED 照明による照度確保のしやすさを示す。点線で機内空間が小さい機械を表しており、その場合の照明器具位置は位置 A である。同様に 1 点鎖線で表しているのが、機内空間が大きい機械であり、その場合の照明器具位置は位置 B となる。

図 6　開発した LED 照明

Fig.6 Developed LED lighting

機内空間が大きい機械では、照明器具位置が位置 A から位置 B へと離れるので照度を必要とする場所までの距離が遠くなる。照度は距離に応じて減衰するため照明器具の位置から作業エリアの距離が遠くなると照度確保が難しくなるが、我々が開発した LED 照明であれば、同じ光出力を持つLEDでもレンズにより配光を制御して必要な部分に光を集中することが可能で、その結果、図 5 に示すように、どちらの位置でも必要照度を確保できる。

4.3　堅牢な筐体による耐環境性向上

機内照明が設置される加工空間は、加工物の切削による、切削クズや冷却油が飛散する環境であり、耐環境性を向上した照明が必要であった。このため、筐体材料は、ステンレス、アルミダイカスト、強化ガラスを使用し、コンパクトかつ切削くずなどが溜まりにくいシンプルなデザインとした。このような耐環境性能の向上により、従来取付けができなかった環境へも取付け可能となり工作機械の安全性の向上に寄与することができた。

4.4　取付けの自由度の拡大

工作機械の加工空間の天井面や壁面は、加工工具の取替等に使用する扉や稼動部があり、そのため従来のガラス管に入ったサイズの大きな蛍光灯は、取付け場所の制約を受けるため、必ずしも照明器具を最適な位置や距離に取付けることができない場合が多かった。これに対し LED 照明はコンパクトサイズであることからこのように従来取付けができなかった場所や壁面に取付け可能であり、出っ張りも少ない。さらに今回開発した LED 機内照明は、配線の引き出し方向も側面と背面の 2 通りを準備し、取付けしやすい構造とした。このような取付け自由度の拡大も工作機械の安全性の向上に有効であった。

図 7　LED 照明のカラーバリエーション
Fig.7 Color variation of LED illumination units

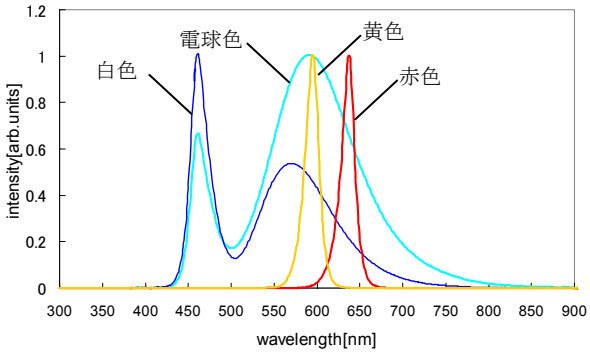


図 8　様々な LED 照明の発光スペクトル
Fig.8 Spectrum of LED lighting

4.5　特殊用途の照明色

工作機械以外の産業用機械では、特殊な光源色が要求される場合がある。たとえば、半導体装置、IC 工場その他感光材料を扱う用途では、紫外領域の波長が悪影響を及ぼすため 500 nm 以下の波長を含まない照明が必要で

表 3　工作機械用 LED 照明の操作安全性ならびにユーザビリティの観点からの特長
Table3 Feature from viewpoint of operation safety of LED lighting for machine tool and usability

項目	手段
必要照度確保の容易性 ・定常時の作業性の向上 ・設計自由度の向上	コンパクト構造による設置の柔軟性
	保護構造（IP67f）による設置場所の拡大
	レンズの組み換えによる配光制御
保守、メンテナンス性の向上 ・非定常時の安全性の向上	長寿命による交換作業の不用
	耐振動・耐衝撃性の実現
	フラット構造による清掃の容易さ
工作機以外の特殊用途への応用 ・使い易さの向上	LED 光源のカラーバリエーションにより様々な用途への応用性向上

ある。そのため、図 7 に示す白色や電球色に加え黄色や赤色の発光色の LED 照明器具を用意している。これらの LED 照明の様々な発光色のスペクトルを図 8 に示す。黄色、赤色の LED 照明はそれぞれ 590 nm、625 nm のピーク波長を持ち、紫外領域の波長を含まないので紫外領域を嫌うような特殊用途に向いている。

4.6 工作機械の操作安全性の向上

これまでに述べた我々が開発した工作機械用LED照明の特徴について、操作安全性およびユーザビリティの観点からまとめた結果を表３に示す。コンパクトな構造や保護構造およびレンズの組み換えによる配光制御により必要照度確保の容易性が向上した。さらに、保守メンテナンス性は長寿命および耐振動、耐衝撃性の実現により向上することができた。また、光源のカラーバリエーションを用意することにより様々な用途へ対応することができた。このように定常時の作業性、設計自由度ならびに非定常作業の安全性の向上を実現することで結果的に工作機械の操作安全性ならびにユーザビリティを大きく向上させることが可能となった。

5. まとめ

これまで述べてきた通り、光源としての LED は、蛍光灯と全く異なる特性をもっているが、実際に LED としての特性を生かした照明については、まだ少なく、単に蛍光灯をそのまま LED に置き換えた照明器具も多い。今回のように、照明 LED の特性を十分に利用した、照明器具の設計は、今後ますます必要になるものと考える。

工作機械用の機内照明についても、工作機械の操作安全性向上のため、照度、配光、省エネとのバランスの追求、さらなるダウンサイジング、メンテナンス性の向上などを今後さらに検討していく所存である。

6. 参考文献

[1] 寶田，井上 : 全般照明用光源の作業性・視認性への影響に関する研究 : LED ランプと蛍光ランプによる比較検討(その 1)(環境) ; 日本建築学会近畿支部研究報告集. 環境系，Vol.48，pp.69-72(2008)

[2] 崔 ，岩崎，竹田： LED 人工照明環境における花の見えの印象評価 ; ヒューマン・インタフェース学会論文誌，Vol.11，No.2,，pp.203-212（2009）

[3] 森本：白色 LED 照明のもとでの安全色の見え方；照明学会誌 Vol.91，No.11，pp.719 (2007)

[4] 河本：LED 光源の人体への安全性に関する諸問題；照明学会全国大会講演論文集 Vol.36，pp.236-237(2003)

[5] 間宮 勝 他 : 青色 LED 励起による波長変換表示技術の開発 ; 計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会，第 13 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，pp.493-500 (1996)

[6] 錦 朋範 : 世界初全館 LED 照明建屋の構築と現状；LED 2009 －最新技術と市場動向－ ,pp.114-123 (2008)

[7] 錦 朋範, 他 : 世界初全館 LED 照明建屋の光学特性と感性評価に対する考察 ; OPTICS & PHOTONICS JAPAN 2008 IN TSUKUBA 講演予稿集,pp.70-71 (2008)

[8] EN1837 : 1999 ; Safety of machinery Integral Lighting of machines

[9] JIS Z 9125：2007；屋内作業場の照明基準