工場用照明のＬＥＤ化に対する
生産性・安全性に関する人間工学的考察

三輪高仁[*1]、田中大樹[*1]、上田茂夫[*1]、池田昌順[*1]

Ergonomic consideration Productivity and Safety of LED lighting for the plant

Takahito Miwa[*1], Hiroki Tanaka[*1], Shigeo Ueda[*1], Shojun Ikeda[*1]

Abstract - The purpose of energy saving, the spread of LED lighting is also progressing on the site of production of households and factories. There may be mentioned as the benefits of lighting LED, power saving, and easy to control light distribution, due to the high output is obtained in a light source small, affect the work seen on-site factory production by (glare) glare, manufacturing quality so that there is no need to consider that affect the. Report to develop LED lighting for high ceiling this time, was to reduce the glare by light emission surface, we evaluate the glare, it was confirmed that the working environment can be achieved comfortable, safe.

Keywords: LED, Lighting, Safety, Productivity

1.はじめに

近年、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おり、照明分野においても同様である。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きたが、特に、東日本大震災以降、社会的に節電が大きな課題となっており、照明分野では、省エネを目的として、一般家庭や工場などの生産現場においてLED照明の普及が急速に進んでいる。

我々は、これまでに種々の LED 照明の開発を行い、オフィス、商業施設、工場、防爆環境などに、実際に LED 照明を設置して既存光源（白熱電球、蛍光灯）との比較を行い、人間工学的な観点から照明環境の評価を実施してきた。[1-13]

また、LED 照明の植物工場への応用などの研究開発も行ってきた。[14-16]

LED 照明の利点として省電力の他には、小さい光源で高出力が得られ、配光制御しやすいなどが挙げられるが、小さく高出力であるが故に、グレア（眩しさ）があり、工場の生産現場での視作業に影響を与え、製造品質に影響を及ぼす事がないよう考慮する必要がある。

今回、我々は、発光部を LED 特有の点光源ではなく面発光にする事でグレアを低減した高天井用LED照明を開発した。図１に外観を示す。 そしてグレア評価を行い、安全な光源が実現できている事を確認したので報告する。

*1: IDEC 株式会社
*1: IDEC CORPORATION

図１　高天井用 LED 照明
Fig1.　LED Lighting for High Bay

2.工場の照明環境に必要な要件

工場などの作業現場において求められる照明の役割には、安全性、快適性、経済性の３つがある。図 2 に示す。また、図３に工場照明の概要を示す。

安全性とは、作業の安全性および、機械・設備を安全に稼動できる事であり、十分な明るさがあり、モノがはっきり見え、危険回避できる作業環境を実現する事である。また、快適性とは、生産性の維持・向上には、快適な作業環境の構築が重要であり、不快感がなく疲れにくいなど、作業ミスの発生を抑え、快適に作業できる環境の事である。また、経済性とは、照明設備の効率化による省エネに加えて、安全性、快適性によりもたらされる作業性の向上を示している。

特に我々が重視しているのが安全性であり、具体的には以下のような事が必要である。

●均一に色ムラ無く照らされるため、組立て作業がしやすい。
●正確な色再現や形状が見易く、見間違いをおこさない。
●十分明るく、暗い部分が無いため、危険回避しやすい。
●グレアがないため、視覚の低下がおきない。
●目が疲れない。
●点灯信頼性が高く、必要なとき必ず点灯する。
●最適な配光で、明るさの不必要な場所には光を照射しない。

図 2　工場照明に必要な要件
Fig2.　Necessary requirements of LED Lighting for the plant

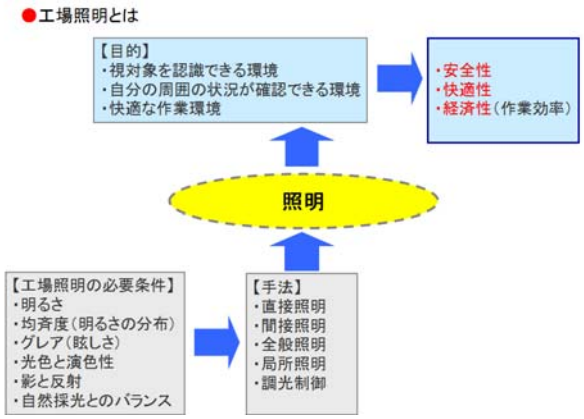

図 3　工場照明
Fig3.　LED Lighting for the plant

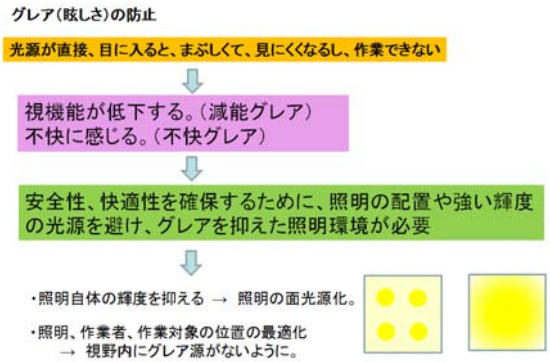

図 4　グレアの防止について
Fig4.　Anti-Glare

今回は、図３に示す工場照明の必要条件の中で、特にグレアの防止を目的とした LED 照明の開発を行った。図４にグレア防止の必要性を表した図を示す。

3.高天井用 LED 照明のグレア防止構造

今回、開発した高天井用 LED 照明は、水銀灯やメタルハライドランプなど高出力光源の置換えを目的としたものであり、経済性の実現のため発光効率（投入電力に対する光束）が高い LED を使用している。

LED はサイズが小さく高出力であるが故に非常に輝度（cd/m^2）が高く、そのまま直視すると、減能グレアをおこし、視覚が低下する場合がある。減能グレアとは、人間の目の感度がまぶしさに応じて感度調整を行う事により、視野内に非常に輝度が高い部分があると、感度を低下させる事でそれ以外の部分が見えにくくなる現象の事である。

減能グレアをおこすと、危険回避が出来なかったり、作業ミスの原因となる事が考えられ、安全な照明環境を構築する上では防ぐべきものである。

通常、照明器具の光の広がりは、半値全角（中心光度に対する光度が半値になる角度）で表され、LED 単体の広がりは 120 度が一般的であるため、高所場所に設置する事から、レンズやリフレクタなどにより集光して、効率良く作業場所を照射する必要がある。

今回は、リフレクタを用いて、光を 70 度に集光している。また、グレアを防止するために、LED の正面に反射部を設けて LED からの直接光を減らし、間接的に光を取り出す構造とした。このような構造にする事で、リフレクタ全体が２次的な光源と見なせるようになり、見掛け上の光源サイズを大きくする事で、最大輝度を抑えてグレアを防止する事が可能となっている。図 5 にリフレクタの構造、また、図 6 に光線追跡図を示す。

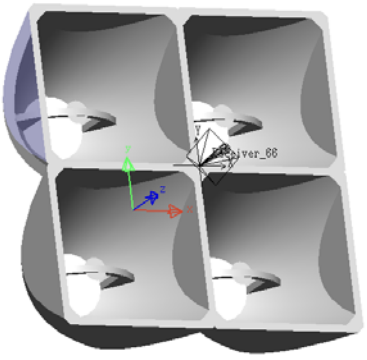

図 5　リフレクタの外観図
Fig5.　Reflector

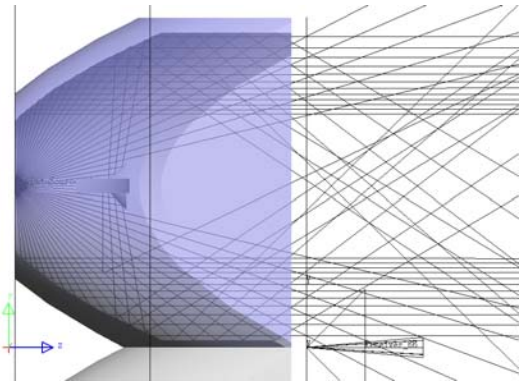

図 6　光線追跡図
Fig6.　Ray tracing

4.グレア防止構造の効果

実際に、グレア防止構造により、どの程度最大輝度を抑える事ができたか、評価を行った。図 7 に、グレア防止構造の有無による輝度の比較図を示す。

グレア防止構造が無い場合の最大輝度は、450 万 cd/m^2 に対し、グレア防止構造がある場合の輝度は、30 万 cd/m^2 となっており、1/10 以下に最大輝度を低減できている事が分かる。なお、発光面全体での平均輝度は、ほぼ同じであり、効率を落とさずに輝度を均一化できている事が分かる。

また、LED などの光源に対する安全性評価の基準として、IEC62471（ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性）という規格があり、光の安全性をリスクグループという指標で評価する必要がある。

グレア防止構造が無い場合には、リスクグループ２となり、具体的には、高輝度に起因する嫌悪感や熱的不快感が無い場合でも障害を与える可能性のある光源として定義されている。

グレア防止構造がある場合には、リスクグループ１となり、具体的には、通常の一般的行動条件での照射範囲内では、光生物的障害を生じる可能性の無い光源として定義されている。

以上のように、グレア防止構造により、目に対する安全性を確保するとともに、正面輝度を抑えて輝度を均一化する事で、目に入ったときのまぶしさや物体に発光面が映り込んだときのギラツキ感を軽減できる事が分かる。

5.まとめ

今回、グレア防止構造をもった高天井用 LED 照明の開発を行い、発光面の輝度均一性の評価を行った。最大輝度を低減できており、直視した場合や光源の写りこみが発生した場合に、視機能の低下を防ぐ事ができると考えられる。

今後は、さらに、高天井 LED 照明を実際に設置した照明環境において、グレア防止構造の有無によるグレア感の比較を行い、作業環境としての評価を行っていく予定である。

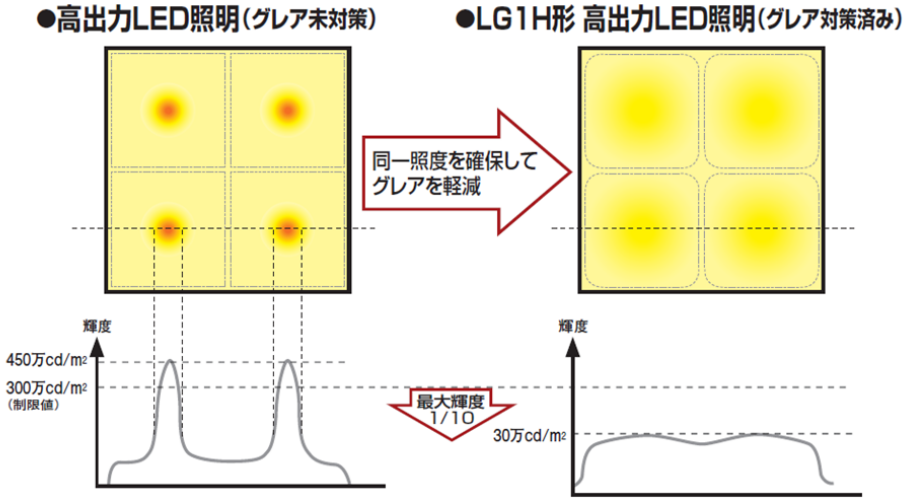

図 7　グレア防止構造の効果
Fig7.　The effect of anti-glare structure

参考文献

[1] 石野真一、上野泰史、和泉拓哉、内村健治:防爆照明の LED 化による進化と爆発性雰囲気下の安全性向上;ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011

[2] 上田茂夫、坂越慶一、池田昌順、寺口和彦：工場・生産現場の作業環境におけるＬＥＤ照明の役割と優位性;ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011

[3] 田中大樹、藤谷繁年、松本 敦、樋口伸夫：ロボット制御セル生産システムへのＬＥＤ表面取付形表示灯の導入による安全性の向上;ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010、（社）ヒューマンインタフェース学会、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス、No.1433、Sep.7-10 (2010)

[4] 河合 誠、清水 亨、井上武士、中島幸市：世界初全館 LED 建屋における調光制御の人間工学的評価と効果;ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010、（社）ヒューマンインタフェース学会、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス、No.1508、Sep.7-10 (2010)

[5] Shigeo Maeda, Jun Tokuda, Tomonori Nishiki, Hiroomi Goto, Masaaki Kitsunai, Rumi Nishikawa, Tsuyoshi Konishi and Kazuyoshi Itoh: Flattening of LED light intensity using wavefront transformation by diffractive optical element; 7th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF'10), Optics Design Group of OSJ/Japan, パシフィコ横浜、p.189-190, Apr. 19-21 (2010)

[6] 前田重雄、徳田潤、錦朋範、後藤洋臣、橘内雅明、西川瑠美、小西毅、伊東 一良: 回折光学素子による LED の光強度均一化の検討; 日本光学会年次学術講演会　朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター、Nov.24-26 (2009)

[7] 河合誠、三輪尚範、井上武士、中野智之、高雅人，植田由紀、台川敦、花田裕一：LED 照明の設置によるコンビニエンスストアにおける人間工学特性の評価と効果;ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2009、（社）ヒューマンインタフェース学会、お茶の水女子大学、No.1535、Sep.2 (2009)

[8] 福田吉人、柿崎晶子、高見浩志、平川貴大、錦　朋範、藤田俊弘：世界初全館 LED 照明建屋の感性評価と色温度に対する快適性の考察；ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2009、（社）ヒューマンインタフェース学会、お茶の水女子大学、No.2312、Sep.3 (2009)

[9] 池田昌順、延廣正毅、前田重雄、藤谷繁年、藤田俊弘：LED 照明による工作機械の操作安全性の飛躍的向上；ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2009、（社）ヒューマンインタフェース学会、お茶の水女子大学、No.3422、Sep.4 (2009)

[10] 柿崎晶子、藤田俊弘：安全機器と省エネ LED 照明機器により日本のものづくりの進化に貢献；ロボット、(社)日本ロボット工業会、No.186, 2009 年 1 月号 p.77-79（2009）

[11] 錦 朋範：世界初全館 LED 照明建屋の構築と現状；LED2009-最新技術と市場動向、日経エレクトロニクス・日経マイクロデバイス共編、日経 BP 社, p.114-123, 2008

[12] 錦 朋範、松倉清志、脇家慎介、荻野重人、仮家真由子、太田 勉、藤田俊弘：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；日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2008 (OPJ2008)、日本光学会（応用物理学会）、つくば国際会議場、p. 70-71、Nov. 4-5 (2008)

[13] 錦 朋範：世界初全館 LED 照明建屋の構築と現状；LED テクノロジ・シンポジウム 2008、日経エレクトロニクス/NIKKEI MICRODEVICES 共催、東京、Jun. 2-3, 2008

[14] 藤田俊弘：フォトニクス・センシング・制御技術の融合によるグリーンイノベーションの推進－LED 照明・植物工場・プラスティックリサイクルにおける IDEC の具体的推進事例－；次世代センサ Vol.20 No.2、p.7-10 次世代センサ協議会、Jan. 1 (2011)

[15] 阿波加和孝、田伏栄徳、柏　雅一、木村春昭、石田芳明、錦　朋範、藤田俊弘：植物栽培における高演色白色 LED 照明の導入効果と植物工場への展開; 日本生物環境工学会 2010 年大会、日本生物環境工学会、京都大学吉田キャンパス、p.72-73、Sep.8-10 (2010)

[16] 田伏栄徳、阿波加和孝、柏　雅一、木村春昭、石田芳明、錦　朋範、藤田俊弘：GALF（超微細気泡発生装置）及び高演色 LED 照明を用いた制御システムによる植物工場ラボでのいちご栽培実証;日本生物環境工学会 2010 年大会、日本生物環境工学会、京都大学吉田キャンパス、p.74-75、Sep.8-10 (2010)