

LED照明の実用化技術

石井健吾*
伴 和生*
中村 潔*

Technology for Practical Use of LED Luminaires

Kengo Ishii, Kazuo Ban, Kiyoshi Nakamura

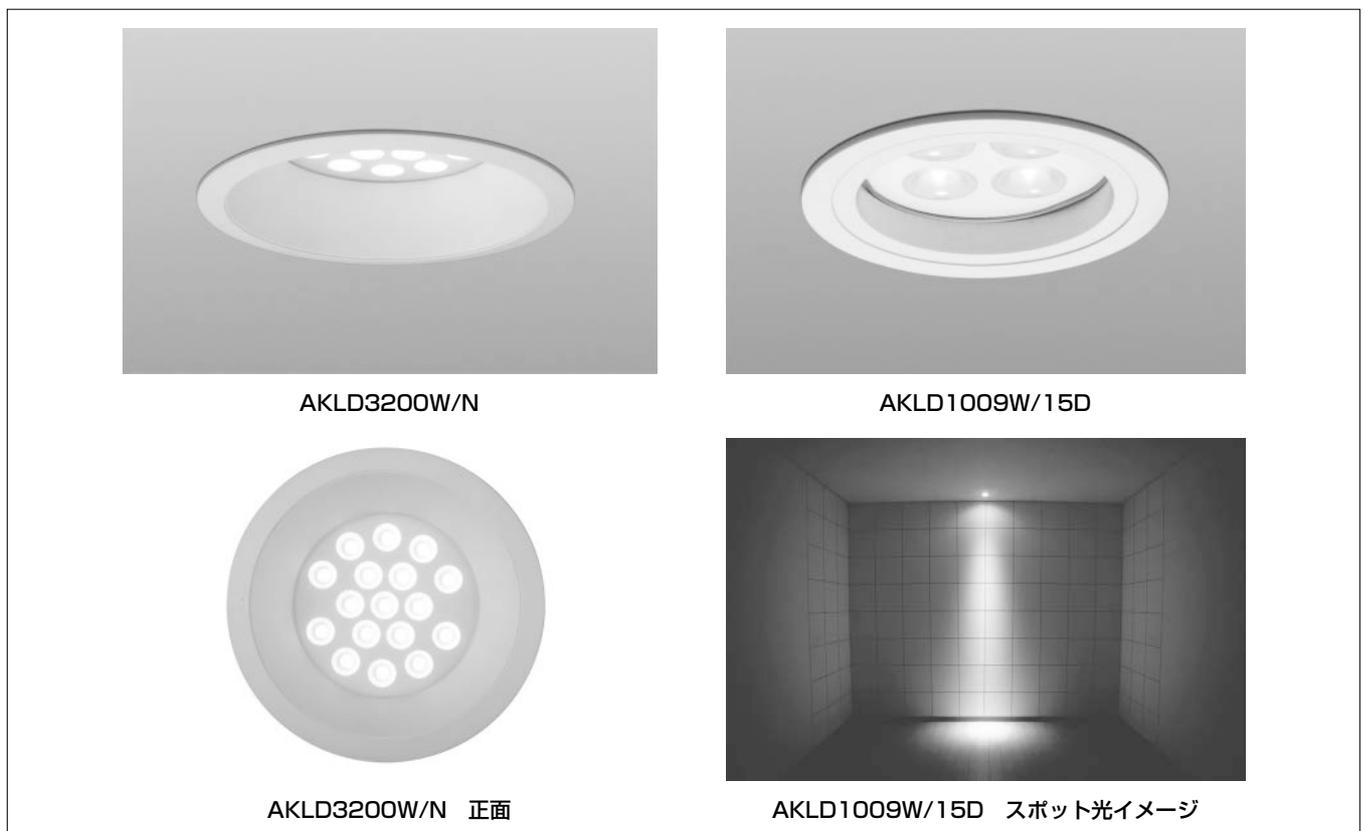
要 旨

これまで照明は、1810年代にガス灯が発明されて以来、白熱灯(1879年)、蛍光灯(1938年)と、約60年ごとに光源を進化させてきた。そして1996年の白色LED(Light Emitting Diode)の登場で、照明は新たな時代に入っている。成熟産業といわれる照明事業で、LED化は大きな転機であり、国内だけでなく海外からの市場参入も激しさを増すことが予想される。

LED光源は、効率向上とともに光量アップも実現し、当初は部分照明に限られていた用途も、オフィスビル・商

業施設や公共空間から住空間まで様々な用途に拡大している。LED照明を拡大していくため、市場に投入する新商品には従来光源同等の明るさ(代替性)、及び経済性(消費効率とコスト)を兼ね備えていることが求められている。

しかし、現時点ではLEDの光束あたりの光源単価は従来光源と比べまだまだ高い。そこで、高価な光源から出る光を有効に利用するため、LED照明器具は従来の白熱灯や蛍光灯器具にはない放熱設計や配光制御技術を用い、LEDの特徴を最大限に生かした設計で製品化した。



LEDダウンライト照明器具：“AKLD3200W/N”(写真左)，“AKLD1009W/15D”(写真右)

AKLD3200W/N：高効率反射板設計と電源効率の改善によって、業界最高水準の器具総合効率83lm/Wを実現した。消費電力はコンパクト蛍光灯に比べ約40%削減、寿命も40,000時間と長く、CO₂排出量は約18.1kg削減した(CO₂排出係数：0.39kg-CO₂/kWh・年間点灯時間3,000時間の場合)。

AKLD1009W/15D：光学設計されたレンズによって配光制御する。10.2Wの消費電力でハロゲンランプ50Wと同様のスポット光を実現した。

*三菱電機照明株

1. ま え が き

1997年、日本は京都議定書で、2008年から2012年までに1990年比で温室効果ガス排出量を6%削減することを約束し、目標達成に向け様々な取り組みを行ってきた。

現在、オフィスの電力消費量のうち、約21%が照明といわれており(図1)、省エネルギー照明の普及促進が今後も期待されている。

これまで、三菱電機照明株の照明器具は、白熱灯に加えて蛍光灯への展開、インバータ導入による高効率かつ省エネルギー化、インバータ化率の向上、照度センサ・人感センサ・制御ネットワークによる省エネルギー制御等、省エネルギー技術で業界をリードしてきた。

次世代光源LEDの光束と発光効率率は年々向上しており、2009年には100(lm/個)・100(lm/W)に到達している(図2)。現状、既存の白熱灯照明器具をLED照明器具へ切り替えることで、省エネルギーが大幅に図れるが、ここ数年で蛍光灯器具の効率も追い抜き、住宅・店舗・オフィスの主照明としての普及が加速すると考えられている。

LED照明器具の特徴として、長寿命、小型・軽量、点滅性能に優れる、可視光以外の放射がほとんどない、水銀等の環境に有害な物質を含まないなどが挙げられるが、本稿では、最近のLED照明器具のトレンドと開発品の特長である省エネルギー性について述べる。

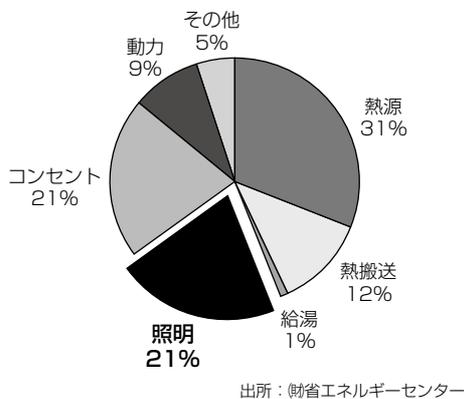


図1. オフィスビルの用途別エネルギー消費割合⁽¹⁾

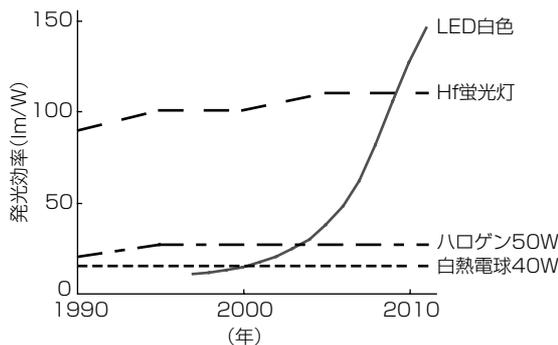


図2. 白色LEDと従来光源との発光効率の推移

2. 最近のLED照明

2.1 高演色器具の実現

LEDの光は、数年前まで一般的な照明用途としては使いづらさがあった。これは、一般的な蛍光灯と比べて演色性が低かったからである。演色性とは、色の見え方(再現性)を表す指標で、8種類の定められた物体色を、試験光源と基準光源とで比較し、その色の違いの度合いを調べ(特殊演色評価数)、その平均値が平均演色評価数Raである。

$$Ri = 100 - 4.6\Delta Ei \dots\dots\dots(1)$$

$$Ra = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Ri \dots\dots\dots(2)$$

ΔEi : 色ずれの大きさ
 Ri : 特殊演色評価数
 Ra : 平均演色評価数

例えば、白熱灯はRa=100、事務所で一般的に使用されている三波長形蛍光灯でRa=84ほどであるのに対し、従来の一般的なLEDはRa70程度であった(図3)。CIE(国際照明委員会)の推奨基準では、住宅、ホテル、店舗、事務所、病院等の施設ではRa>80であり、Ra70では適さない。

そこで近年、従来白色LED照明の“青色LED+黄色蛍光体”から“青色LED+赤・黄・緑色蛍光体”にすることで演色性を向上させた、高演色タイプのLEDが実用化されている。

2009年に入りLED電球の価格が大きく下がり、いよいよ普及に向けた動きが出てきている。そのLED電球でも、色の見え方が自然となるようRaを80レベルにするなど、LEDの特長である省エネルギー・長寿命はもちろん、家庭や店舗などでも違和感なく使用できるよう、あかりの“質”も重視されてきている。

2.2 連続調光による省エネルギー制御

LED光源も蛍光灯と同様に、点灯時間とともに緩やかに明るさが落ちる。また、器具の汚れによって器具効率が低下するため、オフィスや商業施設ではこれらを見込んで、適正照度となるように器具を選定し台数を設定して

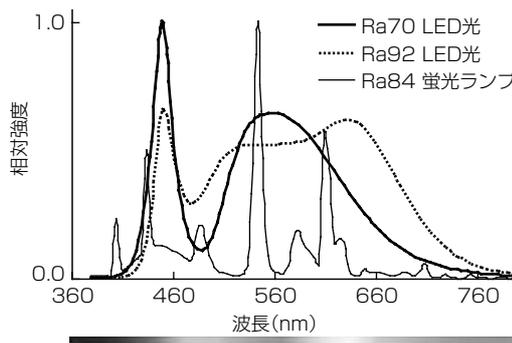


図3. 発光スペクトルの違い

いる。つまり、設置当初は設定照度よりも明るく、その分、無駄に電力を消費していることになる。また、昼間は窓からの昼光がプラスされる。この無駄な電力消費を抑制するのが、連続調光形照明器具と照明制御システムとの組合せであり、LED照明器具でも今後、連続調光形の普及が進むと予想される。

2.3 新しいデザイン

LEDの特長は省エネルギー・長寿命だけではない。点光源なので、これまでの白熱灯や蛍光灯器具とは異なり、デザイン的な自由度を持っている。図4のLED照明器具は、LED光源を平面的に配置することで、画期的に薄く、シンプルな外観を実現できている。照明器具の存在感を低減、室内に溶け込ませることができ、従来のシリンダ形のスポットライトと違い、視線方向からは薄い板が浮いているような印象を与え、空間のテイストや照射物を邪魔しない光環境が実現可能である。

3. 省エネルギー性の実現

3.1 LED照明器具の構成と消費効率

LED照明器具は、LEDモジュール(LEDパッケージが実装された配線用プリント基板)と照明器具筐体(きょうたい)と電源回路からなる。

LED照明器具の消費効率は、光束/消費電力で表す。

消費効率(器具総合効率)を決める構成要素は、①LEDの発光効率、②電源回路の効率、③温度依存効率、④光学系効率である。

$$\begin{aligned} & \text{器具総合効率} \\ & = \text{①LEDの発光効率} \times \text{②電源回路の効率} \\ & \quad (\text{lm/W}) \quad \quad \quad \% \\ & \quad \times \text{③温度依存効率} \times \text{④光学系効率} \quad \dots\dots\dots(3) \\ & \quad \quad \quad \% \quad \quad \quad \% \end{aligned}$$

ここでは器具総合効率の構成要素である、③温度依存効率と、④光学系効率について述べる。

3.2 温度依存効率(熱特性)について

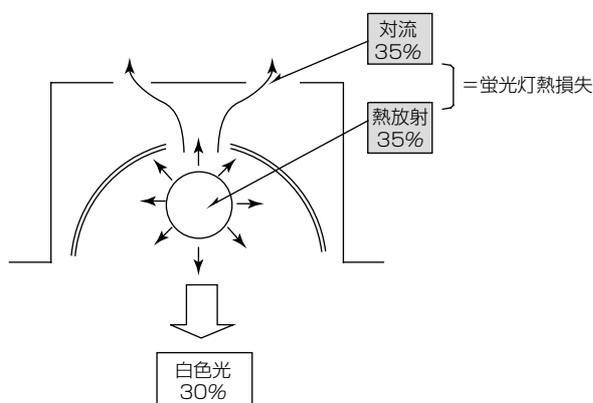
白熱灯や蛍光灯等の従来光源では、可視光に変換されなかった余分なエネルギーを次のように放熱している。

例えば、白熱灯は主に赤外線(熱線)として放射し、蛍光灯は発光管の表面積が大きいので、空気の対流を利用して

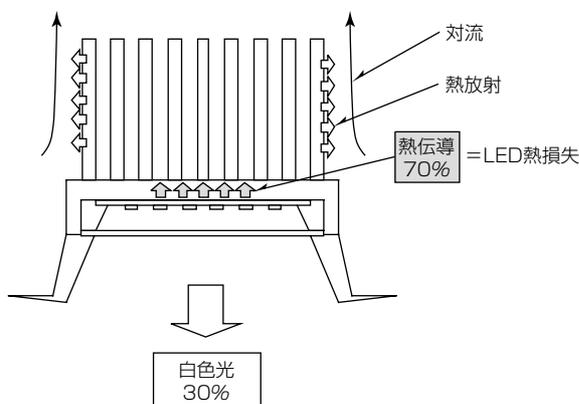
放熱することができている。

一方、LEDは赤外線をほとんど放射せず、表面積が小さいため、従来光源用器具と同じ設計では放熱は非常に困難である。LEDはチップの温度が上昇すると光束が落ちることから、チップから発生する熱を効率良く伝熱し、LED照明器具を構成する要素全体で熱抵抗を最小化することによって放熱することが重要である。図5に蛍光灯とLEDダウンライトの放熱構造の概略図を示す。

また、開発品については、アルミ基板を用いることで、LEDパッケージと筐体との熱抵抗を極めて小さく抑え、筐体から空気への放熱については、熱流体解析によってアルミダイカスト製の放熱フィン形状・配列を最適に設計している(図6)。

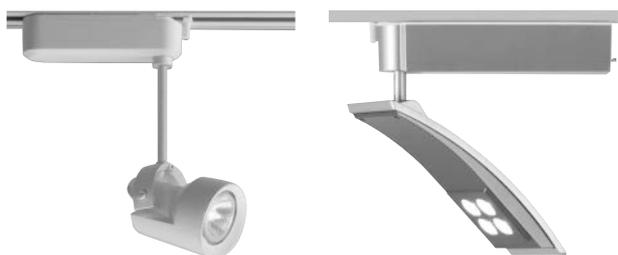


(a) 蛍光灯照明器具の場合



(b) LED照明器具の場合

図5. ダウンライトの放熱構造概略図



(a) 従来形器具 (b) 新しいデザイン形LED器具

図4. 従来形器具と新しいデザイン形LED器具

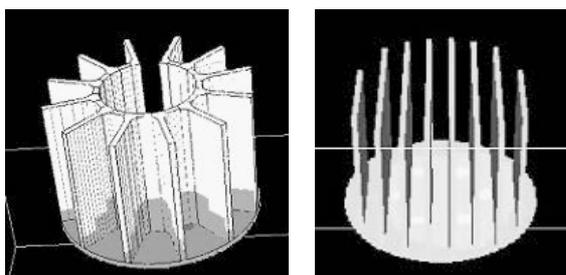


図6. LEDダウンライトの放熱フィン

3.3 光学系効率(光特性)について

LED光源の特徴として、発光部が小さいことと、光の指向性を持つことが挙げられる。この2点はいずれもLED光源を照明器具にする上で、従来光源より効率良く光を取り出すことに寄与している。

図7に白熱灯とLED光源の各配光と、光源の光を制御する反射板を用いた配光の概略図を示す。白熱灯は配光が全方位なのに対し、LED光源は下方のみの指向性を持っている。白熱灯の場合、全光量のうち約33%が直接下面に出射されるのに対し、LED光源の場合は76%が直接下面に出射されるため、反射ロスが少なく効率が良い(下方120°範囲への直接出射比率)。

また、白熱灯は発光部が器具と比較し大きいため、効率の良い反射板の設計が難しい。白熱灯では光源への再入射が多くなるため、光学系効率が70%程度であるのに対し、LEDの発光部は3mm角程度(1W級)と小さく、反射板の最適設計によって高効率が期待できる。

ダウンライトでは、LED光源ごとに設けた反射板と天井埋め込み枠との組合せで遮光をとる光学設計や、高反射率の材料を採用することで、光学系効率94%の高効率と枠部の輝度むら、被照射面の照度むらを抑制している(図8)。

また、スポット光(集光)タイプでは、より効率良く光を集光するため、レンズで配光制御をする。レンズの屈折を利用し、反射板方式では制御できなかった正面方向の光を任意の方向に制御することができ、より細やかな配光制御が可能になる(図9)。

4. むすび

LED照明分野で、放熱設計と高効率反射板設計によって、業界最高水準の器具総合効率83lm/Wを実現し、長寿命でコンパクトな器具を開発した。さらに、高演色タイプ、連続調光タイプをラインアップに加えることで、幅広いニーズにこたえる機種をそろえることができた。その省エネルギー性によって、ランニングコストが低く抑えられ、またLED光源は長寿命であることから広く普及が期待される。

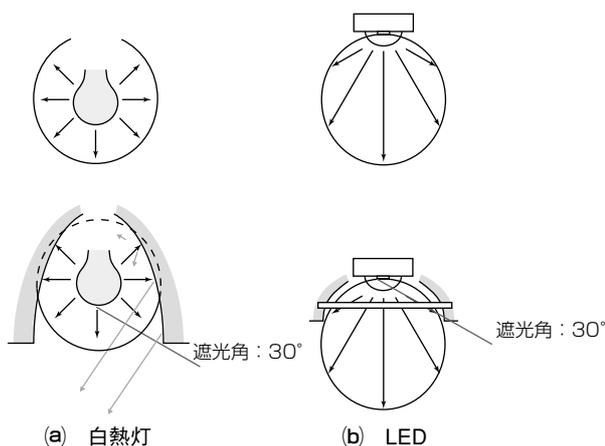


図7. 光源の配光と反射板を用いた配光

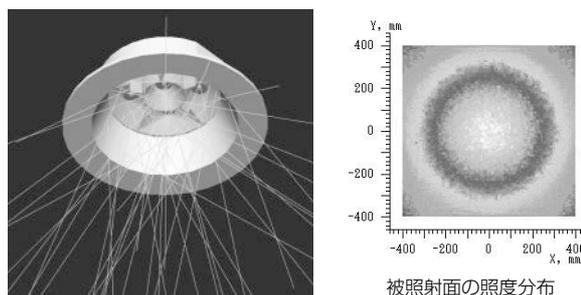


図8. LEDダウンライトの光学シミュレーションの例

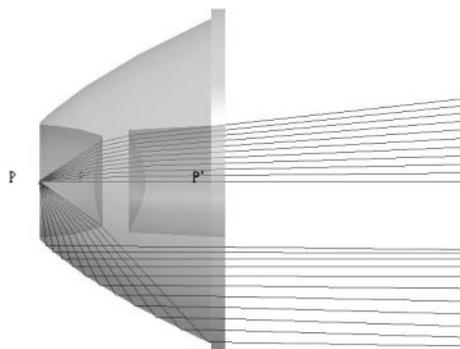


図9. LED用レンズの光学シミュレーションの例

参考文献

- (1) 財省エネルギーセンター オフィスビルの省エネルギー
http://www.eccj.or.jp/office_bldg/index.html