

LED 照明の現状と課題、今後の展開

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

白色発光ダイオード（以下、LED）は“21世紀のあかり”と言われ、1996年の誕生以来16年が経過しようとしています。前回『建築コスト研究』2010年10月号に「LED照明に関する調査報告」としてLED照明について紹介しましたが、ここ2年の進歩には目覚ましいものがあります。加えて、東日本大震災以降の節電の流れで、急速に市場に広がる様相を見せており、本格的にLED照明の時代が到来しようとしています。

LED照明が期待されている理由には、次に示す従来の照明に無い特徴が大きく影響しています。

- (1) 急速な発光効率の向上
 - (2) 長寿命（40,000時間以上）
 - (3) 光源としてコンパクト・軽量で省資源
 - (4) 点滅を行っても寿命に影響が無く、調光・点滅が自在
 - (5) 赤外線・紫外線をほとんど含まない
 - (6) 低温でも発光効率が低下しない
 - (7) 環境に有害な物質（水銀等）を含まない
- LED照明は、魅力ある特徴をいくつも持っていますが、反面、次に挙げる課題も持っています。

- (1) 器具光束と照明器具総合効率の更なる向上
- (2) 更なる長寿命化
- (3) 色温度並びに演色性の改善と器具効率向上の両立
- (4) 色のばらつきの是正
- (5) ノイズ、ちらつき対策
- (6) 低価格化

本稿では、これらの課題に対する新技術や改善

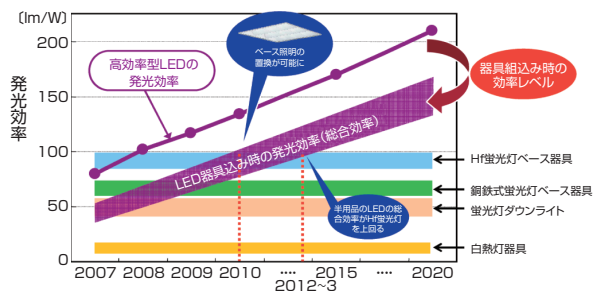
策並びに、全照明域へと今後急拡大が予想される各種LED照明器具の動向について述べます。

2 LED 照明器具の課題と改善策

(1) 器具光束と総合効率の向上

白色LEDモジュールは、ベースである青色LEDチップの発光効率の向上や、光学的な損失の軽減（モジュール内での光取出し効率の向上）及び、LEDモジュールの放熱技術の向上により、図2.1の白色LEDの技術ロードマップに示すように、2012年時点で160ルーメン/Wを超える発光効率のモジュールが量産されるようになりました。これに併せて器具組込み時の効率（器具効率）も100ルーメン/Wを超過し120ルーメン/Wの製品も生産されるようになってきており、現行の最高効率の性能を有するHf蛍光灯器具を追い越す勢いで器具効率の改善が進んでいます。

また、高出力照明用LED素子の開発も盛んに行われており、色温度より効率に差はあるものの、各要素技術の進歩に併せて、210ルーメン/W以上の効率を有する白色LEDモジュールの出現も夢ではない状況にきています。



出典：LED照明推進協議会資料及びパナソニック電工(株)資料より

図2.1 白色LEDの技術ロードマップ

LED素子の高出力化に伴い、少ないモジュールで従来のLEDランプと同等の光束量を持ち、消費電力の低減と低コスト化の双方を実現した製品も生まれています。また、大電流LEDには欠かせない要素として、パッケージ内に多数のLED素子を搭載した集積型LEDモジュールなどの新しい技術も開発され、更に高効率な白色LEDモジュールが生まれています。集積型LEDモジュールは大きな素子の一つを搭載するよりも、小さな素子を多数搭載する方が、色のバラツキも軽減されると共に、発光面積も大きくとれるなどのメリットも併せ持っています。

(2) 更なる長寿命化

LED素子は固体発光方式のため、従来の光源のようにフィラメントの劣化・断線などで不点灯になることはありませんが、使用材料の劣化などにより点灯時間に沿って光束が減少していきます。LEDの寿命についてはJIS C 8105-3:2011「照明器具-第3部：性能要求事項通則」の中でLEDモジュールの寿命について「点灯しなくなるまでの総点灯時間又は全光束が、点灯初期に測定した値の70%に下がるまでの総点灯時間のいずれか短い時間」と定義されています。

LEDモジュールの劣化の主な要因は、封止樹脂が熱や紫外線などで劣化し透過率が低下するためですが、図2.2に示すように従来の封止樹脂を

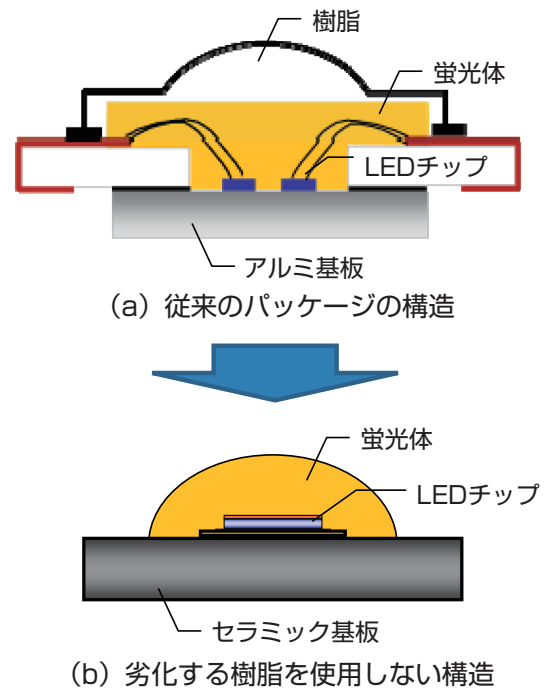


図2.2 劣化する材料を使用せず長寿命化を図った例

使用したパッケージ構造を、樹脂に変えて劣化の少ない蛍光体にて封止する構造に変えるなど、更なる長寿命化を図る研究開発が進んでおり、これにより40,000時間を大幅に超える60,000時間超のLEDモジュールも作られるようになっていきます。

(3) 色温度と演色性の改善と器具効率向上の両立

一般のLED照明器具は、三波長蛍光ランプに

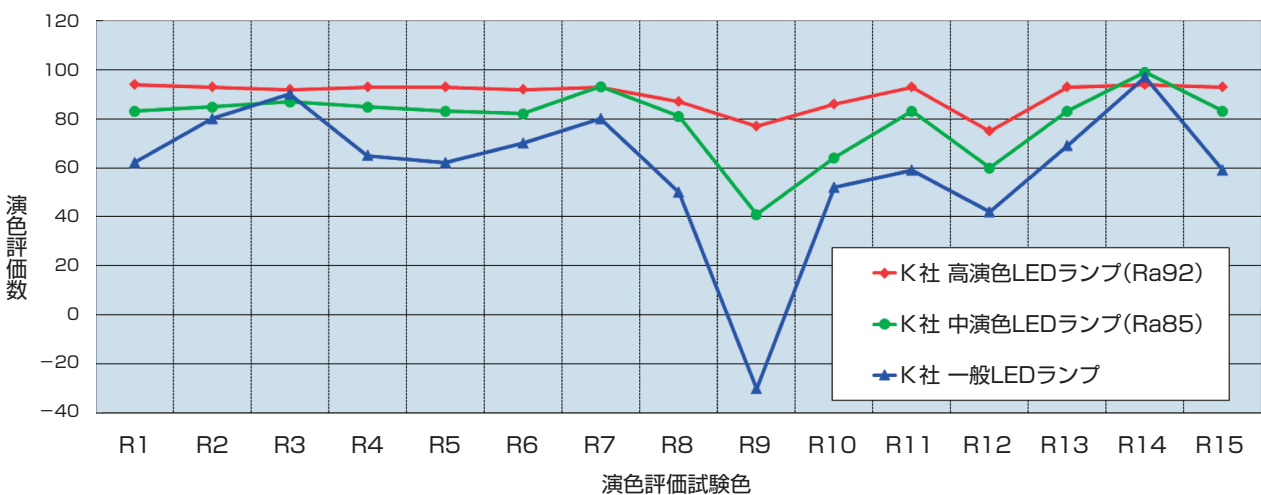


図2.3 一般、中演色、高演色の各LEDランプの演色評価数

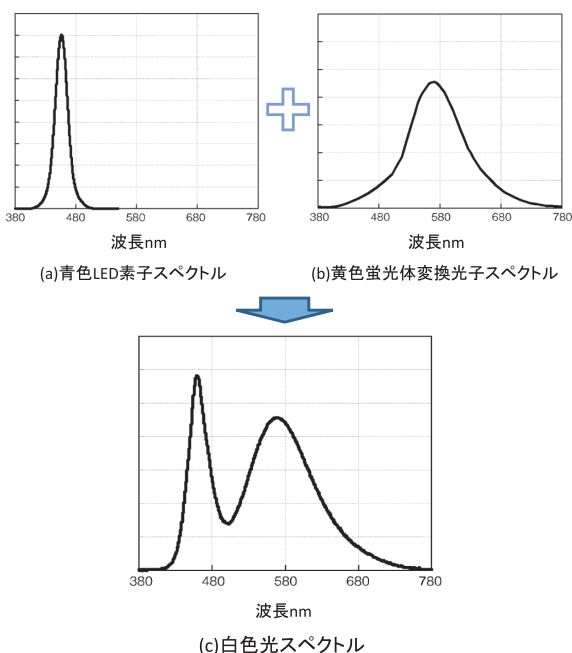


図2.4 青色発光ダイオード素子と黄色蛍光体の組合せで作る白色光スペクトル

比べて演色性が良くないと言われています。図2.3に一般LEDランプと、中演色性、高演色性の各LEDランプの演色評価試験色での演色評価数をグラフにしたものを示しますが、一般LEDランプは中演色性・高演色性LEDランプに比べてR1、R8～R10の暖色系の演色評価数が低い傾向にあり、平均演色評価数（Ra）でもRa70と低い値になっています。

一般照明用に使われる白色LEDモジュールは、青色LED素子の発する青色光と黄色蛍光体によって励起・変換された黄色光との合成光であり、図2.4に示すように、この2つのスペクトラムの強さにより色温度が決まってきます。一般的には黄色蛍光体に2種類以上用いる方法を採用し、(b)の黄色蛍光体シート変換光スペクトルの幅を維持していますが、黄色蛍光体の量が多いとLEDの発光が障害され発光効率が低下する要因になるため、器具効率を優先するタイプのLED照明器具は青色のスペクトラムが強く色温度が高い傾向にあります。図2.5は全般照明に使用するダウンライト形LED照明の色温度と平均器具効率の一例ですが、色温度5000K（昼白色）のLEDランプの器具効率が一番優れている

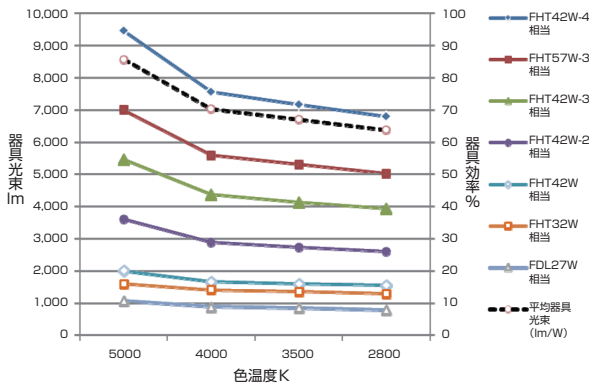
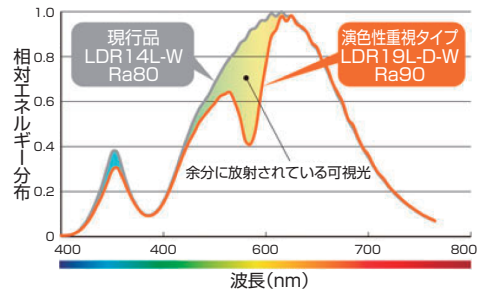
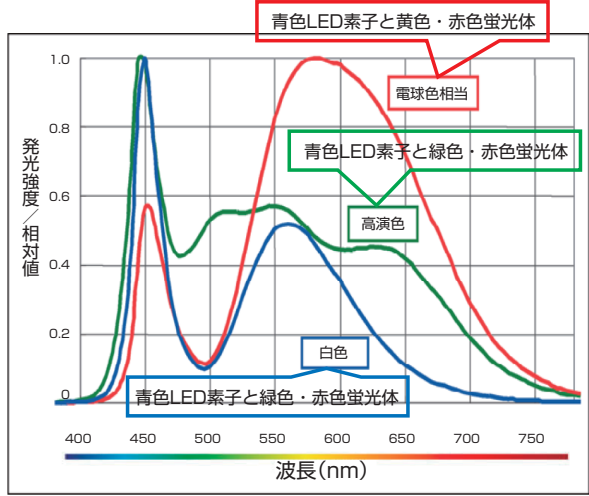


図2.5 ダウンライト形LED照明の色温度と平均器具効率



(a) 可視選択吸収フィルターを採用し不必要な光を吸収して高演色性を得ている例



(b) 照明用LEDモジュールの発光色バリエーション

図2.6 照明用LEDモジュールの演色性を改善する技術(例)

のが示されています。蛍光ランプで主流の白色（4,000K）や、落ち着いた雰囲気を作り出す温白色・電球色での器具効率の向上が課題となっています。

演色性を改善する方法として図2.6の(a)に、可視選択吸収フィルターを採用し、450nm付近（青）と580nm付近（黄）の光を吸収し、全体の分光分布バランスを適正化する方法により、高い平均演

色評価数を得ているメーカーの例を示します。この方法により平均演色評価数Ra90以上の高演色数値を確保し、自然な色を再現しています。一方、図2.6の(b)に青色LEDから緑色及び赤色の光を作り出す蛍光体の開発を進め、青／緑／赤の光の3原色を発生するLEDモジュールを開発して平均演色評価数Ra90のLED照明を製品化している例の発光スペクトルを示します。双方とも演色性を改善するために光の吸収や蛍光体の量を増やす等の方法を採用するため、LEDの発光が阻害され発光効率が低下するなど、演色性の向上と器具効率の向上は相反する関係にあり課題となっています。

CIE（国際照明委員会）では用途に応じた平均演色評価数の基準を設け、光源の演色性に対しても一定の要求を行っています。また、JIS Z 9110-2010の照明基準総則では長時間執務を行う事務所等ではRa80以上が規定されており、照度基準を満足するだけでなく、光の質の向上も求められており、演色性の向上は照明器具にとって必要な要件となっています。

(4) 色のばらつきのは正

白色LEDモジュールは、製作時の複雑かつ微妙な工程をもつ半導体製品であるため色のばらつきが生じ、複数個の白色LEDモジュールで一つの面を照らすようなウォールウォッシャーやコープ照明などでは、白色LEDモジュール毎の色の違いが見えやすく、違和感を覚えるだけでなくクレームの原因になることもあります。青色LEDチップと黄色蛍光体を用いる白色LEDモジュールでは、製造過程で生じる青色LEDチップの波長ばらつきや黄色蛍光体量のばらつきが原因で、色温度に大きなばらつきが生じるのは止むを得ないことですが、メーカーでは色温度のばらつきの少ないLEDモジュールを得るために、完成品の色温度を測定して適合品を選別する方法や、蛍光体を封止樹脂と共に成形して一定の厚みにする方法を採用して、色温度のばらつきを極力抑える努力を行っています。しかし、この方法では白色

LEDモジュールの不適合品が減らず、コスト低減に繋がらないため、青色LEDチップの製造工程でのばらつきをランク分けして、それに合わせて黄色蛍光体の量を調整することにより、色温度のばらつきを蛍光灯並みの5SDCM^{*1)}以内を目指しているメーカーもあります。

*1) 5SDCM：基準監督者が等色と判断する色温度範囲。

(5) ノイズ及びちらつき対策

LED照明器具の電源装置はスイッチング電源を使用している場合が多く、未対策だとノイズが発生する可能性が高くなります。LED照明器具は電気機器製品でありながら、一部の機器（別置のLED電源ユニット、電気スタンド、庭園灯具等）を除いて電気用品安全法の規制対象外であったために、電磁放射対策に関してはメーカーの自主規制に任せている状態でしたが、電気用品安全法施行令改正（平成23年7月6日公布、平成24年7月1日施行）により規制対象品として追加され、基準を遵守することが求められています。また、平成24年1月13日改正された電気用品の技術上の基準を定める省令では、「一般照明に使用するLEDランプ又はLED照明器具にあっては、光出力はちらつきを感じないものである事」と定められました。当初のLEDランプなどには、廉価な定電流ダイオード方式の制御装置が多く採用

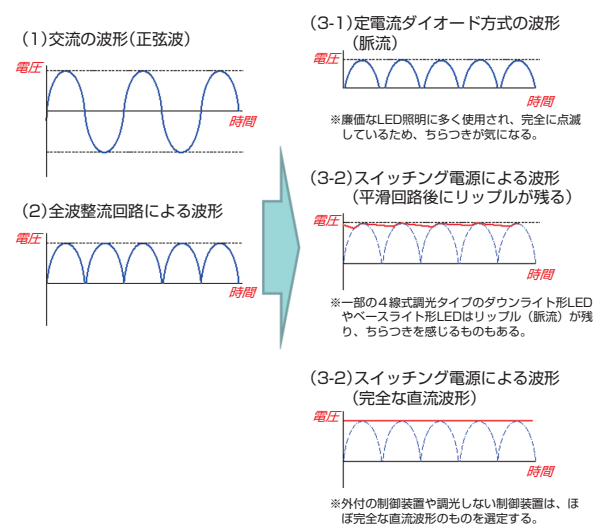


図2.7 定電流ダイオード方式とスイッチング電源方式の電圧波形

されており、図2.7の電圧波形図に見られるように脈流による点滅がちらつきに見える製品が多く見受けましたが、最近ではスイッチング電源が主流になっており改善傾向にあります。しかし、スイッチング電源でも平滑回路で除ききれない波形の乱れ（リップル）が残る場合があります、今回の改正並びに制定により非対策品や粗悪品については淘汰されて行くものと考えます。

(6) 低価格化

LED照明器具にとって最大の課題はコストです。現時点でもLEDの長寿命化による光源の交換コストや、高効率化による節電効果を考慮すると、ランニングコスト面では白熱灯・電球型蛍光灯器具に十分勝り、直管形Hf蛍光灯器具に肩を並べようとするレベルまで達しつつありますが、初期コストでの割高感は依然として存在します。しかし、液晶テレビ用バックライトにもLEDモジュールが使われたことにより、膨大な数のLED素子が量産されるようになり、大量生産を実現するための生産技術の進歩など、この相乗的な量産効果により、更なるコストダウンが進んでいるのも事実です。また、技術面では前述のように、LED素子の発光効率の向上や集積型LEDモジュールの開発で、少ない素子・モジュールで従来の器具の代替が可能となり、その分コストダウンにつながっています。

LED照明器具が全般照明の代替器具として取り沙汰される先駆けはダウンライト形です。当初は廊下など演色性を重視する必要のないところで採用されたこともあって、演色性よりも発光効率が重視され、ランニングコストを含めたトータルコスト面で比較的高くないイメージでの価格設定がされたこともあって、普及につながって行きました。このダウンライト形をきっかけに、現在はベースライト形やスポットライト、更には屋外器具に展開している最中です。図2.8にそのきっかけとなったダウンライト形LED照明器具の2008年以降の実勢価格推移を示します。2009年には大きく下落し、最近の低価格化には目を見張るもの

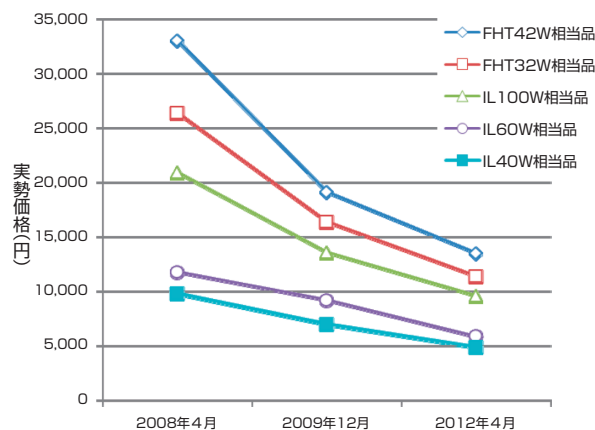


図2.8 最近のダウンライト形LED照明器具の実勢価格推移

があります。

3 LED照明器具の種類とその動向について

LED照明は半導体材料からなる固体光源であり、コンパクトで軽量であるため点光源として扱う事ができ、様々な建築空間にマッチした器具デザインが可能です。点光源を追及したものや、面光源の利点を生かした器具など幅広い種類の器具が考えられますが、従来の照明器具の代替といった製品が主流で、LED照明の特性を生かした器具はこれからというところです。図3.1に示すようにダウンライト形からスタートしたLED照明器具が、従来器具を置き換えるのに遜色のないレベルまでラインナップして来ています。

(1) ベースライト形

ベースライト形は大別するとスクエアタイプとストレートラインタイプに分かれます。スクエアタイプでは350角、450角、600角と建築材との整合性などの観点から従来の蛍光灯器具同様のサイズのもの主流になっています。同様にストレートタイプに於いてもスムーズなりニューアルに対応出来るように、現行の蛍光灯器具と同系の寸法を採用するケースが多く見られます。

また、器具の分類面では、長寿命の観点からLEDランプの交換を意識しないLEDランプ一体形と、既存の蛍光灯器具や白熱灯器具と同様にランプを交換する事が可能なLEDランプ交換

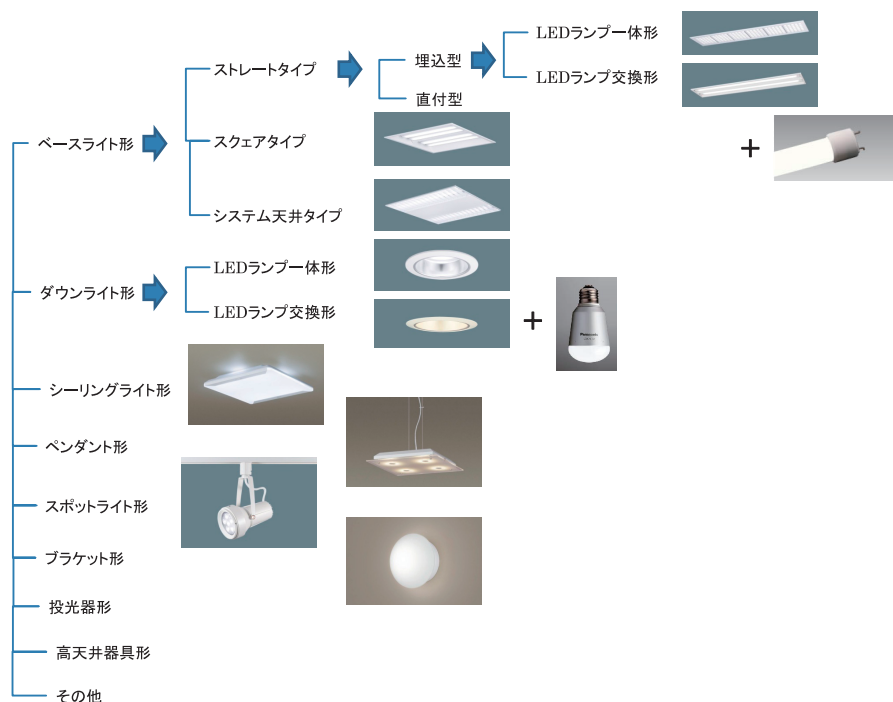
形など、従来の照明器具に匹敵するLED照明器具のラインナップが整いつつあります。

(2) 投光器形や高天井器具形など高出力器具について

多量の器具光束が要求される投光器形LED照明器具については、器具光束が30,000ルーメン超級の器具が開発され、HIDランプの弱点であった光束が安定するまでの時間や再点灯までの時間が不要な特性を生かし、スポーツ照明などに採用されてきています。照明範囲外への余分な光を抑制することが可能で光害抑制や、省エネかつランプ交換不要のLED特性を生かして、幅広い範囲の屋外照明などに今後積極的に採用されて行くと考えられます。また従来光源では出来なかった5～100%の連続調光を生かし、薄暮などの間引き点灯が必要な場合でも均斉度を保ちながら省エネが可能な利点も併せ持っています。また、同様に多量の器具光束が要求される高天井器具については、40,000時間を超える長寿命であることからランプ交換を意識する必要が無く、ランプ交換のための昇降装置などの付属機器が不要である利点が注目されています。

(3) 住宅向け照明器具について

住宅向けでは明るさだけでなく光色もシーンに合わせて可変できるシーリングライトやダウンライトが開発され、従来の光源では不可能だった視環境が作れるようになってきています。また、点光源・面光源双方の特徴を生かし、1室1灯の平面を重視するあかりから、1室複数灯の立体的なあかり演出する手法も考えられるようになって来ています。



4 まとめ

白色LED が登場してから約16年が経過しましたが、その性能は向上し続けており、LED照明の応用用途は拡大の一途をたどっています。一方で期待に応えるための高演色性・高効率化・長寿命及び低価格化等の様々な課題が現れていることも事実です。しかし省電力・節電ニーズの高まりから、白色LED照明に対する期待は大きいものあり、これらに応えるための技術開発が更に進み、これらの課題を乗り越え、LED照明が更に進展することは間違いありません。また、光源の全てを半導体で構成できるため、デジタル制御による省エネ性・快適性・安全性などの新たな付加価値を見出すことも可能です。LED照明は、既存光源からの置き換えに加え、新たな照明市場を切り開きながら、21世紀の明かりとしてみますますその用途が広がっていくものと期待されます。

[参考資料]

- パナソニック(株)エコソリューションズ社 資料及びカタログ
- 東芝ライテック(株)資料及びカタログ
- シャープ(株)資料及びカタログ

図3.1 LED照明器具の種類