

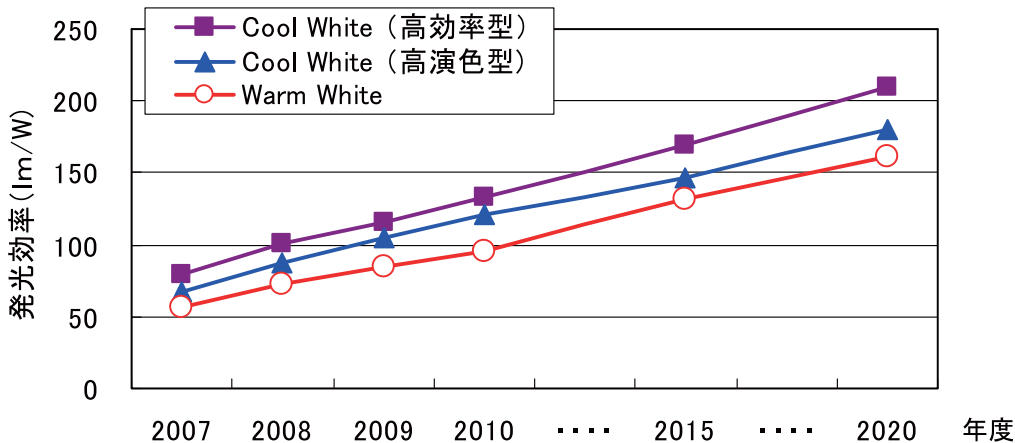
## 照明用LEDの現状と将来

岡崎 淳 加藤 正明 小西 勝之  
電子デバイス事業本部 システムデバイス第3事業部

発光ダイオード(以下,LED)は,1963年に赤色LEDが登場し,1993年に高輝度青色LEDが,1996年には蛍光体との組合せによる白色LEDが登場しましたが,その後急速に発光効率が向上し,図1のように2015年には150lm/Wに到達し,照明器具の多くがLEDに置き換わっていきと見られています。

シャープは1968年にLEDの開発に着手し,1970年にはLEDランプの量産を開始,その後,数字表示ユニット,超高輝度赤色LEDランプなど,表示用LEDの開発と製品化を推進してきました。そして1991年から青色LEDランプの開発に着手し,2007年には投入電力3.6Wの業界最高レベルの照明用LEDモジュールを開発するなど,照明用LEDの開発を加速しています。

本稿では,今後急拡大が予想される照明用LEDの現状と今後の展望を展望します。



出展: LED 照明推進協議会\*1 (JLEDS Technical Report Vol.2)

### 注意事項:

- 本ロードマップは,LED照明推進協議会に参加する会員企業に対して,アンケートを実施,その結果を集計したものです。
- アンケートではHigh Power LED 技術開発ロードマップについて実施しています(主に一般照明用途とし,液晶バックライト用途,自動車用途,産業機器用照明は対象外としています)。
- アンケートではCool White(高効率型),Cool White(高演色型),及びWarm Whiteについて実施しており,あえて色温度などを定義せず,色度範囲などは企業によって異なります。
- 測定条件は,企業によりまちまちであり,一定条件の元での値ではありません。またチップサイズが大きくなることで,発光効率が必ずしも向上するとは限らないため,この集計ではチップサイズの大きさは考慮していません。

図1 発光効率ロードマップ (アンケート結果)

### LEDの歴史と現状

1879年にエジソンがフィラメントの発熱現象を用いた白熱電球を開発した頃から,電気を用いた照明器具の時代が始まり,その後1938年に放電現象を用いた蛍光灯が実用化され,近代的な電気照

表1 現在の照明光源の発光効率

光源の種類	発光効率 (lm/W)	
白熱灯	~ 20	
放電灯	蛍光灯	50~100
	水銀灯	30~60
	ナトリウムランプ	100~180
	メタルハライドランプ	100~130
白色LED	50~80	

### \*1 LED照明推進協議会

2007年8月1日に特定非営利活動法人として設立。LED照明に関する幅広い会員企業等で構成され,シャープもその会員企業です。

明が急速に拡大していきました。

一方、半導体などによる発光現象も古くから知られており、エレクトロニクス技術の進展に伴い、半導体の発光現象による固体光源の開発が進められています。

発光ダイオードは、PN接合を有する半導体素子に電流を流す事によって電気エネルギーが直接光エネルギーに変換されるため、高いエネルギー効率が期待でき、古くから研究が行われていました。1963年に赤色LED (GaP系) が登場し、その頃から可視光LEDの歴史が始まったと考えられます。その後技術が進展し、緑色、黄色、橙色など、様々な発光波長のLEDが登場すると同時に、LEDの量産技術開発も加速され、信頼性の向上やコスト低減も進み、LEDが表示用やイルミネーション用光源としてその地位を確立しました。しかし、照明用に使用するにはまだ明るさが足りませんでした。

そして1993年に高輝度青色LED (GaN系) が登場し、1996年には蛍光体との組合せによる白色LEDが登場してから、本格的に照明用LEDの開発が始まりました。その後急速に発光効率\*2が向上し、図1のように2015年には150lm/Wに到達する勢いで開発が進められており、やがては多くの照明器具がLEDに置き換わっていくものと見られています。

シャープは早くからLEDの開発に着手し、1970年にはLEDランプの量産を開始、1987年には業界トップレベルの超

高輝度LED (光度5,000mcd) の量産化を実現しました。また1991年には青色(波長470nm) LEDランプを開発し、2007年には投入電力3.6Wの当時業界最高クラスの出力 (280lm) を有する照明用LEDモジュールを開発しました。

表2にシャープLEDの主な歴史を示します。LEDランプや数字表示用、ドットマトリクス用、アミューズメント機器用などの表示用LEDで事業を拡大し、青色LEDを用いた白色LEDの高輝度化に伴い、携帯電話などモバイル機器のバックライト用や、一般照明用LEDモジュールの製品化にも積極的に取り組んでいます。更にノートパソコン及び大型液晶テレビのバックライト用や、複写機などの特殊光源用にもLEDの応用開発を進めており、更なる事業拡大を目指しています。

図2にシャープのLEDランプとチップLEDの現在の主要製品を示します。

## LEDの特長と課題

LEDがこれ程にまで拡大し、また期待されている理由は、以下のLEDの特長によるものです。

[LEDの主な特長]

- (1) 高発光効率 (効率向上が進展中)
- (2) 長寿命
- (3) 光源として小型・軽量
- (4) 点滅を行っても寿命に影響しない
- (5) 白色LEDの場合、光に赤外線・紫

### \*2 発光効率

投入電力に対する、光源が発する全光束 (lm) の割合。また全光束は光源が全ての方向に放出する光の総量。

表2 シャープLEDの主な歴史

1970	LED ランプ (ステムタイプ) 量産。	1990	大型 (320mm 角) 屋外用ドットマトリクス LED ユニットの開発。
1973	オール樹脂タイプ LED ランプの開発。	1991	青色 (発光波長 470nm) LED ランプの開発。
1975	数字表示用 LED の量産開始。	1992	業界初、フルカラー LED ユニットの開発。
1976	バーグラフ表示用 LED の開発。	1993	MID 技術によるリードレス高輝度チップ LED を業界に先駆けて量産化。
1977	多桁数字表示用 LED の開発。	1994	業界最薄 (0.6mm)、超小型チップ LED の開発。
1979	レベルメータ LED ユニットの開発。	1995	屋内用フルカラー・ドットマトリクス LED ユニットの開発。
1980	面発光 LED ランプの開発。	2000	業界最薄 (0.35mm 厚) 超小型チップ LED の開発。
1981	ドットマトリクス LED の開発。	2003	業界最高レベルの照度 30 ルクス、混色光度 3cd の RGB3 チップ搭載超高輝度チップ LED の開発。
1985	GaAlAs 高輝度赤色 (発光波長 660nm) LED ランプの開発。チップ LED の開発。	2004	三原事業所に本拠地を移転。
1986	GaAlAs 超高輝度赤色 (発光波長 660nm) LED ランプの開発。	2007	投入電力 3.6W で業界最高出力 280 ルーメンの照明用 LED モジュールの開発。
1987	業界トップレベルの超高輝度 (光度 5000mcd) LED の量産化。		
1989	業界初、アノードコモン高輝度 2 色 LED ランプの開発。		

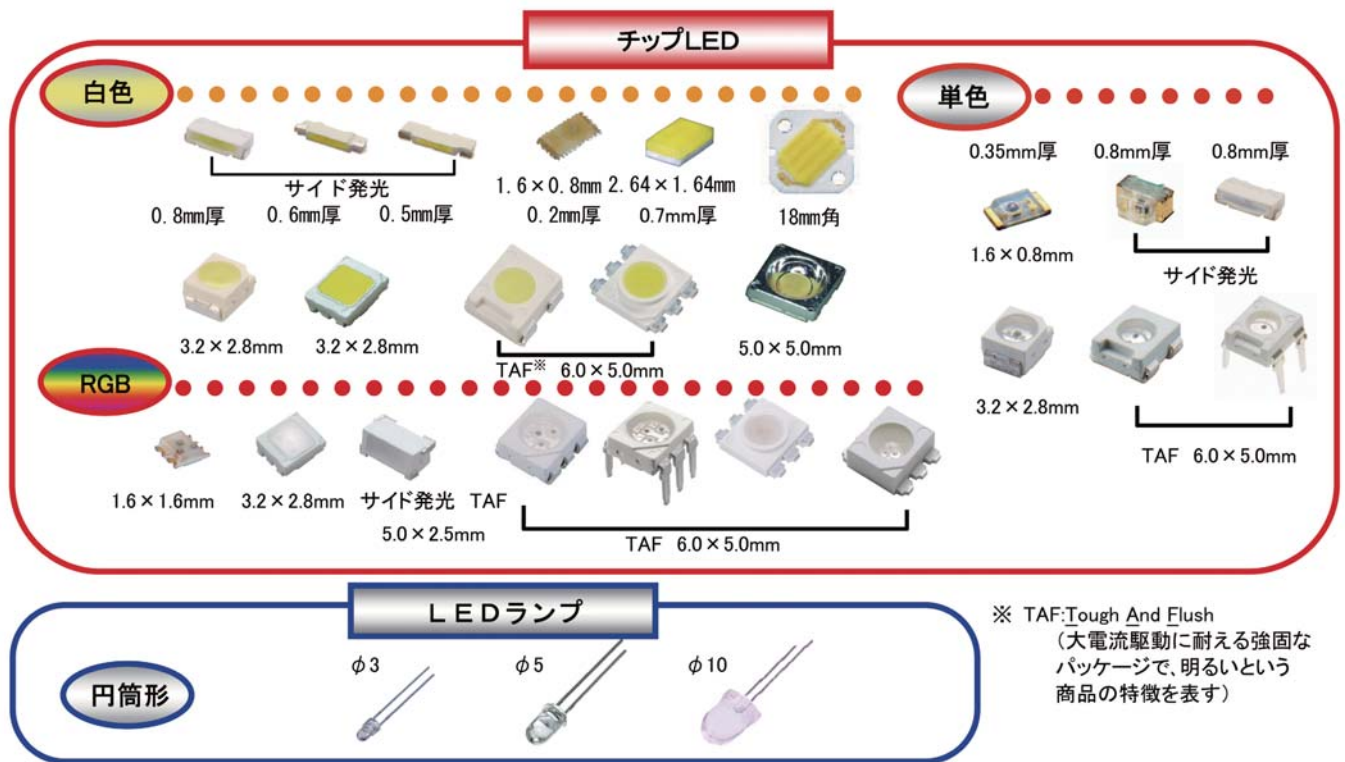


図2 シャープのLEDランプ及びチップLED主要製品

- 外線を殆ど含まない
- (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

一方、LEDが様々な用途に採用され、また検討されるに伴い、LEDに求められる要求も厳しくなっています。

白色LEDが登場してほぼ10年が経過しましたが、発光効率の向上や高出力化が進み、本格的に「光る光源から照らす光源」に用途が広がったのはここ数年です。これに伴ってLEDは大光量と同時にパワーデバイスとしての性能も求められるようになるなど、技術的なハードルが一段と高くなっており、要求性能と要求価格のトレードオフも含めて、LEDの解決すべき課題は、むしろ増えてきているといえます。

[LEDの主な課題]

- (1) 発光効率の更なる向上と照明器具全体の総合効率の向上
- (2) 更なる長寿命化
- (3) 更なる高出力化とこれに伴う放熱性の向上

- (4) 演色性\*3の改善
- (5) 特性バラツキの改善
- (6) 低価格化

### LEDの発光効率と総合効率

LEDの発光効率は、図1に示したロードマップのトレンドで向上して行くと思われませんが、実際にはLEDを照明器具に組み込んで商品化しなければなりませんので、このときに図3に示すような様々な損失が発生します。LED照明器具はこれらの損失を考慮した、総合的な効率の向上が必要となります。

### 電源効率 (図3の<1>について)

LEDは電気エネルギーで駆動されますので、電気的な駆動回路が必要ですが、LED照明用の駆動回路には、主に以下の性能が求められます。

- (1) 電源効率の向上
- (2) 長寿命(40,000時間以上が望ましい)
- (3) 高力率
- (4) 低価格

#### \*3 演色性

様々な光源が物体を照らしたときに、その物体の色の見え方が変化する性質。

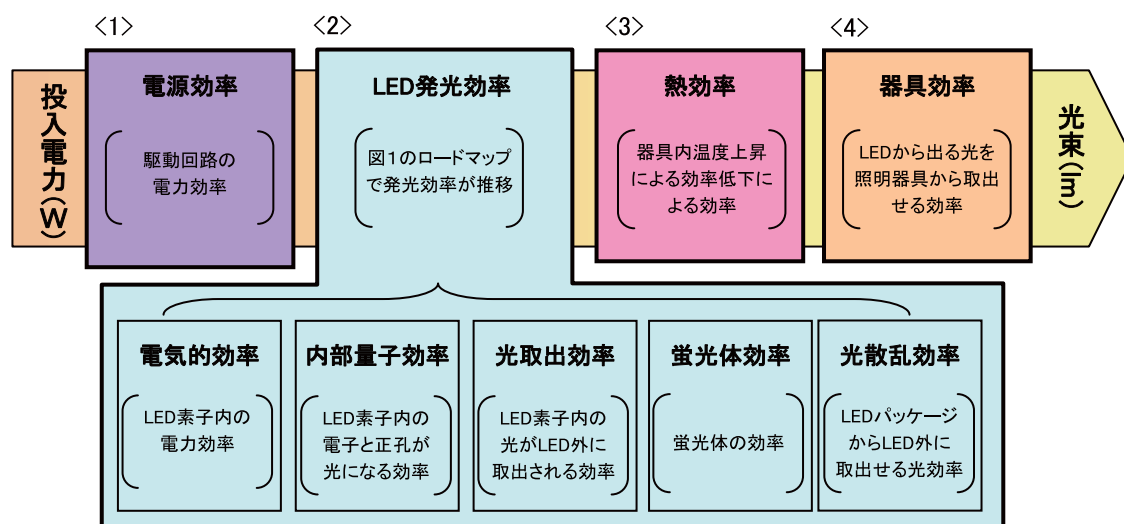


図3 LED照明器具の効率分布

電源効率は現時点では80～85%ですが、90%以上の効率も実現できます。しかし高効率を達成するには一般的には価格が上昇し、更に長寿命や高力率も求められていますので、これらの要求事項をトレードオフしながら、電源回路の効率を高めるのは容易ではありません。しかし駆動回路に用いるドライバICなどの回路技術も急速に進歩していますので、2015年頃には90%を超える電源効率が一般的なると思われます。

### LED発光効率(図3の<2>について)

LEDの発光効率は、図1のロードマップに沿って上昇すると見られていることは既に説明しましたが、もう少し具体的には以下に示すLED内部の効率改善が必要になります。

- (1) 電氣的効率
- (2) 内部量子効率
- (3) 光取出効率
- (4) 蛍光体効率
- (5) 散乱効率

それぞれの概要につきましては図3に示しましたが、これらの効率改善を行うには、LED素子の価格や、寿命、放熱性、静電気耐量、更には量産性など、様々な課題とのトレードオフが生じますが、これらの課題を解決しながら、2015年頃には150lm/WクラスのLED発光効率に達

すると見られています。

### 熱効率(図3の<3>について)

LEDは半導体ですので、温度上昇によって出力が低下する性質を持っていますが、蛍光灯等と比較すると、比較的溫度依存性が少ないと言えます。しかしながら、LED照明器具の温度上昇は、回路効率にも影響を与えますので、LED照明の放熱設計は大変重要であります。LED照明器具の放熱設計は、熱伝導、熱対流、熱放射の3つの観点から設計する必要がありますが、LED照明器具は一般的には空冷ファンなどの強制空冷を行いませんので、注意が必要です。

発熱に伴う熱効率は、現在では80～85%と見られますが、全体的な効率向上による発熱量の低下や、高放熱材料などの採用により、2015年頃には90%以上になるものと思われます。

### 器具効率\*4(図3の<4>について)

LEDはその特性上LEDデバイスの前面にしか光が出ない構造になっており、従来の光源のように背面に回り込んだ光を前方に戻す必要が無いので、器具効率の面からは有利であると言えます。しかしながら、LEDは点光源であることから、面光源に近い光源に近付ける場合には、光学レンズや反射材料、光拡散材料

#### \*4 器具効率

光源を照明器具に搭載した時に、光源から放射される全光束と、照明器具から放射される光束との比率。



#### \*5 光束維持率

光源の光束の初期値に対する、一定時間経過後の光束の減衰率。

などによる光学的な工夫が必要となり、これらの光学部材による光損失は避けられません。

現在のところこれらの光損失による器具効率は80～85%程度になりますが、光学設計の進歩やLED照明用の光学部材の開発などにより、2015年頃には90%を超えるレベルに達すると見られています。

#### 総合効率

LED照明器具の総合効率は上記の効率を掛け合わせたものとなり、LED照明器具への投入電力に対するLED照明器具から発する全光束との比率でも示すことができます。

例えば現時点でLED発光効率が80lm/W、電源効率85%、熱効率85%、器具効率85%であれば、総合効率が49lm/Wとなります。一方2015年頃には、LED発光効率が150lm/Wが見込まれ、仮に電源効率95%、熱効率95%、器具効率95%のレベルになるならば、総合効率で129lm/Wに達するものと見られます。

以上のようにLEDは確実にその発光効率を向上させており、省エネルギー光源として、白熱灯はもとより、蛍光灯などの高効率な放電管の発光効率をも上回ることは、もはや時間の問題といえます。

### LEDの寿命

一般的に白熱電球の寿命は1,000～2,000時間で、蛍光灯は6,000～15,000時間ありますが、LEDはこれらの光源に対し長寿命と言われています。LEDの故障モードにはLED素子の劣化や破壊あるいは電氣的接続に起因する点灯不良がありますが、実際にはLED素子を封入しているパッケージ材料の熱劣化及び光劣化等による、経時的な透過率や反射率の低下による光束の減衰が支配的です。

一方、一般の照明器具の電氣的寿命は、安定器やソケットなどの経年劣化や熱劣化による絶縁性能の低下などを目安に決められており、電気用品安全法の技術基準では、電気絶縁材料の性能限界は

40,000時間とされており、LED照明器具でも電気回路を用いている以上、電気絶縁物や電子部品類の経年劣化からは逃れることはできませんので、LED照明器具の寿命も40,000時間以上を目標とすることが妥当といえます。

LED光源の寿命は、パッケージ材料の劣化による、経時的な透過率や反射率の低下による光束の減衰率である光束維持率\*5で定義されますが、一般的な照明器具は光束維持率70%を寿命としていますので、LEDの寿命も以下を目指すことが妥当と見られます。

- (1) LED寿命 = 40,000時間以上（電子回路の寿命と同じとした場合）
- (2) LED光束維持率 = 70%（一般的な照明器具と同じとした場合）

大電力化と大光束化がますます求められている中で、LED照明の寿命が重要な要求性能となっています。大電力化の側面では、既にパワーデバイスの領域に入っており、LED素子から発生する熱対策が重要な課題になっています。また大光束化の側面からは、LED自身から発する光による光劣化対策も重要な課題です。加えて、電氣的な絶縁性能も安全面からは大変重要です。

シャープはこれらの課題に早くから着目し、熱や光などによる劣化が少なく、かつ絶縁性に優れたセラミック材料をLEDケースに用い、LED寿命40,000時

表3 6.7Wタイプ照明用LEDモジュールの特性例

機種名	タイプ	色温度 (K)	全光束 (lm)	発光効率 (lm/W)
GW5BWF15L00	白色	5,000	540	80
GW5BDF15L00	電球色相当	2,800	400	60
GW5BNF15L00	高演色	5,000	350	52
GW5BNF15L10	高演色	6,500	350	52

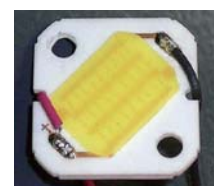


図4 6.7Wタイプ外観図

表4 6.7Wタイプ照明用LEDモジュールの演色性特性例

機種名	タイプ	LED素子	蛍光体		色温度 (K)	全光束 (lm)	演色評価数 Ra*6
GW5BWF15L00	白色	青色		黄色	5,000	540	60
GW5BDF15L00	電球色相当	青色		黄色	2,800	400	70
GW5BNF15L00	高演色	青色	緑色		5,000	350	90
GW5BNF15L10	高演色	青色	緑色		6,500	350	90

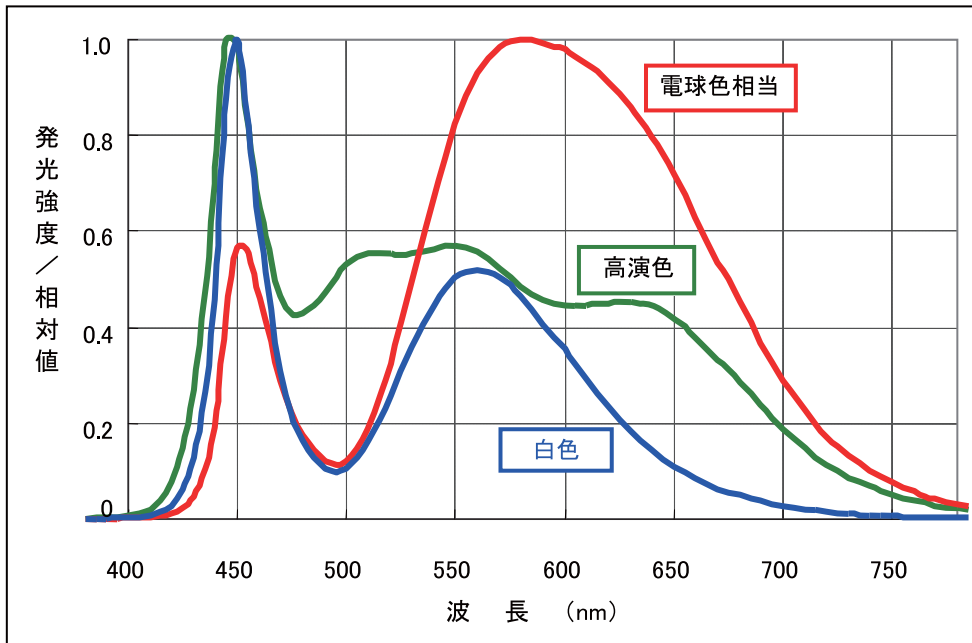


図5 6.7Wタイプ照明用LEDモジュールの発光色バリエーション

間を確保したLEDモジュールを2007年に製品化しています。

(本誌の技術解説 (1)「照明用LEDデバイス」を参照ください)

またこの製品を皮切りに、表3に示すようなセラミック材料を用いた製品群の展開を進めています。

## 演色性

LEDがその性能を高め、「光る明り」から「照らす明り」に踏み込んだことにより、それまでには注目されていなかった照明器具としての性能も求められています。

我々はものを見るとき、その物体から反射してくる光(=色)を見ていますが、物体は光を反射するだけですから、光源に豊かな波長が含まれていないと自然な色には見えません。照明によって物体が

どれだけ忠実に本来の色を再現しているかを表す代表的な指数として、演色評価数\*6が定義されています。

シャープはこの課題にいち早く着目し、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てきました。その結果、青/緑/赤の光の3原色を発生するLEDを開発し、演色評価数Ra=90という、照明器具としては大変優れた演色性を実現できる高演色LEDを製品化しました(表3,表4及び図5)。

また同様の技術を用いて、蛍光体の配合を変えることにより、白熱電球の色合いに近付けた電球色相当のLEDも製品化しており、白熱電球からのスムーズな置き換えにも貢献しています。

高演色LEDの発光効率にはまだ改善の余地がありますが、蛍光体の高効率化や演色性に対する最適化などを積極的に進めており、更に進歩する可能性があります

### \*6 演色評価数 (Ra)

照明によって物体がどれだけ忠実に本来の色を再現しているかを表す代表的な指数。Ra=100が最大値で、この時に基準光と同じ見え方をする事を意味しています。

ます。また新たな光源構造の開発なども進めており、従来にはなかった新しい明かりとして、「より心地良い明かり」とは何なのかという、新しい切り口からもLED照明の技術開発を進めています。

## 低価格化

最も重要な課題は価格です。

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、ランニングコストで白熱灯に十分勝り、電球型蛍光灯に肩を並べるレベルにまで達しつつありますが、初期コストでは割高感があるといえます。

一方、LEDが液晶テレビ用バックライトにも使われだすと、膨大な数のLEDが必要になってきますので、相乗的な量産効果が期待できることや、大量生産を実現するための生産技術の進歩により「価格を技術で造り込む」ための技術開発も進められますので、更なるコストダウンが進むと見られます。

## まとめ

白色LEDが登場してから約10年が経過しましたが、更にその性能は向上し続けており、LEDの応用用途は拡大の一途をたどっていますが、性能に対する期待に応えるための様々な課題が現れていることも事実です。

しかしながら不断の技術開発はこれらの課題を乗り越え、LED照明の高効率化・長寿命化及び低価格化が更に進展することに加え、小型・軽量・高演色などの特長技術も取り込みながら、拡大を続けることは明らかです。

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。

このように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開きながら、21世紀の明かりとしてますますその用途が広がっていくものと期待されます。