

白色LEDの技術ロードマップ

2005年9月

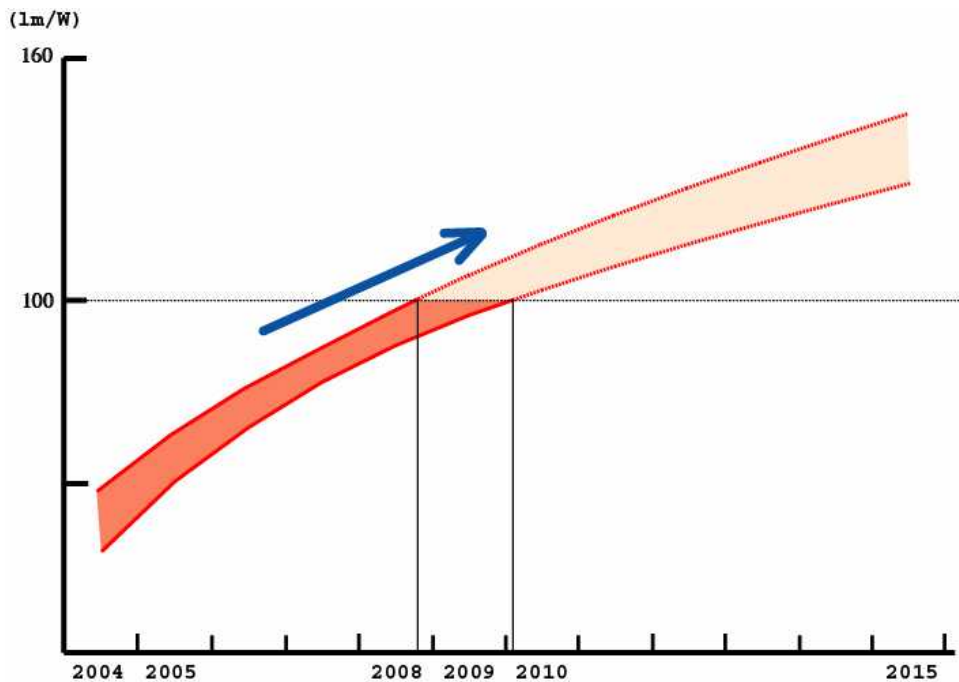
LED照明推進協議会

白色LEDにおける発光効率の技術開発動向

LED照明推進協議会（以下、JLEDS）の技術・標準化推進委員会では、LED照明の普及促進を目指すことを目的として、白色LEDの発光効率について技術ロードマップを作成しました。

白色LEDの発光効率は、2009年頃、100lm/Wに到達する見込みです。

● 発光効率（白色LED）のロードマップ



発光効率については、2009年頃までに現状の蛍光灯と比較しても十分なものになると考えられます。しかし、大きな問題は価格（lm/円）で、現状では蛍光灯に比べると2桁以上の差があることから、これを下げていくことが次の技術的課題になってきます。

注意事項：

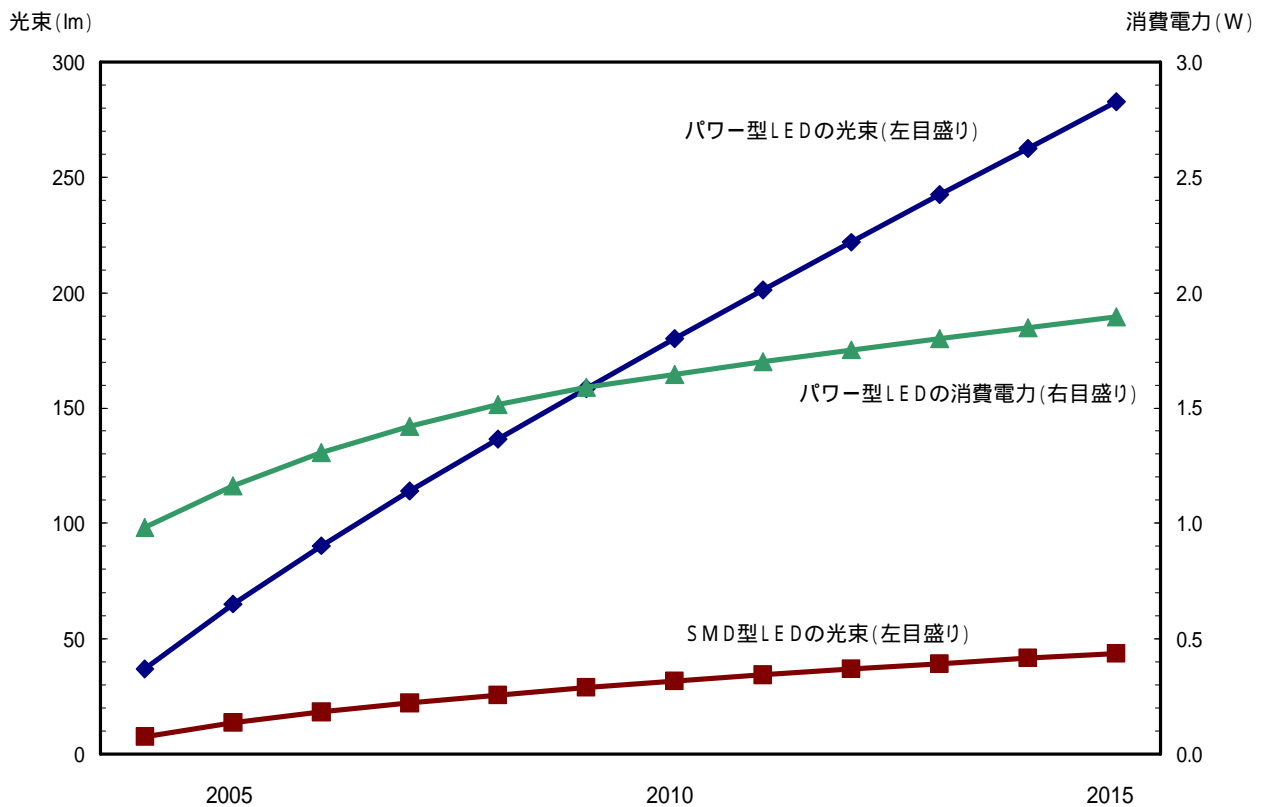
- ・ 本ロードマップは、JLEDSの技術・標準化推進委員会に参加する会員企業に対して、アンケートを実施、その結果を集計したものである。アンケートでは、理論値と希望値との2種類の値を集計していることから、ロードマップ作成においても数値に幅を持たせたものとなっている。
- ・ ここで理論値とは外部発光効率、内部発光効率などの技術的なデータをもとに導かれる値を指す。また希望値については、用途別（ここでは主に照明用途）に求められる発光効率の値として定義している。
- ・ LED自体が研究開発途上でもあることから、100lm/W以上の発光効率については、材料（化合物半導体等）やその手法などが、現在のものとは根本的に異なることも想定され、大幅に数値が変更される可能性がある。従って、これ以上のロードマップについては、破線により図示している。
- ・ 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ない。
- ・ 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、今回の集計では、チップサイズの大きさは考慮していない。

白色LEDにおける光束の技術開発動向

また発光効率と合わせて、白色LEDの光束についてもアンケートを行い、ロードマップを作成しました。

**パワーLEDでは、2009年に150lm/パッケージに達する見込みです。
光束アップに伴い、パッケージの大電流化が進むと想定されています。**

● パッケージ当たりの光束（白色LED）のロードマップ



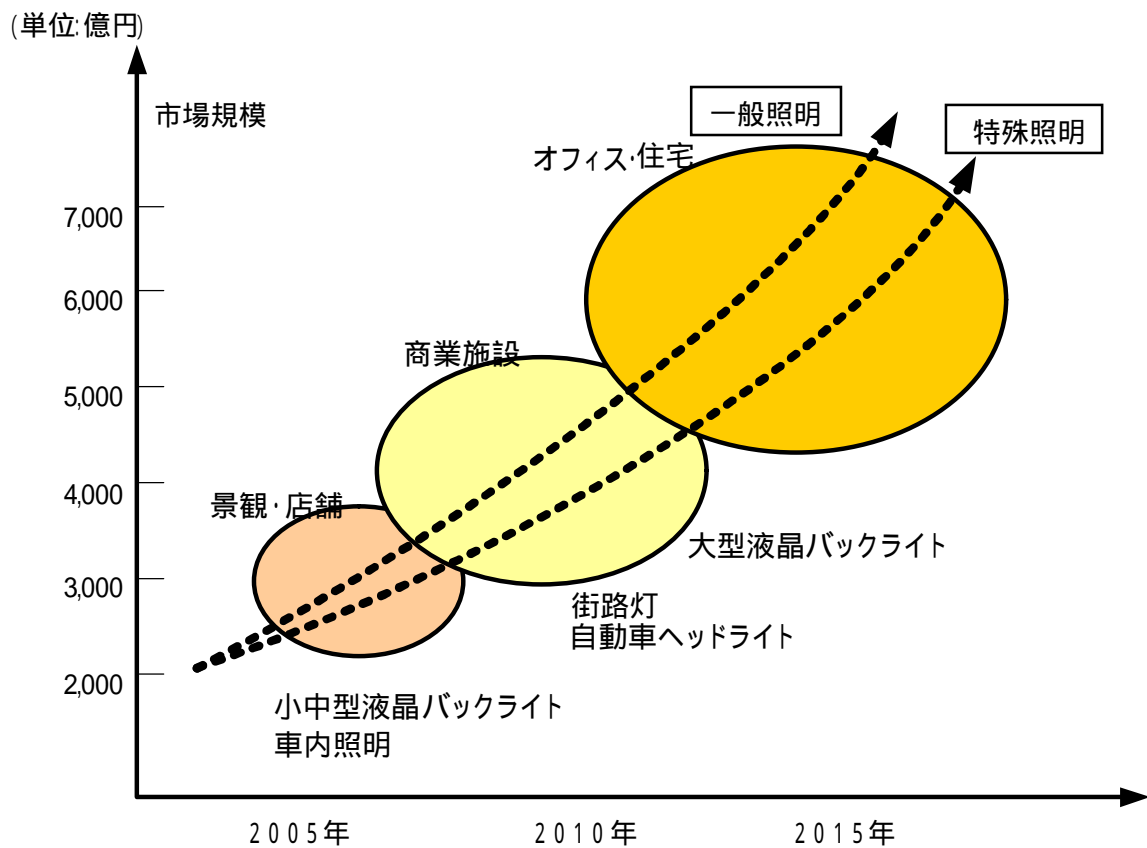
光束については、各社、光学設計（レンズやリフレクターなどの調整）により、点光源であるLEDの特徴を生かしながら、用途ごとの対応を進めています。

ところでLEDのパッケージについては、発光効率の関係から、ラージチップ化よりもむしろ複数個のチップを一つのパッケージにしていく方向が主流となっており、パッケージ・トータルで消費電力は、最大でも3～5Wになるものと予測されています。

拡大する市場規模

発光効率や光束の向上に伴い、白色LEDが用いられる市場規模や用途も拡大していくと考えられます。

2015年には約6,500億円程度の市場規模になると想定されます。
用途もオフィスや住宅などに広がり、自動車を始めとする交通・輸送分野でもLEDがさらに用いられることとなります。



一般照明用途としては、現在でも用いられている景観・店舗用のものを始めとして、発光効率で100lm/Wを越える2010年頃には商業施設を中心に普及が進むと想定されます。オフィスや住宅といった一般的な照明としては、2015年頃から普及が進んでいくものと期待されています。

その他の照明用途としては、普及ならびに開発が進められている液晶バックライト(中型も含む)を中心として、2010年頃までには自動車のヘッドライトや街路灯での普及が進むと思われます。

用途拡大に伴い、市場規模も大きくなるとは思われますが、一方で価格の低下も生じるため、その伸びは年率10%程度と想定されます(J L E D S 会員企業向けアンケートによる)。

白色LEDの一つの問題として、その寿命の定義が定まらないことがあります。その普及にあたっては、寿命に関する議論が求められています。

● 寿命に関する議論

LEDの寿命については、LEDを半導体として見るのか、照明用の光源として見るのか、で大きく考え方が異なっています。

これまで表示用途を中心として利用されてきたLEDにおいては、半導体業界の判断として「発光出力が初期の半分に低下する時間」、すなわち光束維持率50%を、機能としての寿命と考えていました。

一方、照明業界では、従来のフィラメント電球等の基準であった「光束が初期の70%に低下する時間（光束維持率70%）」としており、業界による歴史的、文化的な違いがあります。

ユーザーからすると、寿命の考え方は、製品設計・空間設計上、重要な部分でもあり、この点については、表示分野では50%、照明分野では70%とする、というように基準を明確にしていく必要があります。

また逆にユーザーサイドから、例えば照明用途として用いる場合には、どれぐらいの寿命が必要なのか、明示していくことも考えられます。

LEDアプリケーションの一般的な寿命定義としては、

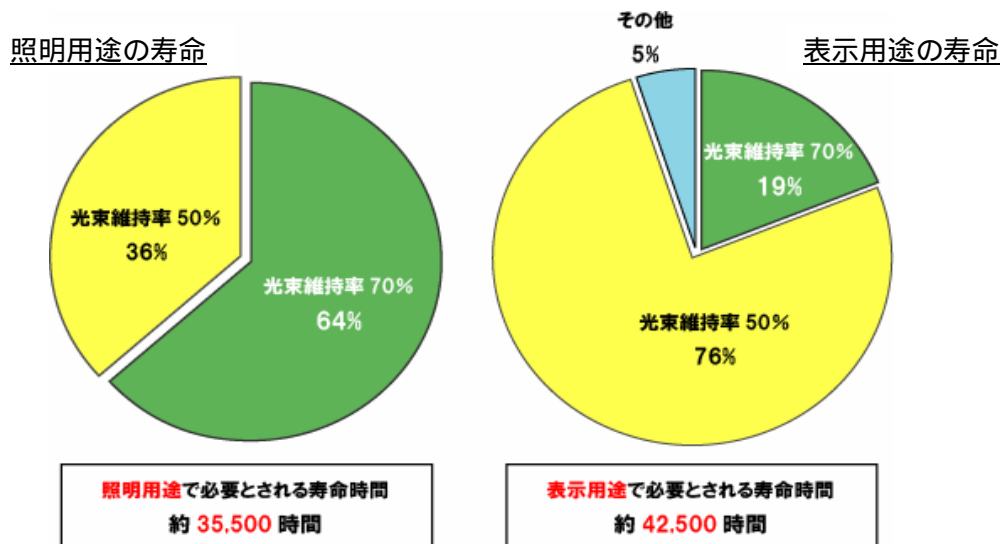
アプリケーションごとの機能を満足するための最低限の明るさを明確にする。

に至るまでの時間が交換寿命（交換できないものは装置寿命）とする（使用するLEDチップの保証寿命や期待寿命から算出した値に、適宜アプリケーション側での延命効果などを加味する）。

といった方法によって算出することも考えられます（6ページに交通信号灯器や道路情報板の事例を記載しています）。

そのためには、まずはLEDチップ単体の寿命定義を明確にしていく必要があります。

下の図では、JLEDS会員企業へのアンケートにより、用途別の寿命をどのように考えるのが適切か、光束維持率の値と必要とされる時間についての回答をまとめたものです。照明用途では光束維持率70%のところを、表示用途では50%のところを、それぞれ寿命とする回答が多くなっています。



● 周辺材料の開発の必要性

LEDの特徴としては、長寿命が大きなメリットの一つとして挙げられてきました。しかし発光効率や光束が大幅に向上し、大電流化が進むことで、LEDチップ近傍の樹脂や蛍光体といった周辺材料に及ぼす影響が大きくなり、LEDの外部効率を低下させることが指摘されています。

このため、LEDの寿命を延長させる上でも、封止材料・ボンディング材料、蛍光材料など周辺材料の開発の重要性が高まっています。

例えば、LEDの寿命に最も大きな影響を与える封止材料の劣化については、励起LEDからの放射光と熱による樹脂材料の変質が原因となっています。発光中心波長が短波長になるほど、外部量子効率が向上するほど（放射光の増大）そして注入電流密度が増加するほど（放射光および発熱量が増加）変質が進み、白色LEDの劣化が加速されます。

通常のエポキシ樹脂の場合、発光効率が100 lm/W (100mA)になり、大電流が流れるようになると、温度上昇は150 ~ 200 レベルとなり、光束維持率70%を寿命として考えると、その寿命は1,450時間になるという報告もあります。

これに対応するために、主な封止材料であるエポキシ系樹脂、シリコン系樹脂それぞれの材料の技術開発や放熱技術など材料が受ける影響を緩和させるための技術開発が進められています。

後者については、基板の設計改良及び基板剤の材料の変更により、LEDそのものの放熱性対策が進み、ハイパワーLED製品でも、80 ~ 100 近傍に保持できるとの報告もあります。こうした対策により封止材料の寿命も大幅に伸びる方向にあります。

前者について、最近では、エポキシ樹脂の中でも近UV（近紫外線）光に強いエポキシ樹脂も登場してきています。これは多少、熱に弱いという点もありますが、80 レベルでLEDパッケージの放熱対策を講じれば、大電流とはいえ、大きな変色を抑制できる見通しが立っています。

また熱による変質の少ないシリコン系の樹脂を用いることで、封止材料の寿命を改善する動きもあります。ただ、シリコン系樹脂は、その性質から接着性が弱い、透湿性がある、ゴミが付着しやすい、といった問題が指摘されており、これらを克服するための技術開発が進められています。

両者の弱点を克服する複合樹脂の開発も進められています。例えば、シリコン変性エポキシ樹脂のように、近UV（紫外線）光に強く、接着性があり、かつ硬度がある封止材料も開発されています。

このように、LEDチップ自体の積極的な技術開発はもちろんのこと、それに伴う樹脂や蛍光体（特に有機系）などの周辺材料開発の必要性が高まっています。

なお現時点でも、放熱対策を前提とした場合、大電流を流したとしても発光時の温度が80 程度で抑えられれば、2010年までには、寿命50,000時間で、70%~80%レベルの光束維持は可能であり、充分照明への展開が期待されています。

＜＜事例紹介：LED式の交通信号灯器や道路情報板（高速道路向け）＞＞

普及が進められているLED式の交通信号灯器や道路情報板（高速道路向け）などでは、寿命について以下のように定義が行われている。

交通信号灯器や道路情報板の寿命定義

用途	運用上のLED期待寿命	寿命の定義
LED式交通信号灯器	約5～10年	機能最低光度の200cdまで劣化する時間を交換寿命とする。 LED単体としては25%の劣化を想定 (交通信号灯器共通仕様解説)
LED式道路情報板 (高速道路向け)	約5～10年	初期光度半減値到達時間が4,000時間以上(60環境) (可変式道路情報板設備標準仕様書)

「交通信号灯器共通仕様解説(版4)」(警察庁交通局交通規制課)によると、交通信号灯器の必要光度は、必要最低光度200cdに対して、LED光度減衰率25%とレンズ汚れ7.4%を考慮して288cdと設定されている($200\text{cd} / (0.75 \times 0.926) = 288\text{cd}$)。

あるLEDチップメーカーが提示している劣化試験データでは、初期光度から25%劣化するまでの時間は20,000時間以上(室内25℃)とされており、単純計算すると、約2.28年の寿命であるが、交通信号灯器の場合、通常運用での点灯時間比を赤色、青色で、1:1(黄色はほぼ0と仮定)とした場合、期待される寿命は4.56年(約5年)となる。

交通信号灯器のメーカーでは、初期光度にマージンを加えたり、使用条件(点灯電流や周囲温度)を緩和して製品化しているため、運用上の期待寿命は5～10年の範囲にあると推定できる。

ちなみに「交通信号灯器共通仕様解説(版4)」では、LEDチップメーカーのデータを参考にLED光度減衰率25%とされているが、その条件と到達時間に関しては特に触れていない。LEDチップメーカーが定義する寿命が確定した時点で、この光度減衰率25%というのも見直しの必要性があることが述べられている。またメーカーが初期値においてマージンを加える理由としては、LEDのランプ光度のパラツキが大きいため、品質向上もしくは維持という観点よりも、作り込む上でマージンを加えざるを得ないのが現状である。

LED式道路情報板については、「可変式道路情報板設備標準仕様書(機電通仕第02107号)」(日本道路公団)によると、標準輝度は $3,800\text{cd}/\text{m}^2$ とされており、同仕様にて初期光度の半減値と定められている寿命定義を当てはめると、 $3,800\text{cd}/\text{m}^2 \times 50\% = 1,900\text{cd}/\text{m}^2$ となる。これは従来の電球式道路情報板で規定されている「道路情報表示に必要な最低輝度約 $1,900\text{cd}/\text{m}^2$ 」と合致する基準である。

これをアレニウス10℃2倍則(温度が10℃下がると寿命が2倍になる)より、平均周囲温度を25℃と想定した場合、 $4,000\text{時間} \times 2^{((60-25)/10)} = 45,255\text{時間}$ となり、連続点灯による期待寿命は約5.17年となる。これに各メーカーが初期光度にマージンを加えたり、使用条件(点灯電流など)を緩和したりして製品化しているため、運用上の期待寿命は5～10年の範囲にあると推定できる。

白色LEDの測光方法について

発光効率や光束のロードマップを集計するにあたり、各社間でばらつきがあると考えられる測光方法に関しても、今後議論が求められるところです。LEDについては、表示、照明などの用途によって、測定条件や測光方法も異なり、ユーザーの混乱のもとになっていることが指摘されています。

照明として用いる場合、LEDの光としての質が重視されるため、全光束や光度、色度、配光特性といった設計上必要となるデータについては、ある一定の基準に基づいた議論が必要となります。

全光束に関する問題点

全光束については、積分球を用いた計測が中心ですが、その径はかなりバラツキがあるのが現状です。またLEDの測定において、全光束は（各社間で）最も誤差が大きくなると考えられます。この理由として、積分球を用いた計測では、

- ・ 取付条件：どこにLEDを位置させるのか（特に透明パッケージの場合、背面に出る光がある）
- ・ 温度管理：どのように行うのか（特に外部に放熱器を取り付けて利用することを前提としたパッケージの場合）

によって、結果が大きく異なるためです。また、そもそも積分球を用いる場合は、「標準の明るさ」があるのが前提となるため、LED用の標準球を決めていく必要があります。

光度に関する問題点

光度の計測に用いる照度計は、一般照明用として開発されており、LEDのように波長域の広い光源に対するものについては、短波、長波長の両側のずれが大きくなると考えられ、これを個別に補正するために補正方法について標準化が必要とされています。

またユーザーであるアプリケーション・メーカーからは、光度のみならず、指向角と波長分布のデータがないと製品設計がしにくい、という指摘があります。

配光特性に関する問題点

LEDメーカーでは、通常、定格の電流値（例：20mA）で配光特性などのデータをカタログに掲載するのが一般的です。しかし製品を開発するアプリケーション・メーカー側としては製品の機能や環境条件（周囲温度など）から、定格以下（例：5mAや10mA）で使用するケースがあります。

LEDでは、電流によって配光特性が変わり、波長も変わってくることから、今後、主流になると考えられるパワー型で100mAのものを50mAで用いるようになると、波長も含めて光の変動幅が大きくなることが想定されています。特に現在、青色LEDの半導体材料の中心であるGaN系化合物半導体の特徴として、電流が大きくなるほどブルーシフトしてしまいます。また蛍光体によっては短波長側の方が変換効率は高くなる、という傾向にあります。

LEDメーカーとして、定格以下で用いた場合のデータを出すのは難しく、ユーザーによって用いる電流が違えば、その分誤差が生じてくることから、あくまで定格時の出力を想定して設計を行っています。一方で、ユーザーであるアプリケーション・メーカーとしては、大電流のものであると寿命が問題となり、電流を下げて設計をしているというのが実情です。

このように、LEDメーカーとユーザーとの間で、語句の定義を含めて、ルール作りをしていかないと消費者に対しても混乱が生じてしまうと考えられます。

今後の課題と方向性

「第4のあかり」として期待されているLEDは、携帯電話のバックライトや交通信号灯、自動車のストップランプと、様々な用途で用いられてきており、最終的には一般照明市場へと、その用途を拡大していくことが予測されます。

今後のLEDの課題や方向性として、次のようなものが考えられます。

「量」から「質」へのステップへ

ロードマップから示されるように、2009年頃までには、他の光源と比較しても、発光効率や光束の面では、遜色のないレベルに達することが見込まれています。

今後は、発光効率や光束そして価格といった光の「量」を拡大するような技術開発から演色性や配光特性といった光の「質」がより重視されてくると考えられます。

特に一般照明として用いる場合、光の量はもちろんのこと、質が重視されてくることは間違いありません。例えば自動車でも、ヘッドライトでは発光効率や光束といった光の量が求められますが、車内灯として用いる場合は、演色性がより重視されます。

現在の白色LEDは、青色+YAG蛍光体(黄色)の疑似白色が中心となっていますが、演色性の高いRGB型や紫外LED+RGB蛍光体型のものが採用されていることも考えられます。

デザイナーとの協働

小田急鉄道の新型ロマンスカーへのLED導入や川崎のミュージアム川崎での導入に代表されるようにLEDが普及していくためには、照明や建築デザイナーの存在が大きくなってきています。

現時点では、価格面は既存光源と比べて競争力がないため、LEDならではの特性や機能面を生かした製品開発が必要となってきます。ライン型モジュールの開発などは、その典型と言えるでしょう。今後も、デザイナーとの協働を進め、LEDならではの製品開発・導入事例を進めていくことが期待されます。

利用者側とメーカー側との共通認識の必要性

上述してきたように、LEDは半導体の要素と照明の要素を合わせ持つ製品です。用語の定義などについては、LED開発メーカーとユーザー側で異なるケースが多々あります。

例えば、上述したように定格電流といった場合、メーカー側としては、その電流量で使うことを想定したデータの供与を行います。ユーザー側はあくまで「最大定格」として理解しており、製品の寿命を伸ばすために、定格以下の電流量で製品設計をしている場合があります。この結果、必要とされる明るさが確保できない、といった問題が生じることになり、メーカーとユーザーとのギャップが生まれることとなります。

現在、JLEDSでは「LEDハンドブック(仮称)」として、メーカーとユーザーとの共通認識を持ってもらうためのガイドブックを作成しています。

照明にとらわれない幅広い市場拡大

これまでLEDは、一般照明用途を最終的な目標として技術開発が進められてきました。これによってLEDの可能性が大きくなっていることは言うまでもありません。

一方で、LEDの用途は、これまであまり考えられてこなかった分野にも広がっています。例えば、薬剤を用いない農薬の替わりとして殺菌・殺虫製品として利用されたり、冷蔵庫内で光合成を促す作用を持たせたり、波長をコントロールできるLEDならではの活用が進められています。

また自動車や鉄道、船舶といった輸送分野でも表示を始めとして用いられており、低消費電力、小型化といったLEDの特徴が十分に発揮されています。

このように、LEDの強みは照明だけではなく、アイデアによって幅広い分野で利用することができるポテンシャルを有していることであり、新たな需要を開拓していくことで、更なる用途拡大を図ることができるのです。

LED照明推進協議会では、LEDの特性を十分にPRし、照明用途はもちろんのこと、幅広い分野での利用を図るべく、活動を実施していきます。

< 本件に関するお問い合わせ先 >

LED照明推進協議会

〒105-0003

東京都港区西新橋1-5-11 第11東洋海事ビル6階

Phone : 03 - 3592 - 1382

FAX : 03 - 3592 - 1285

E-Mail : info@led.or.jp

URL : <http://www.led.or.jp/>