

## LED 製品開発の現状と最新動向

成田 巧<sup>\*1</sup>, 伊藤優輝<sup>\*2</sup>, 下西正太<sup>\*3</sup>

### History and Latest Trend of LED Products

Takumi Narita<sup>\*1</sup>, Yuhki Ito<sup>\*2</sup>, Shota Shimonishi<sup>\*3</sup>

#### 要旨

青色 LED の開発と、その後の蛍光体を用いた白色 LED の登場により、様々な用途に LED が用いられるようになってきた。ここでは LED 製品の活用事例を基に、顧客ニーズに応えるスペクトル制御を行う白色化技術、および HID ランプに迫る大光束化を達成した照明用パッケージ技術に焦点を当てて技術の変遷と最新動向について解説する。

#### Abstract

The development of blue LEDs and subsequent combination with phosphor brought white LEDs to the world for various applications. This report describes the history and latest trends in LED package technologies, with reference to examples of LED applications. The focus is on spectral control of white emissions to meet various customers' requirements, and high flux lighting packages that bring us closer to HID lamps.

## 1. はじめに

豊田合成では青色 LED チップの開発、量産とともに、そのアプリケーションとなるパッケージ開発、量産を手掛けてきた。チップ（素子）単体では顧客の実装工程では取扱いが困難であるため、パッケージ化が必要となる。

ここでは LED の用途拡大に伴うパッケージの技術変遷と、その最新動向について解説する。

## 2. LED パッケージの用途展開

総説でも述べているように、青色 LED の開発後の蛍光体を利用した白色 LED の登場により、**図-1**に示すように様々な用途に LED が展開されてきた。特に携帯電話の普及時期と白色 LED の登場が重なったため、液晶画面のフルカラー化が急拡大し、その後の LED の効率向上により、照明分野へ展開が拡大して行った経緯がある。次項から、その代表例について説明する。

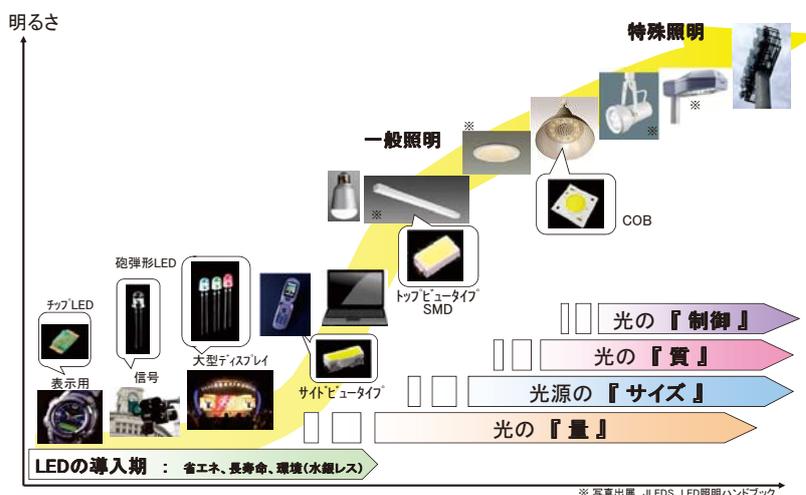


図-1 LED の用途展開の変遷

\*1 オプト E 事業部 オプト E 生産準備部

\*2 オプト E 事業部 オプト E 要素技術開発部

\*3 オプト E 事業部 照明・H/L ユニット

### 3. 液晶バックライト

#### 3-1. バックライト用途での LED 製品

青色 LED を光源とし蛍光体を励起させる方式の白色 LED の開発により、小型・省電力の白色光源が実用化され、更なる用途拡大が進んだ。

代表例としては液晶ディスプレイ (liquid crystal display, LCD) が挙げられる (図-2)。白色 LED の登場以前の LCD ではバックライト



図-2 液晶ディスプレイ

用光源はφ2～4mmの冷陰極蛍光管 (Cold Cathode Fluorescent Lamp-CCFL) が主流であったが、白色 LED の高効率化により急速に置き換えが進んだ。LED化によるメリットとしては主に次の2点である。

- 1) 発光効率が高い
- 2) 薄型化ができる

LED は光源自体のエネルギー効率が高いことに加え、配光指向性によりバックライトへの入射効率が高くなるため、機器としての省エネが図りやすいことも大きなメリットとなっている。効率が低いことにより特にバッテリー駆動の携帯機器においてフル充電時の使用時間を延ばすことが可能となりユーザーの嬉しさに繋がっている。LED が当たり前になった現在においてもパネル画質向上 (高精細化・広色域化) に伴うパネル透過率低下 (= 画面が暗くなる) を補うため LED への効率向上への期待・ニーズは依然として高い。

広色域化に関しては、白色のスペクトルに依存することになるが、次項3-2項にて詳述する。

薄型化に関してはサイドビュータイプの白色 LED の薄型化が進み、バックライト構成部品の薄型化技術進展と合わせて、機器としての薄型化に寄与している。豊田合成では白色サイドビュー LED の開発に注力し、現在では効率 140lm/W (10年前当社比 200%)、厚さは最薄 0.4mm (同比 40%) まで量産対応している。

#### 3-2. バックライト用途での白色化技術

青色 LED に黄色蛍光体を加えた擬似白色光の LED が、スマートフォンやタブレット、パソコンなどの様々な液晶のバックライト用光源として使用されてきた。

最近、従来の青色 LED と黄色蛍光体の組み合わせから、光の3原色である青色 LED と緑色蛍光体・赤色蛍光体の組み合わせによる色品質の向上が図られている。

ここで擬似白色光について、簡単に説明する。青色 LED から発せられる青色光と、黄色蛍光体によって、青色光が変換された黄色光との混色により、白色光となる。その原理について図-3に示す。光の混色は加法混色であるため、図-4に示すように、青色と黄色を混色させると白色が得られる。

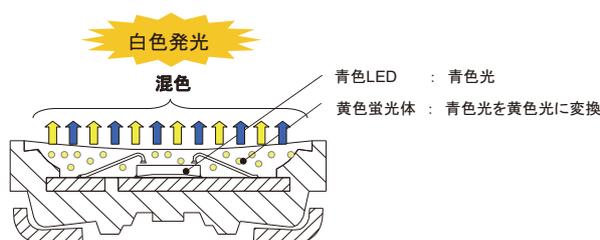


図-3 擬似白色光の発光原理

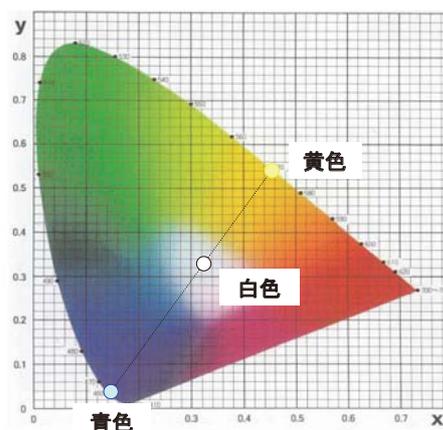


図-4 色度図における青色と黄色、白色

バックライト用光源は液晶パネルの光源として使用されている。液晶パネルはRGBのカラーフィルタ (CF) と液晶部から成り、液晶のOn/Offによる光の透過とカラーフィルタによる透過スペクトルを制御することにより光の3原色の強弱をつけてフルカラー画面を生み出している (図-5)。バックライト用途向け LED には RGB それぞれが狭いスペクトルを持つことが望まれる。

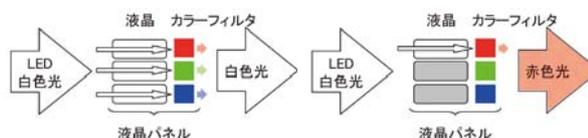


図-5 液晶パネルでの発色のしくみ

### a. 擬似白色光（青色 LED + 黄色蛍光体）

従来の擬似白色光の光源 LED スペクトルは図-6（左）に示すスペクトルを持ち、液晶を通して我々の目に入る白色光は図-6（右）に示すスペクトルとなる。このように擬似白色光は液晶に用いられる場合、色の純度が低く、液晶パネル上の色域が狭いのが一般的である。色域を広げるためには、液晶パネルのカラーフィルタの濃度を上げる方法があるが、光の損失が大きくなるため望ましくない。

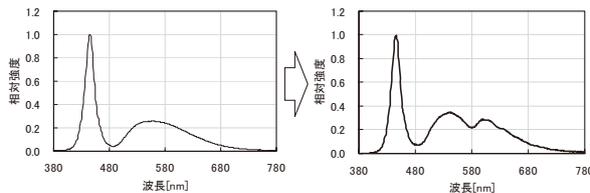


図-6 擬似白色光源、CF 通過後のスペクトル

### b. 新規白色光（青色 LED + 緑色 / 赤色蛍光体）

そこで色域を向上させるため、青色 LED に緑色蛍光体と赤色蛍光体を組み合わせた、新規白色光が開発されている。ここに用いられる蛍光体はスペクトルの広がり小さく、色純度が高いのが特徴である。この新規白色光のスペクトルを図-7（左）に示す。図-7（右）は液晶パネル透過後の白色光のスペクトルである。

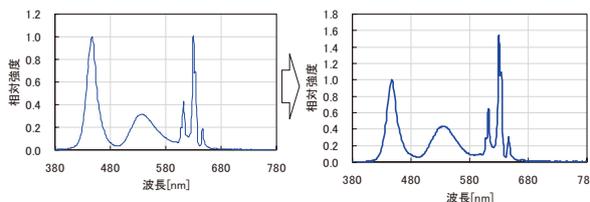


図-7 新規白色光源、CF 通過後のスペクトル

### c. 白色化技術の進歩と液晶パネルの色域改善

擬似白色光と新規白色光を用いた場合の、液晶パネルでの色域を図-8に示す。色域は色度図において RGB の頂点座標を直線で結んだ三角形となる。新規白色光のスペクトルでは色純度が向上しているため、色域が広がっていることが分かる。

世の中の色域の規格はいろいろあるが、一例として挙げる NTSC (National Television System Committee, 全米テレビジョン放送方式標準化委員会, 放送規格) と比較すると、新規白色光の色域は緑色成分が不足しており、更なる改善が求められる。

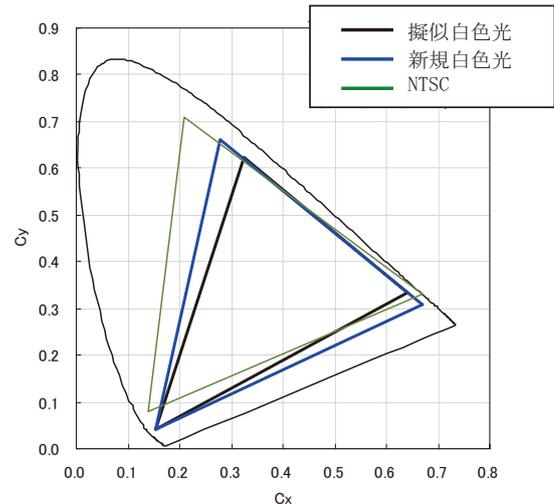


図-8 擬似白色光と新規白色光の色域比較

## 4. 照明

### 4-1. 照明用途での LED 製品

白色 LED の性能向上に伴い照明用光源への適用が拡大されてきた。<sup>1)</sup>

LED 化のメリットは特に「省エネ」「長寿命」である。LED は高効率・長寿命であることからランニングコストを抑えることができる。一方でひとつ当たりの光束が小さく必要な光束を得るための光源コストが高いという短所があった。

低コスト化開発の進行とともに既存光源の中で特に省エネ効果の大きな「白熱電球」「ハロゲン電球」（効率 10～20lm/W, 寿命 1000～2000 時間）から LED 化が始まった。地球温暖化防止のため欧米の一部の国で白熱電球の生産販売が規制されているほか、日本でも大手メーカーの自主規制が行われ、現在では電球型蛍光灯と競うように LED 電球が広く普及している。

次に「蛍光灯」の LED 化が進んだ。白熱電球に比べ効率、寿命に勝る蛍光灯（効率 70～110lm/W, 寿命 6000～12000 時間）は世界的にも広く普及していたが、LED の効率は蛍光灯を超え、長寿命メリットと合わせて普及してきている。

更に「HID ランプ (High Intensity Discharge lamp, 高輝度放電ランプ)」領域での LED 化も始まっている。既存 HID ランプ光源の代表例として、体育館等で広く用いられている水銀ランプが挙げられる（表-1）。

表-1 各種照明用光源の比較

	白熱電球	蛍光灯	水銀ランプ
光束	350～800lm	1,000～4,000lm	2,000～20,000lm
効率	10～20lm/W	70～110lm/W	35～55lm/W
寿命	1,000～2,000h	6,000～12,000h	5,000～12,000h

LED では1つの光源から得られる光束が小さいことが弱点であったが、総説でも述べているように、豊田合成では複数のチップを密実装したCOB (Chip On Board) タイプの光源を開発し、高効率・長寿命と大光束化を両立させることにより、水銀ランプに代わる高天井照明などで実用化を進めている。

#### 4-2. 照明用途での白色化技術

照明用光源は物を見るための光源である。光源から発せられた光が物体で反射され、反射された光が人間の目に入り物体の色を認識する(図-9)。

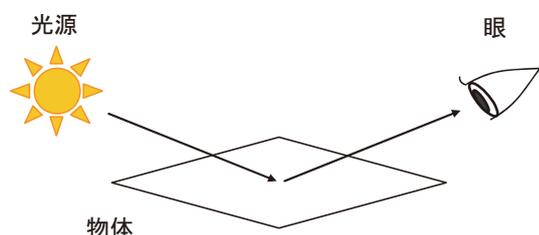


図-9 物体の色の見え方

物体の色を表す光源の指標として演色評価数が用いられる。演色評価数には、平均演色評価数(Ra)と、特殊演色評価数(R9~R15)がある。バックライト用途向けとは異なり、照明用途向けLEDには幅広いスペクトルを持つことが望まれており、極論を言うと、太陽光と同じスペクトルが理想である。

##### a. 擬似白色光 (青色LED + 黄色蛍光体)

現在では照明用光源においても、バックライト用光源同様に擬似白色光が広く普及している。白色LEDの方式として最も効率が高いためであるが、青+黄のスペクトルの組み合わせであるため特に赤色の演色性(R9)が低く改善が求められてきた。

##### b. 新規白色光 (青色LED + 緑色 / 赤色蛍光体)

LEDチップの効率向上、新規赤色蛍光体の開発により、青色LEDと緑色蛍光体・赤色蛍光体の組み合わせによる白色LEDが普及してきている。

擬似白色光のRaは約70程度であるが、新規白色光では蛍光体の発光波長の組み合わせによりRa80~Ra90のLEDが開発されている。表-2は各白色光における演色評価数である。図-10は擬似白色光と新規白色光のスペクトル比較である。

表-2 演色評価数

	擬似白色光	新規白色光(Ra80)	新規白色光(Ra90)
Ra	70	83	92
R9	-35	8	76

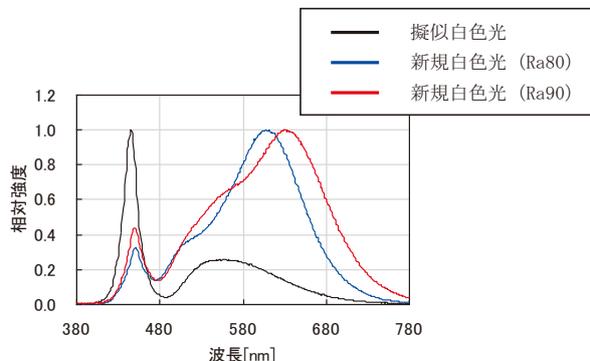


図-10 新規白色スペクトル

#### 4-3. 照明用パッケージ技術の進展

##### a. LED 発光効率の変遷

低炭素社会、省エネ化を掲げ、照明分野はここ5年間で急速にLED化が進んできた。最初にLED化が進んだ領域は、既存光源の中で、発光効率が最も低い白熱電球であり、それを皮切りに、蛍光ランプ器具、ベースライト等の省エネ効果の高い領域で、LED化が進んだ。

このLED化を加速させた主な要因は、当然のことながら、LED照明器具が白熱電球や蛍光ランプの既存光源以上の発光効率を有することであるが、既存光源の効率を上回った以降も、継続的に効率が改善されていることも大きな要因である。これまでのLEDパッケージの発光効率の変遷を図-11に示す。

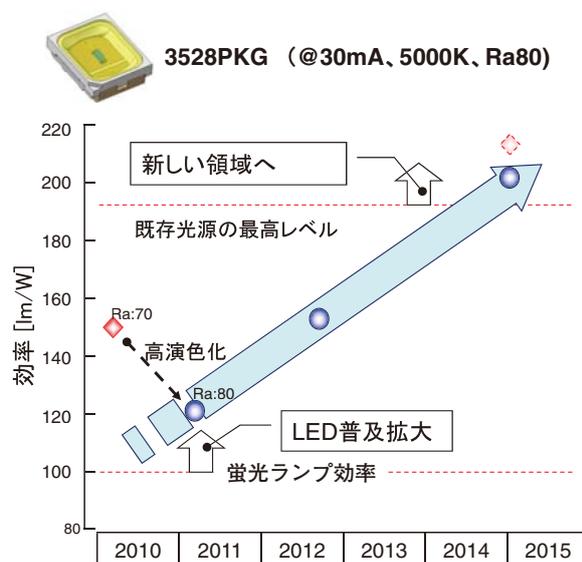


図-11 LED 発光効率の変遷<sup>2)</sup>

図に示すように、2011年に蛍光ランプ効率を上回り、LED照明が普及拡大した。それ以降もLED素子、蛍光体、パッケージ構成部材の改良により、年率10%以上効率が改善され、2015年には発光効率は200lm/W達成見込みである。

発光効率の今後の見通しについては、図-12に示す通り、200lm/W時のエネルギー収支の内訳に、光に寄与しないロスがあるため、このロス分の改善により更なる効率改善が進むと考えられる。

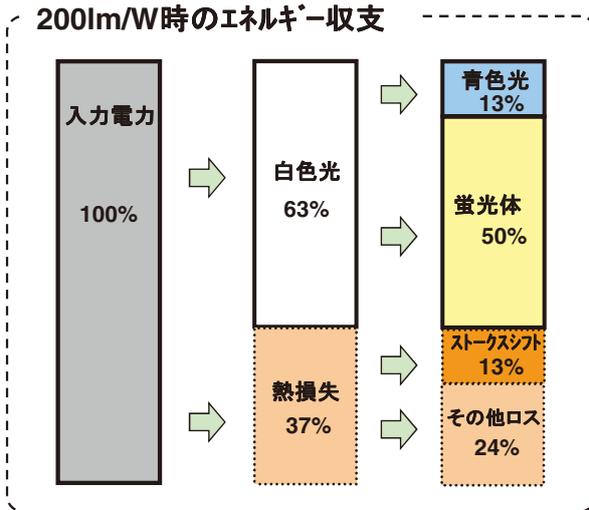


図-12 200lm/W時のエネルギー収支<sup>2)</sup>

## b. 大光量化

近年、白熱電球、蛍光ランプに次いで、大光量が必要となる水銀ランプが用いられている産業用途照明のLED化が注目されている。

本項では前号（豊田合成技報 Vol.53<sup>3)</sup>）で紹介した照明用LEDパッケージに続く開発事例として、水銀ランプ代替を目指したマルチチップCOB（Chip on Board）の紹介とその採用事例、および最新の開発動向について報告する。

産業用途照明のLED化が最初に注目されたのが、工場、体育館等向けの高天井照明である。同照明用光源には水銀ランプ、セラミックメタルハライドランプ等のHIDランプが使われているが、白熱電球や蛍光ランプと比較して、小型かつ大光束の光源が求められている（図-13）。

マルチチップCOBは図-14に示す通り、Al（アルミニウム）基板上に複数のチップを搭載し、チップ間をAu（金）ワイヤで繋げた構成である。

これにより1つのパッケージから大光束を得ることが可能となり、光束は1000～8000lmの高出力を達成している。

一方でこれだけの大光束ともなれば投入電力も高くなり（20W～50W）、大量の熱が発生するため、COBの基板には熱伝導率の高いAlを基材に用いる器具ヒートシンクへの放熱を成立させた。

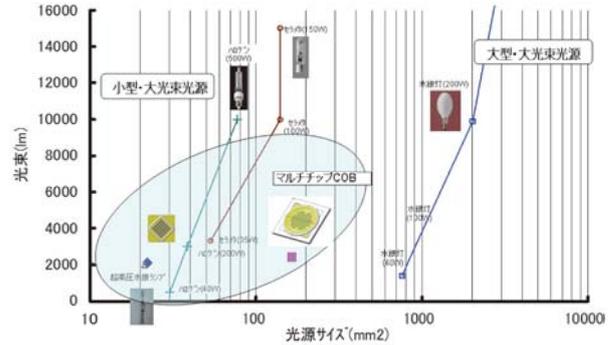


図-13 光源サイズと光束

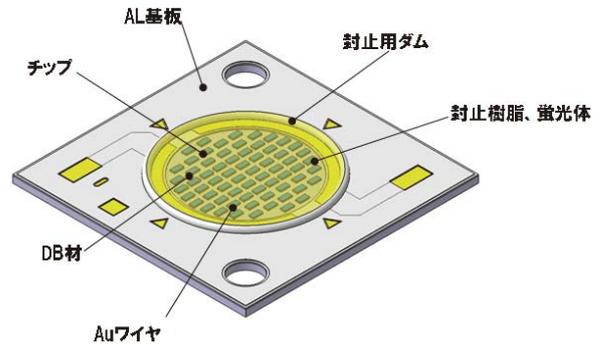


図-14 マルチチップCOBの構成

また近年では、蛍光体による高演色・高効率化が進んでおり（前述4-2項参照）、例えばRa, R9といった規格条件がEnergy Star等で定められている北米市場向けにこのマルチチップCOBを展開している。

## c. マルチチップCOBの採用事例

マルチチップCOBの特長を活かし、前述の総説「豊田合成LED開発の歩み」で述べた通り、豊田合成のマルチチップCOBは、工場や体育館の天井に設置される高天井LED照明に採用されている。

このLED化により、従来の水銀ランプでは不可能であった始動時の瞬時点灯、調光システムの利用が可能になった。また長寿命化（水銀ランプ比較：約5倍）により、ランプ交換工事の頻度が低減できることも大きなメリットと言える。

以上より、マルチチップCOBによって、本事例に示すようなLEDならではの用途、可能性が広がった。

## d. 小型化への取り組み

前項の通りこれまでLED照明への切り替えが困難であった大光束の照明器具についても、COBを用いることにより近年LED化率が飛躍的に伸びている。白熱電球や蛍光ランプと同様な切り替え比率まではまだ時間が掛かると想定される

が、継続して LED 化が進むと考えられる。しかし COB には次に示す課題があるため、当初期待された LED 化率と比較して鈍化傾向にある。

その課題とは COB の光源サイズが大きいことである。COB は大光束を実現するために、多数の LED 素子をセラミック基板および Al 基板上に搭載し Au ワイヤで繋いでいるため、LED 素子間の距離を確保する必要があるため、結果的に光源サイズが大きくなる。そのため狭角の配光制御が不要な、倉庫・工場の高天井照明や街路灯には適しているが、中角・狭角の配光制御が必要な投光器やスポットライトには不向きであり、COB 搭載器具よりも 1W クラスの SMD を複数個搭載した器具が主流となっている (図-15)。

豊田合成は、従来のマルチチップ COB の小光源化を図り、大光束と小光源を両立させた「FC (Flip Chip) マルチチップ COB」を開発した (図-16)。



図-15 ダウンライトと光源の 1W パッケージ

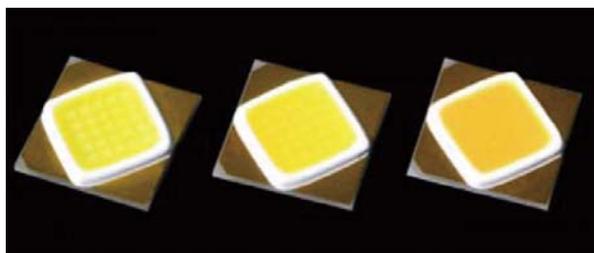


図-16 FC マルチチップ COB  
(左から 色温度 5000k, 4000k, 3000k)

この製品は光源サイズが従来の FU (Face Up) タイプの COB と比較して約 50% 小さく (FU タイプ:  $\phi 14.5\text{mm}$ , FC タイプ:  $\square 6\text{mm}$  図-17), 単位面積当たりの光束は約 5 倍になる。光源の小型化により照明器具のレンズおよびリフレクタとのマッチング性が改善し、光ロスが無く、COB



図-17 FU タイプと FC タイプの比較①

から発光される光をレンズやリフレクタに取り込めるようになる。そのため投光器やスポットライトのような狭角配光が要求される照明器具に適用可能となった。

#### e. FC 化の特徴

これらの課題を解決する FC マルチチップ COB は、大光束と小光源を両立させるため 図-18 に示すように、LED 素子は従来の FU タイプではなく、電極面が下側に配置され Au ワイヤが不要な FC タイプを採用した。この FC タイプは、基板とダイレクト接合により導通を確保するため、Au ワイヤが不要である。そのため LED 素子を密に並べることができ、光源サイズを小さくすることが可能となる。LED 素子間の距離は、FU タイプ 300 ~ 500  $\mu\text{m}$  に対し、FC タイプでは約 100  $\mu\text{m}$  まで狭めることができる。



図-18 FU タイプと FC タイプの比較②

LED を実装する基板は LED からの発熱を効率的に放熱するため、セラミック基板を使用し、LED とセラミック基板の接合には、Au バンプや AuSn はんだ等の金属材料を用いている。また基板サイズ  $\square 8\text{mm}$  の小エリアに大電力を投入し光が射出されるため、発光部の最適構造設計、材料開発により、高信頼性を実現している。

繰り返しになるが、本 FC マルチチップ COB の特長を下記に示す。

- 1) 大光束 (2000lm クラス以上)
- 2) 発光面積の極小化  
(発光部:  $\square 6\text{mm}$ , 基板:  $\square 8\text{mm}$ )
- 3) 無機材料採用による高信頼性  
(40,000 時間の長寿命)
- 4) FC 採用による放熱性アップ
- 5) FC 実装による更なる高信頼性の実現  
(ワイヤ接合レス, 金属接合)

図-19 に示すように COB 搭載の照明器具は、器具性能は当然のこと、パッケージの実装コスト等を加味した器具トータルのコストを想定した場合は、1W クラスの複数個搭載器具と比較してメリットは多い。

昨今このようなメリットにより、小型+大光束光源の市場要求が高まり、LED メーカー各社が様々な設計アプローチで光束密度を高めた製品をり



図-19 FC マルチチップ COB のうれしさ

リースしている。今後、1W クラスから COB 搭載の器具が主流になり、かつ従来のパッケージや COB では実現が困難であった照明器具も LED 化が進むことが期待される。

また従来、COB を使用する際には COB を押圧により固定するホルダ、接点を確保するためのコネクタ、グリス、導線等の周辺部材が必須であったが、これら部材の最適化も進み、低コスト、高性能でかつ意匠に優れた LED ならではの照明器具の登場が期待される。豊田合成としても、次世代の LED 照明拡大に貢献するべく、付加価値の高い LED パッケージ、COB の開発を推進していく。

#### f. グローバル展開に向けて

LED 照明の普及に伴い、米国を基点に LED 照明要求規格が制定され、要求事項が整備され始めている。その中でも、LED の光束維持率試験を規格化した「IEC LM-80」への対応は、グローバル展開する上では、必要不可欠なものになってきている。

豊田合成としては、このような市場要求に応えるべく、2013年2月「IES LM-80」の認定試験所として米国環境保護庁（EPA）の承認を取得した。社内に認定試験所を持つことにより、より早く市場ニーズに対応した LED 製品、ドキュメントを供給することが可能になるとともに、製品の品質や環境性能のより一層の向上に貢献できると考えている。

## 5. 照明用途拡大と LED 開発の方向性

広く普及し始めた LED 照明は、既存光源の白熱電球・ハロゲン電球（10～20lm/W）、蛍光灯ランプ（70～110lm/W）よりはるかに発光効率が上回るため、中国を筆頭にアジア勢のコモディティ化による急拡大が予想される一方で、急激な価格下落が進むのは容易に想定される。また新興国をはじめ全世界に LED 照明を普及するためには、更なる低価格での供給が必須である。

一方、HID ランプの領域では、比較的効率の低い水銀ランプの省エネ化のための置き換えや、

高所でのメンテナンス作業削減等、LED 照明のメリットがあるため、一部 HID ランプ領域の LED 化は進んでいるものの、現在の LED の効率では白熱電球ほどのスピードで HID 搭載の照明器具の LED 化は考えにくい。

HID ランプ領域の LED 化の加速には、HID ランプの効率を大きく上回った時に進むと考えられるため、一般照明向けの低コスト化開発だけではなく、HID ランプを凌駕する性能を目指した、大電流域での効率限界に近づく効率向上の開発は必要不可欠である。

またセラミックメタルハライドランプ（効率 110lm/W、Ra90）は、高効率に加え高演色性という特長も持ち合わせており、屋内照明（商業施設、スポーツ施設等）および屋外照明（野球場、競技場等）に幅広く使用されている。これらの領域への LED 照明の参入を加速させるためには、効率とともに色品質向上に取り組む開発も重要であり、蛍光体の開発を含め発光スペクトルの最適設計を進めていく必要がある。

## 6. おわりに

以上、LED 製品開発の変遷と最新動向について述べてきた。

省エネルギーに大きく貢献できる LED 照明の普及は全世界で取り組む重要な事案である。また、小型薄型、高効率の LED は特に携帯機器の魅力を高めるための必須アイテムとなっている。豊田合成では今後も引き続き環境にやさしい社会の実現に貢献するべく、市場ニーズに応えられる LED 素子、LED パッケージの開発を行っていく。

### 参考文献

- 1) JLEDS（LED 照明推進協議会）、LED 照明ハンドブック改訂版、(2011)
- 2) JLEDS、LED 照明シンポジウム 2014 発表資料、2014/10/10
- 3) 豊田合成技報、53、P7-14（2011）

### 著 者



成田 巧



伊藤優輝



下西正太