

自然光のスペクトルを再現した 紫色励起白色LED “TRI-R”

"TRI-R" White LED Technology to Reproduce Emission Spectrum of Natural Light

山川 昌彦

谷口 淳二

■ YAMAKAWA Masahiko

■ TANIGUCHI Junji

東芝マテリアル(株)は、自然光のスペクトルを再現した白色LED(発光ダイオード)の開発を進めている。この白色LEDの発光スペクトルは可視光域において連続的であることから、照射下で自然な色見え方になるという特長がある。

今回当社は、紫色LEDチップと青色・緑色(黄色)・赤色蛍光体の発光を組み合わせた白色LED“TRI-R”を開発した。その特長を生かし、自然な色彩の再現が求められる美術館やレストランなどの照明装置の光源として提供した他、医療用途に適したLEDモジュールの製品化も進めている。

With the aim of reproducing the emission spectrum of natural light, Toshiba Materials Co., Ltd. has been engaged in the development of white light-emitting diodes (LEDs) featuring a continuous spectrum in the visible light wavelength range and high color rendering characteristics. As a result of these efforts, we have developed the "TRI-R" white LED technology employing a purple LED chip for excitation light with a combination of our proprietary blue/green(yellow)/red phosphors.

Applying the TRI-R technology, we have developed LED luminaires suitable for applications requiring high color reproduction, such as museums and restaurants, and are also developing lighting modules in the medical field such as shadowless lights for surgical illumination devices.

1 まえがき

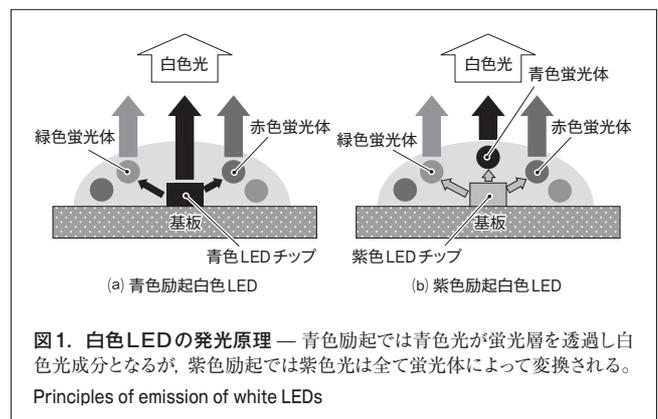
青色LEDの発明を契機として、種々の白色LEDの製品化が進められてきた。白色LEDは省エネであることと、小型化や高出力化が可能なることから、照明器具としてのデザインやサイズなどの設計幅が広がるため、様々な用途に使われている。これらの白色光は、光の3原色の一つである青色成分に相当する青色LEDチップの光に、緑色及び赤色成分として、又は黄色成分としての蛍光体材料の光を混合することで実現している。

光源の特徴を表す指標として、発光スペクトルすなわち光の波長ごとの強度分布が用いられるが、今後、ものの色見え方や空間での感覚などに応じて、シーンに合わせた光環境作りや、発光スペクトルの使い分けが求められると考えられている。

東芝マテリアル(株)は、自然光の発光スペクトルを再現するのに適した方法として、青色LEDチップとは発光波長の異なる紫色LEDチップを用いた白色LEDを開発し、美術館や、レストラン、医療用などに適したLEDモジュールの製品化を進めた。

2 紫色励起白色LEDの構造

今回開発した紫色励起白色LEDは、紫色LEDチップの光で蛍光体を励起して白色光を生成する方式であり、青色LEDチップの光で蛍光体を励起する青色励起白色LEDとは異なる



方式を採用している⁽¹⁾。それぞれの方式の発光原理を図1に示す。青色励起白色LEDにおいては、主に波長450nmの青色光を発するLEDチップと、青色光を緑色光や赤色光に変換する蛍光体材料を配置し、蛍光体層を透過した青色LEDチップの光と、蛍光体からの緑色光及び赤色光を組み合わせることで白色光を得ている。一方、紫色励起白色LEDにおいては、主に波長400nmの紫色光を発するLEDチップと、紫色光を青色光、緑色光、及び赤色光に変換する蛍光体材料を配置し、蛍光体からの光を組み合わせることで白色光を得ている。

このように紫色励起白色LEDでは蛍光体の発光だけで白色光を生成するため、蛍光体の発光スペクトルの形状として発光ピーク波長や発光線幅などを調整する自由度があり、様々なバリエーションを持った白色発光特性を作ることができる。

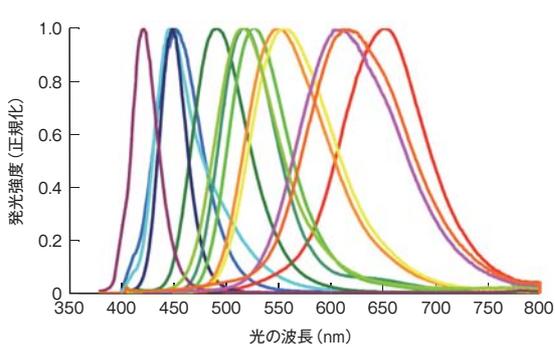


図2. 紫色励起白色LED用蛍光体の発光スペクトル — 波長400 nmの光を照射したときに発する蛍光体の発光スペクトルを示す。

Emission spectra of phosphors for white LED excited by purple LED chip

表1. 白色LED用蛍光体

Phosphors for white LEDs

蛍光体の色	紫色励起白色LED	青色励起白色LED
青	ユーロピウム付活アルカリ土類リン酸塩	不使用
緑(黄)	ユーロピウム付活アルカリ土類ケイ酸塩	セリウム付活希土類アルミン酸塩
赤	ユーロピウム付活アルカリ土類酸窒化物	ユーロピウム付活アルカリ土類酸窒化物

白色LED光源の発光スペクトル特性は、蛍光体材料技術によって作られている。種々の蛍光体の発光スペクトルを図2に、また、それぞれの方式で一般的に使用されている蛍光体を表1に示す。

3 紫色励起白色LEDの光学特性

3波長形蛍光ランプ、市販の青色励起白色LED、及び当社が開発した自然光(太陽光)のスペクトルを再現した紫色励起白色LEDの発光スペクトルを、太陽光のスペクトルに近い色温

度5,000 Kの黒体輻射(ふくしゃ)のスペクトル(熱源から放射される光や電磁波のスペクトル)と比較したものを図3に示す。太陽光は、ろうそくなどの炎の光や、白熱電球の光などと同様に熱の輻射によって生成された光である。この光は可視光と呼ばれる目に見える光の領域、光の波長で言えば380 ~ 780 nmにおいて連続的なスペクトルであり、光の下で色が自然に見える特長を持つ。図3(c)を見ると、紫色励起白色LEDでは可視光領域の広い範囲において黒体輻射のスペクトルとその形状が一致していることがわかる。更に、光源の下での色に関する見え方の評価は、主観的あるいは演色性などの数値化によって行われているが、基準となる光は太陽光であるため、紫色励起白色LEDの光を照射したとき、より自然な色合いの再現が期待できる。

太陽光の色の1日における変遷は、夜明けどきのオレンジ色から昼間の白色を経て日の入り前のオレンジ色に至るが、自動的に時刻ごとの色を変化させる白色LEDモジュールの製品化を、紫色励起白色LEDを用いて進めている。このモジュールは太陽光の目に見える色だけでなく発光スペクトルの形状も再現することができる。

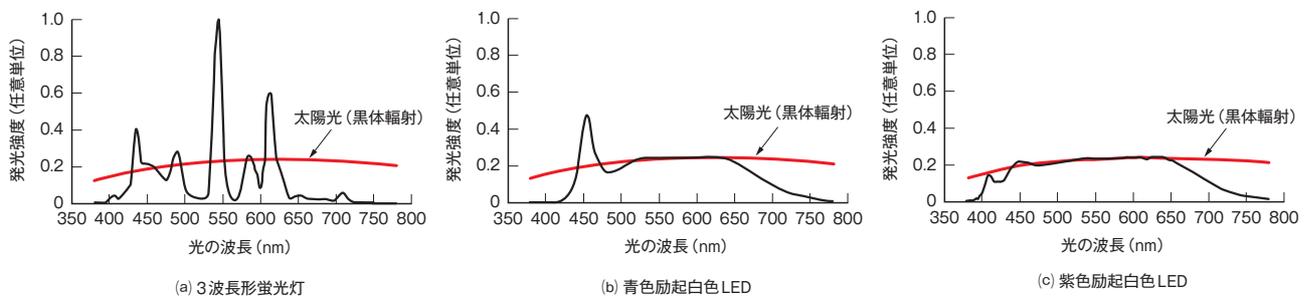
更に、発光スペクトルの連続性を生かし、色見え方などを訴求点として、使用するシーンに合わせた発光スペクトルの設計とLEDモジュールへの適用を進めている。

4 紫色励起白色LEDの照明分野への展開

当社は、色見え方に加え、質感の表現や生体機能との調和など、多面的な進化を目指した新しい白色LEDとそれを支える技術を包括するブランド“TRI-R”を立ち上げ⁽²⁾、世界に向けて発信を始めた。TRI-Rが、いくつかの商品や展示会で採用された事例について、次に述べる。

4.1 “Lucellino LED”

ドイツの意匠系照明器具メーカーであるインゴ マウラー社にTRI-R電球形LEDモジュール(電源別置形)が採用され、



*4種類のスペクトルは全て同じ輝度になるように縦軸を調整した

図3. 各種光源の発光スペクトル(昼白色) — 光源の種類によって発光スペクトルの形状が異なる。

Emission spectra of light sources (neutral white)

それを搭載した照明 Lucellino LED が2015年4月に同社から発売となった⁽³⁾。

同社の社長でありデザイナーでもあるインゴ マウラー氏は非常に強い思い入れを持って、従来モデルの“Lucellino”に白熱電球を使用してきた。そこで、白熱電球のスペクトルを再現できる TRI-R LED と、東芝で開発した導光柱を組み合わせることにより、白熱電球のフォルムや、暖かみのある光の質、調光した際の光色の移り変わりなど、白熱電球の持つ特長を完全に再現できる電球形LEDモジュールを提案した。この性能が評価され、TRI-R電球形LEDモジュールがインゴ マウラー社のフラッグシップ商品である Lucellino に採用されることが決まった。

2015年3月、イタリアのミラノで開催された国際照明見本市ユーロルーチェにて発表された Lucellino LED を図4に示す。

4.2 2015年ミラノ国際博覧会 日本館

2015年にイタリアのミラノで開催された万国博覧会では、「地球に食料を、生命にエネルギーを」をテーマに各国が食文化の紹介に趣向を凝らした⁽⁴⁾。

日本館では「共存する多様性」をテーマに、ユネスコ無形文化遺産に登録され世界的ブームとなっている和食の文化を紹介し、併設のレストランゾーンで和食の魅力や世界に誇るわが国の食の技術をアピールした。和食は味覚だけではなく視覚でも楽しむ文化である。経済産業省の、最高のおもてなしを実現したいとの意向を受けて、太陽光の下で見たときと同様の自然な色彩を再現でき、料理の素材そのものの表情や器を引き立てることができる TRI-R が、光源として採用された。食材



写真提供：インゴマウラー社

図4. Lucellino LED — 白熱電球のフォルムや、光の質、調光した際の光色の移り変わりなどを忠実に再現した。
Lucellino LED



写真提供：独立行政法人 日本貿易振興機構

図5. TRI-R LEDを組み込んだレストラン照明 — TRI-R LEDの自然な色彩の再現力が和食の素材や器を引き立て、食事に訪れた人々の目を楽しませた。

TRI-R LED luminaires for restaurant in Japanese Pavilion at Expo Milano 2015



写真提供：独立行政法人 日本貿易振興機構

図6. TRI-R LEDを組み込んだフードコート照明 — 自然光スペクトル再現技術により、昼は外光を違和感なく補完し、夜は優しい光で空間を満たすことが可能になった。

TRI-R LED luminaires for food court in Japanese Pavilion at Expo Milano 2015

の色が自然な状態で生き生きと見えると好評であった。

TRI-Rを使用したフードコートとレストランの照明をそれぞれ図5と図6に示す。日本館は、開館以来行列の絶えない人気パビリオンの一つとなった。

4.3 アンブロジーアーナ絵画館

ミラノ中心街にあるアンブロジーアーナ絵画館は、1607年に創立された西洋史上3番目に古い図書館に併設され、パチカンの事業の一環として運営されている。レオナルド ダ ヴィンチの手稿書“アトランティコ法典”及び“楽士の肖像”や、ボッティチェリの“天蓋の聖母子”、カラヴァッジオの静物画“果物籠”、ブリューゲルの“花瓶の花”シリーズ、ラファエロの“アテネの学堂(デッサン)”などを所蔵している。

同館より当社に展示照明の全面刷新プロジェクトへの参画要請があり、太陽光に近いスペクトルで絵画の色を忠実に再現できるTRI-R LEDを使用した美術館照明が実現することとなった。設置工事は2015年3月より始まり、順次、公開されている。

TRI-R LEDの持つ優れた色再現性が、アトランティコ法典ではルネッサンス期のノートに書かれたレオナルド・ダ・ヴィンチ特有の細かな線画や文字を鮮やかに浮き上がらせ、ポッティチェリなどの中世イタリア絵画では青と赤のロープや金彩を鮮やかに再現し、ブリューゲルなどのフランドル絵画においては背景と主題のコントラストを自然な光の下に劇的によみがえらせた⁽⁵⁾。

4.4 手術用照明灯

従来の手術用照明灯にはハロゲン電球が使用されてきたが、電球からの発熱により術部の乾燥が進むことや、高熱にさらされるため術者の負担が大きいこと、消費電力が大きいこと、寿命が短いことなどの課題があり、近年はLED化が進んでいる。光源には青色励起白色LEDが使用されているが、実際に照明を使用する医師からは改善の要望が強い。

もっとも大きなニーズは、医師が長年ハロゲン光で培ってきた術部の記憶色と、LED照明で照らされた術野の色を同じにすることである。更に、青色励起白色LEDでは、青色光が強いため術野のざらつきが強くなり視認性が低下したり、数万lx以上の非常に明るい術野を長時間見つめ続けることによる目への負担が大きくなったりと言われている。

TRI-R LEDは、LED手術用照明灯の長所（低消費電力や、長寿命、コンパクトデザインなど）はそのままに、ハロゲン電球と同レベルの色の再現性と術野の視認性、及び目の負担軽減という効果を提供できる。2015年秋に上市される手術用照明灯（図7）に搭載される予定である。



写真提供：山田医療照明（株）

図7. TRI-R LED搭載手術用照明灯 — LEDの長所はそのままに、従来の光源と同様の色彩の再現性、視認性、及び目の負担軽減を提供できる。

TRI-R LED lights for shadowless surgical illumination device

5 あとがき

人と光の関わりは有史以来、太陽や炎などの自然光から、白熱電球、蛍光灯、白色LEDへと変遷しているが、白色LEDは本格普及から10年に満たない。今後も、白色LEDの技術的発展は継続すると思われる。

当社は新しい白色LEDとそれを支える技術を包括するブランドTRI-Rを世界に発信し、進化の先端にある光源として様々な用途に提案していく。

文 献

- (1) 小林薫平. 白色LEDの基礎. 眼科. 55, 7, 2013, p.779-785.
- (2) TRI-R Project. “次世代のLED光源TRI-R”. TRI-R. <http://trir-pj.com/ja/>, (参照2015-09-11).
- (3) Ingo Maurer. “Lucellino LED”. Ingo Maurer GmbH <http://www.ingo-maurer.com/en/products/lucellino-led>, (accessed 2015-09-11).
- (4) 日本貿易振興機構. “日本館のご紹介 レストラン”. 2015年ミラノ国際博覧会日本館. <https://www.expo2015.jp/about/restaurant>, (参照2015-09-11).
- (5) Veneranda Biblioteca Ambrosiana. “NEW LIGHTING DESIGN IN THE PINACOTECA AMBROSIANA”. Leonard Ambrosiana <http://www.leonardo-ambrosiana.it/en/nuovo-allestimento-illuminotecnico-in-pinacoteca-ambrosiana/>, (accessed 2015-10-15).



山川 昌彦 YAMAKAWA Masahiko

東芝マテリアル（株）開発・技術部 開発担当参事。
白色LED材料及びデバイスの開発に従事。日本化学会会員。
Toshiba Materials Co., Ltd.



谷口 淳二 TANIGUCHI Junji

東芝マテリアル（株）経営戦略部参事。
白色LEDのマーケティングに従事。
Toshiba Materials Co., Ltd.