

広範囲にわたる用途にダイナミックな効果をもたらすカラー LED

モーリー・ライト

単色LEDと蛍光体変換型カラーLEDとともに、白色LEDの性能に近づきつつあり、色によって、ファサード照明から自動車の安全性にいたるまでのさまざまな分野に効果をもたらしている。

蛍光体変換型白色LEDが一般照明分野で新たな主力製品として広く採用されている一方で、カラーLEDは、一般照明や車載分野から看板・標識やプロジェクトにいたるまでの用途で活用されている。しかしこのような分野を列挙するだけでは、単色LEDと蛍光体変換型カラーLEDの適用範囲を十分に説明することはできない。これらのLEDは、最新自動車の内部だけに限っても多数の異なる用途に利用可能で、**図1**に示したヘッドアップディスプレイ(HUD: Head Up Display)のような意外な場所でも採用されている。

色は、ほとんどすべての情報伝達手段にダイナミックな層を加え、より効果的なコミュニケーションを実現する。固体照明(SSL: Solid State Lighting)の一連の応用分野において、白色LEDと同等性能のカラーLEDを提供するLEDメーカーはごく少数に限られている。

誰もが想像するとおり、カラーLEDに対する製品開発者の需要は、一般照明におけるニーズに追従する。メーカーは、より小さな光源でより高い出力を達成し、エネルギー効率を改善し、多様な用途に対して複数のビーム制御方法を提供し、最終製品の機械的構造を簡素化しようと日々努力している。

以下では、カラーLEDの応用分野と、一部の分野における特殊な要件について詳しく解説する。続いて特定分野向

けに設計された製品をいくつか紹介する。本稿では、単一のエミッタで構成されるパッケージLEDと、複数のエミッタを搭載する製品の両方を取り上げたいと思う。

独オスラムオプトセミコンダクター社(Osram Opto Semiconductors)のNAFTA地域担当業界グループ責任者を務めるマイク・マーテンズ氏(Mike Martens)は、カラーLEDの効果について問われ、LEDは「広告掲示板のような、かつてはスタティックだったものをダイナミックなものに変換する」と述べた。その変換によって、広告掲示

板などがさらに人目を引くものになることは間違いない。しかし誰もが気づくように、それは道路の安全性の向上にもつながる可能性がある。また、さまざまな製品を製造するメーカーがブランドの独自性を確立しようとする場合に、色はその鍵を握ることに疑いの余地はない。

ビデオウォール

カラーLEDの最も印象的な使用例はおそらく、ビデオウォールだろう。最も大きなものとしては、ニューヨークのタイムズスクエアにある巨大ディスプレイがある。また競技場にも設置されており、テキサス州ダラスAT&Tスタジアムにある超大型ビデオディスプレイの長さは、フットボール競技場の

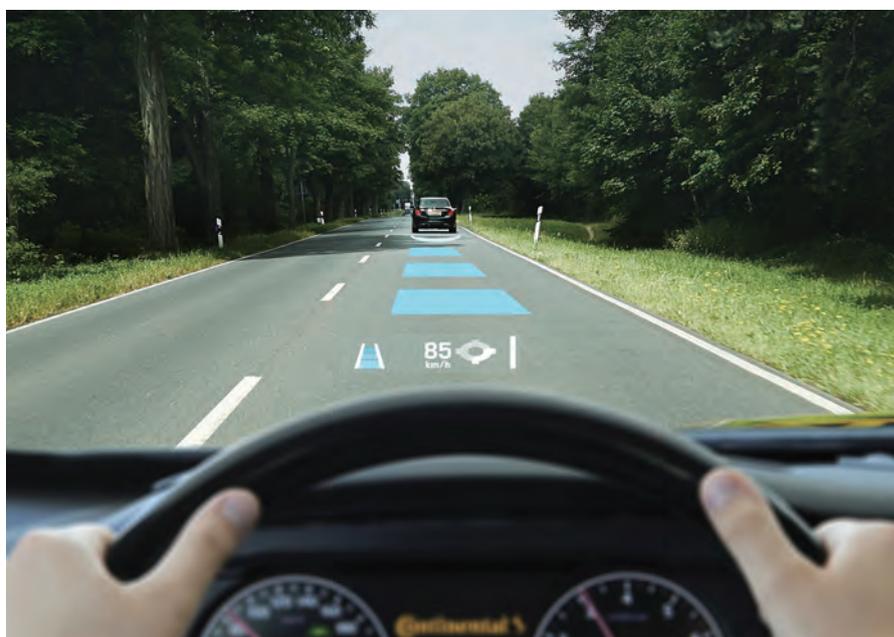


図1 カラーLEDはヘッドアップディスプレイにおいて、安全性と方向指示に関する情報を運転者の視界に投影する。

端から端までに及ぶ。

ビデオウォールは、個別のカラー LED で構成するか、または複数のエミッタが組み合わされたパッケージで実装することができる。このようなディスプレイには主に、赤、緑、青 (RGB) の LED が組み合わせて使用されるが、それ以外の色をアクセントとして追加したり、ディスプレイの中の白色点をより正確にするために白色を加えたりする実装もある。

オスラム社は、LED ファミリー「Displix」をビデオウォール向けに提供している (図2)。同ファミリーには、RGB LED を搭載するトリプルダイのパッケージと、黄、赤、緑、青の個別の楕円形 LED がある。同ファミリーでは、対象用途に特化した機能に加えて、やや意外な機能も用意されている。

これらの LED は、垂直方向よりも水平方向に広いビームを生成することを目的とした光学部品を用いて設計されており、標準的なスクリーンのアスペクト比により合致したものになっている。実際、これらの製品の水平範囲は 110° であるのに対し、垂直範囲は 60° しかない。オスラム社はこれらの LED を、反射を抑えてコントラスト比を高めるための黒いパッケージと、標準的な白いパッケージで提供している。またオスラム社のマーテンズ氏は、LED は極端な温度、集中豪雨、高い湿度にも耐え得る必要があり、そのような環境保護機能がパッケージに実装されているとも述べている。

マーテンズ氏によると、このビデオウォール技術は、ごくありふれてはいるが安全性が重視される用途向けに、サイズを縮小することも可能だという。このような小型ディスプレイは、電子メッセージ用の道路脇標識を実装するために欧州で広く利用されていると同



図2 「Osram Displix」のカラー LED には、ビデオウォールの標準的なアスペクト比により合致した、広い水平領域にわたる光を生成するように設計された楕円形のパッケージが採用されている。

氏は述べた。マーテンズ氏によると、カラー LED を使用することによって「標識がより効果的で効率的になる」という。

建築ファサード

カラー LED が多く利用されるもう 1 つの分野は、建築ファサード照明である (図3)。このようなプロジェクトでは、白色の単一色相、調整可能な白色、固定色、またはダイナミックな色混合を採用することができる。このような用途では、光漏れや光害を低減しなければならぬからといった複数の理由に基づき、正確なビーム制御が必須である。ただし、均一なビームを生成することには、光漏れ以上のメリットがある。

例えばルミレッズ社 (Lumileds) は最近、カラー LED ファミリー「Luxeon C」 (図4) を発表し、ビームの均一性が、LED メーカーである同社が複数の主要顧客と密接に連携して進めた同製品の開発の背景にあった指針だったと述べた。色混合を行う多数のこのような建築照明において、赤色のハローやシャドウなどの望ましくない効果が現れる可能性がある。

ルミレッズ社でカラー LED 製品担当製品マネージャーを務めるデイビッド・コセンザ氏 (David Cosenza) によると、

複数の色の LED を混合した場合に一貫性のないビームが生成される問題は、基本的な LED 構造に起因するという。青色 LED と緑色 LED は一般的に、InGaN (窒化インジウムガリウム) 構造をベースとする。InGaN は、赤色 LED や黄色 LED で一般的に採用される InGaAlP (アルミニウムインジウムガリウムリン) とは本質的に異なる。さらに、白色 LED には蛍光体層が追加されており、カラー LED の中には青色エミッタと蛍光体変換を用いて製造されるものもある。このような構造の違いも、互いに整合性のない多様な一次光学部品が使用され、多様なビームが生成される要因になる。

光学部品と形状

この問題は、単純な形状の問題に帰着する。コセンザ氏は、「すべての色にわたって焦点の高さと光学的対称性一貫させること」が、Luxeon C に対する同社の主要顧客らの最優先要求事項だったと述べた。同ファミリーを開発したエンジニアは、さまざまな LED 構造を調査して、すべての Luxeon C 製品においてベースからエミッタ上部までの測定値 (z の高さ) がまったく同じになるようにした。

一次光学部品の設計においても精度が重視されている。すべての LED で、

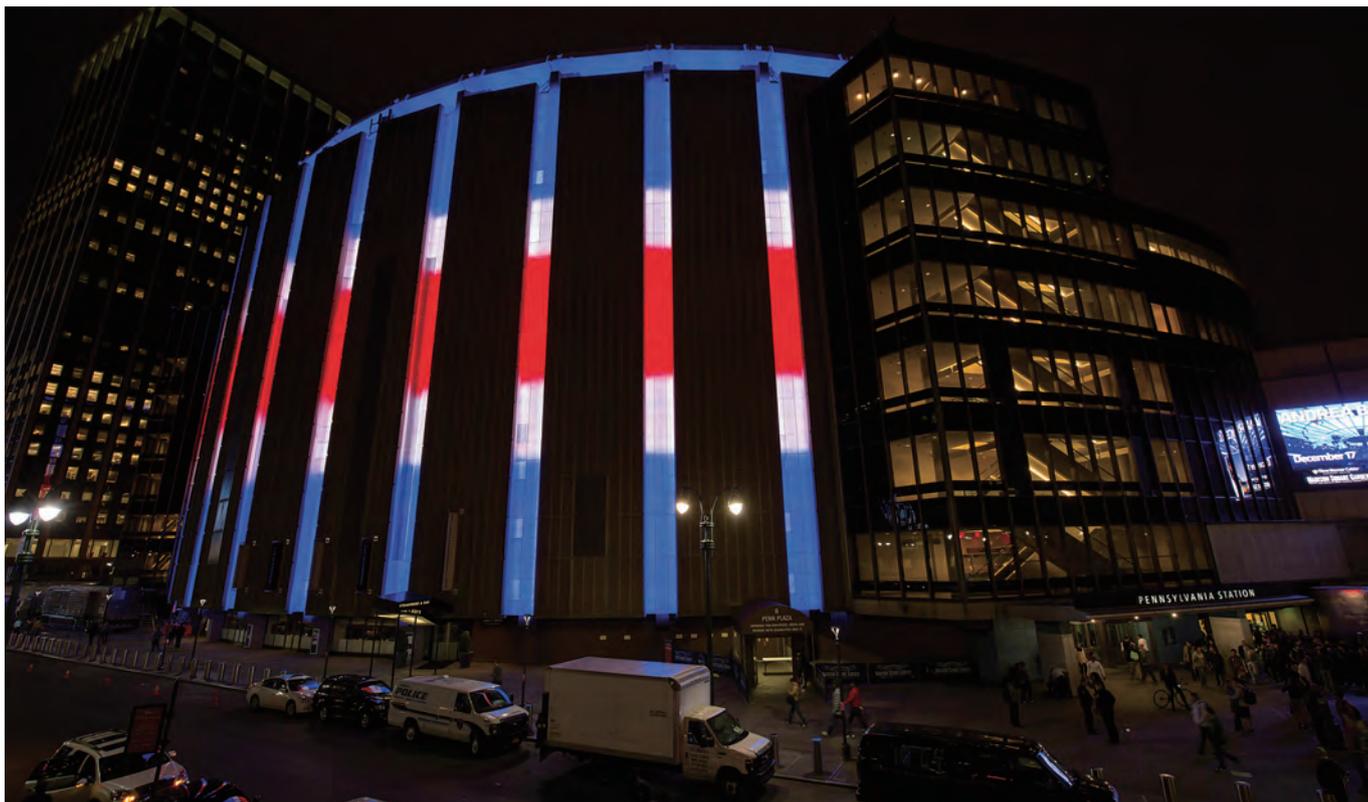


図3 カラーLEDが多く利用される分野の1つは建築ファサード照明で、例えばニューヨークの有名なマディソンスクエアガーデンにあるこの照明は、オランダのフィリップス・ライティング社(Philips Lighting)のダイナミックな製品を使用して実装されている。

完全な半球よりも低いドーム型の、まったく同じ光学部品が使用されている。ドーム型のデザインは、よりタイトでパンチのあるビームを生成するように最適化されている。この光学部品により、実質的な光源サイズが縮小される。例えばこの新しい製品シリーズは、かなり以前から提供されている完全な半球型の製品を含むカラーLEDファミリー「Luxeon Rebel」に基本的に置き代わるものである。Luxeon Cは、高出力構造の光束を最大限に活用しつつ、二次光学部品に対する光源サイズはRebelのわずか23%である。ルミレッズ社は最近、中出力カラーLED「Luxeon 3535L」も発表している。発光面は小さくフラットだが、光束は明らかに高出力エミッタほど高くはない(<http://bit.ly/1JdUKM7>)。

ファミリー全体にわたって同一のデザインを採用することは、さまざまな色の

LEDに対して、内部全反射(TIR: Total Internal Reflection)レンズやリフレクタといった同一の二次光学部品を使用することにもつながる。SSLメーカーはこれまで、1つの製品で使用される異なる色に対して、異なる二次光学部品を採用しなければならない場合もあった。

最後に1つ、Luxeon Cの構造と光学部品には色混合に重要な要素が存在し、その目的は、高密度で実装されたLEDの間のクロストークを阻止することである。クロストークが生じると、1つのLEDからの光子が側面へと漏れて隣接するLEDの光学部品に入り、不適切な方向に放射されたり、隣接するLEDで蛍光体を使用されている場合は誤った色に変換されることさえある。低いドーム型にすることで、必要な放射パターン範囲外に光子が放射されないようになっている。またルミレッズ

社は、パッケージに二酸化チタンを塗布することによって、構造の側面から光子が漏れないようにしている。

緊急車両照明

次に、緊急車両照明というまったく異なる分野を見てみよう。LEDメーカーの観点からは、警察、消防、救急の市場がカラーLEDの非常に重要な市場であることにほとんどすべての人が同意するだろう。中出力と高出力の両方のLEDがライトバーに使用されている。カラーLEDで直接実装可能な赤や黄色で発光するライトバーもあるが、それと同時に、複数の色を混合して紫などの色を実現する機関もある。

一見したところでは、焦点や一次光学部品などの要素は関係ないように思われる。しかし、この緊急分野に製品を供給するメーカーによると、それは

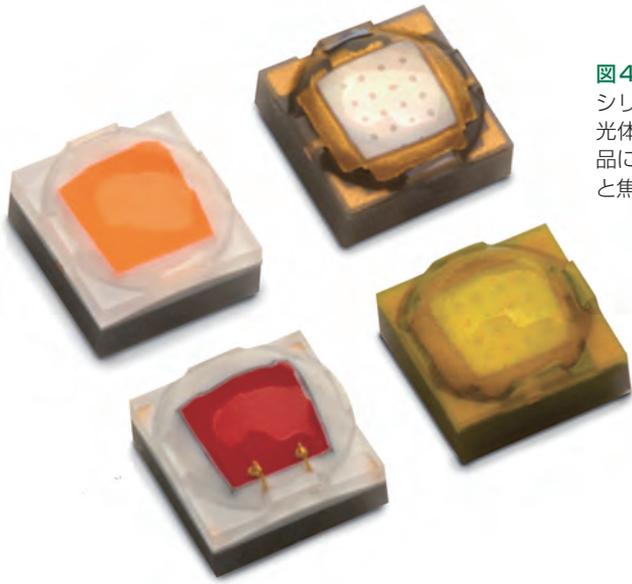


図4 ルミレッズ社のLuxeon CシリーズのカラーLEDでは、蛍光体変換型と単色型のすべての製品にわたって同一の一次光学部品と焦点高さが採用されている。

製品開発者やエンド顧客によるという。ルミレッズ社のコセンザ氏は、緊急分野においてもすべてのLuxeon C LEDで同じ二次光学部品が使用できることにメリットがあると述べた。しかし弊誌は、幅広のビームパターンの方が望ましいのではないかと尋ねてみた。コセンザ氏によると、ライトバーの中には、2°という狭いビームパターンの二次光学部品を採用して開発されているものもあるという。一次光学部品なしでLuxeon 3535L LEDを使用するケースもあると氏は述べた。

オスラム社は、高出力LED「Oslon Signal」を主に緊急分野を対象に提供している。同社は、低ドーム型と半球型の両方の一次光学部品を使用して、60°から120°以上までの範囲のビームを持つ製品を提供している。同ファミリーには、単色型と蛍光体変換型の両方の白色、琥珀色、黄色、赤色、緑色、青色のLEDが含まれている。

車載分野

主流の車載分野では、新たな課題とともに非常に多岐にわたる用途が、さらに次々と出現している。ここでは、外装照明、HUD、車内照明、そして新しい電気自動車 (EVH) や未来の自

律走行車に必要な外装照明について説明する。

LEDは、方向指示器、リバースライト、ブレーキランプ、装飾用アクセントランプなど、前部または後部のシグナル照明に多く採用されている。弊誌では、Strategies in Lightにおいて米ストラテジーズ・アンリミテッド社 (Strategies Unlimited) が発表した調査内容に関する記事で、これらの市場の規模を示した (<http://bit.ly/1FQd6mh>)。前部と後部のシグナル照明だけで、2014年のLED売上高である約10億ドルの15%を占めている。

車載照明デザイナーは、これらの照明に多数の異なる種類のLEDを活用してきたが、この用途には特有の要件がいくつか存在する。ルミレッズ社のコセンザ氏は、車載分野では温度が非常に高くなるエンジンコンパートメントの近くにLEDが配置される場合があると指摘した。さらに同氏によると、Luxeon Cファミリーは、市場で提供されているどの単色LEDよりも高温時と低温時の性能が高いか、または一貫しているという。ルミレッズ社は、高温時の色波長と光束出力を開発者が正確に予測できるように、ビンの温度を上げてカラーLEDを試験した初めての

企業でもある。

オスラム社のマーテンズ氏は、車載照明における多様な光学部品の概念がLED選定に影響を与え得ると述べた。同氏によると、例えば多くのシグナル照明部品で、必要な配光を達成し、またおそらくは装飾的なアクセントを添えるために、光導波路が使用されるといふ。また同氏は、カラーLEDファミリーである「Oslon Compact」はこのような用途に適していると付け加えた。これらのLEDにはレンズがなく、光導波路と結合するように設計されているためだといふ。また、これらのLEDは必要に応じて高い密度で実装することができるという。

ストラテジーズ・アンリミテッド社によると、ゆくゆくはヘッドライトが、車載分野におけるLEDの最大の応用分野になるという。LEDを採用するヘッドライトとしては、独アウディ社 (Audi) の「Matrix」といった著名な例があるが、この技術は現時点ではまだ、多くの車種に対して高価すぎるのが実証されている。弊誌次号掲載予定の「Developer Forum」では、その障害が取り上げられている。本稿ではヘッドライトについてこれ以上議論しないが、弊誌 (英語版) ウェブサイトを検索すれば、ヘッドライト分野のLEDに関する記事をいくつか参照することができる。

HUDと今後の応用分野

次に取り上げるのは、車内におけるカラーLEDのさらに魅力的な応用分野である。運転者の視界に速度などのデータを映し出すシンプルなHUDは、以前から既に車内に実装されている。しかし将来に向けて現在開発されているのは、複数の色のLEDを使用して格段に多くのデータを映し出すHUDである。自動車OEM企業である独コンチ

ネンタル社(Continental)は、拡張現実 HUD (AR-HUD: Augmented Reality HUD)と当社が呼ぶものに特化した素晴らしいセクションを同社ウェブサイトに設けている(continental-head-up-display.com)。

AR-HUDでは、色を用いて運転者に提示する情報に高いインパクトを添える。赤色のインジケータは、危険や車線逸脱の警告に使用できる。青色は、前方車両との車間距離を示すのに使用可能だ。そしてこのような状況において、HUD システムは、一見異なる深度の視野でデータを提示する。速度などのデータは運転者に近くに表示されるのに対し、車間距離や、搭載されているGPSからのガイダンスは、運転者の視界において道路のはるか向こう側に表示される。

オスラム社のアプリケーションエンジニアリングマネージャーを務めるキンバリー・パイラー氏(Kimberly Peiler)によると、同社はプロジェクタ向けに設計された「Ostar Projection」シリーズのLEDポートフォリオによって、HUDシステムの視野を広げることができる予定だという。同製品シリーズには、単色LEDと、RGB機能を備える複数エミッタ搭載のLEDの両方が含まれている。特に「P2W 01 LED」(図5)はこのような用途に最適で、2つのペアとして制御可能な4つのエミッタがこれまでよりもコンパクトなサイズに収容されている。同製品は2015年4月に発表されている。

パイラー氏によると、プロジェクション分野の鍵となるのは、発光面あたりの最大輝度だという。「Ostar」シリーズはオスラム社の技術プラットフォーム「UX:3」をベースとしている。同社はこの技術を、「ThinGaN」と呼ぶ場合もある。UX:3は基本的にはフリップ

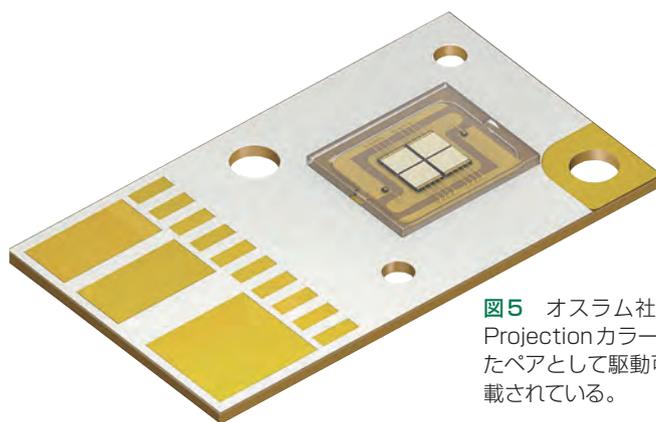


図5 オスラム社の最新製品であるOstar ProjectionカラーLEDには、2つの独立したペアとして駆動可能な4個のエミッタが搭載されている。

チップ構造で、チップ上面に n 層があり、チップ下面に n 層接合部と接続する導電性ビアの列がある。この構造によって、均等な電流分布と発光が得られる。電流密度を $3\text{A}/\text{mm}^2$ にすることが可能で、 1mm^2 のチップを3Aで駆動することにより、3.2Wの放射出力または830lmの蛍光体変換白色出力が得られるとパイラー氏は述べた。

EVHと自律走行車の指示灯

その他の新しい車載分野はそれほど画期的ではないかもしれないが、それでも日光の下でもはっきりと見える高出力カラーLEDの重要性を示すものである。例えば、弊誌では最近、オープンホイール・レーシングカーの側面に現在使用されている、ディスプレイパネルの特殊な例を取り上げた(<http://bit.ly/1iAgug5>)。それ以外にどのような場合に、自動車外装ディスプレイが必要になるのだろうか。

オスラム社のパイラー氏は、EVHの外装には簡単に読み取れるディスプレイが必要だと述べた。電源との接続または切断時に、所有者が自動車の充電状態を確認できる必要があるためだ。ディスプレイ上で、色や光度によって情報を伝達することができる。

自律走行車が運転者なしで走行するようになれば、さらに特殊な要件が生じるだろうとパイラー氏は主張した。

前部と後部のディスプレイによって、歩行者や他の運転者との通信が行われる。例えば、人間の運転者が手を振ることによって、歩行者に対して道路の横断を促すのと同じように、このようなディスプレイは、自律走行車が歩行者の存在を検出済みで、道路を安全に横断できることを歩行者に示すことができる。

単色LEDと蛍光体変換型LED

本稿に示したすべての応用分野にわたって、使用されるカラーLEDは、ネイティブに色を生成する単色LEDでも、白色LEDのように蛍光体変換を利用するものでもよいことは既に述べたとおりである。ここで、両方の選択肢が重要である理由と、LEDメーカーが製品ポートフォリオにおいて両方の選択肢を用意する理由について、簡単に説明しておかなければならない。その理由としては、効率、光品質、色精度、熱性能、柔軟性などが挙げられる。

これについてはまず、緑色LEDで説明するのがよいただろう。単色の緑色LEDは、赤色や青色のLEDと比べて効率面で大きく劣ることでよく知られているためだ。蛍光体変換型の緑色LEDは、この効率の差を縮めることができる。ただし、他の要素についても考慮する必要がある。

例えばルミレッズ社は、色調整可能な同社の「Hue」ランプに採用されている



図6 ルミレッズ社の中出力のLuxeon 3535LカラーLEDでは、蛍光体変換を利用して琥珀色(右上)とライム色(左下)のLEDを実現している。

る蛍光体変換型のライム色のLEDを、十分に高いCRI(演色指数)を備える温白色の光を生成するための必須要素だとしている(<http://bit.ly/1F587TL>)。蛍光体を使用することで、効率に加えて光品質が向上している。ライム色のLEDは、Luxeon 3535L(図6)とLuxeon Cの両方のポートフォリオに含まれている。

しかし、非常に狭帯域で発光する単色の緑色LEDが求められる用途もある。ルミレッズ社のコセンザ氏によると、単色の緑色を使用した色混合によって、より飽和した緑色と高品質な黄色が得られるという。ルミレッズ社は、市場で最も効率の高いダイレクトな緑色を提供可能だと同氏は述べた。(各種競合製品で3~3.5Vの)フォワード電圧を2.55Vに引き下げることで、このカラーLEDの推定10%の効率改善が達成されている。

熱性能とカラーパレット

温度環境などの要因によっても、単色LEDと蛍光体変換型LEDのどちらがその用途に適しているかが左右される。例えばオスラム社は、蛍光体変換型の黄色LEDを提供している。マーテンス氏によると、同社は赤色と黄色のInGaAlP

LEDで、青色(InGaN)LEDとほぼ同等の出力を達成しているという。ただし同氏は、赤色と黄色のInGaAlP LEDの出力性能が、高温環境では大きく低下することを認めた。したがって、高温の用途においては、蛍光体変換型のInGaN LEDの方が優れていることになる。

蛍光体は、カラーパレットという点においても最大限の柔軟性を実現する。例えばオスラム社は、「Ice Blue」という色の蛍光体変換型青色LEDを提供している。単色の青色LEDがエミッタとして最も効率的であることを考えると、そのコンセプトは当初、紛らわしいように思われた。しかし、アンビエント内装照明にIce Blueのようなシェードを採用し、他とは異なる外観をブランドを象徴する特徴として打

ち出す自動車メーカーもある。

実際、オスラム社は蛍光体によって「Color on Demand」と呼ぶものを提供している。大口顧客は色度を指定してその色を独占的に使用することができる。またオスラム社によると、蛍光体変換によって、ステージや娯楽照明用の黄色や、プロジェクション用の緑色の品質を高めることができるという。

もちろん、本稿で紹介した以外にも非常に多数のカラーLEDの応用分野が存在する。農業用LED照明は最近の記事で取り上げたばかりなので(<http://bit.ly/1QBC00z>)、本稿では意図的に割愛した。その記事では、農業用に特に設計されたオスラム社のLEDを取り上げ、ルミレッズ社も類似する深赤色と遠赤色のLEDをLuxeon Cシリーズに追加したことに触れた。

本稿で簡単に触れただけの他の応用分野として、調整可能な一般照明がある。当然ながらこの市場も莫大な可能性を秘めており、RGB LEDに加えて他の色も使用されるようになる可能性がある。ルミレッズ社のコセンザ氏によると、同社顧客の中には5~8チャンネルのシステムを設計している企業があるという。カラーLED市場が今後、成長することは間違いない。しかし今後最も興味深いのは、一般照明の白色光に広く使用されている青色エミッタに、このようなLEDの性能がどれだけ近づくかという点だろう。

クリー社のSC5をベースとするカラーLEDファミリー「XQ-E HI」

米クリー社(Cree)は昨秋に、「XLamp XQ-E」製品ファミリーの「HI」(High Intensity)バージョンを発表した。同製品ファミリーの技術プラットフォームもSC5(シリコンカーバイド5)にアップグレードされている。ルミレッズ社のLuxeon C LEDと同様に、クリー社のXQ-E HIには、中心ビームの光度(カンデラ)出力が高く、タイトなビームが生成可能な、比較的フラットな一次光学部品が採用されている。