建築照明用の交換可能レンズ、用途に応じた配光が可能に

トーマス・シールケ

建築照明用に設計された「スフェロリットレンズ」により、ほかの光学系では得られない大きなメリットを得ることができる。

照明の効率について論じる場合には、半導体光源の発光効率が主題になることが多い。言い換えれば、光の伝達路となる光学系について議論されることは少ない。実際、大手エレクトロニクス企業の研究部門は、いかに高効率のLEDを開発するかということに集中している。その一方で、照明器具メーカーが照明設計の最適化に利用可能な、LED関連のさまざまな応用技術も存在する。照明の特性、柔軟性、経済効率といった面で差別化された製品を提供するための絶好の機会が与えられているのである。

一般に、LED照明器具の光学系は、反射器の技術に基づく従来の照明器具の光学系とは大きく異なる。レンズによる透過は反射器による反射よりも効率が高いので、適切なレンズを用いた光学系を採用したLED照明器具は、優れた光出力比（LOR：Light Output Ratio）を確保できる。

本稿では、そのような光学系の例として、「スフェロリット（Spherolit）レンズ」を紹介する。これを建築照明に利用することにより、差別化要因となり得る配光を実現することができる（**図1**）。このスフェロリットレンズは簡単に交換できるので、1つの照明器具においても照明効果を容易に変更することが可能になる。

スフェロリット技術

スフェロリットレンズは、LED照明の光学系に使用するために、ドイツの照明器具メーカーであるエルコ社（ERCO）が開発した。スフェロリット技術では、大きいレンズ面を3次元ドーム状の多数のファセット（小平面）に分割する。それらのファセットによる屈折を用いて光の制御を行うというものである。“スフェロライト（Spherolite）”なファセットを個々に成形することで、レンズの特性を広い範囲で制御することが可能になる。

図1　照明設計によって差別化を図るには、特徴のある配光が必要になる。例えば、照明距離や物体の大小に応じて異なるビーム角を提供するアクセント照明や、大きくて長い物体、あるいは垂直面を均一に照らすための楕円-洪水型の照明などである。

図2　LEDからの光は、3つの光学系（レンズ）を介して照射される。LEDチップ上にレンズを直接取り付けた第1光学系、光線を平行ビームとして成形するためのコリメータとして働く第2光学系、スフェロリットレンズから成る第3光学系である。第3光学系としてどのようなものを選ぶかによって配光が決定するので、実際の用途に応じて第3光学系のレンズを選択することになる。

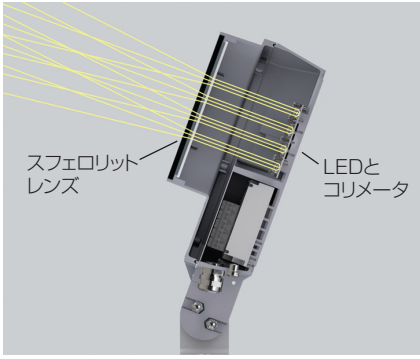

図3　LED照明器具の断面。指向性のある配光を実現するスフェロリットレンズを内蔵している。

入射した平行光はそれぞれのファセットの曲率に応じて、大きく広がったり、小さく広がったりする。そのため、レンズを違うものに変更することで、基本形状が同じであっても、光ビームの放射角は、狭い点のようになったり、広い洪水のようになったり、さまざまな状態になる。

光学高分子によって製造するレンズは、精度が非常に高い部品であり、射出成形に伴う製造上の要求などに合わせて配置できる(**図2**、**図3**)。

3つの光学系

光学系(レンズ)の特性は、LED照明器具全体の効率に大きな影響を及ぼす。LEDレンズ、コリメータおよびスフェロリットレンズを組み合わせて利用した建築照明では、非常に高い性能が得られ、柔軟性のあるシステムを構成することができる。

光学高分子を材料とするコリメータ(第2光学系)は、プリント基板上のLEDレンズ(第1光学系)と、交換可能なスフェロリットレンズ(第3光学系)とを接続する役割を果たす。コリメータは、半球状の配光となるLEDチップからの光を平行ビームに変換し、交換可能なスフェロリットレンズによって所望の配光が実現できるようにする。

この技術を、頻繁に照明の変更が必要となる展示場やショールームなどに適用すると、交換可能な第3光学系によって、照明の目的に合わせて配光を変更できるという実用的なメリットが得られる。例えば、アクセント照明用の狭い光ビームを形成するレンズ(第3光学系)を、垂直面(壁面)用の照明特性を持つレンズに取り替えることで、照明の様式と部屋の雰囲気を容易に変更できるといった具合だ。

照明の専門家、一般ユーザーともに、チップ実装型のスフェロリットレンズによる配光の変更を同様の方法で実施できる。LEDチップとコリメータは、工場内で精密かつ清浄に接合されるので、実際の利用環境でユーザーがスフェロリットレンズを交換しても問題は生じない。

コリメータに加えた工夫

LEDから放射された光は、コリメータの設計(端面の全反射や中間レンズの作用)に応じて平行ビームに成形される。全反射の機能だけを持つコリメータは、高い効率が得られるという利点を持つ。製造の観点から見ると、通常の射出成形による加工では、部品の厚みが高い均一性で得られることを保証するのが難しい。部品を冷却する際、シンク(ひけ)マークとして知られる欠陥が発生するのを防止し、LEDからの光伝搬を妨害する要因を排除しなければならない。

スフェロリット技術で使用するコリメータは、広く使われているコリメータとは異なり、中間に配置するレンズとして、薄いフレネルレンズを用いている。これにより、射出成形での加工が容易になる(**図4**)。

しかし、LEDから放射角の狭いビームの配光を得るのは非常に難しい。幾何光学の保存則に従うと、LEDチップの狭い発光面にはかなり広い放射面が必要になる。スフェロリット技術で使用するコリメータ向けには、通常の射出成形加工を適用可能にするために、二重全内部反射を利用する特殊な構造を開発した。これにより、かなり均一な部品厚みを保証することができる(**図5**)。この原理を応用し、反射器とレンズを組み合わせると、非常に狭いビーム角で高効率の導光が可能になる。

コリメータ上の位置決め用のピンは、ネジまたはクリップを用い、プリント基板上に迅速かつ正確に取り付けられる。ヒートシンクへのネジ止めは、

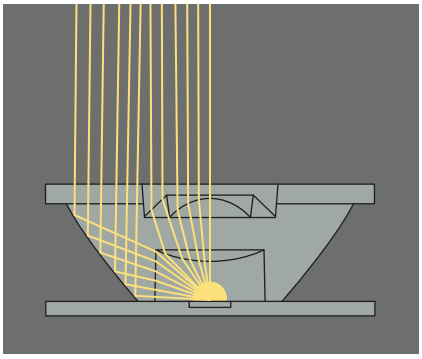

図4　コリメータを簡単な射出成形で製造できるようにするために、中間に配置されているレンズとしては、薄いフレネルレンズを用いている。その結果、この部品の厚みはより均一なものとなり、部品を冷却する際にシンクマークが生じることを回避できる。

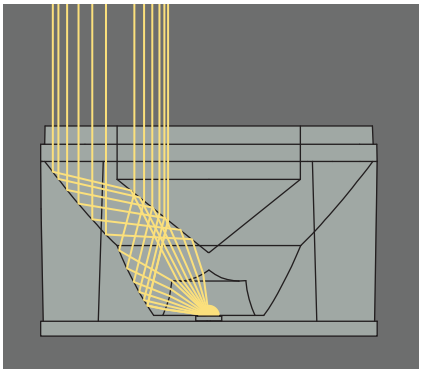

図5　非常に狭いビームの配光を実現するコリメータの効果は、全内部反射と二重全内部反射の光学原理に基づいている。このことが光学系全体の高効率化に寄与する。

熱伝導の働きも担い、LEDの熱管理の面で役に立つ。

多くの用途に容易に対応

例えば、アクセント照明用の狭いビームや壁面照明用の広いビームなど、実際の配光は、第3光学系として使用するスフェロリットレンズによって決まる（**図6**）。軸対称型のスフェロリットレンズは楕円形のビームを生成し、細長い彫刻やテーブルの単一照明器具に向いたものとなる。一方、非対称型のスフェロリットレンズは壁面の均一照明に利用できる。この場合のスフェロリットの形状は、均一で光条のないビームが生成されて、きれいで軟らかいエッジが得られるように設計される。なお、ユーザーによる識別を容易にするために、スフェロリットレンズの端部には照明特性を示すラベルが貼られる。

コリメータだけを使用する光学系に比べると、コリメータとスフェロリットレンズを用いる方法では、反射損失は非常にわずかな量しか発生しない。しかし、重要なのはこの点ではなく、ここまでに述べたような柔軟な使い方ができることである。別のスフェロリットレンズに交換するだけで、ほかに照明器具を用意することなく、異なる配光を実現できることがポイントだ。また、楕円照明や壁面照明で必要となる複雑な光学系は、コリメータを使うだけでは実現できない。

効率の高さもメリットに

低電圧ハロゲンランプや高圧放電ランプなど、従来型の点光源は、実質的に立体角が360°の光を放出する。それに対し、LEDには指向性があり、立体角が180°未満の光が放出される。このことは、光の漏れやランプソケットの方向への発光による損失が回避されるということを意味している。また、レンズによる透過は反射器による反射よりも効率が高いので、レンズの使用によって、より高いLORが得られる。その結果、例えば、スフェロリットレンズを利用したLED壁面照明では、約80％のLORが得られる。これは、ランプ、反射器、壁面アタッチメントを用いる従来のレンズ壁面照明の約2倍の値である。また、約80％のLORというのは、スフェロリット反射器を用いる壁面照明のLOR（約60％）も上回る。

スポットライトの効率は、ビーム角を一定とし、ビームの中心輝度（lm：ルーメン）と消費電力（W：ワット）との比を計算することで比較できる。これについても、スフェロリットレンズによるLEDスポットライトの効率（約70lm/W）は、スフェロリット反射器による効率（約50lm/W）を上回る。

高圧放電ランプなど、従来型のランプとは異なり、LEDの将来の輝度効率はさらに向上すると期待されている。すべての光学系は、効率の増加が増倍係数として働くので、より大きな効率の差が生まれる。

開発プロジェクトにおいてシミュレーションと計算を実施するために、多くの照明器具の実測評価が行われている。それにより、適切な光度数値データと3次元形状を備える照明器具の仮想モデルが利用可能になっている。

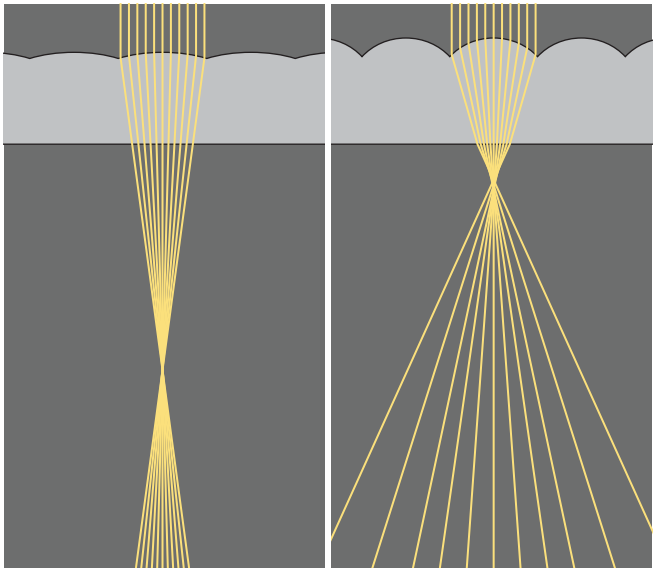

図6　スポット型のスフェロリットレンズ（左）は、平坦に近いスフェロライトで構成され、ビーム角は狭く、分散の度合い（広がり）は小さくなる。洪水型のスフェロリットレンズ（右）のスフェロライトは曲率が大きい。この曲率が広がり角の大きい光ビームを生成する。

＊　＊　＊

LEDレンズ、コリメータおよびスフェロリットレンズから成る光学系は、大きな自由度を持つ照明設計を実現するための便利な手段である。点対称、軸対称、あるいは非対称といった具合に、光度特性について選択の幅が得られる。また、定量的な照明設計と効果的な視覚特性の基礎として活用可能である。この技術の開発には、解析（照明のシミュレーション）、プラスチック加工など、製造工程における技術的な要素を完成させることが必須であった。このような作業に基づいて、システム設計の全体的な改良が行われ、光学系の効率を微調整して最適化することができた。

著者紹介
トーマス・シールケ氏（Thomas Schielke）は、ドイツのリューデンシールドに本拠を置くエルコ社（www.erco.com）で照明設計に携わっている。

LEDJ