SSLの新境地を切り拓く多機能光学部品

キャロライン・ヘイズ

照明設計において、さらに明るくするというだけではもはや十分とは言えない。照明は、それ自体がデザインであり、今日では、エネルギーの削減や光害の低減に加えて、ドラマチックな効果を加えることを目的とした、指向性で形状を自由に変えられる光学部品が提供されている。

これまでとは異なる新しい応用分野から、SSL（Solid State Lighting：固体照明）用の新しい光学部品が生み出されている。これらの部品は、より小さなスペース用の照明を実現したり、光の操作やビームの制御を行ったり、色を取り入れたりといったことを可能にする。

例えば小売分野では、発光面（LES：light-emitting surface）の大きなLED用に大きなリフレクタを使用したり、複数の小さなLEDによってディスプレイの特定の部分を集中的に照らしたりすることができる。また、今日のLED光学部品の役割は、領域を照らすことにとどまらない。暗い領域が生じる円形の照明に代わって、照射領域を絞った光によって光害を低減する街灯や、さらには四角形の画像を照らす四角い光によって画廊やアトリエの絵画を際立たせる照明といった、インテリジェントな照明の実現に貢献している。

英カルクロ・オプティクス社（Carclo Optics）で光学エンジニアを務めるベルトラン・ベルコ氏（Bertrand Bercot）は、LED技術の最近の進歩によって選択肢が生まれたと考えている。「最近までは、LEDは、電気を光に変換する効率が十分ではなく、ハロゲン、CFL（Compact Fluorescent Light：小型蛍光灯）、HID（High Intensity Discharge：高輝度放電）ランプといった旧式の技術に太刀打ちできなかった」と同氏は述べた。しかし、LED技術が新しい利点を提供するようになり、この状況に変化が現れた。ほとんどの照明企業が現在、LEDを用いて最新製品を設計しており、主要な光源としてLEDを選択している。LEDは消費エネルギーが低く製品寿命が長いことから、保守コストが低くなるためである。

特定用途向けのカスタム設計のニーズによって、この6年間でこの動きが促進されたとベルコ氏は指摘している。「当社はこれまでLEDメーカー向けに、TIR（Total Internal Reflection：内部全反射）光学部品を設計していた。現在ではカスタム設計が増加している」と同氏は述べた。

複雑なレンズ

LED開発の変化によって、レンズの複雑さが増したとベルコ氏は述べた。TIRから、設計に応じたフリーフォーム（自由形状）へと移行したという。フリーフォームの光学部品は比較的新しいものである。「街灯内部などの、これまでは数個のレンズで実現されていた複雑な用途に、1つのレンズで対応することができる」とベルコ氏は説明した。

SSL分野の進歩を受け、カルクロ社は、ほとんど研磨する必要のない光学部品を製造するためのダイヤモンド旋盤（高速機械加工機）を開発した。同社はTIRとフリーフォームの両方の光学部品を設計し製造しているが、同社の最新製品は、フリーフォームの光学部品とフリーフォームのリフレクタであるという。全般的に、要件の厳しい仕様や特定の用途に対応するために、複雑な光学部品やフリーフォームの光学部品が製造される傾向が見られるとベルコ氏は指摘した。「この2年間で私が設計したものを振り返ってみると、フリーフォームのものばかりだった」と同氏は述べている。フリーフォームレンズは、光の制御や複雑なビームパターンの生成に優れている。「また、それぞれの用途にニッチな市場が存在する」とベルコ氏は述べた。

同社のダイヤモンド旋盤で加工されたフリーフォームの光学部品は、製造後に表面を滑らかできれいにするための研磨作業が、ほとんど必要ない。最近のフリーフォーム・プロジェクトとしては、欧州や北米市場向けの街灯、均等な照明を生成する高天井設置用のバブル灯、大型LED光源用にフリーフォームのファセットを持つ大型リフレクタ、道路標識やオフィス照明用のフリーフォームのバブル照明などがある（**図1**）。同社は、カスタムメイドの光学モ

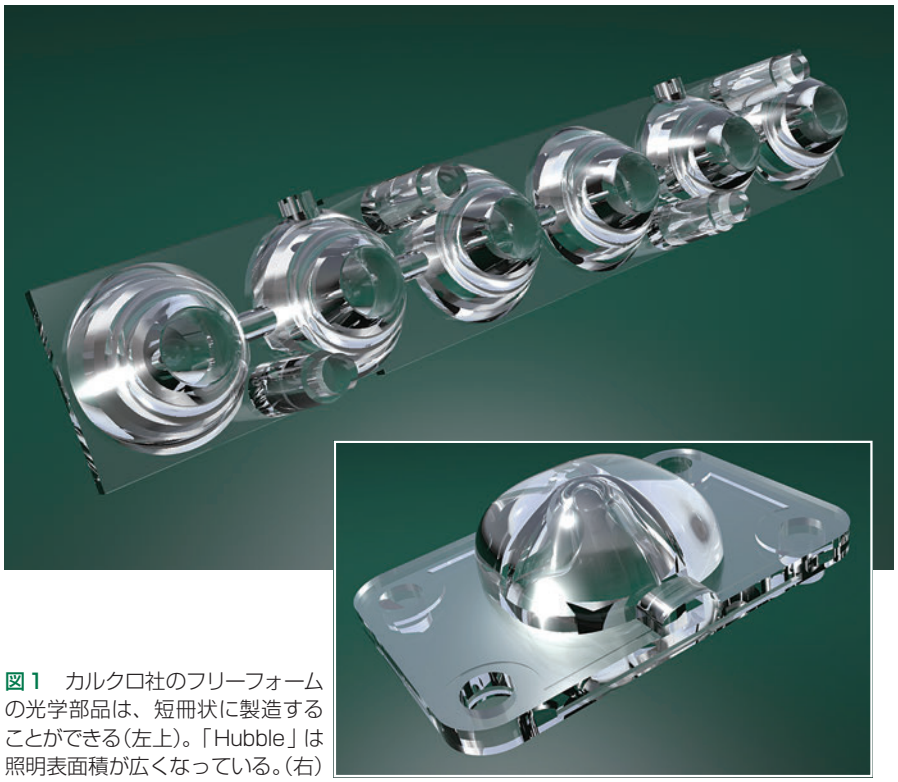

図1　カルクロ社のフリーフォームの光学部品は、短冊状に製造することができる(左上)。「Hubble」は照明表面積が広くなっている。(右)

ジュールおよびシステム、オーダーメイドの標準光学部品／リフレクタ／ホルダーを専門としており、2012年にLED部門を、その専門性を反映する「カルクロ・オプティクス」という社名に変更した。

ニーズに応じた製造方法

加工と研磨用の機械は、光学部品企業にとって主要な設備投資の1つである。光学部品の製造にはさまざまな材料が用いられることから、工具の選択は複雑になる可能性がある。例えば、ポリカーボネートとポリカーボネート混合物では異なる処理が求められる。「異なる材料を検討する際に問題となるのは、製造プロセスと工具である」と、独バイエル・マテリアルサイエンス社(Bayer MaterialScience)のポリカーボネート事業部門(Business Unit Polycarbonates)でインダストリアルマーケティングをグローバルに統括するステファン・フーバー氏(Steffan Huber)は述べた。「多様なポリマーのレオロジー挙動や、工具のデザイン、加工パラメータの違いに適切に対応する必要がある」と同氏は助言している。製造効率を最適化するには、ポリマー成形方法についても検討しなければならない。「その上、一部の光学部品用に選択した材料によって、部品のデザインも異なってくる。ポリマーと金属を比較するというさらに極端なケースでは、製造、工具選択、設計の側面における大きな違いを考慮する必要がある」と同氏は指摘した。

光学部品の目まぐるしい進歩によって、ある専門家は欲求不満に陥った後、ひらめきを得た。リチャード・ヴァン・デ・ヴリー氏(Richard van de Vrie)は、光学部品にデジタル手法を取り入れようと考えた。「新しいLEDチップが登場する度に、発光効率(ルーメン毎ワット：lm/W)は増加する。そのペースを維持するための競争が絶えず続いている。米ルミレッズ社(Lumileds)だけでも約75種類もの新チップを毎年発表しているが、そのすべてが、特定の照明器具に適しているわけではない」と同氏は述べた。LEDが登場する度に新しい設備を購入する代わりに、同氏は、業界のペースに後れをとることなくカスタム照明を大量生産する方法を検討した。

最初は3Dプリントを検討したが、実現困難とわかり、断念した。光学材料の層の上にプリント層を配置すると、光品質が低下する原因になる恐れがあるとヴァン・デ・ヴリー氏は説明している。それでも同氏は、自身が設立した企業であるオランダのルクスエクセル社(LUXeXcel)においてこのような障壁を乗り越える方法を模索し、ワイドフォーマットのインクジェットプリンタに着目して、光学材料のプリント向けにそれを改造した。「ハードウエアとソフトウエアを追加し、さらなるツールを加えたところ、1個から数千個の部品を製造可能な専用の工業用プリンタになった」と、同氏はLEDs Magazineに語っている。

各光学設計に対し、CADソフトウエアが設計を作成するため、保持する在庫数が減少し、射出成形、ダイヤモンド旋削、研磨、研削用の機械に対する投資も抑えられる。変更や再製造に工具が必要になることはない。

デジタル技術であることから、最低注文量という概念もなくなるとヴァン・デ・ヴリー氏は説明する。1個から1万個までの注文に対応可能で、プロトタイプに対する変更には、CADファイルの変更によって対応できる。ネットワーク接続によって設計者がCADファイルにアクセスすることのできるライブラリも用意されている。

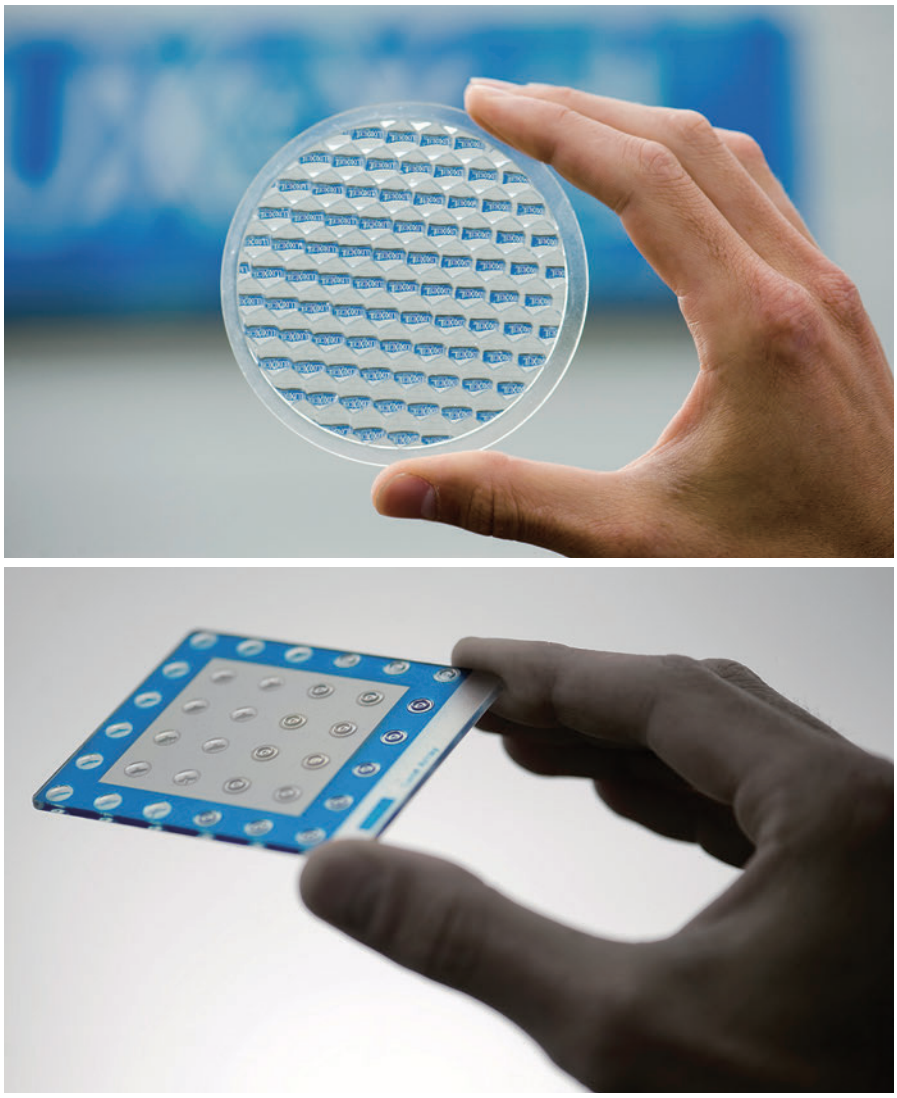

図2　ルクスエクセル社の「Printoptical」技術は、任意のサイズおよび形状の光学部品を製造することができる（上）。「液体」プロセスによって製造される同社のライトアレイ（下）。

無限の可能性

同社はワイドフォーマットプリンタを使用して、多機能光学部品を製造した。形状に制約のないフルカラーレンズである（**図2**）。「当社には、表面が滑らかで、非常に可塑性に優れていながら非常に高精度な光学部品を製造する能力がある」とヴァン・デ・ヴリー氏は述べた。テクスチャと光学的機能とカスタマイズ性を併せ持つ、その複雑なフリーフォームのデザインは、円形や楕円形のビーム角以外にも対応する。

成形や形状変更が可能な可動性の光学部品は、紫外線（UV）硬化性のポリマー液滴を、オンデマンドで1440dpi以上の解像度で噴射することによって製造される（同社は主にPMMA[ポリメチルメタクリレート]を使用しているが、ポリカーボネートも使用している）。液滴は、圧電プリントヘッド上のUVランプによって硬化させる。滑らかな表面は、噴射とUV光照射の間に時間差を置くことによって得られる。この方法で、後処理を施すことなく光学品質の表面が生成され、研磨や研削の必要はないと同社は主張している。

液滴は、固定形状でもフリーフォームでもよく、透明プリズムでもレンズでもよく、LED照明またはグラフィックディスプレイ向けにフルカラーのグラフィックスやテクスチャを生成する。「ミクロ構造やフレスネルレンズをプリントしたり、特殊なアクセントスポットライトやディフューザを適用したり、色を追加したり、プリズム構造やフリーフォームの光学部品をプリントしたりすることが可能だ。どの処理も違いはない」とヴァン・デ・ヴリー氏は総括している。

色やテクスチャによってプロジェクトに独創性を持たせることは、建築上の美しさだけでなく、照明効果の向上にもつながるとヴァン・デ・ヴリー氏は述べた。例えば、美術館内では作品に注意が集まるように、街灯では光害を低減するように、光の光学的バランスを計算することができる（**図3**）。すべての光を必要な部分へと集中させることが可能だ。例えば、スーパーマーケットの陳列棚の色である。フィルタを利用して、リンゴの陳列に適した正しい赤色や緑色が生成されるようにすることができる。インクをプリント工程に追加しても光は拡散されないとヴァン・デ・ヴリー氏は説明した。生成されるシートは層状になっていないためである。密接な関係にあるカラーグラフィックス印刷と同様に、「Printoptical」技術では、色合いを光学部品そのものの内部に、高い解像度でプリントすることができる。その色は、装飾や用途上の仕様に合わせて調整することも可能だ。

色の使用

伊カトッド社（Khatod）も、色の課題に取り組んでいる。ただし同社のアプローチはまた異なる。カトッド社の光

学エンジニアであるドナテラ・ピッツァリス氏（Donatella Pizalis）は、効率の高い色付きの光学部品にイタリアらしさを少し添えるために用いられる技術について説明した。同社はコーティング機械をカスタマイズして、高い輝度と光束強度（エネルギー）を達成しつつ、光を集束して理想的なビームとして反射するレンズの役割を果たすリフレクタを製造した。同社の最新製品「Color Mixing Optics」は、直径35mmと45mmのRGBW混色レンズで、8～40°のビーム角の全範囲に対応する。非常に幅の狭いビーム角から広いビーム角までのLED光源からの光をRGBW混色することによって、建築、小売、ステージ照明などのダウンライト、懐中電灯、ボーダー照明や輪郭照明を実現する。この光学製品は、均一の光束を生成して、影やグレアをなくすと同社は主張している。光学グレードのPMMAレンズである同製品の動作温度範囲は－40～+90℃で、それと同じ温度範囲で保管可能である。

MLA（Moving Lenslet Array：可動レンズレットアレイ）というアクセサリをレンズの上に配置することによって、ズームとオートフォーカスを行うことができる。MLA（直径はレンズと同じ）をスライドさせることにより、ビームを11～45°の間で変更可能で、同社によると、ビーム角の全範囲において、完璧な色混合と90%を超える高い光学効率が維持されるという。

カトッド社は30年以上にわたって、光学部品を製造してきた。カトッド社のマーケティングマネージャーを務めるマリーナ・ロッシ氏（Marina Rossi）によると、射出成形プロセスを、最初にPMMAまたはPVCレンズ向けにカスタマイズしたのは同社だという。カトッド社は、シリコンレンズ用の低温射出プロセスも開発したとロッシ氏は熱く語った。どちらも同社にとって重要な材料である。「シリコンはPMMAよりも高い温度で動作可能で、屋外での使用や湿度からの保護のための絶縁を必要としない。一方、PMMAは輝度が高く、完全に透明で、紫外線に対する耐性がある」とピッツァリス氏は述べた。明るい屋内で使用する場合や、美しい外観が求められる場合に対し、PMMAは鮮明さだけでなく、華やかさも与える。その用途をピッツァリス氏は次のようにまとめている。「宝石店のショーウィンドウを照らす場合は、照明も宝石と同じように輝いているべきだ」

図3　街灯用に構成されたアレイは、「Printoptical」技術の幅を示すものである。

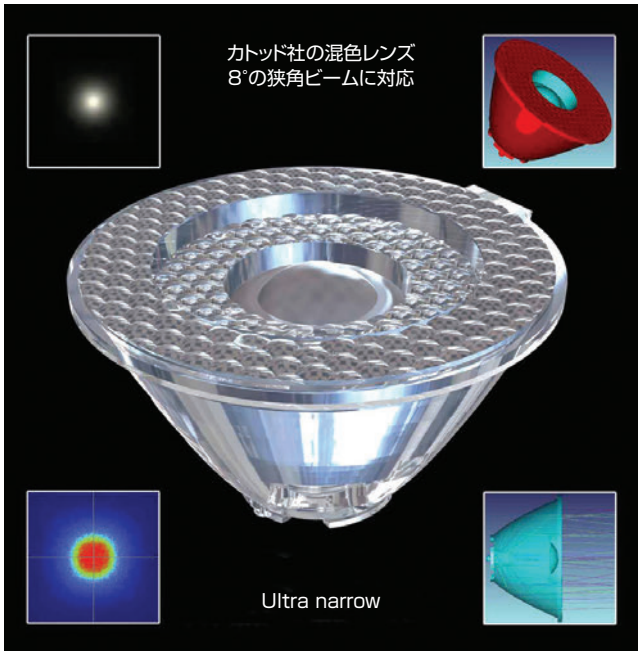

図4　カトッド社の「Color Mixing Optics」は、色で差別化を図るための新たな手段を提供する。

著者紹介

キャロライン・ヘイズ（Caroline Hayes）はLEDs Magazineの編集者。

LEDJ