高い性能を発揮するポリカーボネート樹脂

バラ・アムブラヴァン

ポリカーボネート樹脂は、LED照明器具用のガラスやポリメチルメタクリレートの代替となるもので、LED自体の寿命、効率、耐久性に見合った特性を持つ。

LEDが、ルーメン出力や寿命の向上といった技術的進歩を遂げるとともに、莫大な規模の一般照明市場で使用されるようになると、SSL（Solid State Lighting:固体照明）製品の中に使用される材料にも相応の進歩が必要となる。レンズ、カバー、チューブ、パイプ、ディフューザ、リフレクタなど、LEDのさまざまな光学的応用分野に使用されるポリカーボネート（PC）樹脂は、透明度が改良され、高温に対する耐性に優れており、このニーズにうまく適合している。

LED技術は、さらに高い輝度、美しい外観、低い価格、長い有効寿命を求める市場の需要を満たすために目まぐるしく変化している。このような状況から、LED照明器具の部品に対する懸念が生じている。1つの問題は、LEDモジュール自体の寿命が非常に長く、しかもますます延長される中、それに合わせて部品の耐久性をいかにして高めるかというものである。2つめは、発光効率を改善する（低いエネルギーで同レベルの輝度を実現する）ことであり、光学レンズやカバーの光透過性能を向上させることなどによって対処されている。3つめの課題は、家庭用照明におけるLEDの光品質を改善し、ソフトで白熱灯照明に近い光を実現し、ホットスポットが生じないようにすることによって、消費者による採用を促進することである。最後に、LEDのコストはやはり他の製品と比べて高いため、この高価なモジュールを耐衝撃性の高い部品で保護することが重要である。

透明度が改良されたPCは、上記のすべての問題を解決する可能性を秘めている。LEDの光学的応用分野にはこれまで、ポリメチルメタクリレート（PMMA）と、それよりも少ないがガラスが使用されてきた。どちらの材料にも欠点があるが、新しいPC材料を使用すれば、それらの欠点を回避できる。また、LEDが引き続き進化し、光学部品に求められる要件がさらに高まるにつれ、より高い温度範囲、より長い熱曝露時間、より高い難燃性といった新しい要件に、各種特性において高い性能を示すPCは対応することができる。

この最新PC技術は、成形業者、製造業者、規制機関による現在および将来の要求を満たす包括的な価値を提案するものである（**図1**）。その利点として

図1　この最新PC樹脂は透明度と経年性能が改良されており、LED照明における黄色化が抑制されている。

は、機械的特性と耐久性に非常に優れていること、光透過性がPMMAと同等であること、自由な設計および成形構成が可能で特定の拡散レベルを実現できること、そして最も重要な点として、義務付けられた安全性と持続可能性の要件に準拠することなどが挙げられる。

このPC樹脂は、改良されたモノマーで構成されており、技術的に高度なプロセスを使用して製造されている。このプロセスによって高純度の樹脂が生成され、成形直後および熱老化後の光透過性が、標準グレードや光学グレードのPCと比べて格段に高くなるとともに、その他の性能も改善される。透明度が改良された樹脂は、LED市場、特に一般照明や車載照明の分野におけるPCの普及促進に貢献している。

本稿では、透明度が改良されたPCの主な利点のいくつかを、LED光学部品に使用される従来のアクリルやガラスと比較して説明する。

PCの寿命

LEDの主要な利点の1つは、3万時間以上（10～15年以上）という長い有効寿命である。寿命が長いということは、LEDがこれまでの種類の照明よりも環境に優しく、コスト効率が高いことを意味するが、それとともにLEDレンズ、チューブ、リフレクタ、カバーの耐久性に対する懸念が生じている。これらの部品は、熱や紫外線（UV）光にさらされても劣化することなく、LED自体と同じだけの期間、耐久できるのだろうか。特に、交換用照明器具を消費者が扱い、落としてしまうこともあり得る、家庭での交換を対象とした用途において、カバーやレンズは高価なLED光源を、衝撃や損傷から効果的に保護できるのだろうか。

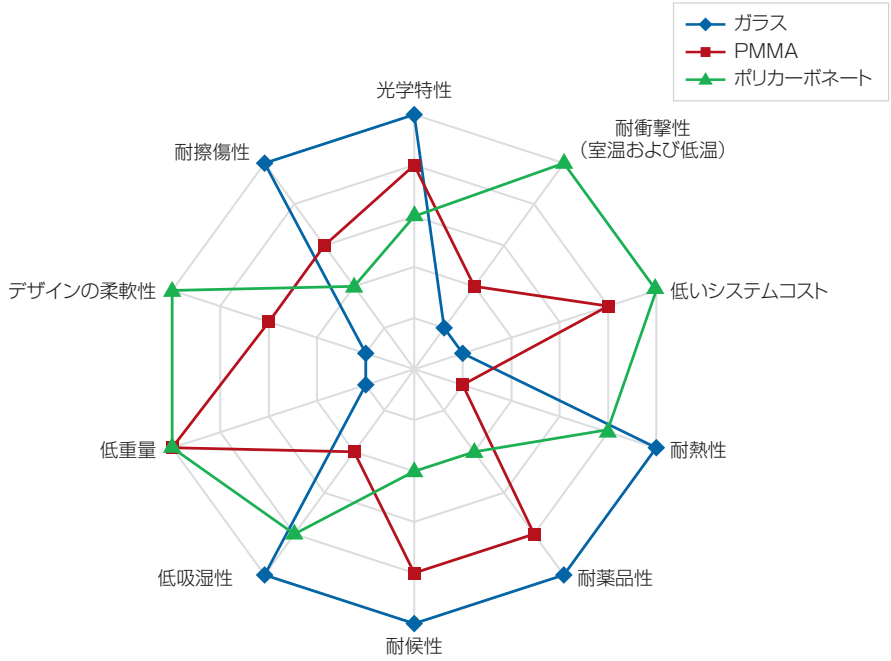

図2　PC、PMMA、ガラスのすべてに、LED照明におけるそれぞれ特有の利点があるが、PCは、耐衝撃性が高く、システムコストが低いという点において優れている。

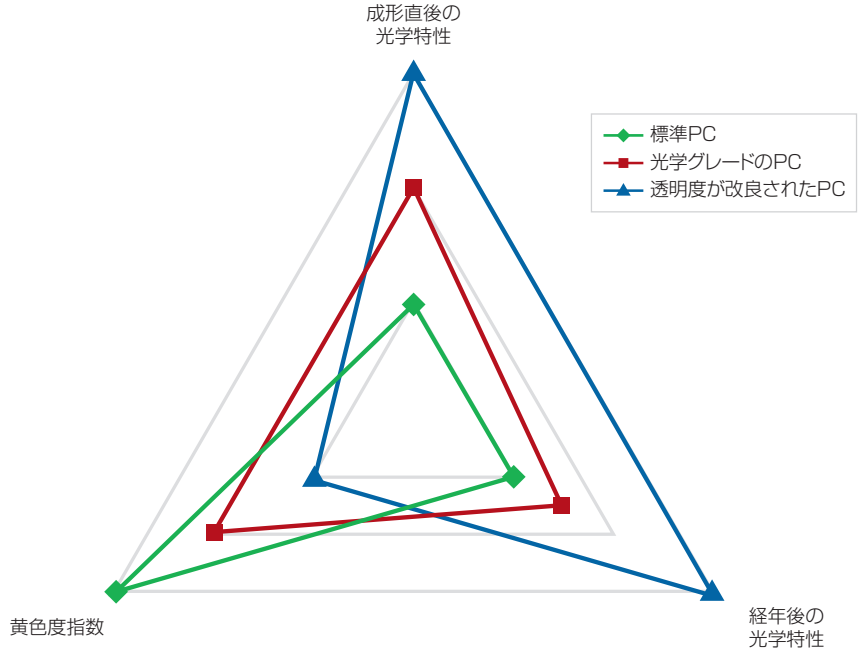

図3　SLXポリカーボネート樹脂は耐候性が高く、紫外線曝露に対する耐性がある。

透明度が改良されたPC樹脂は、一連の特性において高い性能を示し、LED照明が有効寿命全体を通して効果的な動作を維持するために役立つ。まず、一般的な実験室測定または実用的な衝撃測定においてPMMAの10倍、ガラスの30倍という卓越した耐衝撃性を持つことが知られている（**図2**）。

LEDは建築照明、屋外照明（駐車場や街灯など）、車載照明における使用

図4　この直線型蛍光灯用のLEDベースの交換用電灯管には、Lexan PC樹脂から製造されたディフューザが使用されている。

が増加しているため、最適な光透過性と寿命の実現に、耐候性が重要な意味を持つ。透明度が改良されたPC樹脂は、組成を操作することで、UL746CのF1定格認証に必要となる、UVや天候に対する耐性を実現することができる（**図3**）。ポリマーの黄色化や脆化の要因となり得るUV光に対する耐性は、屋外に設置される場合の重要な側面だが、屋内用のLED照明器具でも、周辺光や、時には光源そのものからのUV照射に耐える必要がある。透明度が改良されたPC樹脂は、黄色化抑制性能が改善されており、光透過性を維持して脆化を防ぐため、その卓越した耐衝撃特性が持続する。

屋外照明では、透明で耐候性の高いPC樹脂が、ガラスとPMMAの両方に対する優れた代替となる。公共物に対する破壊行為やその他の乱暴な扱いから固体LEDを保護する高い耐衝撃性能を持ち、耐候性と難燃性に関するULの最も厳しい要件を満たし、光の前方透過性が最適化されているためである。一方、壊れやすいガラスは衝撃保護能力が十分ではなく、PMMAはUL94 V0の要件を満たさない。

LED寿命のもう1つの側面である熱老化は、高輝度LED（HB LED）のルーメン出力がさらに高まり、光学部品にさらに高い負荷がかかるようになるにつれ、ますます重要性が高まっている。透明度が改良されたPCは、機械的および光学的特性を維持しつつ、110°C～130°Cの温度への長時間の曝露という、HB LEDに適用される機会が増えつつある環境に耐えることができる。

PCの輝度

工業または商業施設向けのダウンライトやスポットライトといった一部のLED応用分野では、最大限の輝度が求められる。また、デザイナやメーカーは、最小限の消費電力で最大限の輝度を実現することによって、LEDコストを削減する方法を模索している。このような分野では、LEDモジュールが生成するすべてのルーメン出力を最大限に活用することが不可欠である。一方、家庭用照明などの分野では、ホットスポットをなくす均等な拡散光が求められる。LED光源とともに使用されるカバー、レンズ、チューブ、リフレクタは、光の透過と拡散の適切なバランスの実現において、非常に重要な役割を担う。

透明度が改良されたPC材料は、光透過率が約90～92%という、PMMAにほぼ匹敵する高い透過性を示す。この特性から、HID（high-intensity discharge）照明器具や蛍光灯に対する交換用のHB LED、懐中電灯や自動車のヘッドランプに適したものとなっている。

拡散が求められる用途に対し、特殊なPC樹脂は多様な光制御能力によって、前方への光透過性を損なうことなく、性能をカスタマイズすることができる（**図4**）。複数の拡散技術によって狭角または広角の光散乱が可能だが、ディフューザと乳白剤を用いる場合は、半透明物体による散乱と広角の光散乱が組み合わされる。サウジアラビアのSABIC社などのPCメーカーは、顧客の要件に合わせて拡散特性をカスタマイズできる可能性がある。拡散をベースとするPC製品は、このような用途によく使用されるディフューザフィルムよりも、効果的で安価なシステムソリューションとなる可能性もある。

PCの特殊な防塵性能は、LEDダウンライトに使用されるリフレクタの要件を満たすことができる。このようなリフレクタは光を（鏡面反射ではなく）拡散させるとともに、ダウンライトの寿命期間を通してその反射特性を維持する必要がある。防塵性は、反射性能の長期的な維持に貢献する。同時に、PCは高い性能を示すにもかかわらず、その卓越した機械的特性を維持する。最後に、PCは自由な設計に対応し、多様なリフレクタ形状が生成可能である。一方、防塵性を備えるPMMA材料では同等の機械的性能は得られず、また、UL94 V0の難燃性要件も満たさない。

PCの熱特性

LEDが生成する熱は、ヒートシンクによって完全には消散されない。そのため、光源に近接するレンズ、リフレクタ、カバーに使用される材料は、熱安定性と難燃性を備える必要がある。LEDの輝度が高くなり、少なくとも1W以上の電力が必要になっていることから、生成される熱は増加している。材料コストを削減し、市場要求に対応するための小型化も、高温化につなが

っている。小型化によって、LEDが他の部品のさらに近くに配置されるだけでなく、スペースの縮小によってヒートシンクが小さくなるため、熱を消散させる能力が低下する。

実際、HB LEDの一般的な動作温度は、既に約80～90°Cに達しており、モジュールのさらなる性能強化や小型化が進むにつれて、さらに20～30°C上昇すると予測される。特殊なPC樹脂はこのような傾向に対応して、耐熱温度は最大130°Cまでと、標準的なPMMAよりも20～30°C高い。PMMAは110°Cを超えると、変形し始める。上述のように、透明度が改良されたPC樹脂は、高温での長時間の熱老化後でも高い光透過性と機械的特性を維持する。ワット数の高い白熱電球(75Wまたは100Wなど)に対する一部の交換用LED電球には既に、120°Cを超える耐熱温度が求められている。

安全性については、SABIC社による透明度が改良されたPC樹脂は、高い透過性とともにUL94 V0に1mmまで、V2に0.75mmまで準拠する難燃性を備える。LED照明に対する国際的な安全性規格はまだ発展途上にあるが(米国ではUL、欧州ではIEC、アジアではUL、IEC、または特定の局所的な規格が適用される)、PCは難燃性と耐熱性の上限が高く、高まる規制基準に対応することができる。一方、PMMAは各種UL規格を満たさない(UL94の水平燃焼性の基準のみに準拠する)。

透明で難燃性に優れたPCは、安全性規格に準拠するとともに、環境指令を支持する技術が採用されている。これらのPCは、臭素、塩素、リン酸塩を使用せず、欧州連合(EU)のRoHS(Restriction of Hazardous Substances)指令などのエコラベルや規制に準拠している。

PCによるデザインオプション

一般照明業界は断片化が進み、複雑である。LEDによって、その複雑さはさらに増大している。多様化が進む同市場では、高い性能に魅力的な外観と革新的なデザインを併せ持つ、多用途に適用可能な材料が求められている。

LEDのデザインは既に、白熱灯や蛍光灯よりも多様化している。この傾向に対応して、PCなどのプラスチックは、プロセス手法(射出成形、ブロー成形、押出成形)や成形色が選択可能で、部品の統合を含む複雑な形状を生成することができる。ガラスはこの点において、デザインにかなりの制約が生じる。

プラスチック同士の比較では、PCは、デザインの選択肢の幅が広いという点においてPMMA に勝る。特に、PCは鋭い角や切り込みが実現可能で、衝撃強度が低いというPMMAの欠点をさらに浮き彫りにする。壁や天井に取り付けるLED照明に使用される大きな拡散シートを押し出す場合に、たるんでしまう傾向にあるPMMAに対し、PCはPMMAよりも強度と硬度が維持される。同様に、PCは、その寸法安定性、強度、硬度によって薄肉成形(0.5～1.0mm)が可能で、コストを削減し重量を低下させるとともに光効率が改善される。

LEDのデザイン革新において興味深い分野の1つは、自動車のヘッドランプである。LEDは、ハロー効果を実現するいわゆるエンジェルアイやアクセント照明といった特殊な照明や、短冊状にして昼間の走行用ライトやフォグランプに使用されている。これを最初に考案したのは、独アウディ社(Audi)やメルセデス・ベンツ(Mercedes-Benz)社である。多用途に適用可能なPC樹脂は、このような独特のデザインに、高い光透過性、耐UV性、耐衝撃性、耐熱性を提供することができる。

反射性能に優れた特殊なPC樹脂も開発されている。この材料をヘッドランプのリフレクタに使用することで、二次的な被覆やめっきを適用することなくLEDモジュールの輝度を最大限に高めることができる。このようなPC樹脂を使用すれば、リフレクタをLEDモジュール内に統合することも可能になる。

PCは、建築照明や車載照明のライトパイプやチューブに最適である。このようなパイプやチューブは、数mmまたは最大100mの距離にわたって光源からの光を導くために使用される。ライトパイプは、柔軟なデザインを可能にするとともに、部品数や組み立て工程の削減に貢献する。PCは、特に細長いパイプを使用するこのような用途に対し、光学特性(透過率と反射率)、耐久性、プロセス能力(押し出しまたは形状)を適切なバランスで提供する。

PCは、LED照明設計におけるチューブ、カバー、レンズ、リフレクタ用の材料として台頭しつつある。PCの標準的な耐衝撃性、硬度、透明性を基盤として、薄肉化や優れた熱劣化性能、持続可能な難燃性といった、さまざまな望ましい性能を持つ特殊なPCが開発されている。LED技術がさらに進化し、新しい応用分野の開拓、新しい市場への参入が行われ、規制が発展するにつれ、PC樹脂は、多様な種類、性能、多用途性によってその新しい課題に対処することができる。

著者紹介
バラ・アムブラヴァン(Bala Ambravan)は、米SABICイノベーティブプラスチックス(SABIC Innovative Plastics)社において、「Lexan」コポリマーを担当するグローバル製品マーケティングディレクタ。

LEDJ