

高輝度光散乱ポリマー導光体とその構造色制御

科学技術振興事業団 ERATO 小池フォトニクスポリマープロジェクト
グループリーダー 多加谷 明広

科学技術振興事業団 ERATO 小池フォトニクスポリマープロジェクト 総括責任者
慶応義塾大学理工学部物理情報工学科 教授
小池 康博

フォトニクスポリマーは、現在の情報通信技術（IT）の中で様々な光学デバイスの材料として重要な役割を果たしている。これまでに筆者らが提案してきた新規フォトニクスポリマーおよび新規フォトニクスポリマーデバイスである、光散乱ポリマー導光体液晶ディスプレイバックライト、ゼロ複屈折性光学ポリマー、屈折率分布型ポリマー光ファイバーも実用化に成功し、IT 分野におけるキーマテリアルおよびキーデバイスとして利用されている。これらはそれぞれ異なる機能、特性を有しているが、共通しているのは、従来のポリマーに何らかの物質を添加しているという点である。光散乱ポリマー導光体液晶ディスプレイバックライトにはミクロンオーダーの球状微粒子を、ゼロ複屈折性光学ポリマーおよび屈折率分布型ポリマー光ファイバーには低分子量有機化合物（低分子）を添加している（これらについては、参考文献[1]に挙げた総説等を参照されたい）。近年のナノテクノロジー分野の盛り上がりから、ナノサイズの微粒子への注目度は高まっている。したがって、ナノサイズの微粒子のような「異物」を添加して材料に機能を付与するという手法は、現在では大きな抵抗無く受け入れられる手法と考えられるが、筆者らが上記の提案を行った当時（1992 年以前）は、特にフォトニクスの分野においては非常識な手法と理解されていた。それは、フォトニクスの分野においては材料の透明性が最も重要な特性の一つとされることが多く、材料の透明性を高めるために少しでも不純物を減らし、純度を高めることに多くの努力がなされていたからである。つまり何らかの物質を添加することは、純度が低下し、散乱損失、吸収損失が増加し、機能を低下させると短絡的に考えられていた。以下、筆者らの提案により、実用化した光散乱ポリマー導光体液晶ディスプレイバックライトとその構造色制御について紹介する。

ノートパソコン、携帯電話に代表される携帯情報端末の近年の進歩は目覚しく、かなりの軽量化、薄型化、低消費電力化がなされてきた。携帯情報端末用のディスプレイとしては、反射型液晶ディスプレイや EL ディスプレイも実現しているものの、現在の製品の中では透過型液晶ディスプレイが最も広く用いられている。透過型液晶ディスプレイでは、光源であるバックライトの性能がディスプレイ全体の性能に大きな影響を与えるため、より軽量、薄型、低消費電力なバックライトを目指し、多くの研究開発がなされてきた。

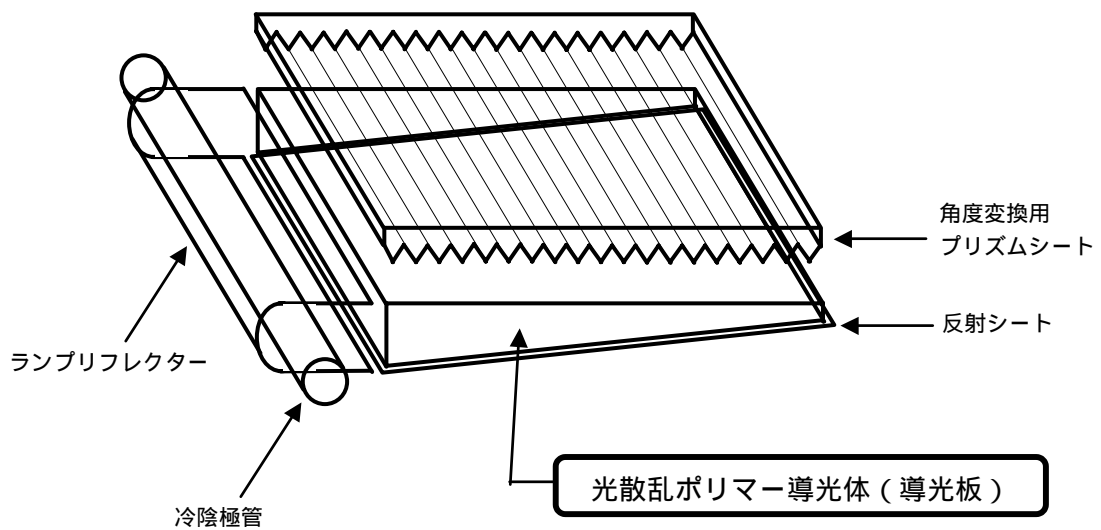


図1 光散乱ポリマー導光体を用いた液晶ディスプレイ用バックライトシステムの構成図。

図1に筆者らが提案した光散乱ポリマー導光体バックライトを示す。ノートパソコン等に用いられる薄型の液晶ディスプレイでは、導光板と呼ばれるプラスチック製の板に側面から光を入射させ、上面から光を取り出す「エッジライト式」のバックライトが通常用いられる。従来のバックライトでは、下面にドット印刷が施された透明ポリマーからなる導光板が用いられていた。「より効率を高め、低消費電力なバックライトにするためには、導光板に用いるポリマーをより透明にすることが重要であり、光を散乱させるようなものの混入は透明性を低下させ、輝度および色温度特性を劣化させるもの」と考えられていた。これに対し1992年に、ポリマーマトリックス内に積極的にミクロな不均一構造（周囲の媒体と異なる屈折率を有する光散乱を生じる構造）を導入することにより、光の導波と拡散出射の機能をあわせ持つ高輝度照明用の光散乱ポリマー導光体を新たに提案した。光散乱ポリマー導光体では、光の吸収を伴わないミクロな不均一構造の相対屈折率と大きさを制御し、その多重散乱効果を利用することにより、光を減衰させることなく均一に、あるいは特定方向に拡散出射することができる。光散乱ポリマー導光体では、Mie 光散乱理論に基づき、モンテカルロ法を用いることにより、精密に不均一構造を設計し、液晶ディスプレイ用バックライトに適した特性を実現した。具体的には適切な相対屈折率および粒径の球状微粒子を選択し、添加することにより、ミクロな不均一構造を形成した。実際にこの光散乱ポリマー導光体を液晶用バックライトとして応用した結果、従来のものに比べ約2倍の高輝度化を達成し、1996年に実用化に成功した。

日常生活の中での代表的な光散乱現象の例として、「夕焼け」が挙げられる。可視光の波長域の中で比較的波長の短い青い光が大気中の水やちり等によって散乱され易く、長波長である赤い光が比較的多く透過するため、赤い夕焼けとして観測される。このように散乱現象により色が生じる例が広く知られているためか、「照明用媒体中に散乱を引き起こすような不均一構造を導入することは、色の均一性を損なう」と考えられていた。特に液晶ディスプレイにおいて、画面の色の均一性は視野角依存性のみならず、面内の法線方向での均一性も重要であり、顕著な色むらが存在すれば実用上問題がある。ところが Mie 散乱理論によれば、不均一構造を制御することにより色むらを生じない散乱媒体を実現することができる。図 2 に Mie 散乱理論から計算される散乱効率を示す。この値は粒径が大きくなるに従って 2 に収束するものである。粒径が小さい領域では常に短波長の光の散乱効率が大きくなっている。図 3 は、(1)不均一構造を最適化していない場合（粒径約 2 μm ）と(2)不均一構造を最適化した場合（粒径約 7 μm ）の色温度を示す。不均一構造を最適化していない光散乱ポリマー導光体に用いた場合、ランプ近傍から遠方にかけて出射光が徐々に黄色味を帯びていくことがわかる。これに対して、不均一構造を最適化した場合は、面内全域においてほぼ均一の色温度分布が得られた。このようにミクロな不均一構造を制御することにより、散乱現象による発色を抑制し、実用化に貢献した報告例は他にほとんど無いと思われる。光散乱ポリマー導光体に関する詳細は、参考文献[2]の総説等を参照されたい。

参考文献

- [1] 小池康博、石樽崇明、多加谷明広、繊維学会誌（繊維と工業） Vol. 59、 No.1、 12（2003）
- [2] 多加谷明広、小池康博、光技術コンタクト、Vol. 39、 No.1、 47(2000)

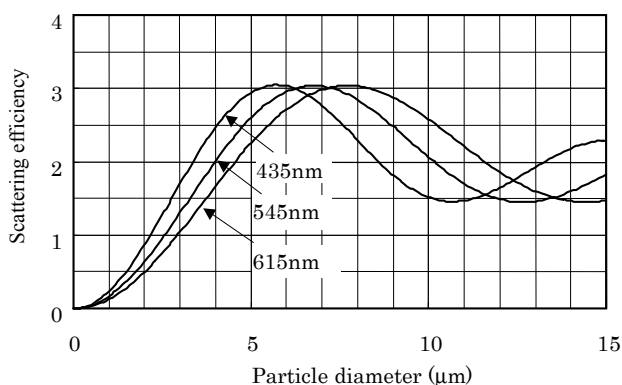


図 2 冷陰極管主要 3 波長における散乱効率。
ポリマーに対する粒子の相対屈折率は 0.965。

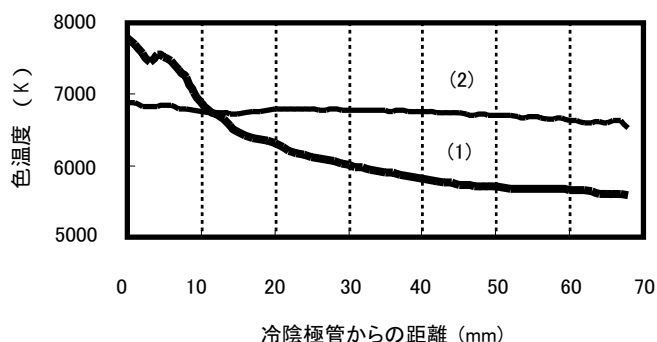


図 3 バックライト面内の色温度分布。(1)は不均一構造を最適化してなく、(2)は最適化している。