

液晶TV用光拡散板の開発

住友化学(株) 情報電子化学品研究所

金光昭佳
坂本隆
井山浩暢

Light Diffuser Plates for LCD-TV Backlight Systems

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

IT-Related Chemicals Research Laboratory
Akiyoshi KANEMITSU
Takashi SAKAMOTO
Hironobu IYAMA

A lighting system called direct type is usually employed for backlight systems in large size LCD-TVs. With this type of backlight system, a diffuser plate has to be mounted in order to blur the images of CCFLs and to hold several thin optical films. We have developed diffuser plates with properties which are specially optimized for this type of backlight system, and have released them onto the market. In this report, the properties that are required for diffuser plates and our R&D activity will be described.

はじめに

フラットパネルディスプレイと呼ばれるテレビの需要は、Fig. 1-a)に示されるように急激な伸びが予想されている。その内訳は、依然先行きが不透明ではあるものの、プラズマテレビ、プロジェクションテレビを大きく引き離し、液晶テレビが主役になるとの予想が強い。さらにサイズ別に見てみると、Fig. 1-b)に示さ

れるように、30インチ以上、特に40インチクラスの伸びが著しく、全体的に大型化が進んでいる。

一方液晶ディスプレイは、自発光型でないため、映像を表示する液晶パネルの背面に、バックライトと呼ばれる背面照射型面光源装置が必要である。当社ではこのバックライトに組み込まれる光拡散板を、他社に先駆け2001年に上市し、さらに改良を重ねることで現在も高いシェアを維持し続けている。

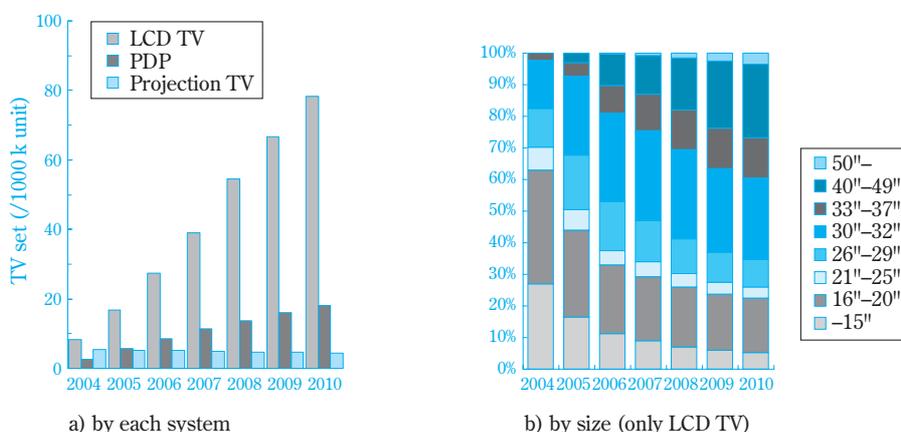


Fig. 1 Worldwide development of the number of TV set
[Quoted from reference 1) and 2)]

本報告では、液晶テレビのバックライト用光拡散板に要求される諸物性とそれに対する開発状況を概説すると共に、最近の大型化、あるいは、コストダウンの要求に伴い発生してきた、新たな課題に対する検討状況にも触れる。

液晶ディスプレイの構造と光拡散板

液晶ディスプレイに用いられるバックライトとしては、Fig. 2に示すように、ディスプレイのサイズに応じていくつかのタイプに分類される。中小型のモニター用途には「エッジライト型」と呼ばれる照射方式が用いられる。これは、導光板と呼ばれる透明性の高いプラスチック板の端面部分に線状光源（通常は冷陰極管）を置き、板内部での全反射を利用して光源からの光を導光板の全面に導く。出射面と反対側の面にドット印刷が施されており、そのドット密度を調整することで面全体に均一な光が射出される。

一方、液晶テレビなど大型のディスプレイに於いては、十分な明るさを確保するため、画面の大きさに応じて多数の冷陰極管が必要である。前述のような、導光板を用いたエッジライト型では数多くの冷陰極管を置くことが出来ないため、液晶パネルの真下から複数本の冷陰極管で照射する「直下型」と呼ばれる照射方式が用いられる。光源が液晶パネルの真下にあるため、そのままでは、画面を通して光源のイメージが見えてしまう（Fig. 3-a）。そこで光源のイメージを隠すために、光拡散板と呼ばれる厚さ数mmの乳白色板を設置する（Fig. 3-b）。最終的には、Fig. 4に示すように、拡散フィルム、プリズムフィルム、輝度向上フィルムなど、数種の光学フィルムと組み合わせることで、輝度や輝度の均一性を調整している。

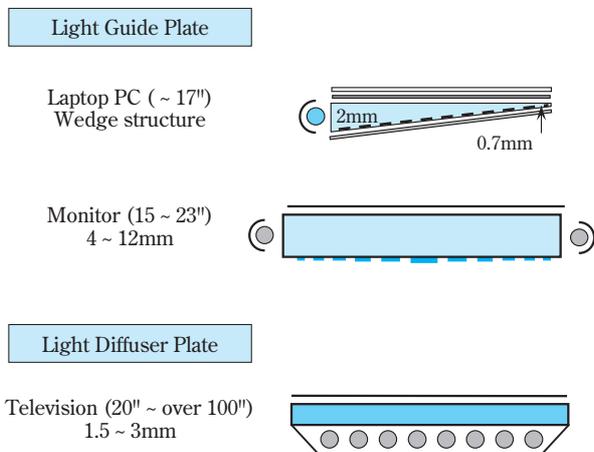


Fig. 2 Typical configuration of backlight systems for various types of liquid crystal displays

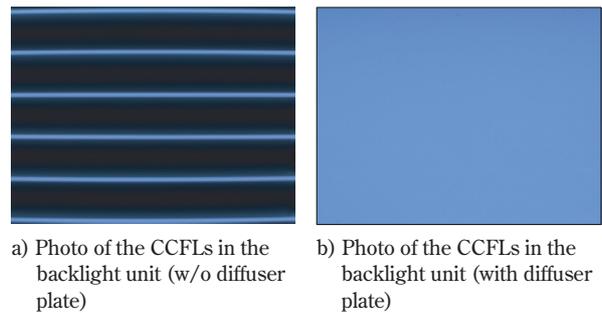


Fig. 3 Basic function of the light diffuser plate (CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp)

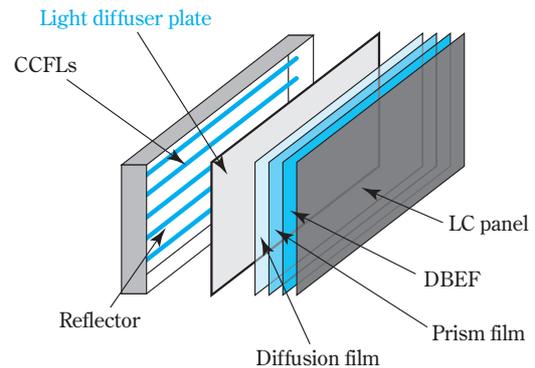


Fig. 4 Typical configuration of the direct type backlight system

光拡散板に求められる特性は、製品の最終パフォーマンスに大きく影響する部材であるが故に、光源のイメージを隠すという根本的な機能の他にも、機械的特性、耐久性など、高い信頼性を確保する必要がある。以下、高い光学特性と同時に、これらの要求特性を満たすための開発状況について述べる。

光学特性

通常光拡散板は、マトリクスとなる透明樹脂に、光拡散剤と呼ばれる微粒子を添加することで光拡散性を発現させている。この光拡散性は、マトリクス樹脂と光拡散剤の屈折率差と、光拡散剤の粒子径に大きく依存する。光拡散剤が球形を有するという仮定をすれば、単一の拡散剤粒子による光拡散特性は、Mieの散乱理論により求めることができる。例えばFig. 5に粒子径が同じで、屈折率差が異なるような粒子を添加した場合の計算例を示す。拡散光の配光分布からは、前方への散乱光強度はほぼ同じであるにもかかわらず、屈折率差が大きいほど広角側、および、後方への拡散性が強いことがわかる。しかし、実際に光拡散剤として用いられる拡散剤粒子は当然一粒子だけではないことから、多重散乱の影響を考

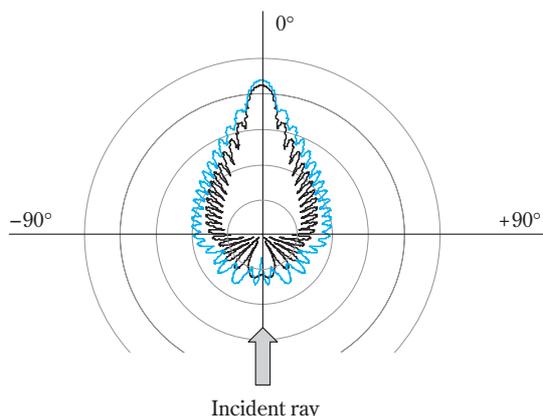


Fig. 5 Calculated Mie scattering diagrams of two particles with different refractive indices. n of matrix is 1.50, n of particle is 1.55 and 1.60 for black line and blue line, respectively

慮する必要があり、また、粒子径にも広い分布がある場合がほとんどである。よって、光拡散板、あるいは、バックライトとしての光拡散特性を正確に予測することは難度の高い作業であるが、屈折率などのパラメータを変えた場合に見られる拡散特性の変化の傾向を、Mieの散乱理論その他の手法を用いて推測することは、光拡散板の材料選定において有益な情報となりうる。

実際に得られる光拡散板の光拡散性の指標としては、全光線透過率 (Tt) と拡散率 (D) が用いられる。全光線透過率はJIS7361に規定されるとおり、光拡散板に入射した光のうち、どの程度の割合が前方に出射されているかの指標となる。一方拡散率は、光拡散板に垂直に平行光を照射したときの、透過拡散光の配光分布から求められる値で、出射角度が5度、20度、および、70度のときの強度から、Fig. 6中の式を用いて求められる。前方に出射された光の広がり具合を表す指標となる。光拡散剤の種類や濃度を変えることで、この全光線透過率と拡散率を制御できる。

Fig. 7にマトリクス樹脂と光拡散剤の屈折率差、粒子径を変えた光拡散板の、全光線透過率と拡散率の関係の一例を示す。例えば全光線透過率の値が同じであっても、マトリクス樹脂や光拡散剤の種類を変えることで、拡散率の値が異なる光拡散板を得ることができる。最終的なパフォーマンスは、バックライトユニットの構造、構成に依存するが、光を効率よく利用するという点では、全光線透過率が高い領域で、高い拡散率が得られるような材料系が、輝度が高く、かつ、輝度の均一性が高いバックライトを得るためには望ましい。

Fig. 8に、光の透過拡散特性が異なる2種の光拡散板に、垂直方向、および、斜め方向から光を入射し

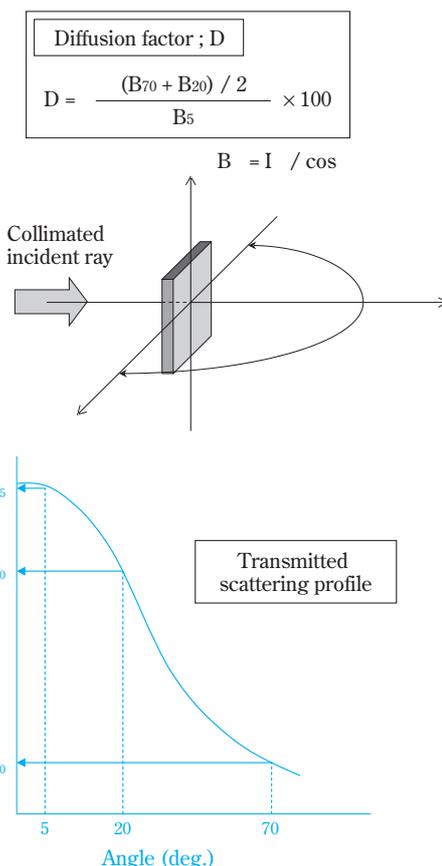


Fig. 6 An example of the transmitted scattering profile of a diffuser plate and the definition of Diffusion Factor (D)

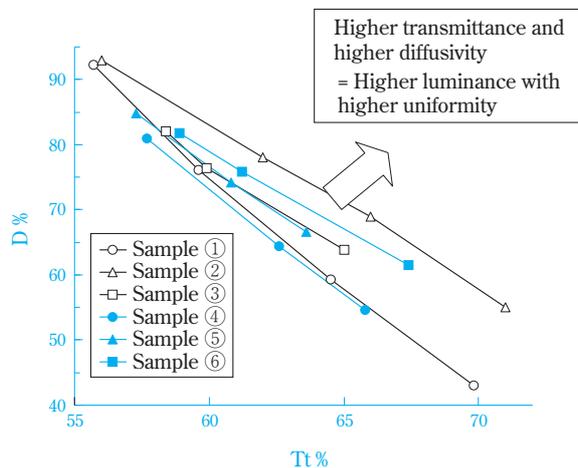


Fig. 7 Some examples of Tt-D balance curve obtained from some particles with various diameters and refractive indices

たときの、透過拡散光の配光分布を示す。垂直方向から光を入射した場合は、光源の直上近辺に入射した光の挙動を、また、斜め方向から光を入射した場合は、光源と光源の間の位置に入射した光の挙動を、それぞれ見積もることができる。光源の直上近辺の

ように光源のイメージが強く表れる部分の明るさを押さえつつ、隣り合う2つの光源の間に位置する暗い部分の明るさを上げるような特性を持つ光拡散板が、均一度の高いバックライトに適していると言える。Sample AはSample Bに比べ高い拡散率を有する光拡散板であるが、垂直方向から入射した光をSample Bよりも強く拡散し、かつ、斜めに入射した光に対しては、透過拡散光の垂直成分がより多くなっている。

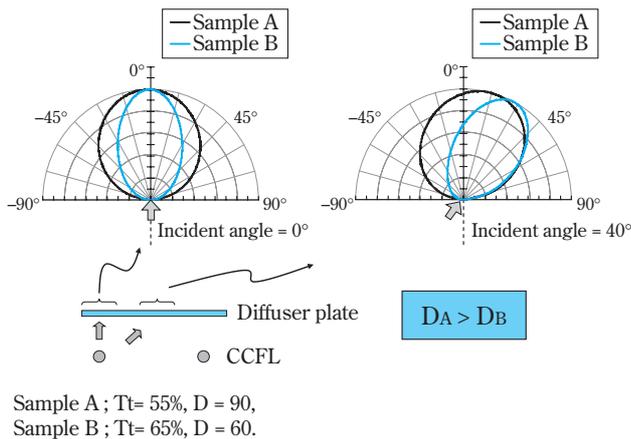


Fig. 8 Transmitted scattering diagrams of two different diffuser plates with different Tt and D

上述のMieの散乱理論による拡散特性の見積もり、全光線透過率、拡散率の測定、さらに、透過拡散光の配光分布などのデータから、ある程度の拡散特性を把握したうえで、拡散特性の最適化を進めていくわけであるが、最終的には複数の光源からなる実際のバックライトユニットに組み込まれるわけであり、これらのデータだけではそのときの挙動までは正確に予測できない。そこでモデル的なバックライトユニットによる輝度特性評価を実施することがある。外的要因をできるだけ排除し、光拡散板自身の特性を評価するために、例えば冷陰極管の背面にある白色反射板の代わりに、黒い吸収体を置いて輝度特性を評価する。Fig. 9に実際の測定例を示す。粒子径がほぼ同じで、屈折率の異なる2種の粒子を、同一のベース樹脂に濃度を変えて添加し、様々な透過拡散特性の光拡散板を作製した。上述のような評価方法により、粒子の違いによるバックライトとしての輝度特性の差が明確に確認できるようになった。最終的なバックライトユニットの構成は、当然顧客先で設計されるわけだが、紹介する際の参考データとして有効である。

参考までに、20インチサイズの液晶テレビユニッ

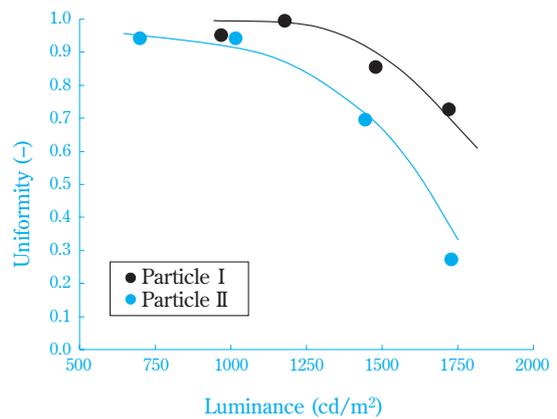
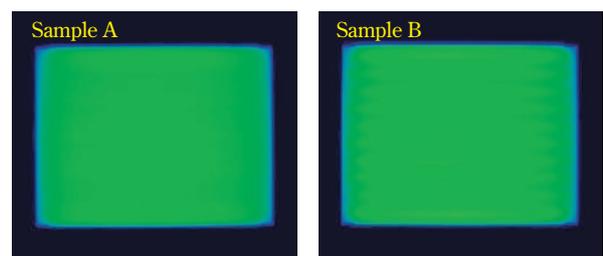


Fig. 9 Some examples of the luminance performance using a model backlight unit

トに、前述のSample A、および、Bを組み込んだときの輝度特性をFig. 10に示す。Sample Aの方が、拡散率が高いため光源のイメージが視認されにくいですが、逆にSample Bは光源のイメージが視認されるものの、全光線透過率が高いので輝度は高くなっている。つまり、これらの特性は、バックライトユニットに用いられる光源の数やその間隔、あるいは、光源と拡散板の距離に左右されるものである。例えば、光源同士の間隔が狭い場合は光源のイメージが視認されにくいので、高輝度を確保するため全光線透過率が高く、拡散率が低い光拡散板が選ばれ、逆に、光源同士の間隔が広い場合は、光源のイメージを隠蔽することがより重要なので、全光線透過率が低く、拡散率が高い光拡散板が選ばれる。



Sample A; Tt = 55%, D = 90, No CCFL image was observed.
Luminance 6030 cd/m²
Sample B; Tt = 65%, D = 60, Some CCFL images were observed.
Luminance 6350 cd/m²

Fig. 10 The images of the CCFLs observed through Sample A plate and B plate

我々は、顧客からの要望に応じてユニットに最適な特性を有する光拡散板を選定できるよう、透過率の異なる4種類のグレードを揃えている (Table 1)。

信頼性

1. 耐光性改良

Fig. 4に示したように、光拡散板と冷陰極管は非常に近い距離にあり、通常十数mmの間隔である。冷陰極管からの紫外線量は極微量ではあるが、長時間さらされることにより、僅かに着色する場合があります、少なからず画質への影響が出る。プラスチック材料の耐光性を評価する際、一般的にはUVCONなどの耐久試験装置が用いられるが、当社では、より評価の信頼性を上げるため、水銀灯を光源とした耐光性評価を実施している。水銀灯の発光スペクトルはFig. 11内に示すように、冷陰極管からの発光スペクトルに非常に近い。

さらに、紫外線吸収剤の選定にあたっては、分光老化試験機を用いた評価を実施している。この評価方法では、紫外域から可視域にかけて、連続的に波長が変化する光源での耐光性を確認することが出来るので、光拡散板がダメージを受けやすい波長を特定できる。よってその波長に最適な紫外線吸収剤を選ぶことで、より少ない添加量で、光学特性に及ぼす影響をできるだけ抑えながら、効率よく紫外線をブロックできる。

最終的には前述の水銀灯試験により、耐光性が確保できていることを確認し、添加剤処方を確定している。Fig. 11に示すように、色目の変化が非常に小さい光拡散板が得られている。

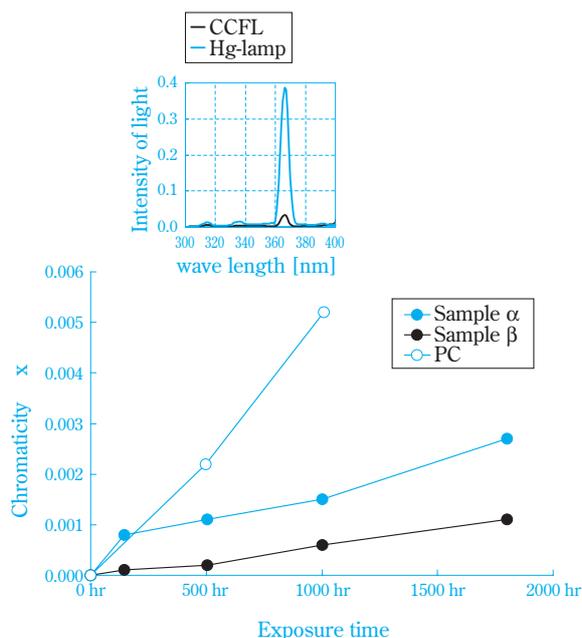


Fig. 11 Some examples of the UV (Hg lamp) exposure test results for various kind of base resin with different additives

2. 帯電防止性能付与

バックライトユニットを組み立てる工程での塵埃付着を避けるため、各部材に帯電防止処理をすることがある。光拡散板についても当社では帯電防止処理を施し、組み立て工程での不具合低減を目指している。

一般的に帯電防止性能を付与するためには、基材の表面抵抗値を下げるような化合物（帯電防止剤）を、ベース樹脂に練り込む場合と、基材の表面に帯電防止剤をコーティングする場合がある。前者は帯電防止性能の持続性はあるが、低い表面抵抗値を得ることは難しい。一方、後者の手法では、持続性は低いが、表面抵抗値を比較的低い値に下げることが出来る。当社では、帯電防止剤の組成検討、および、プロセス検討から、両者の長所を活かせるような手法を開発した。その結果、低い表面抵抗率でありながら、持続性をも有するような特性が得られた。Fig. 12に示すように、前述の水銀灯照射試験においても、表面抵抗率が上昇しないようなレベルになっていることが確認されている。

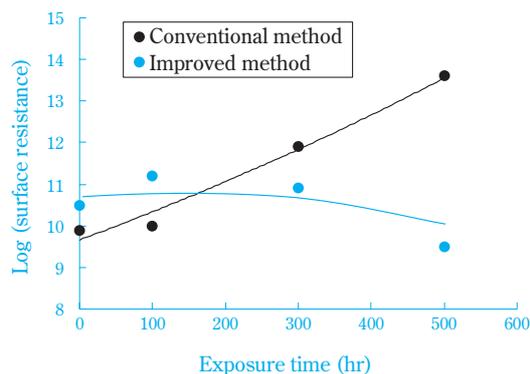


Fig. 12 Hg lamp exposure test for the diffuser plates with different types of anti-static treatment

機械的特性

Fig. 4に示すようにバックライトは複数枚の光学フィルムを用いており、これらのフィルムを支持するために、適度な剛性を有する基板が必要である。また、液晶パネルとこれらのフィルムとの間の空間が適当な間隔に維持されないと画面ムラが生じることがあるため、拡散板がパネル側に反らないことが重要である。

Fig. 13に当社における光拡散板の開発の歴史を示す。開発当初のグレードであるRM400シリーズは、アクリル樹脂をメインとした材料構成であり、吸湿、および表裏不均一な乾燥に起因した反りのために生じる画面ムラが課題であった³⁾。我々は吸湿の少ない樹脂を中心に樹脂組成を検討し、スチレン系樹脂を

ベースとしたRM80XSシリーズを開発し上市した。一般に、アクリル樹脂に比べスチレン樹脂は、吸湿率が低いという特徴がある一方、耐光性は劣ると言われている。しかし、光拡散板の構造に工夫を施し、さらに、前述のような耐光性改善策をすることにより、低吸湿性を維持しつつ、耐光性に優れた、バランスのよい特性を得ることが出来た。

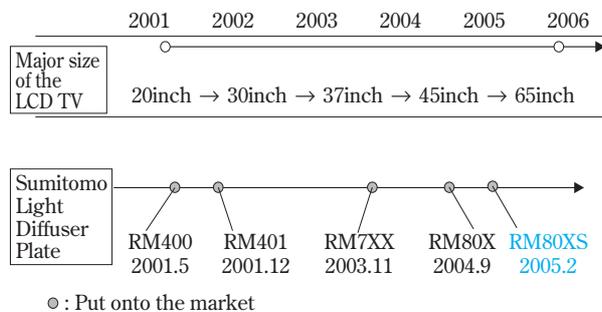


Fig. 13 The history of our development of diffuser plates for LCD-TVs

Fig. 14に実際に測定した反り量の経時変化を示す。種々の透明樹脂をベース樹脂とした光拡散板を、予め温度60℃、湿度95%の環境に5日間置くことで吸湿させ、それを37インチの大きさのバックライトに組み込んだ。光源を点灯した時刻を試験開始とし、拡散板の反り量の経時変化を測定した。反り量の測定には、図内の写真に示したようにレーザー変位計を用い、拡散板の中央における法線方向の変位量を測

定した。従来のアクリル樹脂をメインとした光拡散板、および、ポリカーボネート樹脂をメインとした光拡散板の場合は、パネル側に大きくせり出す傾向が見られた。これは、光源を連続点灯することにより、光源側の温度が上昇し光拡散板の光源側の面が、パネル側の面よりも乾燥するために、パネル側に湾曲することによる。他方、スチレン系樹脂をベースとしたRM80XSシリーズにおいては、ほとんど反りが見られなかった。RM80XSシリーズの場合は、他の樹脂を用いた光拡散板よりも、飽和吸湿量が小さく、透湿度が高いため反り量が格段に少なくなっている

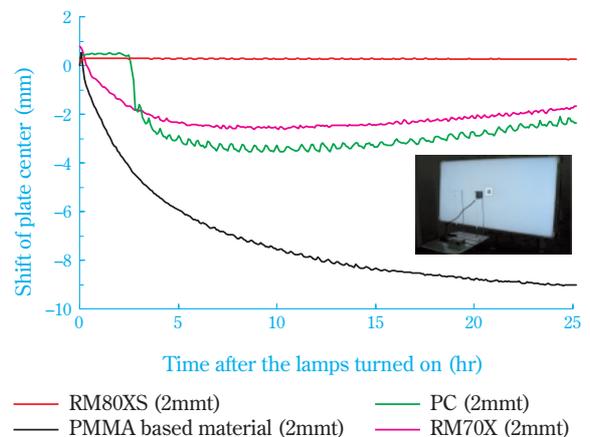


Fig. 14 Curl behavior of diffuser plates under illumination of CCFLs in backlight unit. Moisture adsorption; RM80XS = 0.1%, PC = 0.4%, PMMA = 1.9%, RM70X = 0.3%

Table 1 General properties of our diffuser plate

Test Item	Unit	Method	RM80XS
Thickness	mm	-	2
Light Transmittance	%	JIS K 7361	RM801S = 55 RM802S = 60 RM803S = 65 RM804S = 70
Haze	%	JIS K 7163	99
Gloss	%	JIS Z 8741	4 / 7
Diffusion factor	%	SCC method	RM801S = 93 RM802S = 76 RM803S = 59 RM804S = 41
Tensile Strength	MPa	JIS K 7113	38
Tensile Elongation	%	JIS K 7113	2
Tensile Modulus	GPa	JIS K 7113	3
Flexural Strength	MPa	JIS K 7203	92
Notched Izod Impact Strength	kJ/m ²	JIS K 7110	1.6
Heat Distortion Temperature (18.6kg)	°C	JIS K 7207	91
Scratch Hardness (pencil method)	-	JIS K 5600	2H
Surface Resistivity	Ω	JIS K 6911	10 ⁹⁻¹¹
Coefficient of Linear Expansion	/ °C	JIS K 7197	7 × 10 ⁻⁵



a) Sample C (2mmt)



b) RM804S (2mmt)

26 inch TV set.
16 hours later, after being kept in the chamber of which temperature was 50°C and humidity was 80%.

Fig. 15 Example of Mura test result

と考えている。実際に液晶パネルまで装着した画面ムラ評価結果をFig. 15に示す。Sample Cは、吸湿特性が最適化されていない光拡散板であり、リング状の白い模様が確認されたが、吸湿特性を改良したRM80XSシリーズではほとんど画面ムラは確認されなくなっている。

最近の新しい動向と取り組み

1. 耐熱性向上検討

従来、光拡散板の耐熱性が問題とされることはほとんど無かったが、近年液晶テレビの大型化に伴い、バックライトに用いられる光源の数も増えてきている。そのため、インバーター周辺を始め、バックライト全体の温度が高くなる傾向がある。液晶テレビというアプリケーションを考えた場合、実際の使用環境下で、どの程度の温度まで耐える必要があるかは依然議論の余地があるが、このような市場の動きにいち早く対応するため、耐熱向上グレードを開発した。

Fig. 16に、高温下で光拡散板がどの程度まで温度が上がるかを測定した結果を示す。環境温度は55°Cであり、通常の使用環境を考えるとかなり過酷な条件下で点灯した場合に、最高で何度まで温度が上昇するかを確認した。その結果、インバーターに近い部分は80°Cを超える温度にまで上昇していることがわかった。この測定時にはRM80XSシリーズを用いたが、80°Cを超えた部分には僅かながら波うちが観察されたものの、80°Cを超えない部分は、変形などは全く

観察されなかった。これらの結果から、80°Cを超えないような、通常の使用温度においては、RM80XSシリーズでも十分な耐熱性を有していることが確認された。さらに温度が上がるような環境においては、後述の耐熱グレードを適用することができる。

Fig. 17にヒートサグ試験の結果を示す。短冊状サンプル(150mm×25mm)の一方の端を固定し、所定の温度に所定時間静置したときの、他端の沈み量を測定した(グラフ内の写真参照)。樹脂自身のガラス転移温度の高いポリカーボネート製光拡散板と比較すると若干劣るものの、RM80XSに比べ、熱変形が抑えられていることが判る。現在開発品として顧客

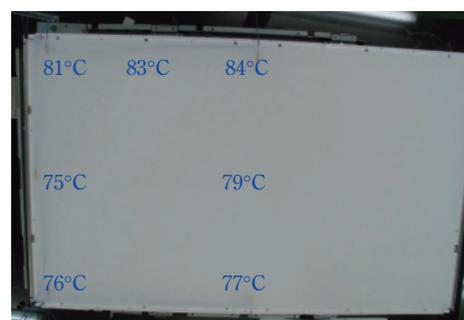


Fig. 16 Distribution of the maximum temperature (Size of backlight unit = 46inch, Chamber temperature = 55°C)

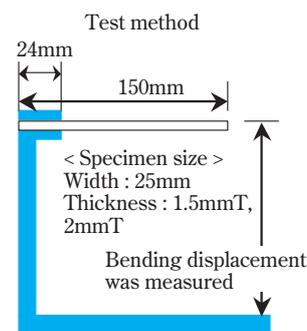


Fig. 17 Heat distortion test performed at 80 degree and 90 degree

評価を受けており、一部の顧客には認定を受けている。このことから、今回開発した耐熱向上グレードが十分な耐熱性を有していると判断できる。一方、チップ自身の発熱のため、ユニット全体の温度が上がる可能性が懸念されている、LEDを光源としたバックライトユニットに対しても有効と考えている。

2. 機能統合検討（輝度向上）

前述の通り、バックライトユニットには、拡散板の他に数種類の光学フィルムが用いられている。これらの光学フィルムを重ねることにより、十分な輝度と均一性を確保している。しかし、当然のことながら、部材が増えることによりコストアップにつながってしまう。よって、輝度特性を落とさずに、部材点数を減らすための手法が盛んに検討されている。

部材点数を減らすためには、各部材の機能を解析し、いかにしてそれを光拡散板に取り込むかを検討する必要がある。まずは、光拡散板自身での光の損失を見積もるために、大型積分球を用いた全光束測定を実施した。分光器を備えた大型積分球を用い、バックライトユニット全体を積分球内に入れてしまうことで、バックライトから出てくる全ての光の量（=全光束）を計測した。Fig. 18に、他の光学部材も含めた測定結果を示す。光源から出射されるfluxに対し、光拡散板をセットしても、出射されるfluxはほとんど変わらないことが確認された。さらに、拡散フィルム、プリズムフィルムと重ねていっても、失われる光は高々1割程度であった。これらの結果から、光拡散板で失われる光は、無視できるほど少量であり、例えば、より光の損失の少ない材料に置き換えるなどは、効率を上げるための手法としては得策ではないと判断した。

次に、バックライトから出射される光の配光分布を測定した。Fig. 19において、横軸に法線からの角度、縦軸に輝度をとっており、0度での輝度が、いわゆる正面輝度と呼ばれる値となる。Fig. 19-a) に示されるように、拡散板のみの場合は、法線から±60度の範囲でほとんど同じ輝度となっており、どの方向にもほぼ均等に射出していることがわかる。次いで拡散フィルムを置いたときの結果をFig. 19-b) に示す。拡散フィルムとは、通常PETなどの基材フィルムの上に微粒子を含んだバインダー層をコーティングにより形成し、光を拡散させる特性を付与しているものであるが、Fig. 19-a) に示すように、拡散している光を入射すると、広角度側の光が法線方向に集光され、輝度を上げる効果があることが確認された。拡散フィルムの上に、さらに、プリズムフィルムを設置したときの配光分布はFig. 19-c) のようになった。拡散フィルムの働きで法線方向に集光された光が、

さらに集光され、最終的には、拡散板単体に比べ、正面輝度が8割程度上昇していることが確認された。

以上の解析から、各光学フィルムの特性を拡散板に取り入れ、ひとつの部材で高輝度を実現するためには、出ている光の量を現行構成よりも増やすことは難しいので、光の向きを法線方向に変えるような手法を考案する必要があると考えた。光の向きを変えるための最も有効な手段は、光拡散板の内部、もしくは、表面に設計された形状をつけることであると考えた。しかし、付与形状による光学的効果を補うために、やはり光拡散剤の効果を取り入れる必要があり、それが光学設計を難しくさせている。光拡散性を有する媒体に関する光線追跡シミュレーションの精度向上が求められる。さらに、板状の成形品に精密な形状を付与するための製造プロセスの開発も重要である。微細構造形成技術の進歩は、近年目を見張るものがあるが、より広い面積に構造を付与することは必ずしも容易ではなく、コストパフォーマンスについても課題が多い。このような状況では

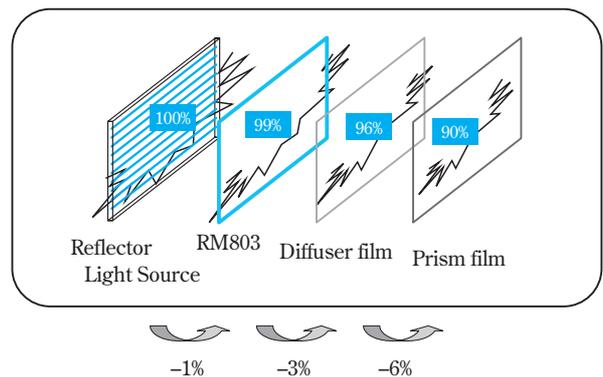


Fig. 18 Flux measurement of the 20 inch size LCD TV backlight system

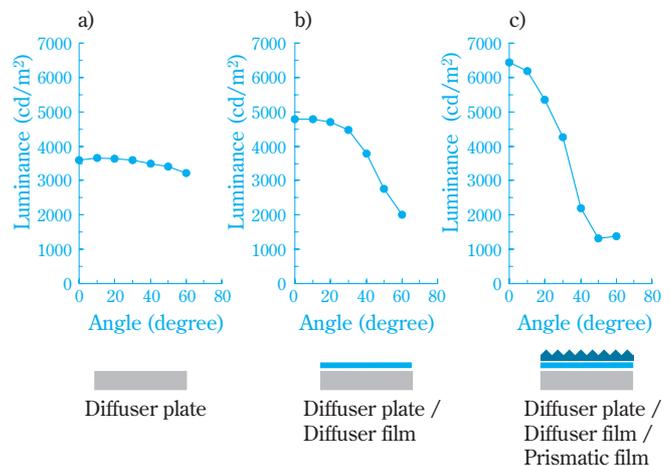


Fig. 19 Luminance profiles of three different types of optical film components

あるが、現在、光拡散板メーカー各社とも、様々なプロセスを用いて、表面に何らかの形状を付与した新製品を開発中であり、当社においても、より効果の高い形状を鋭意検討中である。

おわりに

光拡散板は、透明樹脂に微粒子を添加するという比較的簡単な構造でありながら、バックライトの光学系は複雑であり、最終的にバランスのとれた光学特性を得ることは意外に難しい。理論的なバックアップも含め、今までの知見を十二分に活かした研究・開発が必要である。さらに、樹脂材料、添加剤に関する知見、および、樹脂加工技術を活かすことで、信頼性や機械的特性などについても検討が必要である。近年のコストダウンと併せ、やはり輝度特

性という基本的なパフォーマンスを確保できるよう、鋭意検討を続け、顧客満足度の高い新規製品を提案してゆきたい。

引用文献

- 1) “日経マーケット・アクセス別冊 ディスプレイ市場総覧2006”, テクノ・システム・リサーチ, 日経マーケット・アクセス編・著, 日経BPコンサルティング (2006), p.97 .
- 2) “日経マーケット・アクセス別冊 ディスプレイ市場総覧2006”, テクノ・システム・リサーチ, 日経マーケット・アクセス編・著, 日経BPコンサルティング (2006), p.36 .
- 3) 真鍋 健二, 山崎 和広, 西垣 善樹, 前川 智弘, 住友化学, 2002-II, 15 (2002) .

PROFILE



金光 昭佳
Akiyoshi KANEMITSU
住友化学株式会社
情報電子化学品研究所
主席研究員



井山 浩暢
Hironobu IYAMA
住友化学株式会社
情報電子化学品研究所
主席研究員



坂本 隆
Takashi SAKAMOTO
住友化学株式会社
情報電子化学品研究所
主席研究員