

■やさしい照明技術■

拡散板の機能と特性 (2)

Characteristics and Functions of Diffusers (2)



1934年生. 1957年東京都立大学工学部電気工学科卒. 1968年工学博士. 現在, 埼玉大学名誉教授. 著書「光の計測マニュアル」など.

名誉会員 中川靖夫
Yasuo Nakagawa

◀キーワード：(拡散板の) 配光特性, (拡散板の) 透過率, 偏光解消能力, 出射光利用率, 均斉度

1. 実際の測定

一般に使用されている各種の透過形拡散板について, 前回記事(照明学会誌2009年3月号に掲載)第6章で述べたような各種の測定を行って評価した結果を示す. なおこれらはすべて筆者のオリジナルデータであることをお断りしておく.

1.1 試料

測定対象とした試料は表1に示すとおりである. オパールガラスは広く使用されている代表的な拡散板である. アクリル板(製品名アクリライト)は照明器具のカバーなどに用いられるもので, 拡散性の異なる複数を選んだ. 砂摺り石英板は測定器などで紫外域での拡散板として使用されるものである. 以上の拡散板は以前から使用されているものであるが, このほかに, PTFE(テフロン)板と, ガラス板にホログラムパターンをエッチングした薄膜を貼付した, ホログラム拡散板と称する製品を測定した. PTFE板が反射拡散面として使用されていることは前回記事の第5章で述べたが, 透過形拡散面としても一部の測定器などで使用されているようなので対象とした. ホログラム拡散板は, 緩和効果の大きい特殊な光学製品と称して市販されているもので, 配光の広がり25度のものである(かなり高価である).

表1 使用した拡散板試料
Table 1 Sample diffusers.

名称	記号	厚さ(mm)	備考
オパールガラス	OPG	2	キセ*
アクリル (アクリライト)	K422	2	半透明
	K442	2	
	AK2	2	
	P40	2	
PTFE(テフロン)	TF1	1	
	TF0.4	0.4	
	TF0.1	0.1	
砂摺り石英板	SQ200	1	#200 砂摺り
ホログラム拡散板	HGM25	1	25度

* 片面に拡散性の層をつけたもの

1.2 測定と結果

測定は前回記事6.1~6.4項に述べた方法で行った. 装置などは以下のとおりである.

1.2.1 分光透過率

紫外域での測定を行うため, 平面形受光器を密着する前回記事の図5右側の方式を用いた. 入射面積は受光面積より十分小さくした. 分光装置はモノクロメータで, 測定波長範囲は220~800nmである. モノクロメータの帯域幅は約5nmである.

結果は図1に示すとおりで, アクリル系の拡散性の高い試料とホログラム拡散板は波長400nm以下では透過率が急激に低下するが, 可視域での平坦性は良好である. オパールガラスとアクリル系の半透明試料(K422)も400nm以下で透過率が低下するが, 遮断は比較的緩やか

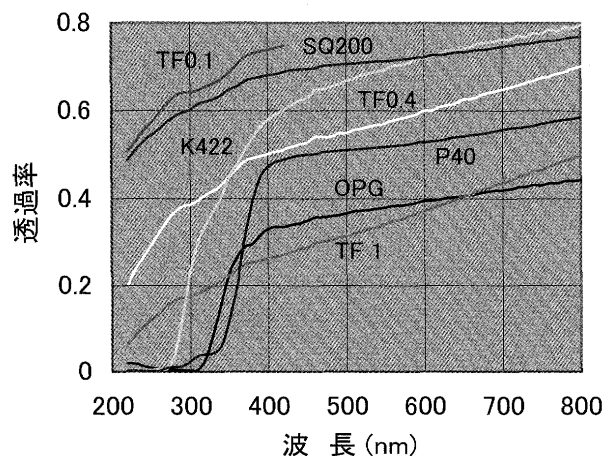
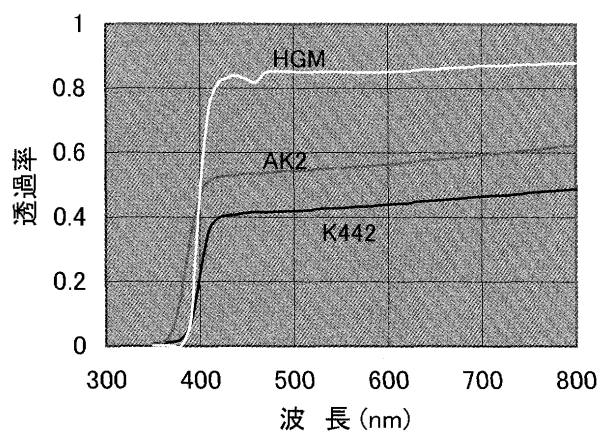


図1 透過形拡散板の分光透過特性
Fig.1 Spectral transmittance of diffusers.

である。PTFE板と砂摺り石英板は長波長側から波長300nm程度まで、透過率がほぼ直線的に緩やかに低下し、300nm以下では低下がやや急激になるが、220nmまで使用できる。

1.2.2 配光特性

光源からの入射角 ϕ を0度（法線）、から60度まで15度ごとにとって、それぞれの入射角 ϕ について、出射角 θ -90~90度（5度ごと）での出射光を測定した。光源から入射面を見込む角（全角）は4度以下で、出射面中心から受光器を見込む角（全角）は約8度である。

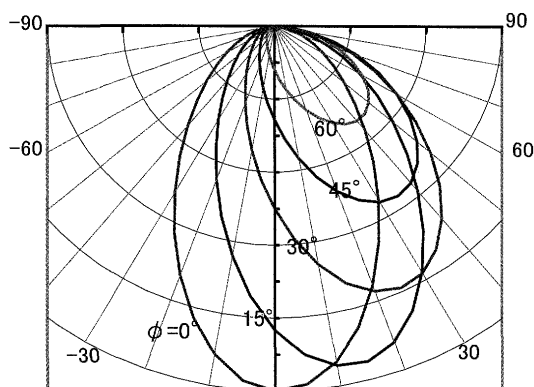
光源は赤外域を遮断したハロゲン電球（分布温度約3200K）である。受光器は可視域の分光応答がほぼ一定

のもの（JIS C 8152附属書C参照）である。迷光を遮断するために、ゴニオ部分は暗箱に入れ、入射光をチョッピングした。

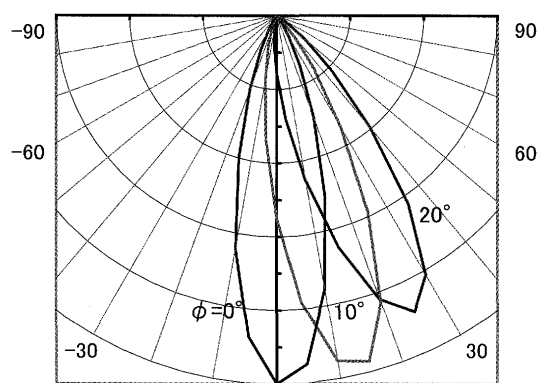
なお、以後の測定はとくに断らない限り、すべてこの光源と受光器で行っている。

PTFE板の薄手のものは、長波長側で拡散性が低下することが予備測定で予想されたので、入射角0度で、Xeランプとモノクロメータを組み合わせた単色放射源による、波長ごとの出射配光測定を行った。これらの結果を図2と図3に示す。

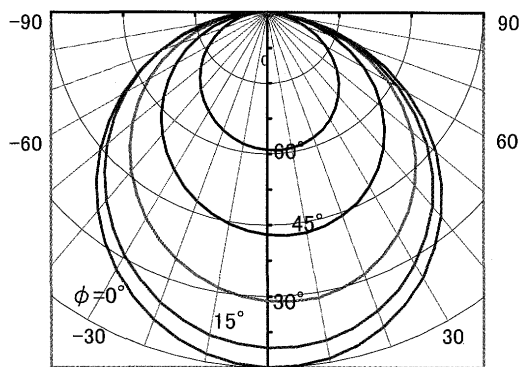
オパールガラスとPTFE 1mmの特性は、出射配光の相対的形狀が入射の角度を変えてもほとんど変化せず、



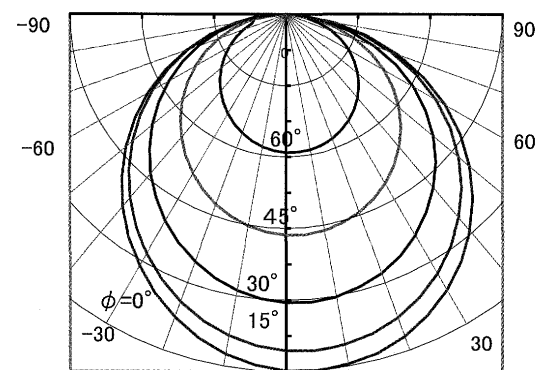
アクリライト K422



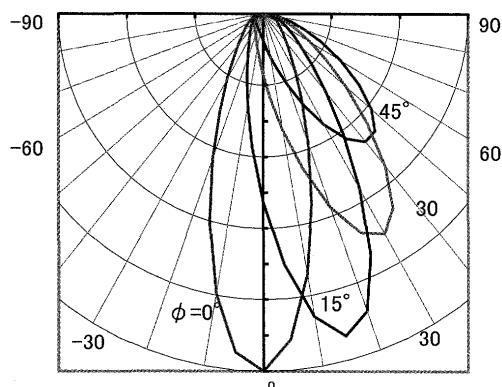
ホログラム拡散板 25度



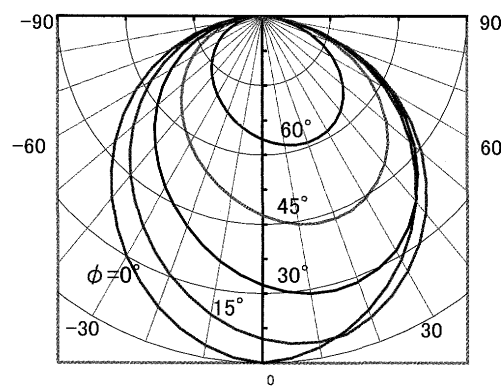
オパールガラス(キセ)



PTFE 1.0mm



合成石英砂ずり(#200)板



アクリル P40

図2 拡散板の出射配光特性

Fig.2 Exit intensity distribution of diffusers.

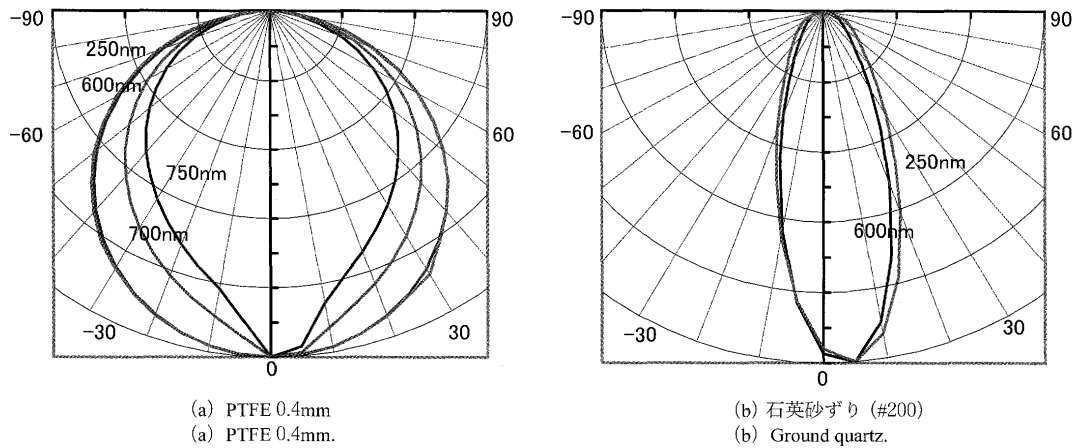


図3 出射配光の波長特性
Fig.3 Wavelength dependency of diffusion.

前回記事の図1に示した理想的なものに近い (K442, AKI も同様)。これらよりも拡散性の劣る試料では、いずれも出射配光の中心が入射の方向にずれて、この傾向は配光が鋭くなるほど顕著になる。これは正透過成分が増加するためである。ホログラム拡散板の特性は砂摺り石英板と同程度である。ただ、この表示方式(極座標形式)では分かりにくい、直角座標でみるとフレアがほとんどなく、大出射角の発散が抑制されている。

PTFE板0.4mmと0.1mmの波長別の特性をみると、短波長側からある臨界的な波長までは均等拡散に近い配光であるが、それを超えると急激に正透過成分が拡散成分と分離した形で増加する。この臨界的な波長は厚さ0.1mmでは約300nm、0.4mmでは約650nmである。

前回記事7.1項(2)に記した利用率を図4に示す。出射角(光束発散角)と利用率の関係は、直線部の多い緩いS形となり、配光が鋭くなるほど立ち上がりが急になっていく。ホログラム拡散板では、出射角30度で利

用率が90%になり、出射が狭い範囲に集中することが分かる。

1.2.3 受光面の斜め入射補正特性

開口20mm径の拡散面の出射面から5~20mm離して、受光面5.8x5.8mmの受光器(SPD:シリコンフォトダイオード)を置いて、拡散面に斜め入射を与えたときの受光器の応答特性を測定した結果を図5に示す。均等拡散に近い拡散板では余弦特性に近くなるが、出射配光の鋭いものは、入射角度によって配光がずれるために、入射角の増大による応答度の低下が著しくなる。出射面と受光器の距離の影響は、均等拡散に近いものではほとんどないが、配光の鋭いものでは、距離が離れるほど結果が悪くなる傾向がある。この状態を図6に示す。

図7にPTFE 0.4mm拡散板の波長ごとの特性を示す。斜め入射補正の波長的な変化は、出射配光の変化(図3)に比べて小さいことが分かる。

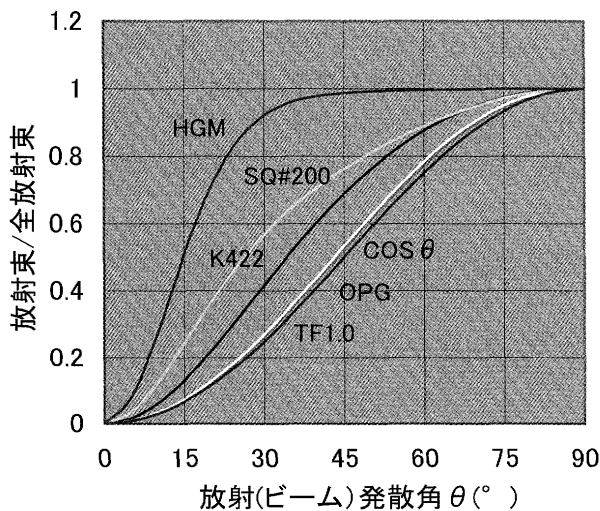


図4 拡散板の出射光利用率
Fig.4 Exit partial flux/total flux vs. distribution angle of diffusers.

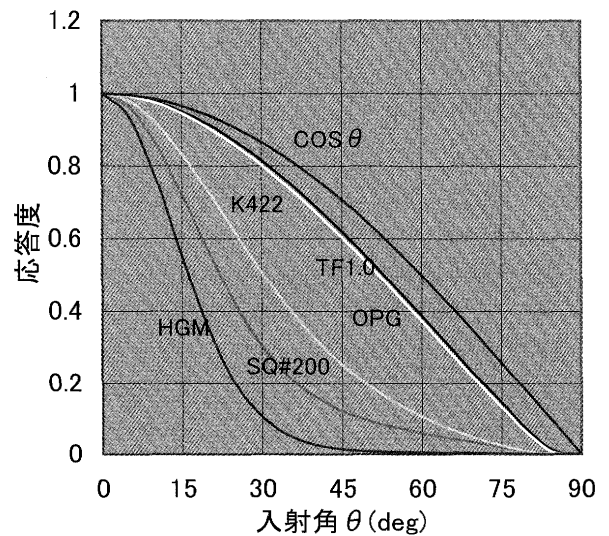


図5 拡散板の種類と斜め入射特性 (D=10mm)
Fig.5 Detector incident angular response with diffusers.

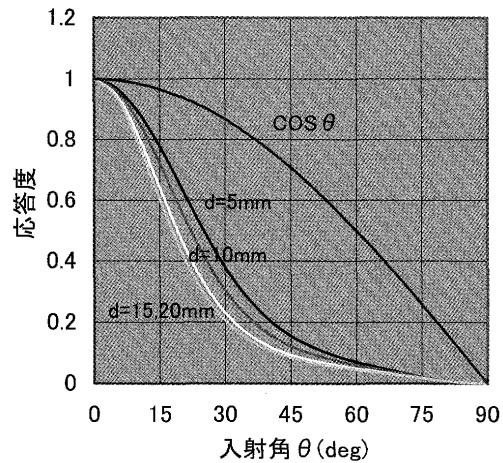
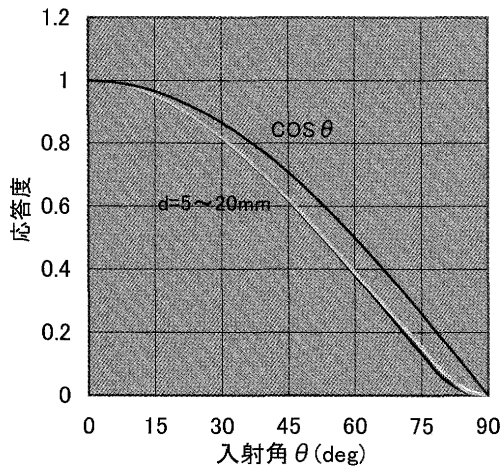


図6 斜め入射応答の拡散板・受光器間距離との関係
Fig.6 Anguler response vs. distance between detector and diffuser.

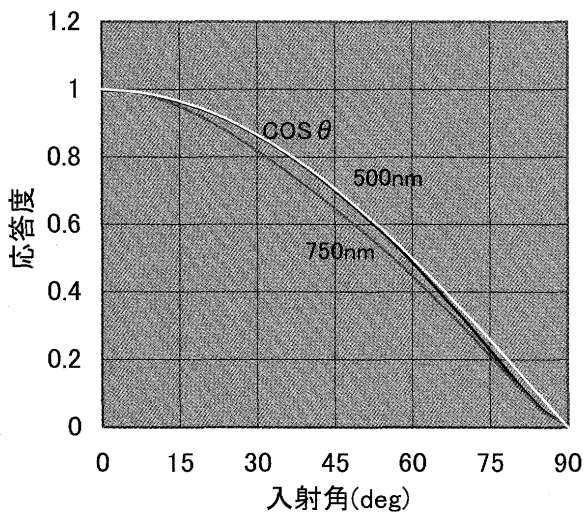


図7 PTFE 0.4mm 拡散板とSPD 組み合わせ斜め入射特性の波長依存性
Fig.7 Wavelength dependency of PTFE 0.4mm diffuser/SPD detector.

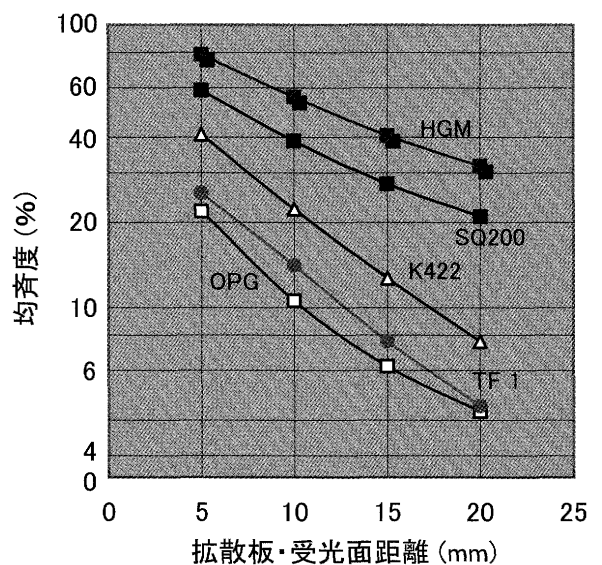


図8 拡散板・受光器間距離と受光面応答度の緩和効果
Fig.8 Distance between detector and diffuser vs. response uniformity of receiving area.

1.2.4 受光面の応答度むらの緩和

開口20mm 径の拡散面の出射面から5~20mm 離して、CAN (TO-8) 形で受光面 5.8×5.8mm の受光器 (SPD: シリコンフォトダイオード) を置いて、ビーム径 1.5mm のスポット光を2mm ごとにマトリクス状 5×5=25点照射して、8×8mm の面積の応答分布を測定した。

均斉度を前回記事 7.2項の(6)式で評価した結果は、図8のとおりで、均斉度は均等拡散に近いほどよくなるが、出射面と受光器の距離に強く依存し、その状態は均等拡散に近いほど著しい。これらの値は、受光器を平面形 5.8×5.8mm に換えてもほとんど変わらないので、均斉度は、出射面から受光面を見込む角や、拡散面サイズと受光面サイズの比¹⁾よりも、出射面と受光面の絶対的な距離への依存が大きいと思われる。なお、受光器を平面形 10×10mm にしてもこの状態に大きな変化はない。

図9に等応答度図の一例を示す。等応答度線は同心円

状で、出射面と受光器の距離によって、間隔が大きく変化するが、形状はあまり変化しない。

受光器の分光応答度を調整する目的で、拡散面と受光器の間に光学フィルタを入れることがあるが、この場合、

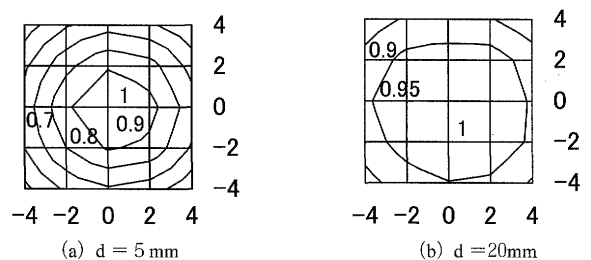


図9 オパールガラス拡散板とCAN 形SPD (5.8×5.8) 組み合わせの等応答度図
Fig.9 Iso-response diagram of CAN type SPD with opalglass diffuser.

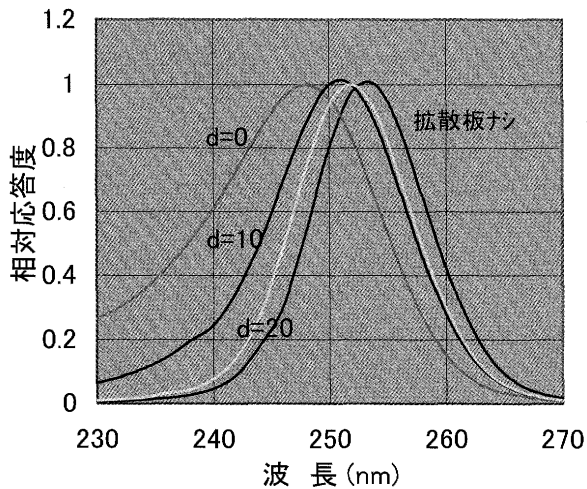


図10 拡散板による干渉フィルタの波長ずれ
Fig.10 Wavelength shift of interference filter by diffuser.

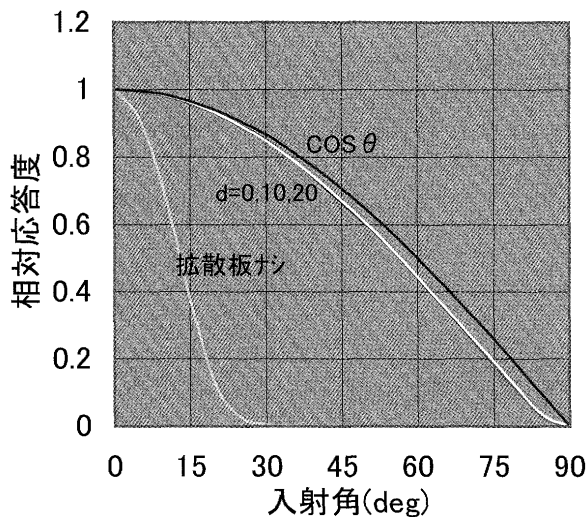


図11 PTFE 拡散板による干渉フィルタ付き受光器の角特性の改善 (254nm)
Fig.11 Angular response correction of detector with interference filter by PTFE diffuser.

フィルタが平行光入射を前提とした干渉フィルタのようなものであると、波長ずれが生じる。この状態をPTFE 0.1mm 拡散板と254nm 干渉フィルタ付きのSPD (CAN形) の組み合わせで測定した結果を、図10に示す。分光応答度の波長ずれは出射面と受光器の距離が近いほど大きい。20mmでは、拡散板なしのときに近くなる。一方、斜め入射特性は拡散板によって、著しく改善される(図11)。

1.2.5 偏光解消効果

前回記事 6.4項の図7に示した光路で、拡散板の偏光(解消)効果を測定した。偏光子と検光子は同形の偏光フィルタである。直線偏光を入射したときの拡散板出射光の偏光特性は図12のとおりで、PTFE 1mmは十分な偏光解消能力を示すが、その際に偏光面の回転が生じている。オパールガラス、アクリルの能力はあまり高くな

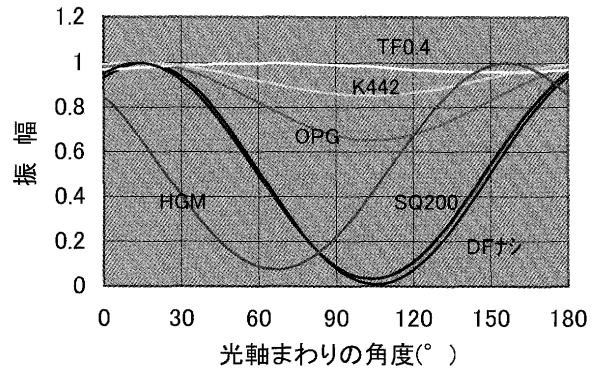


図12 透過形拡散板の偏光解消能力
Fig.12 Depolarization by diffusers.

く、砂摺り石英板はほとんど解消能力がない。ホログラム拡散板は偏光面の回転が生じるが、解消能力はない。

2. 結果の総括

これまでの結果を総括すると次のようになる。

- (1) 一般に使用されているガラス、樹脂系の透過形拡散板の短波長限界は、波長350~400nmで、紫外域で使用できるのは、砂摺り石英板と薄手のPTFE板である(図1)。
- (2) 透過形拡散面の相対的な出射配光特性は、均等拡散に近いときは入射光の入射角の影響が少ないが、配光が鋭くなると中心が入射の延長方向にずれて配光の形状にも変化がみられる。法線入射状態での出射光の利用率は、出射光の発散角(出射角)に対してほぼ直線的に増加する(図2~図4)。
- (3) 透過形拡散板を、照度計などの測光器の斜め入射角補正に使用するときの効果(余弦特性への近似性)は、出射配光が均等拡散に近いほど良好であるが、配光が鋭くなると(2)で述べた配光のずれのために、急激に劣化する。拡散面と受光面間の距離の影響は少ない(図5、図6)。
- (4) 透過形拡散板を測光器の受光面の応答度むらの解消(緩和)に使用する場合、拡散面と受光面間の距離dが最も重要な要因になり、距離が離れるほど効果が大きい。均斉度Uで表した緩和効果は、(1)式のような指数関数の形に近似できる。

$$U = A \cdot e^{-(k \cdot d)} \dots \dots (1)$$

ここで、A、kは測定条件などによる定数である。緩和効果自体は均等拡散に近いほど良好になる。

従来の測光器は斜め入射特性には十分な配慮をしてきたが、受光面の応答度むらについての考慮はあまりなされていない。しかし、LEDの測光、とくにCIE LED平均化光度³⁾の評価などでは、このことが重要な

要因となる (図8, 図9)。

- (5) 透過形拡散板の偏光解消能力は、配光のよさとは必ずしも一致しない。また、砂摺り面は偏光解消能力がほとんどない (図12)。
- (6) PTFE (テフロン) 板は透過形拡散板として、すべての能力に優れた特性を示すが、製品 (ロット) によってかなり差があるようで、厚みのあるものが常に拡散性がよいとは限らないので、使用に際しては十分な検討が必要である。ホログラム拡散板は、利用率以外には優れた能力がなく、利用率を重視する特別な用途以外には不向きである。

以上、現在入手できる透過形拡散板について、特性の測定と評価を行ったが、前回記事の図2, 図3に示したような、部分的な均等または平坦拡散性を確保できる拡散板があれば、非常に使い勝手のよいものになるので、実現を望みたい。

3. あとがき

技術には、分野間の狭間 (ニッチ) になって手がつけにくいもの、根拠が明確でないまま一般的に使用されて

いる事項、多用されていてもデータが局所的で、データ相互の関連が不明確で体系的・系統的でないもの、などが意外にあるものである。

照明技術も例外ではなく、筆者が永年関わっている測光でもこのようなことがかなり見られる。筆者もすでに齢古希を越えたが、まだ多少の体力もあり、いささかの実験・測定設備も利用できるため、今回、幸いに機会が与えられたので、今まで、言及されることの少なかった、量子効率と発光 (光源) 効率の橋渡し、有色光の定義の見直し、拡散板の特性・機能、についての実証を含めた系統的な検討を行ってみた。内容的に資料・論文に近いものになって、必ずしも題目の「やさしい照明技術」にはなっていないが、寛恕願いたい。

終わりに、執筆の機会を提供いただいた、鎌田編集調査理事、谷治編集委員に深謝したい。

参考文献

- (1) 照明学会編：光の計測マニュアル, 4.6 (1990) .
- (2) 葦洋司：高精度分光反射率測定法の開発および標準化に関する研究, 第4章, 2007年度 明治大学博士学位請求論文
- (3) JIS C 8152-2007：照明用白色発光ダイオード (LED) の測光方法

研究調査委員会報告書頒布のお知らせ

電子情報機器光源に関する研究調査委員会報告書 (JIER-088)

(目次)

1. 情報読み取り装置
2. 情報記録装置
3. 情報通信システム
4. 情報ディスプレイ
5. 車載システム
6. 照明システム

総 頁 数：230ページ
編 集：平成18年3月
印 刷：平成18年10月
発 行：平成18年10月

税込価格：5565円

会員価格：4373円

(会員特典として照明学会個人会員・賛助会員はこの価格です)

送 料：1冊 500円

申込方法：必要事項【書籍名, 冊数, 住所 (勤務先の場合は部署名まで, 自宅を明記), 氏名, 電話 (勤務先, 自宅を明記), FAX (勤務先, 自宅を明記), E-mail アドレス, 個人会員は会員番号】をご記入の上, 下記までお申し込み下さい。請求書をお付けしてご送付いたします (請求書名義を明記)。

納品書が必要な場合は明記下さい。

TEL：03-5294-0101 FAX：03-5294-0102

E-mail：ieijsomu@sepia.ocn.ne.jp