

学会技術指針
J I E G - 0 0 6 (1 9 8 6)

輝度計の性能評価方法ならびに使用方法

昭和61年3月

社団法人 照明学会
輝度計の性能評価方法研究調査委員会

昭和61年3月

輝度計の性能評価方法研究調査委員会報告

委員長 三嶋泰雄

輝度計は、屋内、屋外の照明施設をはじめ、信号標識、各種光ディスプレイ、カラー受像管、各種光源及び照明器具、発光素子、塗装、医療など多方面に使用され、しかもその必要とする分野は次第に拡大されつつある。そのため、輝度計の使用者は、必ずしも測光の専門家とは限らず、誤用や測定結果の適正な判断について憂慮すべき点も生じてきている。この点に関しては、輝度計そのものについての性能の把握が製造者、使用者相互において、体系的に基準とするものが存在しなかったことも輝度測定の適正化の推進を遅滞させていた所以の一つと考えられる。

本委員会は、輝度計の主要な性能の項目を設定し、その評価方法を具体的に定め、かつ、輝度計の使用上の注意事項などを検討し、もって輝度計の適正な使用を推進することを目標に、昭和59年度及び60年度にわたって設置されたものであり、その間、委員会の開催20回、国内外の文献等を調査・検討して本報告書を作成した。

本報告書が、輝度計の製造者・使用者に有用なものとしての評価が得られ、本学会の技術資料又は技術指針の一つとして広く社会に普及・適用されれば幸いである。

学会技術指針

JIEG-006(1986)

輝度計の性能評価方法ならびに使用方法

昭和61年3月

社団法人 照明学会

輝度計の性能評価方法研究調査委員会

昭和61年3月

輝度計の性能評価方法研究調査委員会報告

委員長 三嶋泰雄

輝度計は、屋内、屋外の照明施設をはじめ、信号標識、各種光ディスプレイ、カラー受像管、各種光源及び照明器具、発光素子、塗装、医療など多方面に使用され、しかもその必要とする分野は次第に拡大されつつある。そのため、輝度計の使用者は、必ずしも測光の専門家とは限らず、誤用や測定結果の適正な判断について憂慮すべき点も生じてきている。この点に関しては、輝度計そのものについての性能の把握が製造者、使用者相互において、体系的に基準とするものが存在しなかったことも輝度測定の適正化の推進を遅滞させていた所以の一つと考えられる。

本委員会は、輝度計の主要な性能の項目を設定し、その評価方法を具体的に定め、かつ、輝度計の使用上の注意事項などを検討し、もって輝度計の適正な使用を推進することを目標に、昭和59年度及び60年度にわたって設置されたものであり、その間、委員会の開催20回、国内外の文献等を調査・検討して本報告書を作成した。

本報告書が、輝度計の製造者・使用者に有用なものとしての評価が得られ、本学会の技術資料又は技術指針の一つとして広く社会に普及・適用されれば幸いである。

輝度計の性能評価方法ならびに使用方法

社団法人 照 明 学 会
輝度計の性能評価方法研究調査委員会報告
昭和61年3月

目 次	頁
まえがき	3
委員構成	4
1. 用 語	5
1.1 輝度計に関するもの	5
1.2 報告書の内容に関するもの	5
2. 輝度計の原理	8
2.1 輝度の定義	8
2.2 輝度計の基本原理	9
2.3 市販輝度計の内部構造	9
3. 輝度計の使用上の基本的注意事項	13
3.1 輝度計の架台	13
3.2 測定環境について	13
3.3 ウォームアップタイムについて	13
3.4 日常の保守、保管について	13
3.5 校正方法とその頻度について	13
4. 輝度計の性能評価方法	14
4.1 輝度計の性能評価の項目	14
4.2 輝度計の性能評価方法	15
5. 測定上の注意事項	30
5.1 輝度測定におけるピント合わせ	30
5.2 測定角内の輝度が一様でない被測定面の測定	30
5.3 被測定面積の周囲に高輝度の面がある場合	31
5.4 偏光した光の測定	31
5.5 指向性の強い光源の測定	32
5.6 脈動光、断続光の測定	32
5.7 赤や青などの有彩色面の測定	33
5.8 近接レンズを使用した場合の輝度測定値の補正	33
5.9 測定値に付記すべき事項	34
6. 輝度測定の実例	34
6.1 照明施設における輝度測定例	35
6.1.1 屋内照明施設の場合	35
6.1.2 屋外照明施設の場合	37
6.2 自動車灯火器関係の輝度測定における注意点	42
6.3 蛍光表示管の輝度測定	42
6.4 発光ダイオードの輝度測定	44
6.5 VDUの輝度測定	46
6.6 輝度計による色度の測定	47
6.7 灯火の見え方実験における輝度計の使用	50

7. 付表(各種光源等の分光分布)	56
付表1 標準の光Aの相対分光分布の値	56
付表2 代表的な蛍光ランプの相対分光分布の値(1)~(2) (昼光色、白色、3波長域発光形)	57
付表3 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値	59
(1) 3波長域発光形蛍光ランプ	59
(2) 高圧水銀ランプ	60
(3) 高圧ナトリウムランプ	61
(4) メタルハライドランプ(3-additive)	62
(5) メタルハライドランプ(稀土類)	63
付表4 蛍光表示管の緑色発光(蛍光体…ZnO:Zn)の相対分光分布の値 (社)日本電子機械工業会 表示管技術委員会提供による。	64
付表5 家庭用カラー受像管の分光分布の一例(1)~(8) (R,G,B及びW)	65

以 上

輝度計の性能評価方法ならびに使用方法

まえがき

本技術報告書は、(社)照明学会の輝度計の性能評価方法研究調査委員会が昭和59年度及び60年度の2ヶ年にわたり、CIE技術報告書No.53(TC-2.2) 1982 Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers 及び CIE TC-2.2(Detectors) Final Draft, Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Metersを参考とし、他に国内外の文献を調査すると共に市販の輝度計の機能の検討及び使用の実態を調査し、従来、輝度計製造者がそれぞれ独自の方法で輝度計の性能を評価していたものを共通の方法で評価し、輝度計使用者に対し使用する輝度計の性能の適正な認識を与えることを目的に作成したものである。

輝度計の使用は、屋内外の照明の場は勿論のこと、発光素子、受像管、光ディスプレイ、照明材料及び各種素材の製造管理など多方面に亘って来ており、専門の測光技術者以外の人にもむしろ取り扱われることも多く、輝度計の原理や使用上の注意、実測例を本報告に盛り込むことは使用者にとって有益であるとの判断から、これらについても検討して収録した。

輝度計製造者にとっては、本報告の性能項目にしたがって性能を評価し、必要に応じ、使用者に対して当該輝度計の性能試験成績書を交付すべきであり、輝度計使用者は提示された性能をよく認識したうえで測定結果の適正な把握を図るべきであろう。

本技術報告書が製造者、使用者相互において、輝度測定の正確さの向上のための有用な手掛かりとなることを念願するものである。

昭和61年3月

社団法人 照 明 学 会
輝度計の性能評価方法研究調査委員会

輝度計の性能評価方法研究調査委員会

委 員 構 成

(50音順)

委員長(前期)	大 場	信 英	電子技術総合研究所
委員長(後期)	三 嶋	泰 雄	電子技術総合研究所
幹 事(前期)	三 嶋	泰 雄	電子技術総合研究所
委員(後期幹事)	小 泉	直 彦	(社)日本電子機械工業会 表示管技術委員会 【双葉電子工業(株)】
委 員	伊 藤	安 雄	日本放送協会
委 員	大 林	寅 之助	(株)三双製作所
委 員	狩 野	雅 夫	三菱電機(株)
委 員	川 島	信 之	旭光通商(株)
委 員	小松原	仁 弘	(財)日本色彩研究所
委 員	近 藤	暁 樹	(株)村上色彩技術研究所
委 員	近 藤	英 貞	(財)日本写真機光学機器検査協会
委 員	谷 口	均 夫	(社)日本自動車工業会
委 員	戸 沢	靖 夫	東京光学機械(株)
委 員	中 川	靖 夫	埼玉大学工学部
委 員	鳴 瀬	一 彦	ミノルタカメラ(株)
委 員	西 山	英 夫人	松下電器産業(株)
委 員	藤 井	克 人	法政大学工学部
委 員	千 場	芳 洋	岩崎電気(株)
委 員	松 下	信 夫	東芝電材(株)
委 員	渡 辺	芳 彦	(株)TLヤマギワ研究所

1. 用 語

1.1 輝度計に関するもの

被測定面	輝度計によって測定される対象となる面。
被測定面積	被測定面上にあって、輝度計により規定かつ測定される部分の測定方向に対する見掛けの面積。測定視野ともいう。
測定基準点	輝度計と被測定面との距離を定義する場合の輝度計の基準となる点。対物レンズ前面の中心や焦点面の中心が用いられる。
測定距離	測定基準点と被測定面積の幾何学的中心との距離。
固定絞り	輝度計において、光学系の射出立体角を制限し、測定距離を変えても光電素子に入射する光束(放射束)を一定に保つための絞り。
像面絞り	焦点面上にあって被測定面積を規定するための絞り。
輝度計の主点	光学系において横倍率が+1になる光軸上の共役点。物体空間における主点を物体主点といい、像空間における主点を像主点という。 薄肉単レンズでは、レンズの中心と考えてよい。輝度計のレンズにおける主点は物体主点をいう。
測定角	被測定面積を底円とし、輝度計の主点を頂点とする円錐の頂角。
視野角	ファインダー光学系で確認される被測定面積を底円とし、輝度計の主点を頂点とする円錐の頂角。光学的機構の良い輝度計にあっては、視野角は測定角に等しい。

1.2 報告書の内容に関するもの

黒 体	プランクの放射則がそのままに成り立つ熱放射体(入射した放射を完全に吸収する熱放射体)。
分光放射発散度	放射の発散面上の一点を含む微小面要素を考え、その面要素から発散する放射束を単位面積当たりの値に換算した値を波長の関数として表したもの。
相対分光分布	波長の関数としての放射量の相対的な分光密度。

分布温度	可視域において注視する放射の分光分布に比例(又は近似的に比例)する分光分布をもつ完全放射体(黒体)の絶対温度をいう。 単位:ケルビン(K) 両者の放射は等しいか、又はほとんど等しい色度をもつ。
光 度	点光源からある方向に向う光束を、その光源を頂点とし、その方向への単位立体角当たりの光束に換算した値。 光源が点でない場合は、観測点でその点を含む微小面要素内に到達した光束を光源内の任意の点とその微小面要素に対して張る立体角で割った値で、微小面要素と光源との距離を無限大にしたときの極限を採る。 量記号: I, $I = d\Phi/d\omega$ 単位:カンデラ(cd)
光 束	放射束を、標準比視感度と最大視感度とに基づいて評価した量。 量記号: Φ_v, Φ 単位:ルーメン(lm)
	放射束の分光分布を $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ とするとき、 $\Phi_v = K_m \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) \cdot d\lambda$ で与えられる。但し、K_mは最大視感度(波長約 555 nmにおいて 683 lm/W), $V(\lambda)$は標準比視感度である。
照 度	与えられた点を含む微小面要素に入射した光束を、単位面積当たりに換算した値。 量記号: E, $E = d\Phi/dS$ 単位:ルクス(lx)
光電素子	入射する光エネルギー(又は信号)を電気的エネルギー(又は信号)に変換する素子。
相対分光応答度	測光器において、それに入射する波長λの単位光束当たりの相対的出力。
標準比視感度	明所視における平均的な比視感度として、国際照明委員会(CIE)及び国際度量衡委員会(CIPM)で採択した値。 量記号 $V(\lambda)$ で表す。
視感度補正フィルタ	測光器の相対分光応答度を標準比視感度特性にできるだけ近似させるために用いられるフィルタ。

色補正係数	測光器の校正に用いた光と相対的に異なる分光分布の光を測定するとき、標準比視感度によった値を得るため、測光器の出力に乗すべき係数。
等色関数	波長の関数として表したスペクトル三刺激値。
直線偏光	光波(電気ベクトル)の振動方向が同一平面内に含まれる光。平面偏光ともいう。
迷 光	光学機器において正規の屈折又は反射以外の原因によって生じる望ましくない光。
測 光 軸	測光の際の光学的中心軸。
指 向 性	光源から発散される光の放射強度の方向性。
色 相	(1) 赤、黄、緑、青、紫のような色知(感)覚の性質を特徴付ける色の属性。 (2) (1)の属性を連続的に配列し、尺度化した数値又は記号。
明 度	(1) 物体表面の相対的な明暗に関する色の属性。 (2) 同一条件で照明した白色面を基準として上記の属性を尺度化したもの。
彩 度	物体表面の色みの強さを等しい明るさ(明度)の無彩色からの隔たりで表した視知(感)覚の属性、又はそれを尺度化したもの。
色 度	色度座標によって、又は主波長(若しくは補色主波長)と純度との組合わせによって定められる色刺激の心理物理的性質。
光 源 色	光源から出る光の色。光源色は通常色刺激値で表す。
物 体 色	光を反射又は透過する物体の色。物体色は通常特定の標準の光に対する色度座標及び視感反射率などで表す。
角膜照度	点光源とみなしうるような距離に存在する光源を直接、視覚観測するとき、観測者に与える視角効果に関する測光量。観測者の目の位置において、光源の方向に垂直な平面における、その光源によって生じる照度で測定される。 量記号: E_v 単位: ルクス (lx)

参考資料

- ・ JIS Z 8105 色に関する用語
- ・ JIS Z 8113 照明用語

- ・ JIS Z 8120 光学用語
- ・ 照明ハンドブック

2. 輝度計の原理

2. 1 輝度の定義

光の通路上の一点、例えば発光面または受光面上の一点Pにおいて、与えられた方向PQについての輝度Lは次式によって定義される。

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \theta} \quad (2.1.1)$$

ここに、 $d^2 \Phi$ ：点Pを含む面積dAの微小面要素を、方向PQを含む微小立体角dΩの範囲で通過する光束

dA：微小面要素の面積

dΩ：微小立体角要素の立体角

θ：微小面要素の法線と与えられた方向PQとのなす角

図2. 1は、輝度の定義の説明図である。

SI単位系（国際単位系）による輝度の単位は、 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ （カンデラ毎平方メートル）であるので、これを用いるのが望ましいが分野によっては、fL（フートランベルト）を用いている。

両者の関係は以下ようになる。

$$1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} = 0.2919 \text{ fL}$$

2. 2 輝度計の基本原理

現在実用されている輝度計のほとんどはレンズ式輝度計であるため、ここでは本方式について述べる。

輝度計は、原理的には受光面上の輝度（像面の輝度）を評価する機構のものであるが、以下に述べる考察により発光面の輝度（被測定面の輝度）を測定することができる。

図2. 2に示すようにレンズ系によって被測定面の像を結ばせ、その像面に小さな開口（アパーチャ）のあいた遮光板を置き、開口の部分を通じた光だけを光電素子に入射するようにしている。

被測定面と対物レンズの間に障害物（塵、ほこり、霧など）がないとすれば、以下の式が成り立つ。

$$\tau L A \Omega_1 = L' A' \Omega_2 \quad (2.2.1)$$

ここに、 τ ：^{レンズの}透過率 L ：被測定面の輝度 A ：被測定面面積
 Ω_1 ：入射立体角 L' ：像面の輝度 A' ：開口面積
 Ω_2 ：射出立体角

また、結像倍率を m とすると次の式が成り立つ。

$$m^2 = \Omega_1 / \Omega_2 = A' / A \quad (2.2.2)$$

以上の2式により次の式が導かれる。

$$L' = \tau L \quad (2.2.3)$$

つまり、像面の輝度 L' は、被測定面の輝度 L に比例する。

一方、光電素子への入射光束を Φ とすると

$$\begin{aligned} \Phi &= L' A' \Omega_2 \\ &= \tau L A' \Omega_2 \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

上式において、 τ 、 A' ともに定数であるので、 Ω_2 も一定であれば Φ は L に比例することとなる。しかし、 Ω_2 は測定距離によって変化するため、このままでは、輝度計を校正した時と同一の距離で用いない限り正しい結果は得られないという不都合がおきる。

市販の輝度計においては、図2.3のように射出立体角 Ω_2 を一定にするための固定絞りを取り付けられているため、十分大きな面積をもった輝度一様な完全拡散面を測定する限り、測定距離にかかわらず被測定面の輝度の正確な測定が可能である。

2.3 市販輝度計の内部構造

市販されている輝度計には、被測定面を観測するためのファインダ系、分光応答度特性(分光感度特性)を標準比視感度に近似させるための視感度補正フィルタが内蔵されている。また、機種によっては測定角が切換えられるもの、輝度だけでなく色度も測定可能なタイプもある。

(例1)

図2.4は輝度計の光学系の一例である。対物レンズ L_1 から入った光は反射鏡 M_1 に結像する。この反射鏡には異なったサイズの楕円形の開口があいているため、どの開口を使用するかによって測定角を切換えることができる。この反射鏡の後方には、光電素子(例えばシリコンホトダイオード、光電子増倍管など)の分光応答度とフィルタの組合わせにより、装置全体としての分光応答度特性を標準比視感度 $V(\lambda)$ に近似させるための色ガラスフィルタが置かれている。またCIEの等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ に近似させるための3種類の色ガラスフィルタを切換え設定で

きるようなメカニズムを持たせることにより、色度の測定が可能な機種もある。

対物レンズ L_1 を通過した光は、反射鏡 M_1 の開口を通過して光電素子に入射する。一方、測定光以外の光束は、反射鏡 M_1, M_2 により反射され、コンデンサレンズ L_3 を通り、接眼レンズ L_4 に入り被測定面を目で確認することができる。

この接眼レンズを通して被測定面を見たとき、中央が黒い円となって見える。

この黒円部分が測定角に相当し、この円内の平均輝度が測定されることになる。

(例2)

図2.5は輝度計の光学系の他の一例である。

対物レンズ L_1 から入った光の一部は、反射鏡 M で反射され、ポロプリズム P で正立正像にされて、スケールガラス G に結像される。このスケールガラス G 上の像を、接眼レンズ L_2 を通して見ることで、被測定面を目で確認することができる。

また、対物レンズ L_1 から入った光のうち、反射鏡 M で反射された光以外の光は、像面絞り S_2 の開口部に結像され、光電素子 D に入射する。光電素子の前面には、(例1)と同様に視感度補正フィルタが置かれ、装置全体としての分光応答度特性を標準比視感度に近似させている。

このスケールガラス G と像面絞り S_2 は、被測定面に対してそれぞれ共役の位置にあるので、ファインダでの焦点合わせは、同時に像面絞りに焦点を合わせたことになる。

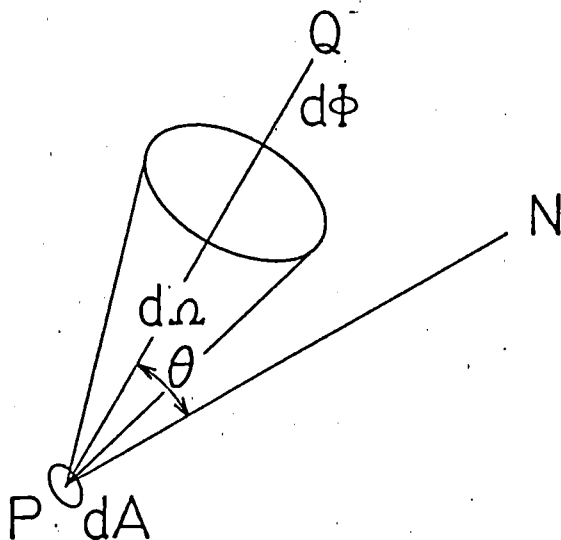


図2.1 輝度の定義の説明

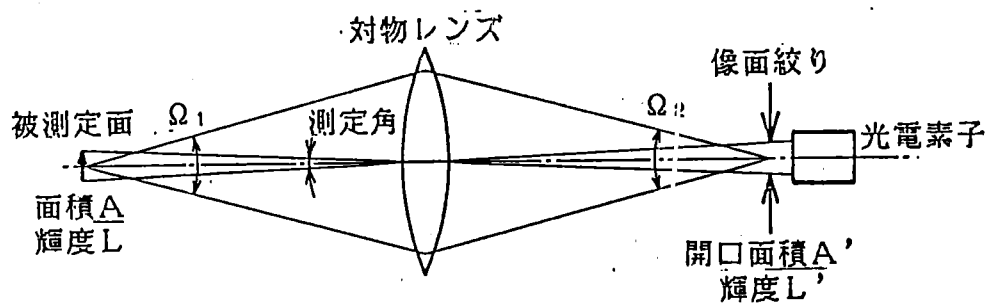


図2.2 レンズ式輝度計の基本原理

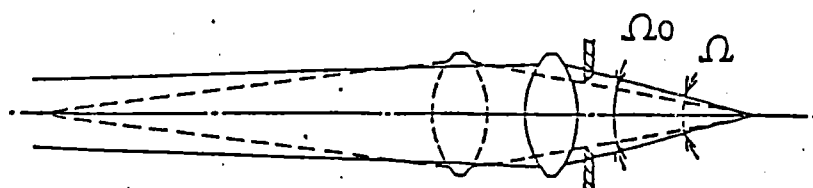


図2.3 固定絞りの働き

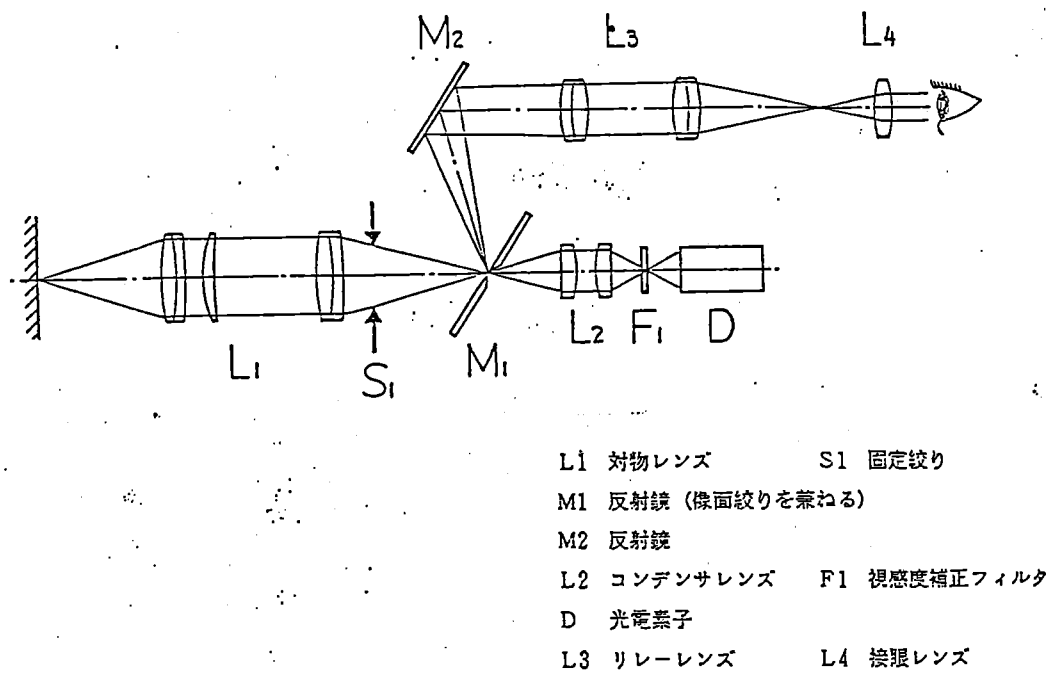


図2.4 市販の輝度計の光学系の一例(例1)

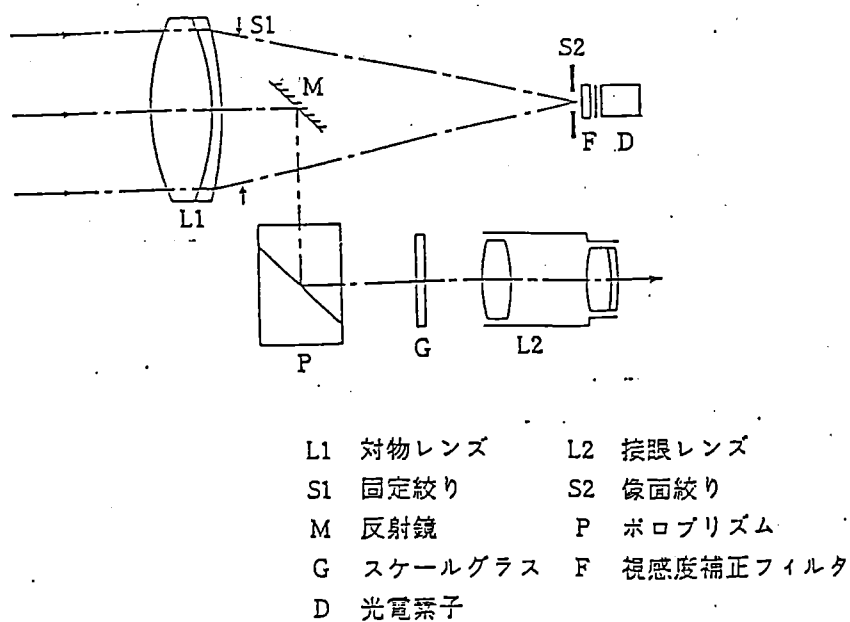


図2.5 市販の輝度計の光学系の一例(例2)

3. 輝度計の使用上の基本的注意事項

3.1 輝度計の架台

輝度計の架台としては三脚、X-Yポジショナー、光学ベンチ、ラボジャッキなどが一般に使用されているが、正しい測定値を得るためには、使用目的に合った架台を選ぶ必要がある。

- (1) 三脚：三脚は輝度計の架台として最も一般的に使用されるが、カメラ用の三脚は、耐荷重量及び安定性の点で好ましくなく、輝度計用三脚として市販されている耐荷重量20kg程度まで保証されているものが薦められる。
また、微小面の位置決めが必要な場合には、ギアヘッド付きの三脚となる。
- (2) X-Yポジショナー：小型表示器の微小面を多点測光する場合には、目盛付きのX-Yポジショナーが使用されている。試料台または輝度計のヘッド・ステージの一方が動かせるようになっており、Z軸の調節機構を持つものもある。
- (3) 光学ベンチ：指向性の強い光源など、輝度計と試料の間の正確な光軸合わせや位置決めを必要とする場合には、光学ベンチが利用されている。
- (4) ラボジャッキ：手狭な場所などで簡便に使用できるものとして、除震台の上にラボジャッキを置いて測定することもある。

3.2 測定環境について

- (1) 取扱説明書に記載されている温度湿度範囲内で使用すること。
- (2) 取扱説明書に記載されている電源電圧範囲内で使用すること。
- (3) 振動、衝撃を加えないこと。
- (4) フルスケール以上の過大な光を入射させないこと。

3.3 ウォームアップタイムについて

光電子増倍管を使用したタイプの輝度計においては、電源を投入後、取扱説明書に規定されただけのウォームアップタイムをとってから測定すること。

3.4 日常の保守、保管について

- (1) レンズ面が汚れている場合は、よく洗った木綿の布で乾拭きすること。
- (2) 使用後は、キャップを被せて、専用の収納ケースに保管すること。

3.5 校正方法とその頻度について

取扱説明書に従って定期的(できれば年1回程度の頻度で)メーカーに校正を依頼すること。

4. 輝度計の性能評価方法

4.1 輝度計の性能評価の項目

下記の性能評価項目は一般的な輝度測定に必要なものを掲げたものである。

輝度計の選定に当たっては実際の測定対象、測定目的、測定条件を考慮して各項目についてそれらの重要性を把握した上で輝度計の性能を評価する必要がある。

評価項目の種類	評価量の記号
[1] 相対分光応答度の標準比視感度との整合特性	
a. 等エネルギー帯域光に対する色補正係数による評価	f_1
b. 放電ランプ等の光に対する色補正係数による評価	f_1'
[2] 相対分光応答度の等色関数との整合特性	f_2
[3] 紫外分光応答特性	
a. 相対分光応答度による評価	f_3
b. 蛍光ランプと光学フィルタとによる評価	f_3'
[4] 赤外分光応答特性	
a. 相対分光応答度による評価	f_4
b. 白熱電球と光学フィルタとによる評価	f_4'
[5] 測定視野内における応答むら特性	f_5
[6] 直線偏光に対する応答特性	f_6
[7] 被測定面積の正確さ	f_7
[8] 測定視野外からの光(迷光)による影響	f_8
[9] 近接レンズを用いたときの補正係数の誤差	f_9
[10] 零位の時間的偏位	f_{10}
[11] 疲労特性	f_{11}
[12] 安定性	f_{12}
[13] 再現性	f_{13}
[14] 温度特性	f_{14}
[15] 湿度特性	f_{15}
[16] 断続光に対する特性	f_{16}
[17] 表示の正確さ	f_{17}
[18] 測定距離の変化による影響	(測定上の注意事項)
[19] 外部磁界による影響	(使用上の確認事項)

4.2 輝度計の性能評価方法

[1] 相対分光応答度の標準比視感度との整合特性

相対分光応答度既知の光検出器及び分光放射輝度率既知の白色拡散反射板を用い、図1に示す配置において、輝度計の相対分光応答度を測定する。
(測定波長範囲は350nmから810nmで、半値幅5nm以内の単色放射を用い、波長5nm間隔で測定する。)
標準比視感度 $V(\lambda)$ との整合特性は次によって求める。

a. 等エネルギー帯域光に対する色補正係数 k を次式によって計算する。

$$k = \frac{\sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} M(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda} \times \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} M(\lambda) s(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} s(\lambda) \Delta\lambda}$$

ここに、 λ_1 及び λ_2 : 各波長域における最小及び最大の波長(nm)で次のようにとる。

λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	積分計算における波長間隔(nm)
380	780	5
400	450	5
450	500	5
500	550	5
550	600	5
600	650	5
650	700	5
700	750	5

$s(\lambda)$: 輝度計の相対分光応答度

$M(\lambda)$: 温度2856Kの黒体の分光放射発散度の相対値
(標準の光Aの相対分光分布の値を用いる。)

$$\text{標準比視感度との整合特性} \quad f_1 = \frac{k-1}{1} \times 100 (\%) \quad [1]$$

注: f_1 は各波長域毎に計算した k について求める。

b. 付表に示す分光分布の光に対する色補正係数 k' を次式によって計算する。

$$k' = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} M(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda} \times \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} M(\lambda) s(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) s(\lambda) \Delta\lambda}$$

ここに、 $S(\lambda)$: 付表に示す分光分布

$M(\lambda)$: 温度2856Kの黒体の分光放射発散度の相対値
(標準の光Aの相対分光分布の値を用いる。)

$$\text{標準比視感度との整合特性} \quad f_1' = \frac{k' - 1}{1} \times 100 (\%) \quad [1]'$$

[2] 相対分光応答度の等色関数との整合特性

等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ に対応する相対分光応答度を[1]に準じて測定し、等色関数との整合特性を次式によって計算し評価する。なお、この項目は色度の測定ができる輝度計のみについて適用する。

$$\text{等色関数との整合特性} \quad f_2 = \left| \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} \bar{f}(\lambda)}{\sum_{\lambda=380}^{780} s(\lambda)} \times s(\lambda) - \bar{f}(\lambda) \right| \times 100 (\%) \quad [2]$$

ここに、 $f(\lambda)$: XYZ表色系における等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$

$s(\lambda)$: 等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ に対応する輝度計の相対分光応答度

注: f_2 は、 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ それぞれについて求める。

[3] 紫外分光応答特性

a. [1]によって得られた可視域における相対分光応答度の最大値と、波長350nm、360nm及び370nmそれぞれの相対分光応答度の値とを比較する。

$$\text{紫外分光応答特性} \quad f_3 = \frac{S_{\lambda UV}}{S_{\lambda Max}} \times 100 (\%) \quad [3]$$

ここに、 $S_{\lambda UV}$: 波長350nm又は360nm又は370nmにおける相対分光応答度

$S_{\lambda Max}$: 可視域における相対分光応答度の最大値

注: f_3 は波長350nm、360nm及び370nmそれぞれについて計算する。

b. FL20SBLB蛍光ランプの管中央部を、HOYA U-340フィルタを通して測定した値と、FL20W蛍光ランプの管中央部の輝度とを比較する。

但し、両測定における輝度計のレンジ及び測定角は同一とする。(図2参照)

$$\text{紫外分光応答特性} \quad f_3' = \frac{L_{\text{tUV}}}{L_0} \times 100 (\%) \quad [3]'$$

ここに、 L_{tUV} : U-340フィルタを通して測定したFL20SBLB蛍光ランプの値

L_0 : FL20W蛍光ランプの輝度測定値

[4] 赤外分光応答特性

- a. [1]によって得られた可視域における相対分光応答度の最大値と、波長790nm、800nm及び810nmそれぞれの相対分光応答度の値とを比較する。

$$\text{赤外分光応答特性} \quad f_4 = \frac{S_{\text{AIR}}}{S_{\lambda\text{Max}}} \times 100 (\%) \quad [4]$$

ここに、 S_{AIR} : 波長790nm又は800nm又は810nmにおける相対分光応答度
 $S_{\lambda\text{Max}}$: 可視域における相対分光応答度の最大値

注: f_4 は波長790nm、800nm及び810nmそれぞれについて計算する。

- b. 分布温度2856Kの白熱電球で照射された白色拡散反射面について、HOYA IR-80フィルタを通して測定した値と、フィルタを通さずに測定した輝度とを比較する。(図3参照)

$$\text{赤外分光応答特性} \quad f_4' = \frac{L_{\text{tIR}}}{L_0} \times 100 (\%) \quad [4]'$$

ここに、 L_{tIR} : IR-80フィルタを通して測定した白色拡散反射面の値
 L_0 : 白色拡散反射面の輝度測定値

[5] 測定視野内における応答むら特性

輝度計を最大測定角にし、図4に示すように測定視野の縦横10等分の碁盤の目の交点に、測定視野の面積の直径の1/10を超えない直径の円形の安定な輝度面を移動設置させて表示の変化を読む。

注1: 輝度計は輝度面に焦点を合わせる。

注2: 輝度面以外からの光は輝度計に入らないように注意する。

注3: 輝度面は発光ダイオード、又は小形ハロゲン電球と拡散透過板で作る。

$$\text{測定視野内における応答むら特性} \quad f_5 = \frac{L_X - L_M}{L_M} \times 100 (\%) \quad [5]$$

ここに、 L_X : 各交点に輝度面を置いたときの表示($L_1, L_2, \dots, L_n$)

$$L_M: \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n}$$

[6] 直線偏光に対する応答特性

積分球内に全光束標準電球を点灯するか又は積分球内に小孔を通して光を導入し、積分球開口部(むらの無い拡散透過板をはめ込む。)近くに置いた偏光度が100%に近い偏光子を回転しながら拡散透過板の輝度を測定し、表示の変化を調べる。(図5参照)

光の偏光特性を変調させない光学系で構成されている輝度計については、この評価方法は適用しなくてよい。

$$\text{直線偏光に対する応答特性} \quad f_6 = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_{\text{Max}} + L_{\text{Min}}} \times 100 (\%) \quad [6]$$

ここに、 L_{Max} : 測定された輝度の最大値

L_{Min} : 測定された輝度の最小値

[7] 被測定面積の正確さ

被測定面に置いた尺度目盛によって調べる。視野直視形でない輝度計の場合は、点光源を測定角の範囲に近接させて、表示の立ち上がり、立ち下がりから被測定面積の大きさを測定する。(図6参照)

$$\text{被測定面積の正確さ} \quad f_7 = \frac{A - A_0}{A_0} \times 100 (\%) \quad [7]$$

ここに、 A : 製造者の示した公称面積

A_0 : 実測面積

[8] 測定視野外からの光(迷光)による影響

被測定面積の10倍以上の大きさの等輝度面を用い、その中央部に被測定面積より10%大きい黒い面を置き、黒い面を置いたときと置かないときの輝度計の表示から求める。(図7参照)

注: 低輝度レンジの最大値に近い輝度について行う。

$$\text{迷光による影響} \quad f_8 = \frac{L_B}{L_0 - L_B} \times 100 (\%) \quad [8]$$

ここに、 L_B : 黒い面を置いたときの輝度計の表示

L_0 : 黒い面を置かないときの輝度計の表示

[9] 近接レンズを用いたときの補正係数の誤差

輝度一様な面の輝度を測定し、次に輝度計に近接レンズを装着し、輝度面の中央部の輝度を近接測定する。二つの輝度比から近接レンズを用いたときの補正係数を算出し公称補正係数を確認する。(図8参照)

注1: 輝度面の中央部の輝度を近接測定するときは、測定される面積の直径の約2倍の直径の孔を有する黒色遮光板を輝度面に重ね、測定される面積以外からの迷光が輝度計に入射するのを減少させる。

注2: 輝度面の輝度の一様性は予め確認しておく。

注3: 近接レンズを用いたときの補正係数 $C_0 = L_0 / L_a$

$$\text{補正係数の誤差} \quad f_9 = \frac{C - C_0}{C_0} \times 100 (\%) \quad [9]$$

ここに、 L_0 : 近接レンズを装着しないで測定した輝度面の中央部を含む輝度測定値

L_a : 近接レンズを装着して測定した輝度面中央部の輝度測定値

C_0 : 実測による補正係数

C : 製造者の示した補正係数の公称値

[10] 零位の時間的偏位

輝度計の電気回路の予熱終了後、零位調節を行ってから輝度計を遮光した状態で10分間隔で7回零位表示を読み、その変化を調べる。

自動零位調節の機能を備えた輝度計については、この評価方法は適用しない。

$$\text{零位の時間的偏位} \quad f_{10} = \frac{R_x}{R_{\text{Max}}} \times 100 (\%) \quad [10]$$

ここに、 R_x : 7回の表示の中での最大値
 R_{Max} : そのレンジでの最大値

[11] 疲労特性

輝度計の電気回路の予熱終了後、一定輝度の面について輝度計に光を入射させた10秒後の輝度測定値と、引き続き光を入射させた30分後の輝度測定値とを比較する。

$$\text{疲労特性} \quad f_{11} = \frac{L_{30} - L_0}{L_0} \times 100 (\%) \quad [11]$$

ここに、 L_{30} : 光入射後30分時の輝度測定値
 L_0 : 光入射後10秒時の輝度測定値

[12] 安定性

輝度計の電気回路の予熱終了後、一定輝度の面を10分間隔で7回測定し、測定値の変化を調べる。

$$\text{安定性} \quad f_{12} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_M} \times \frac{1}{2} \times 100 (\%) \quad [12]$$

ここに、 L_{Max} : 7回の輝度測定値の中の最大値
 L_{Min} : 7回の輝度測定値の中の最小値
 L_M : 7回の輝度測定値の平均値

[13] 再現性

一定輝度の面を1日3回(1時間以上の間隔をおく)、3日にわたり計9回測定し、測定値の変化を調べる。

$$\text{再現性} \quad f_{13} = \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{L_M} \times \frac{1}{2} \times 100 (\%) \quad [13]$$

ここに、 L_{Max} ： 9回の輝度測定値の中の最大値
 L_{Min} ： 9回の輝度測定値の中の最小値
 L_{M} ： 9回の輝度測定値の平均値

[14] 温度特性

輝度計を $0 \pm 2^\circ\text{C}$, $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 及び $40 \pm 2^\circ\text{C}$ の五つの温度にそれぞれ2時間保持した状態で、それぞれの温度において一定輝度の面の輝度を測定し、測定値の変化を調べる。

- 注1: 輝度計は温度槽の中に設置し、輝度面は温度槽外に設置する。
 注2: ガラス窓のない温度槽の場合は、測定するときのみ扉を開け、速やかに測定を行う。

$$\text{温度特性} \quad f_{14} = \frac{L_t - L_0}{L_0} \times 100 (\%) \quad [14]$$

ここに、 L_t ： $0 \pm 2^\circ\text{C}$, $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 及び $40 \pm 2^\circ\text{C}$ の各温度における輝度計の測定値
 L_0 ： 温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ のときの輝度計の測定値

注: f_{14} は $0 \pm 2^\circ\text{C}$, $10 \pm 2^\circ\text{C}$, $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 及び $40 \pm 2^\circ\text{C}$ の各温度について計算する。

[15] 湿度特性

湿度65%以下の環境において、一定輝度の面についての輝度測定値と、湿度85~95%の範囲の環境に3時間輝度計を放置した後、速やかにもとの湿度環境において同一輝度面について行った輝度測定値とを比較する。

注: 輝度計表面(レンズを含む)の水滴を拭き取ってから測定を行う。

$$\text{湿度特性} \quad f_{15} = \frac{L_h - L_0}{L_0} \times 100 (\%) \quad [15]$$

ここに、 L_h ： 湿度85~95%の範囲の環境に3時間輝度計を放置した後に行った輝度測定値
 L_0 ： 湿度65%以下の環境において行った輝度測定値

[16] 断続光に対する特性

輝度計に時間的に定常な光を入射させたときの表示を読み、次にこの光を2分の1周期は透過し、2分の1周期は遮断するように、100Hz又は200Hzの周波数で断続したときの表示を読んでこれら二つの表示を比較する。(図9参照)

注1: 断続光を作るには4分割の回転セクタを用いる。

注2: 定常光又は断続光は同一面を照射するものとし、輝度計はその面の輝度を測定する。

$$\text{断続光に対する特性} \quad f_{16} = \frac{2L_c - L_0}{L_0} \times 100 (\%) \quad [16]$$

ここに、 L_c : 断続光に対する輝度測定値

L_0 : 定常光に対する輝度測定値

[17] 表示の正確さ

部分的に透過のむらの無い乳白ガラス(透過光の配光が余弦配光に近い厚さのものを選ぶ)の中心を垂直に通る測光軸に光度標準電球の測光方向を一致させて電球を点灯し、乳白ガラスを照射させる。

乳白ガラスには面積既知の孔を有する黒色のマスクを孔の中心を測光軸が通るように重ね合わせ、これを標準輝度面とする。

測光軸が照度計の測定規準面を垂直に且つ受光面の中心を通るように照度計を標準輝度面に対して電球と反対側に設置して、標準輝度面からの光による照度を測定する。標準輝度面の測光軸方向の輝度は次により求める。

$$L = \frac{E \cdot s^2}{A}$$

ここに、 L : 標準輝度面の測光軸方向(法線方向)の輝度

E : 照度計による照度測定値

s : 標準輝度面と照度計の測定基準面との距離(m)

A : 黒色マスクの孔の面積(m²)

次に輝度計を照度計と置き換えて標準輝度面の測光軸方向の輝度を測定する。(図10参照)

表示の正確さは次により求める。

$$\text{表示の正確さ} \quad f_{17} = \frac{L_D - L}{L} \times 100 (\%) \quad [17]$$

ここに、 L_D : 輝度計の表示

L : 標準輝度面の輝度

注1: 光度標準電球の光中心と乳白ガラスとの距離は、電球のガラス球の最大寸法又はマスクの孔の直径の何れか大きい方の寸法の10倍以上にとり、乳白ガラスに一樣な照度を与えるようにする。

注2: 乳白ガラスは厚さ約2mmのものを用いる。

注3: 光度標準電球は約3000cd、約300cd、約30cdを用意すれば、約100 cd/m²、約10cd/m²、約1cd/m²の標準輝度面を得ることができる。

注4: 乳白ガラスの分光透過率により、標準輝度面からの光の分布温度は標準電球の光の分布温度よりも約300K低くなる。

注5: 標準輝度面と照度計の測定基準面との距離はマスクの孔の直径又は照度計受光面の直径の何れか大きい方の10倍以上にとり、輝度計の最近接測定距離以上とする。

そ の 他

[18] 測定距離の変化による影響

同一輝度面をそれぞれ焦点を合わせた状態で近距離又は遠距離で測定した場合、視野絞りのない輝度計では、輝度測定値が変化するので注意を要する。

[19] 外部磁界による影響

光電子増倍管を用いた輝度計は磁界の影響を受けやすいので、測定中、近くに強力な磁界のないことを確かめる。

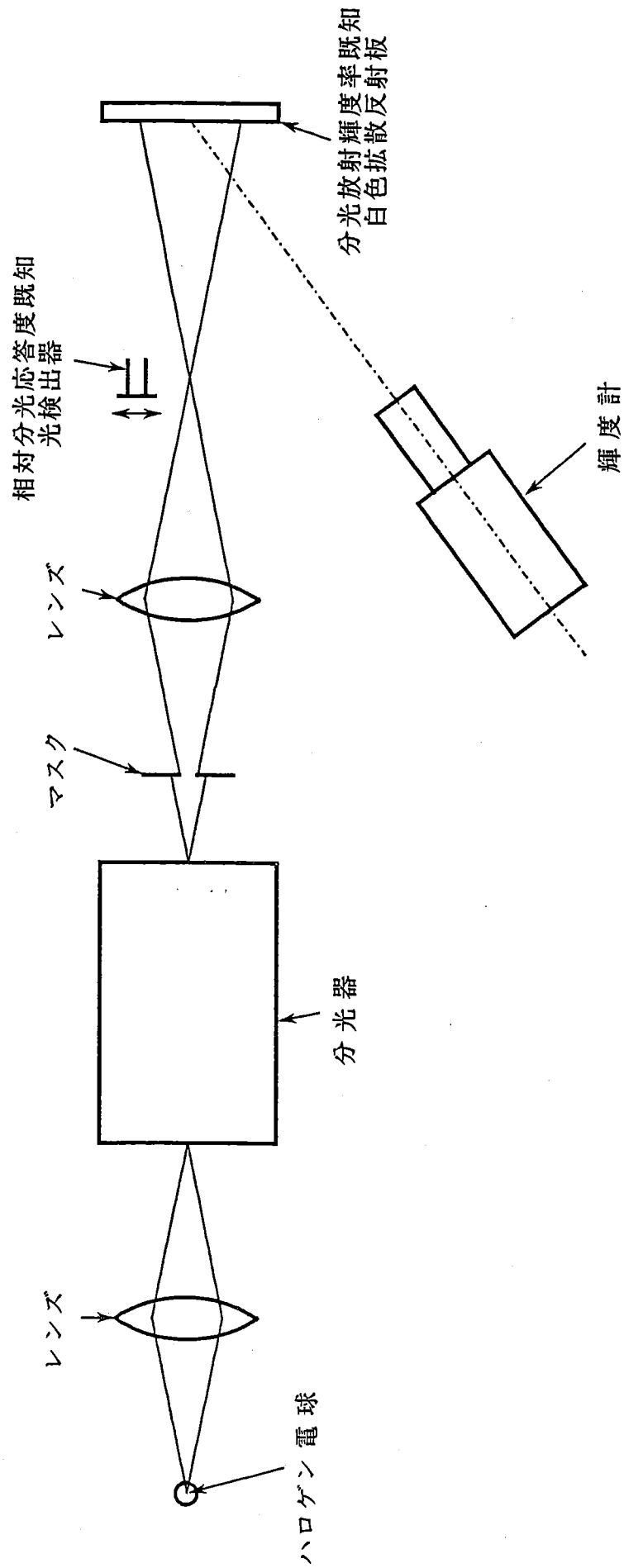


図1 輝度計の相対分光応答度の測定

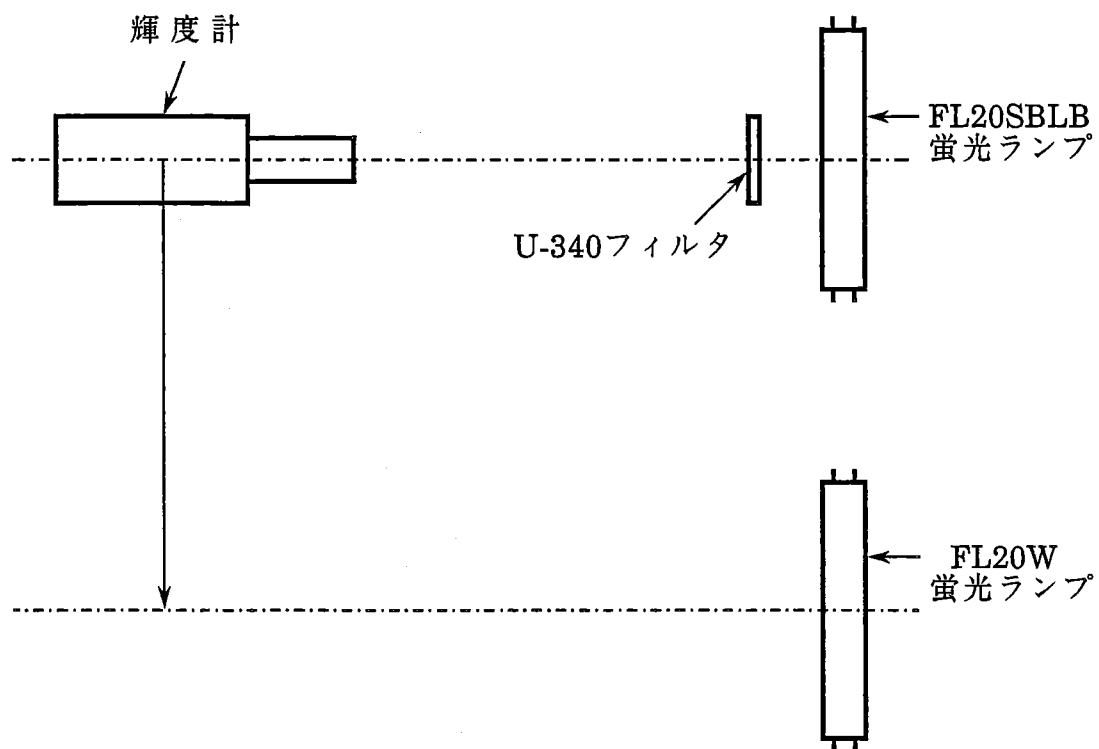


図2 紫外分光応答特性の測定

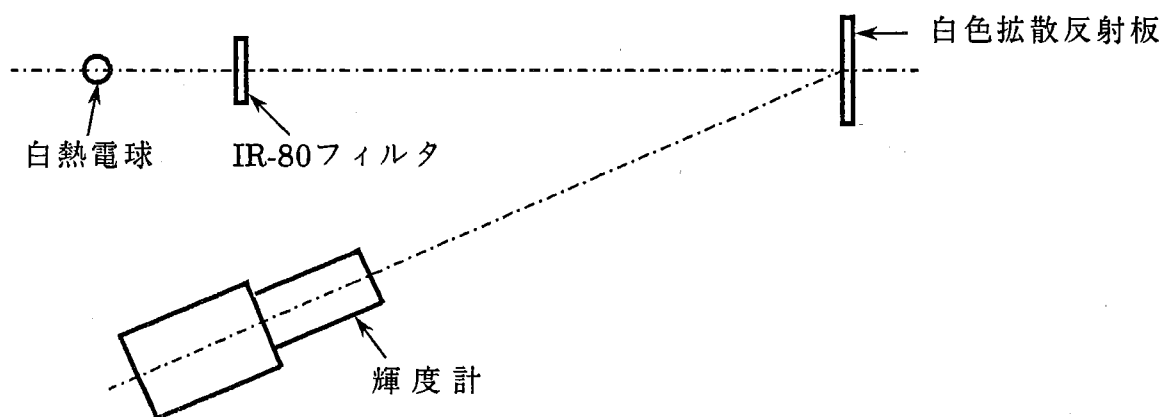
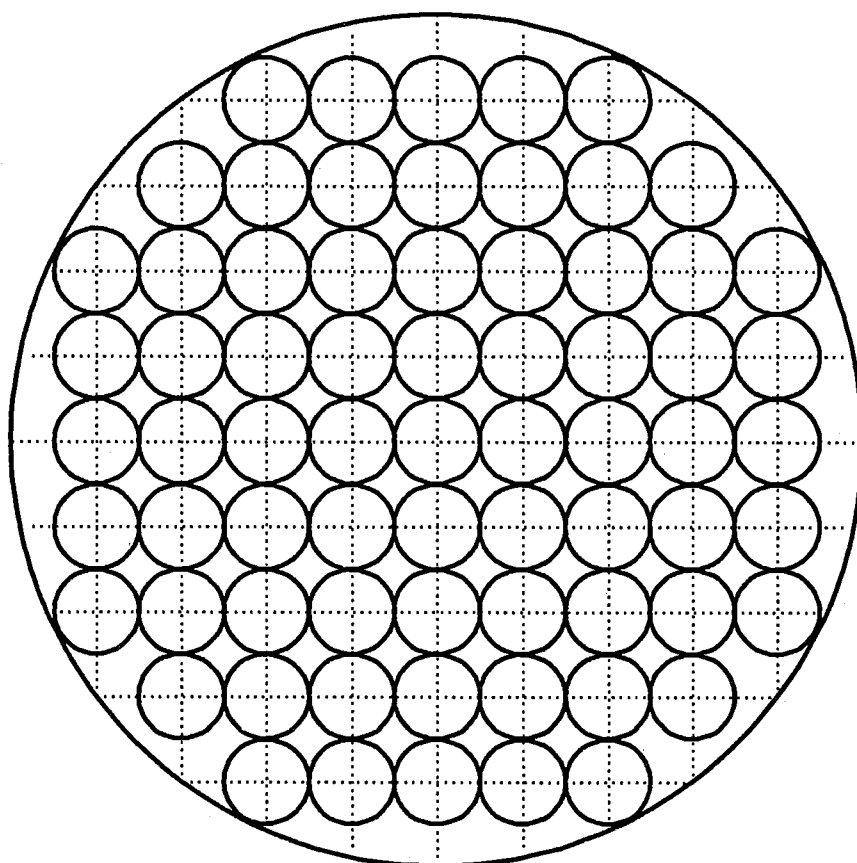


図3 赤外分光応答特性の測定



測定点総計69点

図4 視野内における応答むらの測定点

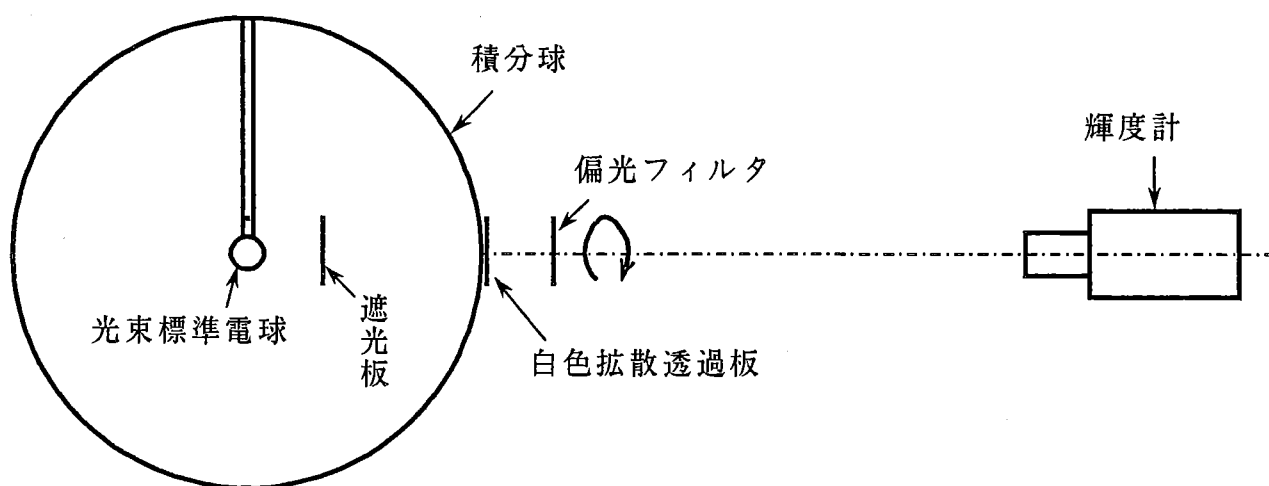


図5 直線偏光に対する応答特性の測定

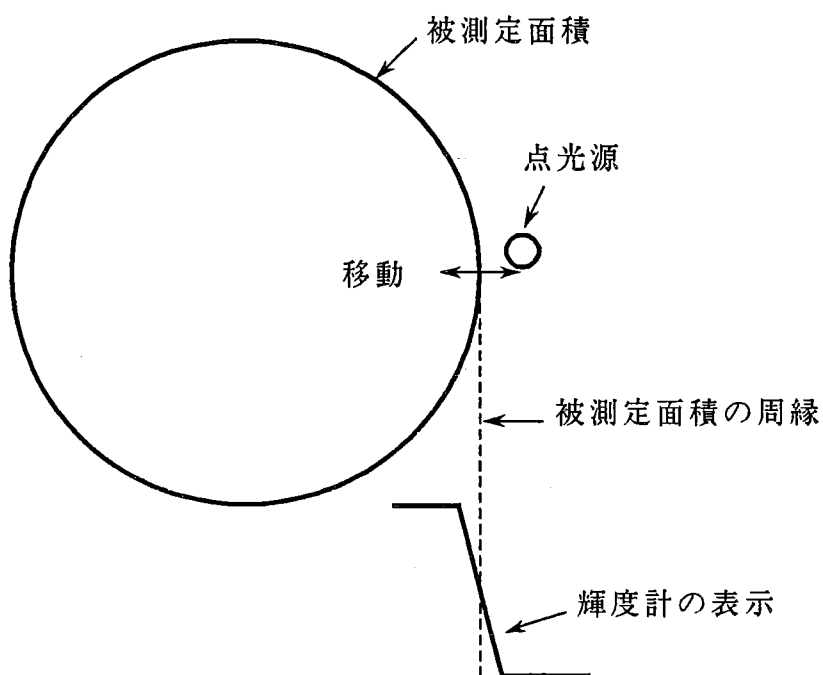


図6 被測定面積の求め方

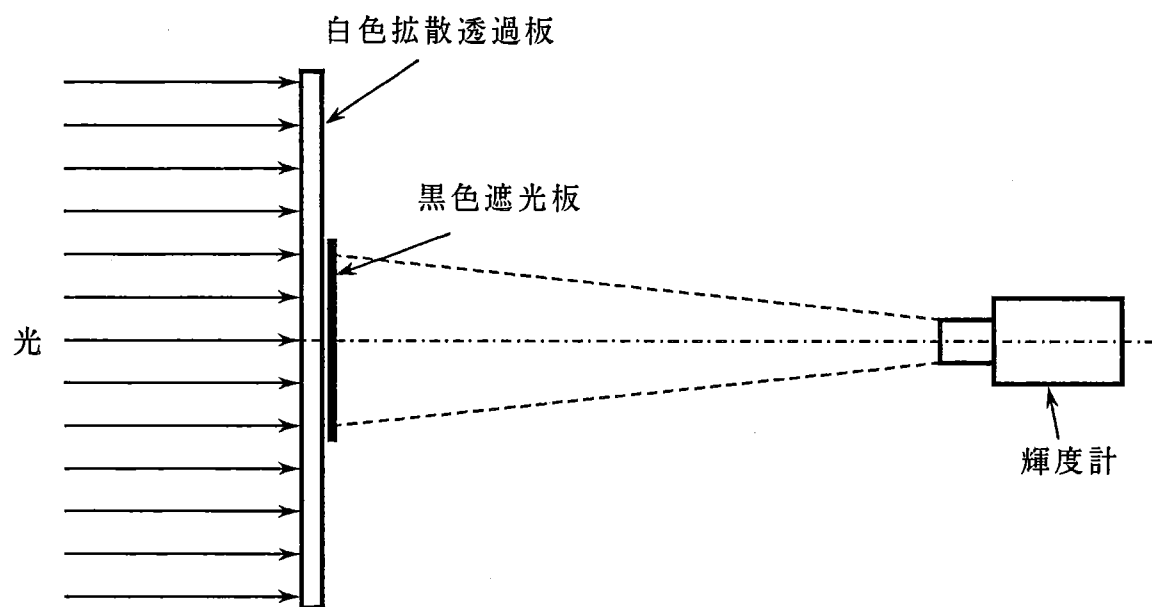


図7 迷光による影響の測定

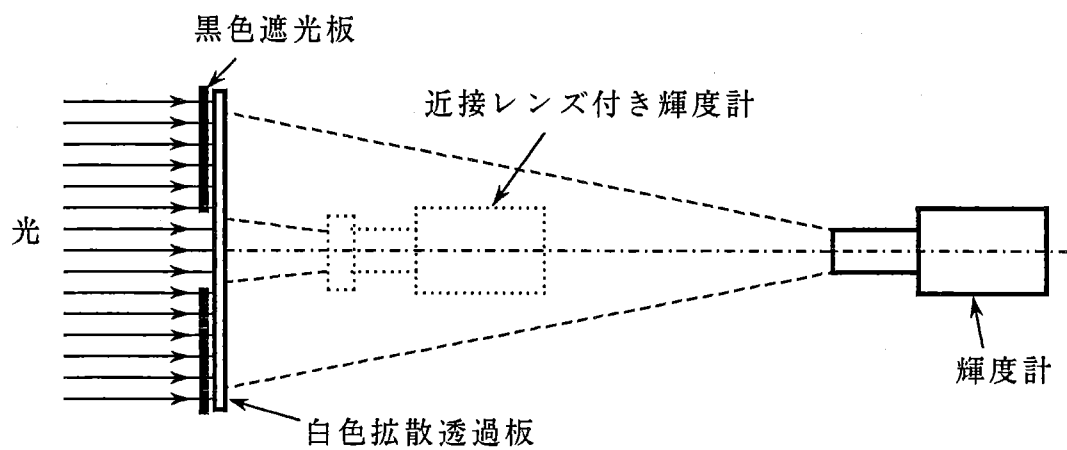


図8 近接レンズを用いたときの輝度計の校正

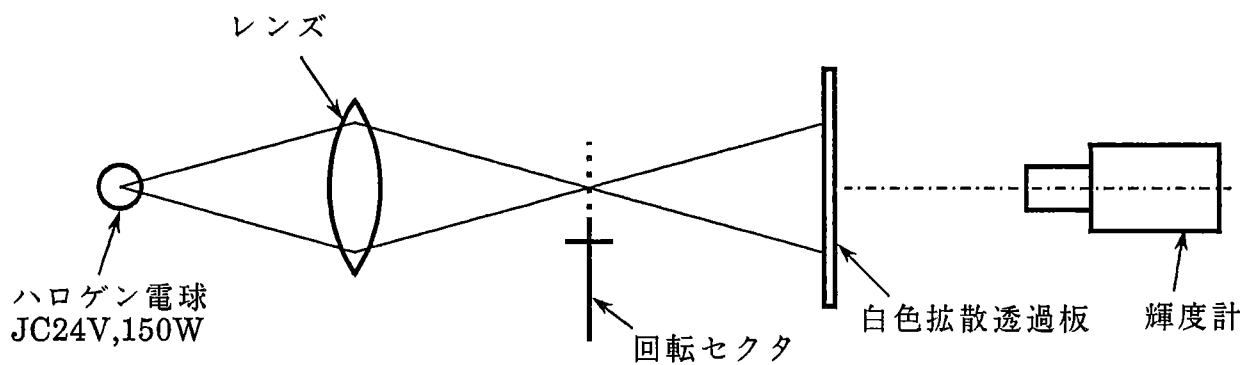


図9 断続光に対する特性の測定

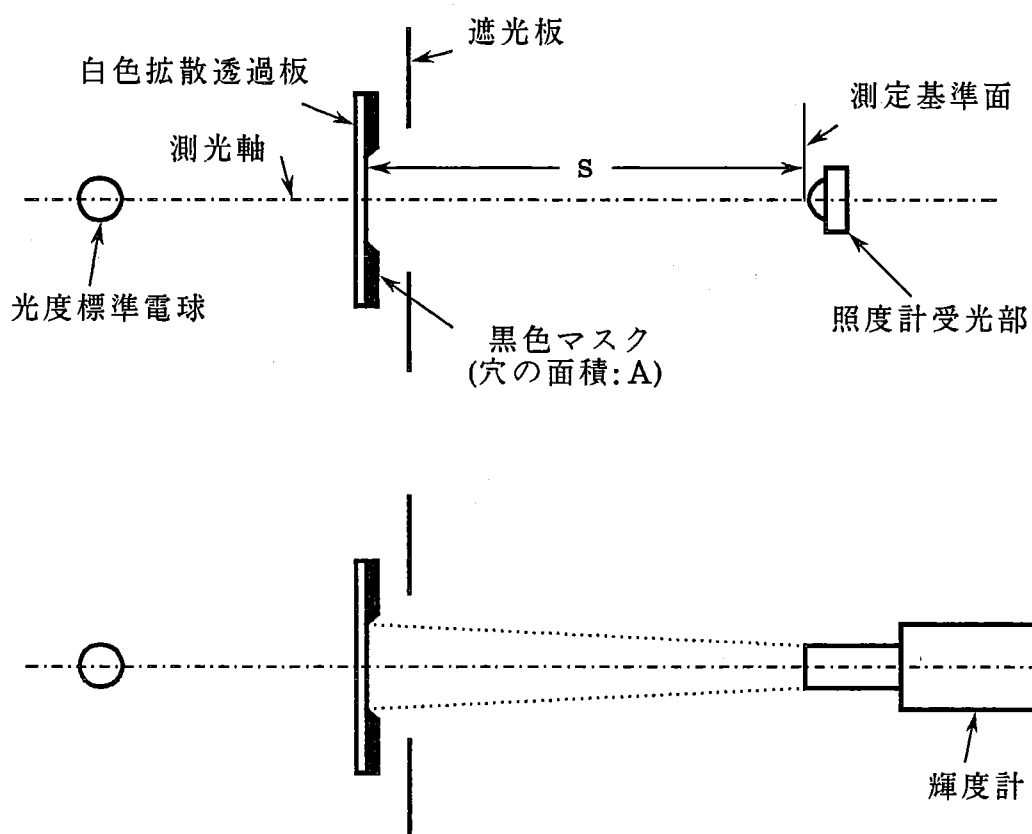


図10 表示値の校正

5. 測定上の注意事項

5.1 輝度測定におけるピント合わせ

レンズ式輝度計では、対物レンズによって測定視野を像面絞り上に結像することにより、予め定められた測定角内の光のみを光電素子に導いて輝度を測定している。図5.1の(a)は、この場合の測定角特性を示している。そのため、この種の輝度計には測定視野との距離によって、対物レンズを動かして像面絞り上に像を結ばせるピント合わせの機構が装備されている。

輝度の測定に際して、この対物レンズによるピント合わせが不十分である場合には、光電素子に導かれる視野中心からの光が減少するとともに、予め定められた測定角外の光も光電素子に入射してしまい、測定角特性が図5.1の(b)のようになってしまう。

測定する発光面が測定視野に比べて十分広い均一な輝度面である場合には、ピント合わせが不十分であっても、輝度の測定値に誤差は生じないが、そうでない場合には上述のように測定角特性が悪くなり、正確な輝度を測定することができなくなってしまうので、正しくピントを合わせることが重要である。

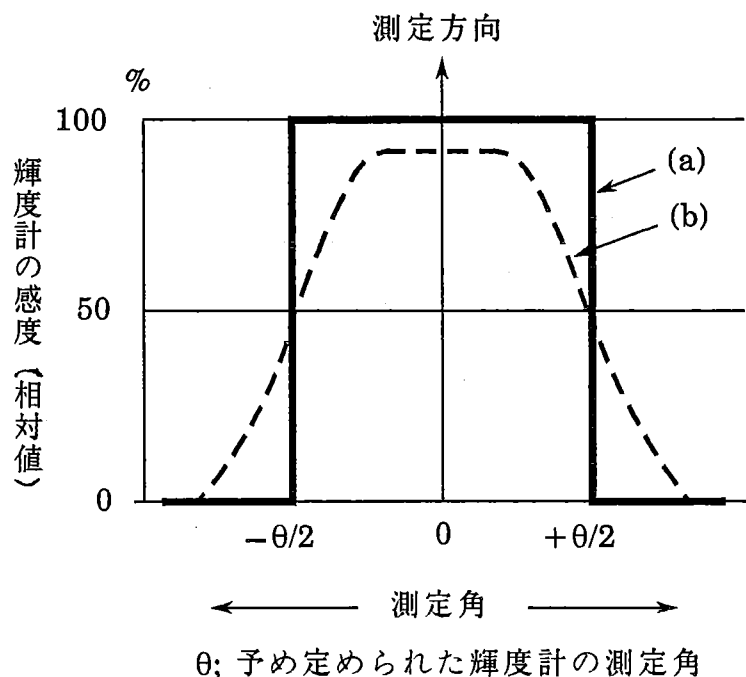


図5.1 レンズ式輝度計の測定角特性

5.2 測定角内の輝度が一様でない被測定面の測定

輝度の測定はその方法の原理上、被測定面については輝度計の測定角内の視野が一様な輝度の発光面で満たされた状態を前提に、また輝度計については光学系を含む光電素子の空間的応答むらがないことを前提にしている。

しかし現実には、被測定面及び輝度計の双方ともそのような条件を満たしてはいないのが普通であり、それらのうち、後者については応答むらの程度を輝度計の性能評価項目の一つとしてあげることができるわけである。

これに対して前者については、

- (1) 輝度が一様ではないが、測定角内の視野が発光面で満たされる場合は、輝度計の指示値はその範囲内の平均的な輝度値を示すものと見なすことができる。
 - (2) 発光面の大きさや形状により、若しくは輝度計の測定角及び被測定面と輝度計との距離の設定値によって、測定角内の視野が発光面で満たされない場合には、発光部分の輝度が一様であり、発光部分以外の輝度は零であるという仮定のもとに、輝度計の指示値に、測定角内の視野全体の面積の、その範囲内の発光部分の面積に対する比率(>1)を掛けることによって、発光部分各部の平均的な輝度値を算出することができる。
- 但し、この場合には算出のために使用するそれぞれの面積の精度が、得られた輝度値の正確さに直接影響を及ぼす。

5.3 被測定面積の周囲に高輝度の面がある場合

被測定面積の周囲(測定角外)に高輝度の面がある場合には、その高輝度の面からの光が、輝度計の鏡筒内部を照射して散乱し、その散乱光が光電素子に到達することによって、輝度計の指示値は高輝度の面が被測定面積の周囲にない場合よりも大きくなる。

このようなことが起こるのを防ぐためには、高輝度の面を暗幕などで覆うことが望ましいが、それができない場合には、高輝度の面からの光が鏡筒に入射しないように、適切な穴あき黒色艶消し遮光板を適当な枚数用意して、鏡筒の前方に設置するとよい。

5.4 偏光した光の測定

一般に光源や物体からの光は、大なり小なり部分偏光の光である。

輝度計の光電素子は、狭い角度で受光面に垂直に入射した光に対しては、その光が偏光していても、偏光していなくても、光の量が等しければ出力も等しい。

また、レンズも狭い角度で光軸に沿って入射した光については偏光の状態を殆ど変えることなく透過させる。すなわち、レンズの透過率は入射光が偏光していても偏光していなくても殆ど変わらない。

ところが、レンズと光電素子との間に半透明膜反射鏡が光軸に対して 45° に置かれているような構造の輝度計では、この半透明膜反射鏡の透過率が入射した光の偏光特性によって変化するので、偏光度が大きいと思われる光の測定にはこのような構成の輝度計の使用は避けるべきである。

5.5 指向性の強い光源の測定

光源が白熱電球の場合には、その光度 I と測定距離 s における照度 E との間に、 s が電球のガラス球の最大寸法の10倍以上であるという条件のもとに、任意の s の値に対して次の関係が成立する。

$$E = I/s^2 \quad (5.5.1)$$

したがって逆に照度を測定して、これに距離の二乗を掛ければ、電球の光度が求められる。すなわち、

$$I = E \cdot s^2 \quad (5.5.2)$$

となる。

ところが、レンズ付き発光ダイオードのような指向性の強い光源の場合には、レンズの作用のために上述の照度の逆二乗の法則を適用することができないので、照度を測定して式(5.5.2)で光度を計算すると、その値は測定距離 s に対して一定にならない。

これと同様に、輝度計でこのような発光ダイオードの輝度を測定した場合にも、たとえ発光ダイオードのチップ自体の発光には部分的なむらが無くても、輝度計の測定距離が変わることによって輝度測定値も変化する。すなわち、輝度は光度をその方向における見掛けの面積で割った値であるから、光度が一定の値を取り得ない場合は輝度も一定の値にはなり得ないことになる。

したがって指向性の強い光源の光度や輝度を評価する場合には、照度計の測定距離及び受光の立体角、若しくは輝度計の測定距離及び測定角を、測定者相互間で予め申し合わせて同一の条件とすべきである。

5.6 脈動光、断続光の測定

放電灯、発光ダイオード、蛍光表示管などを変調発光させている場合、若しくはテレビ画面のように変調された光を発する光源の輝度測定値は、発光周波数が輝度計の最低限界周波数を超えないと、安定な値が得られないので、データの扱いには注意が必要である。

最低限界周波数とは、正弦波形の光とその算術平均値に等しい定常光を測定したとき、両者の差が5%を超えない読みとなる周波数であり、個々の輝度計の時間的応答特性で与えられる固有の周波数といえる。

最低限界周波数以下の光を測定する場合には、指示値が大きく変動するので最高値をとってその旨明記すべきである。また、炎のように不規則なゆらぎ発光をする場合には、平均値と最高値を併記すべきであろう。

テレビ画面は、極めて輝度の高い微小な発光点の極めて高速の走査によって与えられる錯視現象と考えられる。したがって測定面積を微小にしていくと、光電素子は鋭いパルス光にさらされるので、時間的応答特性の差が大きく影響することが予想されるから測定面積ができるだけ広くなるように構図などを工夫すべきである。

5.7 赤や青などの有彩色面の測定

輝度計の受光部の相対分光応答度 $s(\lambda)$ は、標準比視感度 $V(\lambda)$ に完全に一致していることが理想である。しかし、現実にはそれは極めて困難であり、輝度計の製造者の努力にも拘らず、完全整合を期待することは現在では無理がある。そのため分布温度2856Kの光によって校正された輝度計の表示は、同じ分布温度の光の測定については $s(\lambda)$ の $V(\lambda)$ に対する整合が悪くても正しい表示となるが、測定しようとする光の分光分布が分布温度2856Kの光の分光分布と異なる場合は、 $s(\lambda)$ の $V(\lambda)$ に対する整合の程度に対応して表示に誤差が含まれてくる。

また一つの輝度計について言えば、測定しようとする光の分光分布が分布温度2856Kの光の分光分布と異なる度合いにしたがってこの誤差が大きくなる。つまり赤や青のような有彩色面の輝度の測定は誤差が大きく含まれた表示が与えられやすいことが一般的に言えるのである。

この誤差を補正するには次のような方法で行う。

- (1) 輝度計の受光部の相対分光応答度 $s(\lambda)$ を求めておく。
- (2) 基準となる標準の光Aの相対分光分布 $S_s(\lambda)$ を付表から求める。
- (3) 測定しようとする発光面または二次発光面の相対分光分布 $S_t(\lambda)$ を測定する。

注)上記(1)~(3)の分光的な数値は可視域5nm毎に求める。

- (4) 上記の値から次式によって色補正係数 k を求める。

$$k = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} S_t(\lambda)V(\lambda)\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} S_s(\lambda)V(\lambda)\Delta\lambda} \cdot \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} S_s(\lambda)s(\lambda)\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} S_t(\lambda)s(\lambda)\Delta\lambda} \quad (5.7.1)$$

- (5) 輝度計の表示値を L_d とすれば、補正後の輝度 L は次式で求められる。

$$L = k \cdot L_d \quad (5.7.2)$$

5.8 近接レンズを使用した場合の輝度測定値の補正

近接レンズを使用した場合には、その透過率の影響によって表示値が減少する。すなわち、十分に広い輝度が一様な面を測定した場合、近接レンズを使用しない場合の輝度 L_0 と近接レンズを使用した場合の輝度 L_m の間には以下の式が成り立つ。

$$L_m = \tau \cdot L_0 \quad (5.8.1)$$

ここに、 τ : 透過率($0 < \tau < 1$)

したがって、

$$L_0 = (1/\tau) \cdot L_m \quad (5.8.2)$$

となる。

近接レンズには通常、 $1/\tau$ を補正係数として記載されているので、表示値にこの補正係数を掛けて補正することが必要である。

5.9 測定値に付記すべき事項

被測定対象物の状態、条件等を記録する他に次の各項について記録する。

(1) 輝度計に関する記録

輝度計の形名、測定レンジ、測定角、測定距離、測定方向、被測定面積の大きさ、近接レンズを用いたときはその形番、校正年月日など。

(2) 表示値に対する補正の記録

(3) 環境条件の記録

測定年月日、測定開始及び終了時刻、場所の概況、天候、温度、湿度、大気の状態(霧、煙、埃等)などのうち必要な事項。

6. 輝度測定の実例

輝度測定の実例として、照明施設、自動車灯火器関係、蛍光表示管、発光ダイオード(LED)、VDU(視覚表示部)の輝度測定及び灯火の見え方実験における輝度計の使用について述べる。

また、輝度測定だけでなく、色度の測定が可能な輝度計による測定例として、光源色・物体色の色度測定例を示す。

輝度計を実際に使用して測定する場合には、輝度測定の目的、測定対象の内容、測定条件などをよく考慮し、特に測定角、測定範囲、色補正、照準、電源、校正などに注意して輝度計を選定しなければならない。

6.1 照明施設における輝度測定例

6.1.1 屋内照明施設の場合

屋内照明施設の測定では、視環境評価や照明改善などの技術データを得ることが目的となる。したがって、人間の居る位置から視野内に入ってくる照明器具、窓などを含めて天井、壁、床、作業面などの輝度分布をできるだけ細かく測定する必要がある。また、一般に照度測定が並行して実施され測定時間も長くなりがちのため、事前に十分測定の段取りを行うことが大切である。測定対象は比較的高輝度のランプ、照明器具から低輝度の壁、床まで幅が広くその形状、色も種々存在するので、測定上の注意事項のうち、特に5.1、5.2、5.3及び5.7項が重要である。

(1) 測定点

測定点は視線方向を中心として30°の範囲内について、特に細かく設ける方がよい。

(2) 測定角の決定

近距離からの測定が多いので、一般に測定角30°が用いられる。標準作業をする人間の目の位置に輝度計を置き、測定が行われるが、照明器具などは遠くにあるものほど、見掛けの発光面積が小さくなるので、30°よりさらに小さい15°とか6°の測定角に変えて測定する場合がある。

(3) 測定基準高さ

立作業の場合、基準高さは1.5m、椅子に腰掛けた場合では1.2m、座っている場合は0.85mに輝度計の高さを合わせて測定する。

(4) 測定条件の記録

5.9項に加えて照明条件(照明器具の種類、内装材の種類、色、電源電圧など)を記録する。また輝度計の位置から測定対象物の状況をインスタントカメラなどで撮影し、その上に測定値を記録すると、データ整理の際役立つ。図6.1-1は、同じ事務室でブラインドを開閉した場合の実測例を示している。照明器具は蛍光ランプ40W(白色)3灯用埋込下面開放面形である。視線方向を中心に角度目盛を入れてあるので、視線に対する人、物の位置関係がよく把握できる。

図6.1-2は、商業施設のサイン計画をするために現状の輝度分布を測定した例である。空間で目立った部分や、背景となるディスプレイ部の輝度を測定することにより設置するサインの輝度を決定することができる。

輝度計はこのような測定以外に各種グレア評価や光幕反射の評価などにも用いられている。

参考資料

- ・ 輝度測定方法調査表示管技術委員会、輝度測定方法指針、照学誌51-1(1967)
- ・ JIS C 7614-1970、輝度測定方法
- ・ CIE No.29、Guide on Interior Lighting 米国IES編:Technical Report No.10 Evaluation of Discomfort Glare, the IES Glare Index System for Artificial Lighting Installations. 米国IES編:IES Lighting Handbook, 5thなど。

6.1.2 屋外照明施設の場合

屋外照明施設の輝度測定为例として、道路・トンネル照明施設や野球場などスポーツ照明施設、あるいは屋外広告物の輝度測定などをあげることができる。輝度測定を行う場合には、測定対象を決定したのち、それに応じて(1)輝度計の高さ(2)測定距離(3)測定視野の大きさ、などを適切に選ばなければならない。

現在、規格などに輝度測定の方法が示されているのは、道路照明(JIS Z 9111「道路照明基準」)だけであるので、ここでは屋外照明施設の例として道路照明をとりあげその輝度測定について紹介する。一般の他の屋外照明施設の輝度測定も、基本的には共通した部分が多いと考えてよい。

道路照明における輝度測定の対象は路面である。一般には平均路面輝度と輝度均斉度が測定される。平均路面輝度を測定する時の輝度計の高さは自動車の運転者の眼の位置を考慮して1.5mとする。これは、運転者の眼の位置が乗用車の場合約1.2m、トラックやバスの場合2m~2.5mといったようにまちまちであるため、これらを代表して1.5mとしたものである。

平均路面輝度測定の対象とするのは、輝度計の前方60mから160mまでの間の路面の輝度である。これは自動車の運転者がその安全運転のために十分な輝度を必要とする領域であるからである。この領域の路面は、1.5mの高さに置いた輝度計から俯角 0.5° ~ 1.5° の範囲に相当する。この範囲では、路面の反射特性(輝度率)が観測角(俯角)の影響を受けにくい。



図6.1.2-1 平均路面輝度測定用輝度計の測定視野

平均路面輝度の測定には道路の幅員に応じた大きさの図6.1.2-1に示すような台形を測定視野とするマスクを備えた輝度計を使用する。このようなマスクを備えた輝度計で実際の道路の路面輝度を測定すると、被測定面(台形)となっている路面とそれを照明する照明器具との位置関係によって、同じ道路照明施設、同じ路面の平均路面輝度を測定しても、輝度計で得られる測定値が様々に変動することに注意しなければならない。

図6.1.2-2、図6.1.2-3に示す2車線道路の透視図はその原因を説明したものである。図6.1.2-2に示す台形とその中の水平線は、1.5mの高さから測定の対象となる

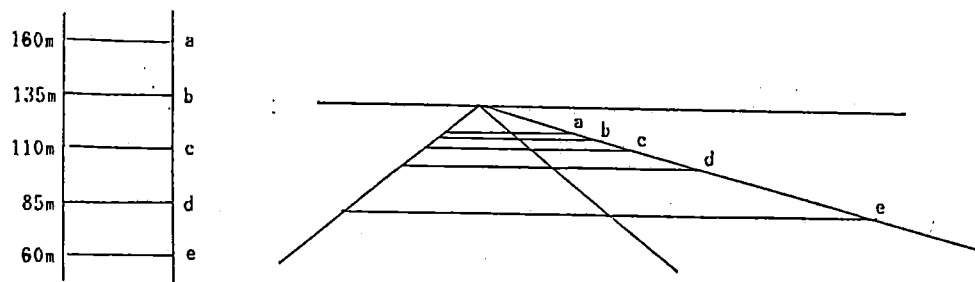


図6.1.2-2 輝度計の前方60m～160mの区間を4等分した時の2車線道路の透視図

前方の路面60mから160mまでの区間を4分割したものである。(相隣る水平線の路面上の距離は25m) したがって、図6.1.2-2の中のa、b、c、d、eはそれぞれ輝度計から160m、135m、110m、85m、60mの位置にある道路の横断線を示している。

一方、図6.1.2-3の(イ)(ロ)(ハ)(ニ)は、図6.1.2-2に示す長さ100mの測定対象となる路面上の輝度分布が、照明器具の位置に応じて2つの横断線a及びb、b及びc、c及びd、d及びeで分割される路面上の等面積の区間のうちの一つ(斜線を引いた部分)が他よりも輝度が低い状態になった時の透視図を示す。

これによって輝度が低い部分が、(イ)から(ロ)(ハ)(ニ)に移るにつれて、同じ長さ25mの領域の輝度が低くても、輝度を測定しようとする台形の中に占める面積が変化することがわかる。

これが、測定領域と照明器具の位置関係によって平均路面輝度の変化する理由である。このため、道路照明の効果を左右する運転者の眼の順応状態に対応した輝度を求めるには、上記の4つの平均路面輝度の値をさらに平均する。このように、平均路面輝度の平均の値をダイナミック平均輝度と呼ぶ。

実際の測定では、ダイナミック平均輝度を図6.1.2-4のように照明器具の1間隔を4等分し、A、B、C、Dと測定領域を移動させ、各領域に対して測定した平均路面輝度の値を算術平均して求める。

路面の最小輝度は、障害物の見え方を左右する背景の大きさを代表させるため、3m×30cmに相当する測定視野で測定する。(障害物の見え方と背景の大きさについての詳細は省略する。)照度測定の場合、路面全体の照度分布を測定してからでないと最小照度を知ることができないが、輝度測定の場合は、路面上の“明るさ分布”を目で見て、“最も低く見える”場所の付近の数箇所を測定すればよいことが多い。この場合、最小輝度を図6.1.2-5(イ)のように遠距離から測定するのが困難な場合が多いので、普通には図6.1.2-5(ロ)に示すように俯角を1°としたまま輝度計の位置を低くし、測定距離を短くして測定する。(測定視野は同じ)

路面の輝度均斉度は、上に述べたダイナミック平均輝度に対する最小輝度の比で表される。

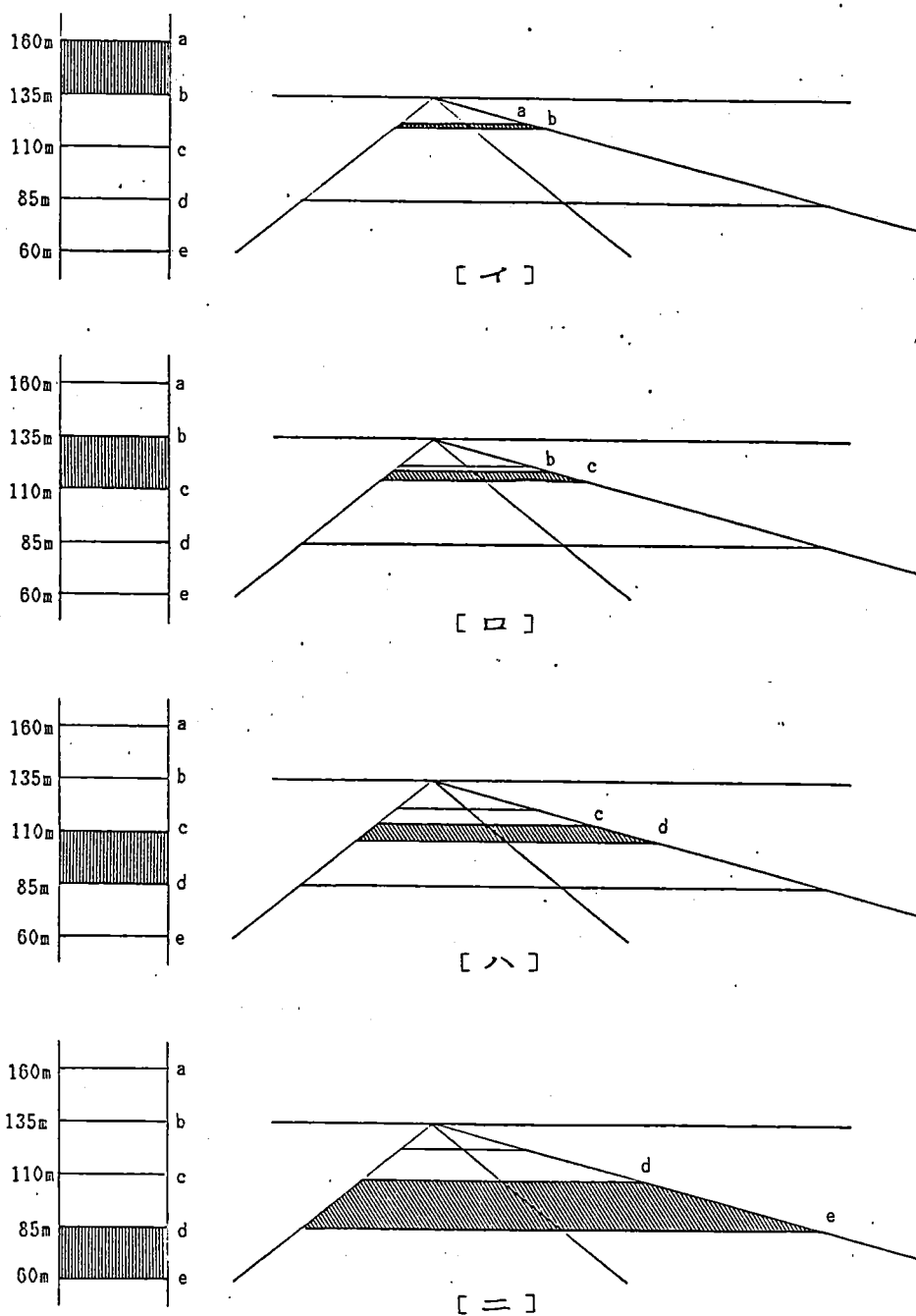


図6.1.2-3 平均路面輝度が変動することを説明する2車線道路の透視図

なお、照明施設の付近の大気に浮遊粉塵が多い場合、測定の対象物からの光がランベルト・ベールの法則にしたがって指数関数的に低下し、これによって輝度計の指示値が、至近距離から測定した値に比べて低下したり、測定方向の近辺に光度の大きな光源、発光体などがあると、これからの光が浮遊粉塵によって散乱さ

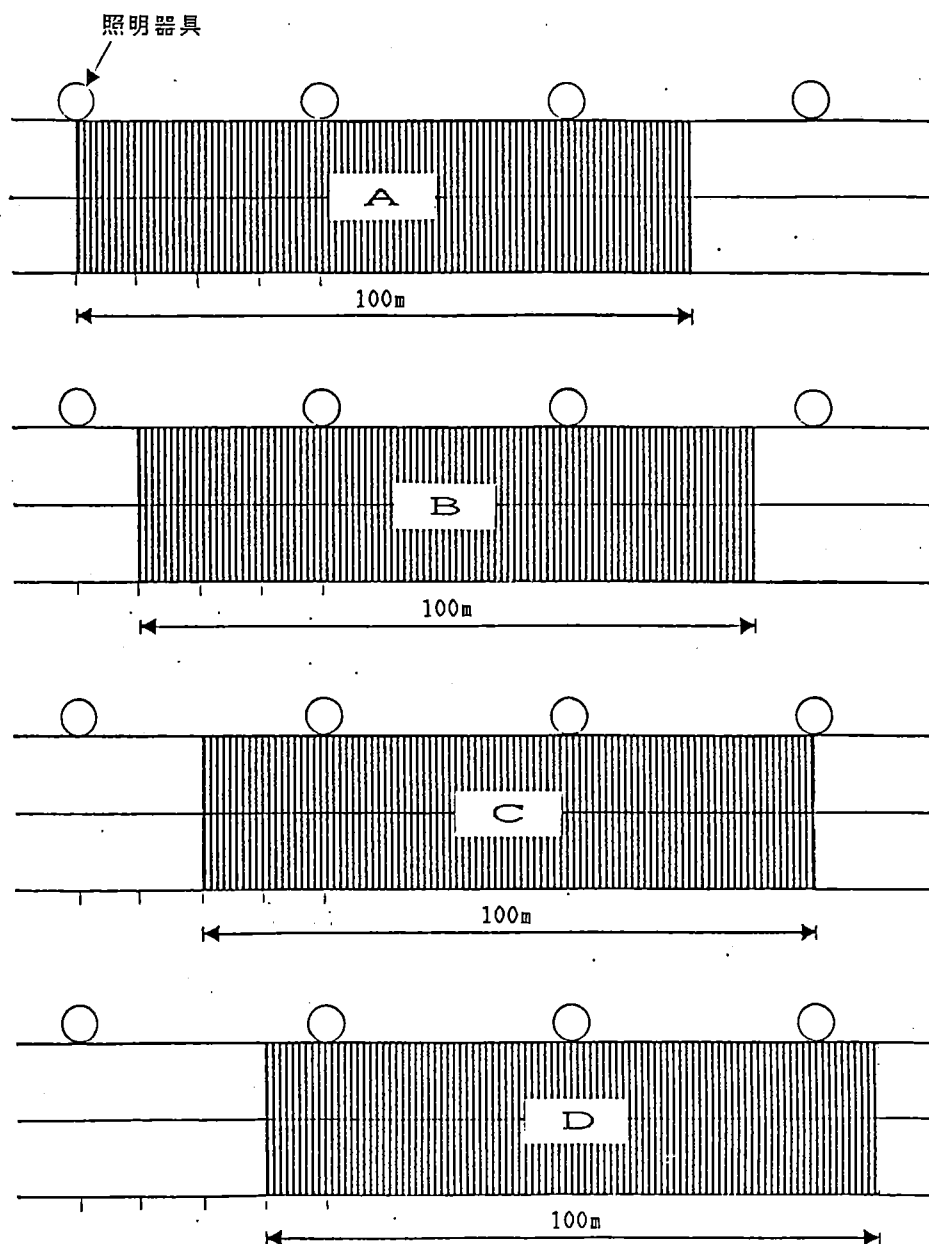


図6.1.2-4 路面のダイナミック平均輝度測定方法

れ、この散乱光が光幕となつその輝度が測定視野に重畳され、輝度計の指示値は高くなることがあるので注意を要する。この場合、測定の目的に応じて視野角と測定距離を選び、浮遊粉塵の影響によって増減する輝度の影響を除外して対象とする物体の輝度だけを忠実に測定したい時は近距離から測定する方がよい。

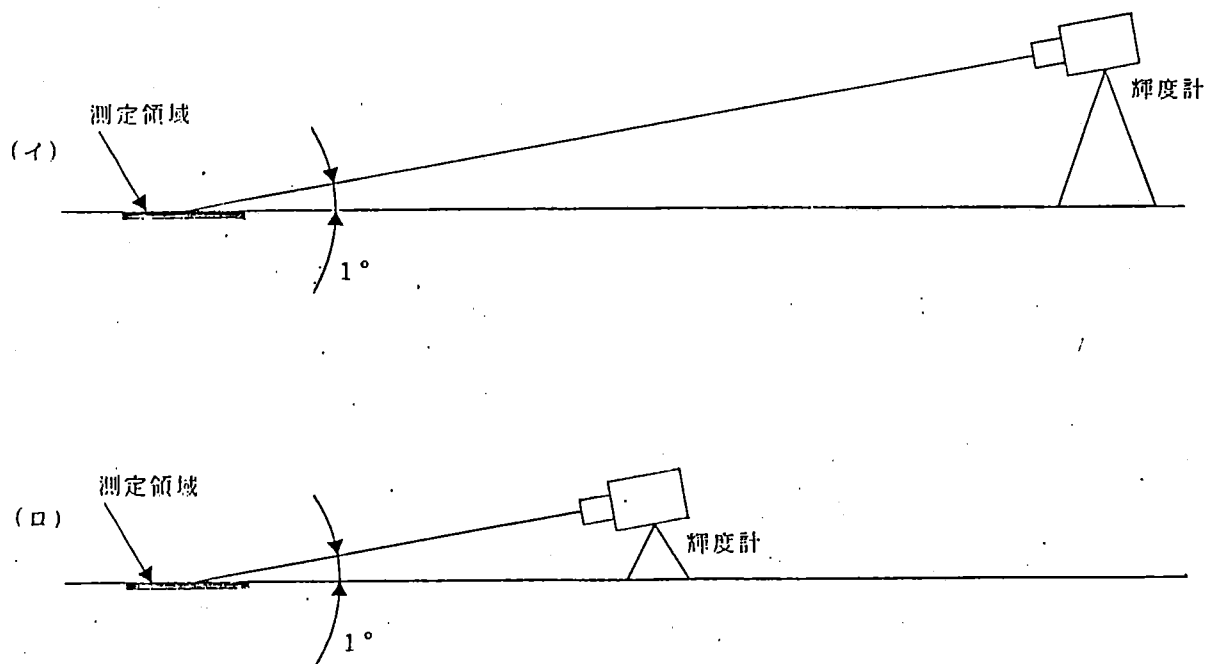


図6.1.2-5 路面の最小輝度測定方法

屋外照明施設の測定に使用する輝度計には、相対分光応答度の標準比視感度との整合特性(f_1, f_1')、測定視野内における応答むら特性(f_5)、直線偏光に対する応答特性(f_6)、測定視野外からの光(迷光)による影響(f_8)、安定性(f_{12})、温度特性(f_{14})、湿度特性(f_{15})等が特に重要である。

参考資料

- ・ JIS Z 9111-1969 道路照明基準

6.2 自動車灯火器関係の輝度測定における注意点

(1) リヤコンビネーションランプの輝度測定

自動車の後部に装着されている制動灯、方向指示器、尾灯などのリヤコンビネーションランプ(以下、ランプという)は、フレネルレンズや魚眼レンズを含んだ構造を持っている。このため、小面積(小さい測定角)での輝度測定値と、測定距離を短くして大きい測定角で測定した輝度測定値とは整合性が悪い。

このバラツキを小さくするため、通常、ランプの被測定面の面積を 1cm^2 以上、輝度計の測定角を $10'$ 以下にして測定している。

また、輝度計を用いなくて測定する方法も採用されている。これはランプの前に直径 3cm の穴をあけたマスク(絞り)を置き、その穴から出てきた光の照度を 5m の距離で測定し、その照度値から輝度値を計算で求める方法である。

(2) 前照灯の照射光による障害物及び路面の輝度測定

障害物の視認度を研究するため、障害物や背景(路面)の輝度を測定する場合、通常は測定距離を $10\sim 100\text{m}$ 、障害物の大きさを $20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 程度にする。このとき、視対象を見込む角度(視角)は約 $1^\circ\sim 0.1^\circ$ となる。そして $0.1\sim 0.01\text{cd/m}^2$ 程度の低い輝度を測定することが必要となる。このため、高感度の精密な輝度計を用意することが望ましい。

この実験を行うに当たっては、前照灯位置(または補助照明灯位置)、輝度計位置(ドライバーの目の位置)、測定対象位置(視対象や路面)及びそれらのなす角度(入射角、反射角、観測角)を正確に合わせる必要がある。特に前照灯と測定対象間の距離が 50m 以上の遠方となる場合は入射角を正確にする必要があり、誤差を $\pm 0.1^\circ$ 以内にしないと再現性のよいデータが得られない恐れがある。

6.3 蛍光表示管の輝度測定

7セグメント(「日」文字)やバーグラフ、あるいは特定の文字や記号などを表示する蛍光表示管の表示パターンの明るさを輝度計を使用して測定する場合、測定上の注意事項のうち、特に5.2項(測定角内の輝度が一様でない被測定面の測定)が重要であるが、具体的な実施要領は次の通りである。

(1) 測定場の環境

測定は原則として暗室あるいは周囲照度が十分低い場所で行う。

測定しようとする蛍光表示管に迷光として外部の光の照射がある場合には、迷光を含んだ蛍光表示管の点灯時の輝度測定値から、蛍光表示管を消灯した状態での迷光のみの輝度測定値を差し引いて、蛍光表示管の発光のみによる輝度測定値を算出する。

(2) 輝度計の設置

輝度計は測定しようとする蛍光表示管の表示パターンの大きさに応じて、予め設定した測定距離(対物レンズ前面から表示管の発光面までの距離)と測定角にしたがって設置する。

(3) 蛍光表示管の動作

測定しようとする蛍光表示管は測定すべき表示パターンを選定し、定格点灯条件のもとで通常30秒程度予熱して、輝度が十分安定してから測定を行う。

なお、7セグメント(「日」文字)パターンの場合には、測定しようとする桁以外は全て非点灯とするが、バーグラフなどのように1バーのみの点灯と全バー点灯とでは、電流集中の現象によって輝度差(1バー>全バー)を生ずる場合には、全バー点灯時の値が設計値(公称値)となるので、1バーのみを点灯して測定した場合には、測定値に別途補正係数(<1)を掛けてやる必要がある。

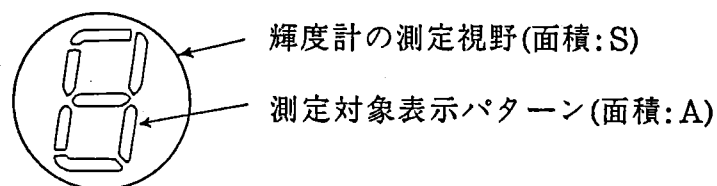
(4) 輝度の測定(面積比換算法)

まず輝度計の指示値(L_S)を読み取る。次に測定視野と測定対象表示パターンの面積比(S/A)を輝度計の指示値に掛けると、これが求める輝度(L_A)となる。

すなわち、

$$L_A = L_S \times S/A$$

となる。(右図参照)



(5) 視感度補正

輝度計の校正は標準光源(分布温度2856Kの白熱電球の光)について行われているため、蛍光表示管の場合にはその発光色に応じて、上記のようにして求めた輝度値に色補正係数を掛けて補正を行う必要がある。

(6) その他

同一の試料(蛍光表示管)を別個の輝度計で測定した場合、それぞれの測定値の間に差異を生ずることがあるため、蛍光表示管の受け入れに際して輝度の測定が行われるような場合には、予め使用される輝度計の間の指示値の相関関係を調べておくことが望ましい。

4.1項に取り上げられた輝度計の性能評価の項目の中で、蛍光表示管の明るさを輝度計を使用して測定する際に特に重要視されるものは、 f_5 , f_7 及び f_{16} などである。

参考資料

- ・ 表示管の輝度測定方法 1983.04 (社)日本電子機械工業会

6.4 発光ダイオード(LED)の輝度測定

LEDは光度、光束及び輝度の適正な値を付することが難しい発光体の一つであって、その理由の主なものは次のとおりである。

- ① 光度や光束が小さい。
- ② 寸法が小さく、測光軸を定めにくい。
- ③ 種類によって光の指向性に大きな違いがある。
- ④ 種類によって分光分布が異なり、発光スペクトルの波長幅が比較的狭く、また順電流の大きさに分光分布が変わる。
- ⑤ 輝度分布が一様でないものが多い。

①～④は、光度、光束の測定においても問題となる要因であるが、⑤は輝度測定を特に困難なものとしている。

輝度測定において、一般的な面を測定対象とした場合、被測定面積A内に含まれる相近接したいくつかの微小面dAの輝度が異なっているとしたら、その集合面である面積Aの輝度を表現するときには、dA個々についての測定値を平均し、平均輝度として表現するのが原則である。

この平均輝度の求め方は測定に手数を要するので、現実には輝度計の視野内における応答むらがないということを仮定(又は確認)して、面積Aを測定角一杯に満たすように取り入れて、1回の測定で平均輝度を求める方法が常用されることが多い。勿論、輝度が一様であると見なせる面については、個々の微小面dAの輝度はすべて等しく、かつ面積A全体の輝度に等しい。

LEDの発光部分の面積は小さいので、近接レンズをつけて輝度測定を行うが、透明ドームでペレットが明確に見える素子については良好に測定ができる。また、光度をペレットの面積で割って輝度を求めることも可能である。(両者はほぼ10%以内で一致する場合が多い。) 拡散剤入りドームのついた素子の或るものは中心部から周辺部に到る輝度の変化が急激なものもあり、被測定面積のとり方で輝度測定値が大きく変わる。図6.4は拡散剤入りドームのついた赤色LEDの輝度測定値の変化を測定角(被測定面積の円の直径に対応)に対応させて例示したものである。

LEDの輝度はどのような条件で測定すべきかと云われても限定することには無理がある。強いて云えばLEDの輝度を表すのには次の四通りが考えられる。

- ① チップの面に垂直な方向において、測定角を十分狭くした状態で得られる最大輝度。(多数点測定して最大値をとる。)
- ② チップの面に垂直で、かつチップの中心(拡散剤入りドームのついた素子ではドームの中央。)を通る方向において、測定角を十分狭くした状態で得られる輝度。
- ③ ②と同様で、測定角を実用的角度(例えば 0.2°)にして得られる輝度。
- ④ ②と同様で、測定角をLEDのドーム径一杯(拡散剤入りドームのついた素子の場合に限る。)にあわせた状態で得られる輝度。

LEDの輝度分布は、スポット測定(測定角 0.1° ,被測定面積の大きさ $\phi 0.35\text{mm}$)によれば、非一様なものが多いと云われている。何かの目的により、LEDの輝度を統一的な測定条件で測定せざるを得ない場合には、測定方向、測定角、被測定面積を協議統一し、測定局所間の測定値の整合を図らねばならない。

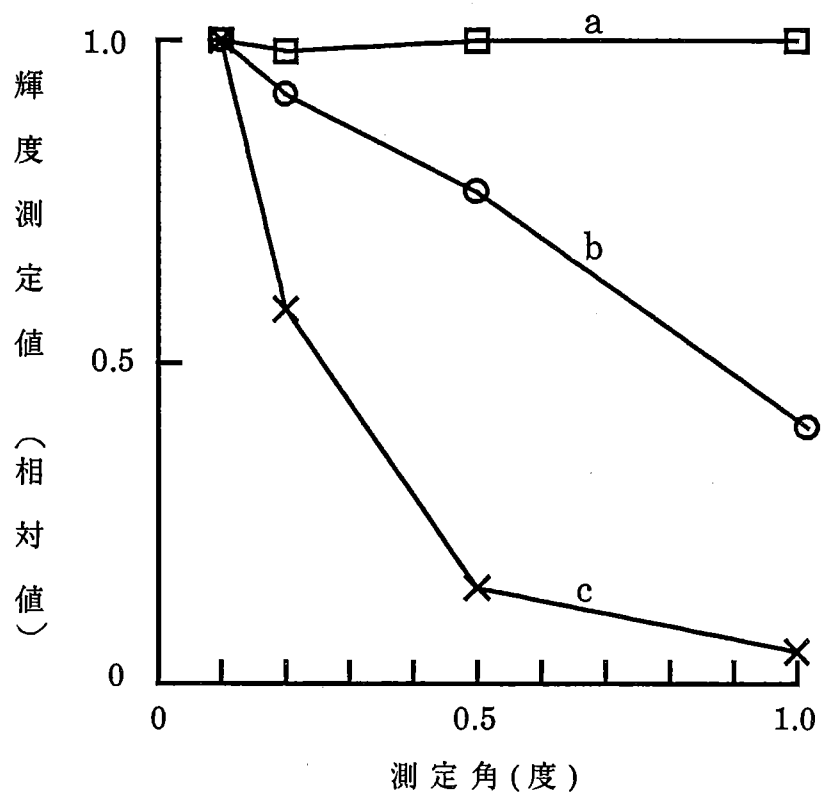


図6.4 測定角の大きさと輝度測定値の変化

すべて拡散剤入りドーム付き素子(各5個の平均値)

a 輝度が一様な素子

b 中心部から周辺部に到る輝度の変化がゆるやかな素子

c 中心部から周辺部に到る輝度の変化が激しい素子

測定距離 194mm 一定

測定角0.1°のとき被測定面積の大きさ $\phi 0.35\text{mm}$

6.5 VDUの輝度測定

VDU(Visual Display Unit: 視覚表示部)は、キーボードとともに情報機器のマン・マシンインターフェイスを形成する主要部である。VDUの諸特性のうち、視覚に影響を及ぼす要因にはドット構成、発光輝度、輝度対比、表示色、画面のちらつき、解像度などがある。VDUについての輝度測定の対象は文字輝度、背景輝度、映り込み輝度などである。VDUに表示された文字の輝度を精密に測定すると、文字を構成しているドットマトリックスに対応する複雑な輝度分布になっている。

したがって、どの部分の輝度を文字の輝度とするかが問題である。現状では $\phi 0.01 \sim 0.1 \text{mm}$ の被測定面で部分輝度を測定し、ドットの輝度の最大値を文字の輝度とする方法(部分測定法)や、 $\phi 10 \sim 20 \text{mm}$ の被測定面で文字の発光部分の平均輝度を測定する方法(平均測定法)が提案されている。

一般に後者の方法の方が測定が容易であるうえ、フレーム周波数の影響をうけないので広く用いられているが、必ずしも統一した測定方法になっているわけではない。「VDTガイドラインに関する調査研究報告書」(昭和60年 社団法人 日本機械工業連合会、日本電子工業振興協会)ではVDUの輝度測定を次のように説明している。

VDUの「発光輝度」はCRT(Cathode Ray Tube: ブラウン管)管面のガラスや表面のフィルタ(装着している場合)を通過した発光輝度を意味するが、外光による反射による輝度(以下外光反射輝度という)は含めない。また暗地発光輝度(情報を表示せず走査線のみ光らせている時の発光輝度)にも外光反射輝度は含めない。

VDUの輝度はVDUから500mm離れた管軸上(人間の眼の位置に相当)に輝度計を設置し 1° の測定角で測定する。測定に当たっては、まず管面の中心に $20 \text{mm} \times 20 \text{mm}$ の発光パターンを表示し、その発光パターンの輝度を測定する。この時VDU画面上に外光が入射しないように注意する。

次に $20 \text{mm} \times 20 \text{mm}$ の発光パターンを消去し暗地発光輝度を測定する。この際も外光を遮断する。つづいてVDUの電源を切った状態で外光を入れ、管面の外光反射輝度を測定する。

VDUの表示形態は、暗い背景に明るい文字を表示するネガティブ表示と、明るい背景に暗い文字を表示するポジティブ表示に大別できるが、何れの場合も輝度対比(コントラスト)は次の式で表す。

$$\text{コントラスト} = \frac{\text{外光反射輝度} + \text{発光輝度}}{\text{外光反射輝度} + \text{暗地発光輝度}}$$

参考資料

- ・ (社)日本機械工業連合会 日本電子工業振興協会編
VDTガイドラインに関する調査研究報告書(昭和60年)

6.6 輝度計による色度の測定

市販されている輝度計には、輝度測定だけでなく色度の測定が可能な輝度計(以下色彩輝度計と略す)がある。色彩輝度計で光源色あるいは物体色の色度を正しく測定するには、輝度計の性能評価の項目のうち、[2] 相対分光応答度の等色関数との整合特性、いわゆるルータの条件を満足する必要がある。しかし、ルータの条件は、色度測定を行うときに用いる輝度計の必要条件であって、この条件を満足しているからといって常に正しい測定が行われるとは限らないことに注意する必要がある。

(1) 光源色と物体色

光源色及び物体色の色度は、人間の眼に入射した光を等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ で重みづけして三色分解した三刺激値 X 、 Y 、 Z から(6.6.1)式によって計算して求めることができる。

$$\begin{aligned}x &= X / (X + Y + Z) \\y &= Y / (X + Y + Z)\end{aligned}\tag{6.6.1}$$

物体色の三刺激値は、(6.6.2)式のように表現される。

$$\begin{aligned}X &= K \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\Y &= K \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\Z &= K \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda\end{aligned}\tag{6.6.2}$$

したがって、 $\rho(\lambda)=1.00$ すなわち分光反射率が波長に関係なく一定で100%の場合に $Y=100$ となるように基準化されていることになり、任意の光源に対して、反射率100%の標準物体を基準とした相対値で測定されることになるため、同一物体でも照明する光源によって色度が変わることになる。ところが、光源色の場合は、(6.6.3)式のように表現され、分光反射率分布が波長に関して一定な物体色(つまり、白又は灰色の物体)からの反射光が眼に入ると考えられる。この場合、眼に入る光の量は、たとえば光源の照度によって変化するため、物体色のように100%の上限がないことになる。

$$\begin{aligned}X &= \int S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\Y &= \int S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\Z &= \int S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda\end{aligned}\tag{6.6.3}$$

但し、 $S(\lambda)$ は、光源の分光分布、 $\rho(\lambda)$ は、物体の分光反射率、 K は基準化のための係数で次式で示される。

$$K = 100 / \int S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

光源色と物体色とでは、上記のように三刺激値の扱いが異なる。このため測定の際の目盛調整及び測定値の扱いが異なる。特に色彩輝度計は、光源色の色度測定用であるので、物体色の測定値の扱いには注意が必要である。

(2) 目盛調整

a. 光源色の場合

三刺激値X、Y、Zが既知である目盛調整用光源(ルータの条件を完全に満たしている色彩輝度計の場合は、標準光源Aについてのみ目盛調整してもよい)及び試料光源を同一の測定条件で測定し、それぞれの測定値から次式によって試料光源の三刺激値を求める。

$$T=(T' / F') \times F$$

ここでT: 試料光源の三刺激値、 T' : 試料光源の三刺激値の読み、F: 目盛調整用光源に値付けしてある三刺激値、 F' : 目盛調整用光源の三刺激値の読みを示す。

ルータの条件を完全に満たすことは難しいので、目盛調整用光源は、原則として相対分光分布が試料光源に近似し、色度も試料光源とあまり異ならないことが必要である。

b. 物体色の場合

三刺激値X、Y、Zが既知である標準白色面(硫酸バリウム粉末を成形した白色面)及び試料色を同一の測定条件で測定し、それぞれの測定値から次式によって試料色の三刺激値を求める。

$$T=(T' / F') \times F$$

ここでT: 試料色の三刺激値、 T' : 試料色の三刺激値の読み、F: 標準白色面に値付けしてある三刺激値、 F' : 標準白色面の三刺激値の読みを示す。

上式で、測定されるTの値は、試料色を照明する光源の種類によって異なる。そのため試料色に対する三刺激値は任意の光源に対してそれぞれ求められることになる。しかし一般的に物体色の色度という場合には、特定の標準の光(標準の光Cあるいは標準の光D₆₅が用いられる)に対する色度を意味するので、混乱しないようにするために試料色を照明している光源の種類(a.によって測定される輝度、色度等)を併記する必要がある。

標準白色面の三刺激値は、試料を照明している光源の相対分光分布から定められることが望ましい。しかし、実際の測定では難しいので標準白色面の反射率を100%として目盛調整を行うことが多い。

(3) 物体色の色度の測定における注意事項

色彩輝度計を用いての物体色の色度の測定は、試料面が比較的微小であっても測定が可能であり、かつ試料面と非接触で測定できる利点がある。そのため従来の測色機器では測定できなかった口腔内の歯肉色などの微小面試料の測定に応用されるようになってきている。しかし、これらの測定を正しく行うためには、試料を照明している光源装置の発光特性の安定性を考慮した適正な頻度での目盛調整を行うとともに、一般に試料面からの反射光は、光が反射される試料面の位置あるいは反射方向に関して、一様に分布するとは限らないため、色彩輝度計の受光形態(受光条件)の設定(通常、試料面の特定部分から測定点に向かう反射光を、その中心

光線に対して垂直になるように色彩輝度計の受光面しを設定する)の仕方によって測定値が変化するので注意する必要がある。

歯肉色での応用例として、試料面からの反射光の受光条件の設定再現性による測定値の変化の程度を表6.6に示す。

必要とする測定値の精度を十分に把握して色彩輝度計を利用することによって、現実に関目に見えている色の色度を測定することができるため、実際に則した色の見え方の評価ができる可能性が生まれるものと思われる。

表6.6 反射光の受光条件による測定値の変化

試料	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
A	1.62	1.86	0.76	2.6
B	0.80	1.56	0.62	1.9
C	1.26	0.94	0.56	1.7
D	1.56	1.36	0.80	2.2
E	0.76	0.88	1.04	1.6
F	0.98	1.46	0.46	1.8

注1) 測定は、歯肉を対象に行い、歯肉からの反射光の測定は、歯肉からの正反射光の影響の最も少ない特定方向から受光を行った。その際の試料の測定面積は、約0.8mm ϕ 。

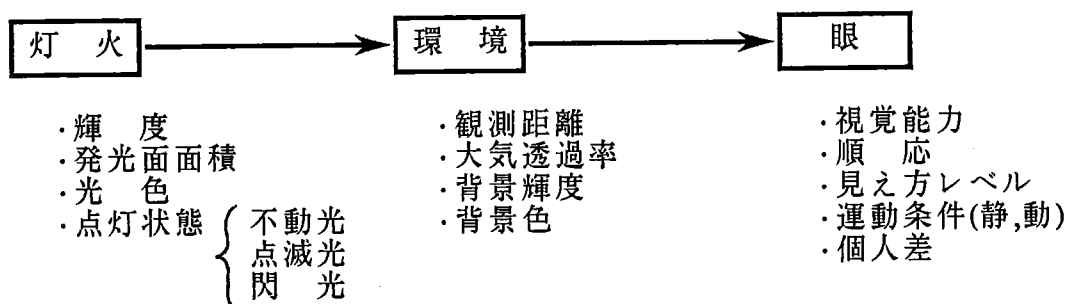
注2) 表中の ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* は、各試料について10回の繰り返し測定を行い、その標準偏差を2倍した値を示した。 ΔE は、 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* の値より求めた。

6.7 灯火の見え方実験における輝度計の使用

(1) 灯火の見え方における基礎的問題

a. 灯火の見え方に影響する要素

灯火の見え方に影響する要素はきわめて多いが、これを整理して示すと次の通りである。



b. 光源の見掛けの大きさと見え方との関係

光源の見掛けの大きさ(視角)は発光面面積と観測距離により定まるが、これが見え方に関係するかについてはこれまで多くの研究者の実験により求められている。その結果を整理したものを以下に示す。

	見掛けの大きさ (視角)		見え方に関する因子
	昼間	夜間	
Ricco 領域	<0.4'	<20'	点光源条件……角膜照度
Piper 領域	0.4' ~2'	20' ~10°	中間……上に準ずる
Weber領域	>2'	>10°	面光源……輝度

これによると観測距離が十分大きく、光源の見掛けの大きさが小さい場合には点光源条件となり、見え方は角膜照度(光源からの光により眼の位置に生ずる法線照度)の値により評価できることとなる。この角膜照度値は光源光度(輝度×発光面面積)、観測距離及び観測区間中の大気透過率の三者により変化する。

c. 点光源の見え方に対する実験結果

各種の信号灯、標識灯などの見え方においては、観測距離が大きく、点光源条件となる場合が多い。この場合見え方に関連する主要因子は上述のように角膜照度と背景輝度により見え方がどのように変化するかについての基礎的關係は多年にわたる照明学会の実験研究により明らかにされているが、その一例を図6.7-1に示す。

この図は電球(白色光)に対する実験結果で、赤、緑、黄、青などの色光の場合には色光効果によって異なって来る。

角膜照度が高くなるほど当然見え方は向上して来るが、見え方レベルを以下の6段階に設定して、それぞれに対する必要角膜照度値の変化を図に示している。

見え方レベルの段階	角膜照度
グレアを感じ始める	E_g
上限の明るさ	E_{max}
適正な明るさ	E_{op}
下限の明るさ	E_{min}
光色を認める域値	E_c
光を認める域値	E_t

(2) 空港灯火の見え方

空港においては、進入、着陸、あるいは地上走行する航空機のパイロットに対し、適切な視覚援助を与えるよう、進入路、滑走路、誘導路などに多数の灯火が配列設置されている。

これらの灯火は電球を使用した灯器によるもので、実地の視距離はきわめて大きいので点光源として取り扱うことができ、従って見え方に関する測光量は角膜照度となる。

以下この空港灯火の見え方に関連する基礎的条件について略述する。

a. 灯列パターン

パイロットにとっては灯列によって構成された全体的パターンの見え方が重要なものである。

図6.7-2に滑走路に進入中の航空機から見える灯列パターンの一例を示す。各種の灯器による縦列あるいは横列の灯列パターンの組み合わせにより全体的パターンが構成されているが、その形状は航空機の移動に伴って変化して来る。パイロットはこのパターンの見え方によつて自機の位置を判断して操縦を修正しながら正確な着陸を行うことができる。とくに夜間及び不良視程の場合はこの灯列パターンの見え方による情報が重要なものとなる。

b. 灯火の光色

図6.7-2に示されているように灯列の種類によって異なる光色をもっている。光色については「JIS W 8301 航空標識の色」の中で色度範囲が規定されているが、図6.7-3はその内容を図示したものである。

c. 光度調整

空港灯火は背景輝度及び視程条件に応じて電流の調整により5段階の光度調整が行われる。電球の電流変化により当然色度も変わって来るが、その色度は図6.7-3の規定範囲内であることが要求される。

d. 色ガラスフィルタの温度上昇による特性変化

色光灯器においては色ガラスフィルタが使用される。灯器の構造、フィルタの種類、電球の点灯ワットの変化によりフィルタ温度が変化するが、これにより分光透過率曲線が変わることが問題の一つである。一般に高温になるほど透過率が低くなり、色光の光度及び色度が影響され、灯器種類ごとに測定により正確なデータを把握しておくことが必要である。

(3) 見え方実験における輝度計の使用方法

空港灯火の見え方実験においては輝度計の使用は不可欠のものであり、照明学会の多年にわたる各種の研究において、室内におけるシミュレータ実験及び野外実験において重要な役割を果たして来た。

以下、これらの経験をもとに輝度計の使用方法の骨子について述べる。

a. 角膜照度の測定

点光源の見え方に対しては角膜照度の測定が最も重要であることは上述の通りであるが、その値はきわめて低く、また配列された灯火個々を分離して測定する必要がある、照度計では不可能である。このため輝度計の特殊利用として角膜照度の測定に役立てる。

- ・ 実験室において使用輝度計に対し照度と振れ値との関係を求める。
(標準光源と乳白拡散透過板により小孔の拡散輝度面を作り、この小孔より大きい測定角で受光し、その振れと計算による照度との対応を求める。)
- ・ 配列灯火を一つずつ分離して単独灯火の測定を行うため、測定角は小さくする必要があり、通常 $6'$ ～ $15'$ となる。
- ・ 昼間においては光源の背景に黒色塗装板をおき、周辺輝度面の影響を小さくし、かつ、光源の点、滅の測定値の差をとる。
- ・ 迅速、かつ正確にaimingするため、強固な三脚と微動調整機構が必要である。
- ・ 色光については各光色ごとに実験室で校正しておく。

b. 色度の測定

- ・ 色光ごとに実験室で校正しておく。とくに数台の輝度計を併用するときには比較校正しておくことが必要である。
- ・ 電球光(白)の電流変化による色度変化は計算により推定できるが、輝度計による実測ではこれと相当異なり、黒体軌跡から外れた色度となった例がある。

c. 背景輝度の測定

- ・ 背景となる滑走路舗装面及び水平線上空の適当な測定点を数点選定し、(インスタントカメラで撮影し記入)測定する。測定角は $15'$ ～ $30'$ とする。

d. 大気透過率の測定

- ・ 一定光度の光源を一定位置から輝度計により角膜照度を測定する。
昼間においてはなるべく小さい測定角を使用し、光源の点、滅時の差をとる。この透過率から気象視程(Koschmiederの式)及びRVR(滑走路視距離 Allardの式)が計算により求められる。航空関係ではこの両者の中、大きい方の値がとられる。
- ・ 霧中の見え方実験(釧路空港その他)において使用輝度計が故障したことがあった。できるだけ防湿構造であることが望ましい。また、冬期の空港(千歳空港など)では夜間、 -25°C 程度の低温となる。

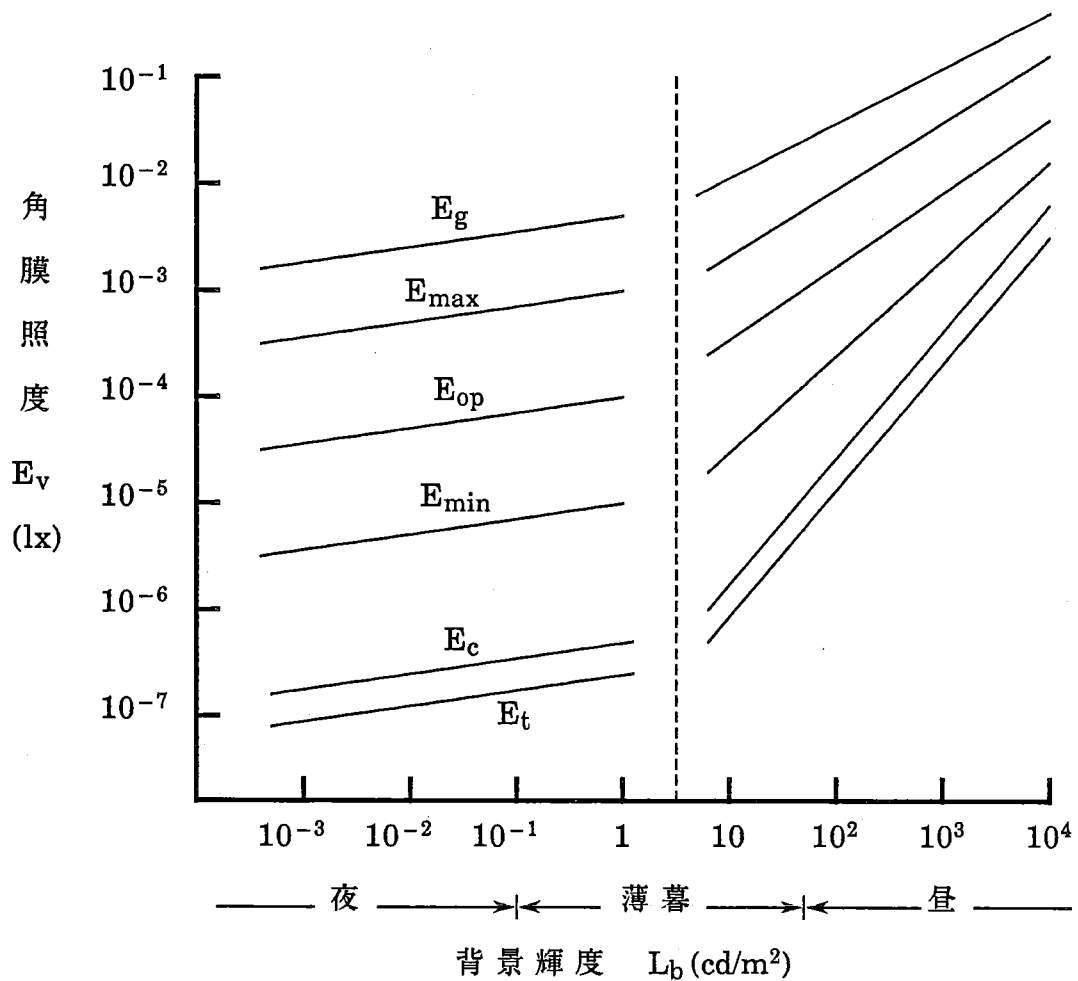


図6.7-1 点光源に対する見え方実験結果
(白色光の場合)

参考資料

- ・ 航空灯火の最適輝度に関する調査研究報告書(照明学会 昭45.12)
- ・ 進入角指示灯(VASIS)の新システム方式の調査研究報告書(照明学会 昭56.5)
- ・ PAPI用試作灯器による光学的性能地上実験記録(航空振興財団 昭58.11)

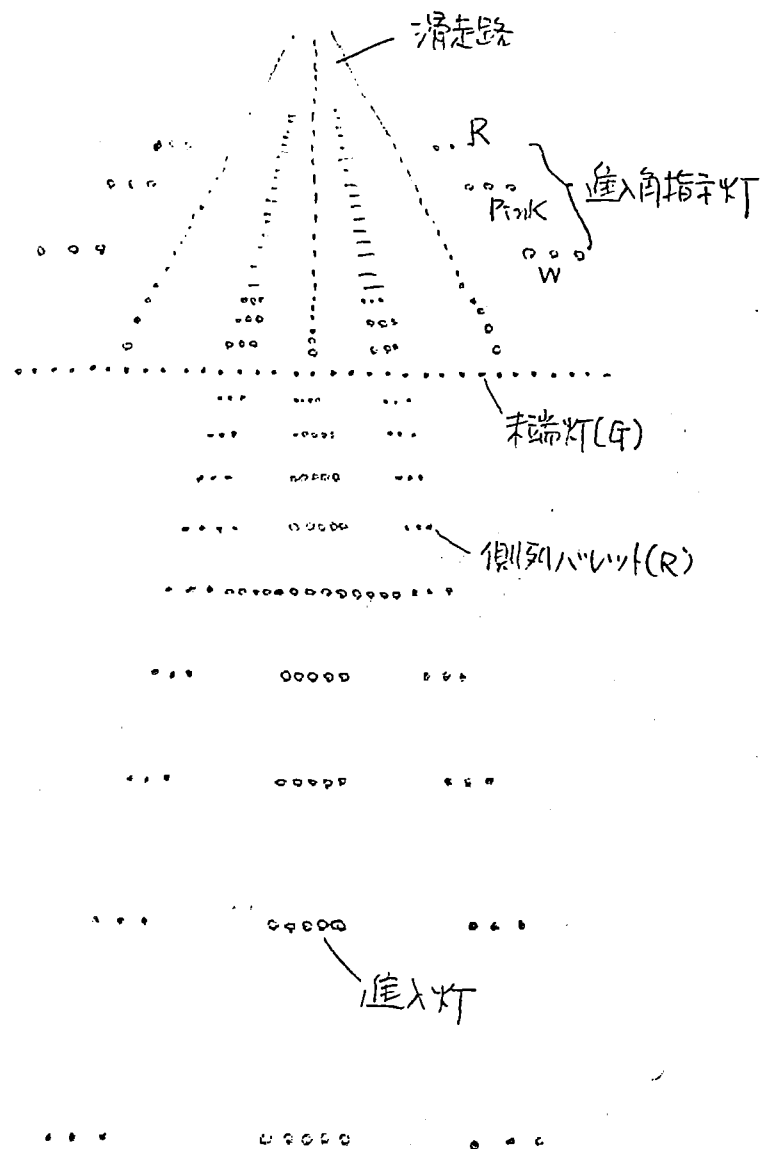


図6.7-2 灯列パターンの例
(滑走路末端より400m位置)

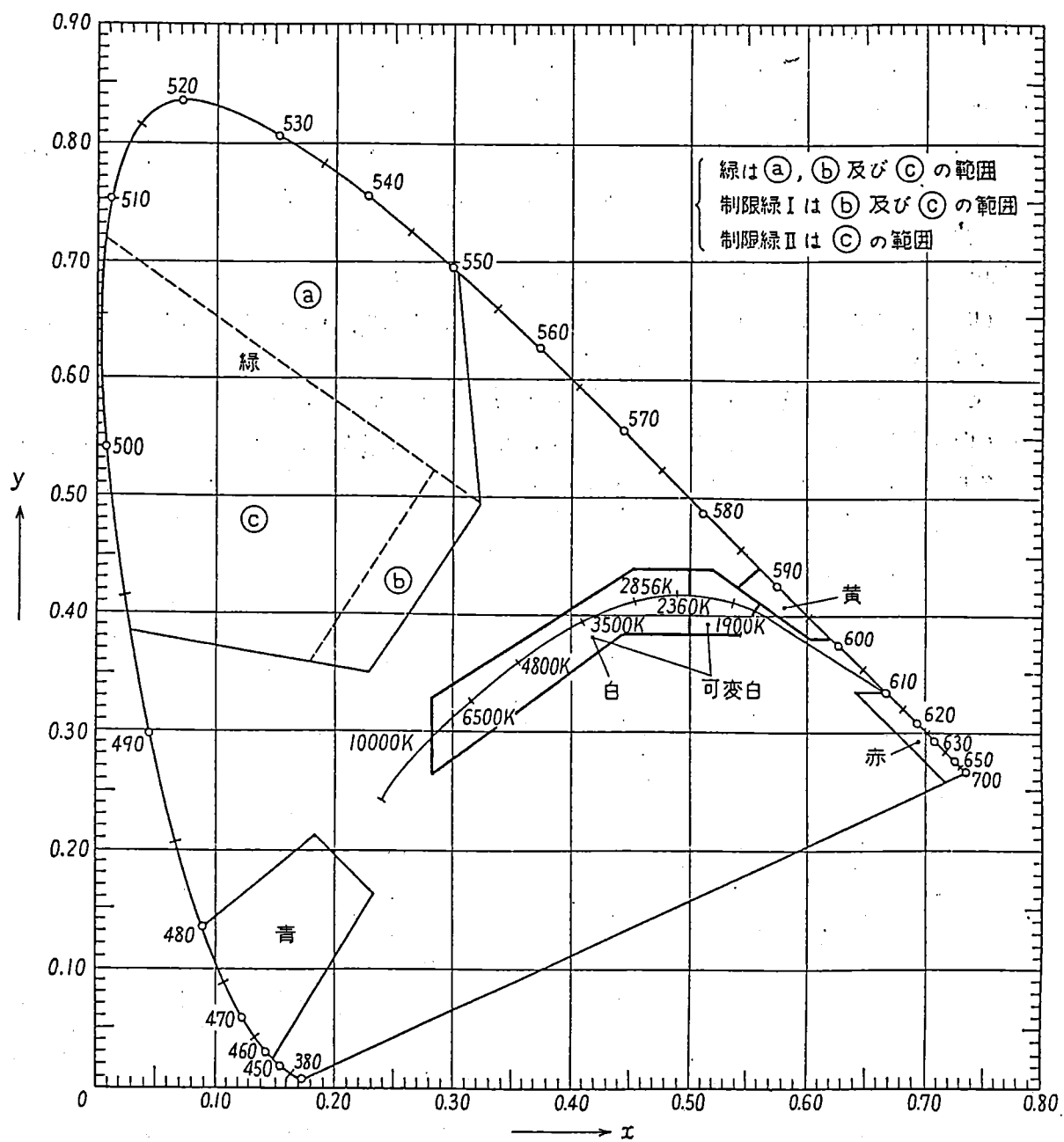


図6.7-3 航空灯火の光色の色度範囲

7. 付表 (各種光源等の分光分布)

付表1 標準の光 A の相対分光分布の値
(JIS Z 8724の付表1より)

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	9.80		580	114.44
385	10.90		585	118.08
390	12.09		590	121.73
395	13.35		595	125.39
400	14.71		600	129.04
405	16.15		605	132.70
410	17.68		610	136.35
415	19.29		615	139.99
420	20.99		620	143.62
425	22.79		625	147.24
430	24.67		630	150.84
435	26.64		635	154.42
440	28.70		640	157.98
445	30.85		645	161.52
450	33.09		650	165.03
455	35.41		655	168.51
460	37.81		660	171.96
465	40.30		665	175.38
470	42.87		670	178.77
475	45.52		675	182.12
480	48.24		680	185.43
485	51.04		685	188.70
490	53.91		690	191.93
495	56.85		695	195.12
500	59.86		700	198.26
505	62.93		705	201.36
510	66.06		710	204.41
515	69.25		715	207.41
520	72.50		720	210.36
525	75.79		725	213.27
530	79.13		730	216.12
535	82.52		735	218.92
540	85.95		740	221.67
545	89.41		745	224.36
550	92.91		750	227.00
555	96.44		755	229.59
560	100.00		760	232.12
565	103.58		765	234.59
570	107.18		770	237.01
575	110.80		775	239.37
580	114.44		780	241.68

付表2 代表的な蛍光ランプの相対分光分布の値(1)
(JIS Z 8719の付表1より)

λ [nm]	昼光色 (F5)	白色 (F6)	3波長域発光形 (F10)
380	1.87	1.05	1.11
385	2.35	1.31	0.80
390	2.92	1.63	0.62
395	3.45	1.90	0.57
400	5.10	3.11	1.48
405	18.91	14.80	12.16
410	6.00	3.43	2.12
415	6.11	3.30	2.70
420	6.85	3.68	3.74
425	7.58	4.07	5.14
430	8.31	4.45	6.75
435	40.76	32.61	34.39
440	16.06	10.74	14.86
445	10.32	5.48	10.40
450	10.91	5.78	10.76
455	11.40	6.03	10.67
460	11.83	6.25	10.11
465	12.17	6.41	9.27
470	12.40	6.52	8.29
475	12.54	6.58	7.29
480	12.58	6.59	7.91
485	12.52	6.56	16.64
490	12.47	6.56	16.73
495	12.20	6.42	10.44
500	11.89	6.28	5.94
505	11.61	6.20	3.34
510	11.33	6.19	2.35
515	11.10	6.30	1.88
520	10.96	6.60	1.59
525	10.97	7.12	1.47
530	11.16	7.94	1.80
535	11.54	9.07	5.71
540	12.12	10.49	40.98
545	27.78	25.22	73.69
550	17.73	17.46	33.61
555	14.47	15.63	8.24
560	15.20	17.22	3.38
565	15.77	18.53	2.47
570	16.10	19.43	2.14
575	18.54	21.97	4.86
580	19.50	23.01	11.45

付表2(続き) 代表的な蛍光ランプの相対分光分布の値(2)
(JIS Z 8719の付表1より)

λ [nm]	昼光色 (F5)	白色 (F6)	3波長域発光形 (F10)
580	19.50	23.01	11.45
585	15.39	19.41	14.79
590	14.64	18.56	12.16
595	13.72	17.42	8.97
600	12.69	16.09	6.52
605	11.57	14.64	8.31
610	10.45	13.15	44.12
615	9.35	11.68	34.55
620	8.29	10.25	12.09
625	7.32	8.95	12.15
630	6.41	7.74	10.52
635	5.63	6.69	4.43
640	4.90	5.71	1.95
645	4.26	4.87	2.19
650	3.72	4.16	3.19
655	3.25	3.55	2.77
660	2.83	3.02	2.29
665	2.49	2.57	2.00
670	2.19	2.20	1.52
675	1.93	1.87	1.35
680	1.71	1.60	1.47
685	1.52	1.37	1.79
690	1.43	1.29	1.74
695	1.26	1.05	1.02
700	1.13	0.91	1.14
705	1.05	0.81	3.32
710	0.96	0.71	4.49
715	0.85	0.61	2.05
720	0.78	0.54	0.49
725	0.72	0.48	0.24
730	0.68	0.44	0.21
735	0.67	0.43	0.21
740	0.65	0.40	0.24
745	0.61	0.37	0.24
750	0.62	0.38	0.21
755	0.59	0.35	0.17
760	0.62	0.39	0.21
765	0.64	0.41	0.22
770	0.55	0.33	0.17
775	0.47	0.26	0.12
780	0.40	0.21	0.09

付表3 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値
(CIE 刊行物 No.53 TC-2.2 「検出器」技術報告(1982)の表1より)

(1) 3波長域発光形蛍光ランプ

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	0.0000		580	0.1557
385	—		585	—
390	0.0000		590	0.1691
395	—		595	—
400	0.0116		600	0.1344
405	—		605	—
410	0.0117		610	1.0000
415	—		615	—
420	0.0136		620	0.1512
425	—		625	—
430	0.0262		630	0.2073
435	—		635	—
440	0.0527		640	0.0238
445	—		645	—
450	0.0313		650	0.0526
455	—		655	—
460	0.0277		660	0.0142
465	—		665	—
470	0.0241		670	0.0155
475	—		675	—
480	0.0390		680	0.0167
485	—		685	—
490	0.1424		690	0.0182
495	—		695	—
500	0.0373		700	0.0200
505	—		705	—
510	0.0081		710	0.0889
515	—		715	—
520	0.0044		720	0.0000
525	—		725	—
530	0.0096		730	0.0000
535	—		735	—
540	0.4473		740	0.0000
545	—		745	—
550	0.3301		750	0.0000
555	—		755	—
560	0.0466		760	0.0000
565	—		765	—
570	0.0383		770	0.0000
575	—		775	—
580	0.1557		780	0.0000

付表3(続き) 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値
(CIE 刊行物 No.53 TC-2.2 「検出器」技術報告(1982)の表1より)

(2) 高圧水銀ランプ

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	0.0000		580	1.0000
385	—		585	—
390	0.0000		590	0.0449
395	—		595	—
400	0.0483		600	0.0231
405	—		605	—
410	0.0734		610	0.0608
415	—		615	—
420	0.0167		620	0.3863
425	—		625	—
430	0.0437		630	0.0358
435	—		635	—
440	0.1865		640	0.0162
445	—		645	—
450	0.0178		650	0.0251
455	—		655	—
460	0.0129		660	0.0156
465	—		665	—
470	0.0137		670	0.0126
475	—		675	—
480	0.0133		680	0.0091
485	—		685	—
490	0.0244		690	0.0347
495	—		695	—
500	0.0096		700	0.1308
505	—		705	—
510	0.0093		710	0.0243
515	—		715	—
520	0.0089		720	0.0068
525	—		725	—
530	0.0124		730	0.0077
535	—		735	—
540	0.0293		740	0.0000
545	—		745	—
550	0.4138		750	0.0000
555	—		755	—
560	0.0213		760	0.0000
565	—		765	—
570	0.0177		770	0.0000
575	—		775	—
580	1.0000		780	0.0000

付表3(続き) 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値
(CIE 刊行物 No.53 TC-2.2 「検出器」技術報告(1982)の表1より)

(3) 高圧ナトリウムランプ

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	0.0107		580	0.6659
385	—		585	—
390	0.0139		590	0.9976
395	—		595	—
400	0.0186		600	1.0000
405	—		605	—
410	0.0227		610	0.4785
415	—		615	—
420	0.0275		620	0.3434
425	—		625	—
430	0.0344		630	0.1751
435	—		635	—
440	0.0418		640	0.1354
445	—		645	—
450	0.0583		650	0.1107
455	—		655	—
460	0.0338		660	0.0959
465	—		665	—
470	0.0961		670	0.0959
475	—		675	—
480	0.0178		680	0.0749
485	—		685	—
490	0.0201		690	0.0468
495	—		695	—
500	0.2210		700	0.0386
505	—		705	—
510	0.0258		710	0.0359
515	—		715	—
520	0.0371		720	0.0338
525	—		725	—
530	0.0123		730	0.0325
535	—		735	—
540	0.0166		740	0.0320
545	—		745	—
550	0.0617		750	0.0344
555	—		755	—
560	0.1371		760	0.0431
565	—		765	—
570	0.8390		770	0.0780
575	—		775	—
580	0.6659		780	0.0349

付表3(続き) 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値
(CIE 刊行物 No.53 TC-2.2 「検出器」技術報告(1982)の表1より)

(4) メタルハライドランプ(3-additive)

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	0.0294		580	0.3656
385	—		585	—
390	0.0290		590	0.7969
395	—		595	—
400	0.0884		600	0.7094
405	—		605	—
410	0.1534		610	0.5897
415	—		615	—
420	0.2969		620	0.2944
425	—		625	—
430	0.1975		630	0.2088
435	—		635	—
440	0.2472		640	0.2200
445	—		645	—
				0.1909
450	0.1822		650	—
455	—		655	—
460	0.2153		660	0.2022
465	—		665	—
470	0.1794		670	0.5203
475	—		675	—
480	0.1550		680	0.2503
485	—		685	—
490	0.1650		690	0.1413
495	—		695	—
500	0.2328		700	0.1163
505	—		705	—
510	0.1625		710	0.1066
515	—		715	—
520	0.1938		720	0.1028
525	—		725	—
530	0.4400		730	0.0828
535	—		735	—
540	1.0000		740	0.0963
545	—		745	—
550	0.3178		750	0.0956
555	—		755	—
560	0.2044		760	0.1428
565	—		765	—
570	0.4428		770	0.3238
575	—		775	—
580	0.3656		780	0.1275

付表3(続き) 国際照明委員会による各種の光源の相対分光分布の値
(CIE 刊行物 No.53 TC-2.2 「検出器」技術報告(1982)の表1より)

(5) メタルハライドランプ(稀土類)

λ [nm]	S(λ)		λ [nm]	S(λ)
380	0.4524		580	1.0000
385	—		585	—
390	0.5255		590	0.8498
395	—		595	—
400	0.6108		600	0.8538
405	—		605	—
410	0.7401		610	0.7976
415	—		615	—
420	0.8115		620	0.8132
425	—		625	—
430	0.7448		630	0.7488
435	—		635	—
440	0.7430		640	0.6943
445	—		645	—
				0.6311
450	0.6845		650	—
455	—		655	—
460	0.8092		660	0.6758
465	—		665	—
470	0.7703		670	0.8121
475	—		675	—
480	0.7720		680	0.6729
485	—		685	—
490	0.7158		690	0.6427
495	—		695	—
500	0.7506		700	0.7448
505	—		705	—
510	0.7361		710	0.4107
515	—		715	—
520	0.7053		720	0.4142
525	—		725	—
530	0.6920		730	0.4310
535	—		735	—
540	0.7546		740	0.3254
545	—		745	—
550	0.9113		750	0.3173
555	—		755	—
560	0.7425		760	0.4391
565	—		765	—
570	0.8219		770	0.4078
575	—		775	—
580	1.0000		780	0.3382

付表4 蛍光表示管の緑色発光 (蛍光体…ZnO:Zn) の相対分光分布の値
(色度座標値… $x=0.24, y=0.42$)

$\lambda[\text{nm}]$	$S(\lambda)$		$\lambda[\text{nm}]$	$S(\lambda)$
380	0.0011		580	0.3924
385	0.0012		585	0.3541
390	0.0012		590	0.3194
395	0.0014		595	0.2860
400	0.0026		600	0.2572
405	0.0054		605	0.2296
410	0.0118		610	0.2052
415	0.0243		615	0.1837
420	0.0439		620	0.1639
425	0.0738		625	0.1457
430	0.1140		630	0.1299
435	0.1638		635	0.1152
440	0.2242		640	0.1024
445	0.2968		645	0.0920
450	0.3762		650	0.0813
455	0.4595		655	0.0724
460	0.5467		660	0.0647
465	0.6322		665	0.0571
470	0.7120		670	0.0507
475	0.7852		675	0.0461
480	0.8512		680	0.0407
485	0.9048		685	0.0370
490	0.9477		690	0.0319
495	0.9775		695	0.0295
500	0.9941		700	0.0265
505	1.0000		705	0.0241
510	0.9919		710	0.0215
515	0.9754		715	0.0191
520	0.9479		720	0.0179
525	0.9161		725	0.0165
530	0.8717		730	0.0147
535	0.8249		735	0.0134
540	0.7782		740	0.0126
545	0.7249		745	0.0121
550	0.6752		750	0.0110
555	0.6256		755	0.0105
560	0.5740		760	0.0108
565	0.5246		765	0.0096
570	0.4773		770	0.0082
575	0.4315		775	0.0088
580	0.3924		780	0.0087

付表5 家庭用カラー受像管の分光分布(1)

(λ=380~435nm)

単位: μW/(cm²×nm×sr)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
380~399	—	—	—	—
400	0.0036	0.0036	0.1126	0.0250
401	0.0035	0.0058	0.1669	0.0367
402	0.0023	0.0068	0.4976	0.1050
403	0.0044	0.0044	0.5217	0.1099
404	0.0054	0.0032	0.5538	0.1165
405	0.0042	0.0063	0.5867	0.1238
406	0.0052	0.0062	0.6218	0.1312
407	0.0072	0.0072	0.6623	0.1403
408	0.0061	0.0102	0.7156	0.1518
409	0.0060	0.0101	0.7637	0.1617
410	0.0060	0.0109	0.8129	0.1720
411	0.0069	0.0108	0.8719	0.1844
412	0.0088	0.0126	0.9306	0.1974
413	0.0106	0.0164	0.9999	0.2131
414	0.0095	0.0126	1.0620	0.2248
415	0.0085	0.0171	1.1400	0.2417
416	0.0141	0.0160	1.2160	0.2585
417	0.0112	0.0206	1.2990	0.2760
418	0.0149	0.0204	1.3880	0.2953
419	0.0147	0.0123	1.4700	0.3103
420	0.0155	0.0247	1.5580	0.3316
421	0.0200	0.0237	1.6640	0.3543
422	0.0208	0.0298	1.7590	0.3756
423	0.0207	0.0269	1.8590	0.3956
424	0.0223	0.0312	1.9590	0.4176
425	0.0248	0.0346	2.0640	0.4408
426	0.0248	0.0328	2.1790	0.4641
427	0.0246	0.0352	2.2720	0.4838
428	0.0281	0.0413	2.3900	0.5105
429	0.0273	0.0396	2.5020	0.5331
430	0.0280	0.0429	2.6060	0.5555
431	0.0287	0.0462	2.6980	0.5755
432	0.0314	0.0454	2.8040	0.5978
433	0.0329	0.0503	2.8900	0.6171
434	0.0330	0.0513	2.9760	0.6352
435	0.0356	0.0547	3.0690	0.6558

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(2)
($\lambda=435\sim475\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
435	0.0356	0.0547	3.0690	0.6558
436	0.0340	0.0583	3.1490	0.6728
437	0.0375	0.0584	3.2250	0.6894
438	0.0366	0.0618	3.2980	0.7051
439	0.0375	0.0619	3.3570	0.7175
440	0.0395	0.0658	3.4450	0.7371
441	0.0377	0.0674	3.4890	0.7461
442	0.0404	0.0720	3.5520	0.7609
443	0.0395	0.0728	3.5840	0.7675
444	0.0405	0.0792	3.6320	0.7791
445	0.0414	0.0802	3.6480	0.7829
446	0.0425	0.0823	3.6870	0.7917
447	0.0416	0.0858	3.6940	0.7938
448	0.0408	0.0896	3.7120	0.7982
449	0.0443	0.0913	3.6940	0.7957
450	0.0453	0.0934	3.7160	0.8010
451	0.0425	0.0984	3.6880	0.7957
452	0.0424	0.0990	3.6700	0.7921
453	0.0415	0.1042	3.6360	0.7861
454	0.0398	0.1079	3.6070	0.7805
455	0.0425	0.1141	3.5700	0.7750
456	0.0407	0.1186	3.5200	0.7653
457	0.0399	0.1195	3.4640	0.7537
458	0.0355	0.1288	3.4230	0.7464
459	0.0373	0.1322	3.3590	0.7344
460	0.0391	0.1385	3.3440	0.7332
461	0.0365	0.1460	3.2730	0.7197
462	0.0393	0.1528	3.2150	0.7099
463	0.0402	0.1634	3.1160	0.6922
464	0.0412	0.1720	3.0570	0.6823
465	0.0504	0.1825	2.9540	0.6656
466	0.0597	0.1909	2.8530	0.6490
467	0.0697	0.2064	2.7730	0.6385
468	0.0772	0.2161	2.6870	0.6248
469	0.0774	0.2294	2.6040	0.6109
470	0.0678	0.2436	2.5260	0.5957
471	0.0586	0.2608	2.4330	0.5783
472	0.0496	0.2766	2.3530	0.5633
473	0.0451	0.2990	2.2620	0.5487
474	0.0435	0.3184	2.1860	0.5372
475	0.0483	0.3340	2.0990	0.5240

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(3)
($\lambda=475\sim 515\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
475	0.0483	0.3340	2.0990	0.5240
476	0.0448	0.3604	2.0180	0.5126
477	0.0430	0.3863	1.9360	0.5013
478	0.0367	0.4116	1.8660	0.4913
479	0.0349	0.4384	1.7840	0.4802
480	0.0313	0.4698	1.7150	0.4724
481	0.0285	0.5003	1.6440	0.4642
482	0.0268	0.5353	1.5770	0.4582
483	0.0288	0.5693	1.5040	0.4516
484	0.0280	0.6084	1.4440	0.4482
485	0.0320	0.6504	1.3730	0.4443
486	0.0382	0.6854	1.3190	0.4429
487	0.0461	0.7314	1.2630	0.4440
488	0.0515	0.7782	1.2110	0.4456
489	0.0576	0.8233	1.1480	0.4446
490	0.0571	0.8760	1.0990	0.4467
491	0.0522	0.9182	1.0450	0.4443
492	0.0515	0.9698	0.9951	0.4460
493	0.0580	1.0210	0.9470	0.4496
494	0.0788	1.0760	0.9033	0.4585
495	0.0826	1.1270	0.8569	0.4618
496	0.0909	1.1870	0.8167	0.4696
497	0.0913	1.2460	0.7713	0.4742
498	0.0816	1.3010	0.7313	0.4765
499	0.0649	1.3480	0.6949	0.4760
500	0.0483	1.4130	0.6580	0.4796
501	0.0335	1.4620	0.6236	0.4804
502	0.0306	1.5220	0.5915	0.4872
503	0.0263	1.5800	0.5624	0.4938
504	0.0254	1.6320	0.5306	0.4992
505	0.0267	1.6960	0.5000	0.5082
506	0.0213	1.7510	0.4762	0.5149
507	0.0236	1.7980	0.4493	0.5209
508	0.0316	1.8550	0.4272	0.5317
509	0.0419	1.9010	0.4032	0.5400
510	0.0650	1.9550	0.3831	0.5541
511	0.0927	2.0090	0.3606	0.5689
512	0.1367	2.0640	0.3448	0.5892
513	0.1314	2.1040	0.3227	0.5927
514	0.1367	2.1500	0.3058	0.6013
515	0.1173	2.1980	0.2916	0.6050

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(4)
($\lambda=515\sim555\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
515	0.1173	2.1980	0.2916	0.6050
516	0.0921	2.2310	0.2740	0.6030
517	0.0655	2.2650	0.2586	0.6014
518	0.0470	2.3140	0.2457	0.6057
519	0.0388	2.3470	0.2341	0.6091
520	0.0307	2.3770	0.2211	0.6115
521	0.0297	2.4030	0.2126	0.6156
522	0.0274	2.4340	0.1991	0.6195
523	0.0263	2.4510	0.1876	0.6209
524	0.0265	2.4800	0.1759	0.6253
525	0.0279	2.4890	0.1683	0.6262
526	0.0330	2.5150	0.1649	0.6328
527	0.0344	2.5290	0.1547	0.6344
528	0.0383	2.5420	0.1471	0.6368
529	0.0435	2.5490	0.1342	0.6370
530	0.0388	2.5520	0.1278	0.6353
531	0.0391	2.5610	0.1272	0.6373
532	0.0457	2.5710	0.1205	0.6399
533	0.0446	2.5560	0.1134	0.6346
534	0.0552	2.5600	0.1091	0.6373
535	0.0932	2.5580	0.1061	0.6454
536	0.1545	2.5570	0.1008	0.6588
537	0.2398	2.5490	0.0977	0.6769
538	0.3071	2.5380	0.0891	0.6889
539	0.3481	2.5400	0.0924	0.6999
540	0.3378	2.5260	0.0811	0.6918
541	0.2686	2.4990	0.0814	0.6688
542	0.2084	2.4890	0.0782	0.6512
543	0.1376	2.4580	0.0757	0.6263
544	0.0918	2.4440	0.0710	0.6110
545	0.0745	2.4070	0.0703	0.5980
546	0.0697	2.3930	0.0640	0.5922
547	0.0615	2.3600	0.0658	0.5828
548	0.0536	2.3440	0.0608	0.5761
549	0.0438	2.3010	0.0598	0.5635
550	0.0427	2.2710	0.0560	0.5554
551	0.0476	2.2390	0.0581	0.5495
552	0.0571	2.2090	0.0541	0.5439
553	0.0848	2.1650	0.0530	0.5400
554	0.1106	2.1400	0.0507	0.5399
555	0.1333	2.1090	0.0481	0.5376

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(5)
($\lambda=555\sim595\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
555	0.1333	2.1090	0.0481	0.5376
556	0.1414	2.0740	0.0456	0.5308
557	0.1316	2.0250	0.0492	0.5177
558	0.1013	2.0060	0.0450	0.5050
559	0.0681	1.9580	0.0438	0.4854
560	0.0493	1.9150	0.0411	0.4702
561	0.0399	1.8730	0.0449	0.4589
562	0.0421	1.8350	0.0404	0.4496
563	0.0475	1.7950	0.0390	0.4412
564	0.0497	1.7520	0.0326	0.4303
565	0.0539	1.7070	0.0348	0.4212
566	0.0512	1.6680	0.0300	0.4104
567	0.0463	1.6190	0.0338	0.3985
568	0.0397	1.5750	0.0325	0.3863
569	0.0365	1.5290	0.0310	0.3744
570	0.0333	1.4930	0.0314	0.3652
571	0.0318	1.4490	0.0262	0.3535
572	0.0378	1.4070	0.0227	0.3443
573	0.0286	1.3550	0.0248	0.3303
574	0.0310	1.3260	0.0233	0.3238
575	0.0353	1.2890	0.0255	0.3166
576	0.0318	1.2460	0.0239	0.3053
577	0.0323	1.2120	0.0222	0.2971
578	0.0388	1.1780	0.0184	0.2899
579	0.0783	1.1400	0.0206	0.2910
580	0.1149	1.1110	0.0188	0.2926
581	0.1673	1.0710	0.0254	0.2973
582	0.2119	1.0420	0.0193	0.3000
583	0.2765	0.9982	0.0238	0.3063
584	0.3443	0.9651	0.0154	0.3131
585	0.4221	0.9309	0.0156	0.3240
586	0.5113	0.9051	0.0204	0.3405
587	0.5472	0.8816	0.0206	0.3437
588	0.5371	0.8464	0.0163	0.3321
589	0.4804	0.8125	0.0259	0.3124
590	0.3813	0.7985	0.0120	0.2822
591	0.3586	0.7608	0.0194	0.2694
592	0.4735	0.7311	0.0147	0.2893
593	0.6720	0.7191	0.0248	0.3365
594	0.8748	0.7014	0.0151	0.3794
595	1.0300	0.6752	0.0254	0.4129

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(6)
($\lambda=595\sim635\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
595	1.0300	0.6752	0.0254	0.4129
596	1.0110	0.6520	0.0282	0.4035
597	0.8206	0.6270	0.0129	0.3484
598	0.5912	0.6068	0.0156	0.2887
599	0.3433	0.5766	0.0157	0.2217
600	0.1772	0.5554	0.0159	0.1766
601	0.1146	0.5253	0.0080	0.1528
602	0.1076	0.5086	0.0081	0.1472
603	0.0920	0.4925	0.0054	0.1391
604	0.0984	0.4701	0.0137	0.1371
605	0.1023	0.4481	0.0083	0.1317
606	0.1121	0.4373	0.0112	0.1322
607	0.1302	0.4217	0.0057	0.1317
608	0.1517	0.4151	0.0115	0.1366
609	0.1798	0.3916	0.0029	0.1361
610	0.2111	0.3753	0.0176	0.1428
611	0.2300	0.3670	0.0030	0.1424
612	0.3215	0.3545	0.0090	0.1629
613	0.7098	0.3427	0.0152	0.2553
614	1.2690	0.3443	0.0246	0.3928
615	1.8290	0.3485	0.0218	0.5286
616	2.3090	0.3512	0.0348	0.6480
617	2.4830	0.3406	0.0386	0.6884
618	2.2020	0.3258	0.0228	0.6137
619	1.7600	0.2967	0.0297	0.5014
620	1.3580	0.2824	0.0269	0.4003
621	1.1280	0.2557	0.0171	0.3363
622	1.6430	0.2739	0.0139	0.4645
623	2.9670	0.2883	0.0457	0.7946
624	4.5770	0.3195	0.0574	1.1936
625	6.1610	0.3561	0.0734	1.5886
626	7.1830	0.3674	0.0900	1.8418
627	7.0690	0.3618	0.0838	1.8116
628	5.9190	0.3084	0.0859	1.5214
629	4.2880	0.2602	0.0641	1.1112
630	2.8070	0.2356	0.0331	0.7409
631	1.6190	0.1902	0.0254	0.4414
632	1.1220	0.1659	0.0131	0.3130
633	0.8490	0.1617	0.0225	0.2479
634	0.6164	0.1576	0.0185	0.1899
635	0.4113	0.1482	0.0191	0.1382

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(7)
($\lambda=635\sim 675\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
635	0.4113	0.1482	0.0191	0.1382
636	0.2615	0.1233	0.0197	0.0963
637	0.1728	0.1271	0.0051	0.0727
638	0.1206	0.1154	0.0052	0.0574
639	0.1027	0.1082	0.0108	0.0525
640	0.0836	0.1170	0.0558	0.0592
641	0.0690	0.1035	0.0058	0.0422
642	0.0709	0.1181	0.0118	0.0473
643	0.0365	0.0973	0.0000	0.0317
644	0.0376	0.0940	0.0000	0.0312
645	0.0325	0.0846	0.0000	0.0277
646	0.0404	0.0943	0.0000	0.0319
647	0.0342	0.0820	0.0068	0.0289
648	0.0418	0.0767	0.0000	0.0281
649	0.0356	0.0640	0.0000	0.0236
650	0.0291	0.0873	0.0000	0.0275
651	0.0371	0.0743	0.0000	0.0264
652	0.0453	0.0604	0.0000	0.0252
653	0.0381	0.0533	0.0152	0.0249
654	0.0464	0.0541	0.0232	0.0287
655	0.0395	0.0553	0.0079	0.0242
656	0.0727	0.0565	0.0242	0.0359
657	0.0575	0.0493	0.0246	0.0306
658	0.0251	0.0501	0.0000	0.0178
659	0.0425	0.0425	0.0000	0.0203
660	0.0259	0.0346	0.0000	0.0144
661	0.0439	0.0351	0.0000	0.0189
662	0.0356	0.0444	0.0267	0.0245
663	0.0360	0.0630	0.0090	0.0253
664	0.0367	0.0275	0.0000	0.0153
665	0.0371	0.0371	0.0278	0.0234
666	0.0000	0.0562	0.0094	0.0151
667	0.0473	0.0284	0.0000	0.0181
668	0.0095	0.0284	0.0189	0.0129
669	0.0194	0.0194	0.0000	0.0093
670	0.0298	0.0198	0.0099	0.0139
671	0.0502	0.0100	0.0000	0.0145
672	0.0614	0.0307	0.0102	0.0242
673	0.0624	0.0312	0.0000	0.0224
674	0.0423	0.0212	0.0000	0.0152
675	0.0638	0.0000	0.0000	0.0154

付表5(続き) 家庭用カラー受像管の分光分布(8)
($\lambda=675\sim780\text{nm}$)

λ [nm]	R(赤) S(λ)	G(緑) S(λ)	B(青) S(λ)	W(白) S(λ)
675	0.0638	0.0000	0.0000	0.0154
676	0.0432	0.0000	0.0000	0.0104
677	0.0218	0.0218	0.0109	0.0126
678	0.0552	0.0221	0.0110	0.0208
679	0.0112	0.0224	0.0000	0.0080
680	0.0226	0.0113	0.0000	0.0081
681	0.0341	0.0114	0.0114	0.0133
682	0.0229	0.0229	0.0000	0.0109
683	0.0346	0.0115	0.0000	0.0111
684	0.1167	0.0234	0.0000	0.0337
685	0.1423	0.0237	0.0000	0.0400
686	0.2146	0.0238	0.0119	0.0600
687	0.2749	0.0120	0.0000	0.0693
688	0.2311	0.0365	0.0122	0.0670
689	0.1476	0.0000	0.0000	0.0357
690	0.1372	0.0125	0.0000	0.0361
691	0.0633	0.0000	0.0000	0.0153
692	0.0510	0.0128	0.0128	0.0180
693	0.0649	0.0130	0.0130	0.0214
694	0.0786	0.0262	0.0000	0.0252
695	0.1461	0.0000	0.0000	0.0353
696	0.1211	0.0135	0.0000	0.0324
697	0.1918	0.0274	0.0137	0.0556
698	0.1536	0.0140	0.0279	0.0462
699	0.1555	0.0141	0.0000	0.0409
700	0.1581	0.0144	0.0000	0.0416
701~780	-	-	-	-

注: 本表における三種の蛍光体の組成は次の通りである。

発光色	蛍光体の組成
R(赤)	$\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}$ (顔料入り)
G(緑)	$\text{ZnS}:\text{Cu,Al,Au}$
B(青)	$\text{ZnS}:\text{Ag}$ (顔料入り)