

遮光筒式色彩計 520 01/02

Shading Cylinder Colorimeter 520 01/02

千田 直道^{*1}

CHIDA Naomichi

柳原 治之^{*1}

YANAGIHARA Haruyuki

村上 健二^{*1}

MURAKAMI Kenji

北島 昭彦^{*1}

KITAJIMA Akihiko

電子ディスプレイの輝度、色度を高精度に測定できる色彩計520 01/02を開発した。遮光筒方式を用いることにより、ピント合わせや精度や光軸調整の必要が無く、非接触で手軽に高精度な測定が可能である。被測定光源に応じて補正計数を切り替えることによりフィルタ方式の色彩計でありながら高い色度測定精度(±0.01)を実現した。また、従来は難しかった三波長域発光形蛍光ランプのような鋭い輝線を含む光源においても高精度測定が可能である。x y LはもちろんTc duvなどの光源色用、L*a*bなどの物体色用の豊富な表色系を用意している。ディスプレイの検査で頻繁に行われる輝度むら、色度むら測定機能を持ち小型軽量でバッテリー駆動が可能である。本稿ではその概要について述べる。

We have developed a filter colorimeter 520 01/02 to measure luminance and color coordinate of multicolor displays accurately. Employing a shading-cylinder system, it is capable of precision measurement without focusing or complicated alignment of optical axis. Using newly developed compensative coefficient, we have achieved the accuracy of ±0.01 for x and y (CIE 1931 representation) with this colorimeter. It had been difficult to measure the chromaticity of the light including sharp emission-line spectrum such as the 3-wavelength fluorescent lamp with filter colorimeter, this colorimeter enables you to measure such light with high accuracy. It has plenty color system for non-luminous object such as L*a*b as well as that for luminous object such as xyL or Tc duv. You can easily analyze uniformity in the luminance or the chromaticity of the display with this colorimeter. It is compact, operates on battery and easy to use.

This paper describes its structure and merit.

1. はじめに

国内の主要な民生電気機器や電子部品のメーカーでは電子ディスプレイを「将来を担う重要なキーパーツ」と位置付け活発な研究開発を行っている。それに伴いCRT、LCD(液晶ディスプレイ)、大型PDP(プラズマ・ディスプレイ・パネル)などの性能が急速に向上している。

色はそのようなカラーディスプレイの表示性能を決定する重要なパラメータの一つである。今回開発した遮光筒式色彩計520 01/02は電子ディスプレイに代表される自ら発光する物体の光の色(光源色)とその明るさ(輝度)を数値化して表示する測定器である。図1にその外観を示す。

2. 色彩測定の原理 / 色彩計の種類

光の色は光源の分光放射輝度とそれを見る人の目の分光視感度との相関によって決まる。CIE(国際照明委員

会)では、人間の目の分光応答度に対応する3つの等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ を定めている。これらの等色関数



図1 遮光筒式色彩計520 02の外観

*1 横河M&C(株) 第2技術部

を通して光源を観測したときのそれぞれの出力をX, Y, Zで表し三刺激値と呼ぶ。式で表すと次のようになる。

$$\begin{cases} X = k \sum_{380}^{780} S_r(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y = k \sum_{380}^{780} S_r(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z = k \sum_{380}^{780} S_r(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{cases} \quad (1)$$

ここで、kは対応する測光単位にあわせるための係数、 $S_r(\lambda)$ は光源の分光強度分布であり $\Delta\lambda$ は計算する波長間隔である。としては5nmとする場合が多い。

色彩計ではこの三刺激値を何等かの方法で求めることになるが、その求め方には大きく分けて刺激値直読方式と分光方式の2つの方法がある。刺激値直読方式の色彩計はフィルタ式色彩計とも呼ばれ、フィルタとセンサの総合分光応答度(以下分光応答度とする)が前述の等色関数に近似するような3つ以上の光電変換器を用いてX, Y, Zを直接測定する。検出部分と信号処理の方法が簡単であることから低価格で取扱いが容易、小型で軽量などの長所がある。反面、分光応答度を完全に等色関数に一致させることは困難であるため色度測定の誤差が発生しやすいという問題もある。一方、分光方式の色彩計では入射した光の分光輝度分布を直接求めるため、正しく用いれば色度測定の誤差を非常に小さくできるが、光学系や信号の処理が複雑であるため高価で大型になりやすく、しっかりした設置場所が必要で管理にも細心の注意が必要である。したがって一般的には分光式の色彩計は研究開発部門で使われ、製造部門やサービス部門ではフィルタ式の色彩計が使われることが多かった。しかし、ディスプレイの品質向上に伴って、製造部門、サービス部門や営業部門などでも正確な色度測定の要求が高まっている。

3. 構成

図2にブロック図を示す。

本器の光入射部には焦点合わせの不要な遮光筒方式を採用し、接触、非接触にかかわらず簡単に高精度な測定ができるようになっている。

遮光筒により一定の立体角に含まれる放射光を取り込み、測定器内部の透過拡散板を照射する。拡散板を透過した光はディストリビュータレンズにより、光学フィルタを通してシリコンフォトダイオードに結像するようになっている。x, y, zそれぞれの光電センサの総合分光応答度は等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ に整合するように設計されている。フォトダイオードの出力は高精度I/Vアンプで増幅されコネクタを介して本体に接続される。光電センサ近傍には温度検出器を設置してあり温度変化によるわずかな感度変化も補正できるようになっている。受光部のE²-PROMには受光部個々の校正係数、I/Vアンプゲインなどを設定しており、受光部と本体の組み合わせを交換しても正しい測定ができるようになっている。

本体部にはマルチプレクサがありA/D変換器へ入力する信号を切り換えている。A/D変換器出力はCPUに取り込まれ、各種座標系による色度に換算され、LCDに表示される。

4. 光源補正係数

図3に等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, 標準A光源及び三波長域発光形蛍光ランプの相対分光輝度分布の例を示す。フィルタ式の色彩計の場合、等色関数に近似した各分光応答度で被測定光源の分光輝度を測定するのであるから、(1)式の各波長における分光輝度と分光応答度の

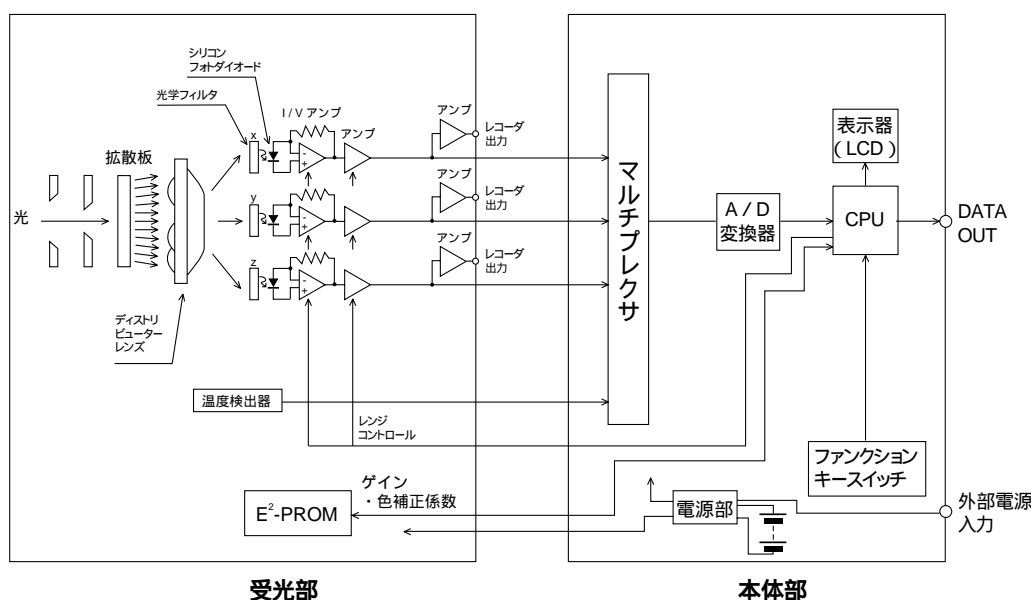


図2 520 01 のブロック図

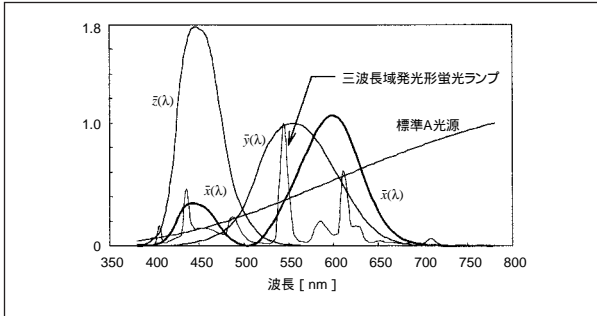


図3 等色関数と光源の相対分光輝度分布

積の全波長における積分値が得られることになる。

実際のセンサでは $\bar{x}(\lambda)$ の分光応答度を1つのセンサで実現するのは難しいので、短波長側の $\bar{x}_1(\lambda)$ と長波長側の $\bar{x}_2(\lambda)$ に分け、 $\bar{x}(\lambda)$ に係数を掛けて $\bar{x}(\lambda)$ として用いられるようになっている。このような構成である光源を測定した場合に $\bar{x}_1(\lambda)$, $\bar{x}_2(\lambda)$, $\bar{x}(\lambda)$ に相当する分光応答度を持つセンサからの出力がそれぞれ V_{x1} , V_{x2} , V_x だったとすると、三刺激値は

$$\begin{cases} X = \alpha V_{x1} + \beta V_{x2} \\ Y = \gamma V_x \\ Z = \epsilon V_z \end{cases} \quad (2)$$

と表される。 $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$ は各センサの出力を加算する際の係数である。

この場合、各分光応答度と等色関数との間に偏差がある場合には測定誤差が発生してしまうが、この偏差を完全に取り除くことは不可能である。本器ではこのような誤差の影響を最小限にする機能を持っている。

ここで実際の光源の例として液晶ディスプレイを測定する場合について考えてみる。液晶ディスプレイの光学系は偏光素子を含んだ複雑な光学系であるが、説明のためバックライトに用いる三波長域発光形蛍光ランプの前にRGB 3種類のフィルタを組み合わせさせた単純な光源と仮定する。この光源の場合、図3の三波長域発光形蛍光ランプの輝度分布からわかるように高い輝線スペクトルを含んでいてこの輝線スペクトルが色度の測定に大きく影響していることがわかる。しかし、輝線スペクトルの出ている波長は決まっているので、液晶と偏光板からなる光シャッタの透過率が変化しRGBの比率が変化したとしても輝線スペクトルの高さが変化するだけで波長は変化しない。従って輝線スペクトルのある波長の位置での等色関数と分光応答度の偏差を押えることで測定誤差を小さくできるわけである。従来はセンサ出力に乗ずる係数 $(\alpha, \beta, \gamma, \epsilon)$ は白色光源、またはA光源の何れかでの偏差が最小になるように求めるのが一般的だった。本器では被測定光源によってセンサ出力に乗じる係数を切り換え、それぞれの光源で誤差が最小になるようにしている。

あらかじめ想定してある光源はA光源、三波長域発光形蛍光ランプ、CRTである。被測定光源はほとんどの場合特定できるから、それに応じて最適な光源補正係数を設定することができる。例えば電球に色ガラスをかぶせた自動車のテールランプなどではA光源の光源補正係数を、バックライトに三波長域発光型蛍光ランプを用いた液晶ディスプレイでは三波長域発光型蛍光ランプの光源補正係数を設定することで、分光応答度のずれによる偏差の影響を最小限にとどめることができるのである。

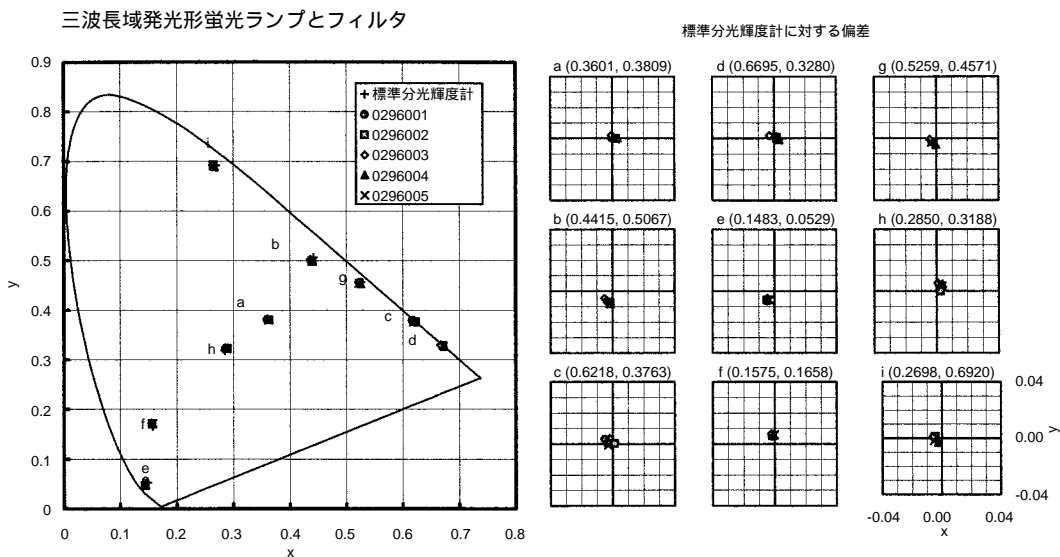


図4 色度の測定例

表 1 520 01 / 02の主な仕様

形 名	520 01		520 02				
受 光 素 子	シリコンフォトダイオード 3素子		シリコンフォトダイオード 5素子				
光 学 系	遮光筒式(受光径:最小 10mm, 視野角:約30度)						
測 定 視 野 径	被測定物との距離	密着	10mm	20mm	50mm	80mm	100mm
	測定視野径		10mm	19mm	25mm	42mm	61mm
分 光 応 答 度	CIE1931等色開数に近似						
表 示	液晶表示(数字5桁),最大有効表示:9999+(桁位0表示)						
応 答 時 間	FAST:約2秒,SLOW:約6秒 測定周期:2回 / 秒 ただし相関色温度の測定は1回 / 秒)						
輝 度	測 定 範 囲	0.10 ~ 99,990 cd/m ²					
	測 定 レ ン ジ	100.00/1,000.0/10,000/100,000 cd/m ²					
表 色 機 能	光 源 色	色度座標 :x, y, L u', v', L / 三刺激値 :X, Y, Z / 相関色温度:Tc, duv, L 上記各表色座標における偏差表示(偏差用基準色 8データ)					
	物 体 色	色度座標: CIE1976 L [*] , a [*] , b [*] Eab [*] CIE1976 L [*] , u [*] , v [*] Euv [*] (偏差用基準色 8データ)					
精 度	輝 度	±4% of rdg±1 dgt (23 ±3 ·70%RH以下,標準A光源,フルスケールの10%以上の輝度にて)					
	色 度	・標準A光源にて±0.002以下(x, yの偏差) (23 ±3 ·70%RH以下,フルスケールの10%以上の輝度にて) ・標準A光源および3波長域発光形蛍光ランプと色フィルタとの組み合わせにて±0.03以下(x, yの偏差) (23 ±3 ·70%RH以下,フルスケールの5%以上の輝度にて)		・標準A光源にて±0.002以下(x, yの偏差) (23 ±3 ·70%RH以下,フルスケールの10%以上の輝度にて) ・標準A光源および3波長域発光形蛍光ランプと色フィルタとの組み合わせにて±0.01以下(x, yの偏差) (23 ±3 ·70%RH以下,フルスケールの5%以上の輝度にて)			
出 力	レコーダ出力:X2, Y, Zに対応した出力(3刺激値X, Y, Z) 1Vf.s, 応答速度約200msec, 負荷抵抗100k 以上 デジタル出力:BCDシリアル出力(オプションのRS232Cコンバータと接続可能)						
使用温度・湿度範囲	0 ~40 ,70%RH以下						
寸 法 ・ 重 量	約67(W)×260(H)×40(D)mm, 約380g						
電 源	9V乾電池 6F2Q S-006P またはACアダプタ(オプション)						

5. 色度測定値の例

図 4 に三波長域発光形蛍光ランプとフィルタを組み合わせさせた評価用の光源を本器 5 台と標準分光輝度計で測定した場合の色度の測定例を示す。標準分光輝度計は日本電気計器検定所にて値付けされた分光放射照度標準電球にて校正している。左側はxy色度図上へ重ねてプロットしたもので、右側はその拡大図である。右側の各図の中心は標準分光輝度計の表示値である。測定した9色について標準分光輝度計との色度の偏差は±0.01以内に入っており、5 台の器差も非常に小さいことが解る。

三波長域発光形蛍光ランプのような輝線を含む光源の色度測定は大変難しく、従来、フィルタ式の色彩計では測定精度や再現性が期待できないというのが常識であった。しかし、電子ディスプレイではCRTにしるLCD, PDPにしる蛍光体を用いており、輝線が存在する。本器ではこのような輝線を持った光源でも実用上十分な測定精度を実現している。

6. 主な仕様と機能

表 1 に本器の概略仕様を示す。

本器は様々な用途を想定した機能を内蔵している。主な機能は以下ようになる。

(1) リファレンス機能

色管理では、あらかじめ想定してある基準の色からのずれを管理したい場合が多い。各表色系において、基準色に対する偏差の表示が可能である。本体内に設定できる基準色は8色である。

(2) 測定値メモリと演算機能

最大16データまでの測定値を本体内にメモリし、そのデータ内の平均値, 最大値, 最小値, 最大最小の差が表示できる。ディスプレイの検査に於いては、画面内の4 ~ 13点の色度, 輝度ムラを規定することが多いが、その検査を本体だけでできるようにしている。

(3) ユーザ校正基準値メモリ機能

客先によっては社内の基準を管理し、測定値をその管理値に合わせたい場合がある。本器では3刺激値に係数をかけることによって、表示値をユーザの管理値に合わせる機能を用意している。

7. おわりに

本稿では遮光筒式色彩計520 01/02の色度精度の改良技術などを中心に説明した。本器は光入射部に遮光筒方式を採用し、光源補正係数を用いることにより小型軽量と高精度な色彩測定を実現したフィルタ式色彩計である。

カラーディスプレイの品質が急速に高まりつつある現在、高精度な色度測定を必要とする部門が増えてきている。本器がカラーディスプレイの品質向上に貢献できれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) N.Chida, et al.: Development of a filter colorimeter improved for color display - Proceeding of The Third International Display Workshops Vol.2 (1986)
- (2) 照明学会技術基準 JIEG-006「輝度計の性能評価方法ならびに使用方法」
- (3) 日本色彩学会編: 色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会 (1994)