

2次元色彩輝度計 CA-2000 の インパルス表示型ディスプレイ測定技術

The New CA-2000 Two-Dimensional Luminance Colorimeter for Impulse-Type Displays

上 松 幹 夫*
Uematsu, Mikio

後 藤 泰 史**
Goto, Yasushi

門 脇 豊**
Kadowaki, Yutaka

要旨

従来、測定対象ディスプレイの発光制御方式によっては2次元型の色彩輝度計で正確な測定をすることが出来ないことがあった。CA-2000では露光方法の改善によって発光特性の影響を受けず、従来測定の難しかったインパルス表示型ディスプレイであっても簡便に精度よく輝度や色度の分布を測定できるようになった。

また個々の測定器に対して個別の校正を施すことにより、露光方法改善のために必要となった光量調整用NDフィルタを含む各光学構成要素に起因する測定誤差を抑制でき、精度を犠牲にすることなく高機能を達成することができた。

Abstract

It has long been impossible to measure an impulse-type display accurately with a two-dimensional luminance colorimeter. But new CA-2000 two-dimensional luminance colorimeter easily and accurately measures the distribution of luminance and chromaticity by use of an improved method of exposure. High performance is achieved without sacrificing accuracy through the individual calibration and error correction of optical components, including the ND filter essential to the improved method of exposure.

1 はじめに

近年、ディスプレイの高品質化が進む中で、画面内の明るさや色の分布（ムラ）を測定・評価する必要性が高くなってきた。また画面内の多数点での輝度や色度の測定を効率よく実施したいというニーズも強い。多くの発光点が離散的に存在している自動車用のメータなどの評価においても同様のニーズが見られる。

これらの用途に適した測定器としては、当社が2001年に発売した「2次元色分布測定装置CA-1500」を含め、CCDセンサの出力画像を利用して測定対象物の明るさや色の分布を測定する2次元型の色彩輝度計がある。しかしながら一点のみの測定が可能な色彩輝度計に比べて2次元型の測定器の歴史は浅く、計測機器として改良すべき点が多いと言える。

筆者らは様々な測定対象物の輝度・色度分布を正確か



Photo 1 2D Color Analyzer CA-2000

つ簡便に測定ができる測定器を目指し、従来機種CA-1500の設計や仕様を全面的に見直した「2次元色彩輝度計CA-2000」を新たに開発した（Photo 1）。その中で、周期的な発光を繰り返すインパルス型表示ディスプレイでも正確に測定することのできる同期測定機能を、他の基本性能を犠牲にすることなく実現した。これによりPDPなどのインパルス型表示ディスプレイを含む幅広い

* コニカミノルタセンシング(株) 開発部 開発 11 課
** コニカミノルタセンシング(株) 開発部 開発 21 課

測定ターゲットを簡便に、より精度よく測定できるようになった。ここではCA-2000の同期測定機能、また2次元色彩輝度計で特に重視される測定画素感度の均一性能の達成技術について紹介する。

2 光学構成と基本動作

Fig. 1のように、CA-2000の光学要素は、①対物レンズ、②色分解用フィルタ、③光量調整用NDフィルタ、④CCDセンサの4ブロックに大別される。

結像機能を担う対物レンズは、測定対象物までの距離に応じて画像のピントを調整するフォーカス調整機能を持つ。対物レンズはユーザーによる交換が可能であり、測定対象物の大きさに合わせて適切なレンズが選択可能である。

色分解用フィルタは対物レンズの直後に配置され、国際照明委員会で定義されているCIE1931等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ に近似する分光透過率をもつ3種類の光学フィルタXYZで構成される。各フィルタは一枚の回転板に取り付けられていて光路上に挿入するフィルタを切り替えられるようになっており、測定時にXYZフィルタを順次切り替えることにより色分解した画像を取得する仕組みとなっている。

光量調整用NDフィルタはXYZフィルタとCCDセンサの間に配置され、およそ100%~1.5%までの透過率の異なる7枚の光学NDフィルタにて構成される。XYZフィルタと同様の機構により、入射光量の強さに応じて必要なNDフィルタを光路上に挿入できる。

NDフィルタの背後に配置されるCCDセンサは対物レンズや各光学フィルタを経て入射される光を撮像して映像信号を出力する。そして映像信号はAD変換され、2次元配列の数値データ（以下、画像データ）として取得される。

輝度・色度の測定においては、XYZフィルタを切り替えながら撮像を行ってXYZの各画像データを取得、併せて取得したダーク画像によるノイズ除去処理を施したあ

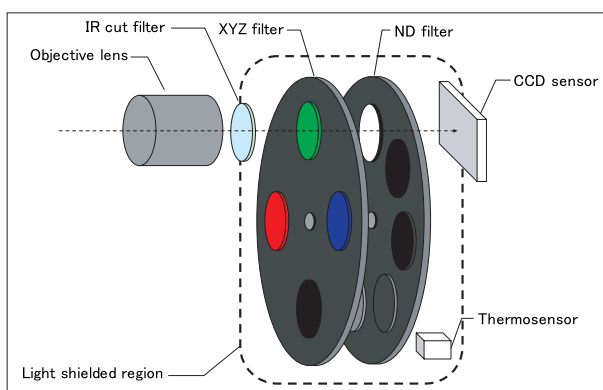


Fig.1 Optical components of the CA-2000

と、幾つかの誤差補正演算や表色演算を施すことで最終的な測定データである輝度画像データ、色度画像データを作成する。

3 同期測定の実現

3.1 ディスプレイの発光

テレビやパソコン用モニターとして広く一般に利用されるLCDやPDPなどの各種ディスプレイの中には、インパルス型表示ディスプレイと呼ばれ、視認不可能な短い周期の発光を繰り返しているものがある。

PDPをはじめPWM駆動によって表示階調を制御しているディスプレイは、Fig. 2に示すように短い周期で“点滅”を繰り返している。また画面上を走査する電子ビームがホスファに当たることによって発光するCRTの場合もFig. 3に示すように発光を繰り返す。さらには、ホールド型表示により発光量の変動が小さかったLCDにおいても、黒画面の挿入やバックライトの選択的発光によって動画特性の改善を図る技術の導入により、発光量に時間的変動が生じるようになってきた。

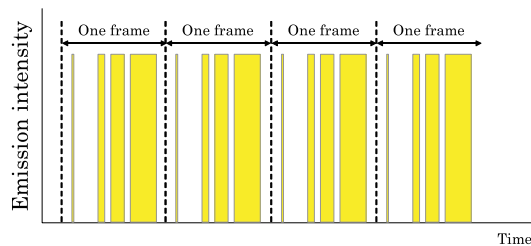


Fig.2 Luminous profile image of PDP

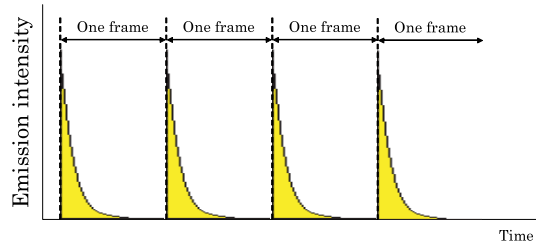


Fig.3 Luminous profile image of CRT

3.2 測定への影響と原因

PDPを2次元測定器で測定したときの結果例をFig. 5に示す。縦軸は測定画面中央部の輝度値や色度値を表しており、10回繰り返して測定をしたときの測定値変動を表している。

従来の測定方法による点線の変化量を見ると、輝度Lvで約20%の幅、色度xで約0.04、yで約0.08の幅で変動が生じている。

3. 3 原因と対策

この現象は、測定時のCCD露光時間とディスプレイの発光周期が合致していないことによって引き起こされている。

Fig. 4はPDPの発光と測定器の露光タイミングを重ねた模式図である。背景がPDPの発光、No. 1～9および10～18の枠が露光期間をあらわす。

ここで露光No. 9に着目すると、露光時間の大半がPDP未発光の時間帯に掛かっており、この露光によって得られる信号量は小さい。一方でNo. 4やNo. 5の露光は長く発光状態を捉えており大きな信号が得られる。つまり発光と露光の周期が一致していないため発光プロファイルの異なる箇所をサンプリングしてしまい、検出信号の大きさが変動していると言える。結果、Fig. 5の点線で示されるように測定再現性が損なわれてしまう。

なお、CRTのように画面内の位置によって発光タイミングが異なるディスプレイにおいては、測定再現性が損なわれると同時に空間的なムラとしても観察されることになる。

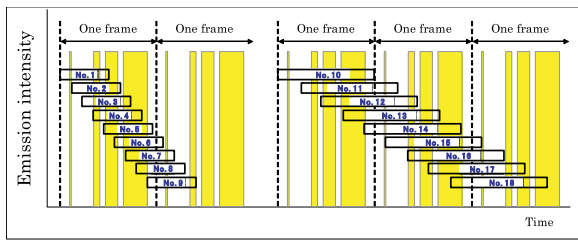


Fig. 4 Luminous profile image of PDP and measurement exposures

ディスプレイの評価においては、発光応答性の観察などを除き、視認できない発光変動の影響を受けないで見た目通りの安定した輝度や色度の計測結果を得ることが期待される。

そこでCA-2000ではCCDの露光時間を細かく調整して測定対象物の発光周期に合わせることにした。具体的にはディスプレイの発光周期を予め本器に設定しておき、その周期に基づいて測定時の露光時間を決定する。Fig. 4の右側に描いている模式図は、露光時間を発光周期に一致させている状態を表す。発光と露光の位相が異なっても常に1フレーム分の発光量を捉えることができ、検出信号が安定させることができる。なお露光時間は発光周期の整数倍であれば良く、測定対象の光量に応じて長い露光時間を利用することが可能である。

CA-2000が必要とする画素数や感度、ノイズ性能を有しており、なおかつ露光時間の微調整機能を備えた既成のCCDカメラが存在しなかったため、今回はCCD制御モジュールを新規に開発した。これにより画素数や測定輝度範囲、性能などの達成に併せて露光時間を1 μ sピッチで微調整する機能が実現。発光周期に合致するサンプリング

を実施できるようになり、再現性の良い測定データを取得できるようになった。

Fig. 5の実線のグラフに着目すると、同期測定によって測定結果の変動が低減されていることがわかる。この実験データにおいては輝度Lvで約0.5%未満、色度xyで0.001未満の変動に抑制されている。

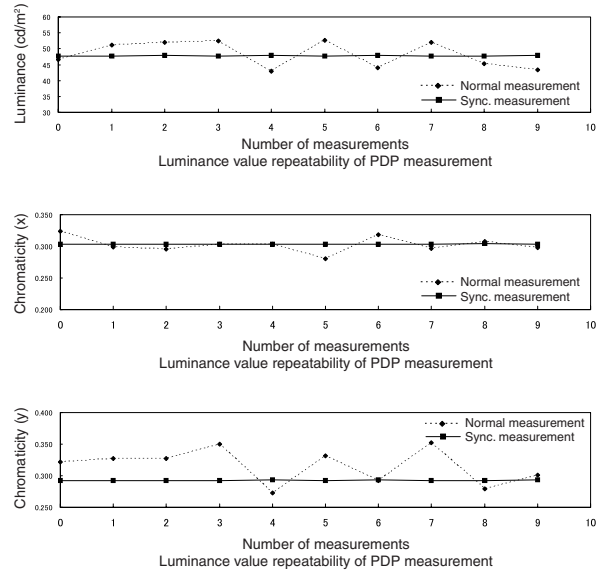


Fig. 5 Measurement value repeatability

3. 4 光量調整手段としてNDフィルタの採用

CCDセンサによる撮像において露光時間制御は光量調整手段のひとつであるが、前述の同期測定手段ではディスプレイ発光周期よりも短い露光時間を使えなくなると言う制約が生じ、光量が大きすぎる測定対象物で問題となる。測定対象の光量を選ばない汎用性の高い2次元色彩輝度計とするためには、光量が大きすぎる場合に別の光量調整手段が必要になってくる。

そこでCA-2000では光量の調整方法としてNDフィルタを内蔵した。露光時間を最短時間（ディスプレイの発光周期）に設定してもなお光量が大きすぎる場合には内蔵NDフィルタを挿入することで光量を制限する。これにより輝度の高いインパルス型表示ディスプレイであっても同期測定によって精度よく輝度・色度の分布が測定できる。

ところで、NDフィルタを内蔵することにより、その光学特性による測定値への影響が問題となってくる。そこで、次章に記載する校正を施すことでNDフィルタを含む各光学要素に起因する誤差を除去し、2次元色彩輝度計で必要とされる高い測定性能を実現している。

4 高い均一性能の実現

CA-2000の仕様の中に「測定点間誤差」という項目がある。測定画素の輝度や色度に対する感度の均一性を表

す評価尺度であるが、輝度・色度の分布（ムラ）測定を主目的として使用される2次元色彩輝度計にとって、この性能は特に重要である。例えば測定結果を画像として観察する場合、不均一性はムラの識別可能レベルを低下させ、パターン状の不均一性が存在する場合には測定ターゲットに在らぬムラが観察されてしまう。

画素感度の均一性を損ねる主な要因としては、CCDの感度ムラ、XYZやNDフィルタの透過率ムラ、そして対物レンズのシェーディング特性がある。特に対物レンズによるシェーディング特性はFig. 6に示す通りピントリングの位置に対して依存性を持ち、測定対象物までの距離に応じてピント調整するだけで測定結果に違いが生じてしまう。

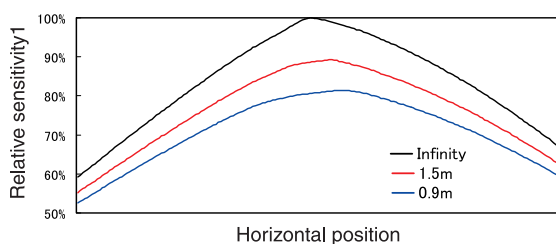


Fig. 6 Relative shading curve of a telephoto object lens

測定器に要求される様々な仕様を踏まえて均一性能の実現方法を考えた場合、全ての光学要素の不均一性を部品単位で抑制することは実現困難であった。そこでCA-2000では約100万画素の全CCD画素に対し、対物レンズ種類、ピントリング位置、NDフィルタ種類の全ての組合せにおいて校正を施すことで不均一性誤差を補正することにした。具体的な校正画素数や校正ポイントを従来機種であるCA-1500と比較するとTable 1のようになる。

Table 1 Comparison of calibration pixels and point numbers

	CA-2000					
	Standard lens		Telephoto lens			
	CA-1500*		With low-magnification ring		With high-magnification ring	
CCD pixels	400x400		1000x1000			
Calibration unit pixels	2x2		1x1			
Measurement resolution	200x200		980x980			
Calibration point numbers	Distance (4pt.)	Dist.(9pt.)	Dist.(6pt.)	Dist.(13pt.)	Dist.(1pt.)	Dist.(1pt.)
	ND(7pt.)	ND(7pt.)	ND(7pt.)	ND(7pt.)	ND(7pt.)	ND(7pt.)

*CA-1500 standard type

CA-1500に比べて校正画素数を増やすことにより、精度を犠牲にすることなく高い画素数の測定画像データを提供できるようになった。また校正点数（レンズ×距離×ND）を増やすことによりレンズ交換性、同期測定などの新機能と精度を両立し、サイズや発光形態、輝度などを選ばず様々な特徴の測定対象を幅広く測定することが出来るようになった。なおレンズの種類によって校正点数が異なるのは個々のシェーディング特性の違いによるものであり、最小限の校正点数により必要な性能が達成されるようにしている。

Fig. 7は、ピントリングの位置を変えて均一光源を測定したときの測定画像データの画面中央付近の断面図を示す。この画像データの不均一性（平均値に対する個々のデータのバラツキ）を評価すると、およそ±0.5%となっている。いずれの測定距離においても光学系に起因する不均一性が除去され、高い均一性が実現されていることがわかる。

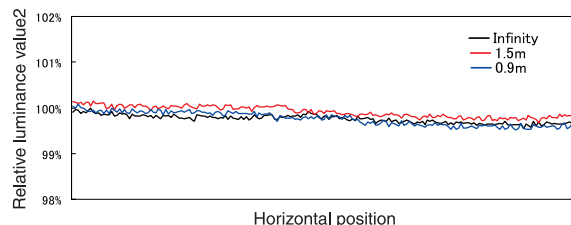


Fig. 7 Horizontal section of measured image center

5 まとめ

発光量が変動するディスプレイを安定的に測定するためのサンプリング手法、また高い均一性を実現するための校正について述べた。

ディスプレイの開発競争が激しくなり、開発や製造における評価の作業を効率よく実施したいというニーズが高まる中、一点のみの測定が可能な色彩輝度計から2次元色彩輝度計に置き換えようとする動きも増えている。そしてこのような動きはディスプレイ業界のみならず、自動車用メータなど他の業界にも見られる。

センサが完成したいま、輝度や色度の分布を効率よく簡便に評価できる特徴をもつ2次元色彩輝度計に期待されるアプリケーションをよく捉え、これからも広く利用される計測器の提供を目指したい。

●参考文献

- 1) 吹抜敬彦, 北村彰規, 映像情報メディア学会誌, 59, 1841 (2005)