

液晶ディスプレイパネルの色再現特性とその標準色再現

Color Reproduction Characteristics of Liquid Crystal Display Panels and New Compensation Methods for Them

岡野 幸夫*
Yukio Okano

塩谷 望*
Nozomu Shiotani

要 旨

カラー液晶ディスプレイパネルの色再現特性は CRT ディスプレイとは異なり、特有の色再現特性をしている。本報告では液晶ディスプレイパネルの色再現特性を計測、評価し、標準色再現特性に補償する方法について述べる。第一の方法は LUT (Look Up Table) によるハードウェア補償であり、パネルへ入力する青画像信号に対し LUT 補正をする。第二の方法は ICC プロファイルを用いたカラーマネジメントによるソフトウェア補償であり、ICC プロファイルの逆 LUT に青偏移補正のデータを組み込む方法である。何れの方法においても、忠実度の高い標準色の再現が可能となった。

The color reproduction characteristics of LCD (Liquid Crystal Display) panels are different from those of CRT (Cathode Ray Tube) displays. This paper describes how the authors measured and analyzed such characteristics of LCD panels to develop new methods for compensating the bluish cast found on conventional LCDs. The first one is a hardware-based technique that employs LUT (Look Up Table) and the second a software-based color-management technique utilizing ICC profiles compensating the bluish cast. The authors achieved faithful color reproduction for standard sRGB with any of the two methods.

まえがき

液晶ディスプレイ (LCD) パネルの画像表示特性は明るさ、視野角、コントラスト、色再現性、ガンマ特性など多方面から評価されている。液晶ディスプレイパネルの色再現性を主観評価すると、液晶ディスプレイパネルは青色系統の表現に優れており、人間の記憶

色である青空の表示等に高い評価が得られている。しかしながら、インターネットの標準色空間である sRGB 色空間¹⁾とは異なる色再現となるため、液晶ディスプレイパネルの色再現特性を標準色空間 sRGB に合致させる必要がある。例えば、インターネット通販においては、服飾品、家具等の色合わせは重要であり、液晶ディスプレイパネルは好ましい色再現だけでなく、sRGB 標準の色再現もできることが望まれる。

液晶ディスプレイパネル独特の色再現特性を補償し、標準色再現を実現するため、

- (1) 入力画像信号中にルックアップテーブル (LUT) を挿入し補償する方法
- (2) ICC プロファイルによりソフトウェアで補償する方法

を開発した。液晶の色再現特性およびこれらの補償方法について以下に述べる。

1. カラー液晶ディスプレイパネルの色再現特性

カラー表示原理の違いから、カラー液晶ディスプレイパネルの色再現特性は CRT (Cathode Ray Tube) とは異なり独特の色再現特性となっている²⁾。代表的な透過型 TFT カラー液晶ディスプレイ (Sharp LL-T1510A) の色再現特性を測定した結果を xy 色度図 (図 1) に示す。色再現特性の測定はカラーパッチを発生させ、LCD 画面を正面から色彩輝度計 (Topcon BM-5A) で計測したものであり、計測方法は IEC61966-4³⁾ に準拠して計測した。図 1 はデジタル入力階調を変化させて色再現範囲を示したものであり、色再現特性からみた LCD パネルの特性は

- (1) 入力レベルが低くなるに従い、色再現範囲が小さくなるとともに青色方向にシフトする。
- (2) 入力レベルが低くなるに従い、無彩色の色温度が高くなる。
- (3) 入力レベルをゼロとしても透過光がある。

などがあげられる。これらの特性は液晶素材の性質や、LCD パネル構成上の光学素子である偏光板の光

* 技術本部 システム開発センター
インターフェース開発プロジェクトチーム

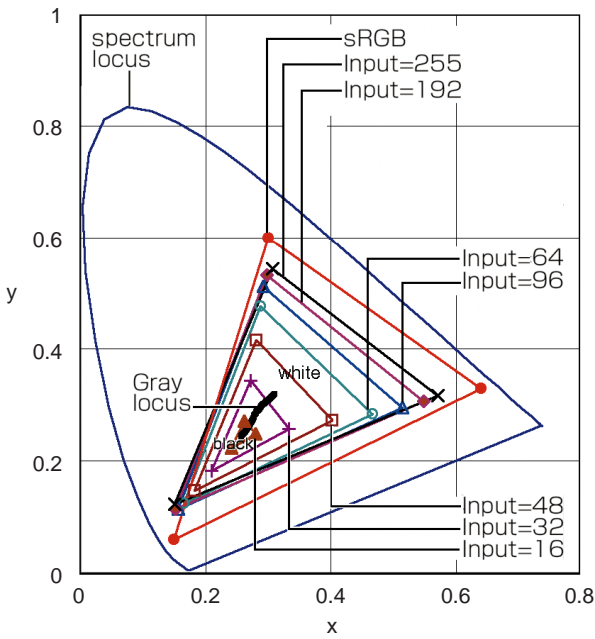


図1 カラー液晶ディスプレイの色再現特性
Fig. 1 Color gamuts of an LCD varying the input digital level.

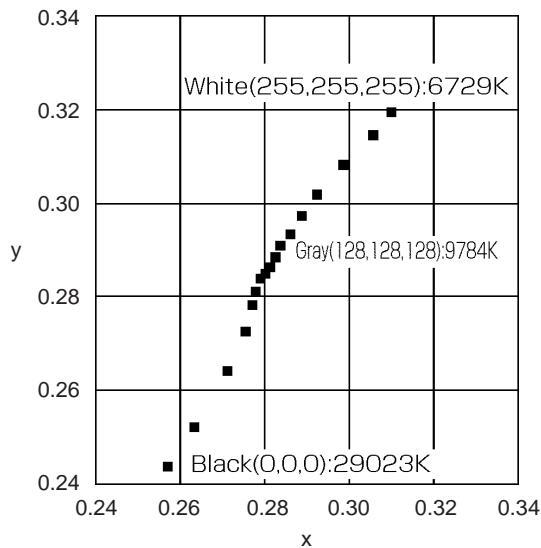


図2 無彩色の入力階調変化による色温度変化
Fig. 2 Locus of gray chromaticity points on (x,y) diagrams varying the input digital level.

学特性に起因すると考えられている。入力デジタル値をゼロとした黒(0,0,0)の場合、偏光板はクロスニコルの状態となるが青色に偏った光漏れがあり、黒であっても色度図上で色度点をもつことになる。液晶の色再現範囲をsRGB標準と比較すると、やや狭い傾向となる。

図2は無彩色の入力階調による色変化をxy色度図上に示したもので、図1のGray locusを拡大表示したものに相当する。0~255の入力階調を0,16,32,48,64,96,128,192,255

と計測した(印)。入力が白(255,255,255)の場合、相関色温度は6729度であるが、灰色(128,128,128)では9784度、黒(0,0,0)では29023度とデジタル入力レベルが低くなるにしたがい色温度が高くなる。すなわち、入力階調が低くなるにしたがい、無彩色が青色に偏移して再現されている。

なお、CRTの色再現特性では液晶ディスプレイのように入力階調に応じて、原色RGB色度点および白色の色度点の変化は生じない。

2. LUTによる標準色の再現²⁾

標準色空間sRGBでは図2に示した入力階調による無彩色の色変化は想定されておらず、この補正が必要となる。LCDは加法混色が原理的に成り立ち、原色(R,G,B)を等しく加え合わせることで無彩色となる。中間レベルの無彩色が青色方向に偏移するのであるから、入力信号のうちBのみのレベルを落とし、他のR,Gと混色することにより、青偏移を抑えることができる。図3に示したように、LCDパネルへのRGB入力信号に対し補正LUT(Compensation Look Up

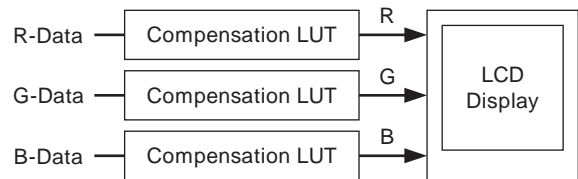


図3 LUTによる補正
Fig. 3 Schematic diagram of compensation on display data model.

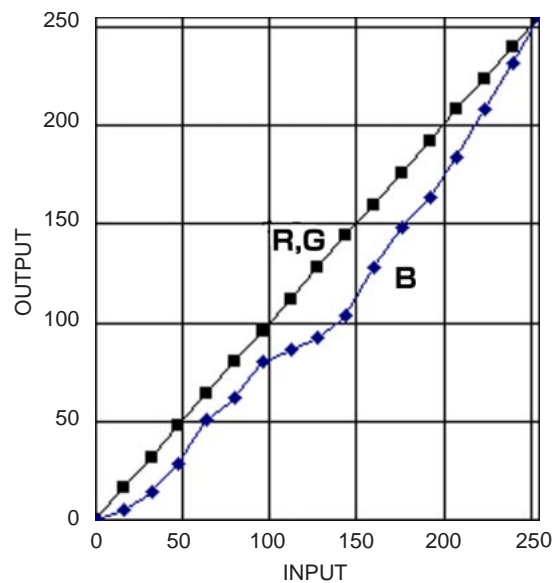


図4 補正LUTの例
Fig. 4 Compensation LUTs for an LCD.

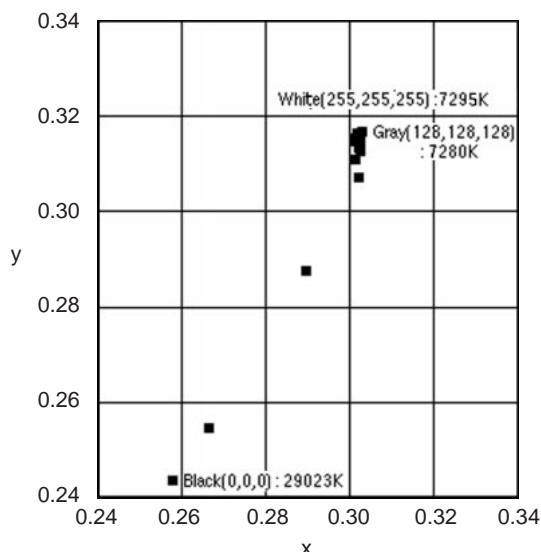


図5 LUT補正を行った無彩色の色温度変化
Fig. 5 Correlated color temperatures compensated by using LUTs shown in Fig. 4.

Table) を挿入することにより、無彩色の青偏移を抑えることができる。図2に示した色温度の変化を補正したLUTを図4に示す。図4のLUTにおいて、R(赤)、G(緑)は45度の直線となっており、入力(Input)と出力(Output)が同じであることを表わしており、B(青)のみ入力階調に応じて、出力が減衰させられている。例えば、RGB入力が(128,128,128)である場合、出力を(128,128,92)と変換する。

図4に示したLUTを使い無彩色の青偏移を計算した結果を図5の(x,y)色度上に示した。極低レベル入力を除き、色温度は7300度付近でほぼ一定となり、青偏移が補正できる。

3. ICCプロファイルによる標準色の再現⁴⁾⁵⁾

ICCプロファイルとはカラー画像機器(デジタルカメラ、プリンタ、モニタ、スキャナなど)の色特性を記述したファイルであり、機器相互間で標準色の再現ができる様、ICC(International Color Consortium)により標準化されている。

ICCにより規定されたモニタの標準色再現演算フローを図6に示す⁶⁾。

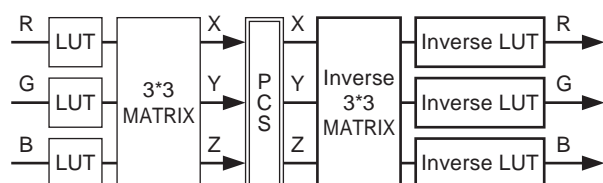


図6 モニタのICC準拠の色再現演算フロー
Fig. 6 ICC's calculation flow for monitors.

ICCでは機器非依存の色空間(Device Independent Color Space)を介して、色情報の演算を行う。図6に示したPCS(Profile Connection Space)が機器非依存の色空間であり、XYZ色空間が用いられる。モニタの場合、入力となるRGB画像信号はsRGBに準拠していると見なされ、LUT(ガンマ値2.2)によりリニア空間に変換され、sRGBの色度点から計算される3x3のマトリックスによりRGB空間からXYZ空間に変換される。このPCSにおける画像データは、3x3の逆マトリックス(Inverse Matrix)によりXYZ空間からRGB空間へ逆変換される。更に、液晶ディスプレイパネルのガンマ特性から求められる逆LUT(Inverse LUT)によりRGB信号とされる。

これらの演算はカラーマネジメントエンジン(たとえばWindows98OSのICM2.0, MacintoshのColorSync, など)によってソフトウェアで処理されている。

3.1 液晶ディスプレイパネルの青偏移を補償するICCプロファイル

液晶ディスプレイのICCプロファイルは、ヘッダーデータを除き、図6で示した演算フローの逆マトリックスを計算するためのRGB原色色度点、白色色度点及び逆LUT、のデータで構成される。ここで逆LUTは入力(Input)が縦軸となり出力(Output)が横軸となっており、青偏移の特性を補償するため、図4に示した補償LUTを適用すると図7の逆LUTとなる。逆LUTは液晶ディスプレイのガンマ特性そのものをあらわしたのではなく、図7の逆LUTとすることにより、出力RGB信号はガンマ特性がsRGB標準の2.2となる。

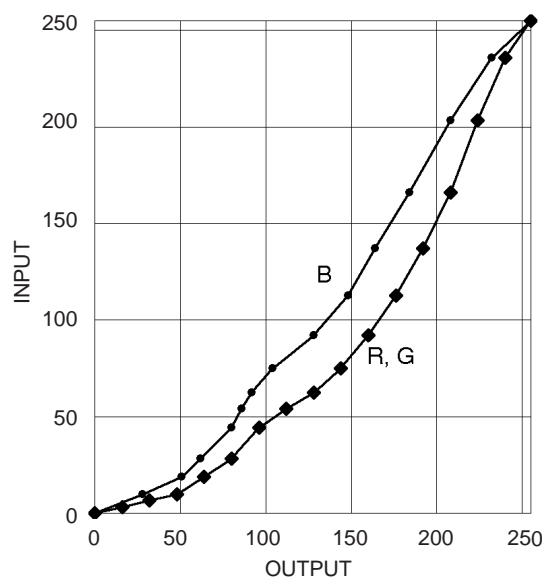


図7 液晶の青偏移を補償する逆LUT
Fig. 7 Inverse LUT compensating the LCD's characteristics.

ICCプロファイルは液晶パネルの色特性を記述指定ファイルであるが、このICCプロファイルにおいて液晶の青偏移特性を補償することが可能となった。

3・2 補償結果

図8はカラー液晶ディスプレイ(Sharp LL-T1510A)に色補償を行ったICCプロファイルを適用した場合の色補正状況をa*b*面で比較したものである。はICCプロファイルを適用した場合の色度点、は適用しない場合、は目標とするsRGBの色度点を示す。ICCプロファイルにより色度点が目標とするsRGB色度に近づいている事がわかる。尚、ICCプロファイルの適用はWindows98の付属のソフトウェア“Imaging”を使用した。

図9は無彩色の階調による変化を色差E(94)を指標として示したもので、縦軸は色差E(94)、横軸は入力階調である。ICCプロファイルの適用した場合(印)、特に中間階調においてICCプロファイルを適用しない場合(印)に比較して色差が減少しており、より標準色に近い色再現となっている。

むすび

本報告で述べたLUTによる色補正はsRGBモードとして、液晶の特性を補正したICCプロファイルはシャープ製カラー液晶モニタに採用され、標準色の忠実な再現が可能となっている。

標準色の色再現を可能としたカラー液晶ディスプレイが印刷、デザイン、写真表示等、高精度な色再現を必要とする分野で使用されることが期待される。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、ご指導、ご鞭撻を頂いた情報システム事業本部情報商品開発センター坂田安男所長、技術本部システム開発センターインターフェース開発プロジェクトチーム斗谷充宏チーフに感謝致します。

参考文献

- 1) IEC 61966-2-1, "Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space- sRGB" (1999)
- 2) Y.Okano, "Color Reproductions Varying the Input Level on a Liquid Crystal Display Panel", IS&T/SID's 7th Color Imaging Conference Proceedings, pp.233-236 (1999)
- 3) IEC 61966-4, "Colour measurement and management in multimedia systems and equipment - Part 4: Equipment using liquid crystal display panel" (1998)

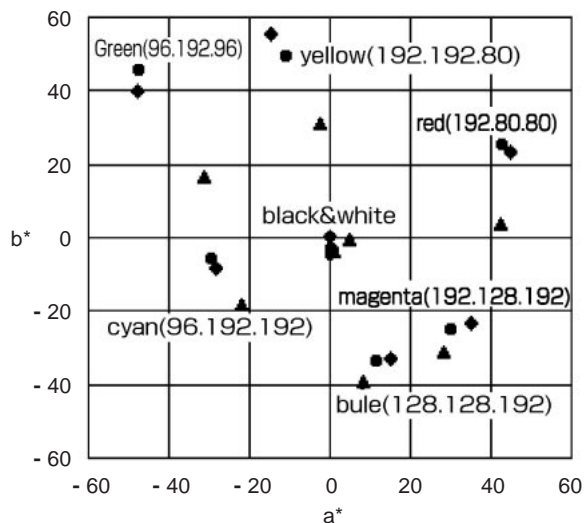


図8 ICCプロファイルによる色補正
Fig. 8 Chromaticity points on a*b* diagram. :LCD display original (measured). :with the ICC-profile (measured) :sRGB (calculated)

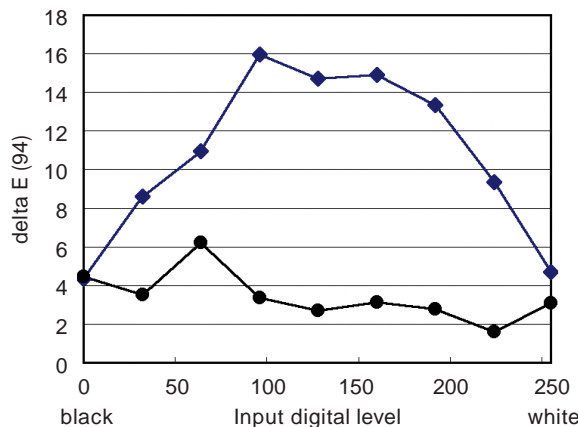


図9 ICCプロファイルによる無彩色の補正
Fig. 9 Delta E (94) varying the input digital level for gray patches. References are gray for sRGB. Circle mark (): with the ICC profile (measured) Triangle mark (): without the ICC profile (measured)

- 4) 岡野幸夫、塩谷望、"液晶ディスプレイのICCプロファイル", 日本写真学会秋季大会講演要旨 pp.42-43 (2000)
- 5) Y.Okano, N.Shiotani, "ICC Profiles Compensating the Color Reproductions of Liquid Crystal Display Panel", IS&T's 2001 PICS Conference Proceedings, pp.403-406 (2001)
- 6) Dawn Wallner, "Building ICC Profiles - the Mechanics and Engineering", pp.165, (online), available from <http://www.color.org/iccprofiles.html> (accessed 2001-6)

(2001年5月24日受理)