

多原色液晶ディスプレイ技術

吉田 悠一 森 智彦 長谷川 誠 富沢 一成 吉田 明子 吉山 和良 古川 浩之
 吉田 育弘 植木 俊[†] 中村 浩三[†] 鳴瀧 陽三[†] 伊藤 康尚[†]

研究開発本部 ディスプレイシステム研究所 [†]研究開発本部 表示技術研究所

ディスプレイ表示技術は、ブラウン管に始まり液晶、プラズマ等の新方式が続々と開発され大きな発展を遂げています。しかし、赤緑青の3原色カラー表示方式は50年来変わらないままでした。そこで3原色カラー表示という常識を覆す、新しい多原色技術を開発しました。3原色を混色すればあらゆる色が表示できると思われがちですが、実際には限られた色しか再現できません。多原色ディスプレイでは、これらの色も漏らさず忠実に再現できます。また、省エネにも応用が可能な高い光利用効率、多原色信号処理による視野角特性の改善等、従来のディスプレイには無い多くの特長を実現しました。本稿では、これらの多原色ディスプレイ技術について解説します。

1 はじめに

近年、フルハイビジョンのような解像度の向上や3D表示技術等によるディスプレイ技術の発展が急速に進んでいます。しかし、赤、緑、青の3原色信号に立脚した表示方式自体は、50数年前に開発された当時のカラーテレビ技術の基礎の上に留まっており、長い間変化していません。

一方、デジタル信号処理技術の発展、LEDの活用、当社のUV²A技術に代表される液晶技術そのものの発展など、放送方式を超えた性能を持つディスプレイが実用化され、この50年の呪縛を解く準備が整いつつあります。

そのひとつとして当社は多原色ディスプレイを提案します。これは色再現範囲が広ばかりではなく、既存のシステムに囚われず、画像表示の数々の観点についてディスプレイを最適化することができる、今までに無い技術です。従来のディスプレイの常識を根底から覆すことができる、まさにディスプレイ革命とも言えるでしょう。

本稿ではこのような観点から、
 ・自然界に存在するほぼ全ての色を再現できる多原色パネル技術とそ

の特長

- ・従来のディスプレイには無い特長をもつ新しい多原色信号処理技術とその活用について解説します。

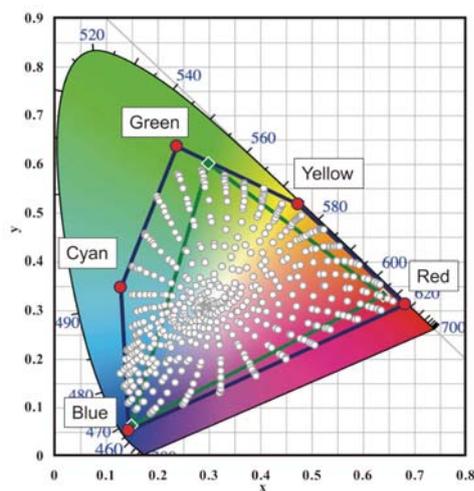
2 多原色パネル技術

(1) 物体色

世の中には様々な色をした物体が存在します。例えば黄色と言われればヒマワリの鮮やかな色やレモンの色等、多くの色が思い浮かびますが、「自然界に存在する全ての色を再現するディスプレイ」を実現するためにはどのような性能が必要なのでしょうか。

今回、1980年 M. R. Pointer氏により報告された「ポインターの物体色¹⁾」(色標、塗料・印刷用インクの顔料、色紙、プラスチック等、各方面の表面色を分析して実用的な範囲が定められている)を参照し、ディスプレイの色再現範囲がポインターの物体色をどれだけ包含しているかを客観的な性能評価の指標として用いました。

図1に色再現範囲を表したxy色度図を示します。このxy色度図において色の付いた馬蹄形内側の範囲は人間が知覚できる色の範囲、丸点はポインターの物体色の存在範囲を示しています。三角形で囲まれた領域は、従来の赤(R)、緑(G)、青



○印：ポインターの物体色
 三角形で囲まれた領域：
 従来の3原色ディスプレイの色域
 5角形で囲まれた領域：
 5原色ディスプレイの色域

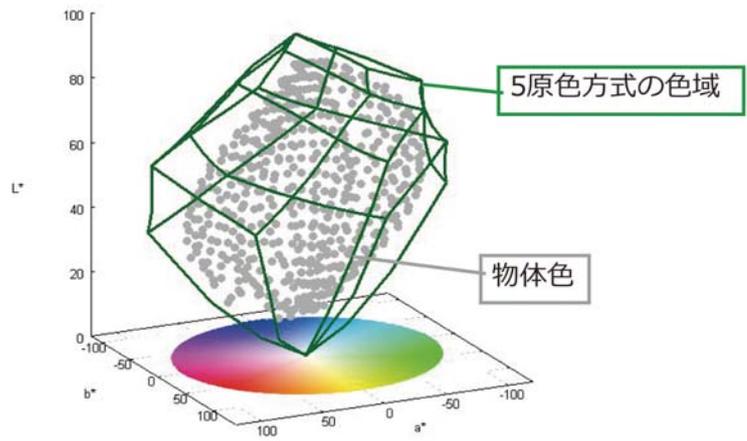
図1 各色域を示したxy色度図

(B) 3原色ディスプレイで表現できる色再現範囲となりますが、黄色領域、シアン（水色）領域において三角形の外側に存在するポインターの物体色が多く存在することが分かります。つまり従来のディスプレイではこれらの領域に存在するヒマワリの鮮やかな色や海の濃い色等を忠実に表示することができないことを意味します。そこで我々はポインターの物体色を効率的に包含するために、従来のRGBの3原色に加え黄（Ye）とシアン（C）の原色を追加した5原色ディスプレイを提案しました。追加された原色によって色再現範囲が大幅に広がり、従来のディスプレイで不足していた領域を包含することができます（図1の五角形で囲まれた領域）。

ここで色再現について注意しなければならないのは、色情報は三次元の情報によって定義されるということです。先ほどの図1では横軸の値x、縦軸の値yが1組決まれば特定の色が決定されるように見えますが、重要な明度の情報が欠落しています。この二次元図においては暗い深い赤も、明るく鮮やかな赤も同じ赤色の色度点で表されてしまいます。そこで明度も含めたL*a*b*空間において赤、緑、青、黄、シアンの各原色設計を考える必要性があります。

その結果、図2のようにポインターの物体色を立体的に効率よく包含する5原色ディスプレイが設計されました。ポインターの物体色カバー率は99%以上を達成しました²⁾。

一方、赤の補色であるシアン・青の補色である黄を導入するならば緑の補色であるマゼンタも使用した6原色ディスプレイが良いのでは？という考え方も可能です。しかしマゼンタ領域に関しては赤色と青色の加法混色で十分物体色の包含が可能であり、またさらに原色数が増加した6原色よりも5原色の方がパネルの製造コストや回路の負担が少ないた



図中の点群はポインターの物体色を表す。

図2 5原色ディスプレイの3次元色域（CIE L*a*b*）

め現実的な解となります。

(2) 高効率で省エネ

一般的に原色が増えるということは、1画素中のサブ画素分割数が増えるため遮光面積が増加し、パネルにとって光の透過率が犠牲となります。しかし今回の5原色ディスプレイは高効率な光の利用が可能です。

図3に色再現領域と光利用効率の関係を示します³⁾。横軸がCIE1931xy色度図における色再現領域の面積比（対NTSC比）で、縦軸が従来の3原色ディスプレイを1とした時の光の利用効率です。

図の左端、つまり従来の色再現範囲と同等で良い場合には従来のディスプレイより1.2倍の光利用効率であることが分かります。また、色再

現範囲を拡大していくにつれ3原色ディスプレイでは急激に光利用効率が低下しますが、5原色ディスプレイは効率低下を抑制することができます。液晶パネルにおける光利用効率は、バックライトからの光のスペクトルとカラーフィルタの透過スペクトルとの関係に左右されます。3原色方式で色再現範囲を広げるためにはスペクトル幅の狭い（色の濃い）カラーフィルタを使う必要があります。これにより表示部側に抜ける光が大幅に減衰してしまいますが、5原色方式では光の透過率の高い黄色やシアンのカラーフィルタを用いることでパネル性能として高い透過率を維持できるのです。

3 多原色信号処理技術

多原色ディスプレイ技術では、信

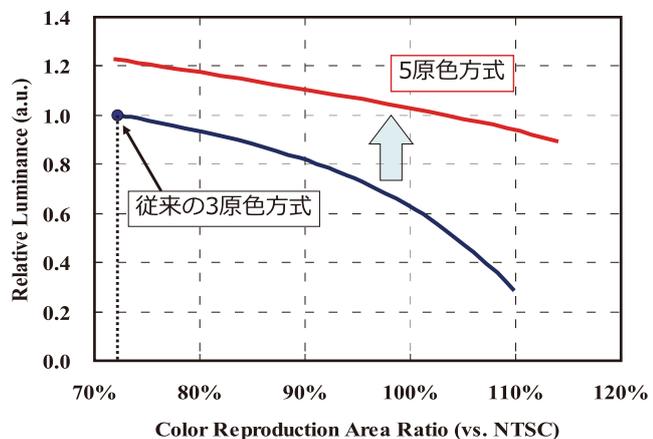


図3 光利用効率と色再現範囲の割合（NTSC比@CIE 1931 xy座標）

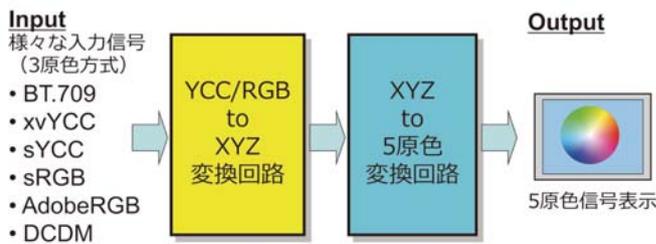


図4 5原色ディスプレイのシステムブロック図

号処理も重要な技術となります。ディスプレイは5原色であったとしても、現実的に入力される映像信号は3原色であるのが一般的です。そのため、3原色信号を5原色信号に変換する回路技術が必要となります。このような信号処理の観点から、多原色ディスプレイの性能を引き出す技術について解説します。

(1) 色表示の冗長性

通常の3原色方式では、一つの3刺激値 (X_0, Y_0, Z_0) に対して厳密には一つの (R, G, B) の組み合わせしか存在しません。

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{pmatrix}_{3 \times 3} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

一方、3原色よりも多い多原色方式においては、目標とされる色を再現する原色の組み合わせが多数存在します。n色の出力信号で色をマッチングする上では、(n-3)度の冗長性で同じ色を作ることができるわけです。

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{pmatrix}_{3 \times 5} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ Y_e \\ C \end{pmatrix}$$

つまり同じ色を実現する原色の組み合わせが複数存在するということになります。このことを、多原色ディスプレイの色表示の冗長性と呼んでいます。多原色ディスプレイでは、この冗長性を活用し、様々な条件から最適な組み合わせを選び出して活用することが可能です。

(2) 忠実な色再現

図4に多原色表示システムを示します。入力信号は様々な規格の信号が想定されますが、測色値（三刺激値：X, Y, Z）に変換することで入力フォーマットに依存しない処理が可能となります。その後、得られた測色値に対応する数多くの5原色の組み合わせの中から最適解を選び出す演算を行います。このように算出された5原色の加法混色で作られる色の三刺激値と、入力信号から求めた三刺激値を忠実に合わせることで、ディスプレイ上において正確な色再現を確保したまま3原色から5原色への変換が実現されています。

(3) 視野角特性の改善

液晶ディスプレイにおいて以前より挙げられている問題点の一つに、斜めから見たときに色が変わってしまうという視野角特性があります。様々な技術向上により、現在で

は大幅に改善されていますが用途によっては未だ不十分とされています。今回の5原色ディスプレイでは、色表示の冗長性を利用し、視野角特性に有利な色の組み合わせを用いることで斜めから見た色表示の改善に成功しました。図5は、ある色 (Dark Skin：暗い肌色) を表示させる場合の視野角特性を示した u' v' 色度図 (正面から観測した色度点と斜め60度から見た色度点との色度ズレ) です。全ての色の組み合わせで正面の色度は“Dark Skin”と表記されている点に調整されています。ここで3原色方式ではS0点、5原色方式では使用する原色の割合が異なる数多くの候補点の中から例としてS1, S2, S3の3点を考えます。冗長性の無い3原色方式では1組 (S0) しか解が無く、斜めから見た色度 ($S0'$) は大きくずれてしまっています。一方、5原色方式では正面から見た色が完全に一致する色の組み合わせが何種類も存在します。例えばS1の組み合わせを考えたとき、斜めから見た色度点 ($S1'$) の正面色度点からのズレは3原色方式よりも少なくなっていることが分かります。S3の場合では逆方向の色度ズレ ($S3'$) が観測されます。また、S2の組み合わせを用いると斜めから見た色度が正面色度とほぼ同じ色度点 ($S2'$) となり、色ズレの無い優れ

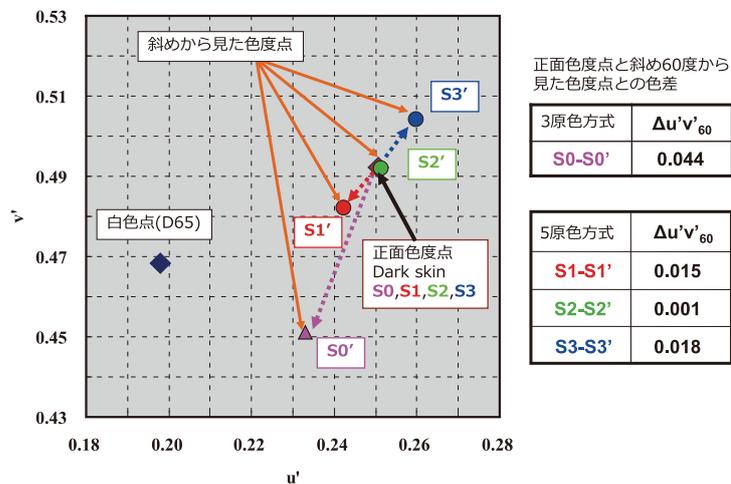


図5 5原色の冗長性を利用した視野角特性改善の例を示した u' v' 色度図

た表示特性を示します。このように正面から同じ色に見えても色の組み合わせを変えることで視野角特性を制御できることが分かりました。先ほど示した5原色変換回路において、3原色信号を5原色信号へと変換する際にこの考え方を用いて視野角特性に有利な組み合わせを選び出しています。

4 AQUOSクアトロン

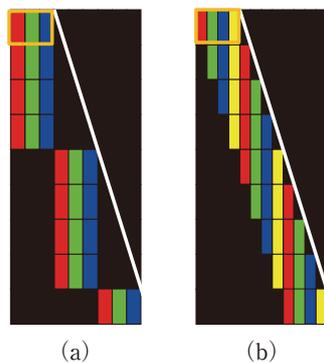
2010年春、多原色技術として黄色を加えた世界初4原色テレビの製品化を行いました。この黄色原色によりヒマワリの鮮やかな黄色やゴールド等の金属光沢感の表現力向上効果をもたらしています。

(1) 4原色方式による利点

2010年は3Dテレビ元年として各社から3D対応テレビが発売されていますが、眼鏡を使用した3D方式ではバックライト制御や眼鏡の透過率等の諸要因により輝度が低下し暗い画面となるのが一般的です。その輝度低下問題を改善する要素技術の一つとして光の利用効率が良い4原色技術が応用されました。従来の3原色方式では、3原色カラーフィルタの透過スペクトルに合致したバックライトの光しか利用できませんでしたが、4原色方式では新しく導入された透過率の高い黄色サブ画素により、光の利用効率が向上し明るいディスプレイを実現することができました⁴⁾。

(2) 増加したサブ画素の有効活用

さらに、多原色技術の応用としてサブ画素の有効活用という技術が導入されています。3原色方式では、1画素につきR, G, B, つまり3つのサブ画素が存在します。一方、4原色方式ではRGBに加え黄色を含めた4つのサブ画素となります。つまり制御できるサブ画素の総数が4/3倍に増加したと考えることができます。このサブ画素数の増加に加えて



(a) 従来の3原色方式,
(b) 4原色方式のサブピクセルレンダリング

図6 AQUOSクアトロンでの斜め線表示時におけるイメージ図

それぞれのサブ画素を独立に制御する独自のサブピクセルレンダリング技術によって、従来の3原色テレビでは実現できない滑らかで高精細な表示を行うことが可能となりました。表示イメージ図を図6に示します。(a), (b)どちらも左上から右下へ白色の斜め線を表示した時のサブ画素の使い方を拡大して表示したものです。従来技術である(a)では画素単位のがたつき(ジャギー)が目立ってしまうのに対して、新規技術では信号処理をサブ画素単位で行うためサブ画素の細かさを有効に活用して滑らかな表示が可能となっているのが分かります⁵⁾。

5 まとめ

50年来の常識を破る多原色ディスプレイ技術を開発しました(図7)^{2, 3, 6-8)}。このディスプレイは、色再現範囲が広く、世の中に存在する物体ほぼ全ての色を再現することができるばかりではなく、色表示の冗長性を活用した新しい概念の信号処理によって、視野角特性の改善等従来に無い特長も引き出すことができます。多原色技術にはサブ画素の高精細化が不可欠ですが、他の表示デバイスに比べ高精細化が比較的容易である液晶ディスプレイにとって非常に相性の良い技術と言えます。

このように多原色技術は省エネか



図7 60インチ5原色ディスプレイ

つ高性能液晶ディスプレイにおける基幹技術として非常に有望であり、今後更なる開発を推進していきます。

また、現在の映像分野ではあらゆるものが従来の3原色基準でつくられています。そこで多原色という新基軸を基に新たな規格の策定を行い、コンテンツ業界および映像・放送業界と協調した全く新しい表現力の世界を多原色技術により切り拓いていきます。

参考文献

- 1) M. R. Pointer, "The gamut of real surface colours", Color Research and Application, 1980, 145-155.
- 2) Y. Yoshida, et al., "Novel Wide Color Gamut Liquid Crystal Display with Five-Primary Colors", Proc. IDRC' 08, 115-118.
- 3) S. Ueki, et al., "Five-primary-color 60-in. LCD with novel wide color gamut and wide viewing angle.", SID Symposium Digest, 40, 2009, 927-930.
- 4) K. Yoshiyama, et al., "Power-savings: A new advantage of multi-primary-color displays derived by numerical analysis", SID 10 DIGEST, 2010, 416-419.
- 5) K. Yoshiyama, et al., "A new advantage of multi-primary-color displays", SID 10 DIGEST, 2010, 281-282.
- 6) K. Tomizawa, et al., "Extending the applications of Multi-primary color LCDs", Proc. IDW' 09, 2009, 1199-1202.
- 7) A. Yoshida, et al., "Color management technologies on wide-gamut display devices with multi-primary colors", SID 10 DIGEST, 2010, 277-280.
- 8) K. Tomizawa, et al., "Beyond RGB-Primaries: Chromaticity Measurement Issues for Multi-Primary Displays", SID 10 DIGEST, 2010, 1508-1511.