

液晶ディスプレイ上での 2 色の切り替え表示における 再現色に関する研究

A Study on Reappearance Colors by Switching Two Colors on the LCD

石沢 千佳子[†] 高木 誠吾[†] 西田 眞[†] 金 素子[†]

Chikako Ishizawa Seigo Takaki Makoto Nishida Motoko Kon

1. はじめに

インターネット上に公開されている画像の不正コピーを防止するため、電子透かし[1]や暗号化[2]を用いる手法が提案されている。しかしながら、画像がディスプレイに表示された時点でのコピーを防止するまでには至っていないのが現状である。

一方、視覚の時間的分解能を超える速度で複数の色を切り替えて表示した場合、混色された色を表示することが可能である[3]。

そこで本研究では、上記混色方法を利用し、オリジナルとは異なる色の画像をディスプレイ上で交互に切り替えて表示することによって、オリジナルと同等の色の画像を擬似的に表示する手法（以降、擬似的色表示法）の開発を目標とする。本稿では、輝度が同一である 2 色を液晶ディスプレイ（以降、LCD）上で切り替えて表示した場合に再現される色の色度計測を行い、再現色の特徴について検討を加えた。

2. 擬似的色表示法の概要および課題

本研究で目標とする擬似的色表示法の概要を図 1 に示す。擬似的色表示法では、はじめに、オリジナル画像から切り替え表示処理を施す色を抽出し、抽出した色を改変して 2 枚の画像を作成する。次に、作成した 2 枚の画像データおよび切り替え表示処理を一体化させた JavaApplet を作成し、この JavaApplet を画像ファイルの代わりにインターネット上へ公開する。JavaApplet はブラウザ上で実行されるため、閲覧者のディスプレイ上で 2 枚の画像が切り替わって表示される。一方、コピーにより取得される画像は、切り替え表示に用いた画像、すなわち色の改変された画像となるため、コピー防止と同等の効果をえられると期待できる。

一般的に、加法混色によって再現される色（以降、再現色）は、用いた色の平均的な色となることが知られている[4]。例えば、混色に用いた 2 色の色度を xy 色度図上に描いた場合、再現色の色度は、2 色の色度を結ぶ直線上の値となる。しかしながら、LCD 上で切り替え表示を行った場合の再現色の特徴について検討を加えた事例は殆ど見当たらない。

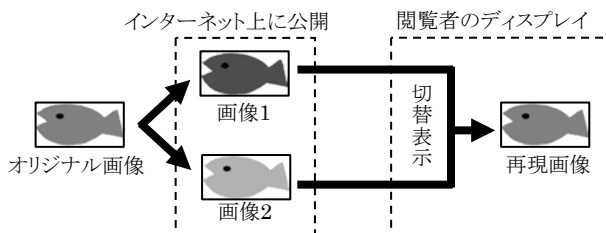


図 1 擬似的色表示法の概要

3. 計測方法

切り替わる色の明暗が異なる場合、ちらつきが発生して閲覧の妨げになると推測される。そこで、ちらつきを発生させることなく切り替え表示を行うため、輝度が同一である色を用いて切り替え表示を行い、再現色の色度を計測した。

3.1 計測対象色

切り替え表示に用いた色（以降、使用色）の一覧を表 1 に示す。使用色は、RGB 表色系の基本色である赤、緑、青、並びに補色である黄、シアン、マゼンタを主要 6 色とし、輝度の異なる同系色赤 3 色、同系色緑 9 色、同系色青 1 色、同系色黄 11 色、同系色シアン 11 色、および同系色マゼンタ 5 色の合計 40 色である。

さらに、使用色の中から“輝度値が同一であり、且つ系色が異なる 2 色”を選定して 2 色の組み合わせを作成した。例えば、 10cd/m^2 の赤に対して同一輝度の緑、青、黄、シアン、並びにマゼンタをそれぞれ組み合わせさせた。作成した組み合わせは合計 61 組であり、この組み合わせ毎に切り替え表示を行った。

計測対象色は、上記使用色 40 色、および切り替え表示による再現色 61 色である。使用色は静止画像として表示し、再現色は切り替え表示による動画像（61fps）として表示した。

3.2 計測方法

使用色および再現色をそれぞれ LCD (EPSON LD1952G, 1280×1024 画素, True Color, 応答速度約 25ms, リフレッシュレート 60Hz) 上に表示し、色彩照度計 (KONICA MINOLTA CL-200) を用いて XYZ 値を計測した。LCD 上に表示する画像の大きさは、色彩照度計の受光部が包含されるように 300×300 画素とし、各色 10 回ずつ計測して平

表 1 使用色の階調値

輝度値 [cd/m^2]	赤	緑	青	黄	シアン	マゼンタ
10	116	77	163	68	69	101
20	148	100	—	88	91	130
30	172	117	—	104	108	151
40	—	130	—	115	121	170
50	—	142	—	126	132	185
60	—	152	—	134	142	—
70	—	161	—	143	152	—
80	—	171	—	151	160	—
90	—	180	—	158	169	—
100	—	—	—	163	178	—
110	—	—	—	170	185	—

赤 : (n,0,0), 緑 : (0,n,0), 青 : (0,0,n), 黄 : (n,n,0),
シアン : (0,n,n), マゼンタ : (n,0,n), n : 階調値

[†] 秋田大学 Akita University

均値を求めた。色彩照度計は LCD 画面に接するように設置し、受光部の周囲を遮光した状態で計測を行った。なお、本研究で用いた色彩照度計の積分時間は 100ms であり、積分時間内の平均値が計測結果として得られる。従って、再現色の計測時には、切り替え表示によって混色された色の XYZ 値を取得することが可能である。

4. 計測結果および考察

再現色および使用色の計測結果例を図 2 に示す。なお、色度座標 x および y の値は、(1)式[4]に計測値を代入して求めた。

$$\left. \begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) \\ y &= Y/(X+Y+Z) \end{aligned} \right\} (1)$$

図 2(a)は、10cd/m² の原色同士の組み合わせを用いた場合の再現色および各使用色の計測結果例である。同様に、図 2(b)および図 2(c)は、10cd/m² の原色および補色の組み合わせを用いた場合の例、図 2(d)は、10cd/m² の補色同士の組み合わせを用いた場合の例である。なお、各図中の三角形は実験に用いた LCD の色再現域を示し、点線は使用色同士の色度を結んだ直線を示している。

計測の結果、再現色の色度が点線上の値となる場合と(図 2(a)および図 2(b))、点線上の値とはならない場合(図 2(c)および図 2(d)) のあることが明らかになった。具体的には、原色同士の赤・緑、赤・青、緑・青の組み合わせ(3 パターン)、並びに原色と補色の組み合わせのうちの赤・シアン、緑・マゼンタ、青・黄の組み合わせ(3 パターン)では平均的な色が示された。一方、上記以外の組み合わせ、すなわち、原色と補色の組み合わせのうちの赤・黄、赤・マゼンタ、緑・黄、緑・シアン、青・シアン、青・マゼンタの組み合わせ(6 パターン)、並びに補色同士の黄・シアン、黄・マゼンタ、シアン・マゼンタの組み合わせ(3 パターン)では、原色に近い色が示された。なお、10cd/m² 以外の場合の色度も図 2 と同様の結果が得られていることを確認している。

LCD の 1 画素は、赤、緑、青の 3 種類のサブピクセルから構成されており、画素の RGB 値を切り替えることは、各サブピクセルの明るさを切り替えることに相当する。そこで、切り替え表示時のサブピクセルの点灯状態と計測結果の照合を行った。その結果、図 3 に示すように、再現色が平均的な色となる組(合計 6 パターン)では切り替え表示時に常時点灯するサブピクセルは存在しないものの、再現色が原色に近い色となる組(合計 9 パターン)では常時点灯するサブピクセルの存在することが明らかとなった。

以上の結果は、LCD 上で切り替え表示を行った場合の再現色は、切り替え表示時のサブピクセルの点灯状態に依存することを示唆している。

インターネット上に公開する画像を切り替え表示によって表示した場合に、切り替え表示に用いた 2 色の平均的な色が再現されないという結果は、コピーされた画像を用いてオリジナル画像を復元することを困難にするものと考えられる。

5. まとめ

本稿では、輝度が同一である 2 色を LCD 上で切り替えて表示した場合に再現される色の特徴について検討を加えた。

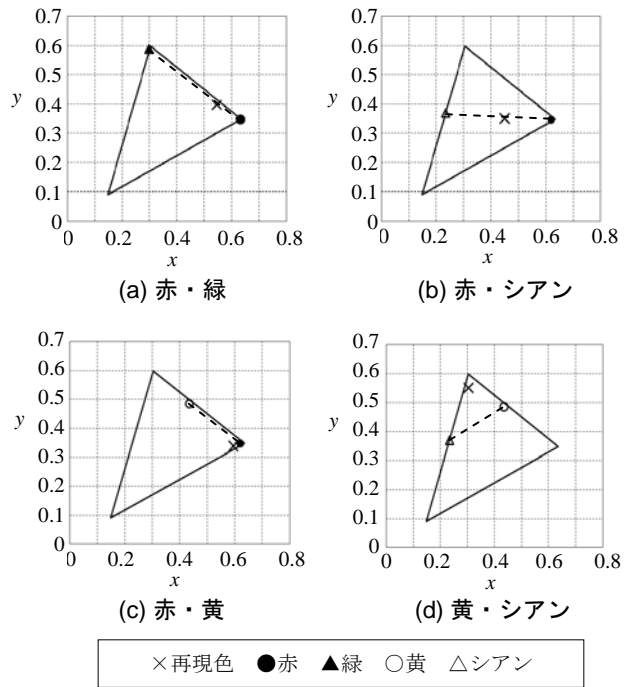


図 2 再現色および使用色の色度例 (10cd/m²)

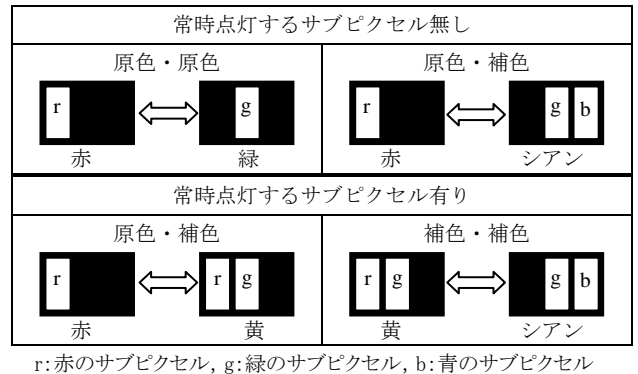


図 3 サブピクセルの点灯状態例

今後は、目的とする色を再現するための使用色の選定方法について検討を加える予定である。

謝辞

本研究の遂行に協力下された本学大学院工学資源学研究所 景山陽一准教授および高橋毅技術専門職員に謝意を表します。

参考文献

[1] T. Tanaka, Y. Nakamura and K. Matsui, "Embedding Secret Information Into a Dithered Multilevel Image", Proc. IEEE Military Communications Conference, pp.216-220 (1990).
 [2] 藤井 寛, 山中 康史, "デジタル画像情報流通のためのスクランブル方式", 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.10, pp.1945-1995 (1997).
 [3] 日本視覚学会, "視覚情報処理ハンドブック", 朝倉書店 (2000).
 [4] 日本色彩学会, "新編 色彩科学ハンドブック", 東京大学出版会 (1998).