

液晶ディスプレイ上での色の交互表示におけるちらつきの評価

石沢 千佳子[†] 高木 誠吾[†] 西田 眞[†]

秋田大学大学院工学資源学研究科[†]

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の問題に対し、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。

そこで本研究では、“2色が高速で切り替わって表示された場合に2色の中間色が知覚される”という視覚特性^[3]に着目し、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種類の色を液晶ディスプレイ（以降、LCD）上で交互に切り替えて表示した場合のちらつきの有無について目視評価実験を行い、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交互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交互表示処理の一体化された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枚の画像が交互に表示される。一方、コピーにより取得される画像は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が得られると期待できる。

現在、コンピュータ用の表示機器としてLCDが多く用いられている。LCDのリフレッシュレートは、60Hz～75Hzが主流であり、CRTディスプレイに比べて低速である。このため、色の交互表示を行った場合にはちらつき（フリッカ）が発生する。ちらつきは、光の明滅が低

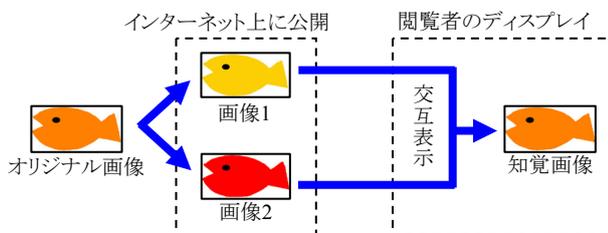


図1 擬似的色表示法の概要

Evaluation of Flicker at Alternate Display of Colors on LCD

[†]Chikako Ishizawa · Akita University

[†]Seigo Takaki · Akita University

[†]Makoto Nishida · Akita University

速で繰り返された場合に発生するため、交互表示に用いる色の輝度を同一にすることがちらつきの防止に寄与すると考える。

3 目視評価実験

輝度が同一である2種類の単一色画像をLCD上で交互に切り替えて表示した場合のちらつきの有無を明らかにするため、輝度が同一である2色の組み合わせを作成し、目視評価を行った。

3.1 同一輝度色の組み合わせ

輝度が同一である2色の組み合わせを作成するため、次のことを行った。

- (1) LCDの階調特性調査：実験に用いるLCD（EPSON LD1952G, 1280×1024画素, True Color, 最大輝度250cd/m², 輝度コントラスト700:1）に表示した色の輝度を輝度計（KONIKA MINORUTA LS-110, 最短測定距離1014mm）を用いて測定した。LCDと輝度計間の距離は約100cmであり、それぞれ暗室内に設置した。測定対象色は、階調値0～255の範囲を16刻みで変化させた赤、緑、並びに青の合計51色である。各色をLCD画面全体に表示し、画面中央の輝度を10回測定して平均値を求めた。得られた階調特性を図2に示す。
- (2) 輝度値の変換：図2の階調特性に基づいて輝度値を階調値に変換し（図2矢印）、交互表示に用いる色（以降、使用色）を作成した。使用色の一覧を表1に示す。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、輝度値が10cd/m²ずつ異なる同系色赤3色、同系色緑9色、同系色青1色、同系色黄14色、同系色シアン11色、同系色マゼンタ5色の合計43色を作成した。実験に用いるLCDでは、階調値191以上の輝度値がほぼ一定であったため、使用色の階調値は0～191の範囲内とした。また、補色の階調値は、基本色の輝度値を加算した値を基にして求めた。例えば、10cd/m²の黄色の階調値は、赤と緑の輝度値を足し合わせて10cd/m²になる場合の階調値とした。
- (3) 組み合わせの作成：表1に示す色の中から“輝度値が同一であり且つ系色が異なる2色”を選定して61組の組み合わせを作成した。例えば、10cd/m²の赤に対して同一輝度値の緑、青、黄、シアン、並びにマゼンタをそれぞれ組み合わせた。

3.2 ちらつきの評価

目視評価実験の概要を図3に示す。実験では、3.1で作成した組み合わせ（61組）の色をLCD（リフレッシュレート60Hz）上で61fpsの速度で交互に表示し、ちらつきの有無を評価した。具体的には、LCDを一般的な室内に設置し、LCDの真上にある蛍光灯のみを消灯させた状態で行った（LCD画面の照度約250lx）。評価基準は、

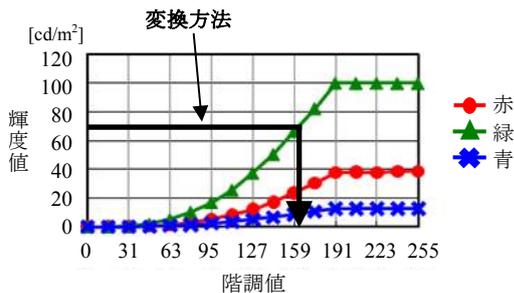


図2 LCDの階調特性

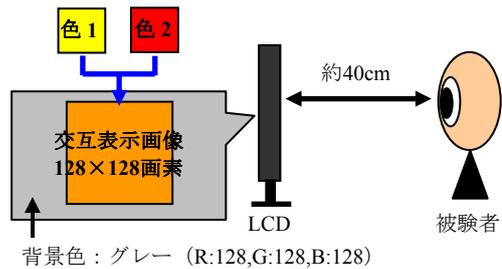


図3 実験の概要

表1 使用色の階調値

輝度 [cd/m ²]	R	G	B	Y	C	M
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	—
120	—	—	—	176	—	—
130	—	—	—	182	—	—
140	—	—	—	186	—	—

※ R:赤(n,0,0), G:緑(0,n,0), B:青(0,0,n), Y:黄(n,n,0), C:シアン(0,n,n), M:マゼンタ(n,0,n), n:階調値

交互表示の画像が静止画像同様に見える場合を“ちらつき無し”とし、それ以外の場合を“ちらつき有り”とした。被験者数は16人(20代男性13人, 20代女性3人)である。組み合わせを提示する順番は、類似の組み合わせが連続的に提示されないようにするため、ランダムにした。また、交互表示画像を提示する時間は、被験者がちらつきの有無を判定した時点までとし、判定後は毎回30秒以上LCD画面から視線を外すように指示をした。さらに、身体への悪影響の有無を把握するため、実験の前後にSSQ(Simulator Sickness Questionnaire)^[4]を用いてアンケートを実施した。

4 実験結果および考察

実験結果を表2に示す。表2の数値は、“ちらつき無し”と評価した被験者数を表している。輝度が同一である2色をLCD上で交互に切り替えて表示した場合、ちらつきの発生しない組み合わせとちらつきの発生する組み合わせのあることが分かる。全体的に見ると、2色の輝度が低い場合にちらつきの発生しない傾向が認められる。しかしながら、G・B、B・Y、B・C、B・Mの組み合わせでは、2色の輝度値が10cd/m²と低いものの、ちらつきの発生する結果が得られている。一方、G・Cの組み合わせでは、2色の輝度値が上昇した場合においてもちらつきの発生しない結果が得られている。以上の結果は、輝度が同一である2色を交互表示した場合のちらつきの有無は、系色の組み合わせに依存することを示唆している。

表2 “ちらつき無し”の評価数 [人]

[cd/m ²] 組	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
R・G	14	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
R・B	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
R・Y	1	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
R・C	14	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
R・M	14	12	3	—	—	—	—	—	—	—	—
G・B	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G・Y	16	11	4	0	2	0	0	1	0	—	—
G・C	15	15	15	14	14	13	15	14	12	6	—
G・M	16	1	0	0	0	—	—	—	—	—	—
B・Y	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B・C	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B・M	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y・C	16	15	12	1	0	3	2	1	1	0	0
Y・M	12	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
C・M	14	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—

※ R:赤, G:緑, B:青, Y:黄, C:シアン, M:マゼンタ
※ 赤文字:被験者の過半数(9名)以上

被験者全員が“ちらつき無し”と評価した色の組み合わせ(10cd/m²のG・Y, G・M, Y・C)と被験者全員が“ちらつき有り”と評価した色の組み合わせ(10cd/m²のG・B, B・Y, B・C, B・M)について、交互表示時の階調値の変化を比較した。その結果、“ちらつき有り”と評価された組み合わせでは、RGB値のB値が大きく変化することが明らかとなった。従って、交互表示時のちらつきの有無は、LCDの1画素を構成している3種類のサブピクセル(赤・緑・青)の明滅の程度に関連していると考えられる。

5 まとめ

本稿では、輝度が同一である2種類の単一色画像をLCD上で交互表示した場合のちらつきの有無を明らかにした。今後は、サブピクセルの明滅とちらつきの関連について検討を加える予定である。

参考文献

- [1] 小野東:電子透かしとコンテンツ保護, オーム社 2001.
- [2] 山中善義:デジタルコンテンツの権利保護と流通, 情報処理学会誌, Vol.40, No.5, pp.480-485, 1998.
- [3] 日本視覚学会:視覚情報処理ハンドブック, 東京大学出版会, 2000.
- [4] 氏家弘裕:映像酔い, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.8, pp.1122-1124, 2007.