

## 液晶ディスプレイ上での色の切り換え表示における ちらつきの発生要因に関する検討

### A Study on the Generation Factor of Flickers by Switching Colors on the Liquid Crystal Display

石沢 千佳子<sup>†</sup> 西田 眞<sup>†</sup>  
Chikako Ishizawa<sup>†</sup> Makoto Nishida<sup>†</sup>

#### 1. はじめに

インターネット上で公開されている画像の不正コピーが社会的問題になっている。この問題に対し、電子透かし<sup>[1]</sup>や暗号<sup>[2]</sup>を用いる手法が提案されているものの、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手法を開発するまでには至っていないのが現状である。

上記現状に対し、本研究では、コピーにより取得される画像がオリジナルと異なる画像である場合にコピー防止と同等の効果が得られると仮定し、色の改変された画像をディスプレイ上で切り換えて表示する手法（以降、擬似的色表示法と呼ぶ）の開発を目的とする。本稿では、切り換え表示に用いる色の組み合わせおよび切り換え速度に対するちらつきの有無を調査した。さらに、画素色の切り換え時におけるサブピクセル（液晶ディスプレイの1画素を構成する赤、緑、青の発光素子）の発光強度の変化とちらつきとの関連について検討を加えた。

#### 2. 擬似的色表示法の概要

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、“2色が高速で切り換わって表示されたときに、2色の中間色が知覚される”という経時加法混色<sup>[3]</sup>に着目し、異なる色の画像を液晶ディスプレイ上で交互に切り換えて表示する。具体的には、はじめに、オリジナル画像から切り換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枚の画像およびこれらの画像を切り換えて表示するプログラムをインターネット上に公開する。閲覧時には2枚の画像が切り換わって表示されるため、オリジナルと同等の色の画像が知覚される。しかしながら、コピーにより取得される画像は色の改変された2枚の画像のどちらか一方となるため、コピー防止と同等の効果が得られると考える。

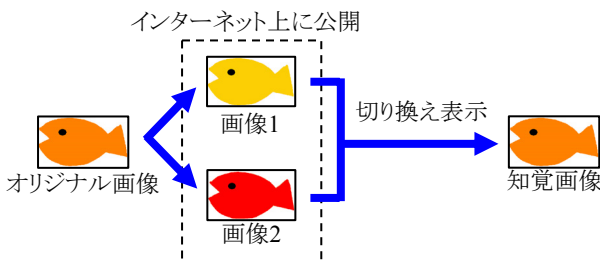


図1 擬似的色表示法の概要

<sup>†</sup> 秋田大学工学資源学部情報工学科  
Department of Computer Science and Engineering,  
Faculty of Engineering and Resource Science,  
Akita University

#### 3. 色の組み合わせおよび切り換え速度に対するちらつきの有無

液晶ディスプレイ上で色が切り換わる場合、ちらつきの発生し易いことが指摘されている<sup>[4][5]</sup>。そこで、切り換え表示に用いる色（以降、使用色と呼ぶ）の組み合わせと切り換え速度に対するちらつきの有無を調査した。

##### 3.1 実験方法

実験の概要を図2に示す。実験では、使用色の組み合わせと切り換え速度をそれぞれ変更し、図3に示す3段階の評価基準を用いてちらつきの目視評価を行った。

実験には、液晶ディスプレイ EPSON・LD1952G（グラフィックモード:1280×1024pixel True Color, 応答速度:約25ms）と CPU:Pentium<sup>®</sup>4 (3.20GHz), RAM:1GByte のコンピュータを使用し、ディスプレイのリフレッシュレートを60Hzに設定した。また、一般的な室内環境下（蛍光灯下、約450lx）において、ディスプレイと被験者間の距離を約40cmに設定した。被験者は17名（20代男性8名、20代女性8名、30代女性1名）である。

##### 3.1.1 色の組み合わせ

使用色を表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、階調が255, 191, 127, 63である同系色赤 R1~R4, 同系色緑 G1~G4, 同系色青 B1~B4, 同系色黄 Y1~Y4, 同系色シアン C1~C4, 同系色マゼンタ M1~M4の計24色である。この使用色の中から、同じ階調で系の異なる2色を選定して60組の組み合わせを作成し、切り換え表示に用いた。例えば、階調255の赤(R1)に対して階調255の緑(G1), 青(B1), 黄(Y1), シアン(C1)およびマゼンタ(M1)をそれぞれ組み合わせた。

##### 3.1.2 切り換え速度

本実験では、切り換え速度を連続的に変更して目視評価を行うため、直前に観測した色やちらつきの残像が評価に影響を与えると予想される。そこで、次の2種類の方法を用いて切り換え速度の変更を行った。

方法1) 20frame/sec（以降、fpsと略記する）から120fpsまで速度を1fpsずつ増加させる

方法2) 120fpsから20fpsまで速度を1fpsずつ減少させる

#### 3.2 実験結果

##### 3.2.1 色の組み合わせとちらつきの有無

使用色の各組み合わせに対する“ちらつきなし”の評価数を表2に示す。使用色の階調が低い場合にちらつきの認められない傾向が示されている。被験者全員が“ちらつきなし”と評価した色の組み合わせは存在しなかったものの、

階調 63 の赤・マゼンタ(R4・M4), 緑・黄(G4・Y4)および黄・シアン(Y4・C4)の組み合わせは, 過半数以上の被験者によって“ちらつきなし”と評価されている。

上記組み合わせにおける共通点として, 2色のG値が同一であることが挙げられる。具体的には, 赤・マゼンタの組み合わせではG値が0であり, 緑・黄および黄・シアンの組み合わせではG値が63である。一方, 赤・青, 緑・シアンおよび青・マゼンタの組み合わせにおいても2色のG値は同一である。この赤・青, 緑・シアンおよび青・マゼンタの組み合わせに対する“ちらつきなし”の評価数は5人~8人であり, 上記組み合わせ(R4・M4, G4・Y4, Y4・C4)の次に高い評価である。この結果は, 使用色のG値がちらつきの有無に関連していることを示唆していると判断される。従って, 本研究では, G値が同一である2色を使用色として用いた場合にちらつきのない擬似的色表示が可能と考える。

なお, 評価結果に被験者の性別の違いに起因する差異は認められなかったことを確認している。

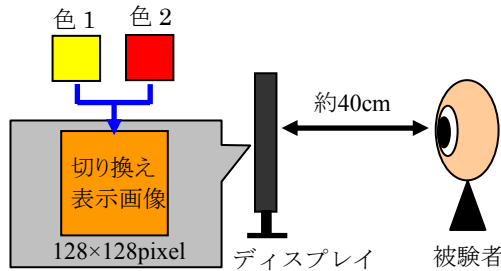


図2 実験の概要

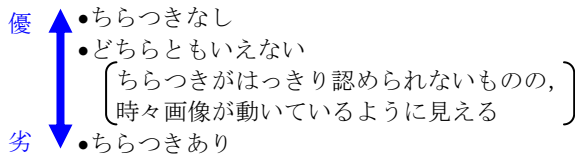


図3 評価基準

表1 使用色

色の種類	RGB値	色の種類	RGB値
赤	R1 [255,0,0]	黄	Y1 [255,255,0]
	R2 [191,0,0]		Y2 [191,191,0]
	R3 [127,0,0]		Y3 [127,127,0]
	R4 [63,0,0]		Y4 [63,63,0]
緑	G1 [0,255,0]	シアン	C1 [0,255,255]
	G2 [0,191,0]		C2 [0,191,191]
	G3 [0,127,0]		C3 [0,127,127]
	G4 [0,63,0]		C4 [0,63,63]
青	B1 [0,0,255]	マゼンタ	M1 [255,0,255]
	B2 [0,0,191]		M2 [191,0,191]
	B3 [0,0,127]		M3 [127,0,127]
	B4 [0,0,63]		M4 [63,0,63]

### 3.2.2 切り換え速度とちらつきの有無

階調 63 の赤・マゼンタ(R4・M4), 緑・黄(G4・Y4)および黄・シアン(Y4・C4)の組み合わせを用いた場合に“ちらつきなし”と評価された切り換え速度を図4に示す。ちらつきの認められない速度は, 30fps 周辺~105fps の速度であることが分かる。このうち, 61fps の速度は, 3組全てにおいて高い評価を得ている。

一般的に, 10Hz~30Hz の低速で光の点滅が繰り返された場合, ちらつきの発生することが知られている<sup>[4]</sup>。このため, 30fps 未満の速度ではちらつきが認められたと推測する。また, 液晶ディスプレイの応答速度の遅さに起因し, 106fps 以上の速度においてもちらつきが認められたと推測する。

一方, 上記組み合わせ以外の色を用いた場合に“ちらつきなし”と評価された速度は 60fps 周辺の速度であった。上記組み合わせを用いた場合においても 60fps 周辺の速度(61fps)が高い評価を得ていることから, ディスプレイのリフレッシュレートが60Hzの場合は, 61fpsの切り換え速

表2 色の組み合わせに対する“ちらつきなし”の評価数 [人]

系色	階調			
	63	127	191	255
赤・緑	4	2	0	0
赤・青	7	2	1	0
赤・黄	4	2	0	0
赤・シアン	4	3	0	0
<b>赤・マゼンダ</b>	<b>11</b>	4	3	0
緑・青	5	3	0	0
<b>緑・黄</b>	<b>10</b>	3	0	0
緑・シアン	8	4	2	0
緑・マゼンダ	6	4	0	0
青・黄	4	3	0	0
青・シアン	4	4	0	0
青・マゼンダ	5	3	0	0
<b>黄・シアン</b>	<b>9</b>	4	1	0
黄・マゼンダ	6	3	0	0
シアン・マゼンダ	4	4	0	0

■・・・過半数(9人)以上

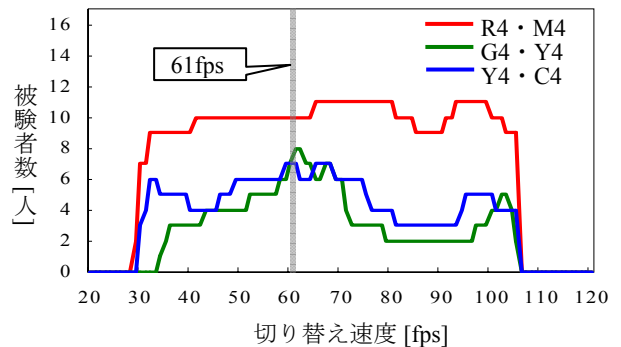


図4 切り換え速度に対する“ちらつきなし”の評価数

度を用いてちらつきのない擬似的色表示が可能と考える。

なお、速度の変更方法の違いや被験者の性別の違いに起因する差異は評価結果に認められなかったことを確認している。

#### 4. サブピクセルにおける発光強度の変化とちらつきの関連

液晶ディスプレイ上の画素は、図 5 に示すように、3 種類のサブピクセルの組み合わせによって構成されている。各サブピクセルは RGB 値に応じた強度で赤、緑、青の単色光をそれぞれ発光し、この 3 種類の光の混合により様々な色が表示される。従って、画素色の切り換え時には、サブピクセルの発光強度を変更する処理が行われている。

一方、3.2.1 において、使用色 (切り換え表示に用いる 2 色) の G 値が同一である場合にちらつきの認められない結果が得られた。すなわち、緑のサブピクセルにおける発光強度の変化がちらつきの発生する一因と考えられる。そこで、ちらつきの要因を検討するために、各サブピクセルの発光強度の変化に対するちらつきの有無を調査した。

##### 4.1 実験方法

実験では、サブピクセルの発光強度を変化させるために階調の異なる同系色を切り換えて表示し、この時のちらつきの有無を評価した。具体的には、赤、緑、青の系色毎に表 3 に示す階調色を作成し、使用色 1 と使用色 2 を組み合わせて (計 45 組) 切り換え表示を行った。

ちらつきの評価基準、使用機器、および実験環境は 3.1 と同等である。なお、被験者は 19 名 (20 代男性 9 名, 20 代女性 8 名, 30 代男性 1 名, 30 代女性 1 名) である。

##### 4.2 実験結果および考察

実験の結果、全系色 (赤、緑、青) において、ちらつきの認められる階調の組み合わせと、ちらつきの認められない階調の組み合わせの存在することが明らかとなった。

被験者の過半数以上 (10 名以上) が“ちらつきなし”と評価した階調の組み合わせを図 6 に示す。図 6 の横軸は使用色 1 の階調を示し、縦軸は使用色 1 と使用色 2 の階調差を示している。縦軸と横軸の交点は階調の組み合わせを表し、交点上にプロットがある場合、その組み合わせはちらつきの認められない組み合わせであることを意味している。

緑のサブピクセルについては、階調の組み合わせが 0・0, 0・32, 0・64, 0・96, 0・128, 32・32, 32・64, 64・64, 64・96, 96・96, 128・128, 160・160, 192・192, 224・224 および 255・255 の場合にちらつきの認められない結果が得られている。この結果は、階調 0 に対し 0~128, 階調 32 に対し 32~64, 階調 64 に対し 64~96 の範囲でサブピクセルの階調が切り換わってもちらつきは認められないことを意味している。同様に、赤のサブピクセルについては、階調 0 に対し 0~160, 階調 32 に対し 32~96, 階調 64 に対し 64~128, 階調 96 に対し 96~128, 階調 128 に対し 128~160 の範囲がちらつきの認められない範囲であることが明らかとなった。青のサブピクセルについては、階調 0 に対し 0~160, 階調 32 に対し 32~128, 階調 64 に対し 64~128, 階調 96 に対し 96~160, 階調 128 に対し 128~192, 階調 160 に対し 160~192, 階調 192 に対し 192~224, 階調 224 に対し 224~255 の範囲がちらつきの認められない範囲であることが

明らかとなった。また、何れのサブピクセルにおいても上記範囲以外で階調が切り換わった場合にちらつきの認められることが明らかとなった。以上の結果は、擬似的色表示におけるちらつきの要因は緑のサブピクセルに限定されないことを示唆している。

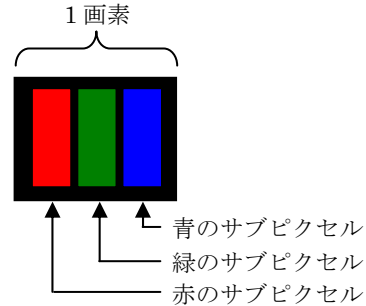


図 5 液晶ディスプレイの画素構成

表 3 サブピクセルの階調

使用色 1 の階調	使用色 2 の階調
0	0, 32, 64, 96, 128, 160, 192, 224, 255
32	32, 64, 96, 128, 160, 192, 224, 255
64	64, 96, 128, 160, 192, 224, 255
96	96, 128, 160, 192, 224, 255
128	128, 160, 192, 224, 255
160	160, 192, 224, 255
192	192, 224, 255
224	224, 255
255	255

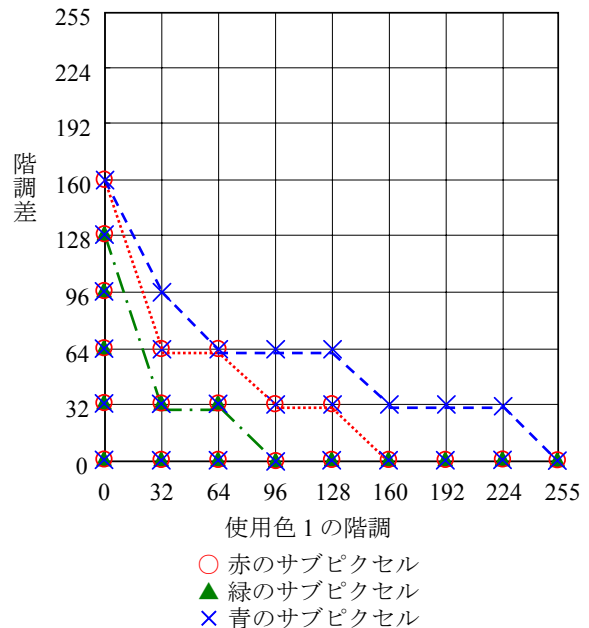


図 6 ちらつきの認められない階調の組み合わせ

一方、ちらつきの認められない階調の範囲はサブピクセル毎に異なる。このため、同一の階調切り替えが行われた場合でも、サブピクセルによってちらつきの有無が異なる。そこで、各サブピクセルのちらつきが擬似的色表示において認められるちらつきに対してどのように関連しているかを検討するため、3.1.1 で用いた 60 組の色を組み合わせを対象に R 値、G 値および B 値の階調切り換え範囲を調査した。具体的には、階調切り換え範囲がちらつきの認められない範囲 (図 6 の点線以下) に含まれるか否かを調査した。調査結果を表 4 に示す。この結果と表 2 (3.2.1 参照) を照合したところ、R 値、G 値および B 値の階調切り換え範囲が全てちらつきの認められない範囲に含まれる場合、色の切り換え表示は複数の被験者によって“ちらつきなし”と評価されていることが明らかとなった。このことは、ちらつきの有るサブピクセルが一つ以上存在する場合、擬似的色表示においてちらつきが認められることを示唆している。

従って、本研究では、サブピクセルのちらつきが擬似的色表示において認められるちらつきの一因に成り得ると考える。

## 5. まとめ

本研究では、液晶ディスプレイ上で色の切り換え表示を行う場合の使用色の組み合わせと切り換え速度に対するちらつきの有無を調査した。さらに、画素色の切り換え時におけるサブピクセルの発光強度の変化とちらつきの関連について検討を加えた。本研究で得られた成果をまとめると以下ようになる。

- (1) RGB 値の G 値が同一である 2 色を用いて、ちらつきの認められない切り換え表示が可能であることを明らかにした。

- (2) 本研究で用いたディスプレイ (リフレッシュレート 60Hz) において、ちらつきの認められない切り換え速度は 61fps であることを明らかにした。
- (3) サブピクセルの階調切り換えに伴って発生するちらつきが擬似的色表示において認められるちらつきの一因に成り得ることを明らかにした。

今後は、異なる液晶ディスプレイを用いて検証実験を行い、ちらつきの発生しない切り替え表示方式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情報工学科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。また、データ処理に協力下された鈴木萌氏に感謝します。

## 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] 相澤 清晴, 齊藤 隆弘, 森田 寿哉, 千葉 滋, 平山 雄三, 牧 敦, “コンテンツの生体への影響に関する調査・研究報告書”, 総務省 (2004).
- [5] 大石 巖, 畑田 豊彦, 田村 徹, “ディスプレイの基礎”. 共立出版 (2001).

表 4 使用色の組み合わせにおける階調切り換え範囲の調査結果

系色	階調			
	63	127	191	255
赤・緑	○	○	×	×
赤・青	○	○	×	×
赤・黄	○	○	×	×
赤・シアン	○	○	×	×
赤・マゼンダ	○	○	○	×
緑・青	○	○	×	×
緑・黄	○	○	×	×
緑・シアン	○	○	○	×
緑・マゼンダ	○	○	×	×
青・黄	○	○	×	×
青・シアン	○	○	×	×
青・マゼンダ	○	○	×	×
黄・シアン	○	○	×	×
黄・マゼンダ	○	○	×	×
シアン・マゼンダ	○	○	×	×

○・・・R 値, G 値, B 値の階調切り換え範囲が全てちらつきの認められない範囲に含まれる場合  
 ×・・・上記以外の場合