

# 液晶ディスプレイにおける文字情報の視認性評価に関する研究

遠藤 厚志\*

Engineering Research on Visibility Evaluation of Character Information in a Liquid Crystal Display  
Atsushi Endo \*

LCD screens are used in VDT work and TV viewing. Study of visibility is often from the perspective of ecological psychology. This paper describes the results of the research the relationship between human sensibility and physical indicators. Focusing on color character information, engineering evaluation and analysis of visibility are conducted. The primary purpose of this study is to show the equations by a quantitative analysis of the relationship between the visibility of the character information and background color. The second purpose, through the evaluation and analysis of LCD visibility, is to clarify the research methods of engineering control technology for information display in electronic information equipment system, and to deepen the understanding of this field.

キーワード：視認性, 液晶ディスプレイ  
Keywords : Visibility, LCD

## 1. 緒言

1968年に、デビットサーノフ研究所のハイマイヤーらが液晶をディスプレイに応用<sup>(1)</sup>して以来、液晶技術は絶えず進化してきた。現在、高画質・多機能化された比較的安価な液晶ディスプレイ（以下「LCD」と示す）がCRTに代わる一般的なディスプレイデバイスとなっている。

コンピュータやネットワーク技術の発達による職場でのパーソナルコンピュータ等を使用した作業（以下「VDT作業」と示す）と個人が娯楽として利用する機会が急速に増大する中、娯楽を含むVDT作業遂行に影響を与える影響が指摘されている。VDT作業性に与える要因の1つとして視認性がある。視認性とは、対象物がもつ意味・情報を正確に認識できるかどうかの度合いを表すもので、VDT作業の点から見ると、文字の「見やすさ」という感覚に相当する。この点から、視認性について様々な分野・視点から研究が行われている。図1は、その関係図を

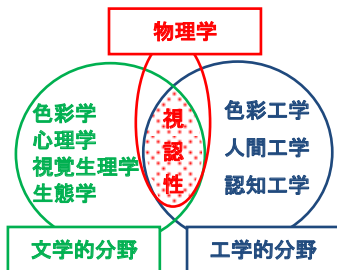


図1 視認性の各学術分野との関係

示したものである。

視認性は、ユーザ特有の感性や心理状態の変化、生活環境といった心理学・生態学からの見解が多く、また、色認識においては色彩学・視覚生理学からの知見も必要となってくる。一方、図2に示すように、物理学や工学的分野においては、視認性に対する影響を周辺の照度や視野角など

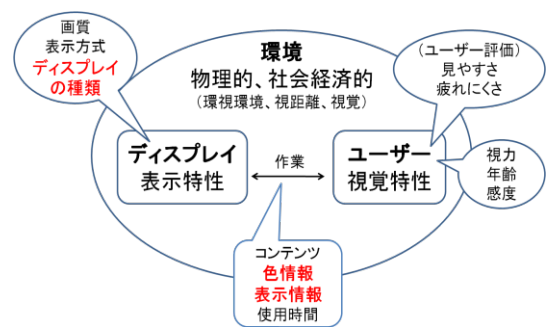


図2 視認性の環境要因

の物理的な量を用いた解析が考えられる。しかし、最も左右される要因はヒトの感性的なものであり、原因を追究するためには文学的分野を検討した研究が重要となる。

この観点に立ち、本研究では表示情報として第一義的な情報伝達手段である文字情報に着目し、視認性の工学的な評価・解析に着手する。研究の第一の目的は、文字の見やすさを背景との色情報の違いから検討し、かつ、定量的に解析することで数式化を図ることにある。また、LCDの

\* 制御情報システム工学科  
〒861-1102 熊本県合志市須屋2659-2  
Dept. of Control and Information Systems Engineering,  
2659-2 Suya, Koshi-shi, Kumamoto, Japan 861-1102

視認性評価・解析を通して、電子情報機器システムにおける情報表示制御技術に関する工学的な研究手法を明確化し、本分野の理解を深めることを第二の目的とする。

## 2. 視認性について

### 2.1 関連研究

佐藤<sup>(2)</sup>は、背景色の違いから検討を行い、背景色は青が適していること、同じ背景色間の明度の変更はVDT作業には影響を及ぼさないことを明らかにしている。

森本ら<sup>(3)</sup>は、VDT画面モードの陰画表示（暗い背景に明るい文字）と陽画表示（明るい背景に暗い文字）の視覚負担に関する研究を行い、陰画表示の背景が黒で、文字色がシアン・白・黄・緑が視覚負担を軽減すること、また、両表示モードにおける好ましい輝度は約30 [cd/m<sup>2</sup>]で、陽面の文字が黒の場合に視覚疲労が少なく、陽面の文字が緑の場合は大きいことを主観的評価実験から示した。

戸梶ら<sup>(4)</sup>は、使用に適している色の組み合わせには無彩色が占めており、文字は明度が低い方を採用するのが好ましいこと、有彩色では青系統と黄系統との組み合わせが適しており、赤系統や緑系統は適さないこと、適した色の組み合わせの前提条件として、十分な明度差をもつ必要があると述べている。

### 2.2 視認性の定量化

視認性という感覚は曖昧なものである。この感覚の中には様々な感性を含み、ヒトは視覚のみならず聴覚、あるいは臭覚などから受けた刺激を「見やすさ」という1つの感覚として生み出している。この感覚は、1種類の生体信号は見やすさを構成する1つのパーツにすぎないため、生体信号での観測が困難である。

この感覚を定量化するため、ヒトを測定器とした主観的評価法を検討した。この評価方法は心理学の要素が大きく、データの確実性にこだわる工学分野の研究者にとっては受け入れがたいものだが、正しい方法で活用すればヒトも高度な測定器となりうる。

本研究において、視認性の評価は「見やすさ」と「美度」に着目して実施した。「見やすさ」を定量化するためにS.S. スティーブンス [1906年-1973年] が提唱した「マグニチュード推定法」を参考にした。また、「美度」については、ムーン・スペンサー夫妻が1964年に提唱した調和論から、マンセル表色系をもとに色彩調和の度合いを「美度」で定量的に表した。

マグニチュード推定法によれば、ヒトの感覚の大きさは以下のべき指数関数に従う<sup>(5)</sup>。

$$\phi = kI^b$$

$\phi$  : 感覚の大きさ

$b$  : べき指数値  $I$  : 刺激強度  $k$  : 定数

今回の研究での $\phi$ と $I$ の定義は、

$\phi$  : 見やすさ

$I$  : 文字と背景間の輝度差および色差

となる。また、 $b$ と $k$ に関しては感覚の種類によって定まる数値である。

ムーン・スペンサーの色彩調和論によると、色の配色は以下の5つに分類される。

[同一の調和 類似の調和 対比の調和]

[第1の曖昧 第2の曖昧]

ここでいう「曖昧」とは不調和を意味する。また、この分類を「色相」「明度」「彩度」の3つで行い、美度を導出する。美度を[M]、秩序を[O]、複雑さを[C]とすると、Mは次式で求まる。

$$M = O / C$$

ここで、OとCの定義を以下に示す。

$$C = (\text{色の数}) + (\text{色相の異なる対の数}) \\ + (\text{明度の異なる対の数}) + (\text{彩度の異なる対の数})$$

$$O = H + V + C$$

Oの式に出てくるH、V、Cは調和の分類によって定まる値である。

## 3. 視認性の評価

### 3.1 評価色

測定に使用した色は、色彩学で多用されている「マンセル色相環の基本10色」を基本とした。これは、色彩学との比較を行うため、Web色で有名なHTMLの基本16色を使わないことで、色彩学内の基本配色に合わせるためである。なお、定量的な評価の際は、基本10色に25色を加え計35色とし評価色数を多くした。

### 3.2 測定環境・測定機器

本研究では、評価画面として、BenQ社製22型TFT-LCDモニター G2220HD (1920×1080画素)を使用した。色特性の色度・輝度特性の指標評価には、KONICA MINOLTA社製の色彩輝度計CS-100Aを使用した。測定は蛍光灯による照明光や太陽光の映り込みを抑制するため、ブラインドを閉めて実施した。実験の測定開始と終了時に照度計で計測したところ、測定画面付近の照度は、400~420 [lx]

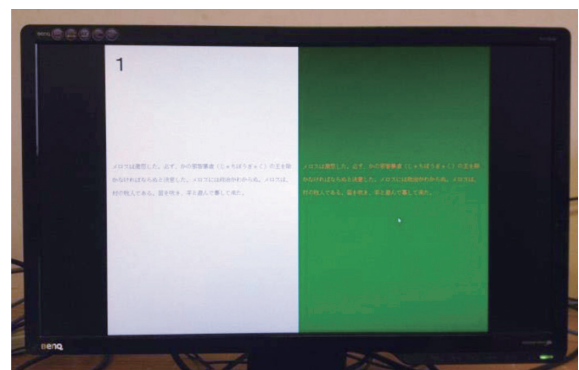


図3 測定画面

(晴れ), 360~380 [lx] (曇り), 350~370 [lx] (雨) であった。測定距離は0.4~0.5 [m]。評価は、熊本高専(熊本) 19~21歳の男子生徒で30人を被験者として行った。

具体的な測定方法を次に示す。図3において左半分を基準画面, 右半分を評価画面としている。基準画面は文字が黒で, 背景が白という標準的な組み合わせになっており, この配色が変わることはない。(なお, 4.3項に示す見やすさの定量的評価実験では右画面の評価画面で実施, 最初の画面が基準画面となる)

ここで, 基準画面を見やすさの基準値“1”とする。測定は次の手順に従って行う。

- 手順 (1) 被験者は, 評価画面の色の組み合わせは基準画面に対して「何倍見やすい」のかを直感的に数値で記録する。 ※数値範囲 (0.1~10)
- 手順 (2) 評価画面の色の組み合わせのみを変更して, 再び手順 (1) を行う。
- 手順 (3) すべての測定画面を評価し, 終了。

なお, 画面の切り替え作業や評価値の記入は被験者が行う。また, 被験者は直感的に答えるものとし, 意図的な評価を行なわないとした。

#### 4. 視認性の評価結果

##### 4.1 見やすさの評価結果

図4, 図5に, 輝度差, 色差を物理量とした場合の見やすさとの関係を示す。ここでいう輝度差とは, 文字色と背景色における各輝度値の差の絶対値, 色差 (CIE 色度座標系) は色度座標においての2点間の距離を表す。

図4を見ると, 輝度差が大きくなると見やすさも向上していることがわかる。それに対して, 図5では, 色差が大

きくなると見やすさも向上しているとはいえない。原因として, 色差が大きい範囲では, 輝度差が小さい組み合わせが存在しているからだといえる。

また, 図4, 図5に示すように, 全体の色の傾向を見ると, 黄か黄緑を含む組み合わせは高い評価となる。それに比べて赤, 黄赤, 赤紫などの赤系統を含む組み合わせは, 好まれない。そして, 各組み合わせの分布を見れば明確であるが, ある2色の組み合わせについて, 輝度値が大きい方の色を文字色として使用すると見やすさは向上する。

図示はしていないが, C.I.E 表色系で示される  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  を物理量とした場合の見やすさとの関係についても検討した。一般に,  $\Delta x$  は色度座標の x (赤成分の割合) の差の絶対値,  $\Delta y$  は y (緑成分の割合) の差の絶対値を意味する。結果,  $\Delta x$  が大きい範囲 (0.25以上) では, ほとんどの組み合わせが見にくいと評価されている。しかし,  $\Delta x$  が小さい範囲では見やすくなるとは限らず, 評価は輝度差に依存して一方,  $\Delta y$  が大きくなると見やすさは, おおむね向上する。ただし,  $\Delta y$  が0.3~0.35付近では, 低評価の集団が存在する。やはりここでも, 見やすさは輝度差に依存している。

以上のことをまとめると次のようになる。

- 1) 見やすさと輝度差は, べき指数的に変化している。
- 2) 見やすさは輝度差に依存している。これは, 色彩学内で色彩調和が明度差に依存しているという見解<sup>(6)</sup>と一致。
- 3) 黄か黄緑との組み合わせは, 見やすさの向上につながる。
- 4) 赤系統との組み合わせは, 見やすさの低下につながる。
- 5) 青系統, 緑系統との組み合わせは見やすさへの影響は,

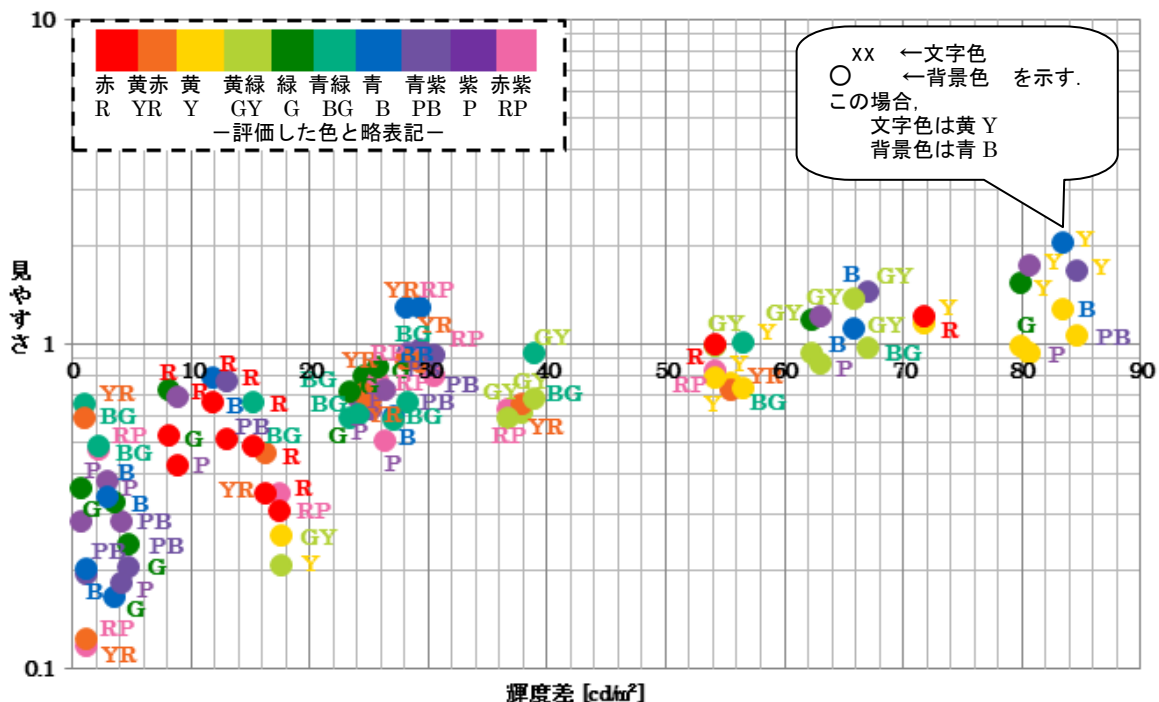


図4 見やすさと輝度差との関係

この結果からは判断できない。

を文字にすると、見やすさは向上する。

6) 有彩色同士の2色の組み合わせでは、輝度値が大きい方

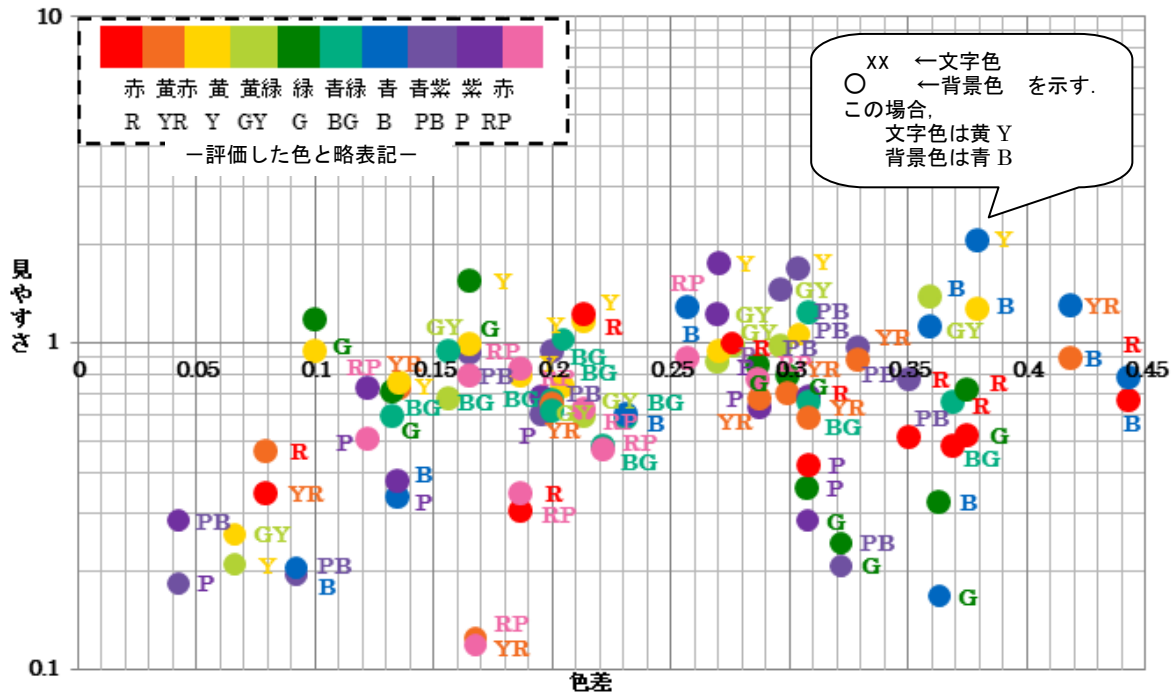


図5 見やすさと色差との関係

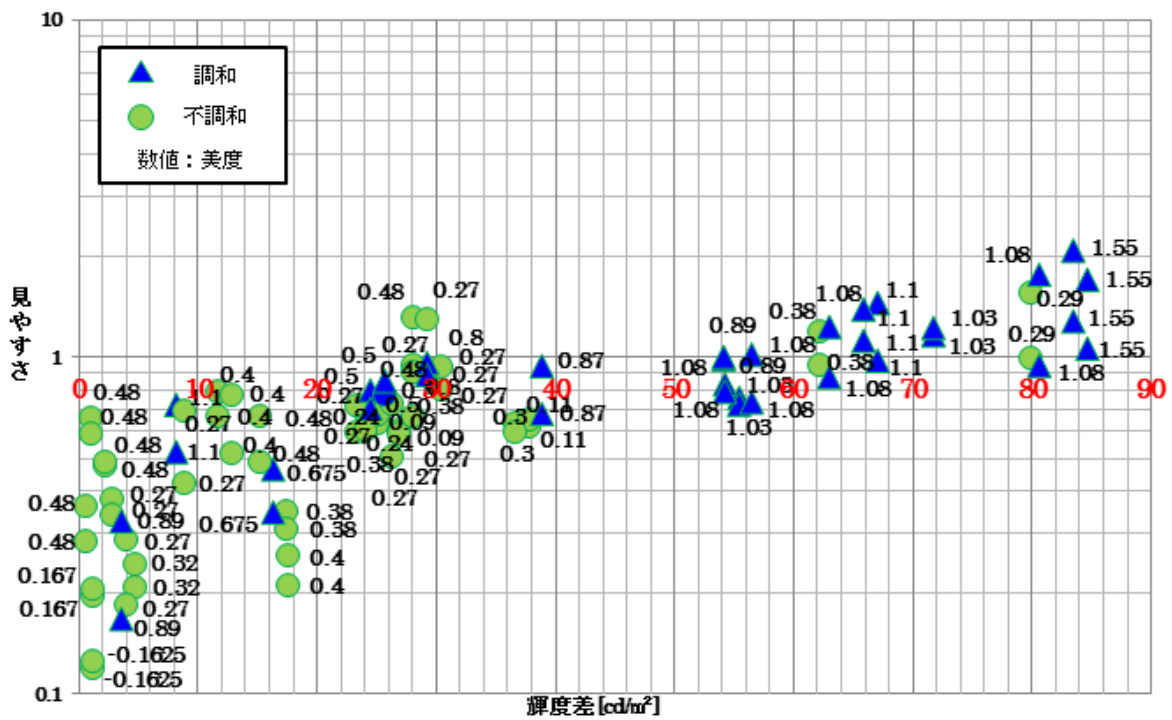


図6 見やすさと輝度差との関係と美度分布



#### 4.2 美度の評価結果

図6について、被験者による測定結果で見やすいとされている配色は、美度の計算結果では調和と判定される傾向がある。その見やすい配色の中にも、色彩調和では不調和とされているものがあり、また、輝度差が低い範囲では、見にくいとされているにもかかわらず、調和と判定される配色が存在している。美度と輝度差との関係も指数関係ではない。これは、4.1項で示した結果からは、見やすさは輝度差に対してべき指数的に増加すると予想されるが、美度という指標を用いると成立しないことを意味する。従って、美度を見やすさを表す度合いとすることはできない。また、中間調和（調和や不調和の領域に入らない曖昧な範囲）についても調べたが、見やすさと対応していない。

以上の結果より、色彩学内では調和理論をもとに好ましい配色を生み出しているが、その理論をそのままLCDの見やすさに活用できないことが示された。

視覚生理学から考察を行う。視細胞は錐体と桿体の2つに分けられる。桿体とは、光のみを受容する細胞であり、色を認識する機能はもたない。明るい状況では機能が低下し、暗い状況では光に対する感度が高い。これに対して錐体は、色を感じ取る機能を持つ。しかし、色を刺激として受け取るには十分な光量が必要となる。また、錐体は3つの種類に分けられ、短波長、中波長、長波長よりの中波長にそれぞれ感度のピークをもつS錐体、M錐体、L錐体が存在する。VDT作業において文字にピントを合わせて形を認識し、読むという行為は中心視とよばれるものに近いと考える。この場合、錐体の色認識機能が向上することがわかっている。それに対し、LCDバックライトによる高

輝度な光受容により、桿体の機能は低下する。従って、分光吸収率と本研究による測定結果を対応させると、配色に好まれる黄緑と黄を構成している緑付近と橙付近の波長の吸収率が高い。このことから、黄と黄緑はM錐体とL錐体が高感度状態で色認識していることがわかり、この作用で視認が向上したと考えられる。

LCDにおける測定結果は、視覚生理学で述べられているヒトの視細胞の分光特性に対応していることが確認された。見やすさという感覚は色特性から説明できる。

#### 4.3 見やすさの限界領域と色認識の限界領域

黄と黄緑が見やすさ向上のカギとなるが、双方の色の範囲は広い。そこで、黄と黄緑について赤、緑、青の各系統の方向に色を変化させると、見やすさはどう変化し、どこまでが見やすい領域なのかを本項では検証する。同時に、各系統へ色を変化させたとき、黄や黄緑と認識できる限界範囲はどこなのかも測定し、見やすさの限界領域と色認識の限界領域を比較する。黄と黄緑からの色変化は、CIE表色系の色度図をもとに色変化させている。変化させていく方向の各座標値を定めるために、黄、黄緑の設定階調数から変化させる色の設定階調数まで、徐々に階調を変化させた。図7、図8に示す測定結果を見ると、見やすいと感じるまでの領域と、色が黄緑と認識できるまでの領域が必ずしも一致せず、見やすいと感じる範囲が色認識の範囲より広いことがわかる文字色が黄色の場合も同様である。これより、色度図上において、黄あるいは黄緑の領域と隣接する周辺の色との境界付近は、見やすい傾向にあることがいえる。特に、ライムへの変化では、見やすいとの判断

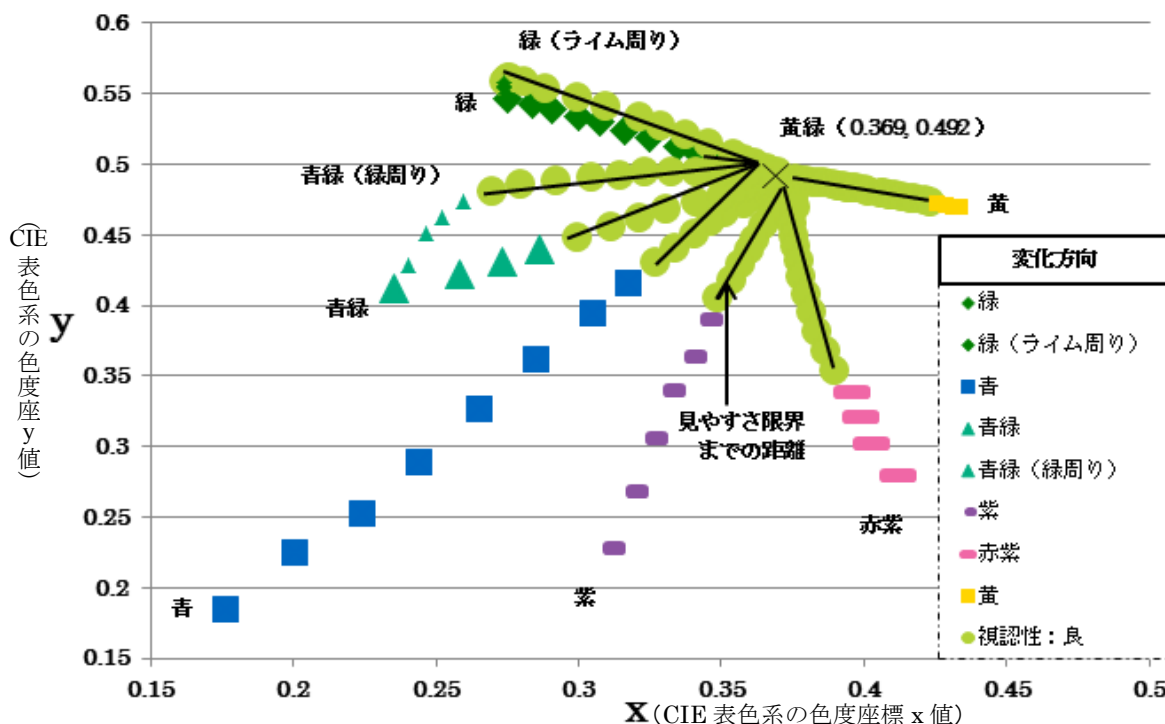


図7 見やすさ限界領域 (初期文字色: 黄緑)

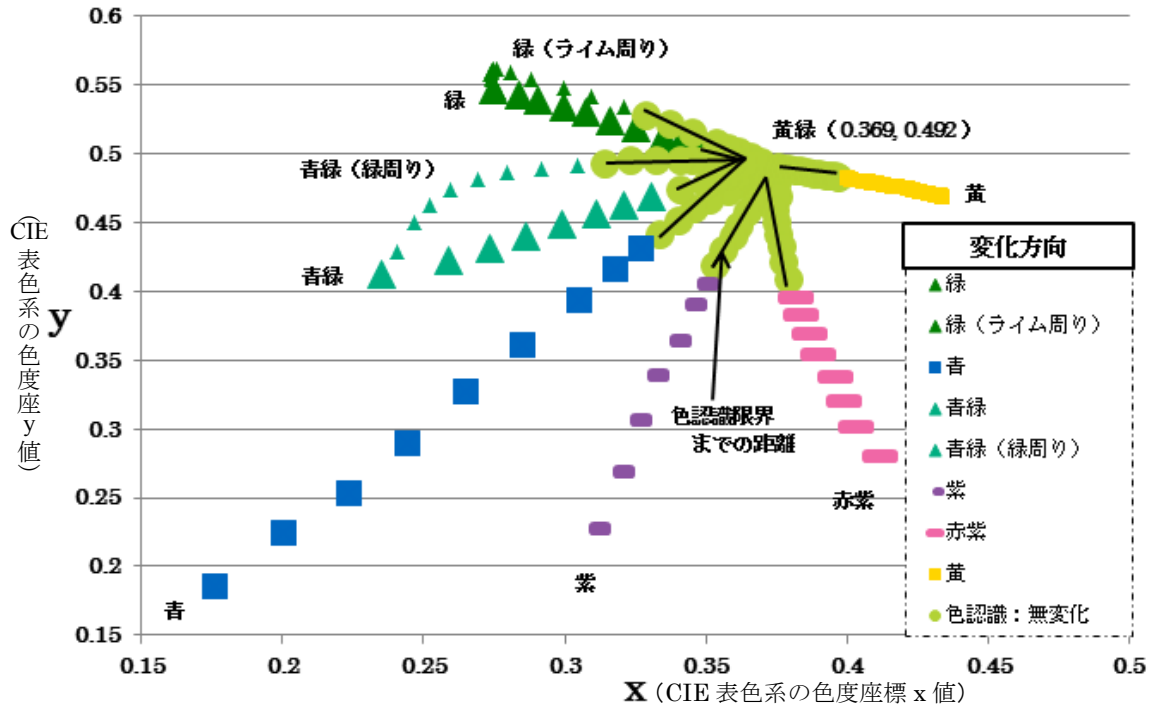


図8 色認識の限界領域 (初期文字色: 黄緑)

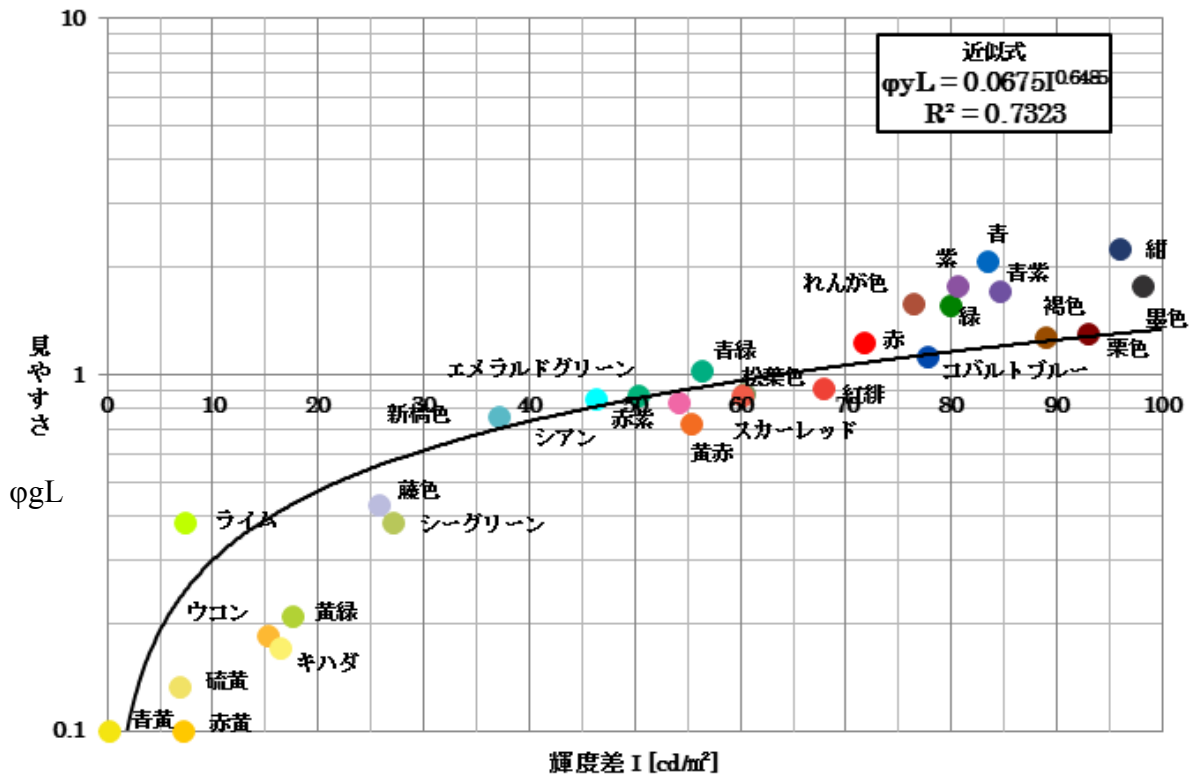


図9 見やすさと輝度差の関係 (文字色: 黄)

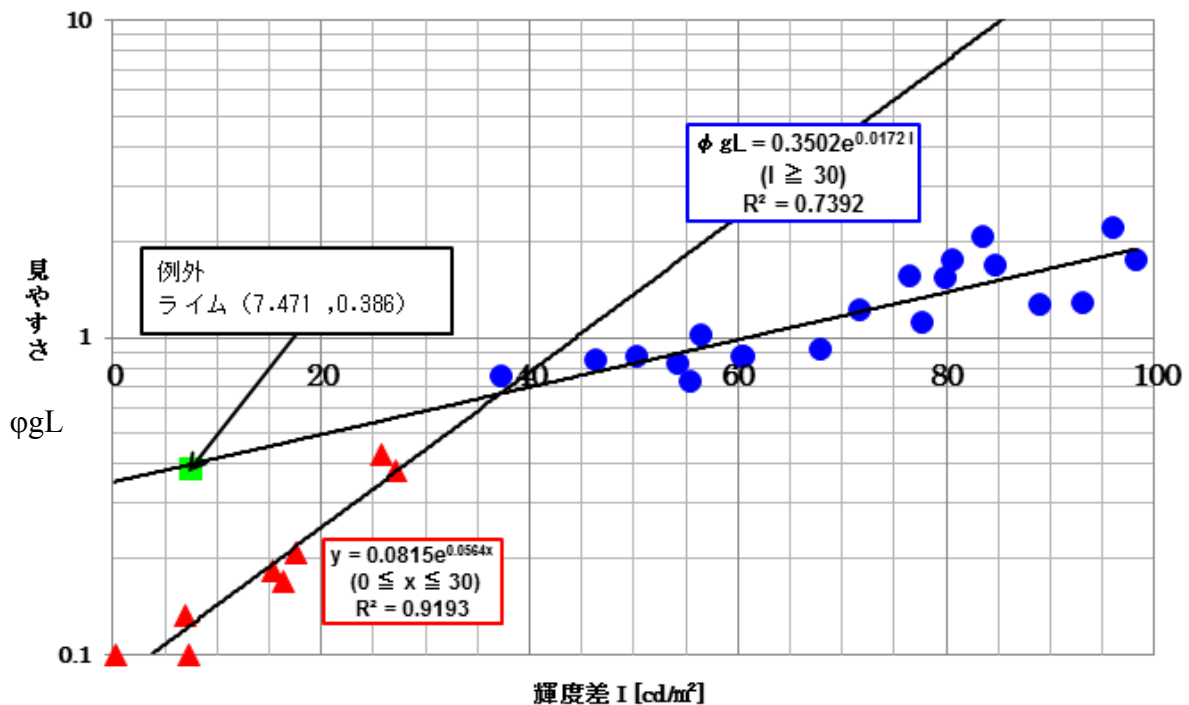


図10 見やすさと輝度差の関係の近似曲線の導入 (文字色：黄)

が途切れることなく続いている。見やすさを向上させるために緑を使用する場合は、輝度・彩度ともに高いライム系の色を使用すべきだといえる。

#### 4.4 見やすさの定量的評価結果

黄、黄緑と配色する色の数を増加させ、全体のデータ数を増加させた上で測定を行った結果を示す。見やすさと輝度差の関係について、次に示す4つのケースについて、それぞれの近似式を導出した。

- 1) 文字色：黄 固定
- 2) 文字色：黄緑 固定
- 3) 背景色：黄 固定
- 4) 背景色：黄緑 固定

例として、図9、図10に文字色が黄のケース1)の結果を示す。図9で示されているべき指数近似曲線では、輝度差が低い範囲(30cd/m<sup>2</sup>以下)の分布は式に従っていないことから、輝度差の範囲を30cd/m<sup>2</sup>以下の場合とそれ以上の場合に区切り、かつ、指数近似を行う(図10)。また、集団から外れているライムを例外として扱った。得られた近似式を以下に示す。

$$1) \phi gL = \begin{cases} 0.0815 e^{0.0564I} & [0 \leq I \leq 30] \\ 0.3502 e^{0.01721I} & [I > 30] \end{cases}$$

※例外；ライム

$$2) \phi gyL = 0.0795 e^{I^{0.6332}}$$

※例外；ライム 黄

$$3) \phi gB = \begin{cases} 0.0878 e^{0.0618I} & [0 \leq I \leq 30] \\ 0.5121 e^{0.0088I} & [I > 30] \end{cases}$$

※例外；ライム 黄

$$4) \phi gyB = 0.0735 e^{I^{0.6091}}$$

※例外；黄 青

ここで、 $\phi gL$  : 文字が黄の場合の見やすさ  
 $\phi gyL$  : 文字が黄緑の場合の見やすさ  
 $\phi gB$  : 背景が黄の場合の見やすさ  
 $\phi gyB$  ; 背景が黄緑の場合の見やすさ  
 $I$  ; 比較した2色の輝度差

なお、近似式の導入過程でライム・黄・青は例外として除外した。ヒトの感覚は刺激に対して対数的に変化するという心理学的見解にもとづいたからである。

#### 5. 結論

本研究による結論を以下に示す。

- 1) 文字の見やすさは背景色との輝度差に依存する。
- 2) 有彩色の2色間の配色において輝度が高い方を文字とすると見やすさは向上する。
- 3) 黄や黄緑の見やすさ向上、赤系統色の見易さ低下はヒトの視細胞内の錐体における分光吸収率の分布から説明できる。
- 4) 文字の見やすさに色彩調和論の適用は困難である。
- 5) 任意の配色において、見やすさの向上は文字色を黄あるいは黄緑にするとよい。

6) 黄および黄緑と他の色との配色時における見やすさについて、輝度差との関係式の導入に成功した。

本研究で、様々な背景色をもつカラー文字情報の視認性評価に関する数式化を含めた新しい研究手法を示し、その有効性を明らかにした。継続的な研究により、視認性評価に対して刺激や物理量を変えた新しい測定法の考案、異なった形での数式を提案できることが予想される。

文字情報に限らず、静止画、動画、映像情報に対する視認性評価に関する工学的研究の新しい展開が考えられる。

最後に、本研究は平成25年3月に卒業した電子制御工学科早田浩規君の卒業研究<sup>(7)</sup>他の成果<sup>(8)</sup>による。多くの時間を割いて課題に真剣に取り組んだ姿勢に敬意を表し、改めてお礼申し上げます。

(平成25年9月13日受付)

(平成25年11月6日受理)

#### 参考文献

- (1) G. Heilmeier et al. Appl. Phys., Lett., Vol.13, p.91-92, 1968
- (2) 佐藤基治, “背景色が課題遂行に及ぼす影響”, 福岡大学人文論叢 第40巻第2号 (2008.9)
- (3) 森本一成, 西村武, 新居雅行, “VDT 画面の表示モードの違いと視覚疲労”, テレビジョン学会誌 第40巻第3号 (1986.3)
- (4) 戸梶 亜紀彦, “VDT 作業時の画面表示色設定に関する人間工学的研究”, Hiroshima University management review Vol.1, pp39-48 (2001.3)
- (5) 大山 正, 齋藤 美穂, 『色彩学 入門』, 東京大学出版社, pp1-20 (2009.4)
- (6) 納谷 嘉信, “色彩の心理効果 —主として配色感情の問題を中心として—”, 連載講座 色彩心理と測色 第24巻第5号 pp371-381 (1970)
- (7) 早田浩規: 「液晶ディスプレイにおける視認性の工学的研究」, 熊本高等専門学校熊本キャンパス電子制御工学科卒業研究報告書, 平成25年2月28日
- (8) 宮崎美香, 遠藤厚志: 「液晶ディスプレイの中間調表示特性—肌色の選定と視認性の人間工学的評価—」, 熊本県立技術短期大学校平成22年度卒業研究概要集, pp113-116