

低輝度発光表示機器の視認性評価技術に関する研究

村田政隆, 菅原智明, 宮原則行

A Study on Visibility Evaluation Technology of Low Brightness Luminescence Display

Masataka Murata, Tomoaki Sugawara and Noriyuki Miyahara

要 旨

近年、信号機や家電製品等に使用される発光素子では、高輝度で視認性が高い、点発光素子のLEDが広く利用されている。その一方で、携帯電話のバックライトとして利用されてきた面発光素子の無機ELは、LEDに比べ輝度が低いため、明るい周囲環境では視認性が低く、市場が狭まりつつある。しかし、省エネルギー化の流れが進む昨今の現状から、消費電力を抑えた低輝度発光機器の有効利用法を選定する必要がある。そこで、World Wide Web Consortiumが提案するコントラスト比較法と画像処理を利用し、低輝度の発光表示機器に対する簡易的な視認性評価技術の実験的検証を行い、評価条件の導出を試みた。

1.はじめに

高輝度自発光素子であるLEDは、利便性が高く、信号機、照明、看板などの日常生活機器への応用が進められてきている。点光源であるLEDに対し、面光源を実現する素子に無機EL（以下、EL:Electro Luminescence）がある。ELは大面積化も可能で、厚さが100 μ m程度と非常に薄く、湾曲面への適用性にも優れているが、LEDに比べて輝度が低く、明るい周囲環境では、点灯や消灯の区別・認識が難しいという根本的な問題を抱えており、携帯電話のバックライト等以外の用途での応用製品は普及してこなかった。面発光体の研究開発の第一目標は、点灯時・消灯時のコントラスト比を高めることであるが、実用上、人が操作する機器の発光表示機能として考えると、視認性が最も重要である。視認性は、自然光や人工光、直接光や間接光等の周囲光環境の条件に加え、発光時の輝度や光の方向等の発光表示機器の特性、健常者や色弱者、老若の別等のユーザー側の問題が複雑に絡みあって定まる要素である。(社)照明学会でも視認性の研究調査¹⁾等が行われているが、視

認性には明確な評価基準がなく、機器開発メーカーによって内部基準を定めているか、経験則により評価しているのが現状である。

そこで、ELに特化し、低輝度発光表示機器のガイドライン策定を目指すため、World Wide Web Consortium（以下、W3C）が提案するコントラスト評価法と画像処理を利用した視認性評価技術について、実験的検証を行った。

2.W3Cの提案

World Wide Webに関する各種技術の標準化団体であるW3Cが公開しているガイドラインの1つに、Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0がある。このガイドラインでは、インターネットユーザがサイトを閲覧する際など、ディスプレイ上の文字等がはっきりと認識できるように、背景色と前景色（文字の色等）に対し、256階調のRGB値を用いたコントラストの指標が示されている。そこで、低輝度発光表示状態を256階調のRGBで示される画像データにすることができれば、W3Cが提案するコントラスト評価が

利用できると考え、低輝度発光表示機器の画像データ化について検討した。

3.評価装置の概要

照明環境は場所や時間によって千差万別であるため、あらゆる環境条件を再現することは難しい。簡便な方法で再現性を重視すれば、専用暗室を用意したり、照度調整可能な照明を暗室内に設置した専用測定室を用意したりし、発光体の視認性を評価する方法も考えられる。しかし、日常環境では散乱光による間接照明が一般的であることから、白色拡散光により均一に照明された環境で発光体の視認性を確認することが有効であると考えた。そこで、人工太陽照明光とデジタルカメラを用いた簡易な評価装置を試作した。その概要を図1に、外観を図2に示す。

本装置では、光源から照射された光をコンデンサレンズにより集光し、4分岐ライトガイドを介し、内面に白色拡散反射コーティング剤を塗布したドームに照射する構造となっている。また、ドームには画像撮影用のカメラを固定するマウントを設置している。

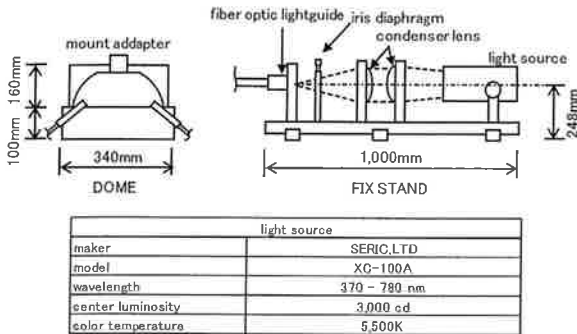


図1 評価装置の概要

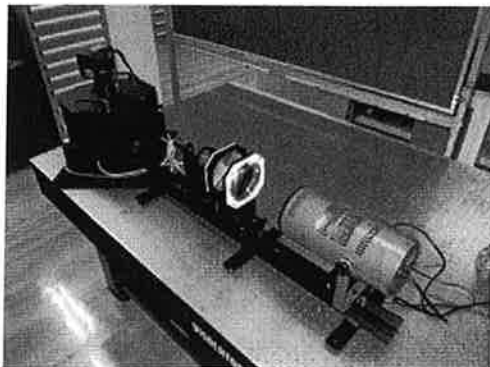


図2 評価装置外観

本装置による視認性評価環境を特定するため、光源の分光強度分布とドーム内における照度について測定した。分光強度分布測定では、はじめに光源を消灯してドーム内を暗室にした状態のバックグラウンドSP_B、光源のスペクトルSP₁及び4分岐ライトガイド出口のスペクトルSP₂を測定した。なお、測定にはオーシャンオプティクス社のUSB 2000を使用した。測定値は、絶対値(単位: $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)で出力されるが、測定位置によって絶対値は大きく異なる。そこで、SP₁,SP₂は測定値からバックグラウンド値を除算し、光源の波長域370~780nmの中央値である575nmの測定値を基準とした相対値で求めた。なお、バックグラウンドを3回測定した結果、各波長における平均値と測定値の差は、全3630データ中90%以上が、 $\pm 0.001 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ の範囲に含まれた。よって、再現性が高いと判断でき、今回はこの平均値をバックグラウンド値として採用した。

SP₁とSP₂それぞれ3回測定し、各平均値を求めた結果と人工太陽照明光メーカーのカタログを参考に、自然太陽光の比エネルギー分布(参考値)を、図3に示す。

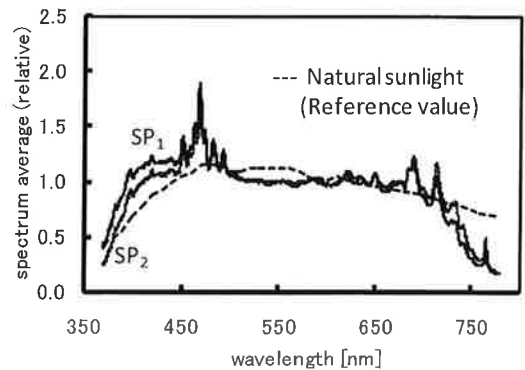


図3 平均スペクトル (SP₁:光源, SP₂:ライトガイド出口)

使用したライトガイドは、550nmの波長を基準とした場合、約550nm未満の波長に対する伝送損失が高く、700nm以上の波長に対する伝送損失が低い仕様となっているため、図3に示すSP₁とSP₂の差は、ライトガイドの仕様に依存している結果と言える。また、実測したドーム内の分光スペクトルは、破線で示した自然太陽光スペクトルとは完全に一致していないものの、450nm~700nmの範囲において概ねフラットな状況であり、ドーム内では太陽光を採光している環境をほぼ再現して

いるといえる。

次に、ドーム内の照度分布の傾向を確認するため、照度計を用い、ドーム内の鉛直方向と水平方向の照度を測定した。鉛直方向の測定結果を図4に、水平方向（半径）の測定結果を図5に示す。

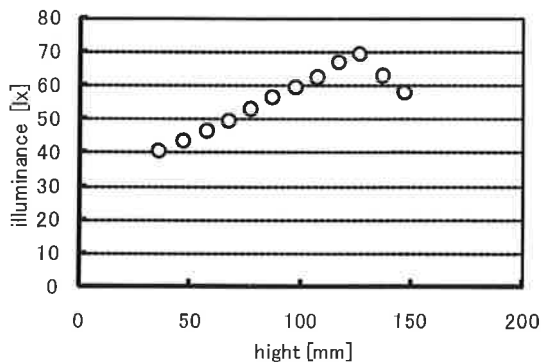


図4 ドーム中央における鉛直方向の照度

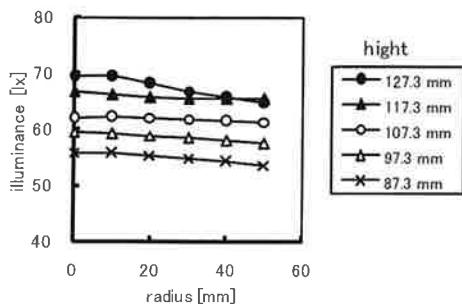
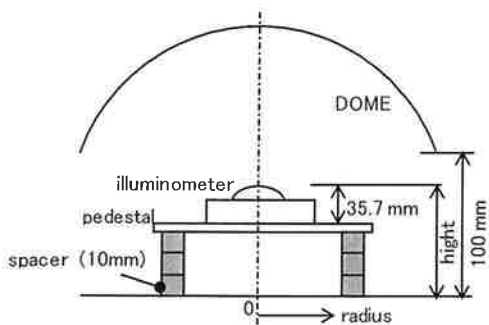


図5 ドーム内における水平方向の照度

本装置では、底面から100mmの高さからドームが設置されている。測定の結果、底面に照度計をおいた状態 (height=35.7mm) では、照度は約40 lxであり、ドームの基準となる高さ100mm程度の照度は、約60 lxであった。高さが約40~130mmの照度は、ほぼ高さに比例し増加するが、約130mm以上の高さにすると、照度計に入射可能な光の拡散反射面が小さくなるため、照度が低くなることがわかった。

続いて、高さを87.3mmから127.3mmまでの5段

階について、水平方向の照度分布を測定した。ただし、ドームの最大半径は150mmであるが、端部では照度計の検出部がドームやフレームに接触してしまうため、測定範囲はドーム中央を原点として、半径50mmまでの範囲で照度を測定した。その結果、高さが117.3mm以下であれば、半径50mmの位置までの照度は、中央の照度の95.9%を保っており、ドーム内の照度分布は、ほぼ均一であると認められた。

以上より、ドームが固定されている高さ100mmの位置であれば、試料を厳密な位置に固定しなくとも、照明条件の再現性は確保されるといえる。また、日常的な光環境調査として、今回は一般家庭と北海道立工業技術センターを例に、日中における照度を測定した。その結果、窓位置やパソコンのディスプレイなどの発光源の存在の影響は大きいものの、概ね50 lx~200 lxの照度環境であることがわかった。本装置では、太陽光を採光している窓から離れた室内の照明環境を人工的に作り出しているといえる。

4.撮影条件の検討

デジタルカメラによる画像の撮影条件に関し、一般的なパラメータであるISO感度、F値およびシャッタ速度の3種類について検討した。

まず、ISO感度は、暗い環境の場合に設定値を高め感度を向上させるが、高くしすぎると画像が荒くなる欠点がある。今回は自動モード撮影時のISO400を基準として採用した。次に、絞りの大きさとレンズの明るさを表すF値は、数値が小さいほど明るく撮影することができるが、使用した一般的なカメラで設定可能な最小値はF5.6だった。シャッタ速度は、30秒から1/4000秒までの広い範囲で設定できるため、シャッタ速度を画像取得パラメータとした。

そこで、シャッタ速度の差による発光体と非発光体の撮影画像の状況を確認するため、ELを用いた仮撮影を実施した。ELの消灯・点灯の2パターンに対し、シャッタ速度を1秒と1/125秒の2種類に設定し撮影した結果を図6に示す。

視覚との整合を図るために使用したELの目視確認をすると、照度が60 lx程度では、消灯時は白色に、点灯時は淡青色に見える。シャッタ速度が1秒の時は、画像は明るくなり、消灯時のELも

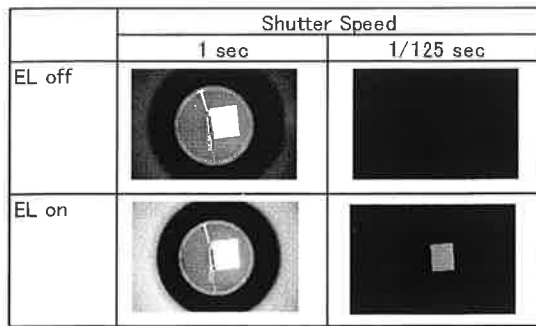


図6 撮影画像例

白色に見える。しかし、このシャッタ速度の設定では、EL点灯時も白色になってしまい、点灯・消灯の区別がつかない。また、シャッタ速度を1/125秒に設定すると、EL発光時は淡青色に見えるものの非発光時は暗くなり、消灯時のEL色は再現されない。これにより、発光体と非発光体を同一シャッタ速度で撮影した画像を使用して、視認性を判断するのは不適切と考え、それぞれの撮影条件を実験的に求めることにした。

4.1 非発光体の撮影条件

非発光体のサンプルとして、利用実績が高く、標準光源(D65)時のsRGB情報が記されているmun sell社のカラーチェッカーを用いた。シャッタ速度は1秒、1/2秒、1/3秒、1/4秒、1/5秒および1/8秒に設定し、画像データの記録形式をsRGB値に定め、カラーチェッカーの数値と、画像データのsRGB情報と比較して、適切な撮影条件を検討した。なお、画像データのRGB値は、同一色上から30点の情報を抽出した時の最頻値を取得するプログラムをVisualBasicによって作成した。図7に、このグラフィカルユーザインターフェイス（以下GUI）を示した。



図7 最頻値取得用GUI

カラーチェッカーのRGB値は、D65時の測定条件下での値であり、撮影環境が異なる本環境では同一値は得られない。しかし、カラーチェッカー

を本装置内に高さ約100mmの位置に設置した状態で、真上から肉眼で確認したところ、無彩色を含めた24色を識別することは容易であった。そこで、カラーチェッカーに示されているRGB値をVc、測定したRGB値をVeとして、ほぼ同じ状態となるシャッタ速度を採用することにした。

はじめに、無彩色の撮影状況について検討した。無彩色のRGB値をVcとすると、Vc(R,G,B)は(160, 160,160)や(122,122,121)など、R、G、Bが、概ね同一値をとるため、算術平均値は各値とほぼ一致する。そこで、横軸にVcにおけるRGBの平均値を、縦軸にVeにおけるRGBの平均値をとり、まとめた結果を図8に示す。

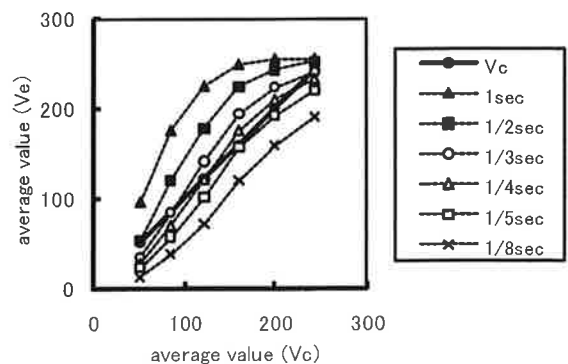


図8 カラーチェッカーの平均値に対する、測定値の平均値（無彩色）

この図から、シャッタ速度が1秒と1/2秒の時は、whiteとneutral(無彩色) 8の平均値は255と252となり、肉眼での差が認められない。一方、1/8秒のシャッタ速度では、非常に暗く感じられた。よって、シャッタ速度は、1/5～1/3秒の範囲が望ましいといえる。

次に、色にはいくつかの表現方法^{23,24)}があるが、今回はRGB表色系を利用し、人が感じる色合いから検討した。まず、RGBの基準となる赤、緑、青を撮影し、(1)式と(2)式により、VcおよびVeをRGB値からxy値へ変換した。赤(r)、緑(g)、青(b)の測定値をx-y平面にプロットした結果を図9に示す。図中の×印は、カラーチェッカーの青色、緑色、赤色の座標を示し、白抜き○印は測定結果を、▲印は無彩色の座標を示している。各測定値におけるシャッタ速度は、▲印から遠ざかる方ほど短い値（最短1/8秒）を示し、▲印に近づくほど長い値(最長1秒)を示している。また、r、g、bを頂点とする破線内部は、RGBで表現できる色を示している。この結果から、シャッタ速度が長

$$\begin{aligned}
 X &= 100(0.3933(R/255)^2 + 0.3651(G/255)^2 + 0.1903(B/255)^2) \\
 Y &= 100(0.2123(R/255)^2 + 0.7010(G/255)^2 + 0.0858(B/255)^2) \\
 Z &= 100(0.0182(R/255)^2 + 0.1117(G/255)^2 + 0.9570(B/255)^2)
 \end{aligned}$$

—(1)式

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

—(2)式

式

くなるほど、無彩色に近づき、シャッタ速度は赤色では1/2秒、青色と緑色では1/3秒の時にカラーチェッカー値に最も類似することがわかった。以上のように、無彩色、RGB空間およびRGB表色系から検討した結果から、シャッタ速度は1/3秒に定めた。

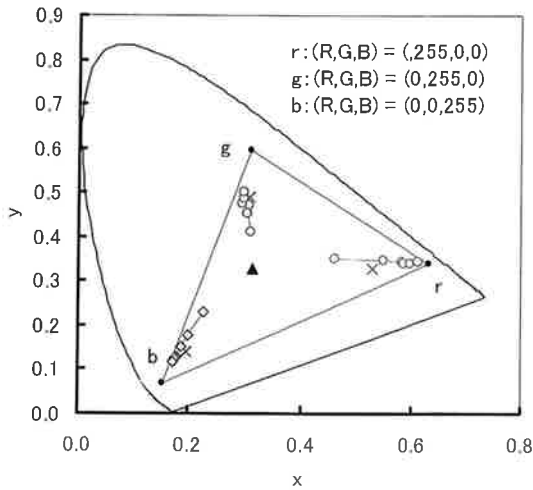


図9 赤色・青色・緑色の測定結果 (RGB表色系)

4.2 再現性

ELは交流駆動のため、明るさが周期変動し、シャッタ開時間との同期状況により撮影した画像に変化があらわれることが懸念される。そこで、再現性の検討は非発光体を対象に検討することにした。使用したカラーチェッカーを3回撮影し、全24色について1色あたり30点のRGB情報を取得した。30点の平均値と最頻値について、3回分の画像データにおけるRGB値の誤差を求めた結果を表1に示す。

30点のRGB値の平均値を取得色情報として用い、3画像のRGB値(0~255)の差を求めたところ、最大7~8となった。一方、最頻値を色情報とした場合、4~6となり、平均値を用いた場合よりも誤差が少なく、標準偏差からバラツキも少ないといえる。今回、最頻値を用いた場合の誤差は±2.5%(F.S)であった。以上より、本装置による色の評

価方法では、誤差を±5%(F.S)に抑えることが可能であり、再現性が得られていることを確認した。

4.3 発光体の撮影条件

サンプルELの発光スペクトルを測定し、ピーク値が1となるように正規化した結果と三刺激値の参考値を図10に示す。

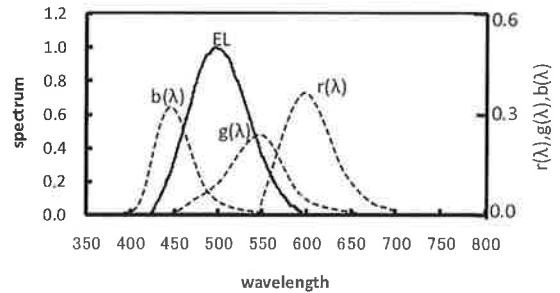


図10 ELの発光スペクトル及び三刺激値

この結果から、使用したELでは約600nm以上の波長の赤成分が含まれておらず、560~580nmの黄緑色の波長が若干含まれる程度であることから、カメラで撮影した画像データにもR成分はほとんど含まれないはずである。しかし、RGBの三刺激値は波長に幅があるため、互いに重複する波長域が存在していることから、R成分が0と断定はできない。

次に、評価装置内部に固定したELを発光させ、周囲環境が暗所時と明所時の状態を、シャッタ速度を変化させながらカメラで撮影した。シャッタ速度に対するEL発光面のRGB値を図11に示す。

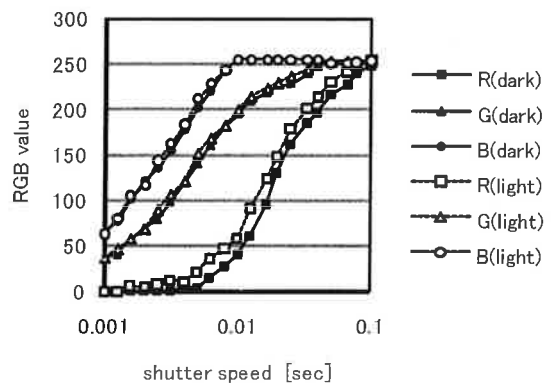


図11 シャッタ速度に対するELの測定値

この結果から、60 lx程度の照明環境では、暗所に比べ若干ではあるがRGB値が高くなっており、照明環境によって画像データには違いが生じることを確認した。シャッタ速度に関しては、1/100秒より遅いと、R成分が急激に大きくなり、

画像が白色に変化した。また、1/100秒よりも速いと、R成分が0に近くなり、必要以上にR成分をカットしている可能性がある。さらに、三刺激値を考慮し、シャッタ速度の設定値は、若干R成分を含んだ1/100秒を基準速度として採用した。

5.視認性評価

非発光体と発光体の最適な撮影条件を求めることにより、W3Cが提案するコントラスト評価に必要なRGB値を得ることが可能になった。そこで、W3Cのガイドラインに基づいた視認性評価用のプログラムをVisual Basicにて試作し、今回用いたELとカラーチェッカーとの視認性について確認した。試作したプログラムのGUIを図12に、評価結果を表2に示す。表2において、Bは前景色と背景色の明るさの差を、Lは輝度比を、Cは色差を示しており、各値は次のような基準値が設けられている。

$$B \geq 125, L \geq 4.5, C \geq 500$$

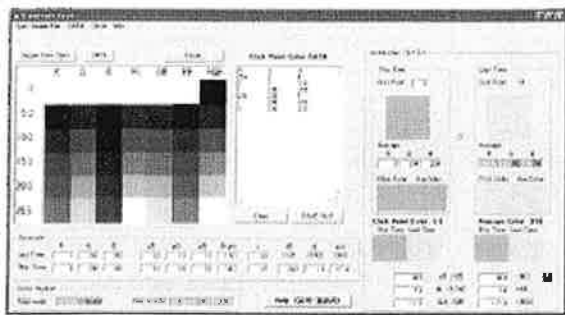


図12 試作プログラムGUI

表2 視認性評価結果

EL	Color	EL	B	L	C	Evaluate		
						B ≥ 125	L ≥ 4.5	C ≥ 500
on		off	77.1	1.7	239	—	—	—
EL	Color	Color Chart Name	B	L	C	Evaluate		
						B ≥ 125	L ≥ 4.5	C ≥ 500
off	blue	blue	157.4	6.2	411	○	○	—
	green	green	94.3	2.2	347	△	△	△
	red	red	141.9	4.2	409	○	△	△
	yellow	yellow	31.5	1.2	224	—	—	—
	magenta	magenta	87.0	2.5	197	△	△	—
	cyan	cyan	89.8	2.0	261	△	△	△
	white	white	1.1	1.0	4	—	—	—
	neutral 8	neutral 8	17.9	1.2	51	—	—	—
	neutral 6.5	neutral 6.5	46.2	1.5	137	—	—	—
	neutral 5	neutral 5	89.2	2.9	295	△	△	△
on	neutral 3.5	neutral 3.5	156.1	6.7	466	○	○	△
	black	black	205.8	14.9	615	○	○	○
	blue	blue	80.3	3.6	202	△	△	—
	green	green	17.2	1.3	204	—	—	—
	red	red	64.8	2.5	518	—	△	○
	yellow	yellow	45.6	1.4	415	—	—	△
	magenta	magenta	10.0	1.5	336	—	—	△
	cyan	cyan	12.7	1.2	52	—	—	—
	white	white	76.0	1.7	235	—	△	—
	neutral 8	neutral 8	59.1	1.5	212	—	—	—
neutral 6.5	neutral 6.5	30.9	1.1	194	—	—	—	
neutral 5	neutral 5	22.2	1.7	244	—	△	△	
neutral 3.5	neutral 3.5	79.1	3.9	307	△	△	△	
black	black	128.8	8.7	406	○	○	△	

表2の上段のEL欄はELの状態を、Color欄では、左にEL発光時の色を、右にEL非発光時の色を示し、B、L、C欄では計算値を示した。下段のColor Chart Name欄は、非発光体の色を示している。Evaluate欄では、B、L、CがW3Cの判定基準を満たしている場合を"○"とした。なお、判定基準を満たさない場合では、ELの発光時と非発光時で求めたB=77.1、L=1.7、C=239をサブ基準に据え、これらを満たしている場合を"△"、満たない場合を"—"とした。今回の結果では、60 lx程度の明るさでは、ELの発光・非発光が少々認識しづらいと思われる結果となった。しかし、単純にELの発光時と非発光時を識別しづらい場合などは、"△"判定以上の色を活用したデザインを取り入れることにより、視認性が向上することも考えられる。測定機器によって得られる輝度比等の値だけではなく、照明環境の変化による視認性の変化を求めたり、前景色と背景色の明るさの差等を求めたりすることにより、実用環境での視認性を考慮した製品設計が期待できる。

6.おわりに

本研究では、W3Cのガイドラインに即し、画像データを利用した低輝度発光表示機器の評価について検討し、カラーチェッカーを基準とした評価条件の抽出を試みた。現段階では不完全な要素もあるが、数値化条件を示すことができた。今回、60 lx程度の照明環境下では、ELの点灯と消灯の視認性は低いと判定されているが、このW3Cの基準値はディスプレイ上における視認性の評価基準値である。今後、構築した基盤技術を改良や、被験者試験により、W3Cの基準値をベースにELに対する基準値の最適化を図りながら、視認性評価の精度向上を考えている。

なお、本研究は独立行政法人科学技術振興機構(JST)地域イノベーション創出総合支援事業重点地域研究開発推進プログラム平成20年度シーズ発掘試験採択課題にて実施した。

参考文献

- 1) 照明学会：不均一な照明環境下での視認性に関する調査研究報告書(照明学会)、(2008)
- 2) 池田紘一、小原章男:光技術と照明設計(電気学会)、(2004)、P17-26
- 3) 南敏、中村納：画像工学(コロナ社)、(1989)P9-

