7 セグメント数字発光表示器の輝度分布 および視認性の検討

川村 幹也* 上迫 宏計* 正 会 員 村岡 哲也**

Examination of the Luminous Distribution and the Visibility on Numerical Display Devices with 7 Segments

Mikiya Kawamura Hiroe Uesako

(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Toyo University)

Tetsuya Muraoko (Member)

(Kyoto Vocational Training College)

ABSTRACT

When the numerical display devices with 7 segments were minutely observed on segments constituting figures, the luminous unevenness within a segment and the luminous difference among each segments had been found.

If the luminous unevenness exists, visual impression is not only bad, but it is feared to cause misreading by decreasing the visibility of figures.

Then various tests were carried to investigate thoroughly the relations between the luminous unevenness and visibility. The following results were given from the various tests.

- (1) The permissible luminous difference was 1.4% to 4.2% among segments with rated luminance.
- (2) The luminous ununiformity caused from figures have given the different visibility and also shown the more difference of the threshold to recognize figures.

1. は じ め に

発光ダイオード¹⁾²⁾や蛍光表示管³⁾⁴⁾ (以下 LED と FLD と略記する) は、現在電子計算機、ECR、計測器、時計および電子秤などに使用されており、今後広範囲な応用が見込まれている。すでに緑色 LED については、GaP 半導体への窒素のドーピング⁵⁾や反射材⁶⁾などについての研究が進み、初期の製品と比較して飛躍的な進歩を遂げている。一方 FLD については、ガラス基板に印刷されたセグメント電極上に ZnO-Zn 系蛍光体を電気泳動法で電着するか、あるいは厚膜印刷法で製造している。

このような技術の進展にもかかわらず、7セグメント数字発光表示器の文字を構成しているセグメントを綿密に観察した場合、セグメント中の部位、およびセグメントごとに輝度のむらのあることがわかる。輝度むらのあることにより視認印象を悪くするだけでなく、数字により視認性にばらつきを生じ、誤読を招くおそれがある。

そこで本研究においては、輝度むらの程度を知るために輝度計

を用いて、市販の緑色 LED および FLD 表示器のセグメントの輝度を測定し、その結果を基にして輝度むらと視認性との関係を調べるために次の視認実験を行なった。

- (1) 二つのセグメントの明るさを比較して、主観的等価輝度 (以下 PSE と略記する) を求め、セグメント間の輝度差弁別性を測定した。
- (2) 0～9 までの各数字をランダムに瞬時呈示し、被験者に判読させて、正答率および認知いき (正答率 50 % となる呈示時間) を求めた。

これらの実験結果から、被験者に輝度むらを感じさせないセグメント間の許容輝度差と輝度むらが、視認性に及ぼす影響の様相を知ることができた。

2. 7セグメント数字発光表示器の輝度測定法

実験に使用した7セグメント数字発光表示器の種類と、電気的定格を表1に示す。輝度測定は図1に示す装置を用いて、スタティック駆動回路により発光させた表示器の数字を、集光レンズを通してピンホール板上に取り出し、光電子増倍管で増幅して行なった。このときの表示器のセグメント構成は図1に示すとおりである。測定は0.4, 2, 3 と 4 mmφ のピンホールで、最大透過波長 566 nm (半値幅 10 nm) のフィルタを用いたとき、およ

* 東洋大学工学部電気工学科

** 京都職業訓練短期大学校

この論文の一部は、昭和54年電気学会電子計測研究会⁷⁾にて発表したものである。

表 1 表示器の種類と電気的性質

(a) 緑色 LED				(b) FLD			
製 品	文字の高さ (mm)	Am/セグメント	共通端子	製 品	文字の高さ (mm)	アノード電流 (mA)	グリッド電流 (mA)
A社	7.62	20	カソード	E社No.1	7.6	0.6	2.3
B社	7.8	15	アノード	E社No.2	12.5	3.0	8.0
C社No.1	7.62	10	カソード	F社No.1	7.6	0.8	6.0
C社No.2	10.16	10	カソード	F社No.2	12.6	1.0	3.0
D社No.1	8.3	20	カソード				
D社No.2	8.3	20	カソード				
D社No.3	12.7	10	カソード

図 1 輝度測定装置

び視感度フィルタを用いた場合について行なった。FLD については、さらに発光部に緑色フィルタを用いた場合についても同様に測定した。図 2 にこれらの実験で使用した 566 nm のフィルタ、視感度フィルタおよび緑色フィルタなどの波長特性を示す。以下の測定結果は、すべてピンホール 0.4 mmφ で、566 nm のフィルタを用いたときの A 社の a セグメントについての輝度計出力値を基準として相対輝度比として求めた。

図 2 フィルタの波長特性

試料の選別は各社の製品を種類別に 5 個ずつ測定し、その中からセグメント間のばらつきの少ない製品を 1 個ずつ選んだ。

3. 輝度むらの測定

3.1 表示数字による輝度のばらつき

同一セグメントについて、表示数字を変えて放射輝度を測定した場合の出力差について検討した。光電子増倍管に 566 nm のフィルタを用い、0.4 mmφ のピンホールで表示数字を変えながら各数字について 10 回ずつ c セグメントの中心点を測定した。c セグメントは、表示数字 2 を除く 0 ~ 9 までの全表示数字中に含まれるセグメントであるので、2 の場合を補う意味で a セグメントも同様に測定した。その結果を表 2 に示す。

LED では、D 社の No. 1 の c セグメントのばらつきが、他の表示器に比較して大きい。これは表示数字 (0, 1, 3, 4, 5, 7) と、(6, 8, 9) との間に 9 % 程度の出力差があるた

めである。また FLD では F 社の No. 1 と No. 2 の c セグメントのばらつきが特に大きい。No. 1 の場合は表示数字 (1, 4, 7) と (0, 2, 5, 6, 8, 9) との間に 14 % 程度の出力差があり、No. 2 の場合は表示数字 (1, 7) と (0, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9) との間の 8 % 程度の出力差が原因であった。

3.2 セグメント間およびセグメント内部の輝度のばらつき

表示数字 8 で、セグメントを変えていった場合の出力差を検討するために、光電子増倍管に 566 nm のフィルタを用い、0.4 mmφ のピンホールでセグメントの中心点を測定した。その結果を図 3 に示す。LED では C 社の No. 2 と D 社の No. 3 のばらつきが少なく、変動係数は No. 2 で 9.5 %, No. 3 で 7.4 % であった。また FLD では F 社の No. 2 のばらつきが少なく変動係数は 10.7 % であった。

図 3 表示器のセグメントによる輝度のばらつき
(a) 緑色 LED (b) FLD

表 2 表示器の数字による輝度のばらつき
(受光部: 566 nm フィルタ)

製 品	変動係数 (%)	
	a セグメント	c セグメント
A 社	2.4	1.3
B 社	0.2	0.3
C 社 No. 1	0.6	0.7
C 社 No. 2	0.4	0.3
D 社 No. 1	2.6	4.9
D 社 No. 2	1.1	2.4
D 社 No. 3	1.2	0.2
E 社 No. 1	1.9	1.6
E 社 No. 2	2.1	1.1
F 社 No. 1	3.4	7.4
F 社 No. 2	0.8	4.3

表 3 表示器のセグメントによる輝度のばらつき
(受光部: 566 nm フィルタ)

製 品	各セグメントの変動係数 (%)	
	発光部フィルタなし	発光部グリーンフィルタ
A 社	0.6	—
B 社	20.7	—
C 社 No. 1	6.2	—
C 社 No. 2	10.1	—
D 社 No. 1	2.8	—
D 社 No. 2	1.1	—
D 社 No. 3	0.3	—
E 社 No. 1	3.1	17.7
E 社 No. 2	2.5	20.8
F 社 No. 1	1.6	6.4
F 社 No. 2	1.1	9.7

次にセグメント内部のばらつきについては、LED ではセグメントの発光中心から両端へ向かって光が拡散するので、山形の輝度分布を示す。FLD ではセグメント上の蛍光体が一均一であれば、セグメント内のどの部分を測定しても一定となるはずであるが、発光状態をよく観察すると必ずしも均一ではない。それは隣接のセグメントが発光しているか発光していないか、また横セグメントであるか縦セグメントであるかが、視認性を考える上で問題となってくる。表示数字による輝度のばらつきの実験で a セグメン

図4 表示器のセグメントの部位による輝度のばらつき
(a) 緑色LED (D社 No. 3) (b) FLD (E社 No. 2)

とcセグメントを用いたことから、ここでも、やはり横セグメントについてはaを代表させ、縦セグメントについてはcを代表させて、セグメントの端から端まで4～5等分した点について測定した。その傾向を図4に示す。測定の結果、LEDではすべて両セグメントともほぼ山形の輝度分布を示し、FLDでは輝度分布が均一になるはずであるがそうはならなかった。

3.3 セグメント間の平均輝度のばらつき

3.1, 3.2項のようなポイント測定で望ましい製品であっても、セグメント全体にわたって考えた場合、セグメントごとの輝度が著しく異なってくると、数字の判別が非常に困難になってくる。そこで表示数字8について566 nmのフィルタを用いたとき、および視感度フィルタを用いたときについて分類し、セグメントごとの平均輝度のばらつきを検討した。ピンホールの大きさは、セグメントの長さによって3種類の異なるものを使用し、表4に示す。

表4 ピンホールの種類と製品

ピンホール径(mm)	製 品
2	A社 B社 C社No.1 D社No.1 D社No.2 E社No.1 F社No.1
3	C社No.2 E社No.2
4	D社No.3 E社No.2

566 nmのフィルタを用いたときの測定結果を表3に示す。0.4 mmφのピンホールでセグメントの中心点を測定した場合は、いずれもばらつきがあった。しかしセグメント全体を測定するとB社、C社のNo.2だけがばらつきが目立ち、その他は平均化されてほとんどばらつきはなかった。しかし通常、FLDは発光部にフィルタを使用するため、さらに発光部に緑色フィルタを用いたものについても同様に測定した。その結果、ばらつきのなかった製品が発光部にフィルタを用いると大きくばらついてきた。これはF社のNo.1, No.2に比較して、E社のNo.1, No.2のほうが大きくなった。

人間が光として目に感じるのは、一般に380～780 nmの波長領域で、最大感度波長は555 nmであるとされている。そこで今まで行なってきた測定方法によるデータがばらついていても、輝度について一様であれば、この表示器は発光効率の問題を除いては適切な製品であるとの仮定のもとで輝度を測定した。その結果を図5に示す。LEDではA社、C社のNo.2とD社のNo.3の製品がばらつきが少なく、表5に見られるとおり変動係数は

図5 表示器のセグメントによる平均輝度
(a) 緑色LED (b) FLD

表5 表示器のセグメントによる輝度のばらつき

製 品	各セグメントの変動係数(%)		製 品	各セグメントの変動係数(%)	
	受光部 フィルタなし	受光部視感度 フィルタ		発光部 フィルタなし	発光部 グリ ーンフィルタ
A社	12.1	12.0	E社 No. 1	17.1	18.2
B社	34.2	42.0	E社 No. 2	20.9	20.9
C社 No. 1	14.2	14.9	F社 No. 1	6.1	6.5
C社 No. 2	10.5	13.5	F社 No. 2	12.1	11.4
D社 No. 1	24.2	25.6			
D社 No. 2	25.4	28.3			
D社 No. 3	8.2	7.4			

それぞれ12.0%、13.5%と7.4%であった。FLDでは、発光部にフィルタを用いないものと、緑色フィルタを用いたものについて測定し、それぞれ検討した。その結果、発光部にフィルタを用いたものの出力は、フィルタを用いないものに対して約1/7～1/4であった。これらのばらつきを変動係数を用いて表に示したが、両者の間に差はほとんど見られなかった。これは緑色系フィルタの最大透過波長が、視感度中心にほとんど一致していることによるものと考えられる。

3.4 輝度測定についてのまとめ

LEDとFLDの輝度測定を行ない、その結果について検討したところ、表示数字やセグメント内部によってかなり輝度にばらつきのあることがわかった。これをもとにして視認性との相関性を調べるために、LEDとFLDからセグメント間の輝度分布の最大値のものと最小値のものを試料として選んだ。LEDではB社、D社のNo.3を、FLDではF社のNo.1とNo.2を用いた。

4. 輝度むらと視認性との関係

4.1 セグメント間の輝度差判別いきの測定

二つのセグメントの明るさを目視によって比較するために、同一試料のセグメント中の一つのセグメントを標準刺激とする。そして他のセグメントを比較刺激として、その明るさを標準刺激に対応して被験者が変化させる。このとき両者の明るさが一致するところのPSEを求める。二つのセグメントを*i*, *j*とし、標準刺激を*i*, その輝度を*P(i, i)*とする。これと比較するために

被験者が調整して等しいと感じたところの比較刺激 j の輝度を $P(i, j)$ とすると、 $P(i, j)$ はセグメント i のセグメント j に対する PSE である。 $P(i, j)$ の分散 S^2 から求めた弁別いきを $DL(i, j)$ とすれば、両セグメント間の輝度差弁別いき $DL(i, j)$ は(1)式、(2)式で求められる。

$$DL_h(i, j) = |P(i, i) - P(i, j) - DL(j, j)| \quad \cdots(1)$$

$$DL_l(i, j) = |P(i, i) - P(i, j) + DL(j, j)| \quad \cdots(2)$$

図 6 DL の 関 係

図 6 に示すとおり、 h は高輝度側、 l は低輝度側を表わす。
輝度測定の結果より、試料として LED はD社の No. 3 を使用した。健全な視力をもつ学生 5 名を被験者として、明室内 (132 lx) で15分間順応させた。7セグメント中の cセグメントを定格輝度 (輝度計測定値 260 nt) で発光させて標準刺激とした。視認距離 1 m において、他のセグメントの輝度を電流変化用可変抵抗器で被験者が約 5 秒間調光し、cセグメントと等しく見える点 (PSE) を求めさせた。5 名がセグメントごとに 3 回の試行をし、セグメントあたり15個の値を得られるようにした。その結果を表 6 に示す。

表 6 cセグメントに対する PSE (D社 No. 3)

セグメント	$P(i, j)$	CL	DL	CL	DL_h	DL_l
a	$P(c, a)=98.17$	0.69	0.90	0.24	0.93	2.83
b	$P(c, b)=98.07$	1.25	0.79	0.52	1.14	2.72
d	$P(c, d)=98.19$	1.21	0.73	0.43	1.03	2.54
e	$P(c, e)=96.80$	1.59	0.96	0.92	2.20	4.20
f	$P(c, f)=99.72$	0.86	1.01	0.86	0.60	1.40
g	$P(c, g)=98.30$	1.21	0.69	0.76	1.01	2.37

表 6 中の各値は cセグメントに対するパーセント輝度であり、PSE と DL は各人の平均値、CL はその信頼区間 (95%水準) を表わす。 DL_h と DL_l は(1)式、(2)式で算出し、これを 図 7 に示す。これらのセグメント間のデータに有意差があるかを検定するために、 $P(i, j)$ を一括して一元配置分散分析を行なった結果を表 7 に示す。さらに eセグメントと fセグメントについて t 検定を行なった結果、 $t=3.34$ であった。この値と自由度14に

図 7 c と他のセグメント間の DL (D社 No. 3)

表 7 表 6 の PSE に対する一元配置分散分析

要 因	自 由 度	平 方 和	分 散	分 散 比	
因 子	5	81.18	16.24	3.71	$P<0.01$
誤 差	81	354.75	4.38		
全 体	86	435.9			

ついでに $t_{14}(0.001)=4.14$ 、および $t_{14}(0.01)=2.98$ とを比較することにより $0.001<P<0.01$ となり、大きい有意差があると認められた。これは eセグメントと cセグメントの配置関係が、fセグメントと cセグメントの配置関係と異なっているためと考えられる。

表 6 において PSE はいずれも 100% 以下であるが、これは比較刺激としたセグメントの発光によって生じた標準刺激としたセグメントに対するグレア効果によるものと考えられる。eセグメントと cセグメント間、および fセグメントと cセグメント間を比較すると、距離の違いによってグレア効果に差が現われ、前者のほうが後者よりもその影響を大きく受け、 $P(c, e)$ が低くなっている。また fセグメントは、cセグメントから離れているので周辺部が暗い。したがって視野コントラストが大きく輝度差弁別感度がより鋭敏であるため、cセグメントに対する弁別輝度差は小さくなったと考えられる。このことは表 6 の DL_h 、 DL_l の値に表わされている。

以上のことを F 社の No. 2 についても同様に行なったところ、LED の場合と異なった点として、b、gセグメントの $P(i, j)$ が特に大きく出た点があげられる。これは両セグメントがいずれも cセグメントに隣接しており、輝度差の比較弁別が綿密にできる結果と考えられる。この場合 FLD のセグメント内では、LED に比較して一様に発光しており、グレア効果の影響は少ない。

次に DL に関しては、LED および FLD の両者ともセグメント間に特に有意差は認められなかった。このときの分散分析の結果は LED が $F=0.29$ 、FLD が $F=1.89$ で、いずれも $P>0.05$ であった。

4.2 輝度むらの視認性への影響

輝度むらの異なる試料について、視認性への影響を調べるために 4.1 項と同一被験者で認知いきの測定を行なった。ピーク電圧が試料の定格電圧と等しい単一パルス電圧を試料に加え、瞬時発光させて呈示数字を被験者に答えさせた。このとき 0～9 の数字は、マイクロコンピュータを用いて乱数を発生させランダムに呈示した。40 回のうち各数字が平均 4 回提示されるようになっており、各提示時間について数字ごとの正答率を求め、その値が 50% になる呈示時間を認知いきとした。測定には D 社の No. 3 を用い、その結果を 図 8 に示す。横軸の数字順序は、ほぼ認知いきの順にとってあり、数字の種類で認知度の違いがわかるようにし

図 8 呈示数字に対する認知いき (D社 No. 3)

た. このことをさらに明らかにするために, 全データについて呈示時間における数字ごとの正答率順位を作った. そして, これらの順位群の一致度を Kendall の一致係数 W , およびその有意性検定量 χ^2 を用いて検討した. その結果定格100%の場合, 呈示時間8種の順位群については

$$W=0.76 \quad \chi^2=54.72$$

となり, 60%の場合, 6種の順位群については

$$W=0.85 \quad \chi^2=45.77$$

となった. これらの値は, いずれも $P<0.01$ で十分有意であった. そこで, 呈示時間に関係なく数字別正答順位は変わらないので, 数字別平均順位は有意であるといえる. この数字別平均順位をグラフに表わすと 図9 のようになり, 数字による視認度の相違が明らかとなった. 一例として, 8は全セグメントが発光している所以他の数字と見誤る確率が高い. これに対して1は他の数字と見誤る確率が非常に少ない.

図9 数字別正答率順位 (D社 No.3)

次に, D社のNo.3よりも輝度むらの多いB社の製品についても同様に認知いきの測定を行なった. 両者の輝度むらの差違については2章で実験したとおりで, その結果は図3で明らかにした. この場合の数字別認知いきおよび正答率平均順位を 図10 に示す. 図より, 認知いきが図8に比較して著しく数字によって差が見られた. 特に8および9が他の数字と見誤りやすいことは上述のとおりであるが, 輝度むらのために見誤りがさらに著しくなっており, しきい値が上がったと考えられる.

図10 数字別認知いきと平均順位 (B社)

次に, 図8と図10の数字別認知いき順位の間の相関性を調べるため, Spearman 順位相関係数を求めると0.82であった. その有意性検定の結果は $P<0.01$ で有意の相関があるが, 詳細に見ると中間順位の付近にやや相違が見られ, 0の順位と5の順位が逆転している. 0は発光セグメントの数が多く, いろいろな数字に見誤りやすいので, 通常は順位が低いのであるが輝度むらのある場合は, 一部のセグメントの輝度が低いために代って誤答しや

図11 呈示数字0に対する回答数字と誤答率

すい数字の種類が減ってきて順位が上がると考えられる. このことを全誤答数に対する数字別誤答数の割合で比較した結果を 図11 に示す.

ここでB社の場合は6と8に誤答が集まり, 逆に7, 4と1に誤答する率が少なくなっている. これはB社のbセグメントの輝度が低いので6に誤答が集中し, bセグメントを含む数字7, 4と1への誤答が減ったことを示している. 5の順位が下がった原因は, 表8に示すように250 μ sを過ぎた付近で急激に3と誤答する回数が増したことによる. これは5に含まれるセグメントの中で最も輝度の低いfセグメントのしきい値付近で, 被験者が回答を3または5のいずれかに仕分けした結果と考えられる.

表8 呈示数字5に対する回答数 (B社)

呈示時間 μ s	回 答 数 字									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
500	0	0	1	0	0	16	0	0	1	0
300	0	0	0	0	0	14	2	0	2	4
200	0	0	0	8	2	6	3	0	1	2

4.3 視認実験についてのまとめ

視認性実験の結果より, セグメント間の許容輝度差は, 発光セグメントの数および種類によって異なることがわかった. つまり, その値は数字によって異なるが, 表6の DL_i から推察して1.4~4.2%までといえる. セグメントが2個以上発光している場合は, 明るさ対比効果によって輝度弁別視感度が下がり, それ以上の許容差となるものと考えられる. さらに輝度むらの視認性への影響については, これも数字によって異なってくるが, 一般的には数字ごとの認知いきの差が大きくなることがわかった. また数字ごとの正答率の順位を, 輝度むらの大きい場合と小さい場合とについて比較したところ, 両者の間に有意の相関性が認められたが, 部分的には順位の逆転が現われた. さらに誤答状態が変わって, ある特定の数字への誤答が多くなった.

5. 結 論

輝度むらによる視認性への影響を調べる実験に用いる7セグメント数字発光表示器の選定にあたり輝度計を用いて, セグメントごとに566 nmのフィルタを用いたとき, および視感度フィルタを用いたときについてそれぞれ測定した. そして, 人間が目を見た場合, ばらつきの少ない表示器が良品であるとの判断から, 視感度フィルタを用いたときの測定結果を選定基準とした. そこで, この測定結果から, 輝度むらの比較的大きい表示器と小さい表示器をLEDおよびFLDより1種類ずつ選び, 視認性実験用表示器とした. これらの表示器について, セグメントによる輝度

のばらつきと視認性との関係について検討した結果より、次のことがわかった。

(1) セグメント間の許容輝度差は、発光セグメントの数および種類によって異なり、定格輝度に対して1.4～4.2%までであった。

(2) 輝度むらの視認性への影響は数字によって異なり、輝度むらのために数字ごとの認知いきの差が大きくなった。さらに数字ごとの正答率の順位への影響を調べたところ、実験の輝度むらの範囲では大きな順位の変動はなかったが、一部の数字の間に順位の逆転が見られた。

本研究の結果は、使用範囲が広がるについて厳しい環境下にさらされるデジタル表示器の視認性を検討するうえで、非常に有用な資料を提供することになると考えられる。なお測定データの統計解析は、電子計算機 MELCOM COSMO 700-III によることを付記する。

参 考 文 献

- (1) Bergh, A. A. et. al: Proceedings of the IEEE **60** (1972) 156
- (2) Ladany, I. et. al: RCA Review **33** (1972) 517
- (3) 中村, 清住: 蛍光表示管とその応用 (日刊工業新聞社)
- (4) 双葉電子工業株式会社: 蛍光表示管の現状と今後の動向, 資料 No. A76101～76104
- (5) Hart, P. B.: Proceedings of the IEEE **61** (1973) 880
- (6) 中村, 神崎: 電子材料 11月 (昭50) 44
- (7) 川村, 上迫, 松本, 村岡: 電気学会電子計測研究会資料 **EM-79-56** (昭54) 31

(受付1982年3月15日)

3 月 号 掲 載 予 定 目 次

「九州支部」小特集

講 演 ○九州の産業ビジョンについて

○まつり・博多の四季

研究室紹介 ○九州大学工学部総合理工学研究科

○福岡工業大学

○福岡大学工学部

○九州工業大学

○熊本大学工学部

○長崎大学工学部

○鹿児島大学工学部

資 料 ○任意の形状をもつ平面光源による照度の計算

委員会報告 ○照度計 JIS 改訂原案作成委員会

昭和58年度(第16回)照明学会全国大会講演論文概要

その他