

電子科学研究科

GD

0

0002515278

R

35

静岡大学附属図書館

# 数字表示器における視認性の 評価方式に関する研究



平成3年2月

村岡 哲也

## 論文要旨

数字情報を人間に伝達するためのデジタル表示モジュールの中から、7セグメント数字表示器を取り上げ、明るさの識別ならびに読み取り誤りの割合などの視覚効果について実験的に検討した。また、これらの実験結果を輝度、表示器の傾きおよび実験環境などの物理量と対比させ、視環境における最適使用条件を求めた。

人間が対象を視る場合、対象がもつ形状をその通りに抽出する知覚判断、および対象が持つ意味を理解する認知判断がなされる。その結果、必要ならば知識として脳に記憶される。このような知覚・認知・記憶に至る一連の過程を視認性と呼ぶことにする。視対象に7セグメント数字表示器を用いた場合、提示数字の形状どおりにセグメント輝度を抽出する能力を明視性と呼び、その意味を理解して読み取る能力を可読性と呼ぶ。つまり、明視性は知覚に対応し、可読性は認知に対応する。

7セグメント数字表示器の使用環境において視認性に影響をおよぼす因子は、明るさ、輝度対比（コントラスト）、提示（表示）数字の大きさ、および提示時間である。ここで、明るさは、LEDや蛍光表示管などの発光表示器では提示数字自身の輝度に比例し、非発光表示器（液晶表示器）では表示面に照射される光の強度に比例する。

本研究では、試料の表示面に入射する光の反射による環境光が上記4因子におよぼす影響をとりあげた。緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管、およびネガタイプ液晶表示器（バックライトから放射される光がセグメント中を透過するので、セグメントが明るく、表示面が暗い。）などは、昼夜にわたる使用が想定されるので、0～10,000 lxの照度範囲で視認性評価実験を行い、以下の結果が得られた。なお、実験中は発光色を弁別いきの範囲内におさえるために、それぞれの試料に緑色フィルタをかけて使用した。

(1) 数字によってセグメントの構成が異なること、セグメントの発光輝度分布に差があることなどが原因で、提示数字の形状や照射照度（視環境の値）に大きく依存することがわかった。

(2) 誤読率の高い場合、提示された数字と誤読された数字との間には、形状に類似性がある。しかし、それ以外に蛍光表示管は、表示面に照射される光の反射グレアによるランダム誤読が多く、ネガタイプ液晶表示器は、直前に提示された数字の知覚が大きく影響していることがわかった。

つぎに、ポジティブ液晶表示器（外部から放射される光が表示面で反射するので、セグメントが暗く、表示面が明るい。）は、照射を室内照明下に限定し、白色紙面に印刷された黒色文字より得られた結果と比較検討した結果、以下に示す結論が得られた。

(1) 各セグメントでの視認方向角による輝度対比の変化は、印刷文字と同程度であるが、照射照度および表示面の傾きに対する表示面輝度の変化は印刷紙面の場合よりも大きく、非直線的である。

(2) ポジティブ液晶表示器の表面を上下方向へ傾けたときの提示数字正読率は、左右方向に傾けたときに比べて低下し、上記正読率は照射照度とも大きくなる。正読率低下の原因は、上下方向へ傾けたとき提示数字の見かけの形状の変化が大きいことによる。また、左右方向へ傾けたときには、提示数字の見かけの形状の変化は少ないが、これは、両眼視差が影響してくるためであると考えられる。

以上の詳細な検討結果より、光幕反射が感じられる程度の低照度（300～500 lx）から反射グレアが感じられる程度の高照度（3,000 lx以上）までにわたって有効な、『数字表示器における視認性の評価方式』を提案した。

今後、益々高密度化、高速化および小型化されるメッセージ伝達用表示モジュールの開発において、本研究で明らかにした『数字表示器における視認性の

評価方式に関する提案』が、有用な視認性の評価方式を提供するものと信じられる。同時に、すでに使用されている16セグメント形表示器、ドット・マトリックス形表示器あるいはVDTにおける文字・数字の評価にも有用であろう。また、提案した評価方式のうち色覚に関する部分は、画像工学における色相の弁別に適用でき、たとえば、作業者の色覚に頼っている工程の信頼性を向上させるなど、産業上の効果が期待できると信じられる。



## 用語の説明

用語	説明
ウェーバー比	<p>相対弁別いきに相当し、主観的等価輝度に対する輝度差弁別いきの比を言う。</p>
液晶	<p>分子軸の方向が規則性をもつ固体結晶と、不規則性をもつ等方性液体との中間状態を示す液状物質のことであり、光学的には固体結晶の性質を有する。それには、コレステリック液晶、スメクティック液晶、ネマティック液晶の3種類がある。</p>
液晶表示器	<p>表示用材料としてネマティック液晶がよく用いられ、ポジタイプとネガタイプの2種類の表示器がある。</p>
可読性	<p>認知に相当し、視対象であるパターンの意味を理解する能力を言う。</p>
干渉フィルタ	<p>ガラス基板上に半透明銀膜—<math>MgF_2</math>—半透明銀膜を真空蒸着して製造する。光の干渉により特定波長の単色光を選択透過する性質を有する。</p>
キセノンランプ	<p>可視域において、太陽光との分光分布特性がきわめて類似していることから、<math>D_{65}</math>標準光源として用いられる。</p>
極限法	<p>絶対特性を持つ刺激値、等価刺激差異、および等価刺激比率の測定に用いられる方法である。刺激が、実験者によって段階的に変化されるので、刺激間の差異が増加あるいは減少のいずれかの方</p>

用語	説明
	向に配列する。そのために、被験者の注意は『いき』が近づくにつれて極限に達する。
グレア・インデックス	イギリスIESによって提案された、直接グレアにおける主観評価指数を言う。
蛍光表示管	熱電子によりZnO-Zn蛍光体を励起発光させて、情報を視覚に伝達する表示器を言う。
恒常法	刺激いきの測定に用いられ、刺激の段階は極限法ほど小刻みではない。つまり、あらかじめ選定された4～7個の比較刺激をランダムに提示し、標準刺激に対して『大きい』か『小さい』の判断を被験者にさせる方法である。
光幕反射	比較的低照度で発生し、表示面に光沢を感じる状態を言う。
コレステリック液晶 視認性	分子の長軸が互いに螺旋構造である液晶を言う。 明視性と可読性の総称であり、視覚における見やすさを言う。
視認方向角依存性	45°の視認方向角においてのみ、表示された情報が知覚されなくなる。そのような液晶表示器固有の性質を言う。
主観的境界波長	紫、青、緑、黄、橙、赤などの色相間における境界波長を言う。
主観的等価色相限界	紫、青、緑、黄、橙、赤などの色相における95%信頼限界を言う。

用語	説明
主観的等価点	標準刺激に比して比較刺激が等しく知覚される点を言う。
主観的等価波長域	紫，青，緑，黄，橙，赤などの色相における弁別いきの範囲を言う。
心理物理学的測定方法	心理的な判断を輝度測定による物理量を用いて評価する方法である。
スメクティック液晶	分子の長軸が互いに層状構造である液晶を言う。
絶対いき	感覚を生じうる最低の刺激値を言う。
調整法	等価刺激の測定に用いられる。被験者が自由に比較刺激を調整して，標準刺激と等価と判断されるような刺激を求める方法である。
ツイスティッド・ネマティック効果	基板間で90°ねじった液晶分子を，電界によりそのらせん構造を解き，旋光能を変化させることにより偏光フィルタと組み合わせて，輝度変調を行う電気光学効果を言う。
動的散乱効果	電界による液晶分子配向効果とイオンの存在による攪乱運動の結果として生じる光散乱現象を示す電気光学効果を言う。
認知いき	視対象であるパターンの意味を50%理解するいき値を言う。
ネガタイプ液晶表示器	バックライトから放射された光が，セグメントやドットで表示される数字や文字などを透過して，視覚に情報を伝達する表示器を言う。

用 語	説 明
ネマティック液晶	分子の長軸が互いに平行である液晶を言う。
発光ダイオード表示器	p-n 接合形半導体チップを光源とした表示器を言う。半導体チップに順方向電流を流したとき、接合部近傍の活性領域において電子と正孔の再結合がおこり、そのとき放射される可視光のエネルギーを利用している。
反射グレア	光源の光が間接的に眼に入射して網膜上の映像に重畳して感じるまぶしさを言う。
疲労	器官または全身が働いた結果として、その作業能率の低下する現象を言う。
プラスチックフィルタ	セルローズ誘導体およびアクリル系などに有機染料を分散させて製造する。他の製品に比べて光学特性は劣るけれども、安価で、耐候性がよい。
弁別いき	標準刺激と比較刺激における2つの物理刺激の差異が認識される境界を言う。
ポジティブ液晶表示器	明視環境では、表示面と提示部の輝度に対比効果が生じる。それを応用して視覚に情報を伝達する表示器を言う。
マン-マシン・インターフェイス	人間と機械が1対1の関係において、情報を相互にやり取りするための接点を言う。
明視性	知覚に相当し、視対象であるパターンをパターンの通りに抽出する能力を言う。

## 目 次

第 I 章 数字表示器における視覚上の問題点と本研究の意義	1
1.1 研究の目的と意義	1
1.2 本研究で対象とする表示器	2
1.2.1 表示器の種類と特性	2
1.2.2 表示に関連した測光技術	11
1.2.3 眼精疲労	16
1.2.4 表示器の視認性	18
1.3 本研究の概要	20
1.4 結言	21
参考文献	22
第 II 章 可視光の波長と色相弁別いき	31
2.1 単色光の波長と主観的境界波長	31
2.1.1 眼の色と分光特性	31
2.1.2 分光分布と色相	35

2.1.3	まとめ	38
2.2	波長計の試作と測定	38
2.2.1	半導体カラーセンサと信号処理回路	39
2.2.2	信号処理回路における出力電圧の色波長依存性	42
2.2.3	単色光測定および複色光測定	43
2.2.4	発光ダイオードからの放射光の色波長測定	46
2.2.5	まとめ	49
2.3	結言	49
	参考文献	50
第Ⅲ章	輝度と輝度対比の測定	53
3.1	数字発光表示器の輝度	53
3.1.1	輝度測定	53
3.1.2	輝度むらの測定	55
3.1.3	まとめ	61
3.2	非発光表示器の輝度対比	62
3.2.1	輝度対比の測定	63

3.2.2	輝度対比に関する印刷文字との比較	68
3.2.3	まとめ	70
3.3	結言	71
	参考文献	72
	<b>第IV章 視認性の評価</b>	<b>74</b>
4.1	視認性の定義	74
4.2	視認性の心理物理学的測定	74
4.2.1	視認性の測定	76
4.2.2	まとめ	86
4.3	視感覚系の疲労の測定	87
4.4	結言	90
	参考文献	91
	<b>第V章 明視性の評価</b>	<b>94</b>
5.1	明視性の定義	94

5.2	数字発光表示器の明視性	94
5.2.1	輝度の測定	95
5.2.2	主観的明るさの測定	99
5.2.3	反射グレアにおける主観的評価指数の提案	112
5.2.4	まとめ	115
5.3	非発光表示器の明視性	117
5.3.1	輝度対比の測定	117
5.3.2	主観的輝度対比等価点の測定	120
5.3.3	まとめ	126
5.4	結言	127
	参考文献	128
	第VI章 可読性の評価	132
6.1	可読性の定義	132
6.2	数字発光表示器の可読性	132
6.2.1	輝度対比の測定	133
6.2.2	可読性の測定	136



6.2.3	正読率に影響をおよぼす因子の考察	140
6.2.4	輝度むらと認知時間	145
6.2.5	明視性と可読性に関する考察	148
6.2.6	まとめ	149
6.3	非発光表示器の可読性	151
6.3.1	1桁の数字に対する可読性の測定	151
6.3.2	3桁の数字に対する可読性の測定	161
6.3.3	明視性と可読性に関する考察	170
6.3.4	まとめ	170
6.4	結言	171
	参考文献	173
第VII章	視認性の評価方式に関する提案と本研究のまとめ	176
7.1	視認性の評価方式に関する提案	176
7.2	本研究のまとめ	179
	謝辞	184
	論文目録	185
	発表論文題目一覧表	187



## 第 I 章 数字表示器における視覚上の問題点と本研究の意義

### 1.1 研究の目的と意義

人間は視覚を介して多量の画像情報を得ている。画像情報を人間に伝達するための装置の1つとして、デジタル表示器がある。デジタル表示器を通して、情報を正確に人間の視覚に伝達するには、見やすい表示モジュールが要求される。人間の視覚機能と、その働きに適合した物理的特性をもつ表示モジュールが構成する系を、本論文ではマンーマシン・インターフェイス特性の良好な表示モジュールと呼ぶことにする。

市販のデジタル表示器として、発光モードの発光ダイオード表示器<sup>1.1)</sup>-<sup>1.4)</sup>や蛍光表示管<sup>1.5)</sup>-<sup>1.8)</sup>、および非発光モードの液晶表示器<sup>1.9)</sup><sup>1.10)</sup>などがある。また、その表示方式として、7セグメント形、16セグメント形、およびドット・マトリックス形などがあり、さらに多量の情報を一括表示するものとしてVDTがある。その中で、最も簡単な表示形態を採るのが7セグメント形である。

7セグメント数字表示器における提示数字を判読する際、種々の要因により、誤読を生じる場合がある。すなわち、表示部の発光色により見やすさが異なる<sup>1.11)</sup>、輝度むらのために数字像が視認しにくくなる<sup>1.11)</sup>、網膜上につくる数字像に表示器表面での反射光が重畳するため、そのコントラストが低下する<sup>1.12)</sup>、高照度の外部光が表示面で反射されて生じるグレアが提示数字を見にくくする<sup>1.13)</sup>-<sup>1.16)</sup>などの効果が誤読の誘因となることが指摘されている。

本研究では、発光ダイオード表示器、蛍光表示管、液晶表示器などを対象として、それらのマンーマシン・インターフェイスデバイスとしての基本的特性を、人間の認識過程を含めて評価する方法について論ずる。

(1) 色光による分光分布特性と色相弁別いきとの関係

(2) 7セグメント数字表示器の提示数字による視認性の評価

上記の2項目の解明から『数字表示器における視認性の評価方式』を提案する。そのことは、メッセージ伝達用デジタル表示モジュールにおける情報の集約化、およびマン・マシン・インターフェイスデバイスなどにおいて、有用な視認性の評価方式を提供することになる。それと同時に、すでに使用されている16セグメント形表示器、ドット・マトリックス形表示器あるいはVDTなどの評価にも有用である。また、提案した評価方式のうち色覚に関する部分は、画像工学における色相の弁別や塗装面における色むらの識別システムの開発などに応用することができる。

## 1.2 本研究で対象とする表示器

本研究で対象とする発光ダイオード表示器、蛍光表示管、液晶表示器などの色光による分光分布特性と色相弁別いきの関係、およびそれらの提示数字による視認性について比較検討する。そのために、表示器の種類と特性、測光、眼の疲労および表示器の視認性などについて文献調査を行い、本研究の意義を明らかにする。

### 1.2.1 表示器の種類と特性

#### (a) 発光ダイオード表示器

p-n 接合形半導体チップに順方向電流を流したとき、図 1.1に示すように接合部近傍の活性領域において電子と正孔の再結合がおこり、そのとき放出されるエネルギーの一部が可視光として放射される<sup>1.17) 1.18)</sup>。したがって、発光ダイオードでは、発光効率や放射効率などの向上が重要な問題となる<sup>1.1)</sup>。たとえば、本研究で対象とする緑色発光ダイオード表示器の場合、GaP 半導体へ

ドーピングする窒素の量<sup>1.19)</sup> や反射材<sup>1.20)</sup> などに関するの研究がすでに数多くなされ、初期の製品と比較して飛躍的な進歩が遂げられている。

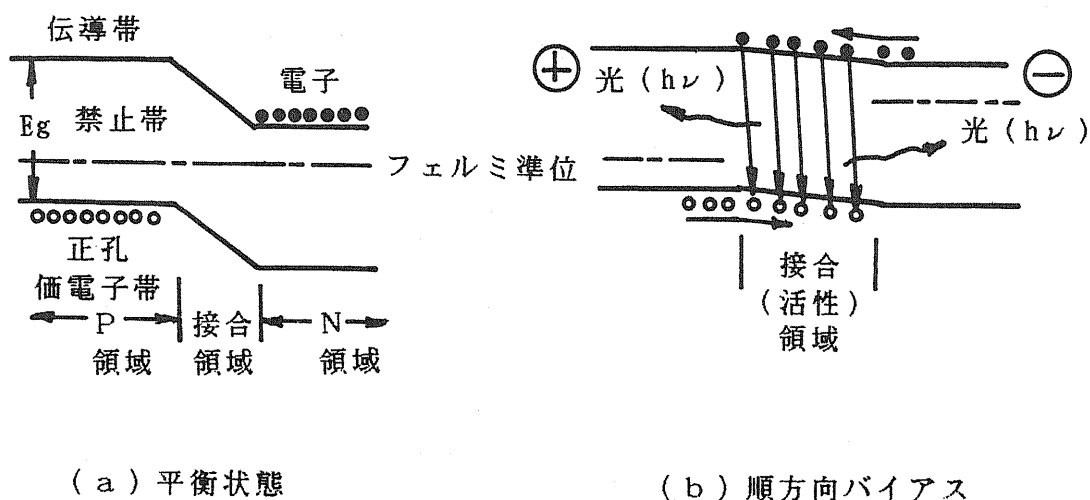


図 1.1 発光ダイオードの発光のメカニズム

その結果、p-n 接合形半導体チップを光源とする発光ダイオードは、指示用単一光源、数字・文字表示器および画像表示器などとして用いられ、さらに光通信や論理回路などに応用されている。

発光材料としてのp-n 接合形半導体チップは、気相エピタキシャル成長法<sup>1.2)</sup>あるいは液相エピタキシャル成長法<sup>1.21)</sup>により製造される。液相エピタキシャル成長法により製造されたダイオードの方が気相エピタキシャル成長法に比べて、成長層の結晶性が良く、さらに少数キャリアのライフタイムが長い。そのために、両者を比較すると、液相エピタキシャル成長法により製造されたダイオードの方が、発光効率に関して2倍程度高いことがLadanyらによって明らかにされている<sup>1.3)</sup>。このようにして製造されたダイオードを発光材料とする発光ダイオード表示器を、発光色および発光タイプなどから分類して表 1.1

表 1.1 発光ダイオードの材料と発光色

LED	レンズ	発光色	発光材料
No. 1	着色拡散	緑色	GaAs-GaP
2	着色拡散	黄緑色	GaP
3	着色透明	黄色	GaAsP-GaP
4	着色透明	緑色	GaP
5	着色拡散	赤色	GaAsP-GaAs
6	着色拡散	緑色	GaP
7	着色拡散	黄緑色	GaP
8	着色拡散	赤色	GaAsP-GaAs
9	着色拡散	赤色	GaP
10	着色拡散	緑色	GaP
11	着色拡散	黄色	GaAsP-GaAs
12	着色透明	黄緑色	GaP

に示す<sup>1.22)</sup>。

つぎに、数字表示器に代表されるセグメント表示形では、セグメントの中心

にp-n 接合形半導体チップが置かれ、それから放射される光がセグメント全体に効率よく拡散・反射するように、セグメントに装着する反射板の特性が十分に検討されている<sup>1-4)</sup>。つまり、p-n 接合形半導体チップから放射される光のエネルギーが、低下することなくセグメント全体に拡散すればするほど、表示される情報が見やすくなる。

発光ダイオード表示器の使用における周囲温度の影響について検討がなされている。発光材料がGaAsP およびGaP で、発光色が赤色および緑色である発光ダイオードについて、発光強度の温度依存性を図 1.2に示す。発光ダイオードの発光強度は、いずれも温度上昇と共に減少する傾向を示している。それに

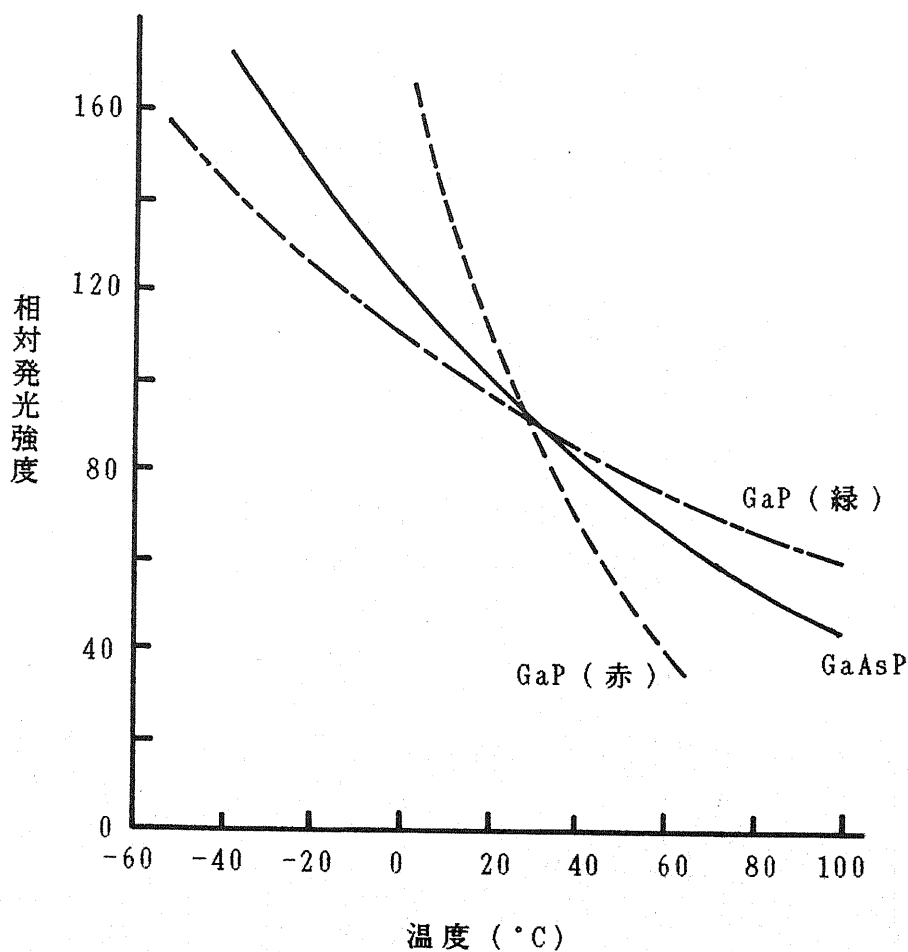


図 1.2 発光ダイオードにおける発光強度の温度依存性

対して、放射光における分光分布特性の温度依存性は、発光のメカニズムが電子と正孔のバンド間再結合によるためにまったく見られない<sup>1,2,3)</sup>。

発光ダイオード表示器における発光強度の変化について、視認性への影響が懸念されるのは、セグメントによる輝度差弁別いきや、p-n 接合形半導体チップから放射される光のセグメント部位における拡散状況などである。さらに、分光分布特性では、発光セグメントによる色相弁別いきの影響が考えられる。そこで、これらの問題点については、本研究で詳細に検討する。

### (b) 蛍光表示管

蛍光表示管は、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

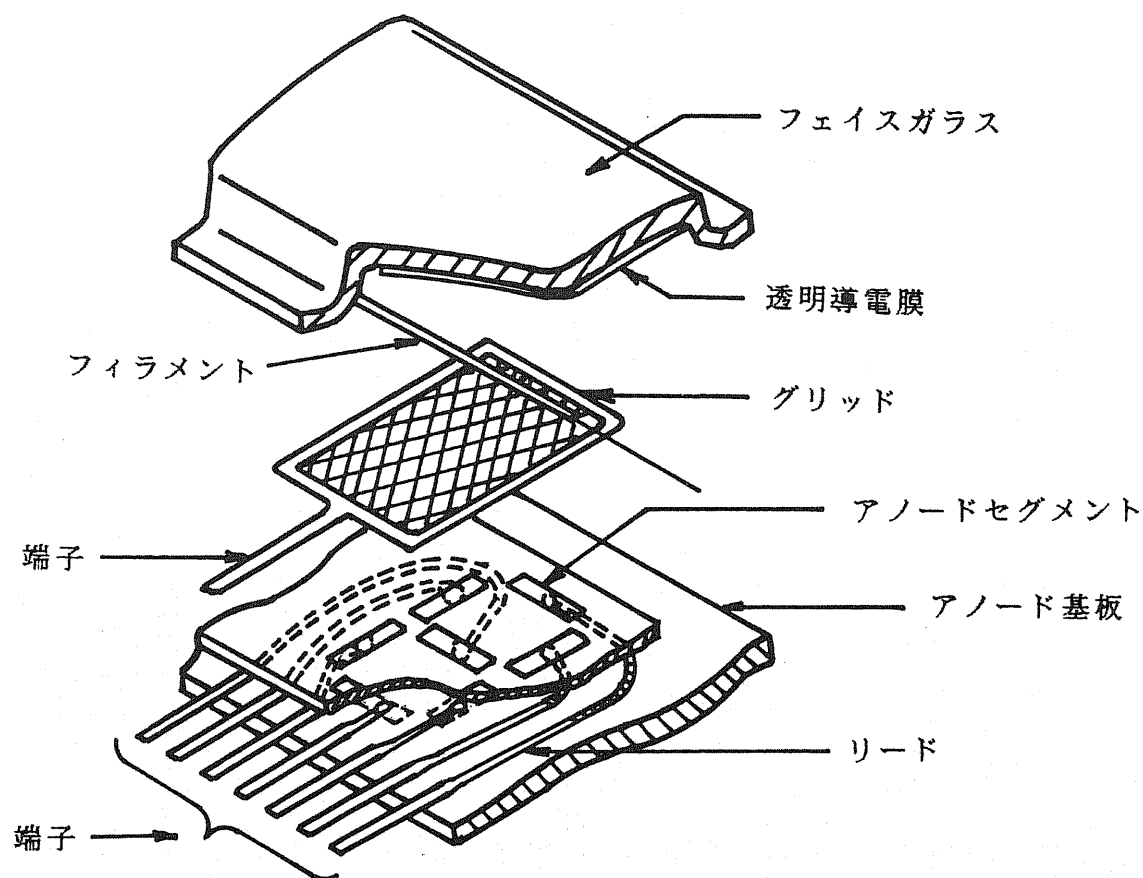


図 1.3 蛍光表示管の構造



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。図 1.3に蛍光表示管の構造を示す。フィラメント表面の電子放射性物質から放射された熱電子をグリッドで加速し、正電圧を印加したアノードに衝突させる。そのとき、アノードに塗布してあるZnO-Zn蛍光体を励起発光させて、数字や文字などが表示される<sup>1.5)1.6)</sup>。これらのことから、蛍光表示管の見やすさに影響をおよぼす因子として、グリッドにおける熱電子の加速状況、アノードに塗布されている蛍光体の均一性、および表示面を覆っているフェイスガラスの正反射などがあげられる。

ZnO-Zn蛍光体は、加速された熱電子により刺激を受けて発光するので、比較的高輝度が得られ、その制御はグリッド電圧でなされる<sup>1.7)1.24)</sup>。また、セグメントの発光輝度の均一性については、アノードにZnO-Zn蛍光体を塗布する際に、電着法や厚膜印刷法などにより綿密に製造しているが<sup>1.25)-1.27)</sup>、セグメントを見た場合、その部位によって、かなり輝度むらが目立つ<sup>1.28)</sup>。

そこで、輝度むらによる視認性への影響については、セグメントの輝度差弁別いきを求めて、本研究で詳細に検討する。

表示面を覆っているフェイスガラスには、加工性の問題から、屈折率が比較的大きい低融点ガラスが用いられている。そのために、加工時のひずみが生じ<sup>1.25)</sup>、それが原因して、反射率が大きくなることが考えられる。しかし、それらの影響については、いまだに報告がなされていない。

そこで、フェイスガラスの表面反射による視認性への影響については、本研究で詳細に検討する。

### (c) 液晶表示器

液晶は、分子軸の方向が規則性をもつ固体結晶と、不規則な等方性液体との中間状態を示す液状物質であり、光学的には固体結晶の性質を示す<sup>1.9)1.10)</sup>。液晶表示器は、向かい合った2つの電極間に液晶を置き、その液晶に対してし

きい値電圧以上の電圧をかけることによって数字や文字などを表示するものである<sup>1.29)</sup>。

液晶には、分子が一定の秩序をもって配向しているネマティック液晶、分子軸がねじれているコレステリック液晶、分子が一方向に対して規則性をもっているスメクティック液晶の3種類があるが、現在、表示用材料として用いられているのは、ほとんどがネマティック液晶である<sup>1.9)1.30)</sup>。

液晶の電気光学効果は、液晶分子のある配向状態を電場により他の配向状態に変化させるものであるが、ここでは表示器への応用のみを取り上げて、その機構および動作原理について記述する<sup>1.10)1.31)</sup>。

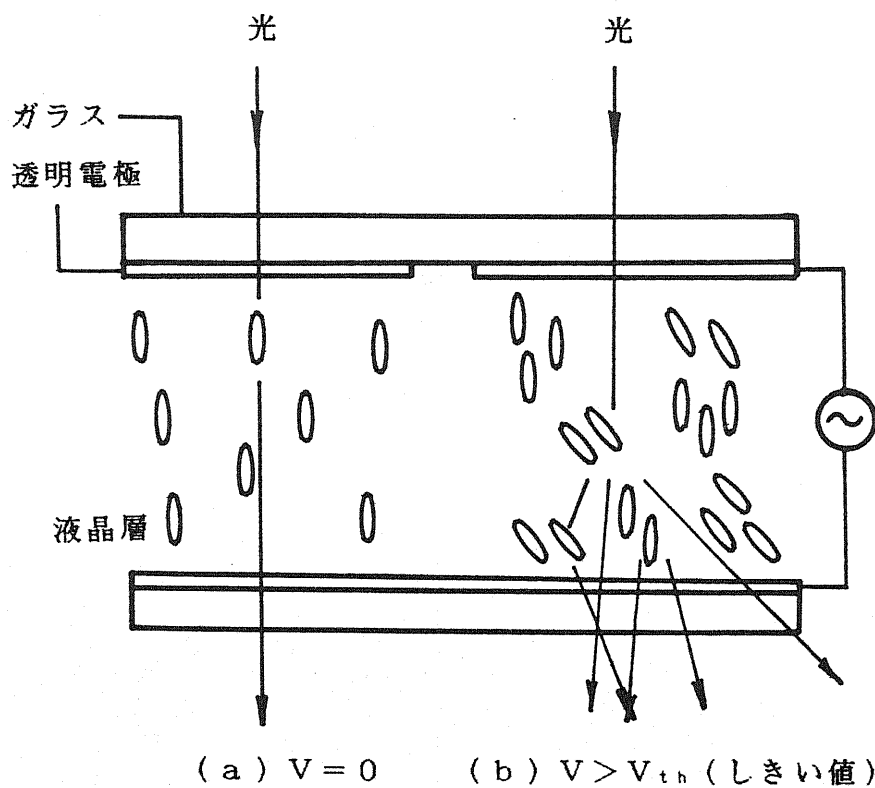


図 1.4 動的散乱効果

現在製品化されている液晶表示器の表示方式は、動的散乱効果によるもの、あるいはツイステッド・ネマティック効果によるもののどちらかである。動

的散乱効果によるものでは、図 1.4に示すように、透明電極にしきい値以上の電圧を印加すると、ネマティック液晶内にイオン電流が流れ、一定の秩序をもって配向していた液晶分子の方向が乱されて、入射光は散乱し、その部分のみが白濁する。また、図 1.5に示すように、ツイステッド・ネマティック効果によるものでは、上下の透明電極基板間でネマティック液晶分子が $90^\circ$ ねじれ

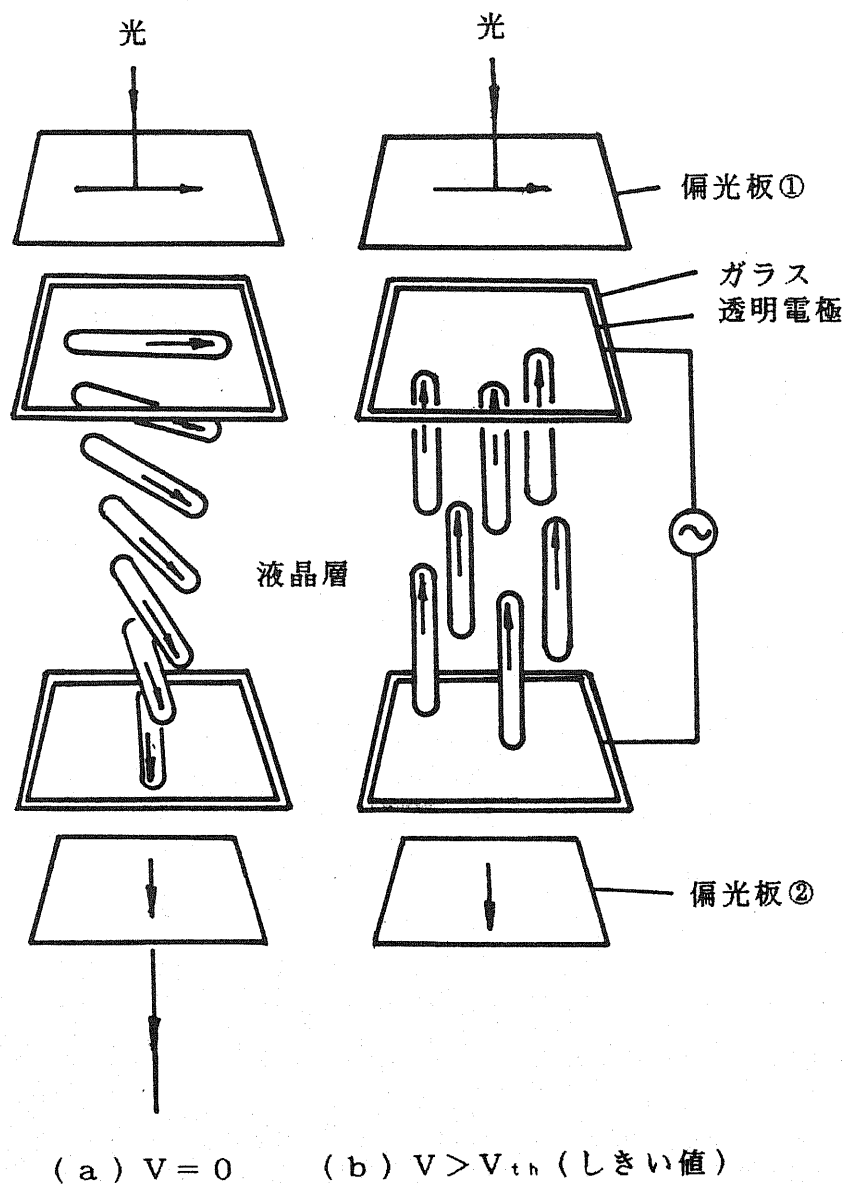


図 1.5 ツイステッド・ネマティック効果

るように配置する。これを互いに直交した偏光性をもつ板の間に挟み、透明電極にしきい値以上の電圧を印加すると、液晶分子は電界方向に整列し、入射光の偏光面を変化させることができないので、その部分のみ黒く見える。

液晶表示器には、ポジタイプとネガタイプの2種類がある。ポジタイプ液晶表示器は、提示部と表示面との輝度対比により数字や文字などが見えてくるので、その見やすさは、表示面に照射される外部からの光によって影響を受ける<sup>1.32)</sup>。また、ネガタイプ液晶表示器は、バックライトから放射される光が提示数字や文字のセグメント中を透過するので、あたかも、それが発光しているかのごとき視認印象を与える。

さらに、液晶表示器固有の特性として視認方向角依存性が挙げられる<sup>1.33)</sup>。<sup>1.34)</sup>。これは、基板上における液晶分子の配列状態とねじれ配列の回転角が原因して、視認方向角によって電気光学特性が変化するために生じるもので、一般に視認方向角が $45^\circ$ になると急に提示数字が見えなくなる。

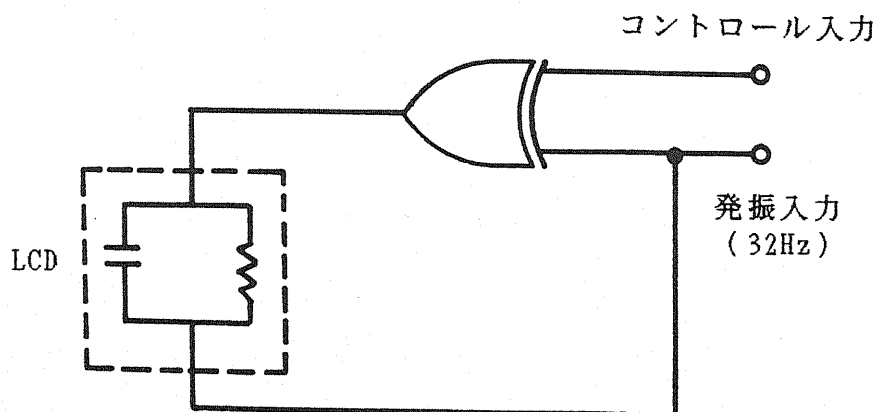


図 1.6 液晶表示器の駆動回路

つぎに駆動方式について記述する。液晶表示器の駆動回路を図 1.6に示す。駆動周波数は、一般に32Hzが用いられている。その理由は、32Hz以上の高周波

数では液晶表示器の消費電力が多くなり、また、32Hzより低周波数ではチラツキが生じるためである<sup>1.35)</sup>。そこで、照射光やバックライト電圧などの変化に起因する視認性への影響、およびセグメント輝度による視認方向角依存性などについては、本研究で詳細に検討する。

### 1.2.2 表示に関連した測光技術

#### (a) 光学フィルタ

光学フィルタは、ある特定の波長の光を選択吸収、あるいは透過する機能を有し、光学的な平面をもつ。基材の種類によってガラスフィルタ、ゼラチンフィルタ、プラスチックフィルタ、干渉フィルタなどに分類されている<sup>1.36)</sup>。その中から、本研究の目的である『可視光の分光分布特性と色相弁別いきの関係』を検討するための干渉フィルタ、および『表示器による視認性の評価』においてデバイスの表示面に装着するプラスチックフィルタを取り上げる。なかでも『可視光の分光分布特性と色相弁別いきの関係』は、眼の色素が青い西洋人については報告されているが<sup>1.37)</sup>、眼の色素が黒い東洋人については、いまだに報告がなされていない。

干渉フィルタとは、光の干渉を利用して特定波長の単色光を選択透過するものをいう。図 1.7に示すように、3層の半透明銀膜— $MgF_2$ —半透明銀膜をガラ

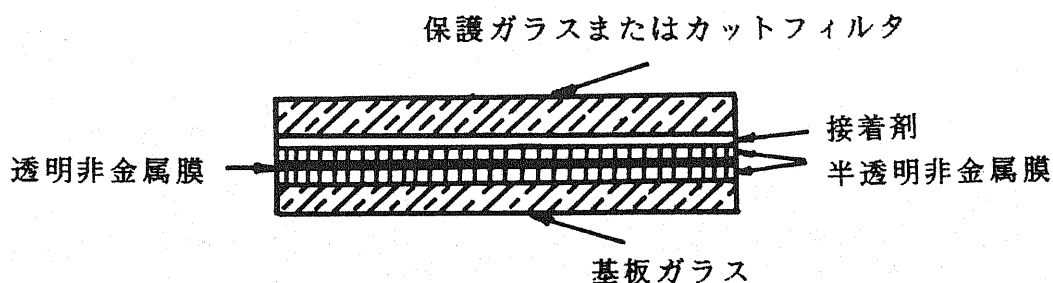


図 1.7 干渉フィルタの構造

基板の上に真空蒸着して製造し、最大透過波長は $MgF_2$ の厚さに依存する。可視域における単色フィルタの性能は、最大透過率が30~45%、半値幅が13nm以下である<sup>1.36)</sup>。

つぎに、プラスチックフィルタについて記述する。図 1.8に示すプラスチックフィルタは、セルローズ誘導体およびアクリル系などに有機染料を分散させて製造する。その特性は、他のフィルタに比べて光学特性は劣るけれども、安価で、耐候性がよいと言える<sup>1.36)</sup>。

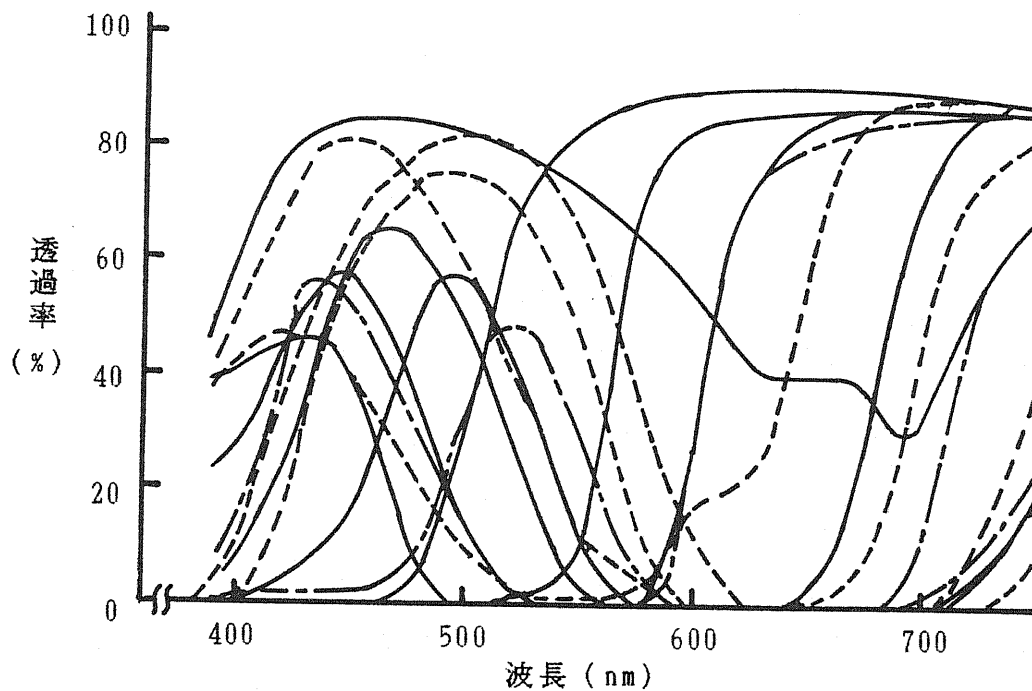


図 1.8 プラスチックフィルタの分光分布特性

本研究では、対象とする3種類の表示器の発光色がそれぞれ異なる。その発光色を眼の弁別いき以下に抑えるために、表示面に緑色の色彩効果フィルタを装着する。また、光源の明るさ調節用としては、光拡散フィルタを用いている。

#### (b) 輝度および発光色

まず、光源について記述する。本研究では表示面への映り込み、および表面

反射などによる影響を取り扱っている。照射用光源として、色温度が5,000 Kである電球口金形蛍光灯、あるいは3,000~3,500 Kであるハロゲンランプを使用する<sup>1.38) 1.39)</sup>。また、ネガタイプ液晶表示器のバックライト用光源としては、3波長蛍光体による冷陰極形フラット蛍光ランプが開発されているようであるが<sup>1.40)</sup>、まだ、普及していないので、本研究では、電球口金形蛍光ランプを採用する。

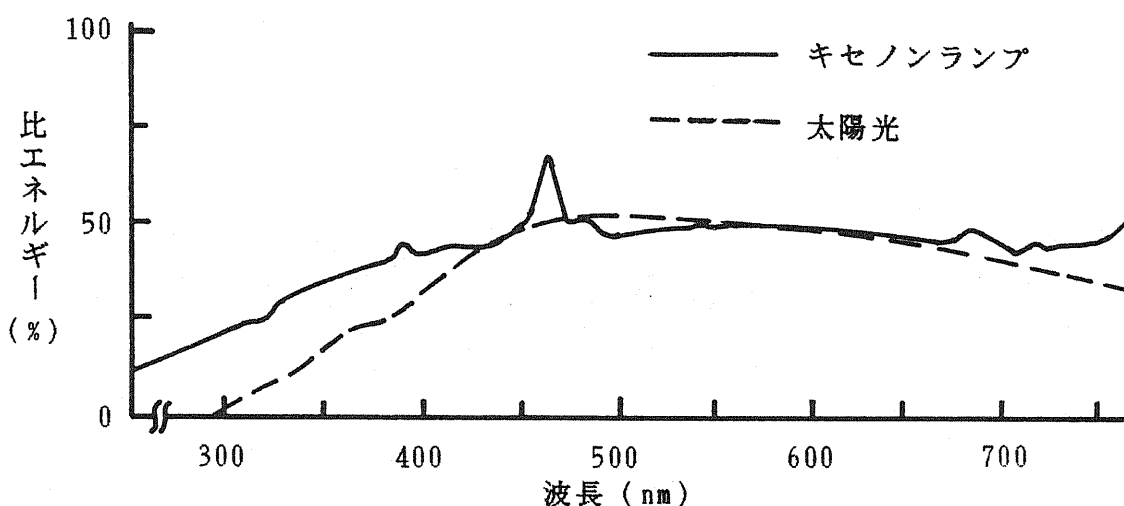


図 1.9 キセノンランプと太陽光の分光分布特性

つぎに、色光の波長と視感の関係を検討するために、対象とする干渉フィルタの透過光源として、図 1.9に示す太陽光と分光分布特性が類似する35Wのキセノンランプを採用する<sup>1.41) -1.44)</sup>。

輝度は、面の輝きを光束の発散している面の状態として物理的に表わしたものである<sup>1.45)</sup>。つまり、図1.10に示す発光面A上の測定点Qに向けてP点に輝度計を置いたとき、輝度計の受光面Sに入射する光束をF、輝度計から見た視野の立体角を $\omega$ とすれば、PからQを見たときの輝度Lは、式(1.1)で与えられる。

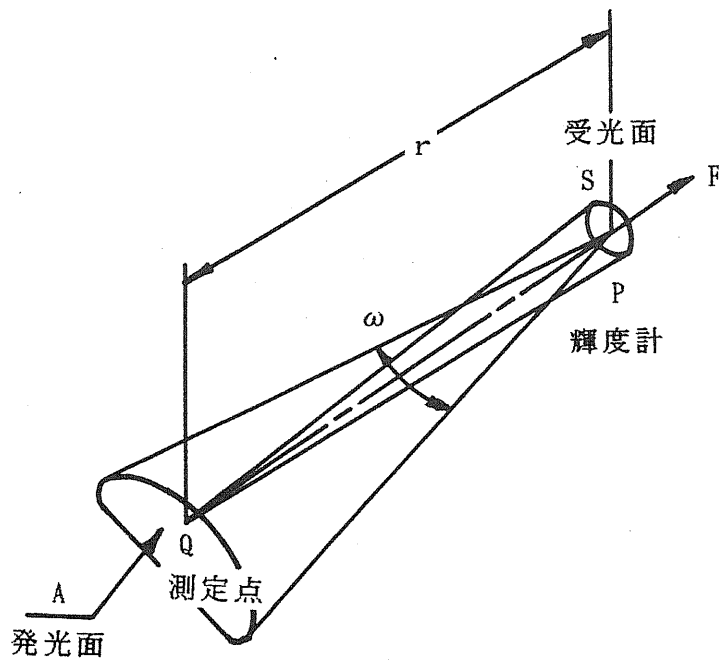


図 1.10 輝度測定図

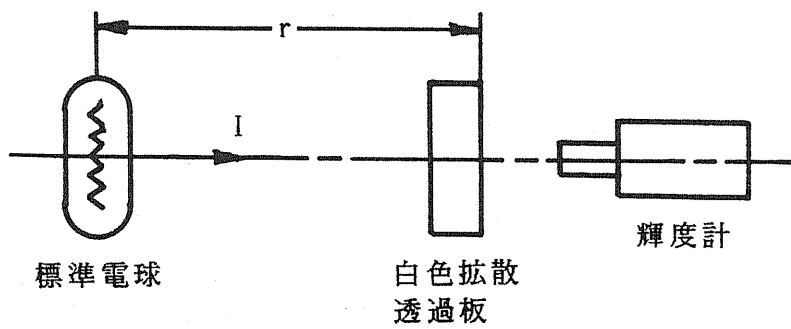


図 1.11 輝度計の校正

$$L = \kappa \cdot \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{F}{\omega \cdot S} \quad (1.1)$$

ただし、 $\kappa$  は輝度の単位から決まる定数で、 $\kappa = 1$  と  $\kappa = \pi$  の 2 通りの単位系統がある。



$\kappa = 1$  の場合は、光度が  $1 \text{ cd}$  で、発光面の面積が  $1 \text{ m}^2$  である輝度を  $1 \text{ cd}/\text{m}^2$  としている。また、 $\kappa = \pi$  については、完全拡散面の輝度はすべての方向に一定であり、光束発散度を与えれば輝度が決ってくるので、 $1 \text{ lm}/\text{m}^2$  の光束発散度を持つ完全拡散面を  $1 \text{ apostilb}$  と定めている<sup>1.46) 1.47)</sup>。

本研究では、式 (1.1) を満足する市販の輝度計を用いて、表示器のセグメント輝度測定を行う<sup>1.48) 1.49)</sup>。また、輝度計の校正は、図1.11に示すように  $6\text{V } 5\text{lm}$  光束標準電球を光度標準電球として、この電球と白色拡散透過板を用いて行う<sup>1.50)</sup>。

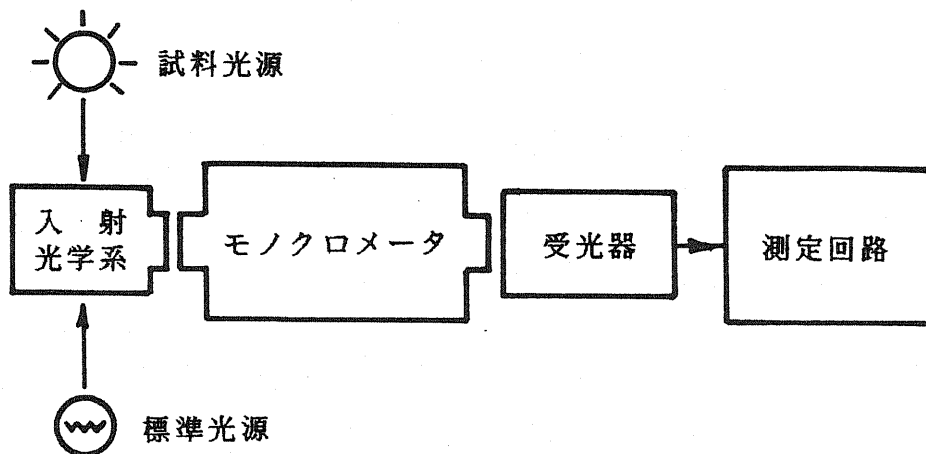


図 1.12 分光測光器

本研究では、干渉フィルタ、およびプラスチックフィルタなどを装着した表示器の視認性について検討するために、図1.12に示す分光測光器を用いて分光分布特性を調べる必要がある<sup>1.51)</sup>。さらに、 $400 \sim 780 \text{ nm}$  の可視域で  $10 \text{ nm}$  毎に 39枚の干渉フィルタを選択して、その分光特性と黒い眼の色相弁別いきとの関係についても詳細に検討する。

つぎに、『分光特性と黒い眼の色相弁別いきとの関係』を物理的に測定するために、半導体を色波長検出用センサとした簡易型波長計を試作する。すでに、

物体からの反射光や透過光，あるいは光源の波長または色温度などの測定方法として，半導体カラーセンサを用いた簡易型波長計に関する報告が，谷らによってなされている<sup>1.52)1.53)</sup>．その報告に基づいて，本研究では，さらに低輝度の波長の測定に適用できるように光センサおよび信号処理回路部の検討を行い<sup>1.54)-1.56)</sup>，感度および精度の向上を図る．そして，発光表示器の色波長の測定に使用する．

### 1.2.3 眼精疲労

#### (a) 眼精疲労の定義

一般に，『疲労とは，器官または全身が働いた結果として，その作業の低下する現象』と定義されている．眼精疲労に対しても，これとほとんど同様に解して，作業能率の低下，個人的な生理的状态の変化および倦怠感などから総合的に判定されている<sup>1.57)</sup>．つまり，蒲山<sup>1.58)</sup>，萩野<sup>1.57)</sup>，松井<sup>1.59)</sup>らのいずれもが，眼の機能低下を疲労の判定基準としている．

眼の機能は大別して，つぎの2種類があげられる．一方は網膜に始まり，視神経を経て視中枢に至る視感覚系であり，他方は調節作用，眼球運動，瞳孔運動など筋肉によって営まれる視器運動系である<sup>1.60)</sup>．

被験者の眼精疲労のモニタリングについては，本研究における目的の2項目のうちの1つが『7セグメント数字表示器の提示数字による視認性の評価』であるので，2種類のうち視感覚系の機能の低下から判定する方法について検討する．

#### (b) 視感覚系の機能の低下と眼精疲労の関係

一般に，疲労による視感覚系の機能の低下を調べるには，視感覚系の場合，視力の測定，ちらつきをちらつきとして感じなくなる閃光融合頻度いき値の測定，光反応時間の測定などがある<sup>1.61)-1.63)</sup>．また，視器運動系には，調節近点の測定，調節時間の測定，輻輳幅の測定などがあり，それらの中で，調節

時間の測定が最もデータの信頼性が高いと言われている<sup>1.60)</sup>。

視覚系の機能を低下させる要因は、比較的低照度で表示面に光沢を感じる光幕反射や、光源の光が間接的に眼に入射して網膜上の映像に重畳してまぶしさを感じる反射グレアなどにあり<sup>1.13)-1.16)</sup>、その中で、特に、視認性に影響をおよぼすと考えられるのは反射グレアである。しかし、表示器の反射グレアと視認印象に関しては、今だに報告がなされていないようである。これに対して、直接グレアにおける主観評価指数である『グレア・インデックス (GI)<sup>1.64)1.65)</sup>』は、英国IESにより式(1.2)で与えられる。

$$GI = 10 \log 0.5 (0.478 L_s^{1.6} \omega^{0.8} / L_b) \quad (1.2)$$

ただし、 $L_s$ は光源の輝度(nt)、 $L_b$ は背景輝度(nt)、 $\omega$ は光源の目の位置に張る立体角(sr)を表す。

式(1.2)において、 $\omega^{0.8} = 1$ が評価の標準と考えられている。

本研究では、式(1.2)を参照して、対象が小さいために光源の目の位置に張る立体角が $\omega^{0.8} < 1$ となるような表示面の反射グレアに関する主観評価式を提示する。

つぎに、色彩の生理的効果については、白、赤、黄、緑、青の視環境下で作業中の変化を追求した場合、白、赤、黄のような長波長色は促進的に、青のような短波長色は抑制的に作用することが、すでに明らかにされている<sup>1.66)</sup>。

本研究では、紫から赤までの可視域の分光分布と黒い眼で認識される視覚との関係を取り扱う。

### (c) 眼精疲労の判定

本研究は、表示器の視認性におよぼす照射照度の影響について比較検討することが主要な目的である。測定中の被験者の疲労を知ることは、従来の閃光融合頻度いき値による判定方法<sup>1.61)</sup>や調節時間の測定方法<sup>1.60)</sup>では困難である。そこで、比較的低照度で表示面に光沢を感じる光幕反射や、光源からの放

射が間接的に眼に入射することにより網膜上の映像に重畳してまぶしさを感じる<sup>1.67)</sup> 反射グレアなどに起因する疲労の測定方法として、著者は『脳波の測定方法』を採用する<sup>1.68)-1.70)</sup>。その方法は、疲労による眠気からθ波が検出されることを判定基準としている<sup>1.71)</sup>。また、疲労ではないが、瞬きをすれば筋電位が変化するので、θ波と筋電位から注視状態について判断することができる。脳波の測定方法以外に視覚誘発電位の測定方法<sup>1.72)</sup>もあるが、これについては、有効であるか否かについての報告が、まだなされていない。なお、本研究では、視認性の測定の前後に被験者の視力を測定して、その差異と脳波の測定結果とから、測定データについて棄却するか否かを検討する<sup>1.71)</sup>。

#### 1.2.4 表示器の視認性

視認性とは明視性と可読性の両方の意味を含んでいることが、樋渡の研究より明らかにされている<sup>1.73)</sup>。したがって、本研究は、表示器の表面に入射する光の影響を、両者について検討すればよい。

##### (a) セグメント輝度の測定

発光ダイオード表示器の場合、図1.13に示すように、発光効率の向上、およびセグメント内部の発光輝度のばらつきについて報告がなされている<sup>1.74)</sup>。つまり、光吸収効果の大きいSi膜で発光部分を除くGaP結晶の表面および裏面をコートすることにより、発光部と非発光部との輝度対比が大幅に改善される

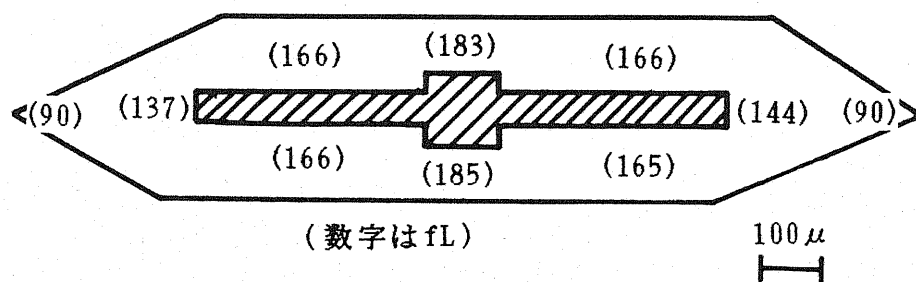


図 1.13 発光ダイオードのセグメント内部の輝度分布

1.75) . 蛍光表示管については、蛍光体であるZnO-Znをセグメント電極上に均一に塗布すれば発光効率は一定であるとの判断から<sup>1.26)1.8)</sup> , セグメント部位の発光輝度のばらつきに関する報告は見あたらない。また、液晶表示器は非発光であり、その上セグメント全体に液晶物質が注入されているので<sup>1.10)1.29)1.76)</sup> , セグメントと表示面の輝度対比のばらつきに関する報告は、蛍光表示管と同様に見あたらないようである。しかし、液晶表示器固有の特性である視認方向角依存性<sup>1.33)1.34)</sup>については、本研究においても詳細に検討しておく必要がある。物理測定においてばらつきのない製品であっても、実際に人間が使用した場合見づらければ、必ずしも良品とは言えない。そのために、物理測定と心理測定を含む心理物理学的な検討が必要であるが、現状では、ほとんどなされていない。

そこで、本研究では、それぞれの表示器のセグメント間の許容輝度、および照射照度と輝度対比の関係などを詳細に比較検討する。

#### (b) 表示器の明視性と可読性

外乱光が表示面に映り込めば、セグメントと表示面との輝度対比が低下する。それに比例して、見やすさも同様に低下することは明白である。表示器の明視性とは、困難な視環境にあっても提示数字をその通りに抽出する能力である。一方、表示器の可読性とは、過去の学習や経験に基づく概念推進処理により提示数字の意味を理解し、読み取る能力である。

現在報告されているのは、VDT の表示文字の見やすさに関するものが大部分を占めており<sup>1.11),1.77)-1.87)</sup> , 提示数字の可読性については、簡単な報告が2編見られるだけである<sup>1.88)1.89)</sup>。

情報伝達媒体の形状が徐々に小型化して、逆に内容が大容量化していく中で、発光ダイオード表示器、蛍光表示管、液晶表示器などの明視性に関する報告は見あたらない。そこで、本研究において、発光表示器である発光ダイオード表

示器，蛍光表示管，ネガタイプ液晶表示器などの表面反射のまぶしさによる影響，および照射照度と輝度差弁別いきの関係などについて検討する。さらに，非発光表示器であるポジタイプ液晶表示器の場合は，表面反射のまぶしさによる影響以外に，照射照度と輝度対比弁別いきの関係についても検討する。

明視性と同様に提示数字の可読性についても，大泉らの『6桁の数字列における5種類の表示形式が可読性におよぼす影響を調べた論文<sup>1.88)</sup>』，および飯島らの『1および0で構成される数字列の性質と記憶の誤りの関係を調べた論文<sup>1.89)</sup>』などに見られるような簡単なものを除いて，ほとんど報告がなされていないようである。

そこで，本研究において，発光モードの発光ダイオード表示器，蛍光表示管，ネガタイプ液晶表示器は，表面反射，数字の形状，前提示数字などによる影響について比較検討し，さらに照射照度のいき値も求める。また，非発光モードのポジタイプ液晶表示器は，中根の『中質紙に書かれた黒色印刷文字の見やすさに関する論文<sup>1.90)-1.93)</sup>』を対照として，表面反射および数字の形状などによる影響を調べ，さらに，視認方向角いき値についても比較検討する。

### 1.3 本研究の概要

第I章では，研究の目的と意義を詳細に記述し，研究における歴史的背景を調べた後，新たに『数字表示器における視認性の評価方式』について提案している。それらを一括して図1.14に示す。

第II章では，干渉フィルタを用いて可視域の物理的波長と視感による心理的波長の関係を明示し，さらに，色相弁別いきについても詳細に検討する。

第III章では，第V章と第VI章で論述される発光および非発光モードの7セグメント数字表示器の視認性の評価基準となる輝度測定について記述する。

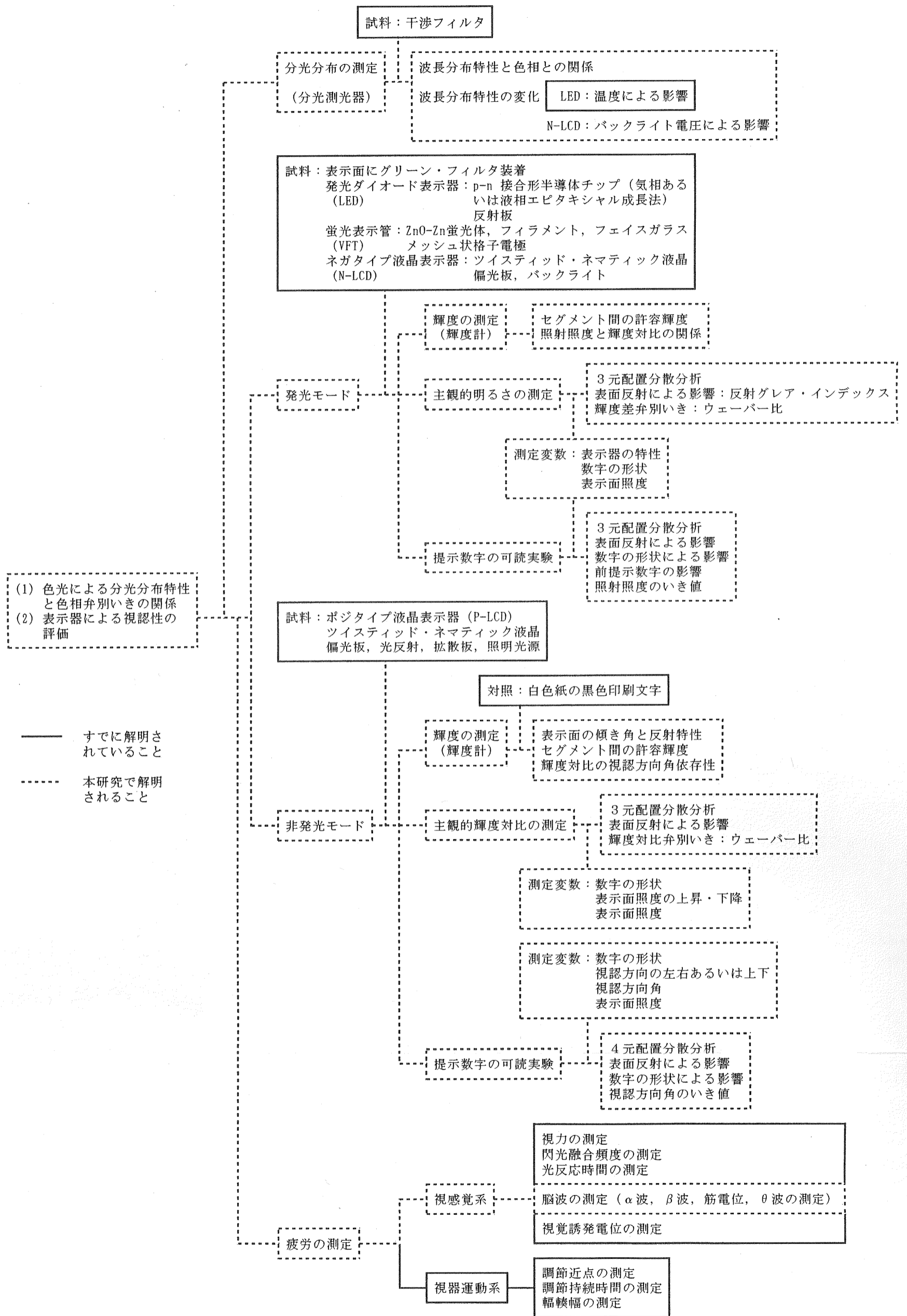


図 1.14 本研究のブロック図

発光表示器は、セグメント輝度と表示面輝度をそれぞれ測定し、視認性に影響をおよぼすセグメント輝度のばらつきについて詳細に述べる。また、非発光表示器は、表示器の傾き角と照射光による輝度対比への影響を調べるために、セグメントと表示面の輝度対比の測定結果を記述する。

第IV章では、視認性を評価するための心理物理学的方法、および脳波による疲労のモニタリングなどについて記述する。

視認性は明視性と可読性の両方の意味を含んでいるので、本研究では、視認性の評価を明視性の評価と可読性の評価に分けて実施する。その結果、明視性の評価を第V章、可読性の評価を第VI章にそれぞれ記述している。

第V章では、眼に送られてくる情報量によって明視性が決まるので、その情報量に影響をおよぼすと考えられる視角、視認方向角、表示面への照射光の強度などが、重要な測定変数となる。明視性の評価については、発光表示器と非発光表示器に分けて詳細に記述している。

第VI章では、網膜上の映像に入射光が重畳して可読性の低下を招く。そこで、外部から表示面に入射する光が可読性にどのように影響しているかを中心に、見やすさに影響をおよぼす視角や視認方向角などについても、合わせて詳細に記述する。

第VII章では、第II章の色差、第III章のセグメント輝度、第V章の明視性の評価、第VI章の可読性の評価などの結果に基づいて、第I章で示唆した『数字表示器における視認性の評価方式』を提案し、さらに心理物理学の見地から視認性を総括する。

#### 1.4 結言

本研究の目的である『数字表示器における視認性の評価方式』に関する提案



は、『可視光の分光分布特性と色相弁別いきの関係』、および『7セグメント数字表示器の輝度』などの物理量に対する心理物理量から比較検討されなければならない。そのための検討事項を、以下に示す。

- (1) 色光の分光分布と黒い眼の色相弁別いきの関係を求め、すでに明らかにされている青い眼の場合と比較する。
- (2) 液晶表示器固有の性質である視認方向角特性について検討する。また、発光表示器の場合は、セグメントおよび部位の輝度むらによる輝度差弁別いきを求める。
- (3) 蛍光表示管は加工性の問題から、フェイスガラスに低融点で屈折率の大きい材料を用いているために、表面反射の影響が考えられる。そこで、いずれの表示器についても、表示面からの反射グレアの評価式を提示し、さらに視認印象との関係についても明らかにする。
- (4) 視認性は明視性と可読性の検討から解明されるので、それぞれの表示器の照射照度に対する主観的等価点、弁別いきおよび認知いきなどを求めて比較検討する。

心理物理量による本研究の結果に基づいて、『数字表示器における視認性の評価方式』を提案する。

#### 参考文献

- 1.1) Arpad A. Bergh, P. J. Dean: Light-Emitting Diodes, Proceedings of the IEEE, 60(2), 156~224 (1972)
- 1.2) M. George, W. O. Groves: Vapor Phase Epitaxial Materials for LED Applications, Proceedings of the IEEE, 61(7), 862~879 (1973)
- 1.3) I. Ladany, H. Kressel: An Experimental Study of High-Efficiency

GaP:N Green-Light-Emitting Diodes, RCA Review, 33(9) , 517~536  
(1972)

- 1.4) 笠見昭信：LED ディスプレイとその開発動向，電子材料，(11)，33~38  
(1977)
- 1.5) 双葉電子工業株式会社編：③けい光表示管の構造，動作原理，特性とその  
の特長，双葉電子工業株式会社資料，No.A76103，3-1~3-12 (1976)
- 1.6) 森本清：蛍光表示管とその開発動向，電子材料，(11)，66~73 (1977)
- 1.7) 中野久夫：蛍光表示管の特性および駆動法，電子展望，10(6) ，65~70  
(1973)
- 1.8) 塩谷繁雄：蛍光体ーその基礎ー，エレクトロニク・セラミクス，11，17  
~22 (1980)
- 1.9) Glenn H. Brown, Wilfrid G. Shaw: THE MESOMORPHIC STATE (Liquid  
Crystals), Chemical Review, 57, 1049~1157 (1957)
- 1.10) 松本正一，河元正博：液晶と表示デバイス，応用物理，43(1) ，18~  
38 (1974)
- 1.11) 田淵義彦，中村肇，松島公嗣：CRT ディスプレイの表示文字と外部反射  
映像の見え方の主観評価，照明学会誌，71(2) ，131~137 (1987)
- 1.12) 村岡哲也，川村幹也，上迫宏計：ポジティブ液晶7セグメント数示表示  
器の視認方向角と照射照度による正読率の検討，照明学会誌，72(6) ，  
295~300 (1988)
- 1.13) 金子直礼，高橋貞雄，藤井克人：室内照明の不快グレア評価について  
(評価方式の検討およびグレア評価実験)，照明学会雑誌，55(9)，560  
~569 (1971)
- 1.14) グレア評価基準研究委員会：室内照明におけるグレア評価基準研究報告  
(1) ，照明学会雑誌，59(1) ，36~43 (1975)

- 1.15) グレア評価基準研究委員会：室内照明におけるグレア評価基準研究報告  
(2)，照明学会雑誌，59(3)，124～128 (1975)
- 1.16) 乾正雄：建築設計講座（照明と視環境），116～118，理工図書（1978）
- 1.17) P. J. Dean, M. Gershenzon and G. Kaminsky: Green Electroluminescence from Gallium Phosphide Diodes near Room Temperature, Journal of Applied Physics, 38(13), 5332～5342 (1967)
- 1.18) 小山稔：発光ダイオード（LED）とその応用，照明学会誌，69(12)，18～22 (1985)
- 1.19) P. B. Hart: Green and Yellow Emitting Devices in Vapor-Grown Gallium Phosphide, Proceedings of the IEEE, 61(7)，880～884 (1973)
- 1.20) 中村忠男，神崎晃一：高効率GaP緑色LEDディスプレイ，電子材料，(11)，44～48 (1975)
- 1.21) O. G. Lorimor, P. D. Dapkus and W. H. Hackett Jr.: Very High Efficiency GaP Green Light Emitting Diodes, Journal of Electrochemical Society, 122(3), 407～412 (1975)
- 1.22) 牛尾真太郎：発光ダイオード応用事例集（開発現況と応用への取り組み方），電子技術，15(7)，17～20 (1972)
- 1.23) 青木昌治編：エレクトロニクス技術全書6（発光ダイオード），74，工業調査会（1977）
- 1.24) 森本清：蛍光表示管と低速電子線用蛍光体，エレクトロニク・セラミクス，11，42～48 (1980)
- 1.25) 中村正，清住謙太郎：蛍光表示管とその応用，37～38，日刊工業新聞社（1977）
- 1.26) 終元宏：青色発光素子，電子材料，(11)，49～51 (1975)

- 1.27) 森本清：厚膜技術を応用した平形多桁蛍光表示管，電子展望，11(9)，  
34～38 (1974)
- 1.28) 川村幹也，上迫宏計，松本政之，村岡哲也：数字発光表示器の輝度測定，  
電気学会電子計測研究会資料，EM-79-56，31～40 (1979)
- 1.29) 野村彰：液晶体の物性と電子工学的応用，電子材料，(12)，51～57  
(1968)
- 1.30) 浅井博子，寺崎三昭，長谷川正，栗田正一：コレステリック液晶相の分子  
配向秩序，照明学会光応用・視覚研究会資料，LAV-81-24，39～48  
(1981)
- 1.31) Tatsuo Uchida, Yutaka Isii and Masanobu Wada: A Display Device  
Using the Depolarization in a Twisted Nematic Liquid-Crystal  
Layer, I.E.E.E. Transactions on Electron Devices, ED-26(9),  
1375～1376 (1979)
- 1.32) 久保田博志，小林駿介：反射型LCDの見易さ：表面反射の影響，電子通  
信学会技術研究報告，ED87-51，61～65 (1987)
- 1.33) Kozo Odawara, Tadashi Ishibashi, Kiyoshige Kinugawa, Hiroshi  
Sakurada and Hironari Tanaka: AN 80-CHARACTER ALPHANUMERIC  
LIQUID-CRYSTAL DISPLAY SYSTEM FOR COMPUTER TERMINALS,  
Proceedings of the S.I.D., 21(2), 79～83 (1980)
- 1.34) 佐々木昭夫：液晶エレクトロニクスの基礎と応用，134～137，オーム社  
(1983)
- 1.35) 東芝編：東芝工業用液晶表示器の駆動方法と応用回路，東芝カタログ，  
No.NA2-83，1～25 (1983)
- 1.36) 浅井孝夫，杉山春夫：光学フィルタ，照明学会雑誌，58(11)，611～619  
(1974)

- 1.37) 大山正：心理学研究法2（実験I），98～99，東京大学出版会（1980）
- 1.38) 東忠利：最近の光源の動向，照明学会 光放射の応用・関連計測研究会  
（第1回光源物性とその応用研究会資料），AR-86-12，10～17（1986）
- 1.39) 野口透：光源，照明学会誌，70(11)，570～573（1986）
- 1.40) 三洋電機編：液晶用バックライトカタログ，三洋電機（1987）
- 1.41) 平本立躬：キセノンランプの特性と用途（1），映像情報，（6），62～  
66（1978）
- 1.42) 平本立躬：キセノンランプの特性と用途（2），映像情報，（8），73～  
79（1978）
- 1.43) 平本立躬：キセノンランプの特性と用途（3），映像情報，（10），40～  
44（1978）
- 1.44) 平本立躬：キセノンランプの特性と用途（4），映像情報，（12），63～  
66（1978）
- 1.45) 室井徳雄：輝度（Luminance）とHeliosについて，照明学会雑誌，50  
（2），70～74（1966）
- 1.46) 日本工業標準調査会審議：輝度測定方法，日本規格協会，JIS-C7614，1  
～14（1970）
- 1.47) 大山正：輝度と明るさはどう違うか，照明学会雑誌，52(1)，20～29  
（1968）
- 1.48) 斉藤一朗，三嶋泰雄：発光ダイオードの測光方法（その1），—光度，  
光束測定—，照明学会雑誌，61(2)，78～86（1977）
- 1.49) 斉藤一朗，三嶋泰雄：発光ダイオードの測光方法（その2），—輝度測  
定—，照明学会雑誌，61(4)，206～209（1977）
- 1.50) 三嶋泰雄，斉藤一朗：発光ダイオードの測光技術，電子計測，（2），57  
～69（1977）

- 1.51) 照明学会編：光をはかる，78～87，日本理工出版会（1987）
- 1.52) 谷善平，吉川俊文，重政淳一郎：半導体カラー・センサ，テレビジョン  
学会技術報告，ED418，13～17（1978）
- 1.53) 吉川俊文，谷善平：半導体カラーセンサとその応用，電子技術，21(13)，  
51～56（1979）
- 1.54) 吉川俊文，谷善平：光電素子の種類と特性，自動化技術，10(12)，23～  
30（1979）
- 1.55) 鈴木昭：対数増幅器の実際，電子科学，（7），29～36（1973）
- 1.56) 萩野治生，中田篤：OPアンプの応用とその注意点，電子技術，20(9)，  
12～21（1978）
- 1.57) 萩野鋺太郎：照明と目の疲労，照明学会雑誌，41(1)，10～137（1957）
- 1.58) 蒲山久夫：照度と眼疲労について，照明学会雑誌，36(3)，53～137  
（1952）
- 1.59) 松井瑞夫：目の疲労の測定，照明学会雑誌，43(1)，478～137（1959）
- 1.60) 阪口忠雄，永井久：各種光源と目の疲労に関する研究，照明学会雑誌，  
57(5)，278～286（1973）
- 1.61) 日本産業衛生協会産業疲労委員会編：セクター式フリッカー値測定装置  
規格（案），労働科学，29(5)，305～306（1953）
- 1.62) 石川太郎，中野みちを：Some Consideration on Good Seeing and  
Flicker Value（明視とちらつき値についての二，三の考察），照明学  
会雑誌，48(1)，4～137（1964）
- 1.63) T. A. White：Subjective Assessment of Interline Flicker in  
Television Displays (A First Approach), ERGONOMICS, 21(9)，709  
～720（1978）
- 1.64) 真辺春蔵：イギリス照明学会，照明要綱（屋内照明の推奨）1961，照明

- 学会雑誌, 48(4), 154~167 (1964)
- 1.65) 松田宗太郎, 洞口公俊, 吉川孝彌: グレアの感覚的評価に関する実験と考察 (イギリスIES グレアインデックス方式による), 照明学会雑誌, 53(2), 51~55 (1969)
- 1.66) 鈴木昭弘: 色彩と目の疲労, 照明学会雑誌, 46(1), 460~467 (1962)
- 1.67) 照明学会編: 最新やさしい明視論, 72~73, 照明学会 (1984)
- 1.68) 稲永和豊: 脳の機能的診断総論, BME (日本ME学会), 1(5), 379~382 (1987)
- 1.69) 橘芳實, 渋谷敏昭: 脳波・筋電位によるバイオフィードバックモニタの改良とその書痙治療への応用, 島津評論, 39(2), 207~211 (1982)
- 1.70) 石井豊子, 上田賀一, 石井直宏, 寺島正義: 脳波分析における波形認識法の検討, 医用電子と生体工学, 24(7), 524~529 (1986)
- 1.71) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: デジタル液晶表示器の視認性, 日本人間工学会第27回大会講演集, 22, B-2-03, 130~131 (1986)
- 1.72) 柴崎浩: 誘発電位による脳の機能的診断, BME (日本ME学会), 1(5), 383~390 (1987)
- 1.73) 樋渡涓二: 文字・単語のディスプレイに対する知覚と認知, 人間工学, 22(5), 269~276 (1986)
- 1.74) 中田修, 梅田淳一, 安達栄一: 集積化発光ダイオードによる数字表示素子, 電子材料, (3), 121~125 (1970)
- 1.75) 笠見昭信: LED 表示素子, テレビジョン学会誌, 31(3), 183~190 (1977)
- 1.76) 武藤知雄: 液晶とその応用, 電子科学, (8), 96~102 (1969)
- 1.77) 岩佐靖典, 前田充, 樋渡涓二: 視野制限下における図形・文字・文章の認識, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE84-95, 93~102

(1984)

- 1.78) 近見要子, 平井有三, 樋渡涓二: 空間周波数を指標とした文字パターン知覚過程の解析, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE84-97, 111~118 (1984)
- 1.79) David L. DiLaura: Visibility, human performance, and lighting design—introduction and overview, LIGHTING DESIGN & APPLICATION, (1), 46~47 (1978)
- 1.80) David L. DiLaura: Visibility, human performance, and lighting design—equivalent contrast as a prelude to visibility level, LIGHTING DESIGN & APPLICATION, (2), 8~9 (1978)
- 1.81) John J. McCann: Visibility of Gradients and Low Spatial Frequency Sinusoids (Evidence for a Distance Constancy Mechanism), Photographic Science and Engineering, 22(2), 64~68 (1978)
- 1.82) G. Smith, Robyn Weir: Laboratory Visibility Studies of Directional Symbols used for Traffic Control Signals, REGONOMICS, 21(4), 247~252 (1978)
- 1.83) D. Shurtleff, W. Wuersch: LEGIBILITY CRITERIA IN DESIGN AND SELECTION OF DATA DISPLAYS FOR GROUP VIEWING, PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS SOCIETY-23rd ANNUAL MEETING-, 411~414 (1979)
- 1.84) 今田俊明, 淀川英司: 4文字継時呈示における第2文字の認識について, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE83-24, 33~38 (1983)
- 1.85) 横澤一彦, 淀川英司: 短時間提示文字の認知特性, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE84-81, 29~36 (1984)
- 1.86) 伊藤謙治: 文字認知過程における視覚的特徴抽出に関する共通因子, 人



- 間工学, 23(3), 145~154 (1987)
- 1.87) 伊藤謙治, 圓川隆夫, 秋庭雅夫: CRT 表示におけるドット文字パターンの認知処理特性, 人間工学, 23(5), 333~343 (1987)
- 1.88) 大泉智壽, 諸岡光: 数字列の表示形式と可読性について, 人間工学, 21(2), 97~98 (1985)
- 1.89) 飯島茂, 堀内敏夫, 富田豊: 数字列の視覚記憶における誤り率, 人間工学, 22(1), 31~33 (1986)
- 1.90) 中根芳一, 伊藤克三: 明視照明のための標準等視力曲線に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 229, 101~109 (1975)
- 1.91) 中根芳一: 印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 229, 111~120 (1975)
- 1.92) 中根芳一: 読みやすさ評価に基づく質的照明設計法に関する研究, 照明学会誌, 65(10), 534~540 (1981)
- 1.93) 中根芳一: 印刷物の反射特性および標準視対象物の選定に関する考察, 照明学会誌, 65(10), 561~567 (1981)

## 第Ⅱ章 可視光の波長と色相弁別いき

### 2.1 単色光の波長と主観的境界波長

同一の単色光について、東洋人の黒い眼の網膜上に映る視感と西洋人の多数を占める青い眼の網膜上に映る視感に差異が見られる<sup>2.1)-2.3)</sup>。それは、眼の色素の違いに基づく分光分布の相違が原因しているといえる。しかし、我が国では、黒い眼による視感であるにもかかわらず、今だに青い眼の色覚を参照している場合が多い<sup>2.4)</sup>。そのデータを用いて表示器の発光色を判断をした場合、視感との間に差異が生じることは明白である。この相違は色相間の主観的境界波長を導入すれば説明できる。色相間の主観的境界波長とは、可視域(380~780 nm)において、視感覚により識別される紫から赤に至る7つの色相の境界波長のことである。

本研究では、可視域の分光分布と日本人の黒い眼の網膜上に映る色覚の問題を取り上げ、つぎの測定を行う。

- (1) 単色光の視感による差異を明らかにするために、黒い眼に映る色相間の主観的境界波長を求め、すでに報告されている青い眼から得られた値との相関性を調べる。
- (2) 各色相の中心波長に対応する単色光と、等しく知覚される主観的等価色相限界について要因分析を施す。ここで主観的等価色相限界とは、等色と認識される上限と下限の限界波長のことである。
- (3) 主観的等価色相限界の上限と下限に補間法を適用して、単色光に対する各色相の主観的等価波長域を求める。ここで、色相の主観的等価波長域とは、単色光に対して等色と認識される波長の弁別いきのことである。

#### 2.1.1 眼の色と分光特性

(a) 主観的境界波長の測定

可視域において、ほぼ10nm間隔で調製された干渉フィルタ（透過率：24.9～

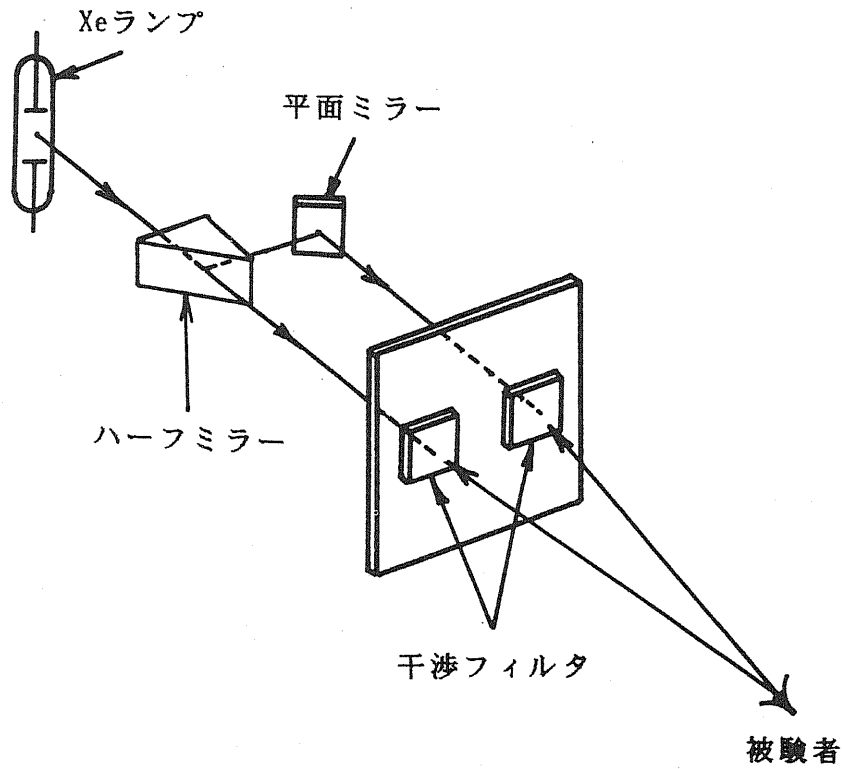


図 2.1 測定装置

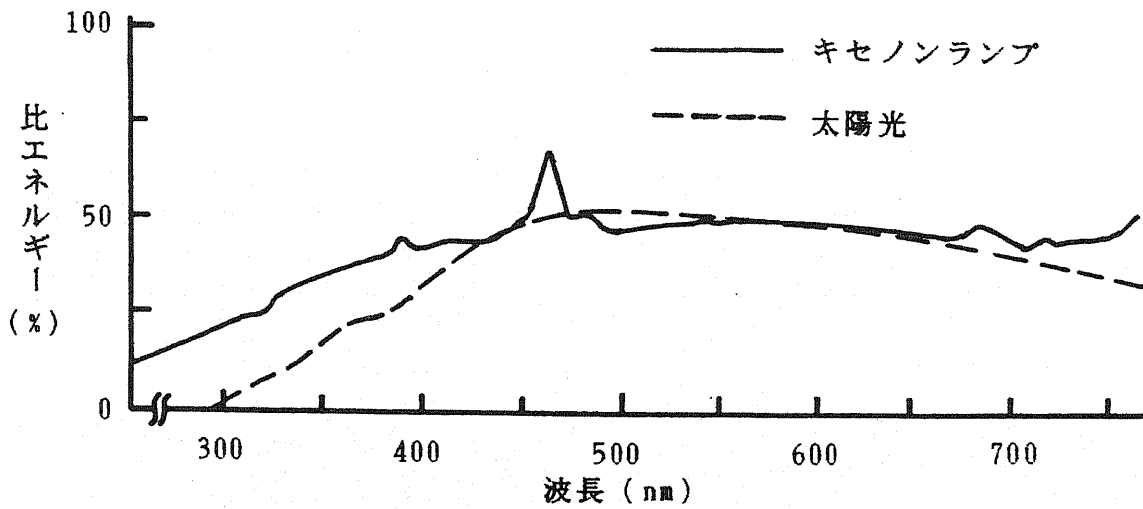


図 2.2 キセノンランプの分光分布特性

41.8%，半値幅：11～18nm，詳細は付録の『1. 干渉フィルタの分光感度特性』を参照) <sup>2.5)</sup> を試料として，順次図 2.1に示す装置の一方に装着する<sup>2.6)2.7)</sup>。フィルタの後方から放射する透過光は，図 2.2に示す太陽光の分光分布特性に類似した色温度が6,000 K のXeランプを光源として用いる。光源と試料の間には，分光感度特性がフラットで，透過率が2，4，6%の白色アクリル板<sup>2.5)</sup>を組み合わせて挿入し，試料の輝度を16.0nt一定にする。

黒い眼で正常な色覚と，1.0以上の視力をもつ30才以下<sup>2.4)</sup>の男子10名を被験者として，明室内350 lxおよび視角2°一定のもとに，恒常法<sup>2.8)</sup>により紫，青，緑，黄，橙，赤などの色相間の主観的境界波長を2回ずつ，波長の上昇・下降系列について計200回測定した<sup>2.9)2.10)</sup>。

表 2.1 色相間の主観的境界波長に対する2元配置分散分析の結果

変動因	自由度	平方和	平均平方和	F比
上昇・下降系列 (A)	1	0	0	0
色相間の境界波長 (B)	4	725,926	181,482	5,331**
A×B	4	0	0	0
測定誤差	190	6,468	34.0	
全体	199	732,394		

表 2.2 眼の色と主観的境界波長の関係

(単位：nm)

	赤	橙	黄	緑	青	紫
青い眼	611	591	567	495	442	
黒い眼	618	592	574	508	453	

測定値は，波長の上昇・下降系列および色相間の主観的境界波長を変動因として2元配置分散分析を施した<sup>2.11)</sup>。その結果を表 2.1に示す(以下分散分析のF比において，いずれも\*は危険率5%で有意差があり，\*\*は危険率1%)

で有意差があることを示す)。要因分析の結果、波長の上昇・下降系列間に恒常誤差である有意差が見られなかったため、両系列の測定値を一緒にして、色相間の主観的境界波長を求めた。求めた黒い眼の結果と、すでに報告されている青い眼の主観的境界波長とを比較するために、両者をまとめて表 2.2 に示す。

(b) 眼の色による色覚の相関性

表 2.2 の黒い眼と青い眼における色相間の主観的境界波長に差異が見られたので、1 元配置分散分析<sup>2.11)</sup>により両者の相関を調べた結果を表 2.3 に示す。色相間の主観的境界波長について、黒い眼と青い眼の相関に危険率 1% で有意差が見られた。

表 2.3 色覚に対する 1 元配置分散分析の結果

変 動 因	自由 度	平 方 和	平均平方和	F 比
相 関	1	18,095	18,095	1,449**
測定誤差	3	37	12.5	
全 体	4	18,132		

(c) 眼の色と色差の弁別

人間の眼の分光分布特性は直接測定できないので、それと同一傾向を有する疑似の黒と青のガラス（ここでは疑似眼球と称する）の分光透過率<sup>2.1)</sup>から、両者の相対分光透過率曲線を求めて図 2.3 に示す。本研究は、疑似眼球で得られた結果を人間の眼の分光分布として、それについて測定したものである。青い眼の場合、紫や青などの短波長における弁別感度が高く、橙や赤などの長波長ではかなり低い。それに対して、黒い眼の弁別感度は、短波長から長波長まで、緑を中心に山形分布をしている。これらのことが原因して、青い眼は黒い眼に比して、紫や青などの短波長における弁別感度が高く、色差をよく認識する。しかし、橙や赤などの長波長では弁別感度が低いので、表 2.2 の測定値に

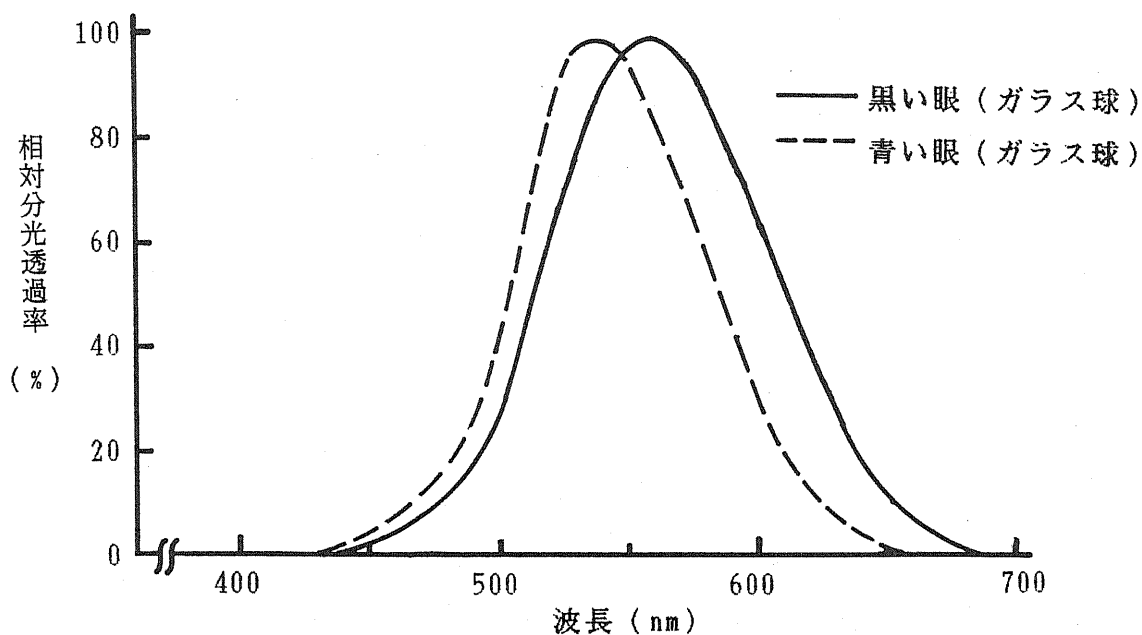


図 2.3 疑似眼球の色と相対分光透過率曲線との関係

かなりばらつきが見られる。

### 2.1.2 分光分布と色相

#### (a) 主観的等価色相限界の測定

表 2.2に示す黒い眼の測定値から各色相における中心波長を求めて、それと近似したピーク波長を持つ干渉フィルタ<sup>2.5)</sup>を選択して標準刺激とした。すなわち、紫：430 nm，青：480 nm，緑：535 nm，黄：580 nm，橙：600 nm，赤：655 nmの6種類である。図 2.1に示す装置の一方に標準刺激，他方に比較刺激を装着し，両者の輝度を16.0nt一定にする。

黒い眼で正常な色覚と，1.0以上の視力をもつ30才以下<sup>2.2)</sup>の男子10名を被験者として，明室内350 lxおよび視角2°一定のもとに，標準刺激と同色と知覚され始める色相の下限から差異が知覚される上限まで，恒常法<sup>2.8)</sup>により比較刺激を2回ずつ変化させた。それを1セッションとして，波長の上昇・下降系

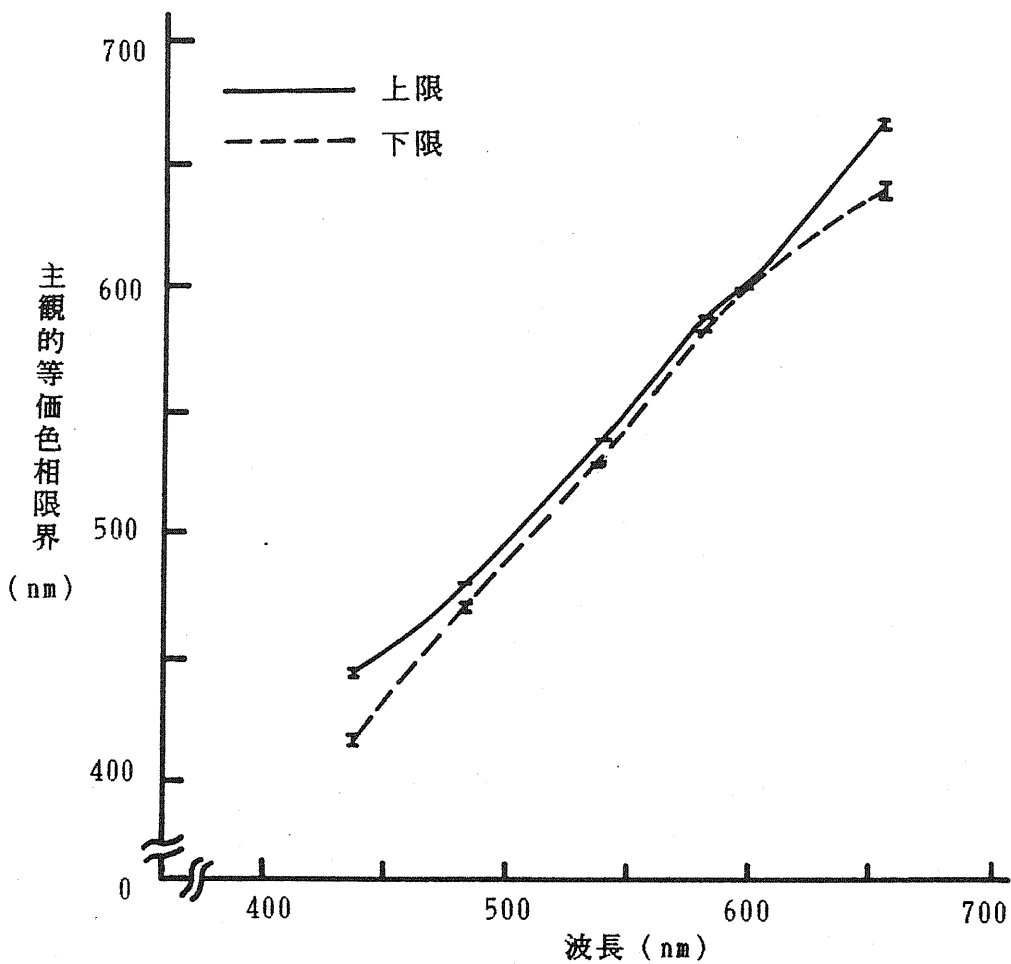


図 2.4 波長と主観的等価色相限界の関係

列について計480回測定した<sup>2.9)2.10)</sup>。その結果を色相の上限・下限をパラメータとして、それぞれの主観的等価色相限界の平均値および95%信頼区間を図2.4に示す。

600 nm付近で上限と下限の主観的波長が重なった原因は、橙色の波長分布の場合、弁別いきが干渉フィルタの間隔である10nmより狭いことによると考えられる。

(b) 主観的等価色相限界に影響をおよぼす因子

主観的等価色相限界に影響をおよぼす上昇・下降系列、色相の上限・下限お

よび色光を変動因として，図 2.4の測定値について3元配置分散分析<sup>2.11)</sup>を施した結果を表 2.4に示す．表中における色相の上限・下限，色光およびその交互作用などに危険率1%で有意差が見られた．

表 2.4 主観的等価色相限界に対する3元配置分散分析の結果

変動因	自由度	平方和	平均平方和	F 比
上昇・下降系列 (A)	1	.2	2	0
上限・下限 (B)	1	21,519	21,519	2,050**
色光 (C)	5	2,761,090	552,218	52,608**
A×B	1	6	6	1
A×C	5	65	13	1
B×C	5	13,578	2716	259**
A×B×C	5	113	23	2
測定誤差	456	4,787	10.5	
全体	479	2,801,160		

(c) 主観的等価波長域

図 2.4における単色光の波長と主観的等価色相限界の上限と下限に補間法を適用して，標準誤差が最小となる関数に回帰<sup>2.12)</sup>した．その関数をそれぞれ式 (2.1)，(2.2) に示す．

主観的等価色相限界の上限 $Y_1$ について

$$Y_1 = 2.18 \times 10^{-6} X^3 - 2.36 \times 10^{-3} X^2 + 1.63 X \quad (2.1)$$

主観的等価色相限界の下限 $Y_2$ について

$$Y_2 = 1.95 \times 10^{-4} X^2 + 0.88 X \quad (2.2)$$

ただし， $Y_1$ と $Y_2$ は $X$ が410～670nmの範囲で成立する．

式 (2.1)，(2.2) より主観的等価波長域は， $Y_1$ と $Y_2$ の間の区間で示される．また，その区間幅は，短波長側の紫から長波長側の黄まで徐々に狭くなり，ピーク波長が600 nmの橙で最小となった後，赤では逆に広がる傾向を示した．



青い眼の場合，スペクトル光の波長変化に対する色相弁別いきの変化は一様でなく，その形状はW型を描く．また，W型の色相弁別いきによって示される極小点が，480 nmと600 nm付近の2ヶ所に見られることなどが，すでに明らかにされている<sup>2.13)</sup>．しかし，黒い眼の場合，図 2.3に示すように，短波長の弁別感度が低いことが原因して，青い眼の色相弁別いきにおける短波長側の極小点480 nmについては，本研究の結果と一致しないことが知れた．

### 2.1.3 まとめ

単色光の波長と黒い眼による色覚との関係について測定し，青い眼から得られた値と比較検討した結果，つぎの事項がわかった．

(1) 黒い眼と青い眼について，それらの分光分布に相違がある．その相違に依存して，両者の色相間の主観的境界波長の相関に有意差が見られた．

その結果から，我が国では，黒い眼の波長と色覚の関係のデータを使用する必要性を示唆した．

(2) スペクトル光に対して同色と知覚される主観的等価波長域は，単色光の波長に対する主観的等価色相限界の区間幅で示され，区間の上限と下限が410～670nmの範囲で，補間法により標準誤差が最小となる関数に回帰された．その結果，単色光の波長と黒い眼の主観的等価波長域の関係を明らかにすることができた．

## 2.2 波長計の試作と測定

2.1 節において，単色光の波長と黒い眼との主観的境界波長，および主観的等価波長域の関係が明らかにされた．

本節では，このような主観的波長を物理的に簡便かつ迅速に測定するために，PN接合による二つのホトダイオードを単一素子とした半導体<sup>2.14)</sup> を色波長検

出用センサとして簡易型波長測定装置を試作し<sup>2.15)~2.17)</sup>，以下の実験を行う。

- (1) 測定装置のセンサ部と信号処理回路について検討することにより，感度や精度の向上を図る。
- (2) 単色光および複色光を測定し，半導体カラーセンサの色波長の検出機能について検討する。
- (3) 色波長の異なる発光ダイオードから放射される光について測定を行い，視感と比較検討する。

### 2.2.1 半導体カラーセンサと信号処理回路

(a) 半導体カラーセンサ<sup>2.14)2.18)2.19)</sup>

半導体カラーセンサは，図 2.5に示すようにPNP 接合素子で，その中のシリコン層を光学フィルタとして使用している。PN接合による上層のホトダイオー

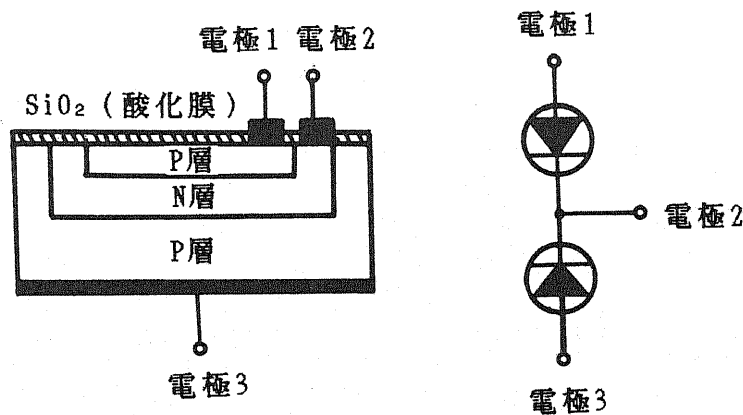


図 2.5 半導体カラーセンサの構造

ド ( $PD_1$ ) は短波長の感度が高く，下層のホトダイオード ( $PD_2$ ) は長波長の感度が高い。このような構造をもつ半導体カラーセンサ (PD-150) に赤外カットフィルタを装着して，それを可視域の測定用センサ (PD-151) として使用した。両者の分光感度特性をそれぞれ図 2.6に示す。本研究では，そのような2

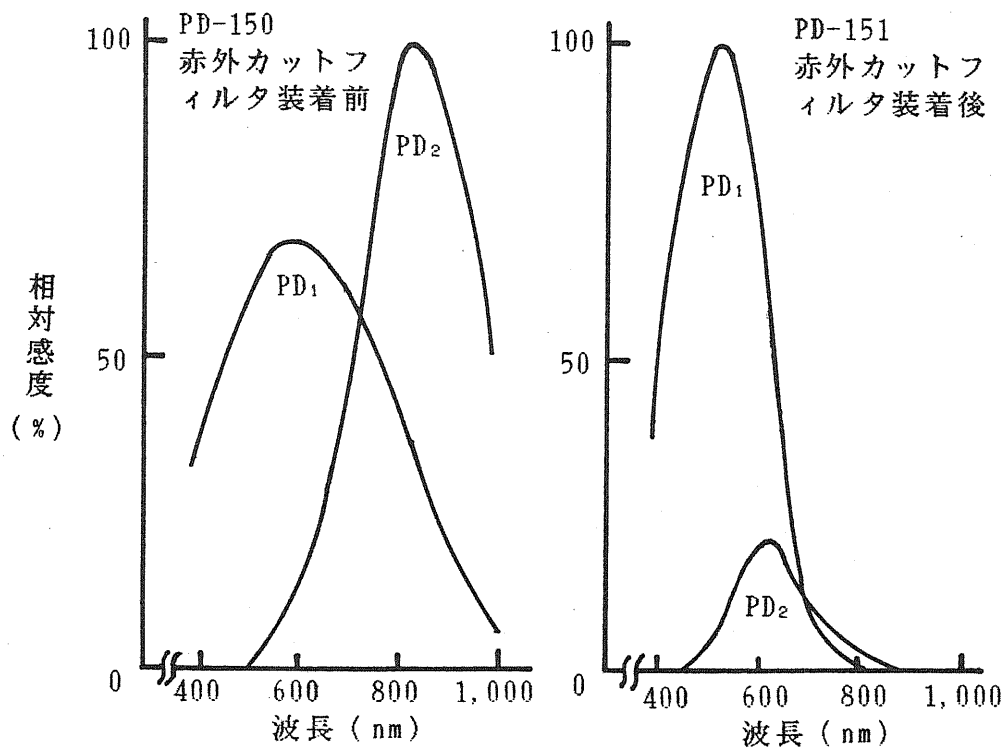


図 2.6 半導体カラーセンサの分光感度特性

種類の半導体カラーセンサを色波長測定用センサとした。

(b) 信号処理回路

実験に使用した簡易型波長測定装置の信号処理回路（詳細は、付録の『2. 波長測定装置の信号処理回路』を参照）は、半導体カラーセンサを構成する一対のホトダイオード（ $PD_1$ と $PD_2$ ）から変換される短絡電流（ $I_{sc1}$ と $I_{sc2}$ ）を、それぞれ演算増幅器<sup>2.20)</sup>とログダイオード<sup>2.21)</sup>を用いて対数圧縮したのち、両者を減算して、得られた短絡電流比から出力電圧を求めるものである<sup>2.22)</sup> <sup>2.23)</sup>。

本研究では、実際に発光ダイオードから放射される光の測定を行うのが目的であるので、半導体カラーセンサに入射する光の強度がかなり弱い場合を考慮しなければならない。つまり、入射光が弱ければ、それに比例して短絡電流も同様に小さくなるので、入力インピーダンスが低い演算増幅器を対数圧縮回路に用いると、短絡電流の一部が演算増幅器に流れ込んで致命的な誤差を生じる。

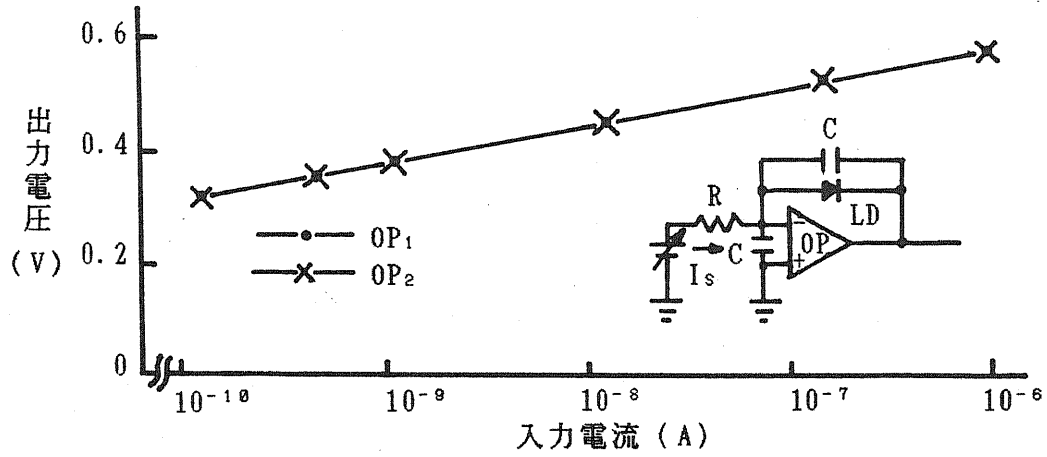


図 2.7 対数圧縮回路の入力電流と出力電圧の関係

- L: タングステンランプ
- M<sub>1</sub>: 集光鏡
- M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>: 反射鏡
- M<sub>4</sub>: コリメータ鏡
- P: プリズム
- S: スリット
- C: 試料部
- Ph: 光電子増倍管

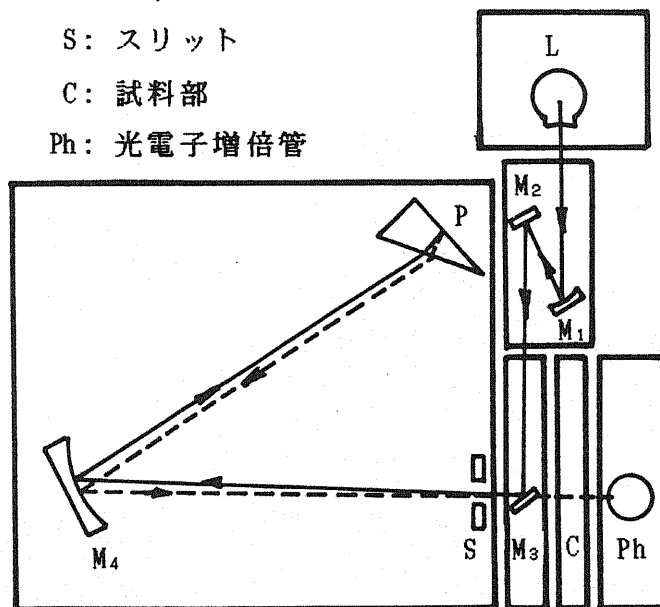


図 2.8 出力電圧と色波長の測定装置

そこで、このような漏れ電流を防止するために、入力インピーダンスの高い演算増幅器を採用するようにした。つぎに、信号処理回路中の演算増幅器とログ

ダイオードを用いた一対の対数圧縮回路は、図 2.7に示すように対数入力電流と出力電圧の特性がともに等しく、さらに対数入力電流が $10^{-10} \sim 10^{-6}$  Aの範囲で、出力電圧が直線的に増加するものである。

### 2.2.2 信号処理回路における出力電圧の色波長依存性

ピーク波長が460 ~1,000 nmに対応するそれぞれの出力電圧を求めるために、図 2.8に示す色波長分解能が500 nmにおいて1 nmである光電分光光度計の試料部に半導体カラーセンサをセットして、20nmごとにそれぞれ出力電圧を測定した。その結果を図 2.9に示す。直線域は、一般的な測定用センサ (PD-150) が

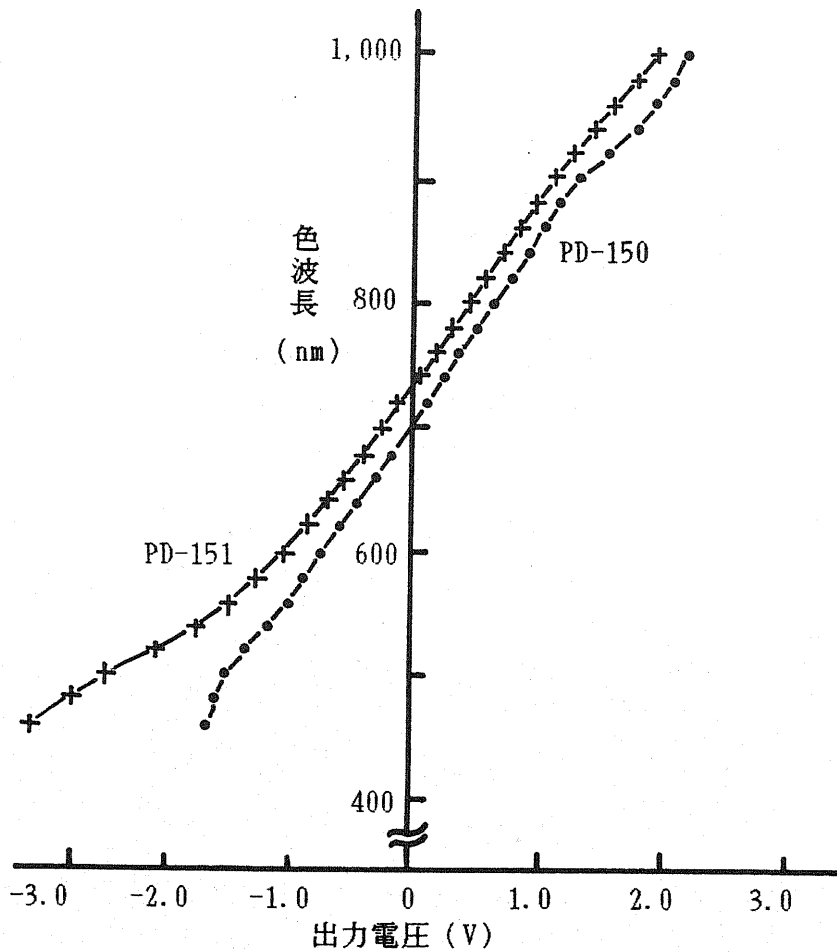


図 2.9 信号処理回路の出力電圧と色波長の関係

460 ~ 900 nmで、可視域の測定用センサ (PD-151) が600 ~ 1,000 nmの範囲であった。

つぎに半導体カラーセンサの種類別に、補間法を用いて標準誤差が最小となる関数に回帰する。その結果、出力電圧に対する色波長の関係は、式 (2.7) , (2.8) で与えられる<sup>2.24)</sup>。

一般的な測定用センサ (PD-150) の場合

$$Y = 140.80X + 669.69 \quad (2.7)$$

可視域の測定用センサ (PD-151) の場合

$$Y = 25.75X^2 + 133.17X + 678.19 \quad (2.8)$$

ただし、Xは出力電圧 (V) , Yは色波長 (nm) を表す。

単色光、複色光および発光色の異なる発光ダイオードなどの色波長の測定において、式 (2.7) , (2.8) をあらかじめコンピュータにプログラミングしておくことにより、半導体カラーセンサの種類別に、得られた出力電圧測定値から自動的に色波長が検出できるようにした。ただし、両方の式は、色波長が460 ~ 1,000 nmの範囲で成立する。

### 2.2.3 単色光測定および複色光測定

単色光および複色光の波長を測定することにより、半導体カラーセンサの色波長検出機能について検討する。

#### (a) 測定方法

色波長を測定するための実験装置の概要を図2.10に示す。60Wのクリプトンランプ ( $L_1$  と  $L_2$ ) から放射された光<sup>2.25)</sup> を焦点調節用凸レンズと倍率が30倍の対物レンズをそれぞれ通して絞った後、コアが140  $\mu\text{m}\phi$  の光ファイバを伝搬して半導体カラーセンサに入射する<sup>2.26) 2.27)</sup>。得られた出力電圧測定値を、コンピュータにあらかじめプログラミングしておいた式 (2.7) あるいは式 (2.8) に入力して、自動的に色波長を求める。実験は、対物レンズの前に

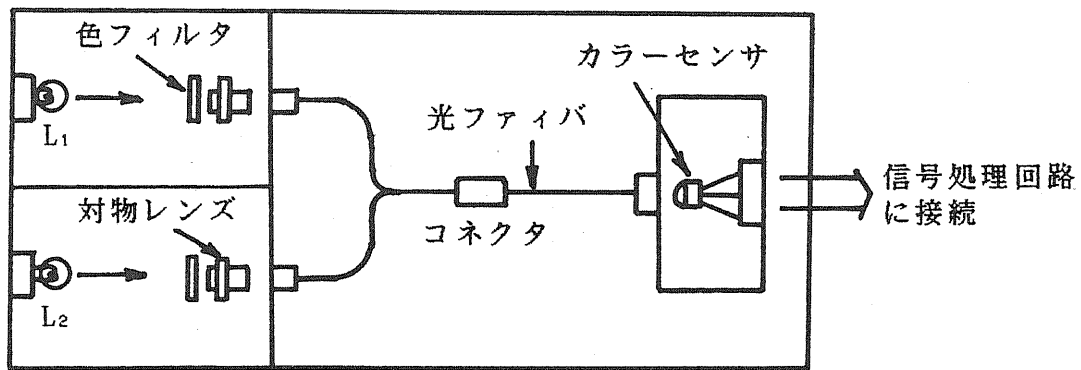


図 2.10 色波長測定用実験装置

図2.11に示すピーク波長が480 , 550 , 740 nmの色フィルタを1種類ずつ装着した単色光の場合と, 2種類ずつ組み合わせて装着した複色光の場合とにわけ, センサの種類別にそれぞれ10回ずつ測定した<sup>2.16)</sup>.

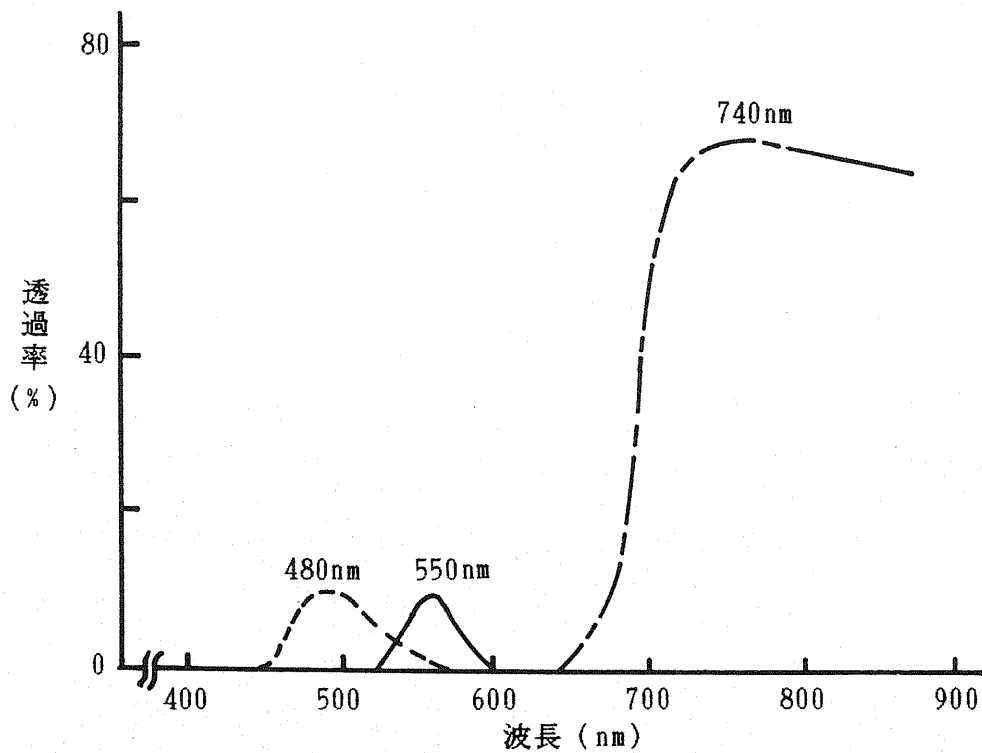


図 2.11 色フィルタの波長と透過率の関係

(b) 単色光の色波長

半導体カラーセンサにおける3種類の色フィルタの出力電圧から、色波長測定平均値と95%信頼区間を求めて、色フィルタ別に表2.5に示す<sup>2.28)</sup>。センサの種類別に色波長測定平均値を比較すると、色フィルタのピーク波長が480 nmの場合は、2種類の測定用センサが共に短波長と長波長に同程度のばらつきを示した。その理由は、一般的な測定用センサ (PD-150) の測定値が信号処理回路の検出限界波長である460 nm以下を示し、可視域の測定用センサ (PD-151) の測定値は検出限界波長の近傍であるために、回帰式と測定値のばらつきがしだいに大きくなったことによる。550 nmの場合は、両者の測定値が色フィルタ

表 2.5 単色光および複色光による色波長の測定結果

色光	L <sub>1</sub> (nm)	L <sub>2</sub> (nm)	PD-150 (nm)	PD-151 (nm)
単色光	480	—	452.5±0.4	502.5±0.1
	550	—	541.1±0.5	553.9±0.2
	740	—	783.0±0.05	743.9±0.2
複色光	480	740	781.4±0.1	735.9±0.3
	550	740	781.3±0.2	735.3±0.2

にほぼ等しい波長を示している。さらに、ピーク波長が740 nmになると、可視域の測定用センサの方が一般的な測定用センサに比べて色フィルタの透過光に近い波長を検出する。その理由は、可視域の測定用センサが一般的な測定用センサに赤外カットフィルタを装着しているために、780 nmより長波長の成分がカットされていることによる<sup>2.14)</sup>。なお、95%信頼区間は両者とも区間幅が非常に狭いので、いずれも測定による再現性は良いといえる。



### (c) 複色光の色波長

色波長測定用実験装置の一方 ( $L_1$ ) にピーク波長が480 あるいは550 nmの色フィルタを装着し, 他方 ( $L_2$ ) にピーク波長が740 nmの色フィルタを装着して, 両者を同時に点灯させて測定を行った<sup>2.25)</sup>. その結果, 表 2.5に示すように可視域の測定用センサ (PD-151) より一般的な測定用センサ (PD-150) の方が, 透過光の分布特性が近赤外にまでおよぶピーク波長が740 nmの色フィルタの影響を大きく受けることがわかった. しかし, いずれの場合も, 740 nmの色波長の影響があまりにも大きいため, 480 nmや550 nmにピークを持つ色フィルタとの相互作用は, ほとんど検出されなかった.

#### 2.2.4 発光ダイオードからの放射光の色波長測定

発光ダイオードは, 素子ごとに輝度や発光色のむらがよく目立つ場合がある<sup>2.29)-2.31)</sup>. 輝度むらについては, 素子ごとの電流値を調節することにより防げるが, 素子ごとに発光色が異なり, 色相弁別いきの範囲を越える場合には, 視認印象を著しく損なう恐れがある.

そこで, 発光色の異なる発光ダイオードを試料として, 半導体カラーセンサとコンピュータによる自動測定を行い, 視感と比較検討する.

##### (a) 測定方法

測定に用いた試料は, 発光部のサイズが3~5 mm $\phi$ で, 緑色, 黄緑色, 黄色, 赤色などを呈する, 12種類の市販の発光ダイオードである<sup>2.32)2.33)</sup>. それらを種類別に表 2.6に示す. それぞれの試料から放射された光を直接測定するために, まずコアが3 mm $\phi$ の光ファイバ中を伝搬させて, 半導体カラーセンサに入射させる. そして, その入射光を各試料について10回ずつ測定する<sup>2.29)</sup>. つぎに, 得られた出力電圧をコンピュータに入力して, 回帰式から放射光の色波長を求める.

表 2.6 色波長の測定に使用した発光ダイオード

LED	発光部 (mm φ)	レンズ	発光色	発光材料
No. 1	3	着色拡散	緑色	GaAs-GaP
2	3	着色拡散	黄緑色	GaP
3	3	着色透明	黄色	GaAsP-GaP
4	3	着色透明	緑色	GaP
5	4	着色拡散	赤色	GaAsP-GaAs
6	4	着色拡散	緑色	GaP
7	4	着色拡散	黄緑色	GaP
8	5	着色拡散	赤色	GaAsP-GaAs
9	5	着色拡散	赤色	GaP
10	5	着色拡散	緑色	GaP
11	5	着色拡散	黄色	GaAsP-GaAs
12	5	着色透明	黄緑色	GaP

(b) 発光ダイオードの色波長

測定値より求めた色波長から、各試料に対する色波長測定平均値と95%信頼区間を算出して、センサの種類別にそれぞれ表 2.7に示す<sup>2.31)2.34)</sup>。半導体カラーセンサによる色波長測定平均値と発光ダイオードの放射光のピーク波長との関係を比較した場合、大部分は、ほぼ満足すべき結果が得られた。しかし、発光材料にGaAsP-GaAsを使用したNo.5とNo.8の試料については、表 2.6に示さ

れる発光色に比べて、両者ともやや短波長を検出した。また、いずれの測定も95%信頼区間が0.5 nm程度であり、測定値のばらつきはほとんどないことがわかった。

表 2.7 発光ダイオードによる色波長の測定結果

LED	PD-150 (nm)	PD-151 (nm)
No. 1	533.4±0.3	532.0±0.5
2	572.2±0.3	572.1±0.3
3	592.4±0.5	595.8±0.3
4	557.9±0.8	560.6±0.6
5	659.3±0.3	641.2±0.5
6	556.1±0.4	560.9±0.5
7	573.1±0.7	567.9±0.5
8	659.3±0.2	641.8±0.5
9	702.9±0.9	705.1±0.6
10	555.8±0.3	560.5±0.2
11	592.9±0.2	593.4±0.4
12	568.3±0.5	571.3±0.4

以上のことから、一部の発光材料による試料の測定結果を除いて、ほぼ視感値に等しい波長が検出されたと言える。さらに、試作した簡易型波長測定装置は、測定誤差が非常に小さく、かつ再現性も良いことが示された。

### 2.2.5 まとめ

色波長測定用センサとして、半導体カラーセンサ（PD-150とPD-151）を用いた簡易型波長測定装置を試作した。その装置を使用し、単色光、複色光および発光色の異なる種々の発光ダイオードについて色波長の測定を行った結果、以下の事実を確認した。

- (1) 信号処理回路には、一対の対数圧縮回路の対数入力電流と出力電圧の特性がともに等しく、対数入力電流が $10^{-10}$  ~  $10^{-6}$ A の範囲で、出力電圧が直線的に増加するものを用いた。
- (2) 一般的な測定用センサ（PD-150）だけが近赤外を含む長波長に感度を持っていることが原因で、長波長になるにしたがって、可視域の測定用センサ（PD-151）の方が一般的なセンサに比べて色フィルタのピーク波長に近い値を検出した。
- (3) 発光ダイオードの色波長の測定では、発光材料がGaAsP-GaAsで、発光色が赤色である試料を除いて、ほぼ視感に相当する発光色の波長を検出した。

### 2.3 結言

物理的色波長に対する主観的色波長の関係は、市販の波長計の検出感度に比して人間の眼の色覚が曖昧であるために、弁別感度がかなり低下する。そこで、本研究では、単色光と色覚との関係を、主観的境界波長および色相の主観的等価波長域を求めることにより明らかにした。その結果は、各種表示器のセグメント発光色および画像工学などにおける色相の弁別感度の評価に適用することができる。

つぎに、簡易型波長測定装置を試作し、色覚による主観的データを基に半導

体カラーセンサを用いて色波長の測定を行った。その結果、人間の眼の色覚と半導体カラーセンサによる検出波長との傾向がほぼ対応することがわかった。

さらに、この簡易型波長測定装置を用いることにより、視感に対応した色波長の検出が、発光色の異なる種々の発光ダイオードを含む各種発光表示器について、簡便かつ迅速になされるようになった。

#### 参考文献

- 2.1) 須賀長市：耐候光と色彩，209～213，スガ試験機株式会社（1977）
- 2.2) 蒲山久夫：眼の色収差，照明学会雑誌，38(12)，452～455（1954）
- 2.3) 村上元彦：網膜の色覚生理，照明学会雑誌，55(3)，132～137（1971）
- 2.4) 大山正：心理学研究法2（実験I），98～102，東京大学出版会（1980）
- 2.5) 浅井孝夫，杉山春夫：光学フィルタ，照明学会雑誌，58(11)，611～619（1974）
- 2.6) 池田紘一，中山昌春，小原清成：等明度，高彩度色票の測色上の色差と知覚される色差との対応，照明学会誌，66(4)，138～143（1982）
- 2.7) 池田紘一，中山昌春，小原清成：等明度，高彩度色票の測色上の色差と知覚される色差との対応，照明学会誌，66(4)，138～143（1982）
- 2.8) J. P. ギルホード著，秋重義治訳：精神測定法，146～147，培風館（1976）
- 2.9) 中山昌春，池田紘一，小原清成：彩度だけが異なる色票についての測色上の色差と知覚される色差との比較，照明学会誌，70(2)，67～73（1986）
- 2.10) 中山昌春，池田紘一，小原清成：マンセル空間における彩度に関する色差と知覚される色差との比較，電気学会計測研究会資料，IM-87-7，9

～17 (1987)

- 2.11) 石川馨, 米山高範: 分散分析法入門, 124～133, 日科技連 (1983)
- 2.12) 古林隆: 統計解析, 135～138, 培風館 (1983)
- 2.13) 和田陽平, 大山正, 今井省吾: 感覚・知覚心理学ハンドブック, 306～307, 誠信書房 (1985)
- 2.14) シャープ編: シャープ半導体カラーセンサPD-150, PD-151, 新製品技術資料 (1979)
- 2.15) 川村幹也, 上迫宏計, 手塚芳明, 村岡哲也: 半導体カラー・センサを用いた波長計, 電子通信学会技術報告, OQE 79-128, 65～70 (1980)
- 2.16) 村岡哲也, 上迫宏計, 川村幹也: 半導体カラーセンサと光ファイバを用いた波長計に関する基礎研究, 電気学会計測研究会資料, IM-83-39, 63～71 (1983)
- 2.17) 上野大平: 半導体カラー・センサ (シャープPD-150, PD-151), トランジスタ技術, (1), 238～245 (1980)
- 2.18) 吉川俊文, 谷善平: 光電素子の種類と特性, 自動化技術, 10(12), 23～30 (1978)
- 2.19) Gary, P.A. and Linvill, J.G.: A Planar Silicon Photosensor with an Optimal Spectral Response for Detecting Printed Material, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, ED-15(1), 30～39 (1968)
- 2.20) 鈴木昭: 対数増幅器の実際, 電子科学, (7), 29～36 (1973)
- 2.21) シャープ編: OPICシリーズ(1); IS-001, IS-002, IS-003 (1979)
- 2.22) 谷善平, 吉川俊文, 重政淳一郎: 半導体カラー・センサ, テレビジョン学会技術報告, ED418, 13～17 (1978)
- 2.23) 吉川俊文, 谷善平: 半導体カラーセンサとその応用, 電子技術, 21(13), 51～56 (1979)

- 2.24) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示器の視認特性におよぼす影響について, 東洋大学工学部研究報告, 21, 37~44 (1985)
- 2.25) 東輝電気工業編: 特殊電球・蛍光ランプ, 東輝ランプ, 1 ~38 (1985)
- 2.26) 昭和電線電纜編: 昭和電線の光ファイバと周辺技術, 昭和電線電纜技術資料, 1 ~42 (1983)
- 2.27) 大越孝敬: 光ファイバの基礎, 39~50, オーム社 (1980)
- 2.28) 小林竜一: パソコンによる統計解析, 68~87, 培風館 (1983)
- 2.29) 岡本英男: 発光ダイオードの信頼性, 電子技術, 15(7), 21~23 (1972)
- 2.30) 笠見昭信: GaP 発光ダイオードの発光効率, 応用物理, 42(9), 924 ~ 926 (1973)
- 2.31) 笠見昭信: LED 表示素子, テレビジョン学会誌, 31(3), 183 ~190 (1977)
- 2.32) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 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, 照明学会, 67(2), 43~48 (1983)
- 2.33) 青木昌治: エレクトロニクス技術全書6 (発光ダイオード), 8 ~81, 工業調査会 (1977)
- 2.34) 村岡哲也, 上迫宏計, 川村幹也, 田中晃: 半導体カラーセンサを用いた簡易型波長計による発光ダイオードの波長特性の測定, 第4回「センサの基礎と応用」シンポジウム講演予稿集, A6-1, 65~66 (1984)

### 第Ⅲ章 輝度と輝度対比の測定

#### 3.1 数字発光表示器の輝度

メッセージ伝達用表示器における数字および文字などの表示方式として、7セグメント形、16セグメント形、およびドット・マトリックス形などがあり、さらに多量の情報を一括表示するものとしてVDTがある。その中で、最も簡単な表示形態を採るのが7セグメント形である。

7セグメント数字発光表示器の数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、誤読を招く恐れがある<sup>3.1)</sup>。

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、市販の緑色発光ダイオード表示器および蛍光表示管のセグメント輝度を測定する。その結果から、7セグメント数字発光表示器における輝度むらの様相を知ることができる。

つぎに、本研究により得られた知見に基づいて、『7セグメント数字発光表示器における輝度むらの評価方式』を提案する。また、その評価方式は、さらに複雑な16セグメント形、あるいはドット・マトリックスやVDT表示形などにも適用することができる。

以下に上記の実験の詳細を記述する。

##### 3.1.1 輝度測定

測定に使用した7セグメント数字発光表示器の種類、および電氣的定格などを表3.1に示す。輝度測定は図3.1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った。このときの表示器のセグメント構成は図 3.1に示すとおりである。測定は0.4, 2, 3 および4 mmφのピンホールで、ピーク波長が566 nm (半値幅10nm) のフィルタを装着したとき、および視感度フィルタを装着した場合とについて行った。蛍光表示管については、さら

表 3.1 試料の種類と電気的定格

(a) 緑色発光ダイオード表示器

製品	数字の 高さ (mm)	mA/セ グメン ト	共通端子
A社	7.62	20	カソード
B社	7.8	15	アノード
C社No.1	7.62	10	カソード
C社No.2	10.16	10	カソード
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

(b) 蛍光表示管

製品	数字の 高さ (mm)	アノード 電流 (mA /桁)	グリッド 電流 (mA)	フィラ メント電圧 (V)
E社No.1	7.6	0.6	2.3	1.0
E社No.2	12.5	3.0	8.0	1.5
F社No.1	7.6	0.8	6.0	1.7
F社No.2	12.6	1.0	3.0	1.3

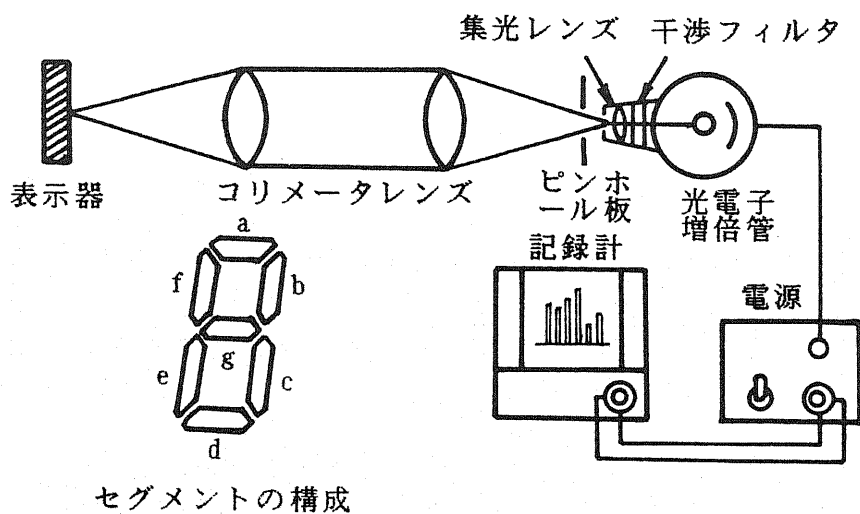


図 3.1 輝度測定装置

に発光部にグリーン・フィルタを装着した場合についても、同様に測定した。  
 図 3.2にこれらの測定で使用したピーク波長が566 nmのフィルタ、視感度フィルタおよびグリーン・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のフィルタを装着したときのA社のaセグメントについての輝度計出力値を基準にして相対輝度比として求めた。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。

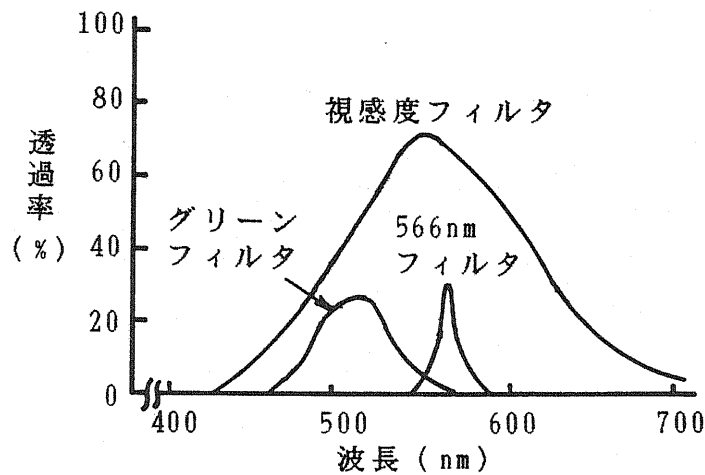


図 3.2 フィルタの波長特性

### 3.1.2 輝度むらの測定

#### (a) 提示数字による輝度のばらつき

同一セグメントについて、提示数字を変えて輝度を測定した場合の出力差について比較検討した。光電子増倍管にピーク波長が566 nmのフィルタを装着し、0.4 mmφのピンホールで提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、提示数字2を除く0～9までの全提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 3.2に示す。

表 3.2 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

緑色発光ダイオード表示器では、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。これは提示数字（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。また蛍光表示管では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の場合は提示数字（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の場合は提示数字（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。

(b) セグメント間およびセグメント内部の輝度のばらつき

提示数字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、光電子増倍管にピーク波長が566 nmのフィルタを装着して、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 3.3に示す。緑色発光ダ

イオード表示器では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、蛍光表示管では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。

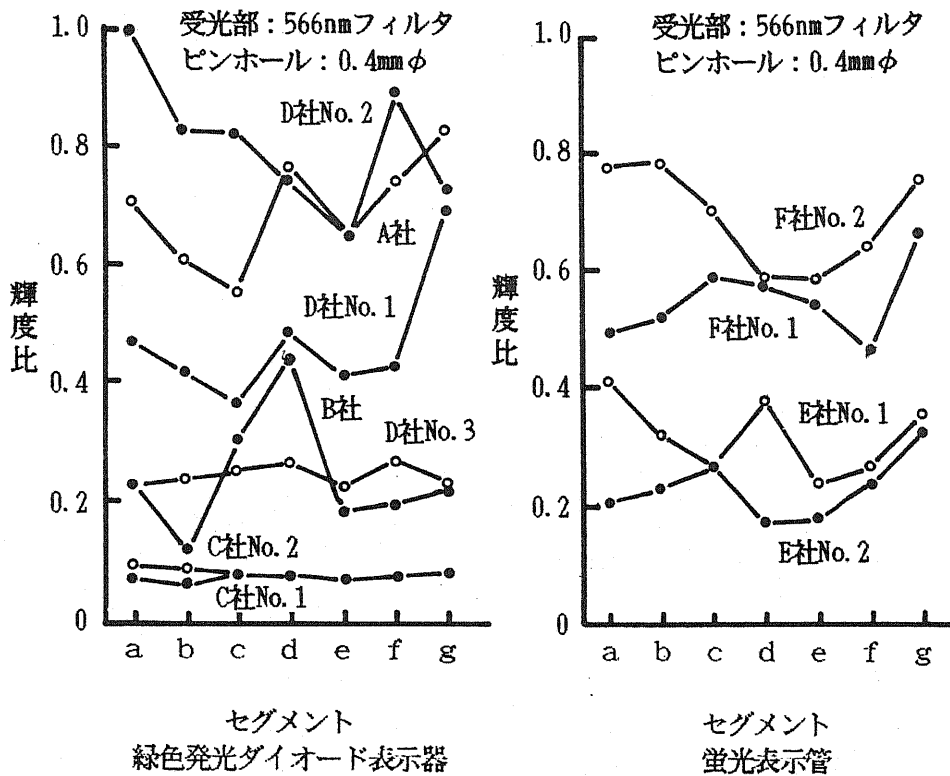


図 3.3 表示器のセグメントによる輝度のばらつき

つぎにセグメント内部のばらつきについては、緑色発光ダイオード表示器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。蛍光表示管ではセグメント上の蛍光体が均一であれば、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。提示数字による輝度のばらつきの測定でaセグメントと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 3.4 に示す。測定の結果、緑色発光ダイオード表示器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、蛍光表示管では輝度分布が均一になるはずであるが、必ずしもそうはならなかった。

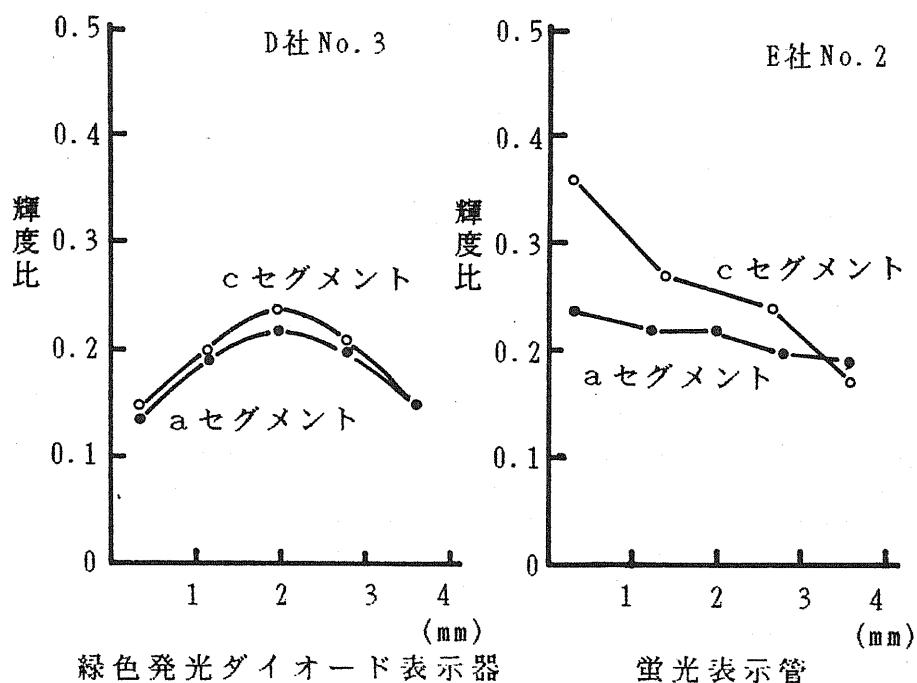


図 3.4 表示器のセグメントの部位による輝度のばらつき

(c) セグメント間の平均輝度のばらつき

(a), (b) 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。そこで提示数字 8 についてピーク波長が 566 nm のフィルタを装着したとき、および視感度フィルタを装着し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。ピンホールのは大きさは、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 3.3 に

示す。

表 3.3 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

ピーク波長が566 nmのフィルタを装着したときの測定結果を表 3.4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、通常、蛍光表示管は発光部にフィルタを装着して使用するため、さらに発光部にグリーン・フィルタを装着し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装着す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。

人間が光として眼に感じるのは、一般に380 ~ 780 nmの可視域で、ピーク波長は555 nmであるとされている。そこで、今まで行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

表 3.4 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.2 E社No.2

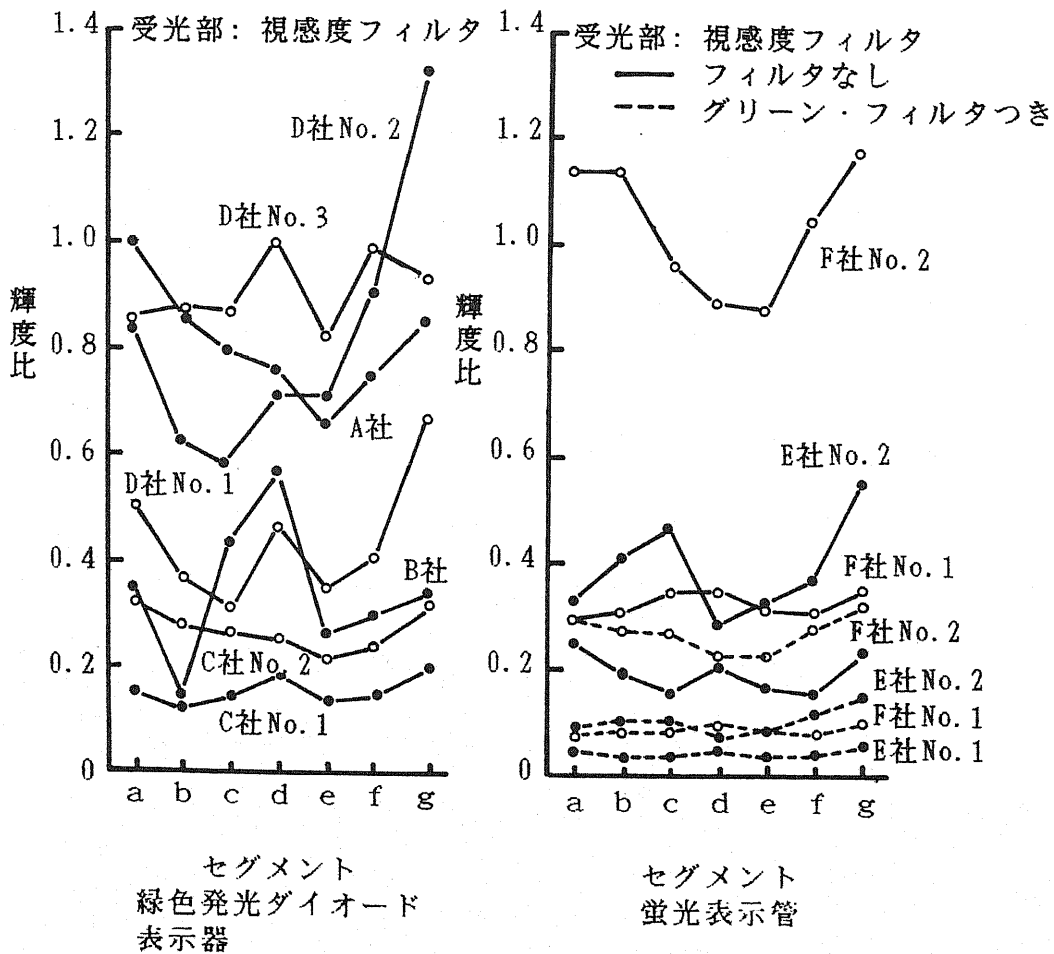


図 3.5 表示器のセグメントによる平均輝度

の問題を除いては適切であるとの仮説のもとで輝度測定を行った。その結果を図 3.5に示す。緑色発光ダイオード表示器ではA社、C社のNo.2とD社のNo.3などのばらつきが少なく、表 3.5に見られるとおり変動係数はそれぞれ12.0%、13.5%と7.4 %であった。蛍光表示管では、発光部にフィルタを装着しないものとグリーン・フィルタを装着し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装着したものの出力は、フィルタを装着し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、両者の間に差異はほとんど見られなかった。これは緑色系フィルタのピーク波長が、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。

表 3.5 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 (%)	
	発光部フィルタなし	発光部視感度フィルタ		発光部フィルタなし	発光部視感度フィルタ
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			

### 3.1.3 まとめ

輝度計を用いて、数字発光表示器にピーク波長が566 nmのフィルタを装着したとき、および視感度フィルタを装着したときについて、それぞれセグメント輝度の測定を行った。一般に見やすい表示器とは、輝度のばらつきが眼の弁別いき以下であると言える。そこで、両者のうち視感度フィルタを装着したとき



の結果を見やすさの判断基準とした。

つぎに、いずれの表示器にも提示数字やセグメント内部にかなり輝度のばらつきがあることがわかったので、その結果に基づいて視認性との関係を詳細に検討する必要がある。そこで、測定結果より、輝度むらの比較的大きい表示器と小さい表示器を1種類ずつ視認性実験用試料とした。つまり、緑色発光ダイオード表示器ではB社、D社のNo.3であり、蛍光表示管ではF社のNo.1とNo.2である。それらを用いて、5.1.2項(e-1)の『セグメント間の輝度差弁別いき』と6.1.4項の『輝度むらと認知時間』で両者の関係を検討する。

### 3.2 非発光表示器の輝度対比

非発光モードの液晶表示器は、発光表示器と異なって視認方向角依存性<sup>3.2)</sup>がある。これは、基板上における液晶分子の配列状態とねじれ配列の回転角が原因して、視認方向角によって電気光学特性が変化するためで、視認方向角が大きくなるにつれてある角度から急に提示数字が見えなくなってくる。この他に液晶表示器は光の進行方向に垂直で、特定の方向に強く振動する光だけを透過し、他の成分は吸収する機能を持つ偏光板<sup>3.3)</sup>が装着されているので、偏光の視認方向角依存性の影響もあると考えられる。

そこで、実験環境を室内照明に限定して、視認方向角と照射照度が輝度対比におよぼす影響について検討するために、つぎの2項目の測定を行う。すなわち、

- (1) 輝度計を用いて、表示器の傾き角と照射照度による提示数字の輝度対比<sup>3.4)</sup>への影響を調べる。
- (2) 見やすさに影響をおよぼす輝度対比について、ポジティブ液晶表示器と白色紙面に印刷された黒色文字を比較検討する。

### 3.2.1 輝度対比の測定

#### (a) 測定方法

測定に使用した試料の一覧表を表 3.6に示す。そして、輝度の測定はNo.3A社-3を試料として、スタティック駆動回路により動作させたポジティブ液晶表示器の表示面に、図 3.6(b) のように水平面上45° の角度から140 mmφの電球口金形蛍光ランプ（詳細は、付録の『付図3.2 電球口金形蛍光ランプの分光特

表 3.6 液晶表示器の種類

試料番号	製造会社別	数字の大きさ(mm)
No.1	A社-1	8.9(H) × 4.45(W)
	B社-1	
No.2	A社-2	12.7(H) × 6.35(W)
	C社	
No.3	A社-3	17.8(H) × 8.9(W)
	B社-2	

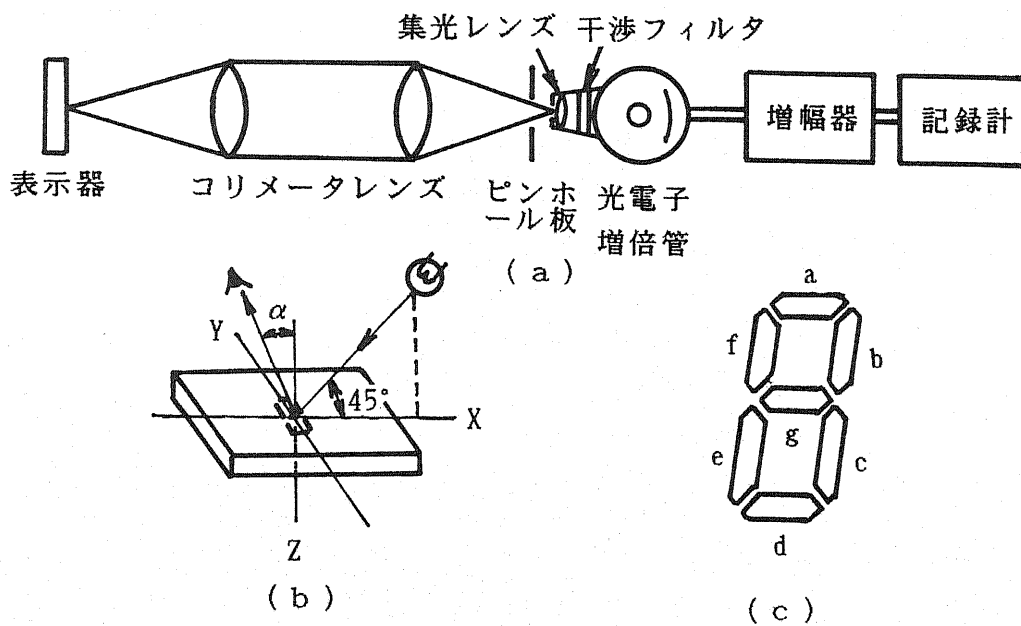


図 3.6 輝度測定方法

性』を参照)を光源として、色温度が5,000 Kの光を照射した。それぞれの照度は、光源から放射される光の光路上に取り付けた白色アクリル板の枚数で調節した。白色アクリル板は分光特性がフラットで、透過率が30, 45, 80%の3種類のものを用いて、ポジティブ液晶表示器の表示面照度を0 ~ 300 lxまで変化させた。セグメント輝度の測定は、図 3.6(a) に示すように0.4 mmφのピンホールと市販の輝度計を用いて、各照射照度の下でポジティブ液晶表示器の表示面から反射する光の輝度と駆動時にセグメントから反射する光の輝度について行った<sup>3.5)</sup>。なお、輝度計の波長特性は分光光度計を用いて測定した。その結果、輝度計の受光部に内蔵した視感度フィルタと、分光感度波長が185~730 nmで、ピーク波長が340 nmの光電子増倍管とを組み合わせ測定したときの分光特性と標準比視感度曲線を図 3.7に示す。これにより補正係数として1.073を算出した。

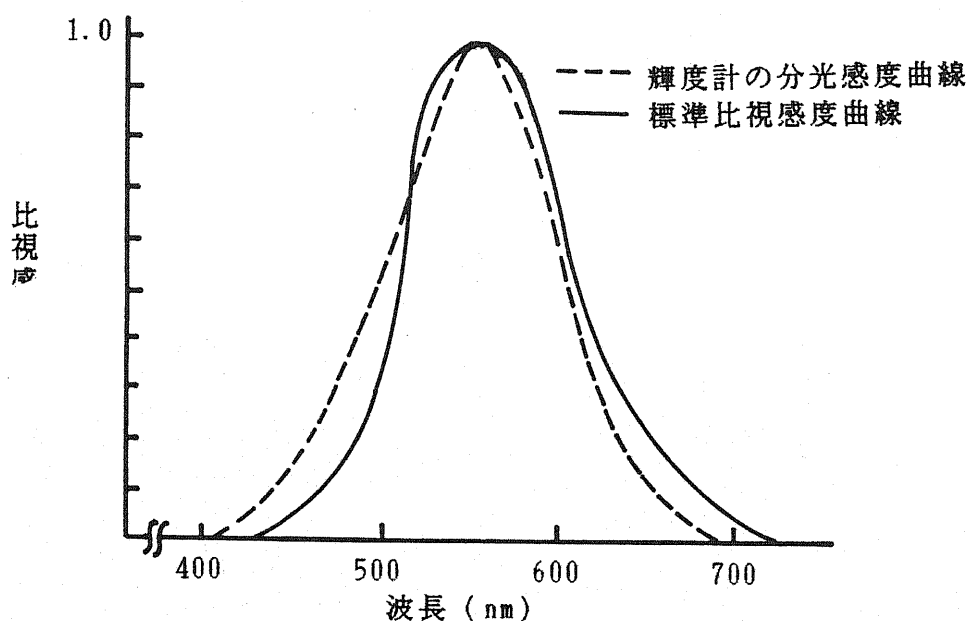


図 3.7 輝度計の分光感度曲線と標準比視感度曲線の関係

輝度計の校正<sup>3.6)</sup>は6V, 5 lm光束標準電球を光度標準電球として、この電球

と拡散透過率が0.606の白色拡散透過板を用いて行った。標準電球の光度は分布温度が2350Kで350mcdである<sup>3.7)</sup>。

(b) 照射照度による影響

3~300lxまでの照射光に対するセグメント輝度の変化を検討するために、提示数字8で、縦セグメントとしてcを横セグメントとしてaをそれぞれ代表させて輝度測定を行った。cセグメントは、2を除く0~9までの全提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セグメントも同じように測定した。そしてaセグメントとcセグメントの平均値をセグメント輝度値とした。このようにして、照射照度ごとに、セグメント輝度と表示面輝度を3回ずつ繰り返して測定した結果を図3.8に示す。ただし、輝度比の1.0は

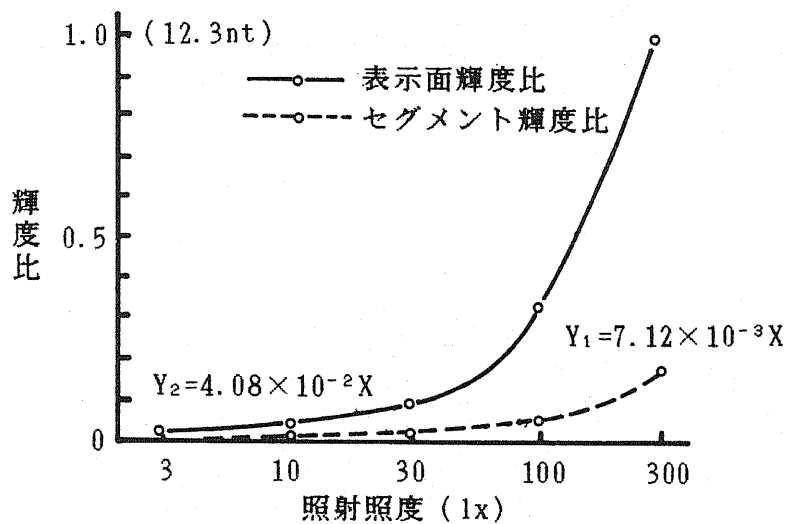


図 3.8 照射照度と輝度比の関係

12.3ntに相当する。どの照射照度におけるセグメント輝度比や表示面輝度比も95%信頼区間が比較的小さかったので、これらの値に補間法を適用して、1次式に回帰した。その結果を式(3.1)、(3.2)に示す。

$$Y_1 = 7.12 \times 10^{-3} X \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 4.08 \times 10^{-2} X \quad (3.2)$$

ただし、 $Y_1$ はセグメント輝度比、 $Y_2$ は表示面輝度比、 $X$ は照射照度 ( $lx$ ) を表す。

つぎに、得られた測定値に式 (3.3) を適用して輝度対比  $C^{(3.4)}$  を算出し、ポジタイプ液晶表示器表示面に照射する光の照度との関係について検討した。

$$C = \frac{P-S}{P} \quad (3.3)$$

ただし、 $P$ は表示面輝度 ( $nt$ )、 $S$ はセグメント輝度 ( $nt$ ) を表す。

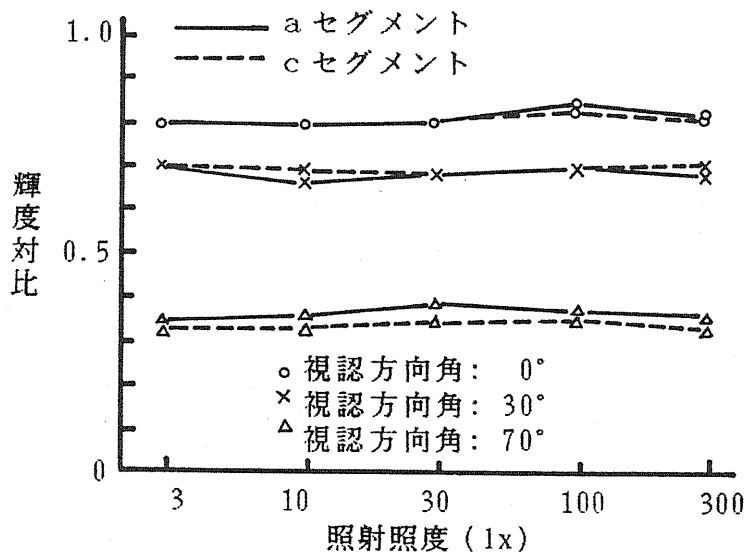


図 3.9 照射照度と輝度対比の関係

その結果を図 3.9に示す。6.2 節の『非発光表示器の可読性』における測定  
の照射照度範囲を含む 3~300 lxまでの平均輝度対比は、正対したとき aセグ  
メントが0.813 で、cセグメントが0.809 となり、それぞれの照度変化に対す  
るばらつきは比較的小さかった。しかしながら実際には、一般に照射照度が低  
下するに従って、しだいに表示面が暗くなり、やがて提示数字のセグメントと  
表示面の輝度が眼の弁別いき以下となって判読不能になる。

(c) 視認方向角による影響

視認方向角が増すにつれて、提示数字を構成するセグメント輝度対比の低下が考えられるので、a, cセグメントの輝度と視認方向角との関係について検討する。回転台上に取り付けたポジティブ液晶表示器の提示数字8のaセグメントが輝度計と正対するときを $0^\circ$ として、図3.6(b)における視認方向角 $\alpha$ を $70^\circ$ まで変化させながら、(a)に示す輝度計を用いてaセグメントの輝度対比を測定した<sup>3,6)</sup>。cセグメントについても同様に輝度対比の測定を行い、両者

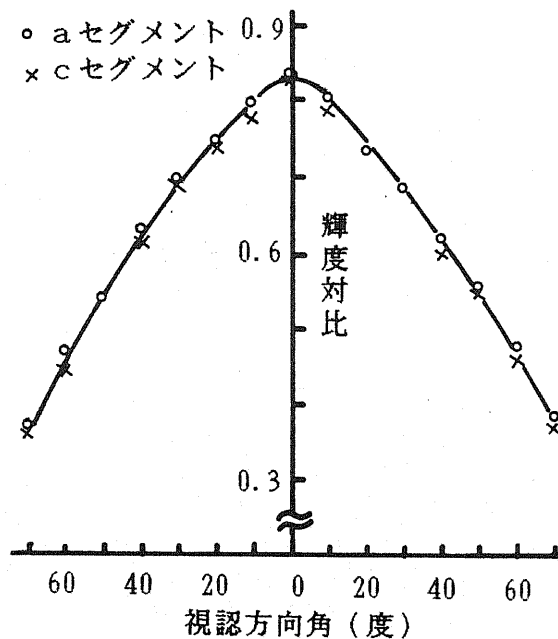


図 3.10 視認方向角と輝度対比の関係

の結果を図3.10に示す。セグメント輝度対比は、a, cセグメントともに差がほとんどなく、視認方向角が増すにつれて低下し、 $70^\circ$ では正対時の44%まで低下した。なお、照度変化による輝度対比の影響がないことが図3.9で明らかにされたので、実験中ポジティブ液晶表示器の表示面には、図3.6(b)に示すように常に水平面上 $45^\circ$ の角度から $100\text{ lx}$ の光を照射した。

### 3.2.2 輝度対比に関する印刷文字との比較

白色紙面に印刷された黒色文字・視標の見やすさについては、これまで多くの研究報告<sup>3.8)-3.12)</sup>がなされているが、ここではその中から中根の論文「印刷物の反射特性および標準視対象物の選定に関する考察<sup>3.8)</sup>」、および「印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究<sup>3.10)</sup>」を取り上げ、それぞれの研究結果と本研究の結果とを比較検討し、白色紙面に印刷された黒色文字とポジタイプ液晶表示器における提示数字の見やすさの違いについて明らかにする。

#### (a) 印刷紙面とポジタイプ液晶表示器における表示面の反射特性

図3.11は、表示面を傾けたときの反射輝度比の変化を印刷紙面とポジタイプ液晶表示器で比較した例である。ただし、 $\theta = 0^\circ$ における表示面照度を300 lx

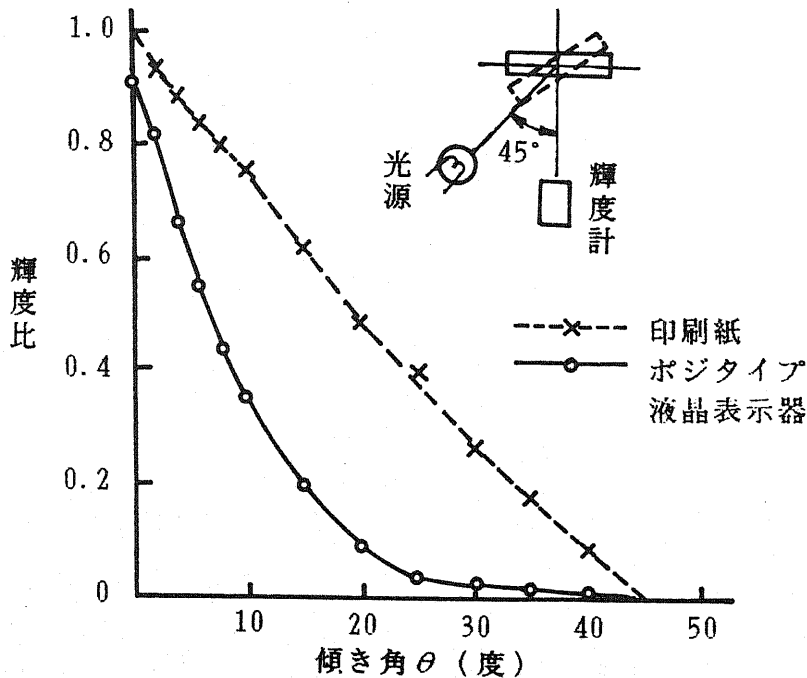


図 3.11 液晶表示面の傾き角と輝度

とする。この場合ポジタイプ液晶表示器における表示面輝度の傾き角による変わり方は印刷紙面よりも非常に大きく、わずかの傾きによって輝度が急激に減

少することがわかる。

(b) 輝度対比の視認方向角依存性

白色紙面に印刷された黒色文字を扱った中根の論文「印刷物の反射特性および標準視対象物の選定に関する考察<sup>3・8)</sup>」では、白色印刷紙について入射光方位角 $\phi = 0^\circ$ における入射角および反射角と、輝度対比の関係のグラフが示されている。グラフ中の、入射角 $\theta_i = 45^\circ$ における反射角と輝度対比の関係を描き出して示すと図3.12のようになる。これによれば、角度が増加するとともに対比は0.9より最小0.3まで下がる。その原因は、主に光線の正反射によるとされている。

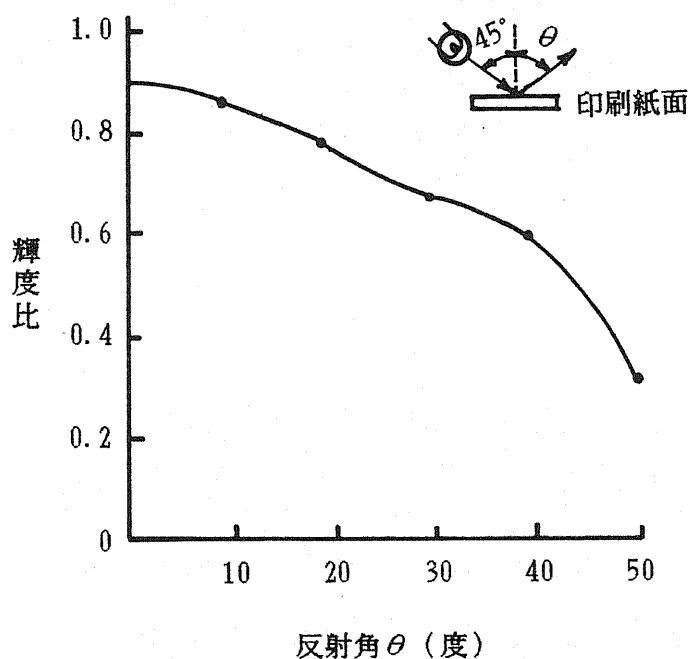


図 3.12 白色紙面に印刷された黒色文字の輝度対比と反射

また、ポジティブ液晶表示器の角度依存性についてはさまざまな結果が発表されている<sup>3.9)3.13)-3.15)</sup>が、ここでは、マルチプレクシング駆動における小田原らの場合<sup>3.14)</sup>を図3.13に示す。その動作条件は、温度 $25^\circ\text{C}$ 、デューティ比 $1/7$ 、 $1/4$ バイアス、電圧 $4.5\text{V}$ 、周波数 $420\text{Hz}$ である。図3.13によれば、点



灯セグメントに対する非点灯セグメントの輝度比  $\kappa = 5$  , および照射光の表示面に対する反射角  $\phi = 0^\circ$  において, 視認方向角  $\theta = 0 \sim 80^\circ$  間で輝度対比は  $0.5 \sim 0.8$  の範囲で変化することがわかる.

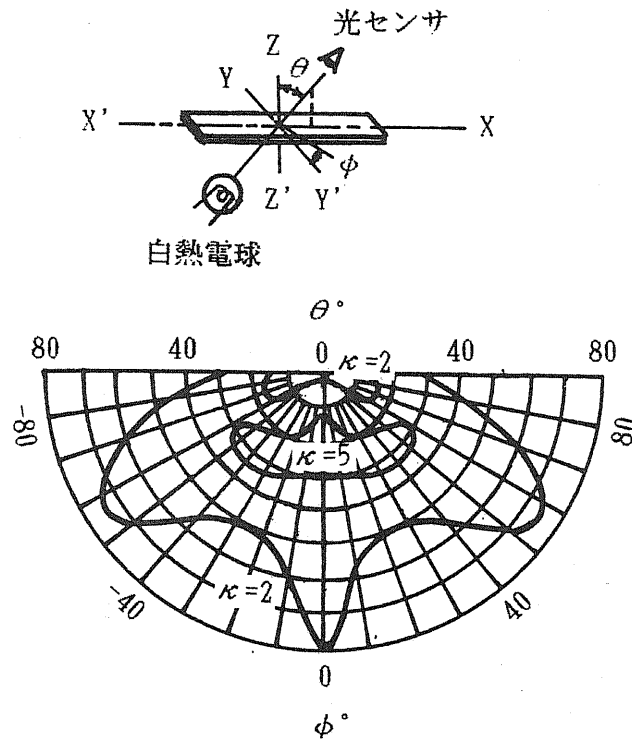


図 3.13 視認方向角と輝度対比の関係

一方, 本研究の場合は, 図3.10に示すように輝度対比は $0.37 \sim 0.84$ の範囲で変化した. また, 視認方向角  $\theta = 0^\circ$  の対比の値は, 中根の論文「印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究<sup>3.10)</sup>」で用いられている白色紙面に印刷された黒色文字・視標の対比 $0.85$ にほぼ等しい値を示した.

### 3.2.3 まとめ

ポジティブ液晶表示器が非発光で, その上視認方向角依存性があるといわれているので, 照射照度と視認方向角が視認性におよぼす影響は避けられない重要な問題である. 本研究ではこれらの関連を明らかにするために, ポジティブ

液晶表示器について照射照度や左右および上下の方向の視認方向角などと提示数字に対する正読率との関係について検討した結果、特に通常の印刷文字と比較して、つぎの事項がわかった。

- (1) 表示面の傾きによる輝度の変化は印刷紙面よりも大きい。輝度が減少する方向に傾けたとき、印刷紙面の場合は角度とともにほぼ直線的に減少するのに比べて、ポジタイプ液晶表示器の場合は指数関数的に減少する傾向が見られた。
- (2) 視認方向角によるセグメントの輝度対比の変化は、白色紙面に印刷された黒色文字について文献に示されたこれまでの結果と同程度である。このように両者の輝度対比の変化が類似した値を示したのは、本実験では拡散光を使ったためであって、もしむらのある照明や直接照明のもとでは上記(1)の理由により、視認方向角の視認性への影響はかなり大きいものと考えられる。

### 3.3 結言

7セグメント数字発光表示器について、輝度の測定により確認された事項を検討した結果、明らかになった評価方式を以下に示す。

- (1) 緑色発光ダイオード表示器は、セグメントの両端に対する中心に置かれたp-n接合形半導体チップの放射拡散状態を調べ、また蛍光表示管は、セグメント上に塗布されているZnO-Zn蛍光体のセグメント部位における輝度分布の均一性を調べる。

つぎに、ポジタイプ液晶表示器に代表される7セグメント数字非発光表示器の輝度対比の測定により明らかになった評価方式を、発光表示器の場合と同様に以下に示す。

- (2) 視認方向角における照射照度と輝度対比の変化を調べ、セグメントごとにばらつきのないことを確認する。つぎに、視認方向角と輝度対比の関係を調べ、視認方向角の増加に対する提示数字を構成するセグメント輝度対比の低下について検討する。
- (3) 白色紙面に印刷された黒色文字を対照として、表示面の傾きによる輝度の変化、および視認方向角によるセグメント輝度対比の変化をそれぞれ比較検討する。

#### 参考文献

- 3.1) 川村幹也, 上迫宏計, 松本政之, 村岡哲也: 数字発光表示器の輝度測定, 電気学会電子計測研究会資料, EM-79-56, 31~40 (1979)
- 3.2) 佐々木昭夫: 液晶エレクトロニクスの基礎と応用, オーム社, 121~141, (1984)
- 3.3) 松本正一, 角田市良: 液晶の最新技術, 31~50, 工業調査会 (1983)
- 3.4) 照明学会編: 最新やさしい明視論, 33~76, 照明学会 (1984)
- 3.5) F. J. Kahn: Reflective Mode, 40-Character, Alphanumeric Twisted-Nematic Liquid Crystal Displays, SID 78 DIGEST, 74~75 (1978)
- 3.6) 日本工業標準調査会審議: 輝度測定方法, 日本規格協会, JIS-C7614, 1~14 (1970)
- 3.7) 三嶋泰雄, 齊藤一朗: 発光ダイオードの測光技術, 電子計測, (2), 57~69 (1977)
- 3.8) 中根芳一: 印刷物の反射特性および標準視対象物の選定に関する考察, 照明学会誌, 65(10), 561~567 (1981)
- 3.9) 中根芳一: 読みやすさ評価に基づく質的照明設計法に関する研究, 照明

- 学会誌, 65(10), 534~540 (1981)
- 3.10) 中根芳一: 印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 229, 111~120 (1975)
- 3.11) 中根芳一, 伊藤克三: 明視照明のための標準等視力曲線に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 229, 101~109 (1975)
- 3.12) 池田紘一, 野田貢次, 山口昌一郎: 均一な背景の下における順応輝度とランドルト環視力, 照明学会誌, 64(10), 591~597 (1980)
- 3.13) Tatsuo Uchida, Yutaka Isii and Masanobu Wada: A Display Device Using the Depolarization in a Twisted Nematic Liquid-Crystal Layer, I.E.E.E. Transactions on Electron Devices, ED-26(9), 1375~1376 (1979)
- 3.14) Kozo Odawara, Tadashi Ishibashi, Kiyoshige Kinugawa, Hiroshi Sakurada and Hironari Tanaka: AN 80-CHARACTER ALPHANUMERIC LIQUID-CRYSTAL DISPLAY SYSTEM FOR COMPUTER TERMINALS, Proceedings of the S.I.D., 21(2), 79~83 (1980)
- 3.15) 山本壯一, 小谷勇慶雄, 福田一郎, 内田龍男: スーパーツイスト複屈折効果液晶セルの理論解析 (I), 表示特性に及ぼす屈折率異方性とセル厚の効果, 電子通信学会技術研究報告, ED86-37, 55~60 (1986)

## 第IV章 視認性の評価

### 4.1 視認性の定義

人間が対象を視る場合、まず、対象がもつ形状をその通りに抽出する知覚判断がなされる。つぎに、学習や経験に基づく概念推進処理により、対象が持つ意味を理解する認知判断がなされる。その結果、必要ならば知識として脳に記憶される。このような知覚・認知・記憶に至る一連の過程を称して視認性と呼ぶことにする<sup>4.1)</sup>。

視対象に7セグメント数字表示器を用いた場合、提示数字の形状に基づいてセグメント輝度をそのとおりに抽出する能力を明視性と呼び、概念推進処理により、その意味を理解して読み取る能力を可読性と呼ぶ。つまり、明視性は知覚に対応し、可読性は認知に対応する。

上記の理由から、本研究では7セグメント数字表示器を対象として、その視認性を評価するために、明視性と可読性についてそれぞれ比較検討するものである。

### 4.2 視認性の心理物理学的測定

心理物理学的測定方法とは、心理的な判断を輝度測定による物理量を用いて評価する方法である<sup>4.2)</sup>。つまり、測定結果は心理的な判断に対応する物理量で表されるので、心理物理量として定義されている。その場合、人間の視感覚では量的な評価がなされず、次のような判断による測定のみがなされる。

- (1) 主観的等価点：標準刺激に比して比較刺激が等しく知覚されるか否か。
- (2) 弁別いき：標準刺激と比較刺激における2つの物理刺激の差異が認識さ

れるか否か。

(3) 絶対いき：視対象となる物理刺激が認知されるか否か。

すなわち、視感覚系は比較器としての役割だけを果たしている。

実際には、以下に記述する調整法、極限法、恒常法のいずれかの方法<sup>4.3)</sup>によって(1)～(3)の測定がなされる。

調整法は等価刺激の測定に用いられることが多い。その方法は、被験者が自由に比較刺激を連続的に調整して、標準刺激と等価と判断される刺激を決定する。

極限法は、絶対特性を持つ刺激値、等価刺激差異、および等価刺激比率の測定に用いられる。刺激変化は、被験者ではなく実験者によって段階的になされる。その場合、刺激間の差異が増加あるいは減少の何れかの方向に配列されている。したがって、被験者の注意は『閾』が近づくにつれて極限に達する。

恒常法は刺激いきの測定に用いられ、刺激の段階は極限法ほど小刻みではない。つまり、あらかじめ選定してある4～7個の比較刺激をランダムに提示し、標準刺激に対して『大きい』か『小さい』の判断を被験者にさせる方法である。そのいき値は、各刺激に対する異なる判断の比率から算出される。

測定は刺激を増大させる上昇系列と減少させる下降系列について実施し、恒常誤差をできるだけ低減するように努めなければならない。

本研究では、上述の心理物理学的測定方法<sup>4.2)4.3)</sup>を7セグメント数字表示器の視認性の評価に応用するための検討を行う。その場合、視認性は明視性と可読性の総称と考えられる<sup>4.1)</sup>。明視性は知覚に相当し、視対象であるパターンをその通りに抽出する能力を言い、(1)、(2)の測定結果より評価がなされる。一方、可読性は認知に相当し、その意味を理解する能力を言うので、(3)の測定を実施することにより検討される。

なお、測定中、被験者が視対象を注視しているか否かの判断基準については、

4.3 節の『視感覚系の疲労の測定』で詳細に述べる。

#### 4.2.1 視認性の測定

デジタル表示器を装着した計測器はアナログ指示計器に比し、視認性の点において格段にすぐれていることから、その使用が急速に伸びている。ゆえに、アナログ指示計器では耐えられないような過酷な環境においても使用されつつあるので、種々の条件下における視認性の程度を十分確かめておくことが必要である。特に、表示の上位桁の数字を読み誤ることは、致命的な誤差を招く恐れがあるので注意しなければならない<sup>4.4)</sup>。

本研究では、調整法を数字表示器に適用して、次のような視認性実験を行う。

- (1) 周囲照度の影響はどうか。
- (2) 背景の明るさの影響はどうか。
- (3) 提示時間によって認知いきはどう変化するか。

##### (a) 測定方法

測定に用いた試料は、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管およびネガタイプ液晶表示器である。

3種類の試料を実用面から比較すると、緑色発光ダイオード表示器は軽量で破損し難く、駆動回路や操作が簡単である。しかし、発光色が限定され、蛍光表示管ほど輝度の選択範囲が広くない。蛍光表示管は輝度の選択範囲が広いので、輝度調節が容易であるが、フェイス・ガラスの表面反射が大きいために、反射損失を0とするようなフィルタを装着して使用する必要がある。さらに、緑色発光ダイオード表示器および蛍光表示管はセグメントによる輝度むらが製品により大きいことがわかっているので、できる限り輝度むらの少ない表示器を試料として選択する。また、輝度は蛍光表示管の方が緑色発光ダイオード表示器に比して非常に大きい。しかし、通常は表示面にグリーン・フィルタを装着して使用するので、装着時の輝度を測定してみると緑色発光ダイオード表示

表 4.1 試料の種類と定格

	緑色発光ダイオード 表示器 (G-LED)	蛍光表示管 (VFT)	ネガタイプ液晶 表示器 (N-LCD)
提示数字	12.7(H)×6.8(W) mm	12.5(H)×7.0(W) mm	17.8(H)×8.9(W) mm
電氣的定格	5 V, 10 mA/Seg.	12 V, 1.6 mA/Seg.	5 V, 10 $\mu$ A/Dig.
定格輝度	2.1 mcd	1370 nt	16.0 nt

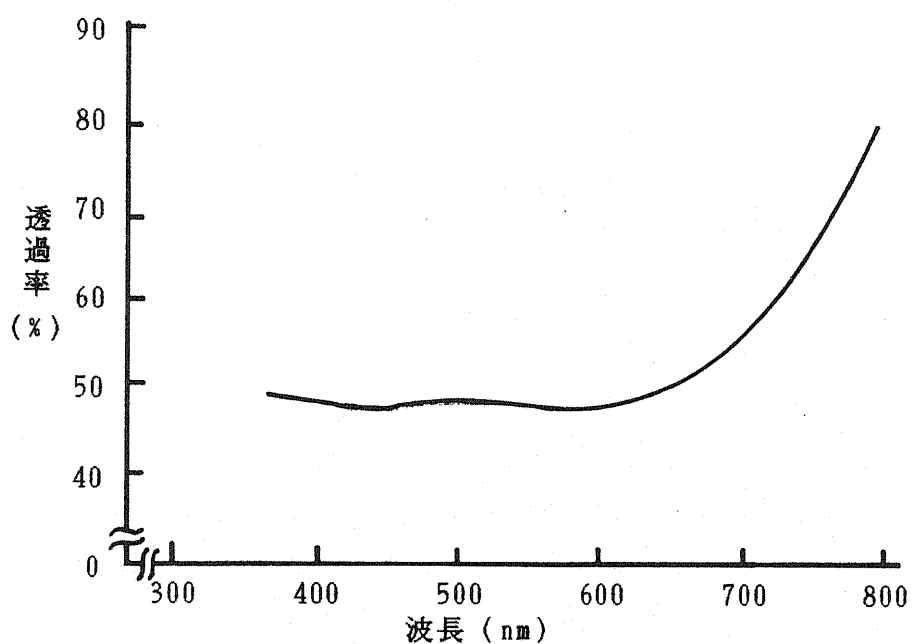


図 4.1 グレイ・フィルタの分光特性

器とほぼ等しい結果が得られた。一方、ネガタイプ液晶表示器については駆動の消費電力が少なく、液晶材料によっては多色性に富むなどの利点がある。しかし、その反面バックライトが必要で、提示数字のセグメントの応答時間が遅いなどの問題点を有する。その仕様を表 4.1に示す。

本研究では、蛍光表示管にグリーン・フィルタを装着して、両者の輝度をほ



ぼ等しくして使用する。視距離を1.0 mとしたので、視角は $0.73^\circ$  となった。  
 また、ネガタイプ液晶表示器の表示面には、可視域の透過度がほぼ一定である  
 図 4.1の特性をもつグレイ・フィルタを装着して使用する。この場合も、視距  
 離を1.0 mとしたので、視角は $1.0^\circ$ となった。

(1) は、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管およびネガタイプ液晶表  
 示器の中から同一型式を2個ずつ選択して試料とする。図 4.2に示すように暗  
 箱 [480mm(H)×600mm(W)×300 mm(L)] を中央で2つに区切って、一方に標準  
 刺激を装着し、他方に比較刺激を装着する。標準刺激を装着した箱には、図の  
 ように20Wの白熱電球を3個取り付けて、電球の位置と個数の切り換えによっ  
 て表示面の照度を変化させるようにした。

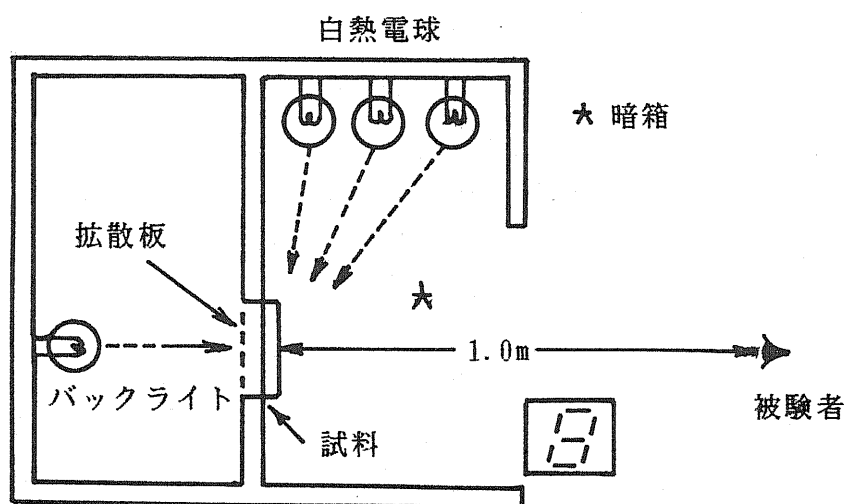


図 4.2 測定装置

つぎにバックライトは、100 W の白熱電球 5 個を拡散板を通して、電圧調整  
 器で電圧を調節できるようにした。この装置を暗室内に置いて、標準刺激の輝  
 度を変化させながらそれぞれの主観的等価輝度を測定する。5名の被験者は35  
 分間の暗順応の後<sup>4・5)</sup>、標準刺激と同じ明るさに見えるように、比較刺激のバ

ックライトの放射量を電圧調整器で調節する。測定は、被験者1名につき照度条件の順に各照度ごとに主観的等価輝度を求めさせる。それを緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管は5回、ネガタイプ液晶表示器は9回繰り返す。また、それぞれの調整において、上昇系列と下降系列とを交互に行う。さらに1つの試行の始めと終わりに暗視野における測定を行い、それをブランク値とする。そしてブランク値と各照度条件における主観的等価輝度との差を過小視輝度値としている<sup>4.6)</sup>。

(2) においては、一面に $300 \times 300 \text{ mm}^2$ の拡散板を貼った箱を用い、背後から電球で照射して一様な輝度面を作り、その中央に標準刺激を装着する。測定の手順は(1)と同様で、背景輝度を変化させたときの標準刺激の各照度ごとの主観的等価輝度を測定する<sup>4.7)</sup>。

(3) は132 lxの明室内において、パルス幅が $10 \mu\text{s} \sim 50\text{ms}$ に可変のパルス発生器で単発パルスを発生せしめ、それを表示器に加えて一定時間発光させる。マイクロコンピュータを用いた制御によって、ランダムに0~9の1桁の数字を提示し、被験者に判読させる。その結果、10回の試行で正読率が50%となる輝度の認知いきを求める<sup>4.7)</sup>。

つぎに、試料を分度盤付き回転台に取り付け、定格で点灯させる。被験者と正対する位置を $0^\circ$ として、試料を左右に $5^\circ$ ずつ回転させながら認知いきを測定する。その場合、視距離を1.0mとしたので、視角は $0.7^\circ$ であった。1桁の乱数をマイクロコンピュータから出力し、それにパルス発振器で単発パルスを加えて瞬時発光させる。そのようにして提示した数字を被験者に判読させる。測定はパルス幅を変化させながら、数字ごとに20回ずつ繰り返して実施し、正読率を求める。観測中は、被験者の視線が変化しないように顎を台にのせ、さらに顎あてを併用して頭部を固定する。

なお、(2)と(3)は、緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管の2種類

についてのみ実施する。

(b) 結果と考察

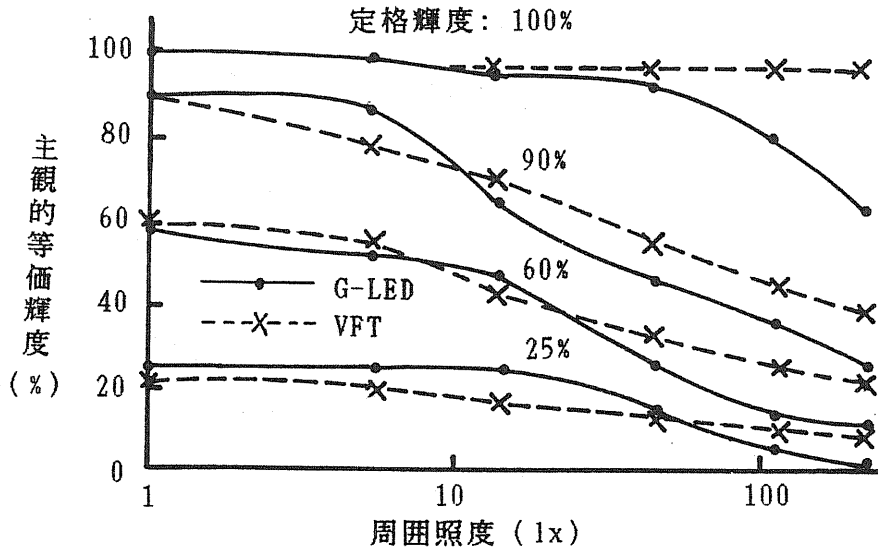


図 4.3 発光表示器の周囲照度による影響

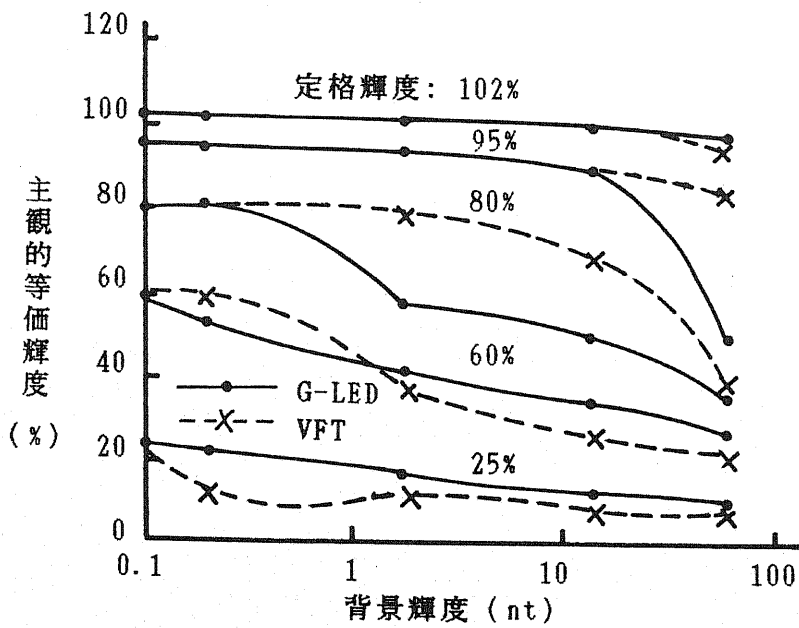


図 4.4 発光表示器の背景の明るさによる影響

緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管に関する(1)の結果を図4.3に示す。その結果、100 lx程度の照明で、発光表示器の主観的等価輝度が半減することがわかった。低照度では緑色発光ダイオード表示器の方が減り方が少ないが、高照度になると蛍光表示管の方が10%程度減り方が少ない。特に定格輝度で点灯しているとき、緑色発光ダイオード表示器では数十lxから急激に低下するのに対し、蛍光表示管の方はほとんど低下しなかった。これは、蛍光表示管に装着したフィルタの光束拡散効果のために、照射光束が緩和されたことによると考えられる。しかし、(2)の場合、そのような効果は考えられないが、図4.4の測定結果が示すように、蛍光表示管もまた80%輝度の曲線で急激な低下が生じた。背景輝度の10ntが、図4.3の場合の100 lxに相当する。緑色発光

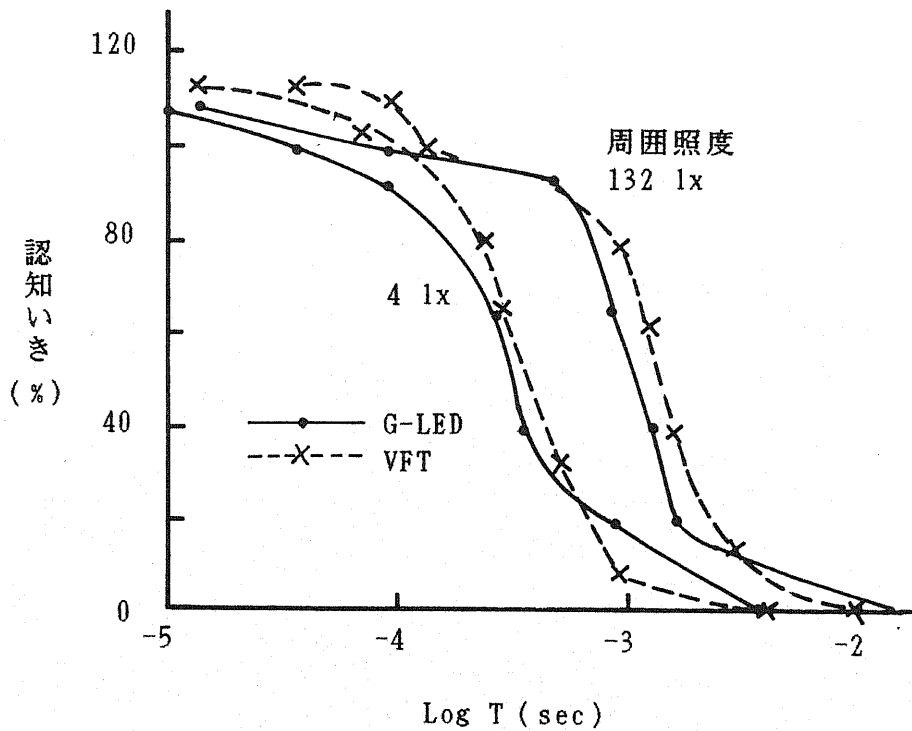


図 4.5 発光表示器の提示時間と認知いきの関係

ダイオード表示器のこのあたりの低下は、図 4.3ほど多くない。それは発光セグメントの周囲が直接に背景輝度と接することなく、黒色の地で囲まれているためと考えられる。しかし、背景輝度をそれより10倍上げると、網膜の周辺部の興奮による中心窩の抑制作用が激しくなり、定格以上に発光体の輝度を上げないと見えにくくなるようである<sup>4.7)</sup>。

図 4.5が示す(3)の結果によって、提示数字の認知いきは100  $\mu$ s ~ 1 msの間で急激に7%近く降下することがわかった。また、照度を4~132lxに増したことによって、曲線は正方向に0.5 ms平行移動するとともに、変化の傾斜は2倍に増加し、認知いきに大きな影響をおよぼすことがわかった<sup>4.7)</sup>。

表 4.2 視認方向角よる認知いきの変化

いき値( $\mu$ s)	緑色発光ダイオード表示器 (G-LED)		蛍光表示管 (VFT)	
	左	右	左	右
0	185	185	106	106
40	455	350	350	370
45	740	680	570	630
50	945	855	560	670
55	970	950	700	920
60	1,370	1,280	730	1,100
65	1,760	1,600	1,500	2,500

つぎに、視認方向角による認知いきの測定データは、試料別に視認方向角について平均して表 4.2に示す<sup>4.8)</sup>。観測中、0 ~ 35° までは被験者全員に誤読が見られなかったの、表にはあえてかくことはしなかった。これに対して、70° では全員判読不能になったので、ただちに測定を中止した。さらに、表中の値を極座標グラフ上にプロットして図 4.6に示す。このグラフの形状および

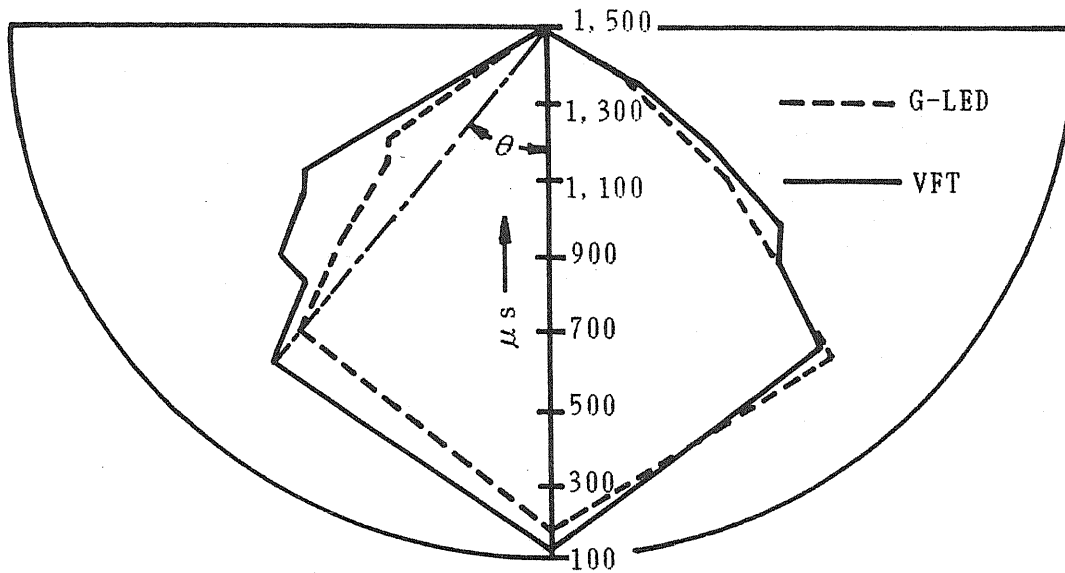


図 4.6 視認方向角と認知いきの関係

面積の大小によって視認性の良否が推定できる。つまり図から見て、蛍光表示管の方が緑色発光ダイオード表示器よりも面積が幾分広いのでやや視認性が良いようであるが、0～9の数字別ではどのような結果が得られるのか、もう少しくわしく検討することにした。そこで試料における数字別の認知いきを図4.7に示し、それぞれの特徴を比較すると次のことがわかった<sup>4.9)</sup>。グラフにおける左右の対称性は蛍光表示管に比して緑色発光ダイオード表示器の方が良好であるが、角度別認知いきが示す面積では逆の結果を示している。また、緑色発光ダイオード表示器の場合ほどの提示数字もほぼ左右対称であるが、蛍光表示管では対称性と面積から判断して、4が最良で7, 1, 2, 6, 5, 3, 8, 0, 9と徐々に悪くなっていく。このような結果が得られた理由は、蛍光表示管の発光強度が緑色発光ダイオード表示器よりも高く、そのうえ光が試料のフェイスガラスを通して大きく散乱していることなどが原因していると考えられる。通常は、これを防止するためにグリーン・フィルタを装着して使用するのであるが、それでも、まだかなりグレアが影響している。

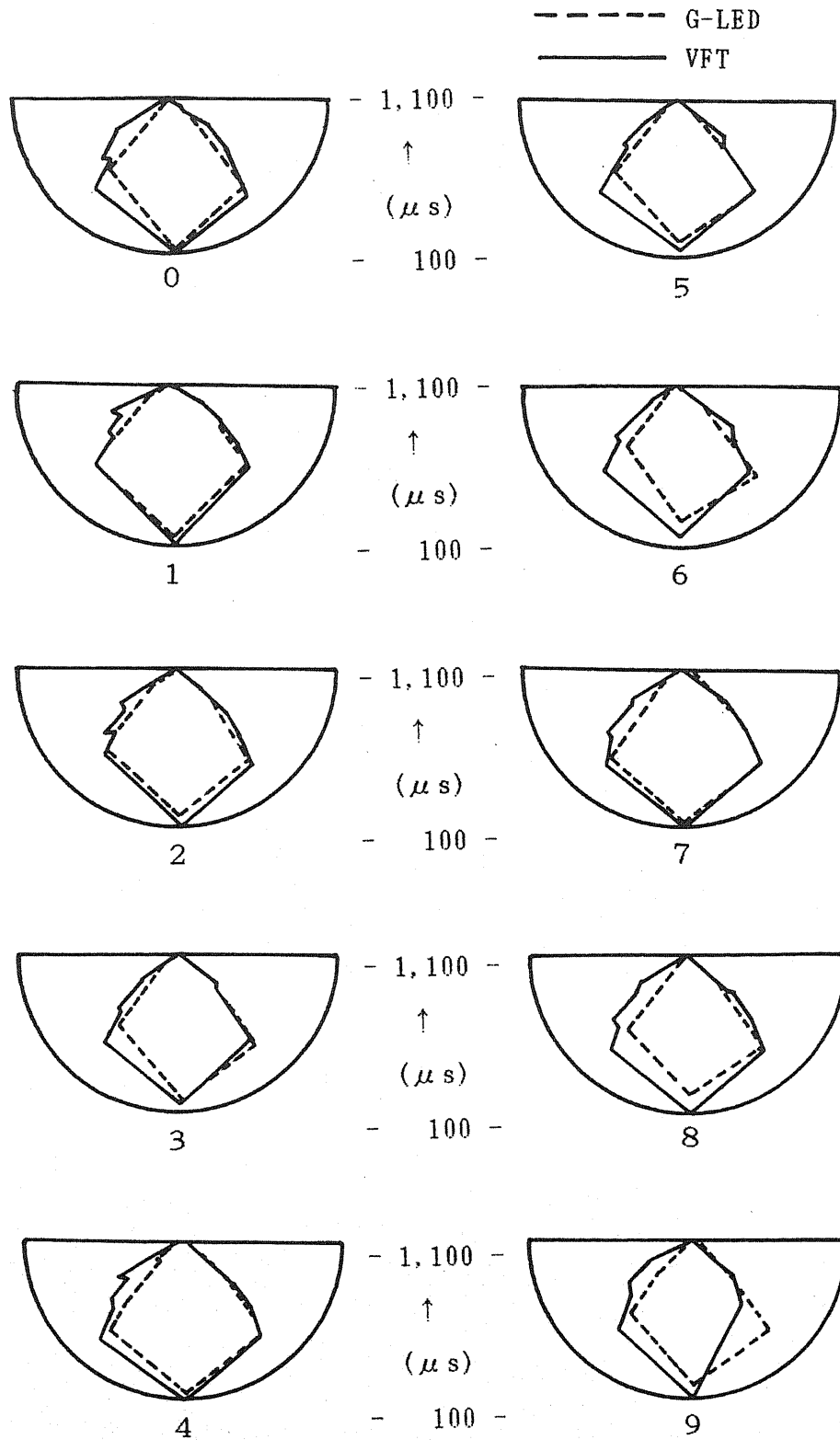


図 4.7 提示数字による認知いきと視認方向角特性の比較

ネガタイプ液晶表示器に関する(1)の結果、バックライトへの印加電圧60, 80および100 Vについて、過小視輝度の平均値を150~735lxまで各照度ごとにプロットして、95%信頼区間も同時に図4.8に示す。ここでプロットした各過小視輝度の平均値は、60Vと80Vの両方が150 lxですすでにしきい値になってい

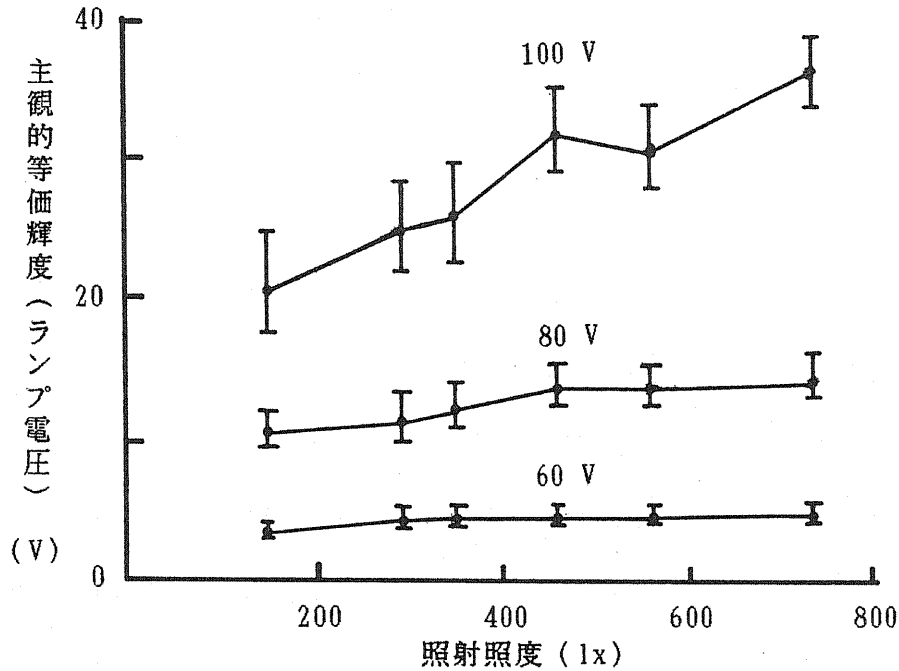


図 4.8 照射照度による主観的等価輝度の変化

表 4.3 照射照度に対する 1 元配置分散分析の結果

バックライト電圧 (V)	変動因	自由度	平方和	平均平方和	F比
60	照射照度	5	44.1	8.8	2.6*
	測定誤差	264	881.9	3.34	
	全体	269	926.0		
80	照射照度	5	531.5	106.3	3.2*
	測定誤差	264	8,875.5	33.62	
	全体	269	9,407.0		
100	照射照度	5	6,976.1	1,395.2	10.4*
	測定誤差	264	35,291.3	133.68	
	全体	269	42,267.4		



るのに対して、100 Vでは照度が735 lxになっても、まだ上昇中である。95%信頼区間については、バックライトへの印加電圧が増してくるにしたがって、区間はしだいに広がってくる<sup>4.6)</sup>。

つぎに表示器の照度による影響に関する有意差を検定するために、60、80および100 Vについてそれぞれ1元配置分散分析を行った。その結果を表4.3に示す。F比は、測定誤差に関して60Vで2.64、80Vで3.16、100 Vで10.44となった。これらの値は、いずれも危険率5%で有意差が見られた<sup>4.6)</sup>。

#### 4.2.2 まとめ

調整法を7セグメント数字表示器における視認性実験に用いて、主観的等価点、弁別いき、および認知いきなどについて比較検討した。その結果、確認された事項を以下に示す。

(1) 周囲照度による緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管の影響は、100 lx程度の照明で主観的等価輝度が半減した。その減り方は、低照度領域では緑色発光ダイオード表示器、高照度領域では蛍光表示管が少なかった。特に緑色発光ダイオード表示器に比して蛍光表示管がほとんど低下しなかったのは、蛍光表示管に装着したフィルタの光束拡散効果のため、照射光束が緩和されたことによる。

一方、ネガタイプ液晶表示器の過小視輝度は、バックライトへの印加電圧60 Vと80 Vの両方が150 lxですでにしきい値に達しているのに対して、100 Vでは照度が735 lxになっても、まだ上昇中であった。

(2) 背景の明るさの影響は、発光セグメントの周囲が直接に背景輝度と接することなく黒色の地で囲まれているために、蛍光表示管に比して緑色発光ダイオード表示器が少ない。しかし、背景輝度を上げると発光体の輝度も同様に上げなければ、網膜の周辺部の興奮による中心窩の抑制作用のために見づらくなってくる。

(3) 提示時間による認知いきへの影響は、 $100\ \mu\text{s}\sim 1\ \text{ms}$ の間で急激に低下することが知れた。また、照度が $4\sim 1321\text{x}$ に増すと、曲線は正方向に $0.5\ \text{ms}$ 移動し、変化の傾斜は2倍に増加した。

一方、視認方向角による認知いきを極座標グラフ上にプロットすると、グラフの左右対称性では蛍光表示管に比して緑色発光ダイオード表示器の方が良好であるが、角度別認知いきが示す面積では逆の結果を呈した。また、蛍光表示管の発光強度が緑色発光ダイオード表示器よりも高く、その上、光が試料のフェイスガラスを通して大きく散乱していることなどのために、緑色発光ダイオード表示器についてはどの提示数字もほぼ左右対称であるが、蛍光表示管では対称性と面積から判断して、4が最良で7, 1, 2, 6, 5, 3, 8, 0, 9と徐々に悪くなった。

#### 4.3 視感覚系の疲労の測定

眼の網膜上の映像は、視覚情報伝達系を經由して大脳に送られた後、認識・分析される<sup>4.10)</sup>。大脳の機能に関するモニタリングとして、脳波計が考えられる<sup>4.11)</sup>。

たとえば、脳波計を数字表示器の視認性実験における被験者の疲労のチェックに用いた場合、1セッション当り15分以内の短時間の実験であるので、通常、疲労は考えられない。それ以外に波形が検出されるのは、緊張がゆるんだ状態で出力される $\alpha$ 波と、瞬きによる筋電位の変化である。ただし、視感覚系の疲労から眠気を覚えると、 $\theta$ 波が出力されるので注意を要する<sup>4.12)</sup>。

視認性実験データは、すべて被験者の脳波を測定することにより棄却する可否かを判断した<sup>4.13)</sup>。つまり $\alpha$ 波、 $\beta$ 波と筋電位、および $\theta$ 波などを同時に測定した場合、心身をリラックスした状態では大部分が $\alpha$ 波となる。瞬きをし

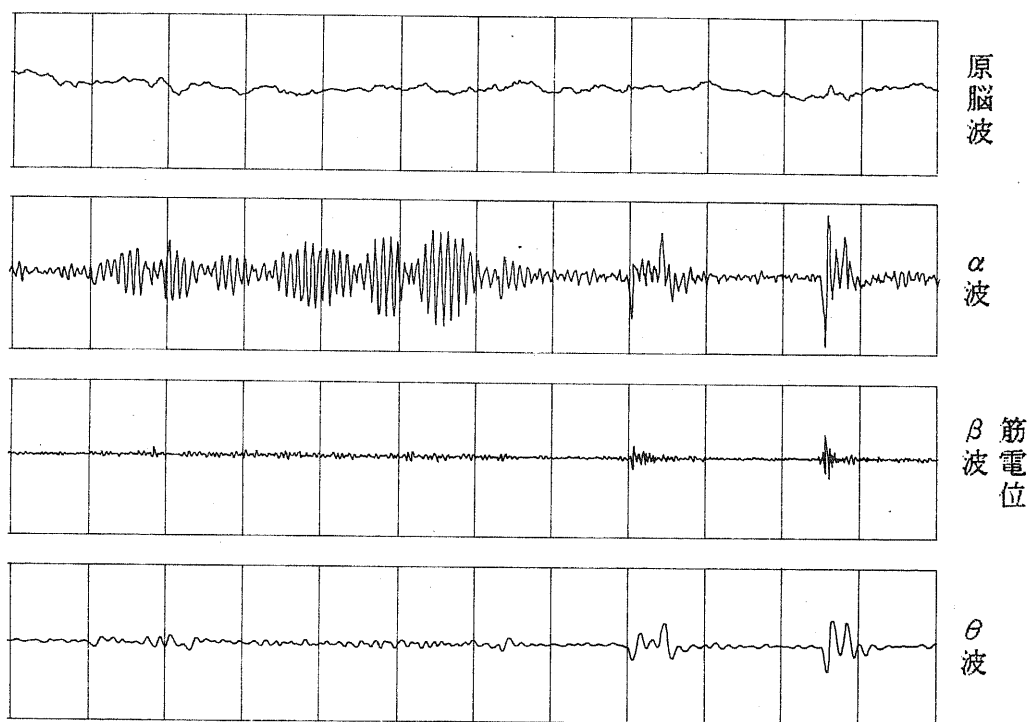


図 4.9 一般的な記録例

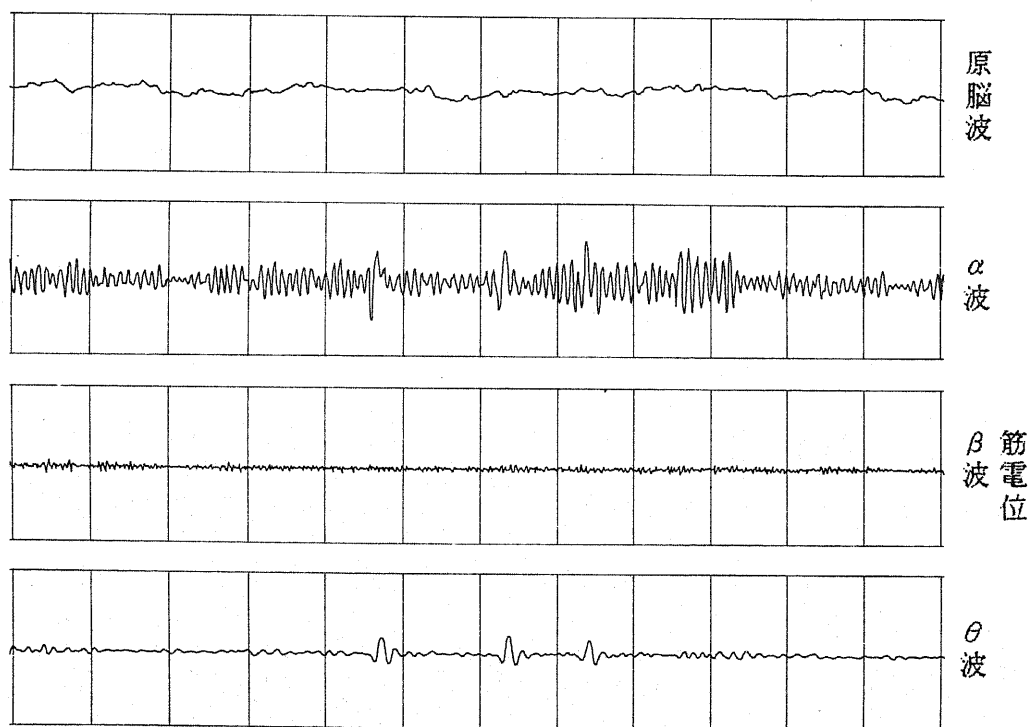


図 4.10 θ波の出現例



図 4.11 注視状態の例

たり、あるいは顔面を動かしたりすると筋電位が変化する。それと同時に、疑似α波と疑似θ波が筋電位よりもかなり大きく出力される。それらの出力例を図4.9に示す。また、視覚系の疲労から眠気を覚えると、θ波が出力されることもある。図4.10は照射照度が300 lx、視角が0.40°での可読性実験中に見られた出力例であるが、通常の見読率がほぼ100%であるにもかかわらず、本例に限りθ波が出力されて、被験者の見読率が44%まで低下した。本来、実験中は図4.11に示すように、注視状態の場合は、α波、β波、θ波のいずれの波形も出力されなかった。

さらに、眼精疲労による視力の低下も懸念されるので、20～24才で正常な視力をもつ男性を被験者とし、視認性実験の前後で視力測定も同時に実施した。

両者の測定結果から、脳波の出力例にしたがって注視状態と判断され、かつ視認性実験の前後で視力の低下が見られない状況で得られたデータ以外のもの

はすべて棄却した。

#### 4.4 結言

人間が情報を理解するには、感覚、知覚、認識の3つの過程をたどる。それは視認性に対応するので、7セグメント数字表示器の見やすさの評価に心理物理学的測定法を適用した。その結果、表示器の原理、種類型式によって異なるが、いずれも照度、背景、視角、視認方向角、提示時間などによる影響を受けることが知れた。その事実を以下に示す。

- (1) 緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管の影響は、100 lxの照明で主観的等価輝度が半減し、ネガタイプ液晶表示器は735 lx以下の照明で危険率5%の有意差が見られた。
- (2) いずれの試料もセグメントの発光輝度に対して背景輝度が上昇すると、網膜の周辺部の興奮による中心窩の抑制作用のために徐々に見づらくなった。
- (3) 視角は、注視点を囲む1°の映像が最も鮮明である。また、視認方向角による認知いきを極座標グラフ上にプロットした場合、グラフの左右対称性は蛍光表示管に比して緑色発光ダイオード表示器の方が良好であるが、角度別認知いきによって示される面積では逆の結果が得られた。
- (4) 提示時間による認知いきの影響は、100  $\mu$ s ~ 1 msの間で急激に低下した。

以上の結果から7セグメント数字表示器の視認性の評価では、表示器の種類、照度、背景、視角、視認方向角、提示時間などを測定変数として、心理物理学的見地から『第V章 明視性の評価』および『第VI章 可読性の評価』で詳細に検討する。

『第V章 明視性の評価』および『第VI章 可読性の評価』において、提案

する事項を以下に示す。

『第V章 明視性の評価』における提案事項；

- (1) 照度，背景，視角，視認方向角などの測定変数が明視性におよぼす影響については，表示器の種類別に行った分散分析の結果より判断する。
- (2) 発光表示器の場合は輝度差弁別いきについて調べ，非発光表示器は輝度対比弁別いきについて検討する。

『第VI章 可読性の評価』における提案事項；

- (1) 照度，背景，視角，視認方向角，提示時間などの測定変数が正読率におよぼす影響については，表示器の種類別に行った分散分析の結果より判断する。
- (2) 発光表示器の場合は照射照度のいき値について調べ，非発光表示器は視認方向角のいき値について検討する。さらに，正読率の低下の要因となる誤読状況については，いずれも提示数字の形状から検討する。

つぎに，得られた心理物理学の実験データを棄却するか否かは，脳波計を用いて測定した被験者の状態と実験前後に実施する視力の測定結果とから判断する。つまり，心身がリラックスした状態で見られる $\alpha$ 波，まばたきをしたときに見られる筋電位，および視感覚系の疲労から眠気を覚えたときに出現する $\theta$ 波などの特定波形が検出された場合は，ただちに実験データを棄却する。そして，注視状態と判断される特定波形が検出されない状況で，さらに，実験後の視力の低下が見られないものを実験データとして採用するようにした。

#### 参考文献

- 4.1) 樋渡涓二：文字・単語のディスプレイに対する知覚と認知，人間工学，22(5)，269～276 (1986)

- 4.2) 池田絃一：視覚に関する心理物理的測定と心理的測定，照明学会誌，65  
(12)，615～622 (1981)
- 4.3) 和田陽平，大山正，今井省吾：感覚・知覚視覚心理学ハンドブック，39  
～54，誠信書房 (1985)
- 4.4) Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka, Mikiya Kawamura: VISUAL CHARAC-  
TERISTICS OF NUMERICAL DISPLAY DEVICE BY NEGATIVE TYPE 7  
SEGMENTS LIQUID CRYSTAL, Proceedings of the Fourth World  
Conference on Medical Informatics, 734 (1983)
- 4.5) 小堀富次雄：照明システム（基礎と応用），15～19，東海大学出版会  
(1977)
- 4.6) Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka, Mikiya Kawamura: Visual charac-  
teristics of negative-type seven-segment liquid crystal numeri-  
cal display devices, Medical Informatics, 10(1), 73～76 (1985)
- 4.7) Mikiya Kawamura, Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka: Visual Exami-  
nation on Numerical Display Devices with Light Emitting 7  
Segments, 8th Canadian Medical & Biological Engineering Confer-  
ence, 82～83 (1980)
- 4.8) 川村幹也，上迫宏計，村岡哲也：FLD およびLED 表示素子の視認特性に  
ついて，第11回東洋大学工業技術研究所講演会予稿集，B-4，19～20  
(1981)
- 4.9) 川村幹也，上迫宏計，村岡哲也：7セグメント発光表示装置の視認性に  
ついて，電気学会計測研究会資料，IM-81-22，21～30 (1981)
- 4.10) 稲永和豊：脳の機能的診断総論，BME (日本ME学会)，1(5)，379～382  
(1987)
- 4.11) 橘芳實，渋谷敏昭：脳波・筋電位によるバイオフィードバックモニタの

- 改良とその書痙治療への応用, 島津評論, 39(2), 207~211 (1982)
- 4.12) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: デジタル液晶表示器の視認性, 日本人間工学会第27回大会講演集, 22, B-2-03, 130~131 (1986)
- 4.13) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 液晶7セグメント数字表示器の視認性と脳波の影響に関する研究, 井上円了学術振興基金研究報告書, 121~132 (1988)



## 第V章 明視性の評価

### 5.1 明視性の定義

明視性とは、表示器における提示数字の輝度を被験者がその通りに抽出する能力である。

本研究では、同一光学特性をもつ7セグメント数字表示器の一方を標準刺激、他方を比較刺激とする。物理的特性が一定である標準刺激の表示面に光を照射することにより、0～9までの提示数字の見やすさを妨害する知覚現象を生じさせる。つぎに、発光表示器の場合、標準刺激と明るさが一致するように被験者に比較刺激を調整させて主観的等価輝度を求める。同様に、非発光表示器の場合は、標準刺激におけるセグメントと表示面との輝度対比について主観的輝度対比等価点を求める<sup>5.1)</sup>。

本章における明視性は、発光表示器の場合、主観的等価輝度を評価の尺度とし、非発光表示器は主観的輝度対比等価点を尺度として評価される。

### 5.2 数字発光表示器の明視性

7セグメント数字発光表示器を使用する上で最も問題になるのは、外部から表示面へ入射する光の影響である。すなわち、眼から送られてくる情報を脳が総合判断して明視性がきまるので<sup>5.2)</sup>、照射照度が増すにつれて提示数字の客観的輝度は同じでも、眼から送られてくる情報により知覚する主観的輝度が異なってくる<sup>5.3)</sup>。さらに高照度領域になると反射グレアの影響が加わり<sup>5.4)</sup>、明視性の急激な低下が懸念される。

本研究では、この問題を取り上げ、上記の3種類の表示器について、発光輝

度一定のもとに、外部からの照射光による試料の表示面照度に対する主観的輝度等価点の変化を、0～9の各提示数字について測定し、その結果から表示器の主観的明るさおよび明るさ弁別いきの照射照度による影響を比較検討する。

なお、液晶表示器は一般に非発光であるが、ネマティック液晶を材料としたネガタイプ液晶表示器の場合は、表示器後方の光源から放射される光が提示数字中のセグメントを透過してくるので、被験者には、あたかもセグメントが発光しているかのごとき印象をあたえる<sup>5.5)</sup>。このことから、本研究ではネガタイプ液晶表示器を、発光表示器である発光ダイオード表示器や蛍光表示管と同様に扱って試料とする。

### 5.2.1 輝度の測定

#### (a) 測定方法

測定に使用した試料の一覧を表 5.1に示す。スタティック駆動回路により動作させた試料の発光スペクトルのピーク波長は、緑色発光ダイオード表示器が発光材料であるGaPへドープする窒素の量に依存して560～568 nmの範囲を示し<sup>5.6)</sup>、蛍光表示管の場合が蛍光体ZnO-Znを材料として500 nmを示す<sup>5.7)</sup>。さらにネガタイプ液晶表示器は、バックライトに100 Wの白熱電球を5個用いているために、複雑な発光スペクトル分布がそのままセグメントを透過して見える<sup>5.8)</sup>。このように発光スペクトル分布の異なる3試料の視感覚における発光色を等しくするために、ピーク波長が516 nmである図 5.1のような分光特性をもつグリーン・フィルタを装着した。その結果、発光スペクトル分布は図 5.2に示すようになる。ピーク波長は、緑色発光ダイオード表示器が540 nm、蛍光表示管とネガタイプ液晶表示器が514 nmをそれぞれ示し、緑色発光ダイオード表示器と他の試料との間に26nmの差が見られた。しかし、実際に眼で見た場合、色差は感じられず、等しい色に見えた<sup>5.9)5.10)</sup>。また、ネガタイプ液晶表示器の発光分布を均一にするためバックライトとの間に、可視域における透過率

表 5.1 試料の種類と電気的定格

試料	数字の大きさ(mm)	電気的定格
発光ダイオード 表示器	12.7(H)×6.8(W)	セグメント電流 10 mA/Seg. 共通端子 カソード
蛍光表示管	12.5(H)×7.0(W)	アノード電流 3.0 mA/Dig. グリッド電流 8.0 mA フィラメント電圧 1.5 V
ネガタイプ液晶 表示器	17.8(H)×8.9(W)	動作電圧 5 Vrms 動作周波数 32 Hz 消費電流 10 $\mu$ A

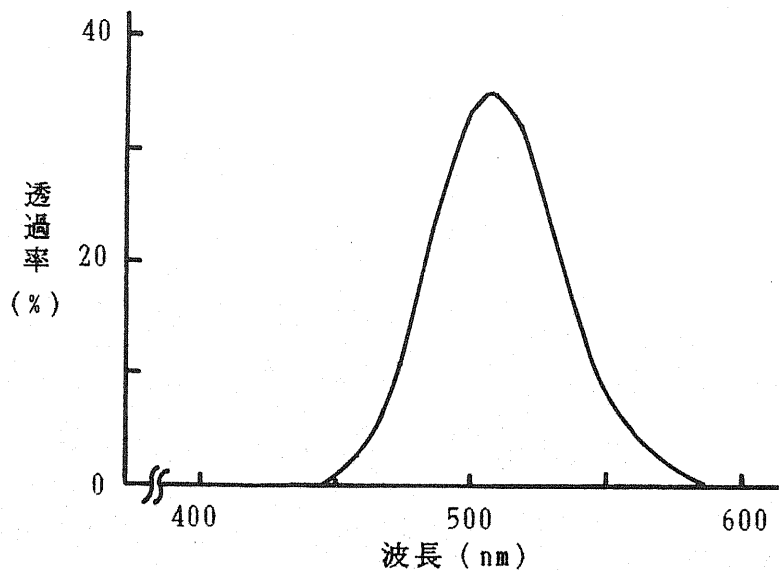


図 5.1 グリーン・フィルタの分光特性

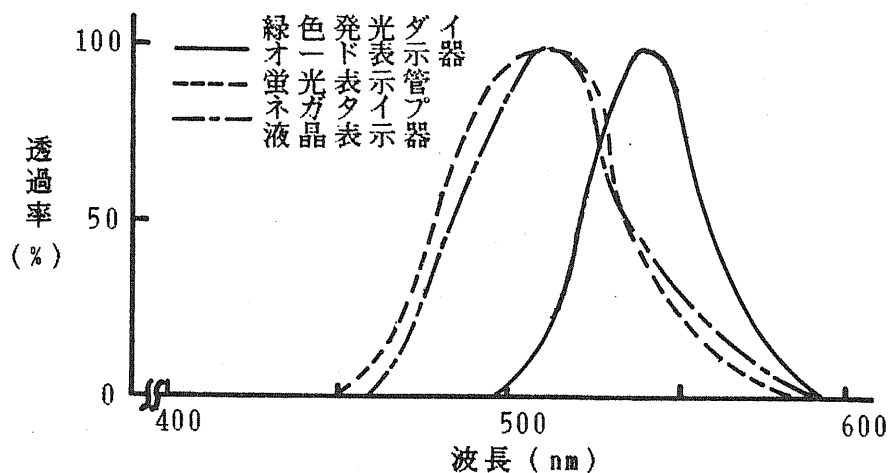


図 5.2 フィルタを装着したときの試料の分光特性

の分光特性が一定である拡散板を挿入した。

つぎに、市販のデジタル輝度計を用いて、試料の7セグメントにおける平均輝度を測定した。なお、提示数字は8で、各試料のセグメント輝度の調節は、緑色発光ダイオード表示器がセグメント電流、蛍光表示管がアノード電流とグリッド電流、ネガタイプ液晶表示器がバックライト電圧をそれぞれ変化させて行った。バックライトには白熱電球を使用しているので、電圧を変化させると、その発光スペクトルはシフトする。しかし、前述のような拡散フィルタとグリーン・フィルタを透過した後のスペクトルは、後述の測定範囲である60~100Vでは、予備実験の結果20nmシフトするに過ぎず、被験者が意識するほどの色差は生じなかった。

(b) 輝度検量線

5.2.2 項の測定で必要となる、各試料の輝度調整用電流あるいは電圧などと輝度との関係を測定した結果を図 5.3に示す。また、得られた測定値に補間法を適用して<sup>5.11)</sup>、標準誤差が最小となる関数に回帰すると、Yをセグメント輝度 (nt) として、それぞれの関数は式 (5.1), (5.2), (5.3) で与え

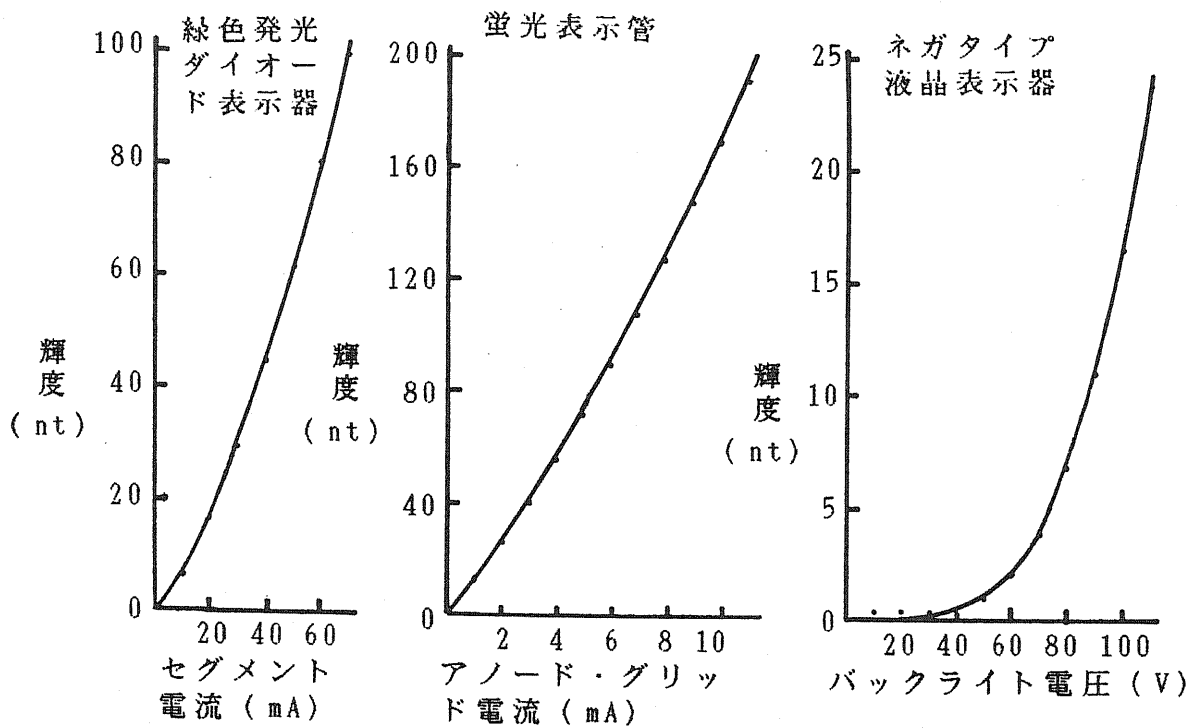


図 5.3 試料の検量線

られる。

緑色発光ダイオード表示器の場合

$$Y = -7.991 \times 10^{-5} X^3 + 1.911 \times 10^{-2} X^2 + 4.724 \times 10^{-1} X \quad (5.1)$$

ただし、Xはセグメント電流 (mA) を表す。

蛍光表示管の場合

$$Y = -5.112 \times 10^{-1} X^2 + 11.6884X \quad (5.2)$$

ただし、Xはアノード電流とグリッド電流 (mA) を表す。

ネガタイプ液晶表示器の場合

$$Y = 3.664 \times 10^{-5} X^3 - 2.527 \times 10^{-3} X^2 + 5.460 \times 10^{-2} X \quad (5.3)$$

ただし、Xはバックライト電圧 (V) を表す。

上述の関数から、定格動作におけるネガタイプ液晶表示器の輝度が16.6ntで最も低いのに対して、緑色発光ダイオード表示器がその6倍の輝度を示し、蛍

光表示管が11.5倍の輝度を示すことがわかる。そこで、実験での各試料の標準刺激の輝度を、16.0ntに設定した。また、実験から得られる比較刺激の輝度は、それぞれの調整電流あるいは調整電圧の測定値を、式(5.1)～(5.3)に代入することによって求めた。

### 5.2.2 主観的明るさの測定

#### (a) 視角と視距離

視野は左右方向に $100^\circ$ 、上下方向に $50\sim 70^\circ$ の広がりをもっているが、網膜における視細胞の分布が均等ではないので、眼球を動かさなければ、像が鮮明に見えるのは注視点を囲む $1^\circ$ ぐらいであるといわれている<sup>5.4)</sup>。その上、文字の見やすさは、視距離や文字の大きさに無関係で、視角によつてきまることが中根より報告されている<sup>5.12)</sup>。これらのことから、本研究における視角の大きさを $1.0^\circ$ 一定とした。

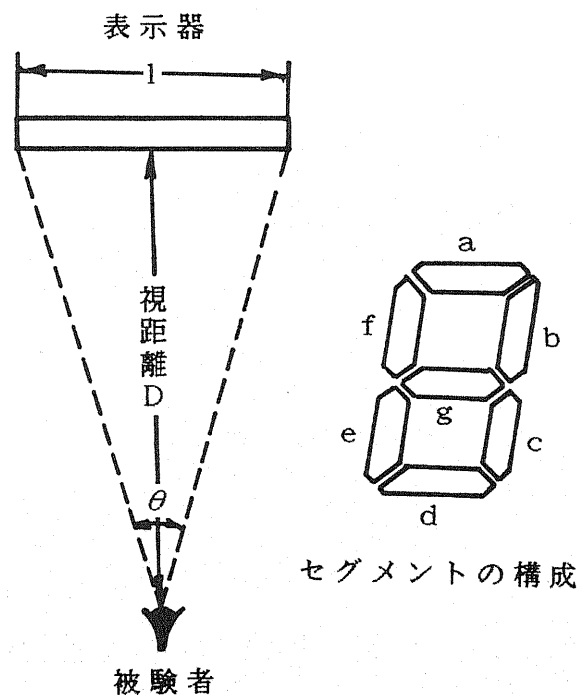


図 5.4 視角計算モデル

つぎに視距離は、図 5.4における視角と各試料の提示数字の高さとの関係から得られる。

$$D = \frac{l}{2 \tan \theta / 2} \quad (5.4)$$

ただし、 $D$ は視距離 (m) ,  $\theta$ は視角 (rad) ,  $l$ は提示数字の高さ (m) を表す。

式 (5.4) より、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器の視角 $1.0^\circ$ における視距離は、それぞれ0.73, 0.72, 1.02 mとなった。

#### (b) 測定方法と結果

表 5.1に示す3種類の試料について同一型で同一光学特性をもつ試料を2個ずつ選択して、一方を標準刺激、他方を比較刺激として図 5.5に示す暗箱中に装着する。標準刺激の表示面には水平面上 $45^\circ$ の角度から色温度3,300 Kのハロゲンランプ(詳細は、付録の『付図 3.1 ハロゲンランプの分光特性』を参照)を装着したスライドプロジェクタを光源として、30, 100, 300, 1,000, 3,000, 10,000 lxの6点の光を照射する。照射光の照度変化は、光路上に挿入した白色アクリル板の透過率と枚数で調節する。白色アクリル板は分光特性がフラットで、透過率が30, 45, 60, 80, 90%の5種類のものを用いる。なお、本実験は10000 lxの高照度領域まで扱うために、標準刺激の加熱によるセグメントの色変化が懸念されたが、予備実験の結果 $3^\circ\text{C}$ 以内の上昇にすぎず、色変化は全く見られなかった。

1.0以上の正常な視力をもつ学生5名を被験者として暗室で35分間順応させた後<sup>5.4)</sup>、視角を $1.0^\circ$ 一定のもとに、まず照射照度が0 lxの標準刺激に対して、標準刺激より高輝度側と低輝度側からそれぞれ比較刺激を被験者に調整させて明るさが一致する点を求める<sup>5.13)</sup>。このときの比較刺激の輝度を主観的等価輝度と言う。そして、ほぼ両者の明るさが一致することを0~9までの提示数

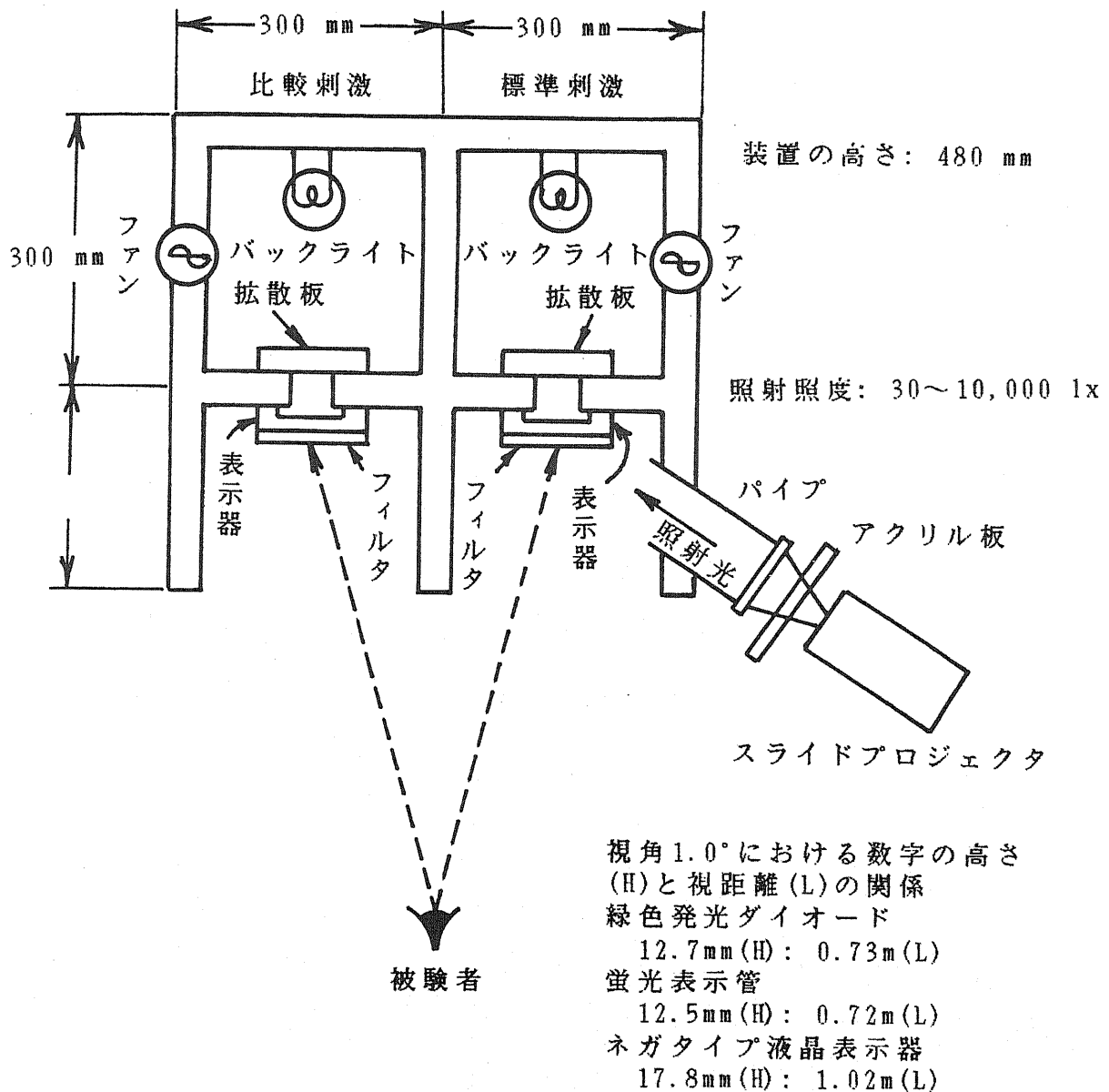


図 5.5 測定装置

字について確認した後、それぞれの照射照度について測定を行った。測定時の比較刺激の調整は、緑色発光ダイオード表示器がセグメント電流、蛍光表示管がアノード電流とグリッド電流、ネガタイプ液晶表示器がバックライト電圧をそれぞれ変化させて行った。観測中は被験者の視線が変化しないように、顎を台にのせ、さらに顎あてを併用して頭部を固定した。それぞれの照射照度ごと



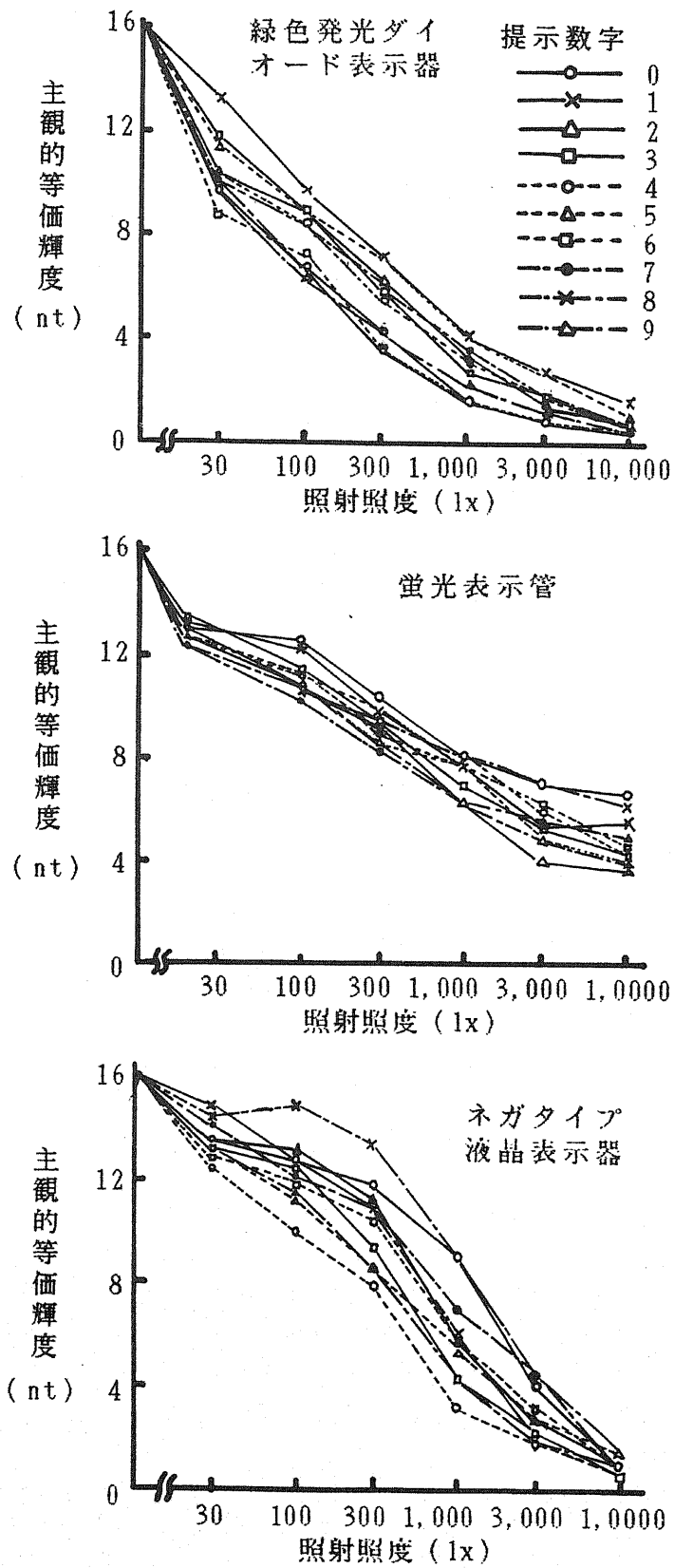


図 5.6 提示数字による主観的等価輝度の変化

の測定を1セッションとして、その所用時間は10分であった。

このようにして得られた主観的等価輝度の照度による変化を試料別に、提示数字をパラメータとして図 5.6に示す。これによって照度の増加で主観的等価輝度が減少し、その様子は、提示数字によって異なることがわかる。

(c) 要因分析

7セグメント数字表示器における提示数字は、3種類の要因により、主観的等価輝度に差異が生じる場合がある。すなわち、発光原理の違いから試料の種類によって見やすさが異なる、提示数字の形状によって見やすさが異なる、表示面への照射照度によって見やすさが異なるなどの効果が考えられるので、それらを変動因として、図 5.6に示された主観的等価輝度について3元配置分散分析を施した<sup>5.14)</sup>。その結果を表 5.2に示す。この中で試料の種類、提示数字、照射照度、試料の種類と提示数字や照射照度などの交互作用のどれも危険率1%でかなり大きい有意差が見られた。

表 5.2 主観的等価輝度に対する3元配置分散分析の結果

変 動 因	自由 度	平 方 和	平均平方和	F 比
表 示 器 (A)	2	6,900.9	3,450.4	785.6**
提 示 数 字 (B)	9	1,158.0	128.7	29.3**
照 射 照 度 (C)	5	12,297.5	2,459.5	560.0**
A×B	18	1,886.2	104.8	23.9**
A×C	10	3,984.6	398.5	90.7**
B×C	45	144.0	3.2	0.7
A×B×C	90	394.7	4.4	1.0
測 定 誤 差	1,620	7,114.8	4.39	
全 体	1,799	33,880.6		

以上のことから試料の種類や数字の形状によって明視性が異なり、その上照射照度の影響もかなり受けることが明かになったので、つぎに要因別にさらに

細かく検討する。

(d) 主観的等価輝度に影響をおよぼす因子

(d-1) 表示器の種類

どの種類の試料が照射照度の影響を受けにくいのか、また数字の形状はどれが見やすいかなどを検討するために、照射照度を測定因子として、試料の種類別に主観的等価輝度の平均値と95%信頼区間を求めた<sup>5.11)</sup>。その結果を図 5.7

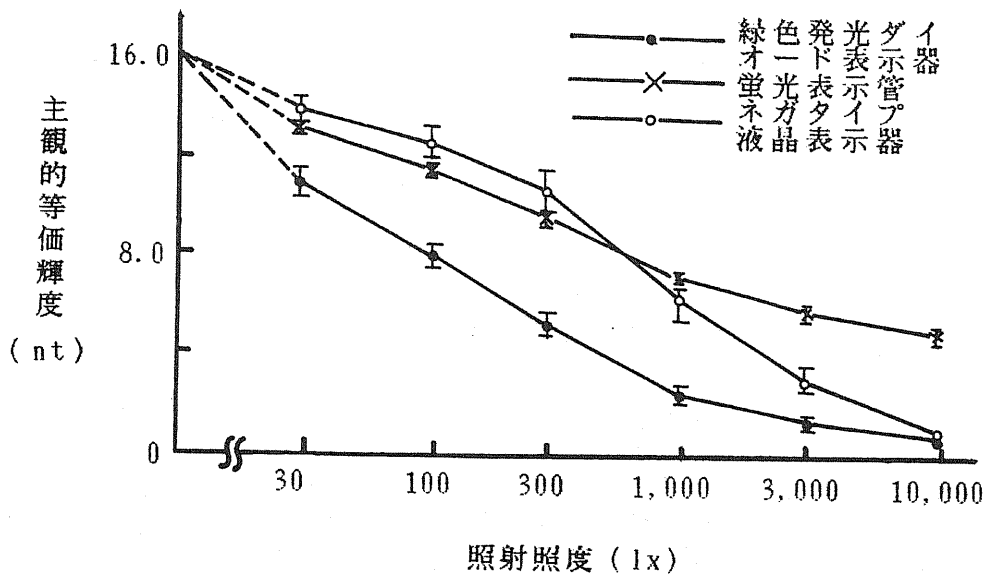


図 5.7 照射照度による主観的等価輝度の変化

に示す。照射照度が300 lx以下の低照度領域で、緑色発光ダイオード表示器とネガタイプ液晶表示器の95%信頼区間が大きくなり、300 lx以上になると、ネガタイプ液晶表示器の主観的等価輝度が急激に低下した。また、1,000 lx以上の高照度領域では、蛍光表示管が最も影響が少ない。それに比べて緑色発光ダイオード表示器は、0 ~ 10,000 lx までのいずれも一番影響を受けやすく、1,000 lxになると主観的等価輝度が著しく低下して、きわめて低くなる傾向が見られた。その理由は、1つの主観的等価輝度の調光に平均2~3秒間要するので、注視時間が比較的長いために、可視域であれば視感度中心に関係なく、

また、セグメント発光部の面積が広いほど照射照度の影響を受け難いと言える。

つぎに、試料の種類別に提示数字と照射照度を変動因として、主観的等価輝度に対する2元配置分散分析を行った<sup>5.14)</sup>。その結果を試料の種類別に分類して表5.3に示す。どの試料についても危険率1%で、提示数字と照射照度について非常に有意となった。

表 5.3 主観的等価輝度に対する2元配置分散分析の結果

試料	変動因	自由度	平方和	平均平方和	F比
緑色発光ダイオード表示器	提示数字 (A)	9	2,118.7	235.4	51.1**
	照射照度 (B)	5	1,936.0	387.2	85.1**
	A×B	45	173.4	3.9	0.8
	測定誤差全体	540	2,487.7	4.61	
		599	6,715.9		
蛍光表示管	提示数字 (A)	9	43.9	4.9	10.1**
	照射照度 (B)	5	1,071.8	214.4	445.4**
	A×B	45	22.8	0.5	1.1
	測定誤差全体	540	259.9	0.48	
		599	1,398.3		
ネガティブ液晶表示器	提示数字 (A)	9	792.1	88.0	6.9**
	照射照度 (B)	5	11,667.0	2,333.4	183.1**
	A×B	45	305.2	6.8	0.5
	測定誤差全体	540	6,882.2	12.74	
		599	19,646.4		

#### (d-2) 提示数字

表5.3において、緑色発光ダイオード表示器の提示数字に対するF比が特に大きい値を示し、主観的等価輝度の提示数字による影響は、緑色発光ダイオード表示器の場合が他の2種類の試料に比べて大きいことが知られた。その理由は、セグメント輝度のばらつきが提示数字によって異なるためである。このことを確かめるために、0～9の提示数字に関して、セグメント輝度のばらつきを表わす標準偏差(SD)とその構成セグメント数(N)の積に対する主観的等価輝度の相関をとって図5.8に示す。この相関係数rは-0.84であり、|r|

が t-分布による相関係数である 1% 有意水準値 0.765 より大きく、十分に有意な相関である<sup>5.15)</sup>。

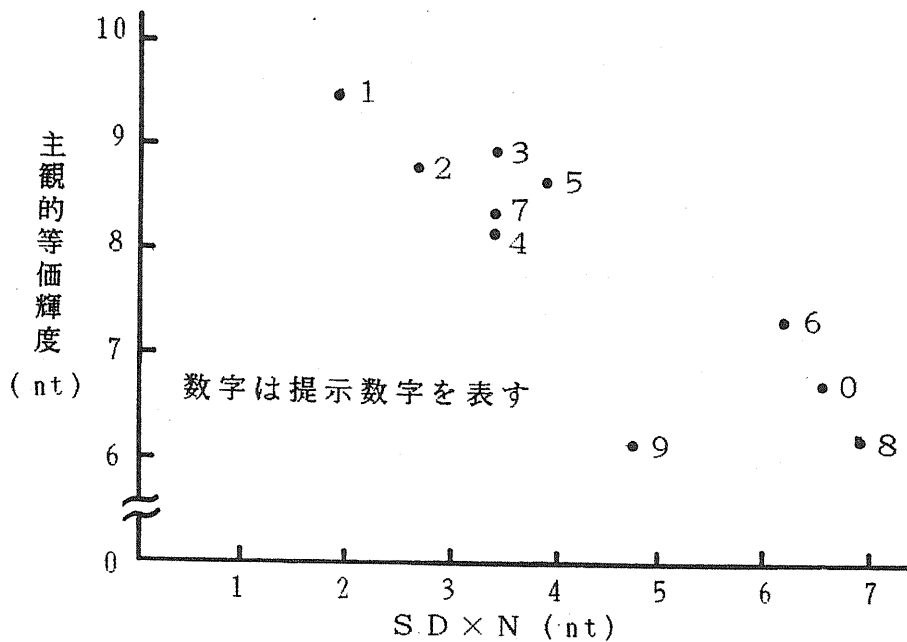


図 5.8 提示数字によるセグメント輝度と主観的等価輝度の相関

つぎに、セグメント輝度のばらつきが、主観的等価輝度の測定にどのような誤差を与えるかについて考察する。

被験者が調整法<sup>5.13) 5.16)</sup>に基づいて比較刺激の輝度を調整する際に、提示数字中のどのセグメントを注視するかが、主観的等価輝度のばらつきの原因となる。今、輝度の変化が小さい範囲で主観的等価輝度と物理的輝度が比例し、標準刺激と比較刺激のセグメント輝度分布が等しいものとして、注視しているセグメントを A、その標準刺激におけるセグメント発光輝度を  $L_A$ 、照射による重畳輝度を  $L_U$ 、主観的等価輝度を  $P_A$  とすると、発光輝度  $L_B$  のセグメント B における主観的等価輝度である  $P_B$  は、式 (5.5) で表わされる。

$$P_B = P_A \frac{L_U + L_B}{L_U + L_A} \quad (5.5)$$

一方、調整法<sup>5.13)5.16)</sup>にしたがって、被験者が比較刺激のセグメントAの輝度を $P_A$ に調整すると、セグメントBの輝度 $P_B'$ は、式(5.6)で表わされる。

$$P_B' = P_A \frac{L_B}{L_A} \quad (5.6)$$

式(5.5)、(5.6)より $P_B$ と $P_B'$ の間には、明らかに式(5.7)のような誤差を生じる。

$$P_B' - P_B = - P_A \frac{L_U (L_A - L_B)}{L_A (L_U + L_A)} \quad (5.7)$$

ここで、標準刺激の最高輝度のセグメントに注視して、被験者が比較刺激を調整したと考えると、式(5.7)より、その主観的等価輝度は負の偏差を生じることになる。そして $L_A$ と $L_B$ の差が大きいほど、すなわちセグメント輝度のばらつきが大きいほど、その偏差が大きくなることが知れる。

以上の理由から、図5.8に見られるように提示数字の主観的等価輝度がセグメント輝度のばらつきに影響されることがわかる。つまり、蛍光表示管とネガタイプ液晶表示器の発光輝度は、セグメント内ではほぼ均一であるが、緑色発光ダイオード表示器は、セグメントの中心に置かれたGaP半導体ダイスの放射光が、セグメント全体に拡散して山形分布をなす<sup>5.17)</sup>。そのために、前者に比べてセグメント内およびセグメント間の光の放射が不均一となって、緑色発光ダイオード表示器が表5.3の提示数字に対して、最も有意になったと考えられる。

#### (d-3) 照射照度

一般に、明るさ感の原因となる刺激の強さは、網膜上の照度で決まるのであるが、それ以外に、多数の視細胞が1本の神経線維を共有しながら分布しているために、網膜を占める映像面積にも左右される<sup>5.4)</sup>。

その映像面積を視角に対する発光部の面積比で表わすと、蛍光表示管が18.6

%となり，緑色発光ダイオード表示器やネガタイプ液晶表示器の面積比の57%～72%の範囲でしかない．そのためセグメントの輝度むらが目立たず，測定誤差が小さくなり，照射照度に対して最も有意になったと考えられる．

(e) 明るさの弁別

(e-1) セグメント間の輝度差弁別いき

2つのセグメントの明るさを視感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主観的等価輝度を求める．2つのセグメント

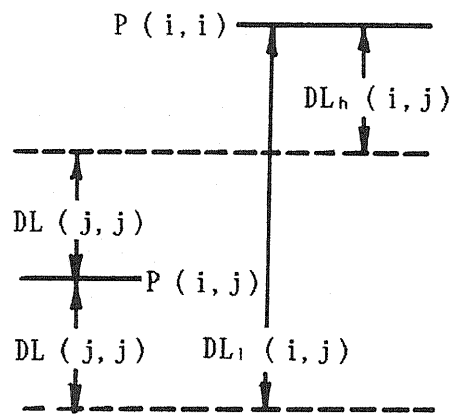


図 5.9 輝度差弁別いきの関係

図 5.9に示すとおり， $h$ は高輝度側， $l$ は低輝度側を表す．

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  $j$  に対する主観的等価輝度であると言える． $P(i, j)$  の分散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は，式 (5.8) と式 (5.9) で与えられる．

$$DL_h(i, j) = |P(i, i) - P(i, j) - DL(j, j)| \quad (5.8)$$

$$DL_l(i, j) = |P(i, i) - P(i, j) + DL(j, j)| \quad (5.9)$$

3.1 節の『数字発光表示器の輝度』における測定結果より，試料として緑色発光ダイオード表示器のD社No.3を用いた．132 lxの明室内において，7セグメントの中のcセグメントを定格輝度（輝度計測定値100 nt）で発光させて標

表 5.4 cセグメントに対する主観的等価輝度（D社No.3）

セグメント	P(i, j)	CL	DL	CL	DL <sub>h</sub>	DL <sub>l</sub>
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	1.08	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

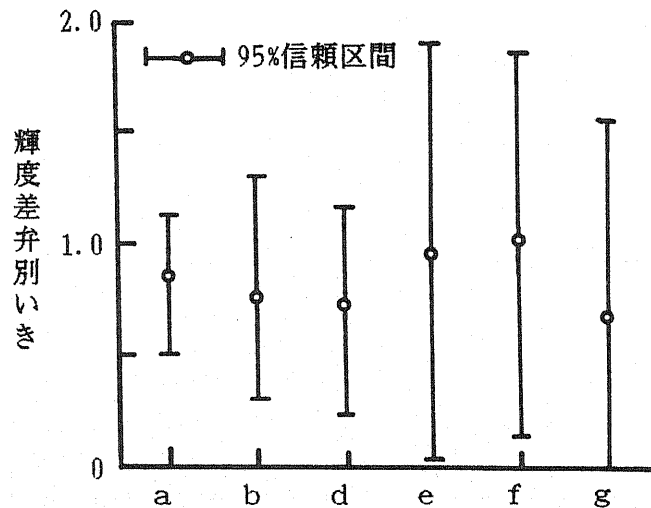


図 5.10 cセグメントと他のセグメント間の輝度差弁別いき  
(D社No.3)



準刺激とした。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3秒間調光し、cセグメントと等しく見える点である主観的等価輝度を求めさせた。被験者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5.4に示す。

表5.4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、主観的等価輝度  $P(i, j)$  と弁別いき  $DL$  は各人の平均値、 $CL$  はその95%信頼区間を表わす。輝度差弁別いきである  $DL_h$  と  $DL_l$  は式(5.8)、(5.9)から算出し、これを図5.10に示す。これらのセグメント間のデータの有意差を検定するために、 $P(i, j)$  を一括して一元配置分散分析を行った結果を表5.5に示す。さらにeセグメントとfセグメントについてt検定を行った結果、 $t = 3.34$ であった。この値と自由度14についての  $t_{14}(0.001) = 4.14$ 、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 5.5 表 5.4の主観的等価輝度に対する1元配置分散分析の結果

変 動 因	自由度	平方和	平均平方和	F 比	
セグメント	5	81.18	16.24	3.71**	P<0.01
測定誤差	81	354.75	4.380		
全 体	86	435.9			

表5.4において主観的等価輝度はいずれも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、さらに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5.4の $DL_h$ と $DL_l$ の値に表わされている。

以上のことを蛍光表示管であるF社のNo.2についても同様に行ったところ、緑色発光ダイオード表示器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。この場合蛍光表示管のセグメント内では、緑色発光ダイオード表示器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。

つぎに輝度差弁別いきに関しては、緑色発光ダイオード表示器および蛍光表示管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緑色発光ダイオード表示器が $F=0.29$ 、蛍光表示管が $F=1.89$ で、いずれも $P>0.05$ であった。

#### (e-2) ウェーバー比

人間の眼は網膜上の照度に依存して明るさ感が異なるので、高照度の視環境で標準刺激を見ると、眼球内の組織で散乱された光が、網膜上の映像に重なって標準刺激の知覚を妨害し、50%知覚限界輝度差が変化する<sup>5.18) - 5.20)</sup>。この輝度差弁別いきを $\Delta L$  (nt)、主観的等価輝度を $L$  (nt)とすれば、ウェーバー比( $K$ )は式(5.10)で示される<sup>5.21)</sup>。

$$K = \frac{\Delta L}{L} \quad (5.10)$$

そこで、照射照度の妨害によって相対弁別いきに相当するウェーバー比が、それぞれの試料についてどのように影響されるかを検討する(5.22)~(5.25)。

正規分布をしていると見なせる主観的等価輝度と、その確率誤差として求めた輝度差弁別いきとからウェーバー比を求めて、結果を試料別に図5.11に示す。どの試料も照射照度の影響により、提示数字における発光セグメントの識別が困難となるにしたがって主観的等価輝度が低下し、逆にウェーバー比は徐々に上昇する傾向を示している。つまり、照射照度の影響を受けにくく、識別力が高い表示器ほどウェーバー比が小さくなるので、ウェーバー比から見た提示数字の輝度差弁別力は、蛍光表示管、緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器の順といえる。

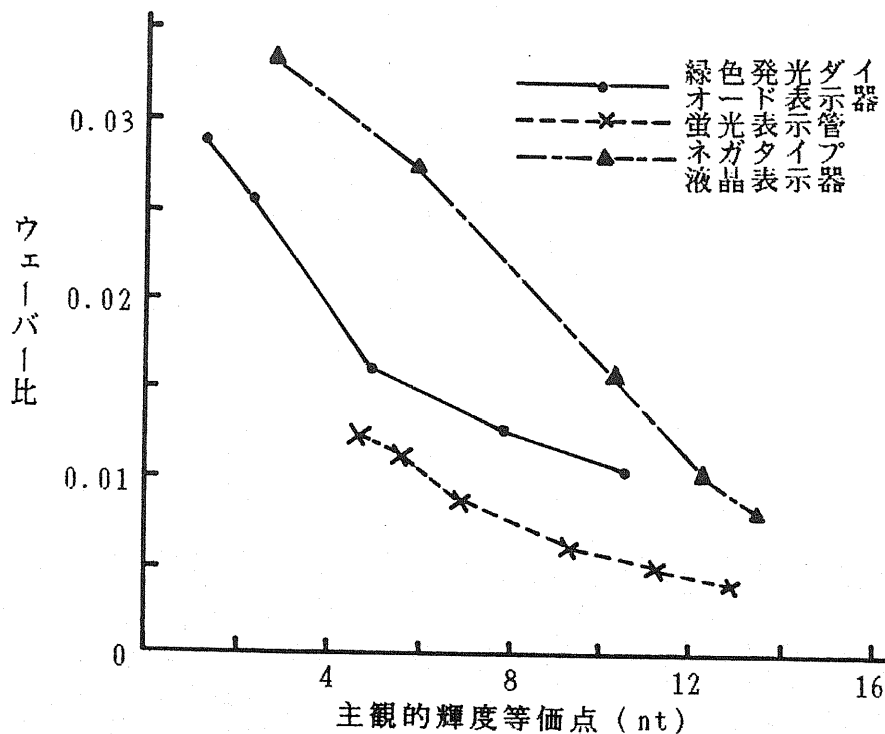


図 5.11 主観的等価輝度とウェーバー比の関係

### 5.2.3 反射グレアにおける主観的評価指数の提案

#### (a) グレアの定義

高輝度の光源のために視野内の輝度の分布や値の範囲が不適切であったり、明るすぎるものと暗すぎるものとが隣り合って極端な輝度対比が存在する場合には、人間は不快に感じたり、細かい物や対象物を認識する能力が低下する。その状態をグレアと称し、直接グレアと反射グレアの2種類に分類する<sup>5.26)</sup>。なお、直接グレアは視野内の特に視線の付近に光源が存在することによって生じ、反射グレアは光源の反射像によって対象物と同じ方向に生じる。

つぎに、光源が比較的低輝度であっても、光沢のために対象物の色彩が変化すれば見やすさが低下する。その状態を、グレアと区別して光幕反射と呼ぶ。光幕反射が生じる誘因は、反射像が対象物に重畳して、対象物の輝度対比が低下することにある。

本研究における発光表示器の見やすさは、視環境における光幕反射および反射グレアなどが原因して著しく低下する。光幕反射では、発光表示器のセグメントや表示面の色彩が変化して見やすさが低下する。一方、反射グレアでは、試料の表示面に高輝度の光源が映って、光源をじかに見たときの直接グレアと同様のまぶしさを感じ、見やすさが急激に低下する。

#### (b) 主観的評価指数の提案

人工照明を対象とした直接グレアの評価方法として、英国IESのグレア・インデックスがよく知られている<sup>5.27)-5.29)</sup>。本研究は、そのグレア・インデックスを参考にして、発光セグメント輝度とそれに重畳する光源からの反射輝度を $L_s(\text{nt})$ 、背景輝度を $L_b(\text{nt})$ 、提示数字を含む表示面の目の位置に張る立体角を $\omega(\text{sr})$ とすると、提示数字を見る場合の表面反射によるグレアの主観的評価指数(R-GI)は式(5.11)で与えられる<sup>5.30)</sup>。

$$R-GI = 10 \left| \log_{0.5} \left( 0.478 L_s^{1.6} \omega^{0.8} / L_b \right) \right| \quad (5.11)$$

ただし、 $\omega$ は視角 $1^\circ$ を与える視距離と提示数字の大きさの関係より、それぞれ緑色発光ダイオード表示器が $1.6 \times 10^{-4} \text{ sr}$ 、蛍光表示管が $1.7 \times 10^{-4} \text{ sr}$ 、ネ

ガタイプ液晶表示器が $1.5 \times 10^{-4}$  srである。

表面反射によるグレアの主観的評価指数の $\omega$ がグレア・インデックスの場合に比して非常に小さいために、表面反射によるグレアの主観的評価指数が負になって、グレア・インデックスと比例しない<sup>5.31)</sup>。その補正として式(5.11)に示すように、絶対値を取るようにした<sup>5.27)</sup>。図5.7から、式(5.11)を用いて表面反射によるグレアの主観的評価指数を算出する。得られた照射照度に対する主観的評価指数の変化を、試料をパラメータとして図5.12に示す。反射

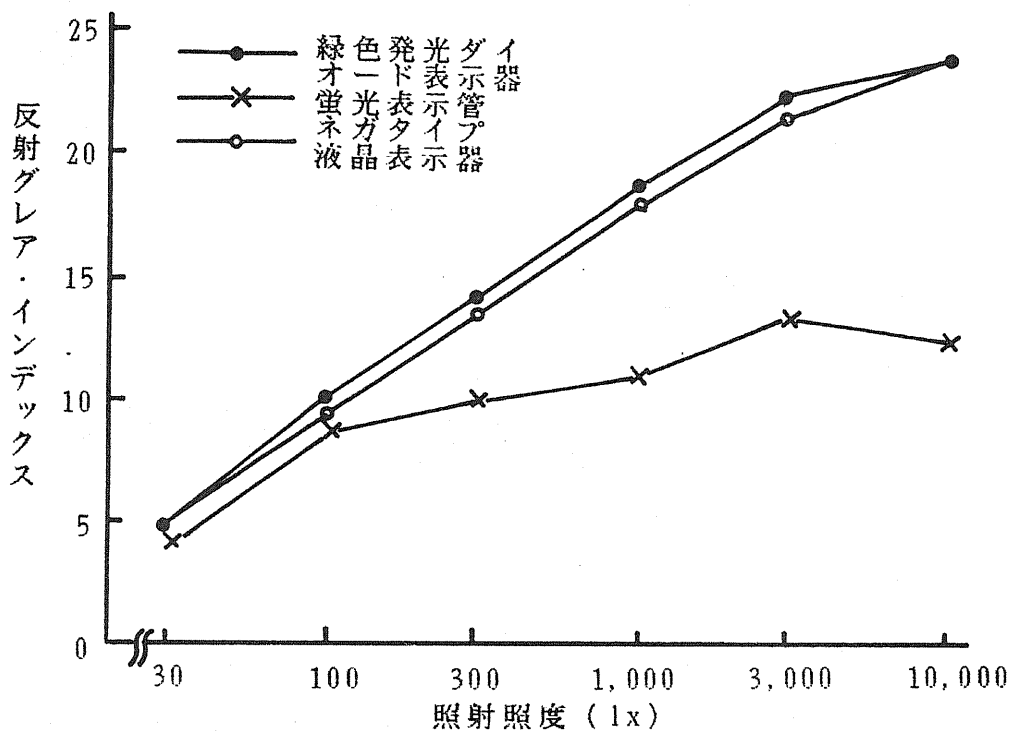


図 5.12 照射照度と反射グレアにおける主観的評価指数の関係

グレアによる主観的評価指数は照射照度に依存して増加する傾向を示し、その結果は緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器、蛍光表示管の順となった。また、グレア・インデックスと主観的印象の結果<sup>5.29)</sup>より、主観的評価指数と反射グレアに対する印象との関係を求めて表5.6に示す。表5.6と図5.12の関係を比較すると、両者に良好な結果が得られることが明らかになっ

た。緑色発光ダイオード表示器とネガタイプ液晶表示器の場合、100 lx以上で表示面に輝きを感じ始め、3,000 lx以上になると反射グレアのために不快を感じる。それらに比して蛍光表示管は、3,000 ~10,000 lx の照度範囲で、ややまぶしさが感じられる程度であった。さらに、10,000 lx における蛍光表示管の表面反射によるグレアの主観的評価指数は、他の2種類の1/2 程度を示し、図 5.7の主観的等価輝度と逆比例した。

表 5.6 主観的評価指数と反射グレアに対する印象の関係

主観的評価指数	反射グレアに対する印象
10	グレアを感じない グレアを感じ始める グレアが感じられる
16	グレアが気になり始める グレアが気になる
22	不快を感じ始める 不快である
28	ひどすぎると感じ始める

#### 5.2.4 まとめ

一般に7セグメント数字発光表示器は、昼夜にわたり使用される。そのため表示器の明視性が、昼間の自然光による明るい環境では減少し、夜間になると、逆に増加するという問題が生じる。本研究はこの問題を取りあげ、この現象が表示器の種類や提示数字によってどのように変わるかを調べた。

緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管およびネガタイプ液晶表示器を試料

として、各試料の発光輝度を16.0nt一定とし、照射照度を昼夜にわたる使用を想定して0～10,000 lxまで変えて、主観的等価輝度を調整法により測定した。その結果、明らかになったことをつぎに示す。

- (1) 測定値について要因分析を行った結果、どの試料も危険率1%で、照射照度とともに提示数字についても大きい有意差が見られた。その理由としては、数字によってセグメントの構成が異なること、およびセグメントの発光輝度分布に差があることなどがあげられる。
- (2) 緑色発光ダイオード表示器は、表示面への照射照度が1,000 lxで、主観的等価輝度が1/8程度まで低下し、それ以上できわめて低くなるのに対して、蛍光表示管は1/2程度の低下で、比較的照度の影響を受け難い表示器といえる。また、ネガタイプ液晶表示器は照射照度が300 lx以上で、急激に低下することがわかった。
- (3) 主観的等価輝度から輝度差弁別いきを求め、セグメント間の許容輝度差について検討した結果、発光セグメントの数および種類によって許容輝度差が異なり、その値は定格輝度に対して1.4～4.2%の範囲であった。なお、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。つぎに、ウェーバー比について検討した結果、照射照度の増加で主観的等価輝度が減少するにつれてウェーバー比は増加した。すなわち、相対輝度弁別いきが増大して、弁別感度が低下することがわかった。試料別に弁別感度を比較すると、蛍光表示管、緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器の順となった。
- (4) 英国IESのグレア・インデックスを参考にして、新たに立体角 $\omega$ の0.8乗が1以下であるような小型で、低輝度の発光表示器を視対象とした表面反射によるグレアの主観的評価基準を提案した。

### 5.3 非発光表示器の明視性

ポジティブ液晶7セグメント表示器は、低電力駆動であり、白色紙に書かれた黒色印刷文字が室内照明のもとで示す程度の輝度対比を有することなどから<sup>5.32)</sup>、広範囲に利用されている。なかでも表示器の使用が昼夜にわたる場合、表示面に照射する光によって主観的輝度対比が変化する。そのために、見やすさは視環境に大きく影響される。すなわち、照射照度が低下するにしたがって、視対象の輝度対比は同じでも、眼から送られてくる情報により知覚する主観的輝度対比が低下し、その結果、明視性が低下する<sup>5.2)</sup>。

本研究は、照射照度を室内照明に限定して、液晶表示器の表示数字の主観的輝度対比を0～9の提示数字について測定し、得られた結果から主観的輝度対比、および輝度対比弁別いきなどの照射照度による影響を検討する。

#### 5.3.1 輝度対比の測定

後述の明視性実験に用いる2つの同一型式・同一規格をもつ、数字の大きさが17.8(H) × 8.9(W) mmであるポジティブ液晶表示器の一方を標準刺激、他方を比較刺激とする。表示面には図5.13に示すグレイ・フィルタを装着して、それぞれ暗箱中にセットする。表示面に照射する光は光束が1,120 lmで、色温度が3,300 Kのハロゲンランプ（詳細は、付録の『付図 3.1 ハロゲンランプの分光特性』を参照）3個を光源として用いた。光源と試料の間には、図5.13に示すような分光特性がフラットである3種類の白色アクリル板を組み合わせて挿入し、表示面照度をそれぞれ300 lx一定にした。

輝度測定は、測定精度が0.1cd/m<sup>2</sup>である輝度計（M社のnt-1°型）にクローズアップレンズを装着して、セグメント幅以下の微小部分の測定ができるようにした。

つぎに、セグメント電圧を0.70～1.20Vまで、0.05Vずつ変化させながら、



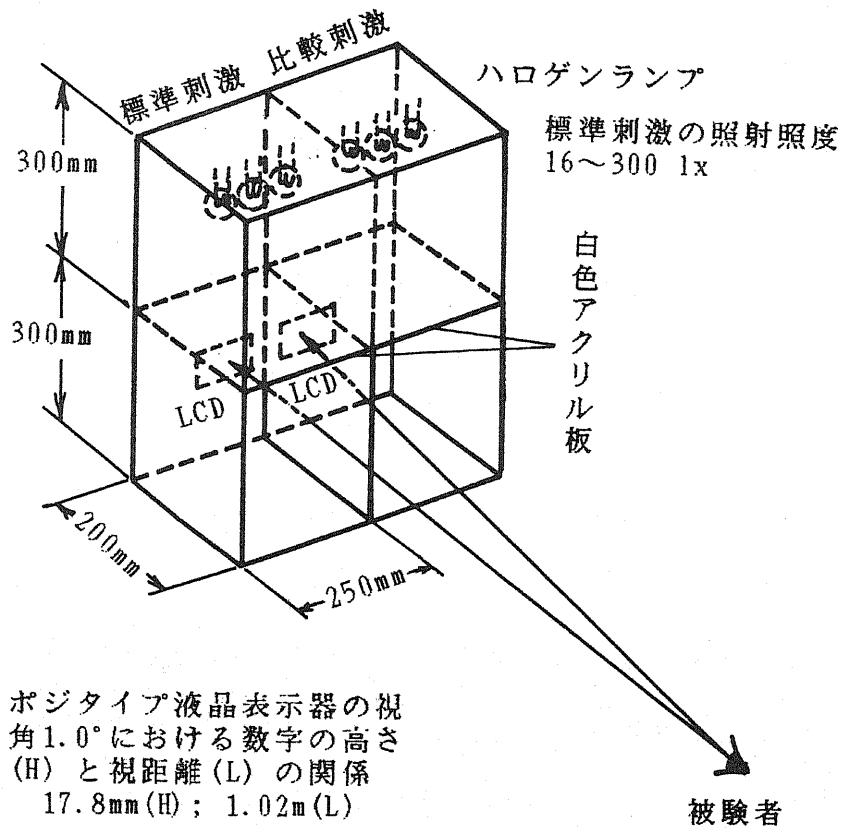
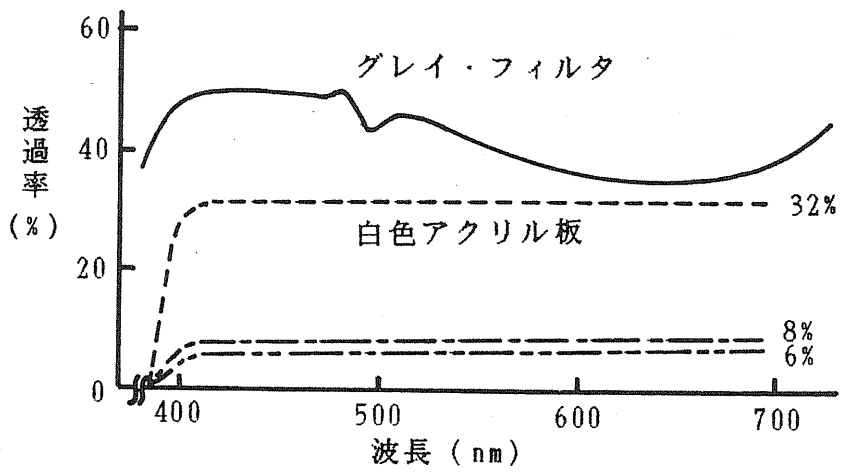


図 5.13 フィルタの分光特性と測定装置

提示数字8のセグメント輝度と表示面輝度を測定した。

明視性実験では、被験者に調整させたセグメント電圧を、輝度対比に換算する必要がある。そのために、3.2節の『非発光表示器の輝度対比』における式(3.5)を用いて、得られた提示数字8のセグメント電圧に対する輝度対比を求めた<sup>5.33)</sup>。その結果、輝度対比はセグメントごとに10%程度のばらつきがあるので、それについて平均した。その平均を、標準刺激と比較刺激に分けて図5.14に示す。図中に見られる標準刺激と比較刺激の差異は製品のばらつきによるもので、輝度対比が一致するものを見いだすのは困難である。

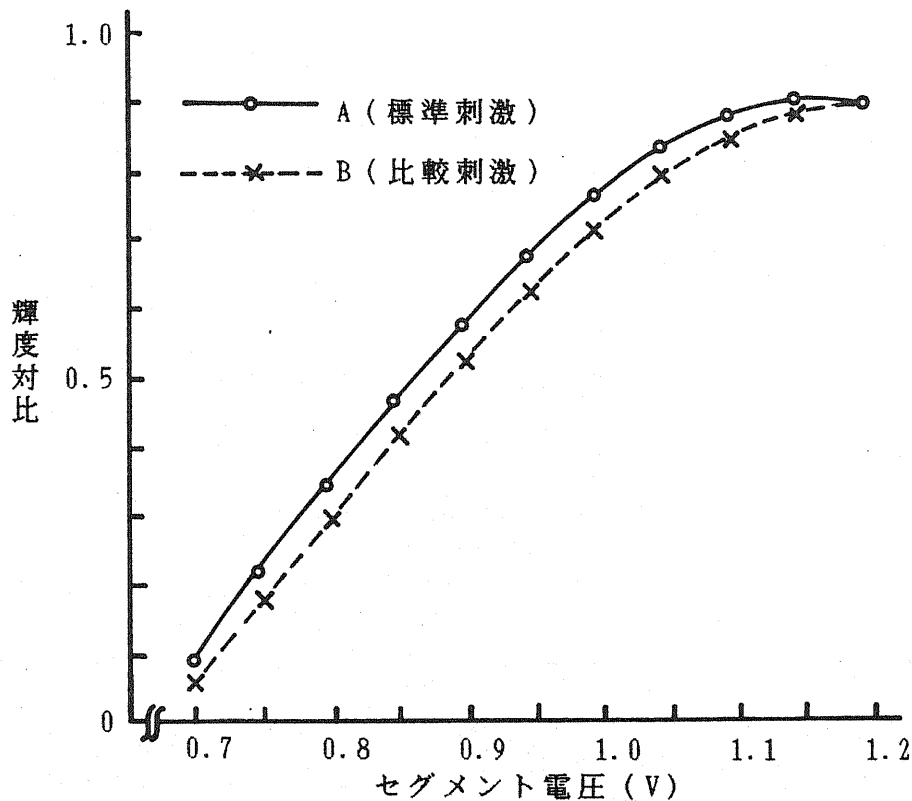


図 5.14 セグメント電圧と輝度対比の関係

つぎに、図に示された値に補間法を適用して、標準誤差が最小となる関数に回帰すると、それぞれの関数は式(5.9)、(5.10)で与えられる<sup>5.34)</sup>。

標準刺激について

$$Y = -4.388X^3 + 9.568X^2 - 4.403X \quad (5.9)$$

比較刺激について

$$Y = -3.974X^3 + 8.913X^2 - 4.235X \quad (5.10)$$

上述の関数は、セグメント電圧が0.70~1.20Vの範囲で成立する。

### 5.3.2 主観的輝度対比等価点の測定

#### (a) 主観的等価点

主観的等価点の測定の目的は、見えの特性の変化の量的把握であるが、これを直接測定することは困難である。そのために、見えの特性に影響しない中立な状態にある比較刺激の物理的特性を尺度として利用し、見えの特性を間接的に表現するものである。この場合、問題とする条件を与えて見えの特性の変化を起こさせる刺激対象を標準刺激という<sup>5.35)</sup>。

一般に、照射照度を変化させた標準刺激と照射照度を一定にした比較刺激とを被験者に比べさせ、両者の主観的輝度対比が一致するように比較刺激の物理的輝度対比を合わせることを調整法という。そして、調整した値をもって主観的等価点とする。このとき、測定の最初に両者を同一照度にしたとき、等価点における両者が同一物理的輝度対比にあるかどうかを調べておく必要がある。もし異なっているときは、以後の測定で得られた主観的等価点と最初の主観的等価点との変化分だけを問題にすることになる。このように最初に比較刺激と同一条件におく標準刺激のことを対照刺激という<sup>5.13)</sup>。

#### (b) 測定方法と結果

測定装置に装着した標準刺激の表示面に、16, 34, 110, 330 lxの4点の光を照射する。それぞれの照度調節は、光源であるハロゲンランプ（詳細は、付録の『付図 3.1 ハロゲンランプの分光特性』を参照）の点灯個数、および光路上に挿入した図5.13に示すような透過率の異なる白色アクリル板の種類と枚

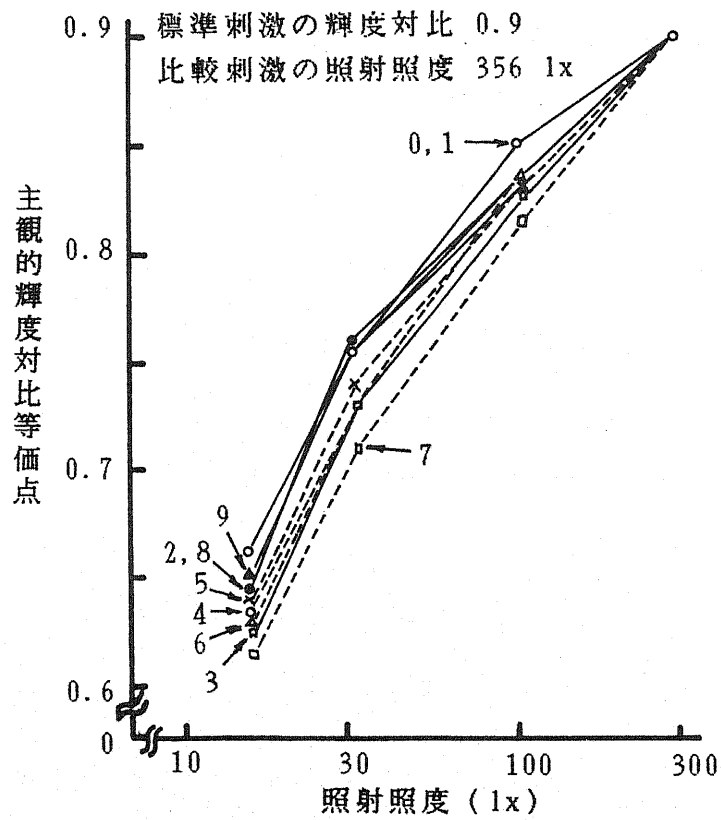
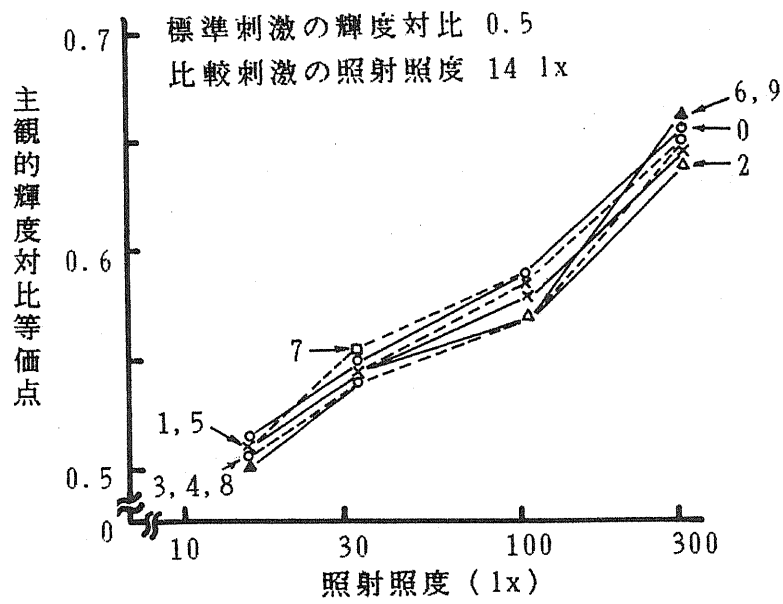


図 5.15 提示数字による主観的等価点の変化

数とで調節する。なお、比較刺激についても同様の照明装置を用いて、表示面照度を14 lx と356 lx一定にした。

1.0 以上の正常な視力をもつ学生5名を被験者として暗室で35分間順応させた後<sup>5.36)</sup>、中心視に限定するために、提示数字の高さから視角が $1.0^\circ$ となるように視距離を1.02mとして<sup>5.35)</sup>、調整法により実験を行った。その結果を図5.15に示す。図の上段は標準刺激の輝度対比が0.5一定の場合で、まず対照刺激として、表示面照度が161lxである標準刺激に対して、表示面の照射照度が141lx一定である比較刺激のセグメント電圧を被験者に調整させて主観的等価点を求める。そして、ほぼ両者の輝度対比が一致することを0～9までの提示数字について確認した後、16～300 lxの範囲で、上昇・下降系列について標準刺激の照射照度を変化させながら、比較刺激のセグメント電圧を被験者に調整させて主観的等価点を測定した。つぎに図の下段は標準刺激の輝度対比が0.9で、対照刺激として表示面の照射照度が330 lxの標準刺激に対して、照射照度が356 lxの比較刺激の場合で前記と同様に測定を行った結果である。観測中は被験者の視線が変化しないように、顎を台にのせ、さらに額あてを併用して頭部を固定した。それぞれの照射照度ごとの測定を1セッションとして、その所用時間は10分であった。なお、図の縦軸の主観的輝度対比等価点は、式(5.10)を用いてセグメント電圧調整値から換算したものである。

### (c) 要因分析

主観的等価点に影響をおよぼす上昇・下降系列、照射照度および提示数字を変動因として、図5.15に示された主観的等価点の対照刺激からの変化分について3元配置分散分析を施した<sup>5.37)</sup>。その結果、標準刺激の輝度対比が0.5および0.9のいずれの場合も、上昇・下降系列とすべての交互作用に有意差が見られなかったため、主因子を除く交互作用のすべてを残差に繰り込んで、再度、3元配置分散分析を施した<sup>5.37)</sup>。その結果を表5.7に示す。標準刺激の輝度

対比が0.5 の場合は、照射照度に危険率1%で、提示数字に危険率5%でそれぞれ有意差が見られた。また標準刺激の輝度対比が0.9 になると、照射照度のみ危険率1%で有意差が見られた。その中で0.9 の平均平方和の値の方が大きいにもかかわらず0.5 の方にのみ提示数字に有意差が見られたのは、0.5 の分散分析表における残差項の値が0.9 に比べてかなり小さいことが原因している。つまり、F比が各要因の平均平方和を残差項の平均平方和で割るものであるがゆえに、標準刺激の輝度対比が0.5 の場合は、残差項が小さいので僅かな変化も検出されたが、0.9 では、残差項が大きいために、それに隠れて変化が検出されなかった。

表 5.7 主観的等価点に対する3元配置分散分析の結果

測定条件	変 動 因	自由度	平方和	平均平方和	F 比
標準刺激の コントラスト 0.5	上昇・下降系列 (A)	1	0.0000	0.0000	0.0
	照 射 照 度 (B)	3	0.5993	0.1998	327.5**
	提 示 数 字 (C)	9	0.0116	0.0013	2.1*
	残 差	386	0.2355	0.00061	
	全 体	399	0.8464		
標準刺激の コントラスト 0.9	上昇・下降系列 (A)	1	0.0003	0.0003	0.1
	照 射 照 度 (B)	3	3.5215	1.1738	291.3**
	提 示 数 字 (C)	9	0.0449	0.0050	1.2
	残 差	386	1.5557	0.00403	
	全 体	399	5.1223		

つぎに有意差が見られた主因子別に詳細に検討する。

(d) 主観的輝度対比に影響をおよぼす因子

(d-1) 照射照度

輝度計を用いた物理測光では、図5.16に示すようにポジティブ液晶表示器の表示面とセグメントの輝度対比は、照射光の影響を受けない。しかし、人間の視認印象では、図5.15に示すように、照射照度の増加に依存して、主観的輝度

対比が増加し、その変化の割合は、0.9の方がかなり大きいことがわかった。

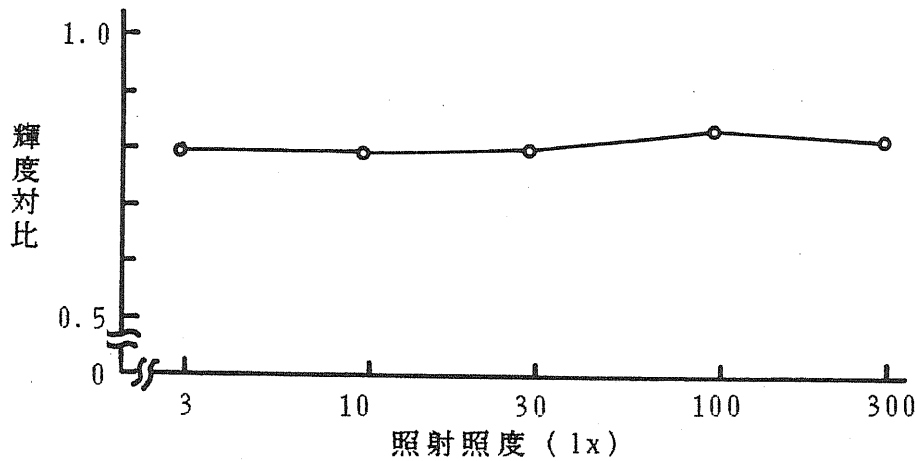


図 5.16 照射照度とセグメント輝度対比の関係

(d-2) 提示数字

表 5.7において主観的等価点の提示数字による影響は、標準刺激の輝度対比が0.5の場合にのみ、危険率5%で有意差が見られた。その原因として、提示数字0～9の構成セグメントによる輝度対比のばらつきの影響を検討するために、構成セグメントによる輝度対比のばらつきと主観的等価点の相関係数を求めると0.015であり、t-分布による相関係数の有意水準からは、有意差が見られなかった<sup>5.15)</sup>たがって提示数字に見られた有意差は、構成セグメントの輝度対比のばらつきによるものではないといえる。

照射照度の増加にしたがって、0.5の場合はセグメントの色彩変化が観察される<sup>5.38)</sup>。また、主観的等価点における95%信頼区間(CL)も徐々に大きくなった。ここで、95%信頼区間は、N個の標本の自由度、危険率5%に対するt-表の値 $t_{0.05}$  および標準偏差(SD)などにより、式(5.11)から求められる<sup>5.39)</sup>。

$$CL = t_{0.05} SD / N^{1/2} \quad (5.11)$$

さらに、表示面にグレイフィルタを装着しているが、0.9の場合は比較刺激

の照射照度が356 lxと高いために、明るさの順応による影響を大きく受けて、表示面に光沢を感じる。その結果、測定誤差も大きくなって有意差が検出されなかった。したがって提示数字に見られた有意差の有無は、数字の形状に多少依存するが、大部分は照射照度の増加により、被験者が主観的等価点を合わせ辛くなったことによる測定誤差が原因していると考えられる。

(e) 輝度対比の弁別いき

人間の眼は網膜上の照度に依存して明るさ感が異なるので、明るさの順応による影響を受けるような明視環境において標準刺激を見ると、眼球内の組織で散乱された光が、網膜の映像上に重なって知覚を妨害し、比較刺激と標準刺激との差異を知覚する輝度対比弁別いき (DL) が変化する<sup>5.16)</sup>。これは、主観的等価点が正規分布するものとして確率誤差に相当し、標準偏差 (SD) から式 (5.12) で与えられる<sup>5.40)</sup>。

$$DL = 0.6745SD \quad (5.12)$$

そこで、標準刺激の輝度対比が0.5 と0.9 の場合、照射照度の妨害によって

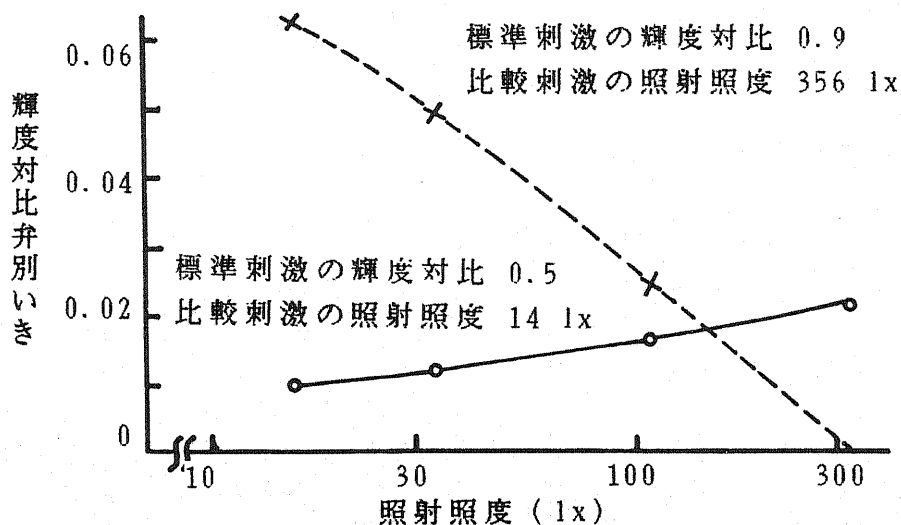


図 5.17 照射照度と輝度対比弁別いきの関係



輝度対比弁別いきがどのように影響されるかを検討する。

式(5.12)から輝度対比弁別いきを照射照度別に求めて、結果を標準刺激の輝度対比をパラメータとして図5.17に示す。標準刺激の輝度対比が0.5の場合には、照射照度の増加とともに輝度対比弁別いきが増加し、0.9の場合は、逆に、照射照度が減少するとともに輝度対比弁別いきが増加している。これは、いずれも標準刺激と比較刺激の照度差による主観的等価点の合わせづらさのために輝度対比弁別いきが増大しているのである。また、その傾向が0.9の方が著しいのは、被験者が標準刺激に比べて比較刺激の方を長く注視しているので、比較刺激の照射光の照度が高い0.9の方に明るさの順応による影響が出たと考えられる。

### 5.3.3 まとめ

非発光であるポジティブ液晶表示器の明視性は、室内照明に依存して、暗ければ低下し、明るすぎれば順応による影響からまぶしさを感じて、明視性に限界をもたらす。本研究ではこの問題をとりあげ、このような現象を、表示器の提示数字に対する主観的輝度対比および輝度対比弁別いきの照射照度による影響という面から検討した。その結果、つぎの事項がわかった。

- (1) 測定値について要因分析を行った結果、標準刺激の輝度対比が0.5の場合には照射照度と提示数字に、0.9の場合には照射照度だけにのみ、それぞれ有意差が見られた。その理由は、照射照度が増加するにつれて、0.5ではセグメントの色彩変化が観察され、0.9では眼球内の組織で散乱された光が網膜の映像上に重なって知覚を妨害するため、表示面に光沢を感じて測定誤差を生じる。また、測定誤差は0.5の場合に比べて0.9の方がより大きいので、提示数字による有意差が検出されなかった。
- (2) 比較刺激の照射光の照度が高い視環境において標準刺激を見ると、眼球内の組織で散乱された光が網膜の映像上に重なって知覚を妨害し、輝度

対比弁別いきが変化することがわかった。

#### 5.4 結言

発光表示器の明視性について、第IV章で提案した評価方法により比較検討した結果、確認された事項を以下に示す。

- (1) 数字によってセグメントの構成が異なること、およびセグメントの発光輝度分布に差があることなどが原因して、いずれの試料も照射照度と提示数字に危険率1%で有意差が見られた。
- (2) 発光セグメントの数および表示器の種類に基づくセグメント間の許許容輝度差は、定格輝度に対して1.4~4.2%の範囲であった。さらに、相対輝度弁別いきの増大に対応して、弁別視感度が低下することもわかった。
- (3) 小型で、低輝度の発光表示器の弁別感度に影響をおよぼす反射グレアについては、本研究で新たに主観的評価基準を提案した。

つぎに、非発光表示器の明視性について確認された事項を、発光表示器の場合と同様に以下に示す。

- (4) 輝度対比弁別いきを求めて検討した結果、比較刺激の照度が高い場合に、眼球内の組織で散乱された光が網膜の映像上に重なって知覚を妨害することが知れた。
- (5) セグメントの色彩変化や眼球内の組織で散乱された光が網膜の映像上に重なって知覚を妨害するため、表示面に光沢を感じて測定誤差を生じることがわかった。

上記の検討結果に基づいて、『数字表示器における明視性の評価方式』を以下に提案する。

- (1) 発光表示器はセグメント間の輝度差弁別いきについて調べ、非発光表示

器は輝度対比弁別いきについて詳細に検討する。

- (2) 表示器の種類, 照度, 背景, 視角, 視認方向角などの測定変数が明視性におよぼす影響を分散分析の結果より評価する。

#### 参考文献

- 5.1) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶表示器の主観的輝度におよぼす照射照度の影響, 東洋大学工学部研究報告, 23, 1~7 (1987)
- 5.2) 樋渡涓二: 文字・単語のディスプレイに対する知覚と認知, 人間工学, 22(5), 269~275 (1986)
- 5.3) 池田紘一: 視覚に関する心理物理的測定と心理的測定, 照明学会誌, 65(12), 11~18 (1981)
- 5.4) 照明学会編: 最新やさしい明視論, 照明学会, 33~76 (1984)
- 5.5) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器の視認特性について, 第8回液晶討論会講演予稿集, 58~59 (1982)
- 5.6) Bergh, H.H. and Dean, P.J.: Light-Emitting Diodes, Proc. IEEE, 60(2), 156~223 (1977)
- 5.7) 中村正, 清住謙太郎: 蛍光表示管とその応用, 13~72, 日刊工業新聞社 (1977)
- 5.8) 松本正一, 角田市良: 液晶の最新技術, 127~138, 工業調査会 (1983)
- 5.9) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 車載用7セグメント数字表示器の主観的明るさにおよぼす照射照度の影響, 人間工学, 24(4), 219~226 (1988)
- 5.10) 大山正: 心理学研究法2(実験I), 58~69, 97~100, 東京大学出版会 (1980)

- 5.11) 小林竜一：パソコンによる統計解析，68～87，培風館（1983）
- 5.12) 中根芳一：印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究，日本建築学会論文報告集，229，111～120（1975）
- 5.13) 大山正：心理学研究法2（実験I），39～96，東京大学出版会（1980）
- 5.14) 石川馨，米山高範：分散分析法入門，21～146，日科技連（1983）
- 5.15) 石川栄助：実務家のための新統計学，228～229，槇書店（1985）
- 5.16) 田淵義彦，中村肇，松島公嗣：CRTディスプレイの表示文字と外部反射映像の見え方の主観評価，照明学会誌，71(2)，131～137（1987）
- 5.17) 川村幹也，上迫宏計，村岡哲也：7セグメント発光表示装置の視認性について，電気学会計測研究会資料，IM-81-22，21～30（1981）
- 5.18) 川村幹也，上迫宏計，村岡哲也：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，照明学会誌，67(2)，3～8（1983）
- 5.19) 村岡哲也，川村幹也，上迫宏計，田中晃：ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器の照射照度による視認性の影響，第27回自動制御連合講演会前刷，441～442（1984）
- 5.20) 吉村義典，武内徹二，成定康平：中心視の輝度差弁別いきに及ぼす周辺視野の輝度の影響，照明学会誌，62(5)，12～18（1978）
- 5.21) J. P. ギルホード著，秋重義治訳：精神測定法，27～56，培風館（1976）
- 5.22) 重松征史，菅野義之：視覚神経系の変換関数に基づく明度尺度，照明学会誌，40(6)，268～272（1986）
- 5.23) 池田光男：視覚の心理物理学，112～117，森北出版（1982）
- 5.24) 御領謙：人間の情報処理，9～23，サイエンス社（1985）
- 5.25) 田崎京二，大山正，樋渡涓二：視覚情報処理，137～138，朝倉書店（1986）
- 5.26) 真辺春蔵：イギリス照明学会，照明要綱（屋内照明の推奨）1961，照明

- 学会雑誌, 48(4), 154~167 (1964)
- 5.27) 松田宗太郎, 洞口公俊, 吉川孝彌: グレアの感覚的評価に関する実験と考察 (イギリスIES グレアインデックス方式による), 照明学会雑誌, 53(2), 51~55 (1969)
- 5.28) 金子直礼, 高橋貞雄, 藤井克人: 室内照明の不快グレア評価について (評価方式の検討およびグレア評価実験), 照明学会雑誌, 55(9), 560~569 (1971)
- 5.29) 照明学会編: 照明ハンドブック, 343~350, オーム社 (1978)
- 5.30) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器と発光表示器におよぼすグレアの主観評価の検討, 第15回液晶討論会講演予稿集, 2B22, 224~225 (1989)
- 5.31) 田淵義彦, 中村肇, 口石義行, 西村政信, 佐土根範次: 中心視の光源によるグレアの主観評価, 照明学会雑誌, 72(10), 613~619 (1988)
- 5.32) 中根芳一: 印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究, 建築学会論文集, 229, 111~120 (1975)
- 5.33) 小堀富次雄: 照明システム (基礎と応用), 15~19, 東海大学出版会 (1977)
- 5.34) 古林隆: 統計解析, 135~138, 培風館 (1983)
- 5.35) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶表示器の主観的コントラストにおよぼす照射照度の影響, 人間工学, 25(2), 129~133 (1989)
- 5.36) 樋渡涓二, 安田稔, 大串健吾, 斉藤秀昭: 視聴覚情報概論, 29~31, 昭晃堂 (1987)
- 5.37) 石川馨, 米山高範: 分散分析法入門, 124~133, 日科技連 (1983)
- 5.38) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示数字の見え方の主観評価, 第

13回液晶討論会講演予稿集, 20~21 (1987)

5.39) 藤沢偉作: 楽しく学べる統計教室, 106 ~108 , 現代数学社 (1981)

5.40) 和田陽平, 大山正, 今井省吾: 感覚・知覚心理学ハンドブック, 40, 誠  
信書房 (1985)

## 第VI章 可読性の評価

### 6.1 可読性の定義

可読性とは対象が表示器における提示数字であって、提示された数字を被験者が読み取る能力を言う。

本研究では、ランダムに提示した0～9までの数字を被験者に判読させて、正読率を求める。7セグメント数字表示器の可読性は、得られた正読率を尺度として評価される<sup>6.1)</sup>。

### 6.2 数字発光表示器の可読性

デジタル表示デバイスを通して、人間の視覚に伝達される複雑多岐な情報を円滑に処理し、的確な判断を下すには、マンーマシン・インターフェイス特性の良好な、良質の表示器が要求される。

7セグメント数字発光表示器を使用する上で最も問題になるのは、窓枠から入射する自然光や外乱光などの、表示面への映り込みによる影響である<sup>6.2)</sup>。すなわち、照度が増すにつれて入射光が網膜の映像上に重なって、映像の輝度対比が弱められる<sup>6.3)</sup>。さらに高照度領域になると表示面の反射によるグレアの影響が加わり、視認性の急激な低下が懸念される。

本研究では、発光ダイオード表示器、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器などの表示面に入射する光の可読性に対する影響を取り上げ、発光輝度および視角一定のもとに、つぎの3項目の測定を行う。

- (1) 輝度計を用いて、表示器の照射照度による提示数字の輝度対比への影響を調べる。

(2) 表示器の表示面照度を変化させながら、パーソナルコンピュータを用いて0～9までの各数字をランダムに提示し、被験者に判読させて正読率を求める。これを表示器、照射照度、提示数字などを測定変数として行い、得られたデータについて要因分析を施す。

(3) 一次あるいは二次補間法により、誤読が見られる測定データから正読率50%および100%の照射照度のいき値を求めた。さらに、正読率の低下の要因となる誤読について、提示数字の形状から検討する。

以上の測定結果から、外部からの照射光の可読性におよぼす影響について明らかにすることができる。

なお、ネガタイプ液晶表示器は、5.2節の『数字発光表示器の明視性』の場合と同様の理由<sup>6.4)</sup>で、発光表示器として取り扱う。

#### 6.2.1 輝度対比の測定

##### (a) 測定方法

5.2節の『数字発光表示器の明視性』で試料として用いた緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器の3種類（詳細は『表5.1 試料の種類と電氣的定格』を参照）を本節においても、同様に測定用試料とした。図6.1のようにスタティック駆動回路<sup>6.5)</sup>により動作させた試料の表示面に、ハロゲンランプ（詳細は、付録の『付図3.1 ハロゲンランプの分光特性』を参照）を装着したスライドプロジェクタを光源として、水平面上45°の角度から色温度が3,300 Kの光を照射した。それぞれの照度は、光源から試料までの光路長の変化と、光路上に装着した白色アクリル板の枚数とで調整した。白色アクリル板は可視域における分光特性がフラットで、透過率が6, 8, 32%の3種類のものを用いて、表示面照度を0～10,000 lxまで変化させた。

輝度の測定は標準比視感度曲線に準拠し、測定範囲が1～99,900 cd/m<sup>2</sup>である輝度計（M社のnt-1/3°型）にクローズアップレンズを装着して、各照射照



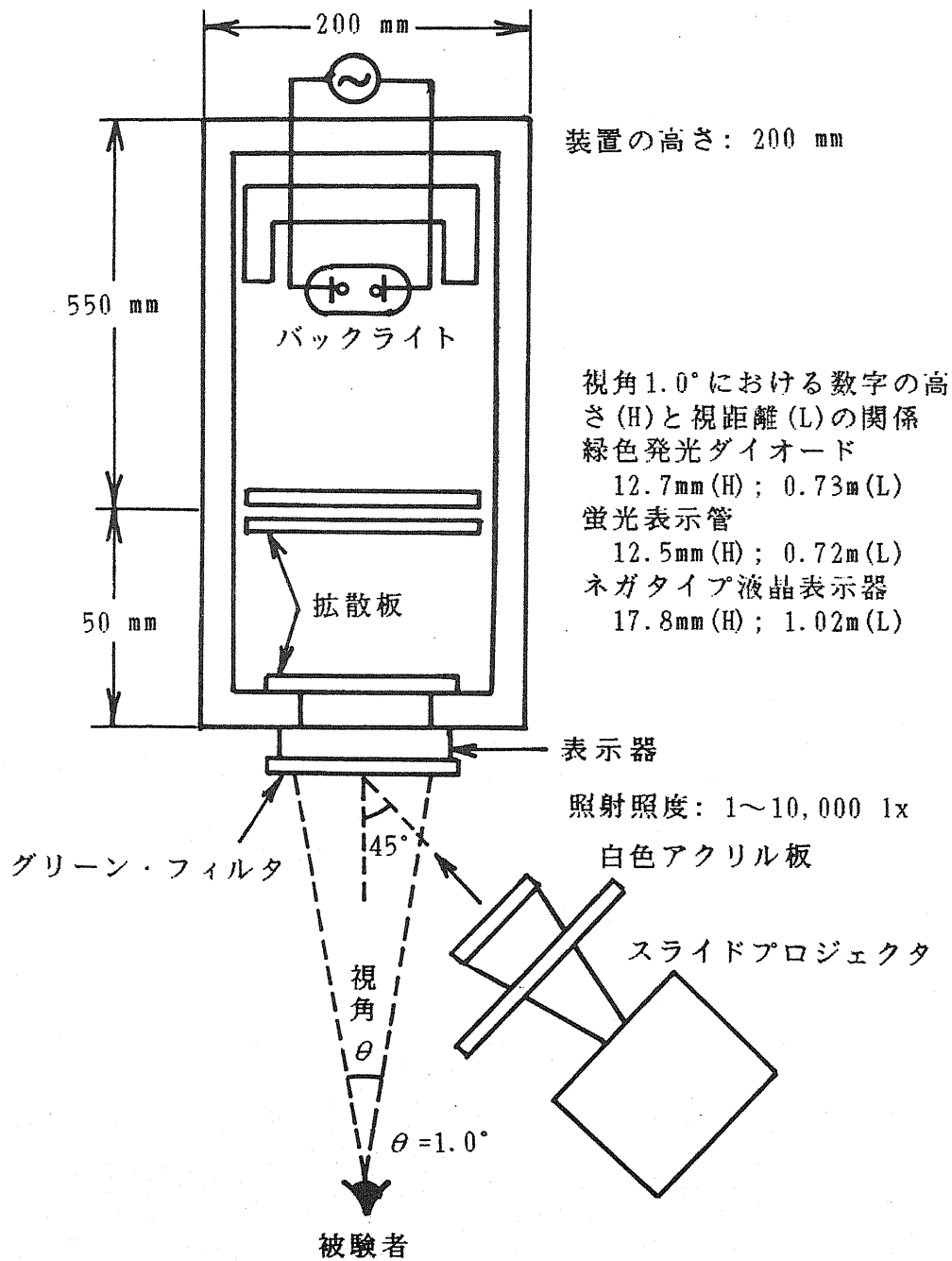


図 6.1 測定装置

度下でセグメント輝度と試料の表示面輝度について行った<sup>6.6)6.7)</sup>。ただし、輝度が $1 \text{ cd/m}^2$  以下のものについては、輝度計のアナログ出力端子をレコーダに接続して測定を行った。照射照度 $0 \text{ lx}$ におけるそれぞれの試料のセグメント輝度は、5.2 節の『数字発光表示器の明視性<sup>6.8)</sup>』の場合と同様に、それぞれ $16 \text{ cd/m}^2$  一定になるように、あらかじめ調節した。

(b) 測定結果

1 ~10,000 lx までの照射光に対するセグメント輝度と表示面輝度の変化を検討するために、提示数字 8 で、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管およびネガタイプ液晶表示器のそれぞれの輝度について測定を行った。その結果を照射照度ごとに図 6.2 に示す。

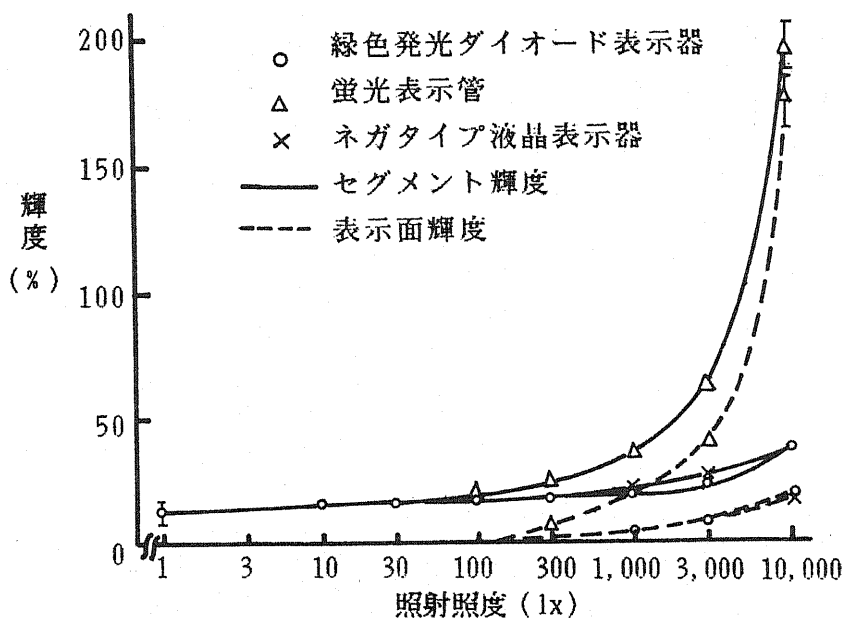


図 6.2 照射照度と輝度の関係

つぎに、セグメント輝度 $S \text{ cd/m}^2$ と表示面輝度 $P \text{ cd/m}^2$ より、輝度対比 $C$ を式(6.1)から算出し、それぞれの試料の表示面に照射する光の照度との関係について検討した<sup>6.3)6.9)6.10)</sup>。

$$C = \frac{S - P}{S} \quad (6.1)$$

得られた提示数字8の照射照度に対する輝度対比はセグメントごとにばらつきがあるので、それについて平均した。その結果を図 6.3に示す。図を見ると、照度の増加にしたがって緑色発光ダイオード表示器が0.96~0.45，蛍光表示管が0.95~0.10，ネガタイプ液晶表示器が 0.87~0.54までそれぞれ低下していることがわかる。

一般に、照射照度の増加に対応して表面反射が徐々に強くなり、やがて提示数字のセグメントと表示面の輝度差が眼の弁別いき以下となって、判読不能になる。

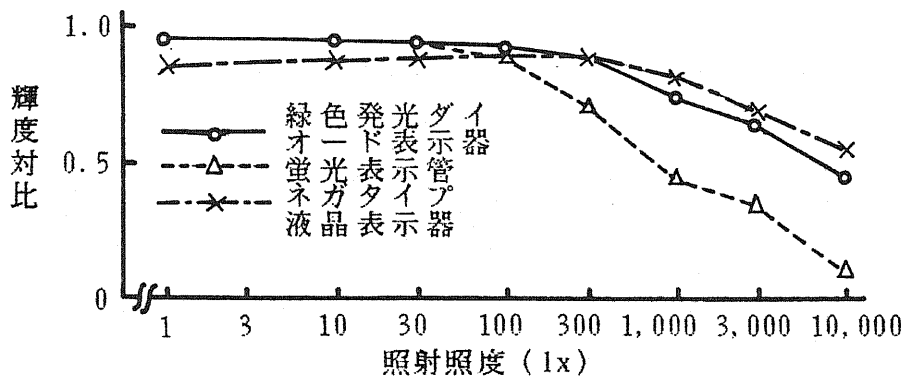


図 6.3 照射照度と輝度対比の関係

## 6.2.2 可読性の測定

### (a) 測定方法と結果

デジタル発光表示器は昼夜にわたって使用されるので、試料とした3種類の表示器の表示面照度を0~10,000 lxまで、広範囲に変化できるようにした。人間の光刺激に対する単純反応時間が0.2秒程度であること<sup>6.11)</sup>などから、本実験ではパーソナルコンピュータを用いて、試料の提示時間を0.1秒とし、2秒間隔で0~9までの数字をランダムに提示した<sup>6.3)</sup>。

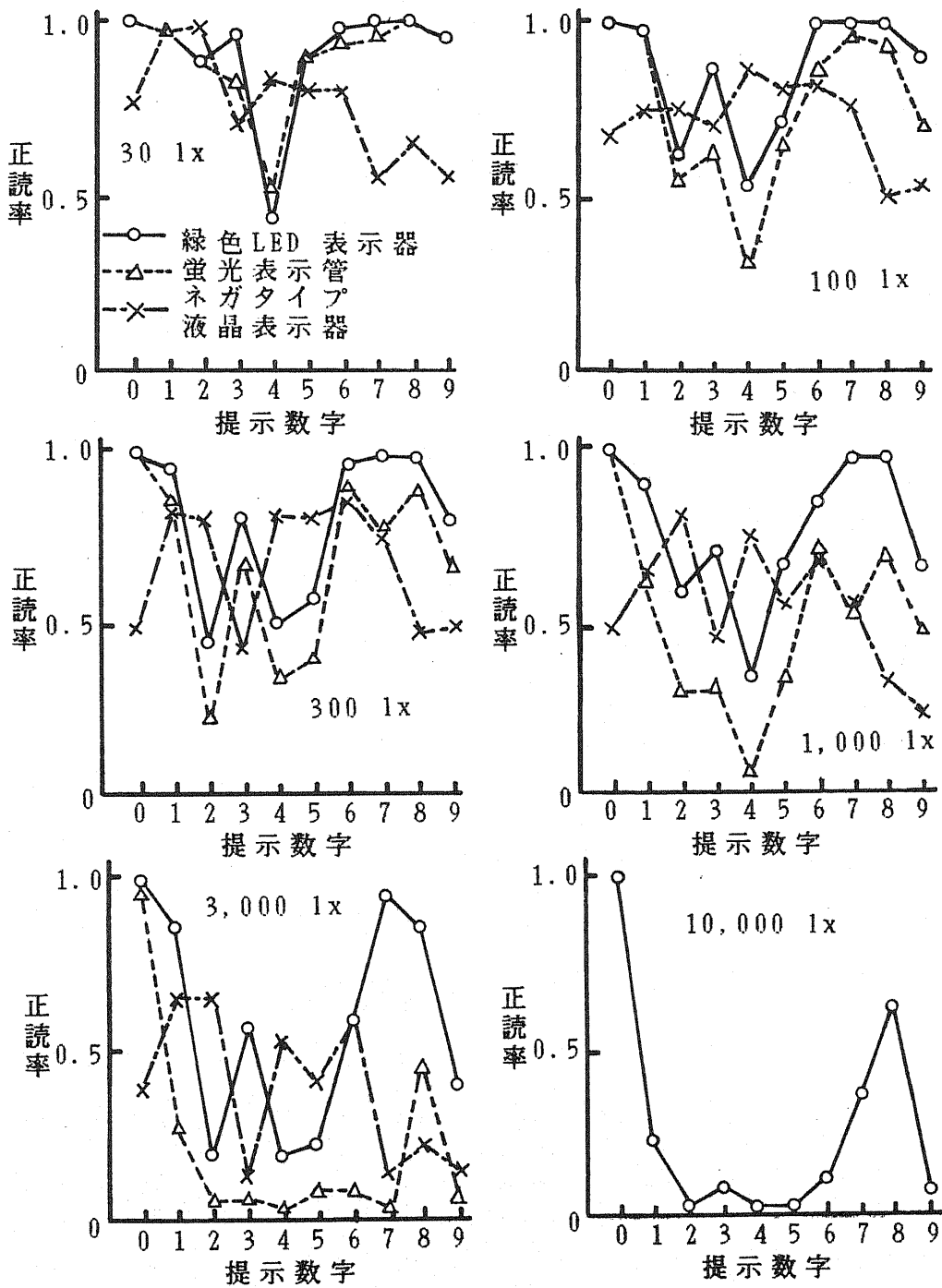


図 6.4 提示数字と正読率の関係

1.0 以上の正常な視力をもつ学生 5 名を被験者として暗室で 35 分間順応させた後<sup>6.12)</sup>，図 6.1 に示すように試料と正対させて，視角，照射照度一定のもとに，0～9 までの数字をそれぞれ 20 回ランダムに計 200 回提示して被験者に判読させた。観測中は被験者の視線が変化しないように，顎を台にのせ，さらに顎あてを併用して頭部を固定した。これを 1 セッションとして，その所要時間は 10 分であった。

ここで測定変数として，文字の大きさ，視距離にかかわらず，視角によって文字の視認性が決まり<sup>6.13)</sup>，さらに眼球を動かさなければ，像が鮮明に見えるのは注視点を囲む  $1.0^\circ$  ぐらいであるとされているので<sup>6.12)</sup>，本研究では，数字の大きさと視距離の関係を視角  $1.0^\circ$  で統一することにした。そのために，5.2 節の式 (5.4) より，緑色発光ダイオード表示器，蛍光表示管，ネガタイプ液晶表示器の視角  $1.0^\circ$  における視距離は，それぞれ 0.73，0.72，1.02 m となった。

表示面照度は，1，10，30，100，300，1,000，3,000，10,000 lx の 8 点をそれぞれとった。

このようにして得られた正読率の提示数字による変化を照度別に，試料をパラメータとして図 6.4 に示す。この結果より照度の増加で正読率が低下し，蛍光表示管とネガタイプ液晶表示器が 10,000 lx で判読不能になり，その様子は，提示数字の形状によって異なることがわかる<sup>6.14)</sup>。

つぎに，どの試料が照射照度の影響を受けにくいかについて検討するために，照射照度を測定因子として，試料の種類別に正読率平均値と 95% 信頼区間を求め，図 6.5 に示す。いずれも照射照度の増加にしたがって 95% 信頼区間が大きくなり，正読率がしだいに低下した。また，蛍光表示管やネガタイプ液晶表示器などに比して緑色発光ダイオード表示器より求めた正読率が高いのは，5.2 節の『図 5.2 フィルタを装着したときの試料の分光特性』における緑色発光

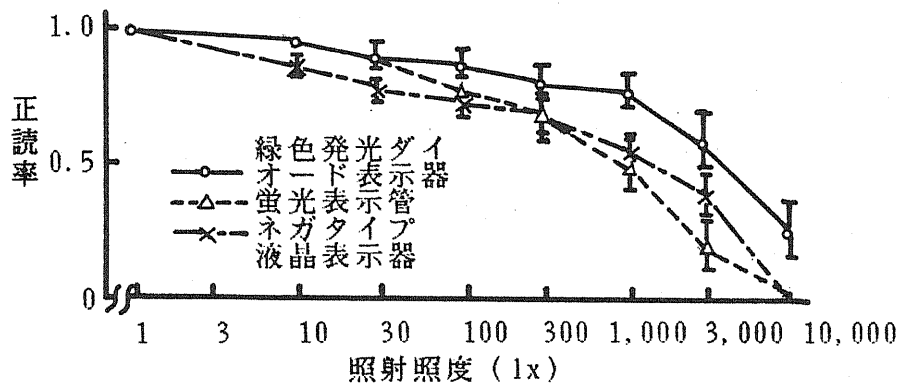


図 6.5 照射照度と正読率の関係

ダイオード表示器のピーク波長が視感度中心に近い540 nmを示し，蛍光表示管とネガティブ液晶表示器については，それよりかなり短波長の514 nmを示すことが原因していると考えられる。

(b) 正読率に影響をおよぼす要因の分散分析

表 6.1 正読率に対する 3 元配置分散分析の結果

変動因	自由度	平方和	平均平方和	F 比
試料 (A)	2	5.97	2.98	135.8**
提示数字 (B)	9	9.28	1.03	46.9**
照射照度 (C)	7	94.18	13.45	612.6**
A×B	18	12.23	0.68	30.9**
A×C	14	4.07	0.29	13.2**
B×C	63	6.44	0.10	4.7**
A×B×C	126	9.11	0.07	3.3**
測定誤差	960	21.09	0.022	
全体	1,199	162.36		

正読率に影響をおよぼす試料の種類、提示数字および照射照度を変動因として、図 6.4 に示された正読率について、3 元配置分散分析を施した。その結果を表 6.1 に示す。この中で試料の種類、提示数字、照射照度およびそれらの交互作用のいずれも危険率 1 % で大きい有意差が見られた。

以上のことから試料の種類や数字の形状によって可読性が異なり、さらに照射照度に大きく影響を受けることが明らかになった。

#### (c) 表示器による照射照度と正読率

照射照度の増加とともにセグメントと表示面との輝度対比が低下して、しだいに誤読が増加する<sup>6.15)</sup>。図 6.5 における正読率 100 % と 50 % の照射照度を補間法で求め、その結果を表 6.2 に示す。正読率 100 % の照射照度いき値は、

表 6.2 可読性に対する試料の照射照度いき値

照射照度 (lx) 試料	正読率 100 % のいき値	正読率 50 % のいき値
緑色発光ダイオード表示器	10	4,000
蛍光表示管	10	1,050
ネガタイプ液晶表示器	1	1,100

1 ~ 10 lx の範囲で試料間の差はあまり見られないが、正読率 50 % のいき値は、緑色発光ダイオード表示器と蛍光表示管およびネガタイプ液晶表示器との間に大きい差が見られた。すなわち、照射光の表面反射によるグレアの影響を受け難いのは、緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器、蛍光表示管の順であることが示された。

#### 6.2.3 正読率に影響をおよぼす因子の考察

##### (a) 表面反射による正読率の変化

デジタル発光表示器は、誤読や判読不能を防止するために、窓枠から入射する光の影響を受けないものを採用する必要がある。

試料とした3種類の表示器のうち、緑色発光ダイオード表示器は表面反射の影響を受けにくい。その理由として、セグメントの中心に置かれた半導体ダイオードの発光が左右に分散して山形の輝度分布を成しているために、輝度対比も同様に山形分布を成す<sup>6.3)</sup>。つまり、試料の表示面照度が高くなって、蛍光表示管とネガタイプ液晶表示器のセグメントと表示面の弁別ができなくなっても、緑色発光ダイオード表示器はセグメントの両端に比べて中心の輝度が強調されるために、提示数字の識別がなされることによると考えられる。また、表示面を覆っている樹脂板も蛍光表示管のフェイス・ガラスに比べて、表面反射がかなり小さい<sup>6.16)</sup>。

蛍光表示管の場合、照度の増加による輝度対比の低下が他の試料に比べて特に著しいのは、材料として低融点ガラスを用いているので、加工の際に生じるガラス表面のひずみが考えられること、および屈折率が比較的大きいために反射率が大きくなることなどによる<sup>6.17)</sup>。そのために、直射日光が窓枠を通して直接表示面を照らすような場合、装着するフィルタの選定を、特に慎重にするか、あるいは、使用環境の照度変化に応じて、適正セグメント輝度を容易に選択することができるようにする必要がある<sup>6.18)</sup>。なお、装着するフィルタについては、その外面からと内面からの反射光の強度が等しく、両者の干渉により反射損失が0になるようなものを選定しなければならない<sup>6.17)</sup>。

つぎに、ネガタイプ液晶表示器は照射照度による輝度対比の低下が少ないにもかかわらず、正読率の低下が著しいという矛盾がある。その理由としては、照射照度の増加にしたがって、表示面とグリーン・フィルタを透過するバックライトの影響のために、物理的輝度対比は変化しなくても、対比効果による主観的輝度対比の低下が大きい影響をおよぼしていると考えられる<sup>6.8)</sup>。



(b) 提示数字の形状による正読率の変化

誤読が最も多いと考えられる10,000 lxにおいて、緑色発光ダイオード表示器を除く蛍光表示管とネガタイプ液晶表示器が判読不能になったので、ここでは3,000 lxについて検討することとした。すなわち、3,000 lxにおける全試行数1,000回に対する誤読の割合が0.01以上の誤読数字による変化を試料別に、提示数字をパラメータとして図6.6に示す。図の中で、誤読の割合が0.03以上のものを挙げると、緑色発光ダイオード表示器の場合は(5→2), (2→5), (3→6)となり、蛍光表示管の場合は(5→2), (7→6), (7→1),

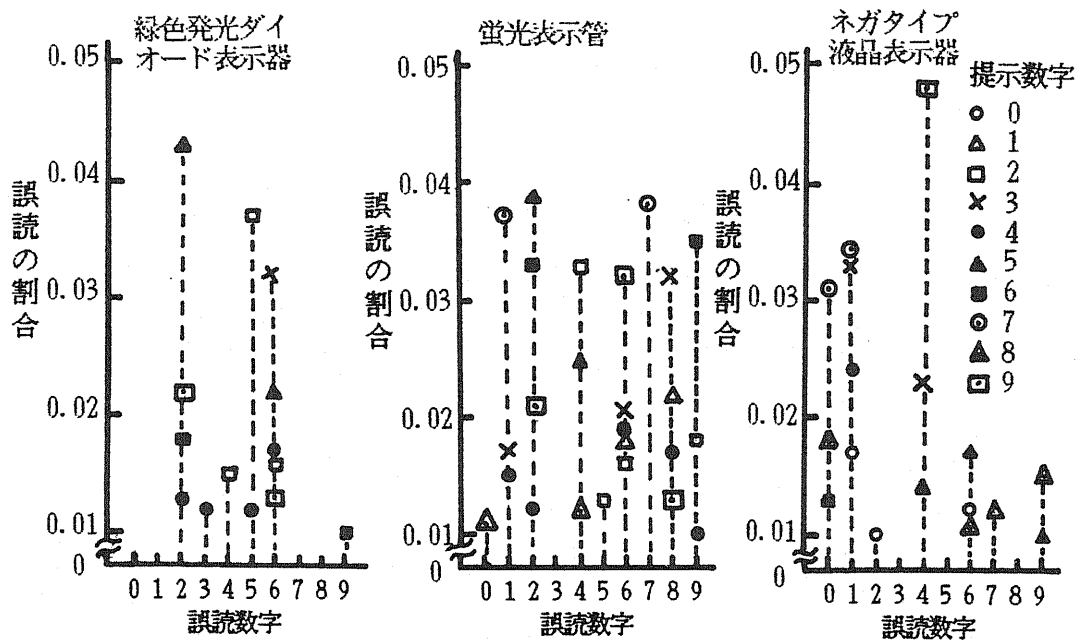


図 6.6 提示数字と誤読数字の関係

(6→9), (6→2), (2→4), (3→8), (9→6)となった。また、ネガタイプ液晶表示器の場合は、(9→4), (7→1), (7→0), (3→1)であった。緑色発光ダイオード表示器とネガタイプ液晶表示器はここに示した特定の数字に誤読が集中するのに対して、蛍光表示管の誤読は平均化する傾向を示した。

誤読を提示数字の形状から見ると、図 6.4に見られるように、(0, 1, 8)などの対称形を除く、(2, 3, 5, 6, 7, 9)などの非対称な数字に誤読が集中し、4はこれらに続く。ここで、誤読が集中した非対称な提示数字に対する誤読状況は、図 6.6に見られるように、(3, 7)を除く数字に大部分の誤読が分散した。誤読率の高い提示数字と誤読数字との関係は、(5→2)、(2→5)、(3→6)、(7→1)、(6→9)、(3→8)、(9→6)などについて形状の類似性があげられる<sup>6.15)6.19)</sup>。なかでも2と5および6と9などのように非対称な数字同士は、誤読による形状の類似性が相互に見られるが、3と8のように非対称形と対称形の数字については、非対称形から対称形に誤読するのみで、その逆は見られなかった。しかし、(7→0)、(7→6)、(3→1)と誤読した場合は形状の類似性があてはまらない。

#### (c) 直前に判読された数字の正読率への影響

表示面照度が3,000 lxになると、光源からの反射光が網膜上の数字に重畳して、被験者は網膜にかなり疲労を伴う。その結果、直前に提示された数字の知覚の程度によって、形状の類似性とは考えられない(7→0)、(7→6)、(3→1)などの誤読が顕著になってくる。これは、高照度の表面反射と直前に判読された数字の知覚による影響と考えられ<sup>6.20)</sup>、誤読状況を試料別に表 6.3に示す。なお、著者の実験では、その現象は表示間隔が3秒以内で見られ、4秒以上になると見られなくなった。

表 6.3より、7を0と誤読したもののうち、被験者が0あるいは8と正読、または6を8と誤読したのち7が提示されたので、前者の知覚により、それらと類似した0と誤読したと考えられる。(7→6)の誤読は、直前に提示された6の正読や(3→6)の誤読による。さらに、(3→1)の誤読は、直前に提示された1および7の正読や(7→1)の誤読が原因しているので、それぞれの場合における発生件数を併記した。これらを総合すると、3,000 lxの場合

の全誤読数に対する直前に判読された数字の影響による誤読と見られる割合は、それぞれ緑色発光ダイオード表示器が0.5 %、蛍光表示管が2.7 %、ネガタイプ液晶表示器が6.2 %となった。ここで、直前に判読された数字の影響がネガタイプ液晶表示器に最も多く見られたのは、他の試料と比べて提示数字のセグメントの応答時間が遅いことが原因している(6.21) (6.22)。

表 6.3 直前に判読された数字の知覚による誤読状況

誤読状況	直前の判読状況	発生件数		
		緑色発光ダイオード表示器	蛍光表示管	ネガタイプ液晶表示器
3→1	1→1	0	10	22
	7→7	0	0	1
	7→1	0	3	9
7→0	0→0	0	8	0
	8→8	0	0	1
	6→8	0	0	2
7→6	6→6	0	0	1
	3→6	2	0	0
合計		2	21	36

そのほかに、高照度と直前に判読された数字の知覚による影響と考えられる以外の要因による誤読も見られる。なかでも、(7→6)の蛍光表示管の誤読が、3,000 lxにおける全誤読数の4.9 %を占めている。その原因は、表示面へ照射する光の反射グレアの影響によるランダムな誤読と考えられ、正読率の低下に特に大きい影響をおよぼしている。

#### 6.2.4 輝度むらと認知時間

輝度むらの異なる試料について、可読性への影響を調べるために時間の認知いきを測定した。132 lxの明室内において、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、瞬時発光させて提示数字を5名の被験者に判読させた。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提示した。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読率を求め、その値が50%になる提示時間を認知いきとした。測定には、3.1節の『表 3.1 試料の種類と電気的定格』に示す緑色発光ダイオード表示器のうちD社No.3を用い、その結果を図 6.7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

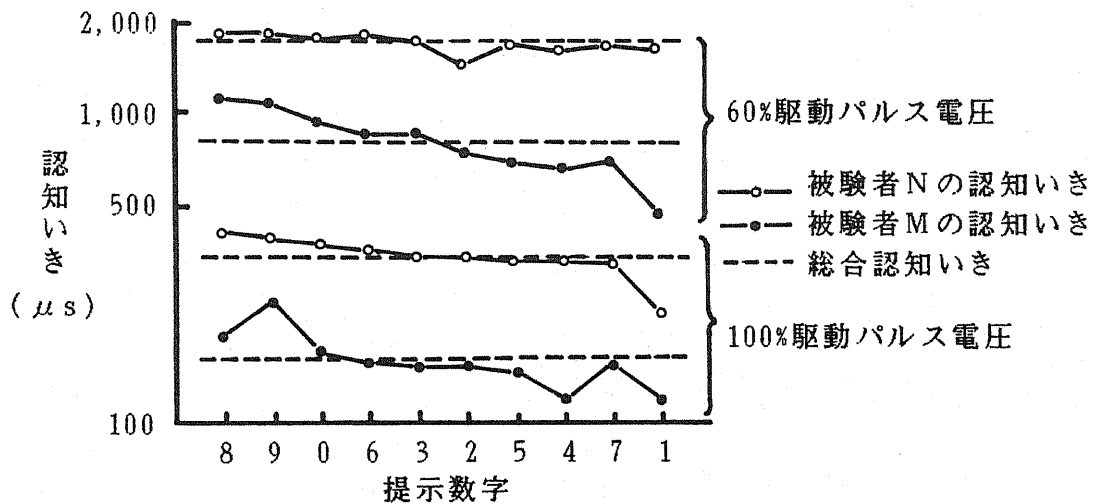


図 6.7 提示数字に対する認知いき (D社No.3)

種類で認知度の違いがわかるようにした。このことをさらに明らかにするために、全データについて提示時間における数字ごとの正読率順位を作った。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 $\chi^2$ を用いて検討した<sup>6.23) 6.24)</sup>。その結果定格100%の場合、提示時間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、提示時間に関係なく数字別正読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 6.8 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誤読する確率が高い。これに対して 1 は他の数字と誤読する確率が非常に低い。

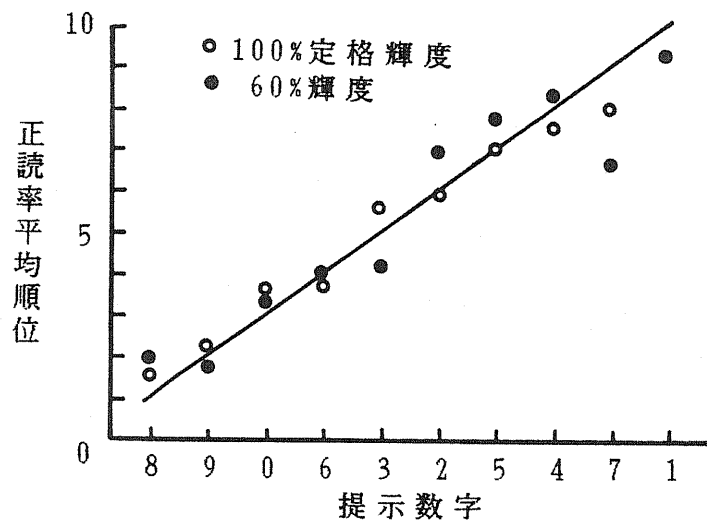


図 6.8 数字別正読率順位 (D社No.3)

つぎに、D社のNo.3よりも輝度むらの多いB社の緑色発光ダイオード表示器 (詳細は、3.1 節の『表 3.1 試料の種類と電気的定格』を参照) についても、同様に可読時間の認知いきを測定した。両者に見られる輝度むらの差違については、3.1.2 項の『輝度むらの測定』で求めたとおりで、その結果は『図 3.3 表示器のセグメントによる輝度のばらつき』で明らかにした。この場合の数字別認知いきおよび正読率平均値を図 6.9 に示す。図より、認知いきが図 6.7 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が他の数字と誤読しやすいことは前述のとおりであるが、輝度むらのために誤読がさらに著しくなって、しきい値が上がったと考えられる。

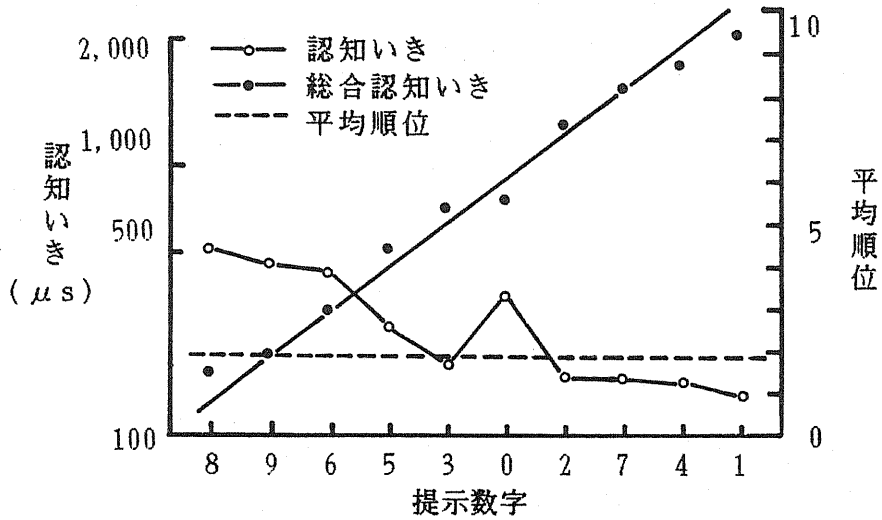


図 6.9 数字別認知いきと平均順位 (B社)

つぎに、図 6.7と図 6.9の数字別認知いき順位の中の相関性を調べるために、Spearmanの順位相関係数を求めると0.82であった<sup>6.24)</sup>。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

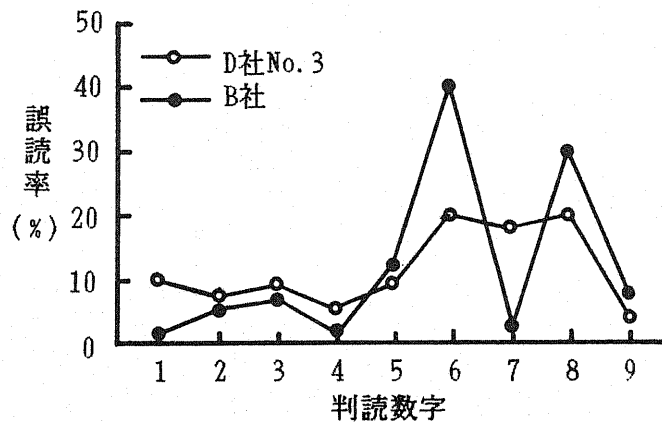


図 6.10 提示数字0に対する判読数字と誤読率

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、一部のセグメント輝度が低いためにかえって誤読しやすい数字の種類が減ってきて順位が上がる考えられる。このことを全誤読数に対する数字別誤読数の割合で比較した結果を図6.10に示す。

ここでB社の緑色発光ダイオード表示器の場合は6と8に誤読が集まり、逆に7、4および1に誤読する割合が少なくなっている。これはB社の緑色発光ダイオード表示器のbセグメントの輝度が低いので6に誤読が集中し、bセグメントを含む数字7、4および1への誤読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6.4に示すように250 $\mu$ sを過ぎた付近で急激に3と誤読する回数が増加したことによる。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た結果と考えられる。

表 6.4 提示数字5に対する判読数 (B社)

提示時間 ( $\mu$ s)	判 読 さ れ た 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

#### 6.2.5 明視性と可読性に関する考察

視認性は明視性と可読性の総称と考えられるので、5.2節の『数字発光表示器の明視性』と本研究の結果を比較検討する。

実験の結果、明視性と可読性の両方の傾向は、ほぼ対応している。しかし、可読性における照射照度の影響の大小は蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器、緑色発光ダイオード表示器の順で、明視性のネガタイプ液晶表示器、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管とは、異なる結果が得られた。その理由として、明視性実験において被験者が、主観的等価輝度の調整に平均2～3秒要するのに対して、可読性実験では2秒ごとに0.1秒間乱数が提示されるので、数字の提示時間が明視性の場合に比べて $1/30 \sim 1/20$ の短時間となる。その短時間における判断に際して、直前に判読された数字の知覚による影響が、緑色発光ダイオード表示器では見られず、ネガタイプ液晶表示器に大きく見られたことが原因していると考えられる。それは、緑色発光ダイオード表示器のピーク波長が蛍光表示管やネガタイプ液晶表示器に比して視感度中心に最も近いことによると言える。また、蛍光表示管は直前に判読された数字の知覚よりも、照射光の反射グレアによるランダムな誤読が、可読性に大きい影響をおよぼしている。

以上の検討結果から判断して、照射照度による影響の大小は、明視性実験ではネガタイプ液晶表示器、緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管の順であり、また可読性実験になると、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器、緑色発光ダイオード表示器の順になったと考えられる。

#### 6.2.6 まとめ

緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器などのタイプの異なる3種類の表示器について、窓枠から入射する光によるグレアや直前に判読された数字の影響などを把握することは、提示された情報を正確に知覚するために避けることができない重要な問題である。

本研究ではこれらの関連を明らかにするために、3種類の表示器について、照射照度や提示数字に対する正読率の関係を比較検討した結果、つぎの事項が



わかった。

- (1) 1 ~10,000 lx まで照射照度が増加するにしたがって、表示器の輝度対比は緑色発光ダイオード表示器が0.96~0.45、蛍光表示管が0.95~0.10、ネガタイプ液晶表示器が0.87~0.54までそれぞれ低下した。ここで、蛍光表示管の輝度対比の低下が特に大きいのは、表示面を覆っているフェイス・ガラスによる反射の輝きが照射照度の増加とともに提示数字のセグメントに重なって、セグメントと表示面の輝度対比が、緑色発光ダイオード表示器やネガタイプ液晶表示器に比べて小さくなった。このために正読率が、最も大きく低下した。また、ネガタイプ液晶表示器は輝度対比の変化が少ないにもかかわらず、正読率の低下が大きい。これは、表示面とグリーン・フィルタを透過するバックライトの影響と考えられる。
- (2) 正読率50%の照射照度いき値は、緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器、蛍光表示管の順であった。これは、表示面へ照射する光の反射によるグレアの影響が、試料別に異なるためであると考えられる。
- (3) 緑色発光ダイオード表示器とネガタイプ液晶表示器は特定の数字に誤読が集中し、蛍光表示管は誤読が平均化する傾向が見られた。この誤読率の高い提示数字と誤読数字の関係は、ほとんど形状の類似性があげられる。しかし、それ以外の誤読については、反射グレアの影響の他に直前に判読された数字の知覚による影響が大きいことが知れた。この影響は、セグメントの応答時間が遅いネガタイプ液晶表示器が特に大きい。また、反射グレアによるランダムな誤読は、蛍光表示管に最も多く見られた。緑色発光ダイオード表示器については、これらの影響がほとんど見られなかった。
- (4) 輝度むらのある試料の可読時間認知いきについて検討した結果、数字に

よって可読性への影響が異なってくるが、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、数字ごとの正読率の順位を、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。

### 6.3 非発光表示器の可読性

#### 6.3.1 1桁の数字に対する可読性の測定

ポジティブ液晶7セグメント数字表示器の提示数字を判読する上で、視認方向角と照射照度が視認性におよぼす影響について検討する。その場合、表示器の使用は多種多様であるが本研究は室内照明に限定して、つぎの2項目の測定を行う。

(1) 表示器の表示面照度を変化させながら、パーソナルコンピュータを用いて0～9までの各数字をランダムに提示し、被験者に判読させて正読率を求める。これを視角、左右および上下視認方向角、照射照度、提示数字などを測定変数として行い、得られたデータについて要因分析<sup>6.25)</sup>を施す。

(2) 一次または二次補間法<sup>6.26)</sup>により、誤読が見られる測定データから左右および上下方向の照射照度による正読率50%および100%の視認方向角認知いき<sup>6.27)</sup>を求める。

以上の測定結果から、測定変数が数字読み取りの正読率におよぼす影響を明らかにすることができる。

#### (a) 可読性実験

##### (a-1) 測定方法

スタティック駆動回路により動作させた表 6.5に示す試料の表示面に、水平

面上45°の角度から140 mmφの電球口金形蛍光ランプ（詳細は、付録の『付図 3.2 電球口金形蛍光ランプの分光特性』を参照）を光源として、色温度が5,000 Kの光を照射した。光源から放射される光路上に取り付けた白色アクリル板を用いて、試料の表示面照度を0～300 lxまで変化させながら3, 10, 30, 100, 300 lxの5点について提示数字の判読予備実験を行った。No.1, No.2, No.3のどの試料も3 lxの場合判読不能となったので、この照度を除く4点につ

表 6.5 液晶表示器の種類

試料番号	製造会社別	数字の大きさ(mm)
No.1	A社-1	8.9(H)×4.45(W)
	B社-1	
No.2	A社-2	12.7(H)×6.35(W)
	C社	
No.3	A社-3	17.8(H)×8.9(W)
	B社-2	

いて正読率実験を行うことにした。人間の光刺激に対する単純反応時間が0.2秒程度であること<sup>6.11)</sup>などから、本実験ではパーソナルコンピュータを用いて、試料の提示時間を0.1秒とし、2秒間隔で0～9までの数字をランダムに提示した。

1.0以上の正常な視力をもつ学生4名を被験者として暗室で35分間順応させた後<sup>6.12)</sup>、図6.11に示すように、視角、視認方向角、照射照度一定のもとに、0～9までの数字をそれぞれ20回ランダムに計200回提示して被験者に判読させた。観測中は被験者の視線が変化しないように、顎を台にのせて頭部を固定した。これを1セッションとし、その所要時間は10分であった。なお図6.7において、視線に対して表示面の法線が時計方向に回転場合を左視認方向とし、その逆を右視認方向とする。さらに視線に対して表示面の法線が上方方向に回転場合を上視認方向とし、その逆を下視認方向とする。

ここで測定変数として、文字の大きさ、視距離にかかわらず視角によって文字の視認性が決まることは、すでに実証されている<sup>6.13)</sup>ので、本研究では文字の大きさと視距離を視角で統一することとした。

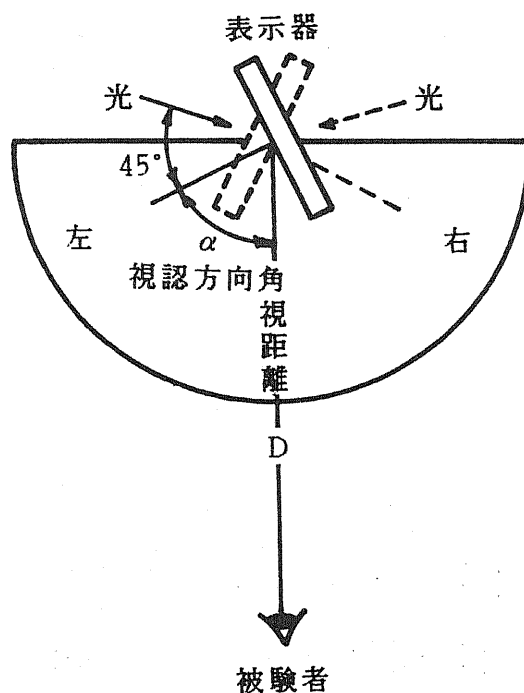


図 6.11 可読性実験図

視角の値を $0.5^\circ$ 、 $0.75^\circ$ 、 $1.0^\circ$ 、 $1.25^\circ$ の4水準とし、数字の大きさの異なる試料No.1, No.2, No.3について視角と視距離の関係を示す式(5.4)より、それぞれの視角に対応する視距離を計算して用いた。

視認方向角は左右の場合 $38^\circ \sim 88^\circ$ 間を $2^\circ$ 間隔で26点、上下の場合 $2^\circ \sim 86^\circ$ 間を $2^\circ$ 間隔で43点とり、照射照度は10, 30, 100, 300 lxの4点をそれぞれとった。

このようにして得られた数字別20個ずつの回答から算出した正読率について要因分析<sup>6.25)</sup>を行った。

(a-2) 正読率に影響をおよぼす要因の分散分析

試料を左右方向に傾けた場合、正読率に影響を及ぼす視角、視認方向角の左

表 6.6 正読率に対する左右方向の4元配置分散分析の結果

変 動 因	自由度	平方和	平均平方和	F 比
視 角 (A)	3	46.18	15.39	13,572**
視認方向角の左右 (B)	1	5.82	5.82	5,133**
視 認 方 向 角 (C)	25	407.29	16.29	14,364**
照 射 照 度 (D)	3	95.67	31.89	28,118**
A×B	3	0.48	0.16	142**
A×C	75	20.42	0.27	240**
A×D	9	5.36	0.60	525**
B×C	25	2.88	0.12	102**
B×D	3	1.08	0.36	318**
C×D	75	62.53	0.88	735**
A×B×C	75	5.20	0.07	61**
A×B×D	9	1.55	0.17	152**
A×C×D	225	60.83	0.27	238**
B×C×D	75	7.82	0.10	92**
A×B×C×D	225	15.45	0.07	61**
測 定 誤 差	2,496	2.83	0.001	
全 体	3,327	741.40		

表 6.7 正読率に対する上下方向の4元配置分散分析の結果

変 動 因	自由度	平方和	平均平方和	F 比
視 角 (A)	3	58.76	19.59	30,744**
視認方向角の上下 (B)	1	102.07	102.07	160,229**
視 認 方 向 角 (C)	42	240.10	5.72	8,974**
照 射 照 度 (D)	3	37.79	12.60	19,772**
A×B	3	1.96	0.66	1,028**
A×C	126	15.13	0.12	188**
A×D	9	3.27	0.36	570**
B×C	42	43.04	1.03	1,609**
B×D	3	2.63	0.88	1,374**
C×D	126	11.00	0.09	137**
A×B×C	126	30.41	0.24	379**
A×B×D	9	5.69	0.63	993**
A×C×D	378	34.20	0.09	142**
B×C×D	126	15.84	0.13	197**
A×B×C×D	378	41.59	0.11	173**
測 定 誤 差	4,128	2.64	0.001	
全 体	5,503	646.12		

右、視認方向角および照射照度を変動因として、得られた正読率について4元配置分散分析<sup>6.26)</sup>を行った結果を表6.6に示す。ただし、視認方向角は36°以下ではすべて判読可能であったので、38~88°の26水準にした。表中の視角、視認方向角の左右、視認方向角、照射照度およびそれらの交互作用のすべてに危険率1%で大きい有意差が見られた。

一方、試料を上下方向に傾けた場合も誤読が見られた2~86°間の43水準について分散分析を行った結果、表6.7に示すように左右方向の傾きの結果と比較して、特に大きな差異は見られなかった。

これらの4元配置分散分析の結果より、ポジティブ液晶表示器の実用面では、広範囲の照度下でさまざまな角度から判読するので、左右および上下方向の視認方向角と照射照度による影響を調べる必要があることが示された。つぎに、人間が数字を判読するので、提示数字の可読性に影響を及ぼす因子について、以下でさらに細かく心理物理学的に検討する。

#### (b) 正読率に影響をおよぼす因子の考察

##### (b-1) 照射照度による視認方向角と正読率

提示数字の判読は、被験者の眼から送られてきた情報を脳が総合判断して行うので、照射照度が低下し、左右および上下方向の視認方向角が大きくなるにつれて、眼から送られてくる情報が徐々に少なくなって、脳での判断が困難になる<sup>6.19)</sup>。その結果、誤読が増加すると考えられる。

そこで高照度になるほど提示数字の判読が容易であることは明らかなので、明室に相当する300 lx<sup>6.28)</sup>以下の影響が考えられる領域に照度を限定して、照射照度と視角別に左右と上下方向の視認方向角による正読率をグラフにして求めた。その結果を図6.12に示す。左右方向上下方向の場合とともに、視角および照射照度によって正読率の視認方向角特性に大きい差異が見られ、それらが増加するに従って、視認方向角の大きいほうにグラフが推移した。この場合、

視認方向角の推移量は、視角の変化の全範囲で左右が $20^\circ$ ，上下が $30^\circ$ と，上下方向が左右方向に比べてかなり大きかった。また，正読率が1から0に落ちる視認方向角の幅は，いずれも約 $10^\circ$ であった。

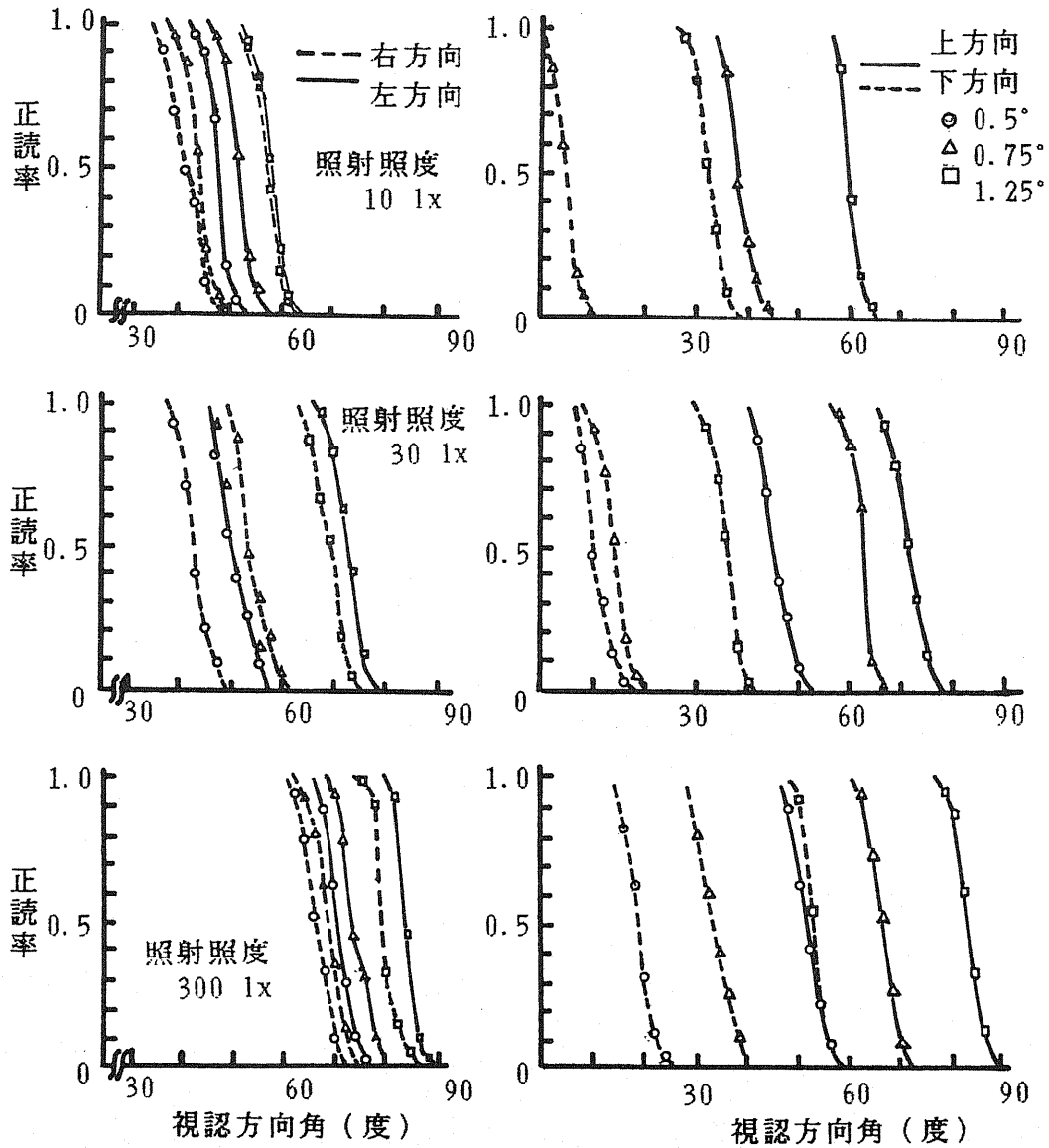


図 6.12 正読率の視認方向角特性

図6.12において，正読率50%と100%における左右および上下方向の視認方向角<sup>6.29)6.30)</sup>を補間法で求め，その結果をそれぞれ図6.13と図6.14に示す。

いずれの視認方向角も照射照度の増加とともに増大した。左右方向と上下方向

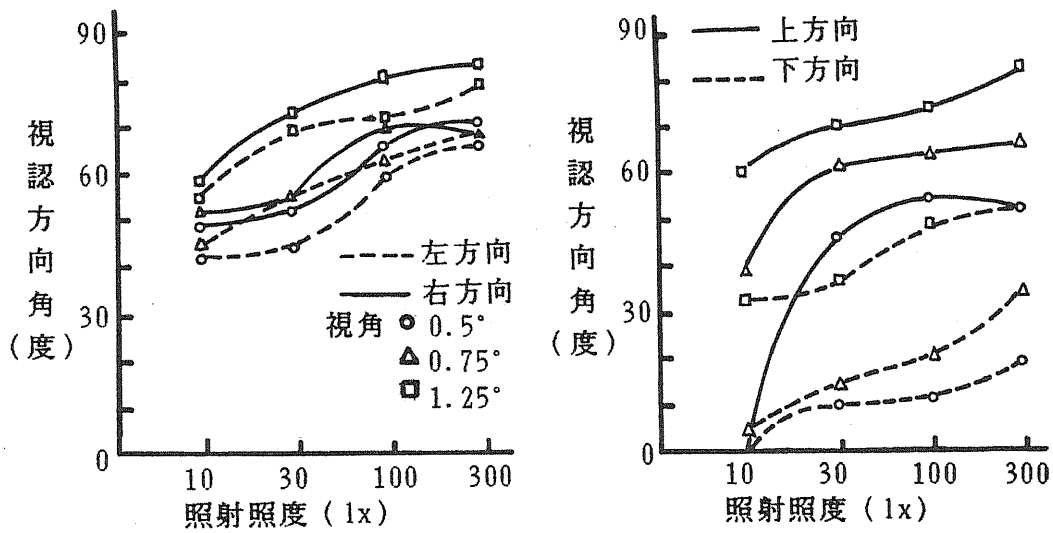


図 6.13 正読率50%の視認方向角

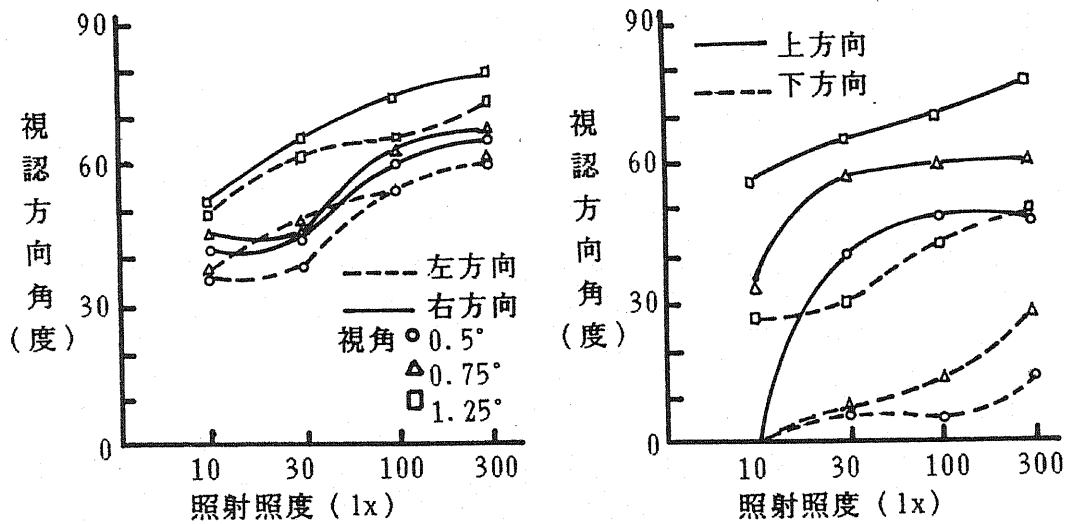


図 6.14 正読率100%の視認方向角

を比較した場合、上下方向の視認方向角が、左右方向に比べて小さい値になっている。なかでも下方向が特に小さい。これは上下方向の傾きのほうが左右方向の傾きより、提示数字の見かけの変形による判読の困難さが大きいことによ



る。また、左右方向の傾きの場合に視距離が近いときは、両眼視差のため視角の大きいほうの眼で判読がなされることの影響もあると考えられる<sup>6.20)</sup>。

#### (b-2) 提示数字と誤読数字の関係

誤読が特に多いと判断される提示数字を誤読の多い方から順に並べると、左右の場合(8, 9, 0, 5)の順で、上下では(8, 7, 3, 0)の順で顕著になった。

これらの提示数字がどの数字と誤読されたかを明らかにするために、誤読が特に多い2つの提示数字について、左右および上下の視認方向角に分けて検討する。つまり、左右の視認方向角では8と9、上下の視認方向角では3と8について、それぞれ提示数字に対する誤読率を図6.15に示す。

左右の視認方向角の8と9を比較した場合、8は(0, 3, 6, 9)に誤読が集中しているのに対して、9の誤読は(3, 4, 5)に集中する傾向が見られた。また上下の視認方向角では、3の誤読が(1, 7, 9)に集中し、8の誤読は(0, 6, 9)に集中した。

特定の数字に誤読が集中する原因は、左右および上下方向の視認方向角が増すことからくる提示数字の変形にあると考えられる。すなわち左右の視認方向角の増加にしたがって、横セグメントである(a, d, g)が見え難くなっていくことと、縦セグメントである(bとf)および(cとe)がそれぞれ重なり合ってくるために両セグメントの区別がつきづらくなることによる。これらを提示数字8と9に当てはめてみると、表6.8のようにまとめられる。表において(8→3), (8→9), (9→8)の場合、左の視認方向による誤読率が70~80%を占めた。その他は、左右ほぼ同数の誤読であった。

つぎに、上下の視認方向角が増加するにしたがって、縦セグメントである(b, c, e, f)が見え難くなっていくことと、横セグメントである(a, d, g)が互いに重なり合ってくるために両セグメントの区別がつきづらくな

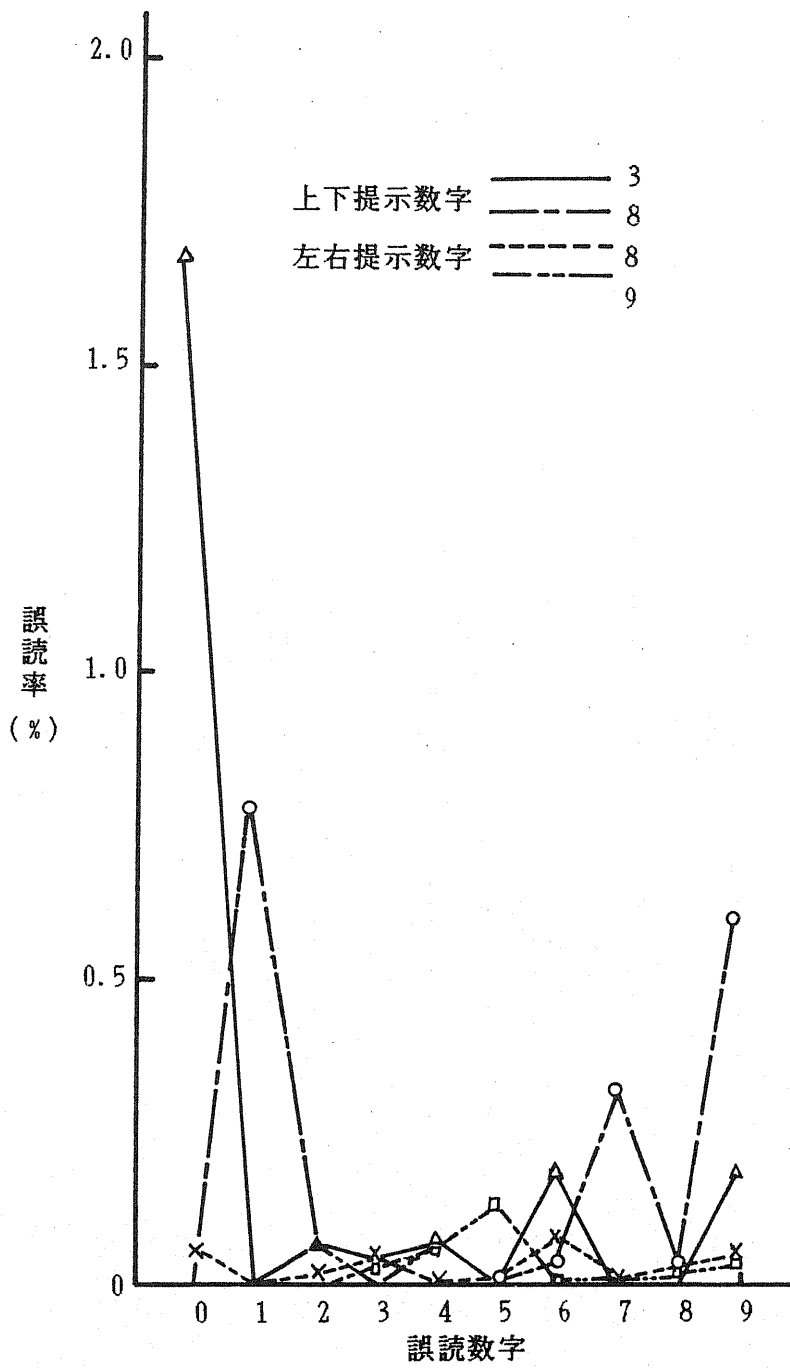


図 6.15 誤読された数字と誤読率の関係

表 6.8 左右方向の傾きに対する提示数字の誤読原因

提示数字	誤読数字	誤読原因セグメント
8	0	g
	3	b と f の重なり c と e の重なり
	4	a, d c と e の重なり
	6	b と f の重なり
	7	b と f の重なり c と e の重なり d, g
	9	c と e の重なり
9	0	c と e <sup>g</sup> の重なり
	3	b と f の重なり
	4	c と e の重なり a, d
	5	b と f の重なり
	6	b と f の重なり c と e の重なり
	8	c と e の重なり

ることによる。これらを提示数字 3 と 8 に当てはめてみると、表 6.9 のようにまとめられる。表中の誤読については、いずれも上下ほぼ同数の誤読であった。

表 6.9 上下方向の傾きに対する提示数字の誤読原因

提示数字	誤読数字	誤読原因セグメント
3	1	a, d, g の重なり
	7	a, d, g の重なり
	9	f
8	0	a, d, g の重なり
	2	c, f
	3	e, f
	6	b
	7	a, d, g の重なり e, f
	9	e

### 6.3.2 3桁の数字に対する可読性の測定

本研究では、3桁のポジティブ液晶表示器の照明環境を室内照明以下に限定して、視角、視認方向角および照射照度などの測定変数が可読性におよぼす影響について実用面から検討する。そのために、運輸省令により最も厳しい規制がしかれている車載用7セグメント数字表示器を試料として取り扱う。

#### (a) 可読性実験

##### (a-1) 測定方法と結果

スタティック駆動回路により動作させた3桁の提示数字の大きさが17.8(H) × 40.1(W) mmであるポジティブ液晶表示器の表示面に、水平面上45°の角度から17 Wの電球口金形蛍光ランプ（詳細は、付録の『付図 3.2 電球口金形蛍光ランプの分光特性』を参照）を光源として、色温度が5,000 Kの光を照射した。それぞれの照度は、光源から試料までの光路の長さ、光路上に挿入した白色アクリル板の枚数とで調整した。運輸省の保安基準により、走行中の速度計の表示保持時間は0.2 ~ 0.6 秒であり、表示切り換え時間は0.1 秒以内であると規定されていることから<sup>6.31)</sup>、3桁の数字は、パーソナルコンピュータを用いて、0.1 秒間ずつ8 秒間隔で提示した<sup>6.11)</sup>。

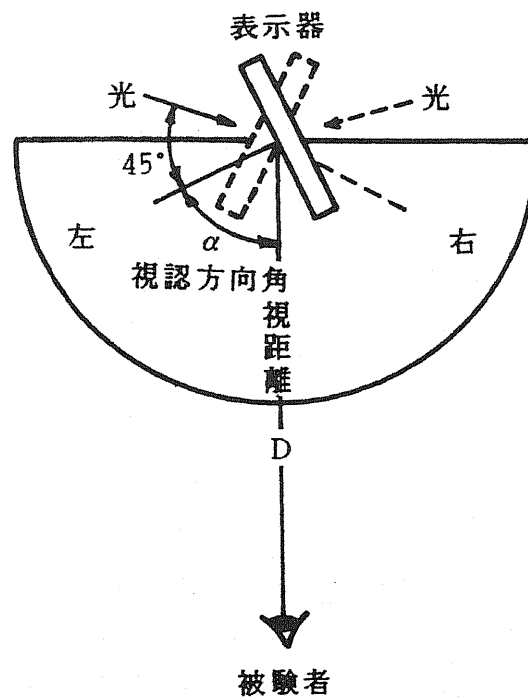


図 6.16 可読性実験図

1.0 以上の正常な視力をもつ学生5名を被験者として暗室で35分間順応させた後<sup>6.12)</sup>、図6.16に示すように、視角、視認方向角、照射照度一定のもとに、3桁の数字を25回ランダムに提示して被験者に判読させた。観測中は被験者の

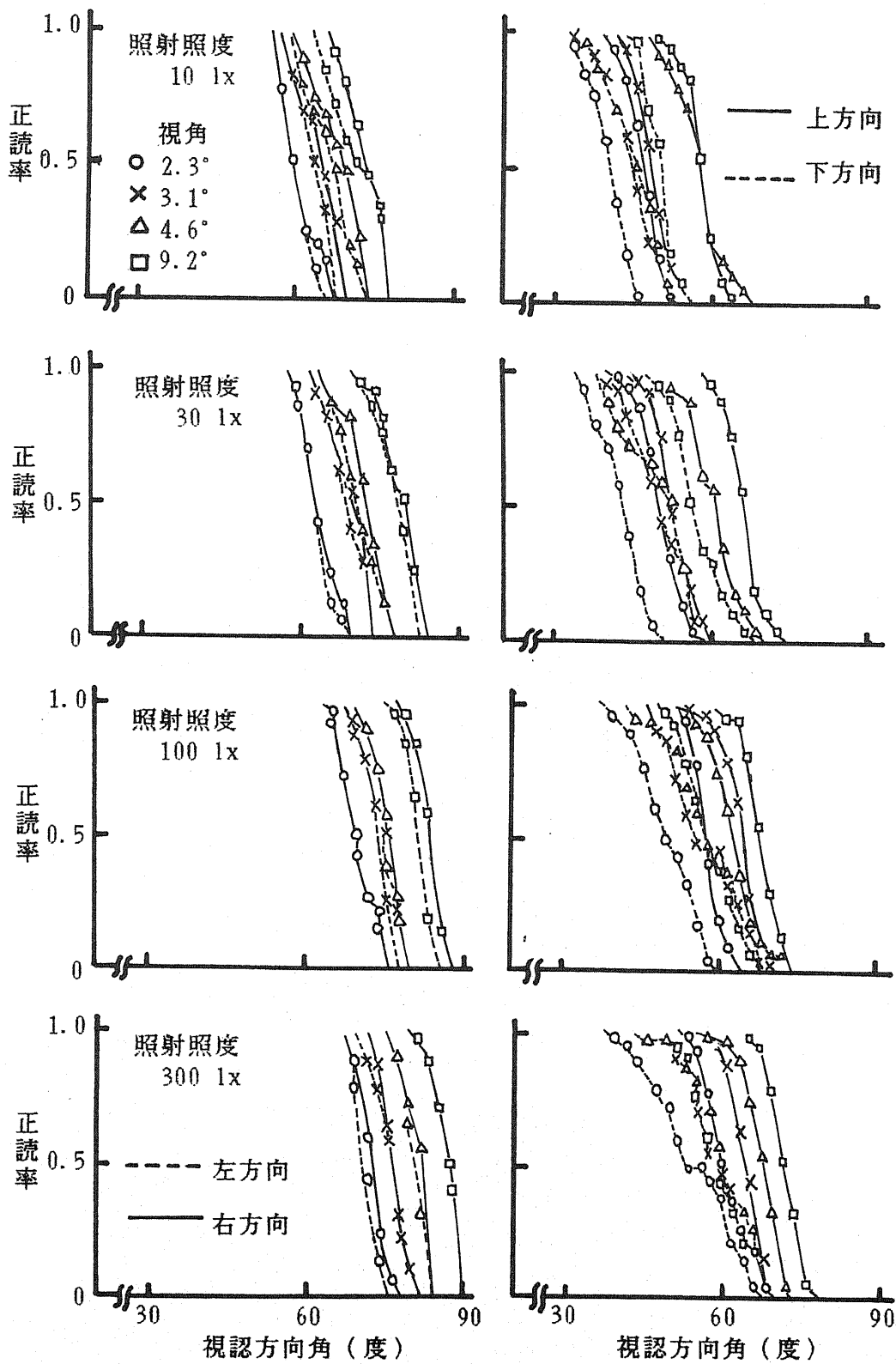


図 6.17 正読率の視認方向角特性

視線が変化しないように、顎を台にのせ、さらに額あてを併用して頭部を固定した。これを1セッションとして、所用時間は5分であった。なお、図6.13において、視線に対して表示面の法線が時計方向に回転する場合を左視認方向とし、その逆を右視認方向とする。さらに視線に対して表示面の法線が上方方向に回転する場合を上視認方向とし、その逆を下視認方向とする。

ここで測定変数として、視角は $2.3$ 、 $3.1$ 、 $4.6$ 、 $9.2^\circ$ の4水準とった。また、視認方向角は左右の場合 $58\sim 88^\circ$ 間を $2^\circ$ 間隔で16点、上下の場合 $34\sim 78^\circ$ 間を $2^\circ$ 間隔で23点とり、照射照度は $10$ 、 $30$ 、 $100$ 、 $300\text{lx}$ の4点をそれぞれとった。

このようにして得られた正読率の左右および上下方向の視認方向角による変化を照射照度別に、視角をパラメータとして図6.17に示す。左右方向と上下方向はともに、視角および照射照度によって正読率の視認方向角特性に大きい差異が見られ、それらが増加するに従って、視認方向角の大きいほうにグラフの曲線が推移した。なお、3桁のうち誤読が最も目立つのは10位の数字であった。その理由は、1位と100位の数字が3桁の両端に位置し、10位の数字は中間に位置しているために、両者に比べて被験者の印象が薄い。さらに、100位の数字は経験や学習により、上位桁から認知判断するという概念推進処理形が働く<sup>6.14)</sup>。また、1位の数字は3桁の中で最下位に位置し、最後に判読される数字であるがゆえに、100位や10位の数字に比べて可読時間の遅延を視感覚系の注意を最大限にはらうことでカバーしようとするなどによると考えられる。

#### (a-2) 正読率に影響をおよぼす要因の分散分析

正読率に影響をおよぼす視角、視認方向角の左右あるいは上下、視認方向角および照射照度を変動因として、図6.17に示された正読率について4元配置分散分析を施した<sup>6.25)</sup>。その結果、ポジティブ液晶表示器を左右方向に傾けた場合を表6.10に示し、上下方向に傾けた場合を表6.11に示す。表6.10では、視

表 6.10 正読率に対する左右方向の4元配置分散分析の結果

変 動 因	自 由 度	平 方 和	平均平方和	F 比
視 角 (A)	3	125.20	41.74	1,411**
左右方向 (B)	1	0.02	0.02	1
視認方向角 (C)	15	580.18	38.68	1,308**
照射照度 (D)	3	121.66	40.55	1,371**
A×B	3	0.28	0.10	3**
A×C	45	46.86	1.04	35**
A×D	9	2.02	0.22	8**
B×C	15	0.17	0.01	0
B×D	3	0.02	0.01	0
C×D	45	41.35	0.92	31**
A×B×C	45	0.99	0.02	1
A×B×D	9	0.57	0.06	2*
A×C×D	135	100.04	0.74	25**
B×C×D	45	0.56	0.01	0
A×B×C×D	135	3.69	0.03	1
測定誤差	4,608	136.28	0.030	
全 体	5,119	1,159.90		

表 6.11 正読率に対する上下方向の4元配置分散分析の結果

変 動 因	自 由 度	平 方 和	平均平方和	F 比
視 角 (A)	3	26.64	8.88	2,435**
上下方向 (B)	1	23.95	23.95	6,567**
視認方向角 (C)	22	504.02	22.91	6,281**
照射照度 (D)	3	49.48	16.49	4,521**
A×B	3	1.88	0.63	172**
A×C	66	15.55	0.24	65**
A×D	9	3.21	0.36	98**
B×C	22	12.77	0.58	159**
B×D	3	0.02	0.01	2*
C×D	66	34.69	0.53	144**
A×B×C	66	12.13	0.18	50**
A×B×D	9	2.00	0.22	61**
A×C×D	198	18.62	0.09	26**
B×C×D	66	8.45	0.13	35**
A×B×C×D	198	13.34	0.07	18**
測定誤差	6,624	24.16	0.004	
全 体	7,359	750.91		



角、視認方向角、照射照度に危険率1%で有意差が見られ、これらの交互作用の一部もまた危険率5%と1%で有意差が見られた。一方、表6.10の場合は視認方向角の上下と照射照度との交互作用を除く全てに危険率1%で有意差が見られた。

以上のことから、ポジティブ液晶表示器を左右および上下方向のいずれに傾けた場合も、視角や視認方向角の変化によって可読性が異なり、さらに照射照度に大きく影響を受けることが明らかになった。

(b) 正読率に影響をおよぼす因子の考察

(b-1) 照射照度による視認方向角と正読率

正読率の低下は、視認方向角が増すことからくるセグメントの重なりが最大の原因であるといえる。そこで視認方向角と正読率との関係を明らかにするた

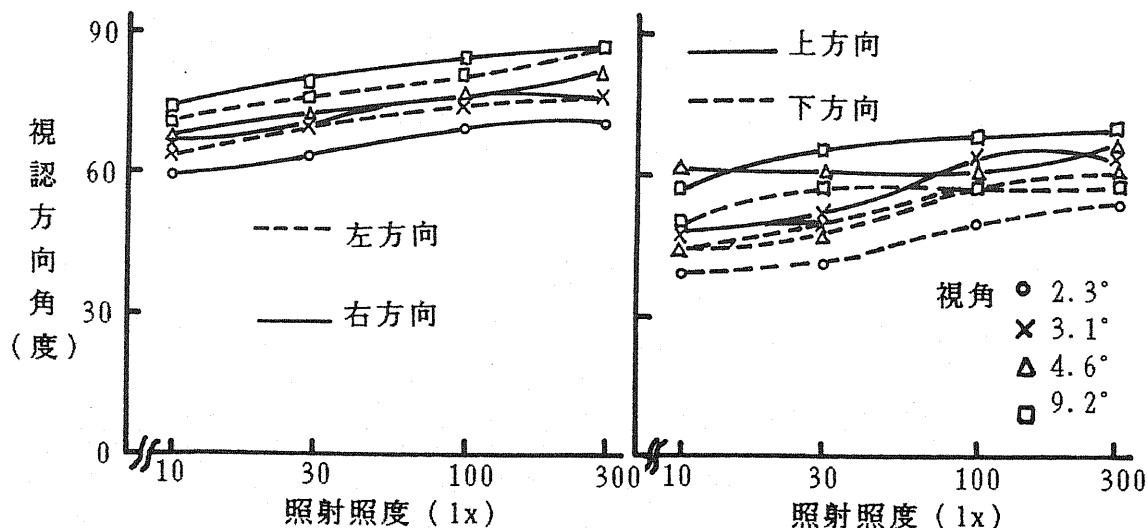


図 6.18 正読率50%の視認方向角

めに、図6.17の正読率50%と100%における左右および上下方向の視認方向角を補間法で求めた。その結果をそれぞれ図6.18と図6.19に示す。いずれの視認

方向角も照射照度の増加とともに増大するが、左右方向と上下方向を比べると、上下方向の視認方向角が左右方向より小さい値を示している。その理由は、提示数字の見かけの変形による判読の困難さが、上下方向の傾きの方が左右方向より大きいこと、および左右方向の傾きに限り、両眼視差のために判読が視角の大きいほうの眼でなされることなどによる<sup>6.20)</sup>。

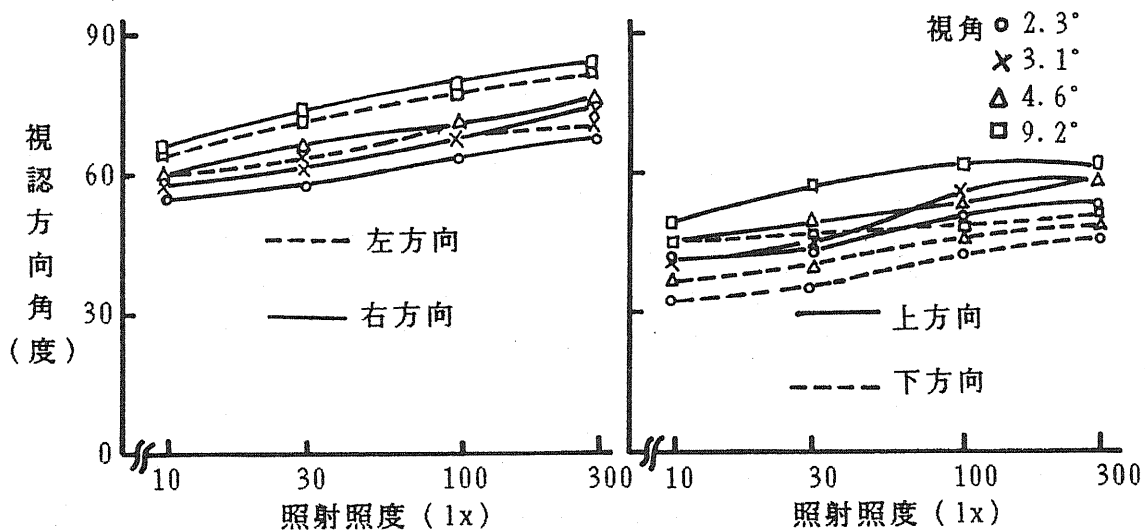


図 6.19 正読率100%の視認方向角

(b-2) 提示数字と誤読数字の関係

3桁の提示数字による判読実験の結果、誤読が特に多いと判断される提示数字を誤読の多い方から順に並べると、左右方向の100位では(8, 9, 6, 7)の順となり、10位では(8, 9, 6, 7)、1位では(8, 9, 5, 7)の順にそれぞれ顕著になった。上下方向について、100位では0がないので(9, 8, 7, 6)、10位では(8, 9, 7, 6)、および1位では(8, 9, 7, 1)の順となった。

つぎに、それらの提示数字がどの数字と誤読されたかを明らかにするため

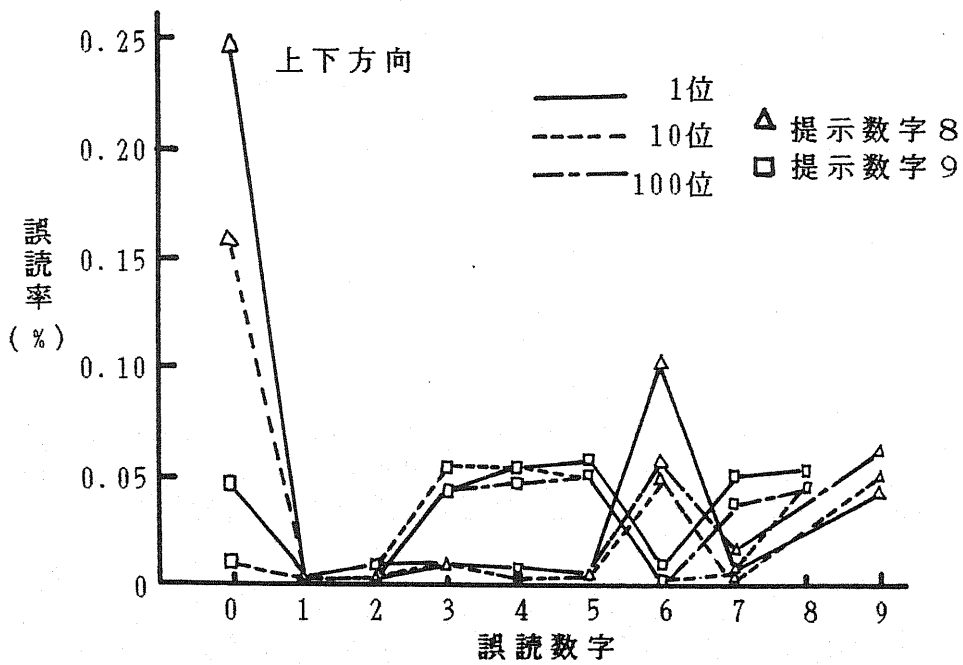
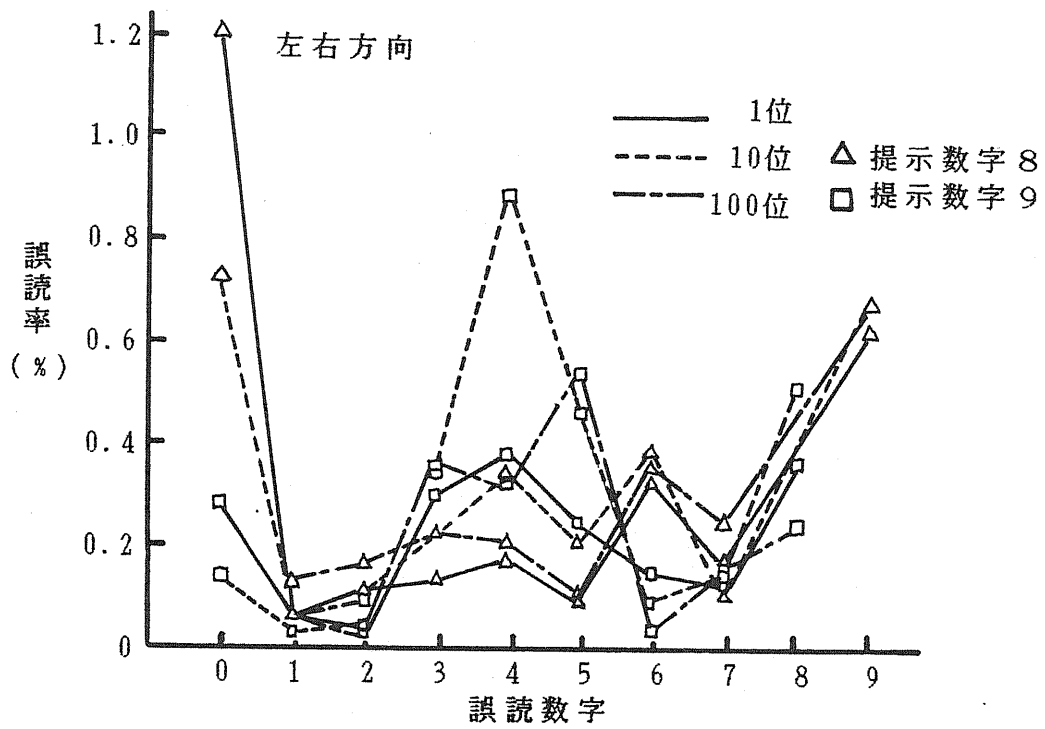


図 6.20 誤読された数字と誤読率の関係

に、誤読の特に多い2つの提示数字について、1, 10, 100位の桁別と左右および上下の視認方向角に分けて検討する。つまり左右および上下方向とも8と9について桁別にわけて、提示数字に対するそれぞれの誤読率を図6.20に示す。まず8について、左右の視認方向角の100位では(9, 6, 7, 3), 10位および1位では(0, 9, 6, 4)の順にそれぞれ誤読が集中しており、上下の視認方向角の100位の誤読順位は(9, 6, 7, 3)となり、10位は(0, 6, 9, 3), 1位は(0, 6, 9, 2)の順であった。9の場合は、左右の視認方向角の100位において(5, 4, 3, 8)に誤読が集中し、10位は(4, 8, 5, 3), 1位は(4, 8, 0, 6)の順でそれぞれ誤読が見られた。また、上下の視認方向角の100位では(7, 5, 4, 8), 10位は(3, 4, 5, 8)

表 6.12 上下方向の傾きに対する提示数字の誤読原因

提示数字	誤読数字	誤読原因セグメント
9	3	f
	4	a, d, gの重なり
	5	b
	7	a, d, gの重なり f
	8	e

などに誤読が集中する傾向が見られ、さらに1位の誤読順位は(4, 5, 8, 7)の順であった。

左右および上下の視認方向角の増加にしたがって、(8, 9)などの特定の数字に誤読が集中する原因は、横セグメントあるいは縦セグメント同士がそれぞれ重なり合って提示数字が変形することによる。上下方向の9を表6.12に示し、それ以外については、6.3.1項(b-2)の『表6.8 左右方向視認の誤読原因』および『表6.9 上下方向視認の誤読原因』に示している。

### 6.3.3 明視性と可読性に関する考察

明視性実験と可読性実験の結果より、発光表示器の場合と同様に両者の傾向はほぼ対応している。

照射照度が増加するにしたがって、明視性実験の場合、輝度対比が低い試料ではセグメントの色彩変化が観察され、高い試料では眼球内で散乱された光が網膜の映像上に重畳して知覚を妨害するため、表示面に光沢を感じて測定誤差を生じた<sup>6.32)6.33)</sup>。可読性実験の場合、照度の影響は上下方向が左右方向に比べて照度とともにかなり増大した。左右方向と上下方向を比較した場合、上下方向の視認方向角が、左右方向に比べて小さい値になっている。なかでも下方向が特に小さい。このような大きな差異が生ずる原因としては、数字の見かけの形状が異なることおよび左右方向の場合は両眼視差が関係してくるためと考えられる<sup>6.30)6.34)</sup>。

### 6.3.4 まとめ

ポジティブ液晶表示器が非発光で、その上視認方向角依存性があるので、照射照度と視認方向角が視認性におよぼす影響は避けられない重要な問題である。本研究ではこれらの関連を明らかにするために、ポジティブ液晶表示器について照射照度や左右および上下の方向の視認方向角などと提示数字に対する正読率との関係について検討した結果、つぎの事項がわかった。

- (1) 正読率について分散分析を行った結果、1桁と3桁の数字の両方とも視角や、左右あるいは上下の視認方向角の変化によって可読性が異なり、

さらに照射照度の影響を大きく受けることが明らかになった。

- (2) 照度および視角による提示数字正読率への影響を正読率100%の視認方向角で調べた結果、1桁、3桁ともに照度の影響は、上下方向が左右方向に比べて照度の増加とともにかなり増大した。左右方向と上下方向でこのような大きな差異が生ずる原因としては、数字の見かけの形状が異なることおよび左右方向の場合は両眼視差が関係してくるためと考えられる。また、1桁の場合の視角による影響は左右方向で最低35°であるのに対し、上下方向では最低0°まで減少した。
- (3) 視認方向角が増加するにしたがって、提示数字が1桁の場合は(3, 8, 9)、3桁では(8, 9)などに誤読が集中した。その理由は、視認方向角の増加による提示数字の見かけの形状の変化のために、受容する情報量が徐々に少なくなったことによる。また、セグメント数が多くて比較的複雑な数字に、その傾向が強く見られた。また、3桁のうち誤読が最も目立つのは10位の数字であった。その理由は、1位と100位の数字が3桁の両端に位置し、10位の数字は中間に位置しているために、両者に比べて視認印象が薄いことによる。

#### 6.4 結言

発光表示器の可読性について、第IV章で提案した評価方法により比較検討した結果、確認された事項を以下に示す。

- (1) 照射照度の増加に対するセグメント輝度対比の低下は、緑色発光ダイオード表示器やネガタイプ液晶表示器に比して蛍光表示管が特に大きかった。それは、表示面を覆っているフェイス・ガラスによる反射の輝きが照射照度の増加とともに提示数字におけるセグメントの輝度に重畳する

ことが原因している。

- (2) 反射グレアが試料によって異なるために、照射照度の認知いきは、緑色発光ダイオード表示器、ネガタイプ液晶表示器、蛍光表示管の順に大きくなった。
- (3) 提示数字と誤読数字の関係は、形状の類似性によるものが大部分であった。それ以外の特徴として、ネガタイプ液晶表示器では知覚された直前に判読された数字に対して形状の類似性が見られ、蛍光表示管では反射グレアによるランダムな誤読が見られた。

つぎに、非発光表示器の可読性について確認された事項を、発光表示器の場合と同様に以下に示す。

- (4) 視認方向角における提示数字の見かけの形状が異なること、および左右方向の場合は両眼視差があることなどが原因して、照射照度の増加に対する1桁と3桁の数字の視認方向角認知いきは、上下方向が左右方向に比べて大きくなることがわかった。
- (5) 視認方向角の増加による提示数字の見かけの形状の変化のために、セグメント数が多くて比較的複雑な数字に誤読が集中した。なお、3桁の数字では、10位の数の誤読が目立った。それは、両端の数字に比べて10位の数の視認印象が薄いことが原因している。

上記の検討結果に基づいて、『数字表示器における可読性の評価方式』を以下に提案する。

- (1) 表示器の種類、照度、背景、視角、視認方向角などの測定変数が可読性におよぼす影響を分散分析の結果より評価する。
- (2) 照射照度いき値について調べ、さらに、正読率の低下の要因となる誤読状況については、表示器の原理および提示数字の形状などから検討する。

## 参考文献

- 6.1) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示器の視認特性におよぼす影響について, 東洋大学工学部研究報告, 21, 37~44 (1986)
- 6.2) 田淵義彦, 中村肇, 松島公嗣: CRT ディスプレイの表示文字と外部反射映像の見え方の主観評価, 照明学会誌, 71(2), 131~137 (1987)
- 6.3) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶7セグメント数字表示器の視認方向角と照射照度による正読率の検討, 照明学会誌, 72(6), 295~300 (1988)
- 6.4) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガティブ液晶7セグメント数字表示器の視認特性について, 第8回液晶討論会講演予稿集, 58~59 (1982)
- 6.5) 白土義男: デジタルICの基礎, 134~141, 東京電機大学出版局 (1987)
- 6.6) 三嶋泰雄, 斉藤一朗: 発光ダイオードの測光技術, 電子計測, 2, 57~69 (1977)
- 6.7) 日本工業標準調査会審議: 輝度測定方法, JIS-C7614, 1~14, 日本規格協会 (1970)
- 6.8) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 車載用7セグメント数字表示器の主観的明るさにおよぼす照射照度の影響, 人間工学, 24(4), 219~226 (1988)
- 6.9) 小堀富次雄: 照明システム(基礎と応用), 15~19, 東海大学出版会 (1977)
- 6.10) 照明学会編: ライティングハンドブック, 487~489, オーム社 (1987)
- 6.11) 大山正: 反応時間研究の歴史と現状, 人間工学, 21(2), 57~64 (1986)
- 6.12) 樋渡涓二, 安田稔, 大串健吾, 斉藤秀昭: 視聴覚情報概論, 29~31, 昭晃堂 (1987)



- 6.13) 中根芳一：印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究，建築学会論文  
集，229，111～120（1975）
- 6.14) 樋渡涓二：文字・単語のディスプレイに対する知覚と認知，人間工学，  
22(5)，269～275（1986）
- 6.15) 村岡哲也，川村幹也，上迫宏計：ポジティブ液晶7セグメント数字表示  
器の視認方向角による可読性について，第18回照明学会全国大会講演論  
文集，91～92（1985）
- 6.16) 青木昌治：発光ダイオード，69～72，工業調査会（1977）
- 6.17) 成瀬省：ガラス工学，304～306，共立出版（1986）
- 6.18) 村岡哲也，川村幹也，上迫宏計：発光表示器とネガティブ液晶表示器の  
可読性について，人間工学会第29回大会講演集，24，82～83（1988）
- 6.19) 伊藤謙治：文字認知過程における視覚的特徴抽出に関する共通因子，人  
間工学，23(3)，145～154（1987）
- 6.20) 和田陽平，大山正，今井省吾：感覚・知覚心理学ハンドブック，74～79，  
435，誠信書房（1985）
- 6.21) 松本正一，角田市良：液晶の最新技術，133～137，工業調査会（1983）
- 6.22) テレビジョン学会編：液晶ディスプレイ，105～107，昭晃堂（1985）
- 6.23) M. G. Kendall 著，奥野忠一，大橋靖雄共訳：多変量解析，81～95，培  
風館（1984）
- 6.24) 河口至商：多変量解析入門Ⅱ，105～109，森北出版（1984）
- 6.25) 石川馨，米山高範：分散分析法入門，21～146，日科技連（1983）
- 6.26) 小林竜一：パソコンによる統計解析，68～87，培風館（1983）
- 6.27) 大山正：心理学研究法2（実験Ⅰ），58～69，97～100，東京大学出版  
会（1980）
- 6.28) 照明普及会編：照明の生理・57問，21～35，照明学会（1978）

- 6.29) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 7セグメント発光表示装置の視認性について, 電気学会計測研究会資料, IM-81-22, 21~30 (1981)
- 6.30) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶7セグメント数字表示器の視認特性について, 第7回液晶討論会講演予稿集, 3U07, 16~17 (1981)
- 6.31) 運輸省令: 運転者が容易に走行時における速度を確認できるもの, 保安基準第46条第1項第1号 (1983)
- 6.32) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示数字の見え方の主観評価, 第13回液晶討論会講演予稿集, 1T07, 20~21 (1987)
- 6.33) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶表示器の主観的コントラストにおよぼす照射照度の影響, 人間工学会誌, 25(2), 129~133 (1989)
- 6.34) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶7セグメント数字表示器の視認方向角と照射照度による正読率の検討, 照明学会誌, 72(6), 295~300 (1988)

## 第Ⅶ章 視認性の評価方式に関する提案と本研究のまとめ

### 7.1 視認性の評価方式に関する提案

『数字表示器における視認性の評価方式』を明らかにするために、本研究の結果からつぎの事項を提案する。その細目は、試料を発光表示器と非発光表示器の2種類に分類し、色覚と輝度測定に基づいて、それぞれの明視性および可読性を評価することである。明視性実験および可読性実験の測定変数は、明るさ、輝度対比、数字の大きさ、視角、視認方向角、および提示時間などである。また、被験者は、1.0以上の正常な視力（両眼の視力差が0.3以内）をもち、年齢は30才以下とする。

心理物理学の実験の結果、得られたデータを棄却するか否かは、脳波計を用いて測定した被験者の視感覚系における疲労、および実験前後に測定する視力の低下から判断する。つまり、心身がリラックスした状態で見られる $\alpha$ 波、まばたきをしたときに見られる筋電位、および視感覚系の疲労から眠気を覚えたときに出現する $\theta$ 波などの特定波形が検出された場合は、ただちに実験データを棄却する。そして、注視状態と判断される特定波形が検出されない状況で、かつ実験後の視力の低下が見られないものを実験データとして採用するようにした。

まず、発光表示器である緑色発光ダイオード表示器、蛍光表示管、ネガタイプ液晶表示器などの評価方式について記述する。

- (1) 色相の主観的等価波長域からセグメント毎に色相弁別いきを求めて、各セグメントが、弁別いきの範囲内であることを確認する。
- (2) 緑色発光ダイオード表示器は、セグメントの両端に対する中心に置かれたp-n接合形半導体チップの放射拡散状態を調べ、蛍光表示管やネガタ

イブ液晶表示器は、セグメント部位における輝度分布の均一性を調べる。さらに、セグメント間のばらつきを表示器ごとに測定し、ばらつきが弁別いきの範囲内であることを確認する。

- (3) 照度、背景、視角、視認方向角などの測定変数が見やすさにおよぼす影響については、表示器の種類別に行った分散分析の結果より評価する。
- (4) 表示器の種類ごとに行った主観的等価輝度の測定結果より、輝度差弁別いきを求め、発光セグメントがそれぞれ許容輝度差の範囲内にあることを確認する。
- (5) 照度、背景、視角、視認方向角、提示時間などの測定変数が正読率におよぼす影響については、表示器の種類別に行った分散分析の結果より評価する。
- (6) 照射照度いき値について調べ、さらに、正読率の低下の要因となる誤読状況については、いずれも表示器の原理および提示数字の形状などから検討する。

つぎに、非発光表示器であるポジタイプ液晶表示器の評価方式について記述する。

- (1) 色相の主観的等価波長域からセグメント毎に色相弁別いきを求めて、各セグメントが、弁別いきの範囲内であることを確認する。
- (2) 視認方向角における照射照度と輝度対比の変化を調べ、セグメントごとにばらつきのないことを確認する。つぎに、視認方向角と輝度対比の関係を調べ、視認方向角の増加に対する提示数字を構成するセグメント輝度対比の低下について検討する。
- (3) 白色紙面に印刷された黒色文字を対照として、表示面の傾きによる輝度の変化、および視認方向角によるセグメント輝度対比の変化をそれぞれ比較検討する。その結果、変化の度合が白色紙面に印刷された黒色文字

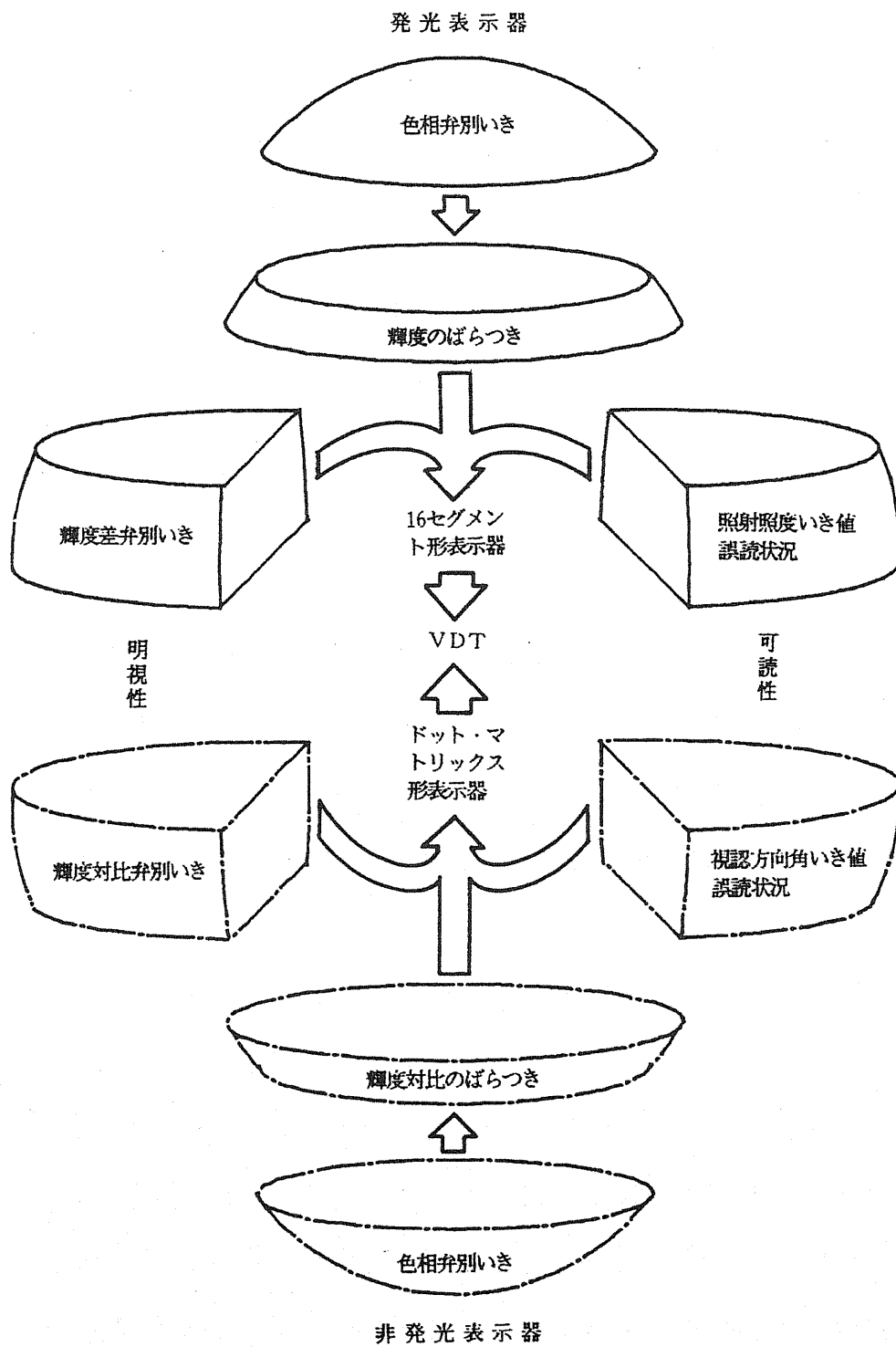


図7.1 視認性の評価方式

より低下しないことを確認する。

(4) 照度, 背景, 視角, 視認方向角などの測定変数が見やすさにおよぼす影響については, 表示器の種類別に行った分散分析の結果より評価する。

(5) 主観的輝度対比等価点の測定結果より, 輝度対比弁別いきを求める。

(6) 照度, 背景, 視角, 視認方向角, 提示時間などの測定変数が正読率におよぼす影響については, 表示器の種類別に行った分散分析の結果より評価する。

(7) 視認方向角いき値について調べ, さらに, 正読率の低下の要因となる誤読状況については, いずれも提示数字の形状から検討する。

今後, 益々高密度化, 高速化および小型化するメッセージ伝達用表示モジュールの開発において, 本研究で明らかにした『数字表示器における視認性の評価方式に関する提案』は, 有用な視認性の評価方式を提供すると信じられる。同時に, すでに使用されている16セグメント形表示器, ドット・マトリックス形表示器あるいはVDTにおける文字・数字の評価にも有用であろう。また, 提案した評価方式のうち色覚に関する部分は, 画像工学における色相の弁別に適用でき, たとえば, 作業者の色覚に頼っている工程の信頼性を向上させるなど, 産業上の効果が期待できると信じられる。

以上の『数字表示器における視認性の評価方式に関する提案』, およびその応用に関する一覧を図7.1に示す。

## 7.2 本研究のまとめ

人間の視覚にメッセージを伝達するための数字表示器として, 発光表示器と非発光表示器の2種類がある。たとえば, 発光表示器には発光ダイオード表示器や蛍光表示管などがあり, 非発光表示器は液晶表示器がよく知られている。

メッセージ伝達用表示器における数字および文字などの表示方式として、7セグメント形、16セグメント形、およびドット・マトリックス形などがあり、さらに多量の情報を一括表示するものとしてVDTがある。その中で、最も簡単な表示形態を採るのが7セグメント形である。

7セグメント数字表示器の使用環境における視認性に影響をおよぼす要因には、明るさ、輝度対比、数字の大きさおよび提示時間などがある。ここで明るさとは、発光表示器では数字を構成しているセグメントの輝度であり、非発光表示器である液晶表示器では表示面に照射する光の強度である。また、輝度対比と提示数字が大きく、提示時間が長いほどより一層見やすくなる。その上に、ネマティック液晶を材料とした非発光表示器は、発光表示器と異なって視認方向角依存性がある。論述した種々の要因に影響をおよぼす最大のものは、入射光が原因する表示面からの反射の影響である。それは、低照度の光幕反射から高照度の反射グレアを感じるまでの範囲で、表面反射が強くなるにしたがって視認性は著しく低下する。

本研究は、使用環境下での表面反射による影響を詳細に調べ、それに基づいて『数字表示器における視認性の評価方式』について検討したので以下に記述する。

第Ⅰ章では、『数字表示器における視認性の評価方式』を提案するために、まず、本研究の目的と意義を歴史的背景に基づいて記述した。

第Ⅱ章では、数字表示器の色覚におよぼす影響について調べるために、単色光と色覚との関係を比較検討した。その結果について記述する。

(1) 単色光の波長変化に対して、同色と知覚される黒い眼の主観的等価波長域の変化が一様ではない。つまり、410~670nmの主観的等価波長域は、短波長側の紫から長波長側の黄まで徐々に狭くなり、橙で最小となった後、赤では逆に広くなる傾向を示した。その結果より、単色光の波長と

主観的等価色相限界の区間幅について明示され、色相と見やすさの関係が明らかになった。

第Ⅲ章では、発光表示器の輝度と非発光表示器の輝度対比を測定した。その結果について記述する。

(2) 発光表示器のうち、緑色発光ダイオード表示器のようにセグメント中心に半導体チップが置かれているものは、半導体チップからセグメント両端への光の放射拡散状態が山形分布をしていることを確認し、蛍光表示管のようにセグメント全体に発光体が塗布されているものについては、セグメント輝度の均一性について測定した。つぎに、セグメント相互の輝度のばらつきを表示器ごとに測定した。

(3) ポジティブ液晶表示器の表示面の傾きによる輝度の低下は、印刷紙面よりもかなり大きい。また、視認方向角の増加による輝度対比の低下は、印刷文字と同程度である。その理由は、照射用光源に拡散光を使ったため、もしむらのある照明や直接照明のもとでは、視認方向角の視認性への影響はかなり大きいと言える。

第Ⅳ章では、心理物理学的測定による7セグメント数字表示器の見やすさの評価方法、および被験者の疲労の判定基準などについて詳細に検討した。その結果について記述する。

試料とした緑色発光ダイオード表示器は発光色が限定され、蛍光表示管ほど輝度の選択範囲が広くない。蛍光表示管は輝度の選択範囲が広いので、輝度調節が容易であるが、フェイス・ガラスの表面反射が大きい。液晶表示器については消費電力が少ない反面、応答時間が遅いという問題点を有する。さらに、ネガティブ液晶表示器はバックライトを必要とする。

(4) 7セグメント数字表示器の見やすさは、表示器の原理、種類型式によって異なるが、いずれも照度、背景、視角、視認方向角、提示時間などに



よる影響を受けることが知れた。そこで、それらを測定変数として、心理物理学的見地から『第V章 明視性の評価』および『第VI章 可読性の評価』で検討して行く。

- (5) 得られた心理物理学的実験データを棄却するか否かは、脳波計を用いて測定した被験者の状態から判断する。つまり、 $\alpha$ 波、筋電位、 $\theta$ 波などの特定波形が検出されない状況を注視状態とし、そこで得られたものを実験データとした。

第V章では、7セグメント数字表示器の明視性におよぼす照射光の影響について検討した。その結果について記述する。

- (6) 発光表示器の種類や提示数字などに基づくセグメント間の許容輝度差は、定格輝度に対して1.4~4.2%の範囲であった。また、非発光表示器であるポジティブ液晶表示器に見られる測定誤差は、セグメントの色彩変化や眼球内の組織で散乱された光が網膜の映像上に重畳して知覚を妨害するため、被験者が表示面に光沢を感じたことが原因している。

- (7) 照射光の増加に対して、輝度対比の低下が特に大きいのは蛍光表示管である。その理由は、表示面を覆っているガラスによる反射の輝きが照射光の増加とともに提示数字のセグメントに重畳するためである。このような小型で、低輝度の発光表示器の反射グレアの評価基準については、まぶしさの主観的評価指数をあらたに示唆した。

第VI章では、7セグメント数字表示器の可読性におよぼす照射光の影響について検討した。その結果について記述する。

- (8) 緑色発光ダイオード表示器とネガタイプ液晶表示器は特定の数字に誤読が集中し、蛍光表示管は誤読が平均化する傾向が見られた。また、誤読率の高い提示数字と誤読数字の関係は、ほとんど形状の類似性があげられる。しかし、それ以外に蛍光表示管は、表示面へ照射する光のグレア

によるランダムな誤読が多く、応答時間が遅いネガタイプ液晶表示器は、直前に提示された数字の知覚の影響が大きいことが知れた。

- (9) ポジティブ液晶表示器の表面反射による提示数字の正読率への影響は、上下方向が左右方向に比べて照度とともにかなり増大した。その原因は、視認方向角に対して提示数字の見かけの形状が異なること、および左右方向の場合は両眼視差が関係してくるためと考えられる。また、比較的複雑な数字に、その傾向が強く見られた。

つまり、本研究を端的に述べれば、数字表示器の色覚と輝度の測定結果とに基づいて明視性と可読性を比較検討し、その評価方式を提案することである。

以上の検討結果より、『数字表示器における視認性の評価方式』をつぎのように提案する。

- (1) 提示部における色相が弁別いきの範囲内であることを確認する。
- (2) 提示部における輝度あるいは輝度対比を測定し、得られたばらつきの許容差について検討する。
- (3) 輝度差弁別いきあるいは輝度対比弁別いきから、明視性を評価する。
- (4) 誤読状況、および照射照度いき値あるいは視認方向角いき値などから、可読性を評価する。

上記4項目について検討することにより、数字表示器における視認性が評価される。

本研究で得られた知見を基礎にして、今後、視感覚における様々の人間工学的な応用研究がなされることを期待する。

## 謝辞

本研究論文を完成させるにあたり、終始懇切丁寧なご指導と有益なご助言を賜りました静岡大学工学部 池田弘明教授、静岡大学電子科学研究科 科長 水品静夫教授、静岡大学電子工学研究所 山田祥二教授、安藤隆男教授、杉浦敏文助教授、浜松医科大学第一生理学教室 森田之大教授、静岡大学工学部 中谷広正助教授に深謝申し上げます。また、静岡大学工学部 下平美文助教授には、研究論文の内容についてご討論戴きました。厚くお礼申し上げます。

なお、本研究を進める機会を与えて下さり、終始ご教示を賜りました東洋大学工学部 川村幹也教授、上迫宏計助教授に深謝致します。

大学を卒業してから本研究論文を完成させるまでの長期間、近畿大学理工学部 本田嘉秀教授、東京大学工学部 故宗宮尚行名誉教授、元静岡大学工学部 柳澤猛教授、元古河電気工業株式会社中央研究所 服部只雄氏などに数多くの有益なご教示や暖かい励ましのお言葉を戴きました。厚くお礼申し上げます。

なお、故宗宮尚行先生の御霊前に感謝の意を表し本研究論文を捧げます。

その他、本研究論文を完成させるために多方面の関係各位のご助成があったことを付記し、感謝の意を表します。

論文目録

題 名	著者名	発表学会誌等名	公表年	関連する章
Subjective Appraisal of the Appearance on Monochromatic Light Differenced by the Eyeball's Pigment	Tetsuya Muraoka Hiroaki Ikeda	Proceedings of the 1990 Korean Automatic Control Conference 2(2), 1009~1013	1990	第II章
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 村岡哲也	照明学会誌 67(2), 43~48	1983	第III章
ポジティブ液晶7セグメント数字表示器の視認方向角と照射照度による正読率の検討	村岡哲也 川村幹也 上迫宏計	照明学会誌, 72(6), 295~300	1988	第III章 および 第VI章
Visual Examination on Numerical Display Devices with Light Emitting 7 Segments	Mikiya Kawamura Hiroe Uesako Tetsuya Muraoka	Digest of the 8th Canadian Medical & Biological Engineering Conference, 82~83	1980	第IV章
Visual characteristics of negative-type seven-segment liquid crystal numerical display devices	Hiroe Uesako Tetsuya Muraoka Mikiya Kawamura	Medical Informatics, 10(1), 73~76	1985	第IV章

題 名	著者名	発表学会誌等名	公表年	関連する章
車載用7セグメント数字表示器の主観的明るさにおよぼす照射照度の影響	村岡哲也 川村幹也 上迫宏計	人間工学会誌, 24(4) , 219~ 226	1988	第V章
ポジティブ液晶表示器の主観的コントラストにおよぼす照射照度の影響	村岡哲也 川村幹也 上迫宏計	人間工学会誌, 25(2) , 129~ 133	1989	第V章
車載用7セグメント数字表示器の可読性におよぼす照射照度の影響	村岡哲也 川村幹也 上迫宏計	人間工学会誌, 25(3) , 175~ 182	1989	第VI章
Readability on the Positive Type Liquid Crystal Display Devices with Multinumerals Influenced by the Irradiation Illuminances	Tetsuya Muraoka Mikiya Kawamura Hiroe Uesako	Proceedings of the Third International Conference on Human-Computer Interaction (Work with Computers : Organizational, Management, Stress and Health Aspects) , 12A 542~548	1989	第VI章

## 発表論文題目一覧表

### 論文

- 1) Mikiya Kawamura, Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka: Visual Examination on Numerical Display Devices with Light Emitting 7 Segments, Digest of the 8th Canadian Medical & Biological Engineering Conference, 82~83 (1980)
- 2) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 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, 照明学会誌, 67(2), 43~48 (1983)
- 3) Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka, Mikiya Kawamura: Visual characteristics of negative-type seven-segment liquid crystal numerical display devices, Medical Informatics, 10(1), 73~76 (1985)
- 4) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶7セグメント数字表示器の視認方向角と照射照度による正読率の検討, 照明学会誌, 72(6), 295~300 (1988)
- 5) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 車載用7セグメント数字表示器の主観的明るさにおよぼす照射照度の影響, 人間工学会誌, 24(4), 219~226 (1988)
- 6) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 車載用7セグメント数字表示器の可読性におよぼす照射照度の影響, 人間工学会誌, 25(3), 175~182 (1989)
- 7) Tetsuya Muraoka, Mikiya Kawamura, Hiroe Uesako: Readability on the Positive Type Liquid Crystal Display Devices with Multinumeral Influenced by the Irradiation Illuminances, Proceedings of the Third International Conference on Human-Computer Interaction (Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health Aspects), 12A, 542~548 (1989)

- 8) Tetsuya Muraoka, Hiroaki Ikeda: Subjective Appraisal of the Appearance on Monochromatic Light Differenced by the Eyeball's Pigment, Proceedings of the 1990 Korean Automatic Control Conference, 2(2), 1009~1013 (1990)

#### 短報

- 1) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジティブ液晶表示器の主観的コントラストにおよぼす照射照度の影響, 人間工学会誌, 25(2), 129~133 (1989)

#### 研究会資料

- 1) 川村幹也, 上迫宏計, 松本政之, 村岡哲也: 数字発光表示器の輝度測定, 電気学会電子計測研究会資料, EM-79-56, 31~40 (1979)
- 2) 川村幹也, 上迫宏計, 手塚芳明, 村岡哲也: 半導体カラー・センサを用いた波長計, 電子通信学会技術研究報告, OQE 79-128, 65~70 (1980)
- 3) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 7セグメント発光表示装置の視認性について, 電気学会計測研究会資料, IM-81-22, 21~30 (1981)
- 4) 村岡哲也, 上迫宏計, 川村幹也: 半導体カラーセンサと光ファイバを用いた波長計に関する基礎研究, 電気学会計測研究会資料, IM-83-39, 63~71 (1983)
- 5) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガティブ液晶表示器と発光表示器との照射照度による視認性の比較, 電気学会計測研究会資料, IM-84-36, 1~10 (1984)
- 6) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示器による数字列の可読性について, 電気学会計測研究会資料, IM-87-6, 1~7 (1987)

#### 紀要

- 1) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: LED と蛍光表示管デジタル表示器の輝度測定, 東洋大学工学部研究報告, 19, 35~43 (1983)

- 2) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示器の視認特性におよぼす影響について, 東洋大学工学部研究報告, 21, 37~44 (1985)
- 3) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 暗順応経過がおよぼすネガタイプ液晶表示器の視認性への影響, 東洋大学工学部研究報告, 22, 25~31 (1986)
- 4) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶表示器の主観的輝度におよぼす照射照度の影響, 東洋大学工学部研究報告, 23, 1~7 (1987)
- 5) 上迫宏計, 村岡哲也, 川村幹也: 半導体カラーセンサを用いた簡易型波長測定装置による発光ダイオードの色波長の測定, 東洋大学工学部研究報告, 24, 21~30 (1988)

#### 研究報告書

- 1) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 液晶7セグメント数字表示器の視認性と脳波の影響に関する研究, 井上円了学術振興基金研究報告書, 121~132 (1988)

#### 口頭発表

- 1) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: 蛍光表示管のセグメント表面塗膜と輝度むらについて, 第22回自動制御連合講演会前刷, 401~402 (1979)
- 2) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也, 手塚芳明: 蛍光表示管の輝度むらとセグメント発光材料成分との関係, 昭和55年電気学会全国大会講演論文集, 451~452 (1980)
- 3) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶7セグメント数字表示器の視認特性について, 第7回液晶討論会講演予稿集, 3U07, 16~17 (1981)
- 4) 川村幹也, 上迫宏計, 村岡哲也: FLD およびLED 表示素子の視認特性について, 第11回東洋大学工業技術研究所講演会予稿集, B-4, 19~20 (1981)
- 5) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器の視認特性について, 第8回液晶討論会講演予稿集, 4V06, 58~59 (1982)



- 6) Hiroe Uesako, Tetsuya Muraoka, Mikiya Kawamura: Visual Characteristics of Numerical Display Device by Negative Type 7 Segments Liquid Crystal, Proceedings of the Fourth World Conference on Medical Informatics, 734 (1983)
- 7) 村岡哲也, 川村幹也, 田中晃, 上迫宏計: ネガタイプ液晶表示器の視認性が暗順応経過におよぼす影響について, 第26回自動制御連合講演会前刷, 451~452 (1983)
- 8) 村岡哲也, 上迫宏計, 川村幹也, 田中晃: 半導体カラーセンサを用いた簡易型波長計による発光ダイオードの波長特性の測定, 第4回「センサの基礎と応用」シンポジウム講演予稿集, A6-1, 65~66 (1984)
- 9) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計, 田中晃: ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器の照射照度による視認性の影響, 第27回自動制御連合講演会前刷, 441~442 (1984)
- 10) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ポジタイプ液晶7セグメント数字表示器の視認方向角による可読性について, 第18回照明学会全国大会講演論文集, 91~92 (1985)
- 11) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 多桁ポジタイプ液晶7セグメント数字表示器の視認性, 第11回液晶討論会講演予稿集, 1N24, 56~57 (1985)
- 12) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: デジタル液晶表示器の視認性, 日本人間工学会第27回大会講演集, 22, B-2-03, 130~131 (1986)
- 13) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 多桁数字液晶表示器の視認性, 第19回照明学会全国大会講演論文集, 90~91 (1986)
- 14) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: デジタル液晶表示器の視角特性と照射照度の関係について, 第12回液晶討論会講演予稿集, 3連F20, 190~191 (1986)

- 15) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 液晶表示数字の見え方の主観評価, 第13回液晶討論会講演予稿集, 1T07, 20~21 (1987)
- 16) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: 発光表示器とネガタイプ液晶表示器の可読性について, 日本人間工学会第29回大会講演集, 24, 1A-2-2, 82~83 (1988)
- 17) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ドットマトリックス液晶表示モジュールの視認特性実験装置について, 第14回液晶討論会講演予稿集, 2B114, 86~87 (1988)
- 18) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ドット欠損文字の知覚におよぼす照射照度の影響, 日本人間工学会第30回大会講演集, 25, B1A10, 114~115 (1989)
- 19) 村岡哲也, 川村幹也, 上迫宏計: ネガタイプ液晶7セグメント数字表示器と発光表示器におよぼすグレアの主観評価の検討, 第15回液晶討論会講演予稿集, 2B22, 224~225 (1989)
- 20) 一之瀬敦幾, 村岡哲也: 自動車における排気音のスペクトル解析とノイズネスとの関係について, 日本音響学会平成2年度秋季研究発表会講演論文集II, 2-1-16, 557~558 (1990)

## 付 録

### 1. 干渉フィルタの分光感度特性

付表 1.1 使用した干渉フィルタの一覧

付図 1.1 使用した干渉フィルタの分光特性 (350~550 nm)

付図 1.2 使用した干渉フィルタの分光特性 (450~650 nm)

付図 1.3 使用した干渉フィルタの分光特性 (550~750 nm)

付図 1.4 使用した干渉フィルタの分光特性 (650~850 nm)

### 2. 波長測定装置の信号処理回路

付図 2.1 信号処理回路

### 3. ランプの分光感度特性

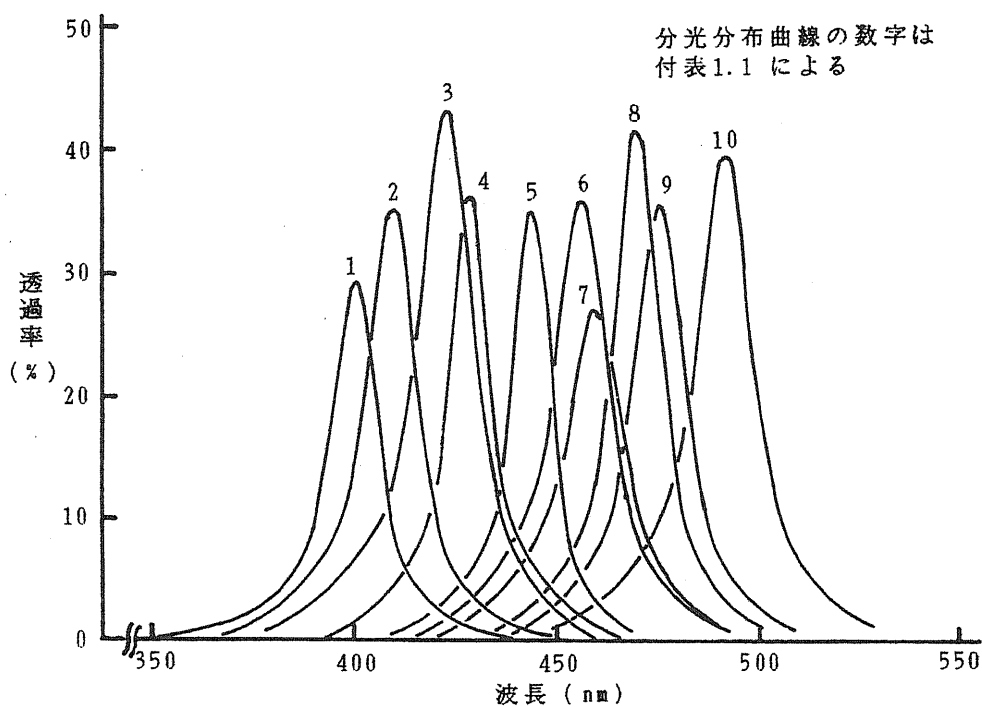
付図 3.1 使用したハロゲンランプの分光特性 (400~800 nm)

付図 3.2 使用した電球口金形蛍光ランプの分光特性 (400~700 nm)

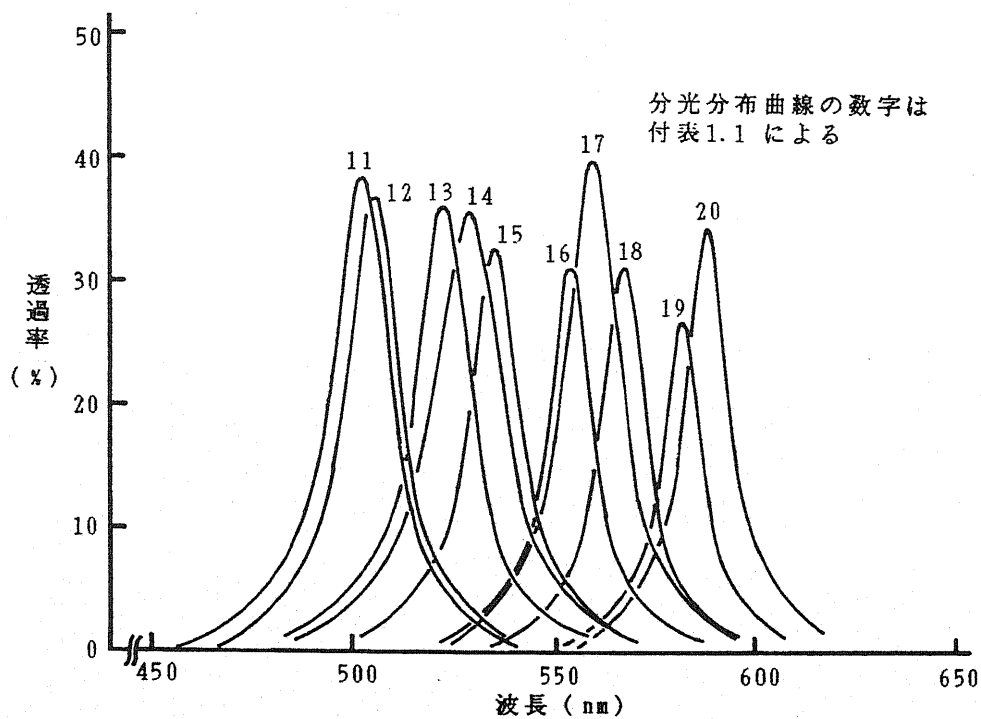
# 1. 干渉フィルタの分光感度特性

付表 1.1 使用した干渉フィルタの一覧

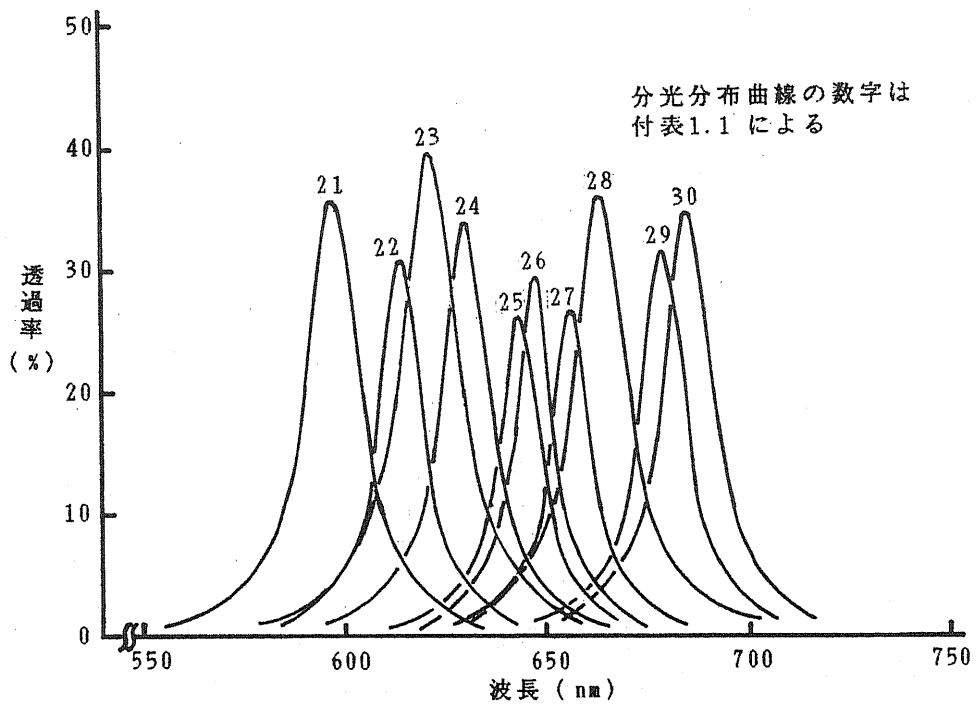
干渉フィルタ	分光感度特性 (nm)	
	ピーク波長	半値幅
No. 1	400	14
2	410	15
3	421	17
4	430	13
5	443	11
6	453	18
7	459	17
8	471	14
9	477	17
10	493	18
11	502	17
12	506	16
13	524	18
14	528	18
15	536	15
16	551	13
17	559	17
18	567	14
19	580	14
20	586	15
21	597	17
22	612	13
23	621	18
24	631	16
25	643	13
26	646	12
27	657	12
28	665	16
29	679	14
30	685	16
31	704	18
32	706	18
33	724	14
34	734	14
35	744	15
36	746	14
37	758	15
38	770	18
39	779	15



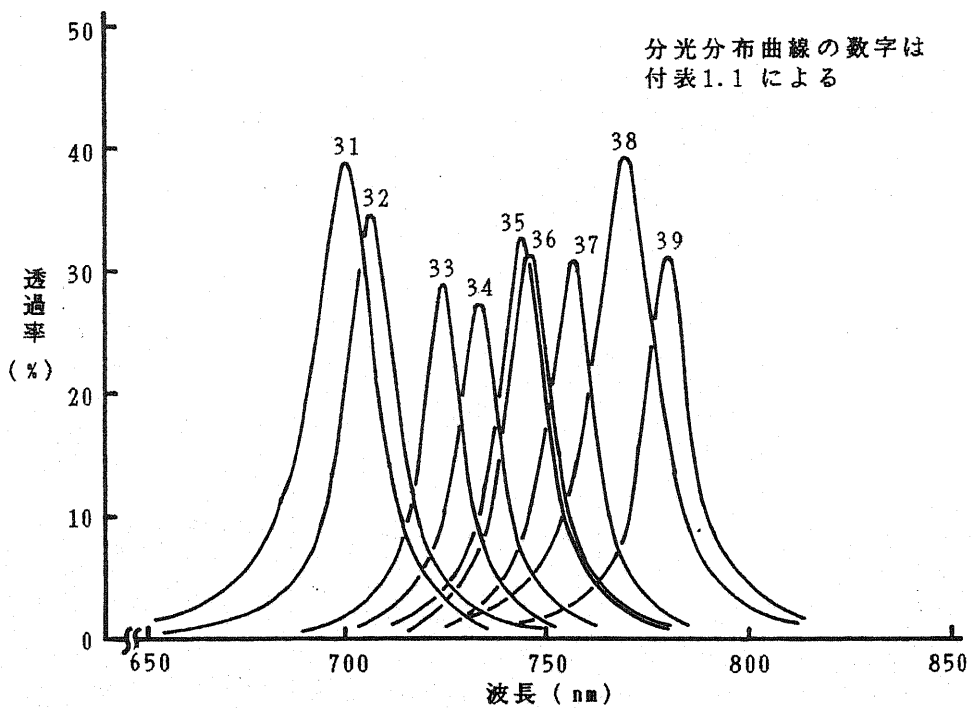
付図 1.1 使用した干渉フィルタの分光特性 (350~550 nm)



付図 1.2 使用した干渉フィルタの分光特性 (450~650 nm)



付図 1.3 使用した干渉フィルタの分光特性 (550~750 nm)



付図 1.4 使用した干渉フィルタの分光特性 (650~850 nm)

## 2. 波長測定装置の信号処理回路

一対の対数圧縮回路の出力電圧 ( $V_1$ と $V_2$ ) は、それぞれ式 (2.1) , (2.2) で与えられる。

$$V_1 = - \frac{kT}{q} \ln I_{sc1} + V_a \quad (2.1)$$

$$V_2 = - \frac{kT}{q} \ln I_{sc2} + V_a \quad (2.2)$$

ただし、 $k$  はボルツマン定数 ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K) ,  $T$  は絶対温度 (K) ,  $q$  は電子の電荷 ( $1.60 \times 10^{-19}$  クーロン) ,  $V_a$  は演算増幅器  $OP_1$  および  $OP_2$  のオフセット電圧などにより決ってくる値を表す。

つぎに、その出力電圧 ( $V_1$ と $V_2$ ) が演算増幅器 ( $OP_3$ ) によって減算されて、半導体カラーセンサの出力電圧 ( $V_0$ ) が式 (2.3) で与えられる。

$$V_0 = \frac{R_4 (R_1 + R_3)}{R_1 (R_2 + R_4)} V_1 - \frac{R_3}{R_1} V_2 + V_b \quad (2.3)$$

ただし、 $V_b$  は演算増幅器  $OP_3$  のオフセット電圧などにより決ってくる値を表す。

試作した装置の信号処理回路は、 $R_1 = R_2$  ,  $R_3 = R_4$  で用いるので、その関係と式 (2.1) , (2.2) をそれぞれ式 (2.3) に代入して、式 (2.4) が得られる。

$$V_0 = \frac{R_3}{R_1} \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc2}}{I_{sc1}} + V_b \quad (2.4)$$

したがって、半導体カラーセンサの出力電圧 ( $V_0$ ) は、演算増幅器 ( $PD_1$  と  $PD_2$ ) における短絡電流比の対数値に比例して得られる。また、短絡電流は入射光のレベルに比例するので、センサの出力電圧 ( $V_0$ ) は、測定入力光のレベルに無関係となる。

OP<sub>1</sub>, OP<sub>2</sub>, OP<sub>3</sub>: LF356H

LD<sub>1</sub>, LD<sub>2</sub>: IS002

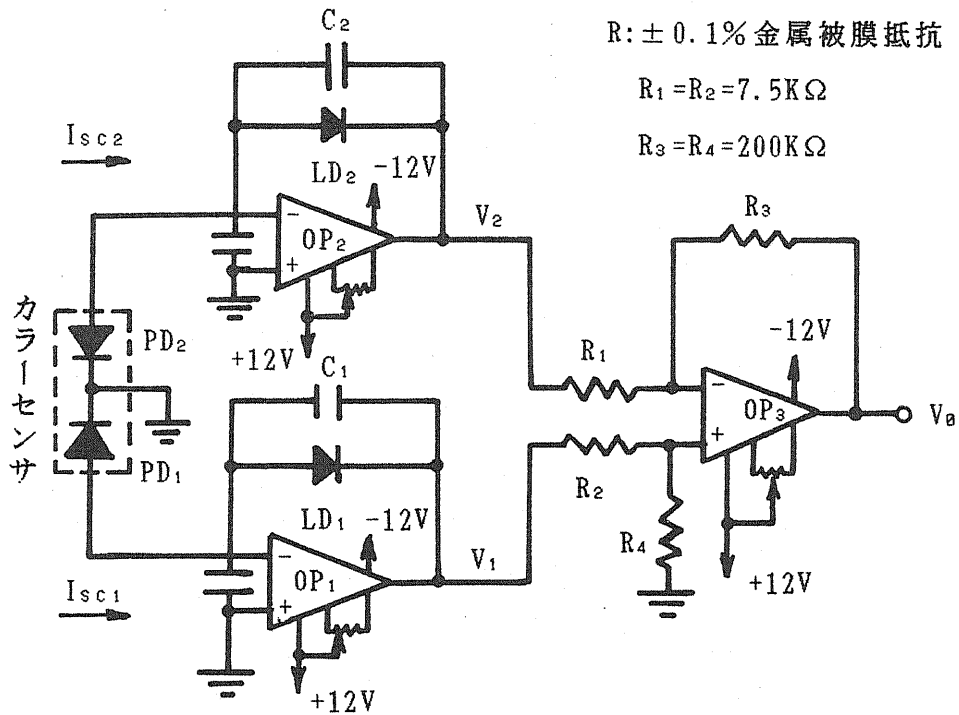
C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: フィルムコンデンサ

0.0068 μF

R: ±0.1% 金属被膜抵抗

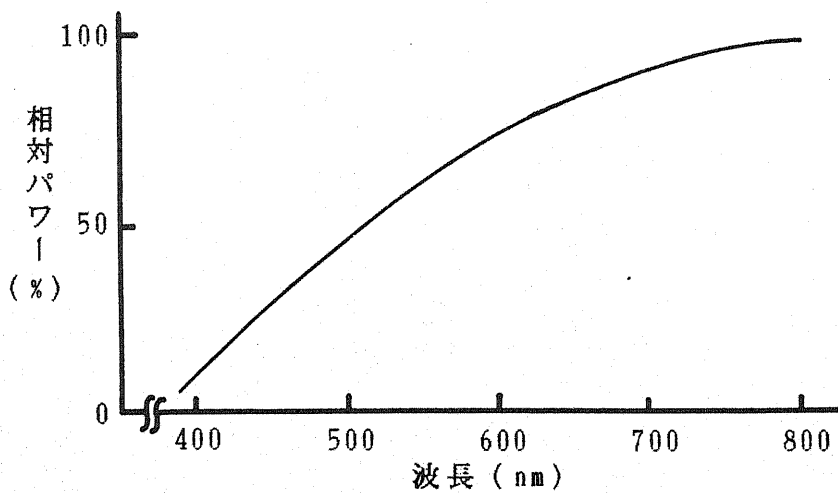
R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=7.5KΩ

R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=200KΩ



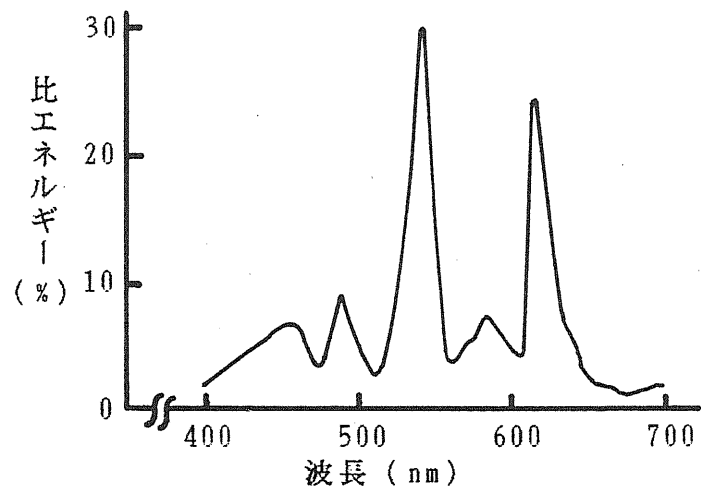
付図 2.1 信号処理回路

### 3. ランプの分光感度特性



付図 3.1 使用したハロゲンランプの分光特性 (380~780 nm)





付図 3.2 使用した電球口金形蛍光ランプの分光特性 (400~700 nm)