

液晶モニターを用いた視認閾の測定方法に関する研究

Study on measurement method of visibility threshold using LCD monitor

木村 均*

KIMURA Hitoshi

It is indispensable to understand the adaptation luminance which provides for the visual sensitivity when the visibility is discussed. In this research, it was tried to measure the luminance difference threshold curve using visual objects on LCD monitor. We clarified the basic visibility features of LCD monitor, which is a luminous media.

1. はじめに

明視照明設計において検討されるべき定常作業時の視対象の見易さを決定する要因としては、視対象の大きさ、視対象と背景との輝度対比、順応輝度（背景輝度）のいわゆる明視三要素が挙げられる。大きさと輝度対比は、主に視対象側の条件で決定されるものであるが、順応輝度は、その場の光環境の条件に左右されるものであり、照明設計との関わりがより密接なものである。順応輝度とは、ある視野内において人の目が順応している輝度レベルのことであり、その場において識別可能な最小の輝度差（輝度差弁別閾値）と対応づけられた目の感度を決定する重要な要素である。この順応輝度は、実験室空間のように均一な輝度分布を呈する視野（以下、均一視野と称す）においては、視野の背景輝度を順応輝度とみなすことができる。このような均一視野では、前二者と併せた明視三要素の相互関係により、様々な条件下における視認性の検討^{1)~3)}が行われ、見易さに基づく照明設計に関する研究^{4)~6)}が多数報告されている。

近年、紙媒体の視対象とともに、液晶モニター等の発光媒体によって呈示される視対象を視認する場面が一般化してきている。原則的には、視対象の呈示媒体に依らず、定量的な測光量に基づいた既往の研究成果を用いて視認性の検討が可能である⁷⁾と考えられ、本研究では、視対象に液晶モニターによって呈示される正対比の正方形視標（以下、モニター視標と称す）を用い、視対象の視認性の検討において最も基礎的なものとなる輝度差弁別閾値の測定を行う。従来の紙媒体による視標を用いた測定では、視対象の存在や形状が視認閾となるよう視標呈示面の照度を暗黒状態から徐々に上昇させる手法が一般的に用いられてきたが、視標呈示面が均等拡散面とはならない液晶モニターでは用いることはできない。本研究では、従来の手法に代わる液晶モニターを用いた視認閾の測定方法を考案し、測定されたモニター視標による輝度差弁別閾値曲線の傾向を検証することで、その妥当性について考察する。

2. 液晶モニターを用いた視認閾の測定

均一視野においては、従来から紙媒体視標を用いて視認閾の測定が行われており、一般に、呈示された視標が視認閾となるよう呈示面の照度を暗黒状態から徐々に上昇させる手法が採られている。しかしながら、この手法は呈示された視標の輝度対比が呈示面の照度によらず一定であるということに基づいており、発光媒体である液晶モニターを用いる場合には採用できない。液晶モニターに呈示された視標を用いた視認閾の測定方法を確立し、視標が視認閾となる輝度差と、そのときの背景輝度との対応関係を示す輝度差閾値曲線群を求める。

* 居住空間デザイン学科 准教授

2.1 実験の概要

大型液晶モニターの全面に呈示される均一背景画像の階調値（グレースケール 256 段階）により背景輝度を設定し、そこから視標部の階調値を徐々に減少させることで視認閾となる視標輝度を特定する実験を行った。

実験に用いた装置は、図 1 に示すような木製の直方体ボックスに、大型液晶モニター、視線固定治具、輝度計（TOPCON:BM-8）などを設置したもので画面全体が視対象呈示面となる。使用した液晶モニター（Panasonic:TH-55CQ1J）は 55 インチ型（表示部 1209.6 mm×680.4 mm）で、視距離を 935 mm としたときの視角は左右約 64°・上下約 38°となり、バックライトの明るさを最大にして白色画像（階調値 255）を全面に呈示したときの視野中央に対する輝度比分布を図 2 に示す。同図は、縦横の視角で示される地点で計測した輝度値をもとに作成している。モニター端部での輝度の減少が大きいのが、順応に大きく関わるのは視線近傍約 4 度の範囲⁸⁾⁹⁾とされており、図中の視角 6°内の輝度比の値が 0.89～0.96 となっていることから概ね均一と考えて問題ないものとする。視線固定治具を用いることで被験者が覗く部分からの光の入射を抑制し、呈示する視標画像の階調値とモニターのバックライトの明るさとの組み合わせにより、約 0.01cd/m²から 300cd/m²の範囲で輝度の設定が可能であり、視野中央の視標呈示位置と BM-8 による輝度測定位置とでの輝度の対応関係は事前に確認している。

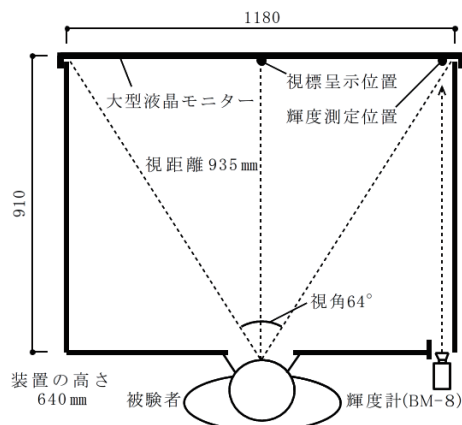


図 1 実験装置

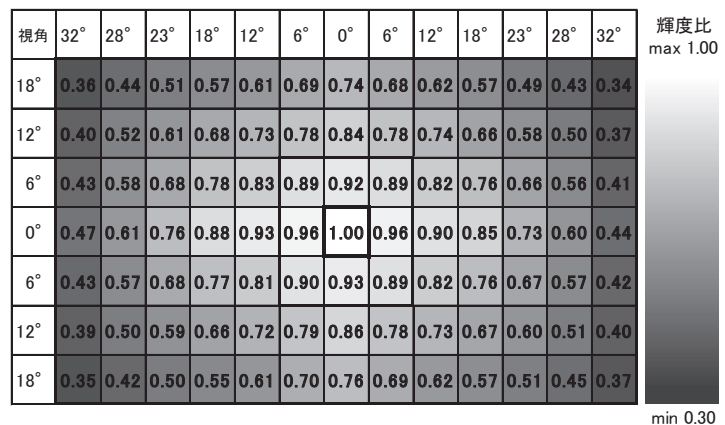


図 2 モニター画面視野の輝度比分布

一般に、液晶モニターには周囲の光環境や表示される映像に応じて、明るさやコントラストなどを自動的に調整する機能が備わっており、これに関連するモニターの映像設定を表 1 に示す通りとした。表 1 の設定において、視標画像の背景部の階調値を 255 に、視標部の階調値を 0 に固定し、視標部の大きさのみを変更してその輝度を測定したところ、視標部が小さくなり背景部が拡大するにつれて視標部の輝度が上昇する傾向が見られた。これは、拡大した輝度の高い背景部からの光の重畳によるものと考えられ、ボックス内の反射光を抑制するために暗幕で内装することにした。本実験は視認閾の測定であり、実施時は背景部と視標部との輝度差は僅かであるため背景部の輝度の反射光の重畳による視標部の輝度への影響は少ない。加えて視認閾となったときの視標輝度とその近傍の背景輝度の値を、視線位置から輝度計（BM-8）により都度測定することとし、呈示された画像の視標部の大きさによる各部の輝度値への影響は考慮しないものとする。

実験時には、視線固定治具にて被験者の顔を固定して視線を水平に保ち、暗視野に対して 5 分間の順応を行った後、視対象画像の階調値とモニターのバックライトの明るさとの組み合わせによって表 2 に示す輝度に設定された均一背景画像を呈示する。その状態から視標部の階調値のみ

を徐々に減少させ、紙媒体視標を用いる場合と同様に、視標が視認できない状態から視認できる状態（視認閾）となったときに被験者に合図をしてもらい、そのときの視標輝度とその近傍の背景輝度とを測定記録する（図3参照）。なお、視標輝度は視標内部で均一であり、その中心の値とし、近傍背景とは、視標中央右端から水平外側に輝度計の測定視角の倍となる約 2° の位置とした。実験に用いた視標は、正対比の正方形視標であり、4つの背景輝度それぞれにおいて、視標部の一辺の視角が $4.6'$ （一辺 1.3 mm ）～ $238'$ （一辺 64.9 mm ）となる4種類を用いて計16条件で測定を行った（表2参照）。最小視角 $4.6'$ は、視力1.0程度の被験者が確実に視認できるものとし、最大視角 $238'$ は、過去の事例¹⁰⁾¹¹⁾からこれ以上視角を増大させても視認閾となる輝度差が減少しないものとなり、両者の中間値を対数軸上で概ね等間隔となるように設定した。各視角の視標は整数のピクセルで表示されており、モニター解像度による影響は受けない。なお、背景輝度の設定値は対数軸上で概ね均等に分布する値となっており、呈示順序は、明順応が短時間で完了することを考慮して、背景輝度の低い画像から高い画像の順とし、その背景輝度ごとに視標部の視角の大きいものから小さいものの順とした。

表1 モニターの映像補正に関わる設定

設定項目	実験時の設定	備考・設定範囲
映像メニュー	カスタム	映像ソースによらず画質を固定
アスペクト比	リアル	映像の縦横比の補正を解除
オーバーサキャン	オフ	映像の自動拡大を解除
ダイナミックバックライト	オフ	バックライトの自動調整を解除
色温度	6500K	標準設定
ノイズリダクション	オフ	映像のノイズ補正を解除
適応コントラスト補正	オフ	映像のコントラスト補正を解除
バックライト	50 or 0	設定範囲：0～50で背景輝度の設定に利用
シャープネス	100%	映像のぼかしを回避

表2 視標の背景輝度と視角および被験者

背景輝度 L_b [cd/m ²]		304	39.4	2.2	0.3
視標部の一辺の視角 [min.]		238	57.9	16.2	4.6
被験者	性別	年齢	両眼視力	色神	試行回数
C	男	24	1.0	正常	5
K	女	22	1.0	正常	3
S	女	22	1.0	正常	3
T	女	22	1.5	正常	3
計4名	平均	22.5	1.13		

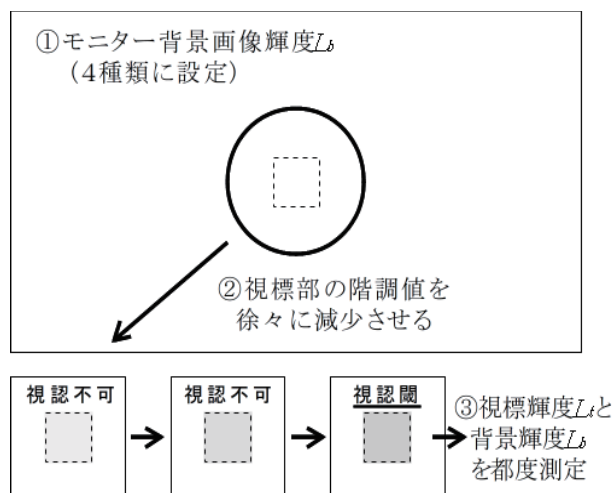


図3 モニター視標による視認閾の測定方法

被験者は、表2に示す乱視等の目に特異な疾患の無い視力1.0以上の学生4名であり、設定した背景輝度ごとに、4つの視角の視標について視認閾の判定を行わせた。試行回数は、予備的に被験者Cについて5回実験を行わせたところ、視認閾の判定や各輝度値の再現性が概ね安定していたことから、以降は各人3回とした。輝度差閾値曲線の測定は、過去の豊富な事例¹⁰⁾¹¹⁾から回帰曲線の形状や傾向が明確なため、十分なサンプル数であると考ええる。

2.2 液晶モニターに呈示された視標による輝度差閾値曲線

図4に各被験者についての輝度差閾値曲線群を示す。同図は実験時に呈示された均一背景画像の視標部の階調値のみを徐々に減少させ視認閾となったときに測定した視標近傍の背景輝度 L_b と、そのときの視標輝度より求めた背景部と視標部との輝度差 ΔL との対応関係を視標の視角ごとに示したものである。図中のプロットは3回の試行の平均値であり、各被験者共通の全般的な傾向として、背景輝度 L_b が高くなるにつれて視認閾となる輝度差 ΔL も大きくなることや、同一の背景輝度 L_b においては、各視角の視標が視認閾となるために必要となる輝度差 ΔL は、正

方形視標の一辺の視角が大きくなるほど減少することが確認された。本実験における最大視角 238' の正方形視標により求まる輝度差閾値曲線は、これ以上視標の視角を増大させても、視認閾となる輝度差が減少しないものとなる輝度差弁別閾値曲線に相当し、これらの傾向は従来の紙媒体視標を用いた場合と一致している。

既存の知見¹⁰⁾¹¹⁾によると、両対数軸上において各視角に対応する輝度差閾値曲線の形状は等しくなり、視角による差異は曲線間の切片方向のみの差異に帰着することが確認されている。これに基づいて、輝度差閾値曲線群における視角の差異による各曲線間の切片方向の移動量を回帰した。図4の各曲線は、プロットを両対数軸上で(1)式に示す2次曲線として、視角による差異が曲線間の切片 c のみの差異となるように回帰したものである。

$$\log(\angle L) = a \cdot \{\log(L_b)\}^2 + b \cdot \log(L_b) + c \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

ただし、 a , b , c : 定数

図4において、各輝度差閾値曲線は実験値と概ね相関（相関係数 0.98 以上）しており、以降の検討はこの回帰された輝度差閾値曲線群を用いて行うこととする。

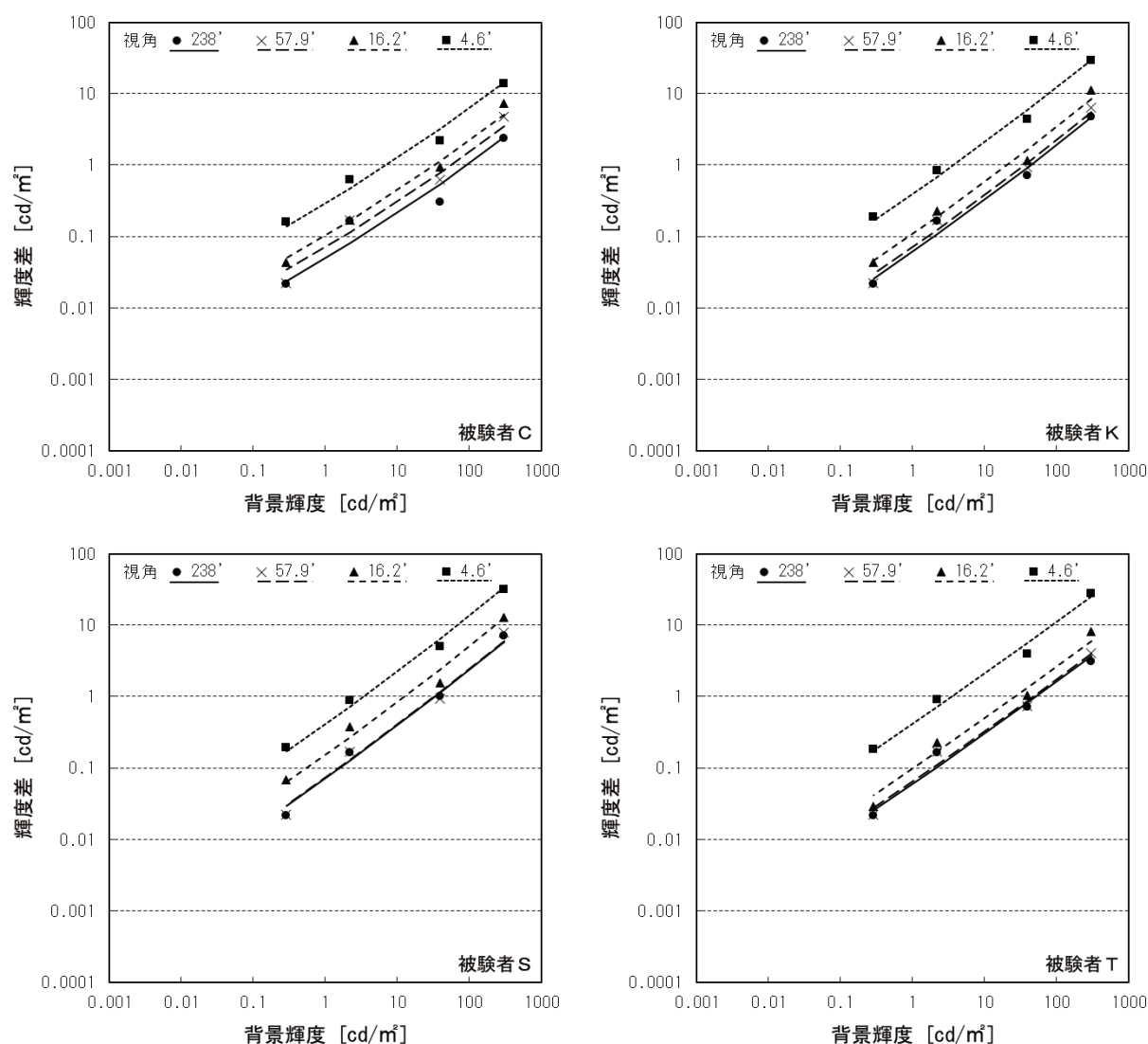


図4 モニター視標による輝度差閾値曲線群

3. モニター視標による輝度差閾値曲線群の実効率の検証

前章までにおいて、液晶モニターに呈示された視標による輝度差閾値曲線群は、概ね従来の紙媒体視標と共通の傾向を示すことが分かったが、より詳細な検討を行うべく、以下の手法によりデータを整理することとした。

各輝度差閾値曲線群の最も下方に位置する最大視角の正方形視標により求まる曲線は、これ以上視標の視角を増大させても、視認閾となる輝度差が減少しないものとなる輝度差弁別閾値曲線に相当する。ある背景輝度 L_b において、一辺の視角 α の視標が視認閾となる輝度差 ΔL に対する輝度差弁別閾値 ΔL_{th} の比である実効率 $K(\alpha)$ ¹²⁾ を(2)式により算定する(図5参照)。

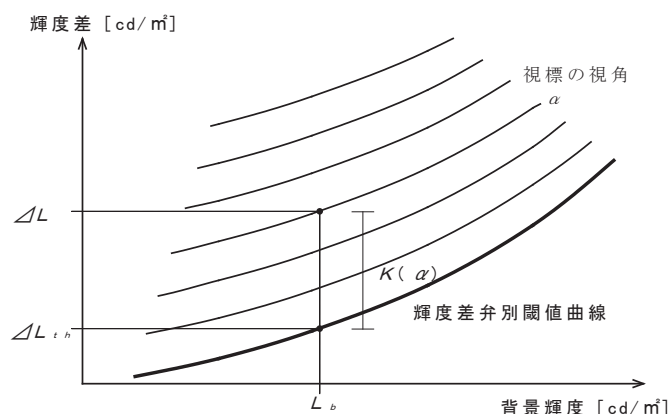


図5 輝度差閾値曲線群上における実効率 $K(\alpha)$ の概念

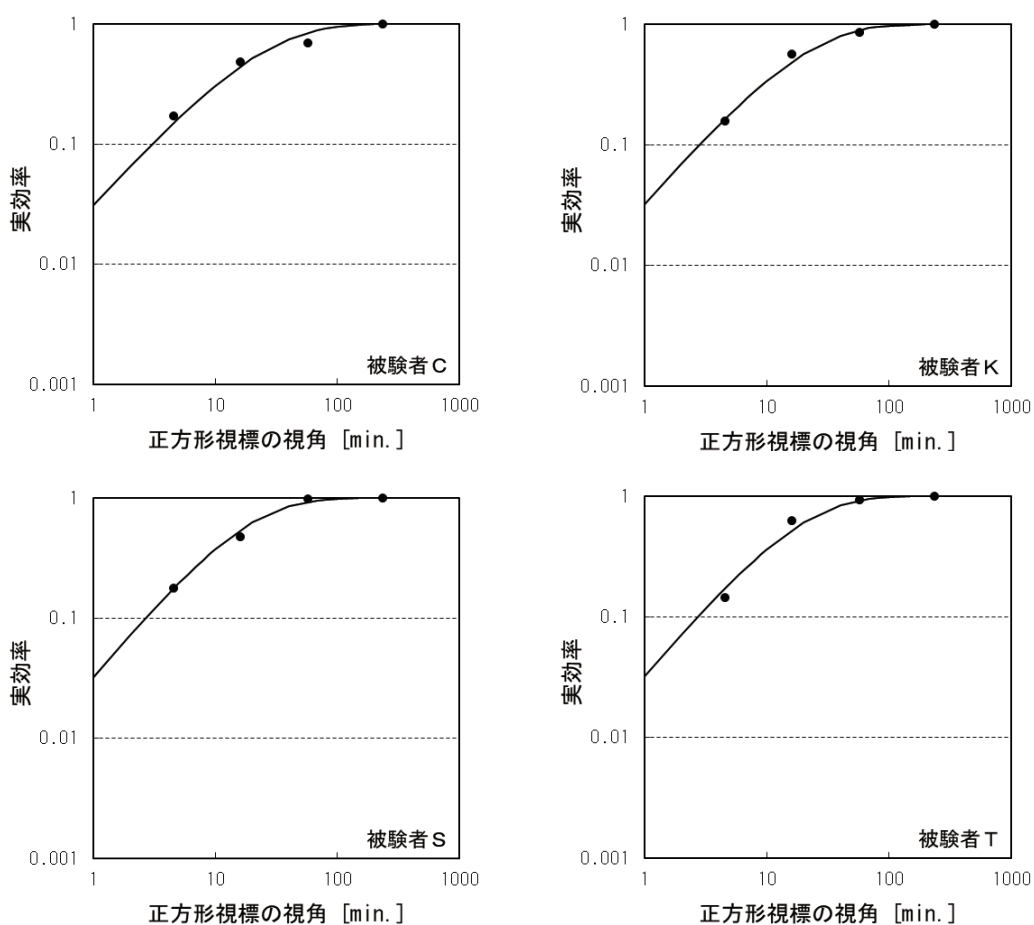


図6 正方形視標の実効率

$$K(\alpha) = \angle L_{th} / \angle L$$

$$\log\{K(\alpha)\} = \log(\angle L_{th}) - \log(\angle L) = c_{max} - c_{\alpha} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 c_{max} ：最大視角の輝度差弁別閾値曲線の(1)式の定数項

c_{α} ：視角 α の輝度差閾値曲線の(1)式の定数項

各被験者の正方形視標の実効率 $K(\alpha)$ を図 6 に示す。同図中のプロットは、実験結果から得られた各輝度差閾値曲線の切片 c を基に、(2)式により求めた視標の一辺の視角 α に対する実効率であり、曲線は(3)式の関係¹³⁾¹⁴⁾を用いて回帰したものである。各実効率曲線は実験値とよく相関（相関係数 0.95 以上）しており、視角の減少による実効率の低下が緩やかな曲線形状となっている。これは、同一背景輝度で視標が小さくなっても視認閾となるのに要する輝度差の上昇が少ないことを示しており、この傾向は各被験者に共通して見られた。

$$\log[\tanh^{-1}\{K(\alpha)\}^{1/2}] = m \cdot \log(\alpha/2) + n \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 m , n ：定数

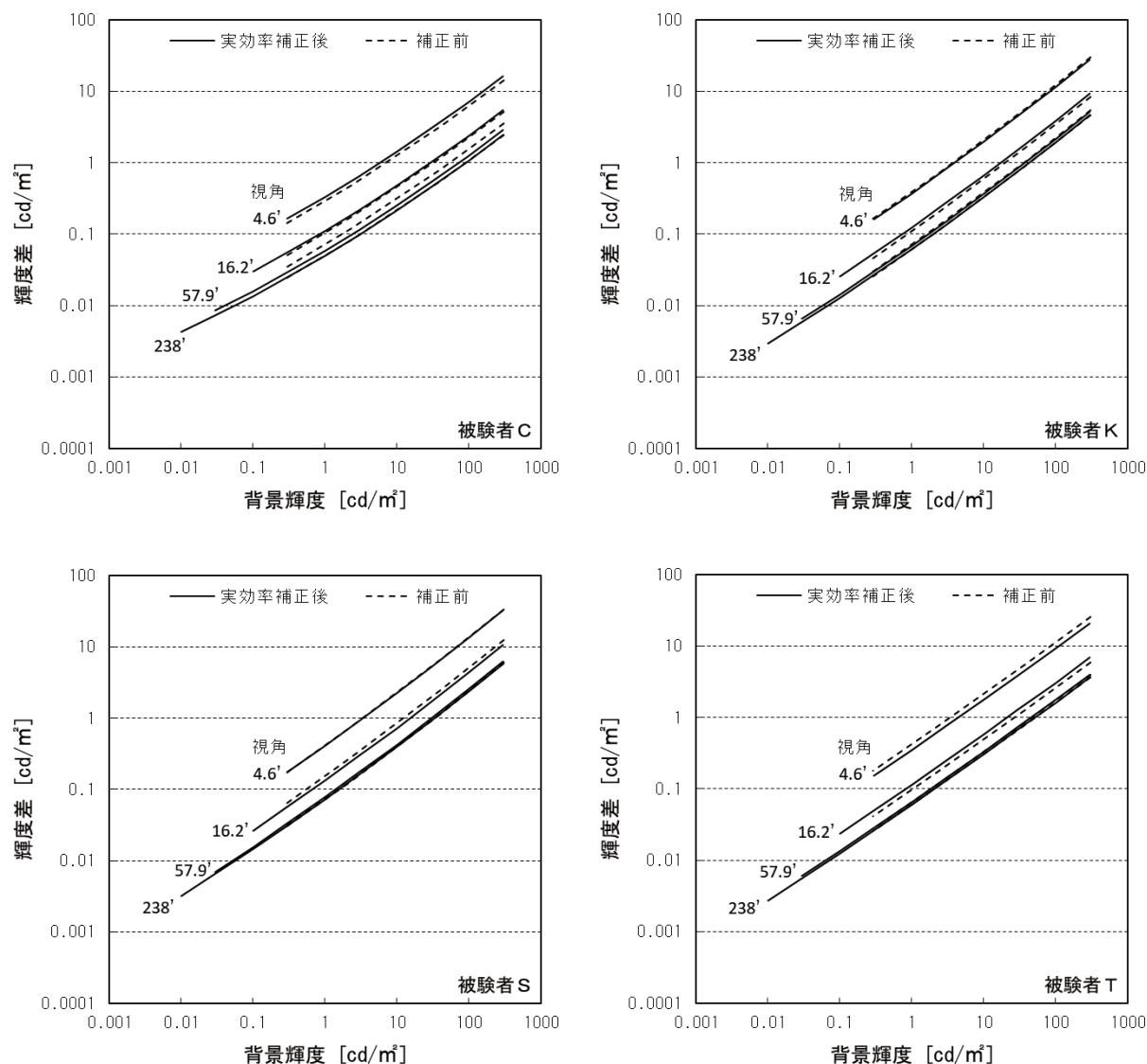


図 7 実効率補正後のモニター視標による輝度差閾値曲線群

この回帰した実効率曲線から、(2)式における各視角に対応する輝度差閾値曲線の切片 c を逆算することで、視角の差異による各曲線間の移動量を補正した輝度差閾値曲線群を導いた。各被験者についての結果を図 7 に示す。同図において、各被験者間で曲線群の傾斜や形状は概ね一致しており、背景輝度の上昇にともなう輝度差閾値の増加傾向も同様であることが分かる。一方、実効率の概念で曲線群を整理したことにより、視角の減少にともなう輝度差閾値の変動が概ね減少する傾向となっている。

4. まとめ

本研究では、視認性の検討において最も基礎的な特性となる輝度差閾値曲線群に関し、液晶モニターに呈示された正方形視標を用いて測定する方法を考案した。得られたモニター視標による輝度差閾値曲線群は、背景輝度が上昇するほど、視標の視角が減少するほど輝度差閾値が上昇するという従来の紙媒体視標による結果と同様の傾向を示しており、モニター視標を用いた輝度差閾値曲線群の測定方法として問題ないものとする。輝度差閾値曲線群に関する既存の知見である実効率の概念で整理したところ、モニター視標は、視角が小さくなっても視認閾となるのに要する輝度差の上昇が少ない傾向となることが示唆されたが、これについてはさらなる検討が必要である。

今回の測定では視標画像の階調値を 256 段階とし、すべての条件で視認閾の判定時に視標部の階調値は 2 段階以上の減少を要しており、視認閾を捉えるための輝度差の変化幅としては十分であったが、階調値を増加させることでより詳細な検討が可能となる。また、視野の輝度比分布に関しても、有機 EL などの表示形式の異なるモニターを用いることで一層の精度向上が期待できる。今後はこれらの改善に取り組み、逆対比視標やグレアを有する視野での視認閾など、多様な状況における視認性の評価を行っていきたい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21K20473 の助成を受けたものである。また、実験の遂行にあたっては、帝塚山大学の陳軒銘氏と對馬康純氏の尽力によるところが大きい。ここに記して深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 蒲山久夫、本橋昭男、佐藤麗子：明視照明のための基礎研究, 照明学会雑誌, 第 46 巻, 第 3 号, pp.92-106, 1962 年 3 月
- 2) 中根芳一、伊藤克三：中心窩における光幕光量に関する研究Ⅱ－高輝度光源が視認閾値に及ぼす影響に基づく検討－, 日本建築学会論文報告集, 第 285 号, pp.109-115, 1979 年 11 月
- 3) 中根芳一、西田尚代、金恵英、岩田三千子：逆対比視標の視認に基づく等視力曲線に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 62 巻, 第 429 号, pp.15-21, 1997 年 2 月
- 4) 印東太郎、河合悟：適正照度に関する心理学的実験, 照明学会雑誌, 第 49 巻, 第 2 号, pp.52-63, 1965 年 2 月
- 5) 佐藤隆二、伊藤克三、大野治代：見やすさに基づく明視照明設計に関する研究－照明の評価指標としての見やすさレベル(V E L)の有用性－, 照明学会誌, 第 64 巻, 第 10 号, pp.541-548, 1980 年 10 月
- 6) 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, 第 65 巻, 第 10 号, pp.534-540, 1981 年 10 月
- 7) 辻賢太郎、原直也、野口太郎：表示媒体の視対象条件が視認性と明視性評価に及ぼす影響, 照明学会誌, 第 87 巻, 付録, p.158, 2003 年 8 月

- 8) 小林朝人、山下俊雄、村上泰浩：中心窩順応輝度評価に関する実験的研究 1 基礎的考察,日本建築学会論文報告集,第 315 号,pp.90-97,1982 年 5 月
- 9) 小林朝人、山下俊雄、村上泰浩：中心窩順応輝度評価に関する実験的研究第 2 報順応性状の概略,日本建築学会論文報告集,第 324 号,pp.117-123,1983 年 2 月
- 10)井上容子、野口太郎、伊藤克三：視認能力に関する定量化,日本建築学会近畿支部研究報告集,環境工学,第 28 号,pp.101-104,1988 年 5 月
- 11)井上容子、伊藤克三：定常順応時の視認閾値に関する検討,日本建築学会近畿支部研究報告集,環境工学,第 29 号,pp.209-212,1989 年 5 月
- 12)木村均、野口太郎、井上容子：実効輝度の可視化による視認閾の統一的解析,日本建築学会計画系論文集,第 65 巻,第 538 号,pp.1-5,2000 年 12 月
- 13)野口太郎、大月容子、伊藤克三：実効対比を用いた視認能力の把握,日本建築学会論文報告集,第 326 号,p.111-117,1983 年 4 月
- 14)築瀬琢也、野口太郎：実効輝度関数 $F(\theta)$ の数式化に関する検討,日本建築学会大会学術講演梗概集,D 環境工学,pp.623-624,1986 年 8 月