不均質しゃへい幕による 光幕グレアと視標の見え方について

専門会員 松 浦 正 博*

Veiling Glare and the Visual Acuity through the Inhomogeneous Screen

Masahiro Matsuura (Fellow Member)
(College of Engineering, Nihon University)

ABSTRACT

Within the visual field, the visual obstruction usually takes place in case which a transmissive screen between the eyes and the visual objects. When the inhomogeneous screen, such as screen mesh, texture and Venetian blind, as the materials for screen the phenomenon of cutting off the objects partially or the one producing a veiling is sometimes observed.

These phenomena are more complicatedly observed in both experimentally and theoretically in comparison with the phenomenon observed by the homogeneous screen.

The writer set up Randolt ring and screen material in the experimental room and measured the visual acuity of a subject on the relation between the surface of visual objects and that of screen on the illuminance or the luminance, on the relation between material wire and space area within the visual field, on the relation between the visual object at transfer and the visual object at rest, and on the relation of the distance between the eyes, screen and the visual object.

These above mentioned experiments had the result of confirming the existence of the glare effects by the inhomogeneous screen.

1. 緒 言

視環境において、視対象の見え方を悪化させるグレア¹⁾は、その機構にいろいろな要素が介入しており、多面的に解明しないと実体を把握することはむずかしい。

このグレアを、原因別に分類してみると²⁾、

(1) 過大グレア、(2) 一時的グレア、(3) 光幕グレアとなる。過大グレアは、高輝度視標または高輝度背景に起因するグレアである。一時的グレアは、輝度順応に起因するグレアである。光幕グレアとは、目と視標の間に広義の透過性のしゃへい幕が境界をなして、反対側の視

標の認識を妨げるような現象のことをいう。

しゃへい幕の材料には、透明ガラスのように均質透過性のものと、網目 (screen mesh)、ブラインド、すだれおよび布目 (textwre) のように不均質透過性のものがある。前者の場合は、ガラスの両面の入射光束比によって一義的にグレア現象を説明することができるが、後者の場合は、前者の条件のほか視標が細分化され、部分的にしゃへいされる分割現象を伴うために、内容が複雑になってくる。

筆者はこの点に着目し、しゃへい幕の試料として正方形網目をもった金網、および微細網目をもった試料を用い、実験装置において

(1) 照明条件 (視標面としゃへい幕面の照度あるいは

* 日本大学工学部電気工学科

輝度との関係)

(2) 相対位置 (目, しゃへい幕, 視標相互の距離の関係)

(3) 素線の構成 (視野内の素線と空間部分の関係)

(4) 視標の動き (移動視標と静止視標の関係)

などによる被験者の視認度を測定し, これらの実験を通して, 不均質しゃへい幕によるグレアの現象について説明を行なったものである。

2. 原 理

2.1 光幕グレアの発生機構

光幕グレアの現象を具体例で示すと, 次のようなものがある。

窓際に掛けたブラインドまたはすだれは, 日中は屋外に面した側が明るいために, 室内にとっては有効な目かくしとなるが, 夜間は, 室内照明によって逆の現象となり目かくし効果は失われる。ガラス面でも類似の現象をしばしば経験する。また, テレビジョンのナイター野球の放送でも, 画面にバックネットの存在が溶け込んだように見え, 終了後フィールドの照明が消灯されるとバックネットが存在を表わし, フィールド側は画面では認識できなくなる。

このような現象の発生機構について, 淡路³⁾は「光幕眩惑 (Veiling Dazzling)」と呼び, 次のように定義をした。すなわち「目と視標の間の空間の微粒子状のものに光が当たって拡散し, 光幕が形成され, 視覚を妨げるもの」とし, この光幕の拡張解釈されたものが網目, すだれ, 格子, 煙幕であるとした。恐らくこれが今日の光幕グレアの理論の原型であろう。さらに, 淡路らはこのような光幕現象を「すだれ現象⁴⁾」とよび, 視標としゃへい幕材の相対照度によって視認度が変わると論じている。しかし, 横瀬⁵⁾は, 単に照度だけで考えることは疑問で, 相対輝度の概念を導入すべきであると論じている。

グレア発生原因として, 網目がどのような効果をもたらすのかを論ずるには, 上記のような照明条件のほかに素材のパターンを考慮に入れる必要がある。すなわち, 網目の材料として, ガラスのように均質透過性ののであれば, 物理的な現象として説明をすることは容易であるが, 網目などは, 照明条件のほかに分割現象を伴うパターン認識の機能が問題となる。

2.2 視標の分割特性^{6)~8)}

視覚の理論⁹⁾では, 人間の視覚は, 限られた情報だけで視標の形状を判断する能力を備えていることが確認されているので, 不完全な視標でも, 欠落部分を充足して全体の形態を認識できるわけである。これを換言すると, われわれの目は, 視野内で不必要なものを生理的

および物理的に除外できなくなる限界が視標の分割現象を発生する端緒となるわけである。

たとえば, しゃへい幕面の輝度を除々に高くすると, これが目障りになり始める。このとき, 等間隔網目 (正方形網目など) を通して視標を見た場合, 滑らかな視標の周辺はぎざぎざに見えるようになるが, この段階では視標の視認度は低下しない¹⁰⁾。これは, 視覚を低下させないで不快感を発生するような不快グレアの現象ときわめてよく似ている。このような現象は, 使用される網目の寸法が小さいほど, 均質面に近づくために起こりにくくなる。これは, 写真製版などで粒子の細かさが画面の解像力を向上するのと同様の原理である。

また, しゃへい幕の存在が視野内で無視できるような現象は, 目の焦点調節機能とも関係している。目としゃへい幕ならびに視標との距離の関係, すなわち相対位置によるグレア発生の条件は次のように考えられよう。視作業において, 目としゃへい幕との距離を l_1 , 目と視標との距離を l_2 とすると, l_1 と l_2 が接近するほど目の焦点距離の差が小さく, しゃへい幕の存在が障害となって働いてくる。逆に l_1 と l_2 との差が大きいほどしゃへい幕の存在が無視できるような傾向を示すはずである。これは前述のテレビジョンの例でわかるように, 物理的な現象である。すなわち, l_1 が小さいほど視野内での網目または布目などのユニットを見込む数は減少し, 素線の占有エリアが大きくなると同時に空間エリアも拡大される。もし, 網目の寸法と素線直径が比例関係にあるときは, 素線エリアと空間エリアの組合せ条件によって, 視認度が決まってくるものと考えてよいであろう。これは次のように予測することができる。

(1) しゃへい幕面が低輝度であるときは, l_1 が小さくユニット寸法が大きいほど無視できるような傾向になるので, 視認度は向上する。高輝度になるほど視認度は下降する。

(2) l_1 が l_2 に近づき, かつユニット寸法が小さいほど視認度は向上する。しかし, 高輝度になるほど視認度は下降する。

表 1 視標と正方形網目の重複点計算値 ($l_2=3.8\text{ m}$)
(関係式 $l_1=l_2 \cdot d_1/d_2$)

ラ環視力値	ラ環外径 d_2 (mm)	l_1 ・計算値 (m) (網目寸法 d_1 (mm))				
		10.0	6.5	5.0	3.7	2.0
0.1	75.0	0.51	0.33	0.25	0.18	0.10
0.2	37.5	1.01	0.66	0.51	0.37	0.20
0.3	25.0	1.52	0.99	0.76	0.56	0.30
0.4	18.7	2.03	1.32	1.02	0.75	0.41
0.5	15.0	2.53	1.65	1.27	0.94	0.51
0.6	12.5	3.06	1.99	1.53	1.13	0.61
0.7	10.7	3.55	2.31	1.78	1.31	0.71
0.8	9.4	—	2.63	2.02	1.50	0.81
0.9	8.3	—	2.98	2.29	1.69	0.91
1.0	7.5	—	—	2.53	1.87	1.01

図 2(a) 微細網目顕微鏡写真
(ナイロン網目N-W)

図 2(b) 網目の構成
 $a+a'=S, b+b'=S'$
網目面積: $(S-S')$

網目表面の輝度は過大グレアの原因となるので、正方形網目には、低反射処理（黒色つや消し塗装）を施している。

3.2 実験方法と結果

実験は、テーマ単位に2～3名の被験者グループ（正常視力および視力矯正済みの学生）を組み、その測定値の平均をとった。被験者が、両眼によって見分けられる最小のラ環視標の視力をもって視認度を定義するときのパラメータとした。ただし、しゃへい幕を通した場合の固定視標の提示時間は5秒とした。

被験者は、所定の位置に固定した座高測定器に着席させ、後頭部をこの測定器の柱に密着し、視力検査器を背面から操作する実験者の合図によって、提示された視標の切れ目の向きを口頭で答える。提示する視標の種類は、被験者の視認が可能な視力値から始め、順次視力値を大きく（0.1→1.5）とるようにした。

実験は、一視標値に対して切れ目の向き2箇所について答えるようにし、すべて正答の得られた場合は認識できたものとし、1箇所誤答の場合は、さらに追加して2箇所の回答を求め、これがいずれも正答の場合は認識できたものとし、その他の場合は認識できなかったものとした。

実験を継続すると、被験者は疲労を増し視認度は低下するので、各被験者に対し一つのパラメータを継続してから他の者と交代させた。

データとして用いた視認度とは、しゃへい幕が存在しない場合のラ環視力値で表わされる視標の見え方と、しゃへい幕を挿入した場合の見え方の比を%表示したものである。

3.2.1 正方形網目をしゃへい幕とする実験

(a) 視標面輝度—照度特性

グレア評価の基礎量となる輝度値について、本実験における照度値との関係を検討した。図3は視標面照度に対する輝度校正の性格をもったグラフである。この輝度は、被験者の位置から見た周辺を含む視標面の平均輝

図 3 視標面照度—輝度特性
M: 網目 単位: mm 以下同じ

度で、網目を挿入したときは、しゃへいによる輝度制御の効果のため、見掛け上の輝度は低下している。この図によって、照度と輝度とはほぼ比例関係にあることがわかる。また、網目本体の輝度は、網目照度が650 lxのときに、10～30 cd/m²（輝度計の測定角で選択性あり）であるから、視標面輝度と比較すると無視できるくらいの値である。

図 4 直接網目効果の特性（網目寸法10.0 (mm)）
(注) $V_1=0(V)$ とは IL_1 を消灯したときをいう。以下同じ

図 5 直接網目効果の特性
(網目寸法1.6 mm)

(b) 直接網目効果の特性

直接網目効果とは、ランプ群 IL_1 を消灯し、 IL_2 を点灯した視標照度に対する視認度をいう。図 4、図 5 は l_1 をパラメータとした直接網目効果の特性で、網目の寸法を問わず $l_1 = 2.25$ m のところに最大網目効果の存在することがわかる。これらの実験から、網目寸法が小さいものほど、しゃへい幕の存在が目障りにならないようになり、視標が小さく、網目寸法が大きいものほど視認度は向上している。

(c) 相対網目効果の特性

相対網目効果とは、網目照度 E_1 と、視標照度 E_2 の照度比による視認度の特性をいう。網目照度を一定にして視標照度を変化させる場合と、その逆に視標照度を一定にして網目照度を変化させる場合とがある。

図 6 相対網目効果の特性
($E_2/E_1 > 1$ の場合)

図 6 は照度比が $E_2/E_1 > 1$ の場合で、網目寸法によって直接網目効果の特性と類似の傾向となった。図 7 は $E_2/E_1 < 1$ の場合の特性である。これは、網目寸法が大きいほど視標の分割現象が顕著で、網目自体の反射による輝度の影響を受けていることがわかった。また、筆者が行なった基礎実験⁶⁾では、視野内で網目が目障りにならないようなピーク現象を生じていたが、本実験では低

図 7 相対網目効果の特性
($E_2/E_1 < 1$ の場合)

反射処理を施しているの、前者ほどその現象は顕著ではなかった。

(d) 相対位置特性

l_1 の移動による視標と、網目と目の相対位置による特性は図 8 のとおりである。この図のように、網目寸法は大きいほど、(右下り)、小さいほど、(右上り)の傾向を示している。これは、網目位置 (l_1) が目に近づくと、網目寸法が小さいほど網目表面の輝度の影響を受けるようになり、光幕の効果を増加させているためである。

図 8 相対位置特性 ($E_1, E_2: 650$ lx, $l_2 = 5$ m)

前述の原理で、網目と視標が重複する点が最も見え方を悪化することを予測したが、相対網目効果の実験によって得られた値とを表 3 で比較した。実験は状況によって $\pm 0.2 \sim \pm 0.3$ m 程度の幅がある。これは、微小視角の範囲における現象であり、ラ環中心と網目中心が必ずしも重複するとは限らないためである。またある場合は、網目寸法 d_1 を見込む角度より視標寸法 d_2 を見込む

表 3 視標と網目の重複による効果

網目寸法 (mm)	ラ環視力値	l_1 計算値 (m)	l_1 実験値 (m)
10.0	0.3	1.52	1.45 $\pm$ 0.3
	0.5	2.53	2.08 $\pm$ 0.3
	0.6	3.55	2.86 $\pm$ 0.3
6.5	0.5	1.65	1.85 $\pm$ 0.2
	0.7	2.31	2.24 $\pm$ 0.2
	0.9	2.98	2.90 $\pm$ 0.2
5.0	0.5	1.27	1.30 $\pm$ 0.2
	0.7	1.78	1.80 $\pm$ 0.2
	0.9	2.29	2.30 $\pm$ 0.2
3.7	0.8	1.50	1.52 $\pm$ 0.2
	1.0	1.87	1.90 $\pm$ 0.2

角度が小さいほど見えやすいという現象も起きる。

(e) 移動視標に関する特性

前項までは静止視標を扱っていたが、この項では、視対象が移動する状況を想定して実験を行なった。

視標は電動機によって左右に移動するよう設置し、移動速度は0.77 m/s（歩行者の速度）と定め、被験者の右から左へ移動した際に、視野内の移動距離1.2 mで移動時間1.55秒間に認識できる最小のラ環視力値をしゃへい幕の挿入した場合の見え方とした。同一照明条件の下で、静止視標の場合と移動視標の場合を比較すると、図

図9 静止視標の特性 ($E_2 = 10 \text{ lx}$ 一定)

図10 移動視標の特性 ($E_2 = 10 \text{ lx}$ 一定)

図11 静止視標の特性 ($E_1 = 96 \text{ lx}$ 一定)

図12 移動視標の特性 ($E_1 = 96 \text{ lx}$ 一定)

9と図10および図11と図12のようになる。ここで、視標照度 E_2 が低照度の場合は見え方は悪くなるが、 E_2 が160 lx程度以上になると、移動視標は欠落部分を補完するように働き、視認度は向上する。なお、相対位置の変化に対する視認度は、静止視標の場合のような相関性はみられなかった。

3.2.2 微細網目をしゃへい幕とする実験

微細網目は、光幕と類似の存在となるため、背景となる視標面の輝度と、網目輝度との輝度比による視認度の特性について実験を行なった。網目輝度 L_1 はセパレータによって視標輝度 L_2 の影響をしゃ断して測定したもので、視作業においては、見掛け上 L_1 と L_2 とは分離できない。したがって、 L_2/L_1 は光幕の特性を与える係数と考えられる。

図13は、網目輝度 L_1 を一定にして、視標面輝度 L_2 に対する L_2/L_1 特性の例で、 L_2/L_1 の上昇によって視認度は向上する。このとき、網目輝度に対する視認限界の視標輝度値を求め、これから光幕の特性を知ることがで

図13 相対輝度特性

(注) 33は表2のN-Y, 18は同上G-W
18×2はG-W 2枚重ね

きる。

(a) 視認限界輝度特性

網目輝度 L_1 に対して、視標輝度 L_2 を低輝度から徐々に上昇させると、ある値を越えたところで視標の認識が可能になる。この点によって作られる特性曲線が図 14～図 16 のような視認限界輝度曲線で、この曲線の上側は可視域で、下側は非可視域である。

図 14 視認限界輝度特性
(試料、表 2 の G-W)

図 15 視認限界輝度特性
(試料、表 2 の N-Y)

図 16 視認限界輝度特性
(パラメータ l_1 , 試料、表 2 の G-W)

(b) 視距離による合成輝度特性

前述のように、認識可能な輝度の限界を決定するためには、網目距離 l_1 の位置との相関が意義をもってくる。すなわち、 l_1 が大きいときは網目輝度 L_1 の影響が大きく、 l_1 が小さいときは視標面輝度 L_2 の影響が大きい。一般に視野内では L_1 と L_2 を分離することできないから、 L_1 と L_2 の合成した輝度 L_0 について考えると、見え方に影響を与える要素は、網目の性質と、視作業における視対象との視距離が挙げられよう。したがって、光幕輝度がどのようにグレアにかかわるかについても、合成輝度によって判断することができよう。図 17 は輝度計によって供試網目の合成輝度を測定した結果で、視標に焦点を調節した場合の特性である。

図 17 視認合成輝度特性

4. 検 討

以上の実験結果から、若干の問題点を提起し、それに対する検討を加えてみる。

光幕グレアが、過大グレアなど本質的に相異なる点は disability veiling brightness (略称 DVB), あるいは不能グレアの要素が主体で、不快グレアの要素については、視標の分割現象のような形で現われることはあるが、金網などでは低反射処理を施しているため、不快感を生ずるような機能はきわめて弱い。しかし、微細網目では素材の構成が密となり、空間占有率ならびに表面反射率が大きくなると、これの影響によって不快感を伴うようになる。また、この実験の輝度レベルでは、順応による視覚器の特性の変化はほとんど確認できなかった。

視標輝度あるいはしゃへい幕輝度が極端に高いレベル

にあるときは、DVB への影響が顕著で、その場合、網目の本来の目的である目かくし効果の実用範囲から逸脱すると考えられるので本実験では措いてある。

正方形網目を用いた実験で特記すべきことは、網目寸法によって特性にかなり幅があることで、たとえば、直接網目効果の実験で、 E_1 が 20~140 lx 程度までは網目寸法の大きいほど光幕の効果も大きく、それ以上の高照度の場合は、視標の分割作用が起こって網目寸法の小さいほど光幕の効果は大きい。このように、網目が視標を分割するという現象は、①重複効果、②網目輝度と視標輝度の相対効果の 2 点が決め手になっている。

微細網目で用いた試料は、網目としては視標の分割現象を生じないことを確認できるぐらいの寸法のものを選択したが、このような試料の寸法の限界は約 1 mm であった。微細網目では、網目距離 l_1 が光幕の効果の重要な決め手になっている。たとえば視標と網目の位置が接近していると、視作業の際に焦点調節機能の妨げとなり、視能力が減退することがわかった。

本実験で示したデータは、建築関係でカーテン、網戸、フェンスなどのほか、舞台用効果幕、軍事用しゃへい網などの目的に利用することができる。ただし、実験に供した正方形網目は、無彩色低反射処理を施しており、有彩色および不拡散性（つや有り）塗装仕上げを施したものをを使用する場合は、実験値より光幕の効果が大きくなることに注意を要する。

5. 結 言

過大グレアに関するグレアの評価法¹⁴⁾は、多くの資料を見ることができるが、しゃへい幕による光幕グレアに関しては、そのような資料は見当たらないので、筆者はこの実験を継続しながら、たとえば、微細網目において、 L_2-L_0 の特性 (L_1 をパラメータ) が、 $L_0=aL_2+b$ という実験式で表わされることを確認したが、これを「光幕係数」として定義できるものであるかどうか、現在検討中である。

謝 辞

本研究に関して、ご助言をいただいた日本大学藤原義輝教授、同室井徳雄教授をはじめ、協力していただいた工学部照明工学研究室の学生諸君に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 木村幸一：建築計画原論，共立出版（昭42）197
- (2) IES Lighting Handbook 4th ed. Illum. Engng Soc, N. Y. 2-18~21, 3-6, 7.
- (3) 淡路門治郎：東京帝大航研報告 No. 133（昭11. 2）11~14
- (4) 淡路，荻坂，川嶋：東京帝大航研報告 No. 139（昭11. 5）243~300
- (5) 横瀬善正：照学誌 28-4（昭19. 5）85~96
- (6) 松浦正博：照明学会全国大会講演予稿 No. 38（昭49. 4）43
- (7) 松浦正博：電気関係学会東北支部連合大会講演予稿 2C-12（昭50. 8）79
- (8) 松浦正博：照明学会全国大会講演予稿 No. 44（昭51. 4）49
- (9) W. Metzger: Gesetze des Sehens VII（邦訳・視覚の法則，第7章，盛永四郎訳，岩波書店（昭47）19~26, 143~146
- (10) 松浦正博：電気関係学会東北支部連合大会講演予稿 2D27（昭51. 10）158
- (11) 松浦正博：照明学会全国大会講演予稿 No. 53（昭52. 4）60
- (12) 松浦正博：電気関係学会東北支部連合大会講演予稿 2E22（昭52. 10）188
- (13) 松浦正博：照明学会全国大会講演予稿 No. 61（昭53. 4）73
- (14) 松田・洞口・田淵：照学誌 54-4（昭45. 4）157~170

（受付は1978年11月14日）