立体を好ましく見せるための照明条件に関する研究 (1)

専門会員 故 阪口 忠雄* 専門会員 江島 義道* 専門会員 永井 久*

A Study on the Lighting Conditions Required for Preferable Appearance of Solid Objects (1)

The late Dr. Tadao Sakaguchi (Fellow Member)

Yoshimichi Ejima (Fellow Member)

Hisashi Nagai (Fellow Member)

(Faculty of Engineering, Kyoto University)

ABSTRACT

In order to establish a comprehensive method for adequate illumination of solid objects, the following questions must be clarified.

How may the three-dimensional distribution of light exert influence on appearance of solid objects?

To clarify this question, many studies such as Moon and Spencer's, Hewitt's, Cuttle's and Fischer's were carried out.

But many problems to be solved have been left as yet.

The purpose of this study is to examine the following problems.

(1) What are the lighting conditions required for preferable appearance of solid objects when a small source is used as a directional lighting?

(2) How may size of directional lighting exert influence on appearance of solid objects?

Several experiments are carried out to examine the first.

The following are Clarified.

(1) Preferable direction of the flow of light

(2) Preferable ranges of the vector: scalar ratio

1. 序 論

従来の室内照明設計の基礎は明視論であり、照度レベルがもっとも重要な設計要因とされていた。しかし近年人間性を尊重した快適な環境づくりが、視環境設計の目標とされるようになり、人間の心理的要因も重要視されるようになった。そしてその一つの要因として、「室内の在室者などの視対象物がはっきりと好ましく見える」ことが大切な問題として取り上げられた。

ところで視対象立体の見え方は、その物体の置かれて

いる水平面照度よりも、その物体を照明する際の光の当て方のほうが、より一層大きな影響力を持っていると考えられる。光の方向、強さ、拡散性の光と指向性の光のバランス、指向性の光の広がり、視線と光の方向の関係などが見え方を大きく左右する。

したがって、立体の形を照明によって適切に表わす方法を確立するためには、まず光の当て方を規定する種々の物理的要因が、立体の好ましい見え方にどのような影響を与えるかを明らかにする必要がある。

このような要請にこたえるために、すでに一連のモデリングに関する研究が行なわれている。その代表的例としては Moon & Spencer¹⁾, Hewitt²⁾, Cuttle³⁾, Fischer⁴⁾

* 京都大学工学部

らの成果があげられる。しかしモデリングインデックスの決定、あるいはインデックスの好ましい範囲の定量的設定については、まだ結論に達していないというべきで⁵⁾、種々の問題が今後の課題として残されている。そこで筆者らは、この課題の中から次の二つの問題を取り上げ、それについて実験的検討を行なった。

(1) 指向性の光として、点光源を用いた場合の好ましいモデリング効果を与える照明の所要条件は何か。

(2) 指向性用光源の大きさの変化は、モデリング効果にどのような影響を与えるか。

本稿では二つの問題のうち、まず(1)についての検討結果を報告する。

2. 用語 と 記 号

まず本稿で使用する用語、記号について説明する。

2.1 照度ベクトルとその方向

図 1 は観察者、視対象物、指向性用光源の位置関係を示したものである。光源から視対象物への方向は照度ベクトルの方向を示し、これは視線とのなす鉛直方位角

図 1 照度ベクトルの方向

と水平方位角で表わすことができる。ここでは、これらをそれぞれ、高度(α°)、方位(φ°)で表わすことにした。また照度ベクトルは $\mathbf{E}$ で、ベクトルと視線のなす角は β で表わすことにした。

2.2 スカ ラ 照 度

スカラ照度は、被照点に置いた小球表面上の平均照度と定義されるものである。ここではこれを E_s で表わす。

2.3 指向性の光の広がり

指向性の光の広がりを、どのように表示すべきかについては種々の論議があると思われるが、ここでは視対象の置かれている点から光源をみたときの、光源のはる最大角で表わすことにし、これを w_i とする。

2.4 インデックス

モデリング効果を表わすインデックスとして、何を採用すべきかについては後で検討することにし、とりあえず Cuttle ら⁶⁾が提案したベクトル：スカラ比（以下、これを $\mathbf{E} : E_s$ と略述する）を用いて、実験結果の概要を説明する。

3. スカ ラ 照 度 の 測 定

スカラ照度は、小球表面の平均照度と定義されるものであり、従来の照度計ではこれを測定することはできない。そこで筆者らは新たにスカラ照度計を作製した。

図 2 光の方向と半球の位置関係

図 2 に示すように、点 P を中心とする小球に点光源からの光が入射したとすると、半球面上の平均照度 E_{mh} は次式で与えられる。

$$E_{mh} = \frac{1}{4}(1 + \cos \theta_1)E_{D1} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 E_{D1} は照度計を光の入射方向に垂直に置いたときの照度

θ_1 は光の入射方向と半球の中心軸のなす角

第 2, 第 3, ……などの多数の点光源が存在するとき E_{mh} は次式で示される。

$$\begin{aligned} E_{mh} &= \frac{1}{4}(1 + \cos \theta_1)E_{D1} \\ &+ \frac{1}{4}(1 + \cos \theta_2)E_{D2} + \dots \dots \dots \\ &= \frac{1}{4}(E_{D1} + E_{D2} + \dots \dots \dots) \\ &+ \frac{1}{4}(E_{D1} \cos \theta_1 + E_{D2} \cos \theta_2 + \dots \dots \dots) \dots (2) \end{aligned}$$

ここで、第 1 項は複数点光源による球面上の平均照度（すなわちスカラ照度）であり、第 2 項は照度ベクトルの半球の軸方向成分の 1/4 である。この関係式は線光源、面光源の場合にも当てはまる⁶⁾。したがって半球の軸を照度ベクトルの方向に直角になるようにすれば、半球の平均照度はスカラ照度と等しくなり、半球の照度計によってスカラ照度を測定できる。

本研究では、半球の平均照度が測定できる照度計を作製し、これによってスカラ照度を測定した。照度計はピンポン球を半分に切って、その内部にセレン光電池を設置して作った。ところがこのままでは角度特性が良好でない。点光源が一つの場合は角度特性は(1)式に従うべきであるが、受光面が半球の軸と垂直になっているた

図3 照度計の角度特性

め、軸方向から入射する光が相対的に強く感じられ、角度特性が理論曲線からずれてくる(図3参照)。

そこで何らかの方法で、この角度特性のずれを補正する必要がある。

図4 マスクの大きさと理論曲線からの角度特性の誤差

ここでは、半球の天頂に黒いマスクをつけることによってこれを達成した。マスクをつけたときの角度特性の理論曲線からのずれは、マスクの大きさによって変化する。図4は角度特性のずれと、マスクの大きさの関係を示したものである。図から、マスクの大きさが18.8 mm φのとき、ずれがもっとも小さくなることがわかる。この結果から、角度補正用のマスクとしては、18.8 mm φのものを採用することにした。このときの誤差は1.4%であり、角度特性は図3に示すように理論曲線とかなりよく一致する。

本研究のスカラ照度は、この照度計を用いて測定した。

4. 指向性の光として点光源を用いた場合のモデリング効果

4.1 予備実験の結果

実験上の問題点を探し、より効果的に実験を行なうために、一辺が180 cmの立方体の実験室を作り予備的検討を行なった。その結果をまとめると次のようになる。

(1) モデリング効果の好ましさの評定実験では、被験者を教示や練習によって十分訓練する必要がある。特に観測の初期においては、好ましい $E:E_s$ が高くなる傾向がみられるので十分の配慮が必要である。

(2) 近視の人が好ましいとする $E:E_s$ は、正常の人のそれに比べ高くなる傾向がある。

(3) 照度ベクトルの方向は $\alpha = -45 \sim 90^\circ$ 、 $\varphi = 0 \sim 120^\circ$ の範囲で変化すれば十分である。 $\alpha < -45^\circ$ または $\varphi > 120^\circ$ のベクトルの方向に対しては、好ましいモデリング効果は得られない。

(4) 照度ベクトルの方向は、できるだけ小さく変えるほうがよい。モデリング効果の現われ方は方向によって急に変わるので、現象を正確に把握するためにはベクトルの方向の変化を、できるだけ小さくにしたほうがよい。

(5) 好ましいと評定される $E:E_s$ は、照度レベルによって変わらない。照度レベルによって好ましいと評定される $E:E_s$ に差があるかを調べるために、照度レベルを種々に変化させて($E_s = 10 \sim 300 \text{ lx}$)実験を行なった。結果の差をF検定によって検討したところ、5%有意水準で有意な差は見られず、照度レベルが極端に低い場合を除けば、好ましいと評定される $E:E_s$ は、照度レベルによって変化しないことが明らかになった。

(6) 指向性の光源の位置は、視対象からできるだけ遠く、ベクトルの方向によって変わらないほうがよい。人の顔のような視対象立体はかなり不規則であり、顔の表面は必ずしも同一球面上にはない。したがって光源の位置が近い、または方向によって距離が異なれば $E:E_s$ をどの点でとらえるかが問題となる。

本実験は、以上のような予備の実験結果から得られた知見を基盤にして計画、実施した。

4.2 実験装置と視対象

拡散性の光が任意の強さに、指向性の光が任意の位置と、任意の強さに設定できる一辺が260 cmの立方体の実験室を作製した。図5はその概観を示したものである。拡散性の光は、立方体の各壁に取り付けた調光可能な40 W白色けい光ランプ(各壁に1本)によって、指向性の光は、視対象を含む鉛直面で対象物を中心とする半径117 cmの円周上に、15°間隔で設置した150 W反対形白熱電球によって得た。電球を固定したアームは

図 5 実験装置 (実験 1~4)

任意の方位角に設定可能である。実験室は不規則な反射光を防ぐために全体を暗幕でおおい、観測用の窓を作った。視対象物を置く中心での拡散性の光による照度のばらつきは 3% 以内におさえることができた。視対象物としては、人の顔を想定してマネキン人形頭部 (女性、図 6) を採用した。

図 6 視対象物

4.3 実験の方法

実験は拡散性の光の照度を一定に保ち、指向性の光の強さを種々に変化させて、視対象の好ましいモデリング効果を観測者に評定させることによって行ない、具体的には次の二つの測定を実施した。

実験 1 種々の α , φ の条件のもとに、視対象のモデリング効果をもっとも好ましいと思われる $E:E_s$ を評定させる。

拡散性の光を 200 lx に保ち、指向性の光を調光器によって変化させて好ましい $E:E_s$ を評定させた。ところでモデリング効果の好ましさと $E:E_s$ の関係には、図 7 に示すように典型的な二つのタイプがある。前者の山型の特性の場合には、好ましい $E:E_s$ を評定することは容易であるが、後者の台形型の特性の場合には好ましい $E:E_s$ を一点に定めることは困難である。そこで本

図 7 好ましきと $E:E_s$ の関係

実験は α_0 を評定させるようにした。実験は十分の訓練の後、同じものを 2 度行ない、2 回の再現性で結果の信頼性をチェックした。

実験 2 種々の φ , α , $E:E_s$ の条件下におかれた視対象物を図 8 に示す「平板な感じ—明暗の差が強い」の 7 段階の尺度上で絶対評定を行なわせる。 $E:E_s$ の変化の方法は、0 から 2.5 まで 0.25 間隔で連続的に上昇させて提示するものと、ランダムに提示するものの二とおりである。測定結果の信頼性は連続上昇提示とランダム提示の結果の再現性でチェックした。なお、連続して多数の測定を行なえば、疲労のための感覚反応が鈍くなったり、あるいはまた心的飽和のため判断が簡略化されたりして、誤差を生じることがあるので、実験に際しては適当に休息をとるよう配慮した。

図 8 測定尺度

変化させた照度ベクトルの方向は、実験 1, 2 とともにとおりである。

$\varphi = 10 \sim 120^\circ$, 10° 間隔, $\alpha = -45 \sim 90^\circ$, 15° 間隔

被験者は実験 1 が 27 名 (20~35 歳, 男 22 名, 女 5 名), 実験 2 が 15 名 (20~35 歳, 男 11 名, 女 4 名) である。被験者の選択に際して特別の条件は考慮しなかったが、矯正視力が正常 (1.0 以上) であるかをチェックした。また実験に参加した被験者は感覚的に特異な点は見い出されず、一般の人々の代表と考えてさしつかえないと推定される人間であった。

4.4 結果と考察

結果の信頼性を再現性でチェックしたところ、いずれも 3 名の被験者のデータが悪かったので、これを除外して整理した。

4.4.1 好ましい光の方向

実験 2 における絶対評定の結果、観測者が測定尺度上で、モデリング効果が好ましいと評定した個数を照度ベクトルの方向に対して調べると図 9 のようになる。図において、縦軸は観測者が好ましいと評定した個数の総

図9 好ましさの度数分布
横軸：照明ベクトルの高度 縦軸：好ましさの度数

和を、横軸は照明ベクトルの高度を示している。分布の傾向から次のことが明らかとなる。

(1) φ が比較的小さいとき ($10 \sim 50^\circ$) は、下方または上方からの光より、斜め上方からの光のほうが好ましい。

(2) $\varphi \geq 30^\circ$ になると、 φ の大きさとともに好ましい α の範囲はしだいに下方に移ってくる。好ましさの度数が最大を示すのは $\varphi = 30 \sim 40^\circ$ のとき $\alpha = 45^\circ$ 、 $\varphi = 50^\circ$ のとき $\alpha = 30^\circ$ 、 $\varphi = 60 \sim 70^\circ$ のとき $\alpha = 15^\circ$ 、 $\varphi = 80^\circ$ のとき $\alpha = -15^\circ$ 、 $\varphi = 90^\circ$ のとき $\alpha = -30^\circ$ となる。

(3) $\varphi = 30^\circ, 50^\circ$ の度数分布に比べ $\varphi = 40^\circ$ の度数分布は総体に低くなる。これは $\varphi = 40^\circ$ のとき鼻の影が好ましくないところにあるためと考えられる。

図10 $\varphi = 10 \sim 120^\circ$ を加え合わせたときの、好ましさの度数分布

(4) $\varphi \geq 80^\circ$ になると上方からの光より、下方からの光のほうがむしろ好ましくなる。

(5) $\varphi \geq 100^\circ$ になると、好ましさの度数は急激に減少する。

φ を 10° から 120° まで変化させたときの好ましさの度数を、すべて加え合わせると図10を得ることができる。図から次のことが明らかとなる。

(1) 総体として好ましい照明ベクトルの高度は、斜め上方にある。

(2) 極端に上方の光 ($\alpha = 75^\circ, 90^\circ$) は、好ましいモデリング効果を与えない。

次に照明とベクトルの高度を縦軸、方位を横軸として好ましいと評定された度数の相対的に多いところを領域的に示すと図11のようになる。図から φ が大きくなるにしたがい、好ましい α の範囲が下方に移動していくことを直視的に知ることができる。好ましいとした個数の総数が43以上になるところを、好ましい光の方向と仮定すると、好ましいモデリング効果を与える光の方向は、表1のようにまとめることができる。

表1 好ましい照明ベクトルの方向

φ	α	φ	α
10°	$0 \sim 60^\circ$	60°	$0 \sim 30^\circ$
20°	$0 \sim 60^\circ$	70°	$-15 \sim 15^\circ$
30°	$15 \sim 60^\circ$	80°	$-30 \sim 0^\circ$
40°	$30 \sim 60^\circ$	90°	-30°
50°	$15 \sim 45^\circ$

図 11 好ましい照度ベクトルの領域

4.4.2 好ましい照度ベクトル：スカラー照度

4.4.2.1 最適値評定における好ましい $E:E_s$

実験 1 における 2 回の測定結果を平均し、さらに観測者 24 人の平均を求めると 図 12 のようになる。図は横軸を照度ベクトルの高度とし、縦軸をもっとも好ましいとされた $E:E_s$ として方位ごとに示したものである。

図 12 最高値評定における好ましい $E:E_s$

図から次のことが明らかとなる。

(1) $\varphi=10\sim50^\circ$ のとき

(a) α が大きくなるにしたがって、好ましい $E:E_s$ はしだいに大きくなり、最大を示して再び減少する($\varphi=50^\circ$ を除く)。

これは下方からの光、または極端に上方からの光に対しては好ましくない影ができ、これが好ましい $E:E_s$ を低下させたためと考えられる。

(b) φ が大きくなるにしたがって、好ましい $E:E_s$ は総体に小さくなる。これは光が側方にくにしたがって明暗の差が大きくなっていくためと考えられる。

(2) $\varphi=60\sim120^\circ$ のとき

(a) α がある値以上になると、好ましい $E:E_s$ は急に大きくなる、そしてこの立ち上がり点は φ の増加とともに α の小さいほうに移動してくる。立ち上がり点は $\varphi=60\sim70^\circ$ のとき $\alpha=60^\circ$ 、 $\varphi=80^\circ$ のとき $\alpha=45^\circ$ 、 $\varphi=100\sim120^\circ$ のとき $\alpha=30^\circ$ である。

急激な立ち上がりが見られるのは、指向性の光が頭髮の陰になって効果が著しく弱くなるためと考えられる。

(b) 立ち上がり点より小さい α の領域では、好ましい $E:E_s$ はほぼ平坦な特性を示し、 φ の違いによって大きなレベルの差は見られない。 $\varphi=100\sim120^\circ$ においては多少レベルが下っているが、これは好ましくない影の影響によるものと考えられる。平坦な特性を示すのは $\varphi\geq 60^\circ$ になると、指向性の光が鼻のかけになって片面にはあたらなくなって明暗の差が弱くなり、 α による差異が小さくなるためと考えられる。

4.4.2.2 絶対評定における好ましい $E:E_s$

実験 2 において、観測者が測定尺度上でモデリング効果が好ましいと評定したときの $E:E_s$ の平均値を照度ベクトルの方向ごとに求めてみる。

平均値の求め方は、単純に全観測者の平均を求める方法と、観測者ごとに平均を求めて、これの全観測者の平均を求める方法が考えられる。評定基準の観測者による個人差が小さいときは、両方法による結果の差異はほとんど見られないが、個人差が大きいときはその差異も大きくなる。個人差が大きいときは前者の方法では、評定基準の甘い観測者（すなわち、モデリング効果が好ましいと評定する度数の多い観測者）にウエイトがかかり、平均値としての意味がいくぶんそこなわれる。そこでここでは後者の方法によって平均値を求める。平均値を求め、 $E:E_s$ を連続的に上昇させて提示した場合と、ランダムに提示した場合の結果を比較したら、両者の差異はほとんどなかったの、ここでは両方の平均値を示すことにする。

図 13 絶対評定における好ましい $E:E_s$

モデリング効果が好ましいと評定したときの $E:E_s$ の平均値を、照度ベクトルの方向ごとに求めると 図 13 のようになる。図には $\varphi\geq 100^\circ$ の場合の結果は示していないが、これは好ましいと評定する観測者の数が少なかったために省略したものである。図からベクトルの方向によって好ましい $E:E_s$ が、どのように変わるかを知らることができる。具体的には次のことが明らかとなる。

(1) 好ましいと評定された $E:E_s$ の α による変化の傾向は、最適値評定における好ましい $E:E_s$ の傾向と

ほぼ同じである。

(2) しかし、好ましいと評定された $E:E_s$ のレベルは最適値評定の結果より高い。

この理由は次のように考えることができる。

好ましさと $E:E_s$ の関係は、好ましいと評定された度数分布 (図 14 に $\varphi=40^\circ$, $\alpha=30^\circ$ のときの度数分布を示しているが、その他の φ , α でも同じような分布特性を持っている) から、図 14 のような特性曲線 (小さい領域で急峻な、大きい領域でなだらかな) を持つことが予想される。

このため、好ましきがある基準値 B_0 以上になる場合 (このとき観測者は、測定尺度上でモデリング効果が好ましいと評定する) の $E:E_s$ の平均値 a_1 は、好ましきの最大を示すときの a_0 (最適値評定においては、この点でもっとも好ましいと評定する) より大きくなる。

図 14 好ましきと $E:E_s$ の関係

(3) $\varphi \geq 60^\circ$ でも山型の特性を示す。

最適値評定においては、 $\varphi \geq 60^\circ$ ではほぼ平坦な特性を示したが、絶対評定においてはなだらかな山型の特性を示す。この違いは好ましきのとらえ方の違いによるものと考えられる。

(4) $\varphi \geq 60^\circ$ において、好ましい $E:E_s$ の最大値を与える α の値は、 φ が大きくなるにしたがって小さくなる。これは φ が大きくなるにしたがって、 α の小さい領域の好ましい $E:E_s$ が、大きいほうへひろがってくるためと考えられる。

4.4.2.3 モデリング効果の好ましい $E:E_s$ の領域と好ましくない $E:E_s$ の領域

好ましい $E:E_s$ の値が、どれくらいのレベルであるかは図 12, 図 13 によって知ることができる。

次に好ましい $E:E_s$ の幅はどの程度であるか、平坦な領域、どぎつい領域はどうなるかを調べてみる。

観測者が、7 段階の測定尺度上でモデリング効果が好ましいとしたときの $E:E_s$ の上限と下限 ($E:E_s$ の 0~25 の変化に対して、好ましいと評定される $E:E_s$ は複数個得られる。このとき最大の $E:E_s$ を上限、最小の

図 15 好ましい $E:E_s$ の範囲

$E:E_s$ を下限と考える), かなり平板であると評定したときの $E:E_s$ の上限, かなり明暗の差が強いと評定したときの $E:E_s$ の下限をとり, 全観測者のそれぞれの平均を求めると 図 15 を得ることができる. 図からモデリング効果の好ましい領域, 好ましくない領域がベクトルの方向によって, どのように変様するかを知ることができる. 感覚的, 主観的評定であるため厳密な意味での境界線を引くことはできないが, 一応の目安として,

(1) かなり平板であると評定された $E:E_s$ の上限の値は, 視対象を好ましくみせるのにぎりぎりのソフトなモデリングを与える $E:E_s$.

(2) 好ましいと評定された $E:E_s$ の上限と下限ではさまれた領域は, 好ましいモデリングを与える $E:E_s$ の領域.

(3) かなり明暗の差が強いと評定された $E:E_s$ の下限の値は, 許容し得る限界の Harsh* なモデリングを与える $E:E_s$.

と考えてよいであろう. このようにすると図から次のことが明らかとなる.

(1) 好ましいモデリングを与える $E:E_s$ の領域は, ほぼ 0.5~1.0 の範囲にある.

(2) ソフトなモデリングを与える $E:E_s$ の領域は, 0.1 以下である.

(3) どぎついモデリングを与える $E:E_s$ の領域は, 1.5 以上である.

(4) 好ましいモデリングを与える $E:E_s$ の幅は, 極端に上方からの光, および極端に下方からの光に対して狭くなる. 好ましい $E:E_s$ の幅がもっとも広がるのは, $\varphi=10\sim50^\circ$ の場合 $\alpha=45\sim60^\circ$ のとき, φ が 60° 以上になると α の小さいほうにだんだん移動し, $\varphi=80\sim90^\circ$ の場合は $\alpha=15\sim30^\circ$ のとき最大となる.

(5) φ, α の大きい領域では, ソフトなモデリングを与える $E:E_s$ が急激に大きくなる. これは指向性の光が頭髮の陰になって, モデリング効果が弱くなるためと考えられる.

5. 光源の色温度の影響

実験 1, 実験 2 においては, 日常の照明として広く利用されているという理由から, 拡散性の光として白色けい光ランプを使用した. このため色温度の異なる光源の使用 (拡散性の光として白色けい光ランプを, 指向性の光として反射形白熱電球を使用) が, モデリング効果の評価に影響を与えるかもしれないという問題を生じた (補足的に行なった視対象をりんご, パイナップル, バナナ, みかんの静物とした実験結果によると, 色の好ましさの評価が, モデリング効果の評価に混入することが

明らかになった).

そこでこの色温度の影響を検討するために, 拡散性の光として白色けい光ランプを使用した場合と, 白熱電球とほぼ同じ分光エネルギー分布を持つ温白色けい光ランプを使用した場合との比較的实验 (実験 3) を行なった. 測定は実験 1 と同じ要領で行ない, もっとも好ましいモデリング効果を与える $E:E_s$ を評定させた. 被験者は 5 人で, 変化した照度ベクトルの方向は次のとおりである.

$$\begin{cases} \varphi=10^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ \\ \alpha=-30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ \end{cases}$$

表 2 拡散性の光として白色けい光ランプを用いたときと, 温白色けい光ランプを用いたときの好ましい $E:E_s$ の相違

φ	α	F_0	$F(0.05)$	有意の差	φ	α	F_0	$F(0.05)$	有意の差
10°	60°	5.20	4.22	あり	50°	60°	1.41	4.22	なし
10°	30°	0.08	4.18	なし	50°	30°	0.81	4.22	なし
10°	0°	0.04	4.21	なし	50°	0°	0.86	4.21	なし
10°	-30°	0.86	4.21	なし	50°	-30°	0.01	4.26	なし
30°	60°	0.24	4.21	なし	70°	60°	2.02	4.17	なし
30°	30°	0.94	4.20	なし	70°	30°	0.24	4.21	なし
30°	0°	0.04	4.20	なし	70°	0°	1.22	4.17	なし
30°	-30°	0.77	4.24	なし	70°	-30°	0.22	4.26	なし

図 16 拡散性の光として白色けい光ランプを用い温白色けい光ランプを用いたときの, 好ましい $E:E_s$ の相違

好ましいモデリング効果を与える $E:E_s$ について, 両実験結果の評定値に, 有意の差があるか否かを F 検定によって調べた. 表 2 はその結果である. 表から $\varphi=10^\circ, \alpha=60^\circ$ の場合を除けば, 評定値の母平均に有意の差 (5%有意水準) がないことが判明する. 両実験結果を直交座標軸に示すと 図 16 のようになる. 二, 三の例外を除けばほぼ 45° 線上に分布している. 視対象を実験 2 で使用したマネキン人形に限定するとき, 拡散性の光として白色けい光ランプを用いた場合と, 温白色けい光ランプを用いた場合とでは, 好ましい $E:E_s$ に有意の差はないといってもよいであろう.

(つづく)

* Cuttle は明暗の差が強すぎるのを Harsh と呼んでる.