自動車用赤色 LED 灯体の不快グレア評価予測

正会員 田代 知範 (宇都宮大学) 正会員 川野辺 祥子 (スタンレー電気㈱) 正会員 木村 能子 (スタンレー電気㈱)
 専門会員 江湖 俊介 (岩崎電気㈱) 正会員 石川 智治 (宇都宮大学) 専門会員 阿山 みよし (宇都宮大学)

Estimation of Discomfort Glare Rating for Automotive Red LED Lamps

Member Tomonori Tashiro (Utsunomiya University), Member Shoko Kawanobe (Stanley Electric Co., Ltd.),
 Member Takako Kimura-Minoda (Stanley Electric Co., Ltd.), Fellow Member Shunsuke Kohko (Iwasaki Electric Co., Ltd.),
 Member Tomoharu Ishikawa (Utsunomiya University) and Fellow Member Miyoshi Ayama (Utsunomiya University)

ABSTRACT

To examine the quantitative relationship between the degree of discomfort glare and a number of photometric quantities, experiments were conducted using red LED lamps for automotive lighting devices. Illuminance at the observer's eye and effective glare luminance proposed by Tashiro et al. were employed as photometric quantities. The results show that the illuminance at the observer's eye denotes the same tendency as the results of previous study. However, the results of effective glare luminance show different trends. Using a discomfort glare evaluation formula with effective glare luminance, the results of this study and Tashiro's study were compared. The results showed a strong correlation between the evaluation and estimation values of discomfort glare. This means that the discomfort glare rating for any LED sources can be satisfactorily estimated.

KEYWORDS : LED light source, perception of brightness, discomfort glare

1. はじめに

急速な技術発展により、LED 光源は自身の発光を視認させるイルミネーションや誘導灯だけでなく、屋内照明や街路灯、自動車のヘッドランプなど一般照明の分野で広く用いられるようになってきた。通常、1つのLED灯具は多数の小さなLED素子もしくはLEDパッケージを空間的に自由に配置して構築されている。これは、用途、コスト、灯具の形状、放熱などに対応した結果である。しかし一方で、そういった自由なLED配置によって生じる不均一な輝度分布が、観察者に不快グレアを与える要因の1つであると考えられている。例えば、赤色LED光源の一般的な使用例として自動車のストップランプがあるが、車種によって形状や大きさが異なる。また、日中の明るい時間帯に後続車への注意喚起を行う輝度レベルを確保する必要があるため、夜間で最も車間距離が短くなる信号待ちなどでは過度なグレアを与えてしまう可能性がある。

不均一な輝度分布を持つ光源の不快グレア評価に関する研究は、様々な研究者によって行われてきた¹⁾²⁾。しかし、実際にLED素子を配列した光源を用いて不快グレアに対する主観評価実験を行い、測光量との定量的関係を調査した研究はいまだ十分とはいえない³⁾⁴⁾。Tashiroらは、計17種類の異なる複雑な輝度分布を持つ白色LED光源の不快グレア評価と各種測光量との定量的関係を調査した⁴⁾。彼らは、眼前照度は均一または不均一光源に限定した場合には、不快グレアを評価する有効な測光量であるが、限定しない場合は必ずしも適切な指標ではないことを明らかにした。また、均一および不均一光源の結果を同時に説明するには、光源領域内の輝度分布を考慮した測光量が必要であり、発光面の二次元輝度分布データに着目し、輝度による重み付けを行う有効グレア輝度を提案した。これにより、様々な輝度分布を有する白色LED光源の不快グレア評価を予測することができる可能性を示した。Tashiroらの実験で使用した計17種類の光源レイア

ウトは、全て正方マトリクス状の素子配置と拡散板を組み合わせたものであり、光源色は白色のみであった。しかし、実際の製品は機能性やデザイン性を重視するため、非対称な素子配置や細工の施されたカバーガラスの使用により複雑な輝度分布を有しており、用途によっては赤や黄といった光色を使用する場合もある。近年の不均一光源の不快グレアに関する多くの研究は、光源内部および周辺の二次元輝度分布データが不快グレアの程度を表す重要なファクターであることを報告している^{4)~7)}。また、光色の違いにより不快グレア評価に違いが生じることはよく知られている⁸⁾。さらに、赤色の光に関しては、眼底反射の影響が大きいことは周知の事実である⁹⁾。

本研究では、自動車用赤色LED灯体を使用して不快グレア評価に関する主観評価実験を行い、Tashiroらが提案する有効グレア輝度やそれを用いた不快グレア評価式mUGRにより赤色LED灯体の不快グレア評価予測が可能かどうかを検討した。

2. 主観評価実験

2.1 評価刺激

図1に評価刺激として用いた自動車用赤色LED灯体の概略図を示す。本研究では、図1(a)をType A、図1(b)をType Bとそれぞれ呼称する。Type AおよびType Bはともに縦42 cm、横18 cmの扇型のような外形をしており、内部の発光領域の形状が異なる。図1に示すように、Type Aは9個のLED素子が変則的な円弧状に並んでおり、その前面は微小な凹凸が施された赤色のカバーガラスで覆われている。一方Type Bは、12個の赤色LED素子が変則的なマトリクス状に並んでおり、その前面は無色透明のカバーガラスで覆われている。Type BのLED素子は全て、発光面に対して90°横向きに設置されており、微小な凹凸が施された反射拡散板を介して呈示されている。

自動車用LED灯体には、夜間に後続車に自車の存在を知らせるために常時弱く発光するテールランプとブレーキによる減速を

図1 評価刺激 ((a):Type A, (b):Type B)
Fig.1 Test stimuli.

知らせるために一時的に強く発光するストップランプの2つの発光領域が存在するが、本研究では後者のストップランプの発光を対象とし、不快グレアの評価を行う。

2.2 実験環境

図2(a)に実験装置の側面図、図2(b)に上面図をそれぞれ示す。外光の影響を排除するために、実験は暗幕で覆われた実験ブース内で実施された。実験ブースは便宜上、2つの小部屋に分かれていた。1つは被験者がいる観察スペース、もう1つは評価刺激が設置してある刺激スペースである。観察スペースと刺激スペースは開口部が設けられた黒色の遮光板および暗幕で区切られている。被験者は評価刺激からの光を遮らないように十分な大きさが設けられた開口部を通じて評価刺激を観察する。

評価刺激を被験者から右355 mm、前方4000 mm、高さ720 mmに設置した。結果として被験者は視角で5.1°の右前方に置かれた

図2 実験装置 ((a):側面図, (b):上面図)
Fig.2 Experimental apparatus.

評価刺激を観察することになる。これは前方の車の右側のストップランプを見る状況を再現している。

背景は、被験者前方3500 mmに設置された遮光板（観察スペースと刺激スペースの区切り）の前面とした。背景輝度は、装置中央部に設置した40 W 直管型 LED 蛍光灯 4 本（左右 2 本ずつ）によって調節している。各蛍光灯はグレア評価に影響を与えないように遮光板によって被験者が直視できないようになっている。

2.3 実験条件

LED 灯体の出力は電流値制御により調整される。ストップランプの出力は、各 LED 灯体の定格電流（ともに 600 mA）を最大値として、眼前照度が対数値でほぼ等間隔となるように著者らによって 6 段階に設定された。各眼前照度値は、Type A: 0.05, 0.24, 0.67, 2.90, 7.13, 15.2 lx, Type B: 0.03, 0.13, 0.38, 1.51, 3.59, 7.87 lx である。また、テールランプの出力は、消灯 (0 lx) または点灯 (Type A: 0.04 lx, Type B: 0.02 lx) とした。本研究で用いた 2 つの LED 灯体はストップランプ発光部とテールランプ発光部の一部 (Type A) または全部 (Type B) が重複している。そのため、テールランプの出力は、ストップランプの最低出力が確認できるようにそれ以下に設定している。

背景輝度は夜間屋外環境を想定して、dark, 1, 10 cd/m² の 3 段階に設定した。背景輝度の調整は、コニカミノルタ社製分光放射輝度計 CS-2000 を使用して、開口部の上下左右 4 点の平均値で設定している。ここで、dark とは、背景用の蛍光灯 4 本を消灯した状態であり、CS-2000 での測定ができなかった背景輝度レベルである。つまり、背景輝度レベル dark は CS-2000 の最低測定輝度である 0.003 cd/m² 以下であることを意味している。

被験者は普通自動車運転免許を所持する色覚正常な 20 代の男性 3 名、女性 4 名の計 7 名に協力してもらった。

評価尺度には、松田らのスケールを採用した¹⁰⁾。松田らのスケールは、評価値 1 「感じない」から 9 「ひど過ぎる」までの 9 段階評価で、より大きな評価値がより強いグレア感に対応している。

2.4 実験方法

任意の背景輝度条件下で 5 分間の暗順応の後、被験者はランダムに提示される評価刺激を観察する。実験者は、評価刺激として、テールランプなし条件では、ストップランプを約 3 秒間点灯し、テールランプ有り条件では、まずテールランプを約 10 秒間点灯させた後にストップランプを約 3 秒間点灯する。評価刺激の操作はすべて実験者が手動で行っている。その後被験者は、ストップランプの光による不快グレアの程度を松田らのスケールにしたがい評価する。この時、被験者は手元に松田らのスケールが示された評価カードを持っており、実験中はいつでも確認することが可能であった。各試行の間には任意の背景輝度条件下での約 30 秒のインターバルを設けている。評価刺激の観察は両眼観察で実施し、あご台や注視点などによる視線の固定は行わなかった。しかし、実験前に、本実験が車の運転中を想定していることを伝え、実験中は前方を見るように指示した。実験は、背景 1 種類 × ストップランプ出力 6 段階 × テールランプ出力 1 段階 × 繰り返し 3 回の 18 試行を 1 セッションとし、被験者 1 人当たり背景 3 種類 (dark, 1 cd/m², 10 cd/m²) × ストップランプ出力 6 段階 × テールランプ出力 2 段階 (無, 有) × 繰り返し 6 回の計 216 試行を行った。

3. 測光値

3.1 光学測定

本研究では、不快グレア評価との定量的関係を調査する測光量として眼前照度および有効グレア輝度を使用する。そこで各測光量のために、光源の照度測定および輝度測定を実施した。

はじめに、眼前照度の測定は LMT 社製高精度照度計 B520 を使用して実施した。実験中の被験者の目の位置に B520 を設置して

鉛直面照度を測定する。

次に、有効グレア輝度の算出に使用する二次元輝度分布データの測定はコニカミノルタ社製二次元色彩輝度計 CA-2500 を使用して実施した。暗室内で光源と CA-2500 を約 1 m の測定距離で正対させ、多重露光モードにより測定した。通常、最高輝度が 10^5 cd/m^2 を超える光源は、CA-2500 の仕様により直接測定ができない。そのため本研究では、ND (Neutral Density) フィルターを CA-2500 の前に設置し測定を行い、ND 減光分を測定結果に反映することで高輝度な LED 刺激の二次元輝度分布データを取得した。二次元輝度分布データは、 980×980 ピクセルの解像度を持つ。図 3 (a) は Type A の、図 3 (b) は Type B の二次元輝度分布データを可視化した例である。

図 3 評価刺激の二次元輝度分布の例 ((a): Type A, (b): Type B)
Fig.3 Examples of luminance distribution images.

3.2 有効グレア輝度

有効グレア輝度とは、Tashiro らによって提案された LED のような不均一な輝度分布を持つ光源にも対応した不快グレア評価指標である。有効グレア輝度は、低輝度領域を除き高輝度領域に重み付けをした平均輝度であり、式(1)で定義される⁴⁾。本研究では、彼らの論文にしたがい、各条件での有効グレア輝度の算出を行った。

有効グレア輝度は CA-2500 によって得られる光源の二次元輝度分布データから算出する。まず、ピクセル輝度値が 0.05 cd/m^2

以下の低輝度領域を除外した有効領域を抽出する。有効グレア輝度は、この有効領域を対象に計算が行われる。次に、有効領域の各ピクセルに対して、輝度値に応じた重み付けを行う。重み付けには輝度値に応じた単調増加関数 WF_{BL} を使用し、背景輝度に応じて式(2)に示す WF_{01} , WF_1 , WF_{10} の 3 種類から適切なものを選択する。本研究では、背景輝度レベル dark で WF_{01} , 1 cd/m^2 で WF_1 , 10 cd/m^2 で WF_{10} をそれぞれ使用した。最後に、重み付けを行った各ピクセル輝度の合計値を有効領域のピクセル数で割ることで有効グレア輝度が算出される。

$$L_{eff} = \frac{\sum (WF_{BL} \times L_{ij})}{N_{eff}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} WF_{01} &= 7.0 \times 10^{-4} \times L_{ij}^{0.605} \\ WF_1 &= 6.0 \times 10^{-4} \times L_{ij}^{0.588} \\ WF_{10} &= 4.0 \times 10^{-4} \times L_{ij}^{0.471} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで L_{eff} は有効グレア輝度 [cd/m^2]、 WF_{BL} , WF_{01} , WF_1 , WF_{10} は重み付け関数、 L_{ij} は輝度分布データのピクセル輝度 [cd/m^2]、 N_{eff} は有効領域のピクセル数をそれぞれ示す。

4. 実験結果

4.1 眼前照度との関係

図 4 に眼前照度と不快グレア評価との関係を示す。横軸は対数値による眼前照度 [lx]、縦軸は不快グレア評価の被験者 7 人の平均値である。また、凡例の(無)、(有)はテールランプの消灯、点灯をそれぞれ意味する。図 4 に示すように、背景輝度 1 , 10 cd/m^2 の時 4 本の評価カーブは良好に一致することがわかった。また、背景輝度 dark の時 Type A と Type B の評価カーブにズレが見られるものの有意差は見られなかった。この結果は、不均一光源に限定した場合の Tashiro らの結果と同様な傾向を示している。

4.2 有効グレア輝度との関係

図 5 に有効グレア輝度と不快グレア評価との関係を示す。横軸

図 4 眼前照度と不快グレア評価との関係
Fig.4 Relationship between illuminance at the eye and discomfort glare ratings.

図 5 有効グレア輝度と不快グレア評価との関係
Fig.5 Relationship between effective glare luminance and discomfort glare ratings.

は対数値による有効グレア輝度 $[cd/m^2]$ 、縦軸は不快グレア評価の平均値である。また、凡例の(無)、(有)はテールランプの消灯、点灯を意味する。図5に示すように、全ての背景輝度条件において Type A と Type B の評価カーブは一致せず、有効グレア輝度値が同じ時、Type A は Type B よりも常に高い不快グレア評価値を取ることが明らかになった。さらに、背景輝度1, 10 cd/m^2 の時 Type A と Type B の評価カーブの間に有意差 ($p < 0.05$) があることがわかった。これは、Type A は有効グレア輝度がほぼ同じである時 Type B よりも眩しさを与えやすいことを示している。一方、テールランプの有無による不快グレア評価の違いは見られなかった。この結果は、様々な光源レイアウトを持つ白色 LED に対し有効であった Tashiro らの報告と異なるものであった。

5. 考察

5.1 平滑化処理

有効グレア輝度で比較した場合、テールランプ有と無の評価カーブは良好に一致したのに対し、Type A と Type B の評価カーブは一致しなかった。これに関しては、有効グレア輝度の算出に用いた二次元輝度分布データの解像度に原因があると考えられる。3.1節で述べたように、本研究では光源と CA-2500を約1 mの測定距離で正対させて輝度分布データを取得している。そのため、カバーガラスに施された凹凸などによる非常に微細な輝度変化をも確認することができた。しかし主観的には、実験中にここまで微細な輝度変化は認知することができなかった。有効グレア輝度は、二次元輝度分布データの各ピクセル輝度に注目し重み付けを行うため、二次元輝度分布データの解像度が細かすぎる場合には計算値を過大評価してしまう可能性が考えられる。そこで本章では、主観的見た目を重視して二次元輝度分布データに段階的な平滑化処理を行い、4本の評価カーブの変化を確認することにした。検討は便宜的に背景輝度1 cd/m^2 条件でのみ実施している。

平滑化処理は正方領域内のピクセル輝度を平均することで実施した。正方領域は二次元輝度分布データの解像度(980×980ピクセル)を考慮して4×4, 7×7, 10×10, 14×14, 20×20, 28×28, 49×49, 70×70, 100×100, 140×140ピクセルの計10パターンとした。ただし、二次元輝度分布データの解像度は平滑化処理後も維持するものとする。図6に平滑化処理をした二次元輝度分布データを可視化した Type B の例を示す。これらの平滑化二次元輝度分布データを使用して有効グレア輝度の再計算を行い、不快グレア評価の変化の検討を行う。

図7に平滑化二次元輝度分布を使用した有効グレア輝度と不快グレア評価との間の決定係数の変化を示す。横軸は平滑化処理に使用した正方領域のサイズ、縦軸は4本の評価カーブによる決定

図6 平滑化二次元輝度分布画像の例

Fig.6 Examples of smoothing luminance distribution images.

図7 決定係数と平滑化領域サイズとの関係

Fig.7 Relationship between the coefficient of determination and size of the smoothing pixel area.

係数である。図7に示すように、正方領域のサイズ増加に伴い、決定係数が増加することがわかった。また正方領域49×49, 70×70(極大), 100×100ピクセルで高い値を示すことがわかった。

5.2 不快グレア評価式 mUGR への適用および Tashiro らの結果との比較

前節では、二次元輝度分布データに49×49, 70×70, 100×100ピクセルの正方領域での平滑化処理を行うことで4本の評価カーブの関係性が改善することを明らかにした。そこで本節では、この結果を Tashiro らが提案する不快グレア評価式 mUGR へ適用し、Tashiro らの実験データを含め様々な LED 光源に対して不快グレア評価予測が実施可能かどうかを調べることにした。本節では、極大値を示した70×70ピクセルの正方領域で検討を行う。

まず、Tashiro らの実験データにおける平滑化有効グレア輝度値の算出を行う。本研究および Tashiro らの研究は、ともに CA-2500を利用して各光源の二次元輝度分布データを取得している。そのため、解像度はどちらも980×980ピクセルである。しかしながら、実験環境が異なるため二次元輝度分布データ上の1ピクセルに相当する実環境での距離が異なる。よって、70×70ピクセルの正方領域による平滑化処理をそのまま Tashiro らの実験データに用いることはできない。そこで本研究では、ピクセル単位を視角単位に変換し、異なる実験環境下での実験データの比較を行うことにした。本研究における70×70ピクセルは視角で0.32°に相当する。

次に、得られたそれぞれの平滑化有効グレア輝度値を mUGR 式へ適用する。mUGR 式とは、Tashiro らが提案する不快グレア評価式⁴⁾であり、式(3)に示すような、有効グレア輝度値と CIE の UGR 式¹¹⁾を組み合わせたものである。

$$mUGR = 0.69 \times \log\left(\frac{L_{\text{eff}} \times \omega}{P^2}\right) + 5.51 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで L_{eff} は有効グレア輝度 $[cd/m^2]$ 、 ω は立体角 $[sr]$ 、 P はポジションインデックスをそれぞれ示す。

図8に視角で0.32°相当の正方領域による平滑化有効グレア輝度を利用した mUGR 計算値と不快グレア評価との関係を示す。横軸は mUGR 計算値、縦軸は不快グレア評価値である。図8に示すように、本研究のデータ群は Tashiro らのデータ群のばらつきの内側に分布していることが確認できた。また、決定係数 R^2 を確認したところ0.89と非常に高い値を示した。この結果は、mUGR 式によって本実験で用いた自動車用赤色 LED 灯体の不快グレア評価予測が十分に可能であることを示しており、Tashiro らの実験データも含めより多様な光源レイアウトでの mUGR の適用の可能性を示唆している。

5.3 正方領域の検討

本研究では、実験時の主観的な見た目を考慮して光源の二次元

図8 mUGR 計算値と不快グレア評価との関係

Fig.8 Relationship between calculation value of mUGR and discomfort glare ratings.

輝度分布データに正方領域での平滑化処理を加えて有効グレア輝度の算出を行い、不快グレア評価との定量的関係の検討を行った。その結果、視角で 0.32° 相当の正方領域による平滑化処理が最も相関が高い結果を示した。ここでは、視角で 0.32° 相当の正方領域と人間の眼光学系との関連性について考えてみる。

結論から述べると、視角で 0.32° 相当の正方領域は、一次視覚野 (V1) の細胞が持つ受容野の大きさとほぼ一致することがわかった。視覚野とは、脳の後頭葉に広がる視覚刺激の処理を行う領域である。目から入った光は、角膜と水晶体によって網膜上に焦点を結び、網膜が持つ光受容体によって神経信号に変換される。この神経信号が視神経を通して視覚野に伝達されることで、私たちはものを認知することができる。V1とは、後頭葉の一番後方の部分 (後頭極) に位置し、最も単純で最も初期に活動する視覚野である。また受容野とは、感覚処理系の個々の細胞が外界あるいは体内に生じた刺激に対し反応することができる空間範囲のことを指す。V1の細胞は反対側の視野に受容野を持っており、その大きさはおおよそ $0.2^\circ \sim 0.5^\circ$ であるとされている¹²⁾。改めて図7に示す決定係数の変化を確認してみると、平滑化ピクセル数が 49×49 , 70×70 (極大), 100×100 ピクセルで高い決定係数を示している。これらを視角で表すとそれぞれ 0.22° , 0.32° , 0.45° となり、V1の細胞が持つ受容野サイズの範囲と類似していることが明らかとなった。この結果から、解析で使用する二次元輝度分布データのピクセルサイズを、V1の細胞が持つ受容野サイズ ($0.2^\circ \sim 0.5^\circ$) と同程度にすることで、より正確な不快グレア評価の予測が行える可能性が示唆された。

6. まとめ

本研究では、実際に使用されている自動車用赤色 LED 灯体を使用して不快グレア評価に関する主観評価実験を行った。結果は以下のとおりである。

不快グレア評価と眼前照度との定量的関係に関して、本研究で用いた2つの赤色 LED 灯体 (Type A および Type B) の不快グレア評価は、背景輝度 dark 条件を除き良好な一致を示した。これは不均一光源に限定した場合の Tashiro らの報告と同様な傾向である。

不快グレア評価と有効グレア輝度との定量的関係に関して、Type A および Type B の不快グレア評価は一致せず、同じ有効グレア輝度値を取るとき Type A は常に Type B よりも高い不快グレア評価値を示すことがわかった。これは、白色 LED 光源に対し有効であった Tashiro らの報告と異なるものであった。

有効グレア輝度で比較した場合の Type A および Type B の評価カーブの差異に関して、有効グレア輝度の算出に用いる二次元輝度分布データに視角で 0.32° 相当の平方領域による平滑化処理を加えることで改善することが確認できた。

平滑化処理での平方領域に関して、本研究で良好な結果を示した平方領域 (視角で 0.22° , 0.32° (極大), 0.45°) は V1 の細胞が持つ受容野のサイズ ($0.2^\circ \sim 0.5^\circ$) とほぼ一致することがわかった。

白色 LED 光源を用いた Tashiro らの実験との比較に関して、本研究で得られた平滑化有効グレア輝度を用いた mUGR 計算値は十分に白色および赤色 LED 光源の不快グレア評価予測に対応可能であることが示唆された。

今後は、より多様な LED 光源での適応性の調査や適切な二次元輝度分布データの解像度に関する調査などを行う必要があると考える。

参考文献

- (1) T.Kasahara and D.Aizawa et al. : Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources, J. Light. Vis. Env., 30-2, pp.95-103 (2006).
- (2) Eble-Hankins ML and Waters CE : Subjective Impression of Discomfort Glare from Sources of Non-Uniform Luminance, LEUKOS, 6-1, pp.51-77 (2009).
- (3) 原, 長谷川 : LED 素子を配列した光源の不快グレアに関する研究, 照学誌, 96-2, pp.81-88 (2012).
- (4) T.Tashiro and S.Kawanobe et al. : Discomfort Glare for White LED Light Sources with Different Spatial Arrangements, Light. Res. Technol., 47-3, pp.316-337 (2015).
- (5) 中村芳樹 : 光環境における輝度の対比の定量的検討法, 照学誌, 84-8A, pp.522-528 (2000).
- (6) S.Sugano and Y.Nakamura : Generation of discomfort glare image using wavelet transform, Proc. 27th CIE, Sun city/South Africa, pp.286-293 (2011).
- (7) S.Kohko and M.Ayama et al. : Study on Evaluation of LED Lighting Glare in Pedestrian Zones, J. Light. Vis. Env., 39, pp.15-25 (2015).
- (8) T.Kimura-Minoda and M.Ayama : Evaluation of discomfort glare from color LEDs and its correlation with individual variations in brightness sensitivity, Color Res. Appl., 36-4, pp.286-294 (2010).
- (9) van den Berg TJTP and Spekreijse, H. : Light scattering model for donor lenses as a function of depth, Vision Res., 39, pp.1437-1445 (1999).
- (10) 松田, 洞口, 吉川 : 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—, 照学誌, 53-2, pp.51-55 (1969).
- (11) Commission Internationale de l'Eclairage : Discomfort Glare in Interior Lighting, Vienna, CIE (1995).
- (12) 川人光男 : 岩波講座認知科学 第3巻「視覚と聴覚」第2章 大脳視覚野の生理学, pp.41-88 (1994).

(受付日2016年8月31日/採録日2017年2月20日)

田代 知範（正会員）

宇都宮大学 オプティクス教育研究センター
（現在は山形大学大学院理工学研究科）
〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16
2014年9月宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻博士後期課程修了。2016年3月University of Eastern Finland, School of Computing 修了。2014年11月より宇都宮大学オプティクス教育研究センター特任研究員、2016年10月より山形大学大学院理工学研究科研究支援者。現在、有機EL照明の性能評価に関する研究および標準化活動に従事。博士（工学）。照明学会、日本照明委員会会員。

川野辺 祥子（正会員）

スタンレー電気㈱（2016年7月退社）
2009年3月芝浦工業大学大学院電気電子工学専攻修士課程を修了。同年4月スタンレー電気㈱に入社し、人間工学評価に関する業務に従事。

木村 能子（正会員）

スタンレー電気㈱設計技術センター 人間工学課
〒257-8555 神奈川県秦野市曾屋400
2000年3月千葉大学大学院自然科学研究科理化学専攻博士前期課程修了。同年4月スタンレー電気㈱入社。主に人間工学・認知心理学を取り入れた製品の研究開発に従事。2010年9月宇都宮大学大学院工学研究科情報制御システム科学専攻博士後期課程修了。

江湖 俊介（専門会員）

岩崎電気㈱新技術開発部 照明技術開発課
〒103-0002 東京都中央区日本橋馬喰町1-4-16
1989年東京電機大学工学部卒業。同年4月岩崎電気㈱に入社。現在、光環境の評価技術に関する研究に従事。平成8年度照明学会研究奨励賞。博士（工学）。照明学会、日本照明委員会、日本建築学会、電気設備学会会員。

石川 智治（正会員）

宇都宮大学大学院 工学研究科
〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2
2001年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科・博士後期課程を。同年、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 RA、北陸先端大情報・助手を経て、2008年より宇都宮大学大学院工学研究科・助教。現在、宇都宮大学大学院工学研究科・准教授。人間の多感覚統合および質感認知に関する研究に従事。博士（情報科学）。照明学会、日本感性工学会（評議員、編集委員）、芸術科学会、映像情報メディア学会、電子情報通信学会、日本音響学会会員。

阿山 みよし（専門会員）

宇都宮大学大学院 工学研究科
〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2
1983年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程を修了。ヨーク大学、東工大、東京都神経研を経て1993年宇都宮大学工学部助教授。2001年より同学部教授。現在は、大学院工学研究科学際研究部門教授。工学博士。視覚・色彩科学の研究と教育に従事。照明学会、日本照明委員会、日本視覚学会、応用物理学会、日本光学会、日本色彩学会、映像情報メディア学会会員。