目立ち感に基づく光源の演色性評価方法

専門会員 橋本 健次郎 (松下電器産業㈱)

正会員 矢 野 正 (松下電器産業㈱)

専門会員 納 谷 嘉 信 (大阪電気通信大学)

New Method for Specifying Color Rendering Properties of Light Sources based on the Feeling of Contrast

Fellow Member Kenjiro Hashimoto (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Member Tadashi Yano (Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.)

Fellow Member Yoshinobu Nayatani (Osaka Electro-Communication University)

ABSTRACT

"Visual Clarity" or "Brightness Sensation" of colored objects changes by changing the color rendering properties of light sources. Though visual clarity is considered one of the most important characteristics of the color rendering properties of light sources, it can not be estimated adequately by using the present CIE Ra method. For this reason, we studied the cause of visual clarity and confirmed that visual clarity was caused by the feeling of contrast between the colored objects under the illumination. In addition, we proposed the method for predicting the illuminances for the same feeling of contrast under various light sources, based on the gamut area made by the four component colors of a four-color combination in a brightness and colorfulness space.

The purpose of the present study is, furthermore, to develop an estimation method of the feeling of contrast under test light sources and to propose a new index of the feeling of contrast under a test light source by using a simple transformation of the gamut area derived under the light source. The new proposed index correlated well with the illuminance ratio for equal feeling of contrast (or equal visual clarity) on various light sources reported so far. The new index is compared with the other indices, such as General Color Rendering Index Ra, Color-Discrimination Index and Flattery Index, and it is confirmed that the new index is a different measuring index from these indices. By using the new method proposed in this paper together with the present CIE Ra method, the color rendering properties of light sources can be well estimated from various points of view.

KEYWORDS

Color Rendering Index, Light source, Feeling of Contrast, Color-Combination, Visual Clarity, Brightness Sensation,

1. は じ め に

光源の演色性はこれまで主に CIE¹⁾や JIS²⁾で規定されている平均演色評価数 Ra で評価されてきたが、光源の演色性に関して今一つ重要な特性として"Visual Clarity"や"明るさ感"がある。

当初、照明光源下での有彩色物体群の"Visual Clarity"や"明るさ感" (以下、visual clarity という用語で統一して用いる*) は、

*注) Visual Clarity や明るさ感の研究では、研究者間で用いられた視対象物や評価基準は異なる。しかしながら、いずれも平均演色評価数 Ra の異なる2種類の光源の組み合わせについて、一方の光源を基準光源として用い、基準光源の一定の照度のもとでの"Visual Clarity"や"明るさ感"が等しくなる他方の光源の照度(それぞれ、等 Visual Clarity 照度、等明るさ感照度となる)を実験的に求めている点では共通している。しかも、実験で得られた等 Visual Clarity 照度、等明るさ感照度の値は互いにはほぼ等しい。このため、本論文では visual clarity という用語で統一して用いることとした。

照明光源の平均演色評価数 Ra と相関が高いという研究が数多く報告された³⁾⁻⁷⁾。例えば、Ra が90前後の演色改善形蛍光ランプは Ra が60前後の白色蛍光ランプにくらべ visual clarity が高く、白色蛍光ランプにくらべ約30%低い照度で同等の visual clarity が得られることが報告された。しかしながら、これらの諸研究で用いられた照明光源は主として基準光源よりも試験色を低彩度に演色するものであり、同一の Ra を有しても基準光源よりも試験色を高彩度に演色する照明光源も存在する。このような試験色を高彩度に演色する光源は低彩度に演色する光源と同等の visual clarity となるかどうかは明らかではない。このため、これらの諸研究の結果から Ra と visual clarity とが高い相関があると結論づけることはできなかった。この点を明らかにするため、金谷らは、発光管内のナトリウム蒸気圧が異なる一連の高圧ナトリウムランプ(Ra がほぼ同じ値を有し、基準光源にくらべ試験色を高彩

度に演色するランプと逆に低彩度に演色するランプが含まれている)を用いて visual clarity に関する実験を行なった⁹⁾。その結果、Ra が同一でも visual clarity は異なり、基準光源よりも試験色を高彩度に演色するランプは低彩度に演色するランプよりも visual clarity は著しく高くなることを明らかにした。また、筆者らは、一般形の白熱電球 (Ra=100) と外管ガラスバルブにネオジウムを混入した高彩度形白熱電球 (Ra=80: 白熱電球よりも物体色を高彩度に演色するため、Ra の値は白熱電球よりも低い値を有する) との visual clarity の比較を実験検討した⁹⁾。その結果、一般形白熱電球よりも Ra の値は低いが、色彩を高彩度に演色する高彩度形白熱電球の方が visual clarity が高いという、上記金谷らと同様な結果を得た。このような金谷ら及び筆者らの研究結果は、visual clarity を説明する指数として平均演色評価数 Ra は適切ではないことを示している。すなわち、現在規定されている CIE や JIS による平均演色評価数 Ra は、テスト光源の基準光源に対する色再現の忠実度を数値で示したものである。このため、基準光源よりも色彩を鮮やかに見せる visual clarity の高いテスト光源に対しては、現行 CIE 及び JIS に基づく平均演色評価数 Ra は低い数値となり、光源の visual clarity を適切に評価できない。

visual clarity の高い光源は、Ra の値がそれほど高くなくても、色を鮮やかに演色する効果が高いため、一般照明分野で広く使用されている。例えば、上述の例のように、高彩度形の高圧ナトリウムランプは店舗や展示などの照明分野に、また高彩度形白熱電球は店舗や住宅などの照明分野に用いられている。光源の visual clarity は、一般照明分野において明るく快適な照明環境を実現する上で、光源の演色性の重要な特性の一つであり、visual clarity を定量的に評価できる指数の確立は光源の開発・評価にとって極めて重要である。しかしながら、これまでこのような visual clarity を適切に評価できる指数は確立されていない。

筆者らは、visual clarity の評価指数を確立するため、これまで、visual clarity の成因の解明とその定量的評価法について検討し、次のような結果をすでに報告した^{9)~12)}。

1) 筆者らは、照明光源下での有彩色物体群の visual clarity の成因について、Aston ら³⁾や Bellchamber ら⁴⁾¹³⁾の visual clarity の研究の分析、さらに visual clarity に関連する研究¹⁴⁾の分析に基づいて、その成因は有彩色物体群を構成する配色から受ける目立ち感であるとの仮説を立て、これまで2色配色サンプル、4色配色サンプルなどを用いた目立ち感と visual clarity の関連について検討してきた。その結果については、筆者らの既報の論文^{9)~12)}に詳細に報告しているように、各種テスト光源に対する等 visual clarity 照度 (基準光源・基準照度のもとでの visual clarity と等しい visual clarity が得られるテスト光源の照度) は、それぞれの各テスト光源に対する等目立ち感照度 (基準光源・基準照度のもとでの目立ち感と等しい目立ち感となるテスト光源の照度) とほぼ等しくなることを報告した。このことにより、筆者らは visual clarity と目立ち感とは同等と見なせることができると考えた。

2) 演色性の異なる照明光源下での目立ち感は、配色サンプルを用いて評価できる。配色サンプルとしては、高彩度な赤 (5R4/12)、黄 (5Y8.2/10)、緑 (5.5G5/8)、青 (4.5PB3.2/6) で構成される一種類の4色配色サンプルが、特殊演色評価数との対応及び目立ち感の評価の容易さと評価の安定性を考慮すれば妥当である。

3) テスト光源に対する等目立ち感照度 (すなわち、等 visual clarity 照度) の値は、色知覚空間 (納谷らの非線形色知覚モデル^{15)~17)}のブライトネス (B)、カラフルネス (M_{R-G} , M_{Y-B}) の3次

元空間上で4色配色サンプルの各構成色のメトリック座標を結ぶ4面体の R-G 軸を挟む2面の面積の和 (Gamut Area) を用いて推定することができる。すなわち、次のような手順で推定できることを報告した。(a) 基準光源・基準照度のもとでの4色配色サンプルの4つの構成色 (赤、黄、緑、青) それぞれについて、ブライトネス (B)、カラフルネス (M_{R-G} , M_{Y-B}) を算出する。次に、B, M_{R-G} , M_{Y-B} の3次元空間上において、赤を基準として赤、黄、緑の各座標を結ぶ3角形の面積 S1 と、赤、青、緑の各座標を結ぶ3角形の面積 S2 を求め、S1 と S2 の面積の和として求められる Gamut Area (G_R) を算出する。(b) テスト光源 (T) について照度を変化させて、各照度ごとに (a) と同様の手順で Gamut Area (G_T) を順次計算し、 G_T が G_R と等しくなる照度を求める。この照度、すなわち、テスト光源の基準光源・基準照度に対する等 Gamut Area 照度が等目立ち感照度の推定値となり、観測によって得られた実験値と良好に対応する。

上記3)のように、これまでに筆者らが提案し、検討を行なった方法では、テスト光源の照度 (等 Gamut Area 照度) の推定は、基準光源・基準照度での Gamut Area とテスト光源での Gamut Area が等しくなるまでテスト光源の照度を順次変化させて計算する必要があった。これは計算が複雑であり実用的ではない。本研究では、上記の複雑な計算手順を行なうことなく、任意のテスト光源の任意の照度における Gamut Area を計算し、その結果の簡単な変換式による変換値が、そのテスト光源の等目立ち感照度比 (等 visual clarity すなわち等目立ち感が成立した時の、基準光源の基準照度に対するテスト光源の照度との比) を与える方法を提案する。筆者らは本方式を、光源の演色性評価に関して光源の目立ち感を示す新たな指数 (目立ち指数) として提案するものである¹⁸⁾¹⁹⁾。本論文で提案する評価方法を現行 CIE 及び JIS の演色性評価方法と併せて用いることにより、光源の演色性を広い観点から多面的に評価できる。

2. 光源の目立ち感を示す目立ち指数

光源の演色性と目立ち感に関して、これまで数多くの研究者によって実験検討がなされ、ある基準光源 (R) の基準照度 (例えば、 $E_R=1000\text{ lx}$) のもとでの目立ち感と等しい目立ち感となるテスト光源 (T) の照度 (E_T : 等目立ち感照度) が数多くのテスト光源についてすでに報告されている^{3)~8)}。テスト光源 (T) の目立ち感は、一般に、基準光源・基準照度 ($E_R (=1000\text{ lx})$) のもとでの目立ち感と等しい目立ち感となるテスト光源の照度 (E_T) との比 A_c [$A_c = E_R (=1000\text{ lx}) / E_T$: 等目立ち感照度比] で表わすことができる。等目立ち感照度比 A_c が1より大きい値を持つテスト光源は基準光源よりも目立ち感が高く、逆に A_c が1より小さい値を持つテスト光源は基準光源よりも目立ち感が小さくなる。

このように、等目立ち感照度比の大小は、光源の目立ち感の大小を表わすことから、筆者らは光源の目立ち感を表わす指数として A_c の100倍を考え、これを本論文では目立ち指数 M_T と定めた。すなわち、光源 (テスト光源) の目立ち指数 M_T は次式で表わされる。

$$M_T = A_c \times 100 = [E_R (=1000\text{ lx}) / E_T] \times 100 \quad (2.1)$$

ここで、 E_R : 基準光源による基準照度

E_T : 基準光源・基準照度のもとでの目立ち感と等しい目立ち感となるテスト光源の照度 (等目立ち感照度)

(2.1) 式に示すテスト光源の等目立ち感照度 (E_T) は観測実験により求められており、前述したようにすでに数多くのテスト光源

について報告されている。筆者らは、観測実験で得られた各種テスト光源の等目立ち感照度 (E_T) を推定する方法について検討し、第1章で述べたように、4色配色サンプルに基づくテスト光源の等 Gamut Area 照度が観測実験により得られた等目立ち感照度 (E_T) とほぼ一致することをすでに報告した。すなわち、テスト光源の等目立ち感照度 (E_T) の値は等 Gamut Area 照度で良好に推定できることを報告した。テスト光源の等目立ち感照度の推定値 (等 Gamut Area 照度: E_T') を用いれば、テスト光源の目立ち指数 M_T は次のように (2.2) 式で表わせる。

$$M_T = [E_R (=1000 \text{ lx}) / E_T'] \times 100 \tag{2.2}$$

(2.2) 式でのテスト光源 (T) の等目立ち感照度の推定値、すなわち等 Gamut Area 照度 (E_T') を求めるため、第1章で述べたように、筆者らはこれまで次のような方法を提案してきた。すなわち、まずはじめに基準光源・基準照度のもとでの Gamut Area を算出する。次に、テスト光源の照度を変化させテスト光源下での Gamut Area を順次求め、基準光源・基準照度下での Gamut Area と等しくなった時、その時のテスト光源の照度が、テスト光源の基準光源・基準照度に対する等 Gamut Area 照度 (E_T') であり、等目立ち感照度の推定値となる。このように、これまで筆者らが提案した計算方法では、テスト光源の等 Gamut Area 照度を求める手順は複雑であり実用的でない。

本研究の目的は、(2.2) 式に基づくテスト光源の目立ち指数 M_T の値が、上述のような複雑な計算を行わずテスト光源・テスト照度下及び基準光源・基準照度下での Gamut Area のシンプルな変換式にもとづいて得られるように設定することである。

ここで、筆者らは基準光源及び基準照度としてそれぞれ標準の光 D_{65} , 1000 lx とし、テスト光源 (T), テスト照度 ($E (=1000 \text{ lx})$) の目立ち指数 M が次のような Gamut Area の変換式で表わされる構造を考えた。

表1 4色配色サンプルの各構成色 (赤, 黄, 緑, 青) の分光反射率の値
Table 1 Spectral reflectance of each component color (R, Y, G, B) of the four-color combination

波長 (nm)	赤	黄	緑	青
380	0.058	0.078	0.075	0.066
385	0.059	0.084	0.081	0.070
390	0.061	0.092	0.088	0.076
395	0.061	0.099	0.096	0.085
400	0.061	0.103	0.101	0.092
405	0.061	0.106	0.105	0.101
410	0.060	0.107	0.108	0.109
415	0.060	0.107	0.110	0.110
420	0.059	0.107	0.112	0.111
425	0.059	0.108	0.115	0.120
430	0.058	0.109	0.118	0.123
435	0.058	0.110	0.122	0.135
440	0.058	0.111	0.125	0.154
445	0.057	0.113	0.130	0.172
450	0.056	0.115	0.135	0.184
455	0.055	0.116	0.141	0.192
460	0.055	0.118	0.149	0.200
465	0.054	0.120	0.158	0.208
470	0.053	0.123	0.166	0.211
475	0.052	0.126	0.175	0.209
480	0.051	0.130	0.184	0.202
485	0.050	0.137	0.195	0.190
490	0.050	0.148	0.209	0.177
495	0.049	0.164	0.227	0.163
500	0.049	0.194	0.256	0.147
505	0.049	0.240	0.291	0.132
510	0.049	0.298	0.325	0.118
515	0.050	0.376	0.352	0.105
520	0.050	0.451	0.363	0.094

525	0.051	0.529	0.361	0.084
530	0.051	0.596	0.348	0.077
535	0.052	0.645	0.331	0.071
540	0.053	0.684	0.308	0.067
545	0.054	0.710	0.284	0.063
550	0.055	0.726	0.260	0.061
555	0.057	0.737	0.235	0.058
560	0.060	0.743	0.213	0.057
565	0.062	0.747	0.191	0.055
570	0.065	0.750	0.171	0.054
575	0.068	0.750	0.154	0.053
580	0.075	0.749	0.137	0.053
585	0.089	0.749	0.121	0.052
590	0.116	0.746	0.108	0.052
595	0.150	0.743	0.096	0.052
600	0.198	0.738	0.087	0.052
605	0.263	0.734	0.080	0.051
610	0.338	0.729	0.075	0.052
615	0.412	0.726	0.072	0.052
620	0.489	0.723	0.071	0.052
625	0.555	0.721	0.070	0.052
630	0.603	0.720	0.069	0.052
635	0.641	0.719	0.069	0.052
640	0.665	0.718	0.069	0.052
645	0.682	0.718	0.069	0.052
650	0.694	0.717	0.069	0.052
655	0.703	0.718	0.069	0.052
660	0.708	0.719	0.070	0.052
665	0.713	0.721	0.072	0.051
670	0.716	0.723	0.073	0.051
675	0.718	0.725	0.074	0.051
680	0.720	0.727	0.076	0.051
685	0.722	0.729	0.077	0.051
690	0.724	0.730	0.079	0.051
695	0.726	0.732	0.080	0.051
700	0.731	0.734	0.081	0.052
705	0.733	0.734	0.081	0.053
710	0.738	0.735	0.081	0.054
715	0.742	0.735	0.080	0.056
720	0.746	0.734	0.080	0.058
725	0.751	0.734	0.080	0.060
730	0.754	0.736	0.081	0.062
735	0.756	0.736	0.083	0.064
740	0.758	0.740	0.086	0.067
745	0.760	0.742	0.090	0.071
750	0.763	0.744	0.094	0.077
755	0.765	0.747	0.098	0.089
760	0.766	0.747	0.102	0.106
765	0.769	0.749	0.105	0.129
770	0.770	0.750	0.108	0.155
775	0.773	0.750	0.110	0.176
780	0.774	0.749	0.112	0.193

$$M = [G(T, E (=1000 \text{ lx})) / G(D_{65}, 1000 (\text{lx}))]^P \times 100 \tag{2.3}$$

ここで、

M: テスト光源 (T) 及びテスト照度 ($E (=1000 \text{ lx})$) のもとでの目立ち指数

G (T, $E (=1000 \text{ lx})$): テスト光源 T 及びテスト照度 $E (=1000 \text{ lx})$ のもとでの 4 色配色サンプルの Gamut Area の値、

G (D_{65} , 1000 (lx)): 基準光源 D_{65} 及び基準照度 1000 (lx) のもとでの 4 色配色サンプルの Gamut Area の値、

なお、表 1 に 4 色配色サンプルの各構成色の分光反射率をデータを示す。

(2.3) 式でのベキ指数 P の値は、(2.3) 式での M の値が (2.2) 式での M_T の値と一致するように定められた。すなわち、(2.3) 式によるテスト光源 (T) の M の値 (テスト照度 $E = 1000 \text{ lx}$ 一定の条件下) が、(2.2) 式によるテスト光源 (T) の等目立ち感照度の推定値 (等 Gamut Area 照度: E_T') から求めた M_T と一致するよう

に P の値を検討した。36種類の照明光源をテスト光源として用いて検討した結果、 $P=1.6$ でMの値がほぼ一致した。図1は、テスト光源(T)として照明光源36種類(電球2種類、蛍光ランプ18種類、HIDランプ16種類)について、(2.3)式によるMの値(ベキ指数 $P=1.6$ に設定)と(2.2)式による M_T との関係を示したものである。なお、表2の第1列目～第3列目に36種類の照明光源の種類と相関色温度、平均演色評価数Raを示す。図1で、□印が白熱電球、●印が蛍光ランプ、○印がHIDランプに対する結果を示す。また、図1で示される実線は、Mの値と M_T の値とが一致する45°の直線である。図1から明らかなように、目立ち指数Mの値が低いHIDランプ(図1で21(透明水銀灯)及び30(高圧ナトリウム灯)：各番号は表2に示すランプNo.に対応する)は、45°の直線からわずかにずれているものの、その他の光源についてはMの値と M_T の値とが一対一に良好に対応し、両者がほぼ一致することがわかる。上述のHIDランプは、一般照明光源の中で演色性が悪く目立ち感を問題にすることはほとんどないと考えられる。また、目立ち感の評価が重要となるその他の一般照明光源に対してMの値と M_T の値がほぼ等しく一致するため、ベキ指数 $P=1.6$ の設定で実用上問題ないと考えた。

図1 36種類の照明光源に対する目立ち指数Mと M_T との関係
Fig.1 Relation between M value and M_T value for 36 kinds of light sources.

以上より、(2.3)式のPの値を1.6に定めた。したがって、下記に示す(2.4)式が、筆者らが提案する光源の目立ち指数Mの計算式である。

$$M = [G(T, E(=1000 \text{ lx})) / G(D_{65}, 1000(1x))]^{1.6} \times 100 \quad (2.4)$$

ここで、(2.4)式の構造の特徴を今少し詳しく述べてみる。(2.4)式と(2.2)式より次式が成立する。

$$[G(T, 1000) / G(D_{65}, 1000)]^{1.6} = [E_R(=1000) / E_T']$$

また、 $G(T, E_T') = G(D_{65}, 1000)$ が成立するから

$$G(T, E_T') = G(D_{65}, 1000) = G(T, 1000) \times [E_T' / E_R(=1000)]^{0.625} \quad (2.5)$$

となる。このことより、Gamut Areaは照度比の0.625乗に比例するという特徴を持っている。

以上、筆者らが提案するテスト光源(T)の目立ち指数の計算式((2.4)式)は、テスト光源の照度 $E=1000\text{lx}$ 一定の条件下で計算するように定めたものである。いっぽう、一般に、テスト光源の照度 $E(1x)$ が変化した場合、4色配色サンプルの各色のブライトネス、カラフルネスが変化し、テスト光源下のGamut Areaも変化する。このため、筆者らはテスト光源(T)の任意の照度 $E(1x)$

における目立ち指数が計算できる構造に(2.4)式を拡張することを考えた。すなわち、テスト光源(T)の任意の照度 $E(1x)$ における目立ち指数Mの計算式として次式((2.6)式)を考えた。

$$M = [G(T, E(1x)) / G(D_{65}, 1000(1x))]^{1.6} \times 100 \quad (2.6)$$

ここで、 $G(T, E(1x))$ はテスト光源T及びテスト照度 $E(1x)$ のもとでの4色配色サンプルのGamut Areaの値である。

(2.6)式で示される目立ち指数Mが、テスト光源の照度 $E=1000\text{lx}$ 一定の条件以外について成立するかどうかを以下検討した。

(1) $T=D_{65}$ で E =可変の条件の場合

テスト光源が D_{65} で、テスト照度 $E(1x)$ が可変の場合、(2.6)式は(2.5)式を参照して次のように表わせる。

$$\begin{aligned} M &= [G(D_{65}, E) / G(D_{65}, 1000)]^{1.6} \times 100 \\ &= [(E / E_R(=1000))^{0.625}]^{1.6} \times 100 \\ &= [E / E_R(=1000)] \times 100 \end{aligned} \quad (2.7)$$

(2.7)式より、テスト光源が D_{65} で、その照度が 1000lx から 1200lx に増加する場合、Mの値も100から120に増加する。このことは、目立ち指数 $M=120$ とは、照度(1000lx)を1.2倍(1200lx)に増加させた場合の目立ち感の増加を与えることを意味する。

図2 目立ち指数Mと照度レベルEとの関係
(テスト光源を D_{65} とした場合)
Fig.2 Relation between M value and test illuminance $E(1x)$.
(Test light source: illuminant D_{65})

図2は、(2.7)式の関係を確認するため、テスト光源を D_{65} とし、その照度 E を変化させた場合($E: 500\text{lx}$ から 1500lx まで 100lx ごときのステップ)のMの値と照度比 $(E/1000)$ の100倍との関係を●印で示したものである。また、図2に示される実線は、45°の直線を表わす。図2から明らかなように、Mの値と照度比の100倍の値とが一対一に良好に対応していることがわかる。すなわち、(2.7)式の関係がこの照度の範囲で成立することが確認された。

(2) T =可変で E =可変の条件の場合

任意のテスト光源(T)の任意の照度 $E(1x)$ における目立ち指数Mが(2.6)式で表わされるとすると、(2.6)式は(2.5)式を参照して次のような関係が成立する。

$$\begin{aligned} M &= [G(T, E) / G(D_{65}, 1000)]^{1.6} \times 100 \\ &= [G(T, 1000) \times (E / E_R(=1000))^{0.625} / G(D_{65}, 1000)]^{1.6} \times 100 \\ &= [G(T, 1000) / G(D_{65}, 1000)]^{1.6} \times [E / E_R(=1000)] \times 100 \\ &= [E_R(=1000) / E_T'] \times [E / E_R(=1000)] \times 100 \\ &= [E / E_T'] \times 100 \end{aligned} \quad (2.8)$$

(2.8)式より目立ち指数Mは、テスト光源によるテスト照度 $E(1x)$ が、そのテスト光源の等目立ち感照度の推定値 $E_T'(1x)$ の何%に相当するか、すなわち、等目立ち感照度の推定値を100とした場合の相対的な照度に換算した指標になっている。

(2.8)式が成立するかどうか検討するため、表2に示す36種類のテスト光源それぞれについて照度E(lx)を500lxから1500lxまで変化させて、 $[G(T,E)/G(D_{65},1000)]^{1.6} \times 100$ の値と $[E/E_T] \times 100$ の値を算出し、両者の値を比較した。その結果、ほとんどの光源は±4以内で一致することが確認された。±4以上の差が生じた光源は、36種類の光源の中で特に目立ち指数が小さい透明水銀灯(表2のNo.21(M=15):照度1500lxで11の差)と普通形の高圧ナトリウム灯(No.30(M=39):照度1500lxで6の差)であった。この原因は、すでに述べたように、これらの光源が図1で $[G(T,1000)/G(D_{65},1000)]^{1.6}$ と $(E_R(=1000lx)/E_T)$ とが一致する45°の直線から少しはずれた位置にプロットされているからである。しかしながら、透明水銀灯や普通形の高圧ナトリウム灯は、一般照明光源の中で演色性が悪く目立ち感の程度を問題にすることはほとんどない光源と考えられるため、これらの光源に対して幾分大きな誤差が生じてても、その他の一般照明光源に対して誤差が小さいため(2.6)式の使用は実用上有用であると考えられる。したがって、(2.6)式の目立ち指数の計算式は、テスト光源の照度が

500~1500lxの範囲において実用上十分活用できると考えられる。Appendixに目立ち指数の計算式((2.6)式)の計算手順を示す。

以上、筆者らの提案した光源の目立ち指数Mの特徴を述べた。一般に、テスト光源間の目立ち感を比較・評価する場合、それぞれのテスト光源の照度を等しく設定して(基準照度と等しい照度E=1000lx一定)検討されることが多く、このため、光源の目立ち指数として(2.6)式でテスト光源の照度E=1000lx一定とした計算式、すなわち(2.4)式の使用が推奨される。

3. 目立ち指数 M と従来の評価数との比較

筆者らの提案した目立ち指数Mの特徴をさらに明確にするため、光源の演色性評価に関する現有の代表的な評価数との関係を検討した。比較検討の対象として代表的な評価数として、現行のCIE及びJIS規定による平均演色評価数¹⁾²⁾、筆者らの目立ち指数

表2 36種類の照明光源の相関色温度(K)、平均演色評価数Ra、目立ち指数M、Color-Discrimination Index(CDI(1), CDI(2)), Flattery Index(FI(1), FI(2))の各値
Table 2 Correlated color temperatures(K), General Color Rendering Indices(Ra), M values, Color-Discrimination Indices(CDI(1), CDI(2)) and Flattery Indices(FI(1), FI(2)) for 36 kinds of light sources used in the analysis

No.	ランプの種類	相関色温度 K	平均演色評価数 Ra	目立ち指数 M	Color-Discrimination Index		Flattery Index	
					CDI(1)	CDI(2)	FI(1)	FI(2)
1	電 白熱電球	2820	100	124	50	82	89	56
2	球 高彩度形白熱電球	2780	80	144	61	96	90	47
3	普通形(温白色)	3450	58	77	53	73	59	68
4	(白色)	4180	58	71	53	70	61	66
5	蛍 (昼白色)	5200	70	74	70	80	69	75
6	(昼光色)	6100	71	69	70	78	69	69
7	3波長(電球色)	2800	84	113	51	88	85	54
8	光 (電球色)	3000	88	110	58	91	88	59
9	(昼白色)	5000	81	100	84	97	80	83
10	(昼白色)	5000	88	102	87	101	86	88
11	ラ (昼光色)	6580	85	94	93	100	83	83
12	(昼光色)	6700	88	94	95	102	85	85
13	高演色(白色)	4370	91	112	85	100	85	87
14	ン (白色)	4360	91	112	86	100	85	87
15	(昼白色)	5000	91	110	91	103	87	90
16	(昼光色)	6900	94	98	97	102	88	87
17	プ (昼光色)	6000	92	109	96	105	89	91
18	(電球色)	2700	93	128	49	85	88	54
19	(昼白色)	5050	98	104	87	98	89	92
20	(昼光色)	6500	98	100	94	101	90	90
21	水銀灯(透明形)	5780	14	15	28	34	29	25
22	水銀灯(蛍光形)	4000	39	70	53	68	46	53
23	H 水銀灯(演色改善形)	4200	47	74	57	72	53	58
24	メタルハライドランプ(a)	5500	63	75	74	86	69	71
25	I メタルハライドランプ(b)	4700	62	77	68	84	70	72
26	メタルハライドランプ(c)	5000	69	88	77	91	74	76
27	D メタルハライドランプ(d)	4330	65	85	68	87	72	74
28	メタルハライドランプ(e)	4000	70	73	51	70	67	71
29	ラ メタルハライドランプ(f)	4230	88	99	76	91	83	86
30	高圧ナトリウム(普通形(a))	2050	16	39	13	35	23	28
31	ン 高圧ナトリウム(普通形(b))	2050	26	53	13	38	31	26
32	高圧ナトリウム(演色改善形)	2150	59	92	17	50	57	30
33	プ 高圧ナトリウム(高演色形)	2500	84	140	42	81	82	47
34	高圧ナトリウム(高彩度形(a))	2800	76	164	58	96	85	50
35	高圧ナトリウム(高彩度形(b))	3200	64	180	74	109	81	52
36	高圧ナトリウム(高彩度形(c))	4800	47	186	105	126	63	57

の計算式と式の構造が類似している Thornton の Color-Discrimination Index²⁰⁾、色の見えの好ましさをの評価数として広く知られている Judd の Flattery Index²¹⁾である。なお、目立ち指数とこれらの各評価数との関係については、第2章の検討で用いた照明光源36種類を対象とした。

3.1 平均演色評価数 Ra との比較

照明光源36種類について、(2.4)式に基づいて目立ち指数 M の値を算出し、平均演色評価数 Ra と比較した。表2の第3列目と第4列目に36種類の各照明光源の平均演色評価数 Ra と目立ち指数 M の値を示す。また、図3は、各照明光源に対する M の値と Ra の値の比較を図示したものである。図3で、□印、●印、○印は、図1と同様それぞれ白熱電球、蛍光ランプ、HID ランプに対する結果を表わしている。また、各印に付加した数字は、表2で示した各照明光源の番号に対応する。

図3 36種類の照明光源に対する平均演色評価数 Ra と目立ち指数 M との関係
Fig.3 Relation between General Color Rendering Index Ra and M value for 36 kinds of light sources.

図3から明らかなように、M の値と Ra とは線形的な相関関係が存在しないことがわかる。低 Ra から高 Ra までの、色再現領域が基準光源のそれより小さい光源に対しては、M と Ra とは比較的良好な相関関係が存在するが、基準光源よりも試験色を高彩度

に演色する光源に対しては、Ra が減少するにもかかわらず、M の値はさらに上昇する。これは、はじめにも述べたように、Ra が色の見えの忠実性を評価する指数であるからである。図3の○印で数字31,33,35で示したランプは、分光特性の異なる3種類の高圧ナトリウムランプに対する結果を示したものであり、各ランプの Ra はそれぞれ26,84,64であり、M の値はそれぞれ53,140,180である。No.35のランプは、色の見えの忠実度は No.33のランプに比べ劣るが、色彩を鮮やかにみせ、目立ち感が高いことをすでに筆者らによって明らかにされている⁸⁾¹⁰⁾。このように、ランプの目立ち感は、従来の Ra では適切に評価することができない。

3.2 Color-Discrimination Index との比較

Thornton は光源の色識別能力を表わす指数として、1972年に Color-Discrimination Index (以下、CDI と略する)を提案した²⁰⁾。CDI は次のような式で表わされる。

$$CDI = [G(T) / G(C)] \times 100 \tag{3.1}$$

ここで、G (T)、G (C) はそれぞれ次に示す値となる。

G (T):テスト光源 T の照明下での平均演色評価用試験色の各色の色度座標 (1960 uv 色度座標) を囲む 8 角形の面積。

G (C):基準光源である標準の光 C の照明下での 8 角形の面積。

Thornton は、光源の色識別能力が平均演色評価用試験色の各色色度座標を結ぶ 8 角形の面積の大きさに関係するという考え方に立って (3.1) 式を提案したが、文献²⁰⁾の中では CDI と色識別能力の主観評価との対応関係は明確にされていない。したがって、

(3.1) 式による CDI の値が光源の色識別能力を適切に評価できるかどうかは明らかではない。しかしながら、(2.4) 式と (3.1) 式を比較すれば、それらの式の構造は互いに類似している。このため、両者の関連性を明らかにするため、36種類の各照明光源について CDI と目立ち指数 M とをそれぞれ算出し両者を比較した。比較にあたって、(2.4) 式と (3.1) 式で基準光源が異なる ((2.4) 式では D₆₅、(3.1) 式では C 光源) ため、基準光源を同一の D₆₅ に設定して計算検討した。すなわち、CDI の計算式として、次の式を用いた。

$$CDI = [G(T) / G(D_{65})] \times 100 \tag{3.2}$$

ここで、G (T)、G (D₆₅) はそれぞれ次に示す値となる。

G (T):テスト光源 T の照明下での平均演色評価用試験色の各色の色度座標 (1960 uv 色度座標) を囲む 8 角形の面積。

G (D₆₅):基準光源である標準の光 D65 の照明下での 8 角形の面積。

なお、各照明光源に対する CDI の計算は、次の2種類の条件で行なった。(a) Thornton のオリジナルの提案式を用いて CDI を算出した。すなわち各テスト光源の相関色温度はそれぞれ異なるが、それらの相関色温度の違いによる色順応効果を補正せず、1960 uv 色度座標系での 8 角形の面積を計算し、(3.2) 式より CDI を算出した。なお、この CDI を後述する方法と区別するため、CDI(1) と表記した。(b) Thornton が CDI を提案した当時にくらべ、各テスト光源の相関色温度の違いによる色順応効果を適切に評価できる有効な色順応方程式や1960uv 色度座標系よりも均等な表色系が報告されていることから、新たな CDI の値として次のような方法により算出した。すなわち、相関色温度の異なる各テスト光源のもとでの平均演色評価用試験色 8 色の各色の三刺激値を計算し、CIE の色順応方程式²²⁾により D₆₅ 下でのそれぞれの対応色の三刺激値を算出する。次に、対応色の三刺激値から L*a*b*を算出し、L*a*b*表色系での 8 角形の面積 G (T) を計算する。一方、

基準光源 D_{65} 下での 8 角形の面積 $G(D_{65})$ を $L^*a^*b^*$ 表色系で求める。最後に、 $G(T)$ 、 $G(D_{65})$ の各値から (3.2) 式より CDI を算出する。この CDI の値を上述の CDI(1) と区別するため、CDI(2) と記載した。

以上、Color-Discrimination Index として CDI(1) と CDI(2) の二つの指数を計算したが、Thornton が提案した当時から現在までの色彩技術の進展を考慮すれば、CDI(2) の方が Thornton の主張するコンセプトにより適合した評価指数を表わすものと考えられる。

表 2 の 5 列目と 6 列目に 36 種類の各照明光源に対する CDI(1) 及び CDI(2) の計算結果を示す。また、図 4 は目立ち指数 M と CDI(1) との関係を示す。図 5 は目立ち指数 M と CDI(2) との関係を示す。図 4 から明らかなように、目立ち指数 M と CDI(1) との間には相関はない (相関係数 $R=0.41$)。これに対して、図 5 から明らかなように、 M の値と CDI(2) との間にはわずかに相関がある ($R=0.71$) ことがわかる。しかし、その相関は高くはないため、各種照明光源について目立ち指数と CDI(2) との対応は良くない。例えば、図 5 から明らかなように、80 前後の CDI(2) 値に対して目立ち指数 M は 70~140 という大きな幅を持つ。

図 4 36 種類の照明光源に対する目立ち指数 M と Color-Discrimination Index [CDI(1)] との関係
Fig. 4 Relation between M value and Color-Discrimination Index [CDI(1)] for 36 kinds of light sources.

図 5 36 種類の照明光源に対する目立ち指数 M と Color-Discrimination Index [CDI(2)] との関係
Fig. 5 Relation between M value and Color-Discrimination Index [CDI(2)] for 36 kinds of light sources.

以上より、CDI と目立ち指数 M とは異なる測度と言える。これは CDI の評価に用いられるサンプル (平均演色評価用 8 試験色) と目立ち感の評価に用いられるサンプル (4 色配色サンプル) と

が異なることなどによると考えられるが、この点については今後さらに検討が必要である。

3.3 Flattery Index との比較

色の見えの好ましさに基づく演色性評価方法として、最初に提案されたのが Judd の Flattery Index (FI)²¹⁾ である。Judd の提案の後、Jerome による Flattery Index²³⁾、Thornton の Color Preference Index²⁴⁾ が提案されたが、いずれも Judd の FI を基本にしている。このため、筆者らの目立ち指数 M と従来の色の見えの好ましさに関する評価指数との比較・検討は、Judd の FI を対象とした。

Judd の FI の計算に際して、次の 2 種類の計算を実施した。(a) Judd が 1967 年に提案した方法にもとづいて計算する場合、この方法によって得られた Flattery Index を FI(1) と記載した。(b) 計算式は (a) と同様であるが、CIE 色順応方程式を使用し、異なる相関色温度を有する各テスト光源を基準光源 (標準の光 D_{65}) に色順応補正して計算する場合、この方法によって得られた Flattery Index を上記 FI(1) と区別するため FI(2) と記載した。なお、(b) の計算方法を追加したのは、相関色温度の異なる各種テスト光源の Flattery Index の計算には、本来、色順応補正を施すほうが適切と考えられるからである。Judd が提案した当時、有効な色順応方程式が確立されていなかったために、Flattery Index のオリジナルの計算 (上記の FI(1)) には、テスト光源に対して色順応補正は施されてはいない。

図 6 は 36 種類の照明光源に対する目立ち指数 M ((2.4) 式にもとづく) と FI(1) との関係を示す。図 7 は目立ち指数 M ((2.4) 式にもとづく) と FI(2) との関係を示す。まずはじめに、目立ち指数 M と FI(1) との関係をみると、図 6 からわかるように、目立ち指数 M が約 100 以下の照明光源に対しては M と FI(1) とは比較的良好な関係があり、 M の値の増加とともに FI(1) も同様に増加する。しかし、目立ち指数 M が約 100 以上の値を有する照明光源に対しては、 M と FI(1) とは良好な関係は成立しない。次に、 M と FI(2) との関係を調べてみると、図 7 から明らかなように、 M と FI(1) の関係よりも相関は低いことがわかる。

図 6 及び図 7 から、目立ち指数と Flattery Index との関係を整理すると次のようになる。基準光源よりも色再現領域が小さいテスト光源 (M の値が約 100 以下のテスト光源) に関しては、目立ち指数 M と Flattery Index とは比較的良好な関係にあり、目立ち指数の高い光源は Flattery Index も高い。しかし、基準光源よりも色再現領域が大きいテスト光源 (M の値が約 100 以上のテスト光源) については、目立ち指数 M と Flattery Index とはほとんど相関はない。このような関係は、目立ち指数と Flattery Index との式の構造の差異による。すなわち、目立ち指数は、基準光源よりも色再現領域が大きい光源ほど目立ち効果が大きくその指数が大きくなりつづける構造を有しているのに対して、Flattery Index は、ある特定の物体色 (例えば、肌色、木の葉、バターなど) が特定の色度座標 (各物体色を好ましく見せる特定の色度座標を過去の研究結果にもとづいてそれぞれ定めている。これらの色度座標は、 D_{65} 光下での物体色の測色値よりも一般にわずかに高彩度になる位置に定められている) に色再現されるとその値は最大となり、特定の色度座標から高彩度にずれてもまた低彩度にずれてもその値は小さくなる構造を有しているからである。このように、Flattery Index は目立ち指数と異なる測度であると言える。

図6 36種類の照明光源に対する目立ち指数 M と Flattery Index [FI(1)] との関係
Fig. 6 Relation between M value and Flattery Index [FI(1)] for 36 kinds of light sources.

図7 36種類の照明光源に対する目立ち指数 M と Flattery Index [FI(2)] との関係
Fig. 7 Relation between M value and Flattery Index [FI(2)] for 36 kinds of light sources.

4. 結 論

光源の演色性の変化によって visual clarity すなわち目立ち感が変化する。このような目立ち感は、光源の演色性の重要な特性の一つであるが、これまでこれを定量的に評価する指数は明らかにされていなかった。本論文では、筆者らの目立ち感に関するこれまでの研究結果にもとづいて、光源の目立ち感を示す目立ち指数を提案した。さらに、筆者らの目立ち指数と現行 CIE/JIS の平均演色評価数 Ra や従来提案されている Thornton の Color Discrimination-Index, Judd の Flattery Index との関係を各種光源について検討し、提案した目立ち指数はこれらの指数とは異なる指数であることを明らかにした。

本提案の目立ち指数は、色彩を鮮やかに目立たせる光源の演色性を定量的に評価するものであり、現行 CIE や JIS の色再現の忠実度を評価する方法と併せて用いることにより、光源の演色性を広い観点から多面的に評価できると考えられる。

なお、本提案の光源の目立ち指数は心理物理的尺度に基づくものであるため、今後、提案した目立ち指数と心理尺度との関係を明確にしていきたい。

謝辞：本研究の推進において、数値解析に協力された大阪電気通信大学経営工学科の本田陽司君、森下淳君に厚く謝意を表します。

Appendix

テスト光源の目立ち指数 M ((2.6) 式) の計算手順を下記に示

す。

- (1) テスト光源 (T) の分光分布データと表 1 の 4 色配色サンプルの各構成色 i ($i=R, Y, G, B$) の分光反射率データにより、テスト光源 (T) 下での 4 色配色サンプルの各構成色の測色値 ($x_{T,i}, y_{T,i}, Y_{T,i}$) を算出する。併せて、テスト光源自身の測色値 (x_T, y_T) をテスト光源の分光分布データに基づいて算出する。
- (2) 基準光源 D_{65} の照明下での 4 色配色サンプルの各構成色の測色値 ($x_{D65,i}, y_{D65,i}, Y_{D65,i}$) を上記(1)と同様な手順で求める。併せて、 D_{65} 自身の測色値 (x_{D65}, y_{D65}) を算出する。
- (3) 納谷らの非線形色知覚モデル¹⁷⁾に基づいて、上記(1)で求めたテスト光源下の 4 色配色サンプルの各構成色の測色値 ($x_{T,i}, y_{T,i}, Y_{T,i}$) から、4 色の各構成色 (i) それぞれについてブライトネス ($B_{T,i}$)、カラフルネスの R-G 成分 ($M_{T,R-G,i}$)、カラフルネスの Y-B 成分 ($M_{T,Y-B,i}$) を算出する。なお、非線形色知覚モデル¹⁷⁾を使用する場合、計算のための入力条件として、上記の各構成色の測色値 ($x_{T,i}, y_{T,i}, Y_{T,i}$) の他に必要な各値を次の条件に設定する。
 - ・背景の無彩色の反射率：20%
 - ・テスト光源自身の色度座標：(x_T, y_T) (上記(1)で算出)
 - ・テスト光源の照度 E：該当するテスト光源の照度 (lx) (通常、1000 lx に設定される)。
 - ・基準化照度：1000 lx (色知覚モデルを適用する場合に必要な。通常は1000 lx を使用することが多い。基準化照度については文献¹⁵⁾を参照のこと。)
- (4) 上記(3)と同様に、納谷らの非線形色知覚モデル¹⁷⁾に基づいて、上記(2)で求めた基準光源下の 4 色配色サンプルの各構成色の測色値 ($x_{D65,i}, y_{D65,i}, Y_{D65,i}$) から、4 色の構成色 (i) それぞれについてブライトネス ($B_{D65,i}$)、カラフルネスの R-G 成分 ($M_{D65,R-G,i}$)、カラフルネスの Y-B 成分 ($M_{D65,Y-B,i}$) を算出する。

なお、非線形色知覚モデル¹⁷⁾を使用する場合、計算のための入力条件として、上記の各構成色の測色値 ($x_{D65,i}, y_{D65,i}, Y_{D65,i}$) の他に必要な各値を次の条件に設定する。

 - ・背景の無彩色の反射率：20%
 - ・基準光源自身の色度座標：(x_{D65}, y_{D65}) (上記(2)で算出)
 - ・基準光源の照度：1000 lx
 - ・基準化照度：1000 lx
- (5) 上記(3)で得られた、テスト光源下での 4 色配色サンプルの各構成色 (i) それぞれに対するブライトネス ($B_{T,i}$)、カラフルネスの R-G 成分 ($M_{T,R-G,i}$)、カラフルネスの Y-B 成分 ($M_{T,Y-B,i}$) の 3 次元空間上で、4 色配色サンプルの各構成色のメトリック座標を結ぶ 4 面体の R-G 軸を挟む 2 面の面積 [Gamut Area: (2.6) 式での $G(T, E(lx))$ の値] を算出する。
- (6) 上記(4)で得られた、基準光源下での 4 色配色サンプルの各構成色 (i) それぞれに対するブライトネス ($B_{D65,i}$)、カラフルネスの R-G 成分 ($M_{D65,R-G,i}$)、カラフルネスの Y-B 成分 ($M_{D65,Y-B,i}$) の値から、Gamut Area [(2.6) 式での $G(D_{65}, 1000(lx))$] を算出する。
- (7) 上記(5)で得られた $G(T, E(lx))$ と上記(6)で得られた $G(D_{65}, 1000(lx))$ の値から、(2.6) 式によりテスト光源の目立ち指数 M を算出する。

参 考 文 献

- (1) CIE: Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, 2nd Ed., Publ. CIE No.13.2(1974)
- (2) JIS Z 8726: 光源の演色性評価方法(1990)
- (3) Aston, S. M. and Bellchamber, H. E.: Illumination, colour rendering and visual clarity, Light. Res. Technol., 1-4, pp.259-261(1969)
- (4) Bellchamber, H. E. and Godby, A. C.: Illumination, colour rendering and visual clarity, Light. Res. Technol., 4-2, pp.104-106(1972)
- (5) Boyce, P. R.: Investigations of the subjective balance between illuminance and lamp properties, Light. Res. Technol., 9-1, pp.11-24 (1977)
- (6) Thornton, W. A. and Chen, E.: What is visual clarity?, J. Illum. Engng. Soc., 7-2, pp.85-94(1978)
- (7) Kanaya, S., Hashimoto, K. and Kichize, E.: Subjective balance between general colour rendering index, colour temperature, and illuminance of interior lighting, Publ. CIE No.50, pp.274-278(1980)
- (8) 金谷末子, 橋本健次郎: ランプの演色性と明るさ感, 昭58 照学全国大会(1983)111
- (9) Hashimoto, K. and Nayatani, Y.: Visual Clarity and Feeling of Contrast, Color Res. Appl., 19-3, pp.171-185(1994)
- (10) 納谷嘉信, 橋本健次郎: 光源の演色性による明るさ感と配色の目立ち感情の関連, 照学誌, 70-2, pp.55-61(1986)
- (11) 橋本健次郎, 納谷嘉信: 演色性の異なる照明下での配色の目立ち感情の評価と予測, 照学誌74-2, pp.96-101(1990)
- (12) 橋本健次郎, 納谷嘉信: 4色配色の目立ち感情に基づく明るさ感の評価と予測, 照学誌74-10, pp.674-680(1990)
- (13) Publ. CIE No. 21A: Discussions of Papers, pp.133-134 (1972)
- (14) 辻本, 池田, 高田, 柿田, 西村: 照明がおよぼす配色感情に関する研究 (予備実験その1), JDA Communication, pp.7-11(1979)
- (15) Nayatani, Y., Hashimoto, K., Takahama, K. and Sobagaki, H.: A Nonlinear Color-Appearance Model using Estevez-Hunt-Pointer Primaries, Color Res. Appl., 12-5, pp.231-242 (1987)
- (16) Nayatani, Y., Takahama, K., Sobagaki, H. and Hashimoto, K.: Color-appearance model and chromatic-adaptation transform, Color Res. Appl., 15, pp.210-221 (1990)
- (17) Nayatani, Y., Sobagaki, H. and Hashimoto, K.: Lightness Dependency of Chroma Scales of a Nonlinear Color-Appearance Model, Color Res. Appl., 20, pp.156-167 (1995)
- (18) 橋本健次郎, 矢野正, 納谷嘉信: 目立ち感情に基づく光源の演色性評価方法, 第9回色彩工学コンファレンス論文集, pp.123-126(1992)
- (19) Hashimoto, K., Yano, T. and Nayatani, Y.: New method for specifying color rendering properties of light

sources based on the affection of contrast, Proceeding of the 7th Session of the Association Internationale de la colour(1993)

- (20) Thornton, W.A.: Color-Discrimination Index, J. Opt. Soc. Am., 62-2, pp.191-194(1972)
- (21) Judd, D.B.: A Flattery Index for Artificial Illuminants, Illum. Engng., 62, pp.593-598(1967)
- (22) Publ. CIE109-1994: A Method of Predicting Corresponding Colours under Different Chromatic and Illuminance Adaptations(1994)
- (23) Jerome, C.W.: The Flattery Index, J. Illum. Engng. Soc., July, pp.351-354(1973)
- (24) Thornton, W.A.: A validation of the color-preference index, J. Illum. Engng. Soc., October, pp.48-53(1974)

(受付日1994年11月8日/採録日1995年7月4日)

はしもと けんじろう (専門会員)
橋本 健次郎

松下電器産業株式会社

や の ただし (正会員)
矢野 正

松下電器産業株式会社

なやたに よしのぶ (専門会員)
納谷 嘉信

大阪電気通信大学

昭和24年5月12日生まれ, 昭和50年京都工芸繊維大学工学研究科電気工学修士過程修了, 同年松下電器産業株式会社入社, 平成6年3月博士(学術), 目立ち感情に基づく明るさ感の効果, 色知覚特性に関する研究開発に従事, 日本色彩学会, テレビジョン学会, 日本人間工学会所属。

昭和39年6月11日生まれ, 平成1年千葉大学大学院工学研究科画像工学修士過程修了, 同年松下電器産業株式会社入社, 照明研究所で光源の演色性評価技術, 高齢者の不快グレア, 色識別性に関する研究開発に従事, 日本色彩学会, 日本視覚学会, 日本光学会所属。

昭和2年5月25日生まれ, 昭和26年大阪大学工学部電気工学科卒業, 昭和26年4月電気試験所(現, 電子技術総合研究所)に入所, 大阪支所に配属され, 色彩計測および色彩間隔に関する研究に従事, 大阪支所長を経て, 現在, 大阪電気通信大学工学部経営工学科教授, 昭和36年10月工学博士, 昭和31年電気技術実用化協会論文賞, 昭和41年5月照明学会賞を受賞, 昭和63年5月照明学会副会長, 電気学会, 日本光学会, 心理学会, 日本色彩学会, 日本人間工学会, 日本照明委員会, OR学会, 品質管理学会, 行動計量学会各会員。